

미계측 유역에서 저수량 산정 방법 비교 연구

백경오

한경대학교 토목안전환경공학과
(2013. 12. 6. 접수 / 2014. 1. 21. 채택)

Comparative Study on Evaluating Low-Flow in Ungauged Watershed

Kyong Oh Baek

Department of Civil, Safety, and Environmental Engineering, Hankyong National University
(Received December 6, 2013 / Accepted January 21, 2014)

Abstract : In this study, the methodologies for evaluating the low-flow at the ungauged watershed are reviewed and assessed. The ungauged watershed can be classified into different situations such as the partially recorded watershed and the completely ungauged watershed. The extension method and the percentile method are used to evaluate the low-flow at the partially recorded watershed. The drainage-area ratio method and the regional regression method are used at the completely ungauged watershed. These four methods are applied and validated based on the hydrological and geometric data acquired from unit watersheds in Han River basin for TMDLs. In case of partially recorded watershed, the values of low-flow evaluated by the extension method are in better agreement with measured flow-rate rather than those by the percentile method. In case of completely ungauged watershed, the drainage-area method is broadly used to estimate the low-flow. It must be paid attention to consider the treated sewage discharge produced at watersheds when applying the method.

Key Words : low-flow, ungauged watershed, Han River, TMDLs

1. 서론

안심하고 먹을 수 있는 수돗물 공급에 그동안 많은 노력을 기울여 왔다. 안전한 수돗물의 생산에 있어서 그 첫 번째는 취수 원수를 깨끗하게 관리하는 것이다. 수질오염총량관리제(TMDLs)는 원수 관리에 있어서 지금까지의 획일적인 배출농도 규제에서 벗어나 유역의 총부하량을 통제함으로써 수질을 관리하는 보다 선진적인 물관리 정책이라 할 수 있다. 이 같은 하천수질관리사업 추진에 있어서 정확한 하천 모니터링은 사업의 계획 및 이행에 있어서 가장 중요한 요소라 말할 수 있다. 흔히들 수질관리계획 수립시 하천 모니터링의 대부분은 수질측정에 초점을 맞추고 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.

지금까지 실시되어온 하천 수문조사는 그러나 대부분 대유역을 중심으로 이루어져 오염총량관리의 주요 대상인 중소 유역에 대한 유량 자료가 절대적으로 부족한 실정이다. 그뿐만 아니라 기존 관측 유량자료는 주로 홍수방어를

목적으로 구축되어 왔으므로 대부분 홍수기에만 의미 있는 자료로 활용될 수 있으며, 수질관리가 필요한 저수기 유량자료는 그 신뢰도가 현저히 떨어지는 실정이다.¹⁾

한강수계 오염총량관리계획수립 지침에 따르면 대상물질이 BOD인 경우 ‘기준유량은 최근 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. 2004년부터 4대강 물환경연구소는 수질오염총량관리제의 원활한 추진을 위해 총량관리단위유역 말단부에서 8일 간격으로 청천(晴天)시를 중심으로 유량을 측정하기 시작하였다. 하지만 8일 간격으로 유량을 측정하게 되면 1년 365개 대신 최대 45 여개의 일 유량자료만 취득 가능하므로 유황분석에 어려움이 발생할 수밖에 없다.²⁾

본 연구에서는 중소단위의 유역(총량관리단위유역)에서 유량자료가 전무하거나, 8일 간격 유량자료가 존재할 때 저수량을 산정하는 제 방법론을 조사·분석하였다. 이를 통해 미계측유역에서 비교적 정확한 유황분석이 가능한 방법론을 평가해 보고, 수질오염총량관리제에서 기준유량의 근간이 되는 저수량을 설정하는 합리적이고 안전한 방

* Corresponding Author : Kyong Oh Baek, Tel : +82-31-670-5141, E-mail : pko@hknu.ac.kr

Department of Civil, Safety and Environmental Engineering, Hankyong National University, 327, Joongang-ro, Anseong-si 456-749, Korea

안을 제시하였다.

2. 저수량 산정 방법론

서론에서는 미계측(ungauged) 유역을 유량이 계측된 사례가 없어 유량자료가 전무한(completely ungauged) 유역과 불완전한 계측으로(partially gauged) 정확한 유황분석이 어려운 유역을 통칭하여 정의하였다. 이제는 방법론을 체계적으로 분류하기 위해 이러한 미계측의 개념을 부분계측과 완전미계측 유역으로 구분하여 각각에 적합한 저수량 산정 방법론을 제시한다.

2.1. 부분계측 유역에서 저수량 산정법

(1) 확장법(Extension method)

1년 365일 매일의 유량자료 없이 부분적으로 계측이 진행된 자료를 통해 유황분석을 수행하기에는 어려움이 따른다. 왜냐하면 저수량은 1년 일 연속유량을 크기순으로 나열했을 때 275번째에 해당하는 값으로 정의되기 때문이다. 만일 매일이 아닌 8일 간격으로 유량을 계측했다면 외삽이나 내삽을 통해 365개의 유량으로 확장해야 정확한 저수량 산정이 가능해진다. 미 지질조사국(USGS)에 의하면 연속 관측된 자료를 전이하여 수문학적으로 동일 혹은 유사한 유역에서 부분 계측된 유량자료가 365일 연속유량자료로 확장될 수 있음을 보여준 바 있다.³⁾ 이를 국내 상황으로 치환해 보면 국토부가 제공하는 일유량(국가수자원관리종합정보시스템 참조)을 환경부가 제공하는 8일 간격 유량(물환경정보시스템 참조)으로 전이하여 일 연속유량으로 만들 수 있음을 뜻한다.

확장법을 적용하기 위해서는 부분계측지점과 연속계측지점에서 각각 취득된 유량자료간 상관성이 높아야 한다. Hirsch⁴⁾에 의하면 상관성을 알아보기 위해 우선 Fig. 1과 같이 Y지점에서 부분 계측된 유량과 같은 날 X지점에서 계측된 연속유량자료를 추출하여 상용로그 취한 후 두 자료를 도시한다. 이때 두 자료간 상관계수(correlation coefficient)가 크면서 선형적인 관계(linear relation)에 있다면 회귀식을 이용하여 부분계측자료를 연속자료로 확장할 수 있다. 여기서 회귀식의 선택에 있어서 일반적으로 쓰이는 최소제곱법(Least square estimator)대신 다음과 같

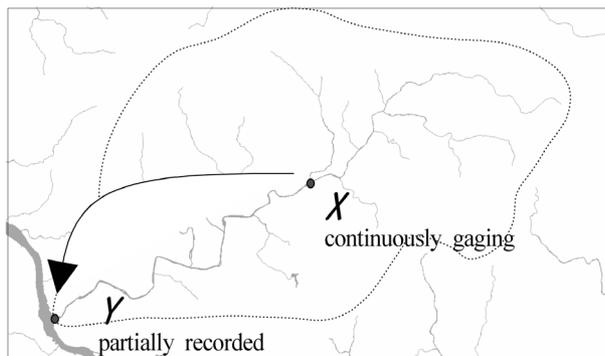


Fig. 1. Conceptual diagram of extension technique

은 분산유지법(Maintenance of variance extension)이 더 나은 내외삽 결과를 산출함을 보인바 있다.⁴⁾

$$\hat{y} = \bar{y} + \frac{S_{yy}}{S_{xx}}(x_i - \bar{x}) \quad (1)$$

여기서 \hat{y} 는 추정치이고 x 는 독립변수이다. 그리고 평균 및 분산(variance)과 관련된 항들을 다음과 같이 각각 정의할 수 있다.⁵⁾

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n, \quad \bar{y} = \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) / n \quad (2a)$$

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

(2) 백분위수법(Percentile method)

이 방법은 8일간격 유량자료를 연속 일 유량자료로 확장시키지 않고 계측된 45여개의(8일간격으로 계측하면 년 45개의 자료를 취득하게 됨) 유량자료만을 가지고 유황분석을 하여 저수량을 산정하는 방식이다. 유황분석에서 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량은 각각 백분위수(percentile) 0.74, 0.49, 0.25, 0.03에 해당한다. 연속 유량(모집단)에서 45여개 유량자료(표본)가 무작위로 추출되었다는 가정하에 표본(8일 간격 측정유량 자료)을 가지고 각각의 백분위수에 해당하는 유량을 산정하는 방식이다.

이 방법은 간단한 절차를 통해 저수량을 산정할 수 있다는 장점이 있다. 반면 모집단으로부터 무작위로 표본이 추출되었다는 가정하에 유의미한 결과를 도출할 수 있으나, 8일간격 유량 계측의 경우 표본이 편향(bias)되었을 가능성이 높다. 왜냐하면 환경부에서는 청천(晴天)시를 중심으로 8일간격 유량 측정을 하고 강우(降雨)시 고유량을 계측하지 않기 때문이다. 실제로 총량관리단유역 청미A의 말단지점(동일지점인 삼합교에서 국토부와 환경부가 유량을 계측함)에서의 2009년도 1일 연속유량과 8일 간격 유량을 비교해 보면 Fig. 2에서 보듯이 8일 간격유량이 전체적으로 왼쪽으로 약간 치우쳐져 있음을 확인할 수 있다.

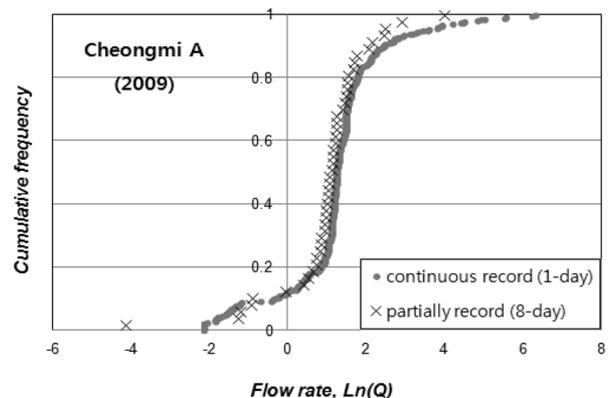


Fig. 2. Cumulative flow-duration curves at Cheongmi A station

2.2. 완전미계측 유역에서 저수량 산정법

(1) 면적비법(Drainage-area ratio method)

유량자료가 전무한 미계측유역에서는 인근의 계측유역 자료를 이용하여 기준유량을 간접적으로 추정하는 방식을 사용할 수 있다. 일반적으로 유역에서 유출되는 자연 유량은 강우사상과 유역의 특성에 의해 좌우된다. 이 중 강우사상은 동일하다고 가정하면 유역의 특성 중 가장 유량에 민감한 인자는 면적이라 할 수 있겠다. 유역의 면적만을 중요 변수로 간주하여 인근 유역이나 특정 지점에서 계측된 유량값을 면적비로 전이시키는 방법이 면적비법이다. 면적비법을 수식으로 나타내면 식 (3)와 같다.

$$Q_1 = \frac{Q_2}{A_2} A_1 \tag{3}$$

여기서 Q_1 은 미지의 유출량(m³/sec), Q_2 는 계측된 유출량(m³/sec), A_1 은 미계측유역의 유역면적(km²), A_2 는 계측유역의 유역면적(km²)이다. 면적비법의 장점은 인근유역에 관측된 유량자료가 있다면 유역면적만을 통해 간단히 유량을 추정할 수 있다는 간편성에 있다. 또한 유량이나 유역 특성에 관한 정보가 전무한 경우에도 유량을 추정할 수 있는 장점도 있다. 하지만 자연유출량에 영향을 미치는 중요한 제반 요소들을 전부 무시하기 때문에 오차가 크게 발생할 소지를 내포하고 있다. Ries와 Friesz³⁾는 면적비법을 사용할 때 유역간 면적비가 0.3 ~ 1.5 배 이내인 경우를 추천한 바 있다.

(2) 지역회귀법(Regional regression method)

지역회귀법은 앞서 논의한 면적비법처럼 하나의 인자(유역면적)에 비례하여 유량을 추정하는 것이 아니고, 유량에 영향을 미치는 유역특성들을 다수 감안하여 회귀분석을 통해 경험식(empirical equation)을 만들어 유량을 추정하는 방법이다. 여기서 유역특성을 나타내는 인자는 유역의 면적을 차치하더라도 유역의 길이, 고도, 유역내 하천의 수, 하천의 평균폭과 수심, 기저유출지수 등 여러 가지를 들 수 있다. 이 중 특정유황에 영향을 가장 많이 미친다고 판단되는 인자만을 골라 경험식을 개발하면 된다. 일반적으로 지역회귀방법은 고유량보다는 주로 갈수량 추정에 자주 사용되어 왔고 그 오차도 작다고 알려져 있다.⁶⁾ 본 연구에서는 Cho 등⁷⁾의 제안을 따라 저수량에 영향을 미치는 인자로 유역의 면적, 기울기, 밀도의 3가지로 잡아 다음의 식으로 표현하였다.

$$Q_{275} = aA^b S^c D^d \tag{4}$$

여기서 Q_{275} 는 저수량 (m³/s), A 는 유역의 면적 (km²), S 는 유역의 평균 경사 (%), D 는 유역의 밀도, 즉 유역면적 대비 하천연장 (km/km²), a, b, c, d 는 각각 회귀계수들이다. 식 (4)에 자연로그를 취해 선형화하면 다음식과 같다.

$$\ln Q_{275} = \ln a + b \ln A + c \ln S + d \ln D \tag{5}$$

식(5)를 기반으로 선형다중회귀분석을 통해 회귀계수를 구할 수 있다. 한강수계 주요지천 15개 유역(Fig. 3 참조)을 대상으로 유역의 특성 인자들을 수집하여 이를 회귀계수를 결정하기 위한 자료로 이용하였으며, 각 유역별 정보는 DEM(digital elevation map)을 사용하여 도출하였다. 또한 각 유역 말단의 저수량은 앞서 기술한 확장법을 통해 산출한 유량을 사용하였다. 적용 유역별 지형 및 수문학적 특징을 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Hydrological and geometric property of object watersheds

Watershed	Area (km ²)	Slope (km/km)	Density (km/km ²)	Length (km)
Cheongmi	596.60	0.160	0.403	240.29
Yangwha	181.66	0.055	0.454	82.4
Bokha	308.50	0.202	0.446	137.62
Heuk	314.07	0.270	0.452	142.01
Gyeonggan	561.12	0.270	0.545	305.88
Gapyeng	305.41	0.464	0.375	114.57
JoJong	260.58	0.369	0.410	106.8
Wanguk	274.62	0.144	0.471	129.22
Jungrang	298.73	0.220	0.527	157.49
Tan	303.07	0.176	0.451	136.75
Anyang	281.17	0.123	0.522	146.65
Gokreung	261.43	0.294	0.518	135.34
Munsan	187.24	0.326	0.481	90.11
Shin	343.66	0.260	0.481	165.42
Yonpyeng	568.83	0.171	0.345	196.02

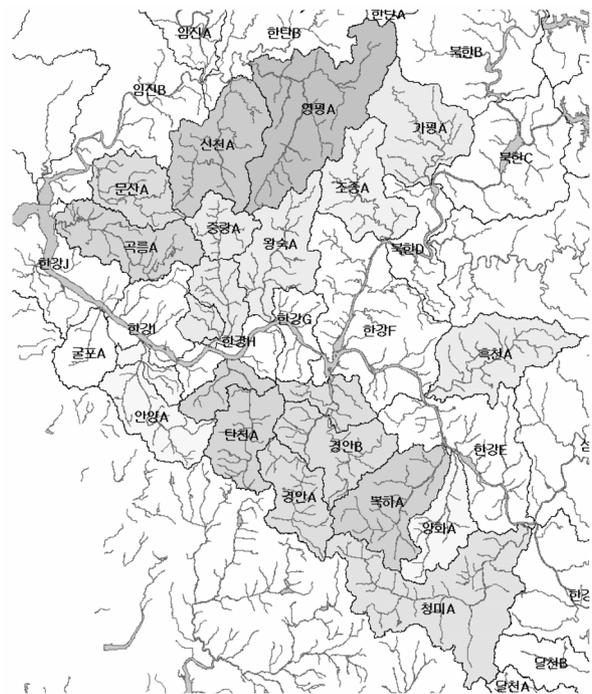


Fig. 3. Objective watersheds (unit watershed of TMDLs)

회귀식은 2008년도에 계측된 13개 유역의 자료를 기반으로 개발하였고, 2009년에 계측된 14개 유역의 자료로 개발된 식의 타당성을 검증해 보았다. 그 결과를 Fig. 4에 도시하였다. 이 그림에서 보듯이 개발된 회귀식이 관측된 유량과 비교하여 상관관계가 크게 높다고 할 수는 없으나(상관계수가 0.68), 검증된 결과 또한 나쁘지 않은 상관성을 보였다(상관계수가 0.62). 결과적으로 본 연구에서 개발한 한강수계 저수량 추정을 위한 회귀식은 다음과 같다.

$$Q_{275} = 0.0625A^{0.465}S^{-0.730}D^{0.083} \quad (6)$$

3. 방법론의 적용 및 검증

3.1. 대상유역

제안된 미세측유역에서 저수량 산정 방법론들을 실제 유역에 적용해 보았다. 대상 유역은 환경부에서 설정한 한강수계 수질오염총량관리단위유역 중 행정구역상 주로

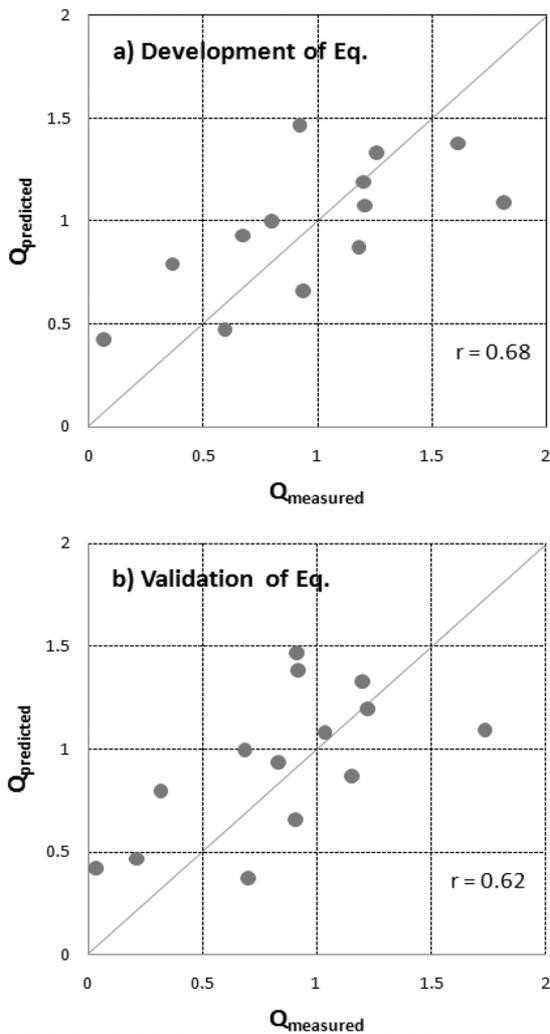


Fig. 4. Development and validation of empirical equation

경기도에 포함되는 유역을 선택하였다. 반면 대담으로 유량이 조절되는 한강 본류구간 내 단위유역은 연구의 범위에서 제외하였다. 본 연구에서 선정한 15개 총량관리단위 유역(남한강 5개유역과 북한강 2개 유역, 팔당댐하류 8개 유역, 경안A 제외)을 도시하면 Fig. 3과 같다. 이 그림에서 표시된 각각의 단위유역 말단지점에서 한강물환경연구소는 2004년부터 8일 간격 부분관측 유량자료를 생산하고 있다.

3.2. 방법론의 적용

제안된 4가지 방법론을 이용하여 15개 단위유역의 말단지점에서 2009년도 저수량을 산정해 보았다. 먼저 확장법의 경우 8일 간격으로 계측된 유량을 365일 연속 일자료로 확장해야 하므로 부분계측유량자료와 대응할 수 있는 연속유량자료를 찾아보았다. 만일 동일한 단위유역내에 국토부가 관리하는 수위표, 즉 연속유량계측지점이 있다면 그것을 이용하였다. 그러나 동일 유역내에 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 확장에 우선적으로 사용하였다. 이 때 두 유량 자료간에 상관도가 높고 낮음은 상관계수(correlation coefficient)로 정량화하여 평가하였다. 15개 단위유역과 그 말단부의 자료확장에 사용된 연속유량계측지점(reference station)을 정리하면 Table 2와 같다. 다음으로 백분위수법은 8일 간격으로 부분 관측된 유량자료를 나열하여 백분위수 0.25에 해당하는 유량을 저수량으로 지정하였다.

완전미계측유역으로 간주하여 저수량을 산정하는 방법

Table 2. Application of extension method and drainage-area ratio method

Watershed	Extention			Area ratio
	reference station	location	r	reference station
Cheongmi A	Cheongmi	identical	0.59	Yeoju
Yangwha A	Yulgeuk	identical	0.91	Cheongmi
Bokha A	Heunchen	identical	0.97	Yeoju
Heuk A	Gyeongang	other	0.93	Yeoju
Gyeongang B	Gyeongang	identical	0.97	Yeoju
Gapyeng A	Tuegyewon	other	0.88	Heunchen
JoJong A	Gyeongang	other	0.84	HC dam
Wangsuk A	Tuegyewon	identical	0.98	Tuegyewon
Jungrang A	Jungrang	identical	0.98	Chungju
Tan A	Sungnam	identical	0.86	Yeoju
Anyang A	Shinjung	identical	0.62	Yeoju
Gokreung A	Jungrang	other	0.93	YC dam
Munsan A	Jungrang	other	0.95	YC dam
Shin A	Chengsan	identical	0.88	HC dam
Yonpyeng A	Yongjung	identical	0.92	HC dam

Table 3. Results of evaluated low-flow by methods (unit; m³/s)

Watershed	measured	partially recorded		completely ungauged	
		extention	percentile	area ratio	regression
Cheongmi A	2.77	2.50	2.27	3.51	4.32
Yangwha A	1.52	1.20	0.97	1.32	5.47
Bokha A	2.62	1.98	2.17	1.82	2.70
Heuk A	1.23	1.37	1.59	2.16	2.21
Gyeongan B	-	2.81	3.31	3.37	2.94
Gapyeng A	-	2.02	1.98	2.38	1.44
JoJong A	1.05	1.24	1.34	1.35	1.60
Wangsuk A	-	3.40	3.48	1.35	3.29
Jungrang A	-	5.81	5.64	0.83	2.53
Tan A	-	5.65	5.68	1.16	2.96
Anyang A	-	4.29	4.29	1.68	3.76
Gokreung A	-	2.48	2.27	0.51	1.93
Munsan A	-	1.04	1.04	0.75	1.52
Shin A	3.25	3.28	3.18	1.93	2.38
Yonpyeng A	3.56	4.81	5.27	3.10	3.97

인 면적비법은 하천기본계획보고서에서 기 도출된 타유역의 저수량(Q₂)를 참조하여 면적비율로 해당 유역의 저수량(Q₁)을 산정하였다. 산정에 기준이 되는 타유역을 Table 2에 또한 적시하였다. 끝으로 지역회귀법은 Table 1에 정리된 각 단위유역별 수문, 지형학적 요소를 식(5)에 대입하여 저수량을 계산하였다. 이상의 4가지 방법으로 각각 산정된 저수량을 정리하면 Table 3와 같다.

3.3. 검증 및 평가

4가지 방법으로 산정된 저수량의 정확도를 검증하여 어떤 방법이 어떤 조건에서 사용되어야 할 것인지 평가하였다. 우선 방법들을 검증하기 위해서는 유량이 부분 계측된 지점과 동일한 지점에 연속적으로 계측된 유량자료가 있어야 한다. 그래야 연속유량자료를 참값으로 간주하여 제 방법으로 계산된 유량값들과의 오차를 따질 수 있기 때문이다. Fig. 3에서 제시된 15개 단위유역의 말단부에서 연속유량계측이 이루어지고 있는 곳, 즉 국토부가 운영하는 수위표를 찾아보면 모두 7개의 수위표가 존재한다(청미A에 삼합, 양화A에 울곡, 복하A에 흥천, 흑천A의 흑천교, 조종A의 조종, 신천 A의 청산, 영평A의 고소성). 단 여기서 부분계측지점과 연속계측지점이 꼭 일치하지는 않더라도 두 지점간 거리가 가까우면서 그 중간에 지천의 유입이 없는 경우는 동일지점으로 간주하였다. 이 7개 단위유역의 자료를 이용하여 방법간 정확성을 그림으로 도시하면 Fig. 5와 같다.

이 그림에서 보듯이 당연히 계측 유량자료를 이용하는 경우가 완전미계측의 경우보다 더 정확한 저수량을 산출하였다. 부분계측 유량을 이용하는 방법 중에서는 확장법이 백분위수법 보다 미세하게 나은 결과를 보였다. 이는 Table 3에서도 확인할 수 있는데, 7개의 검증 결과 중 하나의 유역을 제외하고 나머지 유역의 결과는 확

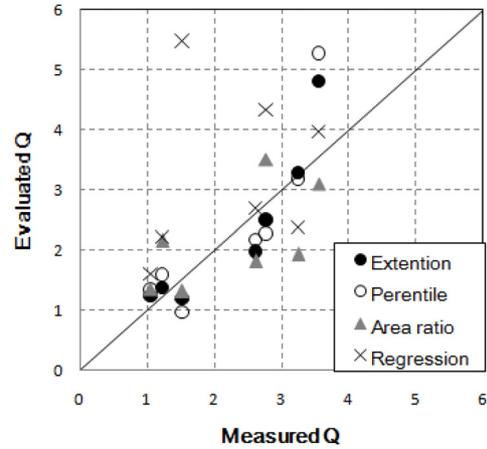


Fig. 5. Comparison of measured and calculated flow-rate

장법이 실측유량에 더 근접하였다. 완전미계측의 경우 검증에 쓰인 7개의 유역만 보면 면적비법이 지역회귀법보다 더 좋은 결과를 산출하였다. 그러나 그 외의 대부분의 유역에서는 Table 3에서 보듯이 면적비법이 대체적으로 유량값을 과소산정하는 경향을 보였다. 이는 도시화가 이루어진 유역에서 더 뚜렷한 양상을 보이고 있다. 그 이유는 면적비법은 자연유출량만 계산될 뿐 하수처리장 등에 의해 인위적으로 유역에 유입되는 유량을 고려하지 못했기 때문이다. 본 연구의 대상유역에 위치한 도시들은 원수를 해당 유역에서 취수하지 않고 광역상수도를 이용하기 때문에 해당유역의 실제 유출량은 자연유출량보다 클 수 밖에 없다. 따라서 면적비법을 이용할 경우 유역에서 발생하는 인위적 유량을 반드시 고려해야 할 것이다.

이상의 논의를 바탕으로 어떤 상황에서 어떤 방법을 사용할 것인지 평가를 하자면 불완전하게나마 계측된 유량이 존재하는 유역의 경우 확장법을 이용하여 유량을 365개로 확장한 후 유황분석을 통해 저수량을 산정하는 방법이 백분위수법에 비해 나아 보인다. 반면 유량이 전무한 유역에서는 간편한 면적비법을 활용할 수 있으나, 이때는 반드시 유역에서 발생하는 인위적 유량을 확인하여 이를 산정된 저수량에 가감해 주어야 할 것이다. 보완적인 방법으로 회귀식을 최근 유량자료로 지속적인 업데이트를 한다면 지역회귀방법도 정확한 저수량을 산정할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 한강유역 총량관리 단위유역 내 배출부하량 산정시 기준이 되는 기준유량, 특히 저수량의 결정에 있어서 유량의 불완전 계측이나 완전미계측으로 인해 발생할 수 있는 불확실성을 제거하고자 저수량 산정 방법론들을 평가해 보았다. 불완전 계측된 경우 확장법이 현재 사용되고 있는 백분위수법보다 좀 더 나은 결과를 보였다. 완전미계측의 경우 면적비법으로 산정된 자연유출량에 하수처리장 방류수 등의 인위적 유량을 고려해야 실측 유량에 근사하는 결과를 보였다. 지역회귀법은 지속적

인 유량자료의 업데이트로 회귀식을 수정, 보완해 나간다면 산정치의 정확도를 높일 수 있을 것이라 사료된다.

감사의 글: 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(과제번호:2012-0008575).

References

- 1) S. Kim, K. Kang, M. Kim and H. Shin, "The Possibility of Daily Flow Data Generation from 8-day Intervals Measured Flow Data for Calibrating Watershed Model", J. Korean Society on Water Quality, Vol. 23, No. 1, pp. 64-71, 2007.
- 2) K. Baek and D. Yim, "Extension Techniques of 8 Day Interval Recorded Stream-flow Data to Daily One", J. Korean Water Resources Association, Vol. 45, No. 1, pp. 91-99, 2012.
- 3) K. Ries and P. Friesz, "Methods for Estimating Low-Flow Statistics for Massachusetts Streams. Water-Resources Investigations Report 00-4135, U.S. Geological Survey, Ma, 2000.
- 4) R. Hirsch, "A Comparison of Four Streamflow Record Extension Techniques" Water Resources Research, Vol. 18, No. 4, pp. 1081-1088, 1982.
- 5) N. Kottegoda and R. Rosso, "Statistics, Probability, and Reliability for Civil and Environmental Engineers", McGraw-Hill Inc, NY, 1997.
- 6) R. Vogel and C. Kroll, "Regional Geo-hydrological Geomorphic Relationships for the Estimation of Low-flow Statistics", Water Resources Research, Vol. 28, No. 9, pp. 2451-2458, 1992.
- 7) T. Cho, Y. Kim and K. Lee, "Improving Low Flow Estimation for Ungauged Basins in Korea", J. Korean Water Resources Association, Vol. 40, No. 2, pp. 113-124, 2007.