

광주광역시 비점오염 저감을 위한 우선관리지역 선정방안 연구*

A Study on the Plan for Selection of Prioritization Management Area for Reduction of Non-Point Pollution in Gwangju Metropolitan City

김진선** · 최지연*** · 이종문**** · 나은혜***** ·
신동석***** · 이재관***** · 류지철*****

Jimsun Kim · Jiyeon Choi · Jong Mun Lee · Eunhye Na · Dong Seok Shin ·
Jaekwan Lee · Jichul Ryu

요약: 본 연구는 광주광역시 비점오염관리지역이 목표 달성기간이 도래함에 따라 비점오염저감사업 추진에 따른 관리목표 달성도를 평가하고 비점오염원 영향(수질, 유량조건에 따른 수질 변화, LDC(Load Duration Curve)등)를 분석하여 비점오염원 관리 필요성 여부를 종합적으로 평가하였다. 광주광역시 비점오염원 개선을 위해 관리기간 동안 구조적 대책 보다 비구조적 대책을 중심으로 사업을 추진하였고, 이외에도 LID 시설설치, 물순환선도도시(16년)지정 등 이행한 결과 관리목표지점 평균 농도는 BOD 4.7 mg/L(13~15년), BOD 4.5 mg/L(14년~16년)로 3년 연속 2회 관리목표가 달성되었다. 그러나, 광주광역시 내 중권역 영산강 상류, 지석천 지점의 BOD(mg/L), T-P(mg/L) 최근 3년(15년~17년) 평균농도값이 중권역 목표기준을 초과하고 다변수 로그선형모델 분석 결과 $S \leq 0.1$ 로 유량이 증가함에 따라 중권역 영산강 상류 BOD(mg/L), 지석천 T-P(mg/L) 오염도가 증가하는 경향으로 나타났다. 또한, 중권역 목표기준에 대한 LDC(Load Duration Curve) 분석 결과 홍수량구간 등 50% 이상 초과하였다. 그러므로 '영산강 상류' 중권역 (3개 소권역 광주천, 황룡강합류전, 광주수위표), '지석천' 중심의 지속적인 비점오염원 관리가 필요하다고 사료된다.

핵심주제어: 비점오염원관리지역, 광주광역시, 목표달성평가, 비점오염원, LDC

Abstract: During the target period, this study evaluated the management goal's achievement according to the implementation of non-point pollution reduction projects in the non-point pollution control area of Gwangju City This study also comprehensively assessed the need for the management of non-point pollution sources by analyzing the

* 본 논문은 국립환경과학원 예산(1946-303-210-01)을 지원 받아 수행한 과제 (과제번호 : NIER-2019-01-01-035) 결과입니다.
** 주저자, 국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과 전문위원
*** 공동저자, 국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과 전문위원
**** 공동저자, 국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과 전문위원
***** 공동저자, 환경부 4대강조사평가단 조사평가지원관 개방모니터링팀 환경연구관
***** 공동저자, 국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과 과장
***** 공동저자, 국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과 부장
***** 교신저자, 국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과 환경연구사

impact of non-point pollution sources (water quality, water quality change according to changes in the flow rate, LDC, etc.). During the management period, Gwangju Metropolitan City promoted projects focusing on non-structural rather than structural measures to improve non-point pollution sources. In addition, the average concentration of management target points was achieved twice for three consecutive years -2015 BOD 4.7 mg/L, 2014-2016 BOD 4.5 mg/L) as a result of the installation of Low-impact Development (LID) facilities and the selection of water circulation leading city (2016). However, the three-year (2015-2017) average concentration value (BOD(mg/L), T-P (mg/L)) of the upper reaches of the Yeongsangang River and Jisuk River in the middle area of Gwangju Metropolitan City exceeded the target criteria for the middle area. The results of the analysis using the multi-variable logarithmic linear model showed ≤ 0.1 that the water quality (BOD(mg/L)) in the upper reaches of the Yeongsang River in the middle area and the water quality (T-P(mg/L)) in the Jisuk River increased as the flow rate increased. In addition, the LDC analysis results were $>50\%$ in flood section and so on. Therefore, it is believed that the continuous management of non-point pollution sources is required in the upper reaches of the Yeongsangang (three small basins: Gwangju River, Hwangryong River pre-join, and the watermark) and the Jisuk River (one small basin: Jisuk River).

Key Words: Non Point Source Pollution Management Zone, Gwangju Metropolitan City, Target Achievement Analysis, Non Point Source, Load Duration Curve

I. 서론

공공수역의 수질오염원은 오염물질 배출원 형태에 따라 점오염원(point source pollution)과 비점오염원(nonpoint source pollution)으로 구분할 수 있다. 점오염원은 폐수배출시설, 하수발생시설, 축사 등에서 관거 및 수로 등을 통하여 일정한 지점에서 수질오염물질을 배출하여 관리가 용이하다. 반면, 비점오염원은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등의 불특정 장소에서 빗물과 함께 불특정하게 배출되어 관리가 곤란하다(환경부 비점오염원, nonpoint.me.go.kr). 환경부는 환경기초시설 설치 등의 수질개선사업으로 점오염원을 관리해왔으나, 점오염원 위주의 관리만으로 공공수역 수질개선에 한계가 있음을 인식하고 관계부처 합동으로 4대강 비점오염원관리 종합대책(2004)를 수립하여 비점오염원을 관리하기 시작하였다(환경부, 2012).

종합대책을 근거로 물환경보전법을 개정하여 비점오염원의 체계적 관리 토대를 구축하였으며, 물환경보전법 제54조 관리지역 지정, 제55조 관

관이 관리대책을 수립하고 시도지사는 관리대책에 대한 시행계획을 수립하여 이행하여야 한다(환경부, 2019).

광주광역시는 '07년에 관리지역으로 지정되어 2008년 관리대책이 수립되었으며 관리기간은 총 10년('07년~'17년)이다. 관리목표는 광주광역시 말단지점(광산, 영본B)에서 BOD 수질 항목이 5.0 mg/L 3년 평균 2회 연속 만족으로 설정되어 있고 다양한 저감사업을 매년 추진하는 내용으로 시행계획이 수립되어 있다(광주광역시, 2010a).

광주광역시는 비점오염원 개선을 위해 관리기간 동안 구조적 대책 보다 비구조적 대책(하수관거청소, 도로청소, 교육 및 홍보) 등을 중심으로 사업을 추진하였고, 이외에도 LID 시설설치, 물순환선도도시('16년)지정 등 이행한 결과 관리목표지점 평균 농도는 BOD 4.7 mg/L('13년~'15년), BOD 4.5 mg/L('14년~'16년)로 3년 연속 2회 관리목표가 달성되었다(광주광역시, 2017).

그러나 불확실한 요소에 크게 영향을 받는 비점오염원의 특징을 고려하였을 때(강민지, 2012) 비점오염원 유발 인자들에 대해 객관적이고 종합적인 분석이 추가적으로 필요하다.

따라서 본 연구에서는 시행계획에 따른 비점오염저감사업 추진실적과 관리목표 뿐만 아니라 비점오염원 유출특성과 관련된 수질현황, 배출부하량, 유량증가에 따른 수질변화, LDC(Load Duration Curve)등의 다수의 항목을 고려하여 관리목표 달성도를 평가하였다.

또한, 광주광역시의 비점오염원 개선도와 비점오염원의 영향 정도에 따라 광주광역시 내 우선관리 유역을 도출 하였다. 이러한 결과는 향후 광주광역시의 비점오염원 관리의 기초자료로 도움이 될 수 있을 것이라 사료된다.

II. 연구방법

1. 연구 대상 지역

광주광역시 관리목표지점(광산) 수질측정 결과 3년 평균('03년~'05년) BOD 7.5 mg/L으로 중권역 기준 등급을 200% 이상 초과하였고 BOD 비점오염 기여율이 50%를 훨씬 초과하는 등 비점오염원 관리의 필요성이 매우 높았다. 또한 인구 약 140만 이상이 거주하는 도시였다(광주광역시, 2007). 이에 따라 물환경보전법 시행령 제76조 제1항제1호 및 제3호에 해당되어(환경부, 2018c) '07년 광주광역시 전역(유역면적 501.31 km²)으로 비점오염원 관리가 필요한 지역으로 지정되었다(환경부, 2018d). 같은 해에 12월에 비점오염원관리지역 관리대책이 수립되었으며 '10년 광주광역시 비점오염원관리대책 시행계획이 최종 승인 되어 '11년 3월부터 매년 시행계획에 따른 이행사항이 평가되었다. 광주광역시의 관리 목표는 광주광역시 말단 지점인 광산지점 BOD를 5.0 mg/L 이하이며 관리목표달성 평가는 3년 평균 연속 2회 관리목표를 유지하는 것이다. 이때 목표달성기간은 10년으로 지정되었다.

〈그림 2〉 광주광역시 비점오염원 관리지역



2. 시행계획에 따른 광주광역시 관리목표 달성도 평가

비점관리지역으로 선정된 광주광역시의 관리목표는 '07년부터 '17년까지 2년 연속으로 광산(영본B) BOD 5 mg/L 이하로 유지하는 것이다. 이러한 관리목표 달성도 평가를 위해 환경부 수질측정망 광산(영본B)지점(환경부, 2018b)의 유량 및 BOD(mg/L) '97년~'16년 자료를 인용(환경부, 물환경정보시스템)하였으며, 관리지역 지정 전·후 시점인 '07년을 기준으로 '97년~'07년, '08년~'16년 기간으로 구분하고 관리지역 지정 이후의 BOD(mg/L) 변화를 분석하였다. 이 결과를 바탕으로 관리목표지점 광산(영본B)지점 BOD(mg/L)를 시행계획에 따라 3년 2회 연속 관리목표(BOD 5 mg/L 이하) 달성여부를 평가하였다.

3. 시행계획에 따른 광주광역시 비점저감사업 추진계획 평가

광주광역시 시행계획은 크게 예방대책, 저감대책, 지도 및 점검, 교육 및 홍보 강화, 거리청소, 지역주민 자발적인 활동 등으로 구분한다. 저감사업 활동 중 특히 저감대책은 1단계에서 4단계 단계별 사업을 목표로 한다. 특히 광주광역시는 하수관거 월류수 저류시설 설치 등 오염된 초기빗물의유출을 최소화 하기 위한 대책을 주로 계획하였다. 저감대책의 경우에는 비점오염저감시설의 경우 대부분 SSOs와 CSOs 시설로 구성되어있다. 시행계획 저감사업(광주광역시, 2010a)은 <표 1>과 같다.

<표 1> 광주광역시 관리지역 시행계획 비점오염저감사업

| 저감사업 (활동) | 세부사업명 | | |
|-----------------------------------|---------------------------|------------|-----------|
| 예방대책 | 관거 내 퇴적물 청소(연2회) | | |
| | 도로 청소(주1회) | | |
| 저감대책 (SSOs 21개소, CSOs 17개소) | 1단계 ('15년 이전) | 하천유역 | 극락천(1개소) |
| | | 도시지구 | 하남분구(5개소) |
| | 2단계~ 4단계 ('15년 이후) | 하천유역(2개소) | |
| 산업단지지구(12개소) | | | |
| | | 도시지구(18개소) | |

| | |
|--------------|--|
| 지도점검 | · 채토장 등 점검, 관리기준 준수여부 등 확인, 지역주민을 주체로 하는 단위 조직 육성·지원 방안 |
| 교육·홍보 강화 | · 비점오염에 의한 지역하천 수질오염에 대한 비점오염 전시회 개최 · 비점오염 현황·대책에 대한 홍보 및 영화상영, 강연회 등 개최 · 비점오염 관련 소책자, 포스터 등 제작, 배포 · 주민대상 비점오염 관련 현장방문 프로그램 운영 |
| 거리청소 | · 장마전, 해빙기 이전 거리, 하수관거, 암거 등 청소실시 |
| 지역주민 자발적인 활동 | · 애완동물 분뇨의 수거·처리 · 비료·농약의 적정량 살포 · 대중교통이용 등 추진과제 선정 |

4. 광주광역시 비점오염원 개선 및 지속여부 평가

비점오염원관리 개선 및 지속여부를 평가하기 위해 4가지를 고려하여 조사 및 분석하였다.

첫째, 수질현황이다. 광주광역시의 관리대상 물질은 BOD(mg/L)로 지정되었으나 영산강유역 제2차 대권역 계획(영산강유역환경청, 2017) T-P 수질 기준 강화를 고려하여 본 연구에서는 관리지역 지정 내 포함되어있는 국가수질측정망(환경부, 2018b) 지점을 조사하고 '96년~'16년을 BOD(mg/L), T-P(mg/L) 연평균 자료를 분석하여 물환경 목표기준(환경부, 2018d)에 따라 중권역 목표기준으로 초과여부를 분석하였다.

둘째, 배출부하량이다. 비점오염원관리 취약지역 선정시(환경부, 2016) 비점배출부하량은 비점 우선관리 필요지역 선정시 유역현황을 대표하는 주요 고려요소로 도출되었다(박배경 등, 2014). 이러한 결과를 바탕으로 관리지역 지정년도를 기준으로 '07년~'15년 점·비점 배출부하량 증감현황을 분석하였다.

셋째, 유량증감에 따른 수질변화이다. 이때, 다변수 로그선형 모델(Cohn, et al., 1992)을 사용하였다. 1) 관리목표 설정 지점(광산)의 통계모델의 유의성을 분석하였다. 이를 위해 관리지역 지정 이후 '07년~'16년 '광산'지점의 8일 간격 유량 및 수질 BOD(mg/L)측정 자료(환경부 물환경정보시스템)를 통해 통계모델의 유의성을 분석하였다 2) 광주광역시 영향 지점에서 수질에 대한 비점오염원 영향 정도 분석하기 위해 '광주1' 및 '광주2', '대촌

천' 지점의 '07년~'17년 유량 및 수질 BOD(mg/L), T-P(mg/L) 측정자료(환경부 물환경정보시스템)를 통해 통계모델의 유의성을 분석하였다. 3) 개발된 다변수 로그선형모델은 F-검정결과가 통계적으로 유의할 경우, 해당 지점에서의 수질농도가 시간(β_3)과 유량(β_1) 변화에 영향을 받음을 의미한다.

넷째, 유량조건별 목표수질 초과빈도 분석을 위해 LDC(Load Duration Curve)를 이용하여 비점오염 개선 효과 여부를 분석하였다. 1) 관리목표 설정 지점(광산)을 분석하였고 2) 광주광역시 영향지점에서 '풍영정천', '광주1', '광주2' 및 대촌천 지점의 과거 일유량 자료를 바탕으로 유량지속곡선(FDC) 및 BOD, T-P에 대한 중권역 및 좋은물 목표수질 기준 부하지속곡선(LDC)을 작성 후 유량구간별 목표수질 초과빈도를 분석하여 제시하였다. 이때, 유량이 없는 지점은 수자원종합관리정보시스템(wamis)에서 '월곡', '어등', '마륵' 지점의 10년간('07년~'17년) 유량 자료 활용하였다.

5. 광주광역시 내 비점오염원관리가 필요한 우선관리 대상지역 도출

광주광역시 내 소권역을 중심으로 비점오염개선정도에 따라 비점오염원 관리가 필요한 지역을 도출하였다. 비점오염물질의 배출이 특정 구역에서 크게 문제가 되는 경우에는 우선관리 유역을 선정하여 해당 구역에 대한 관리계획을 먼저 세울 수 있다(김은정 등, 2015). 그러므로 본 연구는 우선관리 대상지역을 도출하기 위해 표준화지수(김홍태 등, 2012)방법을 인용하였다. 방법은 다음의 3가지 순서로 진행하였다. 첫째, 평상시와 강우시 측정된 수질자료에 대해 각각 중권역 및 좋은물 목표수질 초과율을 분석하여 이를 표준화 지수로 산정하였다. 이때 평상시는 국가수질측정지점(환경부, 2018b)의 최근 10년('07년~'17년) 1~5월, 10~12월 평균수질이며 강우시는 6~9월 평균수질로 분석하였다.

〈목표수질 초과율 표준화지수 산정과정〉

$$\text{목표수질초과율}(\%) = \frac{\text{해당소권역의 수질}}{\text{중권역 목표수질 또는 좋은물 목표수질}} \times 100$$

$$\text{평상시 목표수질초과율지수} = \frac{\text{수질}(BOD, TP)_{\text{소권역초과율}} - \text{수질}(BOD, TP)_{\text{초과율min}}}{\text{수질}(BOD, TP)_{\text{초과율max}} - \text{수질}(BOD, TP)_{\text{초과율min}}}$$

$$\text{강우시 목표수질초과율지수} = \frac{\text{수질}(BOD, TP)_{\text{소권역초과율}} - \text{수질}(BOD, TP)_{\text{초과율min}}}{\text{수질}(BOD, TP)_{\text{초과율max}} - \text{수질}(BOD, TP)_{\text{초과율min}}}$$

$$\text{목표수질초과율지수} = \frac{(\text{최종평상시목표수질초과율지수} + \text{강우시목표수질초과율지수})}{2}$$

둘째, 단위면적당 `15년 신원단위 기준 비점 영향이 가장 높다고 판단 되는 토지계 비점배출부하량 표준화 지수를 산정하였다.

〈단위면적당 토지계 비점배출부하량 표준화지수 산정과정〉

$$\text{단위면적당 토지계 비점배출부하량 지수} = \frac{BOD, TP_{\text{소권역 부하량}} - BOD, TP_{\text{소권역부하량 min}}}{BOD, TP_{\text{소권역부하량 max}} - BOD, TP_{\text{소권역 min}}}$$

셋째, 단위면적당 불투수면적 지수를 평균화하여 표준화 지수를 산정하였다.

〈단위면적당 불투수면적지수 산정과정〉

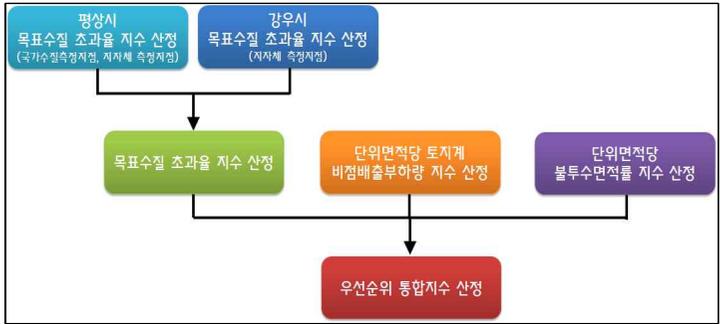
$$\text{단위면적당 불투수면적지수} = \frac{BOD, TP_{\text{소권역 불투수면적률}} - BOD, TP_{\text{불투수면적률 min}}}{BOD, TP_{\text{불투수면적률 max}} - BOD, TP_{\text{불투수면적률 min}}}$$

넷째, 목표수질 초과율, 단위면적당 비점배출부하량 표준화지수 및 단위면적당 불투수면적 지수를 평균화하여 우선순위통합지수를 최종 산정하고 이를 소권역별 우선관리 순위에 반영하였다(〈그림 3〉).

〈최종 우선순위통합지수 산정과정〉

$$\text{우선순위통합지수} = \frac{\text{목표수질초과율지수} + \text{단위면적당 토지계비점배출부하량지수} + \text{단위면적당 불투수면적지수}}{3}$$

〈그림 3〉 우선순위 선정방법



III. 결과 및 고찰

1. 시행계획에 따른 광주광역시 관리목표 달성도 평가 결과

관리목표달성도는 ‘광산’지점의 3년 평균 BOD농도가 연속2회 이상 5 mg/L이하를 유지하고 있으므로 광주광역시 비점오염원관리지역의 관리목표 달성하였다(〈표 2〉).

〈표 2〉 관리목표(광산)지점 3년 평균 BOD 변화

| 평가년도 | '08~'10년 | '09~'11년 | '10~'12년 | '11~'13년 | '12~'14년 | '13~'15년 | '14~'16년 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| BOD(mg/L) | 5.6 | 5.6 | 5.3 | 5.2 | 4.9 | 4.7 | 4.5 |

※ 8일 간격 측정, 산술평균값(이행평가시와 동일 방법)

광주광역시 말단 지점(광산) BOD 농도는 〈표 3〉과 같이 최근 20년간 (’97년~’16년) 뚜렷한 감소 경향을 보였다. ’07년 관리대책 수립이후(’08년~’16년) 평균농도는 5.1 mg/L로 수립이전(’97년~’07년) 평균농도 7.5 mg/L에 비해 약 32% 감소로 BOD(mg/L) 수질이 개선됨을 알 수 있었다.

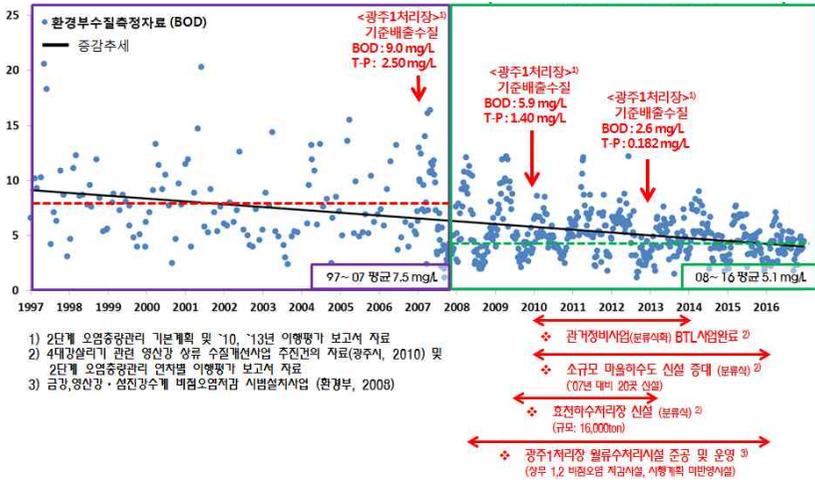
〈표 3〉 관리대책 수립 이전 및 이후의 관리목표지점(광산) 연평균 BOD(mg/L)

| 측정 년도 | 관리대책 수립 이전 | | | | | | | | | | 관리대책 수립 이후 | | | | | | | | | |
|---------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | '97 | '98 | '99 | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 | '10 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 |
| BOD (mg/L) | 9.6 | 8.5 | 6.5 | 8.3 | 9.3 | 6.4 | 6.0 | 8.7 | 7.9 | 7.0 | 6.9 | 5.7 | 6.0 | 5.0 | 5.9 | 5.1 | 4.6 | 5.0 | 4.5 | 4.0 |

2. 시행계획에 따른 광주광역시 비점저감사업 추진계획 평가 결과

시행계획에 따른 저감사업 활동은 구조적 대책 관거월류수처리시설 설치사업의 이행 실적이 저조하고, 시행계획 변경을 통한 비점오염원의 체계적 관리 미흡했으나 예방대책의 관거 및 도로청소는 하수관거청소(840 km, 18,435톤), 도로청소(주 1회, 40,055톤)로 계획에 따른 추진실적을 나타냈으며, 캠페인(16회), 주민교육(46회), 오염총량제 관련 비점시설 홍보·교육, 수질오염사고 예방·교육 등 홍보·교육 실시를 통해 비점오염개선을 위한 비구조적 방안을 중심으로 이행하였다(광주광역시, 2017). 특히, 광주광역시는 물순환선도도시에 선정(16년)되어 물순환선도도시 마스터플랜을 수립(18년)하고 현재 시범지역 실시설계 착수 중으로 비점오염원 개선에 많은 노력을 하고 있다(광주광역시, 2018). 이러한 광주광역시의 비점오염원 저감의 노력으로 시행계획 중 관거월류수 처리시설 설치사업 추진이 저조하였음에도 불구하고 광주광역시 관리목표를 달성을 할 수 있다고 추측된다. 또한, 비점 오염원관리대책 시행계획을 포함한 다양한 유역관리계획 추진으로 〈그림4〉과 같이 수질 개선 및 '광산'지점에서 관리목표가 달성 되었다고 사료된다. 특히 분류식 하수관거 이용시 CSOs에 비해 1.9배~3.2배 정도 수질오염이 낮게 나오는 연구결과에 따라(한국환경공단, 2004) '10년 관거정비사업이 시작된 이후로 '광산'지점의 BOD(mg/L) 증감 추세가 높게 나타남을 알 수 있다.

〈그림 4〉 관리대책 수립 이전 및 이후의 관리목표지점(광산) 연평균 BOD(mg/L)



3. 광주광역시 비점오염원 개선 및 지속여부 평가 결과

1) 광주광역시 내 중권역 목표기준 초과여부

광주광역시 관리대책 수립 이후 관리기간 동안 관리목표(광산)지점은 3년 평균 연속 2회 관리목표를 달성하였다. 그러나 〈표 4〉와 같이 관리지역에 포함된 '영산강 상류' (중권역 대표지점: 광주2-1) 및 '지석천' (중권역 대표지점 지석천4)은 〈표 5〉와 같이 최근 3년(15년~17년) 평균 대부분 중권역 목표수질을 달성하였으나, 영산강상류(광주2-1), 지석천(대촌천) BOD(mg/L) 초과하였으며 지석천(지석천4, 대촌천) T-P(mg/L) 모두 중권역 목표기준에 미달성됨을 확인할 수 있었다.

〈표 4〉 광주광역시 '07년~'17년 중권역 내 포함된 지점의 수질 현황

| 중권역명 (목표기준) | 지점명 | '07 | '08 | '09 | '10 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '13~ '15 | '14~ '16 | '15~ '17 | |
|----------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|
| BOD | 영산강상류 (III) | 우치 | 2.9 | 2.6 | 3.4 | 3.1 | 3.4 | 2.7 | 2.8 | 3 | 2.5 | 2.1 | 3.2 | 2.8 | 2.5 | 2.6 |
| | | 풍영정천 | 3.6 | 4.5 | 4.1 | 4.8 | 3.5 | 3.4 | 3.6 | 3.5 | 3.2 | 2.6 | 3.9 | 3.4 | 3.1 | 3.2 |
| | | 광주1 | 3.7 | 4.4 | 4.5 | 2.9 | 4.4 | 4.2 | 3.3 | 3.6 | 3.3 | 3 | 4.1 | 3.4 | 3.3 | 3.5 |
| | | 광주천2 | 8.9 | 9.2 | 8 | 4.8 | 5 | 4.6 | 5.1 | 4 | 3.8 | 3.5 | 4.9 | 4.3 | 3.8 | 4.1 |
| | | 광주2 | 8.6 | 6.5 | 5.7 | 4.5 | 6.8 | 4.5 | 4.9 | 4.2 | 4.7 | 4.3 | 5.6 | 4.6 | 4.4 | 4.9 |
| | | 광주2-1 | 9.8 | 7.1 | 5.8 | 5.6 | 6.6 | 5.1 | 4.6 | 4.9 | 5.2 | 5.4 | 6.0 | 4.9 | 5.2 | 5.5 |
| | 지석천 (II) | 지석천4 | 2.4 | 3 | 3.4 | 1.9 | 3 | 2.3 | 2.5 | 3.1 | 2.4 | 1.9 | 2.7 | 2.7 | 2.5 | 2.3 |
| | 대촌천 | - | - | - | - | 3 | 3.5 | 3.1 | 2.8 | 3.1 | 3 | 3.5 | 3 | 3 | 3.2 | |
| T-P | 영산강상류 (III) | 우치 | 0.101 | 0.117 | 0.096 | 0.088 | 0.113 | 0.076 | 0.08 | 0.094 | 0.094 | 0.093 | 0.095 | 0.089 | 0.094 | 0.094 |
| | | 풍영정천 | 0.16 | 0.16 | 0.21 | 0.111 | 0.111 | 0.113 | 0.111 | 0.117 | 0.13 | 0.113 | 0.111 | 0.119 | 0.12 | 0.118 |
| | | 광주1 | 0.108 | 0.085 | 0.107 | 0.083 | 0.082 | 0.085 | 0.083 | 0.071 | 0.092 | 0.087 | 0.108 | 0.082 | 0.083 | 0.096 |
| | | 광주천2 | 0.405 | 0.479 | 0.435 | 0.415 | 0.441 | 0.332 | 0.156 | 0.129 | 0.14 | 0.129 | 0.137 | 0.142 | 0.133 | 0.135 |
| | | 광주2 | 0.773 | 0.491 | 0.495 | 0.304 | 0.519 | 0.318 | 0.139 | 0.073 | 0.109 | 0.143 | 0.143 | 0.107 | 0.108 | 0.132 |
| | | 광주2-1 | 1.203 | 1.011 | 0.673 | 0.581 | 0.54 | 0.398 | 0.168 | 0.126 | 0.138 | 0.185 | 0.208 | 0.144 | 0.15 | 0.177 |
| | 지석천 (II) | 지석천4 | 0.129 | 0.126 | 0.175 | 0.152 | 0.134 | 0.136 | 0.074 | 0.135 | 0.173 | 0.122 | 0.155 | 0.127 | 0.143 | 0.150 |
| | 대촌천 | - | - | - | - | 0.128 | 0.125 | 0.127 | 0.128 | 0.115 | 0.125 | 0.199 | 0.123 | 0.123 | 0.146 | |

〈표 5〉 광주광역시 '15년~'17년 평균 수질 현황

| 광주광역시 주요 측정 위치 | 중권역 | 측정지점 | 본/지류 | BOD (mg/L) | T-P (mg/L) |
|----------------|-------------|---------------|------|------------|------------|
| | 영산강상류 (III) | 우치 | 본류 | 2.6 | 0.094 |
| | | 광주1 | 본류 | 3.2 | 0.118 |
| | | 풍영정천 | 지류 | 3.5 | 0.096 |
| | | 광주천2 | 지류 | 4.1 | 0.135 |
| | | 광주2 | 본류 | 4.9 | 0.132 |
| | | 광주2-1 | 본류 | 5.5 | 0.177 |
| | 지석천 (II) | 지석천4 | 지류 | 2.3 | 0.150 |
| | | 대촌천 | 지류 | 3.2 | 0.146 |
| | | 중권역 목표기준(II) | | 30이하 | 0.10이하 |
| | | 중권역 목표기준(III) | | 50이하 | 0.20이하 |

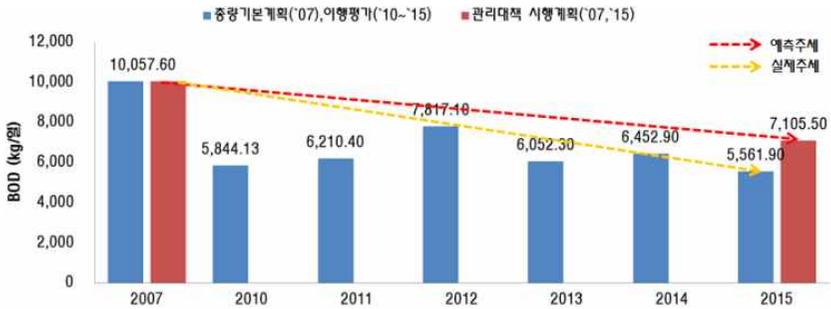
2) 광주광역시 배출부하량

(1) 광주광역시 관리지역 점·비점 배출부하량 현황

광주광역시 배출부하량은 '07년~'15년 기간 동안 조사하였으며, 〈그림 5〉과 같이 '15년 점배출부하량은 '07년 대비 30% 감소될 것으로 예측되었

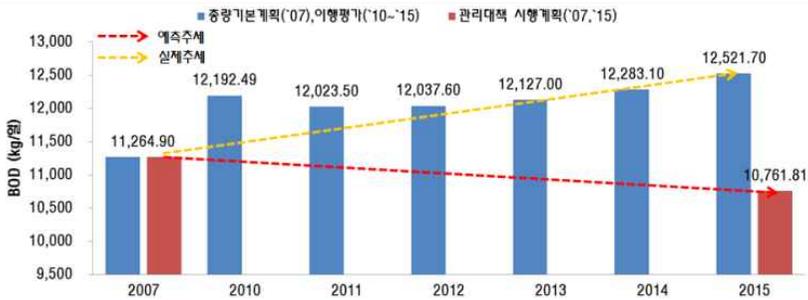
으며(광주광역시, 2009) `15년 기준 점배출부하량은 시행계획 수립 당시 예측치 30%보다 45%로 더 감소하는 것으로 나타났다(광주광역시, 2010a, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015).

〈그림 5〉 광주광역시 연도별 점 배출부하량 예측 및 현황



이러한 결과는 영산강 상류 수질개선 사업 및 오염총량 관리로 분류식 하수관거 신설 및 개량사업(10년~현재)을 통해 하수관거를 분류식하수관거로 정비하였으며, 효천지구 하수처리장(13년)을 준공하면서 집단 주거 지역에서 발생하는 오수처리를 하수처리시설 설치로 점오염원을 사전에 예방하였다. 또한, 소규모 마을하수도(08년~16년) 및 광주 제1,2하수처리장 수질개선(08년~16년)을 계획하여 안정적인 하수처리시설을 운영하여 관리능력을 향상시켰기 때문이다(광주광역시, 2010b). 반면에, 2015년 비점오염원 배출부하량은 〈그림 6〉과 같이 `07년 대비 5% 감소될 것으로 예측 (광주광역시, 2009)되었으나, `07년 이후 지속적으로 증가되고 있는 추세로 나타났다(광주광역시, 2010c, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015).

〈그림 6〉 광주광역시 연도별 비점 배출부하량 예측 및 현황



(2) 광주광역시 내 소권역 중심의 오염원 및 배출부하량 현황

수질현황 및 배출부하량 결과에 따라 광주광역시 전역이 아닌 소권역을 중심으로 오염원 및 배출부하량을 분석하였다. 총 배출부하량은 〈표 6~7〉과 같이 '15년 기준 BOD 11512.86 kg/일, T-P 823.48 kg/일로 산정되었다. 전체 배출부하량 중 비점기여율은 BOD 20.34%, T-P 63.41%로 T-P가 기존 관리물질이었던 BOD 보다 더 높게 나타남을 알 수 있었다. 이때 축산계 및 토지계 비점기여율이 BOD, T-P 모두 95% 이상으로 높게 나타났다. 비점오염원발생에 유역환경에 따른 평가항목들의 순위 분석 결과 오염원 요소가 전체의 50% 정도를 차지하는 중요요소(박배경 등, 2014)인 만큼 배출부하량과 축산계 및 토지계 분석 결과 높은 비점 기여율은 광주광역시 내 소권역을 중심으로 비점오염원관리가 필요하다고 예측된다. 특히 인구밀도가 높은 광주천 소권역은 단위면적당 비점 배출부하량이 높은 것으로 나타났다.

〈표 6〉 광주광역시 소권역 배출부하량 현황 ('15년, 신원단위 기준)

| 항목 | 구분 | BOD, T-P 배출부하량 (kg/일) | | | | | | |
|-----|----|-----------------------|---------|-------|--------|---------|-----|------|
| | | 총배출 | 생활계 | 축산계 | 산업계 | 토지계 | 양식계 | 매립계 |
| BOD | 점 | 9171.48 | 8850.82 | 0 | 198.32 | 117.87 | 0 | 4.47 |
| | 비점 | 2341.38 | 25.85 | 78.23 | 0.23 | 2237.07 | 0 | 0 |
| | 합계 | 11512.86 | 8876.67 | 78.24 | 198.55 | 2354.93 | 0 | 4.47 |
| T-P | 점 | 301.29 | 276.55 | 0 | 19.94 | 4.58 | 0 | 0.22 |
| | 비점 | 522.18 | 0.86 | 4.84 | 0.03 | 516.45 | 0 | 0 |
| | 합계 | 823.48 | 277.42 | 4.84 | 19.97 | 521.03 | 0 | 0.22 |

〈표 7〉 광주광역시 소권역 배출부하량 현황 ('15년, 신원단위 기준)

| 중권역 | 소권역 | BOD (kg/일) | | | T-P (kg/일) | | |
|-----------|------------|-------------|--------------|--------------------------------------|-------------|--------------|--------------------------------------|
| | | 점 (kg/일) | 비점 (kg/일) | 단위면적당 비점 (kg /km ² /일) | 점 (kg/일) | 비점 (kg/일) | 단위면적당 비점 (kg /km ² /일) |
| 영산강 상류 | 광주 수위표 | 352.69 | 444.41 | 49.60 | 12.5 | 424.49 | 8.56 |
| | 광주천 | 8228.08 | 1280.87 | 112.59 | 260.28 | 60.63 | 0.54 |
| | 황룡강 합류전 | 169.35 | 381.88 | 73.33 | 8.32 | 19.03 | 0.26 |
| 지석천 | 지석천 | 421.36 | 234.22 | 41.99 | 20.19 | 18.03 | 0.43 |
| | 총합계 | 9171.48 | 2341.38 | 277.51 | 301.29 | 522.18 | 9.79 |

3) 다변수 로그선형 평가 결과

관리목표(광산)지점의 수질개선과는 달리 비점배출부하량은 '09년 이후로 계속 증가하고 있는 추세이다. 배출부하량은 오염원으로부터 직접 배출되는 개별배출부하량과 공공처리시설의 관거로 유입되어 관거이송 과정에서 배출되는 관거배출부하량 및 처리후 배출되는 방류부하량으로 구성된다(국립환경과학원, 2019). 이때 비점배출부하량은 강우조건이 변화됨에 따라 합류식지역에서는 오염원의 변화가 없는 상태 하에서도 관거배출부하량이 달라지며, 배출부하량의 차이가 발생하게 된다(박준대, 2010). 따라서, 본 연구에서는 강우에 의한 변화를 유량을 통해서 도출할 수 있다고 생각하였고 다변수 로그선형모형을 사용 하여 유량변화에 따른 수질변화에 대한 영향 정도를 분석하였다.

다음의 다변수 로그선형모형을 적용하여 최근 13년간 광산지점 BOD 농도 변화에 대한 유량, 시간 영향을 분석하였다. 다변수 로그선형모형이 통계적으로 유의할 경우, 해당 지점에서의 BOD 농도가 시간과 유량 변화에 영향을 받음을 의미하며 강우량 회귀계수(β_1)가 통계적으로 유의한 양의 값을 가질 경우 유량 증가 시 수질 농도가 증가함을 의미하며 이것은 비점오염원의 영향 높음을 의미한다. 시간 회귀계수(β_3)가 통계적으로 유의한 음의 값을 가질 경우, 다양한 수질개선사업 추진의 결과로 수질농도가 점차 감소하는 경향을 보임을 의미한다.

(1) 관리목표 설정 지점(광산)의 다변수 로그선형 유의성 결과

〈표 8〉과 같이 Significant(P-value≤0.1)로 통계적으로 유의하며 〈표 9〉과 같이 광산지점에서는 강우량회귀계수(β_1)가 -0.135로 음의 값을 나타냈고 시간 회귀계수(β_3)는 -0.055로 통계적으로 유의한 결과 값을 나타냈다. 이것은 수질개선대책 추진의 결과로 시간에 따라 수질 농도가 감소 경향을 보임을 의미하며 비점오염원의 영향이 감소한 것으로 분석되었다.

〈표 8〉 유의성 결과

| | F-value | P-value | Significance |
|-----------|---------|---------|--------------|
| 광산(영산강본류) | 93.9 | 0.000 | S |

※ S: Significant(P-value≤0.1), N: No significant(P-value>0.01)

〈표 9〉 계수의 유의성 결과

| | 광산 지점 | |
|-----------|--------|----------------|
| | Value | Standard Error |
| β_0 | 1.313 | 0.053 |
| β_1 | -0.135 | 0.044 |
| β_2 | -0.002 | 0.011 |
| β_3 | -0.055 | 0.004 |
| β_4 | 0.004 | 0.001 |
| β_5 | 0.274 | 0.020 |
| β_6 | -0.141 | 0.022 |

(2) 광주광역시 영향 지점에서 통계모델의 유의성 결과

주요 지천인 풍영정천, 광주천, 대촌천이 포함된 소권역 광주천, 황룡강 합류점, 광주수위표, 지식천 중 ‘풍영정천’, ‘광주1’(풍영정천, 본류 합류점), ‘광주2’(풍영정천, 광주천, 본류 합류점), ‘대촌천’(지석천)은 〈표 10〉에 따라 Significant값이 H로 유의한 값을 가지며 〈표 11~12〉 계수 분석에 따라 유량 증가시 T-P 농도가 악화되는 통계적 경향을 보였다. 이때, 유량 회귀계수(β_1)가 통계적으로 유의한 양의 값을 가질 경우, 유량 증가시 수질 농도가 증가함을 의미하므로 4개의 소권역을 중심으로 비점오염 원관리가 필요하다고 사료 된다.

〈표 10〉 유의성 결과

| 구분 | 중권역명 | 소권역명 | 지점명 | F-value | P-value | Significance |
|-----|-------|------------|------|---------|---------|--------------|
| BOD | 영산강상류 | 황룡강 합류전 | 풍영정천 | 18.1 | 0.000 | H |
| | | | 광주1 | 42.5 | 0.000 | H |
| | | | 광주2 | 15.8 | 0.000 | H |
| | 지석천 | 지석천 | 대촌천 | 26.7 | 0.000 | H |
| T-P | 영산강상류 | 황룡강 합류전 | 풍영정천 | 15.8 | 0.000 | H |
| | | | 광주1 | 8.1 | 0.000 | H |
| | | | 광주2 | 40.5 | 0.000 | H |
| | 지석천 | 지석천 | 대촌천 | 24.1 | 0.000 | H |

※ H: Significant(P-value≤0.01) N: No significant(P-value>0.01)

〈표 11〉 계수의 유의성 결과

| 구분 | 풍영정천 | | 광주1 | | 광주2 | | 대촌천 | |
|-----------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|
| | Value | Standard Error |
| β_0 | 1.214 | 0.218 | 0.833 | 0.062 | 1.078 | 0.099 | 0.876 | 0.085 |
| β_1 | 0.078 | 0.099 | -0.191 | 0.044 | -0.103 | 0.126 | 0.017 | 0.058 |
| β_2 | 0.012 | 0.012 | -0.006 | 0.008 | 0.070 | 0.063 | 0.017 | 0.010 |
| β_3 | -0.035 | 0.010 | -0.027 | 0.008 | -0.009 | 0.010 | -0.027 | 0.018 |
| β_4 | 0.006 | 0.004 | -0.006 | 0.003 | 0.015 | 0.004 | 0.022 | 0.013 |
| β_5 | 0.298 | 0.033 | 0.367 | 0.036 | 0.245 | 0.043 | 0.299 | 0.041 |
| β_6 | -0.053 | 0.036 | -0.147 | 0.036 | -0.214 | 0.045 | -0.328 | 0.045 |

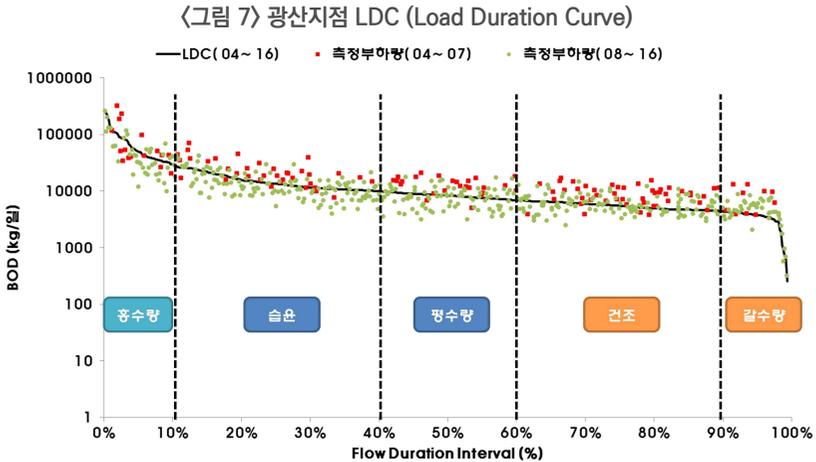
〈표 12〉 T-P 통계모델 계수값

| 구분 | 풍영정천 | | 광주1 | | 광주2 | | 대촌천 | |
|-----------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|
| | Value | Standard Error |
| β_0 | -1.204 | 0.222 | -2.407 | 0.052 | -1.931 | 0.122 | -1.946 | 0.062 |
| β_1 | 0.366 | 0.101 | 0.144 | 0.037 | 0.520 | 0.155 | 0.184 | 0.042 |
| β_2 | 0.029 | 0.012 | 0.018 | 0.007 | 0.329 | 0.077 | 0.025 | 0.007 |
| β_3 | -0.004 | 0.010 | 0.014 | 0.007 | -0.132 | 0.012 | -0.035 | 0.013 |
| β_4 | 0.006 | 0.004 | 0.009 | 0.002 | 0.027 | 0.004 | 0.008 | 0.009 |
| β_5 | 0.088 | 0.034 | 0.123 | 0.031 | 0.139 | 0.053 | 0.166 | 0.030 |
| β_6 | -0.199 | 0.037 | -0.058 | 0.030 | 0.117 | 0.055 | -0.261 | 0.033 |

4) 유량조건별 목표수질 초과빈도 분석을 위한 LDC(Load Duration Curve) 결과

(1) 관리목표 설정 지점(광산)의 LDC 결과

LDC(Load Duration Curve, 부하지속곡선)을 이용하여 ‘광산’지점의 ‘04년 이후 실측된 BOD 농도와 유량 자료를 이용한 분석 결과 <그림 7>, <표 13>와 같이 갈수량 상태를 제외한 대부분의 유량 조건에서 목표수질 초과율이 개선되었으며 이는 비점오염 및 점오염부하가 모두 저감된 것을 의미하였다. 이러한 결과는 비점오염원관리대책 시행계획을 비롯한 2단계 수질오염총량관리계획 등의 시행으로 점 및 비점오염 부하가 모두 저감되어 수질이 개선되었다고 판단할 수 있다.



〈표 13〉 광산지점 수문 상태별 목표수질(BOD) 초과현황(%)

| | 홍수량 (High Flow Condition) (0~10%) | 습윤 (Moist Condition) (10~40%) | 평수량 (Mid-Range Condition) (40~60%) | 건조 (Dry Condition) (60~90%) | 갈수량 (Low Flow Condition) (90~100%) |
|------------------------|--|--|---|--------------------------------------|---|
| | 대책 수립 이전 (‘04~‘07년) | 50% | 81% | 92% | 88% |
| 대책 수립 이후 (‘08~‘16년) | 26% | 34% | 41% | 49% | 76% |

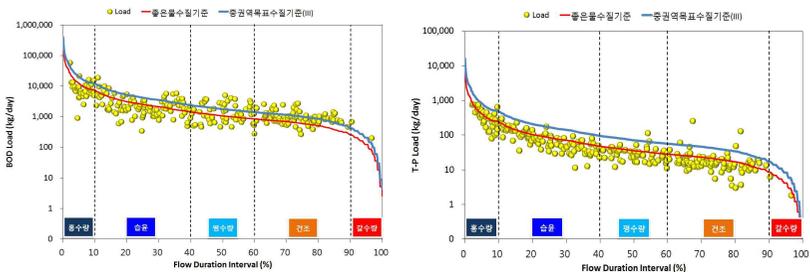
(2) 광주광역시 영향 지점에서 LDC 결과

국가수질측정지점과 유사한 지점인 어등(광주1), 마륵(광주2)지점의 과거 10년간('07년~'17년) 일유량 자료, 국가수질측정지점 대촌천지점의 과거 6년간('11년~'17년) 일유량 자료를 바탕으로 유량지속곡선(Flow Duration Curve, FDC) 작성하여 중권역목표기준, 좋은물기준에 대해 부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC) 분석 하였다. 그 결과 <그림 8~10>과 같이 LDC 초과빈도 분석결과 T-P는 영산강 상류인 풍영정천(광주1)의 경우 좋은물 및 중권역 목표수질 기준을 모두 만족하였으나, 인구수 및 불투수율이 높은 광주천 합류후(광주2) 점·비점오염원 모두 관리 필요하였다. 산업단지 밀집 지역인 대촌천지점은 점·비점오염원 모두 관리가 필요하였다.

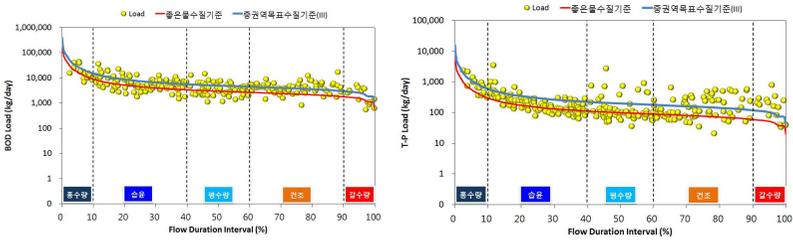
<표 14> 수질기준에 따른 유량상태별 목표수질 초과빈도(%)

| 지점 | 수질 항목 | 좋은물 수질 기준 초과빈도 | | | | | 중권역 수질 기준(III) 초과빈도 | | | | |
|------|-------|----------------|----|-----|----|-----|---------------------|----|-----|----|-----|
| | | 홍수량 | 습윤 | 평수량 | 건조 | 갈수량 | 홍수량 | 습윤 | 평수량 | 건조 | 갈수량 |
| 광주1 | BOD | 0 | 38 | 53 | 84 | 100 | 0 | 15 | 32 | 45 | 100 |
| | T-P | 1 | 31 | 20 | 29 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 0 |
| 풍영정천 | BOD | 68 | 48 | 39 | 65 | 60 | 32 | 16 | 12 | 18 | 24 |
| | T-P | 86 | 71 | 29 | 51 | 44 | 41 | 10 | 4 | 2 | 4 |
| 광주2 | BOD | 67 | 69 | 62 | 90 | 63 | 20 | 37 | 31 | 49 | 50 |
| | T-P | 93 | 69 | 53 | 70 | 94 | 47 | 14 | 21 | 38 | 63 |
| 대촌천 | BOD | 37 | 31 | 56 | 30 | 42 | 37 | 31 | 56 | 30 | 42 |
| | T-P | 53 | 54 | 75 | 61 | 96 | 53 | 54 | 75 | 61 | 96 |

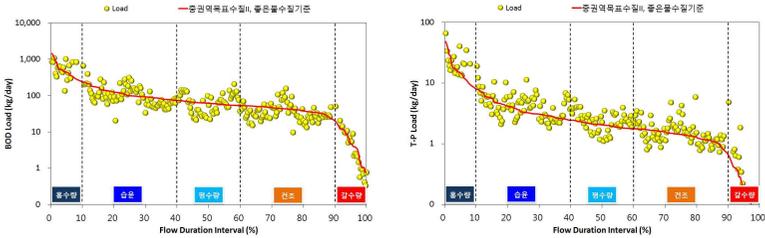
<그림 8> 유량조건별 목표수질 초과 현황 ('07년~'17년), 광주1 지점



〈그림 9〉 유량조건별 목표수질 초과 현황 ('07년~'17년), 광주2 지점



〈그림 10〉 유량조건별 목표수질 초과 현황 ('11년~'17년), 대촌천 지점



4. 광주광역시 내 비점오염원관리가 필요한 우선관리 대상지역 도출 결과

광주광역시 말단 지점의 관리목표지점(광산)에서는 비점오염개선을 확
인할 수 있었으나, 비점오염물질의 배출은 특정 소권역인 광주수위표, 광
주천, 황룡강합류전, 지석천에서 나타났고, 비점오염원 발생으로 유량변
화에 따라 본류 수질에 영향을 미칠 수 있다고 판단되었다. 그 결과 <표
15~16>과 같이 소권역 중 광주천, 황룡강합류전, 광주수위표, 지석천 순
으로 우선관리지역이 도출되었고 소권역 중 광주천이 면적이 112.6 km²,
면적당 인구밀도가 6,721(명/km²), 불투수면적율이 46%로 가장 높은 비중
을 차지하여 우선통합지수 결과 종합순위 1위로 분석되었다. 이러한 결과
를 바탕으로 비점오염원 영향의 주요 원인을 파악하고 향후 광주광역시
비점오염원관리에 기초자료로 활용될 수 있다고 기대한다.

〈표 15〉 BOD 중권역 기준 우선순위 지수 분석결과

| 소권역 | 평상시 목표수질 초과율지수 (1) | 강우시 목표수질 초과율지수 (2) | 최종 목표수질 초과율지수 (3) = $((1)+(2))/2$ | 단위면적당 토지계 비점 배출부하량 지수 (4) | 단위면적당 불투 수면적률 지수 (5) | 우선순위 통합지수 $((3)+(4)+(5))/3$ | 종합 순위 |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|--|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------|
| 광주천 | 0.741 | 0.623 | 0.682 | 1.000 | 1.000 | 0.894 | 1 |
| 황룡강 합류천 | 1.000 | 0.868 | 0.934 | 0.000 | 0.813 | 0.582 | 2 |
| 광주 수위표 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.609 | 0.781 | 0.463 | 3 |
| 지석천 | 0.147 | 1.000 | 0.573 | 0.103 | 0.000 | 0.226 | 4 |

〈표 16〉 TP 중권역 기준 우선순위 지수 분석결과

| 소권역 | 평상시 목표수질 초과율지수 (1) | 강우시 목표수질 초과율지수 (2) | 최종 목표수질 초과율지수 (3) = $((1)+(2))/2$ | 단위면적당 토지계 비점 배출부하량 지수 (4) | 단위면적당 불투 수면적률 지수 (5) | 우선순위 통합지수 $((3)+(4)+(5))/3$ | 종합 순위 |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|--|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------|
| 광주천 | 0.864 | 0.718 | 0.791 | 1.000 | 1.000 | 0.930 | 1 |
| 황룡강 합류천 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 0.813 | 0.604 | 2 |
| 광주 수위표 | 0.474 | 0.000 | 0.237 | 0.609 | 0.781 | 0.542 | 3 |
| 지석천 | 0.000 | 0.265 | 0.132 | 0.103 | 0.000 | 0.078 | 4 |

IV. 결론

본 연구는 광주광역시 비점오염관리지역이 목표 달성기간이 도래함에 따라 비점오염저감사업 추진에 따른 관리목표(광주광역시 말단 광산 지점 BOD 5.0 mg/L) 달성도를 평가하고 비점오염원 개선도(배출부하량, 수질, 유량조건에 따른 변화(다변수 로그선형모델, LDC등))등을 통해 비점오염원 관리 필요성 여부를 종합적으로 평가하였다.

광주광역시는 관리목표지점 평균 농도 BOD 4.7 mg/L(13년~15년), BOD 4.5 mg/L(14년~16년)로 3년 연속 2회 관리목표가 달성되었으며 수질(중권역기준)을 만족하고 다변수 로그선형모델에서는 유량의 변화에 따

라 수질의 변화가 거의 나타나지 않았다. 또한, LDC결과 고유량~평수량 구간에서 초과율이 26~34%로 비점오염원 개선정도를 알 수 있었다.

그러나, 광주광역시 내 소권역은 관리대책 이후에도 비점의 영향정도가 높게 나타났다. 배출부하량 중 비점기여율은 BOD 20.34%, T-P 63.41%로 T-P의 배출 부하량이 높으며, 비점부하량 중 축산계 및 토지계 기여율은 BOD, T-P 모두 95% 이상으로 높게 나타났다. 수질의 경우, 광주광역시 내 영산강 상류, 지석천의 중권역 대표지점 BOD(mg/L), T-P(mg/L)의 최근 3년(16년~18년) 평균농도값은 중권역 목표기준을 초과하였다. 유량 증가에 따른 수질 변화를 위해 다변수 로그선형모델을 분석한 결과 $S \leq 0.1$ 로 유량이 증가함에 따라 수질이 증가하는 경향을 알 수 있었다. 또한, 중권역 및 좋은물 기준에 대한 LDC(Load Duration Curve) 분석 결과 홍수량구간 등 50% 이상 초과하여 '영산강 상류' 중권역(3개 소권역 광주천, 황룡강합류전, 광주수위표), '지석천'을 중심의 지속적인 비점오염원 관리가 필요하다고 사료된다. 특히, 광주천의 경우 우선순위통합지수 값이 가장 높게 나타났으므로 순위가 높은 지역부터 비점오염원 관리를 추진한다면 높은 개선효과가 나타날 것이라 기대해 본다.

본 연구는 이러한 결과들을 통해 관리목표 달성 평가 시 시행계획 내 관리목표 지점(지역의 말단 지점)과 동시에 영향을 미칠 수 있는 일부 지점을 추가적으로 선정하여 평가해야 한다고 생각된다. 또한, 유량을 고려하여 평가해야 한다고 생각된다. 광주광역시가 관리지역 지정시 선정된 관리목표는 연평균 개념의 수질 기준이 설정되었다. 강우시 주로 발생하는 수질 변화의 특성이 명확히 반영되지 않았고 달성가능성, 유역현황 등이 고려되지 않은 획일화된 기준을 적용하였다고 판단된다. 임하호 및 소양호의 관리지역의 경우(환경부, 2018d) 지정 후부터 시행계획 초기단계에도 관리목표를 달성한 지역과 유사한 결과라 사료된다.

그러므로 이러한 관리목표 달성도 평가 방법을 활용할 경우 향후 광주광역시 시행계획 수립 및 타 관리지역의 관리목표 달성도 평가에 기초자료로 활용될 수 있을 것이라 기대해 본다.

■ 참고문헌 ■

- 강민지, 2012, “비점오염원관리 정책 개선을 위한 비점오염원 연구 추진 방향,” 『한국농공학회지』, 54(4), pp.19-25.
- 광주광역시, 2007, 『광주광역시 비점오염원관리 지정계획』, 광주: 광주광역시.
- _____, 2009, 『광주광역시 오염총량관리 기본계획』, 광주: 광주광역시.
- _____, 2010a, 『비점오염원 관리대책 시행계획』, 광주: 광주광역시.
- _____, 2010b, 『2010년~2015년 광주광역시 오염총량관리 시행계획』, 광주: 광주광역시.
- _____, 2010c, 『2010년 광주광역시 오염총량관리 시행계획 이행평가 보고서』, 광주: 광주광역시.
- _____, 2011, 『2011년 광주광역시 오염총량관리 시행계획 이행평가 보고서』, 광주: 광주광역시.
- _____, 2012, 『2012년 광주광역시 오염총량관리 시행계획 이행평가 보고서』, 광주: 광주광역시.
- _____, 2013, 『2013년 광주광역시 오염총량관리 시행계획 이행평가 보고서』, 광주: 광주광역시.
- _____, 2014, 『2014년 광주광역시 오염총량관리 시행계획 이행평가 보고서』, 광주: 광주광역시.
- _____, 2015, 『2015년 광주광역시 오염총량관리 시행계획 이행평가 보고서』, 광주: 광주광역시.
- _____, 2017, 『비점오염원 관리대책 시행계획 이행평가 보고서』, 광주: 광주광역시.
- _____, 2018, 『물순환선도도시 기본계획』, 광주: 광주광역시.
- 국립환경과학원, 2019, 『오염총량관리기술지침』, 인천: 국립환경과학원.
- 김은정·박배경·김용석·류덕희·정광욱, 2015, “새만금 비점오염원관리지역에서의 목표설정 및 달성도 평가방법론 연구,” 『대한환경공학회지』, 37(8), pp.450~491, DOI: 10.4491/KSEE.2015.37.8.480.
- 김홍태·신동석·박지형·박배경·박재홍·이재관 등, 2012, 『비점오염 취약지역분석 및 관리우선순위 설정』, (NIER-RP2012-224), 인천: 국립환경과학원 물환경연구부 수질총량연구과.
- 박배경·강민지·안기홍·김용석·류덕희·이규민, 2014, “비점오염원우선관리 필요지역 도출연구,” 『한국물환경학회·대한상하수도학회 공동총계학술발표회』, 킨텍스, pp.60-61.
- 박준대·신동석·박배경·김홍태·오승영·천세억, 2010, 『수질오염총량관리를 위한 배출부하량 산정 표준화방안 연구』, (NEIR: 2010-90-1265), 인천: 국립환경과학원 물환경연구부 수질총량연구과.

- 영산강유역환경청, 2018, 『영산강·섬진강 대권역 물환경관리계획('16~'25)』, (11-1480356-000102-01), 여수: 영산강유역환경청.
- 한국환경공단, 2004, 『도심지 합류식 하수 관거 월류수 및 분류식 우수관거 우수유출 오염부하 기초조사 연구』, 인천: 한국환경공단.
- 환경부, 2012, 『제2차 비점오염원종합대책』, 세종: 환경부.
- _____, 2016, 『비점오염원관리 취약지역선정 연구』, 세종: 환경부.
- _____, 2018a, 물환경보전법 법률 제2018-169호.
- _____, 2018b, 『물환경측정망 운영계획』, 세종: 환경부.
- _____, 2018c, 물환경보전법 시행규칙, 환경부고시 제2018-6호.
- _____, 2018d, 비점오염원관리지역 지정고시 제2018-78호.
- _____, 2019, 『물환경보전법』, 세종: 환경부.
- Cohn, T. A., D. L. Caulder, E. J. Gilroy, L. D. Zynjuk, and R. M. Summers, 1992, "The validity of a simple statistical model for estimating fluvial constituent loads: An empirical study involving nutrient loads entering Chesapeake Bay," *Water Resources Research*, 28(9), pp.2353-2363.
- 환경부 물환경정보시스템, water.nier.go.kr.
- 환경부 비점오염원, nonpoint.me.go.kr.

김진선: 서울시립대학교에서 석사학위를 취득하고 국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과에서 전문위원으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 비점오염원, 비점오염저감시설, 유역모델링, 유역관리계획 등이다(kjs1235@korea.kr).

최지연: 공주대학교에서 박사학위를 취득하고 국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과에서 전문위원으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 비점오염원, LID, GI, 인공습지, 유역관리계획 등이다(yeonjichoi@korea.kr).

이중문: 인제대학교에서 박사학위를 취득하고 국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과에서 전문위원으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 수자원, 비점오염원, 유역모델링, 유역관리계획 등이다(leejm0909@korea.kr).

나은혜: 이화여자대학교에서 박사학위를 취득하고 환경부 4대강조사평가단 조사평가지원관 개방모니터링팀 환경연구관으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 비점오염원, 수자원 유역모델링, 유역관리계획 등이다(eunye@korea.kr).

신동석: 서울대학교에서 박사학위를 취득하고 국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과 과장으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 수질오염총량관리, 비점오염원 관리, 유역모델링 등이다(sds8488@korea.kr).

이재관: 부경대학교에서 박사학위를 취득하고 국립환경과학원 물환경연구부에서 부장으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 물환경평가, 수생태계 건강성 및 유역관리 등이다(jkleenier@korea.kr).

류지철: 강원대학교에서 박사학위를 취득하고 국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과에서 환경연구사로 재직 중이다. 주요 관심분야는 수질오염총량관리, 수자원, 유역모델링, 비점오염원관리, 유역관리계획 등이다(ryu0402@korea.kr).