

ORIGINAL ARTICLE

수질오염총량관리 단위유역 장기유황곡선 구축 -낙동강수계를 대상으로-

김경훈 · 권현각 · 안정민 · 김상훈 · 임태효 · 신동석 · 정강영*

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

Development of Long Term Flow Duration Curves for the Management of Total Maximum Daily Loads - in the Nakdong River Basin -

Gyeong hoon Kim, Heon gak Kwon, Jung min Ahn, Sanghun Kim, Tae hyo Im,
Dong seok Shin, Kang-Young Jung*

Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Goryeong 40438, Korea

Abstract

For the development of flow duration curves for the management of 41 Total Maximum Daily Load (TMDL) units of the Nakdong River basin, first, an equation for estimating daily flow rates as well as the level of correlation (correlation and determination coefficients) was extrapolated through regression analysis of discrete (Ministry of Environment) and continuous (Ministry of Land, Infrastructure and Transportation) measurement data. The equation derived from the analysis was used to estimate daily flow rates in order to develop flow duration curves for each TMDL unit. By using the equation, the annual flow duration curves and flow curves, for the entire period and for each TMDL unit of the basin, were developed to be demonstrated in this research. Standard flow rates (abundant-, ordinary-, low- and drought flows) for major flow duration periods were calculated based on the annual flow duration curves. Then, the flow rates, based on percentile ranks of exceedance probabilities (5, 25, 50, 75, and 95%), were calculated according to the flow duration curves for the entire period and are suggested in this research. These results can be used for feasibility assessment of the set values of primary and secondary standard flow rates for each river system, which are derived from complicated models. In addition, they will also be useful for the process of implementing TMDL management, including evaluation of the target level of water purity based on load duration curves.

Key words : Daily flow estimation, Flow duration curve, Regression analysis, TMDLs

1. 서 론

수질오염총량관리제(Total Maximum Daily Loads,

TMDLs)는 유역으로부터 배출되는 오염부하량을 구간별 이행 가능한 목표수질(Target Water Quality, TWQ)을 사전에 설정하고, 최종년도(단계 내)의 목표

Received 3 June, 2017; Revised 10 July, 2017;

Accepted 11 July, 2017

*Corresponding author: Kang-Young Jung, Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, NIER, Goryeong 40438, Korea

Phone : +82-54-950-9760

E-mail: happy3313@korea.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수질을 달성할 수 있도록 오염부하량을 할당하여 관리하며, 총량관리 계획기간이 종료되면 단위유역에 대한 할당부하량 준수여부 및 목표수질 달성도 등을 평가한다(MOE, 2013). 그러나 단위유역의 수질은 유역으로부터 배출되는 오염부하량 뿐만 아니라 하천의 유량조건에 따라 다양하게 변화된다. 따라서 목표수질 달성여부 등을 평가할 경우에는 하천 유량변화에 따른 수질영향을 고려하여 평가하여야 한다. 기준유량을 설정하거나 목표수질 등을 평가하기 위해서는 총량관리 단위유역별 유량변화를 분석한다. 하천의 전체 유량조건에 대한 유량변화를 분석하기 위한 방법으로서 유황곡선(Flow Duration Curve, FDC) 기법이 있다. 이 기법은 수역의 장단기 유량변화 분석 및 수질변화 요인규명 등을 위한 중요한 도구로 사용된다(Vogel and Fenessey, 1994). 국토교통부에서는 하천의 수문관측을 위하여 전국 주요 하천의 일단위 환산유량을 측정·생산하고 있으므로(WAMIS, 2016), 하천 주요지점에서의 유황곡선을 작성할 수 있다. 그러나 기존의 하천 유량측정지점은 대부분 총량관리 단위유역과 일치하지 않아 이 측정지점의 유황곡선을 총량관리에 직접 적용하기가 어려운 실정이다. 4대강 수계에서는 수질보전대책 수립을 위한 수질모델링 및 오염총량관리 기준유량 설정 등에 활용하기 위하여 2004년 8월부터 총량관리 유량측정망을 구축하여 유량을 측정하여 오고 있다(WIS, 2016). 현재까지 총량관리를 위해 사용하는 유황곡선은 대부분 유역모형을 적용하여 모의한 일단위 유량자료를 사용하여 작성하고 있다. 제2단계 총량관리 기준유량 설정연구 또한 SWAT, DAWAST 및 TANK 모형을 적용하여 모의하였으며(NIER, 2006a, 2006b, 2006c), 그 외 대다수의 연구들이 유역모형을 적용하여 일단위 유량자료를 생산하고 있다(Kim et al., 2005; Kim and Kim, 2007; Han et al., 2007; Kim and Kim, 2009; Hwang et al., 2010; Jang et al., 2010). 이와 같이 유역모형에 의한 일단위 유량 모의방법은 모형에 요구되는 방대한 기초자료 및 전문적인 검·보정과정이 필요로 함에 따라 보편적으로 적용하기는 어려운 방법이다. 그러므로 총량관리 과정에서 유황곡선의 활용이 보편적으로 이루어지도록 하기 위해서는 총량관리 단위유역별 유황곡선을 보다 간편하게 작성할 수 있는 방법이 필요

하다. 특히, 총량관리 단위유역과 같이 부분계측이 이루어지는 지역에서는 연속적인 측정이 이루어지는 하천유량 측정망과의 연계를 통하여 유황곡선을 작성할 수 있다. 이와 같은 연구들은 2010년 이후부터 활발히 연구되고 있으며, 본 연구의 전제조건은 부분계측 유역에 대한 장기유황곡선(Long term flow duration curve)을 작성하기 위해서는 장기기간(5년 또는 10년 이상) 연속적이며 정상적으로 측정된 유량자료를 확보할 수 있어야 한다는 것이다(GRI, 2010; Park and Oh, 2012; Park et al., 2012; Kim et al., 2014).

본 연구에서는 낙동강수계 41개 단위유역을 대상으로 하천유량 측정망과 총량유량 측정망 사이의 연계성을 분석하여 단위유역의 장기유황곡선 작성을 위한 일유량 산정 회귀식을 도출하여 간편하게 총량관리 유황곡선을 작성할 수 있는 방법론을 제시함으로써 총량관리 발전을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 분석 자료와 방법

2.1. 연구대상유역

본 연구의 대상유역은 낙동강수계 총량관리 지역으로 유역면적은 약 23,817 km²이고 유로연장이 521.5 km로서 남한 국토의 1/4를 차지하고 있으며, 토지이용현황은 산지가 67.5%, 목초지가 0.9%, 농경지가 23.5%, 대지가 4.0%, 나지가 1.3%, 수체 2.8%로 대부분의 토지이용은 산지와 농경지이다. 수계구간은 낙동강 발원지인 강원도 태백시(낙본A)로부터 낙동강하구언인(낙본M), 서낙동강 말단지점(낙본N)까지 총 41개의 총량관리 단위유역으로 구성되어 있으며, 각 단위유역 말단지점에서 2005년 1월부터 2015년 12월까지 총 12년간 측정된 평균 8일 간격의 유량자료(WIS, 2016)와 기존의 하천/댐/보 유량지점에서 생산된 일단위 유량자료(WAMIS, 2016)를 이용하였다.

2.2. 총량관리 유량측정 방법

유량측정은 수질오염공정시험법의 하천유량측정 방법과 수문관측매뉴얼 등에 일반적인 유량측정방법을 준용하였다. 특히 유량측정기준은 하천유량측정지침(2004)에서 제시하는 등유량 5%내의 측선배분, 최소

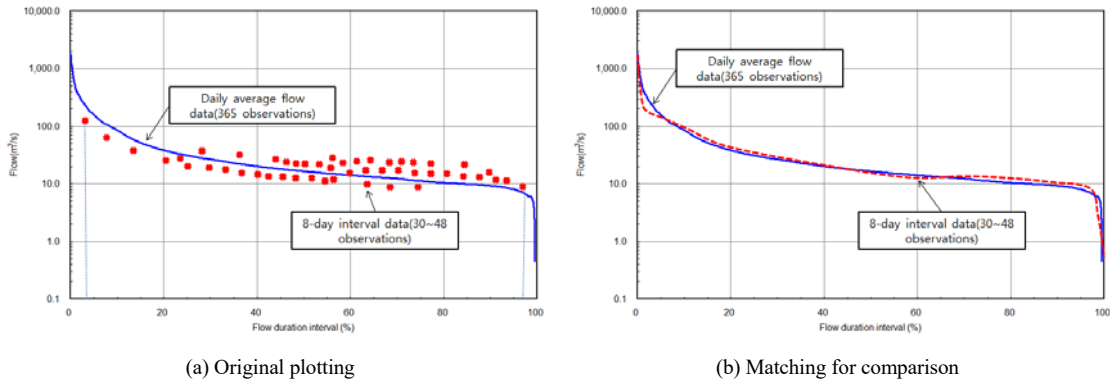


Fig. 1. The comparison of daily & 8-day interval flow FDC.

측정시간 40 sec 이상, 0.2 m/sec 미만 저유속일 경우 120 sec 이상 등의 지침을 최대한 준수하여, 각 측정지점의 하상 및 하천지형학적 특성에 적합하도록 구간을 구획하여 대상 지점에서의 수심과 하폭을 측정하고, 유속도 상기의 자료에 준하여 측선구간을 배분하여 회전식 유속계(Price AA, LV and PG type)를 이용하여 도섭법과 추내립을 이용한 교량법으로 측정하여 실측유속과 단면적으로 유량을 산정함으로써 신뢰수준 95%에서 평균 5% 내외의 불확실도를 가진 신뢰도 높은 유량측정 성과를 확보하였다. 조사대상지점의 유량은 유속계를 이용한 실측을 원칙으로 하되 조사지점의 수리적, 지형학 특성(접근성) 및 기존 생산 자료의 활용성 등에 따라 유량산정 방법이 다른 지점 일부 포함되어 있다.

2.3. 총량관리 유량자료의 특성

총량관리 단위유역에서는 연중 평균 8일 간격으로 매년 연속유량을 측정하고 있다. 그러나 총량관리 단위유역에서 측정된 유량자료를 이용하여 유황곡선을 작성하는 데는 여러 가지 한계점이 존재한다. 일단위 유량측정자료를 사용하여 작성한 전형적인 유황곡선은 일반적으로 S자 형태로 나타난다(Vogel and Fenessey, 1994). 이와는 달리 총량관리 유량자료에 의한 유황곡선(제한된 유황·수문연계곡선)은 측정자료의 제한으로 인하여 일반적인 유량변화 패턴이 잘 나타나지 않으며 미측정일에 대한 유황을 파악하기가 곤란하다. 또한 총량관리 단위유역에서 측정된

유량은 순간유량 측정값이므로 특히 유량변동이 심한 홍수기 측정일에 대한 대표성을 완전하게 나타내기에는 한계를 지니고 있다. 총량관리 단위유역에서 측정하는 8일 간격의 유량자료는 Fig. 1의 (a)와 같이 풍수량에서 저수량 구간(초과확률 20~80%)까지 측정된 자료가 대부분이며, 홍수량 또는 갈수량 구간에 해당하는 측정치는 많지 않은 경우가 대부분이다. 최적의 방법은 등유량지속간격(Equal flow duration interval)으로 측정하는 것이 가장 이상적이나 현실적으로 불가능하며, Fig. 1의 (b)에서 보는 바와 같이 전체 유량구간 중에서 양극단의 유량구간(그림의 점선)인 고수량과 갈수량 구간에서는 유량이 실측되지 않는 구간이 발생하며, 특히 고수량 구간에서 그 현상은 두드러지게 나타난다. 이러한 현상은 총량관리 유량측정지점에서는 도섭법 등 유량측정이 수동적인 방법으로 이루어지므로 홍수기의 유량측정이 매우 어렵기 때문이다. 그러므로 총량관리 유량자료에 의한 유황곡선은 전체적인 유량범위를 표시하기에는 한계점이 있다 (Park et al., 2012).

2.4. 총량관리 유황곡선 작성

일반적인 유황곡선을 작성하기 위해서는 일단위의 연속적인 유량측정자료가 필요하다. 일단위 유량자료를 확보할 수 있는 방법으로는 365일 연속 일유량 측정법, 유역모델링에 의한 일단위 유량 모의법 및 통계적 방법에 의한 일단위 유량 추정법 등을 들 수 있다. 365일 동안 연속적으로 일유량이 측정되고 있는 지점

에서는 실측자료를 직접 이용하여 유황곡선을 작성하면 되지만, 부분계측 유역이나 미계측 유역에서는 보통 통계식 이용법이나 유역모델링 기법에 의하여 일유량을 산정한다. 365일 실측자료를 이용하는 방법은 가장 확실하고 정확한 방법이나, 현재 총량관리 단위 유역에서는 8일 간격으로 유량을 측정하고 있으므로 현실적으로 이 방법을 적용하기는 어렵다.

유역모형에 의한 일단위 유량 모의법은 미계측지역의 유황곡선을 작성하는데 주로 이용하는 방법으로서 이 방법은 전문적인 인력 및 시간과 비용이 많이 든다는 것이다. 통계적 방법에 의한 일단위 유량 추정법은 계측지역과 미계측지역 또는 계측지역과 주기적 측정지역 사이의 통계적 관계식에 의하여 일단위 유량을 추정하는 방법으로서, 이 방법은 유역의 지형적 특성이나 수리수문학적 조건 등이 유사한 지역에서 간편하게 적용할 수 있다(Park et al., 2012). 지역 간의 기상조건과 지형 및 지질 등의 유역특성이 비슷하면 수문학적 동질성을 갖게 된다. 4대강 수계에서는 총량관리 단위유역의 8일 간격 유량측정지점과 국토부 일단위 하천 유량측정지점이 운영되고 있으므로, 두 지역간의 측정지점이 인접해 있거나 유역특성이 유사한 지역에서는 거의 유사한 유황조건을 나타낸다고 볼 수 있다(Park et al., 2012; Kim et al., 2014).

이와 같은 조건을 전제로 하여 총량관리 단위유역에서 측정하는 8일 간격의 유량측정자료와 인근지역에 위치한 기존 하천 유량측정지점(자료의 신뢰성, 축적도 면을 고려할 시 최대 상관성을 나타내는 일유량 비교지점)에서 측정한 일단위 유량측정자료 사이에 회귀분석을 실시하고 이 회귀분석으로부터 도출된 관계식에 의하여 일단위 유량을 추정하고 이 자료를 이용하여 유황곡선을 작성하였다.

2.5. 총량관리 유황곡선 작성절차

총량관리 단위유역의 8일 간격 유량측정자료와 기존 하천 유량측정지점의 일단위 유량측정자료를 비교하여 일유량 추정식을 도출하고, 이 일유량 자료를 바탕으로 총량관리 단위유역에 대한 유황곡선을 다음과 같은 절차에 따라 작성한다.

총량관리 유황곡선을 적성하기 위해서는 먼저, 기존 하천유량측정지점에 대한 현황을 검토한다. 이것

은 단위유역 내에 몇 개의 유량측정지점이 어디에 위치하여 연도별로 어떻게 유량이 측정되고 있는가를 파악하기 위한 것이다. 둘째, 유량측정지점에 대한 현황을 검토한 후, 유량이 정상적으로 측정되었는지에 대한 유량 측정상태를 검토한다. 유량 측정상태의 적합성 기준은 연도별 유량관측 누락일수 및 동일 유량 측정일수 등을 정하여 검토한다. 셋째, 유량측정상태를 검토하며, 적합성 기준에 부합되는 지점이 나타날 때까지 이 과정을 반복한다. 넷째, 유량 측정상태가 정상적이라고 판단되면 총량관리 단위유역의 8일 간격 유량측정자료와의 사이에 회귀분석을 실시한다. 이때 회귀식은 총량관리 유량측정지점과의 유량변화 관계 등을 검토하여 적합한 식을 선정한다. 회귀분석결과 일정 수준 이상의 상관성을 나타내는 지점을 일유량 비교지점으로 선정한다. 일유량 비교지점이란 총량관리 단위유역의 유량측정지점과 유량 변화패턴이

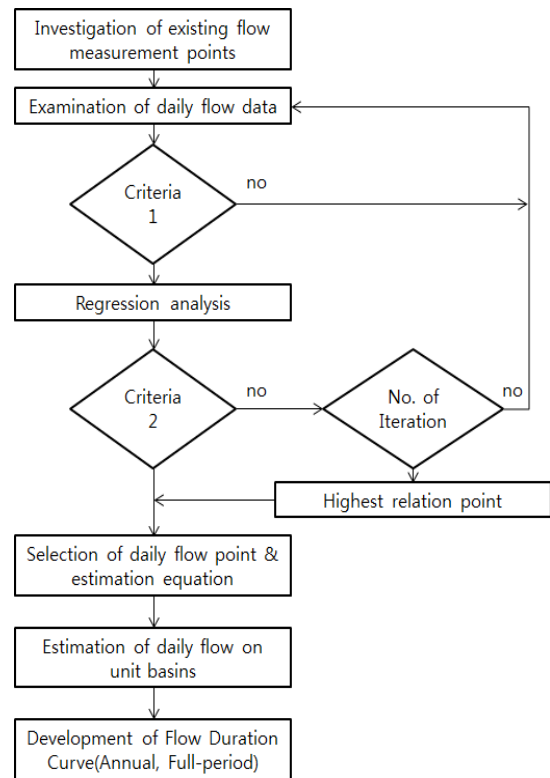


Fig. 2. The procedure of FDC development.

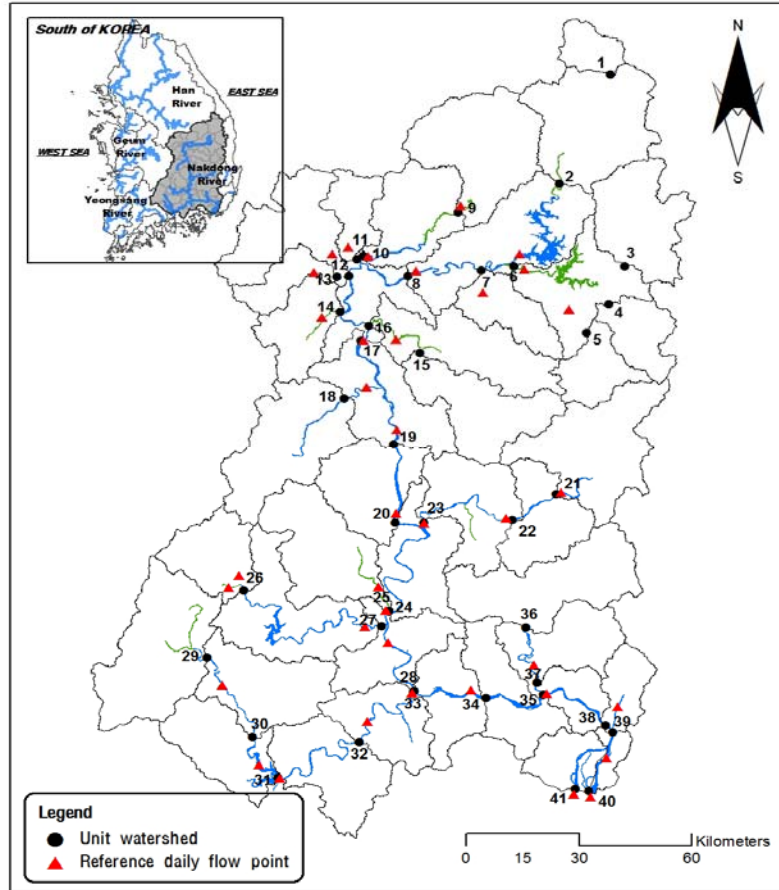


Fig. 3. Study area and stream flow measurement points in Nakdong river basin.

유사하여 상호간의 유량변화를 직접 비교할 수 있는 기존 하천유량측정지점을 말한다. 상관성의 적합성 기준은 기존 하천유량측정지점의 유량측정현황 등을 고려하여 적정수준의 상관계수값 또는 결정계수값 등으로 정한다. 최인접지점 또는 그 다음 인접지점의 상관계수값 등이 적합성 기준에 부합되지 못하면 다른 인접지점들을 대상으로 하여 다시 반복하여 유량 측정상태 검토 및 회귀분석을 실시한다. 회귀분석 반복 회수는 단위유역 내 또는 인근 유량측정지점 수 등을 참고하여 적절하게 설정하며, 모든 지점에서 적합성 기준에 부합되지 못할 경우에는 검토지점 중 상관계수 등이 가장 높은 지점을 일유량 비교지점으로 선정한다. 다섯째, 일유량 비교지점으로 선정된 지점과 총

량관리 유량측정지점 사이에서 도출된 회귀식을 총량 관리 단위유역에 대한 일유량추정식으로 한다. 이와 같이 도출된 회귀식에 의하여 단위유역별 일단위 유량을 추정하고, 추정된 일단위 유량자료를 사용하여 총량관리 단위유역별 유황곡선을 작성하게 된다(Fig. 2 참조).

3. 결과 및 토의

3.1. 하천 유량측정지점 현황 및 일유량 비교지점 선정

기존 하천유량측정지점에 대한 현황을 검토하고 일유량 비교지점을 선정한 결과, 낙동강수계 단위유역별 최종 선정된 일유량 비교지점은 Fig. 3과 같다.

낙동강 수계 내 일유량 비교지점으로 총 45개 지점을 검토하였으며 최종적으로 환경부 유량측정지점과 최종 비교지점으로 37개 지점이 선정되었다. 선정된 지점들에서 2004년부터 2015년까지 총 12년 연속유량 자료를 확보할 수 있는 지점은 11개 지점으로 조사되었다. 또한 12년 중 10~11년간 측정된 지점은 4개 지점, 6~9년간 측정된 지점은 19개 지점, 5년 미만 측정된 지점은 7개 지점으로 조사되었다. 일유량 비교지점 선정기준은 우선 수문학적 연계지점인 하천유량측정 지점들의 연속유량측정상태를 기준으로 1·2차 기준 유량 측정기간 동안 장기간의 연속유량측정자료를 확보할 수 있으며, 추후 자료 연장이 지속적으로 이루어질 수 있는 지점으로 선정하였으며, 일유량 비교지점 기준에 부합한 지점을 대상으로 총량관리 유량측정지점과의 사이에 대수변환 선형회귀분석을 실시하였다. 통상적으로 상관계수(R)의 절대값이 0.5 이상이면 두 변수는 어느 정도 관련이 있다고 볼 수 있으며, 0.7 이상이면 연관성이 깊다고 말할 수 있다(NIER, 2012). 회귀분석의 상관성 기준은 결정계수(R^2) 0.7 이상으로 설정하였으며(Park et al., 2012), 그 이상의 지점은 상관성이 우수한 것으로 판단하였다.

3.2. 총량관리 단위유역 일유량 추정식

낙동강수계 41개 단위유역의 8일 간격 유량자료와 일유량 비교지점의 일유량자료에 대한 대수 선형회귀 분석결과를 Table 1과 같다. 회귀식은 두 지점간의 실제 자료에 대수변환한 선형회귀식($Y=a+bX$)을 사용하였다. 그 이유는 낙동강수계 단위유역의 유량변화 패턴이 대수변환값에서 직선형으로 나타났기 때문이다. 연도별 유량측정 상태 등을 검토하여 정상적이지 않은 유량자료는 이상치로 처리하였으며, 각 지점에 따라 최소 4년에서 최대 12년 동안의 유량자료를 사용하였다. Table 1은 살펴보면, 낙본A 등 11개 지점은 1·2차 총량관리 전 기간인 12년간의 유량자료를 사용하였으며, 위천A 등 4개 지점은 10~11년간의 유량자료, 반변A 등 19개 지점은 6~9년간 유량자료, 낙본C 등 7개 지점은 5년 미만의 유량자료를 사용하여 회귀분석을 실시하였다. 분석결과 낙동강수계의 낙본A 등 8개 지점(평균 결정계수 = 0.617)을 제외한 총 33개 단위유역에서 결정계수 0.7 이상으로 나타나고 있

으며, 이 지점의 평균 결정계수 값은 약 0.864로 나타났다. 이와 같은 결과로 볼 때, 총량관리 단위유역과 일유량 비교지점 사이에 상관성이 일정수준(0.7) 이상으로 분석되어, 본 논문에서 제안한 회귀식을 낙동강수계 총량관리 단위유역별 일유량 추정식으로 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

앞 절에서도 언급하였듯이 총량관리 유량자료는 연중 평균 8일 간격으로 매년 연속측정하고 있으나, 등유량 지속간격으로 연속측정을 하고 있지 않음에 따라, 특히 홍수량(초과확률 26.0%) 이상과 갈수량(97.3%) 이하구간의 유량값을 적절하게 산정하지 못하는 부분이 존재할 수 있다. 이와 같은 결과는 이 두 구간의 실측조사 결과가 많지 않은 이유이며, 특히 극한 홍수기/갈수기의 경우는 그 오차가 분명하게 나타날 수 있어 사용에 주의를 요한다. 하지만 환경부에서 요구하는 총량관리 기준유량은 평수량(50.7%), 저수량(75.3%)에 해당하는 값으로 통계적 회귀식으로 추정된 기준값을 사용하는데 크게 무리가 없을 것으로 판단된다.

3.3. 총량관리 유향곡선

3.3.1. 연도별 유향곡선(Annual FDC)

총량관리 기준유량을 산정하기 위해서는 일정기간 동안의 연도별 유향곡선이 필요하며, 연도별 유향곡선을 바탕으로 해당기간 동안의 주요 기준유량을 산정한다. 오염총량관리 기본방침에는 과거 10년간 평균평수량 또는 평균저수량을 기준유량으로 사용하도록 규정되어 있다. 본 연구에서는 현재까지 축적된 12년간의 총량관리 단위유역 유량자료를 이용하여 연도별 유향곡선을 대수 선형회귀 추정식을 이용하여 작성하였다. Fig. 4는 낙동 낙본A 단위유역에 대한 2004년부터 2015년까지 연도별 구축된 유향곡선을 나타낸 것이다. 이와 같은 연도별 유향곡선으로부터 연도별 주요 유향시기 유량을 구하여 12년 동안의 평균 주요 유향시기 유량을 직접 산정할 수 있다. 낙동강수계 총 41개 단위유역의 2004년부터 2015년까지 연도별 유향곡선으로부터 과거 12년간의 평균 평수량, 평수량, 저수량 및 갈수량을 산정한 결과를 요약하면 Table 2와 같다.

Table 1. The result of regression analysis between daily and 8-day interval flow data

No	Unit watershed	Reference daily flow point	Year of daily flow data used	Period	Regression analysis		
					Equation	R	R ²
1	Nakbon-A	Andong dam inlet	'04~'15	12	Y=0.632X-0.296	0.805	0.649
2	Nakbon-B	Andong dam inlet	'04~'15	12	Y=0.789X-0.002	0.730	0.533
3	Banbyeon-A	Unsan	'10~'15	6	Y=0.755X+0.480	0.839	0.704
4	Yongjeon-A	Giran	'09~'15	7	Y=0.762X+0.073	0.913	0.834
5	Giran-A	Giran	'09~'15	7	Y=0.859X+0.051	0.959	0.919
6	Banbyeon-B	Imha	'10~'15	6	Y=1.557X-1.042	0.943	0.889
7	Micheon-A	Unsan	'10~'15	6	Y=0.942X+0.064	0.903	0.815
8	Nakbon-C	Gudam	'12~'15	4	Y=1.023X-0.046	0.988	0.976
9	Naeseong-A	Joje	'08~'15	8	Y=0.897X+0.136	0.919	0.845
10	Naeseong-B	Hyangseok	'08~'15	8	Y=0.961X+0.044	0.957	0.917
11	Geumcheon-A	Sanyang	'09~'15	7	Y=0.760X+0.157	0.820	0.673
12	Yeonggang-A	Jeomchon	'10~'15	6	Y=0.790X+0.239	0.922	0.850
13	Ian-A	Ian	'10~'15	6	Y=0.645X+0.117	0.783	0.613
14	Byeongseong-A	Dongmoon	'10~'15	6	Y=1.025X+0.353	0.934	0.873
15	Wicheon-A	Yonggok	'05~'15	11	Y=0.807X-0.249	0.767	0.588
16	Wicheon-B	Yonggok	'05~'15	11	Y=0.807X+0.082	0.865	0.748
17	Nakbon-D	Nakdong	'04~'15	12	Y=0.880X+0.247	0.895	0.801
18	Gamcheon-A	Seonsan	'05~'15	11	Y=0.771X+0.127	0.899	0.809
19	Nakbon-E	Gumi	'04~'15	12	Y=0.967X+0.070	0.901	0.812
20	Nakbon-F	Seongju	'05~'15	11	Y=1.008X-0.041	0.894	0.800
21	Geumho-A	Geumho	'08~'15	8	Y=1.013X-0.030	0.855	0.732
22	Geumho-B	Dongho	'11~'15	5	Y=0.851X+0.343	0.930	0.865
23	Geumho-C	Seongseo	'04~'15	12	Y=0.729X+0.377	0.835	0.697
24	Nakbon-G	Ibang	'08~'15	8	Y=1.006X-0.064	0.883	0.780
25	Hoecheon-A	Gaejin2	'10~'15	6	Y=0.926X+0.128	0.922	0.850
26	Hwanggang-A	Geochang1+Geochang2	'10~'15	6	Y=0.888X+0.135	0.900	0.811
27	Hwanggang-B	Jukgo	'07~'15	9	Y=0.908X+0.188	0.931	0.867
28	Nakbon-H	Jeokpogyo	'04~'15	12	Y=0.881X+0.292	0.862	0.744
29	Namgang-A	Sancheong	'04~'15	12	Y=0.760X+0.258	0.725	0.526
30	Namgang-B	Namgang dam inlet	'04~'15	12	Y=0.905X+0.000	0.952	0.906
31	Namgang-C	Namgang main dam outlet	'04~'15	12	Y=1.000X+0.000	1.000	1.000
32	Namgang-D	Jeongam	'04~'15	12	Y=0.913X+0.164	0.943	0.890
33	Namgang-E	Georyonggang	'12~'15	4	Y=1.000X+0.000	1.000	1.000
34	Nakbon-I	Imhaejin	'04~'15	12	Y=0.965X+0.104	0.901	0.811
35	Nakbon-J	Samnangjin-Miryang2	'12~'15	4	Y=1.005X+-0.025	0.990	0.980
36	Miryang-A	Sangdong	'11~'15	5	Y=0.948X+0.096	0.987	0.975
37	Miryang-B	Miryang2	'07~'15	9	Y=0.926X+0.018	0.928	0.861
38	Nakbon-K	Gupo-Yangsan	'11~'15	5	Y=0.887X+0.277	0.924	0.853
39	Nakbon-L	Gupo	'11~'15	5	Y=0.798X+0.467	0.813	0.661
40	Nakbon-M	Nakdong estuary barrage	'08~'15	8	Y=1.000X+0.000	1.000	1.000
41	Nakbon-N	Noksan gate	'09~'15	7	Y=1.000X+0.000	1.000	1.000

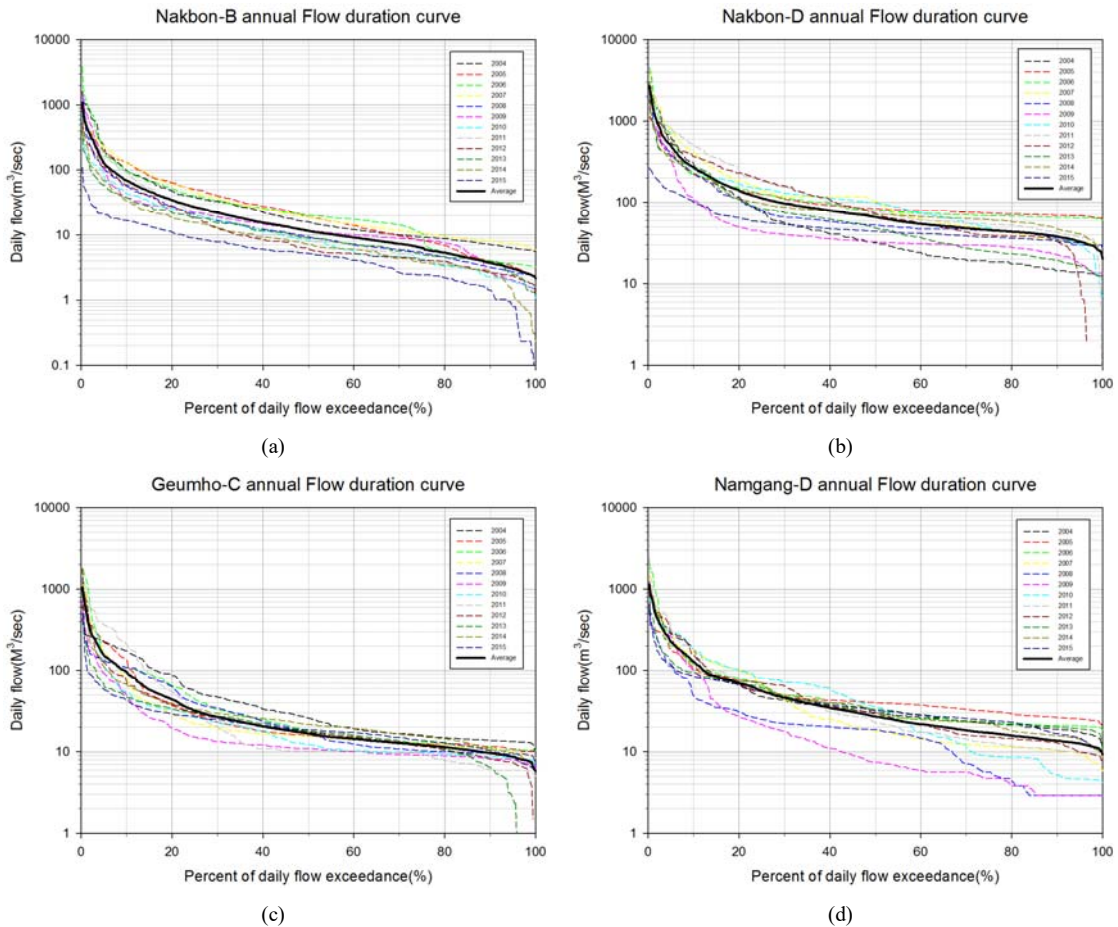


Fig. 4. Annual FDC of a major unit watersheds in Nakdong river basin.

3.3.2. 전기간 유황곡선(Full-period FDC)

총량관리 관측수질에 대한 유량과의 관계 및 목표수질 초과원인 등을 분석하기 위하여 오염부하속곡선을 활용할 수 있으며, 오염부하속곡선을 작성하기 위해서는 전체 유량조건에 대한 유황곡선이 필요하다(USEPA, 2007; Park et al., 2012). 총량관리 목표수질 평가 및 분석 등에 활용하기 위해서는 계획기간 동안에 나타날 수 있는 전체 유량조건을 파악하여야 하므로 모든 유량조건을 포함하는 전기간 유황곡선을 작성하여야 한다. 전기간 유황곡선은 오염총량관리 기본방침의 기준유량 산정시와 같이 과거 10년간의 유량으로 작성하는 것이 타당할 것으로 판단되며, 따라서 본 연구에서는 유량측정자료의 장기간의 확보가

이루어짐에 따라 2015년까지 축적된 총 12년간의 유량자료를 이용하여 작성하였다.

Fig. 5는 2004년부터 2015년까지 낙동강유역 주요 단위유역에 대한 과거 12년 동안의 전기간 유황곡선을 작성한 것이다. 이와 같은 전기간 유황곡선으로부터 해당기간 동안의 전체유량조건 및 주요 순위유량 등을 산정할 수 있다. 낙동강수계 41개 단위유역에 대한 2004년부터 2015년까지 전기간 유황곡선으로부터 주요 순위유량을 산정한 결과는 Table 3과 같다.

총량관리 유황곡선은 기준유량 설정 등에 필요한 연도별 유황곡선(Annual FDC)과 목표수질 평가 등에 활용할 수 있는 전기간(Full-period FDC) 유황곡선을 작성할 수 있다. Table 4는 제2차 기준유량 설정연구

Table 2. Major standard flow on unit watersheds in Nakdong river basin

No	Unit watershed	Flow (m ³ /sec)			
		Abundant (26.0%)	Ordinary (50.7%)	Low (75.3%)	Drought (97.3%)
1	Nakbon-A	20.316	8.780	4.714	1.862
2	Nakbon-B	25.702	11.317	6.246	2.690
3	Banbyeon-A	1.481	0.873	0.697	0.571
4	Yongjeon-A	1.867	0.640	0.298	0.150
5	Giran-A	2.074	0.690	0.305	0.138
6	Banbyeon-B	27.407	13.301	4.304	1.512
7	Micheon-A	1.312	0.554	0.334	0.177
8	Nakbon-C	57.016	37.814	24.113	14.498
9	Naeseong-A	8.214	4.509	3.351	1.810
10	Naeseong-B	15.591	7.874	5.830	3.604
11	Geumcheon-A	1.626	0.875	0.570	0.333
12	Yeonggang-A	7.545	3.356	1.772	0.712
13	Ian-A	1.708	0.722	0.349	0.183
14	Byeongseong-A	2.185	1.430	1.069	0.750
15	Wicheon-A	8.542	3.957	2.302	1.441
16	Wicheon-B	8.869	4.286	2.632	1.771
17	Nakbon-D	109.058	65.236	45.491	29.338
18	Gamcheon-A	6.547	4.052	2.573	1.190
19	Nakbon-E	119.207	75.921	56.569	33.277
20	Nakbon-F	158.010	101.851	69.532	35.953
21	Geumho-A	7.083	5.201	3.733	1.980
22	Geumho-B	10.117	6.082	4.254	1.712
23	Geumho-C	30.634	16.540	12.057	7.791
24	Nakbon-G	126.834	83.158	56.264	32.139
25	Hoecheon-A	8.251	4.760	2.952	1.462
26	Hwanggang-A	6.719	3.256	2.263	1.543
27	Hwanggang-B	27.669	20.633	14.547	9.799
28	Nakbon-H	170.389	100.026	73.232	38.473
29	Namgang-A	13.305	7.707	4.876	3.081
30	Namgang-B	34.731	16.977	10.041	5.367
31	Namgang-C	45.150	21.150	11.242	7.050
32	Namgang-D	53.233	26.756	17.030	11.756
33	Namgang-E	80.009	37.427	23.469	10.518
34	Nakbon-I	271.072	166.493	131.274	101.326
35	Nakbon-J	271.880	180.680	134.095	74.458
36	Miryang-A	6.322	3.748	2.382	1.716
37	Miryang-B	11.609	6.862	4.631	2.090
38	Nakbon-K	258.480	159.072	111.967	54.267
39	Nakbon-L	261.122	160.934	113.338	55.284
40	Nakbon-M	590.475	181.980	95.062	20.266
41	Nakbon-N	28.209	0.000	0.000	0.000

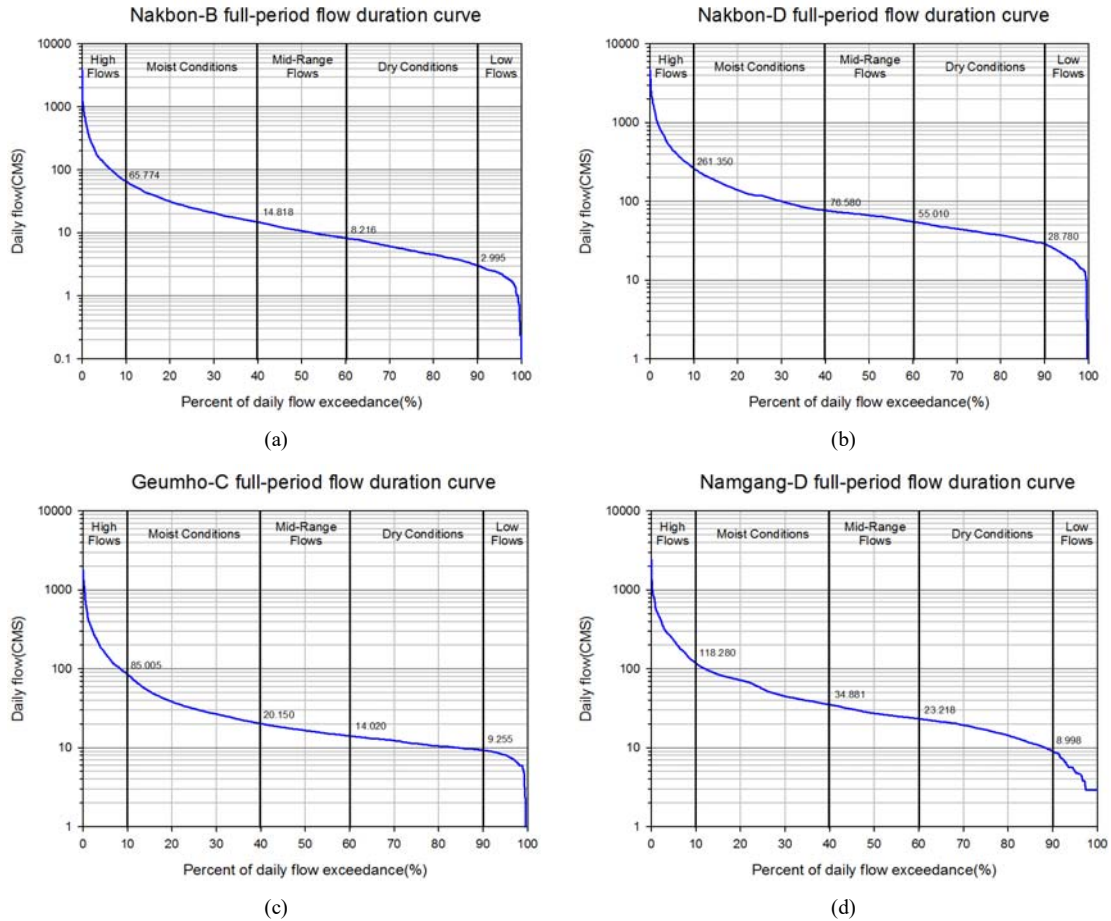


Fig. 5. Full-period FDC of a major unit watersheds in Nakdong river basin.

(NIER, 2006a)에서 산정된 낙동강수계 41개 단위유역별 기준유량(평수량, 저수량) 대비 본 연구에서 산정된 연도별, 전기간별 기준유량(평수량, 저수량) 산정결과에 대한 절대편차의 백분율(%)을 산정한 결과이다. 분석 결과, 연도별 기준유량 중 평수량은 2차 기준유량과 비교하여 최소 2.2%(회천A)에서 최대 308.7%(낙본A)까지 평균 48.9% 적게 산정되었고, 저수량은 최소 0.5%(낙본I)에서 최대 272.0%(낙본A)까지 평균 38.7% 적게 산정되는 것으로 분석되었다. 또한 전기간별 기준유량 중 평수량은 2차 기준유량 대비 최소 0.6%(황강B)에서 최대 278.4%(낙본A)까지 평균 48.3% 적게 산정되었고, 저수량은 최소 3.8%(남강A)에서 최대 206.1%(낙본A)까지 평균 38.1% 적게 산

정되는 것으로 분석되었다.

이와 같은 오차결과는 동일한 10년 평균값을 이용하여 비교하지 않은 결과로 인한 차이 외에도 유역모형을 이용한 2차 기준유량 설정 연구시 기본 가정치들(강수량, 댐방류량, 취수량 및 환경기초시설 방류량 등등)의 불확실성과 2012년 이후 낙동강 8개보 준공으로 인한 2012년 전·후의 급격한 물환경변화의 영향이 클 것으로 판단된다. 따라서 차기 기준유량 설정 시에는 자연적·인위적 불확실성과 장래 계획유량 등을 최대한 반영한 기준유량 설정방향이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 특히 현행 기준유량 산정기준은 10년 평균 일유량을 이용한 특정일 기준(Q185, Q275)에 해당하는 평수량과 저수량을 기준으로 목표수질

Table 3. Major rank flow on unit watersheds in Nakdong river basin

No	Unit watershed	Flow (m ³ /sec)				
		5.0%	25.0%	50.0%	75.0%	95.0%
1	Nakbon-A	103.596	19.563	8.292	3.878	1.538
2	Nakbon-B	129.554	24.763	10.709	5.204	2.286
3	Banbyeon-A	8.881	1.485	0.896	0.677	0.563
4	Yongjeon-A	13.762	1.749	0.599	0.279	0.119
5	Giran-A	15.493	1.941	0.644	0.283	0.102
6	Banbyeon-B	62.590	28.734	11.525	4.377	0.094
7	Micheon-A	10.542	1.317	0.582	0.309	0.168
8	Nakbon-C	102.578	54.438	41.628	23.722	8.027
9	Naeseong-A	46.630	8.338	4.695	2.828	1.383
10	Naeseong-B	89.447	15.166	8.162	5.059	3.099
11	Geumcheon-A	8.362	1.564	0.872	0.499	0.301
12	Yeonggang-A	49.408	7.493	3.400	1.661	0.468
13	Ian-A	11.001	1.621	0.763	0.324	0.150
14	Byeongseong-A	9.180	2.178	1.440	1.091	0.732
15	Wicheon-A	60.212	8.628	3.988	1.898	0.397
16	Wicheon-B	60.515	8.955	4.317	2.228	0.727
17	Nakbon-D	465.580	118.000	66.400	40.740	19.950
18	Gamcheon-A	31.234	6.921	4.286	2.127	0.686
19	Nakbon-E	514.969	120.136	77.444	50.363	24.104
20	Nakbon-F	631.033	166.568	105.527	63.481	30.793
21	Geumho-A	22.967	7.616	5.033	3.079	1.904
22	Geumho-B	40.878	10.558	6.412	3.697	1.935
23	Geumho-C	158.189	31.153	16.520	11.264	8.118
24	Nakbon-G	496.268	137.703	80.060	51.933	35.651
25	Hoecheon-A	39.672	8.025	4.627	3.063	1.526
26	Hwanggang-A	38.041	6.806	3.164	1.965	1.512
27	Hwanggang-B	58.370	31.140	19.800	12.580	5.400
28	Nakbon-H	828.910	174.110	98.730	66.920	39.540
29	Namgang-A	56.829	14.250	7.703	4.782	2.790
30	Namgang-B	232.227	35.824	17.007	9.770	5.156
31	Namgang-C	166.100	42.100	20.800	11.000	3.900
32	Namgang-D	231.341	55.444	27.233	16.765	5.028
33	Namgang-E	244.322	79.950	37.350	23.490	15.130
34	Nakbon-I	1,191.310	301.440	162.950	105.790	72.230
35	Nakbon-J	892.470	285.650	179.520	125.730	79.280
36	Miryang-A	37.570	6.380	3.770	2.400	1.640
37	Miryang-B	82.220	12.410	7.050	4.130	1.420
38	Nakbon-K	1,202.280	256.060	166.850	114.895	35.840
39	Nakbon-L	1,219.760	261.090	168.470	116.270	37.340
40	Nakbon-M	2,788.800	387.500	157.400	95.100	2.000
41	Nakbon-N	56.250	28.667	0.000	0.000	0.000

Table 4. Comparison of design flow in present study and a 2th master plan

NO	Unit watershed	2nd design flow		Annual design flow				Full-period design flow			
		50.7%	75.3%	50.7%	75.3%		50.7%	75.3%			
		Ordinary	Low	Ordinary	%	Low	%	Ordinary	%	Low	%
1	Nakbon-A	2.148	1.267	8.780	308.7	4.714	272.0	8.128	278.4	3.878	206.1
2	Nakbon-B	8.375	4.106	11.317	35.1	6.246	52.1	10.504	25.4	5.204	26.7
3	Banbyeon-A	5.247	1.531	0.873	83.4	0.697	54.5	0.896	82.9	0.677	55.8
4	Yongjeon-A	2.655	0.775	0.640	75.9	0.298	61.5	0.584	78.0	0.271	65.0
5	Giran-A	1.991	0.480	0.690	65.3	0.305	36.5	0.626	68.5	0.274	42.9
6	Banbyeon-B	20.796	6.526	13.301	36.0	4.304	34.0	11.260	45.9	4.253	34.8
7	Micheon-A	3.030	0.696	0.554	81.7	0.334	52.0	0.582	80.8	0.309	55.6
8	Nakbon-C	62.789	32.190	37.814	39.8	24.113	25.1	40.973	34.7	23.384	27.4
9	Naeseong-A	11.074	3.433	4.509	59.3	3.351	2.4	4.623	58.3	2.828	17.6
10	Naeseong-B	18.240	5.588	7.874	56.8	5.830	4.3	8.018	56.0	5.059	9.5
11	Geumcheon-A	2.554	0.794	0.875	65.7	0.570	28.3	0.872	65.9	0.491	38.1
12	Yeonggang-A	7.146	4.950	3.356	53.0	1.772	64.2	3.360	53.0	1.654	66.6
13	Ian-A	1.961	0.858	0.722	63.2	0.349	59.4	0.711	63.7	0.324	62.3
14	Byeongseong-A	3.260	0.857	1.430	56.1	1.069	24.7	1.440	55.8	1.081	26.1
15	Wicheon-A	4.713	1.561	3.957	16.0	2.302	47.5	3.988	15.4	1.890	21.1
16	Wicheon-B	9.061	2.364	4.286	52.7	2.632	11.3	4.317	52.4	2.220	6.1
17	Nakbon-D	108.851	54.666	65.236	40.1	45.491	16.8	65.650	39.7	40.520	25.9
18	Gamcheon-A	5.777	1.940	4.052	29.9	2.573	32.6	4.201	27.3	2.104	8.5
19	Nakbon-E	116.056	55.425	75.921	34.6	56.569	2.1	77.038	33.6	50.035	9.7
20	Nakbon-F	125.381	59.918	101.851	18.8	69.532	16.0	104.226	16.9	63.340	5.7
21	Geumho-A	7.604	3.654	5.201	31.6	3.733	2.2	5.033	33.8	3.049	16.6
22	Geumho-B	13.810	5.710	6.082	56.0	4.254	25.5	6.378	53.8	3.603	36.9
23	Geumho-C	30.970	19.969	16.540	46.6	12.057	39.6	16.263	47.5	11.221	43.8
24	Nakbon-G	163.408	83.424	83.158	49.1	56.264	32.6	78.822	51.8	51.732	38.0
25	Hoecheon-A	4.657	1.325	4.760	2.2	2.952	122.8	4.590	1.4	3.035	129.0
26	Hwanggang-A	3.672	1.759	3.256	11.3	2.263	28.6	3.111	15.3	1.956	11.2
27	Hwanggang-B	19.609	14.323	20.633	5.2	14.547	1.6	19.500	0.6	12.500	12.7
28	Nakbon-H	217.138	120.810	100.026	53.9	73.232	39.4	97.420	55.1	66.150	45.2
29	Namgang-A	11.731	4.584	7.707	34.3	4.876	6.4	7.581	35.4	4.760	3.8
30	Namgang-B	19.603	7.660	16.977	13.4	10.041	31.1	16.645	15.1	9.679	26.4
31	Namgang-C	25.970	12.770	21.150	18.6	11.242	12.0	20.700	20.3	10.900	14.6
32	Namgang-D	28.109	14.095	26.756	4.8	17.030	20.8	26.841	4.5	16.710	18.6
33	Namgang-E	33.220	14.646	37.427	12.7	23.469	60.2	36.830	10.9	23.440	60.0
34	Nakbon-I	246.440	131.885	166.493	32.4	131.274	0.5	160.900	34.7	104.950	20.4
35	Nakbon-J	259.884	139.489	180.680	30.5	134.095	3.9	177.410	31.7	124.990	10.4
36	Miryang-A	12.760	7.391	3.748	70.6	2.382	67.8	3.720	70.8	2.390	67.7
37	Miryang-B	14.626	8.491	6.862	53.1	4.631	45.5	7.000	52.1	4.110	51.6
38	Nakbon-K	260.100	131.379	159.072	38.8	111.967	14.8	165.290	36.5	114.340	13.0
39	Nakbon-L	258.760	127.689	160.934	37.8	113.338	11.2	166.970	35.5	115.830	9.3
40	Nakbon-M	256.889	123.555	181.980	29.2	95.062	23.1	153.600	40.2	95.000	23.1
41	Nakbon-N	7.791	6.522	0.000	100.0	0.000	100.0	0.000	100.0	0.000	100.0
	Max.	260.100	139.489	181.980	308.7	134.095	272.0	177.410	278.4	124.990	206.1
	Ave.	58.972	29.782	37.987	48.9	25.897	38.7	37.234	48.3	24.150	38.1
	Min.	1.961	0.480	0.000	2.2	0.000	0.5	0.000	0.6	0.000	3.8

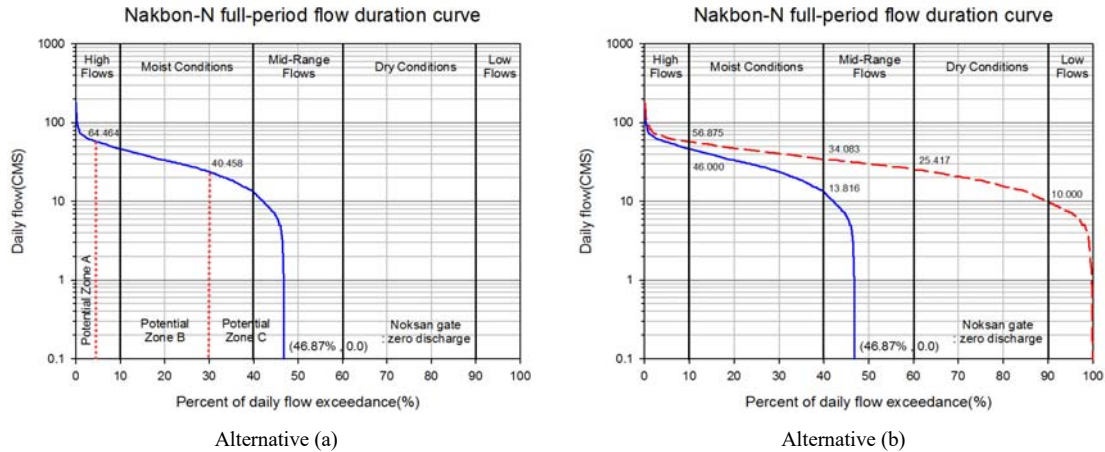


Fig. 6. General form FDC of Nakbon-N watersheds in Nakdong river basin.

달성여부를 평가함에 있어 연도별 극한 기상변화 발생시 극대/극소 유황값에 대한 불확실성을 제대로 반영할 수 없을 뿐만 아니라 특정 유황일 기준의 유황 설정에 대한 변동성이 너무 커지는 문제점이 발생한다.

따라서 차기단계 기준유황 설정시 개선방향으로 10년 평균 유황범위 외에 모든 유황을 반영할 수 있는 전기간 유황곡선을 활용한 분석법을 이용한 특정일 기준(Q185, Q275)이 아닌 미 EPA에서 제시된 유황 구간 분류방법을 적용한 구간평균(평수기(40~60%), 저수기(60~80%))을 적용하여 특정일 기준의 불확실성을 개선할 수 있는 것으로 판단된다. 이 분석법의 장점은 기준유황 조건에 대한 재검토시 각 유황구간별 분류하여 수질이 최대 악화되는 유황구간을 분석하여 선정할 수 있다는 것이다.

특히 낙본N 단위유역의 기준유황을 살펴보면 2차 기준유황 설정값과 본 연구에서 산정된 기준유황 값에 유의한 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 본 유역은 바다와 인접하여 간만조 영향으로 인한 염수피해를 막기 위한 녹산수문의 개·폐쇄의 영향으로 1년 365일 중 171일(46.87%)정도 수문방류가 발생하지 않는 무방류 시기 0.000 m³/sec가 발생함에 따라, 녹산수문 방류량을 이용한 기준유황(평수량, 저수량)은 모두 0.000 m³/sec으로 분석되었다. 하지만 2차 기준유황은 낙동강에서 서낙동강으로 유입되는 대저수문 평균유입량과, 자체유출량 및 하수처리장 방류량 등

을 고려한 유역분석을 통해 결정됨에 따라 두 기준값의 유의한 차이가 발생하는 것으로 판단된다. 이와 같이 낙동강수계 중 자연유출량이 아닌 상·하류 수문 유입량과 방류량 등의 영향으로 하천 유량이 조절되는 호소형 하천의 경우, 유역분석을 통해 설정된 기준유황과 완전히 다른 결과값을 제공하는 것을 알 수 있으며, 본 유역의 경우 기준유황 설정에 대한 논의 및 재검토가 필요할 것으로 판단된다.

지속곡선 연구에서는 수문상태에 대한 일반적인 지표(습윤상태인지 건조상태인지, 또는 그 정도가 얼마인지)로서 활용할 수 있는 기간을 규명하여야 한다. 유황지속곡선의 기간은 몇 개의 넓은 범주 또는 구간(Zone)으로 분류 될 수 있다. 이들 구간은 하천 오염의 정도 및 양상에 대한 추가적인 정보를 제공한다. Fig. 6과 같이 지속곡선은 일반적으로 홍수량 구간(0~10%), 풍수기 구간(10~40%), 평수량 구간(40~60%), 저수량 구간(60~90%) 및 갈수량 구간(90~100%) 총 다섯 구간으로 구분된다. 이 방법에서는 각각 5번째, 25번째, 50번째, 75번째, 95번째 백분위수에 홍수량, 풍수량, 평수량, 저수량 및 갈수량 구간의 중심점들이 위치한다.

낙동강수계 단위유역 중 남해안 연해의 간만조 수위영향 및 염수피해를 막기 위해 설치운영 중인 서낙동강 녹산수문의 직접적인 영향을 받는 낙본N 지점의 유황분석결과인 Table 2, 3을 살펴본 결과 연도별

유황분석 기준유량인 평수량(Ordinary, 초과확률 50.7%) 이 $0.000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이고, 전기간 유황분석의 기준유량인 초과확률 50.0%과 $0.000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 으로 분석되었다. 이를 Fig. 6과 같이 전기간 유황곡선(실선)으로 자세히 도시한 결과 초과확률 46.87%(171일 이상)에서는 수문방류가 발생하지 않는 무방류 시기로 분석되었다. U.S.EPA(2007) 보고서에 따르면 이와 같이 “지역적인 수문특성 및 수질 문제에 따라서 기준유량 구간에 대한 분류를 다르게 할 수 있다”라고 하였다. 따라서 본 연구에서는 낙본N 지점의 대안기법으로 현재까지 실측된 낙산수문 수질자료에 대한 통계분석(빈도 분석 등)을 활용한 수질 관점에 따라 2~3개 구간 또는 4개 구간을 사용한 대안기법 (a)와 46.87%를 100% 구간으로 확장하여 5개 기준유량 구간으로 확장한 대안기법 (b)을 제시하여 각 기준유량 구간에 대한 재분류를 실시하여 평가할 수 있도록 제안하였다.

4. 결론

본 연구는 총량관리를 위한 기준유량 산정 및 목표수질 평가 등을 위해서는 하천 유량조건별 분석이 선행되어야 하며, 이를 위해서는 단위유역별 유황곡선을 작성하여야 한다. 본 연구는 2차 기간(2015년)이 끝나고 3차 오염총량 관리가 시작되는 해(2016년)를 맞아 지금까지 구축된 장기 실측자료를 이용한 보다 간편한 통계기법(확장법)으로 총량관리 유황곡선을 작성할 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

낙동강수계 41개 단위유역에 대한 총량관리 유황곡선은 부분계측자료(환경부)와 연속계측자료(국토부) 사이의 회귀분석을 통하여 일유량 추정식과 상관정도(상관계수와 결정계수)를 산정하고, 이 식으로부터 일유량을 추정하여 총량관리 단위유역별 유황곡선을 작성하였다. 이를 이용 각 단위유역별 연도별 유황곡선과 전기간 유황곡선을 작성하여 제시하였다. 연도별 유황곡선으로부터 주요 유황시기별 기준유량(풍·평·저·갈수량)을 산정하였으며, 전기간 유황곡선으로부터 초과확률에 따른 순위유량(5·25·50·75·95%)을 산정하여 제시하였다.

이와 같은 결과는 복잡한 모형들을 통해 구축된 각 수계별 1·2차 기준유량의 설정값들에 대한 타당성

평가에 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 또한 부하 지속곡선을 이용한 목표수질 평가 등 총량관리 시행과정에서 보다 편리하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Back, K. O., 2014, Comparative study on evaluating low-flow in ungauged watershed, *J. Korean Soc. safe.*, 29(1), 31-36.
- Gyeonggi Research Institute (GRI), 2010, Study on evaluating low flow in ungauged basin, Gyeonggi Research Institute, Policy Report 2010-33, 1-174.
- Han, S. H., Shin, H. S., Kim, S. D., 2007, Applicability of load duration curve to Nakdong river watershed management, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 23(5), 620-627.
- Hwang, H. S., Yoon, C. G., Kim, J. T., 2010, Application load duration curve for evaluation of impaired water at TMDL unit watershed in Korea, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 26(6), 60-67.
- Jang, J. H., Lee, H. J., Kim, H. G., Park, J. H., Kim, J. H., Rhew, D. H., 2010, Improvement of water quality and streamflow monitoring to quantify point and nonpoint pollutant loads, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 26(5), 860-870.
- Kim, C. G., Kim, N. W., 2009, Derivation of continuous pollutant loadograph using distributed model with 8-day measured flow and water quality data of MOE, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 25(1), 125-135.
- Kim, G. H., Jung, K. Y., Yoon, J. S., Cheon, S. U., 2014, Evaluation and comparison of four streamflow record extension techniques for Namgang dam basin, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 30(1), 60-67.
- Kim, J. C., Kim, S. D., 2007, Flow duration curve analysis for Nakdong river basin using TMDL flow Data, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 23(3), 332-338.
- Kim, S. D., Lee, K. H., Kim, H. S., 2005, Low flow estimation for river water quality models using a long-term runoff hydrologic model, *J. Korean Soc. Water Environ.*, 21(6), 575-583.
- Ministry of Environment (MOE), 2013, Standard policy of TMDLs, Ministry of Environment.
- National Institute of Environment Research (NIER),

- 2006a, A Study on flow management standards in the Nakdong river basin 2th total maximum daily loads program, 1-410.
- National Institute of Environment Research (NIER), 2006b, A Study on flow management standards in the Geum river basin 2th total maximum daily loads program, 1-409.
- National Institute of Environment Research (NIER), 2006c, A Study on flow management standards in the Youngsan and Seomjin river basin 2th total maximum daily loads program, 1-196.
- National Institute of Environment Research (NIER), 2012, Development of long term flow duration curve for the management of TMDLs, 1-37.
- Park, J. D., Oh, S. Y., 2012, Methodology for the identification of impaired waters using LDC for the management of total maximum daily loads, J. Korean Soc. Water Environ., 28(5), 693-703.
- Park, J. D., Oh, S. Y., Choi, Y. H., 2012, Development of a flow duration curve with unit watershed flow data for the management of total maximum daily loads, J. Korean Soc. Water Environ., 28(2), 224-231.
- Sustainable Water Resources Research Center (SWRRC), 2004, Streamflow measurement manual, 1-82.
- U. S. EPA Office of Wetlands, Oceans & Watersheds 2007, An Approach for using load duration curves in the development of TMDLs, 1-68.
- Vogel, R. M., Fenessey, N. M., 1994, Flow-duration curves, I: New interpretation and confidence intervals, J. Water Resour. Plan. Manage., 120(4), 485-504.
- Water Information System (WIS), 2016, <http://water.nier.go.kr/>
- Water Resources Management Information System (WAMIS), 2016, <http://www.wamis.go.kr/>