

남한강수계 저수기 수질변동 특성에 관한 연구

이형진[†] · 공동수 · 김상훈* · 신기식 · 박지형 · 김병익 · 김성미 · 장승현 · 천세역**

국립환경과학원 한강물환경연구소

*국립환경과학원 배출시설연구과

**국립환경과학원 금강물환경연구소

Investigation on Water Quality Variation Characteristics during Dry Season in Namhan River Drainage Basin

H. J. Lee[†] · D. S. Kong · S. H. Kim* · K. S. Shin · J. H. Park ·
B. I. Kim · S. M. Kim · S. H. Jang · S. U. Cheon**

Han-river Environment Research Center

**National Institute of Environmental Research*

***Geum-river Environment Research Center*

(Received 27 November 2006, Accepted 6 November 2007)

Abstract

From the direct outflow of Chungju Dam to the junction of water body and watershed in Paldang lake is the scope of this research. This study performed to investigate the main cause of water quality deterioration and the influenced region in the middle field range of the Namhan river Basin with the onsite measurement of water quality and flow rate simultaneously during spring dry season. The purpose of this study is to find out the time-spatial variation characteristics of water quality and flow rate. Following the flow direction BOD₅ and COD_{Mn} concentration increased to the highest value of 3.7 mg/L, 5.9 mg/L at Wolgesa respectively. Chl.a concentration increased to 50 mg/m³ or so at Kangsang, after that it decreased to 37 mg/m³ at the junction of Paldang lake. Organic matter concentration variation trend showed similar than that of Chl.a. Also BOD₅ concentration tendency was similar to Chl.a in every measuring sites except Paldang lake mixing zone. The major factors of water quality deterioration in Namhan river and Paldang lake during dry season were algal bloom and followed internal production. High phosphorus load from Dalcheon and Seom river caused dry season algal bloom and internal production in transitional zone which was stagnant area in downstream of Namhan river.

keywords : Dry season algal bloom and internal production, Namhan-river drainage, Paldang-lake, Water quality variation

1. 서론

팔당호는 세계 최대 수준의 급수인구를 가진 상수원 중의 하나일 뿐만 아니라 수심이 얇고 수위가 안정되어 있어 다양한 수생 동식물이 생육하고 있는 생태계의 보고이다(공 등, 1990; 손 등, 1997; 유 등, 1992; 조 등, 1994). 또한 팔당호는 호소면적에 대한 유역면적의 비가 652로 매우 크다. 이는 호소성상의 주요인이 유역의 특성에 따라 지배된다는 것을 의미하며, 호소의 수질은 물론 생태계의 구성 역시 유역의 강우와 오염물질의 배출에 영향을 받음에 따라 호수의 천이도 매우 빨리 진행될 수 있다(공, 1992). 팔당호는 연평균 체류시간이 5.4일에 불과한 하천형 호수이지만 유량이 적은 저수기에는 체류시간이 약 10일까지 장기화되어, 조류의 축적도가 높아지며(Kong, 1997), 이러한

시기에는 유역내 하천수의 오염물질 농도도 높아 수질이 악화된다. 따라서 팔당호의 이수상의 안전성과 생태계의 건강성을 유지하기 위하여 정부는 각종 오염규제 예방정책과 더불어 오염물질 처리대책을 지속적으로 추진하여 왔다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 봄철 저수기의 규조류 대량발생과 이에 따른 수질악화는 여름철 홍수기의 쓰레기 문제와 더불어 팔당호 수질관리의 고질적인 문제 중 하나이다(박 등, 2005).

팔당호에 유입되는 남한강, 북한강, 경안천의 세 하천 중 경안천은 오염도가 가장 높지만 유량이 상대적으로 매우 적기 때문에 수질에 대한 영향은 크지 않다. 또한 북한강은 남한강에 비해 수질이 상대적으로 양호하여 남한강과 경안천에 대한 희석수의 역할을 한다. 남한강은 유량이 많은 반면 수질이 다소 불량하여 유입하천 중 오염부하량이 가장 많기 때문에 팔당호의 수질에 대한 영향도가 상대적으로 매우 크며, 특히 봄철에는 오염도가 높아 더욱 큰 영향을 미친다.

[†] To whom correspondence should be addressed.

lhj4037@me.go.kr

따라서 본 연구에서는 봄철 저수기 남한강수계에서 수질 변동 요인을 파악하고 유량과 부하량간의 상관성을 살펴보고 있으며 또한 남한강 중류구간 수질에 주요한 영향을 끼치는 인자간의 주성분분석(Principal Component Analysis: PCA)을 SAS를 이용하여 고찰하였다.

본 조사연구의 공간적 범위는 충주댐 직하류부터 남한강의 팔당호 합류부까지의 수체와 그 유역을 대상으로 설정하였으며 수질과 유량을 동시에 현지 측정·조사하여 봄철 저수기 수질악화의 원인과 영향수역을 규명하고, 이들의 시공간적 변화특성을 알아보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지점 및 조사시기

수질조사 지점은 충주댐이하 본류 구간내의 13개 환경부 수질측정망(충주, 증원, 덕은리, 원주, 강천, 여주1, 여주2, 이포, 강상, 양평리조트앞, 양평하수처리장앞, 팔당댐1, 팔당댐3) 지점이다(Fig. 1). 유량은 본류 3개 지점(충주, 원주, 이포)에서 수질과 동시 측정·조사하였으며, 수질 및 유량은 2005년 4월부터 6월까지 매주 1회 측정하여 총 13회에 걸쳐 조사하였다.

2.2. 조사항목 및 분석방법

조사 항목은 유량을 비롯하여 17개 수질 항목(수온, pH, DO, 전기전도도, DOC, BOD₅, COD_{Mn}, TSS, T-N, DTN, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, T-P, DTP, PO₄-P, Chl.a)을 조사하였다.

각 항목의 분석 방법으로는 수온, 전기전도도, pH, DO는

YSI-6600(USA) 측정기로 현장에서 측정하였으며, 그 밖의 13개 수질항목은 수질오염공정시험방법(환경부, 2005)에 준하여 분석하였다. 유량은 하천설계기준 등에 있는 일반적인 유량측정 방법을 준용하였으며, 구체적인 기준은 수문관측 매뉴얼(건설교통부, 2004)과 국제표준기준(ISO)을 따랐다.

2.3. 자료의 통계적 분석

19개 수질항목에 대한 측정치를 기본통계량으로 정리하여 19개 항목간의 단순상관행렬을 구하여 수질항목들간의 상관관계를 산출하였고, 통계적인 방법으로는 주성분 분석을 이용하였다. 주성분분석은 변수들간의 상관관계를 이용하여 서로 유사한 변수끼리 묶어주는 방법 즉, 상호간의 상관성을 갖는 여러변수들의 정보를 큰 손실없이 서로 독립적인 소수개의 종합특성치로 요약해내는 과정이다(노, 2005; 노 등, 2006). 다변량분석법 중 주성분분석을 실행하여 수질항목들을 서로 독립적인 소수의 새로운 주성분들로 묶어내고 각 수질항목과 주성분간의 관계를 검토하여 오염 현상을 종합적으로 판단하였다(김, 2003). 통계처리는 SAS (Statistical Analysis System program, v8.1)를 이용하여 분석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기상

2005년도 남한강수계의 연강우량은 1,455 mm로 예년평균 약 1,300 mm보다 다소 많은 수준을 보였다. 강우는 7~9월의 몬순기에 집중되는 경향을 보였다(Fig. 2). 6월부터 평균 기온이 20°C를 상회하면서 9월까지 이어지고 그 시

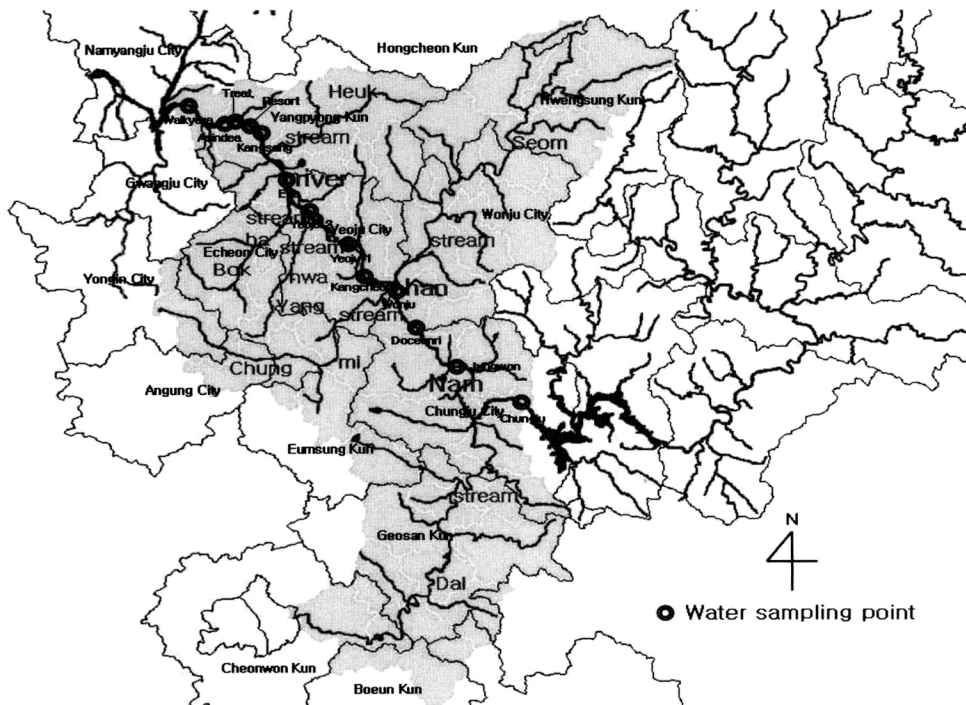


Fig. 1. The Namhan river and major sampling points.

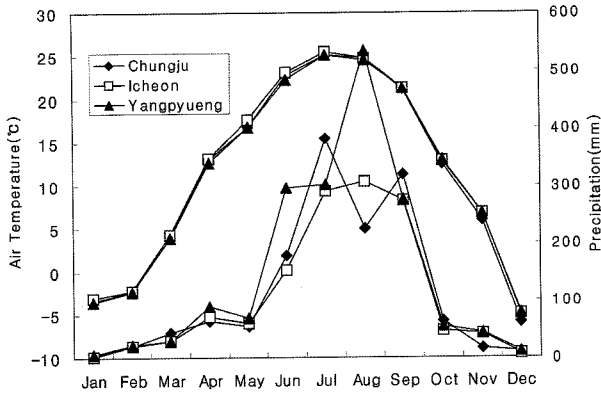


Fig. 2. Variations of air temp, pricipitation.

기에 강우량도 급격히 증가하였다. 10 mm 이하의 강우일수는 총수가 62일, 이천이 51일 그리고 양평이 48일이었다.

3.2. 수온, pH, 용존산소, 전기전도도

남한강 중류구간의 봄철 저수기(4~6월) 평균수온은 총주댐 직하류의 약 10°C에서 지속적으로 증가하여 팔당댐 유입부에서 약 20°C까지 상승하였다(Fig. 3). 봄철 저수기에 수온이 낮은 총주댐의 증충수가 정상적인 수온을 회복하는데 상당거리가 소요됨을 보여주는 것이다.

pH는 총주지점의 7.7에서 하류로 갈수록 증가하여 남한강 하류부에서는 9.0의 높은 값을 보였다. 이는 남한강 중류로부터 하류 방향으로 조류발생도가 커지면서 광합성에 의한 이산화탄소 소비가 증가한데 따른 것으로 판단된다.

용존산소 농도는 총주지점의 11.3 mg/L에서 하류로 갈수록 수온 증가에 따라 다소 감소하는 경향을 보이다가 이포지점을 지나면서 급증하여 팔당호 합류부에서는 약 13 mg/L로 과포화 상태를 보였다. 하류부의 용존산소 증가는 조류발생으로 인한 광합성 증가에 기인한 것으로 보인다.

전기전도도는 약 200 µS/cm 내외로 중하류간 차이가 거의 없었으나 이포지점에서 크게 증가한 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 이는 전기전도도가 높은 북한천(같은 시기의 평균 전기전도도 707 µS/cm)이 유입된 후 이포지점에서 충분한 혼합이 이루어지지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 북한천은 유량이 많은 7~10월을 제외하곤 전기전도도가

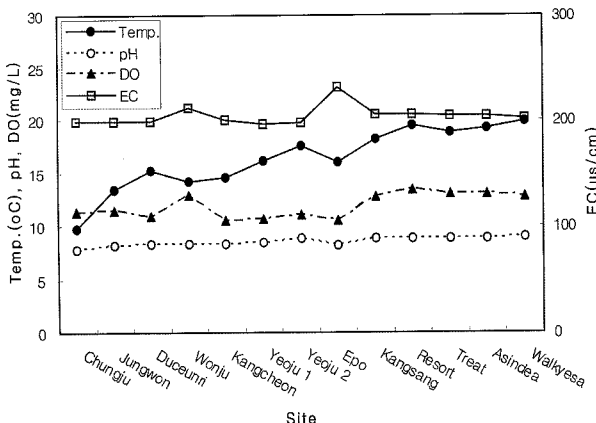


Fig. 3. The variations of W.Temp, pH, DO, EC.

다른 하천에 비해 매우 높다.

3.3. 유기물 및 클로로필.a

남한강 중류구간의 봄철 저수기 BOD₅, COD_{Mn} 농도는 측정지점중 상류의 총주지점이 각각 0.9 mg/L, 1.6 mg/L로 가장 낮고 하류로 갈수록 상승하여 최하류인 월계사 지점에서 각각 3.7 mg/L, 5.9 mg/L로 최고치를 나타내었다(Fig. 4).

Chl.a 농도는 총주지점이 1.6 mg/m³로 빈영양 상태였으나 월주를 지나면서 부영양 수준을 보이고 강상을 지나면서 50 mg/m³ 내외로 상승한 후 팔당호 합류부에서는 37 mg/m³로 감소하였다. 조류는 전이대의 시작부에서 하폭과 수심이 증가하여 체류시간이 길어지면서 급증하는 반면 팔당호 합류부에서는 본류와의 확산과 인산염인의 결핍으로 인해 감소하는 것으로 판단된다.

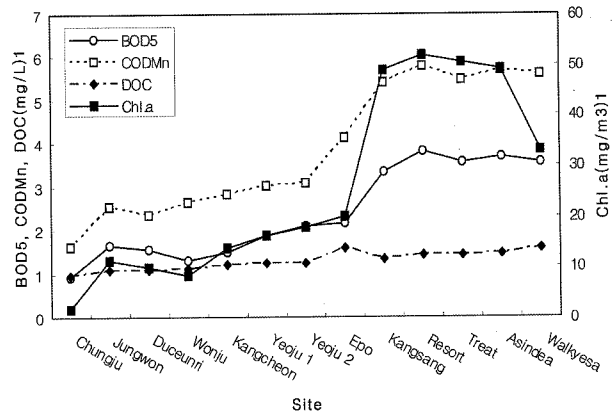


Fig. 4. The variations of organics and Chl.a.

TSS는 북한천 유입지점 아래인 이포지점에서 일시적으로 상승하였으나 다른 지점에서는 약 10 mg/L 이하였으며, DOC는 총주지점의 1 mg/L에서 최하류의 월계사 지점에서 약 1.6 mg/L까지 완만한 증가를 보였다.

유기물 농도 변화는 Chl.a 농도 변화와 거의 비슷한 경향을 보였다. 특히 BOD₅ 농도 변화는 최하류의 팔당호와 혼합되는 지점을 제외하곤 중하류 모든 지점에서 Chl.a 농도 변화와 비슷한 변동을 나타내고 있었다. 또한 하류부에서 BOD₅ 농도는 3.7 mg/L이고 DOC 농도는 약 2 mg/L이므로 탈산소계수를 0.08/d로 가정할 때 비생물성 CBOD₅ 농도는 약 1.4 mg/L이고 조류의 내생호흡에 의한 BOD₅ 농도는 약 2.3 mg/L로 추정할 수 있다. 아울러 망간법 COD의 산화율을 약 60%로 가정할 때 DOC로 기인한 COD_{Mn}농도는 2.3 mg/L이고 조류의 유기물 산화에 의한 COD_{Mn}농도는 3.6 mg/L로 추정할 수 있다. 수중의 DOC의 상당량이 외부부하보다는 조류의 사멸과 분비로 기인하기 때문에 봄철 저수기 남한강 본류의 유기물 농도는 주로 조류의 내부생산에 의한 비중이 매우 큰 것으로 볼 수 있다.

봄철 저수기 총질소 농도는 상하류 지점간 변화가 크지 않으며 대부분의 지점에서 2.5 mg/L 내외였다(Fig. 5). 존재형태별로는 질산성 질소의 농도가 1.8 mg/L 내외로 가장 높고 입자성 유기질소와 용존성 유기질소가 각각 0.3 mg/L,

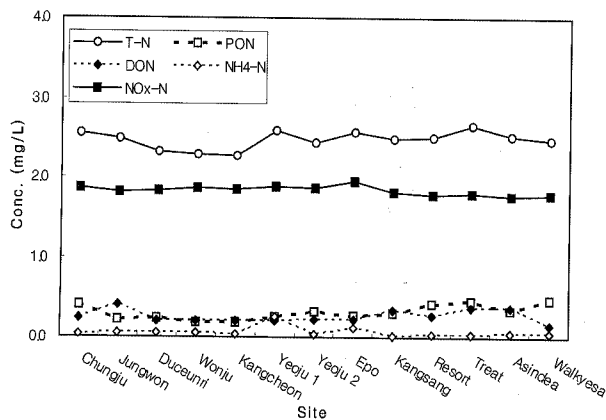


Fig. 5. The variations of nitrogen.

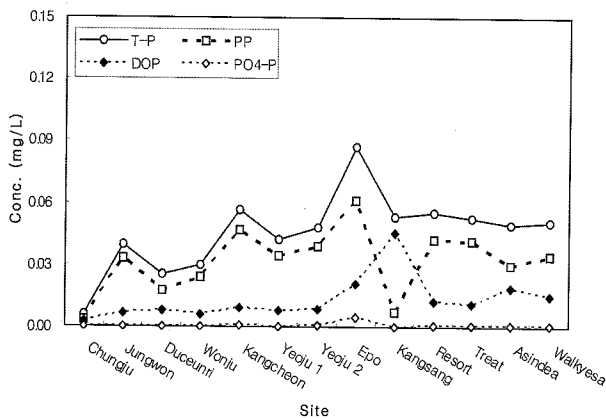


Fig. 6. The variations of phosphorus.

암모니아성 질소는 0.05 mg/L 내외였다. 용존 무기질소의 농도는 조류발생도가 큰 하류의 전이대에서 다른 지점에 비해 상대적으로 낮았다.

봄철 저수기 총인 농도는 달천, 섬강, 복하천이 합류되면서 크게 상승하고 전이대에서는 침강에 의해 다소 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 6). 존재형태별로는 입자성 인이 가장 높은 농도를 보였으며, 인산염 인은 거의 모든 지점에서 극히 낮은 농도를 보였다. 이는 본류에서의 조류 생산에 의한 소비로 비롯된 결과로 볼 수 있다.

3.4. 수질변동 요인

위에서 살펴본 바와 같이 남한강 증류 수계의 수질은 유량변화와 이에 따른 조류발생의 정도에 크게 좌우된다. 남한강 증류의 유량이 100~200 CMS의 범위를 보이는 봄철 저수기에는 체류시간이 길어지면서 전이대에 해당하는 하류부에서 조류증식이 급증하며(Fig. 7), 이에 따라 유기물 농도도 상승한다(Fig. 8).

총질소/총인의 비는 식물플랑크톤의 영양염류 중 제한인자를 판가름할 수 있는 지표가 되는데, 일반적으로 TN/TP 비는 오염하천에서는 감소하는 경향을 가지고 있다. 본 조사결과 인은 유량 의존성이 질소보다 커서 풍수기의 총질소/총인의 비는 봄철 저수기보다 낮았으며, 상류에서 하류로 갈수록 그 비율이 낮아지다가 인의 침강이 많은 전이대에서는 다시 상승하는 경향을 보였다(Fig. 9). 아울러 조류

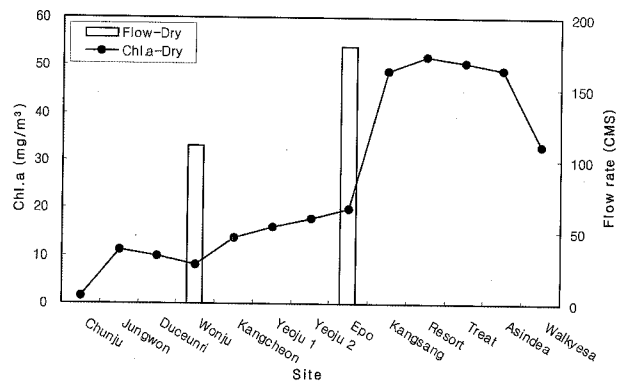


Fig. 7. Flow and concentration of Chl.a.

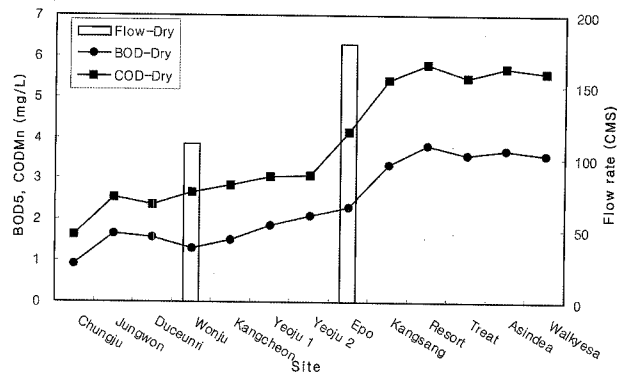


Fig. 8. Flow and concentration of BOD₅, COD_{Mn}.

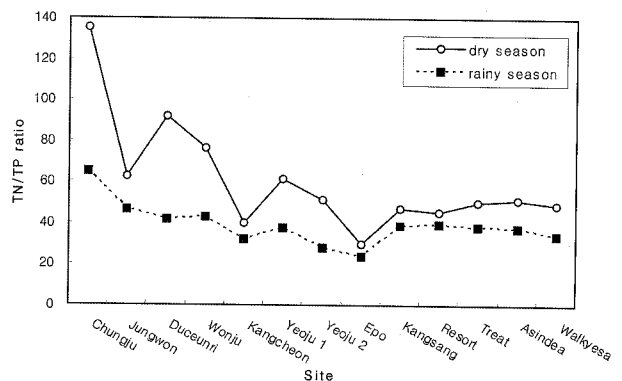


Fig. 9. Ratio of TN/TP.

발생이 많은 봄철 저수기의 총질소/총인의 비는 물론 용존 무기질소/인산염인의 비도 모든 지점에서 30을 넘고 있어 남한강 본류의 조류증식은 인의 제한을 받는 것으로 추정되었다.

3.5. 유량-부하량 관계

남한강 증류구간에서 BOD₅ 부하에 대한 유량계수는 0.85로 나타나 유량이 증가할수록 BOD₅ 농도가 감소하는 경향을 보였으나, COD_{Mn}, TSS, T-N, T-P는 유량계수가 각각 1.11, 1.66, 1.09, 1.59로서 유량이 증가할수록 농도가 상승하는 것으로 분석되었다(Table 1).

특히 TSS와 T-P는 유량계수가 각각 1.66, 1.59로서 유량이 증가하면 부하량이 크게 증가하고 농도가 상승하는 것으로 나타났다.

Table 1. Regression Equation and Correlation coefficients between flow and load (Q: CMS, L: kg/d)

Items	$L = a \times Q^b$	R^2
BOD ₅	$L = 257.47Q^{0.85}$	0.65
COD _{Mn}	$L = 141.51Q^{1.11}$	0.87
TSS	$L = 18.44Q^{1.66}$	0.75
T-N	$L = 136.38Q^{1.09}$	0.97
T-P	$L = 0.1702Q^{1.59}$	0.71

충주댐 직하류 남한강 중류의 수질은 충주댐 방류수의 영향을 크게 받는다. 유입부하가 적고 체류시간이 길어지는 봄철 저수기에 충주댐호에 유입된 부유물질과 인은 상당량이 호내에서 침강되어 방류수의 부유물질과 인 농도는 매우 낮다. 한편 성층이 형성되는 여름철 풍수기에는 유역으로부터 고농도의 인을 함유한 탁수가 밀도류에 의해 호의 중층으로 유입된 후 댐에서 중층방류를 통해 하류로 방류된다.

따라서 충주댐아래 남한강 본류의 부유물질과 인 부하의 유량계수가 매우 큰 것은 자체유역의 외부부하와 아울러 충주댐 방류수의 영향에 의한 것으로 볼 수 있다.

남한강 중류구간에서의 BOD, COD_{Mn}, TSS, T-N 및 T-P 부하량과 유량간의 관계를 살펴보면 T-N 부하량이 $R^2 = 0.97$ 로 가장 큰 것으로 나타났다(Fig. 10.)

남한강 중류의 지점별 BOD₅ 농도는 강천지점에서만 유량계수가 1.11로 유량 증가시 농도가 상승하는 것으로 나타났고, 그 외의 지점에서는 유량 증가시 BOD₅ 농도가 크게 감소하는 것으로 나타났다(Table 2).

반면, COD_{Mn}의 농도는 강상 지점과 월계사 지점에서 유량계수가 각각 0.36, 0.69로 유량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으나 나머지 지점에서는 다소 증가하는 경향을 보였다. 강우 증가 시 BOD₅ 농도는 감소하고 COD_{Mn} 농도가 증가하는 것은 유량증가 시 생분해성 유기물이 많은 점오염원의 부하는 감소하는 대신 생분해가 쉽지 않은 비점오염원의 부하가 상대적으로 커지기 때문인 것으로 판단된다. 또한 남한강 최하단부에서 BOD₅와 COD_{Mn} 농도가 모두 유량 증가시 감소하는 것은 이 수역의 유기물 농도가 조류생산에 크게 지배되기 때문에 유량증가 시 조류감소와 아울러 농도감소가 따르기 때문인 것으로 사려된다.

총질소 농도는 유량계수 값이 1.1 내외로 유량증가 시 다소 증가하지만 그 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 질소는 대기나 토양 공극에 존재하기 때문에 작은 강우강도에도 쉽게 유출이 일어나기 때문에 유출수 농도의 유량의존성이 상대적으로 낮기 때문인 것으로 생각된다.

이와 반면 부유물질과 총인은 전체 지점에서 유량계수가 크게 나타나 유량증가 시 농도가 급증하는 것으로 나타났다. 즉, 토사유출은 강우강도가 클수록 더욱 커지기 때문에 집중강우로 인한 유량증가 시 부유물질과 이에 흡착된 형태로 유출되는 인의 농도가 증가하는 것으로 판단된다.

3.6. 수질항목별 상관 및 주성분 분석

남한강 중류구간의 수질측정 항목별 상관관계수 행렬을 구하였다(Table 3). 부유물질 농도는 강우량(상관계수: 0.46), 유량(0.46), COD_{Mn}(0.58), T-P(0.78), DTP(0.50), PO₄-P(0.51),

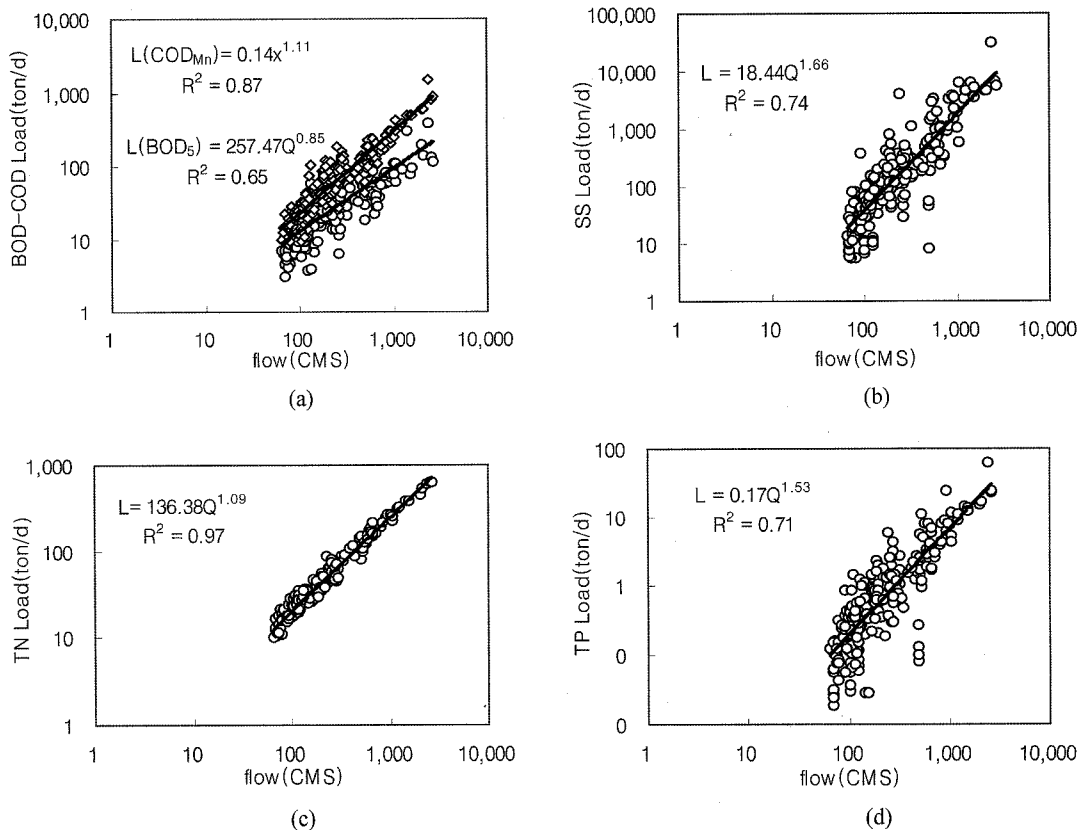


Fig. 10. Relationship between flow and each pollutant loads: (a) BOD₅ and COD_{Mn}, (b) SS, (c) TN, (d) TP.

Table 2. Regression equation and correlation coefficients between flow and load in each station (Q: CMS, L: kg/d)

Sampling points		BOD ₅	COD _{Mn}	TSS	T-N	T-P
Chungju	Equation	$L = 75.37Q^{0.99}$	$L = 84.72Q^{1.12}$	$L = 14.70Q^{1.45}$	$L = 105.96Q^{1.13}$	$L = 0.07Q^{1.48}$
	R ²	0.69	0.86	0.52	0.95	0.46
	b	0.99	1.12	1.45	1.13	1.48
Jungwon	Equation	$L = 222.04Q^{0.87}$	$L = 150.99Q^{1.07}$	$L = 13.13Q^{1.76}$	$L = 148.04Q^{1.07}$	$L = 0.20Q^{1.51}$
	R ²	0.79	0.89	0.79	0.96	0.72
	b	0.87	1.07	1.76	1.07	1.51
Duceunri	Equation	$L = 147.96Q^{0.95}$	$L = 141.63Q^{1.09}$	$L = 27.44Q^{1.64}$	$L = 119.88Q^{1.10}$	$L = 0.16Q^{1.54}$
	R ²	0.79	0.90	0.83	0.98	0.79
	b	0.95	1.07	1.64	1.10	1.54
Wonju	Equation	$L = 154.63Q^{0.91}$	$L = 126.44Q^{1.13}$	$L = 6.93Q^{1.88}$	$L = 120.08Q^{1.10}$	$L = 0.11Q^{1.61}$
	R ²	0.73	0.94	0.89	0.97	0.72
	b	0.91	1.13	1.88	1.10	1.61
Kangcheon	Equation	$L = 192.39Q^{1.11}$	$L = 497.59Q^{1.07}$	$L = 193.99Q^{1.03}$	$L = 175.15Q^{1.04}$	$L = 0.34Q^{1.46}$
	R ²	0.94	0.57	0.96	0.96	0.53
	b	1.11	1.07	1.03	1.04	1.46
Yeosu 1	Equation	$L = 283.93Q^{0.85}$	$L = 203.06Q^{1.04}$	$L = 23.88Q^{1.62}$	$L = 166.28Q^{1.04}$	$L = 0.43Q^{1.38}$
	R ²	0.83	0.95	0.89	0.95	0.82
	b	0.85	1.04	1.62	1.04	1.38
Yeosu 2	Equation	$L = 426.36Q^{0.79}$	$L = 155.95Q^{1.09}$	$L = 26.97Q^{1.65}$	$L = 147.98Q^{1.07}$	$L = 0.56Q^{1.37}$
	R ²	0.85	0.93	0.85	0.97	0.82
	b	0.79	1.09	1.65	1.07	1.37
Epo	Equation	$L = 228.94Q^{0.90}$	$L = 179.26Q^{1.09}$	$L = 17.71Q^{1.77}$	$L = 170.41Q^{1.06}$	$L = 0.56Q^{1.42}$
	R ²	0.73	0.90	0.82	0.97	0.81
	b	0.90	1.09	1.77	1.06	1.42
Kangsang	Equation	$L=889.24Q^{0.83}$	$L=5,390.3Q^{0.36}$	$L=104.84Q^{1.37}$	$L=136.99Q^{1.09}$	$L=1.02Q^{1.25}$
	R ²	0.85	0.23	0.85	0.97	0.88
	b	0.83	0.36	1.37	1.09	1.25
Walkyesa	Equation	$L = 279.70Q^{0.12}$	$L = 2,289.5Q^{0.69}$	$L = 135.47Q^{1.28}$	$L = 148.52Q^{1.06}$	$L = 1.30Q^{1.22}$
	R ²	0.06	0.80	0.77	0.96	0.78
	b	0.12	0.69	1.28	1.06	1.22

Table 3. Correlation coefficients between the variables of analyzed components

	Flowrate	Temp	pH	Cond.	DO	BOD ₅	COD _{Mn}	Chl.a	SS	T-N	DTN	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	T-P	DTP	PO ₄ -P	DOC	Rainfall
Flowrate	1																		
Temp	0.400	1																	
pH	-0.361	-0.264	1																
Cond.	-0.478	-0.287	0.303	1															
DO	-0.344	-0.571	0.523	0.327	1														
BOD ₅	-0.210	0.110	0.440	0.238	0.286	1													
COD _{Mn}	0.218	0.274	0.171	-0.025	0.012	0.616	1												
Chl.a	-0.196	0.106	0.486	0.252	0.260	0.730	0.594	1											
SS	0.463	0.267	-0.252	-0.262	-0.274	0.121	0.578	0.004	1										
T-N	0.350	0.203	-0.294	-0.124	-0.288	-0.116	0.122	-0.085	0.226	1									
DTN	0.412	0.233	-0.371	-0.163	-0.337	-0.158	0.072	-0.169	0.231	0.873	1								
NH ₃ -N	-0.081	-0.149	0.093	0.141	0.028	0.098	0.070	0.077	0.068	0.281	0.296	1							
NO ₂ -N	0.078	0.045	-0.056	-0.005	-0.052	-0.021	0.081	0.001	0.147	0.096	0.104	0.003	1						
NO ₃ -N	0.457	0.326	-0.473	-0.171	-0.407	-0.242	-0.041	-0.304	0.109	0.583	0.724	-0.106	0.047	1					
T-P	0.455	0.300	-0.251	-0.258	-0.300	0.109	0.541	0.047	0.777	0.218	0.219	0.065	0.100	0.167	1				
DTP	0.345	0.240	-0.264	-0.261	-0.289	-0.025	0.449	0.065	0.501	0.190	0.166	0.018	0.054	0.133	0.594	1			
PO ₄ -P	0.196	0.181	-0.232	-0.268	-0.280	0.003	0.358	-0.072	0.505	0.023	-0.017	0.037	-0.005	-0.019	0.559	0.517	1		
DOC	0.330	0.283	-0.112	-0.179	-0.212	0.245	0.657	0.196	0.623	0.280	0.212	0.085	0.014	0.095	0.638	0.467	0.531	1	
Rainfall	0.474	0.246	-0.297	-0.482	-0.362	-0.200	0.180	-0.228	0.456	0.260	0.267	-0.081	0.165	0.290	0.433	0.335	0.239	0.248	1

Table 4. Eigen values and cumulative percentage

Eigenvalues of the Correlation Matrix				
	Eigen-value	Difference	Pro-portion	Cumu-lative
Prin1	5.5503	2.1388	0.2921	0.2921
Prin2	3.4114	1.4448	0.1795	0.4717
Prin3	1.9666	0.6256	0.1035	0.5752
Prin4	1.3410	0.2633	0.0706	0.6458
Prin5	1.0778	0.1477	0.0567	0.7025
Prin6	0.9301	0.1234	0.0490	0.7514
Prin7	0.8067	0.2182	0.0425	0.7939
Prin8	0.5884	0.0555	0.0310	0.8249
Prin9	0.5329	0.0174	0.0280	0.8529
Prin10	0.5155	0.0793	0.0271	0.8800
Prin11	0.4362	0.0637	0.0230	0.9030
Prin12	0.3725	0.0617	0.0196	0.9226
Prin13	0.3108	0.0357	0.0164	0.9390
Prin14	0.2751	0.0127	0.0145	0.9534
Prin15	0.2624	0.0301	0.0138	0.9673
Prin16	0.2323	0.0529	0.0122	0.9795
Prin17	0.1794	0.0527	0.0094	0.9889
Prin18	0.1268	0.0431	0.0067	0.9956
Prin19	0.0837	0.0044	1.0000	

DOC(0.62) 농도와 높은 상관도를 보였다. COD_{Mn} 농도는 BOD₅(0.62), Chl.a(0.59), T-P(0.54), DTP(0.45), DOC(0.66)와 상관도가 높았다. T-P는 유량(0.46), COD_{Mn}(0.54), DOC(0.64)와 높은 상관도를 보였다.

남한강 증류구간의 각 수질항목 중 대상구간의 수질에 주요한 영향을 끼치는 주성분을 SAS를 이용한 주성분분석(Principal Component Analysis: PCA)을 통하여 파악하였다.

각각의 수질측정 항목들을 독립변수로 놓고 주성분분석을 이용하여 19개의 주성분을 추출하였으며, 이때 추출된 차수를 결정하는데 여러 방법이 있으나, 본 연구에서는 주성분을 설명하는 분산의 크기를 나타내는 고유치(Eigenvalue)를 기준으로 이 고유치가 1이상일 경우에 하나의 주성분이 변수 1개 이상의 분산을 설명하며, 고유치가 1이하인 경우 1개의 요인이 변수 1개의 분산을 설명할 수 없으므로 고유치가 1.0 이상이 되는 요인을 추출하는 방법을 사용하였다(최 등, 2003).

추출된 고유값(Eigenvalue)을 1이상을 기준으로 5개로 결정하였으며 Table 4에 추출된 주성분의 고유치, 차이, 분산비를 나타내었다(강 등, 2005; 김, 2003).

제1주성분의 고유치는 5.55, 기여율은 29.21%이며, 제2주성분과 제3주성분, 제4주성분, 제5주성분의 고유치와 기여율은 각각 3.41, 1.97, 1.34, 1.08과 17.95%, 10.35%, 7.06%, 5.67%로 제1주성분과 제5주성분까지 전체 분산의 70.25%를 설명해 주고 있다. Table 5에는 각 수질항목의 주성분별 Eigen vector 값을 나타내었다.

남한강 증류구간의 첫 번째 주성분은 강우량, 유량, TSS, T-P, DTP, DOC로 묶여 첫 번째 주성분은 '강우에 의한 인물질의 유입'으로 규정할 수 있다(Table 6). 두 번째 주

Table 5. Component matrix

	Eigenvectors				
	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5
Flow	0.3019	-0.0848	-0.0189	-0.1447	0.1632
W.T	0.2291	0.0198	0.0169	-0.5496	-0.1965
pH	-0.2336	0.2749	0.1031	-0.0376	0.1630
Cond	-0.2166	0.1108	0.2578	0.1252	-0.1123
DO	-0.2606	0.1690	0.0681	0.1966	0.2650
BOD	-0.0538	0.4253	0.2133	-0.2354	-0.0181
COD	0.1860	0.4330	0.1075	-0.0973	0.0566
Chl-a	-0.0703	0.4142	0.2245	-0.2719	-0.0014
SS	0.3139	0.1991	-0.0906	0.1643	0.1272
TN	0.2326	-0.1336	0.4845	0.1039	-0.0040
DTN	0.2447	-0.1876	0.4860	0.0710	-0.0014
NH ₃ -N	0.0121	0.0642	0.3415	0.5239	-0.1216
NO ₂ -N	0.0610	0.0001	0.0547	0.0145	0.7614
NO ₃ -N	0.2268	-0.2654	0.2836	-0.1998	-0.0434
TP	0.3219	0.2022	-0.1011	0.1528	0.0267
DTP	0.2719	0.1472	-0.1365	0.1422	-0.0829
PO ₄ -P	0.2293	0.1652	-0.2868	0.2666	-0.2394
DOC	0.2721	0.2726	0.0182	0.1000	-0.1269
Rainfall	0.2695	-0.0687	-0.1398	-0.0211	0.3581

Table 6. Result of principal analysis on the analysis data by a principal component analysis

	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5
Variables	Flow TSS T-P DTP DOC Rainfall	pH BOD ₅ COD _{Mn} Chl-a	T-N DTN NO ₃ -N	NH ₃ -N	NO ₂ -N

성분은 pH, BOD₅, COD_{Mn}, Chl.a로 묶여 '조류발생으로 인한 유기물 증가'로 나타낼 수 있다. 세 번째 주성분부터 다섯 번째 주성분까지는 질소계열로 묶였으므로 '질소성분의 유입'으로 이름 붙일 수 있다.

이러한 주성분들 중 '강우에 의한 인물질의 유입'이 남한강 수질변동의 29%를 설명해주고, '조류발생으로 인한 유기물 증가'가 17%를 설명해주고, 세 번째 주성분에서 다섯 번째 주성분까지 합친 '질소성분의 유입'이 23%를 설명해 주고 있다.

주성분분석의 결과를 살펴보면 봄철 남한강본류 구간의 수질은 남한강 유역의 비점오염원에서 나오는 인물질이 강우에 의해 본류로 유입되고 유입된 인물질은 수체내에서 조류의 대량 발생을 유발하여 남한강 본류구간의 수질에 커다란 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

4. 결론

팔당호의 주요한 수질문제 중 하나인 봄철 저수기 수질 악화의 원인과 영향수역을 규명하기 위하여 남한강 증류면 이하 증류구간의 13개 지점을 대상으로 수질 및 유량을 4

월부터 6월까지 매주 1회 측정하여 총 13회에 걸쳐 조사하였고, 유량과 수질의 시공간적 변화특성을 파악하였고 유량과 부하량과의 관계를 살펴보았으며 수질항목 간의 상관계수 행렬과 주성분분석(Principal Component Analysis: PCA)을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 남한강 증류의 BOD₅, COD_{Mn} 농도는 하류로 갈수록 상승하여 최하류인 월계사 지점에서 각각 3.7 mg/L, 5.9 mg/L로 가장 높은 값으로 조사되었으며, Chl.a 농도는 강상을 지나면서 50 mg/m³ 내외로 상승한 후 팔당호 합류부에서는 37 mg/m³로 감소하였다. 조사지역의 유기물 농도 변화는 Chl.a 농도 변화와 거의 유사한 경향을 나타내었고, 특히 BOD₅ 농도 변화는 최하류의 팔당호와 혼합되는 지점을 제외하곤 증하류 모든 지점에서 Chl.a 농도 변화와 비슷한 변동을 나타내고 있었다.
- 2) 팔당호 수질에 가장 큰 영향을 미치는 남한강 증류의 봄철 저수기 수질악화는 달천과 섬강 등 유입지천의 인부하로 인하여 남한강 하류의 정체구간인 전이대에서 야기되는 조류의 대량발생과 그에 따른 내부생산에 기인하는 것으로 볼 수 있다.
- 3) 남한강 증류구간에서 BOD₅ 부하에 대한 유량계수는 0.85로 나타나 유량이 증가할수록 BOD₅ 농도가 감소하는 경향을 보였으나, COD_{Mn}, TSS, T-N, T-P는 유량계수가 각각 1.11, 1.66, 1.09, 1.59로서 유량이 증가할수록 농도가 상승하는 것으로 분석되었다.
- 4) 주성분분석을 실시한 결과 봄철 남한강본류 구간의 수질은 남한강 유역의 비점오염원에서 나오는 인물질이 강우에 의해 본류로 유입되고 유입된 인물질은 수체내에서 조류의 대량 발생을 유발하여 남한강 본류구간의 수질에 커다란 영향을 끼치는 것으로 판단되었다.

참고문헌

- 강현철, 한상태, 김기영, 전명식, 예제로 배우는 SAS 다변량 자료분석 입문, 자유아카데미 (2005).
- 건설교통부, 수문관측매뉴얼 (2004).
- 공동수, 윤일병, 류재근, 이상욱 팔당호 저서성 대형무척추동물의 군집분석과 현존량의 계절적 동태, *한국육수학회지*, **23**(1), pp. 43-68 (1990).
- 공동수, 팔당호의 육수생태학적 연구, 박사학위논문, 고려대학교 (1992).
- 공동수, 윤일병, 류재근, 팔당호의 물수지 및 수문특성, *Korean Journal of Limnology*, **29**(1), pp. 51-64 (1996).
- 김중섭, SAS v.8.2를 이용한 통계분석의 이해, 한울출판사 (2003).
- 노형진, *Excel 및 SPSS를 활용한 다변량분석 이론과 실제*, 형설출판사 (2005).
- 노형진, 정한열, 개정판 한글 SPSS 기초에서 응용까지, 형설출판사 (2006).
- 박혜경, 이현주, 김은경, 정동일, 팔당호 조류발생 특성 및 수질환경인자의 통계적 분석, *한국물환경학회지*, **21**(6), pp. 584-594 (2005).
- 손영목, 송호복, 변화근, 최재석, 팔당호의 어류군집 동태, *한국어류학회지*, **9**(1), pp. 141-152 (1997).
- 유광일, 임병진, 팔당호에서 동물플랑크톤 군집구조와 생물량의 계절적 천이, *한국육수학회지*, **25**(2), pp. 89-97 (1992).
- 조강현, 김준호, 팔당호 연안대에서 대형 수생식물의 분포, *한국생태학회지*, **17**(4), pp. 435-442 (1994).
- 최용석, 정관모 공저, SAS를 활용한 다변량 분석 기법과 응용, 자유아카데미 (2003).
- 환경부, 수질오염공정시험법 (2005).
- ISO/DIS 2425. Measurement of Flow in Tidal Channels.
- Kong, D. S., Limnological and Ecological Characteristics of a River-Reservoir(Paldang), Korea. *Special Issue, Korean Journ. Lim.*, 30-Supplement, pp. 524-535 (1997).