

GOVP1200728866

최종
연구보고서

오징어를 이용한 한국외해역 오염모니터링
Biomonitoring using squid fin Korean offshore

연구기관
경상대학교

해양수산부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “오징어를 이용한 한국외해역 오염모니터링”
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007 년 8 월 20 일

주관연구기관명 : 경상대학교
주관연구책임자 : 김 기 범
연 구 원 : 김 재 원
보 조 연 구 원 : 강 미 란
보 조 연 구 원 : 김 은 식
보 조 연 구 원 : 주 창 규
보 조 연 구 원 : 하 성 용
보 조 연 구 원 : 안 준 건
보 조 연 구 원 : 원 종 호
보 조 연 구 원 : 박 혜 진
보 조 연 구 원 : 박 진 완

요 약 문

I. 제 목

오징어를 이용한 한국 외해역 오염모니터링

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1년의 생활사를 가지면서 한반도 주변해역 (남해, 황해, 동해)에 서식하고 회유하는 특성을 가진 오징어를 이용하여 체내조직 조직특성과 오염물질의 잔류농도 및 축적특성을 밝힌다. 또한 앞으로 한국 외해역에서 주기적인 장기 오염 모니터링을 위한 지침서를 제시한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

- 대상해역 및 대상 오징어 어종 선정
- 오징어 체내 기관별 및 오염물질별 농축특성
- 오징어 조직변화 특성 파악
- 오징어를 이용한 우리나라 외해역 오염 모니터링
- 오징어 체내 오염물질 잔류량 D/B 구축
- 오징어를 이용한 중장기 모니터링 지침서 제작

IV. 연구개발 결과

(1) 오징어 조직

난소는 성숙난이 뚜렷하게 관찰되고, 상숙난의 여포세포가 결합조직에 의해 둘러싸여 있으며, 성숙한 정소는 초기 단계부터 정세포까지 고루 분포하고 있다. 간(소화선)은 일자형의 원통구조로서 결합조직과 근육조직을 가지고, 이 관은 선조연을 가지는 단층의 상피로 덮혀 있다. 간세

포는 haematoxylin에 염색되고, 수많은 공포상의 지방적을 가진다. 정상 간세포는 잘 발달된 미토콘드리아와 소포체 등을 가지는 반면에 비정상적인 세포는 세포 소기관의 파열과 탈락 현상이 관찰되었다. 피부는 상피층과 진피층으로 구성된다. 상피층은 단층으로서 원주형의 상피세포와 약간의 점액세포 등을 함유하며 진피층은 많은 색소박관들을 가진다. 아가미는 새엽과 새판으로 구성되고 상피세포와 점액세포 등을 관찰할 수 있다. 단층의 상피층은 핵을 가지는 편평형 상피와 구형이며 AB-PAS에 음성적인 반응을 보이는 점액세포를 구성된다. 위는 외부로부터 종주근층, 환상근층을 가지며, 잘 발달된 점막하층과 점막층으로 구성되는데, 점막층은 원주상피와 수 많은 산성의 분비세포를 함유 한다. 그리고 위의 내강표면에는 많은 주름을 관찰할 수 있다.

(2) 중금속

오징어에서의 중금속 농축에 있어서 성별, 크기별 영향은 나타나지 않았으나, 조직별 농축에 있어서는 뚜렷한 특성을 보여주었다. 분석되어진 3가지 중금속 (Cd, Cu, Zn)은 다른 조직들 (외투막, 아가미, 위, 난소, 정소 등)에 비해 모두 간에서 가장 높은 농도를 보여주었다. 세 원소 모두에서 가장 높은 농도로 축적되는 간 (liver, L)과 가장 낮게 축적되는 외투막 (mantle, M)에서의 농도비 (L/M)를 계산하면 아연 (중형, 대형 3.9, 3.9)과 구리 (74, 61)보다 카드뮴 (200, 310)은 외투막에 비해 간에 매우 집중적으로 축적되는 특징이 나타났다. 지역별 농도분포에 있어서는 조직별로 조금씩 다른 양상을 보였다. 특히 세 가지 중금속 모두에서 가장 높은 값을 보인 간에서 구리는 지역별 차이를 보이지 않았지만, 아연은 동해의 주문진해역(E)이 다른 서해해역 (YS)와 동해 포항해역 (EP)에 비해 낮은 값을 보여주었

고, 카드뮴은 YS지역이 EJ와 EP지역에 비해 훨씬 낮은 농도를 보여줌으로써 지역별 차이를 보여주었다.

(3) 유기오염물질

유기주석화합물을 제외한 대부분의 유기오염화합물들은 지방함량과 상당히 밀접한 관계 ($p < 0.01$)를 보여주었다. 그러므로 지방함량으로 환산되어진 농도를 사용하여 조직별, 크기별, 성별에 따른 차이를 비교하였다. 대부분의 화합물은 간조직에서 최대값을 보였으나, 지방함량으로 환산되었을 때에는 화합물에 따라 조금씩 다른 분포양상을 보여주었다. 농도값은 PAHs>BTs>DDTs>PCBs>CHLs>HCHs 순으로 나타났다. 지역별 농도분포에 있어서 외투막에서는 CHLs를 제외한 나머지 모든 POPs 화합물들은 서해에서 유의하게 높은 농도를 보여주었으며, 간에서는 CHLs와 DDTs만이 서해에서 유의하게 높은 값을 보여주었다.

(4) 중장기 모니터링 지침서

오징어의 1년 생애주기를 고려하여 5년 주기로 동해와 서해에서 10마리 이상 채집하여 중금속 및 유기오염물질을 분석한다. 조사대상의 중금속은 최소 카드뮴, 구리, 아연을 포함하도록 하고, 유기오염물질은 PCBs, DDTs, HCHs, PAHs, BTs로 한다. 조사 분석 개체수는 해역별로 20 마리 이상으로 한다. 오염물질의 농도에 미치는 성별 크기별 영향은 없는 것으로 판단되나, 가능한 동일시기 (성어기: 7-8월)와 동일한 크기 (외투막 길이 10 cm 이상)의 오징어를 대상으로 한다. 서해 주변 중국 연안에서의 산업 발전 속도를 고려하여 가능하다면 서해에서는 보다 짧은 주기의 시료 채집이 필요할 것으로 판단된다. 또한 채집되어진 모든 시료는 냉동 보관하여 차후 새로운 오염물질(불소 및 브롬화합물 등)의 조사에도 이용이 가능하도록 한다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

- (1) 육상에서 사용된 오염물질을 함유한 폐기물은 결국 해양으로 유입되므로, 외해 해양생물에 농축된 오염물질 농도의 감소 여부 및 정도는 국가에서 실시하는 환경 오염물질 배출 감소의 최종적 판단 근거로서 활용
- (2) 오징어는 1년생으로 생활주기가 짧고 동해, 서해, 남해까지 모든 지역에 채집되므로 해역별 오염정도 파악
- (3) 환경모니터링에 외해를 포함시킴으로써 연근해로부터 외해에 이르기까지 오염물질에 대한 모니터링시스템 구축 완성
- (4) 한국 외해역의 환경변화(해양폐기물 투기장 등)에 대한 기초자료로 활용
- (5) 수산물 안정성 평가에 이용

SUMMARY

I . Title

Biomonitoring using squid in Korean offshore

II . Necessity and Objectivity

Common squids (*Todarodes pacificus*), which is a species to have an 1 year life span and migrate around Korea peninsula, were analyzed for three metal (cadmium, zinc and copper) and persistent organic pollutants (26 organochlorine compounds, 21 polychlorinated biphenyls, 24 polycyclic aromatic hydrocarbons, 3 butyltins) in order to elucidate a specific accumulation of the heavy metals in various organs of squid with a different size and sex. In addition, it was needed the guideline on the long term monitoring using squid in Korean offshore

III. General Scope

- To select the specific species of squids for monitoring and the sampling area
- To know histophysiological characteristic of squid organs
- To check characteristic accumulation of contaminants in squid organs
- To biomonitor the contaminants using squid in Korean offshore
- To compile database of contaminants in squids
- To propose the guideline on the long term monitoring using squid in Korean offshore

IV. Results

(1) Histopathology

Ovary is characterized by an accumulation of mature eggs. The follicle cells proliferate and form a folded epithelium, which is surrounded by vascularized connective tissue. The mature testis is a compact mass. It contains spermatid as well as earlier sperm stages. Liver (digestive gland) is the largest gland of the cephalopod body. And it has a tubular structure and contains only little connective or muscular tissue. The tubules of digestive gland are terminally enlarged and covered with a single-layered cylindrical epithelium with a brush border. Liver consists of liver cells stained haematoxylin and a lot of lipid droplet with large vacuole. Normal liver cells contain well-developed mitochondria and reticulum etc. But abnormal cells of squid showed some ruptures and the breakdown of organelle. Skin of cephalopods consists of a transparent epidermis and underneath a dermal connective tissue layer. The epidermis consists of a single layer of columnar epithelial cells and some mucous cells etc. The dermal layer below the epidermis of the skin have a lot of pigment cells. Gill has primary filament and secondary filament (lamellae). The following cells are identified and described: epithelial cell and, mucose cell etc. Simple epithelial layer consists of squamous epithelium contained nucleus. Mucous cells were AB-PAS negative and globular in shape. The stomach has muscularis, which consists of longitudinal and circular muscular layers. And it has an undeveloped submucosa and a well developed muscularis mucosae. Its mucosa displays primay and secondary folds lined with a cuboidal or columnar epithelium and numerous acidic mucous secretory cells. The luminal surface of the

stomach has longitudinal folds. They are covered with a epithelium and contain numerous mucous cells.

(2) Metals

Common squids (*Todarodes pacificus*) collected from East Sea were analyzed for cadmium, zinc and copper in order to elucidate a specific accumulation of three heavy metals (Cu, Cd, Zn) in various organs of squid with a different size and sex and those difference in different offshore (East Sea and Yellow Sea) of Korean peninsular.

Sex and size of squid had no relationship with the concentration of heavy metals in various organs. Among the organs, liver revealed the highest level of all metals, while mantle showed the lowest concentration. Copper was detected higher in liver and gill than other metals due to the existence of hemocyanin containing copper in blood. Compared to copper and zinc, cadmium had the highest ratio (L/M) of the metal concentrations in liver versus mantle, even though it had the lowest level in all organs than other metals, representing that cephalopods constitute an important source of cadmium for cephalopod predator. In liver with highest metal concentration among four organs of squid, copper showed no difference among study area (EJ; Jumoonjin of East sea, EP; Pohang of East sea, YS; Yellow sea). However, zinc concentrations were lower in EJ than in EP and YS, while cadmium showed much lower concentration in YS than in EJ and EP.

(3) Persistent organic pollutants

Organic contaminants such as PCBs, DDTs, HCHs, CHLs, BTs, and PAHs were analyzed in the same samples above. Most of the organ-

ic compounds showed higher concentration in liver than the other organs. The levels of POPs was as follows; PAHs>BTs>DDTs>PCBs>CHLs>HCHs. Due to the redistribution of POPs to gonad of female squid, POPs concentrations in liver of male squid seemed to be higher than female squid. There was no relationship between size (body length) and OC concentrations. Although seasonal difference in POPs accumulation were observed, further study is more required to make sure the difference significantly. Except BTs, most POPs showed significant correlation with lipid content due to their high octanol-water partition coefficient. The composition of DDTs, HCHs and CHLs in liver of squid suggested that there is no current input source of POPs in this region. In mantle, most POPs except CHLs showed significantly higher concentration in Yellow Sea than in East Sea (Jumoonjin), while, in liver, only CHLs and DDTs showed higher concentration in Yellow Sea.

V. Application of the Research Outputs and Expected Effects

- (1) To use as scientific data to determine the reduction of discharge of contaminants from Korea peninsula to offshore
- (2) To know the status of contamination in Korean offshore as squid can be collected anywhere around Korea
- (3) To accomplish the biomonitoring system of contaminants from coastal area to offshore through the analyses of contaminants in offshore species, squids.

(4) To utilize as basic data to know the change on the contaminant status in dumping sites off Korean peninsula

(5) To use as basic data in food safety assessment

목 차

요약문	1
Summary	5
List of Tables	12
List of Figures	13
제 1 장 서론	15
제 1 절 개요	17
1. 연구목적	17
2. 연구 필요성 및 범위	17
제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보	21
제 1 절 기술개발 현황	23
제 2 절 국내외 과학기술 정보	23
1. 국내	23
2. 국외	25
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	31
제 1 절 실험방법	33
1. 오징어 채집 및 해부	33
2. 조직 관찰	36
3. 중금속 분석	39
4. 유기오염물질 분석	40
제 2 절 연구개발 결과	45
1. 오징어 실험대상 종 선정	45
2. 오징어 조직별리 특성	48
3. 중금속 농축 특성	59

4. 유기오염물질 농축 특성	76
5. 수산물 안정성 평가	98
6. 한국 외해역에서의 장기오염모니터링 지침서.....	101
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 기여도	105
제 5 장 연구개발 결과의 활용계획	109
제 6 장 참고문헌	113

List of Tables

Table 2-2-2-1. Concentrations of organochlorine compounds in cephalopods worldwide	25
Table 3-1-1-1. Information of squids used for this study	31
Table 3-1-4-1. Instrument and operating condition for analysis of organochlorine compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and butyltin compounds	40
Table 3-2-1-1. Distribution and physiological characteristics of the representative squids collected off Korean offshore	45
Table 3-2-3-1. Concentration of heavy metal in each organ of squid collected from East Sea	57
Table 3-2-3-2. Comparison of heavy metal concentration in squids according to species and geography	65
Table 3-2-3-3. Average and variation coefficients of metal concentration according to sampling area in each organ	70
Table 3-2-3-4. Significance level in the difference of metal concentration in organ between each sampling area	70
Table 3-2-3-5. Concentration and range of heavy metal in seawater around Korean peninsula	71
Table 3-2-4-1. Sample information and concentration of POPs in squid of East of Korea	74
Table 3-2-4-2. Average and standard deviation of POP concentrations	89
Table 3-2-4-3. Result of ANOVA using POP concentrations between East Sea (Jumoonjin) and Yellow Sea	89
Table 3-2-4-4. Spearman correlation in composition of PCBs and PAHs between East Sea (Jumoonjin) and Yellow Sea	93
Table 3-2-5-1. Comparison of Maximum Residue Limit of toxic metals in fishery products and seafood in different countries	95
Table 3-2-5-2. Comparison of Maximum Residue Limit of POPs in fishery products and seafood in different countries	96
Table 3-2-5-3. PTWI and PMTDI of toxic metals and POPs in Japan	96

List of Figures

Figure 2-2-2-1. Migration route of squid (<i>Todarodes pacificus</i>)	27
Figure 3-1-1-1. Sampling sites for squid (<i>Todarodes pacificus</i>)	30
Figure 3-1-2-1. Histological method	33
Figure 3-1-4-1. Schematic diagram of analytical procedure for organochlorine compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons	40
Figure 3-1-4-2. Schematic diagram of analytical procedure for butyltin compounds	40
Figure 3-2-2-1. The internal features the common squid, <i>Todarodes pacificus</i>	45
Figure 3-2-2-2. Photomicrographs of gonad in the common squid	46
Figure 3-2-2-3. Photomicrographs of liver of common squid	48
Figure 3-2-2-4. Electron micrographs of the liver of common squid	4
Figure 3-2-2-5. Photomicrographs of skin in mantle of common squid	51
Figure 3-2-2-6. The external features and photomicrographs of gill of common squid	52
Figure 3-2-2-7. Photomicrographs of stomach of common squid	54
Figure 3-2-3-1. Distribution of heavy metals in various tissue and organs in the squids with different size	58
Figure 3-2-3-2. Relationship between heavy metal concentration in liver and the size of squid	60
Figure 3-2-3-3. Correlation between copper and zinc concentration in all organs of squid	62
Figure 3-2-3-4. Comparison of metal concentration according to sampling area in each organ	67
Figure 3-2-4-1. Correlation between the concentrations of POPs and lipid content	73
Figure 3-2-4-2. Persistent organic pollutant concentration in various organs of squid with three different size	75
Figure 3-2-4-3. Composition of POPs in different organ and sampling area	83
Figure 3-2-4-4. Composition of POPs and their metabolites in various organs of squid	86

Figure 3-2-4-5. Comparison of POP concentrations between two sampling areas	90
Appendix 1. Data of metal concentration in all samples analyzed during this study	121
Appendix 2. POPs concentration in the different size of squid from East of Korea (2005)	129
Appendix 3. Data of POP concentration in all samples analyzed during this study (2006)	131

제 1 장 서 론

여 백

제 1 절 개요

1. 연구 목적

본 연구에서는 1년의 생활사를 가지면서 한국 연안의 특정 지역(서해, 동해)에 서식하고 회유하는 특성을 가진 오징어를 이용하여 외해에서 1년 주기의 오염현황을 파악하고, 기관별 조직변화특성을 조사하고자 한다. 이 자료는 앞으로 한국 외해역에서 주기적으로 실시하게 될 장기적인 오염모니터링을 위한 기준으로써 중요하게 사용되어질 것이다.

2. 연구 필요성 및 범위

1990년대 중반부터 해양환경에 대한 국민적 관심이 증가됨에 따라, 국내 인근해역을 대상으로 TBT 등의 난분해성 유기오염물질에 대한 연구가 시작되어 해양수산부(2001, 2002)와 과학기술부(2004)등에 의해 전국연안에서의 지속성 오염물질(Persistent organic pollutants, POPs)의 오염실태 및 내분비계 장애물질이 연안생태계와 유용수산자원에 미치는 영향 등에 대해 면밀한 조사가 이루어졌다. 또한 그 외 대학이나 연구기관을 통해 연안퇴적물에서의 저서생물 및 연안에서 채집된 생물종을 이용한 오염물질의 모니터링을 통해 해수나 퇴적물 및 다양한 해양생물의 오염 현황 및 인간 건강에 미치는 영향에 대해서는 예를 들 필요없을 만큼 상당히 많은 연구가 이루어져 왔다.

하지만, 국내에서는 연안지역에 대해서는 손쉽게 구할 수 있는 양식 생물종이나 전국 연안에 폭넓게 서식하는 대표 생물종을 대상으로 하여 상당한 연구가 진행되었던 것에 비해, 외해에서는 대표종 선정에 관한 검토조차 이루어지지 않았으며 외해역에 대한 중장기 오염물질 모니터링은 전혀 실행되지 않았다.

국내와는 다르게 해외에서는 외해역에서의 POPs의 분포와 축적 특성에 대한 연구를 위해서 두족류, 어류, 포유류 등의 다양한 해양생물들이 모니터링 종으로서 이용되어져 왔다 (Butty and Holdway., 1997; de Brito et al., 2002; Perugini et al., 2004; Storelli et al., 2006; Tanabe et al., 1994a; Ueno et al., 2003a, 2003b; Yamada et al., 1997). 이러한 환경모니터링을 위한 생물지시자로 사용되어지는 두족류는 시료의 채취가 용이하고, 아가미로 호흡하기 때문에 주위 해수의 농도를 빨리 반영하는 특성을 가지고 있다 (Tanabe et al., 1984). 또한 두족류(cephalopod)는 일반적으로 짧은 생활사와 높은 성장률을 보여주고(Boyle and Knobloch., 1982; Danis et al., 2005), 갑각류, 어류 그리고 동족의 다른 개체를 먹이로 하기 때문에 연체동물 중 높은 영양단계에 속하며, 특히 물질대사의 중요한 역할을 하는 기관(Boucaud-Camou and Boucher-Rodoni., 1983)인 간은 지방을 많이 함유하고 있어 다른 조직에 비하여 오염물질의 농도가 높게 나타나는 것으로 알려져 있다 (Ueno et al., 2003a Yamada et al., 1997). 그리고 두족류는 해양 포유류(Clarke, 1996; Santos et al., 2001), 바다새(Croxall and Prince., 1996) 등의 먹이생물로서 해양의 영양단계에서 중요한 위치에 있고 해양에 서식하는 가장 상위의 포식자에게 잠재적 위해성이 있는 오염물질을 전달하는 매개동물로서 중요한 역할을 담당하고 있다(Bustamante et al., 1998; Weisbrod et al., 2000, 2001; Karri et al., 2006). 이러한 이유로 인해 외국에서는 외해 모니터링과 수산물에 대한 오염물질의 오염실태 조사를 위해 오징어가 일부 사용된 예가 있으며(Karl et al., 2002; Perugini et al., 2004), 일본의 경우 1년생인 오징어를 해양오염의 좋은 지표생물종으로 선택하여 일본 연안 및 태평양에서의 유기오염물질 모니터링을 실시하여 오염실태 조사에 이미 적극적으로 활용하고 있다 (Yamada et al., 1997; Sato et al., 2000;

Ueno et al., 2003).

한편, 급속한 경제성장을 보이고 있는 중국의 경우 오염물질의 배출량에 있어서 급격한 증가가 예상되고 있다. 그러므로 한반도 주변 외해역에서의 모니터링은 향후 중국의 경제성장에 따른 황해에서의 오염수준의 변화를 알아볼 수 있는 좋은 근거자료가 될 수 있을 것이다.

그러므로 본 연구에서는 최근 들어 동해뿐만 아니라, 서해에서도 어획량순위에 있어서 상위에 포함되고, 1년 주기를 가져 매년 주기적인 모니터링을 통해 외해 오염정도를 감시할 수 있는 오징어를 대상으로 생물농축성과 독성으로 그 피해가 알려진 중금속들과 여러 유기오염물질에 대해 조직별, 크기별, 성별 농축특성을 조사한 후 한반도 주변 해역별 오염차이를 조사하고자 하였다. 또한 향후 오염물질의 농축에 의해 오징어 기관의 조직에 있어서 변화유무를 알아보기 위해 조직별로 대표적인 조직 특성에 대해 조사하였다.

여 백

제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보

여 백

제 1 절 기술개발 현황

분석기술에 있어서는 서구 선진국에 비견할 수 있을 만큼 국내 여러 기관(국립수산과학원, 한국해양연구원 및 몇몇 대학)에서 화학적 전처리 기술과 기기분석에 필요한 장치 및 운영노하우를 보유하고 있다. 또한 산출자료에 대한 질(quality)을 나타내기 위해 국제적으로 인증된 다양한 표준시료(Certified Reference Material, CRM)를 가지고 QA/QC를 수행하고 있다. 그러므로 모니터링을 위해 자료를 산출하기 위해 해외까지 나갈 필요 없이 국내의 연구자들과의 교류를 통해 연구 목표를 달성할 수 있으므로, 추가의 기자재 구입이나 기술도입은 필요하지 않다.

제 2 절 국내·외 과학기술 정보

본 연구의 조사항목에 포함된 중금속과 유기오염물질들의 구조, 물리화학적 특성 및 생물독성 영향에 대해서는 Tanabe and Subramanian (2006), 김희갑 (2002), 해양수산부(2001, 2002, 2004) 등의 여러 문헌에 자세히 언급되어 있으므로 본 보고서에는 수록하지 않았다.

1. 국내

우리나라는 1990년대 후반에 들어오면서 토양뿐만 아니라, 연안퇴적물 및 생물에 이르기까지 다양한 시료 중에서의 유기오염물질을 분석하여 잔류실태를 파악하였다 (해양수산부, 2001, 2002; 과학기술부, 2004; Kim et al., 1999; Kim and Smith, 2001; Kim et al., 2002; Moon et al., 2001; Moon et al., 2003; Nam et al., 2003; Yim, 2003). 하지만, 이들 연구는 국내의 육상 및 연안에 국한되어 외해에까지 관심을 가진 일본을 비롯한 해외의 연구와는 차이를 보여준다 (Yamada et al., 1997; Sato et al., 2000; Ueno et al., 2003; Perugini et al., 2004). 해외에서의 오징어를 이

용한 연구는 외해지역에서 잡힌 오징어를 연안과 외해로만 나누어 연안에서의 심각한 오염현황만을 제시하는데 그쳤다. 이들 연구에서는 오징어의 성장단계에 따라 일정지역에서만 서식하는 특성을 이용한 외해의 지역간 비교를 실시하지 않았으며, 또한 성장단계에 따른 오염물질의 농축정도를 파악하지 않아 과연 1년간 성장하면서 얼마나 많은 양의 오염물질이 축적되는지에 대한 조사가 이루어지지 않았다. 최근 들어 국립수산과학원에서 해양수산물의 안정성평가를 위해 내분비계 교란물질의 위해성을 조사하기 위해 많은 종의 수산물에서 POPs 분석을 수행하고 있지만, 오징어 시료에 대해서는 다른 수산물과의 비교를 위해서만 분석이 이루어졌을 뿐이다.

국내에서 오징어에 대한 주요 연구로는 다음과 같다. 주요먹이생물은 어류이지만 그 외 두족류, 갑각류, 해조류 등도 위내용물 분석에서 출현한다(김과 강, 1998). 보통 표층에서 수심 100 m까지 분포하나 간혹 500 m 이상의 수심에서도 포획되는 경우가 있다(Park et al., 1999). 국내 연구에서는 오징어에 대한 생리 연구는 미흡하게나마 되어 있으나, 오염물질의 잔류실태에 대한 연구나 보고는 수산물 중 오염물질 잔류실태 조사의 일환으로 수산물 시장에서 구입된 오징어에서 1차례 분석된 예가 있으며, 전세계 8개국 TBT 오염평가지 표영무척추동물 항목으로 오징어가 포함되어 체내 TBT 잔류량이 1차례 분석된 예만 있을 뿐이다(해양수산부, 1998).

2. 국외

가. 생리

오징어의 성 성숙단계에 있어서 수컷이 암컷보다 빨리 성숙된다. 따라서, copulation (짝짓기)과 spawning (산란)사이에는 1-3개월 정도의 time lag가 있다 (Hamabe et al., 1974). 원인은 알 수 없으나 ‘살오징어’의 외투막 (mantle) 자체의 기형개체 (Takami, 1991)와 외투에서 별도의 기형적 부속지가 생겨나는 기형개체 (Kasahara & Okiyama, 1974)가 보고되어 있다. 서로 다른 산란시기를 가지는 3개의 계군으로 나누어진다는 연구결과 (Murata et al., 1973; Kim et al., 1997)가 있으나 현재 진행 중인 공동연구자의 연구결과에서는 이들 ‘3개의 계군’이 명확히 구분되지 않는 것으로 나타나고 있으며 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 생각된다. 전 세계 두족류 총 어획량 (30개 과에 속하는 약 500여종의 두족류가 어획 대상임)의 50-80%를 ‘살오징어’가 차지한다 (Murata, 1983). 자연상태에서 암수의 비율이 거의 1:1을 나타내고 있다 (Ito et al., 1965). 지금까지 알려진 주 산란장은 동중국해 (Araya, 1976)이지만 현재 공동연구자가 포함된 연구그룹의 연구결과에서는 우리나라 제주도 인근 지역을 포함하는 지역까지 산란장이 확대되어 있을 것으로 추정되고 있다. 회유시 가장 빨리 이동하는 개체들은 하루에 약 46 km 정도를 이동할 수 있다 (Kawana et al., 1970). Ish et al. (2004)의 보고에 따르면 오징어 (*L. opalescens*)는 대부분 외해에 서식하다가 산란시기에 3-180 m 깊이의 산란장으로 이동하며, 180-350개 알을 포함한 알덩어리를 낳고 3-5주 후 2.5-3mm 크기의 유생으로 부화된다고 하였다. 또한 충분히 성숙되었을 때에는 암컷의 경우 총 무게의 25-50% 정도가 생식기관이 차지한다. 알로부터 250일까지 생육시킨 보고가 있으며, 부화 후 173일부터 산란하기 시작하였다.

나. 오염물질 잔류농도

Weisbrod et al.(2001)은 해양포유동물의 체내에 축적된 유기염소계화합물의 잔류농도정도를 알아봄과 동시에 그 먹이생물인 오징어에서도 분석을 실시하여 생물농축정도를 조사하였다. Karl et al.(2002)와 Perugini et al. (2004)는 각각 독일과 아드리해에서 채집된 수산물중의 다이옥신과 PCBs등의 유기오염물질을 분석하였다. 이 때 오징어도 분석에 포함되었으며, 다이옥신 농도는 9.003 ng/kg fat weight (TEQs)였고, PCBs는 1.69-3.08 ng/g wet weight였다. 이들 국가와는 다르게 일본에서는 오징어만을 대상으로 하는 본격적인 모니터링 조사가 이루어졌다. 동경수산대학의 Sato et al.(2000)에 의하면 살오징어 (*Todarodes pacificus*)에서의 유기염소계화합물의 농도는 해수중의 농도와 비례하는 관계를 보여 오징어중의 잔류농도로부터 해수농도를 예측할 수 있다고 하였다. Yamada et al. (1997)는 세계최초로 연안과 외해(태평양 북동해역)에서 채집된 오징어에서 TBT, TPT, 및 PCBs를 이들 오염물질들의 오염원이 연안에 존재함을 뚜렷이 보여주었다. 또한 해수중의 농도를 측정하여 TBT의 경우 생물농축정도가 18,000-101,000배에 이른다고 보고하였다. 에히메대학의 Tanabe 교수연구팀의 연구결과(Ueno et al., 2003)에 의하면 일본 연안에서 채집된 오징어에서 PCBs의 농도가 5,600 ng/g fat weight에 이른다. 또한 그 외 유기염소계살충제 (DDTs, HCHs) 또한 수백 ng/g fat weight에 이르며, 해수로부터의 생물농축정도가 각각 4,300,000과 4,000배에 달한다고 보고하였다. 오징어에서 유기염소계 화합물에 대한 조사는 PAHs와 BTs에 비해 많이 이루어졌으며, 대표적인 연구자료를 모아 Table 2-2-2-1에 정리하였다.

Table 2-2-2-1. Concentrations (ng/g lipid wt) of organochlorine compounds in cephalopods worldwide

Location	Species	Year	Organs	Σ DDT ^a	Σ PCB ^a	Σ CHL ^a	Σ HCH ^a	Reference
Central Adriatic Sea	European flying squid (<i>Todarodes sagittatus</i>)	2002	Edible tissue	116~130	249~386			Perugini et al. (2004) ^c
	Common cuttle fish (<i>Sepia officinalis</i>)			nd	178~182			
Adriatic Sea	Broadtail squid (<i>Illex coindetii</i>)	-	Liver	305~1017 (573.1)	338~1287 (721.4)			Storelli et al. (2006) ^d
	Horned octopus (<i>Eledone moschata</i>)			29~1755 (231.2)	370~2444 (709.2)			
	Spider octopus (<i>Octopus alutii</i>)			66~874 (297.2)	432~1103 (667.3)			
Japan Sea	Common squid (<i>Todarodes pacificus</i>)	1991-1993	Liver					Yamada et al. (1997) ^e
Seto Sea	Golden cuttle fish (<i>Sepia esculenta</i>)			50~310 ^b				
East China Sea	White cuttle fish (<i>Sepioteuthis lessoniana</i>)							
West of Japan				320-1300 (650)	540-1900 (730)	68-310 (125)	34-140 (91.3)	
East of Japan	Common squid (<i>Todarodes pacificus</i>)	1997-2001	Liver	54-120 (95.5)	200-290 (210)	32-64 (53.5)	12-64 (32.5)	Ueno et al., (2003a) ^f
Sagami bay				340-940 (600)	730-5600 (2450)	150-530 (305)	5.3-10 (7.8)	

^a : The mean concentration of OCs is presented in parenthesis.. ^b : wet weight basis concentration.

^c : Σ PCB = sum of CB28, 52, 101, 118, 138, 153 and 180, Σ DDT = sum of *p,p'*-DDE, *p,p'*-DDD, *p,p'*-DDT, *o,p'*-DDT

^d : Σ PCB = sum of CB 8, 20, 28, 35, 52, 60, 77, 101, 105, 118, 126, 138, 153, 156, 169, 180 and 209

Σ DDT = sum of *p,p'*-DDT, *p,p'*-DDE, *o,p'*-DDD, *p,p'*-DDD, *o,p'*-DDT

^e : Σ PCB = 85 peaks including 117 major congeners and isomers (Tanabe et al., 1994b)

^f : Σ PCB = 85 peaks including 117 major congeners and isomers (Tanabe et al., 1994b), Σ DDT = sum of *p,p'*-DDT, *p,p'*-DDD, *p,p'*-DDE

Σ CHL = sum of *trans*-chlordan, *cis*-chlordan, *trans*-nonachlor, *cis*-nonachlor, oxychlordane, Σ HCH = sum of α -, β -, γ -HCH

다. 해외 연구에서의 문제점

기존의 해외연구는 대부분 암수차이나 연령별 차이, 및 회유지역에 대한 고려가 되지 않았다. 이에 본 연구에서는 잔류농도에 영향을 미칠 생물요인을 고려하여 이 요인에 의한 차이를 1차년도에 파악한 후 이들 요인의 영향을 제거한 후 해역별 오염정도를 파악하고자 하였다. 또한 다른 연구에서는 연안, 외해 혹은 상당히 떨어진 해역 및 서로 다른 종들을 가지고 농도 비교하였다. 그러므로 종별 특이성 (산란지, 서식지, 섭식 습성 등)에 의해 오염물질의 농도가 크게 달라질 수 있어 오징어에 축적되어진 오염물질의 농도가 해역에서의 오염상황을 나타내는지에 대해 확신할 수가 없었다. 하지만 본 연구에서는 채집되어진 오징어는 모두 동중국해에서 산란하여 동해와 서해로 올라와 서로 떨어진 해역에서 성장기를 거친 후 다시 산란장소로 돌아가 산란과 동시에 생애를 마치는 것으로 알려져 있다 (Figure 2-2-2-1). 그러므로 이 종은 동일한 산란장소를 가지고 있으므로 성숙기에 접어들어 채집된 오징어에서의 체내 오염물질 농도는 1년 이내에 오징어가 채집되어진 다른 해역에서의 오염정도를 누적하여 나타낸 것으로 생각되어지므로, 한국에서 오징어는 외해 모니터링에 가장 적합한 종으로 판단되었다.

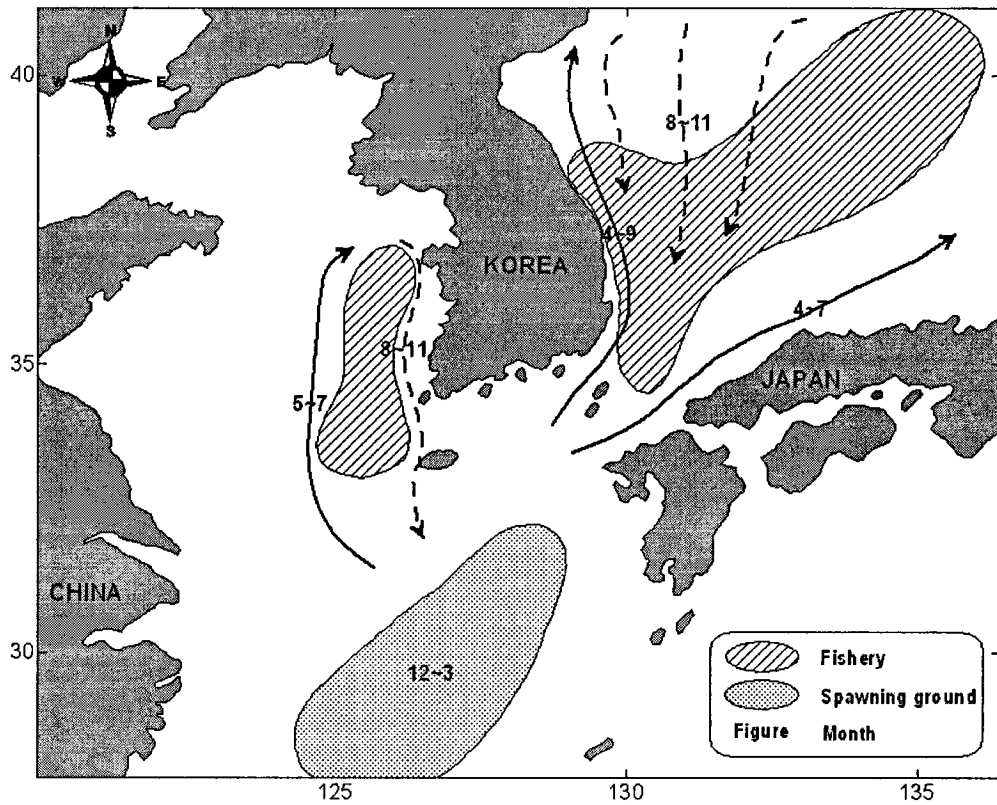


Figure 2-2-2-1. Migration route of squid (*Todarodes pacificus*)

여 백

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

여 백

제 1 절 실험방법

1. 오징어 채집 및 해부

2005년 7월과 10월에 걸쳐 동해안 (부산 앞바다, 대마도 앞)에서 트롤을 이용하여 살오징어 30마리를 채집하였다. 채집 즉시 냉장상태로 실험실로 이동하여 전체 길이와 각 기관별 무게를 측정하고 조직관찰을 위한 조직 일부를 채취한 후 냉동 보관하였다. 이들 시료를 이용하여 조직별, 크기별, 성별 오염물질의 분포 특성을 조사하였다.

2006년 8월 서해 안흥항 (20마리, 채집장소; 충남 신진도항 서쪽 70마일 해상)과 동해 주문진 (20마리, 동해 주문진에서 울릉도 방향 30마일 해상) 그리고 11월 동해 포항(호미곶과 포항제철 사이, 20마리) 앞에서 오징어 어선에서 살아있는 상태로 직접 구매한 후 실험실에 옮겨 1차년도와 같이 해부를 실시하였다. 채집 장소는 Figure 3-1-1-1에 그리고 오징어의 생물학적 정보는 Table 3-1-1-1에 나타내었다.

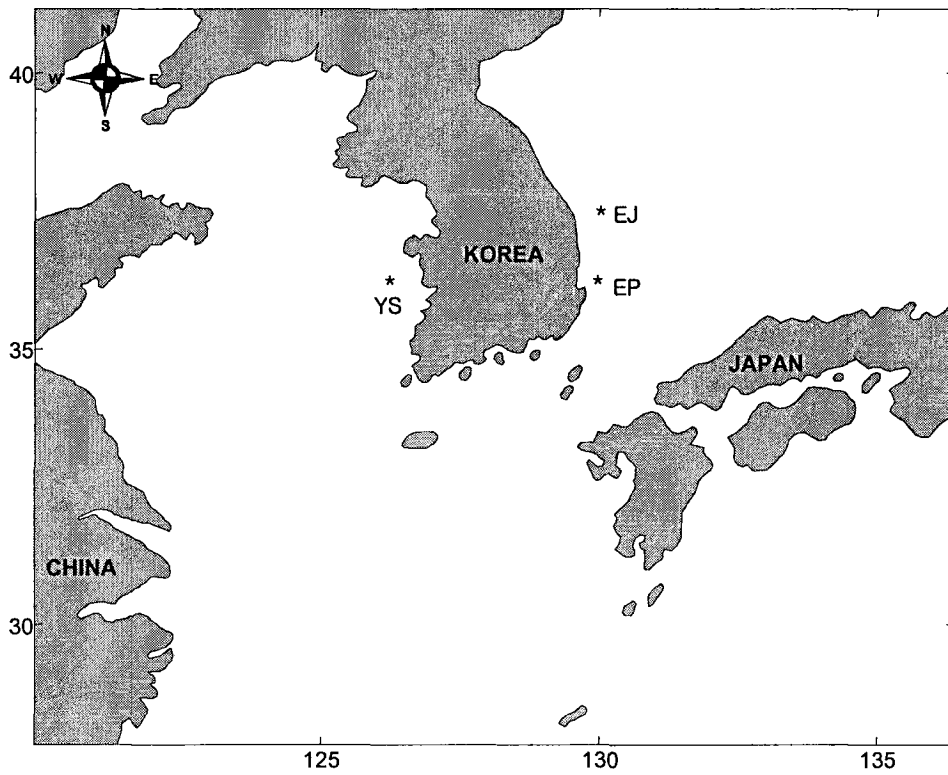


Figure 3-1-1-1. Sampling sites for squid (*Todarodes pacificus*)

Table 3-1-1-1. Information of squids used for this study

Area	Size	Mantle length(cm)	No. of sample	No. of male/female	Tissue analysed
East Sea	Small	7.3 (6.0~10.5)	20	no discrimination	mantle, whole body
(Busan/Daema-do)	Middle	21.8 (20.5~22.3)	10	M : 7 F : 3	mantle, liver, stomach, gill, ovary, testis, nidamental gland
	Large	25.4 (24.0~29.5)	10	M : 3 F : 7	mantle, liver, stomach, gill, ovary, nidamental gland
Yellow Sea		M:22.98 (21~24.3) F:23.95 (22.3~26.6)	20	M : 9 F : 11	mantle, liver, stomach, gill
(Taeon)					
East Sea		M:22.56 (21.7~23.5) F:25.25 (22.7~26.7)	20	M : 12 F : 8	mantle, liver, stomach, gill
(Jumoonjin)					
East Sea		M:22.65 (21~23.5) F:25.25 (22.7~26.8)	20	M : 12 F : 8	mantle, liver, stomach, gill
(Pohang)					

2. 조직 관찰

오징어 개체의 5개 기관을 육안관찰, 해부현미경 (Olympus SZH 10)에 의한 분석 및 디지털 카메라에 의한 사진촬영을 실시하였다.

조직관찰을 위한 절차는 Figure 3-1-2-1에 나타내었다. 조직현미경 관찰용 각 기관의 조직표본을 제작하기 위하여 먼저, 오징어를 해부하여 각 기관의 해부학적 특성을 관찰한 후, 충분한 양의 Bouin's solution이나 10% 중성포르말린 용액을 사용하여 실온에서 고정한다. 일차고정(primary fixation)이 끝난 조직 시료는 안정시킨 후 적당한 크기의 조직절편을 채취하여 동일하게 제조된 신선한 고정액에 옮기고 일정 시간동안 이차고정(additional fixation)을 실시한다. 수세과정(washing procedure)을 통해 조직에서 여분의 고정액을 제거한 다음, 알코올 농도 상승순의 용액을 사용하여 조직 내부의 수분을 제거한다. 이어서 Xylene이나 Toluene 등의 유기용매를 사용하여 조직을 투명화(clearing process)시키고, 파라핀을 침투시켜 조직을 포매(embedding)한다. 포매 된 조직은 마이크로톰(microtome)으로 4~6 μ m 두께로 연속 절편을 제작한다. 제작된 조직 절편은 탈파라핀(deparaffin)하고 친수화 처리를 거쳐 통상적인 조직학적 염색(H & E 염색)을 시행한다. 한편, 점액세포의 종류와 분포, 그리고 점액물질의 성질을 확인하기 위하여 AB-PAS 반응법을 사용하였는데, 이 반응에서 산성 점액물질은 푸른색으로 반응하며 중성 점액물질은 붉은색으로 반응하였다. AB-PAS 반응의 과정은 우선 조직 표본을 xylene 용액에서 파라핀을 제거한 후 알코올에서 저농도순의 단계로 친수과정을 거쳤다. Alcian-blue에서 약 5분간 반응시키고 0.5% periodic acid에서 약 5분간 산화과정을 거쳐서, Schiff 시약에서 약 10분간 반응시킨 후 bisulfite용액에 옮겨 수돗물에 수세하였다.

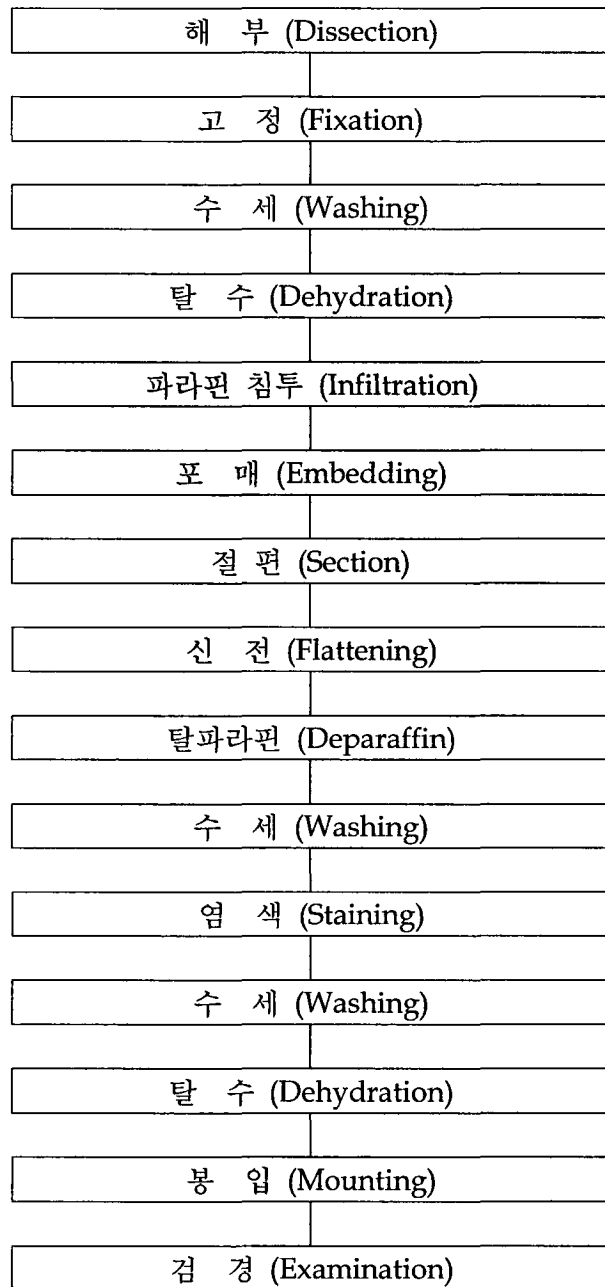


Figure 3-1-2-1. Histological method

그리고 Mayer's hematoxylin으로 핵염색을 실시한 후 알코올에서 고농도순으로 탈수과정을 거쳐 xylene에서 투명과정을 거친 후 Canada balsam으로 봉입하였다.

투과전자현미경 (TEM)의 조직표본 제작은 적출한 간 조직을 1 mm³ 내외 크기로 얇게 자른후 0.1M phosphate buffer (pH 7.2)로 완충시킨 2.5% glutaraldehyde 용액으로 4℃에서 2~4시간 동안 전고정하였다. 고정된 조직 절편은 phosphate buffer로 약 10분간 충분히 세척한 후 1% osmium tetroxide (O₅O₄)로 4℃에서 2시간 동안 후고정 하였다. 고정이 끝난 조직은 0.1M phosphate buffer로 세척하고 ethanol을 이용하여 실온에서 15분 간격으로 단계별로 탈수하여 Epon 812에 포매하였다. 포매된 조직은 두께 0.5 μm의 semithin section과 70 nm의 ultrathin section을 하였다. Ultrathin section은 copper grid (200 mesh)에 올려 uranylacetate와 lead citrate 용액으로 이중염색하여 투과전자현미경 (JEM-1200EXII, JEOL)으로 관찰하였다.

3. 중금속 분석

냉동보관되어진 시료를 -80°C 에서 동결건조시킨 후 막자사발을 이용하여 분말화시켰다. 추출방법은 Canli and Atli (2003) 분석법을 약간 변형하여 사용하였다. 건조시료 약 0.2g을 정확히 측정하여 중금속 분석용 고순도 질산(Merck, Germany)과 과염소산(Merck, Germany)을 각각 5ml, 1ml씩 첨가하여 왕수와 질산용액에서 미리 세척되어진 테프론용기(Teflon bomb)에서 밀폐시켜 180°C 에서 2시간 추출하였다. 이 때 용액이 완전히 투명하게 되지 않았을 때에는 과염소산을 소량 더 첨가하여 용액이 투명해질 때까지 반복하였다. 추출이 끝난 시료는 첨가되어진 산용액을 증발시킨 후, 0.1N 질산을 이용하여 고밀도 폴리에틸렌병(HDPE)에서 최종 부피 10ml로 희석한 후 유도결합플라즈마 발광분석기(ICP-AES, Optima 4300DU, Perkin Elmer, 한국기초과학지원연구원)를 이용하여 정량정성 분석하였다. 매 실험마다 2개의 표준시료(Dolt-3, Tort-2, National Research Council Canada) 및 2개의 바탕시료를 오징어 시료와 동일한 조건에서 분석하였다. 카드뮴, 구리 및 아연의 표준시료 평균회수율은 각각 88%, 82% 그리고 64%였다. 특히 아연의 경우, 낮은 회수율로부터 중금속 추출이 완벽하게 이루어지지 않은 것으로 판단되었지만, 표준시료에서의 회수율을 이용하여 오징어 시료에서의 농도를 보정하지는 않았다.

4. 유기오염물질 분석

가. 유기염소계화합물, 다환방향족탄화수소화합물 분석

살오징어 체내 유기염소계화합물의 분석은 크게 다음의 4단계로 이루어 진다: 1) 용매추출 2) 실리카알루미나 크로마토그래프 3) HPLC 정제 4) 기기분석. 분석방법을 Figure 3-1-4-1 에 나타내었다.

동결 건조된 오징어 시료를 450℃에서 활성화 시킨 무수황산 나트륨 50 g과 혼합하여 수분을 제거한 뒤 200 ml 디클로르메탄으로 16시간 동안 속실텐(Soxhlet) 추출한다. 추출 전 대상분석화합물에 대한 내부표준물질을 시료에 첨가하여 회수율을 구하는데 사용하였다. 추출된 디클로르메탄 10 ml 을 분취하여 지방함량을 측정하는데 사용하고, 나머지는 농축기로 2-3 ml 수준으로 농축한 뒤 실리카알루미나 컬럼크로마토그래프 정제과정을 거친다. 무수황산나트륨 10 g, 알루미나 (1% 수분함량) 10 g, 실리카겔 (5% 수분함량) 20 g, 무수황산나트륨 10 g 순으로 컬럼에 충전시킨 뒤, 추출액을 컬럼의 상부에 넣어주고 100 ml 디클로르메탄으로 용출시킨다. 용출액을 농축기를 이용하여 약 1 ml 로 농축을 한 후, HPLC 정제를 한다. HPLC 검정용액으로 머무름시간을 점검한 뒤 시료주입부에 시료를 주입하여 지정한 시간대의 분액을 받는다. 이때 사용되는 이동상으로 디클로르메탄을 사용한다. 정제가 끝난 후 용출액은 농축기로 농축한 후 노르말헥산으로 용매를 치환한다. 용매치환된 시료는 질소가스하에서 0.5 ml 로 농축시킨 후 기체크로마토그래프 내부 표준용액을 첨가하고 와류혼합기로 수초간 섞어준 후에 가스크로마토그래프 바이알에 옮겨 유기염소계화합물과 다환방향족탄화수소화합물을 GC-ECD와 GC-MS로 분석한다. 가스크로마토그래피의 검출조건은 Table 3-1-4-1에 나타내었다.

나. 유기주석화합물 분석

살오징어 체내 유기주석화합물의 분석은 Shim (2000a)의 방법을 따랐으며, 정성·정량 분석하는 과정은 크게 다음의 5단계로 이루어졌다 (Figure 3-1-4-2) : 1) 시료의 산처리 (acid digestion), 2) 용매추출 (solvent extraction), 3) 유도체화 (derivatization), 4) 정제 (clean-up), 5) 기기분석 (instrument analysis).

동결 건조된 오징어 시료를 50ml 폴리프로필렌 원심분리관에 0.5~2g씩 담아 유기주석화합물을 분석하는데 사용하였다. 시료가 담긴 원심분리관에 내부표준물질로서 triphenyltin (0.8 μg as chloride)을 넣은 후 50% (v/v) 염산을 10ml 넣어 30분간 방치한다. 방치가 끝나면 0.1% tropolone이 함유된 dichloromethane을 20ml 넣고, vortex로 섞은 후 3시간 동안 흔들어준다. 추출된 시료는 4000rpm에서 10분간 원심분리 시킨 후 2ml의 유기용매층을 15ml 유리 시험관에 옮겨 담는다. 시험관의 추출액은 질소가스 아래에서 25 μl 로 농축될 때까지 용매를 날려보낸 후 n-헥산 2ml을 넣어 용매를 치환한다. 여기에 2M propylmagnesium bromide를 250 μl 넣고 15초간 vortex로 섞어주고 20분간 방치한다. 0.4N 황산을 4ml 첨가하여 반응하지 않은 propylmagnesium bromide를 중성화시킨 후에 4000rpm에서 10분간 원심분리한 후 유기용매층을 4ml의 n-헥산을 사용하여 12g 활성 플로리실 컬럼에 통과시킨다. 정제된 시료는 질소가스 아래에서 용량을 수 μl 정도로 농축시킨 후, 내부표준물질로 tetrabutyltin (40 μg)을 넣고 GC-FPD (gas chromatograph - flame photometric detector)로 분석한다. 가스크로마토그래피의 검출조건은 Table 3-1-4-1에 나타내었다.

Table 3-1-4-1. Instrument and operating condition for analysis of organochlorine compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and butyltin compounds

Organochlorine compounds

- Column : DB-5 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm Film)
 - Temperature Program :
100°C [5°C/min, 1min] → 140°C [1.5°C/min, 1min]
→ 250°C [10°C/min, 1min] → 300°C [5min]
 - Detector temp. : 300°C
 - Injector temp. : 275°C
 - Carrier gas : 1.2 ml/min for He
 - Make-up gas : 40ml/min for Argon:Methane(95:5)
 - Injection port temp : 300°C
 - Injection mode : splitless
 - Injection volume : 2 μl
 - Detector : Electron capture detector
-

Polycyclic aromatic hydrocarbons

GC condition

- Column :DB-5MS (30 m ×0.25 mm × 0.25 μm Film)
- Temperature Program :
Initial @60 °C (2 min)
Ramp (6 °C/min to 300 °C)
Final @300 °C (13 min)
- Carrier gas : He 1.0 ml/min
- Injection port temp. : 300°C
- Injection mode : splitless
- Injection volume : 2 μl

MS condition

- Interface temp. : 280 °C
 - Scanning range : 30~300 amu, 2cycle/sec
 - Ionization voltage : 70 eV
 - Monitoring method : Selected Ion Monitoring
-

Table 3-1-4-1 (continued)

Butyltin compounds

- Detector : Frame photometric detector equipped with a tin mode filter for 610 nm
 - Column : DB-5 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm Film)
 - Injection :
splitless (splitter closing time: 1min), Volume - 2 μl
 - Gases rate :
 - Helium (carrier gas & make up gas) 35ml/min
 - Hydrogen 170ml/min
 - Air 100 ml/min
 - Column head pressure - 28 psi
 - Oven program :
 - Injector 250 °C, Detector 225 °C
 - Initial temperature 50 °C (held for 2min)
 - then 10 °C/min to 150 °C (held for 2min)
 - then 10 °C/min to 280 °C (held for 3min)
-

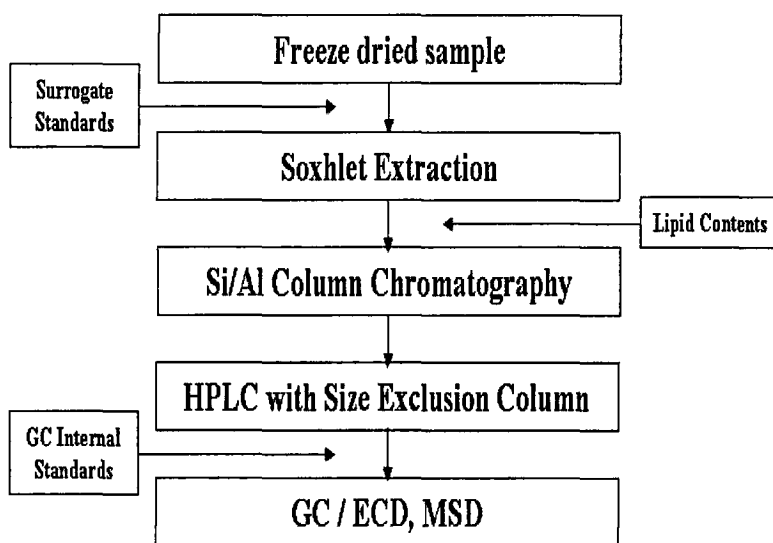


Figure 3-1-4-1. Schematic diagram of analytical procedure for organochlorine compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons

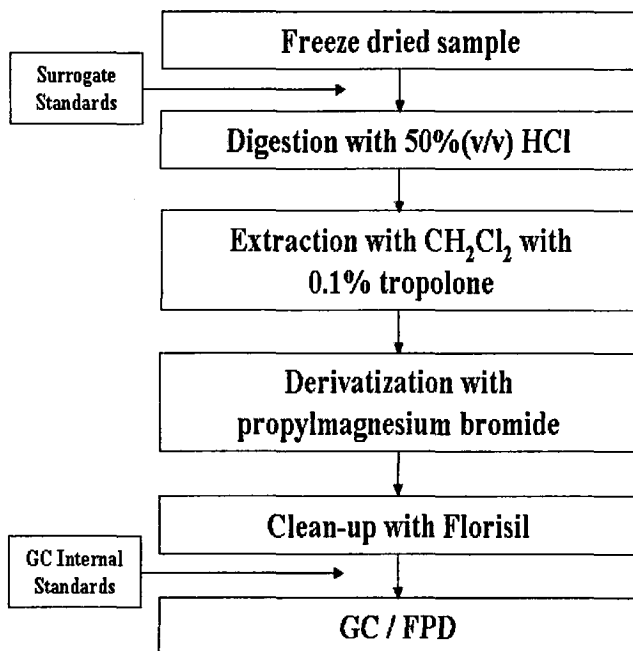


Figure 3-1-4-2. Schematic diagram of analytical procedure for butyltin compounds

제 2 절 연구개발 결과

1. 오징어 실험대상 종 선정

한국외해역에서의 오염모니터링을 위한 실험대상 오징어의 종 선정을 위해 해양연구소(해양연구소, 1990)에서 출판된 ‘한국산 두족류에 관한 연구(1)’ 문헌을 조사하였다. 이 보고서에 자세히 기록된 두족강(Class Cephalopoda)는 총 29종이며 (Table 3-2-1-1), 이 강에는 10개의 다리를 가지는 갑오징어목(Order Sepiodea)과 살오징어목(Order Teuthoidea) 그리고 8개의 다리를 가지는 문어목(Order Octopoda)의 3 목이 포함된다.

촉수주머니가 있는 갑오징어목에는 몸통내부에 석회질의 갑 유무에 따라 갑오징어과(Family Sepiidae)와 귀오징어과(Family Sepiolidae)가 있으며, 촉수주머니가 없는 살오징어목에는 눈이 안막으로 덮여있는 유무에 따라 폐안아목(Suborder Myopsida)와 개안아목(Suborder Oegopsida)으로 나누어진다. 폐안아목은 다시 촉수주머니 중앙부에 4열의 흡판이 있는 꼴뚜기과(Family Loliginidae)가 있으며, 개안아목에는 다리에 갈고리가 있으면 매패오징어과(Family Enoploteuthidae), 없으면서 지느러미 길이가 몸통길이의 60%가 안 되는 살오징어과(Family Ommastrephidae), 80%를 넘는 지느러미오징어과(Family Thysanoteuthidae)가 있다.

한국외해역의 오염모니터링을 위해서는 전국연안에서 채집이 가능해야 하므로 이 조건에 적합한 것은 쇠갑오징어, 참꼴뚜기와 일본꼴뚜기, 살오징어 그리고 지느러미오징어 등 5 종류가 있었다. 이 중 꼴뚜기과에 속하는 2 종은 너무 작아 향후 조직별 조사를 시행하는 데 어려움이 있을 것으로 예상되고 또한 서식지가 연안으로 되어 있어 본 연구목적에 맞지 않았다. 이에 쇠갑오징어, 살오징어, 지느러미오징어 등 3 종으로 압축하였다. 이 중 살오징어와 지느러미오징어는 한국과 일본의 전연안에서 채집이 되므로 한국외해역 모니터링뿐만 아니라 향후 국가간 비교를

위해서도 이 2 종이 적합한 것으로 판단되었다. 하지만, 이중에서도 살오징어 (*Todarodes pacificus*)에 대한 연구가 국내에서 상대적으로 많이 이루어져 있을 뿐만 아니라 (김, 1993; 김과 강, 1998; 김 등, 1997; 윤 등, 2002; 최 등, 2003), 실제 살오징어의 어획량이 문어목 (왜문어, 문어, 주꾸미, 낙지 등)와 꼴뚜기과의 전체 어획량보다 많아 전체 두족류의 어획량에서 살오징어가 차지하는 비율이 50%에 이를 정도 채집되어지므로, 오염모니터링 뿐만 아니라 인체 위해성 조사를 위한 기초자료로 사용되어질 수도 있다. 그러므로 서식지, 크기, 채집수월성, 향후 연구비교 및 위해성조사를 위한 기초자료로서의 제공가능성 등을 고려한 결과, 본 연구의 대상 오징어로 살오징어가 선택되었다.

Table 3-2-1-1. Distribution and physiological characteristics of the representative squids collected off Korean offshore

한국명	종명	분포지역	크기	서식깊이
입술무늬갑오징어	<i>Sepia lycidas</i>	한국(남해안), 일본(혼슈의 서남부, 시코쿠, 규슈)	최대38cm	15~100m
꼬마갑오징어	<i>Sepia appellofi</i>	한국(남, 서해), 일본(혼슈의 사가미만, 규슈연안)	암컷의 경우 최대11cm	25m~293m
붉갑오징어	<i>Sepia misakiensis</i>	한국(남해), 일본(혼슈의 중남부, 규슈)	약6.5cm	자료 없음
표범무늬갑오징어	<i>Sepia pardex</i>	한국(남, 서해), 일본(서남부 연안), 중국(동부 연안)	약20cm	자료 없음
긴다리갑오징어	<i>Sepia longipes</i>	한국(남, 서해안, 대한해협), 일본(중남부 연안), 중국(동부 연안)	최대20cm	연안 저서성
거미다리갑오징어	<i>Sepia tenuipes</i>	한국, 일본(이바라키, 지바, 연안), 중국 동해연안	약10cm	자료 없음
참갑오징어	<i>Sepia esculenta</i>	한국(남, 서해연안), 일본(혼슈, 규슈, 시코쿠 연안), 중국(발해 포함 전연안)	최대18cm	10~100m
바늘갑오징어	<i>Sepia madokai</i>	한국(남, 서해안), 일본(동경만의 서, 남부, 대마해협)	약10cm	저서성
쇠갑오징어	<i>Sepiella japonica</i>	한국(전연안), 일본(혼슈, 시코쿠, 규슈)	최대20cm	0~50m
귀오징어	<i>Euprymna morsei</i>	한국(서, 남해안), 일본(전연안)	최대4cm	저서성
주머니귀오징어	<i>Rossia pacifica</i>	한국(동해 북부), 일본(중, 북부 연안)	최대8cm	30~980m
좁귀오징어	<i>Sepiella birostrata</i>	한국(서, 남해), 중국(황해, 양자강 입구 주변해역), 일본(홋카이도, 혼슈, 시코쿠, 규슈)	자료 없음	200~400m
화살꼴뚜기	<i>Loligo bleekeri</i>	한국(제주도 연안, 남해안), 일본(저연안)	최대40cm	100m
참꼴뚜기	<i>Loligo beka</i>	한국(남, 서해안), 일본(남부연안), 중국(황해연안, 동지나해)	최대7cm	연안성
일본꼴뚜기	<i>Loligo japonica</i>	한국(전연안), 일본(중남부 연안), 중국(황해, 동지나해)	10~15cm	연안역
꼬마꼴뚜기	<i>Loligo sumatrensis</i>	한국(남해안), 일본(남 서해안의 규슈연안해역)	최대10cm	연안
한치꼴뚜기	<i>Loligo chinensis</i>	한국(남해안, 동해의 중, 남부 해안), 일본(남부해역), 중국(동지나해, 황해)	최대40cm	15~70m
창꼴뚜기	<i>Loligo edulis</i>	한국(남해안), 일본(혼슈, 시코쿠, 규슈)	최대40cm	30~170m
부도창꼴뚜기	<i>Loligo edulis budo</i>	한국(남해안), 일본(서, 남부 연안), 중국(동부연안)	최대40cm	연안의 얕은 곳
흰꼴뚜기	<i>Sepioteuthis lessoniana</i>	한국(제주도를 포함한 남해안), 일본(중, 남부 연안)	최대36cm	0~100m
매오징어	<i>Watasenia scintillana</i>	한국(동해), 일본(중, 북부 해역)	암컷:7cm 수컷:6cm	200~600m
살오징어	<i>Todarodes pacificus</i>	한국(전연안), 일본(전연안)	최대50cm	낮:100~200m 밤:20~50m
지느러미오징어	<i>Thysanoteuthis rhombus</i>	한국, 일본의 전연안	최대100cm 평균70cm	외양의 표층 유영성

2. 오징어 조직병리 특성

가. 기관특성

1) 생식소

종족 보존을 위한 역할을 하는 가장 중요한 기관이다. 생식소 내의 생식세포들과 지지세포, 간질세포 등의 오염물질에 의해 어떠한 영향을 받는지 알아보기 위해 특징적인 조직 구조를 조사하였다.

2) 간

오염물질의 독성피해에 대한 민감한 지표로서, 영양물질의 저장, 각종 대사, 해독, 혈구의 파괴 등 수많은 중요한 기능을 가지는 기관이다. 오염물질을 해독하는데 있어 간상피세포, 점액세포 등의 특징적인 조직 구조를 조사하였다.

3) 외투막내 피부

환경조건의 변화에 대한 방어기작, 외부환경과 생물체 사이의 유타리로서 물질의 선택적 교환을 비롯한 자극인지, 외부 감염에 대한 보호에 중요한 역할을 하는 것으로 수서 환경에 녹아있는 오염물질에 가장 먼저 노출되어 있는 기관이다. 오염물질이 표피 및 진피층으로 수동수송에 의해 이동함에 따라 상피세포, 선세포 등의 특징적인 조직 구조를 조사하였다.

4) 아가미

호흡과 삼투조절을 하는 기관으로 환경오염물질을 흡수하는데 가장 용이한 경로가 되는 곳이다. 즉, 새판의 상피세포, 점액분비세포 등의 특징적인 조직 구조를 조사하였다.

5) 위

먹이 섭취를 통한 체성장과 발달에 필요한 영양분의 소화·흡수라

는 측면에서 중요한 기능을 담당하고 있는 기관이다. 환경이 오염되었을 경우 위를 구성하는 미세융모, 점막층, 근육층에서의 특징적인 조직 구조를 조사하였다.

나. 기관의 조직특성

오징어의 외부형태 및 구조는 Figure 3-2-2-1과 같았으며, 각 기관의 특징을 각각 서술하였다.

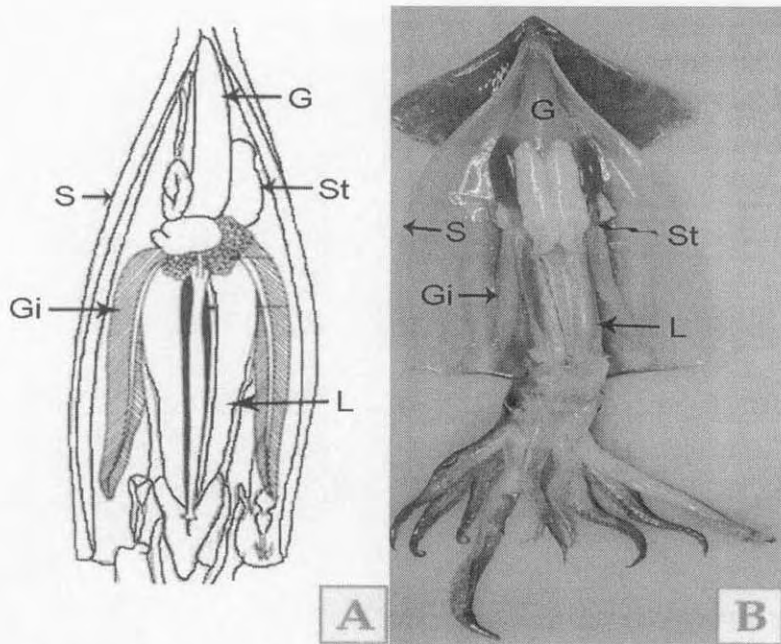


Figure 3-2-2-1. The internal features the common squid, *Todarodes pacificus* A. The schematic diagram. B. The picture. Abbreviations: G, gonad; Gi , gill; L, liver; S, skin; St, stomach.

1) 생식소

암컷의 난소는 외투내의 외투 후방과 간 사이에 위치하며 (Figure 3-2-2-2, A,B), 10월의 평균 22cm의 개체들은 성숙기로서 옅은 노란색을 띄며 난소 내에 난립을 관찰 할 수 있다 (Figure 3-2-2-2, A). 난모세포들은 성장하면서 크기가 250-300 μm 로 되며 핵은 세포질의 한 극으로 이동된다. 여포세포의 세포질은 헤마토실린에 농축되어 염색되지만, 그 각각의 세포의 경계는 불명료하게 되며, 난모세포의 피질부에 여포세포의 함입이 현저하게 관찰된다 (Figure 3-2-2-2, C). 수컷의 정소 역시 암컷 난소의 위치와 동일하며, 10월의 평균 22cm의 개체들은 성숙기로서 우유빛을 띄는 정소를 볼 수 있고 (Figure 3-2-2-2, B), 이 시기의 조직상은 haematoxylin에 진하게 염색된 정세포들을 관찰할 수 있다 (Figure 3-2-2-2, D).

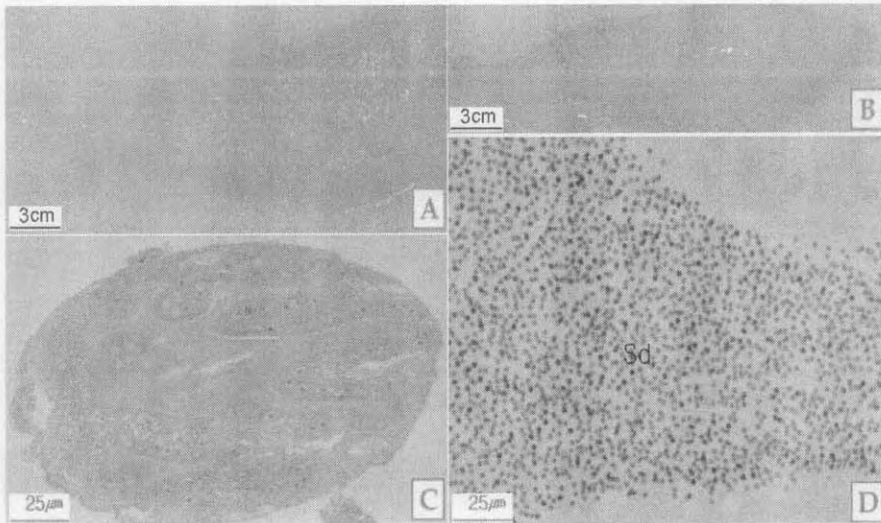


Figure 3-2-2-2. Photomicrographs of gonad in the common squid. A, The external feature of mature ovary; B, The external feature of mature testis; C, Histological picture of figure A; D, Histological picture of figure B. Abbreviations: Sd, spermatid.

2) 간

맹낭과 췌장 바로 밑에 일자형의 원통모양으로 되어 있다 (Figure 3-2-2-1, Figure 3-2-2-3, A). 간의 관은 빈 내강과 선조연을 가지는 단일층의 원통형 상피세포로 구성되고, 이들은 소형의 근육과 교원섬유에 의해 서로 결합되어 있으며, haematoxylin에 진하게 염색된 간 상피세포와 커다란 핵과 다수의 공포상 지방적으로 구성된다 (Figure 3-2-2-3, B,C). 내강의 상피층과 일부분의 간세포들이 AB-PAS에 양성반응으로 나타나지 않았으나 (Figure 3-2-2-3, D), 지방적은 음성반응을 보였다 (Figure 3-2-2-3, E). 한편 분석적으로 여러 오염원에 가장 민감한 반응을 보이는 간세포의 미세구조의 변화는 다음과 같다.

95% 이상을 차지하는 건강한 개체의 간세포는 핵질 내에 전자밀도가 높고 낮은 미세한 염색질 과립들이 핵질 내에 고루 분포하며, 핵막 주변에는 전자밀도가 높은 이질 염색질이 존재하고 있었다. 세포질에는 미토콘드리아, 소포체 등의 세포 소기관들이 관찰되었다 (Figure 3-2-2-4, A). 일부 5% 미만의 개체의 간세포는 핵질 내 전자밀도가 건강한 개체에 비해 낮았으며, 세포질 내 세포소기관들이 탈락되는 현상을 보여주었다 (Figure 3-2-2-4, B,C). 한편, 지방적은 커다란 원형의 중심공포가 대부분을 차지하고 있었다 (Figure 3-2-2-4, D).

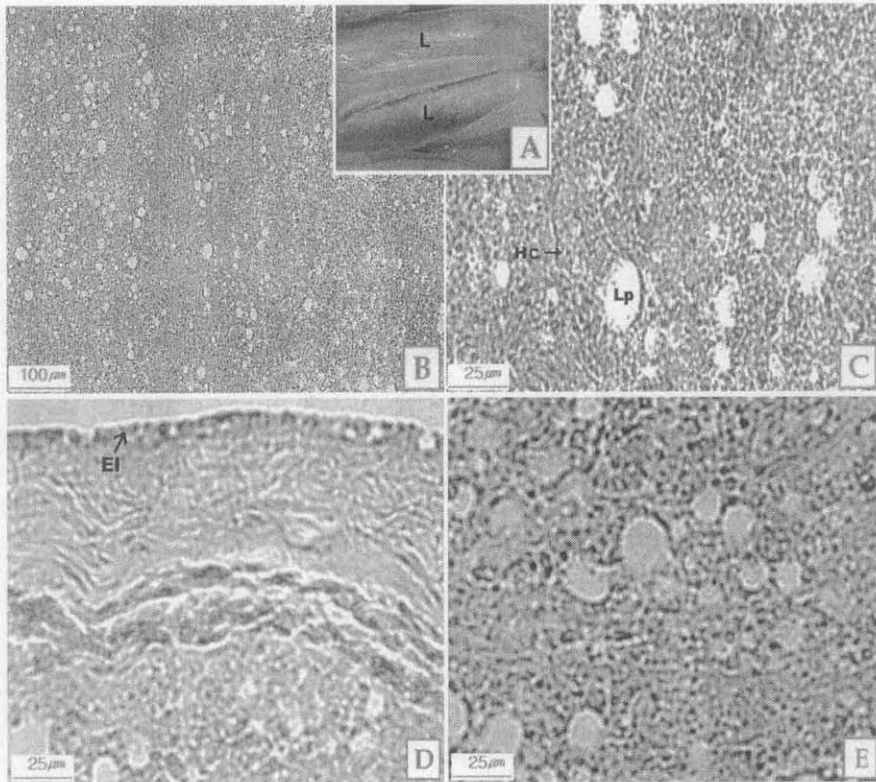


Figure 3-2-2-3. Photomicrographs of liver of common squid. A, The external feature of liver; B, The epithelial tissue structure of liver(H-E stain); C, The magnitude of figure B; D, The epithelial tissue structure of liver(AB-PAS stain); E, Showing the lipid droplet. Abbreviations: EI, epithelial layer; Hc, hepatocyte; L, liver; Lp, lipid droplet.

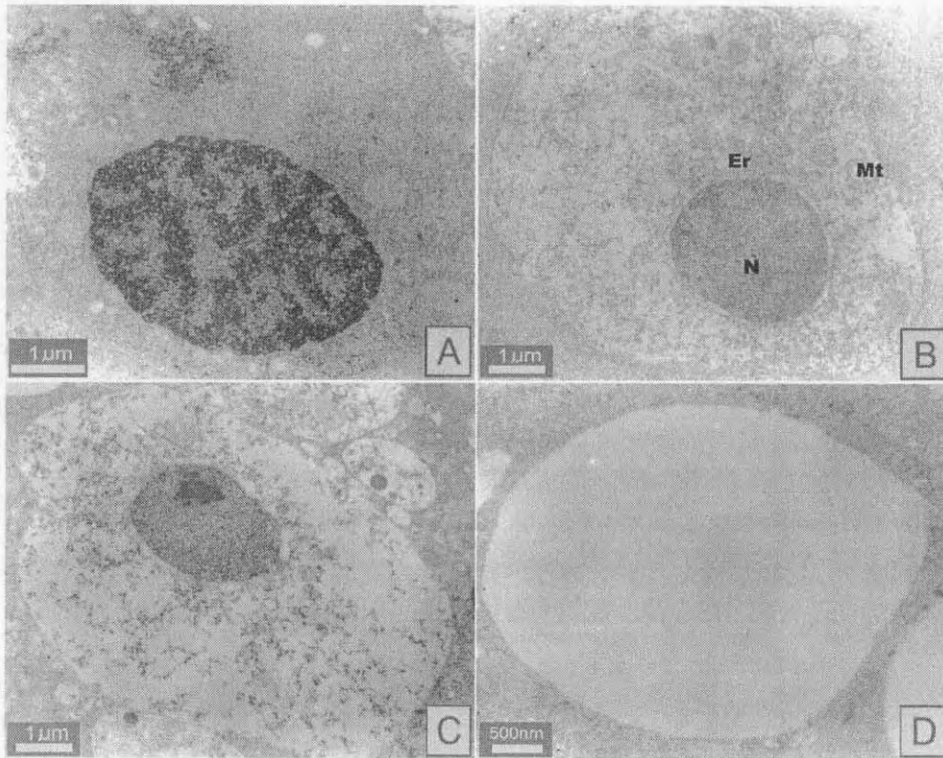


Figure 3-2-2-4. Electron micrographs of the liver of common squid. A, Hepatocyte. Note the well developed cell; B, A little changed hepatocyte; C, A hepatocyte with lesion; D, Showing the lipid droplet. Abbreviations: Er, endoplasmic reticula; Mt, Mitochondria; N, nucleus.

3) 외투막 내 피부

오징어의 외투막 내 피부계는 맨 바깥층에 위치해 있으며 (Figure 3-2-2-1, Figure 3-2-2-5, A), 크게 외부로부터 상피층과 진피층의 두 층으로 구분되는데, 상피층의 바깥쪽에는 얇은 점액물질로 덮혀있고, 진피층 아래에는 근육층이 발달되어 있다. 상피층은 조직학적으로 볼 때, 기저막으로부터 단층의 원주형상피로 구성된 비교적 단순한 구조이다. 진피층에는 다수의 원반형 색소박판들이 층상 구조를 이루어 전체적으로 타원체의 형태를 보였다. 진피층 아래의 근육층은 근섬유의 방향이 각각 다른 종주근층과 환상근층의 두 층으로 구성되는데, 근육층을 구성하는 근섬유 다발의 방향이 서로 직각을 이루고 있다 (Figure 3-2-2-5, B,C). 외부환경과 접해 있는 최외각 상피층이 AB-PAS에 양성반응을 하였고 (Figure 3-2-2-5, D), 근육외층과 접해 있는 진피층 부분 역시 같은 반응이 관찰되었다 (Figure 3-2-2-5, D,E).

4) 아가미

맹낭과 철회장 밑의 간을 사이에 두고 좌우 각각 1개로서 (Figure 3-2-2-1) 빗모양으로 줄지어 있는 많은 수의 새엽을 가지고 있으며 (Figure 3-2-2-6, A,B), 각 새엽은 박판으로 층지어 있는 새판을 가진다. 오징어의 새판은 상피세포, 점액세포 등으로 구성되어 있다. 상피세포는 편평형이고 타원형의 핵을 가지고 있으며 (Figure 3-2-2-6, C-E), 이 핵은 AB-PAS에 양성반응을 나타내었다. 하지만, 점액세포는 타원형으로 공포형태로 관찰되며, AB-PAS에 반응이 관찰되지 않았다 (Figure 3-2-2-6, F)

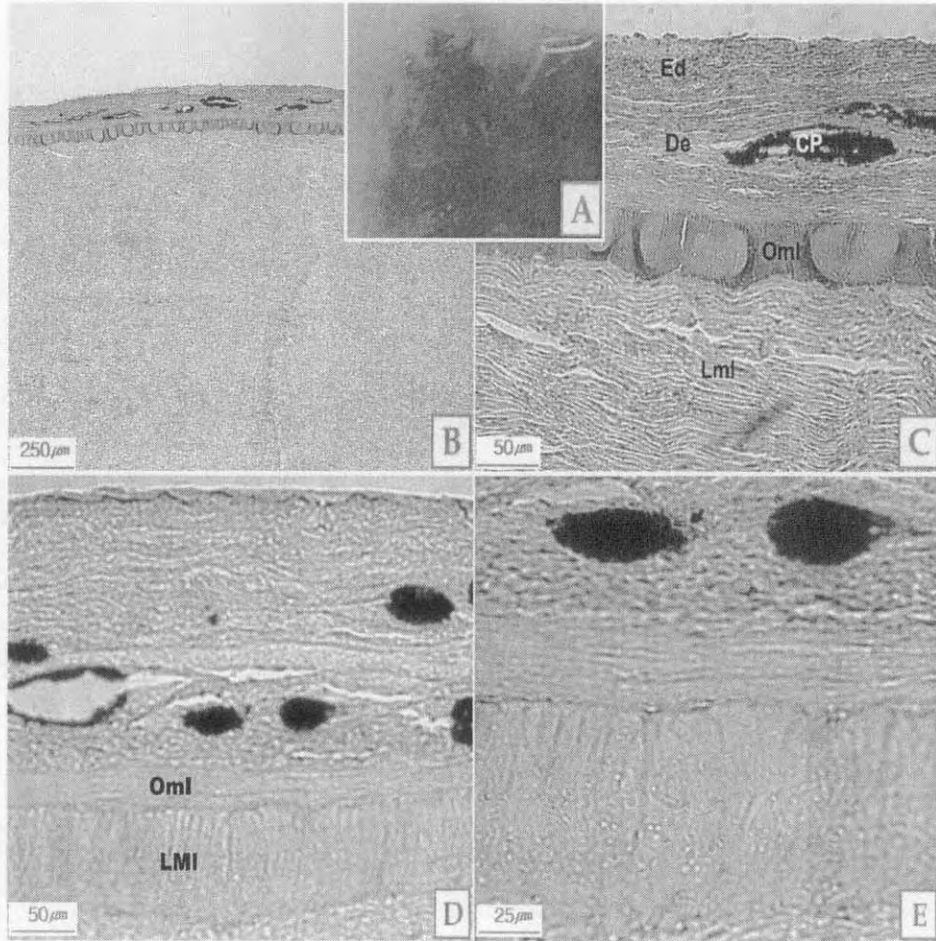


Figure 3-2-2-5. Photomicrographs of skin in mantle of common squid. A, The external of skin in mantle; B, The structure of skin in mantle; C, The magnitude of figure B; D, Showing the part between dermal layer and outer muscular layer with AB-PAS reaction; E, The magnitude of figure D. Abbreviations: Cp, chromatophore; Ed, epidermis; Iml, inner muscular layer; Oml, outer muscular layer

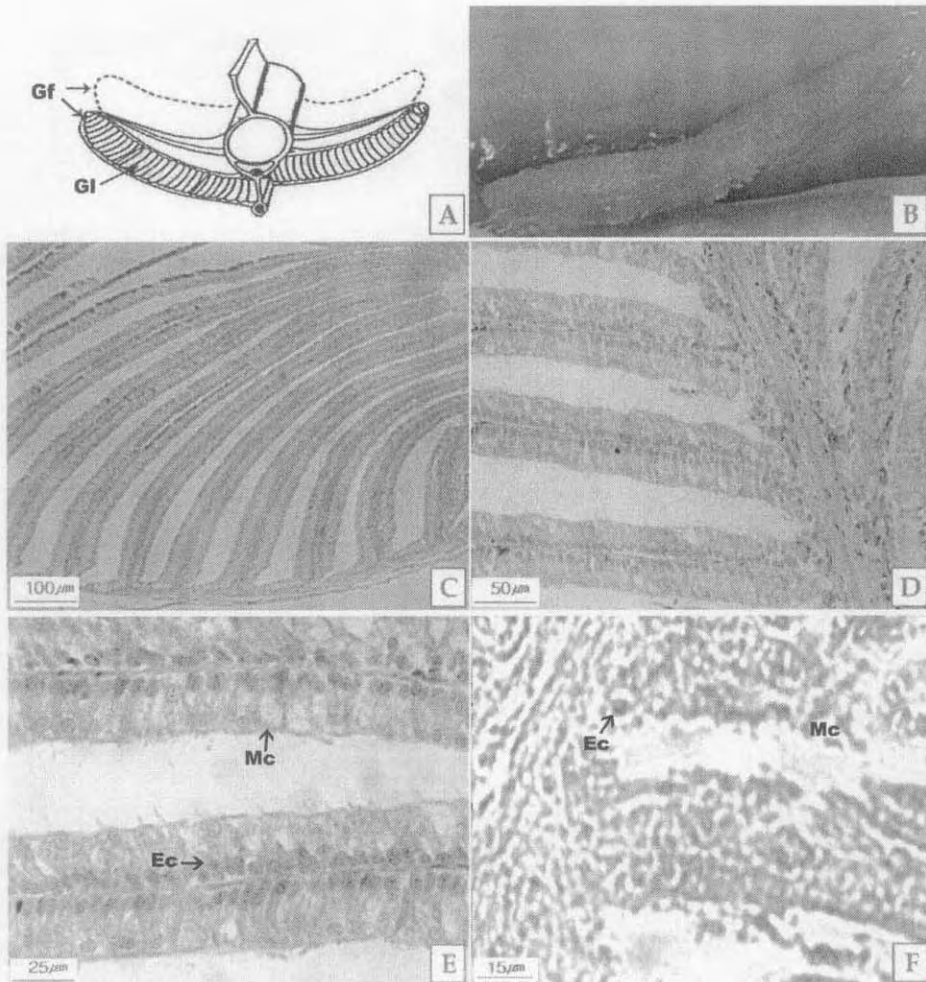


Figure 3-2-2-6. The external features and photomicrographs of gill of common squid. A, The schematic diagram; B, The picture of external features; C, A lot of gill lamellar; D, The magnitude of figure C; E, The magnitude of figure D.; F, Showing the EC with AB-PAS reaction. Abbreviations: Ec, epithelial cell; Gf, gill filament; Gl, gill lamellar; Mc, mucous cell.

5) 위

생식소 직하방에 위치하며, 불룩한 주머니 형태로 되어있다 (Figure 3-2-2-1, Figure 3-2-2-7, A). 위의 점막주름은 내강쪽을 향하여 규칙적으로 배열되어 있으며, 분지가 형성되지 않는 규칙적인 형태이다 (Figure 3-2-2-7, B,C). 점막하층은 근육층과 점막층 사이에 그물눈 모양의 소성결합 조직층으로 혈관과 신경총이 다수 분포한다. 아주 치밀한 근섬유로 구성된 근육층이 잘 발달되어 있으며, 이들은 외부로부터 종주근층, 환상근층으로 구성되고 바깥쪽의 종주근층은 내강의 환상근층보다 더 두껍게 발달되어 있으며, 장막은 매우 얇게 나타난다 (Figure 3-2-2-7, B,D). 한편, 소화에 직접적으로 관여하는 점막상피층은 뚜렷하게 AB-PAS에 양성반응을 보여주었다 (Figure 3-2-2-7, E).

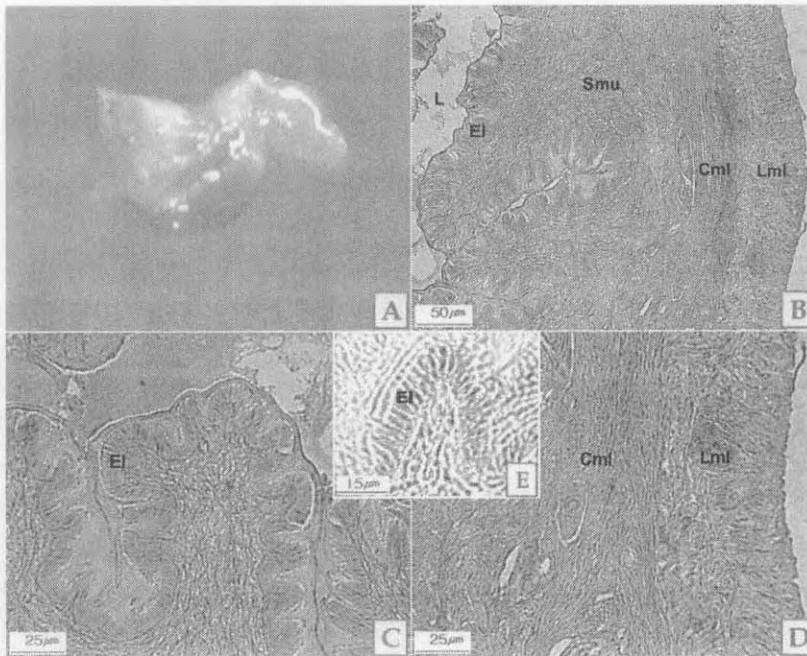


Figure 3-2-2-7. Photomicrographs of stomach of common squid
 A, The picture of external features; B, Mucosal folds and tunica muscularis in the stomach; C, Mucosal folds in the stomach; D, Tunica muscularis in the stomach; E, Showing the Epithelial layer with AB-PAS reaction. Abbreviations: Cml, circular muscle layer; El, epithelial layer; L, lumen; Lml, longitudinal muscle layer; Mf, mucosal folds; Sm, serous membrane; Smu, submucosa.

3. 중금속 농축 특성

두족류의 중금속 연구보고에 따르면 연구자에 따라 소화기관 중 가장 큰 부위를 차지하는 부위를 소화선 (digestive gland), 간췌장 (hepatopancreas) 혹은 간 (liver)으로 명명하였다. 본 연구에서는 한국에서 살오징어에 대해 가장 심층적으로 연구되어진 김 (1993)에 의한 생태학적 연구에서 명명되어진 기관명에 따라 이 기관을 간 (liver)으로 명명하였다. 본 연구에서 다른 연구자의 연구결과를 인용할 때에는 연구자가 명명한 기관명 (예; 소화선, 간췌장)을 그대로 인용하여, 이들 기관에서의 중금속 농도를 비교하였다.

외투막 길이 6.0 ~ 10.5cm에 이르는 소형오징어는 성기관이 발달되어 있지 않아 암수구별이 불가능하였으며, 크기가 작아 기관별 중금속분석이 힘들어 외투막조직과 전체조직에 대해서만 중금속 분석을 실시하였다. 중형오징어는 평균 21.8cm 크기를 보였으며, 수컷과 암컷이 각각 7, 3마리씩 동정되었다. 대형오징어의 길이는 평균 25.4cm로써 수컷과 암컷이 각각 3, 7마리씩 동정되어 각 기관별로 분석되었다. 연구기간동안 분석되어진 모든 조직에서의 중금속자료는 Appendix 1에 나타내었다.

가. 성(sex)별 분포 특성

중형과 대형오징어에서는 각 기관별로 암컷과 수컷에 있어서 중금속의 평균함량에 차이가 있는지를 알아보기 위하여 통계분석을 실시하였으나, 모두 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 그러므로 조직별, 크기별 농도비교를 실시할 때에는 소형오징어뿐만 아니라, 중형과 대형크기에서도 모두 성별 구분없이 20마리의 통계값을 이용하여 비교하였다. 2005년 7월 10월 채집된 오징어에서의 각 크기별 및 기관별에서의 각 중금속 평균값과 표준편차를 Table 3-2-3-1와 Fig. 3-2-3-1에 나타

내었다.

큰배꼽앵무조개(*Nautilus macromphalus*)의 경우, 총 체내 부하량 (total burden)의 상당부분을 소화선 (digestive gland)에 축적하고 있었다(Bustamante et al., 2000). 특히 카드뮴은 총 체내 부하량의 96%, 아연 88%, 그리고 구리는 57%를 소화선에 축적하였다. 갑오징어 (cuttlefish, *Sepia officinalis*) 또한 카드뮴 (75%), 구리(42%) 그리고 아연(40%)의 상당부분을 소화선에 축적하였다(Miramand et al., 2006). 그리고, 본 연구에 사용되어진 살오징어(*T. pacificus*) 생식기관에서의 중금속 농도는 간에 비해 훨씬 낮게 나타났으며, 또한 총무게에서 생식기관이 차지하는 무게비율이 수컷(정소; 1.2-1.9%)과 암컷(0.3-10%)에서 높지 않았다. 또한 본 연구에 사용되어진 살오징어는 일년생으로서 한국 외해에서 성장한 후 산란장인 동중국해로 회유하여 산란 후 그 자리에서 수명을 다하게 되어 산란을 통한 중금속이나 유기오염물질의 체외배출은 일어나지 않는다. 결국 소화기관에서 중금속의 높은 잔류 비율, 생식기관에서 낮은 농축, 그리고 산란을 통한 중금속 배출 기작의 부재로 인해 살오징어의 암수에 따른 농도차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 이러한 암수 성에 따른 중금속 농도분포에 있어서 차이가 없음은 다른 두족류의 연구에서 확인되었다(Miramand and Bently, 1992; Raimundo et al., 2004).

Table 3-2-3-1. Concentration of heavy metal in each organ of squid collected from East Sea (Guryong-Po) ($\mu\text{g/g}$)

Size	Tissue/Organ	Sample number	Zn	Cu	Cd
small	whole body	10	85 ± 6.3	31 ± 17	2.8 ± 0.90
	mantle	10	74 ± 17	21 ± 7.3	1.0 ± 0.47
medium	liver	10	221 ± 131	989 ± 1119	198 ± 239
	gill	10	98 ± 20	199 ± 82.0	9.8 ± 13.3
	stomach	9	104 ± 18	48 ± 16.3	4.9 ± 2.6
	mantle	10	56 ± 9.6	13 ± 6.3	1.0 ± 0.90
	nidamental gland	2	78 ± 42	67 ± 13	0.17 ± 0.05
	ovary	2	135 ± 1.1	112 ± 38	0.10 ± 0.01
	testis	4	98 ± 3.5	13 ± 2.6	0.03 ± 0.02
large	liver	10	194 ± 111	792 ± 830	155 ± 109
	gill	10	87 ± 20	164 ± 86	9.5 ± 11
	stomach	10	109 ± 11	53 ± 23	2.6 ± 1.7
	mantle	10	49 ± 9.9	13 ± 6.5	0.50 ± 0.25
	nidamental gland	2	52 ± 1.2	67 ± 17	0.84 ± 1.1
	ovary	2	126 ± 12	60 ± 0.6	0.87 ± 1.2

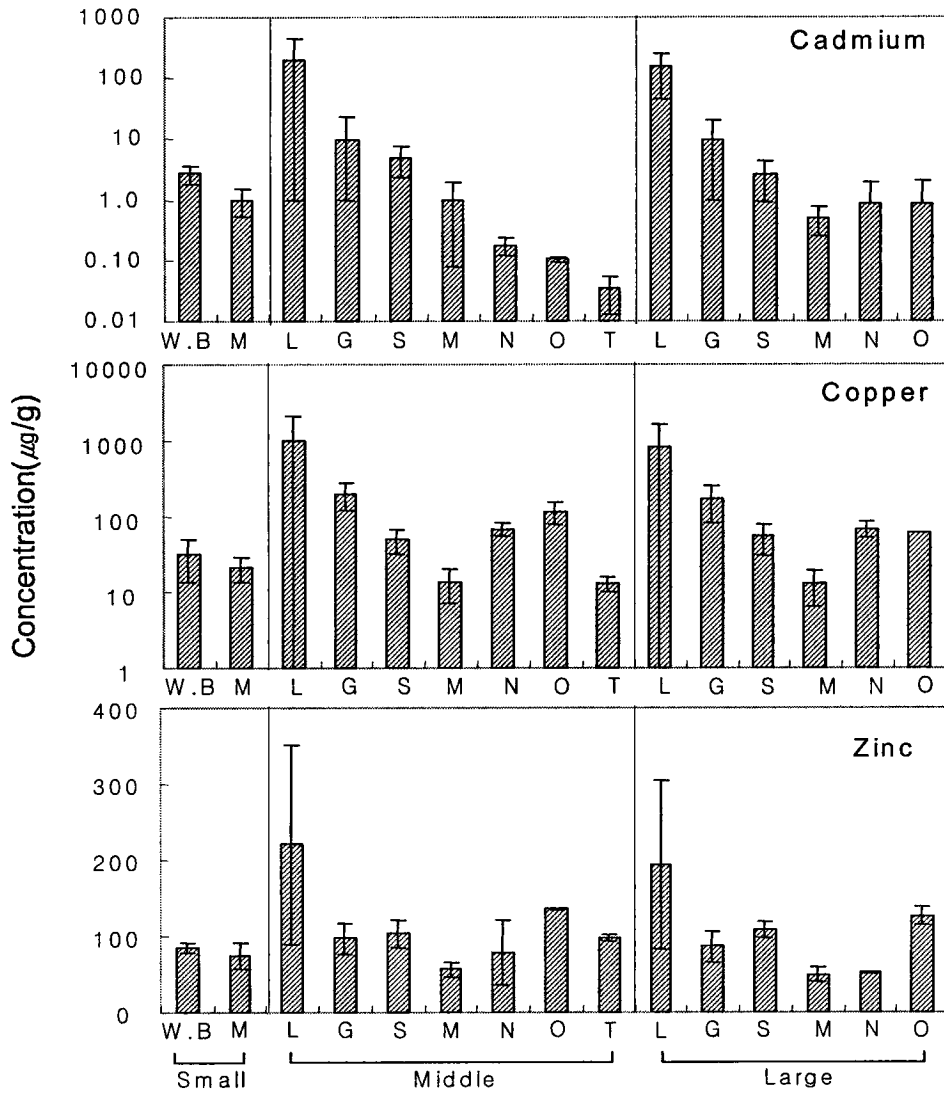


Figure 3-2-3-1. Distribution of heavy metals in various tissue and organs in the squids with different size (W.B.; whole body, M; mantle, L; liver, G; gill, S; stomach, N; nidamental gland, O; ovary, T; testis)

나. 크기별 분포 특성

갑오징어(cuttlefish, *Sepia officinalis*)를 이용하여 외투막 길이 따른 중금속의 농도변화를 조사한 연구 (Miramand et al., 2006)에 의하면, 생후 1개월 (외투막길이 3.3cm)이 되었을 때 소화선 (digestive gland)에서의 중금속농도는 성체 (18개월령, 21cm)가 된 후의 농도와 같았다. 이 결과로부터 갑오징어는 생후 1개월만 되어도 주변 해수나 먹이생물의 중금속농도와 평형상태에 도달할 수 있다고 설명하였다. 김 등 (1997)의 연구에 의하면 한국 해역에 분포하는 살오징어는 3개의 개체군으로 나누어지며, 산란시기에 따라 하계군 (주산란기, 7월), 추계군 (9월), 동계군 (3월)로 나누어진다. 그러므로, 본 연구에 사용되어진 소형 오징어 (평균 외투막길이; 7.3cm)는 7월에 채집되었으므로 한반도 주변해역에서의 살오징어 산란시기를 고려하였을 때 3월 무렵 산란되어진 동계군으로 약 4개월령으로 추정되어진다. 결국 본 연구에 사용되어진 살오징어 시료는 외투막 길이로부터 소형, 중형, 대형으로 구분되어지지만, 소형오징어 또한 주변환경과 평형상태에 도달할 수 있는 충분한 시간 (4개월)이 있었음을 알 수 있다. 이러한 원인으로 인해 크기에 따른 중금속의 농도차이는 나타나지 않은 것으로 판단된다(Figure 3-2-3-2). 오징어 성체를 이용한 다른 연구에서도 크기에 따른 중금속의 상관관계는 나타나지 않았다. (Raimundo et al., 2004; Storelli and Marcotrgiano, 2004). 그러나, Miramand et al. (2006)의 연구에서 배아, 갓 부화한 유생 (hatchling), 유생(1주, 보름, 한 달)에서는 크기가 증가함에 따라 체내 중금속농도가 급격히 증가하는 것으로부터 오징어는 부화 후 1개월 이내에 주변 해수로부터 중금속을 빠른 속도로 축적한다는 것을 알 수가 있었다. 그러므로 한국 외해모니터링을 위해 외투막 길이가 7cm가 넘는 살오징어라면 길이에 상관없이 어느 지역에 채집되더라도 중금속의 농도비교를 통하여 특정해역의 오염정도를 파악할

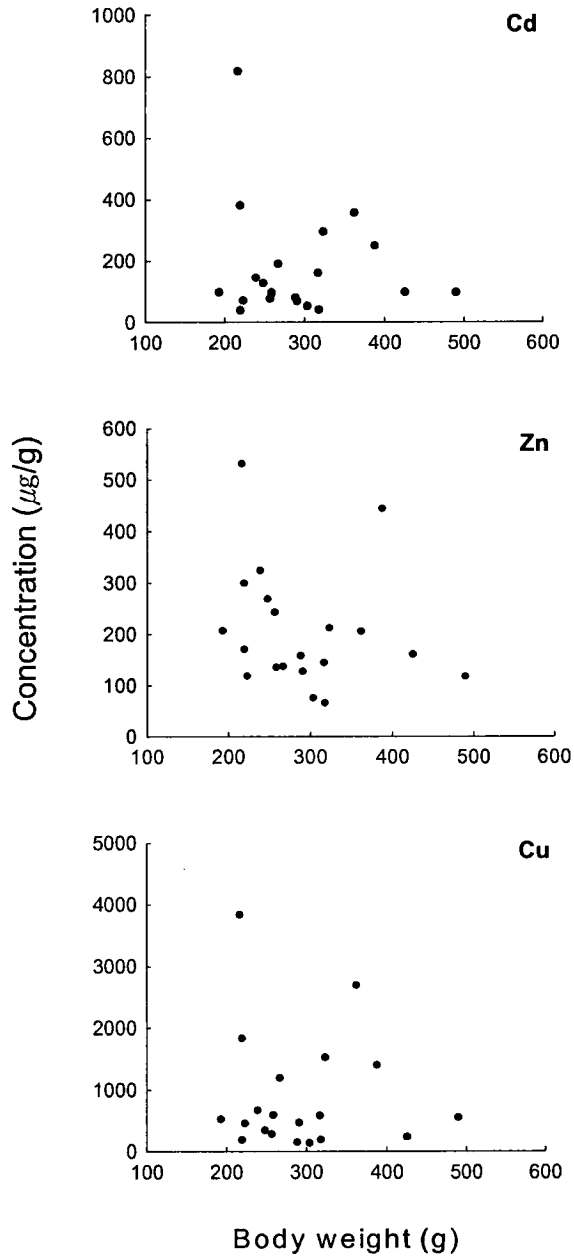


Figure 3-2-3-2. Relationship between heavy metal concentration in liver and the size of squid

수 있을 것으로 생각되었다.

다. 조직별 분포 특성 및 해독, 식품안정성

Table 3-2-3-1에 나타낸 바와 같이 모든 중금속은 간에서 가장 높은 농도를, 그리고 외투막에서 가장 낮은 농도를 보여주었다. 중형 및 대형 크기에 관계없이 모두 같은 농축양상이 나타났다.

구리는 간과 아가미에서 다른 중금속에 비해 더 높은 농도분포를 보였다. 오징어를 포함하는 연체동물은 산소운반을 위해 헤모시아닌이라고 하는 혈청소를 가지고 있으며, 여기에는 구리가 결합되어 있다. 큰배뽕앵무조개의 헤모림프에서는 구리 농도가 1055 $\mu\text{g/g}$ 에 이르러 체내 10개 조직 중 가장 높은 값을 보여주었다(Bustamante et al., 2000). 본 연구에서는 간조직으로부터 혈액을 제거하지 않고 분석에 임하였기에 간에서의 높은 구리 농도는 헤모시아닌의 영향이 매우 컸으리라 예상된다. 같은 이유로 혈액이 많이 흐르는 아가미 조직에서도 높은 농도로 구리가 검출된 것으로 판단된다.

3개의 중금속 중 위와 외투막에서 가장 높은 농도를 보여준 원소는 아연이었다. 아연은 구리와 함께 생물이 영위하는데 있어서 필수적인 원소로서 가장 고농도로 농축되어지는 기관은 각각 다르나, 농축되는 경향성은 같다 (Figure 3-2-3-3). 이들 원소는 필수원소이기는 하지만, 해양 포유동물의 간에서 구리의 경우 3-30 $\mu\text{g/g}$, 아연은 20-200 $\mu\text{g/g}$ 의 농도범위 내에서 항상성에 의해 조절되어지지만, 이 농도범위를 넘어서면 독성을 일으키는 것으로 알려져 있다 (Law et al., 1991). 이러한 간독성을 막아주는 기능을 하는 것으로 알려진 메탈로치오닌 (metallothionein, MTs)은 여러 수중생물에서 검출되었다 (Amiard et al., 2006). 그러나, 두족류 중 유일하게 연구되어진 꼴뚜기 (*Loligo forbesi*)는 구리와 아연에 대해

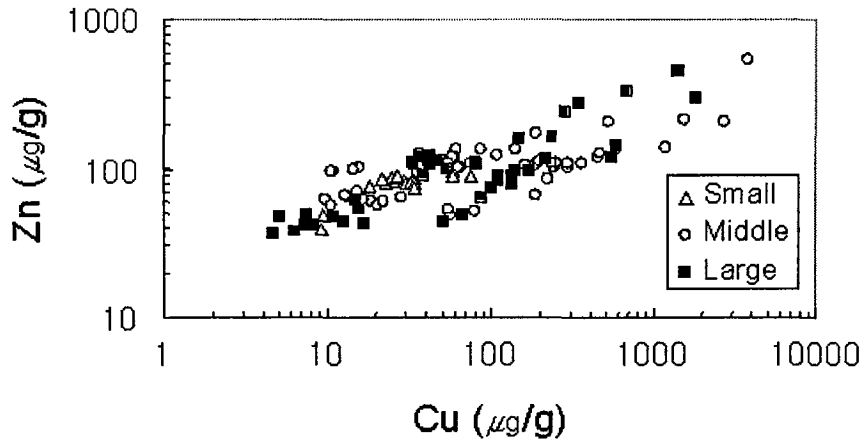


Figure 3-2-3-3. Correlation between copper and zinc concentration in all organs of squid

MTs가 유도되지 않았다(Craig and Overall, 2003). 살오징어는 꼴뚜기와 같은 살오징어목(Teuthoidea Naef)의 폐안아목(Myopsida Orbigny)에 포함되므로 유사한 생리특성을 가졌다고 가정한다면 살오징어 또한 이들 원소의 독성을 막는 MTs가 많이 유도되지 않았으리라 판단된다. 그러므로 해양 포유동물에서의 안전수치를 넘어서는 고농도의 구리와 아연에 의한 생물독성을 막기 위해 살오징어에서는 다른 해독기작이 존재하리라는 예상되어진다. Bustamante et al. (2002)에 의하면 다양한 두족류(갑오징어과, 꼴뚜기과, 살오징어과, 문어과)의 소화선내 카드뮴 농도와 메탈로치오닌 유사단백질 (metallothionein-like protein, MTLP)과의 상관관계에서 MTLP는 오히려 카드뮴 농도가 높아질수록 감소하는 경향을 보여주었다. 이로부터 두족류는 메탈로치오닌과는 다른 형태의 중금속 결합단백질 (metalprotein)이 존재할 것으로 예측하였다. 이러한 단백질에 대해서는 아직까지도 정확히 관찰되지는 않았으나, 소화선내 카드뮴은 메탈로치오닌 (10kDa -16kDa)과 유사한 분자량을 가진 단백질과 매우 적은 양만이 결

합되고, 대부분이 70kDa이 넘는 단백질과 결합되어져 있다는 연구결과가 발표되었다 (Tanaka et al., 1983; Finger and Smith, 1987).

카드뭴은 모든 조직에서 다른 원소들에 비해 상당히 낮은 농도값을 보여주었다 (Table 3-2-3-1). 그러나, 중금속의 농축특성에 있어서는 구리와 아연에 비해 다른 특이성을 보여주었다. 세 원소 모두에서 가장 높은 농도로 축적되는 간 (liver, L)과 가장 낮게 축적되는 외투막 (mantle, M)에서의 농도비 (L/M)를 계산하면 아연 (중형, 대형; 3.9, 3.9)과 구리 (74, 61)보다 카드뭴 (200, 310)이 외투막에 비해 간에 매우 집중적으로 축적되는 특징을 알 수 있었다. Miramand and Bently (1992)도 문어과 (*Eledone cirrhosa*)와 갑오징어과 (*Sepia officinalis*)에서 구리 및 아연을 비롯한 여러 중금속들에 비해 비소와 카드뭴이 특히 외투막에 비해 소화선 (digestive gland)에서 집중적으로 축적되는 특징을 보고하였으며, 이러한 이유로 Bustamante et al. (1998)은 해양생태계에서 두족류가 최상위 포식자로서의 카드뭴 이동에 큰 역할을 감당하고 있다고 보고하였다. 또한, 소화기관에서 카드뭴의 고농축으로 인해 식품으로서의 오징어에 대한 안전성에 대한 연구도 다수 수행되었다 (Storelli et al., 2006). WHO (1989)는 카드뭴의 일주허용섭취한계 (Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI)를 7 µg/kg body weight/week로 제안하였다. 본 연구 결과로부터 살오징어 간에서의 카드뭴 농도를 100 µg/g으로 잡고 평균체중을 70 Kg으로 가정하면 일주일에 4.9g만 섭취해도 WHO가 제시한 PTWI 값에 이르게 된다. 현재까지 국내에서는 오징어 간을 이용한 식품의 상업화까지 이루어지지 않은 상태이므로 문제될 것이 없다고 판단된다. 하지만, 식품과 사료의 첨가물로서 오징어 내장의 이용에 관한 연구 (이 등, 1998; 전 등, 1998; 서와 정, 2001)등이 이루어지고 있으므로, 추후 식품개발단계에서는 식품안정성 차원에서 반드시 카드뭴의 농축농도를 고려하여 개발되어야 할 것이다.

라. 다른 연구와의 농도비교

1 차년도 연구에서 조사되어진 살오징어의 평균농도를 다른 두족류와의 중금속 잔류농도와 비교하였다 (Table 3-2-3-2). 다른 두족류에서도 전체조직이나 외투막에 비해 소화기관 (digestive gland)에서 중금속의 종류에 관계없이 모두 높게 농축되었다. 아연과 카드뮴은 문어과 2 종 (*O. vulgaris*와 *O. bartrani*), 구리는 꼴뚜기과 (*L. opalescens*)에서 가장 높은 농도를 나타내었다. Bustamante et al. (1998)은 북동 대서양 연안에서 대규모 채집을 통해 12종의 두족류를 채집하여 분석할 결과 같은 종이라 할지라도 지역에 따라서는 중금속 농도에 있어 18배 이상 차이를 보여 지역별 오염정도를 지시해 주며, 또한 같은 지역 내에서라도 두족류의 종에 따라 관찰되어진 중금속의 큰 농도차이는 종에 따른 섭식특성에 따라 다르게 나타난다고 보고하였다. 일반적으로 저서성 두족류 (문어목, 갑오징어목)가 외해종 (살오징어목)에 비해 보다 높은 중금속 농도를 나타내었다. 종에 따라서는 전체조직에서도 어느 정도 높은 값을 보였으며, 이는 소화기관 등 높은 중금속 농도를 보이는 기관의 무게가 총 무게에서 차지하는 비율이 높았기 때문으로 사료된다. 살오징어에 대한 기존의 연구로는 Tanaka et al. (1983) 과 Ichihashi et al.(2001) 의 연구가 유일하며, 본 연구에 사용되어진 동해산 살오징어가 일본산보다 카드뮴에 대해서는 약간 높은 농도수준을 보여주었다.

Table 3-2-3-2. Comparison of heavy metal concentration in squids according to species and geography (unit; $\mu\text{g/g}$ dry weight)

Species	Site	Tissue ¹	Zn	Cu	Cd	Reference
<i>N. macromphalus</i>	New Caledonia	D.G.	515-963	78-174	28-61	Bustamante et al.(2000)
		W.B.	260±49	73±20	16.0±6.5	
<i>N. gouldi</i>	Australian coast	D.G.	850±353	366±240	32.9±29.9	Finger and Smith(1987)
<i>O. vulgaris</i>	Portuguese coast	D.G.	197-14,600	138-3,160	19.5-759	Raimundo et al.(2004)
		M	58.3-120	12.4-99.5	0.134-10.8	
<i>O. vulgaris</i>	Mediterranean Sea	D.G.	1,440±398	2,520±705	49.8±9.97	Miramand and Guary (1980a,b)
		W.B.	150±50	260±70	1.2±0.1	
		M	69.6±29.8	26.2±2.05	0.08±0.04	
<i>L. opalescens</i>	central California	D.G.	253±130	5,390±3,240	84.9±51.9	Martin and Flegal (1975)
<i>L. opalescens</i>	south California	D.G.	460±200	8,440±3,150	121±57.8	
<i>O. bartrani</i>	Californian coast	D.G.	167±54.7	197±214	287±201	
<i>E. cirrhosa</i>	English Channel	D.G.	581±17.9	467±20.2	23.0±1.46	Miramand and Bentley (1992)
		M	104±3.97	17.2±1.02	0.24±0.01	
		W.B.	234±20	122±11	5.36±1.09	
<i>S. officinalis</i>	English Channel	D.G.	534±7.93	319±15.1	12.9±0.34	
		M	62±0.98	9.09±1.02	0.08±0.02	
		W.B.	134±6	59±1	1.34±0.03	
<i>S. officinalis</i>	Bay of the Seine	D.G.	1,400±500	600±10	25±5	Miramand et al.(2006)
<i>T. pacificus</i>		L			40-100	Tanaka et al.(1983)
<i>T. pacificus</i>	Hokkaido, Japan	M	13-16*	2.7-3.4*	0.04-0.08*	Ichihashi et al.(2001)
<i>T. pacificus</i>	East Sea (small size)	M	74±17	21±7.3	0.99±0.47	This study
		(middle size)	L	221±131	989±1,119	
		M	56±9.6	13±6.3	0.98±0.90	
	(large size)	L	194±111	793±830	155±109	
		M	49±9.9	13±6.5	0.50±0.25	

마. 해역별 분포 특성

각 중금속에 대해 해역별 차이를 있는지를 알아보기 4개 조직에 대해 중앙값, 백분위값 (10, 25, 75, 90%)를 도시하였다 (Figure 3-2-3-4). 또한 평균값과 변동계수를 Table 3-2-3-3에, 해역별로 중금속 농도에 있어서 유의수준은 Table 3-2-3-4에 요약하였다.

구리의 경우, 외투막에서는 동해 주문진에서 채집된 오징어에서 낮은 값을, 아가미에서는 세 지역에서 모두 유의하게 농도차이를 보여주었다. 아연의 경우, 외투막에서는 서해가, 그리고 위에서는 동해 포항에서 높은 값을 보였고, 간에서는 동해 주문진이 다른 지역에 비해 낮은 값을 보여주었다. 끝으로 카드뮴의 경우, 외투막에서는 해역별 차이를 보여주지 않았으나, 아가미와 위에서는 동해 포항이 높은 값을 보였고, 간에서는 서해에서 상당히 낮은 값을 보여주었다.

해역에 따라 2 배가 훨씬 넘는 농도 차이를 보이는 원소는 카드뮴이었고, 조직으로는 간 (동해 주문진; 108 $\mu\text{g/g}$, 서해; 23 $\mu\text{g/g}$, 동해 포항; 163 $\mu\text{g/g}$)에서만 나타났다. 1차년도 동해산 (부산 앞바다, 대마도 부근) 오징어에서도 간조직에 농축된 카드뮴의 농도는 155, 198 $\mu\text{g/g}$ (중형, 대형 각각 10마리 평균값)으로 나타났다 (Table 3-2-3-2). 그러므로 동해와 서해의 중금속 농도에 있어서 가장 큰 차이는 간조직에서의 카드뮴 농도이므로 차후 장기모니터링에서는 간조직에서의 카드뮴 자료에 주의를 기울려야 할 필요가 있다고 판단되었다.

해역별 해수 중의 중금속의 농도는 동일 지역내에서도 현격한 농도변화를 보여주어 동해와 서해에서의 차이를 확인할 수가 없었다 (Table 3-2-3-5). 그러므로, 이러한 해수중 잔류 중금속의 결과는 오히려 오징어의 체내 중금속의 농도 변화가 지역간 비교를 하는데 있어서 보다 더 좋은 지시자로 사용될 수 있음을 보여준다고 생각되어진다.

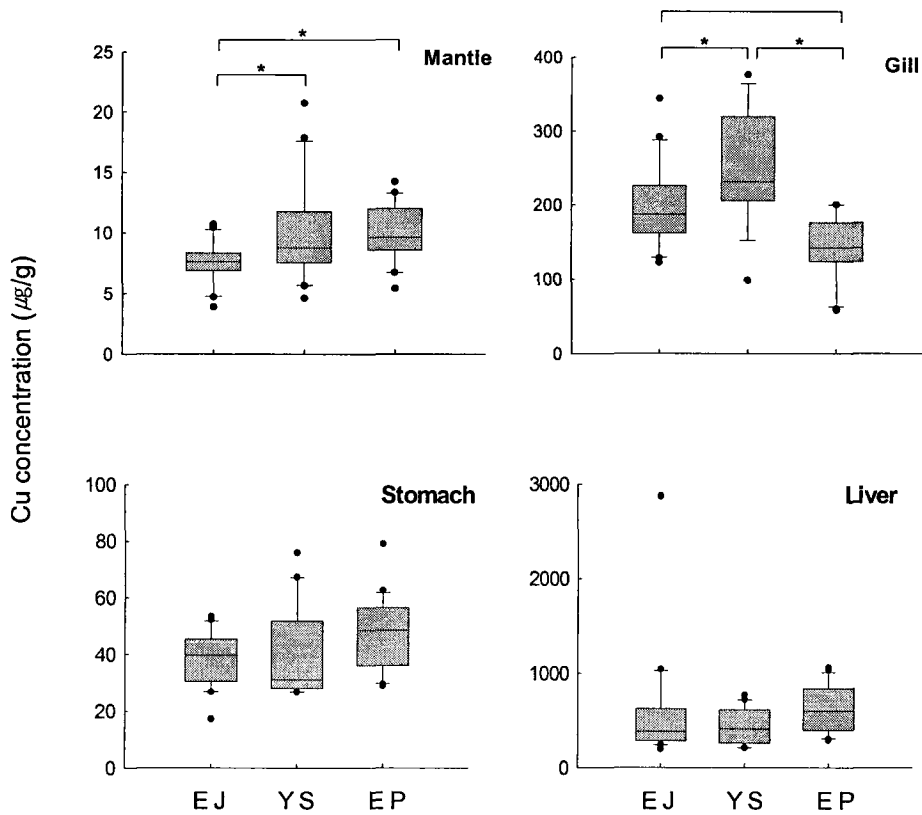


Figure 3-2-3-4. Comparison of metal concentration according to sampling area in each organ (Copper) (Center line of box means median, while lower line and upper line of box mean 25 % and 75 % value of all data, respectively. Lower line and upper line of error bar mean 10 % and 90 % of all data, respectively. Dot outside error bar mean data over 3 times standard deviation from average value)

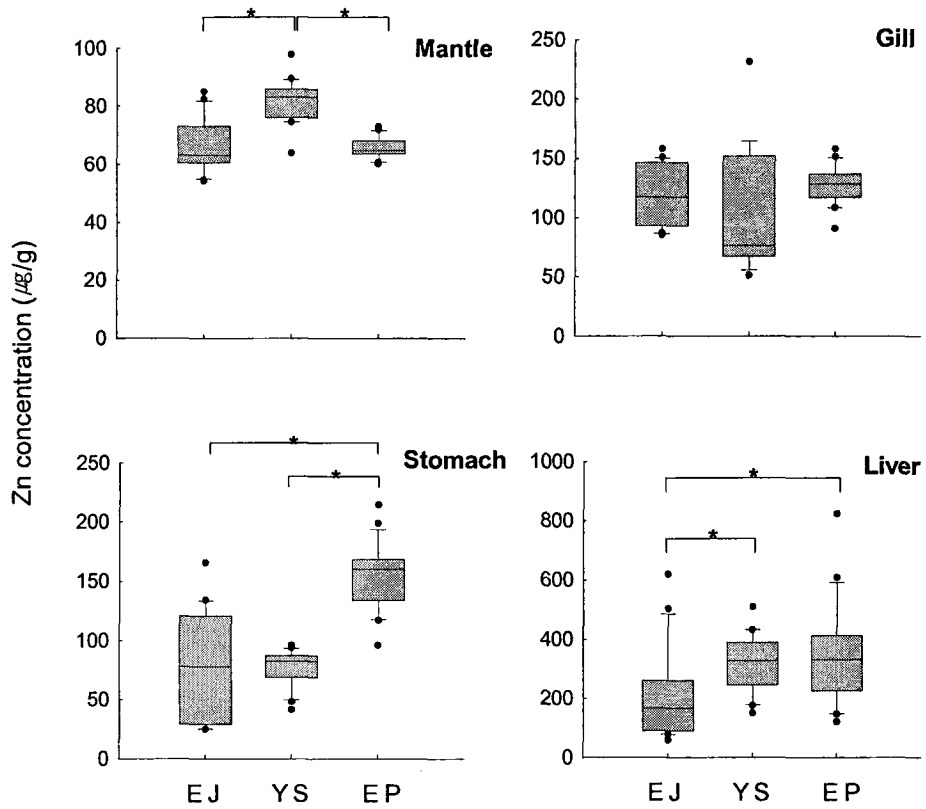


Figure 3-2-3-4. Continued (Zinc)

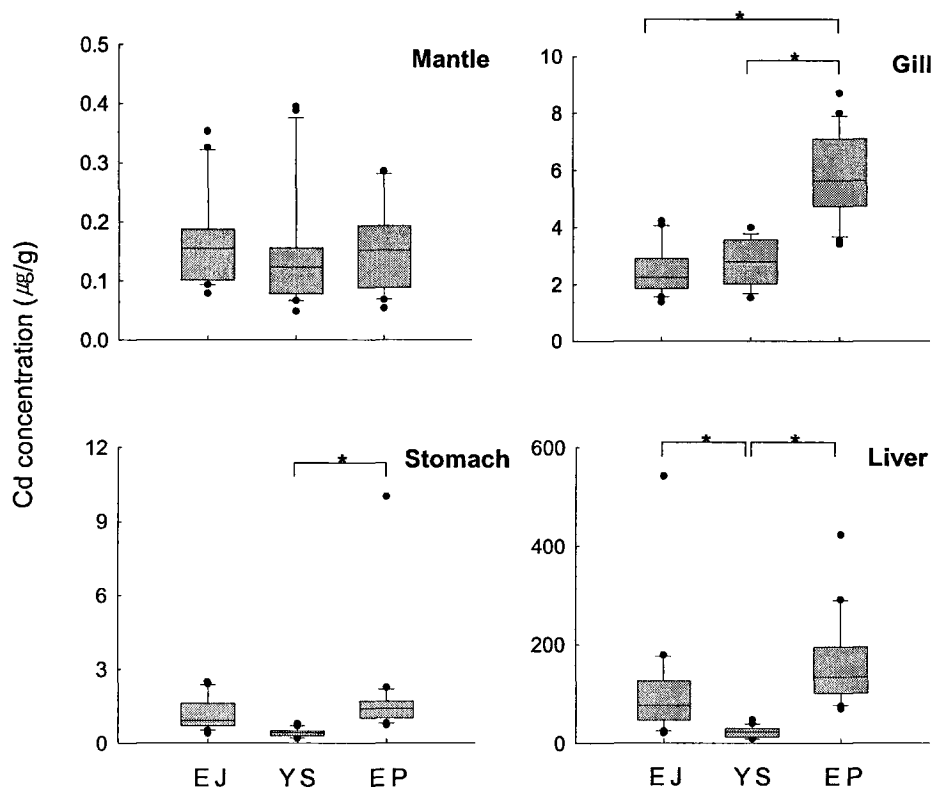


Figure 3-2-3-4. Continued (Cadmium)

Table 3-2-3-3. Average and variation coefficients of metal concentration according to sampling area in each organ

Organ	statistic	Cu			Zn			Cd		
		EJ	YS	EP	EJ	YS	EP	EJ	YS	EP
Mantle	average	7.47	10.03	9.99	66.15	81.78	65.73	0.17	0.15	0.16
	CV ¹ (%)	22	42	23	13	9	5	47	67	45
Gill	average	197.1	253.1	141.3	118.9	108.5	128	2.5	2.8	5.9
	CV (%)	28	30	30	23	48	12	33	30	25
Stomach	average	38.2	40.3	46.7	78	77.5	154.3	1.2	0.4	1.8
	CV (%)	25	40	28	63	19	17	53	38	109
Liver	average	578.1	432.1	612.5	197.3	323.3	348	107.6	23.3	162.5
	CV (%)	101	44	39	74	29	48	103	48	53

* EP; East Sea (Pohang), YS; Yellow Sea, EJ; East Sea (Jumoonjin),

¹ CV; Coefficient of variation

Table 3-2-3-4. Significance level in the difference of metal concentration in organ between each sampling area

		Cu		Zn		Cd	
		EJ*	YS*	EJ	YS	EJ	YS
Mantle	YS	0.03		0.00		0.75	
	EP*	0.03	0.99	0.98	0.00	0.90	0.95
Gill	YS	0.01		0.65		0.73	
	EP	0.01	0.00	0.70	0.21	0.00	0.00
Stomach	YS	0.88		0.99		0.13	
	EP	0.13	0.31	0.00	0.00	0.31	0.00
Liver	YS	0.48		0.02		0.01	
	EP	0.96	0.32	0.00	0.85	0.11	0.00

* EP; East Sea (Pohang), YS; Yellow Sea, EJ; East Sea (Jumoonjin)

Table 3-2-3-5. Concentration of range of heavy metal in seawater around Korean peninsula (* means average concentration.)

Area	Location	Concentration	Reference
East sea	동해 중앙 해역 남부 및 북부	Cu : 1.6~5.8 (nmol/kg)	양재삼, 1997
	Southwest of East sea	Cu : 0.94~2.83 (nmol/kg)	Bruland, 1980
	온산연안	Cd : 0.005~2.988 ($\mu\text{g/L}$)	
		Cu : 0.08~24.55 ($\mu\text{g/L}$) Zn : 0.21 ~ 35.12 ($\mu\text{g/L}$)	백수민과 이인숙, 1998
Yellow sea	온산만	Cu : 0.29~0.79 ($\mu\text{g/L}$)	
		Zn : 0.24~1.70 ($\mu\text{g/L}$)	이인숙 등 1995
		Cd : 0.01 ($\mu\text{g/L}$)	
Yellow sea	Changjiang Estuary	Cu : 5.35~6.45 (nmol/kg)	한국해양연구소, 1995
	yellow sea	Cu : 1.57~9.44 (nmol/kg)	한국해양연구소, 1988
		Cd : 0.018~0.050 ($\mu\text{g/L}$)	
	아산만	Cu : 0.23~1.15 ($\mu\text{g/L}$)	한국해양연구소, 1993
		Zn : 0.06~0.99 ($\mu\text{g/L}$)	
	시화방조제 연안	Cd : 0.018~0.028 ($\mu\text{g/L}$)	
		Cu : 0.42~0.79 ($\mu\text{g/L}$)	한국해양연구소, 1997
		Zn : 0.37~1.66 ($\mu\text{g/L}$)	
Cd : 0.52 ($\mu\text{g/L}$)			
west coast (대산산업단지)	군산·장항연안*	Cu : 2.09 ($\mu\text{g/L}$)	이진하 등, 1997
		Zn : 13.65 ($\mu\text{g/L}$)	
		Cu : 0.69~0.78 ($\mu\text{g/L}$) Zn : 0.80~1.74 ($\mu\text{g/L}$) Cd : 0.01~0.05 ($\mu\text{g/L}$)	이인숙 등, 1995

4. 유기오염물질 (POPs) 농축 특성

본 연구에서 분석되어진 POPs는 다음과 같다; pentachlorobenzene, hexachlorobenzene(HCB), pentachloroanisole, 4 종의 hexachloro hexane (HCHs; α -, β -, γ -, δ -type), 7 종의 chlorodanes (CHLs; α -chlorodane, γ -chlorodane, oxychlorodane, heptachlor, heptachlor epoxide, cis-nonachlor, trans-nonachlor), aldrin, dieldrin, endrin, mirex, endosulfan II, 7 종의 DDT 및 대사산물 (DDTs; o,p' -DDE, p,p' -DDE, o,p' -DDD, p,p' -DDD, o,p' -DDT, p,p' -DDT, DDMU), 21 종의 polychlorinated biphenyls (PCBs), 3 종의 butyltins (BTs; monobutyltin, dibutyltin, tributyltin), 24 종의 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). 분석되어진 모든 POPs 자료는 Appendix 2와 3에 나타내었다. 자료들에 대한 토의는 총 농도가 5 ng/g이상의 값을 보인 HCB, HCHs, CHLs, DDTs, PCBs, PAHs, 그리고 BTs에 대해서만 실시하였다. 물-옥탄올 분배계수(Kow)가 높은 유기오염물질들은 체내에서의 농도와 조직에서의 지방함량사이에 좋은 상관관계를 보여주었으나, 상대적으로 낮은 Kow를 가지는 유기주석화합물은 유의한 상관관계가 나타나지 않았다 (Figure 3-2-4-1).

1차년도에 조사되어진 성별, 크기별, 조직별 시료에 있어서 각 개별 화합물들의 농도를 Appendix 2에 수록하였다. 그 중 대표적인 4개 조직 (간, 위, 아가미, 외투막)에서의 유사 화합물 별 합계를 Table 3-2-4-1 (ng/g dry wt)과 Figure 3-2-4-2 (ng/g lipid wt)에 나타내었다.

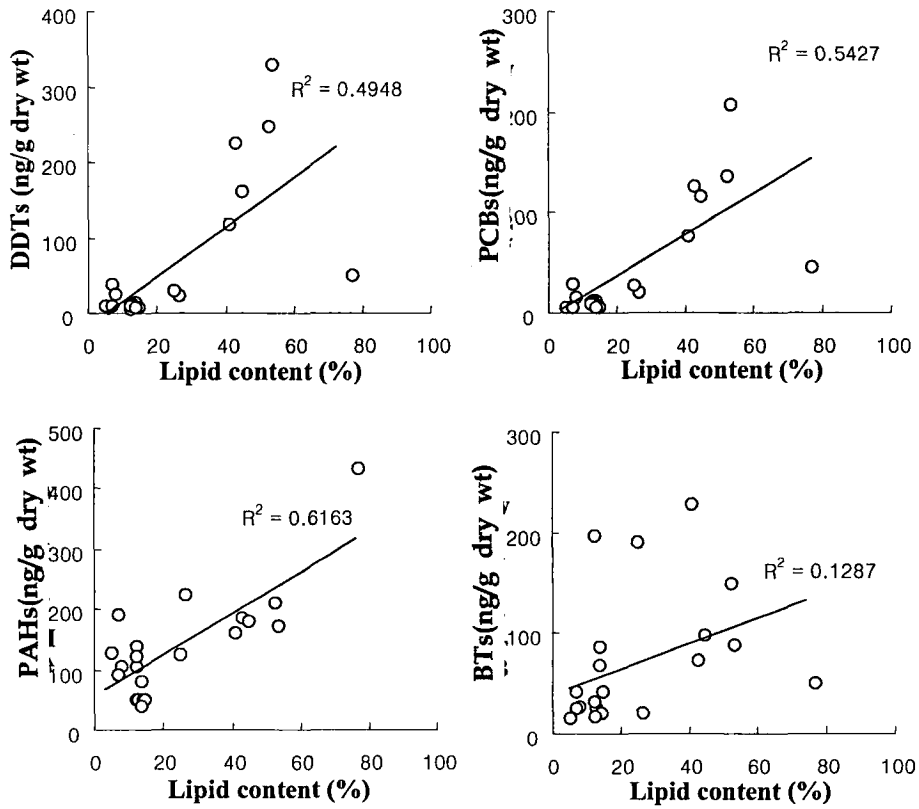


Figure 3-2-4-1. Correlation between the concentrations of POPs and lipid content

Table 3-2-4-1. Sample information and concentration (ng/g dry wt) in squid of East of Korea

Size (Season)	Organ	Sex	lipid (%)	DDTs	PCBs	CHLs	HCHs	PAHs	BTs
Small (July)	Whole body (n ^e =10)	-	14.2	13.4	11.6	1.34	0.33	106	86
	Mantle (n=10)	-	12.4	8.86	8.85	0.64	0.55	75	16
Large (July)	Mantle (n=5)	M ^f	13.0	10.7	11.0	0.96	0.27	65	25
		F ^g	14.5	7.20	6.79	1.12	0.25	59	19
	Stomach (n=4)	M	7.20	35.1	28.5	6.26	2.11	294	42
		F	5.31	8.04	5.58	0.96	0.25	475	15
	Liver (n=5)	M	42.8	222	125	24.0	1.68	227	72.3
		F	44.9	158	116	20.6	6.29	216	97
	Gill (n=5)	M	12.5	10.7	9.71	2.15	0.18	141	196
		F	n.a. ^h	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Large (October)	Mantle (n=5)	M	14.9	5.40	4.83	1.14	0.09	63	41
		F	14.1	6.37	5.41	0.92	0.42	53	67
	Stomach (n=5)	M	8.39	23.9	15.0	3.55	2.18	147	26
		F	7.10	8.49	5.40	1.26	0.39	142	25
	Liver (n=5)	M	53.6	325	206	37.3	10.9	210	87
		F	52.5	245	136	31.0	12.3	261	148
	Gill (n=5)	M	41.2	170	75.1	21.3	9.45	206	227
		F	25.2	45.4	26.4	6.47	4.88	165	190

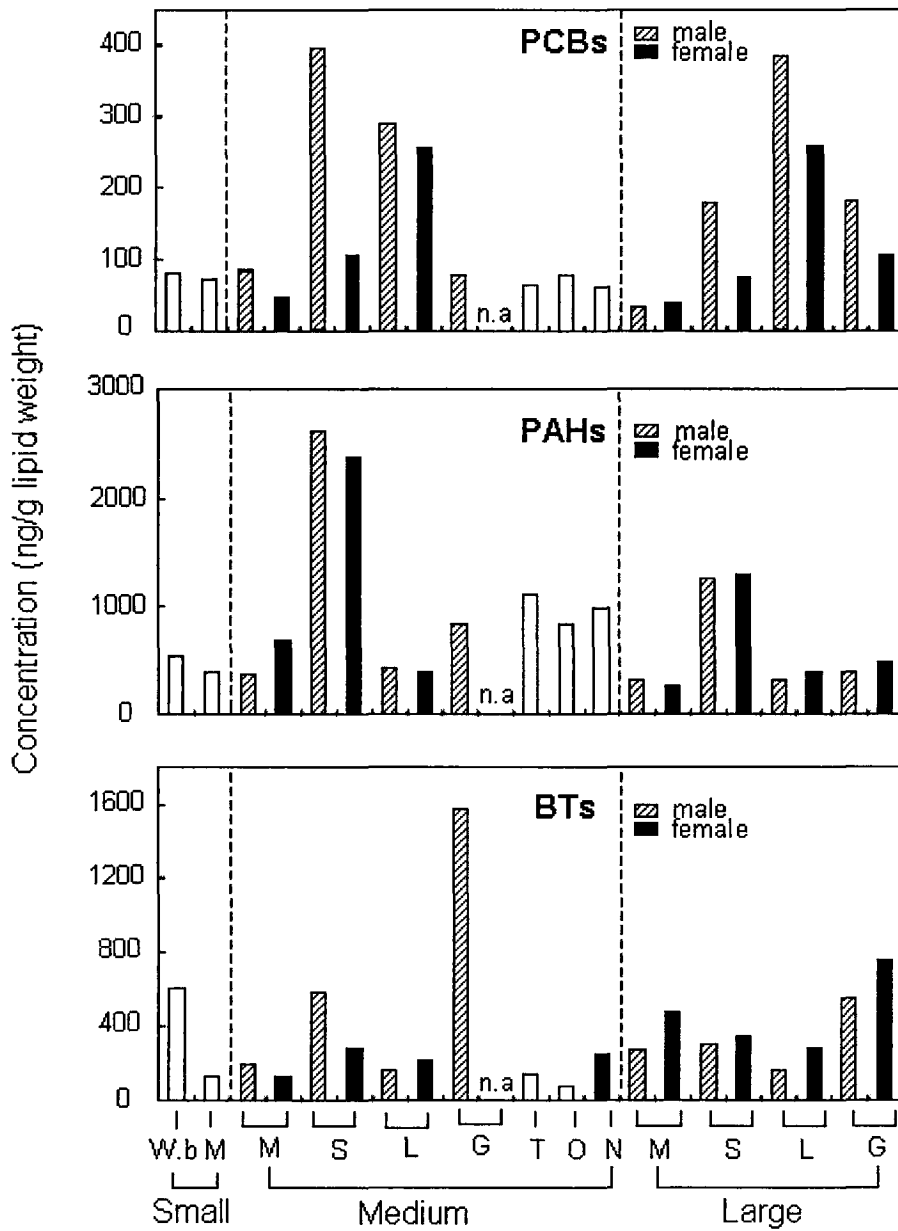


Figure 3-2-4-2. Persistent organic pollutant concentration (ng/g, lipid wt) in various organs of squid with three different size(M; mantle, W.B.; whole body, L; liver, G; gill, N; Nidamental gland, O; ovary, T; testis, S; stomach)

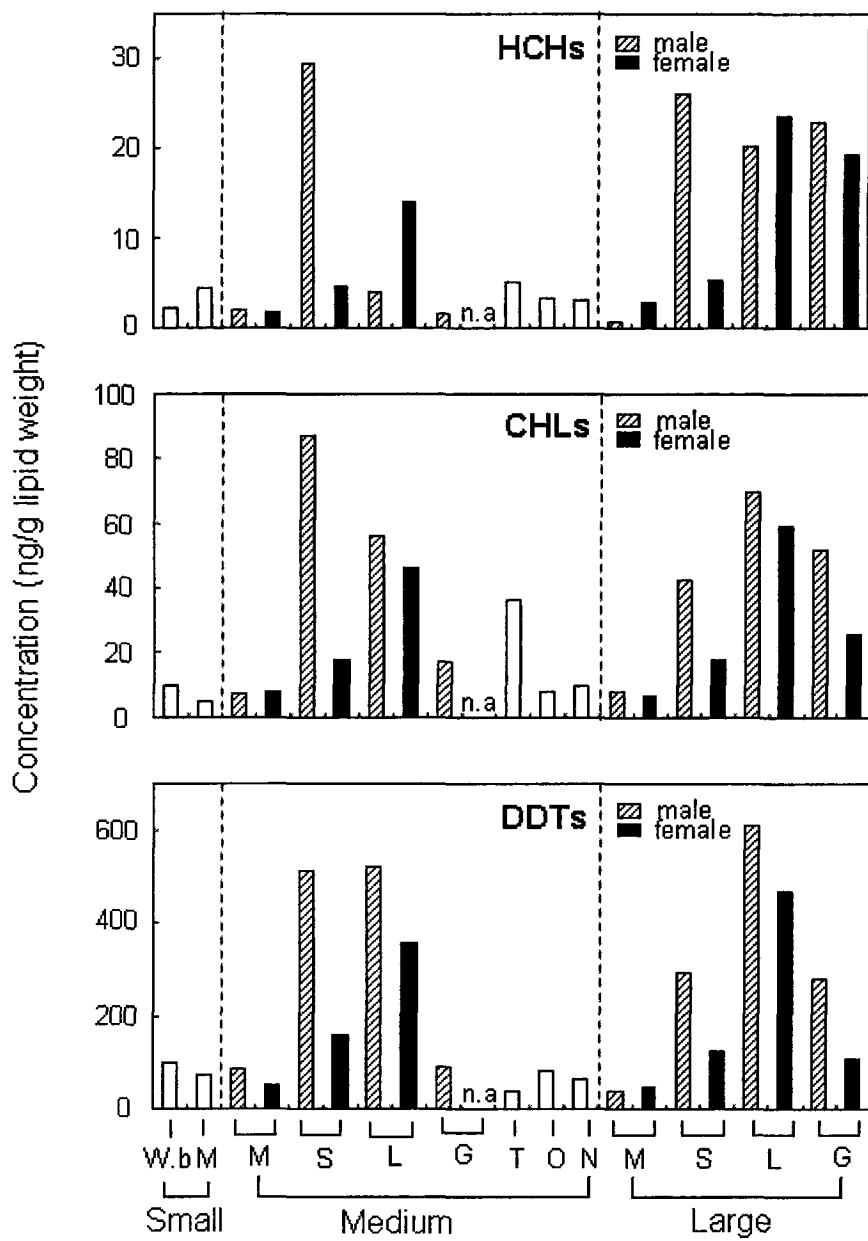


Figure 3-2-4-2. (continued)

가. 조직별 분포특성

살오징어의 간조직은 오염물질의 생체 내 주요 저장소로서 많은 POPs 모니터링 연구에 주요하게 이용되어 왔다 (Ueno et al., 2003a; Yamada et al., 1997). 간에서 각 화합물의 농도는 PAHs (53 -294 ng/g dry wt) > BTs (17 -227 ng/g dry wt) > DDTs (158 - 325 ng/g dry wt.) > PCBs (116 - 206 ng/g dry wt.) > CHLs (20.6 - 37.3 ng/g dry wt.) > HCHs (1.68 - 12.3 ng/g dry wt.)순으로 나타났다. 유기염소계 화합물 중 DDTs와 PCBs 의 상대적으로 높은 농도는 인근해역인 일본의 Suruga Bay 에서 채집된 심해 생물 (crustaceans, fish, cephalopods, coastal fish) (Lee et al., 1997)에서 뿐만 아니라, 일본의 서쪽해역, Gulf of Alaska, Bering Sea에서 채집된 walleye pollock (*Theragra chalcogramma*)를 이용한 연구 (de Brito et al., 2002)에서도 본 연구와 유사하게 높게 나타났다. 이와 같이 북동아시아 외해역에서 DDTs와 PCBs 화합물의 우세한 경향은 과거로부터 북동아시아지역에서 두 화합물이 광범위하게 생산되고 사용되었던 사실을 잘 반영하고 있다. 일본과 러시아에서의 PCBs 사용량은 전 세계 PCBs 사용량의 12%를 차지하며 (Breivik et al., 2002), 이 중 상당 비율이 해양환경으로 유입되어 높은 농도로 나타난 것으로 판단된다. DDT 화합물의 경우, 대부분의 아시아 국가에서 20-30년 전에 공식적으로 사용을 금지했음에도 불구하고 농업이나 공중보건의 목적으로 계속적으로 사용되고 있는 것으로 추정되고 있다 (de Brito et al., 2002). 그러므로, 주변해수의 오염현황을 빠르게 반영하는 특성을 지닌 오징어 체내에서 높은 빈도의 PCBs와 DDTs 검출은 동해 주변 지역으로부터 두 화합물의 광범위한 사용과 그에 따른 지속적인 유입가능성을 시사한다.

한국 동해의 해역에서 채집된 오징어 내 POPs의 농도는 다른 연구 결과들에 비해 대체적으로 낮은 경향을 보였다 (Table 2-2-2-1).

Adriatic Sea에서 채집된 두족류내 식용부위의 PCBs 농도는 본 연구에서 분석된 살오징어 외투막에서의 농도에 비해 최대 10배 이상 높게 나타났으며 (Perugini et al., 2004), 간조직에서의 농도는 2배 이상의 농도 수준을 나타내었다 (Storelli et al., 2006). 일본 서쪽의 연근해 해역 및 Sagamy Bay, 그리고 러시아에서는 PCBs의 평균값이 한국의 동해지역보다 각각 약 3배 와 8배 정도로 높은 농도를 보였으며, 다른 화합물에서도 본 연구지역보다 높은 농도를 보였다. 앞서 언급한 바와 같이 일본은 PCB의 생산국으로서 그 사용량 (15,287 - 31,124 ton)은 한국 사용량 (2,927 - 6,142 ton)의 5배 이상인 것으로 보고되었다 (Breivik et al., 2002). 따라서 일본의 인근해역에서의 상대적으로 높은 PCBs 농도는 일본에서의 높은 PCBs 사용량을 반영하는 결과로 사료된다. 일본 Sagamy Bay에서 DDT는 매우 높은 농도(730 - 5600 ng/g lipid weight)를 나타내었다. 이 지역은 10,000 ton 이상의 DDT를 비축하거나 매장했던 장소이기 때문에 높은 농도가 나타난 것으로 여겨졌다. 하지만, 총 DDTs에서 *p,p'*-DDT가 차지하는 낮은 비율 (*p,p'*-DDT/DDTs < 10%)로부터 최근의 유입은 없는 것으로 판단되었다 (Ueno et al., 2003a). 한편, 일본열도의 또 다른 해역인 태평양 측에서의 PCBs와 DDTs농도는 한국 동해지역보다 낮게 나타났으며, 이는 태평양 측 일본 해안이 동해에 비해 해수의 순환이 잘 일어날 수 있으므로 이들 화합물이 빨리 희석되는 것으로 추정된다.

나. 성별 및 채집시기에 따른 농축 특성

계절과 성별에 따른 POPs 농도의 차이를 보기 위해 2005년 7월과 10월에 유사한 크기의 오징어를 채집하여 분석하였다 (Table 3-2-4-1). 오징어 간에서의 농도를 살펴보면, 10월에 채집된 오징어의

POPs 농도가 7월에 채집된 오징어의 POPs 농도보다 높게 나타났다. 7월과 10월에 채집된 수컷 살오징어 간조직에서의 POPs 농도를 지방함량으로 표준화한 평균 농도는 각각 다음과 같다: PCBs : 291 ng/g, 383 ng/g ; DDTs : 517 ng/g, 607 ng/g ; CHLs : 55.9 ng/g, 69.6 ng/g ; HCHs : 3.91 ng/g, 20.1 ng/g ; PAHs : 530 ng/g, 392 ng/g ; BTs : 169 ng/g, 162 ng/g. 이와 같이 두 그룹의 살오징어 간조직에서의 POPs 농도를 지방함량으로 표준화한 농도 역시 여전히 10월에 채집된 오징어가 7월에 채집된 오징어보다 더 높은 농도를 나타내고 있다. 이러한 경향은 암컷 오징어 간에서도 동일하게 관찰되었다. 그러나 본 연구에서는 5개체를 혼합하여 1개의 혼합시료로 분석되어졌기 때문에 오징어 체내의 POPs 농도에 대한 계절적 차이를 통계적으로 설명하기에 어려움이 있으며, 이에 대해서는 앞으로 추가 연구가 필요한 것으로 판단되었다. 반면, Ueno et al. (2003a)의 연구에서는 PCBs를 제외한 POPs의 축적에 계절적인 영향은 없는 것으로 보고하였으며, 유일하게 PCBs 농도의 계절적 차이에 대해 채집 시기에 연구지역 안에 존재하는 오염원으로 인하여 해수 내 PCBs의 농도 변화에 따른 결과로 해석하였다.

POPs의 성별에 따른 차이를 알아보기 위해 DDTs, PCBs, CHLs의 농도를 비교한 결과 수컷이 암컷보다 다소 높은 경향을 나타내었으며, HCHs는 다른 화합물과는 다르게 상반되는 경향을 보여주었다. 지방함량으로 표준화한 농도 역시 수컷이 암컷보다 높은 농도를 보여 주었는데, 이러한 경향은 오징어의 생식소숙도지수 (gonadosomatic index, GSI = 생식소중량/(총중량-생식소중량)*100)에 의해 어느 정도 설명되어질 수 있다. 동해지역에서의 오징어 생태연구 (Baek et al., 2006)에 의하면 본 연구에서 대형오징어가 채집되어진 7월부터 10월 사이의 기간 동안 수컷에 비해 암컷은 더 높은 GSI 값을 보여주었다. 또한 암컷 생식소에서

지방함량이 수컷 생식소보다 3 배 가량 높았다 (Moon et al., 2006). 이는 수컷에 비해 암컷이 총 중량에서 생식소가 차지하는 무게가 상대적으로 많음과 동시에 생식소에서의 높은 지방함량을 고려할 때 POPs의 체내 총 부하량의 상당부분이 암컷의 경우 생식소에 재분배되어 축적되므로써, 암컷에서는 다른 주요 조직에서의 농도가 수컷에 비해 상대적으로 낮게 나타날 수 있는 것으로 예상되었다. Hudson River Estuary의 대구, *Microgadus tomcod*를 이용한 연구에서는 수컷 성어에서의 PCBs와 PCDD/Fs 농도가 암컷 성어에서의 농도보다 2-5배 더 높게 나타났다 (Marc et al., 2004). 이렇게 수컷 대구에서 높은 농도가 나타나는 이유는 암컷 대구에서는 친지성 POPs들이 다른 조직에서 알 (생식소)에 전이되기 때문이라고 설명하였다. Fisk and Johnston (1998)의 연구에서도 본 연구에서와 같이 유사한 성별에 따른 차이를 나타내었다. 친지성이 다른 화합물에 비해 낮은 BTs는 Figure 3-2-4-1에서 나타난 바와 같이 다른 POPs 화합물과는 다른 경향을 보인 것처럼 7월과 10월 모두 오히려 암컷에서 높은 값을 보여주었다.

다. 크기별 농축 특성

일반적으로 해양 생물 중 어류에서는 POPs의 농도와 물고기 크기 사이에 좋은 상관관계가 나타난다. 일본 연안 해역에서 채집된 다랑어 (bluefin tuna)에서의 POPs에 관한 연구에서도 크기가 증가함에 따라 PCBs, DDTs, CHLs 의 농도 (lipid weight basis)는 증가하였다. 이는 먹이를 통한 높은 흡수율 (uptake rates)과 주변 해수와 체내 지방함량 사이에 POPs가 평형상태에 도달하는데 긴 시간이 필요하기 때문이다 (Ueno et al., 2002).

한편, 2005년 7월에 한국 동해연안에서 채집된 살오징어 외투막

크기에 따른 POPs 농도를 비교하면 (Table 3-2-4-1), 소형 오징어의 DDTs (8.86 ng/g dry weight), PCBs (8.85 ng/g dry weight), CHLs (0.64 ng/g dry weight), HCHs (0.55 ng/g dry weight)의 평균농도는, 대형 오징어의 DDTs (7월과 10월의 평균값; 8.95 ng/g dry weight), PCBs (8.89 ng/g dry weight), CHLs (1.04 ng/g dry weight), HCHs (0.26 ng/g dry weight) 평균농도와 유사하였다. Ueno et al. (2003a) 역시 오징어 체내의 POPs 농도가 몸의 길이 (17-26cm)와 유의한 차이가 없음을 보고한 바 있다. Bustamante et al. (2000)의 연구에 의하면 오징어는 부화 후 1개월 이내에 주변 해수중의 농도와 평형상태에 이를 만큼 상당히 빨리 체내에 중금속을 축적하는 것으로 밝혀졌다. 그러므로, 기존의 연구결과와 본 연구 결과로부터 비추어 볼 때 1년의 짧은 수명과 빠른 성장율을 가진 살오징어는 유기오염물질에 있어서도 크기 (외투막 길이, 연령 혹은 무게)에 관계없이 해수의 오염수준을 빠른 시간 내에 반영하기 때문에, 크기에 따른 POPs의 농도 영향은 미비한 것으로 판단되었다. 하지만, 크기별 농도 비교에서도 BTs는 Figure 3-2-4-2에 나타난 것처럼 다른 POPs 화합물들과는 다르게 10월에 채집된 대형 오징어에서는 소형보다 높게 나타났다.

라. 조직별 농축 특성

조직에 따른 POPs의 축적을 살펴보면 간에서 가장 높은 POPs 농도를 나타냈다 (Figure 3-2-4-2). 일반적으로 생물체 내의 POPs는 그들의 높은 친지성 때문에 지방함량이 높을수록 POPs의 축적량도 높아진다. Spaice and Hamelink (1982)는 어류의 생체막 (biological membrane)에서 지방함량이 증가함에 따라 친지성 화합물의 흡수율이 증가한다고 보고하였다. 어류 (Wu et al., 2001)뿐만 아니라 해양포유류 (Tanabe et al.,

1994b)에서도 역시 지방함량이 높은 조직에서 POPs가 높게 검출되었다. 이러한 유기염소계 화합물의 물리화학적 특성 때문에 오징어에서도 지방함량이 높은 간이 해양 모니터링 연구에 많이 이용되었다 (Ueno et al., 2003a; Yamada et al., 1997). 오징어의 각 조직에 축적된 DDTs, PCBs, HCHs와 지방함량과의 상관관계는 각각 $r^2=0.90$ ($p<0.001$), $r^2=0.87$ ($p<0.001$), $r^2=0.75$ ($p<0.001$)으로 양의 상관관계를 나타내었다. 한편, CHLs는 유의한 상관관계를 보였으나 ($p<0.05$), 다른 POPs와 비교했을 때 상대적으로 낮은 값 ($r^2=0.33$)을 나타내었다.

마. POPs 화합물들의 조성비율

1) 오염물 유입역사

대형 살오징어 간에서 POPs의 조성비율을 Figure 3-2-4-3에 나타내었다. 총 DDT 함량에 대한 DDT metabolites (DDE와 DDD)의 비는 0.55-0.66의 범위를 나타냈다. 이처럼 DDT metabolites의 높은 비율은 한국의 외해역에 새로운 DDT의 유입이 적음을 의미한다. 한편, HCHs compound는 이성질체 중 α -, β -, γ - and δ -HCH의 조성비는 각각 15-29%, 51-62%, 18-21%, 2-3%로서 β -HCH가 가장 우세하였으며, 환경 중에서 대량으로 사용되어졌던 technical HCH에서의 α -, β -, γ - and δ -HCH의 조성비율 (55-70%, 5-14%, 10-18% and 6-10%)과 큰 차이를 나타내었다. Western North Pacific에서의 생태계 연구결과에 의하면 오징어는 포유류에 비해 α -HCH를 β -HCH로 변형시키는 대사 능력이 낮아 해수중의 HCH 화합물의 조성을 상대적으로 잘 반영하고 있었다 (Tanabe et al., 1984). 그러므로 살오징어 간에서 낮은 α -HCH와 높은 β -HCH의 조성비는 주변 해수 내에 β -HCH가 상대적으로 많이 존재함을 의미하고,

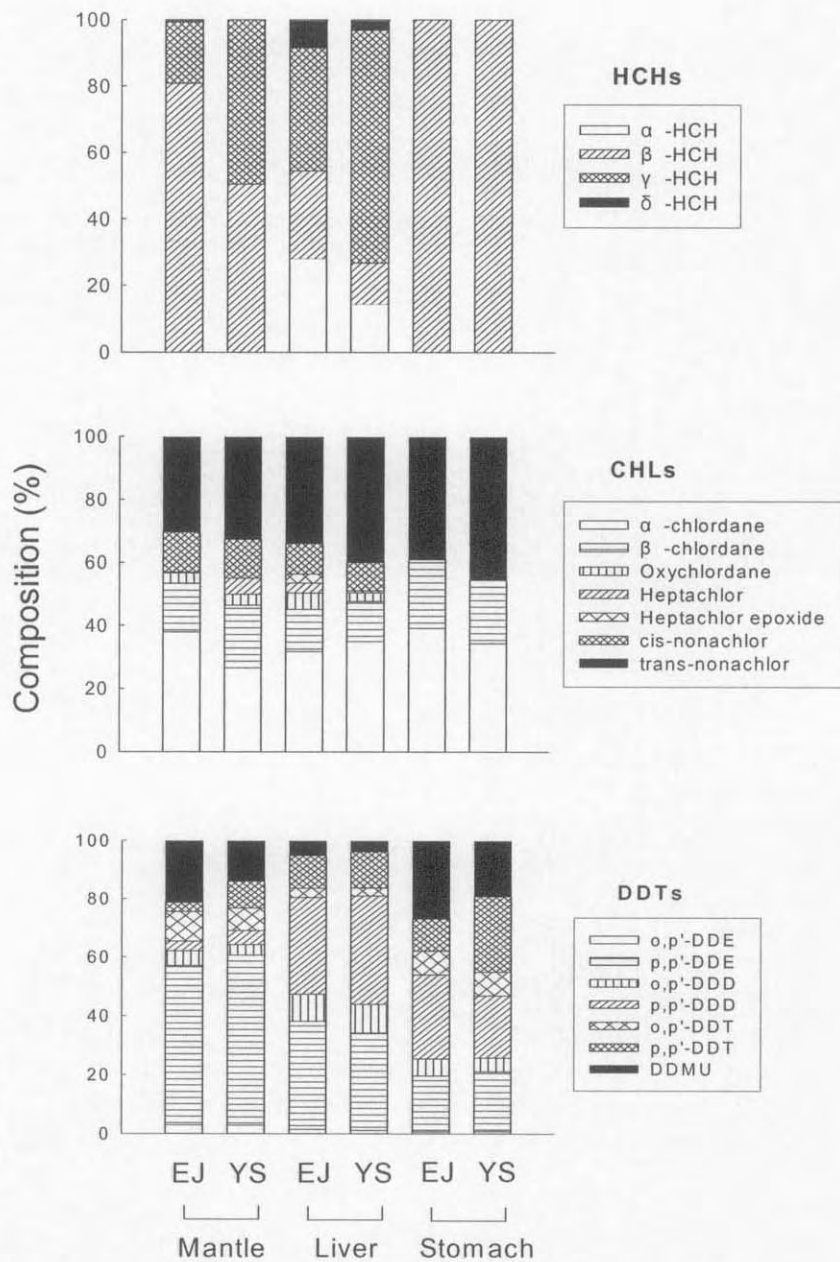


Figure 3-2-4-3. Composition of POPs in different organ and sampling area

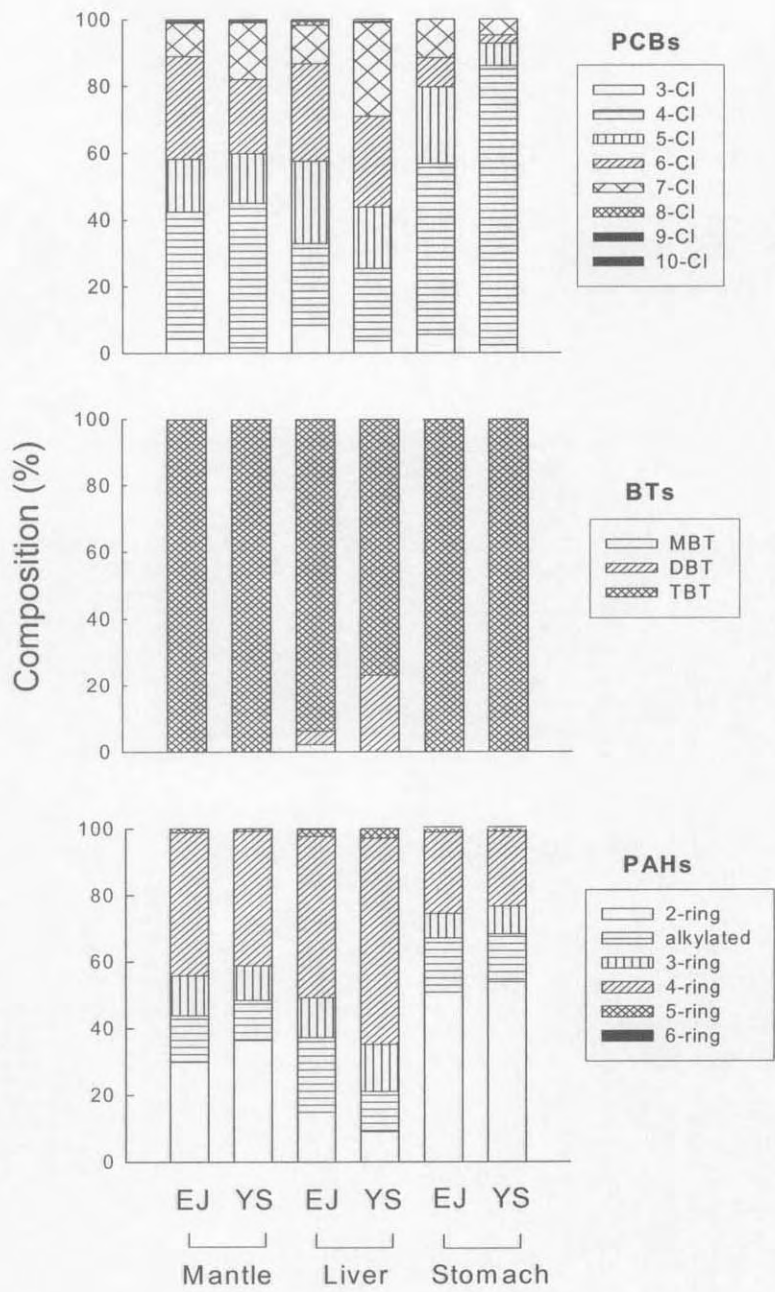


Figure 3-2-4-3. (Continued)

이는 이 연구 해석으로 HCH compounds가 방출된 후 오랜 시간이 경과되었음을 나타낸다. CHLs에서 *trans*-chlordane (TC)과 *trans*-nonachlor (TN)의 비율 (TN/TC)는 3.86-4.01으로 나타났다. 해양환경 중으로 계속적인 CHLs의 방출이 일어날 때의 TN/TC ratio는 0.15-0.45정도로 나타나고, 시간이 지날수록 TN의 높은 지속성으로 인해서 그 비율이 증가하게 된다 (Iwata et al., 1993). 그러므로 CHLs 또한 HCHs와 마찬가지로 환경 중으로 방출된 후 오랜 시간이 경과된 것으로 해석된다.

2) 오징어의 대사능력

간조직에서 TBT의 대사산물이 타 조직에 비해 높게 관찰되었으나, DDTs의 분포에서는 DDT의 대사산물이 높게 관찰되지 않아 DDT가 TBT에 비해 훨씬 난분해성인 경향을 보여주었다 (Figure 3-2-4-4).

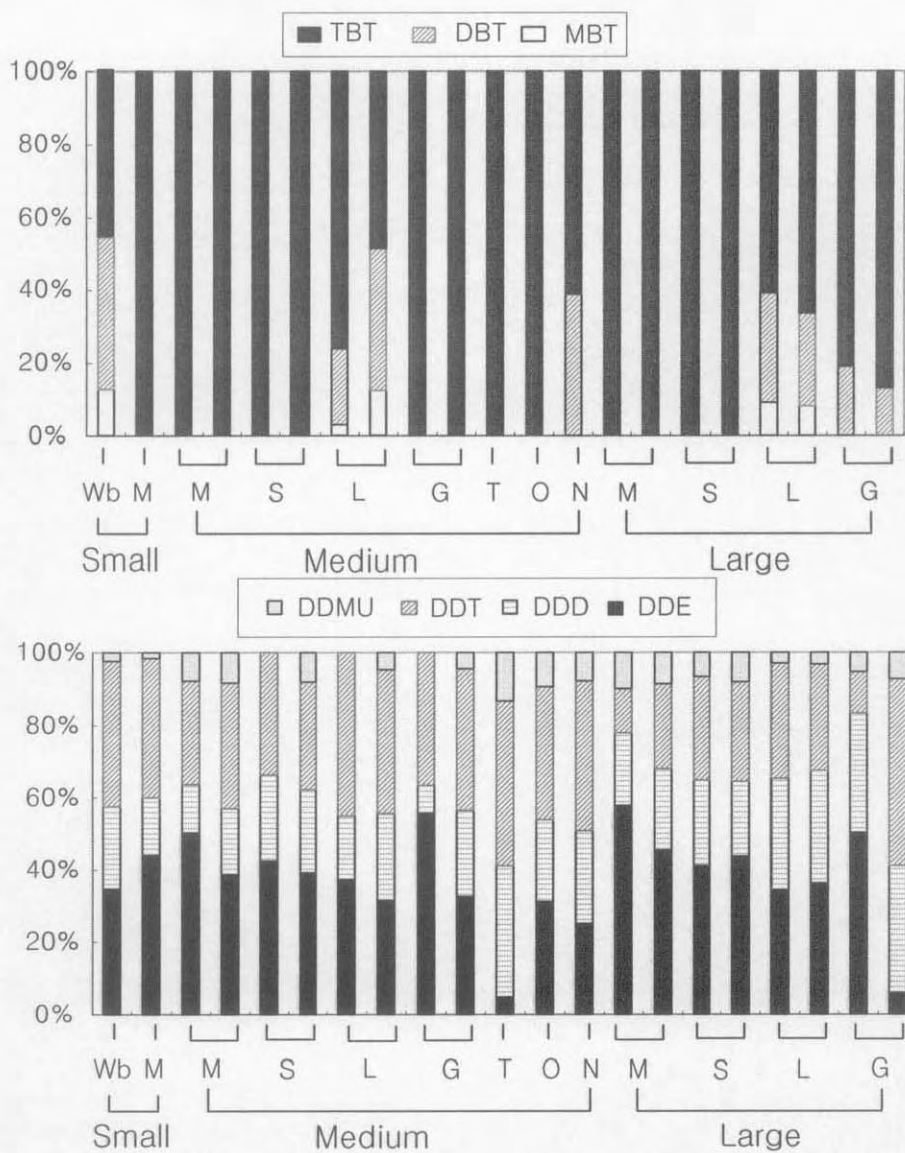


Figure 3-2-4-4. Composition of BTs and DDTs in various organs of squid (In case of squid with medium and large size, first bar means male, second female)

바. 해역별 비교

간과 외투막에서의 POPs 평균농도와 표준편차 및 변동계수를 Table 3-2-4-2에 나타내었다. 해역별로 각 화합물에 대해 조직에 따라 Figure 3-2-4-5에 나타내었다.

1) 농도비교

가장 낮은 농도를 보인 HCB를 제외하면 모든 화합물에서 적어도 한 해역에서는 50 % 이상의 변동계수를 보여주어 각 해역에서 동일 종의 오징어 10마리를 분석하였음에도 농도에 있어서 상당히 높은 편차가 있음을 알 수 있었다.

SPSS에서의 ANOVA 통계기법을 이용하여 해역별 농도차이에 있어서 유의수준을 살펴보았다 (Table 3-2-4-3). 외투막에서는 같은 농도값을 보인 CHLs 화합물을 제외한 모든 화합물에서 동해보다 서해에서 채집된 오징어에서 더 높은 농도값을 보여주었다 ($p < 0.05$). 반면 간에서는 CHLs와 DDTs에서만 유의한 차이를 보여주었으며, 외투막에서와 동일하게 동해보다 서해에서 더 높은 농도값을 보여주었다. 조직에 따라 다르게 농도차이를 보이는 이유에 대해서는 보다 깊은 고찰이 필요할 것으로 판단된다. 하지만, 적어도 본 연구에서 서해해역이 동해보다 상대적으로 유기오염물질에 대해 오염되어 있음을 알 수 있었다. 두 조직 모두 동해에서 높은 값을 보인 화합물은 없었다.

서해 북쪽 중국지역에 위치한 Bohai 만은 최근 급속한 산업발전으로 인해 Beijing, Tianjin 그리고 Hebei지역으로부터 10억톤의 폐수가 방류되고 있으며 (Wan et al., 2005), Wang et al (2005)의 연구에 따르면 한반도 연안 및 동해 연해주 주변지역보다도 Bohai 만의 대기분진에서 더 높은 불소화합물 (polybrominated diphenyl ethers)의 농도값을 보

여 이 지역의 오염이 상당히 심각하게 진행되고 있음을 알 수 있었다. 그러므로 본 연구의 결과는 앞으로 보다 장기적인 모니터링을 통하여 중국 기원의 오염물질의 영향을 꾸준히 조사하여야 필요성을 명확히 보여준 것으로 판단되었다. 한반도 주변 해수 중의 POPs 잔류농도에 대한 연구는 동해 남부에서 수행되어진 이동인 등(1997)이 유일하여 해역간 비교는 불가능하였다.

2) 조성 비교

각 POPs 화합물의 조성비가 Figure 3-2-4-3에 나타나있다. 이들 화합물들 중에서 PAHs와 PAHs의 조성비는 각각 PCBs와 PAHs의 기원에 따라 그 조성비가 달라지게 된다. PCBs의 경우 일반적으로 상용화되어진 상품의 종류에 따라 PCBs에 결합되어진 염소원자의 개수가 바뀌게 되어 그 조성비가 바뀌게 되며, PAHs의 경우 연소기원 및 유류기원에 따라 PAHs를 이루는 24개 화합물들의 조성비가 바뀌게 된다. 그러므로 본 연구에서 조사되어진 두 해역에서의 PCBs와 PAHs의 조성비를 서로 비교하므로써 동해와 서해에 유입되는 이들 화합물들의 기원이 서로 유사한지에 대해 살펴보았다.

이러한 비교를 위해서 21 종의 PCBs와 24종의 PAHs의 농도값을 가지고 두 해역간의 상관관계를 구하였다. 이러한 목적을 위해서 일반적으로 많이 사용되어지는 Pearson 법 (농도값을 비교)을 쓰는 대신 Spearman 법 (순위값을 비교)을 이용하여 유의수준을 구하였다. Table 3-2-4-4에 따르면 간 조직에서의 PAHs 화합물은 두 해역에서의 기원이 유사한 것으로 나타났으나, PCBs 화합물은 간과 외투막 모두에서 서로 다른 조성비를 보여 두 해역에 유입된 PCBs의 기원에 있어서 차이를 보여 주었다.

Table 3-2-4-2. Average and standard deviation of POP concentrations (ng/g lipid weight)

	Mantle		Liver		Stomach	
	EJ	YS	EJ	YS	EJ	YS
HCB	4.9 ± 0.5 (10 %)	6.4 ± 0.8 (13 %)	22 ± 10.2 (46 %)	32.2 ± 8.6 (27 %)	11.0	20.3
HCHs	4.3 ± 1.6 (37 %)	6.8 ± 2.6 (38 %)	40 ± 25.5 (64 %)	18.9 ± 10.7 (57 %)	23.2	18.3
CHLs	11 ± 1.1 (10 %)	11 ± 14 (131 %)	95 ± 22.2 (23 %)	66.9 ± 21.6 (32 %)	30.7	22.5
DDTs	77 ± 13 (17 %)	361 ± 219 (61 %)	642 ± 227 (35 %)	2755 ± 1215 (44 %)	1170	1700
PCBs	76 ± 12 (15 %)	131 ± 59 (45 %)	505 ± 132 (26 %)	651 ± 328 (50 %)	368	1422
PAHs	215 ± 77 (36 %)	283 ± 50 (18 %)	480 ± 316 (66 %)	360 ± 138 (38 %)	1013	1008
BTs	185 ± 91 (49 %)	307 ± 108 (35 %)	617 ± 1007 (163 %)	120 ± 105 (88 %)	602	1684

Numbers in parenthesis mean the coefficients of variation calculated by average divided by standard deviation. EJ; East Sea Jumoonjin, YS; Yellow Sea

Table 3-2-4-3. Result of ANOVA using POP concentrations between East Sea (Jumoonjin) and Yellow Sea

<i>p</i> -value	Mantle	Liver
HCB	0.00	0.06
HCHs	0.02	0.06
CHLs	0.94	0.02
BTs	0.02	0.16
PAHs	0.03	0.29
DDTs	0.00	0.00
PCBs	0.01	0.24

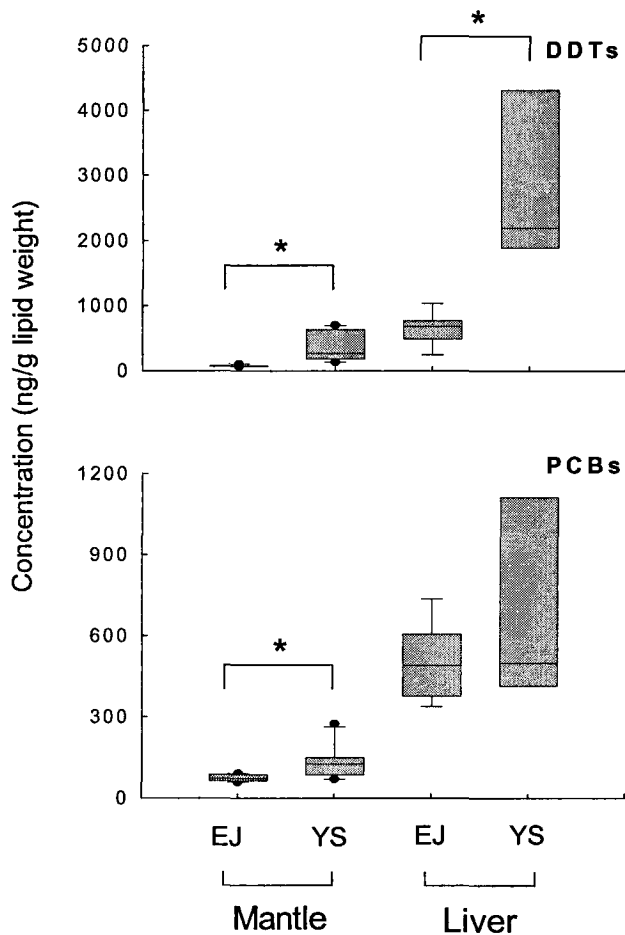


Figure 3-2-4-5. Comparison of POP concentrations between two sampling areas (Center line of box means median, while lower line and upper line of box mean 25 % and 75 % value of all data, respectively. Lower line and upper line of error bar mean 10 % and 90 % of all data, respectively. Dot outside error bar mean data over 3 times standard deviation from average value)

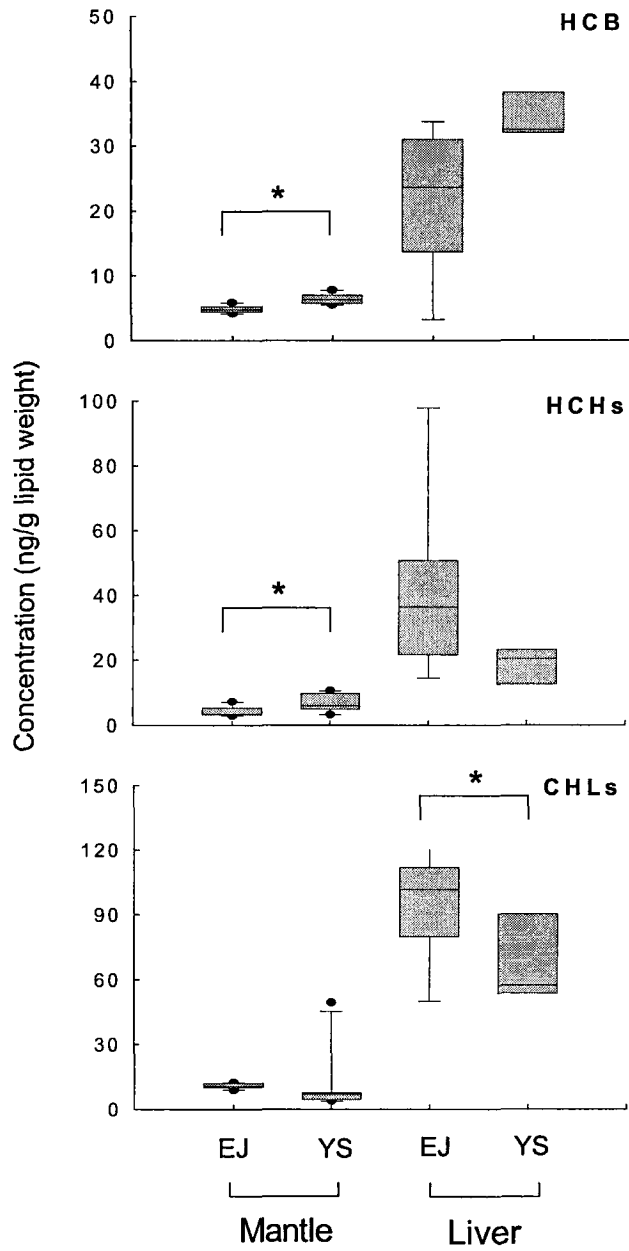


Figure 3-2-4-5. (Continued)

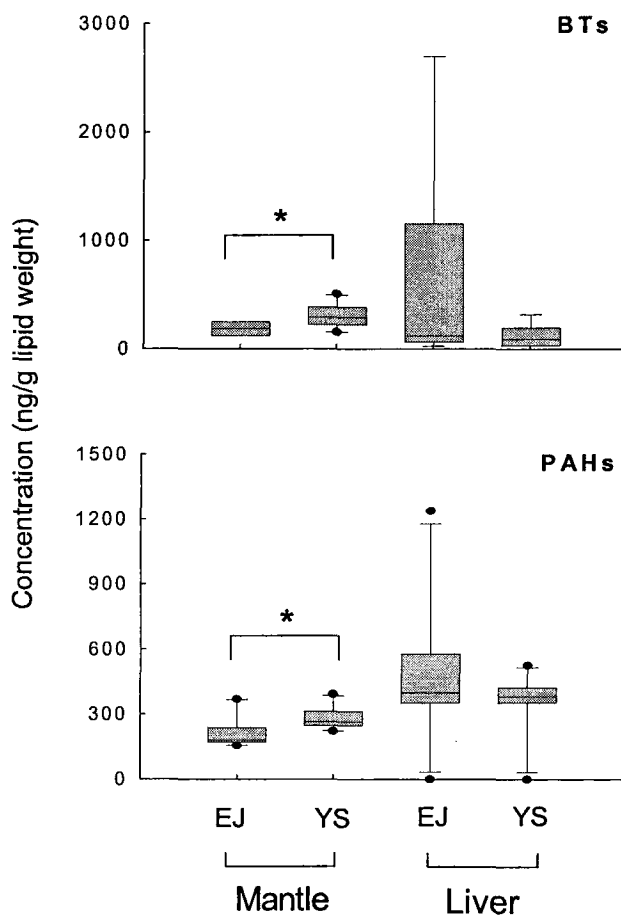


Figure 3-2-4-5. (Continued)

Table 3-2-4-4. Spearman correlation in composition of PCBs and PAHs between East Sea (Jumoonjin) and Yellow Sea

<i>p</i> -value	Liver	Mantle
PCBs	0.07	0.31
PAHs	0.04	0.81

5. 수산물 안정성 평가

가. 중금속

본 연구에 조사되어진 구리, 카드뮴, 아연에 대한 수산물에서의 잔류허용농도 기준은 Table 3-2-5-1에 나타난 것처럼 카드뮴에 대해서만 설정되어 있었다. 구리와 아연을 제외하더라도 카드뮴만 고려하여도 오징어의 간 조직은 잔류허용기준을 10-80배 (Table 3-2-3-3) 초과하는 것으로 나타났다. 하지만, 일반인이 주로 섭취하는 외투장은 기준이하로서 안정성에 문제가 없는 것으로 보여진다. 한편 WHO (1989)는 카드뮴의 일주허용섭취한계 (Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI)를 $7 \mu\text{g}/\text{kg body weight}/\text{week}$ 로 제안하였다. 본 연구 결과로부터 살오징어 간에서의 카드뮴 농도를 $100 \mu\text{g}/\text{g}$ 으로 잡고 평균체중을 70 Kg으로 가정하면 일주일에 4.9g만 섭취해도 WHO가 제시한 PTWI 값에 이르게 된다. 하지만, 다른 원소들의 경우 그 허용기준이 높고 간을 식용으로 섭취하지 않기 때문에 특별한 주의를 필요로 하지는 않는 것으로 판단된다.

나. 유기오염물질

국립독성연구원에서 나온 PCBs에 대한 일일허용섭취량 (Acceptable Daily Intake, ADI)은 $90\text{ng}/\text{kg}/\text{day}$ 이며, 이는 오징어 간에서의 평균농도를 $20\text{ng}/\text{g wet wt}$ ($100 \text{ng}/\text{g dry wt}$ 과 함수율 80%으로 환산)으로 잡으면 70kg의 성인의 경우 하루 315g 이상을 섭취해야 기준치를 넘게 되므로 오징어 섭취를 통한 PCBs에 의한 위해영향은 없을 것으로 판단되었다. 또한 DDT(ADI; $100 \text{ng}/\text{kg}/\text{day}$)나 HCB(ADI; $600 \text{ng}/\text{kg}/\text{day}$) 역시 오징어 섭취를 통한 위해 영향은 없을 것으로 판단되었다. 일본 수산물에서의 PCBs 잔류허용농도기준은 0.5 ppm으로 본 연구에서의 잔류농도는 이보다 낮은 값을 보여주었다.

Table 3-2-5-1. Comparison of Maximum Residue Limit of toxic metals in fishery products and seafood in different countries.

	총수은	납	카드뮴
한국	0.5 ppm 연체류를 포함한 해산어패류 (심해어류 및 참치류 제외)	2.0 ppm 해산어패류 (연체류 포함), 냉동대구머리 가공품· 냉동창란 (생물기준), 담수어 (생물기준)	2.0 ppm 패류(생물기준)
일본	0.4 ppm (총 수은) 0.3 ppm (메틸 수은) (심해산어패류, 담수산어패 류 다량어류 제외)	-	-
미국	1.0 ppm (메틸수은) 이하	1.5 ppm 갑각류 1.7 ppm 굴, 홍합, 대합	3 ppm 갑각류 4 ppm 굴, 홍합, 대합
유럽연합	0.5 ppm 일반수산물 1.0 ppm 상어, 참치, 뱀장어 등 18종	0.2 ppm 일반어류 0.4 ppm 뱀장어,농어 등 11종 0.5 ppm 갑각류 (게갈색근 제외): 1.5 ppm 이매패류 1.0 ppm 두족류 (내장 제외)	0.05 ppm 일반어류 0.1 ppm 뱀장어,농어 등 9종 0.5ppm 갑각류 (게갈색근 제외) 1.0 ppm 이매패류 1.0 ppm 두족류 (내장 제외)

Table 3-2-5-2. Comparison of Maximum Residue Limit of POPs in fishery products and seafood in different countries.

	오염물질	목록	기준
한국	-	-	-
미국	PCBs	어류	2.0ppm
	DDT, DDE	어류	5.0ppm
일본	Dioxins	해양과 공해의 어류와 갑각류*	0.5ppm
	& PCBs	육수를 포함한 연안과 만의 어류와 갑각류*	3.0ppm
대만	Dioxins	심해성 어류, 근해의 갑각류*	0.5ppm
	& PCBs	근해의 어류, 담수의 갑각류, 양식어류들과 갑각류들*	1.0ppm

* 가식부

미국 : <http://www.cfsan.fda.gov/~acrobat/haccp4x5.pdf>

일본 : <http://www.jetro.go.jp/en/market/regulations/pdf/foodadd2004apr-e.pdf>

대만 : http://food.doh.gov.tw/chinese/ruler/hygiene_standed_e.htm

Table 3-2-5-3. PTWI and PMTDI of toxic metals and POPs in Japan

Elements		허용량 (mg/kg bw)	1일섭취허용량 (mg/kg)		최종 JECFA ¹ 평가
			성인 (55kg)	성인 (60kg)	
<i>Cd</i>	PTWI ²	0.007	0.055	0.06	2003
Hg	PTWI	0.005	0.039	0.043	1978
MeHg	PTWI	0.0016	0.013	0.014	2003
Pb	PTWI	0.025	0.196	0.214	1999
<i>Zn</i>	PMTDI ³	0.3-1	16.5-55	18-60	1982
<i>Cu</i>	PMTDI	0.05-0.5	2.75-27.5	3.0-30	1982
PCBs		not established			1989
PCDDs	PTMI	70*	128.3*	140*	2001
PCDFs	PTMI	70*	128.3*	140*	2001
Co-PCBs	PTMI	70*	128.3*	140*	2001

* pg/kg, ¹ Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, ² Provisional Tolerable Weekly Intake, ³ Provisional Maximum Tolerable Daily Intake

6. 한국 외해역에서의 장기오염모니터링 지침서

가. 조사대상

적절한 조사대상 생물로는 다음의 특징을 가져야 한다.

- (1) 한국 외해역에 폭 넓게 서식
- (2) 손쉽게 채집 가능
- (3) 식품으로 이용되는 수산물
- (4) 1년 이하의 짧은 수명
- (5) 오염물질을 고농도로 축적

그러므로 위아 같은 특징을 가지며, 해양생물 전반에 걸친 생리특성 및 오염물질의 농축에 대한 예비 자료 분석을 통해 <오징어>를 목표 생물종으로 선정하였다. 오징어 중에서도 한반도 주변에 서식하면서 위의 특징을 가진 <살오징어, *Todarodes pacificus*>가 선정되었다.

나. 조사기간

살오징어의 수명은 1년으로 알려져 있다. 그러므로 매년 조사를 실시하면 이론상으로 1년별로 자료를 축적할 수 있다. 하지만, 연구수행에 필요한 연구비를 고려하면 3년 혹은 적어도 5년에 한 번 정도 수행하는 게 적절할 것으로 판단된다. 특히 서해 북부지역 중국 연안에서의 급속한 산업화로 인한 오염물질 유입에 대한 과학적인 증거자료로서 제시되기 위해서는 매 3년에 한 번 씩 수행되는 게 적절할 것이다.

다. 조사대상의 크기, 성(sex), 조직, 개체수

본 연구결과와 기존의 연구결과를 종합하여 보면 1개월령의 오징어만 되어도 체내 오염물질의 농도가 서식하고 있는 해수와 평형상태를 이루었다고 확실히 되어진다. 분석에 적절한 조직으로는 중금속과 유기오염물질 모두 간이 적당한 것으로 결정되었다. 성(sex)에 있어서는 중금속은 차이가 나타나지 않았으나, 유기오염물질에 있어서는 암수차이가 통계적으로 유의하지 않았으나, 평균값에서는 차이를 보여주었다.

그러므로 중금속에 대하여는 10 cm이상의 오징어의 간 조직을 이용하면 오징어의 크기와 성에 관계없이 해역별 비교가 가능할 것으로 판단된다. 유기오염물질에 대하여는 가급적 동일한 성을 가진 오징어에 대해 크기에 관계없이 간 조직을 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 10마리를 분석하였을 때 상당히 큰 변동계수를 보였으므로, 적정 분석 개체수는 20마리 이상으로 할 것으로 제안하였다.

라. 화학분석방법

유기오염물질은 간 조직에서 대사되어질 수 있으므로 채집 후 가능한 빠른 시간 내에 조직별로 해부된 후 분석 전까지 냉동보관되어져야 한다. 화학분석은 항상 표준시료(Certified Reference Material, CRM)와 함께 분석하여 QA/QC를 수행하여야 한다. 실제 실험방법 및 순서는 실험실별로 약간의 차이가 있을 수 있겠으나, QA/QC에 의해 제시되는 CRM의 인증값과 정밀 및 검출한계가 신뢰할 수 있는 범위 내에 들어간다면 적절한 자료로 인정받을 수 있다.

마. 기기분석

중금속과 유기오염물질의 기기분석은 고도의 기술을 요구하므로 숙달된 석사이상의 기술원이 직접 기기를 다루고 있는 곳에 기기분석

이 이루어짐으로써 시료채집부터 화학분석 및 기기분석에 이르기까지 신뢰성있는 자료를 산출할 수 있도록 하여야 한다.

여 백

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 기여도

여 백

제 1 절 연구개발 목표 달성도

구 분	평가의 착안점 및 달성도	
	착안 사항	달성된 내용
1차년도 (2005.6 -2006.7)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 각 기관의 조직변화 2. 성별, 조직별, 연령별, 중금속 농도 3. 성별, 조직별, 연령별, TBTs 농도 4. 성별, 조직별, 연령별, PAHs농도 5. 성별, 조직별, 연령별, 유기염소계화합물 농도 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 기관별 조직특성 파악 (100%) 2. 중금속 분포특성 파악 (100%) 3. BTs (TBT와 대사산물) 분포특성 파악 (100%) 4. 26가지 PAHs 분포특성 파악 (100%) 5. 48개 유기염소계화합물 분포특성 파악 (100%)
2차년도 (2006.6 -2007.7)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 조직특성자료 유무 (현미경 사진 포함) 2. 특정조직에서의 오염물질 자료획득 유무, 지역간 비교 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 조직별 현미경 사진 제시 (100%) 2. 해역별 오염물질의 비교 완료 (100%)
최종 평가	<ol style="list-style-type: none"> 1. 회유지역에 따른 조직변화 및 오염물질의 모니터링 수행 유무비교 2. 외해역 모니터링의 지침서 제작 유무 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 조직별 축적 특성 및 해역별 농도 비교 완료 (100%) 2. 외해역 오염무니터링 지침서 제작완료 (100%)

제 2 절 관련분야의 기술발전 기여도

본 연구를 통하여 오징어에서의 중금속 및 유기오염물질의 농축정도를 파악하게 되었다. 이러한 연구를 수행함으로써 다음과 같은 학문적 기여를 한 것으로 판단된다.

1. 한국 외해모니터링의 필요성을 제시함으로써 연안뿐만 아니라, 외해성 해양생물에 대해서도 관심을 유발시켜 오염물질의 환경모니터링 연구분야를 확대시킴
2. 오징어조직 연구를 통해 두족류에 대한 조직병리학적 연구의 기초근거를 마련함
3. 두족류의 한 종류인 살오징어에 대한 광범위한 조사는 이들 오징어의 섭식에 의한 위해성에 있어서 중금속은 섭취허용기준에 매우 근접해 있어 추후 보다 상세한 조사가 필요할 것으로 판단되며, 유기오염물질은 안전한 수준으로 잔류되어 있다고 판단됨
4. 두족류 중 해저에 서식하는 저서성 두족류들은 살오징어와 같은 부유성 두족류에 비해 오염물질의 잔류농도가 높은 것으로 알려져 있으며 현재 국내에서는 이들 중의 일부를 내장기관까지 섭식하고 있어 인체위해성 관점에서 적극적인 조사가 필요할 것으로 판단됨

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

여 백

1. 한국 외해모니터링의 대표종으로 생활주기 (1년생)가 짧고 동해, 서해, 남해까지 모든 지역에 채집되는 살오징어가 이용가능하다는 과학적 근거 제시
2. 장기 모니터링을 통해 향후 중국연안으로부터 기인되는 오염부하를 과학적으로 파악할 수 있는 근거 제시
3. 외해성임에도 불구하고 해양생태계에 있어 높은 영양단계에 위치하여 높은 농도로 오염물질을 축적시키고 있음이 밝혀져 식품위해성 관점에서 보다 정밀한 연구가 필요하다는 근거 제시. 특히 살오징어와 같은 부유성 두족류와는 다르게 저서성 두족류의 경우 일반적으로 더 높은 오염물질의 축적특성을 가지므로 저서성 두족류에 대한 연구 필요성 확보됨.
4. 육상에서 사용된 오염물질을 함유한 폐기물은 결국 해양으로 유입되므로, 외해 해양생물에 농축된 오염물질 농도의 감소 여부 및 정도는 국가에서 실시하는 환경 오염물질 배출 감소의 최종적 판단 근거
5. 오징어는 1년생으로 생활주기가 짧고 동해, 서해, 남해까지 모든 지역에 채집되므로 지역별 오염정도 파악
6. 한국 외해역의 환경변화(해양폐기물 투기 중지 등)에 대한 기초자료로 활용
7. 수산물 안정성 평가에 이용

여 백

제 6 장 참고문헌

여 백

- Amiard J.-C., Amiard-Triquet, C., barka, S., Pellerin, J., Rainbow, P.S., 2006. Metallothioneins in aquatic invertebrates: Their role in metal detoxification and their use as biomarkers. *Aquat. Toxicol.*, 76, 160-202.
- Araya, H., 1976. Migration and fishing ground of winter subpopulation of the squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup, in the Northern Waters of Japan. *Bull. Hokkaido Regional Fish. Res. Lab.*, 41, 121-129.
- Baek, H.J., Kim, J.W., Cho, Y.J., Kim, S., 2006. Sexual Maturity and Reproductive Cycle of the Common Squid *Todarodes pacificus* in the East Sea of Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 39, 472-479.
- Boucaud-Camou, E., Boucher-Rodoni, R., 1983. Feeding and digestion in cephalopod. In: Saleuddin, A.S.M., Wilbur, K.M. (Eds.), *The Mollusca. Physiology, Part 2*, 5. Academic Press, New York/London, pp. 149-187.
- Boyle, P., Knobloch, D., 1982. Growth of the octopus *Eledone cirrhosa*. *J. Mar. Biol. Assoc. UK.*, 62, 277-297.
- Breivik, K., Sweetman, A., Pacyna, J.M., Jones, K.C., 2002. Towards a global historical emission inventory for selected PCB congener - a mass balance approach 1. *Global Prod. Consump.*, 290, 181-198.
- Bruland, K.W., 1980. Oceanographic distributions of cadmium, zinc, nickel, and copper in the North Pacific. *Earth Planet Sci Lett.*, 47, 176-198.
- Bustamante, P., Caurant, F., Fowler, S.W. and Miramand, P., 1998.

- Cephalopods as a vector for the transfer of cadmium to top marine predators in the north-east Atlantic Ocean. *Sci. Total Environ.*, 220, 71-80.
- Bustamante, P., Caurant, F., Fowler, S.W., Miramand, P., 1998. Cephalopods as a vector for the transfer of cadmium to top marine predators in the north-east Atlantic Ocean. *Sci. Total Environ.*, 220, 71-80.
- Bustamante, P., Cosson, R.P., Gallien, I., Caueant, F., Miramand, P., 2002. Cadmium detoxification processes in the digestive gland of cephalopods in relation to accumulated cadmium concentrations. *Mar. Environ. Res.*, 53, 227-241.
- Bustamante, P., Grigrioni, S., Boucher-Rodoni, R., Caurant, F., Miramand, P., 2000. Bioaccumulation of 12 trace element in the tissues of the *Nautilus macromphalus* from New Caledonia. *Mar. Pollut. Bull.*, 40, 688-696.
- Butty, J.S., Holdway, D.A., 1997. Assessment of the octopus *Octopus pallidus*, as a potential bioindicator of xenobiotic challenge: baseline studies. *Mar. Poll. Bull.*, 34, 564-570.
- Canli, M., Atli, G., 2003, The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environ. Pollut.*, 121, 129-136.
- Clarke, M.R., 1996. Cephalopods as prey. III. Cetaceans. *Phil. Trans. R. Soc. London Ser., B* 351, 1053-1065.
- Craig, S. Overall, J., 2003. Metals in squid, *Loligo forbesi*, adults, eggs and hatchlings. No evidence for a role for Cu- or

- Zn-metallothionein. *Comp. Biochem. Physiol.*, C 134, 311-317.
- Croxall, J.P., Prince, P.A., 1996. Cephalopods as prey of sea birds. *Phil. Trans. R. Soc. London Ser. B* 351, 1023-1043.
- Danis, B., Bustamante, P., Cotret, O., Teysse, J.L., Fowler, S.W., and Warnau, M., 2005. Bioaccumulation of PCBs in the cuttle fish *Sepia officinalis* from seawater, sediment and food pathways. *Environ. Pollut.*, 134, 113-122.
- de Brito, A.P.X., Ueno, D., Takahashi, S., Tanabe, S., 2002. Contamination by organochlorine compounds in walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) from the Bering Sea, Gulf of Alaska and the Japan Sea. *Mar. Poll. Bull.*, 44, 172-177.
- Finger, J.M., Smith, J.D., 1987, Molecular association of Cu, Zn, Cd, 210Po in digestive gland of the squid *Nototodarus gouldi*. *Mar. Biol.*, 95, 87-91.
- Fisk, A.T., Johnston, T.A., 1998. Maternal transfer of organochlorines to eggs of walleye (*Stizostedion vitreum*) in Lake Manitoba and western Lake Superior. *Great Lakes Res.*, 24, 917-928.
- Hamabe, M., Saito, R., Kawakami, T., 1974. A trial to inference of locating fishing grounds for New Zealand *Nototodarus sloani sloani* (Gray) from the information concerning Propagation of Japanese *Todarodes pacificus* Steenstrup. *Bulletin of Tokai Fish, Res, Lab.*, 80, 1-10.
- Hong, S.H., Yim, U.H., Shim, W.J., Li, D.H., Oh, J.R., 2006. Nationwide monitoring of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in sediments from coastal environment of

- Korea. *Chemosphere*, 64, 1479–1488.
- Hong, S.H., Yim, U.H., Shim, W.J., Oh, J.R., Lee, I.S., 2003. Horizontal and vertical distribution of PCBs and chlorinated pesticides from Masan Bay, Korea. *Mar. Poll. Bull.*, 46, 244–253.
- Ichihashi, H., Nakamura, Y., Kannan, K., Tsumura, A., Yamasaki, S., 2001. Multi-elemental concentrations in tissues of Japanese common squid. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 41, 483–490.
- Ish, T., Dick, E.J., Switzer, P.V., Mangel, M., 2004. Environment, krill and squid in the Monterey Bay: from fisheries to life histories and back again. *Deep-Sea Res. II*, 51, 849–862.
- Ito, S., Okiyama, M., Kasahara, S., 1965. Some consideration on the common squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup, in the off-shore region of the Japan Sea. *Bull. Japan Sea Regional Fish. Res. Lab.*, 15, 55–70.
- Iwata, H., Tanabe, S., Sakai, N., Tatsukawa, R., 1993. Distribution of persistent organochlorines in the oceanic air and surface seawater and the role of ocean on their global transport and fate. *Environ. Sci. Technol.*, 27, 1080–1098.
- Karl, H., Ruoff, U., Blüthgen, A., 2002. Levels of dioxins in fish and fishery products on the German market. *Chemosphere*, 49, 765–773.
- Karri, R., Kagiwara, N., Paul, K.S.L., Thomas, A.J., Kaiya, Z., Tanabe, S., 2006. Temporal variation and biomagnification of organohalogen compounds in finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides*) from the South China Sea. *Environ. Pollut.*, 144,

516-523.

- Kasahara, S., Okiyama, M., 1974. Notes on the two abnormal specimens of the common squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup. Bull. Japan Sea Regional Fish. Res. Lab., 25, 99-102.
- Kawana, T., Tademura, Y., Yamane, T., 1970. Tagging experiment of the common squid along the coast of the Izu Peninsula. Bull. Tokai Regional Fish. Res. Lab., 63, 11-15.
- Kim, G.B., Maruya, K.A., Lee, R.F., Lee, J.H., Koh, C.H., Tanabe, S., 1999. Distribution and source of polycyclic aromatic hydrocarbons in the vicinity of Incheon Harbor, Korea. Mar. Poll. Bull., 38, 7-15.
- Kim, S.K., Oh, J.R., Shim, W.J., Lee, D.H., Yim, U.H., Hong, S.H., Shin, Y.B., Lee, D.S., 2002. Geographical distribution and accumulation of organochlorine residues in bivalves from coastal areas of South Korea. Mar. Poll. Bull., 45, 268-279.
- Kim, J.-H., Smith, A., 2001. Distribution of organochlorine pesticides in soils from South Korea. Chemosphere, 43, 137-140.
- Law, R.J., Fileman, C.F., Hopkins, A.D., Baker, J.R., Harwood, J., Jackson, D.B., Kennedy, S., Martin, A.R., Morris, R.J., 1991. Concentrations of trace metals in the livers of marine mammals (seals, porpoises and dolphins) from waters around the British Isles. Mar. Pollut. Bull., 22, 183-191.
- Lee, J.S., Tanabe, S., Takemoto, N., Kubodera, T., 1997. Organochlorine Residues in Deep-Sea Organisms from Suruga Bay, Japan. Mar. Poll. Bull., 34, 250-258.
- Li, Y., Mcmillan, A., Scholtz M.T., 1996. Global HCH usage with 1 °

- × 1° longitude/latitude resolution. Environ. Sci. Technol., 30, 3525-3533.
- Marc, P.F., Michael, G.I., Simon, C.C., Isaac, I.W., 2004. Spatial variation in hepatic levels and patterns of PCBs and PCDD/Fs among young-of-the-year and Adult Atlantic Tomcod (*Microgadus tomcod*) in the Hudson River Estuary. Environ. Sci. Technol., 38, 976-983.
- Martin, J.H., Flegal, A.R., 1975. High copper concentrations in squid livers in association with elevated levels of silver, cadmium, and zinc. Mar. Biol., 30, 51-55.
- Miramand, P., Bently, D., 1992. Concentration and distribution of heavy metals in tissues of two cephalopods, *Eledone cirrhosa* and *Sepia officinalis*, from the French coast of the English Channel. Mar. Biol., 114, 407-414.
- Miramand, P., Bustamante, P., Bently, D., Koueta, N., 2006. variation of heavy metal concentrations (As, Cd, Co, Cu, Fe, Pb, V, and Zn) during the life cycle of the common cuttlefish *Sepia officinalis*. Sci. Total Environ., 361, 132-143.
- Miramand, P., Guary, J.C., 1980a. Association of Americium-241 with adenochromes in the branchial hearts of the cephalopod *Octopus vulgaris*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 4, 127-129.
- Miramand, P., Guary, J.C., 1980b. High concentrations of some heavy metals in tissues of the Mediterranean octopus. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 24, 783-788.
- Moon, H.B., 2003. Fate of dioxins and dioxin-like contaminants in the

- coastal environment of Korea. Doctor Dissertation, Pukyong National University, pp307.
- Moon, H.B., Choi, H.G., Kim, S.S., Kim, P.J., Lee, P.Y., Ok, G., 2001. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the southeastern coastal areas of Korea. *J. Kor. Soc. Oceanol.*, 36, 27-33.
- Moon, S.K., Kim, K.D., Kang, J.Y., Sung, N.J., Jeong, B. Y., 2006. Lipid Class and Fatty Acid Composition of the Viscera from Common Squid, *Todarodes pacificus*. *J. Kor. Fish. Soc.*, 39, 376-683.
- Murata, M., 1983. Quantitative assessment of oceanic squid by mean of jigging surveys. *Biol. Oceano.*, 2, 433-456.
- Murata, M., Onoda, Y., Tashiro, M., Yamagishi, Y., Suzuuchi, T., 1973. Ecological studies on the Squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup, in the Northern Waters of the Japan Sea in 1971. *Bull Hokkaido Regional Fish. Res. Lab.*, 39, 1-25.
- Nam, J.J., Song, B.H., Eom, K.C., Lee, S.H., Smith, A., 2003. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in South Korea, *Chemosphere*, 50, 1281-1289.
- Perugini, M., Cavaliere, M., Giammarino, A., Mazzone, P., Olivieri, V., Amorena, M., 2004. Levels of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in some edible marine organism from the Central Adriatic Sea. *Chemosphere*, 57, 391-400.
- Perugini, M., Cavaliere, M., Giammarino, A., Mazzone, P., Olivieri, V., Amorena, M., 2004. Levels of polychlorinated biphenyls and or-

- ganochlorine pesticides in some edible marine organism from the Central Adriatic Sea. *Chemosphere*, 57, 391-400
- Raimundo, J., Caetano, M., Vale, C., 2004. Geographical variation and partition of metals in tissues of *Octopus vulgaris* along the Portuguese coast. *Sci. Total Environ.*, 325, 71-81.
- Santos, M.B., Clarke, M.R., Pierce, G.J., 2001. Assessing the importance of cephalopods in the diets of marine mammals and other top predators: problems and solutions. *Fish. Res.*, 52, 121-139.
- Sato, K., Kajiwara, N., Hashimoto, S., Kidokoro, H., Shibata, Y., Ohtsuki, A., 2000. Accumulative characteristics of organochlorine compounds (OCs) in squid, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 66, 658-665.
- Sato, K., Kajiwara, N., Hashimoto, S., Kidokoro, H., Shibata, Y., Ohtsuki, A., 2000. Accumulative characteristics of organochlorine compounds (OCs) in squid. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 66, 658-665.
- Spaice, A., Hamelink, J.L., 1982. Alternative models for describing the bioconcentration of organics in fish. *Environ. Toxicol. Chem.*, 1, 309-320.
- Storelli, M.M., Barone, G., D'Addabbo, R., Marcotrigiano, G.O., 2006. Concentrations and composition of organochlorine contaminants in different species of cephalopod molluscs from the Italian waters (Adriatic Sea). *Chemosphere*, 64, 129-134.
- Storelli, M.M., Giacominielli-Stuffler R., Storelli A., Marcotrigiano, G.O., 2006. Cadmium and mercury in cephalopod molluscs: Estimated weekly intake. *Food Additive Contam.*, 23, 25-30.

- Storelli, M.M., Marcotrigiano, G.O., 2004. Content of mercury and cadmium in fish (*Thunnus alalunga*) and cephalopods (*Eledone moschata*) from the south-eastern Mediterranean Sea. Food Additive Contam., 21, 1051-1056.
- Takami, T. 1991. Abnormal Japanese flying squid, *Todarodes pacificus* Steenstrup, with a short mantle. Sci. Rep. Hokkaido Fishery Experimental Station, 36, 95-96.
- Tanabe, S., Iwata, H., Tatsukawa, R., 1994a. Global contamination by persistent organochlorines and their ecotoxicological impact on marine mammals. Sci. Total Environ., 154, 163-177.
- Tanabe, S., Subramanian, A., 2006. Bioindicators of POPs: Monitoring in developing countries. Kyoto University Press and Trans Pacific Press, 190pp
- Tanabe, S., Sung, J.K., Choi, D.Y., Baba, N., Kiyota, M., Yoshida, K., Tatsukawa, R., 1994b. Persistent organochlorine residues in northern fur seal from the Pacific coast of Japan since 1971. Environ. Pollut., 85, 305-314
- Tanabe, S., Tanaka, H., Tatsukawa, R., 1984. Polychlorobiphenyls, DDT, and hexachlorocyclohexane isomers in the Western North Pacific Ecosystem. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 13, 731-738.
- Tanaka, T., Hayashi, Y., Ishizawa, M., 1983. Subcellular distribution and binding of heavy metals in the untreated liver of the squid; comparison with data from the livers of cadmium and silver exposed to rats. Experientia, 39, 746-748.

- Ueno, D., Inoue, S., Ikeda, K., Tanaka, H., Yamada, H., Tanabe, S., 2003. Specific accumulation of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in Japanese common squid as a bioindicators. *Environ. Pollut.*, 125, 227-235.
- Ueno, D., Inoue, S., Ikeda, K., Tanaka, H., Yamada, H., Tanabe, S., 2003a. Specific accumulation of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in Japanese common squid as a bioindicator. *Environ. Pollut.*, 125, 227-235.
- Ueno, D., Iwata, H., Tanabe, S., Ikeda, K., Koyama, J., Yamada, H., 2002. Specific accumulation of persistent organochlorines in bluefin tuna collected from Japanese coastal waters. *Mar. Poll. Bull.* 45, 254-261.
- Ueno, D., Takahashi, S., Tanaka, H., Subramanian, A.N., Fillmann, G., Nakata, H., Lam, P.K.S., Zheng, J., Muchtar, M., Prudente, M., Chung, K.H., Tanabe, S., 2003b. Global Pollution Monitoring of PCBs and Organochlorine Pesticides Using Skipjack Tuna as a Bioindicator. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 45, 378-389.
- Wan, Y., Hu, J., Yang, M., An, L., An, W., Jin, X., Hattori, T., Itoh, M., 2005. Characterization of trophic transfer for polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, non- and mono-ortho polychlorinated biphenyls in the marine food web of Bohai Bay, North China. *Environ. Sci. Technol.*, 39, 2417-2425.
- Wang, X-M., Ding, X., Mai, B-X., Xie, Z-Q., Xiang, C-H., Sun, L-G., Sheng, G-Y., Fu, J-M., Zeng, E.Y., 2005. Polybrominated diphenyl ethers in airborne particulates collected during a re-

- search expedition from the Bohai Sea to the Arctic. *Environ. Sci. Technol.*, 39, 7803-7809.
- Weisbrod, A.V., Shea, D., Moore, M.J., Stegeman, J.J., 2001. Species, tissue and gender-related organochlorine bioaccumulation in white-sided dolphins, pilot whales and their common prey in the Northwest Atlantic. *Mar. Environ. Res.*, 51, 29-50.
- Weisbrod, A.V., Shea, D., Leblanc, G., Moore, M.J., Stegeman, J.J., 2000. Organochlorine bioaccumulation and risk for whales in a Northwest Atlantic food web. *Mar. Environ. Res.*, 50, 431-441.
- Weisbrod, A.V., Shea, D., Moore, M.J., Stegeman, J.J., 2001. Species, tissue and gender-related organochlorine bioaccumulation in White-sided dolphins, pilot whales and their commons prey in the Northwest Atlantic. *Mar. Environ. Res.*, 51, 29-50.
- WHO, 1989. Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Food Additives Series 24. Geneva
- Wu, W.Z., Schramm, K.-W., Xu, Y., Kettrup, A., 2001. Accumulation and partition of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/F) in the muscle and liver of fish. *Chemosphere*, 43, 633-641.
- Yamada, H., K. Takayanagi, M. Tateishi, H. Tagata and K. Ikeda. 1997. Organotin compounds and polychlorinated biphenyls of livers in squid collected from coastal waters and open oceans. *Environ. Pollut.*, 96, 217-226.
- Yamada, H., Takayanagi, K., Tateishi, M., Tagata, H., Ikeda, K., 1997. Organotin compounds and polychlorinated biphenyls of livers in

- squid collected from coastal waters and open oceans. Environ. Pollut., 96, 217-226.
- Yamada, H., Ttakayanagi, K., Tateishi, M., Tagata, H., Ikeda, K., 1997. Widespread contamination by organotin compounds and polychlorinated biphenyls in squid livers collected from world oceans. Environ. Pollut., 96, 217-226.
- Yim, U-H., 2003. Distribution and characteristics of polycyclic aromatic of Korea. Doctor Dissertation, Seoul National University, 154pp
- 과학기술부. 2004. 내분비계 장애물질이 연안생태계에 미치는 영향연구, 188 pp.
- 김영혜, 1993. 한국해역에 분포하는 오징어 *Todarodes pacificus* Steenstrup의 계군분석. 부경대학교 박사학위논문, pp106.
- 김영혜, 강용주, 1998. 한국 해역에 분포하는 오징어의 위내용물 분석. 한국수산학회지, 31, 26-30.
- 김영혜, 강용주, 최수하, 박차수, 백철인, 1997. 한국 해역에 분포하는 오징어(*Todarodes pacificus*)의 생식생태학적 방법에 의한 계군분석. 한국수산학회지, 30, 523-527.
- 김희갑, 2002. 화학적으로 접근한 환경독성학. 21세기사. 450pp.
- 백수민, 이인숙, 1998, 온산연안에 서식하는 진주담치의 중금속 생물농축에 관한 연구. Korean J. Ecol., 21, 217-224.
- 서지형, 정용진, 2001. 오징어 내장을 첨가한 된장의 품질 특성. 한국식품과학회지, 33, 89-93.
- 양재삼. 1997. 동해 중앙 해역의 용존 Cu와 Ni의 수직적 분포. 『The Sea』 2, 117-124.
- 윤호섭, 정형택, 라성주, 문성용, 최상덕, 2002. 동중국해에 출현하는 무

- 척추동물 분포 및 출현량. 수산과학연구소 연구보고, 11, 47-61.
- 이경선, 김양배, 박기영, 유병진, 전중균, 정인학, 1998. 오징어내장 첨가 사료가 메기(*Parasilurus asotus*)의 성장 및 육조성에 미치는 영향. 한국수산학회지, 31, 31-36.
- 이동인, 옥곤, 양한섭, 장윤석, 1997. 동해남부 대마난류계에서의 염소화 biphenyls의 분포특성. 한국수산학회지, 30, 679-686.
- 이인숙, 송준임, 박경숙, 최병래, 노분조, 1995. 한국연안에서 Mussel (*Mytilus edulis*)의 중금속의 생물 농축. Korean J. Ecol., 18, 419-427.
- 이진하, 한강완, 조재영, 1997. 군산·장항 해안지역 해수, 해안저질토 및 어패류 중 중금속함량. 한국농화학회지, 40, 347-351.
- 전중균, 김양배, 주동식, 조순영, 1998. 오징어 내장을 쏘가리 사료로서 활용하기 위한 기초연구. 동해안연구, 8, 1-10.
- 최광호, 조규대, 김동선, 김주일, 김상우, 2003. 황해에 분포하는 오징어의 어황특성. 한국수산자원학회, 6, 21-31.
- 한국해양연구소. 1988. 한국해역 종합 해양자원도 작성연구'남해. BSPN 00062-200-7, 385pp.
- 한국해양연구소. 1993. 화옹지구 간척매립에 따른 어업피해 조사연구. BSPI 00140-523-7.
- 한국해양연구소. 1995. 한국근해 해양 환경도 작성 연구'동해 남서부. BSPN 00262-806-1, 336pp.
- 한국해양연구소. 1997. 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구(1차년도). BSPN 96325-985-4.
- 해양수산부. 1998. TBT 오염실태조사 및 대책 수립 연구. 211 pp.
- 해양수산부. 2001. 내분비계 장애물질이 유용수산자원에 미치는 영향에

- 관한 연구. 331 pp.
- 해양수산부. 2002. 전국연안의 지속성 유기오염물질 오염실태 조사연구
330 pp.
- 해양수산부. 2002. 해양환경공정시험법. 330 pp.
- 해양수산부. 2004. 내분비계 장애물질이 연안생태계에 미치는 영향 연구
188 pp.
- 해양연구소. 1990. 한국산 두족류에 관한 연구(1)

Appendix

여 백

Appendix 1. Data of metal concentration in all samples analyzed during this study

Appendix 1-1. 1차년도 생물자료

Size			Medium			Large		
Sample No.	Small	Mantle	Sample No.	Body	Mantle	Sample No.	Body	Mantle
	weight (g)	length (cm)		weight (g)	length (cm)		weight (g)	length (cm)
1	21.5	10.50	1	-	21	1	-	24
2	14.6	9.20	2	-	21.5	2	-	25.5
3	8.60	7.30	3	-	22	3	-	24.2
4	16.6	9.10	4	-	22	4	316	26
5	14.4	8.80	5	-	20.5	5	387	25.3
6	9.91	7.30	6	-	22.5	6	248	26.2
7	8.80	7.10	7	-	23.2	7	257	25.5
8	14.4	8.30	8	288	23	8	304	24
9	9379	7.80	9	219	22.1	9	490	29.5
10	6.16	6.20	10	239	21	10	425	24
11	7.49	6.90						
12	6.34	6.00						
13	10.7	7.60						
14	2.29	6.70						
15	2.26	6.00						
16	6.83	6.40						
17	7.39	6.80						
18	5.89	6.20						
19	6.06	6.00						
20	6.33	6.60						

Appendix 1-2. 2차년도 생물자료

Area			YS			EP		
EJ			YS			EP		
Sample No.	B.W.(g)	M.L.(cm)	Sample No.	B.W.(g)	M.L.(cm)	Sample No.	B.W.(g)	M.L. (cm)
1	318	23.5	1	322	23.2	1	430	29
2	266	23.0	2	353	24.7	2	500	28
3	339	24.0	3	354	24.3	3	400	26
4	422	26.5	4	295	23.2	4	380	26
5	436	26.3	5	340	25.0	5	370	25
6	351	24.5	6	330	23.4	6	400	25
7	468	26.8	7	377	24.2	7	480	27
8	497	26.7	8	455	26.6	8	450	26
9	360	25.5	9	348	24.3	9	350	24
10	319	23.6	10	316	23.7	10	240	22
11	234	21.7	11	293	23.3	11	550	29
12	261	22.7	12	217	21.2	12	400	26
13	295	23.0	13	329	24.0	13	330	24
14	281	22.5	14	292	22.5	14	350	24
15	251	22.5	15	275	21.5	15	380	26
16	264	22.7	16	313	23.3	16	400	27
17	298	23.3	17	359	25.0	17	300	24
18	236	21.0	18	313	23.7	18	320	23
19	235	21.0	19	258	22.3	19	310	23
20	328	23.0	20	295	21.0	20	370	25
						21	490	26

Appendix 1-3. 1차년도 Cu

	Sample No.	Sex	Whole body	Mantle	Gill	Stomach	Liver	Nidamental gland	Ovary	Testis
	부산 앞바다1	-	18.2	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 2	-	-	9.18	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 3	-	9.33	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 4	-	-	18.0	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 5	-	26.6	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 6	-	-	22.5	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 7	-	29.8	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 8	-	-	25.2	-	-	-	-	-	-
소형	부산 앞바다 9	-	27.0	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 10	-	-	26.0	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 11	-	33.8	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 12	-	-	30.1	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 13	-	58.2	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 14	-	-	21.4	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 15	-	75.6	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 16	-	-	26.9	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 17	-	32.0	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 18	-	-	58.6	-	-	-	-	-	-
부산 앞바다 19	-	34.1	-	-	-	-	-	-	-	
부산 앞바다 20	-	-	34.2	-	-	-	-	-	-	
중형	대마도 1	F	-	9.85	164	58.0	184	76.0	139	-
	대마도 2	M	-	13.6	241	52.4	453	-	-	15.7
	대마도 3	F	-	15.3	245	37.2	587	57.2	85.8	-
	대마도 7	M	-	18.7	190	65.2	1197	-	-	-
	대마도 9	M	-	16.9	201	63.4	520	-	-	14.5
	대마도 10	M	-	20.6	364	54.3	3838	-	-	11.0
	대마도 12	M	-	21.9	232	-	465	-	-	10.4
	대형 2	F	-	7.59	170	33.6	147	-	-	-
	대형 5	M	-	5	52	53.2	1832	-	-	-
	대형 14	M	-	4.63	132	15.1	667	-	-	-
대형	대마도 5	F	-	12.9	293	53.9	1525	-	-	-
	대마도 8	F	-	10.6	297	108	2692	79.1	60.9	-
	대마도 17	F	-	28.8	222	36.2	188	55.4	60.0	-
	대형 1	F	-	15.9	217	38.5	578	-	-	-
	대형 9	M	-	10.9	141	43.1	1403	-	-	-
	대형 11	F	-	12.6	66.7	46.3	344	-	-	-
	대형 12	M	-	7.25	101	43.1	280	-	-	-
	대형 15	M	-	16.5	87	41.4	135	-	-	-
	대형 19	F	-	6.43	111	82.0	548	-	-	-
	대형 20	F	-	8.26	111	39.0	234	-	-	-

대형: 대마도에서 채집

Appendix 1-4. 1차년도 Zn

	Sample No.	Sex	Whole body	Mantle	Gill	Stomach	Liver	Nidamental gland	Ovary	Testis
소형	부산 앞바다 1	-	76.3	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 2	-	-	38.5	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 3	-	48.3	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 4	-	-	77.1	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 5	-	81.5	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 6	-	-	80.5	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 7	-	80.7	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 8	-	-	85.7	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 9	-	87.2	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 10	-	-	86.4	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 11	-	86.9	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 12	-	-	79.7	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 13	-	94.4	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 14	-	-	83.6	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 15	-	89.3	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 16	-	-	88.6	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 17	-	80.4	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 18	-	-	89.9	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 19	-	73.5	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 20	-	-	79.3	-	-	-	-	-	-
중형	대마도 1	F	-	61.7	104	118	171	108	136	-
	대마도 2	M	-	63.7	101	110	119	-	-	103
	대마도 3	F	-	69.2	109	125	136	48.0	135	-
	대마도 7	M	-	59.4	106	100	137	-	-	-
	대마도 9	M	-	62.6	112	103	207	-	-	97.6
	대마도 10	M	-	56.0	110	109	532	-	-	96.2
	대마도 12	M	-	59.6	107	-	128	-	-	94.8
	대형 2	F	-	48.9	95.8	110	158.2	-	-	-
	대형 5	M	-	46.3	43.6	98.6	300	-	-	-
	대형 14	M	-	37.2	89.5	61.8	325	-	-	-
대형	대마도 5	F	-	66.4	101	106	212	-	-	-
	대마도 8	F	-	56.9	109	121	205	51.5	135	-
	대마도 17	F	-	63.0	85.7	93.3	65.9	53.3	118	-
	대형 1	F	-	52.7	114	119	145	-	-	-
	대형 9	M	-	46.4	96.8	122	444	-	-	-
	대형 11	F	-	43.7	48.8	113	269	-	-	-
	대형 12	M	-	41.6	75.3	107	243	-	-	-
	대형 15	M	-	42.1	64.7	112	75.9	-	-	-
	대형 19	F	-	38.2	81.8	107	118	-	-	-
대형 20	F	-	42.0	91.0	90.1	161	-	-	-	

대형: 대마도에서 채집

Appendix 1-5. 1차년도 Cd

	Sample No.	Sex	Whole body	Mantle	Gill	Stomach	Liver	Nidamental gland	Ovary	Testis
소형	부산 앞바다1	-	2.63	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 2	-	-	0.29	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 3	-	1.11	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 4	-	-	0.76	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 5	-	4.2	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 6	-	-	0.71	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 7	-	3.29	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 8	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 9	-	2.82	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 10	-	-	0.81	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 11	-	2.73	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 12	-	-	1.42	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 13	-	3.83	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 14	-	-	1.65	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 15	-	2.84	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 16	-	-	1.5	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 17	-	2.08	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 18	-	-	1.09	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 19	-	1.99	-	-	-	-	-	-	-
	부산 앞바다 20	-	-	1.32	-	-	-	-	-	-
중형	대마도 1	F	-	0.11	2.55	5.81	38.7	0.14	0.1	-
	대마도 2	M	-	0.14	3.49	3.64	70.5	-	-	0.02
	대마도 3	F	-	1.07	4.92	2.76	95.8	0.21	0.11	-
	대마도 7	M	-	1.22	6.11	8.37	190	-	-	-
	대마도 9	M	-	1.2	8.33	6.18	97.4	-	-	0.06
	대마도 10	M	-	3.14	47.2	9.02	817	-	-	0.02
	대마도 12	M	-	1.47	5.76	-	69.0	-	-	0.03
	대형 2	F	-	0.74	5.86	2.79	79.8	-	-	-
	대형 5	M	-	0.45	3.78	2.71	381.2	-	-	-
	대형 14	M	-	0.26	9.75	2.54	144	-	-	-
대형	대마도 5	F	-	0.79	12.1	3.36	295	-	-	-
	대마도 8	F	-	0.42	7.13	6.46	357	1.59	0.02	-
	대마도 17	F	-	0.81	2.93	3.16	40.4	0.09	1.72	-
	대형 1	F	-	0.49	38.8	1.73	159	-	-	-
	대형 9	M	-	0.38	13.5	1.74	249	-	-	-
	대형 11	F	-	0.37	4.21	4.31	126	-	-	-
	대형 12	M	-	0.17	4.00	1.35	76.4	-	-	-
	대형 15	M	-	0.9	5.42	1.61	52.3	-	-	-
	대형 19	F	-	0.44	4.78	1.93	96.8	-	-	-
	대형 20	F	-	0.24	2.21	0.75	97.4	대형 -	-	-

대형: 대마도에서 채집

Appendix 1-6 .2차년도 Cu

	Sample No.	Sex	Mantle	Gill	Stomach	Liver
EJ	1	M	8.47	292	239	45.6
	2	M	7.89	122	358	17.2
	3	M	5.72	186	387	29.3
	4	F	7.61	167	277	38.0
	5	F	4.67	252	269	45.7
	6	F	10.7	181	375	42.5
	7	F	7.60	138	690	52.2
	8	F	6.82	199	196	53.4
	9	F	9.01	220	283	48.4
	10	M	8.37	198	1038	35.3
	11	M	3.86	170	328	28.6
	12	M	8.06	228	606	45.1
	13	F	7.12	193	479	33.9
	14	M	7.81	128	632	41.5
	15	M	5.41	160	896	26.8
	16	F	10.4	155	366	31.4
	17	M	8.23	173	2873	43.1
	18	M	7.38	188	471	30.5
	19	M	7.26	343	519	44.7
	20	M	7.06	250	281	30.7
YS	1	M	8.39	203	272	43.8
	2	F	6.01	362	246	27.6
	3	M	11.9	246	522	28.0
	4	M	4.59	98	668	26.9
	5	F	8.15	203	690	75.9
	6	F	5.64	229	394	66.0
	7	M	20.7	-	210	33.8
	8	F	11.3	207	284	42.3
	9	F	8.10	337	447	64.4
	10	M	6.82	267	514	67.2
	11	M	14.6	221	313	54.5
	12	F	10.5	-	622	42.6
	13	F	17.9	232	263	29.0
	14	M	8.92	223	769	28.2
	15	M	7.45	375	235	27.9
	16	F	8.94	352	425	30.3
	17	F	15.2	314	584	28.8
	18	F	8.67	311	721	26.7
	19	F	7.86	158	254	30.1
	20	M	8.91	219	207	32.0
EP	1	F	12.9	191	898	40.3
	2	M	10.4	200	358	56.3
	3	M	9.41	132	321	41.0
	4	F	11.4	125	816	55.0
	5	M	14.2	200	301	40.3
	6	M	12.6	151	474	56.8
	7	M	10.8	200	740	79.0
	8	M	13.3	129	578	62.6
	9	F	12.8	150	618	57.4
	10	M	10.7	140	330	29.0
	11	F	6.82	60	1033	38.9
	12	M	5.39	76	502	29.5
	13	M	9.25	58	1058	48.6
	14	M	9.59	131	433	48.8
	15	F	10.0	158	598	30.8
	16	F	9.05	153	656	32.3
	17	M	9.08	191	858	50.4
	18	M	7.53	123	287	38.6
	19	M	8.17	97	606	33.8
	20	F	6.72	162	890	58.1
	21	F	9.64	143	508	52.1

Appendix 1-7. 2차년도 Zn

	Sample No.	Sex	Mantle	Gill	Stomach	Liver
EJ	1	M	74.6	146.63	28.3	239
	2	M	85.0	150.6	30.4	358
	3	M	59.3	150	24.7	387
	4	F	60.6	143	31.0	277
	5	F	66.5	158	27.6	269
	6	F	75.8	147	32.9	375
	7	F	82.4	137	28.7	690
	8	F	62.3	136	24.7	196
	9	F	76.6	145	36.7	283
	10	M	65.2	140	125	1038
	11	M	61.2	96.6	115	328
	12	M	60.5	96.6	165	606
	13	F	62.1	98.9	129	479
	14	M	68.4	91.6	134	632
	15	M	68.7	87.1	121	896
	16	F	54.2	96.8	108	366
	17	M	58.5	85.3	119	2873
	18	M	63.3	96.5	115	471
	19	M	63.1	87.2	116	519
	20	M	54.6	86.9	47.9	281
YS	1	M	63.9	68	82.2	272
	2	F	83.5	66.1	90.2	246
	3	M	74.5	72.7	69.0	522
	4	M	75.3	51.1	69.2	668
	5	F	79.0	80.5	83.3	690
	6	F	82.0	71.9	84.7	394
	7	M	97.8	-	84.8	210
	8	F	83.8	56.2	73.2	284
	9	F	85.9	62.9	91.4	447
	10	M	76.4	67.6	96.0	514
	11	M	76.0	68.6	79.6	313
	12	F	85.4	-	68.5	622
	13	F	86.3	148	84.1	263
	14	M	80.2	155	93.8	769
	15	M	86.0	157	41.2	235
	16	F	85.5	232	65.3	425
	17	F	89.5	152	70.7	584
	18	F	82.9	147	48.0	721
	19	F	85.9	143	87.9	254
	20	M	76.0	153	86.1	207
EP	1	F	60.6	116	162	898
	2	M	64.6	137	173	358
	3	M	65.9	133	148	321
	4	F	65.7	119	142	816
	5	M	64.0	139	165	301
	6	M	63.7	129	164	474
	7	M	60.1	129	199	740
	8	M	64.6	158	214	578
	9	F	64.6	147	131	618
	10	M	68.9	127	132	330
	11	F	61.6	90.9	160	1033
	12	M	64.8	109	171	502
	13	M	61.8	109	166	1058
	14	M	66.1	121	162	433
	15	F	70.5	134	96.0	598
	16	F	72.9	137	117	656
	17	M	63.6	152	171	858
	18	M	66.6	115	136	287
	19	M	72.0	118	160	606
	20	F	67.5	135	121	890
	21	F	70.2	134	149	508

Appendix 1-8. 2차년도 Cd

	Sample No.	Sex	Mantle	Gill	Stomach	Liver
EJ	1	M	0.16	2.19	0.82	103
	2	M	0.25	2.15	0.67	116
	3	M	0.18	2.88	0.68	127
	4	F	0.14	1.55	0.51	127
	5	F	0.29	2.43	0.93	155
	6	F	0.19	2.71	0.89	69.4
	7	F	0.35	4.22	2.49	542
	8	F	0.1	1.88	0.78	86
	9	F	0.1	2.24	0.79	179
	10	M	0.18	2.92	1.49	24.1
	11	M	0.15	3.31	1.66	42.7
	12	M	0.1	1.79	0.39	32.5
	13	F	0.33	1.77	1.32	78.2
	14	M	0.16	4.09	2.06	71.6
	15	M	0.14	2.55	1.20	70.2
	16	F	0.1	2.26	0.84	75.2
	17	M	0.17	3.76	2.39	58.9
	18	M	0.08	1.84	1.38	40.8
	19	M	0.1	1.37	2.02	20.8
	20	M	0.09	2.00	0.57	134
YS	1	M	0.39	3.58	0.68	47.7
	2	F	0.11	2.16	0.42	12.9
	3	M	0.08	2.02	0.29	10.6
	4	M	0.08	1.69	0.36	13.4
	5	F	0.12	3.18	0.48	22.6
	6	F	0.07	2.02	0.46	12.3
	7	M	0.39	-	0.42	13.7
	8	F	0.13	3.76	0.49	30.6
	9	F	0.12	3.55	0.50	17.6
	10	M	0.22	3.98	0.79	29.3
	11	M	0.15	1.85	0.71	39.7
	12	F	0.13	-	0.53	38.7
	13	F	0.27	3.45	0.22	31.4
	14	M	0.13	2.39	0.32	26.9
	15	M	0.13	3.56	0.33	26.2
	16	F	0.05	1.53	0.28	8.29
	17	F	0.07	2.09	0.23	23.0
	18	F	0.07	3.61	0.20	8.56
	19	F	0.09	2.21	0.32	23.5
	20	M	0.16	3.37	0.45	28.9
EP	1	F	0.16	3.4	1.33	244
	2	M	0.14	7.99	0.94	70.7
	3	M	0.15	4.61	1.16	101
	4	F	0.13	5.6	1.32	115
	5	M	0.08	5.53	1.04	84
	6	M	0.12	5.64	1.68	119
	7	M	0.19	7.07	10.0	206
	8	M	0.19	8.69	1.62	125
	9	F	0.18	6.39	1.10	116
	10	M	0.28	5.24	2.27	292
	11	F	0.14	4.86	1.42	180
	12	M	0.08	7.12	1.02	75.6
	13	M	0.08	3.54	1.88	186
	14	M	0.05	7.52	0.81	95.2
	15	F	0.16	5.00	0.83	142
	16	F	0.10	4.19	1.41	148
	17	M	0.26	7.32	1.46	282
	18	M	0.19	7.09	1.81	170
	19	M	0.24	6.6	1.71	423
	20	F	0.07	4.36	0.73	135
	21	F	0.29	5.74	1.70	105

Appendix 2. Continued. (2005)

size organ	small		medium										large								
	WE	M	M		S		L		G		T	O	N	M		S		L		G	
sex			m	f	m	f	m	f	m	f				m	f	m	f	m	f	m	f
lipid (%)	14.2	12.4	13.0	14.5	7.2	5.3	42.8	44.9	12.5	77.2	12.4	26.8	12.3	14.9	14.1	6.4	7.1	53.6	52.5	41.2	25.2
Naphthalene(NAP)	22	19	27	20	135	97	41	23	51	na	72	127	84	20	22	55	67	29	33	24	39
2-MethylNAP	4.8	4.3	6.4	3.7	46.5	19.2	8.8	5.1	7.6	nd	7.1	12.6	10.6	3.4	3.8	15.8	18.3	7.4	7.9	6.8	8.8
1-MethylNAP	2.4	1.9	2.2	1.1	18.2	5.9	3.4	2.6	4.1	nd	3.8	8.5	4.4	1.6	2.4	7.2	12.3	3.2	5.9	3.2	5.4
Biphenyl	1.8	nd	1.4	1.3	8.1	6.7	4.7	3.2	3.2	nd	2.0	3.6	2.7	1.4	1.5	4.3	5.4	5.8	4.4	2.9	4.0
2,6-DimethylNAP	nd	2.2	nd	0.9	5.2	3.3	1.9	2.5	nd	nd	1.3	2.2	1.8	1.5	1.3	3.4	7.1	3.3	4.5	2.2	3.2
Acenaphthylene	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2.2	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2.1	1.1	1.0	nd
Acenaphthene	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.6	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2.3	1.7	0.8	nd
2,3,5-TrimethylNAP	7.2	11.4	2.9	1.9	13.9	8.1	10.9	10.6	5.6	nd	5.7	8.3	5.8	3.8	3.6	6.4	4.7	10.3	14.8	16.2	9.0
Fluorene	3.0	4.0	1.3	1.3	4.1	3.0	6.3	6.4	2.5	nd	3.2	3.7	2.5	1.7	1.7	2.4	3.4	4.6	6.3	6.4	4.1
Phenanthrene(PH)	34.0	20.3	11.2	19.4	29.7	17.8	38.6	53.4	36.3	nd	37.1	54.5	16.8	18.0	6.9	36.6	10.7	24.5	45.5	44.3	36.3
Anthracene(ANT)	1.0	0.5	0.3	0.4	0.7	0.6	4.9	6.7	1.7	nd	1.1	1.7	0.9	0.4	0.3	0.5	0.3	7.0	2.9	1.6	0.6
1-MethylPH	10.9	5.4	3.4	nd	11.8	5.5	12.9	13.1	15.0	nd	10.5	17.4	4.6	1.9	2.0	4.0	2.1	9.1	13.8	15.9	11.8
Fluoranthene(FL)	5.5	2.5	3.3	3.8	5.2	2.3	45.1	46.4	4.7	nd	6.8	13.5	4.2	3.2	3.2	3.3	3.5	43.2	59.9	36.4	16.8
Pyrene(PY)	11.0	1.5	1.8	0.8	5.6	1.8	11.7	5.4	4.7	nd	11.8	11.4	9.0	1.4	1.3	2.0	1.6	11.6	14.2	15.5	8.4
Benz[a]ANT	0.7	0.5	0.5	0.5	4.7	2.6	0.7	1.1	1.2	nd	4.5	1.1	0.7	0.6	0.5	1.9	2.6	0.7	1.9	0.8	1.2
Chrysene	1.6	1.2	2.9	4.0	3.2	1.8	30.5	37.1	3.2	nd	2.2	8.9	3.2	4.1	2.8	4.1	2.4	44.9	43.5	28.2	13.7
Benzo[b]FL	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.8	nd	nd	nd
Benzo[k]FL	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.3	nd	nd	nd
Benzo[e]PY	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo[a]PY	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Perylene	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Indeno[1,2,3-cd]PY	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Dibenzo[a,h]ANT	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Benzo[ghi]perylene	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
24 total PAHs	106	75	65	59	294	175	227	216	141	nd	169	275	151	63	53	147	142	210	261	206	165
16 total PAHs	78	50	49	50	188	127	184	179	105	nd	138	222	121	49	38	106	92	171	210	159	123
MBT	11	nd	nd	nd	nd	nd	2.3	12	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	8	12	nd	nd
DBT	36	nd	nd	nd	nd	nd	15	38	nd	nd	nd	nd	12	nd	nd	nd	nd	26	38	43	25
TBT	39	16	25	19	42	15	55	47	196	nd	17	20	19	41	67	26	25	53	98	184	165
Total BTs	86	16	25	19	42	15	72.3	97	196	nd	17	20	31	41	67	26	25	87	148	227	190

Appendix 3. Data of POP concentration (ng/g lipid weight) in all samples analyzed during this study (East Sea, liver) (2006)

Location	EJ (liver)									
Sample ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lipid (%)	27.1	32.0	21.3	31.6	32.0	23.0	50.4	28.1	42.0	43.0
mantle length (cm)	23	22.6	25	22.5	23	21.2	22.5	22	22.5	22
body weight (g)	252	275	348	265	292	257	271	251	273	242
sex	male	female	female	male	female	male	male	male	female	male
Pentachlorobenzene	13.0	0.00	0.00	24.3	11.3	9.39	0.00	0.00	0.00	-
HCB	13.4	23.7	22.4	14.0	32.2	3.23	33.7	27.5	29.9	-
Pentachloroanisole	6.25	6.75	4.46	23.8	3.27	2.45	9.67	0.00	12.2	-
a-HCH	3.90	3.98	6.58	3.11	20.2	22.7	16.1	2.34	11.2	-
b-HCH	85.2	0.00	0.00	0	0.00	11.2	21.9	1.90	35.0	-
r-HCH(Lindane)	8.81	10.5	10.2	18.5	14.2	0.00	0.00	17.9	8.03	-
d-HCH	0.00	0.00	2.24	3.68	2.13	11.0	2.74	2.21	2.19	-
Total HCH	97.9	14.5	19.0	25	36.6	44.9	40.7	24.4	56.5	-
a-chlordane	27.4	29.1	37.3	30.1	33.9	6.43	37.0	43.9	33.6	-
r-chlordane	15.6	12.2	9.04	12.7	16.1	3.03	14.4	18.7	16.4	-
Oxychlordane	0.00	2.31	2.86	1.32	3.98	13.6	3.16	3.40	3.39	-
Heptachlor	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.23	15.6	0.00	0.00	-
Heptachlor epoxide	0.00	0.00	0.00	0.00	1.89	11.7	0.00	0.00	0.00	-
cis-nonachlor	11.5	14.0	8.32	14.4	9.72	0.00	8.31	8.23	11.1	-
trans-nonachlor	26.2	38.7	21.6	45.6	36.1	7.98	40.3	46.7	40.5	-
Total CHL	80.8	96.3	79.1	104	102	50.0	119	121	105	-
Aldrin	5.53	3.96	3.76	1.68	0.00	0.00	1.37	3.28	1.47	-
Dieldrin	18.8	11.0	8.36	11.6	16.4	7	12.9	12.3	13.2	-
Aldrin+Dieldrin	24.3	15.0	12.1	13.3	16.4	7	14.3	15.6	14.7	-
Endrin	0.00	5.86	10.7	0.00	20.3	106	10.1	11.6	14.8	-
mirex	1.41	1.22	0.00	1.49	1.05	2.21	0.21	0.00	0.45	-
endosulfan II	6.03	2.71	3.65	5.56	4.31	14.4	1.76	2.36	1.14	-
o,p'-DDE	2.37	1.96	1.96	4.46	1.14	23.3	2.29	3.45	1.53	-
p,p'-DDE	155	327	164	331	254	51.5	237	352	314	-
o,p'-DDD	26.8	90.2	57.1	38.9	90.8	1.24	70.5	102	74.8	-
p,p'-DDD	115	323	197	180	282	72.7	185	274	236	-
o,p'-DDT	48.9	10.8	0.00	100	15.5	12.0	0.00	0.00	19.7	-
p,p'-DDT	165	0.00	2.78	374	0.00	79.3	0.00	8.83	13.5	-
DDMU	45.7	32.8	43.5	10.6	84.3	6.29	17.9	17.3	21.8	-
Total DDT	558	786	466	1040	729	246	513	757	681	-
CB18	0.00	0.00	12.9	15.7	15.3	0.00	16.2	29.6	4.69	-
CB28	10.6	124	15.6	0.00	22.6	39.3	22.6	36.1	8.43	-
CB29	3.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	1.20	0.00	1.54	-
CB44	45.0	17.7	28.2	22.2	34.8	4.07	11.4	26.2	18.4	-
CB52	0.00	60.8	38.2	58.7	81.2	32.8	0.00	58.5	24.5	-
CB66	101	49.5	72.1	40.2	280	24.9	22.3	0.00	27.0	-
CB87	0.00	10.6	14.4	14.0	0.00	23.7	8.03	14.5	12.6	-
CB101	16.2	19.6	28.5	27.9	26.5	99.8	38.4	42.4	24.9	-
CB105	0.00	0.00	15.5	0.00	0.00	0.00	6.27	0.00	11.4	-
CB110	19.9	28.2	29.3	27.6	27.4	3.38	21.1	32.3	26.2	-
CB118	32.5	34.6	34.2	58.0	35.2	43.3	31.5	52.4	47.2	-
CB128	11.5	11.0	10.3	23.1	13.9	0.00	7.97	15.2	15.6	-
CB138	29.0	51.4	43.2	85.0	48.4	10.9	40.5	75.4	76.8	-
CB153	68.5	101	66.7	90.5	87.5	17.7	81.7	148	111	-
CB170	2.08	8.31	8.44	7.53	3.44	0.00	5.31	5.72	7.12	-
CB180	30.9	58.0	25.7	54.6	38.1	8.69	38.9	58.8	51.5	-
CB187	9.59	18.8	15.5	14.4	16.4	0.00	8.68	21.8	17.8	-
CB195	2.50	0.00	3.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
CB200	2.30	0.00	0.00	0.41	0.00	29.2	0.00	0.00	0.00	-
CB206	0.66	0.65	1.38	2.10	1.53	0.00	0.00	0.00	0.00	-
CB209	3.21	0.00	0.00	4.22	4.81	0.00	2.66	1.34	3.19	-
Total PCB	388	594	464	546	737	339	365	618	490	-

Appendix 3. Continued. (East Sea, liver) (2006)

Location	동해 (간)									
Sample ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lipid (%)	27.1	32.0	21.3	31.6	32.0	23.0	50.4	28.1	42.0	43.0
mantle length (cm)	23	22.6	25	22.5	23	21.2	22.5	22	22.5	22
body weight (g)	252	275	348	265	292	257	271	251	273	242
sex	male	female	female	male	female	male	male	male	female	male
Naphthalene(NAP)	146	65.6	57.6	176	45.6	82.8	38.1	57.7	36.3	-
2-MethylNAP	89.7	31.6	13.1	132	6.04	8.86	23.6	49.9	13.7	-
1-MethylNAP	122	21.5	17.9	520	16.9	13.6	42.5	24.1	14.8	-
Biphenyl	12.5	6.57	5.15	13.7	6.51	7.40	6.92	8.21	4.67	-
2,6-DimethylNAP	3.30	3.16	4.99	9.23	3.97	5.04	1.96	1.98	1.74	-
Acenaphthylene	3.50	3.10	2.30	2.98	4.49	5.54	1.88	6.67	3.09	-
Acenaphthene	2.14	2.22	3.44	3.44	1.94	2.07	1.97	2.53	1.39	-
2,3,5-TrimethylNAP	9.63	16.6	9.03	2.21	7.40	11.5	8.04	10.3	6.35	-
Fluorene	1.18	6.07	8.74	1.11	6.82	7.98	7.75	6.36	7.15	-
Phenanthrene(PE)	20.8	31.8	32.5	24.5	27.8	27.7	32.1	38.1	33.1	-
Anthracene(ANT)	7.29	9.10	5.78	8.86	13.8	11.0	9.57	22.8	12.3	-
1-MethylPE	4.16	7.50	7.48	5.85	6.87	8.45	7.25	13.6	7.90	-
Fluoranthene(FL)	54.8	68.8	70.6	87.8	70.1	66.2	65.4	117	78.0	-
Pyrene(PY)	76.3	19.5	31.6	69.6	21.1	15.9	11.6	29.6	22.4	-
Benzo[a]ANT	3.50	3.75	10.7	2.70	4.82	3.96	1.77	3.29	1.78	-
Chrysene	86.2	60.7	113	174	236	70.7	107	147	95.1	-
Benzo[b]FL	1.26	1.25	1.64	1.40	5.05	1.08	0.74	2.23	0.98	-
Benzo[k]FL	0.44	0.59	0.44	0.45	2.03	0.47	0.22	0.79	0.26	-
Benzo[e]PY	0.49	0.38	0.95	0.70	2.83	0.00	0.27	0.47	0.14	-
Benzo[a]PY	0.39	0.13	0.28	0.00	0.56	0.32	0.14	0.00	0.13	-
Perylene	0.37	36.0	1.61	0.00	1.63	1.14	0.32	9.92	0.34	-
Indeno[1,2,3-cd]PY	0.00	0.22	0.28	0.00	0.33	0.23	0.08	0.23	0.14	-
Dibenzo[a,h]ANT	0.30	0.34	0.00	0.13	1.03	0.38	0.15	0.25	0.13	-
Benzo[ghi]perylene	1.23	0.91	0.00	0.57	0.50	4.02	0.09	2.95	0.46	-
Total PAHs	647	397	399	1238	494	356	369	556	342	-
MBT	131	0.00	0.00	344	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
DBT	309	0.00	0.00	590	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
TBT	1581	44.8	296	1767	94.9	162	24.8	120	-	84.1
Total BTs	2021	44.8	296	2701	94.9	162	24.8	120	-	84.1

Appendix 3. Continued. (Yellow Sea, liver) (2006)

Location	YS (liver)									
Sample ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lipid (%)	47.8	34.2	58.4	50.2	32.0	62.0	27.8	28.3	38.6	45.4
mantle length (cm)	27.8	27.5	24.2	24.7	24	25.7	26.2	25.5	24.5	24.2
body weight (g)	502	467	328	370	326	360	385	372	364	322
sex	female	female	female	female	female	female	female	female	female	female
Pentachlorobenzene	44.0	26.4	-	-	0.00	11.40	5.75	0.00	-	0.00
HCB	36.9	38.3	-	-	32.5	39.6	14.1	32.2	-	32.0
Pentachloroanisole	6.16	3.09	-	-	4.76	8.57	0.00	0.00	-	5.36
a-HCH	0.00	2.43	-	-	0.00	6.82	0.00	5.25	-	0.00
b-HCH	0.00	0.00	-	-	0.00	0.00	25.7	0.00	-	0.00
r-HCH(Lindane)	23.3	15.9	-	-	0.00	13.4	6.96	7.34	-	20.6
d-HCH	0.00	2.63	-	-	0.00	0.00	2.21	0.00	-	0.00
Total HCH	23.3	21.0	-	-	0.00	20.2	34.9	12.6	-	20.6
a-chlordane	19.8	18.2	-	-	28.2	14.5	27.4	27.0	-	20.5
r-chlordane	10.9	7.08	-	-	10.3	7.49	3.90	15.4	-	5.84
Oxychlordane	0.00	4.22	-	-	0.00	6.55	0.00	0.00	-	0.00
Heptachlor	2.46	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
Heptachlor epoxide	0.00	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
cis-nonachlor	6.46	6.79	-	-	9.55	5.38	5.74	10.0	-	0.00
trans-nonachlor	24.6	19.9	-	-	54.9	23.5	16.6	38.0	-	17.0
Total CHL	64.2	56.1	-	-	103	57.4	53.7	90.4	-	43.3
Aldrin	4.07	1.54	-	-	1.48	0.99	2.41	6.71	-	4.81
Dieldrin	8.99	9.67	-	-	10.6	10.3	9.19	12.4	-	8.09
Aldrin+Dieldrin	13.1	11.2	-	-	12.0	11.3	11.6	19.1	-	12.9
Endrin	0.00	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
mirex	2.14	0.67	-	-	4.45	1.67	2.18	5.17	-	1.09
endosulfan II	0.38	2.44	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
o,p'-DDE	30.2	18.3	-	-	33.7	27.1	8.65	68.1	-	30.0
p,p'-DDE	612	564	-	-	1613	726	635	1789	-	628
o,p'-DDD	175	161	-	-	549	234	151	566	-	176
p,p'-DDD	859	866	-	-	1274	515	1031	1208	-	925
o,p'-DDT	113	58.3	-	-	77.4	44.1	35.4	135	-	77.6
p,p'-DDT	391	175	-	-	545	249	146	666	-	277
DDMU	70.6	50.2	-	-	223	59.4	59.9	279	-	83.3
Total DDT	2251	1893	-	-	4314	1854	2067	4711	-	2197
CB18	59.8	0.00	-	-	2.76	0.00	0.00	0.00	-	0.00
CB28	14.1	12.4	-	-	24.2	0.00	9.31	0.00	-	16.0
CB29	0.00	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00
CB44	8.27	6.53	-	-	22.9	11.7	18.1	40.1	-	12.1
CB52	23.8	20.9	-	-	47.6	19.0	13.7	132	-	59.7
CB66	43.8	42.4	-	-	129	25.6	66.4	302	-	46.3
CB87	9.71	13.4	-	-	22.8	16.1	11.2	19.4	-	8.98
CB101	24.5	22.3	-	-	60.0	29.7	21.1	43.0	-	16.2
CB105	4.44	0.00	-	-	18.7	5.88	0.00	22.0	-	0.00
CB110	15.8	18.3	-	-	43.5	17.1	19.5	48.9	-	0.00
CB118	33.5	38.5	-	-	84.6	34.1	31.4	62.5	-	22.3
CB128	8.61	5.32	-	-	16.0	7.68	5.86	19.4	-	6.52
CB138	42.9	37.1	-	-	110	48.7	38.7	81.2	-	25.2
CB153	109	90.5	-	-	174	93.6	73.7	146	-	61.5
CB170	5.89	3.21	-	-	13.8	5.70	6.06	11.3	-	2.63
CB180	114	169	-	-	307	84.0	167	171	-	76.8
CB187	12.3	9.14	-	-	28.9	12.7	8.92	25.8	-	9.14
CB195	0.00	1.04	-	-	2.74	1.06	1.57	3.90	-	0.00
CB200	1.34	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.81
CB206	1.03	1.67	-	-	2.35	0.00	1.45	3.06	-	1.34
CB209	1.31	2.38	-	-	3.46	1.54	5.58	4.54	-	3.03
Total PCB	534	494	-	-	1113	414	500	1136	-	369

Appendix 3. Continued. (Yellow Sea, liver) (2006)

Location	서해 (간)									
Sample ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lipid (%)	47.8	34.2	58.4	50.2	32.0	62.0	27.8	28.3	38.6	45.4
mantle length (cm)	27.8	27.5	24.2	24.7	24	25.7	26.2	25.5	24.5	24.2
body weight (g)	502	467	328	370	326	360	385	372	364	322
sex	female	female	female	female	female	female	female	female	female	female
Naphthalene(NAP)	24.3	24.5	15.4	59.4	56.5	19.5	41.4	64.4		25.0
2-MethylNAP	2.91	2.60	5.65	6.87	5.33	19.1	8.07	36.1		5.58
1-MethylNAP	4.47	7.45	6.38	9.30	20.0	40.8	14.6	28.3		5.79
Biphenyl	4.52	4.64	2.06	2.96	6.37	2.70	3.83	8.09		4.69
2,6-DimethylNAP	2.13	1.41	1.79	1.65	1.98	1.44	1.33	2.33		1.18
Acenaphthylene	2.95	2.05	2.12	2.84	4.02	3.67	2.55	3.84		3.39
Acenaphthene	1.12	1.20	2.23	1.11	3.02	1.65	1.00	2.15		1.39
2,3,5-TrimethylNAP	10.2	6.44	7.57	6.93	6.05	5.79	5.28	9.41		8.52
Fluorene	13.8	7.30	14.9	14.1	7.93	6.68	4.28	6.60		12.9
Phenanthrene(PE)	34.4	26.1	34.2	36.1	28.2	26.7	22.6	31.1		30.1
Anthracene(ANT)	8.05	8.95	7.53	5.69	25.9	6.82	8.23	18.2		4.90
1-MethylPE	18.6	13.5	12.7	17.0	16.0	13.1	8.00	17.8		11.1
Fluoranthene(FL)	144	119	93.5	118	122	102	89.8	138		105
Pyrene(PY)	36.4	33.4	22.7	34.6	42.4	28.0	81.5	41.3		25.6
Benzo[a]ANT	8.48	3.27	19.2	27.3	4.00	1.92	8.07	5.33		4.30
Chrysene	77.1	93.6	73.4	85.6	68.1	84.7	61.7	99.6		89.0
Benzo[b]FL	0.60	1.42	0.64	0.81	1.12	0.59	1.78	1.60		2.49
Benzo[k]FL	0.00	0.61	0.31	0.31	0.41	0.27	0.55	0.31		0.38
Benzo[e]PY	0.16	0.95	0.50	0.36	0.84	0.35	0.93	0.42		0.85
Benzo[a]PY	0.00	0.13	0.42	0.13	0.22	0.06	0.00	0.66		0.33
Perylene	7.30	6.97	0.00	0.00	1.23	0.19	0.88	10.6		56.6
Indeno[1,2,3-cd]PY	0.00	0.13	0.22	0.15	0.00	0.13	0.00	0.00		0.09
Dibenzo[a,h]ANT	0.15	0.13	0.00	0.15	0.00	0.00	0.21	0.00		0.00
Benzo[ghi]perylene	0.11	0.13	0.63	0.19	0.37	0.13	0.74	0.47		0.11
Total PAHs	402	366	324	431	423	367	367	526		400
MBT	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DBT	35.1	0.00		0.00	98.6	0.00	0.00	50.5	58.4	0.00
TBT	41.5	64.3		89.3	126	0.00	320	120	80.5	0.00
Total BTs	76.6	64.3		89.3	225	0.00	320	171	139	0.00

Appendix 3. Continued. (East Sea, mantle) (2006)

Location	동해 (외투막)										동해 (위)
Sample ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(위)
Lipid (%)	14.2	15.4	15.1	15.1	16.9	15.9	15.0	15.5	11.8	15.3	5.75
Pentachlorobenzene	2.09	0.90	1.38	1.35	1.61	1.57	1.50	1.96	1.97	1.29	0.00
HCB	4.82	5.06	4.68	5.85	4.15	4.38	5.09	4.45	5.63	4.80	11.0
Pentachloroanisole	1.66	1.85	2.32	1.61	1.61	1.47	2.21	1.75	2.05	2.08	7.51
a-HCH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b-HCH	3.99	5.87	2.79	6.45	2.53	2.74	2.63	2.15	2.72	2.94	23.2
r-HCH(Lindane)	0.86	0.84	0.57	0.45	0.87	1.03	1.01	0.96	0.72	0.00	0.00
d-HCH	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total HCH	4.86	7.20	3.36	6.90	3.40	3.77	3.64	3.11	3.45	2.94	23.2
a-chlordane	3.83	4.02	3.93	3.70	3.85	4.22	4.14	3.94	4.74	4.43	12.0
r-chlordane	1.53	1.62	2.08	2.13	0.00	2.25	2.11	1.37	2.19	1.79	6.68
Oxychlordane	0.00	1.05	0.73	0.00	0.00	0.41	0.40	0.31	0.45	0.41	0.00
Heptachlor	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heptachlor epoxide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-nonachlor	1.26	1.65	1.29	1.41	1.18	1.74	1.38	1.32	1.27	1.19	0.00
trans-nonachlor	2.68	3.65	2.69	3.29	3.77	3.78	3.21	3.46	3.54	2.68	12.0
Total CHL	9.29	12.0	10.7	10.5	9.02	12.4	11.2	10.4	12.2	10.5	30.7
Aldrin	1.57	1.29	1.18	1.61	1.70	1.37	1.89	1.81	1.29	0.98	27.2
Dieldrin	0.00	0.00	3.10	2.21	2.11	2.24	2.10	1.46	2.08	2.04	0.00
Aldrin+Dieldrin	1.57	1.29	4.28	3.82	3.81	3.62	3.99	3.27	3.37	3.02	27.2
Endrin	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mirex	0.00	0.20	0.00	0.00	0.07	0.19	0.00	0.17	0.26	0.00	0.00
endosulfan II	2.34	1.97	1.51	2.45	1.98	2.11	2.03	1.97	2.31	1.17	0.00
o,p'-DDE	1.77	1.91	1.48	1.96	2.49	2.66	2.45	2.23	2.41	3.09	7.21
p,p'-DDE	36.6	45.4	32.6	42.6	39.4	58.8	40.0	42.0	49.3	31.5	222
o,p'-DDD	3.94	2.16	3.39	3.38	3.23	4.05	4.13	3.99	4.74	3.93	67.5
p,p'-DDD	2.58	0.00	3.29	1.40	1.67	3.95	3.17	1.72	4.34	4.47	334
o,p'-DDT	7.85	7.99	6.51	7.33	7.42	10.7	7.58	6.24	7.94	7.49	94.9
p,p'-DDT	3.05	0.00	4.65	0.00	0.00	5.71	0.00	0.00	9.05	3.90	128
DDMU	14.0	15.6	12.5	18.2	18.1	19.0	15.7	16.5	18.1	15.2	316
Total DDT	69.8	73.0	64.4	74.8	72.3	104	73.0	72.7	95.9	69.5	1170
CB18	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00	1.21	0.46	1.21	1.81	1.24	5.93
CB28	2.24	2.78	1.68	3.32	3.30	3.39	1.93	1.90	2.50	2.71	14.6
CB29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CB44	7.03	9.23	9.30	10.4	9.87	8.74	8.87	7.32	8.27	6.51	145
CB52	2.46	2.24	3.88	3.42	4.71	3.91	3.05	1.74	1.66	1.36	43.8
CB66	20.9	27.9	22.6	27.8	11.8	10.8	17.3	0.00	19.0	17.0	0
CB87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.29	0.00	2.97	0.00	0.00	0.00
CB101	0.00	0.00	2.59	3.38	3.85	3.96	2.54	2.30	3.24	1.99	14.4
CB105	0.00	1.55	1.32	2.16	1.70	0.00	0.00	1.72	0.00	0.00	0.00
CB110	3.45	2.48	3.27	4.01	3.64	5.11	3.27	3.72	4.37	2.80	54.2
CB118	2.76	3.81	3.70	4.85	3.91	6.69	3.91	4.40	5.49	3.40	15.8
CB128	1.67	1.88	2.04	1.96	2.20	3.06	2.24	2.28	3.20	2.05	32.0
CB138	5.39	7.33	5.35	6.99	6.83	9.43	6.05	6.16	9.09	5.42	0.00
CB153	11.0	16.0	11.7	15.4	12.0	17.1	12.6	15.0	16.6	12.3	0.00
CB170	0.00	1.27	1.29	0.00	1.20	0.00	1.32	0.00	1.08	0.00	3.69
CB180	4.84	5.86	3.04	4.11	3.89	7.10	4.58	5.30	6.31	5.45	33.8
CB187	1.55	2.29	1.16	1.86	1.67	2.79	1.60	1.76	2.47	1.35	5.22
CB195	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00
CB200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CB206	0.00	0.15	0.00	0.18	0.00	0.19	0.16	0.15	0.00	0.19	0.00
CB209	0.00	0.71	0.68	0.71	0.64	0.97	0.76	0.69	0.87	0.93	0.00
Total PCB	63.3	86	74.5	91	71.2	90	70.6	58.7	86.2	64.7	368

Appendix 3. Continued. (East Sea, mantle) (2006)

Location Sample ID	동해 (외투막)										동해 (위)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Lipid (%)	14.2	15.4	15.1	15.1	16.9	15.9	15.0	15.5	11.8	15.3	5.75
Naphthalene(NAP)	58.0	118	55.3	102	43.5	46.2	52.0	53.6	53.9	50.1	505
2-MethylNAP	7.95	31.0	9.21	27.5	7.11	7.96	8.07	8.12	7.25	6.83	80.4
1-MethylNAP	5.04	14.6	5.78	12.9	4.25	4.90	5.25	4.56	5.23	4.71	51.4
Biphenyl	3.88	6.42	4.11	5.61	3.20	3.55	3.65	3.22	3.97	3.23	19.3
2,6-DimethylNAP	3.07	6.01	3.69	5.92	2.84	2.54	3.42	2.83	4.37	3.25	10.4
Acenaphthylene	0.75	1.36	0.75	1.69	0.70	0.64	0.76	0.92	0.78	0.61	8.21
Acenaphthene	0.82	2.64	0.84	0.90	0.62	0.46	0.78	0.43	0.84	0.55	3.86
2,3,5-TrimethylNAP	4.16	4.49	5.52	6.36	3.36	4.94	5.07	3.94	5.32	3.51	10.6
Fluorene	3.68	7.24	4.22	7.46	3.73	3.75	3.58	4.45	4.28	3.86	13.5
Phenanthrene(PE)	15.0	19.9	14.2	22.5	13.3	14.7	15.5	15.7	15.8	16.1	44.2
Anthracene(ANT)	3.32	1.97	1.03	2.03	1.01	1.35	1.16	1.53	1.57	1.46	4.11
1-MethylPE	2.52	2.33	2.64	3.52	2.35	2.86	2.54	3.41	3.19	2.55	7.49
Fluoranthene(FL)	23.7	37.6	21.4	42.1	21.5	21.2	20.6	27.1	22.4	24.1	58.5
Pyrene(PY)	40.4	76.1	6.77	90.5	21.8	14.9	19.7	31.6	20.0	33.9	104
Benzo[a]ANT	2.43	2.46	1.56	3.50	3.67	2.46	2.45	2.51	2.99	2.44	26.6
Chrysene	25.3	13.0	31.6	33.7	50.6	19.7	23.8	25.2	19.6	20.4	54.1
Benzo[b]FL	0.82	0.28	0.73	0.35	1.09	0.30	0.44	0.58	0.36	0.76	2.66
Benzo[k]FL	0.34	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45
Benzo[e]PY	0.30	0.00	0.33	0.37	0.70	0.22	0.00	0.32	0.00	0.26	1.21
Benzo[a]PY	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72
Perylene	0.32	1.88	0.24	0.99	0.29	2.78	3.56	3.47	0.67	0.79	2.66
Indeno[1,2,3-cd]PY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,h]ANT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45
Benzo[ghi]perylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21
Total PAHs	202	347	170	369	186	155	172	194	172	179	1013
MBT	0.00		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DBT	0.00		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TBT	257		41.8		122	131	221	333	159	214	602
Total BTs	257		41.8		122	131	221	333	159	214	602

Appendix 3. Continued. (Yellow Sea, mantle) (2006)

Location	서해 (외부막)										서해(위)
Sample ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Lipid (%)	12.8	16.4	12.9	10.0	14.2	11.7	11.1	11.1	10.8	9.9	4.51
Pentachlorobenzene	0.00	1.75	0.00	7.33	0.00	5.11	5.62	10.2	5.33	5.14	0.00
HCB	6.78	5.46	5.76	6.87	6.05	5.60	7.50	7.78	6.21	6.41	20.3
Pentachloroanisole	2.43	2.38	3.65	3.03	1.58	2.54	2.48	1.94	1.30	1.70	7.53
a-HCH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b-HCH	1.99	3.15	2.80	5.13	2.09	1.72	2.65	7.54	3.91	2.80	18.3
r-HCH(Lindane)	5.02	2.54	2.32	5.29	2.28	1.47	6.88	3.06	2.40	2.54	0.00
d-HCH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total HCH	7.01	5.68	5.12	10.4	4.37	3.19	9.53	10.6	6.31	5.34	18.3
a-chlordane	2.28	1.74	2.41	0.00	2.92	0.90	2.12	1.83	2.35	1.91	7.72
r-chlordane	0.94	0.31	0.90	1.46	1.33	0.55	0.75	32.5	1.00	0.85	4.54
Oxychlordane	0.00	0.00	0.26	0.00	0.19	0.17	1.29	0.00	0.14	0.22	0.00
Heptachlor	0.00	0.00	2.22	0.00	0.00	0.00	0.00	8.99	0.00	0.00	0.00
Heptachlor epoxide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-nonachlor	1.32	0.66	0.45	1.03	0.56	0.71	1.02	1.76	0.74	0.42	0.00
trans-nonachlor	2.61	1.06	0.74	2.11	3.50	1.82	1.97	4.32	3.21	2.43	10.3
Total CHL	7.14	3.77	6.97	4.61	8.50	4.16	7.14	49.4	7.44	5.83	22.5
Aldrin	3.86	2.95	3.68	4.04	3.33	2.80	3.39	5.15	2.87	3.80	23.0
Dieldrin	0.00	1.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aldrin+Dieldrin	3.86	4.93	3.68	4.04	3.33	2.80	3.39	5.15	2.87	3.80	23.0
Endrin	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mirex	0.58	0.10	0.38	0.29	0.32	0.11	0.19	0.48	0.19	0.38	0.00
endosulfan II	2.96	1.05	0.69	0.00	1.08	0.98	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00
o,p'-DDE	6.11	4.72	4.59	17.1	22.5	9.66	4.52	11.3	6.94	7.08	11.7
p,p'-DDE	146	86.8	68.1	219	464	162	133	324	283	147	346
o,p'-DDD	14.8	5.94	8.86	11.2	12.7	7.75	8.00	18.5	12.3	8.00	77.8
p,p'-DDD	21.1	8.98	7.90	7.58	0.00	2.05	19.7	43.8	25.9	11.8	362
o,p'-DDT	0.00	0.00	19.1	43.1	43.7	21.4	0.00	99.2	81.0	34.8	136
p,p'-DDT	0.00	0.00	24.1	21.1	27.9	5.52	0.00	202	156	34.0	439
DDMU	43.1	24.6	29.9	53.4	95.5	35.0	28.9	0.00	57.3	47.8	328
Total DDT	231	131	163	373	666	244	194	698	623	290	1700
CB18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.2
CB28	0.00	2.03	2.78	0.00	2.89	2.74	0.00	2.64	2.21	2.46	21.8
CB29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CB44	16.9	12.8	16.1	20.5	19.5	13.5	14.7	51.1	17.6	25.3	168
CB52	8.22	4.77	0.00	4.32	4.76	3.88	1.75	0.00	7.79	5.92	51.9
CB66	20.2	13.6	16.0	33.4	27.7	6.25	17.6	128	47.5	51.3	971
CB87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CB101	2.24	1.57	1.93	2.57	7.38	1.77	1.45	4.95	3.83	2.97	15.6
CB105	0.00	1.12	0.00	2.28	3.64	1.55	1.56	15.3	0.00	0.00	0.00
CB110	11.1	4.70	3.27	5.84	10.3	4.44	6.11	14.3	6.99	5.35	65.5
CB118	6.45	4.38	2.91	7.08	5.70	4.95	6.28	8.04	6.90	4.67	13.7
CB128	2.82	1.94	1.60	2.69	3.09	2.68	1.63	3.94	2.84	3.16	35.7
CB138	7.70	5.12	3.43	9.27	13.5	6.43	7.66	20.4	9.93	4.65	0.00
CB153	16.5	12.1	10.8	21.5	21.8	16.1	16.2	2.71	18.4	16.8	0.00
CB170	1.40	1.18	1.83	1.38	2.97	1.62	1.86	1.90	1.58	1.83	4.33
CB180	20.2	16.5	7.32	15.5	30.3	11.0	20.1	18.6	18.7	12.4	53.9
CB187	2.01	1.23	1.20	2.42	2.78	2.06	1.66	2.85	2.60	1.47	9.87
CB195	0.18	0.13	0.00	0.00	0.29	0.14	0.26	0.00	0.16	0.00	0.00
CB200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CB206	0.27	0.34	0.42	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00
CB209	2.83	0.00	0.00	3.22	0.89	0.00	1.11	0.49	0.00	0.00	0.00
Total PCB	119	84	70	132	157	86	100	275	147	139	1422

Appendix 3. Continued. (Yellow Sea, mantle) (2006)

Location	서해 (외투막)										서해 (위)
Sample ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Lipid (%)	12.8	16.4	12.9	10.0	14.2	11.7	11.1	11.1	10.8	9.9	4.51
Naphthalene(NAP)	91.6	104	136	115	95.0	119	86.4	92.2	73.0	101	529
2-MethylNAP	15.4	17.8	14.5	10.6	12.6	15.0	9.78	8.09	6.39	9.86	64.3
1-MethylNAP	6.67	13.1	10.7	6.87	7.11	8.12	6.75	6.10	5.40	6.41	24.4
Biphenyl	3.62	3.73	4.28	4.50	5.45	5.00	4.37	3.64	3.52	4.33	23.9
2,6-DimethylNAP	3.32	3.67	3.43	3.24	2.72	5.77	2.84	3.26	2.98	3.79	15.8
Acenaphthylene	1.30	0.89	1.66	1.22	1.24	2.02	1.04	0.74	0.73	0.74	3.29
Acenaphthene	0.84	0.36	0.92	0.48	1.14	1.69	1.00	0.47	0.73	0.64	5.27
2,3,5-TrimethylNAP	5.72	4.73	5.64	5.47	6.04	7.20	5.94	4.71	4.81	6.11	26.8
Fluorene	5.26	4.62	5.60	5.99	5.66	7.50	4.49	5.10	4.28	5.74	17.6
Phenanthrene(PE)	19.5	16.9	22.9	19.9	17.6	23.5	19.8	18.6	17.4	20.0	41.9
Anthracene(ANT)	1.49	1.09	1.55	1.22	1.97	1.69	1.30	1.39	1.49	1.21	15.2
1-MethylPE	4.54	3.58	3.24	5.03	4.10	4.56	4.33	5.48	4.16	4.53	9.88
Fluoranthene(FL)	39.8	34.7	52.5	53.3	34.5	38.6	39.0	44.0	36.8	45.8	71.8
Pyrene(PY)	34.8	45.0	98.8	68.2	27.3	39.2	45.8	19.3	38.3	47.3	82.1
Benzo[a]ANT	4.96	2.75	5.49	5.33	4.35	4.23	5.06	4.15	3.57	5.00	23.3
Chrysene	17.5	16.5	21.1	26.7	15.8	20.2	18.5	26.8	17.2	23.4	42.2
Benzo[b]FL	0.80	0.95	1.03	1.01	0.83	0.66	0.69	0.92	0.73	1.44	1.54
Benzo[k]FL	0.00	0.27	0.59	0.61	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10
Benzo[e]PY	0.31	0.44	0.59	0.48	0.28	0.85	0.69	0.53	0.37	0.57	1.98
Benzo[a]PY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	1.54
Perylene	0.50	0.00	0.29	0.74	0.45	0.33	0.00	5.81	0.34	0.57	3.51
Indeno[1,2,3-cd]PY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dibenzo[a,h]ANT	0.00	0.00	0.37	0.00	0.31	0.44	0.00	0.00	0.34	0.37	0.00
Benzo[ghi]perylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88
Total PAHs	258	275	392	336	244	306	258	251	222	290	1008
MBT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DBT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TBT	170	356	402	284	242	508	379	152	286	295	1684
Total BTs	170	356	402	284	242	508	379	152	286	295	1684