

유형별 유속측정 방법에 따른 유효성 연구

함상인^a · 이정환^b · 김대영^c · 하든우^d · 김윤수^e · 정강영^f · 이영재^g · 김경현^h · 김영석^{i,†}

국립환경과학원 영산강물환경연구소

Efficiency Study of Measurement Method by Flow Duration

Sang In Ham^a · Jeong Hwan Lee^b · Dae Young Kim^c · Don Woo Ha^d · Yoon Soo Kim^e ·
Kang-Young Jung^f · Yeong Jae Lee^g · Gyeong Hyeon Kim^h · Young Suk Kim^{i,†}

*Yeongsanriver Environment Research Center, National Institute of Environmental Research
(Received 23 May 2018, Revised 13 August 2018, Accepted 4 September 2018)*

Abstract

There are differences in method and cycle of flow rate survey depending on purpose of the operating department. To verify and use results of flow data according to the purpose, flow data of the directly measured and tele monitoring system were compared to verify validity. Flow measurement in the Ministry of Environment is aimed at setting up a standard flow of target water quality for water quality management and securing flow data of low and normal water level seasons for water quality evaluation. In this study, correlation analysis result (R^2) of same time zone data by direct measurement and tele monitoring system (TMS) at Seombon D point, a unit watershed of Seomjin river, for six years ('10 ~ '15) according to implementation of Total Daily Maximum Load (TDML) was wading 0.716, boating 0.962 and on bridge 0.943, and effectiveness of measurement method was verified by characteristics of flow duration as a season of dry and low-water; normal and high water are appropriate for wading, boating, and on bridge respectively. Results revealed it is reasonable to use directly measured results using the wading and boating method for low water level and dry seasons, and TMS data for rainy seasons. It can be used important data for future policy decisions.

Key words : Correlation, Flow measurement method, Flow duration, Same time zone data, TDML

^a 연구원(Researcher), <https://orcid.org/0000-0002-8686-834X>

^b 연구원(Researcher), <https://orcid.org/0000-0001-7566-7369>

^c 연구원(Researcher), <https://orcid.org/0000-0001-8701-8593>

^d 연구원(Researcher), <https://orcid.org/0000-0002-0362-0876>

^e 연구원(Researcher), <https://orcid.org/0000-0002-0357-9826>

^f 연구사(Researcher), <https://orcid.org/0000-0001-6903-2850>

^g 연구관(Researcher), <https://orcid.org/0000-0003-3274-2001>

^h 연구관(Researcher), <https://orcid.org/0000-0002-2255-0965>

^{i,†} Corresponding author, 연구사(Researcher), kys522@nate.com, <https://orcid.org/0000-0002-8342-6802>

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.

1. Introduction

환경부에서는 하천의 허용 부하량을 고려하지 않는 배출 허용기준 중심의 농도 규제만으로 오염부하의 양적증가를 통제할 수 없어 수질개선을 위해 과학적 바탕위에서 수질 관리의 효율성을 제고하고, 각 경제 주체들의 책임성을 강화하여 목표수질을 달성하고자 오염총량관리제를 시행하게 되었다(NIER, 2017).

그간 농도개념으로 관리해 오던 수질오염관리 체계를 양적인 관리개념으로 전환하여 시행됨에 따라 수계의 오염물질에 대한 양적인 평가가 주요 과제가 되고 있다. 오염물질을 총량으로 관리하기 위해서는 수계의 오염물질 농도와 함께 정확한 유량자료의 확보가 필요하다. 특히, 유량은 시간적으로 그 변화의 정도가 심하며, 이를 과학적이고 효과적으로 조사하여 기준유량을 결정하는 것이 중요하다(Park et al., 2014).

하지만 유량조사는 국토교통부 및 산하기관의 치수 목적으로 실시되었으며, 수질관리를 목적으로 하는 조사는 부족한 실정이었다. 이에 환경부는 수질관리를 위한 수질오염총량관리의 시행에 따른 유량자료를 확보하고자 2004년부터 4대강 물환경연구소를 중심으로 행정구역경계 지점의 단위유역 말단부의 유량과 수질을 동시에 측정하였다.

유량조사는 운영부처의 목적에 따라 국토교통부는 전국 하천을 대상으로 국가하천의 수계 주요 지점 및 제1지류를 중심으로 하천유량 측정망을 운영하고 있으며, 환경부는 수질오염총량관리에 의해 구분된 단위유역을 대상으로 한 총량유량 측정망을 운영하고 있다. 각 운영부처의 유량조사 목적은 국토교통부의 하천유량 측정망 치수예방을 주목적으로 홍수기의 유량자료 확보가 목적이며, 수질오염총량제의 총량유량 측정망은 수질관리를 위해 설정된 목표수질의 기준유량 설정 및 수질평가를 위한 평·저수기 유량자료의 확보가 목적이다.

환경부의 오염총량 측정망에서는 설정된 단위유역의 말단지점을 연 36회 이상 8일 간격으로 직접측정(도섭법, 보트법, 교량법 등)으로 유량을 조사한다. 이러한 운영목적에 따라 유량조사의 방법 및 주기, 환경부의 총량유량 측정망의 측정지점과 하천유량 측정망의 지점 상이 등의 차이에 의해 유량자료의 직접 이용하기에는 어려운 점이 있다. 이에 각각의 목적에 의해 측정된 유량자료의 검증 및 활용을 위해 환경부 측정망의 유량자료와 인근수위국(Tele Monitoring System, TMS)의 유량자료를 비교하여 유효성을 검증이 필요하다. 이러한 검증을 통해서 대상하천의 지점별 유량 확보 및 상관성에 따라 각 측정망의 유량자료를 상호 활용함으로써 국가 기초자료로의 활용도가 높아질 것이다.

따라서 본 연구에서는 수질오염총량관리를 위한 유량측정망의 측정지점 중 섬진강 본류를 의미하는 섬본D (Seombon D, SB-D)지점의 유량과 국토교통부 인근수위국인 구례수위국의 유량을 비교하여 유형에 따른 측정유량의 분포와 그에 따른 측정유량의 상관성 및 유효성을 검토하고자 한다.

2. Materials and Methods

2.1 연구 대상 유역

본 연구 대상유역은 섬진강수계의 하류 지점으로 전북 진안군 팔공산에서 발원하여 오수천, 요천, 보성강등의 지류와 합류 후 전남 광양시와 경남 하동군 지점에서 다도해로 흘러간다. 하구 합류점까지의 거리는 59.4 km이며, 총유역면적은 4,896.5 km²이다.

Fig. 1은 환경부 수질오염총량제 시행에 따라 구분된 섬진강수계 단위유역인 전라남도 구례군 구례읍 계산리(경도 127°24'25", 위도 35°11'18")에 위치한 SB-D 지점의 유역도이다. 대상지점의 단위유역은 수계 구간 중 전남 순창군과 곡성군의 경계점 후부터 순천시 경계 전까지 전 구간이며, 면적은 647.9 km²이다.

2.2 유량산정 및 불확실도 추정

유량측정은 미국 지질조사국(United States Geological Survey, USGS)또는 건설교통부 수문관측매뉴얼(Ministry of Construction and Transportation, 2004)에 따라 관련규정을 준수하여 연평균 8일 간격으로 측정하였다. 유량산정은 산술계산법의 중간단면법(Mid-section method)을 이용하여 수면에 따라 측정된 소단면의 수면폭 구간에서의 평균유속과 수심을 측정하여 다음 측선의 중간점 사이의 폭을 곱하여 계산한 후 합산하여 총유량을 산정하였다.

불확실도는 측정된 결과자료를 합리적으로 추정한 값을 분산특성으로 나타낸 척도이며, 무작위 속성 때문에 각각의 요소들이 측정 되었을 때 각 요소들이 지니고 있는 오차들의 정확도를 알아야 한다. 이러한 정확한 참값의 부재에 따른 불확실도 추정결과의 오차를 계산함으로써 실측유량의 성과 및 등급을 판단하여 양질의 수문자료를 제시하여야 한다.

하천의 유량은 자연수계의 특성에 의해 변화가 심하기 때문에 불확실성을 내포하고 있다. 신뢰성 있는 실측 유량을 계산하기 위해서는 참값에 대한 측정 자료들 중 불확실도를 발생시키는 요소를 알아야 한다. 불확실도는 각각의 측정요소에 존재하는 전체 오차에 의해서 구성되며, 유량 측정시 오차가 발생하는 요소로는 하천의 수면폭 측정, 수심 측정, 측선에서의 평균유속 측정, 제한된 측선수, 측정 시간, 측정수, 유속계 보정에 의해 발생하게 된다. 본 연구에서는 유속 측정의 불확실도를 계산하는 방법 가운데 하나인 평방자승근 방정식을 이용하여 중간단면법의 전체 불확실도를 추정하였다.

2.3 유량지속곡선

하천의 유량 조건을 반영한다는 것은 자연현상인 강우-유출과정에 의해 다양하게 발생하는 유량뿐만 아니라 상류댐이나 환경기초시설의 방류수, 하천의 취수량 등 인위적으로 조절되는 유량에 대한 고려가 필요하다. 이러한 하천의 유량조건을 확률적으로 파악하는 방법으로 유량지속곡선(Flow Duration Curve, FDC)기법이 있다(Han et al., 2007;

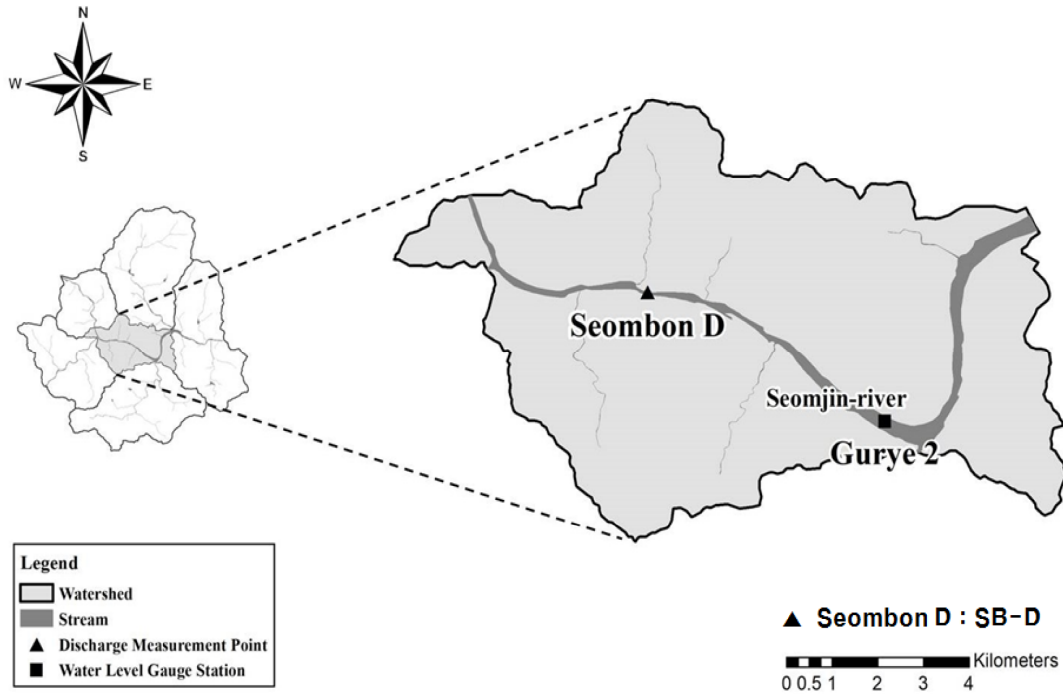


Fig. 1. Location of study site and monitoring point.

Kim et al., 2010). 유량지속곡선은 하천 어떤 지점에서의 가용 하천유량의 규모와 변동성을 평가하기 위한 수단으로 작성되기도 한다(Choi et al., 2012). 본 연구에서는 SB-D 지점 인근에 위치한 구례2수위국의 일유량 자료를 이용하여 유량지속곡선을 작성한 후 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량에 적합한 유량측정방법에 대해 파악하였다.

2.4 통계분석

통계분석은 6년('10~'15)간 측정된 자료를 이용하였으며, SPSS(ver. 18.0)로 실시하였다. 관측치에 대한 정규성 검정(Shapiro-wilk)결과 정규분포를 하지 않으므로 변수변환을 시도하여 재 검정을 실시하였으나 같은 결과를 나타내었다. 대부분 통계 분석은 모수적 데이터에 대하여 이용하는 것으로 알려져 있지만, 크게 두 가지 방법이 있는데 하나는 정규분포에 대해 자료를 분석하는 방법과 또 하나는 비정규분포에 대해서도 분석이 가능한 데이터를 변환시키지 않고 있는 그대로 두고 탐색적으로 정보를 도출하는 방법이다(Heo and Yang, 2004). 또한, Bernard et al. (2004)은 통계 분석에 대해서 데이터의 어느 가정도 필요하지 않는 비모수 방법이라고 하였으며, 덧붙여 통계적 모형에서 포함되는 오차와는 관계가 없기 때문에 관측치들이 정규분포를 하는 경우에 통계는 보다 의미 있겠으나, 이러한 정규성의 가정이 반드시 요구되는 것은 아니다(Han, 1997). 그러므로 본 연구에서는 자료의 변환 없이 원 자료를 그대로 표준화시킨 후 분석하였다.

회귀분석(Regression Analysis)은 하나 또는 둘 이상의 변수(독립변수)에 대한 다른 변수(종속변수)의 변화를 예측하고자 할 때, 그 인과관계를 함수관계로 나타내어 분석하는 통계 기법이다. 회귀분석은 단순회귀분석(Simple Regression

Analysis)과 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)이 있으며, 단순회귀분석은 하나의 독립변수로 하나의 종속변수를 예측하는 분석이다. 다중회귀분석은 단순회귀분석의 확장으로 독립변수가 2개 이상인 경우를 분석 대상으로 하는 회귀분석 방법이다. 단순회귀분석과 다중회귀분석의 회귀 모형식은 식 (1)와 (2)과 같다.

$$y = b_0 + b_1x_1 \tag{1}$$

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \dots \beta_nx_n \tag{2}$$

여기서, y는 종속변수, b₀는 상수항, b₁는 회귀계수, x₁는 독립변수이다. β_n는 n번째 독립변수 x_n의 회귀계수이다. 회귀 분석에서 유의성의 검증은 F통계량(F-value)을 이용하였으며, F통계량은 집단 간 분산과 집단 내 분산의 비를 말한다. 집단 간 분산이 클수록, 집단 내 분산이 작을수록 F통계량이 커지며, F통계량이 커질수록 집단간 평균 차가 존재한다고 할 수 있다. F통계량의 값에 대한 유의확률이 유의수준보다 작으면 적어도 하나의 회귀계수가 유의하다는 것을 의미한다(Han et al., 2012). 유의확률(P-value)이 0.05보다 작으면, 그 변수가 종속변수에 유의한 영향을 미친다고 할 수 있다. 본 연구에서 종속변수(Dy), TMS 일 평균유량(Dy-1), 독립변수(Ix)의 동일 시간대 TMS 시 유량(Dy-2), 독립변수(Ix), 도섭법(Wading, Ix-1), 보트법(Boating, Ix-2), 교량법(On bridge, Ix-3)로 표기하였다.

3. Results and Discussion

3.1 현장조사 및 자료 분석

본 연구는 2010년부터 2015년까지 6년간 환경부 유속측

Table 1. Distribution of annual mean velocity of flow 2010 ~ 2015 (Unit : m/sec)

Year Index	2010 (N=41)	2011 (N=42)	2012 (N=42)	2013 (N=48)	2014 (N=41)	2015 (N=45)
Min	0.273	0.130	0.273	0.205	0.183	0.214
Max	0.993	1.007	1.023	0.911	0.826	0.772
Average	0.568	0.492	0.500	0.382	0.490	0.498

정 결과를 분석하였으며, 측정방법으로는 홍수기-교량법, 평·저수기-보트법, 저·갈수기-도섭법으로 실시하여 총 259회 수행하였다. 그 결과에 대한 유속의 분포는 Table 1에 나타냈으며, 조사기간 평균은 0.488 m/sec로 나타났다.

SB-D 지점의 유속 측정방법에 따른 실측 유량자료와 인근 TMS의 유량자료를 비교 분석하였다. 환경부에서는 수질관리를 위해 평·저수기의 중심의 유량을 측정하였으며, 실측 횟수는 2010년과 2014년에 41회, 2011년과 2012년에 42회, 2013년에 48회, 2015년에 45회 수행하였다. 연도별 평균유량은 38.05 m³/sec로 분석 되었다. SB-D 지점의 측정 유량 중 최저 유량은 도섭법에 의해 측정된 8.00 m³/sec ('12)이며, 최대 유량은 교량법에 의해 측정된 226.73 m³/sec ('10)로 산정되었다. 분포를 나타내는 표준편차는 2010년도에 55.96으로 가장 크게 나타났으며, 2014년도에 20.95로 가장 작게 나타났다. Fig. 2와 Table 2 6년간의 측정유량분포를 나타낸 것이다.

측정방법에 따른 평균유량(최소~최대)는 도섭법 15.27(8.00 ~ 26.35) m³/sec, 보트법 42.31(13.41 ~ 226.73) m³/sec, 교량법 109.68(40.91 ~ 221.25) m³/sec로 분석 되었으며, 측정방법 비율은 도섭법 34%, 보트법 59%, 교량법 7%로 나타났다. 실측 유량 측정 자료를 분석한 결과, 평·저수기 및 저·갈수기의 유량 측정 횟수가 높게 나타나 수질관리 및 평가를 위한 평·저수기의 유량조사 빈도가 높음을 알 수 있었고, 그에 따른 유량 자료로서의 신뢰도를 확보 할 수 있었다. Table 3과 4는 연도별 측정방법 횟수 및 비율을 나타낸 것

Table 2. Distribution of annual mean flow 2010 ~ 2015 (Unit : m³/sec)

Year Index	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Min	9.20	8.91	8.00	10.51	10.81	12.57
Max	226.73	120.09	205.49	221.25	113.82	123.40
Average	47.36	35.66	36.21	46.20	30.52	32.37
Stdev	55.96	27.59	40.71	43.96	20.95	24.26

Table 3. Number of measurements by each method (2010 ~ 2015)

Year Method	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
Wading	14	11	14	8	20	20	87
Boating	27	31	26	28	19	22	153
On bridge	-	-	2	12	2	3	19

Table 4. Percentage of measurements by each method (2010 ~ 2015) (Unit : %)

Year Method	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Wading	34	26	33	17	49	44
Boating	66	74	62	58	46	49
On bridge	-	-	5	25	5	7

이다. 여기서 2010년과 2011년의 교량측정 방법은 실시하지 않았다.

3.2 유속 측정 방법에 따른 불확실도

유형별 유속의 변화에 따라 유량측정 성과에 대한 불확실도 분석을 통해 최소, 최대, 평균의 통계 요약치들을 산정하였다(Table 5). 유량측정성과의 기준인 불확실도는 미국지질조사국(USGS)의 등급에 따라 분류된다. 분류기준은 1등급(Excellent) 불확실도 ≤ 2%, 2등급(Good) 2% < 불확실도 ≤ 5%, 3등급(Fair) 5% < 불확실도 ≤ 8%, 4등급(Poor)

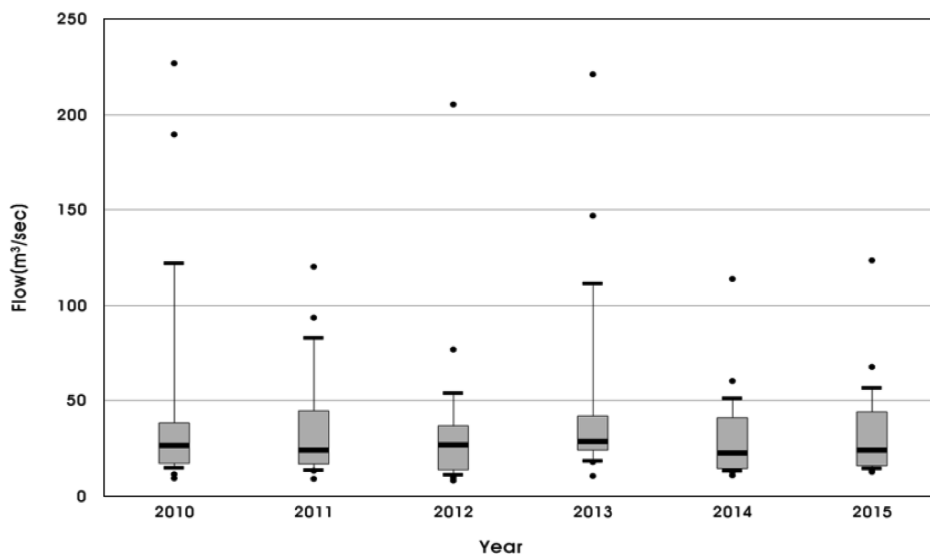


Fig. 2. Distribution of Annual flow 2010 ~ 2015.

Table 5. Uncertainty of annual flow by measurement methods (2010 ~ 2015) (Unit : %)

Year		2010	2011	2012	2013	2014	2015
Method	Min	3.11	3.24	3.23	3.05	3.03	3.21
	Max	3.77	4.10	3.99	3.77	3.75	3.95
	Ave	3.38	3.66	3.48	3.38	3.38	3.46
Boating	Min	2.99	3.06	3.02	2.99	3.12	2.99
	Max	4.39	4.35	3.76	3.73	3.47	3.71
	Ave	3.40	3.41	3.22	3.22	3.27	3.29
On bridge	Min	-	-	3.13	3.02	3.02	3.03
	Max	-	-	3.14	3.73	3.65	4.53
	Ave	-	-	3.13	3.34	3.34	3.78

불확실도 > 8%이며, 분석방법에 따른 불확실도는 도섭법 평균 3.45%, 보트법 평균 3.31%, 교량법 평균 3.39%로 측정방법별 차이는 소폭으로 나타났으며, USGS기준 2등급 (Good)인 2% < 불확실도 ≤ 5%의 값으로 매우 높게 평가되었다.

3.3 측정방법에 따른 유량지속곡선

영산강홍수통제소에서 제공되는 TMS의 일 유량을 토대로 2010년부터 2015년까지 전체 유량 조건에 대해 SB-D 구역에서의 유출 특성을 파악하기 위해서 각 연도별로 유량측정방법에 따른 유량지속곡선을 작성하였다(Fig. 3).

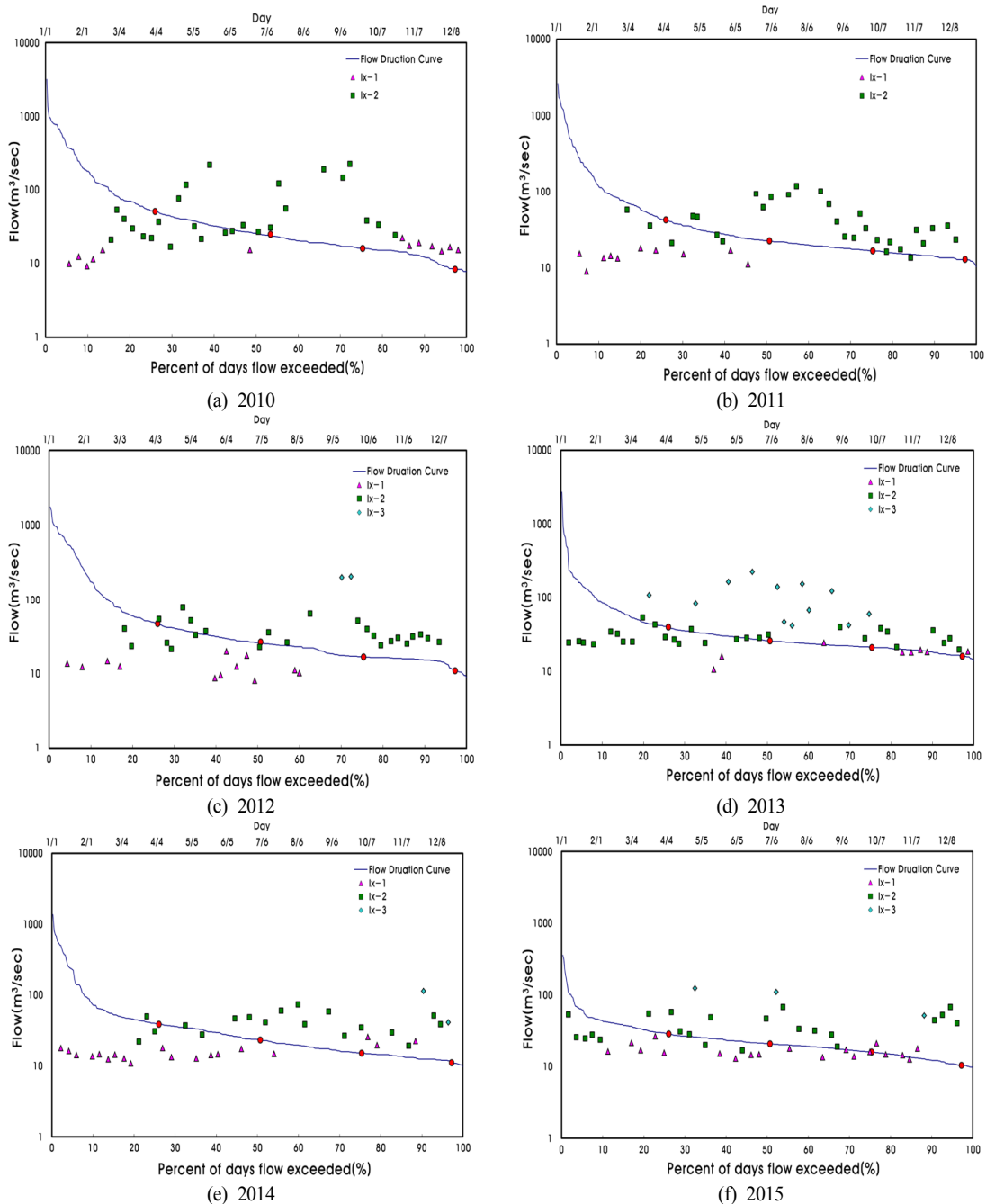


Fig. 3. Comparison of flow measurement methods by flow condition (2010 ~ 2015).

Table 6. Comparison of flow classified by flow condition (2010 ~ 2015) (Unit : m³/sec)

Year	Flow classification			
	Q ₉₅	Q ₁₈₅	Q ₂₇₅	Q ₃₅₅
2010	51.05	25.00	16.14	8.32
2011	41.99	22.51	16.47	12.78
2012	46.85	25.61	16.76	10.95
2013	39.45	25.64	21.05	15.82
2014	38.80	23.14	15.22	11.17
2015	28.73	20.86	15.93	10.42
Average	41.15	23.79	16.93	11.58

Table 6은 TMS에 해당하는 풍수량(Q₉₅), 평수량(Q₁₈₅), 저수량(Q₂₇₅), 갈수량(Q₃₅₅)의 유량을 나타내었다. 그 결과 평균 풍수량 41.15, 평수량 23.79, 저수량 16.93, 갈수량 11.58 m³/sec로 조사되었다.

본 연구에서 수행한 유형별 유량 측정방법을 분석한 결과, 저·갈수기에는 도섭법으로 수행하였고, 풍·평수기에는 보트법과 교량법을 이용하여 측정된 것으로 나타났다.

3.4 TMS와 실측 결과에 대한 상관관계

실측유량의 독립변수(Independent variable, Iv)를 Ix로 표

기하였으며, 종속변수 (Dependent variable, Dv)는 Dy로 표기하였다. TMS 일 평균유량(Dy-1)과 독립변수(Ix)의 동일 시간대 TMS 시 유량(Dy-2)으로 하여 단순회귀분석을 하였다. 분석 결과는 259회 모니터링 한 데이터('10~'15)를 유형별로 구분하였으며, Table 7와 Fig. 4에 나타내었다. 일 유량과 실측유량의 단순회귀모형에서 상호 상관성을 나타내는 측정기간 내 R²은 0.868으로 나타났고, 시 유량과 실측유량의 단순회귀모형의 측정기간 내 R²은 0.971로 일 유량보다 시 유량이 높은 상관성을 보였다. 측정방법에 따른 상관성은 시 유량에서 보트법 0.962, 교량법 0.943로 높은 상관관계를 나타냈다. F-value에 대한 유의확률값 P-value는 각각의 측정방법에서 모두 0.00으로 분석되어 유의확률값 0.05 보다 낮게 나타나 회귀식이 매우 유의하다는 것으로 판단된다.

TMS 유량(Dy-1, 2)과 실측유량(Ix)의 회귀분석 결과, Dy-1은 Ix가 증가할수록 더 큰 폭으로 유량 값의 차이가 발생하였고, Dy-2는 유량 값의 차이가 적은 것으로 나타났다(Fig. 4). 또한, 단순회귀분석에서 Ix와 Dy-1의 상관계수(R²)는 0.868, Ix와 Dy-2의 상관계수(R²)는 0.971로 나타났다. 따라서, 유속 측정방법에 따른 유효성 추정을 위한 단순회귀모형의 자료는 Dy-2로 선정하였다.

Table 7. Regression equation of flow by measurement methods for survey and TMS

Measurement Methods		Regression models	R ²	Standard Error	F-value	P-value
Dy-1*	total	y=0.840x+3.582	0.868	12.42	1689.4	0.0
	Ix-1	y=0.726x+5.088	0.231	4.80	25.5	0.0
	Ix-2	y=0.849x+3.519	0.775	14.94	520.9	0.0
	Ix-3	y=0.843x+1.633	0.918	15.18	191.1	0.0
Dy-2**	total	y=0.870x+1.666	0.971	5.68	8683.3	0.0
	Ix-1	y=0.730x+4.208	0.716	1.67	214.4	0.0
	Ix-2	y=0.895x+0.560	0.962	5.81	3822.8	0.0
	Ix-3	y=0.856x+1.598	0.943	12.9	281.8	0.0

* Dy-1 : Daily average flow of TMS

** Dy-2 : Flow of survey and TMS at the same time

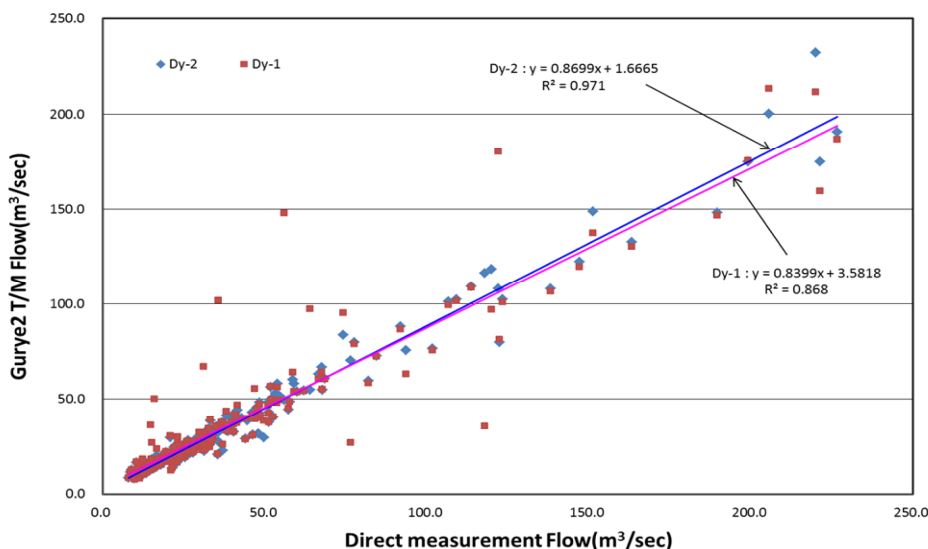


Fig. 4. Correlation of flow for survey and TMS.

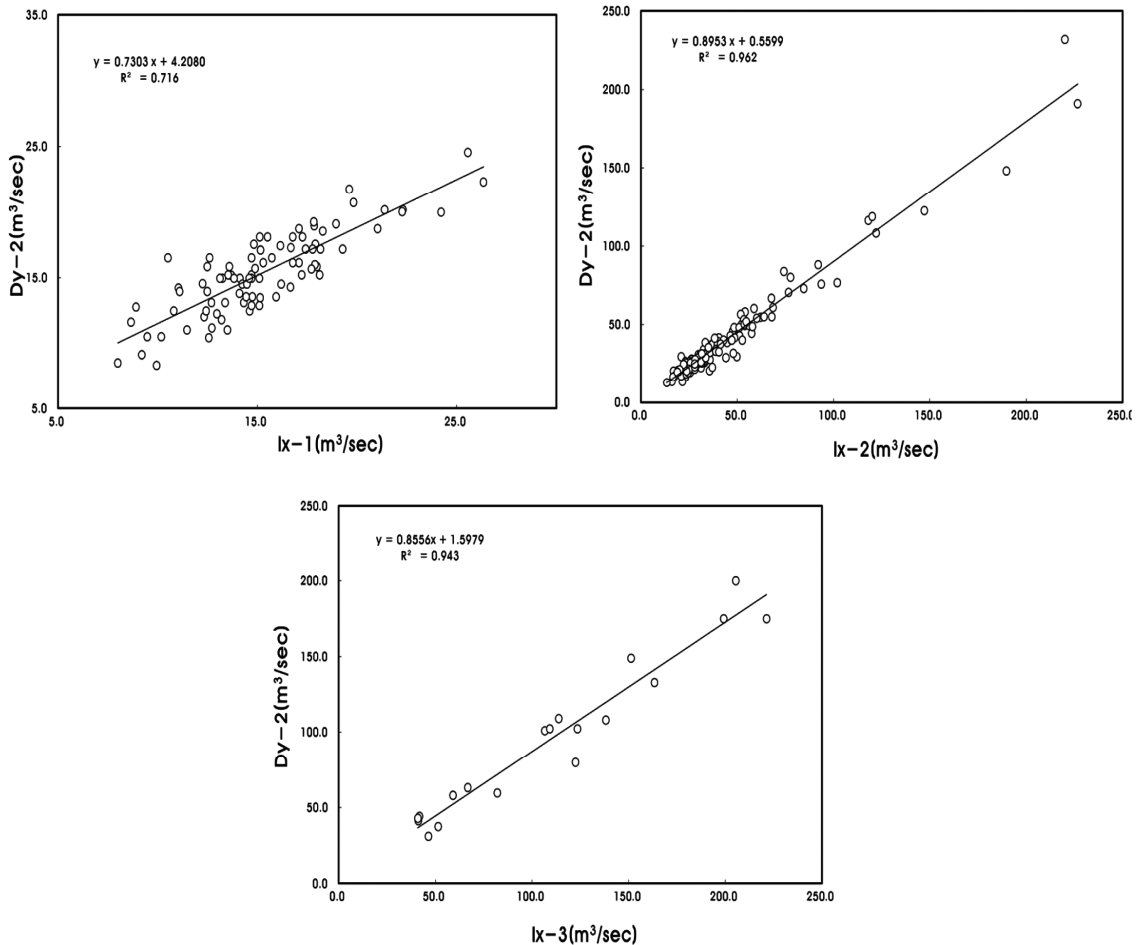


Fig. 5. Correlation of flow by measurement methods for survey and TMS.

3.5 TMS와 실측 유량의 상관성 평가

TMS를 기준으로 Dy-2와 Ix의 측정 방법에 따른 단순회귀분석을 하여 상관성을 나타내었다(Fig. 5). 도섭법(Ix-1)으로 측정된 평균유량(최소~최대)은 15.27(8.00~26.35) m³/sec이며, TMS 유량과의 상관계수는 0.716로 나타났다. 보트법(Ix-2)으로 측정된 시 유량의 평균유량(최소~최대)은 42.31(13.41~226.73) m³/sec이며 상관계수는 0.962로, 교량법(Ix-3)에서 측정된 시 유량의 평균유량(최소~최대)은 109.68(40.91~221.25) m³/sec이며, 상관계수는 0.943로 나타나 풍·평수기 유량에서 TMS (Dy-2) 상관성이 높은 결과를 나타내었다. 따라서 저·갈수기 시기의 저유량에서는 도섭법(Ix-1)으로 실시한 유량 값으로 산정하고, 풍·평수기 시기의 고유량에서는 TMS 유량 (Dy-2)을 이용하는 것이 타당하다고 판단된다.

4. Conclusion

본 연구는 섬진강수계 중 SB-D 지점의 6년간(‘10~‘15) 실측한 유량자료(Ix)를 유황과 측정방법에 따라 모니터링을 실시하였다. 실측한 유량과 비교한 자료는 인근 TMS의 동시간대 시 유량(Dy-2)을 이용하여 단순회귀분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

유황별 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량 시기의 평균유량은

각각 41.15 m³/sec, 23.79 m³/sec, 16.93 m³/sec, 11.58 m³/sec로 나타났다.

측정횟수를 분석한 결과 도섭법(Ix-1) 87회, 보트법(Ix-2) 153회, 교량법(Ix-3) 19회로 측정되었다. 섬진강 수계의 하류에 위치한 지점의 특성상 저·갈수기 시기에만 가능한 도섭법이 전체 측정 회차의 33.6%, 평수기와 풍수기에서는 보트법 59.1%, 교량법 7.3%로 나타났다.

TMS의 수위-유량 곡선식에 의한 유량 산정 값과 실측유량에 대한 단순회귀분석으로 유황별 유량측정방법의 상관성 결과, 도섭법의 R²은 0.716, 보트법의 R²은 0.962, 교량법의 R²은 0.943으로 도섭법의 상관관계가 낮게 나타났다.

저·갈수량은 도섭법, 평수량은 보트법, 풍수량은 교량에서의 교량법을 이용하여 유출 특성에 맞는 유량측정이 이루어져야 할 것으로 판단되며, 풍·평수기에는 TMS자료를 활용하고 저·갈수량 시기는 실측유량을 활용하는 것이 유효한 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 영산강·섬진강수계관리기금으로 영산강수계관리위원회 지원에 의해 수행하였습니다(영산강·섬진강수계 유량측정망 운영 사업(NIER-2017-05-01-009)).

References

- Bernard, P., Antoine, L., and Bernard, L. (2004). Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management-application to a tropical lake system, *Ecological Modeling*, 178, 295-311.
- Choi, D. H., Jung, J. W., Lee, K. S., Choi, Y. J., Yoon, K. S., Cho, S. H., Park, H. N., Lim, B. J., and Chang N. I. (2012). Estimation of pollutant load delivery ratio for flow duration using L-Q equation from the Oenam-cheon watershed in Juam Lake, *Journal of the Environmental Sciences*, 21(1), 31-39. [Korean Literature]
- Han, S. H., Lee, E. H., and Kim, H. O. (2012). Development of software sensor for total phosphorus and nitrogen in various waterbody, *Journal of the Korea Society For Environmental Analysis*, 15(3), 215-223. [Korean Literature]
- Han, S. H., Shin, H. S., and Kim, S. D. (2007). Applicability of load duration curve to Nakdong river watershed management, *Journal of Korea Society on Water Environment*, 23(5), 620-627. [Korean Literature]
- Han, W. S. (1997). *Statistical methods for agricultural life science*, Freedom Academy, 632-645.
- Heo, M. H. and Yang, G. S. (2004). *SPSS multivariate data analysis*, SPSS Academy, 3-65.
- Kim, Y. J., Yoon, K. S., Son, J. G., Choi, J. K., and Chang, N. I. (2010). Pollutant load delivery ratio for flow duration at the Chooryeong-cheon watershed, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 52(4), 19-26. [Korean Literature]
- Ministry of Construction and Transportation. (2004). *Manual of hydrological observation*, Ministry of Construction and Transportation.
- National Institute of Environment (NIER) (2017). *Water Information System (WIS)*, <http://water.nier.go.kr> (accessed Oct. 2017).
- Park, J. H., Moon, M. J., Han, S. W., Lee, H. J., Jung, S. J., Hwang, K. S., and Kim, K. S. (2014). Application of regression analysis model to TOC concentration estimation, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 23(3), 187-196. [Korean Literature]