

논 생태 증진을 위해 설치된 둠병의 물리·화학적 및 생물학적 특성

김재옥 · 신현상 · 유지현 · 이승현 · 장규상 · 김범철^{1,*}

(한국농어촌공사 농어촌연구원, ¹강원대학교 환경과학과)

Physicochemical and Biological Properties of Constructed Small-scale Ponds for Ecological Improvement in Paddy Fields. Kim, Jae-Ok, Hyun-Sang Shin, Ji-Hyun Yoo, Seung-Heon Lee, Kyu-Sang Jang and BomChul Kim^{1,*} (Rural Research Institute Korea Rural Community Corporation, Ansan-si 426-908, Korea; ¹Department of Environmental Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

This study was conducted to gain preliminary data for restoration and management of constructed small-scale ponds in paddy fields through analysis of their physicochemical and biological properties. A field survey was performed at 13 small-scale ponds located in paddy fields from August 2009 to October 2010. Structural properties, water quality, soil characteristics and fish fauna were measured. Results showed that small-scale ponds without frames might lose their function over time because of crumbling walls. Therefore, it is necessary for these ponds to have frames for soil protection and sustainable maintenance. Chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) concentration were higher than the water quality standard for agricultural water in small-scale ponds. In particular, TN concentration was 8.03 mg L^{-1} and over 8 times the water quality standard because of the presence of livestock such as cows and pigs in the study areas. Sand, organic matter and available phosphorus contents of soil in small-scale ponds was $53.4 \pm 16.6\%$, $21.8 \pm 9.74 \text{ g kg}^{-1}$ and $12.8 \pm 7.59 \text{ mg kg}^{-1}$, respectively indicating that sand and available phosphorus contents were suitable for plants in small-scale ponds, but organic matter contents was somewhat low in newly constructed small-scale ponds, and would take some time to stabilize for plant growing. Fish fauna was not diverse with only 4 species at all sites surveyed. Collected fishes share a common feature that they all inhabit paddy fields or canals with shallow water depth. In this study, all ponds were not linked to the streams and canals around them. It appears that connection to adjacent streams was the major factor controlling fish fauna in small-scale ponds. The results of statistical analysis were classified into three groups. Factor 1 was 26.3%, which shows a structural properties such as area and depth of small-scale pond. As for factor 2, it appears on 20.1%, showing water quality like a TP, suspended solids (SS) and COD. Small-scale ponds were classified into three groups by factor scores. Group I consisted of 6 small-scale ponds, which were larger than the others. Group III had higher water quality than the others. We conclude that the most important points to be considered for restoration and management of small-scale ponds is connection with adjacent streams or ditches and depth and size of the small-scale pond.

Key words : ecological improvement, management, paddy field, restoration, small-scale pond

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

서 론

뚝방은 원래 천수답(天水畓)에 의존하여 논 농업을 하던 시절, 용수를 임시적으로 가두어두는 물 저장고였다. 이런 뚝방은 물 저장기능뿐만 아니라 여름철 홍수 조절 기능, 논에 물이 없는 중간 낙수기나 겨울철 수서 생물의 서식처 제공 및 물에 포함된 부유물질, 질소와 인을 제거하는 수질정화 기능을 가지는 것으로 알려져 있다 (Lee, 2004). 또한 뚝방은 친환경 농업 지표 및 생태환경 고리로서 농경지 생태계를 건전한 생태습지로 되돌려 놓아 정상적인 먹이사슬을 가능하게 한다 (Kim *et al.*, 2011). 또한, 논을 포함한 주변의 일시적 또는 연속적인 정수지를 가지는 논 생태계는 다양한 수서생물의 서식처를 제공함으로써 국가 생물다양성 확보를 위한 중요한 역할을 한다 (Han *et al.*, 2010). 이러한 뚝방은 논 농업환경 개선을 위한 다목적농촌용수 개발사업, 경지정리사업, 배수개천사업 등으로 많이 사라졌다. 즉, 농촌지역 용수공급 문제가 해결되면서 임시 물 저장고인 뚝방이 필요 없게 된 것이다.

뚝방 및 그 주변 농경지를 대상으로 생물상 조사를 한 결과, 논에는 225종의 수서 무척추동물이 서식하고 있고 이들의 서식지로서 뚝방은 매우 중요한 역할을 한다 (RDA, 2008). 또한 뚝방은 논에 물이 없는 시기에는 미꾸라지를 비롯하여 많은 수서생물 (5문 8강 41종)의 피난처가 되는 것으로 조사되었으며 뚝방의 유무는 미꾸라류 개체군의 안정적인 유지에 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었다 (Harding *et al.*, 2007). 최근, 지자체에서는 이와 같은 뚝방의 생태적 기능을 인정하고 친환경 농업 육성과 연계하여 뚝방 복원 사업을 추진하고 있으나 뚝방에 대한 연구는 수서무척추 동물에 대한 연구가 일부 이루어졌을 뿐 물리·화학적 특성이나 생물학적 변화에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 인공 조성된 뚝방의 가치를 보다 건전하게 유지하기 위하여 뚝방의 물리·화학적 및 생물학적 특성 등 여러가지 환경을 분석하여 뚝방의 복원 및 관리를 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사대상지

본 연구는 2009년 8월부터 2010년 10월까지 충남 홍성군 일대의 광천읍, 장곡면, 홍동면에 위치한 뚝방에서 조사하였다. 여러 형태의 뚝방을 다양하게 조사하기 위하

여 총 13개 지점의 뚝방을 선정하였으며 조사지점의 위치 및 개요는 Fig. 1, Table 1과 같다. 토양조사는 총 10개 지점 (S1~S10)에서만 시료를 채취하였다. 조사는 뚝방 물이 어는 동절기 (12~2월)를 제외하고 3월부터 11월 까지 총 8회에 걸쳐 조사를 실시하였다.

2. 조사방법

뚝방의 제원을 비롯한 구조적 특성 항목으로는 뚝방의 수심, 둘레, 면적과 모양을 측정하였으며 뚝방 내 용수 유입 특성을 조사하였다.

이·화학적 조사로는 뚝방의 수질과 토양특성을 조사하였다. 수질조사 항목은 수온, pH, EC를 현장에서 측정하였다. 실내 분석용 시료는 1L 플라스틱 채수병을 사용하여 아이스박스에 보관 후 당일 실험실로 운반하여 분석하였다. COD (Chemical Oxygen Demand), TN (Total Nitrogen), TP (Total Phosphorus), Chl. *a* (Chlorophyll *a*)는 Standard method (APHA, 1999)에 따라 분석하였다. 토양 조사는 뚝방 저면의 3 내지 4지점을 선정하여 핸드형 토양 시료채취기로 개별 시료를 채취한 후 동량 혼합하여 1개의 대표시료를 취하였다. 밀폐 가능한 비닐봉지에 담아 실험실로 옮겨 풍건한 후 2 mm체로 가름하여 공시토양으로 하였다. 공시 토양의 채취 및 분석은 농촌진흥청 국립농업과학원 토양화학 분석법에 준하여 분석하였다 (NAAS, 2000).

뚝방의 생물학적 조사는 뚝방 내 서식 어류상 조사를 실시하였다. 어류상 조사는 족대 (망목 4×4 mm)와 통발 (망목 5×5 mm)을 이용하였다. 족대 조사는 각 조사지점에서 30분 동안 실시하였으며 통발은 24시간 동안 설치 후 수거하였다. 각 지점에서 채집된 어류는 Kim *et al.*

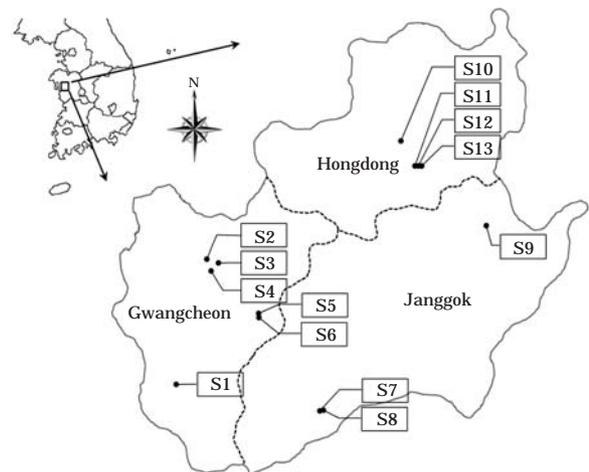


Fig. 1. Sampling sites (S1~S13) in Hongsung, Korea.

Table 1. Location of study sites in Hongsung-gun, Korea.

Regions	Site No.	Address	Latitude	Longitude
Gwangcheon	S1	545-5 Maehyun-ri, Gwangchen-eup	N 36° 31'16.6"	E 126° 38'24.3"
	S2	411-2 Wollim-ri Gwangchen-eup	N 36° 31'47.7"	E 126° 39'01.5"
	S3	804-2 Wollim-ri Gwangchen-eup	N 36° 31'48.0"	E 126° 39'12.9"
	S4	801-2 Wollim-ri Gwangchen-eup	N 36° 31'44.6"	E 126° 40'09.7"
	S5	81-1 Woonyong-ri Gwangchen-eup	N 36° 31'37.1"	E 126° 40'04.6"
	S6	716-4 Woonyong-ri Gwangchen-eup	N 36° 31'35.2"	E 126° 40'06.2"
Janggok	S7	80-1 Sinpyoong-ri Janggok-myeon	N 36° 28'56.7"	E 126° 41'23.1"
	S8	80-5 Sinpyoong-ri Janggok-myeon	N 36° 28'56.7"	E 126° 41'23.1"
	S9	771-1 Wolgye-ri Janggok-myeon	N 36° 31'45.7"	E 126° 43'45.5"
Hongdong	S10	568 Geumpyung-ri Hongdong-myeon	N 36° 32'46.1"	E 126° 41'48.6"
	S11	672 Moondang-ri Hongdong-myeon	N 36° 32'20.8"	E 126° 42'05.9"
	S12	671 Moondang-ri Hongdong-myeon	N 36° 32'21.2"	E 126° 42'04.1"
	S13	666 Moondang-ri Hongdong-myeon	N 36° 32'21.2"	E 126° 42'02.9"

Table 2. Mean depth, area and shape of small-scales ponds.

Location	Site	Mean depth (cm)	Area (m ²)	Water source	Shape
Gwangcheon	S1	168 ± 15	14.1	Rain Groundwater	Circle
	S2	86 ± 10.5	9.4	Rain Wastewater	Quadrangle
	S3	72 ± 6	5.6	Rain	Quadrangle
	S4	53 ± 3.5	4.6	Rain	Quadrangle
	S5	27 ± 8	5.3	Rain	Circle
	S6	59 ± 4	5.1	Rain	Quadrangle
Janggok	S7	95 ± 4	9.5	Rain Artificial pumping	Quadrangle
	S8	95 ± 10.5	8.8	Rain Artificial pumping	Quadrangle
	S9	42 ± 17	10.1	Rain	Circle
Hongdong	S10	75 ± 6	11.7	Rain Artificial pumping	Quadrangle
	S11	31 ± 12	13.9	Rain	Quadrangle
	S12	39 ± 24.5	13.2	Rain	Quadrangle
	S13	24 ± 5.5	11.4	Rain	Circle

(2005)에 의거 동정하였으며 현장에서 동정이 어려운 종은 10% 포르말린 용액에 고정하여 실험실로 운반하여 동정하였다.

어류의 군집분석은 어종의 개체수를 기준으로 우점도 (simpson's index, Simpson, 1949), 종다양도 (diversity index, Pielou, 1975), 균등도 (evenness index, Pielou, 1975) 및 풍부도 (richness index, Margalef, 1968)를 산출하였다.

뚝방의 특성을 해석하기 위한 통계분석은 SPSS 17.0의 Pearson's correlation analysis와 one-way ANOVA를 이용하여 평가하였으며 사후다중 비교는 Duncan 검정을

실시하였다. 다변량 데이터의 다차원적 관계를 간결하게 표현할 수 있도록 주성분분석 (Principal Component Analysis, PCA)에 기반한 요인분석 (Factor Analysis, FA)을 데이터에 적용하였다.

결과 및 고찰

1. 뚝방의 구조적 특성

뚝방의 평균수심, 면적과 모양에 대한 조사결과는

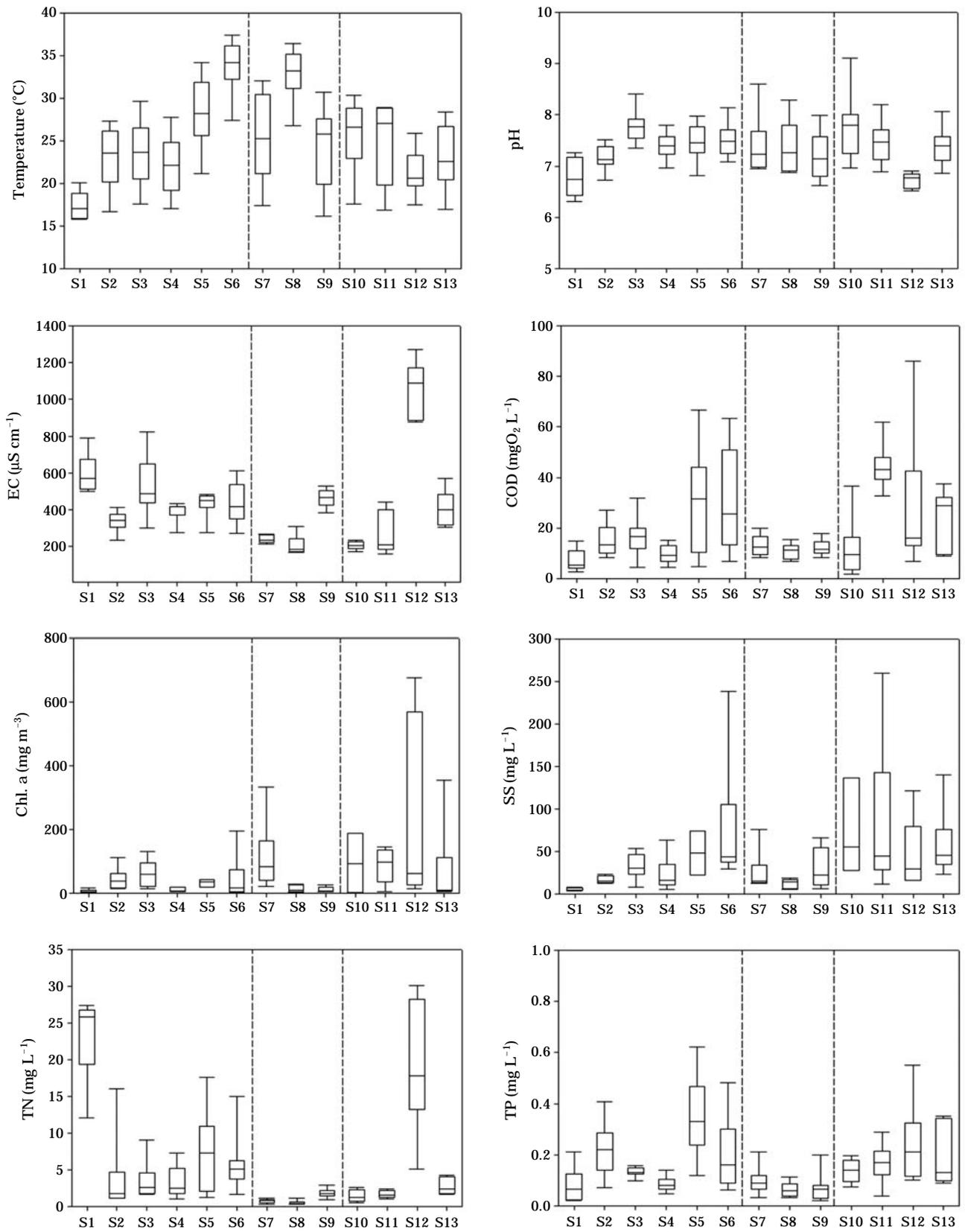


Fig. 2. Variation of temperature, pH, conductivity (EC), chemical oxygen demand (COD), chlorophyll *a* (chl. *a*), suspended solids (SS), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) at each site from Aug. 2009 to Oct. 2010.

Table 2와 같다. 뚝방의 평균 수심은 광천 지역에 위치한 S1 지점이 168 ± 15 cm로 가장 깊었는데, 이 뚝방은 생성된 지 100년 이상 지난 것으로서 저층에서 샘이 솟아오르는 특징을 보이고 있었다. S1을 제외한 뚝방은 2007년 인공 조성된 뚝방으로 수심변화가 크게 나타났다. 평균 수심이 50 cm 이하인 뚝방은 뚝방 조성시 웅덩이를 파고 가장 자리에 석축이나 목축을 두르지 않은 뚝방들로서 주변 토사 유입으로 매몰되어 가는 경향을 보이고 있다. 따라서 지속적인 뚝방의 기능 유지를 위해서는 웅덩이 주변에 석축이나 목축 등을 둘러 매몰되는 것을 방지할 필요가 있다. 뚝방의 면적은 4.6~14.1 m²였으며 모양은 원형과 사각형 모양이 대부분이었다. 뚝방의 용수공급원은 대부분 강우에 의한 것이었으며 장곡면에 위치한 S7, S8 뚝방은 강우 이외에 펌프를 가동하여 부족한 용수를 추가적으로 공급하고 있었다.

2. 뚝방의 수질특성

조사기간 동안 뚝방의 수질변화는 Fig. 2와 같다. 지점별로 수질변동이 크게 나타났으며 특히 홍동 지역(S10~S13) 뚝방의 수질이 큰 폭으로 변화하였다. 홍동 지역에 위치한 S12 지점은 pH 변동 폭은 크지 않으나 EC, COD, Chl. a, TN 농도는 바로 근거리에 위치한 S11과 S13에 비하여 높게 나타나 특이한 양상을 보이고 있었다. 이 지점은 뚝방 내측에 나도겨풀(*Leersia Japonica*) 등 정수식물(emergent hydrophyte)이 피도 90% 정도로 번성하여 수표면을 가득 덮고 있었으며, 이 수생식물이 분해되면서

유기물과 영양염류를 배출하여 다른 지역보다 높은 농도를 보인 것으로 판단된다. 고사한 식물체는 시간이 경과함에 따라 유기물의 부패와 영양물질의 용출을 통하여 일부는 수체로 영양물질을 유리하고 나머지는 퇴적물의 형태로 바닥에 침전된다(Ham et al., 2005)

광천, 장곡, 홍동 3곳의 지역별 수질변화를 비교한 결과는 Table 3과 같다. 수온과 pH는 3지역 모두 유의적인 차이를 보이지 않았다(ANOVA, $p < 0.05$). COD 농도는 홍동지역에 위치한 뚝방에서 평균 26.5 mg L⁻¹로 가장 높게 나타났으며 광천, 장곡면이 각각 18.4 mg L⁻¹, 12.2 mg L⁻¹ 순으로 높은 농도를 보여 농업용수 수질기준인 8.0 mg L⁻¹를 초과하는 것으로 나타났다. 홍동과 광천지역 뚝방의 COD 농도는 2010년 농지연못습지의 평균 COD 농도 14.89 ± 5.407 mg L⁻¹, 2008년 충북 원흥이 방죽의 12.53 mg L⁻¹보다도 높은 농도를 보였다(Lee et al., 2008b; Son et al., 2010). TN 농도는 광천지역의 뚝방에서 평균 8.03 mg L⁻¹로 가장 높은 농도분포를 보여 농업용수 수질기준인 1.0 mg L⁻¹의 8.0배나 초과하는 농도분포를 보였다. 이 농도는 Son et al. (2010)이 농지연못습지에서 조사한 TN 평균농도인 2.24 ± 0.295 mg L⁻¹보다 높은 농도분포를 보였다. TP 농도는 평균 0.177~1.045 mg L⁻¹의 농도분포를 보였으며 장곡면에 위치한 뚝방에서 가장 높게 나타났다. SS 농도는 평균 23.7~120.2 mg L⁻¹의 농도분포를 보여 농업용수로 사용가능한 기준인 15 mg L⁻¹를 초과한 것으로 조사되었으며, 광천과 홍동지역에 위치한 뚝방에서 특히 높은 농도를 보였다. SS 농도가 높은 S6,

Table 3. Temperature, pH, conductivity (EC), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), suspended solids (SS) and chlorophyll a concentration in classified three regions by deviation analysis. a, b and c indicates significant difference among sites ($p < 0.05$, ANOVA).

Location		Temp. (°C)	pH	EC (μs cm ⁻¹)	COD (mg L ⁻¹)	TN (mg L ⁻¹)	TP (mg L ⁻¹)	SS (mg L ⁻¹)	Chl. a (mg m ⁻³)
Gwangcheon (n=48)	Min	15.8	6.30	215.0	2.4	0.81	0.020	3.2	1.0
	Max	37.7	8.60	850.0	72.0	27.55	0.650	1840.0	196.0
	Mean	24.6 ^a	7.35 ^a	450.6 ^a	18.4 ^a	8.03 ^a	0.177 ^a	120.2 ^a	34.8 ^a
	Median	23.8	7.39	425.0	14.8	4.55	0.130	22.8	18.4
	SD	6.3	0.5	145.4	16.4	8.5	0.142	358.4	44.7
Janggok (n=24)	Min	15.8	6.59	166.0	6.6	0.30	0.020	5.6	1.4
	Max	36.7	8.90	540.0	21.2	3.09	0.250	75.6	334.0
	Mean	27.4 ^a	7.35 ^a	303.5 ^b	12.2 ^a	1.04 ^b	1.045 ^b	23.7 ^b	48.4 ^a
	Median	27.6	7.22	260.5	11.6	0.82	0.820	15.2	21.5
	SD	6.1	0.57	123.4	3.8	0.73	0.060	21.9	84.7
Hongdong (n=32)	Min	16.4	6.52	158.0	1.8	0.48	0.040	10.4	1.2
	Max	30.7	9.38	1272.0	86.0	30.12	0.550	260.0	1353.0
	Mean	23.8 ^a	7.38 ^a	460.7 ^c	26.5 ^b	5.87 ^c	0.184 ^c	70.2 ^c	168.8 ^b
	Median	23.8	7.26	312.5	22.6	2.27	0.160	45.5	46.0
	SD	4.5	0.7	353.5	21.1	8.7	0.116	68.6	318.7

SD indicates standard deviation.

S11, S12, S13 지점은 13개 둠병 중 평균수심이 얕은 공통점을 가지고 있어 토사의 재현탁으로 인한 탁도 증가, 미꾸라지 등 저서성 어류의 교란으로 인한 채부유 등으로 인해 수중의 부유물질 양이 증가된 것으로 판단된다 (Kim, 2008).

둠병 조사시 논 주변에서 가축분뇨 액비 저장창고를 쉽게 발견할 수 있었다. 이에 둠병 및 농촌지역의 수질에 영향이 있을 것으로 판단되어 홍성군에서 제공하는 축산 통

Table 4. Number of cows and pigs in Hongsung, Korea. Official source of this data was Statistical data from Hongsung-gun, 2010.

Location	Number of cow (%)	Number of swine (%)
Eunha	4,558 (7.2)	92,043 (22.8)
Gwangcheon	5,480 (8.7)	78,503 (19.4)
Hongbook	7,358 (11.6)	47,934 (11.9)
Janggok	6,369 (10.1)	43,622 (10.8)
Hongdong	9,274 (14.6)	36,025 (8.9)
Gyeulsung	5,726 (9.0)	26,576 (6.6)
Seobu	4,772 (7.5)	18,494 (4.6)
Goohang	6,069 (9.6)	17,588 (4.4)
Hongsung	3,291 (5.2)	16,498 (4.1)
Galsan	6,009 (9.5)	15,567 (3.9)
Geumma	4,428 (7.0)	11,198 (2.8)
Total	63,334	404,048

계자료를 분석해 본 결과, TN농도가 가장 높았던 광천지역은 홍성군 11개 읍면 지역 중 소는 8.7%, 돼지는 19.4%를 차지하여 두 번째로 축산 사육 두수가 많은 지역이었으며 장곡과 홍동지역도 축산 농가의 비중이 상위권을 차지하고 있었다 (Table 4). 홍성군 축산규모는 충청북도의 사육규모와 거의 비슷한 정도로 사육량이 많아 홍성군의 가축분뇨로 인한 수계의 수질오염이 우려되며, 가축분뇨 처리 방법도 전체 배출량의 90%가 저장 액비화되어 농경지로 환원되므로 농촌지역의 수질 오염의 주요 원인으로 지적된 바 있다 (Lee *et al.*, 2000).

이상과 같이 농촌지역에 위치하고 있는 소규모 웅덩이인 둠병의 수질 특성을 살펴본 결과, 모든 항목에서 농업용수 수질 기준을 초과하는 것으로 조사되었다. 조사된 둠병이 농업용수 공급 목적보다는 농촌지역 생물서식처 제공을 위한 목적이 더 중요하지만, 이러한 기능을 지속적으로 유지하기 위해서는 둠병 조성 초기부터 수질관리에 좀 더 유리한 구조를 갖출 수 있도록 설계할 필요가 있다. 기본적으로 둠병 수심과 COD, SS, TP, Chl. *a* 농도와의 관계를 살펴 본 결과, 둠병의 평균 수심이 150 cm 이상인 둠병에서 수질변화가 좀 더 안정적으로 나타났다 (Fig. 3). 따라서, 둠병 조성시 초기 수심은 150 cm 이상으로 하면 기초적인 수질관리 및 지속적인 생물 서식처 제공에 좀 더 유리한 환경으로 작용할 것으로 판단된다.

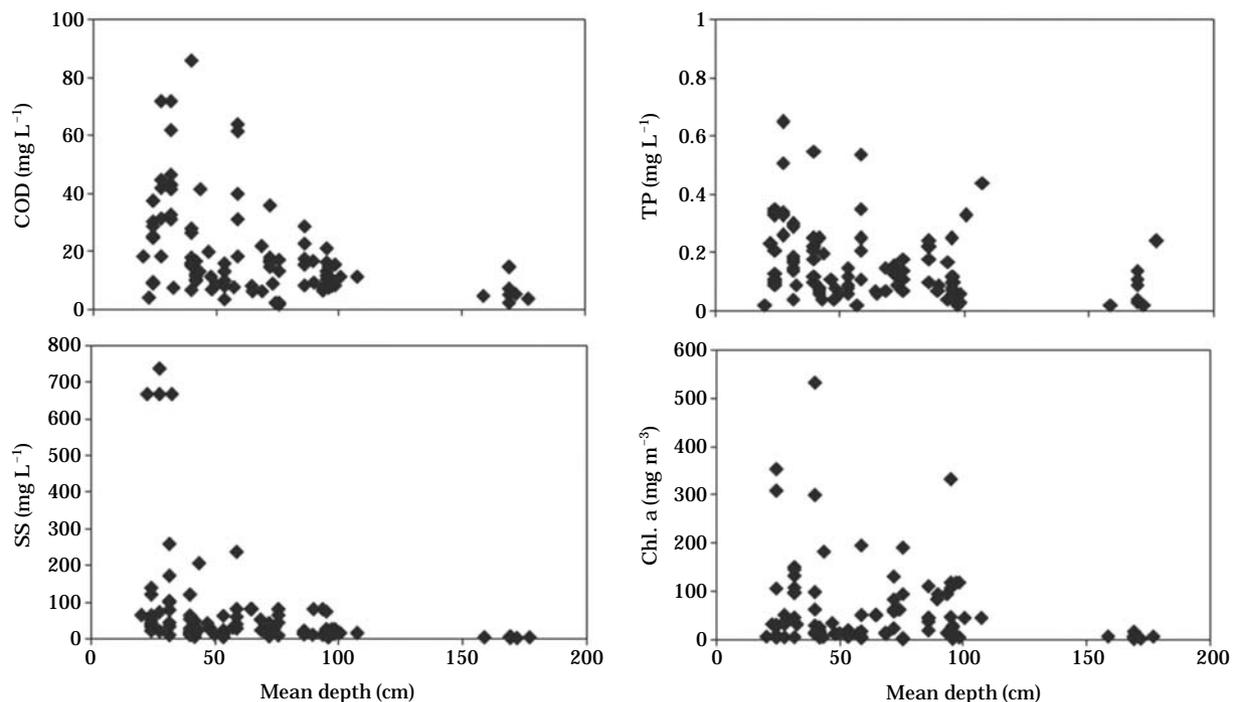


Fig. 3. Variation of chemical oxygen demand (COD), total phosphorus (TP), suspended solids (SS) and chlorophyll *a* (chl. *a*) according to mean depth of small pond.

Table 5. Physical and chemical characteristics of soil in small-scale ponds. SL, L and Si indicate Sandy Loam, Loam and Silt with, respectively.

Location	Texture	Soil color	Particle distribution (%)			pH [DW]	Organic matter (g kg ⁻¹)	Total nitrogen (mg kg ⁻¹)	Available phosphate (mg kg ⁻¹)	
			Sand	Silt	Clay					
Gwangcheon	S1	SL	7.5YR 4/4	68	29	3	6.1	32.0	2,305	28.92
	S2	L	5Y 3/1	51	42	7	5.3	35.0	1,822	8.46
	S3	SL	5Y 3/1	60	30	10	5.1	15.1	1,269	15.94
	S4	SL	5Y 2.5/1	67	21	12	4.9	12.4	779	9.67
	S5	L	5Y 3/1	49	44	7	5.3	32.0	2,641	17.37
	S6	L	10Y 2.5/1	44	48	8	4.8	29.7	2,284	11.14
Janggok	S7	SL	5Y 3/1	66	29	5	5.4	10.1	839	11.08
	S8	SL	5Y 2.5/1	61	31	8	4.3	12.4	596	1.60
	S9	SL	10Y 3/1	56	39	5	4.2	24.1	1,417	6.13
Hongdong	S10	Si	5Y 3/2	12	82	6	4.9	15.1	1,450	17.68
Average				53.4±16.6	39.5±17.1	7.1±2.6	5.03±0.55	21.8±9.74	1,540±706	12.8±7.59

3. 뚝방의 토양 특성

뚝방 토양의 물리·화학적 특성은 Table 5에 나타난 바와 같이 모래 함량이 평균 53.4±16.6%이고 점토의 함량은 7.1±2.6%로 분석되었다. *Admiraal et al.* (1997)은 습지 환경에서 식물이 정착하기 적합한 입경 분포는 점토를 15% 이상 함유하고 모래함량이 50% 미만인 곳으로 규정하였으며, *Cho et al.* (1994)는 모래함량이 55~60%인 곳이 식물이 서식하기 적당한 곳으로 보고하였다. 이러한 연구결과로 미루어볼 때 본 연구에서 조사한 뚝방 토양의 토성은 식물 정착에 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

뚝방 토양의 pH는 평균 5.03±0.55으로 대부분의 습지에서 나타나는 약산성 (pH 5~7)에 해당하였으나 (*Bae et al.*, 2003) 그 중 5곳(S4, S6, S8, S9, S10)은 pH 5.0 이하의 산성 특성을 보이고 있었다. 이 지역의 토색을 조사한 결과, 흑갈색을 보이고 있어 뚝방 수체가 정체되면서 토양이 혐기성화되어 나타난 현상으로 해석할 수 있다 (*Son et al.*, 2010) (Table 5).

뚝방의 유기물 함량은 평균 21.8±9.74 g kg⁻¹로 나타났다. 이 함량은 *Son et al.* (2010)이 조사한 농지연못습지의 평균 농도인 26±12.5 g kg⁻¹과 유사한 농도분포를 보였다. 특히 S2 지점에서 가장 높은 유기물 함량을 보였는데, 이는 마을 하수가 뚝방으로 유입되는 구조적 특성 때문으로 판단된다. S1은 조사된 13개 뚝방 중 조성연도가 가장 오래된 곳으로서 장기간에 걸친 토양 표면의 유기물 축적 등으로 인해 유기물 함량이 높게 나타난 것으로 판단된다 (*McComas*, 2003). 그 이외에 2007년 신규로 조성된 S3, S4, S7, S8, S10 등은 유기물 함량이 낮지 않아 식생 정착에는 다소 부족한 유기물 함량을 보이는 것

으로 조사되었다 (*K-water*, 1997). 유효 인산 농도는 12.8±7.59 mg kg⁻¹으로 조사되어 조정설계기준 (1997)에서 제시한 습지로서 토양의 적정 유효인산 함량의 기준인 11~60 mg kg⁻¹을 만족하는 것으로 조사되었다. 그러나 우리나라는 토양의 평균 유효인산 함량이 136.0 mg kg⁻¹ (*RDA*, 2003)임을 감안한다면 뚝방의 유효인산 함량이 우리나라는 토양의 평균 인산 함유량에 비해 매우 적게 분포하고 있는 것을 알 수 있다.

4. 뚝방의 생물학적 특성

뚝방에서 어류상을 조사한 결과, 붕어, 미꾸리, 미꾸라지, 드렁허리 총 4종의 어류가 채집되었다 (Table 6). 붕어는 S1, S5, S7, S13 지점에서만 출현하였으며 이 지역 뚝방이 주변 하천과 연결되어 있지 않아 뚝방과 논을 오가며 서식하는 것으로 판단된다. 미꾸라지는 S9를 제외한 전 지점에서 출현하였으며 특히 홍동지역의 뚝방에서 많은 개체수가 채집되었다. 드렁허리는 광천과 장곡지역 뚝방에서 출현하였으며 개체수는 많지 않았다.

군집구조 분석을 위하여 우점도, 다양도, 균등도 및 풍부도 등을 산출한 결과, 우점도는 0.37~0.95의 분포 범위를 보였으며 S1, S2, S7, S8, S10은 군집 안정도에서 매우 불량한 상태를 나타냈으며, 다양도 지수도 0.14~1.03으로 전 지점에서 매우 불량한 상태를 보였다 (Table 6) (*Hur et al.*, 2010). 이와 같이 뚝방의 단순한 어류상은 뚝방이 주변 하천과 같은 우수환경으로부터 고립된 구조를 가지고 있기 때문에 논과 정수지역, 농수로 등 연중 수위와 환경변화가 큰 환경에 능동적으로 대응할 수 있는 어종들만이 적응하여 서식하기 때문으로 보인다

Table 6. Fish fauna and biological indices of fish community in small-scale ponds.

	Gwangcheon						Janggok			Hongdong			
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
<i>Carassius auratus</i>	643				15		395						41
<i>Misgumus anguillicaudatus</i>	59	150	10		2	1				379	275	231	253
<i>Misgumus mizolepis</i>	7	2	21	2	40	17	14	120		14	201	264	181
<i>Monopterus albus</i>		2	10	11	3	12	4	14		2			
Total number of species	3	3	3	2	4	3	3	2		3	2	2	3
Total number of individual	709	154	41	13	60	30	413	134		395	476	495	475
Richness	0.31	0.40	0.54	0.39	0.73	0.59	0.33	0.20		0.34	0.16	0.16	0.33
Evenness	0.31	0.13	0.94	0.62	0.64	0.73	0.18	0.48		0.17	0.98	0.10	0.83
Diversity	0.34	0.14	1.03	0.43	0.88	0.80	0.20	0.34		0.19	0.68	0.69	0.92
Dominance	0.83*	0.95**	0.37	0.72	0.50	0.46	0.92**	0.81*		0.92**	0.51	0.50	0.44

** : Dominance condition is the worst, * : Dominance condition is bad

Table 7. Correlation between fish fauna and area, depth and soil texture.

	Area (m ²)	Depth (m)	Soil texture		
			Sand	Silt	Clay
<i>Carassius auratus</i>	0.784**	0.372	0.423	-0.312	-0.656*
<i>Misgumus anguillicaudatus</i>	-0.228	0.661*	-0.830**	0.842**	-0.226
<i>Misgumus mizolepis</i>	-0.501	0.530	-0.127	0.106	0.116
<i>Monopterus albus</i>	-0.076	-0.797**	0.052	-0.174	0.815**

** : Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed), * : Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

(Oh *et al.*, 2009). 논 주변에 서식하는 어류에 대한 기존 연구에서 Saitoh *et al.* (1988)은 붕어, 미꾸리, 메기 3종이 출현한다고 보고하였으며, 가스미가우라호 주변 논에서는 붕어, 미꾸리, 송사리 3종이 출현하는 것을 확인하였다 (Hata, 2002). Katano *et al.* (2001)은 나가노현(長野)의 하천과 인접해 있는 논에서 피라미, 왜물개, 잉어, 미꾸리, 미꾸라지, 망둑어과 어류 등 총 11종의 어류를 채집하였다. 이상과 같은 결과를 종합해보면, 둌병과 논의 어류 종 조성은 주변 수로나 하천, 저수지와 연결성을 비롯하여 논이 위치하고 있는 지역적 특성에 따라 많은 차이를 보이는 것으로 판단된다 (Suzuki, 2004).

둌병의 어류상 변화와 환경요인과의 상관관계를 살펴 보기 위하여 둌병의 면적, 수심, 토양특성과 상관관계를 분석하였다 (Table 7). 붕어 (*Carassius auratus*)는 표면적 과 양의 상관관계 ($p < 0.01$)를 보이고 있어 표면적이 넓은 둌병일수록 붕어의 출현율이 높았으며 유영 어류인 붕어의 서식특성을 잘 반영한 결과로 판단된다. 미꾸리 (*Misgumus anguillicaudatus*)는 둌병의 토양특성이 미사인 곳에서 높은 양의 상관성 ($p < 0.01$)을 보였고 모래와는 음의 상관성 ($p < 0.01$)을 보여 저층을 파고들며 서식하는 저서성 어류의 특성을 그대로 반영하고 있었다. 드렁허리

Table 8. Eigen value and cumulative percentage of factor.

Component	Total	Variance %	Cumulative %
1	2.888	26.250	26.250
2	2.214	20.123	52.379
3	1.615	14.677	67.057
4	0.817	7.424	74.481
5	0.718	6.526	81.007
6	0.688	6.254	87.262
7	0.539	4.899	92.161
8	0.435	3.956	96.116
9	0.231	2.101	98.217
10	0.146	1.328	99.545
11	0.050	0.455	100.000

(*Monopterus albus*)는 점토와 양의 상관성 ($p < 0.01$)을 보이고 수심과는 음의 상관성 ($p < 0.01$)을 보여 수심이 얇고 저층이 빨질인 곳에서 서식하는 특성을 보이고 있었다.

5. 둌병의 변화 요인분석

둌병에서 2009년부터 2010년까지 조사된 자료를 이용하여 주성분분석을 시행한 결과, 11개 요인의 고유치는 Table 8과 같다. 본 연구에서는 추출된 11개의 최초요인

Table 9. Rotated factor matrix extracted from principal component analysis (PCA).

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Area	0.911	-0.264	0.023
Clay	- 0.874	-0.046	-0.013
Depth	0.674	-0.367	0.368
Fish individual	0.634	-0.033	0.065
TP	-0.051	0.883	0.016
COD	-0.181	0.820	0.009
SS	-0.054	0.752	-0.020
EC	0.005	0.287	0.799
Sand	-0.225	-0.355	0.705
TN	0.509	0.153	0.655
Temp	-0.301	0.114	-0.557

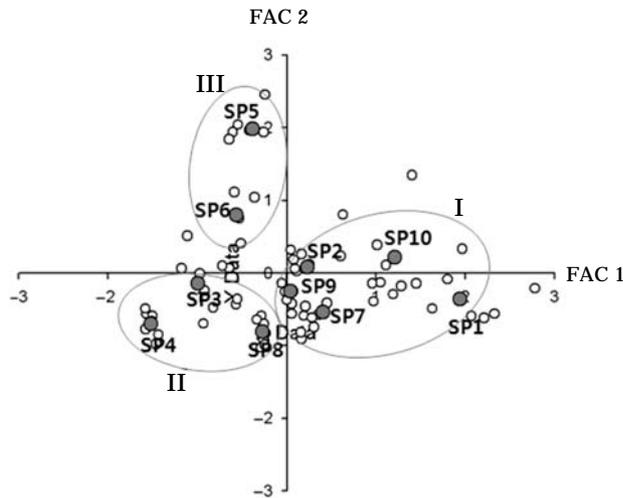


Fig. 4. Small-scale pond grouping according to calculated factor score by principal component analysis (PCA).

중 보다 나은 해석을 위하여 고유치 (eigen value)가 1보다 큰 요인을 기준으로 선정하였다. 요인 1은 26.25%, 요인 2는 20.12%, 요인 3은 14.67%로 나타났으며 이들 요인 1부터 3까지의 누적 기여율은 67.05%로서 전체 돛병 변동 특성의 67%를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서 조사한 변수들을 바탕으로 요인분석 (Factor analysis)을 실시한 결과 11개의 변수를 3개 요인으로 축소할 수 있다 (Table 9). 요인 1은 돛병의 구조적 특성으로 면적, 수심, 출현 어류의 총 개체수 그리고 저질의 점토함량으로 구분되었으며, 요인 2는 돛병의 수질 특성으로 영양염류와 유기물 정도를 나타내는 TP, COD, SS로 분류되었고 요인 3은 EC, 모래 함량, TN으로 구분되었다. 요인 1과 관련성이 있는 것은 돛병이 면적이 크고 수심이 깊을수록 서식 어류의 개체수는 증가하는 경향을

보였다. 또한, 돛병이 클수록 저질 토양 입자는 작은 점토로 구성되어 있음을 알 수 있었다. 요인 2는 돛병의 수질 특성으로서 TP, SS, COD가 모두 양의 상관성을 보여 돛병 수질의 유기물과 영양염류 농도가 같은 거동 특성을 보이는 것을 알 수 있었다. 이상과 같이 돛병의 환경과 변수들 간의 요인을 분석한 결과, 돛병의 크기가 제1요인으로 나타났으며, 제2요인은 돛병의 수질특성으로 분류되었다.

요인분석 결과에서 도출된 요인점수 (Factor score)를 바탕으로 돛병 지점별로 구분해 본 결과, 요인점수 1에서 높은 적재값을 보인 돛병 (Group I)은 S1, S2, S7, S9, S10이었으며 이 돛병들은 다른 돛병에 비해 평균 면적이 큰 돛병들로 구성되었다 (Fig. 4). 요인점수 2에서 적재값이 높은 돛병은 S5, S6이었으며 이 돛병들은 유기물 농도가 높은 돛병들로 구성되었다.

적 요

본 연구는 인공 조성된 돛병의 물리·화학적 및 생물학적 특성을 분석하여 돛병의 복원 및 관리를 위한 기초 자료를 얻고자 수행한 연구로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

연구대상지 돛병의 면적은 4.6~14.1 m²였으며 모양은 원형과 사각형 모양이 대부분이었다. 조사 돛병 중 가장 자리에 석축이나 목축을 두르지 않은 돛병들은 주변 독이 매몰되어 수심이 얕아져 돛병의 기능을 잃을 수 있다. 따라서 지속적인 돛병 기능 유지를 위해서는 주변에 석축이나 목축 등을 돌려 매몰되는 것을 방지할 필요가 있다.

연구대상지의 수질환경은 COD, TN, TP의 경우 농업용수 기준을 초과한 수질등급을 보였으며 특히 TN의 농도는 평균 8.03 mg L⁻¹로 농업용수 수질기준을 약 8.0배를 초과하는 농도분포를 보였다. 조사지역 돛병의 질소농도가 높은 원인으로는 홍성지역의 높은 축산 밀도, 농경지 주변 산재해 있는 축사 시설과 축산폐수를 이용한 저장 액비 사용에 의한 것으로 판단된다. 오히려 농촌지역에서 돛병과 같은 작은 저류지가 하천으로 유출되는 영양물질을 저감시켜 주는 소규모 침전지 역할도 할 수 있을 것으로 사료된다. 연구대상지 돛병의 평균적인 모래함량, 유기물 함량, 유효인산 함량은 각각 53.4±16.6%, 21.8±9.74 g kg⁻¹, 12.8±7.59 mg kg⁻¹로 나타났다. 돛병의 토양 특성 조사결과 모래함량과 유효인산 농도는 돛병 안정화를 위한 식생정착에 적합한 농도분포였으나 신

규모 조성된 5곳의 둠벙에서는 유기물 함량이 높지 않아 식생 정착에 다소 시간이 소요될 것으로 판단된다. 연구 대상지 둠벙의 어류상은 붕어, 미꾸리, 미꾸라지, 드렁허리 4종이 출현하였으며 군집구조 분석결과 군집 안정도와 다양도 지수가 불량하게 나타났다. 이와 같이 단순한 어류상 구조는 둠벙이 주변 하천과 고립된 구조를 가지고 있기 때문에 논과 정수지역, 농수로 등 연중 수위와 환경변화가 큰 환경에 적응한 어종들만이 서식할 수 있기 때문으로 판단된다.

요인분석에서 도출된 요인점수 (Factor score)를 바탕으로 조사한 둠벙을 구분한 결과, 요인점수 1에서 양의 값을 보이는 둠벙은 다른 둠벙에 비해 둠벙의 크기가 큰 것들로 구성되었으며 (Group I), 요인점수 2에서 양의 값을 보인 Group III은 다른 둠벙에 비해 유기물 농도가 높은 둠벙들로 (S5, S6) 구성되었다 (Fig. 4).

본 연구를 바탕으로 향후 농촌지역 둠벙의 복원 및 효율적 관리를 위해서는 둠벙과 주변하천과의 연계성, 둠벙의 크기를 비롯한 구조적 특성을 잘 고려해야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서 거론하지 못한 둠벙 용수의 유·출입량, 둠벙 수체내 먹이 연쇄 구조 등 세부적인 부분에 대한 연구를 추가적으로 진행해야 할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

- Admiraal, A.N., M.J. Morris, T.C. Brooks, J.W. Olson and M.V. Miller. 1997. Illinois wetland restoration & Creation guide. p. 124-129. Natural History survey. press, Illinois.
- APHA, AWWA and WPCF. 1999. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th edition, New York, USA.
- Bae, J.J., Y.S. Choo and S.D. Song. 2003. The patterns of inorganic cations, nitrogen and phosphorus of plants in Moojuchi Moor on Mt. Jeongjok. *Korean Journal of Ecology* **3**: 109-114.
- Cho, K.H., S.K. Park and J.H. Kim. 1994. Reactions of macrophytes on sediment and water in the littoral zone of Lake Paltangho. *Korean J. Limnol* **1**: 56-67.
- Ham, J.H., C.G. Yoon, H.C. Kim, W.S. Koo and H.B. Shin. 2005. The effect of plant coverage on the constructed wetlands performance and development and management of Macrophyte communities. *Korean J. Limnol.* **3**: 393-402.
- Han, J.H. 2005. Prevention and treatment of fish disease. *Fish Farming* **21** **4**: 78-89.
- 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 (Hydrophilidae) in Korea paddy field. *Korea J. Environ. Agric.* **4**: 427-433.
- Harding, J.S., D.A. Norton and A.R. McIntosh. 2007. Persistence of a significant population of rare Canterbury mudfish (*Neochanna burrowsius*) in a hydrologically isolated catchment. *New Zea J. of Marine and Freshwater Res.* **41**: 309-316.
- Hata, K. 2002. Perspectives for fish protection in Japanese paddy field irrigation systems. *Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ)* **4**: 211-218.
- Hur, J.W., J.W. Park and J.G. Kim. 2010. The fish fauna and community of Chogang Stream, Korea. *Korean J. Limnol.* **2**: 271-278.
- Katano, O., K. Hosoya, K. Iguchi and Y. Aonuma. 2001. Comparison of fish fauna among three types of rice fields in the Chikuma River basin. *Japan. J. Ichthyol.* **1**: 19-25.
- Kim, H.S., S.J. Hwang and D.S. Kong. 2008. Growth kinetics of phytoplankton in shallow eutrophic reservoir. *Korean Society on Water Quality* **5**: 550-555.
- 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. p. 141.
- Kim, J.G. 2006. The evaluation of water quality in coastal sea of Incheon using a multivariate analysis. *J. of the Environmental Sciences* **11**: 1017-1025.
- Kim, J.O., H.S. Shin, J.H. Yoo, S.H. Lee, K.S. Jang and B.C. Kim. 2011. Functional evaluation of Small-scale pond at paddy field as a shelter for mudfish during midsummer drainage period. *Korea J. Environ. Agric.* **1**: 37-42.
- Kim, M.A., J.K. Lee and K.D. Zoh. 2007. Evaluation of the Geum River by multivariate analysis: Principal component analysis and Factor analysis. *J. of Korean Society on Water Quality* **1**: 161-168.
- K-water. 1997. Landscape architecture design criteria, p. 18-216.
- Lee, D.W. 2004. Ecological signification for landscape of tradition village, Seoul Nat. Univ. Press, Seoul. p. 23-25.
- Lee, H.S., S.W. Jung, J.K. Choi and S.I. Shin. 2008. Evaluation of trophic state of a small-scale pond (Wonheung) in ecological park. *J. of Korean Society on Water Quality* **6**: 741-749.
- Lee, Y.S. and G.M. Sung. 2000. A study on the treatment of livestock waste water using *Bacillus* spp. *J. of the Korea Society for Environmental Analysis* **4**: 239-243.
- Margalef, R. 1968. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* **3**: 36-71.

- McComas, S. 2003. Lake and Pond Management. U.S.A. p. 286.
- NAAS. 2000. Analysis method of soil and plant. National Inst. of Agr. Sci. & Teck. RDA, Suwon, Korea.
- Oh, M.K. and J.Y. Park. 2009. Seasonal variation of skin structure in a ricefield-dwelling mud loach *Misgurnus mizolepis* (Cobitidae) from Korea. *Korean J. of Ichthyol.* **2**: 87-92.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. Wiley, New York, p. 165.
- RDA. 2003. Effects of soil conservation practices at upland of hillside on soil erosion. p. 85-135.
- RDA. 2008. Illustration of aquatic invertebrates in paddy fields ecosystems. p. 11-21.
- Saitoh, K., O. Katano and A. Koizumi. 1988. Movement and spawning of several freshwater fishes in temporary waters around paddy fields. *Japanese Jour. of Ecology* **1**: 35-47.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 688.
- Son, J.K., B.H. Kang and N.C. Kim. 2010. The analysis of water and soil environment at farm pond depression. *J. Korean Env. Res. Tech.* **3**: 46-62.
- Suzuki, M., M. Mizutani and A. Goto. 2004. Effects of connection of paddy fields, ditch and stream through small-scale fishways on fish fauna. *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering* **6**: 641-651.
- (Manuscript received 5 June 2011,
Revised 28 July 2011
Revision accepted 21 September 2011)