

빙어 (*Hypomesus olidus*)의 폐사에 미치는 시멘트의 급성독성이 정 열* · 허 준 옥¹군산대학교 해양생명과학부, ¹한국해양대학교 해양과학기술연구소Acute Toxicity of Cement on Mortality of Pond Smelt
(*Hypomesus olidus*)Jeong Yeol Lee* and Jun Wook Hur¹

School of Marine Life Science, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

¹Research Institute of Marine Science and Technology, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

Abstract – The effect of cement on survival, LC₅₀, safe concentration (SC) and application factors of pollutant (AF) for pond smelt, *Hypomesus olidus* were investigated for 96 hours. Mean body length of pond smelt used in this experiment was 8.6 ± 1.2 cm. Cement concentrations established in this experiment were 0 (control group), 10, 25, 50, 100, 250, 500, and 1,000 ppm, respectively. All fishes were dead in concentration more than 500 ppm cement within 4 hours. The LC₅₀ to cement toxicity was 123.03 ppm for 48h, 91.20 ppm for 72 h and 58.88 ppm for 96h. The value of SC and AF to cement toxicity for this species were 2.64~9.14 ppm and 0.045~0.155, respectively.

Key words : pond smelt, *Hypomesus olidus*, cement toxicity, LC₅₀

서 론

빙어속 (*Hypomesus*) 어류는 우리나라를 포함한 태평양 연안주변에 분포하는 10~14 cm의 소형어류이다 (Nelson 1994). 깨끗한 하천이나 호소 등에 서식하는 어종으로 하절기에는 수심 깊은 곳에서 서식하다가 산란기인 3월이 되면 수심 저면으로 이동하며, 주로 동물성 플랑크톤을 섭식한다 (김과 박 2002). 또한 빙어속 어류는 강해성의 냉수어종으로서 연어류와는 달리 탁도, 염분, 수온 등의 환경 변화에 적응성이 강한 것으로 알려져 있다 (Sato 1951). 우리나라에는 빙어 (*Hypomesus olidus*)와 날

빙어 (*H. japonicus*)가 있는데 이들은 주로 호소 등에 적응 되어진 육봉형이다 (윤 등 1999).

이러한 빙어는 주로 겨울철에 얼음낚시로 채집하여 식용 및 낚시를 위한 관광어로 각광을 받고 있다. 그러나 최근 호소 등의 오염으로 그 자원량이 감소하는 추세에 있으며 (최 등 2000), 특히 호소나 댐호를 가로지르는 교량 건설 등으로 호소나 댐호에 서식하는 빙어를 비롯한 수산생물에 직·간접으로 영향을 주고 있다. 더욱이 토목 공사시에는 필연적으로 시멘트 (Cement)에 의한 콘크리트 작업을 수행하게 되는 바, 이와 같은 시멘트 독성에 의한 빙어 및 수산생물에 미치는 악영향 등은 아직까지 보고된 자료가 없다.

시멘트는 이미 고대로부터 자연 상태의 시멘트가 각종 토목 및 건축공사에 사용되었으며, 현재에도 다양한

* Corresponding author: Jeong Yeol Lee, Tel. 063-469-1834, Fax. 063-469-1834, E-mail. yjeong@kunsan.ac.kr

시멘트가 토목 및 건축자재로 폭넓게 사용되고 있다. 시멘트는 물과 반죽하였을 때 경화하는 무기질 교착재료를 통칭하는 것으로서, 주성분이 규산(SiO₂), 산화알루미늄(Al₂O₃), 산화철(Fe₂O₃) 및 산화칼슘(CaO)으로 구성되어 있다. 이러한 시멘트가 물과 접촉하게 되면 느린 속도로 수중에 유리되어 수질은 물론 수중 생태계에 심각한 교란을 유도하게 된다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 육붕형 빙어를 사용하여 시멘트 농도에 따른 생존율, 안정농도 및 최대허용 독성농도를 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

실험에 사용한 빙어(평균체장 8.6±1.2 cm)는 경기도 화성시 소재 남양호에서 채집하여 군산대학교 양어장 아파트론 수조로 이동하여 1주일 이상 안정시켰다. 시멘트는 일반적으로 사용되는 가루시멘트(1종 보통 포틀랜드)를 사용하였으며, 50 L의 FRP 사각수조에 시멘트 농도를 각각 10, 25, 50, 100, 250, 500 및 1,000 ppm의 농도로 7개의 실험구를 설정하였으며 아울러 대조구(0 ppm)도 설정하였다. 실험은 지수식으로 2 반복 실시하였으며, 각각의 수조에 30마리씩 수용하여 매시간 폐사개체를 조사하여 생존율을 구하였다. 실험개시 후부터 먹이는 공급하지 않았으며, 수온은 11.1~13.0°C를 유지하였다. 실험시 사용한 환경수의 수질 조건은 Table 1과 같다.

반수치사농도(50% lethal concentration, LC₅₀)는 48, 72 및 96시간에서 APHA (1985)의 probit 값으로 구하였고, 생물의 수명을 줄이지 않고 번식 성장할 수 있는 안정농도(safe concentration, SC)와 독성물질의 영향정도를 나타내는 기준인 적용계수(application factors of pollutant, AF)는 Rand (1980)의 방법에 따라 다음의 식으로 산출했다.

- SC = Incipient LC₅₀/10, Incipient LC₅₀ : 96-hr LC₅₀
- AF : SC/96-hr LC₅₀

Table 1. Water qualities of diluted water in this experiment

Parameters	Concentration
Water temperature (°C)	11.1~13.0
pH	8.11~8.88
ORP (mV)	-63~-70
Dissolved oxygen (mg L ⁻¹)	7.9~10.7
Conductivity (µS cm ⁻¹)	451.6~463.8
Alkalinity (CaCO ₃ mg L ⁻¹)	107.24~115.33
Hardness (CaCO ₃ mg L ⁻¹)	243.03~282.14

결과 및 고찰

빙어를 이용하여 시멘트의 독성을 실험한 결과를 보면, 대조구(0 ppm)의 경우 72시간에 1개체가 죽어 3.3%의 폐사율을 나타내었지만, 250 ppm의 경우, 12시간이 지나면서 폐사개체가 나타나기 시작하였다(Table 2). 그러나 1,000 ppm의 경우는 2시간 이내에 그리고 500 ppm은 4시간 이내에 100%의 폐사율을 나타내어(Fig. 1), 500 ppm 이상의 농도에서는 급성독성의 영향을 나타내었다. 폐사개체의 외부적 증상을 보면 몸 표면에 점액질의 분비가 많고 체색이 탈색되어 검어지며 아가미의 선홍색이 탈색되어 옅어지게 된다. 시멘트의 독성은 주로 처리수의 높은 알칼리성에 기인된다(中尾 1986). 본 실험에서도 시멘트를 물에 희석하였을 경우 50 ppm 농도

Table 2. Estimated LC₅₀ for exposure time by probit analysis

Conc. (ppm)	No. of test animals	Number of test animals dead at time (hour)										
		1	2	3	4	5	6	12	24	48	72	96
0	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2
10	30	-	-	-	-	-	-	-	-	3	5	6
25	30	-	-	-	-	-	-	-	-	3	7	13
50	30	-	-	-	-	-	-	-	-	4	6	9
100	30	-	-	-	-	-	-	-	-	2	6	15
250	30	-	-	-	-	-	1	3	3	3	8	18
500	30	-	1	29	30	30	30	30	30	30	30	30
1000	30	24	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
LC ₅₀ (ppm)										123.03	91.2	58.88
95% confidence limit (ppm)										97.44	53.70	26.40
										~	~	~
										148.62	128.70	91.36

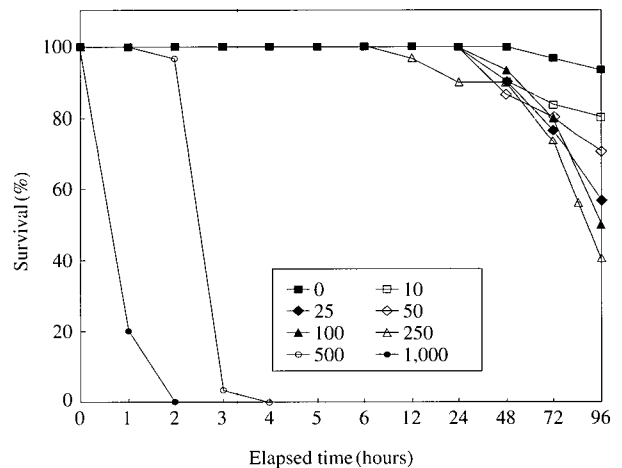


Fig. 1. Effect of concentration of cement on survival of *Hypomesus olidus*.

Table 3. Change in water quality diluted by cement

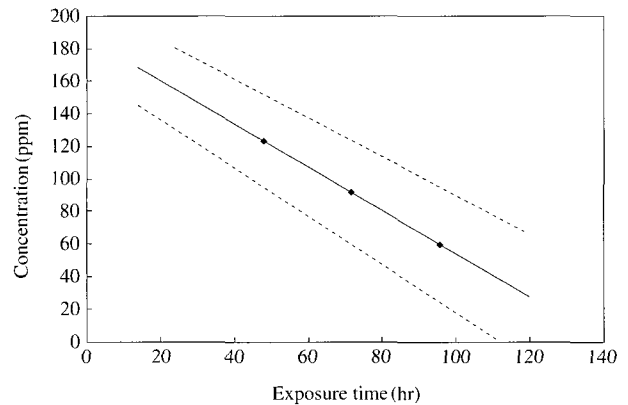
Conc. (ppm)	pH	Conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Alkalinity ($\text{CaCO}_3 \text{ mg L}^{-1}$)	Hardness ($\text{CaCO}_3 \text{ mg L}^{-1}$)
0	8.3	453	107.55	285.68
10	8.3	457	107.55	288.61
25	8.7	459	114.78	310.9
50	9.0	466	128.93	321.5
100	9.4	461	130.76	328.71
250	10.2	465	137.74	360.52
500	10.9	619	141.51	462.74
1,000	11.3	799	270.45	505.16

에서 pH 9의 값을 보였으며, 특히 500 ppm 이상에서는 pH 10.9 이상의 높은 값을 보였다 (Table 3). 일반적으로 환경수의 pH가 9 이상 될 때에는 어류들의 성장은 늦어지게 되고 pH 11 이상이 되면 급성치사를 나타낸다 (Boyd 1998).

특히 어류들의 아가미는 알칼리 용액(높은 pH)에 매우 민감하여 아가미의 새엽 (gill filament) 기부에 있는 점액세포가 이상비대 (hypertrophy) 되어 아가미의 상피세포가 붕괴되기 시작하여 호흡곤란으로 폐사하게 된다 (Boyd and Tucker 1998). 또 이 등 (1988)도 합성세제에 노출된 붕어의 아가미 조직에서 새엽의 선단부분이 괴사되면서 근봉화를 일으켜 호흡장애를 일으켜 폐사한다고 보고한 바 있다. 본 실험에서도 고농도의 시멘트 용액으로 갈수록 pH가 높아져 공시어의 아가미를 통한 삼투압 조절의 실패로 폐사가 일어난 것으로 사료된다.

지금까지의 수산생물에 대한 생물검정에 관한 연구들은 독성물질(농약류)과 중금속물질(납, 수은, 카드뮴 등) 등에 대한 연구결과가 대부분이다 (Park and Kim 1979; 이와 진 1984; Lee *et al.* 2001). 이러한 물질들도 생태계를 통하여 생물체내에 농축되거나 독성 농도가 심하게 되면 폐사하는 경우가 많다. 본 실험에 사용한 시멘트도 각종 공사로 인하여 하천 및 호소 등에 직, 간접적으로 시멘트 성분이 유입하게 되는데, 그 농도가 미약할 경우에는 하천이나 호소의 자정능력으로 시멘트의 독성에 의한 영향은 크지 않겠으나, 오염물질 또는 독성금속 물질에 오염되어 자정능력을 상실한 경우나 시멘트 농도가 큰 경우에는 수중생물에 악영향을 줄 수 있다. 따라서 본 실험에 나타난 500 ppm의 농도에서 4시간 이내에 전량 폐사하는 결과로 추측하여 볼 때 빙어보다 하위 먹이사슬에 있는 수서생물은 더 큰 영향을 받을 것으로 생각된다.

시멘트 독성에 대한 LC_{50} 은 Table 2에 나타낸 바와 같이, 48h- LC_{50} 은 123.03 ppm (95% 신뢰구간 97.44~148.62 ppm), 72h- LC_{50} 은 91.20 ppm (95% 신뢰구간 53.70~128.70 ppm) 이었고 96h- LC_{50} 은 58.88 ppm (95% 신뢰구

**Fig. 2.** Toxicity curve for LC_{50} of cement to *Hypomesus olidus*. Dot line indicates 95% confidence limit for each LC_{50} .

간 26.40~91.36 ppm)으로 각각 조사되었다. LC_{50} 값을 시간에 대하여 곡선으로 나타내 보면 Fig. 2와 같다. 유효농도 60 ppm 이하에서는 대략 100시간만에 50%의 폐사율을 가져오는 것으로 나타났으나, 160 ppm이 되면 24시간만에 50%의 폐사율을 가져오는 것으로 추정되었다. 이들 값은 미꾸리 (*Misgrunus anguillicaudatus*) 자어나 붕어 (*Carassius auratus*)에 대한 합성세제의 48h- LC_{50} 및 96h- LC_{50} 값 (이와 진 1984; 이 등 1988)보다 훨씬 높은 값으로 시멘트의 독성이 합성세제보다 약함을 반영하였다.

한편, 안정농도 (SC)와 적용계수 (AF)는 다음과 같이 계산된다.

$$\bullet \text{ SC} = \frac{26.40}{10} \sim \frac{91.36}{10} = 2.64 \sim 9.14 \text{ ppm}$$

$$\bullet \text{ AF} = \frac{2.64}{58.88} \sim \frac{9.14}{58.88} = 0.045 \sim 0.155$$

안정농도 2.64~9.14 ppm (평균 5.89 ppm)은 빙어가 급성독성을 일으키지 않는 농도로서, 적용계수 0.045~0.155 (평균 0.100)는 미국의 수질기준에 의한 적용계수 0.01에 비해 약 10배 정도 높은 값이지만, 많은 생물검정 실험에서 안정농도를 0.3~10 mg L^{-1} , 적용계수를 0.01~0.62로 보고한 것 (Tabata 1979)과 비교하면 환경독성에 대한 빙어의 내성은 일반적인 범주에 있다고 할 수 있다.

적 요

빙어 (*Hypomesus olidus*)를 사용하여 시멘트 농도에 따른 반수치사농도 (LC_{50}), 안정농도 (safe concentration) 및

적용계수 (application factors of pollutant)를 조사하였다. 실험어는 평균체장 8.6 ± 1.2 cm의 성어를 사용하였으며, 1주일 이상 안정시킨 후에 50 L의 FRP 사각수조를 이용하여 시멘트 농도를 0 (대조구), 10, 25, 50, 100, 250, 500 및 1,000 ppm로 설정하고 각 실험구에 30마리씩 수용하였다. 시멘트에 대한 붕어의 급성독성은 500 ppm 이상의 농도에서 4시간 이내에 전량 폐사하였다. 그리고 시멘트 독성에 대한 반수치사농도 (LC_{50})는 48 h- LC_{50} 은 123.03 ppm, 72 h- LC_{50} 은 91.20 ppm 및 96 h- LC_{50} 은 58.88 ppm으로 각각 조사되었다. 또한 안정농도는 2.64~9.14 ppm (평균 5.88 ppm), 적용계수는 0.045~0.155 (평균 0.100)로 각각 조사되었다.

참 고 문 헌

- 김익수, 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사.
- 윤창호, 김익수, 이완욱. 1999. 한국산 붕어속 (Genus *Hypomesus*) 어류의 분포학적 재검토. 한국어류학회지. 11: 149-154.
- 이정열, 진 평. 1984. 미꾸라리 자어에 대한 합성세제의 급성독성. 한국수산학회지. 17:139-142.
- 이정열, 김영길, 김종연, 김을배. 1988. 붕어의 폐사에 미치는 합성세제의 급성독성. 군산수대 수산과학연구소 연구보고. 4:43-53.
- 최 윤, 이완욱, 이태원, 김지현. 2000. 강태공을 위한 낚시물고기 도감. 지성사.
- 中尾義房. 1986. The influence of concrete "aku" on *Porphyra thalli*. 佐賀有明水試報. 10:123-125.
- APHA, AWWA, WPCF. 1985. Standard methods for examination of water and wastewater. APHA. Washington, DC.
- Boyd CL. 1998. Water quality for pond aquaculture. Research and development series No. 43. International center for aquaculture and aquatic environments. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University. Alabama.
- Boyd CL and CS Tucker. 1998. Pond aquaculture water quality management. Kluwer Academic Publ. Boston.
- Lee JS, JC Kang and YK Shin. 2001. Histological responses of the flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to copper. J. Fish Patholo. 14:81-90.
- Nelson JS. 1994. Fishes of the world (3th ed.). John Wiley and Sons., New York.
- Park JS and HN Kim. 1979. Acute toxicity test of mercury, copper and cadmium to yellowtail, *Seriola quinqueradiata* and rock bream, *Oplegnathus fasciatus*. Bull. Korean Fish. Soc. 12:119-123.
- Rand GM. 1980. Detection: Bioassay. pp. 390-403. In Introduction to environmental toxicology (Guthrie FE and JJ Perry eds.). Elsevier, New York.
- Sato R. 1951. Influence of natural environmental conditions of the vertebral number of the pond smelt. *Hypomesus olidus* (Pallas). Tohoku J. Agr. Res. 2:127-133.
- Tabata K. 1979. On the relationship between acute and long-term toxicity of water pollutants to aquatic organism. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab. 98:1-21.

Manuscript Received: January 3, 2005

Revision Accepted: January 25, 2005

Responsible Editorial Member: Jae-Seong Lee
(Hanyang Univ.)