

## 한반도 동해안 밍크고래 체내 미량금속 잔류특성

전유영\* · 황동운\*\*† · 이인석\*\* · 최민규\*\* · 김숙양\*\* · 이석모\*\*\*

\*, \*\* 국립수산과학원 어장환경과, \*\*\* 부경대학교 생태공학과

Characteristics of Metal Concentration in the Organs of Minke Whale  
Entangled from the Eastern Coast of Korea

You-Young Jeon\* · Dong-Woon Hwang\*\*† · In-Seok Lee\*\* · Min-Kyu Choi\*\* · Sook-Yang Kim\*\* · Suk-Mo Lee\*\*\*

\*, \*\* Marine Environmental Management Division, NFRDI, Busan, 619-705, Korea

\*\*\* Department of Ecological Engineering, PKNU, Busan, 608-737, Korea

**요 약** : 한반도 연안에 서식하는 고래의 조직 내 미량금속 농도 잔류특성을 알아보기 위하여 2009년 동해안에서 혼획된 밍크고래의 간, 창자, 근육, 표피, 지방 내 미량금속(Cu, Cd, Pb, As, Zn, Hg) 농도를 측정하였다. 조직 내 Cu, Cd, Zn, Hg은 간에서 가장 높고 지방에서 가장 낮았다. 이와 대조적으로 As는 지방에서 가장 높은 농도를 보였으며, 근육에서 가장 낮은 농도를 나타내었다. 전반적으로 밍크고래의 조직 내 미량금속은  $Zn > Cu > As > Pb > Hg > Cd$ 의 순으로 높은 농도를 나타내었다. 성별에 따른 미량금속은 수컷은 간과 표피에 Cu, As, Zn을, 암컷은 창자와 근육에 Cu와 Pb를 더 효율적으로 축적하고 있는 것으로 나타났다. 성숙도에 있어서는 간의 경우 Cd, 근육은 Hg, 표피와 지방은 As와 Hg, 창자는 Cd, As, Hg이 성숙한 개체에서 미성숙한 개체보다 상당히 높은 농도를 보였다.

**핵심용어** : 미량금속, 비소, 밍크고래, 조직, 동해안

**Abstract** : To determine the concentration of trace metals in the tissues of whale from the coastal ocean of Korea, we measured the concentration of trace metals (Cu, Cd, Pb, As, Zn and Hg) in the organs (liver, intestine, muscle, epidermis and blubber) of minke whale entangled from the eastern coast of Korea in 2009. The highest and lowest concentrations of Cu, Cd, Zn, and Hg were found in the liver and blubber, respectively. In contrast, the highest and lowest concentration of As was found in the blubber and muscle, respectively. The accumulation trend of trace metals in the organs of minke whales was in the order  $Zn > Cu > As > Pb > Hg > Cd$ . The concentrations of Cu, As and Zn in liver and epidermic were higher in male than in female, whereas the concentrations of Cu and Pb in intestine and muscle were higher in female than in male. The mature individuals of minke whale were much higher Cd in liver, Cd and Hg in muscle, As and Hg in epidermic and blubber, Cd, As and Hg in intestine than immature individuals of minke whale.

**Key word** : Trace metal, Arsenic, Minke whale, Organ, Eastern coast

## 1. 서 론

해양에는 수많은 생물들이 서식하고 있지만 그 중 포유류인 고래는 전 세계 해양에 약 80여종이 살고 있고 한반도 연안에서는 약 35종의 고래(이빨고래류는 27종, 수염고래류는 8종)이 서식하고 있다(An et al., 2004). 하지만 고래의 과도한 남획 등으로 개체수가 급감하면서 고래를 보호해야 한다는 목소리가 높아짐에 따라 1986년 국제포경위원회(International Whaling Commission, IWC)에서는 상업포경에

대한 모라토리움(Moratorium)을 선언하였으며(Kim et al., 2004; Park et al., 2009), 이후 우리나라에서도 모든 포경업업을 중지하고 포경선을 감축하는 등 엄격한 고래 자원관리 조치를 취하여 왔다.

상업포경에 대한 모라토리움 실시된 지 25년이 지난 현재 우리나라 주변 연근해에서 서식하는 고래 개체수는 점차적으로 증가하고 있으나, 먹이섭식을 위해 연안으로 접근하는 고래의 경우 연안에 설치된 정치망을 포함한 각종 어구에 의해 고래가 혼획되거나 선박 충돌 혹은 서식환경 변화 등에 의해 좌초 또는 표류 하여 발견되는 사례가 빈번히 발생하고 있다(Park et al., 2009). 국립수산과학원 고래연구소의 통계자료(Unpublished data)에 의하면 2007년부터 2011년

\* First Author : tomato1801@hanmail.net, 051-720-2532

† Corresponding Author : dwhwang@nfrdi.go.kr, 051-720-2532

5년간 혼획된 고래 개체수는 연평균 800마리 이상이 혼획된다고 보고되어 있다. 그 중 밍크고래는 최근 5년간 419마리가 혼획되거나 좌초되었으며 평균 약 84마리가 매년 혼획되거나 좌초되고 있다고 한다. 비록 혼획·좌초된 고래의 사망은 고래 개체의 수를 감소시키지만, 한편으로는 직접 잡하기 어려운 고래류를 관찰할 수 있는 기회를 제공할 뿐만 아니라 현재 연구를 위한 포경이 금지되어 있는 우리나라에서 고래의 생태 및 생리에 대한 연구를 할 수 있는 학술적으로 아주 유용한 도움을 주기도 한다(An et al., 2004).

한반도 연안에서 가장 많이 혼획·좌초되어 보고되는 고래에는 참돌고래(Common dolphin)와 밍크고래(Minke whale)가 있다. 이 중에서 고래목 수염고래아목 긴수염고래과에 속하는 밍크고래(*Balaenoptera acutorostrata*)는 적도에서 근해까지 북반구와 남반구의 전 대양에 분포하며 한반도 연안에서는 주로 서해안에 분포하고 있는 것으로 알려져 있다(Jefferson et al., 2008). 북태평양에 분포하는 밍크고래는 DNA분석(Wada et al., 1991)과 가슴지느러미의 흰색대와 같은 외부형태적 특징(Kato et al., 1992)을 바탕으로 크게 3개의 계군(동해-황해-동중국해 계군, 오후츠크해-서북태평양 계군, 북태평양 동부계군)으로 분류되며 우리나라 연근해에 서식하는 고래는 주로 동해-황해-동중국해 계군인 것으로 알려져 있다(Horwood, 1990; Park et al., 2004; Park et al., 2009).

지금까지 한반도 연근해 밍크고래에 관한 연구로는 연안에서의 혼획 특성에 관한 연구(Kim et al., 2004; Kim, 2008), 목시조사를 통한 풍도에 대한 연구(Sohn et al., 2001), 자원생태학적 특성에 관한 연구(Song, 2011), 목시조사를 통한 자원량 조사(Park et al., 2009; Sohn et al., 2012), 연령과 성장에 관한 연구(Na, 2005) 등이 있으며 최근에 잔류성 유기오염물질에 대한 연구(Moon et al., 2010)가 진행되어져 왔다. 대부분의 연구는 밍크고래의 자원관리 및 생태학적 특성에 관한 연구이고 고래의 조직 내 화학성분들의 특성에 대한 연구는 여전히 다른 분야의 연구에 비해 상당히 미비한 실정이다.

따라서 이 연구에서는 한반도 연근해에서 혼획·좌초된 밍크고래 조직 내 미량금속(Cu, Cd, Pb, As, Zn, Hg) 농도분포 특성을 알아보고, 먹이생물과 환경 중 미량금속 농도를 이용하여 밍크고래 조직 내 미량금속 축적도 및 특성을 알아보고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시료채취

밍크고래의 조직 내 미량금속 농도분포 특성을 알아보기 위하여 2009년 한 해 동안 동해안에서 좌초 혹은 어망에 혼

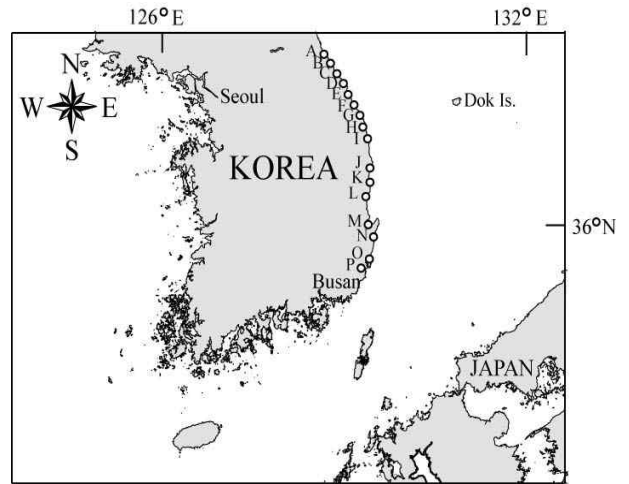


Fig. 1. The map showing the study area and sampling location for measuring the trace metals in tissues of minke whale in the eastern part of Korea.

획된 밍크고래 중 국립수산물과학원 고래연구소에서 보관 중인 밍크고래(수컷, 암컷 각각 19개체)에 대하여 간(Liver), 창자(Intestine), 근육(Muscle), 표피(Epidermis), 지방(Blubber) 조직을 채취하였으며, 밍크고래의 최초 발견장소를 Fig. 1에 나타내었다.

### 2.2 분석방법

밍크고래의 조직 내 미량금속은 MLTM(2010)에 제시된 해양생물 시료의 미량금속 분석방법을 약간 수정하여 분석하였다. 분석에 사용되는 모든 실험기기는 실험전 conc. HNO<sub>3</sub>으로 미리 산세척하여 사용하였으며, 모든 전처리 과정 및 분석은 천정면에 초고성능 필터(Hepa filter)가 설치된 청정실(Clean room, Class 100)에서 행하였다. 분석과정은 먼저 고래연구소로부터 가져온 밍크고래의 조직을 -80 °C의 동결건조기에서 수분이 없어질 때 까지 건조하였다. 건조한 시료는 믹서를 이용하여 균질화 시킨 후, 약 1g 정도를 취하여 Teflon 용기에 담아 conc. HNO<sub>3</sub> 10 mL를 넣고 2시간 동안 방치시켰다. 그리고 나서 뚜껑을 닫고 80 °C에서 400분간 가열한 후 뚜껑을 열고 100 °C에서 150분간 질산을 휘발시켰으며 이 Digestion과정을 2회 반복하였다. 이후, 휘발시키고 남은 겔상태의 시료를 2% HNO<sub>3</sub>으로 GF/F 여지로 여과한 후 100 mL 용량플라스크에 정용하였으며, 정용한 용액 중 4 mL를 10 mL conical tube에 분취하여 최종적으로 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS, Perkin Elmer Co., Model. ELAN DRC-e)를 이용하여 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 비소(As), 아연(Zn)을 분석하였다. 또한 수은(Hg)은 분말화된 시료 0.03 g씩 취하여 자동수은분석기(Automatic mercury

## 한반도 동해안 밍크고래 체내 미량금속 잔류특성

Table 1. Recovery rate of trace metals (Cu, Cd, Pb, As, Zn, and Hg) in the organs of minke whale (N=38) estimated by using the various certificated reference material (CRM)

Metals	DOLT-4 (mg/kg)		DORM-3 (mg/kg)		ERM-CE278 (mg/kg)		Averaged recovery rate (%)
	Certified value	Measured value	Certified value	Measured value	Certified value	Measured value	
Cu	31.2 ± 1.1	28.2 ± 4.3	15.5 ± 0.63	13.5 ± 2.4			88.9
Cd	24.3 ± 0.8	20.4 ± 3.5	0.29 ± 0.02	0.25 ± 0.05			84.7
Pb	0.16 ± 0.04	0.12 ± 0.03	0.395 ± 0.05	0.277 ± 0.05			73.7
As	9.66 ± 0.62	9.98 ± 2.05	6.88 ± 0.30	7.35 ± 1.33			105
Zn	116 ± 6	101 ± 17	51.3 ± 3.1	39.1 ± 7.8			81.7
Hg					0.196 ± 0.009	0.192 ± 0.003	97.9

analyzer, Milestone Co., Model. DMA-80)를 이용하여 분석하였다. 모든 미량금속 결과는 체내 수분함량을 고려하여 습중량인 mg/kg-wet weight(이후 mg/kg) 단위로 환산하여 정리하였다. 또한, 신뢰성 있는 자료의 확보를 위하여 15개 시료마다 2개의 표준물질(DOLT-4, NRC & DORM-3, NRC)을 시료와 동일한 방법으로 분석하였으며, 시료의 평균 회수율은 Cu 88.9, Cd 84.7, Pb 73.7, As 105, Zn 81.7% 였다(Table 1). 수은은 시료 35개와 함께 1개의 표준물질(ERM-CE278, European Commission)을 같은 방법으로 분석하였으며 시료의 평균 회수율은 97.9% 였다.

### 2.3 자료의 통계처리

밍크고래의 조직별, 성별, 성숙도별 미량금속 농도차이를 파악하기 위하여 본 연구에서 얻어진 밍크고래의 조직내 미량금속 농도결과를 이용하여 통계분석을 실시하였다. 먼저, 밍크고래 조직별 미량금속 농도분포의 정규성(Normality)과 등분산성(Homogeneity of variance)을 평가하기 위하여 Shapiro-Wilk test와 Bartlett test를 수행하였다(Kim et al., 2011). 이때 정규성과 등분산성이 만족하지 않을 경우, 조직별 미량금속의 유의한 농도차이는 Kruskal-Wallis test를 적용하였으며, Turkey test using ranks로 사후검증(Multiple comparison)을 수행하였다. 또한, 성별, 성숙도별 미량금속의 유의한 농도차이는 Mann-Whitney U test를 적용하여 평가하였다. 통계적 유의성은 유의계수(p) 0.05 이하로 하였으며, 통계분석을 수행하기 위해 SPSS 14.0 K (SPSS inc., USA)를 이용하였다. 이때, 자료는 평균 ± 표준편차(Mean ± Standard Deviation [S.D.])로 표시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 조직에 따른 미량금속 농도

밍크고래의 조직 내 미량금속 분석결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 도시하였다. 조직별 미량금속 잔류패턴을 보면(Fig. 2),

간의 경우 평균농도(Mean ± S.D.)가 Cu 4.48 ± 1.09, Cd 0.078 ± 0.097, Pb 0.043 ± 0.059, As 0.195 ± 0.228, Zn 31.2 ± 10.1, Hg 0.087 ± 0.099 mg/kg 였으며, Zn > Cu > As > Hg > Cd > Pb 순으로 높게 나타났다. Zn, Cu는 다른 금속원소들과 유의한 차이를 보였으나(p < 0.05), As, Pb, Hg, Cd은 서로 유의한 차이를 보이지 않았다(p > 0.05). 이러한 간에서의 금속원소의 잔류패턴은 이전에 Kunito et al.(2002)가 남태평양 서부에서 조사한 밍크고래의 분석결과(Zn > Cu > Hg > Cd)와는 비슷한 반면, Honda et al.(1987)가 남극해 부근에서 조사한 밍크고래의 체내 잔류패턴(Zn > Cd > Cu > Pb > Hg)과는 다소 다른 결과였다(Table 2). 창자는 미량금속 평균농도(Mean ± S.D.)가 Cu 1.27 ± 0.79, Cd 0.019 ± 0.027, Pb 0.074 ± 0.258, As 0.206 ± 0.164, Zn 16.3 ± 5.2, Hg 0.014 ± 0.019 mg/kg으로 Zn > Cu > As > Pb > Cd > Hg의 순으로 높게 나타났으며, Zn, Cu, As은 다른 금속원소들과 유의한 차이를 보였으나(p < 0.05), Pb, Hg, Cd 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다(p > 0.05). 근육(Mean ± S.D.)은 Cu 0.77 ± 0.29, Cd 0.006 ± 0.004, Pb 0.023 ± 0.025, As 0.122 ± 0.071, Zn 12.0 ± 9.9, Hg 0.064 ± 0.059 mg/kg으로 Zn > Cu > As > Hg > Pb > Cd 순으로 높게 나타났으며 다른 조직과 달리 모든 금속원소들 사이에 유의한 차이를 보였다(p < 0.05). 표피(Mean ± S.D.)는 Cu 0.77 ± 0.65, Cd 0.013 ± 0.020, Pb 0.069 ± 0.110, As 0.315 ± 0.202, Zn 13.2 ± 3.5, Hg 0.018 ± 0.018 mg/kg으로 Zn > Cu > As > Pb > Hg > Cd 순으로 높게 나타났으며, Zn, Cu, As, Pb 은 다른 금속원소들과 유의한 차이를 보였으나(p < 0.05), Hg과 Cd 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다(p > 0.05). 이러한 표피에서의 금속원소의 잔류패턴은 이전에 Kunito et al.(2002)가 남태평양 서부와 인도양에서 조사한 밍크고래의 분석결과(Zn > Cu > Hg > Cd)와 비슷하였다(Table 2). 지방(Mean ± S.D.)은 Cu 0.28 ± 1.50, Cd 0.004 ± 0.061, Pb 0.068 ± 0.190, As 0.677 ± 0.188, Zn 1.8 ± 10.8, Hg 0.003 ± 0.064 mg/kg으로 Zn > As > Cu > Pb > Cd > Hg의 순으로 As가 Zn 다음으로 높은 농도를 보여 앞에서 살펴본 다른 조직내 미량금속의 잔류패턴과 다소

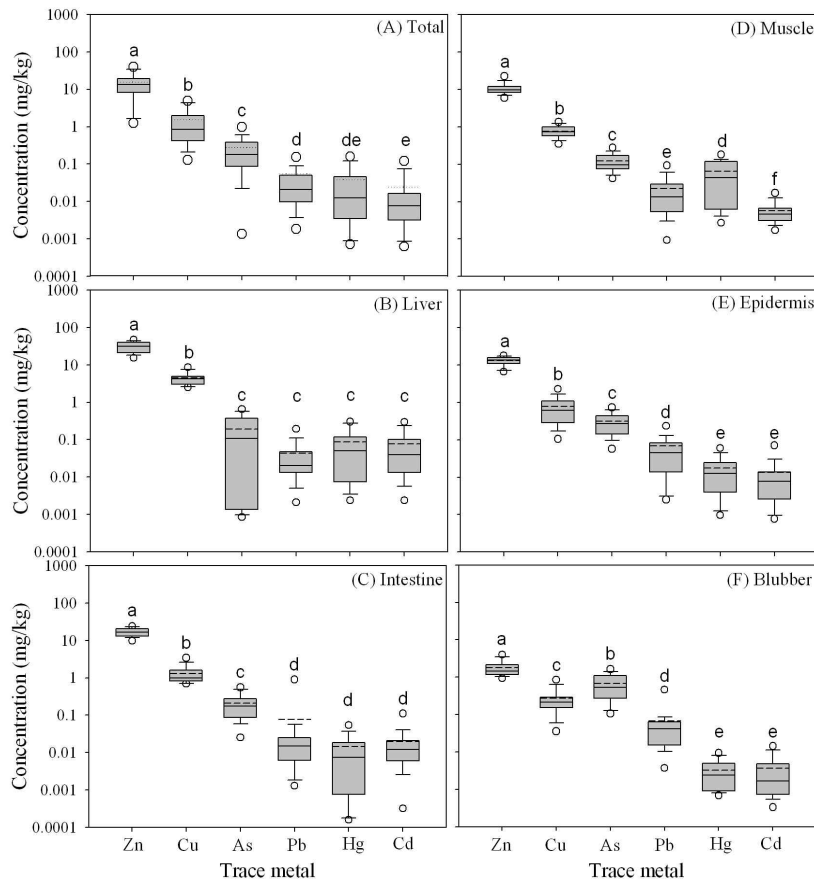


Fig. 2. Box plots represent the accumulation patterns of trace metals (Cu, Pb, Zn, Cd, As, and Hg) in organs of minke whales from the eastern sea of Korea. Values with a different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ).

다른 결과를 보였다. 또한, Zn, Cu, As, Pb 은 다른 금속원소들과 유의한 차이를 보였으나( $p < 0.05$ ), Hg과 Cd 사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다( $p > 0.05$ ).

한편, 한반도 동해연안 밍크고래의 조직 내 미량금속 잔류패턴은 지방을 제외하면 밍크고래의 조직 내 미량금속은  $Zn > Cu > As > Pb > Hg > Cd$ 의 순으로, Kim et al.(2011)이 같은 해역에서 조사한 참돌고래(Long-beaked common dolphin, *Delphinus capensis*)의 조직(간) 내 미량금속 잔류패턴( $Zn > Hg > Cd > Cu > As > Pb$ )과는 다른 연구결과였다. 이는 참돌고래와 밍크고래가 서로 비슷한 환경에 서식하지만 두 종간의 먹이원의 차이로 인해 서로 다른 잔류패턴을 보이는 것으로 생각된다. 일반적으로 참돌고래는 이빨고래로서 주로 어류를 먹이로 하는 반면 밍크고래는 수염고래로서 주로 크기가 작은 생물 즉, 동물플랑크톤인 난바다곤쟁이, 멸치 등을 주 먹이원으로 한다(Song, 2011).

금속원소별 밍크고래의 조직 내 잔류특성을 살펴보면 (Fig. 3), Cu, Zn, Cd, Hg은 간에서 가장 높고 지방에서 가장

낮은 농도를 나타내었다. 이는 Sanpera et al.(1996)가 북대서양 수염고래(Fin whales)의 체내 미량금속을 분석한 결과 미량금속(Cu, Cd, Zn, Hg)의 농도가 다른 장기에 비해 간에서 높다고 보고한 연구결과와 유사하며, 최근에 Kim et al. (2011) 또한 Cu, Hg, Se, Zn의 농도가 다른 조직(신장, 근육, 창자, 심장)에 비해 간에서 높다고 보고한 바 있다. 이와 같이 미량금속이 간에서 높은 농도를 보이는 것은 간에 함유되어 있는 Methallothioneins 이라는 단백질과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다. 이 단백질은 간 내 세포질에 존재하는 저분자량단백질(Low molecular weight proteins)로서 Zn, Cu 등과 같은 생물 필수원소(Essential elements)들과 잘 결합하여 간에 미량금속을 축적하는 특성을 가지고 있다 (Ruelas-Inzunza and Pérez-Osuna, 2002; Das et al., 2006). 하지만, As는 다른 금속과 달리 지방에서 가장 높고 근육에서 가장 낮은 농도를 보였다. 이는 As가 고래의 체내에서 다른 금속원소들과 다른 독특한 잔류형태를 가지기 때문인 것으로 생각된다. 즉, 고래의 체내에 흡수된 As는 거의 모두 유

## 한반도 동해안 밍크고래 체내 미량금속 잔류특성

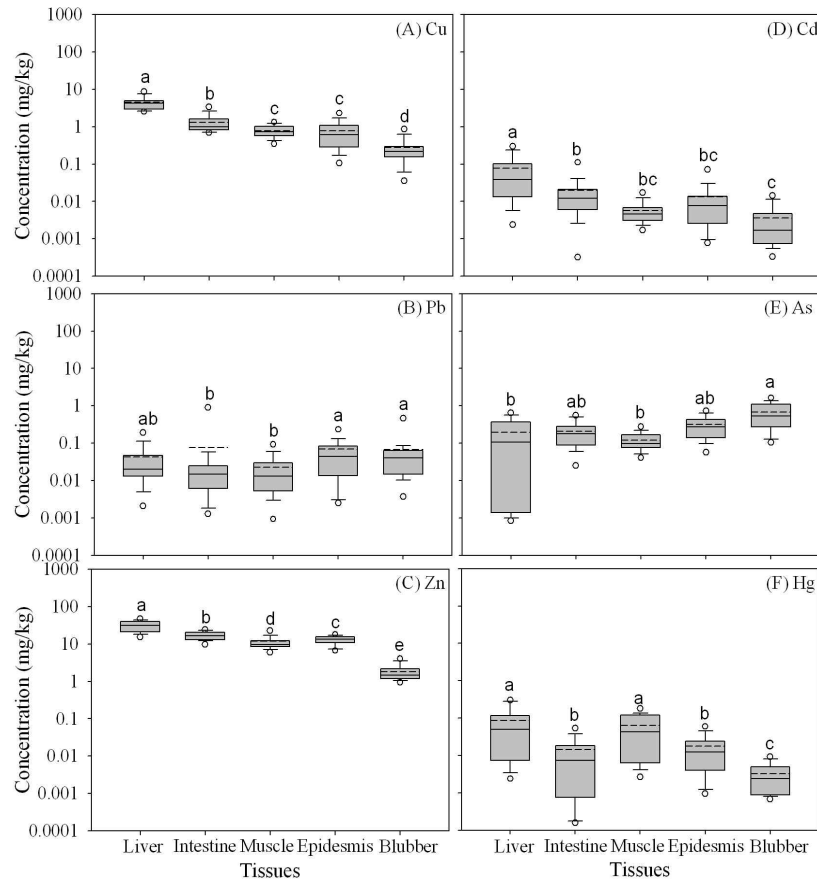


Fig. 3. Box plots represent the concentrations of trace metals (Cu, Pb, Zn, Cd, As, and Hg) in different organs of minke whales from the eastern sea of Korea. Values with a different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ).

기비소화합물(Arsenobentaine)의 형태로 존재하고(Bratton et al., 1997), 이 화합물들은 친지질성(Lipophilic)의 특성을 가지고 있다. 이러한 지방에서 As 농도가 높다는 연구 결과는 수염고래류의 일종인 등근턱수염고래(Bowhead whale), 이빨고래인 외뿔고래(Narwhal)와 길잡이고래(Pilot whale) 등 다른 고래에서도 보고된 바 있다(Wagemann et al., 1983; Julshamn et al., 1987; Woshner et al., 2001)

### 3.2 성별 및 성숙도에 따른 미량금속 농도

고래연구소에서 얻은 밍크고래의 조직별 미량금속 농도를 암컷과 수컷으로 구분하여 성별에 따른 미량금속 잔류농도특성을 살펴보았다(Fig. 4). 간의 경우 Cu, As, Zn, 표피는 Cu, Cd, As, Zn이 암컷과 수컷사이에 유의한 농도차이를 보이며( $p < 0.05$ ), 수컷이 암컷에 비해 높은 농도를 보였다. 반면, 근육은 Cu와 Pb, 창자는 Cu, Pb, As, Zn이 암컷과 수컷사이에 유의한 농도차이를 보였으며( $p < 0.05$ ), 간과 표피와 달리 암컷이 수컷에 비해 높은 농도를 보였다. 그러나 지방

에 있어서는 모든 금속원소가 암컷과 수컷 사이에 유의한 농도차이를 보이지 않았다. 이러한 성별에 따른 미량금속 농도분포를 고려하였을 때, 암컷과 수컷 모두 Cu를 체내에 효율적으로 축적하고, 이외에도 수컷은 간과 표피에 As와 Zn을, 암컷은 창자와 근육에 Pb를 더 효율적으로 축적하고 있는 것으로 보인다. 이러한 현상을 명확하기 이해하기 위해서는 밍크고래의 서식환경 및 먹이원에 대한 추가적인 조사를 통하여 미량금속의 이동경로 및 축적기작에 대한 보다 체계적이고 집중적인 연구가 필요하다.

한편, 밍크고래는 다른 수염고래에 비해 크기가 작고 보통 체장이 6~7m 인 것으로 알려져 있다(NFRDI, 2009). Na (2005)의 연구결과에 따르면, 우리나라 연안에서 혼획된 밍크고래의 수염관을 이용하여 연령별 체장을 분석한 결과 1세 이하의 미성숙한 개체는 대부분 5m 이하이고 5세 이상의 성숙한 개체의 경우 6.5m 이상이라고 하였다. 따라서 이 연구에서는 성숙도에 따른 밍크고래의 미량금속 농도잔류특성을 알아보기 위하여 고래연구소에서 얻은 밍크고래 중

5 m 이하의 고래를 미성숙 개체, 6.5 m 이상의 고래를 성숙한 개체로 분류하여 미량금속 농도를 비교해 보았다(Fig. 5). 성숙도에 따른 미량금속 농도는 간의 경우 Cd, 근육은

Hg, 표피와 지방은 As, Hg, 창자는 Cd, As, Hg이 성숙한 개체와 미성숙한 개체 사이에 유의한 농도차이가 나타났으며( $p < 0.05$ ), 성숙한 개체가 미성숙한 개체보다 높은 농도를 보

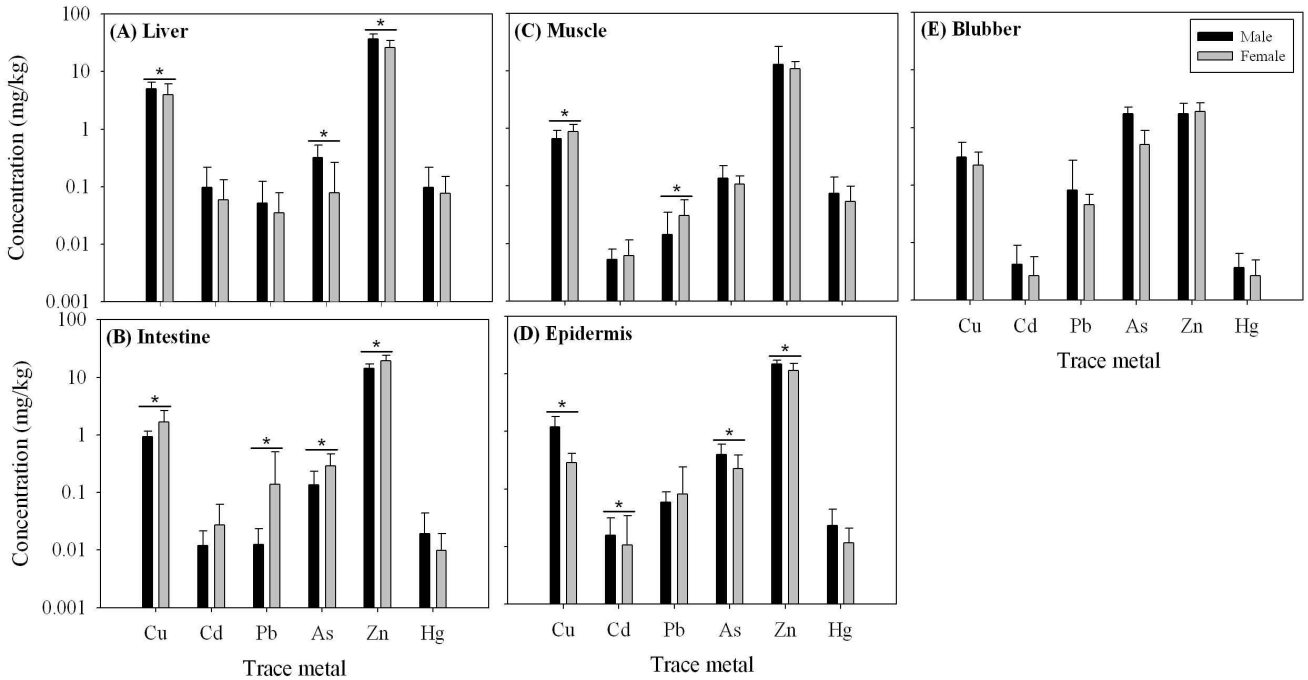


Fig. 4. Comparison of average concentration for trace metals in different organs between male and female of minke whale. The error bar represents the standard deviation of metal concentrations. The asterisk mark indicates significant differences ( $p < 0.05$ ).

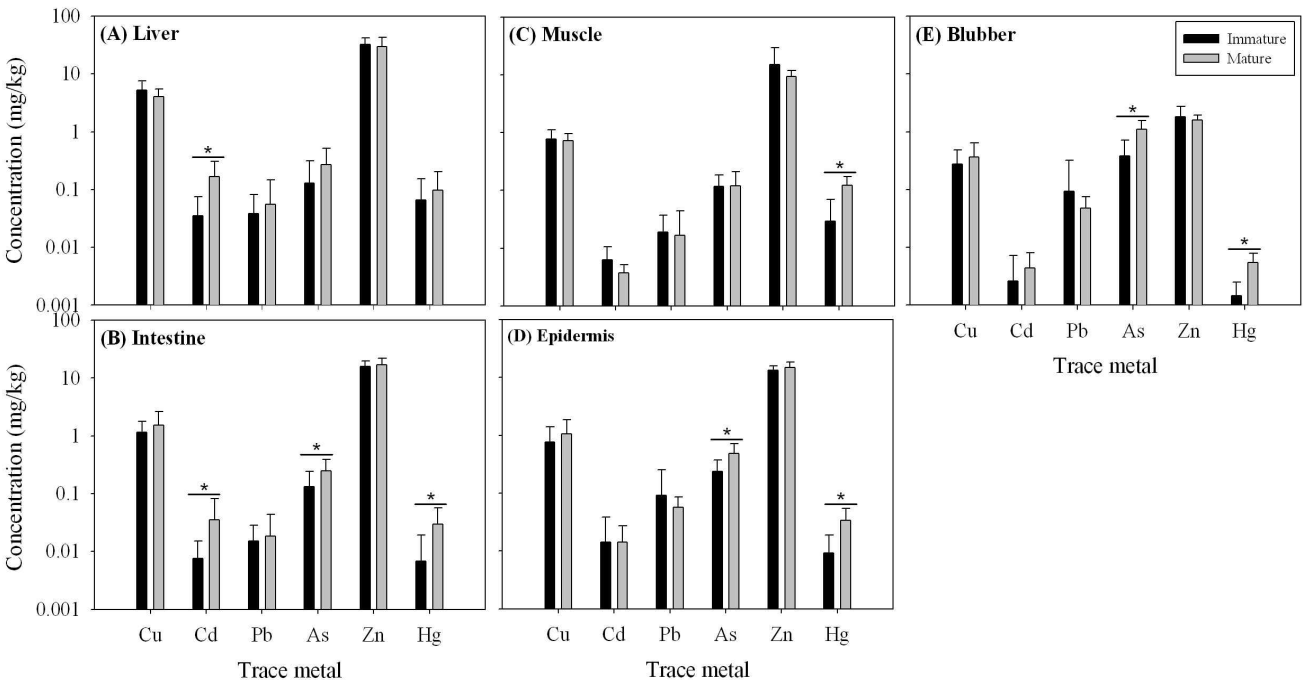


Fig. 5. Comparison of average concentration for trace metals in different organs between mature and immature of minke whale. The error bar represents the standard deviation for metal concentrations. The asterisk mark indicates significant differences ( $p < 0.05$ ).

한반도 동해안 밍크고래 체내 미량금속 잔류특성

였다. 특히, Hg의 경우 간을 제외한 모든 조직에서 성숙한 개체가 미성숙한 개체에 비해 상당히 높은 농도를 보였다.

한편, 한반도 동해안에 서식하는 밍크고래의 체내 미량금속 농도가 어느 정도인지 알아보기 위하여 전 세계 해양에서 측정된 밍크고래의 조직 내 미량금속 농도와 비교하였다 (Table 2). 한반도 동해안에 서식하는 밍크고래의 조직 내 미량금속 농도는 간의 경우 남극해와 남태평양 서부, 인도양, 북대서양 연안, 북해 등 전 세계 다른 해역에서 혼획된

밍크고래(Honda et al., 1987; Kunito et al., 2002; Born et al., 2003)보다 Cu, Pb, Zn, Hg은 비슷하거나 약간 낮은 농도였으며, Cd은 10~100배 정도 매우 낮은 수준이었다. 또한, 근육의 경우에는 북대서양과 북해 연안에서 혼획된 밍크고래 (Born et al., 2003)보다 Cd은 약간 낮은 반면, Hg은 다소 높은 농도를 나타내었다. 표피의 경우에는 인도양과 남태평양 부근에서 혼획된 밍크고래(Kunito et al., 2002)보다는 Cu, Cd, Hg은 비슷하거나 다소 높은 반면 Zn은 다소 낮았다.

Table 2. Comparison of trace metal concentrations (Mean ± S.D) in the organs of minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) from the literature

Study Area	Organs*	Sex**	Trace metal(mg/kg-dry wt)					Reference
			Cu	Cd	Pb	Zn	Hg	
Southern Sea	L	M	16.8 ± 3.7	35.8 ± 18.8	0.41 ± 0.14	142 ± 25.4	0.189 ± 0.77	Honda et al., 1987
		F	18.2 ± 3.6	44.8 ± 26.1	0.42 ± 0.22	156 ± 31.4	0.207 ± 0.77	
Pacific and Indian Oceans								
Western South Pacific Ocean								
	L	M	24.2 ± 8.1	59.5 ± 29.0	-	186 ± 49	0.117 ± 0.414	Kunito et al., 2002
	E	M	2.30 ± 0.87	0.112 ± 0.114	-	69 ± 18.8	0.080 ± 0.031	
		F	2.22 ± 0.97	0.057 ± 0.040	-	67 ± 14.5	0.068 ± 0.027	
Western Indian Ocean								
	E	M	0.94 ± 0.34	0.008 ± 0.006	-	54 ± 13.1	0.052 ± 0.013	
		F	1.04 ± 0.45	0.007 ± 0.006	-	58 ± 4.4	0.054 ± 0.022	
Eastern Indian Ocean								
	E	M	1.02 ± 0.25	0.011 ± 0.008	-	66 ± 14.9	0.051 ± 0.020	Born et al., 2003
		F	1.12 ± 0.25	0.006 ± 0.003	-	63 ± 14.9	0.049 ± 0.012	
North Atlantic								
West Greenland								
	M	T	-	0.205 ± 0.374	-	-	0.288 ± 0.185	
	L	T	-	3.89 ± 3.12	-	-	1.00 ± 1.12	
East Greenland								
	M	T	-	0.191 ± 0.187	-	-	0.403 ± 0.135	
	L	T	-	5.26 ± 2.90	-	-	1.92 ± 0.39	
Jan Maycn								
	M	T	-	0.101 ± 0.073	-	-	0.791 ± 0.326	
	L	T	-	3.96 ± 1.64	-	-	2.04 ± 0.73	
Svalard								
	M	T	-	0.161 ± 0.102	-	-	0.315 ± 0.166	
	L	T	-	3.76 ± 1.49	-	-	0.73 ± 0.35	
Barents								
	M	T	-	0.127 ± 0.076	-	-	0.505 ± 0.204	
	L	T	-	3.50 ± 1.45	-	-	1.12 ± 0.65	
Vestfj./Lofoten								
	M	T	-	0.062 ± 0.058	-	-	0.593 ± 0.604	
	L	T	-	2.39 ± 1.86	-	-	1.74 ± 2.19	
North Sea								
	M	T	-	0.070 ± 0.041	-	-	0.902 ± 0.4	
	L	T	-	1.85 ± 0.74	-	-	2.04 ± 1.26	
East Sea of Korea								
	L	T	17.4 ± 7.3	0.288 ± 0.340	0.168 ± 0.228	120 ± 38.3	0.329 ± 0.367	This study
	M	T	3.1 ± 1.3	0.023 ± 0.016	0.090 ± 0.106	46 ± 29.5	0.255 ± 0.232	
	E	T	2.4 ± 2.2	0.041 ± 0.061	0.201 ± 0.333	40 ± 14.4	0.051 ± 0.049	

\* Organs : L - liver, M - muscle, E - epidermis \*\* Sex : M - male, F - female, T - male + female

#### 4. 요약 및 결론

한반도 연안에 서식하는 고래의 조직 내 미량금속 농도 잔류 특성을 알아보기 위하여 2009년 동해안에서 혼획된 밍크고래의 간, 창자, 근육, 표피, 지방 내 미량금속(Cu, Cd, Pb, As, Zn, Hg) 농도를 측정하였다. 조직 내 Cu, Cd, Zn, Hg의 농도는 간에서 가장 높고, 지방에서 가장 낮았다. 반면, As는 지방에서 가장 높은 농도를 보였으며, 근육에서 가장 낮았다. 성별에 따른 미량금속은 수컷은 간과 표피에 Cu, As, Zn을, 암컷은 창자와 근육에서 Cu와 Pb를 더 효율적으로 축적하고 있는 것으로 나타났다. 성숙도에 있어서는 간의 경우 Cd, 근육은 Hg, 표피와 지방은 As와 Hg, 창자는 Cd, As, Hg이 성숙한 개체에서 미성숙한 개체보다 상당히 높은 농도를 보였다. 이러한 개체 내 각기 다른 미량금속 잔류특성을 명확히 이해하기 위해서는 밍크고래의 서식 환경 및 다양한 먹이원에 대한 추가적인 조사를 통하여 미량금속의 이동경로 및 축적기작을 밝히는 보다 체계적이고 집중적인 연구가 필요하다.

#### 사 사

이 연구의 시료채취 및 분석에 도움을 주신 고래연구소의 안용락 박사님과 해양환경관리공단의 김성길 박사님께 감사드립니다. 이 연구는 국립수산물과학원 수산시험연구소(RP-2012-ME-63)의 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

[1] An, Y. R., Z. G. Kim, H. S. Sohn and W. S. Yang(2004), By-catch of small cetaceans in the eastern costal waters of Korea. *Journal of Korean Society of Fisheries Resource*. Vol. 6, No. 2, pp. 163-172.

[2] Born, E. W., P. Outridge, F. F. Riget, K. A. Hobson, R. Dietz, N. Øien and T. Haug(2003), Population substructure of North Atlantic minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) inferred from regional variation of elemental and stable isotopic signatures in tissues. *Journal of Marine Systems*, Vol. 43, No. 1-2, pp. 1-17.

[3] Bratton, G. R., W. Flory, C. B. Spainhour and E. M. Haubold(1997), Assessment of selected heavy metals in liver, kidney, muscle, blubber, and visceral fat of Eskimo harvested bowhead whales from Alaska's north coast, Final Report, North Slope Borough, Department of Wildlife Management,

p. 233.

[4] Das, K., A. De Groof, T. Jauniaux and J. M. Bouquegneau(2006), Zn, Cu, Cd and Hg binding to metallothioneins in harbour porpoises *Phocoena phocoena* from the southern North Sea. *BioMed Central Ecology*, Vol. 6, doi:10.1186/1472-6785-6-2.

[5] Honda, K., Y. Yamanoto, H. Kato and R. Tatsukawa(1987), Heavy metal accumulations and their recent changes in southern minke whales *Balaenoptera acutorostrata*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 16, No. 2, pp. 209-216.

[6] Horwood, J.(1990), *Biology and Exploitation of the minke whale*. CRC Press. Florida., p. 238.

[7] Jefferson, T. A., M. A. Webber and R. L. Ditman(2008), *Marine mammals of the world: A comprehensive guide to their identification*. Academic Press. London, U.K., p. 576.

[8] Julshamn, K., A. Andersen, O. Ringdal and J. Morkore(1987), Trace elements intake in the Faroe Islands. Part I. Element levels in edible parts of pilot whales. *The Science of the Total Environment*, Vol. 65, pp. 53-62.

[9] Kato, H., T. Kishiro, Y. Fujise and S. Wada(1992), Morphology minke whales in the Okhotsk Sea, Sea of Japan and off the east coast of Japan, with respect to stock identification. *Report of the International Whaling Commission*, Vol. 42, pp. 437-442.

[10] Kim, S. G., S. S. Kim, H. G. Choi and Y. R. An(2011), Concentrations of trace metals in the tissues of long-beaked common dolphins (*Delphinus capensis*) in the East Sea, Korea. *Ocean Science Journal*, Vol. 46, No. 2, pp. 55-62.

[11] Kim, Y. H.(2008), A study on the characteristic of minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) bycatch in Korean water. Master Thesis, Pukyong National University, p. 48.

[12] Kim, Z. G., Y. R. An, H. S. Sohn and C. I. Baik(2004), Characteristics of minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) by-catch in Korean waters. *Journal of Korean Society of Fisheries Resource*, Vol. 6, No. 2, pp. 173-182.

[13] Kunito, T., I. Watanabe, G. Yasunaga, Y. Fujise and S. Tanabe(2002), Using trace elements in skin to discriminate the populations of minke whales in outhern hemisphere. *Marine Environmental Research*, Vol. 53, No. 2, pp. 175-197.

[14] MLTM(2010), A Guidebook for the seawater, sediment and marine biota analyses in ocean environment. MLTM Directive No. 2010-419, p. 495.

[15] Moon, H. B., J. Yu, H. Choi, Y. R. An, S. G. Choi, J. Y.



- Park and Z. G. Kim(2010), Chlorinated and brominated contaminants including PCBs and PBDEs in minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) and common dolphins (*Delphinus capensis*) from Korean coastal waters. Journal of Hazardous Materials, Vol. 179, pp. 735-741.
- [16] Na, J. H.(2005), Age and growth of minke whale *Balaenoptera acutorostrata*, in Korean waters. Master Thesis, Pukyong National University, p. 52.
- [17] NFRDI(2009), Whales, dolphins and porpoises off Korean peninsula. Hangeulgraphics Korea, p. 135.
- [18] Park, J. Y., H. S. Sohn, Z. G. Kim, W. J. Kim, D. W. Park and Y. R. An(2004), Genetic diversity of by-caught minke whales in Korea based upon mitochondrial DNA control regions. Journal of Korean Society Fisheries, Vol. 6, No. 2, pp. 183-191.
- [19] Park, K. J., Y. R. An, Z. G. Kim, S. G. Choi, D. Y. Moon and J. E. Park(2009), Abundance estimate of the minke whale *Balaenoptera acutorostrata*, in the East Sea, Korea. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Vol. 42, No. 6, pp. 642-649.
- [20] Ruelas-Inzunza, J. and F. Pérez-Osuna(2002), Distribution of Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn in selected tissues of juvenile whales stranded in the SE Gulf of California (Mexico). Environment International, Vol. 28, No. 4, pp. 325-329.
- [21] Sanpera, C, M. González and L. Jover(1996), Heavy metals in two populations of North Atlantic fin whales (*Balaenoptera Physalus*). Environmental Pollution, Vol. 91, No. 3, pp. 299-307.
- [22] Sohn, H. S., Z. G. Kim and T. Miyashita(2001), Abundance estimate of minke whale, *Balaenoptera acutorostrata*, by sighting survey in the Yellow Sea, Spring 2001. Journal of Korean Society of Fisheries Resource, Vol. 4, pp. 51-63
- [23] Sohn, H. S., K. J. Park, Y. R. An, S. G. Choi, Z. G. Kim, H. W. Kim, D. H. An, Y. R. Lee and T. G. Park(2012), Distribution of whales and dolphins in Korean waters based on a sighting survey from 2000 to 2010. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science, Vol. 45, No. 5, pp. 486-492.
- [24] Song, K. J.(2011), Population ecological characteristic of minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) in Korean waters. Doctor Thesis, Pukyong National University. p. 96.
- [25] Wada, S., T. Kobayashi and K. Numachi(1991), Genetic variability and differentiation of mitochondrial DNA in minke whale. Report of the international whaling commission, Vol. 13, pp. 203-216.
- [26] Wagemann, R., N. B. Snow, A. Lutz and P. Scott(1983), Heavy metals in tissue and organs of the narwhal. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, Vol. 40, pp. 206-214.
- [27] Woshner, V. M., T. M. O'Hara, G. R. Bratton, R. S. Suydam and V. R. Beasley(2001), Concentrations and interactions of selected essential and non-essential elements in bowhead and beluga whales of arctic Alaska. Journal of Wildlife Diseases, Vol. 37, No. 4, pp. 693-710.

---

원고접수일 : 2012년 11월 08일

원고수정일 : 2012년 12월 06일 (1차)

2012년 12월 17일 (2차)

게재확정일 : 2012년 12월 27일