

## 낙동강의 실시간 홍수에측을 위한 통계적 모형구축

### The Statistical Model Construction for Real-Time Flood Forecasting in Nak-Dong River

최한규\*      구본수\*\*      최영수\*\*\*  
Choi, Han-Kyu      Koo, Bon-Soo      Choi, Young-Soo

#### ABSTRACT

To flood forecastion, until now, Storage function method, Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation, and HEC-1 model have been analysed generally in various definite simulation. Generally, Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation and HEC-1 model are more delicacy and more excellent model than Storage function method in physically. But the resource huge for test of models. On the contrary, Storage function method has not only a few model various and data for decision but also has poor theory background in model excessively simplified water circulation about a basin. In this reason, this study is purpose to develop a statistical flood forecasting model that can forecast with accuracy variety of water height to Nak-Dong river vibration spots in flood with accumulated water resource.

키워드 : 홍수에측, 낙동강, 회귀분석

keywords : *Flood forecastion, Nak-Dong River, regression analysis*

#### 1. 서론

낙동강 유역에는 6월에서 9월 사이에 강우가 집중되어 이로 인한 인명 및 재산피해를 내고 있다. 이러한 홍수 피해를 경감시키기 위해서는 정확한 홍수에측(Flood Forecasting) 및 적절한 홍수조절(Flood Control)이 필요하다. 여기서 홍수에측이란

유역추적 및 하도추적을 포함한 홍수에측모형에, 예측 또는 실측된 강우량을 입력자료로하여 시간, 공간별 홍수량을 예측하는 것을 말하며, 홍수조절이란 홍수에측모형으로부터 구해진 댐유입량을 입력자료로 하고, 홍수조절모형에 의하여 홍수피해를 줄이도록 댐에서의 방류량을 조절함을 뜻한다. 이와 같은 과정을 도표로 나타내면 그림 1.1과 같다.

홍수에·경보하는데 있어서 이제까지 여러 가지 확정론적 모의모형 중에서 저류함수법, SSARR 모형, 및 HEC-1 모형 등이 가장 보편적으로 사용되어 왔다. 일반적으로 SSARR 모형과 HEC-1 모형

\* 강원대학교 토목공학과 교수

\*\* 강원대학교 대학원 토목공학과, 박사과정

\*\*\* 강원대학교 대학원 토목공학과, 석사과정

은 물리적인 이론면에서는 저류함수법보다 정교하고 우수한 모형이나 모형의 검정에 필요한 수문자료 및 기타 자료가 방대할 뿐 아니라 결정하여야 할 모형 상수의 수가 많고 이들의 결정을 위해서는 많은 수문분석이 뒤따라야 한다. 특히, HEC-1 모형은 지금까지 주로 수자원 시스템의 분석 및 설계에 주로 사용되어 왔으며 홍수의 시간예측에는 부적합한 것으로 알려져 있다.

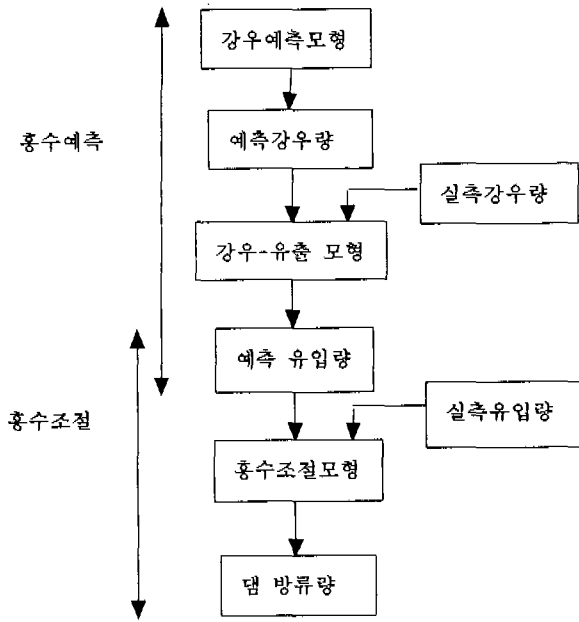


그림 1.1 홍수예측 및 홍수조절

반면에 저류함수법은 유출계산을 위한 모형의 변수가 따라야 한다. 특히, HEC-1 모형은 지금까지 주로 수자원 시스템의 분석 및 설계에 주로 사용되어 왔으며 홍수의 시간예측에는 부적합한 것으로 알려져 있다. 반면에 저류함수법은 유출계산을 위한 모형의 변수가 적고 그 결정에 소요되는 자료도 많지 않을 뿐 아니라 홍수의 실시간 예측에 적합한 것으로 알려져 있으나 한 유역의 물 순환과정을 지나치게 단순화한 유출계산 모형으로 이론적 배경이 빈약한 면이 없지 않다.

홍수에·경보의 정확성은 홍수추적시 입력자료의 정확성과 방법자체의 정확성간의 함수로 표현

된다. 입력자료의 정확성을 별도로 간주한다면, 결과의 오차는 홍수전과현상을 기술하는 기본방정식의 적합성에 일차적으로 좌우된다. 일반적으로 제거하기 가장 어려운 오차는 기본방정식 항목의 부적합으로부터 발생하는 오차이며, 유한차분법해석, 경계조건과 자료처리기법 등에서 발생하는 오차는 현재 문제가 되지 않고 있다. 입력자료는 자연하천의 수로와 홍수터의 기하에 관한 자료와 과거 홍수유량과 수위 등에 관한 자료들로서 홍수추적방법 선택에 있어서 대단히 중요한 요소들이다. 다행히도 일반적 지형정보를 얻는 것은 통상 가능하나, 하천구간별 침투 유속과 침투 유량 등에 관한 정보획득은 그렇지 않다. 따라서 정보의 질이 낮다면 복잡한 홍수추적방법을 사용한다해도 간단한 저류함수법 등에 비하여 결과가 나을 것이 없다.

이와 같은 이유로 이 논문은 기존의 축적된 수문자료를 바탕으로 홍수시 낙동강 진동 지점을 중심으로 수위의 변동양상을 신속, 정확히 예측할 수 있는 통계학적 홍수에·경보 모형을 개발하는 데 목적이 있다.

통계학적 홍수예보모형은 'Jamieson et al.(1972)'과 'Natale et al. (1974)', 'Tao et al. (1975)'등에 의하여 제안이 되었으며 'Keefrer et al. (1976)'는 기존의 수리학적 홍수추적과 통계학적 홍수예보모형에 대한 비교를 통하여 통계학적 홍수예보모형의 적용 가능성을 검증하였다. 'Rao et al. (1977)'는 미국의 그린강유역에 대하여 통계학적모형을 적용하여 좋은 결과를 얻었으며, 'Stevens et al. (1978)'은 앞서의 연구를 수문자료 데이터베이스와 연계하여 보다 체계적인 모형으로 발전시켰으며 'Tazicigil et al. (1979)'는 지금까지의 통계학적 홍수예보모형에 대한 연구결과를 종합하여 발표한 바 있다.

국내에서는 윤강훈, 신현민의 '한강인도교 수위와 영향인자간의 다중회귀분석에 의한 홍수위 예측모형 (1994)'에서 홍수예측방법으로 팔당댐 하류의 하도구간의 출력인 인도교 수위계열을 인도교 수위에 영향을 미치는 여러 인자와 상관시키는 다중 회귀분석을 통하여 다변수모형을 택하였다. 모형의 형태를 결정하기 위하여 각 관측소별 수위자료의 계열상관성을 분석하였으며, 독립변수와 종속변수와의 관계에 대한 선형표현 가능성, 또한 가장

높은 정도의 예측을 위한 독립변수의 최적시점을 추정하기 위한 독립변수 시점별 예측정도 등의 기본적인 분석을 실시하였다.

하천의 수위는 다양한 요인에 의해 영향을 받으며 시간에 따라 변화하지만 시간 간격이 아주 긴 경우가 아니라면 수위 값은 이전의 수위 값에 상당한 지배를 받는다.

이 연구에서는 낙동강의 왜관, 진동의 과거 수위를 다중선형회귀식의 변수로 사용하는 모형을 개발하고자 하였다.

즉,

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots \quad (1.1)$$

여기서  $Y$ 는 진동 지점의 예·경보하고자 하는 홍수량이고,  $X$ 는 왜관 및 진동 지점의 과거의 홍수량이며,  $\alpha, \beta$ 는 회귀식의 계수를 나타낸다.

또한, '1986년, 낙동강 홍수에·경보 프로그램 개발 최종 보고서'에 의하면 왜관과 진동간의 지체 시간은 13~14시간으로 보고하고 있다. 이것은 왜관지점의 자료를 이용할 경우 13~14시간의 예보가 가능하다는 것을 간접적으로 나타낸다고 할 수 있고, 만약 어느 유의 수준안에 들어온다면 실시간 홍수에·경보를 하는 최대의 장점인 것으로 판단된다.

위의 내용을 간단히 표현하면 그림 1.2와 같다.

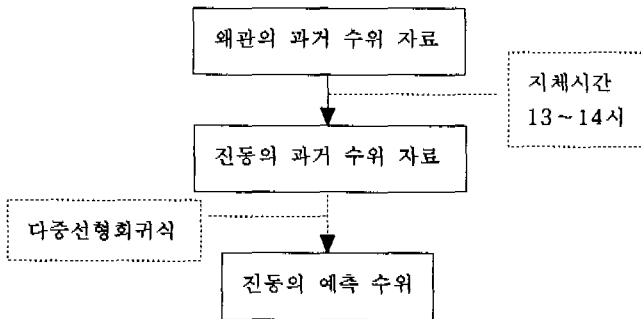


그림 1.2 진동 수위 예측 모식도

## 2. 기존 수문 자료의 정리 및 분석

### 2.1 왜관, 진동의 시간 수위

왜관, 진동 지점의 시간 수위는 건설 기술 연구소

를 통하여 1987년~1992년까지를 얻었으며 이를 표 2.2.1에 나와있는 수위-유량 관계식을 이용, 유량으로 환산하여 그래프로 그린 것은 그림 2.1.1~그림 2.1.16 과 같다.

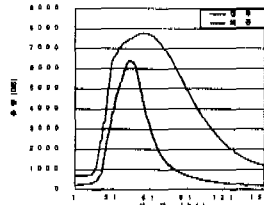


그림 2.1.1 왜관, 진동의 유량 1987.7.15-7.21

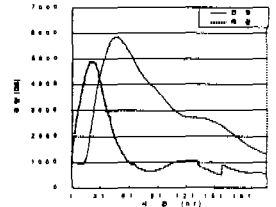


그림 2.1.2 왜관, 진동의 유량 1987.7.23-7.31

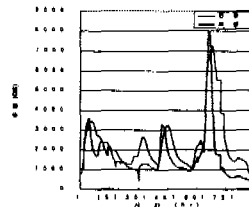


그림 2.1.3 왜관, 진동의 유량 1987.8.4-9.9

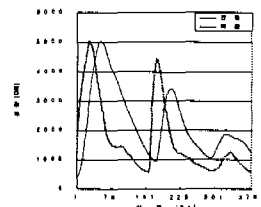


그림 2.1.4 왜관, 진동의 유량 1988.7.14-7.30

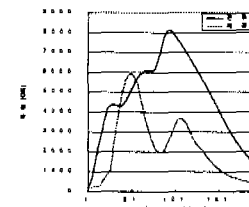


그림 2.1.5 왜관, 진동의 유량 1989.7.25-8.2

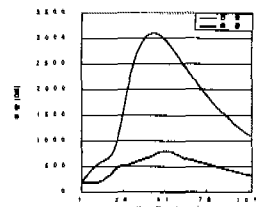


그림 2.1.6 왜관, 진동의 유량 1989.8.22-8.26

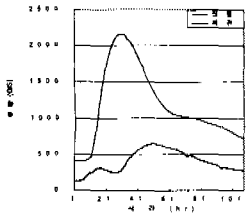


그림 2.1.7 왜관, 진동의 유량 1989.8.29-9.3

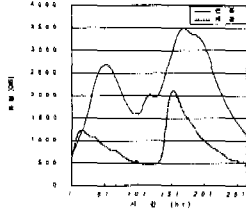


그림 2.1.8 왜관, 진동의 유량 1989.9.10-9.20

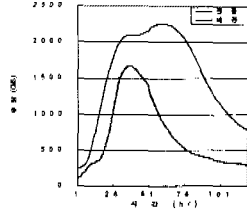


그림 2.1.15 왜관, 진동의 유량 1991.9.27-10.2

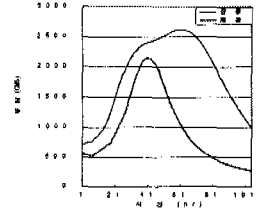


그림 2.1.16 왜관, 진동의 유량 1992.7.17-7.21

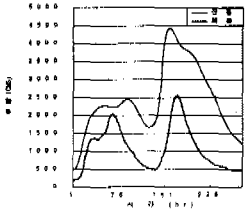


그림 2.1.9 왜관, 진동의 유량 1990.6.19-7.1

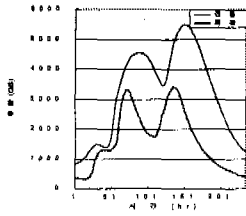


그림 2.1.10 왜관, 진동의 유량 1990.7.14-7.23

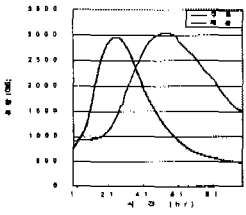


그림 2.1.11 왜관, 진동의 유량 1990.9.12-9.16

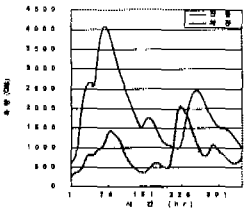


그림 2.1.12 왜관, 진동의 유량 1991.7.10-7.24

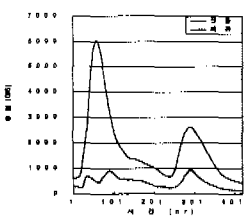


그림 2.1.13 왜관, 진동의 유량 1991.7.30-8.16

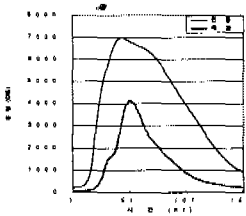


그림 2.1.14 왜관, 진동의 유량 1991.8.23-8.29

표 2.1 기준지점의 수위유량관계식

관측소	수위 범위 (m)	수위유량관계식	이용자료
왜 관	$h < 1.3$	$Q = 132.52h^{1.62}$	1993--1994
	$h \geq 1.3$	$Q = 60.97h^{2.29}$	
진 동	$h < 1.4$	$Q = 81.28h^{0.46}$	1988-1994
	$h \geq 1.4$	$Q = 54.92h^{2.23}$	

### 3. 다중선형회귀모형의 이론적 배경

#### 3.1 다중선형회귀식의 추정과 최소제곱법

다변수간의 함수관계를 밝히고자 하는 다중회귀분석에서 첫 단계로 해야하는 작업이 회귀식의 올바른 추정이다. 일단 변수가 선형관계를 지닌다고 가정하자. 그러면 변수의 관계는 다음과 같은 방정식으로 표현될 수 있다.

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \quad (3.1)$$

그러나  $Y$ 의 모든 관찰값이 (3.1)의 회귀식에 의해 설명되는 것은 아니다. 여기서  $i$ 번째 관측에서  $X$ 로부터  $Y$ 값을 예측하는 데 따르는 오차를 인정하면, (3.1)의 회귀식은

$$Y_i = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \epsilon_i \quad (3.2)$$

으로 되어야 한다.

이 경우 예측회귀식은

$$\hat{Y}_i = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots \quad (3.3)$$

### 2.2 기준지점의 수위유량관계식

관측소별 기준지점의 수위유량관계식은 표 2.1과 같다.

로 표시될 수 있다.

여기서  $X_{1i}$ 는 변수  $X_1$ 의  $i$ 번째 값을 나타내고  $X_{2i}$ 는 변수  $X_2$ 의  $i$ 번째 값을 나타낸다.

(3.2)와 (3.3) 식에서 오차항은

$$\epsilon_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad (3.4)$$

와 같이 나타낼 수 있으며, 오차항의 값이 작으면 작을수록 정확한 회귀식이라 할 수 있다.

### 3.2 최소제곱법에 의한 회귀식의 추정

다중회귀분석에서 회귀식의 추정은 최소제곱법으로 이루어진다. 최소제곱법에 의한 회귀식 추정의 기본 원리는 오차항의 제곱합

$$\begin{aligned} S &= \sum \epsilon^2 \\ &= \sum (Y - \hat{Y})^2 \\ &= \sum (Y - a - \beta_1 X_1 - \beta_2 X_2)^2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

을 최소로 하는  $a, \beta_1, \beta_2$ 의 추정값을 구하는 것이다.

즉,  $S$ 를  $a, \beta_1$  및  $\beta_2$ 로 각각 편미분하여 그 값이 0이 되게 하면, 결과적으로 다음의 세 등식을 얻게 된다.

$$\begin{aligned} \sum x_1 Y &= \beta_1 \sum x_1^2 + \beta_2 \sum x_1 x_2 \\ \sum x_2 Y &= \beta_1 \sum x_1 x_2 + \beta_2 \sum x_2^2 \\ \bar{Y} &= a + \beta_1 \bar{X}_1 + \beta_2 \bar{X}_2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

단,  $x_1 = X_1 - \bar{X}_1, x_2 = X_2 - \bar{X}_2$ , 그리고 이를 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \frac{\sum x_1 Y (\sum x_2^2) - \sum x_2 Y (\sum x_1 x_2)}{\sum x_1^2 (\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2} \\ \beta_2 &= \frac{\sum x_2 Y (\sum x_1^2) - \sum x_1 Y (\sum x_1 x_2)}{\sum x_1^2 (\sum x_2^2) - (\sum x_1 x_2)^2} \\ a &= \bar{Y} - \beta_1 \bar{X}_1 - \beta_2 \bar{X}_2 \end{aligned} \quad (3.7)$$

독립변수가 3개 이상인 경우에는  $a, \beta_1, \beta_2, \dots$ 을 계산하기가 복잡하며 연립방정식으로 나타내면 다음과 같다.

독립변수가 3개인 경우,

$$\begin{aligned} \sum X_1 Y &= a \sum X_1 + \beta_1 \sum X_1^2 + \beta_2 \sum X_1 X_2 + \sum X_1 X_3 \\ \sum X_2 Y &= a \sum X_2 + \beta_1 \sum X_1 X_2 + \beta_2 \sum X_2^2 + \sum X_2 X_3 \\ \sum X_3 Y &= a \sum X_3 + \beta_1 \sum X_1 X_3 + \beta_2 \sum X_2 X_3 + \sum X_3^2 \\ \bar{Y} &= a + \beta_1 \bar{X}_1 + \beta_2 \bar{X}_2 + \beta_3 \bar{X}_3 \end{aligned}$$

독립변수가 4개인 경우,

$$\begin{aligned} \sum X_1 Y &= a \sum X_1 + \beta_1 \sum X_1^2 + \beta_2 \sum X_1 X_2 + \sum X_1 X_3 + \sum X_1 X_4 \\ \sum X_2 Y &= a \sum X_2 + \beta_1 \sum X_1 X_2 + \beta_2 \sum X_2^2 + \sum X_2 X_3 + \sum X_2 X_4 \\ \sum X_3 Y &= a \sum X_3 + \beta_1 \sum X_1 X_3 + \beta_2 \sum X_2 X_3 + \sum X_3^2 + \sum X_3 X_4 \\ \sum X_4 Y &= a \sum X_4 + \beta_1 \sum X_1 X_4 + \beta_2 \sum X_2 X_4 + \sum X_3 X_4 + \sum X_4^2 \\ \bar{Y} &= a + \beta_1 \bar{X}_1 + \beta_2 \bar{X}_2 + \beta_3 \bar{X}_3 + \beta_4 \bar{X}_4 \end{aligned}$$

이며, 이를 각각 행렬로 나타내면,

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} 1 & \bar{X}_1 & \bar{X}_2 & \bar{X}_3 \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1 X_2 & \sum X_1 X_3 \\ \sum X_2 & \sum X_1 X_2 & \sum X_2^2 & \sum X_2 X_3 \\ \sum X_3 & \sum X_1 X_3 & \sum X_2 X_3 & \sum X_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \\ \sum X_3 Y \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & \bar{X}_1 & \bar{X}_2 & \bar{X}_3 & \bar{X}_4 \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1 X_2 & \sum X_1 X_3 & \sum X_1 X_4 \\ \sum X_2 & \sum X_1 X_2 & \sum X_2^2 & \sum X_2 X_3 & \sum X_2 X_4 \\ \sum X_3 & \sum X_1 X_3 & \sum X_2 X_3 & \sum X_3^2 & \sum X_3 X_4 \\ \sum X_4 & \sum X_1 X_4 & \sum X_2 X_4 & \sum X_3 X_4 & \sum X_4^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \\ \sum X_3 Y \\ \sum X_4 Y \end{bmatrix} \end{aligned}$$

과 같다.

### 3.3 결정계수

최소제곱법에 의하여 회귀방정식 (3.3)의  $a$ 와  $\beta$ 의 값을 추정한 다음에는 추정회귀식이 얼마나 적합한 것인가를 확인해 볼 필요가 있다. 앞에서 살펴본 것처럼 최소제곱법은 오차항의 제곱합 즉,  $\sum \epsilon_i^2$  또는  $\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ 을 최소로 하는 회귀식을 구하는 것이다. 그러나 같은 추정회귀식이라도 관측사례들이 얼마나 그 주위에 밀집되어 있는가에 따라 그 의미와 활용도는 크게 달라진다.

결정계수는 독립변수의 종속변수에 대한 설명력의 크기를 나타내는 척도로 다음과 같이 정의된다.

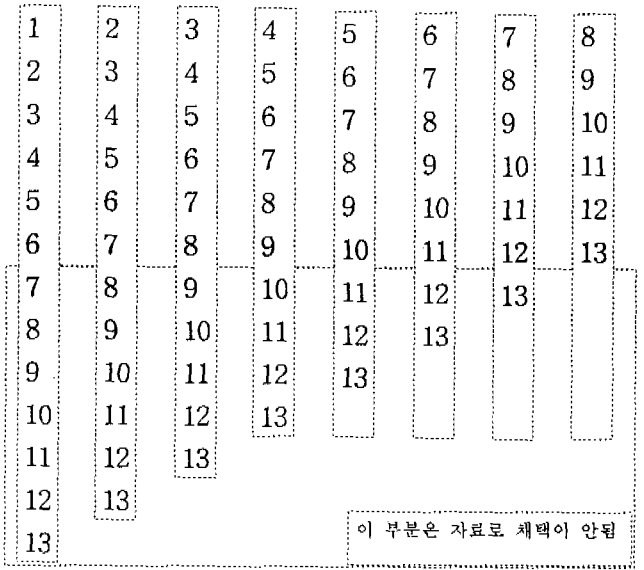
다중결정계수  $R^2$ 의 값이 1에 가까울수록 독립변수의 설명력이 크고 추정된 회귀식의 적합도가 높다는 것을 의미하며, 반대로 0에 가까워질수록 설명력이 약화되고 적합도도 떨어지게 된다.

$$R^2 = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} = 1 - \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3.8)$$

다중회귀분석에서는 회귀식에 포함되는 독립변수의 수가 늘어나면 다중결정계수  $R^2$ 의 값은 높아지게 마련이다.

점의 홍수량을 구하는데 있어 독립변수로 활용된다.

#### 4. 실제 적용



##### 4.1 연구 대상 지역

'1986년, 낙동강 홍수에·경보 프로그램 개발 최종 보고서'에 의하면 왜관과 진동간의 지체 시간은 약 13~14시간으로 보고하고 있다. 이것은 왜관지점의 자료를 이용할 경우 13~14시간의 예보가 가능하다는 것을 간접적으로 나타내고 있고, 이에 진동에서의 5, 10, 12, 13, 15시간 홍수예보를 하기로 한다.

현시간 1시간 전 2시간 전 3시간 전 4시간 전 5시간 전 6시간 전 7시간 전  
그림 4.1 기간별 자료의 정리

먼저 표4.1에서 왜관과 진동 지점의 유역면적, 유로연장, 평균경사를 보여주고 있다.

##### 4.3 회귀분석

표 4.1 왜관, 진동관측소의 유역면적, 유로연장, 평균경사

수위관측소	유역면적( $km^2$ )	유로연장( $km$ )	평균경사
왜 관	11438.291	273.37	0.00433
진 동	20599.077	385.60	0.00311

이러 SPSS를 사용하여  $\alpha, \beta_1, \beta_2, \dots$ 의 값을 나타내면, 표 4.2~표 4.6와 같다.

표 4.2 5시간 예측의 경우

##### 4.2 자료 기반 구축

	2 변수	3 변수	4 변수
$\alpha$	208.311	186.503	194.429
$\beta_1$	4.346	4.075	3.078
$\beta_2$	-3.430	-3.206	-2.208
$\beta_3$		0.109	0.162
$\beta_4$			-0.062

확보된 1987~1992년까지의 수위를 표 2.1.1을 사용하여 유량으로 환산한다. 즉, 왜관과 진동의 수위를 각각 식 4.1, 식 4.2에 대입하여 유량으로 환산한다.

$$Q_{\text{왜관}} = 60.97 h_{\text{왜관}}^{2.29} \quad (4.1)$$

$$Q_{\text{진동}} = 54.92 h_{\text{진동}}^{2.23} \quad (4.2)$$

홍수량을 5, 10, 12, 13, 15시간 먼저 예보하기 위하여 우선적으로 현시간과 1~20시간 전의 홍수량을 구한다.

위에서 기간별로 구해진 데이터를 그림 4.1과 같은 방법으로 합한다. 여기서 각각의 열은 진동 지

표 4.3 10시간 예측의 경우

	2 변수	3 변수	4 변수
$\alpha$	64.587	88.410	80.326
$\beta_1$	0.898	2.456	1.740
$\beta_2$	0.156	-1.516	0.030
$\beta_3$		0.048	-0.792
$\beta_4$			0.006

표 4.6 15시간 예측의 경우

	2 변수	3 변수	4 변수
$\alpha$	418.133	378.520	373.472
$\beta_1$	3.936	3.601	4.550
$\beta_2$	-3.105	-2.847	-1.421
$\beta_3$		0.181	-2.373
$\beta_4$			0.180

표 4.4 12시간 예측의 경우

	2 변수	3 변수	4 변수
$\alpha$	324.248	291.740	290.209
$\beta_1$	4.956	4.570	5.000
$\beta_2$	-4.086	-3.767	-0.860
$\beta_3$		0.157	-3.337
$\beta_4$			0.157

표 4.5 13시간 예측의 경우

	2 변수	3 변수	4 변수
$\alpha$	277.575	244.486	275.986
$\beta_1$	7.578	6.939	3.947
$\beta_2$	-6.687	-6.120	-1.622
$\beta_3$		0.164	-1.504
$\beta_4$			0.133

5. 분석결과 및 고찰

4. 장에서 나온  $\alpha, \beta_1, \beta_2, \dots$ 의 값들을 이용하여 회귀식을 만들면 다음과 같다.

5시간 추정 회귀식은

$$Q_{\text{변수}=2} = 64.587 + 0.898J_{1\text{시간 전 유량(전동)}} + 0.156W_{1\text{시간 전 유량(배관)}}$$

$$Q_3 = 88.410 + 2.456J_1 - 1.516J_2 + 0.048W_1$$

$$Q_4 = 80.326 + 1.740J_1 + 0.030J_2 - 0.792J_3 + 0.006W_1$$

10시간 추정 회귀식은

$$Q_{\text{변수}=2} = 208.311 + 4.346J_0 - 3.430J_2$$

$$Q_3 = 186.503 + 4.075J_0 - 3.206J_2 + 0.109W_1$$

$$Q_4 = 194.429 + 3.078J_0 - 2.208J_3 + 0.162W_1 - 0.062W_2$$

12시간 추정 회귀식은

$$Q_{\text{변수}=2} = 277.575 + 7.578J_0 - 6.687J_1$$

$$Q_3 = 244.486 + 6.939J_0 - 6.120J_1 + 0.164W_1$$

$$Q_4 = 275.986 + 3.947J_0 - 1.622J_1 - 1.504J_2 + 0.133W_1$$

13시간 추정 회귀식은

$$Q_{\text{변수}=2} = 324.248 + 4.956J_0 - 4.086J_2$$

$$Q_3 = 291.740 + 4.570J_0 - 3.767J_2 + 0.157W_1$$

$$Q_4 = 290.209 + 5.000J_0 - 0.860J_1 - 3.337J_2 + 0.157W_1$$

15시간 추정 회귀식은

$$Q_{\text{변수}=2} = 418.133 + 3.936J_0 - 3.105J_2$$

$$Q_3 = 378.520 + 3.601J_0 - 2.847J_3 + 0.181W_1$$

$$Q_4 = 373.472 + 4.550J_0 - 1.421J_1 - 2.373J_3 + 0.180W_1$$

이다.

추정회귀식이 얼마나 적합한 것인지를 확인하기 위해 결정계수  $R^2$ 을 구하면 표 4.3.1 과 같다.

표 5.1 예측선행시간별 독립변수의 수에 따른 회귀회귀식의 결정계수

	5시간	10시간	12시간	13시간	15시간
2변수	0.950	0.944	0.902	0.901	0.872
3변수	0.983	0.948	0.911	0.909	0.883
4변수	0.988	0.950	0.926	0.909	0.884

결정계수  $R^2$ 의 값을 통해 알 수 있듯이 진동 지점의 몇 시간 후의 홍수량 예측은 결정계수  $R^2$ 의 값이 0.85 이상으로 왜관과 진동 지점의 시간 전 홍수량과 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있다. 또한 예측 시간이 짧을수록, 독립변수가 많을수록 결정계수의 값은 1에 가까워짐으로써 비교적 정확한 홍수예·경보를 할 수 있음을 보여주고 있다.

그러나 독립변수가 많게 되면 추정회귀식은 그 만큼 항이 많아지므로 회귀식으로 쓰기에는 복잡한 면이 있어 어느 정도의 결정계수 값이 나오면 더 이상의 독립변수를 사용하지 않아도 원하는 예측치를 얻을 수가 있다.

## 6. 결 론

1. 이 논문은 보다 신속, 정확하게 홍수위를 예측할 수 있는 모형을 개발하는 데 있다.
2. 홍수위 예측회귀식을 구하기 위해 변수로 진동, 왜관의 과거 수위를 사용, 다중회귀분석을 실시하였다.
3. 이에 진동에서의 홍수위를 예측할 수 있는 다중선행회귀식을 얻을 수 있었다.
4. 진동에서의 관측수위와 예측수위의 평균오차는 30cm이내의 정도를 보이고 있다.
5. 하천 유역의 실시간 홍수예측시 본 논문에서 제안한 모형을 활용하면 보다 신속, 정확한 예측을 할 수 있으리라 본다.

향후 과제로는, 이 연구는 1987년~1992년까지의 데이터로 회귀식을 추정하였으나, 이후의 교량 건설, 댐 축조, 유역단면의 변경이 이루어짐으로써 해서 근래의 수위의 변동을 대상으로 재검토되어야

하며, 왜관과 진동 이외의 수위 자료가 충분한 지점에 대해 계속되는 통계학적 모형 개발이 수행되어야 한다고 사료된다.

## 참고문헌

- [1] Charles T. Haan, *Statistical Methods in Hydrology*, The Iowa State University Press, 1977
- [2] 윤강훈, 신현민, "한강인도교 수위와 영향인자간의 다중회귀분석에 의한 홍수위 예측모형", 한국수문학회지, 27권, 제3호 1994. 9, pp. 55-69
- [3] 윤용남, "낙동강 홍수예경보 프로그램개발 최종 보고서", 건설부 한강홍수통제소, 1986. 12
- [4] 서병하, 권오룡, 윤강훈, 나혜숙, "한강수계 홍수예보 프로그램 개선", 건설부 한강홍수통제소, 1993. 10
- [5] 김두섭, *사회과학을 위한 회귀분석*, 범문사, 1993. 2
- [6] Amir Wadi Al-Khafaji, John R. Tooley, *Numerical Methods in Engineering Practice*, Elsevier Science Publishers B.V., 1987
- [7] 최영박, *수리학*, 보성문화사, 1992
- [8] 김형수, *최신하천공학*, 형설출판사, 1980
- [9] 권오현, *수자원공학*, 새문, 1994
- [10] 윤용남, *공업수문학*, 청문각, 1994
- [11] 김양수, 김종우, 이재송, 이재형, 이봉희, "Improvement of the Discharge Observation System", *학술발표회 논문집(II)* 1995, pp. 17-20



산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제18집, 1998.

Research Report. The Institute of Industrial Technology, Kangwon Nat'l Univ., Korea, Vol. 18, 1998.

[12] 김한중, 박태권, “낙동강수계 홍수량추정조사 보고서”, 건설교통부 낙동강홍수통제소, 1998

[13] 전경수, “A Study on the Optimal Operation of Soyanggang Dam and Hwachon Dam for the Flood Control”, 서울대학교 대학원 토목공학과, 1985

[14] F.B.Hildebrand, *Advanced Calculus for Applications*, Prentice-Hall, 1976

[15] Michel K. Ochi, *Applied Probability & Stochastic Processes*, John Wiley & Sons, 1990