

ORIGINAL ARTICLE

수위 변화에 따른 비점오염의 상수원 수질 영향 분석

최미진 · 이상현*

울산발전연구원 환경안전연구팀

Impact of Non-point Source Runoff on Water Resource Quality according to Water-Level Changes

Mi-Jin Choi, Sang-Hyeon Lee *

Ulsan Development Institute, Ulsan 44248, Korea

Abstract

This study evaluated the effect of water level of water resources on water quality in Ulsan. Two reservoirs, Sayeon Dam and Hoeya Dam, were selected and water quality of chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) were analyzed from 2012 to 2014. And the characteristics of precipitation were also analyzed for 70 years (1945~2014) because runoff of non-point pollutant was strongly affected by precipitation. As a result, water deterioration of Sayeon Dam and Hoeya Dam were affected in accordance with lowering water level. For example, the concentrations of COD and TN was negatively correlated with the water level when the water level of Sayeon Dam was gradually decreased in 2013. The TN concentration was increased to 1.432 mg/L from 0.875 mg/L while the lowest water level of Sayeon Dam was recorded 45 m in 2014. Additionally the concentration of COD and TN was sensitively increased with 0.213 mg/L/m and 0.058 mg/L/m on account of non-point pollutant runoff. It is indicated that hereafter a control of non-point pollutant runoff is the critical factors to maintain water resources because the contribution of non-point pollutant is expected to increase due to the frequent heavy rain events. Therefore, it is necessary to map out a specific plan for non-point pollutant control based on analyses of runoff characteristics, water pollution sources and reduction plans in water pollutants and to establish a water modelling and database system as a preventive action plan.

Key words : Non-point pollutant, Precipitation, Water level, Water resource

1. 서론

우리나라 상수원의 97%는 하천수, 호소 및 다목적댐에서 조성되는 지표수를 사용하고 있으나 산업발전 및 활발한 경제활동으로 인해 공공수역으로의 오염물질 유입의 증가로 풍부한 수량 확보와 깨끗한 수질 보전에 어려움이 있다(이 등(2011)). 특히 비점오염원은 수질오염의 주요인으로 하천호소의 부영양화, 녹조현상 심화, 물

고기 집단폐사, 저서생물 서식지 파괴 등 생태계에 직접적인 영향 및 정수처리에 어려움 등을 초래하고 있다. 비점오염원에 의한 하천오염 부하율은 BOD 기준, 2003년 53.6%를 차지한 반면 2010년에는 68.3%를 기록하였다(국립환경과학원(2010)). 최근에는 하수처리장 등 환경기초시설이 확충되면서 점오염원의 관리는 강화되었지만 개발사업에 따른 불투수면 확대와 토지이용의 고밀화 등으로 비점오염원에 의한 오염기여율이 더욱 증가할 것

Received 21 May, 2015; Revised 9 July, 2015;

Accepted 15 July, 2015

*Corresponding author : Sang-Hyeon Lee, Ulsan Development Institute, Ulsan 44248, Korea

Phone: +82-52-283-7732

E-mail: shlee@udi.re.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

으로 예상되며 2020년에는 비점오염원 부하율이 약 72.1%까지 증가할 것으로 전망하고 있다(환경부(2006); 국립환경과학원(2010)). 예를 들어 한강수계의 경우, 1998~2010년까지 10년 동안 약 12조원을 투자하였으나 목표수질인 BOD 1.0mg/L에 미치지 못한 원인으로 비점오염원에 의한 난분해성 물질 등이 강우유출수의 유입 때문으로 보고 있다. 따라서 오염부하율이 높은 비점오염을 관리하지 않고는 하천의 목표수질 달성이 어렵기 때문에 비점오염원관리의 종합적인 대책이 필요하다. 미국과 일본의 경우도 점오염원의 규제·관리만으로 수질개선에 한계를 파악하고 다양한 비점오염원으로부터 유출되는 비점오염물질을 관리하기 위하여 다양한 법적 규제 및 제어대책을 마련하였을 뿐만 아니라 토지이용을 세부적으로 분류하여 유출특성을 파악하고 최적관리방안을 도출하여 관리하고 있다(최 등(2009)). 우리나라 역시 비점오염관리 방향의 전환이 중요한 이슈로 등장하여 강우유출수 농도저감 정책에서 실질적 비점오염원 저감을 위한 강우유출수 유출량 저감 방향으로 전환되고 있고 비점오염물 차집·처리하는 사후처리적 형태에서 침투량 증대 등 사전예방적 관리로 전환되고 있는 추세이다. 하지만 전국적으로 비점오염 관리를 위한 비점오염저감, 산단원충저류조 및 하수저류 시설 설치 등의 공공부문 투자는 약 457억 원으로 주요 수질관리 예산액의 2%에 불과하여 비점오염원부하량에 비해 투자가 부족한 것이 사실이다(국립환경과학원(2010)).

특히, 비점오염물질 발생량과 배출량은 기상조건에 따라 좌우되는 것으로 알려져 있다. 지난 100년간 우리나라 6대도시 강수량은 19% 증가하고 강우일수는 14% 감소하여 강우강도가 18% 증가한 것으로 분석되었다(이 등(2011); 환경부(2010)). 따라서 강우 특성 변화로 지표면에 축적된 고농도의 비점오염물질이 하천으로 유출되어 수질오염을 가중시키고 있기 때문에 강우유출수에 대한 집중관리방안이 필요한 시점이다(환경부(2012)). 울산의 경우 1946~1995년의 연강수량은 1174.4mm이고, 2000~2010년 연강수량은 87.2mm 증가하여 1261.6mm로 나타났으며, 13.4mm/10년의 비율로 증가하는 경향을 보이고 있다(울산발전연구원(2012)). 기후변화에 따른 수질변화는 유역의 수문변화와 밀접한 관계가 있고 오염물질에 의한 하천수질에 부정적인 영향을 미칠 것으로 보고 있다(장과 안(2012)). 울산의 태화강 역시 비점

오염부하량이 55%(SS기준)로 점오염원보다 높은 것으로 나타나 비점오염원 관리 방식에 대한 변화가 요구되고 있다(울산광역시(2004)). 또한 태화강 상류의 지류하천인 대곡천 절벽에 위치한 국보 285호인 반구대 암각화 보존방안의 하나로 사연댐의 수위를 60m에서 52m로 인위적으로 낮추고 있어 울산시에 공급하고 있는 생활용수 공급량이 하루 3만톤 감소하게 되고 부영양화 가능성이 높아질 것으로 예측된다(이와 조(2013); 제갈 등(2014); 이 등(2012a); 황 등(2010)).

따라서 본 연구는 울산의 주요 상수원인 사연댐과 회야댐을 대상으로 수위가 변화할 경우 상수원 수질에 미치는 영향을 강수량과 연관시켜 COD, 총질소(TN), 총인(TP)을 중심으로 살펴보고 향후 합리적이고 효과적인 상수원관리 정책 방향을 제안하고자 한다.

2. 조사방법

1945년부터 2014년까지 70년간 울산의 강수량의 변화를 분석하기 위하여 강수 자료의 통계에서 강수일수, 집중호우, 강수일에 따른 평균 강수량 등을 구하였다. 기상청에 따르면 강수일은 일강수량이 0.1mm이상인 일수를 의미한다. 또한 집중호우는 일반적으로 시간당 30mm 이상이나 하루에 80mm이상의 비가 내릴 때, 또는 연강수량의 10%에 상당하는 비가 하루에 내리는 정도를 말하는데 본 연구에서는 일강수량이 80mm이상인 날을 기준으로 조사하였다. 기상자료는 기상청(<http://www.kma.go.kr>)과 기상청 국가기후데이터센터(<http://sts.kma.go.kr>)에서 제공하는 자료를 활용하였다.

본 연구에서는 울산광역시 상수원 중 사연댐과 회야댐을 중심으로 2012~2014년의 수질 및 수리수문정보를 조사하였다. 사연댐은 울산광역시 울주군 사연리에 위치하여 총저수량 25,000m³, 만수위 60m로서 수자원공사에서 관리 운영하며, 회야댐의 경우 총저수량 21,530m³, 만수위 31.8m로 행정구역상 울산광역시 울주군 용촌면과 청량면에 걸쳐 있으며 울산광역시에 소유권이 있다(fig.1). 따라서 사연댐에 대한 수리수문은 국가수자원관리종합정보시스템(www.wamis.go.kr)에 게재된 2012~2014년도 일일 자료를 이용하였다. 각 댐의 수질정보는 회야정수처리장과 천상정수처리장으로의 유입수 수질정보(COD, TN, TP)를 기준으로 하였다.

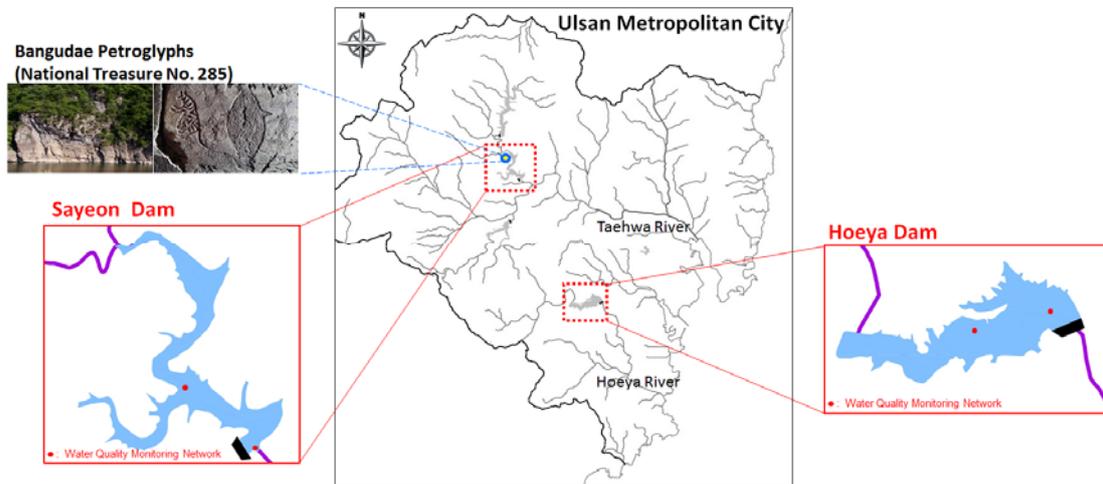


Fig. 1. Location of Dam Sayeon and Dam Hoeya in Ulsan Metropolitan City. Bangudae Petroglyphs are located 1.2km down by Daegokcheon stream, a branch of the Taehwa River. Bangudae Petroglyph photos are adapted from the Ulsan Petroglyph Museum website(<http://bangudae.ulsan.go.kr>).

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우특성 변화

1945년부터 2014년까지 울산지역의 평균 연강수량은 1266.4mm이며 장기적으로 증가 추세이다. 또한 강우일수가 줄어드는 대신 강수량은 증가하는 경향을 보이며 이러한 현상은 낙동강 유역의 강우변화 경향과 일치하는 것으로 fig.2(A)를 보면 강우강도 역시 장기적으로 증가하고 있는 것으로 나타났다(울산발전연구원(2012); 안 등(2011)). 울산 지역의 일 최고 강우량 기록은 1991년 7월에 태풍 글래디스의 영향으로 417.8mm으로 조사되었다. 또한 1940년대 평균 일최고강수량은 124.1mm이며 2000년대 평균 일최고강수량은 139.9mm로 12.7% 증가한 것으로 분석되었다. 2010년대인 최근 4년간의 강우기록을 분석하면 2014년에 211.6mm의 일최고강수량을 기록하였으나 2013년에 일최고강수량이 91.4mm에 불과해 강수량에 있어서 높은 변동성을 보여주고 있다(fig.2(B)). 70년 동안의 일강우기록을 바탕으로 집중호우 발생빈도 분석 결과, 2회/년으로 나타났으며 각 년대 별 집중호우 발생빈도 평균은 18.1회로 분석되었다. 2010년대에 이미 11회의 집중호우가 발생한 것으로 나타나 국지성호우와 같은 기상 현상 발생 증가의 결과로 보인다(fig.2(C)). 이러한 변화는 기후변화에 따른 취약

성을 평가하는 LCCGIS(Local Climate Change adaptation program based on GIS) 결과에 나타나는데 울산시 상수원이 위치한 울주군의 물관리 분야 중 치수가 타지자체에 비해 취약한 것으로 나타난 결과와 일맥상통한다고 볼 수 있다(이 (2014)). 또한 기후변화에 의한 강우시기의 집중 현상과 강우강도 증가는 비점오염원의 과도한 유출로 수질에 미치는 악영향도 크지만 수자원 및 용수 관리에 위협이 되어 물공급 시스템의 개편과 확충이 요구된다.

3.2. 상수원 수위변화와 수질연관성 분석

울산시의 대표 상수원인 회야댐과 사연댐의 수질 연평균 자료를 2000년부터 15년간 정리하여 그림 3에 나타내었다. 회야댐의 경우 15년간 연평균 BOD는 2mg/L 이하로 양호한 수준이지만 COD의 경우는 연평균 4.7 mg/L를 유지하여 호소수질 3등급으로 조사되었다. 반면 사연댐의 경우는 회야댐에 비해 COD가 약 1mg/L 낮은 3.6mg/L로써 호소수질 2등급 수준으로 이는 일반적인 정수처리 후 생활용수 또는 수영용수로 사용가능한 상태를 유지하는 것으로 나타났다.

하지만 최근 기후변화의 영향으로 강우량의 변동 폭이 크고 특히 사연댐의 경우 반구대암각화 보존방안 중 하나로 수위조절이 거론되었기 때문에 본 연구에서는 사

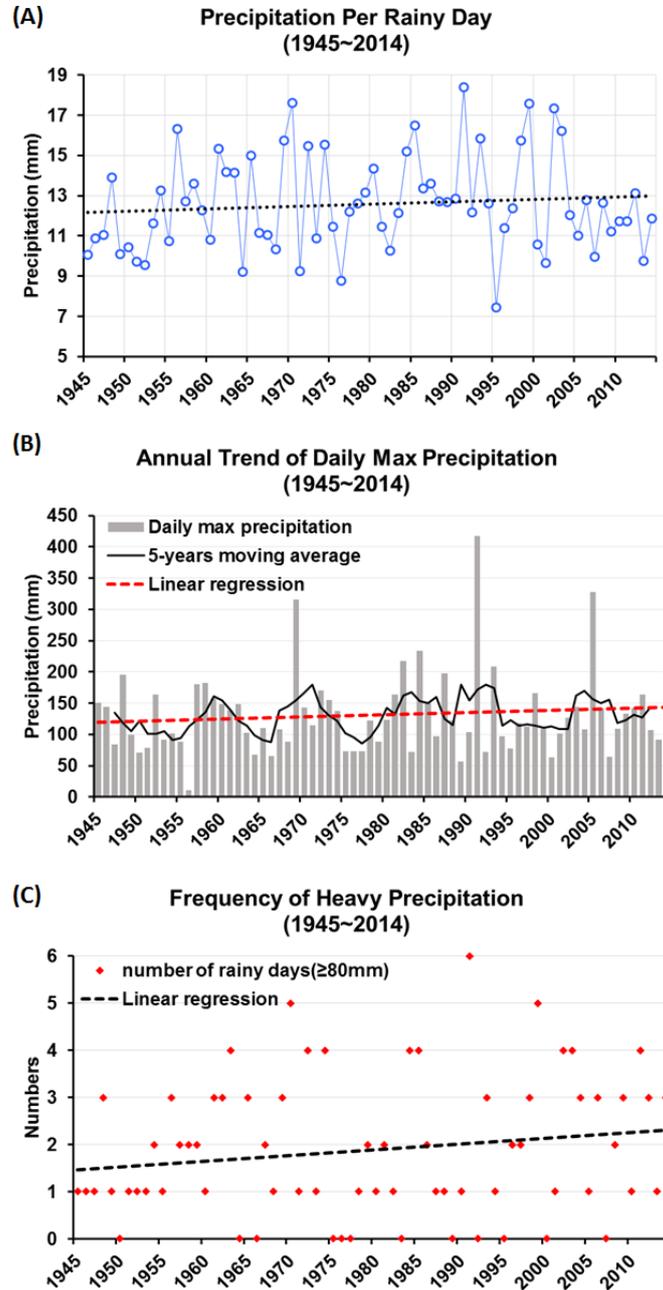


Fig. 2. Trends in precipitation observed over Ulsan during 1945~2014: (A) precipitation intensity in terms of precipitation amount divided by the number of rainy days (equal to or more than 0.1mm/d), (B) the annual extreme values of daily precipitation. Solid line is the 5 years moving average and dotted line is the linear regression, (C) the number of heavy rain events each year (equal to or more than 80 mm/d).

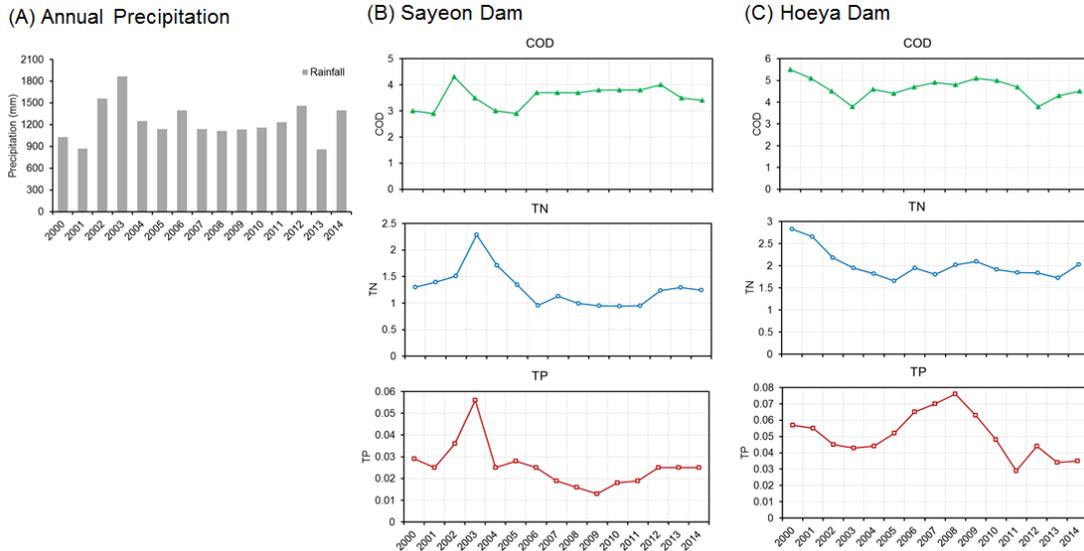


Fig. 3. (A) annual precipitation of Ulsan for 15 years(2000-2014) and the annual averages of water quality(COD, TN and TP) from 2000 to 2014: (B) Dam Sayeon and (C) Dam Hoeya.

연댐과 회야댐을 대상으로 수위가 변화할 경우 수질에 미치는 영향을 최근 3년간의 강우량과 연관시켜 COD, TN, TP를 중심으로 살펴보았다. 울산의 2012년과 2014년의 연강수량은 1458.1mm와 1398.7mm로 약 60mm 밖에 차이가 없지만 2014년 사연댐의 평균 수위는 2012년 $53.8 \pm 2.7\text{m}$ 에서 4.3m 감소한 $49.5 \pm 3.5\text{m}$ 으로 조사되었다(fig.4). 2012년의 경우 9월에 기록적인 폭우의 영향으로 특히 높은 유입량($160\text{m}^3/\text{s}$)과 방류량($123.9\text{m}^3/\text{s}$)을 보이는 것을 제외하고 일반적으로 강우량이 많은 여름철에 유입량보다 방류량이 많았던 것으로 조사되었다(fig.4(A)). 2013년의 강수량은 평년의 70%에 해당하는 859.4mm를 기록하였고, 평균수위는 $50.5 \pm 1.3\text{m}$ 로서 유입량과 총방류량은 유사한 수준이었던 것으로 나타났다(fig.4(C)).

사연댐의 경우 2014년 4월부터 수위가 점차적으로 감소하여 6월부터 7월까지 평균수위 $45.0 \pm 0.1\text{m}$ 으로 최근 3년 중 최저수위를 나타냈으나 강우의 영향으로 수위가 상승하여 8월에 최고점인 59.5m을 기록하였다. 최저수위일 때 COD는 평균 4.4mg/L이었으나, 강우의 영향으로 수위가 점차 증가할 때 COD 농도 역시 증가하여 최고 7.1mg/L을 기록하였다. 반구대 암각화 보존 수위인

52m보다 낮은 수위이었던 2014년에는 강우에 따른 수위상승을 보일 때 COD의 증가가 보다 민감하게 나타났으며 2012년의 유사지점과 비교하면 2014년의 COD증가율이 50.1% 높은 것으로 나타났다. 또한 각 년도의 연평균수위와 연평균 COD 사이의 상관계수를 산출하였을 때 상대적으로 큰 음의 상관관계(-0.84)를 보여주는 것으로 보아 수위저하에 따른 COD 증가를 유추해볼 수 있다(그림 4(D)). TN의 경우 2014년 4월부터 수위저하 시작되어 TN농도가 증가하여 상대적으로 높은 농도인 1.4mg/L을 보였으며 이는 1월부터 3월까지 평균 TN농도의 1.6배 높은 농도이다. 2012년에도 TN농도 증가 현상이 보이지만 일반적으로 여름철 TN농도 증가는 수온 상승에 따른 조류의 영향과 호소의 저층에서 용출되는 현상의 영향으로 판단된다. TP의 경우 1년 동안 큰 변화를 보이지 않지만 2014년 최저수위구간에서 농도증가 경향을 보이다가 8월 집중호우에 0.058 mg/L/m의 증가를로 민감하게 반응하는 것을 볼 수 있었다. 강우에 의한 비점오염원의 유출은 무강우일수가 클수록 토양에 축적된 비점오염원이 고농도로 일시에 배출되는 경향을 보이는데 2014년에 비하여 2012년에 오히려 무강우일수가 높기 때문에 상수원에 미치는 비점오염원의 영향이 커야

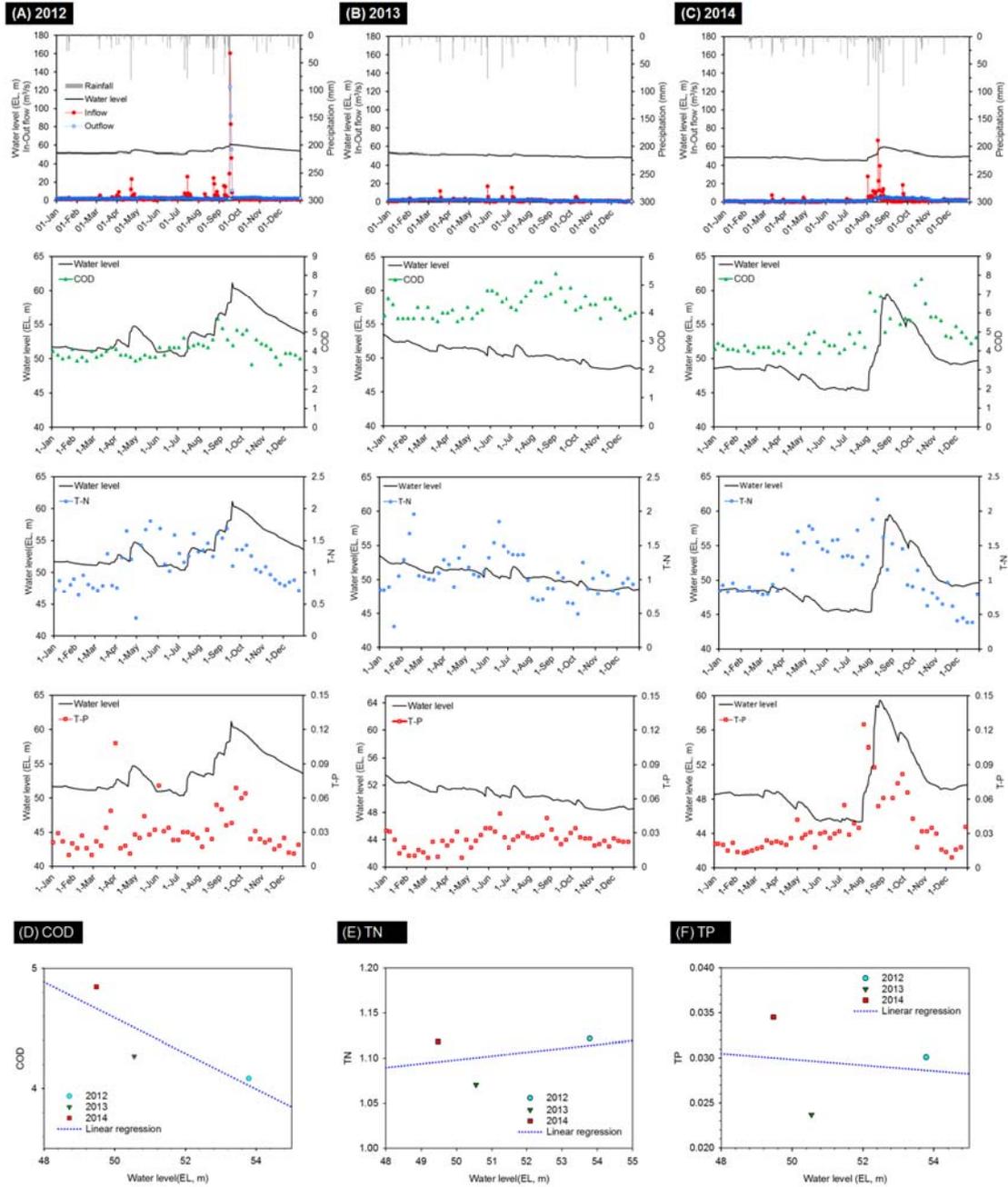


Fig. 4. The low-water level, inflow and outflow hydrographs and precipitation and water qualities of COD, TN and TP at Sayeon Dam (A) in 2012, (B) in 2013 and (C) in 2014. And the correlations between water qualities and water level of Sayeon Dam(2012–2014): (D) COD-Water level, (E) TN-Water level and (F) TP-Water level.

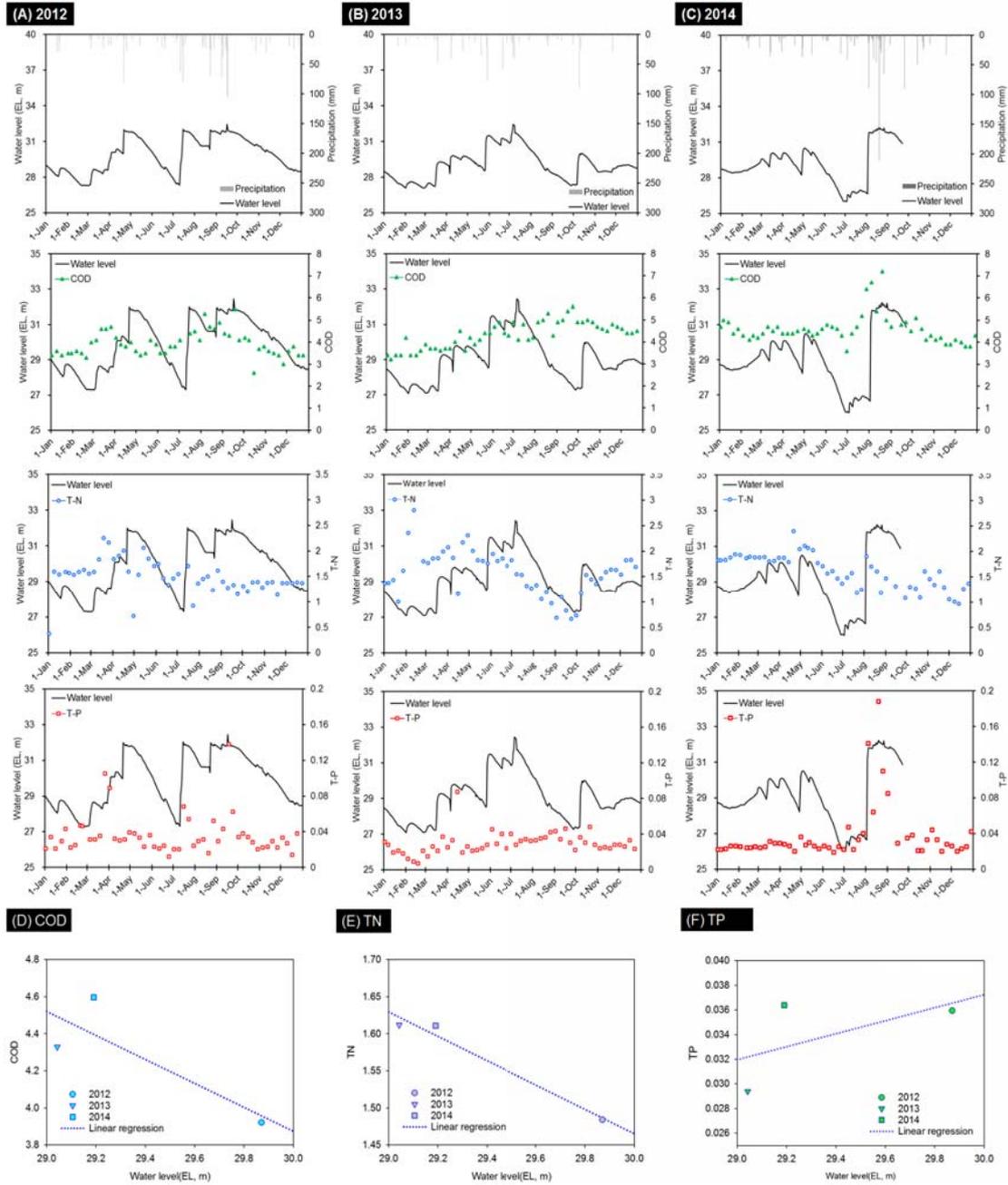


Fig. 5. The low-water level, precipitation and water qualities of COD, TN and TP at Hoeya Dam (A) in 2012, (B) in 2013 and (C) in 2014. And the correlations between water qualities and water level of Hoeya Dam(2012~2014): (D) COD-Water level, (E) TN-Water level and (F) TP-Water level.

하지만 사연댐의 최근 3년간의 수질자료를 보면 오히려 수위의 영향이 더 큰 것으로 보인다(이 등(2012b)). 또한 수위저하가 상수원 수질에 미치는 부정적인 영향을 2013년에도 볼 수가 있는데 앞서 언급하였듯이 2013년은 강수량이 낮을 뿐만 아니라 강우일도 88일에 불과하여 강수일수당 평균강수량이 평년에 비하여 22.4% 감소하였다(fig.2). 따라서 사연댐의 수위도 점차 감소하였고 2월 중순부터 52m보다 낮은 수위를 보여주었다. 반면 COD 및 TP 농도가 점차 증가하여 수위와 음의 상관관계($r=-0.27$ 과 -0.19)를 나타내었다(fig.4). 이러한 결과는 앞선 연구에서 사연댐의 수위저하를 가정하여 Vollenweider 모델 적용한 결과 부영양화 가능성이 높아지는 것으로 분석되었을 뿐만 아니라 CSTR(continuous Stirred Tank Reactor) 모델 역시 수위가 52m로 낮아질 경우 질소의 인의 농도가 체류시간 감소로 인하여 각각 증가하는 것과 일치하는 것으로 보인다(이와 조(2013)). 질소와 인 농도의 증가는 정수처리장 기능 저하와 일부 남조류의 독성 피해를 유발시키는 조류번성으로 이어지며 수위조절에 의한 농도증가는 현재보다 심각한 조류발생문제 가능성을 높일 것으로 판단된다.

2014년 회야댐의 수질 자료를 살펴보면, 최근 3년 중 가장 낮은 수위(26.7 ± 0.3 m)를 보이는 7월에 COD 농도가 상당부분 증가된 것을 볼 수 있으며 특히 강우 이후 비점오염의 영향으로 급격한 농도증가를 보이며 이는 사연댐의 농도 증가 경향과 유사한 것으로 판단된다(fig.5). 회야댐 수계 중 영양물질인 TN의 경우 수위저하가 직접적인 오염농도 증가의 원인으로 보이며, TP 역시 강우와 함께 농도가 상승하는 경향을 보였다. 사연댐의 경우 2013년부터 수위저하 현상이 뚜렷하지만 낙동강 표류수를 회야댐에 원수($150,000\text{m}^3/\text{일}$)로 공급하고 있기 때문에 회야댐의 경우 연평균 수위가 최근 3년 동안 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 하지만 두 곳 모두 강우이후 오염물질의 증가가 뚜렷하게 나타났으며 이는 비점오염물질 유입에 의한 영향으로 보이기 때문에 향후 상수원 관리에서 비점오염물질의 조절이 상당히 중요한 사항으로 포함되어야 할 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구는 울산시의 주요 상수원인 사연댐과 회야댐

를 대상으로 최근 3년 동안(2012~2014)의 상수원 수위 변화에 따른 수질변화를 분석하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 1945년부터 2014년까지 울산지역의 평균 연강수량은 1266.44mm 이며 장기적으로 증가하는 추세이지만 강우일수는 감소하고 있다. 또한 각 년대별 집중호우 평균발생빈도 18.1회이지만 2010년대에 이미 11회의 집중호우가 발생하였고 강우경향에 있어서 변동성이 높은 것으로 분석되었다. 집중호우에 의한 비점오염원의 과도한 유출은 수질에 미치는 영향이 크기 때문에 강우에 따른 비점오염 유출 예측 및 관리를 통한 수자원 및 용수관리에 대책이 필요한 시점이다.

2) 사연댐과 회야댐에서 정수장으로 유입되는 수질은 수위가 저하됨에 따라 오염도가 상승하는 경향을 파악할 수 있었다. 특히 대표적인 부영양화 유발물질인 TN의 경우 2014년 최저수위(45m)를 기록하였을 때 농도가 1.6배 증가하여 1.4mg/L 을 보였으며 점차적인 수위 감소에 따라 뚜렷한 상승 경향을 보였다.

3) 국보 285호인 반구대 암각화가 있는 사연댐의 경우 2014년 수위저하의 영향으로 COD증가율은 0.213mg/L/m 로 2012년에 비하여 50.1% 높은 것으로 분석되어 수위저하에 따른 수질악화의 민감도가 상당히 높은 것으로 조사되었다. 특히 반구대 보존을 위해 사연댐 수위를 52m로 조절하는 방안이 논의되고 있는 상황에서 본 연구 분석 결과에 따르면 인위적 수위저하는 수체 오염강도를 높일 것으로 판단되어 반구대 암각화 보존 방안과 울산시민 상수원 수질과의 연계성 등 다방면의 검토가 요구된다.

4) 사연댐과 회야댐 모두 강우이후 오염물질의 증가가 뚜렷하였는데 이는 비점오염물질 유출의 영향으로 판단되며, 향후 강우 경향의 변동성이 크고 집중호우 증가로 인한 비점오염물질 부하가 증대될 것으로 예상되기 때문에 상수원관리에 있어서 비점오염물질의 관리가 중요한 사항으로 포함되어야 할 것으로 보인다.

5) 마지막으로 강우시 사연댐과 회야댐의 오염도 증가 등의 결과를 고려하여 울산시의 향후 상수원수질관리 정책은 토지이용이나 축산현황 등에 관한 자료들을 통하여 사전오염예방적 수질모델 시스템을 구축하고 동시에 발생원, 유출형태, 식감방안에 관한 구체적인 비점오염원 관리방안을 추진할 필요가 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 울산발전연구원 기본과제 “기후 변화에 따른 울산광역시 상수원 확보 방안”연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCE

- An, S.-I., Ha, K.-J., Seo, K.-H., Yeh, S.-W., Min, S.-K., Ho, C.-H., 2011, A review of recent climate trends and causes over the Korean peninsula, *Climate Change Research*, 2(4), 237-251.
- Choi, J. Y., Lee, S. Y., Kim, L.-H., 2009, Wash-off characteristics of NPS pollutants from forest landuse, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 9(4), 129-134.
- Chegal, S. D., Cho, H.-j., Kang, H. S., Lee, S. O., 2014, An experimental study on hydraulic characteristics at Bangudae petroglyphs by changing management water level of Sa-yeon dam, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 14(2), 277-287.
- Hwang, S., Park, K., Yoon, S.-O., 2010, Periodic immersion of the Bangudae petroglyphs and rock weathering characteristics, *Journal of the Korean Geographical Society*, 45(3), 342-359.
- Jang, J. H., Ahn, J. H., 2012, Assessing future climate change impact on hydrologic and water quality components in Nakdong river basin, *Journal of Korea Water Resources Association*, 45(11), 1121-1130.
- Lee, C. H., Chun, T. G., Jo, Y. H., Suh, M., 2012a, Evaluation of slope stability and deterioration degree for Bangudae petroglyphs in Ulsan, Korea, *Journal of Conservation Science*, 28(2), 153-164.
- Lee, J.-W., Yi, Y.-J., Kwon, H.-G., Yoon, J.-S., Lee, C.-S., Cheon, S.-U., 2012b, Estimation of runoff characteristics of non-point pollutant source by land cover characteristics, *Journal of the environmental Sciences*, 23(8), 977-988.
- Lee, S. E., Choi, I. S., Lee, I. H., Hong, D. B., Oh, J. M., 2011, The characteristics of discharged non-point pollutants on Hwa-sung lake inflow streams on precipitation, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 20(5), 651-661.
- Lee, S. H., Cho, H. J., 2013, Analysis of the water quality change due to water level control of Sayeon dam, *Journal of Korea Resources Association*, 46(11), 1069-1078.
- Lee, S. H., 2014, Water resource security in Ulsan according to climate change, Ulsan Development Institute.
- Ministry of Environment, 2006, Water quality management plan.
- Ministry of Environment, 2010, National climate change adaptation plan(2011~2015).
- Ministry of Environment, 2012, Comprehensive plans on non-point pollutant management('12~'20).
- National Institute of Environmental Research, 2010, Estimation and forecast of national water pollutant load
- Ulsan Development Institute, 2012, Detailed Action plan of climate change adaptation strategies in Ulsan.
- Ulsan metropolitan city, 2004, Investigation and management plan of non-point pollution in Ulsan water system.