

## 양산천 수위-유량 관계곡선의 유도에 관한 연구<sup>+</sup>

이 용 희\* · 이 상 배\*\*

### A Study on Derivation of Rating Curve for Yangsan River

*Y. H. Lee · S. B. Lee*

**Key Words** : 수위-유량곡선(stage-discharge curve, rating curve), 수자원(water resource), 최고수위(the highest water-level), 제한수위(the limited water-level), 유출량 관측(discharge observation, hydrometry), 수리량(hydrologic quantity), 유역(river basin)

#### Abstract

This paper presents derivation of stage-discharge curve for Yangsan river. To derivate of stage-discharge lationship is one of the essential research areas in the water resource field. It provides reliable data a long term planning and hydrologic quantity on water resource development by quantitative analysis.

The rating curve derivated through 15 discharge-observation on Yangsan river basin in 1997 has been estimated  $Q=1283.0262-1553.3158H+477.2702H^2$ . According to the rating curve, the highest water level 2.6m, the limited water-level should be bound to the maximum of 2.6m.

Before this research, stage-discharge curve of Yangsan river has not been developed, and only 15 discharge observation(hydrometry) has been carried out though this research.

Therefore it seems necessary to collect observation data through a long term process to obtain a reliable rating curve equation.

---

+ 이 논문은 양산대학 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

\* 정회원, 양산대학 토목과 조교수

\*\* 양산대학 토목과 조교수

# 1. 서론

## 1.1 연구의 배경

인간사회가 복잡하게 발전되고 유역의 도시화가 가속됨에 따라 인간 생활권 내에서 하천의 위상은 점점 높아지고 있는 실정이다. 하천의 수량이 풍부할 때는 수질이 개선되고 하천의 수량이 부족할 때는 수질이 악화되는 순환적 성격을 띄고 있다. 그리고 최근에는 지하수의 개발과 불투수층의 증가로 하천의 유량은 점점 감소하고 있어 하천의 자정능력은 시간이 지남에 따라 점점 떨어질 것이다.

낙동강 하구연에서 홍수 및 갈수기의 수량 및 수질의 관리를 체계적으로 하기 위해 낙동강의 지천에 대한 홍수 및 갈수 유량조사가 우선적으로 행해져야 한다.

홍수 유량조사는 홍수기에 얼마나 많은 유량이 유입되는가를 조사하여 짧은 시간에 풍부한 물을 효율적으로 관리하기 위한 대책으로서 하천관리에 중요한 부분 중에 하나이다. 그리고 홍수기가 지나면 하천의 형태가 변형이 일어나므로 이에 대한 추이를 지켜보는 것도 하천형태학적으로 중요한 과제가 된다.

그리고 갈수기의 수량조사는 부족한 물을 효율적으로 관리하기 위한 비구조물적 대책으로 단기 혹은 장기 하천유량을 예측함으로써 수요량을 충분히 공급할 수 있는가 또는 부족할 것인가의 사전정보를 제공한다.

낙동강 하구연 상류 주요 지천중의 하나인 양산천은 유산천, 명곡천, 다방천 등의 지천을 가지고 있으며 또한 유산공단, 북정공단, 산막공단 등의 공단을 형성하고 있고 앞으로 어곡공단, 상북공단 등이 조성될 계획과 더불어 양산신도시까지 건설되면 양산천은 낙동강에 대해 수량이나 수질면에서 상당한 영향을 미칠 것으로 판단되어 진다.

따라서 낙동강 수계의 양산천유역에 대한 유량을 측정하여 유출해석과 수량관리 시스템에 기초자료를 제공하게 되는 수위-유량 관계곡선(Rating-

Curve)을 개발하여 유량을 정량적으로 예측함으로써 신뢰성 있고 효율적인 낙동강 하구연의 운영 및 관리에 기초적인 자료를 제공하는데 본 연구의 목표를 두고 있다.

## 1.2 연구범위

양산천 유량의 측정조사는 양산천 수위표 지점의 수위-유량 관계곡선(Rating-Curve)을 개발하기 위한 것이고 수위관측 지점의 명칭 및 위치는 Table 1과 같다.

Table 1 A name and location of determination for water-level

| 관측소명 | 하천명 | 위 치  |     |        |
|------|-----|------|-----|--------|
|      |     | 도    | 시   | 동      |
| 양 산  | 양산천 | 경상남도 | 양산시 | 강서동 교리 |

## 1.3 연구내용 및 방법

본 연구구간인 낙동강수계 양산천유역의 양산 수위표는 양산 중부동과 강서동 교리를 횡단하는 영대교의 교각에 설치되어 있으며 양산 수위관측소의 주요제원은 Table 2와 같다.<sup>(1)(2)</sup> 본 연구에서 수위에 대한 유량의 관계곡선(Rating-Curve)을 획득하기 위한 기초자료로써 양산천에 대한 중횡단측량을 실시하였다.

유량조사는 97년도에 총 15회 실시하였으며 유속을 측정하기 위해 유속계를 사용하였다. 유속의 측정은 하천의 양안에 밧줄을 걸어 보트를 이용하여 횡단하며 측정하였고 비교 및 검정을 위해 하류부의 교리보에서 측정도 실시하였다.

Table 2 Chief data for Yangsan water-level observatory

| 관측소명 | 하천명 | 관측종별 | 위 치            |         |        | 수위표<br>영점표고<br>(EL.m) | 관찰<br>관서명 |
|------|-----|------|----------------|---------|--------|-----------------------|-----------|
|      |     |      | 지 명            | 동 경     | 북 위    |                       |           |
| 양산   | 양산천 | 차기   | 경남 양산시 강서동 영대교 | 129°01' | 35°20' | 4.147                 | 건설부       |

## 2. 양산천의 현황

낙동강 제 1 지류인 양산천은 동경 128°58'48" ~ 129°9'00", 35°16'55" ~ 35°30'49" 사이의 낙동강 수계 하류부에 위치하며 북쪽으로는 취서산(鷲棲山, EL.1,058.9 m)을 분수령으로 태화강 유역과 접하여 서쪽으로 염수봉(鹽水峰, EL.816.0 m), 정봉산(正峰山, EL.449.9 m)을 분수령으로 밀양강 및 낙동강 본류 유역과 분수계를 이루고 있다.

또한 동남쪽으로는 정족산(鼎足山, EL.449.9 m), 원효산(EL.922.2 m), 계구산(鷄鳩山, EL.601.5 m)을 분수령으로 회야강, 수영강 및 부산광역시와 경계를 이루고 있다.

수원(水源)은 경남 양산시 하북면 지산리 취서산에서 발원하여 동남류(南東流)하면서 양산시 하북면 소재지 지점에서 1차 유향(流向)을 급변하여 크고 작은 지류를 합류하면서 양산시를 관류(貫流) 유산천, 북부천, 다방천을 차례로 합류한 후 경남 양산시 강서동 호포철교 지점에서 낙동강 본류 좌안측으로 유입한다.

한편 양산천의 유역면적은 243.7 km<sup>2</sup>, 유로연장 32.3 km로서 낙동강 전유역의 1.0%를 차지하고 있다. 하상경사는 하류부는 1/1,020~1/1,100으로 완만하고, 상류부는 1/1,100~1/670으로 급한 특성을 가지고 있다. 그리고 양산천 유역의 연평균 강우량은 1,450.44 mm로 우리나라의 연평균 강우량 1,159 mm에 비해 큰 편이나 낙동강 상류유역보다 하류가 더 우량이 많은 것이 낙동강 유역의 특징이다.<sup>(4)</sup>

### 2.1 수위표

양산천에는 양산수위표가 영대교에 위치하고 있으며, 유역면적 188.05 km<sup>2</sup>로 양산천 전유역 면적의 77.2%를 차지하고 있으며, 1962년부터 관측을 하여 현재에 이르고 있으나 유량측정을 실시하지 않아 유역의 유출분석을 할 수

없는 상황이다.

금회 연구구역내에 양산수위표가 위치하고 있어 가수위표는 설치하지 않고 양산수위표를 이용하였다.

유량측정 지점에는 유량측정 시설물이 없으나 하도유출의 큰 영향을 주는 지류유입이 없는 하도내의 상하류 적합한 지점에 수위표가 설치되어 대응수위로부터 수위량을 결정하기 위해 활용되었다.

유량측정 횡단면의 수위경사 및 통수단면적으로부터 유량측정지점의 수위-유량산정에 대한 간접적인 검토 및 수위-유량 곡선식 연장등에 활용될 수 있다.<sup>(5)</sup>

### 2.2 기준점 설치

기준점은 횡단측량을 위한 기준인 동시에 유속기 및 부자에 의한 유량측정시 투시단면을 고정하기 위한 목적이 있으며 앞으로 하상변동량의 파악을 용이하게 하기 위해 설치한다.<sup>(3)(9)(11)</sup>

기준점 설치는 수위표 지점의 부근현황과 유로특성을 고려하여 유량측정에 지장을 주지 않는 장소를 선정하여 횡단측선 교리보(No.0), +527, +927 단면의 양안에 설치하였다.

본 연구에서는 수준점으로부터 기준점 측량을 하였으며 성과는 Table 3 과 같다.

Table 3 Results for base points to left and right bank

| 하천명 | 위치명        | 좌안(EL.m) | 우안(EL.m) | 비고  |
|-----|------------|----------|----------|-----|
| 양산천 | 교리보 (NOO)  | 10.596   | 9.840    | 영대교 |
|     | 교리보 + 527m | 11.074   | 9.570    |     |
|     | 교리보 + 927m | 11.288   | 9.110    |     |

양산천 수계의 영대교지점을 측량하기 위하여 국립지리원 기준수준점을 이용하였으며 평면도는 Fig.1의 지형도를 이용하였다.



Fig.1 A plane figure

### 3. 유량측정

#### 3.1 유량측정의 개요

하천에서 유량을 측정하기 위해서는 유속과 그에 해당하는 유수단면적으로부터 유량을 측정하는 유속-면적법(Velocity-Area Method), 화학적 원리를 이용하여 희석농도로부터 유량을 직접 구하는 희석법(Dilution Method) 및 Weir 등과 같은 수리구조물에 의한 방법 등으로 나눌 수 있으며, 실제 유량 측정에 있어서 홍수나 평수시는 유속-면적법이 가장 많이 사용되고 갈수시 및 저수시와 같이 유량이 비교적 적고 하상의 횡단변화가 클 경우에는 희석법이 사용되기도 한다.<sup>(10)(13)</sup>

본 연구에서는 하천의 횡단측량과 유속계에 의해 유속을 직접 측정하는 유속-면적법과 부자에 의한 방법을 사용하였다. 유속계에 의한 직접 유속 측정 방법은 수심 50cm 이상일 경우 수류의 관성력으로 인하여 유속측정에 어려움이 있기 때문에 평수위 및 홍수위에 대한 유속측정은 봉부자에 의한 유속측정법이 유리하다.<sup>(6)</sup>

유량측정에 있어서 유속의 중요성은 과학발전의

일대전환기인 르네상스때까지도 완전히 이해하지 못하였으며 당시의 과학자들은 유수와 유속측정에 대하여 초보적인 관심을 표현하기 시작하는 정도였다. 당대의 예술가이며 과학자인 Leonardo da Vinci(1452~1519)는 수문학이나 유체역학에 흥미를 가지고 여러해 동안의 관측결과를 기초로 하여 수문순환현상을 증명하고 하천흐름에 대한 측정에 부자를 사용하였다. Pierre Perrault(1608~1680)는 Seine강 유역에 내린 년 강수량의 1/6로서 이 강우량이 유지된다고 주장했으며 이것을 Edme Mariotte(1620~1684)가 검증하였다.<sup>(18)</sup> 1692년 Guglielmine는 물에 떠서 흘러가는 구를 사용하는 유속측정방법을 고안하였으며, 1790년 독일의 Reingard Woltman은 수평측에 날개가 달린 유속계를 소개하였다.<sup>(13)</sup>

19세기에 접어들어 지표수 분야의 측수학(Hysrometry)이 매우 발달하여 많은 유출공식이 개발되는 동시에 측정기의 개발이 진행되었고 이어서 체계적인 유량측정이 시작되었다. 1867년 미국의 Daniel Farrand Henry는 유속계를 만들어 성공적으로 실무에 적용하였으며, 그는 날개의 회전을 신호로 바꾸는 전기회로를 갖춘 전신유속계(Telegraphic Current Meter)를 개발함으로써 유속측정기법의 발달에 크게 기여하였다. 그에 따라 계기의 눈금을 읽기 위하여 매번 유속계를 물 밖으로 꺼낼 필요가 없어졌으며, 이와 같은 전신회로를 응용한 기계적인 관측기록법이 발달하게 되었다. 또한 회전자 2가지 형태와 수평측에 4개의 반구형 컵을 붙인 형태가 개발되었다.<sup>(10)</sup>

1870년에 Ellis T.G.는 수직측에 컵들이 달린 유속계를 소개했으며 1882년 Price W.G.는 Ellis의 유속계를 보완하여 재래식의 단점을 제거하여 현재까지 널리 사용되고 있는 Price형 유속계를 개발하였다. 한편 현재의 유량측정은 유속측정에 의한 직접적인 방법과 유속측정에 의하지 않는 간접적인 방법으로 구분할 수 있다. 직접적인 유량측정 방법에서는 유체의 흐름에 의한 회전이나 변위를 이용하는 기계적인 방법과 속도수두를 위치수두로 변환

시키는 방법 그리고 화학적 방법으로 크게 나눌 수 있다. 그러나 하천류의 광범위하고 다양한 조건, 측정도의 차가 큰 난류상태나 하천단면의 조도차 등으로 인하여 특정방법만을 추천하는 것이 곤란하다. 회전식계기는 다양한 조건에 대해서 광범위하게 적용될 수 있으나 0.03m/sec 이하의 유속과 극도의 난류상태에서는 적합하지 못하다. 따라서 제한조건 밖에서도 사용이 가능한 단순하면서도 실용적인 유속계의 개발이 요구되고 있다. 그리고 어떤 지점에서 유속을 측정하는 목적은 그 하천단면의 평균유속을 산정하는 것이며 유량은 유속-면적법(Velocity-Area Method)에 의해 산정된다.

### 3.2 기계식 계기

기계식 계기는 흐름의 운동량 일부를 각 운동량으로 변환하는 회전식 계기(Rotating Meter), 힘으로 변환하는 동력식 계기(Dynamometer), 흐름에 따라 이동하는 부표식 계기(Floating Meter) 등의 3가지가 있다.

회전식 계기에는 회전축의 방향에 따라 흐름방향에 수직인 수직축형과 수평축형으로 분리되며 수직축형의 대표적인 것이 Price Current Meter이다. 스크류나 프로펠러형의 회전자가 부착된 수평축형은 유럽에서 많이 사용되고 있으며 현재 널리 사용되고 있는 제품으로는 프랑스에서 개발된 Neyrpic Meter와 독일에서 개발된 Otto Meter가 있다.

동력식 계기는 유속의 운동량을 변위시키거나 응력으로 변환한 것으로 제품으로는 Keeler Meter가 있으며, 이것은 미국의 New Hampshire에 있는 Winnip-Saukee 호수의 방류량 측정에서 사용되었다.

부표식 계기는 유속의 근사치 측정에 사용될 수 있으며 재래의 유속측정방법으로 표면부자(Surface Float), 수중부자(Submerged Float), 이중부자(Twin Float), 봉부자(Rod Float)에 의한 방법 등이 널리 쓰이고 있다.

### 2.3 전기회로식 방법

유속측정에 있어서 보다 높은 정밀성 획득과 심한 난류, 저유속 등의 측정조건을 만족시키기 위하여 여러 가지 화학 및 전기회로식 측정기법이 개발되었다. 화학적인 방법에는 소금 및 염료 회색법, 방사능 물질 추적법, 소금물 전도율 방법 등이 있으며 전기회로식 방법에는 산소용액기록법(Oxygen Polarography), 가열선 계기(Hot-Wire Anemometer), 전자기 유속계, 초음파 유속계(Ultrasonic Flow Meter) 등이 있다.

방사능 물질추적법은 소금물 전도율법과 유사한 방법으로서 민감한 주입물질이 사용될 경우 용해물질을 소량으로 줄일 수 있는 장점이 있으나 장비가 고가라는 단점이 있다.

산소용액기록법은 산소가 용해된 전해액이 일정한 속도로 움직이고 있는 상태에서 전류-전압 관계곡선을 나타낼 수 있고 이러한 현상을 이용한 속도 측정 방법은 유속 0.03m/sec이하에서도 매우 정확하여 Kolthoff와 Lingane에 의해 연구되었다.<sup>(17)</sup>

가열선 계기는 이와 유사한 것으로 Warm-Film Anemometer가 있으나 야외에서의 측정용으로 부적당하며 주로 실험실에서 많이 쓰이고 있다.

전자기 유속계는 물속에 전자기계를 형성하고 그 주위에 전도체를 통과시키면 이 전도체에 전류가 발생하여 흐르게 되는 원리를 이용한 것으로서 미해군에서 제공된 계측기를 이용한 미국 지질조사국이 플로리다주의 Jacksonville의 St. Johns강을 대상으로 유속을 측정하여 본 결과 이용방법이 정확도가 높은 것으로 입증되었다. 이 계측기는 규모가 너무 크고 비용이 많이 든다는 단점이 있으나 특수한 조건하에서 계속적인 유속기록이 가능하다는 장점으로 나타내고 있다.<sup>(16)(18)</sup>

초음파 유속계는 물속을 통과하는 초음파의 Doppler효과를 이용한 것으로 송신장치에서 상류에 있는 수신기로 신호를 보내면 초음파는 상류로 향하게 되므로 유속의 영향을 받아 강도가 감소하게

된다. 이러한 성질을 응용하여 여러 가지 인자들 즉, 온도, 수온의 변화에 따른 편차, 반사, 수표면의 간섭 등과 유속과의 대규모 상관관계를 고려하면 유속을 측정할 수 있다.<sup>(16)</sup>

간접적인 유량측정은 대규모의 홍수가 발생할 경우와 같이 유속측정에 의한 홍수량 산정이 실질적으로 불가능할 경우가 많은데 이러한 경우 홍수량을 측정하는 방법이다. 간접측량 측정법에서는 하천유량을 수면곡선-단면적법(Slope-Area Method), 단면축소법(Contracted-Opening Method), 압거 등 수공구조물에 의한 측정법, 한계-수심법(Critical-Depth Method) 및 통수능-수면곡선법(Conveyance-Slope Method) 등이 대표적이다.

### 3.4 희석법

저수시 또는 갈수시에는 유량에 비해 하상의 변화가 복잡하며 유속이 작아 일반적인 프로펠러형 유속계는 정확한 유량을 구하기 어려움으로 희석에 의한 방법을 사용할 수 있다. 희석법에 의한 하천유량 측정방법에는 주로 전기전도도계(Conductivity Meter)를 이용하고 있으며, 용액주입 방법에 따라 일정량 주입법(Constant Injection Method)과 일시 주입법(Sudden Injection Method)이 있다. 일시 주입법에 의한 방법은 기지의 용적  $V$ 의 고농도 용액을 하천에 순간적으로 주입하는 것으로서 시료 채취지점에서의 농도가 급히 침투에 달하면서 농도-시간곡선(Concentration-time curve)을 가지게 된다.

이 때 유량  $Q$ 는 식(1)로 계산된다.

$$Q = V \frac{C_0}{\int_0^t (C_2 - C_1) dt} \quad (1)$$

여기서  $C_0$ 는 주입용액 농도,  $C_1$ 은 자연상태의 하천수의 농도 및  $C_2$ 는 시료 채취 지점에서의 농도

이며,  $C_0$ 는  $C_1$ 에 비하여 농도 차이가 커야 ( $C_0 \gg C_1$ )하고 농도의 단위는  $\mu\text{mohm}$ 이다.

## 4. 유속계에 의한 유량측정

회전식 유속계에 의한 유량측정은 하천에 있어 가장 일반적인 유량측정 방법으로 저수시 유량측정에 적용되지만 관측소의 조건에 따라서는 홍수시 유량 측정도 할 수 있다.

### 4.1 측정방법

회전식 유속계에 의한 유량측정에는 유량관측소의 설치방법에 따라 도보측정, 보트에 의한 측정, 가교에 의한 측정, 교량에 의한 측정 및 케이블에 의한 측정 및 케이블에 의한 측정 방법으로 나눌 수 있다.

유량측정은 관측소의 상황에 따라서 적절한 방식을 선정해야 한다. 유속이 느리고 수심이 얇은 장소에서는 관측원이 하천을 도보로 횡단하면서 측정하는 도보관측으로도 측정이 가능하나, 유속이 빠르고 수심이 깊으면 보트에 의한 측정 또는 가교에 의한 측정이 필요하다. 수심이나 유속이 큰 경우나 홍수시의 측정에서는 교량이나 케이블카를 이용하여 측정을 실시해야 된다.

### 4.2 측정시설

유속계에 의한 유량측정을 위한 측정시설은 수위 관측소 및 단면말뚝이 필요하고, 측정방식에 따라 측정용 보트를 고정할 와이어 및 체인블록(Chain Block), 지주말뚝, 유량측정 자동차 및 케이블카 등이 필요하다.

#### 1) 수위관측소

수위관측소는 수위-유량곡선을 작성하고 연속된 유량자료를 얻는데 꼭 필요하다. 이 관측소의 수위표를 기준으로 수위유량곡선을 작성하므로 이 수위

표를 기준수위표라 부른다.<sup>(6)(7)</sup>

2) 단면말뚝

단면말뚝은 측정시에 관측단면이 변경되지 않도록 단면위치를 나타내는 말뚝으로 양안에 견고한 것을 설치한다. 말뚝을 설치할 수 없는 경우에는 페인트 등으로 단면위치의 표시를 한다. 말뚝은 홍수에 의해 유실되는 경우가 있으므로 동일단면 내에 반드시 예비말뚝을 설치하고, 현저하게 하상변동이 생겨도 보측정의 측정위치로 적합하지 않을 경우에는 분할표가 없는 범위에서 측정이 쉬운 곳으로 옮겨 측정한다.

3) 측정용 보트를 고정하는 와이어 및 지주말뚝

정해진 단면 위치 및 측선 위치에 측정용 배(보트)를 고정하는 와이어를 설치하기 위해 양안에 견고한 닻이나 지주 말뚝을 설치한다. 한쪽편 지주말뚝에는 와이어를 감는 기계(Chain Block)를 사용하고, 와이어는 일반적으로  $\varnothing 3\sim 4\text{mm}$  정도의 것을 이용하고 와이어에 물가로부터의 거리표시, 또는 측선표시를 해두면 편리하다.

와이어는 수면으로 늘어지지 않도록 팽팽하게 잡아두고 보트의 고정은 보통 와이어로 하지만 배가 하류에 떠내려가는 경우에는 대나무 장대 혹은 선와기 등을 사용하여 고정하는 방법을 취한다. 다른 배의 통행에 충분히 주의하고 통행에 큰 지장이 되지 않도록 배려한다. 와이어의 위치를 다른 배들이 확인할 수 있도록 붉은 천 등을 와이어에 붙여둔다.

4.3 측정과정

회전식 유속계의 유량측정은 미리 정해진 단면 내의 측정상에서 수심측정 및 유속측정에 의해 실시된다.

1) 측선배치

횡단방향의 측선배치는 횡단방향의 수면폭에 대해 원칙적으로 같은 간격이 되도록 선정한다. 횡단

면의 형상이나 유속분포에 따라 등간격으로 하는 것이 적당하지 않은 경우에는 하상 등에 따라 부분적으로 측선간격을 밀접하게 한다.

측선배치는 아래 Table 4에 정한 간격을 기준으로 하고 정밀 측정에 있어서는 측선간격을 Table 4의 1/2로한다.

유량은 단면적과 유속과의 곱으로 구하므로 유량의 측정 정밀도는 단면적과 유속의 측정밀도에 좌우된다. 이들 측정 정밀도에 직접적으로 영향을 미치는 것 중의 하나가 수심측선과 유속측선의 간격이다. 측선간격은 실험결과를 토대로 일정한 정밀도로 측정할 수 있도록 정해진 것이다.

Table 4 Interval for disposition of observation line

| 수 면 폭 (m) | 수심측선 간격(m)    | 유속측선 간격(m)    |
|-----------|---------------|---------------|
| 10이하      | 수면폭 10 ~ 15 % | 수면폭 10 ~ 15 % |
| 10 ~ 20   | 1             | 2             |
| 20 ~ 40   | 2             | 4             |
| 40 ~ 60   | 3             | 6             |
| 60 ~ 80   | 4             | 8             |
| 80 ~ 100  | 5             | 10            |
| 100 ~ 150 | 6             | 12            |
| 150 ~ 200 | 10            | 20            |
| 200 이상    | 15            | 30            |

측선의 등간격 배치를 원칙적으로 하는 것은 유속 분포가 모르는 사이 변화하는 것에 따른 것으로 관측실무를 고려한 것이다. 통일된 정밀도의 측정을 실시하기 위해 적어도 표준치 이하로 측선을 배치하지 않도록 한다.

2) 측선간격

Table 4를 이용해 측정을 실시하는 경우, 수면폭의 각 구분이 경계 부근에서는 될 수 있으면 측선간격이 적은 쪽으로 사용한다. 수위변동에 의해 수면폭이 넓어진다든지 측선간격이 변하는 경우가 있는데 이런 경우에도 측선위치 및 간격은 변하지 않도록 한다. 측선 배치는 원칙적으로 등간격이 되도록

선정하여 정했으나 이웃하는 측선간에 수심 및 유속의 변화가 큰 곳에서는 그 구간 부근에 대해 측선간격을 1/2로 하고 고르게 짤 수 있도록 한다.

수심측선은 유속측선상 및 서로 인접한 유속측선의 중앙에 설치한다. 단, 하폭이 10 m이하인 곳에서는 수심측선과 유속측선을 공통으로 한다. 수심측정에서 양안에 있어서도 사수역과의 경계에 수심측선을 설치한다. 측선간격의 단위는 일반적인 하천에서는 m단위로 하면 측정작업에 편리하다. 단, 하폭은 10m 이하에서는 10cm 단위로 한다.

### 3) 연직측선상의 측정 배치

유속측정을 유속측선상의 연직방향으로 수심의 0.1, 0.8의 위치에 선정하는 2점법으로 하고, 수심이 얇아 여의치 않으면 수면에서 수심의 6할 위치에 선정하는 1점법으로 한다. 역시 정밀법의 경우는 원칙적으로 수면과 하상 사이를 일정간격(본 연구에서는 30 cm)으로 유속을 측정하여 평균유속을 구하는 방법이다. 유속측점의 선정에 있어 2점법으로 할 것인가, 1점법으로 할 것인가의 판단은 다음의 수심을 참고로 하여 정한다.

#### ① 로드에 의해 측정하는 경우

2점법의 측정필요수심 = (로드의 최하단과 유속계의 중심간 거리) × 5

#### ② 유속계에 추를 달아 측정하는 경우

2점법의 측정필요수심 = (추의 최하단과 유속계의 중심간 거리) × 5

정밀법은 수면과 하상과의 사이를 일정간격으로 분할하여 각 점의 유속을 측정하고 평균유속을 구하는 방법이다.

평균유속을 산출하기 위해서는 각 점의 유속을 직선으로 묶은 수직 유속 곡선을 그리고, 곡선내의 면적을 사다리꼴의 면적 계산법에 따라 계산하고 수심으로 나누면 된다. 이때 하상에서의 유속은 영으로 하고, 수면의 유속은 가장 가까운 측정점의 유속으로 한다. 연직 측선상의 측점은 배치방법으로서 2점법에서는 수표면으로부터 수심(h)의 2할과 8할, 1

점법에서는 수심의 6할로 8할 위치의 평균치, 1점법에서는 수심의 6할로 하는 것은 정밀측정에서 얻어진 평균유속과 비교하고, 2점법에서는 수심의 2할과 8할의 위치의 평균치, 1점법에서는 수심의 6할 위치에서 측정치가 정밀측정의 평균유속에 가까운 값을 보이는 것으로부터 정해진 것이다.

유량측정 단면에서 수면으로부터 하상까지 유속 분포는 다르며 이는 하상상태, 하폭, 풍향, 수면경사 등에 영향을 받게된다. 수면폭의 방법에 따른 수평선상의 유속 분포는 최심부에서 유속이 최대가 되고 이 부분에서 점차 양안으로 향해 감소하여 그 변화는 타원에 근사한 곡선으로 표시할 수 있다. 연직선상의 유속분포는 하저에서 유속이 최소로 되고 수면 또는 수면에 접근한 지점에서 유속이 최대가 되며 그 변화는 포물선 또는 대수곡선으로 표시할 수 있다. 따라서 정확한 유량측정을 기하기 위해서는 각 단면의 평균유속을 구하여 유량을 산출하게 된다. 평균유속을 구하는 방법은 1점법, 2점법, 3점법, 4점법, 정밀법 등이 있다.

### 4) 측정회수와 측정시간

원칙으로 수심측정은 왕복해서 동일 횡단성상을 2회, 유속측정은 횡단선상의 각 측점에 있어 계속해서 2회 행한다. 유속측정에서는 각 점의 1회의 측정시간은 적어도 20초 이상으로 하고, 2회 되풀이한다. 수심 및 유속을 각각 2회 측정하고 현저한 차이가 없도록 확실하게 할 필요가 있다. 현저한 차이가 있으면 즉시 다시 한번 측정하지 않으면 안된다. 그러나 홍수 때처럼 수위, 유속에 변화가 큰 때는 예외로 한다. 전음식, 음향식에서는 신호음이 단파형이므로 울리기 시작한 때를 취하기 어려움으로 마지막 울리는 때를 취하여 신호로 하고 시간의 측정을 행한다. 직독식 유속계에서는 지침이 안정되지 않은 경우에는 평균치를 측정한다.

### 5) 측정반의 편성

측정작업은 필요한 인원은 작업량과 측정방식이 다르다. 일반적으로 측정반의 편성은 아래 기록한 배(보트)에 따른 측정인원 구성을 참고로 정한다.



- 측정책임자 1명
- 측심자, 유속계 지지자 1명
- 수심기록자, 유속측정 및 그 기록자 1명
- 보트 조정자 1명
- 배의 위치를 고정하는 사람 1명
- 그 외의 인원 약간명

상기의 인원은 표준적인 경우의 인원으로서 작업량, 하천의 크기, 관측소의 상황에 따라 역할을 겸한다든지, 같은 역할을 위해 여러 명의 인원이 필요하기도 하다.

측정책임자는 측정반원 및 측정에 관한 사항의 지휘 총괄하고 측정 종료 후에는 측정치, 측정통계치의 확인을 행한다. 수심측정에서 측심자는 수심측정 장비로 수심을 측정하고, 기록자는 수심측선의 기슭에서부터의 거리와 측심자가 읽은 값을 기록한다.

유속측정에서 유속계 지지자는 유속계를 소정의 측선위치 및 깊이로 안정되게 유지한다. 유속측정 및 기록자는 유속측선의 초기점에서부터의 누가거리를 기록한다. 유속계의 기심을 기록하고, 다음에 정해진 시간동안 부저수를 들어 그 소요시간을 측정해서 각각을 기록한다.

보트 조정자는 보트를 안전하게 이동시키며 또한 측정 중에는 배의 위치를 흐름에 대해 바르게 유지한다. 배의 위치를 고정하는 사람은 뱃머리에 위치하고 측정 책임자의 지시에 따라 각 측선에 보트를 바르게 유지할 사항으로 관측책임자는 관측소의 상황 및 관측업무를 숙지하여 지형, 기상, 유수 등의 특징을 잘 파악해서 상황판단을 적절히 할 수 있는 사람이어야 한다. 측심자 및 유속계 지지자는 측정책임자 다음으로 기술, 지식이 있고 측정 책임자를 대신할 수 있는 사람이 맡는다. 대하천에 있어서의 측정, 혹은 정밀측정에서 측정시간을 단축하기 위해 복수반으로 측정하는 경우도 있다.

6) 기재의 준비

유속계에 의한 유량측정에 필요한 기재는 유속계,

Stop Watch, 와이어, 로프, 폴, 로드, 자, 추, 각도를 재는 도구, 열쇠(수위관측소 및 유량관측소), 시계, 장부, 전자계산기, 필기용구, 안전대책 용구 등을 준비한다. 이들 기재를 출발에 앞서 점검하고, 불량품은 수리해 둔다. 기재는 아니지만 수위유량 곡선도와 수위단면적 곡선도는 반드시 지참한다.

측정을 시작할 때가 되어 잊은 물건이나 기계의 고장을 알아차리게 되면 시간도 헛되게 버리고, 현장에서 기계를 고치는 것은 무리가 있고 수고가 많이 든다. 측정 도중에 고장이 나면, 홍수시 등에 유수의 상황이 변해 버리고, 그때까지의 측정치가 쓸모 없게 되어 버리므로 측정을 출발하기 전에 기계기구를 점검해 정상적으로 가동하는지 확인하고 측정종료 후에는 다음 측정을 대비해 점검해서 정리해 둔다.

7) 측정순서

(1) 측정순서

회전식 유속계에 의한 유량측정의 순서는 다음과 같다.

- ① 눈금이 붙은 와이어, 로프, 줄자를 수면에 늘어지지 않도록 팽팽하게 친다.
- ② 기준 수위표의 수위를 측정하고, 측정시각과 함께 야장에 기록한다.
- ③ 수심측정을 실시한다.
- ④ 유속측정을 실시한다.
- ⑤ 측정을 끝냈으면 다시 수위, 시각의 측정을 ②와 같이 실시한다.
- ⑥ 측정후, 즉시 현장에서 유량계산을 행하고 수위유량곡선도에 옮겨 그린다. 만약 과거의 수위곡선량에서 크게 벗어나면 원인을 규명하고 원인이 분명치 않으면 다시 측정한다.

(2) 수심측정

수심측정은 다음사항에 따라 실시한다.

- ① 항상 동일한 단면에서 수심측정을 행한다.
- ② 왕복 2회의 수심측정을 행하며, 측선위치를 바꾸면 안된다.
- ③ 하상의 국부적인 요철은 피한다.
- ④ 로드, 폴은 연직으로 하고 측방의 수심은 cm 단위로 읽는다.

- ⑤ 파도가 이는 경우에는 최대치와 최소치의 평균치를 취한다.
- ⑥ 기록자는 측심자가 말한 값을 기입하면 기입한 값을 측심자를 향해 소리내어 읽는다.

(3) 유속측정

유속측정은 다음 사항에 따라 실시한다.

- ① 각 유속측정은 동시에 수심측선이어야 한다.
- ② 유속측정중의 유속계를 배 또는 사람에 의해 될 수 있는 한 상류측 혹은 기슭에서 떨어지게 하여 바르게 유지한다.
- ③ 유속계의 회전이 흐름에 잘 섞이고 난 뒤 측정을 시작한다.
- ④ 흐름에 섞인 뒤 부자가 그친 순간에 초시계를 누른다.
- ⑤ 적어도 20초 이상 지난 후, 다시 한번 부자가 그친 순간에 초시계를 누른다.
- ⑥ 초수의 읽기는 1/10초 단위로 한다.
- ⑦ 측정하는 음수의 점점의 배수로 한다.
- ⑧ 측정사항을 기입한 후, 한번 더 초시계의 값을 확인한 후 바늘을 영으로 되돌린다.
- ⑨ ④~⑧의 사항을 다시 동일점에서 실시한다.

(4) 야장의 정리

① 야장의 기입

야장은 측정된 모든 사항을 기입하고, 새로 파악된 사항이 있으면 빠짐없이 기입하며, 기입한 숫자를 정정할 때에는 지우개 등을 사용하지 말고 두 줄로 지워 그 옆에 정정한 값을 기입한다.

② 유량계산

유량은 횡단의 각 구분 면적에 그 면적을 대표하는 평균유속을 곱해 각 구분 단면의 유량으로 하고 이것을 전단면에 대해 합계하여 구한다. 유량을 계산하는 방법에는 평균단면법(average end-area method)과 중간단면법(average end-area method)으로 크게 나눌 수 있다. 평균단면적의 구분 유량은 연속되는 지점 사이의 구분단면에 대해서 계산되고 연속되는 지점들의 유속 및 수심들을 각각 평균한다. 그리고 단면은 횡적으로 한 관측지점으로 넓혀

진다. 이때 유량은 각 지점 사이의 거리와 주 지점의 평균수심의 곱이 평균유량이 된다.

(a) 중간단면법

Fig. 2에서 보는 바와 같이 단면을 n개로 구분하여 계산하며 구분단면 x에 대한 단면적  $a_x$ 와 유량  $q_x$ 는 다음과 같다.

$$a_x = \frac{b_{x+1} - b_{x-1}}{2} d_x \tag{2}$$

$$q_x = V_x \frac{b_{x+1} - b_{x-1}}{2} d_x \tag{3}$$

여기에서

- $a_x$  : 구분단면에서의 유량
- $V_x$  : x 지점에서의 평균유속
- $b_{x+1}$  : 초지점에서 x+1 지점까지의 거리
- $b_{x-1}$  : 초지점에서 x-1 지점까지의 거리
- $d_x$  : x 지점에서의 수심

(b) 평균단면법

Fig. 2에서 보는 바와 같이 단면을 n개로 구분하여 계산하면 구분단면 x에 대한 단면적  $a_x$ 와 유량  $q_x$ 는 다음과 같다.

$$a_x = \frac{d_x - d_{x+1}}{2} (b_{x+1} - b_x) \tag{4}$$

$$q_x = \left( \frac{V_x + V_{x+1}}{2} \right) \left( \frac{d_x - d_{x+1}}{2} \right) (b_{x+1} - b_x) \tag{5}$$

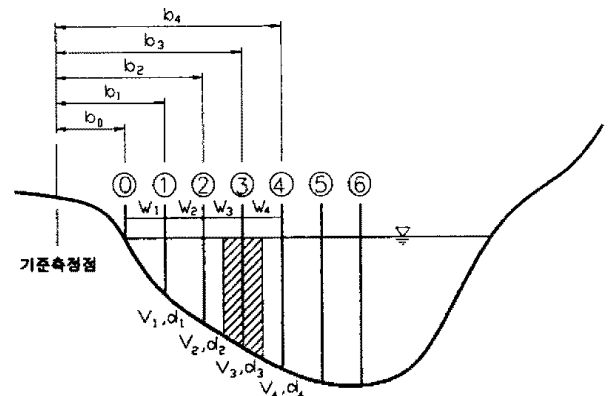


Fig. 2 Discharge calculation by mid cross section area method

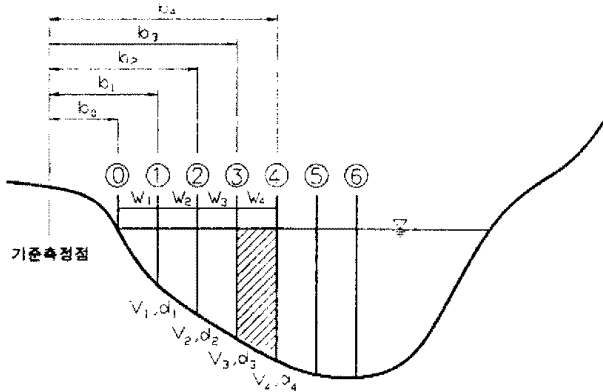


Fig. 3 Discharge calculation by average end-area method

## 5. 수위-유량 관계분석 및 관계곡선 개발

### 5.1 기존수위

양산천을 대표할 수 있는 양산수위표 지점은 유역 면적 188.05 km<sup>2</sup>으로 양산천 전유역 면적비 77.2%를 차지하고 있으며, 1962년부터 관측을 하여 현재에 이르고 있으나 유량측정을 실시하지 않아 유역의 유출특성을 파악할 수 없는 상황이다.

### 5.2 관측자료분석

수위-유량곡선(Rating Curve)은 수문자료분석에 기본이 되는 관계식이며 수위관측은 홍수시 시간별 수위관측을 포함하여 일평균 수위는 이를 유출량으로 환산하여 수문자료분석에 활용하기 위해서는 수위-유량곡선이 개발되어야 한다.

정확하고 신뢰성이 있는 곡선식을 개발하기 위해서는 고수위, 풍수위, 저수위, 평수위, 갈수위에 대한 수위별 유량측정이 이루어져야 되며, 특히 갈수위, 저수위시 유량과 고수위 유량은 수위-유량곡선 개발에 중요한 요소이므로 특히 이들 유량중 갈수위와 저수위의 유량은 관계 등 이수의 측면에서 고수위시는 치수의 측면에서 활용이 될 수 있어야 할 것이다.

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. 그러나 1997년의 관측은 관측횟수가 적고 관측된 T/M 수위의 분포가 한쪽으로 몰리는 경향이 있어 저수와 고수를 분류하기에는 어렵다고 판단된다.

일반적으로 자연하천에서는 보통 수면경사가 일정하지 않고 횡단면이 불규칙적인 상황을 이루고 단면통제나 하로통제를 받을 수 있으므로 유량곡선을 수학적 계산에 의하여 결정한다는 것은 사실상 불가능하며 실제로는 수위와 유량관측의 결과를 도시하여 여러 점을 적당한 근사곡선으로 연결하는 것이 일반적인 방법이다.

수위-유량관계곡선이 어떤 형상을 취하는가를 구명하기 위해서는 수면경사를 일정하다고 가정하고 하천의 횡단면이 수학적으로 표시할 수 있는 규칙적인 단면 즉, 구형단면, 제형단면, 삼각형 단면, 포물선 단면, 또는 복합단면 등의 전제하에 수학적으로 수위-유량곡선식을 유도하게 된다.

수위-유량관계곡선의 해석방법으로는 반대수 방안지와 전대수 방안지를 사용하여 곡선식을 n차 방정식과 지수방정식으로 표시할 수 있다.

### 5.3 유량측정 성과

본 연구기간중 유량측정 성과를 요약하면 Table 5와 같다.

### 5.4 수위-유량곡선식 유도

본 연구에서는 수위-유량 관계곡선식을 다음과 같은 5 가지 형태를 가정하여 비교, 검토하였다.<sup>(12)(15)</sup>

|          |                     |
|----------|---------------------|
| 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   | $Q = a + bH^3$      |

Table 5 Results of discharge observation

| 관측 소명 | 측정년월일             | T/M수위 (m) | 수면폭 (m) | 단면적 (m <sup>2</sup> ) | 평균유속 (m/sec) | 유량 (m <sup>3</sup> /sec) | 측정방법 | 실측 방법 | 유량계산 방법 |
|-------|-------------------|-----------|---------|-----------------------|--------------|--------------------------|------|-------|---------|
| 양 산 천 | 1997.6.25 11시 30분 | 1.68      | 144.6   | 319.86                | 0.06         | 20.18                    | 유속계  | 3점법   | 평균단면법   |
|       | 1997.6.25 13시 40분 | 1.68      | 144.6   | 319.86                | 0.07         | 21.67                    | 유속계  | 3점법   | 평균단면법   |
|       | 1997.6.25 15시 30분 | 1.71      | 145.3   | 324.31                | 0.10         | 32.82                    | 유속계  | 3점법   | 평균단면법   |
|       | 1997.6.26 10시 30분 | 2.60      | 148.7   | 495.81                | 0.95         | 472.45                   | 유속계  | 3점법   | 평균단면법   |
|       | 1997.6.26 14시 00분 | 2.55      | 148.2   | 488.24                | 0.88         | 430.13                   | 유속계  | 3점법   | 평균단면법   |
|       | 1997.6.26 16시 00분 | 2.52      | 147.8   | 482.62                | 0.81         | 391.07                   | 유속계  | 3점법   | 평균단면법   |
|       | 1997.6.28 11시 00분 | 1.89      | 146.0   | 393.42                | 0.16         | 63.38                    | 유속계  | 3점법   | 평균단면법   |
|       | 1997.6.28 15시 30분 | 1.94      | 146.6   | 400.83                | 0.16         | 64.51                    | 유속계  | 3점법   | 평균단면법   |
|       | 1997.6.28 17시 10분 | 1.98      | 147.2   | 407.01                | 0.24         | 99.43                    | 유속계  | 3점법   | 평균단면법   |
|       | 1997.7. 2 11시 30분 | 1.87      | 140.0   | 358.25                | 0.11         | 37.69                    | 유속계  | 정밀법   | 평균단면법   |
|       | 1997.7. 2 14시 00분 | 1.86      | 140.0   | 356.86                | 0.10         | 34.52                    | 유속계  | 정밀법   | 평균단면법   |
|       | 1997.7. 2 16시 30분 | 1.85      | 140.0   | 355.46                | 0.09         | 31.02                    | 유속계  | 정밀법   | 평균단면법   |
|       | 1997.7. 7 13시 30분 | 1.86      | 156.0   | 39.00                 | 1.11         | 43.27                    | 유속계  | 웨이    | 평균단면법   |
|       | 1997.7. 7 15시 30분 | 1.85      | 156.0   | 37.44                 | 1.07         | 39.90                    | 유속계  | 웨이    | 평균단면법   |
|       | 1997.7. 7 17시 40분 | 1.84      | 156.0   | 35.88                 | 1.05         | 37.53                    | 유속계  | 웨이    | 평균단면법   |

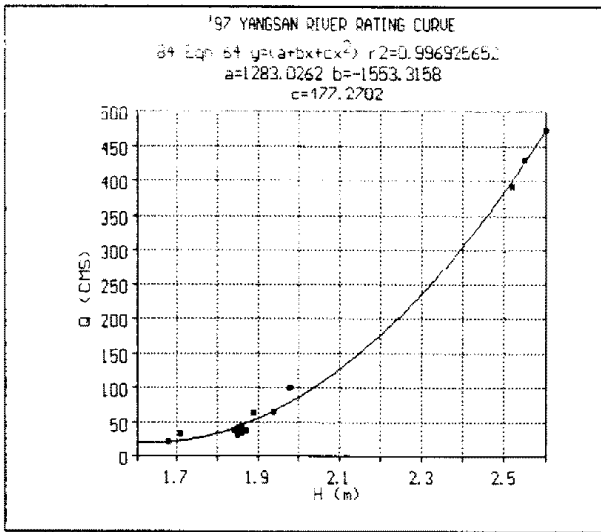
여기에서 상수 a, b, c는 최소자승법 및 역행렬 등을 이용하여 구하고 관계곡선식의 검정은 표준편차와 상관계수를 구하고 그 적합성을 판정하였다. (8)(12)(14)(15)

상기 5 가지 형태의 회귀방정식의 모델을 결정하

고 관측자료를 적용한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서 수위-유량을 관측한 결과 표준오차가 가장 작은 회귀방정식 모델을 채택하였으며 채택된 수위-유량 관계곡선은 Fig. 4 와 같다.

| 분 류      | 수위-유량 관계식                                    | 상관계수        | 표준오차   | 비고 |
|----------|--|-------------|--------|----|
| Type I   | $Q = -890.11361 + 511.16153 H$               | 0.961688851 | 32.972 |    |
| Type II  | $Q = 1283.0262 - 1553.3158 H + 477.2702 H^2$ | 0.996925652 | 9.722  | 채택 |
| Type III | $Q = 632.73601 - 582.1196 H + 76.994194 H^3$ | 0.996805322 | 9.901  |    |
| Type IV  | $Q = (-28.957454 + 19.34159 H)^2$            | 0.994623544 | 12.352 |    |
| Type V   | $Q = -180.80838 + 36.323139 H^3$             | 0.986928466 | 19.260 |    |



$$Q = 1283.0262 - 1553.3158 H + 477.2702 H^2$$

Fig. 4 Rating curve for Yangsan river

### 6. 결론

수위-유량 관계곡선식을 개발한다는 것은 수자원 개발에 대한 장기적인 계획 및 수문량을 정량적으로 해석하여 신뢰성 있는 자료를 제공하기 위한 수자원 분야의 필수적인 기본사업으로 본 연구에 대한 성과의 결론은 다음과 같다.

- 1) 연구기간중에 15회의 관측기록으로 양산천 유역에 대한 수위-유량곡선식은  $Q = 1283.0262 - 1553.3158 H + 477.2702 H^2$ 의 식으로 유도되었다.
- 2) 금회 개발된 수위-유량곡선식은 최고수위 관측 기록이 2.60 m 이므로 제한수위 2.60 m 이내의 값을 사용하는 것을 원칙으로 해야 한다.
- 3) 양산천 유역은 수위-유량에 대한 자료가 전무하고 금회의 관측횟수가 15회에 불과하므로 신뢰성 있는 수위-유량곡선식을 획득하기 위해서는 장기적인 관측자료의 수집이 필요하다고 사료된다.

### 참고문헌

1) 건설부, "밀양강 양산천 하천정비 기본계획(보

완), 1992.  
 2) 건설부, "밀양강 양산천 하천정비 기본계획(보완) 부록, 1992.  
 3) 건설부 국립건설연구소, "하천공사의 계획과 설계", pp.18-101, 1976.  
 4) 건설부 낙동강 홍수통제소, "낙동강 수계홍수량 측정조사 보고서", pp.5-95, 1993.  
 5) 건설부 한강 홍수통제소, "수문관측과 홍수에 방", pp.101-270, 1991.  
 6) 농림수산부 농업진흥공사, "농업수자원 종합관리 시스템 개발", pp.137-138, 1992.  
 7) 농업진흥공사, "소비수량 산정방법 실용화 연구", 1989.  
 8) 김 우철, "통계학 개론", 영지문화사, pp.241-280, 1994.  
 9) 박운용, "측량학", 형설출판사, 1994.  
 10) 선우중호, "수문학", 동명사, pp.27-273, 1992.  
 11) 유복모, "측량공학", 박영사, pp.402-429, 1979.  
 12) 윤강훈, 신현철, "한강인도교 수위와 영향인자간의 다중회귀분석에 의한 홍수위 예측모형", 한국수문학회지, 제 27 권, 제 3 호, pp.55-69, 1994.  
 13) 이원환, "수문학", 문운당, pp.169-272, 1993.  
 14) 이동률, 홍일표, 김남원, 서병하, "수자원 계획을 위한 강수량자료의 분석", 한국수문학회지, 제 27 권, 제 3 호, pp.71-82, 1994.  
 15) 충남대학교 농과대학 농업과학 연구소, "하국하천의 일유출 모형구조와 사용지침", pp.3-30, 1992.  
 16) Knisel, W. G., "A Field Scale Model for Chemical, Runoff, and Erosion from Agriculture Management Systems", USDA, Conservation Research Report, No. 26, 1980.  
 17) Palmer, W. C., "Meteorologic Drough", Research Paper, U.S. Weather., pp.45-58, 1965.  
 18) Sala, J. D., Deulleur, J. W., Yevijevich, V., and Lane, W. L, "Applied Modeling of Hydrologic Time Series", Water Resources Publication, pp.91-93, 1980.

