

Water Quality Management Measures for TMDL Unit Watershed Using Load Duration Curve

수질오염총량 단위유역별 LDC(Load Duration Curve, 부하지속곡선) 적용을 통한 수질관리 대안 모색 - 금호강 유역 대상

Soyoung Yun · Jaena Ryu · Jeill Oh*

윤소영 · 류재나 · 오재일*

School of Civil and Environmental Engineering and Urban Design and Studies, Chung-Ang University
중앙대학교 사회기반시스템 공학부

Abstract : This study was to develop effective water quality management measures using LDC (Load Duration Curve) curves for TMDL (Total Maximum Daily Loads) unit watershed. Using LDC curves, major factors for BOD and T-P concentration loads generation (i.e. point source or non-point source) in the case study area (Geumho river basin) were found for different hydrologic conditions. Different measures to deal with the pollutant loads were suggested to establish BMPs (Best Management Practices). It was found that the target area has urgent T-P management methods especially at moist and midrange hydrologic conditions because of point source pollutants occurred in developed areas. One example measure for this could be establishment of advanced treatment facility. This study proved that the use of LDC was a useful way to achieve TWQ (Target Water Quality) on the target watershed considered. It was also expected that the methodology applied in this study could have a wider application on the establishment of watershed water management measures.

Key words : Hydrologic Condition, Load Duration Curve(LDC), Pollution Sources, Total Maximum Daily Loads(TMDL), Water Quality Management

주제어 : 유황조건, 부하지속곡선(LDC), 오염원인, 수질오염총량관리제(TMDL), 수질관리

1. 서론

수질오염총량관리제(Total Maximum Daily Loads, TMDL)는 수계를 단위유역으로 구분하여 각 단위유역의 목표수질을 설정하고, 이 목표수질을 달성할 수 있도록 단위유역으로부터 허용되는 총 배출부하량을 할당하여 관리하는 제도이다(Park, et al., 2010). TMDL 계획을 수립하는데 있어 중요한 부분은 하천 수질에 가장 큰 영향을 미치는 오염원을 먼저 파악하고, 이에 따라 수역에 대한 오염 물질의 허용 부하를 확립하

는 것이다(Babbar-Sebens and Karthikeyan, 2009).

우리나라의 수질정책은 배출시설에서 나오는 오염물질의 농도만 규제하여, 인구 및 산업시설의 밀집으로 오염물질의 총량이 증가하는 문제로 수질개선에 한계가 인식되었고, 상수원보호구역, 특별대책지역과 같은 입지규제, 건축면적 규제방식에 대한 새로운 접근방법이 필요하게 되었다. 이에 우리나라는 과학적인 수질관리방식인 지역별 오염물질 배출총량을 설정, 관리하는 TMDL을 2004년부터 낙동강수계를 시작으로 하여 2005년부터는 금강 및 영산강, 섬진강수계에서 단계적으로 도입하게 되었다(Park, et al., 2010).

* Received 19 April 2013, revised 8 August 2013, accepted 9 August 2013.

* Corresponding author: Tel : +82-2-820-5339 Fax : +82-2-812-1834 E-mail : ohjeill@cau.ac.kr

TMDL을 계획하는데 있어서 유용하게 쓰이는 방법중 하나는 부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC)을 도식하여 하천의 유황조건 등에 따라 적절한 관리방안을 수립하는 방법이다. LDC는 유량 지속 곡선과 수질 기준에 따른 허용 하천 오염 물질 농도에 따라 작성 된다(Babbar-Sebens and Karthikeyan, 2009). LDC는 계절별 유량 변동에 따른 수질 영향을 파악할 수 있으며, 목표수질의 빈도와 크기 및 허용 삭감부하량의 크기에 대한 이해를 쉽게 해주는 방법으로, 미국은 많은 주에서 LDC를 이용하여 TMDL 설정 기법, 데이터 분석 기법 및 유량 규모별 점오염원 및 비점오염원 부하량 관리 기법으로 적용하고 있다(Hwang, et al., 2011, 2010; Babbar-Sebens and Karthikeyan, 2009). 그간 환경부 측정자료는 수질에 한정되어 LDC를 적용하기 어려웠지만 총량관리의 추진으로 단위유역 말단에서 약 8일 간격으로 측정된 동시간대의 유량 및 수질자료가 축적되어 우리나라에서도 LDC를 이용한 많은 연구가 이루어지고 있다(Lee, et al., 2010; Jang and Ahn, 2012; Hwang, et al., 2011, 2010; Kim et al., 2012).

본 연구에서는 금호강 수계를 대상으로 오염 총량관리 추진을 통해 축적된 자료와 LDC를 이용하여 유황조건에 따른 수계 손상 원인을 파악하고, 오염원별(점오염원/비점오염원) 분석을 통해 단위 유역의 수계 손상을 줄일 수 있는 효율적인 대안 수립을 마련하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구 대상 유역

본 연구에서는 금호강과 대구권역이 합쳐진 하수도통합 권역 내 낙동강 유역의 금호강을 연구대상으로 선정하였으며, 유역 면적은 2,097.0 km²로 4개시(영천시, 경산시, 포항시, 대구광역시)와 1개군(칠곡군)이 포함되어 있다. 해당 유역 내의 공공하수처리시설은 총 24개소, 폐수처리시설은 2개소가 위치해 있다(Fig. 1).

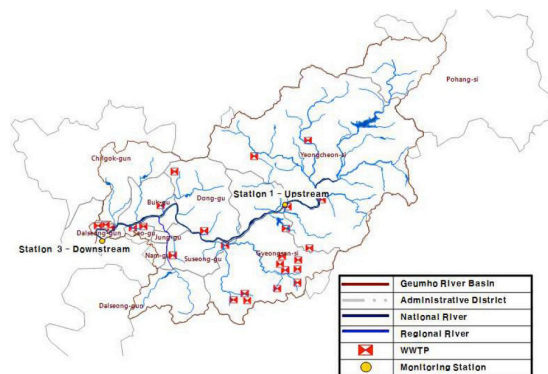


Fig. 1. Geumho river basin

2.2 지역 및 수질 평가 자료

금호강의 총량측정지점을 기준으로 유역을 잡았으며, 상류와 하류 두 개의 지점으로 나누어서 분석하였다. 각 지점은 Fig. 1에 금호1 지점(상류 지점)과 금호3 지점(하류 지점)으로 표시하였다. 하천 유량, 수질 측정 자료는 2007년부터 2010년까지의 측정 자료를 이용하였으며, 공공하수처리시설도 동일 시기의 일별 자료를 이용하였다. 공공하수처리시설의 일별 측정 자료의 획득이 불가능한 경우 하수도통계를 이용하였다. 강우량 자료는 해당 측정지점의 강우계의 자료를 동일 시점에 대하여 획득하였으며, 강우측정소는 대구측정소를 이용하였다. 대상 오염원은 총량관리대상 물질인 BOD와 T-P를 선정하였다. 목표수질은 대상 유역의 오염총량관리계획의 설정치를 기준으로 검토하였으며, 금호 1지점은 BOD 목표수질은 2011년 1월 1일부터 3.8 mg/L이고, T-P 목표수질은 2011년 1월 1일부터 0.236 mg/L 이다. 금호 3 지점의 BOD 목표수질은 2003년 9월 3일부터 4.0 mg/L이고, T-P 목표수질은 2007년 12월 27일부터 0.254 mg/L이다.

2.3 유량지속곡선(Flow duration curve, FDC) 작성

본 연구에서는 도시하천유역의 유역별 수질 관리체계를 구축하는데 있어, 미국의 각 유역에

서 TMDL의 실행수단의 방법 중 직관적이며 간편한 방법인 LDC의 도입을 고려하였다. LDC의 부하지속곡선의 작성을 위해서는 대상유역의 FDC(Flow Duration Curve)을 우선 도식하여야 한다. LDC 도식을 위하여 총량측정지점 금호 1 지점 (상류지점), 금호 3 지점 (하류지점)의 유량, 수질 자료를 2007년 1월 1일부터 2010년 12월 31일까지 각각 147개와 171개 자료를 취합하였다. FDC 유황구분은 Table 1에 나타낸 바와 같이 USEPA(2007)의 제안을 이용하였다.

Table 1. Hydrologic condition classes (USEPA, 2007)

Flow Duration Interval	Hydrologic Condition Class
0-10 %	High Flows
10-40 %	Moist Conditions
40-60 %	Mid-Range Flows
60-90 %	Dry Conditions
90-100 %	Low Flows

2.4 부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC) 작성 방법

LDC는 대부분의 수질모델에서 필수조건인 다양한 입력변수/출력변수, 복잡한 알고리즘이나 계수를 요하지 않으면서, 수질 평가의 이해가 편리한 도구로서 이미 TMDL의 수행에 적용되어 왔으며, 비점오염원과 점오염원간의 오염원 배열, 계절적인 수질의 영향, 초과확률개념을 통한 빈도와 양적인 분석, 수질기준의 조건을 충족하는 정도의 평가를 수행하는데 특히 그 장점이 있다(한국환경공단, 2011). TMDL 계산을 위한 LDC 수행 과정은 Fig. 2와 같다.

2.5 일반적인 최적관리 기술(Best Management Practices, BMPs)

LDC의 작성이후에는 대상 지천의 특성을 반영하여, 지역의 발생가능한 오염원을 나열하고, 하천유황별 오염부하 분석, 오염원별 분석내용을 종합하여 단기적, 중·장기적 관리방안을 도

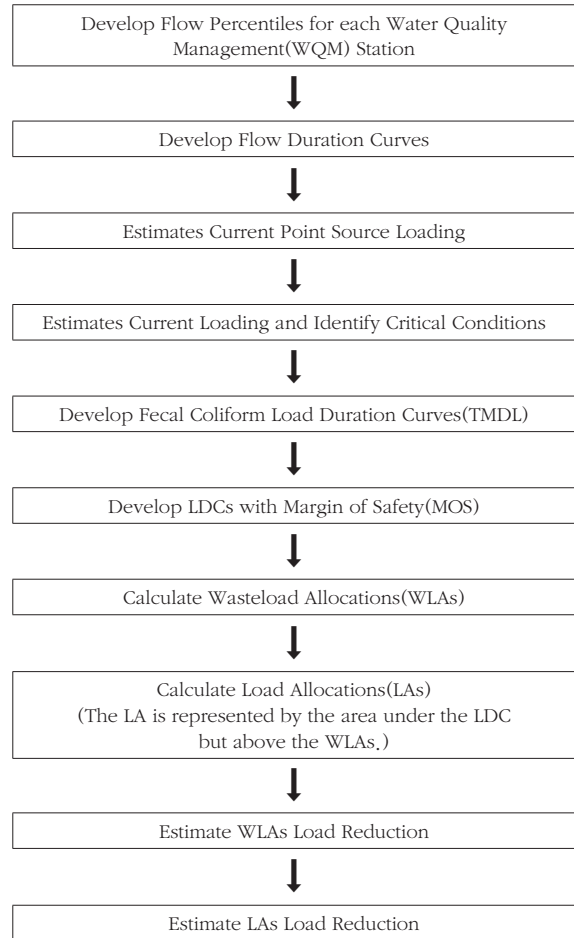


Fig. 2. LDC Steps used to perform TMDL calculations (USEPA, 2007)

출하도록 한다. 하천 유황별 영향을 미치는 오염원을 상대적인 중요도로 표시 한 예는 Table 2와 같다. 이에 나타난 유황별 오염원의 관리를 위해 필요한 최적관리 기술의 도출의 예는 풍수량 이상(High Flows)에서는 BMPs 개발, 하천제방 안정화가 있으며, 풍수량 이상부터 저수량 이상(High Flows ~ Mid-Range Flows)까지의 경우에는 침식방지가 있으며, 풍수량 미만에서 갈수량 이상(Moist Conditions ~ Dry Conditions)까지는 수변완충지대 설정이 있고, 갈수기 미만(Low Flows)에서는 공공하수처리시설 방류수질 개선 등을 들 수 있다(Cleland, 2003; USEPA, 2007). 상기의 표를 통하여 유황조건

Table 2. Results of potential relative importance of source area to contribute loads under given hydrologic condition (USEPA, 2007)

Contributing Source Area	Duration Curve Zone				
	High Flows	Moist Conditions	Mid-Range Flows	Dry Conditions	Low Flows
Point Source				Medium	High
On-Site Wastewater Systems			High	Medium	
Riparian Areas		High	High	High	
Storm Water: Impervious Areas		High	High		
Combined Sewer Overflows	High	High	High		
Storm Water: Upland	High	High	Medium		
Bank Erosion	High	Medium			

별 수질 손상을 일으키는 원인을 우선적으로 파악하고, 목표수질의 달성효과 및 오염부하 저감 효과가 대상 지천의 수질에 미치는 영향이 큰 오염원에 대해 단기적 지천 수질 관리방안을 마련 하도록 하며, 상대적으로 시급성이 덜 하고 효과가 크게 기대되지 않는 오염원의 관리를 중·장기적인 지천 수질관리방안으로 마련한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 하천유황별 BOD, T-P 오염부하 분석

Fig. 3에 나타난 바와 같이 금호 1, 3 지점에서 측정된 BOD, T-P 부하량을 도식한 후, 그 값들을 이용해 회귀식을 도출하였다. 오염부하량의 목표수질 준수여부를 판단하기 위해서 BOD, T-P 각각을 유황별로 Box-plot으로 도식하였다(Fig. 4). Box-plot을 통해 유황별 측정데이터의 통계적 분석(측정자료의 중앙값, 평균값, 사분위수, 95% 한계값, 이상치) 등을 수행할 수 있었으며, 목표수질 달성을 위해 필요한 부하 산정의 기준값 결정이 가능하도록 하였다. 본 연구에서의 데이터 값은 로그스케일로 작성되었으며, 평균값을 기준값으로 결정하여 데이터를 분석하였다. 금호 1지점(상류 지점)은 BOD, T-P 모두 모든 유황에서(갈수기 미만 제외) 목표수질 평균값이 측정수질 평균값보다 컸으므로 상류 지점(주로 댐, 미개발지역)보다는 금호 3지점(하류 지점-주로 개발지역)에서의 오염부하량 관리가 시급하다 사료되었다.

Table 3에는 하류지점에 해당하는 금호 3지점의 하천 유황별 BOD와 T-P 각각의 측정 자료 평균값과 목표수질 평균값을 정리하였다. BOD의 경우는 각 유황별[풍수량 이상(0 ~ 10%), 풍수량 미만 - 풍수량 이상(10 ~ 40%), 풍수량 미만 - 저수량 이상(40 ~ 60%), 저수량 미만 - 갈수량 이상(60 ~ 90%), 갈수량 미만 (90 ~ 100%)]로 비교 시 풍수량 이상시와 풍수량 미만 - 저수량 이상시 측정 자료의 평균값이 목표수질의 평균값을 초과하는 것으로 나타나 저유량시보다는 하천유량이 많을시 BOD 오염부하 감소를 위한 수질관리가 필요하다고 판단된다. 또한 각 유황별 측정 자료의 분포를 살펴보면 풍수량 이상(0 ~ 10%)을 제외한 모든 유황에서 정규분포 형태에 가깝게 분포되어 있다는 것을 알 수 있으며 이는 중앙값을 중심으로 많은 데이터가 분포되어 표준편차가 작다고 할 수 있겠다.

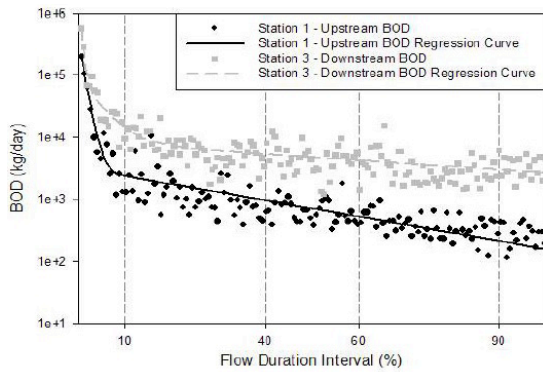
T-P의 경우는 각 유황별로 비교 시 모든 유황에서 측정 자료의 평균값이 목표수질의 평균값을 초과하는 것으로 나타났다. 이에 따라 모든 유황에서 T-P 오염부하 감소를 위한 수질관리가 특히 필요하다고 판단된다. 또한 각 유황별 측정 자료의 분포를 살펴보면 BOD와 그 형태가 유사함을 알 수 있다.

BOD와 T-P를 비교했을 때, 모든 유황에서 목표수질을 초과하는 T-P의 관리가 BOD의 관리보다 시급해 보이며, 풍수량 미만 - 풍수량 이

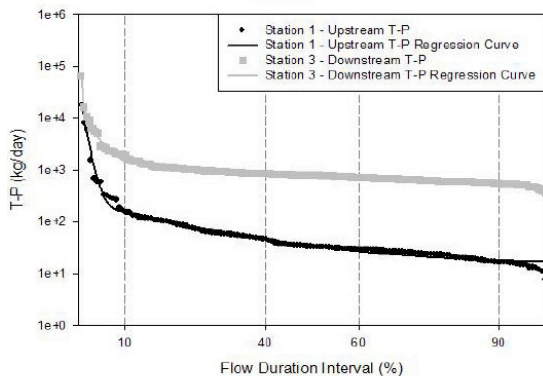
상이 약 3.1배, 평수량 미만 - 저수량 이상이 약 3.2배로 가장 큰 비율로 목표수질을 초과하여 특히 관리가 필요할 것으로 나타났다.

3.2 점오염원 / 비점오염원 분석

발생 오염원을 찾기 위해 우선적으로 하수처리구역과 하수미처리구역로 구분을 짓고 그 안에서 점오염원/비점오염원 부하비율을 분석하였

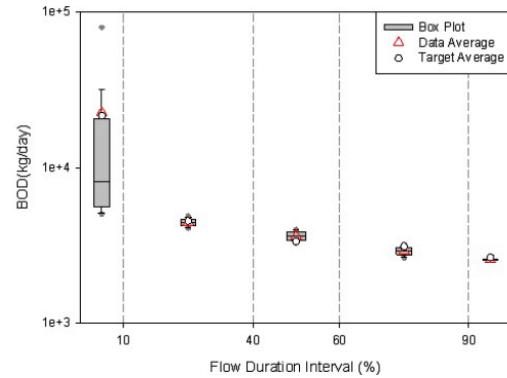


(a) BOD

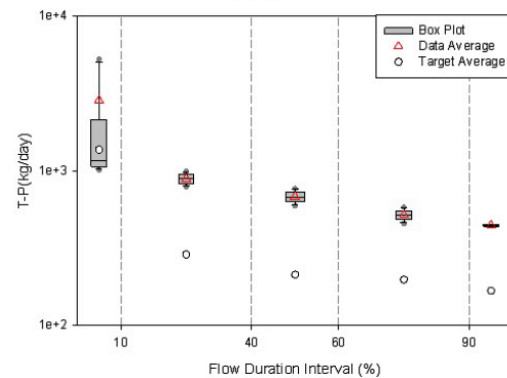


(b) T-P

Fig. 3. Pollutant load and regression curves in Station 1 (Upstream) and Station 3 (Downstream) (a) BOD, and (b) T-P



(a) BOD



(b) T-P

Fig. 4. Comparison of data average and target average based on hydrologic conditions (a) BOD, and (b) T-P

Table 3. Target and data average pollutant loads for different hydrologic conditions

(unit : kg/day)

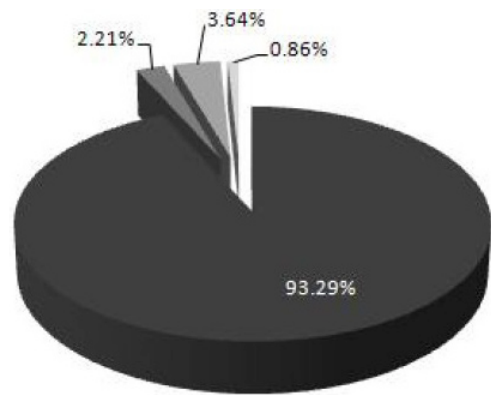
Hydrologic Conditions	BOD		T-P	
	Target Avg.	Data Avg.	Target Avg.	Data Avg.
High Flows (0 ~ 10 %)	21546	22526	1368	2838
Moist Conditions (10 ~ 40 %)	4535	4461	288	887
Mid-Range Flows (40 ~ 60 %)	3357	3635	213	678
Dry Conditions (60 ~ 90 %)	3119	2914	198	516
Low Flows (90 ~ 100 %)	2645	2564	168	443

다. 하수처리구역과 하수미처리구역 구분은 처리장이 없는 지역을 기준으로 하여 관거 유입수가 없는 지역을 하수미처리구역으로 구분 지었다. 점오염원/비점오염원배출부하량의 경우, 금호 1 지점은 국립환경과학원(2008)에 따라 환경부(2009a)와 환경부(2009b)를 이용하여 산출하였다. 환경부(2009a)의 자료에서 관거 누수와 관거 월류가 관거 배출로 함께 계산이 되어 있어 관거 누수의 경우 관거 월류로 포함하여 점오염원이 아닌 비점오염원으로 간주하였다. 금호 3 지점은 환경부(2009b)에서 제시된 2007 ~ 2010년 점/비점오염원배출량을 이용하였다.

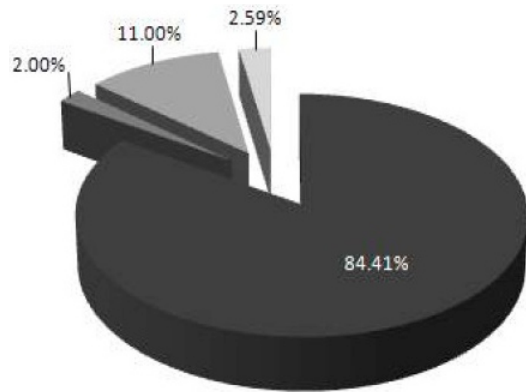
점오염원의 경우, 유량에 따라 항상 일정하게 유달되나(USEPA, 2007, 2008), 비점오염원의 경우 유량에 따라 유달되는 부하량이 다르다. 따라서 금호 1 지점은 국립환경과학원(2008)에 제시된 저수기, 평수기 때의 비점배출계수와 환경부(2009a)에서 제시된 저수기, 평수기 때의 유달율을 이용하여 저수기와 평수기 때의 점오염원/비점오염원 오염원별 유달부하량을 산정하였으며, 금호 3 지점은 국립환경과학원(2008)에 제시된 저수기, 평수기 때의 비점배출계수와 환경부(2009a)와 환경부(2009b)에서 제시된 저수기, 평수기 때의 유달율을 이용하여 평수기와 저수기 때의 점오염원/비점오염원 오염원별 유달부하량을 산정하였다. Fig. 5에는 금호 3지점에서 계산된 오염원별 유달부하량의 비율을 풍수량 미만 - 평수량 이상, 평수량 미만 - 저수량 이상시 각각에 대해 나타내었다.

오염원별 오염부하 발생 분석에 있어서는 대상지점의 인구수, 공업단지, 축산두수, 토지 이용 등을 고려해 주어야 한다. 금호강 유역 내 하류지점의 토지는 주로 임야, 대지로 구성되어 있으며, 현재 많은 인구가 살고 있고, 여러 공업단지들이 위치 해 많은 양의 생활하수와 공장 폐수를 발생시키고 있어 Fig.5에서 보이는 바와 같이 점오염원의 값이 매우 높게 산정된 것으로 보인다. 따라서 점오염원을 줄이기 위해 단기적으

로는 공공하수처리시설에 대한 관리가 수행되어야 한다. 금호강 유역의 경우 대부분의 점오염원이 하수처리구역에서 발생하였으므로 고도처리시설의 증설 등과 같은 집중 하수처리시스템을 운영할 필요가 있을 것으로 판단된다(Park, 2008). 하지만 하수미처리지역에서 발생한 점오염원 및 비점오염원 저감을 위해 중·장기적인 관리방안 마련도 이뤄져야 하겠다.



(a) Moist Conditions



(b) Midrange Conditions

Fig. 5. Distribution of T-P pollution load base on pollution source (a) Moist Conditions, and (b) Dry Conditions

(■ : point source of sewage treatment areas, ■ : point source of sewage non-treatment areas, ■ : non-point source of sewage treatment areas, and ■ : non-point source of sewage non-treatment areas)

3.3 부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC)을 활용한 수질관리 방안 모색

앞 절에서는 LDC를 이용하여 하천유황별 오

염부하량 및 주요 발생 오염원(점/비점오염원) 산정에 대해 설명하였다. 부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC)을 활용한 수질관리 방안 모색하기 위해서는 먼저 대상 유역을 선정하여 대상유역의 모니터링 지점별 유량, 수질 데이터를 수집 후 LDC를 통해 분석하여 관리대상 지역(개발/미개발 지역), 관리 오염원(BOD, T-P) 및 관리 유황을 선정한다. 이 때 오염원에 대한 주요 발생 구역(하수처리/하수미처리 구역)과 오염원인(점/비점오염원)을 분석하고, 결과적으로 그에 맞는 최선의 관리 방안을 선정하게 된다.

따라서 본 연구에서는 대상 유역에 LDC 방법 적용 시 하천유황별 오염부하 분석, 오염원별 분

석내용을 종합하여 단기적, 중·장기적 관리방안을 Table 4에 도출하였다. 수질관리 방안으로써 하수처리구역 내 평수량 미만 - 저수량 이상(40 ~ 60 %), 저수량 미만 - 갈수량 이상(60 ~ 90 %), 갈수량 미만(90 ~ 100 %) 유황 때의 점오염원 관리 방안으로써는 집중형 하수처리시스템을 운영하게 되는 것인데 그 예로써 고도처리시설 증설, 집중형 하수처리구역 확장이 있다. 하수처리구역 내 풍수량 이상(0 ~ 10 %), 풍수량 미만 - 평수량 이상(10 ~ 40 %), 평수량 미만 - 저수량 이상(40 ~ 60 %), 저수량 미만 - 갈수량 이상(60 ~ 90 %) 유황 때의 비점오염원 관리 방안으로써는 GI(Green Infra), LID(Low Impact Development)의 개발 및 설

Table 4. Best management practices according to pollution sources under given hydrologic conditions

	Sewage Treatment Area		Sewage Non-Treatment Area	
	Point Source	Non-Point Source	Point Source	Non-Point Source
High Flows (0 ~ 10 %)		<ul style="list-style-type: none"> • Management of CSO / SSD - Design of Storage Facility • Green Infra(GI), Low Impact Development(LID) 		<ul style="list-style-type: none"> • Establishment of Bank
Moist Conditions (10 ~ 40 %)		<ul style="list-style-type: none"> • Management of CSO / SSD - Design of Storage Facility • Green Infra(GI), Low Impact Development(LID) • Riparian Buffer Zone 		<ul style="list-style-type: none"> • Establishment of Bank • Riparian Buffer Zone
Mid-Range Flows (40 ~ 60 %)	<ul style="list-style-type: none"> • Centralized Wastewater Treatment System - Establishment of Advanced Treatment Facility - Increasing of Sewage Treatment Area • Emission Trading 	<ul style="list-style-type: none"> • Management of CSO / SSD - Design of Storage Facility • Green Infra(GI), Low Impact Development(LID) • Riparian Buffer Zone 	<ul style="list-style-type: none"> • Decentralized Wastewater Treatment System (On-Site System) • Public Management of Individual Sewer Facility 	<ul style="list-style-type: none"> • Establishment of Bank • Riparian Buffer Zone
Dry Conditions (60 ~ 90 %)	<ul style="list-style-type: none"> • Centralized Wastewater Treatment System - Establishment of Advanced Treatment Facility - Increasing of Sewage Treatment Area • Emission Trading 	<ul style="list-style-type: none"> • Management of CSO / SSD - Design of Storage Facility • Green Infra(GI), Low Impact Development(LID) • Riparian Buffer Zone 	<ul style="list-style-type: none"> • Decentralized Wastewater Treatment System (On-Site System) • Public Management of Individual Sewer Facility 	<ul style="list-style-type: none"> • Establishment of Bank • Riparian Buffer Zone
Low Flows (90 ~ 100 %)	<ul style="list-style-type: none"> • Centralized Wastewater Treatment System - Establishment of Advanced Treatment Facility - Increasing of Sewage Treatment Area • Emission Trading 			

치와 우천 시 미처리 하수(Combined Sewer Overflow, CSO/ Storm Sewer Overflow, SSD) 관리를 위한 저류조 설치 등이 있다.

다음으로 하수미처리구역 내 평수량 미만 - 저수량 이상(40 ~ 60 %), 저수량 미만 - 갈수량 이상(60 ~ 90 %) 유황 때의 점오염원 관리 방안으로써 분산형 하수처리시스템 운영을 언급하고 소규모 하수처리시설 증설 등을 예로 들 수 있으며, 하수미처리구역 내 풍수량 이상(0 ~ 10 %), 풍수량 미만 - 평수량 이상(10 ~ 40 %), 평수량 미만 - 저수량 이상(40 ~ 60 %), 저수량 미만 - 갈수량 이상(60 ~ 90 %) 유황 때의 비점오염원 관리 방안으로써 특히나 농촌 지역의 비점오염원을 관리하기 위해 제방 건설 등이 필요하다.

금호강 유역의 경우 풍수량 미만 - 평수량 이상시 및 평수량 미만 - 저수량 이상시 하수처리구역 내 점오염원 관리가 특히 필요할 것으로 사료되며, Table 4에 나타난 바와 같이 고도처리의 증설 등을 이용하여 집중형 하수처리시스템을 운영하는 방법을 통한 수질관리 방안이 적절하게 수행될 수 있다. 금호강 유역의 하수처리구역 내 다수의 하수처리장이 존재하는 유역의 일부에서 처리시설의 통합 등의 집중형 하수처리시스템 도입이 가능한 지역에서 최적관리방법을 수행하거나, T-P의 중점관리를 위한 인처리시설의 설치 등을 수행하는 예시는 Fig. 6에 나타내었다.

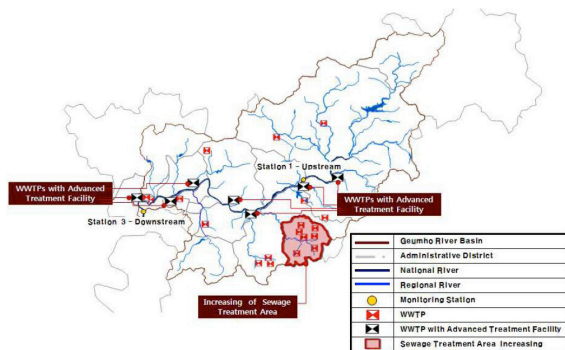


Fig. 6. Examples of water quality management measures for point source of sewage treatment area

4. 결론

본 연구에서는 오염총량관리계획의 수행에 사용되는 LDC를 이용하여 주요 하천 수질관리 지점을 대상으로 파악된 유역발생 BOD, T-P를 하천유황별, 점/비점오염원별 구분, 정리하여 오염부하 정도를 분석하였다. 이를 이용하여 대상지점 수질에 미치는 영향이 큰 발생부하 관점에서 구별된 오염부하를 효과적으로 관리하는 단계별 하천 수질관리방안을 제시하도록 하였으며, 상대적으로 시급성이 덜 하고 그 효과가 크게 기대되지 않는 오염원의 관리는 중·장기적으로 시행하도록 제안하였다.

- 1) 하천유황별 오염부하량을 산정하기 위해서는 대상유역의 상류지점(주로 댐, 미개발 지역)의 모니터링 자료와 하류지점 모니터링 값을 이용하여 관리대상 지역(개발/미개발 지역) 선정이 우선시 되어야 한다. 금호강 유역의 경우, 풍수량 미만 - 평수량 이상(10 ~ 40 %, 풍수기), 평수량 미만 - 저수량 이상(40 ~ 60 %, 저수기)의 유황 때에 T-P의 관리가 시급해 보인다.
- 2) 발생 오염원을 찾기 위해서는 하수처리구역과 하수미처리구역로 구분을 짓고 그 안에서 점오염원/비점오염원 부하비율을 분석하여야 한다. 금호강 유역 내 하류지점의 경우, 토지는 주로 임야, 대지로 구성되어 있으며, 현재 많은 인구가 살고 있고, 여러 공업단지들이 위치 해 많은 양의 생활하수와 공장 폐수를 발생시키고 있어 개발지역 내 하수처리구역에서 점오염원의 값이 매우 높게 산정되었다.
- 3) 하수처리구역에서 점오염원에 대한 관리 방안으로는 고도처리시설 증설, 집중하수처리구역 확장 등이 있으며, 비점오염원에 대한 관리 방안으로는 GI(Green Infra), LID(Low Impact Development)의 개발 및 설치와 저류조 설치(- 우천시 미처리 하수(CSO/SSD) 관리) 등이 있다. 하수미

처리구역에서 점오염원에 대한 관리 방안으로는 소규모 하수처리시설 증설, 인공습지 조성 등이 있으며, 비점오염원에 대한 관리 방안으로는 농촌 지역에 제방 건설 등이 있다. 금호강 유역의 경우, 집중하수처리구역 확장, 고도처리시설 증설 등이 필요하겠다.

- 4) 본 연구를 통해 LDC가 하천유황 조건별로 목표수질 달성여부 및 수질의 손상정도를 파악하는데 있어 적합한 방법임이 증명되었다. 따라서 단위 유역에 대한 수질 관리 방안 모색에 있어 'LDC 적용을 통한 수질 관리 대안 모색' 흐름도가 효율적인 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다. 하지만 하천유황 조건별 수질 손상에 대한 오염원인을 파악하기 위한 좀 더 세밀하고 구체적인 방법론이 확립되어 LDC와 연계될 필요가 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 “차세대 에코이노베이션기술개발사업(과제번호 414-111-006)”으로 지원 받은 과제입니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

National Institute of Environmental Research (2008). *Guidelines for watershed total maximum daily load management methods in Korea (Phase II)* (수계오염총량관리기술지침(제2단계)).

Korea Environment Corporation (2011). *Water quality management methods for urban river basin (도시하천유역별(Urban River Basin) 수질관리체계 구축 타당성 검토 연구)*.

Ministry of Environment (2009a). *Master plan for TMDL in Nakdong river basin (Phase II)* (제2단계 경상북도 낙동강수계 수질오염총량관리 기본계획).

Ministry of Environment (2009b). *Master plan for TMDL in Daegu river basin (Phase II)* (제2단계 대구광역시 낙동강수계 수질오염총량관리

기본계획).

Babbar-Sebens, M. and Karthikeyan, R.(2009). Consideration of sample size of estimating contaminant load reductions using load duration curves. *Journal of Hydrology*, 372(1-4), pp. 118-123.

Cleland, B. R.(2003). TMDL Development from the “Bottom up”-Part III: Duration Curve and Wet Weather Assessment. *National TMDL Science and Policy 2003-WEF Specialty Conference*, Chicago, IL.

Hwang, H.S., Park, B.K., Kim, Y.S., Park, K.J., Cheon, S.U., and Lee, S.J. (2011). Research on the Application of the Load Duration Curve to Evaluate the Achievement of Target Water Quality in the Unit Watershed for a TMDL. *Journal of Korean Society on Water Quality*, 27(6), pp. 885~895.

Hwang, H.S., Yoon, C.G., and Kim, J.T. (2010). Application Load Duration Curve for Evaluation of Impaired Watershed at TMDL Unit Watershed in Korea. *Journal of Korean Society on Water Quality*, 26(6), pp. 903-909.

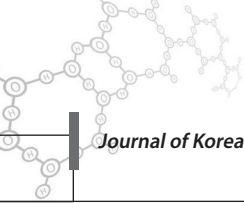
Jang, J.H., and Ahn, J.H. (2012). Load Duration Curve, LDC, Nakdong River Basin, Pollutant Loads, SWAT model, Water quality management. *Journal of Korean Society on Water Quality*, 28(3), pp. 409~417.

Kim, J.G., Engel, B.A., Park, Y.S., Theller, L., Chaubey, I., Kong, D.S., and Lim, K.J.(2012). Development of Web-based Load Duration Curve system for analysis of total maximum daily load and water quality characteristics in a waterbody. *Journal of Environmental Management*, 97, pp. 46~55.

Lee, A.Y., Choi, D.G., Kim, T.W., and Kim S.D. (2010). The Hydrologic Flux of SS, TN and TP in Nakdong River Basin. *Korean Society of Civil Engineers*, 30(6B), pp. 551~560.

Park, W.H. (2008). Decentralized wastewater treatment system. *Journal of Korea Water Resources Association*, 41(10), pp. 59-64.

Park, J.D., Kim, J.L., Rhew, D.H., and Jung, D.I. (2010). A Study on the Water Quality



Patterns of Unit Watersheds for the Management of TMDLs – in Nakdong River Basin –. *Journal of Korean Society on Water Quality*, 26(2), pp. 279–288.

U.S.EPA(2007). *An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs*. 841-B-07-006, USA.

U.S.EPA(2008). *TMDLs to Stormwater Permits Handbook*.