

양식장에서 사육하는 메기 (*Silurus asotus*)의 산소소비 및 암모니아 배설에 미치는 소음진동 영향

Effects of Noise and Vibration on Oxygen Consumption and Ammonia Excretion in Cultured Catfish (*Silurus asotus*)

허준욱^{1*} · 이정열² · 주진철³

¹생물모니터링센터, ²한서대학교, ³한밭대학교

Jun Wook Hur^{1*}, Jeong Yeol Lee² and Jin Chul Joo³

¹Bio-Monitoring Center

²Institute of International Fisheries Science and Industrt, Hanseo University

³Civil and Environmental Engineering, Hanbat National University, Republic of Korea

Received 28 May 2018, revised 14 June 2018, accepted 14 June 2018, published online 30 June 2018

ABSTRACT: The main objective of this investigation was to examine oxygen consumption and ammonia excretion within cultured catfish, *Silurus asotus* (22.9 ± 0.9 cm, 100.7 ± 11.7 g $n = 30$) by noise and vibration stress in aquaculture farm. The vibration of 48, 58 and 68 dB (V) and noise of 77.6 ± 1.8 dB (A) from an electric vibrator was turned on for 15 minutes during each hour each day(0800-1800) for 11 days experimental period. The oxygen consumption (OC) of *S. asotus* the beginning of the experiment (0 day) in 58 dB group after 1, 5, 9 and 11 days was decreased 21.8, 30.2, 36.0 and 53.2%, respectively. In 68 group after 1, 7 and 11 days was decreased 22.7, 35.1 and 57.7%, respectively. The OC decreased exponentially and the relationship between them was expressed as $OC = 0.374D + 90.762$ ($r^2 = 0.048$) at 48 dB, $OC = -3.581D + 89.520$ ($r^2 = 0.831$) at 58 dB and $OC = -4.109D + 90.907$ ($r^2 = 0.884$) at 68 dB. Ammonia excretion (AE) of the beginning of the experiment in 48, 58 and 68 groups after 1 day was increased by 34.8, 51.8 and 63.2%, respectively, but it was decreased significantly from 3 to 11 days. The AE increased exponentially and the relationship between them was expressed as $AE = -1.646D + 115.915$ ($r^2 = 0.265$) at 48 dB, $AE = -8.230D + 122.132$ ($r^2 = 0.750$) at 58 dB and $AE = -7.086D + 123.690$ ($r^2 = 0.614$) at 68 dB.

KEYWORDS: Ammonia Excretion, Catfish, Oxygen consumption, *Silurus asotus*, Vibration stress

요 약: 진동 스트레스에 따른 양식 메기 (*Silurus asotus*)의 산소소비량 및 암모니아 배설량을 분석하였다. 연구에 사용된 메기의 평균전장은 22.9 ± 0.9 cm (± SD, $n = 30$), 평균체중은 100.7 ± 11.7 g (± SD, $n = 30$) 이었다. 진동 자극은 특수 제작한 진동기를 이용하여 48, 58 및 68 dB (V)이었으며, 이때의 소음은 77.6 ± 1.8 dB (A) 크기를 주었다. 진동은 타임머를 이용하여 주간(08:00-18:00)에 15분 간격으로 11일간 계속하여 스트레스를 가하였다. 메기의 산소소비량 변화는 58 dB (V) 그룹에서 진동 후 1, 5, 9 및 11일째에 각각 21.8, 30.2, 36.0 및 53.2% 감소하는 것으로 나타났다. 68 dB (V) 그룹에서는 1, 7, 및 11일째에 각각 22.7, 35.1 및 57.7% 감소하였다. 48, 58 및 68 dB 그룹에서 진동 자극 경과일수(D)에 따른 식은 각각 직선식으로 $OC = 0.374D + 90.762$ ($r^2 = 0.048$), $OC = -3.581D + 89.520$ ($r^2 = 0.831$) 및 $OC = -4.109D + 90.907$ ($r^2 = 0.884$)이었다. 암모니아 배설량은 48, 58 및 68 dB (V) 그룹에서 진동후 1일째에 각각 34.8, 51.8 및 63.2% 감소하는 것으로 나타났다. 48 및 58 dB (V) 그룹은 진동 3일째부터 11일째까지 유의한 차이를 보이지 않았다. 반면 68 dB (V) 그룹은 1, 3, 5, 7, 9 및 11일째에 진동전(0일째)과 비교하여 유의하게 감소한 것으로 나타났다. 진동 48 dB, 58 dB 및 68 dB에서의 진동 경과 일수에 대한 암모니아배설량 감소율은 직선식으로 각각 $AE = -1.646D + 115.915$ ($r^2 = 0.265$), $AE = -8.230D + 122.132$ ($r^2 = 0.750$) 및 $AE = -7.086D + 123.690$ ($r^2 = 0.614$)로 나타났다.

핵심어: 암모니아배설, 메기, 산소소비, *Silurus asotus*, 진동스트레스

*Corresponding author: junwhur@hanmail.net, ORCID 0000-0002-5241-0920

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

메기, *Silurus asotus*는 분류학적으로 메기목(Siluriformes)의 메기과(Siluridae)에 속하는 종으로 우리나라의 전 하천 및 일본, 중국을 비롯한 동북아시아 담수계에 널리 분포한다. 또한 이 종은 우리나라 노지양식에서 중요한 양식 종 중 하나이다. 자연적인 환경에서 외부로부터 소음 및 진동이 가해진다면 많은 스트레스로 작용한다. 메기 양식에 대한 여러 연구는 시도되고 있으나, 소음 및 진동 등 대사적인 조건이 변화하였을 때 나타나는 생리, 생화학적 및 대사적인 변화 양상에 따른 영향을 조사한 연구는 많지 않다(Lee et al. 2008, Hur et al. 2015).

양식생물은 양식하는 과정 중에 크고 작은 많은 스트레스(stress) 요인에 노출되어 있는데, 경우에 따라서는 양식 생산량과 양식산업 자체에 영향을 미칠 정도로 심각한 스트레스에 노출되어 있다(Hur 2002). 자연현상인 적조, 냉수대, 장마, 홍수 및 폭설 등은 천재지변으로서 양식 어가에서 대처할 수 있는 방안이 낫다 하겠지만, 인위적으로 주는 스트레스는 충분히 사전에 양어가 및 스트레스를 가하는 쪽에서 스트레스의 정도를 조절할 수 있다. 사육되는 생물에 어떤 스트레스가 가해졌을 때, 육상 가축 등은 비교적 쉽게 그 영향을 받은 정도 및 범위를 파악할 수 있으나, 양식생물의 경우 물속에서 생활하기 때문에 스트레스에 의한 직접적 피해를 정량적으로 파악하기 매우 어렵다.

메기 양식은 여름철에 성장이 왕성하게 자라며, 또한 수질 등 환경적인 조건에 강하다. 사료 섭취량과 빠른 성장으로 1년 이내에 종묘로부터 상품어류까지 생산할 수 있어 다른 담수양식어류 보다 경쟁력이 있다. 우리나라는 보통 4월에 종자생산하여 9월부터 상품어가 생산되어 출하한다. 메기양식장은 지리적으로 주로 주변이 조용하고 수질 조건이 양호한 노지에서 생산된다(Lee et al. 2008).

내수면 양식종으로 자라, *Pelodiscus sinensis*, 뱀장어, *Anguilla japonica* 및 메기류는 소음 및 진동에 매우 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다(Lee and Hur 2004, Lee et al. 2007). 최근 도로공사 및 산업시설 등의 설비에 따른 소음 및 진동이 양식장 인근에서 봄부터 가을철에 이루어지는 관계로 양식생물에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Lee and Hur 2004, Lee et al. 2007).

본 연구에서는 소음 및 진동 스트레스에 노출될 때 나타나는 생리적 반응의 단기적 지표로서 산소소비량(oxygen consumption, OC) 및 배설량(ammonia excretion, AE) 변화를 측정하여 메기양식의 기초 자료로 이용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

실험에 사용한 메기는 전라북도 김제군 소재 메기양어장에서 종자생산하여, 군산대학교 양어장으로 이동한 후 실험전까지 사육하였다. 평균 전장과 체중은 각각 22.9 ± 0.9 cm, 100.7 ± 11.7 g (\pm SD, $n = 30$) 이었다.

실험은 1,500 L 크기의 fiber reinforced plastics (FRP) 수조를 사용하였으며, 수온자동조절기를 거쳐 나온 사육수를 $0.5 \text{ m}^3/\text{hr}$ 의 속도로 연속하여 공급해 주었다. 진동은 자체 제작한 진동기에 타이머를 연결하여 24시간동안 1시간마다 15분씩 11일 동안 스트레스를 주었다. 진동량은 각각 48 (대조구), 58 및 68 decibel (dB, V)이었다. 실험수조 구성은 48, 58 및 68 dB 그룹 별로 2반복으로 설정하였으며, 어류는 50마리씩 수용하였다. 실험수조에 진동의 영향 이외의 스트레스를 배제하기 위하여, 실험은 실내에서 실시하였으며, 항상 어둡게 하여 안정을 시켰다. 대조구(48 dB)는 전라북도 김제 소재 메기양식장에서 소음기를 사용하여 측정 한 결과, 약 40-50 dB이 관측되어 이를 결정하였다.

메기의 산소소비량과 암모니아배설량은 실험전(실험시작일, 0)과 진동 자극 1, 3, 5, 7, 9 및 11일째에 진동 자극 후 매일 오후 5-7시에 실시하였다. 실험시 사육수 온은 $24.5\text{-}25.5^\circ\text{C}$, pH는 7.2-8.1, 용존산소는 7.4-8.1 mg/L였다(Table 1). 산소소비량과 암모니아배설량 측정은 아크릴로 제작한 호흡실($\phi 50 \times 20$ cm)에 미공 여과($0.8 \mu\text{m}$)시킨 환경수를 넣고, 진동에 노출된 메기를 3

Table 1. Freshwater quality during the experiment

Parameter	Range
Water temperature ($^\circ\text{C}$)	24.5-25.5
pH	7.2-8.1
Dissolved oxygen (mg/L)	7.4-8.1
Total ammonia nitrogen (mg/L)	0.005-0.650
Nitrite nitrogen (mg/L)	0.001-0.039
Alkalinity (mg/L CaCO_3)	87.75-103.75
Hardness (mg/L CaCO_3)	130.39-199.04

Table 2. Variations of oxygen consumption (OC) and decreasing rate (DR) of cultured catfish, *Silurus asotus* to the vibration stress for 11 days

Elapsed days	48 dB		58 dB		68 dB	
	OC (g/kg/hr)	DR (%)	OC (g/kg/hr)	DR (%)	OC (g/kg/hr)	DR (%)
0	309.5±11.9	0	309.5±11.9	0	309.5±11.9	0
1	254.5±25.0*	▽17.8	242.0±15.0**	▽21.8	239.3±15.0***	▽22.7
3	261.0±12.0*	▽15.7	226.0±15.0**	▽27.0	239.0±14.0***	▽22.8
5	305.4±17.6	▽1.3	216.0±18.0**	▽30.2	210.0±18.0***	▽32.2
7	302.0±19.5	▽2.4	204.0±17.0**	▽34.1	201.0±15.0***	▽35.1
9	283.9±15.0	▽8.3	198.0±7.4**	▽36.0	182.0±13.0***	▽41.2
11	291.9±25.2	▽5.7	145.0±18.0**	▽53.2	131.0±17.0***	▽57.7

Values are means of experiments run on two occasions (\pm SD, $n = 5$). Significant differences from control values (0 day) are indicated by asterisks (*, **, *** $p < 0.05$). ED: elapsed days, ▽: decrease rate.

마리씩 수용하여 일정 시간 동안 호흡을 안정시킨 후, 3 방향 코르크를 돌려 호흡실내 환경수가 호흡실에 부착된 산소전극 (YSI-58)을 거쳐 다시 호흡실로 흐르도록 1 시간동안 방치한 후, 실험 전과 후의 환경수내 용존산소량과 암모니아량을 측정하였다. 측정된 용존산소량은 Jobling (1982)의 방법에 의해 $OC (mg O_2/kg fish/hr) = (C_1 - C_2) \times V / (t \times W)$ 의 식으로 환산하였다. 여기서, C_1 은 실험시작시 용존산소량 (mg/L), C_2 는 실험종료시 용존산소량 (mg/L), V 는 호흡실내 환경수 용량 (L), t 는 경과시간 (hour), W 는 메기의 체중 (kg)이다. 환경수내 암모니아량은 phenolhypochloride 방법 (Solorzano, 1969)으로 검수를 발색시켜 비색분석계 (UV/VIS-200S)로 비색분석한 후 암모니아 배설량을 계산하였다.

실험에서 얻어진 자료 값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지 (SPSS 9.0, SPSS Inc., USA)에 의한 One-way ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

수중에서 양식어류에 미치는 소음 (noise) 및 진동 (vibration)의 전파속도 (radio wave velocity)는 공기 중에서보다 4배나 빠르고 또 멀리 전달될 뿐만 아니라, 물 (water)은 소리를 흡수하기도 한다 (Sung 2006). 어류는 수중에서 기계적 진동뿐만 아니라 가청진동 (audio frequency) 이하의 진동과 초음파 진동까지 감지한다. 수중에서 어류가 소리를 감지하는 것은 물 입자의 속도, 이동 및 압력 등에 따라 차이가 난다. 소리의 진동이 물의 전파를 통해서 어류의 체 표면에 전달되면 머리부분

에 있는 세 개의 골편에 의해 속귀 (내이, inner ear)로 전달되어 진동을 감지하며, 또한 부레 (air bladder)에서도 예민하게 감지한다 (Sung 2006). 일반적으로 어류는 5-25 Hz의 저주파 진동까지 감지한다고 알려져 있으며, 16-13,000 Hz의 진동은 속귀의 하부에 있는 소낭 (sacculus)과 개막 (lagena)으로 감지하고 18-30 Hz의 진동 (가청진동과 저주파 진동과의 경계부근의 진동)은 측선과 속귀로 감지하며 어류에 따라서는 부레로도 감지한다 (Evans 1993).

실험개시시 산소소비량은 309.5 ± 11.9 g/kg/hr로부터 48 dB는 1일째에 254.5 ± 25.0 g/kg/hr, 3일째에는 261.0 ± 12.0 g/kg/hr로 유의하게 감소하였다 ($P < 0.05$) (Table 2). 그러나 5일째부터 실험개시시와 차이를 보이지 않았다 ($P > 0.05$). 48 dB는 진동 자극 경과일수 (D)에 따라 직선식 $OC = 0.374D + 90.762$ ($r^2 = 0.048$)로 나타났다 (Fig. 1). 진동 58 dB는 1일째부터 감소하기 시작하여 실험종료시인 11일째에는 145.0 ± 18.0 g/kg/hr로 감소하였다. 이 값은 실험개시시에 비하여 53.2%가 감소한 값이다 ($P < 0.05$). 사육일수에 따른 감소율은 직선식 $OC = -3.581D + 89.520$ ($r^2 = 0.831$)로 나타났다. 진동 68 dB는 58 dB와 유사한 경향으로 1일째부터 계속해서 감소하는 경향을 보였다. 감소율은 1일째 22.7%, 5일째 32.2% 및 11일째에는 57.7% 감소하였다 ($P < 0.05$). 감소율을 직선식으로 나타내면 $OC = -4.109D + 90.907$ ($r^2 = 0.884$)이었다.

진동 자극 1-11일째까지 산소소비량은 실험개시시에 비해 58 dB 및 68 dB에서 감소하는 경향을 보였다. 산소소비의 감소는 혈중 젖산 (lactic acid) 생성이 적고, 글루코스 (glucose) 분비속도의 감소 등으로 산소 공급

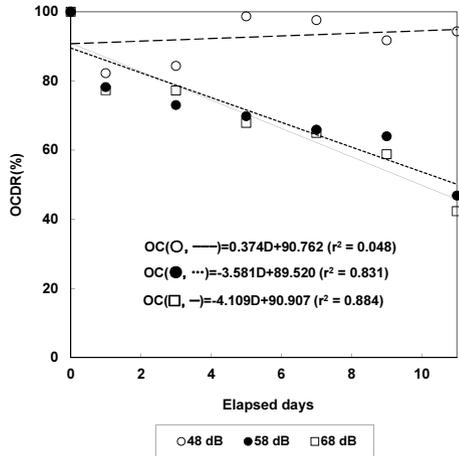


Fig. 1. Decrease rate of oxygen consumption (OCDR) of cultured catfish, *Silurus asotus* to the vibration stress for 11 days. Control values (0 day).

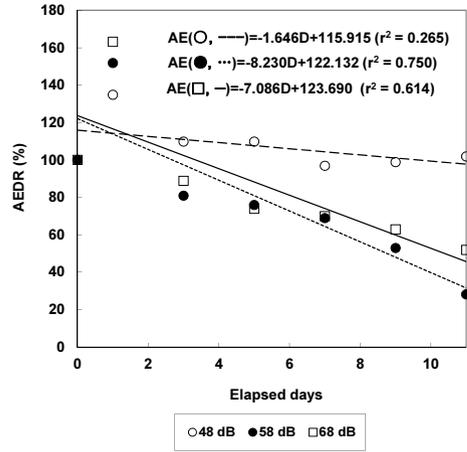


Fig. 2. Decrease rate of ammonia excretion (AEDR) of cultured catfish, *Silurus asotus* to the vibration stress for 11 days. Control values (0 day).

Table 3. Variations of ammonia excretion (AE) of cultured catfish, *Silurus asotus* to the vibration stress for 11 days

Elapsed days	48 dB		58 dB		68 dB	
	AE (g/kg/hr)	DR (%)	AE (g/kg/hr)	DR (%)	AE (g/kg/hr)	DR (%)
0	10.0±0.5	0	10.0±0.5	0	10.0±0.5	0
1	13.5±1.8	△34.8	15.2±0.8**	△51.8	16.3±1.3***	△63.2
3	11.0±2.0	△9.9	8.1±0.2**	▽19.1	8.9±1.6	▽11.1
5	11.0±1.2	△9.9	7.6±1.7**	▽24.1	7.4±2.1***	▽26.1
7	9.7±1.7	▽3.1	6.9±1.6**	▽31.1	7.0±1.4***	▽30.1
9	9.9±2.0	▽1.1	5.3±1.0**	▽47.1	6.3±2.4***	▽37.1
11	10.2±1.4	△1.9	2.8±2.7**	▽71.8	5.2±2.2***	▽48.1

능력이 충분할 때 일어난다 (Perry and Reid 1993). 이러한 현상은 그 어체가 아무런 스트레스(stress)를 받지 않고 있는 상황이며, 만약 스트레스 상황에 처해지면 많은 산소를 필요로 하기 때문에 산소소비는 일시적으로 증가 하는 것으로 보고되었다 (Lee and Hur 2004, Lee et al. 2007). 본 연구에서 나타난 진동 자극 1일 이전 (진동 자극후 24시간째에 산소소비량을 측정하였음)에는 산소소비가 증가하였을 것으로 추측할 수 있으나, 1일째부터 감소하였는데 이러한 감소현상은 어체가 스트레스 상황에 적응되어진 것이 아니라 진동 스트레스에 글루코스 분비 속도 및 에너지 동원에 문제가 있음을 암시해준다 (Hur et al. 2015).

수산생물의 대사체계를 총체적으로 나타내주는 지표가 산소소비량과 질소배설량이다 (Lee and Hur 2004, Sung 2006). 산소소비는 수온 (Brett and Glass 1973, Wi and Chang 1976), 염분 (Forsberg 1994), 광주기

(Withey and Saunders 1973), 크기(Brett and Glass 1973), 사료공급량 (Brett and Groves 1979) 및 스트레스 정도 (Barton and Schreck 1987) 등 여러 가지 요인에 의해 달라지는 것으로 알려지고 있다. 산소소비에 가장 많은 영향을 미치는 수온은 상승에 비례하여 산소소비량이 증가한다고 하였다 (Brett and Glass 1973). 이와 반대로 스트레스를 심하게 받으면 산소소비량이 감소하는 것으로 알려져 있다 (Wedemeyer et al. 1981). 따라서 본 연구에서 산소소비의 감소는 진동이 스트레스로 작용하여 나타난 결과로 추측된다.

암모니아배설량은 실험개시시 (0일) 10.0 ± 0.5 g/kg/hr로부터 1일째에 48 dB는 13.5 ± 1.8 g/kg/hr로 34.8% 증가하였으며, 5일째에는 9.9% 증가하였다(P < 0.05) (Table 3). 1일째에 진동 58 dB와 68 dB는 각각 15.2 ± 0.8 g/kg/hr로 51.8% 및 16.3 ± 1.3 g/kg/hr로 63.2% 증가하였다 (P < 0.05). 진동 58 dB는 3일째부터

감소하기 시작하였으며, 5일째에 24.1%, 9일째 47.1% 및 11일째에는 71.8% 감소하였다 ($P < 0.05$). 진동 68 dB에서도 이와 같은 경향을 보여 주었는데, 3일째 11.1% 및 11일째 48.1%로 감소하였다 ($P < 0.05$). 진동 48 dB, 58 dB 및 68 dB에서의 진동 경과 일수에 대한 암모니아배설량 감소율은 직선식으로 각각 $AE = -1.646D + 115.915$ ($r^2 = 0.265$), $AE = -8.230D + 122.132$ ($r^2 = 0.750$) 및 $AE = -7.086D + 123.690$ ($r^2 = 0.614$)로 나타났다 (Fig. 2).

암모니아배설량 변화는 1일째에는 모든 실험구에서 증가되는 것으로 나타났으며, 3일째부터 58 dB과 68 dB에서 감소하였다. Lee et al. (2007)은 자라에서 암모니아배설량은 진동 스트레스에 의해 초기에는 높아진다고 하였다. 이는 진동 스트레스에 따라 생리활성이 증가되고, 이후 스트레스가 누적되어 암모니아배설량이 감소된다고 하였다.

4. 결론

본 연구에서 폐사개체는 나타나지 않았으나, 48 dB에 비하여 58 dB와 68 dB의 메기는 산소소비율 및 암모니아배설량이 감소하는 것은 생리적 피폐기에 처해 있는 상황으로 에너지 소비가 많음을 알 수 있다. 스트레스 자극 초기에는 경고반응으로 보이며, 이후 저항기를 거쳐, 실험종료시에는 생리적 활성이 급격히 하락한 것으로 보인다. 또한 본 연구에서 나타난 결과는 진동 자극 스트레스에 의해 산소소비량 및 암모니아배설량 등에서 체내 항상성이 스트레스 자극 11일 동안 계속해서 감소하는 것으로 나타났다. 메기는 다른 경골어류와는 다르게 사육지 및 수조 저면에서 생활을 많이 하므로 진동 등의 스트레스에 대하여 더욱 민감하게 반응하는 것으로 보인다. 추후에는 장기적으로 많은 항목과 각종 장치의 조직학적 변화 등에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

Barton, B.A. and Schreck, C.B. 1987. Influence of acclimation temperature on interrenal and carbohydrate stress responses in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture* 62: 299-310.

Brett, J.R. and Glass, N.R. 1973. Oxygen consumption and critical swimming speeds of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in relation to size and temperature. *Journal of the*

Fisheries Board of Canada 30: 379-387.

Brett, J.R. and Groves, T.D.D. 1979. Physiological energetics. In : *Fish Physiology* Vol. VIII (ed. by W.S. Hoar, D.J. Randall and J.R. Brett). pp. 279-352. Academic Press. New York.

Evans, D. H. 1993. *The Physiology of Fishes*. CRC, Boca Raton, pp. 114-130.

Forsberg, O.I. 1994. Modelling oxygen consumption rates of post-smolt Atlantic salmon in commercial-scale land-based farms. *Aquaculture International* 2: 180-196.

Hur, J.W. 2002. *Physiological Responses of Fishes to the Artificial Stresses in the Process of Aquaculture*. A Doctors Thesis, Pukyong National University, Busan. (In Korean)

Hur, J.W., Kim, D.H., and Lee, J.Y. 2015. Physiological responses to three different levels of vibration stress in catfish, *Silurus asotus*. *Ecology and Resilient Infrastructure* 2: 337-344. (in Korean)

Jobling, M. 1982. A study of some factors affecting rates of oxygen consumption of plaice. *Pleuronectes platessa* L. *Journal of Fish Biology* 20: 501-516.

Lee, J.Y. and Hur, J.W. 2004. Effect of vibration stress on the oxygen consumption, ammonia excretion and blood characteristics of the cultured eel, *Anguilla japonica*. *Journal of Aquaculture* 17: 262-267.

Lee, J.Y., Hur, J.W., and Kim, S.K. 2008. Effects of starvation on growth and physiological response in cultured catfish, *Silurus asotus*. *Korean Journal of Ichthyology* 20: 81-89. (in Korean)

Lee, J.Y., Sung, Y.S., and Hur, J.W. 2007. Oxygen consumption and ammonia excretion in cultured soft-shelled turtle, *Pelodiscus sinensis* exposed vibration stress. *Korean Aquaculture* 20: 60-64. (in Korean)

Perry, S.F. and Reid, S.D. 1993. β -adrenergic signal transduction in fish: interactive effects of catecholamines and cortisol. *Fish Physiology and Biochemistry* 11: 195-203.

Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochloride method. *Limnology and oceanography* 14: 799-801.

Sung, Y.S. 2006. *Effect of Noise and Vibration on the Physiological Response in Soft-Shelled Turtle (Pelodiscus sinensis)*. A Master Thesis, Kunsan National University, Kunsan. (in Korean)

Wedemeyer, G.A. and McLeay, D.J. 1981. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. In *Stress and Fish* (Ed. by A.D. Pickering), Academic Press, London, pp. 247-275.

Wi, J.H. and Chang, Y.J. 1976. A basic study on transport of live fish (I). *Bulletin of National Fisheries Research and Development Institute* 15: 91-108. (in Korean)

Withey, K.G. and Saunders, R.L. 1973. Effect of reciprocal photoperiod regime on standard rate of oxygen consumption of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of the Fisheries Board of Canada* 30: 1898-1900.