

유지용수 공급형 인공저수지의 수질오염부하 특성 연구

Characterization of Water Pollution Load in an Artificial Lake Irregularly Receiving River Water

조웅현 · 정병곤 · 정승우[†]

Woong Hyun Cho · Byung Gon Jeong · Seung-Woo Jeong[†]

군산대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Kunsan National University

(2010년 11월 17일 접수, 2011년 1월 11일 채택)

Abstract : The first objective of this study was to investigate water pollution status of Meejae Reservoir, Kunsan, irregularly receiving river water for agricultural and recreational purposes. The second objective of the study was to compare nutrient pollution loads of three nutrient sources: sediment leaching, non-point sources and the receiving water. Water analysis results showed that eutrophication was a concern especially in summer and the calculated TSI (secchi depth), TSI (chlorophyll-a), and TSI (TP) were 53.6, 57.7 and 56.7, respectively. Although there was no significant difference in seasonal mean values of sediment T-N, sediment T-P and sediment organic content, mean differences were found for sampling points. However, T-N and T-P sediment release flux showed seasonal mean differences, while showing no mean difference for sampling points. Water T-N data proportionally correlated with sediment T-N and sediment organic content data, while no statistical correlation was found for water T-P data. Comparison of nutrient loads calculated from three sources showed that the highest T-N load was occurred from the receiving (pumped) water while T-P loads of the receiving water and sediment release flux were similar. The first solution would be considered for the receiving water to improve the water quality of Meejae Reservoir. Reduction of nutrient flux from the sediment would be then tried as the second alternative solution.

Key Words : Reservoir, Nutrient, Sediment, Leaching, Pollution Load

요약 : 농업 및 위락용으로 유지용수를 공급받는 군산 미제저수지의 수질 및 퇴적물 오염현황을 파악하고 퇴적물용출, 비점 오염원 및 외부공급수 등 세가지 영양염 유입경로별 오염부하를 비교 분석하였다. 수질분석결과 하절기에 수질이 크게 저하되고 부영양화에 따른 녹조현상이 가장 활발히 나타났으며, 부영양화지수 TSI (secchi depth)는 53.6, TSI (chlorophyll-a)은 57.7 및 TSI (TP)도 56.7로 모두 50 이상의 부영양화 상태를 보였다. 퇴적물오염도 조사결과 조사시기(계절)별 퇴적물 총질소(T-N) 함량, 총인(T-P)함량 및 유기물함량의 각 평균은 통계학적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나 시료채취 지점별 평균은 유의한 차이를 나타내 공간적 변화가 뚜렷하였다. 반면, T-N 및 T-P 퇴적물용출율결과는 공간적변화보다 시기별 변화가 뚜렷하였다. 수질 및 퇴적물 데이터의 상관분석결과, 수질 T-N은 퇴적물 T-N함량 및 퇴적물 유기물함량과 통계학적으로 유의한 상관관계가 있었으나 수질 T-P는 통계학적으로 상관성을 보이는 인자가 확인되지 않았고 퇴적물 영양염 용출율 역시 수질과 통계학적으로 상관성을 보이는 인자가 확인되지 않았다. 미제저수지내 유입경로별 영양염오염부하 산정결과, T-N의 경우 외부 공급수에 의한 오염부하가 월등히 높게 나타났고 T-P의 경우 퇴적물용출부하와 외부 공급수 유입부하는 유사하고 비점유입부하가 상대적으로 적게 나타났다. 미제저수지의 수질개선을 위해서는 영양염오염부하가 상대적으로 높은 외부 공급수(금강호 양수)에 대한 대책이 우선적으로 수립되어야 하며 아울러, 퇴적물로부터 T-P용출을 저감시키는 수질오염저감대책이 필요한 것으로 판단된다.

주제어 : 저수지, 영양염, 퇴적물, 용출, 오염부하

1. 서론

최근 호소의 기능이 농업 관개용수 뿐 아니라 위락 및 경관 목적으로 확대되면서 호소의 수량과 수질문제에 큰 관심이 기울여 지고 있다. 호소 주변의 토지이용형태 및 비점오염원이 수질에 큰 영향을 미치므로^{1,2)} 배수구역내 점오염원 및 비점오염원에 대한 다양한 수질오염저감대책이 수립되고 있다. 또한 이외 퇴적물로부터 저수지 수질이 영향을 받으므로 이에 대한 체계적 연구가 다양하게 진행되어 왔다.³⁻⁶⁾

상류가 잘 발달된 자연 저수지 및 인공호와 달리 대부분 도시 인공호는 배수면적이 적고 유지용수를 외부로부터 공

급받는 특징이 있어 타 저수지 및 인공호와 다른 수질 및 퇴적물 오염특성이 예상된다. 본 연구는 배수면적이 비교적 적고 외부로부터 유지용수를 공급받고 있는 인공호를 대상으로 수질 및 퇴적물 오염특성과 영양염부하특성에 대해 연구하였다.

군산시 미제저수지는 농업용수 확보를 위해 일정시대 때 건설된 것으로 현재 한국농어촌공사가 관할하고 있다. 저수용량 390여만톤 규모의 저수지로서 농사철에는 관개용수로 방류하고 있지만 저수지 주변이 은파유원지로 개발되면서 시민들의 휴식 및 위락용으로 이용되고 있다.

미제저수지의 담수는 큰비가 내릴 때 하류 저지대 침수

[†] Corresponding author E-mail: swjeong@kunsan.ac.kr Tel: 063-469-4767 Fax: 063-469-4964

를 방지하기 위해 방수로 하류에 위치한 미제천의 하천수를 저수지로 양수해 채우기도 하고 금강호 물을 나포양수장을 통하여 방수로지역까지 양수한 후 역으로 저수지에 채우고 있다. 미제저수지는 은파유원지의 위락목적으로 최소 60% 이상 저수율을 항시 확보하고자 부정기적 유지용수 공급이 이루어지고 있다. 그러나 하절기를 중심으로 수질이 급격하게 악화되는 현상이 매년 반복되면서 군산시는 수질을 개선하고자 저수지 주변의 음식점 등 오염요소를 대부분 철거 및 이주시키고, 하수 유입구를 차단하는 등의 노력을 기울여왔으나 여전히 하절기에 부영양화에 따른 녹조현상이 간헐적으로 발생하고 있어 위락경관을 저해시키고 있다.

미제저수지의 부영양화에 영향을 미치는 총질소(Total nitrogen, T-N) 및 총인(Total phosphorous, T-P)의 유입원은 첫째, 저수지 퇴적물로부터 용출되어 나오는 영양염이 있을 수 있으며, 두 번째는 유역내 비점오염원으로부터 발생된 영양염 유입과 셋째는 방수로에서 역으로 펌핑하여 미제저수지 수량을 보충하게 되는 유지용수(금강호 물) 공급이 될 수 있다.

본 연구의 첫 번째 목적은 미제저수지 수질 및 퇴적물 오염현황을 시기(계절)별 및 공간별로 파악하는 것이며 두 번째 연구목적은 세 가지 T-N 및 T-P 유입경로에 의한 오염부하를 비교 분석한 후 부영양화 개선대책 방향을 제시하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 수질 및 퇴적물 오염도 조사

저수지의 수질 및 퇴적물 오염도 조사는 2007년 5월에서 이듬해 2008년 1월 중순까지 격월별로 5차례 이루어졌으며 수질 및 퇴적물 조사지점은 저수지 전반적인 상태를 파악하기 위해 Fig. 1에 도시한 바와 같이 8개로 선정하였다. 또한 Fig. 1의 A 지점인 방수로지점에서 금강호 물을 저수지로 펌핑시 수질을 측정하였다.

수질 조사항목은 온도, DO, COD, pH, SS, T-N, T-P, chlorophyll-a(이하 chl.-a), secchi depth(이하 SD) 등이었으며 퇴적물 조사항목은 유기물함량(Organic matter content), T-N 함량, T-P 함량이었으며, 채취된 퇴적물의 영양염 용출실험을 병행하였다.

시료채취는 현장 접근성과 수질의 신뢰성을 고려해 보트를 이용하여 표층수와 퇴적물을 채취하였고, 수온과 DO, pH, SD 등 4개 항목은 현장에서 측정하고 COD 등 그 외 항목들은 수질오염공정시험방법⁷⁾에 의거하여 분석하였다. 퇴적물 시료채취는 현장에서 채니기를 투하하여 채취하였다. 퇴적물분석은 채니기로 채취한 시료를 Soil Science Society of America의 Methods of Soil Analysis, Part 3 Chemical Methods의 Regular Kjeldahl method⁸⁾를 사용하여 퇴적물내 T-N을 완전 용출시켰고 Digestion with perchloric acid 방법을 사용하여 퇴적물내 T-P를 용출시켰다. 용출된 T-N과 T-P는 수질오염공정시험 방법에 의해 분석하였다.

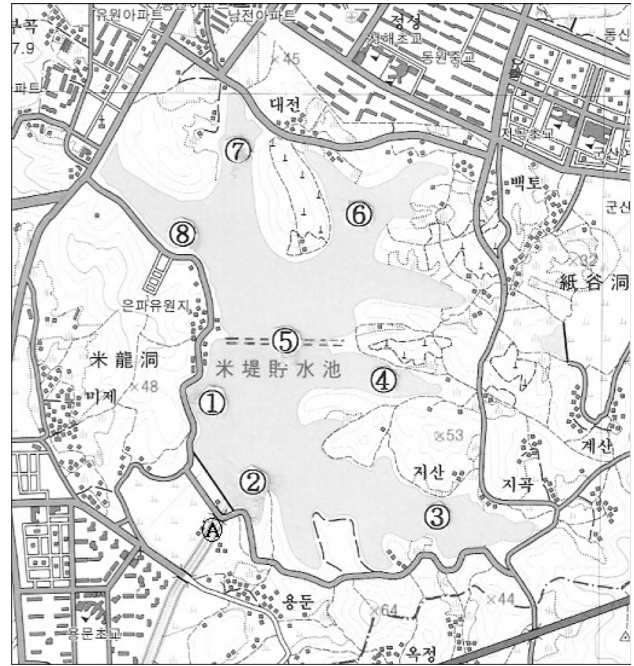


Fig. 1. Eight sampling points of Meejae Reservoir (A indicates the discharging/ pumping station).

퇴적물 용출실험은 시료를 용출실험 칼럼(아크릴 소재, 직경 4.7 cm)에 넣고 시료채취 장소의 표층수 350 mL를 용출실험 칼럼에 부어 빛과의 접촉을 없게 한 후 7일간 상온에 정지시켜 퇴적물의 영양염류를 용출시켜 분석하였고 용출률은 다음의 식 (1)을 이용하여 계산하였다.^{9,10)}

$$\text{용출률} = \frac{V(C_t - C_0)}{A \left(\frac{C_t - C_0}{t} \right)} \quad (1)$$

용출률 = Release rate of nutrient (mg/m²-day)

C_t = Concentration in reactor at time = t (mg/L)

C₀ = Concentration in reactor at time = 0 (mg/L)

t = Elapsed time (day)

A = Surface area of sediment (m²)

V = Volume of overlaying water above the sediment (L)

수질조사항목 중 COD, T-N, T-P 분석데이터와 퇴적물조사항목인 T-N, T-P, 유기물함량, T-N용출율, T-P용출율 분석데이터는 Origin 8.0 소프트웨어(OriginLab Corp., USA)를 이용하여 Pearson상관성분석과 ANOVA 통계분석을 하였다.

2.2. 오염부하 산정

미제저수지에 유입되는 세가지 영양염 유입원인 퇴적물, 비점오염원, 금강호 보충수에 의한 각각 오염부하량을 산정하였다.

2.2.1. 퇴적물 T-N, T-P 용출량

앞서 2.1 절에서 언급한 퇴적물 용출실험결과 T-N, T-P

Table 1. Estimated amounts of T-N and T-P generated from the non-point sources of Meejae Reservoir, Kunsan, Korea

Area sections	Drainage area (m ²)	Runoff coefficient	Land use	Rainfall (mm/month)	Discharge (m ³ /month)	Estimated T-N (g/month)		Estimated T-P (g/month)	
						Low ^a	High ^a	Low ^b	High ^b
1	122,060	0.8	Parking lots	100.1	9,775	32,256	93,836	977	4887
2	86,308	0.8	Commercial	100.1	6,912	22,808	66,351	691	3,456
3	131,952	0.2	Forest	100.1	2,642	8,718	25,360	264	1,321
4	126,213	0.1	Agricultural	100.1	1,263	4,169	12,129	126	632
5	150,135	0.1	Agricultural	100.1	1,503	4,959	14,427	150	751
6	101,707	0.2	Forest	100.1	2,036	6,719	19,547	204	1,018
7	198,504	0.65	Public use	100.1	12,916	42,622	123,990	1,292	6,458
Sum	916,879				37,046	122,251	355,640	3,705	18,523

^a T-N concentration (3.3~9.6 mg/L), ^b T-P concentration (0.1~0.5 mg/L)

Table 2. Keumkang water amounts provided through the pumping station to Meejae Reservoir (Year 2007)¹⁾

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Sum
Pumping (×1000 m ³)	0	185	491	0	619	0	320	151	80	0	0	0	1,846

¹⁾ Data obtained from Korea Rural Community Corporation

각 40개 용출량 데이터에 대한 평균, 편차 등 통계치를 구하였다. 각 T-N 및 T-P의 용출율(mg/m²-day)에 저수지 수면적을 곱하여 각 퇴적물용출량을 산정하였다. 미제저수지 수면적은 네이버지도의 면적 측정기능을 사용하여 72,366 m²로 산정하였다.

2.2.2. 배수구역 비점오염원에 의한 T-N, T-P 유입 예측량

미제저수지로 유입되는 오염원은 점오염원과 비점오염원으로 구분될 수 있다. 그동안 난립된 위락시설에 대한 군산시의 지속적인 정비사업으로 처리시설을 갖춘 식당구역이 최근 형성되면서 점오염원에 대한 관리는 비교적 잘 이루어지고 있는 실정이다. 그러므로 대부분 지표수의 오염부하는 비점오염원에 의한 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 비점오염원으로 부터 유입될 수 있는 예측량을 산정하였다. 미제저수지 주변 배수구역을 7개 구역으로 구분하여 각 배수구역면적을 산정하였다. 각 배수구역내 대표적인 토지이용 용도를 결정하여 “토지용도에 적용되는 기초유출계수 범위”¹¹⁾에 의해 우수유출계수를 결정하였다. 평균 월강우량은 군산지역 2007년 평균치인 100.1 mm/월을 적용하였다. 우수유출량은 합리식을 이용하여 산정한 결과 미제저수지의 월 평균 우수유입량은 37,046 m³

로 산정되었다.

“도시지역 CSOs와 우수관거 유출수 농도 조사결과”¹²⁾ T-N 평균농도 범위 3.3~9.6 mg/L, T-P평균농도 범위 0.1~0.5 mg/L를 적용하여 배수구역내 비점오염원에 의한 T-N, T-P 유입량 범위를 산정하였다(Table 1).

2.2.3. 금강호 양수 T-N, T-P 유입량

미제저수지는 유지수량을 확보하기 위하여 부정기적으로 금강호의 물을 양수하여 보충하고 있다. 2007년 미제저수지로 양수된 금강호 수량은 1,846,000 m³(월평균 230,750 m³)이었다(Table 2).¹⁾ 금강호 양수 T-N, T-P 유입량(kg/월)은 양수되는 금강호 물의 T-N, T-P 측정농도(mg/L)에 공급된 수량(m³/월)을 곱해 산정하였다. 양수되는 금강호 물의 T-N, T-P 평균 측정농도는 각각 2.675 mg/L, 0.168 mg/L이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질조사결과

Table 3은 5월 중순부터 익년 1월까지 격월로 8개 지점에

Table 3. Water analysis results for Meejae Reservoir, Kunsan, Korea

Time	Temp. (°C)	pH	DO (mg/L)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Chl-a (mg/L)	S,D (m)
May ^a	20.7	7.56	7.2	9.7	6.2	1.465	0.029	3.9	1.6
July ^a	24.9	8.13	8.0	8.0	9.1	2.003	0.043	30.5	1.1
Sep. ^a	26.1	8.15	10.3	9.6	5.4	1.148	0.035	35.8	1.0
Nov. ^a	13.9	7.18	9.6	7.7	5.5	1.689	0.052	4.9	1.8
Jan. ^b	3.6	7.71	9.1	3.6	4.7	1.250	0.032	4.3	2.3
Mean	17.8			7.7	6.2	1.511	0.038	15.88	1.56

^a Year 2007, ^b Year 2008

서 이루어진 수질조사 결과이다. COD는 4.7~9.1 mg/L로서 우기인 7월 중 가장 높았고, SD도 하절기인 7, 9월에 1.1~1.2 m로 가장 낮게 측정됨으로서 부영양화에 따른 녹조현상이 하절기에 가장 활발히 발생하는 것으로 나타났다. Forsberg & Ryding¹³⁾가 chl.-a 7~40 µg/L, SD 1.0~2.5 m, T-P 0.025~0.1 mg/L로 구분한 부영양화 기준치와 비교할 때 미제저수지는 4계절 내내 부영양화에 속한다. 또한 Carlson¹⁴⁾이 제시한 부영양화지수(TSI)를 S.D, chl.-a, T-P의 평균치로 적용하여 산출하면 TSI (SD)는 53.6, TS I (chl.-a)은 57.7, 그리고 TSI (T-P)는 56.7로 산정됨으로서 모두 50 이상의 부영양화 상태를 나타냈다. 일반적으로 TSI가 40 이하이면 빈영양화, 40~50이면 중영양화, 50 이상이면 부영양화로 구분된다.¹⁵⁾

COD가 평균 6.2 mg/L에 근접한 농도는 환경정책기본법의 생활환경 호소 IV등급인 농업용수 수준에 준하며 T-N과 T-P는 평균 1.511 mg/L와 0.038 mg/L로 N/P는 40 정도로 나타났고, 상호 비율이 16 이상을 보임에 따라 T-P 기준으로 III급 수질정도를 보인다.

Fig. 2는 미제저수지 COD, T-N (TN-Water로 표기), T-P (TP-Water로 표기) 데이터 통계분포를 시기(월)별로 도시하고 있다. 그리고 Table 4는 COD, T-N (TN-Water로 표기), T-P (TP-Water로 표기) 데이터의 One-way ANOVA (Analy-

sis of variance) 통계분석 결과이다. $\alpha=0.05$ 유의수준에서 COD, T-N, T-P 각 시기(월)별 평균은 모두 유의한 차이를 나타내고 있어 미제저수지의 시기별 수질변화가 있었음을 암시한다. 이중 COD의 경우가 가장 낮은 p값을 보여 가장 급격한 차이가 있음을 알 수 있다. 더 나아가 Tukey test를 통해 각 시기(월)간 평균의 차이를 분석해 본 결과 10개 비교 경우 중 5개 경우(5~7월, 5~11월, 7~9월, 7~11월, 7~1월)에서 유의한 차이가 나타났다. T-N의 경우는 10개 비교 경우 중 4개 경우(5~7월, 7~9월, 7~11월, 9~11월)에서 유의한 차이를 보였고 T-P의 경우에서도 4개 경우(5~7월, 5~11월, 9~11월, 11~1월)에서 유의한 차이가 발생하였다.

3.2. 퇴적물조사결과와 용출율

Fig. 2에 미제저수지 퇴적물의 TN함량(TN-Sediment), T-P함량(TP-Sediment), 유기물함량(Organic matter, OM)분석결과와 T-N용출율(TN-Release), T-P용출율(TP-Release) 실험결과 분포를 시기(월)별로 나타냈다. 각 평균값은 T-N함량 471 mg/kg, T-P함량 312 mg/kg, 유기물함량 9.97%, T-N용출율 9.07 mg/m²-day, T-P용출율 1.74 mg/m²-day이었다. Fig. 3은 퇴적물의 각 데이터를 8개 시료채취 지점별로 도시하였다. 이미 언급한 Table 4에 TN-Sediment, TP-Sediment,

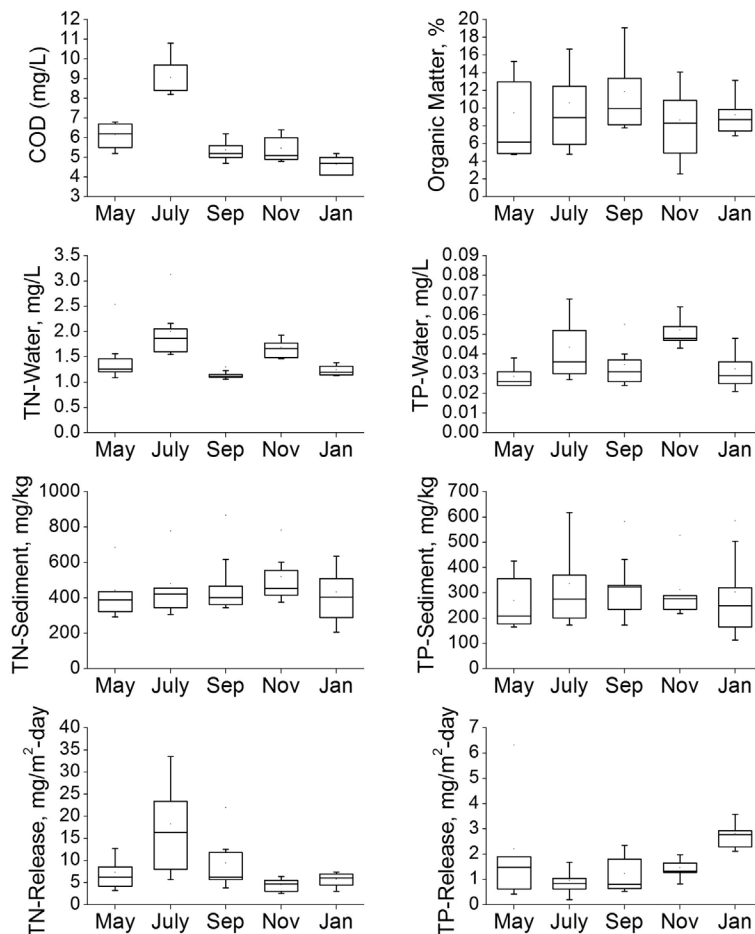


Fig. 2. Box plots of water, sediment and nutrient-flux analysis results for Meejae Reservoir, Kunsan, Korea (Sampling events were from May 2007 to January 2008).

Table 4. One-way ANOVA summary for data of five sampling events (May, July, Sep., Nov. & Jan.)

		COD	TN-Water	TP-Water	TN-Sediment	TP-Sediment	TN-Release	TP-Release	Organic Matter
F value		54,7911	9,2493	7,5558	0,3676	0,3863	8,4039	4,1393	0,8734
Prob.		1,37E-14*	3,29E-5 *	1,69E-4*	0,83	0,8168	7,32E-5*	0,0075*	0,4896
P-value ¹⁾	July-May	0,0000*	0,0153*	0,0360*	0,9902	0,8321	0,0019*	0,1529	0,9760
	Sep-May	0,1384	0,2994	0,7214	0,9887	0,8167	0,9215	0,3593	0,7151
	Sep-July	0,0000*	0,0001*	0,4105	1,0000	1,0000	0,0179*	0,9872	0,9606
	Nov-May	0,2282	0,6339	0,0002*	0,8688	0,9603	0,8391	0,6163	0,9942
	Nov-July	0,0000*	0,3054	0,3819	0,9865	0,9958	0,0001*	0,8843	0,8575
	Nov-Sep	0,9988	0,0148*	0,0086*	0,9882	0,9943	0,3596	0,9925	0,4672
	Jan-May	0,0004*	0,6699	0,9385	1,0000	0,9821	0,9790	0,7832	1,0000
	Jan-July	0,0000*	0,0004*	0,1862	0,9792	0,9865	0,0004*	0,0108	0,9586
	Jan-Sep	0,1856	0,9681	0,9882	0,9767	0,9831	0,6375	0,0374	0,6571
	Jan-Nov	0,1098	0,0688	0,0023*	0,8212	0,9999	0,9900	0,0989	0,9980

¹⁾ Tukey test for means comparisons

* At the 0,05 level, the population means are significantly different

TN-Release, TP-Release, Organic matter 데이터에 대한 One-way ANOVA 통계분석 결과를 정리하였고, Table 5는 각 시료채취 지점별로 One-way ANOVA 통계분석 결과를 다

시 정리한 것이다.

Table 4, 퇴적물 데이터 ANOVA분석결과, 조사시기별 저질 T-N함량, T-P함량 및 유기물함량 평균은 $\alpha=0.05$ 유의수

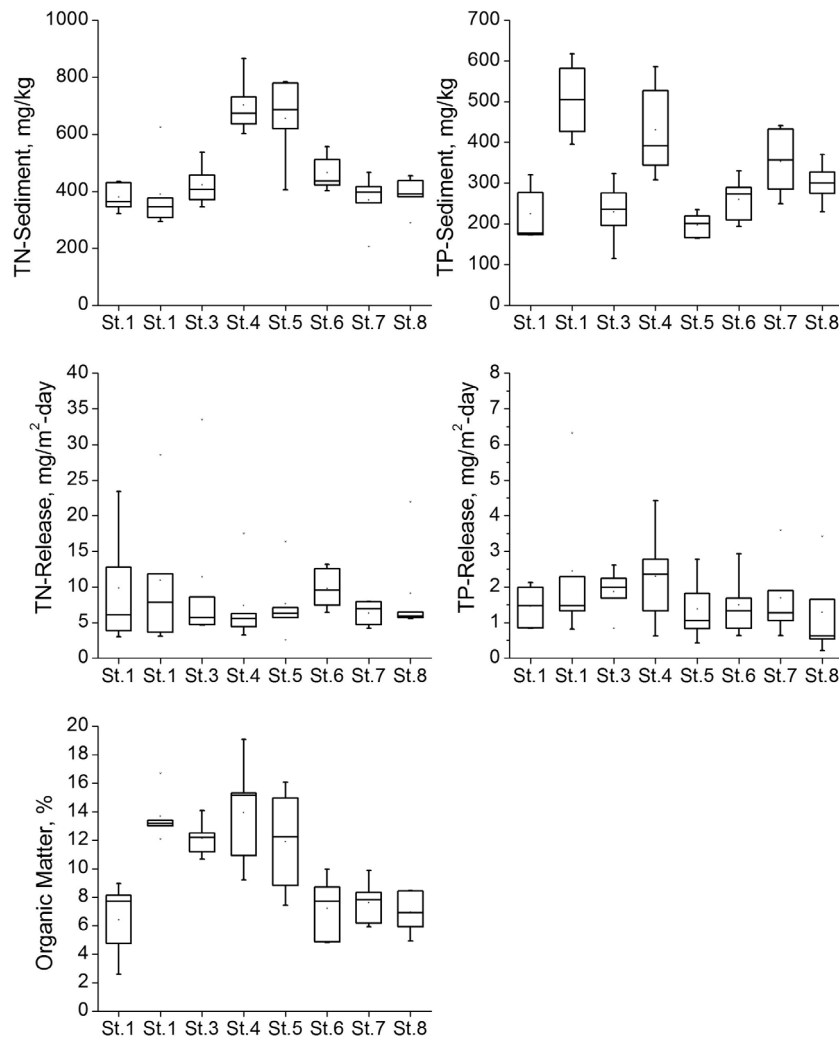


Fig. 3. Box plots of sediment and nutrient-flux analysis results for 8 sampling points of Meejae Reservoir, Kunsan, Korea.

Table 5. One-way ANOVA summary for data of 8-different sampling sites

	TN-Sediment	TP-Sediment	TN-Release	TP-Release	Organic Matter
F value	8,682	9,751	0,281	0,590	8,023
Prob.	6,0E-6*	1,89E-6*	0,956	0,758	1,27E-5*

* At the 0,05 level, the population means are significantly different

준에서 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 퇴적물의 영양염과 유기물퇴적은 짧은 시간에 급격하게 일어나지 않는 점을 시사한다. 반면 Table 5, 각 지점별 ANOVA분석 결과에서는 퇴적물 T-N함량, T-P함량 및 유기물함량 평균은 $\alpha=0.05$ 유의수준에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서, 퇴적물의 영양염 및 유기물함량은 시간적 요인보다 공간적 요인에 의한 변화가 뚜렷하게 나타났다. 그러나 T-N 및 T-P 용출율결과는 반대로 공간적 요인보다 시간적 요인에 의한 변화가 뚜렷하게 보였다(Table 4와 Table 5의 TN-Release 및 TP Release ANOVA분석결과 참조). 즉, T-N 및 T-P용출율은 시기에 따라 변화가 있음을 시사한다.

3.3. 퇴적물과 수질간 T-N, T-P 상관성

Table 6은 수질 T-N 및 T-P 데이터, 퇴적물 T-N, T-P 및 유기물함량 데이터, 퇴적물 T-N 및 T-P 용출율 데이터간 Pearson 상관관계를 분석한 결과이다. 분석결과 Table 6에 *표기 된 TN-Water와 TN-Sediment ($r=0.4015$), TN-Water와 TP-Water ($r=0.4598$), TN-Sediment와 TP-Water ($r=0.3697$), OM과 TN-Sediment ($r=0.4482$)간 데이터는 95% 신뢰구간내에서 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 즉, 수질 T-N은 퇴적물 T-N함량 및 퇴적물 유기물함량과 직접적 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 반면 수질 T-P는 통계학적으로 상관성을 보이는 인자가 확인되지 않았으며 용출율은 수질과의 직접적 상관성이 적은 것으로 나타났다.

3.4. 영양염 오염부하 비교

Fig. 4는 퇴적물로부터 용출되는 영양염 용출부하, 비점오염원으로 부터 유입되는 영양염부하, 금강호 양수 공급수에 의한 영양염 유입부하를 각 각 산정하여 비교하였다. T-N의 경우 퇴적물용출부하(Sediment released)는 비점유입부하(Non-point input)와 유사하였으나 금강호 양수 유입부하(Pumped)

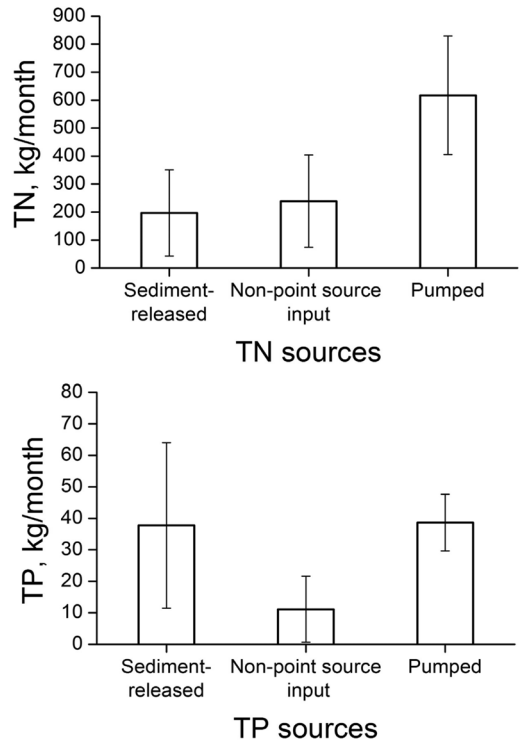


Fig. 4. Comparison of nutrient loads generated from three nutrient sources.

ped)가 월등히 많은 것으로 나타났다. T-P의 경우 퇴적물용출부하와 금강호 양수 유입부하가 유사하고 비점유입부하가 상대적으로 적게 나타났다.

영양염 유입경로 별 오염부하 비교 결과 T-N은 외부로부터 공급되는 유지용수에 의한 오염부하가 월등히 높게 나타났다으므로 이에 대한 수질관리 대책이 필요하다. 그리고 저수지 부영양화에 직접적 영향을 미치는 T-P오염부하의 경우 퇴적물 용출에 의한 최대부하가 약 65 kg/월에 이르는 만큼 현재 퇴적물에 대한 대책이 수립되어야 하며 아울러 외부로부터 공급되는 유지용수에 대한 T-P저감 대책이 있어야 미제저수지 수질개선이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 군산 미제저수지에 대한 수질 및 퇴적물오

Table 6. Pearson correlation analysis for water and sediment data

	TN-Water	TP-Water	TN-Sediment	TP-Sediment	TN-Release	TP-Release	Organic Matter
TN-Water	1						
TP-Water	0,45984*	1					
TN-Sediment	0,40151*	0,36976*	1				
TP-Sediment	0,10882	0,15442	0,00441	1			
TN-Release	0,21743	-0,0414	-0,16127	0,07368	1		
TP-Release	-0,13271	-0,15769	-0,11443	0,09521	-0,24451	1	
Organic Matter	0,15193	0,04883	0,44821*	0,25616	0,17754	0,16911	1

* The Pearson correlation coefficient critical values for 95% Confidence, 0,312 (No of pairs = 40)¹⁶⁾

염도 현황조사와 각 영양염 유입경로별 오염부하를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 수질분석결과 부영양화지수 TSI (S.D)는 53.6, TSI (chl-a)은 57.7 및 TSI (TP)는 56.7로 모두 50 이상의 부영양화 상태를 보였으며 하절기에 수질이 크게 저하되고 부영양화에 따른 녹조현상도 가장 활발히 나타났다.

2) 저질오염도 조사결과 조사시기(계절)별 퇴적물 T-N함량, T-P함량 및 유기물함량 평균은 통계학적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나 반면, 시료채취 지점별 평균은 유의한 차이를 나타내어 퇴적물의 영양염 및 유기물함량은 조사기간중 시간적요인보다 공간적요인에 의한 변화가 뚜렷하였다.

3) T-N 및 T-P 퇴적물용출율결과는 공간적 요인보다 시간적 요인에 의한 변화가 뚜렷하게 나타났다. 즉, T-N 및 T-P 용출율은 시기에 따른 변화가 있었다.

4) 수질 T-N은 퇴적물 T-N함량 및 퇴적물 유기물함량과 통계학적으로 유의한 상관관계를 보였다. 반면, 수질 T-P는 통계학적으로 상관성을 보이는 인자가 확인되지 않았으며 영양염용출율도 수질과 직접적 관계성을 나타내는 인자가 확인되지 않았다.

5) 퇴적물로부터 용출되는 영양염 용출부하, 비점오염원에서 유입되는 영양염부하, 외부공급수(금강호 양수) 영양염 유입부하를 각 각 산정한 결과, T-N은 외부 공급수에 의한 오염부하가 월등히 높게 나타났다. T-P는 퇴적물용출부하와 외부 공급수 유입부하가 유사하고 비점유입부하가 상대적으로 적게 나타났다.

6) 미제저수지의 영양염 수질개선을 위해서는 오염부하가 상대적으로 높은 외부 공급수(금강호 양수)에 대한 영양염 저감대책이 우선적으로 수립되어야 하며 아울러, 퇴적물로부터의 T-P용출을 저감시킬 수 있는 수질오염저감대책이 필요한 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 전북환경기술센터의 지원으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

KSEE

참고문헌

1. 이상우 황순진, “공간성, 호소유형 및 형태복잡도 지수를 이용한 토지이용과 호소수질의 관계 연구,” 한국조경학회지, **34(6)**, 1~9(2007).
2. 김진호, 한국현, 류종수, 정구복, 권순국, “농업용 저수지 상류유역의 비점오염원 유출부하량 산정-고성저수지를 대상으로,” 한국물환경학회지, **23(3)**, 324~331(2007).
3. 김진하, 정우혁, 최승희, “호수의 물순환이 저니의 인용출율에 미치는 영향,” 한국물환경학회지, **21(6)**, 595~601(2005).
4. 조영철, 정세웅, “남양호 퇴적물에서 영양염류 용출 특성 분석,” 대한환경공학학회지, **29(12)**, 1345~1352(2007).
5. 오종민, 조영철, “소규모 저수지에서 퇴적물로부터 영양염류의 용출이 수질에 미치는 영향,” 대한환경공학학회지, **29(11)**, 1217~1222(2007).
6. 기보민, 임보미, 나은혜, 최정현, “아산호 퇴적물에서 영양염류 용출특성에 관한 연구,” 대한환경공학학회지, **32(1)**, 1169~1179(2010).
7. 환경부, 수질오염공정시험 방법(2007).
8. Soil Science Society of America, Method of Soil Analysis, part 3 Chemical Methods(2000).
9. 김태웅, “금강하구호 sediments로부터 수질오염물질 용출 특성에 관한 연구,” 한국수질보전학회지, **13(3)**, 245~253(1997).
10. 유태중, 현미, 조재현, “영산강유역 하천 저질토의 영양염류 용출률 측정,” 대한상하수도학회지, **17(3)**, 409~418(2003).
11. 서울특별시, 상습침수해소를 위한 하수도시설기준 재검토(2002).
12. 최지용, 신창민, 비점오염원 저감을 위한 우수유출수 관리 방안, 한국환경정책평가연구원(2002).
13. Forsberg G. and Ryding, S. O., “Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 swedish waste-receiving lake,” *Arch. Hydrobiol.*, **89**, 189~207(1980).
14. Carlson, R. E., “A trophic state index for lakes,” *Limnol & Oceanogr.*, **22(2)**, 361~369(1977).
15. 김좌관, 수질오염, 동화기술, p173(2002).
16. Ginevan, M. E. and Splitstone, D. E., Statistical Tools for Environmental Quality Measurement, CRC Press, USA(2004).