

## 소규모 어도 설치에 따른 논 주변 생태계의 연계성 평가

김재옥 · 신현상 · 유지현 · 이승현 · 장규상 · 김범철<sup>1,\*</sup>

(한국농어촌공사 농어촌연구원, <sup>1</sup>강원대학교 환경과학과)

Distribution of Fish in Paddy Fields and the Effectiveness of Fishways as an Ecological Corridor between Paddy Fields and Streams. Kim, Jae-Ok, Hyun Sang Shin, Ji Hyun Yoo, Seung Heon Lee, Kyu Sang Jang and Bomchul Kim<sup>1,\*</sup> (Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan 426-908, Korea; <sup>1</sup>Department of Environmental Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

Agriculture modern environments can vary due to factors such as land consolidation and ditch enhancement projects. But, these improvements projects can include covering-up of irrigation ditches with concrete, increasing the drop between paddy field and drainage ditches, which might decrease the abundance and diversity of fish fauna around paddy fields. In this study, for the management of agrobiodiversity on fish in paddy fields, we installed a small-scale fishways between paddy fields and drainage ditches, and evaluated the effects on the eco-connection of the paddy fields, ditches and stream. Five fish species were recovered at the drainage ditches. The species exhibited characteristics spawning and growth based on the paddy field. The results indicate that the five fish species could ascend the paddy fields through the small-scale fishways. There are no difference of species numbers at ditches of environment-friendly agriculture paddy fields (A) and good agricultural practices (B) region, but individual numbers were higher at the B region. This result could be interpreted as indicating that ditch diversity was affected by positional properties rather than farming practices because the water flow and connection to adjacent stream of B region were better than A region. After ascertaining the fish species capable of ascending in a pre-survey of the drainage ditches, we set up small-scale fishways at the drop between paddy fields and drainage ditches. Three species of fish (*Aphyocypris chinensis*, *Misgurnus anguillicaudatus*, *M. mizolepis*) arrived at the paddy fields via small-scale fishways. The main movement time was from 18:00~24:00 and 00:00~06:00, indicating a preference for the night time period rather than the day period for migration. Concentrating the operation time from night to dawn seems prudent for effective management of small-scale fishways.

**Key words** : paddy field, fishway, ecological corridor, irrigation and drainage ditch, streams

### 서론

논과 주변 수로(용·배수로) 그리고 하천으로 이어지는 농업환경은 다양한 생물들의 서식처로서 중요한 공간

이다(Collins and Qualset, 1999; Katano *et al.*, 2003; Suzuki *et al.*, 2004). 특히, 봄부터 여름까지는 물에 잠겨 있고, 그 이외의 계절은 건조한 상태를 유지하며 수온이 높은 독특한 특성을 가지고 있기 때문에 이러한 환경을 선호하는 생물들에게 중요한 역할을 한다(Han *et al.*,

\* Corresponding author: Tel: 033) 252-4443, Fax: 033) 251-3991, E-mail: bkim@kangwon.ac.kr

2010). 논과 주변의 수로는 담수어류들의 산란과 서식장 소로 이용되고 있으며(Saito *et al.*, 1988), 그 중 미꾸리, 메기, 송사리 등의 어류는 관개초기에 논과 수로에서 산란하는 특징이 있다. 이는 관개초기에는 포식 어류를 비롯한 천적생물이 거의 없기 때문에 비교적 산란 후 안전한 환경이 조성되고(Katano, 1998), 논에서 번성하는 플랑크톤은 산란 후 치어들의 좋은 먹이원이 되므로 논을 주요 산란처로 이용한다(Katano *et al.*, 2003).

현재, 우리나라 논 면적은 총 1,046,000 ha로서 국내 총 경작지 면적의 60.4%를 차지하며, 논 주변을 흐르는 용수로와 배수로의 길이는 총 183,000 km로 우리나라 하천 연장의 2.8배에 달할 정도로 매우 넓은 공간을 차지하고 있다(KRC, 2010).

과거의 논은 원활한 용수공급을 위해 대부분 저습지나 홍수터에 조성되었으며 이런 위치적 특징 때문에 어류를 비롯한 담수 생물들의 주요 서식처가 되었다. 그러나 근대화에 접어들면서 논은 생산성 향상을 위하여 논 주변 환경은 많은 변화를 겪었다. 예를 들면, 대규모경지정리 사업, 배수개선사업, 기계화경작로 확포장사업 등 논 농업 주변 환경은 현대화되었고 그로 인한 쌀 생산은 주목할 만한 증가를 불러왔다. 반면에 농촌지역 생산기반 분야의 개선 이후 논 농업지역의 어류 출현개체수와 종수는 많이 감소하였다(Kihira, 1983; Lane and Fujioka, 1998). 일본에서는 송사리(*Oryzias latipes*)가 멸종 위기종으로 지정되었는데, 송사리 감소의 주요 요인이 논과 배수로의 낙차 때문인 것으로 보고하고 있다(Hata, 2002a).

그러나 홍수 및 배수 피해를 방지해야하기 때문에 배수로의 낙차를 없애기는 어렵다. 따라서 최근에는 이러한 낙차로 인한 생태단절을 해소하기 위하여 논과 배수로를 연결하는 논어도가 거론되고 있으며 효율도 높은 것으로 보고되었다(Hata, 2002b; Sato *et al.*, 2008). 논 어도에 관한 연구로서는 실내실험을 통해 어도형식이나 유량의 차

이에 따른 어류의 소상효율을 밝힌 사례가 있다(Suzuki *et al.*, 2001). 또한 현장에 직접 어도를 설치하고 어류의 소상효율 및 어도의 형식에 따른 소상효율의 차이, 어류의 생식에 미치는 영향을 검토한 바 있다(Suzuki *et al.*, 2001; Suzuki *et al.*, 2004).

그러나, 국내에서는 아직까지 논과 주변수로에 서식하는 생물종에 대한 기초 연구가 매우 부족한 실정이며, 논과 배수로의 낙차를 해소하기 위한 노력이 전무한 실정이다. 본 연구에서는 논과 배수로의 낙차를 해소하기 위하여 소규모 어도를 설치하고 그 효율을 평가하였다. 또한 어도주변 수로와 논은 어류 상을 조사하여 어도를 중심으로 주변 생태계의 연계효과를 살펴보았다.

### 재료 및 방법

#### 1. 조사대상지

본 연구는 2009년 9월부터 2010년 8월까지 충남 당진 군 대호간척지내에 위치한 논과 용·배수로, 어도에서

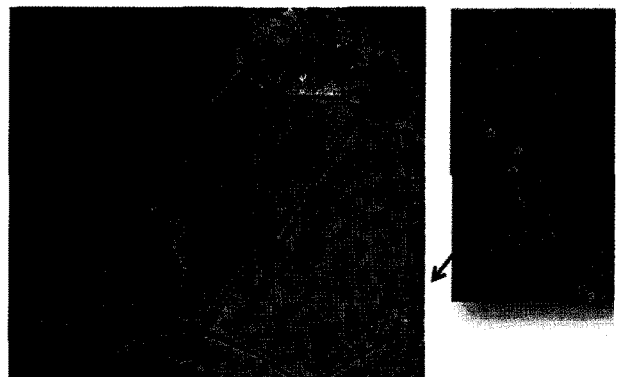


Fig. 1. The study area of Daeho reclaimed land paddy fields.

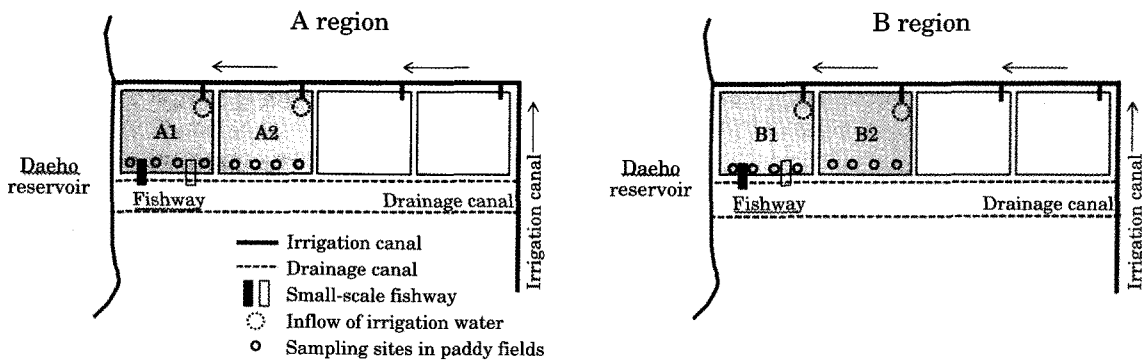


Fig. 2. Diagram of the sampling sites at an environment-friendly agriculture paddy field (A) and good agricultural practices paddy field (B).

실시하였다(Fig. 1). 현장 조사대상지는 한국농어촌공사에서 친환경농업을 실시하고 있는 시범영농단지로서 저투입지속농법을 기본적으로 실시하고 있는 간척농지이다. 다양한 영농방법이 농업생태계에 미치는 영향을 연구하기 위하여 시행되고 있는 영농기법에 따라 A구역(지점 A1, A2)과 B구역(지점 B1, B2)으로 구분하여 조사하였다. A구역은 전체 면적 104.7 ha 중 56 ha를 유기농법과 무농약농업을 실시하고 있어 ‘친환경농업지역’으로 명명하였고, B구역도 전체면적 465.7 ha에 대하여 저투입 지속농법을 하고 있으며 이중 248 ha는 농산물품질관리법에 의한 우수농산물관리제(GAP, Good agricultural Practices)를 준수하는 농법을 실천하고 있어 ‘농산물우수관리지역’으로 명명하였다. C구역은 간척사업 이후 민간에 분양되어 일반관행 농업이 이루어지고 있는 구역이어서 ‘관행농업지역’으로 명명하였다.

**2. 용·배수로 어류상 조사**

대호간척지의 용수로는 콘크리트 수로이며 배수로는 흙수로로서 폭 약 1.5 m, 높이 0.8 m 정도이다(Fig. 2). 용수로의 어류 조사는 용수로를 통해 물이 공급되는 시기에 수행하였으며, 논유입부에 통발을 설치하여 조사하였다. 통발설치 후 24시간 후에 수거·분석하고 다시 논에 방류하였다. 배수로 조사는 죽대와 통발을 병용하여 수행하였는데 죽대 조사는 매 조사 시마다 2인 1조를 이루어 배수로 100 m를 1시간 동안 채집하였다. 죽대 조사를 마친 후 배수로 100 m 구간에 5개의 통발(250 mm×440 mm×5 mm)을 설치하여 24시간 후에 수거하여 분석하였다. 각 지점에서 채집된 어류는 Kim et al. (2005)에 의거 동정하였으며 현장에서 동정이 어려운 종은 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반하여 정밀 동정하였다.

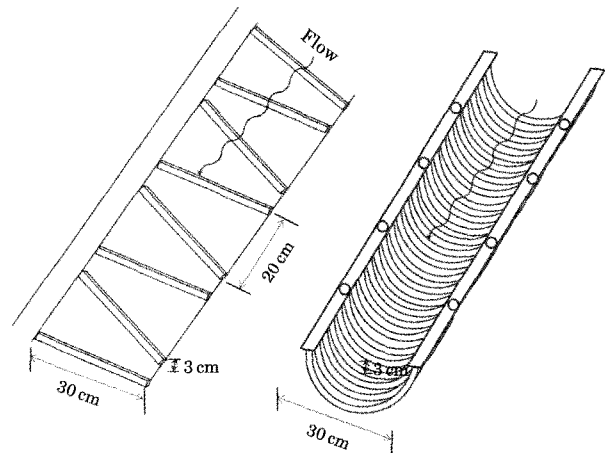
**3. 논 어류상 조사**

어도가 설치된 논 어류상을 조사하기 위하여 농법별로 친환경농업지역(A)과 농산물우수관리지역(B)의 논을 구분하여 어류상을 조사하였다(Fig. 2). 조사를 시행한 논

은 경지정리가 완료된 곳으로서 한 필지가 1 ha로 규모화되어 있다. 논 어류상 조사는 통발(150 mm×280 mm×5 mm)을 이용하였으며 조사 논마다 총 4개의 통발을 설치하였다(Fig. 2). 설치한 통발은 24시간 후에 수거하여 종과 개체수를 파악한 후 채집된 어류는 다시 논으로 방류하였다.

**4. 논어도의 구조와 설치방법**

논과 배수로간의 낙차를 해소하여 어류의 이동을 돕기 위하여 어도를 설치하였다(Fig. 3). 어도의 구조는 향후 지역주민이 직접 시공하기 용이하고, 가격이 저렴할 것, 그리고 논 농업에 지장을 주지 않고 널리 보급될 수 있는 구조를 가지도록 설치한다는 것이 전제 조건이었다. 어도는 구입과 시공이 용이한 폴리에틸렌 주름관과 시판목재를 사용하여 제작하였다(Fig. 3). 목재 어도에는 어류들이 소상하면서 휴식을 취할 수 있도록 어도중간에 높이 3.0 cm의 격벽을 설치하였다. 폴리에틸렌 제품은 상품화되어 시판되고 있는 주름관으로서 주름의 깊이가 3.0 cm 정도로 제작되어 있어 별도로 휴식 풀을 추가하지 않았다. 어도는 친환경농업지역(A)과 농산물우수관리지역(B)에 각



**Fig. 3.** Scheme of two of the small-scale fishways. A wooden fishway is shown on the left and a PR fishway is shown on the right.

**Table 1.** Installation conditions of the paddy field fishways.

Installation paddy fields	Fishway dimension			Water level drop of paddy field and canal (m)	
	Material	Length (m)	Width (m)		
A1	Wooden fishway	4.0	0.3	12°	0.8
	PE fishway	4.0	0.3	7°	0.5
B1	Wooden fishway	3.6	0.3	10°	0.6
	PE fishway	3.6	0.3	8°	0.5

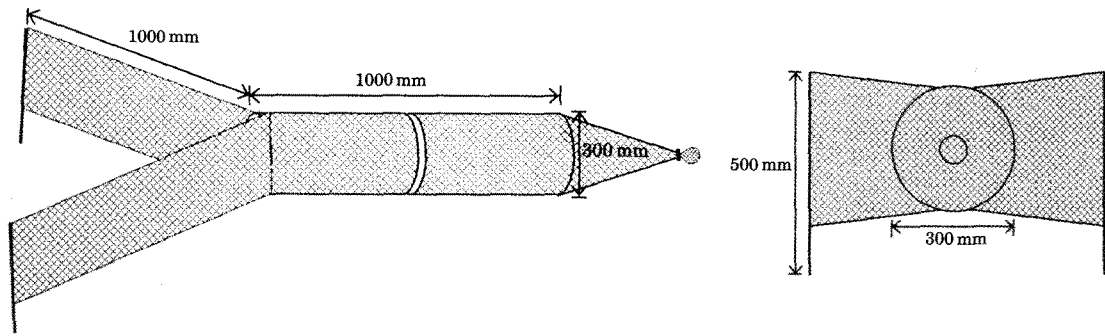


Fig. 4. Illustration of a trap used to catch ascending fish.

각 2개소씩 총 4개소에 설치하였다(Fig. 2). 어도의 구배는 Suzuki *et al.* (2001)의 조사결과를 토대로  $7^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 의 범위 내에서 제작하였다(Table 1). 설치한 어도를 통하여 논으로 소상하는 어류는 자체 제작한 통발(300 mm × 1,000 mm × 5 mm)을 이용하여 24시간 동안 설치한 후 채집하였다(Fig. 4).

## 결과 및 고찰

### 1. 용 · 배수로의 어류상

논과 연계되는 주요 수로인 용수로와 배수로의 어류상을 조사하였다. 특히, 배수로조사는 어도설치의 필요성을 확인하기 위한 사전조사로서 배수로에 서식하는 어류 중에 어도를 경유하여 논으로 소상하고 논에서 산란·성장하는 특성을 가진 어류종이 있는지를 파악하는 데 주력하였다. 또한 농법별로 수로의 어류상을 비교하기 위하여 친환경농업지역(A)과 농산물우수관리지역(B)으로 나누어 조사하였으며, 관행농업지역의 배수로는 물이 흐르는 시기가 거의 없어 조사를 할 수 없었다.

A, B 지역의 어류상을 조사한 결과, 용수로에서는 6종 210개체가 채집되었고 배수로에서는 11종 569개체가 채집되었으며 용수로보다 배수로에서 출현한 어류 종수가 더 많은 것으로 나타났다(T-test,  $p < 0.01$ )(Table 2). 용수로에서는 용수로를 통해 물이 공급되는 6월과 8월에만 어류가 채집되었으며 그 이외의 시기에는 용수로에 물이 없어 채집되는 어종이 없었다. 채집된 어종은 참붕어, 왜물개, 치리, 미꾸리, 미꾸라지 등 6종이었으며 이중 왜물개가 가장 많이 채집되었다. 배수로에서 채집된 어종은 붕어, 참붕어, 왜물개, 치리, 미꾸리, 미꾸라지, 버들붕어, 황줄망둑, 잉어, 대륙송사리, 갈문망둑 등 11종이 채집되었으며 용수로와 마찬가지로 왜물개가 가장 많이 채집되었

다(Table 2). 계절별로 출현한 어류밀도를 살펴보면, 5월에 가장 많은 개체수가 조사되었으며 6월부터 8월까지의 채집 개체수가 감소하다가 9월 조사에서 왜물개가 다수 채집되었다(Fig. 5). 출현한 어류 가운데 왜물개, 붕어, 참붕어, 미꾸리, 미꾸라지 등은 논으로 소상하여 산란과 서식을 하는 것으로 알려진 종들이므로(Suzuki *et al.*, 2001) 논과 배수로를 연결하는 어도를 조성하였을 때 어도를 이용할 것으로 예상된다.

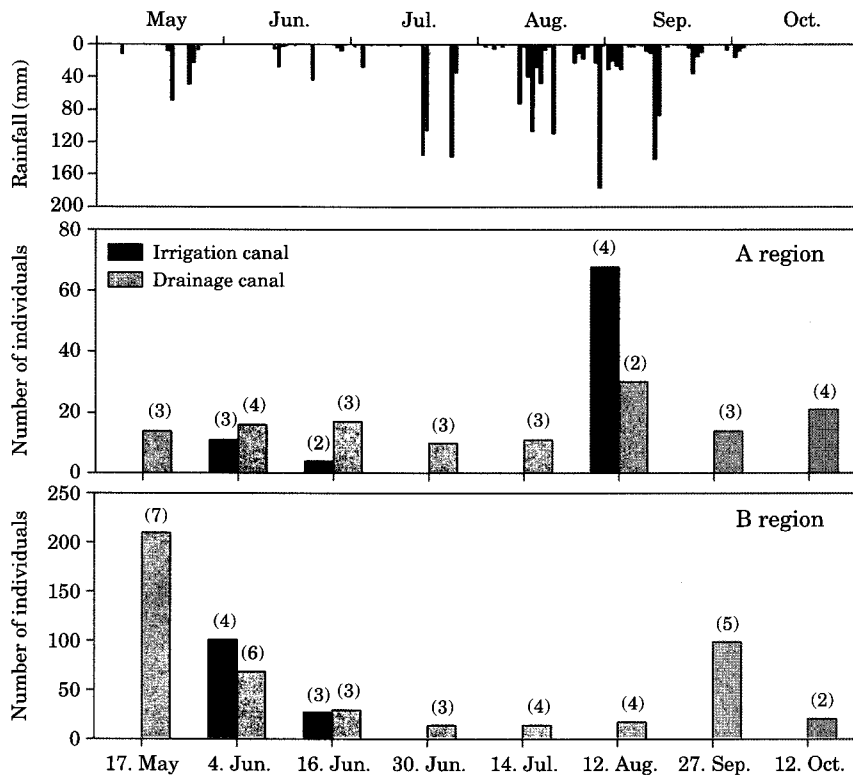
A지역의 용수로와 배수로를 비교하면 용수로에서는 5종 82개체가 채집되었으며, 배수로에서는 9종 133개체가 채집되어 배수로에서 채집된 종수가 더 많았다(T-test,  $p < 0.001$ )(Table 2). B지역에서도 용수로에서는 4종 128개체, 배수로에서는 8종 489개체가 채집되어 A지역과 마찬가지로 용수로보다는 배수로에서 채집된 종수가 더 많았다(T-test,  $p < 0.001$ ). A, B 지역의 어류를 비교하면, 출현종수는 두 지역에서 거의 유사하게 나타났으나 개체수는 A지역보다 B지역에서 더 많이 채집되었다. 이는 조사 지점의 수문특성상 B지역의 배수로에 물이 흐르는 양이 더 많았고 주변 하천과의 연계성이 더 좋았기 때문인 것으로 판단된다. 용수로에서 채집된 왜물개, 미꾸리, 미꾸라지는 대호에서 양수하는 과정에서 수로로 유입되어 논까지 이동한 것으로 판단된다. 따라서, 용수로에 서식하는 어류를 고려하여 용수로 중간에 웅덩이를 만들어 용수공급이 단절되는 기간에도 수로에서 생존할 수 있는 공간 조성이 필요할 것으로 판단된다.

A지역에서는 조사기간 중 8월 12일 조사에서 가장 많은 개체수가 채집되었으며 이 시기에 우점종은 왜물개였다. 8월에 강우량이 많아 하천유량이 증가하고 그로 인하여 어류 소상이 증가하였을 것으로 판단되어 근처 기상대의 강우 자료를 분석하였다. 그 결과 조사직전인 8월 10일, 11일에 총 145 mm의 많은 강우량을 보여 어류 소상에 영향을 미친 것으로 판단된다. 타지역에서도 어류의

**Table 2.** The length (mm) of the fish collected at the irrigation and drainage canals in regions A, B, and C region. Data in the parentheses are the number of fish.

Species	A		B		Total	
	Irrigation canal	Drainage canal	Irrigation canal	Drainage canal	Irrigation canal	Drainage canal
<i>Carassius auratus</i> 붕어		81(1)		63±14.5(5)		66±14.9(6)
<i>Pseudorasbora parva</i> 참붕어				53±8.8(26)		53±8.8(26)
<i>Aphyocypris chinensis</i> 왜물개		45±3.5(12)		42±5.5(83)		42±5.3(95)
<i>Hemiculter eigenmanni</i> 치리			N.S	42±6.3(7)		42±6.3(7)
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸라지	N.S			101±27.3(18)		101±27.3(18)
<i>Misgurnus mizolepis</i> 미꾸라지		82(1)		104±25.5(22)		103±25.4(23)
<i>Macropodus ocellatus</i> 버들붕어				49±7.0(49)		49±7.0(49)
<i>Carassius auratus</i> 붕어		94(1)		90±19.5(4)		91±17.0(5)
<i>Pseudorasbora parva</i> 참붕어	53±6.2(4)			60±7.7(18)	53±6.2(4)	60±7.7(18)
<i>Aphyocypris chinensis</i> 왜물개	43±0.7(2)	47±3.8(13)	46±3.8(84)	44±5.3(31)	46±3.8(86)	45±5.1(44)
<i>Hemiculter eigenmanni</i> 치리		71(1)	60(1)	57±1.4(2)	60(1)	62±8.1(3)
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸라지	86±20.3(5)		83±19.3(14)		84±19.0(19)	
<i>Misgurnus mizolepis</i> 미꾸라지			64±5.7(2)	61±19.8(2)	64±5.7(2)	61±19.8(2)
<i>Tridentiger nudicervicus</i> 황줄망둑		70(1)				70(1)
<i>Macropodus ocellatus</i> 버들붕어				49±5.4(11)		49±5.4(11)
<i>Carassius auratus</i> 붕어				29±5.1(16)		29±5.1(16)
<i>Aphyocypris chinensis</i> 왜물개	53±3.1(3)	50±4.5(15)	47±4.7(19)	49±3.3(10)	48±5.0(22)	50±4.0(25)
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸라지		83(1)	70±7.6(3)	91±19.7(3)	70±7.6(3)	89±16.6(4)
<i>Misgurnus mizolepis</i> 미꾸라지		112(1)	77±12.3(5)		77±12.3(5)	112(1)
<i>Macropodus ocellatus</i> 버들붕어	69(1)				69(1)	
<i>Cyprinus carpio</i> 잉어		26(1)				26(1)
<i>Aphyocypris chinensis</i> 왜물개		48±11.5(6)		47±10.0(8)		47±10.2(14)
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸라지	Dry		Dry	80±5.6(5)		80±5.6(5)
<i>Misgurnus mizolepis</i> 미꾸라지		86±28.5(3)		70(1)		82±24.7(4)
<i>Carassius auratus</i> 붕어		47±4.9(2)		38±7.1(2)		32±8.3(4)
<i>Aphyocypris chinensis</i> 왜물개		33±9.1(8)		41±8.8(9)		37±9.7(17)
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸라지	Dry	49(1)	Dry			49(1)
<i>Misgurnus mizolepis</i> 미꾸라지				102(1)		102(1)
<i>Macropodus ocellatus</i> 버들붕어				63±0.7(2)		63±0.7(2)
<i>Carassius auratus</i> 붕어	37±3.2(26)	38±12.0(2)		38(1)	37±3.2(26)	38±8.5(3)
<i>Pseudorasbora parva</i> 참붕어	43±10.6(3)			54(1)	43±10.6(3)	54(1)
<i>Aphyocypris chinensis</i> 왜물개	36±5.8(37)	31±4.1(28)	N.D	44±4.2(14)	36±5.8(37)	36±7.4(42)
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸라지	57±10.6(2)				57±10.6(2)	
<i>Oryzias sinensis</i> 대륙송사리				29(1)		29(1)
<i>Carassius auratus</i> 붕어				33±4.2(23)		33±4.2(23)
<i>Pseudorasbora parva</i> 참붕어				53±3.5(2)		53±3.5(2)
<i>Aphyocypris chinensis</i> 왜물개	Dry	33±3.7(7)	Dry	38.5±5.6(67)		34±5.5(74)
<i>Oryzias sinensis</i> 대륙송사리				31(1)		31(1)
<i>Rhinogobius giurinus</i> 갈문망둑		47(1)				47(1)
<i>Macropodus ocellatus</i> 버들붕어		32±2.6(6)		31±4.9(6)		31±3.8(12)
<i>Aphyocypris chinensis</i> 왜물개		34±2.7(17)		37±1.2(36)		
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> 미꾸라지	Dry	26(1)	Dry	37±0.7(2)		33±6.1(3)
<i>Misgurnus mizolepis</i> 미꾸라지		31(1)				31(1)
<i>Macropodus ocellatus</i> 버들붕어		30±2.1(2)				30±2.1(2)
Total number of species	5	9**	4	8**	6	11*
Total individuals	83	133	128	489	210	569

\* and \*\* are significant  $p < 0.01$  and  $p < 0.001$ , respectively by T-test  
 NS is not surveyed, Dry is temporary dry period.



**Fig. 5.** The number of individuals and species of collected fish at the irrigation and drainage canals in A and B regions. Region A is a paddy field that practices environment-friendly agriculture and region B is a paddy field conducting good agricultural practices.

이동과 강우와의 관계를 연구한 결과를 보면 비강우일보다는 강우일에 어류 이동이 더 활발한 것으로 보고되었다(Nakamura and Oda, 2005). Bank (1969)는 어류의 이동 및 소상에 영향을 미치는 요인으로서 기압, 강우량, 운량 등의 기상 요인들로 인해 하천의 유량과 조도가 변동하고 이것이 어류 소상에 영향을 미친다고 보고하였다. 또한 유량증가와 더불어 하천의 탁도 증가도 어류의 이동에 영향을 미치는 것으로 나타났다(Mayama, 1978). 용·배수로의 우점종인 왜물개는 중·하류의 작은 하천이나 농수로의 유속이 거의 없는 곳에서 무리를 지어 서식하며 조류와 수서곤충을 먹고 사는 특성을 가지고 있어(Kim et al., 2005), 토공 배수로이며 주변 수초대가 잘 형성된 대호 배수로가 적절한 서식환경을 제공한 것으로 판단된다.

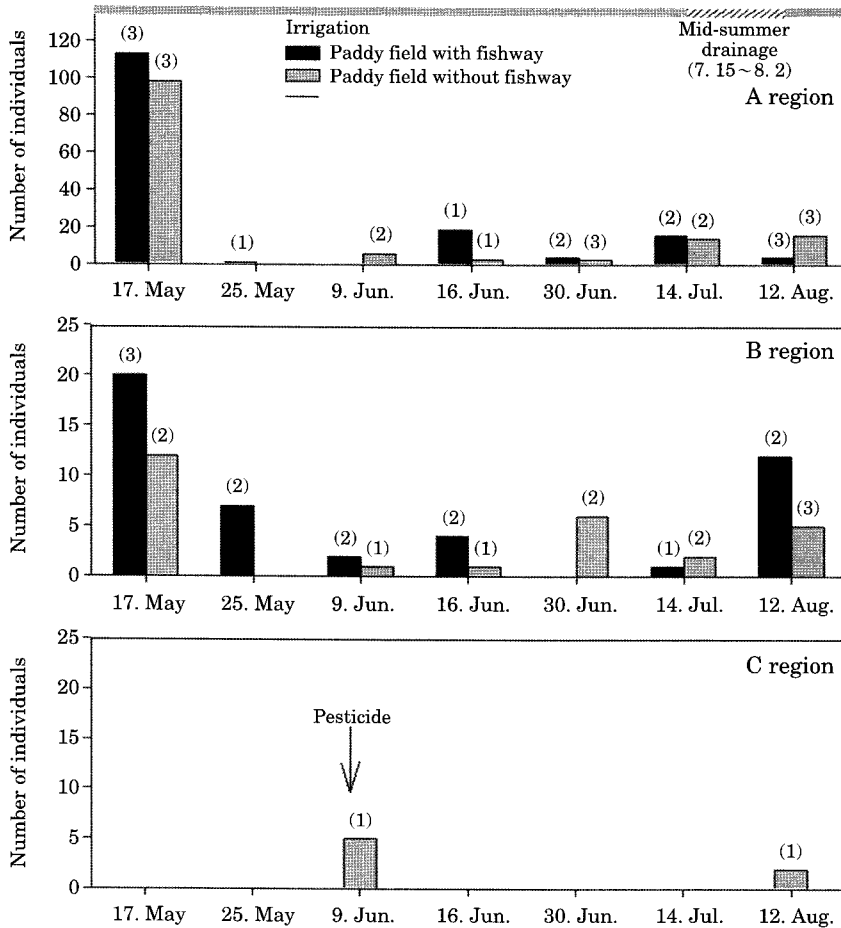
농업용 수로는 어류의 서식처로서도 중요하지만 논과 주변하천과의 이동통로로서도 중요한 기능을 한다(Saito et al., 1988). 농업용 수로에 서식하는 어류를 연구한 결과로서 Nakamura and Oda (2003) 등은 하천과 연계되어 있는 수로에서 피라미, 물개, 참붕어, 붕어, 미꾸리 등 17종의 어류가 농수로에서 서식하며, 이 어종들은 산란과

서식을 위하여 논과 배수로를 이용한다고 보고하였다. 이와 같이 농업용 수로는 논과 연결되어 논에 물을 공급하고 배수하는 기능뿐만 아니라 주변 지역에 서식하는 어류를 비롯한 다양한 생물들의 서식 및 산란처 역할을 하고 있어 전체적인 농업 생태계 유지에 중요한 역할을 한다(Saito et al., 1988).

## 2. 논외 어류상

용수로와 배수로의 중심에 있는 논외 어류상을 조사한 결과는 Fig. 6과 Table 3에 정리하였다.

A구역에서는 참붕어(*Pseudorasbora parva*), 붕어(*Carrassius auratus*), 왜물개(*Aphyocypris chinensis*), 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*), 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*) 등 총 5종, 291개체가 채집되었으며 그 중 미꾸라지가 가장 많이 채집되었다(Table 3). 농산물 우수관리 지역(B)의 논에서는 왜물개(*Aphyocypris chinensis*), 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*), 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*), 참붕어(*Pseudorasbora parva*), 머들붕어(*Macropodus ocellatus*) 등 5종, 63개체가 채집되었으며 친환경



**Fig. 6.** The number of individuals and species of collected fishes at paddy fields in regions A, B, and C. The upper, middle, and bottom panels depict the environment-friendly, good agricultural practice, and conventional agriculture paddy fields, respectively. ( ) denotes species number.

경 농업지역(A)에서는 채집되지 않았던 버들붕어(*Macropodus ocellatus*)가 출현하였다. 관행농업지역(C)에서는 6월과 8월에 미꾸라지 1종, 7개체 만이 채집되었다. 농법별로 논에 서식 어류상을 살펴본 결과, 친환경농업지역(A)과 농산물 우수관리지역(B)은 출현 종수에는 차이가 없었으나 출현 개체수는 친환경 농업지역(A)의 논에서 5배 정도 더 많이 채집되었다. 관행농업지역(C)의 논에서는 전 조사 기간 동안에 6월과 8월에만 미꾸라지가 채집되었을 뿐 다른 어류는 전혀 발견되지 않았다.

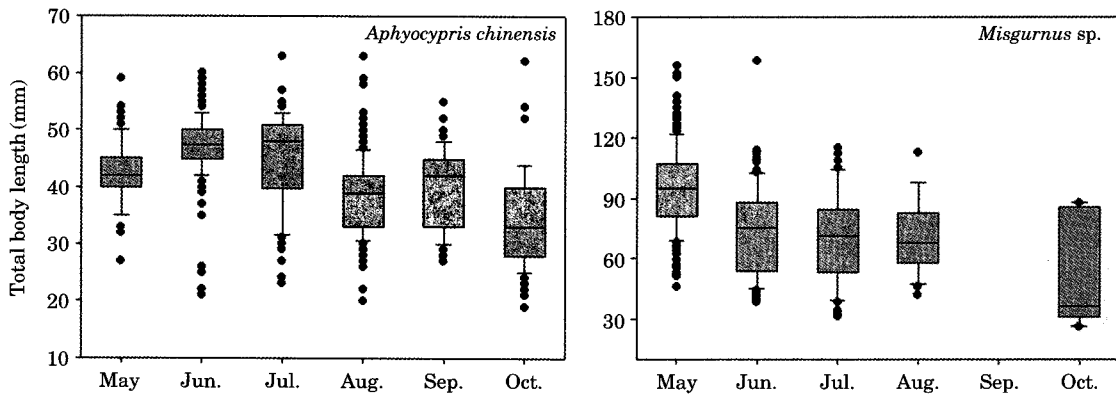
Shim and Self (1973)은 제초제인 PCP (pentachlorophenol)은 논에 서식하는 송사리와 피라미에 강한 독성을 가지는 것으로 보고하였다. 논에 살포된 농약의 유효성분이 논물에 녹아 하천이나 호수에 유입될 수 있으므로 벼 재배용 농약 사용량이 전체 사용량의 50% 정도인 우리나라에서는 농약이 수서생물에 미치는 영향은 매우 중요하다(Lee et al., 1995). 따라서, 국내 벼 재배용 농약의 등록

시 미꾸라지에 대한 급성독성 시험성적을 반드시 제출하도록 하고 있다(RDA, 2002). 벼를 재배하는 논에서 직접 수도용 농약이 미꾸라지에 미치는 영향을 조사한 연구에서 수도용 농약은 종류에 따라 차이가 있지만 약 10~55% 치사율을 보이는 것으로 나타났다(Park et al., 2003). 송사리의 생육단계별로 농약등의 화학물질에 대한 어류의 감수성 변화를 조사한 결과, 발육 초기단계에는 감수성이 매우 민감한 것으로 조사되었다(Shin et al., 1987).

친환경 농업지역(A)과 농산물 우수관리지역(B)의 논에서 어도 설치 유무에 따른 서식 개체수 변화를 살펴본 결과, 어도 설치 유무에 따라 논에서 채집된 어류 개체수에 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다(T-test,  $p < 0.05$ ) (Fig. 6). 이는 논과 배수로의 낙차를 해소하기 위하여 어도를 설치하였으나, 조사기간 동안 어도로 물을 흘려보낼 수 있는 용수량이 부족하고, 논에 물을 가득 두는 시기가 있어, 주요 영농기에는 물을 지속적으로 흘려주는 데

**Table 3.** The length (mm) of collected fish at the paddy fields in regions A, B, and C. Data in the parentheses are the number of fish.

Date	Species	A		B		C
		A1 T.L.(mm)	A2 T.L.(mm)	B1 T.L.(mm)	B2 T.L.(mm)	T.L.(mm)
5.17	<i>Pseudorasbora parva</i>	88 (1)				
	<i>Aphyocypris chinensis</i>	47 ± 5.9 (4)				
	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	92 ± 13.1 (33)	88 ± 21.2 (38)	85 ± 32.9 (7)		
	<i>Misgurnus mizolepis</i>	95 ± 14.7 (79)	98 ± 17.0 (56)	87 ± 30.6 (6)	105 ± 25.9 (12)	
5.25	<i>Aphyocypris chinensis</i>	50 (1)		46 ± 2.1 (6)		
	<i>Misgurnus mizolepis</i>			76 (1)		
6.17	<i>Pseudorasbora parva</i>					70 (1)
	<i>Aphyocypris chinensis</i>			46 ± 3.6 (3)		
	<i>Misgurnus mizolepis</i>	54 ± 20.7 (19)	92 ± 4.4 (3)	55 (1)		
6.30	<i>Carassius auratus</i>					32 (1)
	<i>Aphyocypris chinensis</i>	21 (1)	26 (1)			51 ± 2.7 (5)
	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	70 ± 3.0 (3)				77 (1)
	<i>Misgurnus mizolepis</i>			100 (1)		
7.15	<i>Aphyocypris chinensis</i>	33 ± 4.2 (12)	36 ± 2.1 (2)			50 (1)
	<i>Misgurnus mizolepis</i>	65 ± 28.9 (4)	67 ± 23.0 (12)	47 (1)	83 (1)	
8.12	<i>Aphyocypris chinensis</i>	36 (1)	35 ± 3.2 (12)	39 ± 4.0 (6)	41 ± 2.8 (2)	
	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	42 (1)	58 ± 17.0 (2)	67 ± 12.8 (6)		
	<i>Misgurnus mizolepis</i>	58 ± 1.4 (2)	72 ± 0 (2)			98 ± 21.2 (2)
	<i>Macropodus ocellatus</i>					56 (1)
Total species		4	4	3	4	1
Total individuals		157	134	37	26	2



**Fig. 7.** Seasonal variation of the body length (mm) of *Aphyocypris chinensis* and *Misgurnus* sp.

한계가 있었다.

논에서 채집된 어류의 전장은 농법별로 유의적인 차이는 없었다(Table 3). 시기별로 논에서 가장 많은 어류가 채집된 시기는 5월 17일이었으며 미꾸리와 미꾸라지가 주로 채집되었다. 5월 조사에서 미꾸라지의 전장은 친환경 농업지역(A)에서는 88 ± 21.2 mm ~ 98 ± 17.0 mm의 분포를 보였으며, 농산물 우수관리지역(B)에서는 85 ± 32.9

mm ~ 105 ± 25.9 mm의 전장 분포를 보였다. Kubota *et al.* (1965)은 미꾸라지를 크기별로 분류하여 15 mm 이하는 자어, 15 ~ 50 mm는 치어, 50 ~ 80 mm는 미성어, 80 mm 이상은 성어로 분류하였다. 이 기준을 토대로 5월에 논에서 채집된 미꾸라지는 대부분 성어로 분류할 수 있다. 그 이외의 시기는 54 ± 20.7 mm ~ 67 ± 23.0 mm로서 미성어로 분류할 수 있는 미꾸라지가 분포하는 것으로 나타났다



(Table 3, Fig. 7). 5월 이후 논에서 채집된 미꾸라지는 대부분 미성어 정도의 크기로서 논에서 산란 후 서식하고 있는 것으로 볼 수 있다(Naruse *et al.*, 1996). 논은 미꾸라지의 산란장소로 이용되며 산란 후 치자어의 성장 및 번식장소로서 매우 중요한 역할을 한다(Naruse and Oishi, 1996; Tanaka, 1999). 5월 조사시 논과 배수로를 연결하는 어도는 설치되어 있었으나 모내기를 위하여 논 물을 가두어 두는 시기여서 어도로 물을 흘리지는 못했다. 따라서 논으로 미꾸라지가 유입할 수 있는 경로는 용수로를 통해서 들어오거나, 비 관개기 논의 토양 중에 수분이 있는 곳에서 월동을 한 것으로 볼 수 있다(Tanaka, 1999).

5월 이후 논에서 채집된 어류의 개체수는 급격하게 감소하였고, 8월 중간 낚수 이후에 다소 회복되는 경향을 보였으나 9월, 10월 조사에서는 논에서 한 개체도 채집되지 않았다. 논은 물이 있는 기간 동안에는 어류의 산란·성장을 위해 좋은 장소이지만 가을 이후 논에서 월동하는 것은 어류들에게 매우 어려운 일이므로 가을철에는 어류의 강하를 유도할 수 있도록 논물의 유출회수를 조절하는 물관리가 필요하다(Suzuki *et al.*, 2004). 또한 강하하지 못한 어류들을 위해 논의 일부분에 물을 대놓는 것은 논에 남아 있는 어류의 월동처를 제공할 수 있다(Oohira *et al.*, 2005).

### 3. 논 어도를 소상한 어류의 일주기 변화

조사지역 배수로를 조사하여 어도를 이용할 것으로 판단되는 5종의 어류를 대상으로 어도의 소상효율을 조사하였다. 친환경 농업지역(A)과 농산물 우수관리지역(B)에 각각 어도를 설치하고, 어도를 통해 배수로에서 논으로 소상하는 어류를 채집하였다. 현재의 국내 논 농업환경에서 논 어도를 유지하기 위하여 추가적인 용수공급은 제한적이며 한계가 있다. 따라서, 논과 배수로를 이동하는 어류들의 일주성을 조사하여 하루 중 가장 이동 빈도가 높은 시간대에 어도를 운영할 수 있도록 하기 위하여 24시간 조사를 실시하였다. 조사시간은 천문우주지식정보의 일출 및 일몰 시간을 기준으로 12:00~18:00, 18:00~24:00, 00:00~06:00, 06:00~12:00로 4개의 시간대로 구분하여 2010년 6월 23일과 7월 6일 2회에 걸쳐 24시간 조사를 실시하였다.

조사결과, 친환경 농업지역(A)에서 어도를 통해 논으로 소상한 어류는 미꾸리와 미꾸라지 2종이 어도로 소상하였으며, 하루 중 00:00~06:00시간대에 가장 많은 어류가 어도를 통해 이동하였다(Fig. 8). 농산물 우수관리지역(B)에서는 왜물개, 미꾸리, 미꾸라지 3종의 어류가 어도를 이

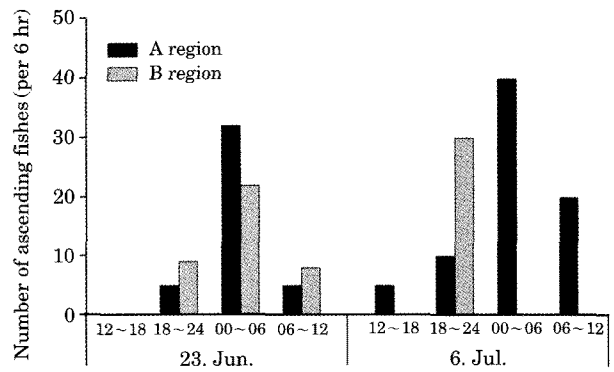


Fig. 8. The number of fish ascending through the paddy field fishway during a 24-hr period in the environment-friendly (A) and good agricultural practice (B) paddy field.

용하는 것으로 나타났으며 6월 23일 조사에서는 00:00~06:00시간대에 총 22개체가 어도를 통해 논으로 소상하였고 7월 6일 조사에서는 18:00~24:00시 시간대에 30개체가 논으로 소상하였다. 결과를 정리해보면 논 어도를 통해 소상하는 어류는 주간보다는 야간을 이용하여 어도로 소상하는 빈도가 더 높았다( $p < 0.05$ ). 일반적으로 미꾸리와 어류는 조류 등 천적에 의한 포식위험이 적은 야간에 주로 이동하는 것으로 알려져 있다(Yanagishima and Mori, 1951; Nakamura and Oda, 2005). 몇몇 연구에서는 계절, 성별, 성숙상태, 체장 등에 따라 이동이나 소상 시기가 상이하다고 지적하였으나 다수의 연구 결과가 미꾸리와 어류는 주간보다 야간에 상대적인 이동빈도가 높다고 보고하였다(Naruse and Oishi, 1996). 따라서, 논 어도를 유지할 정도로 용수공급량이 풍부하지 않은 논에서 어도를 집중적으로 운영하고자 한다면 주간보다는 야간과 새벽시간대를 이용하는 것이 더 효율적일 것으로 판단된다. 본 연구에서 어도를 통해 논으로 소상한 어류 중 미꾸라지 개체가 가장 많았으며 논으로 소상한 어류의 평균 체장은 왜물개는  $51 \pm 3.5$  mm였으며 미꾸라지는  $65 \pm 21.6$  mm로 성어보다는 미성어 개체의 이동빈도가 더 높게 나타났다. 이는 산란을 위해서 소상하였다기 보다는 평상시 물을 거스르는 주류성을 가지고 있기 때문으로 판단된다(Jeong, 2010).

### 적 요

본 연구에서는 논과 배수로를 연결하는 소규모 어도를 설치하고 그 효율을 평가하였다. 또한 어도 주변 수로와

논의 어류상을 조사하여 어도를 중심으로 주변 생태계의 연계효과를 살펴보았다.

용·배수로 조사결과, 친환경 농업지역(A) 용수로에서는 5종 83개체, 배수로에서는 9종 133개체가 채집되었다. 농산물 우수관리지역(B)에서는 용수로에서 4종 128개체, 배수로에서 8종 489개체가 채집되었다. 대호 지역 배수로에 서식하는 어류상 조사결과, 논으로 소상하여 산란과 서식을 할 것으로 판단되는 어종은 왜물개, 붕어, 참붕어, 미꾸리, 미꾸라지 등 5종으로 선정되었다. 논 농법별로 구분하였을 때, 용·배수로에서 출현한 종수는 차이가 없었으나 개체수는 농산물 우수관리지역(B)에서 더 높게 나타났다. 이는 농법의 차이보다는 조사지점의 특성상 농산물 우수관리지역(B)의 배수로가 흐르는 물의 양이 더 많고 주변 하천과의 연계성이 더 좋았기 때문으로 판단된다.

소규모 논 어도를 통하여 논으로 소상하는 어류는 미꾸리, 미꾸라지, 왜물개 3종으로 조사되었다. 어류의 주요 이동시간은 주간보다는 야간에 주로 이동하는 특성을 보였다. 따라서 논 어도를 유지할 수 있는 용수공급량이 충분하지 않은 논에서 물의 흐름을 확보하고 어도를 유지하기 위해서는 주간보다는 야간과 새벽 시간대를 이용하는 것이 더 효율적일 것으로 판단된다.

## 인 용 문 헌

- Bank, J.W. 1969. A review of the literature on the upstream migration of adult salmonids. *J. Fish. Biol.* **1**: 85-136.
- Collins, W.W. and C.O. Qualset. 1999. Biodiversity in agroecosystems. CRC Press, Boca Raton. 344p.
- Fusioka, M. and S.J. Lane. 1997. The impact of changing irrigation practices in rice fields on frog populations of the Kanto Plain, central Japan. *Ecological Research* **12**: 101-108.
- Han, M.S., H.S. Bang, M.H. Kim, K.K. Kang, M.P. Jung and D.B. Lee. 2010. Distribution characteristics of water Scavenger Beetles (Hydropholidae) in Korea paddy field. *Korea J. Environ Agric.* **29**(4): 427-433.
- Hata, K. 2002a. Field experiment on the migration of fishes to a paddy field with a small fishway. *Jap. Agricultural Research Quarterly* **36**(4): 219-225.
- Hata, K. 2002b. Perspectives for fish protection in Japanese paddy field irrigation systems. *Jap. Agricultural Research Quarterly* **36**(4): 211-218.
- Jeong, M.R. 2010. A study of habitat environmental characteristics of mudfish inhabited in rice field, MS thesis, Korea National University of Education, Cheongwon, Korea.
- Katano, O. 1998. The community of fish in irrigation and drainage ditches. The book of Asakura, Tokyo. p. 67-79.
- Katano, O., K. Hosoya, K. Iguchi and M. Yamaguchi. 2003. Species diversity and abundance of freshwater fishes in irrigation ditches around rice fields. *Env. Biol. Fish.* **66**: 107-121.
- Kihira, H. 1983. Changes in fish fauna and environments-fish in irrigation ditches. *Freshwater Fish* **9**: 58-60.
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyo-Hak Sa.
- KRC. 2010. The statistical data for agricultural environment. Korea rural community corporation.
- Kubota, Z., I. Matsui and T. Okahiro. 1965. Foundation studies in culturing of the Japanese loach. *Reports of College of Fisheries* **14**: 59-73.
- Lane, S.J. and M. Fujioka. 1998. The impact of changes in irrigation practices on the distribution of foraging egests and herons (Ardeidae) in the rice fields of central Japan. *Biol. Conservation* **83**: 221-230.
- Lee, S.R., Y.H. Kim and M.G. Lee. 1995. Information resources for the establishment of tolerances on pesticide residues in water quality. *Korea J. Environ Agric.* **14**(3): 351-373.
- Mayama, H. 1978. Ecological observation on the adult salmon-11. diurnal variation of upstream migration of the adult Chum Salmon the Chitose River. *Salmon Research Institute* **32**: 9-18.
- Nakamura, T. and N. Oda. 2003. Seasonal changes in fishes ascending a paddy field ditch in the Naka River system, central Japan. *Jap. J. Ichthyol.* **50**(1): 25-33.
- Nakamura, T. and N. Oda. 2005. Daily rhythms and relationship with rainfall of ascending activity of fish in a paddy field ditch. *Aquaculture Science* **53**(4): 349-354.
- Naruse, M. and T. Oishi. 1996. Annual and daily activity rhythms of loaches in an irrigation creek and ditches around paddy fields. *Env. Biol. Fish.* **47**: 93-99.
- Oohira, Y., Y. Nakano and K. Yuge. 2005. Environmental restoration target of irrigation and drainage channels based on the observation of the aquatic animals. *Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.* **60**(2): 233-251.
- Park, Y.K., K.H. Park, J.B. Joo, K.S. Kyung, B.S. Kim, J.S. Shin, G.H. Ryu, G.H. Bae and K.S. Lee. 2003. Toxicological effects of pesticides on loach in rice paddy. *The Korea Journal of Pesticide Science* **7**(2): 131-138.
- RDA. 2002. The standard methods for registration of agricultural pesticides. Notification No.2002-1 of the rural development administration.
- Saito, K., O. Katano and A. Koizumi. 1988. Movement and

- spawning of several freshwater fishes in temporary waters around paddy fields. *Jpn. J. Ecol.* **38**: 35-47.
- Sato, T., M. Sato, M. Inagaki, T. Sato, C. Anjitu, K. Tsuchida and S. Misawa. 2008. Ascending migration of loach *Misgurnus anguillicaudatus* affected by water management practices of paddy fields and installation conditions of corrugated pipes as water fishways to paddy fields. *Jap. J. of Rural Planning Association* **26**(4): 434-440.
- Shim, J.C. and L.S. Self. 1973. Toxicity of agricultural chemicals to larvivorous fish in Korean rice fields. *Tropical Medicine* **15**(3): 123-130.
- Shin, C.C., S.K. Lee, Y.B. Kim, Y.H. Kim and J.K. Roh. 1987. Changes in susceptibility of Killifish (*Oryzias latipes*) to three pesticides with growth. *The Korea Journal of Pesticide Science* **6**(1): 50-60.
- Suzuki, M., M. Mizutani and A. Goto. 2001. Trial manufactures and experiments of small-scale fishways to ensure both upward and downward migration of freshwater fishes in the aquatic area with paddy fields. *Ecol. Civil Eng.* **4**(2): 163-177.
- Suzuki, M., M. Mizutani and A. Goto. 2004. Effects of connection of paddy fields, ditch and stream through small-scale fishways on fish fauna. *Irrigation, Drainage and Rural engineering Journal* **234**: 59-69.
- Tanaka, M. 1999. Influence of different aquatic habitats on distribution and population density of *Misgurnus anguillicaudatus* in paddy fields. *Jap. J. Ichthyol.* **46**(2): 75-81.
- Yanagishima, S. and S. Mori. 1951. Relation between activity and glycogen contents of the Japanese loach. *Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto, Ser. B.* **20**: 1-6.

(Manuscript received 20 May 2011,  
Revision accepted 14 June 2011)