

새만금 비점오염원 관리지역에서의 목표설정 및 달성도 평가방법론 연구 A Study on Development of Management Targets and Evaluation of Target Achievement for Non-point Source Pollution Management in Saemangeum Watershed

김은정 · 박배경[†] · 김용석 · 류덕희 · 정광욱*

Eun-Jung Kim · Bae-Kyung Park[†] · Yong-Seok Kim · Doug-Hee Rhew · Kwang-Wook Jung*

국립환경과학원 유역총량연구과 · *(사)한국수계환경연구소

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

*Korea Water Environment Research Institute

(Received June 26, 2015; Revised August 28, 2015; Accepted August 30, 2015)

Abstract : In this study, methods using LDC (Load Duration Curve) and watershed model were suggested to develop management targets and evaluate target achievement for non-point source pollution management considering watershed and runoff characteristics and possibility for achievement of target. These methods were applied for Saemangeum watershed which was designated as non-point source pollution management area recently. Flow duration interval of 5 to 40% was selected as flow range for management considering runoff characteristics and TP was selected as indicator for management. Management targets were developed based on scenarios for non-point source pollutant reduction of management priority areas using LDC method and HSPF model which was calibrated using 4 years data (2009~2012). In the scenario of LID, road sweeping and 50% reduction in CSOs and untreated sewage at Jeonju A20 and 30% reduction in fertilizer and 50% in livestock NPS at Mankyung C03, Dongjin A14 and KobuA14, management targets for Mangyung bridge, Dongjin bridge, Jeonju stream and Gunpo bridge were developed as TP 0.38, 0.18, 0.64 and 0.16 mg/L respectively. When TP loads at the target stations were assumed to have been reduced by a certain percentage (10%), management targets for those target stations were developed as TP 0.35, 0.17, 0.60 and 0.15 mg/L respectively. The result of this study is expected to be used as reference material for management master plan, implementation plan and implementation assessment for non-point source management area.

Key Words : Management Target, LDC (Load Duration Curve), Non-point Source Pollution Management, Saemangeum, Watershed Model

요약 : 본 연구에서는 비점오염물질 배출 및 유역 특성과 달성 가능성을 고려한 비점관리지역 관리목표 설정 및 목표달성도 평가에 부하지속곡선과 유역모델을 이용하는 방법을 제시하였으며, 최근 비점오염관리지역으로 선정된 새만금 유역에 대하여 적용하였다. 비점오염원 배출특성을 고려하여 유량지속곡선의 5~40% 범위를 관리유량 구간으로 설정하였으며, 부하지속곡선 방법을 이용하여 TP를 관리항목으로 선정하였다. 2009년~2012년에 대하여 보정된 HSPF 모델과 부하지속곡선을 이용하여 우선관리유역별 저감 시나리오에 따라 관리목표를 설정하였다. 전주A20에 LID적용, 도로청소, CSOs 및 미처리배제수 처리 50%를 가정하고, 만경C03, 동진A14, 고부A14에 비료 30% 감소, 축산계 배출부하량 50% 감소를 가정한 경우 만경대교, 동진대교, 전주천 말단, 군포교의 목표수질은 각각 TP 0.38, 0.18, 0.64, 0.16 mg/L로 산정 되었다. 현재 유달부하량이 일정비율(10%)로 줄어드는 상황을 가정한 관리목표는 만경대교, 동진대교, 전주천 말단, 군포교에서 각각 TP 0.35, 0.17, 0.60, 0.15 mg/L로 산정되었다. 본 연구 결과는 향후 비점오염관리지역에 대한 관리대책, 시행계획 수립 및 이행평가시 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : 관리목표, 부하지속곡선, 비점오염관리, 새만금, 유역모델

1. 서론

환경부는 점오염원 위주의 관리만으로 공공수역 수질 개선에 한계가 있음을 인식하고 관계부처 합동으로 “비점오염원관리 종합대책(2004, 2012)”을 수립하여 비점오염원을 관리하기 시작하였다.¹⁾ 또한 종합대책을 근거로 한 “수질 및 수생태 보전을 위한 법률”에 따라 2007년부터 광주광역시, 도암호, 소양호, 임하호, 수원시, 새만금, 골지천의 7개 지역을 비점오염원 관리지역으로 지정하여 관리해오고 있으며 최근 소양호와 임하호는 관리목표를 달성함으로써

관리지역에서 해제되었다. 따라서 현재 5개 지역이 관리지역으로 설정되어 있으며, 이 중 새만금, 골지천 유역은 현재 시행계획이 수립 중에 있다.

비점오염원 관리지역에 대한 관리목표는 광주광역시, 도암호는 각각 BOD 5.0 mg/L 이하, SS 25 mg/L 이하, 소양호, 임하호는 탁도 50 NTU 이하, 수원시는 비점오염부하율을 52.4% 이하로 낮추거나 2009년도 대비 배출량을 250톤/년 저감하는 것으로 설정되어 있다.²⁾ 그러나 이들 관리목표는 과학적 근거가 부족한 상태에서 연평균 개념의 수질기준으로 설정됨으로써 강우 시 주로 발생하는 비점오염원에

[†] Corresponding author E-mail: bkpark67@korea.kr Tel: 032-560-7403 Fax: 032-568-2044

의한 수질변화 특성을 반영하지 못하고 있다. 또한 달성가능성, 지역현황 등이 고려되지 않은 획일화된 기준을 적용하여 임하호와 소양호의 경우 관리대책 지정 시부터 지속적으로 관리목표를 달성하는 결과를 초래하였다. 관리목표 달성도 평가의 경우 3년 평균, 연속 2회 관리목표 유지 시 목표를 달성한다는 총량제 평가방법을 준용하고 있어 비점오염 관리를 위한 차별화된 평가방법이 미흡한 실정이다. 따라서 비점오염관리지역의 효과적인 관리를 위해서는 비점오염물질 배출 및 해당 유역 특성을 고려한 과학적인 관리목표 설정과 관리목표 달성도 평가방법이 필요하다고 판단된다.

비점오염원은 주로 강우에 의해서 발생하므로³⁾ 관리목표는 연평균 개념이 아닌 강우에 의해 영향을 많이 받는 시기에 대하여 설정하는 것이 바람직하다. 하천의 유량에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 강수량이며,⁴⁾ 이들 수체는 주로 고유량 구간에서 수질문제가 발생하므로,^{5,6)} 유량이 높은 시기에 대하여 별도의 관리목표를 설정하고 평가하는 것이 필요하다고 판단된다. 계절적 유량 변동에 따른 수질 영향 및 부하량 변화를 분석할 수 있는 방법으로 오염부하 지속곡선(LDC, Load Duration Curve) 방법이 있으며, 미국의 많은 주에서 LDC를 이용하여 TMDL 설정, 데이터 분석 및 유량 규모별 점오염원과 비점오염원 부하량 관리기법 등에 적용하고 있다.⁷⁻¹¹⁾ 국내에서도 수질오염총량제 시행 이후 단위유역 발달에서 약 8일 간격으로 수질과 유량이 동시에 측정된 자료가 축적됨으로 인해 부하지속곡선을 이용한 여러 연구가 이루어지고 있으나, 주로 총량단위유역 수질현황 분석 시에 유량특성을 반영하여 해석하거나 총량목표수질 달성도 평가 방법론 제시 또는 목표수질 초과원인을 제시하는 등 수질오염총량제를 지원하기 위한 연구에 한정되고 있다.^{7,12-17)} LDC 방법을 이용하면 유량 구간에 따른 수질이나 부하량 분석이 가능하므로 본 연구에서는 비점에 의한 영향을 받는 유량 구간을 한정된 목표설정 및 달성도 평가방안에 LDC 방법을 적용하고자 한다.

또한 유역 특성 및 달성 가능성을 고려한 관리목표를 설정하기 위해서는 토지이용에 따른 비점오염부하량의 산정, 이동경로 파악 및 수체에 대한 영향의 정량적 분석이 필요하며 저감 대책 적용 시 관리목표 지점에서의 저감 효과를 정량적으로 평가할 수 있어야 하는데, 이를 위해서는 통상적으로 유역모델이 많이 적용되고 있다. 유역의 특성과 연구 목적에 따라 여러 가지 유역모델이 적용될 수 있으며, 특히 우리나라에서는 HSPF, SWAT, SWMM 등의 모델이 다양한 유역에 대하여 적용되어 왔다.¹⁸⁻²⁴⁾

본 연구에서는 유역 및 비점오염물질의 배출 특성과 달성가능성을 고려한 과학적인 관리목표 설정과 목표달성도 평가를 하는데 있어서 부하지속곡선과 유역모델을 이용하는 방법론을 제시하고, 최근 비점오염관리지역으로 지정된 새만금 유역에 대하여 시범적으로 적용해 보고자 한다. 본 연구에서 제시되는 방법론은 기존 비점관리지역의 관리목표 설정에 대한 평가에 이용될 수 있을 것이다. 또한 비점

오염원 관리지역은 점차적으로 확대될 계획에 있으므로 앞으로 선정될 지역에 대하여 과학적이고 합리적인 관리목표를 설정하는데 본 연구가 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구방법

2.1. 대상유역 현황

새만금은 전라북도 대표 하천인 만경강과 동진강 하류에 위치해 있는 지역으로 전체 유역면적은 3,319 km²이며, 만경강과 동진강의 유역면적은 각각 1,571 km²와 1,034 km²로서 전체 유역면적의 78.5%를 차지한다.²⁵⁾ 새만금 유역에서는 1991년에 착공하여 군산, 김제, 부안을 연결하는 총길이 33km의 방조제를 축조해 2020년까지 40,100 ha의 토지를 조성하는 대규모 사업이 진행되고 있다. 새만금 담수호 유역 수질개선을 위해 정부는 2001년 1단계 새만금수질개선대책, 2011년 제2단계 수질개선종합대책을 발표하고 현재까지 새만금 유역에 대하여 다양한 사업을 추진하고 있다. 초기의 점오염원 관리대책의 중점추진으로 점오염원 배출 비중은 감소하고 있으나, 비점오염원 배출 비중은 증가하고 있는 실정이다.²⁶⁾ 이에 환경부는 새만금 유역의 비점오염물질 유출저감 및 수질 개선을 목적으로 2013년에 새만금 유역 내 7개 시·군 815.8 km²를 비점오염원 관리지역으로 지정하였으며(환경부고시 제2014-190호) 현재 시행계획을 위한 관리목표가 필요한 실정이다.

새만금 유역은 전주시를 비롯한 5개 시와 3개 군으로 구성되며, 완주군이 전체 유역의 21.7%, 정읍시가 19.9%를 차지하고 있다. 새만금 유역에 설정된 비점관리지역과 이에 포함되는 17개 총량 소유역을 Fig. 1에 제시하였다.

만경강과 동진강 수계로부터 직접적으로 영향을 받고 있는 새만금호의 수질 관리를 위해서는 상류 유입하천의 오염 특성을 파악하는 것이 중요하며 이에 적합한 대책을 수

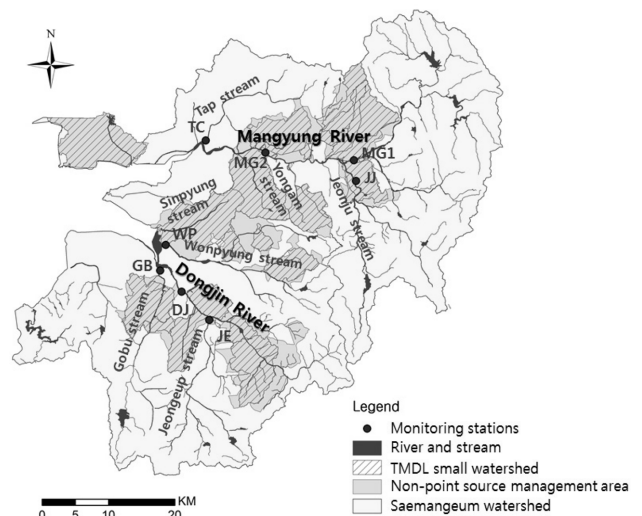


Fig. 1. Non-point source pollution management areas and monitoring stations in Saemangeum watershed.

립하여야 한다.²⁵⁾ 상류 하천에서 유입되는 오염원은 점오염원과 비점오염원으로 구분되며, 2009년 기준 만경강의 BOD와 TP 배출부하량 중 비점오염원이 차지하는 비중은 각각 66.4%와 55.1%였으며, 동진강의 경우 각각 70.9%와 69.4%를 차지하는 것으로 분석되었다.²⁷⁾ 또한 만경강과 동진강 유역은 농경지의 비율이 높고 토지계와 축산계에서 유발되는 농업비점오염원이 전체 오염물질 배출량의 큰 비중을 차지하고 있는 실정이며, 도시, 공업단지 등도 상류 하천 수질에 영향을 주고 있다.^{25,27)}

2.2. 비점오염원 관리목표 설정 방법

비점오염원 관리지역으로 선정된 지역에 대하여 기존의 문제점을 보완하여 관리목표 및 달성도 평가방안 설정 방법을 마련하였으며 순서 및 개요를 Fig. 2에 제시하였다. 관리항목 선정, 우선관리구역 및 목표지점 선정, 유역특성을 고려한 최적관리기법 선정, 비점오염물질 저감효과 분석, 관리목표 및 달성기간 설정 과정을 통하여 관리목표를 정하게 되며 마지막으로 관리목표 달성도 평가방안을 제시하는 순서로 하였다.

관리항목 선정 시 우선적으로 고려해야 하는 것은 해당 유역에서 비점오염원을 관리해야 하는 목적이다. 관리유역내의 특정 수체구간에서 비점오염원이 수질 또는 수생태계에 미치는 영향을 감소시키는 것이 목적인 경우는 해당 수질항목의 농도(예: 탁도, BOD, TP, SS 농도 등)나 수생태계 지표(예: 지표생물 종의 수, 종 다양성 등)가 관리항목이 될 수 있으며, 수질이나 수생태계 서식지 환경에 영향을 주는 간접적인 지표(예: 불투수면적, 수생태계 서식조건에 중요한 수질항목, 수문학적 조건 등)가 될 수도 있다. 관리유역으로부터 배출되어 하류에 위치한 수체의 수질 또는 수생태계에 영향을 미치는 비점오염원을 관리하는 것이 목적인 경우는 해당 비점오염물질(예: 하류 수체에서 조류성장이 문제가 되는 경우 총인 등) 농도나 부하량이 관리항목이 될 수 있다.

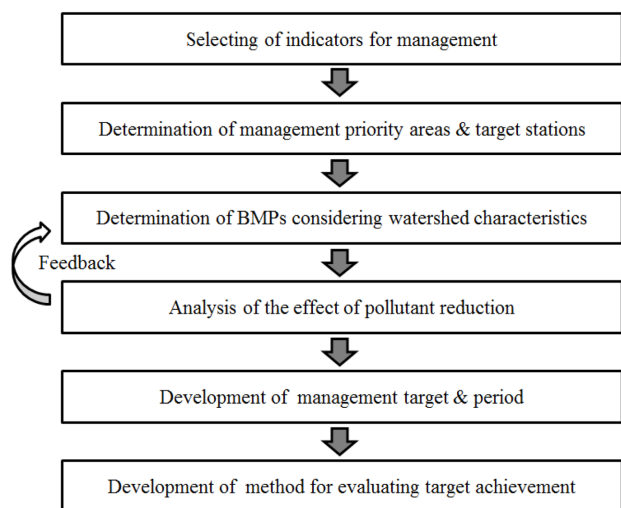


Fig. 2. General steps in developing non-point source pollution management target.

관리목적 및 항목을 결정하는 것은 해당지역 전문가나 이해당사자의 역할이 중요하며, 관리항목의 적합성을 판단하기 위해서는 모니터링 자료를 이용한 분석이 수반되어야 할 것이다. 본 연구에서는 수질항목을 관리항목으로 하는 경우 목표지점에서 기준 부하지속곡선과 관측부하량을 비교하여 관리항목을 선정하는 방안을 제안하고자 하며 방법은 2.3절에 제시하였다.

관리지역 내에서 비점오염물질의 배출이 특정 소유역에서 크게 문제가 되거나 지역의 범위가 커서 모든 지역을 한꺼번에 관리하기 힘든 경우에는 우선관리 소유역을 선정하여 해당 소유역에 대한 관리계획을 먼저 세울 수 있다. 모니터링 자료를 이용한 시공간적 분석을 통해 강우기에 분류 수질에 영향을 크게 미치는 소유역을 우선관리 대상으로 선정한다.

관리목표지점은 비점관리유역의 말단 하천지점이나 인근의 수질 측정망이 존재하는 지점을 고려하여 비점오염원 저감 효과를 평가할 수 있는 지점으로 한다. 관리지역의 범위가 커서 소유역에서의 저감 효과를 판단하기 어려운 경우에는 우선관리 소유역에서의 저감 효과를 판단할 수 있는 상류의 지점을 추가로 지정한다.

관리목적, 관리항목 및 우선관리지역이 정해진 후에는 다양한 관리기법을 검토한 후 지역특성에 적합한 최적관리기법을 선정한다. 관리기법이 정해지면 유역모델을 이용하여 각 저감대책 적용 시 목표로 하는 수체에서의 저감 효과를 정량적으로 평가할 수 있다.

관리항목이 수질항목 농도 또는 부하량인 경우 관리목표 설정을 위해서는 앞서 설명한 과정을 통해 현재 농도 또는 부하량을 기준으로 저감 효과를 분석한 후 달성가능한 수준의 목표를 제시한다. 관리목표 달성도 평가방법은 관리항목의 종류에 따라 달라질 수 있으며 본 연구에서는 관리항목이 수질항목인 경우에 대해서 부하지속곡선을 이용한 관리목표 설정 및 달성도 평가방안을 제시하고자 한다. 이에 대한 구체적인 내용은 2.3절에 기술하였다.

2.3. 부하지속곡선을 이용한 관리항목 및 관리목표 설정방법, 목표달성도 평가 방법

2.3.1. 부하지속곡선 작성 및 관측자료 도식화 방법

본 연구에서는 관리항목 및 관리목표 설정과 목표달성도 평가를 위하여 부하지속곡선을 이용한 방법론을 제안하였다. 부하지속곡선(LDC)이란 유량지속곡선(Flow Duration Curve, FDC)을 이루는 각 유량값에 기준이 되는 수질농도를 곱하여 산정된 각각의 부하량을 해당 유량값의 초과백분율에 따라 도식한 것으로, 분석지점에서 수질이 기준을 만족하는 경우의 부하량을 유량누적빈도에 따라 나타낸 것이다. 따라서 부하지속곡선을 실측부하량과 함께 도식하는 경우 특정 유량구간에서 수질기준을 만족하는지 여부를 판단할 수 있게 되어 비점관리항목 설정 시 관리유량 구간에서 문제가 되는 항목을 찾아내는데 이용할 수 있다. 관리목표 설정 시에는 특정유량 구간에서의 부하량 분포가 만족

할 수 있는 수준으로 목표를 정하게 되므로 비점의 영향이 큰 고유량 구간에서의 부하량을 고려한 목표를 정할 수 있다. 또한 관리목표가 설정된 경우 목표수질을 적용한 부하지속곡선을 이용하게 되면 특정 유량구간(관리유량 구간)에서 실측 수질의 초과여부를 판별할 수 있다. 결국 부하지속곡선을 사용함으로써 비점이 영향을 크게 미치는 유량구간에 대해서만 부하량을 고려한 목표설정 및 달성도 평가가 가능해지게 되어 기존의 방법에 비하여 비점오염원 특성을 잘 반영할 수 있게 된다.

부하지속곡선을 작성하기 위해서는 먼저 유량지속곡선의 생성이 필요하다. 유량지속곡선은 특정기간 동안의 시계열 유량 자료의 누적 빈도를 나타내는 것으로, 전기간 일유량 자료를 최대 유량에서 최소 유량 순으로 배열하여 식 (1)에 따라 특정 유량을 초과하는 일수를 백분율(초과 유량 백분율)로 계산 후 초과 유량 백분율 0~100% 순으로 유량값을 도시한다.¹²⁾ 초과 유량 백분율 0%의 유량은 기록상의 최고 하천 일유량에 해당되고 100%는 최소 하천 일유량에 해당하며, 초과 유량 백분율을 산정하면 관측 전 기간 동안 발생하는 일유량의 빈도를 파악할 수 있다.

Percent of Days Flow Exceeded (%)

$$= \text{Rank} / \text{Number of Data} \times 100 \quad (1)$$

부하지속곡선은 유량 지속 곡선의 일유량 자료와 적용할 수질 기준 자료를 이용하여 식 (2)에 의해 부하량을 산정한 후 앞서 산정된 초과 유량 백분율 순서에 따라 각 부하량을 도시한다.¹²⁾

$$\text{Load (kg/day)} = \text{Flow (m}^3/\text{s)} \times \text{WQS (mg/L)} \times 86.4 \quad (2)$$

여기서, WQS (Water Quality Standard)는 분석지점에서의 평가를 위한 기준이 되는 수질 농도를 의미하며 일반적으로 해당 지점의 목표수질이나 환경기준 등이 이에 해당한다. 86.4는 단위환산을 위한 계수이다.

부하지속곡선을 이용하여 관측된 자료를 평가하기 위해서는, 관측 유량과 수질 농도를 이용하여 관측 부하량을 산정한 후 각 유량을 유량지속곡선의 유량 자료와 비교하여 초과 유량 백분율(percent of days flow exceeded)값을 결정한다. 결정된 백분율 위치에 관측부하량을 표시하며 이를 부하지속곡선과 함께 도시하여 비교한다.

2.3.2. 관리항목 설정방법

하천에 인공유량 변화로 인하여 수십 배의 하천유량이 발생하는 것은 현실적으로 불가능하므로,²⁸⁾ 댐과 같은 구조물이 없는 하천에서의 고유량 구간은 주로 강우에 의한 영향이 큰 구간이라고 할 수 있다. 또한 EPA²⁹⁾에 따르면 수문학적 조건에 따라 부하에 기여하는 오염원의 종류가 달라지며, 유량지속곡선의 고유량 구간에서 비점오염원의 상대적 중요도가 커지는 것을 알 수 있다(Table 1). 따라서

Table 1. Example source area/hydrologic condition consideration (U.S.EPA 2007)

Contributing source area	Duration curve zone				
	High fow	Moist	Mid-range	Dry	Low flow
Point source				M	H
On-site wastewater systems			H	M	
Riparian areas		H	H	H	
Storm water: Impervious areas		H	H	H	
Combined sewer overflows	H	H	H		
Storm water: Upland	H	H	M		
Bank erosion	H	M			

Note: Potential relative importance of source area to contribute loads under given hydrologic condition (H: High; M: Medium)

여러 수질 항목에 대하여 기준부하지속곡선(해당 수질기준을 적용한 부하지속곡선)을 작성한 후 관측부하량과 함께 도시하여 관리유량 구간에서 초과율이 높은 항목을 관리항목으로 선정하며, 관리유량 구간은 고유량 구간을 중심으로 해당 유역, 수질 및 유달부하량 특성에 따라 그 범위를 설정하도록 하였다.

기준 부하지속곡선 작성을 위해서는 먼저 유량지속곡선의 작성이 필요하며, 전 기간 일별 유량자료를 이용하는 것이 바람직하나 측정 자료의 부재로 인하여 자료 확보가 힘든 경우 총량측정망의 약 8일 간격 유량 자료를 이용하여 작성할 수 있다. 황 등⁷⁾은 8일 간격의 간헐적인 실측자료가 다년간 축적될 경우 실측자료가 하천의 전체 유량 빈도를 대변할 수 있으며 실측자료만을 이용한 유량지속곡선 작성이 가능하다고 하였다. 기준 부하지속곡선 작성을 위한 수질기준은 해당 유역에서 목표로 하고 있는 농도를 사용할 수 있으며 중권역 목표수질, 수질오염총량 목표수질 등을 고려할 수 있다. 기준 수질기준이 없는 경우에는 용수목적을 고려하여 적합한 농도기준을 적용할 수 있다.

2.3.3. 관리목표 설정방법

하천에 설정되어 있는 기존의 수질 기준(중권역 관리목표, 총량 목표수질 등)은 연중 달성해야 하는 목표라고 할 수 있다. 그러나 분명한 비점오염원의 유입이 있는 시스템에서는 농도가 유량에 따라 크게 변할 수 있으므로 모든 유량구간에서 같은 수질기준을 적용하여 관리하는 것은 비합리적이며 서로 다른 유량 구간에 대하여 다른 목표 농도를 적용하는 것이 바람직하다.²⁹⁾ 또한 강우 시 주로 발생하는 비점오염원의 특성상, 강우에 의해 영향을 많이 받는 유량 구간을 한정하여 목표를 설정하는 것이 비점오염원 배출특성을 고려한 목표설정 방안이라고 생각되며 이때 극단적인 홍수량은 배제하는 것이 비점관리 목적에 적합할 것이다.

본 연구에서 관리목표 설정을 위해 비점의 영향이 큰 관리유량 구간을 한정하여 목표로 하는 부하지속곡선을 작성하고 그에 따라 목표수질을 정하는 방법을 적용하였다. 목표부하지속곡선은 계획한 비점오염물질 저감 대책 후의 부

하량이 해당 곡선을 초과하지 않는 수준으로 설정한다. 목표 부하지속곡선을 작성하기 위해서는 목표 지점에서의 유량지속곡선과 저감 효과를 반영한 예측 부하량이 필요하다.

유량지속곡선 작성 시 실측 일유량이 존재하는 경우에는 이를 이용할 수 있으나 그렇지 않은 경우에는 유역모델 결과를 이용하여 작성할 수 있다. 일반적으로 강우는 해마다 다른 패턴으로 발생하므로 유역 특성에 맞는 유량의 누적빈도를 적절히 표현하기 위해서는 비교적 장기간(5년~10년)의 자료가 필요하다.

저감 효과를 반영한 예측부하량 산정 방법은 유역모델을 이용하여 저감시나리오를 적용하여 산정하는 방법과 현재 수준에서 일정한 삭감률을 적용하여 산정하는 방법으로 구분하였다.

유역모델 저감시나리오를 이용한 산정 방법에서는 해당 유역특성에 적합한 관리 기법들을 선정할 후 유역모델에 적용하여 목표 지점에서의 수질 및 유달부하량을 예측한다. 이 때 다양한 강우조건을 반영한 결과가 필요하므로 비교적 장기간의 모의가 필요하다. 비점오염관리기법은 일반적으로 도시지역과 농촌지역에 대하여 구분할 수 있고 각각에 대하여도 구조적 방법과 비구조적 방법으로 나눌 수 있다. 비점오염원 관리기법에 의한 저감 효과를 분석하는 방법은 각 모델마다 다르며 적용할 수 있는 관리기법의 종류 및 적용 방식에도 차이가 있다.³⁰⁾ 따라서 적용하고자 하는 유역모델의 종류에 따라 적합한 분석 방법을 설정하여야 하며, 비구조적 관리기법에 대해 정량적인 효과분석이 가능하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

현재 수준에서 일정한 삭감율을 적용한 산정방법은 저감시나리오 적용이 어렵거나, 장래 점오염원에 의한 변화와 토지이용변화 등을 고려하기 어려운 경우 지역특성을 고려하여 합리적으로 달성 가능한 수준으로 목표를 정하는 경우에 적용할 수 있다. 이 경우는 유역모델을 이용하여 현재 조건(보정시 조건)에서 목표 지점에서의 유달부하량 분포를 산출한 후 관리유량 구간에서 일정비율로 저감시킨 유달부하량을 산정한다.

관리유량구간에서 저감시나리오 적용시 예측된 부하량 분포 또는 일정비율을 저감시킨 부하량 분포의 90퍼센트

가 만족하도록 목표수질 부하지속곡선을 작성하며 이때 유량지속곡선에 곱해지는 수질이 목표수질이 되도록 하였다 (Fig. 3). 즉, 관리목표는 농도값으로 제시되나 실질적으로 관리유량 구간에서의 유달부하량이 관리대상이 된다. 예측 부하량의 모두가 부하지속곡선을 만족하는 것이 아닌 90 퍼센트 수준으로 정한 이유는 유역모델 적용 시 발생하는 오차를 감안한 것이다. Fig. 3은 관리유량 구간이 5~40% 구간인 경우 목표수질(TP = 0.37 mg/L)이 설정되는 예시를 나타내고 있다.

2.3.4. 목표달성도 평가방법

실측 수질과 유량을 이용하여 관리지점에서의 관측 유달 부하량을 산정한 후 관리유량 구간에서 목표수질 부하지속 곡선을 초과하는지 여부로 달성도를 평가하였다. 실측값의 불확실성을 감안하여 관리유량 구간 관측부하량이 목표수질 부하지속곡선을 초과하는 것이 전체 관측부하량 갯수의 10퍼센트를 넘지 않으면 관리목표를 달성한 것으로 보았다.

일반적으로 수질 모니터링 시 농도변화가 강우량 변화 때문인지 저감 활동의 영향 때문인지를 구분하기 위해서는 다년간의 자료가 필요하며, 강우량 변동을 평균적으로 고려한 현상을 통계적으로 설명하기 위해서는 적어도 3년의 연속적인 데이터가 필요하다.³⁴⁾ 비점오염원 배출은 강우패턴 변화에 의해 연도별로 편차가 클 것이고 비점오염원 관리 효과의 평가를 위해서도 1년 동안이 아닌 과거 3년~5년 정도의 기간 동안 축적된 관측 유달부하량 자료를 이용하여 평가하는 것이 일시적인 강우 패턴 변화에 따른 평가오류를 보완할 수 있는 방안이라 사료된다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유역모델 구축

비점오염원 관리목표 설정을 위하여 새만금 유역에 대하여 HSPF모형을 구축하였다. HSPF 모형은 복합적인 토지피복 특성을 갖는 유역에서 강우에 의해 발생하는 유역유출 및 수체에서의 수리·수질 모의를 위한 대표적인 유역모형으로 1960년대 초반 스탠포드 유역모형(Stanford Watershed Model)으로 처음 개발되었으며, 이후 미국 환경청(US. EPA)과 미국 지질조사기관(USGS)에 의해 발전·보완되고 있다.³¹⁾ HSPF 모형은 국내·외의 다양한 유역에 대하여 적용되어 왔으며 도시와 농촌이 혼재되어 있는 유역에 대한 장기유출 모의가 가능하여 새만금 유역의 비점오염배출 모의에 적합하다고 판단되었다.

새만금 유역모델(HSPF) 구축을 위하여 DEM, 토지피복도, 하천도, 유역경계도 등을 사용해서 소유역을 분할하였으며, 만경강 유역이 87개, 동진강 유역이 83개로 총 170개의 소유역으로 구분되었다(Fig. 4). 기상, 오염원, 저수지 방류량, 취수량, 외부유역 유입량, 관개용수량, 하수처리장, 점오염 부하 등 입력 자료를 이용하여 구축된 모형에 대하여 국토

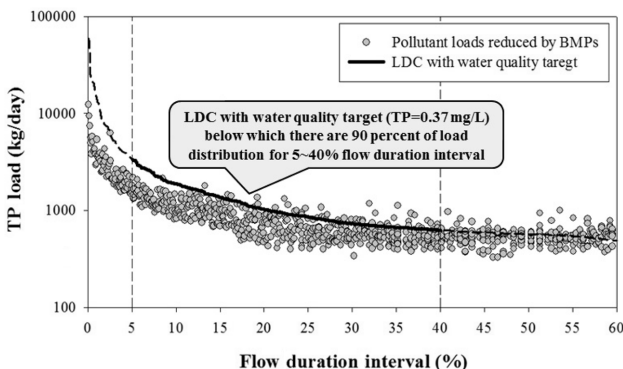


Fig. 3. Example of setting water quality target for non-point source pollution management using LDC method.

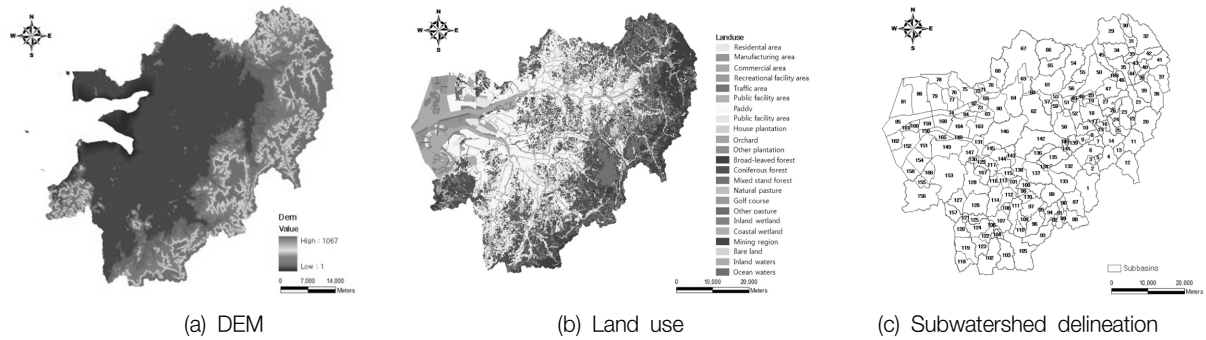


Fig. 4. DEM, land use and segmentation for HSPF model of Saemangeum watershed.

해양부 수위-유량자료 및 환경부 수질총량측정망 수질·유량자료를 이용하여 2009~2012년에 걸쳐 유량 및 수질에 대한 검·보정을 실시하였다. 모델구축 및 검보정에 관한 구체적인 내용은 NIER³²⁾에 제시되어 있다.

3.2. 관리항목 설정

새만금 유역에서 비점관리의 필요성이 요구되는 항목 설정을 위하여 주요 지점에 대한 여러 수질 항목의 기준 부하 지속곡선과 관측 부하량이 필요하다. 따라서 약 8일 간격의 수질 및 유량 측정을 통해 장기간의 자료가 누적되어 있는 총량측정망 지점에 대하여 2006년~2013년까지 8년간 자료를 이용하여 분석을 실시하였다. 새만금 총량 유역 내

에 존재하는 총량 측정망은 전주A, 만경A, 만경B, 탑천A, 정읍A, 고부A, 동진A, 원평A의 8개 지점이며 이 중 비점관리지역과 상관이 없는 만경A, 탑천A 지점을 제외한 6개 지점을 선정하였다.

여러 수질항목 중에서 수질 기준이 존재하는 항목인 BOD, TP, SS에 대하여 분석을 실시하였다. BOD의 경우 2단계 총량 목표수질이 존재하며 전주A, 만경B, 정읍A, 동진A, 고부A, 원평A에 대하여 각각 5.9, 4.2, 3.4, 3.1, 4.7, 3.4 mg/L로 설정되어 있다. TP의 경우 총량 목표수질이 없으므로 만경B와 동진A에 설정된 중권역 목표수질인 0.2와 0.1 mg/L를 각각 만경강 유역과 동진강 유역에 위치한 지점들의 목표로 적용하였다. SS의 경우는 하천 생활환경기준 I~III 등급

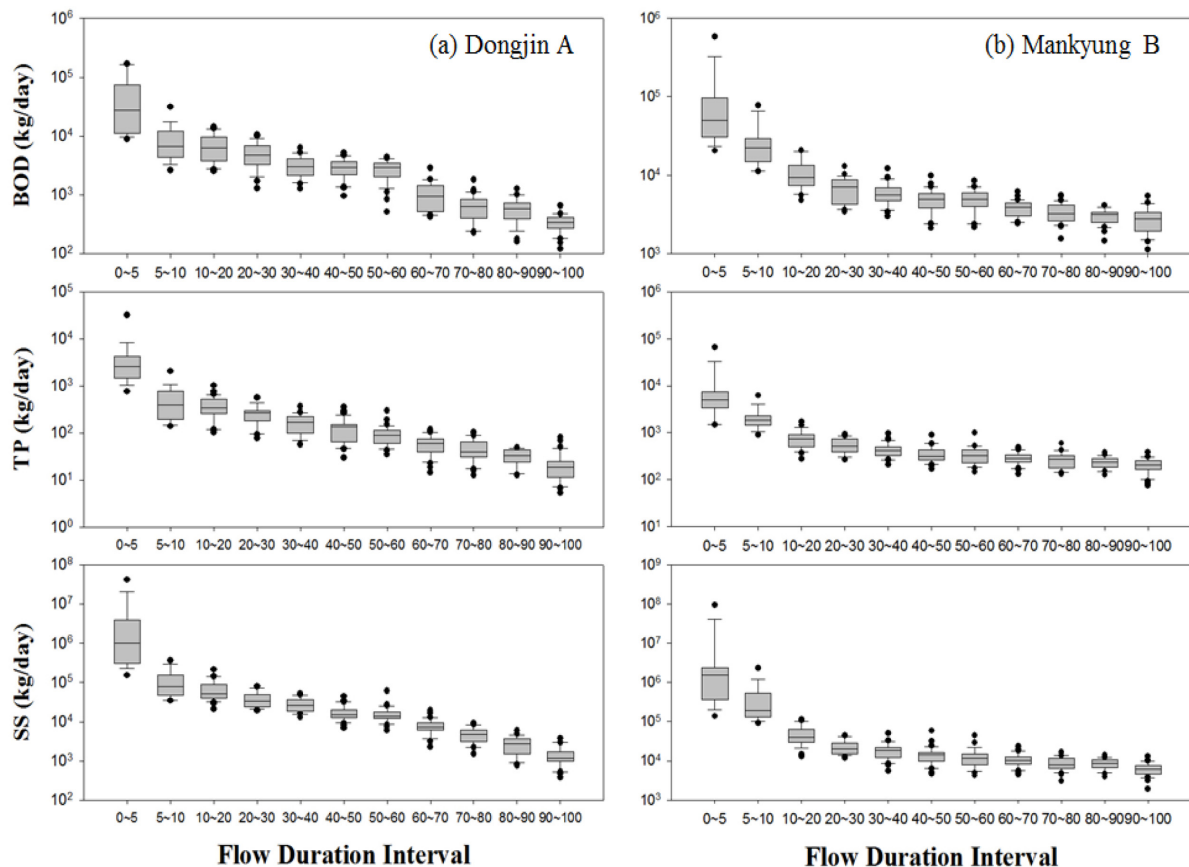


Fig. 5. BOD, TP, and SS loads of a given flow duration interval.

이상에 해당하는 25 mg/L를 기준으로 하였다.

일반적으로 부하지속곡선을 분석하기 위한 유량구간은 high flow (0~10%), moist condition (10~40%), mid-range flow (40~60%), dry condition (60~90%), low flow (90~100%)로 나누고 있다.²⁹⁾ EPA²⁹⁾에 따르면 비점오염원이 주로 영향을 미치는 유량구간은 high flow, moist condition, mid range flow 구간이며, 이는 0~60% 구간에 해당한다(Table 1). 그러나 우리나라에서 강우유출이 발생하는 유효강우를 10 mm 라고 할 때 평수량(Q185) 미만의 저수기간은 강우유출수가 없는 기간으로 가정할 수 있으므로²⁸⁾ 50~100% 유량 구간은 제외하였다. 또한 주요 지점에 대한 유량 구간별 BOD, TP, SS 부하량 분포변화 분석 결과 전반적으로 40% 이상의 구간에서는 변화량이 크지 않으므로 high flow와 moist condition에 해당하는 0~40% 구간을 비점오염원에 의해 영향을 받는 구간으로 간주하였다(Fig. 5). 극단적인 홍수량 구간은 관리대상에서 제외하는 것이 정책목적에 적합하므로 결론적으로 관리유량 구간은 5~40% 구간으로 설정하였다.

각각의 수질기준을 이용하여 기준 부하지속곡선을 작성하였으며, 관측된 유량 및 수질 자료를 이용해 산정된 부하량과 비교하였다(Fig. 6~8). 분석 결과 전 지점에서 BOD, TP, SS 중 TP가 기준 부하지속곡선의 초과율이 가장 높게 나타

났으며, 고유량 뿐 아니라 중간 유량 또는 저유량 구간에서도 초과되는 것으로 관찰되었다. 이는 기존의 새만금 유역에 대한 관리가 점오염원 중심으로 이루어져 비점오염원 주요 대상물질인 TP의 배출부하량이 크게 나타나며, 점오염원의 경우도 오랫동안 BOD 중심의 관리에 집중되었고 TP는 최근에서야 총인처리시설을 설치하는 등 관리 초반단계에 있기 때문이라고 판단된다.

목표 부하지속곡선을 초과하는 관측부하량이 고유량에서만, 저유량에서만 또는 전체 유량조건에 걸쳐서 발생하는지를 볼 수 있다. 고유량 구간에서만 초과하는 경우는 주로 비점오염원에 의한 것이며, 저유량 구간에서만 초과하는 경우는 주로 점오염원에 의한 것 이라고 볼 수 있다. 모든 유량구간에서 초과하는 경우는 복합적 오염원이 영향을 주고 있다는 것을 의미한다.²⁹⁾ 따라서 새만금 유역의 경우 점오염원과 비점오염원이 모두 문제가 되고 있음을 알 수 있으며 특히 고유량 구간에서 발생하는 비점오염원 관리의 측면에서 볼 때 TP가 가장 우선되어야 할 것으로 판단된다. 또한 TP의 경우 강우에 의해 발생량이 증가하는 비점오염원 대표물질이며 관리유역으로부터 배출된 오염물질이 직접 유입되는 새만금호에 대한 수질개선 대책 목표수질 항목이므로 이를 관리항목으로 설정함이 타당한 것으로 판단된다.

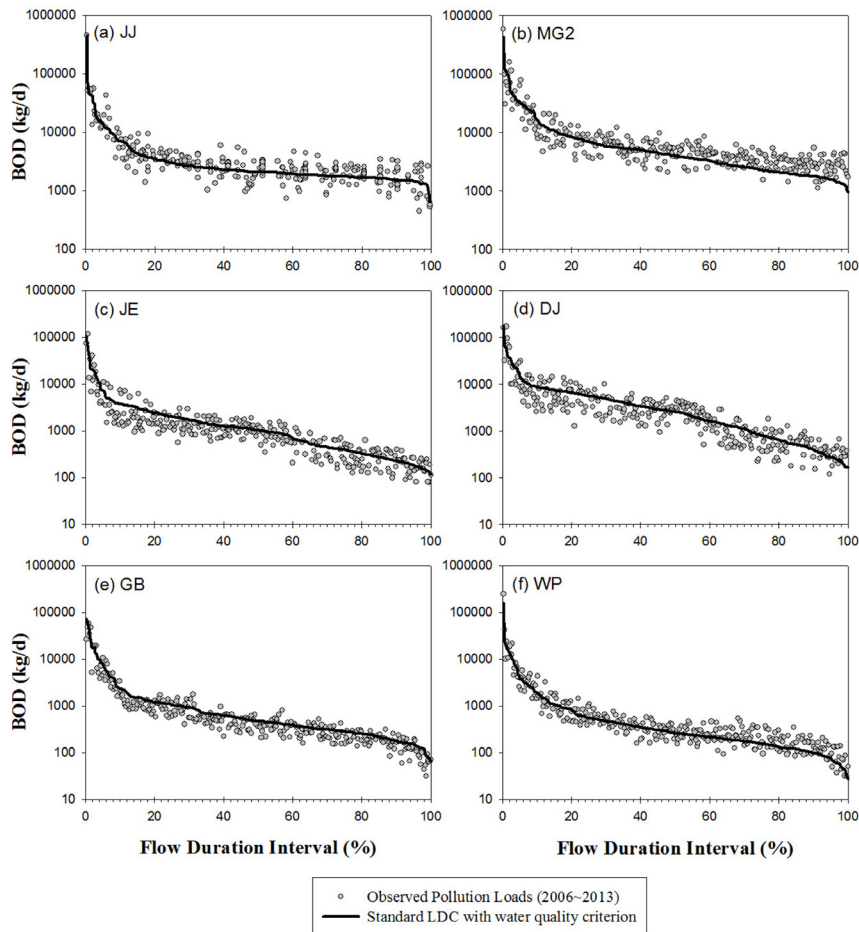


Fig. 6. Observed BOD-load data with load duration curves in Saemangeum watershed.

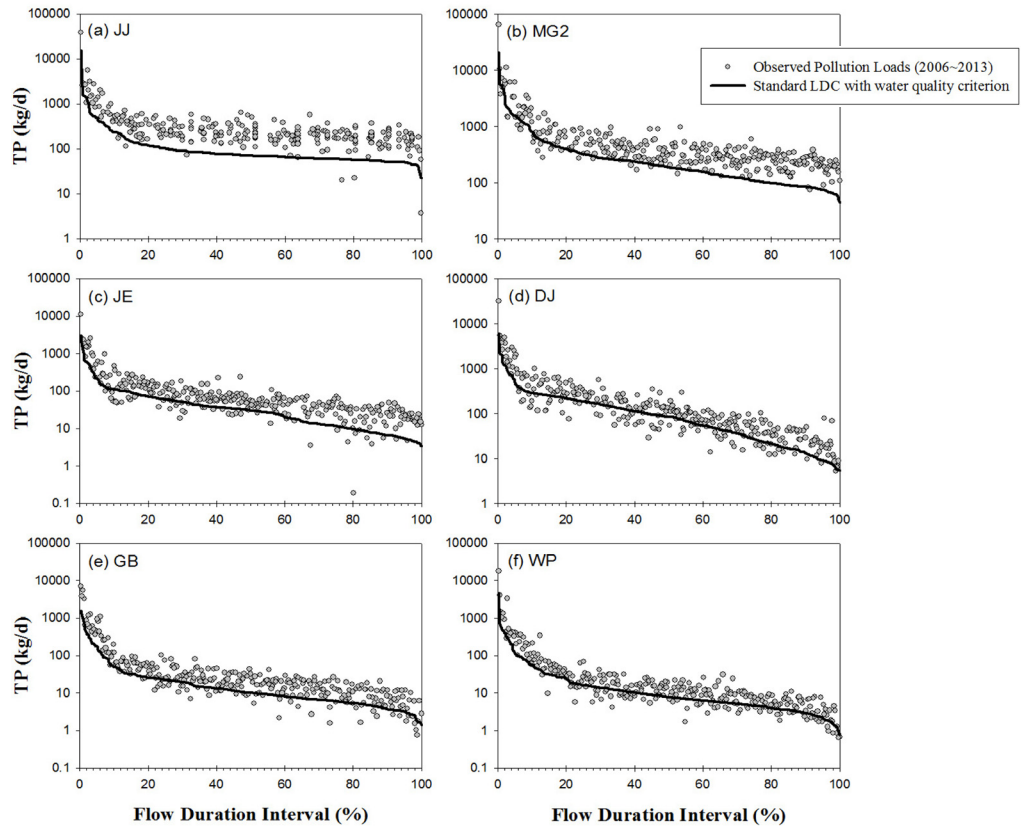


Fig. 7. Observed TP-load data with load duration curves in Saemangeum watershed.

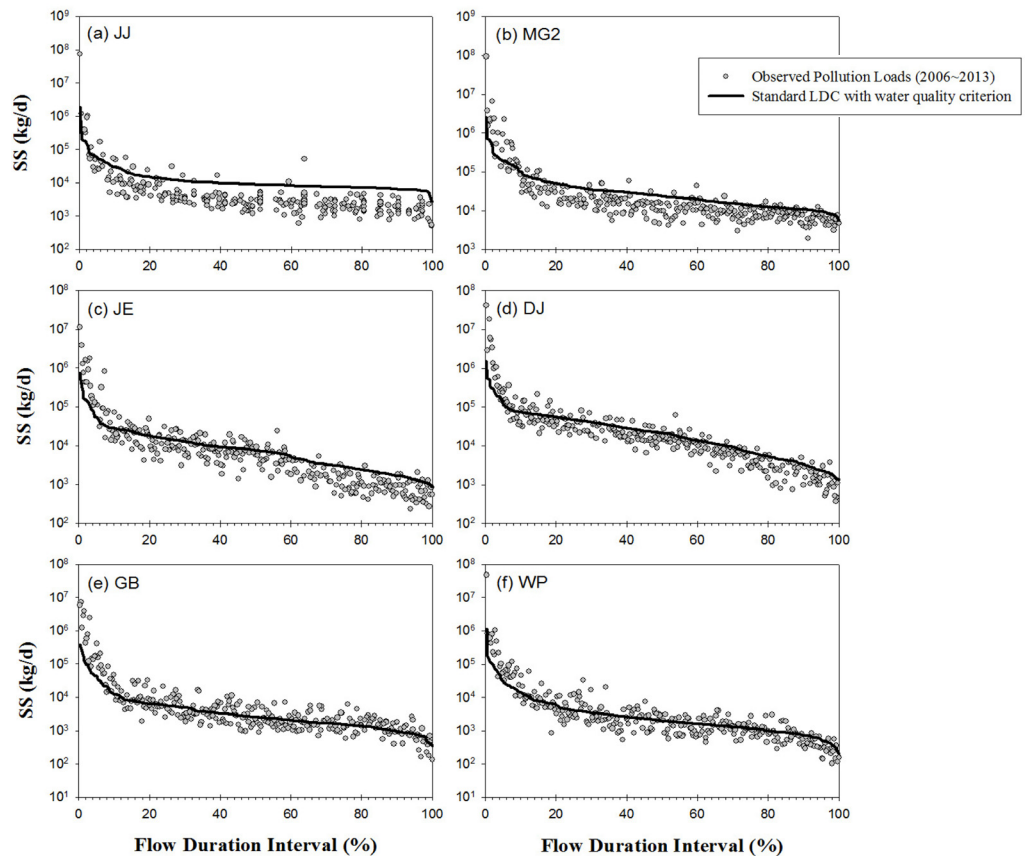


Fig. 8. Observed SS-load data with load duration curves in Saemangeum watershed.

3.3. 관리목표 설정

새만금 비점오염관리지역은 넓은 면적을 차지하고 있으며 비점오염원을 관리하기 위해서는 발생 및 유출을 최소화하는 종합적인 관리방안이 필요하므로, 한꺼번에 전체 비점오염관리지역에 대한 대책을 세우는 것 보다는 우선관리지역을 선정하여 단계적으로 관리하는 것이 합리적이다. 따라서 비점오염 관리지역 내 17개 총량소유역 중 수질오염 위험지역을 포함하는 소유역을 선정하고 이 중 기존의 비점관리대책이 계획되어 있는 소유역을 제외하고 4개의 우선관리 소유역을 선정하였다.³²⁾

우선관리 소유역은 전주A20, 만경C03, 동진A14, 고부A14이며, 이들에 대한 관리효과를 모두 평가할 수 있는 만경대교(M2)와 동진대교(D2)를 주 목표지점으로 하고 전주A20, 동진A14의 관리효과를 평가할 수 있는 전주천 말단(M1)과 군포교 지점(M1)을 부 목표지점으로 하였다(Fig. 9). 목표지점은 관리효과 평가의 효율성과 모니터링 가능성을 고려하여 선정하였다.

비점오염원관리 목표지점에 대한 관리목표 설정을 위해 저감 후 예측부하량을 산정하였다. 이를 위하여 2009년~

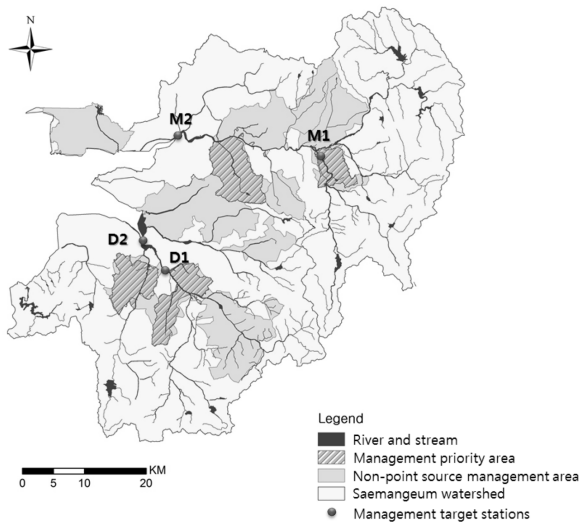


Fig. 9. Management priority areas and target stations for non-point source pollution management of Saemangeum watershed.

2012년에 대하여 보정·검증이 완료된 유역모델(HSPF)에 새만금유역 비점오염원 관리대책³²⁾에 제시된 비점오염원 저감 시나리오를 적용하여 목표지점에서의 수질 및 유달부하량을 예측하였다. 각 우선관리 소유역에 대한 적용 시나리오는 Table 2에 제시하였다. 전주A20의 경우 시나리오1~시나리오4 모두 LID 및 도로청소 적용을 공통적으로 고려하였고, CSOs 및 미처리 배제수 처리는 시나리오1, 2, 3, 4에 대하여 각각 10%, 30%, 50%, 100%를 적용하였다. LID 적용을 위해 기존 불투수면의 20%가 투수면으로 변환된다고 가정하였으며 도로청소는 유역 내 교통지역의 15%가 청소되며 문헌³³⁾에서 제시된 포장도로 청소의 TP 저감효율을 참고하여 도로노면에 축적된 양의 70%가 저감된다고 가정하였다. CSOs 및 미처리 배제수 처리는 전주천에서 산정된 미처리배제수를 CSOs 및 미처리배제수로 가정하여 모델에 적용하였고 시나리오별로 10%, 30%, 50%, 100%를 가정하였다. 만경 C03, 동진 A14, 고부 A14의 경우 시나리오1~시나리오4 모두 녹비작물 및 양분관리를 통해 사용비료의 30% 감소를 가정하였고, 축산계 비점관리를 통해 축산계 배출부하량이 시나리오1, 2, 3, 4에 대하여 각각 10%, 30%, 50% 저감된다고 가정하였다.

유역모델 결과를 이용하여 각 시나리오(시나리오 1~4)와 목표지점 유달부하량 10% 저감 가정에 따라 설정된 주요지점별 관리목표를 관리유량구간과 함께 Table 3에 제시하였다.

Table 3. Development of water quality targets for non-point source pollution management

Target station	Management flow interval (m ³ /s)	Water quality target (TP mg/L)					10% reduction in TP load
		Base	Scenar-rio 1	Scenar-rio 2	Scenar-rio 3	Scenar-rio 4	
Mankyung bridge	19.6~105	0.39	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35
Dongjin bridge	8.8~46.0	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17
Jeonju stream	6.3~26.2	0.67	0.66	0.65	0.64	0.61	0.60
Gunpo bridge	9.2~58.9	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15

Table 2. Simulation scenarios for analysis of the effects of non-point source pollution management in priority subwatersheds

Subwatershed	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
	LID (replacement of 20% of impervious land with pervious land) Road sweeping (70% reduction in accumulated loads on roads for 15% of traffic area)			
Jeonju A20	10% reduction in CSOs and untreated sewage	30% reduction in CSOs and untreated sewage	50% reduction in CSOs and untreated sewage	100% reduction in CSOs and untreated sewage
Mankyung C03	10% reduction in livestock NPS	30% reduction in livestock NPS	50% reduction in livestock NPS	50% reduction in livestock NPS
Dongjin A14	10% reduction in livestock NPS	30% reduction in livestock NPS	50% reduction in livestock NPS	50% reduction in livestock NPS
Kobu A14	10% reduction in livestock NPS	30% reduction in livestock NPS	50% reduction in livestock NPS	50% reduction in livestock NPS

전주A20에 LID적용, 도로청소, CSOs 및 미처리배제수 처리 10%를 가정하고, 만경C03, 동진A14, 고부A14에 비료 30% 감소, 축산계 배출부하량 10%감소를 가정한 시나리오 1과 시나리오 1조건에서 CSOs 및 미처리배제수 처리 30%, 축산계 배출부하량 30% 감소를 가정한 시나리오 2의 경우 전주천 말단에서 각각 0.66과 0.65 mg/L로 설정되었으며, 만경대교, 동진대교, 군포교의 경우 시나리오 미적용시와 비교하여 변화가 없는 것으로 나타났다. 전주A20에 LID적용, 도로청소, CSOs 및 미처리배제수 처리 50%를 가정하고, 만경C03, 동진A14, 고부A14에 비료 30% 감소, 축산계 배출부하량 50% 감소를 가정한 시나리오 3의 경우 만경대교, 동진대교, 전주천 말단, 군포교의 관리목표수질은 각각 0.38, 0.18, 0.64, 0.16 mg/L로 설정되었다. 시나리오 3과 같은 조건에서 전주A20의 CSOs 및 미처리배제수 처리만 100%로 가정한 경우(시나리오 4) 만경대교, 전주천 말단에서의 관리목표수질은 각각 0.37, 0.61 mg/L로 설정되었다.

유역모델에 저감 시나리오를 적용한 관리목표 설정 시 우선관리 소유역 4개에 대해서만 저감 시나리오를 적용하였으므로 본류 지점(만경대교, 동진대교, 군포교)에서의 영향은 상대적으로 적게 나타났다(Table 3). 이는 우선관리 소유역은 전체 관리지역 중 작은 일부이며 우선관리 소유역에서의 저감량은 본류 목표지점에서의 유달부하량에 비하여 상대적으로 매우 작은값을 가지기 때문이라 판단된다. 그러나 관리지역 내 다른 소유역에 대한 저감방안은 아직 검토되지 않았으므로 이에 대한 구체적인 저감 시나리오 적용은 현재 어려우며 장래 점오염원 변화를 고려하기도 어려운 상황이다. 따라서 관리유량 구간의 현재 유달부하량이 일정비율(10%)로 줄어드는 상황을 가정하여 관리목표를 설정하였으며 그 결과는 Table 3에 함께 제시하였다. 분석 결과 만경대교, 동진대교, 전주천 말단, 군포교의 관리목표수질은 각각 TP 0.35, 0.17, 0.60, 0.15 mg/L로 시나리오 4 보다도 낮은 값으로 나타났다. 일정 저감 비율은 정책적인 목표와 실현가능성을 감안하여 설정하여야 하며 좀 더 세부적인 근거자료 마련과 이해당사자들 간의 논의가 필요하다고 사료된다.

3.4. 목표달성도 평가

제안된 관리목표 달성도 평가방법을 현재 시점(2014년) 기준으로 적용해보기 위하여 목표수질 부하지속곡선과 최근 5년간(2010년~2014년)의 관측부하량 자료를 함께 도시하였다(Fig. 10).

관리목표 설정 지점 중 현재 실측 농도 및 유량이 존재하는 지점은 군포교 지점 밖에 없으므로 본 지점에서의 실측 자료를 이용하여 목표달성도를 평가하였다. 앞서 설정된 목표수질 0.16 mg/L(시나리오 3)과 0.15 mg/L(일정비율 저감 시나리오)에 따른 목표수질 부하지속곡선을 이용하여 분석하였다. 관리유량 구간에서의 초과율은 목표수질이 0.16 mg/L인 경우와 0.15 mg/L인 경우 각각 25.8%, 32.0%로, 관측부하량 총갯수의 10% 이상이 목표수질 부하지속곡선을 초과

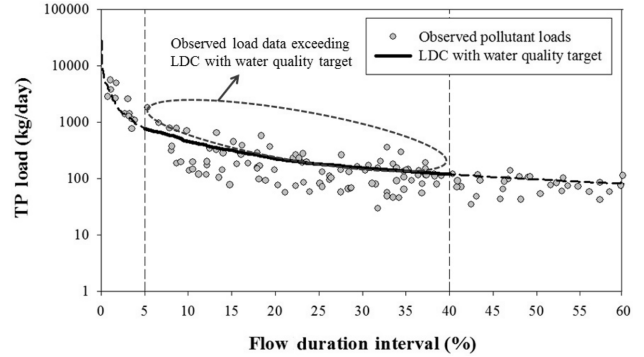


Fig. 10. Evaluation of target achievement for non-point source pollution management at target station (Gunpo bridge).

하였으므로 목표를 달성하지 못한 것으로 평가할 수 있다. 향후 목표 지점에 대하여 실측 데이터가 축적된 경우 모든 지점에 대하여 이와 같은 평가가 이루어 질 수 있을 것이다. 관리목표 달성도 평가를 위해서는 관리유량 구간에서의 실측 수질 및 유량 데이터가 필요하며 이를 위해서는 효과적인 모니터링 계획이 필요하다. 기본적으로 강우 시 수질 및 유량 측정이 상시적으로 이루어지는 것이 가장 바람직하며, 이러한 모니터링이 불가능한 경우 부하지속곡선을 이용한 관리항목 선정 시 관리유량 구간에서 부하량이 주로 분포하는 기간(월, 계절 등)을 찾아 해당 기간에서 집중적으로 모니터링하는 방법도 고려할 수 있다. 또한 관리목표 평가 지점에서의 유역이 총량 단위유역 규모 이상인 경우는 총량수질측정망과 같은 빈도의 정기적인 수질 및 유량 측정으로도 관리유량 구간에서의 모니터링 자료 확보가 가능할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 비점오염 관리지역에 대해 과학적인 관리방안을 마련하기 위한 기초로 부하지속곡선과 유역모델을 이용한 관리목표 설정 및 목표 달성도 평가 방안을 제안하였다.

관리항목 선정, 우선관리유역 및 목표지점 선정, 유역특성을 고려한 최적관리기법 선정, 비점오염물질 저감 효과 분석, 관리목표 및 달성기간 설정 과정을 통하여 관리목표를 설정하는 방안을 제시하였고, 관리항목과 관리목표 설정 시 비점오염원의 특성을 반영할 수 있도록 고유량 구간을 한정하여 분석을 실시하였다.

제안된 관리목표 설정방법에 따라 2013년에 비점관리지역으로 선정되어 관리목표 설정이 필요한 새만금 유역에 대하여 시범적으로 적용하여 관리목표(안)를 제안하였다. 관리유량 구간은 비점오염원의 영향이 크고 극단적인 홍수량 구간을 제외한 5~40% 유량 구간으로 설정하였으며, 부하지속곡선을 이용해 BOD, TP, SS에 대한 분석을 실시한 결과 고유량 구간에서 발생하는 비점오염원 관리 측면과 새만금 수질개선 목표 수질 항목 등을 고려하여 TP를 관리항목으

로 선정하였다. 우선관리 소유역으로 선정된 전주A20, 만경C03, 동진A14, 고부A14에 대한 관리효과를 평가할 수 있는 만경대교와 동진대교를 주 목표지점으로 하고 전주A20, 동진A14의 관리효과를 평가할 수 있는 전주천 말단과 군포교 지점을 부 목표지점으로 하였다.

2009년~2012년에 대하여 보정된 유역모델과 부하지속곡선 방법을 이용하여 우선관리유역별 저감 시나리오에 따라 관리목표를 설정하였다. 관리유역구간에서 저감시나리오 적용 시 예측된 부하량 분포 또는 일정비용 저감시킨 부하량 분포의 90퍼센트가 만족하도록 목표수질 부하지속곡선을 작성하며 이때 유량지속곡선에 곱해지는 수질이 목표수질이 되도록 하였다. 전주A20에 LID적용, 도로청소, CSOs 및 미처리배제수 처리 50%를 가정하고, 만경C03, 동진A14, 고부A14에 비료 30% 감소, 축산계 배출부하량 50% 감소를 가정한 시나리오 3의 경우 만경대교, 동진대교, 전주천 말단, 군포교의 목표수질은 각각 TP 0.38, 0.18, 0.64, 0.16 mg/L로 설정되었다. 현재 유달부하량이 일정비용(10%)로 줄어드는 상황을 가정하여 설정한 관리목표는 만경대교, 동진대교, 전주천 말단, 군포교에서 각각 TP 0.35, 0.17, 0.60, 0.15 mg/L로 설정되었다. 현재(2014년) 조건에서 군포교에서 관리목표 달성도 평가방법을 적용해본 결과 목표수질이 0.16과 0.15 mg/L인 경우 모두 달성하지 못하는 것으로 평가되었다.

본 연구에서는 저감 시나리오 적용 시 우선관리유역에 대한 관리방안만 고려하였으나, 단계적으로 관리유역을 확대하여 최종적으로는 새만금 비점관리지역 전체에 대한 관리대책이 필요하므로 향후 모든 유역에 대한 시나리오를 적용한 분석이 필요하다고 생각한다. 또한 이에 대한 효과를 평가할 수 있는 목표지점도 더 추가되어야 하며 현재 설정된 관리목표 지점에서의 목표 값도 그에 따라 수정되어야 할 것이다. 결국 비점오염원관리지역에 대한 효과적인 관리를 위해서는 우선적 관리가 필요한 유역부터 단계별로 관리대책을 세우고 관리지역을 확장시켜야 하며, 각 단계에서의 관리효과 평가와 함께 추가 대책들을 고려하여 단계별로 목표를 수정해나가는 적응형 관리(adaptive management) 개념이 도입되어야 할 것이라고 사료된다.

본 연구 결과는 기존의 비점오염관리지역 관리목표 설정 및 달성도 평가방법에서의 단점을 보완하여 비점오염부하의 발생 특성과 유역특성을 고려한 과학적인 방법론을 제안함으로써 향후 비점오염관리지역에 대한 관리대책, 시행 계획 수립 및 이행평가 시 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 2015년도 국립환경과학원 박사후연수과정 지원 사업에 의해 수행되었습니다.

References

1. Choi, J. W., Kang, M. J., Ryu, J. C., Kim, D. I., Lim, K. J. and Shin, D. S., "Assessing the Action Plans in the Control Area (Soyang Reservoir) of Non-point Source Pollution," *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, **23**(5), 839~852(2014).
2. Park, B. K., Kang, M. J., Kim, E. J., Kim, S. J., Kim, Y. S., Rhew, D. H. and Kim, S. H., "Study on Outcome and Upgrade Direction of Designation Policy of Non-point Source Control Areas," in Proceedings of the Joint Spring Conference of Korea Society on Water Environment and Korean Society of Water and Wastewater, pp. 70~71(2014).
3. Yoon, S. W., Chung, S. W., Oh, D. G. and Lee, J. W., "Monitoring of nonpoint source pollutants load from mixed forest land," *J. Environ. Sci.*, **22**(6), 801~805(2010).
4. Hann, C. T., Statistical methods in hydrology. The Iowa State University Press, Iowa. pp. 1~378(1977).
5. U. S. EPA, TMDLs Stormwater Permits Handbook (draft), Office of Wetlands, Oceans and Watersheds, U. S. EPA, Washington, DC, pp. 1~193(2008).
6. Han, S. H., Shin, H. S. and Kim, S. D., "Applicability of Load Duration Curve to Nakdong River Watershed Management," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **23**(5), 620~627(2007).
7. Hwang, H. S., Park, B. K., Kim, Y. S., Park, K. J., Cheon, S. U. and Lee, S. J., "Research on the Applicability of the Load Duration Curve to Evaluate the Achievement of Target Water Quality in the Unit Watershed for a TMDL," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **27**(6), 885~896(2011).
8. Nebraska, Total Maximum Daily Loads for the Big Blue River Basin (Fecal Coliform and *E. coli* Bacteria), Nebraska Department of Environmental Quality Planning Unit, Water Quality Division(2004).
9. Nevada, Load Duration Curve Methodology for Assessment and TMDL. Development Nevada Division of Environmental Protection(2003).
10. Oregon, Bacteria Technical Appendix, Willamette Basin TMDL, Oregon Department of Environmental Quality(2004).
11. South California, Total Maximum Daily Load Development for the Upper Broad River Watershed_Fecal Coliform Bacteria, South California Department of Health and Environmental Control(2004).
12. Hwang, H. S., Yoon, C. G. and Kim, J. T., "Application Load Duration Curve for Evaluation of Impaired Watershed at TMDL Unit Watershed in Korea," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **26**(6), 903~909(2010).
13. Choi, K. W., Shin, K. Y., Lee, H. J. and Jun, S. H., "Assessment of the Water Quality of Jungnang Stream by Flow Conditions Using Load Duration Curve," *J. Environ. Health Sci.*, **38**(5), 438~447(2012).
14. Kang, H. W., Ryu, 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 Evaluation of Water Quality and Pollutant Loads," *J. Korean Soc. Water Environ.*, **27**(5), 689~698(2011).
15. Park, J. D. and Oh, S. Y., "Methodology for the Identifica-

- tion of Impaired Waters Using LDC for the Management of Total Maximum Daily Loads,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **28**(5), 693-703(2012).
16. Park, J. H., Kim, K. S., Jung, J. W., Hwang, K. S., Moon, M. J., Ham, S. I. and Lim, B. J., “Water Quality Characteristics Evaluation by Flow Conditions Using Load Duration Curve -in Youngbon A Watershed-,” *J. Environ. Impact Assess.*, **22**(4), 319~327(2013).
 17. Yun, S. Y., Ryu, J. N. and Oh, J. I., “Water Quality Management Measures for TMDL Unit Watershed Using Load Duration Curve,” *J. Korean Soc. Water Wastewater*, **27**(4), 429~438(2013).
 18. Lee, J. W., Kwon, H. G., Yi, Y. J., Yoon, J. S., Han, K. Y. and Cheon, S. U., “Quantitative Estimation of Nonpoint Source Load by BASINS/HSPF,” *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, **21**(8), 965-975(2012).
 19. Lee, Y. W., Song, K. D., Lee, J. C., Yoon, K. S., Rhew, D. H., Lee, S. W. and Lee, S. H., “Development of a Method for Estimating Non-Point Pollutant Delivery Load of Each Reference Flow with Combination of BASINS/HSPF,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **32**(2), 175~184(2010).
 20. Yoon, C. G., Shin, A. H., Jung, K. W. and Jang, J. H., “A Study on BASINS/WinHSPF for Evaluation of Non-point Source Reduction Efficiency in the Upstream of Nam-Han River Watershed,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **23**(6), 951-960(2007).
 21. Jung, C. G., Joh, H. K., Park, J. Y. and Kim, S. J., “Runoff Characteristics Comparison of Nonpoint Source Pollution for Two Adjacent Stream Watersheds using SWAT Model,” *J. Korean Soc. Agri. Eng.*, **54**(3), 91~101(2012).
 22. Hwang, B. H., Kim, D. I., Yoon, Y. S. and Han, K. Y., “Non-point Source Quantification Analysis Using SWAT in Nakdong River Watershed,” *J. Korea Water Resour. Assoc.*, **43**(4), 367~381(2010).
 23. Jo, J. H. and Jo, N. H., “Estimation of Nonpoint Pollutant Loads in the Hwanggujichoan Basin using SWMM,” *J. Environ. Impact Assess.*, **12**(5), 349~358(2003).
 24. Shin, H. S., Son, J. H., Jang, J. K., Shon, T. S., Kang, D. K. and Cho, D. J., “The NPS Analysis and CSO Management Based on SWMM for Oncheon Basin,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **25**(2), 268~280(2009).
 25. Jung, J. Y., Shin, Y. R., Choi, J. H., Choi, I. K., Yoon, C. G. and Son, Y. K., “Characteristics of Pollutant Loads in Saemangeum Watershed Using HSPF,” **18**(2), 54~65(2011).
 26. Kim, B. G., Kim, I. S., Lee, G. J. and Kim, M. S., “Experimental study on the community participation for non-point source management in Saemangeum,” in Proceeding of the annual meeting of the Korean Association for Local Government Studies, pp. 117~130(2013).
 27. Jang, N. J., Kim, B. G., Im, S. H. and Kim, T. G., “A Study on Evaluation of Target Region for the Agricultural Non-point Sources Management,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **34**(1), 23~31(2012).
 28. Jung, W. H., Yi, S. J., Kim, G. H. and Jeong, S. M., “Watershed Selection for Diffuse Pollution Management Based on Flow Regime Alteration and Water Quality Variation Analysis,” *J. Korean Soc. Water Environ.*, **27**(2), 228~234(2011).
 29. U. S. EPA, An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs, EPA 841-B-07-006, Office of Wetlands, Oceans and Watersheds, U. S. EPA, Washington, DC, pp. 1~68(2007).
 30. U. S. EPA, Handbook for Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our Waters, EPA 841-B-08-002, U. S. EPA, Washington, DC, pp. 1~400(2008).
 31. Kim, E. J., Park, B. K., Shin, D. S., Kim, Y. S. and Rhew, D. H., “The Study on Methods for Setting of Water Quality Goal and Estimation of Allocation Loads on TMDL System Using a Dynamic Water Quality Model,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **36**(9), 329~640(2014).
 32. NIER, Management measures of non-point source pollutants in Saemangeum watershed, National Institute of Environmental Research, pp. 1~304(2014).
 33. Federal Highway Association, Storm Water Best Management Practices in an Ultra-Urban Setting : selection and monitoring, pp. 1~287(2000).
 34. Government of Western Australia, Water quality monitoring program design-A guidance to the development of surface water quality monitoring programs, Government of Western Australia, pp. 1~30(2009).