

BSPM44800-1927-3

1002 1092

해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구
최종보고서

2008. 1

주관연구기관 한국해양연구원
공동수급연구기관 충북대학교

해양수산부

제 출 문

해양수산부장관 귀하

본 보고서를 “해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구용역”의 최종보고서로 제출합니다.

2008. 1. 22.

주관연구기관명 : 한국해양연구원

주관연구책임자 : 이순길

연 구 원 : 박철원, 명정구, 노충환, 강돈혁,
오승용, 최희정, 김현경

공동수급연구기관명 : 국립충북대학교

공동수급연구책임자 : 김영환

연 구 원 : 문창호, 김세화, 유승훈, 김동윤,
강운자, 김대현, 김지환, 안중관,
윤희동, 조귀희, 박준호, 정동원,
이준희

요 약 문

I. 제 목

해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구용역

II. 연구용역의 목적 및 필요성

지구온난화로 인한 자연 해수의 온도 증가에 더하여 원전, 제철소, 산업단지에서 배출되어 급속한 온도변화로 주변해역의 해양생태계를 교란하는 온배수 현황 및 국내·외 온배수 관리제도에 대한 문제점과 대안을 검토하여, 해역 특성별 온배수 영향 범위 및 수용 가능성을 고려한 우리나라 실정에 적합한 온배수 배출기준을 정함과 아울러 환경 친화적인 온배수 관리방안을 마련하는데 목적이 있다.

우리나라에서 2006년 관류냉각방식을 채택하여 생산된 전력은 331TWh로 약 473억톤의 온배수를 해양으로 방출하였다. 수온은 해양생태계에서 빛 다음으로 중요한 환경요인으로 온배수 형태로 해양생태계에 부하되는 막대한 에너지는 주변해역의 수온분포를 변화시켜 직, 간접적으로 해양생태계에 많은 영향을 미치며, 증가하는 전력수요에 따라 그 영향은 점차 커질 것으로 생각된다.

전 세계적으로 온배수 배출기준을 엄격하게 규정하고 있으나 아직까지 우리나라에는 아무런 규제 및 관리제도가 없다. 따라서 온배수 방출 현황을 파악하고, 온배수가 부하되는 해양생태계의 온배수 수용력을 평가하여 우리나라 해양생태계의 특성에 부합하는 환경 친화적 온배수 배출기준을 정하는 것은 매우 시급한 과제이다.

III. 연구용역의 범위 및 내용

가. 연구용역의 범위

본 연구용역은 표제사업의 제 3차년도 사업이자 연구용역의 마지막 단계사업이

다. 따라서 본 연구용역의 범위는 1차 및 2차년도 연구내용 중 미진한 부분을 보완함과 아울러 해양생태계 보전을 위한 온배수 배출기준 연구, 온배수 관리방안의 사회과학적 연구 및 온배수 관리시스템 연구를 통하여 포괄적 개념에서의 우리나라 실정에 부합하는 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 수립을 연구용역의 범위로 한다. 동 보고서는 3차년도 연구개발 내용에 더하여 1차 및 2차년도 연구개발 내용이 모두 포함된 통합보고서이다.

나. 연구용역의 내용

본 연구용역의 내용은 우리나라 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 수립에 필요한 기초자료가 되는 우리나라 연안의 각종 형태의 온배수 배출기관의 온배수 배출현황과 냉각계통 가동현황을 조사하고, 우리나라 해양생태계 보전에 적합한 온배수 배출기준을 수립하고, 경제학적 및 법률학적 검증을 거친 온배수 관리방안을 수립함과 아울러 동 관리방안의 실행을 위한 정책적 방안을 제시하는 것을 주요 내용으로 한다. 이를 위한 세부내용은 다음과 같다.

1). 온배수 배출기준 연구

- 우리나라의 온배수 배출 현황
 - 해역별 배출업체 분포 및 향후 계획
 - 업체별, 해역별 온배수 배출량 및 배출 수온
 - 업체별 냉각시설 현황
- 냉각계통 가동에 의한 영향
 - 충돌 및 연행에 의한 영향
 - 염소주입에 의한 영향
 - 냉각계통 영향 저감방안
- 온배수 배출기준 수립
 - 냉각수 취수 허가 조건
 - 해역별, 계절별 온배수 배출기준
 - 온배수확산구역 허가조건

2). 온배수 관리방안의 사회과학적 연구

- 경제학적 연구
 - 온배수 분담금 연구

- 온배수 관리방안이 전력원가에 미치는 영향
- 법률학적 연구
 - 분담금의 법률학적 타당성
 - 온배수 배출기준의 법률학적 타당성

3). 온배수관리시스템 수립 연구

- 온배수 관리시스템 실천방안 연구
 - 중앙온배수관리위원회 설립 및 운영안
 - 지역별온배수관리위원회 설립 및 운영안
 - 온배수 전문연구기관 설립 및 운영안
 - 온배수이용 연구(온배수 확산구역의 바다목장화 모델 수립 및 온배수 이용 고부가 어종 선정)
- 온배수 관리시스템의 정책적 연구
 - 온배수 관리정책의 시스템 흐름도
 - 온배수와 관련한 환경분쟁 조정방법 연구
 - 온배수 관련 위원회 및 연구기관 관리방안

IV. 연구개발 결과

1. 온배수 배출 현황 및 생태계 영향

가. 온배수 배출현황

우리나라 연안에 2m³톤/초(63백만m³/년) 이상의 온배수를 배출하는 업체는 한국수력원자력(주)을 비롯한 6개 발전회사, 포항제철(주), 포스코파워(구 한국종합에너지), GS EPS 부곡(구 LG 에너지), 케이파워 및 메이아파워 11개 업체이다. 발전단위별로 보면 원자력발전소 4개, 기력발전소 18개 및 복합화력발전소 8개로 총 30개의 발전단위가 있다. 2006년 12월 31일 기준으로 해수를 냉각제를 사용하여 얻은 발전량은 약 330.8Twh로 전체 발전량의 약 82%를 차지하였으며 약 472억톤의 온배수를 배출하였다. 발전량 대비 온배수 배출량을 보면 2006년 기준으로 약 3,31TWh의 발전을 위해 472.6억톤/년의 온배수를 배출하여 1TWh의 전력을 생산하는데 평균 1.38억톤의 온배수를 배출하였다.

해역별 배출량은 서해안이 206.9억톤/년으로 가장 부하량이 크다. 이 중 인천/경기해역 34.3억톤/년, 태안/보령해역 98억톤/년 그리고 영광해역 74.6억톤/년이었다. 남해안에는 총 73.5억톤/년이 배출되었으며 제주해역에는 제주해역 2.3억톤/년이 배출되었다. 동해안에는 동해중부해역 66.4억톤/년 및 동해남부해역 123.5억톤/년으로 총 189.9억톤/년이 배출되었다.

대부분의 발전소는 자연수온 변화에 따라 온배수 ΔT 를 조절하고 있다. 따라서 자연수온이 높은 7월부터 10월까지는 전체적으로 7°C 이하의 ΔT 를 나타내고 있으며 자연수온이 가장 높은 9월의 ΔT 는 5.7°C 에 불과하다. 11월에 들어 자연수온이 내려가면 냉각수 사용량을 점차 축소하여 ΔT 는 7°C 를 넘어 점차 상승하여 자연수온이 가장 낮은 2월에는 평균 ΔT 8.9°C 내외 최고에 달한다.

나. 냉각계통 가동이 해양생태계에 미치는 영향

우리나라는 취수 시설물에 충돌하여 사망하는 해양생물에 대한 조사는 환경영향적 측면보다는 발전소 보호적 측면에서 다루어져 왔으며, 순수한 해양생태계 보호를 위한 조사는 초보적인 수준에 머물고 있다.

영광원전자력발전소의 경우 1~6호기 가동조건에서 시간당 42개체 642g의 어류가 충돌하여 연간 약 2백만 마리(약 30.5톤)의 어류가 피해를 입는 것으로 보고되고 있으며, 동해안에 위치한 원자력발전소들은 이보다 낮은 88천~ 376천 마리/년의 어류가 피해를 입는 것으로 보고되고 있다.

식물플랑크톤이 냉각계통에 연행되어 입는 영향은 기계적 충격과 열 충격으로 나눌 수 있지만 사실상 이 두 가지를 분리하기는 매우 어려워 조사자에 따라 많은 차이가 발생한다. 삼천포화력발전소에서 광합성 색소량을 기준으로 10% 내외의 연행 사망률과 7.5~58.9%의 기초생산력이 손실되는 것으로 보고되어 있다. 전체적으로 볼 때 고수온기와 저수온기를 제외하고는 기계적 충격에 의한 광합성 감소효과를 수온상승에 의한 광합성 촉진효과로 많은 부분을 상쇄해 주고 있다.

동물플랑크톤은 개체의 크기가 작은 탓에 식물플랑크톤과 마찬가지로 취수구 거름망을 통과하여 냉각계통 안으로 연행되어 기계적 충격과 열 충격을 받게 되며, 살아남아도 연행 중 입은 기계적 충격으로 더듬이와 부속지가 손상되어 생존 가능성이 매우 낮다. 어란의 부화율은 “0”에 가까운 수준으로 낮아지며, 부화자어 및 치어의 사망률은 100%에 가깝다. 냉각계통 연행에 따른 동물플랑크톤의 평균 사망률은 30% 미만이지만 최대 사망률이 100%에 달하기도 한다. 지난 8년간 울진원전 냉각계통 연행에 복수기 통과시 동물플랑크톤의 사망률은 30% 이하로 나타났지만, 고

수온기에는 50% 이상의 사망률이 관측된다.

염소는 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률로 확대 강화되는 수질환경보전법 시행령 제3조(수질오염물질)에서 정한 별표 2의 17항 염소화합물에 해당한다. 따라서 온배수 관리방안에서 온배수에 포함되어 배출되는 염소화합물을 규제하는 것은 법률상 중복되는 것으로 불필요하다고 판단된다. 부득이 온배수 배출과 관련하여 규제 온배수에 포함되어 배출되는 염소량은 잔류염소량 기준으로 0.01mg/l 이하로 하는 것이 바람직하다.

다. 온배수 확산구역에서의 영향

발전소 온배수가 유입되는 해역의 식물플랑크톤은 계절에 따라 다르게 반응한다. 대체로 봄과 가을에는 자연 수역보다 온배수가 유입되는 해역에서 식물플랑크톤의 생산력이 증가하는 경향을 보인다. 여름철에는 자연 해수의 온도가 상대적으로 높는데 더하여 온배수가 지닌 열에너지가 추가되면, 상한 임계온도를 초과하기 때문에 온배수 확산지역의 식물플랑크톤의 생산력이 감소한다. 37℃ 이상의 온도에서는 장기적인 손상이 나타날 수 있다.

온배수가 유입되는 해역에서 동물플랑크톤을 조사한 결과를 종합해 볼 때, 자연 수온이 그다지 높지 않은 계절에는 개체군 밀도에 있어 일관된 경향을 찾기 어렵지만 자연 수온이 높은 계절에는 현존량이 감소하는 추세를 보인다. 이는 온배수 영향으로 해수 온도가 동물플랑크톤의 최적 생육 온도의 제한선인 30℃를 넘기 때문이며, 이에 따라 수산업 피해가 발생하기도 한다(한국전력공사 전력연구원 1995).

조하대 해조류는 온배수 영향을 받게 되면 생장이 저해되며(그림 2-14), 출현종의 조성이 바뀌는 경향을 보인다. 고리원전 가동 전에는 배수구 부근에서 참도박, 작은 구슬산호말 등이 우점이었으나, 가동 후에는 참도박의 생육이 감소하고 개서실은 출현하지 않은 반면에 애기우뭇가사리가 우점으로 나타났다(김과 이 1980). 영광원전의 경우, 가동 전에 136g. dw/m²의 생육이 관찰되었는데 가동 후에는 무게를 측정할만한 해조류가 전혀 출현하지 않았다.

온배수 확산구역의 저서생물은 종 감소 및 종다양성 저하 현상이 나타난다. 삼천포 화력발전소의 취수로에서는 년 중 20~47종이 출현하지만, 온배수 영향이 큰 배수로에서는 11~29종이 출현하였으며, 온배수 확산구역에서는 19~38종이 출현하여 수온에 따른 종 감소현상이 뚜렷하게 나타났다. 또한 조무래기따개비와 삼각따개비의 부착기간이 온배수의 영향으로 제1차 부착시기는 5~8월에서 5~7월로 1개월 단축되었으며, 2차 부착시기는 11월에서 11~12월로 연장된다.

통상적으로 온도 변화에 대하여 어류가 적응할 수 있는 범위는 온도가 상승할 경우 1.1℃/일 미만으로 알려져 있으며 온도가 감소할 경우에는 이보다 변화의 폭이 적어야 적응할 수 있다. 만일 어류가 적응하지 못할 정도의 급격히 높거나 낮은 온도에 노출된다면 열 충격을 받는다. 울진원자력발전소를 대상으로 조사한 결과 온배수의 영향을 받는 배수로와 배수구 인근 해역에서 여름철 난류를 따라 북상하여 정착한 것으로 판단되는 파랑돔, 독가시치, 자리돔, 뽕에돔, 갯방어 등의 아열대성 및 난류성 어종이 관찰되고 있는 등 종 교대현상이 뚜렷하다.

현재 온배수 배출에 따른 수산업 보상이 완료되어 수산 활동이 제한되어 있는 해역은 약 23천ha에 달한다. 1980년 이후 2005년까지 지불한 피해보상액은 약 3,230억원으로 원자력 부분이 약 1771억원, 화력부분이 약 1,459억원이었다.

2. 국내·외 온배수 관리제도

유엔해양법협약(UN Convention on the Law of the Sea, 1994)에는 “해양환경의 오염은 직·간접적으로 인위적으로 해양환경으로 유입되는 물질 또는 에너지로서 해양생물에 해롭거나, 해양의 쾌적한 이용을 저해 시키는 것”으로 온배수를 오염물질로 규정하였다. 캐나다(Environmental Protection Act 2002)는 오염을 일으키는 물질로 열, 방사능 또는 다른 형태의 에너지를 규정하고 있으며 미국(Federal Water Pollution Control Act 1996 개정)은 온배수배출에 대한 독립된 조항(Section 316 Thermal discharge)을 두고 있다. 일본(水質汚濁防止法 2005)은 배수기준의 배출수 오염은 열에 의한 물질을 포함하고 있으며, 중국(清潔生產標準-燃煤電廠, 中華人民共和國 2003)은 화력발전소의 열효율은 최소한 45%를 유지하도록 규정하고 있다.

우리나라의 경우 온배수 관리방안이 없으며, 냉각계통 선택의 제한, 생물검정자료의 부족, 온배수 관련 자료의 신빙성 부족 등 문제점 있다.

냉각방식은 관류냉각방식이 유일하며, 기존 발전소에 해양생물 보호시설 설치 및 시설 개선에 과도한 비용 소요된다. 온배수 배출규제를 위해서는 먼저 배출해역에 서식하는 생물의 온도방응을 알아야 하지만 이를 알아볼 수 있는 생물검정자료가 부족하다. 우리나라 전문 학술지, 대학 연구보고집, 학위논문을 망라하여도 수온변화에 대한 해양생물의 반응에 관한 연구는 50여편에 불과하며, 이마저 넙치, 조피볼락, 참굴, 진주담치, 바지락, 김, 미역, 다시마 등 몇 몇 종에 편중되어 있다.

또한 온배수 관련 조사의 신뢰성 부족하다. 조사의 표준이 없어 복수 연구기관이 조사할 경우 서로 다른 결과 도출 및 재검정이 불가능하다.

우리나라의 온배수 관리방안은 냉각수 취수에서부터 온배수가 배출되어 자연수와 같은 수온으로 희석되기까지 관리하며, 절대적인 기본자료 부족으로 현재 도출되는 온배수 관리방안은 계속 보완 및 수정이 필요하다. 온배수 관리방안은 수치적 규제보다는 현실적 문제 해결에 중점을 두고, '해양환경관리법' 테두리 안에서 수립되어야 한다. 정부 관련 부처간 협의체를 구성하여 시행 전까지 계속적으로 수정 및 보완하며, 온배수 관리방안의 실행 경비는 원인제공자 부담으로 충당한다.

3. 온배수관리방안의 배경

가. 해양학적 배경

우리나라 연안의 해수유동, 수괴특성, 수온의 시·공간적 분포(일일변화, 월변화, 계절변화), 해양생물의 지리적 분포(해조류, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 저서동물, 어류), 어장분포 등을 고려할 경우 서해(한강 하구~목포), 남해(완도~기장), 제주, 동해남부(월 내~삼척) 및 동해중부(삼척~고성)의 4 해역으로 나뉜다.

나. 환경생태지수

국립수산과학원에서 '국가 해양환경측정망 운영지침'에 따라 정기적으로 조사하는 해양환경자료를 토대로 얻은 권역별 수질지수와 온배수 배출해역에 대한 실측자료를 토대로 온배수 배출 해역의 생태학적 중요도를 산정할 수 있다.

환경생태지수는 수질환경지수와 생태지수의 합이다. 수질환경지수는 수질등급에 따라 차등 있게 부여한다. 수질등급 I(참돔, 방어 및 미역 등 수산생물의 서식, 양식 및 해수욕에 적합한 수질) 해역은 온배수 배출에 의한 수온 상승효과가 주변 해양 환경에 미치는 영향이 큰 해역이므로 높은 가중치(1.0)를 주고 수질등급 II(해양에서의 관광 및 여가선용과 송어 및 김 등 등급 I의 해역에서 서식, 양식에 적합한 수산생물 외의 수산생물의 서식, 양식에 적합한 수질)는 중급 가중치(0.5)를 부여하고 수질등급 III(공업용 냉각수, 선박의 정비 등 기타 용도로 이용되는 수질) 해역은 수온 상승보다는 수질오염에 의한 악영향이 크게 나타나는 곳이므로 낮은 가중치(0.1)를 부여한다.

생태지수산정은 클로로필-a 및 동·식물플랑크톤군집과 저서생물군집의 3유형으로 구분하여 가중치를 부여한다.

다. 지표종 및 생물검정

온배수의 영향을 파악하는 지표종은 우선적으로 우리가 감시하려는 환경 변화 즉, 수온 변화에 민감하게 반응하여 그 반응 정도를 정량화할 수 있는 종로서 우리나라에 보편적으로 출현하고, 우점종 또는 산업적 가치가 있으며, 실험자가 손쉽게 구할 수 있는 종이어야 한다.

동물플랑크톤에서는 새부리바다물벼룩(*Penilia avirostris*), 노르만바다물벼룩(*Evadne nordmanni*), *Calanus sinicus*, *Acartia* spp. 이 지표종으로 사용 가능하며, 해조류는 참김(*Porphyra tenera*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 다시마(*Laminaria japonica*) 등 비교적 낮은 수온에서 잘 자라는 냉수성을 성정하는 것이 좋다. 저서동물은 참굴(*Crassostrea gigas*), 바지락(*Ruditapes philippinarum*), 지중해담치(*Mytilus galloprovincialis*)를 사용할 수 있다. 어류는 척추동물로 비교적 고등한 생물군에 속하여 생리 대사적인 측면에서 수온에 대한 내성 범위가 비교적 넓으며, 운동성이 매우 커 자연환경이 변하면 보다 좋은 환경을 찾아 쉽게 이동하기 때문에 일차적으로 수온에 대한 지표종으로 사용하기에는 적합지 않다. 그러나 객관적인 관점에서 수온변화의 영향을 평가하거나, 온배수 배수구 주변에서의 어류군집의 변화를 추적하는 도구로 사용할 수 있다. 어류를 지표종으로 하여 얻어지는 자료는 사회학적으로 여러 가지 파급효과를 내재하기 때문에 신중하게 고려해야 할 문제이다.

반수치사수온은 실험생물의 50%가 사망하는 수온(또는 50%가 무기한 생존하는 수온)은 해당 수온이 실험생물의 서식 적수온의 범위를 넘어섰다는 것을 의미한다. 따라서 반수치사수온은 온배수 영향이 확실하게 나타나는 수온을 의미한다고 보아야 하며 이를 온배수 배출허용 수온으로 인식해서는 안 된다. 따라서 주어진 해역에 대한 온배수 영향을 정확하게 수치화하기 위해서는 실험생물 중 어느 개체가 최초로 사망하는 수온부터 반수치사수온에 이르기까지 단계적인 치사수온 실험이 필요하다. 추천되는 방법은 실험시작 24시간 이내에 최초의 개체가 사망하는 수온, 10% 치사수온, 25% 치사수온 및 반수치사수온의 4단계로 검정하는 것이 바람직하다. 실험생물의 어는 생활사의 한 단계를 대상으로 할 경우 부화율(수정란) 또는 다음 단계로의 변태 성공률을 기준으로 검정하거나 식물의 경우 광합성 저해율을 기준으로 검정할 수 있다.

대부분의 생물은 생물검정실험 조건에 적응시간이 필요하다. 적응시간 동안에 측정되는 생리활성 자료는 비정상 상태, 즉 손으로 이동시키는 것과 같이 외적활동에 기인한 상황(active rate)을 나타낸다. 따라서 이동 후 24시간 이내에 측정된 생리활

성은 정상적인 활성이라고 볼 수 없으며, 짧은 기간 동안 폐쇄식으로 정상적인 생리활성 상태를 측정하기는 거의 불가능하다. 따라서 순환식 또는 반순환식을 작성해야 한다. 생존하는 모든 생물은 내인성 생체리듬에 따라 반응결과가 달라진다. 내인성 생체리듬은 주로 24시간 일주기(circadian rhythm)와 12.4시간의 조석주기(circatidal rhythm), 그리고 24.8 시간 달주기(lunar rhythm)에 따라 변한다.

내인성 생체리듬은 비록 생물이 외부 환경요인에 의해 사망에 이르지 않았더라도 생물체내에 커다란 장애가 있다는 것을 외부에 신호로 내보낸다. 여러 형태의 신호는 생리활성을 장기간 측정하면 가능하게 되는데 이러한 과정에 생체리듬 관찰과 분석이 필요하다. 생체리듬을 관찰하는 과정에 많은 어려움이 따르지만 미세한 온도 변화에 따른 생물의 생리작용 스트레스를 추정하는데 효과적이다.

4. 온배수 관리방안의 주요 내용

가. 냉각수 취수 허가

냉각수 취수는 수중취수를 원칙으로 한다. 취수자는 냉각수량을 최소화하기 위한 모든 노력을 기우려야 하며 보편타당성 있는 최신 기술을 사용하여 냉각계를 설계하고 해양생태계 영향을 최소화하기 위한 시설을 설치한다.

취수해역에 대한 해양생태계의 시·공간적 구조조사로 냉각계가 해양생태계에 미치는 영향을 예측하고, 저감방안을 수립한다.

- 냉각계통 사양
- 해양생태계 조사

나. 온배수 배출 및 온배수 확산구역 사용허가

온배수 배출은 수중배출을 원칙으로 한다. 수중배출을 계획하고 있는 신고리원자력발전소는 우리나라 최초의 사례로 온배수 관리방안 수립에 좋은 지침이 된다.

배출구뿐만이 아니라 온배수확산구역(이하 확산구역)에서의 영향을 함께 고려하여 온배수 배출이 해양생태계에 미치는 영향을 예측하고, 예측된 영향에 대한 저감방안을 명기하여 온배수 배출 허가 및 확산구역 사용 요청서를 제출한다.

신청된 온배수 확산구역이 타당하고 그 면적이 10ha 이상일 경우 해양환경관리법 제15조 ①에 의거 환경관리해역(잠정)으로 지정한다.

- 온배수 배출계통 사양

- 허가를 요청하는 온배수 배출량이 최소 배출량임을 증빙할 수 있는 자료
- 온배수 배출 수심 및 위치(수중 배출방법을 채택하지 않을 경우 그 사유)
- 온배수 확산구역
 - 우리나라 연안 수온의 일교차는 $> 1^{\circ}\text{C}$
 - 동일 시각 지역간 수온 차이는 $> 2^{\circ}\text{C}$ 이 보편적
 - 어류가 적응할 수 있는 수온 상승범위 $< 1.1^{\circ}\text{C}/\text{일}$
 - 지난 30여년간 온배수 영향범위로 인식해온 1°C 범위 조정 곤란
 - 정밀한 생물검정에 의하여 해역별 온배수 배출기준이 결정되기까지 잠정적으로 온배수가 자연해수와 혼합하여 그 차이가 1°C 에 도달하는 범위까지를 확산구역으로 정의
- 온배수 환경영향 평가
 - 온배수 영향을 정량적으로 평가하는 환경영향표준이 없으며 온배수 배출 기준을 정할 과학적 기준이 없음
 - 온배수 배출 허가 및 확산구역 사용요청을 위한 환경영향평가는 장차 수립될 환경영향평가표준 및 온배수 배출기준을 정하기 위한 자료 수집에도 중요한 비중을 두고 실시 필요
 - $2\text{m}^3/\text{초}$ 이하의 소량의 온배수를 배출하는 경우 해양조사를 생략
- 조사내용
 - 대상해역의 수질, 저질, 해양물리 및 생태계조사자료 수집 분석
 - 부지의 지형, 지질 및 수중배출 구조물의 설계조건 등 분석
 - 해수유동/온배수 확산 3차원 수치 예측 모델
 - 위성영상 자료 분석(최강 창, 낙조시 온배수 확산 자료 분석)
 - 해양물리 조사
 - 해양저질조사
 - 해양수질 조사(해역별 환경생태지수 결정 자료)
 - 해양생태계 조사: 냉각계통 취수허가와 같은 내용을 조사하되 난류성해양생물이 분포를 중점적으로 조사
- 생물검정 실험(추후 온배수 규제치 조정에 참고)
 - 온배수가 미생물 군집과 일차생산자에 미치는 영향조사
 - 저서생물 생리실험: 수온에 대한 저서생물의 생리, 행동 반응
 - 어류 생리실험: 수온변화에 대한 어류의 생리, 행동 반응
 - 해양환경 및 생태계 자료 D/B 구축
- 확산구역 내의 수산업활동에 대한 피해보상 계획

다. 온배수 배출 기준

우리나라 연안의 수온특성 및 현재의 각 발전소의 온배수 배출량 및 배출 수온을 감안하여 결정한다.

- 온배수 수온

- 배출구에서의 최대 허용수온 <math>< 35^{\circ}\text{C}</math>
- 최대 허용 ΔT :
 - : 하절기 전해역 $\leq 7^{\circ}\text{C}$
 - : 동절기 동해안 $\leq 12^{\circ}\text{C}$, 서해안 $\leq 15^{\circ}\text{C}$
 - : 봄철과 가을철 전해역: 수온 변화에 따라 연동적

- 유예조건

- 수중배수구 수온이 표층보다 1°C 이상 낮은 경우 그 차이
- 기준 ΔT 이상에서도 해양생태계에 미치는 영향이 경미하다는 것을 증명할 때
- 지역온배수관리위원회의 동의를 얻어 중앙온배수위원회에서 허가할 때
- 온배수 배출해역이 생태학적 가치를 상실하였고, 회복이 어려울 때

5. 온배수 관리방안의 경제학적 연구

가. 경제학적 연구

어떤 한 행동이 제 3자에게 의도하지 않은 이득이나 손해를 가져다주는데도 이에 대한 대가를 받지도 지불하지도 않을 때 외부성이 발생한 것이며, 온배수 배출에 관한 현재의 상황이 이에 속한다. 온배수 관리정책의 일차적 목표, 즉 온배수 배출량의 규제는 바로 사회적으로 용인 가능한 최적 배출수준을 달성하도록 유도하는 것이다. 만약 온배수 배출로 인한 영향에 대해 정확하게 평가가 되지 못함과 아울러 이득과 손해에 대한 거래가 없기 때문에 외부성이 발생한다. 외부성이 존재하는 경우 시장자체의 힘만으로는 이러한 최적 배출수준의 달성이 일반적으로 가능하지 않다. 따라서 정부가 직접 개입하여 온배수의 최적 배출수준을 달성할 수 있도록 해야 한다.

외부성이 존재하지 않을 때의 최적 배출수준은 한계편익과 한계비용을 일치시키는 값이 최적 경제활동 수준이 되며, 외부성이 존재할 경우 사회적 최적 경제활동

수준은 한계편익과 한계 사회적 비용(=한계비용+한계외부비용)이 만나는 곳에서 최적 경제활동이 달성된다.

온배수 배출량의 규제는 바로 사회적으로 용인 가능한 최적 배출수준 달성을 유도하는 것으로 정부개입의 경제적 방식은 환경에 대한 외부비용(피해)을 기준으로 하여 배출자에게 부과하는 조세(피구세)이다. 배출기준 설정을 통한 직접 규제는 규제적 접근법이며, 조세(부담금), 보조금, 배상청구권/배출권 거래시장은 시장친화적 접근법에 해당한다.

경제적 유인정책은 현재 가격이 부과되지 않은 환경재화에 비용을 부과하여 비경제적영역에 머물렀던 자연자원의 가치를 경제적 영역으로 이동시키는 것이다. 정부는 생산자와 소비자로 하여금 자원의 지속 가능한 이용을 유인하기 위해 경제적 유인책을 사용하며 오염세, 보조금 및 배출권 거래의 세 가지 형태로 분류된다.

생태계 훼손을 최소화하고 환경의 지속가능한 이용을 도모하기 위한 방법론으로 경제협력개발기구(OECD)는 규제적 접근법에서 시장유인적 접근법으로 선회를 유도하고 있다.

나. 온배수 관리방안 시행을 위한 정책수단

온배수 관리방안 시행에 소요되는 연간 100억원 가량의 비용을 부담할 수 있는 주체로는 발전회사, 전력 수용가, 중앙정부(해양수산부)의 3개를 들 수 있다. 이론적으로는 원인제공자가 100% 부담을 해야 하지만, 현실적으로는 각 주체들끼리의 협상의 결과로 부담 비율이 결정된다. 이때 중앙정부는 원인제공자를 분명히 식별하면서 원인제공자의 원인 제공 정도와 부담능력을 종합적으로 고려할 필요가 있다.

첫째 방법은 해양생태계 보전 활동을 해양수산부의 예산으로 전액 집행하고, 더 나아가 온배수 배출 저감을 위한 발전회사의 활동에 대해서도 보조금의 형태로 지원을 하는 것이다.

둘째 방법은 모든 비용을 원인제공자가 부담하는 것으로 준소세성 부담금이 이 법주에 포함된다.

셋째 방법은 중앙정부의 예산으로 일부 부담을 하고 나머지는 사안별로 원인제공자, 즉 발전회사가 부담하는 것이다. 이 방안은 상기 두 가지 방안이 가지고 있는 한계점을 보완할 수도 있지만, 첫 번째 대안과 세 번째 대안이 가지고 있는 한계점을 어느 정도 그대로 유지할 수도 있다. 예를 들어, 중앙정부의 예산이 투입된다는 측면에서 OECD가 회원국에게 강조하고 있는 오염자 부담원칙이 충분히 적용되지 못하므로, 납세자의 반발이 있을 수 있다. 아울러 원인제공자에게 일부 부담을 시킴

으로써 원인제공자의 반발도 불러일으킬 수 있다.

한편 온배수 관리방안 실행에 소요되는 비용 중 가장 큰 비중을 차지하는 비용은 온배수전문연구기관의 설립과 운영에 소요되는 비용이다. 따라서 냉각수 취수 및 온배수 배출 허가와 관련된 전문기관의 타당성 검토를 비롯한 온배수 활용을 위한 기술개발에 소요되는 비용을 사안별 원인제공자가 부담하여 해양수산부에서 지정한 14개 ‘어업의 손실액 조사기관’에서 수행하게 한다면 세 번째 방안이 최적 방안이 될 수도 있다.

부담금 부과와 최종 목적은 쾌적한 해양환경 유지 및 해양생태계 보전으로 해양 생태계에 미치는 영향을 최소화하도록 경제적 유인 제공, 오염자 부담 원칙 및 수용가능성, 단순하고 명시적인 부담금 산정표준, 최소 행정비용 및 용도(온배수 관련 사업) 지정으로 부과할 수 있다.

온배수배출부담금 제도의 운영체계는 해양수산부를 중심으로 운영한다. 해양수산부는 부담금 관리 및 집행을 담당하면서 온배수 관리사업을 수행한다. 아울러 해양수산부 전체의 관점에서 부담금 수준을 산정하고 해양수산부 장관 명의로 고지서를 발급하고 징수를 한다. 부담금 납부자에는 발전사업자뿐만 아니라 해수를 냉각용으로 사용하는 다른 사업자도 공평하게 포함되어야 한다. 한편 발전사업자는 부담금을 납부함과 동시에 발전소별 온배수관리위원회를 조직하여 운영해야 한다.

6. 온배수 관리방안의 법률학적 연구

가. 관리방안의 법적 근거

온배수 관리방안의 법적 근거는 2007년 1월 22일 법령 제8560호로 공포된 “해양환경관리법(이하 관리법)”이다. 관리법 제2조(정의) 2에 “해양오염이라 함은 해양에 유입되거나 해양에서 발생하는 물질 또는 에너지로 인하여 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태를 말한다.”로 명기하였다.

한편 ‘에너지’의 사전적 의미는 ‘물체나 물체계가 가지고 있는 일을 하는 능력을 통틀어 이르는 말로, 역학적 일을 기준으로 하여 이와 동등하다고 생각되는 것, 또는 이것으로 환산할 수 있는 것’이며, ‘물질’은 ‘자연계의 구성 요소의 하나이며 다양한 자연현상을 일으키는 실체로, 공간의 일부를 차지하고 질량을 갖는 것’이다. 따라서 물질과 에너지를 구별하여 보는 것이 타당하다 할 수 있다. 그러나 온배수는 발전소에서 발생한 폐열(발전소에서 더 이상 상용 가치가 없는 에너지)과 이를 운반하고 있는 해수가 합쳐진 상태로 ‘에너지’와 이를 운반하고 있는 ‘물질’인 해수를

분리할 수는 없다. 또한 인위적으로 해양에 유입되는 에너지는 사실상 온배수가 유일하며, 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태의 에너지도 온배수가 유일하다. 물론 온배수는 양면성이 있어, 계절에 따라서는 해양생물의 생산력을 증가시켜주기도 하기 때문에 온배수의 속성에 대한 원칙적인 논란은 있을 수 있지만 관리법의 테두리 안에서 온배수를 해양오염의 한 범주로 정의하는 것에는 큰 문제가 없다고 본다.

나. 해양환경관리법 상의 배경

1). 관리방안 수립

해양수산부 장관은 관리법 “제5조(국가 등의 책무) ①국가와 지방자치단체는 해양오염으로 인한 피해를 예방하고 훼손된 해양환경을 복원하는 등 해양환경의 적절한 보전·관리에 필요한 시책을 수립·시행하여야 한다.”에 의거 온배수에 의한 피해를 예방하고 복원하기 위한 시책 즉 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안을 수립·시행할 의무가 있다.

2). 해양환경기준 고시

해양수산부 장관은 관리법 “제8조(해양환경기준) ①해양수산부 장관은 「환경정책기본법」 제10조에 따른 환경기준을 유지하고 「해양수산발전 기본법」 제13조에 따른 해양환경의 보전을 위한 시책에 필요한 해양환경의 기준(이하 “해양환경기준”이라 한다)을 해역별·용도별로 정하여 고시하여야 한다. 이 경우 해양수산부 장관은 미리 관계 행정기관의 의견을 들어야 한다.”에 의거 관계 행정기관(환경부장관)의 의견을 참조하여 해양환경법 시행규칙 또는 해양수산부 고시로 온배수배출기준을 정하는 것이 바람직하다.

3). 정도관리

해양수산부 장관은 관리법 “제12조(해양환경 측정·분석기관의 정도관리) ①해양수산부 장관은 해양환경 상태를 측정·분석하는 기관 중 대통령령이 정하는 기관(이하 “측정·분석기관”이라 한다)으로 하여금 정확하고 신뢰성 있는 측정·분석을 하게 하기 위하여 해양수산부령이 정하는 바에 따라 측정·분석능력의 평가, 관련 교육

의 실시 및 측정·분석과 관련된 자료의 검증 등 필요한 조치(이하 “정도관리”라 한다)를 할 수 있다.”에 의거 해양수산부령으로 온배수 전문기관을 지정하고 감독할 권한이 있다.

4). 특별관리해역 지정

해양수산부장관은 관리법 “제15조(환경관리해역의 지정 및 관리) ①해양수산부장관은 해양환경의 보전·관리를 위하여 필요하다고 인정되는 경우에는 다음 각 호의 구분에 따라 환경보전해역 및 특별관리해역(이하 “환경관리해역”이라 한다)을 지정·관리할 수 있다. 이 경우 관계 중앙행정기관의 장과 미리 협의하여 한다.”에 의거 중앙행정기관의 장과 미리 협력하여 온배수확산구역을 수산자원보전지구에 준하는 특별관리해역으로 지정할 권한이 있다. 특별관리해역 지정에 관한 사항은 관리법 시행령에 정하는 것이 바람직하다.

5). 관리위원회 설치

해양수산부장관은 관리법 “제17조(해양환경관리위원회) ①해양환경에 관한 주요 정책 및 계획을 수립하거나 해양오염의 조사·방지 등에 관한 주요 사항을 심의하기 위하여 해양수산부장관 소속으로 해양환경관리위원회를 둔다.”에 의거 해양수산부 산하에 해양환경관리위원회를 설치할 수 있으며, 중앙온배수관리위원회를 해양환경관리위원회의 세부 위원회로 하거나 동 위원회가 중앙온배수관리위원회의 기능을 갖도록 할 수 있다.

6). 시설개선 명령

온배수 영향 저감을 위한 시설개수는 관리법 “제18조(해양환경개선조치) ①해역관리청은 오염물질의 유입 또는 퇴적 등으로 인한 해양오염을 방지하고 해양환경을 개선하기 위하여 필요하다고 인정되는 때에는 대통령령이 정하는 바에 따라 다음 각 호의 해양환경개선조치를 할 수 있다.”에 의거 대통령령으로 시설개선을 명할 수 있으며, 이에 필요한 사업 시행은 해양수산부령으로 시행할 수 있다. 그러나 법률적으로 온배수를 오염물질이라 규정한다 하여도 사실상 배출된 온배수를 수거 및 처리할 방법은 없기 때문에 시설개선 명령은 냉각수 사용량 축소 및 냉각계통 가동에 따른 환경영향을 저감 시킬 수 있는 시설개선에 국한될 수밖에 없다.

7). 온배수 부담금

해양수산부장관은 관리법 “제19조(해양환경개선부담금) ①해양수산부장관은 해양 환경 및 해양생태계에 현저한 영향을 미치는 다음 각 호의 행위에 대하여 해양환경 개선부담금(이하 “부담금”이라 한다)을 부과·징수한다.”에 의거 대통령령으로 온배수 배출규모를 정하고 이에 대한 부담금을 부과·징수할 권한이 있다. 이를 위하여 관리법 시행령에 환경개선부담금 징수대상으로 온배수를 정하고, 부담금 부과방법 및 징수방법 등 세부적 사항은 관리법 시행령과 시행규칙에 정하여야 할 것이다.

8). 온배수 배출자의 의무

온배수 배출자는 관리법 “제5조(국가 등의 책무) ②해양에서의 개발·이용행위 등 해양환경에 영향을 미치는 행위 또는 사업을 행하는 자는 해양오염 및 해양환경의 훼손을 최소화하도록 필요한 조치를 하여야 한다.”에 정한 해양환경에 영향을 미치는 행위를 행하는 자로 온배수 배출이 해양생태계에 미치는 영향을 최소화할 의무가 있다.

온배수 관리방안을 위한 제반 경비는 관리법 “제7조(오염원인자 책임의 원칙) 자기의 행위 또는 사업 활동으로 인하여 해양환경의 훼손 또는 해양오염을 야기한 자(이하 “오염원인자”라 한다)는 훼손·오염된 해양환경을 복원할 책임을 지며, 해양환경의 훼손·오염으로 인한 피해의 구제에 소요되는 비용을 부담함을 원칙으로 한다.”에 의거 온배수 배출자가 부담하여야 한다.

나. 온배수 관리방안을 위한 법규조정

1). 해양환경관리법

관리법 제2조 제2호에서 ‘에너지’를 해양오염의 한 원인이라고 규정하였으면서도 구체적으로 에너지가 무엇을 의미하는 것인지에 대한 정의규정이 없다. 따라서 첫째, 관리법 ‘제2조(정의) 2. “해양오염”이라 함은 해양에 유입되거나 해양에서 발생되는 물질 또는 에너지로 인하여 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태를 말한다.’에 직접 정의 규정을 추가하여 “해양오염”이라 함은 해양에 유입되거나 해양에서 발생되는 물질 또는 에너지(온배수를 포함한다)로 인하여 해

양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태를 말한다.’로 개정하는 것이 바람직하다(표 4-24). 둘째, 관리법 제2조(정의) 11. “오염물질”이라 함은 해양에 유입 또는 해양으로 배출되어 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 폐기물·기름·유해액체물질 및 포장유해물질을 말한다.’를 “오염물질”이라 함은 해양에 유입 또는 해양으로 배출되어 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 폐기물·기름·유해액체물질, 포장유해물질 및 에너지를 말한다.로 전자보다 법률적 논리에 보다 적절한 방법이다. 그러나 두 번째 방법을 채택할 경우 에너지를 오염물질의 한 범주로 정의하였지만 온배수가 오염물질에 포함된다는 명확한 규정이 없기 때문에 관리법 시행령에 ‘법 제2조(정의) 2호에서 규정한 “에너지”라 함은 발전시설 등 열기관에서 해양환경으로 직접 배출되는 온배수를 포함한다.’라고 반드시 정의하여야 한다(표 4-24).

2). 해양환경관리법 시행령 및 시행규칙

관리법 제2조 제17호에 다음과 같이 해양시설을 정의하고 있다. ‘법 제2조 17. “해양시설”이라 함은 해역(「항만법」 제2조 제1호의 규정에 따른 항만을 포함한다. 이하 같다)의 안 또는 해역과 육지 사이에 연속하여 설치·배치하거나 투입 되는 시설 또는 구조물로서 해양수산부령이 정하는 것을 말한다. 발전시설의 냉각계통은 바로 해역과 육지에 연속하여 설치·배치하거나 투입 되는 또는 구조물이기 때문에 해양수신부령에 이를 명기할 필요가 있다. 한편 공유수면관리법에는 해수인·배수시설이라는 용어를 사용하고 있는바 관리법 시행령에는 이를 보다 구체화하여 ‘해수인수·배수시설(온배수시설을 포함)’이라고 하는 것이 바람직하다. 이와 같이 구체적으로 정의하면 관리법 제19조 제1항 제2호에서 ‘…해양시설에서 대통령령이 정하는 규모 이상의 오염물질을 해양에 배출하는 행위’에 대하여 해양환경개선부담금을 부과하는 것이므로 오염물질인 온배수에 대하여도 자연스럽게 해양환경개선부담금을 부과할 수 있다.

한편 모든 부담금은 법령에 명문화된 규정 없이는 징수 불가능하기 때문에 온배수부담금이라는 용어 보다는 시행령에 ‘에너지 배출에 의한 해양환경개선부담금’이라는 용어를 사용하여 온배수 부담금을 해양환경개선부담금의 일종으로 부과하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 또한 ‘에너지 배출에 의한 해양환경개선부담금’의 부과 산식을 해양수산부령에 위임하는 것은 위임입법의 한계를 넘는 것으로 바람직하지 않기 때문에 대통령령에 정하는 것이 바람직하다.

7. 온배수 관리시스템 수립 연구

냉각수 취수 및 온배수 배출해역은 사업자, 지역어민 뿐만이 아니라 국민 모두가 최적 이용을 추구할 권리가 있는 공공해역이다. 온배수 관리시스템은 온배수 배출자와 국민들 간의 갈등조정, 신뢰구축, 상호부조의 원칙에 입각하여 수립하고 운영되어야 한다. 온배수 관리시스템 운영 및 추후 개선에 필요한 사항은 해양수산부 주관으로 실시하며, 부처간 협의체 구성하여 지속적인 온배수 관리시스템 정비해야 한다.

가. 갈등 조정

먼저 ‘갈등 조정’ 측면에서는 그간 발전소에서 방출되는 온배수와 관련하여 각종 마찰을 빚어온 발전소별 현안을 슬기롭게 해결하기 위하여 지방자치단체, 환경단체, 지역주민 및 전문가들이 공동으로 참여하는 온배수관리위원회를 발전소마다 두는 방안과 정부 내 온배수위원회를 설치하는 방안 등을 모색한다.

1). 지역 온배수관리위원회 조직 운영

현재 산업자원부 주관의 원자력발전소별 민간환경감시기구가 설치되어 운영되고 있지만 민간환경감시기구의 운영지침에 따르면 감시기구는 환경방사능을 자율적으로 감시하는데 그 주된 목적을 두고 있으며, 온배수 방출과 관련한 업무는 담당하고 있지 않고 있다. 따라서 온배수가 다량으로 배출되는 지역에 따라 온배수의 환경 문제를 전담하는 가온배수관리위원회를 조직하여 운영할 필요가 있다.

지역별 온배수관리위원회는 각 지역별 특성에 맞추어 독립적으로 조직하며 위원회의 구성은 다음과 같다.

- 위원장 : 지역의 추천을 받아 중앙온배수관리위원장이 임명
- 부위원장 : 지역별 위원장이 선임
- 간사 : 해당 지방자치단체의 장이 임명한 담당 공무원
- 위원 : 지역 어민대표, 온배수 배출자, 지방자치단체장이 임명한 온배수 관련 전문가(총 10명 내외)
- 서기 : 지역별 온배수 배출 기관에서 파견

지역별 온배수관리위원회의 기능은 다음과 같다.

- 온배수 배출에 대한 감시

- 온배수 배출로 인한 영향에 대한 일차적 문제제기 및 배출자와의 협의
- 온배수 배출로 인한 제반 영향에 대한 정밀조사 요청
- 지역별 배당된 온배수 배출 부담금의 관리 및 사업 수행

2). 중앙 온배수위원회 기구 설치 운영

우리나라에는 노사 간의 갈등을 해소하여 산업 평화를 도모하고 국민 경제의 균형 있는 발전에 이바지함을 목적으로 하는 '노사정위원회'가 설치되어 운영되고 있다. 노사 문제와 비슷하게 원자력발전소나 대용량 화력발전소의 신규 건설이나 운영에 차질을 빚을 정도로 예민한 온배수 문제를 더 이상 이해 당사자만의 문제로 방치하지 말고 정부가 직접 나서서 해결해야 할 것으로 판단된다. 즉 전국 각지에서 일어나는 온배수 문제의 갈등을 해소하면서 21세기에 안정적인 전력 공급과 환경 보전을 추구하고 협의할 수 있도록 정부 안에 이른 바 '중앙온배수위원회'를 설치하고 운영함이 바람직하다.

중앙온배수관리위원회는 해양수산부 내에 두고, 해양수산부 장관이 임명하는 위원장 1인을 포함하여 관계 부처(산업자원부, 환경부, 과학기술부)의 관련 공무원과 각계 전문가로 구성한다. 다만, 필요시 위원회의 일반 사무기능은 온배수 전문연구기관에 위탁할 수 있다. 위원회의 구성은 다음과 같이 한다.

- 위원장 : 해양수산부 장관이 임명
- 부위원장 : 위원장이 선임하며, 위원장 유고시 위원장 업무 대행
- 간사 : 해양수산부 해양환경과 온배수 담당 주무관
- 전문위원 : 해양수산부장관이 임명한 각계의 온배수 관련 전문가 10명 내외
- 서기 : 사무직 1명 채용(필요시 온배수 전문연구소에서 파견 가능)

중앙온배수관리위원회는 독립적인 체제를 갖추는 것이 바람직하나, 해양환경관리법 제17조(해양환경관리위원회)의 규정에 의거하여 동 위원회가 중앙온배수관리위원회의 기능을 갖도록 할 수도 있으며, 해양환경관리위원회의 소위원회로 할 수도 있다.

중앙온배수관리위원회의 기능은 다음과 같다.

- 온배수 관리시스템 구성 및 운영에 대한 의결 및 감독
- 지역별 온배수관리위원회에 대한 관리지도
 - 지역별온배수관리위원회의 구성
 - 지역별온배수관리위원회의 운영예산 편성 감독 및 승인
 - 지역별온배수관리위원회의 지원

- 지역별 온배수 위원회에 요청한 온배수 관련 사업의 승인 및 예산 배정
- 온배수와 관련한 제반 분쟁에 대한 조정
- 온배수 전문연구기관 설치 및 운영에 대한 감독

나. 신뢰 구축

1). 발전소 주변 해역 영향평가 방법의 표준화

무엇보다도 발전소의 가동에 따라 방출되는 온배수가 주변의 해양생태계에 미치는 영향을 파악하고 특히 온배수의 방출 및 확산이 수산업에 미치는 피해를 올바르게 조사하기 위하여 발전소 주변 해양환경 및 피해 조사의 방법론을 확립하고 표준화하여야 한다.

2). 발전소 주변 온배수 피해 조사

지금까지의 온배수에 의한 수산업 피해 조사는 사안이 발생할 때마다 해당 발전회사는 대학 또는 연구소에 피해 조사를 의뢰하였으며, 객관적인 조사방법과 피해조사 지침이 마련되어 있지 않아 연구자와 조사기관에 따라 그 결과가 상이하게 도출되었다. 따라서 발전소의 건설이나 가동과 관련하여 끊임없이 발생하고 있는 사업자와 어민간의 수산업 피해보상을 둘러싼 갈등을 해소하고 비합리적인 소송의 악순환을 방지하기 위하여 발전소 온배수로 인한 수산업 피해조사의 올바른 지침을 하루 빨리 제정하여야 한다. 각계의 다양한 전문가들로 연구진을 구성하고 충분한 연구기간에 걸쳐 세밀한 방법론을 개발하여 누구나 수궁할 수 있는 피해조사 지침과 합리적인 피해보상의 잣대가 마련되어야 한다.

3). 온배수 배출기준 제정

우리나라 연안에 세워진 원자력발전소나 화력발전소가 안고 있는 다른 문제점의 하나가 바로 세계에서 유례를 찾기 어려울 정도로 다양한 해양생물을 식용자원으로 이용하고 있는 우리나라에 온배수 배출을 규제하는 기준이 없다는 점이다.

4). 온배수 전문 조사기관 설립

원전 주변을 대상으로 온배수 배출이 주변 해역에 미치는 영향을 조사하고 있는 한국전력공사 전력연구원이 우수한 인력을 확보하고 많은 예산을 투입하면서도 조사결과에 객관성을 널리 인정받지 못하고 있는 안타까운 일은 신뢰부족을 나타내는 대표적이 사례이다. 따라서 학계는 물론 일반 국민이 납득할 수 있고 신뢰할 수 있도록 원자력발전소는 물론 화력발전소에 이르기까지 온배수의 확산 범위와 해양생태계에 미치는 영향에 관해 투명하고 공정하게 조사 연구할 수 있는 발전소 온배수 전문 연구기관의 설립이 요구된다. 이는 전국 각지에서 일어나는 온배수 문제의 갈등을 해소하면서 앞으로 안정적인 전력공급과 환경보전을 추구하는데 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

다. 상호 부조

온배수가 지닌 열에너지를 효율적으로 활용하여 지역 주민들에게 실질적인 혜택이 돌아갈 수 있게끔 온배수를 이용하는 양식장의 조성이나 높은 수온에서도 양식할 수 있는 해조류 품종의 개발, 대체 해조장 조성, 해양생태공원 조성, 온배수를 이용한 수산양식장 건설 및 고수온 양식기술 개발, 온배수를 이용한 시설농업 등 상호부조 할 수 있는 방안이 강구되어야 한다.

라. 온배수 관리방안 협의체 구성

온배수 관리방안 협의체는 해양수산부, 산업자원부, 환경부 등 관련 부서의 담당 공무원, 발전사업자 대표 및 온배수 관련 전문가 10명 내외로 구성되는 범부처간 협의체로 온배수 관리방안을 심의 하고 결정하며, 결정된 온배수 관리방안을 정책적으로 추진하기 위한 조정기구이다. 우선 한시적으로 운영하며, 중앙온배수 관리위원회가 구성되기까지 중앙온배수관리위원회 기능을 대신 한다. 온배수 관리방안 협의체가 심의 해야 할 과제와 시간사용계획은 다음과 같다.

○ 온배수 배출기준 제정(2008년)

- 해역별 발전소 온배수 배출기준 협의(2008년 전반기)
- 발전소 온배수 배출기준의 법제화 추진(2008년 후반기)
 - 해양환경관리법, 시행령, 시행규칙 정리
 - 기타 관련법률 및 유사 법률과의 관계 정립
 - 취, 배수 인허가 절차 확립

○ 중앙온배수관리위원회 구성 및 발족(2008년)

- 중앙온배수관리위원회 구성 및 재원 확보 방안 협의(2008년 전반기)
- 중앙온배수관리위원회의 법적 장치 마련(2008년 전반기)
- 중앙온배수관리위원회 위원 선정 및 발족(2008년 후반기)
- 지역온배수관리위원회 구성 및 발족(2008년)
 - 지역온배수관리위원회 구성 및 재원 확보 방안 협의(2008년 전반기)
 - 지역온배수관리위원회의 법적 장치 마련(2008년 전반기)
 - 지역온배수관리위원회 위원 추천 및 발족(2008년 후반기)
- 발전소 주변 해역 영향평가 방법의 표준화(2008년~2010년)
 - 발전소 주변 해역 영향평가 연구팀 구성(2008년 전반기)
 - 영향평가 방법 표준화 연구(2008년~2009년)
 - 발전소 주변 해역 영향평가 방법의 법제화 추진(2010년 전반기)
- 온배수 전문 연구기관 설립(2010년)
 - 온배수 전문 연구기관 구성 및 재원 확보 방안 협의(2008년)
 - 정부출연 연구소 또는 대학의 전문연구소에 사업단 구성(2008년)
 - 온배수관련 기반연구 추진 및 독립기관 확충 배경 조성(2009년)
 - 온배수 전문 연구기관 발족(2010년)
- 온배수 이용 과제 선정 및 실행 감독(2008년~2010년)
 - 발전소별 온배수 이용 양식장 타당성 연구(기존자료 보완, 2008년)
 - 발전소별 온배수 이용 양식장 설계 및 조성(2009년)
 - 발전소별 온배수 이용 양식장 가동(2010년~)
- 고수온 양식 품종 개발과 보급(2008년~2011년)
 - 발전소별로 적합한 고수온 양식 품종 개발 연구(2008년~2010)
 - 고수온 양식 해조류(다시마, 김) 개발(2008년~2010년)
 - 아열대성 양식품종 (능성어류, 톱날꽃게류) 양식기술 개발(2008년~2010년)
 - 개발 품종 보급과 기술 전수(2010년~2011년)
- 해양목장과 대체해조장 조성(2008년~2017년)
 - 발전소별 해양목장 및 대체 해조장 타당성 조사 및 설계(2009년)
 - 발전소별 대체해조장 건설(2009~2010년)
 - 발전소별 해양목장 건설(2009년~2017년)
- 온배수 해양생태공원 조성
 - 발전소별 온배수 해양생태공원 조성 연구(2008년 전반기)
 - 온배수 해양생태공원의 타당성 및 경제성 분석(2008년 후반기)

· 발전소별 온배수 해양생태공원 조성 추진(2009년 전반기)

마. 온배수와 관련한 환경분쟁 조정방법 연구

1). 국지적 환경분쟁

각 지역별 특성에 맞추어 독립적으로 조직 구성하는 지역별 온배수관리위원회에서 회의를 소집하여 해당 사안을 토의하고 배출자와의 협의를 통하여 원만한 해결책을 모색한다. 이때 필요한 경우, 정해진 내규에 따라 투표로 결정을 내릴 수 있다.

지역 온배수관리위원회의 토의에서 원만한 해결책이 모색되지 못하는 경우, 지역 위원회는 해당 사안을 지역의 전문가 집단에 정밀조사를 의뢰하고 그 결과를 제출받아 분쟁을 해결할 수 있다.

만일 상기와 같은 시도에도 불구하고 원만한 타개책이 마련되지 않을 경우, 해당 사안을 중앙 온배수관리위원회에 조정 의뢰할 수 있다.

2). 포괄적 환경분쟁

정부 내에 조직 구성하는 중앙 온배수관리위원회에서는 먼저 각 지역의 온배수관리위원회에서 조정 의뢰한 내용을 접수하고 회의를 소집하여 해당 사안을 토의하고 배출자와의 협의와 조정을 통하여 합리적인 해결책을 모색한다. 이때 필요한 경우, 분쟁 당사자들의 진술을 요청할 수 있고, 관련 전문가의 자문을 구할 수 있다. 한편 정해진 내규에 따라 투표로 결정을 내릴 수 있다.

중앙 온배수관리위원회의 토의와 중재에도 불구하고 바람직한 해법이 모색되지 못하는 경우, 중앙 온배수관리위원회는 해당 사안을 국내 전문가 집단에 정밀조사를 의뢰하고 그 결과를 제출받아 분쟁을 해결할 수 있다.

목 차

제출문	i
요약문	ii
목차	xxv
표목차	xxvii
그림목차	xxx
제 1 장. 서 언	1
제 2 장. 온배수 배출 현황 및 영향	4
제 1 절. 우리나라의 온배수 배출현황	4
1. 열기관과 폐열	4
2. 온배수의 정의	5
3. 발전 형태별 온배수 배출량	7
4. 우리나라 연안의 온배수 배출 현황	10
제 2 절. 냉각계통 가동에 의한 영향	32
1. 수온과 해양생물	32
2. 냉각계통 가동이 해양생태계에 미치는 영향	33
제 3 장. 온배수 배출기준	68
제 1 절. 국내·외 온배수 관리제도	68
1. 선진국의 온배수 관리제도	68
2. 우리나라의 냉각계통 운영상 문제점	98
3. 냉각계통 운영상 문제점에 대한 대안	104
제 2 절. 온배수 배출기준의 기술적 배경	112
1. 냉각수 취수계통 설계	112
2. 복수기 설계 ΔT 의 결정요소	119
3. 온배수 배수계통 설계	121
제 3 절. 온배수 관리방안의 해양학적 배경	125
1. 우리나라 연안해역의 해양물리학적 구획	125
2. 우리나라 연안의 해양생물지리학적 구획	162
3. 해역별 환경생태지수	180
제 4 절. 온배수 배출기준 수립을 위한 생물검정	196
1. 수온변화에 따른 해양생물의 반응	196

2. 온배수 영향평가를 위한 지표종	197
3. 온배수 영향평가를 위한 생물검정	218
제 5 절. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리기준	236
1. 냉각수 취수 신청 및 허가	236
2. 온배수 배출 및 온배수확산구역 사용 신청과 허가	238
3. 온배수 배출기준	241
제 4 장. 온배수 관리방안의 사회과학적 연구	244
제 1 절. 온배수 관리방안의 경제학적 연구	244
1. 연구의 개요	244
2. 온배수 배출 규제에 대한 경제학	245
3. 온배수 배출 규제를 위한 정책수단	255
4. 환경문제의 해결 원칙과 오염자 부담원칙	259
5. 부담금제도의 고찰	264
6. 온배수 관리방안 시행을 위한 정책수단	289
제 2 절. 온배수 관리방안의 법률학적 연구	317
1. 온배수 관리방안의 법률적 배경	317
2. 온배수 관리방안을 위한 법규조정	321
제 5 장. 온배수 관리시스템 수립 연구	330
제 1 절. 우리나라 온배수 관리방안의 구성	330
제 2 절. 온배수 관리시스템 실천방안 연구	333
1. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리시스템 구축	333
2. 온배수 관리시스템에 대한 의견	343
3. 온배수 관리시스템의 구성 및 운영 방안	350
4. 온배수의 적극적 이용	360
제 3 절. 온배수 관리시스템의 정책적 연구	384
1. 온배수 관리정책의 시스템 흐름도	384
2. 온배수와 관련한 환경분쟁 조정방법 연구	386
참고문헌	389
부록	412
용어해설	426

표 목 차

표 2-1. 우리나라 해안에 위치한 주요 열병합발전소 및 자가발전소	11
표 2-2. 우리나라 발전설비 증가 추이	12
표 2-3. 우리나라의 연안의 주요 온배수 배출업체 현황	14
표 2-4. 우리나라 연안의 발전단위별 온배수 배출현황	28
표 2-5. 발전소별 취수구 거름망 충돌에 의한 연간 어류피해 상황 추정자료	34
표 2-6. 국내 원자력발전소의 취수구스크린 충돌에 의한 어류사망	35
표 2-7. 삼천포화력발전소 냉각계통에 연행된 식물플랑크톤의 기초생산력 감소량	37
표 2-8. 울진원자력 온배수 배수로의 계절별 어류 출현 현황	53
표 2-9. 울진원자력발전소 4개호기 가동시 계절별 및 연간 최대 온배수 확산 거리 및 면적	55
표 2-10. 울진 원자력 발전소 6개호기 가동시 계절별 연간 최대 온배수 확산 거리 및 면적	56
표 2-11. 고리 원자력 발전소 4개호기 가동시 최대 온배수확산 거리	57
표 2-12. 고리 1~4호기 및 신고리 1, 2호기 추가 가동시 최대 온배수확산 거리	58
표 2-13. 영광원자력 발전소 표층 최대 온배수확산 거리	59
표 2-14. 원자력발전소 냉각계통 가동에 의한 수산업 피해보상 현황	61
표 2-15. 원자력발전소 지역어민에 대한 용자금 현황	62
표 2-16. 화력발전소 냉각계통 가동에 의한 수산업 피해보상 현황	63
표 2-17. 발전소 온배수에 의한 수산활동 추정치 제한면적	64
표 3-1. 미국의 주별 온배수 수온 규제치	71
표 3-2. 수온에 대한 주요 해양생물의 생물검정 실험사례	103
표 3-3. 냉각방법 전환 비용	111
표 3-4. 냉각계통의 어류보호장치	115
표 3-5. 미국 35개 발전소의 어류보호 시설의 평균연차설치비 및 평균연간운영비	118
표 3-6. 심층배수 방식을 채택하고 있는 일본의 발전소 현황	124
표 3-7. 우리나라 연안 해역의 계절별 표층 수온의 10년간 평균 수온	130
표 3-8. 서해 주요 지점의 10년간 월별 평균 수온	137

표 3-9. 남해 주요 지점의 10년간 월별 평균 수온	139
표 3-10. 동해 주요 지점의 10년간 월별 평균 수온	141
표 3-11. 한국 연안의 해역별 구분 및 각 해역의 특징	146
표 3-12. 동해에 분포하는 수피의 정의	155
표 3-13. 우리나라 주변해역의 식물플랑크톤 출현 양상	163
표 3-14. 우리나라 주변해역의 동물플랑크톤 출현 양상	165
표 3-15. 우리나라의 해역별 주요 해조류	179
표 3-16. 대규모 온배수 방출 시설이 위치한 해역의 생태학적 중요도 비교	190
표 3-17. 우리나라 연안에서 조사된 대형저서동물 중 오염지표종의 서식밀도	191
표 3-18. 수질환경생태지수 산정 가중치 선정의 정단점	193
표 4-1. 규제적 접근법 시행을 위한 기준	256
표 4-2. 오염규제를 위한 경제적 유인책 3가지	257
표 4-3. 규제적 접근법 대 시장친화적 접근법	258
표 4-4. 환경개선부담금의 부과대상 및 산정기준	263
표 4-5. 부담금의 유형 및 사례	277
표 4-6. 환경부 및 해양수산부 부담금 제도	285
표 4-7. 원인자부담금의 부과 및 징수절차	286
표 4-8. 원인자부담금의 부과대상	287
표 4-9. 원인자부담금의 용도	288
표 4-10. 원인자부담금의 산정방법	290
표 4-11. 산림전용부담금 제도의 면제 및 감면 조항	291
표 4-12. 농지전용부담금 제도의 면제 및 감면 조항	292
표 4-13. 교통유발부담금 제도의 면제 및 감면 조항	293
표 4-14. 생태계보전협력금 제도의 면제 및 감면 조항	294
표 4-15. 환경개선부담금 제도의 면제 및 감면 조항	295
표 4-16. 개발부담금 제도의 면제 및 감면 조항	295
표 4-17. 산림의 공익적 가치	304
표 4-18. 농지의 공익적 가치	304
표 4-19. 전력산업기반기금부담금의 부과근거	309
표 4-20. 원자력연구개발사업비용부담금의 부과근거	311
표 4-21. 온배수에 대한 여론조사를 위한 조사체계	312
표 4-22. 응답자의 특성	313

표 4-23. 온배수관리방안 시행을 위한 월 48원의 전기요금 인상안에 대한 찬반결과	315
표 4-24. 해양환경관리법, 시행령, 시행규칙 대조표(안)	323
표 4-25. 공유수면관리법 시행규칙 제8조 제2항 별표 2	327
표 5-1. 온배수 관리방안 설명회 및 공청회 개최 일정	344
표 5-2. 온배수 관리시스템(시안)의 추정 소요예산	353
표 5-3. 온배수 전문 연구기관의 예상 조직 및 주요 업무	355
표 5-4. 어업의 손실액 조사기관	358
표 5-5. 독립된 온배수 전문연구기관을 설립하는 방안과 어업의 손실액 조사기관을 활용하는 방안의 장단점 비교	359
표 5-6. 동해안에 출현한 주요어류의 서식수온에 따른 구분	364
표 5-7. 해양목장 사업 추진을 위한 단계별 사업	369
표 5-8. 우리나라 온배수를 이용한 수산양식 연대기	377
표 5-9. 온배수 이용 양식사업의 형태 비교	377
표 5-10. 온풍난방과 온수난방의 비교	382
표 5-11. 주요 시설작물별 생육 적온과 한계온도	382
표 5-12. 온배수 이용 시설농업 사업의 형태	383

그림 목 차

그림 2-1.	수온변화에 따른 해양생물의 대사량 변화	6
그림 2-2.	복합화력발전소의 모식도	9
그림 2-3.	우리나라의 발전형태별 발전량(2006년)	12
그림 2-4.	우리나라 연안의 온배수 배출업체	13
그림 2-5.	우리나라의 해역별 온배수 배출량	30
그림 2-6.	지난 3년간 우리나라의 월별 온배수 ΔT 변화	31
그림 2-7.	지난 3년간 우리나라의 월별 발전량 및 온배수 배출량 변화	31
그림 2-8.	울진원자력발전소 복수기 통과 후 식물플랑크톤 성장 저해율의 계절 변화	38
그림 2-9.	월성원자력발전소 복수기 통과 후 식물플랑크톤 성장 저해율의 계절 변화	38
그림 2-10.	영광원자력발전소 복수기 통과 후 식물플랑크톤 성장 저해율의 계절 변화	39
그림 2-11.	울진원자력발전소 복수기 통과시 동물플랑크톤 사망률의 계절 변화	40
그림 2-12.	월성원자력발전소 복수기 통과시 동물플랑크톤 사망률의 계절 변화	41
그림 2-13.	영광원자력발전소 복수기 통과시 동물플랑크톤 사망률의 계절 변화	41
그림 2-14.	고리원전 배수구 부근에서 채집된 미역(A)과 인근의 문동리 해안에서 채집된 미역(B와 C)의 엽체 비교 사진	49
그림 2-15.	삼천포화력발전소 냉각계통에서의 저서동물 부착양상	51
그림 2-16.	월성원자력발전소(좌) 및 하동화력발전소의 온배수확산구역	65
그림 3-1.	중국 황도화력발전소 전경	98
그림 3-2.	중국 황동발전소의 해수담수화시설 및 해천수 운반차량	99
그림 3-3.	관류냉각방식의 온배수 배출과 습식냉각탑의 수증기 발생	100
그림 3-4.	온배수 배출구 모식도	108
그림 3-5.	소망목 거름망 및 원통형 거름망의 구조	117
그림 3-6.	개량형 거름망(Ristroph screen)의 구조(EPA 2005)	117
그림 3-7.	온배수의 확산과 주변 생태계에 미치는 영향 모식도	122

그림 3-8. 위성사진을 이용한 온배수 확산구역의 표층 수온 분포도 작성	122
그림 3-9. 배수방법에 따른 온배수 확산	123
그림 3-10. 우리나라 주변 해역의 주요 해류 모식도	126
그림 3-11. NOAA 위성의 자료를 합성한 우리나라 해역의 계절별 표층 수온 분포	129
그림 3-12. 표층과 수심 10 m의 2월 평균 수온 분포도	131
그림 3-13. 표층과 수심 10 m의 4월 평균 수온 분포도	131
그림 3-14. 표층과 수심 10 m의 6월 평균 수온 분포도	133
그림 3-15. 표층과 수심 10 m의 8월 평균 수온 분포도	133
그림 3-16. 표층과 수심 10 m의 10월 평균 수온 분포도	134
그림 3-17. 표층과 수심 10 m의 12월 평균 수온 분포도	134
그림 3-18. 해역별 주요 연안정지관측 위치도	135
그림 3-19. 1995년부터 2004년까지 서해 주요지점의 수온 변화	136
그림 3-20. 서해 주요지점의 10년(1995~2004년)간 월별 평균 수온	137
그림 3-21. 1995년부터 2004년까지 남해 주요지점의 수온 변화	138
그림 3-22. 남해 주요지점의 10년(1995-2004년)간 월별 평균 수온	140
그림 3-23. 1995년부터 2004년까지 동해 주요지점의 수온 변화	140
그림 3-24. 동해 주요지점의 10년(1995-2004년)간 월별 평균 수온	141
그림 3-25. 국립수산과학원 실시간 수온 관측 정점	142
그림 3-26. 서해 군산의 계절별 수온의 일일 변화	142
그림 3-27. 서제주의 계절별 수온의 일일 변화	143
그림 3-28. 남해(미조)의 계절별 수온의 일일 변화	143
그림 3-29. 동해 남부 기장의 계절별 수온의 일일 변화	144
그림 3-30. 동해 중부 영덕의 계절별 수온의 일일 변화	144
그림 3-31. 영광주변 해역의 1995년 가을철 표층 수온 분포	147
그림 3-32. 영광주변 해역의 2001년 겨울철 표층 수온 분포	148
그림 3-33. 우리나라 남해의 1999년 1월의 수심 5m의 수온, 염분, 밀도, 용존산소의 수평분포	151
그림 3-34. 우리나라 남해의 1999년 4월의 수심 5m의 수온, 염분, 밀도, 용존산소의 수평분포	151
그림 3-35. 고리주변 해역의 2001년 겨울철 표층 수온 분포	158
그림 3-36. 고리주변 해역의 2001년 봄철 표층 수온 분포	158
그림 3-37. 고리주변 해역의 2001년 여름철 표층 수온 분포	159

그림 3-38. 고리주변 해역의 2001년 가을철 표층 수온 분포	159
그림 3-39. 월성주변 해역의 2001년 겨울철 및 봄철 표층 수온분포	160
그림 3-40. 울진주변 해역의 2001년 겨울철 및 봄철 표층 수온분포	161
그림 3-41. 울진주변 해역의 2001년 여름철 및 가을철 표층 수온분포	161
그림 3-42. 표층 수온 영상 및 동해 중부 극전선의 일반적인 위치	162
그림 3-43. 울진원자력발전소 주변 해역 저서동물의 서식밀도 연간 변화	167
그림 3-44. 월성원자력발전소 주변 해역 저서동물의 서식밀도 연간 변화	169
그림 3-45. 영광원자력발전소 주변 해역 저서동물의 서식밀도 연간 변화	169
그림 3-46. 울진원자력발전소 주변 해역 어류의 종다양성지수 연간 변화	171
그림 3-47. 월성원자력발전소 주변 해역 어류의 종다양성지수 연간 변화	171
그림 3-48. 영광원자력발전소 주변 해역 어류의 종다양성지수 연간 변화	172
그림 3-49. 우리나라에서 출현하는 해조류의 분포특성에 따른 해역 구분	178
그림 3-50. 우리나라 연안의 구획	179
그림 3-51. 우리나라 수질 III등급 해역(*)과 대규모 온배수 배출업체 위치 현황	181
그림 3-52. 울진원자력발전소 주변해역의 수소이온농도의 계절 변화	184
그림 3-53. 월성원자력발전소 주변해역의 수소이온농도의 계절 변화	185
그림 3-54. 영광원자력발전소 주변해역의 수소이온농도의 계절 변화	185
그림 3-55. 울진원자력발전소 주변해역의 용존산소량의 계절 변화	187
그림 3-56. 월성원자력발전소 주변해역의 용존산소량의 계절 변화	187
그림 3-57. 영광원자력발전소 주변해역의 용존산소량의 계절 변화	188
그림 3-58. 울진원자력발전소 주변해역의 화학적 산소요구량의 계절 변화	188
그림 3-59. 월성원자력발전소 주변해역의 화학적 산소요구량의 계절 변화	189
그림 3-60. 영광원자력발전소 주변해역의 화학적 산소요구량의 계절 변화	189
그림 3-61. 수온 변화에 대한 어류의 생리반응 모식도	196
그림 3-62. 수온변화에 따른 해양생물의 호흡량 변화 모식도	197
그림 3-63. 온도 변화에 따른 홍조류 3종	208
그림 3-64. 대서양에 분포하는 해조류 3종	209
그림 3-65. 온도와 염분도 변화에 따른 창자파래(<i>Enteromorpha intestinalis</i>) 발아체의 생장률 비교	210
그림 3-66. 온배수 지표어종 선정 기준	213
그림 3-67. 어류의 순치 온도와 온도반응	220
그림 3-68. 어류의 3가지 호흡 형태	223

그림 3-69. 수온증가에 따른 조피볼락의 호흡률 변화	224
그림 3-70. 개조개의 내인성 생체리듬	225
그림 3-71. 자동호흡측정기의 모식도	229
그림 3-72. 넙치의 수온반응	234
그림 4-1. 온배수 관리방안에 대한 경제학적 연구의 주요 내용	244
그림 4-2. 사회적 최적 경제활동 수준	247
그림 4-3. 온배수의 최적 배출수준	249
그림 4-4. 조세를 통한 외부성의 시정	250
그림 4-5. 배출기준제도와 조세제도의 비교	252
그림 4-6. 불확실성이 존재할 때의 두 기준의 후생감소효과	254
그림 4-7. 온배수 배출 규제의 4가지 정책수단	255
그림 4-8. 부담금 신·증설시 심의절차	281
그림 4-9. 부처별 부담금 수	283
그림 4-10. 2006년도 부처별 부담금 징수실적	284
그림 4-11. 온배수 관리방안 시행을 위한 비용의 부담가능 주체	289
그림 4-12. 온배수배출금 제도 설계를 위한 접근방법	299
그림 4-13. 온배수배출부담금 제도 설계의 원칙	300
그림 4-14. 온배수배출부담금 산정기준	304
그림 4-15. 온배수배출부담금 제도의 운영체계	305
그림 4-16. 온배수배출부담금 제도의 운영절차	306
그림 4-17. 온배수배출부담금 제도의 기대효과	307
그림 4-18. 전력산업기반기금부담금의 부과 및 징수실적	310
그림 4-19. 원자력연구개발사업비용부담금의 부과 및 징수실적	311
그림 4-20. 응답자에게 제시된 온배수에 대한 설명문	314
그림 4-21. 온배수 관리방안 시행을 위한 전기요금 인상에 반대하는 이유	314
그림 5-1. 온배수 관리 시스템 구축 추진체계	330
그림 5-2. 온배수 관리방안 구축 개념도	331
그림 5-3. 일본 후쿠시마현 온배수조사관리위원회의 구성	335
그림 5-4. 해양목장의 개념도	367
그림 5-5. 해중림 어장조성사진	370
그림 5-6. 어패류 복합자원 조성어장 모식도	370
그림 5-7. 어류자원조성 어장 모식도	371
그림 5-8. 온배수 확산해역의 목장화사업과 연계한 해양생태공원	373
그림 5-9. 온배수 관리정책의 시스템 흐름도	384

제 1 장. 서 언

전기는 지금까지 알려진 에너지 형태 중 생산 및 사용이 가장 간편한 이상적인 에너지이다. 급격한 경제성장에 따른 보다 나은 삶의 질을 추구하기 위하여 세계 각국의 전력수요는 산업용뿐만 아니라 가정용 및 상업용 전력수요도 급격하게 증가하고 있다. 우리나라의 전력수요 증가율은 발전량 기준으로 2000년도 11.8%를 기록한 이후 점차 감소하여 2005년에는 5.8%의 증가율을 기록하였으며, 2006년에는 3.9%로 둔화되었으며 2015년까지는 3.3%/년 내외의 성장률을 나타낼 것으로 전망하고 있다(산업자원부 2004, 2006). 발전설비용량은 2002년 59.6백만kw에서 2006년 70.4백만KW로 지난 5년간 연평균 3.6% 정도 증가하였다. 같은 기간 중 총 발전량은 332TWh에서 405TWh로 증가하여 연평균 약 4.4%의 증가율을 기록하였다.

현존하는 가장 이상적인 열기관은 발전소이다. 원자력발전소와 기력화력발전소 역시 하나의 열기관으로 발전연료를 태워 얻어진 고압증기로 증기터빈을 돌려 얻은 기계에너지로 발전기를 돌려 전기를 생산한다. 현재의 기술상 발전소 열효율은 원자력 35% 및 기력 40% 내외로 정도의 차이가 있지만 사용한 연료의 일부분만이 전기에너지로 전환되고 나머지는 폐열로 열기관(발전소)의 외부로 배출되어야 한다. 열기관에서 발생하는 폐열을 처리하는 방법 중 가장 간편하고 저렴한 방법은 가장 가까운 곳에서 냉각수를 취수하고, 열에너지가 부하된 온배수를 배출하는 관류냉각 방식이다. 미국의 경우 자연에서 취수되는 모든 물의 50% 정도가 발전소 냉각수로 사용되고 있다(Rute and Silvia 2006). 담수자원이 부족한 우리나라에서는 발전소와 같은 대규모 열기관에서 사용할 수 있는 냉각재는 해수가 유일하며, 이러한 사정으로 모든 대규모 발전단지는 필연적으로 해안가에 위치해야 한다.

섬유, 화학, 철강, 제지, 목재, 발효 등 제조공정에서도 폐열이 발생하며, 이를 처리하기 위하여 냉각수를 사용한다. 그러나 이들의 경우 냉각수에 부하되는 폐열이 상대적으로 많아 배출수의 수온이 40℃를 초과할 뿐만 아니라 많은 종류의 오염물질이 같이 부하되어 배출된다. 따라서 이러한 배출수는 순수한 의미에서의 온배수 즉, 온도를 제외한 모든 물리·화학적 특성이 냉각수와 동일한 발전소 온배수와는 근본적으로 다르기 때문에 '수질환경보전법시행규칙 제8조(배출허용)에 의한 오염물질의 배출허용기준 별표 5'로 관리되고 있는 폐수에 해당하며 본 연구 대상이 아니다.

우리나라의 발전시설 규모는 2006년 12월 31일 기준으로 70.4GW에 달하며 연간

약 405TWh의 전기를 생산하고 있다(한국전력공사 2007). 발전 과정에서 냉각수를 사용하지 않거나 해수를 냉각수로 사용하지 않는 대체에너지발전, 수력발전, 내연발전, 열병합발전 및 일부 복합화력 발전을 제외한 전력 생산량은 약 331TWh에 달하였으며, 모두 관류냉각방식을 채택하여 약 473억톤의 온배수를 해양으로 배출하였다. 향후 발전량 증가 추이를 감안한다면 우리나라 연안에 배출되는 온배수량이 연간 강수량에 버금가는 1,000억톤에 달하는 시기는 그리 멀지 않을 것으로 판단된다. 해양으로 배출된 온배수는 표층해류를 따라 확산되는 동시에 복사 및 대류작용을 통하여 희석되어 점차 자연수온으로 돌아간다. 해양생물의 지리적 분포가 바로 수온에 따라 결정되듯이 수온은 해양생태계에서 빛 다음으로 가장 중요한 환경요인으로(Gunter 1957) 수중의 모든 물리, 화학적 반응속도와 반응결과도 수온에 따라 변한다(Nakatani 1969, IAEA 1974, Trusell 1972, Stratton and McCarty 1967). 온배수는 확산과정에서 주변 해수의 수온을 변화시킴으로 직·간접적으로 해양환경에 영향을 미치며, 온배수확산구역에 서식하는 수산자원에 직접적인 영향을 준다. 1980년 이후 발전소 온배수에 관련된 수산업 피해보상액은 약 3,230억원(원자력발전소 1,771억원; 기력발전소 1,459억원)에 달하고 있다.

최근 온배수와 관련된 선진 각국의 동향을 보면, 온배수를 오염물질로 규정하여 관련 규제가 점차 강화되고 있다. 유엔해양법협약(1994. 11. 16)은 인위적인 에너지의 해양유입 즉 온배수를 해양오염의 한 형태로 인정하고 있다. 캐나다는 연방정부의 환경보호법(Environmental Protection Act, 2002. 5. 22)에서 오염물질을 “열, 방사능 또는 다른 형태의 에너지”로 정의하고 있다. 미국은 연방수질오염관리법(Federal Water Pollution Control Act; CWA, 1996 개정) 제 316항에 열에너지 배출(thermal discharge)에 대한 별도의 조항을 두고 있으며, 이에 근거하여 미국의 각 주정부는 독자적인 관리규정을 제정하고 있다. 또한, 대서양 동북 연안에 위치한 뉴욕 주, 코네티컷 주, 델라웨어 주, 매사추세츠 주, 뉴저지 주 및 로드아일랜드 주는 합동으로 환경보호국(EPA)이 제정한 냉각수 취수 구조물(cooling water intake structure)에 대한 규제치는 (EPA 2001, 2004) 연방정부의 CWA에서 정한 취수시설물의 위치선정, 설계, 건설에 있어 적용 가능한 최고의 기술(BWA: best technology available) 규정에 위배된다 하여 이를 연방법원에 제소하였다. 이에 대하여 연방항소법원은 미 EPA가 동 조항을 보완하도록 판결하였다. 이미 뉴욕 주는 하구역에 위치한 발전소들에 대하여 2003년부터 냉각방법을 관류냉각방식에서 폐쇄순환방식으로 전환하는 것을 조건으로 재허가서를 발급하고 있다(Clean Air Task Force 2004). 또한, 일본도 수질오탁방지법(水質汚濁防止法, 2005년 4월 27일 일부 개정)

제 2장 배출수 항목에서 열오염에 관한 내용을 정의하고 있다.

우리가 보다 나은 삶을 계속적으로 추구하기 위한 동력원은 전기일 수밖에 없다. 따라서 계속적으로 발전 시설을 확충하여야 하며, 동시에 온배수 배출량도 증가할 수밖에 없다는 것은 누구나 알고 있는 자명한 사실이다. 그러나 지금까지 온배수가 해양생태계에 미치는 영향에 대한 최소한의 검토와 배려는 없었으며, 다만 지역주민의 민원을 해결하기 위한 온배수 배출자(발전회사) 측의 기초 해양 조사만이 실시되었다. 그러나 이러한 조사만으로는 온배수가 해양생태계에 미치는 영향을 정확하게 평가할 수 없으며, 수산업 피해도 정량적으로 도출할 수 없었기 때문에 지역주민들의 피해의식이 고조되어 발전소에서 발표하는 환경자료는 물론 전문 연구기관에서 조사한 자료조차도 불신하게 되었다.

표제 사업은 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구의 제 3차년도 사업으로 제 1차년도 및 제 2차년도에 도출된 문제를 토대로 온배수 영향 저감방안 강구, 온배수 배출기준 수립 및 온배수 관리시스템 구축에 필요한 관건 사항 연구에 주안점을 두었다. 특히, 온배수 배출자와 지역주민을 포함한 모든 국민이 공감할 수 있으며, 온배수 배출자로 하여금 자체개선을 통하여 온배수 배출 및 그 영향을 저감할 수 있는 동기를 부여할 수 있는 방안을 수립하기 위하여 온배수 관리방안의 사회과학적 연구에 중점을 두고 연구를 진행하였다.

이 보고서는 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구 용역의 최종 연구보고서로 순수한 연구결과만을 근거로 작성되었음을 밝힌다.

제 2 장. 온배수 배출 현황 및 영향

제 1 절. 우리나라의 온배수 배출현황

1. 열기관과 폐열

열기관은 잠재에너지를 가지고 있는 연료를 태워 생활에 사용하기 손쉬운 기계에너지, 운동에너지, 전기에너지 등을 생산하는 기구이다. 지금까지 개발된 열기관의 최대 열효율은 65%에 불과하므로 모든 열기관의 가동에 있어 폐열 발생은 불가피하다. 열기관에서 발생하는 폐열을 처리하는 방법은 크게 공냉식과 냉매식으로 나누어진다. 공냉식은 문자 그대로 폐열을 공기 중으로 확산시키는 방법으로 비교적 소규모 열기관에서 사용하며, 냉매식은 물을 비롯한 액체냉매에 폐열을 흡수시켜 처리하는 방법으로 비교적 대형 열기관에서 사용하고 보편적으로 물을 냉매로 사용한다.

대체에너지발전소와 수력발전소를 제외한 모든 발전소는 하나의 열기관으로 연료를 태워 얻은 기계에너지로 발전기를 돌려 전력을 생산하는 과정에서 사용한 연료의 일부분만 전기에너지로 전환된다. 사용한 연료에 포함된 에너지량에 대비하여 생산된 전력에너지 비율을 열효율 또는 발전효율이라 한다. 현재의 기술상 발전소의 열효율은 원자력발전소 35%, 기력발전소 약 40% 그리고 복합화력 약 52% 내외이다. 따라서 모든 발전소에 있어 폐열 발생은 불가피하며, 복사열과 굴뚝(화력발전소 포함)을 통하여 연기 등의 형태로 대기 중으로 소멸되는 10~20% 정도의 폐열을 제외한 나머지는 냉각계를 통하여 처리해야 한다.

내연발전소나 소형 발전기의 경우 공냉식을 채택하지만 대부분의 발전소는 물을 냉매로 사용하여 폐열을 처리한다. 대형 발전소의 폐열 처리 방법은 관류냉각방식(1회냉각방식), 냉각탑방식(습식 및 건식), 자연냉각방식(냉각지 및 냉각수로방식) 등 다양하다. 공업용 부지의 확보가 어렵고 담수자원이 부족한 우리나라에서는 해수를 냉매로 하는 관류냉각방식이 유일한 폐열처리 방법이라 하여도 과언이 아니다. 관류냉각방식은 자연에서 뽑아온 해수(냉각수)에 폐열을 부하시킨 후 다시 자연으로 배출하는 것으로 폐열이 부하되어 수온이 상승한 냉각수를 온배수라 한다. 다시 말하면 온배수는 냉각수의 수온만을 높여준 것으로 어떠한 종류의 이물질도 폐열처리 과정에서 첨가되지 않은 깨끗한 해수이다. 관류냉각방식은 냉각계통 설치를 위한

부지 요구량이 적으며 가장 간편하게 대량의 폐열을 처리할 수 있는 방법이다. 따라서 산업용 에너지를 공급하는 대형 열기관은 필연적으로 해안가에 위치해야 한다.

중, 소형 복합화력발전소나 열병합발전소는 폐열량이 상대적으로 적기 때문에 관류냉각방식을 채택하지 않아도 폐열처리가 가능하다. 관류냉각방식을 채택하지 않을 경우 냉각탑방식을 우선적으로 생각할 수 있으며, 비교적 부지 요구량과 시설이용이한 습식냉각탑방식이 많이 이용된다. 습식냉각탑방식을 채택하는 에너지 공급형 중, 소형 발전소들은 인구밀집지역이나 대단위 공단 내에 위치할 수 있으며, 분당열병합발전소 및 일산열병합발전소 등이 좋은 예이다. 현대중공업(주) 대산열병합발전소는 시설용량 507MW의 중형급 발전소로 우리나라에서 해안가에 위치한 대규모발전소 중 관류냉각방식을 채택하지 않고 습식냉각탑방식을 채택하여 폐열을 처리하고 있는 유일한 발전소이다. 한편, 습식냉각탑방식을 채택할 경우 발생하는 수증기로 인하여 안개, 결빙 등 국지기후적 문제가 발생할 수 있다는 것을 고려해야 한다.

2. 온배수의 정의

발전소를 비롯한 대규모 임해공단에서 발생하는 폐열 처리에 있어 가장 간편하고 경제적인 방법은 해수를 냉각수로 사용하는 관류냉각방식(once through cooling system)으로 세계의 모든 연해국가에서 사용되고 있다. 관류냉각방식은 펌프를 사용하여 자연에서 취수된 해수를 복수기(condenser)로 보내어, 이곳에서 폐열을 부하시킨 후 다시 바다로 되돌려 보내는 것으로 이 때 바다로 되돌려 보내는 폐열이 부하된 냉각수를 온배수라 한다. 관류냉각방식에 있어 복수기의 설계치에 따라 다소 차이는 있지만 복수기 양쪽 끝에서의 온도차이(ΔT)는 저온복수기(low temperature condenser)가 6~11°C 범위이고, 고온복수기(high temperature condenser)는 14~17°C 범위이다. 우리나라에서는 통상 저온복수기를 사용하고 있지만 최근 고온복수기를 사용하는 발전소가 점차 증가하고 있으며 ΔT 는 14°C 내외로 조절하고 있다.

온배수의 정의는 자연에서 취수한 물에 인위적으로 열에너지가 첨가되어 자연해수보다 수온이 높은 상태로 다시 자연으로 배출되는 물을 말하며, 열에너지 이외에 어떠한 물질도 첨가되지 아니한 상태를 말한다.

온도는 해양생태계에 있어 가장 중요한 환경요인의 하나로 수서생물의 생리작용도 수온에 따라 달라진다. 대부분의 해양생물 즉, 변온동물과 해산식물의 경우 서식적정수온의 범위 내에서는 수온이 증가할수록 성장이 촉진되나, 임계수온보다 약간

낮은 수온을 정점으로 호흡량이 급격하게 증가하는 등 생체리듬이 깨지기 시작하여 결국 사망에 이른다(그림 2-1). 즉, 서식수온의 범위 이내에서는 온배수 배출은 온수성 생물의 생산성을 높여주는 효과가 있지만, 냉수성 생물의 경우 온배수 배출로 인하여 주변 해수가 빠르게 임계온도에 도달하기 때문에 오히려 생산성이 낮아지며 서식 범위도 좁아진다.

온배수가 계절에 따라 해양생물의 생산력 향상에 긍정적 역할을 하는 경우도 물론 있지만, 온배수에 의하여 특별한 종의 생산력이 급격하게 증가하여 생태계의 균형이 깨지거나, 김, 미역 등 수산업적으로 중요한 종이 피해를 입을 우려도 있다. 그러나 더욱 중요한 점은 온배수의 배출이 해양생태계에서 가장 중요한 요인 중 하나인 수온을 변화시킨다는 점을 고려하여 온배수를 열오염이라 부르는 것이 타당하다.

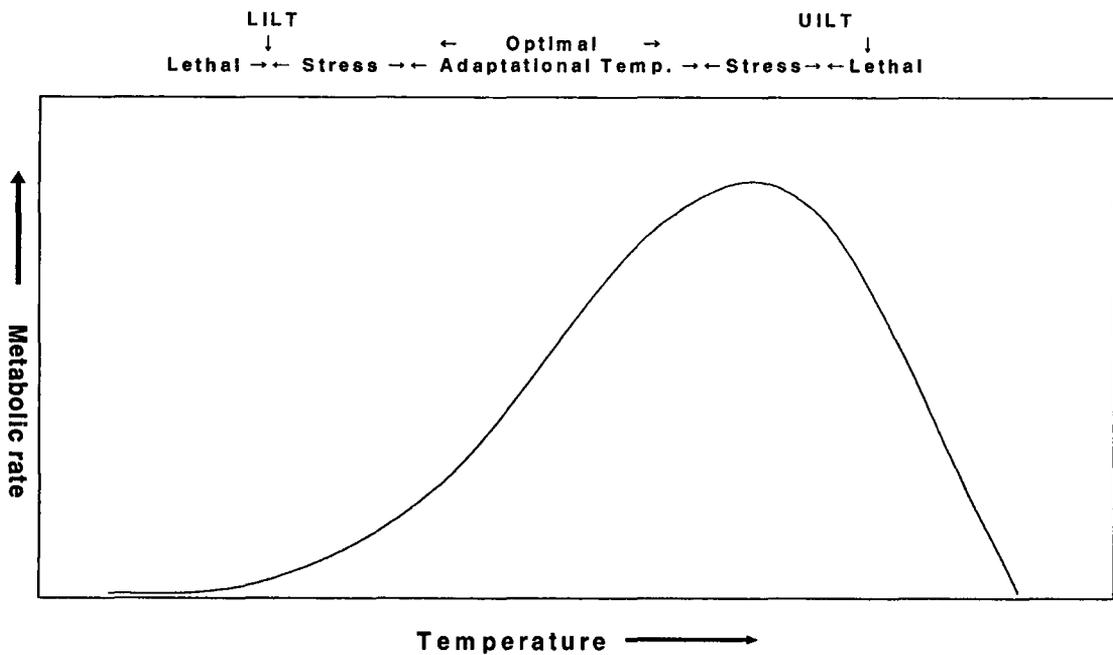


그림 2-1. 수온변화에 따른 해양생물의 대사량 변화.

LILT: 치사하한수온(Lower incipient lethal temperature), UILT: 치사상한 수온(Upper incipient lethal temperature)

3. 발전 형태별 온배수 배출량

전문적으로 전기를 생산하여 판매하는 전력회사, 증기 형태의 산업용 에너지 및 집단 난방용 에너지와 전기를 동시에 생산 판매하는 에너지 회사를 비롯한 모든 업종에 있어 제철소 고로 냉각용 온배수를 제외하고는 모두 각자의 제품생산 공정에 필요한 에너지를 얻기 위하여 가지고 있는 발전시설을 가동함으로 배출된다.

발전시설은 발전방식에 따라 기력발전, 가스터빈발전, 복합화력발전, 원자력발전, 열병합발전 및 내연발전으로 나뉘는데 발전방식에 따라 폐열 발생량이 달라 냉각수 요구량에 차이가 있다. 따라서 발전방식에 대한 이해는 바로 온배수 배출량을 이해하는 가장 손쉬운 길이다.

가. 기력발전

기력발전소는 석탄, 석유, 천연가스 등 화석연료를 보일러에서 태워 얻은 고온(250~300℃), 고압(4.2 x 10⁵kg/cm²) 증기로 증기터빈을 돌려 기계에너지를 얻고, 이 기계에너지로 발전기를 돌려 전기를 생산한다. 증기터빈을 돌리고 수온과 압력이 다소 떨어진 수증기는 복수기(condenser)로 보내져 독립된 관을 통하여 흐르는 냉각수에 폐열을 전달하고 물로 응축되어 다시 보일러로 보내진다. 증기터빈을 돌리고 난 증기에서 폐열을 흡수하여 물로 응축시키는 일련의 시설이 냉각계통이고, 폐열을 흡수하는 냉매로 해수가 사용된다.

발전기가 자체에서 발생하는 마찰열을 식혀주는 보조냉각계통이 있다. 발전기의 고정자(stator)는 폐쇄회로를 흐르는 암모니아 순수와 순수로 두 차례에 걸쳐 식혀주며, 회전자(rotator)는 폐쇄수소방식으로 식힌다. 최종적으로 순수 및 수소에 부하된 폐열은 냉각수로 취수된 해수의 일부로 처리하며 이때 사용되는 냉각수를 보조냉각수라 한다. 보조냉각수는 전체 냉각수의 약 3%를 차지하지만 ΔT는 2~3℃로 낮아 전체 온배수에서 열역학적으로 차지하는 비중은 미미하다. 일반적으로 온배수는 관류냉각계통과 보조냉각계통에서 배출되는 모든 온배수를 말한다.

기력발전의 열효율은 36~41% 범위로 사용되는 화석연료의 약 60%에 해당하는 폐열이 발생하며 이 중 1/3은 굴뚝과 복사열로 소멸되며 나머지 40% 내외를 냉각계통으로 처리해야 한다. 관류냉각방식을 채택하는 기력발전소의 열효율을 40%로 가정하고 냉각수와 온배수의 수온차(ΔT)를 7℃ 기준으로 할 때 1KWh의 전력을 얻기 위하여 배출되는 온배수량은 약 0.1톤이다.

나. 원자력발전

원자력발전은 기력발전과 발전개념이 동일하지만 사용되는 연료가 화석연료가 아니고 핵연료인 점이 다르다. 따라서 안전상의 문제로 일반 기력발전소와 같은 고온과 보일러를 사용할 수 없으며 외부와 완전히 밀폐된 원자로 안에서 핵분열로 얻은 에너지를 보일러로 보내어 고온, 고압 증기를 생산한다. 냉각수는 기력발전소와 같이 독립된 관을 따라 흐르며 복수기에서 수증기를 응축시킨 후 온배수로 배출된다. 즉, 냉각계통은 원자로와 완전하게 분리되어 있기 때문에 정상적인 가동조건에서 온배수가 방사능에 노출될 염려는 없다.

현재의 기술상 원자력발전의 열효율은 약 33~36% 내외이며, 굴뚝으로 배출되는 폐열이 없어 기력발전에 비하여 다소 많은 양의 온배수를 배출한다. 원자력발전소의 열효율을 36%로 가정할 때, 냉각계통으로 처리해야 할 폐열량은 약 54%이다. 온배수 ΔT 를 7°C 기준으로 할 때 1KWh의 전력을 얻기 위하여 원자력발전소에서 배출되는 온배수량은 약 0.16톤이다.

다. 가스터빈발전

가스터빈발전은 천연가스나 액화가스를 연소하여 얻어진 고온, 고압가스로 바로 가스터빈을 돌려 얻은 기계에너지로 발전기를 돌려 전력을 생산한다. 가스터빈발전기는 대부분 10만KW 내외로 용량이 작으며, 가스터빈을 돌린 고온, 고압가스는 바로 연돌을 통하여 외부로 배출된다. 기력발전소와 달리 증기보일러를 가지고 있지 않기 때문에 증기 응축용 냉각수를 필요로 하지 않는다. 또한 발전기 자체에서 발생하는 열을 식혀주기 위하여 공냉식 또는 밀폐수소냉각방식을 채택하기 때문에 온배수를 배출하지는 않는다. 가스터빈 발전소는 대도시의 전력공급을 위한 보조수단으로 건설되거나, 대규모 생산업체의 자가발전용으로 많이 사용되고 있다.

라. 복합발전

최근 가스터빈과 증기터빈을 한 계통으로 묶어 열효율을 높여주는 복합화력발전이 널리 보급되고 있다. 복합화력발전은 주로 천연가스를 사용하고 있으며, 가스터빈 운전 후 배출되는 고온, 고압가스를 폐열회수보일러로 보내어 얻은 고온, 고압증기로 증기터빈을 돌려 다시 한 번 전기를 생산하는 방식이다. 복합화력발전은 기

력발전과 같이 증기터빈을 구비하고 있어 발전에 사용된 증기를 물로 응축하기 위하여 냉각수를 사용한다. 통상 2개의 가스터빈에 1개의 증기터빈을 결합하여 하나의 발전단위를 구성한다(그림 2-2).

복합화력발전은 열효율이 52% 이상으로 일반 기력발전소의 약 70% 수준의 온배수를 배출한다. 복합화력발전소의 열효율을 52%, ΔT 를 7°C 기준으로 할 때 1KWh의 전력을 얻기 위하여 배출되는 냉각수는 약 0.07톤이다.

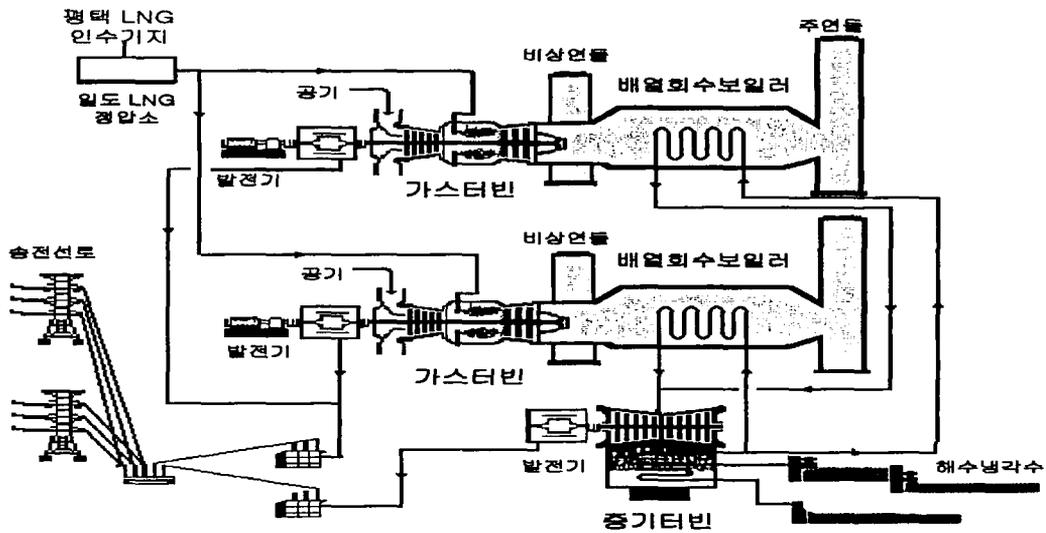


그림 2-2. 복합화력발전소의 모식도(신인천복합화력발전소).

마. 열병합발전

화석 연료를 연소하여 보일러에서 얻은 고온, 고압 증기를 산업용에너지와 지역난방용으로 공급하고 남은 에너지를 이용하여 증기터빈을 돌려 전기를 생산하거나, 이와 반대로 가스터빈으로 먼저 발전을 한 후 발생하는 폐열로 증기를 생산하여 사용처에 공급하는 것을 열병합발전이라 한다.

가스터빈발전을 채택하는 열병합발전소는 공업단지나 대단위 주거시설에 고온, 고압 증기를 공급하고 남은 에너지를 이용하여 발전기를 가동하기 때문에 온배수로 처리할 폐열은 발생하지 않는다. 그러나 복합화력발전식의 열병합발전소는 전술한

바와 같이 복수기에서 증기를 물로 응축하는 과정에서 냉각수를 필요로 한다. 분당 복합화력발전소, 일산열병합발전소 등이 이 범주에 속하는 발전소이며 발생하는 폐열은 냉각탑으로 처리한다. 한국중부전력(주) 소속의 서울화력발전소는 발전과 지역 난방을 겸하는 열병합발전으로 관류냉각방식을 택하고 있으나 한강수를 냉각수로 사용하여 폐열을 처리한다.

임해공업단지에 에너지를 공급하는 집단에너지 공급자 및 자가 발전자는 대부분 먼저 생산된 증기를 사용처에 공급하고 여분이 있을 경우 전기를 생산한다. 따라서 화석연료를 연소하여 얻은 에너지 중 복사열과 연기형태로 굴뚝으로 빠져나가는 폐열을 제외한 모든 에너지가 이용되기 때문에 열효율이 85%로 매우 높다. 또한 사용처에 공급하였거나, 발전에 사용된 증기는 회수하여 응축과정 없이 순환식으로 재사용되기 때문에 온배수를 배출하지 않는다.

우리나라 연안에 위치한 주요 열병합 방식의 집단에너지 및 자가 발전업체는 시화에너지, 산단에너지, 고려에너지, 동해펄프 등 12개 업체로 약 100만kW의 시설용량을 가지고 있다(표 2-1). 동해펄프의 경우 연속적으로 온배수를 배출하지만 그 배출량이 0.3m³/초 내외로 연안 생태계에 미치는 영향이 미미하다. 그 외의 발전소들은 전술한 바와 같이 정상적인 가동조건 아래서는 온배수를 배출하지 않는다. 다만, 에너지의 수급 조건에 따라 처리해야 할 폐열이 발생하기도 하지만 폐열량이 매우 적고 지속적이지 않기 때문에 관류냉각식을 채택한다 하여도 연안 생태계에 미치는 영향이 미미할 것으로 판단되어 온배수 관리대상에서 제외된다.

바. 내연발전

내연발전은 연료의 연소장치와 발전장치가 같이 결합된 것으로 실린더 내부에서 연료를 연소하여 발전한다. 대부분 10MW급 이하의 규모의 발전기로 이동식의 경우 공냉식을 고정식의 경우 수냉식으로 폐열을 처리한다. 우리나라에는 도서지방에 많이 설치되어 있다.

4. 우리나라 연안의 온배수 배출 현황

가. 우리나라의 전력생산

우리나라의 발전시설은 2006년 12월 31일 기준으로 수력 5.4GW, 기력 24.4GW,

표 2-1. 우리나라 해안에 위치한 주요 열병합발전소 및 자가발전소

사업체명	사업형태	시설용량 (MW)	발전량 (GWh/년)	위치
산단에너지	집단에너지	62.7	409.1	안산
시화에너지	집단에너지	20.8	87.1	안산
SK(주)	자가	141.8	575.0	울산
대한유화	자가		7.9	울산
고려에너지	자가	67.7	374.3	울산
동해펄프	자가	34.4	2.4	울산
금호석유화학	자가	35.9	220.4	여수
거평(동양)제철	자가	19.2	18.7	포항
남해화학	자가	17.3	126.0	남해
(주)효성중공업	자가	10.0		울산
(주)삼양제넥스	자가	12.0		인천
이건산업(주)	자가	4.7		인천

복합화력 16GW, 원자력 17.7GW 등 총70.4GW로(표 2-2) 전년에 약 5% 증가하였다. 2006년의 발전량은 총 404.7TWh로 이중 기력발전이 전체 발전량의 38.5%인 155.9TWh를 생산하였으며, 원자력발전이 36.7%에 해당하는 148.7TWh를 생산하였다(그림 2-3). 상용자가발전은 전체의 5.9%에 해당하는 23.9TWh를 생산하였으며, 대체에너지발전은 0.12%에 해당하는 0.55TWh에 불과하였다.

사업체별로는 6개 전문 발전회사에서 전체 발전량의 94.1%에 달하는 380.8TWh 생산하여 전년 대비 생산량이 4.5% 증가하였다. 상용자가발전은 전체의 5.9%에 달하는 23.9TWh를 생산하여 전년 대비 0.95% 감소하였다.

나. 온배수배출업체 현황

우리나라 연안에 2m³/초(63백만m³/년) 이상의 온배수를 배출하는 업체는 한국수력원자력(주)을 비롯한 6개 발전회사, 포항제철(주), 포스코파워(구 한국종합에너지),

표 2-2. 우리나라 발전설비 증가 추이

단위: MW

연도	수력	기력	복합화력	원자력	내연력	상용자가	기타	계
2000	3,148	20,059	11,257	13,716	271	5,234		53,685
2001	3,876	21,559	11,436	13,716	273	5,857		56,716
2002	3,876	21,749	12,186	15,716	275	5,813		59,614
2003	3,877	21,749	13,086	15,716	246	4,667	83	60,719
2004	3,879	23,311	14,313	16,716	252	4,591	108	64,553
2005	3,883	23,811	15,015	17,716	297	4,817	156	67,075
2006	5,485	24,391	16,004	17,716	297	4,870	240	70,384

자료: 전력통계정보시스템(2007) <http://www.kpx.or.kr>

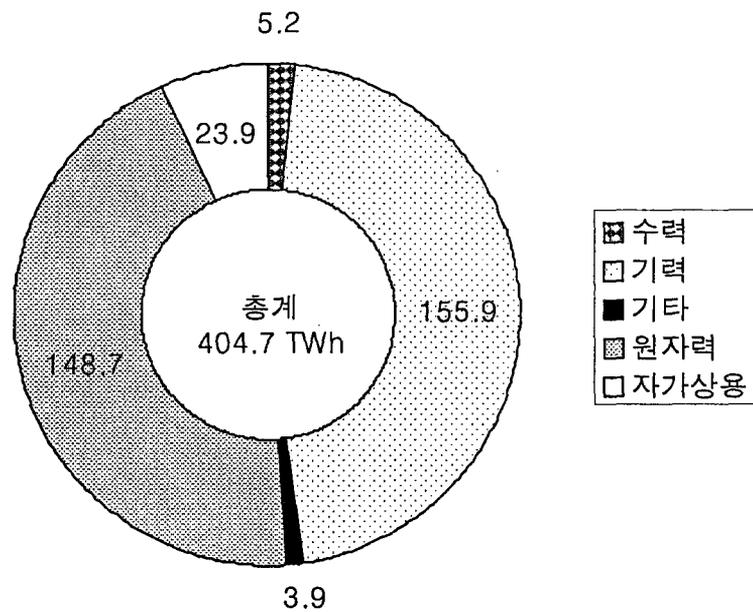


그림 2-3. 우리나라의 발전형태별 발전량(2006년).

자료: 전력통계정보시스템(2007) <http://www.kpx.or.kr>

GS EPS 부곡(구 LG 에너지), 케이파워 및 메이아파워 11개 업체로 모두 상용 또는 자가용 전력을 생산하는 과정에서 해수를 냉각수로 사용하여 온배수를 배출하고 있다. 발전단위별로 보면 원자력발전소 4개, 기력발전소 18개 및 복합화력발전소 8개로 총 30개의 발전단위가 있으며, 총 시설용량은 57,452MW이다. 기력발전에는 2개의 제철화력발전소와 1개의 자가발전소가 포함되어 있으며, 복합화력에는 4개의 에너지 기업이 포함되어 있다(표 2-3).

해역별로 보면 서해안에 12개, 제주도 2개소를 포함한 남해안에 8개, 그리고 동해안에 8개가 분포하고 있다.

1). 서해안

우리나라 서해안에는 영광원자력발전소를 포함하여 12개 발전단위가 있으며, 총 시설용량은 약 28GW이다. 서해안의 발전 단위는 해역의 특성상 인천/경기해역, 태안/보령해역 및 영광해역으로 나눌 수 있다(그림 2-4).

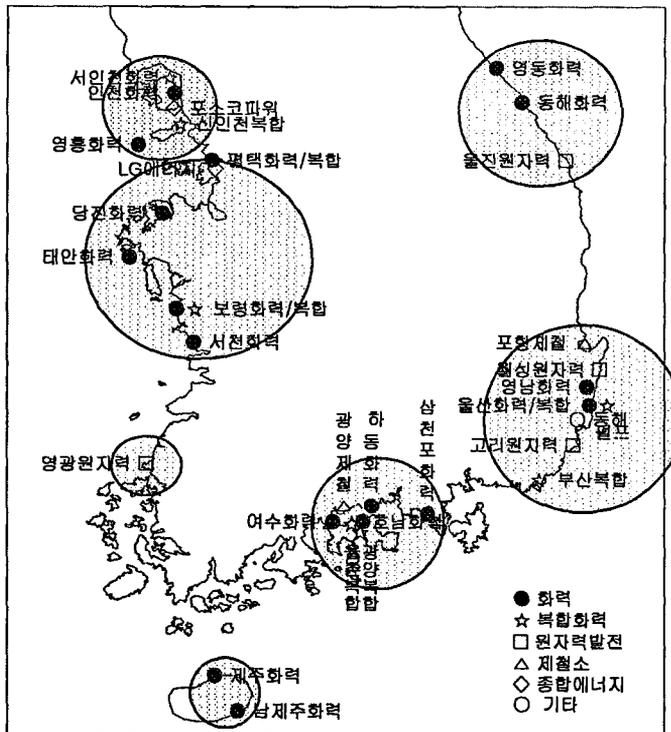


그림 2-4. 우리나라 연안의 온배수 배출업체.

표 2-3. 우리나라의 연안의 주요 온배수 배출업체 현황

업체명	배출단위	설비용량 (MW)	위 치
한국남부발전(주)	하동화력	3,000	경남 하동군 금성면 가덕리 310
	영남화력	400	울산 남구 매암동 29번지
	신인천복합	1,800	인천 서구 경서동 674~13
	부산복합	1,800	부산 사하구 감천1동 759~8
	남제주화력	200	제주 남제주군 안덕면 화순리 610
한국남동발전(주)	삼천포화력	3,240	경남 고성군 하이면 덕호리 952
	영동화력	325	강원 강릉시 강동면 대동리 200
	여수화력	528.6	전남 여수시 중흥동 1300번지
	영흥화력	1,600	인천시 옹진군 영흥면 외리
한국서부발전(주)	태안화력	3,000	충남 태안군 원북면 방갈리 831
	평택화력/복합	1,880	경기 평택시 포승면 원정리 1~21
	서인천화력	1,800	인천 서구 경서동 674
한국동서발전(주)	당진화력	3,000	충남 당진군 석문면 교로리 974
	호남화력	500	전남 여수시 월내동 280
	동해화력	400	강원 동해시 구호동 231
	울산화력/복합	3,000	울산 남구 남화동 1
한국중부발전(주)	보령화력/복합	4,800	충남 보령시 오천면 오포리 산212
	서천화력	400	충남 서천군 서면 마량리 275~5
	인천화력	1,650	인천 서구 원창동 336
	제주화력	215	제주 제주시 삼양1동900
한국수력원자력(주)	고리원자력	3,137*	부산 기장군 장안읍 고리 216
	영광원자력	5,900	전북 영광군 흥농읍 계마리 514
	월성원자력	2,778.7	경북 경주시 양남면 나아리 260
	울진원자력	5,900	경북 울진군 북면 부구리 84~4
포스코(주)	포항제철소	945	경북 포항시 남구 동촌동 5번지
	광양제철소	1,300	전남 광양시 금호동 700번지
GS EPS 부곡	부곡복합	501	충남 당진군 송악면 부곡리
포스코파워		1,800	인천 서구 원창동 323
메이아파워 울촌복합화력발전소		577.4	전남 순천시 해룡면 호두리 227~1
케이파워 광양복합화력발전소		1,074	전남 광양시 금호동 863번지
합 계		57,451.7	

*고리 1호기 포함

인천/경기해역에는 한국남부발전(주) 신인천복합화력발전소, 한국중부발전(주) 인천화력발전소, 한국서부발전(주) 서인천복합화력발전소, 한국남동발전(주) 영흥화력발전소 및 포스코파워(구 한국종합에너지) 인천복합화력발전소가 있다. 태안/보령해역에는 한국서부발전(주)의 평택화력발전소, 태안화력발전소, 한국동서발전(주)의 당진화력발전소, 한국중부발전(주)의 보령화력발전소, 서천화력발전소, GS EPS(구 LG) 부곡복합화력발전소가 있다. 영광해역에는 한국수력원자력(주)의 영광원자력발전소가 있다.

가). 서인천화력발전소

한국서부발전(주) 소속으로 시설용량 1,800MW의 천연가스를 연료로 하는 화력발전소로 1992년 11월부터 가동되기 시작하였다. LNG를 연료로 하는 150MW급 가스터빈 8기와 75MW급 증기터빈 8기를 가지고 있다. 발전효율은 49.2%로 화력발전소 중 가장 높은 수준으로 2006년 8.8TWh를 생산하였다.

냉각계통은 관류냉각방식을 채택하고 있으며 설계 ΔT 는 6.4℃ 이다. 10,117m³/hr급 취수펌프 16대를 구비하여 161,872m³/hr의 취수능력이 있다. 취수위치는 발전소 부지 서단이며 길이 183m의 냉각수로를 따라 각 발전기에 냉각수를 공급한다. 배수로는 31m로 매우 짧다. 연간 온배수 배출량은 약 4.6억톤이다.

나). 인천화력발전소

한국중부발전(주) 소속의 기력발전소로 경인지역 기저부하를 담당하기 위하여 1968년부터 79년까지 250MW급 증기터빈 2기와 325MW급 증기터빈 2가 준공되었으며, 2005년 150MW급 가스터빈 2기와 150MW급 증기터빈 1기로 구성된 복합화력발전소를 준공하여 총발전용량 1,650MW의 중형발전소이다.

발전시설이 노후한 기력발전부분의가동률은 10% 내외로 부진하여 현재 2005년 준공된 복합화력 부분만 정상 가동하고 있다. 인천화력발전소의 발전효율은 기력발전이 완전 가동시 35-36.9%이며 복합화력발전은 52.7%이다. 2006년 0.28TWh를 생산하였다.

관류냉각방식을 택하고 있으며 설계 ΔT 는 1, 2호기 10.2℃ 및 3, 4호기 9.6℃ 이며, 복합화력은 7℃ 이다. 13,500m³/hr급 취수펌프 4대 및 19,500m³/hr급 2대를 설비하여 총 134,000m³/hr의 취수 능력을 보유하고 있다. 취수로는 43.5m로 짧다. 연간

약 2.2억톤의 온배수를 배출하고 있으며, 온배수는 유수지로 유입되어 일정 기간 체류한 후 도류제를 통하여 바다로 흘러든다. 유수지와 도류제를 합한 면적은 약 13ha이다.

다). 신인천복합화력발전소

한국남부발전(주) 소속의 시설용량 1,800MW의 복합화력발전소로 1997년 7월부터 가동되기 시작하였다. 발전계통은 2개의 150MW급 가스터빈 발전기와 1개의 150MW급 증기터빈 발전기를 1 계통으로 하여 4개의 발전계통을 구비하고 있다. 발전효율은 가tm터빈 33.2%, 증기터빈 52.3%이다. 2006년 12.2TWh를 생산하였다.

냉각계통은 관류냉각식을 채택하고 있으며 설계 ΔT 는 7.0℃ 이다. 20,700m³/hr급 8대의 취수펌프를 구비하여 165,600m³/hr의 취수능력이 있다. 취수위치는 발전소 부지 서단이며 길이 840m의 냉각수로 따라 각 발전계통에 냉각수를 공급한다. 냉각수로의 평균 깊이는 5.2m 이다. 연간 온배수 배출량은 약 8.7억톤이다.

라). 포스코파워 복합화력발전소

포스코파워(구 한국종합에너지) 소속의 복합화력발전소이다. 1998년 정부의 에너지 다변화 정책에 따라 액화천연가스를 주 연료로 사용하며 비상시 디젤을 사용할 수 있다. 발전계통은 100MW급 가스터빈 3기와 150MW급 증기터빈 1기를 1계통으로 연결한 4개의 발전계통을 구비하여 총 시설용량은 1,800MW으로 2006년 2.4TWh를 생산하였다. 가스터빈은 공기냉각방식을 채택하고 있으며, 증기터빈은 밀폐수소식 냉각방식을 채택하여 상대적으로 배출하는 온배수량이 적다. 설계 ΔT 는 1, 2호기 13.5℃ 및 3, 4호기 10℃이다.

수심 10m 내외에서 수중취수를 하고 있으며, 취수구에는 어류 유입 방지를 위한 유속조절 덮개(velocity cap)가 설치되어 있으며, 연간 온배수 배출량은 약 1.9억톤이다. 온배수는 유수로를 거쳐 1.5km 떨어진 해역에 배출된다.

마). 영흥화력발전소

한국남동발전(주) 소속의 영흥화력발전소는 수도권 유일의 기저부하용 발전소로 유연탄을 연료로 하는 우리나라 최대의 800MW급 증기터빈 2기를 2004년 7월과

11월에 준공하여 총1,600MW의 시설용량을 가지고 있다. 발전효율은 43.5%로 동급 유연탄 화력발전소에 비하여 약간 높은 편으로 2006년 11.7TWh를 발전하였다. 현재 시설 용량 174MW급 3, 4호기를 각각 2008년 6월과 12월 준공 목표로 건설 중에 있다.

냉각계통은 관류냉각식이며 설계 ΔT 는 6.5℃이다. 서해안 영흥도에 위치하고 있어 평균해수면 기준 9m 내외의 중층수(subsurface water)를 냉각수로 사용하고 있다. 취수는 복수기 전단의 취수로에서 행해지며, 66,000m³/hr급 펌프 4대를 설치하여 총 264,000m³/hr의 취수능력을 가지고 있으며, 냉각수로는 310m이다. 연간 온배수 배출량은 약 17.4억톤이다.

현재 2008년 6월 준공을 목표로 800MW급 3, 4호기 공사가 진행 중에 있다.

바). 평택화력발전소

한국서부발전(주) 소속의 평택화력발전소는 기력발전과 복합화력 발전을 겸비하고 있다. 기력발전은 350MW급 증기터빈 4기로 1,400MW의 용량을 가지고 있으며 석탄용으로 1983년 준공되어 1997년 중유 및 액화천연가스용으로 개선되었다. 복합화력은 역시 중유 및 액화천연가스용으로 1994년 완공되었으며 80MW급 가스터빈 4기와 160MW급 증기터빈 1기로 구성되어 480MW의 용량을 가지고 있다. 발전효율은 기력 39.8%, 복합화력 44.5%로 비교적 높은 편이다. 2006년 기력발전 4.9TWh 및 복합화력발전 0.5TWh로 총 5.4TWh를 생산하였다.

냉각계통은 관류냉각식이며 설계 ΔT 는 비교적 높은 10.0℃이다. 발전기는 수소냉각식이다. 냉각펌프는 23,100m³/hr급 8대와 24,300m³/hr급 2대로 총 취수능력은 233,400m³/hr이다. 냉각수로는 온배수로는 각각 1,440m 및 1,200m로 지형적 특성으로 매우 길다. 연간 온배수 배출량은 약 5.9억톤이다.

사). GS EPS 부곡복합화력발전소

GS그룹(구 LG) 산하의 복합화력발전소로 아산국가산업단지에 에너지를 공급한다. 액화천연가스용 발전소로 161MW급 가스터빈 2기와 179MW급 증기터빈 1기를 구비하여 발전용량은 총 501MW로 2006년 3.0TWh를 생산하였다. 발전효율은 52.4%이며 설계 ΔT 는 7℃로 공업용수는 아산호의 물을 이용하고 있다. 연간 온배수 배출량은 약 1.8억톤이다. 동 발전소 부근에 위치하는 LNG 기지에서 배출되는 저온수를 냉각수로 사용할 경우 온배수 배출수온을 획기적으로 낮출수 있을 것으로 생

각된다.

아). 당진화력발전소

한국동서발전(주) 산하의 발전소로 1999년부터 순차적으로 건설되어 2006년 6월 6호기까지 상업발전을 시작하였다. 유연탄을 사용하는 500MW급 증기터빈 6기를 갖추고 있어 총 발전용량은 3,000MW이며 발전효율은 1-4호기 41.0%, 5-6호기 43.5%이다. 2006년 3.5TWh를 생산하였다. 2007년 중 500MW급 증기터빈 2기가 가동 예정에 있다.

관류냉각방식을 채택하고 있으며 설계 ΔT 는 6.4℃이다. 심층취수방식을 채택하고 있다. 냉각수 취수능력은 92,000m³/hr로 4대의 23,000m³/hr급 펌프를 구비하고 있다. 냉각수로 길이는 1,034m이며 깊이는 7.3m이다. 연간 온배수 배출량은 약 20.5억톤이다. 2007년 7기 및 8호기가 상업발전을 시작하면 냉각수사용량은 약 27억톤으로 증가할 것으로 예상된다.

자). 태안화력발전소

한국서부발전(주) 산하의 기력발전소로 석탄을 사용하는 50MW급 증기터빈 6기를 1995년부터 2003년까지 순차적으로 설비한 총발전용량 3,000MW이 유연탄 발전소이다. 2006년 23.8TWh를 발전하였다. 발전효율은 40.6%이다. 현재 각각 500MW급 7호기가 시험가동 중에 있으며, 8호기의 준공도 임박하여 있다.

냉각계통은 관류냉각방식으로 설계 ΔT 는 가변형으로 동계 7.7℃ 및 하계 6.6℃이다. 수중취수 시설을 가지고 있다. 23,440m³/hr급 취수펌프 16대와 22,800m³/hr급 취수펌프 8대를 구비하여 총 557,440m³/hr의 취수능력을 가지고 있다. 냉각수로로는 1,030m로 길지만 온배수로로는 50m로 매우 짧다. 연간 온배수 배출량은 약 26.2억톤이다.

차). 보령화력발전소

한국중부발전(주) 소속으로 기력발전소와 복합화력발전소를 같이 가지고 있다. 정부의 탈유류 에너지 정책의 일환으로 1979년부터 1994년까지 유연탄을 사용하는 500MW급 기력발전기 6개가 설치되었으며, 2002년 8월 액화천연가스를 사용하는 1,800MW 규모의 복합화력발전소가 완공되어 총 4,800MW의 설비용량을 갖춘 국내

최대의 화력발전단지인 우리나라 총 발전량의 8%를 생산하고 있다. 발전효율은 기력발전이 39.6%, 복합화력이 47.7%이다. 현재 500MW급 기력발전기 7, 8호기를 2008년 준공 목표로 건설 중에 있다. 2006년 23.4TWh를 생산하였다.

기력발전소 및 복합화력발전소 모두 관류냉각식을 채택하고 있다. 기력발전소의 설계 ΔT 는 1, 2호기 6.7°C 및 3~6호기 6.4°C이며, 복합발전소는 7.0°C 이다. 기력발전소는 23,440m³/hr급 취수펌프 24대를 갖추고 있으며, 복합화력발전소는 20,100m³/hr급 취수펌프 8대를 갖추고 있어 총 취수능력은 699,360m³/hr이다. 냉각수로의 기력발전소가 572m이며, 복합화력발전소는 119.5m이다. 취수로 수심은 5m 이하이다.

최근 3년간 연평균 온배수 배출량은 39.1억톤으로 우리나라 화력발전단지 중 가장 온배수를 많이 배출하고 있다. 한편, 온배수를 부근의 LNG 기지에서 배출되는 저온 해수에 혼합하여 배출할 예정이다.

카). 서천화력발전소

한국중부발전(주) 소속의 발전소로 국내산 석탄의 소비촉진을 위하여 1983년 준공되었다. 발전용량은 400MW로 200MW의 소형 기력발전기 2기를 보유하고 있다. 발전효율은 33.6%이다. 2006년 1.9TWh를 생산하였다.

관류냉각식을 채택하고 있으며 설계 ΔT 는 9.43°C로 상대적으로 높은 편이다. 13,300m³/hr급 냉각펌프 4대를 갖추고 있어 취수용량은 총 53,200m³/hr이다. 냉각수는 242.2m이며, 수로의 깊이는 2.8m로 낮은 편이다. 연간 온배수 배출량은 약 2.4억톤이다.

타). 영광원자력발전소

한국수력원자력(주) 산하의 가압경수로형 원자력발전소로 저농축우라늄을 연료로 하고 있다. 1986년부터 2002년까지 단계적으로 모두 6개호기가 가동 중에 있다. 1, 2호기는 950MW급, 3~6호기는 1,000MW급으로 총설비용량 5,900MW로 우리나라 최대의 단위 발전소이다. 2006년 50TWh를 생산하였다. 열효율은 발전기별로 약간 차이가 있어 35.4%~37.6% 범위로 평균 36.6%이다.

냉각계통은 관류냉각방식으로 설계 ΔT 는 1, 2호기 8.2°C 3, 4호기 8.8°C 및 5, 6호기 6.9°C이다. 33,250m³/hr급 6대, 30,570m³/hr급 6대 및 39,870m³/hr급 6대의 취수펌프를 가지고 있어 취수능력은 총 622,140m³/hr이다. 취수로는 호기별로 차이가 있

으며, 배수로는 1,210m로 비교적 길다. 연간 온배수 배출량은 약 74.6억톤으로 우리나라 최대 온배수 배출단위이다.

2). 남해안

우리나라 남해안에는 대단위발전단지인 삼천포화력발전소 및 하동화력발전소를 포함하여 7개 발전단위가 있으며, 제주해역을 포함할 경우 10개의 발전단위가 있으며, 총 시설용량은 약 10GW이다. 남해안은 제주를 포함하여 하나의 해역으로 묶을 수 있으며, 편의상 부산복합화력발전소는 동해남부해역에 포함시키는 것이 바람직하다.

남해안에는 한국남부발전(주)의 하동화력발전소, 남제주화력발전소, 한국남동발전(주)의 삼천포화력발전소, 여수화력발전소, 한국동서발전(주)의 호남화력발전소, 포스코(주)의 광양제철발전소, 메이아파워의 울촌복합화력발전소, 케이파워의 광양복합발전소가 있다.

가). 여수화력발전소

한국남동발전(주) 소속의 기력발전소로 1975년 200MW급 증기터빈 1호기와 1997년 328.6MW급 증기터빈 2호기가 준공된 총 발전용량 528.6MW의 중형발전소이다. 발전 연료는 증유를 사용하고 있으며 발전효율은 평균 38.4%로 2006년 1.4TWh를 발전하였다.

냉각계통은 관류냉각방식을 채택하고 있으며 설계 ΔT 는 1호기 6.4℃ 및 2호기 9.8℃이다. 21,000m³/hr급 취수펌프 4기를 설비하여 총 취수능력은 87,120m³/hr이다. 연안에서 직접 취수하며 온배수는 아주 짧은 냉각수로를 통하여 배출된다. 연간 온배수 배출량은 약 2.3억톤이다.

나). 호남화력발전소

한국동서발전(주) 소속의 기력발전소로 1973년 증유를 주연료로 하는 250MW급 증기터빈 2기가 준공되어 총 발전용량 500MW를 갖춘 중형발전소이다. 1982년과 1983년에 1호기와 2호기가 각각 석탄발전소로 개조되었다. 발전효율은 평균 36.4%로 상대적으로 낮다. 2006년 3.7TWh를 생산하였다.

냉각계통은 관류냉각방식으로 설계 ΔT 는 8.8°C 이다. $2,300\text{m}^3/\text{hr}$ 급 취수펌프 4대를 갖추어 총 취수능력은 $9,200\text{m}^3/\text{hr}$ 이다. 냉각수로는 140m 이며 깊이는 5.5m 내외이다. 연간 온배수 배출량은 약 6.3억톤이다.

다). 광양복합화력발전소

선경그룹의 자회사 K-power 소유 상용자가발전소로 170MW 급 가스터빈 2기와 197MW 급 증기터빈 1기를 한조로 한 발전설비를 2기를 가지고 있으며 총시설용량은 $1,074\text{MW}$ 이다. 2005년 시험발전을 시작하였으며 1호기는 2007년 2월에, 그리고 2호기는 2007년 5월에 정상 가동을 시작하였다. 발전설비의 기준 효율은 52%이며, 설계 ΔT 는 8.8°C 이다. 직근 1년간 3.2TWh 를 생산하였으며 12.6억톤의 온배수를 배출하였다. 발전량 대비 온배수배출량이 높은 것은 동 발전소가 완전 가동에 이르지 못하였지만 냉각계통을 정상적으로 운전하였기 때문이다.

라). 울촌복합화력발전소

홍콩계 Meiyapower사 계열의 메이야울촌전력주식회사 소유의 복합발전소이다. 184.8MW 급 가스터빈 2기와 증기터빈 1기를 갖춘 시설용량 577.4MW 의 중형 발전소이다. 발전설비의 기준효율은 50.2%이며, 설계 ΔT 는 15°C 로 비교적 높다. 가스터빈은 2004년 7월부터 가동되었으며, 증기터빈은 2005년 7월부터 가동되어 상업가동 단계에 진입하였다. 그러나 아직 설비 가동률은 평균 46% 내외로 직근 1년간의 발전량은 2.3TWh 수준에 머물고 있다. 따라서 직근 1년간 온배수 사용량은 2.35억톤이었으며 월평균 온배수 ΔT 는 5°C 내외를 기록하였다. 동 발전소가 100% 출력으로 가동한다면 5억톤/년 정도의 온배수가 배출될 것으로 전망된다.

마). 광양제철발전소

포스코(주) 소속의 자가발전소로 광양제철에 필요한 에너지와 전기를 공급하기 위하여 건설된 시설용량 $1,300\text{MW}$ 급 중형발전소이다. 2006년 8.4TWh 를 생산하였다. 설계 ΔT 는 8°C 이다. 연간 온배수 배출량은 약 8.6억톤이다. 광양제철소는 용광로로 냉각을 위하여 담수를 사용하는 순환여과식 냉각계통을 가지고 있어 온배수를 배출하지 않는다.

라). 하동화력발전소

한국남부발전 소속의 기력발전소로 석탄을 연료로 하는 500MW급 증기터빈 6기를 설비하여 2001년부터 상업발전을 시작한 총 발전용량 3,000MW의 대형발전소이다. 발전효율은 41.0%이다. 현재 500MW급 7, 8호기 공사가 2008년 완공을 목표로 진행 중에 있다. 2006년 23.4TWh를 생산하였다.

관류냉각방식을 채택하고 있으며 설계 ΔT 는 6.4℃이다. 23,440m³/hr급 취수펌프 24대를 설비하여 총 취수능력은 562,560m³/hr이다. 냉각수 취수는 해안 전단부에서 실시하며 온배수로는 1, 133m이다. 연간 온배수 배출량은 약 24.3억톤이다.

마). 삼천포화력발전소

한국남동발전(주) 산하의 기력발전소로 유연탄을 연료로 하는 560MW급 증기터빈 4기와 500MW급 증기터빈 2기로 총 3,240MW의 발전능력을 갖춘 대형발전소로 1983년에서 1998년까지 순차적으로 건설되었다. 발전효율은 39.7%로 2006년 24.5TWh를 발전하였다.

냉각계통은 관류냉각방식을 채택하고 있으며 설계 ΔT 는 1~4호기 9.5℃, 5~6호기 6.4℃이다. 35,130m³/hr급 취수펌프 6대와 23,440m³/hr급 취수펌프 3대를 설비하여 냉각수 취수능력은 총 351,360m³/hr이다. 취수구는 복수기에서 멀리 떨어져 있어 취수로의 길이는 626.7m이며 평균수심은 평균해면하 2.7m이다. 0.27ha 규모의 유수지를 통하여 연간 약 27.4억톤의 온배수를 배출한다.

3). 제주해안

제주해안에는 제주화력 및 남제주화력 2개의 소형 화력발전소가 있다. 시설용량은 내연발전을 제외하고 665MW이다.

가). 제주화력

한국중부발전(주) 소속의 소형발전소로 1982년 11월 10MW급 증기터빈 1기가 준공되어 상업운전을 시작한 이후, 1994년 55MW급 가스터빈 3기를, 2000년 3월과 12월에 75MW급 증기터빈 2기를 증설되었다. 총발전용량은 2005년 6월 준공된

40MW급 내연발전소를 포함하여 365MW이다. 평균발전효율은 1호기 27.1%, 3-4호기 37.6%로 2006년 내연발전소를 제외하고 1TWh를 생산하였다.

냉각계통은 관류냉각방식으로 설계 ΔT 는 7°C이다. 123.9m의 냉각수로 가지고 있으며, 우리나라에서 처음으로 온배수 수중배수 시설을 갖추었다. 2,350m³/hr급 취수펌프 2대와 7,350m³/hr급 취수펌프 4대를 설비하여 냉각수 취수능력은 17,050m³/hr이다. 연간 온배수 배출량은 약 2.1억톤이다.

나). 남제주화력(남부)

한국남부발전(주) 소속의 소형발전소로 기존의 10MW급 증기터빈 2기는 2006년 12월 폐기되었으며, 100MW급 3호기가 2006년 9월에 준공되었으며, 같은 급의 4호기는 2007년 3월에 준공되어 현재 발전용량은 총 200MW이다. 이외 10MW급 내연발전기 4기가 가동 중이나 온배수를 배출 하지는 않는다. 2006년 0.3TWh를 발전하였다. 발전효율은 1-2호기 31.2% 및 2-3호기 38.9%이다.

관류냉각방식을 채택하고 있으며 설계 ΔT 는 7°C이다. 소형발전소인 관계로 43.3m의 짧은 냉각수로를 가지고 있다. 2,350m³/hr급 취수펌프 3대를 설비하여 냉각수 취수능력은 7,050m³/hr이다. 연간 온배수 배출량은 약 0.3억톤이다.

4). 동해안

우리나라 동해안에는 우리나라 최초의 원자력발전소인 고리원자력발전소를 비롯하여 3개의 원자력발전단지와 9의 화력발전소가 있다. 화력발전소에는 자가발전 시설인 포항제철발전소가 포함된다. 동해안의 발전용량은 약 17.6GW이다.

동해안은 동해중부해역과 동해남부해역으로 구분할 수 있다. 동해중부해역에는 한국수력원자력(주)의 울진원자력발전소, 한국남동발전(주)의 영동화력발전소 및 한국동서발전(주)의 동해화력발전소가 위치한다. 동해남부해역에는 한국수력원자력(주)의 월성원자력발전소와 고리원자력발전소, 한국남부발전(주)의 영남화력발전소, 한국동서발전(주)의 울산화력발전소, 한국남부발전(주)의 부산복합화력발전소, 포스코(주)의 포항제철발전소가 있다.

가). 부산복합화력발전소

한국남부발전(주) 소속의 복합화력발전소이다. 액화천연가스를 연료로 하는 150MW급 가스터빈 2기와 150MW급 증기터빈 1기를 하나의 발전계통으로 한 4개의 발전계통을 설비하여 총 발전용량은 1,800MW의 대형발전소로 2004년 3월 준공되었다. 발전효율은 우리나라 최고 수준인 52.7%에 달한다. 2006년 10.7TWh를 발전하였다.

냉각계통은 관류냉각방식을 채택하고 있으며 설계 ΔT 는 8.2℃이다. 21,300m³/hr급 취수펌프 8대를 설비하여 냉각수 취수능력은 160,400m³/hr이다. 이동식거름망 직전 취수 복수기 직후 배수형으로 특정한 냉각수로로는 없다. 수중배수방식을 채택하고 있으며, 연간 온배수 배출량은 약 7.5억톤이다.

나). 고리원자력발전소

한국수력원자력(주) 산하 발전소로 우리나라 최초의 원자력발전소이다. 저농축 우라늄을 사용하는 가압경수로형 원자로 4기를 가지고 있으며 연료는 2~4%의 저농축 우라늄을 사용한다. 1978년 4월 587MW급 1호기가 상업발전을 시작하면서 우리나라의 원자력 발전시대를 시작하였다. 1983년 650MW급 2호가 가동되었고, 1985년과 1986년 각각 950MW급 3, 4호기가 가동되어 총 3,137MW의 시설용량을 가지고 있어 우리나라 원자력 발전의 20%를 담당하고 있다. 2006년에는 총 25.8TWh를 발전하였다. 발전효율은 발전기별로 차이가 있어 1호기 35.2%, 2호기 35.9%, 3호기 36.2% 및 4호기 36.3%이다. 현재 1호기는 설계수명이 종료되어 가동 중지에 있으며, 재가동을 위한 준비작업 중에 있다. 또한 가압경수로 1,000MW급 5, 6호기와 1,400MW급 7, 8호기가 건설 중에 있다.

냉각계통은 관류냉각방식으로 설계 ΔT 는 1, 2호기 각각 6.9℃ 및 6.8℃이고 3, 4호기는 7.2℃이다. 596,750m³/hr급 취수펌프 4기, 679,400m³/hr 취수펌프 4기 및 595,760m³/hr급 취수펌프 12기를 설비하여 냉각수 취수능력은 12,423,700m³/hr이다. 연간 온배수 배출량은 약 44.6억톤이다.

다). 울산화력발전소

한국동서발전(주) 소속의 발전소로 증유를 연료로 하는 기력발전소와 액화천연가스를 연료로 하는 복합화력발전소를 한 단지에 같이 가지고 있다. 기력발전은 200MW급 증기터빈 3기와 400MW급 증기터빈 3기를 설비하여 1,800MW의 발전용

량을 가지고 있으며 1971년부터 1981년까지 순차적으로 건설되었다. 복합화력발전소는 1995년부터 1997년까지 순차적으로 건설되었으며 100MW급 가스터빈 2기와 100MW급 증기터빈 1기를 한 계통으로 하는 1개의 발전계통과 150MW급 가스터빈 2기와 150MW급 증기터빈 1기를 한 계통으로 하는 2개의 발전계통으로 구성되어 1,200MW의 발전용량을 가지고 있다. 전체적으로 3,000MW를 설비한 대형 발전단지이다. 발전효율은 기력발전 39.7% 및 복합화력발전 49.6%로 2006년 각각 1.7TWh 및 3.7TWh로 총 5.4TWh를 생산하였다.

두 종류의 발전소 모두 관류냉각방식을 채택하고 있으며 설계 ΔT 는 기력발전 5°C 및 복합화력발전 7°C이다. 냉각수 취수능력은 기력발전이 15,000m³/h급 취수펌프 6대 및 26,080m³/h급 취수펌프 6대를 설비하여 246,480m³/h이며, 복합화력발전이 20,000m³/h급 취수펌프 2대 및 21,000m³/h급 취수펌프 4대를 설비하여 164,000m³/h의 능력을 가지고 있다. 울산화력발전소의 냉각수 취수능력은 410,480m³/h이다. 취수로는 기력발전이 360m 및 복합화력발전이 330m로 취수로 수심은 3m이다. 연간 온배수 배출량은 약 13.4억톤이다.

라). 영남화력발전소

한국남부발전(주) 소속의 기력발전소로 오일머전을 원료로 하는 우리나라 최초의 발전소이다. 1970년대 초 중유발전소로 건설되었으며, 2003년 오일머전 발전설비로 개수되었다. 발전용량은 400MW로 200MW급 증기터빈 2기를 설비한 소형발전소이다. 발전효율은 평균 35.5%이다. 2006년 0.7TWh를 생산하였다.

냉각방법은 관류냉각방식으로 설계 ΔT 는 1, 2호기 각각 8°C 및 8.3°C이다. 14,400m³/h급 취수펌프 2대와 15,500m³/h급 취수펌프 2대를 설비하여 모두 59,800m³/h이다. 냉각수로는 297m이다. 연간 온배수 배출량은 약 2.3억톤이다.

마). 월성원자력발전소

한국수력원자력(주) 소속의 가압중수로형 원자력발전소로 0.7% 저농도 천연우라늄을 연료로 하는 4개호기의 원자로를 가지고 있다. 1983년 제 1호기가 가동된 이후 1999년까지 4개호기가 순차적으로 건설되었다. 678.7MW급의 1호기를 제외한 2~4호기는 700MW급 한국형표준 가압중수로를 장착하고 있어 총 발전용량은 2,778.7MW이다. 2006년 23.8TWh를 생산하였다. 발전효율은 1호기 33.4%이며, 2~4

호기는 평균 34.8%이다.

냉각방법은 관류냉각방법으로 설계 ΔT 는 1호기 9.6℃이고 2~4호기는 9.5℃이다. 펌프 4대로 각각 2개 호기씩 1조로하여 냉각수로와 배수로를 설치하였으며, 그 길이는 각각 200m 및 250m이다. 냉각수 취수능력은 89,585m³/h급 취수펌프 4대 및 66,260m³/h급 4대로 총 623,380m³/h이다. 월성원자력에는 온배수를 이용하는 어류양식장이 있다. 현재 1,000MW급 한국표준형 원자로를 설비하는 5, 6호기 건설이 진행되고 있다. 연간 온배수 배출량은 약 47.2억톤이다.

바). 포항제철발전소

포항제철화력발전소는 600MW급 증기터빈 1기, 346MW 및 146MW급 복합화력 2기로 총 1,092MW의 발전시설을 구비하고 있다. 발전효율은 기력 24-36%, 복합화력 36-52%이다. 포항제철발전소는 2006년 5.4GWh의 전력을 생산하였으며, 7.0억톤의 온배수를 배출하였다.

한편 고로 냉각용 온배수는 약 1.4억톤을 배출하여 총 온배수 배출량은 약 8.4억톤이었다. 포항제철소는 두 종류의 온배수를 배수로에서 혼합하여 배출하고 있으며, 배출되는 온배수의 ΔT 는 여름철 7℃, 겨울철 12℃ 내외이다.

사). 울진원자력발전소

한국수력원자력(주) 산하의 가압경수로형 원자력발전소로 1988년과 1989년 1, 2호기가 상업운전을 시작하였으며, 1998년과 1999년 각각 3, 4호기가 상업운전을 시작하였다. 2004년과 2005년 4월 각각 5, 6호기가 상업운전을 시작하였다. 1~2호기의 시설용량은 각각 950MW이며 3~6호기의 발전용량은 각각 1,000MW로 총 5,900MW의 발전용량을 가진 대형발전소로 2006년 49.2TWh를 생산하였다. 발전효율은 1, 2호기 35.4%, 3~6호기 37.2%로 타 원자력발전소에 비하여 비교적 높다.

냉각방법은 관류냉각방식으로 설계 ΔT 는 1, 2호기 7.3℃ 및 3~6호기 9.0℃이다. 113,876m³/h급 취수펌프 4대 및 30,575m³/h급 취수펌프 24대를 설비하여 냉각수 취수능력은 총 961,552m³/h이다. 취수로는 짧으나 배수로는 지형적인 조건에 따라 640~780m로 길다. 연간 온배수 배출량은 약 60.8억톤이다.

아). 동해화력발전소

한국동서발전(주) 소속의 기력발전소로 석탄을 원료로 하는 200MW급 증기터빈 2기를 설비한 발전용량 400MW의 소형발전소로 1호기는 1998년에 준공되었으며, 2호기는 1999년 준공되었다. 발전효율은 41.4%이다. 2006년 2.2TWh를 발전하였다.

냉각방식은 관류냉각방식을 채택하고 있으며 설계 ΔT 는 7.2°C이다. 냉각수 취수 능력은 17,840m³/hr급 취수펌프 4대를 설비하여 71,360m³/h이며, 냉각수로는 185.5m이며 수심은 5.4m이다. 수중배수방식을 채택하고 있으며, 연간 온배수 배출량은 약 3.9억톤이다.

자). 영동화력발전소

한국남동발전(주) 소속의 125MW 및 200MW 증기터빈 각 1기씩 설비한 시설전 용량 325MW급의 소형 기력발전소이다. 1970년대 초 중유를 원료로 하는 발전소로 건설되었으며, 2003년 무연탄과 중유를 혼합한 오일머전 발전소로 개수되었다. 발전효율은 평균 37.1%이었으며, 2006년 1.6TWh를 발전하였다.

냉각계통은 관류냉각방식으로 설계 ΔT 는 9.2°C로 우리나라 발전소 중 비교적 높은 ΔT 를 가지고 있다. 냉각수 취수능력은 7,370m³/hr급 취수펌프 2대 및 10,500m³/hr급 취수펌프 2대로 35,740m³/hr이다. 냉각수로 251.4m이며 깊이는 2.1m이다. 연간 온배수 배출량은 약 1.7억톤이다.

다. 업체별 온배수 배출량 및 ΔT 변화

2007년 12월 31일 현재 우리나라 연안에 온배수를 배출하는 사업단위는 모두 30개소이며, 이들 단위에서 지난 3년간 연평균 온배수 배출량은 약473억톤/년으로 집계되고 있다. 이 중 6개 발전회사에 약448억톤을 배출하여 우리나라 총온배수 배출량의 약95%를 차지하였다(표 2-4).

최다 배출업체는 한국수력원자력(주)으로 4개 원전에서 지난 3년간 평균 약227억톤/년을 배출하였다. 이 중 가장 많은 온배수를 배출한 단위는 영광원자력발전소로 지난 3년 평균 74.6억톤/년을 배출하였으며, 그 다음은 울진원자력발전소의 60.8억톤/년, 월성원자력발전소 47.2억톤/년 및 고리원자력발전소 44.6억톤의 순이었다. 우리나라의 총 전력생산의 약36%를 생산하는 4개 원자력발전소에서 배출한 온배수는 총 227.2억톤으로 전체 온배수 배출량의 50.7%를 배출한 것을 감안할 때 원자력발전소가 가장 큰 온배수 배출원임을 알 수 있다.

표 2-4. 우리나라 연안의 발전단위별 온배수 배출현황

업체명	배출단위	발전량* (TWh/년)	온배수량 (억톤/년)	단 위 배 출 량 (억톤/TWh)	설계 ΔT(℃)
한국남부발전(주)	하동화력	24.2	24.4	1.008	6.4
	영남화력	7.3	2.3	0.315	8.0-8.3
	신인천복합	12.2	8.7	0.713	7.0
	부산복합	10.7	7.5	0.701	8.2
	남제주화력	0.2	0.3	1.500	7.0
	소 계	42.5	43.2	1.016	
한국남동발전(주)	삼천포화력	24.5	28.3	1.155	6.4-9.5
	영동화력	1.6	1.7	1.063	9.2
	여수화력	1.4	2.3	1.643	6.4-9.4
	영흥화력	11.6	17.4	1.500	6.4
	소 계	31.9	49.7	1.558	
한국서부발전(주)	태안화력	23.9	26.8	1.121	7.7
	평택화력/복합	5.4	7.6	1.407	10.0
	서인천복합	8.8	4.1	0.466	6.4
	소 계	37.1	38.5	1.038	
한국동서발전(주)	당진화력	23.4	20.5	0.876	6.4-6.8
	호남화력	3.7	6.3	1.703	8.8
	동해화력	2.2	3.9	1.773	7.2
	울산화력/복합	9.7	13.4	1.381	7.0-10.0
	소 계	31.0	44.1	1.423	
한국중부발전(주)	보령화력/복합	23.4	39.1	1.671	6.4-7.0
	서천화력	1.9	2.2	1.158	9.4
	인천화력/복합	3.9	2.2	0.564	7.0-10.2
	제주화력	1.0	2.1	2.100	7.0
	소 계	30.2	45.6	1.510	
한국수력원자력(주)	고리원자력	26.4	44.6	1.689	4.7
	영광원자력	43.1	74.6	1.731	7.4
	월성원자력	32.0	47.2	1.475	8.2
	울진원자력	32.0	60.8	1.900	7.2
	소 계	133.5	227.2	1.702	
포항제철(주)	포항제철발전소	5.4	7.0	1.296	7.0
	고로냉각용		1.4		7.0
	광양제철소	8.4	8.6	1.024	8.0
	소 계	14.2	17.0	1.197	
GS EPS 부곡복합		3.0	1.8	0.600	7.0
포스코파워 복합발전소		2.4	1.9	0.792	10-13.5
케이파워 광양복합화력발전소		2.7	1.9	0.704	5-6
메이아파워 울촌복합화력발전소		2.3	2.4	1.022	
합 계		330.8	473.3	1.431	

* 2006년 또는 직전 정상 가동시 발전량 및 평균 온배수 배출량

비원자력 발전은 5개 발전회사 소속의 20개 발전소가 221.1억톤/년을 배출하여 전체 배출량의 46.8%를 차지하였다. 우리나라 발전량의 7%를 담당하는 보령화력발전소가 총 온배수 배출량의 8.3%에 해당하는 39.1억톤/년을 배출하였으며, 그 다음은 삼천포화력발전소 28.3억톤/년, 태안화력발전소 26.8억톤/년 및 하동화력발전소 24.4억톤/년 등으로 대단위 발전소들이 집중적으로 온배수를 배출하였다.

비 전력회사 중에서는 제철과정에 필요한 에너지를 자가발전으로 충당하기 위하여 각각 945MW 및 1,300MW 규모의 발전소를 보유하고 있는 포스코(주) 소속의 포항제철소와 광양제철소에서 2004년 기준으로 각각 7.0억톤/년 및 8.6억톤/년을 배출하였다. 복합화력발전소를 가지고 있는 GS EPS(구 LG 에너지)와 포스코파워(구 한국종합에너지)는 2004년 기준으로 각각 1.8억톤/년 및 1.9억톤/년의 온배수를 배출하였다.

해안가에 위치하여 해수를 냉각수로 사용하는 업체 중 최소 온배수 배출자는 동해펄프(주)로 펄프제조과정에서 발생하는 부산물인 회흑액(lignin)을 농축하여 발전 연료를 사용하는 2기의 소형 발전기(36MW)를 가동하여 2004년 기준 26.1만KWh의 전력을 생산하였으며 약 0.1억톤/년의 온배수를 배출하였다.

발전량 대비 온배수 배출량을 보면 2006년 기준으로 약 3,31TWh의 발전을 위해 472.6억톤/년의 온배수를 배출하여 1TWh의 전력을 생산하는데 평균 1.38억톤의 온배수를 배출하였다. 상대적으로 발전량 대비 온배수량이 많은 원자력발전소의 경우 1TWh의 전기 생산함에 있어 1.7억톤의 온배수를 배출하였다.

하동화력발전소, 삼천포화력발전소, 태안화력발전소 등 대형 화력발전소는 1TWh 생산당 1.2억톤 내외의 온배수를 배출한 반면 호남화력발전소, 여수화력발전소, 영남화력발전소 등 중, 소형 발전소는 1.5억톤 내외의 온배수를 배출하여 규모가 큰 발전소 일수록 단위 생산당 배출량이 적어지는 경향을 나타내었다. 보령화력발전소는 1TWh 생산당 1.68억톤의 온배수 배출량을 기록하였는데 이는 배출되는 온배수의 수온이 낮았기 때문으로 생각된다.

자가상용발전인 GS EPS 부곡복합발전소, 포스코파워 인천복합발전소, 민간 발전소는 1TWh 당 0.68억톤 내외를 배출하여, 전력회사 발전소에 비하여 온배수 배출량이 상대적으로 적었다. 이는 전력만이 아니라 고압 수증기 자체를 에너지원으로 이용하기 때문이다.

해역별 배출량은 서해안이 206.9억톤/년으로 가장 부하량이 크다. 이 중 인천/경기해역 34.3억톤/년, 태안/보령해역 98억톤/년 그리고 영광해역 74.6억톤/년이었다(그림 2-5). 남해안에는 총 73.5억톤/년이 배출되었으며 제주해역에는 제주해역 2.3억

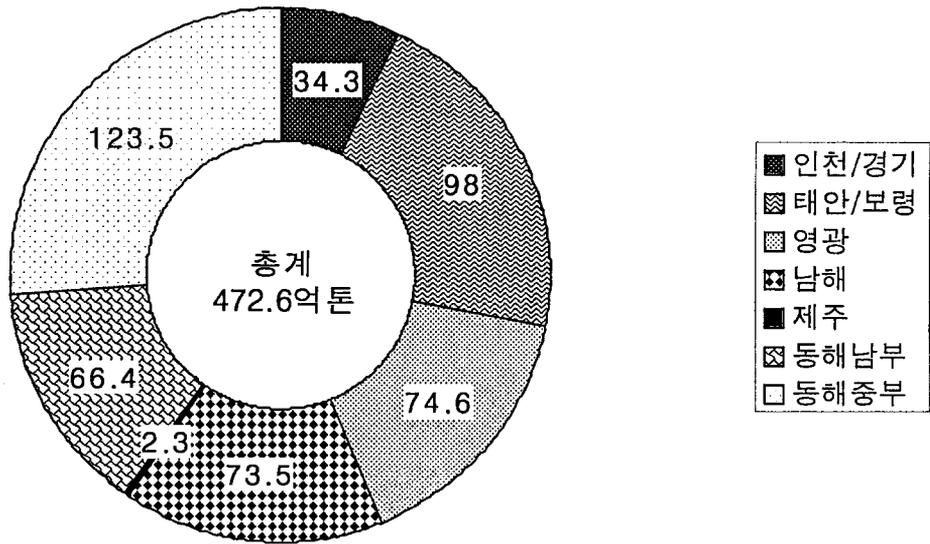


그림 2-5. 우리나라의 해역별 온배수 배출량.

톤/년이 배출되었다. 동해안에는 동해중부해역 66.4억톤/년 및 동해남부해역 123.5억톤/년으로 총 189.9억톤/년이 배출되었다.

대부분의 발전소는 자연수온 변화에 따라 온배수 ΔT 를 조절하고 있다. 따라서 자연수온이 높은 7월부터 10월까지는 전체적으로 7°C 이하의 ΔT 를 나타내고 있으며 자연수온이 가장 높은 9월의 ΔT 는 5.7°C 에 불과하다. 11월에 들어 자연수온이 내려가면 냉각수 사용량을 점차 축소하여 ΔT 는 7°C 를 넘어 점차 상승하여 자연수온이 가장 낮은 2월에는 평균 ΔT 8.9°C 내외 최고에 달한다(그림 2-6). 한편 서해안에 위치한 발전소들은 겨울철 ΔT 를 최대 16°C 까지 상승시키기도 한다.

온배수 ΔT 가 자연수온에 연동하여 조절됨에 따라 온배수 배출량은 이와 반비례하여 변하게 된다. 즉, 발전소에서 냉각계통으로 처리해야 하는 폐열량은 자연수온과 관계없이 일정하기 때문에 온배수 ΔT 를 낮추기 위해서는 보다 많은 양의 냉각수가 필요하게 되어 온배수 배출량이 증가한다(그림 2-7). 월별 평균 배출량은 8월에 최대치인 45억톤을 기록하였으며, 2월에 최소치인 28억톤 내외를 기록하였다.

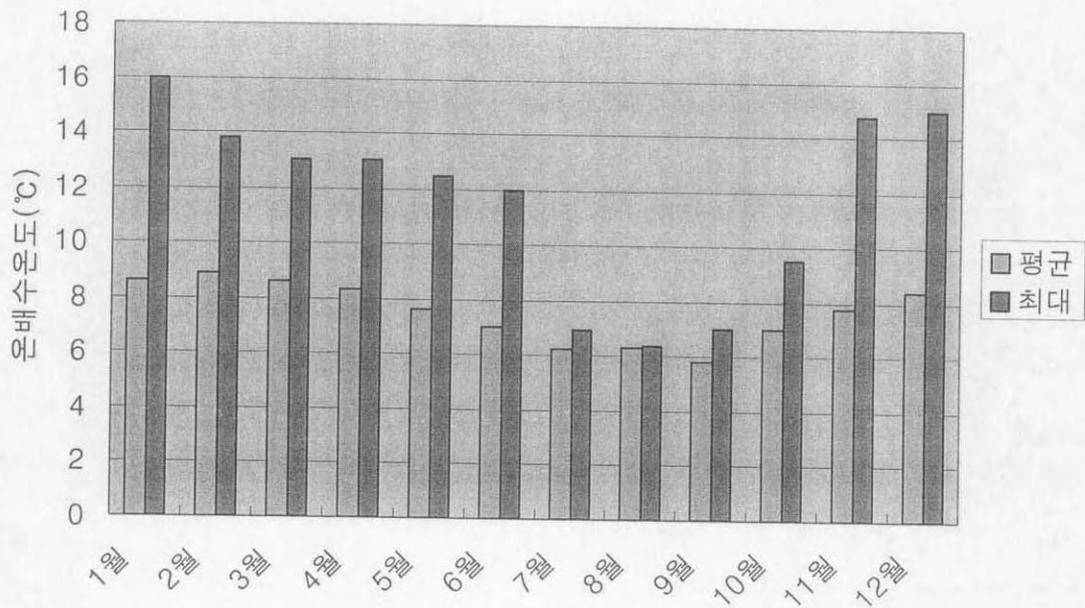


그림 2-6. 지난 3년간 우리나라의 월별 온배수 ΔT 변화.

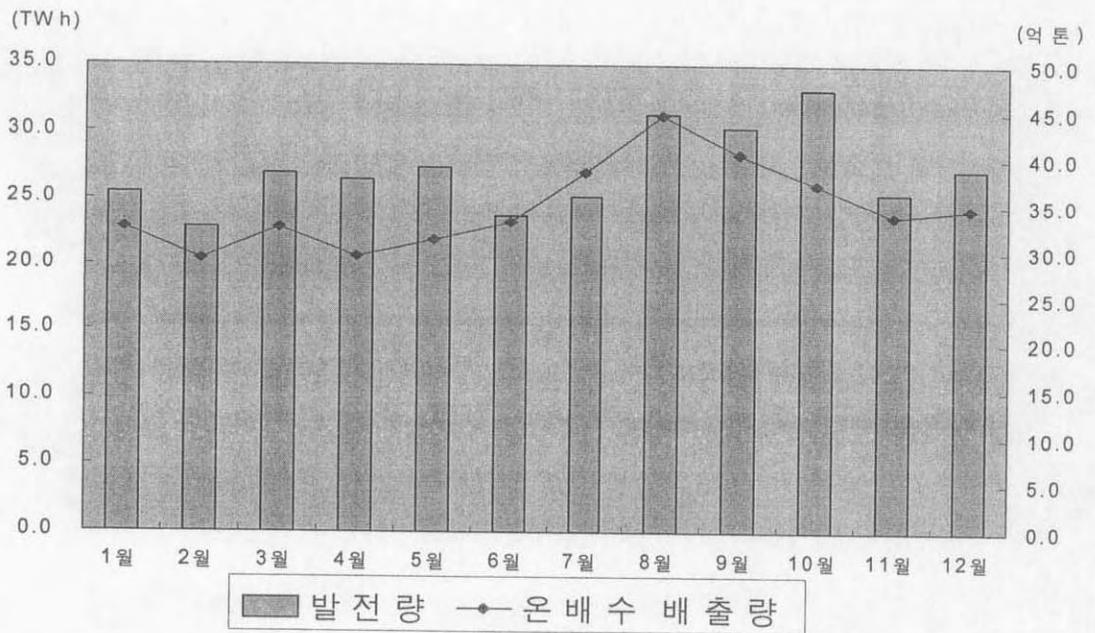


그림 2-7. 지난 3년간 우리나라의 월별 발전량 및 온배수 배출량 변화.

제 2 절. 냉각계통 가동에 의한 영향

1. 수온과 해양생물

수온은 해양생물의 분포, 대사작용 및 운동에 영향을 미치는 가장 중요한 환경요인이다. 생물의 체내 세포에서 일어나는 대사작용은 근본적으로 생화학적 반응이며, 거의 모든 화학 반응과 마찬가지로 생화학적 반응이 일어나는 속도는 체온과 관련되어 있다. 물론 생물의 종류에 따라 온도의 변화에 따른 반응이 다소 차이가 있지만, 환경의 온도가 올라가면 생물의 세포 내 화학·효소반응이 빠르게 진행된다. 온도가 계속 상승하여 어느 임계점을 넘어서면 세포를 구성하는 각종 물질의 불활성화가 일어나 세포의 기능이 상실되어 결국 생물은 죽게 된다.

사람과 같은 항온동물은 주변 온도와 관계없이 자신의 체온을 항상 일정하게 유지시키는 온도 조절작용이 있어 환경의 온도변화에 관계없이 생화학적 반응이 근본적으로 일정한 속도로 일어난다. 그러나 해양포유류를 제외한 모든 해양동물은 체온을 일정하게 유지시키지 못하고 주변 온도에 적응시키는 변온동물로 서식 적정수온의 범위 이내에서는 수온이 증가할수록 대사작용이 빨라진다. 모든 생명과정에서 중요한 역할을 수행하는 효소는 일정한 온도 이상에서 불활성화 되고 세포 내용물이 변성될 뿐만 아니라 수온이 상승하면 혈액 중의 헤모글로빈이 체내 조직으로 산소를 운반하는 기능이 저하되기 때문에 온도가 계속 상승하면 생화학적 반응의 상한에 다다르게 된다. 따라서 어류는 이러한 상한 온도 이상의 환경에서는 생육하지 못한다. 반대로 수온이 낮아지게 되면 생화학적 반응과 혈액 운반이 급격히 저하되어 계속 생명을 유지할 수 없는 생육 하한 온도에 다다르게 된다.

해산식물의 대사에도 온도는 가장 중요한 요인으로 해양생태계의 존재에 가장 중요한 광합성 역시 세포 내 화학·효소반응이다. 광합성에 영향을 미치는 주요 요인들은 수온, 조도, 영양염류 함량과 수서식물 자체의 생리적 상태이다. 통상적으로 국지적이고 극단적인 해양환경을 제외한다면 빛과 영양염류는 모든 해산식물에 충분한 조건을 제공해 주기 때문에 수온이 가장 중요한 제한요인(Gunter 1957, Patrick 1969)이 된다. 해산식물의 광합성 능력은 수온이 해당 식물의 임계수온에 도달하기 전까지는 계속 증가하며, 임계 온도에 다다르면 변온 동물의 경우와 같이 광합성을 포함한 모든 체내 반응이 급격하게 저해된다.

본질적으로 대부분의 동물과 식물은 유전적으로 고정된 온도 범위에 걸쳐 생존할 수 있고, 온도 범위는 종마다 특징적으로 나타난다. 이 범위는 여러 요인에 의하여

다소 변경될 수 있으나 생물이 사망하는 상한온도(upper lethal temperature)와 하한 온도(lower lethal temperature)는 유전적으로 결정되는 온도로 거의 변화하지 않는다. 또한, 태어나서 유생기를 거쳐 성체가 되고, 번식하고 사망할 때 까지 각 생활 단계마다 생존 및 서식 적정수온(optimum temperature)의 범위가 달라진다. 특히, 대부분의 해양생물은 성성숙과 유생 시기에는 적정수온의 범위가 매우 좁아진다. 따라서 해양동물이 알을 낳고 부화하는 시기나 해양식물의 포자가 만들어지고 발아하는 시기에 주변 환경의 온도가 비정상적으로 높게 올라가거나 낮아지면 해당 종의 영속성에 차질을 빚을 수 있다.

한편 생물은 종류에 따라서 그리고 같은 종류라 할지라도 성장 단계에 따라서 살아가기에 가장 적합한 최적온도와 정상적인 생활을 영위할 수 있는 서식적정수온 범위 및 견딜 수 있는 최고 또는 최저 내성온도가 다르다(Strawn *et. al.* 1977, 김 2000). 따라서 연속적인 온배수 배출로 인하여 배수구 주변 해역의 수온이 상승하면 기존에 서식하고 있던 생물 가운데 온도의 내성 한계가 좁은 생물은 사라지는 반면 변화된 온도 조건을 선호하는 새로운 생물이 출현하게 된다. 즉, 정도의 차이는 있겠지만 온배수 배수구 주변의 생물상이 비교적 넓은 온도 범위에 내성을 갖는 광온성 종들로 점차 변하게 된다.

2. 냉각계통 가동이 해양생태계에 미치는 영향

가. 취수 시설물 충돌 및 연행에 의한 영향

1). 충돌

해수에는 용해되지 않고 일정한 형태를 유지하는 많은 고형물질이 존재하고 있으며, 이 고형물질이 냉각수에 포함되어 냉각계통으로 들어올 경우 냉각계통의 운영에 물리적 장애를 일으킨다. 따라서 냉각수 취수구 전면에는 냉각수와 함께 유입되는 고형물질은 걸러내기 위한 회전식 거름망(traveling screen)망과 고형물 제거망(debris filter) 등 여러 종류의 시설물이 설치되어 있다. 이들 시설물의 운영은 냉각수에 포함되어 있는 이물질의 과다에 따라 조정되며, 하루에 수차례 씩 주기적으로 운영되거나 혹은 필요에 따라 특정 시간대에 운영되기도 한다. 거름망과 제거망의 망목은 냉각시설에 따라 다소 차이가 있지만 대략 1cm 내외이다.

냉각수로 사용되는 해수에는 일반 고형물뿐만 아니라 많은 종류의 해양생물이 포

함되어 있다. 해파리, 난바다곤쟁이, 새우류, 어린고기 등 자체 유영능력으로 냉각수류를 이기지 못하는 종류들이 취수 시설물에 충돌하거나 끼어 피해를 입는다. 미국의 EPA(2002a)는 어류와 패류가 전생활사에 걸쳐 냉각수 취수 과정에서 취수 시설물의 외측이나 거름망 등 시설에 갇히는 것을 충돌(impingement)로 정의하고 있다. 현재 EPA는 어류와 패류만을 충돌 대상으로 명문화 하고 있으나, 사실상 모든 해양생물이 포함된다고 보아야 한다.

취수 시설물에 충돌한 어류는 되돌아 나온다 하여도 물리적 손상이 심하며, 냉각계통 운영자로부터 냉각계통에 해로운 이물질로 취급되어 무분별하게 제거되므로 대부분 사망한다고 보아야 한다. 발전소 취수 시설물 충돌에 의한 해양생물 특히 어류의 피해는 하구역과 내만에 위치한 발전소에서 많이 발생한다. 미국 델라웨어강 하구에 위치한 3개의 발전소 냉각계통에 충돌하여 사망하는 어류는 약 150톤/년에 달하는 것으로 집계되고 있다(Clean Air Task Force 2004).

우리나라에 있어 취수 시설물에 충돌하여 사망하는 해양생물에 대한 조사는 환경영향적 측면보다는 발전소 보호적 측면에서 다루어져 왔다. 즉, 다량의 어류 및 해파리와 난바다곤쟁이 등의 무척추동물이 냉각수에 혼재되어 취수되어 거름망과 이와 연속하여 설치된 고품물 제거망(debris filter)을 훼손하거나 냉각수의 흐름을 방해하여 발전소 가동이 중지되는 사태를 해결하기 위하여 조사되었으며, 순수한 해양생태계 보호를 위한 조사는 초보적인 수준에 머물고 있다.

영광원전자력발전소의 경우 1~6호기 가동조건에서 시간당 42개체 642g의 어류가 충돌하여 연간 약 2백만 마리(약 30.5톤)의 어류가 피해를 입는 것으로 보고되고 있으며(한국전력공사 1994), 동해안에 위치한 원자력발전소들은 이보다 낮은 88천~376천 마리/년의 어류가 피해를 입는 것으로 보고되고 있다(표 2-5, 6).

표 2-5. 발전소별 취수구 거름망 충돌에 의한 연간 어류피해 상황 추정자료

발전소명	개체수(천마리)	무게(kg)	조사기준	추정년도
영광원자력	2,044	30,538	6기 가동	1994
고리원자력	206	1,008	4기 가동	2002
월성원자력	375.6	2,951	4기 가동	2002
울진원자력	88.7	1,700	6기 가동	1996

자료: 한국전력공사(1994, 1996), 한국수력원자력주식회사(2002a, b)

표 2-6. 국내 원자력발전소의 취수구스크린 충돌에 의한 어류사망

개체수: 마리/시간, 생물량: g/시간

구분	고리원자력		월성원자력		영광원자력		울진원자력	
	개체수	생물량	개체수	생물량	개체수	생물량	개체수	생물량
1986	30	314	2	108	86	207	~	~
1987	~	~	12	207	44	262	~	~
1988	~	~	3	25	12	51	~	~
1989	~	~	21	450	96	1780	~	~
1990	7	55	2	25	40	2333	~	~
1991	1	19	3	55	41	327	1	18
1992	3	52	1	9	6	89	1	124
1993	5	71	1	36	8	85	10	47
평균	9	102	6	114	42	642	4	63

자료: 한국전력공사(1994)

월성원자력발전소에서는 매년 보름달물해파리(*Aurelia aurita*)와 태평양난바다곤쟁이(*Euphausia pacifica*)의 대량 유입으로 냉각수 취수시설 손상 및 발전소 가동 중지 등 많은 피해를 보고 있다(채 등 2005).

2). 냉각계통 연행

비교적 크기가 작은 해양생물들은 회전식 거름망이나 고형물 제거망을 통과하여 냉각계통 안으로 빨려들어 간다. 미국 EPA(2002a)는 어류와 패류가 전 생활사에 있어 냉각수류를 따라 취수 시설물을 통과하여 냉각계통으로 들어가는 것을 연행(entrainment)으로 정의하고 있다. 현재 EPA는 어류와 패류만을 냉각계통 연행 대상으로 명문화 하고 있으나, 사실상 모든 해양생물이 포함된다고 보아야 한다.

냉각계통에 연행된 해양생물은 기계적 충격 및 열 충격에 더하여 오손생물 제거를 위하여 냉각수에 주입하는 화학물질(염소)에 의한 영향을 받게 된다. 크기가 작은 식물플랑크톤은 기계적 충격에 의한 영향 보다는 열 충격에 의한 영향이 크지

만, 비교적 체형이 큰 동물플랑크톤, 어란, 자치어 등은 기계적 영향이 더욱 크다. 물론 냉각계통에 연행된 모든 생물에 있어 온도가 높을수록 생존율은 감소한다(EPA 2002b). 냉각계통에 연행된 해양동물은 살아서 온배수와 함께 배출된다 하여도 대부분 후유증으로 사망하거나 운동력을 잃어 상위 포식자에게 먹힐 확률이 높아지므로 EPA는 연행된 모든 생물이 사망하는 것으로 간주하고 있다. 관류냉각식 발전소의 냉각계통 가동이 해양생태계에 미치는 영향은 미국 매사추세츠 주의 Mt Hope Bay에 위치한 Brayton Point Generation Station이 냉각방식을 폐쇄순환식에서 관류냉각식으로 전환하자 배수구 만내의 어류 풍도가 주변해역에 비하여 87%나 감소하였다는 것으로 잘 설명되고 있다(EPA 2002a).

가). 식물플랑크톤

식물플랑크톤은 개체의 크기가 작기 때문에 거의 대부분 발전소의 취수구 스크린을 지나 냉각계통을 통과하면서 많은 손상을 받게 된다. 식물플랑크톤과 같이 크기가 작은 생물체가 취수구 스크린에 걸리지 않고 냉각계통을 통과하며, 이 기간 동안 생물은 다양한 압박(stress)을 받게 된다(김 1983).

생물체가 취수펌프에 다다르면 생물체는 빠른 유속에 의한 충격과 기계적 마찰에 더하여 급격한 압력 변화에 직면한다. 한편 복수기 관 내벽에 부착하는 오손생물(fouling organism)을 제거할 목적으로 차아염소산염(hypochlorite)을 주입(염소처리, chlorination) 하는데 염소처리는 오손생물뿐만 아니라 냉각계통을 지나는 식물플랑크톤에게도 큰 피해를 줄 수 있는 화학적 압박 요인이 된다. 복수기에서는 불과 10여초 사이에 온도가 10℃ 내외로 급격하게 상승하면서 열 압박을 받으며, 이후 배수구에서 방류될 때까지 연행되는 생물체는 자연 수온보다 높은 온도에 노출된다. 따라서 짧게는 몇 분에서 길게는 몇 십 분까지 냉각계통을 지나는 동안 식물플랑크톤은 다양한 기계적, 화학적 및 열 압박으로 인하여 많은 종류가 죽게 되며, 냉각계통의 연행에 따른 식물플랑크톤의 사망률은 특히 다수의 발전기가 가동되는 대규모 발전소 주변 해역에서 엄청난 냉각수량 때문에 간혹 심각한 문제가 될 수 있다.

식물플랑크톤이 냉각계통에 연행되어 입는 영향은 기계적 충격과 열 충격으로 나눌 수 있지만 사실상 이 두 가지를 분리하기는 매우 어려워 조사자에 따라 많은 차이가 발생한다. Takesue and Tsuruta(1978)는 여름철 71~78%, 겨울철 31~46%의 생산력 감소를 보고하였다. 서울대 자연과학종합연구소(1985)는 삼천포화력발전소에서 광합성 색소량을 기준으로 10% 내외의 연행 사망률을 보고하였으며, 허 등

(1981)은 고리원자력 냉각계통 연행조사에서 뚜렷한 피해정도를 관찰하지 못하였다. 이(1987a, b)는 삼천포화력발전소 냉각계통에 연행된 식물플랑크톤의 기초생산력 비교연구결과 평균 7.5~58.9%의 손실을 보고하였다(표 2-7).

표 2-7. 삼천포화력발전소 냉각계통에 연행된 식물플랑크톤의 기초생산력 감소량
단위: %

	1985년			1986년		
	7월	9월	11월	1월	3월	5월
총생산력	8~58	71~83	39~18	35~23	55~66	46
순생산력	26~79	105~108	59	45~56	83~42	56

전체적으로 볼 때 고수온기와 저수온기를 제외하고는 기계적 충격에 의한 광합성 감소효과를 수온상승에 의한 광합성 촉진효과로 많은 부분을 상쇄해 주고 있으며, 50만kw 급 발전기 2기의 가동조건에서 식물성 탄소량 기준으로 최대 9.1톤/년의 손실이 있는 것으로 추정하였으며, 조(1988)는 우리나라 원자력발전소를 대상으로 한 조사결과 10~52%(평균 39%)의 기초생산력 감소가 있다고 보고하였다. 한편 냉각계통에 연행된 식물플랑크톤의 성장률 조사결과 식물플랑크톤의 생산력이 높아 먹이가 풍부한 가을철에도 성장률이 많이 저해되는 것으로 나타났다(그림 2-8, 9, 10).

울진원자력발전소의 경우 2004년 추계에 최대 93.2%의 성장 저해율이 측정되었고 춘계에는 이보다 낮은 50~75%의 성장 저해율이 기록되었다. 월성원자력발전소의 성장 저해율은 자료가 풍부하지 않으나 역시 동계에 비하여 춘, 하, 추계에 높은 성장 저해율이 관측되었으며, 영광원자력발전소의 성장 저해율은 동해안의 원자력 발전소들에 비하여 계절적 차이가 뚜렷하지 않았지만 1996년, 1999년 및 2003년 추계에 60% 이상의 높은 저해율이 측정되었다.

나). 동물플랑크톤

동물플랑크톤은 개체의 크기가 작은 탓에 식물플랑크톤과 마찬가지로 취수구 거

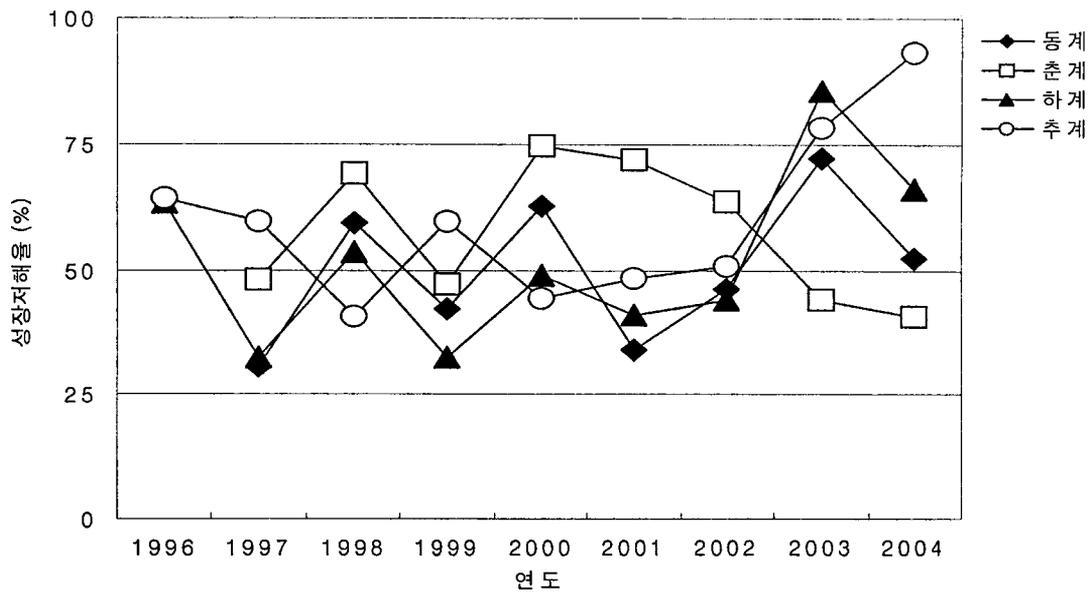


그림 2-8. 울진원자력발전소 복수기 통과 후 식물플랑크톤 성장 저해율의 계절 변화.

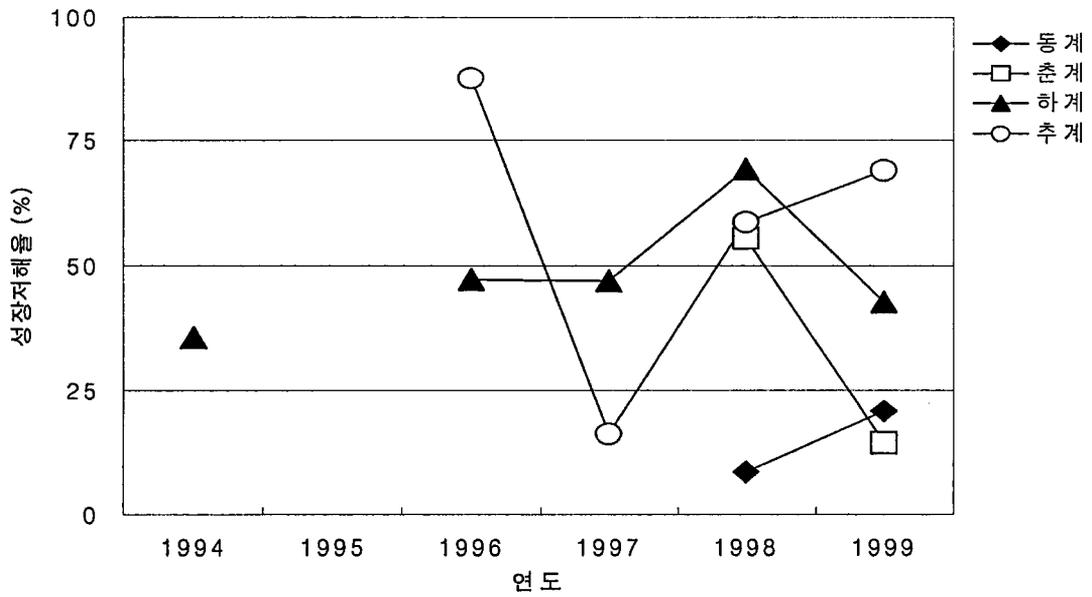


그림 2-9. 월성원자력발전소 복수기 통과 후 식물플랑크톤 성장 저해율의 계절 변화.

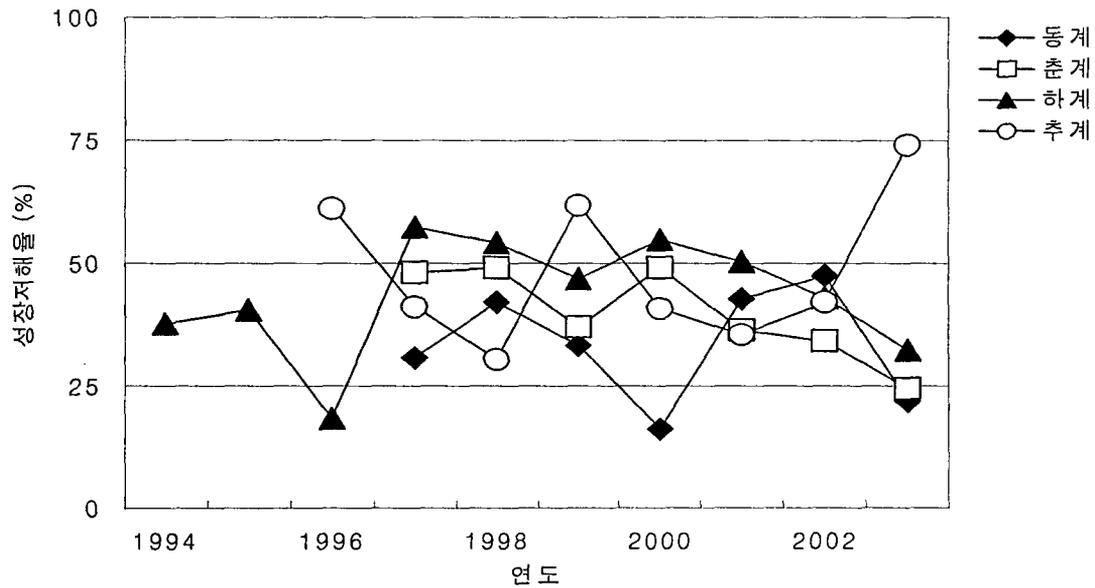


그림 2-10. 영광원자력발전소 복수기 통과 후 식물플랑크톤 성장 저해율의 계절 변화.

를망울 통과하여 냉각계통 안으로 연행되어 기계적 충격과 열 충격을 받게 된다. 더욱이 동물플랑크톤은 식물플랑크톤에 비하여 구조가 복잡하다. 특히, 더듬이와 부속지 등 외부로 돌출된 구조물이 많다. 냉각계통에 연행된 동물플랑크톤은 설사 살아남아도 연행 중 입은 기계적 충격으로 더듬이와 부속지가 손상되어 생존 가능성이 매우 낮다. 분류학적으로 고등생물이지만 작은 크기로 말미암아 동물플랑크톤의 범주에 들어가는 어란의 경우 부화율이 "0"에 가까운 수준으로 낮아지며, 부화자어 및 치어의 사망률은 100%에 가깝다.

이제까지 동물플랑크톤을 대상으로 조사된 자료를 종합해 보면 냉각계통 연행 후의 평균 사망률은 30% 미만으로 나타나지만, 극단적인 조건에서는 최대 사망률이 100%까지도 기록된다(김 2000). 지난 8년간 울진원전 냉각계통 연행에 복수기 통과 시 동물플랑크톤의 사망률은 30% 이하로 나타났지만(그림 2-11), 1995년 여름 이상 고수온이 나타난 시기에는 50% 이상의 사망률이 관측된 바도 있다.

월성원자력발전소의 사망률은 1999년 추계에 30%에 근접하였으나 대개 20% 이하로 측정되어 울진원자력발전소와 마찬가지로 복수기 통과 시 동물플랑크톤의 사망이 주변 해양생태계에 미치는 영향이 미미한 것으로 밝혀졌으며, 영광원자력발전

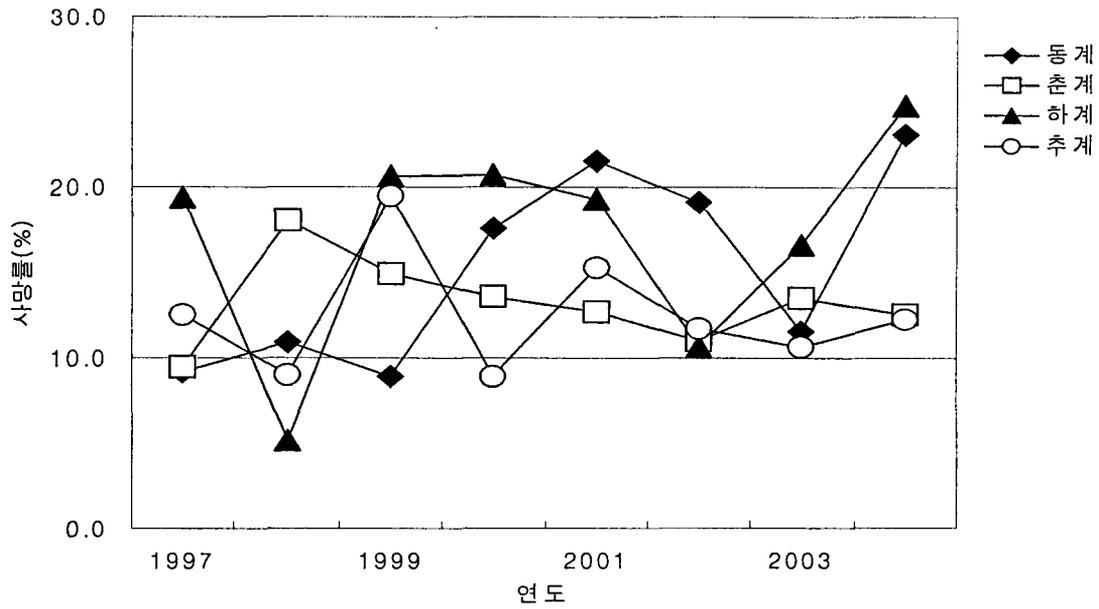


그림 2-11. 울진원자력발전소 복수기 통과시 동물플랑크톤 사망률의 계절 변화.

소의 사망률은 1994년 하계에 38%를 기록한 것을 제외하면 항상 30% 이하를 기록하고 있었고 2000년대 들어서는 연중 15% 이하로 조사되어(부경대학교 1996) 주변 생태계에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났다(그림 2-12, 13).

남해안과 제주도에 위치한 화력발전소에서는 복수기 통과 시 동물플랑크톤 사망률에 대한 장기 조사가 실시된 바 없으나 하동화력발전소와 제주화력발전소에서의 간헐적인 조사 결과에 의하면(부경대학교 2000, 제주대학교 2003) 대개 20% 전후로 나타났다.

한편, 냉각계통에 연행된 고착성 저서동물의 유생 중 광온성 종류는 냉각계통 내부의 표면에 착생함으로써 오손생물 군집을 형성하고 그 결과 발전소 가동에 지장을 초래하는 경우도 있다.

다). 저서동물

대부분의 저서동물은 부유유생기를 거치며, 저서동물의 부유유생은 동물플랑크톤의 주요 구성요인이다. 이들이 냉각계통에 연행되어 입는 피해는 동물플랑크톤의 경우와 같다.

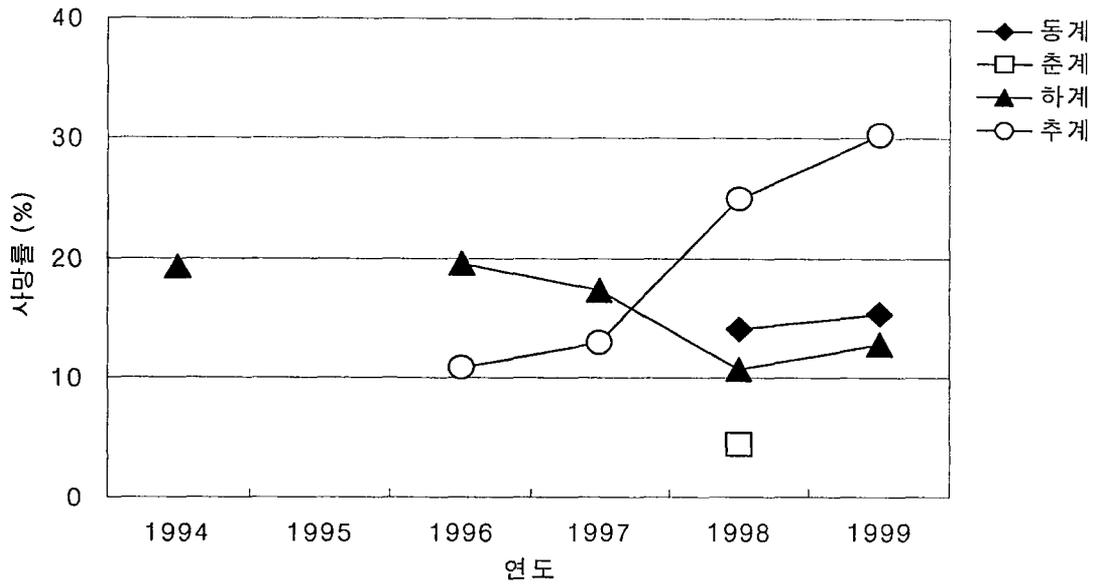


그림 2-12. 월성원자력발전소 복수기 통과시 동물플랑크톤 사망률의 계절 변화.

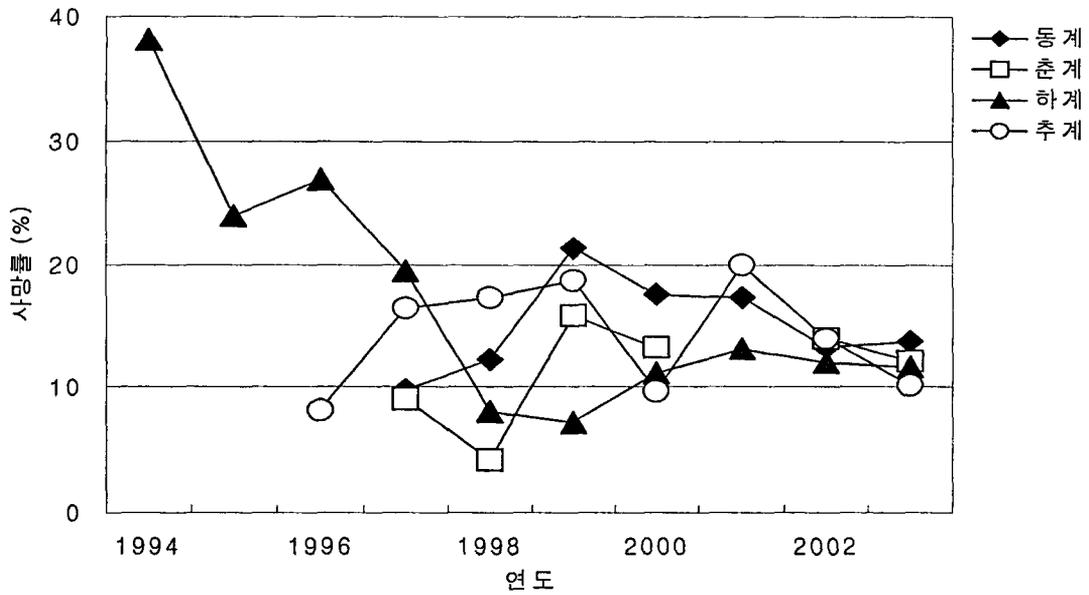


그림 2-13. 영광원자력발전소 복수기 통과시 동물플랑크톤 사망률의 계절 변화.

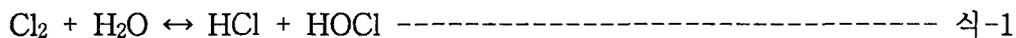
발전소 취수구에서 일어나는 강한 물살로 인하여 취수구 부근에 서식하고 있는 비고착성 저서동물이 취수구 시설물에 충돌하거나 종종 냉각계통 내부로 연행되어 기계적 충격과 열 충격으로 피해를 입기도 한다. 저서동물의 연행 사망률은 개체의 크기가 클수록 커지며, 온배수의 온도가 높을수록 현저하게 증가하는 경향을 보인다. 온배수의 온도가 30℃를 넘는 여름에 최대 사망률을 나타내는 것으로 보고되고 있다. 그러나 취수된 냉각수가 복수기로 보내져 열 교환을 마치고 다시 온배수 배출관을 통하여 배수구로 나올 때까지의 모든 경로에 있어 저서동물에 의한 오손(fouling)으로 많은 문제가 발생하는 것을 감안할 때 최소한 광온성 중에 한하여서는 연행에 의한 피해가 그다지 중요하지 않은 것으로 사료된다.

나. 염소주입에 의한 영향

염소(chlorine)는 강산화제(oxidant)로 1920년대 이후 지금까지 대부분의 발전소에서 오손생물 제거용으로 사용되며(Battelle Pacific Northwest Lab. 1982, Stone & Webster Engineering Corporation 1985) 1990년 기준으로 미국과 영국에서 각각 25,000톤 및 10,000톤이 사용되는 등 모든 국가에서 광범위하게 사용되고 있다(Langford 1990).

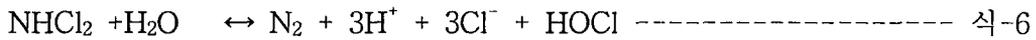
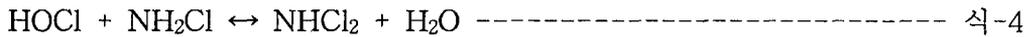
냉각계통에 있어 염소처리방법은 과거에는 염소가스(Cl_2)를 물에 용해시켜 주입하거나, 차아염소산($HOCl$) 용액을 냉각수에 간헐적 혹은 연속적으로 주입하는 방법을 사용하였지만 해수를 냉각수로 사용하는 경우에는 관리가 간편하고 안정성이 높은 전기분해법으로 냉각수 취수구에서 염소가스를 직접 생산하는 저농도로 연속적으로 주입하는 방법을 많이 사용하고 있다. 어느 방법을 사용하더라도 그 화학반응과 오손생물 제거기능은 동일하다.

수중에 첨가된 염소는 수중의 모든 화합물과 반응한다. 일차적으로 물 분자와 반응하여 염산(HCl)과 차아염소산($HOCl$)으로 분리되고(식 1) 다시 차아염소산은 수소이온(H^+)과 차아염소산염 이온(OCl^-)으로 분해된다(식 2). 이 두과정은 모두 가역반응이다.



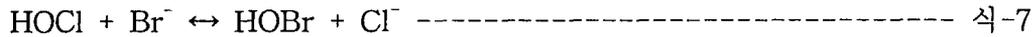
만일 담수에 암모니아가 존재한다면 유기염소화합물(chlorinated organic compound)의 일종인 1가 클로라민(NH_2Cl), 2가 클로라민($NHCl_2$) 및 3가 클로라민(NC_3)이 형성된다(식-3, 4, 5). 이 반응 역시 가역반응이다. 상기 유리성 염소와 유

기 및 무기염소화합물을 합한 것을 잔류염소(residual chlorine)라 한다.



여기서 식-3, 4, 5의 반응은 수중에 존재하는 염소와 암모니아의 비율과 수소이온농도에 따라 단계적으로 일어난다. 염소와 암모니아의 비율이 5:1 이하이면 1가 클로라민이 우세하고, 5:1 이상이면 1가 클로라민이 2가 클로라민이 생성되기 시작하며 불안정한 상태가 된다. 염소와 암모니아의 비율이 좀 더 증가하면 3가 클로라민이 생성되기 시작한다. 염소와 암모니아 비율이 5:1 이상에서의 식-4, 5는 두 화합물의 비율이 10:1이 되기까지 식-3과 경쟁적으로 일어난다. 이에 따라 암모니아가 존재하는 수중에 염소를 첨가할 경우 잔류염소량은 염소와 암모니아의 비율이 5:1이 되는 것을 정점으로 줄어들기 시작하여 10:1의 비율의 부근에서 최소가 된다. 이 점을 중지점(breakpoint)라 하며, 이점에 이르기까지 소모되는 염소를 염소요구량(chlorine demand)라 한다. 중지점(end point)에 가까워지면 식-6과 같이 1가 클로라민은 물과 반응하여 유리염소와 차아염소산을 생성하기 시작한다. 따라서 중지점에서는 약간의 유리염소와 2가 및 3가 클로라민만이 존재하지만 유리염소는 일반적인 잔류염소량 측정방법으로 측정할 수 없다. 중지점을 지나 계속하여 염소량이 증가하면 유리염소량이 증가하며 약간의 2가 및 3가 클로라민이 혼재하게 된다.

해수에는 부름화물(bromide)을 비롯한 많은 종류의 할로젠족원소가 포함되어 있다. 따라서 해수에 염소를 첨가할 경우 전술한 잔류염소에 더하여 차아부름산(HOBr), 차아부름산염 이온(OBr⁻) 및 브로마민(Bromamines)이 만들어지며(식-7, 8, 9), 이를 염소유래산화물(chlorine produced oxidants)이라 하며(Burton 1977), 이 모두를 합한 것을 잔류산화물(Total residual oxidants)이라 한다.



전술한 바와 같이 오존생물 제거를 위한 염소 주입은 해당 수괴의 염소요구량 이상을 주입했을 경우에만 유효하며, 염소주입에 따른 일련의 화학반응을 고려할 경우 냉각수에 첨가된 염소가 냉각수 중의 화합물 및 냉각계통 표면에 부착하는 오존생물과 반응하고 남아 온배수에 포함되어 배출되는 염소는 유리염소를 비롯하여 염소화합물 및 브롬화합물의 형태를 포함한다. 미국 원자력발전소에서 염소주입 부산물

로 배출되는 염소유래산화물은 $2\sim 4\mu\text{g}/\ell$ 정도이다(Bea 1983).

일반적으로 해수를 냉각수로 사용하는 발전소에서 오손생물 제거용으로 주입하는 염소량은 복수기 입수구에서 잔류산화물량 기준으로 $0.2\sim 0.5\text{mg}/\ell$ 범위이며, 이 범위의 농도를 달성하기 위하여 냉각수의 화학적 특성에 따라 취수구에서 농도를 조절하여 염소를 주입한다.

유리염소는 휘발성이 강한 기체로 빠른 속도로 대기 중으로 확산되기 때문에 배출구 주변을 벗어나며 대부분 소실되어 해양생물에 영향을 미치지 않지만 염소유래 화합물은 어느 정도 분해 시간을 필요로 한다. 따라서 냉각계통의 오손생물 제거를 위하여 첨가 되는 염소가 온배수에 희석되어 자연으로 배출되어 미치는 영향을 검정하기 위해서는 유리염소 뿐만 아니라 유기할로젠 등의 염소유래산화물 즉 잔류산화물량을 고려해야 한다. 이들 모두는 해양생물에 유해하며, 수질환경보전법 시행규칙 제3조에 의거 오염물질로 지정되어 있다. 따라서 온배수에 포함되어 배출되는 염소화합물에 대한 규제는 수질환경보전법에 의거하여 규제하는 것이 바람직하다.

잔류염소가 해양생물에 미치는 영향에 대한 국내조사 사례는 적지만 국외의 연구 사례는 비교적 많다(Mattice and Zittel 1976). Academy of Natural Science of Philadelphia (1981)은 온배수의 잔류염소량을 $0.01\text{mg}/\ell$ 이하로 규제하는 것을 추천하고 있으며, 미 EPA(1985)는 염소주입에 의하여 유래된 산화물질의 4일-평균 농도가 $0.0075\text{mg}/\ell$ 이하(3년간 1회 빈도)이거나 시간별 평균 $0.013\text{mg}/\ell$ 를 넘지 않는 것을 수질기준으로 하고 있다. 이 수치는 어류양식에 지장을 주지 않는 수치이다.

염소는 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률로 확대 강화되는 수질환경보전법 시행령 제3조(수질오염물질)에서 정한 별표 2의 17항 염소화합물에 해당한다. 따라서 온배수 관리방안에서 온배수에 포함되어 배출되는 염소화합물을 규제하는 것은 법률상 중복되는 것으로 불필요하다고 판단된다. 부득이 온배수 배출과 관련하여 규제 온배수에 포함되어 배출되는 염소량은 잔류염소량 기준으로 $0.01\text{mg}/\ell$ 이하로 하는 것이 바람직하다.

다. 온배수 확산구역에서의 영향

해양생태계는 다양한 생물들로 구성되며, 영양단계에 따라 생산자, 소비자 및 분해자로 구분할 수 있다. 해산식물은 자가영양 생물 즉, 생산자이다. 현미경적 크기를 지니고 전 생활사에 걸쳐 수중에 떠돌며 생활하는 식물플랑크톤, 저서성 규조류와 바닥에 부착하여 자라는 해조류는 빛 에너지를 이용하여 무기물을 유기물로 전

환시킨다. 생산자와 달리 스스로 유기물을 합성할 수 없는 동물은 종속영양생물로 소비자이다. 즉, 다른 생물의 몸체나 분비물을 먹고 살아간다. 크기가 작은 동물플랑크톤부터 먹이사슬의 최상위를 차지하는 해산포유류까지 모든 해산동물이 이 범주에 포함된다. 박테리아는 분해자로 동식물의 사체인 유기물을 분해하여 다시 무기물로 환원한다. 식물플랑크톤을 먹이로 삼는 작은 동물플랑크톤은 다시 보다 큰 동물플랑크톤이나 작은 어류에게 먹히고, 작은 어류는 다시 큰 어류의 먹이가 되며, 생물의 사체는 부식성 소형동물의 먹이가 되거나 박테리아에 의하여 무기물로 분해되어 다시 식물체가 광합성에 이용할 수 있게 된다. 이러한 과정은 먹이사슬을 이라 하지만, 실제로 해양생태계에 있어 먹이생물과 포식자의 상관관계는 매우 복잡하게 얽혀 있어서 먹이그물(food web)이라고 표현하는 것이 정확하다. 먹이그물을 구성하는 종류가 많을수록 생태계의 안정성(stability)이 높다. 수온이 상승하여 먹이그물을 형성하고 있는 어떤 한 생물의 생육이 지장을 받는다면 정도에 따라서는 생태계 전반에 걸쳐 혼란을 야기할 수 있으며, 궁극적으로는 먹이사슬의 최종단계에 있는 우리에게 영향을 미치게 된다.

물은 에너지를 가장 잘 보존할 수 있는 매체이기 때문에 해양의 온도는 매우 안정되어 있어 수온의 일교차는 외양의 표층수가 0.3℃ 내외이며 수온약층 수심 이하에서는 거의 변하지 않는다. 해수유통이 원활하지 못한 내만의 경우 표층수의 일교차가 3~5℃를 기록하는 극단적이 경우도 있지만 대부분의 경우 연안 표층수의 일교차는 연안 1~2℃ 범위이다. 즉, 해양생물은 이와 같이 매우 안정된 온도 조건에 적응하여 서식하고 있으며, 일교차 범위를 초과하여 온도가 변할 경우 서식하는 종들도 변하게 된다.

표층 해수의 일교차를 초과하는 온도변화는 해저화산 폭발, 열수광상, 온천수 등 자연적인 경우도 있지만 이들 자연현상은 대부분 일시적인 것으로 장기간 지속되지는 않는다. 자연현상으로 인한 급격한 수온변화로 해양생물이 모두 사망하여도, 자연 현상이 끝나면 주위의 생물로 빈자리가 채워진다. 온배수 배출은 매우 지속적인 것으로 비록 그 영양범위가 제한된 지역에 국한된다 할지라도 표층수온의 자연적 일교차를 초과하는 수준의 온도변화를 일으켜 온배수 확산구역 내의 생태계 구성종의 변화를 가져온다. 수온이 2℃ 상승 범위 내에서는 협온성(stenothermal) 종들이 주로 영향을 받아 사라지기 시작하며 4℃를 넘을 경우 광온성(eurythermal) 종들이 우점하는 군집으로 변해 간다(North and Anderson 1973, Adams 1975). 온배수 배출에 따라 소멸하거나 정상적인 생장에 지장을 받는 종들이 수산업 종일 경우가 바로 온배수에 의한 수산업 피해로 많은 문제를 일으킨다.

1). 식물플랑크톤

발전소 온배수가 유입되는 해역의 식물플랑크톤은 계절에 따라 다르게 반응한다. 대체로 봄과 가을에는 자연 수역보다 온배수가 유입되는 해역에서 식물플랑크톤의 생산력이 증가하는 경향을 보인다. 즉, 상대적으로 낮은 자연 해수온도가 온배수의 방출로 상승하여 식물플랑크톤의 최적 성장 조건에 근접하기 때문이다. 여름철에는 자연 해수의 온도가 상대적으로 높는데 더하여 온배수가 지닌 열 에너지가 추가되기 때문에 대부분 식물플랑크톤 종의 최적 생육 온도를 넘거나, 간혹 상한 임계온도를 초과하기 때문에 온배수 확산지역의 식물플랑크톤의 생산력이 감소한다.

식물플랑크톤의 광합성은 일주기와 계절주기를 가지며 각 종들의 수온변화에 대한 적응력도 계절에 따라 차이가 있으며(Ryther 1959, Yentsh and Ryther 1957) 적응기작도 종과 개체에 따라 차이가 있기 때문에(Steeman-Nielsen and Jorgensen 1968, Cairns 1956) 온도변화에 따른 반응을 정량화하기 어렵다. 사실상 온배수 확산구역에 있어 식물플랑크톤의 생산력은 연행에 따른 영향보다는 온배수 배출로 자연보다 상대적으로 높아진 수온변화에 보다 많은 영향을 받는 것으로 추정된다. 우리나라의 경우 온배수 확산구역에서는 연중 구조류인 *Skeletonema costatum*이 우점하고 있으며 봄, 가을 2회에 걸쳐 대발생 하는 것이 일반적 현상이다. 식물플랑크톤의 종 다양성지수와 일차생산력의 감소는 온배수의 강도에 따라 다소 차이는 있지만 배수구 주변 1km 이내의 수역에 제한되고 있는 것으로 생각되며, ΔT 1°C 이상의 범위에서는 전체적으로 광온 내열성 식물플랑크톤이 우점하고 있는 것으로 판단된다.

미국에서 탄소 동위원소인 C^{14} 을 이용하여 온배수 이용 해역의 식물플랑크톤 생산력 변화를 조사한 결과에 의하면 온배수 온도 23°C 미만에서는 40% 감소한 경우부터 300~400% 증가한 경우까지 다양하게 관찰되어 오히려 식물플랑크톤에 의한 광합성이 촉진되는 경향이 나타났다. 하지만 일반적으로 배수온도가 27°C를 넘는 경우에는 약 20% 정도 감소하며(Coughlan and Davis 1983), 33°C가 넘으면 현저하게 감소하고, 35°C 이상에서는 배수구의 생산력이 취수구 생산력의 40%에도 미치지 못하는 것으로 알려져 있다.

일차생산력 감소는 식물플랑크톤 사망률과 밀접한 관계를 가지고 있는 것은 식물플랑크톤이 냉각 계통을 지나는 동안의 높은 온도가 군집 대사과정에 영향을 미치기 때문이다. 즉 37°C 이상의 온도에서는 장기적인 손상이 나타날 수 있으며, 단기간 노출이라도 40°C가 넘으면 사망할 수도 있다. 원자력발전소 냉각계통 연행에 의

한 식물플랑크톤 사망률은 50% 이상 된다고 보고된 바도 있으며(여 1992), 기력발전소의 경우도 30% 이상이 된다고 보고되어 있다(부경대학교 2000). 하지만 이제까지 조사된 바에 따르면 식물플랑크톤 개체군이 냉각 계통 연행 과정에서 입은 부분적인 손상은 비교적 짧은 시간 내에 다시 회복되는 것으로 나타났으며 사멸한 식물플랑크톤에서 방출되는 영양염류에 의해서 회복되었거나 살아남은 식물플랑크톤의 대사가 활성화됨으로서 온배수 배출 인근 수역의 일차생산량은 다시 증가한다(이 1987a).

2). 동물플랑크톤

동물플랑크톤은 식물플랑크톤과 비슷하게 대부분 육안으로 식별할 수 없는 작은 크기를 지니고 있으며, 식물플랑크톤이나 세균 또는 침전물을 섭취하여 더욱 큰 동물들이 이용할 수 있는 양분으로 전환시킨다. 따라서 동물플랑크톤 역시 식물플랑크톤과 함께 수생동물의 중요한 먹이생물이 된다.

온배수가 유입되는 해역에서 동물플랑크톤을 조사한 결과를 종합해 볼 때, 자연 수온이 그다지 높지 않은 계절에는 개체군 밀도에 있어 일관된 경향을 찾기 어렵지만 자연 수온이 높은 계절에는 현존량이 감소하는 추세를 보인다. 이는 온배수 영향으로 해수 온도가 동물플랑크톤의 최적 생육 온도의 제한선인 30℃를 넘기 때문이며, 이에 따라 수산업 피해가 발생하기도 한다(한국전력공사 전력연구원 1995). 온배수 배출 수역의 동물플랑크톤 군집 동태는 온배수의 영향에 따른 변화를 파악하기 어려워 일본 후쿠이 원전 단지의 경우에는 연구 조사 항목에서 제외시킬 정도로 수온 등과 같은 미세 환경 요인 변화에 따른 동태 파악이 잘 알려져 있지 않다. 그러나 배수구에서는 일반적으로 종 다양성지수가 감소하고 경우에 따라 내열성 종들의 대량 출현이 보고되기도 하지만 대부분의 경우 출현량도 감소하는 것이 일반적이다. 또한 원자력발전소 냉각계통 연행에 의한 동물플랑크톤의 사망률은 열 쇼크보다는 물리적 충격에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있는데 30%를 초과할 경우 주변 해양생태계에 심대한 영향을 끼칠 수 있는 개연성이 있지만 이에 대한 연구는 아직 보고된 바 없다.

3). 해조류

해조류는 식물플랑크톤과 마찬가지로 광합성 색소를 가지고 빛 에너지를 고정하

는 일차생산자이지만, 대체로 물에 떠서 생활하는 식물플랑크톤과는 달리 연안의 바위 또는 다른 생물에 부착하여 생육한다. 어류와 같이 유영 능력을 가진 생물들은 자신에게 불리한 조건을 회피할 수 있겠으나, 고착성 해조류는 서식지의 환경 조건에 따라 대상 종의 생존 여부가 좌우된다. 따라서 발전소에서 배출되는 온배수의 영향을 논함에 있어 해조류는 중요한 지표생물의 하나로 간주된다.

온배수 영향을 받는 곳에 서식하는 해조류는 조간대와 조하대에서 그 양상을 달리하고 있다. 조석 작용에 따라 규칙적으로 물에 잠기거나 드러나는 조간대에 출현하는 해조류는 정상 조건에서도 온도 변화와 건조에 대하여 어느 정도 내성을 가지고 있어 대체로 온배수에 대한 영향이 그다지 크지 않다. 반면 항상 물에 잠겨 있는 조하대 해조류는 조간대의 경우보다 훨씬 안정된 조건에서 생육하는 탓에 온배수의 영향을 받게 되면 생장이 감소하거나 출현종의 조성이 바뀌는 경향을 보인다.

원자력발전소 중 우리나라에서 처음으로 1978년 4월에 가동을 시작한 고리원전 1호기의 경우 배수구 부근에서 1977년에는 참도박(*Pachymeniopsis elliptica*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 진두발(*Chondrus ocellatus*), 개서실(*Chondria crassicaulis*) 등이 우점종으로 조사되었다. 그러나 고리 1호기가 가동을 시작한 1978년에는 참도박의 생육이 감소하고 개서실은 출현하지 않았다. 반면에 작은구슬산호말의 생육이 증가하고, 특히 가동 전에 별로 나타나지 않았던 애기우뭇가사리(*Gelidium divaricatum*)가 새로운 우점종의 하나로 등장하였다(김과 이 1980).

한편 1986년 8월에 상업운전을 시작한 영광원전 1호기의 경우, 방수로에서는 가동 전에 136g/m^2 (건중량)의 해조류 생육이 관찰되었는데 가동 후에는 무게를 측정할만한 해조류가 전혀 출현하지 않았다(김과 유 1992).

1978년에 고리원전 1호기가 가동을 시작한 이래 지난 20여 년간 국내에서 가동 중인 원전 주변에 출현하는 해조류를 대상으로 수행된 각종 조사결과들을 종합해 볼 때, 발전소 배수구에 인접한 조사정점에서는 온배수의 영향을 덜 받는 정점들과 비교하여 해조류의 종조성과 생물량이 모두 빈약한 것으로 나타나고 있다(김과 김 1991, 김 1999a).

한편 해조류는 오랜 역사를 두고 우리 민족에게 있어 중요한 식용 자원이 되어 왔으며, 학계에 발표된 자료에 따르면 우리나라에서는 87종의 해조류가 식용으로 이용되는 것으로 집계되었다(오 등 1990). 다양한 해조류 가운데 특히 김, 미역, 툇, 다시마 등이 주요 양식종이 되고 있으며, 1999년의 경우 우리나라 천해양식어업에서 해조류가 차지하는 비율은 생산량이 60% 이상 그리고 금액이 30% 가량이다(해양수산부 2000).

양식 해조류 가운데 주류를 이루는 김의 자연에서 생육 상태로 판단한 수온별 김의 성장단계를 보면 가을이 되어 수온이 22℃ 전후에서 15℃ 정도까지 저하하는 기간이 발아기이며, 15℃ 이하가 되면 성장기에 들어가고 온도가 차츰 더 내려감에 따라 매우 무성하게 자라서 최성기로 된다(강과 고 1977). 이 경우 김의 수확 정도로 보아 5~8℃가 생장 적온이라 할 수 있으며, 그 하한은 4℃이다. 이후 봄이 되어 수온이 12~13℃가 되면 생육이 그치게 된다. 김의 생육 초기에 수온이 15℃ 이하로 떨어져서 안정되기 전에는 갯병의 우려가 많아 안심되지 않으므로, 김 양식에서는 15℃ 한계를 중요시하고 있다.

미역의 엽체는 가을부터 자라서 봄까지 성숙한다. 성숙한 엽체의 성장에는 12℃보다 낮은 온도가 적합하고, 5~10℃가 최적 생장 조건이다. 따라서 미역의 성엽이 성장하는 겨울에 자연 해수의 온도가 이상 고온 현상을 나타내거나 또는 온배수 확산역을 접하게 되면 정상적인 성장을 기대하기 어렵게 된다(그림 2-14).

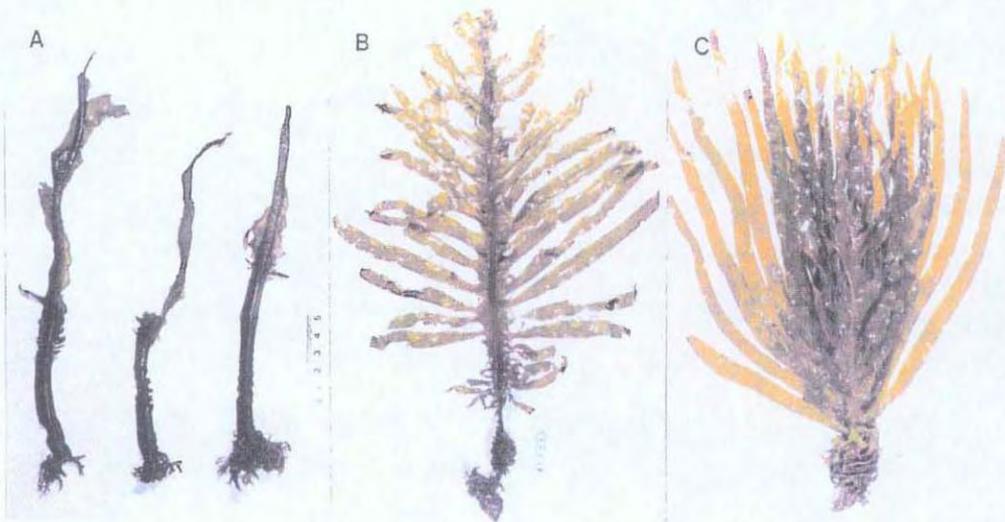


그림 2-14. 고리원전 배수구 부근에서 채집된 미역(A)과 인근의 문동리 해안에서 채집된 미역(B와 C)의 엽체 비교 사진(김 등 1998).

한편 최근 우리나라 각 연안에서 발생하고 있는 갯녹음(백화현상, barren ground)은 해수온 상승과 매우 밀접한 연관이 있는 것으로 밝혀지고 있기 때문에 온배수가 갯녹음에 미치는 영향도 고려해야 할 사안이다.

4). 저서동물

조간대에 서식하는 저서동물은 일반적으로 광온성 종으로 높은 온도에 대한 내성이 크다. 특히 공기 중에 노출되는 빈도가 높아지는 조간대 상부로 갈수록 내성이 증가하는 경향이 있다. 반면 조하대에 서식하는 종들은 상대적으로 수온은 낮지만 안정된 수온의 범위에서 살기 때문에 온도변화에 대한 내성이 적다.

온배수 확산구역에서 저서생물 연구 결과 Hedgpeth and Gonor (1969)는 종 감소현상을 보고하였으며 Warinner and Bremer (1966)는 여름철 종다양성이 낮아진다고 보고하였는데 우리나라에서도 유사한 양상이 보고되고 있다. 자연 상태와 같은 조건을 가지고 있는 삼천포 화력발전소의 취수로에서는 년 중 20~47종이 출현하지만, 온배수 영향이 큰 배수로에서는 11~29종이 출현하였으며, 온배수 확산구역에서는 19~38종이 출현하여 수온에 따른 종 감소현상이 뚜렷하게 나타났다(이 1987). 또한 조무래기따개비(*Chthamalus challengeri*)와 삼각따개비(*Balanus trigonus*)의 부착기간이 온배수의 영향으로 제1차 부착시기는 5~8월에서 5~7월로 1개월 단축되었으며, 2차 부착시기는 11월에서 11~12월로 연장된다고 하였다(그림 2-15).

수산석회관갯지렁이(*Hydroides ezoensis*), 단각류(*Jasa falcata*, *Corophium acherusicum*), 바다대나무벌래류(*Caprella* spp.) 등은 온배수 확산구역에서 부착시기가 연장된다. 특히 조무래기따개비, 수산석회관갯지렁이, 대나무벌래류 등은 산란량과 생식기간이 연장된다. 한편 등근석회관갯지렁이(*Dexiospira alveolatus*), 가시굴(*Saxostrea echinata*), 태형동물류(Bryozoan) 군체, 흰덩이멍개류(*Didemnum* sp.) 등은 온배수 확산구역에서 자취를 감춘다. 전체적으로 온배수 영향이 클수록 종수는 감소하지만 배수구에서 가까운 곳을 제외하고는 생물량이 증가한다.

5). 어류

어류가 환경의 온도변화에 어느 정도 적응 하는 능력을 가지는 것은 환경변화에 대하여 모든 생물이 유전적으로 보유하고 있는 보호작용의 한 예이며, 온도변화의 범위가 적응 범위를 넘을 경우 자신에게 유리한 온도를 찾아 이동한다. 이것은 어

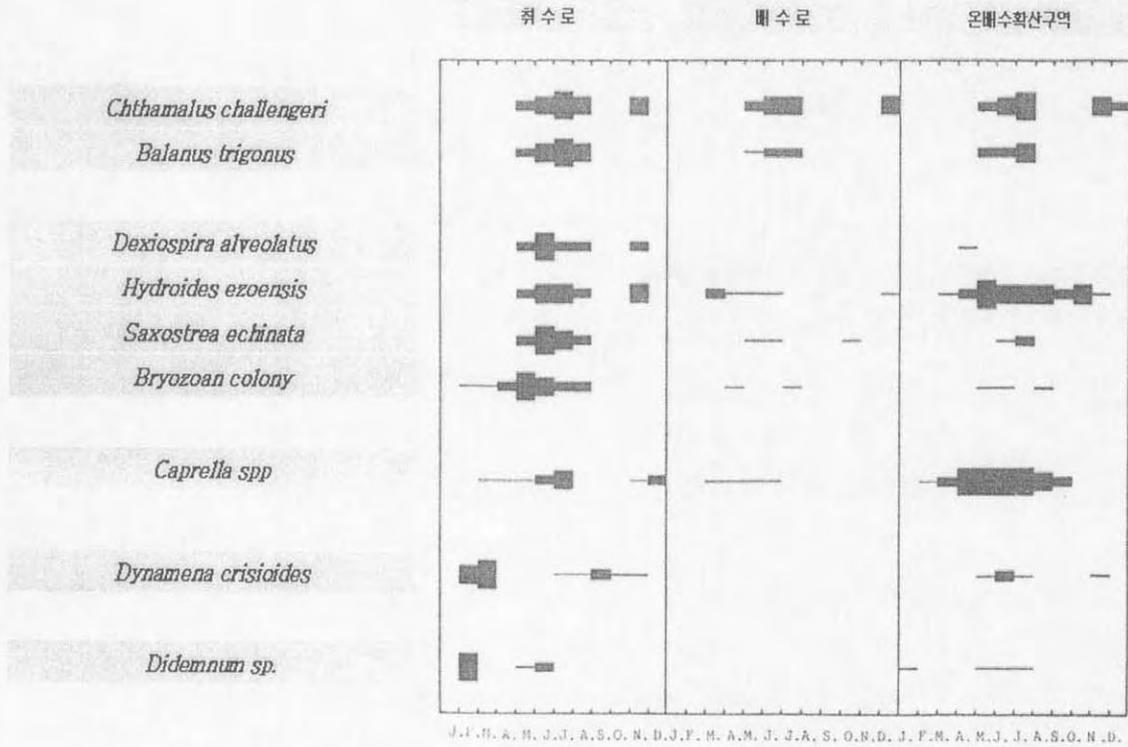


그림 2-15. 삼천포화력발전소 냉각계통에서의 저서동물 부착양상(이 1987).

류 스스로 그들의 적정 온도범위 내에서 생육하려는 선천적인 경향성이다. 따라서 환경 온도의 변화에도 불구하고 어류가 같은 장소에 적응하여 머물려면 온도의 변화가 해당 어류가 충분히 적응할 수 있도록 서서히 일어나야 한다. 통상적으로 온도 변화에 대하여 어류가 적응할 수 있는 범위는 온도가 상승할 경우 1.1°C/일 미만으로 알려져 있으며(Samuel and Jordan 1980) 온도가 감소할 경우에는 이보다 변화의 폭이 적어야 적응할 수 있다. 만일 어류가 적응하지 못할 정도의 급격히 높거나 낮은 온도에 노출된다면 열 충격(thermal shock)을 받는다.

일반적으로 어류는 수온이 낮은 가을철~봄철에는 보다 따뜻한 수온을 찾아 이동하며, 특히 수온이 낮아지는 겨울철에 따뜻한 온배수에 유인되어 계절에 따른 어류의 주기적인 이동이 방해 받기도 하며, 발전소의 가동 중단으로 온배수가 배출되지 못하는 특정 상황에 직면하면 어류 집단은 저온충격으로 사망(cold kill)하게 된다.

우리나라 연안에 서식하는 어류는 대부분 수온이 하강하는 겨울철에는 보다 따뜻한 수온을 찾아 깊은 곳으로 이동하거나 남쪽으로 계절회유를 하여 출현 종수가 줄

어드는데, 발전소 온배수가 영향을 미치는 해역에서는 겨울철에도 따뜻한 수온을 좋아하거나 월동을 하려는 어종이 모여들기 때문에 인근 해역에 비해서는 상대적으로 많은 수의 종이 출현하고 있다(한국전력공사 1999).

울진원자력발전소를 대상으로 조사한 결과 온배수의 영향을 받는 배수로와 배수구 인근 해역에서 여름철 난류를 따라 북상하여 정착한 것으로 판단되는 파랑돔, 독가시치, 자리돔, 뱅에돔, 잿방어 등은 아열대성 및 난류성 어종이 관찰되고 있다(표 2-8). 특히 겨울철에는 전체 출현 어종의 50 % 이상이 배수로 내에서 월동한다고 추정되며, 그 종조성은 대마 난류의 영향을 받고 있는 제주도 남부 해역 및 울릉도 해역과 유사하다. 제주도를 비롯한 외양에 접한 남해안 도서 연안에서 볼 수 있는 자리돔은 배수로 내에서 연중 관찰되며, 9월에는 어린 새끼 떼들도 관찰되는 것으로 미루어 온배수의 영향으로 주위 연안에 비하여 높은 수온이 유지되는 배수구 부근에 정착하여 성장 및 번식하고 있음을 알 수 있다(명 2005).

온배수 배출은 주변해역의 수온을 변화시켜 자연환경에 피해를 주지만, 수산업 가치가 높은 온수성 어종의 어획량을 증가 시키는 효과도 있다. 일본 북태평양 연안에 위치한 발전소 주변 어장에서 10년간 조사된 자료를 보면 겨울철에도 계속적으로 낮은 수심에서 농어가 어획되고 있으며, 어장의 크기도 발전소 가동 전보다 더 넓은 지역으로 확대되었다(小嶋 2005).

라. 온배수에 의한 수산활동 제한 사례

1). 온배수 확산범위

온배수 확산범위는 해당 조사기관이 사용하는 온배수확산모델의 종류 및 입력자료에 따라 다소 차이가 있기 때문에 우리 환경에 적합한 온배수확산 예측모델의 표준화가 시급하다. 또한 정확한 온배수확산구역을 구획하기 위한 현장 모니터링조사도 꾸준히 수행되어야 한다.

온배수확산구역의 범위를 정하는 것은 곧 바로 수산업 피해보상 문제와 직결되며, 각 조사기관이 발표하는 결과와 어민이 현장에서 경험적으로 추정하는 범위와 차이가 있어 항상 민원이 발생하고 있다. 이 보고서에서는 한국수력원자력(2002a, b)과 한국전력공사(1994, 1996a, b, 1999)의 보고서 자료를 인용하였기에 발전소별 온배수확산범위에 대한 어민들의 주장과는 다소 차이가 있을 수 있을 밝혀 둔다.

울진원자력발전소의 경우 1~4호기 가동시 상층에서 수온 1.0℃ 이상의 상승 범

표 2-8. 울진원자력 온배수 배수로의 계절별 어류 출현 현황

종 이름	일반이름	2월	3월	6월	7월	8월	9월	12월
<i>Engraulis japonicus</i>	멸치				○			
<i>Konosirus punctatus</i>	전어							○
<i>Tribolodon hakonensis</i>	황어			○	○			
<i>Mugil cephalus</i>	송어	○	○	○		○	○	○
<i>Hyporhamphus sajori</i>	학공치				○			
<i>Pungitius sinensis</i>	가시고기*		○					
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	미역치	○	○		○	○	○	○
<i>Sebastes schlegeli</i>	조피볼락	○	○			○		
<i>Sebastes sp.</i>	볼락류			○				
<i>Hexagrammos agrammus</i>	노래미	○				○		
<i>Hexagrammos otakii</i>	쥐노래미		○					○
<i>Pseudoblennius cottoides</i>	가시망둑			○	○	○		
<i>Epinephelus septemfasciatus</i>	능성어*						○	
<i>Seriola dumerili</i>	젯방어*						○	
<i>Seriola quinqueradiata</i>	방어			○	○	○	○	
<i>Trachurus japonicus</i>	전갱이					○		
<i>Carangidae sp.</i>	전갱이류			○				
<i>Gerres oyena</i>	게레치						○	○
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	감성돔	○	○	○			○	○
<i>Upeneus bensasi</i>	노랑촉수				○	○	○	
<i>Parupeneus indissus</i>	점촉수					○	○	○
<i>Girella punctata</i>	벵에돔*					○	○	○
<i>Microcanthus strigatus</i>	범돔	○					○	
<i>Rhyncopelates oxyrhynchus</i>	줄벤자리	○	○	○				
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	돌돔	○	○	○			○	○
<i>Oplegnathus punctatus</i>	강담돔*						○	

표 2-8. 계속

종 이름	일반이름	2월	3월	6월	7월	8월	9월	12월
<i>Pomacentrus coelestis</i>	파랑돔*						○	
<i>Ditrema temmincki</i>	망상어	○	○	○	○	○	○	○
<i>Abudeduf vaigiensis</i>	해포리고기*						○	
<i>Chromis notata</i>	자리돔*	○	○	○	○	○	○	
<i>Halichoeres poecilopterus</i>	용치놀래기	○	○	○		○	○	
<i>Halichoeres tenuispinnis</i>	놀래기	○	○	○		○	○	
<i>Pseudolabrus japonicus</i>	황놀래기		○			○		
<i>Pteragogus flagellifer</i>	어렁놀래기						○	
<i>Stethojulis interrupta terina</i>	무지개놀래기				○	○	○	○
<i>Enneapterygius etheostomus</i>	가막베도라치			○		○	○	○
<i>Omobranchus elegans</i>	앞동갈베도라치			○	○			
<i>Petroscirtes breviceps</i>	두줄베도라치	○					○	○
<i>Repomucenus beniteguri</i>	날뚝양태			○		○	○	
<i>Istigobius hoshinonis</i>	비단망둑			○		○	○	
<i>Chasmichthys dolichognathus</i>	점망둑			○				
<i>Favonigobius gymnauchen</i>	날개망둑			○	○			
<i>Sagamia genetonema</i>	바닥문절			○				
<i>Istigobius campbelli</i>	사자코망둑		○	○	○			
<i>Siganus fuscescens</i>	독가시치*						○	
<i>Paralichthys olivaceus</i>	넙치			○				
<i>Rudarius ercodes</i>	그물코쥐치						○	○
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	쥐치				○		○	○
<i>Takifugu niphobles</i>	복섬	○	○	○	○			○
<i>Takifugu vermicularis</i>	국매리복	○		○				
<i>Takifugu sp.</i>	복어류				○			

* 아열대성 어종

위는 배출구를 기준으로 연간 북서로 3.5 km, 남동으로 5.3 km 정도로 추정되었다(표 2-9).

표 2-9. 울진원자력발전소 4개호기 가동시 계절별 및 연간 최대 온배수 확산 거리 및 면적

항목	계절	방향	수심 0m			수심 5m			수심 10m			
			1℃	2℃	3℃	1℃	2℃	3℃	1℃	2℃	3℃	
확산 거리 (km)	봄	북서	3.2	1.9	1.2	3.1	1.4	0.6	2.9	0.4	~	
		북동	1.5	1.0	0.8	1.3	0.8	0.6	0.8	0.5	~	
		남동	5.2	3.2	2.5	4.5	2.7	1.7	2.8	1.3	1.0	
	여름	북서	3.3	1.9	1.1	3.0	1.1	0.5	2.6	~	~	
		북동	1.4	0.9	0.7	1.2	0.7	0.5	0.6	0.5	~	
		남동	5.1	3.0	2.3	4.2	2.5	1.5	2.5	0.9	~	
	가을	북서	3.1	1.8	1.1	3.0	1.2	0.	2.7	0.3	~	
		북동	1.5	1.0	0.7	1.2	0.8	0.5	0.7	0.5	~	
		남동	5.1	3.1	2.5	4.4	2.6	1.6	2.5	1.3	~	
	겨울	북서	3.5	1.9	1.2	3.2	1.5	0.7	3.1	0.5	~	
		북동	1.6	1.0	0.8	1.4	0.8	0.6	0.8	0.5	0.4	
		남동	5.1	3.3	2.6	4.6	2.8	2.0	3.0	1.3	0.9	
	연간	북서	3.5	1.9	1.2	3.2	1.5	0.7	3.1	0.5	~	
		북동	1.6	1.0	0.8	1.4	0.8	0.6	0.8	0.5	0.4	
		남동	5.2	3.3	2.6	4.6	2.8	2.0	3.0	1.3	0.1	
	확산 면적 (km ²)	봄		11.9	4.8	3.0	8.4	3.2	0.7	2.9	~	~
		여름		11.1	4.7	2.5	7.2	2.6	1.1	1.6	~	~
		가을		11.4	4.8	2.8	7.4	2.8	1.5	2.3		~
겨울			12.0	4.9	3.1	9.7	3.4	1.7	3.4	~	~	
연간			12.2	4.9	3.1	9.7	3.4	1.7	3.4	0.5	0.1	

울진 5~6호기 추가 가동시 상층에서 수온 1.0℃ 이상 상승 범위는 발전소 배출구를 기준으로 연간 북서로 3.8 km, 남동으로 6.4 km 정도로 나타났다(표 2-10).

표 2-10. 울진 원자력 발전소 6개호기 가동시 계절별 연간 최대 온배수 확산 거리 및 면적

항목	계절	방향	수심 0m			수심 5m			수심 10m		
			1℃	2℃	3℃	1℃	2℃	3℃	1℃	2℃	3℃
확산 거리 (km)	봄	북서	3.5	2.2	1.4	3.3	1.7	0.8	2.8	0.3	~
		북동	2.0	1.3	0.9	1.8	1.0	0.7	1.0	0.6	0.4
		남동	6.4	3.8	2.9	5.6	3.3	2.4	4.2	1.7	1.0
	여름	북서	3.8	2.3	1.4	3.3	1.5	0.6	2.6	0.4	~
		북동	1.9	1.2	0.9	1.6	0.9	0.6	0.9	0.5	0.3
		남동	6.2	3.6	2.7	5.2	2.9	2.1	2.5	1.4	1.0
	가을	북서	3.5	2.0	1.3	3.2	1.5	0.7	2.9	0.4	~
		북동	2.0	1.2	0.9	1.7	1.0	0.7	0.8	0.5	0.4
		남동	6.2	3.7	2.8	5.3	3.1	2.3	3.0	1.3	1.0
	겨울	북서	3.8	2.3	1.4	3.5	1.8	0.8	3.1	0.4	~
		북동	2.1	1.3	0.9	1.9	1.1	0.7	1.1	0.6	0.4
		남동	6.2	3.8	2.9	5.6	3.5	2.4	4.4	1.8	1.4
연간	북서	3.8	2.4	1.5	3.5	1.8	0.8	3.1	0.4	~	
	북동	2.1	1.3	1.0	1.9	1.1	0.7	1.1	0.6	0.4	
	남동	6.4	3.9	3.0	5.6	3.5	2.4	4.4	1.8	1.4	
확산 면적 (km ²)	봄		17.1	7.2	4.1	11.8	4.5	2.2	5.0	0.7	0.2
	여름		15.9	6.9	3.9	11.0	3.6	1.7	2.2	0.4	0.1
	가을		16.3	6.8	3.9	11.4	3.8	2.2	4.1	0.5	0.1
	겨울		17.1	7.2	4.0	14.1	4.9	2.4	5.6	0.8	0.2
	연간		17.9	7.4	4.1	14.1	4.9	2.4	5.6	0.8	0.2

고리 원자력 발전소의 경우, 1~4호기 가동시 상층에서 수온 1.0℃ 이상의 상승 범위는 발전소 배출구를 기준으로 했을 때 연간 북동으로 3.5 km, 남서로 2.8 km 정도로 추정되었다(표 2-11). 향후 5~6호기 추가 가동시의 상층에서 수온 1.0℃ 이상의 상승 범위는 발전소 배출구를 기준으로 했을 때 연간 북동쪽으로 5.4 km, 남동으로 3.1 km 정도로 나타났다(표 2-12).

표 2-11. 고리 원자력 발전소 4개호기 가동시 최대 온배수확산 거리

(단위: km)

계절	방향	수심 0m			수심 5m		
		1℃	2℃	3℃	1℃	2℃	3℃
봄	북동	3.5	0.3	0.1	0.3	~	~
	남	2.4	1.1	0.8	1.3	0.4	~
	남서	2.7	1.2	0.6	2.0	~	~
여름	북동	2.6	0.2	0.1	~	~	~
	남	2.3	1.0	0.7	0.9	0.3	~
	남서	2.5	1.1	0.6	1.3	~	~
가을	북동	2.9	0.3	~	~	~	~
	남	2.2	1.0	0.7	1.1	0.3	~
	남서	2.6	1.1	0.6	1.7	~	~
겨울	북동	3.3	0.3	~	0.2	~	~
	남	2.4	1.1	0.8	1.2	0.4	~
	남서	2.8	1.2	0.6	2.2	~	~
연간	북동	3.5	0.3	0.1	0.3	~	~
	남	2.5	1.2	0.8	1.3	0.4	~
	남서	2.8	1.3	0.7	2.2	~	~

영광원자력발전소에 대한 온배수 확산 범위 추정은 영광 원자력발전소 주변 해양환경조사 보고서(한국전력공사 1996b)를 기준으로 정리하였다. 서해에는 조류가 강하기 때문에 온배수 확산 방향에 영향을 준다. 영광 지역의 조류 방향은 고조시

표 2-12. 고리 1~4호기 및 신고리 1, 2호기 추가 가동시 최대 온배수확산 거리

(단위: km)

계절	방향	수심 0m			수심 5m		
		1℃	2℃	3℃	1℃	2℃	3℃
봄	북동	5.2(3.0)	3.0(0.9)	2.5(0.3)	3.0(0.8)	2.4(0.3)	2.2(~)
	남	2.8	1.2	0.8	1.6	0.4	
	남서	3.1	1.3	0.7	2.6	0.1	
여름	북동	4.8(2.6)	2.9(0.7)	2.4(0.3)	2.9(0.8)	2.4(0.3)	2.2(~)
	남	2.4	1.0	0.7	1.2	0.3	
	남서	2.7	1.2	0.6	1.8	~	
가을	북동	5.0(2.8)	3.0(0.8)	2.5(0.3)	2.9(0.8)	2.4(0.2)	2.2
	남	2.5	1.1	0.8	1.3	0.4	
	남서	2.9	1.2	0.7	2.3	~	
겨울	북동	5.4(3.2)	3.0(0.8)	2.4(0.3)	3.0(0.9)	2.4(0.2)	2.2
	남	2.9	1.1	0.8	1.7	0.4	
	남서	3.0	1.4	0.7	2.8	0.1	
연간	북동	5.4(3.2)	3.0(0.9)	2.5(0.3)	3.0(0.9)	2.4(0.3)	2.2
	남	3.0	1.2	0.8	1.7	0.4	
	남서	3.1	1.4	0.7	2.8	0.1	

에서는 북쪽으로 향하고 저조시에 남쪽 방향으로 연안을 따라 확산된다. 표 2-13은 대조기 30일후 1~4호기 가동으로 인한 상층의 온배수 확산 수치계산 결과이다.

1~4호기 가동시 상층에서 온배수의 최대 확산은 하계에 일어나며, 이 때 상층에서 수온 1.0℃이상의 상승 범위는 발전소 배출구를 기준으로 할 때 고조시 북으로 11.4 km, 저조시 남으로 6.9 km 정도로 추정되었다.

대조기 온배수 확산 수치계산 결과에 의하면, 전 계절에 걸쳐 온배수 확산은 남으로 확산되는 것보다는 북으로 확산되는 경향이 훨씬 강하게 나타났다. 이와 같은 결과가 일어난 원인은 해수유동이 북향류가 남향류보다 강하기 때문인 것으로 생각된다. 소조기 온배수 확산 수치계산 결과에 의하면 대조기와 유사하게 전 계절에

표 2-13. 영광원자력 발전소 표층 최대 온배수확산 거리

(단위: km)

계절	방향	대조기		소조기	
		1℃	2℃	1℃	2℃
봄	고조시	북 10.0	북 5.5	북 8.9	북 4.1
	저조시	남 6.1	남 3.4	남 5.1	남 2.8
여름	고조시	북 11.4	북 5.8	북 8.9	북 4.4
	저조시	남 6.0	남 3.6	남 5.3	남 2.9
가을	고조시	북 9.3	북 5.1	북 8.1	북 3.8
	저조시	남 5.4	남 3.2	남 4.7	남 2.7
겨울	고조시	북 8.6	북 4.8	북 7.5	북 3.8
	저조시	남 5.2	남 3.2	남 4.6	남 2.7

걸쳐 온배수 확산은 남으로 확산되는 것보다 북으로 확산되는 경향이 훨씬 강하게 나타났다. 또한 대조기와 온배수 확산 범위를 비교했을 때 확산범위는 조시에 따라 차이는 있지만, 대체적으로 대조기보다 약 10~20% 정도 좁게 나타났다.

추가로 5~6호기 가동시에도 온배수 최대 확산은 하계에 일어나며, 이 때 상층에서 수온 1.0℃ 이상의 상승 범위는 고조시 북으로 13.7 km, 저조시 남으로 8.3 km 로써 남북방향으로 확대될 것으로 예측된다.

2). 온배수 피해보상 사례

표층배수 방식은 해수면과 동일한 높이로 온배수를 배출하는 방식이다. 배출되는 온배수는 높은 온도로 자연해수보다 밀도가 낮기 때문에 표층에 떠서 조류의 흐름에 따라 흐른다. 배출구에서의 유속으로 온배수는 일정한 거리까지 직진하지만 조석류를 따라 점차 연안 쪽으로 만곡 되어 흐른다. 점차 확산되면 수온이 감소하지만 중앙부로 갈수록 외부해수와 희석률이 감소하여 일정범위의 온도상승 영역 즉, 온배수확산구역을 형성된다(한국전력공사 전력연구원 1995).

온배수확산구역은 주변해역과의 수온평형이 깨진 상태이며 해당 범위 내에서 필

연적으로 해양생태계 변화를 동반한다. 냉수성 종들과 협온성 종들은 높아진 주변 수온에 적응하지 못하고 점차 도태된다. 온배수 배출로 도태된 해양생물이 수산업적으로 중요한 종이라면 바로 수산업 피해로 이어지며, 수산업적으로 중요하지 않은 경우라도 2차적으로 수산업 종에 영향을 줄 수도 있다. 이에 더하여 변경된 수온분포는 어류의 이동을 제한하여 채포어업에 영향을 미치기도 한다.

온배수에 의한 수산업 피해는 바로 온배수 배출 해역을 삶의 토대로 하는 지역 어민의 생계와 직결되는 중요한 문제로, 우리나라에서 처음으로 대단위 발전소가 해안가에 세워진 1970년대 초부터 지금까지 주요 온배수 배출업인 발전회사와 어민간의 분쟁이 끊이지 않고 있다. 온배수 문제의 대표적인 분쟁 사례 중 하나는 1996년 영광군이 영광원전 5, 6호기 건설 허가를 취소한 것이며, 지역주민은 해양 동, 식물의 평가대상 범위를 온배수로 인한 수온의 0.5 °C 상승범위까지로 확대하여 줄 것을 요구하기도 하였다. 현재의 지역주민과 발전회사 간의 갈등과 불신은 모두 온배수에 의한 수산업 피해의 산물이며, 본 연구과제가 표방하고 주제인 갈등조정 - 신뢰구축 - 상호부조 또한 수산업 피해에 대한 지역 어민들의 불만을 해소하기 위한 것이라 해도 과언이 아니다.

온배수에 의한 수산업 피해보상은 1970년대 초부터 시작되었지만, 비교적 체계적인 피해조사를 토대로 한 피해보상은 1980년부터 시작되었다. 본 보고서에는 1980년부터 지금까지 온배수 배출업체가 지역어민들에게 지불한 피해보상액을 중심으로 기술하기로 한다.

1980년 이후 2005년까지 각 발전회사에서 지불한 피해보상액은 약 3,230억원으로 원자력 부분이 약 1771억원, 화력부분이 약 1,459억원이었다. 원자력부분에서는 영광원자력이 1,681.3억원으로 가장 많은 피해보상액을 지불하였다(표 2-14). 지불 대상은 온배수 확산구역 내에서의 어업권 소멸에 따른 보상이 대부분을 차지하였다. 그 다음은 동해안에 위치한 울진원자력과 고리원자력이 각각 35.3억원 및 34.6억원이었다. 한편, 월성원전의 경우 현재 수산업 피해조사가 진행 중이다. 이와 별도로 지역주민의 어업활동을 지원하기 위하여 발전회사로부터 영광원전 지역어민에게 320억원 및 울진원전 지역어민에게 89.1억원이 5년 거치 5년 상환 조건으로 융자되었다(표 2-15).

화력부분에서는 최근 건설된 하동화력이 572억원의 보상액을 지불하였으며, 그 다음은 삼천포화력 544.63억원, 보령화력 318.7억원, 태안화력 40억의 순이었다(표 2-16). 피해보상액이 미미한 서천화력과 제주화력은 규모가 작아 온배수 배출량이 적었기 때문이며, 당진화력의 경우 현재 수산업 피해보상 협의가 진행 중이다.

표 2-14. 원자력발전소 냉각계통 가동에 의한 수산업 피해보상 현황

단위: 억원

배출단위	보상시기	보상사유	보상액
고리원자력	'80. 6	미역양식장 피해	4.6
	'90. 3	미역양식장 피해	15.0
	'92. 11	미역양식장, 종묘장, 1종공동어장 피해	34.6
소계			54.2
영광원자력	'95. 10	4개호기 어업피해(예측)	391.0
	'99. 1	4개호기 어업피해(실측)	246.8
	'03. 8	6개호기 어성어업 지원차액	33.0
	'04. 11	4개호기 맨손어업 피해(고창지역)	6.5
	'04. 12	광역해양조사 중간보고 후 피해보상	225.3
	'05. 12	구획어업 피해보상(영광, 고창)	239.8
	'06. 1	광역해양조사 후 피해보상(고창)	5,38.9
소계			1,681.3
울진원자력	'03. 5	4개호기 어업피해	29.4
	'04. 6	육상양식장 피해	5.9
소계			35.3
계			1,770.8

* 월성 : 피해보상 사례 없으나, 현재 수산업피해 관련 용역 수행 중

동해안에 위치한 두 원자력 발전소의 피해보상액이 서해안에 위치한 영광원자력 발전소보다 피해보상액이 적은 이유는 영광원전이 위치한 지역적 여건에 기인한다. 영광원전이 위치한 영광군 해역은 자연해수의 연교차와 일교차가 커 상대적으로 온배수에 의한 수온변화 영향이 크게 나타나는데 더하여, 빠른 조석류를 타고 온배수가 연안을 따라 비교적 먼 곳까지 도달한다. 또한 동 지역은 김 양식을 비롯한 해면양식어업과 정치망을 비롯한 해면어업이 발달한 수산업적으로 중요한 해역이다. 반면, 동해안의 경우 자연해수의 수온이 안정되어 있으며, 조석류가 비교적 강하여

표 2-15. 원자력발전소 지역어민에 대한 용자금 현황

단위: 억원

배출단위	용자시기	용자사유	용자액
영광원자력	'96. 8	4개호기 어선어업 지원	20.0
	'02. 4	6개호기 어선어업 지원	70.0
	'02. 12	5, 6호기 건설 및 가동에 따른 어민 지원	230.0
소계			320.0
울진원자력	'03. 5	4개호기 어업피해 지원	3.1
	'03. 7	4개호기 어선어업 지원금 용자	86.0
소계			89.1
계			409.1

온배수 확산구역이 서해안에 비하여 좁은 범위로 나타난다. 또한, 온배수 확산구역 내에서의 수산업 활동은 미역과 다시마를 대상으로 하는 해조류 양식과 소수의 정지망 어업이 대부분으로 서해안과 남해안에 비하여 생산량이 다소 적기 때문이다.

한편, 기존의 임해공업지역이나 항만 내에 위치한 온배수 배출업체의 경우 피해 보상 사례가 없는 것은 온배수가 해양생태계에 미치는 영향이 없었기 때문이 아니라, 온배수가 배출되는 해역이 임해공단으로 인하여 수산업적 가치를 상실하여 더 이상의 수산활동이 없었기 때문이다.

3). 온배수 배출로 인한 수산활동 제한 해역

발전소 온배수 배출로 인한 수산 활동 제한 구역을 산정하는데 있어 해당 발전소가 수산 활동이 금지되어 있는 항만에 위치하거나, 소량의 온배수만을 배출하여 해양환경에 심각한 영향을 야기하지 않는 발전소를 제외된다. 신인천복합화력발전소, 서인천화력발전소, 인천화력발전소, 한국종합에너지 인천복합화력발전소, 평택화력발전소, LG에너지 부곡복합화력발전소, 호남화력발전소, 여수화력발전소, 광양제철발전소, 부산복합화력발전소, 울산화력발전소, 영남화력발전소, 동해펄프발전소, 포항제철발전소 및 동해화력의 온배수 확산범위는 공업단지 및 항만구역에 해당되어

표 2-16. 화력발전소 냉각계통 가동에 의한 수산업 피해보상 현황

단위: 억원

배출단위	보상시기	보상사유	보상액	비고
삼천포화력	'96. 5~12	건설, 가동에 따른 수산업 피해	260.29	
	'02. 2	“	284.34	
소계			544.63	
하동화력		1~4호기 건설, 가동에 피해	214.0	1,416건
		5, 6호기 “	358.0	1,759건
소계			572.0	
태안화력	'95. 11	건설, 가동에 따른 수산업 피해	40.0	43건
보령화력	'89. 4	1, 2호기 오천만 해태 피해	4.9	
	'95. 6	3~6호기 어업 피해	154.0	
	'01. 1	1~6호기 어업 피해	78.6	
	'06. 1	복합화력 어업 피해	41.2	
소계			318.7	
서천화력	'87. 11	어업 피해	15.2	
제주화력	'03. 8	2, 3호기 어업 피해	2.5	
당진화력	'05. 7	1,4호기 어업 피해(해태양식)	5.7	국화도, 난지도
계			1,458.73	

수산 활동이 불가능한 해역이다. 남제주화력, 제주화력, 영동화력, 서천화력 등 소형 발전소는 온배수 확산범위가 배수구 전방 수백m 이내에 국한된다. 이들 발전소를 제외할 경우 한다면 한국수력원자력(주) 소속의 4개 원자력발전소를 포함하여 영흥 화력발전소, 하동화력발전소, 삼천포화력발전소, 태안화력발전소, 당진화력발전소 및 보령화력발전소가 대상이 된다.

관류냉각법으로 온배수를 해양에 배출할 경우 흐름이 없는 냉각지와 달리 조석 및 지형적 특성에 따른 해수유동이 커 해양에 배출된 온배수가 비교적 빠른 시간 내에 열을 상실하여 자연수온에 도달하며, 이에 필요한 냉각면적이 상대적으로 줄

어든다. 동해안과 같이 개방형 해안에 위치한 발전소는 조석류 영향 보다는 연안의 항류에 영향을 많이 받으며, 자연수온이 낮기 때문에 온배수 확산구역은 배출구를 중심으로 비교적 대칭형으로 좁은 범위가 되며, 남해안과 서해안은 강한 조석류와 굴곡이 많은 해안선과 섬의 영향으로 온배수확산구역 변형이 심하다(그림 2-16). 특히, 서해안의 경우 개방된 해안이나 수로가 형성된 곳에서는 빠른 유속에 의하여 온배수가 20km 까지 도달하는 경우도 있다.

우리나라의 경우 통상적으로 온배수 ΔT 1 $^{\circ}C$ 범위를 수산업 피해구역으로 인식하고 있으며, 이 범위 안에 위치하는 양식어업, 정치어업 및 체포어업 등 모든 어업권에 대하여 소멸보상을 실시하고 있다. 최근 ΔT 1 $^{\circ}C$ 미만의 경우에도 수산업 피해가 발생한다는 민원이 제기되기도 한다. 이 보고서에서는 ΔT 1 $^{\circ}C$ 이내의 수면을 잠정적으로 수산활동이 부분적으로 제한되는 해면으로 간주하였으며 약 23,180ha의 연안 수면이 이에 해당하였다(표 2-17).

표 2-17. 발전소 온배수에 의한 수산활동 추정치 제한면적

발전형태	발전소명	시설용량 (MW)	온배수량 (억톤/년)	수산활동 제한구역 (ha)	비고	확산모델
원자력	영광원자력발전소	6,100	74.6	10,500	개방형	한전 1995, 1998
	고리원자력발전소	3,137	44.6	750	개방형	한수원 2002
	월성원자력발전소	2,824	47.2	960	개방형	한수원 2002
	울진원자력발전소	6,230	60.8	1,790	개방형	한수원 2002
기력	당진화력발전소	2,000	14.7	2,170	개방형	한해연 1994
	태안화력발전소	3,000	25.3	1,050	개방형	공주대 2000
	보령화력발전소	4,800	40.0	1,220	반폐쇄	한해연 2004
	하동화력발전소	3,672	24.3	2,510	내만형	여수대 2002
	삼천포화력발전소	3,240	27.2	380	내만형	남동발전 2000
계		35,003	358.7	21,330		

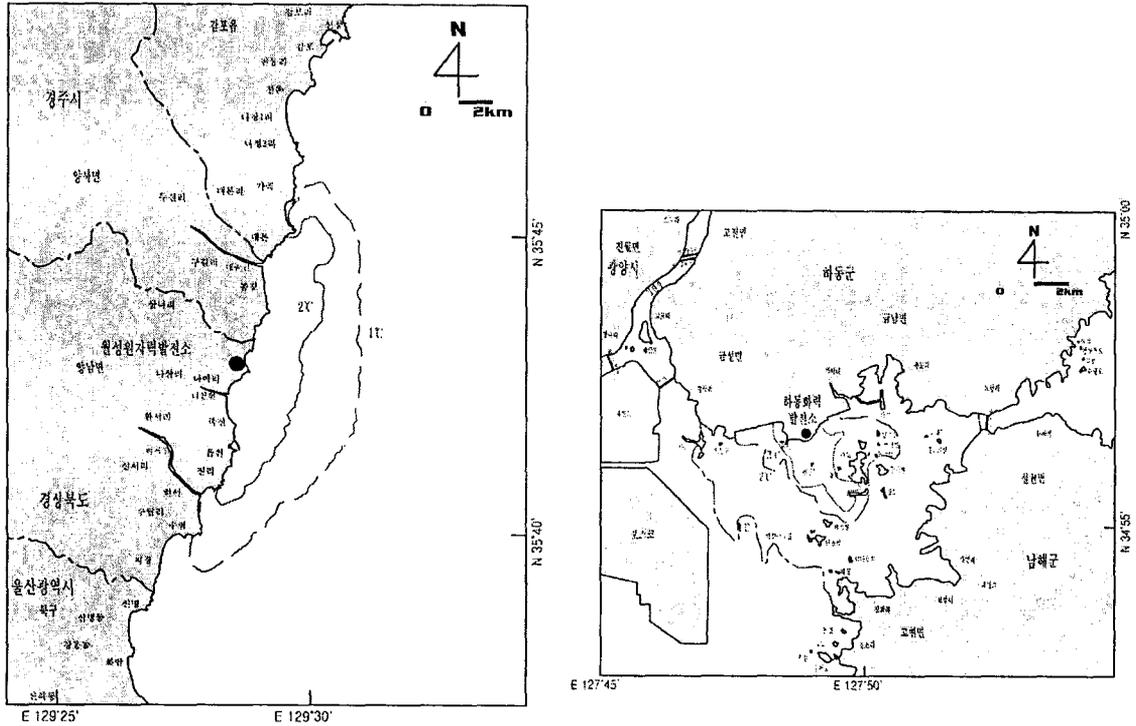


그림 2-16. 월성원자력발전소(좌) 및 하동화력발전소의 온배수확산구역(한수원 2002, 여수대 2004).

가). 서해안

발전소 온배수에 의한 수산 활동 제한 구역은 서해안의 편중되어 있다. 영흥화력 발전소, 당진화력발전소 및 태안화력발전소는 개방형 해안에 건설된 발전소로 배출되는 온배수는 강한 조석류를 타고 멀리까지 이동하여 온배수확산구역이 넓다. 한편, 영흥화력발전소의 경우 개방형 지형으로 영흥도 서남단에 위치한다. 온배수는 조석류를 따라 흐르지만, 조석류가 그다지 크지 않기 때문에 $\Delta T 1^{\circ}C$ 기준 온배수확산구역은 남·북으로 각각 약 0.5km에 불과하다(남동발전 2004 미발표자료). 이 범위 안에는 해당하는 수면적은 수 ha에 불과하고 어업권 없어 현재까지 큰 문제는 없지만 앞으로 3, 4호기가 완공되어 가동에 들어갈 경우에는 온배수확산에 따른 수산활동 제한구역에 대한 검토가 필요하리라 본다.

당진화력발전소는 대난지도, 소난지도, 국화도 등 주변의 섬들로 인하여 불규칙한

온배수확산구역을 가지며 $\Delta T 1^\circ\text{C}$ 범위는 배수구 기준 동남쪽으로 약 6km 북쪽으로 3km 그리고 동남쪽으로 약 8km에 이른다(한해연 1994). 온배수확산으로 전체 또는 부분적으로 수산활동이 제한되는 면적은 타 발전소에 비하여 상대적으로 넓은 약 2,170ha로 추정된다.

태안화력발전소는 개방된 해안에 위치하나 지형적 영향으로 조석류는 그다지 빠르지 않다. 따라서 상대적으로 작은 온배수확산구역을 가지며 $\Delta T 1^\circ\text{C}$ 범위는 배수구를 기준으로 북동쪽 및 남서쪽으로 최대 5km(공주대, 2002)로 약 1,050ha의 확산 범위에서 수산활동이 부분적으로 제한된다.

보령화력발전소는 반폐쇄형 지형에 위치한다. 북으로는 천수만이 길게 발달해 있지만 안마군도로 부분적으로 차단되고, 동쪽과 동남으로는 원산도를 비롯한 효자도 등으로 둘러싸여 있다. 따라서 조석류의 흐름이 복잡하여 온배수확산구역도 복잡한 양상을 띠고 있다. $\Delta T 1^\circ\text{C}$ 기준 온배수확산범위는 효자도 남측 해안에서 학성리에 이르는 범위로 약 1,220ha의 해역에서 수산활동이 부분적으로 제한된다(한해연 2004).

영광원자력발전소는 개방된 해역에 위치하는 우리나라 최대의 발전단지이다. 이 해역의 조석류는 비교적 강하여 온배수를 멀리까지 확산시킨다. $\Delta T 1^\circ\text{C}$ 범위는 배출구를 기준으로 북쪽으로 13.2km 떨어진 격포리까지 확산되며 남으로도 12km 이상 확산되며(한수원 2003, 해양연구원 2005), 약 10,500ha의 해면에서 수산활동이 부분적으로 제한된다.

나). 남해안

남해안에는 하동화력발전소와 삼천포화력발전소가 해당된다. 하동화력발전소는 내만형 지형을 가지고 있다. 동쪽으로는 남해와 하동군 사이의 노량수로로 열리며, 남서쪽으로 광양제철소와 남해 서안 사이의 여수해협으로 열린다. 그러나 발전소 전방에 대도, 넓은 섬, 행기섬, 남초섬 등이 산재해 있어 해수유동 상황이 매우 복잡하다. 하동화력발전소 1~6호기 가동조건시 $\Delta T 1^\circ\text{C}$ 온배수확산구역은 여수해협 북단의 바깥남초섬 부근을 벗어나지 못하며 약 2,510ha에서 수산활동이 부분적으로 제한 받는다(여수대 2002).

삼천포화력발전소 역시 내만형 지형에 위치한다. 서쪽은 좁은 수로에 이어 신수도로 막혀 있고 남쪽은 비교적 열려 있다. 조류의 영향으로 온배수는 주로 신수도 북단을 향해 흐른다. 최대 확산거리 및 확산 폭은 각각 2.2km 및 1.7km로 $\Delta T 1^\circ\text{C}$

기준 온배수확산구역이 신수도 복단과 씨앗섬을 연결하는 선을 벗어나는 경우는 드물다(남동발전 2000 미발표 자료). 온배수확산에 의해 수산활동이 부분적으로 제한되는 해면은 약 380ha에 달한다.

다). 동해안

동해안에서는 고리원자력발전소, 월성원자력발전소 및 울진원자력발전소가 해당되며, 모두 동해로 열린 개방형 해안에 위치하고 있다.

고리원자력발전소 온배수는 동남쪽으로 바로 동해로 배출된다. 설비상의 문제로 시설용량에 비하여 발전량이 타 원자력발전소보다 작아 온배수확산구역도 협소하다. 온배수는 남동쪽으로 동해로 배출되며 $\Delta T 1^\circ\text{C}$ 기준 확산면적은 남동쪽으로 최대 3km, 남서쪽으로 2.5km 내외로(한국전력공사 전력연구원 2001a) 약 750ha의 해면에서 수산활동이 부분적으로 제한된다. 한편, 신고리 원자력발전소가 준공되어 가동에 들어갈 경우 온배수는 보다 광범위하게 퍼져 북으로는 나사리, 남으로는 월광까지 영향을 미칠 가능성이 있기 때문에 지속적인 관찰이 필요하다.

월성원자력발전소는 동해안에 남북으로 면한 해안에 위치한다. 1~4호기 가동조건에서 온배수는 배수구를 중심으로 $\Delta T 1^\circ\text{C}$ 를 기준으로 할 경우 약 5~6km 확산되며 폭은 약 2km 내외이다. 이 범위에 속하는 약 960ha의 해면에서 수산활동이 부분적으로 제한된다(한수원 2002a). 한편 신월성원자력발전소 2개호기가 추가로 가동될 경우 온배수확산구역은 약 1730ha로 확장될 것으로 추정된다.

울진원자력발전소의 입지는 월성원자력발전소와 유사하지만 해안선이 북서방향으로 달리고 있는 점이 상이하다. $\Delta T 1^\circ\text{C}$ 를 기준으로 한 온배수확산 거리는 배수구에서 북서쪽으로 약 3.5km, 남동쪽으로 약 5.2km에 달한다(한국전력공사 1996a). 남동쪽으로 확산범위가 세장되는 것은 항류의 영향을 많이 받기 때문이다. 약 3,640ha의 해면에서 수산활동이 부분적으로 제한된다.

제 3 장. 온배수 배출기준

제 1 절. 국내·외 온배수 관리제도

1. 선진국의 온배수 관리제도

최근 온배수와 관련된 선진 각국의 현황을 보면, 온배수를 오염물질로 규정하여 관련 규제가 점차 강화되는 것을 알 수 있다. 온배수를 오염물질로 규정한 것은 유엔해양법협약(United Nations Convention on the Law of the Sea, 1994. 11. 16)이 최초이다. 유엔해양법협약은 제1장 서언(Part I. Introduction) 제1항 용어 사용과 범위(Article 1. Use of terms and scope) (4)에서 “해양환경의 오염이라 함은 직접적 혹은 간접적으로 인간에 의하여 하구를 포함한 해양환경으로 유입되는 물질 또는 에너지로서 생물자원 및 해양생물에 해를거나, 인류의 건강에 위험하거나, 어업과 합법적인 해양을 포함하는 해양활동을 저해하거나, 해수를 이용함에 있어 그 질과 쾌적함을 저하시키는 것과 같이 악영향을 유발하거나 유발할 가능성이 있는 경우를 말한다(“pollution of the marine environment” means the introduction by man, directly or indirectly, of substances or energy into the marine environment, including estuaries, which results or is likely to result in such deleterious effects as harm to living resources and marine life, hazards to human health, hindrance to marine activities, including fishing and other legitimate uses of the sea, impairment of quality for use of sea water and reduction of amenities)라고 정의하고 있다.

캐나다는 연방정부의 환경보호법(Environmental Protection Act, 2002. 5. 22) 정의에서 오염을 일으키는 물질은 ① 환경으로 분산될 가능성이 있는 것 [(i) matter that may become dispersed in the environment] , ② 자연환경에서 제 1항에 명시한 것으로 전환될 수 있는 것 [(ii) matter that is capable of becoming transformed in the environment into matter referred to in subparagraph (i)] , ③ 열, 방사능 또는 다른 형태의 에너지 [(iii) heat, radiation or another form of energy] 로 정의하고 있다.

미국은 연방수질오염관리법(Federal Water Pollution Control Act, October 18, 1996 개정) 제 316항에 열물질 배출(Sec. 316. Thermal discharge)에 대한 별도의

조항에 기초한 강력한 관리규정을 가지고 있으며, 이에 근거한 주별 독자 관리규정이 있다. 뉴욕 주는 하구역에 위치한 발전소들에 대하여 2003년부터 냉각방향을 관류냉각방식에서 폐쇄순환방식으로 전환하는 것을 조건으로 재허가서를 발급하고 있으며(Clean Air Task Force 2004), 워싱턴 주(WSDE 2003)와 오레곤 주(ODEQ 2004)는 연어의 회유로 보호를 위하여 강력한 열오염 규제를 실시하고 있다.

또한, 대서양 동북 연안에 위치한 뉴욕 주, 코네티컷 주, 델라웨어 주, 매사추세츠 주, 뉴저지 주 및 로드아일랜드 주는 합동으로 EPA가 제정한 냉각수 취수 구조물 관련 규제치가(EPA 2001, 2004) 연방정부의 CWA에 위배된다 하여 이를 연방법원에 제소하였다. 즉, CWA에는 냉각수 취수 구조물의 위치선정, 설계, 건설에 있어 환경영향을 최소화하기 위하여 현재의 시점에서 적용 '가능한 최고의 기술'을 사용하도록 정하고 있으나, EPA의 규정에서는 냉각계통 구조물에 대한 충돌 사망 및 연행률의 허용치를 각각 80% 및 60%로 규정되어 있다. 소송에 참여한 주정부는 환경영향 및 해양생물에 대한 피해를 최소화하기 위한 최고의 기술을 구조물 충돌 사망률과 연행률을 각각 95% 이상 줄일 수 있는 폐쇄순환방식(냉각탑방식)으로 인정하기 때문에, 충돌 사망 및 연행률의 허용치를 각각 80% 및 60%로 규정한 것은 CWA의 'BTA(가능한 최고의 기술)' 조항에 위배된다는 것이다.

이 소송에 대한 미국 상소법원은 EPA가 냉각계통 충돌 및 연행 저감을 위한 규정을 법률적으로 구체적으로 개정하라는 다음과 같은 취지의 판결을 하였다(US Court of Appeals 2007). EPA의 BTA 설정한 조항은 그 결정에 대한 유의성 있는 설명이 있을 수 있거나 또는 허용 가능한 사고에 근거한 새로운 결정이라 할 수 있기에 이를 (하급법원으로) 반송한다. 지역별-특별원가-원가 변화와 TIOP(Technology Installation and Operation Plan)의 조항들 중 원가-원가변화와 부속조항(d)(2) 항목이 이 부적절하게 고지되었으며 두 가지 모두 반송하는 BTA 결정에 근거하고 있기 때문에 이를 반송한다. EPA 규정은 (1) 악영향을 최대한 저감시킬 수 있는 설비의 요구 없이 시행표준이 설정되었고, (2) 자원회복 방법을 통한 유연성을 묵인하고 있으며, (3) 법규 아래서는 허용할 수 없는 지역별-세부원가-이익 변화를 인정하고 있듯이 허용할 수 없는 법적 해석에 근거하고 있기에 이를 반송한다. 독립된 공급자 조항에 대한 언급과 고지를 반송한다. EPA에게 제1단계 법에 공표된 "새로운 시설"에 대한 합당한 정의를 새로 내리거나 또는 고지와 언급에 관한 법률 제정 과제를 통하여 이를 개정하기를 지시 한다. 최종적으로 청원자가 제기한 소위 "Great Lakes"라는 정의에 대하여 판결권이 없기에 이를 기각하며, 기록상의 어느 문건에 집착하는 일과 다른 문건으로 기록을 보충하려는 행위를 거부한다.

일본은 수질오탁방지법(水質汚濁防止法 2005) 제2장 배출수에 관한 규제 제3조 1항 배수기준은 배출수의 오염상태(열에 의한 물질을 포함. 이하 동일)에 관하여 환경성령에 정한다[第3 條 1. 排水基準は、排水の汚染状態(熱によるものを含む。以下同じ。)について環境省令で定める]에 근거 관리한다. 본 법률개정이 있었던 2005년 10월 전까지는 규제에 관한 시행령이 총리부령으로 규정하고 있으나 금번 개정에 따라 환경성령으로 정하기로 바뀐 것이 개정의 내용이다. 아직 세부 규제와 관련된 시행령은 공포되지 않은 상태이며, 각 발전소가 위치한 소속 지방자치체의 규정에 의하여 수온 상승 폭을 정하고 있다. 발전소 온배수의 ΔT 는 1980년까지 건설된 발전소는 9℃, 그 이후 건설된 발전소는 7℃로 규정하고 있다.

중국의 경우 중화인민공화국표준 해수수질표준(中華人民共和國國家標準 1998)에 인위적 수온상승은 어느 시간, 어느 지점에서나 1~2급수는 여름철 1℃, 기타 계절 2℃로 정하고 있으며, 3~4급수는 전년에 걸쳐 4℃로 규정하고 있다(第一類, 第二類: 人爲造成的海水溫昇夏季不超過當時當地1℃, 其他季節不超過2℃, 第三類, 第四類: 人爲造成的海水溫昇不超過當時當地4℃).

우리나라에서는 2007년 1월 22일 법령 제8560호로 해양환경관리법이 공포되었다. 해양환경관리법 제2조(정의) 2에 “해양오염”이라 함은 “해양에 유입되거나 해양에서 발생하는 물질 또는 에너지로 인하여 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태를 말한다.” 로 명기하여 우리나라에서 최초로 온배수의 해양배출이 해양오염의 한 형태인 것을 법률로 규정하였다. 이는 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 수립에 있어 법률적 기초를 제공하고 있는 것으로 해양생태계 보전을 위한 온배수관리방안은 해양환경관리법의 테두리 안에서 마련해야 할 것이다.

가. 미국

미국의 온배수 관리방법은 각 주마다 상이하지만, 모두 소위 Clean Water Act's (CWA)로 불리우는 연방정부 수질오염관리법(Federal Water Pollution Control Act, 2002. 11. 27 개정)의 Section 402 "National Pollutant Discharge Elimination System"에 근거를 두고 있다. 본 조항의 주목적은 현존하는 기술력에 근거하여 규제 대상수역의 효율적 이용을 유도하는 것으로, 배출구가 위치한 지점에서의 규제 보다는 배출된 물질이 희석되어 가는 확산구역에서의 규제를 중요시 하고 있다 (EPA 2002). 기술력에 근거한 규제에 더하여 모든 오염물 배출 허가를 받은 자들은 연방정부의 규제보다 더 강력한 주정부의 수질표준을 지켜야 한다(표 3-1).

표 3-1. 미국의 주별 온배수 수온 규제치

주 명	개정 시기	ΔT 상한	최대수온	비고
워싱턴	1997	AA급: 13.0℃ A급: 16.0℃	AA급: 13℃ A급: 16℃	AA급: 상승속도 $t=8/(T-4)$ A급:상승속도 $t=12/(T-2)$ 최대수온 0.3℃ 이상 상승금지
오레곤	2004	수산생물에 영향 없다는 것을 증명 못할 경우 < 0.3℃		
캘리포니아	1971	11℃	30℃	혼합구역 0.5℃ 등온선 표시, 배출구 1000feet 이내 < 2.2℃
메인	1996	6-9월: 0.8℃ 10-5월 : 4℃	29.4℃	
마사추세츠	2001	1급: 0.8℃ 2급: 2.2℃	29.4℃	평균 일간최고수온 <26.7℃
로드아일랜드	2000	6-9월: 0.9℃ 10-5월: 2.2℃	28.3℃	
콘넥티컷	2002	7-9월:2.2℃	28℃	수산생물에 영향 없다는 것을 증명 못할 경우 0.8℃
뉴욕주	1991	7-9월: 0.8℃ 10-6월: 2.2℃	32.2℃	현존 최고의 기술 사용 내만 온배수방출 불허
뉴저지	2004	6-8월:0.8℃ 9-5월:2.2℃	26.7℃	해안 1,500feet 내 배출금지
델라웨어	2004	6-8월:0.8℃ 9-5월:2.2℃	29.4℃	자연수온 >29.4℃ 배출금지
메릴랜드	2002	어로구역 <32.2℃, 연어류 서식지 <20℃		
버지니아	2004	3℃	32℃	상승속도< 2℃/시간
노스캐롤리나	2004	6-8월: 0.8℃ 9-5월: 2.2℃	32℃	
사우스캐롤리나	1999	여름 0.8℃ 기타: 2.2℃	32.2℃	특급수질해역: < 2.7℃
조지아	2004	2.7℃	32℃	

미국의 경우 온배수는 CWA에 의거 오염물로 규정되어 있지만, 불필요한 규제비용 부담을 없애기 위한 법률 조항이 규제방안에 포함되어 있다(CWA Sec. 316a). 즉, 온배수 배출로 인한 영향을 평가하여, 온배수 배출 규제치가 해당해역에 서식하는 패류, 어류 및 기타 해양생물 보호를 위한 제한치보다 불필요하게 높다는 것이 인정된다면, 해당 관리기관이나 주정부가 해당 규제치를 낮추어 줄 수 있도록 하고 있다. 이 조항은 발전소와 같이 온배수를 주 오염물로 배출하는 기관에 중요한 의미를 갖는다고 부연하고 있다.

연안의 모든 주들이 배출된 온배수가 자연해수에 적절하게 희석될 수 있도록 혼합구역(mixing zone)을 허용하고 있다. 혼합구역은 우리나라에서 온배수확산구역과 기능은 같다고 하겠지만, 온배수확산구역은 온배수에 의하여 수온이 상승하는 구역을 특정 수온 기준으로 구획한 해역인 반면, 혼합구역은 온배수 관리제도의 한 부분으로 온배수 배출자가 사전 환경영향 평가를 통하여 관계당국에 요청하여 허가받은 해역이다. 혼합구역 경계를 넘어 온배수에 기인하여 수온이 특정 온도 이상으로 상승하거나 허용된 ΔT 를 넘어 온배수를 배출하는 것은 법으로 엄격하게 금지되어 있다.

대부분의 주에서 여름철 고수온기의 ΔT 는 0.8°C 를 기준으로 하고 있으며, 그 외의 계절에는 2.2°C 를 적용하는 경우가 많다. 이 보고서에서는 우리나라와 해양의 수온환경이 유사한 태평양 북부 연안과 대서양 북부 연안에 위치한 주들의 온배수 관리방안에 대하여 중점적으로 기술하였다.

1). 태평양 연안

가). 알래스카주(Alaska 2000)

주정부의 수질법(State Water Law)에 근거하여 다른 배출물과 함께 일괄적으로 규제하고 있으며 동 법 18AAC 70-032의 혼합구역 요구사항은 다음과 같다. 혼합구역 내에서는 일반 수질표준을 초과하여 배출할 수는 있으나 혼합구역의 모든 경계선의 외역에서는 수질표준에 부합해야 한다. 만일 어떤 물질의 배출이 먹이사슬을 통하여 농축되거나, 저질에 축적되거나, 장기적으로 존재하여 발암 및 돌연변이를 일으킬 가능성이 있는 등 환경학적으로 또는 건강학적으로 심각한 영향을 미칠 잠재력이 있을 경우 혼합지역을 허가하지 않으며, 2차적으로 환경과 건강에 영향을 미칠 가능성이 있을 경우에도 이를 허가하지 않는다. 혼합구역 신청자는 주정부가

인정할 수 있는 방법으로 환경표준치를 초과하는 배출물을 처리할 수 있다는 것을 증명하여야 한다. 혼합구역은 독자적으로 혹은 다른 혼합구역과 연관 되어서도 수산생물의 회유경로를 차단해서는 안 된다. 혼합구역의 크기는 다음 사항을 고려하여 결정한다.

- 해당수역의 물리학적, 생물학적 및 화학적 특성
- 배출물이 해당수역에 미치는 현재의 영향 및 장차 수역의 이용에 미칠 영향
- 해당수역의 혼합특성
- 배출물의 배출속도 및 성분을 포함한 특성
- 혼합구역의 외곽선의 합은 하구역, 내만, 협곡, 수로 또는 최저조위시 측정 한 해역의 종단면의 길이 합의 10%를 초과하거나 해당수역 표면적의 10%를 초과할 수 없다.

알래스카주의 온배수 배출기준 수온(18AAC 70-20)은 다음과 같다.

- 어패류, 기타 해산생물의 성육장, 번식장, 어획장소, 양식해역에서는 주간 평균 1°C 이상의 수온상승 금지하며, 수온상승속도는 0.5°C/시간 이하이어야 하며, 일간 수온변화 유형을 변화시켜서는 안 된다.
- 해산물 처리의 경우 15°C, 공업용수는 25°C 이하로 배출해야 한다.

나). 워싱턴주(Washington 1997)

워싱턴주는 주정부 수질관리법(WAC) Chapter 173-201A "Water Quality Standards for Surface Water of the State of Washington)에 근거하여 규제하고 있다. 대부분 규제치는 연어류의 회유와 연관되어 있으며, 그 외의 규제치는 타 주에 비하여 약한 편이다. 혼합구역을 대신하는 용어로 희석구역(dilution zone)을 사용하기도 한다. 수질의 표준은 수질이 청결도에 따라 AA급, A상급, B급 및 C급의 4 단계로 나누어 관리한다. AA급은 항상 일정하게 모든 사용목적에 요구되는 수질보다 뚜렷하게 청정한 최상급의 수질이며, A급은 모든 사용목적에 부합되는 깨끗한 수질을, B급은 대부분의 사용목적에 적합한 일반적 수질을 말하며, C급은 제한된 목적에 부합하는 수질을 말한다.

혼합구역은 WAC 173-201-035(7)에 의거 다음과 같이 제한되며, 그 크기는 생태계 구성원의 급성 폐사와 생태계에 손상을 주지 않는 범위 내에서 해당 사안별로 허가한다.

- 유어, 식용 및 산업용으로 채취되는 어류와 패류의 기존생물군집에 급성 폐

사를 초래하지 않으며 기타 생태학적으로 중요 종에 대한 피해가 없을 것

- 대상물의 가치를 저하시키거나 유용성을 저해하지 않을 것

워싱턴주의 AA급 수질해역의 온배수 배출기준 수온(WAC 173-201-045)은 다음과 같다.

- 인간활동에 의한 해역의 수온상승은 13.0℃를 초과할 수 없으며, 수온의 상승폭은 모든 경우에 있어 $t=8/(T-4)$ 이하 이어야 한다. 단, t는 회석구역에서 허가되는 수온상승폭이고, T는 회석구역 외곽에서 관측된 최대수온이다.
- 만일 자연수온이 13.0℃를 초과할 경우 해당수역의 수온을 0.3℃ 이상 상승시키는 어떠한 행위도 할 수 없다.

워싱턴주의 A급 수질해역의 온배수 배출기준 수온은 다음과 같다.

- 인간활동에 의한 해역의 수온상승은 16.0℃를 초과할 수 없으며, 수온의 상승폭은 모든 경우에 있어 $t=12/(T-2)$ 이하 이어야 한다. 단, t는 회석구역에서 허가되는 수온상승폭이고, T는 회석구역 외곽에서 관측된 최대수온이다.
- 만일 자연수온이 16.0℃를 초과할 경우 해당수역의 수온을 0.3℃ 이상 상승시키는 어떠한 행위도 할 수 없다.

워싱턴주의 B급 수질해역의 온배수 배출기준 수온은 다음과 같다.

- 인간활동에 의한 해역의 수온상승은 19.0℃를 초과할 수 없으며, 수온의 상승폭은 모든 경우에 있어 $t=16/T$ 이하 이어야 한다. 단, t는 회석구역에서 허가되는 수온상승폭이고, T는 회석구역 외곽에서 관측된 최대수온이다.
- 만일 자연수온이 19.0℃를 초과할 경우 해당수역의 수온을 0.3℃ 이상 상승시키는 어떠한 행위도 할 수 없다.

워싱턴주의 C급 수질해역의 온배수 배출기준 수온은 다음과 같다.

- 인간활동에 의한 해역의 수온상승은 20.0℃를 초과할 수 없으며, 수온의 상승폭은 모든 경우에 있어 $t=20/(T+2)$ 이하 이어야 한다. 단, t는 회석구역에서 허가되는 수온상승폭이고, T는 회석구역 외곽에서 관측된 최대수온이다.
- 만일 자연수온이 19.0℃를 초과할 경우 해당수역의 수온을 0.3℃ 이상 상승시키는 어떠한 행위도 할 수 없다.

다). 오레곤주(Oregon 2004)

오레곤주는 “Oregon Administrative Rules(OAR)” Chapter 340. Division 041에 의거한 수질표준(Water Quality Standard)에 의거 관리한다. 수질표준은 연어류 자

원보호에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 기술적 및 관리적으로 최상의 방법을 사용하여 온배수에 의한 수온상승을 감소시키는 것을 주요 내용으로 하고 있다.

혼합구역은 배출물을 희석시키고 골고루 혼합할 수 있는 구역으로 정의하고 있다. 이를 위하여 오레곤주는 다음 조건에 해당하는 물질이 없을 경우에만 혼합구역을 지정하고 이에 대한 수질기준을 유보하거나 완화시킬 수 있다.

- 해양생물에게 96h-LC50 이상의 급성 독성을 일으킬 수 있는 물질
- 뚜렷한 형태가 있는 침강 물질
- 부유물, 유류, 점액질 등 악취가 나는 물질
- 곰팡이나 세균의 유해한 정도로 증가 시킬 수 있는 농도의 물질
- 혼합구역의 외곽에는 해양생물에 만성 독성을 초래할 물질이 없어야 한다.

혼합구역의 장소와 크기는 생물, 물리, 화학적 특성을 고려하여 수질, 건강 및 유용성을 저해하지 않는 범위에서 최소한의 구역으로 하고, 타 혼합구역과 중복되지 않게 한다.

오레곤주의 수온규제는 OAR 340-41-0028에 의거하고 있으며, 정확한 수온규제치를 제시하고 있는 담수의 경우와 달리 어류 및 기타 수산생물의 서식에 악영향을 초래하지 않는 범위로 개략적으로 규정하고 있다. 다만, 해양과 만에 있어 어류 및 기타 수생생물에 영향을 주지 않는다는 것이 증명되지 않을 경우 수온상승폭은 0.3°C(0.5°F) 이하로 규제하고 있다(OAR 340-41-0028(7))

라). 캘리포니아(California 1971)

캘리포니아는 아열대 해역에 해당하는 지역으로 자연수온이 높아 상대적으로 강한 온배수 규제를 실시하고 있다. 캘리포니아 중북부의 해양환경은 우리나라의 여름철 해양환경과 비교적 유사하다.

캘리포니아는 1971년 주위원회에서 제정되고 1971년과 1972년에 개정된 “연안역, 접경수역, 내만 및 하구역의 수온관리를 위한 수질관리계획(Water Quality Control Plan for Temperature in the Coastal and Interstate Waters and Enclosed Bays and Estuaries)에 의거 온배수를 관리하고 있다. 온배수를 열오염(Thermal Waste)으로 정의하고 있으며 농업을 제외한 모든 인간 활동에 의하여 온도가 상승된 액체, 고체 및 기체성 폐기물을 모두 포함하고 있다.

혼합구역은 확산구역(dispersion zone)으로 표기하기도 하며, 상황에 따라 설정한다. 수평적 구역보다는 수직적으로 온배수가 상승하면서 확산이 이루어질 수 있는

최소의 공간을 인정한다. 혼합구역은 ΔT 0.5°C (1°F) 등온선으로 온배수확산을 표시해야 하며, 새로운 발전소는 온배수가 표층까지 상승하면서 확산되도록 해안에서 떨어진 곳에서 온배수를 방류하며, 다음의 온배수 배출기준 수온을 준수해야 한다.

- 최대배출 허용 수온상승폭은 11°C (20°F) 이하이며, 혼합구역에서 허용되는 최대수온은 30°C (86°F) 이하이다.
- 배출구에서 1000feet (328m) 이내에서 한 조석주기의 50% 이상의 기간 중 수온상승폭이 2.2°C (4°F)를 초과할 수 없다.
- 만과 하구의 경우 해역면적의 25% 이상에서 수온상승폭이 0.5°C (1°F) 이하이어야 한다.
- 발전소별 허용치는 다음과 같다.

Potrero Power Plant : 최대 허용수온은 30°C (86°F)이다. 단, 부착생물 구제를 위하여 온배수를 재순환 할 경우 43.3°C (110°F) 이하로 한다.

Pittsburg Power Plant : 최대 수온상승폭은 14.5°C (28°F) 이하이며, 배출구 기준 125 acres 이내의 해역에서는 2.2°C (4°F)로 한다.

마). 하와이(Hawaii 1989)

하와이는 열대성 해역으로 외해로 직접 온배수가 배출되기 때문에 비교적 간편한 관리방법을 채택하고 있다. 혼합구역은 배출된 온배수를 희석하기 위한 제한된 공간을 의미하며, 이미 존재하는 온배수 배출시설과 연관하여 허가한다.

배출허가는 배출지역의 현황자료, 온배수 방출 후 현재의 수온 기준과의 차이점 및 관계관청이 요구하는 자료 등을 갖추어 신청하며, 수온상승폭은 일률적으로 1°C 이하로 규제하고 있다.

2). 대서양 연안

가). 메인주(Maine 1996)

메인주는 1973년 제정되고 1989년 개정된 “Maine State Water Laws”에 의거 인위적 수온상승폭을 규정하고 있다. 혼합구역은 제 581장에 의거하며, 수온 규제는 제 582장에 의거한다.

혼합구역에서의 오염물 배출은 이 해역을 이용하는 모든 자유유영생물과 부유생

물의 원활한 이동을 위하여 혼합구역 종단면의 3/4 이상에 해당하는 이동통로를 확보한 상태에서 실시해야 한다. 그러나 해당해역의 물리학적 현상으로 이동통로의 유지가 어렵거나, 혹은 이동통로를 축소하여도 수산생물에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 증명할 경우 이를 축소 조정할 수 있다.

허용되는 인위적 수온상승폭은 다음과 같다.

- 혼합구역 내에서는 일간 최대온도의 월평균 기준을 4°C (2.2°F)를 초과하여 배출할 수 없다. 단, 6월부터 9월까지는 0.8°C (1.5°F)를 초과할 수 없다.
- 혼합구역 외측에서의 최대 허용수온은 29.4°C (85°F)이하로 한다.

나). 뉴햄프셔주(New Hampshire 1999)

뉴햄프셔주의 인위적 수온상승에 관련된 규정은 1999년 제정된 “New Hampshire Code of Administrative Rules”의 제 1700 장 “Surface Water Quality Regulations”에 의거 규제하고 있다. 다만, 동 규정에 수온관련 규제는 뉴 잉글랜드 지방의 수계의 주들이 결성한 위원회(New England Interstate Water Pollution Control Commission) 및 EPA 기준에 근거하여 규제한다고 명시되어 있으며, 구체적인 수치자료는 없다.

다). 마사추세츠주(Massachusetts 2001)

마사추세츠주는 1988년 제정된 “Massachusetts Water Quality Standards”에 의거 인위적 수온변화폭을 규제하고 있다.

혼합구역은 사안에 따라 지정하되 혼합구역의 크기, 장소, 모양은 수생생물을 최대한으로 보호할 수 있도록 설계하여 다음 조건에 따라 최소한의 구역을 지정한다.

- 구역의 이용과 수산생물에 영향을 최소화하도록 제한할 것
- 회유성 어류와 수산생물의 이동에 적절한 공간을 제공할 것
- 건강과 수산생물에 영향을 미칠 수 있는 농도의 유해물질이 저질, 수산생물 및 먹이사슬을 통하여 농축되지 않을 것

인위적 수온상승폭은 혼합구역 외측에서 29.4°C (85°F) 이하이며, 평균 일간최고 수온은 26.7°C (80°F) 이하로 한다. 수질에 따른 배출 허용수온은 다음과 같다.

- 1급수: 0.8°C (1.5°F) 이하
- 2급수: 10월부터 이듬해 6월까지 2.2°C (4°F) 이하

- 3급수: 2.8℃ (5°F) 이하

라). 로드아일랜드주(Rhode Island 2000)

로드아일랜드주는 2002년 개정된 “Water Quality Regulations”에 의거 인위적 수온상승폭을 규제하고 있다.

혼합구역은 하구역의 종단면의 1/4를 초과하여 지정할 수 없으며, 최소한 전체 면적의 3/4 이상을 수생생물의 이동을 위한 통로로 확보해야 한다. 혼합구역의 위치, 크기 및 모양은 수산자원을 최대한 보호할 수 있도록 지정되어야 하며, 배출물의 부분이 인류건강과 수생생물의 생활에 지장을 주지 않는 안전치 이상으로 퇴적물, 수생생물 및 먹이사슬에 축적되어서는 안 된다.

인위적 수온상승폭은 다음과 같다.

- 혼합구역 외각의 최대 허용수온은 28.3℃ (83°F) 이하이다.
- 6월 16일부터 9월 30일까지 허용되는 수온상승폭은 0.9℃ (1.6°F) 이하이며, 10월 1일부터 6월 15일까지 허용되는 수온상승폭은 2.2℃ (4°F) 이하이다.

마). 콘네티컷주(Connecticut (2002)

콘네티컷 일반규정(Connecticut General Statutes) Section 22a-426에 의거하여 2002년 개정된 “Connecticut Water Quality Standards”에 따라 해역의 특성별 인위적 온도상승폭을 규제하고 있다.

혼합구역은 취수구로 인한 영향이 적은 곳과 기타 온배수 및 오염물질 배출로 인한 복합적 영향이 없는 곳을 택하여 지정한다. 오염물 배출 등 모든 인간활동은 해당 해역의 물리·화학적 특성과 생물학적 특성을 감안하여 상황별로 해역의 이용성을 해치지 않는 범위 내에서 결정하며, 해양생물의 회유 및 부유에 심각한 영향을 미치는 활동을 금지하고 있다.

온배수에 의한 수온상승폭은 대상해역의 수질등급에 따라 구분하여 규제한다. 해역의 수질등급을 SA급(서식하는 해양생물을 직접 채취하여 식용으로 이용 가능한 해역), SB급(서식하는 해양생물의 상업적 어획 가능한 해역), SC급(일련의 개선조치로 수질개선이 가능한 해역) 및 SD급(수질개선이 불가능한 지역)으로 나누어 수온을 포함한 인위적 해양환경의 변화를 규제하고 있다.

- SA 및 SB급 수질해역에서는 수온 28℃ (83°F)를 초과할 수 없으며 7월, 8

월 및 9월 중에는 2.2°C (4°F)를 초과하여 배출할 수 없다. 단, 수산생물의 산란과 성장에 지장이 없다는 것을 확고하게 증명하지 못할 경우 0.8°C (1.5°F) 이상 초과 배출을 금지한다.

- SC 및 SD급 수질해역은 SB급 해역을 기준으로 상황에 따라 규제한다.

바). 뉴욕주(New York 1991)

뉴욕주는 1985년 제정된 “Water Standard”에 의거 인위적 수온상승폭을 규제하고 있다.

뉴욕주는 배출구에서부터의 거리, 수표면의 면적, 온배수 흐름을 받아드리는 수괴의 용량 등 혼합구역에 대한 수치적 규정을 정하고 있다. 혼합구역 내에 있거나, 혼합구역 내로 들어올 가능성이 있는 수생생물이 피해를 입지 않는 수준의 수질기준에 맞추어 지정하며, 그 위치는 수생생물의 산란장, 성육장 및 어류의 회유를 방해하지 않는 지역에 설정한다.

인위적 수온상승폭은 다음과 같다.

- 취수시설은 현존하는 최고의 기술을 사용하여 설치한다.
- 연안역에서는 10월부터 이듬해 6월까지 2.2°C (4°F) 이상 상승시키는 것을 금하며, 7월부터 9월까지에는 0.8°C (1.5°F) 이상 상승시키는 것을 금한다.
- 하구역에서 허용되는 최대 수온은 32.2°C (90°F) 이하이다. 단, 하구역의 최소 횡단면의 50% 이상의 해역 및 1회의 조석주기에 걸쳐 최소 수면적의 1/3 이상의 해역에서의 최대 허용온도는 28.3°C (83°F) 이하이며, 최대 수온상승폭은 2.2°C (4°F) 이하이다.
- 내만에서의 온배수 방출은 허가하지 아니한다.

사). 뉴저지주(New Jersey 2004)

뉴저지주는 수생생물에 심각한 피해를 주지 않는 최소한의 범위로 상황별로 혼합구역을 지정한다. 기수역에 지정된 혼합구역 외측의 최대 허용수온은 29.4°C (85°F) 이하로 한다. 최대 수온상승폭은 9월부터 이듬해 5월까지 2.2°C (4°F)로 하고 6월부터 8월까지의 여름에는 0.8°C (1.4°F)로 한다.

해안선에서 1,500feet (492m) 이내에서는 온배수 배출을 금지한다. 혼합구역 외측의 최대 허용수온은 26.7°C (80°F) 이하로 한다. 최대 수온상승폭은 9월부터 이듬해

5월까지의 2.2°C (4°F)로 하고 6월부터 8월까지의 여름에는 0.8°C (1.5°F)로 한다.

아). 델라웨어(Delaware 2004)

델라웨어주는 2004년 개정된 "State of Delaware Surface Water Quality Standard"에 의거 인위적 수온상승폭을 규제하고 있다.

혼합구역의 지정에 관한 조건은 다음과 같다.

- 수산생물의 산란장, 육성장, 회유로 및 대중 위락지구를 피할 것
- 주변의 생물군집에 영향을 주지 않도록 가능한 혼합구역을 최소화 할 것
- 해안으로 온배수 전선이 접근하지 않도록 할 것
- 배출구에서의 확산구역 폭은 전체 대상해면의 폭의 50% 이하로 하고, 배출구와 전면 해안선까지의 종단면의 25% 이하로 할 것

허용되는 인위적 수온상승폭은 다음과 같다.

- 혼합구역 외곽에서의 최대 허용 배출온도는 자연수온이 29.4°C (85°F) 이하인 경우 29.4°C로 하고, 자연수온이 그 이상일 경우 배출 금지
- 9월부터 이듬해 5월 사이에는 혼합구역 외곽에서의 수온이 2.2°C (4°F)를 초과하거나, 6월부터 8월 사이에 0.8°C (1.5°F) 이상을 초과하여 배출 금지

자). 메릴랜드주(Maryland 2002)

메릴랜드주는 1988년 제정된 "Maryland Water Pollutant Control Regulation"에 의거 인위적 수온상승폭을 규제하고 있으며, 수지현황 및 수역의 이용방안에 따라 규제치를 달리하고 있다.

혼합구역의 지정조건은 다음과 같다.

- 수역에 분포하는 생물군과 생태계에 피해를 주지 않을 것
- 수역의 다른 공공적 이용에 지장을 주지 않을 것
- 혼합구역 자체가 수산생물의 회유에 방해를 주지 않을 것
- 해수면과 연안역을 보호할 수 있도록 혼합구역을 계획하고 위치를 정할 것

인위적수온상승폭은 해역의 수질과 이용도에 따라 다음과 같이 규제한다.

- 어획, 수상활동 및 수산생물 보호지역의 혼합구역 외측에서의 최대 허용수온은 32.2°C (90°F) 이하로 하고 해양생물에 영향을 미치는 수온장벽이 형성되어서는 안 된다.

- 연어류 서식지역에서는 혼합구역 외측의 수온이 20℃ (68°F) 이하여야 하며, 연어류의 회유에 영향을 미치는 수온장벽이 형성되면 안 된다.

차). 버지니아주(Virginia 2004)

버지니아주는 "Virginia Administrative Act 25-260"에 의거 2004년 발효된 "Virginia Water Quality Standards"에 근거하여 인위적 수온상승폭을 규제하고 있다.

혼합구역은 수생생물의 이동과 서식에 영향을 주지 않는 범위에서 사안에 따라 생물학적, 물리학적 및 화학적 조사 자료에 근거하여 최소한의 필요한 면적을 지정한다. 한 지역에 복수의 혼합구역을 허가할 경우에도 혼합구역들 간의 상호작용으로 수생생물의 이동경로가 확보될 수 있도록 해야 한다.

허용되는 인위적 수온상승폭은 다음과 같다.

- 혼합구역 외측의 최대 허용수온은 32℃ 이하이며, 허용되는 인위적 수온상승폭은 3℃ 이하로 한다. 단, 송어류 서식지에서는 1℃ 이하로 한다.
- 시간당 허용되는 최대 수온상승 속도는 2℃ 이하이다. 단, 송어류 서식지에서는 시간당 0.5℃ 이하로 한다.

카). 노스캐롤리나주(North Carolina 2004)

노스캐롤리나주는 2004년 개정된 "North Carolina Administrative Code 15A, 02B"에 근거하여 제정된 소위 "Red Book"으로 불리는 "Surface Waters and Wetlands Standards"에 따라 규제하고 있다.

혼합구역은 자연의 물과 배출수가 잘 혼합될 수 있는 기회를 부여하기 위하여 지정한다. 혼합구역의 지정은 해당해역에 서식하는 수생생물의 번식과 상호작용을 저해하지 않는 범위 내에서 다음의 상황을 고려하여 설정한다.

- 혼합구역 안에서 어류의 자유로운 이동을 방해하거나 어류의 사망을 초래하지 않아야 한다.
- 바람직하지 않은 수생생물의 출현을 초래하거나, 지정된 혼합구역 밖에서 악취성 종이 우점하는 현상을 초래하지 않아야 한다.
- 인류의 건강과 복지에 위협을 주지 않아야 한다.

확산구역 외곽에서 최대 허용수온은 32℃(89.6°F) 이하이며, 6월부터 8월까지 인

위적으로 수온을 0.8℃ (1.5°F) 이상 상승시키거나, 9월부터 이듬해 5월까지 2.2℃ (4°F) 이상 상승시키는 것을 금한다.

다). 사우스캐롤리나주(South Carolina 1999)

사우스캐롤리나주의 인위적 수온상승폭에 관한 규제는 1976년 제정된 “South Carolina Pollution Control Act. Section 48”에 근거한 “Water Quality Standard”에 의하여 규제하고 있다.

혼합구역은 이 구역에 대하여 특정한 수질표준이나 분류조항을 적용할 수 없을 때 허가한다. 혼합구역의 크기는 최소한의 규모로 지정하되 각 사안별로 생물학적, 화학적, 공정학적, 수리학적 및 물리학적 요인을 검토하여 설정한다.

인위적 수온상승폭에 대한 규제치는 다음과 같다.

- 특급수질(A 및 B 등급) 지역에 위치한 혼합구역 외곽에서의 최대 허용수온은 32.2℃ (90°F) 이하이며, 자연수온 보다 2.7℃ (5°F) 이상 상승시키는 것을 금한다.
- 패류생산지역(SA, SB 및 SC 등급)에서는 봄, 가을 및 겨울에는 2.2℃ (4°F) 이상 수온상승을 금하며, 여름에는 0.8℃ (1.5°F) 이상 수온상승을 금한다.

파). 조지아주(Georgia 2004)

조지아주는 온배수확산구역이 기술적으로 필요하고, 수신생물의 서식에 심각한 문제를 일으키지 않는다는 것을 신청자가 증명할 때에 한하여 허가한다.

온배수확산구역 외측의 최대 허용 수온은 32℃ (90°F) 이하로 하고 최대 수온상승폭은 2.7℃ (5°F)로 한다. 단, 하구역에서는 최대 수온상승폭을 0.8℃ (1.5°F)로 한다.

3). 멕시코만 연안

멕시코만 연안은 전형적인 열대해양으로 우리나라 연안의 수온환경과 많은 차이가 있기 때문에 본 보고서에서는 규제치만 간략하게 설명하기로 한다.

가). 텍사스주(Texas 1997)

텍사스주는 수산생물의 이동 및 서식에 뚜렷한 영향을 주지 않는 범위에서 온배수 혼합구역을 허용한다.

온배수 혼합구역 외측에서의 인위적 수온상승폭은 9월부터 이듬해 5월까지의 봄, 가을 및 겨울에는 2.2℃ (4°F) 이하로 하며, 6월부터 8월까지의 여름에는 0.8℃ (1.5°F) 이하로 한다. 혼합구역 외측에서의 최대허용수온은 35℃ (95°F) 이하로 한다.

나). 루지아나주(Louisiana 1993)

루지아나주는 온배수 확산구역이 기술적으로 필요하고, 수산생물의 서식에 심각한 문제를 일으키지 않는다는 것을 신청자가 증명할 때 허가한다.

확산구역 외측의 최대 허용 수온은 35℃ (95°F) 이하로 하고 최대 수온상승 폭은 10월부터 이듬해 5월까지 2.2℃ (4°F) 이하, 6월부터 9월까지의 여름에는 1℃ (2°F) 이하로 한다.

다). 미시시피주(Mississippi 2003)

미시시피주는 해역의 물리·화학적 특성과 생물학적 특성을 감안하여 많은 양의 표층수가 필요하고, 넓은 면적의 해역이 장기간 필요할 때 온배수 혼합구역을 지정한다.

해역의 상황별로 해역의 이용성을 해치지 않는 범위 내에서 혼합구역을 지정하며, 혼합구역 내 타 오염물의 폐기를 금지한다. 온배수의 배출은 해양생물의 회유 및 부유에 심각한 영향 주지 않아야 한다.

1988년 12월 1일 이전에 건설된 배출시설의 배출자는 수생생물에 대한 급성 및 만성적 영향평가를 위한 생물검정 실험을 철저히 실시하고, 시설의 개선은 새로운 규정에 부합하도록 해야 한다.

1988년 12월 1일 이후 건설되는 배출 시설은 수생생물의 이동에 장애가 되지 않아야 한다. 확산구역 외측에서의 최대 허용수온은 32.2℃ (90°F) 이하로 하고, 10월부터 이듬해 5월까지의 최대 수온상승폭은 2.2℃ (4°F) 이하, 6월부터 9월까지의 여름에는 0.8℃ (1.5°F) 이하로 한다.

라). 알라바마주(Alabama 1991)

알라바마주는 온배수혼합구역이 자유유영동물의 이동을 저해하거나 부유성 생물의 개체군에 심각한 영향을 주지 않은 범위 내에서 해당해역에 특성에 따라 설정한다.

온배수혼합구역 외측에서 최대 수온상승폭은 10월부터 이듬해 5월까지 2.2℃ (4°F) 이하로 하고, 6월부터 9월까지의 여름에는 0.8℃ (1.5°F) 이하로 한다.

마). 플로리다주(Florida 1996)

플로리다주의 경우 새로운 온배수 배출시설은 온배수 배출이 해역의 패류, 어류 및 기타 야생생물에 심각한 영향을 없다는 것을 신청자가 증명할 경우에만 인정한다.

온배수 혼합구역은 주어진 해역의 물리, 화학, 생물학적 특성에 맞추어 설계한다. 연안역에서는 혼합구역 외측의 최대 허용수온은 최대 32℃ (90°F) 이하로 한다. 최대 수온상승폭은 6월부터 8월까지 여름에는 배출구 기준으로 1℃ (2°F) 이하로 하고, 9월부터 이듬해 5월까지의 기간 중에는 2.2℃ (4°F) 이하로 한다.

원해에서의 혼합구역 외측의 최대 허용수온은 36℃ (97°F)로 하고 최대 수온상승폭은 허용수온의 범위 이내에서 9.5℃ (17°F)로 한다.

나. 일본

온배수 관리방안을 설정하는 데 있어 우리나라와 비교적 해양학적 여건이 유사한 일본의 온배수관리제도와 실질적인 대처방안을 조사하는 것은 매우 의미 있는 일이다. 우리보다 일찍이 해안가에 대규모 원자력 발전소를 건설하기 시작한 일본은 1970년에 이미 발전소 온배수에 대한 어민의 민원이 제기되기 시작하였다. 그러나 이때까지 과학적으로 입증된 자료 없이 민원을 해결하는데 많은 애로가 발생하였기 때문에 온배수 문제를 전담할 전문 연구기관의 설립의 필요성이 제기되었다. 이를 근본적으로 해결하기 위하여 발전소, 통상산업성 및 학계가 중심이 되어 온배수에 의한 해양생태계 변화를 정확하게 예측하고 그 피해 정도를 구명할 수 있는 연구기관인 “재단법인 일본해양생물환경연구소”를 1975년 설립하였으며, 보다 과학적이고 정량적인 영향을 구명하기 위하여 해양생물환경연구소의 산하 기관으로 1990년 “온배수실증실험실”을 설립하였다. 고리 원자력발전소가 가동한지 30년에 이른 현재까지 온배수가 해양생태계에 미치는 영향을 과학적으로 구명할 수 있는 전문 연구기

관이 없는 우리의 실정과 비교할 때 온배수 문제에 대처하는 방식에 많은 차이가 있다는 것을 알 수 있다.

일본의 온배수 배출에 대한 법률은 현행법상 단지 “환경영향평가법”에 관련사항으로 언급되어 있다. 환경심사에 관하여 1977년 7월 일본통상산업성 결의에 의거하여 환경영향평가법의 제정 및 “전기사업법”의 일부를 “발전소 입지와 연관된 환경영향 조사 및 환경심사의 강화”를 위하여 개정하여 조사대상 사업은 “전기사업법” 제46조 4항에 규정하고, “환경영향평가방법서”의 심사에 관한 규정은 동법 46조 8항, 그리고 “환경영향평가준비서의 심사(환경심사)”는 동법 46조 14항에 규정하였다. 이로서 발전소의 환경영향 평가 실시 방법의 정비 및 환경보전을 위한 충실한 법적 근거를 마련하였다.

온배수와 관련된 새로운 규제와 환경영향 평가는 그들이 지금까지 경험하고 축적된 결과를 바탕으로 생물의 다양성 등을 새로운 요소로 평가가 가능하도록 평가항목을 재검토하고, 표준항목 및 표준평가 기법을 정하여 시행되고 있는 것이 주목할 만한 점이다.

환경영향평가법 및 전기사업법에 근거를 두고 있는 온배수와 관련된 사항은 발전소 입지의 원활화는 물론 미래 지향적 환경보전에 만전을 기하기 위하여 제정된 것으로 본 보고서에 수록된 내용은 “발전소와 관련된 환경영향 평가의 시행” 자료집(資源エネルギー廳, 1999)을 정리한 것이다.

1). 온배수와 관련된 법률

일본의 온배수 배출과 관련하여 발전소 취, 배수 설비의 건설 및 운영을 위한 관련 법률, 규제 및 관리에 관한 내용과 환경영향평가법 및 전기사업법에 근거한 환경영향평가 시행령 및 시행규칙 등의 내용은 다음과 같다.

발전소 온배수와 관련하여 법적인 근거를 갖는 부분은 크게 두 가지로 구분하여 환경영향 평가와 관련되는 법률 그리고 해안이나 연안에 시설물설치와 관련되는 법률로 크게 구분된다.

첫째 환경영향평가 부분에서는 1997년 환경성에서 공포한 “환경영향평가법”이다. 이 법률은 일반적인 영향평가를 하는 기본적인 방법론이 규정되어 있다. 마찬가지로 1997년 경제산업성이 공포한 “전기사업법”이 있다. 본 법은 발전소와 관련하여 고유의 기준들이 설정되어 있는 것이다. 그 밖에 환경성에서 공포한 수질오탁방지법과 각 지자체에서 설정한 조례 등이 관련 법률로 제정되어 있다.

둘째 해안 및 연안 이용과 관련된 법률은 국토교통성의 “항만법” 및 “해안법” 수산청의 “어항, 어장정비법” 및 “어업법”, 환경성의 “자연공원법” 그리고 문부과학성의 “문화재보호법” 등이 관련되어 있다.

발전소 가동이 시작되면 사후 모니터링조사, 배수관리 그리고 수온 및 잔류염소의 관리를 다음과 같은 법적 근거에 의거하여 시행하게 된다. 사후모니터링 관련 조사는 환경성의 환경영향평가법, 경제산업성의 전기사업법, 그리고 지방 자치체의 조례에 따른다. 온배수와 기타 액체성 오염물질의 배출은 환경성의 수질오탁 방지법에 의하여 관리하고, 수온 및 잔류염소의 관리는 지방자치체가 결정한 규정에 의하여 행하여진다.

현재 일본에서 온배수와 관련된 규제 및 장려 내용은 다음과 같다.

- 취수방법은 기존의 표층취수 방법에서 수중취수 방법으로 전환한다.
- 배수방법은 표층배수와 수중배수를 지역에 적합하게 선택한다.
- 대부분의 발전소에서 ΔT 는 7°C 로 규정되어 있다.
- 추천하는 냉각수량은 100만KWh 발전당 기력발전소 $30\sim 40\text{m}^3/\text{초}$, 원자력 발전소 $70\text{m}^3/\text{초}$ 이다.

이에 더하여 온배수는 수질오탁방지법에서 “열”에 해당하여 규제 대상에 포함되어 있으나 구체적인 기준은 아직 확립되어 있지 않다. 따라서 각 발전소별 소속 지방자치체의 기준에 의하여 수온 상승 폭을 정하고 있다. 1980년 이전에 건설된 발전소의 온배수 ΔT 는 $8\sim 9^{\circ}\text{C}$ 를 인정하고 있으나, 그 이후 건설된 발전소는 7°C 로 규정하고 있다. 이 경우의 ΔT 는 복수기 출입구와 배출구 사이의 수온차이로 정의되기 때문에 1980년 이후 건설된 관류냉각방식을 채택하는 발전소에서 발전소 부지 내에 냉각지 또는 냉각수로 등을 조성하여 자연으로 배출되는 온배수의 수온을 낮추어 상당량 낮춘다하여도 ΔT 를 7°C 이상으로 올리는 것은 위법이라는 모순을 가지고 있다.

2). 온배수에 관한 환경영향 평가

일본의 환경영향평가법에는 발전소를 대상으로 기본적인 몇 가지 규칙을 정하고 있고, 전기사업법에는 발전소 고유의 영향평가 절차가 규정되어 있다.

일차적으로 해당사업에 대한 지방정부의 의견을 첨부하여 정부의 주무부처장에게 사업계획서를 제출하면 각 사업별로 환경영향평가 시행여부를 결정한다. 원자력발전소는 모두 환경영향평가 대상이며, 기력발전소는 시설용량 15만kW 이상의 1급

발전소가 대상이 된다. 경우에 따라서는 시설용량 7.5만KW 이상의 2급 발전소도 대상이 된다.

가). 환경영향평가 과정

환경영향평가

사업자는 환경영향 평가과정의 조사항목, 예측 및 평가의 기법 등을 기재한 “환경영향 평가 방법서”를 작성하여 지방 정부에 제출하면, 지방정부는 이를 주민에게 공고 및 열람케 하여 주민의 의견을 구해야만 한다. 통상산업성장관은 지방정부 지사의 의견과 주민의 견해나 요구사항을 접수하고, 사업자가 제출한 방법서를 심사하여 영향평가 항목 및 기법에 관한 사항을 권고할 수 있다.

사업자는 상기 결과에 준하여 환경영향평가를 실시하여 환경영향평가 준비서를 작성된다. 그리고 주민 지자체의 의견 및 주무관청의 의견이 첨부되어 최종적인 평가서가 작성되어 사업이 시행된다.

환경영향평가서에 대한 통상성장관의 심사 및 변경명령

사업자는 환경영향 평가 대상사업에 관한 주민의 의견을 배려한 환경영향평가서의 기재사항을 검토하고 작성하여 주무 대신에게 송부한다. 주무대신은 환경청 장관의 의견을 바탕으로 평가서에 관한 의견을 서술한다. 사업자는 주무 대신의 의견을 신중히 검토하여 평가서에 수정 등을 관련지방 공공기관에 송부하고, 열람 및 공고를 행한다. 통상성장관은 환경영향 평가서를 심사하고 적절한 환경에 대한 대비를 위하여 필요한 경우에는 평가서의 내용 변경을 명할 수 있다.

환경영향평가 결과에 의한 공사계획의 허가 요건화

주무 대신은 환경영향 평가 결과를 환경보전이라는 측면에서 심사하고, 대상사업의 인, 허가 규정과는 별개로 환경영향 평가서의 심사결과를 참조하여 판단하고, 필요한 경우에는 사업의 불이익 처분도 행할 수 있다.

발전소 공사계획의 허가요건 중에 환경영향평가서의 결과에 따라 사업을 시행해야만 하고, 만약 시행치 않을 경우에는 공사계획의 허가를 취소하는 등의 조치로 최대한의 평가 결과가 반영될 수 있도록 규정되어 있다.

환경보전

사업자는 환경영향 평가 결과에 따라 환경보전에 관한 평가서에 기술된 모든 조치 사항을 준수하여 공사를 진행하여야만 한다. 해당 사항은 발전소의 유지 및 운영 단계에서도 적절한 배려가 수반되어야만 한다.

지방자치단체장의 권한강화

일본의 온배수 규제에 있어 특징은 지자체의 규정에 따라 사업규모를 달리하고 있으며 중앙정부에서 마련한 법률보다 더 엄격한 조례를 가진 지자체가 많으며 다음과 같은 권한을 가지고 있다.

- 환경영향평가에 관한 지자체장(현지사) 권한 강화
- 환경영향평가를 위한 독자적인 현 심사위원회의 구성
- 환경영향평가의 기준이 되는 사업규모(설계 발전용량)를 낮게 책정

환경영향평가 절차 중에 특히 주민과 지자체의 의견이 환경영향평가방법서와 환경영향평가준비서를 만드는 과정 중에 충분히 반영되며, 최종 환경영향평가서에 언급된 대책들은 사업허가 조건 항목으로 결정된다. 시행되는 평가는 다음에 언급하는 기본 표준항목 및 표준 기법에 의하여 행하여지며, 필요에 따라서는 항목과 기법에 관한 간략화 및 중점화가 가능하다.

나). 환경영향평가 내용

환경영향 평가를 위한 대상항목의 표준화는 통상산업성 및 자원에너지청에 의하여 1999년 제정립되었으며, 온배수 배출과 관련되는 발전소의 주요 표준평가 내용은 수온, 유향 및 유속 등 물리화학적 특성으로 다음과 같이 조사한다.

평가방법

문헌 및 기존자료를 바탕으로 현장조사에 의한 자료수집과 각 정보에 대한 정리 및 해석한다. 수온의 확산 특성과 해류의 흐름을 감안한 수온에 의한 영향을 미칠 수 있는 지역 및 냉각수의 취수구 주변 지역을 중점으로 1년간 조사한다. 발전소가 정상적으로 가동되는 시점을 기준으로 수리모형을 이용한 수치계산 또는 수리모형 실험을 통하여 수온의 확산 특성과 해류의 흐름을 감안한 수온에 의한 영향을 미칠 수 있는 지역을 구명한다.

미래지향적 측면에서 환경영향 평가는 앞으로 중점화 및 간략화를 목표로 기본적

인 정책적 방안을 마련하고 있다. 즉 간략화 및 중점화는 아래와 같은 구체적인 추진방향을 설정한다. 이와 같은 내용은 1999년 통상산업성 산하 자원에너지청의 조례 및 2004년 경제산업성 원자력안전보안원의 평가항목 삭제 및 기법의 간략화 지도에 따라 시행되고 있다. 온배수 배출이 없거나, 발전소 재건축의 경우 온배수의 열량이 기존의 설비와 같거나 적은 경우와 취수 및 방수구조물의 위치, 모양, 그리고 배수방법이 동일할 경우 등 다음과 같은 조건에서 간략화를 실시하고 있다.

- 표준 검토항목에 대한 환경영향이 명확히 적은 경우
- 사업대상 지역의 온배수에 관한 영향을 받는 지역이 없는 경우
- 지금까지의 검토 결과 유사 사례를 바탕으로 영향이 명확히 확인된 경우
- 온배수 예측 평가를 위한 정보를 쉽게 확보할 수 있는 경우

한편 다음의 경우에는 환경영향평가 강화를 실시하고 있다.

- 표준항목에 관한 환경 영향이 현저하게 나타날 가능성이 있는 경우
- 사업대상 지역의 온배수에 영향을 쉽게 받을 수 있는 지역
- 법령 등에 의하여 환경보전 지역으로 지정된 경우
- 환경이 현저하게 악화되거나 악화될 가능성이 있는 지역

다). 발전사업 개시 후 온배수 관리

환경영향평가법에서 언급하고 있는 발전소 가동 후 온배수 관리를 위한 규정은 크게 사후조사와 모니터링조사 두 가지로 구분되어 실시한다.

사후조사의 경우 환경영향 평가법과 전기사업법에 명시된 사항을 근거로 수행되며, 영향이나 효과의 예측에 관한 불확실성이 큰 경우 환경보전 조치의 일환으로 실시한다. 방법은 사전의 영향평가 기법과 동일한 방법으로 시행하며 특히 생물에 관한 부분은 사전 전문가의 의견을 청취하여 결정하며, 기간은 물리 현상에 관한 부분은 1년간, 생물과 관련된 분야는 전문가와 협의하여 결정한다.

모니터링조사는 지자체와의 협의에 의하여 실시하며, 조사결과는 반드시 지자체에 보고하고, 화력발전소의 경우 운전개시 후 3년간 실시하고, 원자력발전소의 경우 보다 긴 기간을 설정하여 실시한다. 이때 지자체는 모니터링 조사의 결과를 평가하며, 경우에 따라서는 사업자와 분담 또는 중복조사를 실시할 수 있다.

라) 온배수에 관련된 법률

환경영향 평가법과 전기사업법에 명시된 온배수와 관련된 법적 근거를 보면 온배수에 관한 사항은 우선적으로 환경영향 평가를 목적으로 하는 법률적 구조를 갖고 있다. 기본법, 시행령, 시행규칙 등, 특히 환경보전을 위한 1998년 통상산업성령 제 54호에 근거한 “발전소영향평가령”이 그 주축이다.

이미 언급된 1997년 공포 환경영향평가법의 기본 골격은 다음과 같다.

제 1 장 총칙 (제1조-제3조)

제 2 장 준비서 작성정의 절차

제 1 절 제 2종 사업에 관한 판정 (제4조)

제 2 절 방법서의 작성 등 (제5조-제10조)

제 3 절 환경영향 평가의 실시 등 (제11조-13조)

제 3 장 준비서 (제14조-제20조)

제 4 장 평가서

제 1 절 평가서의 작성 등 (제21조-제24조)

제 2 절 평가서의 보정 등 (제25조-제27조)

제 5 장 대상 사업의 내용 수정 등 (제28조-제30조)

제 6 장 평가서의 공고 및 열람 후의 절차 (제31조-제38조)

제 7 장 환경영향 평가 외의 절차에 관한 특례

제 1 절 도시계획에 의한 대상사업 등에 관한 특례 (제39조-제46조)

제 2 절 항만계획에 의한 환경영향평가 외의 절차 (제47조-제48조)

제 8 장 잡칙 (제49조-61조)

부칙

온배수와 관련하여 규정되어 있는 법은 앞에서 언급한 것과 같이 1997년 환경성에서 공포한 “환경영향평가법”과 경제산업성이 공포한 “전기사업법”이 함께 적용되고 있다. 또한 발전소의 온배수를 제외한 폐수와 관련된 수질기준은 환경성의 수질오탁방지법에 언급되어 있다. 한편 온배수는 수온과 잔류염소에 관한 관리 측면의 각 지자체에서 설정한 조례 등이 관련 법률로 제정되어 있다.

여기에서 말하는 통상산업성령은 관련 모법과 법을 수행하는 시행령 및 보다 구체적이고 세밀한 시행규칙이나 필요로 하는 정부조직에 의하여 규정되는 성령 등으로 구성된다. 온배수와 관련된 성령은 이미 언급한 1998년 통상산업성령 제54호에 근거한 “발전소영향평가성령”을 지칭하는 것이다. 우선 수질오탁방지법에 온배수와 관련된 법조문을 검토하여 보면, 기본 구조는 다음과 같다.

수질오탁방지법

- 제 1 장 총칙 (제1조-제2조)
- 제 2 장 배출수의 규제 (제3조-14조)
- 제 3 장 수질 오락 상황의 감시 (제15조-제18조)
- 제 4 장 손해 배상 (제19조-제20조)
- 제 5 장 잡칙 (제21조-제29조)
부칙 (제30조-제35조)

온배수와 관련된 법규 중 환경영향평가법을 제외하고는 배수 규제 개념으로 법 조항에 온배수의 온도상승에 관한 실체가 언급되어 있는 것은 수질오탁방지법이다. 이 법은 공장, 사업장 등에서 공유수면에 배출되는 물의 오염상태에 관한 규제대상 사업장, 배수기준의 설정, 배수기준을 지키기 위한 강제조치, 그리고 긴급시의 조치 사항 등에 관하여 언급하고 있으며, 온배수가 열오염의 대상으로 규제항목에 채택되어 있다. 그러나 규제항목에는 선정되어 있으나, 자세한 규제 내용은 언급하고 있지 않다. 수질오탁방지법에 기술된 내용은 제 2 장 배수기준 항목의 제 3 조 배수기준은 배출수의 오염상태(열에 의한 오염을 포함하여)를 총리부령으로 정한다. 라고 되어있다. 지금까지 열오염 특히 온배수와 관련된 열오염 규제치를 결정하지 못하는 이유는 발전소 온배수가 가지는 양면성 때문이다. 즉, 이용 가능한 긍정적 측면이 있는 반면 오염의 한 실체로 해양생태계에 피해를 주다는 것이다.

전기사업법

전기사업법 제 46 조 3항에 작업용 전기공작 시설물의 설치 또는 변경 공사에 있어 환경영향평가법 제 2 조 3항에 규정된 1종 사업은 당연히 법에 규정된 절차와 항목에 대한 환경영향 평가를 실시하여야 하고, 2종 사업에 해당하는 설비를 사용하려는 자는 동법 제 4 조 1항에 규정된 공사에 관하여 통상산업성령에 정한 간이 환경영향평가를 시행하고 결과를 기재하여야 한다고 되어 있다.

동법 시행규칙 제 61 조 2 항에는 전기사업법 제 46 조 3항의 통상산업성령에 정한 간이 환경영향 평가 항목을 제시하고 있으며, 온배수와 관련된 항목은 배출량 및 배수의 온도이며, 온배수 배출에 의한 수온의 영향을 정량적으로 예측하여야 한다. 또한, 동식물 및 자연보호와 관련되어 있는 조사항목 중 조사지역은 온배수의 배출에 의하여 일정 온도의 변화가 나타날 수 있는 가능성이 있는 구역으로 한정하였다. 온도의 변화 폭을 얼마로 하는지는 명시되어 있지 않지만, 자연보호와 관련된

육상조사의 경우 사업장 주변 1km를 조사하도록 설정되어 있다.

통상산업성령 제 9 조에 평가 조사항목의 표준 방법과 관련하여 2 항에 화력발전소 온배수에 관한 내용을 다음과 같이 규정하고 있다.

- 수온
- 유향 및 유속
- 해역에 서식하는 동물
- 해역에 서식하는 식물

그리고 각각의 대상항목에 대한 영향요인 분석은 시설가동에 따른 온배수의 영향을 다음과 같이 검토하도록 되어 있다.

- 조사를 해야만 하는 기존 항목: 수온 및 해수유동
- 조사를 위한 기본적 기법: 문헌, 기타 자료 및 현지 조사에 의한 정보의 수집과 병행하여 해당 정보의 정리 및 해석
- 조사 지역: 수온확산 및 해수유동 특성을 감안하여 수온에 의한 영향을 받을 가능성이 있는 지역 및 냉각수 취수구 전면지역
- 조사 지점: 수온확산 특성 및 해수유동 특성을 감안하여 조사지역에서의 수온에 의한 영향을 예측하고 평가하기 위하여 적절하고 효과적인 지점을 선정한다.
- 조사 시기: 원칙적으로 1년간 시행한다.
- 예측을 위한 기본적 방법: 수리모델에 의한 수치계산과 수리 모형실험
- 예측 지역: 수온 확산 및 해수유동 특성을 감안하여 수온에 의한 영향이 미칠 가능성이 있는 지역 및 냉각수의 취수구 전면 지역
- 예측 대상 시기: 발전소의 운전이 정상상태를 유지하는 때

온배수에 관한 구체적 내용

온배수와 관련하여 환경영향 평가에 관한 법률(資源エネルギー廳, 1999)에 규정되어 있는 온도와 관련된 구체적 내용은 다음과 같다.

- 조사 항목: 수온 및 염분의 수평 및 수직분포에 관하여 취수 및 배수구 근방의 정점들의 수온 변화를 조사
- 기본적 조사기법: 국가와 지방공공단체가 보유하고 있는 수온 및 염분에 관한 기존의 자료와 환경관련 전문가의 과학적이고 객관적인 의견 등을 참조하여 조사 수온의 수평 및 수직분포, 정점 수온 연속 측정을 통하여, 조사 위치에 따른 계절별 및 수심별 수온 및 염분의 수평 및 수직분포도와

취, 배수구의 수온변화도를 작성한다.

- 조사 지역과 범위: 간이 예측기법에 의한 결과를 참고하여 온배수에 의한 수온상승 1℃ 확산범위(온배수 확산 추정범위라고 함)를 구하여 이곳을 포함한 취수구 전면 해역으로 한다.
- 조사 지점: 수온확산 및 해수유동 특성을 감안하여 조사지점에서 수평 및 수직 분포와 정점 수온연속 측정을 실시한다. 특히 수온연속 측정 지점은 취, 배수구 전면 1개 지점에서 표층, 중층, 저층으로 구분하여 실시한다.
- 조사 시기: 문헌 및 기타 자료의 수집은 가능한 최근 자료를 활용하여 수평, 수직 수온분포 조사를 원칙적으로 1년간 계절별로 실시한다. 정점 수온연속측정의 경우 해역 수온의 시간적 변동을 파악하기 위하여 1년간 연속 측정한다.
- 예측을 위한 기본적 방법: 수리모델에 의한 수치계산과 수리모형 실험을 활용하여 표층배수와 수중배수에 의한 유동 및 확산 예측을 다음의 조건을 감안하여 시행한다. 조사된 예측 결과는 온배수에 의한 표층, 중층, 저층의 수온상승 결과를 3℃, 2℃ 및 1℃로 구분하여 각각 표와 그림으로 제시한다.
 - 온배수의 배수 조건(배수구 형태, 배치 등)
 - 해황에 관한 자료(수온, 해수유동, 조위)
 - 기상에 관한 자료(기온, 풍속, 습도, 운량)
 - 지형에 관한 자료(해안 해저 지형, 해안구조물의 배치)

3). 온배수 관련 전문 연구기관

일본은 온배수가 해양생태계에 미치는 영향과 저감방안을 전문적으로 연구하는 기관인 해양생물환경연구소가 있다(海洋生物環境研究所 2003). 해양생물환경연구소는 비영리 기관으로 온배수가 해양생물에 미치는 영향 및 발전소 주변의 해양환경을 조사하여 일반에 알리는 것을 주목적으로 1975년에 설립되었다. 이 연구소의 연구결과는 온배수 배출자와 지역주민들로부터 신뢰를 받고 있기 때문에 발전소와 지역주민간의 마찰을 해소하고 정확한 피해보상을 실시하는 크게 기여하고 있다. 장차 우리나라에도 이와 유사한 전문연구기관이 필요하리라 생각되는 바, 일본의 해양생물환경연구소의 기능과 역할을 이해하고 이 연구소의 운영을 참고하는 것이 바람직하다.

가). 설립 배경

사단법인 해양생물환경연구소는 발전소 냉각수의 취수 및 배수에 의한 주변 서식 해양생물에 미치는 영향을 과학적인 조사 및 평가를 위한 중립적인 연구기관이다. 따라서 환경청, 농림성, 그리고 통상산업성의 공동 관할 하에 운영되는 연구소로 발족되었다.

나). 사업 내용

해양생물환경연구소는 설립과 동시에 발전소 냉각계통의 가동과 온배수 배출이 해양생태계에 미치는 영양에 대한 체계적인 조사를 실시하였으며, 그 결과는 지역주민과 발전회사가 모두 인정하였으며, 이 자료는 지금까지 발전소와 연관된 환경분쟁의 해결자료로 사용되고 있다. 연구소 설립 이후 주요 연구사업 내용은 다음과 같다.

- 온배수 영향 종합조사 (1976-1980)
- 냉각수 취수 및 온배수 배출에 대한 환경영향평가 매뉴얼(1980)
- 복수기 통과영향 실험 조사(1977-1981)
- 온배수 환경용량 산정 기초조사(1977-1984)
- 온배수확산구역의 어류행동 실증실험(1978-1980)
- 온배수가 해조류에 미치는 영향 조사(1981-1984)
- 열오염 등 복합영향 조사(1985-1986)
- 대량취수에 따른 어업자원 영향검토(1986-1990)
- 취수에 따른 영향 조사(1992-2000)
- 발전소 취배수구 광역 어업영향 조사(1996- 현재)

일본정부는 1980년도부터 실시된 “대규모 발전소 취·배수 환경조사” 결과와 해양환경보전을 위한 여러 가지 정책을 발전소 시설계획에 반영할 목적으로 1986년부터 1993년까지 “해양생물환경연구소”에 관련 연구를 의뢰하였으며, 연구결과를 더욱 발전시키기 위해 “해양환경친화형 발전소 실증 조사”를 실시하였다. 상기 두 연구결과를 종합하여 발전소 입지에 따른 환경영향 측면에서 특히 연안 해역의 수산자원의 조성 과 관련하여 발전소 온배수 배출은 다음의 5 가지 긍정적 효과도 있다는 것을 발표하였다.

- 취·배수에 의한 해수교환 촉진
- 온배수에 의한 집어효과
- 온배수에 의한 어패류의 성장촉진

- 방파제 등에 의한 생육장의 확대
- 방파제 등에 의한 해류의 흐름 촉진

즉, 발전소가 사용하는 냉각수량은 발전출력에 따라 폐쇄적 해역에서는 이 냉각수의 취·배수에 의한 흐름에 의하여 해수교환이 촉진되어 수질이 점차 개선된다. 온배수는 주위의 해수에 비하여 수온이 7℃ 정도 높고 일정한 흐름이 있어 어류를 모이게 하는 효과가 있다. 또한 방파제 등 발전소의 해안 구조물은 어초효과를 가지고 있어 발전소 온배수 배출구 주변을 어류의 성육장으로 이용할 수 있다는 것이다.

온배수의 영향으로 생식수온의 범위 내에서 수온이 상승하면 해양생물의 성장이 좋아지고 산란시기가 빨라지며 난의 부화에 소요되는 시간이 단축된다. 다만, 온도가 상승하는 해역을 확보하기 위하여 작은 만이나 수로 등 어느 정도 폐쇄된 해역이 필요하다. 냉각수 취수 및 온배수 배출에 의한 효과는 대부분 리아스식 해안처럼 굴곡이 많은 해안에 위치한 발전소에서 뚜렷하게 나타난다. 수 km² 정도의 작은 만을 활용하여 취, 배수구를 분리하여 배치하므로 취·배수에 의한 해수교환 촉진 효과가 얻을 수 있으며, 발전소의 수중구조물이 해양생물의 서식장소를 제공하여 더욱 다양한 생물상을 창출할 수 있다. 수산생물의 증식장 조성도 가능하다. 배수구 부근에 어류가 모이는 현상을 이용하여 낚시터를 설치한 곳도 많이 있다.

해양생물은 수온이 적당히 상승할 경우에는 성장이 좋아지고, 산란시기가 빨라지며, 부화시간이 단축되는 등 성장, 성숙에 효과가 있다. 따라서 겨울을 중심으로 저수온기에 온배수를 이용한 어패류의 육상 종묘생산 및 어류양식과 배수구 해역에서의 어류양식 사업을 하고 있다.

다). 연구소의 운영 실태

해양생물환경연구소는 2003년도 연간 20억엔 규모의 연구사업비를 가지고, 크게 세 조직으로 운영을 총괄하는 사무국과 중앙연구소, 그리고 실증실험장으로 구성되어 있다. 온배수에 관한 조사, 연구사업을 효율적으로 수행하기 위하여 지역적 적합성을 감안한 조직을 운영한다.

- 사무국: 동경에 위치하며, 연구소 전체의 운영, 관리 및 기획 조정 업무와 해양방사능 조사 및 관련분야의 연구를 수행한다.
- 중앙연구소 : 동경에서 인근 태평양 연안 해안가에 시험 연구 사업의 중추적 역할을 담당하며, 현장 적용실험 및 온배수의 영향 평가를 수행한다.

- 발전소 주변 해양환경 변화의 실태 조사
 - 대형 실험 장치에 의한 해양생물의 온도에 대한 행동 및 성장 등에 관한 조사 연구
 - 주변 온도 상승이 해양생물에 미치는 영향 및 수질변화에 의한 영향 연구
 - 온배수와 관련된 국내외 자료 수집 및 자료 도서관 운영
- 실증시험장 : 가시와자키원자력발전소 인근에 위치하여 온배수를 직접 공급 받아 자료 전시관을 운영하며, 해양생물과 온배수와 관련된 현장실험을 시행한다.

라). 해양생물환경연구소의 발전방향

최근 일본 해양생물환경연구소는 온배수의 생태학적 영향평가 뿐만 아니라 발전소의 취수 및 배수에 관한 전반적인 기술 검토는 물론 온배수에 의한 해양생물과 환경 전반에 걸친 영향을 규명하고 있다. 또한 해양 환경방사능, 해역의 부영양화, 토사의 해수유출, 자외선 증가 문제 그리고 연안 해조류의 갯녹음 현상 등과 예측 기법을 이용한 생태계의 영향 변화 예측 시스템의 구축 등의 연구를 수행하고 있다.

한편 신규발전소 입지계획에 적절하게 반영시키기 위한 방안의 하나로 큐슈 지역의 한 만을 선택하여 가상의 원전이 가동될 경우 주변 해역의 해양 생물들에 미치는 영향을 모니터링하여 발전소 입지 조건을 결정하는 연구가 병행되고 있다. 이런 연구의 결과는 온배수를 어떻게 환경개선 측면에서 활용하는데 의미가 있다. 먼저 그 해역의 생태계적 특징을 파악하고, 동시에 지역을 조사하여 해양환경 개선 목표를 설정하고, 그 목표와 관련되는 각 환경요소를 수산증식기술 등 환경정비기술을 연구한다. 취·배수구 시설의 설계에 있어서는 지형조건 등을 고려하여 해양환경에의 영향을 최소화하고 안정된 취수 및 배수가 되도록 설비 방식을 정한다.

다. 프랑스

프랑스는 전 세계에서 가장 원자력발전을 선호하는 국가이다. 2004년 기준 전체 에너지 사용량의 35%를 원자력발전으로 충당하고 있다. 현재 프랑스에서 가동 중인 원자력 발전기 수는 59기로 시설용량은 6천3백만KW에 달하고 있으며, 프랑스 전체 전력생산량의 78%에 이르는 약 3,750억KWh를 원자력발전으로 충당하고 있다.

프랑스 전력공사(Electricit de France)는 23개의 원자력발전소에서 59기의 원자력 발전소를 운영하고 있다. 이 중 17개의 발전소는 내륙에 위치하고 있어 담수를 냉각수로 사용하고 있으며 이 중 10개소는 냉각탑을 가지고 있다. 해안과 하구에 위치하여 해수를 냉각수로 사용하는 발전소는 모두 6개로 프랑스 서해안에 위치하고 있으며 모두 관류냉각방식을 채택하고 있다.

프랑스의 온배수에 관한 규제는 담수를 냉각수로 사용하는 경우 냉각수원인 하천을 연어류가 서식할 수 있는 하천(Salmonid waters)과 잉어류가 서식 가능한 하천(Cyprinid waters)으로 나누어 각각 온배수의 배출 최고수온과 수온 상승폭을 정하여 관리하고 있다. 그러나 해수를 냉각수로 활용하는 경우는 하천과 같이 통일된 규제치가 존재하지 않고, 발전규모, 지역적 특성에 따라 환경영향을 최소화하는 수준으로 규제치를 정하고 있으며, 발전사고 발생시에 대응할 수 있는 시설과 운영 규칙을 마련하도록 하고 있다.

온배수량은 발전소의 크기에 따라 다소 차이가 있어 900MW급은 42톤/초, 1,300MW급은 46톤/초이지만, 해역에 따라서는 60톤/초까지 늘리는 것이 가능하다. 온배수 ΔT 는 해양의 경우 15℃까지 허용하며 복수기 배출점을 기준으로 한 온배수 최대 허용수온은 6월부터 10월까지의 여름은 35℃, 그리고 11월부터 이듬해 5월까지 30℃ 이하로 규제하고 있다.

영불 해협에 위치한 Paluel 원자력발전소는 1,300MW급 원자로 4기를 갖추고 있는 대형발전소이다. 냉각계통은 관류냉각방식으로 1기당 평균 46m³/초의 온배수를 수중배수하고 있다. Paluel 원자력발전소에 대한 온배수 배출기준 수온을 예로 들면 다음과 같다.

- 허용되는 최고 온배수 수온상승폭: 15 ℃
- 복수기 배출구에서의 최고수온: 6월~10월 35℃ 이하
11월~ 5월 30℃ 이하
- 배수구에서 50 m 떨어진 곳: 최고 수온 30℃ 이하
- 온배수 배출 설비에 따른 문제가 발생하여 수온이 상승할 경우 20일/년에 한하여 최고 수온상승폭을 15℃에서 21℃로 상향 조정

프랑스는 해산양식업과 연안어업 인구가 적어 상대적으로 민원 제기가 적음과 아울러, 국지적인 해양생태계 보전보다는 국민전체가 필요한 에너지원 확보를 더욱 중요시하기 때문에 온배수 관리 규정은 비교적 관대한 편이다. 한편, 고온의 온배수 배출은 온배수의 이용도를 높여주어 온배수를 이용한 어류양식과 농작물 재배가 기업수준으로 발달해 있다.

라. 중국

중국은 2003년 국무원 제정으로 “화력발전소청정운전표준(清潔生產標準-燃煤電廠, 中華人民共和國)”을 발효하였으며, 동 표준에 의거 화력발전소의 열효율은 최소한 45%를 유지하도록 규정하고 있다. 현재의 기술수준에서 발전 자체만을 고려할 때 중국의 일반 화력발전소의 총열효율은 40% 이하이기 때문에 적극적인 폐열의 재활용을 통해서만 국가에서 요구하는 표준에 도달할 수 있다. 따라서 각 발전소별로 적극적인 폐열 활용방안을 강구하고 있다. 또한, 냉각수 사용량을 점차 제한하고 있기 때문에 관류냉각방식의 보조수단으로 소형 냉각탑을 운용하여 냉각수 사용량을 줄이는 발전소가 증가하고 있다.

중국 산둥성 황도에 위치한 황도화력발전소는 제2차 냉각계통에 사용하는 냉각수는 발전소 폐열을 이용한 6,000톤/일 규모의 탈염시설과 20,000톤/일 규모의 해수담수화 시설을 가지고 있으며, 여기서 생산한 담수를 발전기 자체에서 생산되는 열을 식혀주기 위한 보조냉각수(2차 냉각수)로 사용하고 있다. 보조냉각방식은 폐쇄냉각식으로 소규모 냉각탑을 사용하고 있어(그림 3-1) 관류냉각방식으로 처리하는 폐열량은 연료 대비 35% 수준이다. 중국 화력발전소가 우리나라의 동급 발전소 대비 온배수 배출량이 10% 이상 적고, 해수담수화 시설에서 생산된 물을 “해천수(海泉水)”라는 상표(그림 3-2)로 판매하다는 것은 본받아야 할 일이다.

2. 우리나라의 냉각계통 운영상 문제점

우리나라의 냉각계통 운영상 문제점은 발전소 부지 및 냉각계통 선택에 대한 제한성과 온배수 배출에 대한 관리기준이 없는 것 두 가지로 대별되며, 그 외 냉각계통 운영상 발생하는 해양생태학적 문제를 해결하기 위한 생물검정 자료의 부족과 온배수와 관련한 연구 조사 결과의 신뢰성 부족을 들 수 있다. 냉각계통 운영상 문제점에 대한 대안은 바로 “해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 수립 연구”의 핵심이다.

가. 냉각계통 선택의 제한

우리나라에 있어 냉각계통 운영상 문제점 중 가장 중요한 것은 폐열처리용 냉각계통의 선택의 제한성이다. 발전소와 같은 대규모 열기관의 냉각계통은 냉매식이



그림 3-1. 중국 황도화력발전소 전경(좌측: 소형 냉각탑, 우측: 온배수 배수구).



그림 3-2. 중국 황동발전소의 해수담수화시설(좌) 및 해천수 운반차량(우)

유일한 방법이며, 물이 가장 손쉬운 냉매이다. 냉매식은 다시 관류냉각방식, 냉각탑 방식(습식 및 건식), 자연냉각방식(냉각지식 및 냉각수로식) 등이 있다. 냉각탑의 경우 온배수에 의한 영향은 없지만 국지 기상에 영향을 미칠 가능성이 크며, 100만 KW의 발전소 가동에 필요한 냉각지(혹은 냉각수로) 면적은 6km² 이상에 달하여 부지 확보가 쉽지 않다. 즉, 해양생태계 영향과 기상 영향 중 택일을 해야 한다(그림 3-3).

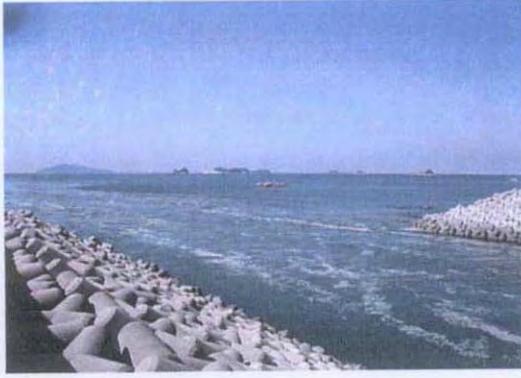


그림 3-3. 관류냉각방식의 온배수 배출(좌: 당진화력발전소)과 습식냉각탑의 수증기 발생(우: 현대중공업 대산복합화력발전소).

상기와 같은 관점에서 볼 때 관류냉각방식이 대규모 폐열처리를 위한 유일한 방법이 된다. 한편 담수자원이 부족한 우리의 경우 발전소와 같은 대규모 폐열발생기관은 필연적으로 해수를 냉각수로 사용하기 위하여 해안에 위치해야 한다. 관류냉각방식은 건설 및 가동이 가장 손쉽고 저렴한 냉각방법으로 우리나라에 가장 적합한 냉각방법이라고 말할 수 있지만, 해양환경에 미치는 영향을 고려할 경우 많은 개선을 필요로 한다.

관류냉각방식이 불가피한 경우 취·배수 시설의 개선으로 온배수 영향을 저감시킬 수 있다. 우리나라 연안의 경우 겨울철 혹한기를 제외하고는 대부분의 계절에 있어 표층 수온이 가장 높으며, 수심이 깊어질수록 수온이 낮아진다. 따라서 냉각수 취수 수심을 낮출 경우 배출하는 온배수 수온도 함께 낮아져 온배수 영향을 저감시킬 수 있다. 또한, 대부분의 수산생물 양식수심은 표층에서부터 10m 이내의 수심으로 온배수 배출구를 이 보다 낮은 수중에 설치할 경우 온배수 영향을 상당히 저감시킬 수 있다. 그러나 서해안의 경우 조간대가 넓게 발달해 있어 수중취수와 수중배수 시설의 설치가 어렵지만, 동해안과 남해안의 경우에는 타당성 있는 대안이 될 수 있다.

나. 온배수 관리방안 부재

우리나라 연안은 생산력과 활용도가 높은 해역이다. 유래를 찾기 어려울 정도로 다양한 해양생물을 식용으로 하는 세계 제1의 수산물 소비국인 우리에게 해양생태

계에 많은 영향을 미치는 온배수에 대한 관리방안이 없다는 것은 이율배반적 일이다. 발전소의 건설과 가동이 국가적 사업임에도 불구하고 온배수 문제는 정부 내 사각지대에 놓여 있다.

원자력발전소의 경우 1980년대부터 과학기술부가 전반적인 환경문제를 담당하였으나, 1996년 “원자력법”과 “원자력법시행령”이 개정되면서 환경문제가 일반환경과 방사선 환경으로 이원화됨에 따라 과학기술부는 방사능을 일반환경은 산업자원부가 담당하게 되었다. 산업자원부는 원자력발전소 주변 환경조사 지침(산업자원부 고시 제 1996-330호, 1996. 6. 27)을 고시하였지만 “전기사업법” 및 “환경·교통·재해등에관한영향평가법”이 개정됨에 따라 이를 폐지하였다. 환경과 관련한 현행 법률 중 대표적인 “해양오염방지법”, “수질환경보전법” “자연환경보전법” 및 “환경·교통·재해등에관한영향평가법”에도 온배수에 관한 조항은 없다. 다만, “수질환경보전법” 시행규칙에 오염물질 배출수의 온도를 40℃로 규정하고 있지만, 이는 소량의 오염물질이 해양으로 유입될 경우에 해당하는 것으로 온배수 배출기준이 될 수는 없다.

해양수산부는 물론 환경부 산하의 30여개 환경관리위원회에도 온배수를 다룰 수 있는 위원회는 없다. 다행히 대통령자문기구인 지속가능발전위원회에서 온배수 문제를 해양환경의 중요 과제로 선택함에 더하여 본격적인 온배수 관리방안 수립을 위한 연구용역이 해양수산부 주도로 시작되어 지금에 이르고 있다.

온배수를 가장 많이 배출하는 전력회사도 자신들이 배출하는 온배수에 대한 관리방안이 없기는 마찬가지이다. 발전소 지역 주민들은 온배수 문제를 사활이 걸린 주요 쟁점으로 삼고 조직적으로 다양한 분야의 전문가들이 모여 대책위원회를 구성하고 있는 반면, 전력회사들은 합리적이고 미래지향적인 대응방안을 마련하지는 못하고 있다. 다만, 어민들의 요구가 있을 경우에 피해보상 차원에서 수산업 피해 조사용역을 발주하고 그 결과에 따른 피해보상에 급급한 실정이다.

최근 원자력을 포함한 20여개의 발전단지 주변의 주민들은 온배수에 의한 수산업 피해에 대하여 활발하게 대처하고 있지만 환경영향평가를 제외하고는 아직 발전소가 위치한 해역에 어떠한 생물들이 살고 있으며, 이들이 온배수에 의하여 어떠한 영향을 받는지에 대한 구체적인 자료를 확보하지 못하고 있다.

다. 생물검정 자료의 부족

온배수 관리방안의 부재는 바로 온배수와 연관된 생물자료의 부족으로 나타난다. 현존하는 대부분의 수온관련 조사 자료는 온배수에 대한 해양생물의 반응을 과학적

으로 밝혀내지 못하고 있으며 그나마 자료의 양도 매우 적다. 지금까지 한국수산학회, 한국해양학회, 한국동물학회, 한국패류학회, 한국조류학회 등 전문 학술지와 대학의 연구보고집 및 학위논문을 망라하여도 수온 변화에 대한 해양생물의 반응에 관한 연구는 50여편에 불과하며(표 3-2), 이마저 넙치, 조피볼락, 참굴, 진주담치, 바지락, 김, 미역, 다시마 등 몇 몇 종에 편중되어 있다. 또한, 각 연구자별 실험방법과 실험조건이 상이하기 때문에 결과를 종합하여 공통적인 수온반응을 유추하기가 어렵다.

한편 발전소 건설 및 가동에 따른 환경영향평가서와 수산업 피해조사 보고서에 제시된 자료는 생물검정 실험방법에 많은 문제점을 내포하고 있다. 대부분의 환경영향평가서는 현존하는 해양의 물리·생물·화학적 현상을 기술하는데 그치고 있으며, 수산업 피해조사 보고서는 수온에 대한 해양생물의 반응을 정량적으로 밝혀내기 보다는 피해보상액 산출 및 조절에 치중하고 있다.

라. 온배수 관련 조사의 신뢰성 부족

우리나라는 매년 많은 예산과 전문가들이 투입되어 온배수 영향조사를 수행하고 있음에도 불구하고 그 조사결과가 발전소 지역 주민을 포함한 국민들이 신뢰할 수 있는 자료로 평가받지 못하며 심지어 학계에서도 그 정확성을 인정받지 못하는 경우가 있는 것은 매우 유감스럽다.

그 첫째 이유는 온배수와 관련한 조사업무를 전기사업자 즉, 온배수 배출자가 직접 수행하고 있다는 것이다. 우리나라에서 본격적인 발전소 온배수와 관련한 해양 조사는 1985년 “원자력법” 제111조 및 과기처 고시 제 1985-5에 의거 제정된 “원전 주변환경조사지침”에 따라 실시되었다. 이에 따라 1986년부터 전력연구원의 전신인 한국전력공사 기술연구원에서 환경조사가 시작되었으며 지금까지 이어 오고 있다. 이는 산업자원부 고시 제1996-330호에 따른 원자력발전소 주변 환경조사 지침 제3조(조사항목 및 빈도조사)에 “전기사업자는 원자력발전소 가동으로 인하여 주변 환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여 다음 각호에 정하는 바에 따라 환경조사를 실시하여야한다”로 규정되어 있기 때문이다. 온배수 배출자가 온배수 영향을 조사한다고 하여 무리가 있는 것은 아니나, 그 내용의 옳고 그름을 떠나서 발전소 주변에 거주하는 주민을 비롯한 대부분의 환경단체들이 조사결과를 신뢰하지 않을 뿐만 아니라 조사 자체에 대한 거부감을 가지고 있다는 것이다.

둘째는 기존의 산업자원부 고시와 발전회사에서 정한 온배수 영양 조사방법이 각

표 3-2. 수온에 대한 주요 해양생물의 생물검정 실험사례

대상생물	실험자료	실험 내역	참고문헌
넙치	성어, 치어	수온 변화에 따른 혈액성분 변화, 치어의 적정 사육수온	수산 1, 양식 1, 어류 5
조피볼락	성어, 치어	수온 변화에 따른 혈액성분 변화, 치어 성결정에 미치는 영향	수산 3, 양식 1
볼락	성어	수온에 의한 스테로이드 홀몬 변화	수산 1, 학위 1
쥐노래미	성어, 치어	수온 변화에 따른 혈액성분변화, 부화율 및 생존율에 미치는 영향	수산 1, 어류 1
농어	자어	수온과 부화 및 초기 생존율의 관계	양식 2
참굴	성장기, 유생기	수온이 여수율과 산소소비율에 미치는 영향, 임계수온, 난발생 및 성장적수온	수산 3, 대학 1, 학위 1
진주담치	성패	수온이 여수율과 산소소비율에 미치는 영향	수산 2, 대학 1
바지락	성패	수온이 여수율, 산소소비율, 동화율, 암모니아 대사에 미치는 영향, 임계수온	수산 2, 생물 1, 학위 1
참전복	성패, 치패	수온과 월동기 성장, 수온에 대한 내성, 임계수온	수산 1, 학위 1
까막곤쟁이	성체	온도순화, 수온에 따른 질소대사 변화	대학 2, 학위 1
대하	수정란, 초기유생	최적 부화 및 사육 최적수온	수산 1, 양식 1
우렁쉥이	초기유생, 성체	난발생 및 부착 최적수온, 수온에 따른 생존률	수산 1, 양식 2, 학위 2
김	배우체, 성체	수온 변화에 따른 광합성 변화, 세대별 생육 및 생식 적수온	수산 2, 양식 1, 조류 2
미역	성체	임계온도	수산 1, 조류 1
다시마	배우체, 성체	수온에 따른 포자 발아율, 광합성 및 성장률	수산 1, 학위 2

수산: 한국수산학회지, 양식: 한국양식학회지, 조류: 한국조류학회지, 대학: 대학 학술 논문집, 생물: 한국생물환경학회지, 학위: 학위논문

생물군집 및 개체군이 지니고 있는 고유한 생물학적 특성과 해역별 변화를 무시한 채 획일적으로 마련되어 있어 온배수가 해양생물에 미치는 영향을 과학적으로 해석하는데 무리가 따르기 때문이다.

셋째는 전력회사가 지역주민과의 합의 아래 혹은 단독으로 외부 용역기관으로 발주하는 온배수와 관련한 조사용역의 문제이다. 발전소 온배수에 의한 피해문제가

제기될 때마다 그 피해상황을 밝히기 위하여 막대한 경비를 투자하여 대학이나 연구소에 조사를 의뢰하고 있다. 그러나 그 조사내용은 기존의 원전 주변 환경조사 지침을 따르고 있기 때문에 전술한 바와 같이 온배수 영향을 분석하기 보다는 현황 파악에 그치는 경향이 많아 정량적인 피해상황을 밝히지 못할 뿐만 아니라 예산낭비의 요인도 되고 있다.

넷째는 온배수 영향에 대한 이해 당사자들의 사고이다. 발전회사의 경영진들은 에너지원 확보라는 정책사업의 당위성만 강조하며, 민원이 제기되어야만 민원해소 차원에서의 대책을 마련하고 있으며, 발전소 지역주민들은 목전의 피해보상액의 과다에만 관심이 있다. 정부는 에너지 공급이 원활하고 민원만 해결되면 불만이 없다. 정작 발전소에서 배출되는 막대한 양의 온배수가 해양생태계에 미치는 영향을 깊이 인식하고 우려하는 계층이 별로 없다.

매년 발전소 지역주민들이 수산업 피해 민원을 제기하고 있지만 연구기관 혹은 연구자별로 조사방법이 서로 다른 까닭에 같은 지역에서도 서로 다른 결과를 도출하여 혼란이 가중되고 있다. 더욱이 피해당사자와 원인제공자들이 각각 자신의 이익에 따라 조사결과를 자의적으로 해석하여 분쟁 소지를 더 한층 크게 하고 있다. 나아가서는 온배수 영향평가 또는 피해조사 용역에 참여하는 전문가들조차 편 가르기에 휘말리는 사태가 발생하기도 하며, 조사결과에 불만을 품은 지역 주민들은 집단으로 발전회사와 용역기관에 대한 물리적 실행사도 불사하고 있다.

3. 냉각계통 운영상 문제점에 대한 대안

냉각계통 운전에서 있어 해양생태계에의 영향을 근본적으로 차단하기 위한 방법은 폐쇄순환식 냉각방식이 유일한 대안이지만 현실적으로 우리나라에서 적용하기에는 경제적으로 많은 문제점이 있다. 따라서 관류냉각방식을 채택하는 것을 전제로 하여 해양생태계 보호를 위한 냉각계통 설계 및 운영방안에 대한 대안을 검토하기로 한다.

열기관에서 폐열이 부하되어 배출되는 온배수량은 취수되는 냉각수량과 일치하므로 해양생태계 보호를 위한 냉각계통 운영방안은 바로 냉각수량을 최소화하도록 냉각계통을 친환경적으로 설계해야 하며, 냉각계통의 운영은 해양생태계의 시, 공간적 변화를 고려하여 탄력 있게 운영해야 한다. 냉각수량의 최소화는 필연적으로 온배수 배출수온 증가를 수반한다. 그러나 열역학적 관점에서 볼 때 온배수와 자연해수의 수온차이 즉, ΔT 가 클 때 온배수의 확산이 빠르며, 같은 배출온

도에서는 온배수량이 적을수록 확산이 빠르기 때문에 결과적으로 온배수확산구역의 면적이 줄어드는 효과가 있다.

현재 해양생태계 보호를 위한 냉각계통 시설개선에 가장 심혈을 기울이고 있는 나라는 미국이다. 물론 경제력과 기술력에 많은 차이가 있는 미국의 사례를 우리나라에 그대로 적용할 수는 없으나, 미국의 사례를 바탕으로 우리나라 실정에 적합한 방안을 강구할 수는 있을 것이다. 다만 모든 경우에 있어 필연적으로 비용이 발생하기 때문에, 사전에 철저한 생태학적, 경제학적 연구를 통하여 시설 개선 여부를 판단하여야 할 것이다.

가. 관류냉각방식 취수시설 개선

취수시설 개선 방법으로는 수중취수, 취수 유속 최저화 및 취수시설 구조물에 충돌하거나 냉각계통 연행에 의한 피해를 저감하기 위한 조치가 포함된다. 가능한 한의 냉각수 취수량 최소화, 취수유속 조절 및 어류보호시설 설치 등 노력이 필요하다.

1). 수중취수

수중취수는 표층에 비하여 수온과 생물생산력이 낮은 수심에서 취수하여 냉각 효율을 높임과 아울러 해양생태계에 대한 피해정도를 정량적으로 감소시켜주는 방안이다. 수중취수의 가장 효과적인 취수 수심은 수온약층(thermocline) 이하의 수심이다. 우리나라 연안의 여름철 수온약층은 서해안 10~30m, 남해안 20~30m, 동해안 10~50m 범위에서 형성되고 있으며, 시기적, 지형적으로 많은 변화가 있다. 반면 취수수심을 한번 결정하면 수정하기가 어려우며, 취수수심이 깊어질수록 건설 및 운영비가 증가할 뿐만 아니라 에너지도 많이 소모된다. 즉, 취수수심이 깊어질수록 수온차이에 의하여 냉각효율이 높아지며 온배수 수온은 감소하지만 심층취수에 따른 추가 에너지 소요로 인하여 전체적인 에너지 부하량은 상대적으로 증가한다. 또한, 건설비와 운전비용은 취수수심이 깊어짐에 따라 증가한다. 따라서 수중취수 수심은 발전소가 위치한 해역의 수온 연직변화와 수중취수를 위한 소요경비를 감안하여 결정해야 한다.

우리나라에서 최근 건설되는 발전소들은 대부분 수중취수방식을 채택하고 있다. 서해안에 위치하는 발전소들은 취수수심 확보가 어려워 대부분 10m 이하의

수심에서 수중취수를 하고 있으나 서해안의 조석차가 7m 이상에 달하는 것을 감안할 때, 사실상 10m 내외의 수중취수에 큰 의미를 부여하기는 어려운 실정이다. 그러나 남해안과 동해안의 경우 비교적 용이하게 취수수심을 확보할 수 있으며, 수온의 연직변화가 뚜렷하게 나타나므로 수중취수로 많은 효과를 얻을 수 있다. 기존 발전소의 표층 취수방식을 수중 취수방식으로 전환하기에는 지역별, 발전소별 다소 차이가 있지만 많은 비용이 소요되는 것은 자명한 사실이다. 따라서 수중취수로 얻을 수 있는 생태학적 이익과 시설 및 운전애 소요되는 비용을 감안하여 수중 취수방식으로 전환 여부를 결정해야 할 것이다.

2). 취수유속의 저속화

해양생물 중 운동성이 없는 종류들이 취수 시설물에 충돌하거나 냉각계통에 연행되어 입는 피해는 취수유속에 관계없이 취수량에 따라 결정된다. 한편 운동성이 있는 어류와 대형 갑각류 등은 취수유속이 자신의 운동능력을 초과할 경우에만 수류를 이기지 못하고 냉각수류를 따라 시설물에 충돌하거나 냉각계통에 연행되어 피해를 입는다. 따라서 냉각수 취수유속을 저속화함으로써 충돌과 연행 피해를 저감시킬 수 있다. 그러나 소요되는 냉각수량은 일정하기 때문에 취수유속을 줄이기 위해서는 취수시설 확장이 불가피하여 경제적 제한성을 갖는다.

한편, 소수의 대형 취수펌프를 사용하기보다는 다수의 소형 취수펌프를 사용함으로써 꼭 필요한 양의 냉각수를 취수함으로써 충돌 및 연행 피해를 줄이는 방법을 채택해야 한다.

3). 냉각수 취수시설물 충돌 및 냉각계통 연행 저감시설

모든 경우에 있어 해수를 냉각수를 사용한다면 이에 따른 해양생물의 충돌 및 연행 피해를 근본적으로 방지할 수는 없다. 그러나 어류와 대형갑각류 등은 소정의 보호시설을 갖추므로 그 피해를 어느 정도 저감시킬 수 있다. 해양생물 보호를 위하여 많이 사용되는 방법은 수동적 취수장치(Passive intake system), 충돌 저지장치, 어류 보호장치(fish handling system) 등이 있다. 보호시설의 설치 여부는 냉각수 취수 수위에 서식하는 해양생물의 중요도를 먼저 판정하고, 보호해야 할 대상에 따라 보호시설의 종류 및 설치 방법을 결정해야 한다. 설치 및 운전애 소요되는 경비와 보호 받을 해양생물의 중요도를 고려해야 한다. 보다 자세한 보호시설에

대하여는 제 2 절. 온배수 배출기준의 기술적 배경에서 하기로 한다.

나. 관류냉각방식 배수시설 개선

1). 냉각지, 냉각수로 및 분산법

냉각지법은 관류냉각방식과 같은 수냉식 냉각법이지만 배출된 온배수를 충분히 냉각시켜 다시 냉각수로 사용한다는 점에서 차이가 있는 폐쇄순환식 냉각방식이다. 즉, 냉각지법은 복수기에서 폐열이 부하된 온배수를 냉각지에서 자연수온에 도달하도록 충분히 식힌 후 다시 냉각수로 사용하는 방법으로, 온배수가 다시 취수되기 전에 열을 완전하게 상실할 수 있는 최소한의 공간 즉 냉각지가 필요하다. 일반적인 가동조건에서 1백만kW 용량의 발전소를 완전 가동할 때 발생하는 폐열을 해수를 이용한 자연냉각방식으로 처리할 때 필요한 냉각지 크기는 주변 환경에 따라 차이가 있어 2~20km²에 달한다(Clark and Brownwell 1973, Roffman 1975). 폐쇄되어 물의 흐름이 없는 경우 공기와의 접촉만으로 온배수를 식혀주어야 하기 때문에 1백만kW 용량의 발전소당 기본적으로 3,000~5,000ha의 냉각면적이 필요하나(Scott 1973), 부지비용을 제외할 경우 건설 및 가동비용은 가장 저렴하다(Monn *et. al.* 1979). 수심 10m를 기준으로 하고 어느 정도 흐름과 표층 turbulence를 고려한다면 1백만kW의 발전 당 6km² 정도의 냉각지가 필요할 것으로 추정되지만 발전소 주변에 천연적 소만이나 해안 기수호가 없을 경우 부지확보가 어렵다. 또한 여름철 고수온기에는 대기와의 열교환 속도가 느려 온배수의 수온이 완전하게 낮아지지 않은 상태로 다시 냉각수로 취수될 가능성도 발생한다. 극한적으로는 온배수 온도보다 기온이 높아 대기와의 열교환 방향이 역전되는 경우도 있을 수 있다.

따라서 우리나라의 경우 관류냉각방식의 보조수단으로 사용하는 것이 타당하다. 즉, 온배수가 해양으로 배출되기 전에 일시 저장하여 수온을 1차적으로 낮추어 준 후 배출하는 개념으로 해석해야 한다. 상기와 같은 관점에서 볼 때 온배수로를 보다 길게 연장하여 부분적으로 냉각수로 역할을 담당하게 하는 것은 온배수 영향저감의 한 방법이 될 수 있다. 이 경우 온배수는 일정한 속도를 가지고 흐르기 때문에 유속이 거의 없는 냉각지에 비하여 대기와의 열교환 속도가 빠르다. 발전소의 경계를 따라 냉각수로를 설치할 수 있다면 비교적 저렴한 비용으로 소기의 성과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 모든 경우에 있어 관류냉각방식을 채택하는 열기관은 온배수로의 수면적을 최대한으로 확대하여 온배수가 자연으로 배출되기 전에 다소나마 수온을 낮추어 주기 위한 노력에 힘을 기울여야 한다.

분산법은 온배수를 배출하기 전에 공중으로 분사하여 대기와의 열교환을 촉진하는 방법이며, 좁은 공간에서 단기간 내에 온배수 온도를 낮추어 주는 방법이다. 그러나 전술한 것과 같이 고수온기에 사용하기 어려운 제한성이 있으며, 비산하는 염분으로 주변 환경과 시설물에 2차적 염분 오염을 야기 시킬 가능성이 있기 때문에 좁은 공간 안에 발전시설이 밀집되어 있으며, 근 거리에 인구밀집 지역이 있는 우리나라 현실에는 적합하지 않다.

2). 수중배수

온배수 배출방법은 크게 두 가지로 해수면 표면으로 배출하는 표층배수 방식과 어느 정도 수심 깊이의 바닷물 속으로 배출하는 수중배수 방식이 있다. 표층배수가 온배수 배출 수괴의 2차원적 이용이라면 수중배수는 3차원적 이용이다. 수중배수 방법은 다시 관도형(submerged caisson), 격벽형(submerged curtain), 단공 배수(single nozzle) 및 다공배수(multi nozzles)로 나뉜다(그림 3-4).

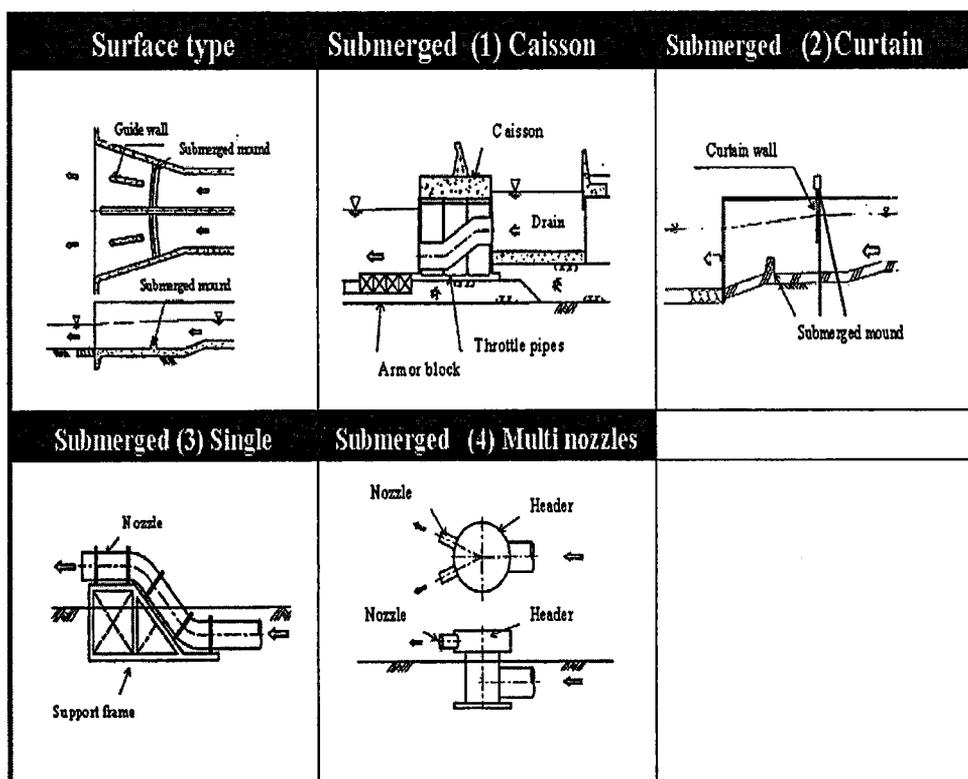


그림 3-4. 온배수 배출구 모식도.

수중배수 수심은 수중취수와 같이 수온약층 이하에서 하는 것이 가장 효과가 있다. 우리나라의 경우 시설 및 운영비 절감을 이유로 신설 발전소의 수중배수 수심을 10m 내외로 결정하고 있는 것은 좀 더 고려해야 할 사안이다.

지금까지 심층배수 혹은 저층배수라는 용어를 사용하고 있으나 배수수심이 20m를 넘지 못하고 있기 때문에 심층 혹은 저층배수라는 용어는 적당하지 못하며, 수중배수라고 부르는 것이 타당하다. 수중배수를 하더라도 해양에 부하되는 총열량은 변화가 없기 때문에 온배수확산구역의 범위는 그다지 변화가 없다는 주장도 있으나, 이는 배수 수심이 10m 내외에 불과하기 때문에 뚜렷한 수중배수 효과를 얻지 못하고 있기 때문이다.

수중배수에 대한 자세한 언급은 제 2 절. 온배수 배출기준의 기술적 배경에서 하기로 한다.

다. 발전시설 개선

1). 발전효율 증대

온배수 배출량을 줄이는 가장 효과적인 방법은 열효율을 극대화 시켜 폐열의 발생량을 줄이는 것이다. LNG를 연료로 할 경우 49% 이상의 열효율(서인천화력발전소)를 얻을 수 있으며, 복합화력발전소는 52.7%의 높은 열효율(부산복합화력발전소)을 얻을 수 있어 일반 화력발전소에 비하여 온배수 사용량을 67% 정도 절감 시킬 수 있다. 신규로 건설하는 발전소는 가능한 한 복합화력발전소로 건설하고 노후 발전소의 리모델링은 발전효율을 극대화 시킬 수 있도록 배려하여야 할 것이다.

2). 냉각계통 운영방식 변경

온배수가 흘러들어가는 해역의 계절적 수온변화에 따라 온배수 사용량을 조절하는 것은 해양생태계 보호에 좋은 효과를 발휘할 수 있다. 즉, 주변 해역의 수온에 따라 ΔT 를 조절하는 것으로 고수온기에는 ΔT 를 낮추어 주고 저수온기에는 ΔT 를 높여 주는 방법이다. 동절기에는 온배수에 포함된 열에너지가 대기 중으로 빠르게 전이되어 상대적으로 온배수 확산구역이 줄어들 뿐만 아니라, 온배수에 의한 수온 상승은 수산생물의 성장에 도움이 된다. 또한, ΔT 를 증가 시키는 것은 냉각수 취수량을 줄이는 것이기 때문에 해양생물의 충돌 및 연행 피해도 같이 줄일 수 있다.

그러나 고수온기에 ΔT 를 감소시키는 데는 발전 효율상 문제가 발생할 수 있으며, 과도한 냉각수 사용은 해양생물의 충돌 및 연행 피해를 증가시키기 때문에 신중하게 결정해야 한다.

저수온기에는 회유성 해양생물이 온배수 확산구역 안쪽으로 밀집되며, 결국 온배수 배출구 주위에 모이게 된다. 이 때, 발전사고 혹은 정기점검을 위하여 발전소가동이 중지 된다면 급격한 수온 하강으로 배수구 주위에 밀집한 해양동물들이 치명적인 피해를 입을 수 있다. 이를 저온충격(cold shock)이라 하는데 모든 발전소는 동절기에 보수 및 점검을 피해야 할 것이다. 미국 뉴욕주 등은 12월에서 이듬해 3월까지 온배수를 해양으로 배출하는 발전소에 대하여 온배수 배출이 완전히 중단시키는 발전소의 정기 점검을 법으로 금지하고 있다(N.Y. 1991).

3). 냉각방법 변경

대단위 열기관의 폐열 처리에 있어 냉각계통 가동에 의한 해양환경 영향을 가장 확실하게 없애는 방법은 관류냉각방식을 탈피하여 폐쇄순환식(공냉식 냉각탑 혹은 폐쇄순환식 냉각지)을 채택하는 것이다.

냉각탑식에서 비교적 건설 및 운영비가 저렴한 습식냉각탑을 사용할 경우 관류냉각방식에서 소모되는 온배수의 5% 정도가 증발하여 대기 중으로 사라짐과 아울러 비산하는 염분에 의한 농작물 피해, 산업 및 생활 기자재 오손, 국지 기상변화(안개, 결빙) 등의 문제가 발생한다. 한편, 건식냉각탑은 냉각수를 사용하지 않기 때문에 해양으로 직접 배출되는 온배수가 없어 자연적으로 온배수 영향은 없어지지만, 냉각탑 건설 부지확보의 어려움과 과도한 건설 및 운전경비의 부담이 있다. 여하튼 우리나라에서 냉각탑식을 채택한다면 건식냉각탑이 유리할 것으로 생각된다.

미국의 Tera Tech.(2002)은 캘리포니아에 위치한 920MW급 발전소인 Morro Bay Power Plant의 관류냉각방식을 폐쇄순환식으로 전환하는데 소요되는 비용은 건식냉각탑의 경우 약 1,000억원(\$104.9M)이 소요되며, 연간 약 90억원의 추가 경비가 소요된다고 하였다(표 3-3). Tera Tech. (2002)의 계산은 부지 비용 및 복수기에서 냉각탑까지의 배관비를 제외한 비용이다. 냉각탑의 기본 크기는 1,000MW급 발전소를 기준으로 직경120m, 높이 100m의 거대한 크기로, 냉각탑 1기 건설에 최소한 5000평이 필요하여 부지 비용을 감안 한다면 건설비는 기하급수적으로 늘어난다.

영광원전온배수영향대책합동작업반(1995)은 영광원전의 냉각방법을 습식냉각탑을 이용한 폐쇄 순환식으로 전환 하는 것을 검토하였으나 냉각탑 설치를 위한 공간 부

표 3-3. 냉각방법 전환 비용

냉각계통		발전량(MW)	투자비 (\$M)	운영비* (\$M/y)
습식냉각탑		970	28.2	2.5
건식냉각탑		970	104.9	9.3
습/건식냉각탑		970	97.6	8.6
원해 배수	180m	970	7.8	
	890m	970	23.0	

* 30년 사용기준, 발전량 저하를 방지하기 위한 2차 연소시설을 포함 설비투자비 및 열손실비 포함 연간운영비

자료: Morro Bay Power Plant (Tera Tech. 2002).

즉, 냉각탑에서 발생하는 2차적인 환경영향, 약 700억원/호기에 달하는 건설비 등의 이유로 국내 적용이 어려운 것으로 판단하였다. Tera Tech.(2002)의 설계 방식을 채택하여 영광원자력발전소의 6개호기에 대하여 2차 환경영향이 없는 건식냉각탑을 건설할 경우 부지비용을 제외하고 약 1조원이 소요되리라 추정 된다

라. 온배수의 적극적 이용

온배수를 적극적으로 이용하는 것은 온배수로 인한 손실을 온배수를 이용하여 다시 얻는 것으로 능동적인 온배수 영향 저감방안이 될 수 있다. 즉, 발전소 주변 해역이 생태계에 미치는 부정적 영향을 온배수를 이용한 수산양식, 시설농업, 온배수 확산구역에서의 바다목장 조성, 해양생태공원 조성 등으로 상쇄하는 것이다. 이에 대한 자세한 내용은 제4장에서 다시 논의하기로 한다.

제 2 절. 온배수 배출기준의 기술적 배경

1. 냉각수 취수계통 설계

미국은 CWA Section 316(b)에 의거 냉각계통의 위치, 설계, 건설, 용량을 결정하는데 있어 환경영향을 최소화 하기위하여 적용 가능한 최고의 기술을 채택하여 시행하도록 규정되어 있으며 이를 증명하기위하여 포괄적인 실증연구 보고서를 제출하도록 규정하고 있다 [40 Code of Federal Regulations Part 125.95(b)]. 실증보고서의 목적은 건설된 냉각계통의 실제 가동결과를 통하여 충돌과 연행에 의한 해양생물의 피해를 영향이 현재의 기술로 도달 가능한 최대의 수준까지 저감되었음을 입증하여 냉각계통의 설계에 건설당시의 시점에서 사용가능한 최고의 기술을 사용하는 지를 검증하기 위한 것이다(Department of National Resources 2005). 이 보고에는 최고의 기술 검증방법, 냉각수원 및 수괴 특징, 냉각계통의 특징, 충돌 사망 및 연행 특징 연구결과, 냉각통의 설계, 건설 및 가동 계획, 피해로부터 회복 계획, 장기모니터링계획 등이 포함되어야 한다. 특히 충돌 사망 및 연행 특징 연구는 피해 가능성이 있는 어패류의 모든 생활사, 보호종, 위기종 여부 및 이들의 시공간적 분포 특성을 최소한 1년 조사(필요시 1년 보충조사)하도록 되어 있다.

현재 미국에서 냉각계통의 설계와 운영에 요구되는 사항 중 우리나라에 적용 가능한 것들은 다음과 같이 요약할 수 있다.

가. 위치 선정

냉각수로 사용되는 수괴는 해양생물의 산란장, 성육장, 회유경로, 하구역, 위기종 및 보호종의 서식지가 아닌 수괴를 선정해야 하며, 취수 시설물의 구조나 설비는 어류를 유인하지 않도록 설치해야 한다. 또한 취수구 위치는 일주기, 계절주기에 따른 다량의 난차지어 유입이 없는 곳을 선택하되 취수에 따른 해수유동이 자연적 성층현상(vertical stratification)을 파괴하지 않아야 한다.

수중취수는 냉각계통이 해양생태계에 미치는 영향을 줄일 수 있는 가장 좋은 방법이다. 해양에 있어 대부분의 부유생물과 유영동물은 표층 가까이에서 가장 높은 밀도를 보인다. 따라서 냉각수 취수 수심을 낮게 할 경우 충돌과 연행에 따른 해양생물 피해를 상당량 줄일 수 있다. 또한 취수되는 냉각수의 수온도 상대적으로 낮

기 때문에 배출되는 온배수의 수온도 낮아 온배수에 의한 환경영향을 줄일 수 있다. 가장 효과적인 취수 수심은 수온약층(thermocline) 이하이다. 수중 취수는 효과가 크지만 조간대가 발달한 서해안에서는 취수 수심확보가 어려워 적용하기 힘들겠지만 동해안과 남해안에서는 비교적 손쉽게 적용할 수 있을 것이다.

나. 냉각계통 설계

해양생물이 냉각계통에 의하여 입는 피해는 다음의 상관관계식에서 볼 수 있듯이 시간당 취수량에 비례한다(Super 2003)는 미국 발전소의 사례를 종합하여 시간당 취수량이 충돌과 연행에 미치는 영향을 다음과 같은 상관관계가 있다고 보고하였다.

$$\text{충돌}(I) = 0.1704V^{1.5943},$$

$$\text{연행}(En) = 457475V^{1.1405},$$

$$V = \text{시간당 냉각수 취수량}(f^3/\text{sec.})$$

사실상 시간당 취수량은 취수 유속에 따라 결정되기 때문에 취수펌프의 선택은 매우 중요하다. 발전량의 변화에 따라 취수량을 조절하기 위해서는 다단계 소형펌프가 유리하며, 해양생물의 민감기(산란기, 밀집기 등)에 충돌과 연행을 줄이기 위해서는 대용량의 저속펌프가 유리하다. 대용량 저속펌프를 기본펌프로 하고, 다단계 소형펌프를 보조펌프로 설치하여 취수 속도와 취수량을 상황에 따라 조절하면 큰 효과를 얻을 수 있다.

취수 시설물 충돌 및 연행을 최소화하기 위하여 회전거름망을 통과하는 유속을 최소한으로 느리게 설계해야 한다. 가능한 한 냉각수 취수량을 최소화하고 ΔT 증가를 증가 시키는 것이 바람직하다. 이에 더하여 취수 시설물 주위에 밀집하거나 시설물에 충돌한 수산동물을 안전하게 자연으로 되돌려 보낼 수 있는 보호장치를 설치해야 한다. 수중 취수 및 수중배수는 해양생물이 밀집되어 있는 표층을 피하여 취수하고 배수하는 방법으로 해양생물보호에 매우효과가 있을 뿐만 아니라, 취수수온이 상대적으로 낮기 때문에 온배수 배출에 의한 영향도 줄일 수 있다.

최근 미국에서에서 추천하는 충돌 및 연행 저감 방안은 다음과 같다(Atlantic States Marine Fisheries Service 2002).

- 수동적 취수장치(Passive intake system): 구멍 있는 관이나 다공성 턱을 갖춘 거름망을 사용하여 강압적이기 보다는 수동적 취수로 충돌 및 연행 최소화
- 충돌 저지장치(Diversion or avoidance system): 취수구 스크린 전면의 충돌

저지망(deterrent net), 수압 커튼(water het curtain), 수중여과벽(aquatic filter barrier) 설치하여 충돌 가능성 있는 해양생물을 도피시켜 충돌 방지

- 어류 보호장치(fish handling system): 물고기 엘리베이터(fish elevator), 살수장치(spray wash), 물고기 보호상자를 설치하여 충돌한 어류를 즉시 수거하여 자연으로 돌려보냄
- 건식 및 습식 폐쇄순환식 냉각방법 채택(EPA 2001)

다. 환경영향 저감시설

전술한 바와 같이 취수 구조물에의 충돌 및 냉각계통에의 연행을 최소화하기 위한 방법은 냉각수 사용량을 줄이는 것이 가장 이상적이지만, 냉각수 사용량은 발전 효율에 직접 영향을 주므로 냉각수량을 축소하는 데는 현실적으로 많은 제약이 있다. 따라서 취수 구조물에 충돌 가능성이 있는 해양생물을 취수구에서 멀리 떨어진 곳으로 유도하고, 충돌한 생물은 더 이상의 피해를 입기 전에 수거하여 안전한 곳으로 방류하는 것이 가장 보편적인 방법이다. 이러한 안전장치는 기능성에 따라 물리적 장벽, 수거장치, 회피장치 및 습성유도장치로 구분된다(Taft and Cook, 2003).

1). 물리적 장벽

최근 선호되는 물리적 장벽은 원통썰기형 거름망(cylindrical wedge screen), 수중여과벽(aquatic filter barrier), 그물망(barrier net) 등이다(표 3-4).

원통썰기형 거름망은 대부분의 어류가 유속 0.9m/sec 이내에서 95% 이상 생존 가능하다(EPRI 2005)는 개념을 토대로 취수 유속을 0.9m/sec의 저속으로 하고 0.5mm 망목의 일반형 혹은 원통썰기형 거름망을 설치하여 충돌 및 연행 방지 효과를 얻는 장치이다(그림 3-4). 취수방향은 자연적 해류흐름과 교차되게 설치하여 어류의 피동적 유입을 저지한다. 거름망의 원통형 구조는 충돌개체와 거름망의 접촉 시간을 최소화시킴과 아울러 충돌한 어류의 도피를 수월하게 한다. 이 장치는 취수 유속이 빠를수록 효과 저하되기 때문에 다량의 냉각수가 필요한 경우에는 운전경비가 과다하게 소요되는 단점이 있다. 된다. 최근 15 ~ 30cm/초 범위의 저속 취수가 가능한 발전소들은 망목을 2mm 까지 확대한 원통형 거름망을 건설하고 있다(LADWP 2005). 미국 뉴저지 주 Logan Generating Station에서는 거름망의 망목을 1mm로 축소하여 연행률이 90% 감소하는 효과를 얻었으며, 델라웨어 주 Eddy

표 3-4. 냉각계통의 어류보호장치

유형	기능	구성요소
물리적 장벽	물리적으로 어류 유입 제한	Traveling screen Stationary screen Drum screen Cylindrical wedge screen Barrier net Aquatic filter barrier Porous dike Radial well Artificial filter bed Rotary disk screen
수거장치	어류를 수거하여 구제	Modified traveling screen Fish pump
회피장치	안전한 곳으로 유도	Angled screen Modular inclined screen Eicher screen Angled rotary drum screen Louvers/angled bar rack Inclined plane screen Vertical/horizontal traveling screen
습성유도	취수구 외측으로 어류 유집	Strobe light Mercury light Acoustic system Infrasound Airbubble curtain Hybrid system Other behavioral technologies

Stone Station에서는 원통썰기형 거름망을 설치하여 150,000마리/월에 달하던 어류 충돌 피해를 거의 완전하게 해소하였다.

수중여과벽은 투수성 섬유매트에 수지섬유를 넣어 만든 장치로 난치자어 연행을 저지하는 장치이며, 그물망은 취수구 전면에 설치하여 소형 혹은 중형 어류가 취수구 부근으로 들어오는 것을 차단하는 것이다. 망목은 취수구가 위치한 수피에 분포하는 어류의 크기에 따라 차이가 있지만 반드시 어류가 그물망에 걸리지 않는 크기이어야 한다. 통상 4~32mm 정도의 망목을 사용하며(EPRI 2000), 하구역과 계절적으로 많은 어류가 회유하는 장소에 적합하다.

수거장치 중 가장 효과 있는 것은 개량형 이동식 거름망(modified traveling screen 또는 Ristroph screen)이다. 기존 거름망의 망목은 10mm로 80-120psi의 높은 압력으로 세척하여 충돌어류의 생존율이 15% 이하이었으나, 개량형거름망을 설치하여 충돌어류의 생존율을 향상시킬 수 있다(EPA 2005). 동 장치는 충돌한 어류가 피해를 입지 않고 도피하도록 물을 채운 바구니를 거름망 전면에 설치하여 충돌 또는 연행 직전의 어류를 안전하게 보로하고, 주기적으로 수거하여 바다로 돌려보도록 한 것이다(그림 3-5, 6). 바구니는 유체역학적으로 안정성 있게 설치되고, 무결절 망을 사용하여 어류의 비늘이 손상되는 것을 방지하고 바구니에서 어류가 쉽게 탈출하도록 어도를 설치해야 한다. 이를 위하여 어류를 부드럽게 이동시킬 수 있는 살수장치와 적절한 탈출구를 배치하여, 고품물 찌꺼기 제거를 위한 고압 세척 이전에 어류를 안전하게 이동시켜야 한다.

동 장치는 연속적으로 가동해야만 효과가 있기 때문에 기존의 거름망에 비하여 운전경비가 많이 소요되는 단점이 있지만 충돌 어류의 생존율을 획기적으로 향상시킬 수 있어 많은 주가 발전소에서 의무적으로 채택하게 하고 있다.

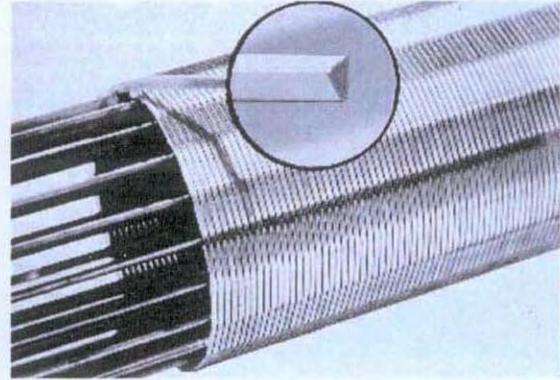
뉴저지 주 Salem Generation Station(1996년 설치)에서는 동 장치를 설치하여 충돌 어류 생존율을 민어과어류 88%, 농어류 93~98%, 멸치류 20~72%, 대서양민어 58~98%, 및 청어 78~82%로 향상시켰으며, 캘리포니아 주 Diablo Canyon 및 Moss Landing Power Plant (1988년 설치)에서는 충돌 어류 사망률 75% 이상 절감시켰다. 뉴욕 주 Arthur Kill Station (2000년 설치)에서는 8개의 거름망 중 2개만을 개조하여 어류수집구, 저속 세척장치 및 분리된 어류 도피문을 추가함으로 충돌 어류의 생존율을 15%에서 79% 이상으로 향상시킨 사례가 있다.

2). 회피장치

회피장치는 어류가 취수 시설에 충돌하기 이전에 다른 곳으로 회피시키는 방법이다. 기울인 거름망(angled screen)은 일반 이동식 거름망을 인입되는 수류에 20° 정도 비스듬하게 설치하여 어류가 거름망의 기울기를 따라 빠져 나갈 수 있게 하는 것으로 어류 도피로(bypass)를 구비해야 효과가 있다. 어종에 따라 차이는 있지만 취수조건이 안정되어 있는 곳에서 수거장치와 같이 사용할 경우 효과 매우 크다. 기울인 거름망과 취수로에 일정한 간격을 두고 경사진 격판을 설치하여 어류의 회피 효과를 크게 증대시킨 것을 격벽식(louver system)이라 한다. 어류회피 장치들은 모두 합하여 하나의 모듈(modular inclined screen)로 설치할 수도 있다.



소망목 거름망.

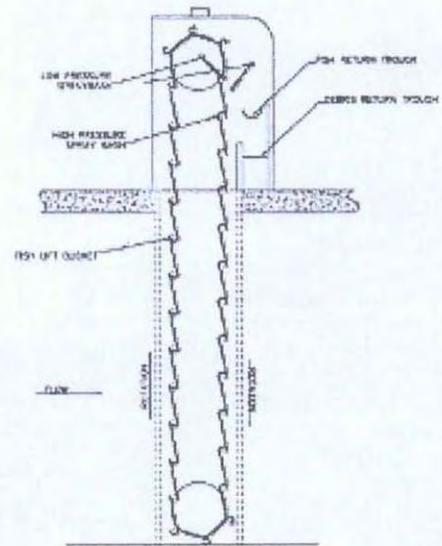


원통형 거름망(Cylindrical Wedgewire screen).

그림 3-5. 소망목 거름망 및 원통형 거름망의 구조.



거름망의 구조.



거름망 세부구조.

그림 3-6. 개량형 거름망(Ristroph screen)의 구조(EPA 2005).

3). 습성유도

습성유도는 어류의 행동습성을 이용하여 어류가 취수구 부근으로 접근하는 것을 방지하는 것이다. 취수구 전면에 강한 빛을 부정기 적으로 비추어 어류가 놀라 회피하게 하는 것이 가장 보편적인 방법이다. 이외 공기커튼, 고주파(120Khz) 음향 발사 등의 방법이 있다. 습성유도장치는 어종별 반응 차이가 크기 때문에 단독적으로 사용할 경우 큰 효과가 없지만 2~3가지 장치를 복합적으로 사용하면 효과가 있다.

4). 해양생물 보호시설 경비

해양생태계 보전을 위한 취수 구조물의 시설은 취수구가 위치한 해역의 환경에 맞추어 결정해야 함과 아울러 시설비와 운영비에 대비한 효율을 감안해야 한다. 예를 들자면, 수중 여과벽은 가장 효과적인 보호대책이 될 수 있지만 설치비는 냉각수 취수량 기준으로 \$816,780m³/sec에 달하여 100만KW급 원자력발전소에 설치할 경우 약 300억원의 막대한 설비비와 약 23억원/년의 운영비가 소요된다(표 3-5).

표 3-5. 미국 35개 발전소의 어류보호 시설의 평균연차설치비 및 평균연간운영비
단위 : \$/m³/sec

시설명	시설비	연간 운영비
Aquatic filter barrier	815,780	60,071
Bar rack barrier	74,164	2,473
Barrier net*	28,269	3,180
Behavioral barrier*	42,403	2,473
Coarse mesh Ristroph screen*	155,478	12,368
Fine mesh Ristroph screen	283,755	16,255
Fish pump*	3,534	2,827
Fixed panel screen	120,142	7,774
Modular inclined screen	141,344	1,413
Narrow slot wedge wire	515,906	13,024
Velocity Cap*	28,269	353
Wide slot wedge wire	180,214	3,534

자료: Taft and Cook (2003) 재구성, * 국내 추천 장치

우리나라에서 적용할 수 있는 보호장치는 효과가 뚜렷하고 경비가 비교적 저렴한 그물망, 습성 이용 회피장치, 개량형 거름망, 물고기 펌프, 유속저감 덮개를 기본시설로 하고 주변해역의 해양생물학적 특성을 면밀하게 조사하여 추가적인 해양생물 보호시설 설치 여부를 설치하는 것이 바람직하다. 현재 냉각수 사용량 200m³/sec 수준인 월성원자력발전소 취수 시설에 해양생물 보호시설에 소요되는 경비는 약 500 억원으로 추정되며, 운영비는 약 40억원/년에 달할 것으로 추정된다.

5). 해양생태계에 미치는 영향평가

환경영향 저감시설을 갖추었거나 갖추지 못한 경우를 불문하고 모든 냉각계통은 주기적인 조사를 통하여 그 환경영향을 정량화 하고, 그 결과에 따라 환경영향 저감을 위한 개선 방안을 지속적으로 강구해야 한다. 냉각 시설물에 충돌하거나 연행되는 해양생물에 대한 정량적 정성적 조사는 최소한 계절별로 수행되어야 한다. 계절조사는 조석주기별 및 일주기별로 실시하여 충돌 및 연행되는 해양생물의 종, 개체수, 크기, 무게를 조사해야 한다. 아울러 개선 가능한 모든 냉각방법에 대하여 자연환경 회복의 실행효과를 장기 모니터링 하여야 하며, 그 결과에 따라 냉각계통의 시설 개선 또는 운영방안을 개선해야 한다. 모니터링결과 냉각계통 가동이 자연환경에 미치는 영향이 미미하며, 변동이 없다면 조사내용을 축소해도 좋다.

2. 복수기 설계 ΔT 의 결정요소

통상적으로 온배수 ΔT 는 냉각수가 복수기로 들어가는 입수점의 수온과 열 교환을 마치고 복수기 외부로 배출되는 출수점의 수온 차이를 말한다. 그러나 온배수가 복수기부터 바다로 흘러들기까지 흐르는 배수로 역시 냉각계통의 일부이며, 온배수가 해양생태계에 미치는 영향을 최소화하기 위한 시설개선의 대상이다. 따라서 온배수 배출규정에 적용하는 ΔT 는 온배수가 온배수 배출시설은 벗어나 바다로 유입되는 지점을 기준으로 해야 한다. 용어의 해석상 혼돈을 피하기 위하여 복수기 입수점과 출수점의 수온차이는 설계 ΔT 로 하고, 온배수가 바다로 흘러드는 지점에서의 온배수와 자연해수의 수온차이는 온배수 ΔT 로 부르기로 한다.

관류냉각방식을 채택하는 열기관의 폐열처리를 위한 복수기 입구수 및 출수구를 기준으로 한 설계 ΔT 결정요소는 발전기 유형 및 열효율, 복수기의 종류 및 정격출력을 위한 복수기 배압, 냉각수의 온도 등이다. 상기 요소 중 계절적으로 변하는 냉

각수 온도를 제외한 것들은 불변 조건이다. 같은 출력 조건에서 냉각수량이 증가하면 온배수 ΔT 는 감소하고, 반대로 냉각수량을 줄이면 온배수 ΔT 는 증가한다. 만일 열기관이 필요로 하는 냉각수량을 극단적으로 줄여 냉각수를 사용량을 "0"에 가까운 수치로 줄인 것이 냉각탑이다. 냉각수량을 극단적으로 증가시켜 온배수 온도를 자연해수 즉 냉각수 온도와 비슷한 수준으로 낮추어 배출한다면 온배수 배출에 따른 환경 영향은 없겠지만, 냉각수 취수에 따른 충돌 및 연행에 의한 해양생물 피해가 증가하며, 취수펌프 용량, 냉각수로, 복수기 등 냉각시설의 규모가 지수학적으로 증가하여 운영경비가 열기관의 가동으로 얻어지는 이익을 초과하게 될 것이다.

열기관의 하나인 발전소 최대효율은 표준원전의 경우 복수기 배압 1.5inHgA를 기준으로 선정되며, 이 조건을 충족시키는 범위 이내에서 발전 터빈의 종류 및 열 출력, 발전소가 위치한 해역의 수온 변화 등을 고려하여 복수기를 설계하게 되며, 복수기 설계조건에 따라 ΔT 가 결정된다. 통상적인 관류냉각방식의 경우 기술적으로 설계 가능한 최소 ΔT 는 5°C 내외이지만 상한치는 매우 높은 온도 까지 가능하여 선택의 범위가 넓다. 따라서 발전소 정격출력을 위한 획일적인 설계 ΔT 는 없으며 발전출력, 취수펌프 운전비용 등을 고려하여 가장 경제적인 ΔT 를 구하게 된다.

기존의 발전소에서 냉각방식을 바꾸지 않고 온배수 ΔT 를 낮출 수 있는 방법은 복수기 형태를 바꾸는 것이다. 현재 사용하고 있는 복수기의 배관구조를 장축형에서 단축형으로 교체 하는 것이다. 즉, 복수기 내에서 냉각수가 흘러가는 배관의 수를 늘리고 배관의 길이를 짧게 하여 빠른 시간 내에 많은 수량의 냉각수가 복수기를 통과하게 하는 방법이다. 이 방법은 단순하게 ΔT 를 상당 수준으로 낮출 수 있지만 ΔT 를 낮춤에 따라 더욱 많은 양의 냉각수를 필요로 한다. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안의 전제조건이 가능한 최소량의 냉각수를 사용하도록 유도하는 것임을 감안할 때, 복수기의 배관구조를 바꾸는 방법은 부적절하다 하겠다.

전술한 바와 같이 발전소가 위치한 해역의 수온은 계절에 따라 변하기 때문에 설계 ΔT 를 유지하기 위해서는 발전소의 출력을 조절하지 않는 한 냉각수량을 조정하여 설계 ΔT 를 유지해야 한다. ΔT 가 낮을수록 냉각수 취수펌프 가동대수가 많아지므로 그만큼 펌프 시설비와 운전유지비가 증가하게 되므로 사업자 측면에서는 ΔT 를 높게 하는 것이 유리하다. 우리나라 서해안에 위치한 영광원전의 설계 ΔT 가 7.9°C 내외이며, 동해안에 건설예정인 신규 원전들의 ΔT 는 9°C 내외이다. 화력발전소의 경우 계절에 따른 설계 ΔT 의 범위가 원전에 비하여 크며 여름철에는 7~8°C, 겨울철에는 해수 온도 변화에 따라 12~15°C 범위로 조절된다.

수질환경보전법 시행규칙에는 폐수배출 온도를 40°C까지 허용하고 있지만 수질환

경보전법 제2조(정의) 4항에 “폐수는 액체성, 고체성 수질오염물질이 혼입되어 그대로 사용할 수 없는 물”로 정의 되어 있다. 온배수에는 액체성이나 고체성을 불문하고 어떠한 수질오염물질이 혼입되어 있지 않으며, 배출되는 온배수를 그대로 어류양식에 사용할 수 있다. 따라서 온배수는 수질환경보전법에 정한 폐수가 아니며, 또한 동법 시행규칙 표1에 정한 오염물질 배출허용 기준인 수온 40℃를 온배수 배출허용치로 정할 수는 없다. 온배수 배출기준안을 정하는데 있어 가장 기본이 되는 것은 온배수의 배출은 양적 및 질적으로 온배수가 배출되는 해역의 해양학적 수용력의 한계 이내에서 허용되어야 한다는 것이다. 이들 수용력의 범위는 해양생태계에 미치는 영향의 경중으로 정해지며, 특히 해양물리학적 수용력은 발전소의 열효율에도 영향을 미친다. 즉, 온배수 배출기준은 우선적으로 우리나라 전 연안을 대상으로 포괄적으로 마련되어야 하지만, 세부 사항은 우리나라 연안생태계의 생물지리학적 구획에 근거하여 마련되어야 한다.

우리나라 연안의 수온분포는 해역에 따라 차이가 있으며 계절별 수온차이도 크기 때문에 온배수 배출 기준은 온배수를 배출하는 해역의 수온특성에 따라 지역적, 계절적 특성을 감안하여 탄력 있게 운영해야 하지만 어떠한 경우에도 온배수 질적, 양적 배출 허용범위는 온배수를 받아들이는 수괴의 해양생물 군집의 고유한 평형을 유지되는 범위 내에서 결정되어야 할 것이다. 또한 미국 EPA의 권장과 같이 냉각수 사용량을 최소화 하고 온배수 ΔT 를 높이는 것을 유도할 수 있도록 하여야 한다.

3. 온배수 배수계통 설계

가. 표층배수

표층배수 방식에 의한 온배수는 해수면과 같거나 약간 높은 곳에 위치한 배수구로부터 바다로 흘러나가게 된다. 배출된 온배수는 해양으로 배출되어 표층해류를 따라 확산되는 동시에 복사 및 대류작용을 통하여 희석되어 점차 자연수온으로 돌아간다. 표층으로 방출된 온배수는 조류와 바람의 방향과 세기에 따라 희석 및 확산 정도가 결정되며, 특히 조석류의 방향에 따라 온배수 확산 방향이 주기적으로 변한다(그림 3-7).

표층으로 배출되는 온배수의 확산에 따라 주변해역의 표면 수온이 변화는 상태를 쉽게 확인할 수 있는 것은 인공위성사진 또는 항공사진을 이용하는 방법이 있으며 온배수 확산 모니터링에 필수적으로 포함해야 할 사항이다(그림 3-8). 다만, 시간적

Environmental Change

Due to a Power Plant Construction

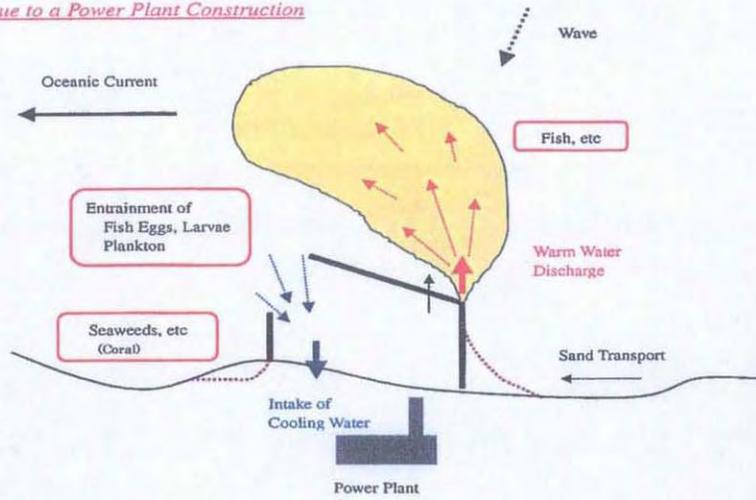


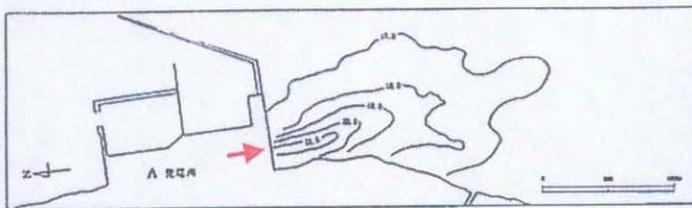
그림 3-7. 온배수의 확산과 주변 생태계에 미치는 영향 모식도.

Monitoring by Remote Sensing

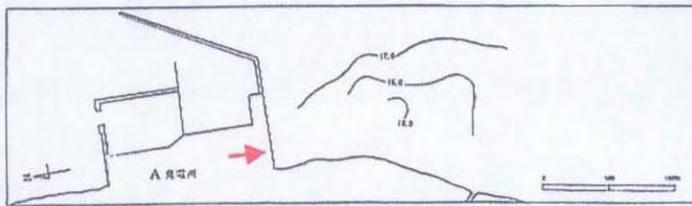


Observe Wide Area
Reduce the Cost of in-situ Measurements

* Observation of Ocean Surface Temperature by LANDSAT



Temperature by LANDSAT



In-situ Observation

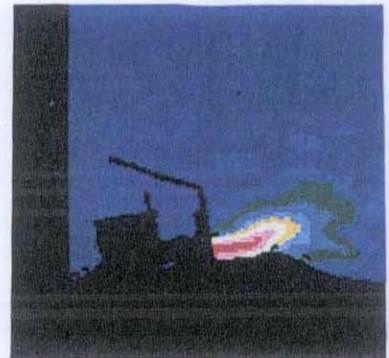


그림 3-8. 위성사진을 이용한 온배수 확산구역의 표층 수온 분포도 작성.

적으로 계속 변화하는 온배수 확산을 위성사진 또는 항공사진으로 장기간 모니터링 한다는 것은 시간적 및 경제적으로 적합하지 않기 때문에 조석의 크기가 가장 큰 시기를 택하여 2회/년 이내에 실시하는 것이 바람직하며, 보조수단으로 수온측정기를 온배수 확산 수치모델 결과로 얻어진 등온선 구배를 따라 적절하게 설치하여 연속관측 하는 것이 바람직하다. 해류 흐름과 시설물의 위치 등 여러 가지 주변 환경 요인에 의하여 결정된다.

나. 수중배수

수중배수 방식은 표층보다 다소 낮은 온도를 유지하는 수중에 온배수를 방류함으로써 배출되는 온배수가 상승하면서 상대적으로 낮은 수온의 해수와 혼합되게 하여 희석 효과를 극대화 시키고 온배수 방류로 인한 수온 상승 영역을 최소화하는 방법이다(그림 3-9). 수중배수는 표층배수보다 온배수가 다양한 형태의 확산 기작을 통하여 빠르게 희석되므로 주변생태계에 미치는 온배수의 영향 측면에서 매우 바람직하다. 온배수는 주변 해수에 비하여 비중이 낮기 때문에 주변 해수와 혼합되어 서서히 온도가 높아지면서 표층에 도달한 후 표층방류 때와 동일한 과정을 통하여 확산된다. 표층으로 부상한 온배수는 표층으로 배수된 온배수에 비하여 수온이 낮기 때문에 해양생태계에 미치는 영향과 범위가 줄어든다.

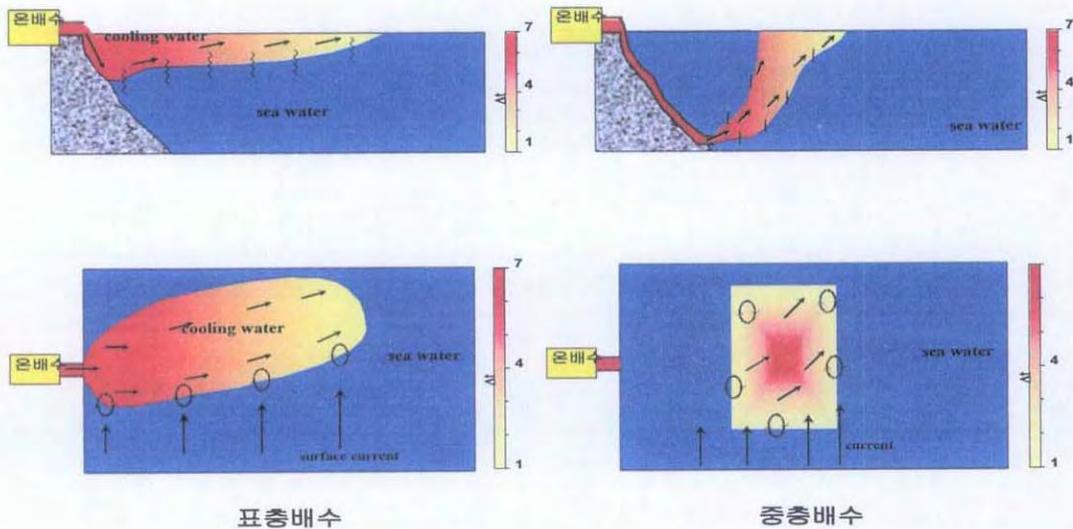


그림 3-9. 배수방법에 따른 온배수 확산 모식도.

수중배수 수심이 깊을수록 효과가 크지만 이에 비례하여 운전 경비가 늘어난다. 수중방류에 충분한 수심을 확보하는 공사에 어려움이 따르고 배출 수심이 깊어질수록 공사비와 운전 경비가 증가한다. 또한 수층에서의 빠른 열교환으로 확산범위가 줄어드는 장점은 있으나 수중 배수구 주변에서의 유속변화가 표층방류에 비하여 뚜렷하게 나타나는 단점이 있다.

현재까지 활용되는 대표적 사례 중 초기회석 효과 및 온배수 재순환 억제 기능이 가장 우수한 것으로 알려진 수중다공확산관(submerged multiport diffuser) 방식으로 밝혀진 바 있다(Miller and Brighthouse, 1984). 이 기법은 발전소 부지에 인접한 해안에서 멀리 떨어진 해저에 다공의 확산관을 설치, 온배수를 수중에 분사하여 최대의 회석효과를 확보하려는 시스템으로 외국의 많은 발전소가 채택하고 있으며, 일본은 대부분의 발전소가 이 방법을 채택하고 있다(표 3-6). 우리나라에서는 동해 화력발전소, 제주화력발전소 및 부산복합화력발전소에서 채택하고 있다. 대형발전소에서는 아직 사용실적이 없으나, 현재 건설 중인 신고리와 신월성 원자력은 수중배수를 채택하고 있다. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안이 실현된다면, 향후 건설되는 열기관은 특별한 사정이 없는 한 모두 수중배수를 채택하게 된다.

표 3-6. 심층배수 방식을 채택하고 있는 일본의 발전소 현황

전력 회사	발전소 명	배출수심(m)	배출속도(m/s)	$\Delta T(^{\circ}C)$
북해도전력	泊發電所(1, 2호기)	9	4.0	7
	泊發電所(3호기)	9	4.0	7
동북전력	女川발전소(2호기)	10.2	4.0	7
	女川발전소(3호기)	10.2	4.0	7
	東通發電所(1호기)	5.4	4.0	7
북육전력	志賀發電所(1호기)	14	4.0	7
	志賀發電所(2호기)	16	5.0	7
관서전력	高浜發電所(3,4호기)	10	2.0	7
	大飯發電所(3,4호기)	5.5	1.9	7
중국전력	島根發電所(3호기)	15	3.0	7
사국전력	伊方發電所(3호기)	6	4.3	7
구주전력	玄海發電所(3,4호기)	14	4.0	7

제 3 절. 온배수 관리방안의 해양학적 배경

1. 우리나라 연안해역의 해양물리학적 구획

가. 개황

우리나라 연안은 뚜렷한 계절 변화와 해수유동 차이로 인하여 해역별로 다른 물리적 특징을 가지고 있다. 서해는 평균 수심 44m의 대륙붕으로 수심이 얕아 대륙성 기후의 영향을 받는 겨울에는 2~8℃로 낮지만, 여름에는 25℃ 내외로 높아진다(조 2005). 겨울에 혼합에 의해 형성된 황해저층냉수가 여름에도 잔류하여 동중국해의 해황을 지배하는 중요한 요소가 된다. 수심이 낮아 기상 변동에 민감하게 반응하며 특히 조석운동이 다른 연안역에 비하여 탁월하다. 인천은 대조차가 8m에 이르고 그 외 서해의 다른 지역은 보통 3~4m 이상의 조차를 나타낸다. 조류도 강하여 2~3kt이며 남서연안에서는 유속이 10kt에 달한다.

남해는 난류수가 동해로 유입되는 길목에 위치하여 다른 해역에 비하여 연중 높은 수온을 보인다. 표면 수온의 분포를 보면 겨울철에는 쿠로시오난류역이 22~23℃, 대한해협 대마난류역이 12~15℃, 황해의 영향을 받는 북서부해역이 10℃ 이하의 분포로 중국대륙연안수 및 황해냉수와 난류세력 간에 전선이 발달하고 있다(이 1992). 제주해역의 경우는 남해와 유사한 특징을 보이지만, 남해, 서해, 동중국해와 접하는 수역으로써 다양한 수괴가 분포한다. 고온고염의 해수는 겨울에 황해 쪽으로 확장되며 여름에 동중국해로 후퇴한다(Pang *et al.* 1992). 여름철에는 계절풍의 영향으로 저염수인 중국연안수가 표층에 유입된다(Lie *et al.* 2003).

동해의 평균수심은 1,350m이며 최심부는 3,700m로 우리나라 주변 해역 중에서 가장 깊다. 다른 바다와 연결하는 해협은 얇고 좁아서 대한해협이나 쓰가루 해협의 최심부가 140m 내외이다. 다른 바다와의 해수 교환 규모가 적어 쿠로시오와 동중국해의 물이 혼합된 대마난류수가 대한해협을 통과하여 동해에 열에너지를 공급한다. 동해 남부는 대마난류수의 영향을 받고 하계에는 냉수괴가 출현하여 연안의 수온이 낮아진다(Lim 1973). 그리고 동해 중부는 북쪽에서 남하하는 한류와 동해 남부 연안을 따라 북상하는 난류가 만나는 지점에서 극전선이 형성되며 해황에도 큰 영향을 미친다.

우리나라의 연안에 대한 해역은 해수유동, 수괴 및 수온의 분포 등에 따라 서해, 남해, 제주해역, 동해 남부 그리고 동해 중부로 세분화 할 수 있다.

나. 해수유동

우리나라 근해는 태평양의 북서부에 위치하여 해양 현상이 태평양과 밀접한 관계가 있다(그림 3-10). 동중국해에서의 쿠로시오는 대부분 일본 구주 남쪽의 토카라해협을 지나 동중국해를 빠져나가지만, 일부는 동중국해에서 분지된 후 동해와 서해 및 남해로 유입되는 대마난류와 황해난류를 형성한다(Lie *et al.* 1998). 황해난류는 제주도 서쪽해역을 통과하여 서해 남부로 유입되어 북상하며 8월에 세력이 강해지는 것으로 알려져 있다. 그 외 서해에서는 한국연안류와 황해난류가 존재한다. 그리고 대마난류의 일부는 제주도 서쪽에 돌아 제주해협을 통과하여 남해로 유입된다(Chang *et al.* 1995).

남해는 서해 남부와 동일하게 연중 대마난류가 제주해역 남부를 통과하여 대한해협 쪽으로 계속 흐른다. 남해연안수와 난류 사이에 전선이 형성되며 이 전선의 변동이 남해 해황에 영향을 미친다.

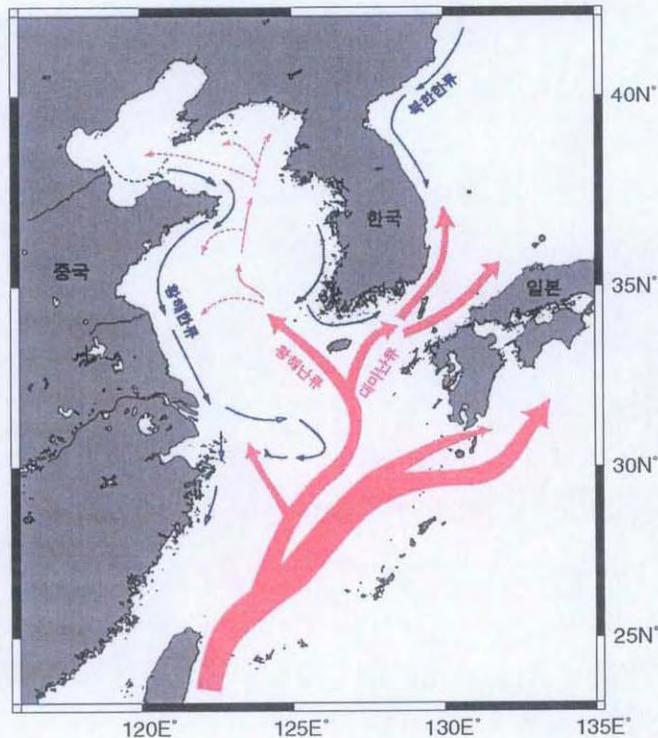


그림 3-10. 우리나라 주변 해역의 주요 해류 모식도.

동해는 대마난류의 대한해협을 통과하여 한국 남동해역 연안을 따라 지속적으로 북상하는 동한난류가 표층에 존재하며 저층에 해저면을 따라 남하하는 냉수괴가 대한해협 서수도까지 분포하고 있다(Lim and Chang 1969, Kim and Lee 2004). 대마난류는 동해로 유입되며 열, 염의 주요 공급원으로 해황 변동에 영향을 미친다. 동해 중부의 북쪽 연안을 따라 남하하는 북한한류가 존재한다. 그리고 북한한류는 북상하는 난류와 동해 중부해역에서 만나 극전선을 형성한다.

우리나라 주변해역에는 쿠루시오 지류인 대마난류수가 유입되고 북쪽에서 남하하는 한류수가 표층에 존재한다. 서해에 영향을 주는 수괴들은 계절에 따라 달라지는데 황해난류수가 서해 남부를 따라 연중 북상한다. 여름철에는 강한 일사량과 양자강 하구에서 제주도 쪽으로 확장되는 중국대륙 연안수의 영향으로 고온, 저염의 표층수와 저온, 고염의 저층수로 구별된다. 특히 황해 중앙역의 깊은 골 주변에는 겨울철에 형성된 냉수괴가 봄에서 가을을 걸쳐 계절적 수온약층 하부에 잔존하면서 점차 남하한다. 겨울철에는 수온약층의 소멸과 함께 냉수의 확장 세력이 약화된다(Nakao 1977). 또한 연안 저층에 걸쳐 연안 수온을 하강시키는 원인이 되는 조류의 영향으로 흑산도 주변과 진도 부근에서 냉수대가 강하게 나타난다(Youn *et. al.* 1991).

남해에 영향을 미치는 수계는 대마난류수, 황해난류수, 중국대륙연안수, 남해연안수 그리고 동해저층냉수(대한해협저층냉수)가 있다. 남해연안수는 주기적인 북풍에 의하여 외해로 확장하며 남해 수온전선에도 영향을 미친다. 중국대륙연안수는 초겨울에 서해로부터 남해의 전선대를 따라 동해로 유입된다(Kim and Rho 1994).

동해 표층에는 동해남부를 따라 북상하는 대마난류수가 존재하며, 성층기에는 대마난류 표층수와 대마난류 중층수로 구분된다. 동해 중층에는 용존산소가 적은 한류 기원의 수괴가 있으며, 그 밑(수심 300~500m 이심)에는 겨울철 시베리아 연안에서 냉각되어 침강한 수온 1.5℃ 이하, 염분 34.1psu 전후, 용존산소량 6.0ml/l 내외인 동해고유수가 전체의 약 84%를 차지하고 있다.

다. 수온

1). 표층수온 분포

인공위성을 이용한 표층 수온 분포 자료를 이용하여 우리나라 주변의 넓은 해역에 대하여 특성을 동시에 파악 할 수 있다. 이 보고서에서는 미국 해양대기국

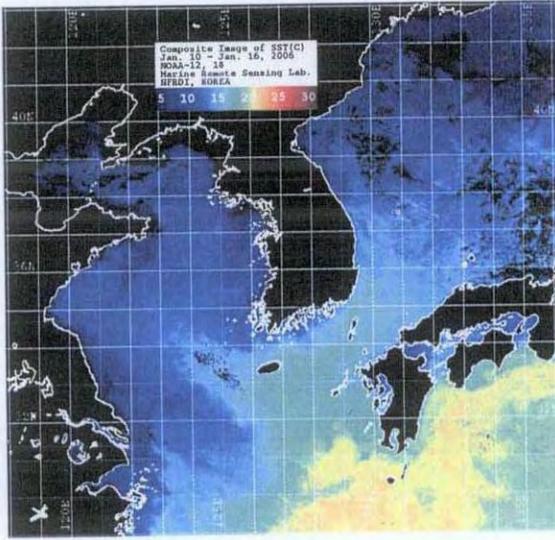
(NOAA)의 인공위성 영상자료를 사용하여 표층수온을 분석하였다.

NOAA 인공위성 합성사진으로 본 겨울철의 표층수온 분포는 2006년 1월 10일부터 1월 16일까지 자료를 합성한 것으로 전형적인 우리나라 겨울철 수온 분포를 보여주고 있다(그림 3-11a). 대마난류의 영향으로 제주도 주변해역과 남해 외해역 그리고 대한해협을 통과한 후 동해남부역까지 약 17°C 내외의 수괴가 표층에 분포하고 있었다. 서해 중부역과 남부역의 해안선 부근에는 약 6°C 이하의 냉수괴가 존재하는 것이 나타나고 있으며, 외해쪽으로 갈수록 수온이 9~12°C 범위로 점차 상승하는 것으로 나타난다. 전체적으로 수온은 대마난류역과 동한난류역이 높게 분포하고 해역별로는 동해가 서해보다는 높지만 남해보다는 낮은 수온 분포를 보이고 있다.

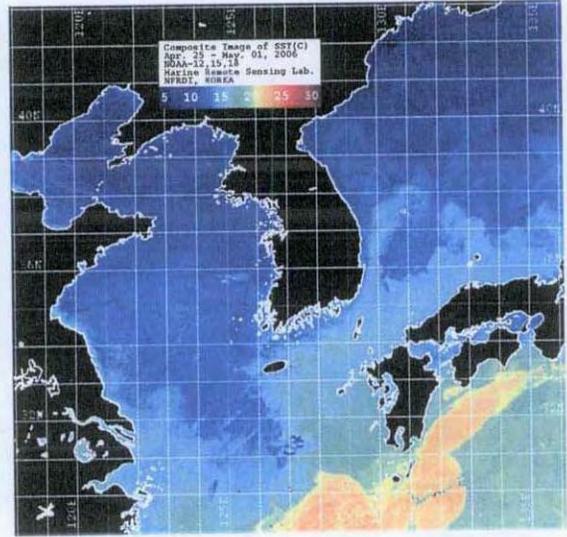
봄철의 표층 수온 분포는 2006년 4월 25일부터 5월 1일까지의 자료를 합성한 것이다(그림 3-11b). 겨울에 비하여 전 해역에서 수온이 약간 높아졌다. 남해는 연안에서 멀리 떨어진 외해역에서는 대마난류의 영향으로 수온이 높으며 분포 범위는 연안역이 13~15°C, 외해역이 17~19°C 이었다. 서해는 겨울철에 해안선 근처에 분포하는 5°C 이하의 수괴는 사라지고 연안과 외해에서 거의 균일한 수온대의 수괴를 보였다. 동해는 동한난류의 세력이 뚜렷하게 보이고 있으나 수온은 겨울철과 비슷하게 분포하였다. 그리고 한류와 난류가 표층에서 만나면서 형성되는 동해 극전선 위치가 겨울철에 비해 뚜렷하게 구분되었다.

여름의 경우 일주일의 위성자료를 합성하였으나 장마전선 등의 여러 기상 조건에 의해 자료 획득에 어려운 점이 있다. 서해 중부역과 동해 중부역에 부분적으로 자료가 없어 7월 25일부터 31일까지의 자료만 합성한 것이다. 앞의 두 계절에 비하여 강한 태양복사에너지에 의해 한국 주변 해역의 표층이 약 23°C 이상의 높은 수온 분포를 보였다(그림 3-11c). 여름철의 위성 영상 자료는 표층의 수온 분포가 거의 일정하기 때문에 수괴 구분과 같은 물리적인 현상을 파악하기 힘들다. 그러므로 여름에는 직접 관측한 수온자료를 활용하는 것이 현상을 이해하는데 도움이 될 것이다.

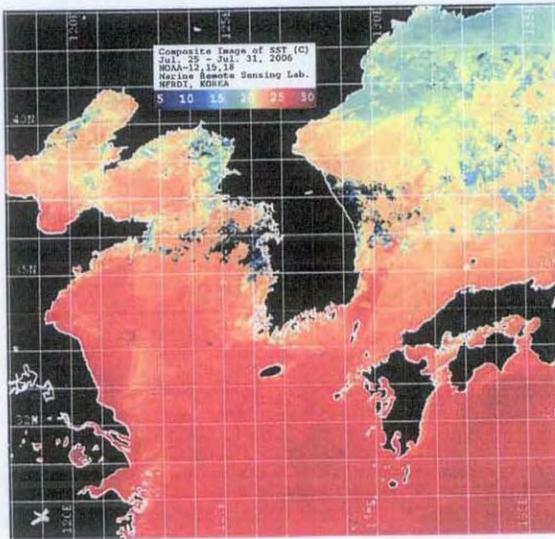
가을의 표층 수온 분포는 2005년 10월 11일부터 17일까지의 자료를 합성한 것이다(그림 3-11d). 남해와 서해 연안은 18°C 이하로 여름에 비하여 낮아지지만 남해의 외해와 동해 남동해역에는 22°C 이상으로 높은 수온의 해수가 아직 존재함을 알 수 있다. 동해 중부 연안은 20°C 이하로 분포하여 연안보다는 외해 쪽에 높은 수온의 수괴가 분포하였다.



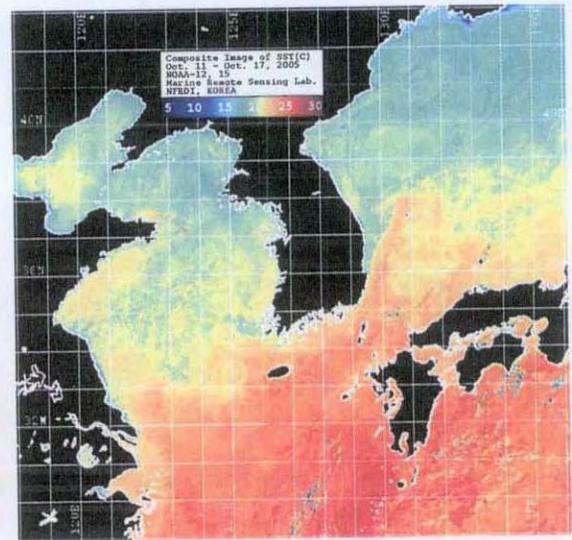
a. 2006. 1. 10 - 1. 16 자료.



b. 2006. 4. 25 - 5. 1 자료.



c. 2006. 7. 25 - 7. 31 자료.



d. 2006. 10. 11 - 10. 17 자료.

그림 3-11. NOAA 위성의 자료를 합성한 우리나라 해역의 계절별 표층 수온 분포(국립수산과학원 2006).

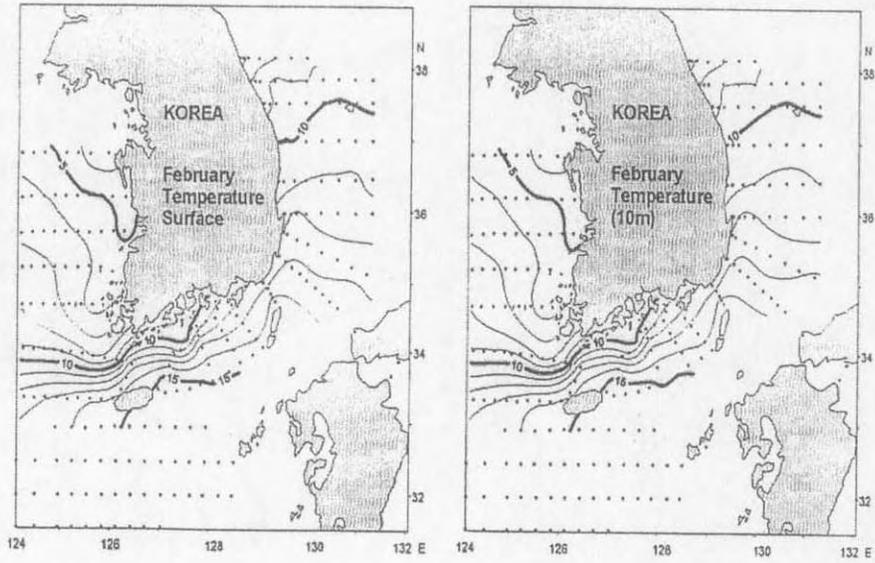
2). 월별 평균 수온 분포

국립수산과학원에 매년 2월, 4월, 6월, 8월, 10월, 12월에 총 6회 걸쳐 정선관측을 실시하고 있으며(국립수산과학원 2001) 동 자료를 인용하여 분석한 우리나라 연안의 1961~2000년간의 월별 평균수온 분포 현황은 다음과 같다(표 3-7).

표 3-7. 우리나라 연안 해역의 계절별 표층 수온의 10년(1995-2004년)간 평균 수온 (°C) (국립수산과학원 연안정지자료)

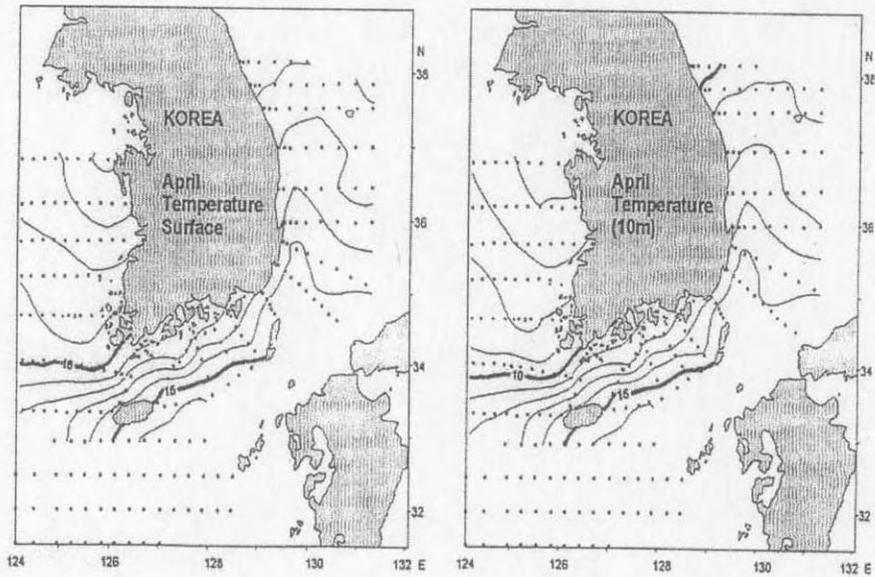
월 해역	2	5	7	11
서해	3.9	16.4	23.9	13.3
남해	8.7	16.3	22.0	16.1
제주도	13.3	17.0	22.8	18.4
동해 남부	11.5	14.9	18.5	16.4
동해 중부	8.8	14.0	20.0	15.1

2월의 평균 수온 분포에서 서해의 경우는 남부역의 표층이 10°C 이하이고 중부역이 5°C 이하로 남해와 동해에 비하여 낮은 수온 분포를 보이고 있다. 남해는 10~14°C의 등온선이 제주해협에서 대한해협으로 연결되어 있으며, 제주도 이남에서는 15°C 이상으로 가장 높은 수온을 보였다. 동해는 남부역에서 12~13°C이고 중부역의 이북으로 10°C 이하로 분포하였다(그림 3-12). 그리고 수심 10m의 분포는 표층의 분포와 일치하는데 이것은 혼합층이 계절적인 영향으로 깊게 형성되어 있기 때문이다. 4월의 경우는 2월과 유사한 분포 양상을 보이고 있으나 서해 중앙부의 5°C와 동해 중앙부의 10°C 이하의 수괴는 사라졌다(그림 3-13). 남해도 2월과 분포 양상이 비슷 하나 제주도 이남에 16°C 이상으로 좀 높게 나타났다. 수심 10m에도 혼합층의 형성으로 표층과 분포가 거의 일치하였다.



2월 평년 수온 분포도
Mean Water Temperature : February

그림 3-12. 표층과 수심 10 m의 2월 평균 수온 분포도(국립수산과학원 2001).



4월 평년 수온 분포도
Mean Water Temperature : April

그림 3-13. 표층과 수심 10 m의 4월 평균 수온 분포도(국립수산과학원 2001).

6월부터는 표층의 수온이 높아져 전체 해역에 분포 범위가 14~21℃사이로 나타났다(그림 3-14). 서해는 2월과 4월의 경우는 수온의 구배가 남쪽방향으로 높아졌으나, 6월의 경우는 연안에서 외해 구배가 형성되는 양상을 보였고 남해 쪽은 제주도 이남이 20℃ 이상으로 대마난류의 영향을 받아 높은 수온대를 형성하였다. 동해의 경우는 해안선 부근에서는 외해방향의 수직방향으로, 외해에서는 수평방향으로 등온선이 분포하며 수온의 범위는 17~19℃이다. 수심 10m의 분포는 남해는 거의 일치하나 서해와 동해는 등온선의 분포는 유사하나 수온약층의 발달로 수온이 조금 낮아졌다.

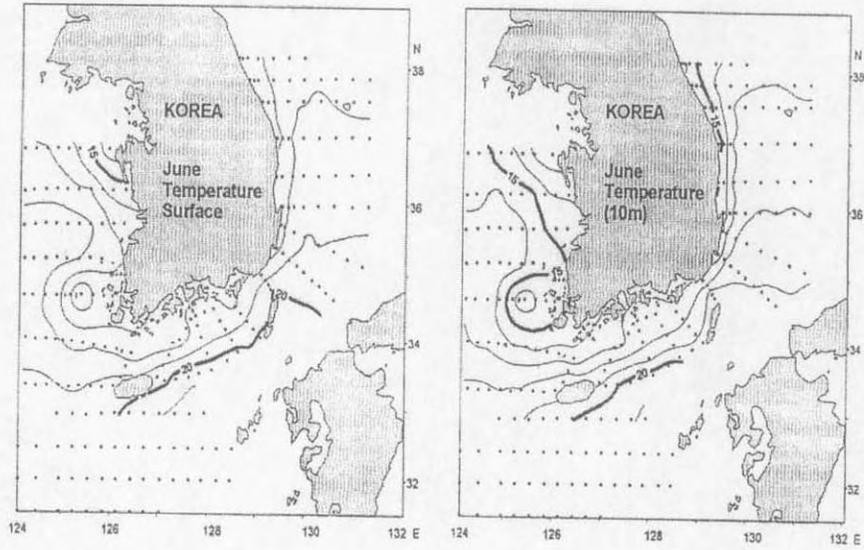
8월은 태양 복사열에너지에 의해 표층과 수심 10m의 수온이 급격하게 상승하였다(그림 3-15). 서해와 남해 연안의 모든 해역에 25℃ 이상의 고온수가 분포하며 동해 연안에서도 23~25℃ 사이 수온대를 보였다. 수심 10m의 경우도 높은 수온대이며 그 범위는 20~27℃이다.

10월의 경우 서해는 20℃ 이하로 거의 균일한 수괴가 표층과 10m에 분포하여 수온역전으로 상, 하 혼합이 잘 이루어졌다. 남해는 20~23℃로 제주도 주변에서 대한해협 쪽으로 등온선이 거의 해안선에 평행하게 위치하며 수온전선을 형성하였다. 동해는 중부역에 20℃ 등온선을 기준으로 남부역에는 22℃까지 나타났고 북쪽은 19℃ 이하의 수괴에 존재하였다(그림 3-16).

12월의 수온은 서해의 경우 10~12℃ 범위로 가장 낮았으며, 동해는 12~17℃ 사이로 서해안에 비하여 5℃ 이상의 비교적 높은 수온대를 형성하고 있었다. 서해는 계절풍의 영향과 얇은 수심으로 인해 상, 하층의 혼합이 잘 이루어져 다른 해역에 비하여 수온이 낮은 것이다. 남해의 경우는 동중국해에서 올라오는 대마난류에 의해 외해에는 19℃ 이상의 수괴가 제주도 남동쪽에 위치하고 있으며, 연안으로 갈수록 수온이 낮아져 남해서부해역의 연안역에는 12℃ 이하의 수괴가 표층에 나타났다(그림 3-17). 각 해역의 최저 수온은 2월에 나타나고 있다.

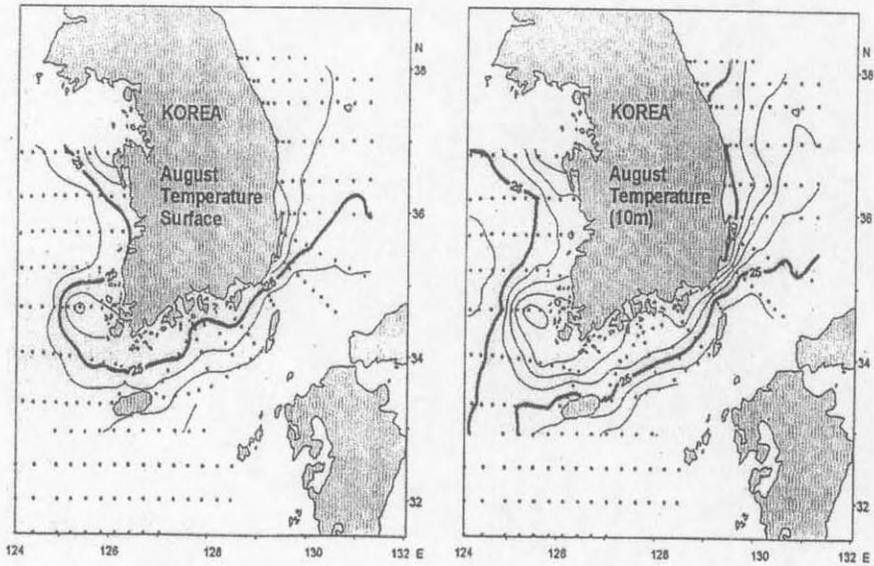
3). 장기 수온 변화

우리나라의 연안은 봄에서 여름으로 가면서 수온이 상승하여 보통 8월 중순에 최대수온을 보인 후 하강하여 1월과 2월 사이에 최저수온을 보인다. 지역별 연변동 폭이 달라 지역 특성의 기초 자료가 된다. 국립수산과학원에서 우리나라 연안 40개 관측점에서 매일 오전 10시에 정기적으로 측정한 1995년부터 2004년까지 10년간의 수온 자료를 분석하였다(그림 3-18).



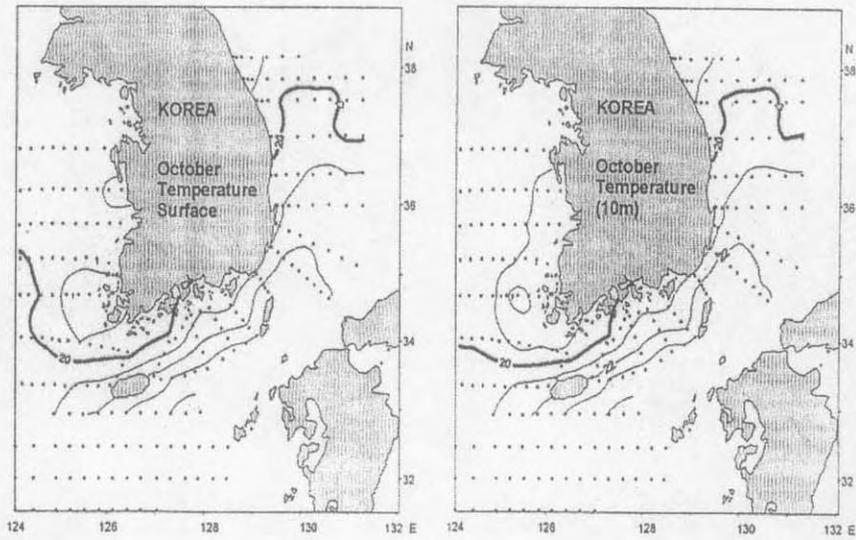
6월 평균 수온 분포도
 Mean Water Temperature : June

그림 3-14. 표층과 수심 10 m의 6월 평균 수온 분포도(국립수산과학원 2001).



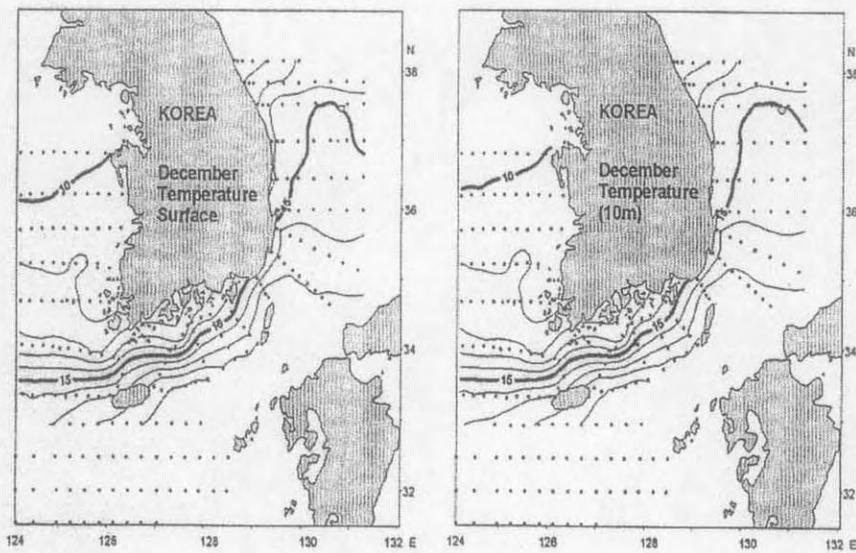
8월 평균 수온 분포도
 Mean Water Temperature : August

그림 3-15. 표층과 수심 10 m의 8월 평균 수온 분포도(국립수산과학원 2001).



10월 평년 수온 분포도
 Mean Water Temperature : October

그림 3-16. 표층과 수심 10 m의 10월 평균 수온 분포도(국립수산과학원 2001).



12월 평년 수온 분포도
 Mean Water Temperature : December

그림 3-17. 표층과 수심 10 m의 12월 평균 수온 분포도(국립수산과학원 2001).

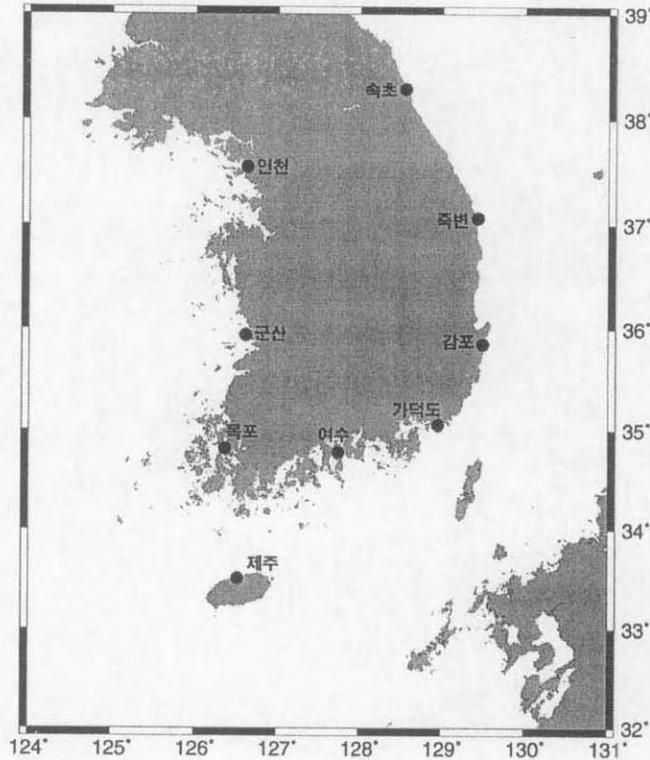


그림 3-18. 해역별 주요 연안정지관측 위치도(국립수산과학원).

가). 서해

서해연안의 장기 수온은 목포, 군산과 인천 정점자료로 분석하였다. 군산의 평균 수온은 $15.0 \pm 8.4^{\circ}\text{C}$ 이다. 목포의 10년간 평균 수온은 군산보다 높은 $15.6 \pm 7.1^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다(그림 3-19). 최대 수온이 약 29.0°C 이상으로 매년 8월에 나타났고 최저 수온은 약 1°C 으로 매년 1월에 나타났다. 최대수온은 1995년 8월 24일의 28.0°C 이었으며 최저수온은 2004년 1월 23일의 1.5°C 였다. 인천의 최저 수온은 1~2월 사이 발생하며, 최대 수온은 다른 서해 정점과 마찬가지로 8월에 나타났다. 전체 평균 수온은 $13.9 \pm 7.9^{\circ}\text{C}$ 였다. 서해 중부지역이 남부 지역에 비하여 평균수온이 낮으며 변동폭이 전 지역에서 유사한 변화를 보였다. 위성 영상과 동일하게 서해는 여름을 제외하고 연안에 낮은 수온으로 분포하였는데, 이것은 수심이 얕아서 조류에 의한 표층과 저층 혼합이 활발하게 이루어지기 때문으로 판단된다.

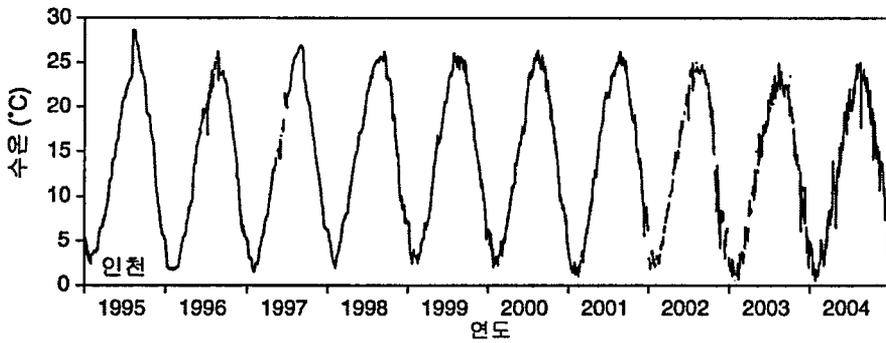
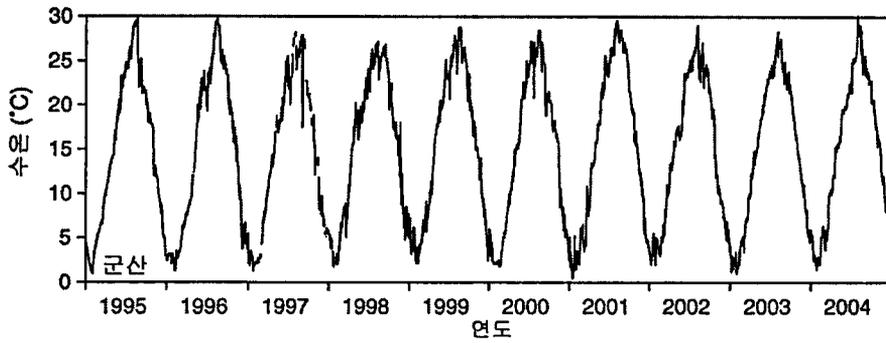
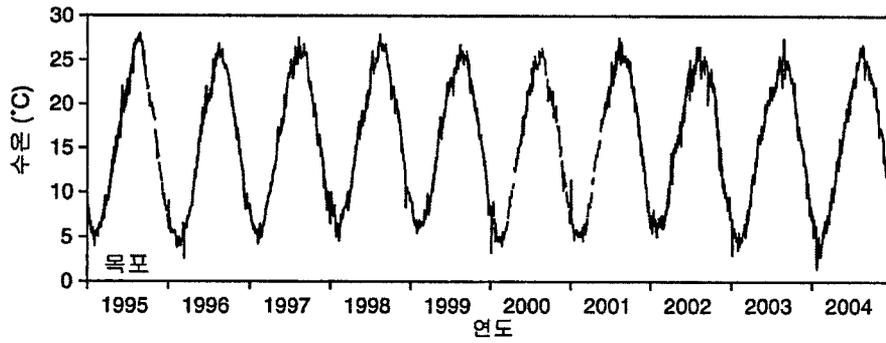


그림 3-19. 1995년부터 2004년까지 서해 주요지점의 수온 변화(국립수산과학원).

목포에서의 평균 수온은 2월에 5.5°C로 최저를 보이고, 최대는 8월에 24.0°C이었다(표 3-8, 그림 3-20).

군산의 최저 수온은 1월에 3.0°C이고 최대는 8월에 26.8°C이며 인천은 2월에 2.8°C로 최저이고 8월에 25.1°C로 최대로 나타났다. 전반적인 특성은 겨울철에는 목포 지역이 수온이 높고 봄과 여름에는 군산이 다른 지역보다 약 2°C 높았다. 이것은 대마난류의 지류가 제주도 서부해역에서 서해 연안으로 유입되고 계절에 따라 황해 난류의 변동에 의한 것으로 판단된다.

표 3-8. 서해 주요 지점의 10년간 월별 평균 수온(°C)

월 지역	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
목포	6.2	5.5	7.7	12.0	16.5	20.7	23.7	25.6	24.0	20.0	14.8	9.6
군산	3.0	3.4	7.1	12.6	17.7	22.3	25.2	26.8	23.8	18.6	12.5	6.3
인천	3.2	2.8	5.7	10.0	14.9	19.3	22.8	25.1	23.6	18.9	12.7	7.2

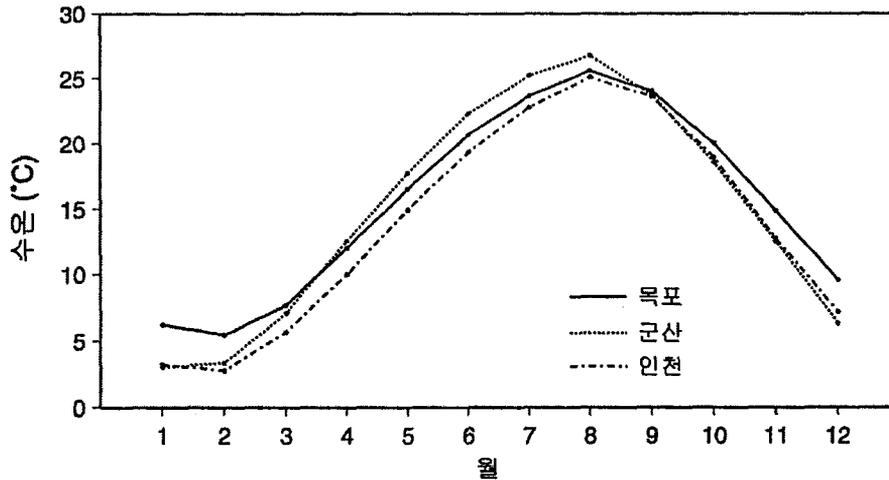


그림 3-20. 서해 주요지점의 10년(1995~2004년)간 월별 평균 수온(국립수산과학원).

나). 남해

남해 연안의 장기 수온은 제주도의 북부, 남해 중앙부인 여수와 동쪽의 가덕도 자료를 이용하였다. 제주의 10년간 평균수온과 표준편차는 $18.4 \pm 4.3^\circ\text{C}$ 이고 최대와 최소는 각각 29.2°C , 10.9°C 이다(그림 3-21). 여수의 평균 수온과 표준편차는 $16.2 \pm 6.5^\circ\text{C}$ 이고 최대 수온은 27.6°C , 최저 수온은 3.9°C 다. 그리고 가덕도의 전체 자료의 평균 수온과 표준편차는 $16.5 \pm 4.6^\circ\text{C}$ 이고 최대 수온은 26.6°C , 최저 수온은 8.4°C 다. 전체 평균 수온을 보면 제주 북부 지역이 남해 중앙부와 동쪽에서 비하여 약 2.0°C 높은데, 그리고 최저 수온은 제주와 가덕도가 여수보다 높게 나타났다.

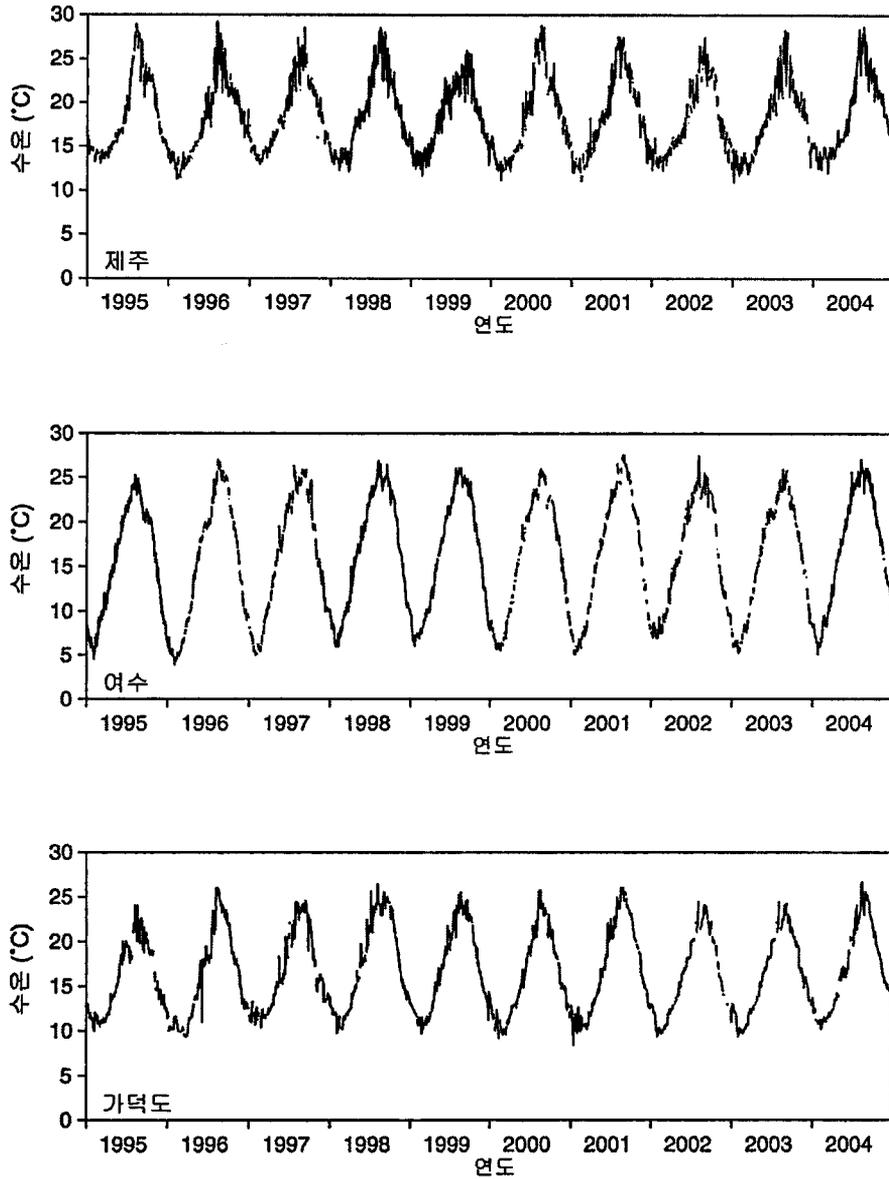


그림 3-21. 1995년부터 2004년까지 남해 주요지점의 수온 변화(국립수산과학원).

이것은 대마난류의 직접적인 영향을 제주도 주변해역에서 받고 대한해협을 통과하는 대마난류의 영향권에 가덕도가 위치하고 있기 때문이다.

남해의 10년간 월평균 수온을 보면 1월과 2월 평균 수온은 여수보다 제주와 가덕도 지역이 약 4~7°C 차이로 높았으며 여름철에는 제주와 여수가 가덕도에 비하여 평균수온이 높았다(표 3-9, 그림 3-22).

여수가 다른 지역에 비하여 낮은 겨울철에 낮은 수온을 보이는 것은 겨울철 북풍계

표 3-9. 남해 주요 지점의 10년간 월별 평균 수온(°C)

월 지역	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
제주	13.9	13.3	13.8	15.3	17.0	19.4	22.8	25.5	23.6	21.3	18.4	15.6
여수	6.9	6.7	9.4	13.2	17.0	20.5	23.0	24.9	24.1	20.9	15.8	10.6
가덕	11.6	10.7	11.1	12.9	15.6	18.2	21.0	23.7	23.1	20.2	16.3	13.6

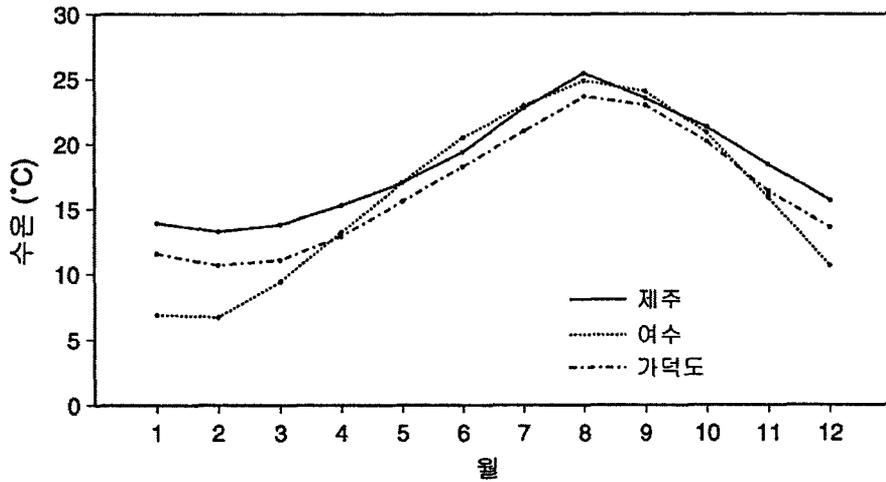


그림 3-22. 남해 주요지점의 10년(1995-2004년)간 월별 평균 수온(국립수산과학원).

열의 바람에 의해 거문도와 거제도 남쪽에서 형성되는 남해연안수 (Na et al., 1990)에 의한 것으로 생각된다.

다). 동해

동해의 수온은 남부 해역의 감포와 중부 해역의 죽변과 속초에 대하여 분석하였다(그림 3-26). 감포의 평균 수온은 $16.5 \pm 4.2^\circ\text{C}$ 이고 최대 수온은 2001년 8월 22일에 관측된 27.5°C , 최저는 1996년 2월 1일에 관측된 9.5°C 이었다. 죽변 수온의 10년간 평균은 $15.7^\circ\text{C} \pm 4.1^\circ\text{C}$ 이었다. 최대수온은 2001년 8월 18일의 27.0°C 이었고 최저는

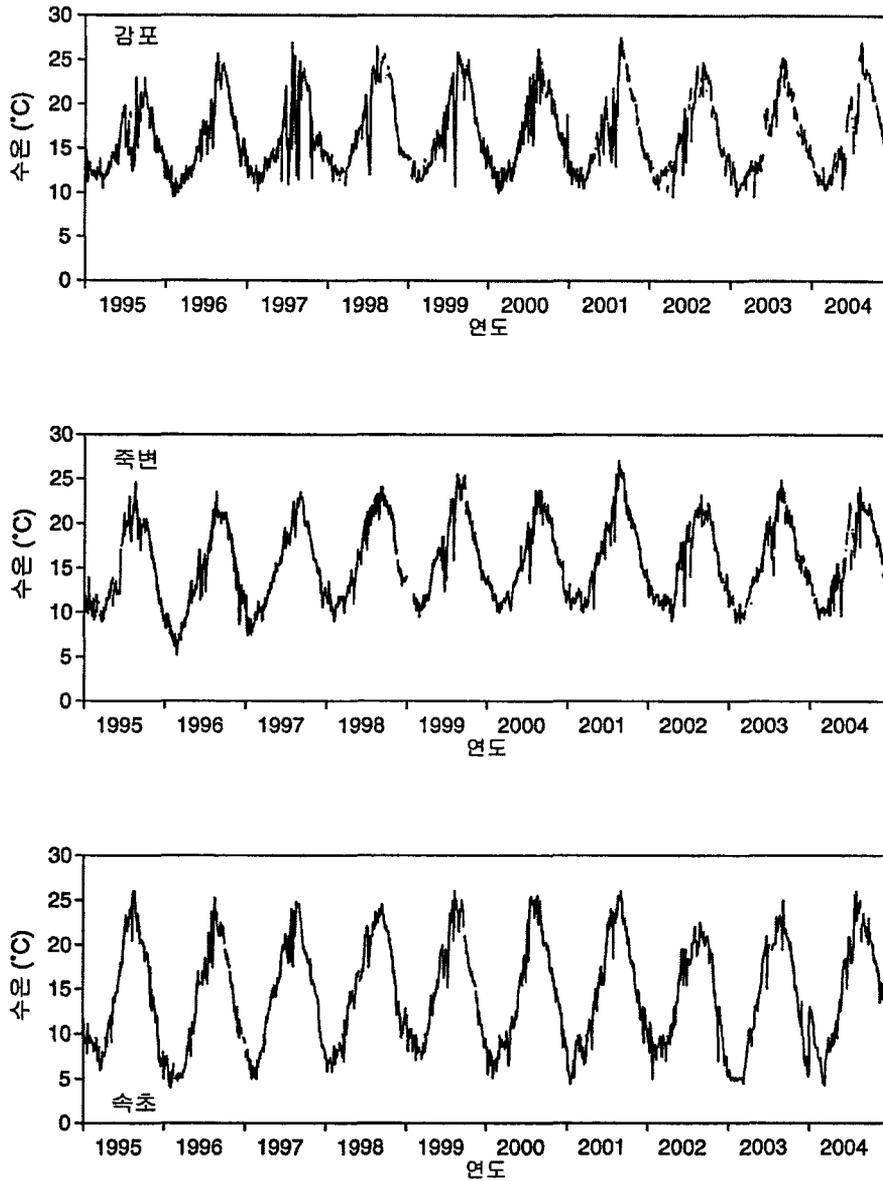


그림 3-23. 1995년부터 2004년까지 동해 주요지점의 수온 변화(국립수산과학원).

1996년 2월 21의 5.2°C였다. 속초의 평균 수온은 $14.3 \pm 5.9^{\circ}\text{C}$ 이었고 최대는 8월의 26.0°C, 최저는 1996년 1월의 4°C였다.

동해 각 지역의 10년간의 월별 평균 수온을 보면 1월에서 5월까지는 감포, 죽변, 속초 순으로 평균 수온이 높았다(표 3-10, 그림 3-27). 여름철인 7-8월에는 속초, 죽변, 감포 순으로 높았다. 여름철에 기장은 낮은 이유는 남서풍에 의한 연안용승으로 연안 표층에 냉수대가 출현하기 때문이다(Lee 1983). 이와 같이 동해 남부 해역

표 3-10. 동해 주요 지점의 10년간 월별 평균 수온(°C)

월 지역	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
감포	12.6	11.5	11.9	13.1	14.9	17.7	18.5	22.2	23.0	20.1	16.4	14.4
죽변	11.1	10.2	10.5	12.1	14.4	17.1	19.2	22.2	21.8	19.6	16.1	13.1
속초	7.8	7.3	7.6	10.2	13.5	17.6	20.8	23.0	21.8	18.5	14.0	9.8

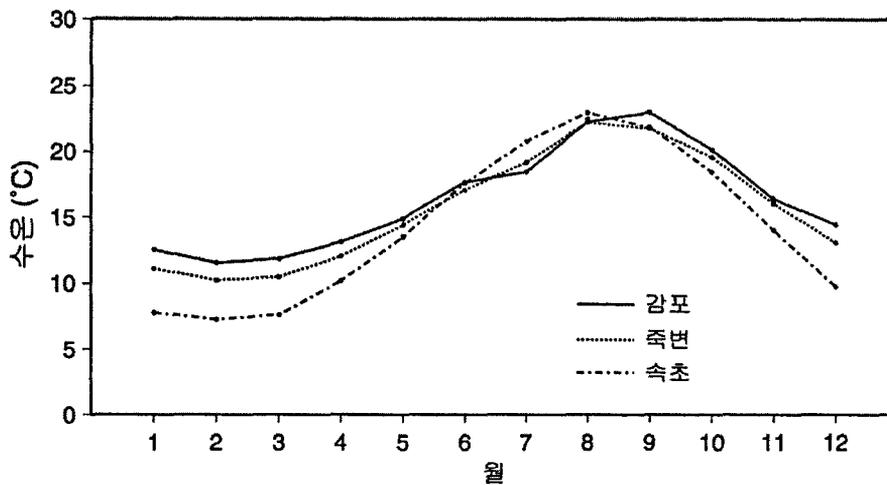


그림 3-24. 동해 주요지점의 10년(1995-2004년)간 월별 평균 수온(국립수산과학원).

에서 죽변 아래 북위 36.5°까지는 하계에 냉수대가 표층에 발생하므로 동해를 남부와 중부로 구분할 수 있을 것이다.

4). 해역별 수온의 일일변화

우리나라 연안 해역의 특징을 알기 위해 국립수산과학원의 연안정지관측정점의 장기간 관측 자료를 앞서 분석하였지만, 이 경우에는 하루 한번 관측으로 인해 연안 수온의 일일변화를 알 수가 없다. 그래서 국립수산과학원에서 제공하는 주요 연안의 각 조사지점별 기실시간 자료(그림 3-25)를 이용하여 해역별, 계절별로 분석하여 그림 26~30에 도시하였다.

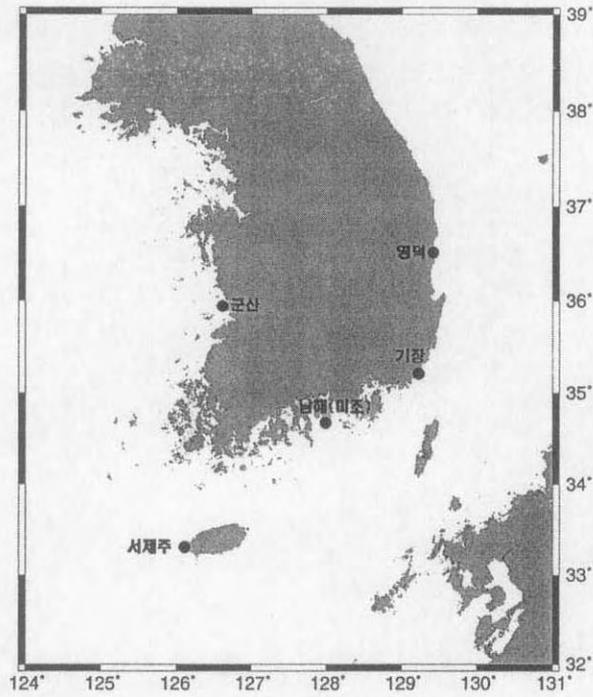


그림 3-25. 국립수산과학원 실시간 수온 관측 정점.

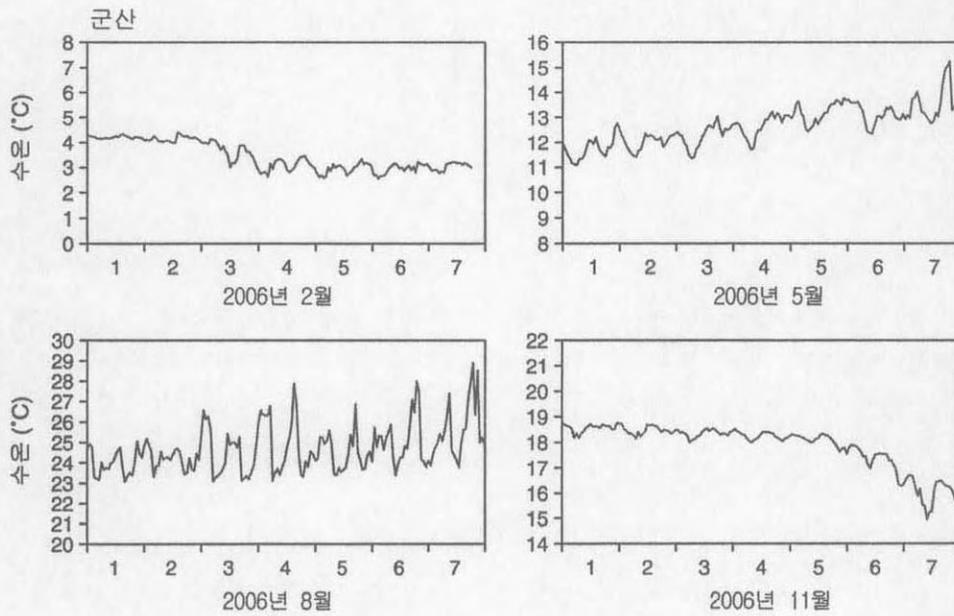


그림 3-26. 서해 군산의 계절별 수온의 일일 변화.

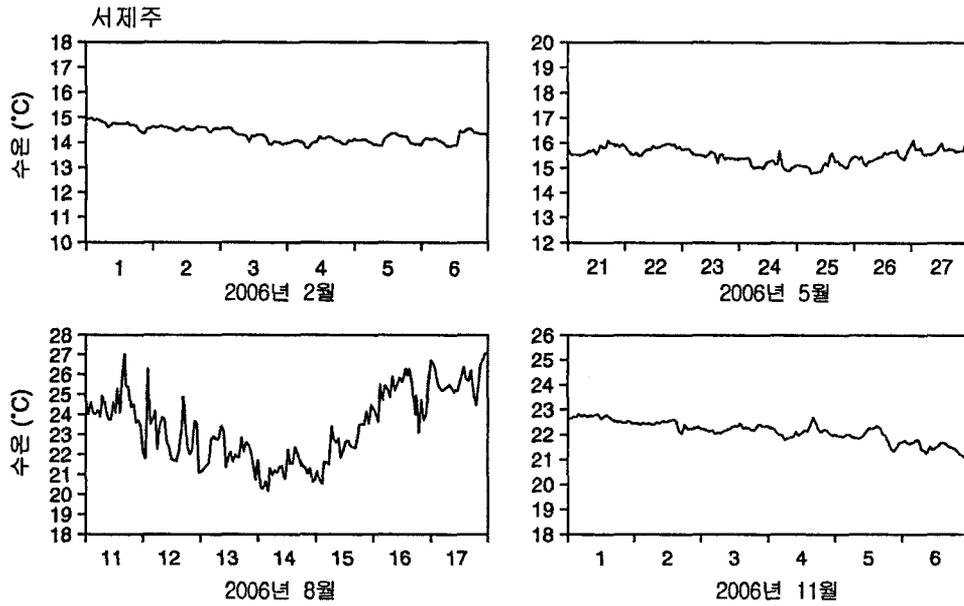


그림 3-27. 서제주의 계절별 수온의 일일 변화.

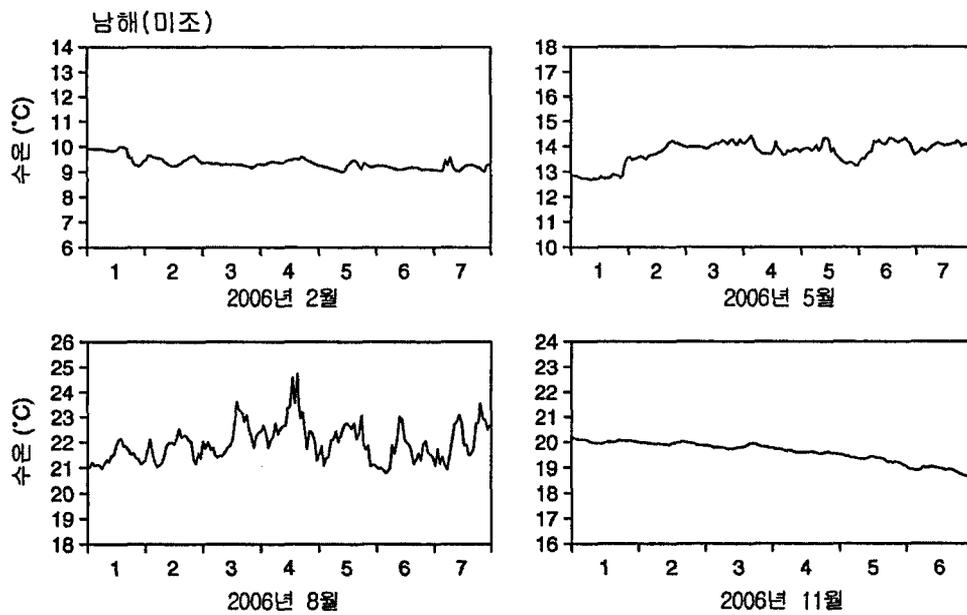


그림 3-28. 남해(미조)의 계절별 수온의 일일 변화.

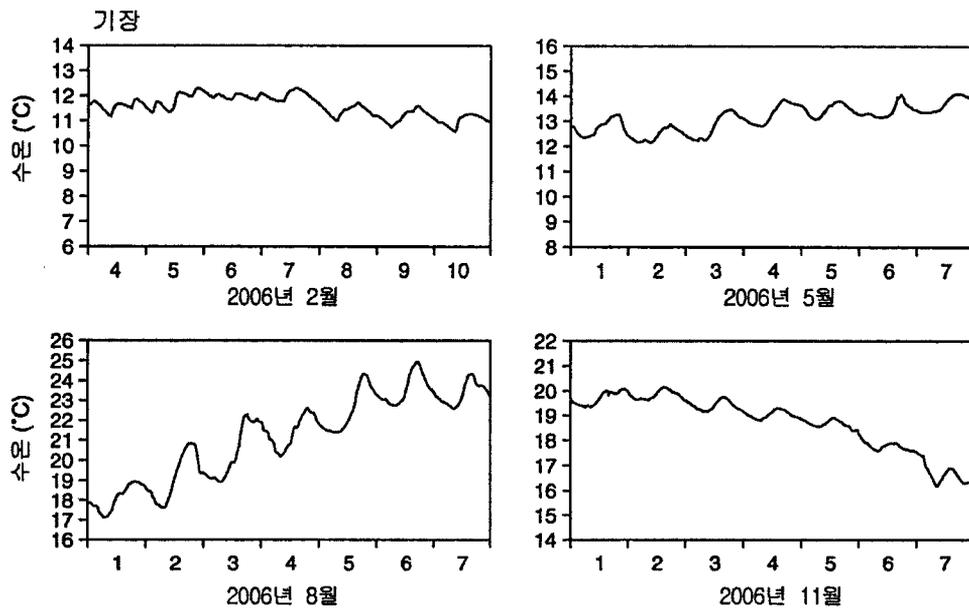


그림 3-29. 동해 남부 기장의 계절별 수온의 일일 변화.

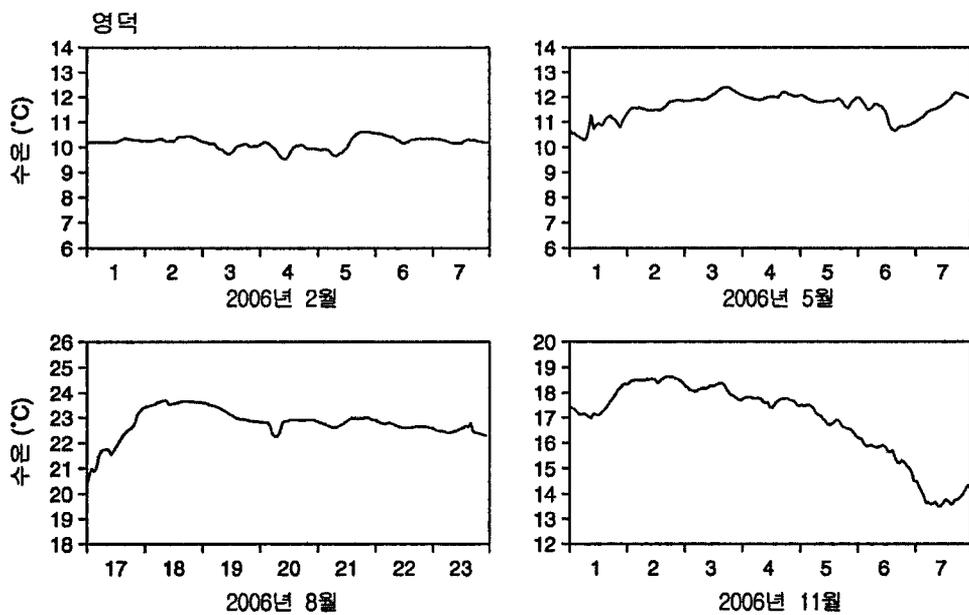


그림 3-30. 동해 중부 영덕의 계절별 수온의 일일 변화.

겨울 평균 수온은 군산 3.4℃, 서제주도 13.8℃, 남해 9.3℃, 기장과 영덕이 각각 11.6℃, 10.2℃이었다. 대마난류의 지속적인 영향을 받는 제주도 주변 해역에서 가장 높은 수온을 보였으며, 대마난류의 경로에 포함된 남해와 동해는 서해보다 높은 수온을 보였다. 서해는 다른 해역에서 비하여 약 6℃ 이상 낮은데, 이와 같은 현상은 계절풍의 영향으로 상, 하층수간의 수직 혼합이 활발하기 때문이다. 일일 변화 폭은 대부분 1℃ 이내이며, 남해가 0.5℃로 나타났다.

봄철 평균 수온은 군산 12.6℃, 서제주도 15.5℃, 남해 13.8℃, 기장 13.1℃, 영덕 11.6℃로 나타났다. 겨울에 비하여 군산을 제외하고는 전반적으로 1, 2℃정도 상승하였다. 군산의 경우는 겨울에 비하여 약 9℃정도 상승하였는데, 계절 변화에 따라 상, 하층 혼합이 약해지고 제주도 서부를 통해 서해로 북상하는 난류수의 세력이 강해진 것으로 판단된다.

여름의 경우 대부분 해역에서 20℃ 이상의 고수온대를 보였으며, 특히 군산이 24.7℃, 서제주도가 23.5℃이고 나머지 지역은 21~22℃를 유지하였다. 서해의 고수온은 수심이 얇기 때문에 태양복사열이 전수심층에 영향을 미치고, 제주도 서부쪽으로 유입되는 난류수 자체의 수온 상승이 복합적으로 작용하기 때문이다. 일일 변화 범위는 2~3℃로 다른 계절에 비하여 넓게 나타났다.

가을의 수온은 여름에 비하여 2℃ 이내로 낮아졌으나, 군산과 영덕의 평균 수온이 각각 17.9℃, 16.9℃로 6~7℃정도로 낮아져 계절적인 변화가 강하였다. 일일 변화 폭은 전 해역에서 1℃ 이내였다.

라. 해역별 특성

우리나라 연안을 해황특성을 기준으로 구분할 경우 표 3-11과 같이 서해, 남해, 제주해역, 동해 남부 및 동해 중부 해역으로 구분할 경우 수 있으며 그 세부적인 내용은 다음과 같다.

1). 서해

서해는 양자강 하구에서 제주도를 연결하는 경계선에 의해 동중국해와 지리적으로 구분되는 만 형태의 해역이다. 서해는 육상으로부터 방대한 양의 담수와 부유물질이 유입되고 수심이 낮아 기상변동에 민감하게 반응하며 조석운동이 탁월하다. 서해 남부역에서는 동중국해(쿠로시오 난류)에서 기원한 온도가 높고, 염분이 높은

표 3-11. 한국 연안의 해역별 구분 및 각 해역의 특징

해역	해황 특성	비고
서해	<ul style="list-style-type: none"> • 조석에 따라 수온의 일일 변화 및 공간 변화가 큼. • 수온이 남해, 동해에 비하여 낮음 (특히 동계). 	
남해	<ul style="list-style-type: none"> • 대마난류수가 동해로 유입되는 경로-수온이 높음 • 열-염분 전선 (겨울, 봄) : 제주해협 	
제주해역	<ul style="list-style-type: none"> • 다른 해역보다 연중 수온이 높음-대마난류의 직접영향 • 하계에 중국대륙연안수인 저염수(32.2psu 이하)가 유입 	
동해 남부	<ul style="list-style-type: none"> • 대마난류수 영향, 하계 냉수괴 출현. 	
동해 중부	<ul style="list-style-type: none"> • 동해 극전선 영향(북한난류와 대마난류의 경계). 	

황해난류가 동중국해 북부해역을 통과하여 황해 남부역으로 유입되고, 황해냉수가 동중국해 북부역으로 확장된다. 또한 황해 서부역의 연안류가 은 염분의 해수를 동중국해로 수송하는 반면, 양자강 하천수가 황해 남부역으로 북동진하여 황해와 동중국해수의 교환이 매우 활발하게 이루어져 반 폐쇄성 해역이고 천해역임에도 불구하고 그 현상은 대단히 다양하고 복잡하다(Lie and Seung 1994).

서해에 영향을 주는 수괴들은 계절에 따라 달라지는데, 겨울철에는 대류혼합기로서 한랭, 건조한 북서계절풍으로 상, 하층수가 완전히 혼합되어 물리적 특성이 수직적으로 균일하며, 산둥반도에서 중국대륙을 따라 남하하는 저온, 저염의 중국대륙 연안수가 양자강퇴를 따라 남동방향으로 돌출되어 나타난다(해양연구소 1986).

여름철에는 강한 일사량과 양자강 하구에서 제주도 쪽으로 확장되는 중국대륙 연안수의 영향으로 고온, 저염의 표층수와 저온, 고염의 저층수로 구별된다. 특히 황해 중앙역의 깊은 골 주변에는 겨울철에 형성된 냉수괴가 봄에서 가을을 걸쳐 계절적 수온약층 하부에 잔존하면서 점차 남하하고, 겨울철에 접어들면 수온약층의 소멸과 함께 냉수의 확장 세력이 약화된다고 알려져 있다(Nakao 1977). 또한 연안 저층에 걸쳐 연안 수온을 하강시키는 원인이 되는 조류의 영향으로 흑산도 주변과 진도 부근에서 냉수대가 강하게 나타난다(Youn *et al.* 1991).

그림 3-31는 1995년 10월 26일 창조류와 낙조류시에 CTD를 이용한 수온 분포도이다. 창조시와 낙조시 공통적으로 관측 해역 중앙 해안 부근은 25℃ 이상이며 외해 쪽에는 18℃ 이하의 분포를 보이고, 창조류시에는 높은 온도의 해수가 해안을



그림 3-31. 영광주변 해역의 1995년 가을철 표층 수온 분포(한국전력공사 1996).

따라 북쪽으로는 퍼져서 분포하고, 남쪽으로는 조류의 영향으로 수평적 변화가 없었다. 낙조시에는 보다 폭넓게 외해 쪽으로 확장되는데 등온선 20°C의 분포를 보면 남하하면서 외해로 퍼져 나가는 양상을 보여주었다.

2001년에 관측된 계절별 표층 수온 분포는 낙조시에 4.0~10.0°C 범위로 계마리 연안에서 수온이 높게 나타났다. 1995년의 결과와 동일하게 남하하는 조류와 지형적인 영향으로 수온의 분포가 남쪽으로 확산되는 양상을 보였다(그림 3-32). 창조시의 수온 분포는 4.0~8.5°C로 창조류에 의해 남쪽으로 수온 변화가 거의 일정하고 계마리 연안 주변에서만 변화하였다.

서해에 영향을 미치는 수계는 황해난류수, 중국대륙연안수, 황해중앙저층수 및 한국연안수가 있는데 계절에 따라 분포가 각각 다르다

황해난류수

대마난류의 일부가 제주도 남쪽에서 분리되어 제주도 서쪽을 통과하여 황해로 유입 하는 것인데 이는 일종의 보류적인 성격을 가진다. 그 자체의 세력은 강하지 않으며 황해냉수의 움직임에 좌우된다.

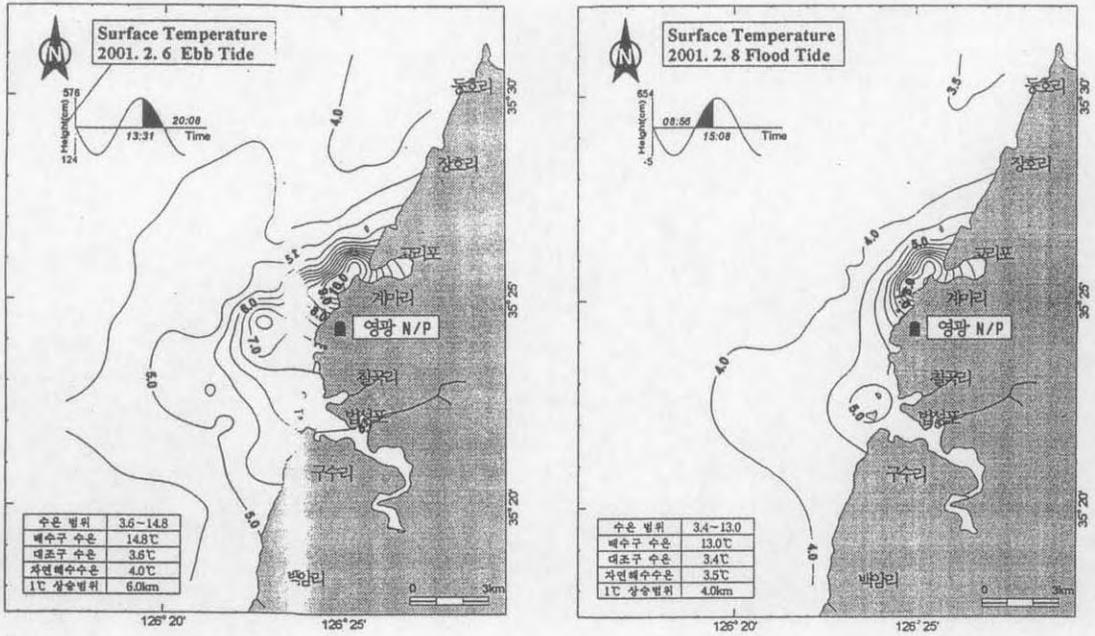


그림 3-32. 영광주변 해역의 2001년 겨울철 표층 수온 분포(한국전력공사 2001d).

중국대륙연안수

중국대륙 하천수의 유입에 의하여 양성된 저염의 수괴로서 그 분포의 중심역은 중국대륙연안에 존재하나 하계에 양자강 하구 동방 약 100마일 해역 부근에서 염분이 23.5psu 이하를 보일 때도 있다. 따라서 이 수괴의 지표로는 염분농도가 효과적이다. 염분이 낮기 때문에 일사의 수열량이 크고, 동계에는 온도 저하, 하계에는 온도상승이 현저한 것이 특징이다. 추계에서 동계에 걸쳐 저온·저염이 된 이 수괴는 한랭한 계절풍의 계속된 영향으로 더욱 발달하여 황해서부의 중국대륙 연안역부터 남동방의 동중국해를 향하여 확장하고 그 일부는 대륙붕 연변이나 조어도(釣魚島) 북동해역까지 이른다.

황해중앙저층냉수

하·추계에 황해중앙역의 중·저층에서 수온 10℃ 이하, 염분 33.0psu 내외를 보이는 저온수가 존재한다. 이 수괴는 해역에서 황해난류와 중국대륙연안수와 혼합에 의하여 대류혼합이 활발한 동계에 생성된 것이며, 이 수괴가 하계에도 변하지 않은 상태로 수온약층 아래에 존재하게 된다.

한국연안수

한국 남해안과 서해안에는 고유의 연안수가 존재하는데 염분농도가 대마난류보다는 낮고 중국대륙연안수보다는 높다. 황해에 영향을 미치는 서해안연안수는 동계에 수온 6℃ 이하, 염분 32.5psu이나 춘계(6월)에 34.2psu로 최고염분을 보이고 하계에는 표면수온 26℃, 염분 32.2psu의 비교적 고밀도수가 된다.

2). 남해

남해의 표면 수온의 분포를 보면 겨울철에는 쿠로시오난류역이 22~23℃, 대한해협의 대마난류역이 12~15℃, 황해의 영향을 받는 북서부해역이 10℃ 이하의 분포로 중국대륙연안수 및 황해냉수와 난류세력 간에 전선이 발달하고 있다(이 1992). 여름철에는 황해냉수 및 중국대륙연안수의 수온 상승이 뚜렷하여 남해 전 해역이 25.0~28.5℃의 거의 같은 수온 분포를 나타내고 있다. 수심 50m 층은 겨울철에는 표면 수온과 비슷한 상태로 쿠로시오난류역과 중국난류연안수 사이에 전선이 발달하지만 여름철에는 쿠로시오난류역이 25~27℃, 대마난류역이 15~20℃로서 황해냉수역의 10~15℃와의 사이에 전선이 발달하여 대한해협과 제주도 남부해역을 잇는다. 표면 수온의 연교차는 쿠로시오역에서는 8℃ 내외, 대한해협에서는 13℃ 내외이고 서해남부역에서는 17℃ 내외로서 북부해역에서는 큰 연교차를 나타내고 있다.

남해의 염분은 가을철부터 점차 증가하여 겨울철을 거쳐 초봄인 4월경까지 고염(34.5psu 이상)의 수괴가 지속된 후 여름철부터 내려가, 8월경에는 상층부는 33.0psu 이하의 염분분포를 나타낸다. 이는 강우와 하천수의 영향을 많이 받는 중국대륙연안수에 의한 것이다. 한편, 6월과 8월 남해 전 수심의 저염화는 강수와 강물 유입으로 설명될 수 없으며, 다만 주위 해역 중 유일하게 저염수가 존재하는 제주해협 서편 해역에서 저염수가 유입된 것으로 추정 된다(Cho *et al.* 1995).

한국 남해연안 및 서해남부연안은 겨울철 강한 북서 계절풍과 이에 동반된 냉기류 그리고 조석작용에 의한 수직혼합이 용이하며, 수직으로 혼합된 연안냉수는 외해로 이동한다. 특히 이들 연안수들은 북서계절풍의 영향을 강하게 받아 서해남부연안수는 흑산도 부근에서 형성된 후 추자도 부근까지 남하하고 때때로 제주해협을 통과하여 남해로 유입되기도 한다. 남해연안수는 주기적인 북풍에 의하여 외해로 확장하는데, 확장 형태에 따라 침강확장과 표류확장으로 구분할 수 있다. 확장 형태에 따른 내부수온구조를 보면 침강 확장시 전 층에 평균보다 낮게 나타나지만, 표류 확장시는 표층에서만 평균보다 낮게 나타난다(Na *et al.* 1990).

그림 3-33과 3-34은 1999년 1월과 4월에 남해 전 해역에 걸쳐 CTD 관측한 결과 중 표층의 수온, 염분, 밀도 및 용존산소의 분포이다. 1999년 1월에는 남동부에서 높은 온도, 높은 염분수가 나타났고, 서해 입구인 서남해안 부근에 최저 수온(<10℃)과 염분(<33psu)이 관측되었다. 남해 연안역에서 제주해협을 거쳐 동서방향의 열-염분 전선이 강하게 발달하여 수온과 염분의 수평적인 구배가 컸다. 이 전선은 제주도 서쪽에서 직각으로 구부러져 분포하며 중국 쪽의 낮은 수온, 낮은 염분의 수괴와 제주도 남쪽의 높은 수온, 높은 염분의 수괴 사이에서 형성되는 전선과 연결되었다. 이러한 전선 분포는 겨울철 남해의 전형적인 수계분포와 잘 일치하는 결과이다. 봄철인 4월의 관측 결과도 겨울철 수계의 지리적 분포와 유사하였다. 그러나 봄철의 열-염분 전선은 겨울철에 비해 약해졌으며 이는 제주도 서쪽 및 남동쪽의 높은 수온의 수괴가 겨울에 비해 약해졌기 때문으로 해석된다. 또한 제주도 서쪽 외해역에서 전선의 세기가 상대적으로 약해졌고 겨울에 비해 서해 입구 쪽의 표층수온은 높아졌고 염분은 낮아졌다. 그리고 33.0psu의 등염분선과 10~12℃의 등온선의 분포를 보면 제주도 남쪽의 높은 수온과 높은 염분의 수괴가 북서쪽인 서해 내부로부터 확장된 형태를 보였다.

남해의 표면 수온의 분포를 보면 겨울철에는 쿠로시오난류역이 22~23℃, 대한해협의 대마난류역이 12~15℃, 서해의 영향을 받는 북서부해역이 10℃ 이하의 분포를 보인다(이 1992). 남해 연안역에서 제주해협을 거쳐 동서방향의 열-염분 전선이 강하게 발달하여 수온과 염분의 수평적인 구배가 크다. 이 전선은 제주도 서쪽에서 직각으로 구부러져 분포하며 중국 쪽의 낮은 수온, 낮은 염분의 수괴와 제주도 남쪽의 높은 수온, 높은 염분의 수괴 사이에서 형성되는 전선과 연결된다. 그리고 봄철의 열-염분 전선은 겨울철에 비해 세기가 약해지는 것으로 알려져 있다 (한국학술진흥재단 1998).

남해(동중국해)에 영향을 미치는 수계는 대마난류수, 황해난류수, 중국대륙연안수, 황해중앙저층냉수, 한국연안수, 동해저층냉수(대한해협저층냉수)가 있다.

대마난류수

쿠로시오로부터 동국해의 대륙사면을 따라 북쪽으로 흘러 동중국해로 확장하는 대륙연안수와 혼합되면서 오도열도(五島列島)와 제주도 사이를 통과하여 대한해협을 통하여 동해로 유입되는 수계이다. 동계에는 수온 15℃, 염분 34.4psu이상의 고온·고염한 해수이나, 하계에는 동중국해의 저염수의 영향으로 고온·저염의 표층수가 형성되어 표면에서 수온 28.5℃, 염분 30.4psu로 된다.

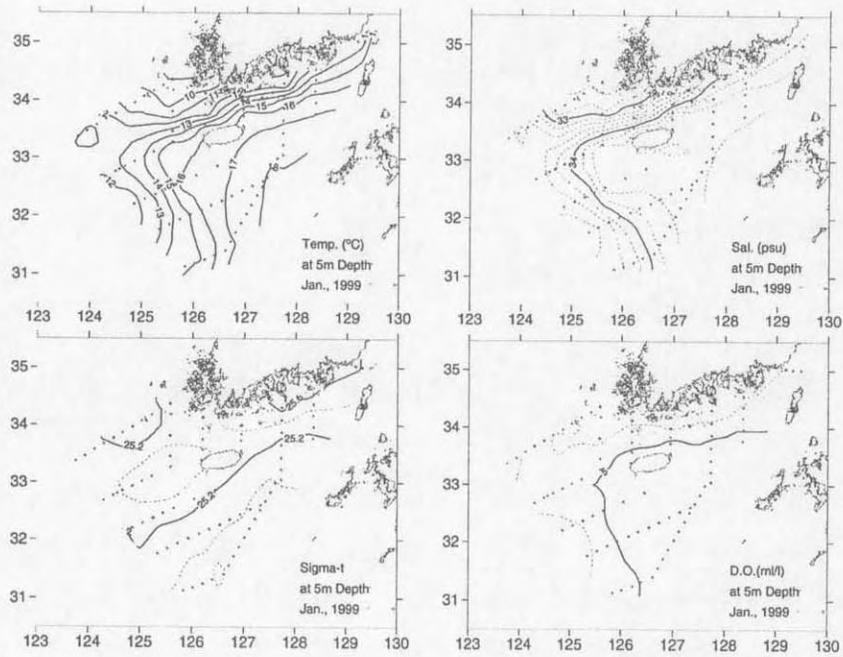


그림 3-33. 우리나라 남해의 1999년 1월의 수심 5m의 수온, 염분, 밀도, 용존산소의 수평분포(한국학술진흥재단 1998).

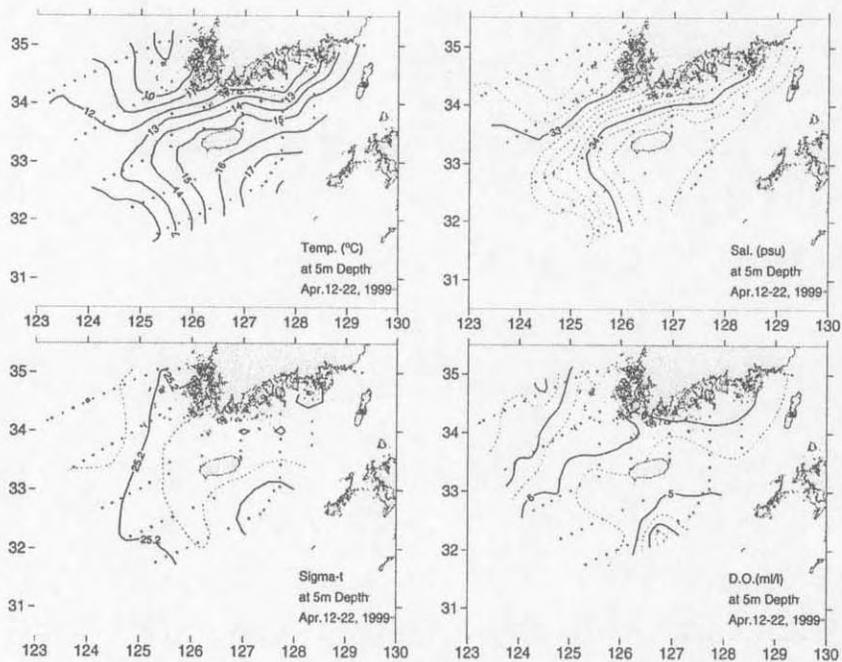


그림 3-34. 우리나라 남해의 1999년 4월의 수심 5m의 수온, 염분, 밀도, 용존산소의 수평분포(한국학술진흥재단 1998).

황해난류수

북상하는 대마난류의 일부가 제주도 남부를 거쳐 황해로 유입하는 난류로서 황해 냉수에 대한 일종의 보류적인 성격을 가지며 그 자체의 세력은 강하지 못하며 황해 냉수의 변동에 좌우된다. 동계에 수온 12℃, 염분 33.5psu로 대한난류보다 저온, 저염의 난류로서 하계에는 표층수의 수온은 27.5℃, 염분은 30.4psu 정도이다.

중국대륙연안수

중국대륙 하천수의 유입에 의하여 양성된 저염의 수괴로서 그 분포의 중심역은 중국대륙 연안에 존재한다. 하계에 양자강 하구에서 동방 100mile 해역에 염분 23.5psu 이하의 저염수가 발생할 때가 있는데, 이는 하천담수의 유입과 강우의 증가에 의한 것이며, 이러한 저염수는 2개 방향으로 확산된다. 첫째는 주류가 대마난류와 혼합되어 추계에 북해도까지 북쪽으로 흐르고, 둘째는 동중국해 대륙붕 연변까지 확산되어 쿠로시오 세력에 편승하여 일본 남동해안을 따라 북동쪽으로 흐른다.

Kim and Roh (1994)에 의하면 제주도 주변해역에 출현하는 여러 수괴 중 32.2psu 이하의 저염수는 중국대륙연안수로 해석된다. 수괴의 두께는 평균 25m이고 대체로 50m 정도의 깊이까지 영향을 주고 있으며 이 연안수의 중심은 제주도 서방 해역에서 제주해협 서쪽 입구로 유입되어 해협의 중앙부를 통과하여 동쪽으로 유출되는 것으로 파악하였다.

황해중앙저층냉수

하·추계에 황해중앙역의 중·저층에 분포하는 수온 6~9℃, 염분 32.6~33.4psu 범위의 수괴로 황해난류와 중국대륙연안수의 혼합에 의하여 대류혼합이 왕성한 동계에 생성된 것이며 하계에도 변질되지 않은 상태로 수온약층 아래에 존재하게 된다.

한국연안수

한국 남해안과 서해안에 존재하는 고유의 연안수로 염분은 대마난류보다 낮고 중국대륙연안수보다 높다. 남해안연안수는 춘계에 최고염분 34.4psu이나 동계에 수온 8℃, 염분 34.0psu로 전역에서 최고밀도수로 되고 하계에는 수온 25.5℃, 염분 31.8psu로 난류계 표층수보다는 고밀도 표층수이다. 서해안연안수는 동계에 수온 6℃, 염분 32.5psu이나 6월에는 34.2psu로 최고염분을 보이고, 하계에는 표면수온 26℃, 염분 32.2psu의 고밀도가 된다.

저층의 저온·고염수는 남해연안수의 특징을 갖고 있어 연안으로부터 이동되어 온 것을 추정할 수 있다(Na *et al.* 1990). 이는 수온과 염분의 보존성을 고려할 때 남해연안수는 저층으로의 침강 확장함을 나타낸다. 등온선의 불룩한 모양은 남해연안수가 지속적으로 확장한 것이 아니라 어떠한 외력의 변화에 의해 간헐적으로 확장한 것을 나타내고 있다. 이러한 외력은 조류에 의한 영향도 있겠지만 조류는 주기도 짧으며 이동거리도 20km 이내 일뿐 아니라 주로 동서방향으로 이동한다. 남해연안수의 변화에는 강한 북서계절풍의 세기와 변동이 중요한 외력으로 작용하는 것으로 보인다.

대한해협저층냉수

동해 수중이하 수심에 분포하는 냉수가 대한해협 저층으로 잠입하여 존재하는 수괴로서 난류세력이 가장 강한 시기에 반대 현상으로 저층냉수가 강하다. 대한해협 해곡 수온의 월 변화를 보면, 6~7월에 저층냉수의 잠입이 시작되고, 9~10월이 5℃ 이하로 가장 강하였고 11~12월부터 점차 약화되어 4월에 가장 약세를 보였다.

Lim and Chang (1969)은 동해고유수가 저층 냉수의 64%를 차지한다고 하였고 Cho and Kim (1994, 1998)은 냉수괴의 기원을 동해의 수심 160~180m 사이의 염분 최소층 수괴가 대한해협으로 유입하는 것으로 파악하였다. Kim and Lee (2004)는 저층 냉수괴는 단일 기원 해수가 아닌 혼합수라 하였다.

3). 제주해역

제주해역의 경우는 남해와 유사한 특징을 보이지만, 남해, 서해, 동중국해와 접하는 수역으로써 다양한 수괴가 분포한다. 고온고염의 해수는 겨울에 황해쪽으로 확장되며 여름에 동중국해로 후퇴한다(Pang *et al.* 1992). 제주도 주변은 남해 연안에 비하여 계절별로 수온의 최저 범위가 약 2~4℃정도 높았다. 제주도 북부 연안의 10년 장기 수온 자료를 분석한 결과 계절별 수온 분포 범위는 봄에 14~17℃, 여름이 20~26℃, 가을이 18~24℃이고 겨울은 13~16℃이다. 제주도 주변 해역이 남해 연안에 비하여 수온이 높은 것은 대난류수의 직접적인 영향을 받기 때문이다. 또한 하계에는 계절풍에 의해 중국 연안수가 동쪽으로 확장하여 저염수가 출현한다(Lie *et al.* 2003).

4). 동해

동해는 북태평양의 연해로서 평균수심이 약 1600m이고 폭은 남북과 동서방향으로 약 1,000km이며 최대 수심이 약 3700m로서 한국, 일본 및 시베리아대륙에 둘러싸여 있다. 대한해협과 쓰가루해협(Tsugaru strait), 소야해협(Soya strait), 마미야해협(Mamiya strait)등 수심이 약 200m 이하의 해협을 통하여 북태평양, 오토츠크해로 연결되는 반폐쇄적인 해양의 특성을 가지고 있다(Ichiye 1984).

전 해수의 84%를 수심 약 300~400 m 아래에 있는 수온 1℃ 이하의 찬물이 차지하고 있다(Gamo *et al.* 1986). 주변의 해수와 거의 차단되어 있어 대한해협을 통해 유입되는 대마난류에 큰 영향을 받는다(Hong *et al.* 1984). 대마난류수는 동중국해수와 쿠로시오의 혼합에 의해 형성되며 계절적 변화가 크고(Shin 1994), 우리나라 동해안을 따라 북상하면서 중, 저층의 동해고유냉수나 북한한류수와 접촉하여 수직적으로 약층을 이루며 수평적으로는 전선을 이룬다. 전선의 평균적인 위치는 동해 연안의 북위 39~40°에서 등위도 방향으로 분포한다(Choi *et al.* 1993).

동해에서의 해류는 크게 동중국해에서 형성되어 대한해협을 통하여 동해로 유입하는 대마난류의 한 지류인 동한난류와 한반도 연안을 따라 남하하는 북한한류로 나눌 수 있는데(Kim and Kim 1983), 이들 해류는 동해의 해황변동에 중요한 요인으로 작용하고 있다. 또 이들 해류는 형성된 해역이 서로 달라 해류에 수반하는 해수의 물리적 특성이 매우 다르게 나타나는데, 동한난류는 수온과 염분이 높은 해수를, 북한한류는 수온과 염분이 낮으면서 산소가 많이 용해된 해수를 수송하고 있다.

동해의 표면 수온은 여름철에는 대마난류의 확장파와 태양 복사열에 의하여 남부해역은 26~27℃, 북한 근해는 18~20℃가 된다. 겨울에는 남부해역에서는 10℃ 이상, 외해쪽은 13~14℃이다. 표면수온의 연교차는 북부에서 크고 남부에서 작으며 반하여 염분의 연교차는 남부에서 크고 북부에서 작다(이 1992).

동해에 분포하는 수괴는 크게 대마난류표층수, 대마난류중층수, 북한한류수, 동해중층수, 동해고유수 등으로 나누어진다(표 3-12). 동해는 난류와 한류가 북위 40° 부근에서 수평적으로 극전선을 형성한다.

대마난류표층수

남해를 거쳐 대한해협을 통과한 후에 동해남부 연안을 따라 북상하며 세력이 계절별, 시기별 변동이 크게 나타난다. 수온은 20℃ 이상이며 염분은 33.8psu 이하로 정의된다(Park 1979, Yang *et al.* 1991). 특히 하계에는 28℃ 고온수로 동해 남부역에 존재한다. Yang *et al.* (1991)에 의하면 9월 관측 자료에서 대마난류표층수는 계절적수온약층의 상부에 존재한다고 하였다. 동계에는 대마난류표층수와 중층수를 구

표 3-12. 동해에 분포하는 수괴의 정의

수괴명	수온(°C)	염분(psu)	용존산소 (ml/l)	참고문헌
대마난류표층수 (Tsushima Surface Water)	>20	<33.80	5.00-5.50	Park(1979)
	>20	<33.80	5.05-5.45	Yang et al.(1991)
대마난류중층수 (Tsushima Middle Water)	14-17	34.30-34.60	4.20-4.70	Park(1979)
	13-17	34.20-34.40	5.00-5.50	Kim and Kim(1983)
	12-17	34.30-34.50	4.30-5.00	Yang et al.(1991)
북한한류수 (North Korea Cold Water)	1-7	33.95-34.10		Gong and Park(1969)
	0.2-4	34.00-34.05	6.50-7.50	Park(1979)
	1-6	<34.00	>6.80	Kim and Kim(1983)
	1-7	34.06-34.20	6.00-6.45	Yang et al.(1991)
동해중층수 (East Sea Intermediate Water)	2-5	<34.00	>6.50	Kim and Kim(1983)
	1-3	<34.06	>6.50	Kim and Chung (1984)
동해고유수 (East Sea Proper Water)	0-1	33.96-34.10	5.20-6.00	Park(1979)
	0-1	34.00-34.05	5.50-6.50	Kim and Kim(1983)
	≤2	≥34.0	≤7.0	Sudo(1986)
	<1	34.02-34.16	5.40-5.90	Yang et al.(1991)

별하기 어려우며 7~13°C, 34.05~34.45psu 범위로 극전선의 남쪽 해역에 존재한다 (국립수산과학원 2001).

대마난류중층수

대마난류중층수도 하계에만 대마난류표층수와 구별되며 동계에는 하나의 수괴로 인식된다. Park (1979)은 14~17°C, 34.3~34.6psu로 정의하였고 Kim and Kim (1983)은 13~17°C, 34.2~34.4psu로 구분하였다. 국립수산과학원(2001)은 동 수괴를 대마난류중핵수(Tsushima Current Core Water)로 정의하였으며 수온과 염분 범위는 각각 14~17°C, 33.0~34.1psu으로 다른 연구 결과에 비해 범위가 넓었다. 이 수

괴가 위치하는 수심은 약 50~100m에서 120~150m에 분포하며 동해남부역에서 층이 두텁고 북부 쪽으로 갈수록 층이 얇아진다.

북한한류수

북한한류수는 동해 고유수에 비하여 염분이 낮고 용존산소량이 높은 것이 특징이다(Kim and Kim 1983). 북한한류수의 분포 위치는 주문진 이북의 해역에서는 표층부터 수중까지 연중 지속적으로 존재하며 동해 시 이남 해역에서는 동한난류수와 접하여 전선을 형성하고, 난류수괴 침강하여 동해고유수의 상층에 위치한다. 이 수괴의 수온과 염분의 범위는 Park (1979)은 0.2~4℃, 34.0~34.05psu, Kim and Kim (1983)은 1~6℃, < 34.0psu로 정의하며 다른 수괴와 비교하기 위해서는 용존산소를 추가하여야 되며 그 값은 6.8ml/ℓ 이상이라고 하였다.

동해중층수

동해고유수 상층부에 위치하는 수괴로 Kim and Chang (1984)은 수온 1℃ 이상, 염분 34.06psu 이하로 정의하였다. Kim and Kim (1999)은 염분을 기준으로 34.07psu보다 높은 수괴를 고염중층수로 34.06psu보다 낮은 수괴를 저염중층수로 구별하였다.

동해고유수

동해연안의 약 400m 이하의 수심에서 발견되는 수괴로 수온 1℃ 이하, 염분 30psu 내외이며 전체 동해의 84%를 차지한다(Yang 1991). 과거의 연구에서는 균질한 단일의 수괴로 정의하였으나 최근에는 관측기기의 발달로 인해 3가지 이상의 다른 수괴로 보는 연구결과도 있다.

(가). 동해남부

동해에서 장기간 관측된 수온 자료와 기존 연구에 의한 수괴 및 해수유동을 기준으로 동해남부와 동해중부 2개 해역으로 구분할 수 있다.

동해 남부의 연안정지 관측 일일 자료의 월별 10년 평균 수온은 봄에 12~15℃, 여름이 18~22℃, 가을이 16~23℃, 겨울은 12~14℃이다. 이 해역의 특징은 연중 대한해협을 통과한 난류가 연안을 따라 북상하는 것과 하계에 남서풍에 의해 냉수대가 출현하는 것이다(Lee 1983). 일반적으로 용승이 일어나면 수온과 해수면은 낮

아지고 바람 방향의 유속이 증가한다. 냉수대 수온은 주변해역에 비하여 3~10℃ 정도 낮게 나타난다.

동해 남부의 연안은 고리원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(한국전력공사 2001a)와 월성원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서를 토대로 분석하였다(한국전력공사 2001b).

고리 주변 관측은 계절별로 창조시와 낙조시 표층 수온을 측정하였다. 창조시에 는 월내리 연안에서 남쪽 연안을 향하고, 낙조시에는 월내리 연안에서 외해 쪽으로 측정하였다.

2001년 겨울철 고리 주변 해역의 표층 수온 분포는 창조시 14.0~18.0℃의 범위였으며 북쪽에서 남쪽 연안으로 내려가면 수온 낮아졌다(그림 3-35). 낙조시 수온 분포도 창조시와 일치하고 신암리 연안에서 남동 방향으로 14.0℃ 이하의 수괴가 위치한다. 서쪽 연안으로 갈수록 수온은 높아지다가 월내리에 가까운 쪽에서 15.0℃로 다시 낮아졌다. 이 곳의 조류는 창조시 연안쪽을 따라 남하하고, 낙조시의 북동쪽으로 흐른다. 수온 분포를 볼 때 하루 이내의 변동은 조류에 의해 변화함을 알 수 있다. 봄철 수온 범위는 낙조시 14.0~19.0℃이고 창조시 15.0~19.0℃로 분포 양상과 범위는 겨울철과 유사하였다(그림 3-36). 문중리를 중심으로 15.0℃ 이하의 수괴가 연안에 위치하고 있으며 겨울철에 비하여 등온선의 간격이 넓게 분포하는 특성을 보였다. 여름철은 창조시 17.0~21.0℃ 범위로 월내리쪽에서 남쪽 방향으로 수온이 낮아졌다(그림 3-37). 낙조시 수온 범위는 창조시와 일치하였고 관측 해역의 북동방향의 연안을 따라 수온이 낮아져 신암리 연안에서 17.5℃ 이하이었다. 태양복사열에 의한 표층 수온이 여름철부터 상승하여 가을철에 표층 수온은 창조시에 21.0~24.0℃이고 낙조시에는 20.5~24.0℃ 범위로 높아졌다(그림 3-38).

월성주변의 겨울철의 창조시 표층 수온은 12.5~14.0℃ 범위로 분포하였다(그림 3-39). 봉갈리 연안이 14.0℃ 이상으로 높게 나타났지만 주변과 1℃ 차이로 표층의 수온의 분포 특성을 파악하기는 힘들다. 봄철에 조사된 표층 수온 분포로 범위는 16.0~19.0℃이었다. 봉갈리 연안을 중심으로 19.0℃의 등온선이 분포하며 동쪽으로는 수온의 변화가 조밀하고 북쪽으로는 넓게 퍼지는 양상을 보였다.

(나). 동해중부

동해 중부는 울진원자력발전소 주변 일반환경조사 및 평가보고서를 참고하였다(한국전력공사 2001c).

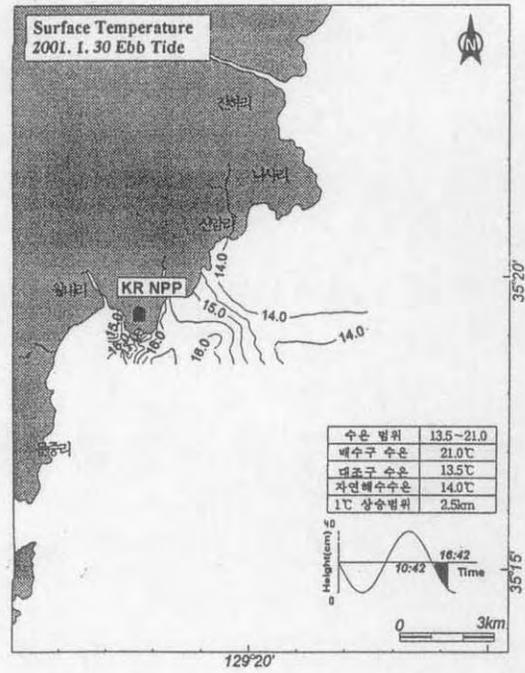
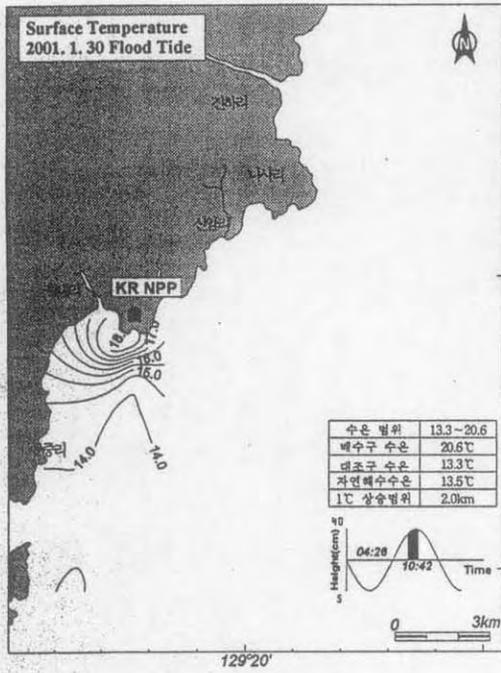


그림 3-35. 고리주변 해역의 2001년 겨울철 표층 수온 분포(한국전력공사 2001a).

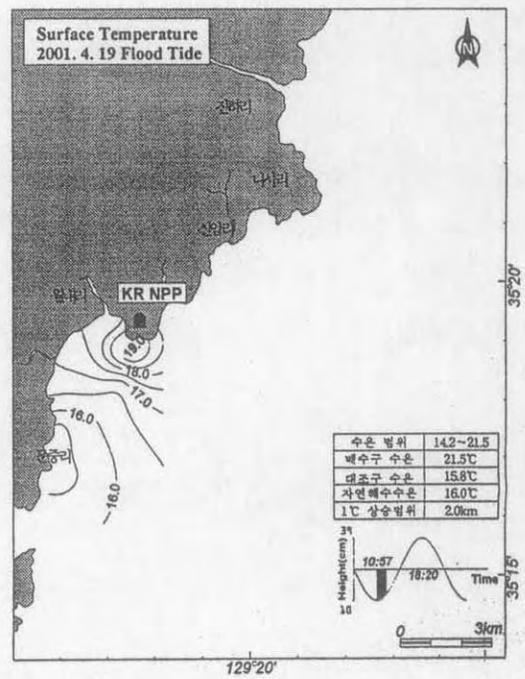
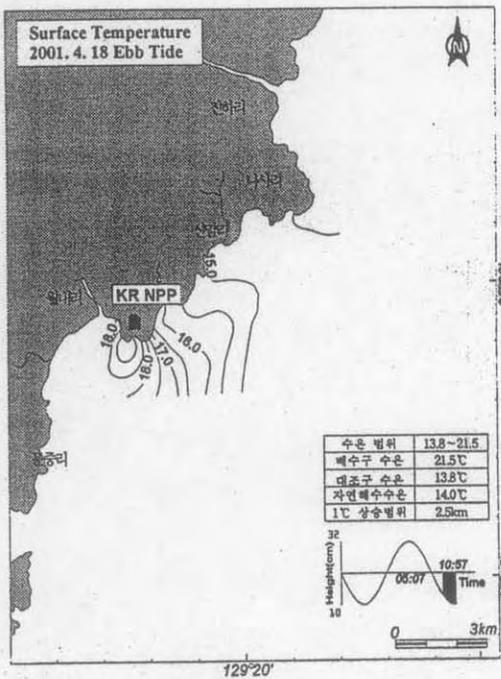


그림 3-36. 고리주변 해역의 2001년 봄철 표층 수온 분포(한국전력공사 2001a).

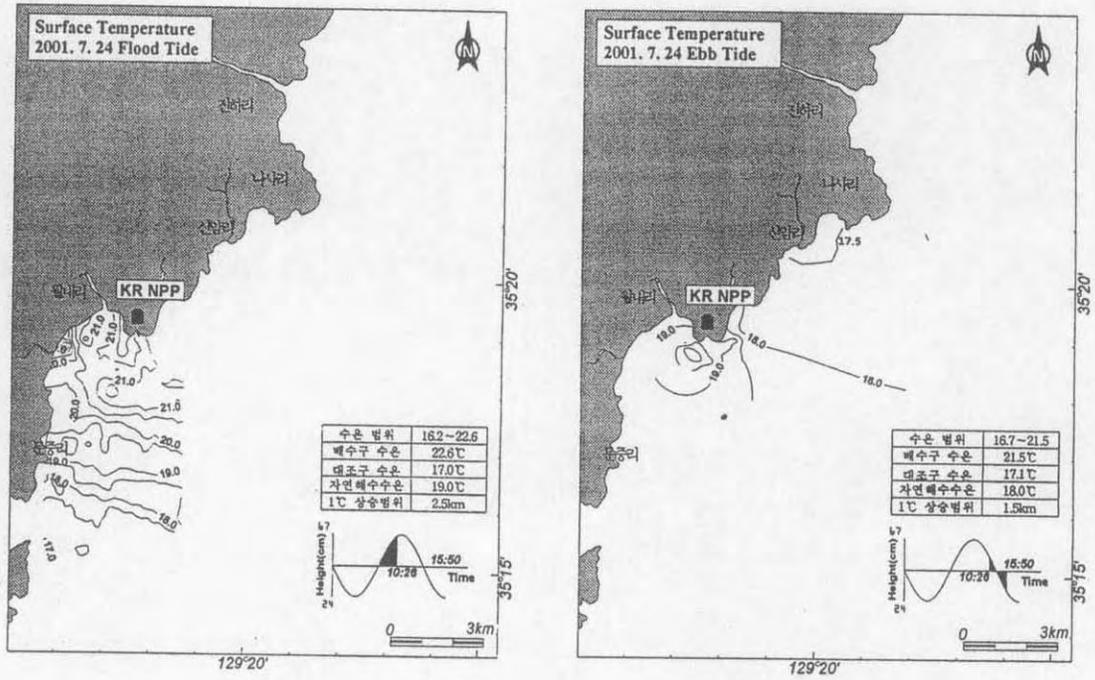


그림 3-37. 고리주변 해역의 2001년 여름철 표층 수온 분포(한국전력공사 2001a).

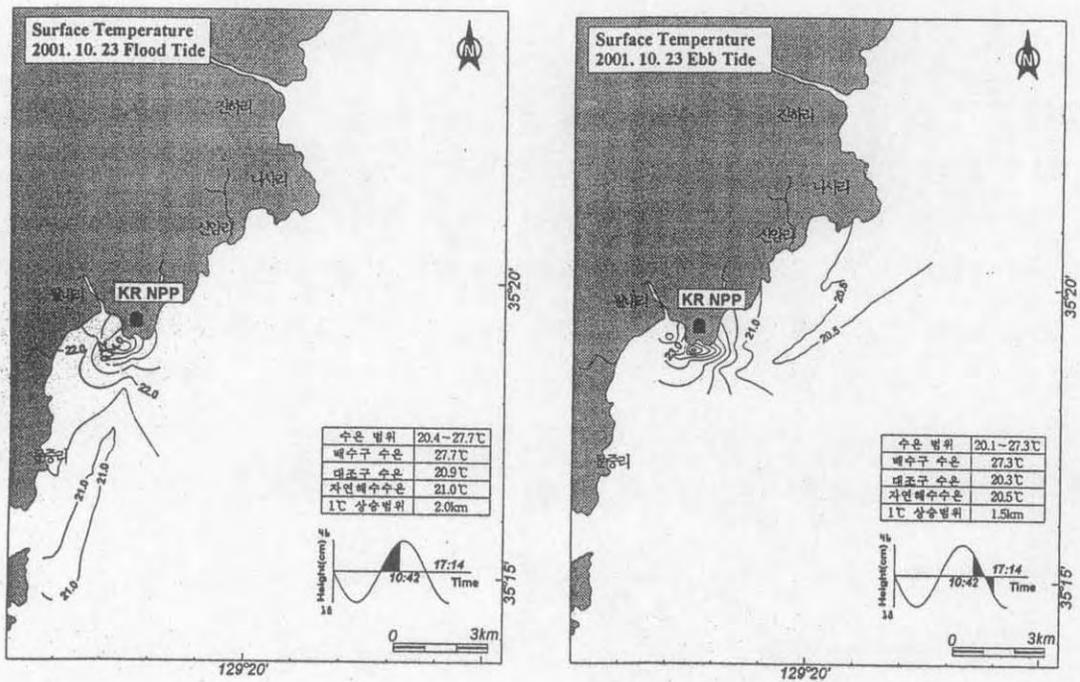


그림 3-38. 고리주변 해역의 2001년 가을철 표층 수온 분포(한국전력공사 2001a).

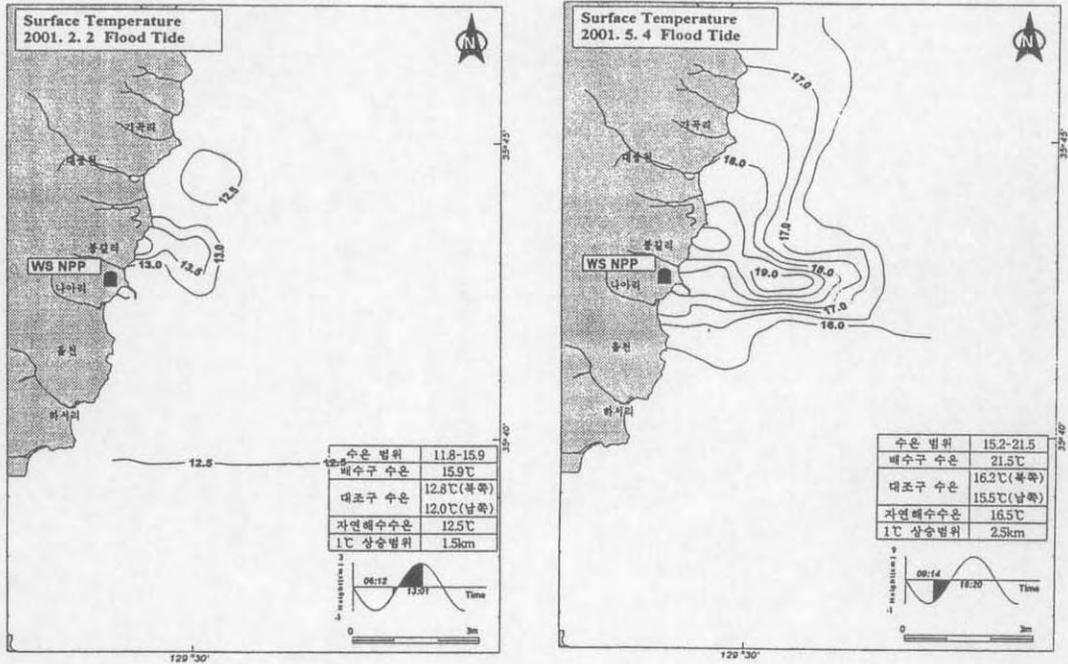


그림 3-39. 월성주변 해역의 2001년 겨울철(좌) 및 봄철(우) 표층 수온분포(한국전력공사 2001b).

겨울철 낙조시의 표층 수온은 11.0~13.5℃ 범위로 2.5℃의 공간적인 구배를 보였다(그림 3-40). 덕천리 연안을 중심으로 13.0℃ 이상의 수괴가 남쪽 죽변리 연안을 따라 존재하고 외해 쪽으로 수온이 낮아졌으며, 관측해역 북쪽에 11.0℃ 이하의 수온대가 존재하였다. 낙조류 방향은 관측해역에서 남동방향으로 수온 분포에 영향을 주었다. 봄철 창조시에 관측한 표층 수온의 전체적인 분포 범위는 14.0~18.5℃로 겨울철에 비하여 공간적인 차이가 크게 나타났다. 덕천리 연안을 중심으로 18.5℃가 외해로는 15.5℃로 북쪽으로는 14.0℃까지 낮아졌다. 겨울철과 반대로 흐르는 조류에 의해 겨울철처럼 덕천리 연안의 수괴가 죽변리까지 내려오지는 않았다. 하계 창조시의 수온 분포 범위는 18.0~21.0℃로 공간적인 차이는 3.0℃를 보였다(그림 3-41, 42).

표층의 수온은 전반적으로 상승하여 뚜렷한 분포 양상을 파악하기 힘들다. 가을

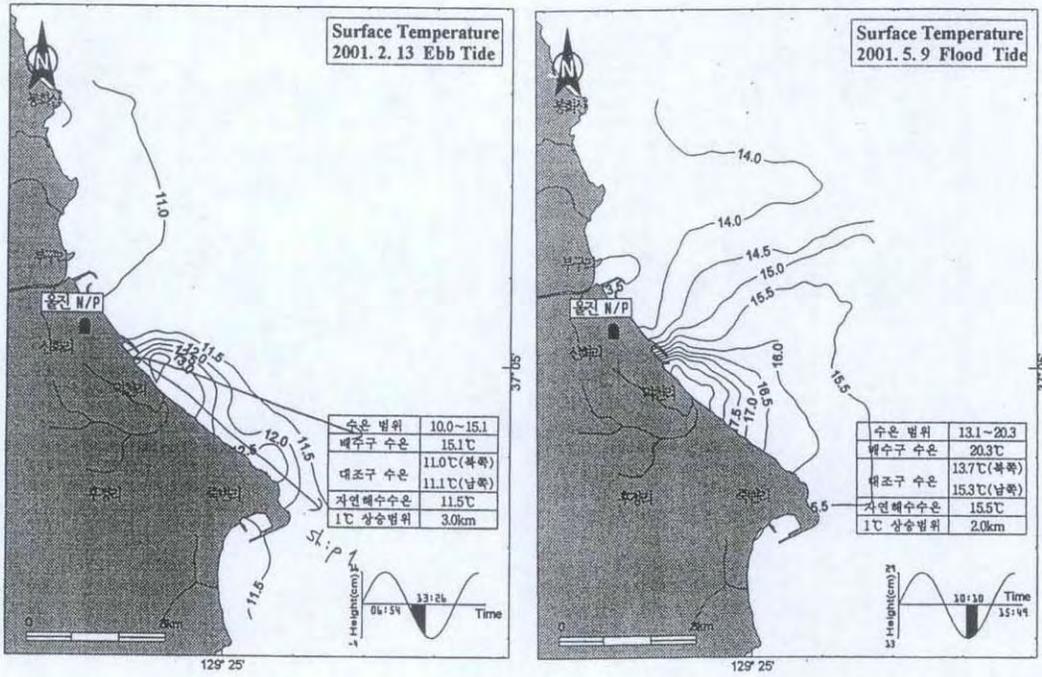


그림 3-40. 울진주변 해역의 2001년 겨울철(좌) 및 봄철(우) 표층 수온분포(한국전력공사 2001c).

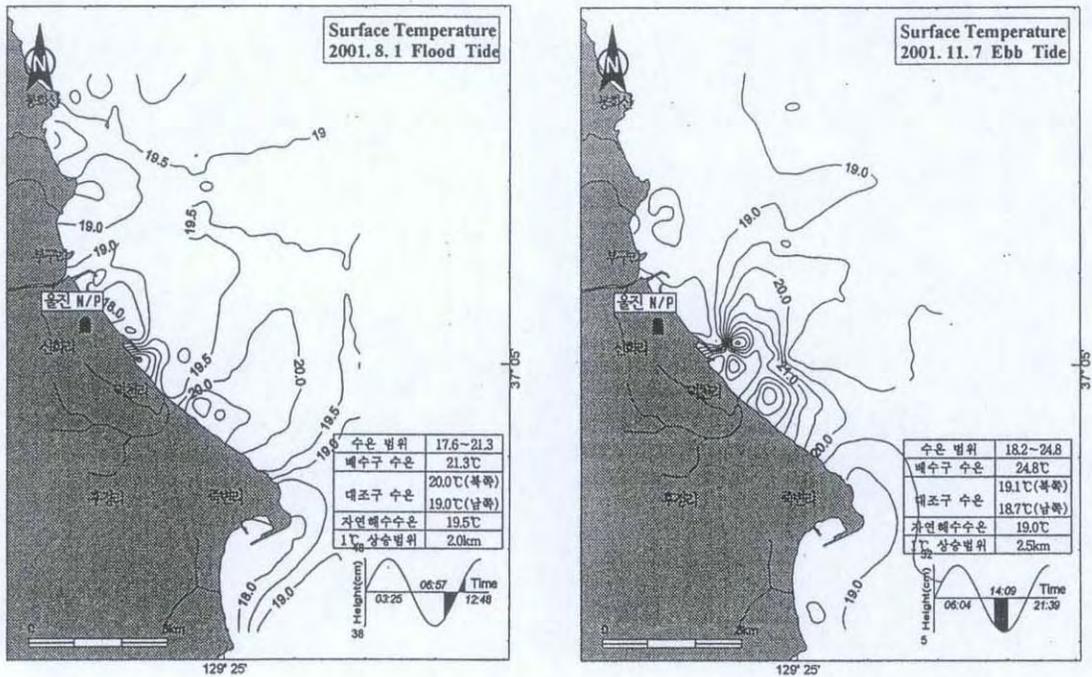


그림 3-41. 울진주변 해역의 2001년 여름철(좌) 및 가을철(우) 표층 수온분포(한국전력공사 2001c).

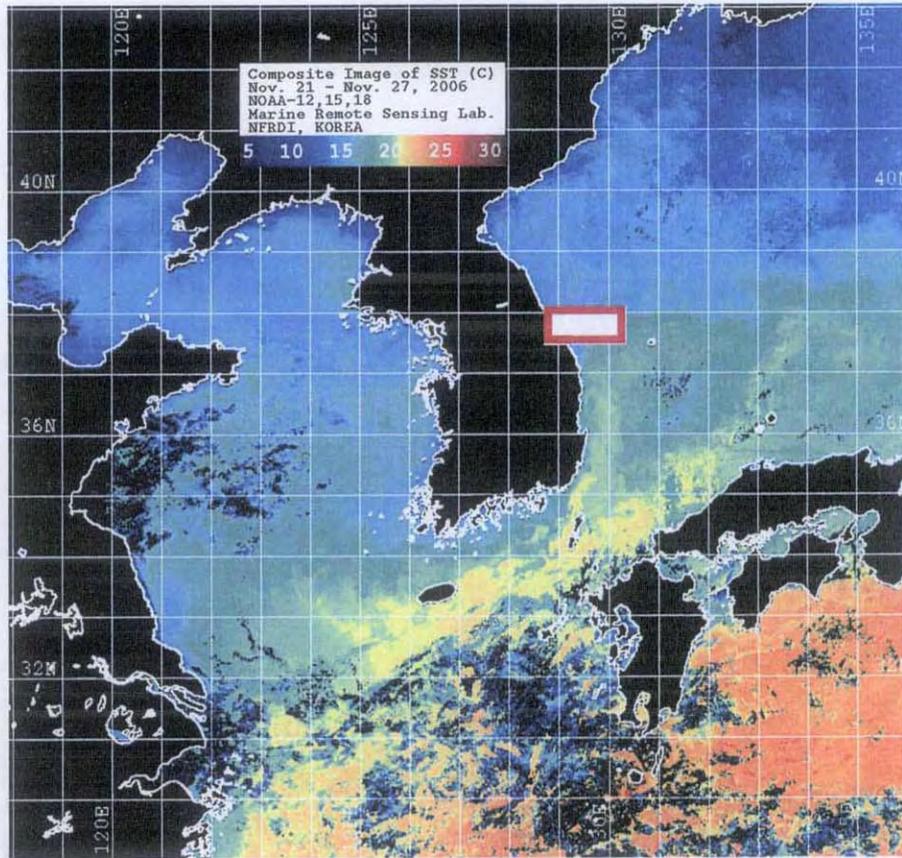


그림 3-42. 표층 수온 영상 (국립수산과학원 제공) 및 동해 중부 극전선의 일반적인 위치 (빨간색 사각형).

철 표층 수온은 19.0~23.0℃의 분포로 4.0℃의 공간적인 차이가 났다. 죽변리에서 덕천리 연안까지 높은 수온의 수괴가 존재하고 이 지역의 북쪽과 남쪽에는 19.0℃ 이하의 해수가 분포하였다.

2. 우리나라 연안의 해양생물지리학적 구획

해양에는 지구상에 존재하는 생물종 중 곤충을 제외하면 동물의 경우는 90%, 학자에 따라서는 95% 이상이 서식하고 있고 모든 대형 해조류가 분포하고 있어 종다양성의 보고라고 할 수 있다. 분류학적으로는 이렇게 다양한 생명체가 분포하고 있는 해양생태계이지만 생태학적으로는 해양생물을 생활양식과 해양 내 서식환경에

따라 크게 부유생물, 유영생물, 저서생물의 세가지 유형으로 구분한다.

수층을 떠다니는 부유생물은 약한 운동성으로 인하여 해류계의 패턴과 계절적 수온 변화에 따라 분포가 결정되며 저서생물은 해저면의 기질 및 수심 등 물리 화학적 환경 요인에 따라 분포가 제한되는 반면 대부분의 어류와 해양 포유동물을 포함하는 유영생물은 운동성이 뛰어나 물리 화학적 환경의 변화에 따라 적합한 수괴를 선택하여 이동한다. 각각의 해양생물이 서로 다른 분포 양상을 보이지만 궁극적으로는 수온이 분포 범위를 결정하기 때문에 생물지리학적으로 구분할 수 있다. 동, 식물플랑크톤, 해조류, 저서동물, 어류 등 크게 5개 생물군의 각 해역별 분포 양상을 비교하여 각 해역의 해양생물학적 특징을 기술하였으며 수산생물의 분포를 중심으로 우리나라 연안해역을 특징에 따라 해양생물지리학적으로 구분하였다.

가. 생물군집별 분포 특성

1). 식물플랑크톤

서해에서 출현하는 식물플랑크톤의 종수는 약 400여종으로 이 중 규조류가 계절적으로 120~230여종 사이에서 출현하면서 전체 출현종수의 75~90%를 차지하고 있다(강과 최 2001). 이 외에 와편모조류가 20~40여종으로 전체 출현종수의 10% 전후를 차지하고 규질편모조류와 남조류, 녹조류 등이 5~10종씩 출현하고 있다. 현존량은 100,000~2,800,000세포/ℓ 사이에 변동하였는데 클로로필 a 농도의 변화로 보면 0.7~11.7μg/ℓ 사이에서 변동하였다. 우점종은 *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp.와 *Paralia sulcata*등으로 나타났다(표 3-13).

표 3-13. 우리나라 주변해역의 식물플랑크톤 출현 양상

	출현종수	현존량 (10 ³ 세포수/ℓ)	클로로필a (μg/ℓ)
동해	350	80 ~ 1,400	1.0 ~ 3.0
남해	200	100 ~ 3,000	< 14.5
서해	400	100 ~ 2,800	0.7 ~ 11.7
제주	400	<1,000	0.5 ~ 2.6

남해에서 출현하는 식물플랑크톤의 종수는 광양만과 삼천포만에서 약 200여종이 보고되어 있으며 규조류가 70% 전후의 점유율을 보이고 있다. 최대현존량은 3,000,000세포수/ℓ 이 기록되어 있고 클로로필 a 농도는 14.5 $\mu\text{g}/\ell$ 을 기록하였다. 우점종은 *Eucampia zoodiacus*, *Nitzschia pungens*, *Cylindrotheca closterium* 등으로 나타났다.

제주해역에서 출현하는 식물플랑크톤의 종수는 400여종이 동정되어 있으며 이 중 규조류가 제주 북방, 남방 등 해역에 따른 차이는 있으나 70~80%를 점하고 있고 와편모조류도 해역에 따라 30% 전후를 차지하고 있다(최 2003). 식물플랑크톤의 현존량은 일반적으로 1,000,000세포수/ℓ 이하를 보이고 있으나 남해나 서해에 비해서는 연중 낮은 현존량을 보이고 계절적으로는 봄에 높고 겨울에 감소한다. 클로로필 a 농도는 0.45~2.59 $\mu\text{g}/\ell$ 사이에서 변동하였다. 우점종은 *Asterionellopsis kariana* 등 11종이었는데 대부분이 저서성 규조류였다.

동해에서 출현하는 식물플랑크톤의 종수는 약 350여종으로 이 중 규조류가 270여종으로 전체 출현종수의 약 77%를 차지하고 있다(강과 최 2001). 이 외에 와편모조류가 70여종으로 전체 출현종수의 22%를 차지하고 규질편모조류를 포함하는 기타분류군이 2~5종씩 출현하고 있다. 현존량은 80,000~1,400,000세포수/ℓ 사이에서 변동하였는데 클로로필 a 농도는 1.03~2.96 $\mu\text{g}/\ell$ 사이에서 변동한다. 우점종은 *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp. *Prorocentrum triestinum* 등이다.

2). 동물플랑크톤

서해 연안에서 출현하는 동물플랑크톤은 50여종에 불과한 것으로 보고되어 왔으나 최근 영광원자력 주변 해역에 대한 집중적인 조사에 의하여 100여종 이상의 분포가 확인되었다(박 2007). 요각류가 80%를 차지하고 있고 야광충, 십각류, 화살벌레류, 지각류, 미충류 등이 계절적으로 높은 출현량을 나타내었다(표 3-14).

최대출현량은 13,000개체/㎥까지 기록되어 있으나 대개 1,000개체/㎥ 미만의 빈약한 출현량을 나타내고 있고 요각류 십각류등의 유생군이 우점하고 있으나 십각류 유생은 하계에 주로 우점하고 해에 따라 야광충이 대량 출현하기도 한다.

남해에서 출현하는 동물플랑크톤은 약 90여종으로 보고되었으며 요각류가 50여종으로 약 60%를 차지하였고 나머지는 지각류와 갑각류 유생이 대부분이었다. 출현량은 야광충의 대량출현에 의해 35,000개체/㎥를 넘기도 하나 대부분 10,000개체/㎥ 전후의 출현량을 유지하고 있으며 우점종은 야광충과 요각류 유생이지만 하계에 짧

표 3-14. 우리나라 주변해역의 동물플랑크톤 출현 양상

	출현종수	최대출현량 (개체/m ³)	평균출현량 (개체/m ³)
동해	100	20,000	5,000
남해	90	35,000	10,000
서해	100	13,000	1,000
제주	60	25,000	2,000

은 기간에 걸쳐 지각류가 우점하는 현상을 보이기도 한다.

제주 해역에서 출현하는 동물플랑크톤은 난류 외양성 요각류가 대부분을 차지하고 있으나(강 1992) 연안역에서는 60여종의 동물플랑크톤이 보고 되었고 요각류가 35여종으로 약 60%를 차지하고 있다. 최대출현량이 25,000개체/m³ 이르고 있으나 대개 1,000~2,000개체/m³ 사이의 출현량을 보이며 요각류 유생의 대량 출현에 의해 출현량이 급증하기도 한다. 요각류 유생을 제외하면 *Paracalanus indicus*와 *Oithona* 속의 요각류가 우점하고 있고 갑각류 및 이미페류 유생이 다양하게 출현하고 있는 것이 특징이다.

동해에서 출현하는 동물플랑크톤의 종수는 약 100여종이며 요각류가 60% 이상을 차지하고 있는데 계절적으로는 쿠로시오가 동해 중부까지 확장하는 하계에 열대성 종들이 유입되면서 다양한 동물플랑크톤이 출현하는 경향을 보인다. 출현량은 최대 20,000개체/m³를 기록하기도 하지만 대개 5,000개체/m³ 전후의 출현량을 보이며 3~4년 주기로 증감을 반복한다. 우점종은 *Paracalanus indicus*, 야광충, 요각류 유생 등이며 *Acartia*, *Oithona*, *Corycaeus* 속의 요각류가 많이 출현하고 있다.

동물플랑크톤의 분포유형으로 보면 우리나라 연안은 서해안, 남해안, 동해안 및 제주해역이 각각의 특징을 가지고 있다.

3). 해조류

해조류는 고착성 식물로 오랜 진화의 과정에서 비롯된 종마다 적합한 환경조건이 있다. 어느 한 종이 고유한 서식지를 벗어나 다른 지역에 정착하기란 쉽지 않으며,

이는 그 지역의 환경이 착생, 발아, 성장, 번식, 가입으로 이어지는 일련의 생활사에 부적합할 뿐만 아니라, 그 지역에 적응된 토착종의 저항이 매우 강렬하기 때문이다.

우리나라 연안에 분포하는 해조류는 약 450종(강 1966, 손 1978, 김 등 1996)이다. 이 중 남조류 5%, 녹조류 15%, 갈조류 23% 및 홍조류가 57%를 차지하고 있다. 전 연안에 분포하는 종은 부챗살(*Gymnogongrus flabelliformis*), 납작파래(*Enteromorpha compressa*), 불등플가사리(*Gloiopeltis furcata*), 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 청각(*Codium fragile*) 및 참까막살(*Carpopeltis affinis*) 등이다.

해조류의 수직분포는 상부에서 하부로 갈수록 피도가 증가하며 평균해면 이하에서 급격히 증가한다. 기능형군별로는 엽상형군과 사상형군은 조간대 상·중부, 직립 분기형과 다육질형은 조간대 중·하부, 그리고 각상형군과 유절산호말군은 조간대 하부에서 피도가 높다. 수직분포와 종다양도의 관계는 전반적으로 조위와 밀접하게 연관되어 조간대 하부로 갈수록 상관성이 높아진다.

해조류의 지리적 분포는 해역별 구분보다 오히려 지역의 특성, 즉 내만성과 외양성의 구분이 더 명확하다. 이에 따라 남해안은 동·서부, 서해안은 중·남부로 더욱 세분된다. 이는 군집의 양적 조성과의 관계되기 때문이라 생각되며, Taniguti (1984)가 극동지역의 해조식생론에서 언급한 내대(內帶), 외대(外帶)의 개념을 미시적으로 나타내고 있다(손 1978).

산호말(*Corallina officinalis*), 참사슬풀(*Champia parvula*), 떨기나무붉은실(*Polysiphonia japonica*), 참보라색우무(*Symphycladia latiuscula*), 참그물바탕말(*Dictyota dichotoma*) 등은 연중 출현하는 종이다. 첩감(*Porphyra tenera*)를 비롯한 김류(*Porphyra* spp.), 쇠미역사촌(*Costaria costata*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 다시마(*Laminaria japonica*) 등은 겨울에 출현하는 종이다. 여름철에는 개서실(*Chondria crassicaulis*), 청각(*Codium fragile*), 다시마류(*Laminaria japonica*) 등이 출현하며 식생이 많이 줄어들는데 이는 동계 및 춘계에 출현하는 냉수성 종들이 대부분 소멸하기 때문이다.

김 등(1996)은 동해안 영일만 일대에서만 114종의 해조류를 관찰하였으며, 수직분포의 계절적 변화는 일차적으로 수온과 깊은 관계가 있다고 보고하였다. 상부와 중부에서는 녹조식물(매생이, 구멍갈파래, 납작파래)과 갈조식물(모자반, 지충이)이, 하부에서는 홍조식물(우뭇가사리, 진두발, 참보라색우무, 털지누아리, 참도박)들이 우점한다. 해조군집은 계절과 여러 환경 요인에 따라 다양하게 변하는데, 계절별 조위 변화 및 일사량의 변화에 따른 해조류의 건조에 대한 내성도 관여한다.

동해에서 분포하고 있는 해조류는 총 414종이 보고 되어 있다. 연평균 해조류의

건중량은 270~778g/m²의 범위에 속하며 홍조류인 작은구슬산호말, 고리마디게발 등의 산호말 무리가 우점종으로 나타난다. 서해의 해조류는 영광해역의 경우 온배수의 경향을 크게 받아 1986년도부터 출현종수가 크게 감소하였다가 1992년 이후 회복되는 경향을 보였으며 연평균 해조류의 건중량은 44~189g/m²의 범위이다. 2000년대의 우점종은 구멍갈파래, 작은구슬산호말, 애기우뚝가사리 등이었다. 삼척 연안을 기점으로 동해 남부 해역의 해조류상과 동해중부 해역의(삼척-고성 연안역) 해조류 상이 차이를 보이는데 이는 해저 지형에 따른 결과로 추정된다.

4). 저서동물

저서동물은 고착성 동물은 물론 이동성 동물도 운동성이 미약하여 환경변화에 직접 노출된다.

울진 주변해역의 저서동물 서식밀도는 1987년부터 3년간은 200개체/m²에 불과하다가 1990년부터 1999년까지 10년간은 평균 약 1,000개체/m²로 급격하게 증가하였다가 2001년부터 다시 300개체/m² 전후로 감소하는 등 큰 폭으로 변동하였다(그림 3-43).

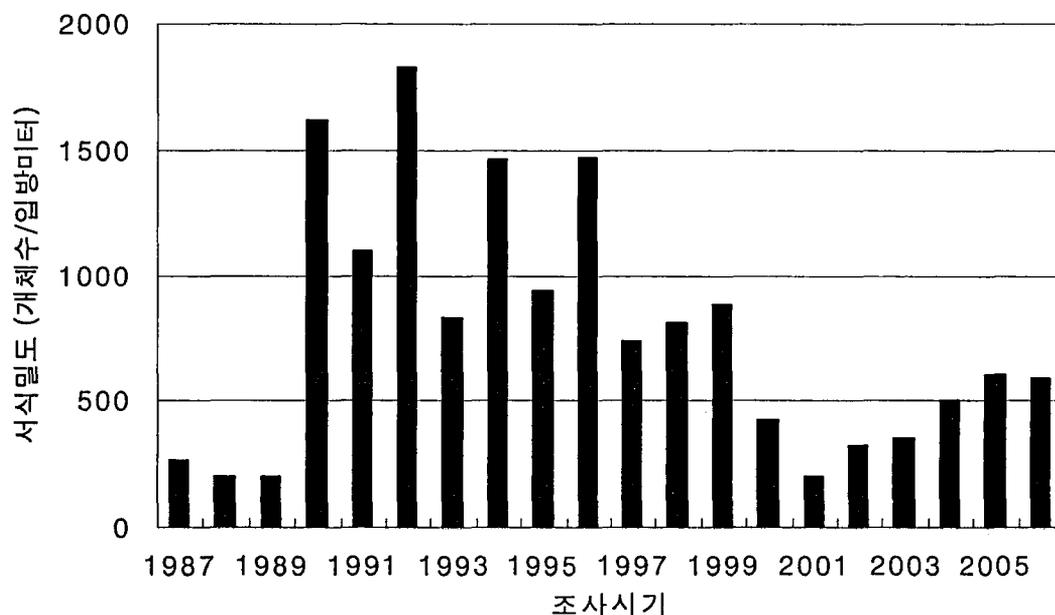


그림 3-43. 울진원자력발전소 주변 해역 저서동물의 서식밀도 연간 변화.

월성원자력발전소 주변해역에서는 1986년 이후 100개체/m² 전후의 낮은 서식밀도를 나타내다가 1993년부터 5년간 700~800개체/m²의 비교적 높은 밀도를 보였다. 최대 밀도는 1994년의 2,520개체/m² 였으며 1998년 이후 200개체/m² 전후로 감소하였다가 2006년 다시 증가하였다(그림 3-44).

영광원자력발전소 주변해역에서는 1986년에 365개체/m²를 기록한 후 점차 증가하여 1996년 700개체/m² 이상을 기록한 후 불규칙한 증감 경향을 보였으며 계절별, 정점별 변화는 파악되지 않았다(그림 3-45).

5). 어류

우리나라에는 외래종을 포함하여 1,116종의 어류가 분포하고 있으며, 이 중 회유성 어류 59종을 포함하여 978종의 해산어가 기록되어 있다(이 등 2006).

어류의 분포는 해안선 구조, 해저지형 및 저층조성에 따라 차이가 나지만 해양에 있어 어류의 분포를 제한하는 가장 큰 요인은 수온이다.

우리나라 동해안에는 우리나라에 분포하는 해산어류의 약 45%에 해당하는 132과 439종의 어류가 서식하고 있는 것으로 보고되고 있다. 동해안에서의 어류분포는 연안을 따라 북에서 남으로 흐르는 북한한류수와 남에서 북으로 흐르는 대만난류의 영향을 받는다. 우리나라 연안의 해류를 대표하는 이 두 가지 해류는 북위 40° 부근에서 전선을 형성하지만 계절별 강도가 서로 다르기 때문에 예측이 어렵다.

동해안의 어류상을 보다 자세히 관찰해보면 대만난류의 북상에 따라 온수성 어류가 북쪽으로 이동함을 알 수 있다. 대만난류는 봄부터 여름까지 동해안을 따라 북상하는데, 이 해류의 표층수는 20℃ 이상 올라간다. 이를 따라 동해안 외양에서는 정어리가 올라가고, 연안을 따라서는 쾡치, 멸치, 고등어, 방어 등이 북상한다(김과 남 2003). 그러나 가을부터 겨울사이에는 북한한류수가 강해지기 때문에 수온이 점차 내려간다. 이에 따라 북상하던 어류는 북한 근해에서 회유하여 연안을 따라서는 정어리가 내려오고 외해 측으로는 쾡치, 멸치, 고등어가 내려온다. 또한 냉수성 어류인 명태, 가자미, 횡대류, 홍어류, 도루묵 등이 깊은 바다에서 연안으로 나온다.

동해 중부(양양군 해역)에서는 말쥐치, 송어, 임연수어, 전아, 황아귀는 연중 출현한다. 여름과 가을에는 송어와 전갱이가 우점하며, 겨울철에는 청어, 임연수어, 시마연어가 출현한다. 특히 여름철에는 온수성인 제비활치, 날개주걱치와 독가시치도 출현한다(김과 남 2003). 한편, 동해남부(영일만 해역)에서는 고등어, 전어, 전갱이, 멸치, 정어리, 망상어 등이 연중 출현한다. 봄철에는 멸치, 쾡치, 청어가 우점이며 그

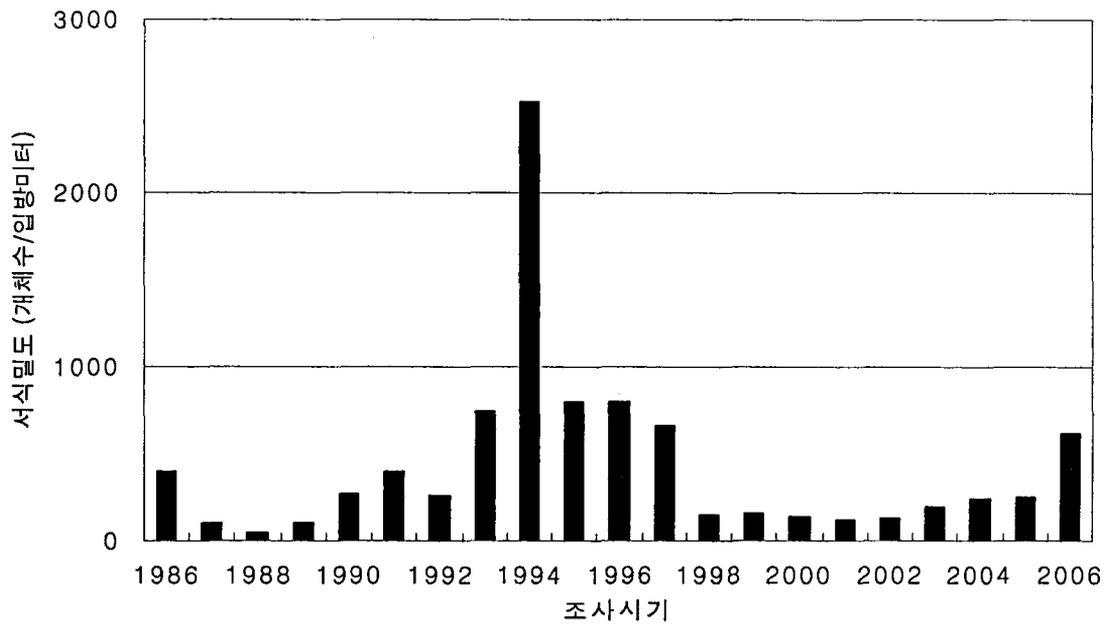


그림 3-44. 월성원자력발전소 주변 해역 저서동물의 서식밀도 연간 변화.

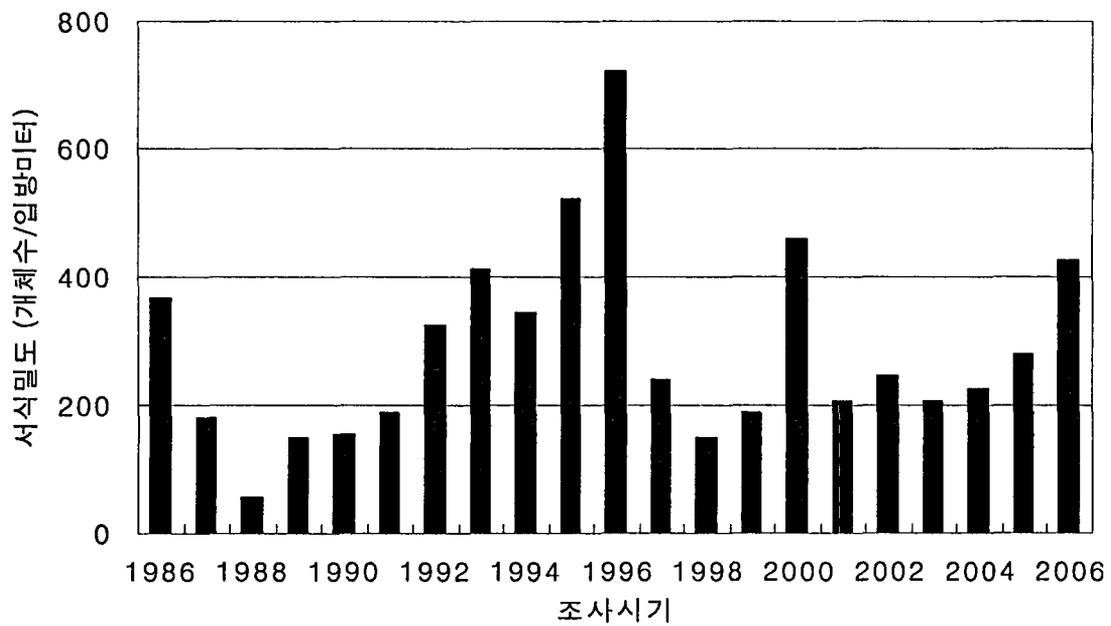


그림 3-45. 영광원자력발전소 주변 해역 저서동물의 서식밀도 연간 변화.

외 계절에는 고등어와 전갱이가 우점한다. 동해안 전체를 보면 수온이 상승하는 4월부터 종수와 개체수가 현저하게 증가하기 시작하며, 수온이 하강하는 10월부터 다시 감소하기 시작한다. 동해 중부에 비하여 동해 남부의 어류상이 더 풍부하며, 온수성 어종수도 현저하게 많다. 여름철 대마난류를 따라 북상한 온수성어종은 발전소 온배수에 유인되어 점차 배수구 쪽으로 밀집된다.

남해안은 해안선의 굴곡이 크고 많은 선이 산재해 있어 어류의 서식지로 적합한 환경을 갖추고 있지만, 서식종은 오히려 동해안에 비하여 적은 104과 301종에 머물고 있다. 남해안에는 한국연안수가 항상 존재하며, 대마난류수 및 황해난류수가 영향을 미치며, 홍수기에는 중국대륙연안수도 영향을 미친다. 남해안에서는 서해안과 비슷한 양상을 나타내지만 대마난류수의 영향이 보다 크게 나타난다.

서해안에는 208속 310종의 어류가 서식하고 있지만 지역별 뚜렷한 분포 차이는 발견되지 않는다. 서해안에서는 대마난류보다 염분이 낮고 중국대륙연안수보다 높은 한국연안수와 대마난류의 한 분지인 황해난류수의 영향을 많이 받는다.

어류는 활발한 운동성으로 온배수 영향권역 밖으로 이동하면서 뚜렷한 경향성을 보이고 있지 않을 것으로 예상되었으나 울진원자력발전소 부근에서는 온배수영향이 비교적 뚜렷하게 나타났다. 울진원자력발전소 주변 10km 이내 수역에서의 장기 변화를 보면 1980년대 후반에 개체수로 측정된 종다양성지수와 생체량으로 측정된 종다양성지수가 모두 2.5 전후를 기록하며 다양하게 나타났다. 1990년대 후반에는 1.5 전후로 급속하게 감소하였다가 2000년대 초반에는 2.0 전후로 점차 회복되었지만 장기적으로는 감소하였다(그림 3-46).

월성원자력발전소 주변해역에서는 종다양성지수의 장기 변동 경향이 나타나지 않았고 항상 2.0~2.5 사이에서 안정되었다. 영광원자력발전소 주변해역에서도 종다양성지수의 장기 변동 경향이 나타나지 않았고 항상 2.0~3.0 사이에서 비교적 높게 측정되어 안정된 어류 군집 동태를 나타내고 있었다(그림 3-47).

영광원자력발전소 주변해역에서도 종다양성지수의 장기 변동 경향이 나타나지 않았고 항상 2.0~3.0 사이에서 비교적 높게 측정되어 안정된 어류 군집 동태를 나타내고 있었다(그림 3-48).

어류의 경우 운동성이 높기 때문에 비록 정착성 어류라 할지라도 수온환경이 변할 경우 보다 서식에 적합한 수온을 찾아 이동한다. 따라서 온배수 배출이 어류에 미치는 영향은 서식지 이동에 국한된다고 하여도 과언이 아니다. 그러나 최근 전지구적 온난화 현상으로 우리나라 연안의 수온도 전세기에 비하여 0.5℃ 이상 증가하였으며, 동해안에 있어 온수성 어종의 북방한계가 점차 북상하고 있다. 이에 따라

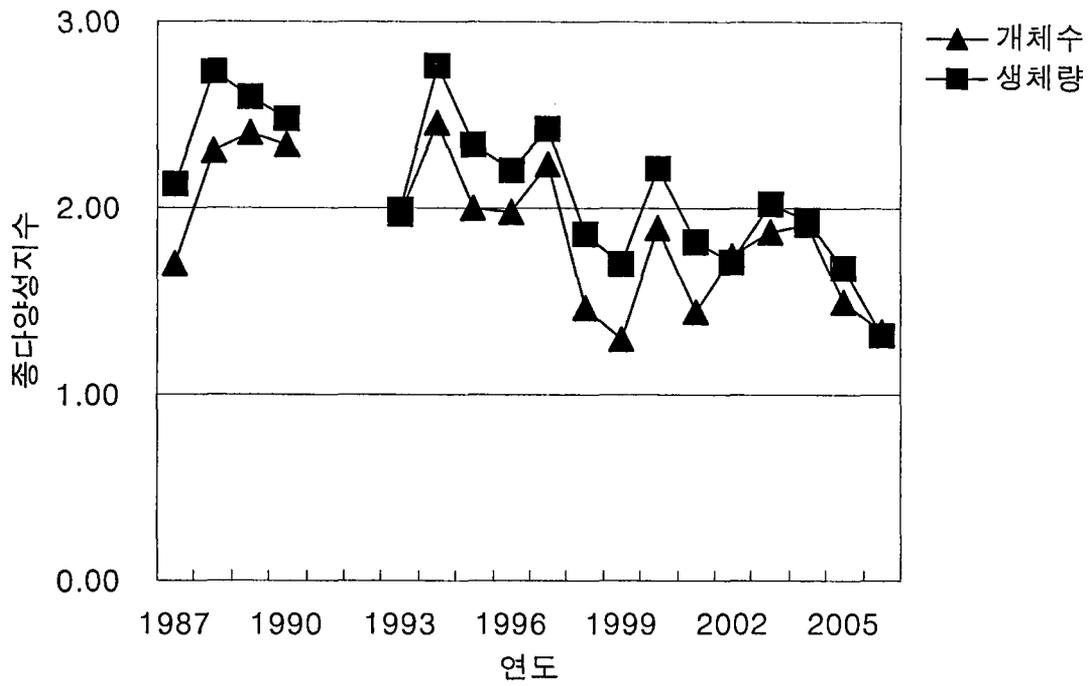


그림 3-46. 울진원자력발전소 주변 해역 어류의 종다양성지수 연간 변화.

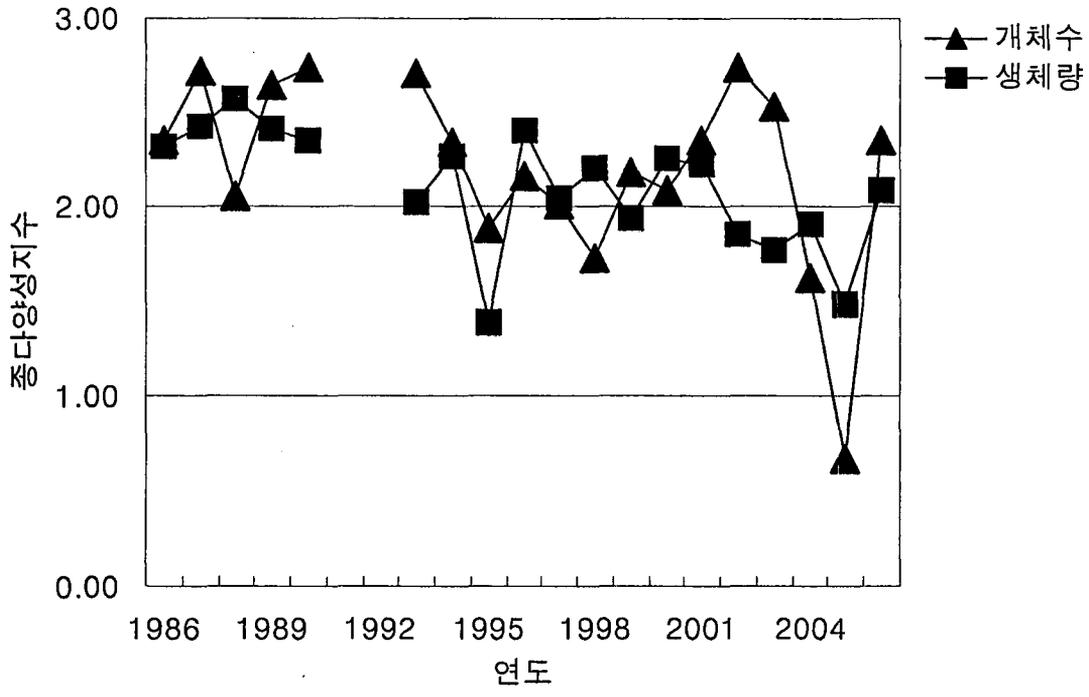


그림 3-47. 월성원자력발전소 주변 해역 어류의 종다양성지수 연간 변화.

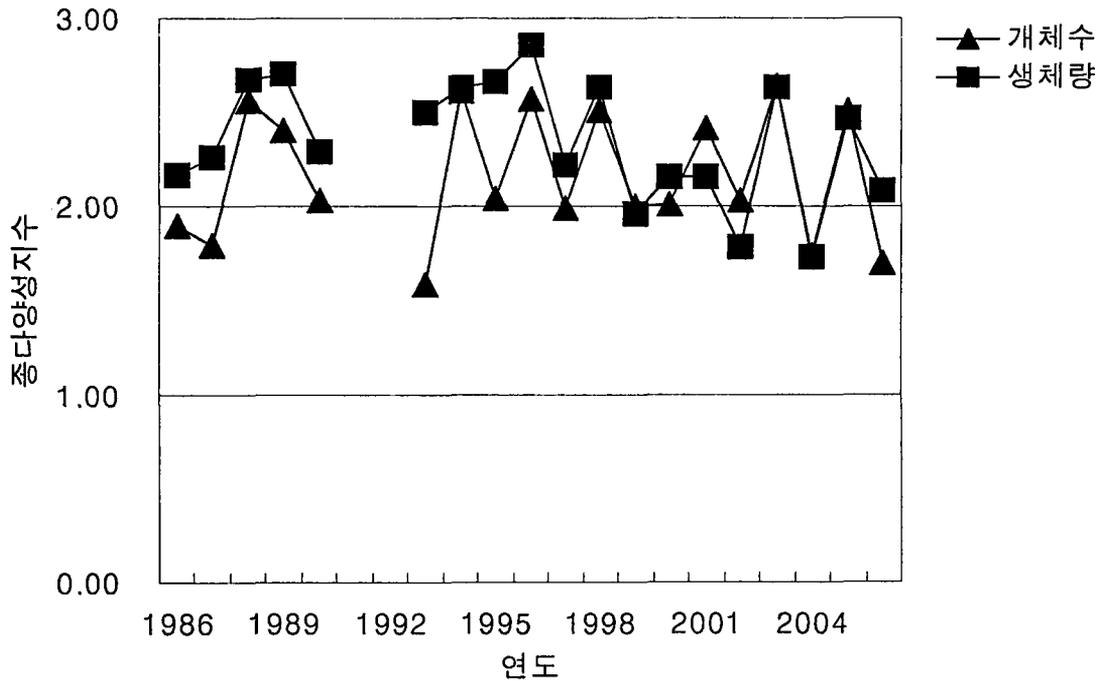


그림 3-48. 영광원자력발전소 주변 해역 어류의 총다양성지수 연간 변화.

울진원자력발전소 해역까지 진출한 온수성 어종이 겨울철 다시 남하하지 않고 발전소 온배수확산구역에 정착하는 경우도 있다.

우리나라에 서식하는 어류는 일부를 제외하고는 정도에 차이는 있지만 계절회유를 한다. 가을에 들어 수온이 내려가면 남쪽으로 회유하기 시작하며 이듬해 봄이 되면 다시 올라온다. 온배수 확산구역에 모여든 온수성 어류는 겨울에 주위의 낮은 수온으로 인하여 회유 경로가 차단되어 점차 온배수 배출구 주위에 고립된다. 만일 부득이한 사정으로 발전소 가동이 중지될 경우 고립된 온수성 어류는 급격한 수온 저하로 사망한다(cold kill).

나. 해역별 해양생물 군집 분포 특성

1). 서해의 생물학적 현황

서해는 수심이 낮으며 해수의 교환 주기도 2~3년에 불과하다. 또한 황하 및 양

자강의 영향으로 염분이 낮아 하구와 비슷한 해양학적 특징을 가지며 연안성 해양 생물이 우점하고 있다.

식물부유생물은 약 400종이 분포하고 있는데(강과 최 2001) 현존량은 춘계에 증가하고 동계에 감소하는 경향을 보이며 최대 1,500,000세포수/ℓ를 넘지 않고 동계에는 평균 100,000세포수/ℓ 전후로 낮은 현존량을 보인다. 클로로필 a 농도는 1~10 $\mu\text{g}/\ell$ 범위이다. 규조류는 계절적으로 120~200종이 출현하여 전체 출현종수의 75~90%를 차지하고 있다. *Skeletonema costatum*과 *Chaetoceros* spp. 는 연중 우점하고 와편모조류, 규질편모조류, 남조류 및 녹조류 등이 계절에 따라 우점 한다.

동물부유생물은 100분류군 이상이 출현하고 있는데 출현량은 춘계에 증가하고 동계에 감소하는 경향을 보이며 최대 100,000개체/m³를 넘지 않지만 동계에는 수십 개체/m³ 이하로 감소하기도 한다. 요각류는 전체 출현량의 80%를 차지하고 있으며, 춘계에는 야광충이 대량 출현하며 그 외 계절에는 십각류, 화살벌레류, 지각류, 미충류 등이 우점 한다. 2000년대에 들어서면서 대형해파리인 노무라입깃해파리(*Nemopilema nomurai*)가 하계와 추계에 연안역에 대량으로 출현하여 어업 및 관광업에 큰 피해를 입히고 있으며 연안역 해양생태계의 먹이사슬을 교란하고 있다.

해조류는 401종이 출현하는 것으로 보고되었다(김 1994, 이와 강 2002, 김 2007 미발표자료). 홍조류가 50% 상회하는 216종으로 가장 많고, 갈조류 88종으로 비교적 다양하게 출현하고 있다. 서해의 저층은 연성저질이 우세하여 해조류의 생육에 불리한 환경을 제공할 뿐만 아니라 탁도가 높아 해조류의 식생이 다소 빈약하다(고와 이 1982). 해조류 생물량은 대체로 100g d. wt/m² 전후의 범위를 보이고 있으나, 일부 지역에서는 10g d. wt/m² 미만의 매우 빈약한 식생을 보인다(김 1994).

서해의 조간대 해조류 수직분포 양식은 지역에 따라 다소 차이를 보이지만 대체로 조간대 상부에서 불등풀가사리와 애기가시덤불 등, 중부에서 뜸부기, 지충이, 툫, 바위수염 등, 그리고 하부에서 참보라색우무, 구멍갈파래, 작은구슬산호말 등이 대표적인 우점종으로 나타나고 있다.

패류의 경우는 바지락, 비단가리비, 전복, 굴이 대표적인 양식 패류이며 해삼 양식이 최근 시작되고 있다. 자연상태의 출현 개체수는 1980년대에 400개체/m² 전후를 보였으며 1995, 1996년과 2000년에 증가하였으나 불규칙한 증감 경향을 보인다.

2). 남해의 생물학적 해황

남해는 평균 수심 100m 정도로 얕고, 리아스식 해안으로 많은 소만 과 섬들이 산

재해 있어 어류들이 산란 또는 성육장으로 이용하고 있으며, 어패류 양식이 가장 활발한 해역이다.

식물플랑크톤의 출현종수는 광양만과 삼천포만에서 약 200여종이 보고되어 있으며 규조류가 70%를 점유하고 있다. 최대현존량은 3,000,000세포수/ℓ이며 클로로필 a의 농도는 최대 14.5 $\mu\text{g}/\ell$ 을 기록하였다. 우점종은 *Eucampia zoodiacus*, *Nitzschia pungens*, *Cylindrotheca closterium* 등으로 나타났다. 1990년대에 들어 *Cochlodinium*에 의한 적조가 다발하여 양식 어류의 대량 폐사 문제가 발생하고 있으며 적조발생은 서해와 동해로 점점 확산되어 나가는 추세이다. 제주 해역에서는 400여종의 식물플랑크톤이 출현하고 있는데 역시 규조류가 70~80% 이상을 점유하고 있으며 와편모조류도 해역에 따라 30% 이상을 점유하기도 한다. 현존량은 1,000,000세포수/ℓ 이하이며 남해 연안역에 비하여 낮으며 봄에 높고 겨울에 감소한다. 클로로필 a의 농도는 0.4~2.6 $\mu\text{g}/\ell$ 사이에서 변동하며 *Asterionellopsis kariana* 등의 저서성 규조류가 우점하고 있다.

동물부유생물은 90분류군 이상이 출현하고 있으며 이중 요각류가 50여종으로 약 60%를 차지하며 나머지는 지각류와 갑각류 유생이 차지하고 있다. 야광충의 대량출현으로 동물부유생물 출현량이 35,000개체/m³를 넘기도 하나 대부분 10,000개체/m³ 전후를 유지하고 있다. 우점종은 야광충과 요각류 유생이지만 하계에 짧은 기간에는 지각류가 우점하기도 한다. 제주 해역에는 주로 난류 외양성 요각류인 *Paracalanus indicus*와 *Oithona* 속이 우점하고 갑각류 및 이매패류 유생도 다양하게 출현하고 있다(강 1992).

해조류는 560종이 분포하는 것으로 보고되었다(이와 강 2002, 김 2007 미발표자료). 홍조류가 336종으로 60%를 차지하고 있으며, 갈조류가 112종으로 20%를 차지한다. 남해안에서 이제까지 조사된 해조류 가운데 출현빈도가 높은 보편종은 구멍갈파래(68%), 지충이(61%), 개서실(60%) 등이다. 해조류 생물량은 200g d.wt/m² 전후의 범위를 보이고 있으나, 일부 지역에서는 50g d.wt/m² 미만의 빈약한 식생도 보고되었다.

조간대 해조류의 수직분포는 지역에 따라 차이를 보이지만 조간대 상부에는 애기풀가사리, 파래 무리, 애기가시덤불, 바위수염 등이 우점하며, 중부에는 구멍갈파래, 넓패, 패 등이, 그리고 하부에는 뜸부기, 지충이 등이 우점종으로 나타난다(유와 이 1980).

3). 동해의 생물학적 해황

동해는 서태평양의 연해로서 한국과 러시아, 일본 열도로 둘러싸여 있는 평균 수심 1,360m가 넘는 대양의 특성을 가진 해역이다. 우리나라 연안역인 동해 남부 해역으로 유입되는 하천은 경사가 급하여 토사의 운반량이 많고 주문진 남쪽의 해안에는 비교적 큰 규모의 사빈이 발달되어 있으며 석호도 많이 발달되어 있다. 동해안에서 주로 잡히는 어종은 오징어, 꽁치, 방어, 삼치, 고등어 등 온대성 어류와 명태와 대구 등 한류성 어종이다. 최근 한류성 어종의 어획량이 급속히 감소하고 있는 반면 온수성 어종의 어획량이 증가하는 추세이다. 오징어 어장이 북상함과 동시에 제주도 근해 서식하는 자리돔이 울릉도 해역까지 출현하는 등 아열대성 어류들의 북상이 두드러지고 있다.

식물부유생물은 약 350종이 분포하고 있는데 이 중 규조류가 270여종으로 전체 출현종수의 77%를 차지하고 있다(강과 최 2001). 와편모조류가 70여종으로 전체 출현종수의 22%를 차지하고 규질편모조류를 포함하는 기타분류군이 2~5종씩 출현하고 있다. 현존량은 80,000~1,400,000세포수/ℓ 사이에서 변동하는데 클로로필 a 농도는 1~3 $\mu\text{g}/\ell$ 범위로 한반도 주변 타해역에 비하여 기초생산량이 낮다. 우점종은 *Skeletonema costatum*과 *Chaetoceros* spp. 이며 와편모조류인 *Prorocentrum triestinum*이 때에 따라 우점하기도 한다.

동물부유생물의 경우는 100분류군 이상이 출현하고 있는데 요각류가 60% 이상을 차지하고 있다. 계절적으로는 쿠로시오가 동해 중부까지 확장하는 하계에 열대성 종들이 유입되면서 다양한 동물플랑크톤이 출현하는 경향을 보인다. 출현량은 최대 200,000개체/m³를 보이기도 하지만 대개 5,000개체/m³ 전후이며 3~4년 주기로 증감을 반복한다. 우점종은 *Paracalanus indicus*, 야광충, 요각류 유생 등이며 *Acartia*, *Oithona*, *Corycaeus* 속의 요각류가 많이 출현하고 있다.

해조류는 431종이 출현하는 것으로 보고되었다(이와 김 1999, 이와 강 2002, 김 2007 미발표자료). 홍조류가 253종으로 59%를 차지하고, 갈조류가 94종으로 22%를 차지하고 있다. 구멍갈파래(81%), 애기마디잘록이(76%), 부챗살(75%), 참보라색우무(75%) 등이 출현빈도가 높은 보편종이다.

동해안 해조류의 식물지리학적 특성을 배열법 등의 정량 생태적 기법으로 분석한 결과, 위도가 높은 북쪽에서 남쪽으로 가면서 해조식생이 점진적으로 변하고 있음을 알 수 있고, 다른 한편으로는 육지 지역과 도서 지역(울릉도 및 독도)의 해조상이 구분되는 것으로 나타난다(이와 김 1999). 한편 동해안의 해조류 생물량은 대체로 500g d.wt/m² 전후의 범위를 보이고 있으나, 일부 지역에서는 1,000g d.wt/m² 내외의 풍부한 식생도 보고되어 있다.

우리나라의 다른 해안과 달리 조석의 차이가 크지 않은 동해안에서는 조간대 해조류 수직분포 양식이 대체로 상부와 하부로 구분되고 있으며, 조간대 상부에서는 주로 녹조류와 갈조류가 우점하고 하부에서는 다양한 홍조류가 우점한다.

저서동물은 동해 중부해역에서 1980년대에는 200개체/m² 전후로 빈약한 편이었는데 1990년대에 평균 1,000개체/m²로 증가하였지만, 2000년대에는 다시 300개체/m² 전후로 감소하였다. 동해 남부 해역에서는 1994년에 2,520개체/m²를 정점으로 700~800개체/m² 정도의 풍부한 출현량이 수년간 지속되었으나 일반적으로는 100개체/m² 전후의 낮은 서식밀도를 나타내고 있다.

다. 우리나라 연안역의 구분

1). 유용 어류상에 따른 해역 구분

가). 서해 연안역의 유용 어류 분포

서해 연안역은 대부분의 해안에 잘 발달된 갯펄로 인하여 풀망둑, 문절망둑, 도화망둑 등의 망둑류가 조간대에 많이 서식하고 있으며 대부분이 가승어인 승어류는 영산강 주변에서 많이 어획되고 연간 4,000톤 정도가 시장에 공급되는데 봄부터 가을까지 치어기를 담수의 영향을 받는 기수역을 오가면서 생활한다. 서해 남부 연안의 경우 멸치의 자치어는 5월부터 영산강 하구둑 근방과 금호 방조제에서 출현하기 시작하며(국립수산진흥원 2001) 초봄에 서해안을 따라 회유하던 참조기는 회유 경로가 변하여 지난 수년간 연안역에 접근하지 않는 것으로 알려져 있다.

나). 남해 연안역의 유용어류 분포

남해 연안에 분포하는 중요한 수산어종은 전갱이, 황아귀, 눈볼대, 갈치, 셋돔 등이다. 남해안에는 몽치다래, 쓸배감펍, 줄삼치, 날개쥐치, 살꼬리돔, 새동가리돔 등 고유종이 많다. 또한 갈치는 동중국해로부터 제주도 연안을 거쳐 남해안으로 대량 회유하면서 10월 초부터 기장, 부산, 거제도 연안의 갯바위, 방파제 등까지 연안에 접근하며 남해 동부 및 동해 남부 연안 일대에 조성되는 풍부한 플랑크톤 군집을 포식하는 멸치 어군을 먹기 위하여 몰려들어 어군 분포 밀도가 높아짐으로서 연안 채낚기 어업의 중심 어장이 형성되어 11월 중순까지 지속된다. 또한 멸치는 남해

서부 연안역에서 동해 남부 연안역에 걸쳐 폭넓게 분포하지만 8월이 되면 남해 연안역과 동해 남부 연안역의 경계선으로 추정되는 기장 연안역의 남서해역에만 분포가 제한되고 있다.

다). 동해 남부 연안역의 유용어류 분포

오징어는 6월부터 12월까지는 동해 남부 해역과 북해 해역의 구분 없이 동해의 전체 연안역까지 접근하지만 나머지 기간에는 동해 남부 해역에만 분포가 제한된다. 주로 남해에 분포하는 멸치도 8월을 제외하면 동해 남부 해역까지 분포하고 수온상승에 따라 자리돔이나 독가시치와 같이 남해안에서 동해안으로 진출해온 종들도 있다.

라). 동해 중부 연안역의 유용어류 분포

동해 중부 연안역에는 청어, 가자미류, 대구, 도루묵, 숭어 등이 주로 분포하고 있다. 가을철에는 동해 중부 해역까지 멸치와 고등어 어장이 형성되어 고등어의 포식을 피한 멸치 어군이 연안에 가깝게 접근하기도 한다.

마). 유용어류에 의한 해역 구분

이동성이 활발한 유용 어류의 분포로 연안역을 구분하는 것은 한계가 있고 정착성 어종의 분포 범위로 크게 중복되어 경계선을 정확하게 긋는 것은 어렵지만 서해 연안역과 남해 연안역은 목포, 완도 인근 연안역을 기준으로 구분할 수 있다. 남해와 동해의 경계선은 8월 멸치의 분포제한선인 부산 인근 해역이며 동해 중부와 남부는 청어, 가자미류, 대구, 도루묵과 같이 경북 북부 연안역 이북에 분포하는 어류와 1~5월 사이에 삼척 남부 해안까지 북상하는 오징어의 분포로 구분된다.

2). 해조류 생물상 및 양식 현황에 따른 해역 구분

우리나라 연안의 해조류 분포는 한반도를 중심으로 유입되는 해류에 따라 변하는 수온의 영향으로 등온선의 궤적을 따라 결정된다. Kang (1966)은 우리나라의 해조류의 분포특성을 고려하여 크게 다섯 가지 해역으로 구분하였다(그림 3-49).

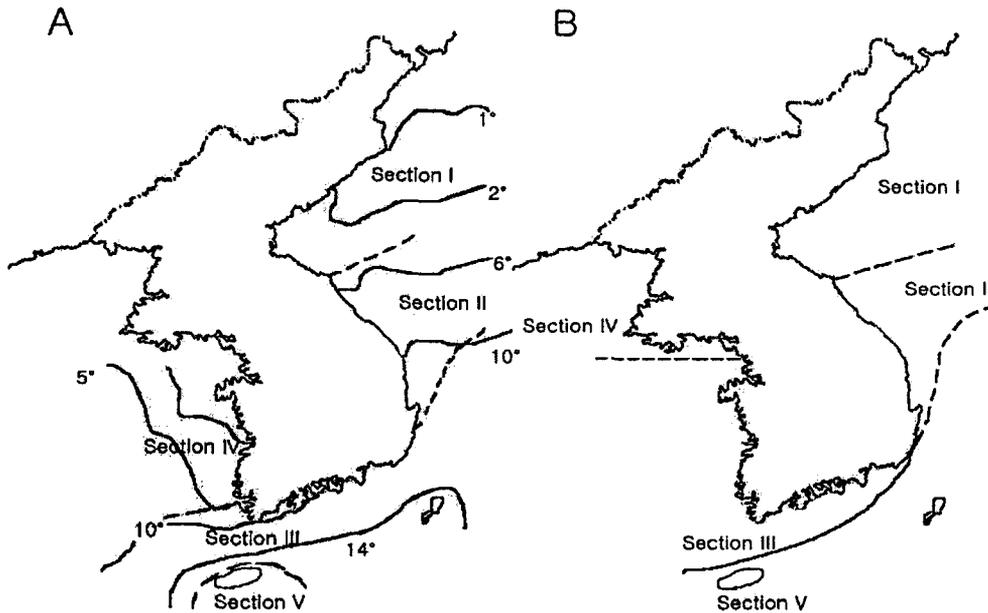


그림 3-49. 우리나라에서 출현하는 해조류의 분포특성에 따른 해역 구분.

Section I은 동해중부 이상의 해역으로 한대성 해조류가 주로 분포한다. Section II는 한류와 난류가 교차하는 곳으로 한대성 해조류 및 온대성 해조류가 분포한다. Section III는 온대성 해조류가 주로 분포하는 곳이나 갯벌이 넓게 분포하고, 해역의 탁도가 높아 해조류의 다양성과 풍도가 낮은 특색을 보인다. Section IV는 경기만 이북 해역으로 한대성 해조류가 주로 분포하는 곳으로 Section III과 유사하게 갯벌이 넓게 분포하고, 해역의 탁도가 높아 해조류의 다양성과 풍도가 낮다. Section V는 쿠로시오난류의 영향을 강하게 받아 난대성 및 온대성 해조류가 주로 분포한다.

해조류의 지역적 구분은 3월 표층수 등온선과 비교적 잘 일치하고 있다. 우리나라 해역을 해조류의 지리적 분포로 구분한다면 동해 중부 이남, 남해를 포함하는 서해 남부 및 제주해역으로 구분할 수 있다. 해역별 중요종은 표 3-15와 같다.

전술한 내용을 토대로 우리나라 연안을 해양물리 및 생물학적 자료에 근거하여 구획한다면 1차적으로 서해안 및 남해안 그리고 기장에서 삼척까지의 동해 남부 및 삼척 이북의 동해 중부 4개 수역으로 나누어지며(그림 3-50), 제주해역은 해양물리 학적으로 남해안과 유사하지만 연안 수온이 남해안에 비하여 다소 높고 온대지방과

표 3-15. 우리나라의 해역별 주요 해조류

해역	학명	국명
Section II	<i>Agarum cribrosum</i>	아리시키구멍쇠미역
	<i>Costaria costata</i>	쇠미역사촌
	<i>Kjellmaniella crassifolia</i>	개다시마
	<i>Laminaria japonica</i>	다시마
	<i>Sargassum confusum</i>	알송이모자반
Section III	<i>Laminaria japonica</i>	다시마
	<i>Ecklonia stolonifera</i>	곰피
	<i>Gelidium amansii</i>	우뭇가사리
	<i>Gracilaria textorii</i>	앞꼬시래기
Section V	<i>Codium coactum</i>	누운청각
	<i>Ecklonia cava</i>	감태
	<i>Padiana arborescens</i>	부챗말
	<i>Sargassum serratifolium</i>	톱니모자반
	<i>Carpopeltis angusta</i>	붉은뼈까막살

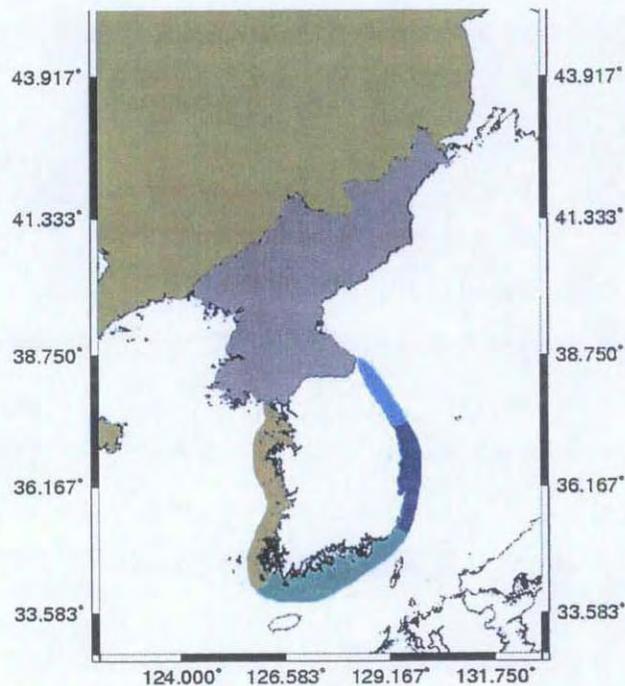


그림 3-50. 우리나라 연안의 구획.

아열대지방의 특징을 같이 가지는 고유한 해양생물상을 가지고 있는 것을 감안하여 별도의 해역으로 구분할 경우 5개 수역으로 나누어진다. 그 경계는 다음과 같다.

- 서해의 연안역은 한강 하구언에서 목포까지
- 남해의 연안역은 완도에서 기장까지
- 동해 남부 연안역은 월내(고리원자력발전소)부터 삼척시(초산, 갈남)까지
- 동해 중부 연안역은 삼척 연안에서 휴전선 동부 연안까지
- 제주도 해역

한편 동해 남부 해역의 대부분을 차지하는 포항에서 울진에 이르는 연안은 여름철에 냉수대가 빈번하게 출현하여 수온이 급격하게 낮아지는 경우가 있어 온배수의 수산업적 이용에 유의해야 한다.

3. 해역별 환경생태지수

가. 개요

우리나라의 해양수질은 환경정책기본법 제10조에 의거 환경기준을 유지하기 위하여 I~III 등급으로 나누어진다. 해양오염방지법 제4조의 2(해역별 수질기준의 설정)에 따라서 해양오염방지법은 I 등급은 수산생물의 서식, 양식 및 산란에 적합한 수질을 말하며, II 등급은 해수욕 등 해양에서의 관광 및 여가 선용과 I 등급 이외의 수산생물의 서식에 적합한 수질 등을 말하고, III 등급은 공업용 냉각수, 선박의 정박 등에 이용되는 수질을 말한다. 즉 발전소 및 기타 생산공정에 필요한 냉각수는 III 등급수를 사용하여도 무방하지만 대부분의 온배수 배출업체는 인간 교란이 적은 I~II 등급 해역에 위치하여 깨끗한 해수를 냉각수로 사용하고 있다.

해역별 수질기준은 국립수산과학원에서 '국가 해양환경측정망 운영지침'에 따라 우리나라 연안 및 근해의 해양환경을 정기적으로 조사하여 해양환경실태를 종합적으로 파악함으로써 해양환경관리 및 보전정책 수립의 기본자료로 활용하기 위하여 해양오염도를 월별로 조사하여 차기 조사 전월까지 해양수산부장관에게 보고하는 것이다. 이 자료를 이용하여 해역별 환경생태지수를 산정할 수 있으며, 같은 조사방법을 통하여 온배수 배출 해역의 환경생태지수를 산정할 수 있다.

나. 우리나라 대규모 임해공단 및 항만의 연안 수질 특성

국립수산과학원에서 ‘국가 해양환경측정망 운영지침’에 의거 발표한 2005년 조사 정점별 수질등급을 기준으로 할 때 대부분의 온배수 배출업체는 수질 I, II등급 해역에 위치하고 있으며 하동화력, 포항제철, 울산화력발전소 등 소수의 온배수 배출업체가 수질 III등급 해역에 위치하고 있다(그림 3-51). 공업용 냉각수나 선박의 정박 등에 이용되는 수질을 가지는 III등급 해역 중 온배수 배출업체가 위치한 해역은 다음과 같다.

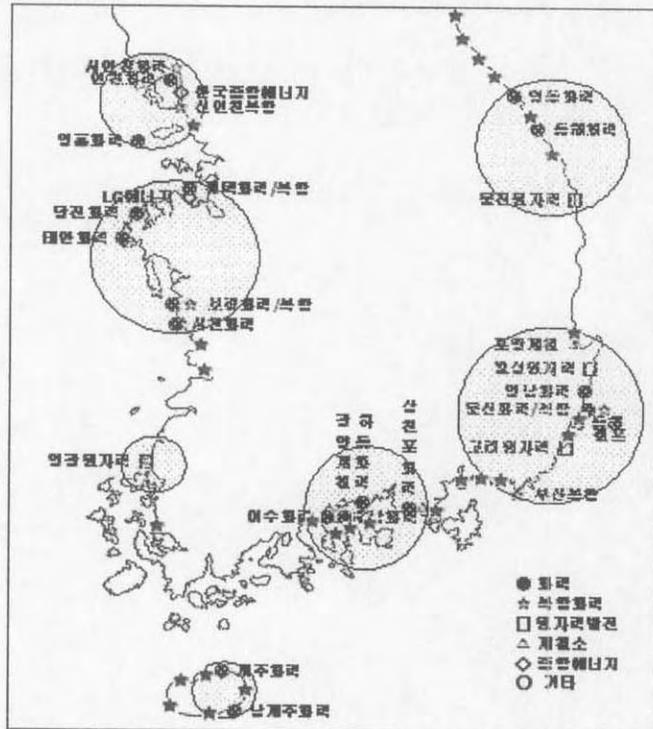


그림 3-51. 우리나라 수질 III등급 해역(*)과 대규모 온배수 배출업체 위치 현황.

1). 서해안

인천광역시 서구 원창동 울도 방파제 끝. 영종도 동단, 중구 항동 서남단 및 시화 방조제 내측 해역

2). 남해안

가). 여자만

보성군 벌교읍 장암리 동단에서 여수시 울촌면 봉전리 서남단을 연결한 내측 해역.

나). 가막만

여수시 동 남단, 치도 서단과 동단, 대경도 북단, 돌산도 우두리 강남금 서남단 및 돌산대교 동서단을 연결한 내측 해면과 여수시 국동 서남단과 여수시 화양면 용주리 호두동 남단을 연결한 내측 해면.

다). 광양만

여수시 낙포동 배무시 북단, 묘도 동단과 서단 및 여수시 울촌면 신평리 애향원 북단을 연결한 내측 해면.

라). 부산연안

부산광역시와 진해시의 경계 해면 지점, 가덕도 북단과 동북단의 국수봉 동단, 부산시 사하구 다대동 서북단을 연결한 내측 해면, 사하구 다대동 거북섬 남단에서 중구 압남동 남단을 연결한 내측 해면, 사하구 압남동 송도 거북섬 동북단과 영도 구 조도 동북단 및 남구 용호동 남단을 연결한 내측 해면.

3). 동해 남부

가). 온산연안

울산광역시 남구 황성동 온산상 북측방파제에서 울주군 온산읍 온산항 남측방파제를 연결한 내측 해면.

나). 울산연안

울산광역시 남구 황성동 울산 화력발전소 남단에서 동구 방어3동 남단을 연결한 내측 해면.

다). 영일만

경북 포항시 북구 두호동 이내리 남단에서 남구 송정동 북측방파제를 잇는 선과 포항시 남구 동해면 임곡동 서북단을 연결한 내측 해면.

4). 동해 중부

가). 강릉연안

강릉시 동단 죽도봉 산정 삼각점을 기점으로 한 반경 1km 원내의 해면.

나). 주문진연안

주문진항 북측방파제 끝에서 주문진여고 동북측 방파제 끝을 연결한 내측 해면.

5). 제주도

가). 제주연안

제주항 서측방파제 끝에서 동측방파제 끝을 연결한 내측 해면.

나). 성산연안

성산항 서측방파제 끝에서 동측방파제 끝을 연결한 내측 해면.

다). 서귀포연안

서귀포항 서측방파제 시점에서 방파제 돌출방향으로 그은선과 새섬이 만나는 지점, 새섬 동남단 및 서귀포항 동측방파제를 연결한 내측 해면.

다. 우리나라 발전소 주변해역의 수질등급

국립수산과학원의 ‘국가 해양환경측정망 운영지침’에 따라 조사되는 해역 중 온배수 배출업체가 위치하는 곳은 소수에 불과하다. 우리나라 대규모 온배수 배출해역의 환경자료를 토대로 수질등급을 다음과 같이 부여할 수 있다.

수소이온 농도는 울진해역은 1988년 하계와 추계, 1989년 동계에만 8.4로 측정되었고 2000년 하계에 7.7로 측정되어 환경부 고시 해양수질등급 I 등급을(7.8~8.3) 벗어났을 뿐 나머지 기간에는 항상 I등급을 유지하고 있었다(그림 3-52) (전력기술연 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000c, 2001c, 2002c, 2003c, 2004d, 2005c, d). 월성 주변해역은 1988, 1989년에 4차례를 제외하면 I 등급을 유지하고 있었다(그림 3-53) (전력기술연 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000d, 2001d, 2002d, 2003d, 2004d, 2005e). 남해의 하동(부경대 2000), 서해의 영광(전력기술연 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000b, 2001b, 2002b, 2003c, 2004b, 2005b) 및 제주도의 삼양(제주대 2003) 주변 해역은 항상 I 등급을 유지하고 있었다(그림 3-54).

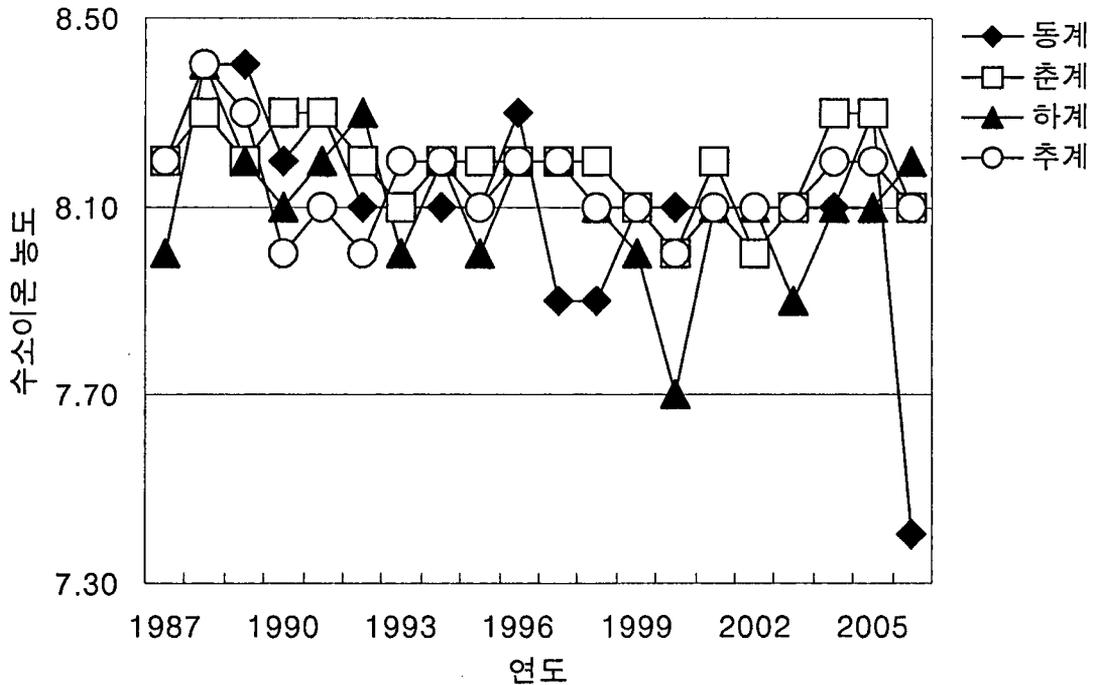


그림 3-52. 울진원자력발전소 주변해역의 수소이온농도의 계절 변화.

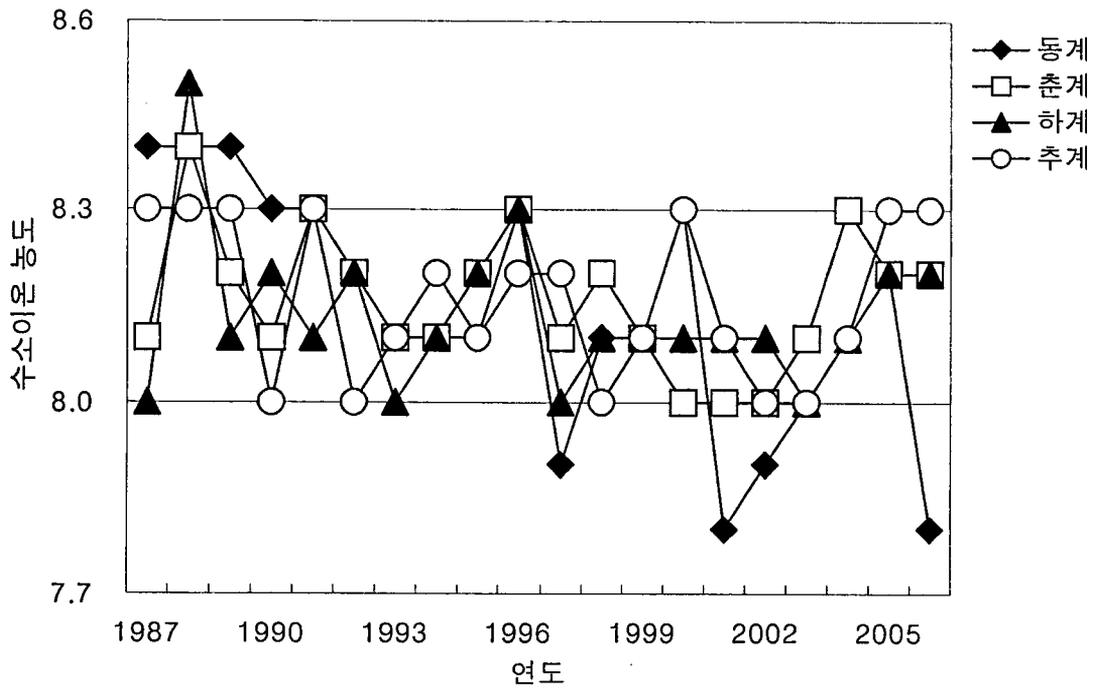


그림 3-53. 월성원자력발전소 주변해역의 수소이온농도의 계절 변화

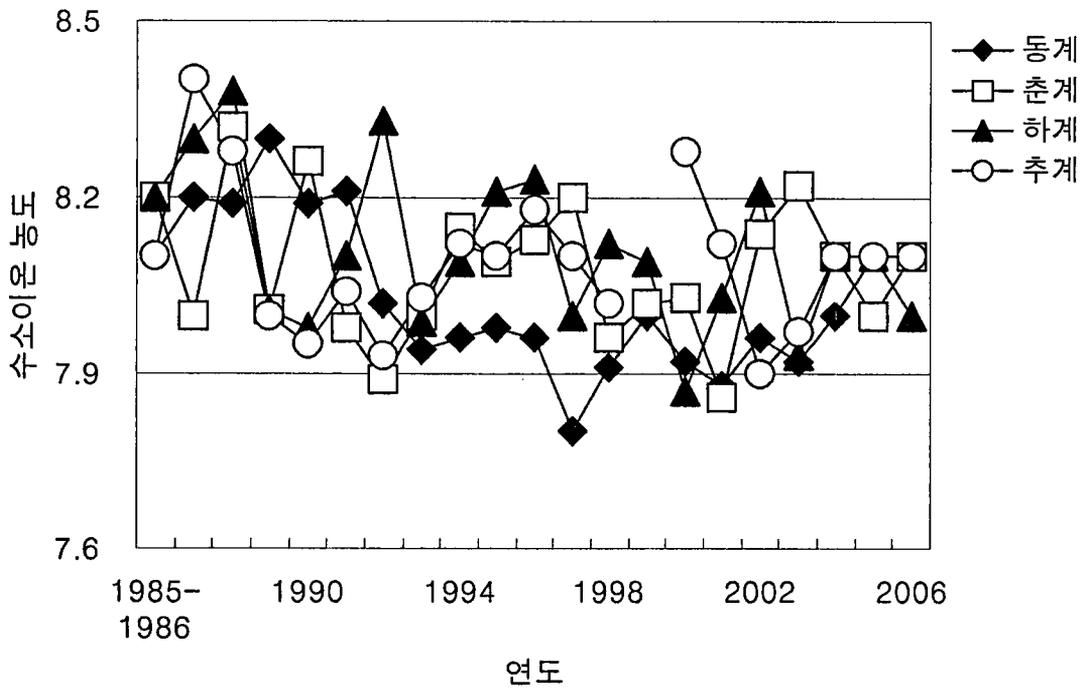


그림 3-54. 영광원자력발전소 주변해역의 수소이온농도의 계절 변화.

용존산소량은 울진해역과 월성해역에서 I 등급(포화율 95% 이상 혹은 6mg/ℓ 이상)과 II 등급(85% 이상 혹은 5mg/ℓ 이상) 사이에서 변동하고 있었다. 울진해역에서는 1994년 하계에 한번 5.7mg/ℓ로 측정되어 II 등급으로 관측되었고 나머지 기간에는 항상 I 등급을 유지하고 있었다(그림 3-55). 월성해역은 항상 I 등급을 유지하여(그림 3-56) 용존산소량으로 본 동해의 원자력발전소 주변해역은 모두 항상 I 등급을 유지하고 있는 것으로 판단되었다. 남해의 하동해역과 제주도의 삼양해역은 동해와 같이 용존산소량이 I~II 등급 사이에서 변동하고 있었고 서해의 영광해역은 낮은 수심과 큰 조석 간만의 차이로 인한 활발한 해수 유동으로 인하여 용존산소량이 풍부하여 지난 18년간 항상 I 등급을 유지하고 있었지만 1991과 1992년 하계에는 5.6mg/ℓ와 5.4mg/ℓ로 II 등급으로 관측되었다(그림 3-57).

화학적 산소요구량은 울진해역에서 1988, 1989, 1991년 춘계와 1991년 동계에 III 등급으로 악화된 결과를 보였으나 나머지 기간에는 지난 18년간 항상 I, II 등급 사이에서 변동하였다(그림 3-58). 월성해역에서는 1988년 하계, 1989년 동계, 1990년 추계와 1991년 동계, 춘계 및 1998년 동계, 추계에 악화되어 II~III 등급을 보였으나 나머지 기간에는 항상 I, II 등급 사이에서 변동하였다(그림 3-59). 하동해역에서는 I~II등급 사이에서 변동하고 있었으며 영광해역은 높은 탁도로 인하여 II~III 등급을 보이는 경우가 자주 있었다(그림 3-60).

수질기준에 포함되는 총질소과 총인의 농도는 울진해역과 월성해역에서 각각 0.05mg/ℓ 이하, 0.007mg/ℓ 이하로 항상 I 등급의 범주를 나타내었다. 하동해역과 삼양해역은 I 등급의 범주를 벗어나지 않았지만, 영광해역은 II 등급을 나타내었다.

라. 우리나라 온배수 배출해역의 생태지수

우리나라 연안에 위치한 대규모 온배수 방출 시설들을 1) 경기만(서인천화력, 인천화력, 한국종합에너지, 신인천복합화력), 2) 태안반도(평택화력, 당진화력, 태안화력, 보령화력, 서천화력) 3)영광원자력, 4) 남해연안(여수화력, 광양제철, 하동화력, 삼천포화력), 5) 동해남부연안(부산복합화력, 고리원자력, 울산화력, 영남화력, 월성원자력), 6) 동해중부연안(영동화력, 동해화력, 울진원자력) 등의 6개로 크게 나누어 각각 해역의 생태지수를 결정하고 생태학적/수산화적 중요도에 따라 등급을 부여하였다.

생태지수 결정 방법은 기존의 조사된 자료에서 각 생물군별 생태지수로서 종다양성지수를 택하여 0~3.0 사이를 0~1.0 사이로 환산하였고 3.0 이상인 경우에는 1.0

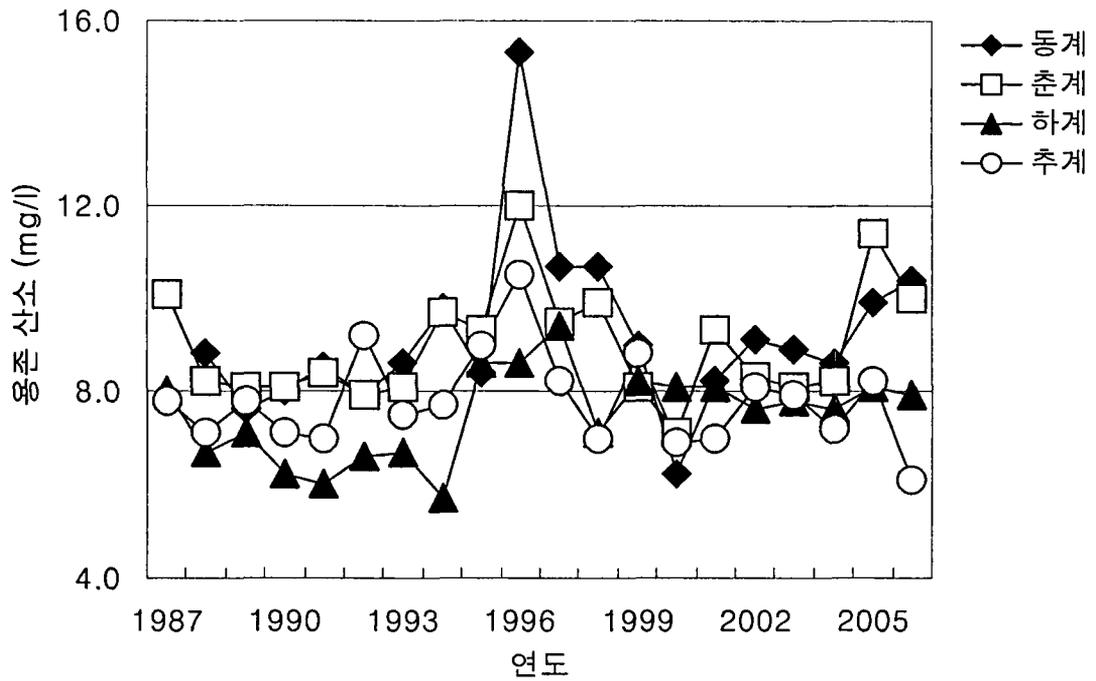


그림 3-55. 울진원자력발전소 주변해역의 용존산소량의 계절 변화.

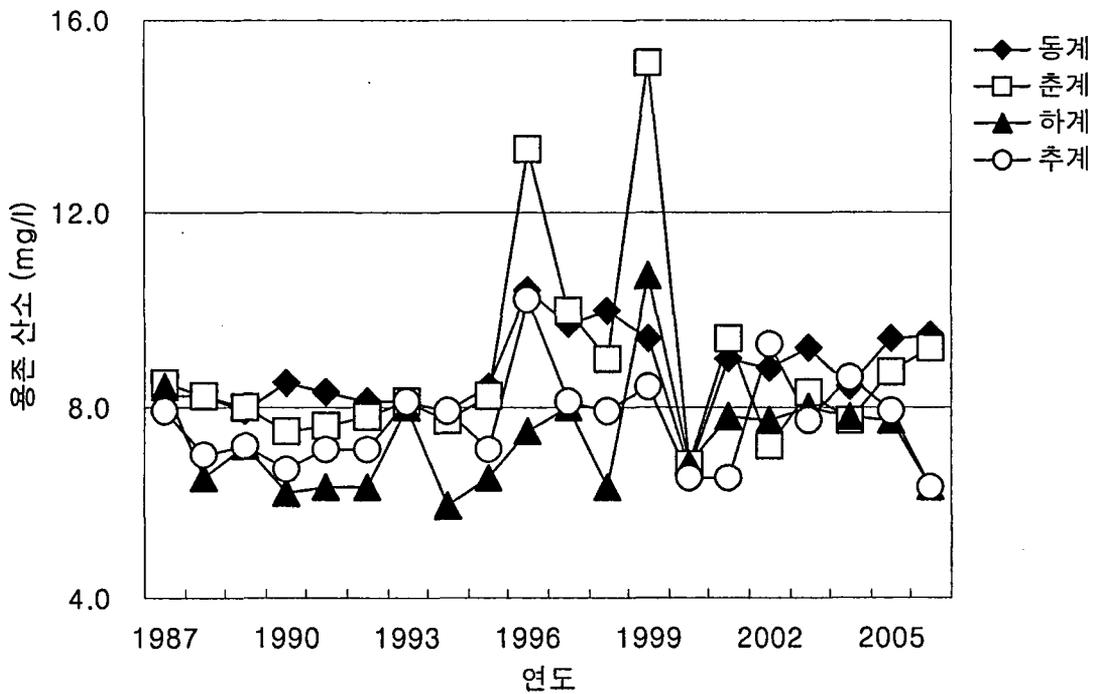


그림 3-56. 월성원자력발전소 주변해역의 용존산소량의 계절 변화.

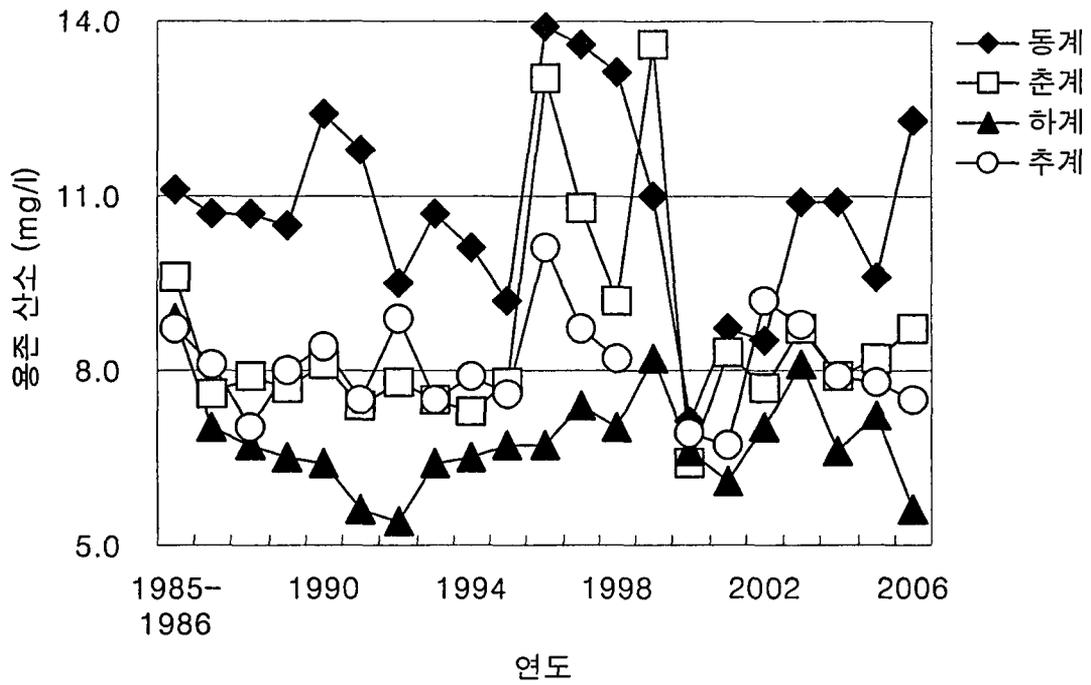


그림 3-57. 영광원자력발전소 주변해역의 용존산소량의 계절 변화.

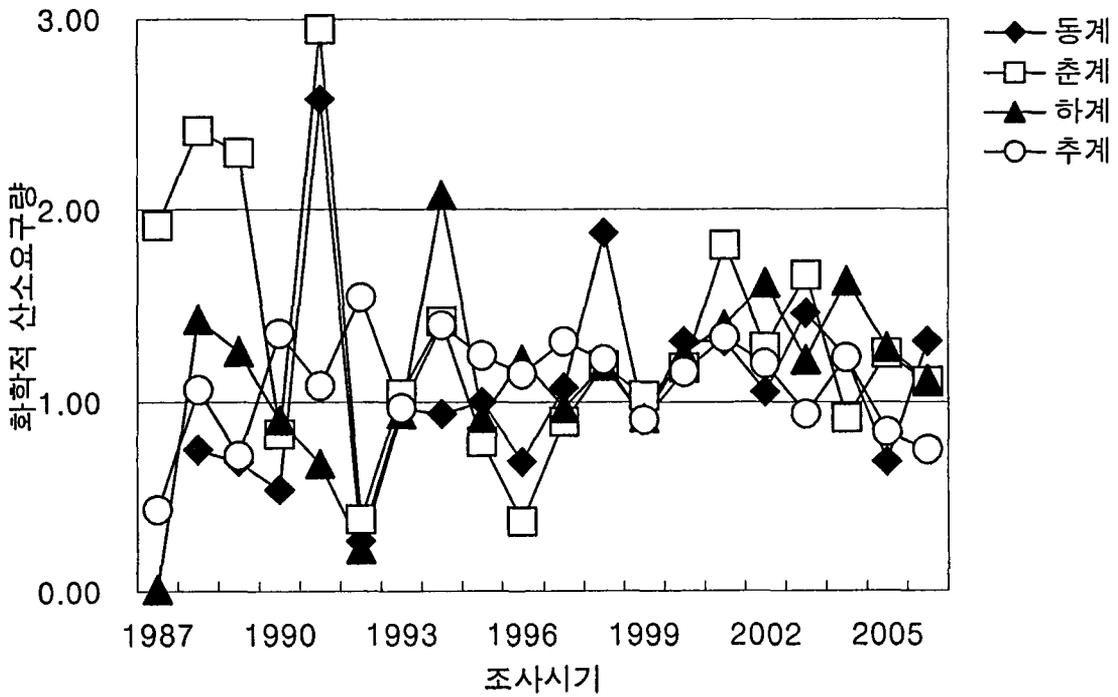


그림 3-58. 울진원자력발전소 주변해역의 화학적 산소요구량의 계절 변화.

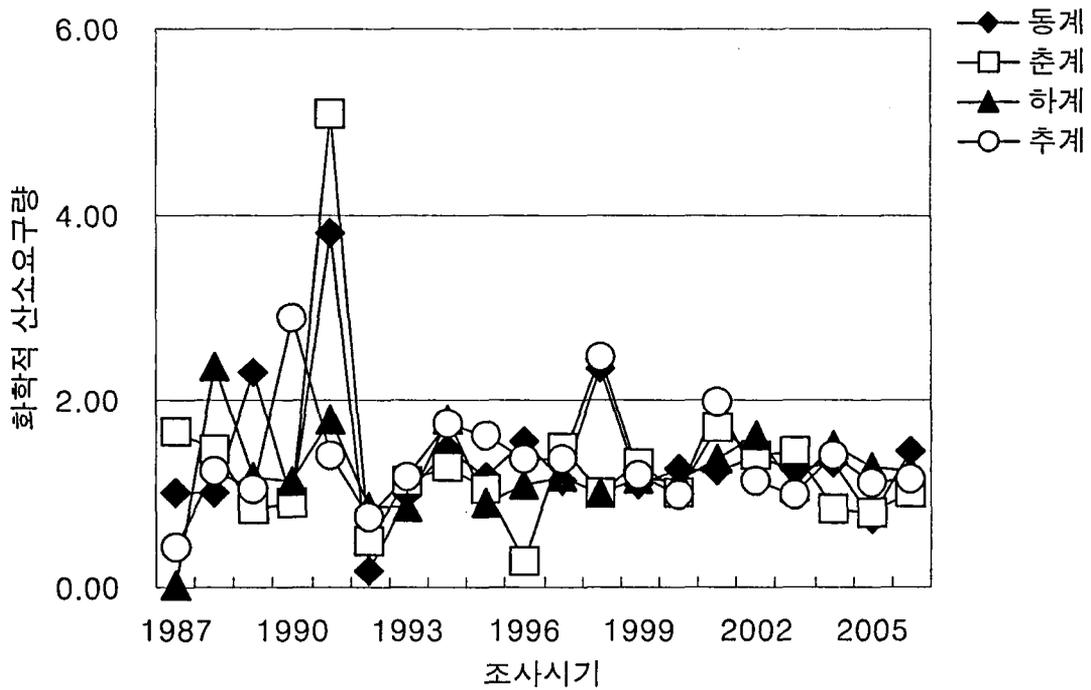


그림 3-59. 월성원자력발전소 주변해역의 화학적 산소요구량의 계절 변화.

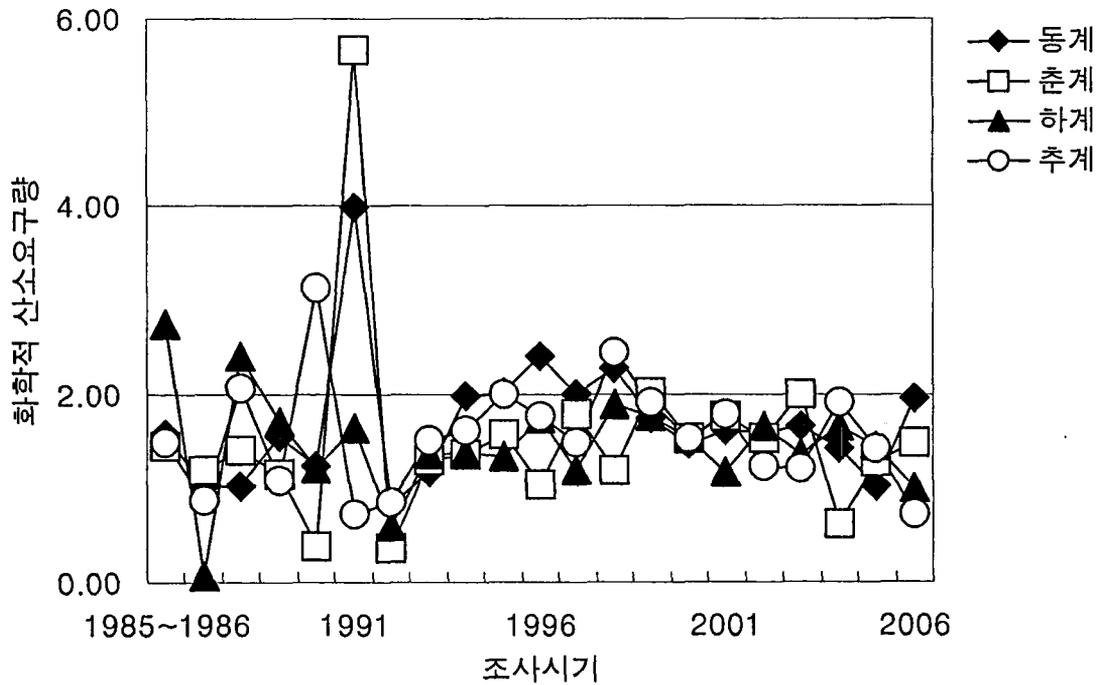


그림 3-60. 영광원자력발전소 주변해역의 화학적 산소요구량의 계절 변화.

으로 하였다. 생물군은 어류, 해조류, 저서동물 등 수산학적으로 중요한 생물군 중 의미 있는 종다양성지수가 산출된 생물군에 한정하였고 기존에 조사된 지수 중 가장 높은 수치를 택하였는데 수치가 낮을수록 생태학적 중요도가 낮으며 수치가 1.0에 가까울수록 생태학적 중요도가 높은 연안 해역에 온배수 방출 시설이 위치하고 있음을 뜻한다. 또한 오염지표종의 서식밀도에 따라 해당지역을 생태학적으로 고찰하였다.

대규모 온배수 방출 시설이 위치한 연안 해역의 생태학적 중요도는 대부분 높게 나타났으며 특히 남해 연안과 동해중부연안이 다른 4개 해역보다 약간 더 생태학적 중요도가 높은 것으로 보인다(표 3-16).

표 3-16. 대규모 온배수 방출 시설이 위치한 해역의 생태학적 중요도 비교

해역	생태학적 중요도	판단근거 (최대 종다양성지수)
경기만	0.97	시화호 저서동물 2003년 (2.94),
태안반도	0.32	서산화력 어류(0.96)
영광원자력	0.68~1.00	영광원자력 저서동물 2006년(3.21), 어류 1989년(2.36), 해조류 2003년(2.05), 함평만 저서동물 1999년(2.72)
남해연안	0.75~1.00	광양만 저서동물 1998년(3.40), 광양만 어류 1999년(2.91) 삼천포화력 어류 1985년(2.25)
동해남부연안	0.67~1.00	고리원자력 저서동물 2006년(3.15), 어류 2006년(2.36), 해조류 2006년(2.01), 월성원자력 저서동물 2001년(4.81), 어류 2001년(2.53), 해조류 2006년(2.17)
동해중부연안	0.71~1.00	울진원자력 저서동물 2006년(3.97), 어류 2000년(2.34), 해조류 2006년(2.15)

오염이 진행된 해역에 널리 분포하는 긴자락송곳갯지렁이의 출현밀도로 보면 광양만, 진해만 등 남해 연안역과 영일만이 위치한 동해남부해역이 경기만이나 영광원전 주변 해역에 비하여 오염이 더욱 진행된 해역으로 나타났다. 즉 대규모 온배수 방출 시설이 위치한 연안 해역들을 생태학적 중요도로 보면 남해 연안과 동해 중부연안 높게 나타났음에도 불구하고 남해연안은 생태학적으로 중요함과 동시에 오염지표종 서식 밀도도 높아 부영양화 또는 저질환경의 오염도 많이 진행 것으로 생각된다(표 3-17).

표 3-17. 우리나라 연안에서 조사된 대형저서동물 중 오염지표종의 서식밀도
(그물코 1.0mm)

종과 분류군	장소	밀도	참고문헌
긴자락송곳갯지렁이 (<i>Lumbrineris longifolia</i>)	경기만	8	Shin <i>et al.</i> (1992b)
	가막만	70	Shin(1995)
	광양만	147	Shin and Koh(1990)
	삼천포	16	Shin and Koh(1993)
	진해만 서부	70	Lim <i>et al.</i> (1992)
	진해만	175	Lim & Hong(1997)
	영일만	103	Shin <i>et al.</i> (1992a)
	진해만 동부	131	Han(1997)
	영광원전주변	21	2003년도 조사(전력연구원, 2004)

마. 환경생태지수 산정

1). 수질환경지수

해양수산부 국립수산과학원에서 운영하고 있는 국가 해양환경측정망의 수질환경 측정 결과는 매년 한국해양환경 조사연보로 출간되고 있어 온배수 방출 시설 주변 해역의 수질환경특성으로 활용할 수 있다. 수질환경특성은 수온, 염분, 수소이온농도에서 클로로필-a 까지 15개 항목을 측정하고 있으며 수소이온농도, 화학적산소요

구량, 용존산소량, 대장균 군, 용매추출유분, 총질소, 총인 등 7가지 항목의 농도에 따라 환경정책기본법 시행령중 별표 1 제 3호에서 정한 바에 의거한 수질 등급 I, II, III이 부여되고 있다. 이렇게 국가에서 부여하는 우리나라 연안 해역의 수질 등급을 이용하여 온배수 방출 시설 주변 해역의 수질환경에 대한 가중치를 산정할 수 있다. 따라서 수질등급 I 해역은 온배수 방출에 의한 수온 상승효과가 주변 생태계에 미치는 영향이 큰 해역이므로 수질환경생태지수 산정시 높은 가중치를 주고 수질등급 III 해역은 수온 상승보다는 이미 수질 오염에 의한 생태계 악영향이 나타난 해역이므로 수질환경생태지수 산정시 낮은 가중치를 주는 방식으로 구분하여 등급 I 해역의 가중치가 1.0이면 등급 II 해역의 가중치는 0.5, 등급 III 해역의 가중치는 0.1로 한다(수질환경 I등급: 참돔, 방어 및 미역 등 수산생물의 서식, 양식 및 해수욕에 적합한 수질, II등급: 해양에서의 관광 및 여가선용과 송어 및 김 등 등급 I의 해역에서 서식, 양식에 적합한 수산생물 외의 수산생물의 서식, 양식에 적합한 수질, III등급: 공업용 냉각수, 선박의 정비 등 기타 용도로 이용되는 수질).

대부분의 대규모 온배수 방출 시설들은 생활 폐수나 산업 폐수 등에 의하여 수질이 오염되는 인구 밀집 지역에서 거리를 두고 위치하고 있어 수질 등급 I의 해역에서 운영되고 있는데 GS EPS 주식회사, 포스코 파워, 울산화력 등 극소수의 시설들만이 오염이 진행된 해역으로 온배수를 방출하고 있는 것이 우리나라의 현실이다. 그러므로 수질 등급에 높은 가중치를 부여하여 수질환경생태지수를 산정할 경우에는 해양생태계 보전 목적에는 크게 기여할 수 없을 것으로 예상된다.

2). 생태지수

생태지수 결정 방법은 환경생태지수 산정시 생태지수의 가중치를 30%와 70%로 부여할 경우에 따라 2가지로 구분하여 장단점을 비교하였다(표 3-18).

가중치 30%의 경우는 국가 해양환경측정망의 수질환경 측정 항목의 하나로서 연안역 기초생산량의 척도인 클로로필-a 양 및 온배수 배출시설 주변 해역의 (배수구로부터 10km 거리의 정점) 동물플랑크톤과 식물플랑크톤의 종다양성지수를 각각 10%씩 생태지수에 반영한다.

클로로필-a 양은 한국해양환경 조사연보에 의거하고 동물플랑크톤과 식물플랑크톤의 종다양성지수는 춘하추동 4계절 평균치를 취한다. 클로로필-a의 양은 연평균 4~5 $\mu\text{g}/\ell$ 의 가장 높은 기초생산량을 보이는 우리나라 남해안 거제도과 통영 해역의 표층을 기준으로 표층의 클로로필-a 연평균이 4 $\mu\text{g}/\ell$ 이상인 해역은 10%를 부

표 3-18. 환경생태지수 산정 가중치 선정의 장단점

가중치	산정방법	장점	단점
수질환경지수 70% 생태지수 30%의 경우	수질 등급 (I=70%, II=35%, III=7%), 생태지수(클로로필-a, 동, 식물플랑크톤 종다양성지수 각각 10%)	국가 해양환경측정망 운영에 따른 정확한 수질환경 척도를 적극 반영	온배수 배출이 해양생태계에 미치는 영향 반영 미흡
수질환경지수 30% 생태지수 70%의 경우	수질 등급 (I=30%, II=15%, III=3%), 생태지수(본문 설명 참조)	온배수 배출시설 주변 해역의 생태계 보전 의지 적극 반영	온배수 배출이 해양생태계에 미치는 영향을 정확하게 파악하기 위한 별도의 조사 필요

여하고 10단계로 구분하여 $3.6\mu\text{g}/\text{l}$ 이상 $4\mu\text{g}/\text{l}$ 미만이면 9%, $3.2\mu\text{g}/\text{l}$ 이상 $3.6\mu\text{g}/\text{l}$ 미만이면 8%의 순으로 $0.4\mu\text{g}/\text{l}$ 미만이면 1%를 부여한다.

동물플랑크톤과 식물플랑크톤 군집은 종다양성지수를 택하여 각각 3.0 이상이면 10%를 부여하고 2.7 이상 3.0 미만은 9%, 2.4 이상 2.7 미만은 8% 순으로 0.3 미만은 0%를 부여한다.

환경생태지수 산정시 생태지수의 가중치가 30%이면 수질환경지수는 나머지 70%를 차지하며 예를 들어 클로로필-a 양이 $3.5\mu\text{g}/\text{l}$, 동물플랑크톤 종다양성지수가 2.0, 식물플랑크톤 종다양성지수가 1.7인 등급 II 해역의 경우 생태지수는 클로로필-a는 8%, 동물플랑크톤은 6%, 식물플랑크톤은 5%로 19%이고 수질환경지수는 $70\% \times 0.5 = 35\%$ 로서 $19\% + 35\% = 54\%$ 로 산정될 것이다. 같은 생태학적 특성을 가지고 있는 등급 I 해역의 경우는 $19\% + 70\% \times 1.0 = 89\%$ 로 산정되어 생태지수보다는 수질환경지수에 따라 환경생태지수가 크게 변동할 것이다. 이 경우, 국가 해양환경측정망 운영에 따라 정확하게 수집된 수질환경 척도를 적극 반영할 수 있고 생태지수 산정도 별도의 조사 없이 국가 해양환경측정망에서 측정된 클로로필-a 자료를 그대로 활용할 수 있으며 생태지수 산정을 위하여 해양생물 군집 중에서 비교적 쉽게 자료를 확보할 수 있는(채집의 용이성) 플랑크톤 군집 동태만으로 수질환경생태지수를 산정할 수 있는 장점이 있다. 하지만 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리라는 측면에서 보면 미흡한 것이 사실이다.

가중치 70%의 경우는 환경생태지수 산정에 미치는 생태지수의 영향력이 절대적이므로 국가 해양환경측정망 운영에 따른 자료와 별도로 온배수 방출시설 주변해역 생태계 현황 파악을 위한 별도의 조사를 전제로 한다. 클로로필-a 자료는 한국 해양환경 연보의 자료를 활용할 수 있겠으나 생태계 현황을 적극적으로 반영하기 위하여 비교적 쉽게 자료를 확보할 수 있는 동, 식물플랑크톤 군집 동태와 더불어 어류, 해조류, 저서동물 등 수산학적으로 중요한 생물군들의 군집 동태를 조사한다. 또한 종다양성지수를 비롯한 군동도지수, 우점도지수, 풍부도지수 등 다양한 생태학적지수를 산출하여 활용할 필요가 있다. 즉 표 3-16에서 보는 바와 같이 현재까지 온배수 방출 시설이 위치한 해역에 대한 생태학적 자료가 종합적이고 체계적으로 확립되어 있지 못한 현실을 감안할 때 생태지수 산정을 위한 많은 노력을 경주해야 할 필요가 있으며 아울러 표 3-17에서 언급된 바와 같은 오염지표종의 서식밀도 또한 파악하여 활용하는 것이 바람직하다.

이러한 전제하에 클로로필-a의 양과 동, 식물플랑크톤의 종다양성지수는 가중치 30%의 경우와 동일하게 산출하고 수산학적으로 중요한 어류, 해조류, 저서동물의 생태학적 지수를 각각 10%씩 반영하는데 다양한 생태학적 지수를 활용하는 것이 바람직하지만 지수 산정시의 혼란을 피하기 위하여 본 연구에서는 종다양성지수를 기준으로 한다. 또한 오염지표종의 서식밀도를 10% 반영하여 70%의 가중치를 정한다.

즉, 클로로필-a의 양은 연평균 $4\sim 5\mu\text{g}/\ell$ 의 가장 높은 기초생산량을 보이는 우리나라 남해안 거제도과 통영 해역의 표층을 기준으로 표층의 클로로필-a 연평균이 $4\mu\text{g}/\ell$ 이상인 해역은 10%를 부여하고 10단계로 구분하여 $3.6\mu\text{g}/\ell$ 이상 $4\mu\text{g}/\ell$ 미만이면 9%, $3.2\mu\text{g}/\ell$ 이상 $3.6\mu\text{g}/\ell$ 미만이면 8%의 순으로 $0.4\mu\text{g}/\ell$ 미만이면 1%를 부여한다.

5개 생물 군집의(동물플랑크톤, 식물플랑크톤, 어류, 해조류, 저서동물)의 종다양성지수를 택하여 각각 3.0 이상이면 10%를 부여하고 2.7 이상 3.0 미만은 9%, 2.4 이상 2.1 미만은 8% 순으로 0.3 미만은 0%를 부여함으로써 생태지수 가중치 70% 중의 5/7인 50%를 결정한다.

마지막으로 오염지표종의 서식밀도는 온배수 방출시설 주변 해역 특성에 따라 차이가 있겠으나 표 3-17의 긴자락송곳갯지렁이와 같이 우리나라 전 연안역에 분포하고 있는 생물의 최대서식밀도를 기준으로 서식밀도가 높으면 1%부터 전혀 출현하지 않으면 10%까지 산정하면 될 것이다.

예를 들어 수질등급 II인 해역에서 클로로필-a 양이 $3.5\mu\text{g}/\ell$, 동물플랑크톤 종다

양성지수 2.0, 식물플랑크톤 종다양성지수 1.7, 어류 종다양성지수 1.1, 해조류, 종다양성지수 2.8, 저서동물 종다양성지수 2.3이며 오염지표종을 긴자락송곳갯지렁이로 선정하여 한 마리도 분포하지 않을 경우, 클로로필-a는 8%, 동물플랑크톤은 6%, 식물플랑크톤은 5%, 어류는 3%, 해조류는 9%, 저서동물은 7%, 오염지표종은 10%로서 수질환경지수는 $30\% \times 0.5 = 15\%$ 이고 생태지수는 $8\% + 6\% + 5\% + 3\% + 9\% + 7\% + 10\% = 48\%$ 로 산정되어 환경생태지수는 최종적으로 63%로 결정될 것이다. 이와 같이 환경생태지수를 산정하여 온배수 방출시설이 주변 해역 생태계에 미치는 영향을 관리하는 척도로 활용할 수 있고 환경생태지수의 실제 적용 시 도출되는 문제점에 따라 추후 시정해나가면서 보다 바람직하고 공신력 있는 지수로 진화되어 나가리라 예상된다. 또한 수질환경지수와 생태지수의 가중치는 지수 산정의 용이성을 기준으로 생태지수의 가중치를 낮출 수도 있고 생태계 보전 측면에서 높일 수도 있겠으나 생태지수의 가중치가 50%를 초과하는 경우에는 국가 해양환경측정망 운영에 따른 자료와 별도의 생태계 조사에 의한 정확한 생태계 현황 파악이 전제되어야 할 것이다.

제 4 절. 온배수 배출기준 수립을 위한 생물검정

1. 수온변화에 따른 해양생물의 반응

대부분의 해양생물은 각각에 적합한 수온의 범위를 가지고 있으며, 수온이 이 범위를 벗어나면 스트레스를 받으며, 심한 경우 생리대사의 평형이 깨어져 사망한다(그림 3-61).

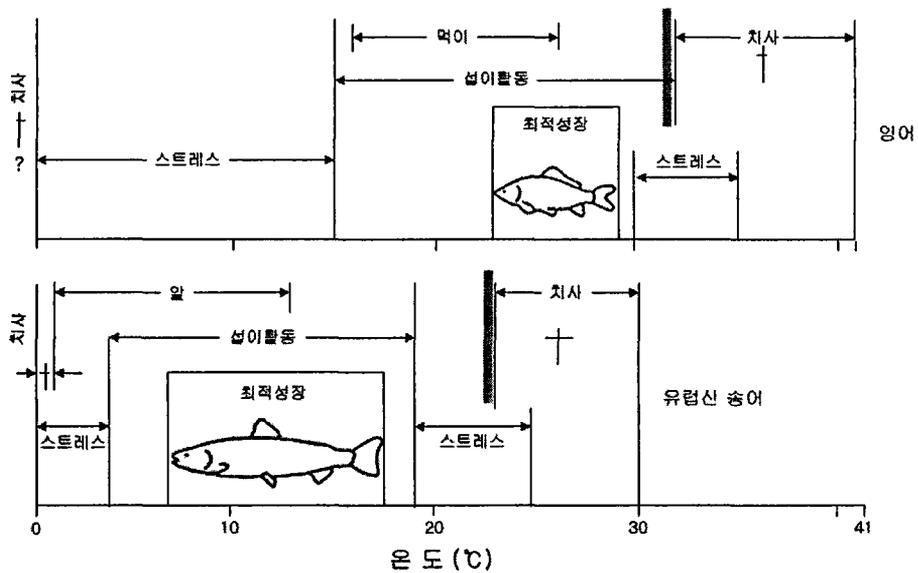


그림 3-61. 수온 변화에 대한 어류의 생리반응 모식도.

광온성종인 잉어의 서식 적수온의 범위는 22~29°C이며, 16~26°C에서 활발하게 섭이한다. 그러나 이 범위를 벗어나면 스트레스를 받기 시작하는데 낮은 수온보다 높은 수온에서의 스트레스가 심하여 서식 적수온보다 10°C 이하의 수온에서 스트레스를 받기 시작하지만 서식 적수온보다 1°C 높은 수온에서도 스트레스를 받기 시작하며 수온이 2, 3°C 증가하면 사망하기 시작한다. 고수온에서 보다 큰 스트레스를 받는 현상은 냉수성 어종에서도 공통적으로 나타나는 현상이다. 대표적인 냉수성 어종인 송어의 서식 적수온은 7~17°C 범위인데 하한수온보다 4°C 이하까지 섭이하지만 상한수온보다 2°C 증가하면 섭이를 멈춘다.

대부분의 해양생물들은 서식적은 범위에서는 수온증가에 따라 생리활성이 비례적으로 증가하며, 호흡량 변화는 수온에 가장 민감하게 반응하는 대사이다. 수온 증가(x축)에 따른 호흡량 증가량을(y축)를 도해할 경우 직선식이 아니라 수온을 꼭지점으로 하는 2차방정식으로 나타난다. 수온 증가에 민감한 종일수록 곡선의 기울기가 커지며, 수온에 둔감한 종일 경우 곡선의 기울기가 완만해진다. 수온변화에 따른 호흡량 변화의 한 지표로 “Q”를 사용하기도 한다. 수온이 $T_0^{\circ}\text{C}$ 에서의 호흡량이 R_0 이고 $T_1^{\circ}\text{C}$ 에서 호흡량이 R_1 이라 할 때, 이 수온변화에 따른 호흡량 변화를 수온 10°C 변화에 있어서의 호흡량 변화로 환산하여 $Q [10^{\circ}\text{C}/(T_1^{\circ}\text{C}-T_0^{\circ}\text{C}) \times R_1/R_0]$ 로 표시한다. 즉, Q2는 수온이 10°C 증가할 경우 호흡량이 2배로 증가한다는 것이며, Q3는 3배로 증가한다는 것이다(그림 3-62). 전자의 경우 온수성 종들의 특징이며 후자는 냉수성 종들의 특징이다.

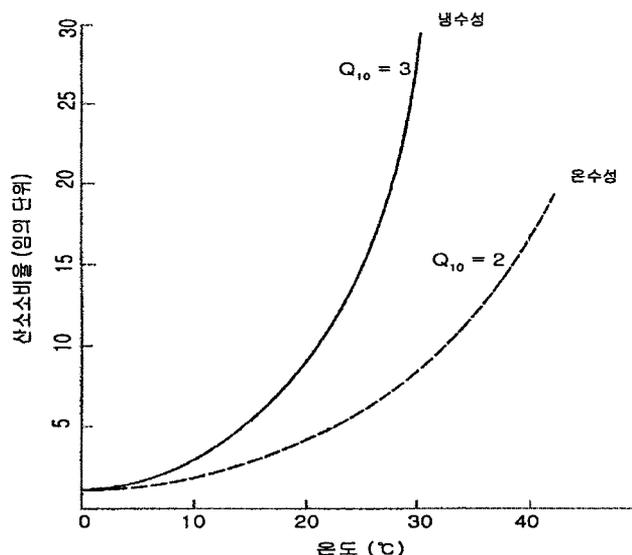


그림 3-62. 수온변화에 따른 해양생물의 호흡량 변화 모식도.

2. 온배수 영향평가를 위한 지표종

가. 지표종 선정 기준

최근 인간의 생존을 위한 지속가능한 환경보전이라는 측면에서 지금까지 지표로 사용되었던 물리·화학적, 혹은 공학적 지표로 해석 불가능한 문제점을 보완하기 위하여 환경변화에 대한 생물반응이 중요한 과제로 대두되고 있다. 주어진 해양생태계에서 인위적 환경변화에 대한 생물반응을 조사하기 위해 사용되는 실험생물은 반드시 해당지역을 대표할 수 있어야 하며 이를 지표종(indicator species)이라 한다. 즉, 지표종은 주어진 환경변화에 연속성 있고 차등성 있게 반응하여 그 반응 정도로 환경변화를 역 추적할 수 있어야 한다.

온배수가 해양생태계에 미치는 영향을 평가하기 위하여 측정하는 수온을 비롯한 여러 가지 측정요소는 해양의 시·공간적 조건에 의하여 변동이 큰 반면, 생물로 평가한 결과는 생명체에 축적된(bioaccumulation) 결과가 나타나기 때문에 환경요인의 변화 추이와 거동을 파악할 수 있는 자료를 제공해준다. 다시하면 온배수 거동에 대한 연구는 수온의 실측 조사보다는 적절한 지표생물을 선정하여 생물검정실험을 함으로 이상적으로 얻을 수 있다.

온배수의 영향을 파악하는 지표종은 우선적으로 우리가 감시하려는 환경 변화 즉, 수온 변화에 민감하게 반응하여 그 반응 정도를 정량화할 수 있는 종들 다음의 조건을 갖춘 종들을 선정해야 한다.

- 우리나라에 보편적으로 출현하는 종
- 지역적으로 우점적으로 출현하는 종
- 산업적으로 중요한 종
- 실험자가 손쉽게 구할 수 있는 종
- 천연기념물, 보호종, 위기종 제외

나. 지표종

1). 동물플랑크톤

우리나라 주변해역에서 온배수 영향을 받는 수역의 동물플랑크톤 동태를 관찰하면 일반적인 난류성 동물플랑크톤과 한류성 동물플랑크톤의 계절적 출현 현상이 확연하게 파악된다. 예를 들어 하계 수온 상승기에 출현하는 지각류인 *Penilia avirostris*와 *Evedne tergestina*는 고수온기 출현종으로서의 특징을 보이고 있으며 동계에는 요각류가, 춘계에는 부착성 저서생물의 유생인 따개비 유생이 우점적으로 출현하고 있다. 수온변화에 대한 동물플랑크톤의 반응을 생물검정실험을 통하여 구

명하는 것은 매우 난해한 과제로 현실성이 없다. 그러나 수온에 민감한 동물플랑크톤을 지표로 하여 이들의 출현여부로 온배수 영향 범위를 추정할 수 있다.

가). 동물플랑크톤 군집

동물플랑크톤 군집의 계절적 출현 동태로 온배수 영향을 추적할 수도 있다. 울진과 영광원자력 발전소 온배수 영향 해역에서 1993~2006 사이의 요각류 군집 종다양성 지수 변화를 관찰한 결과 ΔT 가 증가하면 배수구의 종다양성 지수가 감소하였다. 이러한 현상은 타지역의 발전소 온배수 영향 해역에서의 결과와 비교하여 온배수의 동태를 판단하는 지표로 삼을 수 있다.

나). 동물플랑크톤 지표종

새부리바다물벼룩(*Penilia avirostris*)

새부리바다물벼룩은 시다과(Family Sididae)에 속하는 체장 0.3~1.2mm 범위(Della Croce 1974)의 지각류(Cladoceran)로 작은 얇고 투명하고, 복후연에 긴 극이 있다. 머리는 짧고 문은 길게 나 있다. 문단 가까이에 작은 제 1 촉각이 있다. 제 2 촉각은 길다. 7종의 해산 지각류 중 유일하게 6쌍의 흉지를 가지고 있다. 후복부의 강모는 아주 길다.

본 종은 우리나라 전 연안에 분포하며(김 1984, 유와 김 1987, Kim and Onbe 1995), 단일 종으로서 해산 지각류 중 가장 높은 밀도의 개체군을 형성한다. 우리나라에서 출현 수온 범위는 9.3~27.9℃ 사이로서 해역별 연도별 차이가 있으나 주로 5~6월에 출현하기 시작하여 11월말에는 소멸한다. 저염분 내만역에서 고염분의 대양역까지 분포가 확장되어 있고 출현 수온 범위도 넓으나 고수온 환경에서만 높은 밀도의 개체군을 형성하는 온수성 광온, 광염분성 종이다.

노르만바다물벼룩(*Evadne nordmanni*)

노르만바다물벼룩은 포도니다과(Family Podonidae)에 속하는 지각류로 체장 0.20-0.57mm 범위의 소형 종이다. 몸은 반투명하며 분절되지 않았다. 배각은 몸의 뒤쪽으로 뻗어 있고 뒤끝이 뾰족하다. 복안은 크다. 제 1촉각은 작고 제 2촉각은 비교적 크고 내지는 3절, 외지는 4절로 이루어지며 각각 7개의 강모를 가지고 있다. 흉지는 4쌍으로 외지의 말단부에는 극모(setae)가 나있다. 극모의 수는 2-2-1-1 이

다. 제 4흉지의 내지는 흔적적이다.

동태평양에서는 대양역까지 그 분포가 확장되어 있음이 보고되어 있으며(Longhurst and Seibert 1972), 우리나라에서는 남해(김 1979, 유와 김 1987)와 동해의 내만역에서는 춘계에 항상 분포하고 있으나 황해에서는 영광 근해에서만 보고되어 있다. 우리나라에서는 3~4월에 출현하기 시작하여 수온이 상승하면서 7월 초에 소멸하는데(김 1984) 수온이 높은 일본의 세토내해에서는 2월부터 출현하여 6월 말에 소멸하고(Onbe 1974) 수온이 낮은 북해도 연안에서는 6월에 출현하여 9월에 소멸하는 등(Kim 1989) 해역에 따라 출현시기가 다를 수 있다. 우리나라에서는 수온 범위 10.2~19.6℃ 사이에서 출현한다.

Calanus sinicus

*Calanus sinicus*는 노벨레과(Family Calanidae)에 속하는 요각류(copepoda)로 해양에 우점적으로 출현하는 종류이다. 체장은 2.4~3.3mm 범위로 암컷이 수컷보다 크다. 제 1촉각의 길이는 체장과 같은 길이로 동물플랑크톤은 대표하는 사진으로

북대서양, 북태평양, 베링해부터 중국 해남도에 이르는 해역에 분포한다. 전체 한국연안에 분포하며(Kim 1985) 황해에서는 모든 계절을 통하여 다량 출현한다. 본종은 비교적 많이 연구되어 친숙한 종으로 지표종의 범주에 넣을 수 있다.

아산만에서는 봄철에 많은 출현량이 관찰되었고(박과 이 1995), 우리나라 남해(Kang and Hong 1998)와 일본 내해 중앙부에서는 겨울철에 출현량이 많았던(Hirota 1979) 반면 일본 내해와 근해에서의 결과는 주로 여름철에 높은 밀도를 보였다(Huang *et al.* 1993b). 몇몇 연구에서 이 종은 추운 계절에 나타났고 수온이 20-23℃를 넘었을 때 사라졌다고 보고되었다(Hirota 1979, Lin and Li 1984). Kang and Hong (1998)에 따르면 10~15℃의 수온 범위에서 높은 밀도를 보였다. Lin and Li(1986)은 *C. sinicus*가 24℃에서 3일 이상 생존하지 못한다고 하였으며 이러한 근거에서 Huang *et al.* (1993b)은 이종의 한계 수온이 23℃라고 하였다.

Acartia pacifica

Acartiidae과에 속하는 요각류(Copepoda)로 우리나라에서는 동해 측(허 1967), 군산 인접해역(노 1982), 가로림만(김과 허 1983), 동해 서남해역(심과 이 1986), 황해 연안(Kim, 1985)의 한국 근해에서 하계에 흔히 출현하는 종이며 중국동해, 태평양, 인도양의 온대와 열대해역에 분포한다. 본 종은 난류성 연안종으로 한국의 서해안에서 비교적 고수온기에 나타나는 것으로 보고되어 있으나(Kim 1985), 분포해역의

염분에 관한 정보는 드물다. 본 종의 분포 중심 수온은 7월에 27.1℃이며 고수온기에는 저염분을 좋아하다 수온이 내려감에 따라 고염분으로 분포의 중심을 옮기는 것으로 사료된다는 보고가 있다(서 등 1991). 영광원자력 발전소에서 하계에 온배수 영향에 의하여 대조구와 취수구에는 분포하지 않고 배수구에만 출현하는 지표종으로서의 가능성이 타진된 바 있다(박 2007).

Acartia hongii

Acartiidae과에 속하는 요각류로 과거 *Acartia bifilosa*로 불리우던 종이 Soh and Suh(2000)에 의하여 신종으로 재분류된 종이다. 우리나라에서는 황해 중동부역(심 등 1988)과 가로림만(김과 허 1983)에 분포하며 대서양 북부와 중부, 북해, Okhotsk 해 등에 분포한다고 보고 되어 있다. 늦은 봄 혹은 저수온기 황해에서 대량 발생한다는 보고(Kim 1985, 윤과 최 2003)가 있으며, 비교적 수온과 염분이 낮은 황해 연안수에 대한 지표성을 갖는다고 보고(Brodskii 1967, Chen and Zhang 1965, 심 등 1988)된 바도 있는 한국근해에 널리 분포하는 종이다. 또한 이 등(2006)은 약 5~20℃ 수온범위에서 개체수가 대량 증가하였으며 20℃이상의 수온에서는 급격히 감소한 반면, 5℃ 이하의 수온에서는 지속적으로 개체수가 유지되었다고 보고 하였다. 온대 연안 수역에서 저수온기에 주로 출현하는 *Acartia* 종들의 경우 수온이 증가하면 신진대사율이 높아지고 자연 수명이 급격히 짧아짐이 보고 된 바 있다 (Kimmerer and Mckinnon 1987, Uye 1981).

Centropages abdominalis

Centropagidae과에 속하는 요각류로 북태평양의 내해역, 베링해, 미국의 서부 냉수 해역에 분포하며 우리나라에서는 황해연안 추운계절에 많이 분포한다. 본 종은 수온이 10℃이하, 염분 33psu 이하인 수괴에서 주로 출현하는(박 등, 1992) 연안 저온성으로 알려져 있다(Brodskii 1967, 이 1972, Kim 1985, 박 등 1990, 1991). 영광원자력 발전소에서 춘계에 온배수 영향에 의하여 대조구와 취수구에는 분포하지 않고 배수구에만 출현하는 지표종으로서의 가능성이 타진된 바 있다(박 2007).

Labidocera euchaeta

Pontellidae과에 속하는 요각류로 뽕갈만과 중국의 연안에 분포하며 우리나라에서는 황해 북부에 여름철 다량 분포한다(Kim 1985). 본 종은 여름부터 초겨울까지 출현하며 여름에는 35° 이하의 연안에 분포가 국한되어 있다가 가을에 들어서면서 황

해 전체의 연안으로 분포가 확장된다. 이러한 분포 양상과 밀도는 초겨울까지 유지되다가 늦겨울이 되면 소멸된다고 알려져 있다(임 등 2003). 영광원자력 발전소에서 하계에 온배수 영향에 의하여 대조구와 취수구에는 분포하지 않고 배수구에만 출현하는 지표종으로서의 가능성이 타진된 바 있다(박 2007).

2). 해조류

온배수의 영향을 파악하는 지표종을 선정함에 있어서 고착성 해조류의 경우 상업적으로 중요한 종, 지역마다 우점적으로 출현하는 종, 지리적 분포가 넓은 종, 수온 변화에 대한 내성 범위가 좁은 종 등 다양한 측면에서 접근해 볼 수 있는 바, 각 항목별로 대표적인 해조류를 살펴보고 그 장단점을 고찰해 보기로 한다.

가). 상업적으로 중요한 종

먼저 우리나라의 경우 경제활동과 관련이 많은 상업적으로 중요한 해조류는 다음과 같은 김(참김), 미역 그리고 다시마(참다시마)를 들 수 있다.

참김(*Porphyra tenera*)

참김은 홍조강(Class Rhodophyceae) 보라털목(Order Bangiales) 보라털과(Family Bangiaceae)에 속하는 종으로 유사종은 방사무늬김(*P. yezoensis*), 둥근돌김(*P. suborbiculata*), 모무늬돌김(*P. seriata*), 쿠니에다김(*P. kuniedae*) 등이 있다.

엽체의 형태는 성숙 전을 기준으로 했을 때 원형-난형, 장타원형-선형 및 난형-선상 피침형의 세 가지 형태로 구분된다. 성숙하여 정자(spermatium) 또는 과포자(carpospore)를 방출하면 몸은 대체로 길이가 짧고 폭이 넓어진다. 체색은 적색, 적갈색, 청록색 등 종에 따라 다양하다. 엽체의 가장자리는 현미경적인 톱니가 있는 것과 톱니가 없는 것이 있다. 엽체에서 나온 과포자는 조가비 안쪽 면에 붙어서 발아하여 사상체(conchocelis)로 자란다. 사상체는 조가비 속을 비스듬히 안쪽으로 자라면서 입체적으로 그리고 방사상으로 확대되어 원형의 반점을 이루게 된다. 사상체 세포는 가는 부분이 3~5 μ m, 팽대부가 7.5~12.5 μ m이다. 엽록체는 세포막 쪽에 있고, 띠 모양 또는 판 모양이다. 사상체는 정단세포가 자라는 정단생장을 한다.

7, 8월이 되면 사상체의 가지는 많은 가지를 내고 여기에 포자낭이 측생적으로 자란다. 포자낭은 1열로 이어져서 생긴 포자낭 가지, 즉 포자낭지를 이루고 여기에

서 각포자(conchospore)가 만들어진다. 각포자의 지름은 10~13 μ m이며, 이 포자는 자라서 김의 유아로 된다.

참김의 부착층은 조간대이며, 그 폭은 약 1m이다. 하구 부근에서 내만이나 외해까지 널리 분포하지만, 저비중에 잘 견디므로 하천수의 영향이 많은 하구에 적합하다. 생육 시기는 가을에서 봄까지이다. 환경에 대한 적응성이 크고, 따라서 형태 변화가 많다. 부영양화 어장에서는 엽체가 얇고 부드러우며 향기가 많고 맛도 좋지만, 빈영양화 어장에서는 색택이 좋지 않고 품질이 떨어지는 경향이 있다. 한편 외해에 면한 고염분 어장에서는 세포막이 두껍고 딱딱해진다.

참김은 수중에서 생활하므로 주로 수온의 영향을 많이 받지만, 간조시에는 기온이 참김 엽상체에 직접적인 영향을 미친다. 가을이 되어 수온이 22 $^{\circ}$ C 전후에서 15 $^{\circ}$ C 정도까지 저하하는 기간이 김의 발아기이며, 15 $^{\circ}$ C 이하가 되면 성장기에 들어가고 온도가 차츰 더 내려감에 따라 매우 무성하게 자라서 최성기로 된다. 이 경우, 김의 수확 정도로 보아 8~5 $^{\circ}$ C가 성장 적온이라고 할 수 있으며, 그 하한은 4 $^{\circ}$ C이다. 이후 봄이 되어 수온이 12~13 $^{\circ}$ C가 되면 생육이 그치게 된다(강과 고 1977).

참김은 냉수성임과 동시에 협온성이다. 상품이 되는 엽상체의 최적 성장수온은 5~8 $^{\circ}$ C이다. 한편 9월 혹은 10월에 수온이 23 $^{\circ}$ C 이하로 내려가면 포자가 불기 시작하는 데 수온 하강이 더디거나 빠르면 포자 착생이 불량해진다. 어느 한 생활사에 있어 온배수 영향을 받았다면 바로 전생활사에 영향을 받은 것이기 때문에 온배수가 참김에 미치는 영향은 포자부착기, 발아기, 엽상체 성장기 등 생활사별로 나누어 조사해야 한다. 또한 수온은 참김의 품질에도 영향을 미치기 때문에 수온이 김의 상품성에 미치는 영향에 대한 고찰이 필요하다.

미역(Undaria pinnatifida)

미역은 갈조강(Class Phaeophyceae) 다시마목(Order Laminariales) 미역과(Family Alariaceae)에 속하는 종으로 유사종은 넓미역(*U. peterseniana*)이 있다.

미역은 제주도에서 동해안 끝까지, 그리고 황해도 이남의 서해안과 남해안에 분포하지만 한류의 영향이 강한 북해도의 태평양 연안과 난류의 영향이 강한 남부 태평양 연안 일부에는 분포하지 않는다. 서식대는 저조선 부근에서 점심대에 걸쳐 서식하나, 남부에서는 깊은 곳에 그리고 북부에서는 얕은 곳에 서식하는 경향이 있다.

엽상부의 전체 모양은 난원형 또는 피침형이고 중륵이 있으며, 깃꼴 모양으로 분열한다. 엽면에 털집이 있는데, 이것은 육안으로는 작은 점이 산재해 있는 것처럼 보인다. 엽상부의 중륵은 줄기로 이어져 있으며, 줄기의 가장자리가 납작해지고 또

주름이 잡혀 흔히 '미역귀'라 부르는 구조인 포자엽(sporophyll)으로 된다. 포자는 이곳에 한정되어 형성된다. 줄기의 하부는 부착기로 되며, 몇 번 두 가닥으로 분지하여 나뭇가지 모양을 이루어 기물에 고착한다. 외양에 면한 연안의 암초에 많이 부착하나 일반적으로 내만의 만 입구 가까운 부근의 조류가 빠른 곳에 양질의 미역발이 있고, 내만의 조류가 느린 곳에서는 품질이 좋지 않다.

미역은 이형세대교번을 하는 1년생 해조류이다. 우리가 식용으로 하는 미역인 엽체는 포자체(sporophyte)인데, 가을부터 봄까지 자라서 성숙한 다음 5-6월에 유주자를 방출하고 나면 엽체는 점점 녹아서 유실된다. 유주자는 발아하여 현미경적인 작은 배우체(gametophyte)로 되어 여름을 지내며, 가을에 알과 정자가 형성되어 수정란을 만들고, 이것이 발아되면 어린 포자체인 아포체를 거쳐서 엽체로 자란다. 이와 같은 미역의 생활사에서 각 단계에 미치는 온도의 영향을 정리하면 다음과 같다.

먼저 미역의 유주자는 순 평균 수온이 14℃ 이상 될 때 방출되기 시작하여 미역이 유실되는 22℃ 정도까지 지속된다. 이 기간 동안 17~22℃에서 특히 왕성하게 방출된다. 방출된 유주자는 편모로 헤엄쳐 다니다가 적당한 곳에 닿으면 착생한다. 이때 수온이 20℃ 이하에서 잘 착생하며, 25℃ 이상에서는 착생이 잘 되지 않는다.

배우체가 발아해서 성장하는 온도는 17~20℃가 가장 좋고, 27℃ 이상에서는 발아하지 않는다. 발아하여 배우체로 된 것은 23℃까지는 성장하지만, 수온이 더 높아지면 자라지 않고 세포는 둥글게 되어 두터운 세포막을 쓰고 휴면하게 된다. 휴면 상태에 들어간 배우체는 30℃이 고수온에서도 잘 견디며 수온이 낮아지면 다시 활동을 시작한다. 가을에 수온이 24℃ 이하로 내려가면 휴면 상태에 있던 배우체는 다시 성장을 계속하여 조정기와 생란기를 만들게 된다.

미역의 경우 온수성 종으로 간주할 수도 있지만 어느 정도 냉수성에 치우친 종이다. 배우체의 성숙과 아포체의 발아는 다 함께 20℃ 이하의 저수온에서 잘 되며, 2-3℃ 이상의 고수온에서는 성숙하지 않는다. 아포체와 유엽 때에는 몸 전체가 자라는 개재 성장을 하며 15~17℃에서 잘 크고 수온이 그보다 낮아지면 다소 늦어지고 10℃ 이하에서는 더욱 늦어진다. 유엽의 경우, 15℃ 정도까지는 생장이 비교적 좋으나, 그 이상이 되면 생장이 늦어진다. 엽체는 수온 20℃ 이상이 되면 생장이 저하되고 22℃가 되면 유실된다(강과 고 1977). 미역 포자체 및 엽체의 주 성장기에 있어 온배수 영향이 주 검토 대상이다.

다시마(*Laminaria japonica*)

다시마는 갈조강(Class Phaeophyceae) 다시마목(Order Laminariales) 다시마과

(Family Laminariaceae)에 속하는 종으로 유사종으로는 애기다시마(*L. religiosa*) 및 깨다시마(*Kjellmaniella crassifolia*)가 있다.

다시마는 외관상 잎(엽상부), 줄기 그리고 뿌리(부착기)의 3부분으로 구분된다. 잎은 띠 모양으로 길고 중간 부분보다 다소 아래쪽이 가장 넓다. 길이는 1.8~3.5m이며, 폭은 25~45cm이다. 잎의 중앙 부분은 두터운 중대부를 이루고, 중대부의 양 끝은 세로로 홈이 있다.

다시마는 자연적으로 원산 이북에만 분포하는 북방계 해조이지만, 실내 종묘생산으로 제주도를 제외한 전 해역에서 양식이 가능하게 되었다. 한편 중국에서는 남쪽의 고수온 해역에서도 양식 가능한 품종을 하였다. 일본의 다시마속(*Laminaria*)의 분포는 원산지 북해도에 있어 다시마(*L. japonica*)는 대마난류와 한류인 오야시오가 합쳐지는 곳에 분포하고, 애기다시마(*L. religiosa*)는 대마난류가 그치는 해역에, 그리고 오토츠크다시마(*L. ochotensis*)는 대마난류가 한류와 접하는 곳에서부터 한류 해역에 분포한다. 북해도에서 유엽이 나타나는 것은 12~3월이며, 7월까지 성장한다. 초가을에서 초겨울까지 성숙기에 포자를 방출하고 나면 끝부분부터 차츰 녹아 기부만 남는다. 늦가을-초겨울의 재생기에 들어가면 기부에 있는 성장대에서 다시 성장을 계속하여 2년째 잎이 생기며, 이것은 여름까지 매우 두꺼워진다.

1년생 다시마를 기준으로 했을 때, 수온이 14~15℃에서 가장 빠르게 자라며, 수온 17℃ 이하에서는 2cm/일 이상 성장한다. 20℃에서도 엽체 길이는 증가하지만, 22℃ 전후가 되면 끝 녹음이 성장보다 많아서 엽체 길이는 짧아진다(강과 고 1977).

다시마는 냉수성이 강한 해조류로 수온에 대한 반응이 비교적 잘 나타난다. 엽체의 끝 녹음과 생장에 미치는 온배수 영향이 주 관심대상이 된다.

기타 해조류

이밖에도 상업적으로 중요한 해조류로는 녹조류 가운데 파래 무리(*Enteromorpha* spp.), 홉파래 무리(*Monostroma* spp.), 청각(*Codium fragile*), 갈조류 가운데 툯(*Hizikia fusiformis*), 감태(*Ecklonia cava*), 구멍쇠미역(*Agarum crathrum*), 모자반(*Sargassum fulvellum*), 그리고 홍조류 가운데 우뭇가사리(*Gelidium amansii*), 불등풀가사리(*Gloiopeltis furcata*) 등을 들 수 있다.

발전소 주변 주민들이 상업적으로 중요한 해조류의 생산과 증식에 많은 관심을 갖고 있으므로 이들 해조류를 온배수의 영향을 파악하는 지표종으로 선정하는 것이 현재로서는 가장 이상적인 방법이라고 평가된다. 특히 우리나라 연안에서 양식하고 있는 해조류의 대부분이 비교적 낮은 수온에서 잘 자라는 냉수성 종들이기 때문에

온배수의 영향을 파악하는 지표종으로 선정하는데 크게 무리가 없을 것이다.

다만 이들 상업적으로 중요한 해조류들이 우리나라의 모든 연안에서 양식되고 있지 않기 때문에 주변 연안에서 해조류의 양식이 이루어지지 않는 발전소의 경우에는 온배수의 영향을 파악하기 어렵다는 문제점을 안고 있다. 이를테면 김의 경우 서해안이나 남해안에서 보편적으로 양식하고 있는 반면 동해안에서는 김 양식장을 발견할 수 없으며, 구멍쇠미역의 경우는 오히려 동해안 중부 이북에서만 발견되고 있는 실정이다(이와 강 2002).

나). 지역마다 우점적으로 출현하는 종

이제까지 동해안의 3개 원자력발전소와 서해안의 영광원자력발전소 주변에서는 오랜 기간에 걸쳐 해조류 분포 자료가 상세하게 축적되었고, 삼천포화력, 보령화력, 서천화력발전소 등 일부 화력발전소 주변에서도 그간 해조류 분포 조사가 비교적 다양하게 수행되었다.

이를테면 울진원자력발전소 주변에서는 지충이(*Sargassum thunbergii*), 툯(*Hizikia fusiformis*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 도박류(*Pachymeniopsis* spp.) 등이 우점종으로 조사되었고(김과 김 1991), 월성원자력발전소 주변에서는 미역(*Undaria pinnatifida*), 작은구슬산호말, 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 파래무리(*Enteromorpha* spp.) 등이 우점하는 것으로 밝혀졌으며(김과 김 1991), 서해안의 영광원자력발전소 주변에서는 지충이, 작은구슬산호말, 납작파래(*Enteromorpha compressa*), 부챗살(*Ahnfeltiopsis flabelliformis*) 등이 연중 우점종으로 조사된 바 있다(김과 허 1998).

따라서 발전소 주변에 출현하는 해조류 가운데 지역별 우점종의 도태를 파악하면 온배수의 영향을 파악하는데 도움을 받을 수 있을 것이다. 그런데 우리나라 연안의 모든 발전소 주변에서 체계적으로 해조류 분포 조사가 수행되지 않은 탓에 지역별 우점종 해조류로 온배수 지표종을 삼는 데에는 다소 제약이 따르게 된다.

다). 지리적 분포가 넓은 종

우리나라 연안에서 보편적으로 분포하는 해조류들은 발전소가 위치한 해역 주변에서 출현할 가능성이 높기 때문에 이들 해조류의 정성·정량적 분포를 파악하면 계절별로 온배수의 영향을 검토하고 지역별로 그 영향을 비교하는데 도움을 받을 수

있을 것이다.

그러나 이와 같이 보편적으로 출현하는 종들의 대부분은 대체로 온도 변화에 대한 내성 범위가 넓어서 자연수온보다 높은 온도 조건에서도 생육할 가능성이 있고, 실제로 동해안의 원자력발전소 배수로에서는 상기 해조류 가운데 다수의 종이 다량으로 출현하고 있는 실정이다(김 등 1998, 김과 안 2005). 따라서 이들 보편적 출현종만으로 발전소의 온배수 지표종으로 선정하는 데에는 이들의 광범위한 분포적 특성 때문에 온배수의 영향을 상세하게 파악하기 어렵다는 문제점을 안고 있다. 우리나라에 보편적으로 출현하는 해조류는 다음과 같다.

녹조류

청각(*Codium fragile*), 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 납작파래(*Enteromorpha compressa*), 잎파래(*Enteromorpha linza*)

갈조류

블레기말(*Colpomenia sinuosa*), 미끈뼈대그물말(*Dictyopteris divaricata*), 참그물바탕말(*Dictyota dichotoma*), 감태(*Ecklonia cava*), 툫(*Hizikia fusiformia*), 패(*Ishige okamurae*), 바위두룩(*Leathesia difformis*), 알송이모자반(*Sargassum confusum*), 모자반(*S. fulvellum*), 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 팽생이모자반(*S. horneri*), 지충이(*S. thunbergii*), 고리매(*Scytosiphon lomentaria*), 미역(*Undaria pinnatifida*)

홍조류

부켓살(*Ahrfeltiopsis flabelliformis*), 참까막살(*Carpopeltis affinis*), 애기가시덤불(*Caulacanthus ustulatus*), 단박(*Ceramium boydenii*), 비단풀(*Ceramium kondoii*), 참사슬풀(*Champia parvula*), 애기돌가사리(*Chondracanthus intermedia* = *Gigartina intermedia*), 돌가사리(*Chondracanthus tenellus*), 개서실(*Chondria crassicaulis*), 진두발(*Chondrus ocellatus*), 참산호말(*Corallina officinalis*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 우뚝가사리(*Gelidium amansii*), 애기우뚝가사리(*Gelidium divaricatum*), 불등풀가사리(*Gloiopeltis furcata*), 꼬시래기(*Gracilaria verrucosa*), 참도박(*Grateloupia elliptica*), 참지누아리(*Grateloupia filicina*), 미끌지누아리(*Grateloupia turuturu*), 쌍발이서실(*Laurencia okamurae*), 마디잘록이(*Lomentaria catenata*), 애기마디잘록이(*Lomentaria hakodatensis*), 모로우붉은실(*Polysiphonia morrowii*), 둥근돌김(*Porphyra suborbiculata*), 참김(*Porphyra tenera*), 붉은까막살(*Prionitis*

cornea), 개우무(*Pterocladia capillacea*), 참보라색우무(*Symphyclocladia latiuscula*)

라). 수온 변화에 대한 내성 범위가 좁은 종

해조류의 경우 다른 종류들에 비하여 온도에 대하여 민감하다. 동일한 종일지라도 계절에 따라 생육 온도 범위가 달라지고 성장률도 다르게 나타나며, 생활사의 단계별 생육 온도 범위가 다르기 때문에 주의해야 한다.

홍조류 3종의 온도 변화에 따른 순광합성(net photosynthesis)은 계절에 따라 차이를 보이고 있어서, 동일한 종이라 할지라도 순광합성은 겨울에는 여름보다 낮은 온도에서 훨씬 높게 나타난다(그림 3-63).

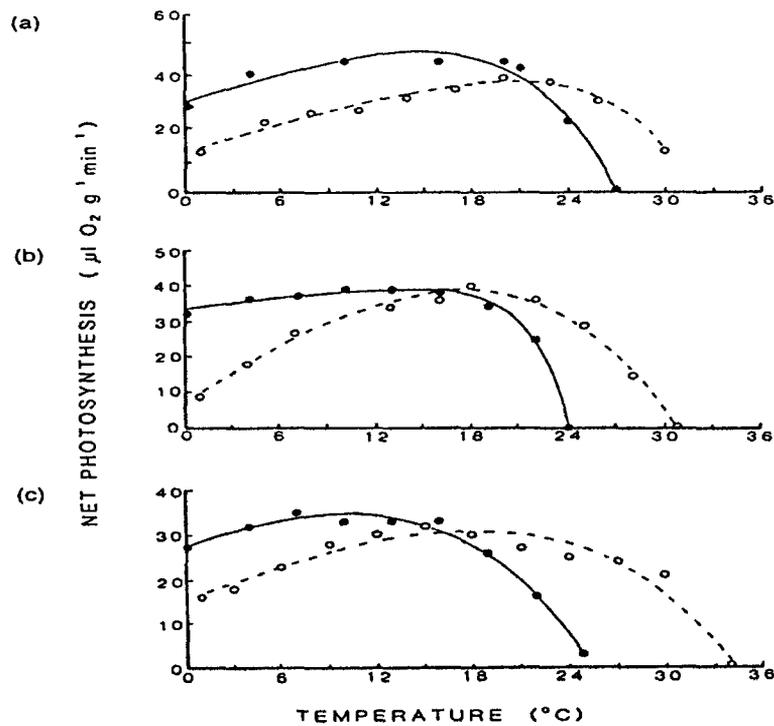


그림 3-63. 온도 변화에 따른 홍조류 3종(a: 주름붉은잎 *Callophyllis crispata*, b: 바다참나무잎속의 일종 *Phycodryis rubens*, c: 주름진두발 *Chondrus crispus*)의 광합성 변화(Lobban and Harrison, 1994). ○: 여름, ●: 겨울

한편 동일한 종이라 할지라도 출현하는 지역에 따라 온도 변화에 따른 생장률의 차이를 보일 뿐만 아니라 생존 범위도 다르게 나타난다(그림 3-64). 더구나 염분도(salinity)나 조도(irradiance)와 같은 온도 이외의 환경조건에 따라서도 온도의 효과가 상이하게 나타날 수 있다(그림 3-65).

우리나라의 경우 그간 양식 대상 해조류 몇 종을 대상으로 온도와 관련한 생장 연구가 수행되었을 뿐이지만, 외국에서는 다양한 해조류를 대상으로 온도와 관련한 생육 범위나 생장률 또는 지리적 분포 등이 비교적 상세하게 연구되었다. 따라서 이들 자료를 참고하여 수온 변화에 대한 내성 범위가 좁은 종들을 온배수 지표종으로 선정하고 이들에 대한 집중적인 분포 조사를 수행하는 것도 한 방법이 될 수 있을 것이다.

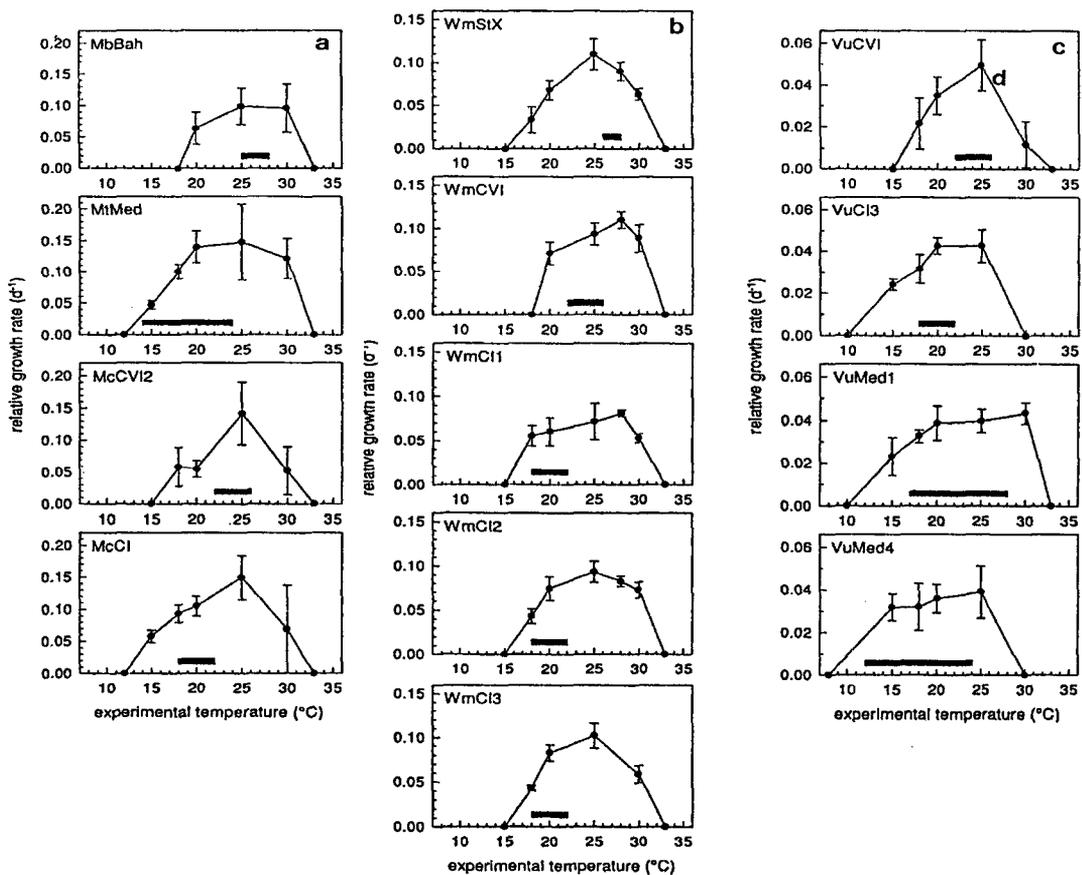


그림 3-64. 대서양에 분포하는 해조류 3종(a: 잎떡말속 *Microdictyon*, b: *Wurdemannia*, c: *Valonia*)의 온도 변화에 따른 상대생장률 변화(Pakker and Breeman, 1996).

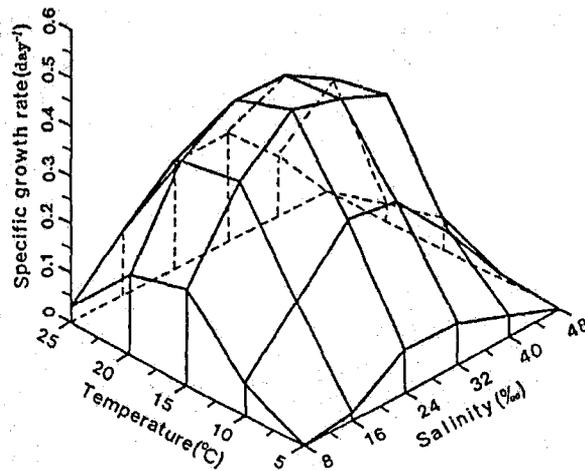


그림 3-65. 온도와 염분도 변화에 따른 창자파래(*Enteromorpha intestinalis*) 발아체의 성장률 비교(Kim and Lee 1996).

따라서 현재로서는 수온 변화에 대한 내성 범위가 좁은 종을 지표종으로 삼는 것이 가장 이상적인 방법이 될 수 있겠지만 상기와 같은 문제점들을 충분히 고려해야 함에도 불구하고 이제까지 국내에서 축적된 관련 자료가 절대적으로 빈약한 실정이므로 향후 이에 대한 다각적인 연구가 수행되어야 할 것으로 기대된다.

3). 저서동물

무척추동물의 경우 운동성이 미약하거나 없기(고착성 저서동물) 때문에 환경변화에 직접 노출된다. 그러나 대부분의 저서동물 특히 조간대 및 조하대 상부에 서식하는 종들은 대부분의 환경변화 특히, 온도변화에 내성이 큰 광온성 종들로서 수온 변화에 강한 내성을 가지고 있어 온배수 지표종으로 적합하지 않다. 또한 온배수는 자연해수보다 밀도가 낮기 때문에 표층으로 확산되어 나가기 때문에 조하대 중부 이하에 서식하는 저서동물에는 큰 영향을 미치지 않는다. 따라서 저서동물을 지표종으로 사용할 경우에는 비교적 수온이 안정되어 있는 조하대 상부와 하부 사이에 분포가 한정되는 종들을 선택해야 한다. 이러한 저서동물 중 지표종으로 사용 가능한 종들은 1차년도 보고서에 수록한 바와 같이 참굴(*Crassostrea gigas*) 및 바지락(*Ruditapes philippinarum*)을 우선적으로 거론할 수 있으며, 지중해담치(*Mytilus*

galloprovincialis)를 추가할 수 있다.

본 연구에서는 수산업적으로 중요하며, 실험생물로 많이 사용되는 참굴과 바지락에 더하여 지중해담치를 지표생물로 선정하였다. 이러한 패류의 여수율은 흡수량과 아울러 온배수 영향을 검증하기위한 좋은 지표가 된다.

참굴(*Crassostrea gigas*)

굴은 이매패강(Class Bivalvia) 익각목(Order Pterioida) 굴과(Family Ostreidae)에 속하는 조개류이다. 통상 참굴로 불리기도 하지만 정확한 학술적 명칭은 굴이다(한국동물분류학회 1997).

굴은 전형적인 광염, 광온성 종이지만 약 온수성~약 냉수성에 해당하는 종으로 주산지는 우리나라 전 연안과 일본, 중국연안, 발해 등 북위 30°에서 45°에 해당하는 해역이다. 연안이며, 홍콩과 캄차카반도에도 분포한다. 우리나라의 연간 굴 양식 생산량은 약 22만톤/년으로 매우 중요한 양식품종이다.

우리나라의 조간대와 조하대 암반 생태계에서 양적으로 우점하는 대표적인 생물로 어느 지역에서나 조간대 암반에서 쉽게 찾아볼 수 있다. 굴은 환경변화에 대한 적응력 및 저항력이 강하여 환경감시종(environmental monitoring species)으로 이용되고 있다. 사실상 본종의 성체는 수온변화에 내성이 강하여 공기 중에 노출될 경우 -10℃~38℃ 범위의 극한 온도에서도 살아남아 온배수 지표종으로 적합하지 못하지만 서해안과 남해안에 있어 수산업적으로 매우 중요한 종이며 난발생 및 유생기에는 온배수에 의한 영향을 받을 수 있기 때문에 지표종으로 선정되었다.

굴의 성육과 난발생에 적합한 수온 범위는 23~26℃이다. 이 범위에서는 수온이 상승할 수록 부화율이 증가하지만 이 수온을 벗어나면 부화율이 저하되고 기형율이 증가한다(해양연 1987). 수온이 15℃ 이하로 내려가거나 30℃ 이상 올라가면 성장이 정지된다.

산란기는 5-7월로 200 μ m 이상의 성수유생은 표층 부근에 모인다. 각장과 각고가 280 μ m 및 310 μ m으로 자라면 저서생활로 들어간다. 온배수 관련 생물검정은 서해안 발전소 온배수에 의한 굴의 번식생태 교란여부에 중점을 두고 수행한다.

각고 80mm 전후의 굴 성체의 여과수량은 15~19℃ 범위에서 2.8~3.5 ℓ /ind./hr 범위이며, 9월 고수온기에는 10 ℓ /ind./hr에 달하기도 한다.

바지락(*Ruditapes philippinarum*)

바지락은 이매패강(Class Bivalvia) 백합목(Order Veneroida) 백합과(Family

Veneridae)에 속하는 조개류이다.

본종은 우리나라 서해안의 사니질 해안에 많이 분포하는 종으로 대표적인 바다식 양식품종으로 연안 주민의 주 소득원이다. 우리나라 남해안 및 서해안의 간석지, 중국, 일본, 사할린 등에 분포한다.

바지락 역시 굴과 같이 수온에 대한 내성이 강하여 서식범위는 0~30℃ 이다. 공기 중에 노출될 경우 -2℃~36℃까지 생존한다. 본 종은 실험생물의 확보 및 실험실 순치 손쉬워 최근 생체리듬(bio-rhythm) 측정용 실험생물로 많이 이용된다.

바지락의 서식적수온은 23℃ 내외이며 산란 적수온은 21~23℃이다. 산란기는 6~10월 상순으로 태안연안에서의 주 산란기는 7~8월이며, 암수가 다른 자웅이체로 해수에서 체외 수정한다. 온배수 관련 생물검정은 서해안 발전소 온배수에 의한 바지락의 번식생태 교란여부에 중점을 두고 수행한다. 각장 36~38mm의 바지락은 21~24℃에서 여수량이 0.6~1.5ℓ/ind./hr 범위로 변한다. 한편 바지락의 경우 탁도가 10ppm 이상이면 산소소비율이 감소하므로 실험조건 수립시 탁도의 영향을 배제할 수 있도록 주의해야 한다.

지중해담치(*Mytilus galloprovincialis*)

지중해담치(진주담치)는 캄차카반도와 베링해가 원산지이지만 온도 변화에 내성이 강하여 점차 온대해역으로 서식지를 넓히고 있는 종이다. 우리나라에 도입된 시기는 명확하지 않지만 국양식이 시작된 1960년대 말부터 학자들의 관심을 끌기 시작하였다. 현재 우리나라 모든 해역에 서식하고 있는 수산양식 대상종이기도 하지만 모든 해양구조물에 부착하여 피해를 주는 오손생물이기도 하다. 전술한 바와 같이 본종은 온도변화에 대한 내성이 크기 때문에 성체보다는 부착기유생과 치패를 기준으로 생물검정실험을 하는 것이 바람직하다.

4). 어류

가). 지표종 선정

어류를 온배수 지표종으로 선정하기 위해서는 지표종에 대한 개념을 객관적으로 다시 생각해야 한다. 현실적으로 온배수가 환경오염과 피해보상이라는 사회적 통념을 바탕으로 일반적으로 인식이 되고 있기 때문에 어류 온배수 지표종이라는 의미

는 온배수를 관리하기 위한 하나의 방법론적인 과학적 개념으로만 한정되지 않는다. 어류를 지표종으로 하여 얻어지는 자료는 사회학적으로 여러 가지 파급효과를 내재하기 때문에 신중하게 고려해야 할 문제이다.

지표종이 갖는 객관적 개념은 “환경의 특성을 잘 나타낼 수 있는 생물. 환경요인에 대한 내성 범위가 매우 좁은 경우, 그 생물들은 환경요인이 내성 범위를 벗어나면 살 수 없게 되므로 지표종으로 효용성이 크다.”라는 해양과학용어 사전(한국해양학회 2005)의 정의로 잘 대변된다. 어류는 척추동물로 비교적 고등한 생물군에 속하여 생리 대사적인 측면에서 수온에 대한 내성 범위가 비교적 넓으며, 운동성이 매우 커 자연환경이 변하면 보다 좋은 환경을 찾아 쉽게 이동하기 때문에 일차적으로 수온에 대한 지표종으로 사용하기에는 적합하지 않다.

발전소 온배수 영향 해역에서의 조사결과를 분석하여도 명확한 지표종이 될만한 어종의 선택이 어렵다. 울진원전의 경우 파랑돔의 출현 여부로 온배수 영향권을 구획할 수는 있지만 역설적으로 파랑돔이 존재하는 지역에는 반드시 온배수가 존재하여야 한다거나, 파랑돔이 출현하지 않으면 온배수 영향권이 아니라는 논리적 모순에 도달하게 된다. 지금까지 관찰되고 검토된 사실을 토대로 선정된 지표종 어류의 선택 조건은 그림 3-66과 같다.

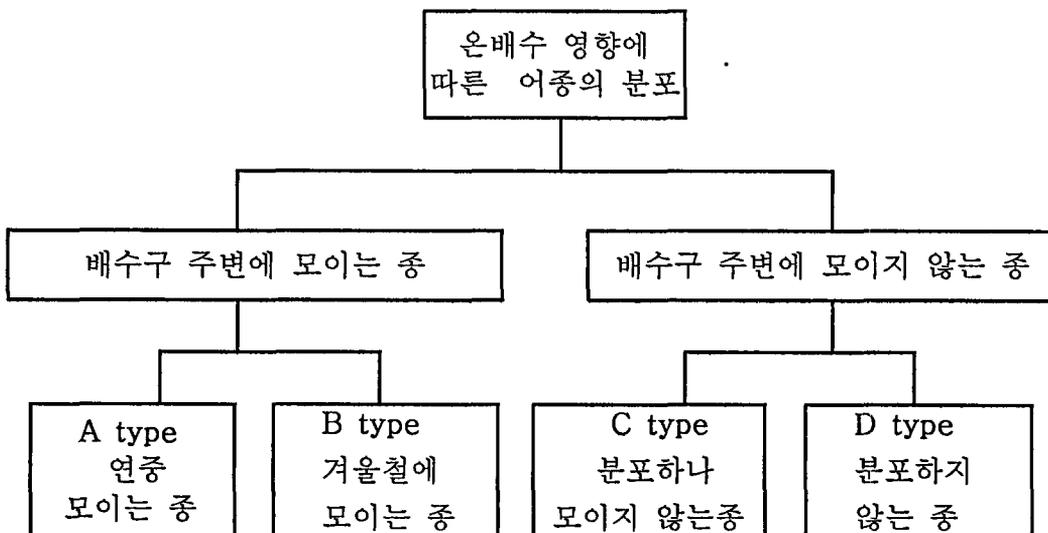


그림 3-66. 온배수 지표어종 선정 기준.

선정 대상어종은 우선 두가지로 크게 분류하여 온배수에 관한 선호도, 즉 온수성 어종인가, 냉수성 어종인가를 구분하여 결국 온배수에 반응을 나타내는 어종으로 4 종류로 구분할 수 있다.

온배수에 대한 긍정적 선택을 나타내는 어종은 연중 온배수 확산 지역에 존재하는 어종(A Type)과 겨울철만 온배수와 연관되어 존재하는 어종(B Type)으로 구분되며, 온배수 확산 구역에 존재하지 않은 어종은 주변해역에 분포하지만 온배수 확산 구역에 존재하지 않는 어종(C Type)과 온배수 확산해역 및 주변 해역에 존재하지 않는 어종(D Type)으로 구분될 수 있다.

나). 어류 지표종

넙치(*Paralichthys olivaceus*)

넙치는 가자미목(Order Pleuronectiformes) 넙치과(Family Parlichthyidae)에 속하는 종으로 우리나라 전연안에 분포하고 있다.

넙치는 비교적 냉수성이 강한 종이다. 서해안에 서식하는 개체군은 겨울철 흑산도 서방 해역에서 월동하다가 봄이 되면 북쪽 해역으로 이동하여 서해연안에 분포 서식하다가 가을에 다시 남하하는 남북회유를 하는 것으로 알려져 있지만 환경이 좋을 경우 한 곳에 계속 머물기도 한다.

넙치는 수온에 비교적 민감한 협온성 종이다. 서식적수온의 범위는 15~25℃로 10~25℃ 범위에서는 수온이 증가할수록 섭이량이 증가하나 이 범위를 벗어나면 섭이량이 급속하게 줄어들고 27℃ 이상에서는 거의 절식 상태에 들어간다.

산란수온은 13~17℃로 주산란기는 3~5월이지만 수온이 낮을 경우 6월에 산란하는 개체도 있다. 남쪽 해역이 빠르고, 북쪽은 늦다. 암컷은 체장 30cm에서 성숙하는 것도 있지만 대부분은 체장 45cm 전후에서 성숙하고, 수컷은 암컷보다 성숙체장이 10cm정도 작으며, 체장 45~60cm 이면 14만~40만개의 알을 여러번 나누어 산란한다. 난발생의 적수온은 14~15℃로 15℃ 내외에서는 65시간에 부화한다. 수온이 증가하면 부화시간이 단축되어 17℃ 내외에서는 52시간이면 부화하지만 24℃에 달하면 기형율이 80%를 상회한다(한해연 1987). 부유자어 및 미성어의 출현시기는 12~20℃ 범위로 노나 낮은 수온에서 산란하는 개체군도 있다.

넙치의 산란장으로 온배수가 유입될 경우 산란기가 일찍 시작되어 조기에 끝날 가능성이 있다. 온배수의 방출로 넙치의 섭이, 산란, 부화율 등이 받는 영향에 대하여 중점을 두고 조사해야 한다. 산소소비량은 10℃에서 13ml/kg/hr 내외이다.

조피볼락(*Sebastes schlegeli*)

조피볼락은 양볼락목(Order Scorpaeniformes) 양볼락과(Family corpaenidae)에 속하는 종으로 통상 우럭으로 많이 불린다. 난태생 어류로 비교적 냉수성이 강한 종으로 우리나라 전 연안, 중국 북부 연안, 일본 북해도 이남 등지에 분포하는 종으로 정착성이 강하여 바다목장의 자원증식용 어류 중 가장 중요한 종이다. 최근에는 우리나라 남서해안의 대표적인 양식 대상종으로 어민들에게 각광을 받고 있어서 종묘양성과 관련된 초기성장과 영양 요구 및 사료 개발 등에 관한 연구들이 많이 보고되어 있다. 그리고 자치어와 배의 발생과정, 자치어의 대사와 발생 단계에 따른 에너지 수치, 산란생태 등 비교적 여러 분야에 걸쳐 연구들이 수행되어져 왔다.

조피볼락의 서식적수온은 15~20℃이며, 섭이 범위는 10~28℃ 이지만 12~20℃를 벗어나면 섭이량이 현격하게 줄어들며 성장이 느리다. 7~30℃ 범위를 벗어나면 사망한다. 산란기는 4~6월이지만 자어부출 수온은 13~17℃ 범위로 적수온은 15~16℃ 범위로 매우 좁아 지역별 편차가 크다.

조피볼락 미성어는 성장함에 따라 깊은 곳으로 이동하며 8~12℃ 범위에서 출현한다. 성어는 수심 10~100 m의 암초지대에 분포하며 계절적 심천이동을 행하고, 봄철에는 얕은 곳, 가을에는 깊은 곳으로 이동한다. 8~12℃ 범위에서 나타나지만 9~11℃에서 출현빈도가 높다. 치어의 먹이 섭취는 수온 상승기부터 섭취량이 증가하며, 17~20℃에서 최대를 보인다.

조피볼락의 산소 소비율은 20℃를 넘으면 급격하게 증가한다. 15.2℃에서는 52.94 ml/kg/hr의 소비율이 24℃에서 488.18ml/kg/hr로 상승하여 Q12의 극단적인 호흡증가량을 기록한 경우도 있다(Kim et. al. 1995).

넙치의 경우와 같이 산란장으로 온배수가 유입될 경우 산란기가 일찍 시작되어 조기에 끝날 가능성이 있다. 온배수의 조피볼락의 섭이, 부출, 성장 및 생리활동에 대한 영향에 대하여 중점을 두고 조사해야 한다.

쥐노래미(*Hexagrammos otakii*)

쥐노래미는 양볼락목 Order Scorpaeniformes) 쥐노래미과(Family Hexagrammidae)에 속하는 종으로 우리나라 전 연안, 일본 북해도 이남, 황해, 동중국해에 분포하는 정착성이 강한 어류이다. 서식장은 바닥이 암초지대이거나 해조류가 무성한 곳, 또는 모래와 펄이 섞인 암초지대 등에 서식한다.

냉수성이 강한 어종으로 산란기는 10~1월이다. 수온이 20℃ 이상으로 올라가면 정상적인 발생이 어렵다. 산란장은 수심 2~30m(5m 전후)되는 조류 소통과 투명도

가 좋은 암초 또는 자갈지대이며, 최소 성숙 나이는 수컷은 1년생, 암컷은 2년생으로 수컷이 1년 빠르다. 포란수는 체장 34~35cm이면 17,000~18,000개이며, 알은 침성점착란으로 덩어리로 뭉쳐져 해조류 줄기나 바위 등에 부착되어져 있으며, 수컷은 부화될 때까지 옆에서 알을 보호한다.

수정란은 수온 15.5℃에서 12일째 배체에 눈이 생기며, 23일부터 부화한다. 부화까지의 소요시간은 수온 환경에 따라 달라지는데 9℃에서 40~45일, 13℃에서 30~35일, 15℃에서 25~30일, 17.5~20.2℃에서 20일 전후가 된다(강 등 2002). 하한 및 상한수온은 각각 10℃와 25.3℃이다. 부화율은 28~85%를 보이며, 조류 소통이 좋은 곳의 암반이나 작은 돌 사이에서 부화한다.

당년산 쥐노래미의 산소 소비량은 22.5℃에서 88.5ml/kg/hr에서 25.5℃로 상승함에 따라 130.0ml/kg/hr로 증가하여 실험수온의 범위에서 Q1.8 내외의 증가를 보인다.

돌돔(*Oplegnathus fasciatus*)

돌돔은 난류성 어종으로 A Type에 속한다. 대표적인 산업적 종으로 우리나라 전 연안에 분포하며 비교적 이동이 적은 정착성 어류에 속한다. 고기 맛이 좋아 부가가치가 높은 어종이라는 특성상 90년대에 들어와 양식기술이 확립되어 남해안 및 서해안 가두리와 축제식 양식장의 유망 품종으로 각광을 받고 있다.

돌돔의 어린 치어는 일반적으로 해수 표면에 떠다니는 해조 아래에 모여 어린 시절을 보내다가 크기가 3~4cm 정도 성장하면 유조로부터 떨어져 나와 수중에서 무리를 지어 생활하고, 10 cm에 달하면 해조류가 풍부한 암초지대에 정착하게 된다. 특히 제주도와 같은 연안에 많이 산재하여 있는 용암굴 등이 이들이 서식하기에 매우 적절한 장소로 판단된다. 돌돔은 특별히 새의 부리 모양의 강한 이빨을 갖고 있어 15cm 정도 성장하게 되면 새우나 게 등의 갑각류는 물론 성게, 소라, 전복 등 아주 딱딱한 껍질을 갖고 있는 패류도 패각을 부수어 내용물을 먹을 수 있는 강한 이빨을 가지고 있다. 그리고 성장함에 따라 체 표면에 갖고 있는 9줄의 검은 띠의 색깔이 바래 선명치 않게 된다.

주요 산란 시기는 연령과 지역에 따라 다소 차이는 있으나 수온이 21~24℃를 유지하는 5월 하순부터 7월 초순으로 알려져 있다. 따라서 생물검정실험은 성체보다는 부화자어 혹은 치어를 사용하는 것이 타당하다고 본다.

자리돔(*Chiromis notatus*)

자리돔은 제주도의 특산인 난류성 어종으로 A Type에 속한다. 자연적으로는 남

해안에도 분포하나 최근 울진원전의 배수로에서 연중 서식하고 있는 것으로 조사되었다.

몸은 흑갈색이며, 비늘이 크고, 가슴지느러미 기부에 검은색 반점이 있다. 물속에서는 등지느러미 끝 쪽 기부에 흰점이 있고, 옆줄은 불완전하여 등지느러미 줄기부 시작지점 아래에서 끝난다. 꼬리지느러미 기저의 상하 가장자리에 두 개의 가시를 형성하는 전유줄기가 있다.

난류의 영향을 받는 남해 및 동해안의 연안 암초지대에 무리를 이루며 여름철이 되면 돌에 부착하는 알을 낳고, 연안의 암초지대 수심 2~15 m에 주로 서식한다.

파랑돔(*Pomacentrus coelestis*)

우리나라 난류성 어종의 대표적인 파랑돔은 울진원전 배수로에서 겨울철에도 서식하는 종으로 B type에 속한다. 긴 타원형 체형의 몸이 코발트색이며, 배쪽은 노란색을 띠는 매우 아름다운 대표적인 관상어이다. 제주도에서 울릉도, 독도 연안에 이르기까지 흑조 난류의 영향이 미치는 지역에 분포하며, 주로 암초지대에 무리지어 서식하며, 산란 습성은 자리돔과 유사하고 시기는 7~9월에 알을 낳아 암초에 부착시킨다. 크기는 7~9 cm의 소형어류이다.

자연적으로는 울진해역에 분포하지 않지만 여름철 북상하는 동해난류에 편승하여 울진해역까지 올라온 개체들이 따뜻한 온배수에 이끌려 배수로에 진입한 후 가을철 수온 하강으로 다시 내려가지 못하고 머문 것으로 판단된다. 본종의 출현 여부로 온배수 영향의 강도를 검증할 수 있다.

연어(*Oncorhynchus keta*)

연어는 냉수성 어류로 온배수에 대하여는 부정적 반응 즉, 회피반응을 보이는 C type에 속한다. 우리나라에서 상업적 가치는 그다지 크지 않으나 종 다양성 보전 차원에서 중요한 종이다. 성어는 전장 1m 이상으로 비교적 대형어종에 속하며, 모친 회귀성 때문에 세계적으로 많은 연구가 진행된 어종 중 하나이다. 또한 우리나라에 분포하는 어류 중에서도 동해지역에만 출현하는 대표적인 어종인 연어는 북태평양과 북극해에 서식하는 것으로 알려져 있다. 가을철 산란기가 되면 몸에 붉은색과 검정색의 무늬가 나타나는 것이 특징이고, 수컷은 턱이 커지며 휘어져 갈고리모양으로 변하는 것이 특징이다. 대부분 가을철에 우리나라 동해안과 남해안의 모친으로 회귀하여 산란하고 죽는다. 알을 부화하여 강 어구에서 겨울을 지나고 봄철에 바다로 들어간다.

연어는 동해안에 위치하고 있거나 장차 위치할 발전소에서 배출되는 온배수가 냉수성 어종의 회유에 미치는 영향 판단을 위한 지표종이 될 수 있다.

은어(*Plecoglossus atlivelis*)

바다빙어목 바다빙어과의 은어는 연어와 같이 소하성 어류이다. 몸 빛깔은 어두운 청록색을 띤 회색으로 기름지느러미를 갖는다. 약 30 cm 정도 성장하며, 비늘은 작으며 둥글고 측선은 완전히 형성되어 있다.

은어는 일년생 어류로 강에서 태어나 바다로 내려간 새끼가 봄에 강 하구에서 내륙 하천으로 다시 올라와 성장하고, 가을이 되면 어미로 성장한 개체는 알을 낳고 죽게 된다. 9월에서 11월 하순 까지 산란된 알은 수온이 약 15℃ 전후에서 약 2주 만에 부화하고 이때는 거의 유영능력이 없으므로 물의 흐름에 따라 강 하구를 거쳐 바다로 흘러가게 된다. 이렇게 바다로 흘러들어간 자어는 주로 수심 50m 이내의 연안 해역에서 동물성 부유생물을 먹이로 겨울을 나고 이듬해 봄이 오면 해수온도와 하천의 온도가 거의 동일해 지는 시기를 기다렸다가 큰 개체부터 강물로 거슬러 올라오게 된다. 특히 강물로 올라오게 되면 그간 바다에서 먹던 동물성 부유생물들에 대한 식성이 변하기 시작하여 하천의 바닥이나 돌 등에 붙어서 자라는 규조(硅藻, Diatom)를 뜯어 먹는 식물성 섭식 식성으로 전환되는 것으로 알려져 있다.

우리나라 동해안에서 은어의 자연 서식처는 강구 오십천, 삼척 오십천, 강릉 남대천 등의 큰 하천에서부터 소하천에 이르기 까지 두루 분포하였으나 최근에는 하천 유수량의 급격한 변화나 수질 오염 등으로 서식지가 축소되고 이에 따른 생산량도 감소하는 추세이다.

은어는 90년대 들어 수질오염과 강 하구의 댐 축조 등에 의한 물길 차단으로 어획량이 급격히 감소하여 와 자연산은 10톤/년 미만이 어획되지만, 최근 양식기술의 확립으로 400톤/년 이상이 생산되고 있어 상업적으로도 중요한 어류이다.

은어는 온배수 배출이 냉수성어종의 부화자어 회유에 미치는 영향 판정을 위한 지표로 사용할 수 있다.

3. 온배수 영향평가를 위한 생물검정

해양생물에 영향을 미치는 인위적 요인의 교란 수준 즉, 유해 수온변화를 결정하는 방법으로 가장 널리 사용되고 있는 방법은 실험실 내에서 자연 상태에서 발생

가능한 환경변화를 재현하면서 대상 생물의 반응을 조사하는 실내생물검정시험을 들 수 있다. 미국 환경청은 오염물질의 연안방출 허용한계 농도를 정하는데 시험생물의 50%가 폐사하는 농도(LC50)를 결정하는 생물검정시험 결과를 이용하고 있다. 그러나 50% 폐사 수준을 수온으로 할 경우 환경보전 측면에서 많은 문제점을 내포하고 있다. 해양생물은 광온성 혹은 협온성 여부, 온수성 혹은 냉수성 여부에 따라 수온에 대한 반응이 다르며, 수산생물의 경우 사망하지 않더라도 가치저하로 인한 손실을 입을 수 있다. 또한, 수온변화에 대한 생물반응은 반응 자체의 복잡성과 여타 요인과의 상호 작용 뿐만 아니라 생물종의 다양성과 개체 차이와 생활사에 따른 적응 때문에 일정하지 않다. 따라서 적절한 실험조건 하에서 관리된 표준생물검정시험으로 자연생태계에 대한 영향을 추정하고 평가해야 한다. 생물검정시험 결과는 신뢰도가 높고 재현성이 있어야 하기 때문에 실험방법의 표준화가 필요하다. 특히, 발전소 온배수 노출에 따른 영향을 평가할 경우 더욱 중요하다.

온배수 노출에 따른 생물의 피해상황을 감안하면서 시기별(계절), 지역별(어장) 특성을 고려하여 생물검정시험을 시행하고, 실험결과는 다른 분야에서 얻어진 해양환경자료와 연관시켜 해석함으로써 원만하고 합당한 자료를 얻어내어 활용하는 것이 필수적이다.

생물검정은 인위적 환경변화에 대한 자연생태계에 서식하는 생물의 반응을 실험조건에서 재생하고, 그 결과를 생물통계학적 방법으로 수치화하는 것이다. 인위적 온도변화(온배수 배출)에 대한 해양생물의 반응을 실험조건에서 재현하여 해양생물 및 수산생물에 영향을 미치는 수온변화의 정도를 결정할 수 있다. 일반적인 오염물질의 경우 통상적으로 24시간 이내에 시험생물의 50%가 사망하는 오염정도를 배출허용치로 하고 있다. 그러나 수온변화에 대한 해양생물의 반응은 생활단계별, 종류별 차이가 있으며 사망하기 이전에 생산량 변화 즉, 수산업적 가치 변화를 초래하기 때문에 단순한 사망률만으로 온배수 배출 수온 허용치를 결정할 수는 없다. 따라서, 수온변화에 대한 해양생물반응은 적절한 실험조건 하에서 관리된 표준생물검정시험으로 자연생태계에 대한 영향을 추정할 수 있도록 평가할 수밖에 없으며, 생물검정시험 결과는 재현성이 있어야 신뢰할 수 있으므로 실험방법의 표준화가 필요하다. 특히, 발전소 온배수와 관련한 해양생물검정 결과는 수산업에 미치는 영향 정도 추정자료로 사용될 것이기 때문에 생물검정 과정에 대한 철저한 관리가 필요하다.

온배수가 해양생물에 미치는 영향을 수치적으로 평가하기 위한 생물검정방법으로는 치사수온 측정과 및 생리활성 변화 측정방법이 적합하며, 다음에 논의된 내용은

정확한 온배수 규제치 설정하기 위한 생물검정의 표준(안)이다.

가. 생물검정 실험개요

1). 치사수온

가). 치사수온의 평가

치사수온은 수온이 높아지거나 혹은 낮아지거나 하여 해양생물이 사망하게 되는 수온(Block 1974, Wolters and Coutant 1976)이다. 치사수온은 많은 주변 환경요인들이 서로 상호작용 하여 생물에게 미치는 영향으로 변화한다. 어떤 생물의 치사수도에 영향을 미치는 내·외적인 요인은 수온 상승속도, 수온에 노출되는 기간, 순치과정, 생물의 생활사, 생물의 생리적 상태, 적응전략 등이 영향을 끼친다.

반수치사 수온(Jobling 1981)은 초기상한치사온도(UILT)와 하한치사온도(LILT) 모두 시험 개체군의 50%가 무기한 생존하는 온도를 가리킨다(그림 3-67). 즉, 50%는 사망하여도 무관하다는 역설적 결론에 봉착한다.

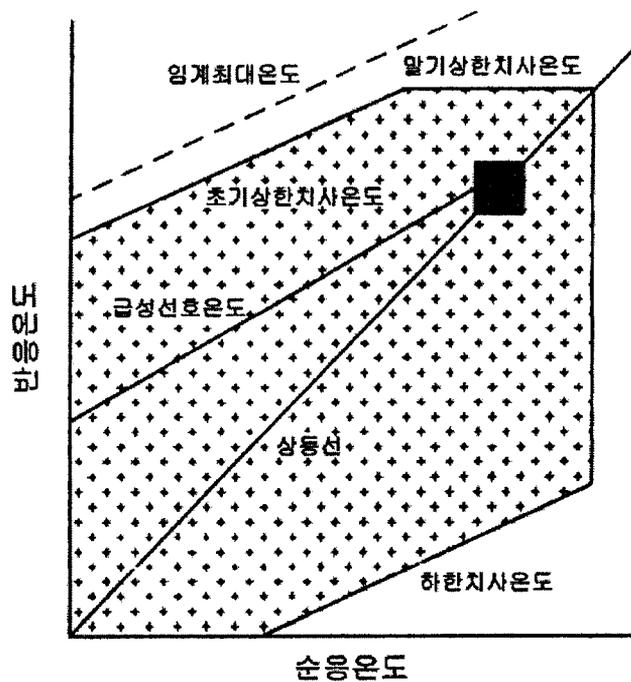


그림 3-67. 어류의 순치 온도와 온도반응(Jobling 1981)

환경수온이 임계최대수온(critical thermal maximum, CTM)을 넘어서면 생물이 빠른 속도로 사망하게 된다. 생물의 생존에 절대적인 피해영향을 미치는 초기상한치사온도(UILT) 범위는 해당 생물의 수온 이력과 수온 상승속도에 영향을 받는다. 같은 종이라도 제주해역에 서식하는 개체와 강원도 해안에 서식하는 개체는 서로 다른 반응을 나타낸다. 또한 실제 온배수 배출에 의한 수온상승보다 실험수온의 상승속도가 빠르면 생물의 반응이 다르게 나타날 수 있다. 즉, 실험치는 과대평가 되었거나 또는 과소평가 된다. 따라서 온배수 영향에 따른 생물검정은 대상 종에 따른 초기상한치사온도(UILT)와 임계최대수온(CTM)의 관계, 그리고 최종선택 온도(그림에서 어둡고 네모난 부분)를 명확히 밝혀 실제 수온에 대한 피해영향을 파악할 수 있도록 해야 한다.

대부분의 해양생물들은 서식적은 범위에서는 수온증가에 따라 생리활성이 비례적으로 증가한다. 그러나 적정 서식수온을 벗어나면 생리활성이 급격하게 증가(높아지는 수온) 혹은 감소(낮아지는 수온)하게 되며, 더 나아가 생리활성의 평형이 깨어져 사망한다. 이때, 어느 수온부터 생리활성이 급격하게 증가 혹은 감소했는지, 이상행동은 어느 수온에서 발생하는지를 파악해야 한다. 이러한 신호를 감지하기 위해서는 짧은 시간 간격(분 단위)으로 장기간 관찰하여야 한다.

통상적으로 오염물질의 영향을 평가하기 위한 수단으로 반수치사농도(LC50) 즉, 실험생물의 50%가 사망하는 농도(역으로 실험생물의 50%가 무기한 생존할 수 있는 농도)를 많이 사용하고 있다.

치사수온은 문자 그대로 실험생물이 사망에 이르는 높은 온도 또는 낮은 온도로(Block 1974, Wolters and Coutant 1976) 간단하게 정의할 수 있지만 생물의 치사수온에 영향을 미치는 요인은 수온 상승속도, 수온에 노출되는 기간, 순치과정, 생물의 생활사, 생물의 생리적 상태, 적응전략 등 매우 다양하다. 높은 수온과 낮은 수온 모두 해양생물에 영향을 미치기 때문에 상한치사수온(upper incipient lethal temperature)과 하한치사수온(lower incipient lethal temperature) 두 가지의 관점에서 치사수온을 평가한다(Jobling 1981). 그러나 온배수의 영향은 수온 상승에 의한 영향을 뜻하기 때문에 상한치사수온만 관심의 대상이 된다.

어류를 포함한 운동성 있는 해양동물은 환경수온이 변할 경우 타지역으로 회피하므로 자연상태에서 수온변화로 피해를 입는 경우는 거의 발견되지 않지만 운동성이 현저하게 적은 종들이나 고착성 종들은 수온변화 그대로 노출되어 영향을 받기 때문에 상한치사수온은 온배수 영향을 평가하는 하나의 지표가 될 수 있다. 그러나 생존한 실험생물도 시간이 지남에 따라 누적되는 스트레스 또는 만성적 영향으로

사망하는 경우도 종종 있기 때문에 단독적으로 온배수 영향을 평가하는데 다소 무리가 있다. 상한치사온도는 같은 실험조건에서도 수온 상승속도에 따라 다르게 나타난다. 실제로 피해가 발생하는 상황과 비교하여 수온 상승속도가 빠르게 되면 상한치사수온은 상대적으로 낮은 수온에서 형성되며, 역으로 수온 상승속도가 느리면 보다 높은 수온에서 상한치사수온이 결정된다.

반수치사수온은 실험생물의 50%가 사망하는 수온(또는 50%가 무기한 생존하는 수온)은 해당 수온이 실험생물의 서식 적수온의 범위를 넘어섰다는 것을 의미한다. 따라서 반수치사수온은 온배수 영향이 확실하게 나타나는 수온을 의미한다고 보아야 하며 이를 온배수 배출허용 수온으로 인식해서는 안 된다. 따라서 주어진 해역에 대한 온배수 영향을 정확하게 수치화하기 위해서는 실험생물 중 어느 개체가 최초로 사망하는 수온부터 반수치사수온에 이르기까지 단계적인 치사수온 실험이 필요하다. 추천되는 방법은 실험시작 24시간 이내에 최초의 개체가 사망하는 수온, 10% 치사수온, 25% 치사수온 및 반수치사수온의 4단계로 검정하는 것이 바람직하다. 실험생물의 어는 생활사의 한 단계를 대상으로 할 경우 부화율(수정란) 또는 다음 단계로의 변태 성공률을 기준으로 검정하거나 식물의 경우 광합성 저해율을 기준으로 검정할 수 있다.

실험생물은 주어진 해역에서 선택 가능한 지표종을 대상으로 하며 실험생물의 수는 통계학적 의미를 부여할 수 있는 최소한의 기준이상이어야 하며, 검증 결과의 신뢰성을 높이기 위하여 생활사별, 계절별 3회 반복 실험하는 것을 제안한다. 치사수온 측정방법은 이미 보편화 되어 있기 때문에 본 보고서에서는 구체적인 실험방법을 생략하기로 한다.

나). 생리활성

일반적으로 수온이 해양생물의 생리활성은 수온이 최적수온까지 상승함에 따라 생리활성은 계속 증가하며, 최적수온을 넘으면 치사온도에 이르기까지 급격하게 감소한다. 산소소비율은 수온변화에 대한 생물의 생리작용 상태를 잘 표현하기 때문에 생리활성 측정에 많이 사용된다. 산소소비율은 3가지 대사율로 구분하여 측정한다(그림 3-68). 생물활동이 거의 정지상태에서 호흡하는 표준소비율(standard rate), 정상적인 활동 중의 정상소비율(routine rate), 비정상 상태인 외적 활동에 기인하는 활발한 행동에서의 최대소비율(active rate)로 구분한다(Fry 1967).

생물의 생리활성을 측정하기 위해서 생물을 사육수조에서 측정용기로 이동시키면

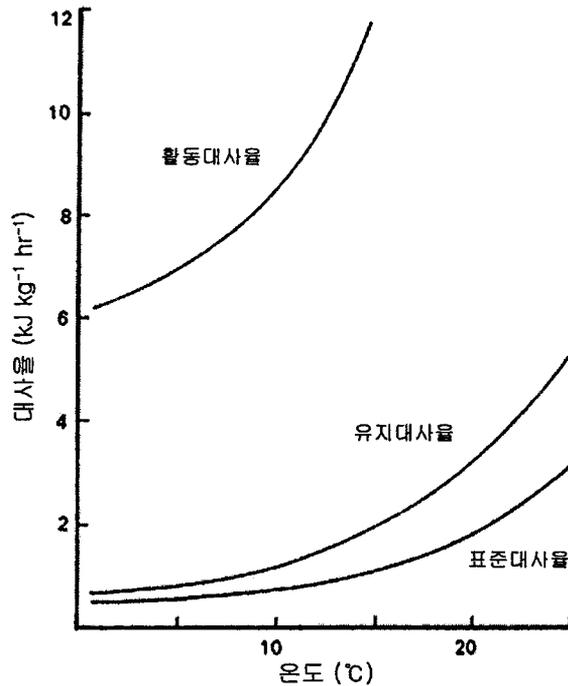


그림 3-68. 어류의 3가지 호흡 형태.

종에 따라 다르지만 5~12시간(Oertzen 1984) 또는 며칠(Parry 1966)의 적응시간이 필요하다. Wrona and Davies (1984)가 지적한 바와 같이 적응시간 동안에 측정되는 생리활성 자료는 비정상 상태, 즉 손으로 이동시키는 것과 같이 외적활동에 기인한 상황(active rate)을 나타낸다(Reubush and Heath 1996, Waring *et al.* 1996). 따라서 이동 후 24시간 이내에 측정된 생리활성은 정상적인 활성이라고 볼 수 없으며(Jobling 1981, Follum and Gray 1987), 짧은 기간 동안 폐쇄식으로 정상적인 생리활성 상태를 측정하기는 거의 불가능하다(Lampert 1984, Wrona and Davis 1984, Steffensen 1989, Davies *et al.* 1991). 이에 대한 오차를 최대한 줄이는 방법으로 반순환식(intermittent flow system) 이나 순환식(open flow system)을 이용한 자동화된 측정시스템 사용이다(Aagaard *et al.* 1991, Davies *et al.* 1991, Dorrien 1993). 생리활성의 정확한 자료를 얻기 위해서는 최소한 2일 이상 안정된 상태를 유지한 후 측정하여 온배수 노출 전·후의 자료를 비교 하는 것이 필요하다.

변온동물인 해양생물은 서식 적수온의 범위 내에서는 수온증가와 생리활성이 비례적으로 증가하며, 적수온 범위를 벗어나면 생리활성은 급격하게 증가하여 이상

행동을 보인 후 치사온도에 이르기까지 급격하게 감소하는 경향을 보인다. 여기서 주목해야 할 것은 어느 시점에서 생리활성이 급격하게 증가했으며, 이상행동이 발생하는지 정확히 파악하는 것이 중요하다.

산소소비율은 외부 환경변화에 대한 생물 체내의 생리작용 상태를 표출하고 있어 생리활성 측정의 지표가 된다. Fry (1967)는 생물의 산소소비율을 정지 상태의 표준 소비율(standard rate), 정상적 활동상태의 정상소비율(routine rate) 및 외적 스트레스에 기인한 행동에 따른 활동소비율(active rate)로 구분하였다. 온도가 상승함에 따라 호흡률(산소소비율)은 최적수온까지 증가하며, 최적수온을 넘게 되면 산소소비율은 급격하게 증가한 후 사망에 이르기까지 감소한다.

조피볼락의 생물검정 결과(Kim et al. 2003)를 보면 30.9℃ 부근에서 호흡을 이상이 나타나며, 이후 치사수온인 32.4℃에 이르기까지 급격하게 호흡량이 증가함을 알 수 있다(그림 3-69). 이는 생물의 생리활성이 외부환경변화로 인하여 정상으로 이루어

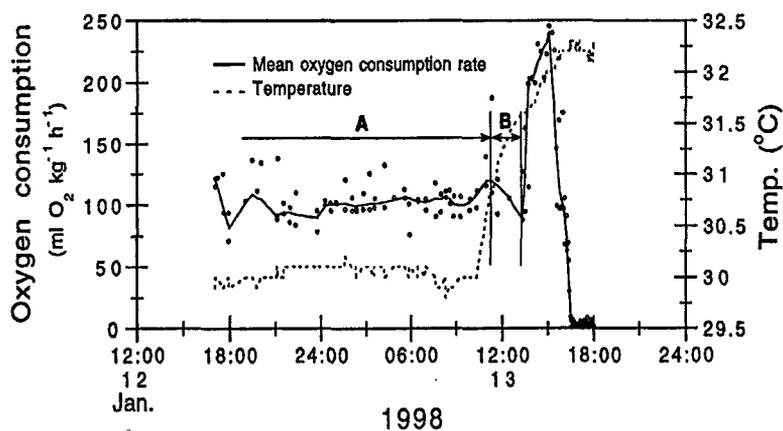


그림 3-69. 수온증가에 따른 조피볼락의 호흡률 변화(Kim et. al. 2003).

어지지 않고 있음을 나타낸다. 이러한 신호를 감지하기 위해서는 짧은 시간 간격(분 단위)으로 장기간 관찰하여야 한다.

생물이 생리활성 측정을 위한 사전 조작에 따른 스트레스를 극복하는데 소요되는 시간은 종에 따라 다르지만 5~12시간(Oertzen 1984) 또는 수 일이 소요되기도 한다(Parry 1966). 생물이 실험조건에 적응하여 정상소비율(routine rate)을 나타내기

이전에 생리활성을 측정할 경우 Wrona and Davies (1984)가 지적인 바와 같이 활동호흡률(active rate)을 나타낸다(Reubush and Heath 1996, Waring *et al.* 1996). 종종 실험생물 취급에 따른 스트레스에 기인한 활동호흡률을 온도에 의한 영향으로 잘 못 해석하는 경우가 있기 때문에 실험 개시 24시간 이내에 나타나는 호흡률은 분석에서 제외해야 한다(Jobling 1981, Follum and Gray 1987). 따라서 지금까지 온배수 관련 연구에서 사용한 폐쇄식(closed cystem) 시스템을 이용한 24시간 이내의 짧은 검정실험 결과로 정상적인 생리활성 상태를 나타내는 것이 아니므로(Lampert 1984, Wrona and Davis 1984, Steffensen 1989; Davies *et al.* 1991) 더 이상 사용해서는 안 될 것이다. 온배수에 연관한 생물검정은 검정실험 동안에 발생하는 노폐물에 의한 영향을 최대한 줄일 수 있는 반순환식(intermittent flow system) 또는 순환식(open flow system) 자동측정시스템(Aagaard *et al.*, 1991, Davies *et al.* 1991, Dorrien 1993)을 사용하기를 권장한다.

생존하는 모든 생물은 내인성 생체리듬(endogenous rhythm)에 의해서 체내의 생리활성이 이루어진다(Bohn 1903, Gamble and Keeble 1903, Palmer 1995). 모든 해양생물에서도 내인성 생체리듬이 관찰되며(Kim *et al.* 1996a, 1996b, 1997, 1998, 1999, 2001, 2002a, 2002b, 2003a, 2003b, 2004, 2005a, 2005b, Lee and Kim 2001, Yoon *et al.* 2003), 이러한 생체리듬은 주로 24시간 일주기(circadian rhythm)와 12.4시간의 조석주기(circatidal rhythm), 그리고 24.8 시간 달주기(lunar rhythm)에 따라 변한다(그림 3-70).

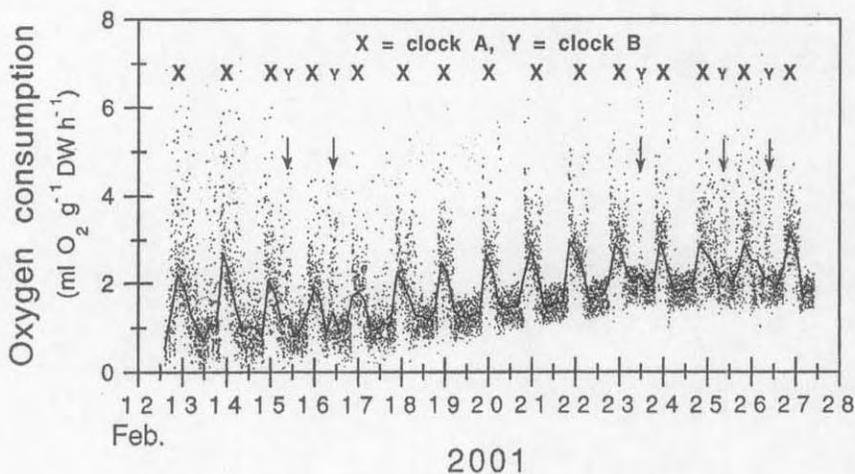


그림 3-70. 개조개의 내인성 생체리듬(Kim *et al.* 2003)

하루 24시간의 일주기 리듬은 하루에 1회 생리활성이 높게 나타나는 것을 의미하는데 일출 전에 높거나, 해질 무렵인 저녁 또는 낮과 밤에 다르게 나타난다. 내인성 생체리듬은 장기간 관찰하면 14일 주기로 생리활성의 차이를 보이기도 한다. 특히 생물의 내인성 생체리듬은 외부 환경이 변하게 되면 민감하게 반응한다. 이러한 반응은 비록 생물이 외부 환경요인에 의해 사망에 이르지 않았더라도 생물체내에 커다란 장애가 있다는 것을 외부에 신호로 내보낸다. 생리활성을 통하여 외부로 보내진 신호는 약해지거나 강해지기도 하고 생존에 위협하게 되면 정지되기도 한다. 여러 형태의 신호는 생리활성을 장기간 측정하면 가능하게 되는데 이러한 과정에 생체리듬 관찰과 분석이 필요하다. 생체리듬을 관찰하는 과정에 많은 어려움이 따르지만 미세한 온도 변화에 따른 생물의 생리작용 스트레스를 추정하는데 효과적이다.

2). 생물검정 실험준비

가). 실험준비

우리나라 각 연안에 서식하는 해양생물 중 지표종으로 사용할 수 있는 생물들은 전항에서 기술하였다. 그러나 검증하고자 하는 해양생물이 서식하는 장소에 생물군집의 구조가 다르며, 또한 그 장소에 서식하는 해양생물이 가지고 있는 생체리듬이 있다. 지역별 특성에 따라 검증하고자 하는 생물 및 생활단계를 결정하고 검증 대상생물의 생태, 생리적 기능과 생활사 등 서식생태에 관한 전반적인 자료를 충분히 검토한 후 검증실험을 설계하여야 한다.

지표종은 전항에 기술된 내용을 토대로 장차 결정될 온배수 확산구역 내에 서식하는 해양생물 중에서 생물군집을 대표할 수 있는 종, 양식 대상종, 관행어업 대상종을 우선 대상으로 한다. 이러한 조건을 두루 갖춘 종들 중 실험실 사육이 용이하고, 양이 풍부하며, 연중채집이 가능하고, 온도에 민감하게 반응하는 생물은 좋은 지표생물이 된다.

생물검정용 지표종을 채집하여 실험실에 옮기 때까지의 과정은 다음과 같다.

- 채집시기, 장소, 채집방법, 서식형태(기록 가능할 경우), 환경현황(수온, 염분, 용존산소)을 기록한다.
- 채집 대상 생물에 물리적 손상이 가지 않도록 적절한 방법으로 서식장소로부터 분리하여 살림통에 넣는다. 이 때 대상 생물이 공기 중에 노출되지 않

도록 주의하여야 하며, 적절한 밀도를 유지하여 가능한 한의 스트레스를 방지해야 한다.

- 실험실까지 운반하여 실험 시작 전까지 살림통 내의 수온은 채집지역의 수온을 유지해야 하며, 용존산소량은 포화도에 가깝게 유지되어야 한다.

생물검정을 위한 실험 생물은 실험 전 최소 2주일 정도 실험실에서 생리활성을 안정시킨 후 실험을 수행하여야 한다. 우선적으로 실험 생물의 정확한 생리적 상태를 확인한다. 특히, 호흡대사 생리변화가 실험조건 이외의 요인에 의해서 변화하지는 않는가를 파악한 후 검증하고자 하는 수온에 맞추어 서서히 노출시켜 가면서 대조구와 비교 관찰하여 이상 징후가 없을 경우 검증실험에 임한다. 검증실험 준비 및 실험상 주의할 점은 다음과 같다.

- 실험생물은 실험실 도달 후 최소한 5일간 실험실 환경에 안정시켜 생리변화가 실험조건 이외의 요인에 의해서 변화하지는 않는가를 파악한다.
- 실험생물이 실험실 조건에 안정되었다고 판단되면 0.5℃/일 이하의 속도로 검증하고자 하는 수온까지 수온을 조절하여 준다.
- 실험수온에 도달 한 후, 실험기간은 2/3 조석주기 이상으로 하여 조석주기에 연동하는 생체리듬 변화와 수온변화에 따른 생리변화를 구별할 수 있어야 한다.
- 실험실 조건에 순치된 실험생물도 측정용기로 운반하는 과정에서 스트레스를 받을 수 있기 때문에 초기 실험자료는 실제 수치보다 높은 반응수치를 보인다. 이와 같은 실험 오차를 줄이기 위하여 온배수 원수에 노출 전 정상해수에서 일정 상태에서 5일간 연속으로 생리활성을 관찰한다.
- 일반적으로 해수 중에 존재하는 미세한 생물은 실험결과에 영향을 줄 수 있다. 따라서 실험용 해수는 0.2 μ m 여과지로 여과하여 사용한다.

온배수에 의한 영향을 파악하기 위해서는 가능한 외부 환경조건을 배제한다. 눈을 지닌 어류의 경우에 있어서 빛에 의한 영향을 제거하기 위하여 어두운 상태에서 실험하는 것이 미세한 온도에 의한 반응을 파악하는데 유리하다. 장시간 측정 중 발생하는 용기내의 이물질과 CO₂ 축적에 의한 영향을 최소화 하여야 한다. 따라서 가능한 순환식 또는 반순환식 시스템을 사용하여 이러한 문제점을 해결한다. 실험용수는 미생물들에 의해서 물속의 산소가 많이 소비될 수 있기 때문에 미세한 여과지(0.2 μ m)를 사용하여 이러한 미생물들을 제거하여야 하며, 피해예상 지역의 용존산소(DO) 농도와 동일하게 실험기간 동안 유지시켜 주어야 한다. 발전소 온배수 노출에 따른 온도변화에 대한 생물의 생리영향을 파악하기 위해서는 0.1℃ 이내의 미세

한 온도를 조절할 수 있는 항온기(incubator)안에서 실험을 수행하여야 한다. 또한 자연 상태에서 발생하는 일주기 수온변화를 실험에 반영하여 가능한 실험 오차를 줄인다. 측정용기의 용존산소는 대기압에 의해 농도 차이가 발생하므로 측정기간에 발생하는 기압차를 반드시 보정한다. 따라서 생리활성 측정 중 발생하는 오차를 줄이는 방법으로 자동화된 측정시스템을 사용한다. 실험은 최소한 3회 이상 반복하며, 실험결과는 반드시 재연성이 있어야 한다.

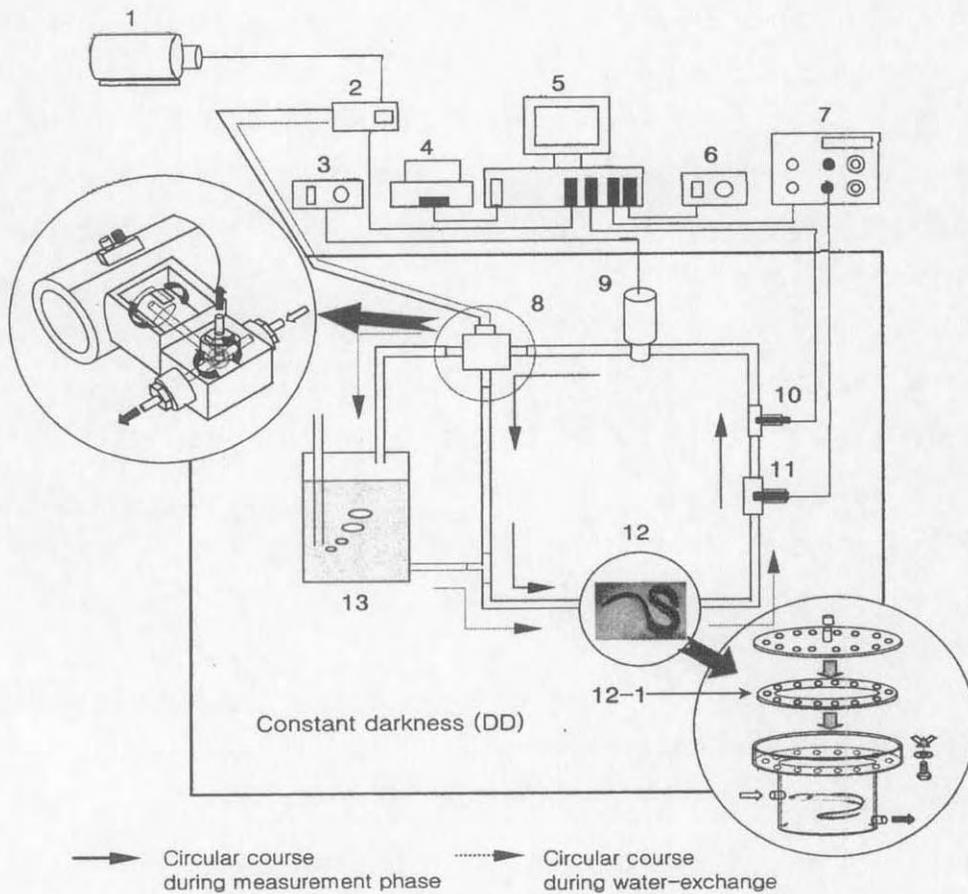
지금까지 단기간에 수행된 자료는 생리활성 추정에서 어느 정도 과대평가 되었다고 볼 수 있다. 또한 중요한 것은 시간상으로 24시간의 일주기와 12.4 시간의 조석 주기가 서로 중복되면서 자료의 해석에 오류를 범할 수 있다. 최근 보고된 자료들을 종합하면 이러한 중복을 피하기 위하여 24시간의 일주기리듬과 12.4시간의 조석 주기 리듬을 피한다. 예를 들면 12시간과 24시간의 약수(2, 4, 6, 8, 12, 24 시간)들을 제외한 시간(예: 7시간 주기)으로 인위적으로 조절하면서 시간변화에 따라 생리활성이 어떻게 반응하는지를 관찰하면 온도에 대한 스트레스를 파악할 수 있다. 이때 중요한 것은 수온 상승률이다. 이러한 수온 상승률과 변화폭은 자연 상태에서 일어나는 현상을 생물검정시험에 적극 반영하여야 한다. 생물의 생리활성 주기는 시계열주기분석 프로그램(Maximum Entropy Spectral Analysis: MESA)을 활용하여 분석한다.

나). 생물검정실험 표준

온배수 노출에 의한 생물의 영향은 외부적 교란 요인이 차단된 순환식 측정장치에서 장기간에 걸쳐 얻어진 자료를 통하여 판정해야 한다. 본 보고서에서 추천하는 온배수 생물검정 장치(자동호흡측정기)는 그림 3-71과 같다.

온배수에 의한 해양생물의 영향 범위를 검증하기 위해서는 실험기간 동안 실험 수온의 변동 폭을 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 이내로 줄여한다. 따라서 수온을 인위로 조절할 수 있는 BOD 인큐베이터 사용은 필수라고 볼 수 있으며, BOD 인큐베이터 내부에 설치한 측정용기의 온도차를 최대한 줄이기 위해서는 중탕법을 이용한다. 또한 저장용기(reservoir tank)의 용존산소를 유지시켜 주는 산소공급은 BOD 인큐베이터 내부 공기를 이용하여 측정시스템의 수온변화 요인을 제거한다. 그 외 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 측정기내의 용존산소 농도는 수온, 염분, 대기압에 의해서 결정되어지기 때문에 이 부분에서 발생하는 오차요인을 제거하여야 한다. 특히, 여름철 대기압



- 1 콤프레셔, 2 공기조절기, 3 펌프조절기, 4 프린터, 5 컴퓨터,
 6 기압센서, 7 피코암페어메타, 8 액추에이터 밸브, 9 펌프,
 10 온도센서, 11, 산소센서, 12 측정용기, 13, 저장용기

그림 3-71. 자동호흡측정기의 모식도.

차이가 심할 경우 용존산소 농도에서 최대 5%의 오차가 발생할 수 있다. 대기압과 수온의 변화를 자동으로 보정해서 오차를 제거하며, 수온을 일정하게 유지할 수 있는 BOD 인큐베이터를 사용해야 한다.

- 실험전 대조구에서 수온과 빛을 일정하게 유지)하면서 실험생물의 생리활성 내인성 생체리듬을 관찰하여 실험계획을 세운다.
- 온배수 노출 피해예상범위 지역에서 일어나는 주기적인 수온변화를 생물검정시험에 적극 반영한다. 배출된 온배수는 바다로 흘러들어 혼합되지만 조

석주기에 따라 온배수의 확산방향이 다르게 나타나기 때문에 같은 지역이라 주기적으로 수온차가 발생한다. 조석주기에 따른 수온차가 생물의 생리활성에 미치는 영향을 고려하여 실험계획을 세운다.

- 측정용기 선택은 실험종의 크기에 의해 결정된다. 넙치와 같이 측편형 어류는 같은 부피라도 높이는 낮고 폭은 넓게 하여 실험하는 동안 실험생물의 행동 스트레스를 줄인다. 측정센서의 감지능력도 중요하므로 측정용기내의 실험생물 행동을 고려하여 측정용기 크기와 실험생물 부피 비율은 10 : 1 정도, 무게가 1 kg 초과하는 실험생물은 20 : 1 정도로 한다.
- 온배수 이외의 영향을 배제하기 위하여 시수는 온배수 배수구에서 물을 채수하여 여과한 후 수온을 조절하여 사용하고, 온배수확산구역의 범위를 감안하여 실험온도를 결정한다.
- 측정시스템내의 유속은 미세펌프를 사용하여 실험생물의 크기, 서식지 유속, 및 측정용기의 크기에 따라 소형생물 350ml/min, 중형생물 700ml/min 및 대형생물 1,400ml/min로 조절한다.
- 생존하는 생물들은 일정한 생리활성 리듬을 가지고 있다. 해양생물들은 채집 지역에 따라 일주거나 조석주기 영향을 받기도 하지만 장기간 관찰하면 음력 그믐이나 보름에 활발한 생리활성을 보이는 경우가 많다. 따라서 실험시기 선택은 중요하며, 최소한 2/3 조석주기 이상 연속적으로 생리활성을 측정해야 한다.
- 생리활성 실험개시 전 3~12 시간 동안 물을 순환시키면서 측정센서가 안정 상태를 유지하고 있는지 항시 점검한다. 만일 생물이 없는 상태에서 수치가 불완전하면 센서를 수리하고 다시 물을 순환시키면서 센서를 점검한다.
- 측정시스템내의 수온상승은 온배수 피해예상범위 지역의 수온변화에 맞추어 조정한다. 시험생물에게 급작스런 수온변화를 피하고 실험구간 온도에 순차된 실험생물을 대상으로 종에 따라 1℃/24시간 간격으로 수온을 증가시키면서 장기간 측정한다.
- 생리활성 1회 측정간격은 종에 따라 다소 차이가 있지만 1.5~5 분 정도를 권장한다. 이러한 시간 단위는 생체리듬 주기분석을 위한 시계열 분석을 하는데 유리하며, 일정한 간격으로 생리활성을 연속으로 장기간 측정하는 것이 좋다.
- 실험기간동안 일어나는 생리활성 변화를 내인성 생체리듬 분석으로 판단하는데, 제일 중요한 점은 일정한 비율로 수온이 증가할 때 내인성 리듬이 정지

되는 생리활성 변곡점을 찾는 것이 가장 중요하다. 변곡점 이전의 수온에서는 정상적인 생리활성을 유지하고 있다고 판단 할 수 있다.

- 수온이 계속 상승하게 되면 생리활성의 커브는 어느 순간에 급격하게 감소하게 된다. 이러한 수온범위는 생물이 폐사하는 것을 의미하고 100% 사망에 이르게 된다.
- 해양생물에 영향을 미치는 온배수의 최소수온은 변곡점 수온과 생리활성이 급격하게 감소하는 수온 사이에 존재한다. 이 범위 내에서 증가에 따른 생리활성 변화율을 회귀직선으로 표시하여 온배수 배출 규제수온을 설정할 수 있다.
- 같은 지역에 서식하는 생물들이라도 종류별 차이가 있으며 같은 종이라도 생활단계 및 건강도에 따라 각기 다른 실험결과를 얻을 수 있다. 따라서 가능한 실험대상종수와 종몰 실험개체수를 늘려야 한다.

나. 생물검정 방법

온배수가 해양생태계로 배출되어 발생하는 수온상승에 기인한 해양생물의 반응을 정확하게 측정하여 온배수 영향을 판단하기 위한 생물검정 실험은 다음과 같은 방법과 수순을 따를 것을 제안한다.

1). 실험수온의 오차

온배수 노출에 의한 피해영향(율)을 생리활성으로 정확히 파악하기 위해서 실험수온의 오차 범위를 0.1℃ 이내로 줄이도록 한다. 수온을 인위로 조절할 수 있는 BOD 인큐베이터 사용은 필수라고 볼 수 있으며, BOD 인큐베이터 내부에서 측정용기의 온도차를 최대한 줄이기 위하여 중탕방법을 이용한다. 또한 저장용기(reservoir tank)의 용존산소를 유지시켜 주는 산소공급은 BOD 인큐베이터 내부 공기를 이용하여 측정시스템의 수온변화 요인을 제거한다.

2). 자연환경의 수온주기

실험 대상해역의 온배수 확산범위에서 일어나는 주기적인 수온변화를 생물검정시험에 적극 반영한다. 연안에 위치한 발전소에서 배출된 온배수는 바다로 흘러들어

혼합된다. 이때 12.4시간 주기로 반복되는 조석주기에 따라 같은 지역이라도 미세한 수온차가 발생하게 된다. 즉, 반복되어 노출되는 수온차가 생물의 생리활성에 어떠한 영향을 끼치는지 실험설계를 하여야 한다.

3). 실험수온 조정

측정시스템내의 수온상승은 온배수 피해예상범위 지역의 수온변화를 적극 고려한다. 온배수 노출에 대한 전체 생물의 피해영향(율)을 비교적 짧은 시간동안(1~2년)에 정확히 파악하여야 하기 때문에 피해예상범위 지역의 자연환경을 실험실 환경에 100% 반영하여 실험하기는 거의 불가능하다. 따라서 시험생물에게 급작스런 수온변화를 피하고 정확한 자료를 얻기 위해서는 실험구간 온도에 순치된 실험생물을 대상으로 종에 따라 1~2°C/24시간 간격으로 수온을 증가시키면서 생리활성을 연속으로 장기간 측정한다. 또한, 정상적인 생리활성을 측정하기 위해서는 최소 2 주 이상 실험온도에 순치 시킨 후 실험생물로 사용한다.

4). 조석에 따른 활성변화

종에 따라 실험기간 설정도 매우 중요하게 작용한다. 지금까지 잘 알려진 바와 같이 거의 모든 생존하는 생물들은 일정한 주기에 따라 생리활성을 하고 있다. 예로서, 실뱀장어의 생리활성은 24시간 일주기(circadian)와 12.4시간 조석주기(circatidal rhythm), 그리고 14일의 달 주기(lunar rhythm) 영향을 받는다. 즉, 실뱀장어는 채집지역에 따라 일주거나 조석주기영향도 받지만 더 넓게 보면 음력으로 그믐이나 보름기간 동안의 생리활성이 다른 기간 보다 활발하므로 실험기간 설정이 매우 중요하며, 온배수 피해영향(율) 분석에도 상당한 주의를 요한다. 조간대 서식하는 대부분의 생물은 조석주기 즉, 달 주기에 많은 영향을 받는다.

5). 외부영향 배제

생리활성 측정용 실험수는 0.2 μm 여과지를 사용하여 여과한 후 사용한다. 용수에는 많은 종류들의 미생물들이 있어 실험하는 동안 이들에 의해서 용존산소가 소모될 수 있다. 따라서 미생물의 생리활성에 의한 오차를 줄이기 위하여 실험 전에 제거하는 것이 정확한 생리활성 자료를 위하여 꼭 필요하다. 가능하다면 실험동물

을 넣지 않은 대조구를 두어 실험결과를 보정하는 것이 바람직하다.

측정기내의 용존산소 농도는 수온, 염분, 대기압에 의해서 결정되어지기 때문에 이 부분에서 발생하는 오차요인을 제거하여야 한다. 특히, 여름철 대기압 차이가 심할 경우 용존산소 농도에서 최대 5%의 오차가 발생할 수 있다. 하루 중에도 낮과 밤의 기온차가 심하면 용존산소 농도에 미세한 오차가 발생하여 일부 생물은 생리활성에 영향을 줄 수 있다. 대기압과 수온의 변화를 자동으로 보정해서 오차를 제거하며, 수온을 일정하게 유지할 수 있는 BOD 인큐베이터 내에서 측정하여야 정확한 생리활성 자료를 신뢰할 수 있다.

대조구에서 실험생물의 생리활성 내인성 생체리듬을 관찰하기 위해서는 수온과 빛을 일정하게 유지한 상태에서 장기간 관찰하여야 가능하다.

6). 측정기기의 점검

생리활성 실험개시 전 3~12시간 동안 물을 연속적으로 순환시키면서 측정센서가 안정 상태를 유지하고 있는지 항상 점검한다. 만일 생물이 없는 상태에서 수치가 "0"을 나타내지 않으면 보정해 주고, 센서가 표시하는 수치가 불완전하면 센서를 수리하고 다시 물을 순환시키면서 센서를 다시 보정해 준다.

측정용기 선택은 실험종의 크기에 의해 결정된다. 넓치와 같이 측편형 어류는 같은 부피라도 높이는 낮고 폭은 넓게 하여 실험하는 동안 실험생물의 행동 스트레스를 줄인다. 측정센서의 감지능력도 중요하므로 측정용기내의 실험생물 행동을 고려하여 측정용기 크기와 실험생물 부피 비율은 10 : 1 정도, 무게가 1 kg 초과하는 실험생물은 20 : 1 정도로 한다.

측정시스템내의 유속은 미세한 유속 조절이 가능한 펌프를 사용하여 실험생물의 크기, 서식지의 해수이동, 측정용기의 크기에 따라 정한다.

7). 측정 주기 및 조건

생리활성 1회 측정간격은 종에 따라 다소 차이가 있지만 1.5~5분 정도를 권장한다. 이러한 시간 단위는 생체리듬 주기분석을 위한 시계열 분석을 하는데 유리하며, 일정한 간격으로 생리활성을 연속으로 장기간 측정하는 것이 좋다.

생리활성실험은 대조구에서 5일간 측정하고 수온변화를 시킨 후 5일간 측정하여 총 10일 정도 연속 측정하는 것을 권장한다. 실험생물은 사육수조에서 측정용기로

운반하는 과정에서 많은 스트레스를 받을 수 있다. 따라서 실험초기의 자료를 피해 영향 분석에 사용하면 실제 수치보다 높게 나타날 수 있다. 이와 같은 실험 오차를 줄이기 위하여 온배수 원수에 노출 전 정상 해수에서 5일간 연속으로 생리활성을 관찰한 후 온배수에 노출한다.

다. 생물검정 실험자료 분석

1). 내인성 리듬 분석

최소한 10일 이상 연속으로 일정한 상태에서 생리활성 측정된 자료를 대상으로 내인성 생체리듬을 분석한다. 장시간 측정된 자료는 1~5%의 이동 평균 프로그램을 사용하여 시간에 대한 평균 생리활성으로 나타내고, 변화구간과 수온 변화를 표시한다(그림 3-72). 이로서 정상과 비정상적인 내인성 생체리듬 구분이 가능하며, 생존에 치명적인 수온 범위를 추정할 수 있다. 수온 증가에 따른 생리활성 내인성 생체리듬의 정지가 어느 수온 범위에서 발생하였는지 분석한다.

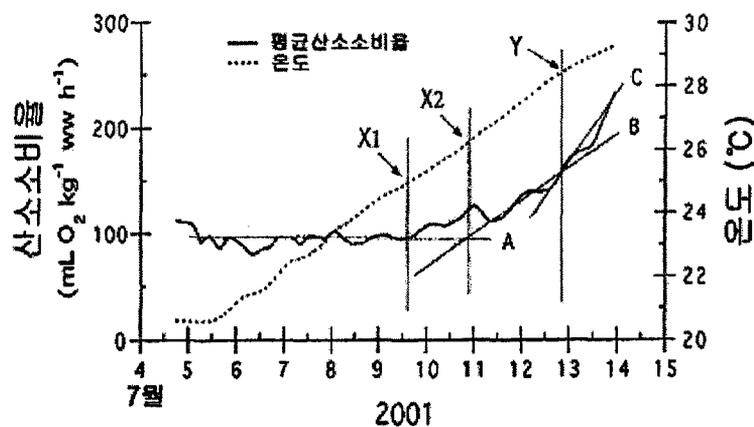


그림 3-72. 넙치의 수온반응(Kim et. al. 2005a).

장시간 측정된 생리활성 자료는 실험생물의 생리작용이 정상이었는지 시계열분석 프로그램을 사용하여 생체리듬 주기를 분석하고, 온배수 노출 전(대조구)과 노출 후

수온변화에 따른 생리활성 변화율을 비교한다. 수차례 반복하여 실험한 각 온도 구간에서 가능한 한 0.2℃ 정도의 미세수온 증가에 의한 반응 실험을 통하여 실험결과가 재연성이 있는지를 분석하고, 수온증가에 대한 각각의 생리활성 비율을 추정한다.

2). 수온의 영향분석

대조구에서 5일간 실험하는 동안 내인성 생체리듬을 관찰하면 수온변화에 대한 영향을 분석하는 자료로 활용할 수 있다. 실험기간동안 일어나는 생리활성 변화를 내인성 생체리듬 분석으로 판단하는데, 제일 중요한 점은 일정한 비율로 수온이 증가할 때 내인성 리듬이 정지되는 생리활성 변곡점을 찾는 것이 생물검정시험에서 꼭 필요하다. 이러한 수온 범위부터 생리영향은 시작된다.

생리활성 분석에 따른 변곡점 이전의 생리활성은 온배수 노출에 커다란 문제점이 없다는 것을 의미한다. 즉, 생물은 정상적인 생리활성을 유지하고 있다고 판단할 수 있으며 이러한 범위에서는 생물이 사망하지 않는다. 수온이 계속 상승하면 생리활성 커브는 어느 순간에 급격하게 감소하게 된다. 이 수온범위는 생물이 폐사하는 것을 의미하고 결국은 100% 사망에 이르게 된다.

BOD 인큐베이터 내에서 대조구와 온배수 노출(수온 증가)에 의한 생리활성 변화를 3회 이상 반복 실험하여 수온 반응율과 수온관계를 좌표로 나타낸다. 생리활성이 변화하는 변곡점 수온과 사망 수온과의 관계에서 각각의 수온 증가에 따른 생리활성 변화율을 회귀직선상에서 온배수 노출에 따른 생리활성 피해율을 추정한다.

수온 영향 분석에서 중요한 것은 수온 상승률이다. 이러한 수온 상승률과 변화폭은 자연 상태에서 일어나는 현상을 생물검정시험에 적극 반영하여야 한다. 정확한 자료 생산을 위한 생물의 생리활성 주기 분석은 시계열주기분석(Maximum Entropy Spectral Analysis)을 활용하여 분석한다.

제 5 절. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리기준

해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안의 기본개념은 다음과 같다. 첫째, 냉각수 취수부터 온배수가 배출되어 자연해수와 같은 수온으로 회석되기까지 관리하는 것을 원칙으로 한다. 둘째, 가능한 최고의 기술을 사용하여 냉각수 요구량을 최소화하도록 신규 발전소 설계를 유도한다. 정상적 발전소 가동조건에서 냉각계통으로 처리해야 하는 폐열량은 일정하기 때문에 냉각수량의 최소화는 온배수 수온의 상승을 의미한다. 물론 높은 온배수 온도로 말미암아 배수구 주변에 서식하는 해양생물이 입는 피해는 가중될 수 있다. 그러나 온배수가 가지고 있는 열에너지의 확산속도는 온배수와 주변 자연해수와 수온차가 클수록 커지기 때문에 온배수 확산구역의 면적이 줄어드는 효과를 얻을 수 있다. 셋째, 2008년 1월 발효되는 해양환경관리법의 테두리 안에서 수립하며, 축적되는 관련 자료를 토대로 지속적으로 수정 및 보완 한다. 넷째, 2m³/초 이상의 냉각수 취수자 및 온배수 배출자에게 적용하되 신규 사업장에 우선적으로 적용하고, 기존 사업장의 경우 사안에 따라 선택적 적용 또는 자체적 개선을 장려한다.

1. 냉각수 취수 신청 및 허가

가. 냉각수 취수신청

냉각수 취수자는 냉각계통의 가동이 해양생태계에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 취수 시설물 충돌 및 연행 저감을 위하여 보편타당성 있는 필요 시설을 설치해야 함과 아울러 열효율 상승을 위한 노력을 통하여 냉각수 취수량을 최소화해야 한다.

냉각수 취수신청자는 온배수 관리방안에 정한 서식(별첨 1)에 따라 냉각수 취수 신청서를 해양수산부장관에 제출하여 허가를 받는다. 냉각수 취수신청서에는 취수해역의 해양생태 조사 자료와 냉각계통의 가동이 해양생태계에 미치는 영향에 대한 저감대책에 관한 자료를 첨부해야 한다.

해양생태계 조사는 취수구가 위치할 지점과 냉각계통 가동에 영향을 받지 않는 최단 지점(대조구)에서 현지 특성에 맞추어 조사정점을 선정하여 다음 항목들을 조사하며, 필요시 해역별 특성을 감안하여 조사 항목을 조정할 수 있다.

- 해양생태계 조사 자료(신청서 제출 직적 2년 이상 계절별 조사자료)

- 서식유형별 생물군집의 지역적, 계절별 분포양상
- 식물플랑크톤의 기초생산력
- 천연기념물, 보호종, 위기종 유무
- 냉각수를 취수하는 수괴를 산란장, 성육장, 회유경로로 이용하는 해양동물의 유무
- 해양물리·화학적 특성 및 수질자료

냉각계통 가동이 해양생태계에 미치는 영향 저감을 위한 대책에는 다음 사항이 포함되어야 한다.

- 냉각수 사용량이 최소 사용량이며, 해양생태계에 미치는 영향을 감안한 적용 가능한 최저유속임을 증빙할 수 있는 자료
- 냉각수 취수 수심 및 위치(수중 취수방법을 채택하지 않을 경우 그 사유)
- 냉각수 취수해역의 수산업 현황
- 일주기별, 계절별 냉각계통 충돌 및 연행 피해 예상량
- 해양생태계 보호를 위한 설비내역 및 운영방안

나. 냉각수 취수허가

해양수산부장관은 신청자가 제출한 증빙서류를 지정 전문연구기관(전문가 포함)에 타당성 여부를 검토 의뢰하여 합당하다고 판단될 경우 냉각수 사용허가서를 발부한다.

타당성 검토 비용은 신청자가 부담하며, 해양수산부장관은 허가서를 발부하지 않을 경우 그 사유를 신청자에 통보해야 한다.

공유수면 점·사용허가를 얻어 냉각수를 취수하고 있는 기존 사업장의 경우 냉각계통 가동이 해당 냉각수 취수지역의 해양생태계에 미치는 영향에 대한 실측보고서를 제출함으로써 냉각수 취수허가를 가름한다. 실측보고서에 포함되어야 하는 사항은 다음과 같다.

- 일주기별, 계절별 냉각계통 충돌 및 연행 피해 예상량
- 냉각계통 충돌 및 연행되는 주요 수산자원 개체군 동태

해양수산부장관은 기존사업자가 제출한 실측보고서를 지정 전문연구기관(전문가 포함)에 타당성 여부를 검토 의뢰하여 해양생태계에 미치는 영향이 심각하다고 판단될 경우 취수시설 개선을 명할 수 있으며, 기존 사업자는 이 취수시설 개선 명령을 준수하여야 한다.

2. 온배수 배출 및 온배수확산구역 사용 신청과 허가

냉각계통 가동이 해양생태계에 미치는 영향 중 가장 중요한 부분은 온배수 배출에 의한 영향이다. 온배수가 해양생태계에 미치는 영향은 배출구 주변에서 가장 크게 나타나며, 온배수가 주변 해수와 혼합되면서 확산되는 과정에도 많은 영향을 미친다. 온배수 배출자는 배출구뿐만이 아니라 온배수확산구역에서의 영향을 함께 고려하여 배출구위치를 선정해야 한다.

표층배수는 온배수를 받아들이는 수괴를 평면적으로 이용하는 방법인 반면 수중배출은 수괴를 입체적으로 이용할 뿐만 아니라 온배수가 배출되는 수심의 수온은 표층에 비하여 상대적으로 낮기 때문에 온배수 확산에 의한 해양생태계 영향을 저감시킬 수 있어 온배수관리방안에서 장려하는 사항이다.

수중배출 주변해역의 기초 환경 조사는 물론 정확한 수치모델 실험을 통하여 배수구 위치별 확산구역의 범위를 비교 검토해야 한다. 배수구는 가능한 주변에 형성되어 있는 어장과 먼 곳으로 배치하며, 특히 배출된 온배수가 자연온도에 가깝게 희석되기 이전에 다시 취수구로 유입되는 일이 없도록 해야 한다. 우리나라 지금까지 대형 발전소에서 수중배출 방법을 채택한 사례가 없어 이에 관한 연구나 영향평가와 관련된 조사 결과가 전무한 실정이다. 수중배출을 계획하고 있는 신고리원자력발전소의 환경영향평가 보고서(서울대학교 2005)가 우리나라 최초의 사례이며 그 내용은 온배수 관리방안 수립에 좋은 지침이 될 수 있다.

수온환경이 안정되어 있는 아열대 해역에서도 수온의 일교차가 1℃ 이상 되는 경우도 종종 있으며(Strawn et. al 1977), 우리나라 연안 중 수온변화가 가장 적은 동해안에서도 일교차가 1℃를 넘는 경우가 자주 나타난다(KRISO 1976). 같은 시각에 측정된 경우에도 지역간 수온 차이가 2℃ 이상을 나타내기도 한다(환경처 1993). 온도 변화에 대하여 어류가 적응할 수 있는 범위는 온도가 상승할 경우 1.1℃/일 미만으로 알려져 있다(Samuel and Jordan 1980). 따라서 현 시점에서 지난 30여년간 온배수 영향범위로 인식해온 1℃ 수온 상승 범위를 조정하는 것은 어렵다고 판단된다. 장차 정밀한 생물검정에 의하여 해역별 온배수 배출기준이 결정되기까지 잠정적으로 온배수가 자연해수와 혼합하여 그 차이가 1℃에 도달하는 범위까지를 확산구역으로 하기로 한다.

아직 우리나라에는 온배수 영향을 정량적으로 평가하는 환경영향표준이 없으며 온배수 배출기준을 정할 과학적 기준이 없다. 따라서 온배수 배출 허가 및 확산구역 사용신청을 위한 모든 자료는 장차 수립될 환경영향평가표준 및 온배수 배출기

준을 정하기 위한 자료로 사용된 다는 것을 인식하고 중요한 비중을 두고 실시하여야 한다. 이러한 해양조사 및 평가 자료를 기반으로 가능한 빠른 기간 내에 우리나라 연안 환경에 적합한 환경영향평가표준과 온배수 배출기준을 정하여야 할 것이다.

가. 온배수 배출 및 온배수확산구역 사용 신청

온배수의 배출은 수중 다공배출을 원칙으로 한다. 온배수 배출 및 확산구역 사용 신청자는 온배수 관리방안에 정한 서식(별첨 2)에 따라 온배수 배출 및 온배수확산구역 사용신청서를 해양수산부장관에게 제출하여 허가를 받는다. 온배수 배출 및 온배수확산구역 사용신청서에는 온배수 배출 및 온배수확산구역 범위에 관한 자료, 온배수확산구역의 해양생태계 자료, 온배수 확산이 해양생태계에 미치는 영향에 관한 자료, 신청하는 온배수확산구역 활용 계획을 첨부해야 한다.

온배수 배출 및 온배수확산구역 범위에 관한 자료에는 다음 사항이 포함되어야 한다.

- 허가를 요청하는 온배수 배출량이 최소 배출량임을 증빙할 수 있는 자료
- 온배수 배출 수심 및 위치(수중 배출방법을 채택하지 않을 경우 그 사유)
- 온배수확산구역의 범위(잠정적으로 온배수가 자연해수와 혼합하여 그 차이가 1℃에 도달하는 범위)
 - 온배수확산구역 범위 산정에 사용한 수치모델
 - 온배수확산모델 범위 산정에 사용한 입력 파라미터
 - 표층 및 수중배출에 따른 해수유동/온배수 확산 3차원 수치예측모델
 - 위성영상 자료 분석(최강 창조 및 낙조시 온배수 확산 자료 분석)
 - 현장 실증실험 계획

온배수확산구역의 해양생태계 조사는 배수구가 위치할 지점과 온배수 확산 영향을 받지 않는 최단 지점(대조구)에서 현지 특성에 맞추어 조사정점을 선정하여 다음 항목들을 조사하며, 필요시 해역별 특성을 감안하여 조사 항목을 조정할 수 있다.

- 해양환경 조사
 - 해양물리 조사: 조석관측, 연속 조류관측, 수층별 수온 및 염분
 - 해양수질 조사: 투명도, pH, 용존산소농도, 잔류염소농도, 영양염 질산염+아질산염, 인산염, 규산염)농도, 입자성유기탄소, 입자성유기질

소, 입자성유기인, 중금속농도, 화학적산소요구량, 부유물질 농도 등

· 해양저질조사 : 퇴적물의 중금속 농도, 퇴적물의 화학적산소요구량, 퇴적물의 유기탄소함량, 퇴적물의 입도 조성, 해저지형 조사

- 미생물 군집 : 박테리아 개체수, 생산력, 군집 조성
- 식물플랑크톤 : 기초생산력, 생물량, 군집구조, 난류성 식물플랑크톤의 분포
- 동물플랑크톤 : 생물량, 군집구조, 난류성 동물플랑크톤의 분포
- 해조류 : 군집구조, 생체량
- 저서동물 : 군집구조, 생체량, 분포유형
- 위기종 유무
 - 확산구역에 분포하는 천연기념물, 보호종, 위기종 유무
 - 확산구역을 산란장, 성육장, 회유경로로 이용하는 해양동물의 유무
 - 온배수 배출로 개체군의 밀도가 현저하게 감소하거나 멸종할 우려가 있는 종

온배수의 확산이 해양생태계에 미치는 영향은 이를 정량적으로 평가하는 표준을 제정하기 전까지 이 조항을 적용하며, 표준 제정 후에는 제정된 표준에 따라 온배수의 확산이 해양생태계에 미치는 영향에 평가한 자료를 제출한다.

- 생물검정 실험을 통한 온배수가 해양생태계에 미치는 영향을 평가할 수 있는 자료
 - 온배수가 미생물 군집과 일차생산자에 미치는 영향조사
 - 온배수가 저서생물의 호흡 생리 및 행동반응에 미치는 영향
 - 온배수가 어류의 호흡생리 및 행동반응에 미치는 영향
- 온배수가 해양생태계에 미치는 영향의 장기 감측 계획 및 감측 자료의 D/B 구축 계획
- 확산구역 내의 수산업활동에 대한 피해보상 계획

온배수확산구역의 활용계획은 6차 원칙에 의거 사업계획서 형식으로 작성하며, 시간사용계획과 투자계획을 구체적으로 명기해야 한다.

기존 온배수 배출 사업장의 경우 피해보상해역을 온배수확산구역으로 인정한다. 다만, 온배수확산구역의 활용계획은 신규 사업장과 같은 방법으로 제출한다.

온배수확산구역의 활용이 미흡하다고 판단될 경우 온배수확산구역 활용을 명할 수 있으며, 온배수 배출사업자는 이 활용명령을 준수 한다.

나. 온배수 배출 및 온배수확산구역 사용 허가

해양수산부장관은 신청자가 제출한 증빙서류를 지정 전문연구기관(전문가 포함)에 타당성 여부를 검토 의뢰하여 합당하다고 판단될 경우 온배수 배출 및 온배수확산구역 사용 허가서를 발부한다.

타당성 검토 비용은 신청자가 부담하며, 해양수산부장관은 허가서를 발부하지 않을 경우 그 사유를 신청자에 통보해야 한다.

다. 환경관리해역(잠정) 지정

해양수산부장관은 허가하는 온배수확산구역의 면적이 10ha 이상일 경우 해양환경리법 제15조 ①에 의거 환경관리해역(잠정)으로 지정하고, 온배수확산구역의 활용을 지원하고 감독한다. 온배수확산구역이 생태학적 혹은 수산학적으로 보전 가치가 없다고 판단될 경우 환경관리해역으로 지정하지 않는다.

3. 온배수 배출기준

온배수 배출기준을 배출구에서의 최고 허용 수온으로 단순화하는 것은 온배수 배출자와 이를 감시하는 기구 모두에게 편리함을 제공해준다. 그러나 연구결과로 제시되는 온배수 최대 배출수온 35℃는 우리나라 연안에 서식하는 해양생물 중 일부 조건대 생물을 제외한 대부분의 해양생물을 사망에 이르게 하는 치사수온이다. 비록 높은 수온의 영향이 배수구 주위의 좁은 해역에 한정된다 하더라도, 겨울철 해양생물군집 구조와 냉수성 해양생물의 소잔에 큰 영향을 줄 수 있는 수온이다. 또한, 운동성 있는 어류의 경우에도 순간적으로 고수온에 노출될 경우 운동감각을 잃고 온배수를 따라 표류하다 사망에 이를 가능성도 높다. 따라서 4 계절이 뚜렷한 우리나라에서 해양생태계 보전을 위한 수온의 규제치는 계절적 수온변화에 따라 유동적으로 정하는 것이 좋다. 온배수 배출 규제치의 단순화는 추후 온배수 배출해역에 서식하는 해양생물군집의 시·공간적 동태변화와 중요 종에 대한 생물검정자료가 충분하게 축적된 후에 다시 검토하는 것이 바람직하다.

가. 온배수 배출 수온

온배수 ΔT 측정 기준은 온배수 배출구(표층 또는 수중)와 자연해수의 표층 수온과의 차이로 정한다.

온배수의 최대 배출 허용치는 하절기 $\leq 7^{\circ}\text{C}$ 로 하고, 동절기 수온이 비교적 안정되어 있는 동해안의 경우 $\leq 12^{\circ}\text{C}$ 로 하며, 수온 변동 폭이 큰 서해안은 $\leq 15^{\circ}\text{C}$ 로 한다. 봄철과 가을철에는 수온의 변화에 따라 연동적으로 변하는 것으로 한다. 온배수 배출구에서의 최고 허용 수온은 $< 35^{\circ}\text{C}$ 로 한다. 온배수 배출 허용치는 다음의 조건에 따라 조정할 수 있다.

- 천재지변 또는 이상기후 등으로 인하여 자연해수 수온이 비정상적으로 상승하였을 경우
- 온배수 배출자가 수중배출 방법을 택하여 배수되는 수심의 평균수온이 표층수의 평균수온에 비하여 1°C 이상 낮은 경우 그 차이를 기준 ΔT 에 더하여 허용한다.
- 기준 ΔT 보다 높은 온도에서도 온배수가 해양생태계에 미치는 영향이 경미하다는 것을 온배수 배출자가 증빙하거나, 중앙온배수위원회의 허가한 경우
- 온배수를 배출하는 해역이 심각하게 오염되어 수산업적 가치를 상실하였고, 앞으로 수산업적 가치를 회복하기 어려운 해역에 속할 경우 본 조항을 선택적으로 적용하거나, 관리기준의 각 항목을 완화하여 적용할 수 있다.
- 온배수 주위에 밀집한 온수성 해양생물의 보호를 위하여 단수의 열기관을 운영하는 온배수 배출자는 동절기에는 온배수 배출에 영향을 미치는 열기관의 정기보수 및 연료교체를 할 수 없으며, 복수의 열기관을 운영하는 배출자는 동절기 중 최소한 1개 이상의 열기관을 정상적으로 가동하여야 한다.

나. 적용범위

현재의 기존 온배수 배출자의 경우 직근 2년간의 해양환경자료 및 냉각계통가동 현황자료를 토대로 사업장별로 자체적 배출허용온도를 정하여 해양수산부장관의 허가를 받아야 한다.

온배수 배출자는 온배수 배출구 및 온배수확산구역 내의 적정한 위치에서의 수온 변화를 연속적으로 측정하여 공개해야 하며, 해양수산부장관은 배출허용온도의 준수 여부를 확인하기 위하여 전문연구기관에 수온변화 측정을 의뢰할 수 있다.

온배수 배출기준을 초과하여 온배수를 배출하였을 경우 그 정도에 따라 상응하는 벌칙을 부여하며, 세부적인 사항은 해양수산부령으로 정한다. 다만, 벌칙의 최고는 법령 적용의 형평성을 고려하여 '수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 제 43조(과징금처분)'에 정한 처분의 이하로 한다.

온배수 배출기준 위반이 온배수 배출시설의 부적절함에 기인한다고 판단할 경우 해양수산부장관은 온배수 배출시설의 개선을 명할 수 있으며, 온배수 배출사업자는 이 온배수 배출시설 개선 명령을 준수하여야 한다.

제 4 장. 온배수 관리방안의 사회과학적 연구

제 1 절. 온배수 관리방안의 경제학적 연구

1. 연구의 개요

온배수 관리방안에 대한 경제학적 연구를 위해 먼저 온배수 배출규제의 경제학에 대해 살펴본다(그림 4-1). 다음으로 온배수 배출규제를 이해하는 데 필수적인 개념인 외부성에 대해 설명한 후, 외부성을 내부화해야 할 필요성에 대해 논의한다. 아울러 최적 온배수 배출량이란 개념을 도출하고 이에 대해 설명할 것이다. 또한 온배수 배출 규제를 위한 정책수단을 크게 규제적 접근법과 시장친화적 접근법으로 구분한 다음에, 시장친화적 접근법을 다시 조세, 보조금, 배상청구권/배출권시장의 4가지로 나눠서 살펴보면서, 각 수단별 장단점에 대해 설명한다. 이를 통해 환경문제 해결을 위해 전 세계적으로 볼 때, 조세제도가 가장 널리 사용되고 있음을 확인할 수 있다.

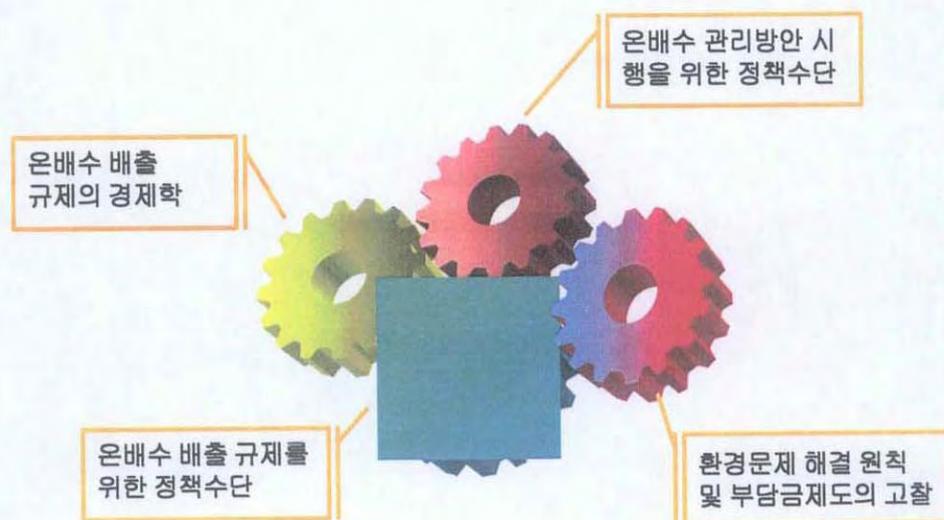


그림 4-1. 온배수 관리방안에 대한 경제학적 연구의 주요 내용.

다음으로 OECD에서 각 회원국에 권고하고 있는 환경문제 해결 원칙인 오염자부담원칙에 대해서도 살펴보고, 조세제도의 일종인 부담금제도의 이론적 근거, 원칙, 객관적 기준 등 일반론에 대해 고찰한다. 온배수 관리방안 시행을 위한 정책수단으로 전액 해양수산부 예산이라는 첫 번째 대안, 해양수산부 예산 및 사안별 원인제공자 부담이란 두 번째 대안, 원인제공자 일괄 부담으로서 온배수배출부담금제도라는 세 번째 대안에 대해 살펴본다. 세 번째 대안을 살펴볼 때는 온배수에 대한 국민여론조사 결과도 함께 제시한다.

2. 온배수 배출 규제에 대한 경제학

가. 외부성과 온배수의 최적 배출수준

1). 외부성의 개념

온배수 배출 규제의 경제학에 대해 본격적으로 논의하기에 앞서, 외부성(externality)의 개념에 대해 명확하게 이해할 필요가 있기에, 외부성에 대해 설명하겠다. 어떤 한 사람의 행동이 제 3자에게 의도하지 않은 이득이나 손해를 가져다주는 데도 이에 대한 대가를 받지도 지불하지도 않을 때 우리는 외부성이 발생했다고 표현한다(이 1993). 외부성의 경우에는 그것에 대한 대가를 주고받지 않는 것이므로 시장이란 테두리의 외부에 존재하는 현상이라고 해서 그런 이름이 붙여졌다.

외부성은 해로운 것과 이로운 것이 있을 수 있는데 전자를 음의 외부성(negative externality)이라 하며 후자를 양의 외부성(positive externality)이라 한다. 하여간 외부성을 만들어 내도 이에 대해 어떤 대가를 치루는 것도 아니고 받는 것도 아니기 때문에, 양의 외부성을 만들어 내는 사람은 구태여 많이 만들어 내려 하지 않는 반면에, 음의 외부성을 만들어 내는 사람은 자진해서 그 생산을 억제하려 하지 않는 경향이 생기게 된다. 즉, 자유로운 시장기구에 내맡겼을 때, 양의 외부성은 사회적으로 최적인 수준보다 적게 만들어지는 한편, 음의 외부성은 최적수준보다 더 많이 만들어지는 결과가 나타난다. 이런 이유 때문에 시장기구가 자원을 효율적으로 배분하는 데 실패하게 되는 시장의 실패가 발생한다. 시장의 실패는 자원의 효율적 배분을 위한 정부의 개입을 정당화하는 근거로 받아들여지고 있다.

온배수 관리정책의 일차적 목표, 즉 온배수 배출량의 규제는 바로 사회적으로 용인 가능한 최적 배출수준(optimal emission level)을 달성하도록 유도하는 것이라 할

수 있다. 만약 온배수 배출로 인한 영향에 대해 정확하게 평가가 되고 이 영향에 대해 시장에서 돈을 주고받으며 거래를 한다면 최적 배출수준은 자연스럽게 달성된다. 하지만 온배수 배출로 인한 영향의 전부 혹은 일부에 대해 시장이 존재하지 않아 적절한 거래가 발생하지 않는다면 외부성이 발생한다.

앞서 언급하였듯이, 외부성이 존재하는 경우 시장자체의 힘만으로는 이러한 최적 배출수준의 달성이 일반적으로 가능하지 않다. 따라서 정부가 직접 개입하여 온배수의 최적 배출수준을 달성할 수 있도록 해야 한다. 여기서는 먼저 생산활동(예를 들어, 발전)에 따른 자연스런 균형 온배수 배출수준과 이에 대비되는 최적 배출수준을 고찰해보고, 최적 배출수준을 달성할 수 있는 정책수단을 살펴본다.

2). 외부성이 존재하지 않을 때의 최적 배출수준

경제 내에서 온배수 배출로 인한 외부성이 존재하지 않는다면, 순 편익(NB, net benefit)은 다음과 같이 편익(B, benefit)에서 비용(C, cost)을 뺀 것으로 정의된다(식 10).

$$NB(Q) = B(Q) - C(Q) \text{ ----- 식-10}$$

여기서 Q 는 온배수 배출자의 경제활동 수준, 즉 발전량을 의미하며, 다른 측면에서 보면 온배수 배출수준도 의미한다. 왜냐하면 경제적 활동수준이 커질수록 온배수 배출수준도 증가할 것이므로 서로 비례관계에 있기 때문이다. 순 편익을 최대화하는 조건, 즉 식-10을 최대화하기 위한 1계 필요조건은 식-10의 도함수(derivative)를 0으로 만드는 Q 를 찾는 것이다(식 11).

$$\frac{dNB(Q)}{dQ} = \frac{dB(Q)}{dQ} - \frac{dC(Q)}{dQ} = MB(Q) - MC(Q) = 0 \text{ ----- 식-11}$$

즉 한계편익(MB, marginal benefit)과 한계비용(MC, marginal cost)을 일치시키는 Q 값이 최적 경제활동 수준이 된다(그림 4-2). 한계편익과 한계비용은 A에서 일치하며, 이에 해당하는 경제활동 수준은 Q^0 이다. Q^0 는 이윤최대화를 추구하는 기업이 시장에서 자연스럽게 달성하는 균형 경제활동수준이기도 하다.

3). 외부성이 존재할 때의 최적 배출수준

외부성을 고려하지 않았다는 관점에서 식-10의 순 편익은 사적 순 편익이라 할 수 있으며, 비용은 사적 비용이라 할 수 있다. 이제 외부성, 즉 외부비용(EC, external cost)을 고려하게 되면, 사회적 순 편익은 다음과 같이 정의된다.

$$NSB(Q) = B(Q) - \{C(Q) + EC(Q)\} \text{ ----- 식-12}$$

따라서 $C(Q) + EC(Q)$ 은 사회적 비용이 된다. 사회적 순 편익을 최대화하기 위한 1계 필요조건을 구해보면 다음과 같다.

$$\frac{dNSB(Q)}{dQ} = \frac{dB(Q)}{dQ} - \left(\frac{dC(Q)}{dQ} + \frac{dEC(Q)}{dQ} \right) \text{ ----- 식-13}$$

$$= MB(Q) - (MC(Q) + MEC(Q)) = 0$$

사회적 최적 경제활동 수준은 한계편익과 한계 사회적 비용(=한계비용+한계외부비용)이 만나는 곳에서 달성된다(그림 4-2). 이때 사회적 최적 경제활동 수준은 Q^* 이다. 이해를 돕기 위해 Figure II에는 Figure I의 A점도 함께 나타내었다. A와 B를 비교해 보면 Q^0 에 비해 Q^* 가 더 작음을 알 수 있다. 따라서 외부성이 발생함을 감안하여 최적 경제활동 수준을 도출해 보면 외부성이 발생하지 않을 때의 최적 경제활동 수준보다 작음을 알 수 있다.

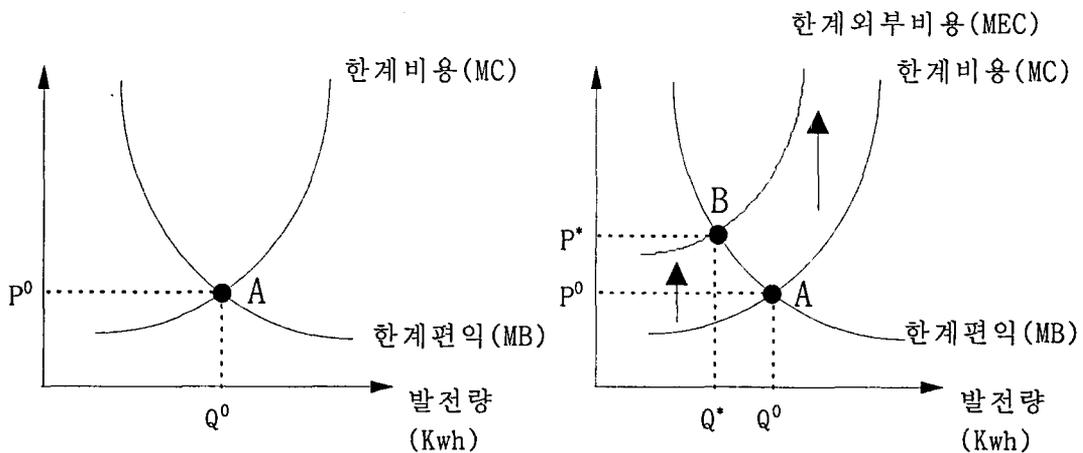


Figure I

Figure II

그림 4-2. 사회적 최적 경제활동 수준.

만약 외부성이 발생함에도 불구하고 아무런 규제를 하지 않고 기업에 맡겨 놓으면 사회적으로 바람직한 수준 이상으로 생산활동을 하게 되는 것이다. 아울러 외부성이 시장가격에 적절하게 반영되지 않으면 전력의 가격은 외부성을 포함한 가격

(P^*)보다 낮은 P^0 수준으로 책정되어 전력소비가 권장되고 자원의 최적배분과 이를 통한 사회적 후생극대화라는 목표를 달성하지 못하게 된다. 따라서 외부비용을 내부화(internalization)하는 것이 사회적으로 중요해진다. 즉 이 경우에는 정부가 개입하여 사적 균형점(Q^0)을 사회적 최적점(Q^*)으로 이동시킬 수 있도록 역할을 해야 하는 것이다. 편익에서 비용을 차감한 부분을 사적 순 편익(NPB, net private benefit)이라 정의한 후, 식-12를 조금 다르게 구성해 보면 다음과 같다.

$$NSB(Q) = \{B(Q) - C(Q)\} - EC(Q) \text{ ----- 식-14}$$

$$= NPB(Q) - EC(Q)$$

그러면 식-13의 최적화 조건도 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dNSB(Q)}{dQ} = \frac{NPB(Q)}{dQ} - \frac{EC(Q)}{dQ} = MNPB(Q) - MEC(Q) = 0 \text{ ----- 식-15}$$

수평축은 온배수 배출자의 경제적 활동수준 내지는 온배수 배출수준을 의미하며, 수직축은 화폐가치로 환산된 비용과 편익을 나타낸다(그림 4-3). 여기서 MNPB는 한계 사적 순 편익을 의미한다. 온배수를 배출하는 경제주체는 그의 경제활동에 따라 비용과 편익을 발생시키는데, MNPB는 추가적인 생산활동으로 인한 순 편익을 나타내며, MEC는 한계외부비용으로 추가적인 생산활동으로 인한 외부비용을 나타낸다.

이때 사회적으로 최적인 온배수의 배출수준은 MNPB 곡선과 MEC 곡선이 만나는 점에서 달성되게 된다. 왜냐하면 온배수 배출자의 경제활동으로 인한 총 사적 순 편익의 크기는 MNPB 곡선의 아래면적에 해당하고, 총 외부비용의 크기는 마찬가지로 MEC 곡선의 아래면적이므로 총 사회적 순 편익의 크기(편익의 합계에서 비용의 합계를 차감한 부분)는 Q^* 수준에서 최대화되기 때문이다.

만일 온배수 배출자가 자신이 발생시키는 외부비용에 대해 어떠한 보상도 요구받지 않는 상황이라면, 식-11에서 살펴본 바와 같이, 그는 Q^* 를 초과하는 Q^0 수준에서 경제활동을 하게 된다. 이 경우, 사회적 순 편익의 크기는 최적인 경제활동수준 Q^* 하에서 달성된 편익의 크기 ΔOXY 보다 명백하게 작음을 알 수 있다. 따라서 온배수 배출 규제와 관련된 관심사는 어떻게 Q^* 를 달성할 것인가로 귀결된다.

나. 조세를 통한 외부성의 시정

현재 많은 경제학자들이 제시하는 정부개입의 경제적 방식은 환경에 대한 피해를 기준으로 하여 배출자에게 부과하는 조세이다. 여기서 말하는 환경에 대한 피해란

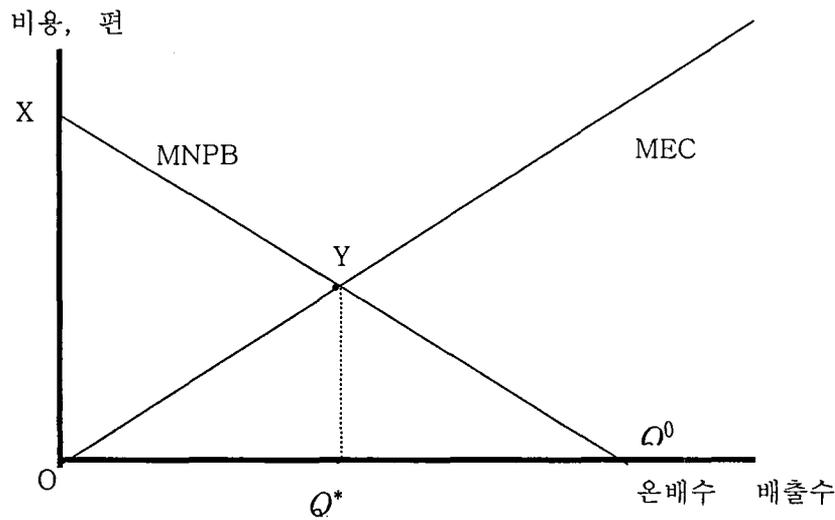


그림 4-3. 온배수의 최적 배출수준.

바로 외부비용을 의미한다. 피구(Arthur C. Pigou)란 경제학자는 'Economics of Welfare'라는 저서에서 외부성의 처치를 위한 수단으로서 조세부과를 최초로 제안한 바 있다. 이후로 피구의 이름을 따서 최적 배출수준 달성을 위한 조세를 피구세(Pigovian tax)라 부르고 있다. 이런 피구세는 현재 배출부담금 등의 용어로 알려져 있으며, 실제로 피구세에 해당한다고 볼 수 있는 부담금 제도가 다양하게 운용되고 있다. 즉, 환경에 대한 피해를 유발하는 활동수준의 각 단위에 대해 조세를 부과할 수 있다면, 즉 온배수 배출량 단위당 조세를 부과할 수 있다면, 단위당 t^* 수준의 조세를 부과될 때 총 조세액은 t^*Q 이므로 MNPB곡선은 $(MNPB-t^*)$ 으로 변하게 된다(그림 4-4).

말하자면 경제활동의 각 단위에 대해 t^* 만큼의 조세를 부과하는 경우, 그로 인해 한계 순 편익은 조세부과액 만큼 감소하게 된다. 그렇다면 사적 순 편익의 극대화를 추구하는 온배수 배출자로서는 스스로 자신의 경제활동 수준을 Q^* 로 조정해 나가게 될 것이다. 이때 사회적으로 최적인 경제활동 수준은 Q^* 이므로 t^* 의 조세부과는 최적 조세(optimal tax)라고 할 수 있다. 그런데 이러한 최적조세수준 t^* 는 MNPB와 MEC가 일치하는 수준에서의 비용 또는 편익의 크기라고 할 수 있으며, 바로 최적 피구세의 정의에 부합한다. 즉, 최적 온배수 배출수준에서의 한계적인 배출의 피해 또는 한계외부비용이라 할 수 있다.

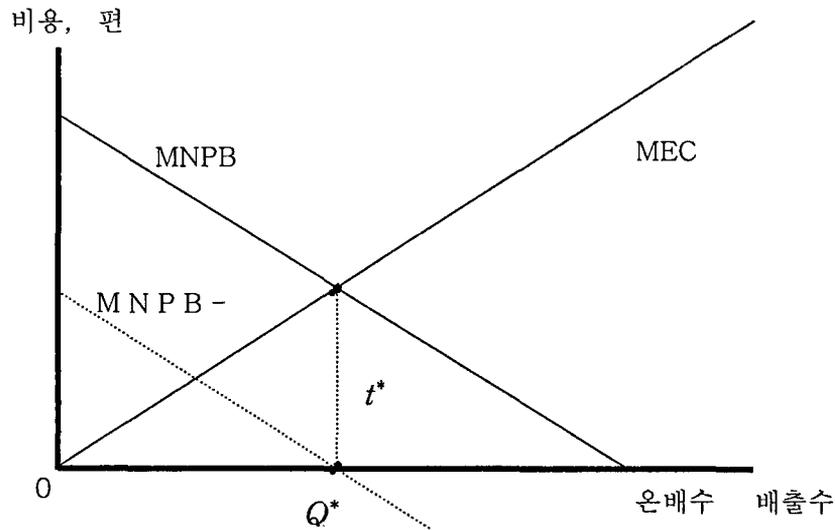


그림 4-4. 조세를 통한 외부성의 시정.

경제활동으로 인한 온배수 배출은 부정적인 피해를 유발할 수 있는데, 이때 온배수 배출량 수준과 이로 인한 피해 또는 피해의 화폐액 간의 관계를 나타내는 개념을 피해함수(damage function)라고 한다. 즉, 피해함수란 경제활동으로 인해 온배수가 배출되고 이로 인해 물리적 피해가 발생하고 그에 따른 피해를 화폐가치로 나타낸 개념이다. 피해함수는 앞서 언급한 외부비용함수와 같다. 우리가 최적의 배출량 수준을 찾아내기 위해서는 일단 이러한 피해함수를 알아낼 필요가 있다. 피해함수가 구해진 후에는 그로부터 한계피해곡선을 도출해 낼 수가 있다. 그러나 배출수준을 최적 수준으로 유도하기 위해서는 한계피해곡선 이외에 사적인 순 편익을 나타내는 MNPB 곡선도 정책입안자가 알고 있어야 한다.

일반적으로 말하자면, 경제활동의 주체, 즉 온배수 배출자는 기업이므로 MNPB 곡선에 대한 정보 역시 기업활동과 관련된 것이기 때문에 외부에서 쉽사리 얻기 힘들기 마련이다. 실제로 많은 경제학자들 역시 조세의 부과주체인 정부는 이러한 정보를 쉽게 획득할 수 있는 입장은 아니라고 생각하고 있다. 따라서 규제당국과 배출자 간에는 정보의 불균형 문제가 야기되며, 이러한 사실은 정부의 개입에 반대하는 측의 논거로 지적되고 있기도 하다. 그러나 이러한 정보의 문제는 일체의 개입을 부정할 정도로 심각한 것은 아니며, 현실에서 환경에 대한 정부의 개입과 관련된 측면에서 보자면, 위와 같은 이론적 논의가 환경정책에 있어서의 올바른 방향을

제시해주고 있는 것이다.

이제 최적 피구세에 대해 수학적 분석을 시도한다. 순 사회적 편익(NSB)을 오염물질의 배출행위로부터 야기되는 총편익의 크기에서 사적인 비용과 외부비용(EC)을 차감한 부분으로 정의해보면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$NSB = PQ - C(Q) - EC(Q) \text{ ----- 식-16}$$

여기서 P 는 산출물의 가격, Q 는 산출 또는 온배수 배출행위를 나타낸다. 이때, 순 사회적 편익을 최대화하기 위한 1계 필요조건을 구해보면 다음과 같다.

$$\frac{dNSB}{dQ} = P - \frac{dC}{dQ} - \frac{dEC}{dQ} = 0 \text{ ----- 식-17}$$

사적 비용과 외부비용의 합을 사회적 비용(SC, social cost)라 정의하고, 이 식을 조금 다르게 써 보면 다음과 같다.

$$P = \frac{dC}{dQ} + \frac{dEC}{dQ} = \frac{dSC}{dQ} \text{ ----- 식-18}$$

또한 (식 18)을 다시 써 보면 다음과 같다.

$$P - \frac{dC}{dQ} = \frac{dEC}{dQ} \text{ ----- 식-19}$$

또는

$$\frac{dNPB}{dQ} = \frac{dEC}{dQ}, MNPB(Q) = MEC(Q) \text{ ----- 식-20}$$

NPB 는 가격에서 사적인 비용을 제한 순 사적 편익을 의미한다. (식-17)은 생산된 제품의 가격이 그것을 생산하는데 따른 추가적인 사회적 비용과 일치되어야 함을 의미한다. (식-20)은 한계 순 사적 편익이 한계외부비용과 일치해야 함을 의미한다. (식-18)을 이용하면, Q^* 를 달성할 수 있는 최적 조세의 크기(t^*)는 다음과 같다.

$$t^* = \frac{dEC}{dQ^*} \text{ ----- 식-21}$$

Q^* 는 (식-17)을 통해 도출된 생산수준을 말한다. 이 경우 생산물의 가격은 다음과 같이 된다.

$$P = \frac{dC}{dQ^*} + t^* \text{ ----- 식-22}$$

따라서 사회적으로 최적인 수준의 온배수 배출량인 Q^* 를 달성하기 위해 피구세를 부과할 때 가격이 t^* 만큼 오르는 것은 사회적으로 바람직할 수 있다. 즉 온배수 배출에 대해 부담금제도의 도입 등으로 피구세를 매길 때, 이로 인해 전기요금의 인상을 초래한다 하더라도 사회적으로 볼 때는 피구세를 도입이 바람직한 것이다.

다. 배출기준제도와 조세제도의 비교

현재까지도 환경오염에 대한 가장 일반적인 규제수단은 바로 환경에 대한 기준설정(standard setting)을 통한 규제이다. 이러한 배출기준제도는 오염물질의 허용 집적수준의 설정 또는 환경에 위해를 미치는 행동의 직접적인 허용기준의 마련 등을 그 대상으로 한다. 이러한 배출기준제도는 우연이 아니고서는 경제적 효율성을 달성가능한 해결책을 제시할 수 없다는 데 문제가 있다(그림 4-5).

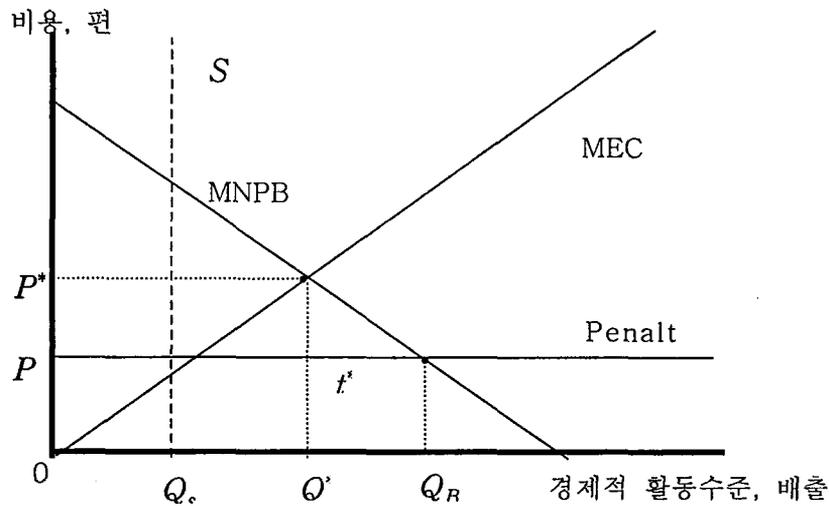


그림 4-5. 배출기준제도와 조세제도의 비교.

여기서의 배출기준 수준 S 는 경제활동수준 Q_s 에 대응되도록 설정되어 있다. 물론 이러한 기준설정에는 이를 감시·감독하는 기구의 존재를 포함하고 있으며, 위반 시에는 제재할 수 있는 수단도 마련되어 있다. 이제 위반에 대한 제재, 즉 벌금 (penalty)의 수준을 P 라고 하자. 이 때, 기업의 경제활동수준은 Q_s 로 설정되어 있으나 실제로 이러한 수준이 유지될 수는 없다. 왜냐하면 오염을 배출하는 측면에서는 Q_s 를 크게 상회하는 Q_B 수준의 경제활동을 하려고 하는 유인이 충분히 존재하기 때문이다.

즉, Q_B 이하에서는 Q_B 까지의 모든 위반으로 인한 제재의 액수보다도 배출을 통한 사적 순편익이 더욱 크기 때문이다. 말하자면 오염의 배출자 측면에서는 Q_B 이하로 배출할 이유가 없는 것이다. 반대로 Q_B 이상의 배출수준에서는 추가적인 배출을 통한 사적 편익보다 위반에 대한 제재의 크기가 더 크기 때문에 Q_B 이상의 배출은 이루어지지 않게 된다. 뿐만 아니라 Q_B 이상을 배출하는 모든 위반자가 반드시 적발된다는 보장은 없으며, 설령 적발될 가능성이 항상 100%라고 가정하더라도 경제활동은 Q_B 에서 이루어지게 되는 것이다. 만일 이러한 기준제도를 통해 경제활동을 사회적 최적 수준인 Q^* 에서 규제하고자 한다면, 첫째, 언제나 확실한 적발능력을 규제당국이 보유하고 있어야 하며, 둘째, 제재의 수준은 Q^* 의 경제활동에 대응하는 P^* 로 책정되어야 한다는 것을 알 수 있다.

이러한 논의를 전제로 하여 조세제도와 배출기준제도를 비교해 보면 다음과 같다. 첫째, 환경오염에 대한 조세제도는 배출기준제도에 비해 동일한 배출기준 수준을 달성하는 데 있어서 사회 전체적으로 더 낮은 비용이 소요되는 방안이라고 할 수 있다. 둘째, 정보에 대한 불확실성이 존재하는 경우에는 상대적으로 조세제도가 우월한 경우, 양자가 동일한 결과를 가져오는 경우, 그리고 반대로 배출기준제도가 상대적으로 우월한 경우 등이 각각 가능하다. 이를 그림으로 설명하면 그림 4-6과 같다.

만약 규제당국이 잘못 추정된 MNPB(false) 곡선을 이용하여 배출량에 대한 규제를 가한다고 가정해보자. 이 경우에는 경제활동 수준, 즉 배출기준을 Q 로 정하여 정책을 시행하게 될 것이다. 사실 사회적으로 가장 바람직한 수준은 Q^* 인데 Q 로 규제함에 따라 $\triangle abc$ 만큼 사회적 후생은 손실되게 된다. 한편 단위당 t 의 조세를 부과하여 환경규제를 가하게 되는 경우에는 기업의 이윤극대화 조건에 의해 경제적 활동수준은 Q 이 될 것이다. 이때 사회적 최적 수준 Q^* 가 아닌 Q 수준에서 경제적 활동이 이루어짐에 따라 발생하는 사회적 후생의 감소분은 $\triangle bde$ 이다.

배출기준규제 적용시의 사회적 후생 손실분 $\triangle abc$ 와 환경세 부과시의 사회적 후생 손실분 $\triangle bde$ 는 정확하게 일치한다(그림 4-6). 물론 우연히 서로 같도록 이 그림은 작성되었다. 정책시행에 있어서 불확실성이 존재하는 경우에 두 가지 규제정책이 동일한 결과를 가져오는 예를 보여주고 있는 것이다. 만일 MEC 곡선과 MNPB 곡선의 상대적 기울기가 큰 차이를 보이는 경우에는 결과적으로 이론적 측면에서 배출기준제도가 조세제도보다 우월할 수도 있고 열등할 수도 있음을 알 수 있다. 통상 각 규제정책을 입안하는 단계에서, MNPB 곡선을 정확하게 추정하기란 매우

어렵다. 또한 MEC 곡선과 MNPB 곡선의 상대적 위치조차도 파악하기 어려운 것이 현실이라 할 수 있다. 다만 규제정책의 확실한 집행이 보장된다고 하면, 배출기준제도가 환경세제도에 비해 더 많은 정보를 요구한다.

셋째로 동태적 효율성의 측면을 고려해 볼 수 있다. 규제받는 기업의 입장에서 볼 때, 배출허용기준을 만족시키고 있는 한도 내에서는 기업은 결코 환경피해를 저감하고자 하는 자발적 유인을 가지지 않게 된다. 왜냐하면 그러한 한도 안에서는 어떠한 제재수단도 발동되지 않기 때문이다. 그러나 조세제도 하에서는 최적수준의 오염물질을 배출하는 기업에게도 그에 따른 조세가 부과된다. 따라서 이러한 부담은 기업으로 하여금 더 낮은 비용으로 오염을 저감시킬 수 있는 신기술개발의 유인으로 작용하게 된다.

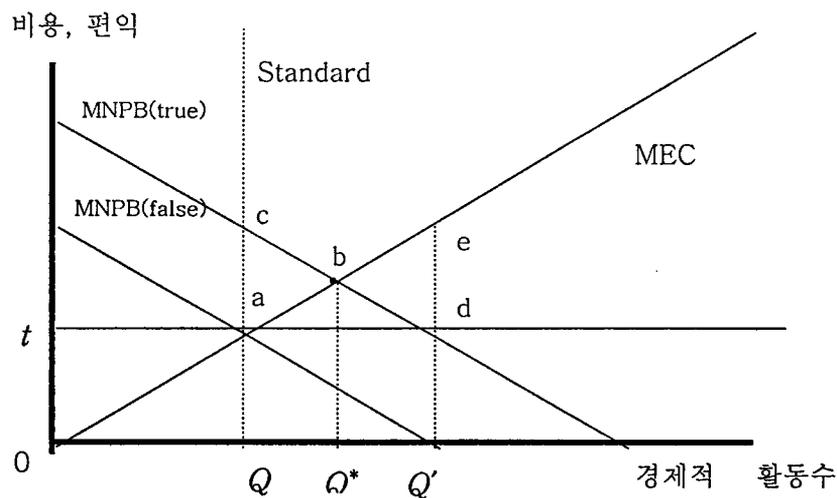


그림 4-6. 불확실성이 존재할 때의 두 기준의 후생감소효과.

마지막으로, 행정집행에 따른 비용문제를 통해 양자를 비교해 볼 수 있다. 경제행위를 감시하고 이에 대해 위반이 발생하는 경우에 경제적 제재를 가하거나, 또는 기업의 생산에 따라 조세를 징수하는 방법 모두 일정한 행정비용이 수반되지 않고는 이루어질 수 없는 정부의 활동이다. 조세를 통한 해결방안에 있어서는 그 징수 비용이 문제될 수 있다. 그러나 배출기준제도를 설정하고 시행하는 데에도 역시 상

당한 감시·감독에 따른 행정비용과 위반시에 이루어지는 제재에 따른 집행비용이 수반된다. 따라서 이러한 문제를 전체적으로 고려한다면 결코 배출기준제도가 조세를 통한 해결방안에 비해 더 적은 행정비용이 소요된다고 단언할 수는 없다.

3. 온배수 배출 규제를 위한 정책수단

앞에서 사회적으로 최적의 온배수 배출수준을 달성하는 수단으로 배출기준제도와 조세제도에 대해 간단하게 살펴보았다. 이를 좀 더 확대하여, 온배수 배출 규제를 위한 정책수단을 규제적 접근법(regulatory approach)과 시장친화적 접근법(economic incentive approach)으로 구분하고 각각의 내용과 장단점에 대해 논의하고자 한다. 배출기준 설정을 통한 직접 규제는 규제적 접근법이며, 조세(부담금), 보조금, 배상청구권/배출권 거래시장은 시장친화적 접근법에 해당한다(그림 4-7).

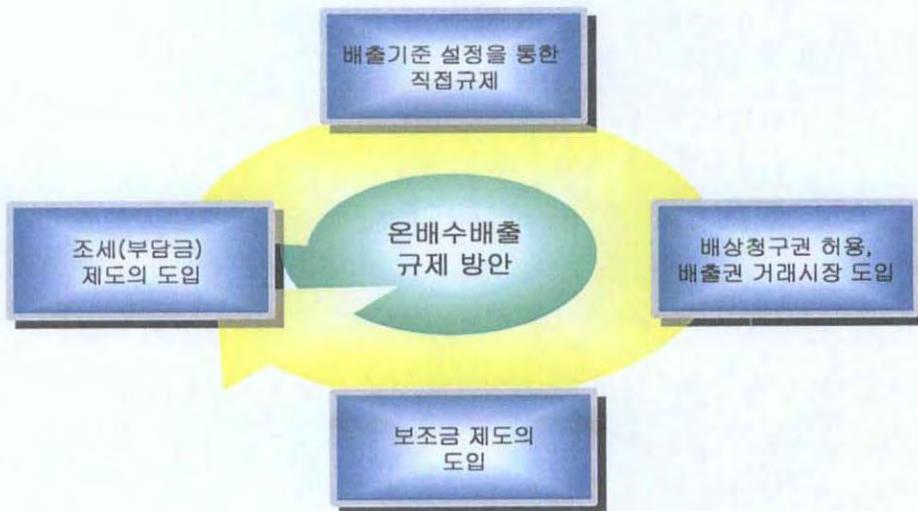


그림 4-7. 온배수 배출 규제의 4가지 정책수단.

가. 규제적 접근법

정부가 자연자원 등 환경재화의 사용 기준을 설정하고 이것이 준수될 것을 경제

주체에게 강요하는 직접적 규제방식을 명령 및 통제(C&C, Command and Control)에 의한 방식이라 한다. 정부가 오염물질의 배출량이나 배출형태에 대해 기준을 만들고 이를 준수하지 않을 때, 법적·행정적 제재를 가하는 방식이다.

규제정책은 정부가 오염과 피해에 대한 모든 정보를 입수하고 이의 배출기준을 설정하며 그 결과를 감시하는 것으로 통상 C&C 방식으로 불린다. 규제정책 목표의 달성을 위해서 정부는 오염뿐 아니라 오염유발자에 대한 정보를 필요로 하며, 통상 3가지 기준으로 구분된다(표 4-1). Pearce and Turner(1990)에 따르면, 3가지 기준 중에서 환경적 기준과 편익적 기준에 의한 오염통제가 기술적 기준의 오염통제보다 효율적이다.

표 4-1. 규제적 접근법 시행을 위한 기준.

구 분	내 용
기술적 기준	기술적으로 검출과 배출억제가 가능한 정도의 오염 통제
환경적 기준	인체에 영향을 주지 않는 특정 수준의 오염정도에 도달하기 위한 오염통제
편익적 기준	정부가 비용과 편익에 대한 명확한 정보가 있을 경우 이를 기준으로 한 오염통제

규제적 접근방법은 가장 보편적인 정책 수단이지만 이에 따른 문제점도 적지 않다. 첫째, 가장 기본적인 문제점은 오염을 배출하는 기업들의 서로 다른 비용조건을 제대로 반영하지 못한다는 것이다. 오염 배출에 따른 수익성이 다를 경우, 일률적으로 양적 제재를 가하는 것은 사회적으로 비효율적이다. 왜냐하면 개별기업의 경우 사회적 최적 생산량은 각 기업의 한계수입과 사회적 한계비용이 일치하는 지점에서 이루어지므로 개별기업의 최적 생산량은 다를 수밖에 없는데, 일률적으로 규제를 할 경우, 최적 생산보다 과대생산이나 과소생산이 이루어질 수 있다.

둘째, 다양하고 복잡한 규제의 내용을 그대로 집행하는 것은 피규제자의 담합에 의한 비효율의 문제 등으로 엄청난 행정비용과 비효율 및 탈법의 소지를 가지고 있다는 것이다. 이런 관점에서 최근에는 생산자, 소비자에게 경제적 유인을 주어 행동을 유도하는 경제적 유인정책으로 전환되고 있는 실정이다. 이렇게 C&C 방식은 전

형적인 비경제적·비시장친화적 정책 수단이라는 데 합의가 이루어져 있으나 정책 운용의 편리성 때문에 아직도 널리 사용되고 있다.

나. 경제적 유인정책

시장메커니즘에 의한 방식은 정부가 환경재화의 사용에 적절한 세금 등을 부과하여 소비자로 하여금 환경재화의 사용이 그리 매력적이지 않도록 유인하는 방식이다. 적어도 수요곡선이 탄력적인 부분에 대해서는 조세를 통해 환경재 이용의 감소를 유도할 수 있어 시장유인정책이라 할 수 있다. 보조금 정책은 반대로 기업들에게 오염물질 배출방지시설을 갖추는 데 일정액을 보조함으로써 사회적 최적 수준에서 생산이 이루어지도록 하는 것이다. 시장메커니즘 방식의 경우 정책기능상 통제기능이 제외됨으로써 C&C 방식에 비해 행정기능이 훨씬 단순화된다는 장점을 가진다.

경제적 유인정책은 현재 가격이 부과되지 않았거나 비용에 포함되지 않은 환경재화에 대해 적절한 가격 혹은 비용을 부과함으로써, 이제까지 비경제적영역에 머물렀던 자연자원의 가치를 경제적 영역으로 이동시키는 것이다. 정부는 생산자와 소비자로 하여금 자원의 지속 가능한 이용을 유인하기 위해 경제적 유인책을 사용하며, Pearce and Turner(1990) 경제적 유인책을 세 가지 형태로 분류하였다(표 4-2).

표 4-2. 오염규제를 위한 경제적 유인책 3가지

구 분	내 용
오염세(pollution taxes)	가격 또는 비용에 대해 직접 작용하여 환경재를 이용한 생산과 소비를 줄이는 것으로 모든 환경정책의 약 50%가 이 분야에 해당함
보조금(subsidies)	기업에 대한 보조금, 연성차관(soft loan) 등 금융 및 재정적 유인정책을 통해 가격 또는 비용에 간접적으로 작용하는 것으로 모든 환경정책의 약 30%가 이 범주에 해당함
배출권 거래시장	배상청구권 또는 배출권 거래의 허용 등을 통해 오염시장을 조성하는 것으로 모든 환경정책의 약 20%가 이 범주에 해당함

생태계 훼손을 최소화하고 환경의 지속가능한 이용을 도모하기 위한 방법론으로 경제협력개발기구(OECD)를 비롯한 세계 각국에서는 그 동안의 규제적 접근법에서 시장유인적 접근법으로 정부정책의 선화를 유도하고 있다. 특히 환경보전을 위한 대표적 시장유인정책으로 제시되는 환경세는 오염물질 배출에 대한 피구세의 부과를 통해 가격이 매겨지지 않는 자연자원에 적절한 가격을 부과하는 것으로 오염원의 감소를 목적으로 하고 있다.

규제적 접근법과 시장유인적 접근법의 차이는 다음과 같다(표 4-3). 첫째, 규제적 접근법은 직접규제 방식이며, 시장친화적 접근법은 간접규제 방식이다. 둘째, 규제적 접근법은 명령과 통제 방식을 사용하며 시장친화적 접근법은 시장메커니즘을 이용한다. 셋째, 규제적 접근법은 예방적인 차원에서 최적 배출량을 달성하고자 하며, 시장친화적 접근법은 비용 대비 편익의 관점에서 최적 배출량을 달성하고자 한다. 넷째, 규제적 접근법에서 정의하는 오염은 환경계 내에서 인간에 의해 방출되는 각종 유해폐기물이라는 물질적 오염을 의미하지만, 시장친화적 접근법에서는 오염을 인간 후생의 손실을 야기하는 폐기물의 존재라는 경제적 오염으로 정의한다. 다섯째, 행정의 복잡성이란 관점에서 규제적 접근법을 시행하기는 매우 복잡하며, 시장친화적 접근법을 적용하기는 규제적 접근법보다 용이하다.

표 4-3. 규제적 접근법 대 시장친화적 접근법

기 능	규제적 접근법	시장친화적 접근법
규제의 방식	직접적 규제	간접적 규제
적용방식	명령과 통제	시장메커니즘
목표달성수단	예방적인 접근	비용-편익적 접근
오염의 정의	물질적 오염	경제적 오염
행정의 복잡성	매우 복잡	보통 이하
오염자부담원칙	부분적으로 적용 (법적으로 허용된 오염배출에 대해서는 부담하지 않음)	발생 총량 적용
적용 정책수단	환경기준의 설정 및 적용	환경세, 보조금, 배출권 거래, 배상청구권

마지막으로 오염자부담원칙(PPP, Polluter-Pays Principle)의 적용이란 관점에서 두 접근법을 비교한다. 다음 소절에서 좀 더 자세하게 논의되겠지만, 오염자부담원칙은 환경보존을 위한 경제적 원칙으로 1972년 OECD에 의해 채택되었으며, 최종생산물의 가격에는 생산에 소요된 유무형의 총 가치가 모두 포함되어야 한다는 개념이다. 규제적 접근법의 경우 설정된 오염기준까지는 오염배출에 대한 법적 책임이 없으며 기준치 이상에 대해 적용함으로써 오염자부담원칙이 부분적으로 적용된다. 반면에 시장친화적 접근법의 경우 오염배출량에 비례해서 세금이 부과되므로 자신이 배출한 전체 오염량에 대해 오염자부담원칙이 적용된다.

4. 환경문제의 해결 원칙과 오염자 부담원칙

가. 오염자부담원칙의 개요

1972년과 1974년의 OECD 권고안에 따르면 '오염자부담원칙'이란 오염예방과 그에 따른 각종 조치에 드는 비용을 오염자가 부담해야 한다는 것을 말한다. 여기서 오염에 대한 조치라 함은 환경을 적정상태로 유지하기 위해 공공당국에 의해서 결정된 수단을 의미한다. 다시 말해서, 이 원칙은 오염자는 오염원으로부터의 오염물질의 배출감소, 오염배출시설로부터의 오염유출에 대응한 복합적인 대응수단 등의 환경보호를 위한 조치에 따른 각종 비용을 반드시 부담해야 한다는 것이다. 일반적으로는 오염자는 자신으로부터 기인하게 되는 모든 오염에 대해 예방과 제거에 드는 각종 비용을 부담해야 함을 의미한다. 즉, 오염자는 오염물질의 배출을 억제하는데 있어서 각종 보조금 및 세금공제 등의 여타 보조적 수단의 혜택을 받아서는 안 된다고 할 수 있다.

여기서 예외적 상황으로 인정된 경우로는 오염저감에 대한 연구개발(R&D)을 위한 지원과 특수하게 새로운 오염저감방법을 사용해야만 하는 오염자에 대한 혜택이 이에 해당될 수 있다. 후자의 경우에는 지원에 대해 일정기간 동안 한시적이고, 이에 대한 사회적 요청이 존재하고, 이러한 지원조치들이 국제무역과 투자에 심각한 왜곡을 야기해서는 안 된다는 제한이 존재한다.

현재 기존의 공장과 같은 오염원에 대한 지원은 과거에 비해 덜 이루어지고 있으나, 일부 경작관행에 의해 야기된 오염물질의 저감을 위한 농업부문에 대한 지원정책은 많은 관심을 끌고 있는 실정이다. 그리고 더욱 일반적으로 전지구적 차원에서 노력의 필요한 분야(예를 들어 오존층보호)에 대한 오염자부담원칙의 예외에 대

해 상당한 논의가 이루어지고 있는 상황이라 할 수 있다.

이러한 논의뿐만 아니라 현재는 법적·제도적으로 규정된 수준의 저감노력을 넘어서 오염에 대한 예방적 조치와 감소노력을 하고자 하는 오염자에게도 지원이 이루어질 수 있도록 하자는 추세로 발전되고 있다. 이러한 접근방향은 당초 1972년의 OECD 권고안과 상치되지는 않지만, 그 당시에는 미처 예상하지 못한 것이라고 하겠다. 1972년에 정의된 오염자부담원칙은 지금까지 더욱 일반화되고 확대 발전되어 오고 있으며 이 원칙은 당초 부분적인 내부화의 원칙으로부터 시작해 완전한 내부화의 원칙으로 확장되어 온 것이다.

나. 오염자 부담원칙의 실제

1). 행정적 조치에 따른 비용 및 피해비용의 포함

오염자부담원칙은 오염저감을 위해 오염자가 취하는 수단과 본질적인 관련을 맺고 있었다. 그 이후 이 원칙은 오염자가 오염물질의 배출결과와 관련해 이의 처리에 소요되는 행정적 수단에 대한 비용부분에도 책임이 존재한다는 방향으로 확장되었다.

1975년 폐기물에 관한 EC이사회규정 및 유독성 폐기물에 관한 1978년도 규정에서 정부가 취한 특정 조치(예를 들어 분석, 감시 등 특정 오염행위와 관련해서 직접적으로 비용이 발생하는 조치)에 대한 오염자의 지불의무를 규정하고 있다. 따라서 이러한 배출과 관련된 행정비용은 행정당국에 의해 오염의 유발자에게 청구될 수 있는 것이다. 이와 유사하게 대기오염의 측정을 위한 지역감시체계에 따른 비용 역시 특정지역에서 그러한 오염물질을 유발하는 경제주체에게 청구가 가능한 것이다.

현재 오염의 피해와 관련된 비용까지도 오염자부담원칙에 포함될 수 있도록 동원칙을 적극적으로 확대하려는 움직임이 진행 중이다. 환경을 유지하기 위해 정부가 설정해 놓은 예방수단을 시행하지 못한 오염자에게는 분명 그에 상응하는 책임이 존재하고 환경오염으로 인해 피해를 입은 측에 대해서 보상을 해주어야 함은 분명하다. 하지만 이에 따른 다음과 같은 문제점이 지적되기도 한다. 즉, 오염자가 환경오염을 회피하기 위해 설정된 모든 조치의 이행을 다한 경우, 그 때에도 오염피해에 대한 보상을 해주어야 하는가의 문제가 제기된다. 현재의 관점에서 보자면 이에 대해 만일 오염정도가 중대하고 피해가 심각한 경우 오염자가 그에 대한 비용을 부담해야 한다고 할 수 있다. 이에 반해 오염정도가 미미하다면 그렇지 않다.

1991년 OECD가 채택한 「환경정책에서의 경제적 수단 사용에 관한 권고 C(90)177 Final」에 따르면 지속가능하고 경제적 측면에서 효율적인 환경자원의 관리의 오염예방, 통제 및 피해 비용의 내부화를 요구한다고 규정되어 있다. 이는 거의 20년간에 걸친 논의의 결과로써 피해비용의 내부화 요구가 정식 규범의 형태로 구체화된 것이라 하겠다. 이러한 오염자부담원칙을 강화하는 일련의 경향으로 인해 오염자로 하여금 배출에 따른 보상을 요구하는 경제적 수단의 사용이 앞으로 더욱 늘어날 것을 알 수 있다. 실제로 적정수준의 배출부담금이나 환경세의 부과를 통해 환경피해로 인한 비용을 내부화할 수 있다.

2). 내부화의 확대

앞서 언급한 바에 따르면, 오염자부담원칙은 점차로 오염에 따른 외부비용의 내부화 정도를 확대해 오는 방향으로 발전되어 온 것을 알 수 있다. 궁극적으로 이 원칙의 적용은 오염자로 하여금 모든 비용은 아니라 하더라도 오염으로 인해 유발된 피해의 상당부분을 부담하도록 하게 될 것이고, 이러한 원칙을 통해 환경오염에 대응한 경제적 수단 및 오염자부담원칙에 따른 각종 부담금 등의 조치가 확대되고 있다.

비록 오염자가 비용을 최초로 부담한다고 하더라도, 통상 오염에 대한 비용은 생산물의 가격이나 보험제도를 통해, 또는 다른 잠재적 오염자와의 비용분담을 통해 환경에 대해 책임이 있는 모든 경제주체에게로 비용의 전가가 이루어지게 된다. 이에서 알 수 있듯이 오염자부담원칙의 적용이 반드시 법적 책임을 의미하는 것은 아님에 유의해야 하는데, 왜냐하면 이 원칙은 앞서도 언급된 바와 같이 법적 측면에서 오염에 대해 책임을 지는 경제주체를 지적하려는 것이 목적이 아니기 때문이다. 만일 오염자가 일단 확인된 경우, 오염자는 오염과 관련된 비용을 피해자 측에게 보상하게 되지만, 추후 실제로 오염과 관련해서 책임이 있는 측에 대해 그 비용을 전가할 가능성이 존재하는 것이다. 따라서 동 원칙 하에서 오염자는 최초로 보상을 하게 되지만 오염에 대한 법적 책임을 지는 주체는 아닌 것이다.

3). 오염자부담원칙을 적용한 대표적 국내 사례

오염자부담원칙을 적용한 대표적 국내 사례에는 환경개선부담금제도와 배출부과금제도가 있다. 첫째, 환경개선부담금이란 유통·소비과정에서 환경오염물질의 다량

배출로 인하여 환경오염의 직접적인 원인이 되는 시설물의 소유자 또는 점유자와 자동차의 소유자로부터 부과·징수하는 부담금을 말하고 있다. 일반적으로 정부의 환경정책 수단은 직접규제방식과 간접규제방식으로 나눌 수 있는바 여기서 말하는 간접규제는 경제주체에게 경제적 동기를 부여하여 오염의 원인으로 하여금 자발적으로 오염저감을 하도록 유도하는 방식을 의미한다.

여기서 고찰하고 있는 환경개선부담금제도는 경제적 유인제도를 통한 간접규제의 일환으로 ① 유통과 소비부문을 대상으로 ② 오염자부담원칙을 적용하고 있으며, ③ 총량부과방식을 통해 환경투자에 대한 효과적인 재원마련과 동시에 오염저감을 유도하기 위해 실시되고 있다. 즉, 생산과 제조부문에 대해서는 통상적인 직접규제 방식에 의해 오염물질의 배출규제가 이루어지고 있는 반면, 별다른 환경에 대한 고려가 미흡했던 유통과 소비분야에까지도 환경정책의 관리대상을 확대하려는 의지가 반영된 제도라고 할 수 있다. 뿐만 아니라 환경개선사업의 추진에 따른 비용을 조달하기 위해 오염의 원인자로부터 재원을 마련하는 오염자부담원칙을 적용하고 있다.

유통·소비과정에서 오염물질을 배출하여 환경오염의 직접적인 원인이 되는 시설물로서 점포·사무실·수상건물 등 지붕과 벽 및 기둥이 있는 건물로서 각층 바닥면적의 합계가 160㎡ 이상인 건물이 부과대상이다. 공동소유 시설물의 경우에도 각층 바닥면적의 합계가 160㎡ 이상이면 공동소유자수 및 1인지분면적과 관계없이 부과되도록 규정하고 있다. 자동차의 경우 자동차관리법의 규정에 의하여 등록된 자동차가 부과대상이 된다. 공장 등 생산·제조부문의 시설물과 삼원축매장치 부착 등 이미 원인자부담을 하고 있는 휘발유 사용 자동차는 부과대상에서 제외되고 있으며, 외국정부 소유의 시설물과 자동차, 단독주택·공동주택 등 주거용 시설물은 부과가 면제되고 있다.

환경개선부담금의 산정기준 및 방법은 오염자부담원칙에 근거하여 당해 시설물에서 배출되는 수질 및 대기 오염물질의 배출총량을 감안하여 산정하고 있다(표 4-4).

둘째, 배출부과금제도는 본래 오염물질의 배출을 경제적 유인수단에 의하여 오염자 스스로 억제하도록 유도하는 정책수단의 하나로서 오염물질의 배출 정도에 따라 부과금을 부과함으로써 오염물질 배출의 외부비용을 배출업자가 부담하도록 하는 제도이다. 현재 우리나라에서 채택하고 있는 배출부과금제도는 이와는 약간 상이한 성격을 가진 제도로서 정부가 외생적으로 환경기준을 설정하고, 오염물질의 배출 정도에 따라 부과금을 부과하여 오염자 스스로 배출량을 법적 기준에 맞추도록 유도함으로써 오염물질 배출로 인한 사회적 비용을 최소화하려는 성격을 가지고 있다.

표 4-4. 환경개선부담금의 부과대상 및 산정기준

부과대상		명칭	산정기준
시설물	대기오염물질을 배출하는 경우	대기환경개선부담금	연료사용량 * 단위당 부과금액 * 연료계수 * 지역계수
	수질오염물질을 배출하는 경우	수질환경개선부담금	용수사용량 * 단위당부과금액 * 오염유발계수 * 지역계수
자동차	경유자동차의 소유주에게 부과	자동차개선부담금	대당기본부과금액 * 오염유발계수 * 차령계수 * 지역계수

현행 배출부과금제도는 생산과정에서 발생하는 대기 및 수질오염물질을 그 대상으로 삼고 있으며, 오염자부담원칙에 입각한 환경정책기본법 제7조(자기의 행위 또는 사업활동으로 인하여 환경오염의 원인을 야기한 자는 그 오염의 방지와 오염된 환경의 회복 및 피해 구제에 소요되는 비용을 부담함을 원칙으로 함)가 근거법령이라고 할 수 있다. 배출부과금제도는 앞에서 언급한 환경개선부담금제도와 더불어 환경기준을 유지하기 위하여 필요한 환경개선비용의 최소화를 위한 오염자부담제도로서의 성격을 기본적으로 보유하고 있다.

그러나 현행의 배출부과금제도는 이러한 성격 외에 징벌적 성격도 함께 가지고 있다. 폐수배출부과금의 경우 폐수의 배출규제와 관련하여 배출허용기준을 준수하기 위한 각종 행정규제수단과 함께 보조적인 수단으로 사용되고 있으며, 대기배출부과금 역시 사업장의 대기오염물질 배출을 규제하기 위한 행정조치와 함께 사용되고 있다. 현행 제도는 농도기준을 설정하고 기준 이상의 배출업체에 대하여 벌과금을 부과하는 직접규제의 형태를 띠고 있어, 오염억제 및 자원조달의 효과면에서 문제가 있다는 비판도 있다. 배출부과금은 대기 및 수질분야에 부과되는데 초과부과금(처리부과금+종별부과금)과 기본부과금으로 나뉘어져 다음과 같이 산정된다.

- 기본부과금 : 배출허용기준이내 배출량(일일평균기준이내 배출량 x 조업일수) x 오염물질 1kg당 부과금액 x 지역부과계수 x 연도별 부과금 산정계수 x 농도별 부과계수(대기)(수질의 경우 방류수수질기준 초과율별 계수)
- 초과부과금 : 처리부과금(오염물질 1kg당 부과금액 x 배출허용기준초과 오

염물질배출량 x 배출허용기준 초과율별 부과계수 x 지역별 부과계수 x 연도별 부과금 산정계수 x 위반횟수별 부과계수)+종별부과금(사업장 규모에 따라 상이)

5. 부담금제도의 고찰

가. 부담금제도의 이론적 근거, 원칙, 고려사항

1). 부담금제도의 이론적 근거

환경정책의 일차적 목표 즉, 오염물질 배출량의 규제는 바로 사회적으로 용인 가능한 최적 배출수준을 달성하도록 유도하는 것이라 할 수 있다. 만일 시장에 외부성이 존재하는 경우, 시장자체의 힘만으로는 이러한 최적 배출수준의 달성은 가능하지 않게 된다는 문제가 있는 것이다. 이러한 맥락에서 정부의 환경정책을 통한 시장개입이 요구된다. 아래에서는 정부의 환경정책으로서의 조세제도를 고찰해보고자 한다. 왜냐하면 부담금 제도는 일종의 조세제도로서 그 산정근거도 환경조세제도에 대한 경제이론에서 찾아야 하기 때문이다.

현재 많은 경제학자들이 지지하고 있는 정부개입은 바로 실제 환경에 대한 피해를 기준으로 해서 오염자에게 부과되는 조세의 형태가 그 한가지 유형을 이루고 있다. 여기서 말하는 환경에 대한 피해란 바로 외부비용을 말하는 것인데 이러한 형태의 조세는 피구세라고 알려져 있다. 피구는 사적 비용과 사회적 비용을 일치시켜 줄 수 있는 수단으로써 조세부과를 제안한 바 있다. 이런 피구세는 현재 배출부과금 등의 용어로 알려져 있으며, 실제로 피구세에 해당한다고 볼 수 있는 부담금제도가 운용되고 있기도 한다. 따라서 경제적 유인수단인 부담금제도도 일종의 조세로 피구세의 개념에 해당한다고 볼 수 있다.

2). 부담금제도의 원칙

부담금의 산정은 환경정책의 관점에서 고찰해야 하므로 환경정책의 원칙에 준하여 제도의 원칙이 정해져야 한다. 이러한 원칙에는 예방의 원칙, 오염자부담의 원칙, 협력의 원칙, 공동부담의 원칙, 중점의 원칙, 보충의 원칙 등이 있다(정 1999). 일반적으로 오염자부담의 원칙과 공동부담의 원칙은 환경피해의 귀속, 복구 및 보

호비용의 부담과 관련된 비용관련 정책수단인 데 비하여, 예방의 원칙 및 협력의 원칙은 비용과는 관련이 없는 환경보호를 위한 구체적인 행위와 관련된 원칙이라 할 수 있다. 예방의 원칙과 협력의 원칙도 근본적인 차이가 있는데 전자가 문제의 크기와 정부개입의 강도 및 시점의 결정과 관련된 데 비하여, 후자는 환경정책적 목표의 설정 및 수단의 선택에 있어서 참여자들의 협동에 관한 원칙이다.

(가). 예방의 원칙

예방의 원칙(precautionary principle)은 환경정책의 원칙 중 가장 중요한 원칙이다. 이 원칙은 환경오염의 발생을 사전에 회피하여 환경 및 자연자원을 보호하는 것을 기본 목표로 삼고 있다. 이에 따라, 이 원칙을 회피의 원칙 혹은 비후회의 원칙이라 부르기도 한다. 이 원칙에 따르면 환경정책은 이미 발생하여 우리에게 위협으로 다가온 환경오염을 제거하는 방향으로 추진될 것이 아니라 제반 환경오염의 발생을 미연에 방지하는 방향으로 추진되어야 함을 강조하는 특징을 갖고 있다. 이에 대한 배경으로는 환경오염에 대하여 환경정책수단을 구축하여 이를 해결하려고 노력할 즈음에는 환경문제를 효율적으로 해결하기에 시간적으로 너무 늦는다는 인식에서 비롯된 것이다.

예방의 원칙은 이를 효율적이고 광범위하게 적용할 때 미래 세대들에게 오염되지 않은 환경을 유산으로 남겨 줄 수 있다는 점에서 중요한 의미를 지니고 있으며, 결국 환경정책은 환경오염을 유발시킬 수 있는 잠재적인 원천(potential sources)을 제거하는 것을 목표로 하여야 한다는 것이다. 예방의 원칙은 환경정책의 수단보다는 목표와 긴밀한 관련을 맺고 있다. 이에 따라 이 원칙은 환경정책이 근본적으로 지향하여야 할 방향이 무엇인가에 대한 가치판단의 기준으로 더 많이 활용되고 있다.

(나). 오염자부담의 원칙

예방의 원칙이 환경의 질적 수준을 개선하는 데 목표를 두고 있는 데 반해 오염자부담의 원칙은 특정한 환경오염의 피해를 특정한 사람과 단체에 귀속시키고 환경피해를 제거하고 줄이는 비용을 누가 부담할 것인가를 결정하여 국가경제 전체적인 효율성을 제고시키기 위해 적용되는 원칙이다. 이는 경제학에서 오래 전부터 알려져 온 원칙이기 때문에 그 동안 이를 환경정책에 활용하는 데에는 이론의 여지가 없었다. 특히 OECD(1992)가 구체적인 분석과 제안을 해 온 이후 많은 국가들이 가

장 많이 활용하고 있는 환경정책의 원칙이 되었다.

오염자부담의 원칙은 광의와 협의의 두 가지 관점에서 파악할 수 있는데, 첫째, 광의에서 보면 오염자는 그가 법적 경계 안에 있든 없든 그의 오염행위에 의해서 발생된 모든 피해에 대해 재정적으로 책임져야 한다는 것이다. 이 같은 광의의 오염자부담의 원칙은 이론적으로나 가능하기 때문에 환경정책의 실무에서는 협의의 오염자부담의 원칙을 적용하는 것이 일반적이다. 협의의 오염자부담의 원칙은 오염자가 관계당국에 의해 요구되는 환경적 요구를 준수하기 위해 재정적인 책임을 지는 것을 의미하고 있다.

오염자부담의 원칙은 환경정책의 중요한 원칙으로 간주되며, 이 원칙에 따르면 환경오염의 발생원인을 제공한 자는 기본적으로 이 환경오염의 복구비용을 부담하여야 한다는 내용을 담고 있다. 이에 따라, 오염자부담의 원칙을 '원인제공자 원칙'이라고 명명할 수 있으며, 이 원칙은 시장경제의 기본적인 사고를 잘 반영하고 있다.

(다). 협력의 원칙

일반적으로 많은 나라들은 정부의 강력한 규제를 중심으로 환경문제의 해결을 추진하고 있는 바, 최근 들어 경제 주체들의 자발적인 협력에 의해 환경문제를 해결하여야 한다는 견해가 대두되고 있다. 협력의 원칙은 환경문제를 해결하는 데 환경문제를 유발시킨 모든 관계자들이 공동의 책임을 지고 협동하여 문제를 해결하여야 함을 의미하며 이에 따라, 환경정책적인 목표를 달성하기 위한 과정적인 원칙이라 할 수 있다. 여기에서는 정책목표의 설정은 물론 정책수단의 집행 및 추진에 있어서 가능하면 모든 사회 구성원들이 참여할 것을 강조하고 있다.

협력의 원칙은 무엇보다도 환경문제의 해결을 둘러싼 정부와 사회와의 관계를 다루고 있다. 환경은 공공재라는 특성 때문에 환경보호의 업무를 정부의 전유물로 인식하는 경향이 많았다고 할 수 있다. 이는 사실상 상당히 타당하며 사회가 환경문제를 해결한다 하더라도 정부의 환경보호 노력의 필요성이 줄어드는 것은 아니다. 이에 따라, 협력의 원칙은 환경정책에 있어서 보충적으로 활용될 수 있을 것이다.

그러나 환경정책의 수립 및 집행에 있어서 어느 정도로 민간이 참여하여야 할 것인가에 관해서는 불분명한 점이 많으나 그럼에도 불구하고 환경정책 수단의 집행과 관련해서는 협력의 원칙이 많이 활용되고 있다. 예를 들어, 환경관련 보조금의 지급에 있어서 정부는 민간부문과 긴밀하게 협력하는 양태를 보이고 있으며, 또한 최근

에는 이 원칙에 입각하여 담합과 단체해결방법과 같은 상호협력에 의한 해결방식이 점차 대두되고 있다.

(라). 공동부담의 원칙

오염자부담의 원칙은 몇 가지 취약점으로 인해 정책실무에 있어서 제한되게 사용될 수밖에 없으며, 따라서 이를 보충하기 위하여 공동부담의 원칙이 대두되게 되었다. 공동부담의 원칙은 환경정책의 접근에 있어서 중요한 가치체계 중 형평성(equity)의 측면에서 활용되는 바, 이 원칙은 전술한 예방의 원칙이나 오염자부담의 원칙과는 달리 역사가 오래되지 않았으며, 일부 영어권 국가들에서만 실무적으로 활용되었고 대부분 국가들은 이 원칙의 활용을 기피하고 있는 실정이다. 이는 전술한 오염자부담의 원칙에 대한 과도한 강조에서 비롯하는 것으로 추정된다. 그러나 공동부담의 원칙은 이미 많은 국가들에 의해 묵시적으로 활용되어 온 중요한 원칙이다. 예를 들어, 정부의 환경관련 예산을 증액하라는 요구는 이미 환경문제 해결에 있어서 공동부담의 원칙을 전제하고 있는 것이다.

공동부담의 원칙은 두 가지의 유형으로 적용될 수 있다. 먼저, 일반적 공동부담의 원칙으로서 이는 공공재정을 통해 특정한 상황에 적합한 환경정책 수단의 추진에 소요되는 비용을 조달하는 것을 의미한다. 두 번째 형태는 수익자부담의 원칙이라고도 불리며, 이는 피해자 스스로가 환경오염을 회피하는 비용, 즉 환경정책 수단에 소요되는 비용을 부담하는 것을 의미한다. 그러나 시장경제시스템에서 오염자부담의 원칙은 포기되어서는 안 될 환경정책의 기본원칙이며, 이 점에서 공동부담의 원칙은 절박한 상황 하에서 임시적인 미봉책으로 활용되어야 한다.

(마). 중점의 원칙

환경정책이 모든 환경문제를 해결할 수는 없으며, 정부의 입장에서 환경정책에 대한 우선순위가 높다고 해서 환경정책에 과도한 자원을 투자할 수는 없을 것이다. 또한 환경보호를 위한 투자로부터 발생하는 환경개선효과는 제한적인 경우가 많다. 일반적으로 환경오염을 감소하기 위한 정부의 투자는 일부분야에 집중적으로 혹은 선별적으로 투자되는 것이 보다 효율적이다. 이는 특히 정부의 환경관련 재정이 충분하게 확보되지 않았을 경우에 더욱 그러하며, 이 점에서 환경정책 내지는 부담금 제도 운영 원칙에 중점의 원칙이 포함되는 것이다.

특정부문에 대한 환경정책의 적용을 포기함으로써 야기되는 환경피해가 이 부문에서 용인될 수 있고 또한 용인될 수 있는 정도까지 포기함으로써 발생하는 재정적 여유자금을 이 같은 추가적인 여유자금이 없었다면 불가능하거나 가시적인 기간 내에서 실현 불가능하였지만 명백하게 보호할 필요가 있는 보다 큰 규모의 환경보호의 장점을 얻을 수 있는 다른 부문에 활용될 수 있다면 환경정책수단은 중점의 원칙에 따라 선별적으로 활용할 수 있을 것이다.

중점의 원칙은 어떤 환경오염의 유형이나 지역이 환경개선의 필요성이 낮은 경우, 환경개선의 효과가 미미한 경우, 상대적으로 환경오염이 심각하지 않은 경우 환경정책적 지원을 이보다 훨씬 중요한 다른 환경오염의 유형이나 지역으로 전환할 필요가 있음을 의미한다.

(바). 보충의 원칙

부담금제도의 또 다른 원칙으로 보충의 원칙(subsidiarity principle)을 들 수 있다. 이 원칙은 이론적인 측면보다는 정치적·사회적 고려에 의해서 대두되었다. 이 원칙에 따르면 환경정책 수단들은 주어진 환경문제의 해결에 적합한 관계당국의 가장 낮은 수준에서 결정되어야 한다고 할 수 있다. 이 원칙은 무엇보다도 환경문제의 해결에 정부부문과 민간부문간의 분업문제를 다룬다는 점에서 앞에서 살펴 본 협력의 원칙에서 근거가 되는 논의이다. 이 원칙은 환경문제의 해결책임을 정부부문에서 민간부문으로 이전하는 문제에 초점을 맞추고 있다.

아울러 보충의 원칙은 환경문제의 해결에 있어서 중앙정부와 지방정부와의 관계에도 초점을 맞추고 있다. 환경문제의 해결은 중앙정부만의 과제가 아니라 지방정부들도 적극적으로 참여하여야 할 과제라 할 수 있다. 따라서 이 원칙은 지방정부의 환경보호 노력이 충분하지 않을 경우에 중앙정부가 환경문제에 보충적으로 개입하여야 한다는 원칙으로 파악할 수 있다. 지방정부는 자기 지역의 환경문제를 보다 명확하게 파악할 수 있기 때문에 지방정부의 환경문제에 대한 적극적인 개입은 환경문제를 해결하는 데 많은 공헌을 할 수 있을 것이다.

실제로 환경문제의 해결이나 국가발전의 노력에 있어서 지역적 특성을 고려하지 않고는 소기의 목적을 달성하기 어려우며, 특히 우리나라와 같이 지방자치단체들이 지역환경의 보존보다 개발을 지향하고 있는 추세에서는 이 원칙이 폭넓게 활용되어야 할 것이다.

일반적으로 환경문제는 어느 특정 지역에서 발생하여 다른 지역으로 광범위하게

확산되는 경우가 많기 때문에 중앙정부는 이와 같은 보충의 원칙에 의해 지방정부들과 긴밀히 협력하여 지역환경 문제를 효율적으로 해결하도록 노력해야 할 것이다. 결국 보충의 원칙을 통한 지방정부들의 환경문제 해결을 위한 노력은 대상이 되는 환경문제가 지역을 초월하지 않고 정책적 효과가 자기 지역에 국한될 경우에 더욱 높은 당위성을 갖게 될 것이라 하겠다.

(사). 여러 원칙의 비교

이상과 같이 여러 원칙에 대해 살펴본 바, 이러한 원칙들은 서로 상충되는 측면도 가지고 있음을 알 수 있다. 일례로 예방의 원칙은 환경오염의 발생을 미연에 근절하는 것을 목표로 하고 있는 반면에, 오염자부담의 원칙은 이미 발생한 환경오염을 제거하는 것을 의미하기 때문에 이들은 대상으로 하는 차원이 다른 것이다. 그러나 이들 원칙들은 부담금제도의 실무에서 상호 보완적으로 활용될 수 있다. 부담금제도가 합리성을 갖기 위해서는 하나의 원칙만을 적용해서는 안 될 것이며, 다양한 원칙들이 포괄적으로 고려되어 집행·적용되어야 할 것이다.

여러 원칙들은 서로 긴밀하게 관련을 맺고, 부담금제도의 목표는 다양한 원칙에 의해서도 구현될 수 있는 바, 예를 들어, 오염자부담의 원칙에 있어서 오염자를 결정하기 어려운 경우에는 예방의 원칙 또는 공동부담의 원칙을 활용할 수 있으며, 또한 오염자부담의 원칙을 구현하는 데 있어서 협력의 원칙을 동시에 활용하여 다양한 오염자가 서로 협력하여 환경오염을 줄이게 할 수도 있다. 아울러, 협력의 원칙은 예방의 원칙과도 상당한 연관성이 있다. 예를 들어, 환경예방에 있어서 다양한 경제주체의 참여와 협력은 환경의식의 확산에는 물론 특정 환경문제를 조기에 발견하여 해결 가능성을 찾는 데 큰 공헌을 할 수 있다.

오염자부담의 원칙과 수익자부담의 원칙은 정반대의 측면을 가지고 있기 때문에 둘 중에 어느 것을 선택할 것인가의 문제는 상당한 논란을 불러일으킬 수 있으며, 이러한 문제는 국가 전체의 경제적 효율성과 환경적 효율성의 측면에서 해결되어야 한다. 일반적으로 오염자부담의 원칙을 활용할 수 없는 상황에서 수익자부담의 원칙을 활용하면 어느 정도의 단기적인 효율성을 제고할 수 있다. 그러나 장기적인 측면에서 국가의 효율성은 오염자부담의 원칙에 의해서만 달성될 수 있고, 이는 국가경영의 근간을 이루는 사회정의 구현의 측면과도 일치하게 되므로, 이 점에서 오염자부담의 원칙이 부담금제도에 있어서 가장 중요한 원칙이라고 할 수 있다.

요컨대, 부담금제도의 원칙은 서로 독립적이지 않고 서로 연관되어 있는 것으로

파악해야 하며, 각 원칙의 근거에는 많은 상호관련성이 있다. 따라서 부담금제도의 설계를 위한 환경정책적 문제의 인식, 부담금제도 운용수단의 선택, 부담금제도의 효과에 대한 판단 등은 다양한 원칙들을 고려하는 속에서 이루어져야 할 것이다.

3). 부담금제도의 도입시 고려사항

부담금을 결정하는 데 있어서 가장 중요한 것은 어떤 근거에 의해서 부담금 수준 또는 부담금 체계를 형성할 것인가를 명확하게 밝히는 것이다. 이 근거는 부담금 결정에 있어서 경제적·사회적 원리라고도 할 수 있다. 그런데, 이것이 명확히 제시되지 않으면 부담금 수준 또는 부담금 체계 결정에 있어서 일관성을 상실하기 쉽다.

해양생태계가 제공하는 서비스는 자연에 의해 생산·공급되고 있으므로 그 가격은 시장에서 결정되지 않는다. 따라서 이러한 해양자연자원의 이용에 따른 가격을 매기기 위해서는 특별히 고안된 여러 가지 기법을 적용해야 한다. 그런데 부담금은 정부에 의해 그 수준이 결정되므로 부담금과 관련된 일반적 결정기준들을 살펴 볼 필요가 있다.

이후에 자세하게 설명될 여러 기준을 받아들이는 데 있어서 한 가지 주의해야 할 사실은 이 기준들이 서로 어느 정도 상충(trade-off) 관계에 있다는 것이다. 즉, 어느 하나의 기준을 강조하다보면 다른 기준을 소홀히 할 수 있으며, 여러 개의 기준을 동시에 만족시킬 수는 없다는 것이다. 따라서 정책당국자는 모든 기준을 동일한 중요도로 받아들이기보다는 상황에 따라 여러 기준들을 적절하게 우선순위를 정해 받아들여야 할 것이다.

(가). 효율성

효율성(efficiency)이란 어느 한 개인의 효용을 증대시키려면 다른 개인의 효용을 감소시키지 않으면 안 되는 경제적 상태로 정의된다. 이때의 자원배분을 효율적인 자원배분이 되었다고 할 수 있으며, 이것을 다른 말로 파레토 최적(Pareto optimum)이라 한다. 효율성이란 개념은 가끔 효율적인 생산(efficient production)으로 해석되곤 하는데, 이것은 효율성을 만족시키는 필요조건에 지나지 않는다. 효율적인 생산은 주어진 생산량을 최소비용을 들여 생산하는 것을 의미하므로 재화나 용역을 생산하는 데 자원의 낭비가 초래된다면 이미 이것은 효율성을 충족시키지

못한다고 할 수 있다.

즉 효율성은 최소비용을 들여서 재화나 용역을 생산하면서, 생산된 재화나 용역이 각 개인에게 효율성의 정의에서와 같이 배분될 때 달성된다. 효율성의 기준을 부담금 산정과 관련하여 적용한다면, 부담금 수준은 온배수 배출로 인해 발생하는 외부성의 크기로 정해져야 한다. 이 부분은 앞에서 보다 자세히 설명된 바 있다. 한 가지 유의해야 할 점은 효율성의 개념에는 소득분배에 관한 고려가 없다는 것이다.

(나). 형평성

형평성(equity)은 대단히 주관적인 개념이고 가치판단을 전제로 한다고 할 수 있다. 그러나 우리는 어떤 정책을 형평성의 관점에서 평가는 할 수 있다. 즉 어떤 정책은 상대적으로 고소득층에게 혜택이 많이 돌아가는 정책이고, 또 어떤 정책은 상대적으로 저소득층에게 혜택이 많이 가는 정책이라는 식으로 정책평가를 할 수 있다. 따라서 적어도 어떤 정책이 고소득층에게 상대적으로 많은 혜택이 돌아간다면 이는 형평성의 기준에 비추어 볼 때 바람직한 정책이라고 할 수는 없을 것이다.

온배수배출부담금 수준 또는 부담금 체계와 관련하여 살펴볼 때, 형평성과 관련하여 다음과 같이 여러 가지 고려해야 할 점이 있다. 첫째, 소득분배 측면에서 해양생태계가 제공하는 서비스는 발전사업 또는 공단의 가동으로 불가피하게 훼손되는 부분이 있으므로 부담금을 저소득층에게는 상대적으로 저렴하게 매기고 고소득층에게는 상대적으로 높게 매기게 되면 어느 정도 소득재분배가 이루어진다.

둘째, 소득재분배와는 달리 부담금의 수준 또는 요율이 지역별·업종별로 똑같아야 하는 것이 공평성(fairness)을 충족시키는 것이냐 하는 문제가 제기될 수 있다. 만약 공평성을 모든 온배수 배출사업자들이 똑같은 수준 또는 요율의 온배수배출부담금을 부과 받아야 한다는 것으로 정의한다면, 지역 간 해양생태계보존 수준 또는 업종별 해양생태계 훼손 정도가 상이할 때 온배수 배출사업 수행에 따른 한계 환경비용도 달라지므로 지역과 업종에 상관없이 동일한 수준 또는 요율의 부담금을 매기는 것은 효율성을 충족시키지 못하다.

그리고 한계환경비용을 상회하는 단일 부담금을 적용한다면 온배수 배출사업자에게 필요 이상의 부담을 주므로 최적의 상태가 되지 못한다. 또한 한계환경비용보다 낮은 수준에서 부담금이 산정되면, 온배수 배출사업자들은 해양생태계 제공 서비스의 최적 이용량보다 더 많은 양을 사용하게 되어 자원의 낭비를 가져오게 된다. 그리고 '총 환경비용=총 부담금 수입'의 제약조건을 충족시켜야 한다면 낮은 환경비

용을 수반하는 사업으로부터 높은 환경비용을 수반하는 사업으로 교차보조(cross-subsidization) 현상이 발생하게 된다.

셋째, 부담금을 결정하는 데 있어서 종종 제기되는 두 가지 형평의 원칙으로는 수혜의 원칙(benefit principle)과 부담능력의 원칙(ability-to-pay principle)을 들 수 있다. 수혜의 원칙이란 해양생태계 서비스 이용정도, 즉 해양생태계 훼손정도에 비례하여 온배수배출부담금을 부과해야 한다는 것이고, 부담능력의 원칙이란 배출사업자의 부담능력에 따라 부담금을 산정해야 한다는 것이다.

전자는 부담금의 수준이 생태계가 제공하는 서비스의 가치와 결부되어야 한다는 것인데 현실적으로 적용될 때는 서비스의 한계단위의 가치와 같도록 부담금을 산정하는 것이 이 원칙과 일관성을 가진다. 후자의 원리를 적용하려면 ‘부담능력’에 대해 명확하게 정의할 필요가 있다. 대체적으로 사업자가 재정적으로 부담할 수 있는 능력을 부담능력으로 보고 부담능력이 높은 사업자가 부담능력이 낮은 사업자에 비해 많은 온배수배출부담금을 부과 받는다면 이 원칙에 충실한 것으로 볼 수 있다. 이러한 측면에서, 만약 사업자의 부담능력과 해양생태계 훼손정도가 비례한다고 할 때 온배수배출부담금 산정 시 누진율(increasing block rate)을 적용한다면 이 원리에 어느 정도 가깝다고 할 수 있다.

형평성과 관련하여 마지막으로 고려해야 할 것으로 세대간 형평성 문제를 들 수 있다. 이것은 어떤 효율체계 아래서 현 세대와 다음 세대간의 부담의 차이가 있느냐 하는 문제로서 만약 온배수배출부담금을 1~2회에 그치지 않고 여러 해에 걸쳐 계속 부과한다면 초기 생태계 훼손에 따른 환경비용을 여러 해에 걸쳐 어떻게 나눌 것인가를 결정하는 데 있어서 특히 고려해야 할 필요가 있다.

(다). 사업자의 수용가능성

정부가 추진하는 어떠한 부담금의 경우도 마찬가지로이겠지만 온배수배출부담금의 산정방식 및 그 수준에 대해 온배수 배출사업자가 충분히 이해하고 받아들일 수 있어야 하는데 이를 사업자의 ‘수용가능성(acceptability)’이라 한다. 이러한 수용가능성의 확보를 위해 부담금 수준이나 효율체계는 사업자들에게 최소한의 공평성이 유지되어야 한다. 그러므로 효율체계는 가능한 한 단순화될 필요가 있으며, 복잡한 효율체계는 사업자들에게 해양생태계 훼손에 따른 환경비용을 적절하게 반영하는 가격신호(price signal)로서의 역할을 충분히 하지 못하고, 사업자들로 하여금 잘못된 가격신호에 반응을 나타나게 할 수도 있다.

요율체계가 가격신호로서의 역할을 해야 한다는 것은 온배수 배출사업자가 온배수배출부담금 부과에 충분히 민감하게 반응하여 온배수 배출량을 최소화시키도록 하는 경제적 유인을 제공해야 한다는 의미이다. 비슷한 사업에 대해 상이한 부과요율이 적용된다면 이러한 요율체계는 사업자들이 쉽게 받아들이지 않을 것이다.

(라). 단순하고 명시적인 부담금 산정표준

적절한 부담금 산정표준(tax base)과 부과대상(point of imposition)을 결정할 때 고려해야 할 많은 요인들이 있다. 부담금 산정표준의 설계에 있어서 필수적인 첫 단계는 해양생태계 훼손의 ‘생애주기(life cycle)’를 명확히 하는 것, 즉 해양생태계 훼손이 어떻게 발생되어 진행되며 최종 결과는 어떻게 되는지를 이해하는 것이다. 사실 부담금 산정표준은 대상 지역의 특수한 성격에 따라 달라져야 한다. 즉 어업 인구집중이나 지리적 위치 때문에 지역적으로 보다 민감한 문제가 있을 수 있다. 예를 들어, 주변에 양식장이 많은 곳에서의 온배수 배출과 주변에 양식장이 거의 없는 곳에서의 온배수 배출은 질적인 차이가 있을 수 있다. 이상적으로는 모든 측면의 해양생태계 훼손이 부담금 산정표준에 포함되어야 한다. 하지만 한편으로는 사업자의 수용가능성을 위해 부담금 산정표준은 비교적 단순해야 한다. 과도한 복잡성은 부담금의 의미를 이해하기 어렵게 만들고 투명성을 줄이며 이로 인하여 수용가능성과 이행에 영향을 미칠 수 있다.

(마). 부과요율의 선택

이론적으로 환경비용을 완전히 내부화시키기 위해서는 한계 생태계훼손 저감비용과 한계 생태계훼손 환경비용이 동일한 수준에서 적정한 부과요율이 결정되어야 한다. 그러나 이를 위해서는 제때 필요한 자료를 구하는 데 시간과 비용이 많이 요구되고 수많은 정보를 필요로 하며, 가끔은 여러 가지 제약적인 가정에 기초한다. 따라서 엄밀한 방법을 통한 부과금 산정을 위해 최선을 다하되, 이것이 현실적으로는 쉽지 않을 때에는 차선책으로 여러 가지 비경제학적 방법을 통해 도출된 실용적인 값에 근거할 수 있다.

(바). 최소 행정비용

비록 앞의 여러 가지 기준들이 만족된다 하더라도 온배수배출부담금 제도가 정책 당국에 지나치게 많은 행정비용을 요구한다면, 이는 문제가 있으므로 최소 행정비용(minimum administrative cost)의 원칙이 지켜져야 한다. 따라서 온배수배출부담금 제도의 이행에 있어서 행정비용, 모니터링 비용 및 준수비용(compliance cost)을 평가하는 것은 대단히 중요하다. 예컨대, 부담금을 산정하는 데 있어서 대상지역의 해양생태학적 중요성 또는 온배수 확산구역의 면적을 기준으로 할 것인가를 고려해야 한다. 또한 환경적 효과성과 부담금 관리의 비용-효과적(cost-effective) 수단의 사용간 균형을 유지하여야 한다. 부담금 산정표준과 부과대상의 선택과 같은 부담금 제도의 설계도 행정비용에 영향을 줄 수 있다. 부담금의 비용-효과성은 부담금의 관리 및 벌칙의 적용, 사업자의 해양생태계 보전 노력 등에 따라 결정된다.

(사). 용도지정

온배수배출부담금의 징수로 발생하는 부담금 수입에 대해, 어느 비율 이상을 해양생태계 보전 또는 해양생태계 복원을 위해 사용되도록 미리 용도가 지정되어 있어야 한다. 그렇지 않다면 제도 자체에 대한 반발이 생길 수 있으며 애초의 목적에서 벗어난 비효율적인 자원배분을 초래할 수 있기 때문이다. 한편, 부담금의 징수는 사업자에게 있어서 비용의 증가를 가져와 장기적으로 사업자는 이에 민감하게 반응하여 사업규모 자체를 줄이거나 혹은 환경친화적인 개발방법을 고안하거나 채택할 것이다. 따라서 시간이 지남에 따라 부담금 수입이 줄어들 수도 있으므로, 여러 가지 해양생태계 보전사업에 대해 우선순위를 정해둘 필요가 있으며 이것도 일종의 용도지정이라 할 수 있다.

용도지정에 반대하는 주장의 근거는 용도지정이 이루어지면 정부가 정부지출의 조합을 최적화하지 못한다는 것이다. 장기적으로 용도지정은 비효율성과 경직성을 낳을 수 있다. 따라서 용도지정의 위험성은 주의 깊게 평가되어야 한다. 이렇게 용도지정과 관련된 우려에도 불구하고 많은 국가에서 그리고 우리나라의 여러 환경관련 부담금제도에서는 주로 정치적 부담을 줄이기 위해 용도지정이나 혹은 이와 유사한 접근방법을 채택하고 있다. 용도지정은 새로운 부담금제도에 대한 사업자의 수용가능성을 증진시키는 수단으로 인식되며, 정치적인 지지를 이끌어내는데 도움이 된다.

나. 부담금의 개념, 구분, 기능

1). 부담금의 개념

부담금관리기본법 제2조에서는 부담금을 “중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장, 행정권한을 위탁받은 공공단체 또는 법인의 장 등 법률에 의하여 금전적 부담의 부과권한이 부여된 자가 분담금, 부담금, 예치금, 기여금 그 밖의 명칭에 불구하고 재화 또는 용역의 제공과 관계없이 특정 공익사업과 관련하여 법률이 정하는 바에 따라 부과하는 조세의외의 금전지급의무”라고 정의한다.

학술적으로는 “특정의 공익사업에 충당하기 위해 그 공익사업과 특별한 관계가 있는 자에 대하여 그 사업에 소요되는 경비의 전부 또는 일부를 충당하기 위하여 부과하는 공법상의 금전납부의무”(김 1993, 이 1993) 또는 “정부 등 공적기관 서비스 공급의 대가로 사용자나 수익자가 직접 지불하거나 해당 서비스와 연관이 깊은 재화, 서비스 사용시 간접적 형태로 대가를 지불하는 금액”이라고 정의되기도 한다.

이러한 부담금의 개념을 비교하여 살펴보면 부담금은 첫째, 일반 재정수요보다는 특정사업을 위한 경비에 충당되고(즉, 일반적 재정충당과 달리 경제정책적 또는 유도적·조정적 기능을 가져야 한다), 둘째, 특정한 사업과 이해관계를 가지는 자에 대한 ‘특별한 재정책임’이라는 특징을 가지고 있음을 알 수 있다. 여기서 특별한 재정책임이라는 것은 부담금이 부담금 부과대상자의 범위와 부담금 징수목적 사이에 밀접한 관계가 있어서 부담금을 납부할 의무를 지는 집단이 다른 집단 또는 일반적 납세의무자보다 징수목적에 대해 명백한 상관관계가 있어야 함을 의미한다. 이 같은 수익원칙과 비용원칙은 효율성 추구가 중요한 목표이고 수익자나 비용발생자를 특정하여 직·간접적 부담을 청구할 수 있을 때 널리 사용된다.

부담금의 개념은 조세, 수수료, 사용료 등 유사한 개념과 비교할 경우 보다 명확해진다. 조세는 일반적으로 “국가 또는 지방자치단체가 그 경비에 충당하기 위하여 국민으로부터 무상으로 강제적으로 징수하는 재화”라고 정의할 수 있다. 부담금은 공익사업 추진을 위한 재원을 마련한다는 점에서 조세와 그 성격이 유사하다.

하지만 통상적으로 조세와 부담금은 다음과 같은 점에서 서로 구분된다. 첫째, 부담금은 특정한 공익사업의 경비에 충당하기 위한 것인데 비하여 조세는 국가 또는 지방자치단체의 일반수입을 목적으로 한다. 둘째, 부담금은 당해 사업과 특별한 관계가 있는 자에게 부과하는 데 반하여, 조세는 특정사업과 관련 없는 일반국민 또는 주민에게 모두 부과한다. 셋째, 부담금은 사업소요경비, 사업과의 관계 등을 기준으로 하여 부과됨에 비하여 조세는 담세능력을 기준으로 하여 부과된다.

다만, 조세 중에서 목적세는 특정한 사업의 경비에 충당하기 위한 경비라는 점에

서 부담금과 성질이 같으나, 부담금과 같이 그 사업과 밀접한 관계가 있는 자에게만 부과되는 것이 아니라 사업과 관련이 없는 일반개인에 대하여 그 납세능력에 따라 부과되는 점이 다르다고 할 수 있다.

한편 사용료는 공공시설의 이용 또는 재산사용의 대가로 부과 및 징수하는 요금으로서 부담금과는 차이가 있다. 즉 부담금이 특정의 공공서비스를 창출하거나 바람직한 행위를 유도하기 위해 특별한 이해관계자에게 부과하는 데 반해, 사용료는 국가 또는 지방자치단체가 제공하는 공공시설을 이용하거나 재산사용에 대한 반대급부(대가)로서 부과된다.

2). 부담금의 구분

부담금은 공익사업과의 관계 및 법적 성격 등에 따라 다양한 분류가 가능하다(기획예산처 2007). 첫째, 부담금은 공익사업의 종류에 따라 도로부담금, 하천부담금, 환경부담금 등으로 분류할 수 있으며, 공익사업과 부담주체의 관계에 따라 수익자 부담금, 원인자 부담금, 손피자 부담금 등으로 구분할 수 있다(표 4-5).

수익자 부담금은 당해 공익사업으로부터 특별한 이익을 받는 사람에 대하여 그 수익의 한도 내에서 사업경비의 전부 또는 일부를 부담케 하는 것이다. 원인자 부담금은 특정 공사의 시행을 필요하게 한 원인을 조성한 자에 대하여 그 공사비용의 전부 또는 일부를 부담시키는 것이다. 마지막으로 손피자 부담금은 특정 공익사업의 시설에 손상을 주는 행위를 한 자에 대하여 그 시설의 유지 또는 수선에 필요한 비용의 전부 또는 일부를 부담시키는 것이다. 만약 온배수배출부담금 제도가 도입된다면 이 제도는 원인자 부담금에 해당한다.

하지만 공익사업과 관계의 의한 분류체계에 따라서 부담금 부과대상을 수익자, 원인자, 손피자로 구분하는 것은 실익이 크지 않을 뿐만 아니라, 수익자, 원인자, 손피자는 서로 의미상 중첩되는 측면이 있어 이를 엄밀하게 구분하기란 쉽지 않다.

둘째, 법적 성격에 따라 분류할 수 있다. 부담금에 관한 개념과 기능은 확대되고 있으며 새로운 유형의 부담금이 계속 생겨나고 있기 때문에 독일의 경우에는 부담금의 법적 성격에 따라 이를 구분하기도 한다. 이 경우 부담금은 크게 두 가지로 구분되는데, 조세유사적(租稅類似的)인 특별부담금과 비조세적인 부담금으로 구별할 수 있다.

조세유사적 특별부담금으로는 재정충당특별부담금, 유도적특별부담금이 있으며, 비조세적 부담금으로는 수익자부담금, 단체부담금 등이 있다. 재정충당특별부담금은

표 4-5. 부담금의 유형 및 사례

종류	내용	사례
수익자 부담금	당해 공익사업으로부터 특별한 이익을 받는 사람에 대하여 그 수익의 한도 내에서 사업경비의 전부 또는 일부를 부담케 하는 것	산림법(제64조), 방조제관리법(제7조), 집단에너지사업법(제18조), 하천법(제74조), 한국수자원공사법(제28조 제1항), 항만법(제54조) 등에 규정된 부담금
원인자 부담금	특정 공사의 시행을 필요하게 한 원인을 조성한 자에 대하여 그 공사비용의 전부 또는 일부를 부담시키는 것	원자력법(제85조제1항), 자원의절약과재활용촉진에관한법(제19조제1항), 하수도법(제32조제1항), 한국수자원공사법(제28조제3항), 하천법(제56조), 자연공원법(제31조), 수도법(제53조), 환경개선비용부담법(제9조, 제13조), 특정지역종합개발촉진에관한특별조치법(제24조제2항), 산업입지및개발에관한법률(제12조제1항), 도시교통정비촉진법(제21조제1항), 관광진흥법(제32조), 수도권정비계획법(제12조제1항) 등에 규정된 부담금
손괴자 부담금	특정 공익사업의 시설에 손상을 주는 행위를 한 자에 대하여 그 시설의 유지 또는 수선에 필요한 비용의 전부 또는 일부를 부담시키는 것	농어촌도로정비법(제21조), 도로법(제67조), 한국수자원공사법(제28조제2항), 항만법(제53조) 등에 규정된 부담금

조세유사적 부담금으로서 일정한 임무를 수행하는 데 필요한 재정경비를 조성하기 위해 설치된 것이다. 재정충당특별부담금은 재정충당기능에서 조세와 공통점을 가지나, 사용목적은 보다 상세하게 규정한다는 점에서 조세와 구별된다.

유도적특별부담금은 법상의 명령이나 금지와 같은 직접적인 규제수단과는 달리 금전에 의한 간접적인 규제수단에 의하여 일정한 국가목적에 유도하고 조정하는 기능을 한다. 즉, 유도적특별부담금은 재정충당목적이 아니라 행정정책의 행위동기에 영향력을 생하고 부담금을 피하기 위하여 국가의 유도적 행위에 따르도록 설득하는데 목적이 있다.

수익자부담금은 국가가 반대급부로 보장하는 모든 부담금을 포괄하며, 수수료 및 사용료, 분담금 등이 이에 해당된다. 수익자부담금에 대한 구분은 그것이 반대급부

를 의미하는지의 여부에 의하여 좌우되며, 독일연방헌법재판소의 판례에 따르면 이 경우의 반대급부는 모든 부담금 납부의무자에게 이익이 발생하는 개별적인 반대급부를 의미한다.

3). 부담금의 기능

부담금은 여러 가지 정책적인 목적을 고려하여 설치되기 때문에, 개별 부담금이 다양한 기능을 수행할 수도 있으며, 이 경우 각 기능은 서로 유기적인 관계에 놓였는 경우가 대부분이다. 따라서 개별 부담금의 기능을 모두 열거하여 설명한다는 것은 어려운 일이므로 여기서는 부담금이 일반적으로 수행하는 기능에 대해 논의하도록 한다(기획예산처 2007). 부담금의 기능은 크게 3가지로 요약할 수 있다.

첫째, 사회적 손실을 교정하는 기능을 한다. 조세나 부담금이 공급곡선이 나타내는 사적 한계비용과 사회적 한계비용이 다를 경우 이를 일치시키도록 부과되면 오히려 사회적 손실을 감소시켜 경제적 효율성을 향상시킨다. 시장 자율적으로 최적의 결과가 도출되지 않는 시장실패를 보완하여 외부성을 교정하는 조세를 교정과세(corrective taxation) 또는 피구조세라 한다. 특정 행위로 인해 제3자가 입는 피해를 보상하거나, 그 행위를 줄일 목적으로 부과되는 부담금은 이러한 교정과세의 일종으로 볼 수 있다.

둘째, 원인자·수익자 부담에 의한 공공서비스의 창출이 가능하다. 부담금은 기금이나 특별회계 또는 특정 공공기관의 수입으로 계상되어 그 사용용도가 지정되어 있는 것이 특징이다. 따라서 부담금은 특정한 공공사업의 원인을 제공한 자나 공공사업으로부터 편익을 얻는 자 등에 부과하여 해당 사업 시행과 자원확보가 서로 맞물린다는 장점이 있다.

공공사업을 원활하게 수행하기 위한 목적으로 부담금을 징수할 경우, 원인자·수익자 원칙에 따라 부과하는 방법이 바람직하다. 이는 개별 부담자가 정부의 제반 공공서비스로부터 받은 편익이나 공공사업을 필요하게 하는 원인에 따라 비례하도록 부담을 배분하는 것으로, 이론적으로는 일반국민들의 각종 공공사업에서 그들이 수혜하는 추가적인 편익이나 유발시킨 비용만큼 부담금을 부과하면 정부가 제공하는 공공서비스의 사회적 공급수준이 최적이 되기 때문이다.

셋째, 바람직한 행위를 유도할 수 있다. 부담금은 사회적 또는 법적으로 가치 있는 행위를 상대에게 유도하는 기능을 수행하기도 한다. 현행 부담금 중 일부는 행정법상 의무이행 확보수단인 간접적 강제제도 중에서 국민의 금전적 부담을 수반하

는 의무이행 수단으로 볼 수 있다. 즉, 법적 가치에 반하는 행위를 하는 경우에는 그러한 행위를 하는 대가로 부담금을 납부하고 국가나 지방자치단체는 징수한 부담금으로 목적달성에 필요한 재정지출을 한다.

반대로 부담금을 납부할 의무자가 법적인 가치에 적합하게 행위를 하는 경우에는 부담금을 면제시키거나 아니면, 다른 반가치적인 행위를 한 자로부터 징수한 부담금으로 이에 따른 비용을 보상할 수도 있다. 사업주가 기준고용률에 미달하는 장애인을 고용하는 경우에 일정액의 부담금을 납부하도록 하는 장애인고용촉진및직업재활법에 의한 장애인고용부담금이나 수도권정비계획법에 의해 설치된 과밀부담금이 이러한 성격의 부담금이라 볼 수 있다.

다. 부담금관리제도 및 부담금제도의 현황

1). 부담금관리제도

국가, 지방자치단체 및 공공기관은 각종 공익사업을 추진하고, 특정 정책목적의 달성을 추구하며, 사회적 비용을 효율적으로 배분하는 등의 기능을 수행하기 위하여 조세 외에 다양한 부담금을 부과한다. 그러나 부담주체인 국민과 재계 일각에서는 부담금이 자유로운 경제활동을 저해하고 기업의 투자를 위축시킨다는 지적이 있었다. 그럼에도 불구하고 부담금은 그 수입 대부분이 기금이나 특별회계로 관리되므로 해당 행정기관은 부담금을 통해 일반예산에 비해 안정적으로 사업비를 확보할 수 있었다.

하지만 국가 전체적인 관점에서는 안정적인 사업비 확보를 위한 부담금 징수 증가로 특별회계의 재원에 여유가 생겨 사업운영이 방만하게 이루어지는 등 재정운용의 효율성을 저하시키는 측면도 있었다. 이외에도 동일한 행위에 중복하여 부과되거나, 경제·사회 여건의 변화로 존재할 논리적 근거가 떨어지는 부담금이 계속 부과되고 있거나, 부과대상 및 방식이 불합리한 경우 등 제도적으로 비효율적인 측면도 발생하였다.

이와 관련하여 2000년에 전국경제인연합회 등 경제단체에서 준조세가 634건에 달하여 기업활동에 어려움이 많다고 주장하며 농지전용부담금과 농지조성비의 통합과 같은 제도적 정비를 정부에 건의하였다. 정부는 경제단체에서 지적한 문제점을 해소하기 위해 2000년 관련 사항의 정비를 추진하여 불필요한 부담금을 폐지하거나 경감하는 작업을 시작하였다.

2000년 12월 국민여론과 경제단체 등의 건의내용을 토대로 관계부처간 협의를 거쳐 확정된 정비방안은 특정 시기에 정책적 목표를 완수하여 현 시점에서 존재근거를 상실했거나 부과대상과 사용용도간의 관계가 밀접하다고 보기 힘든 부담금을 정비의 대상으로 삼았다. 다만 수도권 인구집중 억제라든가 환경개선 등 정책적 유효성을 지닌 부담금을 정비대상에서 제외하였다.

정부는 정비방안과 함께 장기적으로 무분별한 부담금의 신·증설을 억제하고 부담금 부과 및 징수와 운영의 투명성을 높이기 위한 방안으로 부담금관리제도인 ‘부담금관리기본법’을 제정하였으며, 이에 따라 부담금 신·증설시 심사제도(제6조), 부담금운용종합고서의 작성(제7조), 정기적인 부담금 운용평가 제도(제8조)등이 제도화되었다. 부담금관리기본법은 2001년 12월 31일 공포되어 2002년 1월 1일부터 시행되었고, 부담금의 설치, 관리 및 운용에 관한 기본적인 사항을 규정하여 공정성과 투명성을 확보하고 이를 통하여 국민의 부담을 최소화하고 기업의 경제활동을 촉진하도록 하고 있다.

부담금관리기본법 제6조에 의하면, 부담금 신설(부과대상을 확대하는 경우와 부담금의 부과요율을 인상하는 경우 포함)하고자 하는 중앙행정기관의 장은 해당 법률안을 입법예고하기 전에 기획예산처 장관에게 부담금 신설의 타당성에 관한 심사를 요청해야 하며, 기획예산처 장관은 이를 민간전문가로 구성된 부담금운용심의위원회로 하여금 심의하도록 규정하고 있다. 이는 부담금 신설이 보다 전문적이고 객관적인 심의를 거치도록 의무화하여 불합리한 국민부담의 증가를 억제하기 위한 것이다.

부담금 신설시의 심사기준은 첫째, 부담금 신설이 명확한 목적을 가질 것, 둘째 부담금의 부과요건 등이 구체적이고 명확하게 규정되어 있을 것, 셋째, 부담금의 재원조성의 필요성과 사용목적의 공정성 및 투명성을 각각 갖추었을 것, 넷째, 기존의 부담금과 중복되지 않을 것, 다섯째, 부담금의 부과가 조세보다 적절할 것으로 규정하고 있다.

또한 각 중앙행정기관의 장이 부담금 신·증설 심사 요청시 제출해야 하는 ‘부담금의 신설에 관한 계획서’에는 계획서의 내용이 심사 기준에 부합하는지에 대한 자체규제개혁위원회 심사결과와 관계전문가 및 이해관계자의 의견을 수렴한 공청회, 간담회 결과 등을 포함하도록 하여 실질적인 부담금 심사가 가능하도록 하고 있다.

부담금 신·증설에 대한 심사절차를 간략히 설명하면 다음과 같다(그림 4-8). 부담금을 신·증설하고자 하는 중앙행정기관의 장이 자체심사를 거쳐 해당 법률안의 입법 예고 전 기획예산처 장관에게 심사 요청을 하면, 제출된 계획서를 바탕으로

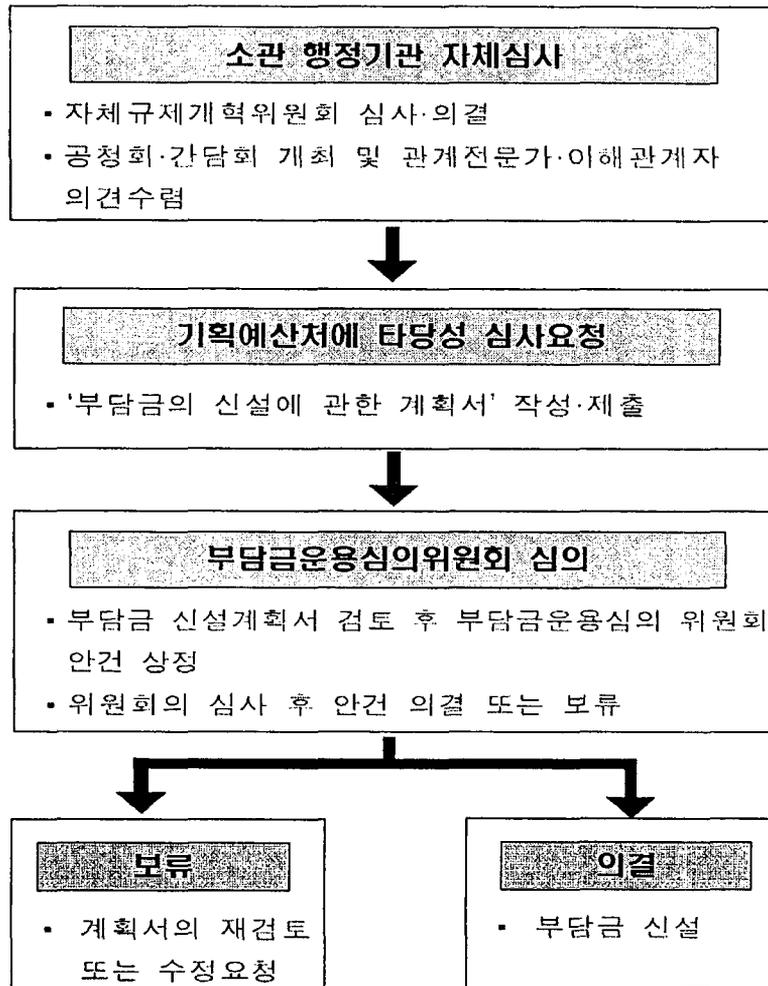


그림 4-8. 부담금 신·증설시 심의절차

부담금운용심의위원회의 엄격한 심사를 거치게 된다. 심사결과 부담금의 신설이 부적절하다고 의결된 경우 기획예산처 장관은 법에 따라 계획서를 제출한 중앙행정기관의 장에게 계획서의 재검토 또는 수정을 요청할 수 있다.

부담금운용심의위원회의 구성은 기획예산처 장관을 위원장으로 하고 재정경제부, 행정자치부, 기획예산처 및 국무조정실과 위원회에 안건으로 회부된 부담금의 소관 중앙행정기관의 고위공무원단에 속하는 일반직 공무원 중에서 해당기관의 장이 지명하는 자와 학식과 경험이 풍부한 자 중에서 기획예산처 장관이 위촉하는 임기 2

년인 10인 이내의 민간위원으로 이루어진다.

부담금운용심의위원회는 부담금 신설뿐만 아니라 부담금운용평가단의 부담금 평가결과 및 제도개선 요청사항, 위원장이 부의하는 사항 등과 같은 부담금에 관한 주요 정책과 그 운용방향 등을 심의할 수 있다. 부담금운용심의위원회의 회의는 재적위원 과반수의 출석으로 개의하고 출석위원 과반수의 찬성으로 의결하며, 안전의 심의를 위해 필요하다고 인정되는 때에는 관계 공무원 및 해당 분야의 전문가를 참석하게 하여 의견을 청취할 수 있다.

2002년에는 4회의 위원회가 개최되어 부담금신설안 심의 등 총 5건의 안전을 심의·의결하였으며, 2003년에도 4회에 걸쳐 위원회가 개최되어 총 11건의 안전이 처리되었다. 2004년에는 3회의 위원회가 개최되어 총 7건의 안전이 처리되었고, 2005년에는 10회의 위원회가 개최되어 총 20건의 안전이 처리되었다. 2006년에는 5회의 위원회가 개최되어 총 15건의 안전이 처리되었다.

2). 부담금의 현황

2006년 12월말 현재 부담금관리기본법에 의한 부담금 수는 총 100개로 2005년에 비해 2개가 감소하였다. 이는 환경오염 방지 등 목적으로 3개의 부담금이 신규 설치되고 기존 부담금의 부과대상 가운데 일부를 분리하여 1개 부담금이 신설되었으며, 부과 실효성이 없는 부담금 5개가 폐지되고 유사 부담금간의 통합으로 1개의 부담금이 감소했기 때문이다.

신규로 설치된 부담금은 「재건축초과이익 환수에 관한 법률」 제3조의 규정에 의한 재건축부담금, 「광산피해의 방지 및 복구에 관한 법률」 제24조의 규정에 따른 광해방지의무자에 대한 부담금, 「지역신용보증재단법」 제7조제3항의 규정에 따른 지역신용보증재단 및 전국신용보증재단연합회 출연금이다. 부과대상을 분리하여 신설한 부담금은 「해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률」에 의한 해양생태계보전협력금으로, 기존 환경부의 생태계보전협력금 부과대상 중 공유수면내 개발사업과 같은 해양생태계 관련 사업을 분리하여 신설한 것으로 부담금 산정기준과 부담률은 생태계보전협력금과 동일하다.

폐지된 부담금 5개는 「하수도법」에 의한 손피자부담금, 도로법에 의한 손케자부담금, 어장관리법에 의한 어장정화·정비실시부담금, 사망사업법에 의한 수익자부담금, 오수·분류및축산폐수처리에관한법률에 의한 배출부과금으로, 부과목적이 달성되었거나 징수실적이 없는 등 실효성이 없어 부담금 정비방안에 따라 폐지되었다.

총 100개 부담금을 소관 부처별로 구분하면, 환경부와 건설교통부가 각각 23개, 농림부가 9개, 재정경제부와 산업자원부가 각각 8개, 문화관광부, 해양수산부, 산림청이 각각 5개, 행정자치부, 과학기술부, 보건복지부, 노동부가 각각 2개, 교육인적자원부, 외교통상부, 정보통신부, 소방방재청, 방송위원회, 중소기업청이 각각 1개의 부담금을 운용하고 있다(그림 4-9).

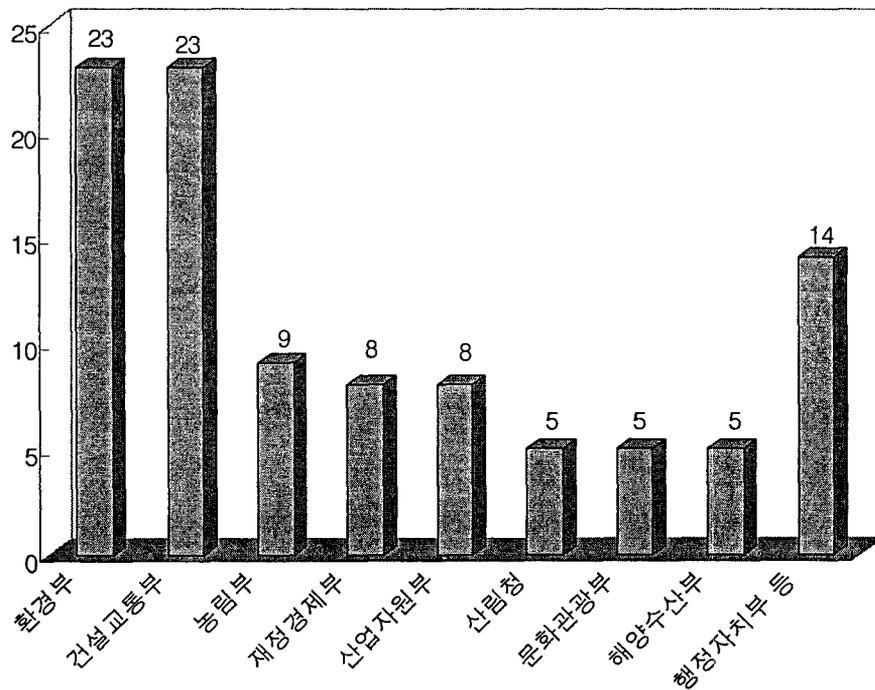


그림 4-9. 부처별 부담금 수(2006년 12월 31일 기준).

부담금은 1989년까지 34개 수준이었다가, 1990년대 들어 국민생활 수준의 향상으로 수질·폐기물·소음·해당 등 환경에 대한 관심이 증대되었고, 각종 개발사업에 따른 녹지보존 요구, 교통난을 해소하기 위한 대중교통시설 확충의 필요성이 제기되었으며, 산업단지 개발과 관련한 공공시설 설치의 필요성 등의 늘어나 관련 사업의 시행과 환경규제를 위한 각종 부담금 62개가 신설되었다.

이러한 사회적 요구에 따라 환경부 소관으로 수질개선부담금, 폐기물부담금, 배출부과금 등 12개 부담금이 설치되고, 건설교통부 소관으로 각종 원인자부담금, 이용

자부담금, 혼잡통행료, 교통유발부담금 등 14개 부담금이 신설되었으며, 이밖에도 농림부 소관으로 쓰레기유발부담금, 해양수산부 소관으로 해양오염방지분담금 등이 신설되었다. 2000년 이후에는 이러한 경향이 더욱 심화되어 2006년까지 신설되거나 추가로 관리대상이 된 32개의 부담금 중 환경 및 건설교통 관련으로 신설된 부담금이 24개로 2000년 이후 신설부담금의 75%를 차지한다.

2006년도 부담금 징수실적은 전년대비 5,238억원이 늘어난 11조 9,534억원으로 4.58% 증가하였다. 부담금을 운용하고 있는 18개 부처의 개별 징수금액 및 구성비를 살펴보면, 산업자원부가 가장 많은 2조 9,620억원으로서 전체 징수실적의 24.78%를 차지하고 있고, 다음으로 환경부가 1조 9,425억원으로 16.25%, 재정경제부가 1조 8,008억원으로 15.07%를 차지한다(그림 4-10). 외교통상부, 해양수산부와 중소기업청은 각각 432억원, 301억원, 40억원으로 다른 부처에 비해 상대적으로 작은 수준이다.

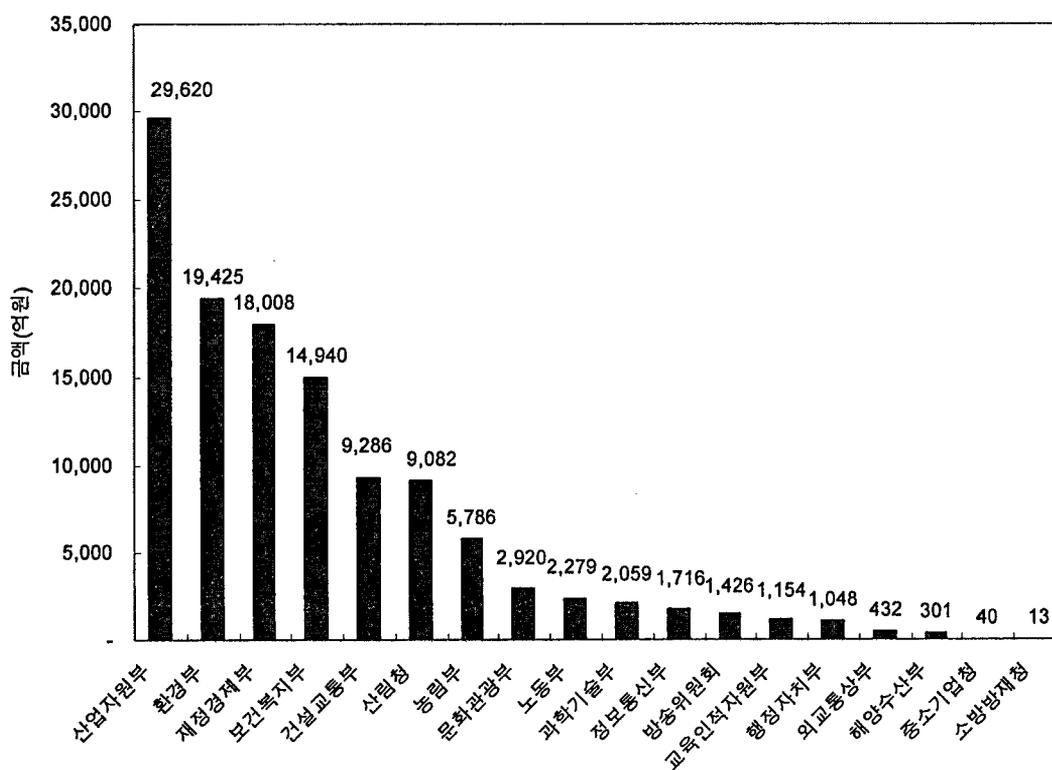


그림 4-10. 2006년도 부처별 부담금 징수실적.

특히 환경부의 부담금 징수실적과 해양수산부의 징수실적을 비교해 보면 전체 부담금 징수액의 16.25%를 환경부가 차지하고 있는데 반해, 해양수산부는 전체 부담금 징수액의 0.25%를 차지하고 있어 환경부의 징수액이 해양수산부 징수액의 약 65배에 달한다(표 4-6).

라. 부담금의 부과, 징수절차, 부과대상, 감경 및 면제조항

여러 가지 목적에 의해 정부에서 시행하고 있는 부담금제도는 매우 다양하다. 따라서 모든 부담금제도에 대해 검토를 하는 것보다는 (가칭)온배수배출부담금 제도의 도입과 관련하여 참고할 수 있는 환경관련 부담금 제도만을 추려서 부과 및 징수절차 등에 대해 살펴보고자 한다.

부담금에 대한 부과절차는 개별 부담금에 따라 그 방법을 달리하고 있으나, 일반적으로 해당 사업을 관장하는 주무장관이 가지며, 권한을 위임받은 자에게 위임될 수 있다. 부담금의 징수절차도 개별 부담금에 따라 그 방법이 다소 상이하나, 일반적으로 부담금도 조세와 같이 공법상의 지급의무이므로 부담의무자가 스스로 그 의무를 이행하지 않을 경우 행정상의 강제수단절차인 국세징수법 상의 체납절차에 따라 강제 징수할 수 있도록 규정하고 있다. 원인자부담금의 부과 및 징수절차는 부담금별로 조금씩 차이가 난다(표 4-7).

표 4-6. 환경부 및 해양수산부 부담금 제도

환경부	해양수산부
배출부과금(대기환경보전법), 수질개선부담금, 원인자부담금(수도법), 손괴자부담금(수도법), 배출부과금(수질환경보전법), 원상회복예치금, 생태계보전협력금, 폐기물부담금, 재활용부과금, 원인자부담금(하수도법), 폐기물처리이행보증금, 폐기물처리시설의 사후관리 이행보증금, 물이용부담금(한강수계), 환경개선부담금, 환경오염방지사업 비용 부담금, 협의기준초과부담금, 총량초과부과금(금강수계), 물이용부담금(금강수계), 총량초과부과금(낙동강수계), 물이용부담금(낙동강수계), 총량초과부과금(영산강·섬진강수계), 물이용부담금(영산강·섬진강수계), 총량초과부과금(수도권 대기환경개선에 관한 특별법)	수산자원조성금, 어장정화·정비실시부담금, 해양환경개선부담금, 분담금(해양오염방지법), 항만시설손괴자부담금, 해양생태계보전협력금

표 4-7. 원인자부담금의 부과 및 징수절차

부담금명	규정	부과절차	징수절차
원자력법에 의한 부담금	원자력법 제 85조의 3 동시행령 제 234조의 20	<ul style="list-style-type: none"> - 부담금의 납부를 명하고자 하는 경우에는 다음의 기한내에 납부금액, 납부기한 및 납부장소를 명시하여야 함 1. 발전용원자로운영자 : 매분기종료 1개월 이내 2. 1호외의 자 : 방사성폐기물의 인도후 15일 이내 	<ul style="list-style-type: none"> - 납부기한내에 납부하지 아니한 경우에는 10일 이상의 기한을 정하여 독촉 - 독촉을 받은자가 그 기한내에 납부하지 아니한 때에는 국세체납처분의 예에 따라 징수(법 제85조의 3) - 독촉장은 납부기한이 경과한 날로부터 7일 이내에 발부하여야 함. 이 경우 납부기한은 독촉장 발부일로부터 15일 이내(영 제234조의 20)
환경개선부담금	환경개선비용 부담법 제9조 제4항, 동시행령 제20조	<ul style="list-style-type: none"> - 부과금의 부과·징수는 매분기별로 부과 - 부담금의 금액, 납기, 납부장소 등을 기재한 고지서를 납기개시 5일전까지 송부(영 제8조) 	<ul style="list-style-type: none"> - 납부기한내 납부하지 아니한 경우에는 10일 이상의 기한을 정하여 독촉 - 체납액에 대해서는 100분의 5에 상당하는 가산금 부과 - 독촉받은 자가 그 기한내에 납부하지 아니한 경우 국세 또는 지방세체납처분의 예에 따라 징수 가능(법 제20조)
자원의 절약과 재활용에 관한 법률에 의한 부담금	법 제19조 제1항	<ul style="list-style-type: none"> - 제조업자는 전년도 제품 출고실적을 매년 2월말까지 신고 - 동 실적에 산출기준을 적용하여 부담금을 산출해서 매년 3월31일까지 납부고지(분기별 납부 가능) - 수입업자는 제품의 수입 승인 신청시 수입량에 따른 부담금을 자진납부 후 납입증서 제출(영 제 20조) 	<ul style="list-style-type: none"> - 납부기한내 납부하지 아니한 경우에는 30일 이상의 기한을 정하여 독촉 - 체납액에 대해서는 100분의 5에 상당하는 가산금 부과 - 독촉받은 자가 그 기한내에 납부하지 아니한 경우 국세체납처분의 예에 따라 징수가능(법 제19조제 4항)
환경오염 방지사업 비용부담금	법 제13조 제5항, 영 제19조 제1항	<ul style="list-style-type: none"> - 부과대상자에게 부담금 금액, 납부기간, 납부장소 기타 필요한 사항을 기재한 문서로서 통지하여야 함 	<ul style="list-style-type: none"> - 환경개선부담금과 동일

부담금의 부과대상은 '해당사업과 물적 관련을 갖는 자'로 규정한다. 수익자부담금의 경우에는 '사업에 의하여 수익을 받는 자', 원인자부담금은 '사업에 원인을 제공한 자', 그리고 손상자부담금의 경우에는 '시설을 손괴시킬 수 있는 사업 또는 행위를 하는 자' 등으로 규정한다. 원인자부담금의 부과대상에 대하여 현행법은 '비용발생의 원인을 제공한 자' 또는 '공사 및 행위에 관한 비용을 부담하는 자' 등으로 규정하고 있다(표 4-8).

부담금은 사업에 소요되는 경비를 충당하기 위하여 징수하는 것이므로, 그 사용용도는 이에 국한되고 있다. 원인자부담금의 사용 용도에 관하여 현행법은 부과대상사업의 직접적인 경비충당과 부담금부과대상사업 관련분야의 전체적인 경비충당을 위하여 사용하는 경우로 구분하고 있는데 환경관련 부담금은 주로 후자에 해당한다(표 4-9).

부담금에 관하여 현행법은 부담금의 종류에 따라 그 산정방법을 달리 규정하고

표 4-8. 원인자부담금의 부과대상(객체)

부담금명	규정	부과대상(객체)
원자력법에 의한 부담금	법제85조제1항	발전용원자로 설치자 및 운영자, 연구용원자로 설치자 및 생산업자, 핵연료주기사업자, 핵원료 물질 사업자, 방사성동위원소 사용자 및 폐기업자로서 대통령령이 정하는 허용기준 이상의 방사성폐기물을 발생하게 하는 자
환경개선 부담금	법제9조제1항	유통이나 소비과정에서 환경오염물질의 다량 배출로 인하여 환경오염에 직접적인 원인이 되는 건물 기타 시설의 소유 또는 점유자 및 자동차 소유자
자원의절약과 재활용에 관한 법률에 의한부담금	법제19조제1항	예치금 부과대상이 되는 제품·용기·특정대기 유해물질, 특정수질유해물질, 특정유독물을 함유하고 있거나 재활용이 어렵고 폐기물관리상의 문제를 초래할 우려가 있는 제품·재료 용기중 대통령령이 정하는 제품·재료·용기의 제조업자 또는 수입업자
환경오염방지 사업 비용부담금	법제13조제1항	당해지역에서 방지사업의 원인이 되는 사업활동을 하거나 할 것이 확실하다고 인정된 자

표 4-9. 원인자부담금의 용도

부담금명	규 정	부담금의 용도
원자력법에 의한 부담금	법제85조 제1항	원자력 관계사업자가 그 사업활동으로 인해 생기는 방사성 폐기물을 안전하게 관리하기 위한 정부사업에 사용
환경개선 부담금	법제11조, 영제18조	수질개선에 관한 중기종합계획에 의하여 시행되는 대기 및 수질개선사업비의 용자 및 저공해기술개발연구비 지원, 자연환경보전사업비, 환경오염방지사업비, 환경기술개발비, 환경오염조서 및 분석비, 환경정책·연구·개발비의 지원 등
자원의절약과 재활용에 관한 법률에 의한 부담금	법제19조 제3항	폐기물관리기금에 납부
환경오염 방지사업 비용부담금	법제14조, 영제23조	<ol style="list-style-type: none"> 1. 수질환경보전법 제25조의 폐수종말처리시설의 설치 및 운영 2. 공장 또는 사업장 밀집지역의 대기오염피해 방지를 위한 녹지형성, 중앙열공급시설 및 공용지 녹지의 설치 및 그 관리사업 3. 환경오염원인물질에 의해 피해가 발생한 농경지, 어장, 산림등에 실시하는 객토, 사토, 준설사업, 농업용시설개축사업 4. 특정사업자의 사업활동에 주로 이용되는 배수시설 설치사업 5. 환경오염으로부터 지역주민의 건강보호를 위해 실시하는 주택 기타시설 이전사업 6. 축산폐수공동처리시설, 일반 및 특정폐기물 공공처리시설 설치·운영사업, 오염하천의 정화를 위한 퇴적오니준설사업, 오염이 심한 연안해역의 퇴적오니 준설사업

있다. 일반적으로 원인자부담금의 경우에 원인이 되는 사업의 종류, 규모, 원인행위의 정도 등을 기준으로 정해지지만, 구체적인 산정방법은 개별법상 부담금의 종류에 따라 상이하다(표 4-10).

모든 부담금제도는 납입의무에 대한 면제 및 감경대상을 법에 명시적으로 적시하고 있다. 주로 공익성이 매우 큰 대상에 대해서는 면제를 하고 공익성이 있지만 매우 크지는 않은 대상에 대해서는 부분 감면을 해 주고 있다. 예를 들어, 산림전용부담금(법적 근거 : 산림법, 관련기관 : 산림청), 농지전용부담금(법적 근거 : 농어촌발전특별조치법, 관련기관 : 농림부), 교통유발부담금(법적 근거 : 도시교통정비촉진법, 관련기관 : 지방자치단체), 생태계보전협력금(법적 근거 : 자연환경보전법, 관련기관 : 환경부), 환경개선부담금(법적 근거 : 환경개선비용부담법, 관련기관 : 환경부), 개발부담금(법적 근거 : 개발이익환수에관한법률, 관련기관 : 건설교통부)에는 납입의무 면제 및 감면대상을 포함하고 있다(표 4-11부터 표 4-16).

6. 온배수 관리방안 시행을 위한 정책수단

가. 개요

온배수 관리방안 시행에 소요되는 연간 100억원 가량의 비용을 부담할 수 있는 주체로는 발전회사, 전력 수용가, 중앙정부(해양수산부)의 3개를 들 수 있다(그림 4-11).



그림 4-11. 온배수 관리방안 시행을 위한 비용의 부담가능 주체

표 4-10. 원인자부담금의 산정방법

부담금명	규정	부과대상(객체)
원자력법에 의한 부담금	법 제85조 제2항, 영 제234조의19	<p>방사성폐기물 발생자의 부담금 금액은 다음에 의함.</p> <ol style="list-style-type: none"> 발전용원자로 운영자는 원자로의 운전으로 생산된 전력량에 킬로와트시간(KWh)당 2.0원의 범위안에서 매년 과학기술처장관이 산업자원부장관과 협의한 후 위원회의 의결을 거쳐 정하는 요율 발전용원자로 운영자외의 자는 다음의 구분에 의한 금액 <ol style="list-style-type: none"> 중·저준위 방사성폐기물은 입방데시미터(dm³)당 1,440원 고준위방사성폐기물은 입방데시미터(dm³)당 20,000원
환경개선부담금	법 제10조	<p>◇ 시설물의 경우</p> <ol style="list-style-type: none"> 대기오염물질을 배출하는 경우 연료사용량×단위당부과금액×연료계수×지역계수 수질오염물질을 배출한 경우 용수사용량×단위당부과액×오염유발계수×지역계수 <p>◇ 자동차의 경우 대당기본부과금액×오염유발계수×차량계수×지역계수</p>
자원의 절약과 재활용에 관한 법률에 의한 부담금	영 제17조	<p>- 부과대상 : 살충제·부탄가스·유독물제품, 화장품(유리병, 금속용기), 과자제품, 전지, 부동액, 형광등, 껌, 1회용기저귀, 합성수지(폴리에틸렌, 염화비닐수지, 폴리아세틸 등)의 9종 15품목</p> <p>- 요율(금액) : 개당 1~10원, 리터당 50전 또는 판매가의 0.25~0.7%</p>
환경오염방지사업비용 부담금	법제13조 제2,3항, 영 제21조	<p>환경오염방지사업에 소요되는 총액은 당해사업 활동이 환경오염의 원인이 된다고 인정되는 정도에 따라 다음 사항을 고려하여 배분됨.</p> <ol style="list-style-type: none"> 환경오염의 원인이 되는 시설의 종류 및 규모 배출되는 오염물질의 양과 질 사업의 종류 오염물질 처리비용 자본금·종업원수·연간제품생산량 및 매출액 등을 고려한 사업규모

표 4-11. 산림전용부담금 제도의 면제 및 감면 조항

관련 조항	해 당 사 업
전액 면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 농업인등과 농림수산물의 생산자단체가 농로의 설치 등 농림부령이 정하는 용도로 산림을 전용하고자 하는 경우 2. 관광진흥법시행령 제20조의 규정에 의한 관광지 등 조성계획에 의한 공공편익시설의 용도로 사용하는 경우 3. 농어촌정비법에 의한 농어촌휴양지 및 농어촌생활환경정비사업을 하는 경우 4. 비영리법인이 농어촌정비법에 의한 농어촌에서 의료법에 의한 의료기관을 개설하는 경우 5. 비영리법인이 사회복지사업법에 의한 사회복지시설을 설치하는 경우와 그 복지시설에 입소 중 사망하는 자를 위하여 사설묘지를 설치하는 경우 6. 도로법에 의한 도로를 건설하는 경우 7. 특정다목적댐법에 의한 다목적댐을 건설하는 경우 8. 전원개발에관한특례법에 의한 전원개발사업과 전기사업법에 의한 전기사업자가 송전·변전 및 배전시설 설치사업을 하는 경우 9. 도시재개발법에 의한 주택재개발사업과 도시 저소득 주민의 주거환경 개선을위한 임시조치법에 의한 주거환경개선사업을 하는 경우 10. 수도권신공항건설촉진법에 의한 수도권신공항건설사업을 하는 경우 11. 공공철도건설촉진법에 의한 공공철도를 건설하는 경우 12. 청소년기본법에 의한 청소년수련시설을 설치하는 경우 13. 관계법령 또는 인·허가 등의 조건에 의하여 국가 또는 지방자치단체에 기부채납(법령에 의하여 국가 또는 지방자치단체에 무상 귀속되는 경우를 포함한다)되는 공공시설용지조성사업을 하는 경우 14. 산업입지및개발에관한법률에 의하여 지정된 산업단지(수도권정비계획법 제2조제1호의 규정에 의한 수도권에 소재하는 산업단지를 제외한다) 조성사업을 하는 경우 15. 지방자치단체가 공설묘지조성사업을 하는 경우 16. 국가 또는 지방자치단체(국가 또는 지방자치단체로부터 위탁받은 자를 포함한다)가 공용 또는 공공용시설을 설치하는 경우 17. 국방·군사시설사업에 관한 법률에 의한 국방·군사시설을 설치하는 경우 18. 저수지·소류지·수로·농지개량 등의 시설용지(수물대상지를 포함한다) 조성사업을 하는 경우 19. 초·중등교육법 제2조 및 고등교육법 제2조의 규정에 의한 각급 학교의 시설용지 조성사업을 하는 경우 20. 광업법에 의한 채광 및 그 부속시설을 설치하는 경우 21. 고속철도건설촉진법에 의한 고속철도를 건설하는 경우 22. 특정연구기관육성법에 의한 특정연구기관과 특별법에 의하여 설립된 연구기관이 교육 또는 연구 목적을 위한 시설을 설치하는 경우 23. 지역주민이 소득증대와 지역사회개발을 위하여 설치하는 관광·체육 및 편의시설로서 5천제곱미터 미만의 시설을 설치하는 경우 24. 박물관및미술관진흥법에 의하여 설립계획의 승인을 얻은 사립박물관 또는 사립미술관과 도서관 및 독서진흥법에 의한 사립도서관의 시설을 설치하는 경우 25. 다음 각목의 1에 해당하는 시설로서 농림부령이 정하는 기간동안 일시 전용하는 경우(제24조 제1항 제6호의 규정에 의한 시설을 설치하는 경우) <ol style="list-style-type: none"> 가. 지하자원의 개발 또는 석재의 채취를 위한 시추시설 나. 목적사업을 수행하기 위한 진입로·현장사무소 등의 부대시설 26. 과학관육성법에 의한 설립계획의 승인을 얻은 사립과학관의 시설을 설치하는 경우 27. 유통단지개발촉진법 제10조 제2항 제1호 내지 제3호의 규정에 의한 시행자가 유통단지개발사업을 하는 경우 28. 정부투자기관·지방공사·지방공단 또는 사회간접자본시설에 대한 민간자본유치 촉진법 제2조제12호의 규정에 의한 사업시행자가 동조 제2호 나목 내지 라목의 시설을 설치하는 경우 29. 폐광지역개발지원에 관한 특별법시행령 제11조 제1항 제2호 및 제3호의 규정에 의한 사업의 시설을 설치하는 경우 30. 농어촌발전특별조치법시행령 제52조의2제1항제1호 내지 제10호, 제10호의2, 제10호의3, 제12호의3, 제13호 단서 및 제15호 단서의 규정에 해당하는 자 31. 택지개발사업등 농림부령이 정하는 사업으로서 당해 사업부지에 편입되는 법 제16조제1항제2호의 규정에 의한 준보전입지의 면적이 사업부지 총면적의 100분의 50을 초과하는 사업을 시행하고자 하는 자
감면	<ol style="list-style-type: none"> 1. 제24조의2제2항에 해당하는 경우 : 100분의 50 2. 농어촌발전특별조치법시행령 제52조의2제1항제11호·제12호·제 12호의2·제13호 내지 제18호에 해당하는 경우 : 농어촌발전특별조치법시행령 제52조의2제1항제11호·제12호·제12호의2·제13호 내지 제18호에서 정하는 비율

표 4-12. 농지전용부담금 제도의 면제 및 감면 조항

관련 조항	해 당 사 업
전액 면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 국가 또는 지방자치단체가 설치하는 공용·공공용시설 2. 공공철도건설촉진법의 규정에 의한 공공철도시설 및 도시철도법의 규정에 의한 도시철도시설 3. 수도권신공항건설촉진법의 규정에 의한 수도권신공항시설 4. 항만법의 규정에 의한 항만시설 5. 초·중등교육법 및 고등교육법의 규정에 의한 각급 학교 6. 전기통신사업법의 규정에 의한 전기통신설비 7. 전원개발에관한특례법의 규정에 의한 전원개발사업시설 8. 석유사업법의 규정에 의한 석유비축시설 9. 도서관및독서진흥법에 의한 사립도서관 10. 박물관및미술관진흥법에 의하여 설립계획의 승인을 얻은 사립박물관 또는 사립미술관 11. 사회간접자본시설에대한민간자본유치촉진법 제2조제12호의 규정에 의한 사업시행자가 설치하는 동조제2호 각목의 시설 12. 국가 또는 지방자치단체외의 자가 공용·공공용시설을 설치하여 국가 또는 지방자치단체에 당해 시설을 무상으로 기부채납(법령에 의하여 국가 또는 지방자치단체에 무상귀속되는 경우를 포함한다)하는 시설(제11호 내지 제18호 및 제2항의 규정에 의하여 전용부담금을 감면받는 시설을 제외한다)의 용지 13. 산업입지및개발에관한법률 제2조제5호의 규정에 의한 산업단지(수도권정비계획법 제2조제1호의 규정에 의한 수도권에 소재하는 산업단지를 제외한다)
부분 감면	<ol style="list-style-type: none"> 1. 국가·지방자치단체·정부투자기관·지방공사 또는 지방공단이 시행하는 사업으로서 첫째 택지개발촉진법에 의한 택지개발사업, 둘째 도시재개발법에 의한 도심지재개발사업, 셋째 관광진흥법 제2조제4호의 규정에 의한 관광단지 조성사업, 넷째 주택건설촉진법에 의한 주택건설사업 또는 대지조성사업의 시설용지인 경우 50%를 감면한다. 다만, 국가·지방자치단체가 시행하는 첫째와 넷째 사업의 시설용지인 경우에는 70%를 면제한다. 2. 정부투자기관·지방공사 또는 지방공단이 설치하는 공공용시설의 경우 50%를 면제한다. 3. 산업입지및개발에관한법률 제2조제5호의 규정에 의한 산업단지(수도권정비계획법 제2조제1호의 규정에 의한 수도권에 소재하는 산업단지에 한한다)의 경우 50%를 면제한다. 다만, 국가·지방자치단체·정부투자기관·지방공사 또는 지방공단이 시행하는 경우에는 70%를 면제한다. 4. 농림부령이 정하는 농림어업용시설 및 농림수산물의 유통·가공시설이나 국내에서 생산되는 농림수산물의 부산물을 이용하여 제조·가공하는 유기질비료 또는 사료제조 시설의 경우에는 50%를 면제한다. 다만, 농림부령이 정하는 농어가나 제5조의2제1호 내지 제9호의 규정에 의한 생산자단체가 설치하는 경우에는 전액 면제한다. 5. 유통산업발전법 제2조제13호의 규정에 의한 공동집배송단지의 경우에는 50%를 면제한다. 6. 화물유통촉진법의 규정에 의한 화물터미널의 경우에는 50%를 면제한다. 다만, 국·공유지에 화물터미널을 설치하여 당해 시설을 국가 또는 지방자치단체에 기부채납하는것을 조건으로 화물터미널사업의 면허를 받은 경우에는 전액 면제한다. 7. 중소기업창업지원법 제21조의 규정에 의한 사업승인을 얻어 설치하는 공장의 경우에는 50%를 면제한다. 8. 비영리법인이 법 제2조제3호의 규정에 의한 농어촌에 설치하는 의료법에 의한 의료기관과 사회복지사업법에 의한 사회복지시설의 경우에는 50%를 면제한다. 9. 정부투자기관·지방공사·지방공단 또는 사회간접자본시설에대한민간자본유치촉진법 제2조제12호의 규정에 의한 사업시행자가 설치하는 동조제3호 나목 내지 너목의 시설의 경우에는 50%를 면제한다.

표 4-13. 교통유발부담금 제도의 면제 및 감면 조항

관련 조항	해 당 사 업
전액 면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 국가·지방자치단체·주한외국정부기관·주한국제기구 및 외국인조단체의 소유에 속하는 시설물 2. 주거용건물(복합용도 시설물의 주거용 부분을 포함한다) 3. 주차장 4. 새마을사업을 위한 마을공동시설물 5. 정당법에 의하여 설립된 정당의 소유에 속하는 시설물 6. 종교시설 7. 교육법 또는 특별법에 의하여 설립된 각급 학교의 교육용 시설물 8. 사회복지사업법에 의한 사회복지시설 및 대한적십자사조직법에 의한 대한적십자사의 소유에 속하는 시설물 9. 박물관및미술관진흥법에 의한 박물관 및 미술관시설 10. 문화예술진흥법에 의한 한국문화예술진흥원의 소유에 속하는 시설물 및 지방문화원진흥법에 의한 지방문화원의 소유에 속하는 시설물 11. 한국보훈복지공단법에 의한 보훈병원, 특별법에 의하여 설립된 국립대학교의 대학병원 및 지방공기업법에 의하여 의료사업을 목적으로 설립된 지방공사의 소유에 속하는 시설물 12. 공업배치및공장설립에관한법률 제2조제1호의 규정에 의한 공장 13. 건축법시행령 별표 1 제22호 가목의 규정에 의한 축사(양잠·양봉·양어시설 및 부화장등을 포함한다) 및 동표 제24호의 규정에 의한 식물관련시설 14. 특정연구기관육성법 제2조의 규정에 의한 특정연구기관의 연구용 시설물 15. 관계법률의 규정에 의하여 국가 또는 지방자치단체의 부과금을 면제하도록 규정된 시설물
부분 감면	<ol style="list-style-type: none"> 1. 도시교통정비촉진법 제13조의 규정에 의하여 교통영향평가 및 심의를 받고 당해 교통영향평가서 및 심의필증에 제시된 교통개선대책을 이행한 시설물 의 경우에는 동 심의필증에 명기된 평가등급과 별표 7의 감면기준에 따라 부담금을 감면한다. 다만, 제21조의 규정에 의한 재평가 및 심의결과 재평가의 사유가 된 교통문제발생의 원인이 사업시행자에게 있거나 재평가에 따라 제시된 교통개선대책을 사업시행자가 이행하지 아니하는 경우에는 그러하지 아니하다. 2. 시장 등은 시설물의 소유자가 법 제19조의3제2항의 규정에 의하여 교통평가에 따른 교통개선대책의 사업비를 부담한 경우에는 당해 시설물에 대한 부담금이 부담한 금액에 도달할 때까지 상계한다. 이 경우 상계절차 등 필요한 세부사항은 특정구역 등에 대한 교통개선대책을 시행하는 시장 등이 조례로 정한다. 3. 시설물의 소유자가 휴업 등 특별한 사유로 인하여 30일 이상 당해 시설물을 사용하지 아니하는 경우에는 시장 등이 그 사실을 확인하여 실제사용하지 아니하는 기간에 상당하는 부담금을 감면할 수 있다. 4. 시장 등은 부담금부과대상 시설물 안에 근무하는 종사자 또는 당해 시설물을 이용하는 자의 교통량을 100분의 20이상 감축하는 자에 대하여는 제35조의 규정에 의한 부담금의 100분의 70의 범위 안에서 이를 경감할 수 있다. 5. 제1항 및 제3항의 규정에 의한 부담금의 감면절차 및 방법 등에 관하여 필요한 사항은 건설교통부령으로 정하고, 제4항의 규정에 의한 부담금의 경감대상시설물의범위 및 경감비율 기타 필요한 사항은 당해 지방자치단체의 조례로 정한다.

표 4-14. 생태계보전협력금 제도의 면제 및 감면 조항

관련 조항	해 당 사 업
전액 면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 국방·군사시설의 설치 등 국방목적의 사업 2. 국가 및 지방자치단체에서 시행하는 사업 3. 사회간접자본시설에대한민간자본유치촉진법 제2조 제12호의 규정에 의한 사업시행자가 설치하는 동조 제2호의 규정에 의한 제1종시설의 건설사업 4. 산업입지및개발에관한법률 제2조 제6호의 규정에 의한 산업단지개발사업(수도권정비계획법 제2조 제1호의 규정에 의한 수도권에 소재하는 산업단지인 경우를 제외한다) 5. 수도권신공항건설촉진법 제2조의 규정에 의한 신공항건설사업 6. 고속철도건설촉진법 제2조의 규정에 의한 고속철도건설사업 7. 고속국도법 제6조의 규정에 의하여 한국도로공사가 대행하는 고속국도건설사업 8. 도시철도법 제3조 제1호의 규정에 의한 도시철도의 건설사업 9. 수도법 제3조 제7호의 규정에 의한 광역상수도의 취수원인 댐건설사업 10. 도시공원법 제2조 제2호의 규정에 의한 공원(묘지공원을 제외한다)시설의 설치사업
50% 면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 개발이익환수에관한법률시행령 제5조 제2항의 규정에 의한 공공기관이 시행하는 사업 2. 도시계획법 제2조 제1항 제2호의 규정에 의한 도시계획사업(동법 제17조의 규정에 의한 녹지지역안에서의 사업을 제외한다) 3. 사회간접자본시설에대한민간자본유치촉진법 제2조 제12호의 규정에 의한 사업시행자가 설치하는 동조 제3호의 규정에 의한 제2종시설의 건설사업 4. 유통단지개발촉진법 제2조 제4호의 규정에 의한 유통단지개발사업 5. 임대주택법시행령 제2조 제1호의 규정에 의한 공공건설임대주택의 건설을 목적으로 하는 사업 6. 폐광지역개발지원에관한특별법 제3조의 규정에 의한 폐광지역진흥지구안에서 동법 제2조 제3호의 규정에 의한 실시계획의 승인을 얻은 사업 7. 항만법 제9조 제2항의 규정에 의하여 비관리청이 실시하는 항만공사 8. 화물유통촉진법 제2조 제7호의 규정에 의한 화물터미널의 건설사업
30% 면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 사립학교법에 의한 사립학교의 교육용시설물, 사회교육법에 의한 사회교육시설 중 학교형태의 사회교육시설 2. 농어촌정비법 제2조 제2호의 규정에 의한 농어촌정비사업 3. 사회복지사업법 제2조 제3항의 규정에 의한 사회복지시설의 설치사업 4. 산업재해보상보험법 제13조의 규정에 의한 근로복지공단 및 동법 제78조 제2항의 규정에 의한 지정법인의 동법 제78조 제1항의 규정에 의한 시설의 설치사업 5. 국립대학교병원설치법에 의한 국립대학교병원 및 서울대학교병원설치법에 의한 서울대학교병원의 병원시설 설치사업 6. 송유관사업법 제2조 제2호의 규정에 의한 송유관 및 석유사업법시행령 제7조의 규정에 의한 저장시설의 건설사업 7. 오수·분뇨및축산폐수의처리에관한법률 제2조 제9호의 규정에 의한 분뇨처리시설의 설치사업 8. 주택건설촉진법시행령 제30조 제1항의 규정에 의한 국민주택 규모이하의 주택건설을 목적으로 하는 사업 9. 지역균형개발및지방중소기업육성에관한법률 제17조의 규정에 의한 실시계획의 승인을 얻은 사업 10. 청소년기본법 제3조 제5호의 규정에 의한 청소년수련시설의 설치사업 11. 폐기물관리법 제2조 제7호의 규정에 의한 폐기물처리시설의 설치사업 12. 한국보훈복지공단법 제7조의 규정에 의한 보훈병원의 병원시설 설치사업

표 4-15. 환경개선부담금 제도의 면제 및 감면 조항

관련조항	해당사업
전액면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 외국정부 및 국제기구의 소유에 속하는 시설물과 자동차(외국정부 공관원 및 국제기구 직원 소유 자동차를 포함한다). 다만, 당해 국가가 대한민국정부의 소유에 속하는 시설물과 자동차(대한민국정부 공관원 소유 자동차를 포함한다)에 대하여 동일한 부담금을 부과하는 경우에는 적용되지 않는다. 2. 단독주택·공공주택 및 기숙사(복합용도 시설물중 주거용부분을 포함한다) 3. 시설물이 구분소유되고 있는 경우로서 동일인의 소유면적으로 기준으로 시설물의 각층 바닥면적의 합계가 160㎡미만인 시설물 4. 경유에 다른 연료를 혼합사용하거나 매연여과장치를 부착하는 등 배출가스가 현저하게 저감된다고 환경부장관이 인정하여 고시하는 자동차
부분감면	<p>대기환경보전법시행령 제15조 또는 수질환경보전법시행령 제13조의 규정에 의한 기본부과금을 부과하는 시설물에 대하여는 그 기본부과금에 상당하는 금액을 경감</p>

표 4-16. 개발부담금 제도의 면제 및 감면 조항

관련조항	해당사업
전액면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 국가가 시행하는 개발사업 2. 지방자치단체가 공공목적을 위하여 시행하는 택지개발사업, 공업단지조성사업, 도심재개발사업, 관광단지조성사업 및 유통단지조성사업 3. 산업입지및개발에관한법률에 의한 산업단지개발사업
부분감면	<ol style="list-style-type: none"> 1. 지방자치단체가 시행하는 사업으로서 전액 면제에 해당하지 않는 사업에 대해서 50% 감면한다. 2. 정부투자기관관리기본법에 의한 정부투자기관, 지방공기업법에 의한 지방공기업 및 특별법에 의한 공기업등 개발이익환수에관한법률시행령 제5조제2항 각호에 해당하는 공공기관이 시행하는 개발이익환수에관한법률시행령 제5조제3항 각호에 해당하는 사업에 대해서는 50% 감면한다. 3. 중소기업기본법 제2조제1항의 규정에 의한 중소기업이 시행하는 공장용지조성사업과 중소기업의 입주를 목적으로 시행하는 공업단지조성사업에 대해서는 50% 감면한다. 4. 주택건설촉진법 제3조제1호의 규정에 의한 국민주택을 건설하기 위하여 시행하는 택지개발사업에 대해서는 50% 감면한다. 5. 산림법 제16조제1항제2호의 규정에 의한 준보전림지의 면적이 개발사업총면적의 100분의 70을 초과하는 경우로서 개발이익환수에관한법률시행령 제5조제4항 각호에 해당하는 사업에 대해서는 50% 감면한다.

여기서 발전회사는 원인제공자라 할 수 있으며, 전력소비자는 온배수가 해양생태계에 미치는 영향에 대한 직접적인 피해자임과 생산된 전력을 소비함으로써 효용을 느끼는 수혜자이기도 하다. 또한 전력소비자는 온배수 관리방안의 시행으로 인해 비용을 부담해야 하지만, 한편으로는 해양생태계의 보전으로 인해 그 혜택을 받기도 한다. 중앙정부(해양수산부)는 해양생태계 관리 및 보전의 책임을 맡고 있는 것이며, 발전회사와 전력소비자를 연결하면서 정책수단을 발휘하는 중재자의 역할을 수행해야 한다.

따라서 각 주체의 원인 제공 정도, 부담 능력 정도, 부담 의사 정도 등을 종합적으로 고려하여, 합리적인 방법으로 온배수 관리방안 시행을 위한 비용의 부담 비율이 결정되어야 한다. 이론적으로는 원인제공자가 100% 부담을 해야 하지만, 현실적으로는 각 주체들끼리의 협상(negotiation)의 결과로 부담 비율이 결정되기 마련이다. 하지만 이때 중앙정부는 원인제공자를 분명히 식별하면서 원인제공자의 원인 제공 정도와 부담능력을 종합적으로 고려할 필요가 있다.

나. 전액 해양수산부 예산

온배수 관리방안의 시행을 위한 비용을 해양수산부 예산으로 전액 부담하는 것을 고려해 볼 수 있다. 즉 해양생태계 보전 활동을 해양수산부의 예산으로 전액 집행하고, 더 나아가 온배수 배출 저감을 위한 발전회사의 활동에 대해서도 보조금의 형태로 지원을 하는 것이다. 이 대안은 그 논리적 타당성과 상관없이 정부의 예산이 충분하다면 발전회사의 반발을 불러일으키지 않으면서 손쉽게 집행할 수 있다.

하지만 몇 가지 논란을 피할 수가 없다. 첫째, 정부의 예산이라는 것은 하늘에서 떨어지는 것이 아니라 국민들의 세금으로 충당된다. 온배수배출로 인해 해양생태계에 미치는 부정적인 영향에 대한 일종의 피해자라 할 수 있는 국민들의 부담하는 세금으로 원인제공자라 할 수 있는 발전회사에 지원을 하는 것은 국민적 반발에 부딪힐 수 있다.

둘째, 발전회사에 지원된 보조금의 온배수 배출 저감을 위해 제대로 집행되는지를 모니터링하고 감시·감독해야 하는데, 이것이 현실적으로 어렵다. 또한 이것이 가능하다 하더라도 이를 위해서는 또 다른 비용이 소요되기 마련이다. 이 비용까지 정부가 부담하는 것은 부당할 수 있다.

셋째, 세금을 통해 조성된 정부의 예산을 집행하던 아니면 전기요금의 인상을 통한 부담금 징수액으로 온배수 관리방안을 시행하던 간에 그 돈이 그 돈이라는 주장

을 할 수 있지만, 전자는 세금 부과와 원인과의 연결과 세금 집행의 용도가 다르므로 세금 자체가 국민들에게 해양생태계를 보전해야 한다는 제대로 된 신호(signal)를 주지 못하는 문제점을 발생시키는 반면에, 후자는 원인과의 연결과 용도가 일치하므로 국민들에게 제대로 된 신호를 주어 장기적으로 해양생태계 보전에 전자보다 더 많이 기여를 하게 된다.

넷째, 현재 해양수산부는 해양환경보전을 위한 별도의 기금이나 계정이 만들어져 있지 않기 때문에, 수산발전기금이나 일반회계로 해양환경보전사업을 수행하고 있어 예산 운영상의 어려움이 있으며, 육상환경에 비해 해양환경에 대한 예산은 충분하지 않은 실정이다. 따라서 해양수산부의 예산만 가지고는 온배수와 관련된 효과적인 해양생태계 보전활동이 어렵다.

따라서 해양생태계 보전을 통한 국민복지 증진이란 궁극적 목표에 비추어 보았을 때, 전액 해양수산부의 예산으로 온배수 관리방안을 시행하는 것은 바람직하지 않다고 결론을 내릴 수 있다.

다. 해양수산부 예산 및 사안별 원인제공자 부담

두 번째 대안은 중앙정부의 예산으로 일부 부담을 하고 나머지는 사안별로 원인 제공자, 즉 발전회사가 부담하는 것이다. 이 방안은 첫 번째 대안과 세 번째 대안 사이에서 타협을 한 것이라고 볼 수 있다. 이런 측면에서 첫 번째 대안과 세 번째 대안이 가지고 있는 한계점을 보완할 수도 있지만, 첫 번째 대안과 세 번째 대안이 가지고 있는 한계점을 어느 정도 그대로 유지할 수도 있다.

예를 들어, 중앙정부의 예산이 투입된다는 측면에서 OECD가 회원국에게 강조하고 있는 오염자 부담원칙이 충분히 적용되지 못하므로, 납세자의 반발이 있을 수 있다. 아울러 원인제공자에게 일부 부담을 시킴으로써 원인제공자의 반발도 불리일 수 있다. 하지만 이 대안을 시행하는 데 있어서 무엇보다도 큰 어려움은 중앙정부가 부담하는 영역과 원인제공자가 부담하는 영역을 분명하게 확정짓기가 어렵다는 것이다. 사전적으로 영역을 구분하는 것이 어느 정도 가능하지만, 개별 사안에 대해서는 그 영역의 구분이 애매한 경우가 다수 발생할 수 있다. 이 경우 불필요한 갈등과 시간을 야기하여 문제 해결을 위한 즉각적인 대처를 어렵게 할 수 있다.

한편 온배수 관리방안 실행에 소요되는 비용 중 가장 큰 비중을 차지하는 비용은 온배수전문연구기관의 설립과 운영에 소요되는 비용이다. 따라서 냉각수 취수 및 온배수 배출 허가와 관련된 전문기관의 타당성 검토를 비롯한 온배수 활용을 위한

기술개발에 소요되는 비용을 사안별 원인제공자가 부담하여 해양수산부에서 지정한 14개 '어업의 손실액 조사기관'에서 수행하게 한다면 부담금 징수를 유보할 수도 있을 것으로 '온배수 관리방안 협의체'에서 중점적으로 논의할 문제이다.

상기와 같은 문제점을 최소화하기 위해서는 해양수산부에서는 온배수 관리방안의 집행에 관계되는 부분만을 부담하고 그 외의 비용은 원인제공자 부담으로 충당하는 방법으로 각 주체별 부담내역은 다음과 같다.

○ 해양수산부 부담

- 중앙온배수관리위원회 운영비(연속성 경비)
- 발전소 주변해역의 영향평가 방법의 표준화 경비(한시성 경비)
- 온배수 관리방안 실행에 따른 행정비용(연속성 경비)

○ 원인제공자 부담

- 지역온배수관리위원회 운영비(연속성, 개별성 경비)
- 냉각수 취수 및 온배수 배수와 관련한 인·허가 경비(개별성 경비)
- 고수온 양식품종 개발과 보급 경비(연속성 경비)
- 온배수 이용 양식장 조성 경비(한시성, 개별성 경비)
- 온배수확산구역의 해양목장화, 생태공원 조성 및 대체해조장 조성 경비(한시성, 개별성 경비)

라. 원인제공자 일괄 부담 : 온배수배출부담금제도

1). 부담금 제도의 도입 필요성

세 번째로 검토할 대안은 원인제공자가 100% 부담하는 것이다. 이 대안은 온배수 배출부담금제도 도입의 형태로 검토할 수 있다. 앞서 논의했듯이, 온배수 배출을 규제할 수 있는 방법에는 직접규제방식과 간접규제방식으로 피구세, 보조금, 배상청구권/배출권 거래시장이 있다. 직접규제방식은 시행의 용이성 측면에서 여전히 규제당국이 선호하는 방식이긴 하지만, 권위적인 접근방식으로 경제적 유인을 제공하지 못한다는 한계 때문에 시장친화적인 경제적 유인 방식으로 전환되고 있다.

보조금 정책의 경우 온배수 피해어민 또는 해양수산부가 발전 사업자에게 보조금을 지급하여 온배수 배출저감장치를 갖추도록 유도한다는 점에서 온배수 배출 저감

이라는 본래의 목적을 달성할 수는 있지만 오염자부담원칙의 관점에서 그리 바람직하지 않는 정책수단이다. 배출권 거래시장의 경우 대기오염처럼 배출자가 매우 많은 경우에는 유용할 수 있지만, 온배수 배출 사업자의 수는 매우 제한적이므로, 이것도 우리나라의 상황에서 그리 현실적인 대안이 아니다.

특정사업으로 인해 생물다양성의 감소, 서식지 파괴, 습지의 감소 등과 같은 생태계의 훼손을 야기할 경우, 국가는 사후적 행위에 대해 법에 의거 배상청구권을 갖고 있다. 예를 들어, 온배수 배출로 인한 해양생태계 훼손에 대해 전력사업자에게 복구비용을 부과하는 방안으로 해양오염방지법 등에서는 배상청구권을 규정하고 있다. 하지만 발전으로 인해 배출되는 온배수가 해양생태계에 미치는 영향 및 피해액에 대한 조사에는 상당한 비용이 소요되고 피해금액의 입증에도 어려움이 있는 것이 현실이다. 아울러 국가 기반산업으로서의 전력산업의 특성에 근거해 볼 때, 현행 배상청구권으로 이를 해결하기에는 어려움이 존재한다. 따라서 온배수 배출을 효율적으로 관리하고 온배수 관리제도의 수립목적을 보다 용이하게 실현하기 위해서는 배상청구권보다는 부담금제도를 도입하는 방안을 고려할 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 다음과 같은 방식으로 온배수배출부담금 제도를 설계하고자 한다(그림 4-12). 즉 앞에서 살펴본 타 부담금 제도의 취지, 내용 및 형식을 참고하면서 부담금제도와 관련된 일반론들을 검토함과 동시에 아래에서 논의될 온배수배출부담금 제도에 부합하는 특별한 원칙들을 설정하여 온배수배출부담금 제도를 설계할 것이다. 이로써 온배수배출을 적정 수준 이하로 통제하면서 온배수관리방안 시행에 필요한 재원을 확보할 수 있다.

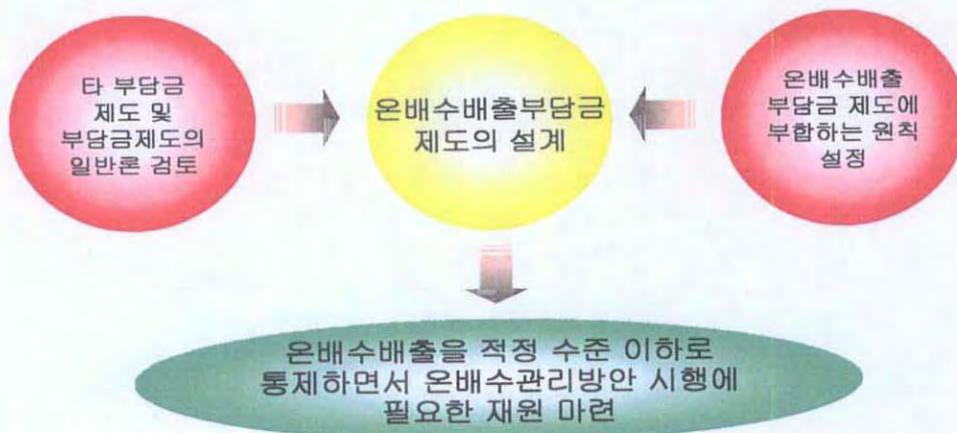


그림 4-12. 온배수배출금 제도 설계를 위한 접근방법.

2). 부담금 제도 설계의 원칙

온배수배출부담금 제도를 설계하는 데 있어서, 꼭 고려해야 할 몇 가지 중요한 원칙들이 있다. 이와 관련하여 본 연구에서는 크게 5가지 기본 원칙을 정립하였다 (그림 4-13). 이러한 원칙들을 100% 다 만족시킬 수는 없다 하더라도 이것들을 제대로 이해하고 최대한 반영할 수 있는 제도를 설계하는 것은 아무리 강조해도 지나치지 않다. 각 원칙별로 내용을 설명하면 다음과 같다.

첫째, 온배수의 다양한 측면을 종합적으로 반영할 수 있어야 한다. 본 보고서의 전반부에서는 온배수 저감방안, 온배수 배출기준, 온배수 관리시스템 등 온배수의 다양한 측면들에 대해 살펴보았다. 부담금제도의 설계 시에는 이 내용들이 종합적으로 반영될 필요가 있다. 어느 한 측면만을 강조한다면 부담금제도를 둘러싼 이해 당사자들의 합의를 도출하기 어렵기 때문이다.

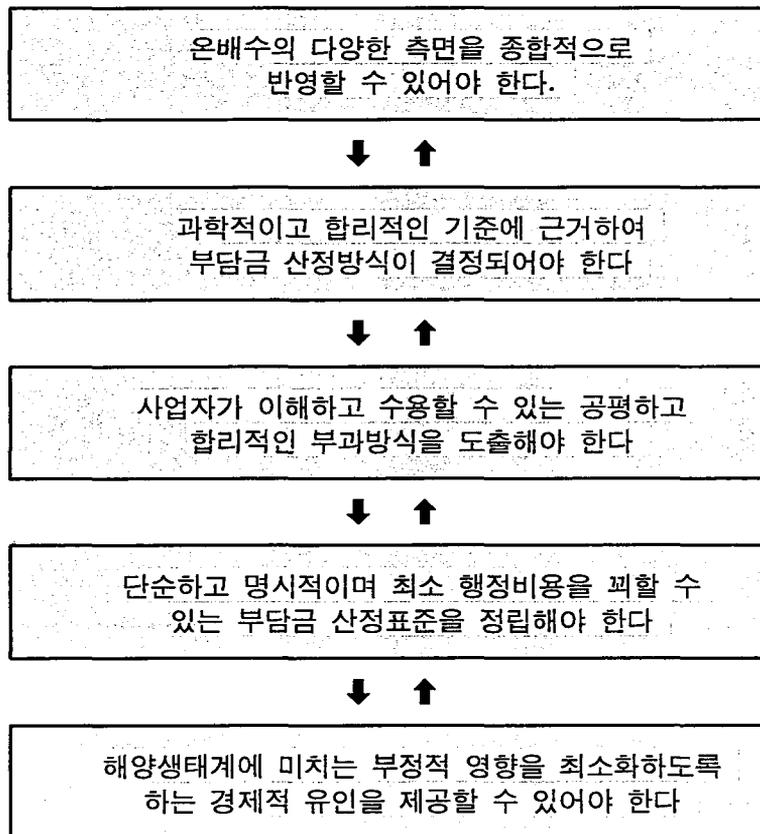


그림 4-13. 온배수배출부담금 제도 설계의 원칙.

둘째, 과학적이고 합리적인 기준에 근거하여 부담금 산정방식이 결정되어야 한다. 이는 많은 사람들이 보편적으로 받아들일 수 있어야 함을 의미한다. 어느 한 집단의 견해에 치우친다면 설계된 부담금제도를 제대로 적용하지 못하고 불필요한 갈등만 야기할 수 있다.

셋째, 사업자가 이해하고 수용할 수 있는 공평하고 합리적인 부과방식을 도출해야 한다. 규제완화의 흐름 속에서 정부 내 준조세가 폐지되거나 통합되고 있는데, 부담금은 분명히 준조세의 성격을 가지고 있다. 이런 상황에서 새로운 부담금제도를 만드는 것은 그 만큼 사업자의 반발을 초래할 수 있다. 따라서 온배수 배출사업자가 이해하고 수용할 수 있도록 부과기준은 공평하고 합리적이어야 한다. 예를 들어, 누구는 면제 또는 감경하면서 자기는 부담해야 한다면 형평성 시비를 불러일으킬 수 있다.

넷째, 단순하고 명시적이며 최소 행정비용을 피할 수 있는 부담금 산정표준을 정립해야 한다. 설계된 부담금제도가 온배수와 관련된 다양한 측면들을 잘 반영하고 있고 또 많은 사람들이 보편적으로 받아들일 수 있다 하더라도, 부담금제도의 적용이 지나치게 어려워 실제 적용에 있어 많은 행정비용이 소요된다면 문제가 있다. 따라서 부담금제도의 세부적인 내용은 상당한 전문성을 요구하여 복잡하다 하더라도 운용절차나 흐름은 비교적 단순해야 한다. 과도한 복잡성은 온배수관리사업 수행을 위한 자원확보 및 온배수 배출 저감을 위한 유인 제공이라는 본래의 취지를 살리기 어렵게 만들고 투명성을 줄이며 이로 인하여 부담금제도의 수용가능성과 실제 운용에 영향을 미칠 수 있다.

다섯째, 해양생태계에 미치는 부정적 영향을 최소화하도록 하는 경제적 유인을 제공할 수 있어야 한다. 부담금제도의 도입목적은 원래 자원확보라기보다는 해양생태계에 미치는 부정적 영향을 최소화하는 것이다. 따라서 단순하게 자원확보 목적으로 부담금제도가 설계되어서는 지지를 받을 수 없다. 일례로 환경부에서 설계하였던 생태계보전협력금 제도는 초기 자원확보에만 초점이 맞추어져 있어 규제개혁위원회에서는 이 문제를 제기하며 1998년 9월 2일 제도 폐지를 의결하였고, 환경부에서는 경제적 유인수단이 될 수 있도록 부담금제도를 재설계하여 재심을 요청하고 나서야 통과되는 우여곡절을 겪은 후 시행된 바 있다. 무엇보다 사업이 해양생태계에 미치는 영향의 정도에 비례하여 부담금이 결정될 필요가 있다.

3). 부담금 제도의 설계

(가). 부담금의 유형

앞서 언급한 바와 같이, 부담금은 수익자부담금, 원인자부담금, 손상자부담금 등으로 나눌 수 있다. 온배수배출부담금의 경우, 온배수배출을 통해 전력을 생산하여 전력을 판매하고 있는 발전사업자에 대해 수익자부담원칙에 따라 수익의 일부를 부담시킬 수도 있으며, 해양생태계 측면에서 해양생태계의 훼손을 유발한 발전사업자에게 원인자부담금을 부담시킬 수도 있다. 온배수배출부담금 제도는 도입 취지상 원인자부담의 원칙에 따라 발전사업자에게 해양생태계 훼손 복구비용을 부담시키는 것이 바람직하다.

온배수배출부담금 제도에서 부담금을 부과하는 목적 중에 하나는 발전에 따라 영향을 받은 해양생태계를 복구하기 위해 필요한 사업을 수행하기 위한 재원확보에 있는 만큼, 온배수배출부담금 제도에서 부과하는 부담금은 원인자부담금이 되어야 한다. 만약 수익자부담의 원칙으로 접근한다면, 발전에 따른 수익가치만 반영될 뿐 해양생태계 훼손에 대한 적정 가치를 반영할 수 없을 것이다. 또한 발전사업자는 오염자로서 복구비용을 부담한다는 인식하기보다는 수익에 대한 조세로 인식하여 불필요한 오해를 야기하면서 조세저항을 초래할 수 있다.

(나). 부과 및 징수의 주체 및 절차

부담금의 부과 및 징수주체는 통상 국가와 공공단체이다. 따라서 대부분의 원인자부담금이 규정하고 있는 바와 같이, 온배수배출부담금의 부과 및 징수주체는 해양수산부장관이 되어야 할 것이다. 생태계보전협력금의 경우 환경부장관은 부과 및 징수에 관한 권한을 환경관리청장 또는 지방환경관리청장에게 위임하고 있음을 감안할 때, 온배수배출부담금도 지방해양수산청장에게 위임하는 것을 고려할 수 있다.

앞에서 언급된 다른 법령과 마찬가지로 온배수배출부담금의 부과주체가 부담금의 종류, 금액, 납부장소 및 납기일을 통지하고, 납부자가 이를 납부하도록 하는 방식으로 규정해야 한다. 또한 부담금에 대한 징수절차도 부담의무자가 스스로 그 의무를 이행하지 아니할 때에는 행정상의 강제수단에 의해 징수토록 한다.

(다). 부과대상 및 용도

원인자부담금의 부과대상은 비용발생의 원인을 제공한 자이므로, 온배수배출부담

금의 부과대상은 온배수를 배출하는 사업자 중에서 복구의 주체를 정부로 택한 자가 부과대상이 된다. 보다 구체적으로는 온배수를 배출하는 발전사업자와 해수를 냉각수로 사용하는 기타 사업자가 될 것이다.

부담금은 사업에 소요되는 경비를 충당하기 위하여 징수하는 것이므로, 그 사용 용도는 이에 국한되어야 한다. 따라서 온배수배출부담금에서 부담금을 징수하는 목적은 발전에 따라 훼손된 해양생태계의 복구사업에 충당하기 위한 것에 한하여 부담금을 사용해야 한다. 또한 온배수배출부담금의 범위가 지나치게 확대 해석되는 것을 방지하기 위해서는 시행령에 구체적인 범위를 규정하는 방안도 고려해야 한다.

(라). 부담금의 산정

부담금의 산정은 발전사업의 종류, 규모 및 원인행위의 정도 등을 기준으로 정해질 수 있으나, 훼손된 해양생태계의 복구사업은 그 규모가 커서 전적으로 원인자의 부담금에 의존하기는 어려운 실정이다. 따라서 발전사업의 규모보다는 원인행위의 정도에 더 많은 비중을 두는 방식으로 부담금이 산정되어야 할 것이다. 즉 발전량에 대해 부담금을 부과하기보다는 온배수 배출량에 대해 부담금을 부과해야 한다.

미국의 경우 해양생태계의 서식지인 산호초, 모래 해변, 갯벌 등에 대한 가격을 설정하고 이의 훼손에 대한 점수를 산정하고 있다. 우리나라에서도 농지(농촌진흥청), 산림(산림청), 수자원(한국수자원공사)의 경우에는 공공기관 주도로 경제적 가치를 산정하여 정책에 활용하고 있다(표 4-17, 18).

하지만 해양생태계에 대한 조사 및 평가는 아직까지 충분하지 못하여 가격산정에 많은 논란이 있을 수 있으므로, 해양생태계의 경제적 가치를 전적으로 반영하기에는 어려운 점이 있다. 해양생태계의 복구비용 내지는 온배수관리방안 시행에 소요되는 예산의 규모에 맞추어 부담금 수준이 결정되는 것이 바람직하다. 즉 비용충당의 원칙 하에서 세입과 세출을 일치시키는 수준에서 온배수배출부담금 수준을 정하는 방안을 고려할 수 있다.

본 연구에서 설계한 부담금 산정기준 상의 각 요소에 대해 살펴본다(그림 4-14). 첫째, 온배수 배출량당 단위부담금은 시뮬레이션을 통해 해양생태계의 복구비용 또는 온배수관리방안 시행에 소요되는 예산의 규모에 맞추어 결정한다. 둘째, 온배수 배출량이 중요한 요소로 반영되어야 온배수 배출을 저감할 유인이 제공된다. 온배수 배출량에 대한 모니터링이 중요할 것이다. 셋째, 지역별 수질생태지수는 온배수

표 4-17. 산림의 공익적 가치

공익적 기능	내용 평가액(억원)	구성비(%)
① 수원함유 기능	99,300	28.7
② 대기정화 기능	72,280	20.9
③ 토사유출방지 기능	64,000	18.5
④ 산림휴양 기능	44,880	13.0
⑤ 산림정수 기능	41,230	11.9
⑥ 토사붕괴방지 기능	16,630	4.8
⑦ 야생동물보호 기능	7,790	2.3
총 평가액	346,110	100.0

표 4-18. 농지의 공익적 가치

공익적 기능	내용 평가액(억원)	구성비(%)
① 수원함유 기능	11,682	21.0
② 토양유실저감 기능	1,830	3.3
③ 상징적·사회적 기능	42,239	75.7
총 평가액	55,751	100.0

$$\begin{aligned}
 \text{부담금} &= \text{온배수 배출량당 단위부담금(원/m}^3\text{)} \\
 &\quad \times \text{온배수 배출량(m}^3\text{)} \\
 &\quad \times \text{지역별 환경생태지수(0~1)} \\
 &\quad \times \text{온도 계수(배출수온/기준수온)}
 \end{aligned}$$

그림 4-14. 온배수배출부담금 산정기준.

배출 해역의 수질 및 생태적 중요성을 반영하기 위한 것으로 수질이 불량하고 생태학적으로 가치가 없다면 0, 수질이 양호하고 생태학적으로 중요하다면 그 정도에 따라 1.0 이하의 값으로 설정할 수 있다. 즉 수질이 불량하고 생태학적 가치가 없다면 온배수 배출부담금은 0이 된다. 넷째, 동일한 양의 온배수라도 온도의 차이는 중요하므로 온도계수를 통해 온도를 반영할 필요가 있다. 온도계수는 기준온도 이상이면 그에 비례하여 1.0 이상의 값을 가지고, 기준온도 이하이면 그에 비례하여 1.0 이하의 값을 가진다.

4). 부담금 제도의 운영체제 및 기대효과

(가). 온배수배출부담금 제도의 운영체제

온배수배출부담금 제도의 운영체제는 해양수산부를 중심으로 이루어져야 할 것이다(그림 4-15). 해양수산부 해양생태팀은 부담금 관리 및 집행을 담당하면서 온배수 관리사업을 수행한다. 아울러 해양수산부 전체의 관점에서 부담금 수준을 산정하고 해양수산부 장관 명의로 고지서를 발급하고 징수를 한다. 부담금 납부자에는 발전

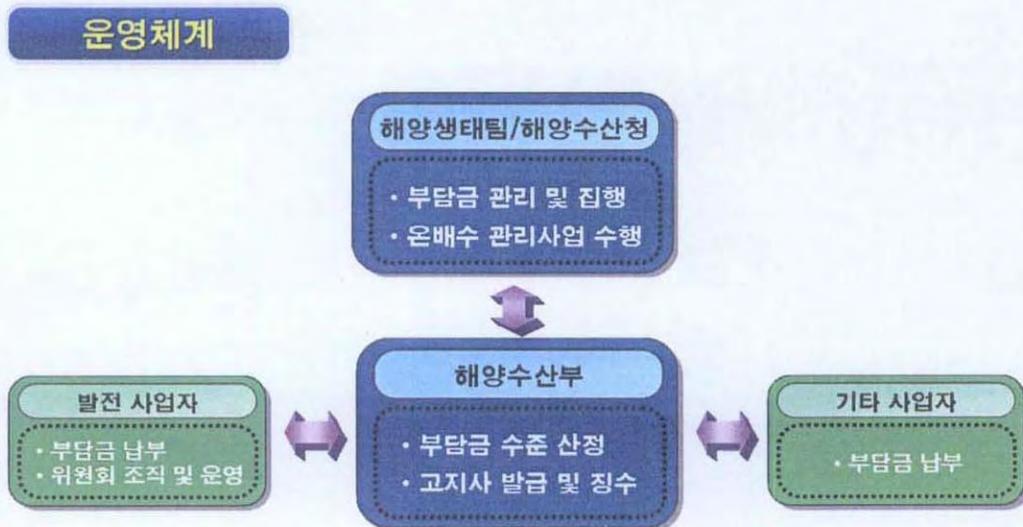


그림 4-15. 온배수배출부담금 제도의 운영체제.

사업자뿐만 아니라 해수를 냉각용으로 사용하는 다른 사업자도 공평하게 포함되어야 한다. 한편 발전사업자는 부담금을 납부함과 동시에 발전소별 온배수관리위원회를 조직하여 운영해야 한다.

온배수배출부담금 제도 운영의 기본목표는 경제적 유인수단 기능과 재원확보 기능 모두를 달성하는 것이다(그림 4-16). 운영단계는 크게 3단계로 구성된다. 1단계에서는 부담금을 산정하고 부과한다. 2단계에서는 징수 및 납부 절차를 거친다. 필요한 경우에는 징수 업무를 원활히 하기 위해 현장 방문도 한다. 3단계에서는 징수된 부담금을 관리하면서 온배수관리 사업을 수행한다.

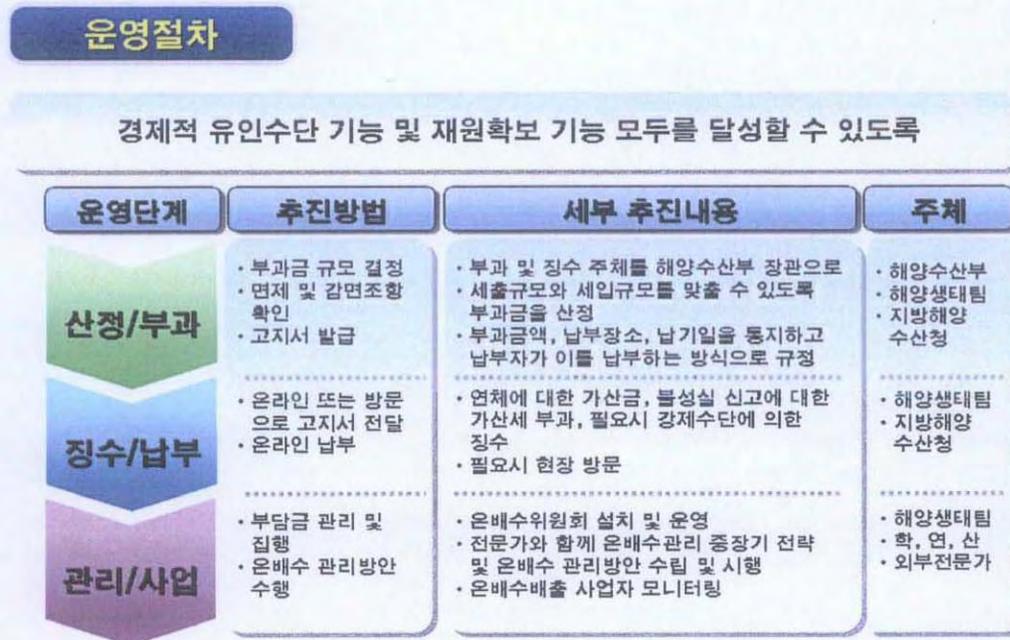


그림 4-16. 온배수배출부담금 제도의 운영절차.

(나). 온배수배출부담금 제도의 기대효과

앞에서 설계한 온배수배출부담금 제도는 온배수 배출량 및 온배수 온도를 반영함으로써, 온배수 배출사업자로 하여금 온배수 배출량 또는 온배수 배출의 영향을 최소화하게끔 하는 경제적 유인을 제공한다. 아울러 생태적 중요성을 적절하게 반영

하는 지역특성계수를 고려함으로써 생태적 중요성에 비례하는 자원확보가 가능하며, 생태적 중요성이 큰 지역에서 최대한 온배수 배출을 억제하는 효과를 가진다.

또한 온배수배출부담금 제도의 운영 자체는 크게 4가지 기대효과를 가진다(그림 4-17). 오염자부담원칙을 구현할 수 있으며, 최적 온배수 배출수준을 달성할 수 있고, 온배수 관리방안 수행에 필요한 재원을 확보할 수 있다. 궁극적으로 효율적 온배수 관리에 활용됨으로써 해양생태계 보전에 기여하게 된다.

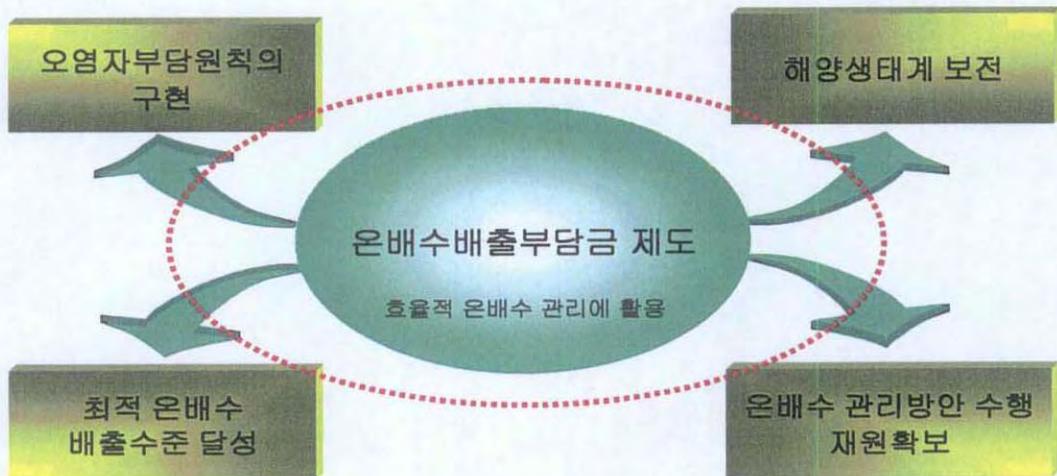


그림 4-17. 온배수배출부담금 제도의 기대효과.

4). 온배수배출부담금 관련 기타 검토사항

(가). 점·사용료와의 관계

공유수면관리법 시행규칙 별표 2에 의거 발전회사는 물을 해수를 냉각수로 끌어들이기 위해 점·사용료로 m^3 /초당 연간 20만원을 납부하고 있다. 만약 냉각수 사용량이 평균 $200m^3$ /초라면 사용료는 연간 4,000만원 수준이다. 해수의 냉각수 이용에 대해 사용료를 납부하므로 온배수배출에 대해 부담금을 납부하는 것은 이중부담이란 주장을 할 수 있다. 하지만 다음과 같은 몇 가지 이유에서 사용료와 부담금은 별도로 다뤄져야 하며 이중부담이 아니다.

첫째, 앞서에서도 살펴보았듯이 사용료와 부담금은 그 개념이 다르다. 사용료는 국가가 보유하고 있는 해수를 취수하여 이용하는 것에 대한 반대급부(대가)로서 부과되는 것이다. 반면에 부담금은 온배수관리방안의 시행을 위해 그리고 온배수배출저감을 유도하기 위해 온배수배출 사업자에게 부과되는 것이다. 사용료는 해수의 취수에 대해 부과되는 것이며, 부담금은 온배수배출에 대해 부과되는 것이다. 만약 발전사업자가 해수를 취수만 하고 다시 바다로 배출하지 않는다면 사용료만 부담하면 되지만, 열이 가해지 형태로 다시 바다로 배출하므로 온배수배출부담금이 부과된다.

둘째, 용수를 이용할 때의 요금 체계에 비추어 봤을 때, 사용료와 부담금은 구분되어야 한다. 즉, 물을 이용하는 데 있어서 상수도 요금과 하수도 요금이 분리되어 있는 것과 마찬가지로 상수의 이용에 대해 요금을 부담해야 하며, 다시 상수 수준으로 배출하는 것이 아니라 오염물질이 가해진 하수 수준으로 배출하므로 하수도 요금을 부담해야 하는 것이다.

(나). 어업권보상과의 관계

온배수배출부담금 제도의 운용으로 얻게 될 수입을 어업피해의 보상에 사용해야 한다는 주장을 할 수 있다. 하지만 환경분쟁조정위원회의 조정이나 소송 등을 통해 피해액이 결정되고 발전회사가 피해어민들에게 지급하는 형태로 어업피해의 보상이 이루어져야지, 온배수배출부담금으로 어업피해를 보상하는 것은 합리적이지 못하다. 부담금은 그 성격상 특정사업을 위한 경비에 충당되는 것이 원칙이다. 온배수배출 부담금은 온배수관리방안의 시행에 소요되는 경비를 충당하는 데 사용되어야 한다. 이러한 이유 때문에, 현재 100여 개의 부담금 중에서 피해자에게 피해액을 보상하는 중간 매개체로 부담금 제도가 도입되었거나 활용되는 사례는 전무하다.

(다). 발전사업자의 부담과 관련된 검토

현재 발전회사 내지는 전력회사가 납부하고 있는 부담금은 크게 산업자원부 전략산업팀이 관할하는 「전력산업기반기금부담금」과 과학기술부가 원자력정책과가 관할하는 「원자력연구개발사업비용부담금」의 두 가지가 있다. 「전력산업기반기금부담금」은 2001년에 설치되었으며, 전기사업법 제51조에 의거 부과되고 있으며, 전기사업법 시행령 제36조에서 부과요율을 제시하고 있다(표 4-19).

표 4-19. 전력산업기반기금부담금의 부과근거

구 분	근거 법령	규정내용 요약
1. 법 률	전기사업법 제51조	전력산업기반조성사업을 수행하기 위하여 전기요금의 65/1,000 범위 안에서 부과 및 징수
2. 시행령	전기사업법 시행령 제36조	부담금은 전기요금의 37/1,000에 해당하는 금액으로 함

부담금의 부과목적은 전력산업의 지속적인 발전과 전력산업기반조성사업 추진에 필요한 재원을 확보하는 것으로 전기사업법 제48조에 명시되어 있으며, 부담금의 부과대상은 전기의 사용이며 납부의무자는 전기사용자이다. 부담금의 산정기준 및 부담률은 현재 전기요금의 37/1,000인데 2001년 4월 1일 부담금의 도입당시 전기요금의 32.3/1,000 수준이었다가, 2001년 12월 31일 전기요금의 45.91/1,000으로 상향 조정되었으나, 2005년 12월 28일 다시 현재의 수준으로 하향 조정되었다.

자가발전설비(신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법에 따른 자가발전 설비를 포함한다)에 의하여 생산된 전기, 전력시장에서 판매할 전기를 생산할 목적으로 사용되는 양수발전사업용 전기, 구역전기사업자(이 법에 의하여 구역전기사업자로 보는 집단에너지사업자를 포함한다)가 특정한 공급구역 안에서 공급하는 전기의 3가지 경우에 대해서는 부담금이 100% 감면된다. 연도별 부담금의 부과 및 징수 실적을 살펴보면, 부담률이 인하됨에 따라 2005년에 비해 2006년에 소폭 감소하였으나, 전기사용량 증가에 따라 계속 증가하는 추세를 보이고 있다(그림 4-18).

부담금은 태양광발전보급지원, 전력수요관리, 전략연구개발, 인프라구축지원, 도서벽지전력공급, 전기안전관리, 발전소주변지역 지원, 타 에너지 지원, 전력기반용자, 개발기술 사업화, 전력공급 용자채권 인수 등에 사용되고 있다.

「원자력연구개발사업비용부담금」은 1997년에 설치되었으며, 원자력법 제9조의3에 부과근거가 제시되어 있다. 1996년 1월에 있었던 국가과학기술자문회의에서 원자력사업의 체계가 조정됨에 따라, 방사성폐기물관리사업, 핵연료제조 및 원전설계사업 등 수익사업이 원자력연구소에서 원자력사업체로 이관됨에 따라 원전의 핵심기술개발 등을 위한 원자력연구개발사업비의 안정적인 확보가 절실하게 요구되었다. 이에 따라 과학기술부에서 그 동안 징수하던 방사성폐기물관리기금과 원전사업자가 원자력

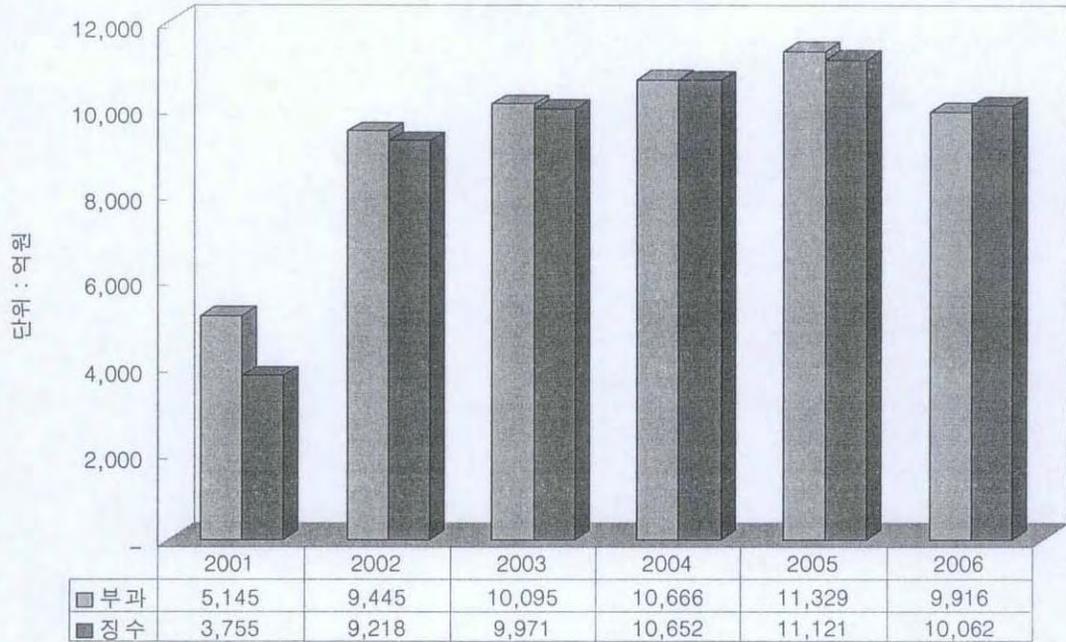


그림 4-18. 전력산업기반기금부담금의 부과 및 징수실적.

연구기관에 직접 지원하던 출연금 등을 통합하여 원자력연구개발기금을 신설하기로 합의하여 1996년 12월 원자력법에 기금설치 근거를 마련하였다(표 4-20).

원자력은 국가 에너지 안보와 공공복지 등 국가 전략적 차원에서 수행되는 종합 과학기술로서 연구개발에 장기간 및 막대한 재원을 필요로 하여 국가 주도로 수행하고 있으나, 정부예산의 한계로 인하여 별도의 안정적 재원 확보대책의 일환으로 원자력연구개발기금을 설치한 것이다. 부담금의 부과대상은 발전용 원자로운영자(한국수력원자력(주))가 원자로를 운전하여 생산된 전년도 전력량이며 납부의무자는 발전용 원자로운영자이다. 부담금의 부과요율은 1997년 6월 부담금제도가 도입된 이후로 1.2원/kwh를 유지하고 있다. 원자력 발전량이 늘어남에 따라 부담금의 부과 및 징수실적도 매년 증가 추세를 보이고 있다(그림 4-19).

따라서 발전사업자의 2006년 부담금 납부실적은 1조 1,819억원에 달한다. 온배수 배출부담금제도의 신설을 통해 매년 약 100억 수준의 부담금을 납부한다고 볼 때, 기존 부담금 납부액의 0.85% 수준에 불과하다.

표 4-20. 원자력연구개발사업비용부담금의 부과근거

구분	근거 법령	규정내용 요약
1. 법률	원자력법 제 9 조의 3	<ul style="list-style-type: none"> - 발전용원자로운영자는 원자력연구개발사업에 소요되는 비용을 부담해야 함 - 발전용원자로운영자가 부담해야 할 금액은 당해 원자로를 운전하여 생산되는 전년도 전력량에 킬로와트시간당 1.2원을 곱한 금액을 초과하지 아니하는 범위 안에서 대통령령으로 정함
2. 시행령	원자력법 시행령 제 20조의10	발전용원자로운영자가 부담해야 할 금액은 당해 원자로로 운전하여 생산한 전년도 전력량에 킬로와트시간당 1.2원을 곱한 금액으로 함
	원자력법 시행령 제 20 조의11	장관은 발전용원자로운영자에게 부담금을 부과하고자 하는 때에는 매분기마다 전년도 해당분기에 원자로의 운전으로 생산된 전력량을 기준으로 납부금액·납부기한 및 납부장소를 서면으로 명시하여 이를 납부할 것을 명하여야 함
3. 시행규칙	원자력법 시행규칙 제 4 조	발전용원자로운영자에 대한 원자력연구개발사업비용부담금의 부과는 별지 서식에 의함

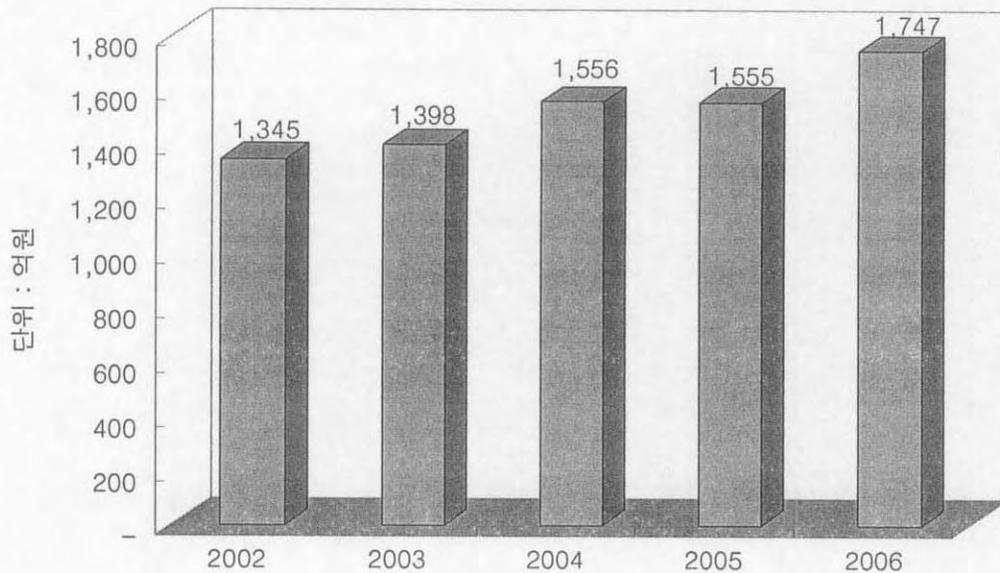


그림 4-19. 원자력연구개발사업비용부담금의 부과 및 징수실적.

(라). 온배수에 대한 여론조사

온배수에 대한 여론조사는 서울 및 6대 광역시(부산, 대구, 광주, 인천, 대전, 울산)에 거주하는 900 가구에 대해 2007년 9월 10일부터 10월 5일까지 1개월간 설문조사 전문기관인 (주)동서리서치에 의뢰하여 실시되었다(표 4-21 및 표 4-22).

설문방법은 일대일 개별면접이었으면 만 19세 이상 65세 미만으로 조사대상자를 한정하였다. 온배수에 대한 의견을 직접 묻기 전에, 응답자 가구의 월 평균 전기요금 지출에 대해 질문하여 응답자 가구의 전기요금 수준을 먼저 상기하도록 하였다. 다음으로 지문을 응답자가 읽게 하여 그 내용을 숙지시켰다(그림 4-20).

표 4-21. 온배수에 대한 여론조사를 위한 조사체계

구 분	내 용
조사기간	2007년 9월 10일 - 10월 5일
조사대상	만 19세 이상 65세 미만 남녀
조사지역	서울 및 6대 광역시
표본크기	900명
표본추출	지역/성/연령별 인구비례할당추출
표본오차	95% 신뢰수준에서 최대허용 오차 $\pm 3.3\%$
조사방법	일대일 대면면접조사(face-to-face interview)
자료수집	(주)동서리서치

다음으로 응답자의 가구가 온배수관리방안의 시행을 위해 월 48원 수준의 전기요금 인상에 찬성하는지를 질문하였다. 전체 응답자 중 44.3%의 응답자들이 온배수배출부담금 제도의 도입으로 인한 전기요금 인상에 찬성하였다(표 4-23). 즉 절반에 약간 못 미치는 응답자들이 비용부담을 감수하더라도 온배수배출부담금제도의 도입에 찬성하고 있음을 알 수 있다. 성별로 살펴보면 남성 응답자의 찬성비율이 높았으며, 연령대별로 보면 30대에서 찬성비율이 가장 높았다.

반대의견을 밝혔던 55.7%에 해당하는 501명의 응답자에게 반대하는 가장 중요한

표 4-22. 응답자의 특성

구분		사례수(명)	비율(%)
전체		900	100.0
성별	남성	448	49.8
	여성	452	50.2
연령	19-29세	244	27.1
	30대	229	25.4
	40대	226	25.1
	50-64세	201	22.3
지역	서울	407	45.2
	부산	143	15.9
	대구	98	10.9
	광주	54	6.0
	인천	100	11.1
	대전	57	6.3
	울산	41	4.6
학력	중졸이하	50	5.6
	고졸	480	53.3
	대재이상	370	41.1
직업	공무원	13	1.4
	회사원	374	41.6
	자영업	276	30.7
	주부	207	23.0
	학생	19	2.1
	무직/기타	11	1.2

이유가 무엇인지에 대해서도 질문을 하였더니, 크게 4가지 중에 한 가지로 답변을 하였다(그림 4-21).

첫째, ‘발전회사가 원가절감을 통해 부담해야 한다’가 가장 많은 응답으로 반대의 견을 밝힌 응답자의 1/3을 약간 넘는 34.7%를 차지했다. 둘째, 다음으로 많은 응답

화력발전과 원자력발전을 이용하여 전력을 생산하는 과정에서 많은 열이 발생하며, 이 열을 식히기 위해서 세계 각국은 바닷물을 냉각수로 이용하고 있습니다. 냉각수로 이용된 바닷물은 열로 인해 따뜻해진 상태로 바다로 다시 배출되는데 이를 온배수라 합니다. 온배수는 발전소 주변 해역의 바닷물 온도를 상승시켜 해양생태계에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 어민들은 온배수로 인한 어업피해를 주장하고 있는 상황입니다. 아울러 양식장 등에서의 온배수 활용도 모색되고 있습니다. 하지만 아직까지 온배수를 체계적으로 관리하지는 못했습니다.

이에 정부에서는 ① 온배수관리위원회의 운영을 통한 갈등 조정, ② 온배수 전문기관 설립, 온배수 영향평가 표준화, 온배수 배출기준 수립을 통한 신뢰 구축, ③ 온배수 영향저감 방안의 집행 등을 골자로 하는 온배수관리 방안을 마련하고 시행하려 합니다. 전문기관의 조사결과, 이를 위해서는 현재의 정부지출 이외에 추가적으로 연간 약 100억원 정도의 비용이 필요합니다. 만약 많은 사람들이 그 비용을 지불하지 않는다면 온배수관리방안은 시행되기 어렵습니다. 이 금액을 가구당 월 평균 전기요금으로 환산하면 월 48원 수준입니다.

그림 4-20. 응답자에게 제시된 온배수에 대한 설명문.

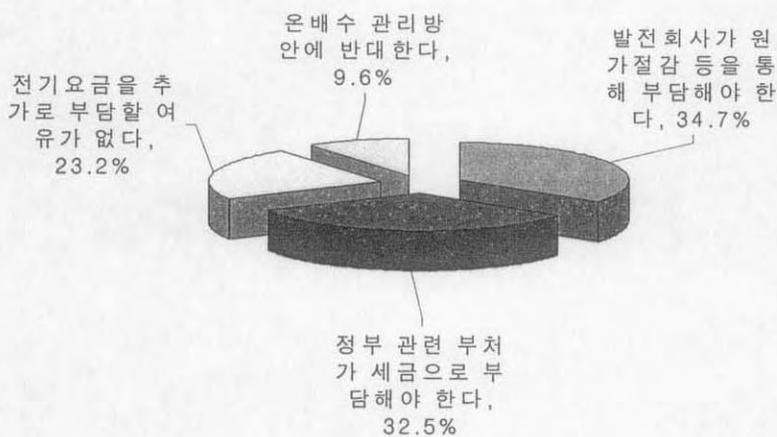


그림 4-21. 온배수 관리방안 시행을 위한 전기요금 인상에 반대하는 이유.

표 4-23. 온배수관리방안 시행을 위한 월 48원의 전기요금 인상안에 대한 찬반결과

구분		응답자수	찬성비율	반대비율	계
전체		900	44.3	55.7	100.0
성별	남성	448	46.9	53.1	100.0
	여성	452	41.8	58.2	100.0
연령	19-29세	244	43.4	56.6	100.0
	30대	229	51.1	48.9	100.0
	40대	226	41.2	58.8	100.0
	50-64세	201	41.3	58.7	100.0
지역	서울	407	41.5	58.5	100.0
	부산	143	36.4	63.6	100.0
	대구	98	69.4	30.6	100.0
	광주	54	25.9	74.1	100.0
	인천	100	48.0	52.0	100.0
	대전	57	29.8	70.2	100.0
	울산	41	75.6	24.4	100.0
학력	중졸이하	50	46.0	54.0	100.0
	고졸	480	44.8	55.2	100.0
	대재이상	370	43.5	56.5	100.0
직업	공무원	13	61.5	38.5	100.0
	회사원	374	46.8	53.2	100.0
	자영업	276	44.6	55.4	100.0
	주부	207	40.1	59.9	100.0
	학생	19	31.6	68.4	100.0
	무직/기타	11	36.4	63.6	100.0

은 '정부관련 부처가 세금으로 부담해야 한다'로 32.5%에 해당한다. 셋째, 전기요금을 추가로 부담할 여유가 없다는 응답이 23.2%를 차지했다. 넷째, 온배수 관리방안 자체에 반대한다는 의견(9.6%)도 있었다.

요컨대, 전국 7개 대도시 주민 900명을 대상으로 한 설문조사 결과, 온배수 관리

방안의 시행을 위한 월 평균 48원 수준의 전기요금 인상에 대해 전체 응답자의 절반에 조금 못 미치는 44.3%의 응답자들은 찬성의견을 밝혔으며, 반대의견을 밝힌 응답자의 1/3이 조금 넘는 비율이 전기요금 인상 대신에 발전회사의 부담으로 해야 한다는 점을 확인할 수 있다.

제 2 절. 온배수 관리방안의 법률학적 연구

1. 온배수 관리방안의 법률적 배경

가. 해양오염과 온배수

온배수는 냉각수로 취수된 자연해수에 발전소 폐열(폐에너지)이 부하되어 수온이 상승한 상태로 다시 해양으로 방출되는 것이다.

온배수 관리방안의 법적 근거는 2007년 1월 22일 법령 제8560호로 공포된 “해양환경관리법(이하 관리법)”이다. 관리법 제2조(정의) 2에 “해양오염이라 함은 해양에 유입되거나 해양에서 발생하는 물질 또는 에너지로 인하여 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태를 말한다.”로 명기하였다.

한편 ‘에너지’의 사전적 의미는 ‘물체나 물체계가 가지고 있는 일을 하는 능력을 통틀어 이르는 말로, 역학적 일을 기준으로 하여 이와 동등하다고 생각되는 것, 또는 이것으로 환산할 수 있는 것’이며, ‘물질’은 ‘자연계의 구성 요소의 하나이며 다양한 자연현상을 일으키는 실체로, 공간의 일부를 차지하고 질량을 갖는 것’이다. 따라서 물질과 에너지를 구별하여 보는 것이 타당하다 할 수 있다. 그러나 온배수는 발전소에서 발생한 폐열(발전소에서 더 이상 상용 가치가 없는 에너지)과 이를 운반하고 있는 해수가 합쳐진 상태로 ‘에너지’와 이를 운반하고 있는 ‘물질’인 해수를 분리할 수는 없다. 또한 인위적으로 해양에 유입되는 에너지는 사실상 온배수가 유일하며, 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태의 에너지도 온배수가 유일하다. 물론 온배수는 양면성이 있어, 계절에 따라서는 해양생물의 생산력을 증가시켜주기도 하기 때문에 온배수의 속성에 대한 원칙적인 논란은 있을 수 있지만 관리법의 테두리 안에서 온배수를 해양오염의 한 범주로 정의하는 것에는 큰 문제가 없다고 본다. 따라서 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안은 바로 관리법의 테두리 안에서 마련해야 할 것이다.

나. 해양환경관리법 상의 배경

1) 해양환경관리법의 제정이유

해양에 배출되는 기름·유해액체물질·포장유해물질 및 폐기물과 선박·해양시설

로부터 대기로 배출되는 대기오염물질을 규제하고, 해양의 오염물질을 제거하여 해양환경을 보전함으로써 국민의 건강과 재산을 보호함을 목적으로 제정된 해양오염방지법(1991. 3. 8. 법률 제4365호)에 대한 개정논의가 있었고, 이에 대하여 차제에 해양오염방지법을 대체하는 새로운 법률을 제정하려는 논의가 있어 해양환경관리법이 제정(2007. 1. 22. 법률 제8560호) 되었다.

해양환경관리법은 환경친화적 해양자원의 지속가능한 이용·개발을 도모하고 해양환경의 효과적인 보전·관리를 위하여 국가 차원의 해양환경종합계획을 수립·시행하고, 해양에 유입되거나 해양에서 발생하는 각종 오염원을 통합관리하게 하는 등 해양 분야에서의 환경정책을 종합적·체계적으로 추진할 수 있는 법적 근거를 마련하는 한편, 인체에 유해한 환경호르몬 등 잔류성 유기오염물질에 의한 해양오염의 실태조사 및 대응조치의 근거를 마련하고, 무분별한 바다골재채취 등에 따른 해양환경의 훼손을 방지하기 위하여 해역이용행위에 대한 영향심사제도를 도입하며, 그 밖에 종전의 한국해양오염방제조합을 해양환경관리공단으로 확대·개편하여 기름방제사업 및 해양환경사업을 효과적으로 수행할 수 있도록 하는 등 해양환경의 훼손 또는 해양오염을 방지하고, 깨끗하고 안전한 해양환경을 조성하는데 기여할 수 있도록 해양환경관리체계를 전면 개편하려는 취지에서 제정되었다(해양환경관리법 제정이유).

해양환경관리법은 해양환경의 종합관리를 위한 기본체계 마련(제1조 및 제14조), 해양환경 측정·분석기관에 대한 관리강화(제12조 및 제13조), 해양환경관리위원회 신설(17조), 잔류성 유기오염물질에 대한 조치(39조), 유해한 방오도료(防汚塗料) 등에 대한 규제(40조), 국가긴급방제계획의 수립·시행 등(제61조, 62조), 공유수면 점·사용등 해역이용을 위한 허가시 해역이용협의(84조), 해양환경관리공단의 설립 등(96조 내지 109조)이고, 무엇보다도 그동안 논의가 되어 온 온배수 규제에 대한 근거조문을 마련한 점이 특색이다(제2조 제2호).

2). 관리방안의 법률적 배경

가). 관리방안 수립

해양수산부장관은 관리법 “제5조(국가 등의 책무) ①국가와 지방자치단체는 해양오염으로 인한 피해를 예방하고 훼손된 해양환경을 복원하는 등 해양환경의 적정한 보전·관리에 필요한 시책을 수립·시행하여야 한다.”에 의거 온배수에 의한 위해

를 예방하고 복원하기 위한 시책 즉 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안을 수립·시행할 의무가 있다.

나). 해양환경기준 고시

해양수산부장관은 관리법 “제8조(해양환경기준) ①해양수산부장관은 「환경정책기본법」 제10조에 따른 환경기준을 유지하고 「해양수산발전 기본법」 제13조에 따른 해양환경의 보전을 위한 시책에 필요한 해양환경의 기준(이하 “해양환경기준”이라 한다)을 해역별·용도별로 정하여 고시하여야 한다. 이 경우 해양수산부장관은 미리 관계 행정기관의 의견을 들어야 한다.”에 의거 관계 행정기관(환경부장관)의 의견을 참조하여 해양환경법 시행규칙 또는 해양수산부 고시로 온배수배출기준을 정하는 것이 바람직하다.

다). 정도관리

해양수산부장관은 관리법 “제12조(해양환경 측정·분석기관의 정도관리) ①해양수산부장관은 해양환경 상태를 측정·분석하는 기관 중 대통령령이 정하는 기관(이하 “측정·분석기관”이라 한다)으로 하여금 정확하고 신뢰성 있는 측정·분석을 하게 하기 위하여 해양수산부령이 정하는 바에 따라 측정·분석능력의 평가, 관련 교육의 실시 및 측정·분석과 관련된 자료의 검증 등 필요한 조치(이하 “정도관리”라 한다)를 할 수 있다.”에 의거 해양수산부령으로 온배수 전문기관을 지정하고 감독할 권한이 있다.

라). 특별관리해역 지정

해양수산부장관은 관리법 “제15조(환경관리해역의 지정 및 관리) ①해양수산부장관은 해양환경의 보전·관리를 위하여 필요하다고 인정되는 경우에는 다음 각 호의 구분에 따라 환경보전해역 및 특별관리해역(이하 “환경관리해역”이라 한다)을 지정·관리할 수 있다. 이 경우 관계 중앙행정기관의 장과 미리 협의하여 한다.”에 의거 중앙행정기관의 장과 미리 협력하여 온배수확산구역을 수산자원보전지구에 준하는 특별관리해역으로 지정할 권한이 있다. 특별관리해역 지정에 관한 사항은 관리법 시행령에 정하는 것이 바람직하다.

마). 관리위원회 설치

해양수산부장관은 관리법 “제17조(해양환경관리위원회) ①해양환경에 관한 주요 정책 및 계획을 수립하거나 해양오염의 조사·방지 등에 관한 주요 사항을 심의하기 위하여 해양수산부장관 소속으로 해양환경관리위원회를 둔다.”에 의거 해양수산부 산하에 해양환경관리위원회를 설치할 수 있으며, 중앙온배수관리위원회를 해양환경관리위원회의 세부 위원회로 하거나 동 위원회가 중앙온배수관리위원회의 기능을 갖도록 할 수 있다.

바). 시설개선 명령

온배수 영향 저감을 위한 시설개수는 관리법 “제18조(해양환경개선조치) ①해역관리청은 오염물질의 유입 또는 퇴적 등으로 인한 해양오염을 방지하고 해양환경을 개선하기 위하여 필요하다고 인정되는 때에는 대통령령이 정하는 바에 따라 다음 각 호의 해양환경개선조치를 할 수 있다.

- (1). 오염물질 유입방지시설의 설치
- (2). 오염물질의 수거 및 처리
- (3). 오염된 퇴적물의 수거

(4). 그 밖에 해양환경개선과 관련하여 필요한 사업으로서 해양수산부령이 정하는 조치”에 의거 대통령령으로 명할 수 있으며, 이에 필요한 사업 시행은 해양수산부령으로 시행할 수 있다. 그러나 법률적으로 온배수를 오염물질이라 규정한다 하여도 사실상 배출된 온배수를 수거 및 처리할 방법은 없기 때문에 시설개선 명령은 냉각수 사용량 축소 및 냉각계통 가동에 따른 환경영향을 저감 시킬 수 있는 시설 개선에 국한될 수밖에 없다.

사). 온배수 부담금

해양수산부장관은 관리법 “제19조(해양환경개선부담금) ①해양수산부장관은 해양환경 및 해양생태계에 현저한 영향을 미치는 다음 각 호의 행위에 대하여 해양환경개선부담금(이하 “부담금”이라 한다)을 부과·징수한다.”에 의거 대통령령으로 온배수 배출규모를 정하고 이에 대한 부담금을 부과·징수할 권한이 있다. 이를 위하여 관리법 시행령에 환경개선부담금 징수대상으로 온배수를 정하고, 부담금 부과방법

및 정수방법 등 세부적 사항은 관리법 시행령(이하 시행령)과 관리법 시행규칙(이하 시행규칙)에 정하여야 할 것이다.

아). 온배수 배출자의 의무

온배수 배출자는 관리법 “제5조(국가 등의 책무) ②해양에서의 개발·이용행위 등 해양환경에 영향을 미치는 행위 또는 사업을 행하는 자는 해양오염 및 해양환경의 훼손을 최소화하도록 필요한 조치를 하여야 한다.”에 정한 해양환경에 영향을 미치는 행위를 행하는 자로 온배수 배출이 해양생태계에 미치는 영향을 최소화할 의무가 있다.

온배수 관리방안을 위한 제반 경비는 관리법 “제7조(오염원인자 책임의 원칙) 자기의 행위 또는 사업 활동으로 인하여 해양환경의 훼손 또는 해양오염을 야기한 자(이하 “오염원인자”라 한다)는 훼손·오염된 해양환경을 복원할 책임을 지며, 해양환경의 훼손·오염으로 인한 피해의 구제에 소요되는 비용을 부담함을 원칙으로 한다.”에 의거 온배수 배출자가 부담하여야 한다.

2. 온배수 관리방안을 위한 법규조정

가. 해양환경관리법

관리법 제2조 제2호에서 ‘에너지’를 해양오염의 한 원인이라고 규정하였으면서도 구체적으로 ‘에너지’가 무엇을 의미하는 것인지에 대한 정의규정이 없어 온배수가 당연히 에너지에 포함되는지 여부에 대한 의문이 들 수 있다. 학계나 실무 담당자서는 의문이 없을지는 모르나 일반인은 모를 수가 있다. 입법은 전문가를 대상으로 하는 것이 아니고, 일반 국민을 대상으로 하여야 하는 것이므로 명확히 하는 것이 바람직할 것이다.

상기와 같은 취지에서 관리법 또는 관리법 시행령을 개정할 필요가 있다. 우선적으로 관리법 ‘제2조(정의) 2. “해양오염”이라 함은 해상에 유입되거나 해양에서 발생하는 물질 또는 에너지로 인하여 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태를 말한다.’에 직접 정의 규정을 추가하여 “해양오염”이라 함은 해상에 유입되거나 해양에서 발생하는 물질 또는 에너지(온배수를 포함한다)로 인하여 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태를 말한다.’로 개정하는

것이 바람직하다(표 4-24).

둘째는 오염물질의 범주에 온배수를 정의하는 방법이다. 온배수가 액체물질이며, 온배수로 인하여 부하되는 에너지는 관리법 제2조(정의) 2호에 따른 해양오염의 범주에 해당하기 때문에 해양환경법의 후속조치로 시행령 또는 시행규칙에 온배수를 “유해액체물질”의 하나로 정할 수 있다. 그러나 관리법에서 말하는 “유해액체물질”은 비교적 운반이 용이하고 수량이 적은 독극물 또는 이에 준하는 액체성 유해화학물질로 해석함이 타당하다는 것을 많은 부분에서 보여주고 있어 {관리법 제22조(오염물의 배출금지 등) ①항 3호, ②항 2호; 제27조(유해액체물질오염방지설비의 설치 등)} 관리법 제2조 2호, 7호 및 11호는 상호간에 범규 해석상 문제를 야기할 소지가 있기에 에너지를 별개의 오염물질이 한 유형으로 정의하는 것이 바람직하다. 즉, 관리법 ‘제2조(정의) 11. “오염물질”이라 함은 해양에 유입 또는 해양으로 배출되어 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 폐기물·기름·유해액체물질 및 포장유해물질을 말한다.’를 “오염물질”이라 함은 해양에 유입 또는 해양으로 배출되어 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 폐기물·기름·유해액체물질, 포장유해물질 및 에너지를 말한다.로 전자보다 법률적 논리에 보다 적절한 방법이다. 그러나 두 번째 방법을 채택할 경우 에너지를 오염물질의 한 범주로 정의하였지만 온배수가 오염물질에 포함된다는 명확한 규정이 없기 때문에 관리법 시행령에 ‘법 제2조(정의) 2호에서 규정한 “에너지”라 함은 발전시설 등 열기관에서 해양환경으로 직접 배출되는 온배수를 포함한다.’라고 반드시 정의하여야 한다(표 4-24).

나. 해양환경관리법 시행령 및 시행규칙

관리법 제2조 제17호에 다음과 같이 해양시설을 정의하고 있다. ‘법 제2조 17. “해양시설”이라 함은 해역(「항만법」 제2조 제1호의 규정에 따른 항만을 포함한다. 이하 같다)의 안 또는 해역과 육지 사이에 연속하여 설치·배치하거나 투입 되는 시설 또는 구조물로서 해양수산부령이 정하는 것을 말한다. 발전시설의 냉각계통은 바로 해역과 육지에 연속하여 설치·배치하거나 투입 되는 또는 구조물이기 때문에 해양수산부령에 이를 명기할 필요가 있다. 한편 공유수면관리법에는 해수인·배수시설이라는 용어를 사용하고 있는바 관리법 시행령에는 이를 보다 구체화하여 ‘해수인수·배수시설(온배수시설을 포함)’이라고 하는 것이 바람직하다. 이와 같이 구체적으로 정의하면 관리법 제19조 제1항 제2호에서 ‘…해양시설에서 대통령령이 정하는

표 4-24. 해양환경관리법, 시행령, 시행규칙 대조표(안)

해양환경관리법	시행령	시행규칙	검토의견
제1장 총 칙		제1장 총 칙	
<p>제2조(정의) 2. “해양오염”이라 함은 해양에 유입되거나 해양에서 발생하는 물질 또는 에너지로 인하여 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태를 말한다.</p> <p>11. “오염물질”이라 함은 해양에 유입 또는 해양으로 배출되어 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 폐기물·기름·유해액체물질(및) 포장유해물질 및 에너지를 말한다.</p> <p>17. “해양시설”이라 함은 해역(「항만법」 제2조 제1호의 규정에 따른 항만을 포함한다. 이하 같다)의 안 또는 해역과 육지 사이에 연속하여 설치·배치하거나 투입 되는 시설 또는 구조물로서 해양수산부령이 정하는 것을 말한다.</p>	<p>제2조 (정의) ① 법 제2조 2호에 규정한 “에너지”라 함은 발전시설 등 열기관에서 해양환경으로 직접배출하는 온배수를 포함한다.</p>	<p>제6조(해양시설) 법 제2조 제17호의 “해양수산부령이 정하는 해양시설”이라 함은 별표 2와 같다.</p> <p>별표 2. 구분 2 - 다(신설) 에너지 배출시설</p>	<p>해양에 유입되는 에너지에 대한 개념정립</p> <p>해양수산부령이 정하는 해양시설에 냉각수 취수 및 온배수 배출시설 명문화</p>
<p>제8조(해양환경기준) ③제1항 및 제2항의 규정에 따른 해양환경기준을 정하는 방법 및 그 밖에 필요한 사항은 해양수산부령으로 정한다.</p>		<p>제7조(해양환경기준 등) 2. 용도별 해양환경기준은 양식장, 해수욕장, 항만, 온배수확산구역 등 해역의 용도별로 구분하여 설정</p>	<p>시행규칙 제6조와 관련하여 해양환경기준을 적용하는 범위를 정하고, 온배수확산구역을 해역별 용도의 한 범주로 정의</p>

표 4-24. 계속

<p>제9조(해양환경측정망) ①해양수산부장관은 연근해의 해양환경 상태 및 오염원의 측정·조사 등을 위하여 해양수산부령이 정하는 바에 따라 해양환경측정망을 구성하고 정기적으로 해양환경을 측정하여야 한다.</p>		<p>제8조(해양환경측정망 운영계획의 결정·고시) ①해양수산부장관은 법 제9조제1항의 규정에 의한 측정망의 위치·측정항목·조사시기 및 횟수 등을 명시한 측정망 설치계획을 해역별·용도별로 구성하여 이를 고시하고 그 도면을 누구든지 열람할 수 있게 하여야 한다. 이를 변경한 때에도 또한 같다.</p>	<p>해양환경측정망에 해역별 온배수 감시기능 포함</p>
<p>제15조(환경관리해역의 지정·관리) ①해양수산부장관은 해양환경의 보전·관리를 위하여 필요하다고 인정되는 경우에는 다음 각 호의 구분에 따라 환경보전해역 및 특별관리해역(이하 “환경관리해역”이라 한다)을 지정·관리할 수 있다. 이 경우 관계 중앙행정기관의 장과 미리 협의 하여 한다.</p>	<p>제11조(환경보전해역 등에 서의 시설설치제한) ③법 제15조 제1항 제2호의 특별관리해역은 별표 2의 구역과 제37조에 정한 해양공간을 말한다.</p>	<p>제17조(해양환경개선조치) 4. 제6조, 별표2-구분-2 <u>다에 정한 에너지 배출 시설의 해양생물 피해 저감시설</u> 5. 기타 해양수산부 장관이 필요하다고 인정하는 조치</p>	<p>온배수확산구역을 특별관리해역 또는 이에 준하는 해역으로 관리하며, 필요시 취, 배수시설 개선 등 환경 개선 명령</p>
<p>제17조(해양환경관리위원회) ①해양환경에 관한 주요 정책 및 계획을 수립하거나 해양오염의 조사·방지 등에 관한 주요 사항을 심의하기 위하여 해양수산부장관 소속으로 해양환경관리위원회를 둔다.</p>	<p>제22조(소위원회의 설치) ①법 제17조제1항의 규정에 의한 해양환경관리위원회(이하 “위원회”라 한다)에는 법 제17조제5항의 규정에 의하여 해양환경·해양생태계·해양오염영향조사·해양오염방제·해양환경정보·<u>온배수관리</u> 그 밖의 분야별로 소위원회를 둘 수 있다.</p>		<p>해양환경관리위원회의 소위원회로 중앙온배수 관리위원회 설치</p>

표 4-24. 계속

<p>제19조(해양환경개선부담금) ①해양수산부장관은 해양 환경 및 해양생태계에 현저한 영향을 미치는 다음 각 호의 행위에 대하여 해양환경개선부담금(이하 “부담금”이라 한다)을 부과·징수한다.</p> <p>제21조(부담금의 용도) 제19조제4항에 따라 기금으로 납입된 부담금은 다음 각 호의 사업을 위하여 사용되어야 한다.</p>	<p>제28조(오염물질) 해양배출업자의 해양환경개선부담금의 산정)</p> <p>④부과계수는 별표 3과 같다.</p> <p>⑤ 에너지를 해안에 배출하는 행위에 대한 부담금의 산정방법은 별표와 같다.</p> <p>제37조(부담금 관련사업) 법 제21조제8호의 “대통령령으로 정하는 관련사업”은 다음 각호와 같다.</p> <p>4. 해당 오염물질 배출해역의 해양환경보전을 위한 사업</p>		<p>온 배수 부담금을 대통령령으로 산정 부과하고 이를 온배수관리방안 실행경비 및 온배수 영향저감을 위한 비용으로 사용</p>
<p>제33조(해양시설의 신고) ① 해양시설의 소유자(설치·운영자를 포함하며, 그 시설을 임대하는 경우에는 시설임차인을 말한다. 이하 같다)는 해양수산부장관에게 그 시설을 신고하여야 한다.</p> <p>②제1항의 규정에 따른 해양시설의 신고내용 및 절차 등에 관하여 필요한 사항은 해양수산부령으로 정한다.</p>		<p>제35조(해양시설의 신고 등) ⑧ 제6조(해양시설) 별표 2 - 구분 2 다에 정한 시설을 설치 및 가동하기 위해서는 별지 제00호 서식에 의한 신고서를 제출하여 해양수산부장관의 허가를 받아야 하며, 제7조에 정한 환경기준을 준수하여야 한다.</p>	<p>냉각수 취수 및 온배수 배출시설 설치와 가동은 단순한 신고사항이 아니라 해양수산부장관의 허가 사항이며, 온배수관리방안의 시발점</p>
<p>제96조(공단 설립) ③공단은 정관이 정하는 바에 따라 지사·사업소·연구기관·교육기관 등을 둘 수 있다.</p>	<p>제78조(연구기관) ① 공단은 온배수, 독극물 등 특정 오염물질의 환경친화적 관리를 위하여 공단에 전문연구기관을 설치한다.</p> <p>② 전문연구기관의 운영비는 해당 오염물질 배출에 따른 부담금의 일부로 충당한다.</p>	<p>제78(94)조(연구기관) : ① 공단은 법 96조에 정한 연구기관 및 교육기관의 기능을 국립연구기관, 정부출연연구소 및 해양수산부고시 제2005-18호('05. 5. 18)에 정한 기관에 그 기능을 위임할 수 있다.</p>	<p>법 제96조(공단의 설립) ③에 정한 연구기관의 하나로 온배수전문연구기관 설치. 완전한 기능발휘 할때 까지 연구기능 위탁</p>

규모 이상의 오염물질을 해양에 배출하는 행위'에 대하여 해양환경개선부담금을 부과하는 것이므로 오염물질인 온배수에 대하여도 자연스럽게 해양환경개선부담금을 부과할 수 있다.

한편 모든 부담금은 법령에 명문화된 규정 없이는 징수 불가능하기 때문에 온배수부담금이라는 용어 보다는 시행령에 '에너지 배출에 의한 해양환경개선부담금'이라는 용어를 사용하여 온배수 부담금을 해양환경개선부담금의 일종으로 부과하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 또한 '에너지 배출에 의한 해양환경개선부담금'의 부과 산식을 해양수산부령에 위임하는 것은 위임입법의 한계를 넘는 것으로 바람직하지 않기 때문에 대통령령에 정하는 것이 바람직하다.

다. 기타법률

1). 공유수면관리법

공유수면으로부터 물을 끌어들이거나 공유수면에 물을 내보내는 행위를 하고자 하는 자는 대통령령이 정하는 바에 의하여 해양수산부장관 또는 시장·군수·구청장(이하 "관리청"이라 한다)으로부터 점용 또는 사용(이하 "점·사용"이라 한다)의 허가를 받아야 하고(공유수면관리법 제5조 제1항 제5호), 점·사용의 허가를 한 경우 관리청은 점·사용허가를 받은 자로부터 대통령령이 정하는 바에 따라 점용료 또는 사용료(이하 "점·사용료"라 한다)를 징수하여야 한다(같은 법 제9조).

공유수면관리법 시행령 제9조는 '점·사용료를 징수하고자 하는 때에는 다음 각 호의 구분에 의한 기준에 따라 해양수산부령이 정하는 산정방식에 의하여 산출한 금액을 징수하여야 한다.'고 하고 제3호에서 '법 제5조 제1항 제5호의 행위, 가. 전기사업용수로 사용하기 위하여 물을 끌어들이거나 내보내는 행위 : 인·배수 펌프의 용량, 나. 가목 이외의 목적으로 물을 끌어들이거나 내보내는 행위: 인·배수관의 지름'이라고 규정하고 있고, 시행규칙 제8조(점·사용료의 부과·징수) '② 영 제13조 1항의 규정에 의한 점·사용료의 산정방식은 별표2의 규정에 의한다'로 하고 있다. 그러나 표 4-25에서와 같이 물을 끌어들이기에 대하여만 규정하고 있으며 물을 내보내는 행위에 대하여는 규정하고 있지 않는다. 따라서 공유수면관리법 시행규칙 '표 2'에 '4. 물을 내어 보내기 위한 점·사용'을 추가하는 부분 개정만으로도 일정액을 징수할 수 있다. 공유수면을 해양수산부장관이 관리(법 제4조)하는 것은 타당하며, 전기사업용수로 사용하기 위하여 물을 끌어드리는 행위 뿐 아니라 물을 내보

표. 4-25. 공유수면관리법 시행규칙 제8조 제2항 2=별표 2

구분	산정방식(단위:연간)
3. 물을 끌어 들이기 위한 점·사용	가. 전기사업용수 m ³ /초당 연액 20만원
	나. 가목 이외의 용수
	관의 지름 100mm 이하 월액 10만원
	관의 지름 100mm 초과 200mm 이하 월액 12만원
	관의 지름 200mm 초과 300mm 이하 월액 16만원
	관의 지름 300mm 초과 400mm 이하 월액 22만원
	관의 지름 400mm 초과 500mm 이하 월액 28만원
	관의 지름 500mm 초과 600mm 이하 월액 38만원
	관의 지름 600mm 초과 700mm 이하 월액 50만원
	관의 지름 700mm 초과 800mm 이하 월액 60만원
관의 지름 800mm 초과 : 월 최대취수가능량을 다음 공식에 따라 산정하여 1천m ³ 당 200원씩 적용한 금액 초당 인수량 = $\frac{\text{관의 지름}^2 \times \text{관내유속(m/sec)}}{4}$	

내는 행위에 대한 점·사용료를 이와 관련된 해양생태계를 보전하기 위하여 사용하는 것을 명시하는 것으로 공유수면관리법 시행령을 개정하는 것은 필요하다. 그러나 그러한 규정을 통하여도 점·사용료가 아닌 소위 '에너지 배출에 의한 해양환경 개선부담금(또는 온배수부담금)을 부과하는 근거 규정으로 하기에는 법구해석상 여러 가지 난관이 있다.

2). 수질및수생태보전에관한법률

수질및수생태보전에관한법률(구 수질환경보전법) 제12조 제3항 '방류수 수질기준' 및 제32조 '배출허용기준'을 토대로 온배수 배출기준을 정할 수 있으나 수질및수생태보전에관한법률은 환경부장관이 관장하는 법률이고, 또한 환경부에서 관장하는 환경정책기본법에서는 오염의 종류에서 수질오염과 해양오염을 분리하고 있는 등 법에서 다루는 대상이 육수에 치우쳐 있어 이를 토대로 온배수 배출기준을 설정하는 것은 적절하지는 않은 것으로 생각된다.

3). 환경정책기본법

환경정책기본법 제20조(환경보전을 위한 규제)에서는 ‘정부는 환경보전을 위하여 대기오염·수질오염·토양오염 또는 해양오염의 원의 배출, 소음, 진동, 악취의 발생, 폐기물의 처리, 일조의 침해 및 자연환경의 훼손에 대하여 필요한 구제를 하여야 한다.’로써 환경오염에 대하여 정부로 하여금 환경보전을 위한 규제를 하도록 하면서 환경오염의 종류에 ‘해양오염의 원인이 되는 물질의 배출’을 추가하는 것으로 개정(1999. 12. 31.)하였다. 따라서 환경정책기본법도 해양환경관리법과 같은 수분으로 해양오염의 원인의 하나로 ‘에너지’를 추가하는 것으로 개정하는 것이 바람직하다. 또한 환경정책기본법 제20조 3에 ‘정부는 자원의 효율적인 이용을 도모하고 환경오염의 원인을 야기한 자 스스로 오염물질의 배출을 줄이도록 유도하기 위하여 필요한 경제적 유인수단을 강구하여야 한다.’로 규정한바 온배수 배출에 대하여도 적절한 유인수단을 강구하여야 할 것이며, 환경영향평가 대상(법 28조 ①, ②)에 온배수배출에 대한 환경영향평가를 추가해야 할 것이다.

4). 해양생태계의보전및관리에관한법률

해양생태계의보전및관리에관한법률 제3조(해양생태계의 보전 및 관리의 기본원칙)에는 ‘해양생태계의 보전 및 관리는 다음의 기본원칙에 따라야 한다.

1. 해양생태계는 모든 국민의 자산으로서 공익에 적합하게 보전·관리되고 지속가능한 이용이 이루어지도록 할 것.
2. 해양의 이용은 해양생태계의 보전 및 관리와 조화·균형을 이루도록 할 것.
3. 멸종위기에 처하여 있거나 생태적으로 중요한 해양생물은 보호되고, 해양생물다양성은 보전되도록 할 것.
4. 국민이 해양생태계의 보전 및 관리에 참여하고 해양생태계를 건전하게 이용할 수 있는 기회가 증진되도록 할 것.
5. 해양생태계의 보전 및 관리에 따르는 부담은 공평하게 분담되어야 하며, 해양생태계로부터 얻어지는 혜택은 지역주민과 이해관계인이 우선하여 누릴 수 있도록 할 것.
6. 해양환경을 이용하거나 개발하는 때에는 생태적 균형이 파괴되거나 그 가치가 저하되지 아니하도록 하여야 하며, 해양생태계와 해양경관이 파괴·훼손되거나 침해되는 때에는 최대한 복원·복구되도록 노력하여야 할 것.
7. 해양생태계의 지속가능한 이용을 위한 국제협력이 증진되도록 할 것’으로 규정하고 있다. 즉, 냉각수를 취수하고 온배수를 배출하는 해역의 해양생태계는 발전회사가 지역어민들에게 충분한 보상을 해 주었다고 하여도 ‘모든 국민의 자산’임에 틀림이 없으며 냉각

수 취수 및 온배수 배출을 포함한 모든 '해양의 이용은 해양생태계의 보전 및 관리와 조화·균형을 이루도록 할 것'이 자명하다. 해양생태계의보전및관리에관한법률은 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안의 이념을 명백하게 하고 있음과 아울러 법률적 뒷받침이 된다.

5). 환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법

환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법은 환경·교통·재해 또는 인구에 미치는 영향이 큰 사업에 대한 계획을 수립·시행함에 있어서 당해 사업이 환경·교통·재해 및 인구에 미칠 영향을 미리 평가·검토하여 건전하고 지속가능한 개발이 되도록 함으로써 쾌적하고 안전한 국민생활을 도모함으로 목적으로 제정(제1조)된 법률이다. 이 법 제정 당시에는 온배수에 대하여는 고려하지 못하였지만 해양환경관법이 제정과 같이 하여 온배수 배출에 대한 환경영향평가 규정이 만들어 져야 할 것이다. 환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법에서는 온배수 배출을 환경영향평가 대상으로 지정하고, 이와 관련하여 온배수 환경영향평가 규칙을 제정하거나 혹은 해양환경관리법 단독으로 이를 제정하여도 무방할 것이다.

제 5 장. 온배수 관리시스템 수립 연구

제 1 절. 우리나라 온배수 관리방안의 구성

해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안을 수립함에 있어서 먼저 국외의 온배수 관리제도를 파악하고, 이를 우리나라의 온배수 배출 현황이나 우리나라의 각 연안 별 해황 특성과 생물분포의 특징 그리고 현존하는 국내 여건을 비교 검토하여 우리나라 실정에 맞는 온배수 관리방안을 마련함이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 그림 5-1에 보인 바와 같은 추진체계에 따라 온배수 관리방안을 수립하였다.

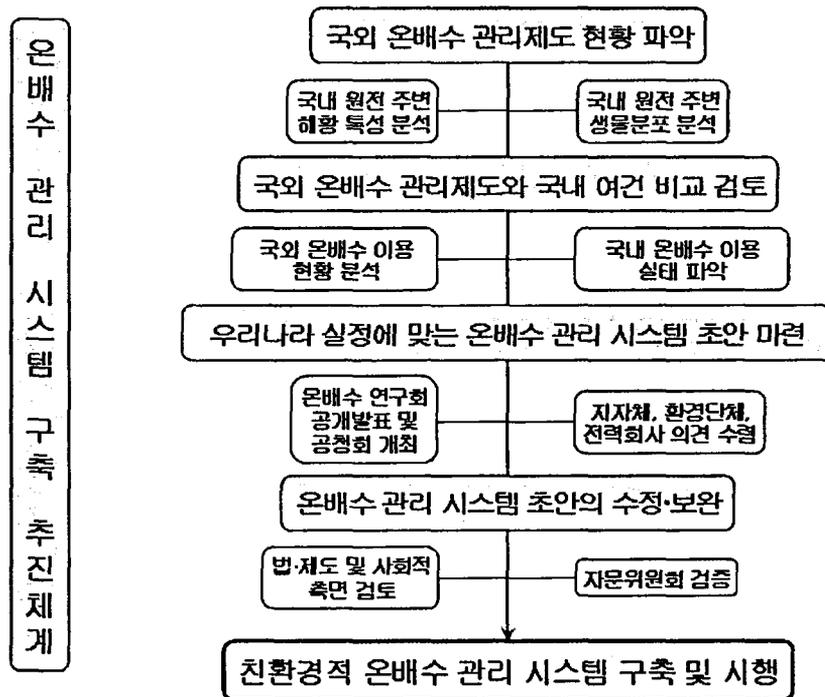


그림 5-1. 온배수 관리 시스템 구축 추진체계.

한편 발전소 온배수 관리 시스템은 ‘갈등 조정’, ‘신뢰 구축’ 그리고 ‘상호 부조’라는 세 가지 기본 개념 아래 설계되었다(그림 5-2).

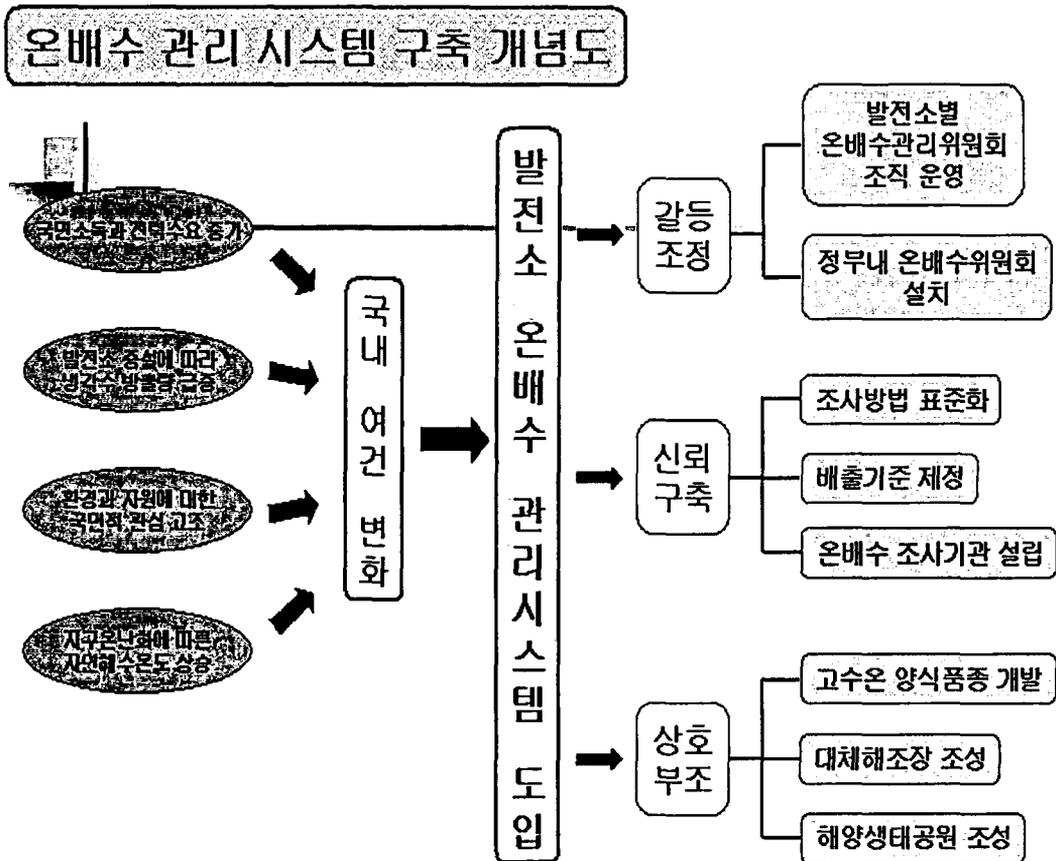


그림 5-2. 온배수 관리방안 구축 개념도.

온배수 관리방안을 마련하는 과정은 투명성 있게 진행하며, 공청회를 개최하여 다양한 계층의 의견을 수렴함과 아울러 그 결과물도 지자체, 환경단체 및 전력회사와의 의견교환을 통하여 내용을 수정 보완함에 역점을 두었다. 따라서 본 연구에서는 지난 3년간 여러 차례에 걸쳐 어민대표 간담회, 온배수 관리방안 추진위원회, 전문가 초청 공청회 및 학술대회 등을 통하여 각계각층의 다양한 의견을 수렴하였다. 보다 장기적으로 온배수 관리 시스템이 도입될 경우의 법·제도 및 사회적 측면의 효과를 전문가 집단과 충분한 논의를 거치고 본 연구의 자문위원회의 검증은 거쳐 최종안인 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안을 제시하였으며, 이 관리방안이 조속하게 실행될 수 있도록 뒷받침해야 한다.

지난 1960년대에 산업기반이 확충되고 정부 주도의 경제 우선 정책이 전개되면서 우리나라 경제 규모는 급속도로 확대되었다. 그 결과 1인당 국민소득은 당시의 1백

불 내외에서 현재 2만불 시대를 목전에 두고 있으며, 높은 성장률로 인하여 에너지와 전력사용량은 세계에서 유례를 찾기 어려울 정도로 급증하고 있다.

연평균 10% 이상의 증가 추세를 보이는 전력 수요를 충족하기 위하여 지난 수십년간 연안 곳곳에 발전소가 세워지고 가동되었으며, 우리나라 연간 강수량의 50%에 육박하는 약 450억톤의 온배수가 매년 방출됨에 따라 국민적 관심 역시 고조되고 있는 실정이다. 한편 지구온난화에 따라 한반도 주변 해양의 해수 온도가 상승하는 것으로 밝혀졌는데, 이러한 자연 해수 온도의 변화는 우리나라 어업 생산에도 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 이와 같은 다양한 국내 여건의 변화는 발전소 온배수 관리방안을 도입할 충분한 사유가 된다.

제 2 절. 온배수 관리시스템 실천방안 연구

1. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리시스템 구축

발전소 온배수 관리 시스템은 '갈등 조정', '신뢰 구축' 그리고 '상호 부조'라는 세 가지 기본 개념 아래 구축해야 할 것이다.

먼저 '갈등 조정' 측면에서는 그간 발전소에서 방출되는 온배수와 관련하여 각종 마찰을 빚어온 발전소별 현안을 슬기롭게 해결하기 위하여 지방자치단체, 환경단체, 지역주민 및 전문가들이 공동으로 참여하는 온배수관리위원회를 발전소마다 두는 방안과 정부 내 온배수위원회를 설치하는 방안 등이다.

'신뢰 구축' 측면에서는 먼저 발전소 주변 해양을 대상으로 하는 조사 방법의 표준화, 온배수 배출기준 제정의 기반 조성 및 온배수 전문 조사기관 설립 등을 목표로 하였다.

한편 '상호 부조' 차원으로는 온배수가 지닌 열에너지를 효율적으로 활용하여 지역 주민들에게 실질적인 혜택이 돌아갈 수 있게끔 온배수를 이용하는 양식장의 조성이나 높은 수온에서도 양식할 수 있는 해조류 품종의 개발, 대체 해조장 조성, 해양생태공원 조성 등을 제시하고자 한다.

발전소 온배수 관리 시스템을 '갈등 조정', '신뢰 구축' 그리고 '상호 부조'라는 세 가지 기본 개념으로 구분하여 구체적인 내용을 살펴보면 다음과 같다.

가. 갈등 조정

먼저 '갈등 조정' 측면에서는 그간 발전소에서 방출되는 온배수와 관련하여 각종 마찰을 빚어온 발전소별 현안을 슬기롭게 해결하기 위하여 지방자치단체, 환경단체, 지역주민 및 전문가들이 공동으로 참여하는 온배수관리위원회를 발전소마다 두는 방안과 정부 내 온배수위원회를 설치하는 방안 등을 모색한다.

1). 지역 온배수관리위원회 조직 운영

지난 1970년대부터 우리나라 연안 곳곳에 대용량 발전소들이 세워지고 발전소에서 배출되는 온배수가 수산업과 생태계에 미치는 영향에 대한 논란이 끊이지 않고 있음은 주지의 사실이다. 그럼에도 불구하고 다량의 온배수를 방출하는 발전소와 지역 주민 또는 지방자치단체와의 협의 기구나 위원회가 제도적으로 구성되어 있지

않은 실정이다. 다만 발전소별로 지방자치단체와 비공식적인 자발적 환경협약을 맺거나 일부 원자력발전소의 경우 민간 환경감시 기구를 설치 운영하고 있지만 제도적 뒷받침은 없다.

먼저 환경문제가 심화되고 다양화되면서 쾌적한 환경에 대한 국민의 욕구가 증대됨에 따라 새로운 환경관리 패러다임이 필요하다는 인식 아래, 국내의 많은 발전소에서는 EU 대부분의 국가들이 적극적으로 활용하고 있는 자발적 환경협약(Voluntary Agreements)을 도입하여 지방자치단체와 협약을 체결하여 시행하고 있다. 그렇지만 이는 어디까지나 법적 구속력이 없는 제도이므로 온배수와 관련하여 심각한 환경문제가 발생하였을 때 해결의 실마리를 찾기 어려운 실정이다.

한편 산업자원부는 원자력발전소 주변 지역의 환경과 방사선 안전을 자율적으로 감시하고 원전 운영의 투명성 및 신뢰성 증진에 기여하고자 원자력발전소별로 지역 주민과 전문가 등이 참여하는 민간환경감시기구의 운영지침을 확정 시행하고 있다. 이 지침에 따라 현재 영광, 고리 및 울진원자력발전소 지역에 민간환경감시기구가 설치되어 운영되고 있으며, 운영지침에 따라 지방자치단체의 장이 감시기구 위원장이 되고, 위원은 지방자치단체 공무원, 주민 대표, 환경단체, 발전소 대표 등으로 구성되어 있다. 그렇지만 민간환경감시기구의 운영지침에 따르면 감시기구는 환경방사능을 자율적으로 감시하는데 그 주된 목적을 두고 있으며, 온배수 방출과 관련한 업무는 담당하고 있지 않고 있다.

따라서 원자력발전소는 물론 다량의 온배수를 주변 해역으로 방출하는 모든 화력 발전소별로 온배수의 환경 문제를 전담하는 가칭 '온배수관리위원회'를 조직하여 운영할 필요가 있다고 판단된다. 이 위원회에서는 발전소가 위치한 해역의 독특한 생태계와 수산업 현황을 고려하여 주기적인 환경조사를 실시하거나 온배수 방출에 따른 피해 여부를 판단하는 기능을 수행하며, 지방자치단체, 주민, 발전소 및 학계의 인사들이 위원으로 참여함이 바람직하다고 본다.

이와 관련하여 가까운 일본의 후쿠시마현에서 성공적으로 운영되고 있는 온배수 조사관리위원회는 우리가 본받아야 할 좋은 사례이다(그림 5-3).

동경전력주식회사의 원자력발전소가 가동되고 있는 후쿠시마현에서 1974년 7월에 구성된 온배수조사관리위원회는 다음과 같은 업무를 수행하고 있다(후쿠시마현온배수조사관리위원회 1996).

- 온배수가 주변 해양생물에 미치는 영향 파악을 위한 조사 실시
- 매년 각종 조사결과 평가 및 검토
- 온배수 조사보고서 작성 공표
- 조사 개시 5년, 10년, 20년 주기로 온배수 조사 종합보고서 발행

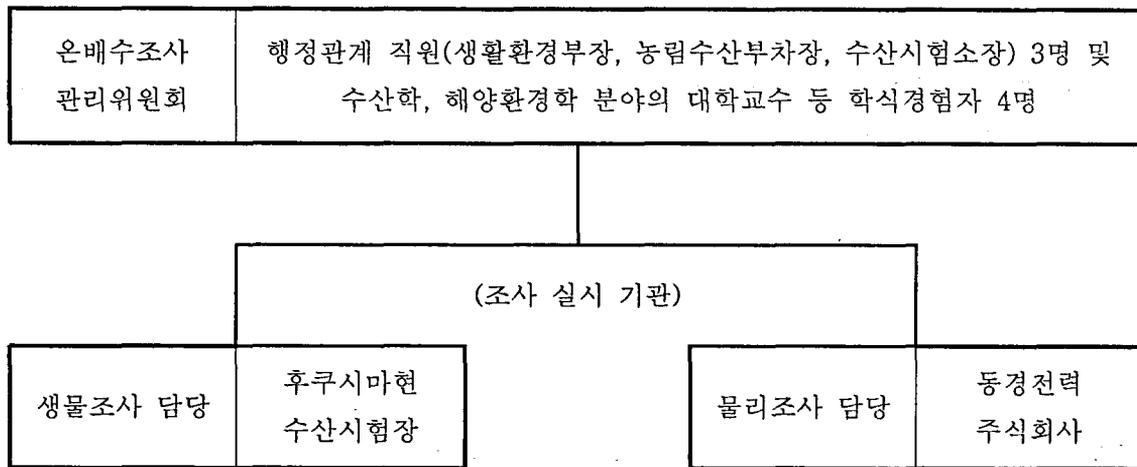


그림 5-3. 일본 후쿠시마현 온배수조사관리위원회의 구성.

후쿠시마현의 온배수조사관리위원회는 행정관계 직원(생활환경부장, 농림수산부차장, 수산시험소장) 3명과 수산학, 해양환경학 분야의 대학교수 등 학식경험자 4명의 총 7명의 위원으로 구성되어 있다. 해수, 어류, 어업자원 등 해양생물조사는 후쿠시마현 수산시험장에서 실시하고, 온배수 확산범위, 수질, 저질 등 해양물리조사는 동경전력주식회사가 담당하고 있다. 이와 같이 우리도 발전소별 온배수관리위원회를 조직하고 운영하여 발전소 지역별 고유한 현안의 해법을 모색한다면 ‘갈등 조정’ 측면에서 국지적으로 온배수 문제를 해결하는데 기여하게 될 것으로 기대된다.

○ 설립연도: 1974년 6월

○ 구성:

- 관련공무원 3명
 - 후쿠시마현 생활환경부장 (좌장)
 - 후쿠시마현 농림부 차장
 - 후쿠시마현 수산시험장 장장
- 전문가
 - 재단법인 분석엔지니어링 기술고문
 - 동경대학교 명예교수(현지 출신)
 - (재) 해양생물환경연구소 기획과장
 - (주) 남서종합연구소 기술고문

○ 특기사항

- 후쿠시마 온배수조사관리위원회
 - 주민대표와 발전회사는 위우너회에 참여하지 않으며, 모든 환경 및 수산업 문제를 온배수조사관리위원회를 통하여 해결
 - 위원회는 제기된 문제를 신뢰성 있는 전문가에 의뢰하여 조사하고 그 결과를 주민대표 및 발전소에 통보 및 중재함
- 우리나라 지역별 온배수관리위원회
 - 아직 조사결과에 대한 신뢰성이 부족하기 때문에 주민대표와 발전회사 대표가 동등한 입장에서 지역별 관리위원회 참석 필요
 - 경미한 사항은 지역별 관리위원회에서 1차적으로 중재 해결 (합의 또는 조사의뢰)
 - 지역별 관리위원회에서 중재에 실패할 경우 중앙온배수관리위원회에 해결 의뢰

○ 후쿠시마 온배수조사관리위원회 활동 사례

- 1975년 온배수영향조사에 후쿠이현 발전소 포함 요청을 수산청에서 수락 조사 실시
- 1982년 원자력발전소 주지역의안정성 확보를 위한 협정서 개정 주도, 온배수 이용 및 방류용 종묘생산 시설 설치 등 어민 요구 조건 반영
- 1985년 온배수양식장 설치
 - 냉각수 취수 및 온배수확산구역에서의 수산업 피해 보상차원에서 발전소에서 온배수 양식장을 건설할 것을 추천
 - 발전회사 1985년 수면적 2,000평 규모 온배수양식장 준공 및 이양
 - 1991년 원자력발전소 주지역의안정성 확보를 위한 협정서 2차 개정 주도, 사고대비 기술 보완 조건 반영
- 위탁조사의 신뢰성 유지
 - 모든 조사는 냉각수 취수 및 온배수 배출에 대한 환경영향평가 매뉴얼(1980년)에 의거 수행
 - 조사결과의 신속한 공개 및 각계 의견수렴
- 1975년 온배수영향 장기조사 의뢰
 - 1975년 환경청, 농림성(당시), 통상산업성 공동으로 설립한 (재)해양생물

환경연구소를 전문 연구기관으로 위촉, 온배수영향 장기조사 의뢰: 2005
년 30년 총괄 보고서 출판

2). 중앙 온배수위원회 기구 설치 운영

우리나라에는 노사 간의 갈등을 해소하여 산업 평화를 도모하고 국민 경제의 균형 있는 발전에 이바지함을 목적으로 하는 '노사정위원회'가 설치되어 운영되고 있다. 즉 근로자와 사용자 및 정부가 신뢰와 협조를 바탕으로 노동정책 및 이와 관련된 사항을 협의하고 대통령의 자문에 응하게 하기 위하여 '노사정위원회의 설치 및 운영 등에 관한 법률'(법률 제 5,990호, 1999. 5. 24)이 제정되었다.

노사정위원회는 대통령 소속 하에 두며, 근로자, 사용자와 정부를 대표하는 위원들과 학식과 경험이 풍부한 자 중에서 공익을 대표하는 위원들로 구성되어 있다. 지난 수년간 노사정위원회는 우리나라의 각종 민감한 노사 문제에 대하여 서로 머리를 맞대고 논의하여 해법을 모색하여 왔다.

노사 문제와 비슷하게 원자력발전소나 대용량 화력발전소의 신규 건설이나 운영에 차질을 빚을 정도로 예민한 온배수 문제를 더 이상 이해 당사자만의 문제로 방치하지 말고 정부가 직접 나서서 해결해야 할 것으로 판단된다. 즉 전국 각지에서 일어나는 온배수 문제의 갈등을 해소하면서 21세기에 안정적인 전력 공급과 환경보전을 추구하고 협의할 수 있도록 정부 안에 이른 바 '온배수위원회'를 설치하고 운영함이 바람직하다.

이 위원회에는 정부, 사업자, 학자 그리고 주민의 대표가 위원으로 참여하고, 위원장과 상임위원 각 1인을 포함하여 20인 이내의 위원으로 구성함이 바람직하다고 본다. 혹시 필요하다면 온배수위원회 내에 사안에 따라 특별위원회 또는 소위원회를 둘 수도 있을 것이다. 물론 온배수 문제의 갈등을 해소하는데 있어서 원자력법 제5조에 의거 1997년 7월에 설치된 과학기술부 산하 '원자력안전위원회'를 활용하거나 그 역할을 확대시키는 방안을 검토해 볼 수도 있다. 그러나 1996년에 원자력법과 그 시행령이 개정되면서 과학기술부에서는 원자력발전소 주변 환경 문제에 대하여 방사능 이외의 사항에는 큰 관심이 없다. 이와 과학기술부장관 소속의 '원자력안전위원회'는 원자력 안전에 관한 중요사항을 심의 의결하는 기능을 갖고 있다. 특히 이 위원회의 원자력안전 전문분과(원자로계통분과, 방사선방호분과, 부지 및 구조분과, 정책 및 제도분과, 방재 및 환경분과) 가운데 해양환경 분야를 다룰 수 있는 유일한 분과인 '방재 및 환경분과'가 있지만 이 역시 주로 방사능 환경만을 다루고 있는 실정이다. 따라서 원자력안전위원회와 같은 기존의 정부 내 위원회와는 별도의

기구로 국가적인 '갈등 조정' 측면에서 온배수 문제를 전담하는 위원회가 정부 안에 설치되어야 한다고 확신한다. 이 온배수위원회의 설치와 운영을 통하여 대화와 타협으로 각종 온배수 문제를 슬기롭게 헤쳐 나갈 수 있으며, 이는 21세기 우리나라의 안정적인 전력 공급과 환경 보전을 추구하고는데 크게 이바지할 것으로 기대된다.

나. 신뢰 구축

다음으로 '신뢰 구축' 측면에서는 발전소 주변 해양을 대상으로 하는 조사 방법의 표준화, 온배수 배출기준 제정의 기반 조성 및 온배수 전문 조사기관 설립 등을 추진하고자 한다.

1). 발전소 주변 해역 영향평가 방법의 표준화

무엇보다도 발전소의 가동에 따라 방출되는 온배수가 주변의 해양생태계에 미치는 영향을 파악하고 특히 온배수의 방출 및 확산이 수산업에 미치는 피해를 올바르게 조사하기 위하여 발전소 주변 해양환경 및 피해 조사의 방법론을 확립하고 표준화하여야 한다. 여기서는 일반적인 해양환경 조사와 피해 조사를 구분하여 살펴보기로 한다.

가). 발전소 주변 해양환경 영향평가

원자력발전소 주변을 대상으로 하는 해양환경 조사의 경우, 정부는 1985년 7월에 원자력법 시행령 제111조 제1항의 규정에 의거 과학기술처 고시 제1985-5호 '원자력발전소 주변 환경조사 지침'을 제정하여 전기사업자로 하여금 매년 사후 환경영향조사를 실시하도록 제도화해 왔었다. 그러다가 1996년 6월에 원자력법 및 시행령이 개정되어 원전 주변 환경평가를 일반 환경과 방사선 환경 측면으로 이원화함에 따라 일반환경 조사만을 분리하여 통상산업부(현 산업자원부) 고시 제1996-330호를 제정하여 종전의 과학기술처 고시 제1985-5호를 대체하여 조사를 실시하여 왔다.

한편 원전 주변 환경조사 지침의 근거법인 전기사업법 제29조가 1999년 9월에 삭제되고 환경영향평가법이 1999년 12월에 환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법으로 흡수 통합되면서 산업자원부는 규제 철폐 차원에서 2001년 12월 31일에 환경조사 지침을 폐지 고시하였다. 그렇지만 한국수력원자력주식회사에서는 기존의 원전 주변 환경조사 지침을 다소 보완한 자체지침을 2002년 1월에 제정하여 계속 조사를

수행하고 있다.

이러한 자체지침을 마련하는 과정에서 한국수력원자력주식회사는 기존의 산업자원부 고시(제1996-330호)가 안고 있는 문제점을 검토하고 전문가와 협의하여 지침의 일부를 수정 보완하였다. 이를테면 산업자원부 고시의 지침에서는 대부분의 환경조사 항목이 계절별 조사를 실시하도록 되어 있지만, 정확한 조사 시기가 명시되어 있지 않았다. 그러나 같은 계절의 조사라 할지라도 조사자에 따라 조사 시기에 있어 차이를 보일 수 있다. 그 한 예로 춘계조사를 어떤 조사자는 3월에 실시할 수도 있고, 다른 조사자는 4월 또는 5월에 실시할 수도 있다. 그런데 해양환경은 달에 따라 크게 변할 수 있기 때문에 달을 달리한 조사 결과는 추후에 비교 대상이 되기 어렵다. 이러한 문제점이 지적되면서 2002년 1월에 제정한 한국수력원자력주식회사의 자체지침에서는 계절별 조사를 원칙적으로 일정한 달(예를 들어 봄 조사는 5월)에 실시하도록 명시한 바 있다.

그렇지만 기존의 산업자원부 고시 또는 최근에 한국수력원자력주식회사가 마련한 자체지침에서는 대체로 해양생물의 집단별로 고유한 생물학적 특성이 무시되고 조사방법, 조사범위 및 조사정점 등이 획일적으로 규정되어 있는 실정이다. 이에 따라 원전 주변 해양환경 조사는 많은 인력과 예산의 투입에도 불구하고 그 신뢰성이 부족하다는 지적을 받고 있음이 주지의 사실이다. 나아가서 화력발전소의 경우에는 그나마 해양환경 조사지침이 전혀 마련되어 있지 않고 있다.

따라서 발전소 주변의 환경조사 지침을 면밀히 재검토하고 전문가들의 충분한 논의를 통하여 발전소에서 배출되는 온배수 영향을 누구나 신뢰할 수 있도록 조사 방법과 영향 평가 기법을 확립함으로써, 온배수 영향조사의 객관성을 제고할 필요가 있다.

나). 발전소 주변 온배수 피해 조사

20세기 후반부터 우리나라 발전소 주변에서는 여러 가지 수많은 민원이 제기되었고, 그 가운데 상당 부분을 온배수 방출로 인한 수산업 피해 사례가 차지하고 있는 실정이다. 그런데 사안이 발생할 때마다 해당 발전회사는 대학 또는 연구소에 피해 조사를 의뢰하고 있지만, 객관적인 조사방법과 피해조사 지침이 마련되어 있지 않다 보니 연구자와 조사기관에 따라 그 결과가 상이하게 나오게 마련이다. 더구나 피해 규모와 정도를 두고 전력회사와 어민들 간에 갈등을 빚고 있는 상황에서 조사자의 주관에 따라 서로 다른 결과를 얻다보면 문제가 오히려 심화되는 경우를 자주 접하게 된다.

이들테면 최근 영광원전 5·6호기 건설 및 가동에 따른 광역해양조사 중간보고 결과를 두고 어민들과 한국수력원자력주식회사가 장기간 마찰을 빚었는데, 이와 같은 사태는 합리적이고 과학적인 피해조사 지침이 마련되어 있지 않음에 기인하는 것이다.

따라서 발전소의 건설이나 가동과 관련하여 끊임없이 발생하고 있는 사업 시행자와 어민간의 수산업 피해보상을 둘러싼 갈등을 해소하고 비합리적인 소송의 악순환을 방지하기 위하여 발전소 온배수로 인한 수산업 피해조사의 올바른 지침을 하루 빨리 제정하여야 할 것이다. 각계의 다양한 전문가들로 연구진을 구성하고 충분한 연구기간에 걸쳐 세밀한 방법론을 개발하여 누구나 수궁할 수 있는 피해조사 지침과 합리적인 피해보상의 잣대가 마련되어야 한다.

참고삼아 최근 한국수산학회와 한국해양학회가 주관하여 ‘원전 온배수 관련 어업손실평가를 위한 해양조사 표준지침(안)’이 마련되고 있다. 먼저 한국해양학회는 ‘피해범위 결정 방법의 표준지침’을 마련하고 있는데, 여기에는 해양물리 조사 방법, 해양생물 조사 방법, 해수수질 및 저질환경 조사 방법, 피해범위 결정 방법 등을 다루고 있다. 한편 한국수산학회는 ‘어업피해 정도 조사 방법의 표준지침’을 마련하고 있는데, 여기에는 생물검정 실험, 평균 연간 생산량 산정 방법, 피해여부 및 피해정도 산정 방법, 피해보상액 산출 방법 등이 포함된다.

물론 한국수산학회와 한국해양학회가 주관하고 있는 이 연구는 원자력발전소 주변 해역의 어업손실이나 피해를 주된 대상으로 추진되고 있지만, 여기서 얻어지는 연구 결과는 향후 대용량 화력발전소 주변 해역에도 무난하게 적용할 수 있을 것으로 본다. 현재 진행 중인 이 연구에서는 몇 차례 공청회를 개최하여 관련 전문가들의 다양한 의견을 수렴할 예정인 바, 이 연구가 완료되어 학계의 다양한 의견이 반영된 합리적인 지침이 마련되면 온배수 문제의 ‘신뢰 구축’ 측면에서 크게 기여하게 될 것으로 예상된다.

2). 온배수 배출기준 제정의 기반 조성

우리나라 연안에 세워진 원자력발전소나 화력발전소가 안고 있는 다른 문제점의 하나가 바로 온배수 배출을 규제하는 기준이 없다는 점이다. 세계에서 유례를 찾기 어려울 정도로 다양한 해양생물을 식용자원으로 이용하고 있는 우리나라에서 외국과 달리 발전소에서 배출되는 온배수의 규제 기준이 마련되어 있지 않다는 사실은 납득하기 어렵다.

물론 환경부의 수질환경보전법 시행규칙 가운데 오염물질의 배출허용 기준에서

배출수의 온도를 40℃로 규정하고 있지만, 이 기준을 발전소 온배수의 배출 기준으로 간주하기는 어렵다. 특히 원자력발전은 화력발전에 비하여 훨씬 많은 양의 온배수를 방출할 뿐만 아니라 각 부지마다 대용량의 4개 또는 6개 호기가 가동되고 후속기의 건설이 계속 추진되고 있는 상황이다. 따라서 원자력발전소는 물론 다량의 온배수를 방출하는 화력발전소에 이르기까지 주변 해역으로 방출되는 온배수의 배출 기준이 시급히 제정되어야 할 것이다.

특히 발전소 주변 지역마다 온배수 방출에 따른 수산업 피해 보상 요구가 끊이지 않고 나아가서 이와 같은 민원이 후속기 건설 사업 추진에 큰 걸림돌이 되고 있는 바탕에는 온배수 배출 규제 기준이 없다는 점이 한 몫을 차지하고 있다고 하여도 과언이 아니다. 따라서 전국 각지에서 일어나는 온배수의 갈등을 최소화하고 안정적인 전력공급과 환경보전을 추구하기 위하여 우리나라의 실정에 맞는 합리적인 온배수 배출기준의 제정이 절대적으로 필요하다.

해양생태계 보전을 위한 온배수 관리 시스템을 구축함에 있어 '신뢰 구축' 측면에서 추진되는 온배수 배출기준 제정은 3개년에 걸친 본 연구에서 다양한 계층의 의견을 수렴하여 과학적이고 합리적인 안이 마련될 것이고 법제화를 추진하게 될 것이다.

3). 온배수 전문 조사기관 설립

지난 10여 년간 국내의 4개 원전 주변을 대상으로 원전에서 배출되는 온배수가 주변 해역에 미치는 영향을 조사하고 있는 한국전력공사 전력연구원이 우수한 인력을 확보하고 많은 예산을 투입하면서도 조사결과의 객관성을 널리 인정받지 못하고 있는 점은 안타까운 일이 아닐 수 없다. 이는 무엇보다도 원전 온배수 영향 조사의 주체가 바로 전력을 생산하는 회사의 소속 기관이라는데 문제점이 있다고 본다.

따라서 해양생태계의 안정성을 유지하면서 전력을 안정적으로 생산 공급하는 중대한 국가적 과제를 무난하게 달성하기 위해서는 새로운 대안을 모색함이 바람직하다고 판단된다. 즉 학계는 물론 일반 국민이 납득할 수 있고 신뢰할 수 있도록 원자력발전소는 물론 화력발전소에 이르기까지 온배수의 확산 범위와 해양생태계에 미치는 영향에 관해 투명하고 공정하게 조사 연구할 수 있는 발전소 온배수 전문 연구기관의 설립이 요구된다. 이는 전국 각지에서 일어나는 온배수 문제의 갈등을 해소하면서 앞으로 안정적인 전력공급과 환경보전을 추구하는데 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

특히 20세기 후반부터 우리나라에서 뜨거운 감자로 떠오른 발전소 온배수 문제를

전문적으로 조사 연구하는 기관은 조사와 연구결과의 객관성을 확보하기 위하여 전력을 생산하는 회사와는 독립적으로 설치 운영되어야 한다. 보다 구체적으로 발전소 온배수 전문 연구기관은 국무총리 직속 또는 산업자원부 산하의 정부출연 연구기관으로 설립됨이 가장 바람직하며, 차선택으로 재단법인의 형태를 지녀도 무방하리라고 본다.

현재 이와 비슷한 성격으로 국내에서 설립 운영되고 있는 연구기관으로는 환경부 산하의 정부출연 연구기관인 한국환경정책평가연구원을 들 수 있으며, 일본의 재단법인 전력중앙연구소 역시 좋은 사례라고 판단된다.

발전소 온배수 전문 연구기관의 주요 기능을 대별하면 다음과 같다.

- 가동 중인 발전소 주변 해역의 해양환경 조사
 - 발전소 주변 해역의 온배수 확산구역 조사
가동 중인 발전소에서 배출되는 온배수 확산구역을 실측 조사와 비행기나 인공위성을 이용한 주기적인 원격탐사(remote sensing)
 - 발전소 주변 해역의 해수 유동 및 기타 해양물리 조사
발전소 주변 해역의 해수 유동(유향, 유속, 조석 등) 및 기타 해양물리학적 특성
 - 발전소 주변 해역의 해양수질 및 퇴적물 조사
발전소 주변 해역의 해양수질(수소이온농도, 부유물질, 용존산소, 잔류염소, 영양염류, 화학적 산소요구량 등) 및 퇴적물
 - 발전소 주변 해역의 해양생물 조사
발전소 주변 해역의 동·식물플랑크톤, 저서동물, 해조류, 어류 등 해양생물의 종조성과 현존량 조사 및 취수구 스크린에 충돌하는 생물체와 냉각계통에 연행(entrainment)되는 생물체의 생태적 특성
 - 온배수가 양식 수산물에 미치는 영향 조사
해양생물을 대상으로 하는 주기적 생태 조사와는 별도로, 발전소 주변의 양식 어패류나 해조류 등 유용 수산물에 미치는 온배수의 영향을 집중 조사
- 건설 중이거나 특히 계획 중인 후속기의 온배수 확산범위 예측
건설 중이거나 특히 계획 중인 발전소 후속기의 온배수 확산역을 객관적이고 합리적인 모델링 기법으로 예측하고 평가한다.
- 발전소 후속기의 온배수 영향 저감방안 연구
발전소 후속기를 대상으로 냉각탑, 냉각수로 또는 냉각못의 설치 및 분사식 확산기 또는 다공 확산기의 사용 등 우리나라의 실정에 적합한 온배수

영향저감방안을 연구하고 실용화하도록 추진한다.

- 온배수의 효율적 이용방안 극대화 연구

온배수 이용 어패류 양식장을 국내의 모든 발전소에 적용하고, 온실이나 발전소 주변 해역의 해양목장 조성 및 생태공원 조성 등 다각적으로 온배수를 활용하는 방안을 연구하고 실용화하도록 추진한다.

상기와 같이 발전소 온배수의 확산 범위와 해양생태계에 미치는 영향에 관해 투명하고 공정하게 조사 연구할 수 있는 발전소 온배수 전문 연구기관이 설립되면 '신뢰 구축' 측면에서 온배수 문제의 해법을 모색하는데 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

다. 상호 부조

마지막으로 '상호 부조' 차원으로는 온배수가 지닌 열에너지를 효율적으로 활용하여 지역 주민들에게 실질적인 혜택이 돌아갈 수 있게끔 온배수를 이용하는 양식장의 조성이나 높은 수온에서도 양식할 수 있는 해조류 품종의 개발, 대체 해조장 조성, 해양생태공원 조성 등을 추진하고자 한다. 세부적인 내용은 4. 온배수의 적극적 이용에서 기술하기로 한다.

2. 온배수 관리시스템에 대한 의견

제 1차년도와 2차년도 연구를 토대로 마련된 온배수 관리시스템(시안)을 바탕으로 수차례에 걸쳐 자문위원회를 열고 여기서 제시되는 문제점이나 다양한 의견을 연구 결과에 반영하도록 노력하였다. 또한 각 발전소의 지역 주민들, 지자체 공무원, 온배수 배출업체 관계자, 학계 인사들과 다양한 접촉을 통하여 온배수 관리시스템 시안을 설명하고 각계각층의 의견을 청취하였다. 모두 8회의 설명회와 1회의 공청회를 개최하였다(표 5-1).

가. 지역별 어민 면담

1). 갈등 조정

갈등 조정 측면에서는 온배수와 관련하여 각종 마찰을 빚어온 발전소별 현안을 슬기롭게 해결하기 위하여 지방자치단체, 환경단체, 지역주민 및 전문가들이 공동으

표 5-1. 온배수 관리방안 설명회 및 공청회 개최 일정

일 자	장 소	회 의 명	참석인원
2006. 4. 18.	서산시 간월도	관리방안 설명회	어민대표 등 10명
2006. 5. 14.	영광읍 국일관	관리방안 설명회	어민대표 등 4명
2006. 5. 19.	사천시 오나회의장	관리방안 설명회	어민대표 등 6명
2006. 5. 25.	하동군 수협회의장	관리방안 설명회	어민대표 등 3명
2006. 6. 7.	경주시 양남면 회의장	관리방안 설명회	어민대표 등 11명
2006. 6. 10.	울진군 죽변읍 회의장	관리방안 설명회	어민대표 등 5명
2007. 2. 22.	양평 한화콘도	온배수 관리방안 추진위원회	온배수 관리방안 추진위원 등 22여명
2007. 3. 8.	서울 COEX 컨벤션센터	전문가 초청 공청회	공무원, 어민대표, 학계 인사 등 72여명
2007. 6. 14.	충북대학교 자연과학대학	온배수연구회 초청 관리방안 설명회	이영호 국회의원, 온배수연구회 회원 등 46명
2007. 11. 29	올림픽컨벤션센터	온배수관리방안 공청회	어민대표 등 72명
2007. 12. 6	강릉대학교 연수원	온배수연구회 토론회	김영환회장 등 24명

로 참여하는 온배수관리위원회를 발전소마다 두는 방안과 정부 내 온배수위원회를 설치하는 방안 등을 제시하였는데, 이에 대한 각계각층의 의견은 다음과 같다.

가). 발전소별 온배수관리위원회 조직 운영

- 지역별 온배수 관련 제반 문제 협의 및 해결을 위한 전담기구 구성, 즉 공신력을 기초로 하는 온배수 관련 민관협의회 신설이 시급함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 중앙에는 온배수 문제를 전담하는 관리 기구를 만들고 발전소 지역별로는 운영위원회를 만들어야 하며, 반드시 위원회에 대한 법적지위를 부여하고,

전력회사와는 독립적인 운영비가 확보되어야 함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)

- 온배수 방출에 따른 갈등을 조정하기 위한 중립적 조직의 필요성을 절감하고 있지만 이에 대하여 발전소는 부정적 견해를 가지고 있음 (2006년 5월 4일, 서해남부지역 간담회)
- 기존의 분쟁조정 기구가 발전소 측으로부터 지원을 받고 있어서 투명하고 공신력 있는 활동이나 결과를 기대할 수 없으므로 새로운 분쟁 조정 기구의 설립이 필요함 (2006년 5월 4일, 서해남부지역 간담회)
- 공신력을 기초로 하는 지역별 민간 온배수 협의회 신설이 시급함 (2006년 5월 25일, 남해중부지역 간담회)

나). 정부 내 온배수위원회 기구 설치 운영

- 중앙 부처에 온배수를 담당하는 부처가 있어야 함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 중앙에는 온배수 문제를 전담하는 관리 기구를 만들고 발전소 지역별로는 운영위원회를 만들어야 하며, 반드시 위원회에 대한 법적지위를 부여하고, 한전과는 독립적인 운영비가 확보되어야 함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 중앙관리기구는 조사기능을 갖지 말고 지역위원회의 건의를 받아 조사여부를 결정하고 지역위원회와 협의하여 신뢰성 있는 조사기관을 정하고 감독함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 중앙 부처에 온배수를 담당하는 부처가 있어야 함 (2006년 5월 25일, 남해중부지역 간담회)

2). 신뢰 구축

‘신뢰 구축’ 측면에서는 먼저 발전소 주변 해양을 대상으로 하는 조사 방법의 표준화, 온배수 배출기준 제정의 기반 조성 및 온배수 전문 조사기관 설립 등을 제시하였는데, 이에 대한 각계각층의 의견은 다음과 같다.

가). 발전소 주변 해역 조사 방법의 표준화

- 조사기관에 따라 조사방법과 기준이 다르므로 조사방법을 통일할 필요가 있고, 모든 정보와 자료는 통일된 기준으로 공개되고 검증되어야 함(2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 환경조사는 중앙관리기구에서 하지 말고 지역관리위원회에서 정한 기관이 해야 함(2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 온배수뿐만 아니라 회사장에서 나오는 유출수와 잔류염소량을 함께 조사하여야 함(2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 상호 신뢰가 가능한 환경문제 평가를 위한 투명한 방법론의 구축 및 자료의 제공이 필요함 (2006년 5월 4일, 서해남부지역 간담회)
- 전문가나 연구기관의 결과를 어민과 발전소 측 모두 신뢰하지 못하므로 이제는 국가가 명확한 평가 기준을 설정하여 관리함이 필요함 (2006년 5월 19일, 남해중부지역 간담회)
- 조사기관에 따라 다른 조사방법이 불신을 야기함 (2006년 5월 19일, 남해중부지역 간담회)

나). 온배수 배출기준 제정의 기반 조성

- 어민의 입장에서는 피해 범위 1℃에 관한 기준이 모호함 (2006년 5월 19일, 남해중부지역 간담회)
- 온배수 배출 기준 제정이 가장 중요하며 배출기준 위반 시 범칙금을 부과해야 함 (2006년 6월 7일, 동해남부지역 간담회)
- 온배수 배출규제온도의 조속한 설정이 필요함 (영광온배수대책위원장, 2007년 3월 8일, 전문가 초청 공청회)

3). 상호 부조

한편 ‘상호 부조’ 차원으로는 온배수가 지닌 열에너지를 활용하여 지역 주민들에게 실질적인 혜택이 돌아갈 수 있게끔 온배수를 이용하는 양식장의 조성이나 높은 수온에서도 양식할 수 있는 해조류 품종의 개발, 대체 해조장 조성, 해양생태공원 조성 등을 제시하였으며, 이에 대한 이에 대한 각계각층의 의견은 다음과 같다.

가). 양식장 조성 과 고수온 양식 해조류 품종 개발

- 서해안에서 미역이 없어지고 다시마가 출현하기 시작했는데 이는 발전소 온배수 때문으로 생각되므로 조사가 필요함(2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 태안군은 온배수 양식을 위하여 예산을 이미 확보하였으며 발전소별로 지역에 도움이 되도록 온배수 활용 계획을 세워야 함(2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 온배수의 적극적 활용방안은 현재의 갈등을 해소하는 차선책이 될 수 있음(2006년 5월 4일, 서해남부지역 간담회)
- 삼천포화력에서 수행 중인 온배수 양식에 의한 소득은 개인의 것이 아니라 지역 주민의 몫으로 전환되어야 함(2006년 5월 19일, 남해중부지역 간담회)

나). 온배수 전문연구기관 설립

- 태안군청 부근에 한전에서 온배수 자료를 실시간으로 알려주는 시설이 있지만 아무도 이를 믿지 않음(2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 믿을 수 있는 연구조사가 필요하며 주기적인 설명회를 개최하여 조사결과를 지역주민에게 알려주어야 함(2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 태안화력의 경우, 현재 공주대학교에 의뢰하여 2년마다 조사를 수행하고 있는데, 조사능력에 문제가 있음(2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 정확한 조사 결과에 따른 사후 처리 방안의 투명성 제고 필요성을 절감하며 쌍방이 신뢰할 수 있는 조직 구성이 필요함(2006년 5월 4일, 서해남부지역간담회)

나. 추진위원회 및 전문가 의견

1). 갈등 조정

- 온배수관리위원회 구성에 어업인 대표도 참가시켜야함(2007년 3월 8일, 전문가 초청 공청회)
- 중앙온배수관리위원회는 관계부처 공무원과 NGO, 전문가가 포함되어야 함(자문위원, 2007년 2월 22일, 온배수 관리방안 추진위원회)
- 위원회와 어민들과 마찰 발생시 더 큰 숙제를 남길 소지가 있음(자문위원,

2007년 3월 8일, 전문가 초청 공청회)

2). 신뢰 구축

- 발전소 주변 온배수 피해 조사를 피해가 아니라 영향으로 수정해야 함(추진위원, 2007년 2월 22일, 온배수 관리방안 추진위원회)
- 전력연구원에서는 환경영향평가 기준에 준하는 조사를 하고 있으므로 발전소 주변 환경조사는 환경영향평가 기준으로도 가능하다고 봄(추진위원, 2007년 2월 22일, 온배수 관리방안 추진위원회)
- 기존에 실시된 온배수 영향 평가의 조사방법 및 평가 기법에 무슨 문제점이 있었나 파악할 필요가 있음(추진위원, 2007년 3월 8일, 전문가 초청 공청회)
- 해양생태계 보존을 위해서는 조사 기준이 필요하며, 조사 기관에 따라서 대조구 정점이 서로 다르고, 이에 따른 온배수 확산 범위가 크게 차이 나고 있으므로 누구나 신뢰할 수 있는 객관적이고 공정한 조사방법의 수립이 시급함(어민대표, 2007년 3월 8일, 전문가 초청 공청회)
- 온배수 배출기준이 중요하지만 관련 부처간 협의에 많은 시간이 소요되다 보면 자칫 기준 제정이 지연될 수 있으므로, 의원 입법으로라도 관철할 수 있음(국회의원, 2007년 6월 14일, 온배수연구회 심포지엄)

3). 상호 부조

- 온배수를 긍정적인 측면에서 이해한다면 규제 보다는 이용방안이 쉽게 접근할 수 있음(추진위원, 2007년 2월 22일, 온배수 관리방안 추진위원회)
- 해수부 장관이 온배수 이용을 지정할 경우 허가 문제가 생길 수 있으므로 바다 생태공원 쪽으로 나가는 것이 좋겠음(추진위원, 2007년 2월 22일, 온배수관리방안추진위원회)
- 해양환경 특성상 서해보다는 동해 및 남해 해역에서 온배수 활용방안을 긍정적으로 검토가능(추진위원, 2007년 3월 8일, 전문가 초청 공청회)
- 훼손 부분에 대한 복구 및 관리 체계가 부족하므로 바다목장 등의 생태계 회복을 위한 방안이 좀 더 필요함(추진위원, 2007년 3월 8일, 전문가 초청 공청회)
- 온배수 관리방안을 수립할 때 바다목장사업 등의 생태계 복원에 역점을 두

- 있으면 좋겠음(참석자, 2007년 3월 8일, 전문가 초청 공청회)
- 온배수 배출해역에서 생산되는 수산물의 안정성을 국민들이 납득 가능하도록 해야 함(추진위원, 2007년 3월 8일, 전문가 초청 공청회)
- 전문연구기관의 경우 독립기관으로 설립하는 것이 가장 바람직하지만 국가 연구기관의 설립이 어려운 점을 감안하면 기존의 국가 연구기관에서 병행 실시할 수 있도록 조치하면서 전문연구소로 발전해 나가는 방향이 있을 수 있음(추진위원, 2007년 3월 8일, 전문가 초청 공청회)
- 온배수 전문연구기관의 설립은 온배수 문제 해결에 크게 기여할 것임(국회의원, 2007년 6월 14일, 온배수연구회 심포지엄)

다. 해양생태계보전을 위한 온배수 관리방안 공청회

해양생태계보전을 위한 온배수 관리방안 공청회는 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구결과에 대한 학계, 산업계, 공공기관 관련자 및 어민들의 의견을 수렴하고 최종 결과물에 이를 최대한 반영함으로써 모든 계층이 공감하는 온배수 관리방안 수립하기 위하여 2007년 11월 29일 올림픽 컨벤션센터에서 개최되었으며, 주요 토의 내용은 다음과 같다.

1). 공청회 주요 토의 내용

가). 지명토론

- 온배수와 수반된 여러 가지 환경요인 중 물리적인 실체를 밝히고, 이에 대한 학제간 기술적 검토를 거쳐 온배수 관리기준을 만들어야 한다.
- 정부와 모든 관련기관의 전문적 지식이 뒤떨어져 있다. 산자부, 환경부 등 관련 부처의 참여를 유도하여 온배수에 대한 체계적이고 전문화된 관리 정책을 유도해야 한다.
- 대통령지시사항은 배수 부담금 기준마련 방안으로 보정 효과를 거두는 것이었으나 많은 어려움이 따른다. 우선 갈등을 해소하여 신뢰를 구축하고 그 다음으로 시설물 개선 문제 및 재원 마련을 논의해야 한다.
- 부담금에 대한 저항이 있지만 국가에서 부담금 부과여부를 판단할 수가 있다. 국외에서는 사회적 비용을 최소화하는 경향이 있으며, 온배수 영향을 명시적으로 고려하고 있다. 우리나라의 경우 발전회사들이 온배수 영향 저감에 대한 노력을 기울이지 않고 있기 때문에 부담금을 제도화하여 온배수 배출로부터 해양생태계 보전을 위한 재원을 확보하는 것이 필요

하다.

- 어업 피해 보상 문제와 같은 엄청난 갈등 구조가 있지만 온배수 관리지침이 없다. 온배수는 지구온난화에도 영향을 미치는데 그것과 관련된 위기 의식과 전문연구가 필요하다.

나). 자유토론

- 온배수가 오염물질이라는 정의가 필요하다. 열폐수 오염에 따른 생태계 환경 파괴 현황에 대한 연구가 필요하며, 연구결과를 널리 알려야 한다.
- 우리나라 실정을 바탕으로 우선 피해실태를 파악하고 관리방안 수립에 현장의 목소리를 반영해야 한다.
- 부담금은 원인자부담원칙에 입각하여 부담하여, 그 비용은 지역주민을 위해 사용해야 한다. 갈등 해소와 신뢰회복이 중요하다.
- 사후처방이 아닌 예방차원의 조치가 필요하며 어민의 생계 대책이 포함된 보상방법을 강구해야 한다.
- 관리방안을 법제화 하여 이를 어겼을 때 가동중단과 같은 강력한 조치가 필요하다.
- 대의 10℃ 상승이 바다에서의 1℃ 상승과 비슷하다. 또한 혼합구역에서는 변화가 크며, 표층수 배출과 수중배수 때의 영향이 다르다. 피해의 범주는 해양조건에 따라 달라지기 때문에 수치적으로 정량이 어렵다.
- 현행법에 염소 및 염소화합물과 중금속에 대한 배출 규제치가 있기 때문에 만일 온배수에 이러한 오염물질이 포함되어 배출 된다면 수질오염측면에서 다루어야 한다.

이상 정리한 바와 같이 각 발전소의 지역 주민들, 지자체 공무원, 전력회사 관계자, 학계 인사 및 행정부의 실무자들과 다양하게 접촉하면서 지금까지 파악된 각계 각층의 의견은 대체로 이번 연구를 통하여 제시된 온배수 관리시스템의 필요성을 인식하고 타당성을 인정하는 것으로 간주된다.

본 연구에서는 어민대표 간담회, 온배수 관리방안 추진위원회, 전문가 초청 공청회 및 학술발표회 등을 통하여 제기된 다양한 의견을 충분히 수렴하고, 이를 바탕으로 우리나라 실정에 적합한 발전소 온배수 관리시스템을 확립하였다.

3. 온배수 관리시스템의 구성 및 운영 방안

가. 중앙온배수관리위원회

중앙온배수관리위원회는 온배수 관리시스템의 최상위조직으로 관리시스템을 구성

하고, 운영을 감독한다. 관리위원회의 운영을 위한 예산은 온배수 배출부담금의 일부로 충당한다.

1). 조직

중앙온배수관리위원회는 해양수산부 내에 두고, 해양수산부 장관이 임명하는 위원장 1인을 포함하여 관계 부처(산업자원부, 환경부, 과학기술부)의 관련 공무원과 각계 전문가로 구성한다. 다만, 필요시 위원회의 일반 사무기능은 온배수 전문연구기관에 위탁할 수 있다. 위원회의 구성은 다음과 같이 한다.

- 위원장 : 해양수산부 장관이 임명
- 부위원장 : 위원장이 선임하며, 위원장 유고시 위원장 업무 대행
- 간사 : 해양수산부 해양환경과 온배수 담당 주무관
- 전문위원 : 해양수산부 장관이 임명한 각계의 온배수 관련 전문가 10명 내외
- 서기 : 사무직 1명 채용(필요시 온배수 전문연구소에서 파견 가능)

원칙적으로 중앙온배수관리위원회는 독립적인 체제를 갖추는 것이 바람직하나, 그 대안으로는 해양환경관리법 제17조(해양환경관리위원회)의 규정에 의거하여 동 위원회가 중앙온배수관리위원회의 기능을 갖도록 할 수 있을 것이다. 한편으로는 해양환경관리법 “제17조 ⑤ 해양환경관리위원회는 위원장이 지정하는 안건을 사전에 검토하기 위하여 필요한 경우에는 소위원회를 둘 수 있다”에 의거, 중앙온배수관리위원회를 해양환경관리위원회의 소위원회로 하는 것도 검토해 볼 수 있다.

2). 기능

중앙온배수관리위원회의 기능은 다음과 같다.

- 온배수 관리시스템 구성 및 운영에 대한 의결 및 감독
- 지역별 온배수관리위원회에 대한 관리지도
 - 지역별온배수관리위원회의 구성
 - 지역별온배수관리위원회의 운영예산 편성 감독 및 승인
 - 지역별온배수관리위원회의 지원
- 지역별 온배수 위원회에 요청한 온배수 관련 사업의 승인 및 예산 배정
- 온배수와 관련한 제반 분쟁에 대한 조정
- 온배수 전문연구기관 설치 및 운영에 대한 감독

3). 예산

중앙온배수관리위원회는 일종의 연성조직으로 인건비, 시설유지비 등 경성적 경비지출이 없는 조직이다. 따라서 관리위원회의 예산은 연 2회 정도의 정기관리위원회 개최경비와 사안에 따른 부정기적 관리위원회 개최경비로 구성된다. 관리위원회의 운영을 위한 소요 예산은 2억원/년 내외로 추정된다(표 5-2).

중앙온배수관리위원회 예산 세부내역은 다음과 같다.

- 인건비(서기) : 36,000,000원
 - 3,000,000원/월 x 12월 = 36,000,000원
- 위원 회의 수당 : 12,000,000원
 - 200,000원/인/회 x 15인 x 4회 = 12,000,000원
- 출장비 : 15,000,000원
 - 250,000원/인/회 x 15인 x 4회 = 15,000,000원
- 소모품비 : 6,000,000원
 - 500,000원/월 x 12월 = 6,000,000원
- 회의비 : 8,000,000원
 - 400,000원/회 x 20회 = 8,000,000원
- 교통통신비 : 3,000,000원
 - 250,000원/회 x 12회 = 3,000,000원
- 지역별 온배수관리위원회 지원비
 - 1,000,000원/월/지역 x 12월 x 10지역 = 120,000,000원

나. 지역별 온배수관리위원회

지역별 온배수관리위원회는 부분적 연성조직을 포함하는 경성조직이다. 지역별 관리위원회는 각각 독립된 조직으로 온배수와 관련된 모든 문제를 일차적으로 온배수 배출자와 협의하고 필요시 중앙온배수관리위원회에 그 처리를 요청하는 기능을 갖는다.

지역별 관리위원회의 기본 운영비는 지역별 온배수 배출자 부담을 원칙으로 하고, 그 외 경비는 중앙관리위원회의 지원비로 충당한다. 다만 필요하다고 인정되는 경우, 지역별 관리위원회의 운영비는 어업협정 체결에 따른 어업인 등의 지원 및 수산업발전특별법 제22조의 규정에 의하여 설치·운영되는 수산발전기금의 일부로 충당하는 방안을 검토할 수 있다.

표 5-2. 온배수 관리시스템(시안)의 추정 소요예산

(단위 : 억원)

분 야	항 목	'08	'09	'10	'11	'12	비 고
갈등조정	중앙온배수관리위원회	2	2	2	2	2	사무직 1명
		2	2	2	2	2	10개 지역
신뢰구축	온배수 전문연구기관#	26	26	26	26	26	연구직 10명, 기능직 5명, 사무직 5명
상호부조	온배수 영향모니터링						위탁과제 및 사업자 부담 과제 제외
	온배수 영향 저감연구	20	20	30	30	40	
	온배수 이용 연구						
합 계*		48	48	58	58	68	

* 사업자 부담을 원칙으로하는 온배수 확산구역의 해양생태공원 및 바다목장 조성 예산 제외

기본연구사업비 포함 경상경비만 산정

1). 조직

지역별 온배수관리위원회는 각 지역별 특성에 맞추어 독립적으로 조직하며 위원회의 구성은 다음과 같이 한다.

- 위원장 : 지역의 추천을 받아 중앙온배수관리위원장이 임명
- 부위원장 : 지역별 위원장이 선임
- 간사 : 해당 지방자치단체의 장이 임명한 담당 공무원
- 위원 : 지역 어민대표, 온배수 배출자, 지방자치단체장이 임명한 온배수 관련 전문가 (총 10명 내외)
- 서기 : 지역별 온배수 배출 기관에서 파견

2). 기능

지역별 온배수관리위원회의 기능은 다음과 같다.

- 온배수 배출에 대한 감시

- 온배수 배출로 인한 영향에 대한 일차적 문제제기 및 배출자와의 협의
- 온배수 배출로 인한 제반 영향에 대한 정밀조사 요청
- 지역별 배당된 온배수 배출 부담금의 관리 및 사업 수행

3). 예산

지역별온배수관리위원회는 일부 연성조직을 포함하는 경성조직으로 지역의 특성상 위원회의 구성과 소요예산이 서로 다르다. 따라서 기본적인 운영예산은 지역별 온배수 배출자가 부담하는 것을 원칙으로 하고, 중앙온배수관리위원회의 감독 아래 온배수 배출자와 지역별 어민대표가 협의하여 결정하는 것이 타당하다. 다만, 양자 협의가 불가능한 부분은 중앙관리위원회의 지원비로 충당하거나, 필요하다고 인정되는 경우 수산발전기금의 일부로 충당한다.

다. 온배수 전문연구기관

1). 조직 및 기능

현재 우리나라에는 실질적으로 온배수와 관련된 연구를 전담하는 연구기관으로 한국전력공사 전력연구원이 있다. 이 기관이 우수한 인력을 확보하고 많은 예산을 투입하면서도 조사결과의 객관성을 널리 인정받지 못하고 있는 것은 바로 전력회사의 소속 기관이라는데 문제점이 있다고 본다. 따라서 일반 국민이 납득할 수 있고 신뢰할 수 있도록 온배수와 관련된 모든 조사활동 및 연구를 전담할 비영리 전문연구기관의 설립이 필요하다. 온배수 전문연구기관은 온배수와 관련한 분쟁해결을 위한 조사 및 연구사업 및 환경모니터링에는 직접 참여하지 않고 이를 감독 및 평가하는 것을 주 업무로 한다. 또한 중앙 및 지역 온배수관리위원회에 대한 기술 자문, 온배수와 연관한 생물검정 및 온배수 이용기술 개발을 담당한다. 전문연구기관에 대한 보다 자세한 내용은 앞부분에서 이미 언급하였다.

전술한 바와 같이 온배수 전문연구기관의 기능을 정한다면, 전문연구기관은 해양학의 전 분야에 걸쳐 전문 인력과 이를 보조할 지원 인력을 확보해야 한다. 이러한 배경에서 바람직한 전문연구기관의 바람직한 조직은 표 5-3과 같다.

온배수 전문 연구기관에는 가동 중인 발전소 주변 해역의 해양환경 조사결과를 심사하고 평가할 수 있도록 해양물리연구부, 해양화학연구부 및 해양생물연구부를 둔다. 또한 온배수 이용의 극대화를 위한 각종 방안을 연구하고 적용할 수 있도록

표 5-3. 온배수 전문 연구기관의 예상 조직 및 주요 업무

부 서	세 부 조 직	주 요 업 무
연구 기획실	<ul style="list-style-type: none"> · 기획, 정책팀 · 자료관리팀 	<ul style="list-style-type: none"> · 연구 전반에 걸친 기획조정 · 온배수 정책 연구 · 자료 관리
해양물리연구부	<ul style="list-style-type: none"> · 해양물리평가팀 · 온배수 확산역 모델링팀 · 저감방안 연구팀 	<ul style="list-style-type: none"> · 발전소 주변 해양물리학적 특성 평가 · 온배수 확산역 모델링 · 실시간 수온 측정 및 자료제공 · 온배수 영향 저감방안 연구
해양화학연구부	<ul style="list-style-type: none"> · 해양수질팀 · 해양퇴적물팀 	<ul style="list-style-type: none"> · 발전소 주변의 해양수질 평가 · 발전소 주변의 해양퇴적물 평가
해양생물연구부	<ul style="list-style-type: none"> · 식물플랑크톤팀 · 동물플랑크톤팀 · 해조류팀 · 저서동물팀 · 어류팀 	<ul style="list-style-type: none"> · 발전소 주변의 식물플랑크톤 평가 · 발전소 주변의 동물플랑크톤 평가 · 발전소 주변의 해조류 평가 · 발전소 주변의 저서동물 평가 · 발전소 주변의 어류 평가
온배수이용연구부	<ul style="list-style-type: none"> · 수산물양식연구팀 · 해양목장연구팀 	<ul style="list-style-type: none"> · 온배수 이용 수산물 양식 연구 · 발전소 주변해역 해양목장 조성 연구
행정실	<ul style="list-style-type: none"> · 총무과 · 예산회계과 	<ul style="list-style-type: none"> · 각종 행정 업무

온배수이용연구부를 둔다.

해양물리연구부는 온배수 확산해역의 환경에 대한 장기모니터링, 온배수 확산 수치모델과 온배수 영향 저감을 위한 시설개선 방안을 연구하는 기능을 갖는다. 또한, 온배수 실시간 모니터링 기능을 갖추고 관찰된 수온자료를 실시간 제공한다.

해양화학연구부는 온배수 확산해역의 환경에 대한 해양수질 및 해양퇴적물 조사 결과를 심사하고 평가하는 업무를 담당하며, 더 나가 발전소 냉각계통 및 해상 시설물에 피해를 주는 오손생물 제거를 위한 기술개발 사업을 주도한다.

해양생물연구부는 온배수 확산해역에 서식하는 해양생물의 분포와 소잔에 대한 장기 모니터링, 각 생물군의 수온변화에 대한 반응의 생물검정, 냉각계통에 충돌하거나 진행되는 해양생물의 모니터링과 저감방안을 연구한다.

온배수이용연구부는 이미 영광원전이나 월성원전에 조성된 어패류 양식장과 같은 시설을 국내의 모든 발전소에 적용할 수 있도록 연구할 뿐만 아니라, 온실이나 발전소 주변 해역의 해양목장 조성 및 배수구 주변의 해양생태 공원 조성 등 다각적으로 온배수를 활용하는 방안을 강구한다.

그밖에 연구 전반에 걸친 기획조정, 온배수 정책 연구 및 각종 자료의 관리 및 data base화를 추진할 수 있도록 연구기획실을 두고, 각종 행정 업무를 지원할 수 있는 행정부서도 필요하다.

상기와 같이 발전소 온배수의 확산 범위와 해양생태계에 미치는 영향에 관해 투명하고 공정하게 조사 연구할 수 있는 온배수 전문 연구기관이 설립되면 '신뢰 구축' 측면에서 온배수 문제의 해법을 모색하는데 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 독립된 전문연구소를 설립한다는 것은 손쉬운 과제가 아니다. 따라서 시행 초기에는 정부출연연구소 혹은 대학의 전문연구소에 사업단을 구성하여 그 역할을 담당하게 하고 점차 확충해 나간 후 독립기관으로 확충하는 것이 바람직하다.

2). 예산

온배수 전문연구기관의 설립 및 운영예산은 온배수 배출 부담금의 일부로 충당한다. 정확한 소요예산은 전문연구기관의 임무와 역할이 세부적으로 정립되어야만 편성 가능하다. 그러나 전술한 것과 같이 최초 5년간은 공신력 있는 전문 연구기관에 위탁하여 업무를 수행하는 것으로 하여 초기시설투자비를 제외할 경우 약 26억원/년 정도의 예산으로 운영 가능할 것으로 생각된다. 단, 기본과제 연구비는 소속연구원이 중앙 및 지역별 온배수관리위원회에 대한 기술적 자문과 온배수 관련 제반 조사사업의 감독과 조사결과의 평가 기능을 갖는 것을 감안하여 정부출연연구소의 연구원 1인당 평균 연구비의 1/2 수준으로 편성하기로 한다.

온배수 전문연구기관을 위한 소요예산의 세부 내용은 다음과 같다.

- 인건비 : 1,000,000,000원
 - 연구직 60,000,000원/년 x 10인 = 500,000,000원
 - 기능직 50,000,000원/년 x 5인 = 250,000,000원
 - 행정직 50,000,000원/년 x 5인 = 250,000,000원
- 시설유지비 : 420,000,000원
 - 35,000,000원/월 x 12월 = 420,000,000원
- 기본과제 연구비(정부출연연구소의 평균연구비의 1/2 수준)

- 100,000,000원/인/년 x 10인 = 1,000,000,000원
- 기관운영비
 - 15,000,000원/월 x 12월 = 180,000,000원

3). 대안

앞서 지적한 바와 같이 독립된 온배수 전문연구소를 설립한다는 것이 현 상황에서 결코 간단한 과제가 아니다. 따라서 그 대안으로는 먼저 수산업법시행령 제62조 및 어업면허의 관리 등에 관한 규칙 제51조의 2의 규정에 의하여 해양수산부 장관이 지정 고시한 ‘어업의 손실액 조사기관’을 활용하는 방안을 검토할 수 있다. 해양수산부고시 제2005-18호(2005. 5. 18.)에 의거하여 지정 고시된 조사기관은 표 5-4와 같다.

발전소에서 배출되는 온배수의 영향과 그 피해 규모를 조사함에 있어서 독립된 온배수 전문연구기관을 설립하는 방안과 그 대안으로 표 5-4에 열거한 기존의 14개 조사기관을 활용하는 방안의 장단점을 비교하면 표 5-5와 같다.

표 5-5에 지적한 바와 같이 기존의 14개 ‘어업의 손실액 조사기관’을 활용하지 않고 온배수 전문 연구기관을 설립하게 되면 단기적으로는 초기 단계에 투자 경비가 소요되고 부지 및 인적자원을 확충해야 하는 문제점이 있다. 그렇지만 장기적인 관점에서 발전소 온배수의 확산 범위와 해양생태계에 미치는 영향에 관해 투명하고 공정하게 조사 연구할 수 있는 온배수 전문연구기관이 설립되면 ‘신뢰 구축’ 측면에서 온배수 문제의 해법을 모색하는데 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

온배수 전문연구기관은 해양환경관리법 제96조(공단의 설립) “③ 공단은 정관이 정하는 바에 따라 지사·사업소·연구기관·교육기관 등을 둘 수 있다.”에 근거하여 설립할 수 있으며, 이를 위하여 시행령이나 시행규칙에 보다 연구기관 설립에 관한 상세한 내용을 명시함이 바람직하다.

라. 온배수 관리방안 협의체 구성

본 연구에서 추진하고 있는 ‘갈등 조정’, ‘신뢰 구축’ 및 ‘상호 부조’ 측면의 다양한 온배수 관리방안의 대부분은 해양수산부 단독으로 추진할 수 있는 사안이 아니고, 산업자원부와 발전사업자의 적극적인 참여와 협조가 필요하다고 판단된다. 나아가서 일부 내용은 환경부나 과학기술부와 같은 관계 부처와의 협의도 필요하다고 본다.

표 5-4. 어업의 손실액 조사기관(해양수산부고시 제2005-18호, 2005. 5. 18.)

기 관 명	소 재 지	지 정 기 간
경상대학교 해양산업연구소	경남 통영시 인평동 445	2005. 4~2010. 3
군산대학교 수산과학연구소	전북 군산시 미룡동 산 68	2005. 4~2010. 3
군산대학교 해양개발연구소	전북 군산시 미룡동 산 68	2005. 4~2010. 3
부경대학교 수산과학연구소	부산 남구 대연3동 599-1	2005. 4~2010. 3
부경대학교 해양과학공동연구소	부산 남구 대연3동 599-1	2005. 4~2010. 3
서울대학교 해양연구소	서울 관악구 신림동 산 56-1	2005. 4~2010. 3
여수대학교 수산해양연구원	전남 여수시 둔덕동 산 96-1	2005. 4~2010. 3
인하대학교 해양과학기술연구소	인천 남구 용현동 253	2001. 11~2006. 11
제주대학교 해양과환경연구소	제주 조천읍 함덕리 3288	2005. 4~2010. 3
한국해양수산개발원	서울 서초구 방배동 1027-4	2003. 2~2008. 2
한국해양연구원	경기 안산시 사동 1270	2005. 4~2010. 3
한국해양대학 해양과학기술연구소	부산 영도구 동삼동 1	2005. 1~2010. 1
목포대학교 갯벌연구소	전남 무안 청계 도림리 61번지	2005. 5~2010. 5
강릉대학교 환경문제연구센터	강원 강릉시 지변동 123번지	2005. 5~2010. 5

* 대학 + 고급인력 제한

따라서 본 연구를 통하여 마련되는 각종 온배수 관리방안들이 탁상공론으로 끝나지 않고 실효를 거두기 위하여 본 연구가 종료되는 즉시 2008년 초에 관계 부처 실무자들로 구성되는 가칭 '온배수 관리방안 협의체'를 발족하여 체계적으로 관리방안을 추진함이 바람직할 것이다.

1). 조직

가칭 '온배수 관리방안 협의체'의 구성은 다음과 같이 한다.

- 위원장 : 해양수산부 장관이 임명
- 부위원장 : 위원장이 선임하며, 위원장 유고시 위원장 업무 대행

표 5-5. 독립된 온배수 전문연구기관을 설립하는 방안과 어업의 손실액 조사기관을 활용하는 방안의 장단점 비교

	독립기관 설립	기존 조사기관 활용
초기 투자비용	상당액 소요	거의 소요되지 않음
부지 및 인적자원	새로 확보해야 함	기존의 시설과 인력 활용 가능함
공정성과 투명성	과학적 조사방법으로 공정하고 투명하게 조사할 수 있음	조사기관에 따라 상이한 방법으로 서로 다른 연구결과를 도출할 수 있음
환경 분쟁	조사방법의 표준화로 객관적인 결과를 도출하여 온배수 민원을 종식시킬 수 있음	조사기관에 따라 상이한 연구결과를 얻게 되면 자칫 환경 분쟁이 지속될 가능성이 있음
생태계 보전	어업 손실뿐만 아니라 장기적 측면에서 소중한 연안생태계 보전을 위한 각종 대책을 수립하고 일관되게 추진할 수 있음	상이한 조사기관에서 일관된 정책을 수립하기 어렵고, 어업 손실 측면에 치중하다보면 연안생태계 보전을 위한 노력이 소홀할 수 있음

- 간사 : 해양수산부 해양생태팀 온배수관리방안 담당사무관
- 위원 : 정부 부처 실무자(해양수산부, 산업자원부 및 필요에 따라 환경부와 과학기술부 담당 공무원), 발전사업자 대표 및 온배수 관련 전문가 10명 내외
- 서기 : 사무직 1명 채용(필요시 온배수 전문연구소에서 파견 가능)

2). 기능

‘온배수 관리방안 협의체’의 기능은 다음과 같다.

- 온배수 관리방안의 법제화 추진
 - 발전소 주변 해양환경 조사지침
 - 온배수 배출기준
- 관리방안의 효율적인 추진을 위한 대책 수립
 - 온배수 이용 양식장 조성
 - 고수온 양식 품종 개발과 보급

- 해양목장과 대체 해조장 조성
- 온배수 해양생태공원 조성
- 기구 설립 협의
 - 중앙 및 지역별 온배수관리위원회의 구성
 - 온배수 전문 연구기관 설립
- 예산 확보

4. 온배수의 적극적 이용

발전소 온배수 문제를 해결함에 있어서 가장 비중 있게 다루어야 할 사안이 바로 온배수를 적극 활용하는 방안을 다양하게 모색하는 것이다. 기름 한 방울 나지 않는 나라에서 귀중한 열에너지를 재활용하지 않고 그대로 바다로 흘려보내고 있는 현실을 하루 빨리 시정할 필요가 있다. 온배수가 지닌 열에너지를 효과적으로 이용하고 특히 발전소 지역 농어민의 생활 향상에 이바지할 수 있도록 다각적인 대책을 강구하는 시도는 발전소 사업의 '원·원 전략'이 될 것이라 확신한다.

온배수를 적극적으로 이용하는 것은 온배수로 인한 손실을 온배수를 이용하여 다시 얻을 수 있는 능동적인 온배수 영향 저감방안이 될 수 있다. 즉, 발전소 주변 해역에 온배수가 생태계에 미치는 영향을 온배수를 이용한 수산양식, 온배수확산구역의 적극적 활용으로 전환하려는 의미이다.

가. 온배수 확산구역의 이용

1). 특별관리해역(수산자원 보호해역) 지정

온배수 확산구역을 이용하겠다는 의도에서 해당해역을 활용하기 위한 법률적 배경을 다음과 같이 두 가지 측면에서 검토하기로 하겠다. 즉 환경관리 측면의 해양환경관리법을 검토하고, 수산자원 활용 측면에서 기르는어업육성법을 검토한다.

온배수 확산구역의 피해보상에 따라 바닷물을 냉각수로 쓰는 발전소는 일정 규모의 수산활동 제한 구역이 설정되어 있다. 이 수산 활동 제한 구역을 역발상의 논리로 최대한 활용하여 새로운 수산자원을 육성하여 관리하려는 측면에서의 가능성을 제시하려는 것이다.

가) 특별관리 해역 지정

해양수산부장관은 해양환경관리법 “제15조(환경관리해역의 지정 및 관리) ①해양수산부장관은 해양환경의 보전 및 관리를 위하여 필요하다고 인정되는 경우에는 다음 각 호의 구분에 따라 보전·관 환경보전해역 및 특별관리해역(이하 “환경관리해역”이라 한다)을 지정·관리할 수 있다. 이 경우 관계 중앙행정기관의 장과 미리 협의하여야 한다.”에 의거 중앙행정기관의 장과 미리 협력하여 온배수확산구역을 수산자원보전지구에 준하는 특별관리해역으로 지정할 권한이 있다.

본 사업에서 제시하는 미래지향적 온배수 확산해역의 유효이용 방안은 이 법적 근거를 두고 시행하려는 안이다.

한편, 해양수산부장관은 관리법 “제5조(국가 등의 책무) ①국가와 지방자치단체는 해양오염으로 인한 피해를 예방하고 훼손된 해양환경을 복원하는 등 해양환경의 적정한 보전·관리에 필요한 시책을 수립·시행하여야 한다.”에 의거 온배수에 의한 피해를 예방하고 복원하기 위한 시책 즉 온배수 관리방안을 수립·시행할 의무가 있다.

나) 수산자원관리수면 지정

연안 해역에서 수산자원의 심각한 고갈 때문에 우리나라의 수산자원 관리 기본 방안은 연안에 인위적으로 친환경적인 산란 및 성육장을 조성하여 유용 수산자원을 생산·, 관리함으로써 수산물을 지속적이고 안정적으로 어획할 수 있는 생산기반을 구축하려는 논리적 근거를 정책의 근간으로 삼고 있다. 예전의 단순한 “잡는 어업”에서 “기르는 어업”으로의 전환을 의미하며, 궁극적으로 어업인의 소득 증대, 풍요로운 어촌건설 및 지역 경제 활성화에 기여하는 것을 목표로 한다. 이러한 정책적 목표달성을 위해서는 적극적인 수산자원의 조성 및 생산관리를 바탕으로 철저한 사회경제적 분석 및 투자계획 수립을 통해 사업투자 효과를 높일 수 있는 과학적 근거를 필요로 한다. 또한 연안 어장조성 사업의 효율적 추진체계와 합리적인 이용·관리방안을 수립하여야 함은 현실적인 최대 현안으로 부각되어지고 있다.

이를 위해 현행 수산자원 관리 제도의 운영 및 법적 조치 사항 중에 기르는 어업 육성법에 기초한 “수산자원 관리수면”에 관한 내용을 발전소 온배수 확산에 따른 인근 해역의 “수산활동 제한구역”을 연계하여 특별관리 해역으로 지정하는 방안을 검토한다.

수산자원관리수면은 2003년 7월 발효된 기르는 어업 육성법 제2조, 제9조, 제10조, 제11조 등 규정에 의하여 효력을 발생한다. 동 법률은 일정지역(예: 바다목장 시범사업 해역)을 명시적으로 언급하고 있으며, 해당해역을 실질적으로 관리하기 위한

근거 규정들을 포함하고 있다. 이 법에 따르면 관리수면은 “수산자원 조성사업의 일종으로서 일정한 해역 등에 대하여 수산자원 조성을 위한 시설을 종합적으로 설치하여 수산자원을 인공적으로 번식시키고 근거를 바탕으로 하는 지속가능한 수확을 할 수 있는 장소”를 말한다. 또한 기존의 육성수면과 보호수면으로는 일정해역을 적절히 관리할 수 없다는 점을 고려하여 이 법은 「수산자원 관리수면」이라는 새로운 개념을 신설하였다. 제10조에서는 시·도지사는 수산자원의 효율적인 관리·이용을 위하여 인공어초 또는 해양목장 시설물을 설치하거나 설치예정인 수면을 수산자원 관리수면으로 지정하고 관리하도록 하고 있다. 수산자원 관리수면은 육성수면과 달리 지정목적 범위 안에서 그 관리·이용 규정을 정하여 이를 관리하여야 하며, 또한 보호수면과는 달리 어업인에게 입어를 허용하는 것이 가능하다는 점에서 매우 미래지향적인 적합한 관리 방안인 것이다. 현재 2003년 7월에 발효된 ‘기르는 어업 육성법’에 의거한 연안 해역의 특성 및 조건에 따라 일정 해역의 자원조성을 위하여 지정된 수산자원관리수면은 전국적으로 총 42개소, 5,112ha에 달한다.

해양환경관리법 제15조 1항에 의거 온배수 확산구역의 수산활동 제한구역에 바다목장을 조성하여 현행 수산자원관리수면에 준하는 특별관리해역으로 지정하여 활용하는 것은 매우 바람직한 일이다.

2). 해양목장 개발

최근 우리나라 연안은 해양환경 조건의 악화로 수산자원이 차츰 감소하는 심각한 실정에 놓여 있다. 이로 인해 어촌 인구가 감소하고, 생산성이 저해되며, 어민의 소득이 감소하는 등 수산업 전반에 걸쳐 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 한편, 온배수의 방출에 따라 대부분의 발전소들이 $\Delta 1^{\circ}\text{C}$ 이내의 어장에 대한 피해보상을 완료하여 발전소별로 차이는 있지만 10km²~100km²의 막대한 연안해역에서 어업활동이 중단되었다.

온배수 배출로 인하여 수산활동이 중단되는 것은 매우 유감스럽지만, 이 해역에서도 해양생물이 서식할 수 있기 때문에 보다 적극적으로 개발할 필요가 있다. 온배수 배출로 잃어버린 어장을 수산자원회복을 위한 공간으로 활용한다는 것은 국토의 효율적 이용과 수산자원 증대라는 명제를 동시에 해결할 수 있는 긍정적인 기회이다. 최근 성공적으로 수행되고 있는 바다목장사업을 온배수확산구역으로 확대하여 자원조성 해역으로 활용한다면 보호수면의 지정 없이도 자원증대 및 생물다양성 보전에 크게 기여할 것이다.

바다목장은 생태적으로 안정된 해양환경을 유지하면서 최대로 지속 가능한 생산(

maximum sustainable yield)을 영위하도록 하는 인위적이고 첨단관리형 어업생산 방식이다. 즉 인위적 첨단기술을 도입하여 유전적으로 뛰어난 품종을 개발하고, 인공적으로 생산된 치어나 종패를 방류하여 수산자원을 증대시키며, 인공어초나 급이 시설 등의 인공구조물이나 시설물을 이용하여 생산력을 증대하는 등 어장 조성에서부터 환경 제어에 이르는 여러 형태의 기술을 의미한다.

해양목장 사업은 경남 통영 해역과 같이 발전소와 전혀 무관한 자연적인 해역에서도 환경친화적이고 생태보전적으로 시도하는 연안의 자원조성 방안이지만, 발전소 주변 해역은 온배수 방출로 인하여 따뜻한 물을 좋아하는 많은 수산자원을 키울 수 있다는 점에서 주목을 받고 있다. 나아가서 해양목장 사업의 연구와 시행은 자연생태적으로 나타나는 바다의 사막화 현상에 대한 대책으로도 응용될 수 있다. 최근 우리나라 연안에서는 쿠로시오 해류의 세력 확대와 수온 상승에 의해 제주도와 남해안 그리고 동해안에 걸친 광범위한 해역에서 갯녹음 현상이 나타나고 기존의 해조 숲이 차츰 줄어들고 있는 실정이다(손 등 2002). 물론 이와 같이 연안 해역이 풀 없는 바위만 덩그러니 남는 바다의 사막화 현상은 자연적으로 발생하는 것이지만, 우리의 노력 여하에 따라서는 황폐화된 갯녹음 연안을 바다 숲으로 복원시킬 수 있다고 믿고 있다.

한편 발전소의 건설과 특히 가동 이후 온배수의 방출로 훼손되는 만큼의 해조 숲을 부근의 자연 해역에 조성하는 사업도 추진할 필요가 있다. 가까운 일본에서는 이와 같이 인위적으로 조성되는 해조장을 대체 해조장이라 부르며, 어족자원 보호와 생태계 보전을 위하여 많은 발전소에서 시행하고 있다.

우리나라 동해 연안은 지구온난화로 인한 수온상승으로 아열대성어류가 급속히 유입되어 어류상의 변화가 가장 많이 일어나고 있는 해역으로 온배수의 생태계에 미치는 영향을 새로운 측면에서, 즉 이용 가능한 논리적 근거를 온배수에 의한 수온 상승 영향과 온난화에 의한 수온상승으로 나타나는 생태계 변화를 우선 동일 선상에 놓고, 이를 적극적으로 이용할 경우 연안 수산업 발전에 기여할 수 있는 가능성을 울진원자력발전소를 대상으로 해양목장의 개념을 도입하여 검토하였다.

가) 울진원자력 주변 해역의 기반 여건

현재의 상황에서 우선 가능성을 제시하고자 한다. 국립수산진흥원사업보고(1986, 1991), 명(2002), 이 등(1994), 이(1999), 전 등(2001), 전 등(2001), 한 등(2002), 한 등(1997), 허 등(2001, 2002), 황 등(1997), 이 등(2003), 명(2002), 김 등(2003)의 동해 해역의 주요어종에 관한 자료를 검토하여 보았다.

우리나라 동해연안에 분포하는 어류 자원은 약 439종으로 알려져 있으며 이 중 농어목은 193종, 썸뱅이목 83종, 가자미목 31종, 큰가시고기목 13종, 홍어목 11종, 청어목 8종, 흉상어목 7종, 바다빙어목 7종 순으로 나타났다(김 등 2003).

서식수온에 따라 구분하면 냉수성어류에는 연어, 명태, 양미리, 청어, 임연수어, 도루묵, 대구가 해당되고, 온대성 어류는 동해에 출현하는 어류 중 대부분을 차지하나 그 중 중요종은 방어, 고등어, 멸치, 갈치, 전갱이, 농어, 전어이다. 최근 동해에는 아열대성 어류가 그 영역을 넓혀가고 있는데 종 조성도 제주도에서 출현하는 어종과 비슷하다. 그러나 동해의 아열대성 어종은 약 43종 정도로 대부분을 차지한다. 주요 종으로는 자리돔, 붉바리, 다금바리, 옥돔, 벤자리, 빙에돔, 호박돔 등이다(표 5-6).

표 5-6. 동해안에 출현한 주요어류의 서식수온에 따른 구분

구분	어류
냉대성 어류 (7 종)	연어, 명태, 양미리, 청어, 임연수어, 도루묵, 대구
온대성 어류 (7 종)	방어, 고등어, 멸치, 갈치, 전갱이, 농어, 전어
아열대성 어류 (43 종)	자리돔과 3종, 홍감펍, 점감펍, 주홍감펍, 성대, 붉바리, 자바리, 다금바리, 우각바리, 금강바리, 옥돔, 동갈돔과 7종, 만새기, 동갈돔, 벤자리, 청줄돔, 황줄돔, 긴꼬리빙에돔, 양뱅어돔, 빙에돔, 범돔, 살벤자리과 3종, 강담돔, 파랑돔, 호박돔, 놀래기과 8종, 빨간썸뱅이, 노랑썸뱅이

우리나라 동해안에는 최근에 새로운 아열대성 어류의 출현빈도가 높고 더욱이 해양목장 대상해역인 울진해역은 한류와 난류가 교차하는 해역으로 다양한 아열대성 어종이 새로운 군집을 형성하는 곳이다. 따라서 이러한 아열대성 어류는 기존 어류 생태계에 변화를 가져올 수 있고, 이와 같은 현상은 온실효과에 의한 기후온난화 영향과도 긴밀한 연관이 있는 것은 사실이다. 그리고 동해안은 모래와 암반이 잘 발달되어 있기 때문에 모래에 사는 가자미목, 서대류 어류만도 무려 30여종이나 되며 해양목장화 대상어류로 주목받는 암초성 어류의 주요그룹인 썸뱅이목어류가 무려 80여종이나 되는 것도 특징이라 할 수 있다. 따라서 온배수가 주변 생태계에 미

치는 영향을 온난화에 의한 생태계의 변화와 연계하여 충분히 활용할 수 있는 가능성을 예측할 수 있다.

나). 해양목장 조성의 가능성

발전소 가동으로 온배수 확산 및 인근 해역의 관리를 위한 수산활동 제한 구역이 갖는 해양 및 수산자원학적 활용 가치는 다음과 같다(한국전력공사 1999).

취수 및 배수에 따른 주변해역 해수교환 촉진 효과

- 해수교환 효과로 인한 생산성의 극대
- 주변해역의 대상 생물자원 증대를 위한 적지로 평가

온배수 배출은 연안 지역의 수질 개선 효과가 있다. 그러므로 내만에 어장을 조성 자원증대를 유도할 수 있는 최적의 방안이 될 수 있다. 대상해역의 규모와 취수 및 방류 수량에 의한 사전 예측 및 평가를 수반하여 수질 개선에 따른 환경관리 방안과 이로 인한 생산성의 증대 방안이 수립될 수 있다. 나아가 적절한 환경 수용력을 평가하고, 지속적인 생산의 극대화를 유도하고, 관리하기 위한 사전 예측이 필요하고, 적절한 시설 배치 및 생산 관리 기술을 수립함이 바람직하다 .

냉각수 확산 구역의 어류 군집 형성과 성장촉진 효과

일반적으로 우리나라 연안에 서식하는 수산 자원 생물은 소수 몇 종을 제외하고 최근에 들어 기후 온난화에 따른 아열대 및 온수성 어종들이 증가하는 것은 이미 확인된 사실이다. 또한 수온이 비교적 높은 지역에서의 성장 촉진 효과는 다양한 먹이 생물의 분포 및 생체의 대사생리의 활발한 촉진으로 야기되는 당연한 결과로 긍정적인 가능성을 확인할 수 있는 분야로 판단된다.

- 새로운 온수성 및 아열대성 어류 군집 조성
- 성장 및 대사 촉진으로 생산성의 증대 유도
- 온배수 배수구 주변을 초기 성육장으로 활용 가능

예를 들어 울진원자력 온배수 배수호가 타 발전소와 비교할 때 비교적 길고 넓은 지역으로 조성되어 있어 항상 인근 지역보다는 높은 수온과 유속을 유지하고 있다. 따라서 어류를 중심으로 자원 분포 조사를 실시한 결과(한국전력공사, 1999), 위에서 언급한 성육장으로 활용 가능성을 확인한 바 있다. 그리고 온배수가 갖는 수산 자원의 성장촉진 효과를 수산물의 증양식 기술 분야에 적용하여 계절에 구애받지 않는, 종묘 생산, 중간 육성은 물론 친어관리에 의한 산란 촉진 유발, 온배수 확산

구역을 산란장으로 활용, 그리고 온수성 어종의 월동장 등 적절한 이용이 가능하다.

해안 구조물에 의한 환경 개선 효과

발전소 건설에 따른 연안의 여러 형태의 구조물이 설치될 경우 수중에 위치하는 구조물들은 해조류가 자랄 수 있는 인위적인 서식지가 형성되므로 새로운 해조장이 조성되고 이에 따른 주변 어장 환경의 개선으로 긍정적 자원 증대 효과를 기대할 수 있다는 사실 또한 매우 중요한 조건으로 평가되며, 부착생물 등 자원증대 가능성의 의미를 내포한다.

또한, 바닷가에 구조물을 설치할 경우 연안의 패류 흐름의 변동에 의한 주변 퇴적층의 변화 등 서식 환경의 변화 현상도 잘 알려진 사실로 퇴적층에 서식하는 저서 생물상의 새로운 변화도 충분히 예견된다. 따라서 서식 환경변화에 따른 결과를 수산 자원 증식 차원에서 긍정적으로 활용할 수 있는 잠재 가능성 측면을 검토해 볼 가치가 충분히 있다.

- 인위적 해조장 조성 가능
- 기존 암초지역에 새로운 해조장 생성 가능성
- 해조장 조성에 의한 부착생물과 자원생물 증식 효과
- 구조물 주변 저서 퇴적층 변화 유도
- 퇴적층에 새로운 저서생물 군집의 형성
- 퇴적지역을 새로운 어장으로 활용 가능성

이상 언급된 사실들을 적절히 검토하여 구조물 건설을 위해 투입되는 인공 암반에 새로이 생겨나는 해조장과 주변에 모이는 자원생물을 적절하게 관리 한다면 바로 수산자원의 생산성 증대를 이룩할 수도 있다. 그리고 구조물 설치에 따른 해수 유동의 변화가 새로운 주변 퇴적층을 형성하게 되므로 패류를 중심으로 저서생물의 새로운 생육장이 형성된다는 사실 또한 매우 중요한 어업환경 개선 효과로 기대할 수 있다. 따라서 서식 환경의 변화에 따른 결과를 수산자원의 증식차원에서 긍정적으로 활용할 수 있는 해양목장화 사업의 기본여건이 조성된 결과이다.

다). 해양목장의 개념 및 필요성

해양목장의 개념은 자원배양(환경조성, 자원첨가)→양성→어장관리→어획의 과정을 거치게 된다(그림 5-4). 따라서 종전의 어로어업과 비교하면 잡는 어업에서 기르는 어업으로, 자원약탈적 어업에서 환경친화적 어업으로, 어획 통제불가능 어업에서 어획 통제가능 어업으로 바뀌게 된다. 또한 종전의 양

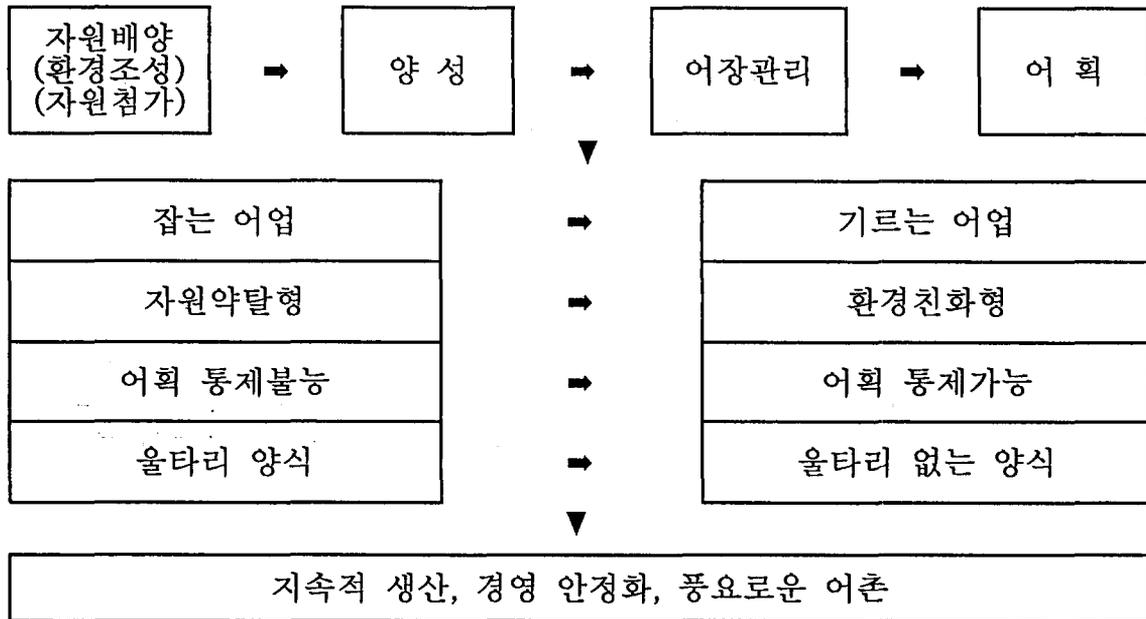


그림 5-4. 해양목장의 개념도.

식어업과 비교하면 특정 수면에 대해서 배타적 독점력을 가지는 울타리 양식어업에서 울타리 없는 양식어업으로 변하게 된다.

우리나라의 연근해어업은 1950년대부터 1970년대까지 급속한 성장을 하게 되었다. 과거의 연안 수역에 한정되었던 어선어업은 그 영역이 점차 확대되어 멀리 일본 및 중국연안은 말할 것도 없고, 동중국해 우리나라 및 남중국해까지도 진출하기에 이르렀다. 이러한 외연적 어장확대와 더불어 일본과 중국 어선들의 어획강도도 높아져 동북아시아 해역은 어업자원이 급격히 감소하고 있다. 우리나라의 경우 1980년대 중반을 정점으로 대부분의 연근해 어업자원이 생물학적 남획상태에 있어 더 이상의 어선어업의 발달은 한계에 봉착하였다고 하여도 과언이 아니다. 1980년대부터는 해산어류를 주종으로 하는 양식업이 시작되어 1990년대 들어 급신장 하였지만, 최근 중국으로부터 값싼 양식물의 대량 수입으로 인한 양식물의 가격하락으로 경제성이 점차 떨어지고 있는 실정이다. 이에 더하여 양식어장의 장기 이용과 관리부실로 인한 연안어장의 오염은 또 다른 문제점을 낳고 있다.

최근의 한·중·일 어업협정으로 인하여 근해역이 좁아지면서 연안어업 자원에 대한 이용도가 높아질 것으로 전망되고 있어 연안어장의 보전 및 자원증대를 위한 특별한 조치가 요구되고 있는 실정이다. 한편 연안어업은 어장의 특성상 특정 개인

에 의한 배타독점적인 이용이라든가 대규모 어업이 불가능한 형태이다. 따라서 근해어업의 발달, 연안의 오염가중, 양식업의 증가 등으로 인한 연안어장의 생산성 저하는 연안 어업인들의 소득기반 상실과 동시에 어촌사회의 생존기반을 무너뜨리는 결과를 초래할 수도 있다.

세계 연안국은 1870년대부터 연안어장의 생산성 저하를 막고 연안 자원의 복원을 위해 자국 내의 연안자원 조성 및 복원에 많은 노력을 기울이고 있다. 특히 일본이나 미국, 캐나다, 영국, 노르웨이 등에서도 연안어업 자원의 복원을 위해 많은 투자를 하고 있다. 우리나라의 경우 국민소득이 증가와 주 5일제 근무에 따른 레저 및 관광의 시간이 증대됨에 따라 산과 바다를 찾는 국민들이 폭발적으로 늘고 있지만, 현재 우리나라의 산은 대부분 초과수요 상태로 더 이상 신규 수요에 대응할 수 없는 상태이다. 따라서 바다로 많은 여행객들이 몰려들고 있으나, 연안의 자원상태가 나빠 국민들의 기대에 부응하지 못하고 있다.

우리나라도 1970년대부터 연안의 수산자원을 조성하기 위한 방안으로 인공어초 시설 사업과 수산종묘의 방류사업을 실시하고 있으나 그 효과는 미미한 실정이므로 우리나라 연안자원을 적극적으로 조성하기 위해 해양목장 사업이 필요하다.

라). 해양목장 조성사업 추진 절차

동해안에 위치한 울진원자력발전소를 대상으로 1990년대에 들어와 온배수의 유효 이용이라는 측면에서 육상 양식기술 개발에 많은 성과를 바탕으로 미래지향적이며 환경친화적인 온배수 활용 방안, 즉 “발전소 온배수 확산해역의 해양목장 조성 기술 개발”(한국전력공사, 1999)과제가 이미 수행되었다.

해양목장 조성을 위한 사업 추진전략은 3단계로 나누어 실시한다. 1단계는 3개년으로 목장 기반조성 단계, 2단계는 3개년으로 목장 조성단계, 그리고 3단계는 3개년으로 사후관리 단계이다(표 5-7).

2). 울진원자력발전소를 모델로 한 구체적 해양목장 조성 방안

가). 해중립 조성

발전소 주변 온배수 확산해역의 수심이 5 내지 10 m미만의 대부분의 암반 및 수중시설물 지역을 대상으로 해조장을 조성하고, 수심이 10 m 이상으로 깊은 곳은 자연암반이나 인공어초에 감태, 팽생이모자반 등 다년생 해조류 군락을 조성한다.

표 5-7. 해양목장 사업 추진을 위한 단계별 사업

구 분	1 단계	2 단계	3 단계
기 간	1996-1999 (3개년)	(3개년)	(3개년)
목 표	해양목장 기반조성	해양목장의 적용	해양목장의 실용화 및 사후관리·효과분석
주 요 내 용	<ul style="list-style-type: none"> · 환경수용력 평가 · 대상생물 선정 및 평가 · 자원 관리 기술 개발 · 어장조성 기술개발 및 도입 · 사전 사회경제적 타당성 및 제도적 지원체제 분석 	<ul style="list-style-type: none"> · 환경관리 및 모니터링 시스템 적용 · 대상종 방류 및 행동특성 조사 · 자원 관리 기술 적용 · 어장 및 자원조성을 위한 시설 실효역화 · 투자전략 수립 및 바다목장 이용·관리 방안 수립 	<ul style="list-style-type: none"> · 사후관리 및 효과 효과조사 · 방류종의 어획관리 · 홍보와 연계한 사업 계획 수립 · 자원관리 기술의 실용화 · 사후 투자효과 분석 및 종합개발계획 수립

올진원자력의 경우 이미 1단계 기반조성 사업을 완료한 상황임

지금까지 진행된 해중립 조성기술을 바탕으로 다년생 해조류를 인공종묘생산 후 현장에 이식하는 인위적인 해중립 조성방법과 자연부착을 유도하는 효과가 탁월한 인공어초를 함께 시설하여 자연산 해조류 포자의 부착은 물론 인위적으로 조성된 해중립에서 생산되는 포자를 부착시키는 핵조장을 조성하고 주변에 다양한 부착기질을 설치하는 방법이 효과가 있을 것으로 판단된다(그림 5-5).

나). 해중립 및 어패류 복합어정 조성

동해지역의 해양목장 해역은 다른 해역과는 달리 투명도가 높아 20m의 수심에도 햇빛이 도달하기 때문에 감태나 모자반 등 다년생 해조류가 서식하는 제주해역의 특성을 바탕으로 해중립과 어패류를 복합적으로 증가시킬 수 있는 어장조성이 필요하다. 이와 같은 어장조성을 위해 개발된 정자형 다목적 인공어초를 시설하여 상부에는 해중립을 형성하고 하부에는 볼락, 돌돔 및 도다리와 같은 중·대형 어종이 서식할 수 있도록 하였다. 다목적 인공어초 어장 주변으로는 먼구조와 크고 작

은 공간을 제공할 수 있는 어초를 시설하여 해조류의 부착율을 높일 수 있도록 하는 한편 본 어초어장으로부터 약 50 m 떨어진 사방에 다양한 공간을 제공하여 어초 정착성 어종 뿐만 아니라 어초와 다른 어장을 왕래할 수 있는 어종이 서식할 수 있도록 시설하는 것이 좋은 효과를 나타낼 것으로 판단된다(그림 5-6).

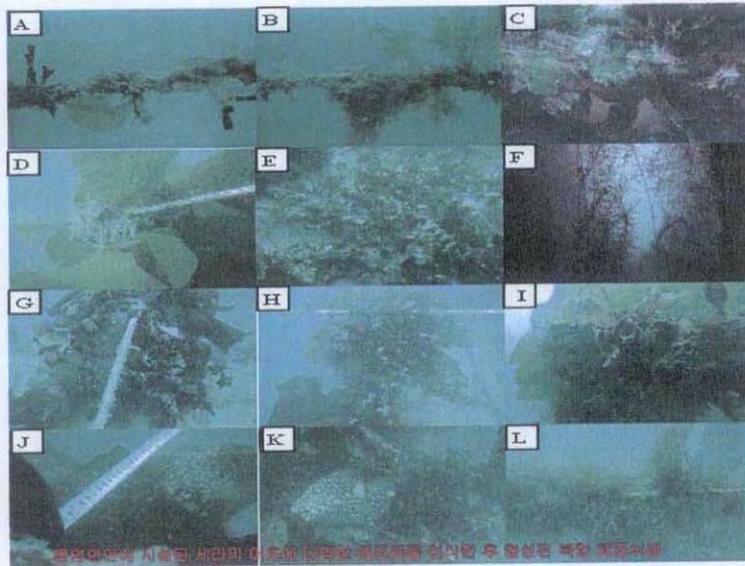


그림 5-5. 해중립 어장조성 사진(한국해양연구원 2004).

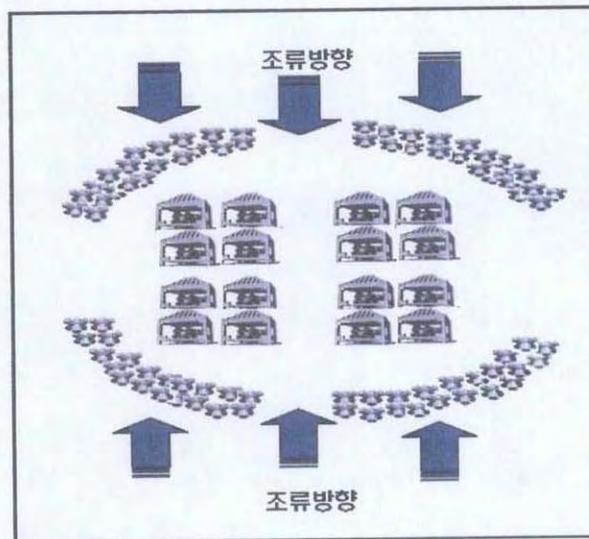


그림 5-6. 어패류 복합자원 조성어장 모식도(한국해양연구원 2006)

다). 어류 자원조성

어류자원 조성을 위한 어장 형성은 주요 아열대성 및 온수성 어종을 중심으로 우선 온배수 배수로가 기본적 기능을 수행하고 있고, 발전소 가동 이래 오랜시간 동안 기본적 어장이 조성되고 있는 1단계 해양목장 기반조성 사업에서 확인된 사실이다 (한국전력공사 1999). 따라서 어류자원 조성어장은 현재의 여건을 충분히 활용하는 차원에서 자원조성 사업이 진행되어야 할 것이다.

기존의 주변에 투하된 어초군과 연계할 수 있도록 설계하거나 또는 해양목장의 어류자원 증가를 목표로 하여 집중적인 시설이 필요할 것으로 생각된다. 따라서 어초시설이 가능한 면적을 최대한 활용하고 어초시설 효과를 높이기 위해 온배수 배수로 입구와 접하는 주변해역에 집중적인 시설을 하며, 또한 각 어초단지의 간격도 최대 약 100m를 넘지 않도록 시설하여 각각의 어초단지가 서식생물을 위한 상호 보완적인 역할을 담당할 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 각종 중소형 어류의 위 집효과는 좋으나 먹이생물의 부착효율이 낮은 강제어초와 각종 부착생물의 부착효과가 좋은 콘크리트로 제작된 사각어초를 혼합적으로 시설함으로써 각 어초의 장점을 최대한 활용할 수 있도록 시설하는 것이 다양한 어류의 서식에 좋은 효과를 나타낼 수 있을 것으로 사료된다(그림 5-7).

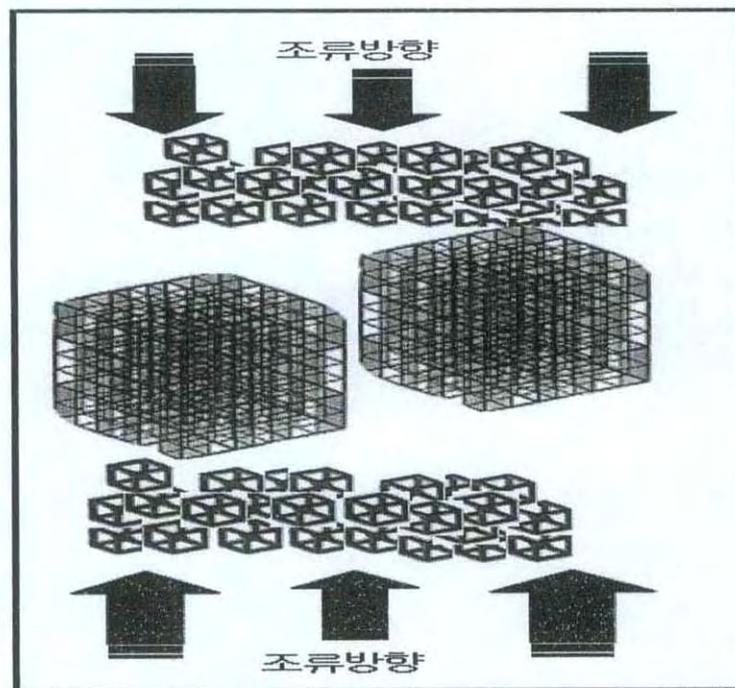


그림 5-7. 어류자원조성 어장 모식도(한국해양연구원 2007).

라). 입체적 어장조성 및 활용

결론적으로 해양목장 조성은 은배수 확산해역을 입체적으로 활용하려는 의도로 시작된다. 해양목장 사업의 기본 목적은 기존의 해상가두리 양식이나 종묘를 육성하여 일정한 크기로 성장하면 바다에 방류하는 방법과는 달리 은배수가 확산되는 일정한 해역을 중심으로 대상해역의 특성과 어류를 비롯한 유용 생물자원의 생태·습성에 고려한 적합한 인공어초, 바다숲(해조장)을 설치하여 어장을 조성하고, 어린 고기를 모으고 그들에게 좋은 조건에 성육장을 조성하여 목장 내에서 정착하게 하여 최소 성숙체장 이상이 되면 자연적으로 주변 해역으로 확산되어 새로운 연안어업 자원으로서 가입을 유도하는 울타리 없는 목장의 형태로 방목을 유도하는 새로운 어업생산 방식을 창조하는 것이다(해양수산부 2005).

본 연구에서는 상기와 같은 해양목장의 목적을 성취하는 한편 목장 주변 어업인의 지속적 소득원 확보를 최종 목표로 입체 어장조성을 조성하려는 것이다. 본 입체어장의 조성은 수심은 10m 미만에서부터 40m 이상까지 다양한 범위를 활용 범위로 갖고 있다. 따라서 연안에는 해중립 어장을 조성하고 가운데에는 연안의 해중립과 연계하여 해중립·어패류 복합어장을 조성하며 수심이 40m 이상인 근해에는 중층해역을 활용할 수 있는 어장을 조성하여 연안에서부터 근해까지 연계할 수 있도록 해역을 활용하는 입체어장 조성이 필요한 것으로 판단된다.

마). 해양목장을 발전소 홍보에 활용 방안

발전소의 기업 이미지 개선 차원에서 해양목장을 활용하는 방안을 다음과 같이 제시하고 검토하기로 하겠다.

- 발전소 은배수의 유용성을 입증하는 차원에서의 친수공간
- 발전소 은배수를 활용한 환경친화적 친수공간
- 발전 시설 보호를 위한 연안 방재 차원의 친수공간
- 연안 수산 자원 개발 및 보전 차원의 친수공간
- 지역 어민소득 증대 차원의 친수공간
- 관광 사업과 연계된 주민 소득증대 차원의 친수공간
- 연안 환경 정비 차원에서의 친수공간
- 21세기 미래 해양 지향적 친수공간

3). 해양생태공원

온배수 확산해역의 해양목장화 사업은 조성된 어장을 지역의 관광 자원화는 물론 발전소의 환경친화적 기업의 이미지 구축을 위한 홍보를 위한 대상으로 활용하려는 시도도 병행됨이 바람직 할 것이다. 따라서 발전소가 환경친화적 기업으로의 이미지 홍보에 주안점을 맞추어 미래지향적으로 바다 속에 조성되는 해양목장을 하나의 테마로 육상에 필요한 홍보 시설과 연계하여 대단위 해양생태공원으로 단지화할 수 있는 가능성을 내포하고 있다. 발전소 주변 주민들은 물론이고 일반 국민들에게 발전소 온배수의 실체를 이해시키고 흥미와 관심을 유발할 수 있는 ‘온배수 해양생태 공원’을 조성하는 것도 바람직할 것이다(김 2003). 즉, 바다라는 기본자원에 더하여 온배수로 유인되는 생물자원을 추가하여 이를 체험방식의 6개 주제공원(만남의 장, 체험의 장, 확인의 장, 믿음의 장, 사랑의 장, 및 희망의 장)으로 관련시설을 한 곳에 조성하여(그림 5-8), 국민들이 와서 보고 즐기며 믿음과 희망을 가질 수 있는 테마 파크를 조성하면 효과가 크리라 생각된다.

이와 같은 해양생태 공원의 조성은 일반 국민들에게 온배수가 갖는 환경생태적 특성을 이해시키고 온배수를 이용 가능한 또 하나의 자원으로 인식시키는데 기여할 수 있을 것이며, 지금까지 열거한 여러 온배수 이용 방안들을 실제로 확인할 수 있는 체험적 공간이 될 수 있다. 특히 최근 주 5일 근무제 시행과 함께 전국적으로

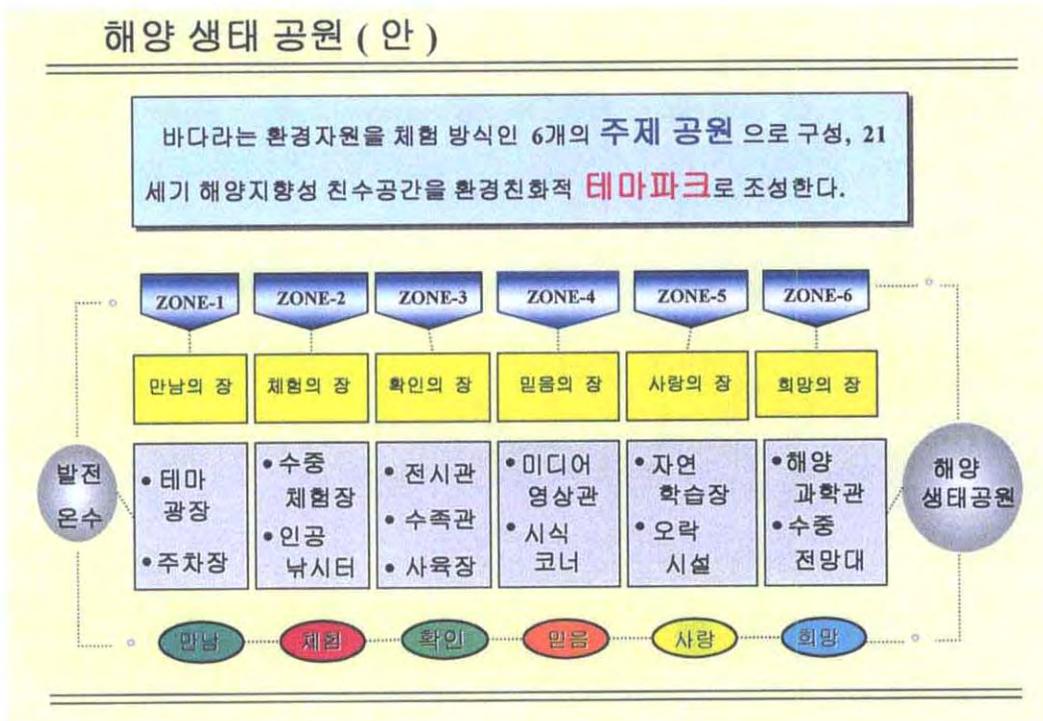


그림 5-8. 온배수 확산해역의 목장화사업과 연계한 해양생태공원.

생태체험관광이 각광을 받고 있는 추세이므로, 발전소의 해양생태 공원을 포함하여 발전소 주변 지역의 명승지를 연계하는 관광 프로그램을 개발하면 '상호 부조' 측면에서 온배수 문제와 얽힌 갈등해소는 물론 상호 부조적 측면에서도 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

나. 온배수를 이용한 수산양식

온배수는 어떠한 오염물도 첨가되지 않은 순수한 바닷물로 다만 자여해수에 비하여 수온만 다소 높다. 따라서 온배수를 가장 보편타당하게 활용할 수 있는 가능성이 수산양식이라는 사실은 누구나 인정할 수 있는 사실이다. 물론 냉각계통 내의 오손생물 방제를 위하여 사용하는 화학물질 특히 어류에 치명적인 염소가 온배수에 남아 있을 가능성이 있지만, 규정과 절차에 맞추어 염소처리(chlorination) 한다면 수산양식에 아무런 문제가 없다.

발전소에서 배출되는 온배수를 이용하게 되면 효과적으로 어류를 월동(越冬)시킬 수 있을 뿐만 아니라 저수온기에도 성장을 지속시킬 수 있다. 그런데 겨울철의 저수온기에 어류나 무척추동물을 양식하려면 수온을 인위적으로 높여 주어야 하고, 여기에 소요되는 비용이 생산 원가의 상당한 부분을 차지한다. 따라서 온배수를 이용하여 수산생물을 양식하게 되면 육상이나 해면양식에서 성장이 빠른 이점도 있지만, 특히 시설하우스의 가온(加溫) 시설에 들어가는 비용 절감에 크게 기여하는 효과를 거둘 수 있다.

이의 실행을 위해서는 어류나 패류 또는 해조류 가운데 유용한 수산생물을 대상으로 온배수를 이용하여 성장을 촉진시키는 효과에 대하여 충분한 시험연구를 거치고, 우리나라의 실정에 맞도록 종묘생산 및 양성과정을 거쳐서 양식장을 조성하는 것이 바람직하다. 다만 발전소에서 방출되는 온배수의 방출량, 세기, 수심에 따른 확산정도, 계절에 따른 변화 등 해양환경의 변동을 세밀하게 파악하는 것이 선결 조건이 되어야 한다.

1). 고수온 양식 해조류 품종 개발

해조류는 오랜 역사를 두고 우리 민족에게 있어 중요한 식용 자원이 되어 왔으며, 학계에 발표된 자료에 따르면 우리나라에서는 87종의 해조류가 식용으로 이용되는 것으로 집계되었다(오 등 1990). 다양한 해조류 가운데 특히 김, 미역, 톳, 다시마 등이 주요 양식종이 되고 있으며, 1999년의 경우 우리나라 천해양식어업에서

해조류가 차지하는 비율은 생산량이 60% 이상 그리고 금액이 30% 가량이다(해양수산부 2000).

이들 양식 해조류 가운데 주류를 이루는 김과 미역의 경우를 예로 들어 생장에 필요한 온도 범위를 살펴보면 다음과 같다(강과 고 1977).

먼저 김의 경우, 가을이 되어 수온이 22℃ 전후에서 15℃ 정도까지 저하하는 기간이 발아기이며, 15℃ 이하가 되면 생장기에 들어가고 온도가 차츰 더 내려감에 따라 매우 무성하게 자라서 최성기로 된다. 이 경우 김의 수확 정도로 보아 5~8℃가 생장 적온이라 할 수 있으며, 그 하한은 4℃이다. 이후 봄이 되어 수온이 12~13℃가 되면 생육이 그치게 된다. 김의 생육 초기에 수온이 15℃ 이하로 떨어져서 안정되기 전에는 갯병의 우려가 많아 안심되지 않으므로, 김 양식에서는 '15℃ 한계'를 중요시하고 있다.

한편 미역의 엽체 역시 가을부터 자라서 봄까지 성숙한다. 성숙한 엽체의 생장은 12℃보다 낮은 온도가 적합하고, 5~10℃가 최적 생장 조건이다. 따라서 미역의 성엽이 생장하는 겨울에 자연 해수의 온도가 이상 고온 현상을 나타내거나 또는 온배수가 성육장으로 확산되면 정상적인 생장을 기대하기 어렵게 된다.

바로 이러한 점 때문에 그간 발전소 주변의 해조류 양식장에서 온배수로 인한 피해 소송이 끊임없이 반복되었는데, 만일 온배수 확산구역과 같은 고수온 환경에서도 양식할 수 있는 해조류 품종을 개발한다면 발전소 온배수 문제 해결에 도움이 될 것으로 기대된다.

그 한 예로 다시마(*Laminaria japonica*)는 일본의 경우 자연 상태에서 북위 40도 이북의 북해도 주변 차가운 해역에서만 자라는 종류인데, 중국에서는 다시마를 수온이 높은 난대역에서 자랄 수 있도록 하는 품종개량 연구를 국가적 사업으로 추진하여 왔다. 그 결과, 겨울철 수온이 10℃에서 13℃까지 올라가는 푸젠(福建)성을 포함하여 북위 25도 내외의 화남(華南) 지구에서도 다시마를 양식하게 되었으며, 지금은 이들 난대역에서 중국 전체의 약 1/3에 달하는 다시마를 양식하고 있다(Wu, 1998). 중국의 다시마 양식 사례에서 볼 수 있듯이 온배수확산구역에서 양식할 수 있는 고부가 해조류의 품종 개발과 보급이 절실히 요청되고 있다.

2). 어류양식

가). 온배수 이용 어류 양식 개요

어류는 변온동물로 서식환경의 수온변화에 따라 체온이 변한다. 포유류를 포함하

는 항온동물은 체온 유지를 위하여 많은 에너지를 소모하고 있지만, 어류는 체온과 환경온도가 같기 때문에 체온유지를 위하여 에너지를 소모하지 않는다. 즉, 항온동물이 체온 유지에 소모하는 에너지에 상당하는 부분을 변온동물은 성장에 더 사용할 수 있기 때문에 먹이효율이 높다. 이는 동물성 단백질 생산에 있어 소, 돼지나 닭 등 항온동물 사육보다 변온동물이 어류를 양식하는 효율적임을 말해준다.

온배수를 이용하는 양식장은 육상 수조식과 연안 방류 또는 가두리식으로 발전소마다 여건에 맞게 시설할 수 있다. 겨울철 동안의 온배수를 이용한 종묘생산과 양성은 가온 시설의 경비를 줄일 수 있으므로 가격 경쟁면에서 특히 유리하며, 수면적이 일정면적(예: 1천 평) 이상 확보되면 자체적으로 생산성을 높일 수 있기 때문에 안정적으로 양식장을 운영함으로써 어민들의 소득을 증대시킬 수 있다.

온배수를 이용하는 양식장의 조성은 가장 확실하게 효과를 거둘 수 있는 방안이므로, 원자력발전소는 물론 화력발전소에 이르기까지 온배수를 방출하는 모든 발전소에 대하여 온배수 이용 양식장의 조성을 의무화하도록 법령을 제정할 필요가 있다. 이러한 양식장은 지역협력사업의 일환으로 전력회사가 그 모든 경비를 부담하여 건설하고 기증한 다음 온배수를 무상으로 공급함으로써, 지역 주민들에게 실질적인 혜택이 돌아가도록 하여야 할 것이다.

우리나라에서 온배수를 이용한 어류양식은 이미 1983년부터 시작되었으며, 1984년 삼천포화력발전소 온배수를 이용한 진주조개 월동실험을 성공적으로 수행하였다(한해연 1985). 1988년 보령화력발전소, 1994년 영광원자력발전소 그리고 1998년 월성원자력발전소에 온배수 양식장에 건설되어 성공리에 가동 중에 있다(표 5-8). 월성원자력발전소 온배수양식장은 준 상업적 규모이다.

온배수를 이용한 수산양식의 기본 개념은 온배수를 재활용하여 창출되는 이익을 공익적 개념을 바탕으로 우선 지역 어민들에게 전달하는 가능한 방법을 채택하여 실현하는 단계를 의미한다. 즉 광역자치단체에 소속되어 있는 수산연구소의 부속기관형태로 온배수를 이용한 종묘를 지역 해역에 방류하고, 나아가 지역 여건에 맞는 신품종어종의 생산기법 등을 시험사업 측면에서 온배수를 활용하여 개발하는 것이다.

한편 온배수를 이용한 상업적 규모의 수산양식이 시작될 경우 이익 분배에서 지역어민들이 배제될 가능성이 있다. 따라서 온배수를 이용한 수산양식의 주체는 어촌계를 비롯한 지역주민의 공동체가 되어야 할 것이다(표 5-9). 또한 기존 발전소 주변에는 육상양식장 건설을 위한 부지가 절대적으로 부족하여 온배수를 이용한 수산양식에 걸림돌이 되고 있는바, 발전소 부지확보 단계에서 이를 위한 부지가 별도로 확보되어야 할 것이다.

표 5-8. 우리나라 온배수를 이용한 수산양식 연대기

구분	시기	장소	이용방법	비고
태동기	1964. 11	감천화력	온배수확산구역	진주조개 월동
	1983~1990	영동화력	육상수조	넙치양식
	1994~1997	삼천포화력	온배수확산구역	방어, 진주조개 월동
			육상수조	진주양식
성숙기	1988~1993	보령화력	육상수조	어류, 갑각류 종묘생산
	1994~1997	영광원자력	육상수조	성어양식
발전기	1998~2000	월성원자력*	육상수조	종묘생산, 성어양식
	2000~현재	발전소 온배수 양식장 시설 확충, 민간기업 참여		

* 준 상업적 규모 온배수 양식장으로 참돔, 넙치, 전복 종묘생산 및 시장구격의 성어생산 가능

표 5-9. 온배수 이용 양식사업의 형태 비교

	공익적 활용	상업적 활용
사업주체	어민공동체, 광역자치단체	기업
운영형태	수산연구소 부설 및 어촌계 공동어장	기업화 양식
시설규모	< 2,000평	> 2000평 이상 대규모
부지확보	발전회사, 어민협조	기업
생산품목	방류용 및 대어민 보급용 수산종묘, 성어양식	고부가 수산물
파급효과	지역주민 소득증대, 자원 증대	기업이익, 국제경쟁력 향상, 단 생산물량 시장교란 가능성 있음

나). 온배수이용 고부가 어종 선정

우리나라의 어류양식 기술은 세계적 수준이지만, 중국산 양식 어류의 무분별한 수입으로 많은 곤란을 겪고 있다. 온배수를 이용하여 양식 가능한 온수성 고부가 어종의 개발은 온배수 재활용뿐만이 아니라 우리나라 양식업의 활로를 열어주는 좋은 방안으로 생각된다. 우리나라의 현재의 기술수준으로 가능하거나, 단기간의 기술개발로 온배수를 이용한 산업적 양식이 가능한 대표적인 온수성 고부가 어종은 민어, 돌돔, 능성어, 바리과어류와 대형갑각류인 톱날꽃게 등이 있다. 이들 열대성 어종은 기존의 양식시설을 활용하여 고밀도 양식이 가능하여 수익성이 좋을 뿐만 아니라, 온배수의 유익성을 홍보하는 효과도 얻을 수 있다.

민어(*Miichthys miiuy*)

민어(*Miichthys miiuy*)는 농어목(Perciformes), 민어과(Sciaenidae)에 속하며, 민어과 어류는 소형에서 대형에 이르기까지 형태가 다양하다.

몸은 길고 측편되어 있으며 머리끝이 뭉툭하다. 몸은 전체적으로 어두운 흑갈색을 띠지만 배쪽으로는 밝은 회백색이다. 등지느러미 극조부는 어둡고 연조부는 무색으로 바탕에 2줄의 검은색 띠가 나타난다. 가슴지느러미와 꼬리지느러미는 검고, 배지느러미와 뒷지느러미는 연한 황색을 띤다.

동중국해 일본 남부, 한국 서해와 남해 등에 분포한다. 수심 40-120m의 빨 바닥에서 주로 서식하며 낮에는 저층에서 생활하다 밤이 되면 위로 올라온다. 이 종도 계절 회유를 하는데 가을에는 제주도 근해에서 월동을 하고 봄이 되면 북쪽으로 이동을 한다. 산란 시기는 7-9월이며 산란기에는 특이하게 부-부-부-음을 내면서 주로 야간에 산란한다. 1년생은 전체 몸길이가 33cm까지 성장하며, 2년생은 43cm, 3년생은 51cm, 4년생은 56cm, 5년생은 60cm, 6년생은 63cm 성장한다. 3년생이 되어야 성숙되어 산란을 할 수 있다. 먹이는 주로 새우류, 게류, 작은 어류 등의 저서생물들을 먹는다.

돌돔(*Oplegnatus fasciatus*)

돌돔은 농어목 돌돔과(Percoidae)에 속하는 종으로 일본, 중국, 필리핀 및 우리나라 제주도 및 남해안에 분포하는 고급 어종으로, 최고의 낚시 대상종이다. 여름철에는 동해안 영덕과 서해안에서는 대천까지 북상하기도 한다. 온수성으로 수온 20℃ 이상이 되어야 활발하게 활동하며 남해안에는 6월~9월에 많이 나타난다.

몸과 머리는 모두 옆으로 몹시 납작하고, 체고는 높으며 몸의 길이는 짧아 체형은 난원형이다. 머리는 작고, 눈도 작으며, 주둥이는 눈의 지름보다 길고 그 끝은 뾰족하다. 입은 주둥이의 끝에 열리며 작고 아래턱과 위턱의 길이는 거의 같다. 등지느러미는 극조부와 연조부가 구분되며, 꼬리지느러미의 끝은 가운데가 약간 오목하다. 체색은 밝은 회흑색 바탕에 몸의 옆면에는 눈, 아가미 구멍, 등지느러미 극조부의 중간, 뒷지느러미의 기점, 등지느러미의 연조부의 중간 그리고 꼬리자루를 지나가는 검은 색 띠가 있고, 지느러미에도 확장된다. 이 띠무늬는 완전히 성장하면 거의 없어지며, 몸 전체가 회흑색이고 눈의 앞부분 머리는 검은 색으로 변한다. 등지느러미의 극조부는 밝은 색이나 연조부, 뒷지느러미 그리고 배지느러미는 검다.

돌돔은 연안의 암반지역에 서식하는 잡식성 해조류도 섭이하지만 단단한 떡과 이빨을 가지고 있어 주로 성게류와 조개류의 껍질을 깨물어 속살을 먹는다. 최대 80cm까지 성장하기도 하지만 800g~1kg 급 개체가 가장 가치가 높다.

능성어((*Epinephelus septemfasciatus*)

능성어는 농어목 바리과(Serranidae)에 속하는 종으로 우리나라 남해안을 비롯하여 일본, 대서양, 인도양 등지에 분포한다. 여름철에 동해 남부해안과 남해안에 1년생 이하의 작은 개체가 출현하며, 성어는 제주연안에 주로 출현한다. 몸은 방추형으로, 주둥이 끝이 뾰족하고, 빛깔은 자색을 띤 연한 회갈색으로 옆구리에 7줄의 흑갈색 띠가 가로 그어져 있는 것이 특징이다. 이 종은 체장 90cm 이상으로 성장하며, 맛이 좋아 최고급 횡감으로 5kg 이상의 대형어는 1백만원 이상에 거래되고 있다.

능성어는 열대성 어종이지만 상대적으로 낮은 수온에 내성이 강한 종으로 온배수를 이용하여 성성숙 주기를 조절할 수 있으며, 연중 성장효과를 얻을 수 있는 종이다. 능성어 종묘생산 및 양식시설은 일반 어장과 동일하기 때문에 간단한 시설보완으로 부가가치 높은 능성어 종묘생산 및 성어양성을 할 수 있다.

다만, 능성어는 암컷으로 성장하여 일정한 크기가 되면 수컷으로 성전환 하는 자성선숙형(雌性先熟型)으로 부화 후 7~9년이 지나야 수컷이 된다. 따라서 아직 능성어 종묘생산이 어려운 완전 양식이 이루어지지 못하고 자연에서 체포 한 소수의 어린개체를 1~2kg으로 양성하여 출하하는 수준에 머물고 있다. 자연에서의 주산란기는 5월로 알려져 있다.

바리과(Serranidae)

능성어 이외의 바리과 어종 중 남태평양에 분포하는 어류들도 훌륭한 온배수 양식 대상종이 될 수 있다.

바리류는 국제적으로도 이미 알려져 홍콩, 호주, 말레이시아 시장에서 활어로 유통되고 있으며 대체로 US\$20~80/kg의 고가로 유통되고 있다(한해연 2002). 외형상 제주도의 자바리와 매우 유사한 일부 종은 이미 국내 제주도 활어시장에 수입되어 유통되고 있다.

남태평양 산 바리과 어류 중 *E. polyphekadion*, *E. micodon*, *Cephalopholis miniata*, *Plectropomus oligacanthus*와 제주도에 서식하는 자바리(다금바리, *Epineohelus bruneus*)와 붉바리(*E. akara*)도 종묘생산 기술이 개발 된다면 좋은 대상종이 될 수 있다.

톱날꽃게(*Scylla serrata*)

톱날꽃게는 절지동물문(Phylum Arthropoda), 갑각강(Class Crustacea), 십각목(Order Decapoda), 꽃게과(Family Portunidae)에 속하는 비교적 대형 게로 망그로브크랩(mangrove crab)으로 널리 알려져 있다. 이 종은 동서로는 아프리카 동부해안에서 하와이를 거쳐 중국의 동남해안까지, 남북으로는 호주의 중북부에서 일본의 남부해안에 이르기까지 광범위하게 분포한다. 현재 필리핀, 인도네시아, 호주 등에서 초기 산업화 단계의 종묘생산을 시작하였으며, 해양연구원에서 마이크로네시아산 톱날꽃게를 국내에 반입하여 종묘생산에 성공하였다(한해연 2007).

톱날꽃게는 잡식성으로 우리나라에서 상업적으로 많이 생산되는 새우 및 어류 사료를 포함하여 생사료(잡어)로 양식이 가능하다. 톱날꽃게는 일반 어류양식수조에 간단한 공식방지사설을 갖추어 고밀도로 사육할 수 있다. 따라서 겨울철 저수온기에 톱날꽃게의 종묘를 생산하여, 수온이 상승하기 시작하는 6월 초 갑장 2~3 cm 크기의 종묘를 지역주민에 분양할 경우 당해 저수온기가 시작되는 11월까지 온배수를 사용하지 않고도 8~10 cm로 양식이 가능하다. 이때 선별하여 1차 출하하고, 잔여 개체는 온배수를 이용하여 월동기 양식할 경우 이듬해 종묘분양 전까지 갑장 12 cm 이상의 개체를 출하할 수 있다.

다. 온배수를 이용한 시설농업

온배수를 시설농업 분야에 이용하는 것은 수산업 분야와 비교할 때 경제적 가치 측면에서 가능성은 매우 낮지만, 현재의 고유가 기조가 지속된다면 충분한 경제성이 있다. 현재 고유가 현상으로 시설농가의 경영이 매우 어려워지고 있으며, 이미 작목별 수급 불균형 현상이 나타나고 있다. 따라서 온배수를 시설농업의 난방 에너지원으로 활용할 수만 있다면 유가의 영향을 받지 않고 안정적인 상태에서 영농할

수 있다.

발전과정에서 얻어지는 온배수는 폐열이지만 재활용이 가능한 열에너지이다. 현재 수산분야에서는 양식사업과 관련하여 지속적인 연구가 수행되고 있고, 일부 어종에서는 실용화 단계에 있다. 한편 온배수를 상업적으로 농업분야에 이용하는 사례는 찾아보기 어려우며, 기술개발 연구도 아직은 미미한 수준이다. 제1차년도 사업을 통하여 온배수를 활용한 수산 양식 분야에 활용 가능성을 상세히 언급하였기에 생략하고, 본 년도에는 시설 농업을 중심으로 적극적 활용 가능성을 기존자료를 중심으로 검토하기로 한다.

온배수에 포함된 에너지를 재활용 차원에서 시설농업의 난방에 이용할 수 있다면 시설농업의 경제성 향상에 크게 기여할 것이다. 특히 현재의 고유가 기조가 지속되는 점을 감안할 때 그 효과는 더욱 크다고 생각된다. 물론 온배수를 시설농업의 난방에 이용하기 위해서는 배수구로부터 온실까지 배관설치 등 추가시설이 필요하며, 이러한 추가시설을 감안하고도 경제성이 확보되어야 가능하다.

지금까지 온배수의 농업적 이용에 관한 연구는 그다지 많지 않지만 상치, 토마토, 들깨, 국화, 장미 등 농작물과 원예작물 재배에 온배수 사용이 가능하다는 것이 밝혀져 있다(이 등 1992, 서 등 1997).

정부는 시설원에 부문을 국제경쟁력을 갖춘 자본·기술집약적 산업으로 육성하기 위해 시설 현대화사업에 대한 지원을 강화하여 왔다. 원예작물 재배시설은 자동화 비닐온실 및 경질판유리 온실 등 인위적 환경관리가 가능한 방향으로, 그리고 고비용·고효율·에너지 다소비적인 대규모 시설로 발전하고 있다. 원예작물의 생육에 가장 큰 영향을 미치는 환경은 온도이고 이러한 온도조절 수단으로써 시설물의 난방은 매우 중요하다. 1960년대 중반부터 온실의 온풍난방을 위하여 석유온풍난방기가 도입되었다. 온풍난방은 가장 재래식이자 효율적인 난방 방법으로 화석연료를 태워 온실의 공기를 가열하는 것이다. 두 차례의 석유파동을 거치면서 재생에너지 기술과 에너지원의 다양화를 위한 연구가 많이 진행되었지만, 아직 화석연료 이외의 에너지를 시설농업에 이용하는 것은 기술적, 경제적으로 해결해야 할 문제가 많이 남아 있다.

온수난방은 더운 물을 배관을 통하여 공급하여 온실의 공기를 간접적으로 가열하는 것으로 제한된 특정 온도 조건에서 자라는 특화작물의 재배에 이용되는 방법이다. 온수난방에 사용되는 더운 물을 온배수로 대체하면 온배수난방이 된다. 온수난방은 온풍난방에 비하여 설치비가 높을 뿐만 아니라 시스템 전체의 열효율도 낮기 때문에 운전경비가 높은 비율을 차지하며, 높은 염분에 부식되지 않는 재질로 배관해야 하기 때문에 추가 비용이 필요하다(표 5-10).

표 5-10. 온풍난방과 온수난방의 비교

	장점	단점
온 풍 난 방	<ul style="list-style-type: none"> · 설비비가 저렴함 · 예열 시간 짧고, 온도 빨리 상승. 	<ul style="list-style-type: none"> · 시설 내 온도변화가 큼 · 가동 중지시 급격한 온도 저하
온 수 난 방	<ul style="list-style-type: none"> · 시설 내 온도변화가 완만 · 가동 중지시 일정 시간 실온 유지 	<ul style="list-style-type: none"> · 설비비가 과다 · 장기간 예열 필요. · 열효율이 낮음.

작물의 생육온도는 최저온도의 한계범위가 가장 먼저 고려되어야 한다. 겨울철에 별도의 난방 시설 없이 온배수만을 이용하고자 할 때 작물별 최저온도보다 높은 열 에너지를 취하지 못할 경우 온배수 이용은 불가능하다. 대부분의 과채류는 생육적 기온이 25°C 전후이나 야간온도는 작물에 따라 차이가 크다(표 5-11).

표 5-11. 주요 시설작물별 생육 적온과 한계온도

단위: °C

		낮기온		밤기온		지온
		최고한계	적온	적온	최저한계	적온
과채류	토마토	35	20~25	8~13	5	15~18
	가지	35	23~28	13~18	10	18~20
	오이	35	23~28	10~15	10	18~20
	멜론	35	25~30	18~23	15	18~20
	딸기	30	18~23	5~10	3	15~18
화훼류	장미	35	23~27	15~18	5	17~22
	국화	30	18~22	16~17	5	18~23
	카네이션	30	15~25	10~12	5	18~23
	거베라	35	16~20	10~16	5	15~22
	시클라멘	30	16~22	10~16		18~23

비닐하우스 재배작물의 야간 최저 한계 온도는 딸기, 토마토 등을 제외하면 모두 10℃ 이상으로 온배수의 최저온도에 따라 이용가능성이 달라질 수 있다. 화훼류는 과채류에 비해 저온성 작물이 많고, 야간의 최저 한계 온도도 낮아 온배수 이용가능성은 과채류보다 크며, 품질향상을 위해서는 야간 온도는 주간 적온보다 3~5℃ 낮게 유지하며 가온이 필수적이다. 초기시설비에 대한 부담은 크겠지만, 주간에는 온풍난방을 실시하고, 야간에는 온배수난방을 실시한다면 난방비용을 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

원예작물을 비롯한 특화작물 재배에 있어 주 난방시기인 1, 2월에는 저수온기로 온배수 온도도 지역별 차이는 있지만 동해안에서도 12~17℃ 정도로 낮아져 직접 사용하기에는 온도가 너무 낮다. 따라서 온배수를 시설농업에 이용하기 위해서는 별도의 적절한 보조 장치인 히트펌프(heat pump)가 있어야 한다. 히트펌프는 열의 회수, 저장, 변환, 수송 등의 기술을 활용한 냉난방 시스템이라 할 수 있다. 해수가 여름철에는 대기온도보다 낮고 겨울철에는 대기온도보다 높은 점을 감안하여 에너지를 얻는 방법이다. 온배수는 자연해수에 비해 7~10℃ 높기 때문에 히트펌프를 이용하기 위한 열원으로 적합하다. 또한, 적절한 냉각시스템의 운영으로 겨울철 온배수의 온도를 조절한다면 그 효과는 더 한층 커진다. 온실의 난방은 히트펌프를 가동하여 축열탱크에 온수를 저장한 후 저장된 온수를 난방 코일에 순환시킴으로써 온실 내부 온도를 일정하게 유지할 수 있다. 그러나 전술한 바와 같이 온배수를 히트펌프 열원으로 이용할 경우 부식에 강한 특수 자재로 제작해야 하기 때문에 초기 투자비가 과다한 단점이 있다. 온배수를 시설농업에의 이용은 먼저 소규모 시범사업을 통하여 그 효율성을 입증한 후 점차 대규모 산업 형태로 발전시키는 것이 바람직하다(표 5-12).

표 5-12. 온배수 이용 시설농업 사업의 형태

	시범사업	대단위 기업화 사업
사업주체	지역주민	기업 또는 영농단체
사업목적	온배수이용 시설농업 실증	이익창출
운영형태	연구소 기술지원 사업	기업 직접 경영
시설규모	< 2,000평	20,000평/단지
생산품목	화훼류, 한약재	수출품 위주 고부가 작물
파급효과	상호부조, 온배수 이용 가능성 입증	이익창출, 국제 경쟁력 강화

제 3 절. 온배수 관리시스템의 정책적 연구

1. 온배수 관리정책의 시스템 흐름도

전술한 바와 같이 지난 3년간 본 연구를 통하여 ‘갈등 조정’과 ‘신뢰 구축’ 그리고 ‘상호 부조’라는 세 가지 기본 개념 아래 발전소 온배수 관리 시스템이 설계되었다. 이들 관리정책은 향후 그림 5-9와 같은 흐름에 따라 추진되어야 할 것이다.

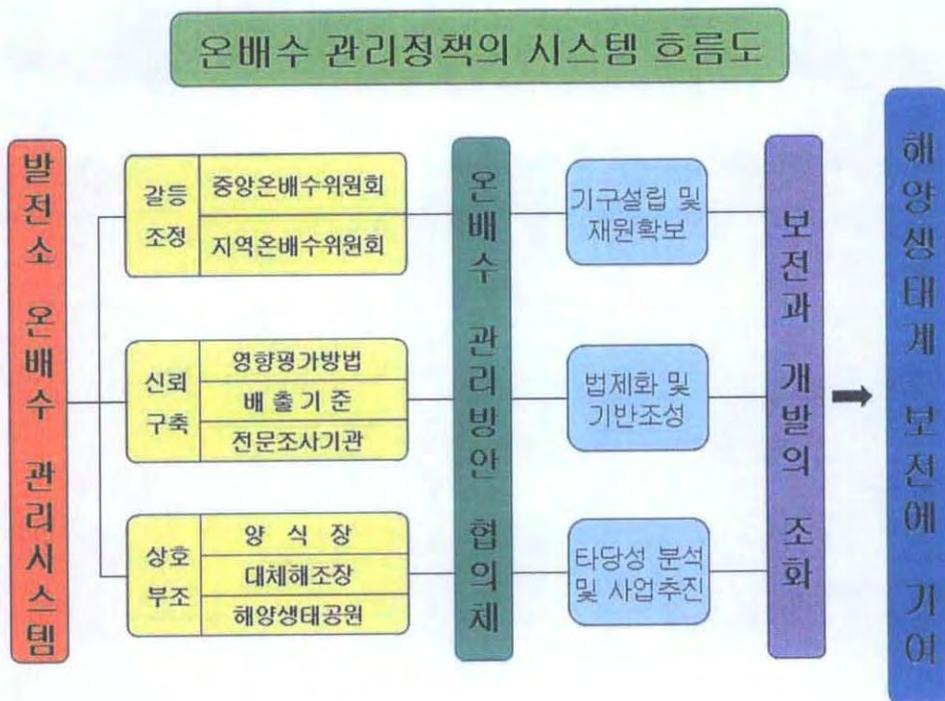


그림 5-9. 온배수 관리정책의 시스템 흐름도.

가장 시급한 문제는 본 연구가 종료되는 시점에 즈음하여 본 연구에서 제시되는 온배수 관리방안을 체계적으로 추진하고 법령을 재정비하며 필요한 재원을 확보할 수 있는 방안을 모색할 수 있게끔 가치 ‘온배수 관리방안 협의체’를 발족하는 것이다. 이 협의체는 해양수산부, 산업자원부, 환경부 및 필요에 따라 과학기술부 실무담당관, 발전사업자 대표 및 온배수 관련 전문가 등 10명 내외로 구성됨이 바람직하며, 이 조직에 대한 구상은 앞서 설명한 바와 같다.

온배수 관리방안 협의체를 통하여 향후 논의되어야 할 내용들을 항목별로 살펴보면 다음과 같다.

- 중앙온배수관리위원회 구성 및 발족(2008년)
 - 중앙온배수관리위원회 구성 및 재원 확보 방안 협의(2008년 전반기)
 - 중앙온배수관리위원회의 법적 장치 마련(2008년 전반기)
 - 중앙온배수관리위원회 위원 선정 및 발족(2008년 후반기)

- 지역온배수관리위원회 구성 및 발족(2008년)
 - 지역온배수관리위원회 구성 및 재원 확보 방안 협의(2008년 전반기)
 - 지역온배수관리위원회의 법적 장치 마련(2008년 전반기)
 - 지역온배수관리위원회 위원 추천 및 발족(2008년 후반기)

- 발전소 주변 해역 영향평가 방법의 표준화(2008년~2010년)
 - 발전소 주변 해역 영향평가 연구팀 구성(2008년 전반기)
 - 수산자원 영향평가팀
 - 냉각계통 충돌 및 연행 영향평가팀
 - 온배수확산 수치모델팀
 - 온배수확산구역 영향평가팀
 - 생물검정평가팀
 - 영향평가 방법 표준화 연구(2008년~2009년)
 - 발전소 주변 해역 영향평가 방법의 법제화 추진(2010년 전반기)

- 온배수 배출기준 제정(2008년)
 - 해역별 발전소 온배수 배출기준 협의(2008년 전반기)
 - 발전소 온배수 배출기준의 법제화 추진(2008년 후반기)
 - 해양환경관리법, 시행령, 시행규칙 정리
 - 기타 관련법률 및 유사 법률과의 관계 정립
 - 취, 배수 인허가 절차 확립

- 온배수 전문 연구기관 설립(2010년)
 - 온배수 전문 연구기관의 필요성 검토(2008년 전반기)
 - 온배수 전문 연구기관 구성 및 재원 확보 방안 협의(2008년 전반기)

- 정부출연 연구소 또는 대학의 전문연구소에 온배수 전문 연구사업단 구성 (2008년)
- 온배수관련 기반연구 추진 및 독립기관 확충 배경 조성(2009년)
- 온배수 전문 연구기관 발족(2010년)

○ 온배수 이용 양식장 조성(2008년~2010년)

- 발전소별 온배수 이용 양식장 타당성 연구(기존자료 보완, 2008년)
- 발전소별 온배수 이용 양식장 설계 및 조성(2009년)
- 발전소별 온배수 이용 양식장 가동(2010년~)

○ 고수온 양식 품종 개발과 보급(2008년~2011년)

- 발전소별로 적합한 고수온 양식 품종 개발 연구(2008년~2010)
 - 고수온 양식 해조류(다시마, 김) 개발(2008년~2010년)
 - 아열대성 양식품종 (능성어류, 틱날파꽃게류) 양식기술 개발(2008년~2010년)
 - 개발 품종 보급과 기술 전수(2010년~2011년)

○ 해양목장과 대체해조장 조성(2008년~2017년)

- 발전소별 해양목장 및 대체 해조장 타당성 조사 및 설계(2009년)
- 발전소별 대체해조장 건설(2009~2010년)
- 발전소별 해양목장 건설(2009년~2017년)

○ 온배수 해양생태공원 조성

- 발전소별 온배수 해양생태공원 조성 연구(2008년 전반기)
- 온배수 해양생태공원의 타당성 및 경제성 분석(2008년 후반기)
- 발전소별 온배수 해양생태공원 조성 추진(2009년 전반기)

2. 온배수와 관련한 환경분쟁 조정방법 연구

우리나라 연안에 세워진 원자력발전소나 화력발전소에서 배출되는 온배수와 관련하여 분쟁이 발생하는 경우, 이제까지는 주로 이해당사자인 주민들과 발전소 측이 직접 해결하거나 대학 또는 연구소 등의 연구기관에 관련 내용의 조사를 의뢰하여 해결하는 방법이 시도되었다. 그러나 이와 같은 방식으로 해결책을 모색하지 못하

는 경우, 간혹 법정에서 시시비비를 가린 적도 없지 않았다.

그렇지만 본 연구에서 제시되는 발전소 온배수 관리 시스템이 성공적으로 도입된다면 향후 발전소 온배수와 관련한 환경분쟁은 다음과 같은 절차에 따라 조정이 가능할 것으로 여겨진다.

가. 국지적 환경분쟁

각 지역의 연안에 세워진 발전소에서 배출되는 온배수와 관련하여 수산업 피해 등의 분쟁이 발생할 경우, 지역 온배수관리위원회에서 이를 접수하여 다음과 같은 절차에 따라 타개책을 모색함이 바람직하다.

1). 지역 온배수관리위원회 협의 및 조정

각 지역별 특성에 맞추어 독립적으로 조직 구성하는 지역별 온배수관리위원회에서 회의를 소집하여 해당 사안을 토의하고 배출자와의 협의를 통하여 원만한 해결책을 모색한다. 이때 필요한 경우, 정해진 내규에 따라 투표로 결정을 내릴 수 있다.

2). 지역 전문가 집단 조사 의뢰

지역 온배수관리위원회의 토의에서 원만한 해결책이 모색되지 못하는 경우, 지역 위원회는 해당 사안을 지역의 전문가 집단에 정밀조사를 의뢰하고 그 결과를 제출받아 분쟁을 해결할 수 있다.

3). 중앙 온배수관리위원회 조정 의뢰

만일 상기와 같은 시도에도 불구하고 원만한 타개책이 마련되지 않을 경우, 해당 사안을 중앙 온배수관리위원회에 조정 의뢰할 수 있다.

나. 포괄적 환경분쟁

본 연구에서 제시되는 발전소 온배수 관리 시스템에 따라 정부 내에 구성되는 중앙 온배수관리위원회는 각 지역의 온배수관리위원회에서 조정 의뢰하는 사안을 접

수하여 해당 환경분쟁을 해결하는 한편, 어느 지역에 국한하지 않는 포괄적 환경분쟁을 해결하도록 한다.

1). 중앙 온배수관리위원회 협의 및 조정

정부 내에 조직 구성하는 중앙 온배수관리위원회에서는 먼저 각 지역의 온배수관리위원회에서 조정 의뢰한 내용을 접수하고 회의를 소집하여 해당 사안을 토의하고 배출자와의 협의와 조정을 통하여 합리적인 해결책을 모색한다. 이때 필요한 경우, 분쟁 당사자들의 진술을 요청할 수 있고, 관련 전문가의 자문을 구할 수 있다. 한편 정해진 내규에 따라 투표로 결정을 내릴 수 있다.

2). 전문가 집단 조사 의뢰

중앙 온배수관리위원회의 토의와 중재에도 불구하고 바람직한 해법이 모색되지 못하는 경우, 중앙 온배수관리위원회는 해당 사안을 국내 전문가 집단에 정밀조사를 의뢰하고 그 결과를 제출받아 분쟁을 해결할 수 있다.

다. 국가적 환경조정

상기 온배수관리위원회의 분쟁 조정과는 별도로 해양생태계의 보전을 위한 국가적 차원의 환경문제는 장기적으로 설립 추진되는 온배수 전문연구기관에서 다루도록 한다. 온배수 전문연구기관에서 접근하는 중요한 국가적 환경조정 내용은 다음과 같다.

- 온배수 영향 저감을 위한 냉각계통 개선
- 냉각계통 및 해상 시설물에 피해를 주는 오손생물 제거를 위한 기술개발
- 해양생물 주요 집단의 수온변화에 대한 반응의 생물검정 개발
- 냉각계통에 충돌하거나 연행되는 해양생물의 저감방안 연구
- 우리나라 실정에 맞는 온배수 활용방안 강구

참고문헌

- 강연식, 최중기. 2001. 고리, 월성, 울진 및 영광 영안해역의 식물플랑크톤 군집 생태학적 특성 I. 종조성 및 분포 (1992~1996년). 한국조류학회지, 16: 85-111.
- 강영실. 1992. 한국 근해 난류 외양성 Calanoida copepods의 분류 및 분포, 부산수산대학교 박사학위논문. 144pp.
- 강제원. 1966. 한국산 해조류의 지리적 분포 (영문). 부산수대연보 1: 1-125.
- 강제원, 고남표. 1977. 해조양식. 태화출판사, 부산. 294 pp.
- 강희웅 · 정의영 · 이창훈 · 이정열. 2002. 쥐노래미 *Hexagrammos otakii* 난의 부화에 미치는 수온의 영향 및 자치어의 성장과 생존에 미치는 수온과 먹이의 영향. 한국어류학회지, 14: 85-92.
- 고철환, 이해복. 1982. 덕적군도의 해조상. 자연실태종합조사보고서, 2: 229-249.
- 공주대. 2002. 태안화력발전소 주변 해양생태계 및 해양환경조사. 한국서부발전 태안화력본부. 489pp.
- 과학기술처. 1991. 산림의 공익적 기능의 계량화 연구.
- 곽승준, 유승훈. 2000. 생태계보전협력금 제도의 개선방안. 자원환경경제연구, 9: 563-587.
- 국립수산과학원. 2001. 한국해양편람 제 4판. 435pp
- 국립수산과학원. 2004~2007. 인터넷 자료실 해어황예보.
- 국립수산진흥원, 1986, 연안어업실태 및 자원조사. 국립수산진흥원 사업보고, 66 : 128-168.
- 국립수산진흥원, 1991. 연안어업자원조사. 국립수산진흥원 사업보고, 92 : 114-125.
- 김도창. 1993. 일반행정법론(하). 청운사, 서울.
- 김동건. 1997. 비용 · 편익분석. 박영사, 서울.
- 김세화. 1984. 진해만 일대의 해산 지각류에 대한 생태학적 연구. 한양대학교 석사학위 논문, 25pp.
- 김영섭. 남영모. 2003. 동해안 어류의 현황. 한국어류학회 편 한국 연안 어류의 현황과 보전. 2003 한국어류학회 심포지엄, 5-36.
- 김영섭: 남영모. 2003. 한국연안어류의 현황과 보전, 한국어류학회, 160pp.
- 김영식 외. 1993. 유리온실 원예산업의 경제적 타당성 분석. 고려대학교, 자연자원연구소.
- 김영환. 1983. 원자력 발전에 수반되는 온배수의 방출이 주변 해양 생태계에 미치는

- 영향 연구. 한국에너지연구소 기술현황분석보고서, KAERI/AR-171/83. 77pp.
- 김영환. 1994. 황해 동남부의 해조류 분포. 황해연구, 6: 131-150.
- 김영환. 2000. 발전소 온배수와 해양생태계. 전파과학사, 서울. 259 pp.
- 김영환. 2003. 원자력발전과 온배수 : 그 현황과 대책. 전파과학사, 서울. 151 pp.
- 김영환, 유종수. 1992. 서해안 영광원자력발전소 주변의 해조식생. 환경생물학회지, 10: 100-109.
- 김영환, 이정호. 1980. 고리원자력발전소 주변 해조류에 관한 연구 1. 1977-1978년의 해조군집의 변화. 식물학회지, 23: 3-10.
- 김영환, 허성희, 문창호, 김형근. 2002. 원전 온배수 문제의 종합대응방안 수립을 위한 연구 (최종보고서). 한국수력원자력주식회사, NHO0-01S0024. 193 pp.
- 김영환, 안중관. 2005. 동해안 3개 원전 배수로 해조군집의 생태적 특성. 조류학회지 20: 217-224.
- 김영환, 엄희문, 강연식. 1998. 한국산 내열종 해조류의 정성·정량적 분석 1. 고리 원자력발전소. 조류학회지 13: 213-226.
- 김영환, 허성희. 1998. 서해안 영광원자력발전소 주변 해조군집의 종조성과 생물량. 한국수산학회지 31: 186-194.
- 김영환, 허성희, 문창호, 김형근. 2002. 원전 온배수 문제의 종합 대응방안 수립을 위한 연구. 한국수력원자력주식회사, NHO0-01S0024. 193 pp.
- 김형섭, 김영환, 옥정현, 이육재, 김광훈, 이인규. 1996. 자연실태종합보고서 10: 321-351.
- 김흥기, 김영환. 1991. 한국 3개 원자력발전소 주변 해조군집. 조류학회지 6: 157-192.
- 명정구. 2005. 울진원전 배수로 내의 어류상. 미발표.
- 명정구. 2002. 독도 주변의 어류상. Ocean and polar research, 24(4) : 449-455.
- 명정구. 2002. 동해 왕돌초 해역의 춘계와 추계 어류상. Underwater Science and Technology, 3(1) : 1-6.
- 박준호. 2007. 영광원자력발전소 주변해역 동물플랑크톤 생태에 관한 연구, 용인대학교 석사학위논문, 59 pp.
- 박철, 이평강. 1995. 아산만 요각류 *Calanus sinicus*의 알 생산, 한국수산학회지, 28: 105-113.
- 박현태 외. 2002. 수출용 분화류 공정생산, 포장, 출하시스템 개발의 경제성 분석. 한국농촌경제연구원, C2002-21.
- 부경대학교 해양과학공동연구소. 1996. 영광 원자력발전소 주변 해양환경조사 보고

- 서. 663pp.
- 부경대학교 해양과학공동연구소. 2000. 하동화력발전소 가동 및 건설공사로 인한 해양영향조사[제 1편 영향 범위]. 1030pp.
- 산업자원부. 2004. 제2차 전력수급기본계획(안). (2004~2017년). 산업자원부. 69pp.
- 산업자원부. 2006. 산업자원통계. 에너지자원-전력수급현황. 산업자원부 홈페이지. <http://www.mocie.go.kr/index.jsp>
- 서범석 외. 1997. 발전소 온배수를 이용한 특용작물 재배 가능성 조사 보고서. 호남 온실작물연구소.
- 서울대학교 자연과학종합연구소. 1985. 보령, 삼천포 T/P 냉각수가 연안양식 수산물에 미치는 영향조사 (I). 서울대학교 자연과학연구소. 서울. 761pp.
- 서울대학교 자연과학종합연구소. 1993. 발전소 가동이 주변 해양환경에 미치는 영향 연구. 252pp.
- 서울대학교. 2005. 심층방류에 따른 해양생태계 변화분석 및 평가(2차년도 진도보고서). 531pp.
- 손철현. 1987. 한국 해조류의 식물지리학적 특성과 군집의 정량적 분석. 박사학위논문. 전남대. 111 pp.
- 손철현, 김형근, 한현섭. 2002. 바다 암초생태계의 세계 - 갯녹음 연안을 바다숲으로. 청문각, 163 pp.
- 영광원전 온배수영향 대책 합동작업반. 1995. 영광원자력발전소 온배수영향 저감방안에 대한 검토보고서. 86pp. 서울
- 여수대학교 수산해양연구원. 2004. 하동화력 제5, 6호기 가동으로 인한 해양환경영향조사.
- 여환구. 1992. 온배수 유출해역 일차생산 시스템의 환경생물학적 연구. 서울대학교 박사학위 논문. 155pp.
- 오윤식, 이인규, 부성민. 1990. 한국산 유용해조 특히 식용, 약용 및 공업용 해조에 대한 주해. 조류학회지 5: 57-71.
- 유순애, 이인규. 1980. 한국 남해안의 해조류 군집에 관한 연구. 서울대학교 자연과학대학 논문집 5: 109-138.
- 이광남, 명정구, 2003. 동해 왕돌초 어장의 지속적 이용 및 관리방안. 해양연구, 25(3) : 331-345.
- 이두순 외. 1998. 절화생산 농가의 경영 실태 분석. 한국농촌경제연구원, R389.
- 이두순 외. 1999. 유리온실의 경영 실태 분석. 한국농촌경제연구원, R400.
- 이상규. 1993. 신행정법론(하). 법문사, 서울.

- 이석우. 1992. 한국근해해상지. 집문당, 서울. 334pp.
- 이순길. 1987a. 화력발전소 냉각계통에 있어서의 생물상 연구. 부산수산대학교 대학원 박사학위 청구 논문. 부산. 76pp.
- 이순길. 1987b. 화력발전소 냉각계통이 해양생물에 미치는 영향 II. 저서생물에 미치는 영향. 한국수산학회지, 20: 391-407.
- 이순길, 김용억, 명정구, 김종만. 2006. 한국산 어명집. 한국해양연구원 222pp.
- 이용필, 강서영. 2002. 한국산 해조류의 목록. 제주대학교 출판부. 662 pp.
- 이인규, 김영환. 1999. 한국과 일본 연안역 저서생물의 생물다양성과 분포 및 해조류 자원의 이용 I. 동해의 해조류. 조류학회지 14: 91-110.
- 이재창 외. 1992. 발전소 온배수의 농업이용에 관한 연구. 한국전력공사.
- 이정우, 강영실, 1994. 인공어초어장의 어류 군집상과 어획량 변동. 한국수산학회지, 27(5) : 535-548.
- 이준구. 1993. 미시경제학. 법문사, 서울.
- 이충렬. 2003. 서해 일대의 어류상 검토. 한국어류학회 편 한국 연안 어류의 현황과 보전. 2003 한국어류학회 심포지엄, 97-112.
- 이태원, 1999. 영일만 저어류 종조성의 계절변동. 한국수산학회지, 32 : 512-519.
- 전영열, 김복기, 허영희, 황선재. 2001. 동해연안 어업자원 관리 연구. II. 동해 중부 연안어장의 군집 생태 조사. 2000년도 동해수산연구소 사업보고서, 30-46.
- 전영열, 황선재, 진현국, 박진일, 박정훈, 손팔원, 허영희, 이정우, 박성욱. 2002. 동해 유용수산생물의 자원조사 및 양식생물학적 연구. II. 울진 왕돌암 수산자원조사. 2001년도 동해수산연구소 사업보고서, 327-337.
- 정선양. 1999. 환경정책론. 박영사, 서울.
- 제주대학교 해양과환경연구소. 2003. 제주화력발전소 가동으로 인한 해양영향조사. 257pp.
- 조규대. 2005. 알기 쉽게 풀어 쓴 물리해양학. 부경대학교출판부, 부산. 323pp.
- 조기창. 1988. 원자력발전소 온배수가 식물플랑크톤의 생태에 미치는 영향. 인하대학교 대학원 석사학위 청구 논문. 인천. 79pp.
- 채진호 외. 2005. 동해 울진 인근 해역에 분포하는 크릴, 태평양난바다곤쟁이의 생태학과 발전소 취수구 대량 유입 방지를 위한 적용. 2005년도 온배수연구회 춘계 학술발표대회 요지, 17-51.
- 최광식. 2003. 제주화력발전소 가동으로 인한 해양영향조사. 제주대학교 해양과환경연구소 257pp.
- 한경호. 2003. 한국 남해에 분포하는 어류. 한국어류학회 편 한국 연안 어류의 현

- 황과 보전. 2003 한국어류학회 심포지엄, 37-75.
- 한경호, 김종현, 문형태, 2002. 울산연안 정치망에 어획된 어류의 종조성 및 양적변동. 한국어류학회지, 14(1) : 61-69.
- 한경호, 최수하, 김복기, 박종화, 정달상, 1997. 영일만 연안 정치망 어장에 출현한 어류군집의 종조성 및 양적변동. 국립수산진흥원 연구보고, 53 : 13-54.
- 한국동물분류학회. 1997. 한국동물명집. 아카데미서작, 서울. 489pp.
- 한국서부발전(주). 2002. 태안화력발전소 주변 해양생태계 및 해양환경조사.
- 한국수력원자력(주). 2002a. 신월성원자력 1, 2호기 건설사업 환경영향평가서. 817pp.
- 한국수력원자력(주). 2002b. 신고리원자력 1,2호기 건설사업 환경영향평가서. 879pp.
- 한국수력원자력(주). 2002. 또 하나의 자원 원전 온배수 이용. 156 pp.
- 한국수력원자력(주). 2003. 영광원전 주변 및 대조해역 환경 조사 연구[최종보고서] 707pp.
- 한국수력원자력(주). 2005. 원전 온배수의 상업적 이용을 위한 타당성 조사. 158pp.
- 한국전력거래소. 2004. 전력계획서. 87pp.
- 한국전력공사. 1994. 영광원자력 5, 6 호기 건설사업 환경영향평가서. 서울. 758pp.
- 한국전력공사. 1995. 영광원자력발전소 1, 2, 3, 4호기 온배수로 인한 어업피해조사 최종보고서.
- 한국전력공사. 1996a. 울진원자력 5, 6호기 건설사업 환경영향평가서. 서울. 675pp.
- 한국전력공사. 1996b. 서울화력 온배수 영향 저감대책 연구. 428pp.
- 한국전력공사. 1998. 영광원자력발전소 4개호기 가동에 따른 온배수 영향 실측 조사 보고서.
- 한국전력공사. 2001a. 고리원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서. 한국전력공사 전력연구원, '02전력연-단109. 25-90.
- 한국전력공사. 2001b. 월성원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서. 한국전력공사 전력연구원, '01전력연-단391. 25-45.
- 한국전력공사. 2001c. 울진원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서. 한국전력공사 전력연구원, '02전력연-단111. 25-62.
- 한국전력공사. 2001d. 영광원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서. 한국전력공사 전력연구원, '02전력연-단112. 25-75.
- 한국전력공사. 2005. 전력통계연보. 2004.
- 한국전력공사. 2005. 전력통계속보. 315.
- 한국전력공사. 2007. 주요전력지표. 2006. 전력통계정보시스템. www.kpx.or.kr
- 한국전력공사. 2007. 한국전력통계연보. 2007. www.kepco.co.kr

- 한국전력공사 기술연구원. 1985a. 보령,삼천포 T/P냉각수가 연안 양식수산물에 미치는 영향조사(I). 761pp.
- 한국전력공사 기술연구원. 1985b. 서천 T/P냉각수가 연안 양식수산물에 미치는 영향조사. 381pp.
- 한국전력공사 기술연구원. 1985c. 서산화력온배수 영향 및 대책에 관한 연구. 1988. 332pp.
- 한국전력공사 기술연구원. 1992. 원자력발전소 주변환경 조사 보고서('91) (일반환경). 625pp.
- 한국전력공사 기술연구원. 1993. 원자력발전소 주변환경 조사 보고서('92) (일반환경). 706pp.
- 한국전력공사 기술연구원. 1994. 원자력발전소 주변환경 조사 보고서('93) (일반환경). 765pp.
- 한국전력공사 기술연구원. 1995. 원자력발전소 주변 환경조사 및 평가 보고서('94) (일반환경). 981pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 1995. 원자력 일반환경 조사 및 평가보고서(1994년도). 475pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 1996. 원자력발전소 주변 환경조사 및 평가 보고서('95) (일반환경). 904pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 1997. 원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서 (1996년도). 614pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 1998. 원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서 (1997년도). 642pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 1999. 원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서 ('98년도). 707pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2000a. 고리원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서('99년도). 257pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2000b. 영광원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서('99년도). 245pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2000c. 울진원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서('99년도). 222pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2000d. 월성원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서('99년도). 231pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2001a. 고리 주변해역 해양환경조사 보고서(2000년도).

- 189pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2001b. 영광 주변해역 해양환경조사 보고서(2000년보). 176pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2001c. 울진 주변해역 해양환경조사 보고서(2000년보). 332pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2001d. 월성 주변해역 해양환경조사 보고서(2000년보). 318pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2002a. 고리 주변해역 해양환경조사 및 평가 보고서(2001년보). 198pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2002b. 영광 주변해역 해양환경조사 및 평가 보고서(2001년보). 187pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2002c. 울진 주변해역 해양환경조사 및 평가 보고서(2001년보). 275pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2002d. 월성 주변해역 해양환경조사 및 평가 보고서(2001년보). 239pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2003a. 고리 주변해역 해양환경조사 및 평가 보고서(2002년보). 204pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2003b. 영광 주변해역 해양환경조사 및 평가 보고서(2002년보). 290pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2003c. 울진 주변해역 해양환경조사 및 평가 보고서(2002년보). 251pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2003d. 월성 주변해역 해양환경조사 및 평가 보고서(1986~2002). 128pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2003e. 월성 원자력발전소 환경조사 종합 평가 보고서(2002년보). 231pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2004a. 고리원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(2003년보). 350pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2004b. 영광원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(1986~2003). 116pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2004c. 영광원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(2003년보). 333pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2004d. 울진원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(2003년보). 324pp.

- 한국전력공사 전력연구원. 2004e. 울진원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(2003년보). 338pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2005a. 고리원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(2005년 상반기). 187pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2005b. 영광원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(2005년 상반기). 175pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2005c. 울진원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(2005년 상반기). 165pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2005d. 울진원자력발전소 환경조사 및 종합평가 보고서(1987~2004). 144pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2005e. 월성원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(2005년 상반기). 197pp.
- 한국학술진흥재단. 1998. 남해 및 동중국해의 해양학적 특성에 관한 연구. 부경대학교 해양과학공동연구소, 332pp.
- 한국해양수산개발원. 1998. 해양환경손해에 대한 국가의 배상청구권에 관한 연구. 용역보고서. 서울.
- 한국해양연구소. 1985a. 고급어종 증·양식기술개발에 관한 연구. 한국해양연구소 연구보고서 BSPG00028-90-3. 418pp.
- 한국해양연구소. 1986. 파랑도(소코트라 암호)와 주변해역의 다목적 이용개발을 위한 조사연구. 한국과학기술원 해양연구소 보고서 BSPE 00074-107-1. 196pp.
- 한국해양연구소. 1987. 인공진주양식기술 개발에 관한 연구(III). 한국해양연구소 연구보고서. BSPG00042-159-3. 607pp.
- 한국해양연구소. 1987. 해양생물생태자료집. 한국과학기술원 해양연구소 연구논문집. BAPE 00091-136-3, 서울. 249pp.
- 한국해양연구원. 1990. 발전소 온수를 이용한 고급어류 양식기술 개발. 한국해양연구소 연구보고서. BSPI00074-295-3. 577pp.
- 한국해양연구소. 1993. 온수이용 종묘 대량생산 기술개발. 한국해양연구소 연구보고서. BSPI00123-583-3. 299pp.
- 한국해양연구원. 1994. 당진화력발전소 건설에 따른 어업피해조사 연구. 542pp.
- 한국해양연구원. 1997. 원전 온배수 이용 양식사업 개발. 한국해양연구소 연구보고서. BSPI00191-974-3. 438pp.
- 한국해양연구원. 1999. 발전소 온배수 확산해역의 해양목장화 기반기술 개발. 한국해양연구소 연구보고서. BSPI96239-00-1218-3. 939pp.

- 한국해양연구원. 2000. 월성 2, 3, 4호기 온배수양식장 시험양식. 한국해양연구소 연구보고서. BSPI98260-00-1269-3.
- 한국해양연구원. 2004. 통영해역의 바다목장화 개발 연구용역사업 보고서 (2단계 3차년도 보고서). 한국해양연구원 연구보고서 BSPM236-00-1616-3. 1125pp.
- 한국해양연구원. 2005. 영광 5,6호기 건설 및 가동으로 인한 고창지역 광역해양 피해조사. 602pp.
- 한국해양연구원. 2005. 영광 5,6호기 건설 및 가동에 따른 광역해양조사(I). 최종보고서. 한국해양연구원 연구보고서 BSPI319-00-1734-3. 한국수력원자력주식회사. 954pp.
- 한국해양연구원. 2005. 동·서·제주해역 바다목장화 개발 연구용역, 1단계 1차년도 보고서, 해양수산부. 900pp.
- 한국해양연구원. 2006. 바다목장화 기본계획 수립 용역 한국해양연구원연구보고서. BSPG407-00-1755-3. 140pp.
- 한국해양연구원. 2007. 남서태평양 해양생물자원 개발 연구. 한국해양연구원 연구보고서. BSPM44700-1928-3. 426pp.
- 한국해양연구원. 2007. 동·서·제주해역 바다목장화 개발 연구용역 (2단계 1차년도 보고서). 한국해양연구원연구보고서. BSPM42400. 1360pp.
- 한국해양학회. 2005. 해양과학용어사전. 아카데미서적. 서울. 750pp.
- 해양수산부. 2000. 해양수산통계연보(2000년판). 해양수산부. 1422 pp.
- 허영희, 전영열, 황선재, 홍병규, 김영섭. 2001. 동해연안 어업자원 관리 연구. I. 동해연안어업 자원조사. 2000년도 동해수산연구소 사업보고서, 3-29.
- 허영희, 전영열, 황선재, 홍병규, 김영섭. 2002. 동해연안 어업자원 관리 연구. I. 동해연안어업 자원조사. 2001년도 동해수산연구소 사업보고서, 3-23.
- 허형택 등. 1981. 발전소 온배수에 의한 수산자원에서의 영향 및 대책에 관한 연구. 해양연보보고서. BSPI00025-49-3. 서울. 339pp.
- 홍육희. 1991. 발전소 취수구 어류유입 방지대책 연구. 한국전력연구원. 대전. 217p.
- 환경부. 2000. 생태계보전협력금제도의 개선방안에 대한 연구. 과천.
- 환경처. 1993. 한국환경연감. 제6호. 서울. 550pp.
- 황선도, 박영조, 최수하, 이태원. 1997. 삼중자망에 채집된 동해 흥해연안어류의 종 조성. 한국수산학회지, 30 : 105-113. 강제원, 고남표. 1977. 해조양식. 태화출판사, 부산. 294 pp.
- 小嶋純一. 2005. 溫背水と魚類蝸集現狀. 2005年 溫背水研究會秋季學術大會. 要旨, 6-7.

- 福島縣溫排水調査管理委員會. 1996. 溫排水調査綜合報告書. 昭和49 - 平成 5年度. 226 pp. 福島
- 福島縣溫排水調査管理委員會. 2006. 溫排水調査綜合報告書(昭和49-平成 15年度). 福島縣生活環境部, 226pp.
- 水質汚濁防止法. 1970. 日本 水質汚濁防止法(昭和 45年 12月 25日 법률제138호).
- 中華人民共和國. 1998. 中華人民共和國國家標準. 海水水質標準(GB 3097-1997). 8pp. 北京
- 資源エネルギー廳. 1999. 發電所に係る環境影響評價の手引. 電力新報社, 東京. 758p.
- 中華人民共和國. 2003. 中華人民共和國環境保護行業標準(HJ/Txx-2003). 清潔生產標準-燃煤電廠. 18pp. 北京
- 海洋生物環境研究所. 1982. 沿岸環境調査教範. 日本海洋學會(編輯). 後生閣. 266pp.
- 海洋生物環境研究所. 2003. 要覽. 海洋生物環境研究所, 東京. 10pp.
- Academy of Natiral Science of Philadelphia. 1981. Power plant chlorination. A biological and chemical assessment. EPRI EA-1750. Project 1312-1. Philadelphia. 237pp.
- Adams, J. R. 1975. The influence of thermal discharges on the distribution of macroflora and fauna. Humboldt Bay Nuclear Power Plant, California. Ph. D. dissertation. Univ. Washington. 364pp.
- Alabama. 1991. Water quality program administrative code. Chapter 335-6-10. Water quality criteria. Water Division. Department of Environmental Management. Alabama. 62pp.
- Alaska. 2000. Water quality standards. 18 AAC 70. Effective for Clean Water Act purpose. Alaska. 50pp.
- Atlantic States marine Fisheries Service. 2002. How are cooling water intake structures at power plants inpacting fish? Habitat Hotline Atlantic, 9:1-4.
- Bainbridge, V. 1958. Some observations on *Evadne nordmanni* Loven. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 37: 349-370.
- Battelle Pacific Northwest Laboratories. 1982. Effects of chlorine on marine benthos. EPRI EA-2696. Project 1224-4. Washington. 91pp.
- Bean, R. 1983. Organohalogen products from chlorination of cooling water at nuclear power stations. NUREG/CR-3408. PNL-4788. Washington. 155pp.
- Block, R. M. 1974. Effects of acute cold shock on the channel catfish. Pages 109~118 109 in Gibbons and Sharitz ed. ?

- Bohn, G. 1903. Sur les mouvements oscillatoires des *Convoluta roscoffensis*, C. R. Acad. Sci., 137: 576~578.
- Burton, D. T. 1977. General test conditions and procedures for chlorine toxicity tests with estuarine and marine macroinvertebrates and fish. Chesapeake Sci., 18: 130.
- Cairns, J. Jr. 1956. Effects of increased temperature on an aquatic organisms. *Indus. Wastes*, 1:150-152.
- California. 1971. Water quality control plan for control of temperature in the coastal and interstate waters and enclosed bays and estuaries of California. State Water Resources Control Board. California. 10pp.
- Chang, K.-I., K. Kim, S. W. Lee and T. B. Shim. 1995. Hydrography and sub-tidal current in the Cheju Strait in Sping, 1983. J. Oceanol. Soc. Korea, 30: 203-215.
- Cho, Y.K. and K. Kim. 1994. Characteristics and origin of the cold water in the south sea of Korea in Summer. J. Oceanol. Soc. Korea, 29: 414-421
- Cho, Y.K., K. Kim and H.K. Rho. 1995. Salinity decrease and the transport in the south sea of Korea in summer. J. Korean Soc. Coastal and Ocean Engineers, 7: 126-134.
- Cho, Y. K., and K. Kim. 1998. Structure of the Korea Strait Bottom Cold Water and its seasonal variation in 1991. Continental Shelf Research 18: 791-804.
- Choi, Y. K., K. Kim, H. K. Rho. 1995. Salinity decrease and the transport in the south sea of Korea in summer. J. Korean Soc. Coastal and Ocean Engineers, 7: 126-134.
- Choi, Y. K., S. K. Yang, K. D. Cho, J .C. Lee and C. H. Hong. 1993. Possible formation area of the Japan Sea proper water. J. Korean Envi. Sci. Soc., 2: 27-42.
- Chung, K. S. 1977. Heat resistance of crustaceans and fishes taken from the intake canal of an estuarine power plant and their predicted survival in the discharge canal. Ph. D. Dissertation. Texas A&M University. 443pp.
- Clark, J. and W. Brownwell. 1973. Electric power plants in the coastal zone: environmental issues. American Littoral Soc. Spec. Publ. No. 7. 69pp.
- Clean Air Task Force. 2004. Wounded waters. The hidden side of power plant pollution. 18pp.

- Connecticut. 2002. Water quality standards. Department of Environmental Protection. Connecticut. 28pp.
- Coughlan, J. and M. H. Davis. 1983. Effect of chlorination entrained plankton at several United Kingdom coastal power stations, pp. 1053-1066. In: Jolley, R. L., W. A. Brungs, J. A. Cotruvo, R. B. Cumming, J. S. Mattice and V. A. Jacobs Eds. Water chlorination: Environment, Health and Risk. Vol. 4. Book 2. Am Arbor Science. The Butterworth Group, Am Arbor, Michigan.
- Delaware. 2004. Surface water quality standards. Department of Natural Resources and Environmental Control. Delaware. 46pp.
- Della Croce. N. 1974. Cladocera. Cons. Internat. L'explor. Mer. Zooplankton Sheet. 143: 1-4.
- Della Croce, N. and S. Bettanin, 1965. Sviluppo embrionale della forma parthenogenetica di *Penilia avirostris* Dana. Cah. Biol. Mar., 6: 269-275.
- Department of National Resources 2005. Guidance for evaluating cooling water intake structures. Wisconsin. 15pp.
- Dressel, D. M., D. R. Heinle and M. C. Grote. 1972. Vital staining to sort and live copepods. Chesapeake sci., 13: 156-159.
- Dorrien, C. F. von. 1993. Ecology and respiration of selected arctic benthic fish, Ber. Polarforsch. 125: 1-99.
- EPA. 1985. Ambient water quality criteria for Chlorine. EPA 440/5-84-030. Washington. 57pp.
- EPA. 2001. Technical development document for the final regulations addressing cooling water intake structures for new facilities. Washington. 219pp.
- EPA. 2002. Federal Water Pollution Control Act. 33 U.S.C. 1251 et seq. 230pp.
- EPA. 2002a. National Pollutant Discharge Elimination System. Proposed Regulations to establish requirements for cooling water intake structures at Phase II Existing Facilities. Federal Register. April 9: 17121-17225.
- EPA. 2002b. Chapter A7: Entrainment survival in case study analysis for proposed Section 316(b) Existing Facilities Rule(EPA-821-R-02-002). Washington. A7:1-14.
- EPA. 2004. Technical development document for the Final Section 316(b) Phase II. Existing Facilities Rule. Washington. 223pp.
- EPA. 2006. Compilation of EPA mixing zone documents. EPA 823-R-06-003.

- Washington. 13pp.
- EPRI. 2005. Laboratory Evaluation of Modified Ristroph Traveling Screens for Protecting Fish at Cooling Water Intakes. EPRI Report no. 1013238.
- Florida. 1996. State water laws. Chapter 62-302. Surface water standards. Department of Environmental Protection. Florida. 76PP.
- Follum, O. A. and J. S. Gray. 1987. Nitrogenous excretion by the sediment-living bivalve *Nucula tenuis* from the Oslofjord, Norway. *Mar. Biol.*, 96: 355~358.
- Fry, F. E. J. 1967. Response of vertebrate poikilotherms to temperature. Pages in 375~420 A. H. Rose *ed.* *Thermobiology*. Academic Press, London, New York.
- Gamble, F. W. and F. Keeble. 1903. The bionomics of *Convoluta roscoffensis* with special reference to its cells. *Proc. R. Soc.*, 72: 93~98.
- Gamo, T., Y. Nozaki, H. Sakai, T. Kakai and H. Tsubota. 1986. Spacial and temporal variations of water characteristics in the Japan sea bottom layer. *J. Mar. Res.*, 44: 781-793.
- Georgia. 2004. Water quality regulations. Chapter 391-3-6. Rules and regulations for water quality control. Department of Natural Resources, Environmental Protection Division. Georgia. 141pp.
- Gunter G. 1957. Temperature. *Treatise on marine biology and Paleocology*. I. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 67: 157-184.
- Haedrich, R. L. and D. C. Judkins. 1979. Macrozooplankton and its environment. Pages 4-28 in Van der Spoel, S. and A. Pierrot-Bults Eds. *Zoogeography and diversity of plankton*. Halsted Pre., Utrecht
- Han, H. H. 1997. Community structure of macrobenthos in the eastern Chinhae Bay, Korea. M. Sc. Thesis. Daegu Univ., 61pp. (in Korean)
- Hatle, Z. and M. Lampar. 1975. Exploitation of waste heat. pp. 731-740. In, *Environmental Effects of Cooling Systems at Nuclear Power Plants*. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Hawaii. 1989. Water quality standards. Pages 22-25 in Wade Miller Associates. 1990. *Compendium of state water quality limits for thermal discharge and mixing zones*. Virginia. 113pp.
- Hedgpeth, J. W. and J. J. Gonor. 1969. Aspects of potential effect of thermal

- alteration on marine and estuarine benthos. Pages 80-118 in P. A. Krenkel and F. Parker Eds. Biological aspects of thermal pollution. Vanderbilt Univ. Press. Oregon.
- Hirota, R. 1979. Seasonal occurrence of zooplankton at a definite station off Hukaishima from July of 1976 to June of 1977. Publ. Anakusa Mar. Biol. Lab., 5: 9-11.
- Hong, C. H., K. D. Cho and S. K. Yang. 1984. On the abnormal cooling phenomenon in the coastal areas of East Sea of Korea in summer 1981. J. Oceanol. Soc. Korea, 19: 11-17.
- Huang, C., S. Uye and T. Onbe. 1993b. Geographic distribution, seasonal life cycle, biomass and production of a planktonic copepod *Calanus sinicus* in the Inland Sea of Japan and it's neighboring Pacific Ocean. J. Plank. Res., 15: 1229-1246.
- IAEA. 1974. Thermal Discharges at Nuclear Power Stations : Their Management and Environmental Impacts. Technical Reports Series No. 155. IAEA, Vienna. 155 pp.
- IAEA. 2006. Latest news related to PRIS and the status of nuclear power plant. Power Reactor Information System(PRIS). Home page, IAEA. <http://www.iaea.org/programmes/a2/>
- Ichiye, T. 1983. Ocean hydrodynamics of the Japan and East China Seas, Elsevier, 423pp.
- Isoda, Y. 1994. Warm eddy movements in the eastern Japan Sea. J. Oceanogr., 50: 1-15.
- Jobling, M. 1981. The influence of feeding on the metabolic rate of fishes: a short review. J. Fish Biol., 18: 385~400.
- Kang, J. W. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. Bull. Pusan Fish. Coll. 7: 1-125.
- Kang, Y. S and S. Y. Hong, 1998. Seasonal variations in distribution, population structure and prosome length of *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the southern waters of Korea. J. Koreans Soc. Oceanogr., 33: 28-34.
- Kerry. R., D. Pearce and I. Bateman. 1994. Environmental Economics, Harvester Wheatscheaf.
- Kim, C. H. and K. Kim. 1983. Characteristics and origin of the cold water mass

- along the east coast of Korea. J. Oceanol Soc. Korea, 18: 73-83.
- Kim, D. Y. 1985. Taxonomical study on calanoid copepod (Crustacea: Copepoda) in Korean waters. Ph. D. Thesis, Hanyang Univ., 187 pp.
- Kim, I.-N. and T. Lee. 2004. Physicochemical properties and the origin of summer bottom cold water in the Korea Strait. Ocean and Polar Research 26: 595-606.
- Kim, I. N., Y. J. Chang and J. Y. Kwon. 1995. The patterns of oxygen consumption in six species of marine fish. J. Korean Fish. Soc., 28: 373-381.
- Kim, I.-O. and H.-K. Rho. 1994. A study on China Coastal Water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. Bull. Korea Fish. Soc., 27: 515-528.
- Kim, K. and J. Y. Chung. 1984. On the salinity-minimum and dissolved oxygen-maximum layer in the East Sea(Sea of Japan). Pages 55-65 in Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas, T. Ichiye, editor, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Kim, K. Y. and I .K. Lee. 1996. The germling growth of *Enteromorpha intestinalis* (Chlorophyta) in laboratory culture under different combinations of irradiance and salinity and temperature and salinity. Phycologia 35: 327-331.
- Kim, S. W. 1989. Studies on the ecology of marine cladocerans in the northwestern Pacific ocean. Ph.D thesis dissertation. Hiroshima Univ., Hiroshima. 180pp.
- Kim, S. W. and T. Onbe. 1995. Distribution and zoogeography of the marine cladoceran *Penilia avirostris* in the northwestern Pacific. Bull. Plankton Soc. Japan, 42: 19-28.
- Kim, S. W., T. Onbe and Y. H. Yoon. 1989a. Feeding habits of marine cladocerans in the Inland Sea of Japan. Mar. Biol., 100: 313-318.
- Kim, S. W., Y. H. Yoon and T. Onbe. 1993. Note on the prey items of marine cladocerans. J. Oceanol. Soc. Korea. 28: 69-71.
- Kim, S. W., Y. H. Yoon, T. Onbe and T. Endo. 1989b. Is grazing of marine cladocerans important for the occurrence of red tide? Pages 261-264 in Okaichi T., D. M. Anderson and T. Nemoto Eds. Red tide: Biology, environmental science and toxicology. Elsevier Sci. Publ. Co. Inc., New

York.

- Kim, Y.-G. and K. Kim. 1999. Intermediate water in the East/Japan Sea. J. Oceanogr. Soc. Japan, 55: 12-132.
- Kim, W. S., H. Rumohr, M. K. Schmid and C. H. Koh. 1996b. A rhythmicity in the rate of oxygen consumption by the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. J. Korean Soc. Oceanogr., 31(3): 117~122.
- Kim, W. S., H. T. Huh, J. G. Je and K. N. Han. 2003a. Evidence of two clocks in the endogenous rhythms of the oxygen consumption in the Washington clam, *Saxidomus purpuratus*, Mar. Biol., 142: 305~309.
- Kim, W. S., H. T. Huh, J. H. Lee, H. Rumohr and C. H. Koh. 1999. Endogenous circatidal rhythm in the Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae). Mar. Biol., 134: 107~112.
- Kim, W. S., H. T. Huh, S. H. Huh and T. W. Lee. 2001. Effect of salinity on endogenous rhythm of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae). Mar. Biol., 138: 157~162.
- Kim, W. S., J. K. Jeon, S. H. Lee and H. T. Huh. 1996a. Effects of pentachlorophenol (PCP) on the oxygen consumption rate of the river puffer fish *Takifugu obscurus*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 143: 9~14.
- Kim, W. S., J. M. Kim, M. S. Kim, C. W. Park and H. T. Huh. 1998. Effects of sudden changes in salinity on endogenous rhythm of the spotted sea bass *Lateolabrax sp.* Mar. Biol., 131: 219~225.
- Kim, W. S., J. M. Kim, S. K. Yi and H. T. Huh. 1997. Endogenous circadian rhythm in the river puffer fish *Takifugu obscurus*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 153: 293~298.
- Kim, W. S., S. J. Yoon, D. B. Yang. 2004a. Effects of chlorpyrifos on the endogenous rhythm of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae). Mar. Poll. Bull., 48: 182~187.
- Kim, W. S., S. J. Yoon, H. T. Moon and T. W. Lee. 2002b. Effects of water temperature changes on the endogenous and exogenous rhythm of oxygen consumption in the glass eels *Anguilla japonica*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 243: 209~216.
- Kim, W. S., S. J. Yoon, J. M. Kim, J. W. Gil and T. W. Lee. 2005a. Effects of temperature change on the endogenous rhythm of oxygen consumption in

- the olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Fish. Sci., 71: 471-478.
- Kim, W. S., S. J. Yoon, Y. Kim and S. Y. Kim. 2002a. Endogenous rhythm of oxygen consumption in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). J. Fish. Sci. Tech., 5): 191~199.
- Kim, W. S., S. J. Yoon and J. W. Gil. 2003b. Critical thermal maximum (CTM) of cultured black rockfish *Sebastes schlegeli*. J. Fish. Sci. Tech., 6): 59~65.
- KRISO. 1976. Oceanographic studies for Wolsong Nuclear Power Plant. Seoul. 264pp.
- LADWP. 2005. Proposal for information collection for Harbor Generating Station. City of Los Angeles. Dept. Water and Power. LA. 57pp.
- Lampert, W. 1984. The measurement of respiration. Pages 413~468 in J. A. Downing and F. H. Riegler *eds.* A manual on methods for the assesment of secondary productivity in fresh waters, IBP handbook No. 17. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Langford, T. E. L. 1990. Ecological effects of thermal discharges. Elsevier Applied Science. London and New York. 468pp.
- Lee, J. C. 1983. Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer. J. Oceanol. Soc. Korea, 18, 149-160.
- Lee, I. K. and Y. H. Kim. 1999. Biodiversity and distribution of marine benthic organisms and uses of algal resources in the coastal zone of Korea and Japan I. Benthic marine algae in the east coast of Korea. Algae, 14: 91-110.
- Lee T. W. and W. S. Kim. 2001. Thermal effects on respiratory activities of glass eels at different developmental stages. J. Taiwan Fish. Res., 9: 129~136.
- Lie,, H.-J., C.-H. Cho and J.-H. Lee, 1998. Separation of the Kuroshio water and its penetration onto the continental shelf west of Kyushu. J. Geophys. Res., 103: 2963-2976.
- Lie, H.-J, C.-H. Cho, J.-H Lee, and S. Lee, 2003. Structure and eastward extension of the Changjiang River plume in the East China Sea, J. Geophys. Res., 108: 3077, doi:10.1029/2001JC001194.
- Lie, H. J. and Y. H. Seung. 1994. A review on status and development of

- physical oceanography research in Korea. J. Korean Soc. Oceanogr., 29: 64-81.
- Lim, D. B. 1973. The movement of the cold water in the Korea strait. J. Oceanol. Soc. Korea, 8, 46-52.
- Lim, D. B. and S.-D Chang. 1969. On the cold water mass in the Korea Strait. J. Oceanol. Soc. Korea, 4: 71-82.
- Lim, H. S., J. W. Choi, J. G. Je and J. H. Lee. 1992. Distribution pattern of macrozoobenthos at the farming ground in the western part of Chinhae Bay, Korea. J. Korean Fish. Soc., 25(2): 115~132. (in Korean)
- Lim, H. S. and J. S. Hong. 1997. Ecology of the macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea. 2. Distribution pattern of the major dominant species. J. Korean Fish. Soc. 30(2): 161~174. (in Korean)
- Lin, Y. and S. Li. 1984. A preliminary study on the life cycle of *Calanus sinicus* Brodsky in Xiamen Harbour. J. Xiamen Univ. (Nat. Sci.), 23: 111-117 (in Chinese with English abstract).
- Lin, Y. and S. Li, 1986. Laboratory survey on egg production of marine planktonic copepod *Calanus sinicus* in Xiamen Harbour. J. Xiamen Univ. (Nat. Sci.), 25: 107-112 (in Chinese with English abstract).
- Longhurst, D.J. and D.L.R. Seibert. 1972. Oceanic distribution of *Evadne* in the eastern Pacific (Cladocera). *Crustaceana*, 22: 239-248.
- Louisiana. 1993. Louisiana State Regulation. Chapter 11. Surface water quality standards. Louisiana. 48pp.
- Maine. 1996. Chapter 582. Regulations relating to temperature. State water law. Department of Environmental Protection. Maine. 1p.
- Maryland (2002). Water pollution Control regulations. 03-3. Water quality criteria specific to designated uses. Maryland. 7pp.
- Massachusetts. 2001. Industrial wastewater. 314 CMR 4.00. Massachusetts surface water quality standards. Department of Environmental Protection. Massachusetts. 109pp.
- Mattice, J. S. and H. E. Zittel. 1976. Site-specific evaluation of power plant chlorination. J. Water Pollut. Control Fed. 48: 2284-2308.
- Miller, D. S. and B. A. Brighthouse. 1984. Thermal Discharges. A guide to power and process plant cooling-water discharges into river, lakes, and sea.

- British Hydromechanics Research Association, London.
- Mississippi. 2003. Water quality criteria for interstate, interstate and coastal waters. Mississippi. 41pp.
- Na, J. Y., S. K. Han and K. D. Cho. 1990. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea peninsula -Expansion of coastal waters and its effect on temperature variations in the south sea of Korea-. Bull. Korea Fish. Soc., 23: 267-279.
- Nakao, T. 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. J. Fac. Mar. Sci. Tech. Tokai. Univ., Japan. Spec., 190-367.
- Nakatani, R. E. 1969. Effects of heated discharge on anadromous fishes. Pages 294-317 in P. A. Krenkel and F. L. Parker *ed.* Biological aspects of thermal pollution. Vanderbilt Univ. Press, Oregon. 393pp.
- New Hampshire. 1999. Surface water quality regulations. Chapter 1700. Department of Environmental Service. New Hampshire. 40pp.
- New Jersey. 2004. Surface water quality standards. Department of Environmental Protection. New Jersey. 124pp.
- New York. 1991. Criteria Governing Thermal Discharges. 6 NYCRR Part 704. Department of Environmental Conservation. New York. 8pp.
- North Carolina. 2004. North Carolina Administrative Code. Subchapter 2B. Surface water and wetland standards. North Carolina. 130pp.
- North, W. J. and E. K. Anderson. 1973. Anticipated biological effects from heated effluents at Diablo Cove. Pacific Gas and Electric Co., 134pp.
- OECD. 1992. The Polluter-Pays Principle: OECD Analysis and Recommendations. Environmental Directorate, Paris.
- Oertzen, J. A. von. 1984. Influence of steady-state and fluctuating salinities on the oxygen consumption and activity of some brackish water shrimps and fishes. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 80: 29~46.
- Onbe, T. 1974. Studies on the ecology of marine cladocerans. J. Fac. Fish. Animal Husb., Hiroshima Univ., 13: 83-179 (in Japanese with English abstract).
- Oregon. 2004. Oregon Administrative Rules. Chapter 340. Division 041. Water quality standards: Beneficial uses, policies, and criteria for Oregon.

- Department of Environmental Quality. Oregon. 87pp.
- Paffenhofer, G. A. and J. D. Orcutt. 1986. Feeding, growth and food conversion of the marine cladoceran *Penilia avirostris*. J. Plankton Res., 8: 741-754.
- Pang, I.-C, H.-K. Rho and T.-H. Kim. 1992. Seasonal Variations of Water Mass Distributions and Their Causes in the Yellow Sea, the East China Sea and the Adjacent Seas of Cheju Island. Bull. Korea Fish. Soc., 25: 151-163.
- Park, C. K. 1979. On the distribution of dissolved oxygen off the east coast of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 14: 67-70.
- Parker, H. and A. M. Breeman. 1996. Temperature responses of tropical to warm-temperate Atlantic seaweeds. II. Evidence for ecotypic differentiation in amphi-Atlantic tropical-Mediterranean species. Eur. J. Phycol. 31: 133-141.
- Parry, G. 1966. Osmotic adaptation in fishes. Bio. Rev. 41: 392~444.
- Patric, R. 1969. Some effect of temperature on freshwater algae. Pages 161-185 in P. A. Krenkel and F. L. Parker *ed.* Biological aspects of thermal pollution. Vanderbilt Univ. Press, Oregon. 393pp.
- Pearce D. W. and R. K. Turner. 1990. Economics of Natural Resources and the Environment, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Reubush, K. J and A. G. 1996. Metabolic responses to acute handling by fingering inland and anadromous striped bass. J. Fish Biol., 49: 830~841.
- Rhode Island. 2000. Water quality regulations. Department of Environmental Management. Rhode Island. 34pp.
- Roffman, A. 1975. Environmental, economic, and social considerations in selecting a cooling system for a steam electric generating plant. Pages 1-23 in S. R. Hanna and J. Pell. 1975. *eds.* Cooling tower environment-1974. Proc. Symp. March 4-6, 1974. Univ. Maruland Adult Edu. Cen. Energy Research and Development Administration. Virginia. 638pp.
- Ronald. C. P. 1978. The aqueous chlorination of organic compounds: Chemical reativity and effects on environmental quality. National Research Council Canada. NRCC No. 1640. Ottawa. 136pp.
- Rute and Silvia 2006. Thermal discharge. <http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/Environmental/THERMAL/tte1.htm>.
- Ryther, J. H. 1959. Light adaptation by marine phytoplankton. Limnol.

- Oceanogr., 4:491-497.
- Samuel G. and W. H. Jordan. 1980. Nuclear power and its environmental effects. American Nuclear Society. Illinois. 395pp.
- Scott, D. L. 1973. Pollution in the electric power industry. Its control and costs. Sited by T. E. L. Langford. 1990. in Ecological effects of thermal discharges. Elsevier Applied Science. London and New York. 468pp.
- Shin, H. R. 1994. Analysis of seasonal distribution of water mass in the Korea Strait and East China Sea. J. Korean Earth Science Soc., 15: 81-90.
- Shin, H. C., S. S. Choi and C. H. Koh. 1992a, Seasonal and spatial variation of polychaetous community in Youngil bay, southeastern Korea, J. Oceanogr. Soc. Korea, 27(1): 46~54. (in Korean)
- Shin, H. C., S. G. Kang and C. H. Koh. 1992b, Benthic polychaete community in the southern area of Kyeonggi bay, Korea, J. Oceanogr. Soc. Korea, 27(2): 164~172.
- Shin, H. C. and C. H. Koh. 1990. Temporal and spatial variation of polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. J. Oceanogr. Soc. Korea, 25(4): 205~216.
- Shin, H. C. and C. H. Koh, 1993. Polychaetous community in the coastal zone off Samchunpo, southern sea of Korea. J. Oceanogr. Soc. Korea, 28(4): 305~312. (in Korean)
- Shin, H. C. 1995, Benthic polychaetous community in Kamak bay, southern coast of Korea, J. Oceanogr. Soc. Korea, 30(4): 250~261.
- South Carolina. 1999. Pollution control Act. Section 48-1-10. Water quality standards. South Carolina. 54pp.
- Steffensen, J. F. 1989. Some errors in respirometry of aquatic breathers: how to avoid and correct for them. Fish Physiol. Biochem., 6: 49~59.
- Steemann-Nielsen, E. and E. G. Jorgensen. 1968. The adaptation of plankton algae. III. With special consideration of the importance in nature. *Physiol. Plant*, 21:647-654.
- Steffensen, J. F. 1989. Some errors in respirometry of aquatic breathers: how to avoid and correct for them. Fish Physiol. Biochem., 6: 49~59.
- Stone & Webster Engineering Corporation. 1985. Condenser-targeted chlorination design. Electric Power Research Institute CS-4279. Project 2300-2. Boston.

237pp.

- Stratton, F. E. and P. L. MaCarty. 1967. Prediction of nitrification effects on the dissolved oxygen balance of streams. *Env. Sci. & Tech.*, 1: 405-410.
- Strawn, K., F. J. Margraf and K. S. Chung. 1977. Heat resistance of crustaceans and fishes taken from the intake canal of an estuarine power plant and their predicted survival in the discharge canal. Depart of Wildlife and Fisheries Science, Texas A&M University and Texas Agricultural Experiment Station Project 1869. Houston. 443pp.
- Sudo, H. 1986. A note on the Japan Sea proper water. *Prog. Oceanog.*, 17: 313-336.
- Super, R. 2003. An overview of flow reduction technology for reducing aquatic impacts at cooling water intake structures. Pages 23-31 in EPA 625-C-05-002. Proceedings Report. A Symposium on Cooling Water Intake Technologies to Protect Aquatic Organisms. May 6-7, 2003. Arlington, Virginia
- Taft, N. E. and T. Cook. 2003. An overview of fish protection technologies and cooling water intake structures. Pages 8-23 in EPA 625-C-05-002. Proceedings Report. A Symposium on Cooling Water Intake Technologies to Protect Aquatic Organisms. May 6-7, 2003. Arlington, Virginia
- Takesue, K. and A. Tsuruta. 1978. The thermal effects of cooling system of a thermal power plant on photosynthesis of marine phytoplankton. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 34:295-302.
- Tera Technology. 2002. Evaluation of cooling system alternatives proposed Morro Bay Power Plant. 43pp. California.
- Texas. 1997. Texas natural resources conservation commission. Chapter 307. Texas surface water quality standards. Texas. 128p.
- Trekeld, A. K., 1979. The midsummer dynamics of two *Daphnia* species in Wintergreen Lake. Michigan. *Ecol.*, 60: 165-179.
- Trusell, R. P. 1972. The percent unionized ammonia in aqueous ammonia solution at different pH levels and temperature, *J. Fish. Bd. Canada*, 29: 1505-1507.
- Uda, M. 1938. Researches on 'Siome' or current rip in the seas and oceans. *Geophys. Mag.*, 11: 307-372.

- United States Court of Appeals. 2007. The second circuit. 80pp.
- Virginia. 2004. State Water Control Board 9 Vac 25-260. Virginia water quality standards. Virginia. 175pp.
- Waring, C. P., R. M. Stagg and M. G. Poxton. 1996. Physiological responses to handling in the turbot. *J. Fish Biol.*, 48: 161~173.
- Warinner, J. E. and M. L. Bremer. 1966. The effects of thermal effluents on marine organisms. *Air and Water Poll.*, 10:227-289.
- Washington. 2003. Water quality standards for surface waters of the State of Washington. Chapter 173-201A WAC. Department of Ecology. Washington. 38pp.
- Wrona, F. J. and R. W. Davis. 1984. An improved flow-through respirometer for aquatic macroinvertebrate bioenergetic research. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 41: 380~385.
- Wu, C. Y. 1998. The seaweed resources of China. Pages 34-46 in A. T. Critchley and M. Ohno eds. *Seaweed Resources of the World*. Japan International Cooperation Agency, Yokosuka.
- Yang, H. S., S. S. Kim, C. G. Kang and K. D. Cho. 1991. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent Korea Peninsula. *Bull. Korea Fish. Soc.*, 24: 185-192.
- Yentsh, C. S. and J. H. Ryther. 1957. Short-term variations in phytoplankton chlorophyll and their significance. *Air and Water Poll.*, 10:227-289.
- Yoo, K. I. and S. W. Kim. 1987. Seasonal distribution of marine cladocerans in Chinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*. 22: 80-86.
- Yoo, S. A. and I. K. Lee. 1980. A study on the algal communities on the south coast of Korea. *Proc. Coll. Natur. Sci., SNU*, 5: 109-138.
- Yoon, S-J, C-K. Kim, J-G. Myoung J-G and W. S. Kim. 2003. Comparison of oxygen consumption patterns between the wild and the artificially cultured black rockfish *Sebastes schlegeli*. *Fish. Sci.*, 69: 41~47.
- Youn, Y. H., Y. H. Park and J. H. Bong, 1991. Enlightenment of the characteristics of the Yellow Sea bottom cold water and its southward extension. *J. Korean Earth Science Soc.*, 12: 25-37.

부 록

부록 1. 냉각수 취수허가 신청서

[별지 제1호서식]

(앞쪽)

냉각수 취수 허가 신청서				처리기간	
				해양수산부: 일	
신청인	①소속			②성명	
	③주소			④주민등록번호	
⑤ 시설	시설명		주소		
	연락처	담당자 :	전화 :	FAX :	E-mail :
⑥ 취수위치					
⑦ 취수	취수방식		펌프사양		
	취수량		취수유속	최대단위 유속 및 유량	
⑧ 증빙자료 목록					
<p>해양환경관리법 제33조에 의거하여 냉각수 취수 허가를 받고자 신청합니다. 신청인 (서명 또는 인)</p> <p>해양수산부 장관 귀하</p>					
※ 별첨 증빙자료 내역 참조					

구비서류

<해양생태계 조사 자료>

1. 기초 생태계 조사 자료(환경영향평가 항목에 준하는 직근 2년간의 계절별 조사 자료)
2. 서식유형별 생물군집의 지역별, 계절별 분포 양상의 정성 정량 자료
3. 식물플랑크톤의 기초 생산력
4. 천연기념물, 보호종, 위기종의 서식 유무
5. 냉각수를 취수하는 수피를 산란장, 성육장, 회유 경로로 이용하는 해양생물의 유무
6. 해양물리, 화학적 특성 및 수질 자료

<냉각수의 생태계 영향 저감 대책>

7. 냉각수 사용량이 최소 사용량이며, 해양생태계에 미치는 영향을 감소한 적용 가능한 최저유속임을 증빙할 수 있는 자료
8. 냉각수 취수 수심 및 위치(수중취수 방식을 채택하지 않을 경우, 그 사유)
9. 냉각수 취수 해역의 수산업 현황
10. 일주기별, 계절별 냉각계통의 충돌 및 연행 피해 예상량
11. 해양생태계 보호를 위한 설비 내역 및 운영방안

<기타 사항>

12. 시설 배치도 및 예상공정
13. 냉각수 취수 및 배수시설 위치 지도

부록 2. 온배수 배출 및 온배수확산구역 사용허가 신청서

[별지 제2호서식]

(앞쪽)

온배수 배출 및 온배수확산구역 사용허가 신청서				처리기간	
				해양수산부: 일	
신청인	①소속			②성명	
	③주소			④주민등록번호	
⑤ 시설	시설명	주소			
	연락처	담당자 :	전화 :	FAX :	E-mail :
⑥ 배수위치					
⑦ 배수	배수방식			배수위치	
	배수량			배수유속	최대단위 유속 및 유량
⑧ 온배수확산구역	최장거리			최대면적	
⑨ 증빙자료 목록					
<p>해양환경관리법 제33조에 의거하여 온배수 배출 및 온배수확산구역 사용허가를 받고자 신청합니다.</p> <p style="text-align: center;">신청인 (서명 또는 인)</p> <p>해양수산부 장관 귀하</p>					
※ 뒷쪽 증빙자료 내역 참조					

구비서류

<해양생태계 조사 자료>

1. 해양물리 조사: 조석관측, 연속 조류관측, 수층별 수온 및 염분
2. 해양수질 조사: 투명도, pH, 용존산소농도, 잔류염소농도, 영양염 질산염+아질산염, 인산염, 규산염)농도, 입자성유기탄소, 입자성유기 질소, 입자성유기인, 중금속농도, 화학적산소요구량, 부유물질 농도 등
3. 해양저질조사 : 퇴적물의 중금속 농도, 퇴적물의 화학적산소요구량, 퇴적물의 유기탄소함량, 퇴적물의 입도 조성, 해저지형 조사
4. 해양생물조사
 - 미생물 군집 : 박테리아 개체수, 생산력, 군집 조성
 - 식물플랑크톤 : 기초생산력, 생물량, 군집구조, 난류성 식물플랑크톤의 분포
 - 동물플랑크톤 : 생물량, 군집구조, 난류성 동물플랑크톤의 분포
 - 해조류 : 군집구조, 생체량
 - 저서동물 : 군집구조, 생체량, 분포유형
 - 위기종 유무
5. 중요종에 대한 생물검정 실험 자료

<온배수확산구역>

6. 허가를 요청하는 온배수 배출량이 최소 배출량임을 증빙할 수 있는 자료
7. 온배수 배출 수심 및 위치(수중 배출방법을 채택하지 않을 경우 그 사유)
8. 온배수확산구역의 범위(잠정적으로 온배수가 자연해수와 혼합하여 그 차이가 1℃에 도달하는 범위)
9. 온배수가 해양생태계에 미치는 영향의 장기 감측 계획 및 감측 자료의 D/B 구축 계획
10. 확산구역 내의 수산업활동에 대한 피해보상 계획

<기타 사항>

11. 온배수확산구역도
12. 온배수확산 수치모델 개요

부록 3. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 공청회 결과

해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 공청회 결과

가. 공청회 개요

1. 공청회 명칭

해양생태계보전을 위한 온배수 관리방안 공청회

- 주최: 한국해양연구원, 국립충북대학교
- 후원: 해양수산부

2. 공청회 목적

해양생태계 보전을 위한 온배수관리방안 연구결과에 대한 학계, 산업계, 공공기관 관련자 및 어민들의 의견을 수렴하고 최종 결과물에 이를 최대한 반영함으로 모든 계층이 공감하는 온배수관리방안 수립

3. 공청회 일시 및 장소

2007년 11월 29일 14시 - 18시, 올림픽컨벤션센터 크리스탈룸(올림픽공원 내)

4. 공청회 참석자: 72명 (별첨 참석자 목록 참조)

- | | |
|----------------|-----|
| - 좌장 | 2명 |
| - 해양수산부 및 정부기관 | 10명 |
| - 지방자치단체 담당관 | 5명 |
| - 지역 어민대표 및 어민 | 7명 |
| - 환경단체 | 5명 |
| - 발전회사 | 4명 |
| - 학계 관심자 | 11명 |
| - 산업계 관심자 | 5명 |
| - 연구참여자 | 8명 |
| - 행사 보조 | 6명 |
| - 기자 | 1명 |
| - 미등록 인사 | 8명 |

5. 공청회 일정

13:00 - 14:00 접수

- 방명록 서명(참고자료 및 기념품 배부)
- 자유토론 신청 접수 및 순서 배정

14:00 - 14:10 개회식 (사회: 이순길)

- 국민의례
- 격려사: 해양수산부 해양환경기획관

14:10 - 14:40 연구결과 보고(좌장: 홍재상 인하대 교수)

- 온배수 관리기준 (이순길 공동연구책임자, 한국해양연구원)
- 온배수 관리시스템 (김영환 공동연구책임자, 충북대학교)

14:40 - 14:50 특별발표

- 온배수와 기후변화 (환경연합 정책처장 황상규)

14:40 - 16:00 지명토론 (좌장: 홍재상 인하대 교수)

- 노영재 충남대 교수
- 윤현수 해양수산부 해양생태팀장
- 심재현 대통령자문 지속발전위원회 물자연팀장
- 김환용 연안네트웍 상무이사
- 유승훈 호서대학교 교수

16:00 - 16:20 휴식

16:20 - 17:40 자유토론 (좌장: 노영재 충남대교수)

- 전종렬 고창군범어민대책위원회 위원장
- 우남기 영광군범어민대책위원회 위원장
- 김병빈 당진환경운동연합 사무국장
- 이평주 서산태안환경운동연합 사무국장

- 전준환 당진 교로리 어촌계장
- 김영오 영광군 어선협회 회장
- 나기환 (주) 메이텍 대표
- 박수택 SBS 환경담당 기자
- 노영재 충남대학교 교수
- 김영환 충북대학교 교수
- 문창호 부경대학교 교수
- 홍재상 인하대학교 교수
- 이순길 한국해양연구원 책임연구원
- 윤현수 해양수산부 해양생태팀장
- 표재금 고창군어민대책위원회 위원장
- 김원민 해양수산부 해양환경기획관

17:40 - 18:00 폐회식(이순길)

- 폐회사: 해양수산부 해양환경기획관

18:00 - 19:30 간담회 (부폐식)

나. 공청회 주요 내용 및 조치 계획

1. 공청회 주요 토의 내용

가). 지명토론

- 온배수와 수반된 여러 가지 환경요인 중 물리적인 실체를 밝히고, 이에 대한 학제간 기술적 검토를 거쳐 온배수 관리기준을 만들어야 한다.
- 정부와 모든 관련기관의 전문적 지식이 뒤떨어져 있다. 산자부, 환경부 등 관련 부처의 참여를 유도하여 온배수에 대한 체계적이고 전문화된 관리 정책을 유도해야 한다.
- 대통령지시사항은 배수 부담금 기준마련 방안으로 보정 효과를 거두는 것이었으나 많은 어려움이 따른다. 우선 갈등을 해소하여 신뢰를 구축하고 그 다음으로 시설물 개선 문제 및 재원 마련을 논의해야 한다.

- 부담금에 대한 저항이 있지만 국가에서 부담금 부과여부를 판단할 수가 있다. 국외에서는 사회적 비용을 최소화하는 경향이 있으며, 온배수 영향을 명시적으로 고려하고 있다. 우리나라의 경우 발전회사들이 온배수 영향 저감에 대한 노력을 기울이지 않고 있기 때문에 부담금을 제도화하여 온배수 배출로부터 해양생태계 보전을 위한 재원을 확보하는 것이 필요하다.
- 어업 피해 보상 문제와 같은 엄청난 갈등 구조가 있지만 온배수 관리지침이 없다. 온배수는 지구온난화에도 영향을 미치는데 그것과 관련된 위기 의식과 전문연구가 필요하다.

나). 자유토론

- 온배수가 오염물질이라는 정의가 필요하다. 열폐수 오염에 따른 생태계 환경 파괴 현황에 대한 연구가 필요하며, 연구결과를 널리 알려야 한다.
- 우리나라 실정을 바탕으로 우선 피해실태를 파악하고 관리방안 수립에 현장의 목소리를 반영해야 한다.
- 부담금은 원인자부담원칙에 입각하여 부담하여, 그 비용은 지역주민을 위해 사용해야 한다. 갈등 해소와 신뢰회복이 중요하다.
- 사후처방이 아닌 예방차원의 조치가 필요하며 어민의 생계 대책이 포함된 보상방법을 강구해야 한다.
- 관리방안을 법제화 하여 이를 어겼을 때 가동중단과 같은 강력한 조치가 필요하다.
- 대의 10℃ 상승이 바다에서의 1℃ 상승과 비슷하다. 또한 혼합구역에서는 변화가 크며, 표층수 배출과 수중배수 때의 형향이 다르다. 피해의 범주는 해양조건에 따라 달라지기 때문에 수치적으로 정량이 어렵다.
- 현행법에 염소 및 염소화합물과 중금속에 대한 배출 규제치가 있기 때문에 만일 온배수에 이러한 오염물질이 포함되어 배출 된다면 수질오염측면에서 다루어야 한다.
- 공유수면관리법 제7조 1에 의거 당해 권리를 가진 자가 공유수면의 점·사용에 동의한 경우에만 공유수면 점·사용 허가를 발부하도록 되어 있다. 공유수면 당해 권리자인 어민들이 동의하지 않았는데도 영광원전에 공유수면 점·사용 허가를 한 것은 위법이다.

2. 토의 내용에 따른 조치 계획

가). 학제간 기술검토를 통하여 관리방안 수립

1). 배출기준 수온

- 12월 6일이 개최되는 온배수연구회 2007년 추계학술대회의 정식 토의 항목으로 온배수 배출기준 수온 및 온배수확산구역 기준 수온에 대한 그동안의 연구결과 발표 및 집중 토론을 통하여 재검증
- 재검증된 배출기준 수온을 해양수산부 명의로 선정된 온배수 전문가(연구참여자 및 발전회사관계자 제외)를 대상으로 설문조사하여 해양수산부 안 확정(1월 10일까지)

2). 발전소 시설개선 등 기술적 문제

- 대부분의 발전계통 살계 및 가동 전문가는 발전회사와 연관되어 있어 구체적으로 기술 자문을 받아 온배수 관리방안 수립 곤란
- 온배수 관리기준을 지키지 못할 경우 해당 발전회사가 자체적으로 그 사유를 과학적으로 증빙하여 별도의 허가를 얻도록 관리방안에 유예 조항을 두고 있어 별 문제는 없을 것임
- 온배수 관리기준에 대한 보다 확실한 과학적 배경을 얻기 위하여 해양수산부 주관으로 온배수 관리기준에 대한 국제학술대회(symposium) 개최

나). 부담금 저항 해소

- 공청회에서 발표한 온배수 관리방안 예산확보방안을 토대로 2개안(해양수산부 예산 및 사안별 원인제공자 부담, 원인제공자 일괄 부담)으로 구분하여 보고서 작성
- 전기 사용자가 설문조사 결과를 보고서에 삽입

다). 체계적이고 전문적인 관리방안 수립

- 해양수산부 관리방안 확정
- 관리방안 정책회를 위한 로드맵 작성 및 실천
 - 내부 조정
 - 부처간 협의(온배수관리방안 협의회)
 - 대외홍보

다. 공청회 속기록

1. 지명토론

노영재 - 25년간 온배수 문제가 대두되었다. 온배수에 끼치는 여러 가지 환경요인 중 물리적인 실체를 밝히는 것이 중요하다. 기술적 검토를 거친 온배수 관리기준을 만들어야 보다 객관적이고 공정한 시각을 사람들이 가질 것이다. 설치방법에서 과학자들마다 의견이 다르지만 적절한 관리시스템이 필요하다.

김환용 - 주로 배수 쪽에만 관심을 두는 데 취수구에도 관심을 가져야 한다. 중앙 온배수관리위원회의 조직구성은 문제가 없을 것 같으나 지역온배수관리위원회가 어떻게 구성될 것인가?

유승훈 - 한수원과 중부발전이 제출한 의견서에서 부담금 부과사례가 해외에는 없다는 사실은 맞다. 그러나 국가에서 부담금 부과여부를 판단할 수가 있고 우리나라에서 온배수 관리방안이 시행되면 부담금의 필요성이 인식될 것이기 때문이다. 미국이나 유럽에서는 사회적 비용을 최소화하는 방향으로 가는 경향이 있는데 온배수의 영향을 명시적으로 고려하고 있다. LNG같은 경우 액화된 것을 기화시킬 때 온배수와 반대로 냉배수를 배출하게 된다. 그러나 평택에 위치한 화력발전소가 온배수와 LNG발전소에서 나오는 냉배수를 혼합하지 않고 있다. 다른 곳은 발전회사가 아닌 GS칼텍스가 온배수와 냉배수 섞는 비용을 부담하고 있다. 발전회사들은 노력을 기울이지 않고 있기 때문에 온배수 부담금을 부담하는 것이 좋겠다. 가장 중요한 것은 재원확보를 마련하는 것이고 이것이 있어야 생태보전사업을 할 수 있다.

심재현 - 온배수 문제점은 다음과 같다. 우선 어업 피해 보상 문제와 같은 엄청난 갈등 구조를 들 수 있고 배출기준에 관한 관리지침이 제대로 되어 있지 않으며 지

구온난화에 영향을 미치는데 그것과 관련된 연구가 미비하다는 점이다. 산자부에서도 이런 심각한 상황을 인식하지 못하는 것도 큰 문제이다. 이러한 사안의 심각성을 인식하고 국내 중요 정책으로 되도록 노력해야하며 체계적이고 전문화된 정책으로 관리위원회를 만들어야 한다.

윤현수 - 온배수에 관한 어업피해를 과거에 다루었었으나 보상에 관하여 단편적으로 이루어졌었다. 이미 만들어진 발전소 같은 경우 다시 설계할 수 없으며 온배수에 관한 이러한 논의가 과거에 이루어지지 않았다. 정부와 모든 관련기관의 전문적 지식이 뒤떨어져 있는 것 같다. 대통령지시사항은 온배수 부담금 기준마련방안으로 보정의 효과를 거두는 것이었으나 여기에는 많은 어려움이 따른다. 온배수 관리방안에는 크게 세 가지가 필요한 데 우선 갈등해소가 이루어져 신뢰를 구축하고 그 다음으로 시설물 개선 문제라든지 재원 마련을 해야 할 것이다.

2. 자유토론

우남기 - 온배수가 오염물질인가 아닌가? 온배수 정의에 대하여 해석을 달리하고 있기 때문에 정의의 일치가 필요하다. 또한 부담금을 이용하여 대체어장을 조성해야 하고 발전소에는 취수구 설비가 전무하여 한수원에서 시설을 지어야 한다.

김영복 - 현장의 목소리를 반영해야 하는데 그것이 미비한 것 같고 산자부가 참여하지 않는 것도 큰 문제이다. 또한 온배수 관리 방안에 대한 인식을 확대시켜야 한다.

김병빈 - 온배수 문제가 논란이 되는 것은 사실이다. 우리나라는 인구밀도가 높고 발전소가 바닷가에 대규모로 설립되었다. 외국에는 그런 설정이 없기 때문에 우리나라만의 특별한 설정을 이해해야 한다. 이러한 사실을 바탕으로 우리는 우선 공감할 수 있는 피해사례실태를 파악해야 한다. 또한 온배수가 열에만 국한된 문제가 아니기 때문에 명확한 조사가 필요하다. 그리고 배출량 같은 경우도 시설마다 각기 다르게 적용해야 한다.

이평주 - 사안의 심각성 인식이 부족하다. 또한 해당지역에서의 현장 목소리에 귀를 기울여야 한다. 사후처방이 아닌 예방차원의 조치가 필요하며 보상 문제에 대해

서도 노력을 하지 않고 있다. 위원회 설치와 부담금이 필요한데 부담금의 경우 원
인자부담원칙에 입각하여 부담해야 한다. 그리고 신뢰회복이 필요한데 지역주민을
배려하여 갈등을 해소하는 것이 중요하다.

당진어촌계장 - 온배수가 수질과 생태계, 대기환경에도 피해를 주는 건 사실이다.
우리 지역에서도 보상을 받았다. 온배수가 방출되면서 전복이라든지 미역과 다시마
가 많이 나타났다. 이렇게 온배수를 이용하여 더 큰 소득을 올릴 수 있게 해주어야
한다.

영광어선협회 - 법을 준수해야 하며 이를 어겼을 때 가동중단과 같은 강력한 조치
가 필요하다.

나기환 - 체계적이고 합리적이며 지속적인 조사가 필요하고 보상피해범위가 제대로
지정되어야 한다. 또한 보상만이 대책이 아니라 어민 생계 대책을 강구해야 한다.

박수택 - 온배수에 대한 개념이 불분명하다. 현재는 어떠한가? 또한 열폐수 오염에
따른 생태계환경 파괴 현황은 어떠한가? 자료가 있어야 해결이 가능하다. 마지막으
로 이러한 연구 자료의 결과가 국민에게 널리 알려져야 한다.

노영재 - 온배수에 관하여 정의를 결론짓기가 어렵다. 현재로서는 온배수에 대한
전반적인 시각의 문제를 포괄적으로 본다.

김영환 - 온배수로 인한 피해가 있다. 바닷물이 1~2℃ 올라가는 것은 대기와는 다
르다. 대기의 10℃ 상승이 바다의 1℃ 상승과 비슷하다고 보면 된다. 또한 mixing
point에서는 상당한 변화가 있다. 더운물이 복수기를 거쳐 바닷물로 배출될 때 표층
수로 배출될 때와 심층수로 배출될 때 생물에게 미치는 영향이 다르다. 사실 피해
의 범주는 그때그때 달라지기 때문에 몇 km지점이라고 정의내릴 수 없다.

문창호 - 범주지정에 있어 많은 어려움이 있다.

홍재상 - 염소와 온도가 배출될 때는 같이 섞여있을 텐데 분리가 가능한가? 남아있
다면 영향이 클 것이다.

이순길 - 염소는 대기 중으로 대부분이 증발하며 염소배출기준이 정해져 있다. 그리고 이 부분은 수질오염측면이다.

윤현수 - 연안지역의 오염도를 체크해야 한다. 염소가 대부분 휘발되는 것은 맞고 염소보다는 열적인 오염문제가 더 크다. 필요하다면 다시 조사해서 포함하겠다.

박수택 - 아까 질문한 것 중 화학물질에 대한 피해상황을 제대로 답변하지 않았다. 답변이 요구된다.

노영재 - 과거에는 화학물질이 대량배출 되었으나 현재는 소량 배출되고 있다.

이순길 - 현재도 역시 화학물질이 존재한다. 냉각계통을 유지하기 위해 염소처리를 하고 있으며 이 문제는 수질오염측면에서 따로 다루게 되며 화학물질은 규제치가 있다. 여기에서는 순수한 온배수(온도)만을 다룬다.

표재금 - 전북 고창에서는 피해가 큰 반면에 피해보상액이 적다. 이러한 것도 법률 안에 반영해야 하는 것 아닌가? 또한 영광 수산과에서 동의서를 제출하지 않고 처리한 것은 위법의 소지가 있다.

윤현수 - 그 부분에 대해서 알아봐 주겠다.

김원민 - 여러 가지 의견을 수렴할 결과 실마리를 푸는 것이 큰 과제인 것 같다.

용 어 해 설

가압경수로(加壓輕水爐, pressurized water reactor): 원자력발전의 한 형태로 원자로 내의 압력을 150~160기압으로 올려 물을 가열하여 수증기를 얻어 발전하는 방식. 감속재와 냉각재로 물을 사용한다.

가중평균(加重平均, weighted mean): 여러 집단에서 얻어진 값들에 대한 평균을 구할 때, 각집단의 중요도를 무게로 대응시켜 평균을 구하는 방법.

각포자(角孢子, conchospore): 김 등 홍조류의 생활사의 한 단계. 과포자가 실모양으로 자라나 운동력을 잃은 상태

간접냉각법(間接冷却法, indirect cooling-water system): '재순환 냉각 방식' 참조.

건식냉각탑(乾式冷却塔, dry cooling tower): 공랭식의 일종으로 냉각 핀 또는 벌집 모양의 금속 구조물로 된 방열기(radiator)로 더운물을 보내는 방식의 냉각탑.

과포자(果孢子, carpospore): 홍조식물(紅藻植物)에서 유성생식(有性生殖)을 거쳐 형성되는 포자. 난세포가 정자와 합쳐져 생긴 접합자는 배우체내에서 발달하여 과포자체가 되며 최종적으로 과포자가 만들어 진다.

관류냉각법(管流冷却法, once-through cooling system): 일회냉각방식 또는 직접 냉각방식(direct cooling system)이라고도 부르며, 자연에서 취수한 냉각수를 복수기(復水器, condenser) 또는 열교환기(熱交換器)로 보내어 증발열을 흡수케 하여 다시 자연으로 직접 배출하는 냉각방식.

광온성(廣溫性, eurytherms): 온도 변화에 대하여 넓은 내성 범위를 갖는 생물. 통상적으로 온대성 생물과 조간대 생물들이 수온에 대한 내성이 크다.

국지기후(局地氣候, microclimate): 수km 이내의 협소한 지역에서의 기후.

내열종(耐熱種, warm tolerant species): 비교적 높은 온도에서도 견디는 생물종. 열대생물과 조간대 생물은 대부분 높은 온도에 잘 견디는 내열종들이다.

내인성생체리듬(內因性生體리듬, endogenous rhythm): 생물체의 호르몬 분비 등 내부적인 원인에 기인하는 생체리듬. 주기적으로 환경변화에 장기간 노출되어 환경의 변화주기에 맞추어 생리작용이 같은 주기를 가지고 변하는 현상.

냉각계통(冷却系統, cooling system): 열기관에서 발생하는 폐열을 처리하거나 열기관 자체를 차게 식혀주는 일련의 물리적 계통.

냉각수(冷却水, cooling water): 수냉식 냉각계통을 사용하는 열기관에서 발생하는

폐열을 처리하거나 열기관 자체를 차게 식혀주기 위하여 사용하는 물.

냉각수로(冷却水路, cooling channel): 냉각수가 흐르는 다양한 길이의 수로, 직접 냉각법의 한 형태로 사용하기도 한다.

냉각연못(冷却池, cooling pond): 온배수가 주변 수역에 도달하기 전에 열을 상실할 수 있는 완충 역할로 이용되는 연못. 재순환식 관류냉각법의 경우 전용 냉각 연못에서 냉각수 취수와 온배수 배출을 같이 한다.

냉각탑(冷却塔, cooling tower): 대형 열기관의 폐열 처리를 목적으로 건설된 목재 또는 콘크리트로 수직 구조물. 건식과 습식이 있다.

대체에너지(代替에너지, alternative energy): 화석연료 대신 사용 가능한 에너지로 태양열, 풍력, 조력, 바다의 온도차 등이 있다.

물때(scale): 물에 섞여 있는 세균이나 점액질을 지닌 생물들이 냉각계통의 관이나 복수기의 내벽에 붙어서 끼는 때.

반수치사농도(半數致死濃度, LC50): 시험생물의 반수가 사망하는 농도(반수가 계속 생존하는 농도. 96h-LC50는 96시간 이내에 50%의 시험생물이 사망하는 농도이다.

배우체(配偶體, gametophyte): 김 등 세대교번을 하는 식물의 생활사에서 생식세포의 염색체수가 반수(n)인 시기.

변온동물(變溫動物, poikilotherm): 어류와 같이 체온을 일정하게 유지시키지 못하고 주변 온도에 적응시키는 동물. 냉혈동물(冷血動物)이라 하기도 한다.

보조통풍식 냉각탑(補助通風式 冷却塔, assisted draft tower): 전동 선풍기를 돌려서 공기의 흐름을 촉진시키는 냉각탑.

복수기(復水器, condenser): 수증기를 식혀서 물로 응축하는 장치. 기력발전소에서 사용하는 수증기는 순수(純水)로 만든 것으로 복수기에서 물로 응축하여 재사용한다.

분무연못(噴霧池, spray pond): 연못 위에서 물보라를 뿜거나 또는 수면에 분무기를 설치한 냉각용 연못.

분산법(분산법, spray method): 온배수를 공중으로 비산 시켜 냉각하는 방법

사상체(絲狀體, conchocelis): 해조류의 생활사 중 포자체가 연달아 나서 실모양으로 길게 늘어진 상태

상승작용(相乘作用, synergism): 한 요인의 작용 결과가 다른 어떤 요인의 개입에 의해서 강화되는 현상.

생물검정(生物檢定, bio-assay): 여러 가지 환경요인의 변화에 대한 생물의 반응을

측정하는 실험

생체리듬(生體리듬, bio-rhythm): '내인성생체리듬' 참조.

서식적온(棲息適溫, optimum temperature): 생물이 정상적으로 살아가기에 적합한 온도의 범위.

수괴(水塊, water mass): 같은 물리적 특성을 갖는 물 덩어리.

수소냉각법(水素冷却法): 수소가스를 냉매로 이용하는 냉각방법. 발전기 자체에서 발생하는 열을 식혀주기 위하여 사용하는 방법 중의 하나.

수온약층(水溫躍層, thermocline): 수온의 연직구조에서 수심이 1m 증가할 때 수온이 1℃ 이상 감소하는 수층으로 일정한 두께를 가지고 있다.

수중배수(submerged discharge): 대체로 표층수 아래에서 난류를 많이 일으키며 빠르게 분사시키며 냉각수를 배출하는 방식.

수중취수(水中取水, submerged intake): 표층수 아래에서 냉각수를 취수하는 방식.

순화(馴化, acclimatization 또는 acclimation): 환경의 변화나 자극이 계속될 때 생물이 그것에 대응할 수 있는 생리적 능력을 만들어내는 현상.

습식냉각탑(濕式冷却塔, wet cooling tower): 자연 통풍식 냉각탑과 보조 통풍식 냉각탑을 아울러 이르는 말. 구조물의 내부에 냉각수가 작은 물방울 또는 얇은 막으로 흩어져서 높은 곳으로부터 탑의 바닥에 있는 집수못(collecting pond)으로 낙하시키는 과정에서 폐열을 흡수한다.

심층배수(submerged discharge): '수중 배수'의 잘못.

심층취수(submerged intake): '수중 취수'의 잘못.

양수발전(揚水發電, pumped-storage power generation): 수력발전의 하나로, 심야나 주말의 잉여 전력으로 상류 저수지에 끌어올린 물을 이용하여 갈수기나 전력 수요가 많을 때 전력을 공급하는 일종의 에너지 보존 발전방식. 발전의 중단이 어려운 원자력발전소의 잉여전기를 저장하기 위한 방법으로 사용된다.

여수율(濾水率, filter rate): 수산생물이 호흡 또는 섭이를 위하여 아가미 등으로 단위 시간당 걸러내는 물의 양.

연행(連行, entrainment): 플랑크톤과 같이 크기가 작은 생물체가 취수구 스크린에 걸리지 않고 냉각계통을 통과하는 현상.

열교환기(熱交換機, heat exchanger): 일정한 매체에 포함된 에너지를 다른 매체로 옮겨주는 장치. 복수기는 열교환기의 일종이다.

열기관(熱機關): 연료를 태워 기계에너지 또는 운동에너지를 얻는 장치.

열효율(熱效率, thermal efficiency): 열기관에서 연료에 포함된 에너지가 원하는

에너지의 형태로 변화되는 비율.

열충격(熱衝擊, thermal shock): 생물이 정상적으로 온도 변화에 적응하지 못할 정도의 급격히 높거나 낮은 온도의 변화에 의한 이상 반응. 높은 온도에 노출되었을 때 나타내는 이상반응(heat shock)과 같은 의미로 사용하기도 한다.

오손생물(汚損生物, fouling organism): 해양에 설치한 구조물에 부착하여 피해를 주는 생물

온배수(溫排水, heated effluents, thermal effluents, thermal discharges): 자연수 온도보다 높은 온도를 지니면서 자연으로 배출되는 냉각수. 본 보고서에서는 자연수 온도보다 높은 상태로 자연으로 배출되는 물로서 열 이외의 어떠한 물질도 첨가되지 아니한 상태를 말한다.

온배수확산구역(溫排水擴散區域, thermal effluent area, thermally altered area): 온배수가 자연수와 혼합되어 열을 잃고 자연수온과 같은 온도로 돌아가는데 필요한 확산구역. 유사한 의미로 희석구역(稀釋區域, dilution zone), 혼합구역(混合區域, mixing zone) 등을 사용하기도 한다.

용승(湧昇, upwelling): 수환경에서 저층의 물이 표층으로 솟아오르는 현상.

응축(凝縮, condensing): 부피가 큰 기체상 물질은 부피가 작은 액체상 물질로 변이시키는 것.

일회냉각법(一回冷却法, once-through cooling system): ‘관류냉각법’ 참조.

임계최고온도(臨界最高溫度, critical thermal maximum): 운동이나 정위능력(orientation) 상실 등 가역적인 행동 변화 또는 생리적 변화가 나타나는 최고 온도.

자가영양(自家營養, autotroph): 외부의 무기질로부터 유기물을 합성하여 생활에 필요한 에너지를 얻는 방법으로 탄소동화작용은 대표적인 자가영양 방법이다.

자성선숙형(雌性先熟型): 동물의 성성숙 과정에서 먼저 암컷으로 일정 기간 살다가 수컷으로 성전환 하는 것

자연통풍식 냉각탑(自然通風式冷却塔, natural draft tower): 내부 형태와 구조에 의하여 공기의 흐름이 증진되는 냉각탑.

잔류염소(殘溜鹽素, residual chlorine): 용매에 남아 있는 염소. 발전소 냉각계통에 부착하는 오손생물 제거를 위하여 투입한 염소 중 분해되지 않고 자연으로 배출되어 해수 중에 남아 있는 염소

저온충격(低溫衝擊, cold shock): 온도가 급격하게 낮아질 때 이에 적응하지 못한 생물들이 나타내는 행동 및 생리적 이상 반응. 겨울철에 발전소 온배수확산구

역에 모여든 어류가 발전소 가동중지에 따른 급격한 수온저하로 사망하는 것은 저온충격의 좋은 예이다.

제한요인(制限要因, limiting factor): 충분하지 않을 경우 생물의 생육과 번식을 제한하는 요인으로 온도와 빛이 가장 대표작인 제한요인이다.

재순환냉각법(再循環冷却法, recirculating cooling-water system): 관류 냉각 방식과 달리 폐열을 주변 환경으로 직접 내보내지 않는 냉각 방식. ‘폐쇄’(closed), ‘증진’(enhanced) 또는 ‘간접’(indirect) 냉각 방식이라고도 한다. 대표적인 것으로 폐쇄수소냉각법(閉鎖水素冷却法)이 있으며, 냉각연못도 온배수가 열린 자연으로 배출되지 않는다는 관점에서 재순환냉각법이라 할 수 있다.

조류벡터(潮流벡터, current vector): 조류의 방향과 크기.

종다양성(種多様性, species diversity): 어느 생물군집에 출현하는 개체수에 대한 출현종의 상대적 다양성을 말하며, 이를 수치화 한 것을 종다양도지수(種多様度指數)라 한다.

증진냉각법(増進冷却法, enhanced cooling-water system): ‘재순환냉각법’ 참조.

지표종(指標種, indicator species): 어느 특별한 환경을 대표할 수 있는 종. 오염 지표종, 1급수 지표종, 빈영양 지표종 등.

직접냉각법(直接冷却法, direct cooling system): ‘관류 냉각 방식’ 참조.

치사온도(致死溫度, lethal temperature): 생물을 사망에 이르게 하는 높거나 낮은 온도.

폐쇄순환법(閉鎖冷却法, closed cooling-water system): 폐쇄순환식이라고도 한다.

폐열(廢熱, waste heat): 열기관 가동에 사용되는 연료에 포함된 에너지 중 목적하는 에너지 형태로 변하지 못하고 버려지는 에너지. 예: 발전소 등의 가동에 따라 주변으로 방출되는 열.

폐열부하총량(廢熱負荷總量, total waste energy load): 폐열의 형태로 자연으로 유입되는 에너지의 총량.

표층배수(表層排水, surface discharge): 수면 또는 수면 바로 아래로 난류(turbulence)를 적게 일으키며 느리게 층(layer)을 이루며 배출하는 방식.

표층취수(表層取水, surface intake): 수면 또는 수면 바로 아래에서 냉각수를 끌어올리는 방식.

풍도(豊度, richness): 생물의 정량적 많고 적음을 나타내는 생태지수

피도(被度, coverage): 해조류, 저서동물 등 피복생물의 개체가 서식면적당 차지하는 넓이.

항류(恒流, residual current): 조석작용에 의하지 않고 고유하게 흐르는 연안해류. 조석간차류(潮汐殘差流).

항온동물(恒溫動物, homeotherm): 주변 온도와 관계없이 자신의 체온을 항상 일정하게 유지시키는 동물. 포유류 및 조류.

협온성(狹溫性, stenotherms): 10℃ 내외의 좁은 범위의 온도 변화에 적응력을 갖는 생물. 협저온성(cold stenotherms), 협고온성(warm stenotherms)으로 나뉜다.

화학적산소요구량(化學的酸素要求量, Chemical oxygen demand, COD): 용매에 포함된 유기물질을 산화시키는데 필요한 산소의 량. 오염의 지표로 사용된다.

흑액(黑液, lignin): 나무의 주성분으로 제지과정 중 나무에서 펄프를 추출하고 남은 찌꺼기의 주성분.

히트펌프(heat pump): 냉매의 발열 또는 응축열을 이용하여 저온도의 열원(저준위 에너지)을 고온의 열원(고준위 에너지)으로 바꾸어 주거나(예: 냉방장치), 그 반대로 고온의 열원을 저온의 열원으로 바꾸어 주는 장치(예: 난방장치)를 포괄적으로 이르는 말.

ΔT (델타 티): 자연온도와 인위적으로 변화한 온도와의 차이.