



효과적인 오염총량관리를 위한 데스크탑 기반의 LDC 평가 시스템 개발

Development of Desktop-Based LDC Evaluation System for Effectiveness TMDLs

류지철* · 황하선* · 이성준* · 김은경* · 김용석* · 금동혁** · 임경재** · 정영훈***,†

Ryu, Jichul · Hwang, Ha-Sun · Lee, Sung-Jun · Kim, Eun Kyoung · Kim, Yong Seok · Kum, Donghyuk ·
Lim, Kyoung Jae · Jung, Younghun

Abstract

Load Duration Curve (LDC) can be used as a method for load management of point and non-point pollution source because the LDC easily assesses the water quality corresponding to hydrological changes in a watershed. Recently, the application of LDC to total pollution load management is a growing interest in Korea. In this regard, A desktop-based LDC assessment system was developed in this study to provide convenience to users in water quality evaluation. The developed system can simply produce the LDC by using streamflow and water quality data involved in its database. Also, The system can quantitatively inform the success or failure of the achievement for a target water quality at monthly scale. Furthermore, seasonal water quality and point/non-point pollution load in a watershed can be estimated by this system. We expect that the developed system will contribute to establish local and national policies regarding water management and total pollution load management because of its advantages such as the pollution tracking investigation and the analysis of water quality and pollution loading amount in an ungauged watershed.

Keywords: Desktop-based system; FDC; LDC; monitoring network; pollutant loads; TMDL

1. 서 론

우리나라는 4대강 수계법에 근거하여 한강수계를 제외한 3대강수계는 2004년부터 BOD₅를 총량관리 대상물질 (이하 대상물질)로 정하여 목표수질 한도에서 유역의 오염물질 배출량을 총체적으로 관리하는 수질오염총량관리제도 (이하 총량관리)를 시행 해 오고 있으며 2011년부터는 총인 (이하 T-P)을 추가하여 시행해 오고 있으며 한강수계는 2013년부터 BOD₅, T-P를 대상물질로 정하여 총량관리를 해오고 있다 (Ministry of Environment, 2010).

총량관리는 목표수질을 정한 후 기준유량조건에서 목표수질을 달성·유지 할 수 있는 유역의 배출부하량인 할당부하량을 산정하고 이를 관리하는 제도로 궁극적 목표는 수질관리 (목표수질 달성·유지)이고 관리목표는 유역의 배출부하량 (할당부하량

준수)관리이다. 이를 위해 현 총량관리에서는 정적상태 수질모텔을 이용하여 유역의 배출부하량과 하천의 수질과의 관계를 규명하여 적절한 총량관리계획을 수립하고 이를 시행 한 후 연도별 시행결과를 분석·평가 (이하 이행평가)하고 있다 (Lee, 2011). 그러나 현 이행평가에서는 기술지침에 따른 배출부하량이 산정되고 단위유역 말단 및 주요지점에서 8일 간격의 30회 이상의 수질 유량자료가 있으나 적절한 방법 부재로 실행된 삭감이 수질에 미치는 영향 또는 기준유량 조건에서 목표수질 달성 정도 등을 파악하기 어려운 실정이다 (Park, et al., 2012; Park, et al., 2013; Kim, et al., 2015).

또한, 현 총량관리는 4대강 수계 내 모든 수체에 대하여 동일한 기준유량 조건의 동일한 총량관리대상물질 (이하 대상물질)을 관리하고 있어 실질적으로 지류에서 시급히 개선이 필요한 오염물질의 총량관리가 어려우며, 총량관리유역인 단위유역의 면적이 넓어 단위유역 내 소유역 (지류유역) 간의 개발과 삭감의 불균형이 발생하고 있어 일률적인 대상물질 (BOD₅, T-P)에서 벗어나 소유역인 지류별로 시급히 개선이 필요한 오염물질을 맞춤형으로 관리하는 지류총량제의 시행이 필요시 되고 있으며 이를 지원할 수 있는 방법론이 필요한 실정이다 (NIER, 2015).

오염부하지속곡선 (Lord Duration Curve: LDC) 방법은 실적 자료를 바탕으로 한 계절별 유량 변동에 따른 다양한 하천 수질의 영향을 평가할 수 있으며 현재 오염부하량 및 삭감 허용부하량을 쉽게 산정할 수 있고 이해할 수 있도록 해주는 방법으로

* Water Pollution Load Management Research Division, National Institute of Environmental Research

** Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

*** Water Resources Research Centre, K-Water Institute

† Corresponding author

Tel.: +82-42-870-7473 Fax: +82-42-870-7499

E-mail: younghun@kwater.or.kr

Received: July 7, 2016

Revised: July 28, 2016

Accepted: July 28, 2016

미국의 많은 주에서 총량관리계획 수립 및 이행평가에 사용하고 있어 현행 총량관리 이행평가 및 지류총량관리를 위한 적합한 방법으로 판단된다 (US EPA, 2007). 이런 이유로 우리나라에서도 최근 LDC를 이용한 총량관리 및 지류 총량관리의 효과적인 계획 수립 및 평가를 위한 연구가 많이 진행되고 있다 (Hwang et al., 2010; Hwang, et al, 2011; Park, et al., 2012; Yun, et al., 2013; Kim, et al., 2015).

그러나 이러한 연구들은 모두 엑셀 프로그램의 spread sheet를 기반으로 LDC가 작성되어 있어 대상유역의 LDC를 구축하는데 많은 시간이 필요하였다. 또한 특정 유역에서만 LDC가 연구되었고 국가에서 모니터링 되고 있는 모든 지점에서 LDC에 대해 구축되어 연구된 적이 없기 때문에 이러한 연구들만을 바탕으로 현 오염총량관리 제도와 향후 지류 오염총량관리 제도에서의 활용이 불가능하다.

이를 위해 오염총량관리제도에서 전국 다양한 모니터링 지점과 연계되어 자동으로 LDC를 분석해 줄 수 있는 툴이 필요하다. 이와 관련하여 미국에서는 오염총량관리에서 LDC를 많이 사용하고 있으며 많은 국가 모니터링 지점에서 LDC를 구축하기 쉽도록 USDA 유량 및 수질 자료 DB를 연계한 LDC 평가 시스템을 개발하여 사용하고 있다 (Kim et al., 2012).

따라서, 본 연구의 목적은 1) 우리나라 환경부 8일 간격 유량 및 수질에 대한 모니터링 지점 (총량측정망) 과 월 1회 수질에 대한 모니터링 지점 (일반측정망)의 자료를 DB로 구축하고 2) 이를 자동으로 연계하여 FDC (Flow Duration Curve)/LDC를 구축해 줄 수 있는 데스크탑 기반의 LDC 평가시스템을 개발하는데 있다.

II. 연구방법

2. 오염부하지속곡선 (LDC) 소개

오염부하지속곡선 (Load Duration Curve; LDC)은 다양한 유량 조건의 수질 모니터링 자료로부터 오염부하량을 산정한 유량 지속 간격 (초과 확률)별 목표수질 대비 관측 부하량을 도식화 한 곡선으로, 유역의 유황 변화에 따른 수질 특성을 눈으로 쉽게 파악할 수 있고, 목표수질 초과 빈도 및 삭감 부하량에 대한 정보를 파악하기에 용이한 장점을 가지고 있으며, 점오염원 및 비점오염원 부하량 관리 기법으로 사용될 수 있다 (Nevada Division of Environmental Protection, 2003).

또한, 각 지류별 부하곡선을 작성하여 오염원의 직접적인 영향을 미치는 우선관리 지류 및 소하천 유역을 선정하여 보다 효율적인 점/비점오염원 저감 계획 수립 및 이행에 활용할 수 있다 (NIER, 2015).

기존 LDC 기법 적용에 관한 연구들 중 Han et al. (2007) 연구에서는 수정 TANK 모형을 이용하여 작성한 유황곡선을 기반으로 하여 부하지속곡선을 작성하고 전체 유황조건과 그에 대응하는 수질조건을 반영하여 유역의 상황을 개략적으로 평가할 수 있는 기법 제안 하였다. 각 단위유역별 목표수질달성 여부를 평가해보고 개략적인 유역관리의 방향으로서 낙동강 전체 유역을 점오염원 우선관리 단위유역과 비점오염원 우선관리 단위유역으로 분할하였으며, 이를 각 수질항목별로 도시하였다. Hwang et al. (2010)의 연구에서는 낙동강 최상류 유역인 황지천, 소도천, 철암천 지역의 유황 및 수질 자료 (BOD₅, TN, TP) 를 이용하여 부하지속곡선을 작성하였으며 수질 항목별로 부하량이 초과하는 유황 조건은 각기 다른 것으로 나타났다. 또한 연구 결과를 이용하여 유역에 적합한 BMPs 등을 제시하였으며 한국 실정에 맞는 부하지속곡선 적용에 대하여 논의하였다. Shin (2013) 연구에서는 한강유역의 14개 지점의 유황 및 수질 자료를 이용하여 부하지속곡선, 유황-부하량 곡선을 작성하였으며 이를 이용하여 각 유역의 부하량 특성을 분석하였다. 또한 부하량 배출 특성을 이용하여 유역 형태별/수질항목별 BMPs를 매우 자세하게 제시 하였고 제대로 된 이행평가를 위한 지속적인 모니터링 자료 확보에 대해 강조하였다.

LDC 방법의 적용은 FDC와 LDC를 작성하는 과정, LDC에 관측 자료를 도식화하는 과정으로 크게 구분되며 자세한 내용은 아래와 같다.

먼저 FDC를 작성하기 위해서는 대상 유역에서 측정한 특정 기간 유황자료를 입력하면 자동으로 최대 유황에서 최소 유황 순으로 정렬하고 아래와 같은 식 (1)을 이용하여 특정유황을 초과하는 일수를 백분율로 계산하여 그림으로 도식화한다.

$$\begin{aligned} \text{Percent of Days Flow Exceeded (\%)} \\ = \text{rank/the number of data} \times 100 \end{aligned} \quad (1)$$

LDC의 작성 방법은 일평균유황 자료를 이용하여 유황곡선 작성 후, 유황자료와 기준수질 자료를 식 (2)를 이용하여 작성한다. 다음으로 유황과 수질자료를 이용하여 부하량을 산정한 후 유황을 유황지속곡선의 유황자료와 비교하여 초과 부하량 백분율에 대응하는 초과 유황 백분율의 값을 결정한다.

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

3. 데스크탑 기반 LDC 평가 시스템 개발

본 연구에서는 데스크탑 기반의 LDC 평가 시스템이 실제 LDC 방법의 이용자가 입력자료는 최대한 쉽고 빠르게 입력할 수 있으며 결과자료를 매우 직관적이고 시각적으로 획득 할 수 있도록

록 구성하였다. 이를 위해 Open Source GIS인 DotSpatial을 활용하여 GIS기반 시스템 인터페이스를 개발하였고, FDC/LDC 분석을 위한 모듈과 미계측 지역에서 LDC를 분석할 수 있는 모듈을 개발하여 시스템에 탑재 하였다. 또한 유량 및 수질 자료는 시스템이 설치된 폴더의 DB에서 바로 불러와서 활용할 수 있는 형태로 구성하였고, 분석된 지점 간 비교를 위한 툴도 개발하여 해당 수계군에서의 지류 및 소하천 구역의 오염원 추적을 할 수 있도록 구성하였다.

4. 데스크탑 기반 LDC 평가 시스템 적용

본 연구에서는 개발된 LDC 평가 시스템이 FDC 및 LDC를 좀 더 효율적으로 작성할 수 있으며 오염총량관리에 효과적으로 사용될 수 있는지 평가하기 위해서 오염총량관리가 시행중에 단위구역들을 대상으로 시스템을 적용하였다.

적용 단위구역으로는 낙동강수계의 낙본 A, B, C, D, E, F 단위구역들을 대상으로 하였고 이 단위구역들에 대해 시스템을 적용하여 2007년 1월 1일부터 2012년 12월 31일 까지에 대해 FDC 및 LDC 분석을 실시하였다(Fig. 1). 또한 FDC 및 LDC 분석을 통해 어느 유량 구간에서 목표수질이 초과하고 있는지를 도출하고 목표수질 초과에 많은 기여를 하고 있는 지류를 분석하였다.

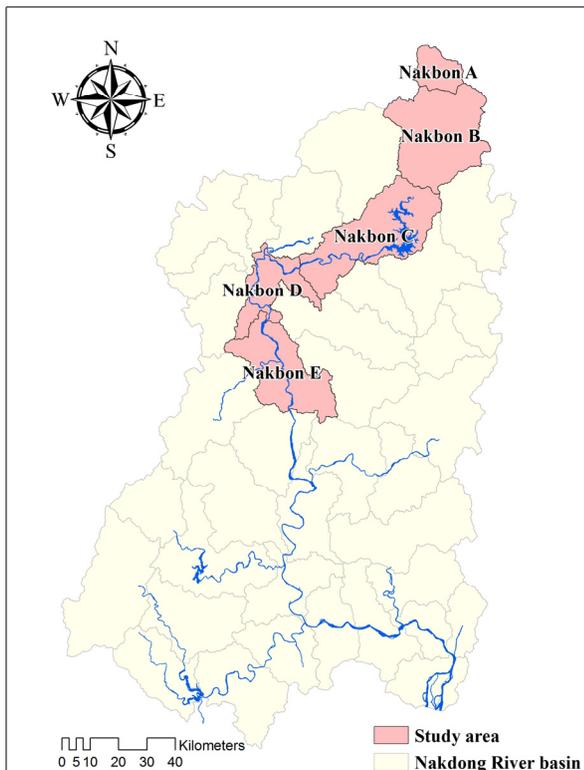


Fig. 1 Study area

III. 결과 및 고찰

1. 데스크탑 기반 LDC 평가시스템 개발 결과

가. 유량 및 수질 DB 구축결과

본 연구의 데스크탑 기반 LDC 평가 시스템이 우리나라 전국의 LDC를 자동으로 작성하고 오염총량관리 및 지류 오염총량관리 제도에 사용되기 위해서는 먼저 지속적이며 주기적으로 측정하고 있는 유량 및 수질 자료가 필요하다. 현재 환경부에서는 각 단위구역 및 단 지점과 시군 주요 경계 270개 지점(총량측정망)에서 8일 간격으로 유량 및 수질을 지속적이고 주기적으로 측정하고 있으며(Ministry of Environment, 2014), 국내에서 국가적으로 유량과 수질 두 개 다 동시에 모니터링을 하고 있는 지점은 이 총량측정망이 유일하다.

따라서 본 연구에서는 환경부 총량측정망 지점의 2007년부터 2012년까지의 유량 및 수질 정보를 시스템의 통합 Data Base(DB)로 구축하여 시스템의 사용자가 별도로 측정자료를 구축하지 않아도 자동으로 시스템에서 지정된 기간만큼 추출되어 LDC 작성에 사용될 수 있도록 하였다.

하지만 총량측정망 지점의 DB만으로는 지류에 대한 정보를 얻을 수 없기 때문에 시스템이 지류 오염총량관리에는 DB의 추가적인 구축이 필요하다. 현재 환경부 및 전국 시도 보건환경연구원, 수자원공사, 농어촌공사에서는 총량측정망과는 별개로 지류 1,675개 지점(일반측정망)에서 주기적인 수질 모니터링을 실시하고 있다(Ministry of Environment, 2014). 따라서 추가적으로 이러한 일반측정망 지점의 자료도 시스템의 DB로 구축하여 데스크탑 기반 LDC 평가 시스템을 지류 오염총량관리에도 사용할 수 있도록 개발하였다.

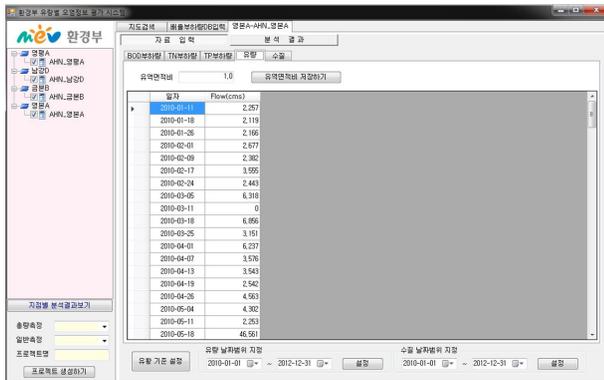
이와 더불어 사용자가 직접 전국 총량단위구역 및 소유역 별 점/비점 오염부하량 자료를 DB에 입력하여 저장할 수 있도록 하였고 DB로 저장된 오염부하량 자료를 오염부하 지속곡선 작성 시 해당 단위구역 또는 지류의 오염부하 특성에 관한 기본 정보를 제공할 수 있도록 하였다. 또한 이 DB는 사용자가 데스크탑에 본 시스템을 설치하게 되면 자동으로 데스크탑에 저장되도록 설계하였고 필요시 마다 자동으로 시스템 내 모듈들과 연계되어 사용될 수 있도록 하였다.

나. 데스크탑 기반 LDC 평가시스템 모듈 개발 결과

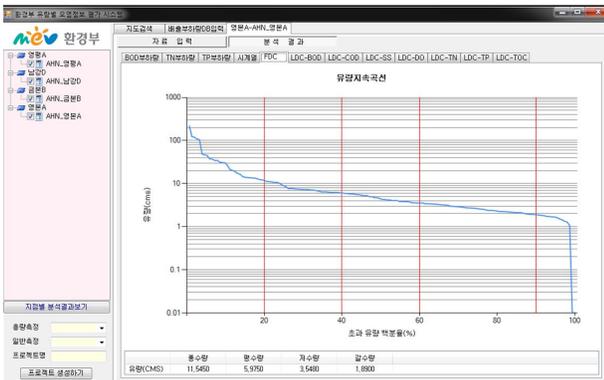
본 연구에서 개발된 데스크탑 기반 LDC 평가시스템은 크게 3가지(FDC 모듈, LDC 모듈, 유량 미계측 지역을 위한 FDC/LDC 모듈) 모듈로 구성하였다.

첫 번째는 FDC 모듈에서는 사용자가 입력해준 기간만큼의 해당 지점의 유량자료를 위에서 구축된 DB자료에서 자동으로 추출하여 식1을 이용하여 FDC 그래프를 자동으로 도출한다.

Fig. 2(a)은 시스템 통합DB에서 자동으로 추출된 대상지점의 유량정보를 나타내는 그림이다. 이 유량정보는 사용자에게 의해 수정될 수 있으며 Microsoft Excel프로그램과 호환되어 바로 Microsoft Excel프로그램에서 바로 복사하여 붙여넣기 기능이 가능하다. Fig. 2(b)는 시스템에서 FDC 모듈에서 자동으로 작성된 FDC 그래프를 나타낸 화면이며 사용자는 자동으로 작성된 FDC 그래프를 통해 연구대상지역의 유황현황을 분석할 수 있다.



(a) Flow data from Integrated-DB

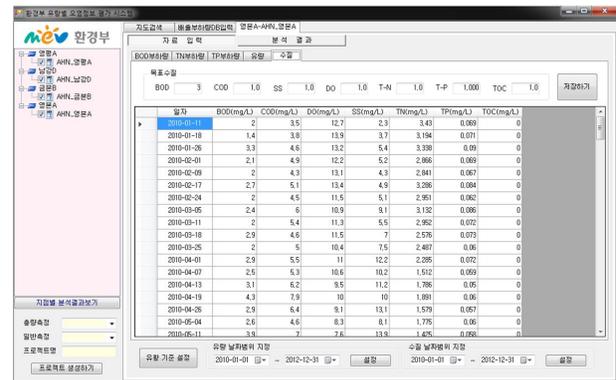


(b) FDC graph

또한 FDC 모듈에서는 연구자에 따라 주관적으로 평가하고 있는 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이상, 갈수량미만의 유량조건을 사용자의 사용 목적에 맞게 수정하여 FDC 그래프를 작성할 수 있으며 (Fig. 3), 시스템에서는 이에 대해 풍수량은 유량상위 20%, 평수량은 40%, 저수량은 60%, 갈수량은 90%로 기본 설정되어있다. 또한, 사용자의 이용 편의를 위하여, FDC그래프작성 후 사용자가 원하는 부분을 확대할 수 있는 기능이 포함되어있다.

두 번째로 LDC 모듈에서는 FDC모듈에서 FDC가 작성된 후 식 (2)의 방법과 같이 사용자가 입력하는 목표수질 (Target Concentration)을 FDC에 곱하여 LDC 그래프를 자동으로 작성한다 (Fig. 4(a)).

이후 사용자가 위에서 FDC 그래프를 작성하기 위해 입력해 주었던 기간을 기준으로 시스템 DB에서 유량 및 수질자료를 자동으로 추출하고 추출된 유량 및 수질자료를 이용하여 오염부하량을 산정한 후 추출된 유량을 LDC 그래프의 X축 (유량)과의 관계를 분석하여 산정된 오염부하량을 LDC 그래프에서 점으로 표현한다 (Fig 4(b)). 이 때 점으로 표현되는 수질자료들은 월별로 다른 모형으로 표현된다. LDC 그래프와 점으로 표현된 수질



(a) Water Quality data from Integrated-DB

Fig. 2 Flow Duration Curve Graph by FDC module in the system

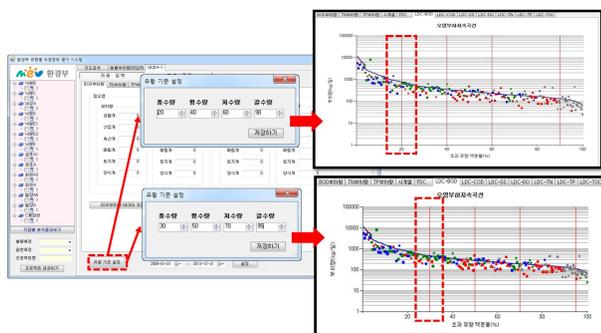
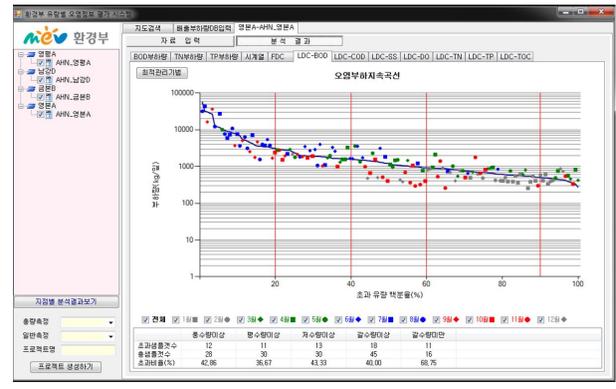


Fig. 3 Setting the flow group into 4 zones (Dry, Low-flow, Mid-flow, High-flow season)



(b) LDC graph

Fig. 4 Load Duration Curve Graph by LDC module in the system

자료를 분석하여 자동으로 유황구간별 수질 초과 개수 및 초과 비율에 대해 정량적으로 나타낸다.

시스템에서 작성되는 LDC 그래프는 Fig. 4(b)에서와 같이 월별/계절별 수질 데이터 분포를 각기 다른 색상으로 구분하여 수질 데이터의 분포 현황을 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 하였다. 특히 월별 자료를 계절별로 그룹핑하여 한 번에 확인할 수 있는 형태로 제시하여 월별/계절별 유황별 부하 특성 및 목표수질 초과여부를 효과적으로 평가할 있을 것으로 판단된다.

또한 LDC 모듈에서는 LDC 그래프와 함께 목표수질을 기준으로 유황별 샘플 개수 및 초과된 수질자료의 유황별 개수 및 초과비율을 사용자에게 제공하여 사용자가 목표수질 초과여부를 정량적으로 쉽게 분석할 수 있고 해당 단위유역 또는 소유역의 점/비점 오염원에 대한 생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 양식계, 매립계에 대한 오염부하량을 같이 제공한다.

유황 미세측지역을 위한 FDC/LDC 모듈에서는 유황자료가 존재하지 않는 일반측정망 지점에서 FDC와 LDC 그래프를 작성하기 위해 일반측정망 지점근처의 총량측정망 유황자료를 비유량법을 적용하여 유황을 산정할 수 있도록 하였다 (Fig. 5). 이 비유량법은 유황을 직접 측정할 수 없을 경우 대표유역을 선정하여 단위면적에 대한 평균 유출고를 산정하여 유황을 추정하는 방법이며 등질지역의 경우 유황은 집수역의 면적에 정비례한다는 가정을 전제로 한 것으로 여러 연구들을 통하여 그 전제가 입증되었다 (Lee et al., 2003).

일반적으로 비유량 산정공식으로 많이 사용되고 있는 공식은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며, 여기서 Q 는 계획지점의 유출량이고, Q' 는 기준지점의 유출량이며, A' 는 계획지점의 유역면적, A 는 기준지점의 유역면적이다.

$$Q = \frac{A'}{A} \times Q' \quad (3)$$

따라서 본 모듈에서는 위와 같은 방법으로 유황을 산정 한 후 FDC와 LDC 모듈에서와 같은 방법으로 각각 FDC, LDC 그래프를 작성하고 목표수질 초과 여부를 분석한다.

따라서 본 모듈을 이용한다면 우리나라 모든 일반측정망 지점의 FDC 및 LDC 분석이 가능하다.

다. 데스크탑 기반 LDC 평가시스템 인터페이스 개발

시스템의 인터페이스는 Open Source GIS인 DotSpatial을 활용하여 GIS 인터페이스를 개발하였다. Fig. 6는 본 연구에서 개발된 시스템의 인터페이스 첫 화면을 나타낸다. Fig. 6에서와 같이 인터페이스 우측 화면에서는 GIS 자료를 추가하고 제외할 수 있으며 시각적으로 총량측정망 및 일반측정망 지점의 위치와 유역도 및 하천도 등을 분석할 수 있다.

왼쪽 하단에서는 사용자가 다양한 LDC 시나리오 분석을 할 수 있도록 시나리오별 저장 가능한 메뉴를 추가하였고, 왼쪽 상단에 이러한 시나리오들을 동시에 보고 비교할 수 있는 화면을 구성하여 사용자가 시나리오별 분석을 쉽게 할 수 있다. 또한 이를 통해 어느 특정 지류가 목표수질 초과에 큰 기여를 하는 부분과 지류 간 오염원 추적을 시각적으로 분석할 수 있다.

2. 시스템 적용 결과

개발된 시스템을 이용하여 낙본 A, B, C, D, E 단위유역의 LDC 분석 결과, 낙본A, 낙본B 지점은 대체적으로 모든 유황 조건에서 목표수질을 만족하는 것으로 나타났으나 (Fig. 7), 낙본C에서 낙본D로 이어지는 구간의 (낙본D 유역) 풍수량 이상 유황 조건에서 목표수질을 초과하는 샘플 개수가 급증 하였다 (12개 → 22개) (Fig. 8; Table 1). 이는 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 낙본D

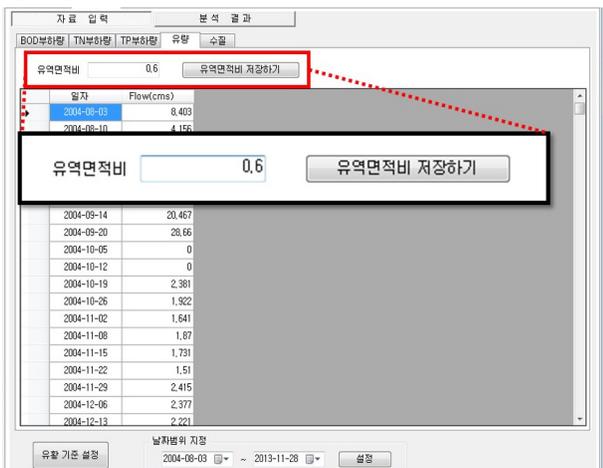


Fig. 5 Input menu for area-ratio in the system

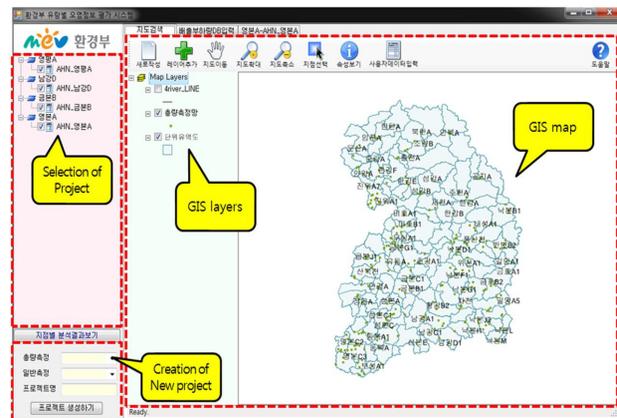
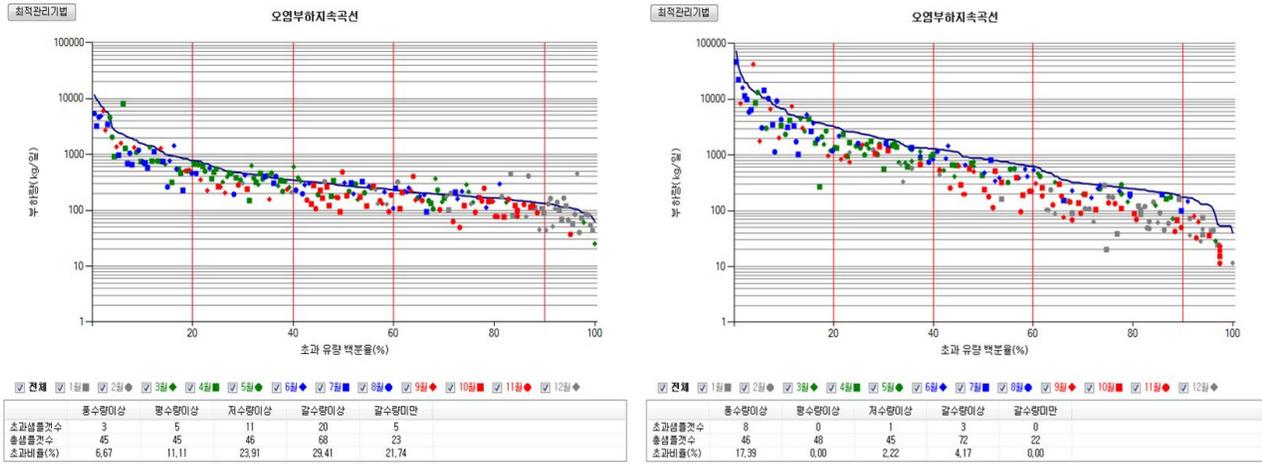


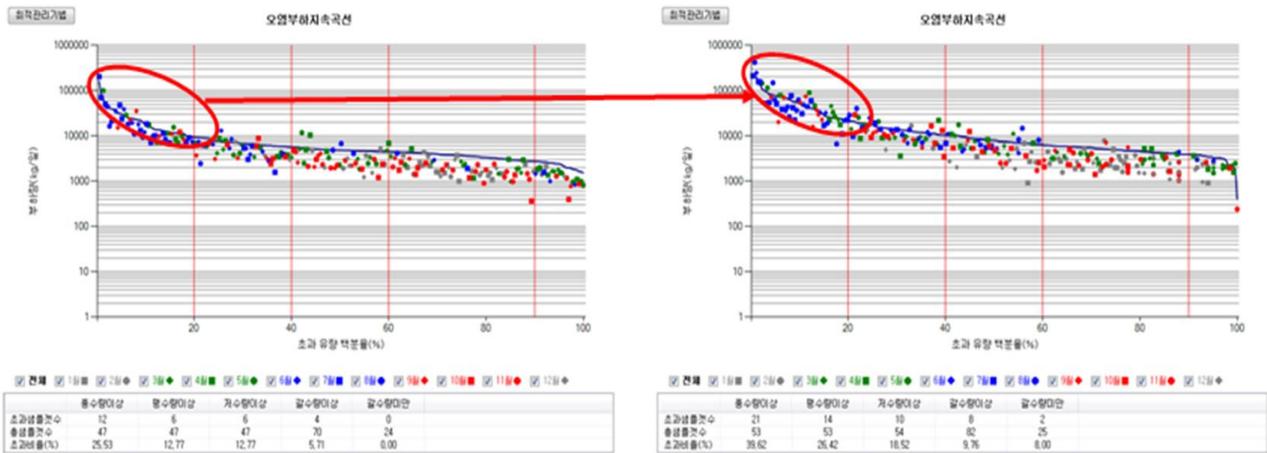
Fig. 6 Interface of Desktop-based LDC evaluation system



(a) Nakbon A

(b) Nakbon B

Fig. 7 Comparison LDC graph between Nakbon A and B (BOD₅)



(a) Nakbon C

(b) Nakbon D

Fig. 8 Comparison LDC graph between Nakbon C and D (BOD₅)

Table 1 Summary of daily runoff statistics for three stations

		Flow condition				
		High-flow	Moist-Condition	Mid-flow	Dr-Condition	Low-flow
Nakbon C	Num. of Exceed Sample	12	6	6	4	0
	Num. of Total Sample	47	47	47	70	24
	Excess-ratioz (%)	25,53	12,77	12,77	5,71	0,00
Nakbon D	Num. of Exceed Sample	22	14	10	8	3
	Num. of Total Sample	53	53	54	82	25
	Excess-ratio (%)	41,5	26,42	18,52	9,76	12,00
Nakbon E	Num. of Exceed Sample	22	14	10	8	3
	Num. of Total Sample	53	53	54	82	25
	Excess-ratio (%)	41,5	26,42	18,52	9,76	12,00

유역의 축산계 비점오염원이 가장 큰 원인이라고 판단된다.

또한, Table 1에서와 같이 낙본D에서 낙본E로 이어지는 구간간의 (낙본E 유역) 갈수량 이상 유량조건에서 목표수질을 초과하는 샘플 개수가 급증하였다 (8개 → 25개) (Fig. 10). 이는 Fig. 11에서 볼 수 있듯이 낙본E 유역의 생활계 점오염원이 가장 큰 원인이라고 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 사용자의 편의를 고려하고, 오염총량관리 제도에 유용하게 활용될 수 있는 데스크탑 기반의 LDC 평가시스템을 개발하였으며 이를 실제 유역에서 그 적용성을 평가하였다.

본 연구에서 개발된 시스템은 오염총량관리제도 적용에 있어 유역의 오염원 특성 파악을 용이하게 하고, 계절별·유역별 수질 및 부하량 평가를 가능하게 하여 특정 유황조건에 대한 부하량 규제기준을 마련할 수 있는 근거를 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 개발된 시스템은 인터페이스가 간단하고, 다소 복잡한 FDC 및 LDC 그래프 작성 과정을 자동으로 수행할 수 있으며 목표수질 초과 여부를 정량적으로 제시할 수 있기 때문에 오염총량관리 정책결정자와 같은 전문가 뿐 만 아니라 일반 사용자가 이용하기에 많은 이점이 있을 것으로 판단된다.

이와 더불어 본 연구에서 개발된 시스템은 오염원 추적조사, 유량 미계측 지역의 수질 및 부하량 분석 등이 가능하기 때문에 오염총량관리 외 대권역 및 중권역 물관리 기본계획과 같은 타 유역환경 정책에도 유용하게 사용될 수 있으며, 일반 시민들에 대한 정책 참여 및 수질 개선에 대한 이해도 증진 및 홍보 효과도 매우 클 것이라 판단된다.

하지만 개발된 데스크탑 기반의 LDC 평가시스템은 유량 미계측 지점에서 비유량법을 이용하여 FDC/LDC를 분석하기 때문에 유역의 대규모 하수처리장의 영향 등과 같은 유량관련된 불확실한 부분이 분석에 반영되지 못하는 단점이 있다. 따라서 향후 이러한 부분을 보완할 수 있는 간단한 유량 예측 모듈이 필요할 것으로 판단된다. 또한 유량 및 수질 DB를 사용자가 기간이 추가될 때 수동으로 추가해주어야 하는 단점이 있기 때문에 향후 환경부의 물환경정보시스템 DB와 실시간으로 연계될 수 있는 웹 기반의 LDC 평가시스템이 필요할 것으로 판단된다.

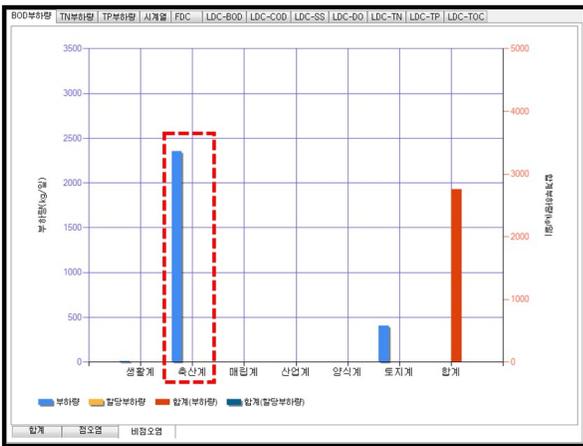


Fig. 9 Characteristics of Non-point Source pollution in Nakbon D (BOD₅)

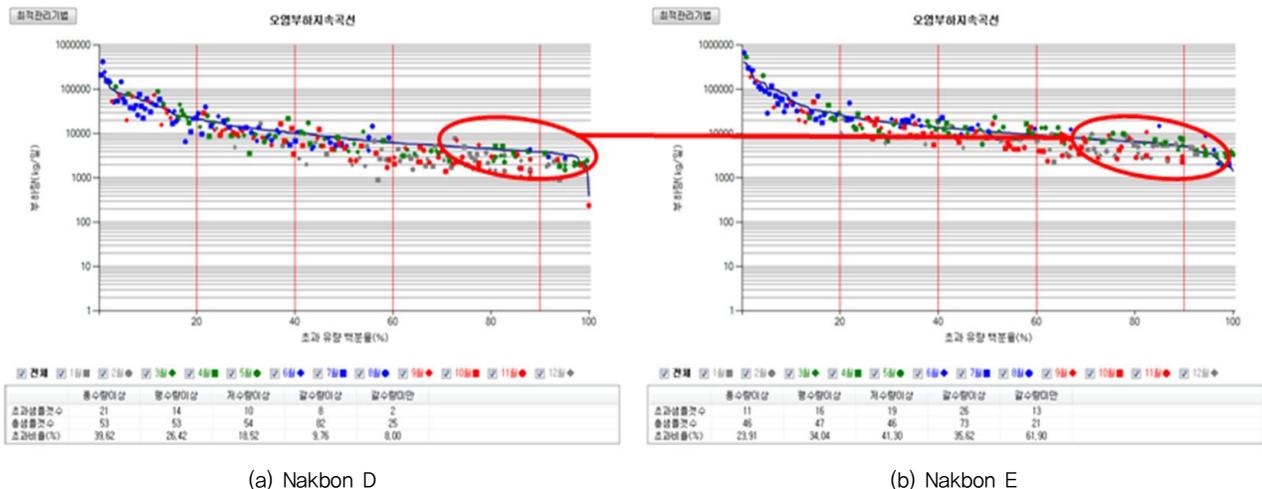


Fig. 10 Comparison LDC graph between Nakbon D and E (BOD₅)

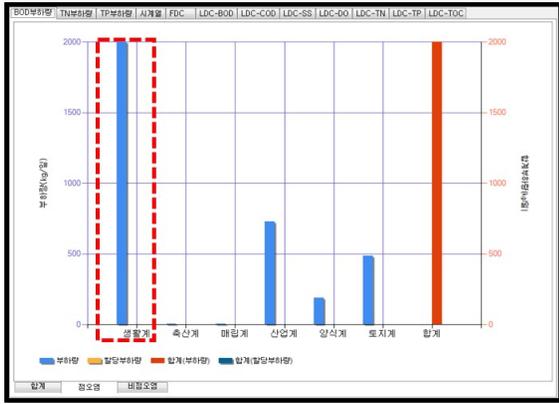


Fig. 11 Characteristics of Point Source pollution in Nakbon E (BOD₅)

REFERENCES

- Han, S., H. S., Shin, and S., Kim, 2007. Applicability of Load Duration Curve to Nakdong River Watershed Management. *Journal of Korean Society on Water Environment* 23(5): 620-627.
- Hwang, H. S., C. G., Yoon, and J. T., Kim, 2010. Application Load Duration Curve for Evaluation of Impaired Watershed at TMDL unit Watershed in Korea. *Journal of Korean Society on Water Environment* 26(6): 903-909.
- Hwang, H. S., B. K. Park, Y. S. Kim, K. J. Park, S. Cheon, and S. J. Lee, 2011. Research on the Applicability 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 Environment* 27(6): 885-895.
- Kim, J., B. A. Engel, Y. S. Park, L. Theller, I. Chaubey, D. S. Kong, and K. J. Lim, 2012. Development of Web-based Load Duration Curve System for Analysis of Total Maximum Water Quality Characteristics in a Waterbody. *Journal of Environmental Management* 97: 46-55.
- Kim, E., J. Ryu, H. Kim, Y. S. Kim, and D. S. Shin, 2015. Application of the Load Duration Curve (LDC) to Evaluate the Achievement Rate of Target Water Quality in the Han-River Watershed. *Journal of Korean Society on Water Environment* 31(6): 732-739.
- Lee, S. J., 2011. A Legal Study on Quantity Regulation System of Water-Quality Pollutants. *Korean Public Land Law Association* 52: 403-424.
- Lee, H. C. and E. T. Lee, 2003. A Study on the Channel Forming Discharge Estimation and the Hydraulic Geometry Characteristics of the Alluvial Stream. *Journal of Korea Water Resources Association* 36(5): 823-838.
- Ministry of Environment (MOE), 2010. Act on the improvement of water quality and support for residents of the riverhead of the Han river system. Act No.10335. Sejong, Korea.
- Ministry of Environment (MOE), 2014. Scheduling Plan for Water Quality Monitoring Site. 11-1480000-001223-10. Sejong, Korea.
- Nevada Division of Environmental Protection, 2003. Load Duration Curve Methodology for Assessment and TMDL Development. Reno, NV, USA, Available from: URL: <http://ndep.nv.gov/bwqp/loadcurv.pdf>
- National Institute Environmental Research (NIER), 2015. Development of Decision Support System and Study of Pilot Project Design and Evaluation to Implement Total Maximum Daily Load for Tributaries. 11-1480523-002254-01. Incheon, Korea.
- Park, J., and S. Y. Oh, 2012. Methodology for the Identification of Impaired Waters Using LDC for the Management of Total Maximum Daily Loads. *Journal of Korean Society on Water Environment* 28(5): 693-703.
- Park, J., K. Kim, J. Jung, K. Hawng, M. Moon, S. Ham, and B. Lim, 2013. Water Quality Characteristics Evaluation by Flow Conditions Using Load Duration Curve. *Journal of Environmental Impact Assessment* 22(4): 319-327.
- Shin, G. Y., 2013. development and assessment of load duration curve for total water pollution loading system. Ph.D. diss., Chuncheon, Korea: Kangwon University.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA), 2007. An Approach for Using Load Duration Curve in the Development of TMDLs. EPA 841-B-07-006. Washington D.C. USA.
- Yun, S., J. Ryu, and J. Oh, 2013. Water Quality Management Measure for TMDL Unit Watershed Using Load Duration Curve. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater* 27(4): 429-438.