



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

수산화석사 학위논문

미꾸라지 (*Misgurnus mizolepis*)의
장 호흡 및 산소소비량에 관한 연구
Intestinal respiration and oxygen consumption
of mud loach (*Misgurnus mizolepis*)



2007년 2월

부경대학교 대학원

수산생물학과

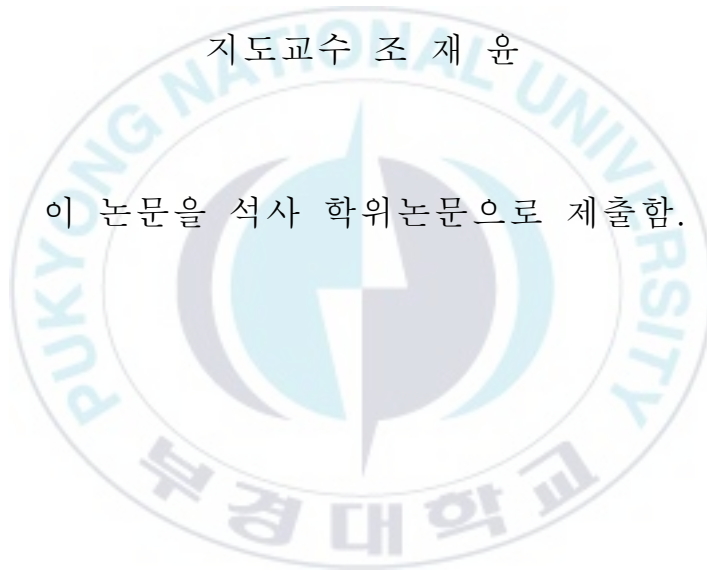
남 광 철

수산학석사 학위논문

미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)의 장호흡 및
산소소비량에 관한 연구

지도교수 조 재 윤

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함.



2007년 2월

부경대학교 대학원

수산생물학과

남 광 철

남광철의 수산학석사 학위논문을
인준 함.

2007년 1월 12일



주 심 농학박사 장 영 진 ㉠

위 원 수산학박사 남 윤 권 ㉠

위 원 이학박사 조 재 윤 ㉠

목 차

목차	i
Abstract	ii
I. 서론	1
II. 재료 및 방법	6
III. 결과 및 고찰	12
V. 요약	27
VI. 감사의 글	30
VII. 참고문헌	31

***Intestinal respiration and oxygen consumption of
mud loach (*Misgurnus mizolepis*)***

Kwangchel Nam

*Department of Fisheries Biology, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

Mud loach, *Misgurnus mizolepis* has an ability to get oxygen from intestinal respiration in addition to the ordinary gill respiration. Therefore this fish can survive very low oxygen conditions in the water where organic substances are rich. However, when they are caught in the underwater trap net and they can not make intestinal respiration in it for one or two days, mass mortality was often observed by fish farmers. This means that this species needs intestinal respiration in some conditions. But there were not much information available about this.

Therefore the necessity of intestinal respiration of 2 body size groups, 5g and 20g size, of this species under 6 different ambient oxygen concentrations, 0, 1, 2, 3, 4, 5, and 6 ppm, were investigated. The frequencies of intestinal respiration under 4 different ambient oxygen concentrations and basic oxygen consumption rates under 4 different temperature conditions were also tested.

For the necessity of intestinal respiration, 50% mortality in 96-hour (LT_{50-96}) was measured. In the 5 g size treatment group (intestinal respiration not allowed group), the average LT_{50-96} of ambient oxygen concentration of 0, 1, 2 and 3 ppm were 1 hour 34 minute (1h 30m), 2h 25m, 8h 41m and 56h 50m, respectively. But there were no mortality observed in the all control groups (intestinal respiration allowed group) and the treatment of 4 ppm oxygen group within 96 hour period. The LT_{50-96} of 20 g size treatment group with the ambient oxygen concentrations of 0, 1, 2, 3 and 4 ppm were 0h 30m, 0h 38m, 3h 42m, 5h 11m, and 53h 12m, respectively. In the treatment of 5 ppm oxygen group, 4 out of 40fish were died within 96-h period. But no mortality were observed in the all control and the treatments of 6 ppm oxygen group.

The average frequencies of intestinal respiration in 5 g size groups under the ambient oxygen concentrations of 0, 1, 2, 3, and 4 ppm were 37.3, 38.8, 26.9, 14.3 and 14.4 times per hour, respectively while those of 20 g size groups were 36.1, 38.3, 29.8, 20.8 and 14.0 times per hour, respectively. Average frequencies of intestinal respiration of mud loach were decreased with the ambient oxygen concentration decrease in both size group. But there were no differences of the frequencies of intestinal respiration between two size groups.

Basic oxygen consumption rates of 5 g size groups under the water temperatures of 15, 20, 25, and 30°C were 199.2, 204.3, 231.3, and 301.2 mg O₂/kg fish/hr, respectively while those of 20 g size groups were 83.6, 109.2, 143.6, and 202.6 mg O₂/kg fish/hr, respectively. The basic oxygen consumption rates of 5 g size fish were always higher than those of 20 g size fish at the same temperature. The relationship between body weight and basic oxygen consumption rates within the temperature ranges of 15~30°C of 5 g and 20 g size mud loach were $Y = 33.30 X + 150.78$ and $Y = 39.19 X + 36.95$, respectively. The Q₁₀ of 5 g size groups mud loach in the range of 15~20°C, 20~25°C, and 25~30°C were 1.05, 1.28 and 1.70, respectively and those of 20 g size groups were 1.59, 1.73, and 1.99, respectively. The Q₁₀ in 20 g size groups were higher than that in 5 g size group. Also Q₁₀ is increased with temperature increase.

I. 서론

미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)는 한국, 중국, 일본, 대만 등에 분포하는 온수성 담수어종으로, 분류학적으로 잉어목(Cypriniformes), 미꾸리과(Cobitidae), 미꾸리속(*Misgurnus*)에 속한다(이, 1997). 미꾸라지는 80년대 중반까지만 해도 한국 전 지역의 늪이나 농수로 등 자연 생태계에 자원량이 풍부하여 식용 및 낚시 미끼용 등으로 수출되기도 하였다(김과 이, 1985). 그러나 90년대 들어 자원량이 대폭 감소하면서 양식에 의한 공급이 주를 이루었지만 중국으로부터 다량의 미꾸라지가 수입되면서 양식 어가들의 어려움이 커지고 있는 실정이다. 2005년 국내 양식생산량은 1,952톤인데 반해 중국으로부터 7,107톤의 미꾸라지가 수입되는 것으로 보고되었다(MOMAF, 2005). 미꾸라지는 높은 산란력과 짧은 생식주기, 실험실에서의 연중산란 등이 가능하여 다양한 실험분야에서 이용되고 있다(Kim et al., 1995; Nam et al., 1999).

대부분 어류들의 주요 호흡기관은 수중생활에 적응한 아가미지만 어류의 종에 따라서는 새싹, 인후공기호흡실 및 부레 등이 호흡기의 역할을 하며, 피부도 정도의 차에 따라 호흡에 참가한다(Cater and Beadle, 1931; 정, 1967; Lagler et al., 1977). 이중 미꾸라지는 다른 어종과는 달리 아가미 호흡과 더불어 장호흡을 한다. 장호흡 시에는 수면에서 공기를 마신 다음 창자 상피에서 가스교환을 하고 항문을 통해서 공기를 내보낸다(松原喜代松 등, 1979). 이 때문에 미꾸라지는 유기물이 많고 수온이 상승하는 여름철에 용존산소가 낮은 시냇물, 연못, 논, 늪 등 조건에서도 잘 견디며 급격한 주변 서식 환경의 변화에 대한 적응능력도 뛰어나 수질오염에 강한 종으로 알려져 있다. 심지어 미꾸라지를 판매하는 시장에서는 대량의 미꾸라지를 작은 통에 담아서 판매하며, 이때 수중용존산소는 거의 0 ppm에 가깝게 떨어지지만 장호흡을 통해 폐사

가 발생하지 않는다.

Table 1. The amount of captured, cultured and imported mud loach from 1996 to 2005*

Unit(M/T)

Year	Capture	Culture	Total	Import
1996	265	282	547	3,839
1997	171	409	580	5,105
1998	105	430	535	3,707
1999	31	432	463	5,989
2000	0	644	644	6,787
2001	2	642	644	7,858
2002	0	398	398	8,920
2003	6	968	972	8,740
2004	0	1,837	1,837	9,858
2005	1	1,952	1,953	7,107

*Statistical yearbooks(MOMAF, 2005).

통발을 이용한 양식 미꾸라지의 포획 시 장시간 수중에 통발을 들 경우 폐사하는 원인이 장호흡을 하지 못한 결과라고 알려져 있다. 또 낮은 용존산소 환경에서의 대량 축양 및 운반 등이 가능한 것도 미꾸라지의 장호흡의 특성과 관련이 있는 것으로 알려져 있다.

미꾸라지의 장호흡에 대해서는 생존에 꼭 필요한지의 여부, 수중 용존산소량과 장호흡의 연관성, 어체의 크기와 장호흡의 연관성 등에 대해서는 전혀 알려진 바가 없어 미꾸라지의 양식, 포획, 축양 및 운반 등과 관련하여 장호흡에 관한 많은 정보가 필요하다.

산소는 모든 육상 동식물뿐만 아니라 수중 동식물의 생명 유지에 가장 필수적인 요소이다(Lawson, 1995). 일반적으로 대부분의 어종은 적정 수중 용존산소 농도보다 낮은 농도에서도 생존이 가능하다. 그러나

수중 용존산소 농도가 지속적으로 낮게 유지되면 사료공급량과 성장량의 감소 및 질병의 감염이 쉬워지고, 결국에는 폐사에 이르게 된다. 이와 반대로, 지나치게 많은 양의 산소가 수중에 녹아 있는 경우 기포병을 유발하며 어류의 지속적인 대량 폐사를 가져오므로 과량의 용존 산소는 오히려 역효과를 나타낸다(김, 1999). 그러므로 적정용존산소의 유지 순환 여과식 장치를 이용한 고밀도 사육 시 환경수용력을 조절할 수 있을 뿐만 아니라 어류의 생산력 조절과 생물학적 및 경제적으로도 중요한 요인이 된다(Bergheim et al., 1991).

어류의 산소 요구량에 관한 연구는 광범위하게 수행되어 왔으며, 특히 연어과 어류에 집중적인 연구가 이루어졌다(Alabaster et al., 1979; Brooker et al., 1977; Dandy, 1970). 이들 연구에 따르면 연어과 어류의 치사 용존산소량은 3.4 mg/ℓ 이고, 그 외의 종류는 3.0 mg/ℓ 이하이다.

사육 어종에 대한 산소소비량은 어류와 패류(Navarro and Torrijos, 1994; Merino and Morey, 1997), 그리고 갑각류(Gasca-Leyva et al., 1991; Hopkins et al., 1991) 등에 대해 연구되어져 왔다. 이를 어종별로 나누어보면 농어(Barahona-Fernades, 1978; Bedler, 1981), 연어·송어류(Wagner et al., 1995), 잉어(Chakraborty et al., 1992), 뱀장어(Kanda and Itazawa, 1981), 철갑상어(Burggren and Randall, 1978), 송어(Guinea and Fernandez, 1991), 넙치류(Kikuchi et al., 1990), 참돔(Azuma and Itazawa, 1998), 메기류(Jarboe, 1996) 등이 있다.

또한 위와 장(1976)은 활어 수송에 관한 기초적 연구의 일환으로 붕장어와 복어에 대하여 산소소비량을 측정하였고, 김(1988)은 해산어류 양식 가두리의 용존 산소 수지에 관하여 연구한 바 있으며, 김(1992)은 인공적으로 종묘 생산된 자연산 농어(*Lateolabrax japonicus*)를 대상으로 산소소비량의 경향을 보고하였고, 명 등(1998)은 염분의 급변화가

점농어의 산소소비 및 생체리듬에 미치는 영향을 보고하였다.

산소소비량의 변화에 영향을 끼치는 요인들은 사육 수온(Xie and Sun, 1990; Cai and Summerfelt, 1992; Berg et al., 1993), 염분도(Xie and Sun, 1990; Avnimelech et al., 1992; Berg et al., 1993; Yager and Summerfelt, 1993), 광주기(Ross and Mckinney, 1988; De Silva et al., 1986; Chakraborty et al., 1992), 사료 공급에 따른 변화(Van Dam and Puly, 1995; Gelineau et al., 1998; Phillips et al., 1998) 및 사육수 내 용존산소량(Yamamoto and Hirano, 1998; Yamamoto et al., 1990) 등이 있다.

기초 산소소비량의 측정방법에는 크게 지수식 형태와 밀폐 유수식 형태가 있다. 이는 호흡실(respirometer chamber)을 이용하여 호흡실에 연속적으로 들어가는 물의 산소 함량의 차이나 정체된 물에서 시간에 따른 산소 함량의 차이를 이용하여 측정되어지며, 호흡실의 크기와 설계된 밀폐의 정도에 따라 측정된 수치는 상당한 차이를 나타낸다(Ross and Mckinney, 1998b). 따라서 지속적이고 반복적인 측정이 필요하기 때문에 이러한 연구는 실험 환경 조건을 손쉽게 조절할 수 있는 밀폐 유수식 형태가 가장 적당하다(Gnaiger, 1993). 밀폐 유수식 호흡실을 이용한 산소소비량 측정은 티라피아의 산소소비율 측정(Ahamed and Magid, 1968)으로부터 컴퓨터 기록 장치를 이용하는 방법에 이르기까지 다양하게 변화해왔다(오 등, 2006).

미꾸라지의 서식 생태학적 특성 즉, 유기물이 많고 수온이 높게 올라가며 산소부족이 쉽게 일어날 수 있는 환경은 일반 어류의 서식 생태학적 특성과는 아주 다르기 때문에 미꾸라지는 다른 어류에 비해 산소 요구량이나 그 소비량에 차이가 많을 것이므로 장호흡을 하는 미꾸라지의 아가미 호흡에 의한 산소소비량과 환경과의 관련성 및 장호흡의 필수성 등에 관한 자료가 필요하며, 미꾸라지가 서식하는 자연환경

이 유기물이 많고 여름철에 수온이 35℃ 이상 상승하는 논이나 늪 또는 흐름이 느린 얕은 시냇물 등이므로 기초 산소소비량이 다른 어류들과는 차이가 있을 것으로 사료된다.

따라서 본 실험에서는 미꾸라지의 수중 용존산소 함량과 장호흡과의 관계를 밝히기 위해 여러 가지 농도의 수중 용존 산소에서 장호흡을 억제한 미꾸라지의 96시간 내 반수치사시간과 장호흡 횟수를 관찰하였고, 미꾸라지의 크기와 수온에 따른 기초 산소소비량을 측정함으로써 미꾸라지의 양식, 포획, 축양 및 운반에 있어서의 기초 자료를 마련하고자 하였다.



II. 재료 및 방법

1. 실험어

실험어는 시장에서 구입한 후 부경대학교 양어장에서 절식, 축양 중이던 미꾸라지를 사용하였다. 어체 크기에 따른 영향을 파악하기 위하여 5 g과 20 g 두 가지 크기의 미꾸라지를 사용하였다.

2. 장호흡

장호흡의 필수 여부를 알아보기 위해 8개의 유리수조(40×25×28 cm, 28ℓ)와 침지식생물여과조(350ℓ), 저수탱크(350ℓ), 그리고 공급탱크(500ℓ)로 이루어진 순환여과식 시스템을 이용하였다(Fig. 1). 8개 유리수조에서 배출된 물은 침지식생물여과조와 저수탱크를 거친 후 수중펌프(PD-272MA, 250W, 월로)를 이용하여 공급탱크로 펌핑 후 다시 8개 유리수조로 순환하도록 설계하였다. 저수탱크와 공급탱크 사이와 공급탱크와 유리수조 사이에 각각 1개와 2개의 카트리지 필터(10 μm)를 설치하여 입자성 부유물질의 양을 최소화하였다. 침지식 생물여과조에는 플라스틱 파판으로 만든 여과 재료를 넣어 질산화를 유도하였다.

실험구는 미꾸라지의 장호흡을 억제하기 위해 두께 1 cm의 스티로폼을 유리수조 크기에 꼭 맞게 자른 후 수조 위로부터 3 cm 위치에 끼워 맞추는 후 스티로폼 전면 1/3 지점의 중앙에 직경 4 cm의 원형 구멍을 뚫어 동일 직경의 유입호스를 삽입시켜 사육수를 유입시켰다. 배출수는 스티로폼의 오른쪽 구석에 직경 3 cm 원형 구멍을 뚫고 그 사이로 13 mm 파이프를 만든 싸이폰을 설치하여 수조 바닥쪽 사육수가 밖으로 흘러나오게끔 하였다. 실험구의 수위는 끼워놓은 스티로폼보다 1 cm 정도 높게 유지되게 하여 스티로폼과 수조사이로 공기가 통하는 것을 방지하였다.

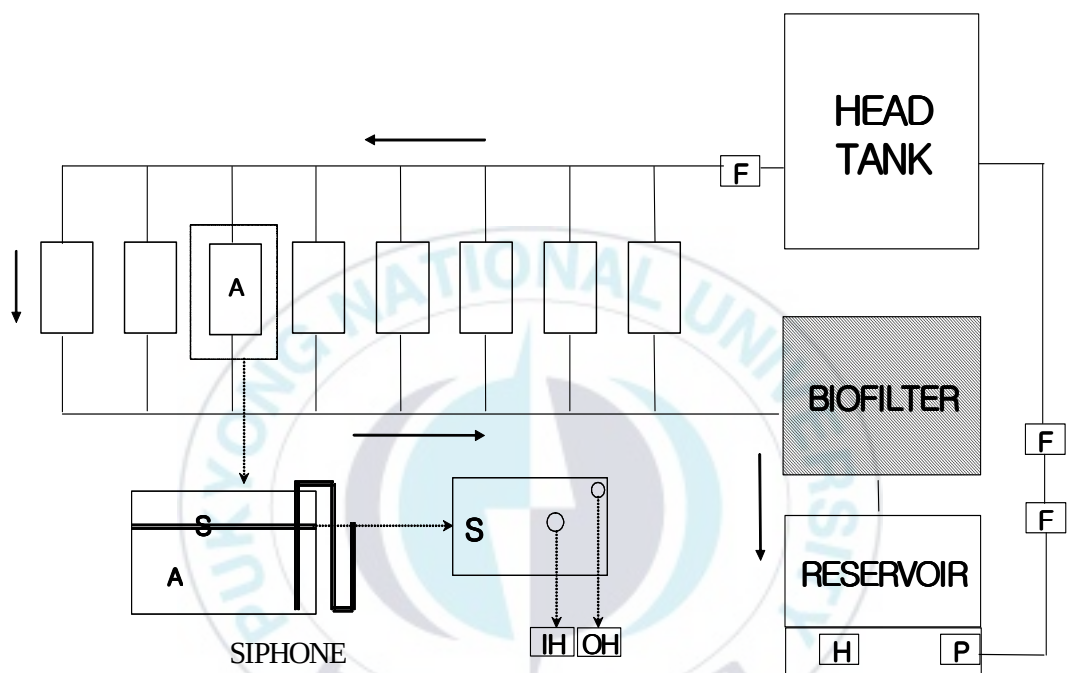


Fig. 1. Schematic diagrams of intestinal respiration measuring system in the laboratory. (A) Aquarium, (H) Heater, (F) Cartridge Filter, (P) Pump, (S) Styrofoam Board, (IH) Inlet Hole, (OH) Outlet Hole.

또한 주수 구멍과 싸이폰 구멍으로 미꾸라지가 올라와 공기호흡을 하는 것을 막기 위해 스티로폼에 뚫은 주수구멍 아래쪽을 스텐레스망으로 막았고, 물이 주수되며 들어가는 공기가 수조 안에서 용해를 막기 위해 호스의 끝은 스티로폼 주수구멍 윗부분까지 설치하여 물만 수조로 들어가게 하였다. 대조구는 장호흡 억제 실험구와 동일한 수위를 유지하였으며, 미꾸라지가 수조 밖으로 튀어나오는 것을 방지하기 위하여 수면 위 2 cm 높이에 모기장망만 덮어 장호흡을 자유롭게 할 수 있도록 하였다.

장호흡 실험은 두 가지 크기의 미꾸라지를 대상으로 수중 용존산소 농도에 따른 영향을 조사하였다. 소형어(5 g)와 대형어(20 g) 모두 25℃, 0, 1, 2, 3 그리고 4 ppm의 용존산소 농도에서 96시간 이내의 반수치사시간(LT₅₀-96h)과 장호흡 횟수를 2반복하여 조사하였고, 대형어의 경우는 5 ppm과 6 ppm의 용존산소 농도 실험구에서는 반수치사시간을 4반복하여 추가적으로 조사하였다.

사육수 농도 범위 1~6 ppm은 용존산소 농도 조절은 저수탱크 내에 10~15 kg의 티라피아를 수용, 산소소비를 유도하고 동시에 블로워펌프를 이용한 에어레이션으로 실험 농도를 유지하였다. 0 ppm은 호기성 생물여과조를 혐기성 상태의 탈질여과조로 전환시켜 외부탄소원인 메탄올을 첨가, 유량을 200 ml/min로 낮추어 탈질세균이 수중 용존산소를 모두 이용하도록 하였다(오 등, 1999).

반수치사시간(LT₅₀-96h)은 소형어의 경우 20마리씩, 대형어는 10마리씩 4반복 수용하여 실시하였고, 장호흡횟수 측정은 소형어와 대형어 모두 16마리씩을 대상으로 각각 2마리 씩 한 수조에 수용하여 조사하였다.

3. 기초 산소소비량

미꾸라지의 기초 산소소비량을 측정하기 위해 김(1999)의 측정장치를 이용하였다(Fig. 2). 유입수와 호흡실을 거쳐 나오는 배출수의 산소량을 측정하여 산소소비량을 조사하였다.

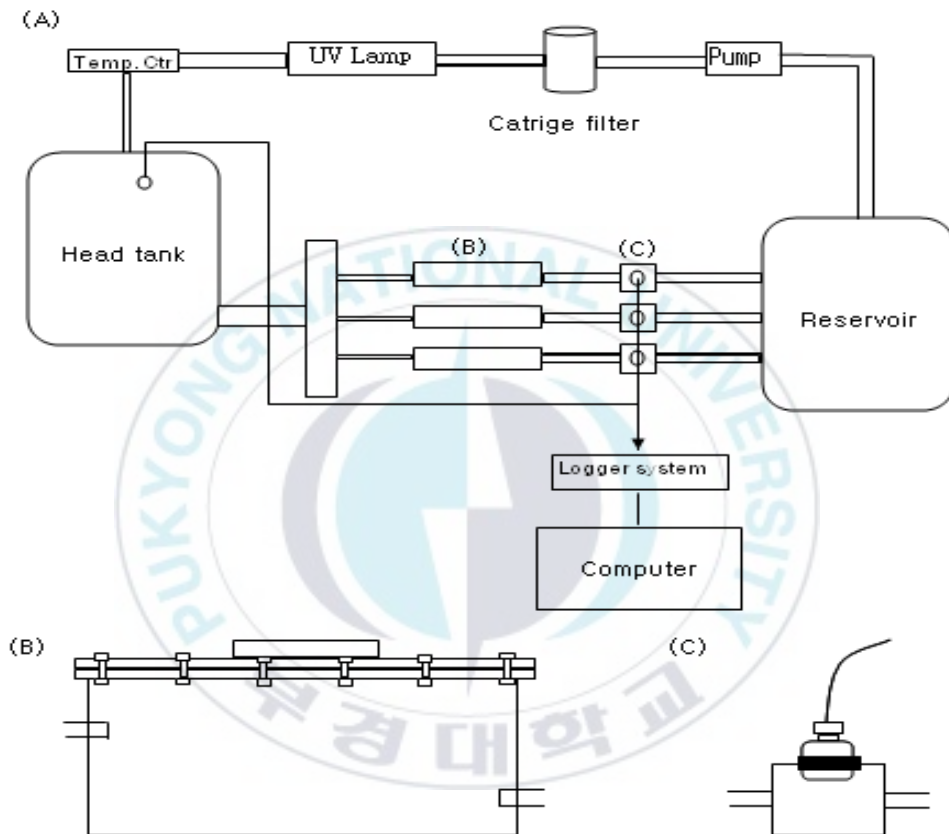


Fig. 2. Schematic diagrams of oxygen consumption measuring system in the laboratory. (A) whole respirometer system, (B) fish chamber, (C) dissolved oxygen measurement.

호흡실은 간단한 순환 시설을 이용하여 170 ℓ의 저수탱크 (reservoir)에서 순환펌프(PB-43E-1-D, 101W, 한일)를 통해 양수되어 저수탱크와 동일 용량인 공급탱크 (head tank)로 가게 되고, 이 물이 호흡실을 거쳐 다시 저수탱크로 흐르도록 설계하였다. 공급탱크에는 자동 온도조절 장치가 연결된 히터를 이용하여 실험수온을 유지하였다. 또한 저수탱크에서 양수되어 공급 탱크로 들어가기 전에 10 µm의 카트리지 필터를 거치도록 하여 입자성 부유물질의 양을 최소화시켰고, 시스템 내의 미생물의 농도를 최소화하여 미생물에 의한 산소 소비를 줄이기 위해 유수식 자외선 살균기(Model: P301, 처리용량 3 ton/hr, 삼지통상)를 통과하도록 하였다. 냉각기(SH-1000, 66 W, 삼화)를 설치하여 실온보다 낮은 온도에서 실험하는 경우 실험 수온을 유도하였다. 호흡실의 유량은 평균 300 ml/min을 유지하도록 하였으며 pH는 7정도를 유지하였다.

용존산소의 측정은 산소 측정 전극 4개와 4 Channel Multi Data Logger System(OxyGuard, Denmark)을 사용하여 측정하였다. 호흡실로 유입되는 물의 산소는 공급탱크에 장착된 산소 probe를 통해; 유출수의 용존산소량은 측정실의 산소 Probe를 통해 매 5분마다 측정하였고, uLog VL 100 Software를 이용하여 데이터를 저장한 후 자료를 프로그램을 통해 출력하여 분석에 이용하였다.

기초 산소소비량을 측정하기 위하여 실험시작 3일 전부터 절식시켜 실험하기 직전 실험어의 무게를 측정한 후 대형어는 20마리씩, 소형어는 40마리씩 호흡실에 수용하여 2반복 실험을 하였다.

수온에 따른 기초 대사량을 조사하기 위해 소형어와 대형어 모두 호흡실에 수용하기 전 실험 수온인 15, 20, 25 그리고 30℃ 각 조건에서 3일 이상 순치시킨 후 동일 수온 조건의 실험 장치에 수용하였다.

측정된 용존 산소량 자료를 기초로 하여 유입수의 용존 산소량과 배

출수의 용존 산소량을 식 1을 이용하여 기초 산소소비량(Oxygen consumption rate)을 계산하였다.

$$\text{산소소비량}(\text{mg O}_2/\text{kg fish/hr}) = \{(C_1 - C_2) \times Q \times 60\} / B \quad (\text{식1})$$

C_1 = 유입수의 용존 산소량, mg/ℓ

C_2 = 유출수의 용존 산소량, mg/ℓ

Q = 유량, ℓ/min

B = 어체량, kg

또 수온에 따른 대사율의 변화를 알아보기 위해, 식 2와 같이 Q_{10} 값을 구하였다.

$$Q_{10} = (R_2/R_1)^{[10/(T_2-T_1)]} \quad (\text{식2})$$

여기서, R_1 과 R_2 은 수온 T_1 과 T_2 일 때 평균 산소소비량을 나타낸다.

4. 통계처리

통계처리는 STARTISTIX 4.0 (Analytical Software, USA) 통계 프로그램으로 ANOVA test를 실시하여 최소 유의 검정(LSD)으로 평균간의 유의성을 검정하였다($p < 0.05$).

III. 결과 및 고찰

미꾸라지의 장호흡이 생존에 필수적인지 아닌지 여부를 알아보기 위하여 각각 5 g 및 20 g의 대, 소그룹 미꾸라지를 수온 25℃에서 96시간 내 반수치사시간을 조사한 결과를 Table 2에 나타내었다.

이 결과 모든 대조구는 폐사 개체가 나타나지 않은 반면, 장호흡을 억제한 실험구는 용존산소 농도가 낮을수록 빠른 시간 안에 폐사가 나타났다. 5 g 실험구의 용존산소 0 ppm에서는 1 시간 34분만에 20마리의 실험어 중 10마리(50%)가 폐사하였고, 용존산소 1 ppm에서는 2시간 25분에, 용존산소 2 ppm에서는 8시간 41분에, 용존산소 3 ppm에서는 56시간 50분에 반수의 실험어가 폐사하였다. 그러나 용존산소 4 ppm에서는 96시간 동안 폐사 개체가 전혀 없었다.

대형개체인 20 g 실험구에서는 소형인 5 g 실험구 보다 동일한 수중 용존산소 농도에서 반수치사시간이 더 빨라졌다. 즉, 용존산소 0 ppm에서는 30분 내에 실험어 10마리 중 5마리가 폐사하였으며 1, 2, 3 및 4 ppm에서의 평균 반수치사 시간은 각각 38분, 3시간 42분, 5시간 11분 및 53시간 12분으로 나타났고 5 ppm에서는 총 40마리의 실험어 중 4마리가 29시간 10분 만에 폐사하여 96시간 내 폐사율이 10%로 나타났고, 6 ppm에서부터는 96시간 내에 폐사하는 개체가 없었다. 즉, 20 g 짜리 대형 개체가 장호흡을 못하는 경우 5 g짜리 소형 개체보다 폐사에 이르는 시간이 짧아졌을 뿐만 아니라 작은 개체가 수중 용존산소 농도가 4 ppm에서부터는 장호흡의 필요성이 없어지는데 반해 대형 개체는 6 ppm 이상의 용존산소 농도에서 장호흡이 필요하지 않았다.

Table 2. Average LT₅₀ in 96 hrs of two size groups of mud loach (*Misgurnus mizolepis*) treated with intestinal respiration allowed group (control) and not allowed group (treatment) under 5~7 different dissolved oxygen concentrations

Size of fish	# of fish stocked	# of replicate	Experiment	Dissolved oxygen concentration (mg/ℓ)						
				0	1	2	3	4	5	6
5 g	20	2	Cont.*	NM	NM	NM	NM	NM	-	-
			Trt.**							
			AV. LT ₅₀	1:34	2:25	8:41	56:50	NM	-	-
			Range of LT ₅₀	1:28 1:40	2:25 2:25	7:00 10:22	50:15 63:25	-	-	-
20 g	10	2 4****	Cont.*	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
			Trt.**							
			AV. LT ₅₀	0:30	0:38	3:42	5:11	53:12	PM ***	NM
			Range of LT ₅₀	0:29 0:31	0:30 0:47	3:30 3:55	4:02 6:20	20:28 85:48	PM ***	-

*NM: No mortality at LT₅₀ in 96 hrs of each dissolved oxygen treatment group.

**LT₅₀ in 96hr for each dissolved oxygen treatment group.

***Partial mortality: 4 fish out 40 were dead in 96 hrs. The first and second mortality occurred at 5:40 and 21: 35 after fish were stocked, respectively in the replication 1, and those at 10:27 and 29:10, respectively in the replication 2.

****Dissolved oxygen levels of 5 and 6 ppm for large size mud loach(20 g) have 4 replications.

이 같은 결과는 수중 용존산소 농도가 점차 낮아질수록 장호흡의 필요성이 더욱 증가하는 것이며, 소형 개체 (5 g)보다도 대형 개체 (20 g)가 장호흡을 못하는 경우 더 빨리 폐사하는 것으로 나타났다. 또한 소형 개체의 경우 수중 용존산소가 4 ppm이 되면 실험구와 대조구 모두 96시간 동안 폐사가 없으므로 장호흡 없이도 생존할 수 있지만, 대형 개체는 수중 용존산소 농도가 4 ppm의 경우에 대조구는 죽지 않았지만, 실험구는 53시간 12분만에 반수가 폐사하였으며, 수중 용존산소 농도 5 ppm의 경우도 96시간 내에 실험구의 4개 반복구에서 각각 10마리 중 총 4마리가 폐사하여 96시간 내에 실험어의 평균 10%가 폐사하였기 때문에 소형 개체에 비하여 장호흡의 필요성이 더욱 절실했다. 이는 대사생리적인 측면에서 개체가 커질수록 단위 개체 당 필요로 하는 용존산소의 절대량이 높아지며 동일한 연령의 치어 군에서 산소가 부족한 경우 개체의 크기가 큰 것이 먼저 죽으며, 서로 다른 연령의 어류가 혼합된 경우 연령이 오래된 대형 개체가 먼저 죽는 현상과 비슷한 결과이다. 즉, 단위 시간당 필요로 하는 산소의 절대량이 많은 대형 개체가 산소가 부족한 환경에 약한 결과이다.

이 결과를 5 g 실험구에서는 실험어를 20마리를 사용하여 실험어를 10마리만 사용한 20 g 실험구에 비하여 각각 10마리와 5마리가 폐사하는데 소요되는 시간의 차이 때문에 20 g 실험구에서의 반수치사시간이 짧아진다고 생각할 수도 있지만 소형 개체에서는 용존산소 4 ppm 실험구에서 96시간 내에 한 마리도 죽지 않았기 때문에 실험어의 수와는 상관없는 것으로 사료된다.

실험 중 반수치사시간은 실험어의 체중에 관계없이 수중 용존 산소 농도가 낮아짐에 따라 그 시간은 짧게 나타났다. 5 g에서는 0~3 ppm 산소농도가 증가함에 따라 그 반수치사시간이 점점 길어져 약 2배, 4배, 7배로 늘어났고 4 ppm에서는 96시간 내 폐사개체가 한 마리도 나

타나지 않았다. 5 g에 비해 20 g에서의 반수치사시간은 수중 용존산소 농도에 따른 증가폭이 상대적으로 크게 나타났고, 동일한 수중 용존산소 농도에서 반수치사시간은 모든 실험구에서 20 g 실험구가 5 g 실험구보다 더 빠르게 나타났다.

미꾸라지의 용존산소 농도에 따른 LT₅₀를 측정한 후 이들 측정 용존산소와 동일한 농도인 0, 1, 2, 3 및 4 ppm에서 1시간 동안 미꾸라지의 장호흡 횟수를 측정한 결과 측정 범위와 평균 횟수를 위의 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Average frequencies of intestinal respiration of mud loach (*Misgurnus mizolepis*) for a 60-minute period at the different dissolved oxygen concentrations

Av. body weight	# of fish checked	Frequency/hr	Dissolved oxygen concentration (mg/ℓ)				
			0	1	2	3	4
5 g	16	Av. frequency*	37.3 ^{a**} (A)**	38.8 ^a (A)	26.9 ^{ab} (A)	14.3 ^b (A)	14.4 ^b (A)
		Range	14~75	12~108	2~72	2~40	2~44
20 g	16	Av. frequency*	36.1 ^a (A)	38.3 ^a (A)	29.8 ^{ab} (A)	20.8 ^{ab} (A)	14.0 ^b (A)
		Range	11~77	2~104	10~62	4~60	2~36

*Each average frequency: n=16.

*Values (mean±SD) with different small superscript letters within the same row are significantly different (n=16, p<0.001).

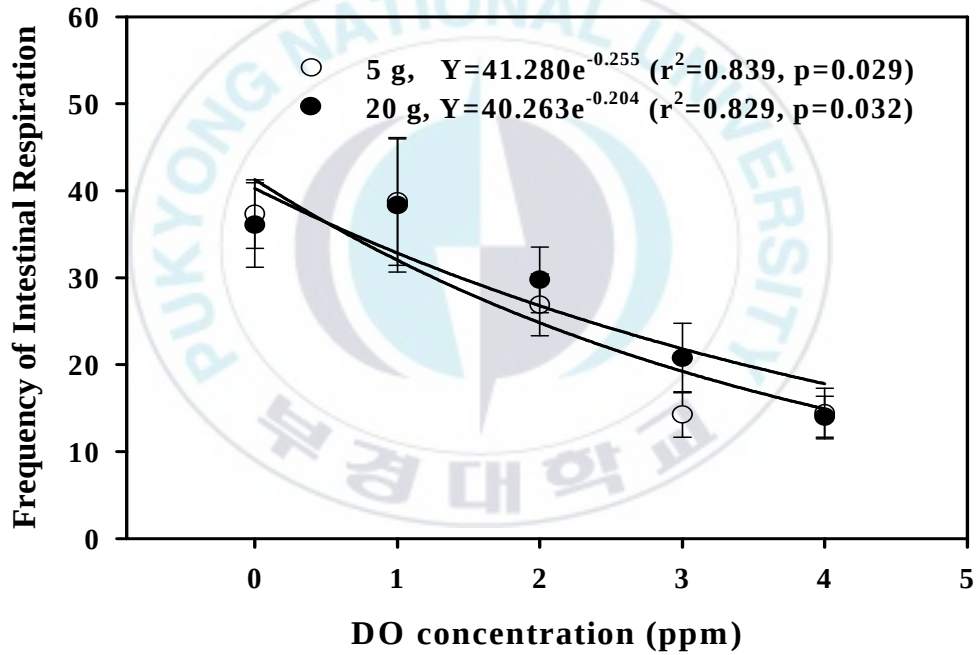
**Values (mean±SD) with same capital superscript letters in parenthesis within the same column are not significantly different (n=16, p>0.05).

5 g 실험구에서 0 ppm의 경우 개체 간 호흡 횟수의 범위는 14회에서 75회까지로 나타났고 평균은 37.3회로, 1 ppm의 경우 범위는 12회에서 108회, 평균 38.8회, 2 ppm의 경우 범위는 2회에서 72회, 평균 26.9회, 3 ppm의 경우 범위는 2회에서 40회, 평균 14.3회, 4 ppm의 경우 범위는 2회에서 44회, 평균 14.4회로 관찰되었다. 20 g의 대형 개체군에서는 0 ppm의 경우 11회에서 77회의 범위에서 평균 36.1회, 1 ppm의 경우 2회에서 104회로 평균 38.3회, 2 ppm의 경우 10회에서 62회로 평균 29.8회, 3 ppm의 경우 4회에서 60회 범위에 평균 20.8회, 4 ppm의 경우 2회에서 36회의 범위에 평균 14회로 관찰되었다.

이 결과(Fig. 3)로 보면 평균 장호흡 횟수(Y)는 수중 용존산소농도(X)가 감소할수록 증가하는 경향이 뚜렷하였으며, Fig. 3과 같이 5 g 실험구에서는 $Y = 41.280e^{-0.255}$ ($r^2=0.839$, $p=0.029$), 20 g 실험구에서는 $Y = 40.263e^{-0.204}$ ($r^2=0.829$, $p=0.032$)의 회귀곡선으로 나타났다. 5 g과 20 g의 개체 사이에서 수중 용존산소에 따른 평균 장호흡 횟수는 유의적인 차이가 없었다.

실험 결과 미꾸라지의 장호흡 횟수는 개체 간의 차이가 아주 커서 개체 크기 5 g 실험구에서는 3 및 4 ppm 실험구에서 1시간 동안 2회 밖에 하지 않은 개체들이 있는 반면 1 ppm 실험구에서는 108회 호흡한 개체도 있었고, 20 g의 큰 개체 실험구에서는 용존산소 1, 3 및 4 ppm에서는 1시간 동안 2회 밖에 장호흡을 하지 않은 개체들이 있는가 하면, 용존산소 1 ppm에서는 1시간에 장호흡을 104회 하는 개체도 관찰되었다.

Fig. 3. Relationship between intestinal respiration rate and ambient dissolved oxygen concentration of mud loach, *Misgurnus mizolepis*.



미꾸라지의 장호흡에 관해서는 정(1967), Lagler et al.(1977) 및 松原(1979) 등의 기록이 있지만 실제 장호흡 횟수를 기록한 정(1967)에 의하면 미꾸라지는 4.4℃에서 산소가 충분한 물속에서는 아가미로 호흡하지만 10℃에서는 1시간 내에 5회의 장호흡을 하고 25℃에서는 11회, 전혀 산소가 없는 수중에서 시간 당 70회의 장호흡을 한다고 하였다. 이와 같은 결과는 수중에 산소가 충분한 물속에서도 장호흡을 한다는 것으로 이해되지만 산소가 충분한 물이라고 하는 것의 정확한 산소 농도는 언급하지 않았다. 그리고 수온 25℃에서 산소가 전혀 없는 물에서는 70회의 장호흡을 한다고 하고, 수온 외에 어체의 크기는 언급하지 않고 있어 본 연구와의 직접적인 비교는 어렵지만 본 연구에서도 수온은 25℃로 동일한 조건에서 산소가 전혀 없는 0 ppm에서의 장호흡 횟수는 5 g 개체가 14회에서 75회의 범위로 평균 37회, 20 g 개체에서는 11회에서 77회 범위로 평균 36회로 나타나 최대 장호흡 횟수와 유사하게 나타났다. 그러나 이 같은 차이는 정(1967)이 어체의 크기와 몇 마리를 사용한 실험이었는지 등 실험 방법에 대한 구체적인 언급은 없기 때문에 직접적인 비교는 불가능하다.

아가미 외에 다른 조직이나 기관을 이용하여 호흡하는 어류는 가물치, 메기, 등목어(climbing perch) 등이 있다고 하며(Lagler et al.), 정(1967)에 의하면 뱀장어나 쟁뚝어는 육지에서 기어 다니는 동안 그들의 젖은 피부를 통해서 호흡한다고 한다. 즉, 뱀장어는 아가미를 제거한 후에도 상당한 기간 동안 공기 중에서 살 수 있다고 하며, 또 7~8℃의 저온에서는 아가미를 제거하면 소요산소의 3/5을 피부를 통해 호흡한다고 한다(정, 1967).

그리고 폐어류와 같은 유관표 어류는 부레가 완전히 허파의 역할을 한다고 하며(정 1967), 탄산가스가 많고 산소가 적은 늪에 사는 폐어류는 아가미호흡도 하지만 부레가 중요한 호흡기관이다. 또 붕어를 포함

한 몇종의 어류들은 부레를 산소가 긴급할 때 호흡용으로 사용한다. 그러나 이것은 극히 제한된 효과밖에 없는 것 같으나 부레내의 산소는 무관표 어류에 있어서 유관표 어류 보다 많이 이용하고 있다(정, 1967). 그 예로는 질식 시에 무관표 어류는 부레내의 산소를 50~100% 사용하나 유관표어류는 13~20% 밖에 사용하지 않는다. 또 어류가 깊은 곳에 있을 때에 얕은 곳에 있을 때 보다 많은 산소를 부레 속에 저장하고 있다는 것이 알려져 있다(정, 1967).

Lagler et al.(1977)에 의하면 부레 외에 가물치는 인후와 연결된 관을 통하여 인후강(pharyngeal cavity)으로 공기를 받아들여 공기호흡을 한다고 하며, 물 밖에서 24시간 이상 생존할 수 있고 피부가 건조한 후에도 물에 들어가면 정상적인 생활이 가능하다고 한다. 또한 메기 중 Saccobranchus속과 Clalias속의 메기들은 Arborescent 기관이 발달하여 공기호흡을 하며 Anabas 속의 농어에서는 Labyrinth 기관이라 불리는 곳에서 호흡상피의 주름이 발달하여 공기호흡을 한다고 한다.

그러나 intestine에 의한 호흡의 예는 Misgurnus 속의 어종 외에 *Callichthys littoralis*도 있으며 이 종의 경우 입으로 공기를 마시는 미꾸라지와는 달리 항문으로 공기를 흡입한다고 한다(정, 1967).

본 실험의 결과에서도 장호흡을 할 수 있게 한 수중 용존산소 0~6 ppm까지 5 g과 20 g 크기의 미꾸라지의 대조구에서는 모든 농도에서 폐사가 없는 반면 장호흡을 완전히 차단한 5 g 크기에서는 0~3 ppm, 20 g 크기의 실험구에서는 0~4 ppm 농도에서 96시간 내에 반수의 어류가 폐사하였다. 이는 보조호흡기관을 사용하는 기타 어류와 마찬가지로 낮은 용존산소 환경에서는 미꾸라지의 장호흡이 필수적이며 수중 용존산소에 대한 미꾸라지의 산소 요구량이 커질수록 장호흡에 대한 의존도도 커진다는 것을 알 수 있다.

미꾸라지의 장호흡 형태를 관찰하면 일반적으로 수조 바닥에서 조용

히 정지 상태를 유지하다가 서서히 움직이기 시작하면 곧바로 물 표면으로 올라와 장호흡을 하며, 장호흡 직후에는 이리저리 유영하다가 바닥에 자리를 잡아 다음 장호흡을 할 때까지 한 곳에 머무른다. 장호흡은 물 표면으로 조용히 부상하여 하는 경우도 있지만 갑자기 놀라서 쫓기듯 움직이는 경우가 많았다. 이러한 경향은 수중 용존산소 농도가 떨어질수록 그 경향이 더욱 뚜렷했다. 또한 장호흡 횟수가 많은 개체는 바닥에 정지하는 시간이 아주 짧고 지속적으로 움직이면서 공기를 들이마시는 것이 관찰되었으며, 장호흡 횟수가 적은 개체는 장호흡 후 바닥에 내려와 조용히 머물러 정지하는 시간이 길었다. 이 같은 차이는 미꾸라지 개체의 환경 변화에 대한 민감성 또는 개체의 건강 상태의 차이에서 오는 것으로 판단된다. 특히 많이 움직이며 장호흡 횟수가 월등히 높은 개체는 아가미 호흡에 문제가 있을 가능성도 배제할 수 없어 앞으로의 연구가 필요하다.

위의 두 실험 결과를 종합해보면 장호흡 횟수와 96시간 내 반수치사 시간은 반비례 관계를 보이며 수중 용존 산소의 농도가 낮아짐에 따라 96시간 내 반수치사시간은 짧아진데 비해 상응한 수중 용존 산소농도에서의 장호흡 횟수는 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과는 장호흡의 횟수는 직접적으로 미꾸라지 개체의 생존과 연관됨을 알 수 있다.

미꾸라지의 수온에 따른 기초 산소소비량은 3일 이상 절식시킨 5 g 과 20 g 전후의 미꾸라지를 15℃, 20℃, 25℃ 및 30℃에 유지하면서 산소소비량을 측정하였고 결과를 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Mean oxygen consumption rates (mg O₂/kg fish/hr) of the two different size groups of mud loach, *Misgurnus mizolepis*, at different temperatures

Water temperature (°C)	Body weight (g)	
	5	20
15	199.2±34.1 ^{*a(A)**}	83.6±15.8 ^{a(B)}
20	204.3±13.6 ^{a(A)}	109.2±16.2 ^{b(B)}
25	231.3±13.4 ^{b(A)}	143.6±10.6 ^{c(B)}
30	301.2±43.5 ^{c(A)}	202.6±16.4 ^{d(B)}

*Values(mean±SD) with different small superscript letters within the same column are significantly different(p< 0.001).

**Values(mean±SD) with capital superscript letters in parenthesis within the same row are significantly different(p< 0.001).

체중 5 g 미꾸라지의 산소소비량은 15℃, 20℃, 25℃ 및 30℃에서 각각 199.2 mg O₂/kg fish/hr, 204.3 mg O₂/kg fish/hr, 231.3 mg O₂/kg fish/hr 및 301.2 mg O₂/kg fish/hr로 나타났고, 20 g에서는 15℃, 20℃, 25℃ 및 30℃에서 각각 83.6 mg O₂/kg fish/hr, 109.2 mg O₂/kg fish/hr, 143.6 mg O₂/kg fish/hr, 및 202.6 mg O₂/kg fish/hr으로 나타났다.

냉혈동물인 어류의 산소소비량은 수온에 비례적으로 증가한다 (Gardner and king, 1923; Wi and Chang, 1976). 본 실험에서도 미꾸라지의 산소소비량은 어체중에 상관없이 수온이 15℃, 20℃, 25℃ 및 3

0℃로 높아짐에 따라 산소소비량이 5 g 크기에서 15℃와 20℃사이를 제외하고는 모든 실험구에서 유의성있게 증가하였고(Fig. 4), 5 g의 미꾸라지에서는 15℃에서 30℃로 온도가 상승했을 때 산소소비량이 1.5배로 증가하는 것으로 나타났고 20 g의 미꾸라지에서는 5 g에서보다 높은 2.4배로 증가하였다.

실험 중 수온에 따른 산소소비량의 변화폭은 어체의 크기와 관계없이 수온이 높아질수록 변화폭이 더 큰 것으로 나타났다(Fig. 4). 수온 증가에 따른 산소소비량의 변화폭은 20 g의 미꾸라지에서는 15℃~20℃와 20℃~25℃구간에서는 각각 1.31배, 1.32배, 25℃~30℃ 구간에서는 1.41배를 나타내어, 온도가 높아질수록 산소소비량의 변화폭이 점차 커졌고, 5 g의 미꾸라지에서는 각각 1.03, 1.13 및 1.30배를 나타내어 20 g의 미꾸라지에 비하여 상대적으로 낮았지만 수온이 높아지면 증가폭이 점차 증가하였다.

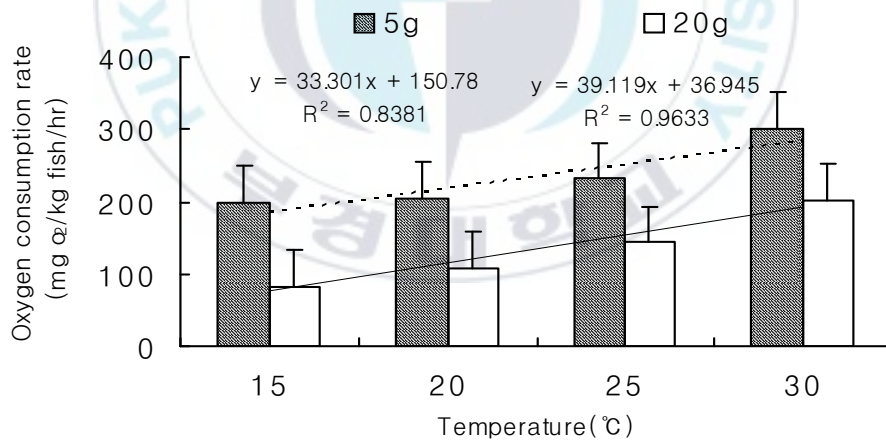


Fig. 4. Fluctuation of mean oxygen consumption rates of two sizes of the mud loach, *Misgurnus mizolepis*, at various water temperatures.

김(1999)에 의하면 4 g의 틸라피아에서 최대 최소값의 차이는 20℃, 25℃ 및 30℃에서 각각 90.67mg O₂/kg fish/hr, 184.98 mg O₂/kg fish/hr, 237.51 mg O₂/kg fish/hr로 나타나 미꾸라지와 동일한 경향을 나타내었다.

어체의 크기에 따른 실험에서도 미꾸라지의 산소소비량은 수온에 관계없이 어체의 크기가 작을수록 증가하는 것으로 나타났다. 즉 수온 30℃에서 5 g 미꾸라지의 산소소비량은 301.2 mg O₂/kg fish/hr을 나타나 동일한 수온에서 20 g의 산소소비량 202.6 mg O₂/kg fish/hr에 비해 약 1.5배 정도로 높게 나타났고, 15℃에서도 5 g 미꾸라지와 20 g 미꾸라지의 산소소비량은 각각 199.2 mg O₂/kg fish/hr, 83.6 mg O₂/kg fish/hr로 소형 개체의 산소소비량이 대형 개체보다 약 2.4배 정도 높았으며 20℃에서는 1.9배, 25℃에서는 1.6배 정도로 많은 차이를 나타냈다. 이 같은 결과는 Osaki(1979)에 의한 어류의 산소소비량은 어체중의 증가에 따라 반비례(지수)적으로 감소한다는 결과와 일치하였다.

절식시킨 평균 10 g의 틸라피아를 수온 25℃에서 측정하였을 때 기초 산소소비량은 415~970 mg O₂/kg fish/hr을 나타내었고(김, 1999), 본 실험의 5 g, 20 g의 미꾸라지가 수온 25℃에서의 산소소비량이 각각 143.6 및 231.3 mg O₂/kg fish/hr와 비교해 볼 때 현저한 차이를 나타내었다. 또 같은 연구에서 평균 무게 4 g의 틸라피아를 수온 25℃, 염분 0‰, 광주기 12D:12L에서 측정하였을 때의 기초 산소소비량도 평균 435.2 mg O₂/kg fish/hr을 나타내어 본 실험의 5 g의 미꾸라지를 수온 25℃에 수용하였을 때의 산소소비량 231.3 mg O₂/kg fish/hr와 비교해 보면 약 2배 정도의 차이를 나타내었다. 또 오 등(2006)의 연구에 의한 점농어 5.5 g을 수온 25℃, 염분 0‰, 자연광에 수용하였을 때의 평균 산소소비량도 552.1 mg O₂/kg fish/hr을 나타내어 2배 이상의 차이를 나타내었다.

이와 같이 미꾸라지의 산소소비량이 다른 어류들에 비해 낮은 것은 유기물이 많은 곳에서 서식하면서 활동성이 약한 미꾸라지의 특성 때문인 것으로 사료된다. 즉, 활동성이 약한 어류의 행동습성에 따른 산소소비량은 저서성 어류일수록 낮은 대사량을 나타내고 유영성 어류일수록 높은 대사량을 나타낸다는 Hughes(1960) 및 김 등(1995)의 연구결과와 일치한다. 김 등(1995)의 연구에 따르면 수온 24℃에서 유용해 산어류인 넙치(5 g~398 g), 농어(4.8 g~7.5 g), 자주복(4.7 g~5.8 g), 조피볼락(3.2 g~6.0 g), 참돔(2.1 g~4.9 g), 감성돔(1.3 g)의 기초 산소소비량은 각각 286, 310, 395, 488, 744 및 849 mg O₂/kg fish/hr로 보고하였다. 특히 활발한 활동성 어류이고 어체의 크기가 작은 참돔과 감성돔의 경우 아주 높은 산소소비량을 보여 미꾸라지의 산소소비량과는 거의 4배 정도의 차이를 보였다. 반대로 상대적으로 활동성이 적은 저서성 어류인 뱀장어(130 g)는 수온 22℃에서의 산소소비량이 62 mg O₂/kg fish/hr로 보고되었다(Kawamoto, 1962). 이는 산소소비량을 측정하는 조건을 알 수 없어 정확하게는 알 수 없지만 뱀장어도 미꾸라지와 같이 보조호흡기관인 피부를 통해 호흡할 수 있고 저서성이고 비활동적이기 때문인 것으로 사료된다.

미꾸라지 또한 자연 서식지가 논, 농지주변의 수로 등 유기물이 많고 여름철에 수온이 높게 올라가는 산소가 부족하기 쉬운 것과 비활동성 정착어류인 것과 연관이 있으며, 이 때문에 기초 산소소비량이 다른 어류에 비해 낮게 나타나고, 또한 이러한 환경에서 생존하기 위하여 장 호흡이 발달한 것으로 사료된다.

또 수온과 어체중에 따른 Q₁₀ 값을 Table 5에 나타내었다. 즉, 15~20℃, 20~25℃, 25~30℃ 세 온도 구간에서 5℃ 간격으로 수온이 상승할 경우 Q₁₀ 값은 5 g 크기의 미꾸라지에서는 각각 1.05, 1.28 및 1.70로 나타났고, 20 g 크기에서는 각각 1.59, 1.73 및 1.99를 나타내었다.

Table 5. Q_{10} value of mud loach, *Misgurnus mizolepis* for different water temperatures and body weights

Body weight (g)		Temperature interval (°C)		
		15~20	20~25	25~30
Small size	5	1.05	1.28	1.70
Large size	20	1.59	1.73	1.99

Q_{10} 값은 수온 변화에 적응하기 위한 수서 생물의 대사량으로, 수온 상승으로 인한 체내 효소의 반응과 생리학적 작용으로 유발되는 에너지 요구량을 나타낸다(Spanopoulos-Herández et al., 2005). 본 실험에서 15~20°C, 20~25°C, 25~30°C 세 온도 구간 중 5 g에서는 각각 1.05, 1.28 및 1.70을 보였고, 20 g에서는 각각 1.59, 1.73 및 1.99를 나타내어 15~20°C에서 보다 20~25°C에서, 20~25°C에서 보다 25~30°C 온도 범위에서 Q_{10} 값은 점차적으로 증가하는 경향을 보여, 온도 상승에 따라 이에 적응하기 위한 대사 요구량은 증가하는 일반적인 경향과 일치하였다.

점농어(오 등, 2006)의 경우 수온 20~25°C 범위에서 Q_{10} 값은 2.24~2.26인 것으로 밝히고 있으며, 평균 10 g인 해산 척추 어류 *Lichia amia*(Preez, 1987)의 경우 15~25°C 범위에서 Q_{10} 값은 1.80으로 보고되었다. 이는 다른 어종에서도 일반적으로 2~3범위(Fry, 1971; Bridges, 1988)로 알려져 있는바 본 실험 결과인 1.3~2.0보다 높은 것으로 나타나 산소소비량의 결과와 마찬가지로 활동성이 높은 다른 유영어류에 비해 미꾸라지의 서식 특성과 비활동성이 연관이 있는 것으로 확인되었다.

이상의 실험 결과 낮은 용존산소에서의 장호흡의 필수성과 장호흡의 횟수, 그리고 수온과 크기에 따른 기초 산소소비량 등의 자료는 미꾸라지의 양식장 내에서의 기초적인 자료로 활용할 수 있고, 또한 미꾸라지의 장호흡의 특성에 대한 결과는 이 종의 생물학적 특성을 밝히는 것으로 어류의 호흡 특성에 대한 새로운 정보를 발표하는 것이므로 의의가 있다고 할 수 있다.



IV. 요약

미꾸라지 *Misgurnus mizolepis* 는 아가미 호흡 외에 장호흡을 할 수 있기 때문에 용존산소 농도가 아주 낮고 유기물이 많은 물속에서도 생존할 수 있다. 그러나 양식장 또는 자연에서 미꾸라지를 포획할 때 통발을 사용하게 되면 통발이 물속에 잠겨 있어 장호흡을 1~2일간 못하게 될 때는 다량의 폐사가 일어나는 것을 볼 수 있다. 이 결과를 보면 미꾸라지는 어떤 경우에는 장호흡이 생존에 필수적이지만 이에 대한 자료는 얻을 수가 없었기 때문에 이 종에 대한 장호흡의 필수성 여부를 5 g 과 20 g 크기의 미꾸라지를 이용하여 용존산소 농도 0, 1, 2, 3, 4, 5 및 6 ppm 물속에서 조사하였으며, 수온은 이 종이 가장 활발하게 활동하는 25℃에 맞추었다. 그리고 이들 두 가지 크기의 미꾸라지를 이용하여 수중 용존산소 농도와 시간 당 장호흡의 횟수와의 상관관계를 조사하였으며, 이 외에 이 종의 기초산소소비량을 수온 15, 20, 25, 및 30℃에서 조사하여 이 종의 크기와 수온에 따른 기초산소소비량을 구하였다.

장호흡의 필수여부는 96시간 내에 50% 폐사하는 폐사율 (LT₅₀₋₉₆)을 기준으로 측정하였으며 5 g 크기의 미꾸라지를 실험구 (장호흡을 못하게 한 그룹)와 대조구 (장호흡을 할 수 있게 한 그룹)으로 나누어 실험한 결과 용존산소 농도 0, 1, 2, 3 ppm에서는 평균 LT₅₀₋₉₆은 각각 1시간 34분, 2시간 25분, 8시간 41분 및 56시간 50분으로 나타났고, 4 ppm 실험구와 모든 대조구에서는 폐사가 전혀 일어나지 않았다. 20 g 크기에서의 LT₅₀₋₉₆은 용존산소 농도 0, 1, 2, 3, 4, 5 및 6 ppm에서 조사한 결과 각각 30분, 38분, 3시간 42분, 5시간 11분 및 53시간 12분으로 조사되었고, 모든 대조구와 용존산소 6 ppm에서는 폐사가 전혀 일어나지 않았다. 다만 용존산소 5 ppm에서 총 40마리의 조사한 미꾸라지 중 4

마리가 조사시간 96시간 내에 폐사하였다.

장호흡의 필수 여부 실험에서 조사된 결과로부터 장호흡이 꼭 필요한 용존산소 0, 1, 2, 3 및 4 ppm에서 미꾸라지 크기 5 g 그룹에서 용존산소 농도와 시간당 장호흡 횟수 간의 상관관계를 조사한 결과 각 용존산소 별 시간당 장호흡의 횟수는 37.3, 38.8, 26.9, 14.3 및 14.4회로 각각 나타났고, 20 g 크기에서의 각 용존산소별 시간당 장호흡의 횟수는 각각 36.1, 38.3, 29.8, 20.8 및 14회로 조사되었다. 이 결과 5가지 용존산소 농도에서 작은 미꾸라지와 큰 미꾸라지 간의 시간당 장호흡의 횟수는 크게 차이가 없었으며 두 크기 모두에서 수중 용존산소 농도가 증가할수록 시간당 장호흡의 횟수는 감소는 경향을 보였다.

미꾸라지의 기초산소소비량을 수온 15, 20, 25 및 30℃에서 조사한 결과 5 g 크기의 미꾸라지에서는 각 수온별로 각각 199.2, 204.3, 231.3 및 301.2 mg O₂/kg fish/h로 나타났으며, 20 g 크기의 미꾸라지에서는 각각 83.6, 109.2, 143.6 및 202.6 mg O₂/kg fish/hr로 조사되었다. 기초산소소비량은 5 g의 작은 개체가 20 g의 큰 개체보다 동일 수온에서 유의성 있게 높았다. 그리고 수온 15℃~30℃ 사이에서 5 g 크기와 20 g 크기의 미꾸라지에서 수온과 기초산소소비량과의 관계는 각각 $Y = 33.30 X + 150.78$ 및 $Y = 39.19 X + 36.95$ 로 계산되었다. 수온 범위 15~20℃, 20~25℃ 및 25~30℃의 3 구간에서 5 g 크기의 미꾸라지에서 Q₁₀의 값은 각각 1.05, 1.28 및 1.7로 계산되었고, 20 g 크기의 미꾸라지에서는 각각 1.59, 1.73 및 1.99로 계산되었다. 미꾸라지 크기 20 g에서의 Q₁₀의 값은 5 g 크기에서보다 항상 높았다. 그리고 Q₁₀의 값은 수온이 상승하는 것과 비례하여 증가한다.

결론적으로 말하면 수온 25℃에서 5 g 크기의 미꾸라지는 수중 용존산소 농도 3 ppm까지는 장호흡이 생존에 필수적이며, 20 g 크기의 미꾸라지는 용존산소 농도 4 ppm까지는 장호흡이 생존에 필수적이다. 용

존산소 0~4 ppm 사이에서 시간당 장호흡의 횟수는 용존산소가 높아질수록 감소하였으며 그 범위는 5 g 크기의 경우 14.4~38.8회, 20 g 크기의 경우 14.0~38.3회였다. 미꾸라지의 기초산소소비량은 수온 15, 20, 25 및 30℃에서 수온이 증가할수록 증가하였으며, 5 g 크기의 경우 기초산소소비량의 범위는 199.2~301 mg O₂/kg fish/h 였고, 20 g 크기의 경우 83.6~202.6 mg O₂/kg fish/h로 조사되었다. 수온 15℃에서 30℃까지 5℃ 간격으로 나눈 구간에서 Q₁₀의 값은 수온이 상승할수록 증가하였으며 개체크기가 큰 20 g 이 5 g 개체보다 대사요구량이 높게 나타났다.



V. 감사의 글

지나간 시간은 항상 빠르게 느껴지는 걸까요? 한국에 온지도 어언 4년째 되어갑니다. 그간 한국에서 공부하면서 좋은 분들과 같이 지내면서 좋은 추억을 만들 수 있어, 이 시각 내심 뿌듯함을 이루 형언 할 수 없습니다.

먼저 이 논문이 완성되기까지 자상한 가르침과 따뜻한 배려로 논문이라는 이름으로 세상에 글을 내놓기에는 아직도 너무 부족한 저에게 항상 용기를 주시고 지도해주신 조재운 교수님과 수산양식이라는 올바른 길로 걸으시게 이끌어주신 김인배 교수님, 그리고 처음으로 저한테 실험이 어떤 것인지에 대하여 올바른 인식을 심어주신 남윤권 교수님께 머리숙여 감사의 마음을 전하는 바입니다.

아낌없는 배려와 이해로 항상 부족한 저를 챙겨주고 용기를 준 우리 양식공학실험실 가족들, 최상준이형, Dicky Hawanto, Lilik Pambudi, 이경희, 김윤석 모두에게 감사드리며, 이진환선배, 오승용선배, 손지형 누나, 그리고 같이 한국에서 유학생활동을 하면서 따뜻하게 마음 나누고 힘을 주었던 리화 선생님, 박일룡형, 천충길형, 채용길, 趙光哲, 이호, 동생 김홍길님에게도 진심으로 되는 감사를 드립니다.

그리고 유학 온 남자친구를 항상 믿어주고 지지해준 향옥이, 사랑하는 동생 광일에게도 미안한 마음과 더불어 뭉클하는 이 시각 마음을 전해주고 싶습니다.

마지막으로 어려운 여건에서도 항상 넓으신 마음으로 못난 자식을 지지해 주면서 이날 이때까지 키워주신 아버님, 어머님께 삼가 이 논문을 바칩니다.

VI. 참고 문헌

- Ahmed, N.D. and A.M.A. Magid. 1958. Oxygen consumption in *Tilapia nilotica* (L.), Hydrobiol, 33: 513~553.
- Alabaster, J.S., D.G. Shurben and M.J. Mallett. 1979. The survival of smolt of salmon (*Salmo salar*) at low concentrations of dissolved oxygen. J. Fish Biol. 15, pp. 1~8.
- Avnimelech, Y., N. Mozes and B. Weber. 1992. Effects of aeration and mixing on nitrogen organic matter transformations in simulated fish ponds. Aquacul. Eng., 11: 157~169.
- Azuma, T. and Y. Itazawa. 1998. Respiration and blood properties of porgy in hypoxia conditions with special reference to minimum requirement of ambient oxygen. Suisanzoshoku, 46: 83~92.
- Barahona-Fernandes, M.H. 1978. Effect of aeration on the survival and growth of sea bass, *Dicentrarchus labrax*, larvae. a preliminary study. Aquacul, 14: 67~74.
- Bedler, E. 1981. Pilot scale production of sea bass, *Dicentrarchus labrax*, fry. Papp. P. V. Reun. Cons. Int. Explor Mer, 178: 530~532.
- Bergheim, A., E.A. Saymour, S. Sanni and T. Tyrold, 1991. Atlantic salmon(*Salmo salar* L.) in commercial system. Aquacul Eng., 10: 251~267
- Berg, A., A. Danielsberg, A. Seland and T. Sigholt. 1993. Oxygen demand for postsmolt Atlantic salmon. In 'Fish Farming Technology' (ed. H. Reinerstsen, L. A. Dahle, L. Jorgensen and K. Tvinnereim). Proceedings of The First International Conference

- on Fish Farming Technology, Trondheim, Norway. 9~12 August, pp. 297~300.
- Brooker, M.P., D.L. Morris and R. J. Hemsworth. 1977. Mass mortalities of adult salmon (*Salmo salar*) in the River Wye. J. Appl. Ecol. 14: 409~417.
- Burggren, W.W. and D. J. Randall. 1978. Oxygen uptake and transport during hypoxic exposure in the sturgeon *Acipenser transmontanus*. Respir. Physiol., 34: 171~183.
- Cai, Y. and R.C. Summerfelt. 1992. Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. Aquacul., 104: 127~138.
- Carter, G.S. and Beadle, L.C.(1931). The fauna of the swamps of the Paraguayan Chaco in relation to its environment. I. Physico-chemical nature of the environment. J. Linnean Soc. London 37, pp. 205~258.
- Chakraborty, S.C., L.G. Ross and B. Ross. 1992. The effects of photoperiod on the resting metabolism of carp (*Cyprinus carpio*). Comp. Biochem. Physiol., 101: 77~82.
- Dandy, J.W.T. 1970. Activity response to oxygen in the brook trout(*salvelinus fontinalis* Mitchell). Can. J. Zool. 48: 1067.
- De Silva, C.D., S. Premawansa and C.N. Keembiyahetty. 1986. Oxygen consumption in *Oreochromis niloticus* (L.) in relation to development, salinity, temperature and time of day. J. Fish Biol., 29: 267~277.
- Gardner, J.A. and King. 1923. Respiratory exchange in freshwater fish. part IV. On pike (*Esoxiucius*). Biochem. J. 17, 170~173.

- Gasca-Leyva, J.F.E., C.A. Martinez-Palacios and L.G. Roos. 1991. The respiratory requirements of *Macrobrachium acanthurus* (Weigman) at different temperatures and salinities. *Aquacul.*, 93: 191~197.
- Gelineau, A., F. Medale and T. Boujard. 1998. Effect of feeding time on postprandial nitrogen excretion and energy expenditure in rainbow trout. *J. Fish Biol.*, 52: 655~664.
- Gnaiger, E. 1983. The twin-flow microrespirometer and simultaneous calorimetry. In 'Polarographic Oxygen Sensors' (ed. E. Gnaiger and J. Forstner). *Aquacul. and Physiol. Applic.*, Springer, Berlin. p. 134~166.
- Guinea, J. and F. Fernandez. 1991. the effect of SDA, temperature and daily rhythm on the energy metabolism of the mullet, *Mugil salienus*. *Aquacul.*, 97: 353~364.
- Hughes, G. M. 1960. A comparative study of gill ventilation in marine teleosts. *J. Exp. Biol.* 37, 28~45.
- Hopkins, J.S., A.D. Stockes, C.L. Browdy and P.A. Sandifer. 1991. The relationship between feeding rate, paddlewheel aeration rate and expected dawn dissolved oxygen in intensive shrimp ponds. *Aquacul. Eng.*, 10: 281~290.
- Jarboe, H.H. 1996. The influence of water exchange rate on diet ammonia production and oxygen consumption of channel catfish in a closed recirculating raceway system. *J. Appl. Aquacult.*, 6: 1~12.
- Kanda, T. and Y. Itazawa. 1981. Group effect on oxygen consumption and growth of the catfish eel. *Bull. Jap. Soc. Sci.*

- Fish., 47: 341 ~ 345.
- Kikuchi, K., S. Takeda, H. Honda and M. Kiyono. 1990. Oxygen consumption and nitrogenous excretion of starved Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Nippon Suisan Gakkaishi, 56: 1891.
- Kim D.S., Nam Y.K. and Park I.S. 1995. Survival and karyological analysis of reciprocal diploid and triploid hybrids between mud loach (*Misgurnus mizolepis*) and cyprinid loach (*Misgurnus anguillicaudatus*). Aquacul. 135, 257 ~ 265.
- Lagler, Karl F., Bardach, John E., Miller, Robert R and May Passino, Dora R. 1977. Ichthyology, Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York. London. Sydney. 566pp
- Lawson, T.B. 1995. Fundamentals of Aquaculture Engineering. chaman & Hall, New york: 355pp.
- MOMAF, 2005. Ministry of maritime affairs & fisheries. 2005. Statistical year book of 2005. 335pp.
- Merino, G.E. and R.I. Morey. 1997. Evaluation of hydraulics and aeration systems in the Japanese abalone rearing unit. Aquaculture Engineering Meeting Abstracts. pp. 235 ~ 244.
- Meyer, D.I. and D.E. Brune. 1982. Computer modeling of the diurnal oxygen levels in a stickwater aquaculture pond. Aquacul. Eng., 1: 245 ~ 261.
- Nam Y.K., Noh C.H. and Kim D.S, 1999. Transmission and expression of an integrated reporter construct in three generations of transgenic mud loach, *Migurnus mizolepis*. Aquacul. 172, 299 ~ 245.

- Navarro, J.M. and R. Torrijos. 1994. Seasonal variation in oxygen uptake and ammonia excretion in the predatory gastropod *Concholepas concholepas* (Bruguiere, 1789). *Comp. Biochem. Physiol.*, 108A: 39~46.
- Osaki, K. 1979. *Aquaculture and Water I*. Scientist Inc., Tokyo, 244pp.
- Pillips, T.A., R.C. Summerfelt and R.D. Clayton. 1998. Feeding frequency effects on water quality and growth of walleye fingerlings in intensive culture. *Prog. Fish-Cult.*, 60: 1~8.
- Preez, Hein H. du. 1987. Laboratory studies on the oxygen consumption of the marine teleost, *Lichia amia* (Linnaeus, 1758). *Comp. Biochem. Physiol.* 88A(3), pp. 523~532.
- Ross and R.W. McKinney. 1988a. Photoperiod mediated variation in respiratory of *Oreochromis niloticus* and its implication for tilapia culture. pp. 421-428. In 'The second International Symposium on Tilapia in Aquaculture' (ed. R. S. V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J. L. Maclean). ICLARM Conference proceedings 15: 623.
- Ross. 1988b. Respiratory cycles in *Oreochromis niloticus* (L.), measured using a six-channel microcomputer-operated respirometer. *Comp. Biochem, Physiol.*, 89A: 637~643.
- Van Dam, A.A. and D. Pauly, 1995. Simulation of the effects of oxygen on food consumption and growth of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) *Aquacul. Res.*, 26: 427~440.
- Spanopoulos-Hernández, M., C.A. Martínez-Palacios, R.C. Vanegas-Pérez, C. Rosas and L.G. Ross. 2005. The combined

- effects of salinity and temperature on the oxygen consumption of juvenile shrimps *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874). *Aquacul.*, 244: 341~348.
- Wagner, E.J., S.A. Miller and Th. Bosakowski. 1995. Ammonia excretion by rainbow trout over a 24-hour period at two densities during oxygen injection. *Prog. Fish-cult.*, 57: 199~205.
- Wi, J.H. and Y.J. Chang. 1976. A basic study on transport of live fish (I). *Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea.* 15, 91~108.
- Xie, X. and R. Sun, 1990. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen). I. Resting metabolic rate as a function of ration level, body weight and temperature. *Physiol. Zool.*, 63: 181~195.
- Yager, T.K. and R.C. Summerfelt. 1993. effects of fish size and feeding frequently on metabolism of juvenile walleye. *Aquacul. Eng.*, 12: 19~36.
- Yamamoto, K. and O. Hirano. 1998. Changes of oxygen consumption in rose bitterling, field flounder, common minnow, dark chub and common carp under progressive hypoxia. *Suisanzoshoku*, 36: 45~48.
- Yamamoto, T. Hironaka, H. Yamashita and K. Wataishi. 1990. Changes of oxygen consumption in yellowtail, saddled weever, scorpion-fish, richardson dragonet and tiger puffer under progressive hypoxic. *Suisanzoshoku*, 38: 35~39.
- 김일남. 1992. 수중 양식어류의 산소소비에 관한 연구, 석사학위논문, 부경대학교, 38pp.
- 김일남. 장영진. 권준영. 1995. 해산어류 6종의 산소소비 경향에 관한

- 연구, 한국수산학회지, 28(3), 373~381.
- 김용술. 1988. 해산어류 양식장 가두리의 DO수지-관리도 방어양식 장의 경우, 한국수산학회지, 21: 30~34.
- 김유희. 1999. 순환여과식 틸라피아 양식장에서의 산소 소비와 대기 중 산소의 공급, 박사학위논문, 부경대학교: 124pp.
- 김희숙. 이현기, 1985. 미꾸라지의 영양성분에 대한 연구- 2. 지역 별 미꾸라지의 중금속 함량의 계절변화. 한국식품영양학회지, 18: 167~172.
- 명정구. 김형배. 김병기. 김형선. 홍경표. 강충배. 김진구. 1998. 한국산 농어류의 분류학적 연구. 한국해양연구소, pp. 1~47.
- 오승용. 신창훈. 조재윤. 노충환. 명정구. 김종만. 2006. 점농어, *Lateolabrax maculatus* 치어의 산소소비율에 미치는 수온과 염분의 영향. Ichthyol. 18(3). 202~208.
- 오승용. 조재윤. 윤길하. 1999. 탈질 여과조에서 외부 탄소원 제거를 위한 적정 체류 시간과 외부 탄소원 종류 및 질산염 농도에 대한 외부 탄소원의 적정 비율, 한국양식학회지, 12: 47~56.
- 이명현. 1997. 한국동식물 도감 제37권 동물편(담수어류), Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea Vol. 37 Freshwater Fishes, 교육부, 629pp.
- 위중환. 장영진. 1976. 활어수송에 관한 기초적인 연구(I). 수산진흥원보, 15: 91~118.
- 정영태. 1967. 어류학 총론. 태화출판사, pp. 264pp.
- 松原喜代松. 落合明. 岩井保. 1979. 新版 魚類學(上). 恒星社厚生閣, 375pp.