

70-23362

|    |     |
|----|-----|
| 최  | 종   |
| 연구 | 보고서 |

**저전류 전기펄스를 이용한 전해수의 유효이용 및  
수산관련산업에의 응용**

Available use and Application to seafood industry of  
Electrolyzed water based on low-amperage pulsating  
direct current to seafood market and aquaculture

2007. 12.

주관연구기관 : 강릉대학교

해양수산부

# 제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “저전류 전기필스를 이용한 전해수의 유효이용 및 수산관련 산업에의 응용” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007년 10월 03일

주관연구기관명 : 강릉대학교  
주관연구책임자 : 신 일 식  
세부연구책임자 : 정 동 화  
연구보조원 : 최 규 덕  
연구보조원 : 이 용 천  
연구보조원 : 김 병 욱  
연구보조원 : 지 일 용  
연구보조원 : 김 나 영  
연구보조원 : 권 혁 배  
연구보조원 : 최 석 홍  
연구보조원 : 이 선 영  
연구보조원 : 캬 톤

# 요 약 문

## I. 제 목

저전류 전기펄스를 이용한 전해수의 유효이용 및 수산관련산업에의 응용

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구개발의 목적

- 전해수의 살균효과를 이용한 수산식품의 위생학적 안전성 확보
- 저전류 전기펄스를 이용한 저비용의 순환식 무균해수 생산 system 개발 및 현장적용
- 전해수 및 무균해수를 이용한 수산관련산업(생선회집, 가공공장, 양식장)의 병원미생물 제어 및 오염 예방

### 2. 연구개발의 필요성

#### 가. 기술적 측면

- 20세기 후반의 경제 및 과학기술의 눈부신 발전에도 불구하고 *Salmonella enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Vibrio vulnificus*(비브리오 패혈증균), *Vibrio parahaemolyticus*(장염비브리오균), *Escherichia coli* O157-H7, Small rounded structured virus(SRSV) 등 식품 중의 대표적인 병원 미생물에 의한 건강피해는 아직까지도 세계적으로 심각한 문제가 되고 있음
- 이에 식품의 품질과 안전성에 관한 새로운 소독 및 살균 기술의 필요성이 요구되고 있으며 그러한 기술의 하나로[전해수(Electrolyzed water)에 의한 살균]에 관심이 집중되고 있음
- 특히 전해수를 이용한 어패류와 그 가공품, 가공공장의 작업환경, 생선회집의 주방기구 등에 부착하고 있는 미생물 제거 및 생선회집의 해수살균, 종묘생산 양식장의 해수 및 배수 살균에 대하여 일본, 미국을 중심으로 대단히 활발한 연구가 이루어지고 있다(1-9).
- 염소는 식품산업에서 미생물학적 품질관리와 병원성 미생물을 관리하기 위하여 일

반적으로 사용되는 소독제이다. 그러나 염소는 소독력(살균력)에 한계가 있으며 (10,11), Trihalometnane(THM)과 같은 염소소독의 부산물에 의한 환경오염에 대하여서도 보고하고 있다(12-14).

- 염소는 식품의 표면만 소독되는 단점을 가지고 있으며, 염소소독에 의한 균수의 감소는 약 1~2 log 정도로 낮을 뿐만 아니라(11), 더욱이 염소의 부산물인 THM은 환경과 건강에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.
- 따라서 염소소독을 대체할 새로운 소독법의 개발이 시급한 실정이며, 전해수에 의한 살균은 전통적인 소독방법을 대체할 수 있는 유력한 소독방법이며, 많은 장점을 지니고 있다 (표 1)(1,2)
- 전해수는 희박식염수(0.1% NaCl) 또는 해수를 직류전압으로 전기분해하여 얻어진 용액으로(그림 1) 살균, 제균 효과가 뛰어나며 식품산업의 현장에 있어서 식중독 원인 미생물의 오염제거, 식품소재의 살균으로 인한 건전성의 확보 등 식품의 안전성 확보를 위한 유효한 수단으로 인정되고 있다(표 2).
- 전해수는 염소소독에 비하여 훨씬 저농도의 유효염소농도로 단시간에 강력한 살균효과를 나타낸다. 그 효과는 *E coli* O-157:H7, *Listeria monocytogenes*, 병원성 비브리오를 비롯한 식중독세균(15-17), 포자형성균(17-19), 곰팡이(20), 황색포도상구균의 enetrotoxin 분해(21), 곰팡이독의 분해(22), 세균, 아메바성 이질의 원생동물에 의해 오염된 음료수의 살균, 병원균에 오염된 손, 피부, 그리고 주방기구 등에 의한 2차 오염의 방지(1,3,5,6,18), 알칼리성수의 항산화효과(23,24), 전기분해해수의 어병세균 및 바이러스에 대한 살균효과(8,9) 등 지극히 광범위한 응용이 가능하다.
- 현재 일본에서는 전해수의 유효이용에 대하여 많은 연구가 진행되고 있으며 일본후생노동성에서는 2002년 6월 전해수를 식품첨가물(살균제)로 인정(후생노동성령 75호, 고시 212호) 식품산업 현장에의 적용 또한 활발히 진행되고 있다(24,25).
- 한편 수산식품은 그 생물학적 특성으로 인하여 미생물의 오염기회가 많으며 쉽게 부패하는 특성을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 삼면이 바다로 둘러 싸여 있는 우리나라에서 수산식품은 고급 단백질 공급원으로서 여전히 주요한 위치를 차지하고 있다(2002년 총 생산액 약 2조 9천억원, 통계청 자료 2002년)
- 그러나 매년 여름이면 어패류 및 그 가공품에 오염된 콜레라(*V. cholerae*), 비브리오 패혈증균(*V. vulnificus*)에 의한 전염병이나 장염비브리오(*V. parahaemolyticus*)에 의한 식중독사고로 사망자가 발생하여 생선회집을 비롯한 수산식품산업에 막대한 경제적 피해를 끼치고 있다(2003년 21건, 372명 환자발생, 2003년 식약청 자료)
- 이들 균에 의한 식중독사고를 예방하기 위해서는 수산식품이나 원료어류에서의 병원체 존재 여부, 병력의 파악 등 건강상태의 조사에 더하여 가공공장의 작업환경, 생선회집의 주방환경의 소독, 용수시설의 살균, 수조해수의 살균 등 2차 오염에 의

한 병원체의 오염 및 침입을 방지하는 것이 중요하다.

- 특히 최근의 생선회집은 날로 대형화하고 있으며, 또한 대부분의 생선회집이 연안해수를 용수로서 이용(내륙의 경우 같은 해수를 장기간 사용)하기 때문에 해수 중에 병원체가 존재하면 수조 중의 어류, 주방환경 등의 오염에 의하여 식중독 발생할 가능성이 그 어느 때보다 높다고 하겠다. 일단 질병이 발생하면 병원미생물에 의하여 오염된 배수를 환경 중에 방출하게 되고 환경수가 오염되어 이 해수를 용수로서 다시 사용하는 악순환이 반복될 위험성이 있다.
- 이러한 용수의 살균처리법으로서 각지의 가공공장이나 생선회집에서 자외선이나 오존을 이용한 장치가 보급되고 있으나 자외선에 의한 살균은 수중의 현탁입자에 의해 조사장해를 받아 살균효과가 떨어지는 문제가 있다. 오존살균은 오존이 해수 중의 브롬과 반응하여 생성된 oxidant에 의하여 병원미생물을 살균하는 방법이지만 이 oxidant는 유용어패류에도 독성이 강하기 때문에 팔성탄 등을 이용해 제거해야 되는 단점이 있다. 이 같은 단점에 더하여 배수의 살균에 이용하는 경우에는 대량의 해수를 살균하여야 하나 현재의 자외선, 오존장치로는 그 규모에 대처할 수 없다.
- 山中(1)에 의하면 전해수는 이용방법에 따라 식품제조라인, 포장용기, 조리기구 및 종사자의 손의 살균에도 유효하며, 수백 ppm의 고농도에서 장시간 접촉시키지 않으면 살균효과를 얻을 수 없는 차아염소산소다 또는 식품의 직접살균에 적용할 수 없고 독성도 강한 Benzalconium chloride 등 종래의 살균방법과 비교할 때, 수십 ppm의 저농도로 강력한 살균력을 나타내고, 즉효성이 있으며, 특히 염소계화합물의 사용에 수반되는 염소가스나 Trihalomethane의 생성도 차아염소산소다에 비교하면 훨씬 적다는 안전성을 장점으로 들 수 있다.
- 일본에서는 수산식품산업현장에서 위생미생물의 살균과 가공환경의 정화를 목적으로 대규모의 전해처리수의 플랜트가 이미 도입되어 가동되고 있지만, 국내에서는 산업현장은 물론 학계에서도 이에 관한 연구는 미미한 실정이다.
- 따라서 염소소독, 자외선이나 오존에 비하여 수산식품관련 병원미생물에 대하여 뛰어난 살균력 및 광범위한 항균스펙트럼 보유하고 있으며 친환경적이고 대량처리가 가능한 장점을 가지고 있는 전해수에 대한 충분한 기초연구와 수산관련 산업에의 적용 등 체계적인 연구가 시급한 실정이다.

#### 나. 경제·산업적 측면

- 식품은 우리의 생존에 필수불가결한 요소이며 식품으로부터 우리는 생명활동 유지에 필요한 에너지를 획득한다. 식품이 식량으로서 그 역할을 다하기 위해서는 영양가(1차 기능), 맛(2차 기능) 그리고 건강을 적극적으로 유지, 증진시킬 수 있는 생리

활성 기능(3차 기능)과 안전성의 4요소를 갖추어야만 한다. 특히 1, 2, 3차 기능을 모두 갖추고 있다 하더라도 안전하지 못하면 식품으로서의 가치는 없다고 하여도 과언이 아니다.

- 현재, 전 세계의 식품산업은 그 생산 규모 면에 있어서 대형화되어 가는 추세에 있으며, 저장·유통 수단의 발달로 말미암아 생산지에서 소비지까지의 범위가 크게 확대되었다. 또한, 식량자원 및 가공식품 등이 경제 원리에 의하여 전 세계에 유통되고 있는 상황에서, 병원미생물에 의한 식품 오염의 기회 및 오염 미생물 증식 가능성이 크게 증대되고 있으며, 그 피해가 단 시간 내에 전 세계로 확대될 가능성이 있다.
- 그러므로 식품의 미생물학적 안전성에 관한 문제는 국가간의 국제적 분쟁 가능성과 무역 마찰 등으로도 이어질 수 있는 것이다. 따라서, 식품의 안전성에 관한 문제는 국제적 규모에서 취급하게 되었으며, GATT의 UR 협정 중, 주요 조항의 하나인 SPS(Sanitary and Phytosanitary)에서는 “**식품의 안전 확보의 수단으로 수입 제한을 할 경우, 그 방법을 과학적 근거에 입각하여야만 한다**”라고 밝히고 있다(26).
- 미국의 경우, 지금까지 매년 병원성 세균에 의한 식중독 사고로 인한 인명피해와 막대한 경제적 손실을 초래하고 있으며, 이에 대해 미국 정부는 ‘**위험한 식품의 유통은 상당한 경제적 희생을 지불하여서라도 저지하겠다**’라는 입장을 취하고 있다. 그 결과, 1997년 1월 25일에 미국의 클린턴 대통령은 식품의 안전성 확보를 위해 「Food Safety Initiative」를 발표하고, 4,300만 달러(약 516억원)의 예산을 요구함과 동시에, 정부의 각 관련 기관에 대하여 식품의 안전성 확보를 위한 대책을 요구하였다. 또한 식품의 안전성에 대한 국민적인 관심의 고조와 더불어, 미국의 대통령과의 회의는 식품의 안전성과 환경의 개선을 위하여 1997년 [the President's Food Safety Initiative]라는 기구를 창설하였다.
- 우리는 매일의 식량을 陸上圈에 의존하는 농업생산물, 축산물, 水圈에 의존하는 수산물로부터 얻고 있다. 3면이 바다로 둘러싸여 있는 우리나라의 지리적 여건을 고려한다면 수산물의 식량으로서의 중요성을 강조하지 않을 수 없다. 지난 20년간, 건강에 대한 관심이 증가함에 따라 우리나라의 경우 성인병을 예방할 수 있는 지방산(EPA, DHA 등)이 많이 함유되어 있는 저지방 고단백의 수산식품 선호로 소비패턴이 변화하고 있으며 그 섭취량 또한 점차 증가하고 있는 추세이다.
- 그러나 그에 비례하여 병원성 미생물에 의한 전염병 및 식중독 사고 또한 증가하고 있다 (식약청, 2003년 식중독발생현황 통계자료). 더구나, 다른 식품에 비하여 쉽게 부패하는 수산식품의 특성상 어획과 소비 사이의 기간 동안 미생물에 의한 부패는 수산물 생산량의 약 30% 이상의 손실을 가져온다고 알려져 있다.
- 식품가공 산업에 있어서 소독제, 살균제, 표백제 등 화학물질의 안전성에 대한 국가

적인 관심이 고조되고 있다. 식품가공 산업은 세계 경제에 공헌하는 중요한 산업 중의 하나이다. 하지만, 매년 수억 갤런의 높은 BOD치의 폐수를 방출하고 있으며 이런 폐수는 암, 어병, 수질오염, 생태파괴 등의 심각한 문제를 야기하고 있다. 더구나 식품가공 산업은 이들 폐수처리에 막대한 비용을 지불하고 있다. 따라서 **염소소독보다 살균력이 뛰어나고, 환경친화적인 살균방법이 절실히 요구되고 있다.**

- 이와 같은 수산식품의 안전성을 향상시키고 청정 환경을 유지하기 위한 접근방법 중의 하나가 수산식품유래 병원미생물에 대한 전통적인 소독(살균)제인 염소나, 자외선 등을 대체하고 식품폐수를 재활용할 수 있는 **환경친화적인 새로운 소독(살균)제의 개발**이다.
- 일본의 경우 전해수의 유용성이 의료분야에서 주목을 받은 이후로 농업, 식품산업분야에서도 이용할 수 있다는 것이 알려지면서 의학분야에서는 이미 실용화가 되어 있으며(4,7) **일본후생성에서는 2002년 6월 전해수를 식품첨가물(살균제)로 인정**한 바 있다(24,25).
- 일본 (주)富士經濟의 2004년 2월 20일 보고서(제 040410호)에 의하면 강산성전해수 생성장치(격막식)의 시장규모는 2003년 66억엔에서 2007년 91억엔으로 2000년 대비 약 198%, 약산성전해수 생성장치(무격막식)의 경우 2003년 28억엔에서 2007년 33억엔으로 2000년 대비 약 194%의 신장률을 보일 것으로 예측하고 있다.
- 그러나 우리나라의 경우 의료분야 일각에서 드물게 사용되고 있는 것을 제외하면 식품산업분야에서는 그 예를 찾아보기 힘든 실정이다. 따라서 본 연구에서는 21세기에 활용할 수 있는 기술로서 전해수의 가능성에 주목하고 식품산업계가 직면하는 과제, 즉 식품산업의 현상인식과 함께 건전성 확보를 위해 전해수의 과학적 기반과 함께 응용기술과 식품산업에의 적용을 목표로 연구를 진행하고자 한다.

#### 다. 사회·문화적 측면

- 최근, 병원 미생물에 의한 식중독 사건이 전 세계적으로 빈번하게 발생하여 유행처럼 번지고 있으며, 국내의 경우에도, 매년 비브리오 패혈증을 중심으로 한 식중독 사건이 끊이지 않아 다수의 인명 피해가 발생하고 있음
- 한편, 최근 들어 전 세계적으로 발생하고 있는 식중독 사건의 특징은 품질관리 시설을 갖춘 식품회사에서 생산된 가공제품을 통한 발병이란 점과 사회적으로 위생에 관한 의식 및 관리 수준이 비교적 강화되어 있는 미국과 선진 유럽국가에서 많이 발생하고 있으며, 그 규모 면에 있어서도 점점 대형화 되어가고 있는 추세임
- 이러한 특징은 사회의 발전과 식생활 문화의 변화에 따른 결과로 여겨지고 있다.

즉, 인구의 도시집중과 life style의 변화에 의해 가공식품과 외식에의 의존도 및 편리 지향주의적 경향에 의한 패스트푸드의 수요가 증가하였으며, 한편으로는 건강식품 및 자연식품에 대한 선호도가 현저하여 저염도·저당도 식품의 수요가 증가하고 있음

- 이에 식품 산업에서는 이러한 요구에 대응하여 냉장보관이 가능한 조리 식품을 대량으로 생산하였고, 식품 본래의 특성을 가능한 변화시키지 않고 첨가물의 사용을 제한한 처리가공법과 제품개발에 노력을 기울이게 되었다. 그러나 이러한 소비자의 요구에 대응한 제품은 *Listeria monocytogenes*와 같은 저온성 병원 미생물의 감염에 노출되게 되었고, 온도처리, 수분활성, pH, 식품첨가물 등의 조건을 유해 미생물에 있어서 유리한 방향으로 변화시킨 결과가 되고 말았다.
- 대량생산된 제품이 냉동차·냉장차에 의해 장거리로 운반되고, 그 사이에 부적절한 취급의 기회가 발생하는 등, 유통기구의 대규모화 또한 그 위험성을 증대시켰다. 더욱이, 일단 사고가 일어나면 환자의 발생이 광범위한 지역에서 대량으로 발생한다는 것이다.
- 그밖에 경제발전과 소득증대 그리고 현대 의학의 발전으로 인하여 병원 미생물에 대한 면역력이 떨어지는 고령화 인구가 증가하였으며, 에이즈 환자수의 증가와 같은 요인에 의해서도 사고의 가능성이 높아지고 있다. 이와 같은 사회·문화적 변화 속에서 날로 대형화 되어가고 있는 병원 미생물에 의한 식품의 오염사고는 해당 국가의 국민건강 관리에 대한 커다란 문제점이 되고 있을 뿐만 아니라, 식품에 대한 불신으로까지 이어져 식품산업 및 사회 전체의 문제로 대두되고 있다.
- 우리나라의 경우 뛰어난 의료기술과 식생활을 향유하고 있지만 한편으로는 항생물질의 과잉사용에 의하여 출현하는 내성균에 의한 원내감염, 병원성이 강한 식품미생물에 의한 식중독사고의 증가, 수환경오염의 확대 등 생활을 위협하는 요소가 산재하여 있다. 적절한 위생관리, 식품의 안전성, 자원과 환경보전형의 life style의 추구는 21세기에 있어서 건전한 생활의 확보를 위하여 빠트릴 수 없는 과제이다.
- 따라서 사회적으로 안정된 분위기를 조성하고 국민의 건강한 문화생활 영위를 위해서는 식품의 안전성 확보가 무엇보다도 중요하며, 식품의 미생물학적 안전성을 확보하는 중요한 방법 중의 하나가 친환경적인 살균제의 개발이다.
- 전해수는 살균제로서 염소나 다른 소독제에 비하여 저농도에서도 살균력이 수배나 강하며 병원성 대장균 *E. coli* O157:H7, *Listeria* 등 식품관련 병원미생물 등을 전통적인 소독제보다 훨씬 빨리 죽이며, 잔류 화학물질도 생산하지 않는 효과적인 살균 방법임(15-18).



### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

| 구 분              | 내용 및 범위   |
|------------------|---|
| 1차 년도<br>(2004년) | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전해수 생성장치 (격막형 및 무격막형)에 따른 살균효과 및 타살균제와의 비교</li> <li>○ 전해수의 살균 특성 조사(온도, pH, agitation, organic compound 등에 의한 영향)</li> <li>○ V. parahaemolyticus, V. vulnificus, V. cholerae, Small round structured virus 등 해양병원미생물에 대한 살균조건 확립</li> <li>○ 알칼리성수의 야채 및 어류 세정효과 및 항산화활성 평가</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 순환식 무균해수 생산 system 디자인               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전해수 장치, filter system, HOCl 이온흡착 시스템 등 process unit의 배열 결정 및 lab scale system의 설치</li> <li>- Filter, HOCl 이온흡착 시스템 재질 조사, 평가 및 결정</li> </ul> </li> <li>○ 전기분해, filtering, 이온흡착 등 process operation condition, scale 및 flow rate를 조절하여 무균해수 생산효율 최적화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소비자 요구에 부응하는 경제적, 실용적인 system 개발</li> <li>- 연속성 및 내구성 뛰어난 system 개발</li> </ul> </li> <li>○ 전해수 및 전해수 열음을 이용한 활어 및 선어의 선도유지 및 유통기한 연장효과 평가</li> </ul> |
| 2차 년도<br>(2005년) | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 생물원료 및 식자재(생굴, 패류, 야채, 김 등)에 대한 살균효과 조사</li> <li>○ 주방환경(조리기구, 용기, 싱크대, 바닥 등) 및 종업원(손, 의복 등)에 대한 살균효과 조사</li> <li>○ 양식 김 제조시 사용되는 염산의 대체용수로서 강산성 전해수의 응용</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발(pilot system 설치)</li> <li>○ 저전류 전기펄스의 해수에 대한 살균효과 평가</li> <li>○ 저전류 전기펄스 방식 무균해수 시스템의 응용가능성 평가 (경제성, 실용성, 연속성, 내구성)</li> </ul>   |
| 3차 년도<br>(2006년) | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수산가공 및 선어회 공장에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가공시설(포장용기, 저장시설 등), 작업환경(가공용수, 배수용수 등) 및 근로자(손, 의복 등)의 위생확보에 적용</li> </ul> </li> <li>○ 증양식 및 종묘생산 시설에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 김 양식 시설에 현장적용 및 최적화</li> <li>- 어류병원성균에 대한 살균효과 평가</li> <li>- 어류양식환경(양식용수, 배수용수), 양식기구 및 근로자의 위생확보에 적용</li> </ul> </li> <li>○ 전해수와 초음파의 미생물 살균에의 synergy 효과 규명</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저전류 전기펄스 순환무균해수 생산공정 영향인자 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전류형태, 전류량, 주파수, 순환유속, 해수온도, 및 순환시간의 어류병원성미생물 생육억제 및 활성염소생성에의 영향 평가</li> <li>- 미생물 종류 및 초기 미생물 오염도의 영향 평가</li> <li>- 저전류에 의한 미생물 억제 mechanism 규명</li> </ul> </li> <li>○ 저전류 전기펄스의 활어수조에의 적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 순환무균해수에서의 어류 생육 및 성장 평가</li> </ul> </li> </ul>                  |

#### IV. 연구개발 결과

##### 1. 제 1 세부과제: 수산식품위생관리 신기술로서 전해수 및 무균해수의 유효이용 및 수산관련산업에의 응용

| 연구개발목표   | 연구개발결과   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 전해수 생성장치 (격막형 및 무격막형)에 따른 살균효과 및 타살균제와의 비교</li> <li>● 전해수의 살균 특성 조사(온도, pH, agitation, organic compound 등에 의한 영향)</li> <li>● <i>V. parahaemolyticus</i>, <i>V. vulnificus</i> 등 해양병원미생물에 대한 살균조건 확립</li> <li>● 알칼리성수의 야채 및 어류 세정효과 및 항산화활성 평가</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 강산성전해수, 약산성전해수, 차아염소산소 다용액의 병원성미생물에 대한 살균효과 비교, 확인</li> <li>● 저장조건 및 pH, 유효염소농도에 따른 전해수의 살균특성 조사 완료</li> <li>● <i>V. parahaemolyticus</i>, <i>V. vulnificus</i> 등 해양병원미생물에 대한 살균조건 확립 완료</li> <li>● 알칼리성수의 야채 및 어류에 대한 세정효과 및 항산화활성 평가는 이미 다른 연구결과가 있어 실시하지 않음</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 생물원료 및 식자재(생굴, 패류, 야채, 김 등)에 대한 살균효과 조사</li> <li>● 주방환경(조리기구, 용기, 싱크대, 바닥 등) 및 종업원(손, 의복 등)에 대한 살균효과 조사</li> <li>● 양식 김 제조시 사용되는 염산의 대체용수로서 강산성 전해수의 응용</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 생굴, 채소 등 식자재에 대한 살균효과 조사 완료</li> <li>● 주방환경(조리기구, 용기, 싱크대, 바닥 등) 및 손에 대한 살균효과 조사 완료</li> <li>● 양식 김 제조시 사용되는 염산의 대체용수로서 강산성 전해수의 적용실험 완료</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 수산가공 및 선어회 공장에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가공시설(포장용기, 저장시설 등), 작업환경(가공용수, 배수용수 등) 및 근로자(손, 의복 등)의 위생확보에 적용</li> </ul> </li> <li>● 증양식 및 종묘생산 시설에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 김 양식 시설에 현장적용 및 최적화</li> <li>- 어류병원성균에 대한 살균효과 평가</li> <li>- 어류양식환경(양식용수, 배수용수), 양식기구 및 근로자의 위생확보에 적용</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 수산가공 및 선어회 공장에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가공공장에서 전해수 기계설치시 생산라인의 변경으로 인하여 생산에 차질이 생기는 관계로 응용실험을 하지 못하였음.</li> </ul> </li> <li>● 증양식 및 종묘생산 시설에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 종묘생산에 공급되는 해수의 전기분해에 의한 살균효과 실험완료</li> <li>- 어류병원성균에 대한 살균효과 평가</li> <li>- 양식장에서 사용되는 장비에 대한 전해수의 살균효과 실험 완료</li> </ul> </li> </ul> |

2. 제 2 세부과제 : 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발 및 현장적용

| 연구개발목표   | 연구개발결과  |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 순환식 무균해수 생산 system 디자인               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전해수 장치, filter system, HOCI 이온흡착 시스템 등 process unit의 배열 결정 및 lab scale system의 설치</li> <li>- Filter, HOCI 이온흡착 시스템 재질 조사, 평가 및 결정</li> </ul> </li> <li>● 전기분해, filtering, 이온흡착 등 process operation condition, scale 및 flow rate를 조절하여 무균해수 생산효율 최적화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소비자 요구에 부응하는 경제적, 실용적인 system 개발</li> <li>- 연속성 및 내구성 뛰어난 system 개발</li> </ul> </li> <li>● 전해수 및 전해수 얼음을 이용한 활어 및 선어의 전도유지 및 유통기한 연장효과 평가</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 저전류 전기펄스(low-amperage pulsating direct current)를 이용한 무균해수 생산 system을 경제적, 실용적인 면을 고려하여 디자인</li> <li>● Lab-scale의 순환식 무균해수 생산 system 설치 완료</li> <li>● Flake type의 전해수 얼음 생산을 위한 연속공정을 개발완료</li> <li>● 생산된 전해수 얼음을 성질을 평가하고 이를 이용하여 어류선도 유지 테스트를 실시하였음</li> <li>● 어류에 대한 미생물학적, 화학적, 관능적 평가를 실시하여 전해수 얼음이 신선어류 유통기한을 연장할 수 있음을 확인</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발(pilot system 설치)</li> <li>● 저전류 전기펄스의 해수에 대한 살균효과 평가</li> <li>● 저전류 전기펄스 방식 무균해수 시스템의 응용가능성 평가 (경제성, 실용성, 연속성, 내구성)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pilot-scale의 순환식 무균해수 생산 system 설치 완료</li> <li>● 어류 병원성균인 <i>Edwardsiella tarda</i> 및 <i>Streptococcus iniae</i>에 대한 무균해수 순환 system의 저해효과 평가 완료</li> <li>● 제작된 system의 경제성 및 실용성은 매우 높으나 전극의 fouling으로 인한 연속성 및 내구성이 문제됨</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 저전류 전기펄스 순환무균해수 생산공정 영향인자 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전류형태, 전류량, 주파수, 순환유속, 해수온도, 및 순환시간의 어류병원성미생물 생육억제 및 활성염소생성에의 영향 평가</li> <li>- 미생물 종류 및 초기 미생물 오염도의 영향 평가</li> <li>- 저전류에 의한 미생물 억제 mechanism 규명</li> </ul> </li> <li>● 저전류 전기펄스의 활어수조에의 적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 순환무균해수에서의 어류 생육 및 성장 평가</li> </ul> </li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 제작된 system에서 전류의 형태, 전기펄스의 주파수, condenser의 용량, 수온 등이 활성염소 생성속도에 미치는 영향을 kinetic modeling을 통하여 평가 완료</li> <li>● 같은 전류량의 직류전류와 펄스전류의 어류 병원성 균 억제효과 비교 완료(활성염소와 펄스의 미생물 억제에 대한 시너지 효과는 크지 않은 것으로 확인)</li> <li>● 어류 생육에는 순환식 무균해수 system에서 생성되는 활성염소의 양이 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인</li> </ul>   |

## V. 연구개발 결과의 활용계획

### 1. 추가연구의 필요성

- ▶ 수산식품가공공장에 전해수기계를 설치하여 식품원료에 대한 살균효과를 확인하고자 하였으나, 전해수 기계설치시 기존의 생산라인에 변경이 불가피하여 생산에 차질을 줄 수 있다는 회사측의 입장에 의해 부득이하게 전해수 현장적용실험을 실시하지 못하였음. 따라서 실험에 협조적인 생선횃집 또는 수산가공공장에의 현장적용실험이 추가로 필요함
- ▶ 김양식장에서 염산의 대체수단으로 전해수 처리는 실험결과는 없지만 2006년 1월 현장에서 예비실험을 하여 가능성이 있다는 판단을 양식업자들로부터 받았음. 이에 양식업자와 전해수기계 생산업자(참여업체 (주)TMD) 사이에 “김양식장에서 전해수 처리에 의한 잡조제거”에 대한 가계약(MOU)을 체결한 바 있음. 따라서 현장에서의 전해수 처리 최적조건 확립을 위한 추가실험이 필요함.
- ▶ 최근 노로바이러스에 의한 식중독이 전세계적으로 문제가 되고 있으며, 특히 굴에서 노로바이러스가 많이 검출되고 있는 것으로 알려져 있음. 전해수가 노로바이러스의 살균에 효과가 있다는 최근의 연구보고가 있어, 우리나라 주요 수출수산물 중의 하나인 굴에 대한 전해수의 추가실험도 필요할 것으로 사료 됨

### 2. 타 연구에의 응용

- ▶ 최근 집단식중독이 문제가 되고 있는 단체급식(학교, 회사)에서 식중독예방을 위한 식자재의 살균에 강산성전해수 또는 약산성전해수의 살균제로서의 사용이 가능
- ▶ 수산식품공장뿐만 아니라 일반 식품공장에서도 강산성전해수 또는 약산성전해수의 식자재 및 원료(채소, 곡류)의 살균제로서의 사용이 가능
- ▶ 수술기구의 소독, 내시경기구의 소독, 치과기구의 소독 등 의료분야에서도 광범위하게 응용할 수 있음.
- ▶ 가정에서도 소규모의 전기분해수 생산장치로 주방기구 및 식자재의 살균제로서 사용이 가능
- ▶ 저전류 전기필스를 이용한 비열살균공정 장치 개발 및 응용기술의 국제경쟁력 확보

### 3. 기업화 추진방안

- ▶ 김양식장에서 잡조제거를 위한 염산 또는 유기산의 대체수단으로 전해수의 사용에 효과가 있는 것으로 나타나 전남 목포의 양식업자와 전해수기계 생산업자(참여업

체 (주)TMD) 사이에 “김양식장에서 전해수 처리에 의한 잡조제거”에 대한 가계약 (MOU)을 체결한 바 있음. 따라서 이에 대한 사업화를 추진할 예정임

- ▶ 2007년 11월 9일, [식품첨가물공전 제 2. 제조기준에 제조장치를 통해 제조되는 식품 첨가물의 기준]에 강산성 차아염소산수(유효염소 20~60ppm), 미산성 차아염소산수 (유효염소 10~30ppm)의 살균제로서의 사용을 인가하였다(식품의약품안전청고시 제 2007-74호).
- ▶ 이에 따라 본 연구의 전기분해수도 수산분야 뿐만 아니라 일반 식품산업 분야에 있어서도 과실류, 채소류 등 식품의 살균에 광범위하게 사용할 수 있을 것으로 예상된다.

## SUMMARY

The properties and bactericidal activities of strong acidic electrolyzed water (SEW) and weak acidic electrolyzed water (WEW) against food-borne pathogenic bacteria were investigated. The available chlorine concentration, pH and oxidation reduction potential (ORP) of SEW were  $35 \pm 1.2$  ppm,  $2.3 \pm 0.2$ , and  $1,140 \pm 20.4$  mV, respectively, whereas those of WEW were  $35 \pm 1.4$  ppm,  $6.5 \pm 0.2$ , and  $753 \pm 11.3$  mV, respectively. Five strains of food-borne bacteria and two strains of putrefactive bacteria with initial cell number of  $1.0 \times 10^7$  CFU/mL were not detected when they were treated with SEW and WEW for 30 sec. The number of *Bacillus cereus*, spore forming bacterium, was reduced to  $1.0 \times 10^2$  CFU/mL at the same condition. The available chlorine concentration of SEW dramatically decreased from 35 ppm to 1.2 ppm after 1 week storage and remained only 0.1 ppm after 4 weeks under open condition at room temperature. It was supposed that chlorine was vaped to the air because of open storage condition. pH and ORP of SEW were not significantly changed during storage. On the other hand, bactericidal activities of SEW against *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* were not changed after 1 week storage but bactericidal activities of SEW were disappeared after 2 weeks. When *E. coli* O157:H7 and *L. monocytogenes* were treated with SEW after 4 weeks storage, 4.7 log of *L. monocytogenes* and 2.8 log of *E. coli* O157:H7 were survived. The changes of available chlorine concentration and bactericidal activities of WEW were almost same as those of SEW. The available chlorine concentration, pH, ORP and bactericidal activities of SEW and WEW were almost not changed during 4 weeks under closed storage condition at room temperature. In case of SEW, *E. coli* O157:H7 with initial cell number of 7.0 log CFU/mL was reduced to 2.5 log CFU/mL at 0.1 ppm of available chlorine concentration and not detected at 0.5 ppm. *L. monocytogenes* with initial cell number of 7.0 log CFU/mL was detected at 0.5 ppm of available chlorine concentration and not detected at 1.0 ppm. The minimum range of available chlorine concentration for bactericidal activities of WEW was almost same as that of SEW. On the other hand, ORP of SEW and WEW increased with increasing available chlorine concentration and ORP of SEW at 20 ppm of available chlorine concentration was 1,100 mV. High ORP means strong oxidation activity. These results indicate that SEW and WEW are strong oxidative agents and oxidation activity is source of bactericidal activities of SEW and WEW. The pH of SEW at 0.5 and 1.0 ppm of available chlorine concentration were 4.61 and 4.62, respectively. Bactericidal activity of the buffer solutions at pH of 3.0, 5.0 and 7.0 without available chlorine against *E. coli* O157:H7 and *L. monocytogenes* were not observed. However, in case of buffer solutions with available chlorine, bactericidal activities increased

with increasing available chlorine concentration. At more than 1.0 ppm of available chlorine concentration, *E. coli* O157:H7 and *L. monocytogenes* were not detected regardless of pH. At more than 15 ppm of available chlorine concentration of SEW and WEW, *Vibrio vulnificus* and *Vibrio parahaemolyticus* that are main pathogenic bacteria in sea food were not grown regardless of time treatment. However, bactericidal activities of SEW and WEW were observed when both strains were treated for 15 sec at 10 ppm, 30 sec at 5 ppm and 60 sec at 1 ppm of available chlorine concentration, respectively.

When carrot, lettuce, perilla leaf, and cucumber purchased at local market were washed with 10 times volume of SEW for 30 sec, 2, 2, 4, and 2 log of viable cell number on them were reduced, respectively. When they were washed with 10 times volume of SEW for 60 sec, 3, 3, 4 and 2 log of viable cell number on them were reduced, respectively. When they were washed with 10 times of SEW for 30 sec after washing with 10 times volume of strong alkaline electrolyzed water (AEW) for 30 sec, 4, 4, 5 and 3 log of viable cell number on them were reduced, respectively. In case of radish and soy bean sprouts, however, only 1 or 2 log of viable cell number on them were reduced even though they were washed with 10 times volume of SEW for 60 sec. The 4 log of viable cell number on radish and soy bean sprouts were reduced when they were washed with 10 times of SEW for 30 sec after washing with 10 times volume of AEW for 30 sec.

When welsh onion, garlic, onion, winter mushroom, plum, mung bean sprout, and cabbage supplied to school meals were washed with 10 times volume of SEW for 30 sec, The bacteria were not detected on plum and 3, 4 and 2 log of viable cell number on onion, winter mushroom, and cabbage were reduced, respectively. The bacteria were not detected on onion, winter mushroom, and cabbage when they were washed with 10 times of SEW for 30 sec. after washed with 10 times volume of AEW for 30 sec. However, The bacteria were survived on mung bean sprout though it was washed with 10 times of SEW for 30 sec. after washed with 10 times volume of AEW for 30 sec. These results indicate that synergic effect in bactericidal activity of SEW is occurred when vegetables are washed with SEW after washed with AEW and bactericidal activity of SEW was affected by both kind and surface structure of vegetables.

The kitchen apparatus, knife, scissors and board, were washed with SEW for 30 sec or even 60 sec, the bacteria were not detected on knife and scissors. The bacteria were survived on wooden kitchen board, though it was washed with SEW for 30 sec after washed with AEW for 30 sec. The bactericidal activities of SEW on vegetables and kitchen apparatus were stronger than those of sodium hypochlorite solution at same available chloride concentration.

When the table ware, dining table, stainless steel bowl, kitchen board, kitchen knife, rubber

gloves, cup for water, and sink table were washed with SEW for 30 sec., the bacteria were not detected on stainless steel bowl, kitchen knife, cup for water, and sink table in which the bacteria were detected before washed with SEW. On the other hand, the coliforms were detected on only rubber globes and the bacteria and coliforms were survived on it though washed with SEW for 30 sec.

When the hands contaminated with *V. parahemolyticus* and *V. vulnificus* were washed with SEW for 15 sec, the bacteria were not detected on the hands, whereas the bacteria were detected when washed with tap water for 15 sec.

The laver was alive, but green laver was died by treating for 30 sec with Electrolyzed seawater that was 10 times diluted by seawater (Electrolyzed seawater 1 : seawater 9).

The supplied water for hatchery was disinfected by electrolysis. The supplied water with  $2.2 \times 10^2$  CFU/mL of viable cells were reduced below detection limit by electrolysis. After electrolysis of supplied water for hatchery and then available chlorine concentration of the supplied water was adjusted to 0.01 ppm by activated charcoal column, the supplied water for hatchery was maintained almost germless and did not affect to survival of Flounder. When the equipments for aquaculture, such as hose, rubber boot, scoop net and canvas were treated with electrolyzed seawater (available chlorine concentration was 0.5~1.5 ppm) for 30-120 min, about  $10^3$  to  $10^4$  CFU/cm<sup>2</sup> of the viable cell numbers were reduced.

A sterile seawater circulating system based on low-amperage pulsating direct current has been developed and evaluated for its active chlorine generation and disinfecting capacity. For safe application of electrolyzation for sea water disinfection in aquaculture, active chlorine species, primary disinfectant substances, must be generated at a very low level by low-amperage electric current because active chlorine also has harmful effects on marine animals and plants. For effective control of active chlorine level in electrolyzed sea water, the kinetics of active chlorine generation by electric current of low-amperage must be understood. Pulsating direct current, compared to normal direct current, could be employed for a more delicate control of active chlorine generation by adjusting not only electric current but also the frequency of electric pulse and the capacity of condenser. Therefore, the kinetics of active chlorine generation by low-amperage pulsating direct current (PC) in a circulating 3% (w/v) NaCl solution as a model seawater have been investigated and modeled. A non-membrane type electrolytic cell equipped with two platinum-coated titanium electrodes was connected to a 40 L aquarium. The circulating flow rate and working volume of the NaCl solution were 4 L/min and 20 L, respectively. Active chlorine was generated for 24 h at 0.01 A, two different frequencies (5 Hz and 14 kHz), and two different temperatures (15 and 25°C). Two



condensers of different capacities (2.2 and 1000  $\mu\text{F}$ ) were tested. The values of pH and ORP (oxidation-reduction potential) were also monitored. A kinetic model for active chlorine generation in the circulating NaCl solution was successfully developed based on two assumptions: (1) zero-order kinetics for the electrochemical production of active chlorine and (2) first-order kinetics for the evaporation active chlorine, in which the rate constant was considered to be pH-dependent. The simulated time-concentration profiles from the model agreed well with the experimental data. The results also showed that PC of 0.01 A generated less amount of active chlorine than the normal direct current of 0.01 A at both temperatures, except when the condenser of 1000  $\mu\text{F}$  was used at 14 kHz. This suggests that PC, compared to normal direct current, can be used to generate active chlorine at a lower level in a circulating sea water by adjusting its frequency and condenser capacity. In all experiments, the values of pH and ORP increased from about 5.9 to 6.4 and from about 340 to 870 mV, respectively.

The disinfecting capacity of the seawater circulating system has been examined using two fish pathogens: *Edwardsiella tarda* and *Streptococcus iniae*. The results showed that different types of electric current provided different levels of disinfecting capacity to the system. When applying 0.01 A, the disinfecting capacity was larger in the order of DC, 14 kHz PC, and 5 Hz PC. The main reason of the disinfecting capacity of the system could be the antimicrobial action of active chlorine. The synergistic disinfecting capacity of active chlorine with electric pulse was not observed. However, PC is better for fishery market and aquaculture since it can produce less amount of active chlorine than DC. The disinfecting capacity was higher at higher temperature because microbial growth and chlorine evaporation are favored at higher temperature.

The effects of electrolyzed water ice (EW-ice) on the microbiological, chemical, and sensory quality of Pacific saury (*Cololabis saira*) stored for a period of up to 30 days at 4°C were evaluated and compared with those of traditional tap water ice (TW-ice). EW-ice with active chlorine at a concentration of 34 mg/kg was prepared from weak acidic electrolyzed water, in which pH, oxidation-reduction potential, and chlorine content were 5, 866 mV, and 47 mg/liter, respectively. Microbiological analysis showed that EW-ice markedly inhibited the growth of both aerobic and psychrotrophic bacteria in saury flesh during refrigerated storage, primarily because of the action of active chlorine. Chemical analysis revealed that EW-ice retarded the formation of volatile basic nitrogen and thiobarbituric acid reactive substances and reduced the accumulation of alkaline compounds in the fish flesh compared with TW-ice.

Sensory analysis confirmed that the freshness of saury was better preserved in EW-ice than in TW-ice, in which the saury stored in EW-ice had 4-5days longer shelf life than the fish stored in TW-ice.

# CONTENTS

|   |    |
|---|----|
| <b>Chapter I . Outline of study</b> .....   | 30 |
| 1. Necessity of study .....   | 30 |
| a. Technological aspects .....  | 30 |
| b. Economical & Industrial aspects .....  | 32 |
| c. Social & Cultural aspects .....  | 37 |
| 2. Purpose and contents of study .....  | 39 |
| <b>Chapter II. Information of domestic and foreign technology related<br/>        to study</b> .....                              | 44 |
| 1. Foreign technology .....   | 44 |
| 2. Domestic technology .....  | 44 |
| 3. Problems .....   | 45 |
| 4. Prospects .....  | 45 |
| <b>Chapter III. Research contents and Results</b> .....   | 47 |
| <b>Section 1. Materials and Methods</b> .....   | 47 |
| <b>1. First project</b> .....   | 47 |
| A. Application of electrolyzed water for safety of seafood .....  | 47 |
| (1) Generation of electrolyzed water and measurement of electrolyzed water<br>property .....                                      | 47 |
| (a) Generation of strong acidic and strong alkalic electrolyzed water .....   | 47 |
| (b) Generation of weak acidic electrolyzed water .....  | 47 |
| (c) Electrolyte of sea water .....  | 49 |
| (d) Measurement of electrolyzed seawater property .....   | 49 |
| (2) Measurement of disinfection activity of electrolyzed water .....  | 49 |
| (a) Incubation of pathogenic bacteria .....   | 49 |
| (b) Measurement of disinfection activity of SEW and WEW against pathogenic<br>and putrefactive bacteria .....                     | 49 |
| (c) Measurement of disinfection activity and available chlorine concentration of<br>electrolyzed water by storage condition ..... | 49 |

|  |           |
|--|-----------|
| (d) Measurement of optimum available chlorine concentration and pH of electrolyzed water for disinfection activity ..... | 50        |
| <b>B. Application of electrolyzed water for safety of seafood restaurant and cultural laver .....</b>                    | <b>50</b> |
| (1) Measurement of disinfection activity of SEW and WEW against food materials .....                                     | 50        |
| (a) Sample .....   | 50        |
| ① Raw oyster .....   | 50        |
| ② Raw vegetables .....   | 50        |
| ③ Kitchen apparatus .....  | 51        |
| ④ Kitchen environment .....  | 51        |
| (b) Measurement of disinfection activity of SEW and WEW .....  | 51        |
| ① Measurement of disinfection activity against raw oyster .....  | 51        |
| ② Measurement of disinfection activity against raw vegetables .....  | 51        |
| (2) Measurement of disinfection activity against kitchen environment and hands   | 51        |
| (a) Measurement of disinfection activity against kitchen environment .....   | 51        |
| ① Measurement of disinfection activity against kitchen apparatus .....   | 51        |
| ② Measurement of disinfection activity against kitchen environment .....   | 52        |
| ③ Measurement of disinfection activity against hands .....   | 52        |
| (3) Application of SEW for alternative method in cultural laver .....  | 53        |
| (a) Sample .....   | 53        |
| ① Laver .....  | 53        |
| ② Green laver .....  | 53        |
| (b) Dilution of SEW .....  | 53        |
| (c) Incubation of laver and green laver .....  | 53        |
| (d) Effects of SEW on survival of laver and green laver .....  | 54        |
| ① Pre-experiment .....   | 54        |
| ② Effects of diluted SEW on survival of laver and green laver leaf .....   | 54        |
| (e) Effects of diluted SEW on survival of laver and green laver cells .....  | 54        |
| <b>C. Application of electrolyzed water for safety of sea food process and aquaculture .....</b>                         | <b>56</b> |

|  |               |
|--|---------------|
| (1) Fish .....   | 56            |
| (2) Measurement of disinfection effects of electrolysis on supplied water<br>for hatchery .....                    | 56            |
| (3) Measurement of disinfection effects of electrolyzed seawater on equipment for<br>aquaculture .....             | 56            |
| <b>2. Second project</b> .....   | <b>59</b>     |
| A. Development of sterile seawater circulating system based on low-amperage<br>pulsating direct current (PC) ..... | 59            |
| (1) Design of low-amperage pulsating current generator .....   | 59            |
| (2) Sterile seawater circulating system based on PC (lab-scale) .....  | 59            |
| (3) Sterile seawater circulating system based on PC (pilot-scale) .....  | 59            |
| B. Evaluation of active chlorine generation in sterile seawater circulating system                                 | 60            |
| (1) Operating condition of the seawater circulating system .....   | 60            |
| (2) Measurement of active chlorine, pH, and ORP .....  | 60            |
| (3) Kinetic modeling for the generation of active chlorine .....   | 60            |
| C. Evaluation of disinfecting capacity of the seawater circulating system .....                                    | 61            |
| (1) Microbial culture and media .....  | 61            |
| (2) Evaluation of disinfecting capacity .....  | 61            |
| D. Development of continuous-type generator for the ice of electrolyzed water ..                                   | 61            |
| (1) Continuous-type generator .....  | 61            |
| (2) Proximate analysis of Pacific saury .....  | 62            |
| (3) Microbiological evaluation .....   | 62            |
| (4) Chemical evaluation .....  | 62            |
| (5) Sensory evaluation .....   | 62            |
| <br><b>Section 2. Results and Discussion</b> .....   | <br><b>64</b> |
| <b>1. First project</b> .....  | <b>64</b>     |
| A. Application of electrolyzed water for safety of seafood .....   | 64            |
| (1) Property of electrolyzed water .....   | 64            |
| (a) Property of strong acidic electrolyzed water .....   | 64            |
| (b) Property of strong alkalic electrolyzed water .....  | 64            |

|  |    |
|--|----|
| (c) Property of weak acidic electrolyzed water .....   | 64 |
| (d) Property of electrolyzed water from sea water .....  | 66 |
| (2) Disinfection activity of electrolyzed water .....  | 66 |
| (a) Disinfection activity of SEW and WEW against pathogenic and putrefactive<br>bacteria .....                                 | 66 |
| (b) Disinfection activity and available chlorine concentration of electrolyzed<br>water by storage condition .....             | 66 |
| ① Change of properties and disinfection activity of SEW under open storage<br>condition .....                                  | 66 |
| ② Change of properties and disinfection activity of WEW under open storage<br>condition .....                                  | 67 |
| ③ Change of properties and disinfection activity of SEW under closed storage<br>condition .....                                | 67 |
| ④ Change of properties and disinfection activity of WEW under closed storage<br>condition .....                                | 67 |
| (c) Optimum available chlorine concentration and pH of electrolyzed water for<br>disinfection activity .....                   | 74 |
| ① Disinfection activity of SEW and WEW by available chlorine<br>concentration .....  | 74 |
| ② Disinfection activity of SEW and WEW by pH .....   | 77 |
| (d) Optimum bactericidal conditions of electrolyzed water against <i>V. vulnificus</i><br>and <i>V. parahaemolyticus</i> ..... | 77 |
| B. Application of electrolyzed water for safety of seafood restaurant and<br>cultural laver .....                              | 81 |
| (1) Disinfection activity of SEW and WEW against food materials .....  | 81 |
| (a) Disinfection activity of WEW from sea water against raw oyster .....   | 81 |
| (b) Disinfection activity of SEW and WEW against raw vegetables .....  | 81 |
| (2) Disinfection activity against kitchen environment and hands .....  | 84 |
| (a) Disinfection activity against kitchen apparatus .....  | 84 |
| (b) Disinfection activity against kitchen environment .....  | 84 |
| (c) Disinfection activity against hands .....  | 84 |

|   |     |
|---|-----|
| (3) Application of SEW for alternative method in cultural laver .....   | 88  |
| (a) Effects of SEW on survival of laver and green laver .....   | 88  |
| (b) Effects of diluted SEW on survival of laver and green laver .....   | 88  |
| (c) Effects of diluted SEW on survival of laver and green laver cells .....   | 88  |
| (d) Effects of diluted SEW on survival of laver and green laver at cultural<br>laver field .....                    | 92  |
| C. Application of electrolyzed water for safety of sea food process and<br>aquaculture .....                        | 98  |
| (1) Disinfection effects of electrolysis on supplied water for hatchery .....                                       | 102 |
| (2) Disinfection effects of electrolyzed seawater on equipment for aquaculture .....                                | 102 |
| <b>2. Second project</b> .....  | 104 |
| A. Development of sterile seawater circulating system based on low-<br>amperage pulsating direct current (PC) ..... | 104 |
| (1) Low-amperage pulsating current generator .....  | 104 |
| (2) Sterile seawater circulating system based on PC (lab-scale) .....   | 107 |
| (3) Sterile seawater circulating system based on PC (pilot-scale) .....   | 107 |
| B. Evaluation of active chlorine generation in sterile seawater<br>circulating system .....                         | 110 |
| (1) Kinetic modeling for the generation of active chlorine .....  | 110 |
| C. Evaluation of disinfecting capacity of the seawater circulating system .....                                     | 119 |
| (1) Disinfecting capacity of the seawater circulating system .....  | 119 |
| D. Development of continuous-type generator for the ice of electrolyzed water ·                                     | 122 |
| (1) Continuos-type generator .....  | 122 |
| (2) Proximate analysis of Pacific saury .....   | 122 |
| (3) Microbiological evaluation .....  | 122 |
| (4) Chemical evaluation .....   | 124 |
| (5) Sensory evaluation .....  | 124 |

**Chapter 4 Purpose achievement and contribution to the related fields** ··· 128

**Section 1 Purpose achievement** .....

1. First project .....

|   |            |
|---|------------|
| 2. Second project .....                                   | 129        |
| <b>Section 2 Contribution to the related fields .....</b> | <b>130</b> |
| <b>Chapter 5 Application plans of results .....</b>       | <b>131</b> |
| <b>Chapter 6 References .....</b>                         | <b>133</b> |
| <b>Appendix(Self-estimation) .....</b>                    | <b>136</b> |



# 목 차

|   |    |
|---|----|
| <b>제 1 장 연구개발과제의 개요</b> .....           | 30 |
| 제 1 절 연구개발의 필요성 .....                   | 30 |
| 1. 기술적 측면 .....                         | 30 |
| 2. 경제·산업적 측면 .....                      | 32 |
| 3. 사회·문화적 측면 .....                      | 37 |
| 제 2 절 연구개발의 목적 및 범위 .....               | 39 |
| 1. 최종 목표 .....                          | 39 |
| 2. 연차별 연구개발 목표와 내용 .....                | 40 |
| 3. 추진전략 및 방법 .....                      | 41 |
| 가. 추진전략 .....                           | 41 |
| 4. 연구개발 추진체계 .....                      | 42 |
| 5. 기대효과 .....                           | 43 |
| 가. 기술적 측면 .....                         | 43 |
| 나. 경제·산업적 측면 .....                      | 43 |
| 6. 활용방안 .....                           | 43 |
| <b>제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보</b> ..... | 44 |
| 1. 외국의 경우 .....                         | 44 |
| 2. 국내의 경우 .....                         | 44 |
| 3. 조사연구개발사례에 대한 평가 .....                | 45 |
| 4. 앞으로 전망 .....                         | 45 |
| 5. 기술도입의 타당성 .....                      | 46 |
| <b>제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과</b> .....       | 47 |
| 제 1 절 연구수행방법 .....                      | 47 |

|   |    |
|---|----|
| 1. 제 1 세부과제 : 수산식품위생관리 신기술로서 전해수 및 무균해수의      |    |
| 유효이용 및 수산관련산업에의 응용 .....                      | 47 |
| 가. 수산식품의 안전성 확보를 위한 전해수의 응용 .....             | 47 |
| 1) 전해수의 제조 및 물성 측정 .....                      | 47 |
| 가) 강산성전해수(SEW) 및 강알칼리성전해수(AEW)의 제조 .....      | 47 |
| 나) 약산성전해수(WEW)의 제조 .....                      | 47 |
| 다) 해수의 전기분해 .....                             | 49 |
| 라) 전해수의 물성측정 .....                            | 49 |
| 2) 전해수의 살균 특성 조사 .....                        | 49 |
| 가) 병원성 미생물의 배양 .....                          | 49 |
| 나) SEW와 WEW의 병원성 및 부패성 세균에 대한 살균활성 조사 .....   | 49 |
| 다) 저장조건에 따른 전해수의 유효염소 농도 변화와 살균활성             |    |
| 지속효과 조사 .....                                 | 49 |
| 라) 전해수의 살균효과에 있어서 최적 유효염소농도 및 pH 조사 .....     | 50 |
| 나. 생선회집 및 양식 김의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 응용 ..... | 50 |
| 1) 생물원료 및 식자재에 대한 살균효과 조사 .....               | 51 |
| 가) 시료 .....                                   | 50 |
| (1) 생굴 .....                                  | 50 |
| (2) 야채 .....                                  | 50 |
| (3) 주방기구 .....                                | 51 |
| (4) 주방환경 .....                                | 51 |
| 나) 전해수의 살균효과 측정 .....                         | 51 |
| (1) 생굴에 대한 전해수의 살균효과 측정 .....                 | 51 |
| (2) 야채에 대한 전해수의 살균효과 측정 .....                 | 51 |
| 2) 주방환경 및 종업원에 대한 살균효과 조사 .....               | 51 |
| 가) 주방환경에 대한 전해수의 살균효과 측정 .....                | 51 |
| (1) 조리기구에 대한 전해수의 살균효과 측정 .....               | 51 |
| (2) 주방환경에 대한 전해수의 살균효과 측정 .....               | 52 |
| (3) 종업원의 손에 대한 전해수의 살균효과 측정 .....             | 52 |
| 3) 양식 김 제조시 사용되는 염산의 대체용수로서 강산성 전해수의 응용 ..... | 53 |
| 가) 시료 .....                                   | 53 |

|  |    |
|--|----|
| (1) 김 .....  | 53 |
| (2) 파래 .....   | 53 |
| 나) 전기분해수의 회석 .....   | 53 |
| 다) 김, 파래의 배양 .....   | 53 |
| 라) 김, 파래의 생존에 대한 전기분해수의 영향 .....                               | 54 |
| (1) 예비실험 .....   | 54 |
| (2) 김, 파래 엽체의 생존에 미치는 전기분해수의 회석농도별 영향 .....                    | 54 |
| 마) 김과 파래 엽체의 세포사에 미치는 전기분해수의 회석농도별 영향 .....                    | 54 |
| 다. 수산가공공장, 증양식 및 종묘생산시설의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 현장적용 .....       | 56 |
| 1) 증양식 및 종묘생산시설의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 현장적용 .....               | 56 |
| 가) 어류 .....  | 56 |
| 나) 전기분해수의 공급 및 수조수 살균효과 측정 .....                               | 56 |
| 다) 양식장 장비에 대한 전해수의 살균효과 측정 .....                               | 56 |
| 2. 제 2 세부과제 : 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발 및 현장적용 ..... | 59 |
| 가. 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발 .....                   | 59 |
| 1) 저전류 전기펄스 출력장치 디자인 .....                                     | 59 |
| 2) 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system (lab-scale) .....          | 59 |
| 3) 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system (pilot-scale) .....        | 59 |
| 나. 해수 순환 system에서 저전류 전기펄스에 의한 활성염소 생성 평가 .....                | 60 |
| 1) 활성염소 생성을 위한 해수 순환 system 조건 .....                           | 60 |
| 2) 활성염소의 양, pH, ORP 측정 .....                                   | 60 |
| 3) 활성염소 생성에 대한 kinetic modeling .....                          | 60 |
| 다. 해수 순환 system에서 저전류 전기펄스에 의한 살균 효과 평가 .....                  | 61 |
| 1) 미생물, 배지 및 배양조건 .....  | 61 |
| 2) 살균효과 평가 .....   | 61 |
| 라. 어류 선도 유지를 위한 연속식 전해수 얼음 제조시스템 개발 .....                      | 61 |
| 1) 연속식 전해수 얼음제조 시스템 .....                                      | 61 |
| 2) 공기 냉장저장 및 공기 일반성분 분석 .....                                  | 62 |

|   |           |
|---|-----------|
| 3) 미생물학적 평가 .....   | 62        |
| 4) 화학적 평가 .....   | 62        |
| 5) 관능 평가 .....  | 62        |
| <b>제 2 절 연구수행결과 .....</b>   | <b>64</b> |
| 1. 제 1 세부과제 : 수산식품위생관리 신기술로서 전해수 및 무균해수의<br>유효이용 및 수산관련산업에의 응용 .....      | 64        |
| 가. 수산식품의 안전성 확보를 위한 전해수의 응용 .....   | 64        |
| 1) 전해수의 제조 및 물성 .....   | 64        |
| 가) 격막식에 의한 SEW의 제조 및 물성 .....   | 64        |
| 나) 격막식에 의한 AEW의 제조 및 물성 .....   | 64        |
| 다) 약산성전해수(WEW)의 물성 .....  | 64        |
| 라) 해수의 전기분해 및 물성 .....  | 66        |
| 2) 전해수의 살균 특성 .....   | 66        |
| 가) SEW와 WEW의 병원성 및 부패성 세균에 대한 살균활성 .....                                  | 66        |
| 나) 저장조건에 따른 전해수의 유효염소 농도 변화와 살균활성 지속효과 .....                              | 66        |
| (1) 개봉된 상태에서의 SEW의 물성변화 및 살균활성 변화 .....                                   | 66        |
| (2) 개봉된 상태에서의 WEW의 물성변화 및 살균활성 변화 .....                                   | 67        |
| (3) 밀봉된 상태에서의 SEW의 물성변화 및 살균활성 변화 .....                                   | 67        |
| (4) 밀봉된 상태에서의 WEW의 물성변화 및 살균활성 변화 .....                                   | 67        |
| 다) 유효염소농도 및 pH에 따른 SEW와 WEW의 살균활성 .....                                   | 74        |
| (1) 유효염소농도에 따른 SEW와 WEW의 살균활성 .....                                       | 74        |
| (2) pH에 따른 SEW와 WEW의 살균활성 .....   | 77        |
| 라) <i>V. vulnificus</i> , <i>V. parahaemolyticus</i> 에 대한 최적살균조건 확립 ..... | 77        |
| 나. 생선회집 및 양식 김의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 응용 .....                             | 81        |
| 1) 생물원료 및 식자재에 대한 살균효과 .....  | 81        |
| 가) 생굴에 대한 전해수의 살균효과 .....   | 81        |
| 나) 야채에 대한 전해수의 살균효과 .....   | 81        |
| 2) 주방환경 및 종업원에 대한 살균효과 .....  | 84        |
| 가) 조리기구에 대한 전해수의 살균효과 .....   | 84        |
| 나) 주방환경에 대한 전해수의 살균효과 .....   | 84        |
| 다) 종업원 손에 대한 전해수의 살균효과 .....  | 84        |

|  |            |
|--|------------|
| 3) 양식 김 제조시 사용되는 염산의 대체용수로서 강산성 전해수의 응용                  | 88         |
| 가) 김, 파래의 생존에 대한 전기분해수의 영향                               | 88         |
| 나) 김, 파래 엽체의 생존에 미치는 전기분해수의 희석농도별 영향                     | 88         |
| 다) 김과 파래 엽체의 세포사에 미치는 전기분해수의 희석농도별 영향                    | 88         |
| 라) 김양식 현장에서 파래의 처리에 대한 전기분해수의 희석농도별 영향                   | 92         |
| 다. 수산가공공장, 증양식 및 종묘생산시설의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 현장적용       | 98         |
| 1) 증양식 및 종묘생산시설의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 현장적용               | 98         |
| 가) 양식용 수조 공급 해수에 대한 전기분해의 살균효과                           | 98         |
| 나) 양식장 장비에 대한 전해수의 살균효과                                  | 102        |
| 2. 제 2 세부과제 : 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발 및 현장적용 | 104        |
| 가. 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발                   | 104        |
| 1) 저전류 전기펄스 출력장치   | 104        |
| 2) 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system (lab-scale)          | 107        |
| 3) 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system (pilot-scale)        | 107        |
| 나. 해수 순환 system에서 저전류 전기펄스에 의한 활성염소 생성 평가                | 110        |
| 1) 활성염소 생성에 대한 kinetic modeling                          | 110        |
| 다. 해수 순환 system에서 저전류 전기펄스에 의한 살균효과                      | 119        |
| 1) 해수 순환 system의 살균효과                                    | 119        |
| 라. 어류 선도 유지를 위한 연속식 전해수 얼음 제조시스템 개발                      | 122        |
| 1) 연속식 전해수 얼음제조 시스템                                      | 122        |
| 2) 폼치 일반성분   | 122        |
| 3) 미생물학적 평가  | 122        |
| 4) 화학적 평가  | 124        |
| 5) 관능 평가   | 124        |
| <b>제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도</b>                     | <b>128</b> |
| 제 1 절 연구 개발목표 달성도  | 128        |
| 1. 제 1 세부과제  | 128        |
| 2. 제 2 세부과제  | 129        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 제 2 절 연구 관련분야 기여도 .....         | 130        |
| <b>제 5 장 연구개발결과의 활용계획 .....</b> | <b>131</b> |
| <b>제 6 장 참고문헌 .....</b>         | <b>133</b> |
| 별 첨 자체평가의견서 .....               | 136        |

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발의 필요성

### 1. 기술적 측면

- 20세기 후반의 경제 및 과학기술의 눈부신 발전에도 불구하고 *Salmonella enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Vibrio vulnificus*(비브리오 패혈증균), *Vibrio parahaemolyticus*(장염비브리오균), *Escherichia coli* O157-H7, Small rounded structured virus(SRSV) 등 식품 중의 대표적인 병원 미생물에 의한 건강피해는 아직까지도 세계적으로 심각한 문제가 되고 있음
- 이에 식품의 품질과 안전성에 관한 새로운 소독 및 살균 기술의 필요성이 요구되고 있으며 그러한 기술의 하나로[전해수(Electrolyzed water)에 의한 살균]에 관심이 집중되고 있음
- 특히 전해수를 이용한 어패류와 그 가공품, 가공공장의 작업환경, 생선회집의 주방기구 등에 부착하고 있는 미생물 제거 및 생선회집의 해수살균, 종묘생산 양식장의 해수 및 배수 살균에 대하여 일본, 미국을 중심으로 대단히 활발한 연구가 이루어지고 있다(1-9).
- 염소는 식품산업에서 미생물학적 품질관리와 병원성 미생물을 관리하기 위하여 일반적으로 사용되는 소독제이다. 그러나 염소는 소독력(살균력)에 한계가 있으며(10,11), Trihalometnane(THM)과 같은 염소소독의 부산물에 의한 환경오염에 대하여서도 보고하고 있다(12-14).
- 염소는 식품의 표면만 소독되는 단점을 가지고 있으며, 염소소독에 의한 균수의 감소는 약 1~2 log 정도로 낮을 뿐만 아니라(11), 더욱이 염소의 부산물인 THM은 환경과 건강에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.
- 따라서 염소소독을 대체할 새로운 소독법의 개발이 시급한 실정이며, 전해수에 의한 살균은 전통적인 소독방법을 대체할 수 있는 유력한 소독방법이며, 많은 장점을 지니고 있다 (Table 1)(1,2)
- 전해수는 희박식염수(0.1% NaCl) 또는 해수를 직류전압으로 전기분해하여 얻어진 용액으로(Fig. 1) 살균, 제균 효과가 뛰어나며 식품산업의 현장에 있어서 식중독 원인 미생물의 오염제거, 식품소재의 살균으로 인한 건전성의 확보 등 식품의 안전성 확보를 위한 유효한 수단으로 인정되고 있다(Table 2).
- 전해수는 염소소독에 비하여 훨씬 저농도의 유효염소농도로 단시간에 강력한 살

균효과를 나타낸다. 그 효과는 *E coli* O-157:H7, *Listeria monocytogenes*, 병원성 비브리오를 비롯한 식중독세균(15-17), 포자형성균(17-19), 곰팡이(20), 황색포도상구균의 enterotoxin 분해(21), 곰팡이독의 분해(22), 세균, 아메바성 이질의 원생동물에 의해 오염된 음료수의 살균, 병원균에 오염된 손, 피부, 그리고 주방기구 등에 의한 2차 오염의 방지(1,3,5,6,18), 알칼리성수의 항산화효과(23,24), 전기분해해수의 어병세균 및 바이러스에 대한 살균효과(8,9) 등 지극히 광범위한 응용이 가능하다.

- 현재 일본에서는 전해수의 유효이용에 대하여 많은 연구가 진행되고 있으며 **일본후생노동성에서는 2002년 6월 전해수를 식품첨가물(살균제)로 인정(후생노동성령 75호, 고시 212호)** 식품산업 현장에의 적용 또한 활발히 진행되고 있다(24,25).
- 한편 수산식품은 그 생물학적 특성으로 인하여 미생물의 오염기회가 많으며 쉽게 부패하는 특성을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 삼면이 바다로 둘러 싸여 있는 우리나라에서 수산식품은 **고급 단백질 공급원으로서 여전히 주요한 위치를 차지하고 있다**(2002년 총 생산액 약 2조 9천억원, 통계청 자료 2002년)
- 그러나 매년 여름이면 어패류 및 그 가공품에 오염된 콜레라(*V. cholerae*), 비브리오 패혈증균(*V. vulnificus*)에 의한 전염병이나 장염비브리오(*V. parahaemolyticus*)에 의한 식중독사고로 사망자가 발생하여 생선회집을 비롯한 수산식품산업에 막대한 경제적 피해를 끼치고 있다(2003년 21건, 372명 환자발생, 2003년 식약청 자료)
- 이들 균에 의한 식중독사고를 예방하기 위해서는 수산식품이나 원료어류에서의 병원체 존재 여부, 병력의 파악 등 건강상태의 조사에 더하여 가공공장의 작업환경, 생선회집의 주방환경의 소독, 용수시설의 살균, 수조해수의 살균 등 2차 오염에 의한 병원체의 오염 및 침입을 방지하는 것이 중요하다.
- 특히 최근의 생선회집은 날로 대형화하고 있으며, 또한 대부분의 생선회집이 연안 해수를 용수로서 이용(내륙의 경우 같은 해수를 장기간 사용)하기 때문에 해수 중에 병원체가 존재하면 수조 중의 어류, 주방환경 등의 오염에 의하여 식중독 발생할 가능성이 그 어느 때보다 높다고 하겠다. 일단 질병이 발생하면 병원미생물에 의하여 오염된 배수를 환경 중에 방출하게 되고 환경수가 오염되어 이 해수를 용수로서 다시 사용하는 악순환이 반복될 위험성이 있다.
- 이러한 용수의 살균처리법으로서 각지의 가공공장이나 생선회집에서 자외선이나 오존을 이용한 장치가 보급되고 있으나 자외선에 의한 살균은 수중의 현탁입자에 의해 조사장해를 받아 살균효과가 떨어지는 문제가 있다. 오존살균은 오존이 해수 중의 브롬과 반응하여 생성된 oxidant에 의하여 병원미생물을 살균하는 방법이지만 이 oxidant는 유용어패류에도 독성이 강하기 때문에 활성탄 등을 이용해 제거해야 되는 단점이 있다. 이 같은 단점에 더하여 배수의 살균에 이용하는 경우에는 대량의 해수를 살균하여야 하나 현재의 자외선, 오존장치로는 그 규모에 대처할 수



없다.

- 山中(1)에 의하면 전해수는 이용방법에 따라 식품제조라인, 포장용기, 조리기구 및 종사자의 손의 살균에도 유효하며, 수백 ppm의 고농도에서 장시간 접촉시키지 않으면 살균효과를 얻을 수 없는 차아염소산소다 또는 식품의 직접살균에 적용할 수 없고 독성도 강한 Benzalconium chloride 등 종래의 살균방법과 비교할 때, 수십 ppm의 저농도로 강력한 살균력을 나타내고, 즉효성이 있으며, 특히 염소계화합물의 사용에 수반되는 염소가스나 Trihalomethane의 생성도 차아염소산소다에 비교하면 훨씬 적다는 안전성을 장점으로 들 수 있다.
- 일본에서는 수산식품산업현장에서 위생미생물의 살균과 가공환경의 정화를 목적으로 대규모의 전해처리수의 플랜트가 이미 도입되어 가동되고 있지만, 국내에서는 산업현장은 물론 학계에서도 이에 관한 연구는 미미한 실정이다.
- 따라서 염소소독, 자외선이나 오존에 비하여 수산식품관련 병원미생물에 대하여 뛰어난 살균력 및 광범위한 항균스펙트럼 보유하고 있으며 친환경적이고 대량처리가 가능한 장점을 가지고 있는 전해수에 대한 충분한 기초연구와 수산관련 산업에의 적용 등 체계적인 연구가 시급한 실정이다.

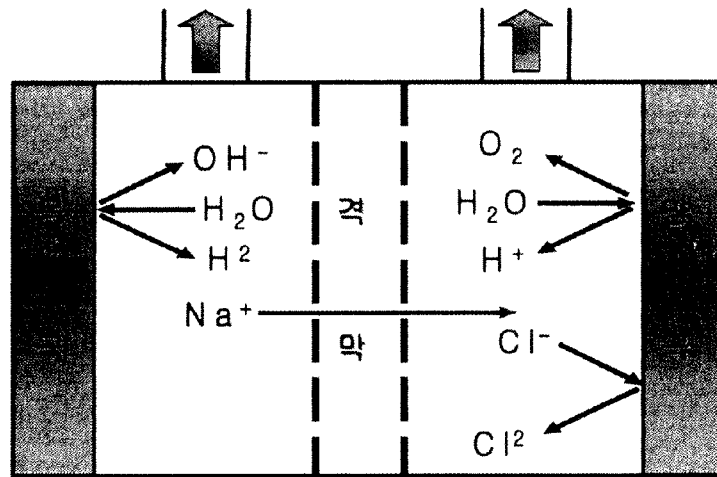
## 2. 경제 · 산업적 측면

- 식품은 우리의 생존에 필수불가결한 요소이며 식품으로부터 우리는 생명활동 유지에 필요한 에너지를 획득한다. 식품이 식량으로서 그 역할을 다하기 위해서는 영양가(1차 기능), 맛(2차 기능) 그리고 건강을 적극적으로 유지, 증진시킬 수 있는 생리활성 기능(3차 기능)과 안전성의 4요소를 갖추어야만 한다. 특히 1, 2, 3차 기능을 모두 갖추고 있다 하더라도 안전하지 못하면 식품으로서의 가치는 없다고 하여도 과언이 아니다.
- 현재, 전 세계의 식품산업은 그 생산 규모 면에 있어서 대형화되어 가는 추세에 있으며, 저장 · 유통 수단의 발달로 말미암아 생산지에서 소비지까지의 범위가 크게 확대되었다. 또한, 식량자원 및 가공식품 등이 경제 원리에 의하여 전 세계에 유통되고 있는 상황에서, 병원미생물에 의한 식품 오염의 기회 및 오염 미생물 증식 가능성이 크게 증대되고 있으며, 그 피해가 단 시간 내에 전 세계로 확대될 가능성이 있다.

**Table 1. Characteristics of electrolyzed water**

|        | 전 해 수  | 차아염소산소다 용액   |
|--------|--|--|
| 분류     | 강산성전해수, 약산성전해수   | 약품(NaOCl)  |
| 살균기작   | 염소계살균, 차아염소산(HClO)   | 염소계살균, 차아염소산(HClO)   |
| 유효염소농도 | 20~60 ppm  | 50~200 ppm   |
| pH     | 강산성전해수: 2.3~2.7<br>약산성전해수: 5.0~6.5   | 7.5 이상(알칼리성)   |
| 용액의 색  | 무색투명   | 당황색~무색투명   |
| 장점     | 원료가 식염 한 종류<br>자동으로 전해수 생성<br>수도수처럼 사용 가능<br>값이 싸다(약 5원/L)<br>잔류성, 독성이 없다<br>포자형성균, 곰팡이에도 유효 (즉효성)<br>내성균 발생이 드물다<br>손이 거칠어지지 않는다<br>Trihalomethane을 생성하지 않는다.<br>사람과 환경에 친화적이다. | 값이 싸다 (약 7원/L)<br>포자형성균, 곰팡이에도 유효<br>입수가 용이하다<br>식품첨가물           |
| 단점     | 설비투자가 필요<br>전극의 보수, 관리가 필요<br>금속부식성이 있다<br>보존기간이 짧다(차광밀폐용기 보존)<br>유기물의 존재하에서 실활(유수식이 직사일광, 유기물 혼입으로 살균력 원칙)  | 회석, 관리농도가 필요<br>잔류성이 있다<br>피부자극성, 점막자극성<br>산성이 되면 염소가스가 발생<br>저하 |

강알칼리성 전해수 강산성 전해수



식염수 (혹은 염산첨가)

Fig. 1. Principle of production of electrolyzed water.

**Table 2. Various kinds of electrolyzed water**

| 전해수      | pH      | 피전해액               | 격막 | 생성전극 | 효과     |
|----------|---------|--------------------|----|------|--------|
| 강산성전해수   | 2.3~2.7 | 식염수(0.1%)          | 있음 | 양극   | 살균, 탈취 |
| 강알칼리성전해수 | 11~11.5 | 식염수(0.1%)          | 있음 | 음극   | 세정효과   |
| 약산성전해수   | 5~6     | 식염수(0.1%) + pH 조정제 | 없음 |      | 살균     |
| 전해차아수    | 8~9     | 식염수(0.1%)          | 없음 |      | 살균     |
| 미산성전해수   | 5~6.5   | 회석염산(2~6%)         | 없음 |      | 살균     |
| 알칼리성이온수  | 8~10    | 수도수                | 있음 | 음극   | 조리, 음용 |
| 산성이온수    | 4~6     | 수도수                | 있음 | 양극   | 피부미용   |

- 그러므로 식품의 미생물학적 안전성에 관한 문제는 국가간의 국제적 분쟁 가능성과 무역 마찰 등으로도 이어질 수 있는 것이다. 따라서, 식품의 안전성에 관한 문제는 국제적 규모에서 취급하게 되었으며, GATT의 UR 협정 중, 주요 조항의 하나인 SPS(Sanitary and Phytosanitary)에서는 “**식품의 안전 확보의 수단으로 수입 제한을 할 경우, 그 방법을 과학적 근거에 입각하여야만 한다**”라고 밝히고 있다(26).
- 미국의 경우, 지금까지 매년 병원성 세균에 의한 식중독 사고로 인한 인명피해와 막대한 경제적 손실을 초래하고 있으며, 이에 대해 미국 정부는 ‘**위험한 식품의 유통은 상당한 경제적 희생을 지불하여서라도 저지하겠다**’라는 입장을 취하고 있다. 그 결과, 1997년 1월 25일에 미국의 클린턴 대통령은 식품의 안전성 확보를 위해 「Food Safety Initiative」를 발표하고, 4,300만 달러(약 516억원)의 예산을 요구함과 동시에, 정부의 각 관련 기관에 대하여 식품의 안전성 확보를 위한 대책을 요구하였다. 또한 식품의 안전성에 대한 국민적인 관심의 고조와 더불어, 미국의 대통령과 의회는 식품의 안전성과 환경의 개선을 위하여 1997년 [the President's Food Safety Initiative]라는 기구를 창설하였다.
- 우리는 매일의 식량을 陸上圈에 의존하는 농업생산물, 축산물, 水圈에 의존하는 수산물로부터 얻고 있다. 3면이 바다로 둘러싸여 있는 우리나라의 지리적 여건을 고려한다면 수산물의 식량으로서의 중요성을 강조하지 않을 수 없다. 지난 20년간, 건강에 대한 관심이 증가함에 따라 우리나라의 경우 성인병을 예방할 수 있는 지방산(EPA, DHA 등)이 많이 함유되어 있는 저지방 고단백의 수산식품 선호로 소비패턴이 변화하고 있으며 그 섭취량 또한 점차 증가하고 있는 추세이다.
- 그러나 그에 비례하여 병원성 미생물에 의한 전염병 및 식중독 사고 또한 증가하고 있다 (식약청, 2003년 식중독발생현황 통계자료). 더구나, 다른 식품에 비하여 쉽게 부패하는 수산식품의 특성상 어획과 소비 사이의 기간 동안 미생물에 의한 부패는 수산물 생산량의 약 30% 이상의 손실을 가져온다고 알려져 있다.
- 식품가공 산업에 있어서 소독제, 살균제, 표백제 등 화학물질의 안전성에 대한 국가적인 관심이 고조되고 있다. 식품가공 산업은 세계 경제에 공헌하는 중요한 산업 중의 하나이다. 하지만, 매년 수억 갤런의 높은 BOD치의 폐수를 방출하고 있으며 이런 폐수는 암, 어병, 수질오염, 생태파괴 등의 심각한 문제를 야기하고 있다. 더구나 식품가공 산업은 이들 폐수처리에 막대한 비용을 지불하고 있다. 따라서 **염소소독보다 살균력이 뛰어나고, 환경친화적인 살균방법이 절실히 요구되고 있다.**
- 이와 같은 수산식품의 안전성을 향상시키고 청정 환경을 유지하기 위한 접근방법 중의 하나가 수산식품유래 병원미생물에 대한 전통적인 소독(살균)제인 염소나, 자외선 등을 대체하고 식품폐수를 재활용할 수 있는 **환경친화적인 새로운 소독(살균)제의 개발**이다.

- 일본의 경우 전해수의 유용성이 의료분야에서 주목을 받은 이후로 농업, 식품산업분야에서도 이용할 수 있다는 것이 알려지면서 의학분야에서는 이미 실용화가 되어 있으며(4,7) **일본후생성에서는 2002년 6월 전해수를 식품첨가물(살균제)로 인정**한 바 있다(24,25).
- 일본 (주)富士經濟의 2004년 2월 20일 보고서(제 040410호)에 의하면 강산성전해수 생성장치(격막식)의 시장규모는 2003년 66억엔에서 2007년 91억엔으로 2000년 대비 약 198%, 약산성전해수 생성장치(무격막식)의 경우 2003년 28억엔에서 2007년 33억엔으로 2000년 대비 약 194%의 신장률을 보일 것으로 예측하고 있다.
- 그러나 우리나라의 경우 의료분야 일각에서 드물게 사용되고 있는 것을 제외하면 식품산업분야에서는 그 예를 찾아보기 힘든 실정이다. 따라서 본 연구에서는 **21세기에 활용할 수 있는 기술로서 전해수의 가능성에 주목하고 식품산업계가 직면하는 과제, 즉 식품산업의 현상인식과 함께 건전성 확보를 위해 전해수의 과학적 기반과 함께 응용기술과 식품산업에의 적용을 목표로 연구를 진행하고자 한다.**

### 3. 사회·문화적 측면

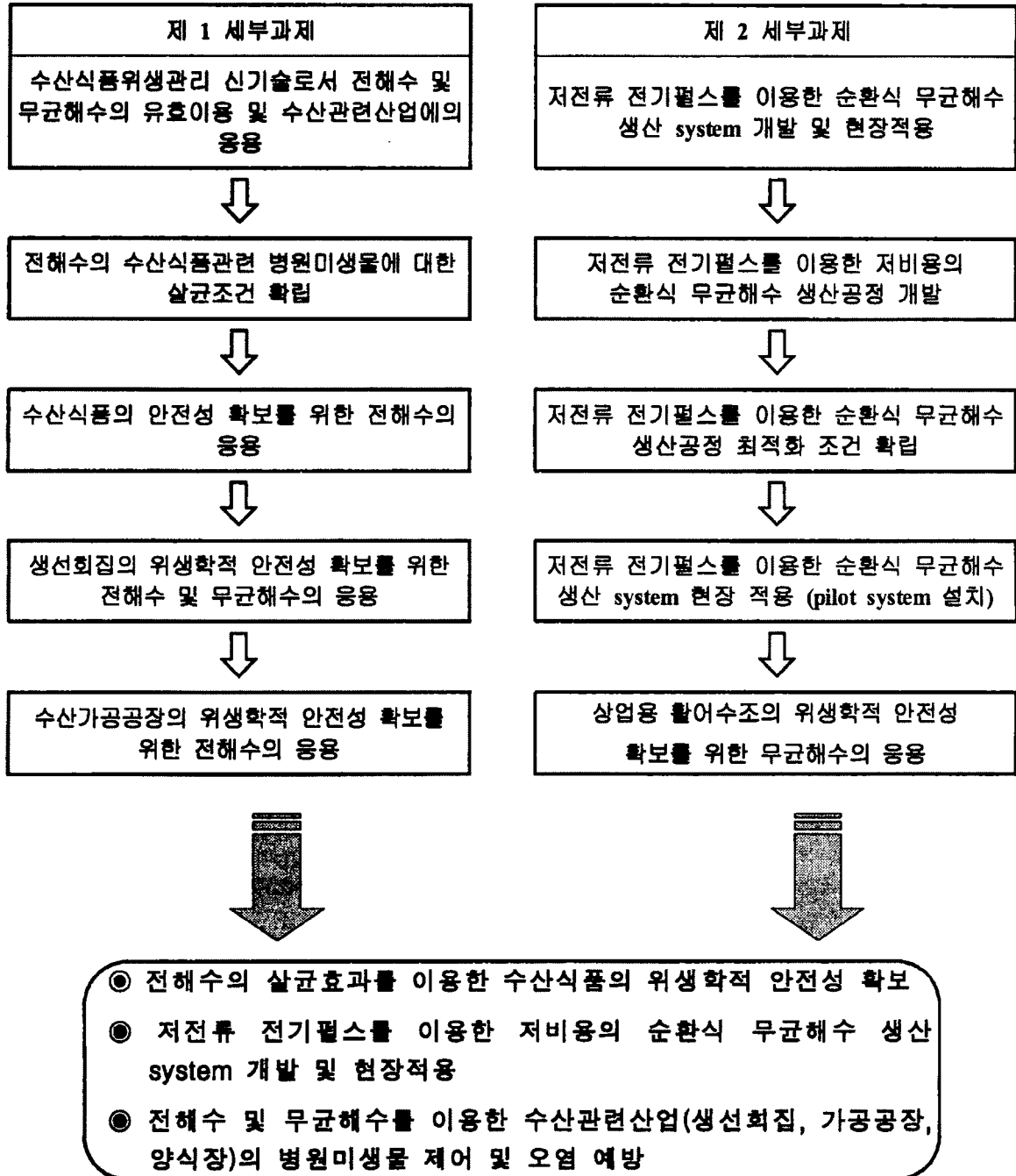
- 최근, 병원 미생물에 의한 식중독 사건이 전 세계적으로 빈번하게 발생하여 유행처럼 번지고 있으며, 국내의 경우에도, 매년 비브리오 패혈증을 중심으로 한 식중독 사건이 끊이지 않아 다수의 인명 피해가 발생하고 있음
- 한편, 최근 들어 전 세계적으로 발생하고 있는 식중독 사건의 특징은 품질관리 시설을 갖춘 식품회사에서 생산된 가공제품을 통한 발병이란 점과 사회적으로 위생에 관한 의식 및 관리 수준이 비교적 강화되어 있는 미국과 선진 유럽국가에서 많이 발생하고 있으며, 그 규모 면에 있어서도 점점 대형화 되어가고 있는 추세임
- 이러한 특징은 사회의 발전과 식생활 문화의 변화에 따른 결과로 여겨지고 있다. 즉, 인구의 도시집중과 life style의 변화에 의해 가공식품과 외식에의 의존도 및 편리 지향주의적 경향에 의한 패스트푸드의 수요가 증가하였으며, 한편으로는 건강식품 및 자연식품에 대한 선호도가 현저하여 저염도·저당도 식품의 수요가 증가하고 있음
- 이에 식품 산업에서는 이러한 요구에 대응하여 냉장보관이 가능한 조리 식품을 대량으로 생산하였고, 식품 본래의 특성을 가능한 변화시키지 않고 첨가물의 사용을 제한한 처리가공법과 제품개발에 노력을 기울이게 되었다. 그러나 이러한 소비자의 요구에 대응한 제품은 *Listeria monocytogenes*와 같은 저온성 병원 미생물의 감염에 노출되게 되었고, 온도처리, 수분활성, pH, 식품첨가물 등의 조건을 유해 미생물에 있어서 유리한 방향으로 변화시킨 결과가 되고 말았다.
- 대량생산된 제품이 냉동차·냉장차에 의해 장거리로 운반되고, 그 사이에 부적절한 취

급의 기회가 발생하는 등, 유통기구의 대규모화 또한 그 위험성을 증대시켰다. 더욱이, 일단 사고가 일어나면 환자의 발생이 광범위한 지역에서 대량으로 발생한다는 것이다.

- 그밖에 경제발전과 소득증대 그리고 현대 의학의 발전으로 인하여 병원 미생물에 대한 면역력이 떨어지는 고령화 인구가 증가하였으며, 에이즈 환자수의 증가와 같은 요인에 의해서도 사고의 가능성이 높아지고 있다. 이와 같은 사회·문화적 변화 속에서 날로 대형화 되어가고 있는 병원 미생물에 의한 식품의 오염사고는 해당 국가의 국민건강 관리에 대한 커다란 문제점이 되고 있을 뿐만 아니라, 식품에 대한 불신으로까지 이어져 식품산업 및 사회 전체의 문제로 대두되고 있다.
- 우리나라의 경우 뛰어난 의료기술과 식생활을 향유하고 있지만 한편으로는 항생물질의 과잉사용에 의하여 출현하는 내성균에 의한 원내감염, 병원성이 강한 식품미생물에 의한 식중독사고의 증가, 수환경오염의 확대 등 생활을 위협하는 요소가 산재하여 있다. 적절한 위생관리, 식품의 안전성, 자원과 환경보전형의 life style의 추구는 21세기에 있어서 건전한 생활의 확보를 위하여 빠트릴 수 없는 과제이다.
- 따라서 사회적으로 안정된 분위기를 조성하고 국민의 건강한 문화생활 영위를 위해서는 식품의 안전성 확보가 무엇보다도 중요하며, 식품의 미생물학적 안전성을 확보하는 중요한 방법 중의 하나가 친환경적인 살균제의 개발이다.
- 전해수는 살균제로서 염소나 다른 소독제에 비하여 저농도에서도 살균력이 수배나 강하며 병원성 대장균 *E. coli* O157:H7, *Listeria* 등 식품관련 병원미생물 등을 전통적인 소독제보다 훨씬 빨리 죽이며, 잔류 화학물질도 생산하지 않는 효과적인 살균 방법임(15-18).

## 제 2 절 연구개발의 목적 및 범위

### 1. 최종 목표



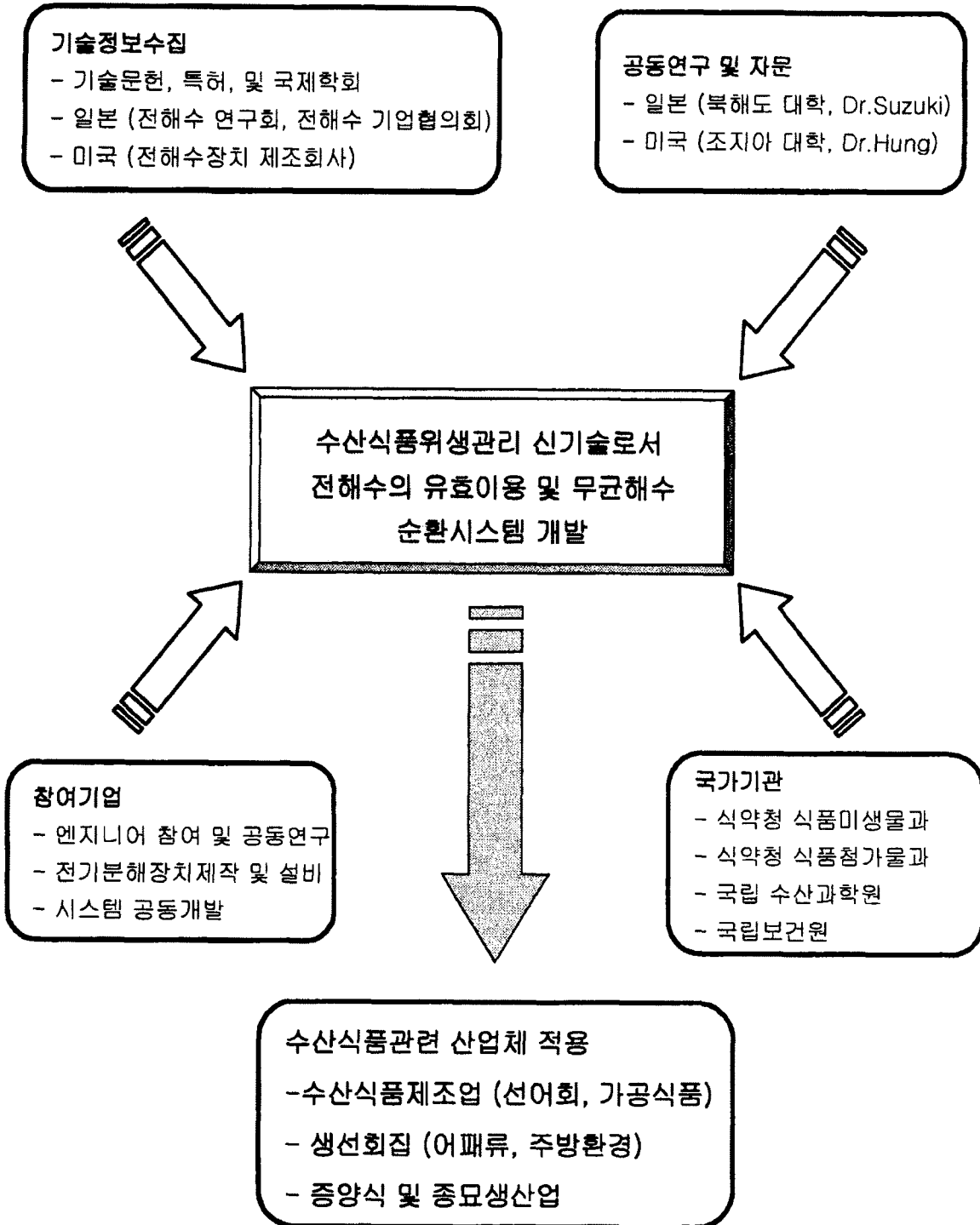


## 2. 연차별 연구개발 목표와 내용

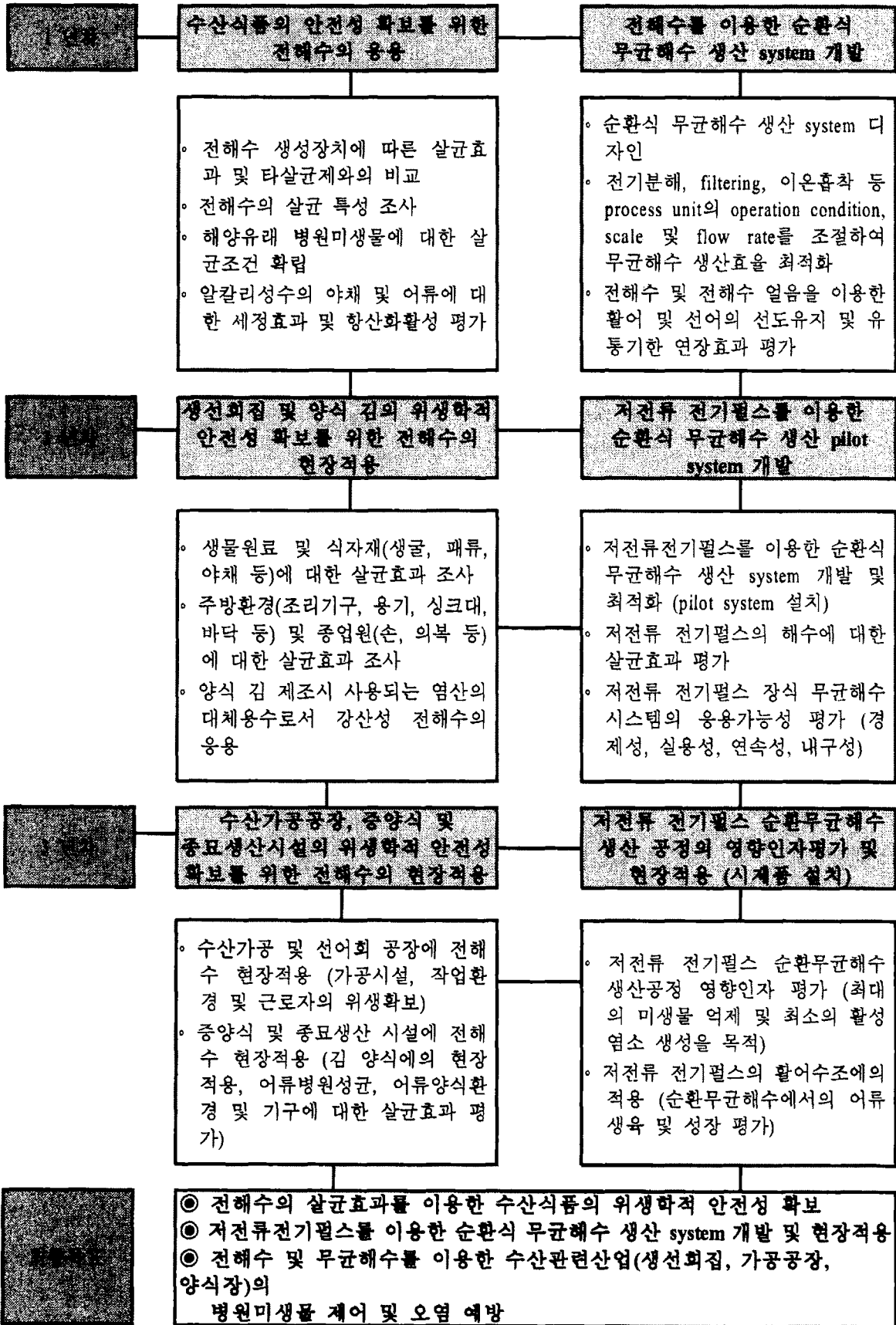
| 구 분              | 목 표   | 내용 및 범위  |
|------------------|---|--|
| 1차 년도<br>(2004년) | 수산식품의 안전성 확보를 위한 전해수의 응용                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>전해수 생성장치 (격막형 및 무격막형)에 따른 살균효과 및 타 살균제와의 비교</li> <li>전해수의 살균 특성 조사(온도, pH, agitation, organic compound 등에 의한 영향)</li> <li>V. parahaemolyticus, V. vulnificus, V. cholerae, Small round structured virus 등 해양병원미생물에 대한 살균조건 확립</li> <li>알칼리성수의 야채 및 어류 세정효과 및 항산화활성 평가</li> </ul>  |
|                  | 전해수를 이용한 순환식 무균해수 생산 process 개발 및 생산 system 최적화 조건 확립 | <ul style="list-style-type: none"> <li>순환식 무균해수 생산 system 디자인                             <ul style="list-style-type: none"> <li>전해수 장치, filter system, HOCl 이온흡착 시스템 등 process unit의 배열 결정 및 lab scale system의 설치</li> <li>Filter, HOCl 이온흡착 시스템 재질 조사, 평가 및 결정</li> </ul> </li> <li>전기분해, filtering, 이온흡착 등 process operation condition, scale 및 flow rate를 조절하여 무균해수 생산효율 최적화                             <ul style="list-style-type: none"> <li>소비자 요구에 부응하는 경제적, 실용적인 system 개발</li> <li>연속성 및 내구성 뛰어난 system 개발</li> </ul> </li> <li>전해수 및 전해수 열음을 이용한 활어 및 선어의 선도유지 및 유통기한 연장효과 평가</li> </ul> |
| 2차 년도<br>(2005년) | 생선회집 및 양식 김의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 현장적용                | <ul style="list-style-type: none"> <li>생물원료 및 식자재(생굴, 패류, 야채, 김 등)에 대한 살균효과 조사</li> <li>주방환경(조리기구, 용기, 싱크대, 바닥 등) 및 종업원(손, 의복 등)에 대한 살균효과 조사</li> <li>양식 김 제조시 사용되는 염산의 대체용수로서 강산성 전해수의 응용</li> </ul>  |
|                  | 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 pilot system 개발             | <ul style="list-style-type: none"> <li>저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발 (pilot system 설치)</li> <li>저전류 전기펄스의 해수에 대한 살균효과 평가</li> <li>저전류 전기펄스 방식 무균해수 시스템의 응용가능성 평가 (경제성, 실용성, 연속성, 내구성)</li> </ul>   |
| 3차 년도<br>(2006년) | 수산가공공장, 증양식 및 종묘 생산 시설의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 현장적용     | <ul style="list-style-type: none"> <li>수산가공 및 선어회 공장에 전해수 현장적용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>가공시설(포장용기, 저장시설 등), 작업환경(가공용수, 배수용수 등) 및 근로자(손, 의복 등)의 위생확보에 적용</li> </ul> </li> <li>증양식 및 종묘생산 시설에 전해수 현장적용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>김 양식 시설에 현장적용 및 최적화</li> <li>어류병원성균에 대한 살균효과 평가</li> <li>어류양식환경(양식용수, 배수용수), 양식기구 및 근로자의 위생확보에 적용</li> </ul> </li> <li>전해수와 초음파의 미생물 살균에의 synergy 효과 규명</li> </ul>   |
|                  | 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 공정의 영향인자 평가 및 현장적용(시제품 설치)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>저전류 전기펄스 순환무균해수 생산공정 영향인자 평가                             <ul style="list-style-type: none"> <li>전류형태, 전류량, 주파수, 순환유속, 해수온도, 및 순환시간의</li> <li>어류병원성미생물 생육억제 및 활성염소생성에의 영향 평가</li> <li>미생물 종류 및 초기 미생물 오염도의 영향 평가</li> <li>저전류에 의한 미생물 억제 mechanism 규명</li> </ul> </li> <li>저전류 전기펄스의 활어수조에서의 적용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>순환무균해수에서의 어류 생육 및 성장 평가</li> </ul> </li> </ul>  |

### 3. 추진전략 및 방법

#### 가. 추진전략



나. 연구개발 추진체계



## 5. 기대효과

### 가. 기술적 측면

- ▶ 산성전해수의 살균제로서의 식품산업에의 응용기술 확보 가능
- ▶ 알칼리성 전해수의 항산화제로서의 식품산업에의 응용기술 확보 가능
- ▶ 전해수 및 무균해수 생산 시스템의 개발로 생선회집, 수산가공공장의 미생물학적 안전성 확보 가능
- ▶ 전해수 및 무균해수의 생산 시스템의 개발로 양식장(종묘생산)의 미생물학적 안전성 확보 및 항생제 내성균의 출현 억제 가능
- ▶ 각종 식품의 종류별 특성과 주위 환경을 고려한 기타 연계 산업에 응용 가능
- ▶ 저전류 전기펄스를 이용한 비열살균공정 장치 개발 및 응용기술의 국제경쟁력 확보

### 나. 경제·산업적 측면

- ▶ 2002년 국내 수산가공 및 저장처리업의 총생산액은 2,938억원이며 총수출액은 11억 달러(1,392억원)로써 본 연구가 이러한 국가기반산업에 기여하게 되면 막대한 시너지효과를 창출할 수 있을 것으로 기대
- ▶ 수산생물 및 가공식품의 미생물학적 안전성 확보 및 장기저장 수단 확보로 수급조절이 가능하여 가격폭락이나 폭등의 조절 가능
- ▶ 산학연 협동체제에 의한 수산가공 기술의 혁신 및 축적
- ▶ 수산생물 및 가공식품의 안전성 확보를 통한 국민건강 증진
- ▶ 관련 식품산업의 안전성 확보 및 시장성 확대
- ▶ 생산 및 수출의 안정성 확보와 이로 인한 어민의 고용 안정 및 소득향상은 물론, 수산업 전반의 안정적 발전과 활성화에 기여

## 6. 활용방안

- 산성전해수, 알칼리성 전해수의 현장 응용기술 전수
- 전해수 얼음을 이용한 수산생물의 저장성 확보 기술 전수
- 무균해수 순환시스템의 생선회집, 수산식품가공공장, 양식장에 응용 → 수산생물 및 가공식품의 안전성 확보
- 축적된 기술을 관련 식품산업, 단체급식, 의료분야 등 광범위하게 응용
- 관련 기술의 특허 획득을 통한 고유 기술 확보
- 기술 및 Know how 축적을 통한 제품 및 기술 수출

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보

### 1. 외국의 경우

- 식품으로서 수산물의 소비가 세계 제 1위인 일본의 경우 어패류 및 수산식품의 안전성을 확보하기 위한 수단으로 전해수에 대한 연구가 활발히 진행 중이며 양식 및 종묘생산 시설에서 용수 및 배수의 살균에도 전해수를 응용하고 있다.
- 일본의 경우 1980년대 초 전해수의 유용성이 의료분야에서 주목을 받은 이후로 농업, 식품산업분야에서도 이용할 수 있다는 것이 알려지면서 의학분야에서는 이미 실용화가 되어 있으며(7) **일본후생노동성에서는 2002년 6월 전해수를 식품첨가물(살균제)로 인정(미국은 이미 인정)**, 식품산업 현장에의 적용 또한 활발히 진행되고 있다(5,6)
- 전해수 생성장치는 일본에서 처음 개발된 기술로 1980년대 중반에 생산을 개시한 이래로 현재 호시자키전기(株), (株)天野, (株)Ashai Glass Engineering, (株)アルテック, (株)Morinaga 등 약 16개의 회사가 가정용, 소형업소용, 식품가공공장용, 양식장용 등을 생산하고 있으며 우리나라에도 수출을 하고 있다.
- 전해수는 염소소독에 비하여 훨씬 저농도의 유효염소농도로 단시간에 강력한 살균효과를 나타낸다. 그 효과는 그 효과는 *E coli* O-157:H7, *Listeria monocytogenes*, 병원성 비브리오를 비롯한 식중독세균(15-17), 포자형성균(17-19), 곰팡이(20), 황색포도상구균의 enetroxin 분해(21), 곰팡이독의 분해(22), 세균, 아메바성 이질의 원생동물에 의해 오염된 음료수의 살균, 병원균에 오염된 손, 피부, 그리고 주방기구 등에 의한 2차 오염의 방지(1,3,5,6,18), 알칼리성수의 항산화효과(23,24), 전기분해해수의 어병세균 및 바이러스에 대한 살균효과(8,9) 등 지극히 광범위한 응용이 가능한 것으로 알려진 이래, 최근에는 식품분야 뿐만 아니라 의료분야(4,7), 농·축산분야(24,25), 양식분야(8,9)에서도 적용되고 있다
- 미국과 유럽에서도 병원성세균에 대한 전해수의 살균효과, 그리고 야채, 과일, 의료분야 축산분야에서의 응용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(15,16,19,20)

### 2. 국내의 경우

- 알칼리성 이온수에 대한 연구는 국내 몇몇 연구자(주로 의학분야)에 의하여 진행되고 있으나 살균력을 가지는 산성전해수에 대한 연구는 극히 찾아보기 힘든 실정이다.
- 전해수의 일종인 알칼리성 이온수(생리활성 또는 임상효과가 있음) 생성장치는 현재 한국정수산업(주), 동양과학(주), 이온스(주) 등 수 개의 회사에서 판매를 하고 있으

나 살균효과를 가지는 전해수 생성장치(격막식, 무격막식)를 제작, 판매하는 회사는 (주)이수이엔씨 이외에는 찾아보기 힘든 실정이다.

- 국내의 경우 매년 여름이면 병원성 비브리오균에 의한 식중독 발생으로 수산업에 심각한 경제적 손실을 끼치고 있으며, 수산가공업의 국제경쟁력이 약화되어 다수의 기업이 중국, 청도 대련 등지에서 가공하고 있어 안전성에 심각한 문제를 안고 있다. 그리고 양식어류에 대한 항생제의 남용으로 인한 내성균의 출현 또한 심각한 문제로 남아 있다.
- 따라서 자외선이나 오존에 비하여 수산식품관련 병원미생물에 대하여 뛰어난 살균력 및 광범위한 항균스펙트럼 보유하고 있으며 친환경적이고 대량처리가 가능한 장점을 가지고 있는 전해수에 대한 충분한 기초연구와 수산관련 산업에의 적용 등 체계적인 연구가 시급한 실정이다.

### 3. 조사연구개발사례에 대한 평가

- 식품의 안전성에 관한 문제는 국가간의 국제적 분쟁 가능성과 무역 마찰 등으로도 이어질 수 있으므로, 식품의 안전성에 관한 문제는 국제적 규모에서 취급하게 되었으며, 또한 식품의 안전성에 대한 국민적인 관심의 고조와 더불어, 모든 국가에서는 식품의 안전성과 환경의 개선을 위하여 많은 예산을 투입하고 있다.
- 외국에 있어서 전해수를 이용한 병원균의 살균 및 식품에의 적용은 이미 상당히 진전되어 있는 상태이며, 식품산업 뿐만 아니라 농축산분야, 의료분야, 양식분야에 적용할 수 있는 대규모의 전해수 생성장치의 개발도 완료되어 있는 실정이다.
- 국내의 경우 몇몇 회사가 가정에서 사용할 수 있는 알칼리 이온수 및 전해수 생성장치를 판매하고 있으나, 일본에서 수입한 제품이 대부분이며 우리나라에서 직접 제작, 판매하는 전해수 생성장치는 극히 드물며 이에 대한 연구도 미미한 실정이다.
- 따라서 본 연구과제인 [수산식품위생관리 신기술로서 해수 전기분해장치의 개발 및 전해수의 유효이용]에 대한 연구는 우리나라 수산식품의 안전성을 확보하여 국민건강 증진에 기여할 수 있을 뿐만 아니라 수출수산물과 첨단기술의 국제경쟁력 강화에도 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

### 4. 앞으로 전망

- 21세기의 Key word는 [환경·지속성]으로 이를 위해 자원소비형사회로부터 순환형사회로의 전환이 요구되고 있다. 특히 화석자원에 지나치게 의존하고 있는 현대사회로부터 벗어나기 위한 방책이 전세계적으로 논의되고 있다. 그 의미에서 재생 가능한 자원을 제공하는 산업으로서 생물기능을 고도로 활용하는 생물산업(Green

bioindustry)에 대한 기대가 높아지고 있다.

- 지금까지의 수산가공업이 21세기 생물산업의 한 분야로서 위치를 잡하기 위해서는 환경보존형 수산가공업으로의 전환이 중요한 것은 말할 필요도 없으며 또한 수산식품의 안전성 확보를 위한 기간기술로서 [전해수]의 유효이용은 시기적절하다 할 수 있다.
- 전해수는 1980년 후반에 Methicillin resistant Staphylococcus aureus(MRSA)에도 효과를 나타내는 살균수로서 일본에서 처음 개발된 이래 과학적 연구에 의해 현재는 저농도, 고효성의 차아염소산수로서 인식되고 있으며, 안전성이 높고 환경친화적인 살균제로서 식품산업분야 뿐만 아니라 의료분야, 농업분야에서도 널리 사용되고 있다.
- TPO(Target: 사용대상, Procedure: 사용방법, Occasion: 경우)를 고려하여 사용하면 HACCP나 환경문제를 고려한 위생관리가 요구되는 21세기에 있어서 커다란 의의와 가능성을 가진 살균제로 사료되며, 안전성이 확보된 수산식품을 제공하기 위한 기술개발이 활발히 이루어지고 있는 추세로 볼 때 전해수 역할은 더더욱 커질 것으로 사료된다.

## 5. 기술도입의 타당성

- 현재 일본과 미국의 경우 본 연구와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있으며 산업화도 이루어져 있으나, 국내에서의 연구 및 산업화는 매우 미약한 실정이다. 특히 이러한 기술은 첨단핵심 기술로서 분류되어 있어 자국의 관련산업 보호를 위해 기술전수를 회피하고 있는 실정이며 우리나라에서는 완제품을 고가에 수입하고 있다.
- 따라서 기술도입은 불가능하다고 여겨지며 해마다 수많은 기술이 국내로 수입되고 있는 국내 현실에서 기술경쟁력의 우위를 확보하기 위해서는 국내에서 자체 연구개발을 통하여 관련기술을 확보하는 것이 최선의 해결책으로 판단되며, 정부, 산업체, 학계의 지원과 관심이 요망된다.
- 설사 기술도입이 가능하다고 하더라도 그에 따른 로열티 수준이 상당할 것으로 사료되며, 이러한 기술 도입은 외국의 기술종주국으로 전락함으로써 국내 연구의욕 감소와 산업적 경제 손실이 막심할 것으로 예상된다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 연구수행방법

#### 1. 제 1 세부과제 : 수산식품위생관리 신기술로서 전해수 및 무균 해수의 유효이용 및 수산관련산업에의 응용

##### 가. 수산식품의 안전성 확보를 위한 전해수의 응용

###### 1) 전해수의 제조 및 물성 측정

격막식과 무격막식 전기분해를 병용하여 사용할 수 있는 전해수 생성장치 DIPS KI /KII/ (Fig. 2, (주)이수이앤씨, 인천 한국)를 이용하여 격막식 강산성전해수(Strong acidic electrolyzed water, 이하 SEW), 강알칼리성전해수(Strong alkalic electrolyzed water, 이하 AEW)와 무격막식 약산성전해수(Weak acidic electrolyzed water, 이하 WEW)를 생산하였다.

###### 가) 강산성전해수(SEW) 및 강알칼리성전해수(AEW)의 제조

0.1% NaCl 용액 40 L를 격막식 전해수 생성장치와 연결된 물탱크에 넣고 전압 1 V, 전류 10 A, 유속 6.4 L/min로 SEW를 생산하고 유효염소농도, oxidation-reduction potential(ORP, 산화환원전위), pH를 측정하였다.

###### 나) 약산성전해수(WEW)의 제조

0.1% NaCl 용액 40 L에 pH 조정제로 HCl을 첨가하여 무격막식 전해수 생성 장치와 연결된 물탱크에 넣고 전압 10 V, 전류 10 A, 유속 3.4 L/min로 WEW를 생산하고 유효염소농도, ORP, pH를 측정하였다.





Fig. 2. Electrozer for production of SEW, AEW and WEW.

## 다) 해수의 전기분해

인공해수 40 L를 무격막식 전해수 생성 장치와 연결된 물탱크에 넣고 전압 10 V, 전류 10 A, 유속 3.4 L/min로 WEW를 생산하고 유효염소농도, ORP, pH를 측정하였다.

## 라) 전해해수의 물성측정

유효염소농도는 각 유량에서 10 mL를 추출하여 탈이온수로 100배 희석하여 휴대용 염소측정기(Pocket colorimeter, HACH Co., Colorado, USA)로 측정하였다. ORP는 각 유량에서 300 mL를 추출하여 Inolab oxi level 1(InoLab Co., Weilheim, Germany)로 측정하였다. pH는 각 유량에서 300 mL를 추출하여 pH/ISE meter(Istek Co., 서울, 한국)로 pH를 측정하였다.

## 2) 전해수의 살균 특성 조사

### 가) 병원성 미생물의 배양

수산식품과 관련된 식중독 세균 중 *Vibrio vulnificus* KCTC 2962, *V. parahaemolyticus* ATCC 2210001은 1% NaCl, 3% NaCl을 각각 첨가한 brain heart infusion (BHI) broth (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에 접종하여 37°C에서 24시간 전배양하였다. *Listeria monocytogenes* ATCC 19113, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *E. coli* O157:H7 ATCC 43889, 부패세균인 *Pseudomonas putida* KCTC 2741, *Pseudomonas fluorescens* KCTC 2344는 BHI broth에 접종한 후 37°C에서 24시간 전배양하였다.

### 나) SEW와 WEW의 병원성 및 부패성 세균에 대한 살균활성 조사

전배양한 세균을 4°C, 1,250×g에서 30분간 원심분리하여 cell pellet을 균수가  $1.0 \times 10^9$  colony forming unit (CFU)/mL 되도록 phosphate buffered saline (PBS, pH 7.0)에 현탁하였다. 이 현탁액 1 mL를 99 mL의 SEW, WEW와 각각 섞은 후 일정시간 (30초, 60초) 방치하고 BHI agar를 이용하여 생균수를 측정, SEW와 WEW의 살균활성을 조사하였다. positive control로서는 유효염소농도 35 ppm의 sodium hypochlorite (차아염소산소다) 용액을 사용하였다.

### 다) 저장조건에 따른 전해수의 유효염소 농도 변화와 살균활성 지속효과 조사

격막식으로 생산한 SEW와 무격막식으로 생산한 WEW를 용기에 담고 상온에 4주간 보관하면서 밀봉하였을 때와 밀봉하지 않았을 때의 SEW와 WEW의 유효염소농도 변화와 살균활성 지속효과를 조사하였다.

#### 라) 전해수의 살균효과에 있어서 최적 pH 및 유효염소농도 조사

SEW와 WEW의 살균활성에 있어서 최적 pH 및 유효염소농도 영역을 밝히기 위하여 SEW와 WEW의 pH를 5N NaOH로서 3.0, 5.0, 7.0으로 조절하였으며, Control로서는 pH를 2.5~7.0으로 조절한 100 mM tartaric acid(pH 2.5~5.5)와 100 mM sodium phosphate buffer(pH 6.0~7.0)를 사용하였다. 한편 유효염소농도에 따른 살균활성을 조사하기 위하여 SEW와 WEW의 유효염소농도를 0.1~20 ppm이 되도록 탈이온수로 희석하고, 처리 전 pH와 ORP를 측정하였다.

### 나. 생선회집 및 양식 김의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 응용

#### 1) 생물원료 및 식자재 (생굴, 패류, 야채 등)에 대한 살균효과 조사

##### 가) 시료

##### (1) 생굴

전기분해한 해수의 살균효과를 측정하기 위하여 사용된 패각이 있는 생굴은 강릉시 강문동 횃집에서 구입하여 ice box(5℃ 이하)로 실험실로 운반하였다.

##### (2) 야채

식당에서 주로 제공되는 식자재 중 가열하지 않고 섭취하는 야채를 대상으로 SEW와 WEW의 살균효과를 조사하기 위하여 사용된 시료 중 당근(Carrot, *Daucus carita*), 무순(Radish sprouts, ), 상추(Lettuce, *Lactuca sativa*), 들깻잎(*Perilla leaf, Perilla frutescens*), 오이(Cucumber, *Cucumis sativus*) 콩나물(Soybean sprout, *Glycine max*)은 강릉시 이마트에서 구입하여 ice box(5℃ 이하)로 실험실로 운반하였으며, 파(Welsh onion, *Allium fistulosum*), 마늘(*Garlic, Allium sativum*), 양파(*Onion Allium cepa*), 팽이버섯(Winter mushroom, *Flammulina velvipes*), 자두(Plum, *Prunus salicina*), 숙주나물(mungbean sprout, *Vigna radiata*), 양배추(Cabbage, *Brassica oleracea*)는 명륜고등학교 학교급식 식당에서 제공받아 ice box(5℃ 이하)로 실험실로 운반하여 실험에 사용하였다.

### (3) 주방기구

주방기구에 대한 전해수의 표면 살균효과는 주방용 칼, 도마, 가위를 대상으로 측정하였다. 주방용 칼, 도마, 가위는 강릉 E-mart에서 구입하였으며, 칼과 가위는 스테인레스 재질로 되어있으며, 도마는 나무 재질이었다.

### (4) 주방환경

주방환경에 대한 전해수의 표면 살균효과는 명륜고등학교 식당을 직접 방문하여 식탁, 식판, 스테인레스 용기, 물컵, 배식대, 주방싱크대, 도마, 칼, 고무장갑 등을 대상으로 전해수의 살균효과를 측정하였다.

## 나) 전해수의 살균효과 측정

### (1) 생굴에 대한 전해수의 살균효과 측정

패각이 붙어 있는 생굴을 수조에서 축양하면서 염소농도를 0.1 ppm, 0.3 ppm, 0.5 ppm으로 조정해 해수 전기분해수를 유수식으로 공급하면서 수조 해수, 굴의 생균수 및 대장균수를 측정하여 전기분해수의 살균효과를 측정하였다.

### (2) 야채에 대한 전해수의 살균효과 측정

야채류에 대한 강산성전해수와 약산성전해수의 살균효과는 표면 살균효과를 측정하였다. 먼저 각 야채를 5 g 취한 후, 강산성전해수와 약산성전해수로 각각 30초, 60초간 세척한 후, 생균수를 측정하였다. 한편, 강알칼리성전해수와 강산성전해수의 병용에 의한 상승효과를 측정하기 위하여 강알칼리성전해수로 30초간 세척한 후, 강산성전해수로 30초간 세척하였다. 대조구로는 수도수와 30 ppm의 NaClO용액을 사용하였다.

## 2) 주방환경 및 종업원에 대한 살균효과 조사

### 가) 주방환경에 대한 전해수의 살균효과 측정

#### (1) 조리기구에 대한 전해수의 살균효과 측정

8가지 식품유래 병원성 미생물(표 2)을 전배양(37°C, 24 h)한 후 각 균주를 혼합하였다. 식품유래 병원성 미생물은 그람음성균으로 *Escherichia coli* O-157:H7 ATCC 25922, *Vibrio vulnificus* KCTC 2987, *Salmonella typhimurium* KCTC 2058, *Vibrio*

*parahaemolyticus* ATCC 2210001, 그람양성균으로 *Listeria monocytogenes* ATCC 19113, *Bacillus cereus* KCTC 1012, *Staphylococcus aureus* ATCC 25928, *Streptococcus mutans* KCTC 3298를 사용하였다. 혼합된 균주 배양액은 NaCl 0.85%의 생리식염수를 이용하여 균수가  $10^5 \sim 10^6$  CFU/mL가 되도록 희석하였다. 이 혼합 균주액 1,000 mL에 각 주방기구를 1분 동안 침지한 후 유속 3.4L/분의 강산성전해수와 약산성전해수로 각각 30초, 60초간 세척한 후, swab-kit(3M., USA)를 이용하여 주방기구 표면의 생균수를 측정하였다. 한편, 강알칼리성전해수와 강산성전해수의 병용에 의한 상승효과를 측정하기 위하여 강알칼리성전해수로 30초간 세척한 후, 강산성전해수로 30초간 세척하였다. 대조구로는 수도수와 30 ppm의 NaClO 용액을 사용하였다.

## (2) 주방환경에 대한 전해수의 살균효과 측정

주방환경에 대한 전해수의 표면살균효과를 측정하기 위하여 식탁, 식판, 스테인레스 용기, 물컵, 배식대, 주방싱크대, 도마, 칼, 고무장갑을 전해수로 30초간 세척하고 기구 표면의 일반생균수 및 대장균수를 측정하였다.

## (3) 종업원의 손에 대한 전해수의 살균효과 측정

강산성전해수의 종업원의 손에 대한 살균효과를 5명의 패널의 손을 대상으로 조사하였으며 그 방법은 다음과 같다.

- ① 실험 대상으로 선정된 패널(사람)은 일부러 손을 씻지 않은 상태에서 준비된 Plate count agar(일반세균 측정용 배지)에 엄지, 검지 중지 등의 손도장을 찍는다.
- ② ①번 실험이 끝난 패널은 두 그룹으로 나누어 각각 일반 수도수와 강산성전해수로 15초간 손을 씻는다.
- ③ 멸균종류수로 손을 행균 후 멸균 티슈페이퍼로 손을 닦는다.
- ④ ③번 실험이 끝난 패널들은 준비된 배지에 ①번과 같이 손도장을 찍는다.
- ⑤ 37°C에서 48시간 배양 후 균의 증식 여부를 측정하였다.
- ⑥ 실험인원은 한 그룹 당 5명씩 2 그룹으로 총 10명에 대하여 2차 반복 실시하였다

### 3) 양식 김 제조시 사용되는 염산의 대체용수로서 강산성 전해수의 응용

#### 가) 시료

##### (1) 김

2006년 2월 11일에 전남 목포시 압해도 해역의 김 양식장에서 생육중인 참김 (*Porphyra tenera*)을 채취하여 스티로폼 박스에 얼음과 함께 넣고 냉장 운반하여 실험에 사용하였다.

2006년 3월 4일에 강원도 강릉시 사천면 방파제 옆 돌에 부착하여 서식하는 참김 (*Porphyra tenera*)을 채취하여 스티로폼 박스에 얼음과 함께 넣고 냉장 운반하여 실험에 사용하였다.

2006년 3월 25일에 강원도 고성군 죽왕면 송암리 앞바다 옆 돌에 부착하여 서식하는 참김(*Porphyra tenera*)을 채취하여 스티로폼 박스에 얼음과 함께 넣고 냉장 운반하여 실험에 사용하였다.

##### (2) 파래

2006년 2월 11일에 전남 목포시 압해도 해역의 김 양식장 주변에서 생육중인 가시파래(*Entromorpha prolifera*)를 채취하여 스티로폼 박스에 얼음과 함께 냉장 운반하여 실험에 사용하였다.

2006년 3월 4일에 강원도 강릉시 사천면 방파제 옆 돌에 부착하여 서식하는 가시파래(*Entromorpha prolifera*)를 채취하여 스티로폼 박스에 얼음과 함께 냉장 운반하여 실험에 사용하였다.

2006년 3월 25일에 강원도 강릉시 사천면 방파제 옆 돌에 부착하여 서식하는 가시파래(*Entromorpha prolifera*)를 채취하여 스티로폼 박스에 얼음과 함께 냉장 운반하여 실험에 사용하였다.

#### 나) 전기분해수의 희석

강산성 전기분해수 (pH 3)을 원액으로 하여, 여과해수로 10배(원액:해수=1:9), 20배(원액:해수=2:8), 30배(원액:해수=3:7)로 희석 농도별로 실험하였다.

#### 다) 김, 파래의 배양

김, 파래의 배양에 사용된 배지는 F2 medium(표 1)였으며, 배양온도는 15℃이었으며, 조도는 4,000 Lux, 광주기는 12:12의 비율로 배양하였다.

## 라) 김, 파래의 생존에 대한 전기분해수의 영향

### (1) 예비실험

강산성 전기분해수 (pH 3)을 원액으로 하여, 여과해수로 10배(원액:해수=1:9) 희석하여 김, 파래의 생존의 미치는 영향을 조사하였다.

### (2) 김, 파래 엽체의 생존에 미치는 전기분해수의 희석농도별 영향

강산성 전기분해수 (pH 3)을 원액으로 하여, 여과해수로 10배(원액:해수=1:9), 20배(원액:해수=2:8), 30배(원액:해수=3:7)로 희석 농도별로 실험하였다.

실험은 각 희석 농도별로 파래와 김을 30초 동안 침지시킨 후 여과 해수로 깨끗이 세척하였다. 각 희석 농도별로 침지한 개체는 해조류 성장 배지( $f/2$ , Table 3)가 들어 있는 6 hole multi-plate(용량 5ml)에 각각 수용한 후 15°C low temperature incubator에 넣어서 2주후 희석농도별에 따른 생존을 조사하였다.

## 마) 김과 파래 엽체의 세포사에 미치는 전기분해수의 희석농도별 영향

전기분해수(pH 2.95, ORP 1,109 mV,  $Cl_2$  40ppm)에 김과 파래를 침지시켜 침지 시간별로 엽체의 세포사를 조사하였다.

실험은 해수 전기분해수(pH 2.95, ORP 1,109 mV,  $Cl_2$  40ppm)에 김과 파래 엽체를 각각 10분, 30분 동안 침지시킨 후 현미경(배율:10×40)으로 김과 파래 엽체의 세포사를 조사하였다.

Table 3. F2 medium

| 성 분   | 합 량       |
|---|-----------|
| NaNO <sub>3</sub>                                   | 150.0 mg  |
| NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·9H <sub>2</sub> O | 8.69 mg   |
| Ferric EDTA   | 10.0 mg   |
| MnCl <sub>2</sub>                                   | 0.22 mg   |
| CoCl <sub>2</sub>                                   | 0.11 mg   |
| CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O                | 0.0196 mg |
| ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                | 0.044 mg  |
| Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O | 50.0 mg   |
| Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O | 0.012 mg  |
| Vitamine B <sub>12</sub>                            | 1.0 μg    |
| Biotin  | 1.0 μg    |
| Thiamine-HCl  | 0.2 μg    |
| Filtered seawater                                   | 1 ℓ       |



다. 수산가공공장, 증양식 및 종묘생산시설의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 현장적용

1) 증양식 및 종묘생산시설의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 현장적용

가) 어류

전기분해한 해수의 살균효과를 측정하기 위하여 사용된 어류는 강원도 도립배양장에서 분양받은 넙치(Flounder, *Paralichthys olivaceus*)로 체장 10 cm, 20마리를 0.1 ton의 수조에서 하루 한 번 사료를 주면서 3주간 축양하였다.

나) 전기분해수의 공급 및 수조수 살균효과 측정

해수를 전기분해하여 유효염소농도 0.5 ppm의 전해수를 생산하고, 활성탄 여과장치( $\phi$  150 mm × 500 mm)로 염소를 흡착 최종유효염소농도 0.01 ppm의 전해수를 수조에 공급하면서 3일 간격으로 수조수의 생균수를 측정하였다. 또한 넙치의 생존율도 측정하였다(Fig. 4).

다) 양식장 장비에 대한 전해수의 살균효과 측정

양식장에서 사용되고 있는 뜰채(scoop net), 호스(hose), canvas, 장화(rubber boot) 등의 장비에 대하여 유효염소농도 0.5~1.5 ppm의 전해수로 30~120분간 처리한 후, 생균수를 측정하였다 (Fig. 5).

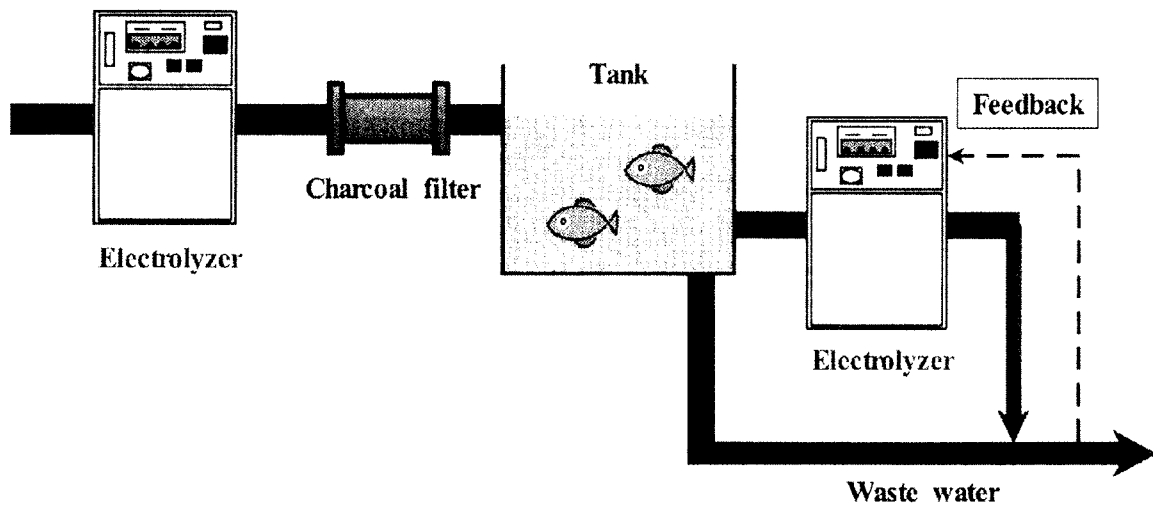


Fig. 4. Application of the electrolyzer for aquaculture.

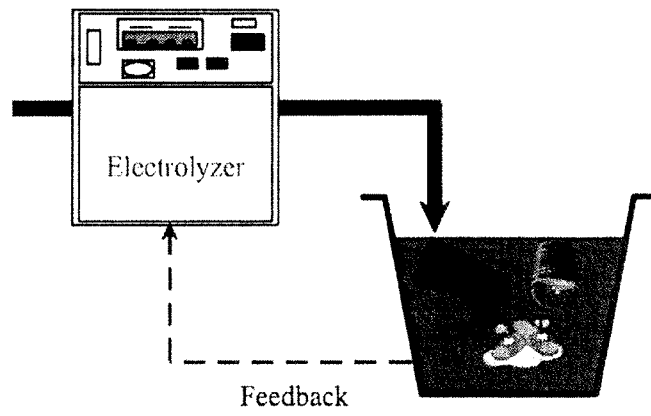


Fig. 5. Application of the electrolyzer for disinfection of equipments for aquaculture.

## 2. 제 2 세부과제 : 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발 및 현장적용

### 가. 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발

#### 1) 저전류 전기펄스 출력장치 디자인

저전류 전기펄스 출력장치((주)티엠디, 부산, 한국)는 직류 펄스를 생성하는 맥동 전류(pulsating current, 이하 PC)를 비롯하여 이의 효과와 비교하기 위한 일반직류(direct current, 이하 DC) 및 교류(alternating current, 이하 AC) 출력 등 세 가지 방식을 이용하여 제작하였다.

전기분해 셀(electrolytic cell; (주)티엠디, 부산, 한국)은 무격막(non-membrane)형식으로 제작하였으며 platinum이 1  $\mu\text{m}$  코팅된 titanium plate(56 × 170 × 10 mm)를 5 mm 간격으로 두 개를 장착하여 전극으로 사용하였다. 또한 해수가 통과하는 셀의 내부 부피는 75 mL로 측정되었다.

전기펄스 출력장치의 전압 및 전류 조건은 다음과 같다: 입력 전압 = AC 220 V, 출력 전압 = 12 V, 최대 출력전류 = 3 A, 출력 전류 가변범위 = 0 ~ 3 A, 주파수 가변범위 = 0 ~ 14 kHz.

#### 2) 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system (lab-scale)

저용량(40 L)의 수조 바닥에 magnetic pump를 연결하고 수조에서 출수된 물을 튜브를 통하여 전기분해 셀로 유입하였으며 유입된 물은 다시 수조로 돌아가는 lab-scale의 해수순환 system을 제작하였다. 출력 저전류 및 주파수는 셀에 장착된 전기펄스 출력장치로 조절하였고 유량조절은 일반 유체 유량계(flow meter)를 사용하여 실시하였으며 수온 조절은 튜브를 망사 구조로 수조안에 넣고 별도의 냉각수 순환장치를 이용하여 튜브에 냉각수를 순환하며 조절하였다.

#### 3) 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system (pilot-scale)

횃집 및 수산소매장에서 흔히 사용되는 일반 상업용 수조(1500 × 750 × 600 mm)를 이용하여 pilot-scale의 해수순환 system을 설치하였다. 수조 아래에는 각 6 cm 두께의 sand filter와 sponge filter가 장치되었고 이 filter를 투과한 바닷물은 water pump를 통하여 fiber로 이루어진 두 개의 micro-filter(Micro-Clean, (주)호원, 광주, 한국)를 통과한 후 위에서 제작된 전기분해 셀을 통과하여 다시 수조로 순환된다. 출력 저전류 및 주파수는 위와 동일한 전기펄스 출력장치를 사용하여 조절하

였고 유량은 유량밸브를 사용하여 조절하였다. 또한 해수의 온도는 수조에 장착된 온도조절 센서와 냉각기를 이용하여 조절하였다.

## 나. 해수 순환 system에서 저전류 전기펄스에 의한 활성염소 생성 평가

### 1) 활성염소 생성을 위한 해수 순환 system의 조건

해수 순환 시 저전류의 PC, DC, AC에 의해 생성되는 활성염소(주요 항균물질)의 생성속도 및 양을 예측하고 비교하기 위하여 lab-scale의 해수 순환 system을 이용하여 다음의 실험을 실시하였다.

모델 해수로서 3% NaCl 수용액을 사용하였으며 총 20 L(working volume)의 수용액을 4 L/min의 유속으로 순환하였다.

출력전류는 0.01 A를 사용하였으며 DC를 이용한 비교 실험 시 0.02 A도 사용하였다. PC와 AC의 주파수에 의한 효과 평가는 5 Hz(저주파) 및 14.4 kHz(고주파)의 두 주파수에서 실시되었으며, PC의 condenser에 의한 효과 평가는 2.2 및 1000  $\mu$ F 두 종류의 condenser를 사용하여 실시되었다. 온도에 의한 평가는 5 및 25°C의 두 온도에서 실시되었다.

### 2) 활성염소의 양, pH, ORP 측정

순환 모델 해수에서의 활성염소의 양은 Hach사(Loveland, CO, USA)의 DPD-FEAS 방법을 이용하여 digital titrator를 이용하여 측정하였으며, 활성염소의 양은 염소가스( $\text{Cl}_2$ )의 양으로 환산하여 mg/L as  $\text{Cl}_2$ 로서 표현하였다.

순환 중 모델 해수의 pH와 ORP (oxidation-reduction potential)은 digital pH/ORP meter (InoLab Level 1, WTW, Weilheim, Germany)를 사용하여 측정하였다.

### 3) 활성염소 생성에 대한 kinetic modeling

각 조건에서의 활성염소 생성을 비교하여 최적의 전기분해 조건을 살펴보기 위하여 해수 순환시 활성염소 생성 kinetics를 modeling 하였다. 전극에서 활성염소의 생성은 0차 반응으로 가정하였고, 순환 중 활성염소의 증발에 의한 손실은 Len et al. (2002)에 따라 1차 반응으로 가정하였다. 따라서 순환 system에서 활성염소의 물질수지식(mass balance equation)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{dC}{dt} = k_1 - k_2 C \quad (1)$$

위 식에서 C = 활성염소의 농도(mg/L as  $\text{Cl}_2$ ),  $k_1$  = 전기분해에 의한 활성염소 생성 속도상수(mg/L·h),  $k_2$  = 활성염소 증발 속도상수( $\text{h}^{-1}$ ), 그리고 t = 시간(h)이다.

활성염소의 증발은 HOCl이 Cl<sub>2</sub>와 평형을 이루고 있는 pH 5 이하에서 주로 발생하며 pH가 낮을 수록 활발하다. 따라서 활성염소 증발속도상수인 k<sub>2</sub>를 pH의 함수로 놓고 위 물질수지식을 적분하여 순환 중 활성염소 생성 kinetics를 modeling 하였다. 이에 대한 이론 및 최종 모델은 연구수행결과에 정리하였다.

## 다. 해수 순환 system에서 저전류 전기펄스에 의한 살균 효과 평가

### 1) 미생물, 배지 및 배양조건

어류 병원성 균인 *Edwardsiella tarda* (KCTC 12267)와 *Streptococcus iniae* (KCTC 3657)를 사용하여 저전류 전기펄스의 살균효과를 테스트 하였다. 이 균은 어류 병원균이기도 하지만 인체에도 감염을 일으킬 수 있다고 알려져 있다. 두 균 모두 10 mL의 brain heart infusion (BHI) broth (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에 접종하여 *E. tarda*는 37°C에서 *S. iniae*는 28°C에서 24 h 전배양하였다.

### 2) 살균효과 평가

전배양한 배양액을 4°C에서 원심분리(*E. tarda*의 경우 5,000× g에서 5 min, *S. iniae*의 경우 7,000× g에서 10 min)한 후 상정액을 버리고 10 mL의 PBS (phosphate buffered saline, pH7.4)를 넣고 voltexing 및 원심분리 과정을 두 번 실시하여 세척한 후 균체를 회수하였다. 회수된 균체는 최종균체 농도가 약  $1.0 \times 10^5$  CFU/mL이 되도록 20 L의 해수에 현탁하였다. Lab-scale의 해수 순환 system에서 균체를 포함한 해수를 4 L/min의 유속으로 약 5 min 순환한 후 전기 살균을 실시하였다.

입력전류는 0.01 A로 고정하였으며 두 주파수(5 Hz 및 14.4 kHz)와 두 온도(15 및 25°C)에서 살균실험을 실시하였다. 일정한 시간 경과에 따라 100 mL의 해수를 샘플링하였으며 각 샘플에 0.2 mL의 0.1 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 넣고 15 s 간 교반하여 잔존 활성염소를 제거하였다 (Urano et.al., 2006). 샘플의 생균수는 pour plate method를 사용하여 측정하였다. 샘플 1 mL을 40°C의 20 mL BHI agar에 섞은 후 *E. tarda*는 37°C에서 *S. iniae*는 28°C에서 48 h incubation한 후 생균수를 측정하였다.

## 라. 어류 선도 유지를 위한 연속식 전해수 얼음 제조시스템 개발

### 1) 연속식 전해수 얼음제조 시스템

살균력을 가진 얼음을 연속적으로 생산하기 위하여 전해수 장치와 얼음제조기 (SLF225, NTF Co., Italy)가 연결된 시스템을 개발하였다 (연구수행 내용 및 결과의

설명 참조). 황성염소의 농도는 iodometric 방법을 이용한 chlorine test kit (Hach, Ames, IA, USA)를 이용하여 측정하였으며 pH와 ORP는 위에서 언급한 digital pH/ORP meter를 사용하여 측정하였다.

## 2) 콩치 냉장저장 및 콩치 일반성분 분석

콩치 (length = 17 - 20 cm, weight = 50 - 60 g)를 위 시스템을 이용해 제조된 전해수 얼음 혹은 일반 flake 형태의 얼음과 함께 무게 비율 1:1로 배출구가 뚫어진 polystyrene box 안에 넣고 4°C 냉장고에 저장하였다. 이틀에 한번 얼음을 갈아주면서 콩치의 미생물 증가를 측정하였다. 콩치의 수분함량, 조지방, 조단백, 회분을 AOAC (Association of Official Analytical Chemists)에서 공인된 방법에 따라 각각 측정하였다.

## 3) 미생물학적 평가

저장 중 콩치를 취하여 콩치육을 분리하여 stomacher (Seward Medical, London, UK)로 1분간 균질화하고 균질액을 0.85% NaCl용액으로 적절히 희석하여 aerobic과 psychrotrophic bacterial counts를 측정하였다. Aerobic bacterial count와 psychrotrophic bacterial count는 Plate Count Agar (PCA)를 이용하여 각각 30°C에서 48시간, 4°C에서 10일 배양하여 측정하였다.

## 4) 화학적 평가

콩치육을 취하여 total volatile basic nitrogen (TVB-N)과 thiobarbituric acid (TBA)를 각각 Conway's microdiffusion 방법과 Turner (1954)의 방법으로 측정하였다. 콩치육즙의 pH도 선도평가의 한 방법으로 측정하였다.

## 5) 관능평가

저장 중 콩치의 관능성 변화는 다음의 수정된 Tasmanian Food Research Unit 방법에 따라 10인의 패널을 이용하여 평가하였다(Table 4).

Table 4. Modified scheme of Tasmanian Food Research Unit

| Parameters        | Demerit points   |                 |               |            |
|-------------------|------------------|-----------------|---------------|------------|
|                   | 0                | 1               | 2             | 3          |
| Appearance        | Very bright      | Bright          | Slightly dull | Dull       |
| Skin              | Firm             | Soft            |               |            |
| Slime             | Absent           | Slightly slimy  | Slimy         | Very slimy |
| Stiffness         | Pre-rigor        | Rigor           | Post-rigor    |            |
| Clarity of eyes   | Clear            | Slightly cloudy | Cloudy        |            |
| Color of gills    | Characteristics  | Slightly faded  | Very faded    |            |
| Color of belly    | Opalescent       | Grayish         | Some yellow   | Yellow     |
| Smell             | Sharply seaweedy | Fishy           | Stale         | Spoilt     |
| Firmness of belly | Firm             | Soft            | Sunken        | Burst      |

Total demerit points: 0 - 22



## 제 2 절 연구수행결과

### 1. 제 1 세부과제 : 수산식품위생관리 신기술로서 전해수 및 무균 해수의 유효이용 및 수산관련산업에의 응용

#### 가. 수산식품의 안전성 확보를 위한 전해수의 응용

##### 1) 전해수의 제조 및 물성

격막식과 무격막식 전기분해를 병용하여 사용할 수 있는 전해수 생성장치 DIPS KI/KII/F((주)이수이앤씨, 인천 한국)를 이용하여 SEW와 WEW를 생산하였다.

##### 가) 격막식에 의한 SEW의 제조 및 물성

0.1% NaCl 용액 40L를 격막식 전해수 생성장치와 연결된 물탱크에 넣고 전압 10V, 전류 10A, 유속 6.4L/min로 SEW를 생산하고 그 물성을 측정한 결과는 Table 5와 같다.

격막식으로 생산한 SEW의 유효염소농도는  $35\pm 1.2$ 이었으며, pH는  $2.3\pm 0.2$ , ORP는  $1,140\pm 20.4$ mV이었다.

##### 나) 격막식에 의한 AEW의 제조 및 물성

0.1% NaCl 용액 40L를 격막식 전해수 생성장치와 연결된 물탱크에 넣고 전압 10V, 전류 10A, 유속 6.4L/min로 AEW를 생산하고 그 물성을 측정한 결과는 Table 6과 같다.

격막식으로 생산한 AEW의 유효염소농도는  $0.1\pm 0.01$ ppm이었으며, pH는  $11.6\pm 1.1$ , ORP는  $-900\pm 18.2$ mV이었다.

##### 다) 약산성전해수(WEW)의 물성

0.1% NaCl 용액 40L에 pH 조정제로 HCl을 첨가하여 무격막식 전해수 생성 장치와 연결된 물탱크에 넣고 전압 10V, 전류 10A, 유속 3.4L/min로 WEW를 생산하고 그 물성을 측정한 결과는 Table 7과 같다.

Table 5. Properties of SEW\*

| Type | Available chlorine (ppm) | pH        | ORP(mV)      |
|------|--------------------------|-----------|--------------|
| SEW  | 35 ± 1.2*                | 2.3 ± 0.2 | 1,140 ± 20.4 |

\*Values are the means of three replicated measurements ± standard deviation.

Table 6. Properties of AEW\*

| Type | Residual chlorine (ppm) | pH         | ORP(mV)     |
|------|-------------------------|------------|-------------|
| AEW  | 0.1 ± 0.01              | 11.6 ± 1.1 | -900 ± 18.2 |

\*Values are the means of three replicated measurements ± standard deviation.

Table 7. Properties of WEW\*

| Type | Residual chlorine (ppm) | pH        | ORP(mV)    |
|------|-------------------------|-----------|------------|
| WEW  | 35 ± 1.4                | 6.5 ± 0.2 | 753 ± 11.3 |

\*Values are the means of three replicated measurements ± standard deviation.

격막식으로 생산한 WEW의 유효염소농도는  $35 \pm 1.4 \text{ ppm}$ 이었으며, pH는  $6.5 \pm 0.2$ , ORP는  $753 \pm 11.3 \text{ mV}$ 이었다.

#### 라) 해수의 전기분해 및 물성

인공해수 40L를 무격막식 전해수 생성 장치와 연결된 물탱크에 넣고 전압 10V, 전류 10A, 유속 3.4L/min로 WEW를 생산하고 유효염소농도, ORP, pH를 측정하였으며 그 결과는 Table 8과 같다.

### 2) 전해수의 살균 특성

#### 가) SEW와 WEW의 병원성 및 부패성 세균에 대한 살균활성

격막식으로 생산된 SEW와 무격막식으로 생산된 WEW의 병원성균 및 부패세균에 대한 살균효과를 조사한 결과는 Fig. 6과 같다.

35ppm의 차아염소산용액은 60초간 처리하여도  $1.0 \times 10^3 \sim 1.0 \times 10^6 \text{ CFU/mL}$ 의 균이 잔존하였으나, SEW, WEW 공히 30초간 처리로 실험에 제공된 모든 병원성세균 및 부패세균을 살균하여 같은 유효염소농도라도 전해수가 차아염소산용액보다 살균력이 뛰어나다는 것을 알 수 있었다.

#### 나) 저장조건에 따른 전해수의 유효염소 농도 변화와 살균활성 지속효과

##### (1) 개봉된 상태에서의 SEW의 물성 및 살균활성 변화

격막식으로 생산한 SEW를 개봉된 용기에 담고 상온에 4주간 보관하면서 유효염소농도, pH, ORP, 살균활성의 변화를 측정하였으며 그 결과는 Table 9와 같다.

개봉된 상태에서 상온에 보관한 경우, SEW의 유효염소농도는 최초 35ppm에서 저장 1주일째 1.2ppm으로 급격하게 감소하였으며, 시간이 지남에 따라 계속 감소하여 28일째에는 0.1ppm 정도 잔존하고 있었다. 이는 개봉된 상태이기 때문에 염소가 공기 중으로 휘발된 것으로 추측된다.

한편 *Listeria monocytogenes*와 *E. coli* O157:H7을 대상균주로 하여 균현탁액 1mL와 일정기간 경과된 SEW 99mL를 섞어 30초간 처리하여 살균활성 지속효과를 측정 한 결과, 저장 7일째까지는 살균활성에 변화가 없었으나 저장기간이 길어질수록 살균활성이 떨어져, 저장 14일째 살균활성이 거의 소실되었으며 저장 28일째에 Gram-positive 균인 *L. monocytogenes*의 경우는 5 log의 균이 잔존하였으며, Gram-negative 균인 *E. coli* O157:H7의 경우, 3 log의 균이 잔존하였다.

이상의 결과로 볼 때, 개봉된 상태에서 SEW의 살균활성 유효기간은 약 7일 정도로 추측된다.

#### (2) 개봉된 상태에서의 WEW의 물성 및 살균활성 변화

무격막식으로 생산한 WEW를 개봉된 용기에 담고 상온에 4주간 보관하면서 유효염소농도, pH, ORP, 살균활성의 변화를 측정하였으며 그 결과는 Table 10과 같다.

개봉된 상태에서 상온에 보관한 경우, WEW도 SEW와 같이 유효염소농도는 최초 35ppm에서 저장 1주일째 1.4ppm으로 급격하게 감소하였으며, 시간이 지남에 따라 계속 감소하여 28일째에는 0.1ppm 정도 잔존하고 있었다.

한편 *Listeria monocytogenes*와 *E. coli* O157:H7을 대상균주로 하여 균현탁액 1mL와 일정기간 경과된 SEW 99mL를 섞어 30초간 처리하여 살균활성 지속효과를 측정한 결과, WEW도 저장 7일째까지는 살균활성에 변화가 없었으나 저장기간이 길어질수록 살균활성이 떨어져, 저장 14일째 살균활성이 거의 소실되었으며 저장 28일째에 Gram-positive 균인 *L. monocytogenes*의 경우는 4.5 log의 균이 잔존하였으며, Gram-negative 균인 *E. coli* O157:H7의 경우 2.3 log의 균이 잔존하였다.

이상의 결과로 볼 때, 개봉된 상태에서 WEW의 살균활성 유효기간은 SEW약 7일 정도로 추측된다.

#### (3) 밀봉된 상태에서의 SEW의 물성 및 살균활성 변화

1)항에서 설명한 격막식으로 생산한 SEW를 밀봉된 용기에 담고 상온에 4주간 보관하면서 유효염소농도, pH, ORP, 살균활성의 변화를 측정하였으며 그 결과는 Table 11과 같다.

밀봉된 상태에서 상온에 보관한 경우, SEW의 유효염소농도, pH, ORP 모두 거의 변화가 없었으며, 살균활성도 그대로 유지하고 있어 전해수를 밀봉한 상태에서 보관할 경우 약 4주간 물성 및 살균활성을 그대로 유지할 수 있는 것을 알았다.

#### (4) 밀봉된 상태에서의 WEW의 물성 및 살균활성 변화

1)항에서 설명한 무격막식으로 생산한 WEW를 밀봉된 용기에 담고 상온에 4주간 보관하면서 유효염소농도, pH, ORP, 살균활성의 변화를 측정하였으며 그 결과는 Table 12와 같다.

밀봉된 상태에서 상온에 보관한 경우, WEW도 SEW와 유사하게 유효염소농도, pH, ORP 모두 거의 변화가 없었으며, 살균활성도 그대로 유지하고 있어 전해수를 밀봉한 상태에서 보관할 경우 약 4주간 물성 및 살균활성을 그대로 유지할 수 있는 것을 알았다.

Table 8. Properties of electrolyzed seawater (ESW)\*

| Type | Available chlorine (ppm) | pH        | ORP(mV)     |
|------|--------------------------|-----------|-------------|
| ESW  | 80 ± 1.2                 | 8.0 ± 0.2 | -500 ± 20.4 |

\*Values are the means of three replicated measurements ± standard deviation.

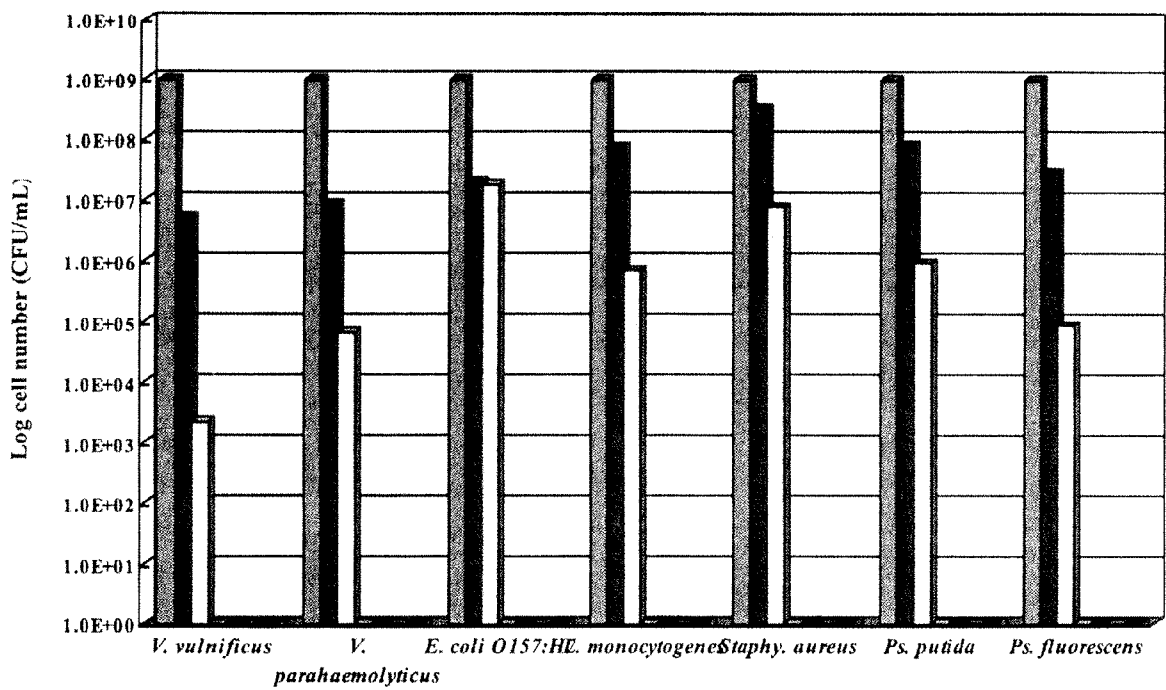


Fig. 6. Bactericidal activity of SEW and WEW against food-borne pathogenic bacteria and putrefactive bacteria.

■, Initial cell number; ■, 35ppm NaClO solution, 30sec; □, 35ppm NaClO solution, 60sec; □, SEW 30sec; ■, SEW 60sec; ■, WEW 30sec; ■, WEW 60sec;

Table 9. Changes of properties and bactericidal activity against *L. monocytogenes* and *E. coli* O157:H7 of SEW under open storage condition at room temperature<sup>a</sup>

| Storage time (day) | Available chlorine concentration (ppm) | pH        | ORP(mv)      | Surviving number (Log CFU/mL) |                        |
|--------------------|--|-----------|--------------|-------------------------------|------------------------|
|                    |  |           |              | <i>L. monocytogenes</i>       | <i>E. coli</i> O157:H7 |
| Initial            |  |           |              | 7.0 ± 0.11                    | 7.0 ± 0.05             |
| 0                  | 35.0 ± 1.2                             | 2.3 ± 0.2 | 1,140 ± 20.4 | ND <sup>b</sup>               | ND                     |
| 7                  | 1.2 ± 0.2                              | 2.3 ± 0.1 | 965 ± 17.1   | ND                            | ND                     |
| 14                 | 0.3 ± 0.06                             | 2.3 ± 0.4 | 820 ± 18.5   | <1.0 <sup>c</sup>             | <1.0                   |
| 21                 | 0.2 ± 0.02                             | 2.3 ± 0.3 | 795 ± 13.2   | 2.3 ± 0.05                    | 1.5 ± 0.13             |
| 28                 | 0.1 ± 0.03                             | 2.3 ± 0.2 | 756 ± 16.4   | 4.7 ± 0.08                    | 2.8 ± 0.09             |

<sup>a</sup> Values are the means of three replicated measurements ± standard deviation.

<sup>b</sup> Negative by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

<sup>c</sup> Positive by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

Table 10. Changes of properties and bactericidal activity against *L. monocytogenes* and *E. coli* O157:H7 of WEW under open storage condition at room temperature<sup>a</sup>

| Storage time (day) | Available chlorine concentration (ppm) | pH        | ORP(mV)    | Surviving number (Log CFU/mL) |                        |
|--------------------|--|-----------|------------|-------------------------------|------------------------|
|                    |  |           |            | <i>L. monocytogenes</i>       | <i>E. coli</i> O157:H7 |
| Initial            |  |           |            | 7.0 ± 0.11                    | 7.0 ± 0.05             |
| 0                  | 35.0 ± 1.4                             | 6.5 ± 0.2 | 753 ± 11.3 | ND <sup>b</sup>               | ND                     |
| 7                  | 1.4 ± 0.3                              | 6.6 ± 0.1 | 733 ± 10.5 | ND                            | ND                     |
| 14                 | 0.4 ± 0.02                             | 6.5 ± 0.4 | 726 ± 9.8  | <1.0 <sup>c</sup>             | <1.0                   |
| 21                 | 0.2 ± 0.01                             | 6.5 ± 0.3 | 712 ± 12.5 | 2.1 ± 0.11                    | 1.1 ± 0.09             |
| 28                 | 0.1 ± 0.05                             | 6.5 ± 0.3 | 695 ± 10.6 | 4.5 ± 0.04                    | 2.3 ± 0.02             |

<sup>a</sup> Values are the means of three replicated measurements ± standard deviation.

<sup>b</sup> Negative by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

<sup>c</sup> Positive by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.



Table 11. Changes of properties and bactericidal activity against *L. monocytogenes* and *E. coli* O157:H7 of SEW under closed storage condition at room temperature<sup>a</sup>

| Storage time (day) | Available chlorine concentration (ppm) | pH        | ORP(mv)      | Surviving number (Log CFU/mL) |                        |
|--------------------|--|-----------|--------------|-------------------------------|------------------------|
|                    |  |           |              | <i>L. monocytogenes</i>       | <i>E. coli</i> O157:H7 |
| Initial            |  |           |              | 7.0 ± 0.11                    | 7.0 ± 0.05             |
| 0                  | 35.0 ± 1.2                             | 2.3 ± 0.2 | 1,140 ± 20.4 | ND <sup>b</sup>               | ND                     |
| 7                  | 34.5 ± 1.8                             | 2.3 ± 0.1 | 1,131 ± 11.2 | ND                            | ND                     |
| 14                 | 36.1 ± 1.4                             | 2.3 ± 0.4 | 1,138 ± 9.5  | ND                            | ND                     |
| 21                 | 35.3 ± 0.2                             | 2.3 ± 0.3 | 1,135 ± 12.6 | ND                            | ND                     |
| 28                 | 34.2 ± 0.8                             | 2.3 ± 0.2 | 1,136 ± 10.4 | ND                            | ND                     |

<sup>a</sup> Values are the means of three replicated measurements ± standard deviation.

<sup>b</sup> Negative by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

Table 12. Changes of properties and bactericidal activity against *L. monocytogenes* and *E. coli* O157:H7 of WEW under closed storage condition at room temperature<sup>a</sup>

| Storage time (day) | Available chlorine concentration (ppm) | pH        | ORP(mv)    | Surviving number (Log CFU/mL) |                        |
|--------------------|--|-----------|------------|-------------------------------|------------------------|
|                    |  |           |            | <i>L. monocytogenes</i>       | <i>E. coli</i> O157:H7 |
| Initial            |  |           |            | 7.0 ± 0.11                    | 7.0 ± 0.05             |
| 0                  | 35.0 ± 1.4                             | 6.5 ± 0.2 | 753 ± 11.3 | ND <sup>b</sup>               | ND                     |
| 7                  | 35.5 ± 1.1                             | 6.4 ± 0.3 | 755 ± 8.3  | ND                            | ND                     |
| 14                 | 35.0 ± 1.7                             | 6.5 ± 0.2 | 749 ± 10.3 | ND                            | ND                     |
| 21                 | 34.5 ± 1.0                             | 6.4 ± 0.1 | 750 ± 11.9 | ND                            | ND                     |
| 28                 | 34.7 ± 0.5                             | 6.4 ± 0.4 | 745 ± 7.6  | ND                            | ND                     |

<sup>a</sup> Values are the means of three replicated measurements ± standard deviation.

<sup>b</sup> Negative by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

## 다) 유효염소농도 및 pH에 따른 SEW와 WEW의 살균활성

### (1) 유효염소농도에 따른 SEW와 WEW의 살균활성

*L. monocytogenes*와 *E. coli* O157:H7에 대한 SEW와 WEW의 살균활성에 있어서 최적 유효염소농도 영역을 조사한 결과는 Table 13, 14와 같다.

SEW를 탈이온수로 희석하여 유효염소농도를 0.1~20ppm까지 희석한 후 *L. monocytogenes*와 *E. coli* O157:H7에 대한 살균활성을 조사한 결과, *E. coli* O157:H7의 경우, 유효염소농도 0.1 ppm에서 약 4.5 log가 감소하였으며 0.5ppm에서는 균이 검출되지 않았다. 그러나 *L. monocytogenes*의 경우 유효염소농도 0.1ppm에서는 약 3 log 감소하였으며 0.5ppm에서도 균이 검출되었다. 유효염소농도 1.0ppm 이상에서는 두 균 모두 검출되지 않았다(Table 13).

WEW를 탈이온수로 희석하여 유효염소농도를 0.1~20ppm까지 희석한 후 *L. monocytogenes*와 *E. coli* O157:H7에 대한 살균활성을 조사한 결과, SEW와 유사한 경향을 나타내었으며 유효염소농도 1.0ppm 이상에서는 두 균 모두 검출되지 않았다(Table 14).

이러한 결과는 SEW와 WEW의 유효염소농도가 높을수록 살균활성이 증가한다는 것을 뜻하며 *E. coli* O157:H7가 *L. monocytogenes*보다 SEW에 민감하다는 것을 알 수 있었다.

한편 ORP는 산화-환원력을 나타내며, 높은 ORP 값은 강한 산화력이 있다는 것을 의미한다. 0.1~0.5ppm의 유효염소농도를 가지는 SEW의 ORP는 탈이온수의 ORP보다 상당히 높은 값을 나타내었다(Table 13, 14). SEW와 WEW의 ORP 값은 유효염소농도가 증가함에 따라 증가하였으며, SEW의 경우 유효염소농도가 20ppm일 때, ORP는 1100mV에 달하였다. 이 결과로부터 전해수가 강력한 산화제이며, 산화력이 살균활성의 원인이라는 것을 알 수 있었다. 전해수의 강력한 산화력은 세균세포 표면의 sulfhydryl 화합물의 산화(Leyer and Johnson, 1997) 또는 다른 중요한 metabolic system을 산화(Albrich et al., 1986; Barrette et al., 1989; Hurst et al., 1991)하여 세균의 증식을 억제하는 것으로 사료된다.

한편 세균이 증식하지 못하였던 유효염소농도 0.5, 1.0ppm의 SEW의 pH는 각각 4.61, 4.26으로, 세균의 증식을 억제하기 위하여 SEW의 낮은 pH (2.3)가 반드시 필수적인 것이 아니라는 것을 알 수 있었다.

Table 13. Bactericidal activity of diluted SEW against *L. monocytogenes* and *E. coli* O157:H7 as function of residual chlorine<sup>a</sup>

| Available chlorine concentration (ppm) | Surviving number (Log CFU/mL) |                        | Properties of SEW |              |
|--|-------------------------------|------------------------|-------------------|--------------|
|  | <i>L. monocytogenes</i>       | <i>E. coli</i> O157:H7 | pH                | ORP(mV)      |
| 0.0 <sup>b</sup>                       | 7.0 ± 0.05                    | 7.0 ± 0.03             | 5.80 ± 0.05       | 350 ± 10.5   |
| 0.1                                    | 4.1 ± 0.12                    | 2.5 ± 0.09             | 5.32 ± 0.11       | 728 ± 18.6   |
| 0.5                                    | <1.0 <sup>c</sup>             | ND                     | 4.61 ± 0.05       | 831 ± 13.7   |
| 1.0                                    | ND <sup>d</sup>               | ND                     | 4.26 ± 0.09       | 887 ± 9.5    |
| 5.0                                    | ND                            | ND                     | 3.53 ± 0.08       | 1,006 ± 11.8 |
| 10.0                                   | ND                            | ND                     | 3.21 ± 0.13       | 1,035 ± 14.1 |
| 15.0                                   | ND                            | ND                     | 3.01 ± 0.12       | 1,095 ± 11.6 |
| 20.0                                   | ND                            | ND                     | 2.90 ± 0.03       | 1,126 ± 12.8 |

<sup>a</sup> Values are the means of three replicated measurements ± standard deviation.

<sup>b</sup> Control, treated with buffer solution.

<sup>c</sup> Positive by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

<sup>d</sup> Negative by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

Table 14. Bactericidal activity of diluted WEW against *L. monocytogenes* and *E. coli* O157:H7 as function of residual chlorine<sup>a</sup>

| Available chlorine concentration (ppm) | Surviving number (Log CFU/mL) |                        | Properties of WEW |            |
|--|-------------------------------|------------------------|-------------------|------------|
|  | <i>L. monocytogenes</i>       | <i>E. coli</i> O157:H7 | pH                | ORP(mV)    |
| 0.0 <sup>b</sup>                       | 7.0 ± 0.05                    | 7.0 ± 0.03             | 6.50 ± 0.14       | 489 ± 9.8  |
| 0.1                                    | 4.5 ± 0.07                    | 2.1 ± 0.02             | 6.48 ± 0.11       | 716 ± 11.2 |
| 0.5                                    | <1.0 <sup>c</sup>             | ND                     | 6.50 ± 0.12       | 720 ± 8.5  |
| 1.0                                    | ND <sup>d</sup>               | ND                     | 6.49 ± 0.04       | 720 ± 2.7  |
| 5.0                                    | ND                            | ND                     | 6.53 ± 0.08       | 728 ± 13.5 |
| 10.0                                   | ND                            | ND                     | 6.48 ± 0.32       | 730 ± 10.6 |
| 15.0                                   | ND                            | ND                     | 6.47 ± 0.06       | 735 ± 8.5  |
| 20.0                                   | ND                            | ND                     | 6.51 ± 0.07       | 743 ± 12.8 |

<sup>a</sup> Values are the means of three replicated measurements ± standard deviation.

<sup>b</sup> Control, treated with buffer solution.

<sup>c</sup> Positive by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

<sup>d</sup> Negative by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

## (2) pH에 따른 SEW와 WEW의 살균활성

SEW의 pH를 3.0, 5.0, 7.0으로 조절한 후, *L. monocytogenes*와 *E. coli* O157:H7에 대한 살균활성을 조사한 결과는 Table 15, 16과 같다. 유효염소농도가 0 ppm인 pH 3.0, 5.0, 7.0의 buffer solution(control)으로 처리한 경우, 두 균주 모두 균수의 변화가 거의 없는 것으로 나타나 pH에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다. 그러나 유효염소농도가 증가함에 따라 살균활성도 증가하여 유효염소농도가 1.0 ppm 이상에서는 pH에 관계없이 균이 검출되지 않아, SEW의 살균활성은 pH보다 유효염소농도에 좌우되는 것을 알 수 있었다.

## 라) *V. vulnificus*, *V. parahaemolyticus*에 대한 최적살균조건 확립

수산식품의 주요 전염병세균인 *V. vulnificus*와 식중독세균인 *V. parahaemolyticus*에 대한 SEW와 WEW의 최적살균조건을 조사한 결과는 Table 17과 같다.

유효염소농도가 15ppm 이상일 때는 처리시간에 관계없이 두 균주 모두 증식하지 못하였다. 유효염소농도가 10ppm인 경우, 15초 이상 처리하여야 살균활성이 나타났으며, 5ppm인 경우는 30초, 1ppm인 경우는 60초 이상 처리하여야 살균활성이 나타나는 것을 알 수 있었다. 그리고 pH는 2.7~3.3이었다(data not shown).

Table 15. Bactericidal activity of diluted SEW against *L. monocytogenes* as function of pH

| Available chlorine concentration (ppm) | Surviving cell number (Log CFU/mL) <sup>a</sup> |            |                   |
|--|---|------------|-------------------|
|  | pH 3.0  | pH 5.0     | pH 7.0            |
| 0.0 <sup>b</sup>                       | 7.0 ± 0.05                                      | 7.0 ± 0.07 | 7.0 ± 0.11        |
| 0.1                                    | 4.1 ± 0.12                                      | 4.7 ± 0.20 | 6.8 ± 0.18        |
| 0.5                                    | 1.5 ± 0.38                                      | 1.9 ± 0.42 | 4.1 ± 0.31        |
| 1.0                                    | ND <sup>c</sup>                                 | ND         | <1.0 <sup>d</sup> |
| 5.0                                    | ND  | ND         | ND                |
| 10.0                                   | ND  | ND         | ND                |
| 15.0                                   | ND  | ND         | ND                |
| 20.0                                   | ND  | ND         | ND                |

<sup>a</sup> Values are the means of three replicated measurements ± standard deviation.

<sup>b</sup> Control, treated with buffer solution.

<sup>c</sup> Negative by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

<sup>d</sup> Positive by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

Table 16. Bactericidal activity of diluted SEW against *E. coli* O157:H7 as function of pH

| Available chlorine concentration (ppm) | Surviving cell number (Log CFU/mL) <sup>a</sup> |            |            |
|--|---|------------|------------|
|  | pH 3.0  | pH 5.0     | pH 7.0     |
| 0.0 <sup>b</sup>                       | 7.0 ± 0.14                                      | 7.0 ± 0.05 | 7.0 ± 0.08 |
| 0.1                                    | 4.3 ± 0.04                                      | 4.7 ± 0.14 | 6.5 ± 0.21 |
| 0.5                                    | 1.2 ± 0.13                                      | 1.2 ± 0.08 | 1.4 ± 0.17 |
| 1.0                                    | ND <sup>c</sup>                                 | ND         | <1.0       |
| 5.0                                    | ND  | ND         | ND         |
| 10.0                                   | ND  | ND         | ND         |
| 15.0                                   | ND  | ND         | ND         |
| 20.0                                   | ND  | ND         | ND         |

<sup>a</sup> Values are the means of three replicated measurements ± standard deviation.

<sup>b</sup> Control, treated with buffer solution.

<sup>c</sup> Negative by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

<sup>d</sup> Positive by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.



Table 17. Optimum bactericidal condition of diluted SEW against *V. vulnificus* and *V. parahaemolyticus* <sup>a</sup>

| Available chlorine concentration (ppm) | Treating time (sec) | SEW                  |                            | WEW                  |                            |
|--|---------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|
|  |                     | <i>V. vulnificus</i> | <i>V. parahaemolyticus</i> | <i>V. vulnificus</i> | <i>V. parahaemolyticus</i> |
| Control <sup>b</sup>                   |                     | + <sup>c</sup>       | +                          | +                    | +                          |
| 0.1                                    | 5                   | +                    | +                          | +                    | +                          |
|  | 15                  | +                    | +                          | +                    | +                          |
|  | 30                  | +                    | +                          | +                    | +                          |
|  | 60                  | +                    | +                          | +                    | +                          |
| 0.5                                    | 5                   | +                    | +/- <sup>d</sup>           | +/-                  | +/-                        |
|  | 15                  | +                    | +                          | +                    | +                          |
|  | 30                  | +                    | +/-                        | +/-                  | +                          |
|  | 60                  | +/-                  | +                          | +/-                  | +/-                        |
| 1.0                                    | 5                   | +/-                  | +/-                        | +/-                  | +/-                        |
|  | 15                  | +/-                  | +/-                        | +/-                  | +/-                        |
|  | 30                  | ND <sup>e</sup>      | +/-                        | +/-                  | +/-                        |
|  | 60                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
| 5.0                                    | 5                   | +/-                  | +/-                        | +/-                  | +/-                        |
|  | 15                  | ND                   | +/-                        | +/-                  | ND                         |
|  | 30                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 60                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
| 10.0                                   | 5                   | +                    | ND                         | +/-                  | ND                         |
|  | 15                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 30                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 60                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
| 15.0                                   | 5                   | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 15                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 30                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 60                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
| 20.0                                   | 5                   | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 15                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 30                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 60                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
| 25.0                                   | 5                   | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 15                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 30                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 60                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
| 35.0                                   | 5                   | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 15                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 30                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |
|  | 60                  | ND                   | ND                         | ND                   | ND                         |

<sup>a</sup> Values are the means of three replicated measurements  $\pm$  standard deviation.

<sup>b</sup> Distilled water with 3% NaCl.

<sup>c</sup> Growth.

<sup>d</sup> Positive by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

<sup>e</sup> Negative by an enrichment medium and no detectable survivors by a direct plating method.

## 나. 생선회집 및 양식 김의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 응용

### 1) 생물원료 및 식자재에 대한 살균효과

#### 가) 생굴에 대한 전해수의 살균효과 측정

수조에 살아있는 굴을 축양하면서 해수로부터 제조한 전해수(WEW)의 살균활성을 조사한 결과는 Table 18과 같다.

전해수의 유효염소농도가 0.5 ppm 이상일 때, 축양 3일째에 해수와 굴 모두 생균수와 대장균이 검출한계치 이하로 감소하였다. 유효염소농도가 0.1 ppm인 경우, 축양 3일째 생균수가 10'으로 감소하였으며, 축양 5일째 검출되지 않았다. 대장균은 축양 3일째 해수에서 검출한계치 이하로 감소하였으며, 굴은 축양 3일째 20으로 감소, 축양 5일째 검출한계치 이하로 감소하였다. 실험기간 중 굴의 생존률은 98.5%이었다. 이러한 결과로 볼 때, 해수를 전기분해한 전해수를 이용한 순환수조시스템은 세균에 오염된 해수 및 패류의 살균에 유용한 것을 알 수 있었다.

#### 나) 야채에 대한 전해수의 살균효과 측정

생 야채류에 대한 오존수의 표면 살균효과를 Fig 7에 나타내었다. 당근, 상추, 깻잎, 오이의 경우, 강산성전해수로 30초 세척하였을 때는 각각 2, 2, 4, 2 log 감소하였으며, 30초 세척하였을 때는 각각 3, 3, 4, 2 log 감소하였다. 또 강알칼리성전해수로 30초간 세척 후 강산성전해수로 30초간 세척하였을 때는 4, 4, 5, 3 log가 감소하여 살균효과가 더 좋았다. 그러나 무순과 콩나물의 경우, 강산성전해수로 60초간 세척하여도 약 1~2 log 정도만 감소하여 살균효과가 다른 야채에 비하여 조금 낮게 나타났다. 그러나 강알칼리성전해수로 30초간 세척 후 강산성전해수로 30초간 세척한 경우 약 4 log가 감소하여 강한 살균효과를 얻을 수 있었다. 양성대조구로 사용한 30ppm NaClO 용액의 경우 모든 야채에 대하여 전기분해수보다 살균효과가 낮은 것으로 나타났다.

鈴木(1998)는 비가열살균 방법 중의 하나인 강산성 전해수로 무우순을 세척한 결과 *Escherichia coli* O157:H7에 대한 살균효과가 거의 없으며 이는 *Escherichia coli* O157:H7가 무우순의 조직안으로 침투하기 때문에 표면살균능을 지닌 전해수의 영향을 받지 않는다고 보고한 바 있는데, 본 실험의 경우도 이와 비슷한 결과인 것으로 사료되며, 야채의 종류에 따라 전해수의 살균효과에 차이가 있을 것으로 생각된다.

Table 18. Disinfection effects of WEW from sea water on oyster in sea water tank

| Available chlorine concentration (ppm) | Treating time (day) | Viable cell number (CFU/mL or g) |                      | Coliform group (MPN/100 mL) |        |
|--|---------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------|
|  |                     | Sea water                        | Oyster               | Sea water                   | Oyster |
| 0.5 ± 0.1                              | 0                   | 8.7×10 <sup>2</sup>              | 4.2×10 <sup>3</sup>  | 23                          | 1,100  |
|  | 1                   | 1.2×10 <sup>2</sup>              | 3.5×10 <sup>2</sup>  | 2.0                         | 490    |
|  | 2                   | 4.3×10 <sup>1</sup>              | 2.8×10 <sup>1</sup>  | <1.8                        | 40     |
|  | 3                   | <2.5×10 <sup>0</sup>             | <2.5×10 <sup>1</sup> | <1.8                        | <18    |
|  | 5                   | <2.5×10 <sup>0</sup>             | <2.5×10 <sup>1</sup> | <1.8                        | <18    |
| 0.53 ± 0.0                             | 1                   | 3.2×10 <sup>2</sup>              | 1.3×10 <sup>2</sup>  | 17                          | 540    |
|  | 2                   | 1.4×10 <sup>1</sup>              | 4.1×10 <sup>1</sup>  | 2.0                         | 78     |
|  | 3                   | <2.5×10 <sup>0</sup>             | <2.5×10 <sup>1</sup> | <1.8                        | <18    |
|  | 5                   | <2.5×10 <sup>0</sup>             | <2.5×10 <sup>1</sup> | <1.8                        | <18    |
| 0.1 ± 0.0                              | 1                   | 5.8×10 <sup>2</sup>              | 1.1×10 <sup>3</sup>  | 14                          | 790    |
|  | 2                   | 6.3×10 <sup>1</sup>              | 5.3×10 <sup>2</sup>  | 11                          | 350    |
|  | 3                   | 2.6×10 <sup>1</sup>              | 5.1×10 <sup>1</sup>  | <1.8                        | 20     |
|  | 5                   | <2.5×10 <sup>0</sup>             | <2.5×10 <sup>1</sup> | <1.8                        | <18    |

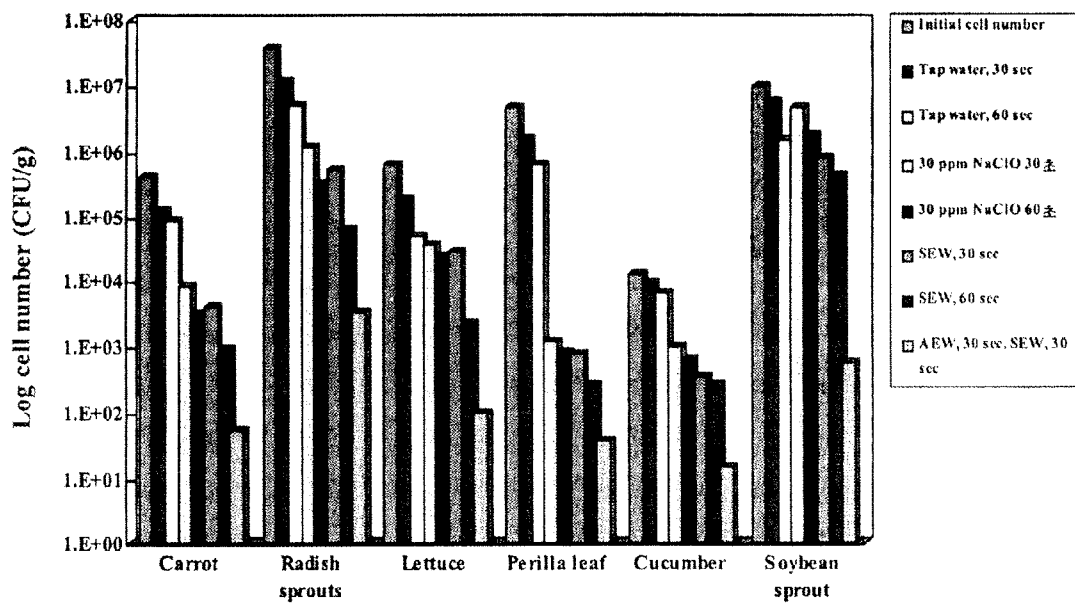


Fig. 7. Disinfection effects of SEW on vegetables.

## 2) 주방환경 및 종업원에 대한 살균효과

### 가) 조리기구에 대한 전해수의 살균효과

강산성전해수의 조리 기구에 대한 표면 살균효과를 Fig. 8에 나타내었다. 가위, 칼의 경우, 30초간 세척으로 균이 검출되지 않았으나, 도마의 경우는 30초 세척에 약 1 log, 60초 세척에 약 1.5 log 감소하였으며, 강알칼리전해수로 30초간 세척한 후, 강산성전해수로 30초간 세척한 결과 약 2.5 log 감소하였다. 양성 대조구로서 사용한 30 ppm의 NaClO 용액의 경우, 30초간 세척으로는 균이 잔존하고 있었으며, 60초간 세척으로 가위와 칼에서는 균이 검출되지 않았으나, 도마는 약 1 log 정도 감소하여 전해수의 살균효과가 30 ppm의 NaClO 용액에 비하여 뛰어나다는 것을 알 수 있었다.

### 나) 주방환경에 대한 전해수의 살균효과

조리대, 식탁, 조리용기(스테인레스), 주방싱크대, 고무장갑, 배식대, 식판, 물컵 등 주방환경에 대한 전해수의 살균효과를 측정된 결과는 Table 19와 같다.

식판, 도마, 배식대에서는 세척 전에도 일반세균이나 대장균이 검출되지 않았으며, 스테인레스 용기, 주방 싱크대, 칼(야채용), 물컵에서는 일반세균이  $10^2 \sim 10^5$  CFU/m<sup>2</sup> 정도 검출되었으나 전해수로 세척한 후에는 균이 검출되지 않아 뛰어난 표면살균효과를 나타내었다. 한편 고무장갑의 경우 유일하게 대장균이 검출되었으며, 전해수로 고무장갑을 세척한 후, 고무장갑 표면의 일반세균은 3 log 정도 감소하였으며, 대장균은 약 2 log 정도 감소하였다. 그러나 완전한 살균은 되지 않아 고무장갑의 위생적인 취급에 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다.

### 다) 종업원 손에 대한 전해수의 살균효과

식당 종업원의 손에 오염된 장염비브리오균(*Vibrio parahemolyticus*)와 비브리오패혈증균(*Vibrio vulnificus*)에 대한 강산성전해수의 살균효과를 측정된 결과는 Fig. 9, 10과 같다.

수도수로 손을 씻은 경우, 장염비브리오균과 비브리오패혈증균 두 그룹 모두에서 균이 검출되었으나, 강산성전해수로 손을 씻은 경우, 두 그룹 모두에서 균이 검출되지 않았다. 또한 강알칼리성전해수로 15초간 손을 씻고, 강산성전해수로 15초간 손을 씻은 경우에도 두 그룹 모두에서 균이 검출되지 않아 강산성전해수가 강력한 살균효과를 가지고 있음을 확인하였다.

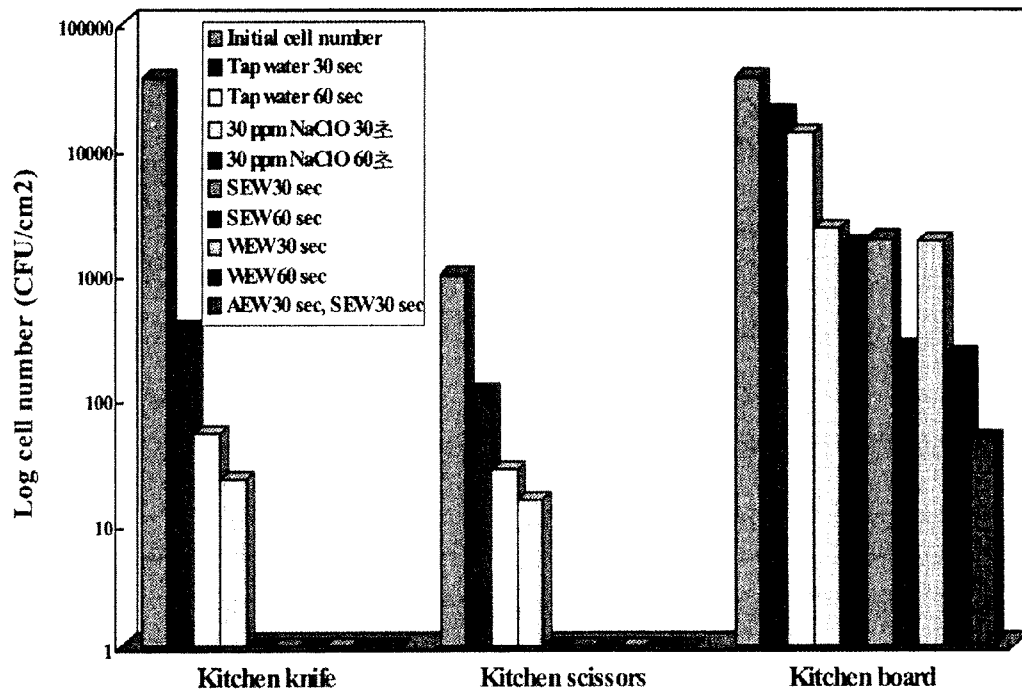


Fig. 8. Disinfection effects of SEW on kitchen apparatus.

Table 19. Bactericidal activity of EW on apparatus of school meals restaurant

| Apparatus            | Viable cell number and coliform group (CFU/m <sup>2</sup> ) |   |   |
|----------------------|---|---|---|
|                      | Before washing  | After washing by SEW                    | After washing by WEW                    |
| Table ware           | Not detected  | Not detected                            | Not detected                            |
| Dining table         | Not detected  | Not detected                            | Not detected                            |
| Stainless steel bowl | $7.5 \times 10^3$   | Not detected                            | Not detected                            |
| Kitchen board        | Not detected  | Not detected                            | Not detected                            |
| Kitchen knife        | $2.5 \times 10^3$   | Not detected                            | Not detected                            |
| Rubber globes        | $4.3 \times 10^5$ ( $1.2 \times 10^5$ )*                    | $8.3 \times 10^2$ ( $3.2 \times 10^2$ ) | $5.6 \times 10^2$ ( $3.2 \times 10^2$ ) |
| Cup for water        | $2.5 \times 10^3$   | Not detected                            | Not detected                            |
| Sink table           | $7.5 \times 10^3$   | Not detected                            | Not detected                            |

\*The number in parenthesis means coliform group.

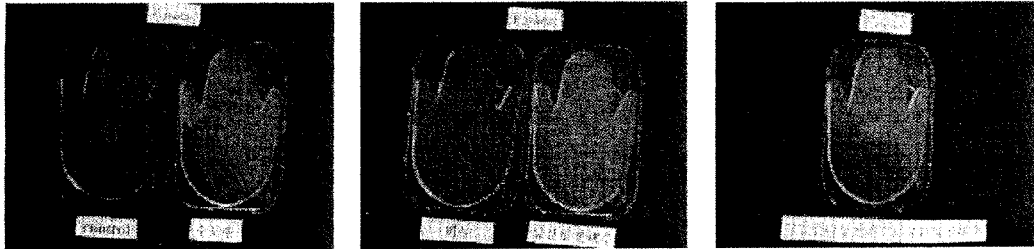


Fig. 9. Bactericidal activity of SEW against *V. parahaemolyticus* contaminated on hands.

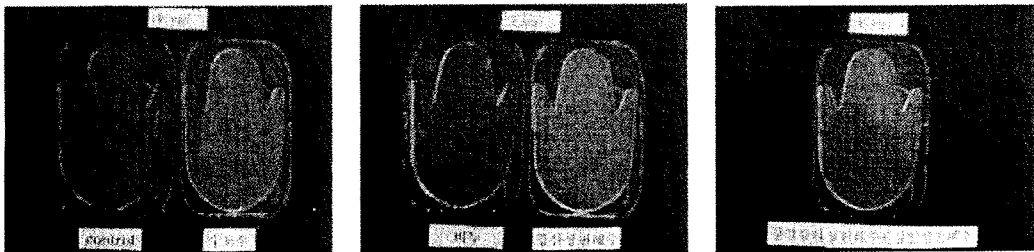


Fig. 10. Bactericidal activity of SEW against *V. vulnificus* contaminated on hands.



### 3) 양식 김 제조시 사용되는 염산의 대체용수로서 강산성 전해수의 응용

#### 가) 김, 파래의 생존에 대한 전기분해수의 영향

해수 전기분해수 회석 농도별에 따른 파래와 김의 생존은 Fig. 11과 같다. 원액의 경우 김과 파래 모두 엽체가 대부분 변색되었고, 10배 회석액의 경우 김은 엽체가 정상적으로 생존하였고, 파래는 엽체의 대부분이 변색되었다.

#### 나) 김, 파래 엽체의 생존에 미치는 전기분해수의 회석농도별 영향

해수 전기분해수 회석 농도별에 따른 파래와 김의 생존은 Fig. 12와 같다. 파래의 경우 실험 2주후 원액으로 처리한 실험구에서 엽체의 전체가 모두 변색되었고, 10배 회석한 실험구에서도 전체 엽상의 1/3부분이 변색되는 경향을 보였다. 그러나 20배 및 30배 회석 실험구는 엽체가 전혀 변색되지 않았다. 또한 김의 경우 원액으로 처리한 실험구에서 엽체의 전체가 모두 변색되는 경향을 보였지만 나머지 실험구에서는 변색되는 엽체는 나타나지 않았다.

#### 다) 김과 파래 엽체의 세포사에 미치는 전기분해수의 회석농도별 영향

전기분해수 침지 시간별에 따른 김과 파래 엽체의 사세포 변화를 현미경으로 관찰한 결과, 김의 경우는 처리 전후에 거의 변화가 없었다. 반면에 파래의 경우는 처리 10분 후에는 엽체의 세포벽이 파괴되는 것을 관찰하였고, 처리 30분 후에는 세포벽의 파괴 및 일부 세포의 파괴를 관찰하였다.(Fig. 13)

이상의 결과를 종합하면, 전기분해수에 대한 김과 파래의 내성 시험에서 김은 안전하게 보전하고, 파래만 제거할 수 있는 적정농도와 시간은 전기분해수 10배 회석액(전기분해수 1 : 멸균해수 9)에 30초간 침지하는 것이 가장 적절하다는 결론을 얻었다.

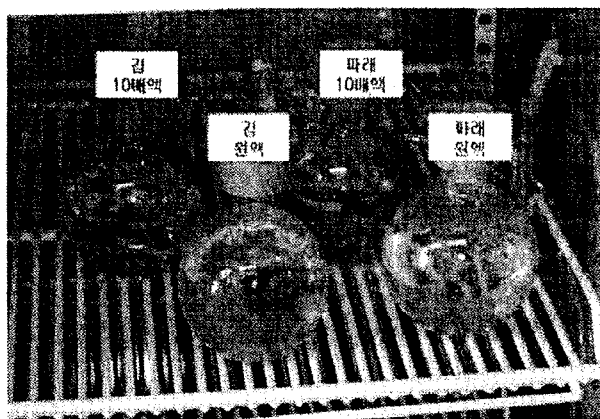
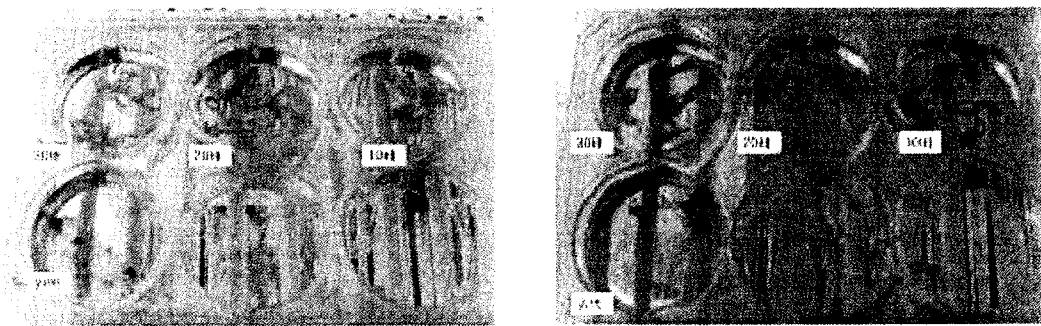


Fig. 11. Effects of electrolyzed seawater on survival of laver and green laver.



Laver

Green laver

Fig. 12. Effects on survival of laver and green laver by dilution of electrolyzed seawater.

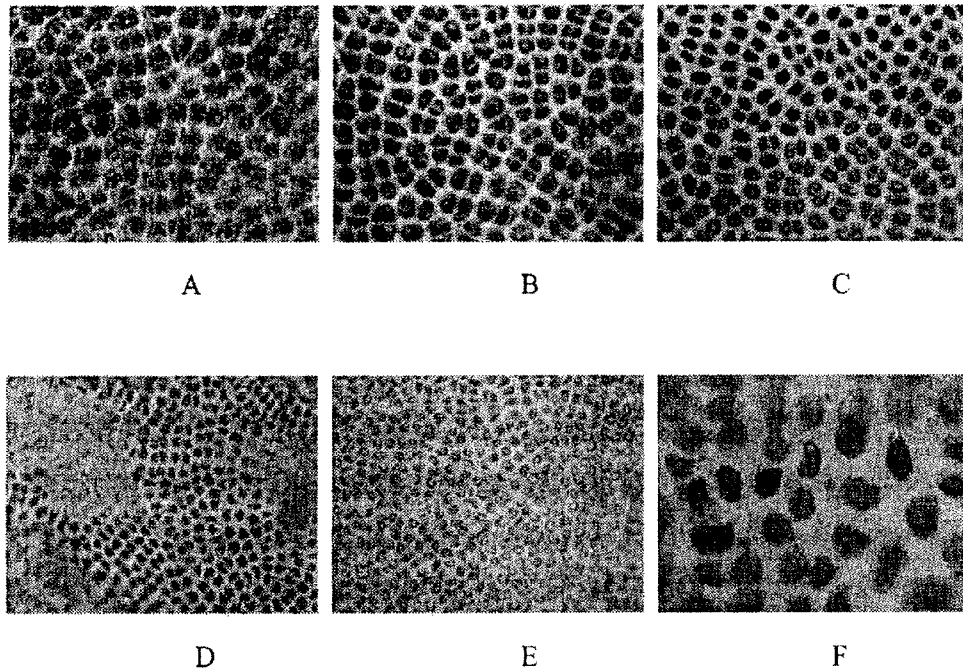


Fig. 13. Effects of electrolyzed seawater on leaf and cell survival of laver and green laver cell by treating time.

- A, Laver, before treatment: normal leaf
- B, Laver, after 10 min treatment: normal leaf
- C, Laver, after 30 min treatment: normal leaf
- D, Green laver, before treatment: normal leaf
- E. Green laver, after 10 min treatment: leaf disrupted
- F. Green laver, after 10 min treatment: cell wall of leaf disrupted and cell disrupted

라) 김양식 현장에서 파래의 처리에 대한 전기분해수의 회석농도별 영향

김 생산어가에서는 매년 9월부터 준비하여 그 다음해 4월(바닷물 흐름에 따라 1개월 정도 기간이 달라질 수 있음)까지 김을 생산 하고 있으며 초기(가을철)에는 산처리를 거의 하지 않고 있다가 11월 중순 때부터 김밭(1.8M×120M)에 붙어 있는 파래와 잡초들을 제거하기 위해 산처리를하며, 김이 성장할수록 산처리의 농도가 높아야 하기 때문에 바닷물에 첨가하는 산의 양이 증가하고 또한 횡수도 늘어나고 있다 (보통어가에서 100~150줄을 생산하고 있음). 따라서 본 연구에서도 Table 20과 같이 김 성장단계별로 전해수 처리농도를 구분하여 실시하였다.

실험결과, Table 21과 같이 산성수는 그 자체만으로 10배 정도의 회석으로 김 산처리제로서의 가능성이 있는 것으로 나타났으며, 산성수의 pH는 2.64이었다(10배로 회석하면 5.03이 됨). 산성수에 염산(무기산)을 1% 첨가한 경우, 30배 정도의 회석 용액(pH 5.68)에서 효과가 좋은 것으로 나타났으며(Table 22), 염산(무기산)을 3% 첨가한 경우는 100배 정도의 회석 용액(pH 5.68)에서 효과가 좋은 것으로 나타났다(Table 23). 산성수에 유기산만 20% 혼합할 경우에 100배 회석용액에서 잡초를 100% 제거하면서 김도 생존율이 높은 경향을 보여 적당한 것으로 나타났다(Table 24).

Table 20. Treating time and available chlorine concentration of electrolyzed seawater in laver aquaculture

| Time                   | Electrolyzed seawater (ppm)* | Treating time                                      |
|------------------------|------------------------------|--|
| Early<br>(late autumn) | 25                           | almost not treated                                 |
| Middle<br>(winter)     | 50                           | treated interval of 15~20 days from middle of Nov. |
| Final<br>(spring)      | 90                           | treated before 7 days from harvest                 |

\*Available chlorine concentration

Table 21. Death rate of laver and green laver cell by treating of electrolyzed seawater

| Sample         | Death rate (%)        |        |                    |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|-----------------------|--------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | Control <sup>1)</sup> |        | 1/10 <sup>2)</sup> |        | 1/30   |        | 1/50   |        | 1/100  |        |
|                | 30 sec <sup>3)</sup>  | 60 sec | 30 sec             | 60 sec | 30 sec | 60 sec | 30 sec | 60 sec | 30 sec | 60 sec |
| Laver          | 100                   | 100    | 10                 | 10     | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      |
| Green<br>laver | 100                   | 100    | 90                 | 100    | 30     | 40     | 30     | 40     | 5      | 5      |

1) Available chlorine concentration of electrolyzed seawater was 90 ppm.

2) Electrolyzed seawater was diluted by seawater (EW 1 : Seawater 9).

3) Treating time.

**Table 22.** Death rate of laver and green laver cell by treating of 1% of HCl in electrolyzed seawater

| Sample      | Death rate (%)        |        |                    |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------|-----------------------|--------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             | Control <sup>1)</sup> |        | 1/10 <sup>2)</sup> |        | 1/30   |        | 1/50   |        | 1/100  |        |
|             | 30 sec <sup>3)</sup>  | 60 sec | 30 sec             | 60 sec | 30 sec | 60 sec | 30 sec | 60 sec | 30 sec | 60 sec |
| Laver       | 100                   | 100    | 100                | 100    | 5      | 5      | 5      | 1      | 1      | 1      |
| Green laver | 100                   | 100    | 100                | 100    | 90     | 70     | 30     | 50     | 5      | 5      |

- 1) Available chlorine concentration of electrolyzed seawater was 90 ppm.
- 2) Electrolyzed seawater was diluted by seawater (EW 1 : Seawater 9).
- 3) Treating time.



**Table 23.** Death rate of laver and green laver cell by treating of 3% of HCl in electrolyzed seawater

| Sample | Death rate (%)        |        |                    |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|-----------------------|--------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        | Control <sup>1)</sup> |        | 1/10 <sup>2)</sup> |        | 1/30   |        | 1/50   |        | 1/100  |        |
|        | 30 sec <sup>3)</sup>  | 60 sec | 30 sec             | 60 sec | 30 sec | 60 sec | 30 sec | 60 sec | 30 sec | 60 sec |
| 김      | 100                   | 100    | 100                | 100    | 90     | 90     | 20     | 50     | 10     | 30     |
| 파래     | 100                   | 100    | 100                | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |

1) Available chlorine concentration of electrolyzed seawater was 90 ppm.

2) Electrolyzed seawater was diluted by seawater (EW 1 : Seawater 9).

3) Treating time.

**Table 24.** Death rate of laver and green laver cell by treating of 20% of organic acid in electrolyzed seawater

| Sample         | Death rate (%)        |        |                    |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------|-----------------------|--------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | Control <sup>1)</sup> |        | 1/10 <sup>2)</sup> |        | 1/30   |        | 1/50   |        | 1/100  |        |
|                | 30 sec <sup>3)</sup>  | 60 sec | 30 sec             | 60 sec | 30 sec | 60 sec | 30 sec | 60 sec | 30 sec | 60 sec |
| Laver          | 100                   | 100    | 90                 | 90     | 50     | 50     | 20     | 20     | 10     | 10     |
| Green<br>laver | 100                   | 100    | 100                | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    | 100    |

1) Available chlorine concentration of electrolyzed seawater was 90 ppm.

2) Electrolyzed seawater was diluted by seawater (EW 1 : Seawater 9).

3) Treating time.

다. 수산가공공장, 증양식 및 종묘생산시설의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 현장적용

1) 증양식 및 종묘생산시설의 위생학적 안전성 확보를 위한 전해수의 현장적용

가) 양식용 수조 공급 해수에 대한 전기분해의 살균효과

넙치(Flounder, *Paralichthys olivaceus*) 양식용 수조에 공급하는 해수를 전기분해하여 해수의 생균수를 측정한 결과는 Table 25와 같다. 3회 반복하여 실험한 결과, 전기분해 하기 전의 생균수가  $2.2 \times 10^2$  CFU/mL이었던 해수는 전기분해 후 생균수가 검출한계 이하로 감소하였다.

그러나 살균한 전기분해수의 유효염소농도가 0.5 ppm으로, 이 해수를 넙치를 축양하고 있는 수조에 공급한 결과 113분(4.7일)만에 20마리의 넙치 중 10마리가 죽어 실험을 수행할 수가 없었다(Fig 14). 이에 활성탄소 칼럼(여과장치)으로 염소를 흡착하여 유효염소농도를 0.01 ppm 이하로 조정하여 수조에 공급하면서 해수의 생균수를 측정한 결과를 Table 26에 나타내었다. 공급 1일째, 수조수의 생균수는 초기균수  $2.2 \times 10^2$  CFU/mL로부터  $3.2 \times 10^1$  CFU/mL으로 감소하였으며, 공급 3일째부터 검출한계 이하로 감소하였다.

이상의 결과로부터 양식장 수조에 공급되는 해수를 전기분해한 후 유효염소농도를 0.01 ppm 이하로 조정하여 공급하면 무균상태에 가까운 해수를 공급할 수 있어, 양식장 해수의 미생물학적 관리에 전기분해가 유효한 수단으로 될 가능성을 제시하였다.

Table 25. Disinfection effects of electrolysis on supplied water for hatchery

| Time             | Viable cell number (CFU/ml) | Available chlorine concentration (ppm) |
|------------------|-----------------------------|--|
| Before treatment | $2.2 \times 10^2$           |  |
| First            | $< 2.5 \times 10^1$         | $0.5 \pm 0.01$                         |
| Second           | $< 2.5 \times 10^1$         | $0.5 \pm 0.03$                         |
| Third            | $< 2.5 \times 10^1$         | $0.5 \pm 0.02$                         |

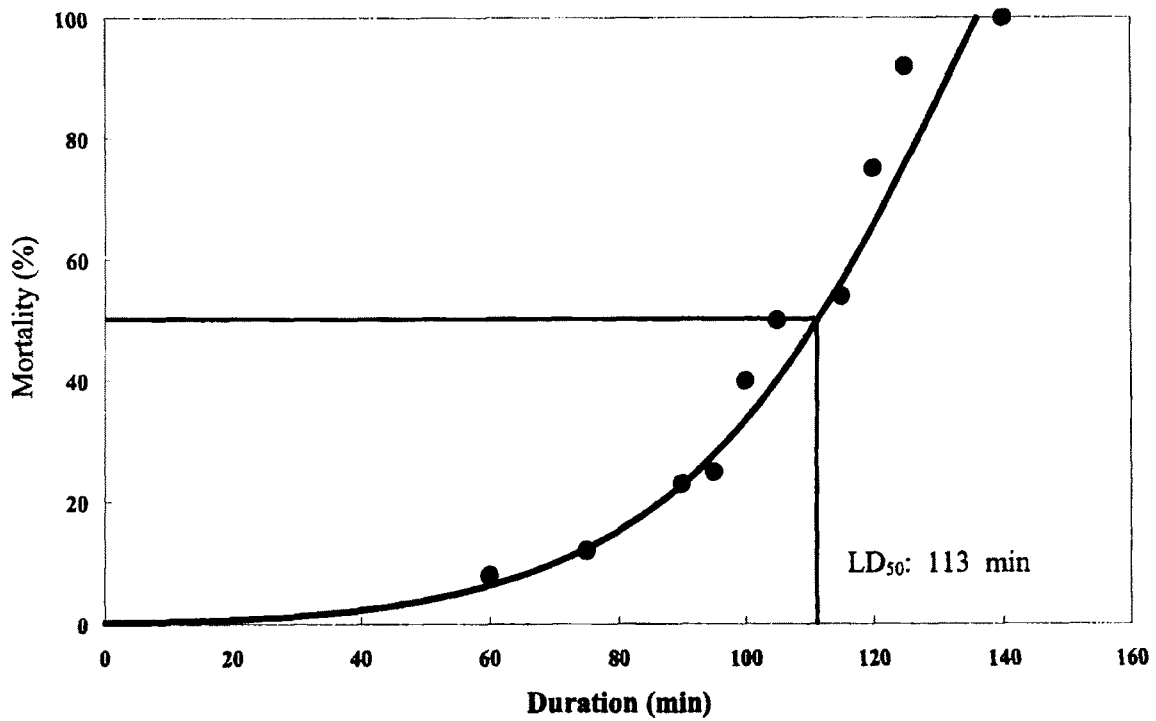


Fig. 14. Cumulative mortality of flounder cultured in electrolyzed sea water.  
 Available chlorine concentration, 0.5 ppm; Tank size, 0.1 t; Number of fish, 20

Table 26. Disinfection effects of electrolysis on supplied water for hatchery

| Time (day)       | Viable cell number (CFU/ml) | Available chlorine concentration (ppm) |
|------------------|-----------------------------|--|
| Before treatment | $2.2 \times 10^2$           |  |
| 1                | $3.2 \times 10^1$           | $0.01 \pm 0.004$                       |
| 3                | $< 2.5 \times 10^1$         | $0.01 \pm 0.003$                       |
| 6                | $< 2.5 \times 10^1$         | $0.01 \pm 0.005$                       |
| 9                | $< 2.5 \times 10^1$         | $0.01 \pm 0.005$                       |

나) 양식장 장비에 대한 전해수의 살균효과

양식장에서 사용되고 있는 호스(hose), 장화(rubber boot), 뜰채(scoop net), canvas 등의 장비에 대하여 유효염소농도 0.5~1.5 ppm의 전해수로 30~120분간 처리한 후, 생균수를 측정한 결과는 Table 27과 같다. 호스, 고무장화의 경우, 유효염소농도 0.5 ppm의 전해수 30분간 처리로 생균수가 약  $10^3$  CFU/cm<sup>2</sup> 감소하였으며, 뜰채(scoop net), canvas는 유효염소농도 1.5 ppm의 전해수 120분간 처리로 생균수가 약  $10^4$  CFU/cm<sup>2</sup> 감소하여 전기분해수가 양식장에 사용되는 장비 및 기구의 살균에도 탁월한 효과가 있는 것을 알 수 있었다.

Table 27. Effects of electrolyzed seawater on disinfection of equipment for aquaculture

| Material    | Chlorine concentration (ppm) | Treatment time (min) | Viable cell number (CFU/cm <sup>2</sup> ) |                   |
|-------------|------------------------------|----------------------|---|-------------------|
|             |                              |                      | Before treatment                          | After treatment   |
| Hose        | 0.5                          | 30                   | $7.5 \times 10^4$                         | $4.7 \times 10^1$ |
| Rubber boot | 0.5                          | 30                   | $5.2 \times 10^4$                         | $2.8 \times 10^1$ |
| Scoop net   | 1.5                          | 120                  | $1.1 \times 10^6$                         | $8.9 \times 10^2$ |
| Canvas      | 1.5                          | 120                  | $1.4 \times 10^6$                         | $9.1 \times 10^2$ |



## 2. 제 2 세부과제 : 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발 및 현장적용

### 가. 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발

#### 1) 저전류 전기펄스 출력장치

제작된 저전류 전기펄스 출력장치는 맥동전류(PC), 직류(DC) 및 교류(AC)를 출력할 수 있도록 디자인 되었다. 전기분해 장치에 일반적으로 사용되는 DC는 시간이 변화해도 흐르는 방향이 일정한 전류를 말하며 대부분의 경우 그 세기도 일정하다. 따라서 안정적으로 전기를 공급하며 양극과 음극에서 각각 산성 및 알칼리성 전기분해수를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이 경우 양극에서 지속적으로 활성염소가 생성되며, 장기간 전기분해를 실시하였을 경우 각 전극에 deposit이 축적되어 전기분해의 효율이 감소된다.

AC는 시간이 변화함에 따라 방향과 세기가 사인파(혹은 비사인파) 형태로 주기적으로 변화하는 전류를 말하며 극구분이 없다. 따라서 지속적인 활성염소의 생성과 deposit 축적을 직류를 사용하는 경우에 비하여 상당히 감소시킬 수 있으리라 예상된다. 교류를 이용한 미생물의 생육저해에 대한 연구는 직류에 대한 연구에 비하여 아직 초보단계에 머물러 있으나, 출력 전류량과 주파수에 따라 미생물 저해효과가 틀려짐이 알려져 있다.

PC는 시간이 변화함에 따라 방향은 일정하나 그 세기가 주기적으로 맥박 뛰듯이 변화하는 전류를 말한다. 이는 교류를 특정 정류기를 사용하여 정류함으로써 쉽게 얻을 수 있는 전류로서 현재 의학용으로 많이 연구되고 있다. 아래 그림에서 반파 정류기를 이용하여 얻을 수 있는 맥동전류의 한 형태를 나타내었으며, 이는 본 실험에서 사용한 맥동전류 형식이다.

본 연구에서는 위 세 종류의 전류가 출력 가능한 장치를 설계 제작하는데 성공하였으며, 제작된 저전류 전기펄스 출력장치 디자인의 schematic diagram을 Fig. 15, 16에 나타내었다.

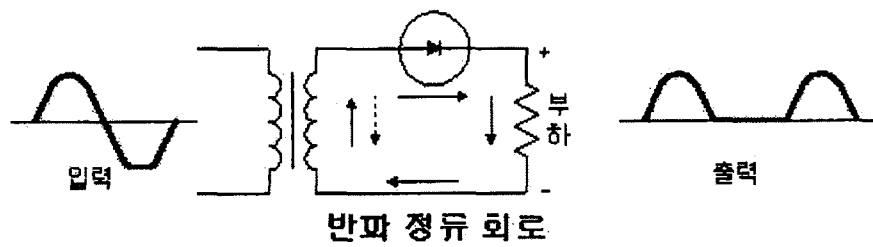


Fig. 15. Rectified pulsating direct current (PC).

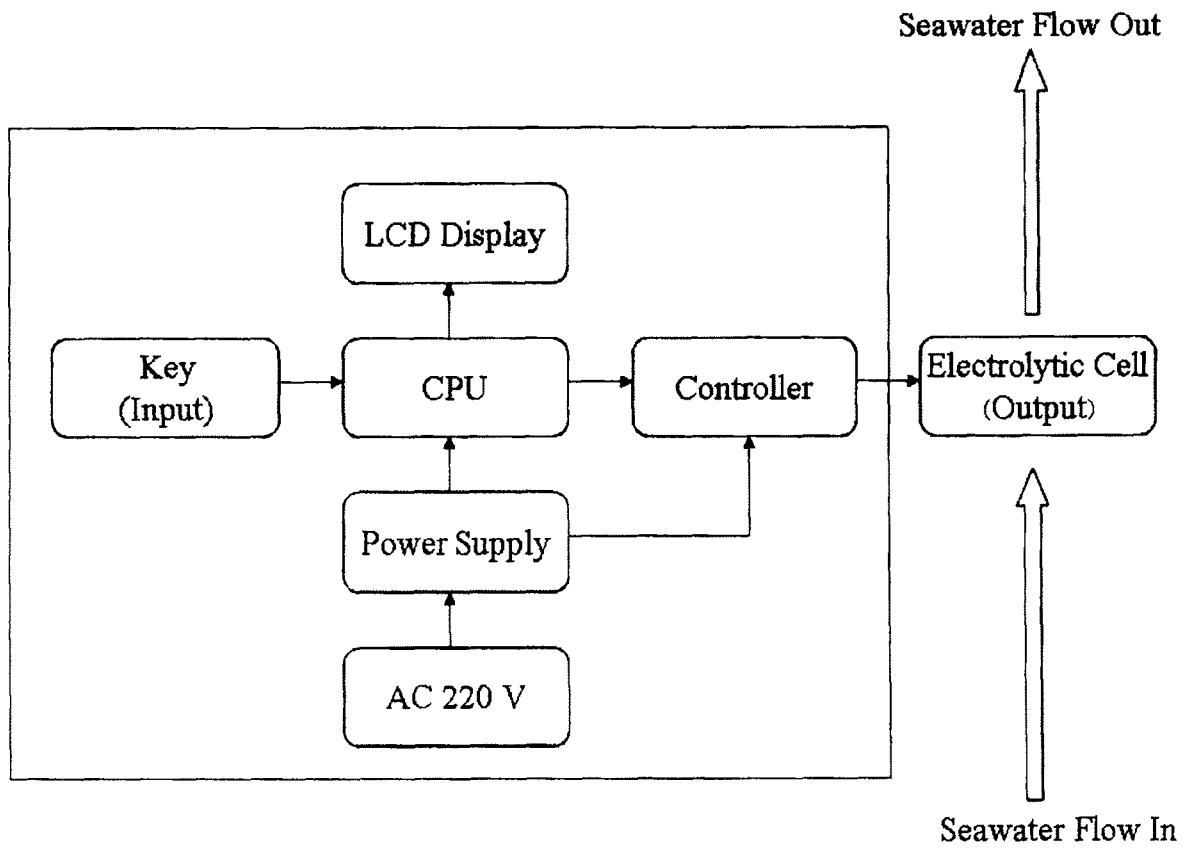


Fig. 16. Schematic diagram of low-amperage pulsating current generator including electrolytic cell.

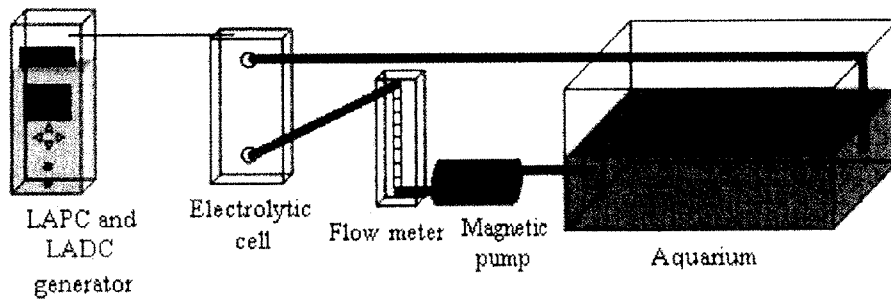
## 2) 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system (lab-scale)

저용량(40 L)의 수조 바닥에 magnetic pump를 연결하고 수조에서 출수된 물을 튜브를 통하여 전기분해 셀로 유입하였으며 유입된 물은 다시 수조로 돌아가는 lab-scale의 해수순환 system을 제작하였다. 출력 저전류 및 주파수는 셀에 장착된 전기펄스 출력장치로 조절하였고 유량조절은 일반 유체 유량계(flow meter)를 사용하여 실시하였으며 수온 조절은 튜브를 망사 구조로 수조안에 넣고 별도의 냉각수 순환장치를 이용하여 튜브에 냉각수를 순환하며 조절하였다. 제작된 lab-scale의 순환식 무균해수 생산 system의 모식도와 그림은 Fig. 17과 같다.

## 3) 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system (pilot-scale)

횃집 및 수산소매장에서 흔히 사용되는 일반 상업용 수조(1500 × 750 × 600 mm)를 이용하여 pilot-scale의 해수순환 system을 설치하였다. 수조 아래에는 각 6 cm 두께의 sand filter와 sponge filter가 장치되었고 이 filter를 투과한 바닷물은 water pump를 통하여 fiber로 이루어진 두 개의 micro-filter(Micro-Clean, (주)호원, 광주, 한국)를 통과한 후 위에서 제작된 전기분해 셀을 통과하여 다시 수조로 순환된다. 출력 저전류 및 주파수는 위와 동일한 전기펄스 출력장치를 사용하여 조절하였고 유량은 유량 밸브를 사용하여 조절하였다. 또한 해수의 온도는 수조에 장착된 온도조절 센서와 냉각기를 이용하여 조절하였다. 제작된 pilot-scale의 순환식 무균해수 생산 system의 모식도와 그림은 Fig 18과 같다.

(A)



(B)

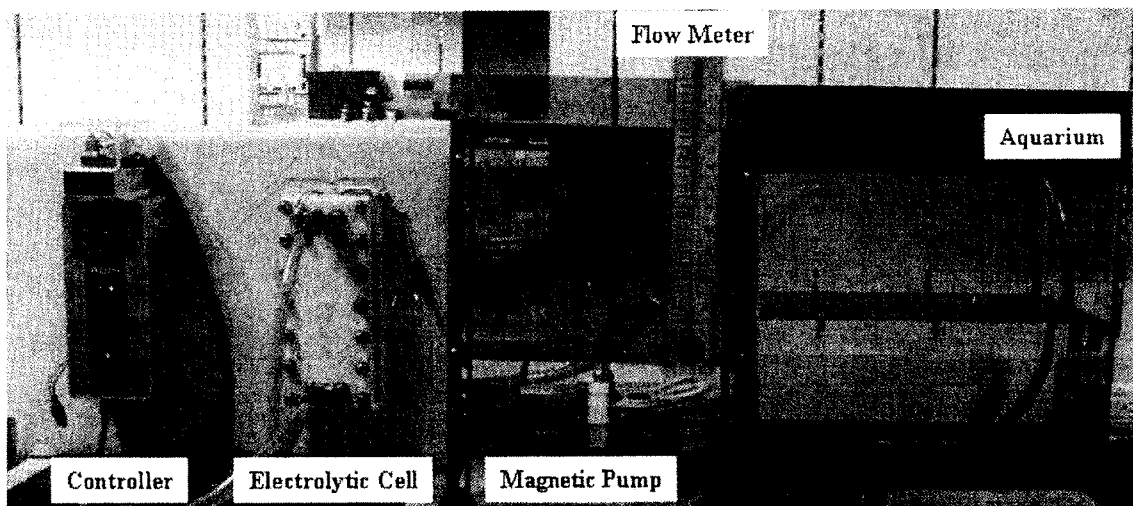
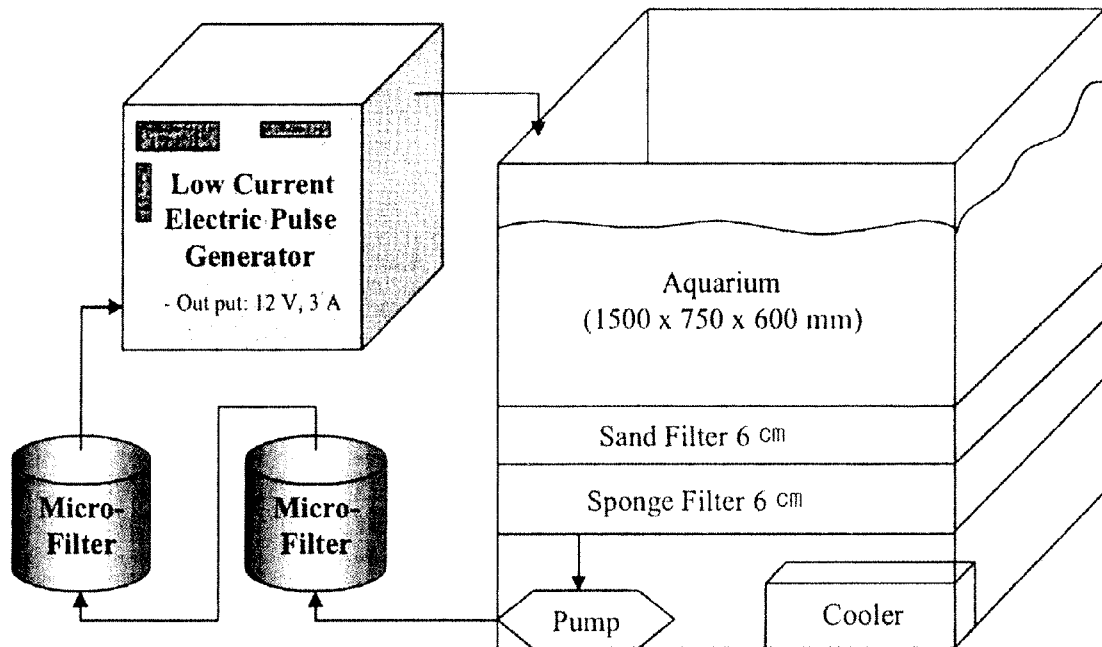


Fig. 17. Schematic diagram (A) and picture (B) of sterile seawater circulating system based on low-amperage PC (lab-scale).

(A)



(B)

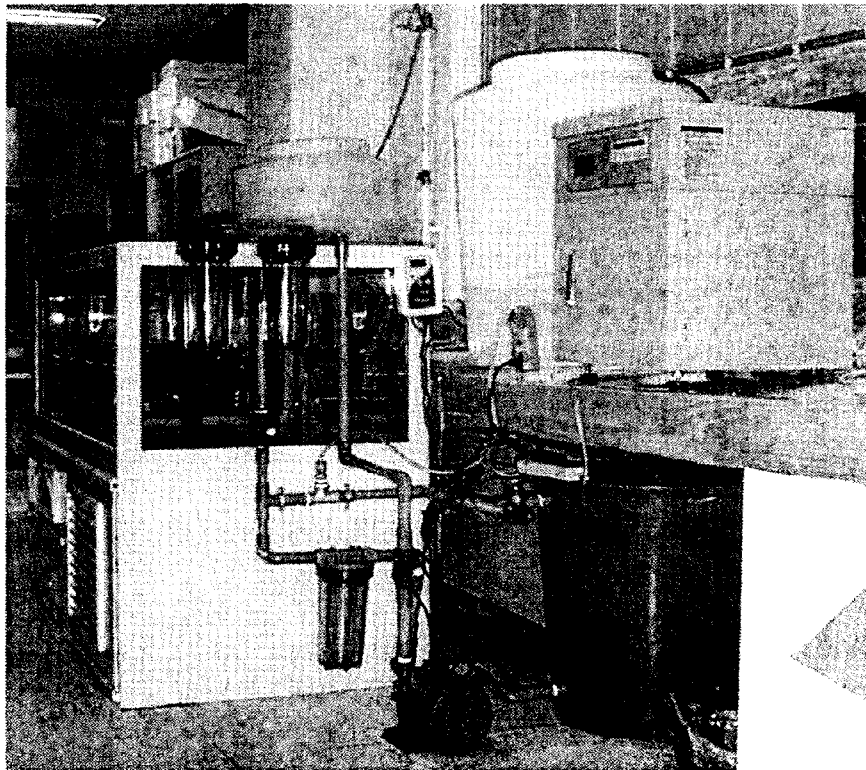


Fig. 18. Schematic diagram (A) and picture (B) of sterile seawater circulating system based on low-amperage PC (pilot-scale)

## 나. 해수 순환 system에서 저전류 전기펄스에 의한 활성염소 생성 평가

### 1) 활성염소 생성에 대한 kinetic modeling

각 조건에서의 활성염소 생성을 비교하여 최적의 전기분해 조건을 살펴보기 위하여 해수 순환시 활성염소 생성 kinetics를 modeling 하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 전극에서 활성염소의 생성은 0차 반응으로 가정하였고, 순환 중 활성염소의 증발에 의한 손실은 Len et al. (2002)에 따라 1차 반응으로 가정하였다. 따라서 순환 system에서 활성염소의 물질수지식은 위에서 설명한 바와 같이 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{dC}{dt} = k_1 - k_2 C \quad (1)$$

윗 식에서  $C$  = 활성염소의 농도(mg/L as  $\text{Cl}_2$ ),  $k_1$  = 전기분해에 의한 활성염소 생성 속도상수(mg/L·h),  $k_2$  = 활성염소 증발 속도상수( $\text{h}^{-1}$ ), 그리고  $t$  = 시간(h)이다. 다음 그림에서 보듯 모델 해수의 pH는 두 실험온도에서 모두 5.8 정도에서 시작하여 순환 시간이 증가할수록 점점 더 증가하는 경향을 보였다. 본 실험에서 사용된 전기분해 셀은 무격막식이므로 음극에서 생성되는 NaOH로 인한 pH 상승으로 판단된다. 일반적으로 약 pH 5 이상에서는 전기분해로 생성된  $\text{Cl}_2$ 가 HOCl로 가수분해 되어  $\text{OCl}^-$ 과 다음과 같은 평형을 이루게 되며 pH가 증가할 수록 평형은 우측으로 이동하여 HOCl의 fraction이 감소한다.



각증발이 가능한  $\text{Cl}_2$ 로 변환 될 수 있는 것은 HOCl이므로 활성염소 증발속도상수인  $k_2$ 는 다음과 같이  $\text{OCl}^-$ 에 대한 HOCl의 비율과 비례한다고 가정하였다.

$$k_2 \propto \frac{[\text{HOCl}]}{[\text{OCl}^-]} \quad (3)$$

식(2)에서 평형상수( $K_A$ )는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$K_A = \frac{[\text{H}^+][\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]} \quad (4)$$

식(3)과 (4)를 합하면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$k_2 \propto [H^+] \quad (5)$$

실험에서 얻어진 pH 변화를 수소이온의 농도( $[H^+] = 10^{-pH}$ )의 변화로 표시하면 다음 그림(Fig. 19, 20)을 얻을 수 있다.

위 수소이온 농도의 변화는 다음의 실험식을 이용하여 modeling 할 수 있다.

$$[H^+] = \frac{a[H^+]_0}{a+t} \quad (6)$$

식에서  $[H^+]_0$ 는 초기 수소이온 농도이며  $a$ 는 회귀분석 상수이다. 따라서 식(5)에 의하여 다음의 관계식을 예상할 수 있다.

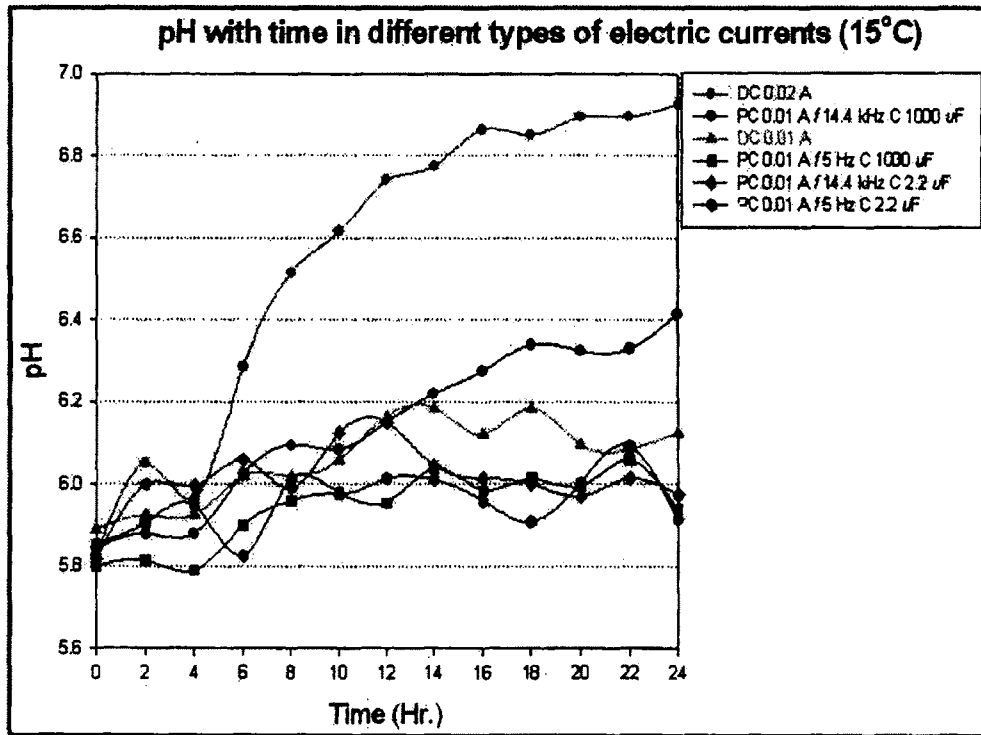
$$k_2 = \frac{ak_0}{a+t} \quad (7)$$

식에서  $k_0$ 는 초기  $k_2$ 값이다. 회귀분석에 의하여 식(6)과 수소이온 농도 데이터로  $a$ 값을 구한 후 이 값을 식(7)을 사용할 때 이용하였다. 식(7)의  $k_0$ 값은 별도의 실험을 통하여 구하였다. 3 A의 DC로 수십 분 전기분해 하여 pH의 변화없이 약 4 mg/L의 활성염소를 생성하고 전기분해를 멈춘 후 계속 해수를 순환시키며 활성염소의 농도 감소를 측정하여 다음 1차반응식을 이용하여 계산하였다.

$$\frac{dC}{dt} = -k_0 C \quad (8)$$



(A)



(B)

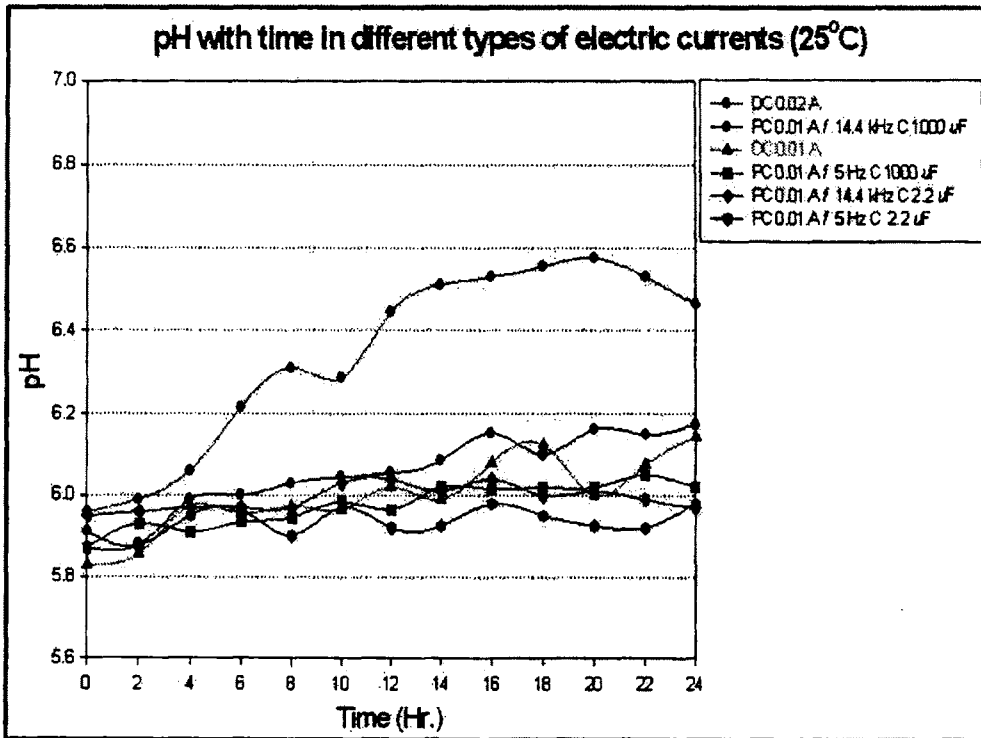
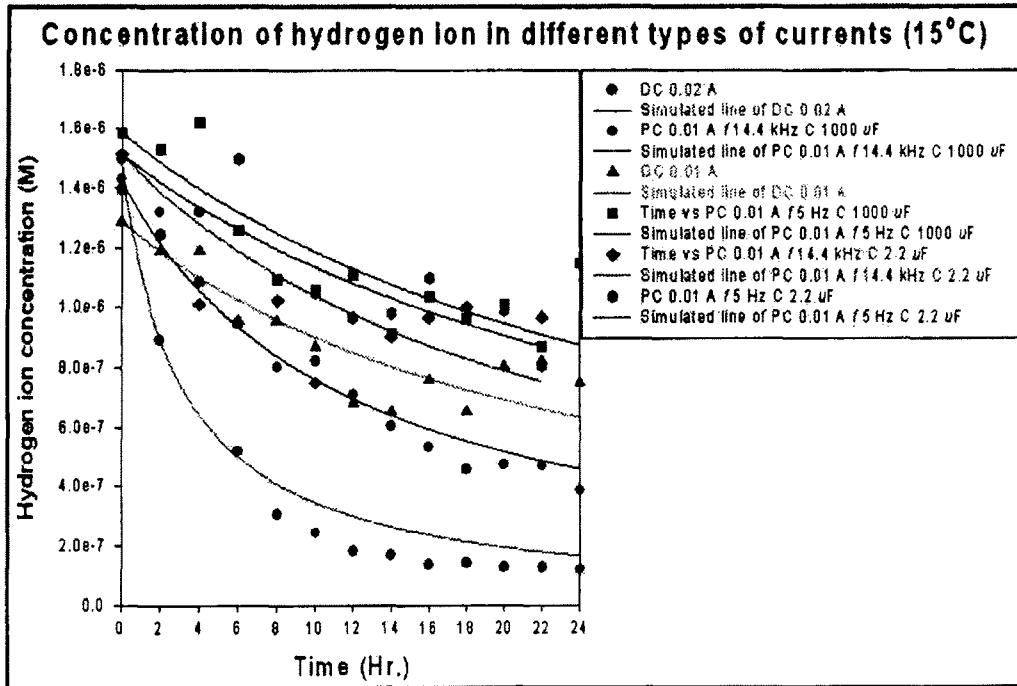


Fig. 19. Effect of different types of electric current on pH of circulating model seawater (A) 15°C, (B) 25°C

(A)



(B)

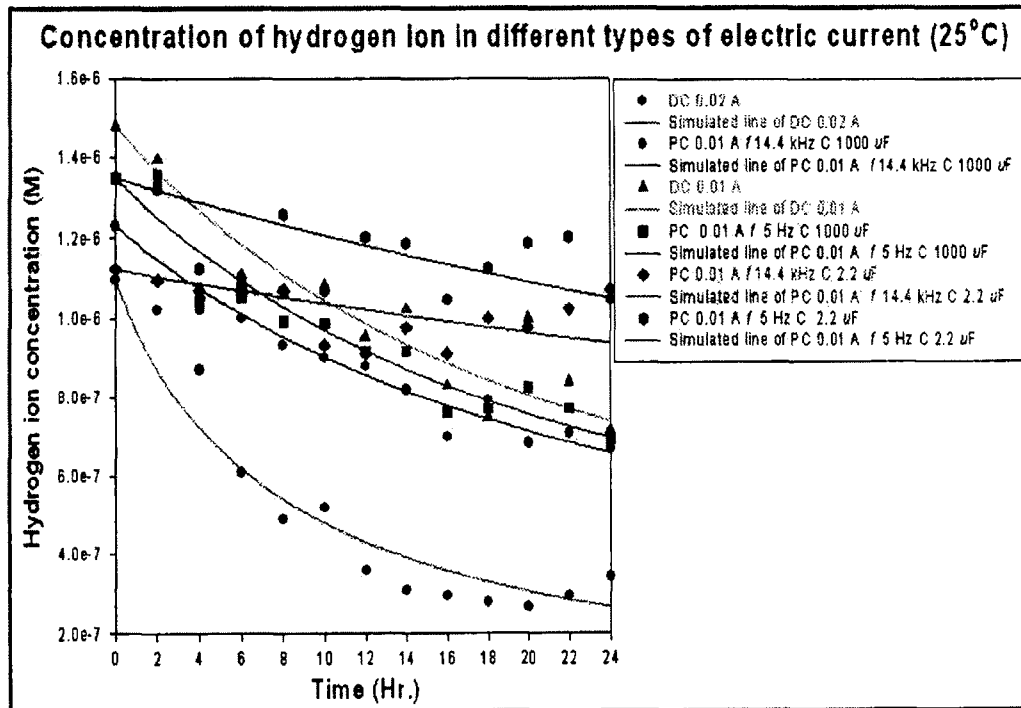


Fig. 20. Effect of different types of electric current on hydrogen ion concentration of circulating model seawater: (A) 15°C, (B) 25°C.

Fig. 21에서 보듯 전기분해가 없을 때 본 순환 system에서 활성염소의 증발은 1차 반응식으로 매우 잘 표현됨을 알 수 있다. 계산된  $k_0$ 값은 15°C에서 0.099 h<sup>-1</sup>이었으나 25°C에서는 0.167 h<sup>-1</sup>로서 약 1.7배 상승하여 고온에서 더 증발이 활발함을 알 수 있었다. 계산된  $k_0$ 값은 각 온도에서 식(7)을 사용할 때 이용하였다.

식(7)을 식(1)에 대입하여 다음과 같은 식을 얻었다.

$$\frac{dC}{dt} = k_1 - \left( \frac{ak_0}{a+t} \right) C \quad (9)$$

식(9)는 1차 선형상미분방정식이므로 이를 적분하면 활성염소의 농도를 시간의 함수로 표시한 다음의 해를 구할 수 있다.

$$C = \frac{k_1(t+a)}{ak_0+1} \left[ 1 - \left( \frac{a}{t+a} \right)^{ak_0+1} \right] \quad (10)$$

Fig. 22에서 나타나듯 순환 시스템에서의 활성염소의 생성은 위 식(10)을 사용한 simulation 결과와 매우 잘 맞음을 알 수 있다. 이는 활성염소 생성 modeling을 위해 제시한 가정이 사실에 매우 근접함을 알려준다. 그림에서 나타나듯 같은 조건에서 활성염소 생성은 25°C보다 15°C에서 더 활발함을 알 수 있다.

식(10)을 사용하여 실험 데이터를 회귀분석하여 얻은  $k_1$ 값은 Table 28, 29에 나타나 있다. 같은 양의 전류(0.01 A)를 사용하였을 때, 1000 μF의 condenser로 14.4 kHz의 주파수를 사용한 PC조건을 제외한 다른 세 PC 조건에서의 염소생성 속도는 DC를 사용할 때 보다 낮았다. 이는 PC를 사용할 경우 같은 양의 전류로 더 낮은 농도의 활성염소를 생성할 수 있다는 것을 보여준다.

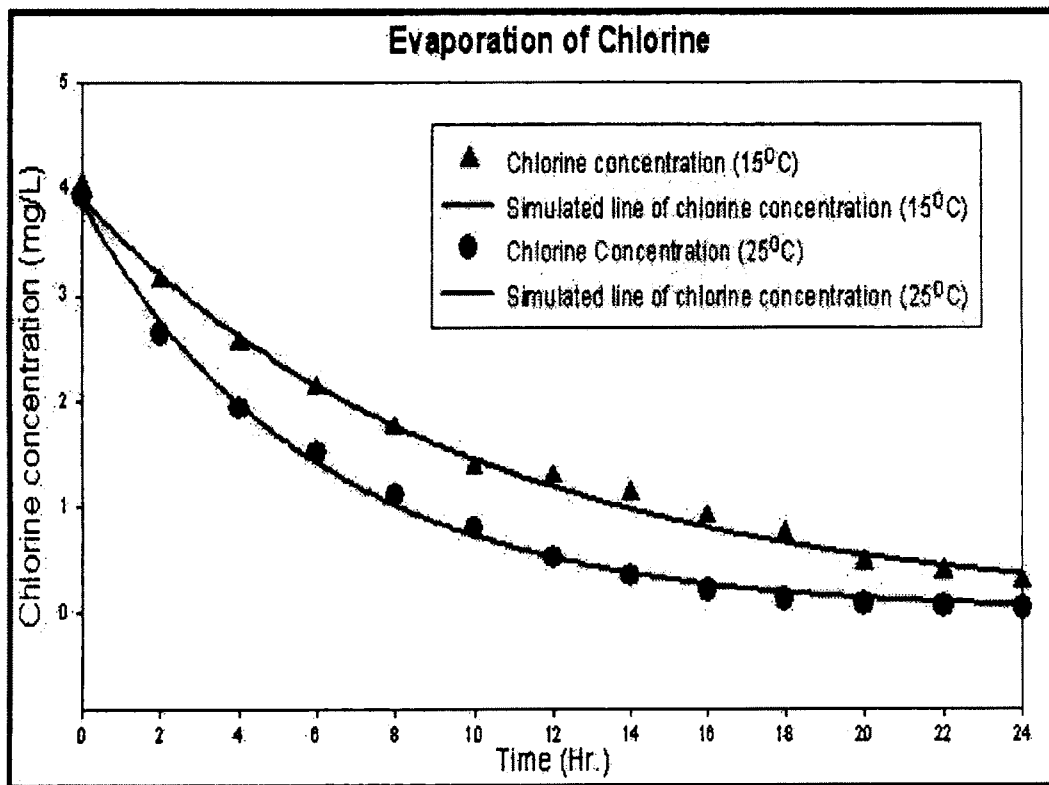
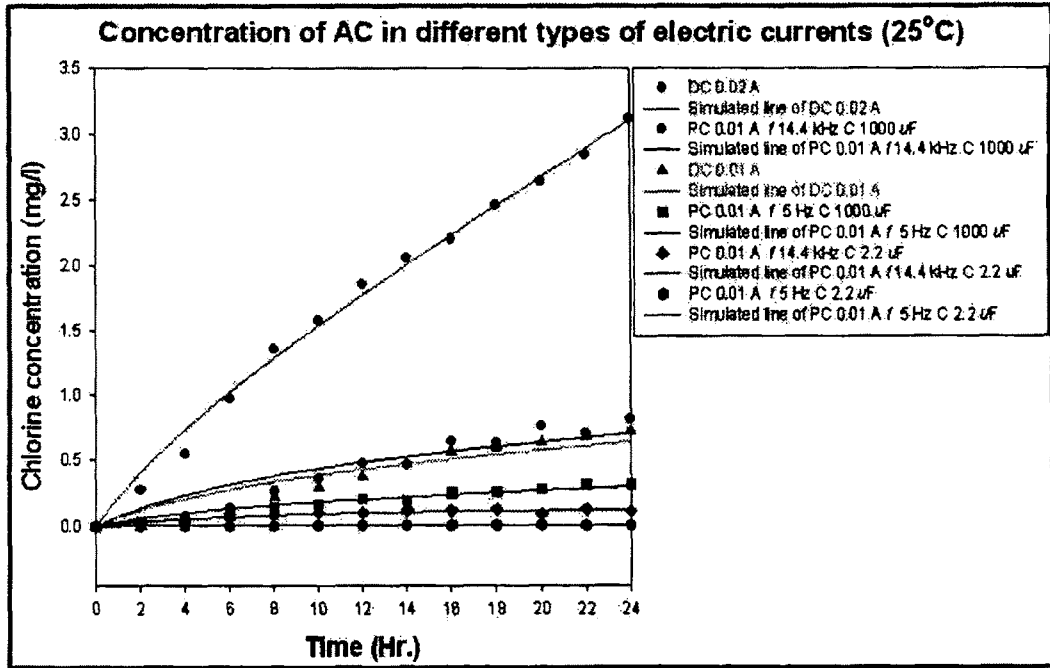


Fig. 21. Changes in active chlorine concentration of model seawater circulating without electric treatment.

(A)



(B)

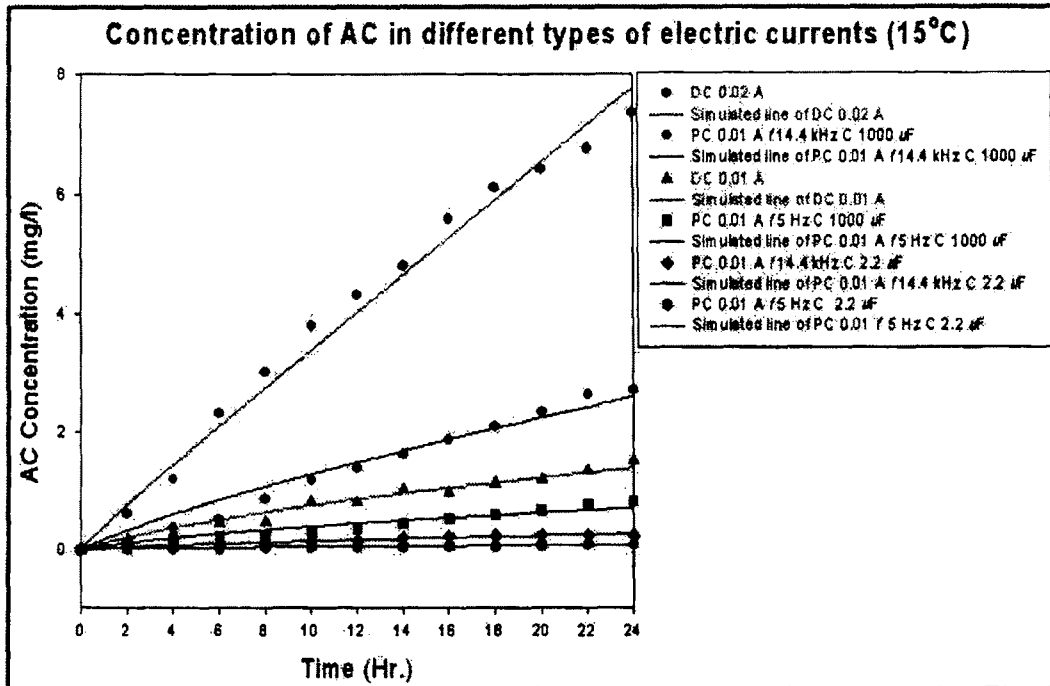


Fig. 22. Generation of active chlorine in model seawater circulating under different electric treatments (symbols and lines represent experimental data and simulated results, respectively): (A) 15°C, (B) 25°C

Table 28. Values of  $k_1$  obtained from the regression analysis of the experimental data on active chlorine generation at 15°C using equation (10)

| Type | Current (A) | Frequency (Hz)     | Condenser ( $\mu\text{F}$ ) | $k_1$  | $R^2$ |
|------|-------------|--------------------|-----------------------------|--------|-------|
| DC   | 0.02        |                    |                             | 0.3961 | 0.987 |
| PC   | 0.01        | $14.4 \times 10^3$ | 1000                        | 0.1712 | 0.968 |
| DC   | 0.01        |                    |                             | 0.1060 | 0.971 |
| PC   | 0.01        | 5                  | 1000                        | 0.0543 | 0.929 |
| PC   | 0.01        | $14.4 \times 10^3$ | 2.2                         | 0.0199 | 0.963 |
| PC   | 0.01        | 5                  | 2.2                         | 0.0057 | 0.903 |

Table 29. Values of  $k_1$  obtained from the regression analysis of the experimental data on active chlorine generation at 25°C using equation (10)

| Type | Current (A) | Frequency (Hz)     | Condenser ( $\mu\text{F}$ ) | $k_1$  | $R^2$ |
|------|-------------|--------------------|-----------------------------|--------|-------|
| DC   | 0.02        |                    |                             | 0.2333 | 0.994 |
| PC   | 0.01        | $14.4 \times 10^3$ | 1000                        | 0.0795 | 0.870 |
| DC   | 0.01        |                    |                             | 0.0695 | 0.870 |
| PC   | 0.01        | 5                  | 1000                        | 0.0333 | 0.957 |
| PC   | 0.01        | $14.4 \times 10^3$ | 2.2                         | 0.0185 | 0.907 |
| PC   | 0.01        | 5                  | 2.2                         | 0.0014 | 0.634 |

## 다. 해수 순환 system에서 저전류 전기펄스에 의한 살균효과

### 1) 해수순환 system의 살균효과

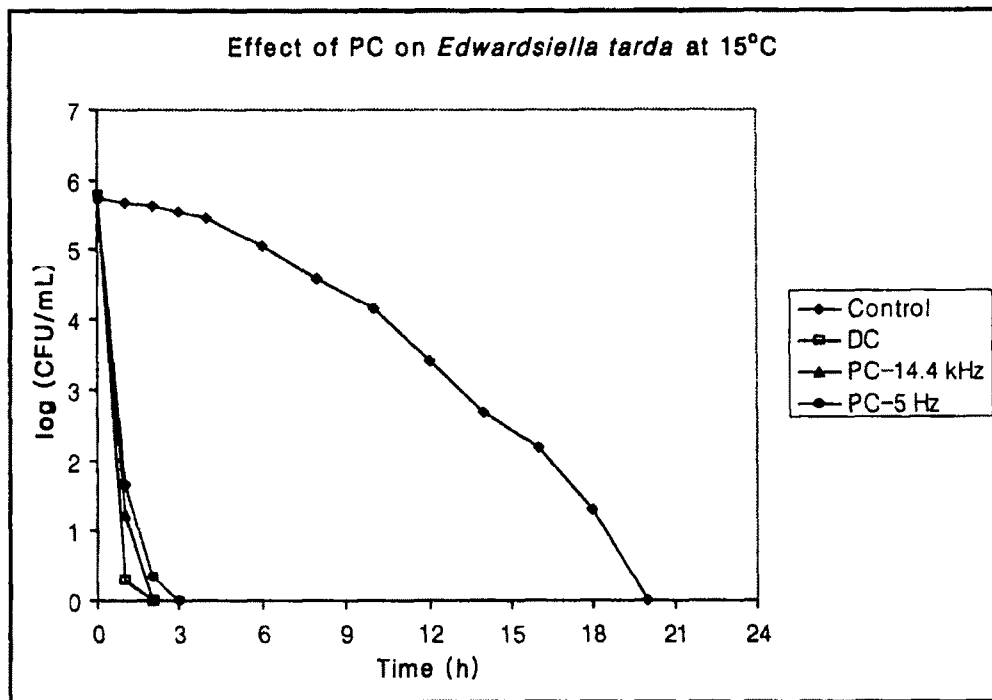
제작된 해수 순환 system을 운용하면서 0.01 A의 저전류 상태에서 DC, PC, 및 AC의 *Edwardsiella tarda*와 *Streptococcus iniae*에 대한 효과를 15 및 25°C에서 비교평가하였다. AC를 사용하였을 경우 0.01 A 저전류 상태에서 활성염소를 전혀 생성하지 못하였고 미생물 생육의 저해효과도 보여주지 못하였다.

Fig. 23에서 보듯 *E. tarda*의 경우 15°C에서 DC에 의하여 가장 크게 저해되었고 다음으로 14.4 kHz PC와 5 Hz PC의 순으로 저해효과가 있었다. 그러나 세 종류의 전류방식에 의한 저해효과의 차이는 매우 작았으며 3 h 이내에 모든 미생물이 사멸되었다. 온도가 25°C로 올랐을 때에도 전류방식에 따른 저해효과는 DC, 14.4 kHz PC, 5 Hz PC의 순으로 나타났다. 그러나 DC와 14.4 kHz PC와의 저해 효과 차이는 거의 없었으며 6 h 이내에 모든 미생물이 사멸하였다. 5 Hz PC를 사용하였을 경우는 미생물이 완전 사멸되는데 10 h이 소요되었다. 높은 온도에서 저해 효과가 큰 이유는 이 미생물의 적온은 37°C로서 고온에서 생육이 활발하며, 앞에서 나타났듯 고온에서 순환 system에서 생성되는 활성염소의 양이 낮기 때문이다. 전류방식에 따른 저해효과의 차이가 보이는 이유로 가장 중요한 것은 역시 활성염소의 농도차라고 보여진다. 본 실험 조건에서는 PC의 펄스에 의한 미생물 생육저해 상승효과는 없는 것으로 판단된다. 그러나 생성되는 활성염소의 생성속도와 축적량이 DC의 경우가 월등히 높으므로 PC를 사용하여 활성염소생성을 낮추며 운용하는 것이 수산시장이나 양식산업에 훨씬 유리할 것으로 판단된다.

Fig. 24에서 나타나있듯 *S. iniae*의 생육저해 실험도 위 경우와 비슷한 경향이 관찰되었다. 저온에서는 DC에 의하여 2 h 내에 모든 균체가 사멸하였고 14.4 kHz PC를 사용하였을 경우 3 h, 5 Hz PC를 사용하였을 경우 4 h내에 균체가 완전히 사멸하였다. 25°C 경우에도 경향은 비슷하였으나 생육 저해효과는 훨씬 떨어짐을 알 수 있다. DC의 경우 4 h, 14.4 kHz PC의 경우 6 h, 5 Hz PC의 경우 12 h 후에 균체가 완전히 살균되었다.



(A)



(B)

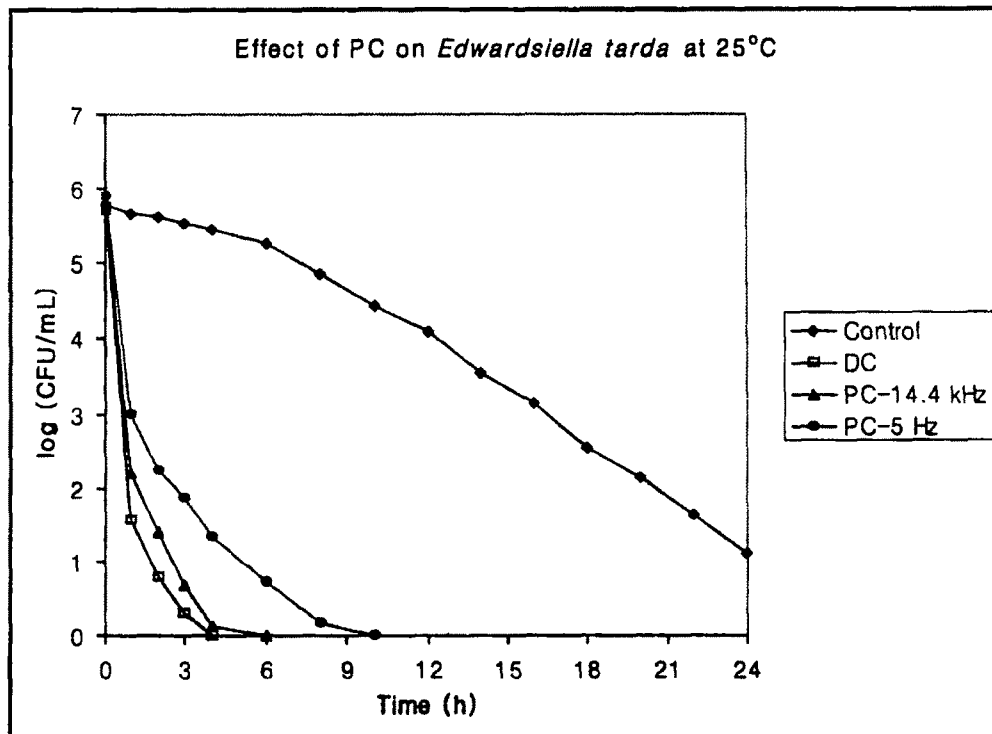
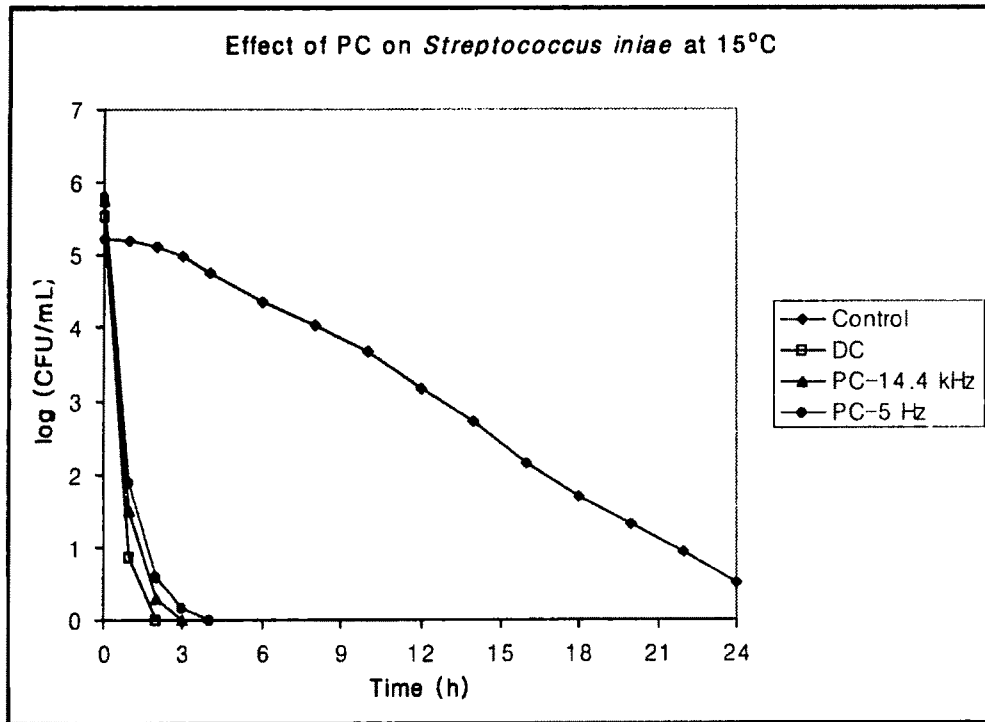


Fig. 23. Effect of different types of electric current on the inhibition of *Edwardsiella tarda* in the seawater circulating system: (A) 15°C, (B) 25°C

(A)



(B)

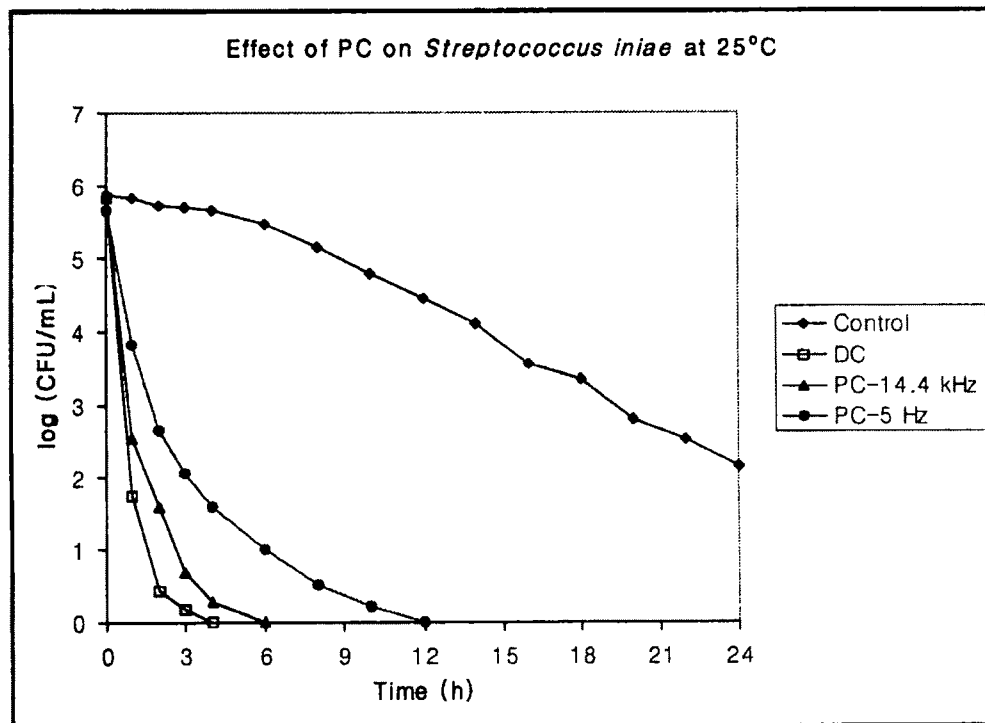


Fig. 24. Effect of different types of electric current on the inhibition of *Streptococcus iniae* in the seawater circulating system: (A) 15°C, (B) 25°C

## 라. 어류 선도 유지를 위한 연속식 전해수얼음 제조 시스템 개발

### 1) 연속식 전해수얼음 제조 시스템

위와 동일한 종류의 무격막형의 전해수 장치 ((주)이수이앤씨, 인천, 한국)를 Flake 형태 ice 제조기 (SLF225, NTF Co., Italy)와 연결시켜 연속적으로 전해수 얼음을 제조하는 공정을 개발하였다 (Fig 25). 전해수 장치에서 생성되는 전해수의 active chlorine 농도, pH, ORP는 각각 47 mg Cl<sub>2</sub>/L, 5.1, 그리고 1,100 mV 이었다. 생성된 flake-type ice에 포함된 active chlorine의 농도는 36.3 mg Cl<sub>2</sub>/L로 측정되었다.

### 2) 썩치 일반성분

실험에 사용한 썩치는 적색어육의 등푸른 생선으로서 그 일반성분은 Table 30과 같이 측정되었다.

### 3) 미생물학적 평가

저장기간 중 썩치육의 미생물학적 분석은 aerobic 및 psychrotrophic bacterial counts를 측정하여 평가하였다 (Fig. 26). 그림에 나타나 있듯이 두 경우 모두 전해수 얼음으로 저장된 썩치의 어육에서 미생물 성장이 억제됨이 관찰되었다. 이는 전해수가 얼음으로 사용되어도 여전히 살균력을 가져 썩치 저장 중 미생물의 생육을 억제해 준다는 것을 보여준다. 이는 얼음에 포함된 active chlorine이 어육 표면에서 얼음이 녹으면서 분출되어 나타난 결과인 것으로 사료된다.

한국을 비롯한 많은 나라에서 신선 어류 유통 시 얼음냉장법을 사용하고 있고, 유통 중 어류의 품질 변화를 야기하는 주 원인이 미생물의 작용이라는 것을 고려할 때, 본 썩치 저장연구에서 나타났듯이 항균력을 가진 전해수 얼음을 냉장저장에 사용하는 것은 신선 어류의 저장성 향상, 유통기간 연장 및 위생 안전성 확보 등에 매우 유용하리라 사료된다.

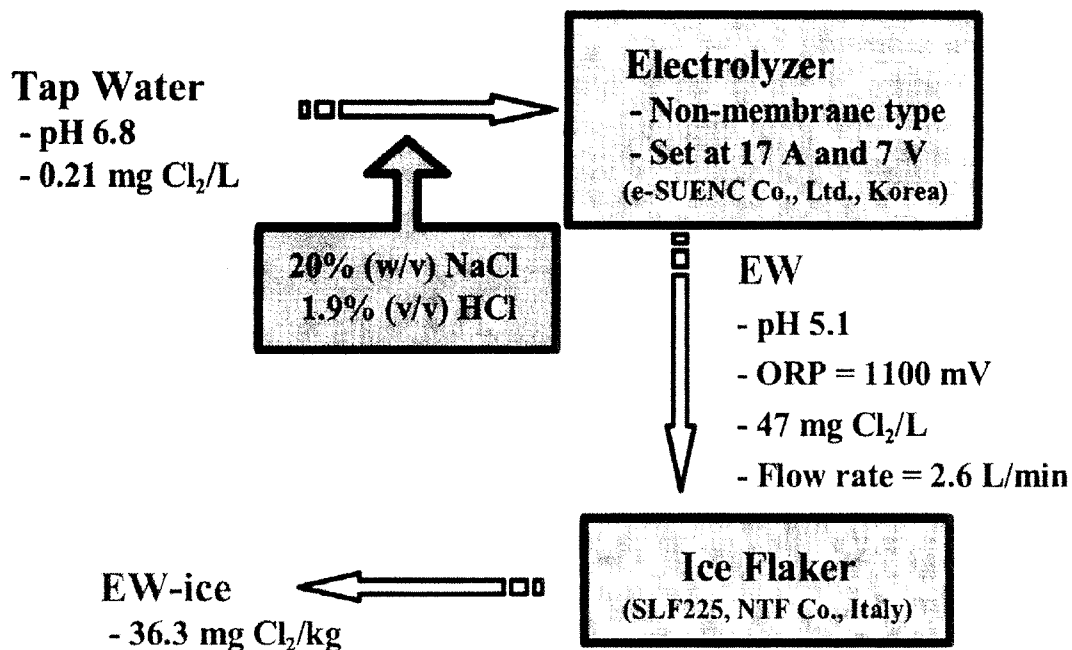


Fig. 25. Schematic diagram of continuous-type generator for ice of electrolyzed water (EW-ice).

Table 30. Proximate analysis (g/kg)

| Moisture     | Lipid      | Protein      | Ash        |
|--------------|------------|--------------|------------|
| 736.3 ± 30.3 | 54.9 ± 8.4 | 188.1 ± 10.2 | 16.7 ± 4.1 |

#### 4) 화학적 평가

저장 중 콩치에서 발생하는 화학적 변화는 total volatile basic nitrogen (TVB-N)과 thiobarbituric acid (TBA), pH를 측정하여 관찰하였다. 실험결과 Fig. 27에서 나타나 있듯 전해수 얼음을 사용하여 저장된 콩치육에서는 저장 17일 이 후부터 TVB-N 형성, thiobarbituric acid 반응물질의 형성 및 염기성 화합물의 축적이 현저히 저하됨이 관찰되었다. 이는 전해수 얼음이 미생물 생육을 억제하여 저장 중 발생하는 콩치의 변패반응을 억제한다는 것을 의미한다.

#### 5) 관능 평가

저장 중 콩치의 관능 변화는 Fig. 28과 같았다. Sensory score는 위 실험방법에서 표로 나타낸 수정된 Tasmanian Food Research Unit 방법의 demerit point를 합산하여 계산한 것으로 값이 높을수록 더 큰 변패를 나타낸다. 저장이 진행될수록 전해수 얼음에 저장된 콩치보다 일반 얼음에 저장된 콩치가 빨리 변패가 발생함을 알 수 있다. 이 결과는 미생물학적 및 화학적 평가 결과와 같이 전해수 얼음으로 저장하였을 경우 콩치가 더 신선하게 저장됨을 의미한다.

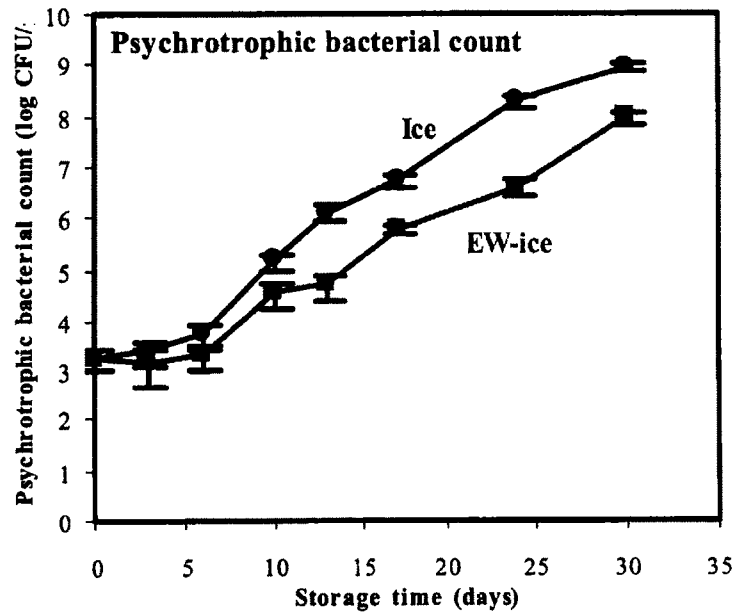
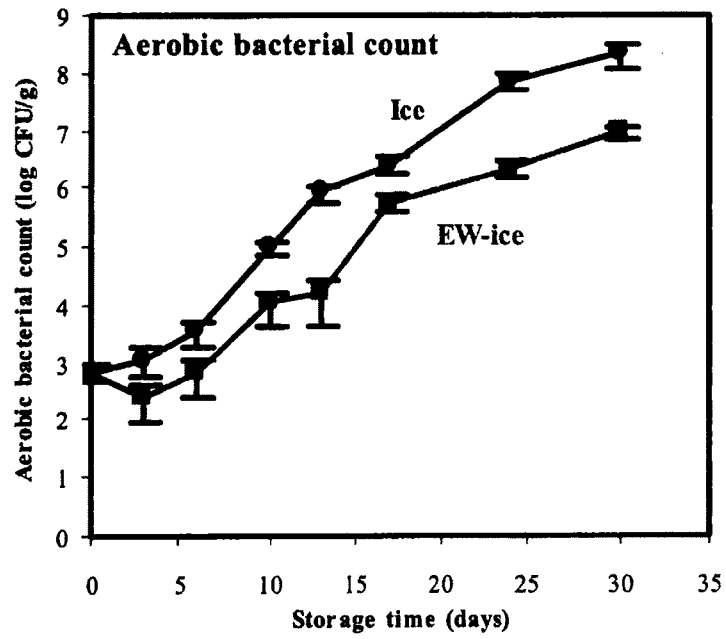


Fig. 26. Microbial populations in Pacific saury flesh during refrigerated storage in either 0.2% NaCl-ice or EW-ice. Values are mean  $\pm$  SD, n=6

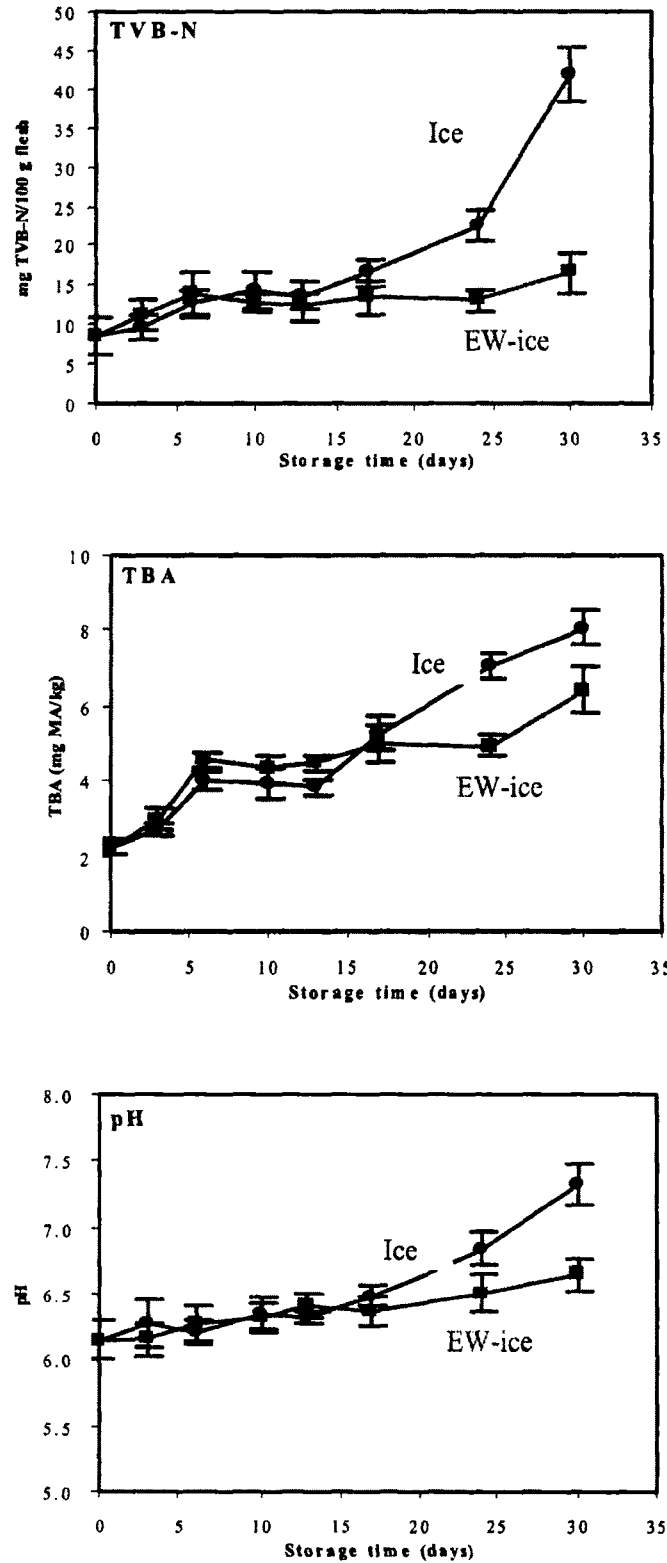


Fig. 27. Changes in total volatile basic nitrogen (TVB-N), thiobarbituric acid (TBA) and pH of Pacific saury flesh during refrigerated storage in either 0.2% NaCl-ice or EW-ice. Values are mean  $\pm$  SD, n=6.

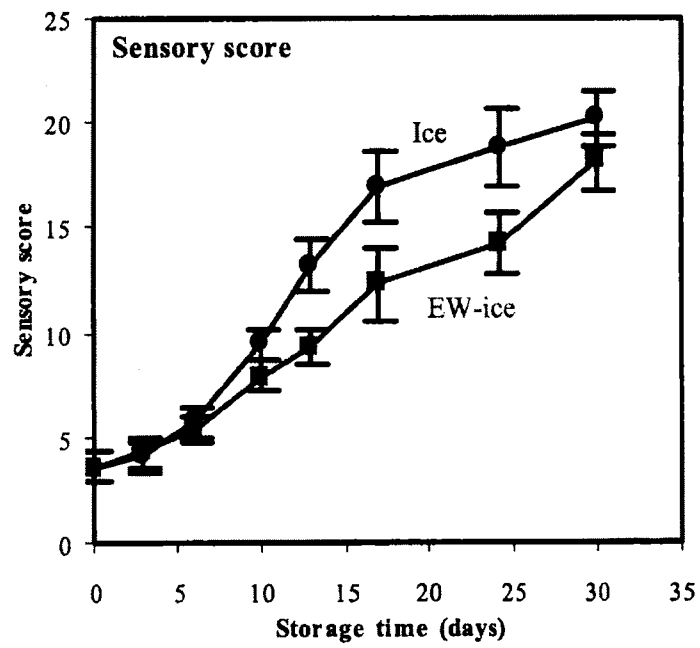


Fig. 28. Changes in sensory score of Pacific saury flesh during refrigerated storage in either 0.2% NaCl-ice or EW-ice. Values are mean  $\pm$  SD, n=6.



# 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

## 제 1 절 연구개발목표 달성도

### 1. 제 1 세부과제

| 연구개발목표   | 연구개발결과   | 달성도 (%) |
|--|--|---------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 전해수 생성장치 (격막형 및 무격막형)에 따른 살균효과 및 타살균제와의 비교</li> <li>● 전해수의 살균 특성 조사(온도, pH, agitation, organic compound 등에 의한 영향)</li> <li>● <i>V. parahaemolyticus</i>, <i>V. vulnificus</i> 등 해양병원미생물에 대한 살균조건 확립</li> <li>● 알칼리성수의 야채 및 어류 세정효과 및 항산화활성 평가</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 강산성전해수, 약산성전해수, 차아염소산소다용액의 병원성미생물에 대한 살균효과 비교, 확인</li> <li>● 저장조건 및 pH, 유효염소농도에 따른 전해수의 살균특성 조사 완료</li> <li>● <i>V. parahaemolyticus</i>, <i>V. vulnificus</i> 등 해양병원미생물에 대한 살균조건 확립 완료</li> <li>● 알칼리성수의 야채 및 어류에 대한 세정효과 및 항산화활성 평가는 이미 다른 연구결과가 있어 실시하지 않음</li> </ul>  | 95      |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 생물원료 및 식자재(생굴, 패류, 야채, 김 등)에 대한 살균효과 조사</li> <li>● 주방환경(조리기구, 용기, 싱크대, 바닥 등) 및 종업원(손, 의복 등)에 대한 살균효과 조사</li> <li>● 양식 김 제조시 사용되는 염산의 대체용수로서 강산성 전해수의 응용</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 생굴, 채소 등 식자재에 대한 살균효과 조사 완료</li> <li>● 주방환경(조리기구, 용기, 싱크대, 바닥 등) 및 손에 대한 살균효과 조사 완료</li> <li>● 양식 김 제조시 사용되는 염산의 대체용수로서 강산성 전해수의 적용실험 완료</li> </ul>   | 100     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● 수산가공 및 선어회 공장에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가공시설(포장용기, 저장시설 등), 작업환경(가공용수, 배수용수 등) 및 근로자(손, 의복 등)의 위생확보에 적용</li> </ul> </li> <li>● 증양식 및 종묘생산 시설에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 김 양식 시설에 현장적용 및 최적화</li> <li>- 어류병원성균에 대한 살균효과 평가</li> <li>- 어류양식환경(양식용수, 배수용수), 양식기구 및 근로자의 위생확보에 적용</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 수산가공 및 선어회 공장에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가공공장에서 전해수 기계설치시 생산라인의 변경으로 인하여 생산에 차질이 생기는 관계로 응용실험을 하지 못하였음.</li> </ul> </li> <li>● 증양식 및 종묘생산 시설에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 종묘생산에 공급되는 해수의 전기분해에 의한 살균효과 실험완료</li> <li>- 어류병원성균에 대한 살균효과 평가</li> <li>- 양식장에서 사용되는 장비에 대한 전해수의 살균효과 실험 완료</li> </ul> </li> </ul> | 80      |

## 2. 제 2 세부과제

| 연구개발목표   | 연구개발결과  | 달성도 (%) |
|--|---|---------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 순환식 무균해수 생산 system 디자인               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전해수 장치, filter system, HOCI 이온흡착 시스템 등 process unit의 배열 결정 및 lab scale system의 설치</li> <li>- Filter, HOCI 이온흡착 시스템 재질 조사, 평가 및 결정</li> </ul> </li> <li>○ 전기분해, filtering, 이온흡착 등 process operation condition, scale 및 flow rate를 조절하여 무균해수 생산효율 최적화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소비자 요구에 부응하는 경제적, 실용적인 system 개발</li> <li>- 연속성 및 내구성 뛰어난 system 개발</li> </ul> </li> <li>○ 전해수 및 전해수 얼음을 이용한 활어 및 선어의 선도유지 및 유통기한 연장효과 평가</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 저전류 전기펄스(low-amperage pulsating direct current)를 이용한 무균해수 생산 system을 경제적, 실용적인 면을 고려하여 디자인</li> <li>● Lab-scale의 순환식 무균해수 생산 system 설치 완료</li> <li>● Flake type의 전해수 얼음 생산을 위한 연속공정을 개발완료</li> <li>● 생산된 전해수 얼음을 성질을 평가하고 이를 이용하여 어류선도 유지 테스트를 실시하였음</li> <li>● 어류에 대한 미생물학적, 화학적, 관능적 평가를 실시하여 전해수 얼음이 신선어류 유통기한을 연장할 수 있음을 확인</li> </ul> | 100     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발(pilot system 설치)</li> <li>○ 저전류 전기펄스의 해수에 대한 살균효과 평가</li> <li>○ 저전류 전기펄스 방식 무균해수 시스템의 응용가능성 평가 (경제성, 실용성, 연속성, 내구성)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pilot-scale의 순환식 무균해수 생산 system 설치 완료</li> <li>● 어류 병원성균인 <i>Edwardsiella tarda</i> 및 <i>Streptococcus iniae</i>에 대한 무균해수 순환 system의 저해효과 평가 완료</li> <li>● 제작된 system의 경제성 및 실용성은 매우 높으나 전극의 fouling으로 인한 연속성 및내구성이 문제됨</li> </ul>   | 85      |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저전류 전기펄스 순환무균해수 생산공정 영향인자 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전류형태, 전류량, 주파수, 순환유속, 해수온도, 및 순환시간의 어류병원성미생물 생육억제 및 활성염소생성에의 영향 평가</li> <li>- 미생물 종류 및 초기 미생물 오염도의 영향 평가</li> <li>- 저전류에 의한 미생물 억제 mechanism 규명</li> </ul> </li> <li>○ 저전류 전기펄스의 활어수조에의 적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 순환무균해수에서의 어류 생육 및 성장 평가</li> </ul> </li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 제작된 system에서 전류의 형태, 전기펄스의 주파수, condenser의 용량, 수온 등이 활성염소 생성속도에 미치는 영향을 kinetic modeling을 통하여 평가 완료</li> <li>● 같은 전류량의 직류전류와 펄스전류의 어류 병원성 균 억제효과 비교 완료(활성염소와 펄스의 미생물 억제에 대한 시너지 효과는 크지 않은 것으로 확인)</li> <li>● 어류 생육에는 순환식 무균해수 system에서 생성되는 활성염소의 양이 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인</li> </ul>   | 90      |

## 제 2 절 관련분야에의 기여도

### 1. 기술적 측면

- ▶ 산성전해수의 살균제로서의 식품산업에의 응용기술 확보 가능
- ▶ 알칼리성 전해수의 항산화제로서의 식품산업에의 응용기술 확보 가능
- ▶ 전해수 및 무균해수 생산 시스템의 개발로 생선회집, 수산가공공장의 미생물학적 안전성 확보 가능
- ▶ 전해수 및 무균해수의 생산 시스템의 개발로 양식장(종묘생산)의 미생물학적 안전성 확보 및 항생제 내성균의 출현 억제 가능
- ▶ 각종 식품의 종류별 특성과 주위 환경을 고려한 기타 연계 산업에 응용 가능
- ▶ 저전류 전기필스를 이용한 비열살균공정 장치 개발 및 응용기술의 국제경쟁력 확보

### 2. 경제 · 산업적 측면

- ▶ 2002년 국내 수산가공 및 저장처리업의 총생산액은 2,938억원이며 총수출액은 11억 달러(1,392억원)로써 본 연구가 이러한 국가기반산업에 기여하게 되면 막대한 시너지효과를 창출할 수 있을 것으로 기대
- ▶ 수산생물 및 가공식품의 미생물학적 안전성 확보 및 장기저장 수단 확보로 수급조절이 가능하여 가격폭락이나 폭동의 조절 가능
- ▶ 산학연 협동체제에 의한 수산가공 기술의 혁신 및 축적
- ▶ 수산생물 및 가공식품의 안전성 확보를 통한 국민건강 증진
- ▶ 관련 식품산업의 안전성확보 및 시장성 확대
- ▶ 생산 및 수출의 안정성 확보와 이로 인한 어민의 고용 안정 및 소득향상은 물론, 수산업 전반의 안정적 발전과 활성화에 기여

### 3. 활용방안

- ▶ 산성전해수, 알칼리성 전해수의 현장 응용기술 전수
- ▶ 전해수 얼음을 이용한 수산생물의 저장성 확보 기술 전수
- ▶ 무균해수 순환시스템의 생선회집, 수산식품가공공장, 양식장에 응용 → 수산생물 및 가공식품의 안전성 확보
- ▶ 축적된 기술을 관련 식품산업, 단체급식, 의료분야 등 광범위하게 응용
- ▶ 관련 기술의 특허 획득을 통한 고유 기술 확보
- ▶ 기술 및 Know how 축적을 통한 제품 및 기술 수출

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 1. 추가연구의 필요성

- ▶ 수산식품가공공장에 전해수기계를 설치하여 식품원료에 대한 살균효과를 확인하고자 하였으나, 전해수 기계설치시 기존의 생산라인에 변경이 불가피하여 생산에 차질을 줄 수 있다는 회사측의 입장에 의해 부득이하게 전해수 현장적용실험을 실시하지 못하였음. 따라서 실험에 협조적인 생선횃집 또는 수산가공공장에의 현장적용실험이 추가로 필요함
- ▶ 김양식장에서 염산의 대체수단으로 전해수 처리는 실험결과는 없지만 2006년 1월 현장에서 예비실험을 하여 가능성이 있다는 판단을 양식업자들로부터 받았음. 이에 양식업자와 전해수기계 생산업자(참여업체 (주)TMD) 사이에 “김양식장에서 전해수 처리에 의한 잡조제거”에 대한 가계약(MOU)을 체결한 바 있음. 따라서 현장에서 전해수 처리 최적조건 확립을 위한 추가실험이 필요함.
- ▶ 최근 노로바이러스에 의한 식중독이 전세계적으로 문제가 되고 있으며, 특히 굴에서 노로바이러스가 많이 검출되고 있는 것으로 알려져 있음. 전해수가 노로바이러스의 살균에 효과가 있다는 최근의 연구보고가 있어, 우리나라 주요 수출수산물 중의 하나인 굴에 대한 전해수의 추가실험도 필요할 것으로 사료 됨

### 2. 타 연구에의 응용

- ▶ 최근 집단식중독이 문제가 되고 있는 단체급식(학교, 회사)에서 식중독예방을 위한 식자재의 살균에 강산성전해수 또는 약산성전해수의 살균제로서의 사용이 가능
- ▶ 수산식품공장뿐만 아니라 일반 식품공장에서도 강산성전해수 또는 약산성전해수의 식자재 및 원료(채소, 곡류)의 살균제로서의 사용이 가능
- ▶ 수술기구의 소독, 내시경기구의 소독, 치과기구의 소독 등 의료분야에서도 광범위하게 응용할 수 있음.
- ▶ 가정에서도 소규모의 전기분해수 생산장치로 주방기구 및 식자재의 살균제로서 사용이 가능
- ▶ 저전류 전기필스를 이용한 비열살균공정 장치 개발 및 응용기술의 국제경쟁력 확보

### 3. 기업화 추진방안

- ▶ 김양식장에서 잡조제거를 위한 염산 또는 유기산의 대체수단으로 전해수의 사용에

효과가 있는 것으로 나타나 전남 목포의 양식업자와 전해수기계 생산업자(참여업체 (주)TMD) 사이에 “김양식장에서 전해수 처리에 의한 잡조제거”에 대한 가계약(MOU)을 체결한 바 있음. 따라서 이에 대한 사업화를 추진할 예정임

- ▶ 2007년 11월 9일, [식품첨가물공전 제 2. 제조기준에 제조장치를 통해 제조되는 식품첨가물의 기준]에 강산성 차아염소산수(유효염소 20~60ppm), 미산성 차아염소산수(유효염소 10~30ppm)의 살균제로서의 사용을 인가하였다(식품의약품안전청고시 제 2007-74호).
- ▶ 이에 따라 본 연구의 전기분해수도 수산분야 뿐만 아니라 일반 식품산업 분야에 있어서도 과실류, 채소류 등 식품의 살균에 광범위하게 사용할 수 있을 것으로 예상된다.

## 제 6 장 참고문헌

1. 山中信介. 電解酸化水を利用した衛生管理技術. 食品加工技術. 15(2), 7~16 (1993)
2. 鈴木鐵也. 電解水による殺菌技術. Bio Industry. 13(8), 15~27 (1996).
3. 鈴木鐵也. 電解處理水による食品衛生管理：食品殺菌への利用その可能性と課題. 食品と開發. 31(11), 9~13 (1996)
4. Keiji Kumon. What is funtional water. Artificial organs. 21(1), 2-4 (1997)
5. 鈴木鐵也. 食品分野における強酸性電解水利用の課題と展望. New Food Industry. 39(2), 61~66 (1997)
6. 久保田昌治. 強酸化水の 開發と利用. 食品と開發. 30(7), 9~13 (1995)
7. 堀田國元. 医療における強酸性電解水. 第 25回 日本醫學會總會. 1~4 (1999)
8. 笠井久會, 石川麻美, 堀友花, 渡辺研一, 吉水守. 流水式海水電解裝置の魚類病原細菌およびウイルスに対する殺菌効果. Nippon Suisan Gakkaishi. 66(6), 1020-1025 (2000)
9. Jorquera, M.A., Valencia, G., Eguchi, M., Katayose, M. and Riquelme, C. Disinfection of seawater for hatchery aquaculture systems using electrolytic water treatment. Aquaculture. 207, 213-334 (2002)
10. Ong, K. C., Cash, J. N., Zabik, M. J., and Sidding, M. Chlorine and ozone as postharvest wash in the removal of pesticides from apples. In Book of Abstracts, Ann. Mtg., Inst. of Food Technologists, p. 28 (1995)
11. Sapers, G.M. New technologies for safer produce-Chemical-based treatments and decontamination by washing. In Proc. of Fresh Fruits and Vegetables: Food Safety and Technology, Chicago, May 12-14 (1998)
12. Anonymous. Ozone in food processing applications: Past experience, future potential and regulatory issues. Zentox Corporation (1997)
13. Graham, D.M. Use of Ozone for food processing. Food Technol. 51(6), 72-75 (1997)
14. Cena, A. Ozone: Keep it fresh for food processing. Water Conditioning Purification, Sept. pp. 112-115 (1998)
15. Sharma, R.R and Demirci, A. Treatment of *Escherichia coli* O157:H7 inoculated alfalfa seeds and sprouts with electrolyzed oxidizing water. Inter. J. Food Microbiol. 86, 231-237 (2003)
16. Park, H., Hung, Y.C. and Chung D.H. Effects of chlorine and pH on efficacy of electrolyzed water for inactivating *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*. Inter. J. Food Microbiol. 91, 13-18 (2004)

17. 鈴木鉄也. 食品分野における電解水利用の実際と安全性. 月刊フードケミカル 5月号, 35-42 (1998)
18. 鈴木鉄也. 食品分野における強酸性電解水:応用と課題. 防菌防黴誌, 27(7), 487-492 (1999)
19. Chyer Kim, Yen-Con Hung, R. E. Brackett. Efficacy of electrolyzed oxidizing (EO) and chemically modified water on different types of foodborne pathogens. Inter. J. Food Microbiol. 61, 199-207 (2000)
20. Al-Haq, M.I., Seo, Y., Oshita S., Kawagoe, Y. Disinfection effects of electrolyzed oxidizing water on suppressing fruit rot of pear caused by *Botryosphaeria berengeriana*. Food Res. Inter. 35, 657-664 (2002)
21. Suzuki, T., Itakura J., Watanabe, M., Ohta, M., Sato, Y. and Yamaya Y. Inactivation of Staphylococcal enterotoxin a with and electrolyzed Anodic solution. J. Agric. Food Chem., 50(1) 230-234 (2002)
22. Suzuki, T., Noro, T., Kwamura Y., Fukunaga K., Watanabe, M., Ohta, M., Sugiue, H., Sato, Y., Kohno M. and Hotta, K. Decontamination of Aflatoxin-forming fungus and elimination of aflatoxin mutageneciti with electrolyzed NaCl anode solution. J. Agric. Food Chem., 50(3) 633-641 (2002)
23. Miyashita, K., Yasuda, M., Ota T. and Suzuki T. Antioxidative activity of cathodic solution produced by the electrolysis of a dilute NaCl solution. Biosci. Biotechnol. Biochem 63(2), 421-423 (1999)
24. 阿知波信夫. 強酸性電解水および強アルカリ性電解水の利用と普及. 防菌防黴誌, 32(1), 41-47 (2004)
25. 川田勝大. 酸性電解水の食品添加物認可までの経緯. 防菌防黴誌, 30(12), 801-811 (2002)
26. ICMSF working group on microbial risk assesment. Potential application of risk assesment techniques to micobiological issues related to international trade in food and food products. J. Food Prot., 61, 1075-1086 (1998)
27. Guillow, S., El Murr, N. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in solution by low-amperage electric treatment. Journal of Applied Microbiology. 92:860-865 (2002)
28. Park, J.-C., Lee, M.S., Lee, D.H., Park, B.J., Han, D.W., Uzawa, M., Takatori, K. Inactivation of bacteria in seawater by low-amperage electric current. Applied and Environmental Microbiology. 69:2405-2408 (2003)
29. Rowan, N.J., MacGregor, S.J., Anderson, J.G., Fouracre, R.A., Farish, O. Pulsed electric field inactivation of diarrhoeagenic *Bacillus cereus* through irreversible electroporation.

Letters in Applied Microbiology. 31:110-114 (2000)

30. Liu, W.K., Brown, M.R.W., Elliott, T.S.J. Mechanisms of the bactericidal activity of low amperage electric current (DC). Journal of Antimicrobial Chemotherapy. 39:687-695 (1997)



별첨

## 자체평가의견서

### 1. 과제현황

|                     |                                       |                       |         |        |         |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------------|---------|--------|---------|
|                     |                                       | 과제코드                  |         |        |         |
| 사업구분                | 첨단기술                                  |                       |         |        |         |
| 과제구분                | 총괄                                    | 주관                    | 과제성격    | 개발     |         |
| 총괄과제명               | 저전류 전기펄스를 이용한 전해수의 유효이용 및 수산관련산업에의 응용 |                       |         |        |         |
| 주관기관                | 강릉대학교                                 |                       | 주관연구책임자 | 신 일 식  |         |
| 과제명                 |                                       |                       |         |        |         |
| 연구기관                |                                       |                       | 연구책임자   |        |         |
| 연구기간<br>연구비<br>(천원) | 연차                                    | 기간                    | 정부      | 민간     | 계       |
|                     | 1차년도                                  | 04. 10. 04~05. 10. 03 | 75,000  | 25,000 | 100,000 |
|                     | 2차년도                                  | 05. 10. 04~06. 10. 03 | 85,000  | 29,000 | 114,000 |
|                     | 3차년도                                  | 06. 10. 04~07. 10. 03 | 90,000  | 30,000 | 120,000 |
|                     | 4차년도                                  |                       |         |        |         |
|                     | 5차년도                                  |                       |         |        |         |
| 계                   |                                       |                       | 250,000 | 84,000 | 334,000 |
| 참여기업                | (주) TMD                               |                       |         |        |         |
| 상대국                 |                                       | 상대국연구기관               |         |        |         |

2. 평가일 : 2007년 10월 01일

3. 평가자(연구책임자)

|       |    |       |
|-------|----|-------|
| 소속    | 직위 | 성명    |
| 강릉대학교 | 교수 | 신 일 식 |

4. 평가자(연구책임자) 확인

- 본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본자료가 전문위원회 및 사업조정관 평가시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

|    |       |
|----|-------|
| 확약 | 신 일 식 |
|----|-------|

# I. 연구개발실적

## 1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

- 사업계획서의 내용에 따라 연구개발을 하였으며 그 달성도는 평균 90% 이상에 달함.
- 특히 수산식품에서 문제가 되는 병원성 세균인 장염비브리오균, 비브리오패혈증균에 대한 전해수의 최적살균조건을 확립하여 현장에서 즉시 적용할 수 있는 시스템을 구축하였으며, 이 결과를 Food Sci. & Biotech.에 투고 중임
- 전해수를 이용한 김양식장의 잡조제거 조건 확립은 국내 최초임.
- 또한 전해수를 이용한 얼음을 제조하여 수산식품의 보존기간 연장에 대한 효과를 확인하였으며, 그 결과를 Journal of Food Protection에 논문이 게재되었음.
- 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system(세계 최초임)을 개발하고 그 특성과 효과를 규명하였으며 현재 이에 대한 논문과 특허출원을 준비 중임

## 2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

- ① 김양식에 있어서 잡조제거를 위한 유기산의 대체수단으로서 전해해수의 응용
  - 2001년 유기산 처리제 공급량은 2,633톤, 공급액은 3,081백만원이며, 톤당 정부의 지원단가는 1,170천원으로 정부의 지원액 총액은 약 30억원(3,080,610천원)에 달한다
  - 따라서 무기산 및 유기산의 대체제로 전기분해해수를 사용하면, 전기분해해수장치 및 생산비를 제외하더라도 20억원 이상의 경비를 절감할 수 있다.
- ② 단체급식에서 식자재 및 주방환경의 위생관리를 위한 강산성전해수 및 약산성전해수의 응용
  - 식중독 발생에 따른 총 손실비용 추정액은 약 1조 3천억원에 달함(2006년, 한국보건산업진흥원)
  - 2006년의 경우 259건의 식중독이 발생하여 2005년 109건에 비하여 약 2배 이상 증가
  - 전기분해수 사용으로 단체급식에서 미생물학적 안전성을 확보하여 식중독발생률의 감소에 공헌
- ③ 수산식품의 보존기간연장을 위한 전해수 얼음의 제조 및 응용
  - 전기분해장치와 얼음제조장치의 연속공정을 통하여 flake-type의 전해수 얼음을 제조할 수 있으므로 제조공정이 간편하다.
  - 전해수 얼음의 살균력으로 인하여 공치와 같은 일반 어류의 경우 일반 얼음 저장에 비하여 유통기간을 3-5일 이상 연장할 수 있어 상당한 이득이 예상된다.
- ④ 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발 및 응용
  - 저전류의 전기펄스를 공급할 수 있는 소규모의 장치로 운용 가능하므로 간단하고 경제적으로 위생해수를 공급할 수 있다.
  - 일정한 quality의 위생해수를 안정적으로 생성할 수 있으므로 오염에 의한 해양자원의 손실을 줄일 수 있다.
  - 해수 자체의 전기분해가 최소화 되므로 해수에 포함된 무기염류의 손실과 유해한 전기분해 산물의 생성 염려가 없어 타 살균소독에 비해 환경친화적이다.
  - 전류의 세기와 펄스지속시간을 조절하여 미생물 종류, 해수성질 등에 따라 미생물 저해력을 쉽게 조절할 수 있으므로 활용 효과가 클 것으로 예상된다.

### 3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

- ① 김양식에 있어서 잡조제거를 위한 유기산의 대체수단으로서 전해해수의 응용
  - 김양식에 있어서 잡조(파래) 제거를 위하여 현재 불법적으로 사용되고 있는 공업용 염산은 해양환경의 파괴 및 인체에 유해한 영향을 끼칠 수도 있음
  - 염산의 대체수단으로 사용하고 있는 유기산은 염산보다 잡조제거 효율이 떨어지며, 또 그 가격도 비싸 현장에서 사용을 꺼려하고 있는 실정
  - 이에 잡조제거효율이 염산과 동등하며, 생산가격도 싸며(5원/L), 환경에도 영향을 미치지 않는 전기분해해수는 유력한 대체수단임
- ② 단체급식에서 식자재 및 주방환경의 위생관리를 위한 강산성전해수 및 약산성전해수의 응용
  - 단체급식에서 야채, 과일, 주방기구 등을 소독하기 위하여 사용하는 차아염소산소다용액은 그 농도가 약 100 ppm으로 상당히 높아, 식품이나 기구에 잔류할 위험성이 있음.
  - 전기분해수는 약 30~35 ppm의 저농도의 염소로도 100 ppm의 차아염소산소다용액과 동등 또는 그 이상의 살균효과를 나타내는 유력한 살균처리제임
- ③ 수산식품의 보존기간연장을 위한 전해수 얼음의 제조 및 응용
  - 수산식품의 저장성 향상을 위하여 사용하는 일반 얼음은 살균효과가 없을 뿐 아니라, 최근에는 대장균이 검출되는 얼음도 많이 유통되고 있는 실정임
  - 전해수로 만든 얼음은 차아염소산 이온을 함유하고 있어 살균력을 가지고 있기 때문에 얼음자체도 무균상태일 뿐만 아니라 저장식품에 살균효과도 가지는 특성을 가지고 있음
- ④ 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발 및 응용
  - 이 방식은 해수에 0.05A 이하의 저전류로 전기펄스(수 Hz - 수 kHz)를 주어 세포막의 electroporation을 유도하여 미생물의 생육을 저해한 위생해수를 활어조에 공급하는 방법임
  - 저전류의 전기펄스를 공급할 수 있는 소규모의 장치로 운용 가능하므로 간단하고 경제적이므로 scale-up이 용이
  - 일정한 quality의 위생해수를 안정적으로 생성 가능
  - 해수 자체의 전기분해가 최소화 되므로 해수에 포함된 무기염류의 손실과 유해한 전기분해 산물의 생성 염려가 없음
  - 전류의 세기와 펄스지속시간을 조절하여 미생물 종류, 해수성질 등에 따라 미생물 저해력을 쉽게 조절할 수 있는 장점이 있음

#### 4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

- 사업계획서에 따라 연구를 수행하였으며,
- 병원성세균에 대한 전해수의 살균특성을 밝히고, 식중독의 예방을 위하여 현장적용의 예비단계로서 학교단체급식에 있어서의 식자재 및 주방환경에 대한 전기분해수의 살균효과를 밝혔음
- 국내최초의 김 양식장의 잡조제거를 위한 전해수의 처리방법을 개발하는 연구를 성실히 수행하였음
- 연속식 전해수 얼음 생산공정을 개발하고 전해수 얼음의 선어 유통기한 연장 효과를 규명하여 전해수의 다양한 적용을 모색함
- 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 system을 세계 최초로 개발하고 그 기본 특성을 과학적으로 평가하였음

#### 5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 산업재산권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수, 우수, **보통**, 미흡, 불량)

- SCI 잡지에 1편의 논문을 게재하였으며 현재, 한 편이 심사 중에 있음
- 7회의 국제학술회의에 연구결과를 발표

## II. 연구목표 달성도

| 번호 | 세부연구목표<br>(연구계획서상에 기술된 연구목표)   | 달성내용   | 달성도<br>(%) |
|----|--|--|------------|
| 1  | <ul style="list-style-type: none"> <li>전해수 생성장치 (격막형 및 무격막형)에 따른 살균효과 및 타살균제와의 비교</li> <li>전해수의 살균 특성 조사(온도, pH, agitation, organic compound 등에 의한 영향)</li> <li><i>V. parahaemolyticus</i>, <i>V. vulnificus</i> 등 해양병원미생물에 대한 살균조건 확립</li> <li>알칼리성수의 야채 및 어류 세정효과 및 항산화활성 평가</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>강산성전해수, 약산성전해수, 차아염소산소다용액의 병원성미생물에 대한 살균효과 비교, 확인</li> <li>저장조건 및 pH, 유효염소농도에 따른 전해수의 살균특성 조사 완료</li> <li><i>V. parahaemolyticus</i>, <i>V. vulnificus</i> 등 해양병원미생물에 대한 살균조건 확립 완료</li> <li>알칼리성수의 야채 및 어류에 대한 세정효과 및 항산화활성 평가는 이미 다른 연구결과가 있어 실시하지 않음</li> </ul>  | 95         |
| 2  | <ul style="list-style-type: none"> <li>생물원료 및 식자재(생굴, 패류, 야채, 김 등)에 대한 살균효과 조사</li> <li>주방환경(조리기구, 용기, 싱크대, 바닥 등) 및 종업원(손, 의복 등)에 대한 살균효과 조사</li> <li>양식 김 제조시 사용되는 염산의 대체용수로서 강산성 전해수의 응용</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>생굴, 채소 등 식자재에 대한 살균효과 조사 완료</li> <li>주방환경(조리기구, 용기, 싱크대, 바닥 등) 및 손에 대한 살균효과 조사 완료</li> <li>양식 김 제조시 사용되는 염산의 대체용수로서 강산성 전해수의 적용실험 완료</li> </ul>   | 100        |
| 3  | <ul style="list-style-type: none"> <li>수산가공 및 선어회 공장에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>가공시설(포장용기, 저장시설 등), 작업환경(가공용수, 배수용수 등) 및 근로자(손, 의복 등)의 위생확보에 적용</li> </ul> </li> <li>증양식 및 종묘생산 시설에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>김 양식 시설에 현장적용 및 최적화</li> <li>어류병원성균에 대한 살균효과 평가</li> <li>어류양식환경(양식용수, 배수용수), 양식기구 및 근로자의 위생확보에 적용</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>수산가공 및 선어회 공장에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>가공공장에서 전해수 기계설치시 생산라인의 변경으로 인하여 생산에 차질이 생기는 관계로 응용실험을 하지 못하였음.</li> </ul> </li> <li>증양식 및 종묘생산 시설에 전해수 현장적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>종묘생산에 공급되는 해수의 전기분해에 의한 살균효과 실험완료</li> <li>어류병원성균에 대한 살균효과 평가</li> <li>양식장에서 사용되는 장비에 대한 전해수의 살균효과 실험 완료</li> </ul> </li> </ul> | 80         |

## 계속

| 번호 | 세부연구목표<br>(연구계획서상에 기술된 연구목표)  | 달성내용  | 달성도<br>(%) |
|----|---|---|------------|
| 4  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 순환식 무균해수 생산 system 디자인               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전해수 장치, filter system, HOCI 이온흡착 시스템 등 process unit의 배열 결정 및 lab scale system의 설치</li> <li>- Filter, HOCI 이온흡착 시스템 재질 조사, 평가 및 결정</li> </ul> </li> <li>● 전기분해, filtering, 이온흡착 등 process operation condition, scale 및 flow rate를 조절하여 무균해수 생산효율 최적화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소비자 요구에 부응하는 경제적, 실용적인 system 개발</li> <li>- 연속성 및 내구성 뛰어난 system 개발</li> </ul> </li> <li>● 전해수 및 전해수 얼음을 이용한 활어 및 선어의 선도유지 및 유통기한 연장 효과 평가</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 저전류 전기펄스(low-amperage pulsating direct current)를 이용한 무균해수 생산 system을 경제적, 실용적인 면을 고려하여 디자인</li> <li>● Lab-scale의 순환식 무균해수 생산 system 설치 완료</li> <li>● Flake type의 전해수 얼음 생산을 위한 연속공정을 개발완료</li> <li>● 생산된 전해수 얼음을 성질을 평가하고 이를 이용하여 어류선도 유지 테스트를 실시하였음</li> <li>● 어류에 대한 미생물학적, 화학적, 관능적 평가를 실시하여 전해수 얼음이 신선어류 유통기한을 연장할 수 있음을 확인</li> </ul> | 100        |
| 5  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발(pilot system 설치)</li> <li>● 저전류 전기펄스의 해수에 대한 살균효과 평가</li> <li>● 저전류 전기펄스 방식 무균해수 시스템의 응용가능성 평가 (경제성, 실용성, 연속성, 내구성)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pilot-scale의 순환식 무균해수 생산 system 설치 완료</li> <li>● 어류 병원성균인 <i>Edwardsiella tarda</i> 및 <i>Streptococcus iniae</i>에 대한 무균해수 순환 system의 저해효과 평가 완료</li> <li>● 제작된 system의 경제성 및 실용성은 매우 높으나 전극의 fouling으로 인한 연속성 및내구성이 문제됨</li> </ul>   | 85         |
| 6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 저전류 전기펄스 순환무균해수 생산공정 영향인자 평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전류형태, 전류량, 주파수, 순환유속, 해수온도, 및 순환시간의 어류병원성미생물 생육억제 및 활성염소생성에의 영향 평가</li> <li>- 미생물 종류 및 초기 미생물 오염도의 영향 평가</li> <li>- 저전류에 의한 미생물 억제 mechanism 규명</li> </ul> </li> <li>● 저전류 전기펄스의 활어수조에의 적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 순환무균해수에서의 어류 생육 및 성장 평가</li> </ul> </li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 제작된 system에서 전류의 형태, 전기펄스의 주파수, condenser의 용량, 수온 등이 활성염소 생성속도에 미치는 영향을 kinetic modeling을 통하여 평가 완료</li> <li>● 같은 전류량의 직류전류와 펄스전류의 어류 병원성 균 억제효과 비교 완료(활성염소와 펄스의 미생물 억제에 대한 시너지 효과는 크지 않은 것으로 확인)</li> <li>● 어류 생육에는 순환식 무균해수 system에서 생성되는 활성염소의 양이 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인</li> </ul>   | 90         |

### III. 종합의견

#### 1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 사업계획서에 따라 연구를 수행하였으며, 달성도는 평균 약 92%임
- 개발한 기술 중 전해수 얼음은 국내 최초로 개발한 내용이며, 김 양식장에서 잡조제거를 위한 전해해수의 처리방법 확립은 국내 최초의 개발기술임
- 개발한 기술 중 저전류 전기펄스를 사용한 순환식 무균해수 생산 system은 세계 최초로 개발 및 평가한 기술임

#### 2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 계획한 내용 중 식품가공공장에 전기분해수를 설치하여 현장적용 실험을 하려 하였으나 사업자의 반대(생산에 차질을 가져올 수 있다는 점)로 인하여 현장적용 실험을 하지 못하였으나 현재의 연구결과만으로도 전기분해수의 살균효과는 충분히 증명할 수 있음.

#### 3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- ① 김양식에 있어서 잡조제거를 위한 유기산의 대체수단으로서 전해해수를 사용하기 위하여 전해수 기계 생산업체인 (주) TMD와 김양식업자가 계약하여 사업에 활용
  - 김양식에 있어서 잡조제거를 위한 전해해수의 응용에 관한 특허출원(예정)
- ② 단체급식에서 식자재 및 주방환경의 위생관리를 위하여 강산성전해수 및 약산성전해수를 고농도(약 100 ppm)의 차아염소산용액을 대체하는 살균제로 활용
- ③ 수산식품의 보존기간연장을 위한 전해수 얼음의 제조 및 응용
  - 빙장하여 보관하는 수산식품에 사용하는 비위생적인 얼음을 대체할 수 있는 살균효과를 가진 얼음으로 활용
- ④ 저전류 전기펄스를 이용한 순환식 무균해수 생산 system 개발 및 응용
  - 수산시장이나 양식에 사용하는 바닷물을 저전류 전기펄스를 이용하여 연속적, 효과적으로 살균하여 활어의 품질을 높일 수 있는 기술을 응용
  - 저전류 전기펄스를 이용하였을 경우 순환 system의 특허 출원(예정)
  - 저전류 전기펄스를 이용한 순환 system에 대한 국제논문 발표(예정)

#### IV. 보안성 검토

- 해양수산연구개발사업보안관리지침에서 정하는 바에 따라 작성
- 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

##### 1. 연구책임자의 의견

- 김양식의 잡조제거기술, 전해수 얼음에 관한 기술은 지식재산권 확보와 관련하여 기술유출 가능성이 있는 연구개발과제로 사료됨

##### 2. 연구기관 자체의 검토결과

- 김양식의 잡조제거기술, 전해수 얼음에 관한 기술은 지식재산권 확보와 관련하여 기술유출 가능성이 있는 연구개발과제로 사료됨