

금강과 용담댐 하류하천 부착규조 군집 동태 및 생물학적 수질 평가

박연정¹ · 김한순¹ · 반양진² · 이희숙^{2,†}

¹경북대학교 생명과학부, ²K-water

Dynamics of Epilithic Diatom Communities and Biological Water Quality Assessment in Geum River and Downstream Yongdam

Yeon-Jeong Park¹, Han-Soon Kim¹, Yang-Jin Ban², and Hee-Suk Lee^{2,†}

¹School of Life Sciences, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

²K-water, Daejeon, 34350, Korea

Received August 28, 2017/Revised September 12, 2017/Accepted September 18, 2017

This study was conducted to investigate the water quality of the Geum River and downstream Yongdam using Diatom Assemblage Index to organic water pollution (DAIpo) and Trophic Diatom Index (TDI). Water quality parameters, such as Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Phosphorus (TP), were analyzed. A total of 99 diatom taxa belonging 27 genera and 75 diatom taxa belonging 25 genera were identified in the epilithic diatom communities of Geum River and downstream Yongdam, respectively. In Geum River, the dominant species were indifferent and saprophilous taxa, such as *Achnanthes minutissima*, *Fragilaria crotonensis*, *Nitzschia inconspicua*, *Nitzschia palea*, and *Cyclotella atomus*. However, the dominant species were in indifferent and saproxenous taxa, such as *Achnanthes minutissima*, *Cocconeis placentula* var. *lineata*, and *Reimeria sinuata* in downstream Yongdam. The mean biological indices (DAIpo and TDI) indicated poor water quality in Geum River but good water quality in downstream Yongdam.

Key words: Epilithic diatom communities, DAIpo, TDI

1. 서 론

인간 활동의 증가로 인하여 부영양화는 급속도로 진행되고 있으며, 이것은 국내 뿐 아니라 미국, 유럽 등에서도 가장 중요한 수질 문제이다.^{1,2)} 비록 하수처리장을 증가시키고, 외부 영양 유입을 줄이는 회복 방법은 많은 담수 생태계에서 영양 염류의 농도를 감소하고 있지만, 부영양화는 여전히 많은 나라에서 주요한 영향 요인이다.³⁾ 이로 인하여 각국에서는 인과 질소의 농도를 포함한 영양기준을 초과하지 않고 생물학적 군집을 보호하기 위해 수중생태계에 영향을 주지 않는 대책을 마련하고 있다.^{4,6)} 영양염류의 기준의 효과적인 접근 중 하나는 영양물질 농도와 생태적 조건의 생물학적인 지표 생물사이의 관계에 근거하는 것이다.⁷⁾ 지표 생물은 부착

규조류, 저서성대형무척추동물, 어류 등이 존재하며, 주로 DO, TSS, NO₃⁻, PO₄³⁻, Zn 및 Cd 농도 등에 영향이 있다.⁸⁾ 그 중 규조류는 pH, 영양염 농도 등^{9,10)} 다양한 수계 환경 변화에 대한 빠른 반응으로 지표생물로 많이 이용하고 있다.¹¹⁻¹⁵⁾

하천에서 1차 생산자로서 하천생태계의 중요한 역할을 하는 그룹인 부착 규조류는 영양염을 유기물의 형태로 전환시켜 다른 생물이 이용할 수 있게 하며, 생태계 오염의 회복을 돕는다.¹⁶⁻¹⁸⁾

유역면적 9,885 km², 길이 401 km에 이르는 금강수계는 우리나라 4대 하천 중의 하나이다.¹⁶⁾ 금강 상류에 있는 용담다목적댐은 전라북도 진안군 용담면 월계리에 있는 댐으로 1990년에 착공하여 2001년 10월 13일 준공되었다. 높이 70 m, 길이 498 m, 총저수량 8억 1500

[†]To whom correspondence should be addressed.

만의 콘크리트 차수벽형 석괴댐이다. 백제보는 충남 부여군 부여읍 정동리에 위치하고 있는 금강의 보로서, 계획 홍수량은 12,580 m³/s, 계획 홍수위는 EL 12.62 m이다.

따라서 본 연구는 금강 상류에 위치한 용담 다목적댐 하류하천과 금강 본류의 부착조류 종분석과 생물학적 수질 평가를 실시함으로써 금강수계의 기초 자료를 확보하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지점 및 시기

본 연구는 금강 3개보 조사 지점(세종보, 공주보, 백제보)과 용담댐 하류하천 4지점(강동교, 대소교, 대티교 부근, 상굴암마을 앞)에 대하여 이화학적 수질 및 부착조류에 대한 연구를 수행하였다. 금강 3개보 지점은 2015년 2월 11일, 2015년 5월 8일 및 2015년 12월 1일 3회 수행하였고, 용담댐 하류하천은 2015년 7월 2일과 11월 27일에 조사를 실시하였다.

2.2. 분석방법

이화학적 환경요인 중 용담댐의 하류하천의 BOD (ES 04305.1b, 2017), COD (ES 04315.1a, 산성 과망간산 칼륨법, 2017), TP (ES 04362.1c, 자외선/가시선 분광법, 2017)는 수질오염공정시험 기준에 따라 실험을 수행하였고,¹⁹⁾ 금강의 수질자료는 물환경정보시스템의 정보를 활용하였다.²⁰⁾

부착조류의 시료는 반듯한 3~5개의 돌 상부 표면을 솔로 깨끗이 분리·채집하였다. 시료는 산처리 후 Pleurax 봉입제로 영구 프레파라트를 제작하여 광학현미경(Nikon, ECLIPSE E600)으로 1,000배에서 동정 및 계수하였다.

오탁에 대한 수질 평가 방법인 DAIPo (Diatom Assemblage Index to organic water pollution)는 전 출현종의 상대빈도를 구하고 오염도에 대한 각 규조종의 내성도를 기준으로 호청수성종(Saproxeous taxa), 호오탁성종(Saprophilous taxa) 및 광적응성종(Indifferent taxa)의 3가지 생태군으로 나누었다. 규조군집 중에 출현한 1부터 p까지의 호청수성종(Saproxenus taxa)의 상대출현도(%)의 합($\sum_{i=1}^p X_i$)과 1부터 q까지의 호오탁성종(Saprophilous taxa)의 상대출현도(%)의 합($\sum_{j=1}^q S_j$)의 관계를 기초로 다음 공식에 의해 구하였다.^{21,22)}

$$DAIPo = 50 + 1/2(\sum_{i=1}^p X_i - \sum_{j=1}^q S_j)$$

영양염을 기준으로 한 수질 평가 방법인 TDI(Trophic Diatom Index)는 전 출현종의 밀도(a_j)를 계산한 후, Kelly & Whitton(1995)에 제시된 민감도 값(s_j , sensitivities values)과 지표값(v_j , indicator values)을 이용하여 가중평균민감도(Weighted mean sensitivity)를 계산하고 최종적으로 TDI를 계산하였다.²³⁾

$$WMS = (\sum_{j=1}^n a_j s_j v_j / \sum_{j=1}^n a_j v_j)$$

$$TDI = (WMS \times 25) - 25$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 이화학적 환경요인

금강 3개 지점과 용담댐 하류하천 4개의 이화학적 환경요인의 결과는 Table 1과 같다.

금강 생물화학적산소요구량(BOD)는 평균 1.4~2.5 mg/L의 범위로 나타났으며, 세종보 평균 1.4 mg/L, 공주보 평균 1.8 mg/L, 백제보 평균 2.5 mg/L로 하류로 내려갈수록 값이 높아졌다. 화학적산소요구량 (COD)는 평균 5.3~6.0 mg/L의 범위로 세종보, 공주보 및 백제보에서 5.3 mg/L, 5.7 mg/L 및 6.0 mg/L로 BOD와 비슷한 경향을 보였다. 총인(T-P)은 평균 0.040~0.049 mg/L의 범위로 분포하였다.

2013년, 2014년(2월, 5월 및 12월) 세종보, 공주보 및 백제보의 생물화학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD), 총인(T-P) 평균과 비교하였을 때, 각각 평균 2.3~2.5 mg/L, 평균 6.1~6.7 mg/L 및 평균 0.053~0.062 mg/L로 본 조사 결과보다 높은 값으로 조사되었다.

용담댐 하류하천의 생물화학적산소요구량(BOD)는 평균 1.2~1.4 mg/L 범위로 나타났으며, 화학적산소요구량(COD)는 평균 2.7~3.0 mg/L로 분포하였다. 부유물질

Table 1. Mean concentrations of Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) and total phosphorus (TP) in Geum River

	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-P (mg/L)
Sejong Bo	1.4	5.3	0.042
Gongju Bo	1.8	5.7	0.049
Bekjae Bo	2.5	6.0	0.040

Table 2. Mean concentrations of Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total organic carbon (TOC), Suspended Solids (SS), total nitrogen (T-N), and total phosphorus (T-P) in downstream Yongdam

Average	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
St.1	1.3	2.7	1.5	3.0	1.6	0.009
St.2	1.2	2.9	1.4	1.5	1.4	0.014
St.3	1.4	3.0	1.5	7.9	1.6	0.011
St.4	1.2	2.7	1.5	3.2	1.5	0.008

(SS)은 평균 1.5~7.9 mg/L, 총유기탄소(TOC)는 평균 1.4~1.5 mg/L로 분포하였다. 총질소(T-N)은 평균 1.4~1.6 mg/L, 총인(T-P)은 평균 0.008~0.014 mg/L의 범위로 나타났다.

3.2. 종조성

세종보, 공주보 및 백제보 지점에서의 부착조류 조사 결과, 세종보 25속 83종, 공주보 21속 70종 및 백제보 18속 71종으로 총 27속 99종이 동정 분류되었다.

조사지점별로는 3지점 모두 12월에 가장 많은 종이 출현하였다. 전체 종 구성은 *Navicula* 속이 26종으로 가장 많았고, *Nitzschia* 속 13종, *Achnanthes* 속 8종 및 *Fragilaria* 속이 7종 등으로 다양한 종이 출현하였다. *Cyclotella meneghiniana*, *Cymbella minuta* var. *silesiaca*, *Diatoma vulgaris*, *Fragilaria capucina*, *Gomphonema parvulum*, *Melosira varians*, *Navicula gregaria*, *Navicula minima*, *Nitzschia fonticola*, *Nitzschia inconspicua*, *Nitzschia palea* 및 *Synedra ulna*는 모든 조사 지점과 조사시기에 출현하였다. 이는 과거 금강 부착조류 군집과 비교하였을 때 1999년 조사에서 *Nitzschia palea*와 *Synedra ulna* 2종이 보편종이었던 것과 동일하게 이번 결과에서도 모든 조사지점에서 출현한 종으로 나타났다.²⁴⁾

용담댐 하류하천의 강동마을(St.1), 대소마을(St.2), 용담 상굴교장(St.3) 및 상굴교 하(St.4) 지점에서의 부착조

류 조사 결과, 강동마을 21속 54종, 대소마을 21속 55종, 용담 상굴교장 18속 50종 및 상굴교하 19속 55종으로 총 25속 75종이 동정 분류되었다.

전체 종 구성은 *Navicula* 속이 12종으로 가장 많았고, *Fragilaria* 속 9종, *Nitzschia* 속 8종 및 *Cymbella*, *Gomphonema* 속 7종 등으로 다양한 종이 출현하였다. *Achnanthes minutissima*, *Cocconeis placentula* var. *lineata*, *Cymbella minuta* var. *silesiaca*, *Cymbella turgidula*, *Gomphonema truncatum*, *Melosira varians*, *Navicula cryptotenella*, *Navicula minima*, *Nitzschia fonticola* 및 *Synedra ulna*는 모든 조사지점과 조사시기에 출현하였다.

3.3. 우점종

금강의 우점종은 다음과 같다. 2월 조사결과, 세종보 및 공주보에서는 광적응성종인 *Nitzschia inconspicua*가 각각 30.1% 및 36.9%로 우점하였고 백제보에서는 광적응성종인 *Achnanthes minutissima*가 34.9% 우점하였다. 5월 조사결과, 세종보에서는 광적응성종인 *Fragilaria crotonensis*가 12.9% 우점하였고, 공주보에서는 2월과 동일하게 광적응성종인 *Nitzschia inconspicua*가 29.1% 우점하였다. 그리고 백제보에서는 호오탁성종인 *Nitzschia palea*가 30.2% 우점하였다. 12월에는 세종보에서 2월에 우점하였던 *Nitzschia inconspicua*가 26.4%로 다시 우점하였고, 공주보와 백제보에서는 호오탁성종인 *Cyclotella*

Table 3. Dominant species of epilithic diatoms at each station in Geum River

Month	Sites	Dominant species	%
February	Sejong Bo	<i>Nitzschia inconspicua</i>	30.1
	Gongju Bo	<i>Nitzschia inconspicua</i>	36.9
	Bekjae Bo	<i>Achnanthes minutissima</i>	34.9
May	Sejong Bo	<i>Fragilaria crotonensis</i>	12.9
	Gongju Bo	<i>Nitzschia inconspicua</i>	29.1
	Bekjae Bo	<i>Nitzschia palea</i>	30.2
December	Sejong Bo	<i>Nitzschia inconspicua</i>	26.4
	Gongju Bo	<i>Cyclotella atomus</i>	65.5
	Bekjae Bo	<i>Cyclotella atomus</i>	27.2

Table 4. Dominant species of epilithic diatoms at each station in downstream Yongdam

Month	Sites	Dominant species	%
July	St.1	<i>Achnanthes minutissima</i>	61.77
	St.2	<i>Achnanthes minutissima</i>	23.12
	St.3	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	24.36
	St.4	<i>Reimeria sinuata</i>	20.77
November	St.1	<i>Achnanthes minutissima</i>	67.00
	St.2	<i>Achnanthes minutissima</i>	63.61
	St.3	<i>Achnanthes minutissima</i>	28.53
	St.4	<i>Achnanthes minutissima</i>	51.74

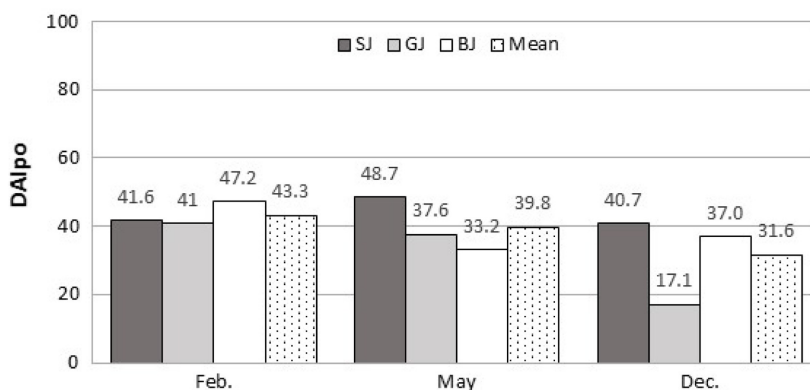


Fig. 1. Variation in DAIpo of Geum River in February, May, and December.

*atomus*가 각각 65.5% 및 27.2%로 우점하였고 12월로 갈수록 호오탁성종의 우점비율이 증가하는 경향을 보였다.

용담댐 하류하천에서의 우점종은 다음과 같다. 1차 조사결과, 강동마을 및 대소마을 앞 지점에서는 광적응성종인 *Achnanthes minutissima* (23.1~61.8%)가 우점하였고, 용담 상굴교장에서는 *Cocconeis placentula* var. *lineata* (24.4%), 상굴교 하 지점에서는 *Reimeria sinuata* (20.8%) 등의 호청수성종이 우점하였다. 2차 조사결과, 1차 강동마을 및 대소마을 앞에서 우점하였던 광적응성종인 *Achnanthes minutissima*가 모든 지점에서 28.5~67.0%로 우점하였다.

용담댐 하류하천의 1차 조사결과, DAIpo는 56.6~74.9의 범위로 평가되었으며, 평균 64.0으로 환경상태가 양호한 것으로 판단되었다. 상굴교하 지점에서 74.9(양호)로 평가되었고, 대소마을 앞 지점에서 56.6(보통)으로 다른 지점에 비해 상대적으로 낮게 평가되었다. TDI는 29.9~66.6의 범위로 평가되었으며, 평균 52.3으로 DAIpo와 동일하게 환경상태가 양호한 것으로 판단되었다. 강동마을 지점에서 29.9(최적)로 평가되었으며 용담

상굴교장 지점에서 66.6(보통)으로 다른 지점에 비해 상대적으로 낮게 평가되었다.

2차 조사결과, DAIpo는 52.1~60.1의 범위로 평가되었으며, 평균 56.3으로 환경상태가 보통으로 판단되었다. St.3 지점에서 60.1(양호)로 평가되었고, St.1 지점에서 52.1(보통)으로 다른 지점에 비해 상대적으로 낮게 평가되었다. TDI는 29.4~51.6의 범위로 평가되었으며, 평균 37.7으로 환경상태가 최적인 것으로 판단되었다. St.2 지점에서 29.4(최적)로 평가되었으며 St.3 지점에서 51.6(양호)으로 다른 지점에 비해 상대적으로 낮게 평가되었다.

4. 결 론

금강 수계의 주요 오염원은 주로 도시와 농경지에 의한 수질오염이며, 분석결과에서도 용담댐 하류 하천에서 보다 금강에서 높은 오염도를 보였다.

생물화학적산소요구량(BOD) 결과는 금강 평균 1.4~2.5 mg/L의 범위를 보였고, 용담댐 하류하천 평균 1.2

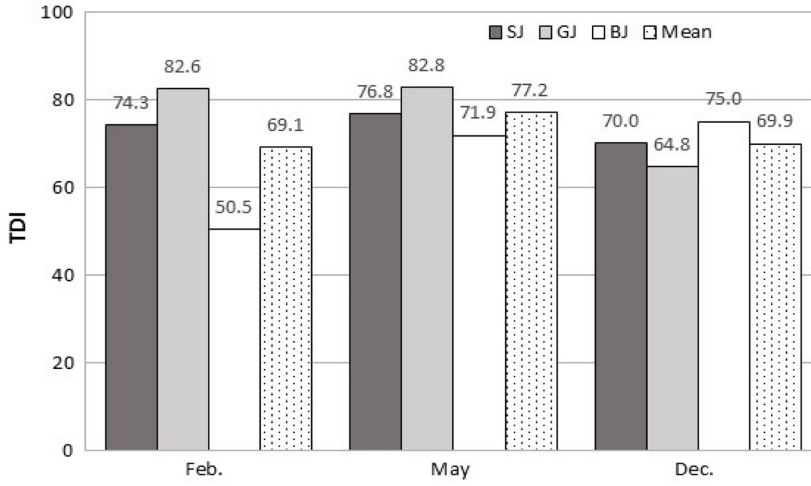


Fig. 2. Variation of TDI of Geum River in February, May, and December.

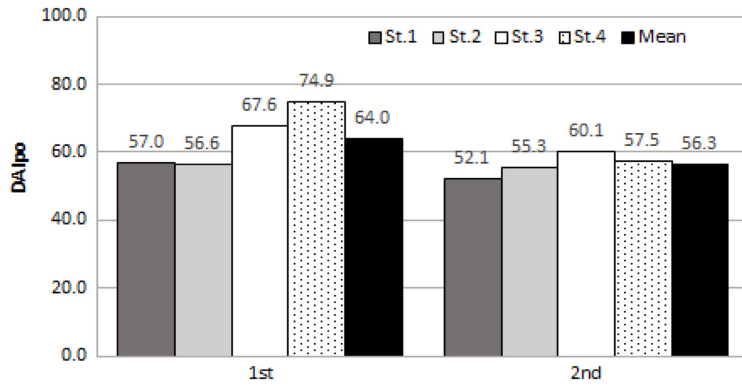


Fig. 3. Variation in DA/po of primary and secondary time of investigation in downstream Yongdam.

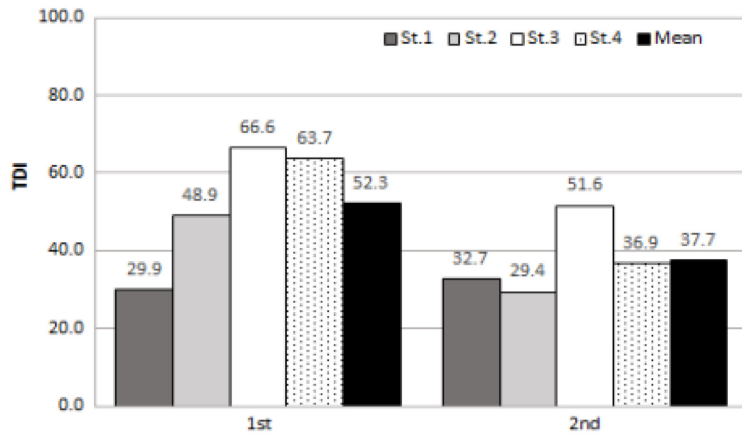


Fig. 4. Variation in TDI of primary and secondary time of investigation in downstream Yongdam.

~1.4 mg/L의 범위로 분포하였다. 화학적산소요구량(COD) 결과는 금강 평균 5.3~6.0 mg/L, 용담댐 하류하천 평균 2.7~3.0 mg/L로, 총인(TP)는 금강 평균 0.040~0.049 mg/L, 용담댐 하류하천 평균 0.008~0.014 mg/L로 BOD, COD, TP 모두 하류하천보다 본류에서 높은 값으로 분포하였다.

용담댐 하류하천과 금강에 출현한 부착규조류는 29속 117종으로, 전체 중 중 호청수성종 13속 30종(25.6%), 호오탁성종 7속 16종(13.7%)이 출현하였다. 금강 3개보에서는 27속 99종으로 그 중 호청수성종 13속 25종(25.3%), 호오탁성종 7속 16종(16.2%)으로 출현하였다. 용담댐 하류하천에서는 25속 75종이 출현하였으며, 호청수성종 12속 27종(36.0%), 호오탁성종 4속 6종(8.0%)로 출현하여 금강 3개보에 비해 호청수성종은 종수와 비율이 높았고 호오탁성종은 종수와 비율이 낮은 분포를 보였다.

용담댐 하류하천과 금강에 출현한 우점종은 호청수성종, 광적응성종, 호오탁성종에 따라 차이를 보였다. 용담댐 하류하천에서는 *Cocconeis placentula* var. *lineata* 등의 호청수성종이 2 지점에서 출현하였고, 나머지 지점에서는 광적응성종인 *Achnanthes minutissima* 종이 우점한 반면, 금강에서는 *Nitzschia inconspicua* 등의 광적응성종이 6지점, *Cyclotella atomus* 등의 호오탁성종이 3지점으로 출현하였다. 이는 용담댐의 하류하천에서보다 본류로 갈수록 호오탁성의 비율이 높아지는 것을 보이며, 이는 수질의 결과와도 일치함을 알 수 있었다.

용담댐 하류하천의 전체 DAIPo와 TDI 평균은 양호로 나타난 반면, 금강 본류에서는 불량으로 나타나 다른 항목의 결과와 비슷한 경향을 보였다. 용담댐 하류하천의 DAIPo는 강동마을 52.1~57.0(평균 54.6), 대소마을 앞 55.3~56.6(평균 55.9), 용담 상굴교장 60.1~67.6(평균 63.9) 및 상굴교하 57.5~74.9(평균 66.2)의 범위로 평가되었으며, 평균 54.6~66.2으로 환경상태가 양호~보통인 것으로 판단되었다. TDI는 강동마을 29.9~32.7(평균 31.3), 대소마을 앞 29.4~48.9(평균 39.1), 용담 상굴교장 51.6~66.6(평균 59.1) 및 상굴교하 36.9~63.7(평균 50.3)의 범위로 평가되었으며, 평균 31.3~59.1으로 환경상태가 최적~보통인 것으로 판단되었다.

금강 본류에서 DAIPo는 세종보 40.7~48.7(평균 43.7), 공주보 17.1~41.0(평균 31.9), 백제보 33.2~47.2(평균 39.1)의 범위로 평가되었으며, 평균 31.9~43.7으로 환경상태가 보통~불량한 것으로 판단되었다. TDI는 세종보 70.0~76.8(평균 73.7), 공주보 64.8~82.8(평균 76.7),

백제보 50.5~75.0(평균 65.8)의 범위로 평가되었으며, 평균 65.8~76.7으로 환경상태가 양호~불량한 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. N. M. Dubrovsky, K. R. Burow, G. M. Clark, J. M. Gronberg, P. A. Hamilton, K. J. Hitt, D. K. Mueller, M. D. Munn, B. T. Nolan, L. J. Puckett, M. G. Rupert, T. M. Short, N. E. Spahr, L. A. Sprague, W. G. Wilber, "The quality of our Nation's waters-Nutrients in the Nation's streams and groundwater, 1992-2004", *U.S. Geological Survey*, **2010**, Circular 1350, 174.
2. A. F. Bouman and D. P. Van Vuuren, "Global assessment of acidification and eutrophication of natural ecosystems", *UNEP RIVM report UNEP/DEIA&EW/TR. 99-6, RIVM-report 402001012, Bilthoven, The Netherlands*, **1999**.
3. M. Søndergaard and E. Jeppesen, "Anthropogenic impacts on lake and stream ecosystems, and approaches to restoration", *Journal of Applied Ecology*, **2007**, *44*, 1089-1094.
4. S. Hausmann, D. F. Charles, J. Gerritsen, and T. J. Belton, "A diatom-based biological condition gradient (BCG) approach for assessing impairment and developing nutrient criteria for streams", *Science of the Total Environment*, **2016**, *562*, 914-927.
5. EU Commission, "Report from the commission to the European parliament and the council on the implementation of the European commission. 2012", *Water Framework Directive (2000/60/EC) River Basin Management Plans*, **2015**.
6. US Environmental Protection Agency (USEPA), "Working in partnership with states to address phosphorus and nitrogen pollution through use of a framework for state nutrient reductions", *Memorandum from Nancy A. Stoner, Acting Assistant Administrator, to EPA Regional Administrators*, **2011**.
7. US Environmental Protection Agency (USEPA), "Ambient water quality criteria recommendations: Rivers and streams in nutrient ecoregion XIV, EPA-822-B-00-020", **2000**, Washington, DC, US
8. M. Sharifinia, A. Mahmoudifard, K. Gholami, J. I. Namin and Z. Ramezanzpour, "Benthic diatom and macroinvertebrate assemblages, a key for evaluation of river health and pollution in the Shahrood River, Iran", *Limnology*, **2016**, *17*, 95-109.
9. S. C. Schneider, M. Kahlert and M. G. Kelly, "Interactions between pH and nutrients on benthic algae in streams and consequences for ecological status assess-

- ment and species richness patterns”, *Science of the Total Environment*, **2013**, 444, 73-84.
10. Y. Pan and R. J. Stevenson, “Gradient analysis of diatom assemblages in western Kentucky wetlands”, *Journal of phycology*, **1996**, 32, 222-232.
 11. S. Barinova, N. Liub, J. Ding, Y. An, W. Qin and C. Wub, “Ecological assessment of water quality of the Songhua River upper reaches by algal communities”, *Acta Ecologica Sinica*, **2016**, 36, 126-132.
 12. P. R. Adamus and K. Brandt, “Impacts on quality of inland wetlands of the United States: A survey of indicators, techniques, and applications of community-level biomonitoring data (No. PB-91-113837/XAB; EPA - 600/3-90/073)”, **1990**, 406, Environmental Protection Agency, Corvallis, OR (USA). Environmental Research Lab.
 13. A. G. Rusanov and E. V. Stanislavskaya, “River Pollution in Ladoga Basin: Estimation Based on Diatom Index”, *Water Resources*, **2011**, 38, 95-106.
 14. S. D. Porter, D. K. Mueller, N. E. Spahr, M. D. Munn and N. M. Dubrovsky, “Efficacy of algal metrics for assessing nutrient and organic enrichment in flowing waters”, *Freshwater Biology*, **2008**, 53, 1036-1054.
 15. M. Potapova, D. F. Charles, “Diatom metrics for monitoring eutrophication in rivers of the United States”, *Ecological indicators*, **2007**, 7, 48-70.
 16. 조인환, 황순진, 김백호, 김용재, “금강수계의 토지이용 및 수질구배에 따른 돌부착 돌말류의 분포특성”, *Journal of Korean Society on Water Environment*, **2014**, 30, 283-291.
 17. G. A. Lamberti, “The role of periphyton in benthic food webs”, In: R. J. Stevenson, M. L. Bothwell and R. L. Lowe (eds): *Algal ecology: Freshwater benthic ecosystems*, **1996**, 533-573, Academic Press, San Diego, California.
 18. P. J. Mulholland, “Role in nutrient cycling in streams”, In: R. J. Stevenson, M. L. Bothwell and R. L. Lowe (eds): *Algal ecology: Freshwater benthic ecosystems*, **1996**, 605-639, Academic Press, San Diego, California.
 19. 환경부, “수질오염공정시험기준”, **2017**.
 20. 물환경정보시스템, <http://water.nier.go.kr>, 2016년 2월.
 21. T. Watanabe and K. Asai, “Numerical simulation using diatom assemblage of organic pollution in streams and lakes”, *The Review of inquiry and Research*, **1990**, 52, 99-139.
 22. T. Watanabe, “Picture book and ecology of the freshwater diatoms”, **2005**, Uchida Rokakuho Publishing Co., LTD. Tokyo.
 23. M. G. Kelly and B. A. Whitton, “The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers”, *Journal of Applied Phycology*, **1995**, 7, 433-444.
 24. 김지환, 이석준, 오희목, “금강 부착조류 군집의 동태”, *Algae*, **2000**, 15, 287-297.