

論 文

양산천 수위-유량관계 특성에 관한 현장관측 분석⁺

이 용 희* · 이 상 배**

Analysis of Field Observations on Characteristics of Stage-Discharge Relationship for Yangsan River

Y. H. Lee · S. B. Lee

Key Words : 수위-유량관계곡선(Stage-discharge relationship, rating curve), 유속계(Current meter), 봉부자(Rod float), 수위표(River gauging), 유역(River basin), 유량관측(Discharge measurement)

Abstract

Derivation of stage-discharge relationship and characteristics for Yangsan river is presented in this paper. This research has been conducted as the second one after the first trial in 1997. The determination of discharge at a Yangsan river gauging was best made by measuring the flow velocities with a current meter and rod float. The rating curve obtained through 52 stage-discharge measurements on Yangsan river basin in 1999 is represented by $Q=15.3540-140.6076H+182.44372H^2$, which is discovered to be most excellent among other curves in reliability analysis. The observed stage-discharge data for Yangsan river was tested by HEC-RAS program, and reproduction of discharge by the induced curve was investigated and compared with the computational results. The rating curve of Yangsan river shows characteristics of the second order function and a single equation represents characteristics of Yangsan river more accurately compared with those separated in terms of water levels.

+ 이 논문은 양산대학 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

* 정희원, 양산대학 토목과 조교수

** 정희원, 양산대학 토목과 조교수

1. 서론

1.1 연구의 배경

하천에서 유량과 수위변동의 조사 및 연구는 수공학자의 주요 관심분야중의 하나이다. 특히 지하수의 개발, 그리고 차집관로의 설치에 하천의 자정능력 감소, 도시화로 인한 불투수층의 증가는 홍수 도달시간을 짧게 하는 원인이 된다. 이러한 도시하천의 특성을 파악하기 위한 수위-유량곡선의 유도는 도시하천공학분야에서 대단히 중요한 연구과제가 된다.

하천에서의 수자원개발은 댐에 의한 것을 제외하고도 호수개발, 하구둑, 유황조정하천에 의한 것이 있다. 그러한 구조물적인 수자원개발은 비경제적이고, 환경변화의 원인을 제공한다. 이러한 구조물적인 방법과 비구조물적 방법 즉, 대상구역의 지속적인 조사에 의한 연구성과의 결합은 효율적인 수자원개발의 유도가 될 것이다. 이러한 관점에서 볼 때 비구조물적 연구가 선행되어야 한다.

낙동강 하구둑의 수자원관리를 위하여 낙동강 제 1 지천인 양산천에 대해 비구조물적 연구는 1997년의 12회 조사에 이어 1999년 52회의 조사가 시행되었다. 이러한 단기적 연구에서 갈수기의 수량조사는 부족한 물을 효율적으로 관리하기 위한 사전정보를 제공하여 준다.

양산천 유역은 유산공단, 북정공단, 산막공단 등의 공단을 가지고 있고 앞으로 어곡공단, 상북공단 등이 조성중에 있다. 이러한 공단의 용수는 밀양댐 광역상수도 사업이 완료될 때까지 대부분 지하수에 의존할 수 밖에 없으며 게다가 양산신도시까지 건설되면 양산천의 건천화는 더욱 가속될 것이다.

본 연구는 1999년 양산천 수위표지점에 대한 수량 및 수질 관리시스템에 기초자료가 되는 수위-유량 관계곡선식의 개발에 주 목적을 두고 있다. 그리고 유도된 관계곡선식의 신뢰성 분석, HEC-RAS 모델의 수치해석결과와의 비교를 통해 관측된 수위-유량자료의 적용성 및 관계특성을 분석하였다.

1.2 연구범위

수위-유량관계곡선을 개발하는데 있어 가장 중요한 것은 유량측정 단면과 수위측정지점이다. 1999년의 연구에서는 양산천 제방의 정비와 유량측정의 편의성을 고려하여 1997년의 연구에서 결정된 유량측정 단면을 하류방향으로 27m 이동하였다. 따라서 Fig. 1에서 보는 바와 같이 유량관측지점은 양산천과 낙동강 본류 합류점에서 상류 6,470m 지점인 STA No.7이고, 수위관측지점은 유량관측지점에서 상류 127m 지점인 STA. No.9에 위치하고 있다.

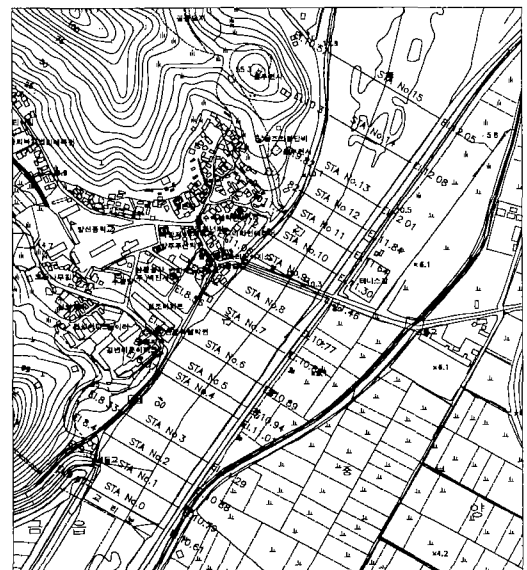


Fig. 1 A plane figure

1.3 연구내용 및 방법

양산수위표는 양산시 중부동과 강서동 교리를 횡단하는 영대교의 교각에 설치되어 있다. 1997년의 수위표 영점표고는 EL.4.147m로 조사되었으나⁽¹⁾⁽²⁾ 1999년의 영점표고는 EL.4.520m로 실측되었다.

본 연구에서는 수위-유량의 관계곡선의 획득과 홍수전·후의 양산천 변화를 파악하기 위하여 홍

수전·후 2회 중·횡단측량을 실시하였다. 여기에서 1999년의 홍수후 양산천 제방에 대한 기준점 성파는 Table 1 과 같다.

Table 1 Results for base points to left and right bank

하천명	위 치 명	좌안(EL.m)	우안(EL.m)	비 고
양산천	교리보 (NOO)	10.60	9.970	영대교
	교리보 + 527m	11.06	11.46	
	교리보 + 927m	12.05	10.57	

유량조사는 총 52회(홍수기 12회, 평·갈수기 40회) 실시하였으며 홍수기의 유량을 측정하기 위하여 봉부자 및 표면부자를 제작하였고, 평·갈수기의 유량을 측정하기 위하여 유속계(UC-2 TAYAMA)를 사용하였다. 평·갈수기의 유속측정은 정밀법과 3점법이 적용되었다. 유속측정에 대한 상세는 이전의 연구(이 용희, 이상배, 1998)를 참조한다.

2. 유량측정

2.1 평·갈수량 산정

평·갈수량은 횡단의 각 구분 면적에 그 면적을 대표하는 평균유속을 곱해 각 구분 단면의 유량으로 하고 이것을 전단면에 대해 합계하여 구한다.⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 유량을 계산하는 방법에는 평균단면법과 중간단면법으로 크게 나눌 수 있다.⁽⁶⁾ 본 연구에서 평·갈수량은 평균단면법을 적용하였고, 유속은 정밀법과 3점법으로 실측하였다.

2.2 봉부자 의한 유량측정

2.2.1 측정방법

부자에 의한 유량측정은 부자를 투하하는 방식에 따라 교량을 이용하는 방법, 전용부자 투하시설에 의한 방법으로 크게 분류된다. 교량을 이용하는

방법⁽⁷⁾이 가장 일반적으로 이용되는 방법이고 본 연구에서도 이 방법을 사용하였다.

2.2.2 측정시설

부자에 의한 유량측정시설은 부자 투하시설, 측정말뚝, 수위표, 관측실로 이루어지며, 측정시설의 배치 예는 Fig. 2와 같다.

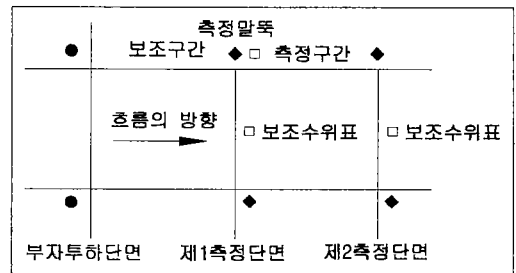


Fig. 2 Arrangement of observatory

2.2.3 부자투하시설

본 연구의 부자투하시설로서 교량을 이용하였다. 부자투하에 교량을 이용하는 방법은 부자투하가 쉽다는 점, 부자의 떠내려가는 상황을 관찰하기 쉽다는 점등의 이점이 있다.

2.2.4 측정장비

부자에 의한 유량측정에 필요한 장비는 부자, 야간용 부자를 위한 발광체, 연락 용구 및 스톱 워치가 필요하다. 부자의 통과 확인을 위해 트랜시트를 이용하는 경우도 있다.

본 연구에서는 표면부자와 봉부자를 사용하였다.

2.2.5 부자측정에 의한 유량산정

(1) 부자의 유하경로도 작성

관측된 부자유하 경로를 작성하여 유하거리를 산정함으로써 정확한 유속을 얻을 수 있다.

부자의 실제 유하경로에 편심이 발생한 경우에는 보정을 하여야 한다.⁽⁸⁾

Fig. 3에서 보는 바와 같이 부자의 실제 유하경로를 l , 연직거리를 L , 실제유하경로와 연직거리와

이런 경사각을 θ 라 하면 편심유하로 인한 유속보정계수는 Table 2를 이용하여 적용한다.

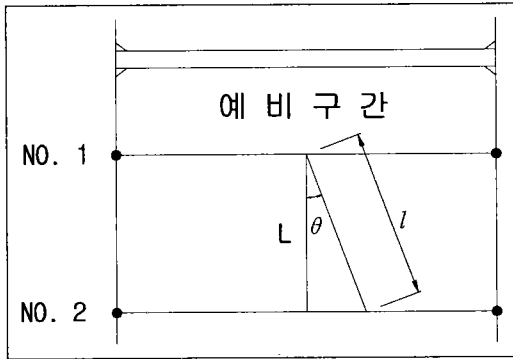


Fig. 3 Path of floating body

Table 2 Velocity correction coefficients of floating body

경사(θ) 구분	1°	5°	10°	15°	20°	25°
l/θ	1.001	1.0038	1.015	1.0352	1.0641	1.103

(2) 유속의 계산

부자의 유하거리에 의해 유속을 산출하고 보정계수를 곱하여 평균유속을 산정하였다.

(3) 보정계수

봉부자의 유하속도에 보정계수를 곱하여 유속이 구해지는 것이므로 봉부자의 길이는 수심에 따라 결정하여야 한다. 수심, 봉부자와 길이 및 보정계수의 관계는 대단히 복잡하며 이제까지 조사 연구된 것은 유속의 연직분포가 단순한 함수형으로 표시될 수 있다는 가정에 의한 것이다. 그러나 유속의 연직분포는 단순한 함수형으로 표시될 수 없으며, 횡단방향의 분포는 더욱 더 복잡하므로 Table 3과 같은 기준으로 산정하였다.

(4) 유량산정

본 연구에서 부자를 이용한 홍수량은 제 1횡단면

도와 제 2횡단면도의 평균 횡단면적을 구하여 각 구간의 부자 유하시간을 평균유속으로 환산한 값을 곱하여 산정하였다.

Table 3 Correction coefficients of floating body

부자번호	1	2	3	4	5
수심(m)	0.7이하	0.7~1.3	1.3~2.6	2.6~5.2	5.2 이상
홍수(m)	표면부자	0.5	1.0	2.0	4.0
보정계수	0.85	0.88	0.91	0.94	0.96

상기 방법에 의해 산출한 소구간 통수단면과 소구간 측정유속에 보정계수를 곱한 값을 소구간 평균유량으로 하여 이들을 전 구간에 대해 합산하므로서 총유량을 산정하였으며 이와 같은 방법으로 제 1, 제 2구간에 대한 유량은 식 (1)과 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n V_i \times K \times A_i \quad (1)$$

$$Q_2 = \sum_{j=1}^m q_j = \sum_{j=1}^m V_j \times K \times A_j \quad (2)$$

여기서

Q_1, Q_2 : 제 1, 2 구간의 유량

q_i, q_j : 제 i, j 번째 소구간의 유량

V_i, V_j : 제 i, j 번째 소구간의 표면유속

K : 보정계수

본 연구에서는 부자투하지점(영대교)에서 제 1 단면까지 예비구간 123m를 두었고 제 1 단면에서 제 2 단면까지 측정구간으로 127m 간격을 두었다.

3. 1999년 수위-유량 관계곡선 개발

정확하고 신뢰성이 있는 곡선식을 개발하기 위해서는 고수위, 풍수위, 저수위, 평수위, 갈수위에 대한 수위별 유량측정이 이루어져야 되며, 특히 갈

수위, 저수위시 유량과 고수위시 유량은 수위-유량 곡선 개발에 중요한 요소이므로 특히 이들 유량중 갈수시와 저수시의 유량은 관개 등 이수의 측면에서 고수위시는 치수의 측면에서 활용이 될 수 있어야 한다.

일정한 단면에 대하여 유량곡선은 일정하나 하상의 변화가 생기면 유량곡선도 다시 수정되어야 하고 하천의 저수와 고수의 경우 수위의 구분을 두어 2종 이상의 유량곡선을 사용하여야 하며 합류부나 조석의 영향을 받는 지점은 배수의 영향을 고려한 수위-유량관계가 정립되어야 할 것이다.

1997년의 유량조사는 관측횟수가 적고 관측된 T/M 수위의 분포가 편중되어 저수와 고수를 분류하지 않고 식 (3)과 같은 수위-유량관계곡선을 개발하였다.

$$Q = 1283.0262 - 1553.3158 H + 477.2702 H^2 \quad (3)$$

3.1 1999년 수위-유량

1999년도에는 T/M 수위 0.55~2.14m 범위에서 관측하여 0.07m³/sec~482.19 m³/sec의 유량이 실측되었으며 1999년 수위-유량 곡선식을 개발하기 위하여 52회 수위-유량을 측정하였다.

3.2 수위-유량곡선식 유도

본 연구에서는 수위-유량 관계곡선식을 다음과 같은 5가지 형태를 가정하여 비교, 검토하였다.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

- Type I $Q = a + bH$
- Type II $Q = a + bH + cH^2$
- Type III $Q = a + bH + cH^3$
- Type IV $Q = (a + bH)^2$
- Type V $Q = a + bH^2$

여기에서 상수 a, b, c 는 최소자승법 및 역행렬 등을 이용하여 결정하였다.

Nash, J.E와 Sutcliff, V.P.(1970)는 신뢰성 분석의 한 방법으로 모의발생된 직접유출수문곡선에

대한 관측된 직접유출 수문곡선에 대한 재현정도를 나타내는 효율계수 E를 구하는 관계식을 식(4)와 같이 제안하였다.⁽¹¹⁾

$$E = 1 - \frac{\sum_j (Q_j - Q_j')^2}{\sum_j (Q_j - \bar{Q}_j)^2} \quad (4)$$

여기서

- Q_j : 관측유량
- Q_j' : 수위-유량곡선식에서 유도된 유량
- \bar{Q}_j : 평균관측 유량

효율계수 E는 수위-유량곡선식 유도의 적합성 정도를 밝혀주는 방법으로 제시될 수 있다.⁽¹²⁾

근번 관측자료 자료를 분석한 결과 변곡점이 형성되는 지점을 전후로 평 · 갈수기에 대해 0.55 ≤ H ≤ 1.1, 홍수기에 대해 1.1 < H ≤ 2.14 범위에서 분리하여 수위-유량 곡선식을 유도하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. 여기에서 평 · 갈수량, 홍수량으로 분리하여 수위-유량곡선을 개발하는 것보다 전체자료를 이용하여 수위-유량 곡선식을 개발하는 것이 재현정도가 높음을 알 수 있다.

본 연구에서 수위-유량을 관측한 결과 신뢰성이 우수한 회귀방정식을 채택하였으며 채택된 수위-유량 관계곡선식은 식 (5)과 같으며 이를 도시하면은 Fig. 4와 같다.

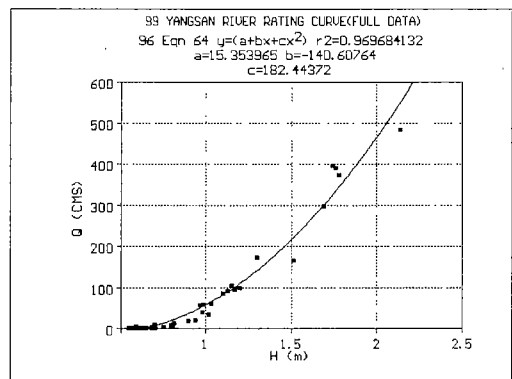


Fig. 4 Rating curve for Yangsan river(1999)

Table 4 Results of reliability analysis for Yangsan river

식 형	수위-유량 관계식	효율 계수(E)	표준 오차	수위구분	비고
$Q = a + bH$	$Q = -60.7653 + 99.1660H$	0.7625	8.1382	$0.55 \leq H \leq 1.10$	
	$Q = -387.8925 + 418.6218H$	0.9456	36.1861	$1.10 < H \leq 2.14$	
	$Q = -193.9415 + 287.9731H$	0.9036	36.6361	$0.55 \leq H \leq 2.14$	
$Q = a + bH + cH^2$	$Q = 142.5842 - 445.8108H + 349.2257H^2$	0.8849	5.7428	$0.55 \leq H \leq 1.10$	
	$Q = -434.3501 + 481.5596H - 20.3026H^2$	0.9458	38.0782	$1.10 < H \leq 2.14$	
	$Q = 15.3540 - 140.6076H + 182.44372H^2$	0.9697	20.7567	$0.55 \leq H \leq 2.14$	채택
$Q = a + bH + cH^3$	$Q = 76.3787 - 179.6588H + 149.4311H^3$	0.8861	5.7117	$0.55 \leq H \leq 1.10$	
	$Q = -431.5098 + 463.3787H - 6.0439H^3$	0.9460	38.0032	$1.10 < H \leq 2.14$	
	$Q = -63.1464 + 79.3908H + 45.8093H^3$	0.9627	23.0299	$0.55 \leq H \leq 2.14$	
$Q = (a + bH)^2$	$Q = (-7.5739 + 13.7765H)^2$	0.8475	6.5222	$0.55 \leq H \leq 1.10$	
	$Q = (-5.9658 + 13.8144H)^2$	0.9252	42.4162	$1.10 < H \leq 2.14$	
	$Q = (-8.5673 + 15.3408H)^2$	0.9640	22.3821	$0.55 \leq H \leq 2.14$	
$Q = a + bH^3$	$Q = -12.7493 + 55.0816H^3$	0.8358	6.7666	$0.55 \leq H \leq 1.10$	
	$Q = 28.2878 + 54.3012H^3$	0.9047	47.8870	$1.10 < H \leq 2.14$	
	$Q = -11.1347 + 61.3140H^3$	0.9551	25.0143	$0.55 \leq H \leq 2.14$	

$$Q = 15.3540 - 140.6076H + 182.44372H^2 \quad (5)$$

식 (5)의 형은 1997년에 개발된 식 (3)과 동일한 2차 함수형임을 알 수 있다.⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

3.3 0(zero) 유량수위산정

현재 사용중인 수위-유량 곡선식의 형태는 크게 USGS, USBR, WMO에서 작성된 기준에 기본을 두고 있으며 WMO에서 발간된 HOMS MANUAL에 언급된 수위-유량곡선의 일반적 형태는 다음과 같이 2가지 형태가 주류를 이룬다.⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾

(1) 지수형

$$Q = a \cdot (H + b)^c \quad (6)$$

식(6)은 하천 수위와 유량의 물리적 개념을 표현해주는 식으로서 위에 언급된 일반화된 유량곡선

식의 형태를 반영해 주고 있다. 그러나 실제로는 매개변수 b에 대한 선정이 어렵고, 갈수량의 처리가 어려운 단점이 있다.

(2) 포물선형

$$Q = a + bH + cH^2 \quad (7)$$

식 (7)은 “0” 유량의 처리 또는 갈수량의 처리에 적합한 표현으로서, 갈수량의 처리가 손쉬워지는 장점을 가지고 있다. 또한 매개변수 b에 대한 선정이 간편하여 사실상 운용이 쉬워진다.⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

본 연구에서의 “0” 유량을 산정은 갈수량의 자료를 근거로 회귀방정식을 유도하여야 하나 신뢰도 분석에서 관측전체 자료를 이용한 수위-유량곡선식이 신뢰도 및 재현정도 측면에서 우수하므로 이식을 적용하면 “0” 유량이 되는 T/M 수위는 0.6m의 계산결과를 얻을 수 있다.

4. 수위검토

유량측정 자료가 기상·수문학적 조건, 하천의 물리적 상환, 상·하류의 하천수 이용상황에 따라 편차가 매우 심하여 유량자료의 신뢰도를 검증할 필요가 있다. 따라서 관측된 유량 및 수위를 수치계산식과 비교 검토하기 위하여 HEC-RAS 프로그램을 사용하였다.

본 연구에서는 금회 홍수전 하천중·횡단 측량 성과를 기초로 지형자료를 입력하였으며 하천시설 기준(1993, 건설부)에 의한 현장조사의 결과에 따라 조도계수의 값을 채택하여 계산하였다.

영대교 하류의 수위-유량관계곡선을 산정하기 위하여 관측유량별 수위에 대한 각각의 수리검토 결과는 Table 5와 같다. 여기에서 얻을 수 있는 분석결과는 다음과 같다.

- ① 관측수위와 수치계산의 결과와 비교하여 본 결과 상당히 일치한다는 것을 알 수 있다.
- ② 관측수위와 수치계산의 수위결과는 갈수기의 측정방법으로 선택한 정밀법의 경우는 1%이내의 오차를 보이고 있다.
- ③ 3점법으로 관측한 수위와 수치계산의 수위결과는 -15%~+3.8%의 오차를 보이고 있다.

④ 홍수량을 측정하기 위해 적용한 봉부자의 경우 관측한 수위와 수치계산의 수위결과는 1.9~11.7%의 오차를 보이고 있다.

5. 결론

수위-유량관계곡선식의 유도는 수자원개발에 대한 계획, 정량적인 수문량 획득 그리고 수공구조물의 설계에 이르기까지 다양하게 적용할 수 있는 실용 연구분야이다. 특히 항만과 연계된 하천의 경우 정확한 유량의 산출이 어려우므로 이러한 기법을 동원하여 기초자료를 제공한다면 항만개발이나 항만수질에측에 중요한 자료로 활용할 수 있을 것이라 사료된다. 울산항의 태화강, 포항항의 형산강, 군산항의 금강, 목포항의 영산강등 큰 하천은 물론

Table 5 Comparison of observed with computed water level to observed discharge

측정연월일시	관측 유량	수 위		수위 오차 (%)	유 속		유속 오차 (%)	측정 방법	비고
		관측 수위	계산 수위		관측 유속	계산 유속			
99/03/18.10:35	2.2	0.680	0.680	0.000	0.0068	0.010	0.003	유속계	정밀법
99/04/12.15:30	8.9	0.700	0.700	0.000	0.0269	0.050	0.023	유속계	정밀법
99/04/24.13:00	3.5	0.590	0.590	0.000	0.0113	0.020	0.009	유속계	정밀법
99/04/26.10:30	0.5	0.590	0.590	0.000	0.0015	0.000	-0.001	유속계	정밀법
99/04/28.06:50	0.6	0.550	0.550	0.000	0.0021	0.000	-0.002	유속계	정밀법
99/05/01.11:00	0.8	0.570	0.570	0.000	0.0027	0.000	-0.003	유속계	정밀법
99/05/03.10:30	1.2	0.580	0.580	0.000	0.0041	0.010	0.006	유속계	정밀법
99/05/04.12:20	33.4	1.020	1.030	0.971	0.0924	0.140	0.048	유속계	정밀법
99/05/04.15:00	19.6	0.940	0.940	0.000	0.0554	0.060	0.035	유속계	정밀법
99/05/06.11:40	0.7	0.700	0.700	0.000	0.0021	0.000	-0.002	유속계	정밀법
99/05/08.11:00	0.5	0.590	0.590	0.000	0.0016	0.000	-0.002	유속계	정밀법
99/05/11.11:10	0.1	0.600	0.600	0.000	0.0002	0.000	0.000	유속계	정밀법
99/05/13.10:20	0.7	0.600	0.600	0.000	0.0023	0.000	-0.002	유속계	정밀법
99/05/15.11:20	0.4	0.590	0.590	0.000	0.0012	0.000	-0.001	유속계	정밀법
99/05/18.11:10	0.4	0.600	0.600	0.000	0.0013	0.000	-0.001	유속계	정밀법
99/05/19.12:10	0.7	0.640	0.640	0.000	0.0022	0.000	-0.002	유속계	정밀법
99/05/19.16:50	0.7	0.620	0.620	0.000	0.0023	0.000	-0.002	유속계	정밀법
99/05/20.10:20	3.9	0.590	0.590	0.000	0.0124	0.020	0.008	유속계	정밀법
99/05/24.15:10	1.9	0.750	0.750	0.000	0.0059	0.010	0.004	유속계	정밀법
99/05/25.10:20	1.3	0.680	0.680	0.000	0.0040	0.010	0.006	유속계	정밀법
99/05/25.13:00	1.1	0.680	0.680	0.000	0.0034	0.010	0.007	유속계	정밀법
99/05/27.11:00	0.3	0.650	0.650	0.000	0.0009	0.000	-0.001	유속계	정밀법
99/05/27.14:00	1.2	0.650	0.650	0.000	0.0038	0.010	0.006	유속계	정밀법
99/06/02.11:00	0.3	0.590	0.590	0.000	0.0010	0.000	-0.001	유속계	정밀법
99/06/03.08:30	1.0	0.610	0.610	0.000	0.0032	0.010	0.007	유속계	정밀법
99/06/03.13:00	0.3	0.600	0.600	0.000	0.0011	0.000	-0.001	유속계	정밀법
99/06/07.15:00	0.1	0.590	0.590	0.000	0.0004	0.000	0.000	유속계	정밀법
99/06/17.13:00	0.4	0.590	0.590	0.000	0.0013	0.000	-0.001	유속계	정밀법
99/06/24.13:10	5.1	0.795	0.690	-15.217	0.0151	0.030	0.015	유속계	3점법
99/06/29.16:40	11.6	0.815	0.820	0.610	0.0340	0.060	0.026	유속계	3점법
99/07/02.11:00	165.2	1.510	1.570	3.822	0.3300	0.520	0.190	유속계	
99/07/05.11:10	8.2	0.695	0.700	0.714	0.0230	0.040	0.017	유속계	3점법
99/07/14.12:50	0.2	0.600	0.600	0.000	0.0008	0.000	-0.001	유속계	3점법
99/07/23.10:20	17.6	0.900	0.900	0.000	0.0469	0.080	0.033	유속계	3점법
99/07/27.16:40	94.6	1.150	1.130	3.361	0.2219	0.360	0.138	봉부자	
99/07/29.12:40	40.0	0.980	0.990	1.010	0.1031	0.170	0.067	유속계	3점법
99/07/30.08:02	482.2	2.140	2.350	8.936	0.8102	1.080	0.270	봉부자	
99/07/30.12:00	295.4	1.690	1.830	7.650	0.5799	0.820	0.240	봉부자	
99/08/03.16:00	94.1	1.170	1.210	3.306	0.2229	0.360	0.137	봉부자	
99/08/03.20:30	172.2	1.300	1.390	6.475	0.3597	0.590	0.230	봉부자	
99/08/04.11:40	394.8	1.740	1.970	11.675	0.7500	1.030	0.280	봉부자	
99/08/04.16:40	373.2	1.780	1.970	9.645	0.6753	0.970	0.295	봉부자	
99/08/05.14:50	55.5	0.970	0.990	2.020	0.1416	0.240	0.098	유속계	3점법
99/08/23.12:30	5.6	0.805	0.810	0.617	0.0166	0.030	0.013	유속계	3점법
99/08/26.15:00	57.2	0.985	1.000	1.500	0.1447	0.250	0.105	유속계	3점법
99/08/31.11:00	388.8	1.760	1.970	10.204	0.7281	1.010	0.282	봉부자	
99/09/10.13:00	59.7	1.030	1.050	1.905	0.1422	0.250	0.108	봉부자	
99/09/10.16:30	84.5	1.100	1.130	2.655	0.3038	0.340	0.036	봉부자	
99/09/20.11:00	8.4	0.800	0.800	0.000	0.0217	0.040	0.018	유속계	3점법
99/09/19.10:00	98.7	1.200	1.240	3.226	0.2271	0.370	0.143	봉부자	
99/09/19.14:00	90.4	1.130	1.160	2.586	0.2149	0.350	0.135	봉부자	
99/10/27.10:00	0.5	0.600	0.600	0.000	0.0017	0.000	-0.002	유속계	3점법

이지만 부산의 동천 및 수영강, 보수천 등에 대해서 본 연구와 같은 자료의 획득이 필요하다고 판단된다.

양산천 유량측정을 위하여 1999년 영대교 지점에 대하여 하천 중·횡단 측량을 실시하였고 평·갈·홍수기의 52회 수위-유량조사를 실행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었으며 보다 신뢰성 높은 수위-유량곡선식의 획득과 양산천에 대한 특성을 파악하기 위해서는 장기적인 관측자료의 수집이 필요하다고 판단되었다.

1) 본 연구에서 수행한 52회 수위-유량관측 기록으로 양산천에 대한 수위-유량 관계곡선식은 아래와 같은 식으로 유도되었다.

$$Q = 15.3540 - 140.6076H + 182.44372H^2$$

2) 본 연구에서 관측된 자료를 분석한 결과 변곡점이 형성되는 지점을 전후로 평·갈수기에 대해 $0.55 \leq H \leq 1.1$, 홍수기에 대해 $1.1 < H \leq 2.14$ 범위에서 분리하여 수위-유량 곡선식을 유도하였으나 이는 수위의 구분없이 전체 자료에 대한 수위-유량 곡선식보다 신뢰도가 낮음을 알 수 있었다.

3) 금회 개발된 수위-유량곡선식은 T/M 수위가 2.14 m 이므로 제한수위 2.14 m 이내의 값을 사용하는 것을 원칙으로 해야한다.

4) 금번 관측자료 자료를 분석한 결과 "0" 유량이 되는 T/M 수위는 0.6m의 계산결과를 얻을 수 있었다.

5) 실제 관측수위와 수치계산의 결과와 비교하여 본 결과 상당히 일치함을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) 건설부(1992), "밀양강 양산천 하천정비 기본계획(보완).
- 2) 건설부(1992), "밀양강 양산천 하천정비 기본계획(보완) 부록
- 3) 건설부(1993), "하천시설기준", pp. 89-94.
- 4) 선우증호(1992), "수문학", 동명사, pp. 27-273.
- 5) 이원환(1993), "수문학", 문운당, pp. 169-272.
- 6) 이용희, 이상배(1998), "양산천 수위-유량 관계곡선의 유도에 관한 연구", 한국항만학회, 제12권, 제1호, pp. 131-143.
- 7) 건설부 한강 홍수통제소(1991), "수문관측과 홍수예방", pp. 101-270.
- 8) 유복모(1979), "측량공학", 박영사, pp. 402-429.
- 9) 윤강훈, 신현철(1994), "한강인도교 수위와 영향인 자간의 다중회귀분석에 의한 홍수위 예측모형", 한국수문학회지, 제27권, 제3호, pp. 55-69.
- 10) 충남대학교 농과대학 농업과학 연구소(1992), "하국하천의 일출률 모형구조와 사용지침", pp. 3-30.
- 11) Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V.(1970), "River Flow Forecasting Through Conceptual Modes", A Discussion of Principles, Journal of Hydrology, Vol. 10, pp. 282-290.
- 12) Rosso, R.L.(1984). "Nash model relation to horton order ratio." Water Resources Research, Vol. 20, No. 7, pp. 914-920.
- 13) Knisel, W. G.(1980), "A Field Scale Model for Chemical, Runoff, and Erosion from Agriculture Management Systems", USDA, Conservation Research Report, No. 26.
- 14) Palmer, W. C.(1965), "Meteorologic Drough", Research Paper, U.S. Weather., pp. 45-58.
- 15) Sala, J. D., Deulleur, J. W., Yevijevich, V., and Lane, W. L.(1980), "Applied Modeling of Hydrologic Time Series", Water Resources Publication, pp. 91-93.
- 16) Wenzel, H.G. Jr., and Voorhees, M.L.(1979) "Sensitivity of design stor frequency", Paper presented at the AGU Annual Spring Meeting, Washington, D.C.
- 17) Yen, B.C., and Chow, V.T.(1977) "Feasibility study on research of local design storms." Report No. FHWA-RD-78-65, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.