오염원 공간분석 및 오염부하지속곡선을 통한 맞춤형 수질오염총량제 추진방안 연구

Study on the Application of Spatial-analysis of Pollutants and Load Duration Curve for Efficient Implementation of TMDLs system

박배경^{*,†} · 류지철 · 나은혜 · 서지연 · 김용석
Baekyung Park^{*,†} · Jichul Ryu · EunHye Na · Jiyeon Seo · Yongseok Kim

국립환경과학원 유역총량연구과

National Institute of Environmental Research, Watershed and Total Load Management Research Division

(Received November 23, 2017; Revised November 30, 2017; Accepted December 5, 2017)

Abstract : It is difficult to manage hotspot area and to establish the reduction plan considering with spatial-distribution on Korea TMDLs (Total Maximum Daily Loads) system. To solve this problems, methods of Load Duration Curve (LDC) using long-term flow and water quality data, and spatial-analysis were applied on present TMDLs. Jinwi A watershed which is enforced TMDLs plan were selected to study area. Results of application of suggested methods in this study to Jinwi watershed, Hwangguji tributary was selected to hotspot area and Jinwi tributary was excluded. Also, middle area of Hwangguji tributary was needed a reduction plan for the protection of non-point source pollution. In downstream area, livestock manure should be managed additionally. The new methods suggested in this study were useful to increase healthiness for total watershed.

Key Words : Management of Hotspot Area, Load Duration Curve, Spatial-analysis, TMDLs, Watershed Management

요약 : 현재 수질오염총량제(이하 총량제)에서는 단위유역 말단의 목표수질만 만족할 수 있는 조건에서의 유역 관리를 진행해 왔으며 이로 인해 우선관리가 필요한 지류에 대한 집중적 관리와 오염원 공간분포 특성을 고려한 삭감대책을 마련하는데 제한점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 장기적으로 조사된 유량 및 수질자료를 이용한 오염부하지속곡선 기법과 오염원 및 오염부하량 공간분포 특성 분석 방법을 현행 총량제 이행평가 방법으로 적용하였다. 적용유역은 기존 총량제가 시행되고 있는 진위천 수계를 대상으로 하였다. 본 연구방법 적용 결과, 진위천 수계에서는 황구지천 지류가 집중 관리 되어야 하며 진위천 지류는 우선관리에서 제외되는 것으로 나타났다. 또한 황구지천 중류 구간에서 추가적으로 비점삭감계획이 필요하며, 하류 구간에서는 축산에 대한 저감대책이 필요할 것으로 분석됐다. 본 연구에서 제안한 새로운 방법은 향후 총량제에서 유역 전체의 건강성을 높이는데 매우 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

주제어 : 공간분포특성, 오염총량관리, 유역관리, 우선관리지역, 오염부하지속곡선

1. 서론

현재 우리나라는 유역내 오염원 물질량 관리를 통해 오염물질 부하량 및 하천 수질 개선을 도모하기 위하여 수질오염총량제(이하 총량제)를 시행하고 있으며 국내외적으로 그간 추진된 물관리 대책중 가장 과학적 기술요소와 효율적 측면에서 선진화된 정책이라는 평가를 받고 있다.^{1,2)}

총량제는 4대강 수계법³⁻⁶⁾에 근거하여 2004년부터 도입되었으며, 3대강 수계(낙동강, 금강, 영산강수계)는 의무제 2단계를 마무리하고 현재 3단계 총량제가 시행 중에 있으며 충청북도와 강원도를 제외한 한강 수계에서도 2013년 6월부터 의무제 총량제가 도입되어 시행되고 있다. 또한 2021년부터는 충청북도와 강원도를 포함한 4대강 수계 전체가 총량제 시행이 추진될 예정이다.^{7,8)} 반면에 4대강 수계에 포함되지 않는 기타 수계 지역은 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에 근거하여 지자체와 환경부의 협의로 총량제가 시행되고 있으며 현재 진위천 수계가 총량제를 시행하고 있고⁹⁾ 최근 삼교호 유역도 총량제 기본계획이 수립중에 있다.

총량제는 유역의 특성을 분석하고 문제점을 진단후 이를 해결하여 수질관리 목표를 달성하는 유역관리 방법의 일환으로서 우선 관리코자 하는 유역을 구분하고 단위유역 최말단 지점에 관리목표를 설정하고 유역내 오염부하량을 계산한 후(장래예측 포함) 이를 할당량으로 지정하여서 준수하도록 하는 제도이다.⁸⁾

오염부하량은 생활계(인구, 물 사용량 등), 산업계(산업체 수 및 폐수발생량 등), 축산계(소, 돼지 등), 토지계(논, 밭, 대지 등), 양식계(양여장, 사료투여량 등), 매립계(매립지 침출수 등)로 구분한 후 수질오염총량관리기술지침¹⁰⁾에 따라 각각의 오염원별로 현재의 오염부하량을 먼저 산정하고 이후 각각의 오염원들이 장래에 얼마만큼 증감할지를 예측한 후 장래에 대한 오염부하량도 산정한다.⁸⁾ 현재 및 장래의 오염부하량이 산정되면, 이를 소유역으로 나누어 정리한 후 도입할 수 있는 삭감대책과 함께 정적모델에 입력하여 단위유역 최말단 지점의 목표수질이 만족되는 할당부하량을 도출하고 이를 각 단위유역 및 지자체에 지정하여 준수하게 한다. 총량관리 계획이 수립된 후에는 매년 이행사

[†] Corresponding author E-mail: bkpark67@korea.kr Tel: 032-560-7385 Fax: 032-560-7978

향을 평가하여(이행평가보고서) 계획대로 순조롭게 추진되고 있는지를 알아보고 문제점 발생시 최종년도 목표(할당 부하량)가 달성되도록 피드백(조치사항 강구)하는 과정을 거친다.

그러나 현 총량제에서는 관리의 핵심이 되는 목표수질과 할당량 지점이 단위유역 최말단을 기준으로 설정됨에 따라 수계구간별 손상도를 반영하고 공간적 오염원 및 배출부하량 분포를 고려한 우선지역관리 및 삭감대책들이 효과적으로 계획에 반영되지 못할 수 있다. 따라서 현행 총량제를 통한 효율적인 유역관리를 위해서는 유역 내의 수질오염도가 높은 hotspot 지역의(오염원 밀집) 우선관리가 필요하며 유역 전체를 건강하게 만드는 개념으로 획일적인 고비용의 처리시설(하수, 폐수 등) 건설보다는 유역내 점·비점 오염원의 특성에 맞는 적합한 삭감대책 마련이 필요하다.

최근 유역관리기법 중에 하나로 GIS를 이용한 오염원 및 부하량의 공간분포 분석 방법을 이용하여 유역 내 집중관리가 필요한 hotspot 지역을 선정하는 연구가 많이 진행되고 있으며¹¹⁻¹³⁾ LDC를 이용한 하천 수체손상 평가를 통해 집중관리가 되어야 하는 유역 및 하천을 선정하고 관리하는 연구들이 다양하게 진행되고 있다.¹⁴⁻¹⁶⁾

본 연구의 목적은 보다 효율적인 총량제 계획수립 및 시행이 될 수 있도록 1) 장기모니터링 자료와 LDC를 이용한 수체손상구간 분석 및 우선관리지역 선정방법과, 2) GIS를 이용한 오염원 및 오염부하량의 공간분석 기법을 도입하여 우선관리지역의 효율 높은 삭감 대책 방안을 총량제에서 반영할 수 있도록 하고, 3) 실제 총량제가 시행되고 있는 유역에 본 연구에서 제시한 방법들을 적용하여 본 연구에서 제시한 방법이 기존 총량제 보다 더 효율적으로 총량제 시행을 유도할 수 있는지를 평가하는데 있다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상지역 선정 및 현황 분석

연구대상지역은 현재 총량제가 시행되고 있는 기타 수계 지역의 진위A 단위유역을 대상으로 하였다. 진위천 수계에는 8일 간격 유량 및 수질 총량측정망 12개 지점과 한 달

간격의 일반 수질측정망 12개 지점이 위치하고 있다. 따라서 진위천 수계에서는 수체손상구간을 분석할 수 있는 유량 및 수질 자료가 잘 구축되고 있어 세분화된 측정망 세 유역도를 작성할 수 있기 때문에 연구대상지역으로 선정하였다.

진위A 단위유역은 2010년에 총량제 기본계획이 수립되었고 2012년부터 총량제가 시행되고 있으며 관리 최종 목표년도는 2020년이다. 진위A 단위유역 면적은 735.22 km²이며 그 중 수원시(121.05 km²)와 오산시(42.77 km²)는 전 지역이 진위A 단위유역에 해당되며 용인시 33.9%, 평택시 31.5%, 화성시 25.8%, 의왕시 20.0%, 군포시 11.4%, 안성시 6.5% 순의 비율로 이루어져 있다. 또한 단위유역 내 수원기상대가 존재한다⁹⁾(Fig. 1(a)). 하천은 크게 세 개의 물줄기로 이루어져 있으며 수원시로부터 시작되는 황구지천, 용인시를 거쳐 오산시를 통해 내려오는 오산천, 마지막으로 안성시와 용인시로부터 합류되는 진위천으로 나뉜다(Fig. 1(b)).

현재 총량제에서 관리되고 있는 물질은 BOD 한 항목만 관리되고 있으며 오염원은 생활계, 산업계, 축산계, 토지계 순으로 큰 비중을 차지하고 있다.

진위A 단위유역의 총량제 삭감계획은 총 121건으로 용인, 수원, 평택, 화성 순으로 삭감계획이 많게 수립되어 있다. 또한 특성으로는 주로 점오염원에 대한 삭감계획 및 삭감량이 편중되어 있으며 비점오염원에 대한 삭감은 수원, 용인, 오산시에 계획되어 있다(Table 1, Fig. 1(c)).

2.2 총량제 시행효율화 방안

본 연구에서는 기존 총량제의 계획 수립 및 제도시행 효율성을 높이기 위하여 모니터링 자료와 LDC를 이용하여 수체손상구간을 분석하고 이를 통해 우선관리지역을 선정하는 방법과 GIS를 이용한 오염원/오염부하량 공간분포 특성 분석을 통해 우선관리지역의 효율적인 삭감대책을 도출하는 방법을 사용하였다. 우선관리지역 선정과 공간분포 특성을 고려한 삭감대책 마련 방법에 대한 자세한 과정은 Fig. 2와 같다.

2.2.1. 유역구분의 세분화

먼저 유역의 정밀한 수체손상구간 및 우선관리지역 선정

Table 1. Reduction plan in Jinwi-A watershed

Reduction plan	Suwon	Yongin	Hwaseong	Pyeongtaek	Gunpo	Osan	Anseong	Uiwang	Total
Establishment of new environmental facilities and expansion	3	10	7	17	1	2	1	1	42
Sewer maintenance	3	8	3	4	0	2	0	1	21
Sewerage of altitude treatment	2	1	2	7	-	2	-	1	14
Reuse of sewage	-	-	-	-	-	1	-	-	1
Utilization of livestock manure	1	1	1	-	-	-	-	-	3
Non-point source reduction facilities	20	12	-	-	-	2	-	6	40
Total	29	32	13	28	1	9	1	9	121

Fig. 1. Status of Jinwi A watershed.

Fig. 2. Flow diagram of this study.

과 오염원 분포의 공간적 분석을 위하여 기존 총량제와 다르게 단위유역 내 소유역보다 더 자세한 세유역을 구분하였다. 이러한 세유역 구분은 기존 유역 내 존재하는 총량측정망 및 일반 수질측정망 지점(이하 측정망 지점) 정보와

수계 DEM 및 하천도를 이용하여 구분하였고 구분된 세유역에 고유명칭을 부여하였다.

2.2.2. 수체손상구간 및 우선관리지역 선정을 통한 유역진단

세유역도를 구분한 후 측정망 지점 별로 3년간 BOD, T-P에 대한 평균수질을 산정하고 이를 하천도 GIS shp파일에 정보를 입력하여 공간적인 수체손상구간을 1차로 분석하였다. 그 후 측정망 지점별 3년간 유량 및 수질 자료를 이용하여 FDC와 LDC를 작성한 후 수체손상구간의 유량시기별 수체손상을 분석하고 이를 통해 수체손상 원인이 점오염원인지 비점오염원인지에 대해 분석하였다. 또한 분류에서의 수체손상이 어느 지점으로부터 기인되는 것인지를 LDC 분석 결과에 대해 지류별로 추적하여 분석한 후 우선관리지역을 선정하였다.

2.2.3. 오염원 및 오염부하량 공간특성 분석 통한 유역진단

우선관리지역이 선정된 후 우선관리지역의 집중관리가 필요한 오염원 선택과 삭감대책을 마련할 수 있도록 GIS를 이

용하여 유역 내 오염원과 오염부하량을 공간적으로 나타내고 분석하였다.

오염원 자료는 오염총량관리기술지침(2014)에서 정의하는 6개 오염원(생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 양식계, 매립계) 중 유역의 주요 오염원인 4개 오염원(생활계, 축산계, 산업계, 토지계)에 대하여 공간분포 특성을 분석하였다. 오염부하량 자료는 점 및 비점 배출부하량으로 나누고 점 배출부하량의 경우 다시 하수처리장의 방류부하량과 순수 점 배출부하량(방류제외 부하량)으로 나누어 분석하였다. 오염원 및 오염부하량 분석은 2014년 전국오염원 자료를 기초로 하였다. 이와 더불어 위에서 분석했던 우심지역과 오염원, 배출부하량의 공간분포 특성과 기존 삭감계획을 비교하여 공간분포 특성이 고려된 새로운 삭감대책 마련을 도출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유역의 세분화 결과

기존의 총량제에서는 진위천 수계의 단위유역을 진위A한 개로 한 후 3개의 큰 소유역으로 구분하여 관리를 하였지만 본 연구에서는 수질측정망 지점과 하천도 DEM 등을 종합적으로 고려한 새로운 세유역 개념의 유역도를 작성하였고, 각기 세유역마다 번호를 부여하여 관리될 수 있도록 하였다(Fig.1(d)). 세유역은 총 38개로 구분하였고 세유역 번호는 진위천 지류의 시작인 진위A0101부터 시작하여 오산천 지류의 시작 진위A0201와 황구지천 지류 시작 진위

A0301를 거쳐 본류인 진위A0409로 끝나도록 하였다. 따라서 이를 통해 3년간 수질평균에 대한 변화와 LDC분석과 유역의 오염원 분포 및 오염부하량 현황을 세유역 단위로 분석하였다.

3.2. 수체손상구간 및 원인 추적 결과

진위천 유역의 최말단 지점에서의 최종년도(2020년) 목표수질은 BOD 6.6 mg/L이며 최근 10년간 수질은 목표수질은 대체로 초과하고 있으나 개선 추세를 나타냈다(Fig. 3(a)). T-P의 경우 현재 수질총량제에서 관리되고 있지 않기 때문에 총량제 목표수질이 존재하지 않지만 10년간 최말단 지점에서의 수질은 BOD와 마찬가지로 개선 추세에 있는 것으로 분석됐다(Fig. 3(b)).

유역내 공간적 주요 지점에서의 평균 수질농도 공간분포를 살펴보면 BOD의 경우, 황구지천 지류 중 수원시가 속한 상류 지류(황구지천, 서호천, 원천리천, 수원천)의 수질이 높게 나타나고 있으며 평택시가 속한 하류지역(관리천, 두릉천, 서정리천) 및 진위천 본류가 2번째로 높고 그 다음으로 오산, 용인시가 속한 오산천 중·하류, 지류(진위천, 지산천)가 높은 것으로 나타났으며 총량제 목표수질(6.6 mg/L)을 초과하고 있는 지류는 황구지천 상류, 진위천 본류인 것으로 분석됐다(Fig. 4(a)).

T-P의 경우, 수원, 화성시가 속한 황구지천 지류의 상·중·하류 모두와 오산시가 속한 오산천 지류의 하류 부분(기장천, 권리천, 오산천)과 평택시가 속한 진위천 본류(장등천, 두릉천, 서정리천, 관리천)에서 모두 평균수질이 높게 나타나는 것으로 분석됐다.

(a) BOD

(b) T-P

Fig. 3. Trends of water quality variation with target water quality.

Fig. 4. Spatial distribution of water quality.

Fig. 5. Characteristics of BOD LDC curve at critical point.

또한 평균수질 대비 목표수질(환경부 하천수질등급 ‘보통’ : 0.2 mg/L)을 비교해 보면 안성시가 속한 진위천 지류와 수원시가 속한 상류 일부를 제외(황구지천, 서호천)하고는 진위천 단위유역 모든 지류에서 평균수질이 목표수질을 초과하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 4(b)).

공간별 수질농도 분포 특성을 토대로 오염도가 높은 지역의 LDC 분석 결과, BOD의 경우 진위A 말단 지점에서는 전체 유황구간 모두에서 현재 수질의 약 49% 정도가 목표수질을 초과하는 것으로 분석됐다(Fig. 5(a)).

상류 지류의 LDC 분석 정보를 이용하여 말단 지점의 현

Fig. 6. Characteristics of T-P LDC curve at critical point.

재 수질 초과에 큰 기여를 하고 있는 지류를 추적한 결과, 황구지천, 오산천, 진위천 지류가 합류되는 진위천3 지점에서 현재 수질들의 약 41% 정도가 목표수질을 초과하고 있는 것으로 나타났으며(Fig. 5(a)), 황구지천 지류의 황구지천3 및 황구지천2, 황구지천1-1 지점에서 각각 39%, 44%, 55%의 목표수질 초과율을 보였고(Fig. 5(a)), 오산천 중하류인 오산천3, 오산천2-1에서 각각 57%, 46%의 목표수질 초과율이 분석됐다(Fig. 5(b)). 이에 따라 황구지천 지류와 오산천 중·하류에 대한 지류가 말단 지점의 BOD 목표수질 초과에 상당한 기여를 하고 있는 것으로 판단되었다.

진위천 지류에서는 현재 BOD 수질이 모든 유황조건에서 목표수질을 거의 초과하지 않는 것으로 나타나 분류 말단 지점의 초과 원인 지류에서 제외되는 것으로 나타났다(Fig. 5(c)).

T-P의 경우, 진위A 말단 지점에서 현재 수질이 모든 유황 조건에서 0.2 mg/L 목표수질을 전부 상회하는 것으로 분석됐다(Fig. 6(a)).

상류 지류의 LDC 분석 정보를 이용하여 말단 지점의 현재 수질 초과에 큰 기여를 하고 있는 지류를 추적한 결과, 황구지천 지류인 황구지천3, 황구지천2, 황구지천1 지점에서 각각 92%, 92%, 90%로 목표수질 초과율이 분석됐으며(Fig. 6(a)), 오산천 지류인 오산천3, 오산천1-3, 오산천1-1 지

점에서 각각 87%, 51%, 52%의 초과율이 나타났다(Fig. 6(b)). 이에 따라 황구지천2를 제외한 모든 황구지천 지류와 오산천 지류가 진위A 말단 지점의 T-P 목표수질 초과에 상당한 기여를 하고 있는 것으로 분석됐다.

진위천 지류는 BOD와 마찬가지로 현재 수질이 목표수질을 거의 초과하고 있지 않는 것으로 나타나 말단 지점의 T-P 초과 원인 대상에서 제외되는 것으로 분석됐다(Fig. 6(c)).

3.3. 오염원 및 오염부하량 공간특성 분석 결과

생활계 오염원 대표 지표인 인구는 상류지역인 수원시 및 유역중앙에 편중되어 있으며, 축산계 오염원은 화성시 및 평택시와 안성시가 포함된 유역 하류에 집중 분포, 산업계는 유역 좌측, 토지이용도는 유역 중앙에 불투수면이, 하천을 중심으로 논과 밭이 분포하는 특성을 보였다(Fig. 7).

BOD 및 T-P 전체 배출부하량(양식계/매립계 제외)의 경우, 수원하수처리장이 포함된 유역에서 배출부하량이 가장 높게 나타났으며, 수원시와 용인시가 포함된 상류 유역과 오산하수처리장이 속한 중류 유역 및 하류의 평택시 장당하수처리장이 속한 유역이 그 다음으로 높게 나타났다. BOD 비점 배출부하량에서는 수원시가 포함된 상류유역이 가장 높게 나타났고 화성시와 용인시가 속한 중류 유역과 평택시가 속한 하류 유역이 그 다음으로 높게 분석됐다(Fig. 8).

Fig. 7. Characteristics of pollutant source distribution.

Fig. 8. The result of pollutant loads (BOD).

3.4. 유역진단을 통한 삭감대책 및 관리방안

주요 대책들이 황구지천 및 오산천 지류에 집중될 필요가 있는 것으로 판단된다. 또한 수질악화 지역에서의 LDC 분석 결과, 전체 유황 구간 모두에서 현재 BOD, T-P 모두 수질 농도가 목표수질을 초과하고 있기 때문에 점·비점 오염원 모두 관리가 필요할 것으로 판단된다.

지역별로 상세히 분석해 보면, 안성시가 속한 진위천 지류의 경우는 현재 BOD, T-P 모두 말단지점의 목표수질 초과에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

용인시, 오산시가 주로 속한 오산천 지류의 경우, BOD는 상류 지역을 제외한 중하류(진위A0204~진위A0209), T-P는 전체 지류 구간에서 현재 수질이 목표수질을 전체 유황구간에서 상당량 초과하는 것으로 분석되었으며 이와 같은 원인은 오산천 중·하류 지류가 도시화율이 높은 지역이기 때문에 인구밀도와 대지 비율이 높기 때문인 것으로 판단된다.

또한 현재 총량계획 상에는 2015년에 오산 및 세마하수처리장 신증설, 2016년에 하수처리 재이용, 2018년에 BOD 고도처리 삭감 및 비점저감시설 신설 삭감계획이 수립되어 있지만 주로 점 오염원 삭감계획에 집중되어 있고 비점 삭감 계획에 대해서는 단 2건(계획삭감량 37.84 kg/day)이기 때문에 비점 삭감계획에 대한 보완이 필요할 것으로 판단되었다.

수원, 화성, 오산, 평택시가 주로 포함된 황구지천의 경우, BOD는 전체 구간, T-P는 상류 일부 지류(황구지천, 서호천 지류)를 제외한 모든 구간에서 현재 수질이 목표수질을 전체 유황구간에서 상당량 초과하는 것으로 분석되었다. 현재 4개 시 모두 하수처리장과 관련된 삭감계획이 계획되어 있지만 황구지천 중류 지역인 화성시 같은 경우 하수처리장 삭감계획과 같은 생활계 관련 점오염원 처리 삭감계획이 더 필요할 것으로 판단된다.

현재 비점 배출부하량 및 LDC 분석 결과에서 처럼 황구지천 중류(진위A0309~진위0313)에도 BOD, T-P 모두 비점이 관리되어야 하지만 현재 화성시 및 평택시는 비점삭감시설에 대한 계획이 전혀 없으며 하류구간인 평택시는 축산 자원화 삭감계획이 수립되어 있지 않기 때문에 이를 보완할 수 있는 새로운 비점 삭감계획이 더 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 총량제에 공간분포 특성과 LDC를 이용한 우심지역 관리방법을 적용한 새로운 총량제 계획수립 및 관리방안을 도출하였다.

기존 총량제는 단위유역 말단의 수질에만 집중하고 있기 때문에 유역의 오염부하량과 하천수질에 대한 전체적인 건강성을 모두 만족하기 어려웠다. 따라서 본 연구의 방법을 기존 총량제에 적용한다면 공간적 분포가 고려된 세유역 및

지류단위의 우선지역 관리와 삭감대책이 마련될 수 있으며 이를 통해 유역구성원 전체가 만족할 수 있는 총량제를 실현할 수 있을 것이라 판단된다.

하지만 본 연구에서 제안한 방법을 총량제에 적용하기 위해서는 유역 내 수질측정망 지점 확대가 필요할 것으로 판단된다. 또한 이러한 방법을 좀 더 효과적으로 적용하기 위해서는 향후 유역 모델을 적용하여 세유역별 삭감대책에 따른 수질 개선 효과에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

KSEE

References

1. Lee, Y. G., "Status of Water Pollution Amount System for Sustainable Water Environment and Response by Gyeongnam," *Brief*, 4~5(2013).
2. Beak, K. H., "Water quality pollution total management system with water quality conservation and development-Conservation of water environment and regional development harmoniously through scientific and systematic management of total amount of water pollution," *Busan Development Forum*, **157**, 38~47(2016).
3. The Han River Water Quality Improvement Act and Provincial Support Act, Law No. 13879(2017).
4. The Nakdong River Water Management and Residents Support Act, Law No. 13879(2017).
5. The Geum River Water Management and Residents Support Act, Law No. 13879(2017).
6. The Youngsan River, Seomjin River Water Management and Residents Support Act, Law No. 13879(2017).
7. Kim, Y. I. and Lee, S. J., "A Study on the Improvement Scheme of the Total Water Pollution Load Management Plan," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **22**(6), 977~981(2006).
8. Ministry of Environment, Basic Policy on TMDLs(2017).
9. Gyeonggi-do, Jinwicheon watershed Basic plan of TMDLs (2010).
10. National Environmental Science Institute, Technical Guidelines for TMDLs(2014).
11. Kum, D. H., Choi, J. W., Kim, I. J., Kong, D. S., Ryu, J. C., Kang, H. W. and Lim, K. J., "Development of Automatic Extraction Model of Soil Erosion Management Area Using ArcGIS model builder," *J. Korean Soc. Agric. Eng.*, **53**(1), 71~81(2011).
12. Lee, M. J., Hyun, Y. J., Kim, Y. J. and Hwang, S. I., "Priority Assessment for Groundwater Contamination Management Using Analytic Hierarchy Process (AHP) and GIS Approach," *J. Soil and Groundwater Environ.*, **18**(5), 26~38(2013).
13. Ryu, J., "Development and Evaluation of ArcGIS-based watershed-scale Long-term Hydrology Impact Assessment (L-THIA) ACN-WQ system," Ph.D. dissertation, Kangwon University, Chuncheon, South Korea(2016).
14. Kang, H. W., Rye, J. C., Shin, M. H., Choi, J. D., Choi, J. W., Shin, D. S. and Lim, K. J., "Application of Web-based Load Duration Curve System to TMDL Watersheds for Eva-

- luation of Water Quality and Pollutant Loads,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **27**(5), 689~698(2011).
15. Kim, E. K., Ryu, J. C., Kim, H. T., Kim, Y. S. and Shin, D. S., “Application of the Load Duration Curve (LDC) to Evaluate the Achievement Rate Target Water Quality in the Han-River Watersheds,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **31**(6), 732~738(2015).
 16. Ryu, J. C., Hwang, H. S., Lee, S. J., Kim, E. K., Kim, Y. S., Kum, D. H., Lim, K. J. and Jung, Y. H., “Development of Desktop-Based LDC Evaluation System for Effectiveness TMDLs,” *J. Korean Soc. Agric. Eng.*, **58**(4), 67~74(2016).
 17. Gyeonggi-do, Jinwicheon watershed Basic plan Change of TMDLs(2015).