

8일 간격으로 부분 계측된 유량을 연속 일유량으로 확장하는 방법**Extension Techniques of 8 Day Interval Recorded Stream-flow
Data to Daily One**

백 경 오* / 임 동 희**

Baek, Kyong Oh / Yim, Dong Hee

Abstract

In this study, it was proposed that extension techniques of 8 day interval recorded stream-flow data which has been produced at the mouth of unit watersheds for TMDLs to daily one. The concept of this method was that the missing data at partial recording station was filled by using the daily data at a nearby, hydrologically similar streamgaging station. First, same day stream-flow was extracted from the daily stream-flow. Then, the extension equation was developed based on the sample data when the same day stream-flow from daily data and the partially recorded stream-flow was deeply related each other. The missing data was interpolated or extrapolated by the equation. Especially the maintenance of variance extension (MOVE) technique was used to derive the equation and was validated. Finally the 8-day interval recorded stream-flow at the mouth of unit watersheds in Han River Basin for TMDLs was extended to continuously daily data by using the method proposed in this study. And the low flow at each unit watershed was evaluated according to the flow-duration curve.

Keywords : TMDLs, unit watershed, partially recorded stream-flow, continuously gauging stream-flow, low flow

요 지

본 연구에서는 수질오염총량관리단위유역의 말단부에서 8일 간격으로 계측된 유량자료가 있을 때 이를 연속적인 일유량으로 확대할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이 방법은 부분계측이 이루어지는 지점의 결측치를 인근 혹은 수문학적 으로 유사한 지점에서 연속계측된 유량자료를 이용하여 보완하는 방식이다. 이를 위해 먼저 부분계측이 수행된 날짜와 같은 날의 유량을 연속계측자료로부터 추출한다. 그 다음 두 자료간에 상관도가 높다면 이를 잘 표현하는 확장식을 개발하고 이 식을 통해 결측치를 내삽 또는 외삽한다. 본 연구에서는 두 자료간 상관성을 잘 묘사하는 방법으로 분산유지 법을 제안하였고, 이를 부분계측과 연속계측이 동시에 수행된 지점의 유량자료를 통해 그 정확성을 검증하였다. 검증된 분산유지법을 이용하여 한강수계 총량관리단위유역 중 15개 유역을 선택하여 각 유역의 말단부에 8일 간격으로 계측된 유량을 연속 일유량으로 확장시켰다. 확장된 자료를 기반으로 유황분석을 통해 저수량을 산정하였다.

핵심용어 : 수질오염총량관리, 단위유역, 부분계측유량, 연속계측유량, 저수량

* 교신저자, 국립환경대학교 토목공학과 조교수 (e-mail: pko@hknu.ac.kr)

Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hankyong National University, Korea.

** 경기개발연구원 환경정책부 연구원 (e-mail: dhyim@gri.re.kr)

Researcher, Department of Environmental Policy, Gyeonggi Research Institute, Korea.

1. 서론

수질오염총량관리제도와 같은 하천수질관리사업 추진에 있어서 정확한 하천 모니터링은 사업의 계획 및 이행에 있어서 가장 중요한 요소라 해도 과언이 아니다. 흔히들 수질관리계획 수립시 하천 모니터링의 대부분은 수질측정이 차지한다고 생각할 수 있으나, 유량 관측 또한 이에 못지않은 정확성을 담보해야 한다. 수질오염총량관리제만 보더라도 유역의 허용총량이 기준유량에 목표수질농도의 곱으로 결정되므로 기준유량의 적절한 산정은 해당 유역의 총량 결정에 매우 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다(환경부, 2004). 지금까지 실시되어온 하천 수문조사는 그러나 대부분 대유역을 중심으로 이루어져 오염총량관리의 주요 대상인 중·소 유역에 대한 유량 자료가 절대적으로 부족한 실정이다. 뿐만 아니라 국토부 관리 중심의 계측 유량자료는 주로 홍수방어를 목적으로 구축되어 홍수기 고유량에 의미있는 자료로 활용될 수 있었으나, 수질관리가 필요한 저·갈수기 유량 자료는 그 신뢰도가 떨어지는 실정이었다(김상단 등, 2007). 이 때문에 저수량이나 갈수량은 지역빈도분석법, 지역회귀기법 등과 같은 통계적인 방법을 기반으로 산정되기도 하였다(김상욱과 이길성, 2008; 조탁근 등, 2007).

2004년부터 4대강 물환경연구소는 수질오염총량관리제의 원활한 추진을 위해 총량관리단위유역 말단부에서 8일 간격으로 청천(晴天)시를 중심으로 유량과 수질을 동시에 측정하기 시작하였다. 그 결과 연중 하천유량과 수질의 연동 여부 및 변동 추이를 확인하는 것이 가능하게 되었다. 그러나 8일 간격으로 생산되는 유량은 지침의 정의와 맞물려 기준유량의 산정에 또 다른 어려움을 주고 있다. ‘한강수계 오염총량관리계획수립 지침’(환경부, 2009)에 따르면 대상물질이 BOD인 경우 ‘기준유량은 과거 10년간 평균 저수량으로 한다’고 명시되어 있다. 여기서 저수량이란 유량의 크기를 누가일수로서 표시하여 1년을 통하여 275일은 이보다 더 작지 않은 유량으로 정의된다. 따라서 정확한 저수량을 산정하기 위해서는 1년 365개 매일의 유량자료가 필요하다. 하지만 8일 간격으로 유량을 측정하게 되면 1년 365개 대신 최대 45 여개의 일 유량자료만 취득 가능하므로 유행분석에 어려움이 발생할 수밖에 없다.

8일 간격으로 취득된 유량을 매일의 유량으로 환산하는 문제에 대해서는 과거에도 몇 차례가 연구가 수행된 바 있다. 김상단 등(2005)은 유출모형의 하나인 TANK모형을 이용하여 양화천, 청미천, 금당천 등의 말단부에서

부분계측된 유량을 365일 연속유량으로 확장한 바 있다. 이후 김상단 등(2007)은 저수기 유량산정에 정확도를 기하기 위해 계측 유량을 지표수유출과 지하수유출 두 성분으로 분리한 후 TANK모형에 적용하여 유량자료를 확장하였다. 그러나 수문모형을 기반으로 유량자료를 생산하는 방식은 계측된 유량자료가 부족할수록 유용하게 쓰일 수 있으나, 계산과정에서의 오차와 불확실성이 늘 결과치에 내포되어 있다. 또한 입력자료의 구축에서부터 매개변수의 검·보정 등 수문모형을 이용하기 위해서는 많은 시간과 노력이 투입될 수밖에 없다. 따라서 보다 간단한 방법인 계측된 유량자료들만을 가지고 부분유량을 연속유량으로 확장하는 방법이 개발되어야 할 필요성이 있다.

본 연구에서는 수질오염총량관리단위유역의 말단부에서 8일 간격으로 계측된 유량자료가 있을 때 이를 연속적인 일유량으로 확대할 수 있는 새로운 방법론을 제시하였다. 그리고 이를 한강수계 총량관리단위유역들 내에 부분계측과 연속계측 지점이 동시에 존재하는 유역에 적용하여 방법론의 정확성을 검증해 보았다. 검증과정을 통해 보다 정확한 자료를 생산하는 방법을 선택하고, 이를 15개의 총량관리단위유역에 적용해 보았다. 끝으로 확장된 자료를 기반으로 저수량을 산정해 보았다.

2. 이론적 배경

미 지질조사국(USGS)은 부분 계측된 유량자료를 365일 연속 일유량자료로 확장하는 방법으로 인근에 존재하는 연속계측지점의 유량자료를 이용하라고 권한다. 즉 이 방법은 Fig. 1에서 보듯이 Y지점(부분계측이 이루어지는 지점)의 결측치(missing data)를 동일 유역 혹은 수문학적으로 유사한 유역의 X지점(연속계측이 이루어지는 지점)의 자료를 이용하여 보완하는(filling) 방식이다(Ries와 Friesz, 2000). 이를 위해 먼저 Y지점에서 부분계측이 이루어진 날짜와 같은 날의 유량을 X지점의 연속계측자료로부터 추출한다. 그 다음 두 자료, 즉 Y지점에서의 모든 유량과 X지점에서 추출된 유량 간의 상관성을 비교해 본다. 여기서 상관성은 상관계수(correlation coefficient)를 통해 정량화할 수 있다. 두 자료간에 상관도가 높다면 이를 잘 표현하는 방정식을 개발하고 이 식을 통해 Y지점의 결측치를 내삽 또는 외삽한다. 본 연구에서는 두 자료간 상관성을 묘사하는 방정식 개발에 있어서 다음 두 가지 방식을 비교, 분석해 보았다.

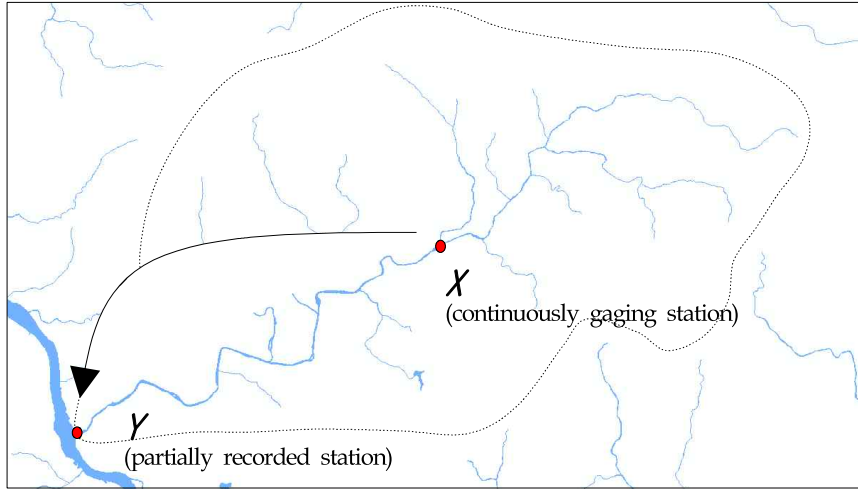


Fig. 1. Conceptual Diagram of Extension Techniques

2.1 최소제곱법 (LSE)

선형회귀법 (Linear Regression Method)은 내·외삽의 방법으로 가장 일반적으로 사용되는 것으로 다음의 방정식을 따라 결측치를 보완하게 된다.

$$\hat{y} = a + bx \quad (1)$$

여기서, \hat{y} 는 추정치, x 는 독립변수, a 와 b 는 각각 회귀계수이다. 관측치 (x_i, y_i) 가 n 개 존재할 때 ($i = 1, 2, \dots, n$) 회귀계수의 결정에 있어서 일반적으로 사용되는 방식은 추정치와 관측치 간의 오차 제곱을 최소화하는 최소제곱법 (Least Square Estimator, LSE)이다.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 |_{\text{Minimize}} = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 |_{\text{Minimize}} \quad (2)$$

Eq. (2)를 만족시키는 조건에서 회귀계수 a 와 b 는 각각 다음과 같이 계산된다.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3a)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3b)$$

여기서, $\bar{y} = \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)/n$ 이고, $\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)/n$ 이다. 그리고 자기 또는 교차 분산 (variance)과 관련된 항들을 다음과 같이 정의할 수 있다 (Kottogoda와 Rosso, 1997).

$$S_{xx}^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4a)$$

$$S_{yy}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (4b)$$

$$S_{xy}^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (4c)$$

Eq. (4)에 의해 회귀계수 b 는 다음과 같이 표현된다.

$$b = \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}^2} \quad (5)$$

또한 Pearson 상관계수 (correlation coefficient)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}^2 S_{yy}^2} \quad (6)$$

Eqs. (5) and (6)에 의해 회귀계수 b 와 상관계수 r 은 다음과 같은 관계가 있다.

$$b = r \frac{S_{yy}}{S_{xx}} \quad (7)$$

Eqs. (7) and (3b)에 의해 Eq. (1)은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\hat{y} = \bar{y} + r \frac{S_{yy}}{S_{xx}} (x_i - \bar{x}) \quad (8)$$

2.2 분산유지법 (MOVE)

회귀계수를 결정하는 대안으로 Hirsch (1982)는 일명

분산유지법 (Maintenance of Variance Extension, MOVE) 을 제안한 바 있다. 이 방법은 추정치와 관측치간의 오차 제곱을 최소화하는 조건 (Eq. 2) 대신 다음의 두식을 만족 한다는 조건을 이용한다.

$$\sum_{i=1}^n \hat{y}_i = \sum_{i=1}^n y_i \quad (9a)$$

$$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (9b)$$

연립방정식 Eq. (9)를 풀어 해 a, b를 구한 후 이를 Eq. (1)에 대입하면 다음과 같다.

$$\hat{y} = \bar{y} + \frac{S_{yy}}{S_{xx}}(x_i - \bar{x}) \quad (10)$$

결론적으로 분산유지법 (Eq. 10)과 최소제곱법 (Eq. 8)에 의한 선형식을 비교해 보면 기울기에 상관관계수가 곱해져 있으나 차이가 있고 나머지는 모두 같다. 분산유지법은 심리학, 생물통계학, 지형학 등의 영역에서 자료의 내·외삽에 널리 사용되는 검증된 방법으로 알려져 있다 (Hirsch, 1982).

3. 방법론의 검증

3.1 대상유역

앞서 제안된 부분 관측 유량자료를 연속 일자료로 확장하는 방법론을 실제 유역에 적용해 보았다. 대상유역은 환경부에서 설정한 한강수계 수질오염총량관리단위유역 (안) 중 행정구역상 주로 경기도에 포함되는 유역을 선택하였다. 반면 대법으로 유량이 조절되는 한강 본류구간 내 단위유역은 연구의 범위에서 제외하였다. 본 연구에서 선정한 15개 총량관리단위유역 (경안A 제외)을 도시하면 Fig. 2와 같다. 이 그림에서 표시된 각각의 단위유역 말단 지점에서 한강물환경연구소는 2004년부터 (단위유역마다

유량관측 시작 시기는 다름) 8일 간격 부분관측 유량자료를 생산하고 있다.

방법론의 적용에 앞서 두 방법들, 최소제곱법 (LSE, Eq. 8)과 분산유지법 (MOVE, Eq. 10) 중 어느 것이 더 나은 결과를 보여주는지 검증해야 한다. 방법들을 검증하기 위해서는 유량이 부분 계측된 지점과 동일한 곳에 연속적으로 계측된 유량자료가 있어야 한다. 그래야 계측 연속유량자료를 참값으로 간주하여 확장된 유량값들의 오차를 따질 수 있기 때문이다. Fig. 2에서 제시된 15개 단위유역의 말단부에서 연속유량계측이 이루어지고 있는 곳, 즉 국토부가 운영하는 수위표를 찾아보면 모두 5개의 수위표가 존재한다 (청미A에 삼합, 양화A에 울극, 북하A에 흥천, 탄천A에 성남, 영평A에 고소성). 이를 정리하면 Table 1과 같다. 단 여기서 부분계측지점과 연속계측지점이 꼭 일치하지는 않더라도 두 지점간 거리가 가까우면서 그 중간에

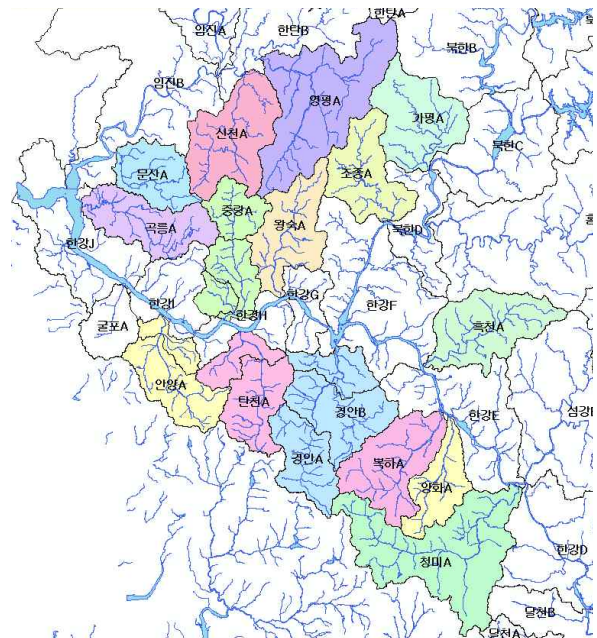


Fig. 2. Unit Watersheds for TMDLs

Table 1. Validation of Extension Methods

단위유역 (부분계측)	수위표 (연속계측)	부분유량간 상관계수 (r)	연속유량간 상관계수 (r)		RMS 오차 (cms)		비교 (확장식)	
			MOVE	LSE	MOVE	LSE	MOVE	LSE
청미A	삼합	0.936	0.999	0.996	19.7	28.0	$y = 0.928x - 0.047$	$y = 0.855x - 0.009$
양화A	울극	0.911	0.999	0.999	1.6	5.5	$y = 1.067x - 0.136$	$y = 0.985x - 0.106$
북하A	흥천	0.967	0.999	0.999	8.0	7.7	$y = 1.094x - 0.159$	$y = 0.997x - 0.098$
탄천A	성남	0.856	0.999	0.999	5.5	22.8	$y = 1.099x - 0.238$	$y = 0.929x - 0.062$
영평A	고소성	0.930	0.982	0.972	65.1	71.9	$y = 0.753x + 0.234$	$y = 0.700x + 0.282$

지천의 유입이 없는 경우는 동일지점으로 간주하였다. 이 5개 단위유역의 자료를 이용하여 두 방법간 정확성을 따져 보았다.

3.2 MOVE와 LSE의 비교

검증에 사용될 5개 단위유역에서 2009년도에 8일 간격으로 부분계측이 이루어진 날짜와 같은 날의 유량을 수위표의 연속계측자료로부터 추출하였다. 이론적으로는 관측지점이 같으므로 부분관측유량과 추출된 유량값이 일치해야 하지만, 유량 계측상의 오차 등의 이유로 Table 1에서 보듯이 유역마다 다소 차이가 발생하였다. 두 자료를 기반으로 두 방법(MOVE와 LSE)에 따라 확장식을 유도하고 부분유량을 연속 일유량으로 확장하였다. 여기서 유의할 점은 두 자료간 상관성이 일반적으로 선형성을 담보하지 못하므로 원래 유량자료에 상용로그를 취한 값으로 확장식을 유도하게 된다 (Ries와 Friesz, 2000). 5개 단위유역 중 청미A에서 MOVE와 LSE를 적용한 결과를

Fig. 3에 예시하였고, 각 단위유역에서 유도된 확장식을 Table 1에 수록하였다.

MOVE와 LSE로 확장된 일유량을 계측된 일유량과 비

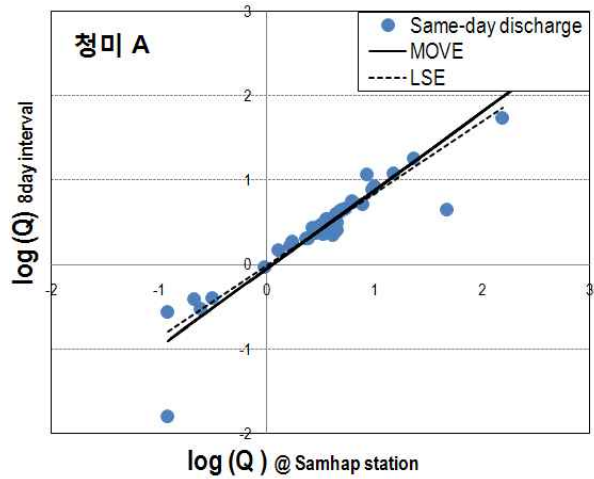


Fig. 3. Comparison of MOVE and LSE

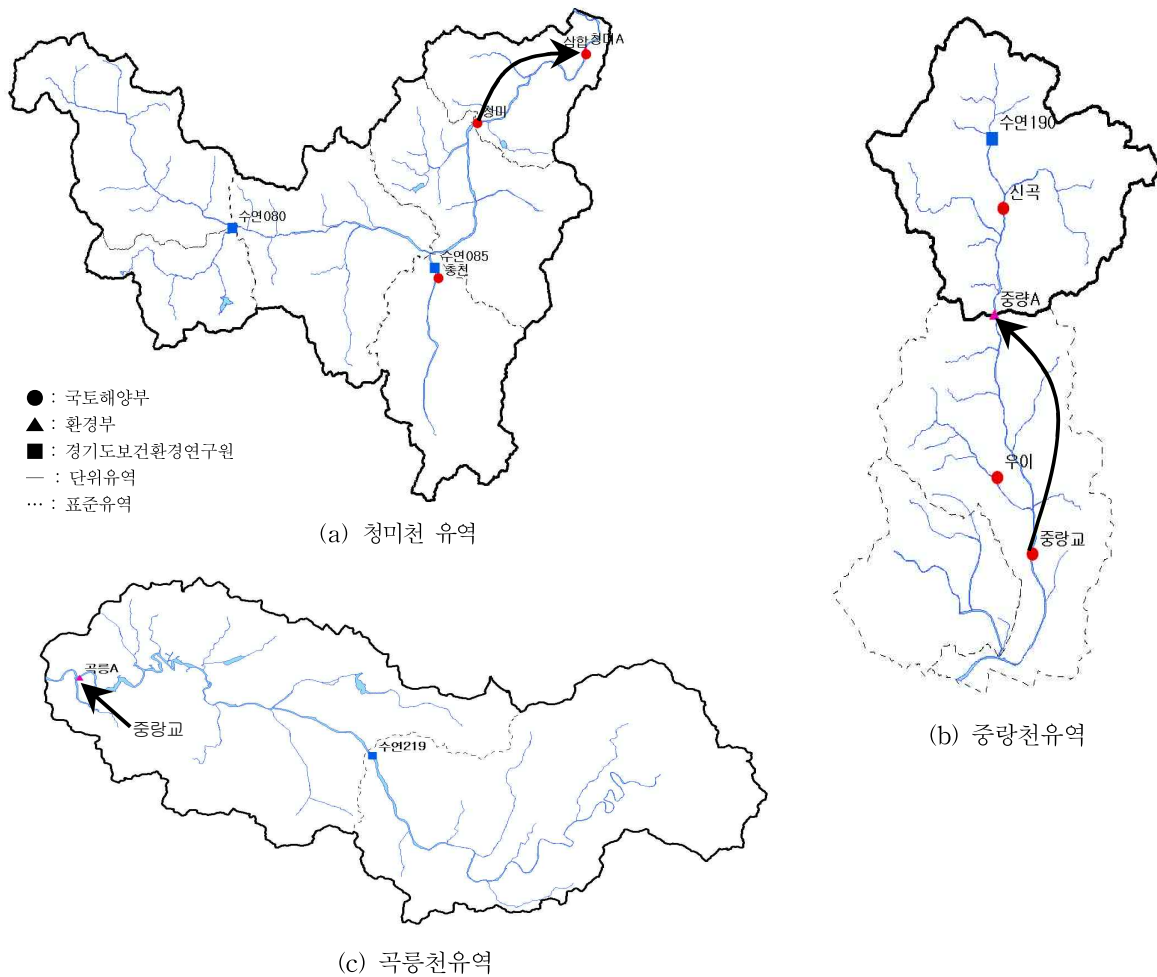


Fig. 4. Representative Watersheds Applied by Extension Method

교해 보면 Table 1에서 보듯이 두 자료간 상관계수가 대부분 1에 근접해 어느 방법이 우월한지 논하기가 쉽지 않다. 그러나 Root Mean Square (RMS) 오차를 보면 MOVE가 LSE에 비해 더 나은 결과를 보여주고 있다. 특히 부분계측유량 자료와 연속유량에서 추출된 자료간 상관도가 낮아질수록 MOVE의 RMS 오차가 LSE의 그것에 비해 더 작아지는 경향이 있다. 실제 유역에 확장법을 적용하는 경우, 확장하고 싶은 지점과 멀리 떨어진 지점, 혹은 수문학적으로 유사한 다른 유역에서 연속 관측된 자료를 가져와야 하므로 두 자료간 상관도는 더욱 낮아질 수밖에 없다. 따라서 상관도가 상대적으로 낮을 때도 정확한 값을 산출하는 MOVE를 사용하는 것이 부분유량자료의 연속유량자료로 확장에 있어서 타당하다고 판단된다.

4. 방법론의 적용

4.1 적용 과정

검증된 방법인 MOVE를 이용하여 Fig. 2에 도시된 15개 총량관리단위유역 말단부에서 8일 간격으로 계측된 유량을 365일 연속 일자료로 확장하였다. 먼저 부분계측유량자료와 대응할 수 있는 연속유량자료를 찾아보았다. 만일 동일한 단위유역 내에 국토부가 관리하는 수위표, 즉 연속유량계측지점이 있다면 그것을 이용하였다. 그러나 단위유역 내에 수위표 지점이 아예 없거나, 있더라도 그곳의 유량자료 또한 결측이 된 경우에는 인근 유역의 연속계측지점에서 생산되는 양질의 유량자료를 가져왔다. 그리고 그 자료와 부분계측자료간 상관도가 높은 것을 확

Table 2. Application of Extension Method

단위유역 (부분계측)	수위표 (연속계측)	동일유역 여부	계측년도	상관계수 (r)	저수량 (cms)
청미A	청미	동일	2007	0.98	1.13
			2008	0.74	2.51
			2009	0.59	2.50
양화A	율곡	동일	2009	0.91	1.20
북하A	홍천	동일	2008	0.64	2.23
			2009	0.97	1.98
흑천A	경안	타유역	2008	0.81	1.44
			2009	0.93	1.37
경안B	경안	동일	2008	0.87	3.12
			2009	0.97	2.92
가평A	퇴계원	타유역	2009	0.88	2.02
조종A	경안	타유역	2008	0.62	1.81
			2009	0.84	1.24
왕숙A	퇴계원	동일	2008	0.97	3.33
			2009	0.98	3.40
탄천A	성남	동일	2008	0.87	4.96
			2009	0.86	4.89
증량A	증량교	동일	2008	0.94	1.96
			2009	0.98	2.33
안양A	신정	동일	2008	0.84	3.23
			2009	0.62	2.92
곡릉A	증량교	타유역	2008	0.94	2.56
			2009	0.93	2.48
문산A	증량교	타유역	2008	0.94	1.07
			2009	0.95	1.04
신천A	청산	동일	2009	0.88	3.28
영평A	영중	동일	2008	0.88	2.57
			2009	0.92	4.81

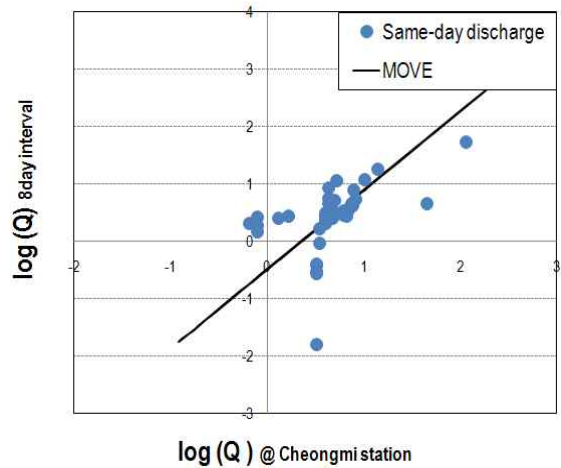
장에 우선적으로 사용하였다. 이 때 두 유량자료간에 상관도가 높고 낮음은 앞서 지적했듯이 상관계수로 정량화하여 평가하였다. 15개 단위유역과 그 말단부의 자료확장에 사용된 연속유량계측지점을 정리하면 Table 2와 같다.

이 표 보듯이 청미A의 경우 방법론을 검증하기 위해서는 말단부와 동일지점에 위치한 삼합수위표의 자료를 사용한 반면, 방법론을 적용할 때는 삼합수위표 대신 청미수위표 자료를 사용하였다 (Fig. 4a). 그 이유는 향후 중복 유량 계측 문제로 동일 지점에서 두 기관이 각자 유량계측을 하지 못할 개연성이 크기 때문이다. 즉 앞으로 청미A의 말단부에 연속이나 부분계측자료 중 하나의 유량자료만 존재할 것이다. 반면 청미수위표에서는 지속적으로 자료가 생산될 것이므로 이것을 이용하여 단위유역 말단부의 부분유량자료를 확장하는 것이 타당하다고 판단된다. 15개 단위유역 중 대표적인 3개의 단위유역과 확장식 유도과정을 Figs. 4 and 5에 도시하였다.

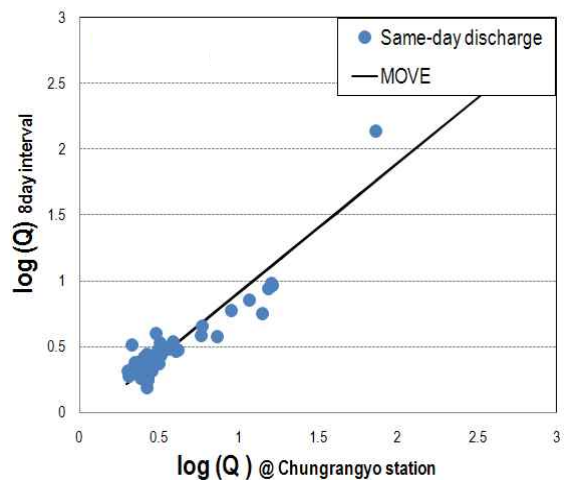
확장에 있어서 연속계측지점이 부분계측지점의 상류에 있든, 하류에 있든 문제될 것은 없다. 일반적으로 청미A를 비롯하여 많은 단위유역에서 연속계측지점이 부분계측지점의 상류에 있다. 그러나 Fig. 4(b)에서 보듯이 중랑A의 경우, 연속계측지점 (중랑교)이 부분계측지점의 하류에 있다. 이 경우에도 두 자료간 상관계수가 높고 확장에 아무 문제가 없었다 (Fig. 5(b)). 타 유역에서 연속유량자료를 가져오는 경우에도 정확도가 떨어질 것이라는 우려가 있었다. 하지만 Fig. 5(a) and 5(c)에서 보듯이 타 유역 자료를 이용한 곡릉A의 상관도가 동일유역자료를 이용한 청미A의 그것보다 더 나은 결과를 보여주고 있다. 따라서 동일유역 내에 연속계측자료가 있는 경우에는 우선적으로 그것을 사용해야겠지만, 연속자료가 유역 내에 없더라도 타 유역의 연속자료를 가져온 후 상관도가 높다면 이를 자료 확장에 사용해도 무리가 없을 것으로 사료된다.

4.2 적용성 평가

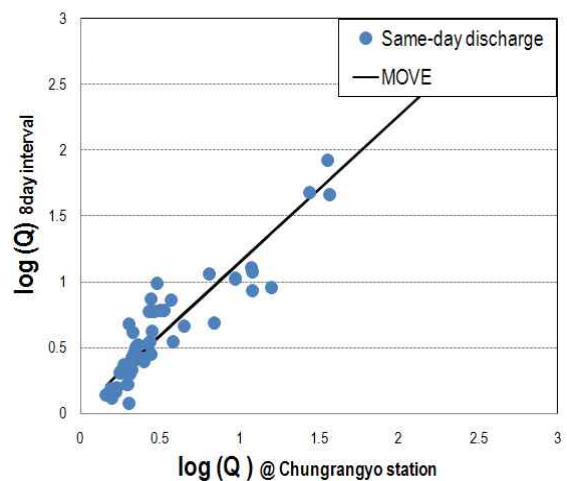
본 연구에서 제안한 MOVE를 통해 부분유량을 연속유량으로 확장했을 경우 그 정확도가 어느 정도인지 평가해보았다. 이를 위해 단위유역 말단부에서 매일 관측된 유량과 8일 간격으로 관측된 유량이 함께 존재하는 지점을 골라 보았다. 그리고 그 단위유역 내 타 지점에서 매일 관측된 유량자료가 있으면 이 자료를 말단부로 전이하여 8일 간격 유량을 매일의 유량으로 확장하였다. 이 확장된 자료와 말단부에서 실제로 매일 관측된 유량을 비교했을 때 오차가 작아야 본 연구의 적용성이 크다고 평가할 수 있겠다. 우선 이상의 조건을 만족하는 단위유역은 본 연



(a) 청미 A

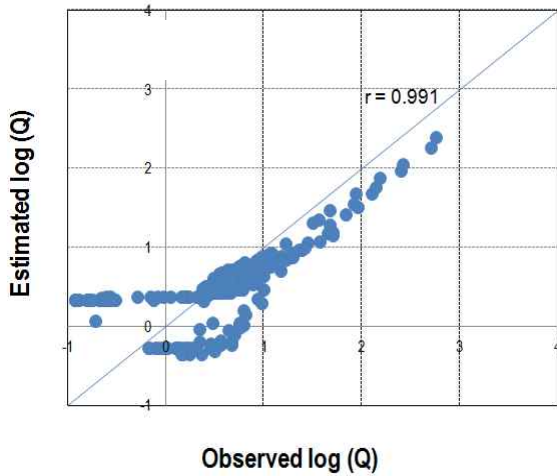


(b) 중랑 A

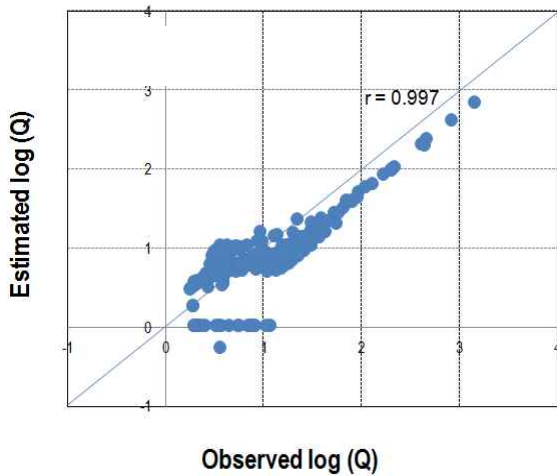


(c) 곡릉 A

Fig. 5. Application of MOVE to Unit Watershed for TMDLs



(a) 청미 A



(b) 영평 A

Fig. 6. Comparison of Measured and Calculated Stream-flow Data

구의 15개 대상유역 중 청미A와 영평A 둘 뿐이었다. 청미 수위표 지점의 연속유량자료를 전이하여 청미A 말단의 8일 간격 유량을 매일 유량으로 확장한 후 삼함수위표 자료와 비교하면 Fig. 6과 같다. 또한 영중수위표 지점의 매일자료를 전이하여 영평A 말단부의 8일 유량을 매일 유량으로 확장 후 고소성수위표 자료와 비교한 그림도 Fig. 6에 수록하였다. 전체적으로 추정치(확장된 값)가 실측치에 비해 과소 산정되는 모습이 있으나 대체적으로 잘 일치하는 경향을 보인다. 상관계수는 두 지점 공히 1에 근접하여 확장된 유량과 실측된 유량간 상관도는 높다. 아쉬운 점은 Fig. 6에서 보듯이 저·갈수기에 수위표에서 관측된 유량이 며칠 동안 하나의 값으로 지속되는 경우들이 많아 확장값에 오차요인으로 작용하고 있었다. 확장의 기

준이 되는 연속유량자료의 품질이 확장값의 정확도에 많은 영향을 끼침을 확인할 수 있었다.

끝으로 확장된 365일 연속 일자료를 기반으로 유황분석을 통해 각 단위유역 말단에서 해당년도의 저수량을 산정하였다. 이를 Table 2에 정리하였다. 기준유량을 산정하기 위해서는 기준년을 기점으로 과거 10년간의 평균저수량이 필요한데, 단위유역말단부에서 유량을 계측한지 아직 10년이 되지 않아 이 방법으로 기준유량을 지정하기에는 무리가 있다. 하지만 앞으로 누적될 자료를 고려해 보면 본 연구에서 제안한 방법이 보다 정확한 기준유량 산정에 기여할 것이라 사료된다.

5. 결론

기준유량은 ‘하천 수질이 가장 좋지 않을 때 수질을 관리해야 한다’는 수질오염총량관리제의 취지하에 과거 10년간 평균 저수량으로 규정된 바 있다(대상물질이 BOD인 경우). 여기서 저수량은 1년 365개의 일자료가 있어야 산정할 수 있음에도 불구하고, 총량관리단위유역말단에서는 매일이 아닌 8일 간격으로 유량을 생산함으로써 기준유량 산정에 어려움을 가중시켜 왔다. 본 연구는 동일 유역 혹은 인근유역 수위표 지점에서 매일 계측된 유량자료를 전이하여 8일 간격 유량을 연속 일유량으로 확장하는 방법을 제시하였다. 이 방법의 특징은 계측된 유량자료를 기반으로 계측되지 못한 유량을 보정하는 방식이므로 계측된 유량자료의 품질이 좋을수록 더 나은 결과를 산출할 수 있다. 또한 비교적 간단한 절차와 방식으로 유량자료의 확장이 가능하다는 것도 장점 중에 하나이다.

그러나 현실적인 한계도 있다. 확장에 기준이 되는 연속자료의 품질, 특히 저·갈수기의 유량자료가 그다지 좋지 못하다. 국토부가 관리하는 수위표의 경우 홍수관리를 위한 고유량에 주목하고 수위계를 기반으로 일일 연속유량자료를 생산한다. 문제는 저·갈수기에 기존 수위표의 경우 수위계가 물이 잠기지 않는 경우가 많아 유량자료에 결측치가 많이 발생한다. 앞으로 총량관리단위유역 규모의 유역에서는 단 한 지점에서라도 효율적인 유량계측 방식을 도입하여 저·갈수기에도 고품질의 유량을 생산하고, 1년 365일 연속유량자료를 축적할 필요가 있겠다.

감사의 글

본 연구는 환경대학교 2011년도 학술연구구성비의 지원에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 김상단, 이건행, 김형수 (2005). “장기유출 수문모형을 이용한 하천수질모형의 기준유량 산정.” **한국물환경학회지**, 한국물환경학회, 제21권, 제6호, pp. 575-583.
- 김상단, 강두기, 김문수, 신현석 (2007). “유역모형 구축을 위한 8일간격 유량측정자료의 일유량 확장 가능성.” **한국물환경학회지**, 한국물환경학회, 제23권, 제1호, pp. 64-71.
- 김상욱, 이길성 (2008). “Bayesian 다중회귀분석을 이용한 저수량 지역 빈도분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제3호, pp. 325-340.
- 조탁근, 김영오, 이길성 (2007). “국내 미계측유역의 갈수량 산정 개선.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제2호, pp. 113-124.
- 환경부 (2004). 오염총량관리제도 해설, 환경부.

환경부 (2009). 한강수계 오염총량관리계획 수립지침, 환경부.

Hirsch, R.M. (1982). “A comparison of four streamflow record extension techniques.” *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 4, pp. 1081-1088.

Kottegoda, N.T., and Rosso, R. (1997). *Statistics, Probability, and Reliability for Civil and Environmental Engineers*, McGraw-Hill Inc. NY.

Ries, K.G., and Friesz, P.J. (2000). *Methods for Estimating Low-Flow Statistics for Massachusetts Streams*. Water-Resources Investigations Report 00-4135, U.S. Geological Survey, Ma.

논문번호: 11-082	접수: 2011.07.23
수정일자: 2011.11.08/11.16	심사완료: 2011.11.16