KJEE 46(1) : 94~102 (2013)
http://dx.doi.org/10.11614/KSL.2013.46.1.094
ISSN: 2288-1115 (Print), 2288-1123 (Online)

Original article

섬진강상류 유량측정지점의 유수단면적과 유량변화에 따른 상관관계 분석

송광덕 · 김갑순 · 이동진 · 함상인 · 김대영
오태윤 · 이재춘 · 임병진*

(국립환경과학원 영산강물환경연구소)

Analysis of Correlation with Cross Sectional Area of Flow and Flow Rate Variation of Discharge Measurement Point in the Upper Stream of Seomjin River. ***Song, KwangDuck, KapSoon Kim, DongJin Lee, SangIn Ham, DaeYoung Kim, TaeYoun Oh, JaeChoon Lee and ByungJin Lim**** *(Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Gwangju 500-480, Korea)*

This study was carried out to determine the variation of the water level and cross-section area for investigating changes of stream foreland, and to determine the correlation between the average flow velocity and cross-section area so as to understand the hydrological characteristics of the stream. The slope of the cross-sectional area was changed in water levels of 0.6～1.0 m and 1.8～2.0 m. The first change occurred in the low-water level season, and the second change occurred in the high-water level seasons. It is assumed that the changes occurred due to the geological transfigure. The correlation between the cross-sectional area and the average flow velocity was 0.22～0.86 in the exponential equation and 0.20～0.87 in the linear equation. The low water level had a higher correlation than the high water level, and free weirs in the upper stream showed a very low correlation. Therefore, this study provides novel information for the management of water quality in the riverside, using correlation equations of the water level and flow velocity with the cross section area.

Key words : Seomjin river, cross-section area, curve equation, flow rate variation, correlation

서 론

우리나라는 주로 하천의 홍수예방을 목적으로 국토해양부를 비롯한 여러 기관에서 유량을 측정하여 왔다. 이러한 유량측정결과를 바탕으로 수위-유량곡선을 도출하여 홍수기 등의 유량 측정이 불가능 할 때에 유량을 산정하였고, 산정결과를 하천관리 등에 이용하고 있다. 그러나 수위-유량 곡선 등의 도출은 홍수기의 첨두유량 중심으로 생산하기 때문에 수질관리에 필요한 저 · 갈수기의 유량자료는 신뢰도가 떨어지고 있다(National Institute of Environmental Research, 2006).

* Corresponding author: Tel: +82-62-970-3901, Fax: +82-62-970-3999, E-mail: limnolim@korea.kr

ⓒ The Korean Society of Limnology. 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, provide the original work is properly cited.

Table 1. Characteristics of the discharge from the upper stream of Seomjin river.

Site	Points	Area (km^2)	Streambed	Coordinates
SB-A	Podong Br.	256.67	gravel & bedrock	E 127° 17′35.0″, N 35° 42′38.6″
SB-C	Dapung Br.	443.00	gravel & bedrock	E 127° 11′23.0″, N 35° 20′36.8″
CL-A	Mejuck Br.	152.75	gravel & bedrock	E 127° 01′33.1″, N 35° 22′35.8″
OS-A	Gunam Br.	370.90	gravel & sand	E 127° 13′27.1″, N 35° 25′17.1″

이에 환경부는 수질오염총량관리에 필요한 자료를 확보하고자 2004년부터 4대강 물환경연구소에서 행정구역 경계 지점의 단위유역 말단부에서 평균 8일 간격으로 유량과 수질을 동시에 측정하고 있다. 저수기, 평수기 및 홍수기의 유황 구별 없이 연중 일정한 간격으로 하천유황 및 수질의 변동여부를 확인할 수 있는 장점이 있으나, 단위 유역별 유황곡선 및 수위-유량 곡선식을 작성할 목적으로는 유량자료를 활용할 수 없다는 단점이 있다(Kim *et al.*, 2007).

또한, 수위-유량 곡선은 하천의 목자판 등의 관측된 수위와 측정된 유량과의 관계식으로 유량이 산정됨으로 단순히 하천내의 수위 변화만을 판단할 수 있으나, 하천관리에 중요한 하천 제외지의 둔치 등에 미치는 영향을 고려 할 수는 없다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2004). 유량은 유속, 하폭, 수심 등을 고려하여 산정하고 있으나 하천의 단면적 변화를 잘 나타낼 수 있는 수위와 수면폭을 고려할 경우 하천관리에 중요한 하천하상 등의 변화를 파악할 수 있다. 따라서 하천의 단면적 변화를 산정하기 위하여 하천횡단측량자료를 바탕으로 유량산정 인자인 평균수위와 하폭의 곱으로 표현되는 단면적의 변화를 파악하고, 단면적과 평균유속의 상관관계를 산정하면 하천정비 등의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

지금까지는 목자판의 수위와 측정된 유량과의 상관관계인 수위-유량곡선을 이용하여 하천관리에 활용하였으나, 본 연구에서는 수위와 유량의 관계 곡선뿐만 아니라 하상변화를 반영한 유수단면적과 평균유속을 활용하여 하천 관리에 적용하고자 하였다. 많은 측정자료를 확보하기 위하여 섬진강 수계의 중류까지의 수질오염총량관리제 단위유역말단에서 측정된 유량을 바탕으로 유량 산정 인자인 수심과 폭의 곱인 유수단면적 변화에 따른 유량의 상관관계 및 곡선식을 산정하였다. 또한, 단면적 변화에 따라 하천 하상을 고려한 수위 변화의 영향을 분석하였다. 이는 유량과 단순 수위만을 고려하기 보다는 유량변화에 따른 하상의 형태 등으로 인한 단면적 변화와 평균 유속의 증감 등을 파악하고자 하였다.

조사결과를 토대로 수위 변화에 따라 제외지의 둔치 등의 유량변화 및 유속, 유수단면적 등의 변화를 파악하여 하천관리에 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

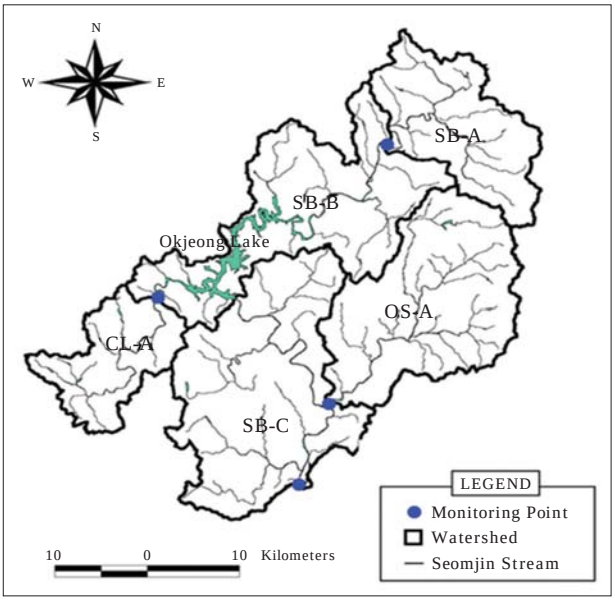


Fig. 1. Discharge measurement point map in the upper stream of Seomjin river.

재료 및 방법

1. 조사지점 선정 및 특성

조사지점으로 수질오염총량관리 단위유역 말단 지점 중 하상의 변화가 상대적으로 적은 섬진강 발원지부터 요천 합류 전까지의 섬진강 댐을 기준으로 상·하류의 본류와 지류 각 두 지점을 선정하였다. 먼저 본류는 섬진강 댐을 기준으로 상류의 진안군과 임실군의 경계인 섬본A (Sumbon-A, SB-A) 지점과 댐 하류의 순창군과 남원시의 경계인 섬본C (Sumbon-C, SB-C) 지점, 그리고 유입지류로 섬진강 댐으로 유입되는 추령천의 추령A (Chulung-A, CL-A) 지점, 댐 하류의 본류로 유입되는 오수천 말단의 오수A (Osu-A, OS-A)지점으로 4개의 지점을 선정하였으

며(Fig. 1), 측정 지점의 유역면적, 경 · 위도 좌표 및 하상 상태 등을 Table 1에 나타내었다.

각 지점별 특성을 보면 본류의 SB-A 지점의 유역면적은 256.67 km^2와, SB-C 지점은 대풍교 하류 지점으로 443.00 km^2이며, CL-A 지점은 매죽교 하류 지점으로 152.75 km^2의 유역면적이며, OS-A 지점은 오수천이 섬진강과 합류전인 구남교 지점이며, 370.90 km^2의 유역면적을 가지며, 4지점 모두 하상의 형태는 모래 및 자갈 그리고 암반으로 구성되어 있다(Yeongsan River Environment Research Center, 2011).

2. 유량측정 방법 및 검증

1) 유량측정 방법

일반적인 유량측정 방법은 하천의 형태, 유량 크기 등에 따른 여러 측정방법으로 나누어지는데, 일반하천의 경우 유량은 단위시간에 하천의 어느 횡단면을 통과하는 물의 체적 즉, 유수단면적(A)과 유속(V)의 곱($Q=A\times V$)으로 산정한다. 단위유역 말단 지점의 유량은 유황에 관계없이 평균 8일 간격으로 측정을 하였다. 주로 평 · 저수기는 도섭법 위주로 측정하였으며, 홍수기에는 교량을 이용한 추내림법을 활용하였다. 상대적으로 하폭 및 유역면적이 좁은 SB-A, CL-A 지점은 주로 도섭법으로 측정하였고, SB-C 및 OS-A 지점은 도섭 및 홍수기의 추내림 방법을 활용하여 측정하였다. 세부적인 유량측정은 국제표준기구(International Standardization Organzation, ISO TR 8363, 1999) 기준과 미국 지질조사국(U.S. Geological Survey, 1982)의 기준을 사용하였다(Yeongsan River Environment Research Center, 2011).

2) 유량자료의 검증

유량측정 자료의 신뢰성을 확보하기 위하여 불확실성에 대한 검증을 실시하였으며, 매 측정 시 마다 하폭, 수심 등의 측정오차 및 유속계 등의 기기 오차 등을 계산하여 불확실도를 산정하였다. 유량측정시 오차는 표준화된 장비에서의 오차에 기인하는 계통적인 편차나 측정장비의 정확도 부족으로 야기되는 무작위 분산과 관련이 있다. 계통적인 편차는 측정을 반복한다고 해서 제거되지 않으며, 더욱 정교한 장비를 사용하여야만 오차를 줄일 수 있다. 무작위로 나타나는 측정치의 분산은 측정을 여러번 반복한다면 그 평균이 초기 측정치보다 더 정확해진다. 각 단위 요소의 추정된 불확실도는 정규분포의 표준편차의 두 배로서 고려되며, 총 불확실도는 평방자승근(Root-Sum-Suare) 방법으로 결정된다. 유량측정성과를 가늠하는 오차를 정확하게 예측하는 것은 불가능하지만, 오차 범위를 통계적인 추정치로 예측하는 것은 가능하다. 오차 범위의 크기의 통계적인 추정치를 유량측정성과의 불확실도라고 하며 신뢰구간으로 표현한다. 불확실도 산정을 위해 국내 기준으로는 하천 설계기준과 하천 유량측정 지침 및 국토해양부 유량측정 과업지시서를 따랐고, 외국 기준으로는 국제표준기구(ISO), 미국 지질조사국(USGS), 일본 수문관측 등의 주요 국가 기준서를 참고하였다(Yeongsan River Environment Research Center, 2011).

결과 및 고찰

1. 유량측정 결과

유량측정 자료는 2010년에 평균 8일 간격으로 각 지점에 대하여 43~44회의 측정한 자료를 활용하였다. 하천횡단측량 자료는 2010년 9월에 수행한 결과를 활용하였다. 유량산정은 도섭 및 교량에서의 추내림법을 활용하여 유속 및 수심을 측정한 후 평균단면법을 적용하였다. 하천의 단면적 변화는 하천 측정지점의 좌 · 우 수준점을 기준으로 동일 지점에서 2009년 9월과 홍수기를 지난 2010년 9월의 두 번 정밀 측량을 실시하여 비교 분석한 결과 하천 하상 형태가 큰 변화가 없어 2010년 하천횡단측량 자료를 활용하였다(Yeongsan River Environment Research Center, 2011).

측정된 유량자료는 임실 기상관측소의 시간에 따른 일강수량과 함께 Table 2와 Fig. 2에 나타내었다. 유량측정 결과 지점별로 가장 적은 값은 SB-A 0.143 CMS($m^3\ sec^{-1}$)로 나타났으며, 가장 큰 값은 SB-C 지점의 149.724 CMS로 측정되었다. 각 지점별 평균 유량은 SB-A 7.505 CMS,

Table 2. Flow Rate of the measurement site in the upper stream of Seomjin river.

Site	Count	Max.(CMS)	Min.(CMS)	Ave.(CMS)	Standarderror
SB-A	44	81.331	0.143	7.505	13.4
SB-C	43	149.724	4.123	24.636	36.3
CL-A	44	25.390	0.851	5.182	6.6
OS-A	43	50.819	1.374	8.082	10.3

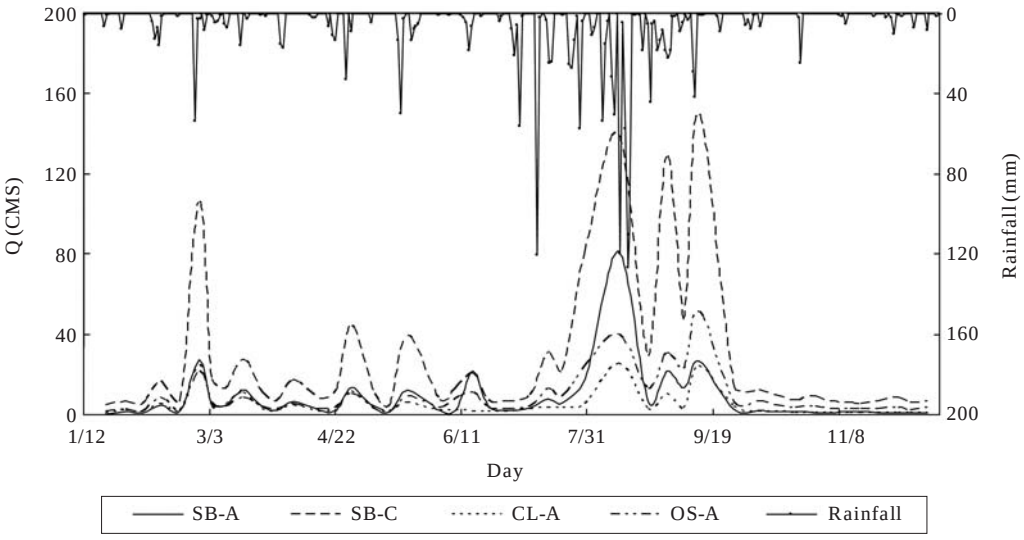


Fig. 2. Graph of the results of rainfall and discharge measurement at each sample site in the upper stream of Seomjin river.

Table 3. Estimation of uncertainty at the discharge sites.

Division	Uncertainty (U)	SB-A	SB-C	CL-A	OS-A
Excellent	U≥2%	–	–	–	–
Good	2%>U≥5%	43	43	44	43
Fair	5%>U≥8%	1	–	–	–
Poor	U>8%	–	–	–	–
Total		44	43	44	43

SB-C 24.636 CMS, CL-A 5.182 CMS, OS-A 8.082 CMS로 조사되었다. 유량산정에 가장 큰 영향을 미치는 인자인 강수량은 임실기상관측소의 자료를 토대로 4개 측정지점 모두 동일하다고 가정할 경우 유역면적과 비례하여야 한다(Yeongsan River Environment Research Center, 2011). 그러나 강우시 측정유무에 따라 유량의 최대값은 상이하게 조사되었으며, 4지점의 평균 유량은 유역면적의 크기와 동일한 순서로 산정되었다. 표준편차는 모든 지점에 대체적으로 높게 조사되었고 그 중에서 SB-C 지점이 36.3으로 가장 높게 분석되었는데 이는 유역면적이 넓어 유량의 최대값과 최소값의 범위가 크기 때문으로 판단되며 유역 면적 크기 순으로 표준편차가 높게 나타났다.

측정 결과의 품질 등급의 범위 및 분석은 Table 3에 나타냈으며, 품질등급의 기준과 측정된 유량측정 결과의 불확실도는 미국 지질조사국(USGS)에서 활용하고 있는 기준으로 산정하였다. 불확실도 산정 기준은 'Excellent', 'Good', 'Fair', 'Poor'의 4등급으로 분류되며(Rantz, 1982), 유량품질결과는 최소 2등급 이상인 'Good' 등급 이상이 되도록 권장하고 있다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2004). 본 조사에서는 불확실도 산정결과 전 지점에서 'Good' 등급으로 매우 우수한 측정 결과로 측정되었으며, 갈수기 하폭이 좁아 측선이 줄어든 SB-A 지점에서 1회만 'Fair' 등급으로 조사되었다. 이러한 불확실도 산정은 절대적인 의미를 가지고 있지는 않지만 유량측정 성과의 정확도를 개선하고 일관된 품질관리에 활용이 가능하다(Streamflow Measurement Manual., 2004).

2. 수위-단면적 변화 분석

1) 수위에 따른 단면적의 변화

수위변화에 따른 단면적 증감의 기울기 변화을 분석하기 위하여 횡단 측량된 단면 자료를 활용하였다. 측량 시 하천의 최저 단면값을 0 m 수위로 선정하고, 0.1 m 간격으로 3 m까지 수위를 상승시켜 수위와 단면적 간의 변화 및 관계식을 산정하였다. 수위 변화에 따라 단면적의 변화가 큰 지점을 기준으로 수위변화 구간을 'Low'(저수위)·'Middle'(중수위)·'High'(고수위) Level 구간으로 선정하여 구별하였으며, 변화가 큰 구간의 수위와 수위에 따른 구간별 면적 변화를 Fig. 3에 나타내었다.

섬진강 댐 상류의 SB-A 지점은 전체 하폭이 약 100 m 정도이며, 최저 수위부터 제방까지 약 10 m 정도의 좌·우 안의 경사가 급한 사다리꼴 단면을 가지는 지점이다. 3 m 이내의 수위에서 단면적 기울기 변화가 1.0 m와 1.9 m로 두 번 발생되며, 단면적은 각각 8.89 m^2와 22.36 m^2로 나타났다. 섬진강 댐 하류의 SB-C 지점은 좌에서 우

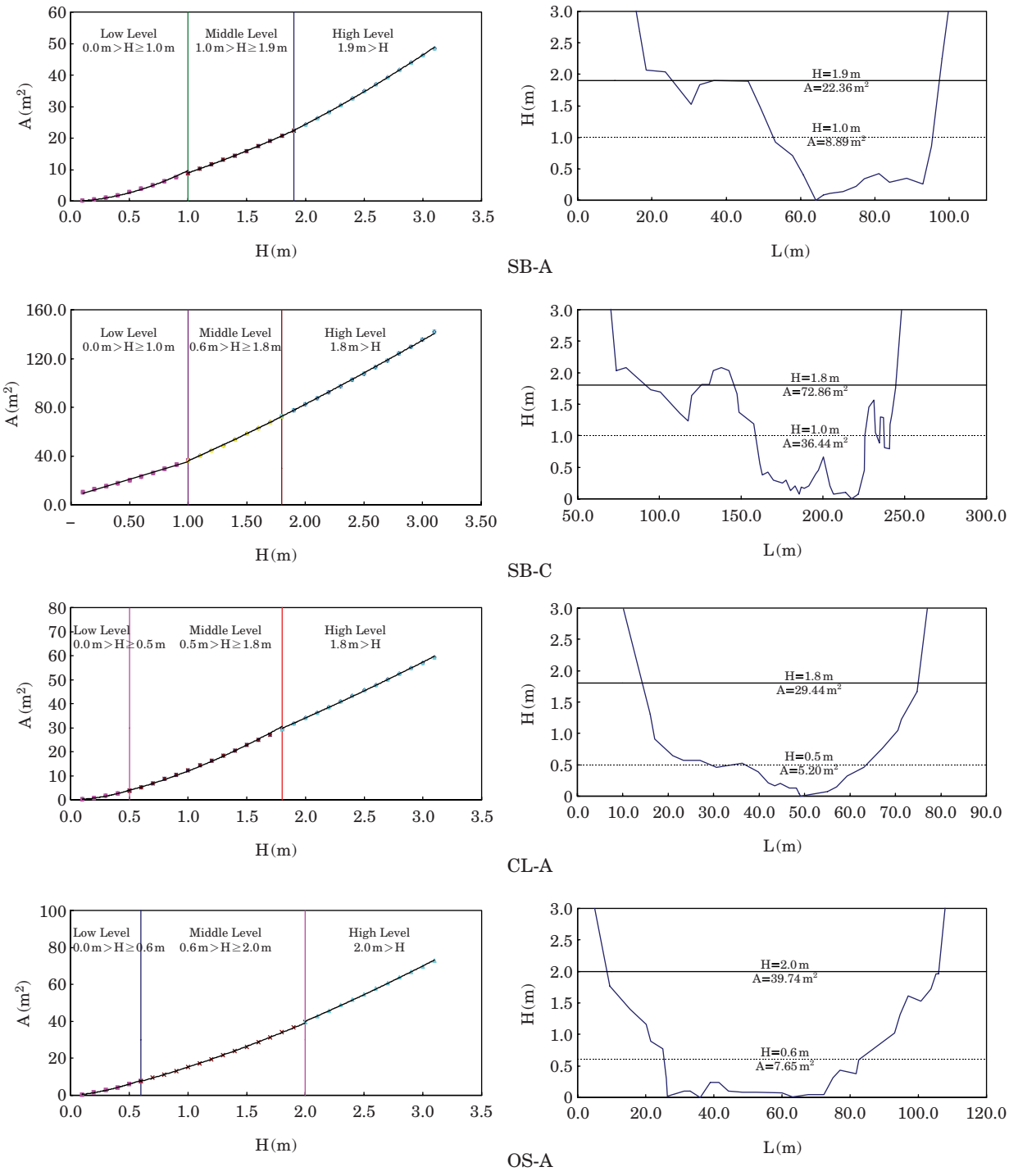


Fig. 3. Cross-section area-water level variation stage-discharge curve.

안 제방까지 약 300 m의 하폭과 최저 수위에서 제방 상류까지 약 10 m 정도의 단면을 나타내었고 3 m 이내의 수위에서 단면적의 기울기 변화는 0.6 m와 1.8 m에서 두 번 발생했으며, 단면적은 각각 36.44 m^{2}과 72.86 m^{2}로 분석되었다. 섬진강 댐 상류 지류인 CL-A 지점은 전체 하폭이 약 80 m 정도이며, 최고 수심은 4 m 정도의 단면을 가진 하천으로 3 m 이내의 수위에서 단면적 변화는 1.0 m와 1.8 m에서 기울기가 변화하며, 단면적은 각각 5.20

Table 4. Cross-section area (Y) - average water level (X) stage-discharge curve.

Site	Average Water Level (H, m)	Equation	R^2
SB-A	0 > H ≥ 1.0	$Y=9.715\ X^{1.8832}$	0.998
		$Y=10.028\ X-1.7147$	0.979
	1.0 > H ≥ 1.9	$Y=8.961\ X^{1.4253}$	0.999
		$Y=14.888\ X-6.1884$	0.999
	1.9 > H	$Y=8.093\ X^{1.5891}$	1.000
		$Y=21.939\ X-19.769$	0.999
SB-C	0 > H ≥ 0.6	$Y=32.102\ X^{0.5539}$	0.951
		$Y=28.788\ X+6.4693$	0.993
	0.6 > H ≥ 1.8	$Y=36.030\ X^{1.1878}$	0.999
		$Y=45.827\ X-10.2160$	0.998
	1.8 > H	$Y=35.513\ X^{1.2155}$	1.000
		$Y=52.544\ X-22.8040$	0.999
CL-A	0 > H ≥ 1.0	$Y=14.736\ X^{1.9013}$	0.999
		$Y=9.040\ X-0.9500$	0.982
	1.0 > H ≥ 1.8	$Y=11.952\ X^{1.5925}$	0.998
		$Y=19.935\ X-7.1666$	0.997
	1.8 > H	$Y=13.966\ X^{1.2850}$	1.000
		$Y=23.000\ X-11.9600$	1.000
OS-A	0 > H ≥ 0.6	$Y=18.076\ X^{1.5845}$	0.997
		$Y=14.511\ X-1.3073$	0.993
	0.6 > H ≥ 2.0	$Y=15.241\ X^{1.3614}$	1.000
		$Y=22.816\ X-7.2614$	0.995
	2.0 > H	$Y=15.446\ X^{1.3755}$	1.000
		$Y=30.000\ X-20.2600$	1.000

Table 5. Average flow velocity (Y) - cross-section area (X) stage-discharge curve.

Site	Cross-Section Area (m^2)	Equation	R^2
SB-A	0 > A > 8.89 (1.0 m)	$Y=0.1284\ X^{0.6774}$	0.32
		$Y=0.1032\ X-1083$	0.61
	8.89 ≥ A	$Y=0.5757\ X^{0.1182}$	0.22
		$Y=0.0045\ X+0.7298$	0.20
SB-C	0 > A > 36.44 (0.6 m)	$Y=0.1818\ X^{0.6244}$	0.76
		$Y=0.0454\ X+0.3093$	0.78
	36.44 ≥ A	$Y=0.2176\ X^{0.2785}$	0.51
		$Y=0.0028\ X+0.4998$	0.69
CL-A	0 > A > 5.20 (1.0 m)	$Y=0.2177\ X^{0.4885}$	0.32
		$Y=0.0694\ X+0.1680$	0.44
	5.20 ≥ A	$Y=0.1234\ X^{0.8734}$	0.80
		$Y=0.0788\ X+0.1320$	0.86
OS-A	0 > A > 7.65 (0.6 m)	$Y=0.4075\ X^{0.3404}$	0.24
		$Y=0.0434\ X+0.4876$	0.22
	7.65 ≥ A	$Y=0.2875\ X^{0.3442}$	0.86
		$Y=0.0127\ X+0.5321$	0.87

m^2와 29.44 m^2로 나타났다. 오수천 말단 OS-A 지점의 하폭은 약 100 m 정도이며 하천의 좌안 제방은 10 m 정도이고, 우안 제방은 섬진강 본류와 합류하는 지점으로 약 5 m 정도이다. 단면적의 기울기 변화는 0.6 m와 2.0 m에서 발생되며, 해당 수위의 단면적은 각각 7.65 m^2와 39.74 m^2로 분석되었다.

수위변화와 단면적변화 결과를 살펴보면 단면적 증가와 함께 기울기 변화가 발생되는 수위 및 단면적은 측정결과 내에서 모두 두 번의 기울기 변화가 있으며, Low Level 구간은 0.5, 0.6, 1.0 m로 분석되었으며, Low Level 구간은 하천의 유황으로 구분하면 저·평수기의 유수단면적으로 판단된다. 본류의 하폭이 넓은 SB-C 지점을 제외하면 Middle Level 구간은 하천 좌·우 안의 둔치 등이 형성되어 변화가 있는 것으로 분석되었다.

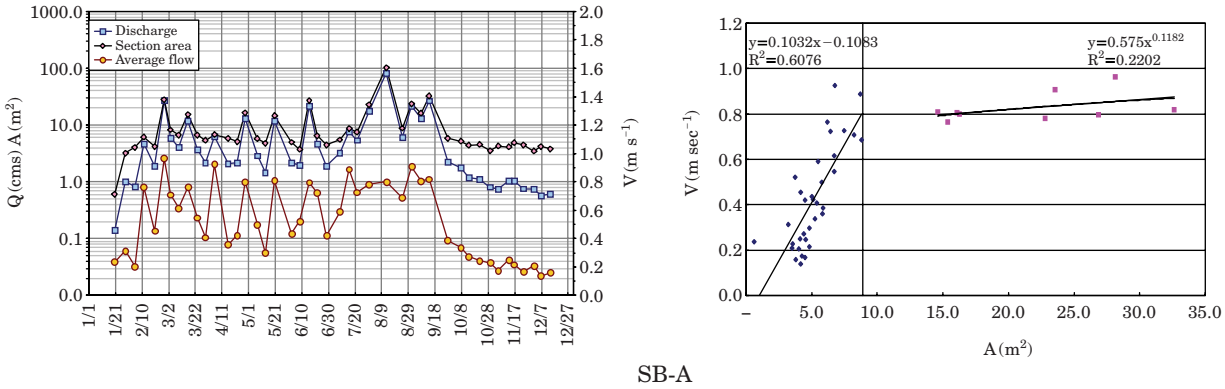
2) 수위에 따른 단면적의 변화 관계식

수위에 따른 단면적 변화의 관계식은 Table 4에 나타냈으며, 관계 곡선식은 일반적으로 많이 활용하는 지수형 관계식인 $Y=aX^b$와 선형관계식인 $Y=cX+d$의 두 가지 방정식을 구분하여 나타냈다 (Park *et al.*, 2012). 여기서 X는 평균수위, Y는 단면적이며, a, b, c, d는 상수이다.

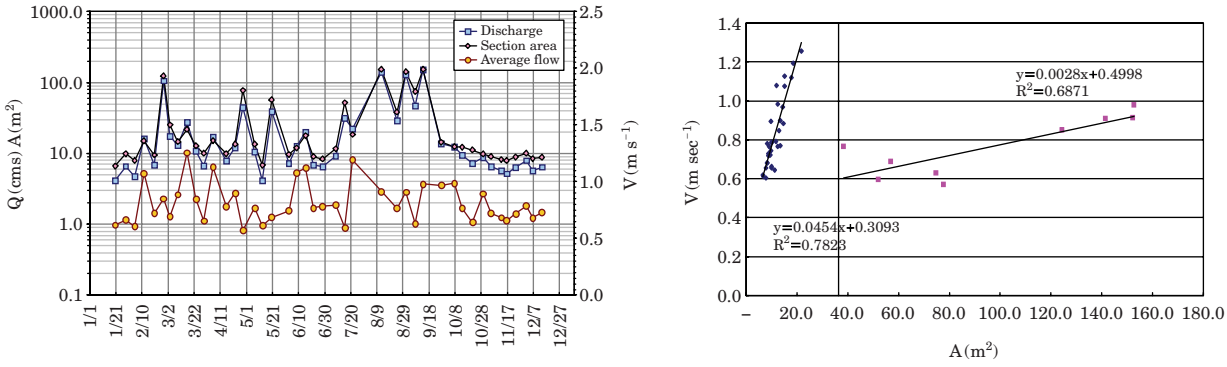
지수형 관계식의 상수 a는 수위가 1.0 m일 때의 단면적을 나타내며 (Sustainable Water Resources Research Center, 2004), 섬진강 댐 하류 위치한 SB-C 지점의 단면적이 가장 넓게 나타났다. 상수 b와 c는 관계 곡선의 기울기를 나타내며, 지수형관계식은 0.5539~1.9013의 범위를 가지며 선형관계식은 9.040~52.544의 범위를 가진다. 곡선의 기울기는 두 곡선 모두 고수위로 갈수록 수위증가에 비해 단면적의 증가가 더 커지므로 기울기가 증가하는 경향을 보인다. 그리고 조사 지점 모두 선형보다는 지수형관계식의 상관관계가 높지만, SB-C의 0~0.6 m의 수위에서는 지수형보다는 선형관계식이 상관관계가 높게 산정되었다. 단면적의 기울기가 변하는 변곡점 수위를 기준으로 제외지 내의 둔치 등이 형성됨을 알 수 있으며 수위의 구간이 좁아 두 방정식 모두 상관성이 매우 높은 것으로 산정되었다.

3. 유속-단면적 간의 변화 분석

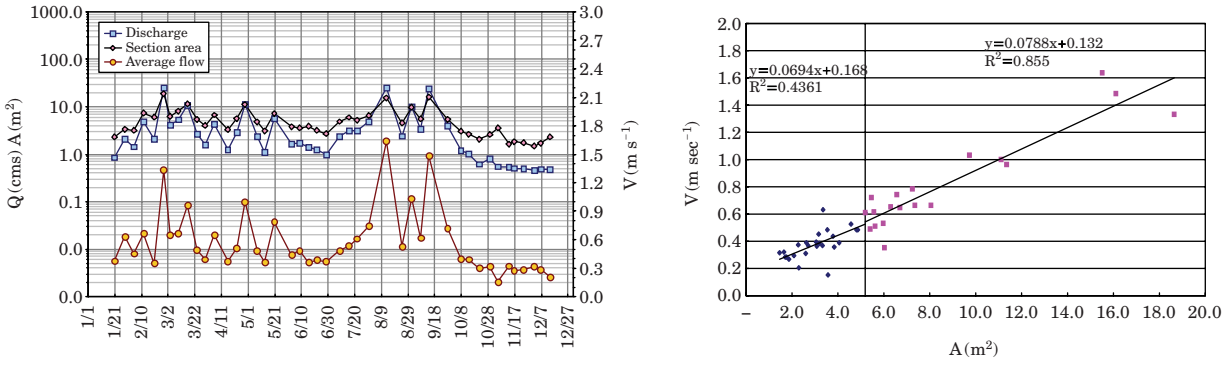
평균 유속과 단면적 간의 변화관계를 살펴보기 위하여 유량측정 시 측정된 각 지점의 계산된 단면적 자료와 평균유속과의 관계를 활용하여 상관관계를 분석하였다. 그러나 수위-유량 관계곡선식을 활용하여 유량값을 산정하



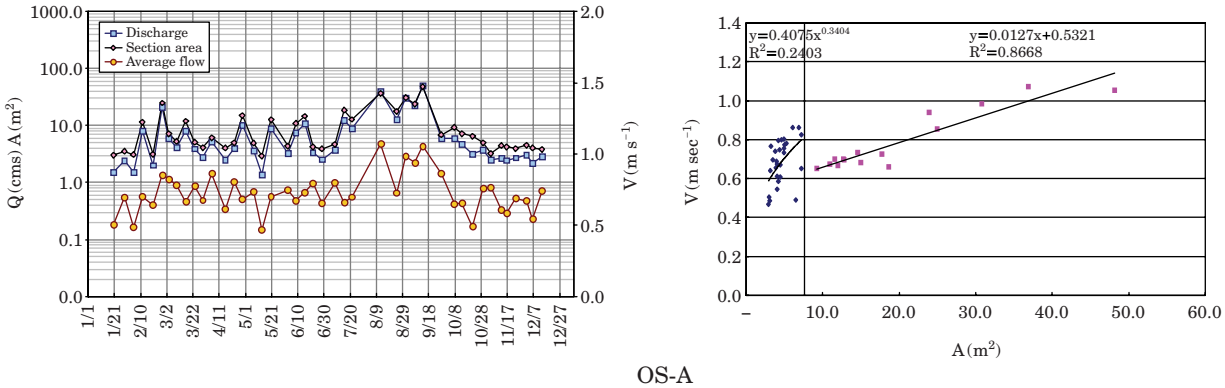
SB-A



SB-C



CL-A



OS-A

Fig. 4. Average flow velocity-cross-section area stage-discharge curve.

여 변화를 분석해야 하나 평균 8일 간격의 도섭 및 추내림 등으로 측정된 자료이기 때문에 고수위 측정 자료가 측정자의 안전 등의 문제로 측정이 불가하며 (Streamflow Measurement Manual, 2004), 국토해양부의 수위국이 존재하는 지점이 아니므로 수위-유량 곡선식을 활용하기보다는 직접 측정한 수위와 평균유속자료를 활용하여 변화를 산정하였다.

그리고 Table 5와 Fig. 4는 각각 평균 유속과 단면적과의 관계 곡선식과 관계 그래프를 나타냈으며, 평균 유속과 단면적간의 관계를 쉽게 파악하기 위하여 곡선식은 $Y=aX^b$과 $Y=cX+d$의 지수형과 선형으로 나타냈다. 여기서 X는 단면적, Y는 평균유속이며, a, b, c, d는 상수이다 (Park *et al.*, 2012). 그리고 a는 단면적이 단위면적 1 m^2일 때 평균 유속값을 나타내며, b, c는 곡선의 기울기로 단면적 변화에 따른 평균유속 값의 변화를 나타내며 값이 클수록 경사가 급함을 나타낸다.

각 지점별로 수위 구분 구간을 분석해 보면 본류 구간인 SB-A 지점의 경우 수위 1.0 m, 단면적 8.89 m^2을 기준으로 관계식을 구하였으며, SB-C 지점의 경우는 수위 0.6 m의 단면적 36.44 m^2을 기준으로 관계식을 구하였으며, 지류인 CL-A와 OS-A 지점 중 먼저 CL-A 지점을 살펴보면 수위가 1.0 m일 때의 단면적 5.20 m^2을 기준으로 관계식을 구하였으며, OA-A 지점을 살펴보면 수위 0.6 m의 7.65 m^2을 기준으로 관계식을 구분하였다.

지수형관계식의 분석결과 a는 0.1234～0.5757의 범위를 가지며, b는 0.1182～0.8734의 범위를 가진다. 그리고 상관계수의 해석은 문헌마다 조금씩 다르지만 일반적으로 상관계수 값이 0.8 이상은 매우 강한 상관, 0.6～0.8은 강한 상관, 0.4～0.6은 보통 상관, 0.2～0.4는 약한 상관, 0.2 이하는 상관이 없는 것으로 평가하며 (Park *et al.*, 2012), 각 지점의 상관계수는 0.22～0.86의 상관성을 가진 것으로 분석되었다. 그리고 선형관계식에서는 기울기 c의 값은 0.0028～0.1032의 범위를 가지며, 상관계수는 0.20～0.87의 상관관계를 보인다.

각 지점별로 SB-A, SB-C 지점의 경우 수위가 1.0 m, 0.6 m 이하의 저수위일 경우에 다른 수위보다 상관관계가 상대적으로 높게 산정되었는데, 이는 저수위일 때 유수 구간이 좁고, 하천 단면적의 변화가 크지 않기 때문으로 판단된다. 그러나 CL-A, OS-A 지점의 경우 이와 반대로 Low Level일 경우에 상관관계가 낮게 산정되었다. 이는 측정 지점 상류에 존재하는 월류보의 영향으로 저수위의 동일 수위에 월류량의 차이로 인한 유량 및 유속값의 변화가 크기 때 측정값이 분산된 결과로 분석된다.

각 유량측정 지점별로 단면적과 평균유속의 곡선식 및 상관관계 등을 분석하여, 하천의 단면적이 변하는 하천의 제외지의 둔치 등의 유속 및 유량변화를 예측할 수 있는 상관관계를 도출하였으며, 이를 활용하여 하천의 수질 관리 및 제외지의 하천설계 등에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 단면변화를 고려한 수위-단면적 변화 및 평균 유속-단면적 간의 상관관계를 분석하여 유량 산정 및 하천관리에 활용하고자 하였다. 수위에 따른 단면적 변화는 SB-A 지점은 1.0 m, 1.9 m, SB-C 지점은 0.6 m, 1.8 m, CL-A 지점은 1.0 m, 1.8 m, OS-A 지점은 0.6 m, 2.0 m에서 발생되었다. 이 중 첫 번째 변화는 평・저수기에 해당되고, 두 번째 변화는 홍수기 및 하천 좌・우 안에 인위적・자연적으로 형성된 둔치 등으로 판단된다. 수위-단면적 변화에 따른 관계식의 기울기는 지수형 0.5539～1.9013, 선형 9.040～52.544의 범위를 가진다. 기울기는 두 곡선 모두 고수위로 갈수록 증가하는 경향을 보인다. 평균유속-단면적 변화의 관계는 지수와 직선의 방정식으로 지수형 기울기와 상관계수는 각각 0.1182～0.8734, 0.22～0.86이며, 선형의 기울기와 상관계수는 0.0028～0.1032, 0.20～0.87로 분석되었다. SB-A, SB-C 지점의 저수위는 다른 수위보다 상관관계가 높게 산정되었는데, 이는 수위 구간이 좁고, 하천 단면적의 변화가 크지 않기 때문으로 판단된다. CL-A, OS-A 지점은 월류보의 영향으로 저수위일 경우에 상관관계가 낮았다. 수위-단면적, 평균유속-단면적의 상관관계 및 곡선식 등을 이용하여 하천 정비계획 등의 수립에 활용할 수 있으며, 제외지의 단면적이 변하는 지점의 유량 변화 등의 예측에 활용할 수 있을 것이다.

인 용 문 헌

Arnoid, J.G. and P.M. Allen. 1999. Validation of Automated Methods for Estimating Base Flow and Groundwater Recharge from Stream Flow Records. *Journal of the American Water Resources Association* **35**: 411-424.

Gill, P.E., W. Murry and M.A. Saunders. 1999. User's Guide for SNOPT 5.3: A FORTRAN Package for Large-scale Nonlinear Programming, University of California, San Diego.

ISO/TR 8363. 1997. Measurement of liquid flow in open

channels - General Guidelines for Selection of Method First Edtion.

Jeollabookdo. 2010. Jeollabookdo Youngsan River Water Pollution Load Management Master Plan Phase II.

Kim, J.C. and S.D. Kim. 2007. Flow Duration Curve Analysis for Nakdong River Basin using TMDL Flow Data. *Journal of Korean Society on Water Quality* **23**(3): 332-338.

Kim, S.D., D.K. Kang and M.S. Kim. 2007. The Possibility of Daily Flow Data Generation from 8-Day Intervals Measured Flow Data for Calibrating Watershed Model. *Journal of Korean Society on Water Quality* **23**(1): 64-71.

Korea Meteorological Administration. http://www.kma.go.kr.

Ministry of Environment. 2009. Business integrated operating instructions water quality goal/discharge measurement for the quantity regulation of water-quality pollutants.

Ministry of Environment. 2012. Operating plan of water quality monitoring.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). 2004. Hydrological observation Manual.

Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual model part I - A Discussion of principles. *Journal of Hydrology* **10**: 282-290.

Nathan, R.J. and A.T. McMahon. 1990. Evaluation of Automated Techniques for Baseflow and Recession Analysis. *Water Resources Research* **26**: 1465-1473.

National Institute of Environmental Research. 2006. Baseline study of second quantity regulation of water-quality pollutants of Yeongsan river basin.

Park, J.D., S.Y. Oh and Y.H. Choi. 2012. Development of a Flow Duration Curve with Unit Watershed Flow Data for the Management of Total Maximum Daily Loads. *Journal of Korean Society on Water Environment* **28**(2): 224-231.

Park, J.S. and K.H. Rhee. Study on Characteristics of Water Quality Variation in the Yeongsan River Using Multivariate Analysis. *Korean Society of water Science and Technology* **20**(2): 61-72.

Rantz, S.E. 1982. Measurement and Computation of Streamflow: Volume 1. Measurement of Stage and Discharge, Volume 2. Computation of Discharge, USGS Water-supply paper 2175.

Santhi, C., J.G. Arnold, J.R. Williams, W.A. Dugas, R. Srinivasan and L.M. Hauck. 2001. Validation of the SWAT Model on a Large River Basin with point and Nonpoint Sources. *Journal of the American Water Resources Association* **37**: 1169-1188.

Sugawara, M. 1995. Tank model, in computer models of watershed hydrology, Water Resources Publications, p. 164-214.

Sustainable Water Resources Research Center. 2004. Streamflow Measurement Manual.

USEPA. 2007. An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs, EPA 841-B-07-006, p. 1-68.

Vogel, R.M. and N.M. Fenessey. 1994. Flow-duration Curves, 1: New Interpretation and Confidence Intervals. *Joural of Water Resources Planning and Management, ASCE* **120**(4): 485-504.

Water Management Information System. http://www.wamis.go.kr.

Yeongsan River Environment Research Center. 2011. Installation and Operation of Flow Measuring Network in Yeongsan and Samjin River System.

Yeongsan River Environment Research Center. 2011. 2010 River monitoring project of water system of Yeongsan · Seomjin river basins.

(Manuscript received 4 October 2012,
Revised 20 November 2012
Revision accepted 31 January 2013)