

## 회귀분석에 의한 도시홍수 예보시스템의 개발

### Development of Urban Flood Warning System Using Regression Analysis

이범희\*

Lee, BeumHee

#### Abstract

A simple web-based flood forecasting system using data from stage and rainfall monitoring stations was developed to solve the difficulty that real-time forecasting model could not get the reliabilities because of assumption of future rainfall duration and intensity. The regression model in this research could forecast future water level of maximum 2 hours after using data from stage and rainfall monitoring stations in Daejeon area. Real time stage and rainfall data were transformed from web-sites of Geum River Flood Control Office & Han River Flood Control Office based MS-Excel 2007. It showed stable forecasts by its maximum standard deviation of 5 cm, means of 1~4 cm and most of improved coefficient of determinations were over 0.95. It showed also more researches about the stationarity of watershed and time-series approach are necessary.

**Keywords** : flood warning system, web-based model, urban area, real-time model, Daejeon

#### 요 지

실시간 홍수예측시스템의 구성에서 장래 강우 양상(지속기간, 강우강도 등)에 대한 가정으로 인하여 홍수예측의 신뢰성을 높이기 어려웠다는 점을 해결하기 위하여 현재까지의 강우, 현재수위 및 상류지역의 수위를 기반으로 홍수를 예측할 수 있는 간단한 웹기반모형을 구성하였다. 대상유역인 대전광역시의 도심하천 구간에서 각 수위 및 강우관측소들 간의 자료들을 활용하고, 현재까지의 관측 자료들을 이용하여 최대 2시간 후의 수위변화를 예측할 수 있는 회귀분석 모형을 구성하였다. 자료의 전송은 MS-Excel 2007을 기반으로 하여 금강홍수통제소와 국가수자원관리 종합정보홈페이지의 강우 및 수위자료를 실시간으로 읽어오는 방식으로 자료를 연결하였다. 각각의 선행시간에 대하여 예측한 결과 실제 실측치를 예측하는 과정에서 표준편차가 최대 5 cm, 평균 표준편차가 1~4 cm에 머무르고 있는 점 및 수정 결정계수의 값이 대부분 0.95 이상을 나타내는 점 등을 살펴보면 전체적으로 예보모형이 안정적으로 운영이 되고 있음을 알 수 있었다. 다만 본 회귀모형의 특성이 유역반응의 정상성을 가정하여 구성된 것을 감안한다면 어느 정도 기간까지 정상성을 유지할 수 있는가의 문제 및 시계열분석 기법의 적용은 추후 연구가 더욱 필요할 것으로 보인다.

**핵심용어** : 홍수예보시스템, 웹기반 모형, 도시유역, 실시간모형, 대전

#### 1. 서 론

최근 도시의 발달은 하상공간에 대한 이용도를 높이는 방향으로 개발이 진행되어가는 추세이며 이의 활용도가 높아져갈수록 도시홍수의 발생으로 인한 대피문제가 발생하게 되고 돌발홍수로 인한 하상도로의 차단이나 하상 주차장에서 주차차량의 소개가 늦어지는 경우 고스란히 피해를 보게 되는 등 그 부작용도 계속 증가되고 있다. 도시홍수의 특성을 살펴보면 국지성 돌발 강우에 의한 유량의 급격한 증가와 짧은 유하시간, 작은 유역면적 등에 의하여 주요 예보지점까지 도달시간이 매우 짧은 특성을 보여주고 있다. 이로 인하여 기존의 수문학적 홍수모의 모형을 이용하여 홍수예측 업무를 수행하는 경우 입력 자료의 다양성 및 매개변수 추정문제 등으로 선행시간을 충분히 확보할 수 없다는 단점을

지니고 있다. 특히 홍수예측에 있어서 현재까지의 모든 연구들에서도 공통적으로 지적하는 최대의 약점은 홍수예측을 위한 기본 입력 자료로서의 강우예측이 매우 어렵다는 점이다. 즉, 앞으로 발생할 강우 크기(magnitude), 예측기간 동안의 시간적 분포(temporal distribution), 유역 전체에 걸친 공간적 분포(spatial distribution)에 대한 정확한 예측이 어려워 이의 불확실성(uncertainty)은 고스란히 예측유출에 대한 불확실성으로 반영될 수밖에 없다는 문제를 의미한다(Maskey et al., 2004).

이에 따라 본 연구에서는 미래 예측 강우를 포함하지 않고 시시각각으로 측정되는 실시간 수위측정 자료 및 강우자료를 이용하여 하천의 수위변동을 직접 예측하고 그 결과를 시민들이 즉시 확인할 수 있는 웹기반의 수문모형을 개발하고자 하였다. 이러한 목적에 따라 간단한 입력자료 만으로도

\*정회원 · 배재대학교 공과대학 건설환경철도공학과 부교수 (E-mail : bhlee@pcu.ac.kr)

홍수예측을 수행할 수 있도록 MS-Excel 2007을 기본 틀로 하고 기존의 강우 및 수위관측소의 자료를 실시간 활용할 수 있는 웹기반의 홍수예측 초기 시스템을 구성하였으며, 도시구역의 연구 대상지역으로는 도시화된 하천구역으로서 대전광역시의 갑천 유역에 대하여 그 적용성을 검토해 보았다.

최근 국외에서의 연구 추세를 살펴보면 도시홍수 예보를 위해 복잡한 도시구역의 홍수특성을 반영하도록 수리 및 수문모형의 연계로 유출모형을 개선하고 있는데 Liong *et al.*(1995)은 싱가포르에 대하여 SWMM을 적용하였고, Knebl *et al.*(2005)은 HEC-HMS와 HEC-RAS를 이용하여 도시구역에 대한 홍수 모의 체계를 개발하였다. 국내의 경우에 있어서는 신현석 등(2007)이 부산 온천천 유역을 대상으로 SWMM과 HEC-RAS를 이용하여 지속시간별 한계유출량과 홍수발생 강우량을 산정하고 이를 통하여 해안도시지역에서의 홍수예보체계 구축방안을 검토한 바 있으며, 정하우 등(1994)은 금강유역에 대한 홍수예경보 시스템의 개발에 대하여 칼만필터 기법을 적용한 연구를 제시한 바 있다.

그러나 본 연구에서는 이러한 상용모형의 적용을 위해서는 다양한 입력 자료에 대한 매개변수 추정과정 및 입력 자료의 생성과정이 매우 복잡하므로 실제 이를 현장에 적용하여야하는 지자체 실무자들의 적용성이 매우 낮아질 수 있다는 점과 수위변동 예측을 위하여 이러한 모형에서는 장래의 강우사상에 대한 가정이 필요하다는 문제가 발생할 수 있으므로 현재까지의 실시간 강우 및 수위 관측 자료로부터 수위의 변동을 직접 예측할 수 있는 방법을 제시 하도록 하였다.

## 2. 대상수계 현황

대전시는 갑천이 도심에 관통하고 있고, 대청호가 주변에 위치하고 있어 타 도시에 비해 풍부한 수자원을 보유하고 있다. 이 지역은 전국적으로 보았을 때 상대적으로 큰 홍수 재해가 알려진 바는 없으나 140만 명의 거주인구가 하천을 중심으로 생활하고 있으며, 1971년 이래로 1985년 1,224명, 1987년 2,337 명의 이재민을 내는 등 매년 크고 작은 홍수피해를 입고 있어 이 지역에 대한 홍수예보 시스템의 개발이 필요하고 보았다.



그림 1. 대전광역시 하천 및 수위/강우관측소의 모식도

표 1. 대전광역시 하천 현황

구분	하천 수 (개)	유로 연장 (km)	개수			비고
			총연장 (양안)	개수 실적	%	
계	31	203.6	312.9	232.9	74.4	개수는 양안 연장임
국가 하천	4	74.7	67.4	58.1	86.2	금강, 갑천, 유등천, 주원천
	1	7.7	14.9	14.4	96.6	대전천
지방 하천	26	121.2	230.6	160.4	69.6	구계천 외 25개소

\*자료: 대전광역시(2003), 대전광역시 물수요 관리 종합계획 수립.

표 2. 대전시의 각종 관측소 정보

종류	관측소명	번호	관측기준	관리기관	관측개시일	주소
강우 관측소	대전	⑧	자기	기상청	1969-01-01	대덕구 구성동 22 대전지방기상청
	방동	①	T/M	건설교통부	2001-05-01	대덕구 방동 두계교
	유성	⑥	T/M	건설교통부	2001-05-01	대덕구 온천동 만년교
	인동	④	T/M	건설교통부	2001-05-01	동구 인동 인창교
	회덕	⑦	T/M	건설교통부	1993-06-01	대덕구 원촌교
수위 관측소	가수원	⑤	T/M	건설교통부	2001-05-01	서구 가수원동 가수원교
	방동	①	T/M	건설교통부	2001-05-01	유성구 두계교
	복수	③	T/M	건설교통부	2001-05-01	서구 복수동 복수교
	용촌	②	T/M	건설교통부	2001-05-01	서구 용촌교
	유성	⑥	T/M	건설교통부	1985-03-01	유성구 만년교
	인동	④	T/M	건설교통부	2001-05-01	동구 인동 인창교
	회덕	⑦	T/M	건설교통부	1917-06-01	대덕구 원촌교

\*자료: 국가수자원관리 종합정보홈페이지(WAMIS) (2009), <http://www.wamis.go.kr/>, 한강홍수통제소.

대전시의 하천 현황은 표 1에 나타나 있는 바와 같이 금강, 감천, 유등천, 주원천, 대전천 등 5개의 국가하천과 구계천 등 지방하천으로 구성되어 있다.

대전광역시 하천 및 주변 수위/강우 관측소의 개략적 위치도는 그림 1과 같다. 그림의 원번호는 각각 강우 및 수위 관측소의 위치를 설명하고 있으며 각종 관측소의 정보는 표 2와 같다. 강우 관측소중 대전 관측소를 제외한 나머지 4곳의 강우관측소는 수위관측소와 같이 위치하고 있다.

### 3. 회귀분석 이론 및 수문학적 특성

회귀분석(Regression Analysis)은 어떤 하나의 변수 값을, 다른 변수들의 값들을 이용하여 예측하고 싶거나 제어하고 싶은 경우에 이용되는 주요한 수법이다.

회귀식의 유효성(설명변수가 목적변수를 설명하는 정도)은 기여율( $R^2$ ; 결정계수, coefficient of determination)을 계산해 보면 된다. 기여율은 목적변수  $y$ 의 변동 중에서  $x$ 를 사용한 회귀식에 의해 설명이 되는 변동의 비율을 나타내는 지표로서 상관계수  $R$ 의 제곱으로 산정된다. 그러나 이는 설명변수의 수를 늘릴수록 그 유용 여부에 관계없이 높은 값

이 되어간다는 문제점이 있어 무의미한 설명변수 사용 시 수치가 내려가도록 자유도를 조정한 기여율을 사용하는데, 이것을 자유도조정된 기여율(수정된  $R$ 제곱,  $R^{*2}$ )이라한다. 기여율과의 관계는 다음의 관계를 갖는다.

$$R^{*2} = 1 - \frac{n-1}{n-p-1}(1-R^2) \quad (1)$$

여기에서  $n$ 은 표본의 크기,  $p$ 는 설명변수의 수이다.

각 설명변수의 목적변수  $y$ 에 대한 영향력의 대소를 판단하기 위한 편회귀계수의 유의성 검토에는  $t$ 값과  $p$ 값(유의확률)을 사용할 수 있다.  $t$ 값이 높은 변수일수록 목적변수  $y$ 를 예측(설명)하는 데에 공헌도가 높다고 하며,  $t$ 값을 대신하여  $F$ 값을 사용하는 경우도 있다.

$$t_{\text{값}} = \frac{\text{편회귀계수의 값}}{\text{계수의 표준오차}} \quad (2)$$

$$F_{\text{값}} = (t_{\text{값}})^2 \quad (3)$$

경험적으로는  $F$ 값이 2 이상이면 유효한 변수, 2 미만이면 불필요한 변수로 선택할 것을 권하고 있으나(노형진과 정한열, 2001)이 기준은 어디까지나 경험적인 것으로 유효한 변수를 간과할 위험성을 적게 하고 싶다면  $F$ 값이 1 이상의

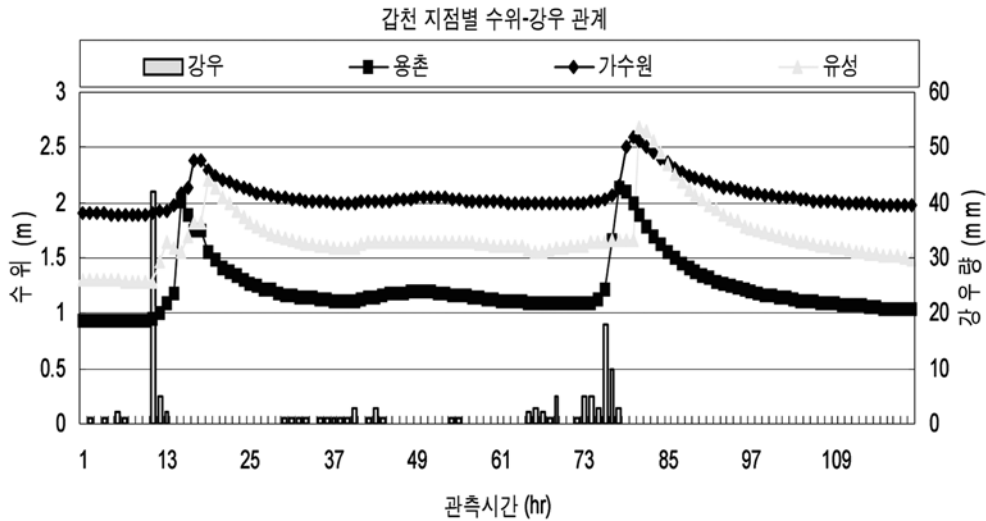


그림 2. 감천 지점별 수위-강우 관계

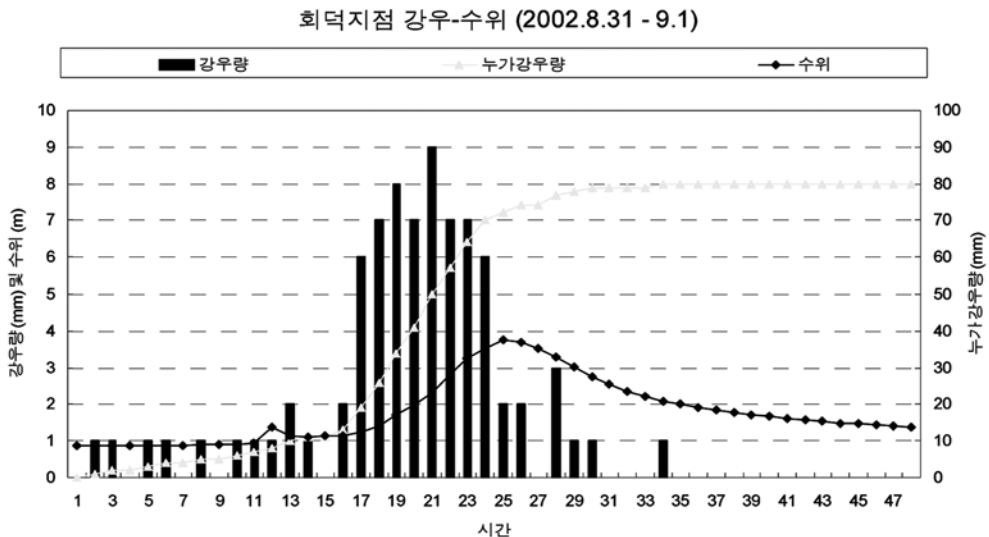


그림 3. 수위 및 강우의 상관성 분석

것을 선택하더라도 무방할 것이다. 이에 따라 각 편회귀계수의 유의성에 의거하여 유효한 변수와 불필요한 변수를 양분하는 방법으로는 축차변수선택법(step-wise regression)을 많이 사용하는데, 먼저 목적 변수와 가장 관계가 강한 설명변수를 하나 선택한 이후에 그 변수와 짝을 지었을 때 가장 기여율이 높아지는 변수를 반복하여 선택하는 과정에서 선택된 변수 중에서도 불필요한 변수가 발생되었을 경우 이 변수를 제거하는 변수증감법을 적용하였다.

도시하천의 수문학적 특성을 살펴보기 위하여 갑천 유역의 유성지점에 대한 수위변동을 용춘-가수원-유성지점에 대한 강우-수위 변동 현황으로 살펴보았다. 용춘지점 및 가수원, 유성지점은 각각 5 km 내외의 거리를 두고 위치하고 있어 침투 간의 시간차이가 30분 내외에서 이동할 것으로 예측하였으나 2006년 7월 9일부터 13일까지의 자료를 살펴보면 그 침투 위치가 각각 전반부 침투에서는 2시간 간격을 두고 발생하며, 후반부의 침투부분에서는 2시간(가수원-유성) 및 1시간(용춘-가수원) 차이를 두고 침투가 발생되고 있다. 이는 단순히 용춘지점에서 가수원지점으로 다시 유성지점으로 이동하는 효과만이 아니고 진잠천 및 두계천의 합류로 인하여 침투시간에 차이가 발생하는 것으로 보인다. 이에 따라 단순히 대상지점에서의 수위 변화 및 강우자료를 통하여 미래의 수위변동을 예측하는 것보다는 상류 수위의 변화까지를 고려하여 예측하는 것이 양질의 정보를 얻어낼 수 있을 것으로 판단하였다.

이외에도 강우 및 수위자료의 관계를 검토하였다. 그림 3에 의하면 강우가 지속되고 있는 경우에도 불구하고 수위가 하락하는 경우가 발생하기도 하는 것을 보아 단순히 강우의 발생에 따라 수위가 상승하는 것이 아니고 강우의 크기 변화에 따라 수위가 변동하는 양상을 보이는 것을 발견할 수 있었다. 이를 활용하여 현재 수위자료를 고려하고 강우의 변동을 감안하여 추후 수위의 상승 및 하강 양상을 예측할 수 있을 것으로 판단하였다.

#### 4. 예측모형을 위한 회귀분석 기법의 적용

회귀분석 기법을 적용하여 도시하천에서의 수위 상승을 예측하고, 가용한 한정된 정보(현재까지의 관측강우 및 수위)를 기반으로 장래 수위를 예측하고, 이를 홍수 경계 및 위험수위 근접 혹은 초과여부를 판단하여 홍수 예보를 제시할 수 있도록 하였다.

회귀 분석은 하나 혹은 여러 개의 변수 값들을 사용하여 우리가 목표로 하는 변수값을 예측하거나 제어하고자할 때 사용하는 기법이다. 이를 위하여 대전광역시의 도심하천 구간인 갑천에서 각 수위 및 강우관측소들 간의 자료들을 활용하여 10분부터 20분, 30분, 60분, 90분, 120분 후의 수위 변화를 예측할 수 있는 모형을 구성하였다. 연구 과정에서는 3시간 및 4시간 후의 수위변화에 대한 예측 모형까지를 구성해 보았으나 2시간을 넘어가는 경우의 예측은 그 결과의 정확성이 큰 의미를 갖지 못하여 최종적으로 제외하였다. 여기에서 기상청의 강우예보 자료를 활용하지 않은 이유로는 강우에 대한 예측이 총량예보에 의한 방식으로 이루어지고 있어 기존 모의모형에서 요구하는 전체 강우자료의 입력이

어려웠다는 점(즉 실시간 예측에서 장래 강우 형태의 예측이 불가능함)을 들 수 있다. 기존의 강우-유출 모형이 아닌 통계적 모형을 이용하여 홍수예보 모형의 구성을 시도한 것 역시 강우의 형태, 강도 등에 대한 정보가 없는 경우 기존 모의모형을 적용하기 어렵고, 이러한 모형의 수행 및 분석과정을 통하여 예보를 시행할 경우 돌발 홍수의 특성을 지니고 있는 도시홍수에 대한 충분한 예비시간(대피를 위한 선행시간)의 확보가 어렵다는 점을 들 수 있다.

이에 따라 대전광역시 유역에서의 수위, 강우자료들은 앞에서 제시하였던 강우 및 수위관측소들의 자료를 활용하도록 하였으며, 이 경우 그림 1에 제시된 바와 같이 대전광역시 수위관측소들의 개략적인 배치상황으로부터 예측하고자 하는 대상지점의 수위예측은 그 지점의 현재까지의 수위자료와 상류에 위치한 수위관측소들의 자료, 그리고 주위의 강우자료들을 활용하여 예측하도록 하되 상류 수위관측소가 존재하지 않는 방동, 용춘, 인동지점의 경우에는 그 지점의 수위자료와 주변 강우자료로부터 모형을 구성하였다. 이에 따라 회귀분석에 의하여 수위의 변화를 예측하려는 식의 형태로는

$$Y_{i,n} = b_{i,n} + \sum_{t=0}^{p_i} \sum_{j=0}^{q_i} \Phi_{i,n,j,t} X_{j,t} + \sum_{t=0}^{r_i} \sum_{j=0}^{r_i} \Psi_{i,n,j,t} X_{j,t} \quad (4)$$

을 사용하도록 하였다.

여기에서,

$Y_{i,n}$  : 수위를 예측하고자 하는 대상지점 i에서 n시간단계 후의 수위

$X_{j,t}$  : j 지점 수위관측소에서 t시간단계 전에 관측된 수위자료

$R_{j,t}$  : j 지점 강우관측소에서 t시간단계 전에 관측된 강우자료

$b_{i,n}$  : 대상지점 i에서 n시간단계 후의 수위를 예측하기 위한 선형회귀모형에서의 상수

$\Phi_{i,n,j,t}$  : i지점의 상류에 위치한 j지점의 t시간단계 전 수위자료와 대상지점 i의 n시간 후 예측 수위간의 회귀계수

$\Psi_{i,n,j,t}$  : i지점의 주변에 위치한 j지점의 t시간 전 강우자료와 대상지점 i의 n 시간단계 후 예측 수위간의 회귀계수

t : 기존에 관측된 자료의 관측시간단계. 현재시간을 0으로 두었을 때 회귀식 계산을 위하여 사용된 j지점에서의 p<sub>i</sub>시간까지의 선행자료 시간단계(t=1, 2, ..., p<sub>i</sub>). 본 연구에서는 현재, 10분전, 20분전, 30분전, ... 60분전까지 10분 간격으로 측정.

q<sub>i</sub> : i지점 상류에 위치하고 있는 수위관측소의 수이다.

r<sub>i</sub> : i지점 주변에 위치하고 있는 강우 관측소의 수이다. 다만 주변의 모든 수위 및 강우관측소를 포함하는 것이 아닌 선택된 강우관측소의 수로서 추후 변수 선택 과정을 통하여 결정된다.

수위 및 강우관측소 지점은 앞의 표 2에서와 같이 1번 방동, 2번 용춘, 3번 복수, 4번 인동, 5번 가수원, 6번 유성, 7번 회덕지점으로 정의하였으며, 대상지점 인근 강우관측소 중 대전강우관측소는 변수 선택과정에서 제외되었다. 대상지점에 대한 수위의 예측은 10분부터 2시간(120분) 후까지의 수위변화를 10, 20, 30, 60, 90, 120분의 6단계로 예측하는 식들로 구성하였으므로 예측시간 단계 n의 경우 1은 10분, 2는 20분, 4는 60분, 6은 120분 후의 수위를 예측하

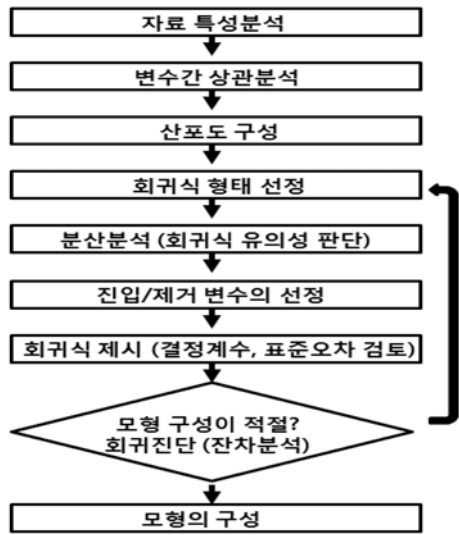


그림 4. 회귀분석의 순서도

는 것을 의미한다.

수위 및 강우 관측값의 경우는 각각의 대상지점에 대하여 현재시각으로부터 1시간 이전까지 10분 간격의 관측 자료를 사용하는 것으로 하여  $t=0$ 은 현재, 1은 10분, 2는 20분 및 6은 60분전의 관측 값을 의미하도록 제시하여 이후  $R_{1,2}$ ,  $X_{3,4}$ ,  $Y_{5,6}$ 은 각각 방동강우관측소의 20분전 관측값, 복수 수위관측소의 40분전 관측값, 가수원 수위관측소의 120분 후의 수위 예측값 등을 의미하는 것으로 제시하도록 하였다. 모형의 구성은 SPSS(Ver. 10.0)를 통하여 그림 4와 같은 순서로 회귀분석 방법을 적용하여 보았다.

#### 4.1 자료의 특성분석 및 상관분석

모형의 구성 및 적용을 위하여 2005년 말부터 2007년 초까지 2년간의 강우 및 수위 관측자료(금강홍수통제소 홈페이지, 2009; 국가수자원관리 종합정보홈페이지, 2009)를 모형의 구성에 사용하고, 이를 다시 2007년 중반이후 2008년의 기존 자료에 대한 적용과 2009년의 자료에 대하여 실시간 적용을 하여보았다. 이는 회귀분석 기법의 경우 대상특성의 시간적 변동성이 없다고 보는 정상모형이므로 오래전의 자료에 대한 검토는 해석기법의 특성에 따라 의미가 없으며,

표 3. 강우 및 수위관측 자료의 특성

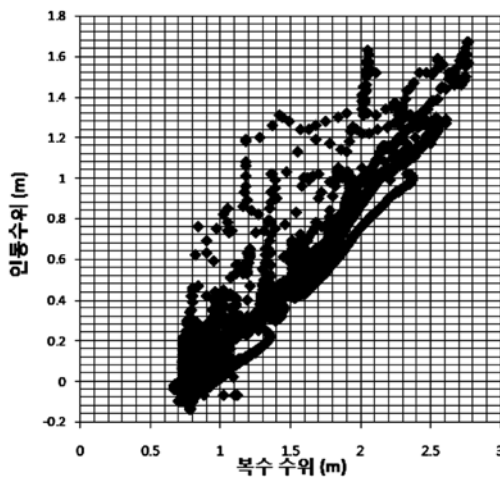
	평균 (수위: m, 강우: mm)	표준편차	자료수 (N)
$X_1$ (방동수위)	0.8373	.1770	17,550
$X_2$ (용춘수위)	0.9016	.1474	
$X_3$ (복수수위)	0.9239	.3088	
$X_4$ (인동수위)	0.0724	.2468	
$X_5$ (가수원수위)	1.8870	.1030	
$X_6$ (유성수위)	1.2624	.2439	
$X_7$ (회덕수위)	0.8864	.2840	
$R_1$ (방동강우)	0.1350	.9062	
$R_4$ (인동강우)	0.1364	.9565	
$R_6$ (유성강우)	0.1304	.8080	
$R_7$ (회덕강우)	0.1308	.8774	

2005년 말부터 10분단위의 수위관측 정보가 제공되기 시작한 점을 고려하여 최근의 자료들만을 활용하여 모형을 구성하고, 이를 검증해보기 위한 개념으로 임의로 구분하였다.

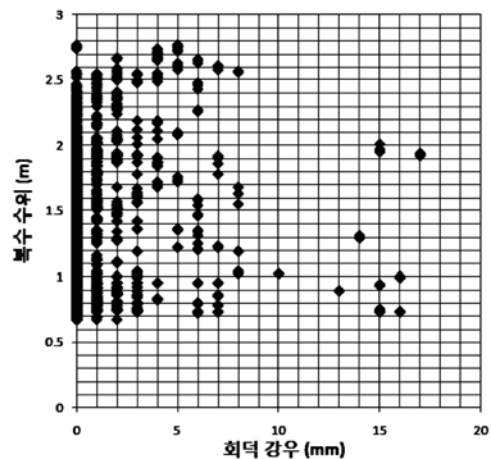
2005년 말부터 2007년까지의 강우 및 수위관측 자료들 중 무강우 기간의 자료를 제외하고 실제 강우의 발생기간에 대한 강우 및 수위 관측 자료들만을 선정한 결과 각 관측소별 10분 간격 관측 자료들 중 모두 17,550개(2,925시간 분량)의 자료를 해석하였다. 자료의 형태로 수위자료는 cm, 강우자료는 mm단위로 제공이 되고 있다.

중회귀분석에서 설명변수끼리는 서로 독립일 것을 요구하고 있다. 그러나 계획적으로 수집한 데이터가 아니고 과거의 기록 등을 데이터로 사용하는 경우 설명변수끼리 완전히 무관한 상태를 확보하기는 매우 어려우며, 이 경우 설명변수간의 상관관계수가  $\pm 1$ 이 되거나 이에 가까운 경우 신용도가 높은 회귀계수의 산출이 어려운 경우가 발생하게 된다. 이를 검토하기 위하여 각각의 지점에서 예측시점 수위에 대한 설명변수인 관측시점 수위 및 강우자료(강우/수위관측소 11개에 대한 7시점 자료로 모두 77개 설명변수) 간의 상관도를 구해보았다.

표 4에서와 같이 상관도가 0.923~0.999로 나온 경우인 인동수위( $X_{4,0}$ , ...,  $X_{4,6}$ )와 복수수위( $X_{3,0}$ , ...,  $X_{3,6}$ ) 관계 및 상관도가 0.086~0.102로 나온 복수수위와 회덕강우( $R_{7,0}$ , ...,  $R_{7,6}$ )



(a) 인동수위 vs 복수수위



(b) 복수수위 vs 회덕강우

그림 5. 설명 변수간 산포도

표 4. 강우 및 수위관측 자료의 특성

	용춘		방동		기수원		유성		방동R		유성R		인동R		회덕R	
	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소
용춘	1.000	0.985	0.888	0.857	0.954	0.932	0.937	0.922	0.137	0.099	0.132	0.089	0.127	0.090	0.110	0.075
방동			1.000	0.987	0.932	0.897	0.946	0.919	0.227	0.144	0.205	0.131	0.203	0.131	0.159	0.103
기수원					1.000	0.993	0.979	0.968	0.142	0.113	0.125	0.096	0.132	0.101	0.101	0.080
유성							1.000	0.993	0.148	0.122	0.145	0.104	0.149	0.107	0.113	0.086
방동R									1.000	-0.007	0.563	-0.008	0.585	-0.007	0.394	-0.007
유성R											1.000	-0.009	0.706	-0.008	0.687	-0.008
인동R													1.000	-0.007	0.571	-0.007
회덕R															1.000	-0.007
	유성		복수		인동		회덕		방동R		유성R		회덕R			
	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소		
유성	1.000	0.988	0.998	0.929	0.933	0.912	0.920	0.904	0.914	0.913	0.107	0.086	0.098	0.078		
복수			1.000	0.928	0.999	0.923	0.950	0.911	0.930	0.913	0.110	0.093	0.102	0.086		
인동					1.000	0.953	0.999	0.927	0.958	0.929	0.169	0.107	0.154	0.098		
회덕							1.000	0.928	0.999	0.939	0.170	0.117	0.169	0.106		
방동R									1.000	0.998	0.176	0.148	0.157	0.124		
유성R											1.000	-0.007	0.558	-0.007		
회덕R													1.000	-0.007		

의 사례를 그림 5에 제시하였다.

상관도가 높게 나온 일부 설명변수들의 경우에는 뒤의 진입 및 제거변수의 선정과정을 통하여 설명변수들을 제거해 줌으로써 다중공선성(multi-colinearity)문제에 대처할 수 있다.

#### 4.2 회귀식 형태의 선정

잔차와 설명변수의 산포도로부터 회귀식의 형태를 검토할 수 있다. 본래 잔차와 설명변수의 산포도에서는 어떠한 경향도 보이지 않는 것이 바람직하다(노형진과 정한열, 2001). 만일 설명변수와 잔차의 산포도에서 2차적인 경향 등이 나타난다면 회귀식의 구성에 해당 설명변수에 대한 자승항이 추가되어야 함을 의미한다고 볼 수 있다.

여러 설명변수들과 잔차와의 산포도를 살펴보고 이들 중 기수원 수위와 잔차의 산포도를 사례로 그림 6에 제시하였다. 이와 같이 설명변수들과 잔차의 사이에 어떠한 경향도 나타나고 있지 않으므로 식 (4)와 같이 선형회귀분석식을 사용하여 모형을 구성하는 것으로 하였다.

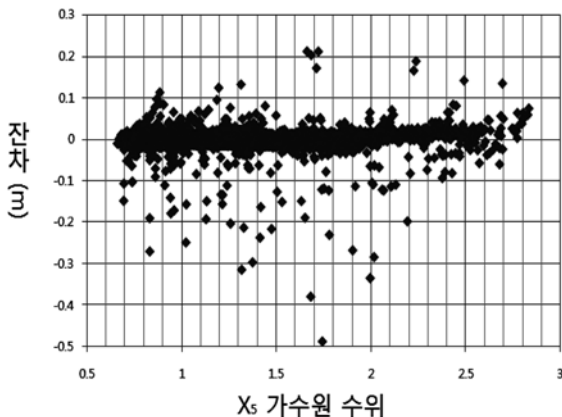


그림 6. 잔차와 설명변수간 산포도

#### 4.3 분산분석

분산분석의 결과는 회귀식의 유의성을 검토할 수 있는 자료가 될 수 있다.

본 연구를 통하여 산정된 모형들의 분산분석 결과 F의 유의확률이 유의수준(0.05) 이내로 들어오는지를 확인하여 유의성을 검토하였으며, 표 5에서는 방동 모형의 분산분석 결과들에 대한 F의 유의확률이 유의수준 이내로 들어오음을 통하여 본 회귀식이 의미가 있음을 제시하였다.

#### 4.4 진입 및 제거변수의 선정

설명변수가 목적변수의 예측(설명)에 도움이 되는지의 여부는 3장에서 설명과 같이 식 (2)와 (3)을 적용하여 유의성을 판정하되 유의하면( $F \geq 2$ ) 유효한 변수로 판단하고, 유의하지 않으면 불필요한 변수로 판단한다. SPSS에 의하여 차변수선택법을 적용하면 변수의 단계적 선택에 따른 변수의 진입 및 제거가 이루어지게 된다. 방동 30분 예측모형의 구성과정을 살펴보면 이러한 과정에 따라 방동수위 및 방동, 유성, 인동, 회덕 강우관측 자료들만이 유효한 변수들로 모형이 구성되는 것을 표 6을 통하여 알 수 있다. 그러나 이들 자료 군에서도  $X_{1,2}$ ,  $R_{4,3}$ ,  $R_{4,4}$  등의 변수들은 값의 비교를 통하여 제거되었다.

#### 4.5 회귀식의 제시 및 회귀진단

회귀분석 결과를 바탕으로 대전광역시 중심부를 관통하는 갑천유역에 적용 가능한 도시 지천홍수 예측시스템을 구성하였다. 회귀분석에 의하여 각각의 예측 대상 지점에 대한 회귀계수 산정 결과 중에서 방동 수위 예측을 위한 회귀모형은 표 7과 같으며, 다른 지역에 대해서도 같은 방식으로 식을 제시하였다. 여기에서 ( $\sqrt{2} = 1.414$ )의 숫자는 각 추정계수들의 값들로 유의성 기준인 절대 값=1.414보다 큰 값

표 5. 방동 홍수예측모형의 분산분석 결과

모형		제곱합	자유도	평균 제곱	F	유의 확률
방동 10분	선형회귀 분석	549.272	30	18.309	1485637	0
	잔차	0.216	17487	1.23E-05		
	합계	549.488	17517			
방동 20분	선형회귀 분석	548.7643	31	17.70208	430207.4	0
	잔차	0.71951	17486	4.11E-05		
	합계	549.4838	17517			
방동 30분	선형회귀 분석	547.975	32	17.124	198984.5	0
	잔차	1.505	17485	8.61E-05		
	합계	549.48	17517			
방동 60분	선형회귀 분석	544.089	28	19.432	63180.23	0
	잔차	5.379	17489	3.08E-04		
	합계	549.468	17517			
방동 90분	선형회귀 분석	536.792	26	20.646	28513.88	0
	잔차	12.665	17491	7.24E-04		
	합계	549.457	17517			
방동 120분	선형회귀 분석	527.835	23	22.949	18578.2	0
	잔차	21.61	17494	1.24E-03		
	합계	549.445	17517			

표 6. 방동 홍수예측모형의 변수 진입제거 결과

선택순서	설명변수	t	선택순서	설명변수	t	선택순서	설명변수	t
1	(상수)	40.341	2	X1,6	103.919	3	X1,5	-27.258
4	R1,5	54.737	5	R1,6	44.428	6	R1,4	55.751
7	R1,3	19.626	8	R1,0	-10.958	9	R6,3	4.717
10	R1,2	7.231	11	R4,0	-10.061	12	R6,0	9.135
13	R4,5	-9.177	14	R6,5	5.719	15	R6,2	4.45
16	R7,4	5.101	17	X1,0	4.629	18	X1,4	-5.114
19	R7,1	-6.131	20	R6,1	8.954	21	R4,1	-5.705
22	R6,6	6.134	23	R4,6	-3.641	24	R7,3	5.007
25	R7,6	-3.898	26	R7,0	-3.527	27	R1,1	-1.932
28	R7,4	3.127	29	X1,3	-1.908	30	X1,5	-1.767
31	X7,5	-1.45	32	R6,4	3.756	33	R4,2	-3.683

제거변수의 예

설명변수	t	설명변수	t	설명변수	t
X1,2	0.554	R4,3	0.699	R4,4	-1.147

들을 나타내고 있음을 알 수 있다.

이에 따르면 방동지점의 30분 후 예측 수위는

$$\begin{aligned}
 Y_{1,3} = & 0.01597 + 0.08174X_{1,0} - 0.09876X_{1,1} + 0.11168X_{1,3} - \\
 & 0.19101X_{1,4} - 0.99091X_{1,5} + 2.06646X_{1,6} - 0.00223R_{1,0} - \\
 & 0.00039R_{1,1} + 0.00148R_{1,2} + 0.00411R_{1,3} + 0.00950R_{1,4} + \\
 & 0.00913R_{1,5} + 0.00738R_{1,6} + 0.00238R_{6,0} + 0.00231R_{6,1} + \\
 & 0.00116R_{6,2} + 0.00118R_{6,3} - 0.00042R_{6,4} + 0.00146R_{6,5} + \\
 & 0.00157R_{6,6} - 0.00185R_{4,0} - 0.00105R_{4,1} - 0.00027R_{4,2} - \\
 & 0.00178R_{4,5} - 0.00072R_{4,6} - 0.00071R_{7,0} - 0.00124R_{7,1} + \\
 & 0.00063R_{7,2} + 0.00108R_{7,3} + 0.00105R_{7,4} - 0.00039R_{7,5} - 0.00081R_{7,6}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

와 같이 표시할 수 있음을 의미한다. 본 식의 계수들은

SPSS의 계산결과로서 7개 지점에 대하여 6가지 시점의 예측치를 구할 수 있는 총 42개의 식을 구성하였다.

### 5. Web 기반 홍수예보 시스템의 구성

본 시스템을 실무에서 활용할 수 있도록 하기 위하여 MS-Excel 2007을 기반으로 하고 실시간 데이터의 입력을 포함하는 GUI시스템을 구축하였다.

실제 시스템의 구성 시에는 관측소와 시스템 간에 전용선을 설치하여 자료를 받도록 하여야 할 것이나 시스템의 구성 연구과정에서는 금강홍수통제소(<http://www.geumriver.go.kr/>)와 국가수자원관리 종합정보홈페이지(<http://www.wamis.go.kr/>)의 강우 및 수위자료를 실시간으로 읽어오는 방식으로 자료를

표 7. 방동 수위예측을 위한 회귀계수의 산정 결과

		상수	방동 수위						
			X1,0	X1,1	X1,2	X1,3	X1,4	X1,5	X1,6
방동	Y1,1	0.00392 (26.14874)	0.02271 (3.27727)	-0.04880 (-3.63546)	0.05984 (4.25017)	0.02243 (1.58397)	-0.15395 (-10.85469)	-0.44061 (-31.99504)	1.53328 (203.99357)
	Y1,2	0.00949 (34.75243)	0.03235 (2.65354)	-0.03762 (-2.02916)		0.11997 (5.84655)	-0.21670 (-8.40888)	-0.80923 (-32.22658)	1.89886 (138.01294)
	Y1,3	0.01597 (40.34075)	0.08174 (4.62895)	-0.09876 (-3.68335)		0.11168 (3.75579)	-0.19101 (-5.11355)	-0.99091 (-27.25781)	2.06646 (103.91931)
	Y1,6	0.03528 (47.16118)	0.22884 (7.23510)	-0.19388 (-4.57507)			-0.27701 (-5.62802)	-0.93283 (-13.67301)	2.12910 (56.75561)
	Y1,9	0.05432 (47.52317)	0.48192 (10.01639)	-0.37882 (-5.84774)			-0.31800 (-4.22394)	-0.86975 (-8.31851)	2.01453 (35.03451)
	Y1,12	0.07243 (50.16585)	0.56173 (8.98965)	-0.34917 (-4.16952)			-0.25086 (-2.58089)	-0.83305 (-6.12880)	1.77825 (24.02418)
방동강우									
	R1,0	R1,1	R1,2	R1,3	R1,4	R1,5	R1,6		
	0.00027 (3.49646)	0.00026 (3.50099)	0.00055 (7.13825)	0.00124 (16.59411)	0.00254 (39.35981)	0.00180 (28.45521)	0.00104 (16.55271)		
	-0.00060 (-4.38771)	0.00058 (4.14073)	0.00106 (7.52932)	0.00267 (18.58799)	0.00569 (48.27864)	0.00531 (46.01994)	0.00346 (30.21190)		
	-0.00223 (-10.95823)	-0.00039 (-1.93189)	0.00148 (7.23124)	0.00411 (19.62552)	0.00950 (55.75108)	0.00913 (54.73682)	0.00738 (44.42751)		
	-0.00429 (-11.03664)	-0.00397 (-10.39192)	-0.00238 (-6.19465)	0.00302 (7.62507)	0.01862 (58.00535)	0.02054 (65.39146)	0.01950 (62.17842)		
	-0.00344 (-5.86664)	-0.00286 (-4.87723)	-0.00208 (-3.52767)	0.00167 (2.75223)	0.02139 (43.45352)	0.02428 (50.38022)	0.02559 (53.18751)		
	-0.00148 (-1.94754)			0.00267 (3.38566)	0.02377 (40.57294)	0.02656 (46.51360)	0.02764 (44.01420)		
유성강우									
	R6,0	R6,1	R6,2	R6,3	R6,4	R6,5	R6,6		
	0.00069 (6.99316)	0.00075 (7.69538)	-0.00027 (-2.74188)	0.00022 (2.26589)	-0.00069 (-8.83626)	0.00112 (11.56311)			
	0.00138 (7.88164)	0.00172 (9.63403)	0.00036 (2.24421)		-0.00063 (-3.53160)	0.00105 (5.95271)	0.00141 (8.05666)		
	0.00238 (9.13523)	0.00231 (8.95373)	0.00116 (4.45018)	0.00118 (4.71689)	-0.00042 (-1.76699)	0.00146 (5.71929)	0.00157 (6.13382)		
	0.00378 (8.47413)	0.00372 (7.61376)	0.00328 (7.38846)	0.00366 (7.82644)	0.00436 (8.99366)	0.00493 (11.33864)	0.00403 (9.20386)		
	0.00368 (5.41629)	0.00297 (4.41944)	0.00295 (4.37929)	0.00413 (6.34101)	0.00866 (11.66054)	0.00993 (14.89869)	0.00916 (13.65944)		
	0.00236 (2.40761)	0.00204 (2.75037)	0.00258 (2.93673)	0.00370 (4.34806)	0.00966 (11.36611)	0.01234 (14.52928)	0.01221 (13.94371)		
인동강우									
	R4,0	R4,1	R4,2	R4,3	R4,4	R4,5	R4,6		
	-0.00038 (-5.48344)	-0.00016 (-2.33659)	0.00018 (2.57951)	-0.00026 (-3.47892)		-0.00071 (-9.69542)			
	-0.00114 (-8.97487)	-0.00053 (-4.14110)			-0.00039 (-2.94110)	-0.00118 (-8.84428)	-0.00049 (-3.59843)		
	-0.00185 (-10.06123)	-0.00105 (-5.70491)	-0.00027 (-1.45048)			-0.00178 (-9.17654)	-0.00072 (-3.64121)		
	-0.00310 (-8.91676)	-0.00124 (-3.56439)	-0.00108 (-3.14227)	-0.00079 (-2.16962)	-0.00058 (-1.57927)	-0.00173 (-4.77647)	-0.00081 (-2.18933)		
	-0.00292 (-5.52659)				-0.00084 (-1.50205)	-0.00241 (-4.33361)	-0.00166 (-2.94036)		
	-0.00213 (-3.04910)					-0.00150 (-2.09951)	-0.00126 (-1.71550)		



표 7. 계속

회덕강우							R <sup>2</sup>
R7,0	R7,1	R7,2	R7,3	R7,4	R7,5	R7,6	
-0.00054 (-7.06220)	-0.00039 (-5.35908)	0.00090 (11.81089)	0.00022 (2.83698)		-0.00034 (-4.37364)		1.00000
-0.00055 (-3.93315)	-0.00112 (-8.01874)	0.00102 (7.39639)	0.00117 (8.54714)	0.00026 (1.80815)	-0.00052 (-3.66717)	-0.00048 (-3.39343)	0.99900
-0.00071 (-3.52727)	-0.00124 (-6.13054)	0.00063 (3.12731)	0.00108 (5.00697)	0.00105 (5.10111)	-0.00039 (-1.90758)	-0.00081 (-3.89809)	0.99700
	-0.00154 (-4.02712)			0.00107 (2.74227)			0.99000
	-0.00087 (-1.49486)	0.00103 (1.85325)		0.00112 (1.87636)			0.97700
0.00147 (2.01173)		0.00185 (2.54450)		0.00213 (2.86760)			0.96100

\*( )안의 숫자는 각 추정계수의 t-값

연결하였다.

과거에 관측되어진 강우 및 수위자료들을 사용하여 회귀분석을 실시하고, 그 결과로 얻어지는 회귀계수들을 본 시스템에 입력해주면 실시간 수위 및 강우관측 자료로부터 각 대상 예측지점에 대한 실시간 예측수위를 제시하여주도록 구성하였다.

본 시스템은 자료의 입력과 계산 모두를 자동으로 처리하고, 이미 입력해 놓은 기준수위(주의보수위 및 경보수위)와 비교할 수 있도록 하였다. 여기에서, 주의보 수위란 수위가 더 이상 상승하면 제방, 수문, 교량 등에 대한 경계가 필요한 수준의 수위로서, 예보지점에 대한 계획홍수량의 50%에 해당하는 유량이 흐를 때의 수위 또는 예보지점의 5년 평균 저수위로부터 계획홍수량까지 60%에 해당하는 수위로 정의하며, 경보 수위란 주의보수위를 초과하여 제방, 수문, 교량 등에 대한 붕괴의 위험이 예상되는 수준의 수위로서, 예보지점에 대한 계획홍수량의 70%에 해당하는 유량이 흐를 때의 수위 또는 예보지점의 5년 평균 저수위로부터 계획홍수량까지 80%에 해당하는 수위로 정의한다(금강홍수통제소 홈페이지, 2008. 9. 14).

본 시스템은 다음 그림 7과 같이 ‘연산모듈’과 ‘경보 발령 및 통보 모듈’의 두 가지 모듈로 구성된 홍수예보시스템에 수위 및 강우관측소로부터 인터넷을 통하여 자료를 읽어들이는 v외부자료 입력모듈’ 등 3가지 큰 모듈로 구성하였으며, 이 중 회귀변수 입력이란 그림 4에서 구성한 회귀모형을 통하여 제시된 회귀계수들을 의미한다.

시스템을 살펴보면, 그림 8은 메인 화면으로 각 수위 관

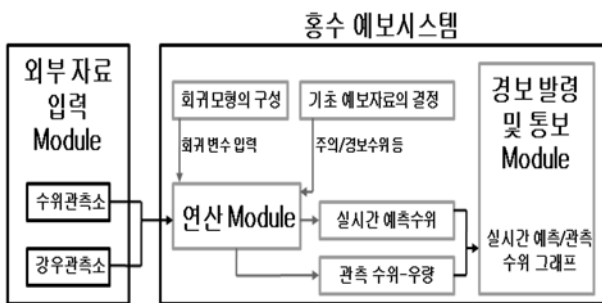


그림 7. GUI 시스템의 구성

측소의 현재 수위(붉은선)와 예측수위(푸른선)를 나타내고 있으며, 아래의 표에서는 주변 강우관측소의 강우자료들과, 실측수위의 변화, 예측수위의 변화를 숫자로 나타내고 있다.

본 프로그램은 강우 시 예상되는 수위를 누구나 쉽게 확인하고자 만들었다. Excel시트에서 데이터-모두 새로 고침(Ctrl+Alt+F5)을 클릭하여 외부 데이터의 연결을 허용하면 모든 데이터가 실시간으로 입력되어 그래프로 표현된다.

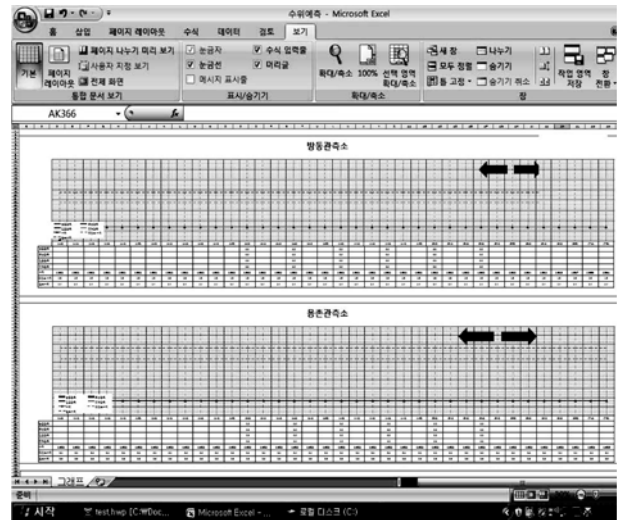


그림 8. GUI 시스템의 메인화면

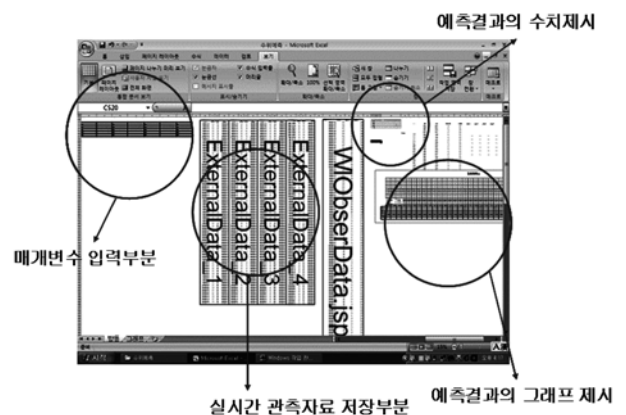
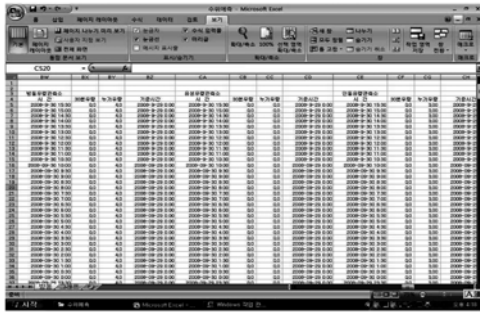
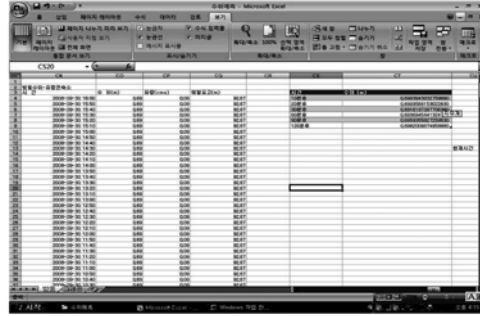


그림 9. GUI 시스템의 Excel sheets 작성화면



(a) 실시간 관측치의 저장부분



(b) 실시간 모의치의 수치 제시부분

그림 10. 실시간 관측치의 저장 및 모의치의 수치 제시부분

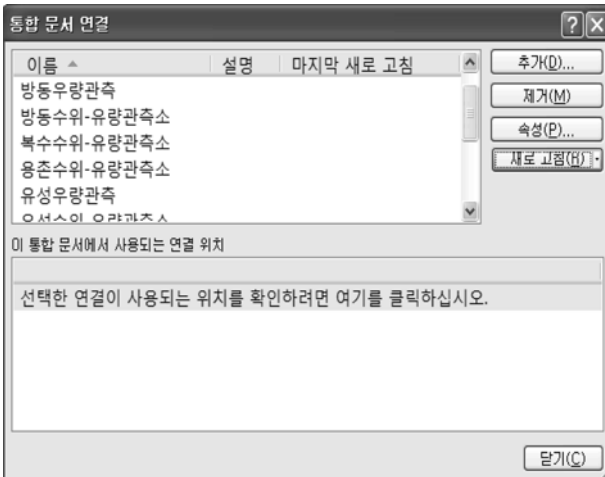


그림 11. GUI 시스템에서 연결된 실시간 자료

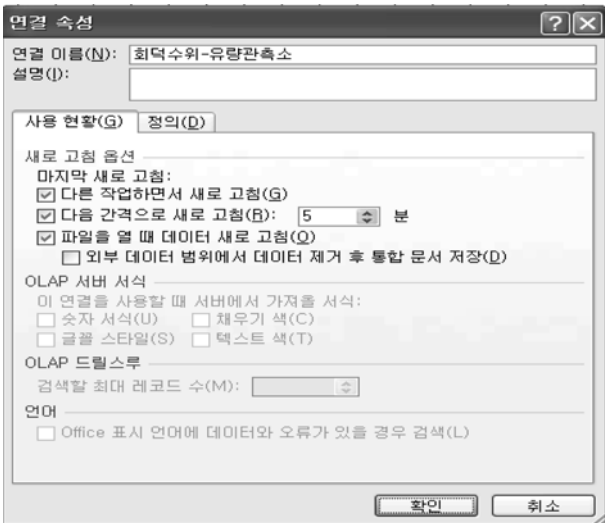


그림 12. GUI 시스템에서 실시간 자료의 연결시간 조절

프로그램에서는 우량자료를 10분, 수위자료를 5분 간격으로 불러들이도록 지정하였다. 시간간격을 조절할 수 있으며 데이터-연결을 클릭하면 그림 11과 같이 나타난다. 속성을 클릭하면 그림 12와 같이 연결속성창이 나타나게 되는데, 새로 고침 간격을 결정하여 원하는 시간마다 변경할 수 있다.

## 6. 모형의 구성 및 적용

2005년에서 2007년까지의 강우-유출 자료에 대하여 선형

회귀모형을 구성하고 이를 2007~2008년도 강우-유출 자료에 적용하여 본 모형의 예측모형으로서의 적용성을 검증하였다. 정밀도에 대한 판단은 표준편차(Standard Deviations)를 사용하여 나타내었다. 표준편차는 측정기구의 정밀도와 직접적으로 관계가 있는 양으로 다음과 같이 정의한다. 즉, 모의치인  $z$ 와 참값  $v$ 와의 관계를 이용하여 나타낸 값으로 본 연구에서는 예측치와 실측치를 비교하였다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2}{N}}, \quad \varepsilon_i^2 = z_i - v \quad (6)$$

이외에도 최대절대오차, 최대상대오차 등을 제시하였다.

$$\text{절대최대오차} = \text{Max}| \text{예측치} - \text{실측치} | \quad (7)$$

$$\text{최대상대오차} = \text{Max}(\text{절대오차}/\text{실측치}) \quad (8)$$

앞에서 각각의 예보지점에 대하여 설정된 선형회귀분석식에 의하여 모의한 결과는 표 8과 같다.

전체적으로 2007년 1월부터 2008년 8월까지의 자료에 대하여 각각의 선행시간을 가지고 예측한 결과 실제 실측치를 예측하는 과정에서 표준편차가 인동 및 회덕지점에서 2시간 예측을 하였을 때 5 cm로 최대가 발생하였을 뿐, 나머지 지점 및 선행시간 예측의 경우에 있어서 표준편차가 1~4 cm에 머무르고 있는 점 및 결정계수의 값이 용춘지점 2시간 예측에서 0.941로 최저를 나타낼 뿐 대부분 0.95 이상을 나타내는 점 등을 살펴보면 전체적으로 예측시스템이 안정적으로 운영이 되고 있음을 알 수 있다.

여기에서 인동지점의 경우에는 최대 상대오차가 1,150%에서 2,720%에 이르는 등 매우 높은 상대오차를 보여주고 있음을 알 수 있는데, 이는 인동지점의 경우 수위의 기준점이 실제 수위보다 높게 잡혀있어 관측치가 (-)값에서 (+)값을 오르내리는 과정에서 실측치가 0 m에 아주 근접한 값을 나타내는 경우 상대오차가 과장되게 나타나는 현상이므로 큰 의미를 갖는 값은 아닌 것으로 보인다. 다만, 인동 및 회덕지점의 장기예측 및 용춘지점의 단기예측에서 최대 절대오차 값(0.8~1.1 m)이 크게 나타나는 현상에 대해서는 그 원인을 살펴볼 필요가 있다. 선행시간 이전에 예측한 수위 값과 실제시간에서의 유출수위를 비교하는 과정에서 이렇게 큰 오차가 발생하는 경우는 비가 오지 않는 상태에서 10분에서 120분까지의 선행시간 유출예측이 이루어지고 난 이후에 강우가 시작됨으로 인해서 나타나는 오류인 것으로 보인다. 즉, 유

표 8. 2007~8년 강우-유출사상에의 적용 결과

지점	예측선행 시간(분)	최대절대 오차(m)	최대상대오 차(%)	표준편차 (m)	수정결정계수 R <sup>2</sup>	지점	예측선행 시간(분)	최대절대 오차(m)	최대상대오 차(%)	표준편차 (m)	수정결정계수 R <sup>2</sup>
기수원	10	0.048	2.07	0.00181	1.000	복수	10	0.134	10.58	0.00483	1.000
	20	0.103	4.45	0.00296	0.999		20	0.324	18.65	0.00932	0.999
	30	0.155	6.71	0.00418	0.998		30	0.488	24.58	0.01345	0.998
	60	0.230	9.64	0.00730	0.995		60	0.675	28.98	0.02355	0.994
	90	0.249	10.43	0.00892	0.992		90	0.714	30.14	0.03187	0.989
	120	0.249	10.51	0.01067	0.988		120	0.710	37.18	0.03971	0.983
방동	10	0.109	11.95	0.00347	1.000	유성	10	0.910	34.61	0.00787	0.999
	20	0.136	13.19	0.00628	0.999		20	0.877	33.07	0.01125	0.998
	30	0.201	17.46	0.00908	0.997		30	0.844	31.60	0.01391	0.997
	60	0.433	28.48	0.01742	0.990		60	0.732	33.98	0.01883	0.994
	90	0.693	45.60	0.02688	0.977		90	0.673	35.76	0.02208	0.992
	120	0.733	46.98	0.03512	0.961		120	0.593	30.95	0.02401	0.990
용춘용 춘	10	0.333	17.73	0.00415	0.996	회덕	10	0.492	35.14	0.00723	0.999
	20	0.628	33.41	0.00807	0.993		20	0.556	38.47	0.01281	0.998
	30	0.752	37.41	0.01146	0.989		30	0.560	41.36	0.01821	0.995
	60	0.808	40.19	0.02003	0.976		60	0.584	48.87	0.03110	0.986
	90	0.897	44.63	0.02729	0.959		90	0.999	57.43	0.04181	0.974
	120	0.896	47.98	0.03331	0.941		120	1.017	58.02	0.05100	0.961
인동	10	0.388	747.76	0.01011	0.998						
	20	0.675	1158.62	0.01814	0.995						
	30	0.773	1502.51	0.02392	0.991						
	60	0.766	2667.41	0.03443	0.980						
	90	0.873	2703.09	0.04323	0.969						
	120	1.133	2721.36	0.05226	0.955						

출의 예측시점에서는 현재까지의 강우 조건으로 예측하였으나 예측시점과 실제 유출이 발생하는 시점사이에 강우가 발생됨으로 이의 영향을 받은 실제 유출로 인하여 큰 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 매 10분 간격으로 자료의 입력과 동시에 미래 수위를 재 예측하는 본 시스템의 특성상 강우의 발생과 동시에 기존의 예측치를 신속하게 수정해 주므로 무강우로 인한 예측오차는 그림 13에서와 같이 즉시 수정되어 큰 문제를 나타내지는 않는 것으로 나타났다. 본 그림들은 각 지점별 선행시간별 침투유출 수위의 모의양상을 나타낸 것으로 선행시간 이전의 예측치와 실제 발생된 수위를 비교한 것이다.

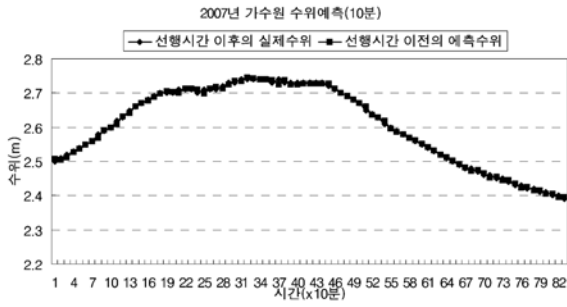
## 7. 결 론

그동안 실시간 홍수예측모형의 구성에서 가장 어려웠던 문제점으로서의 실시간 홍수예측을 위하여 장래 강우 양상을 어떻게 가정할 것인가 하는 문제였다. 즉, 기존의 모의모형 기반의 홍수예측을 위해서는 강우 형태(지속기간, 강우강도 등)에 대한 정보를 가정하여야하나 이의 가정에서 이미 많은 오차를 포함할 수 있어 이를 기반으로 하는 홍수예측의 신뢰성을 얻는 것이 어렵다는 점을 들 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방안으로서 현재까지의 강우, 현재수위 및 상류지역의 수위를 기반으로 장래 수위를 예측

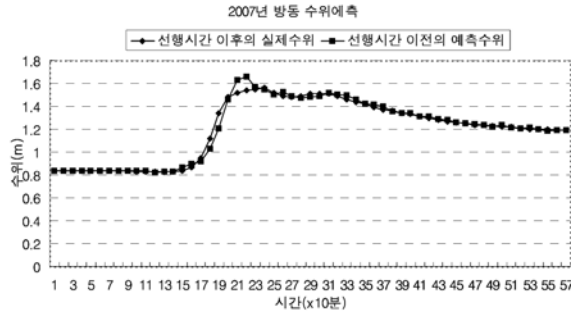
하고, 이를 통하여 홍수 예경보를 제시할 수 있도록 하였다.

대상유역인 대전광역시의 갑천, 유등천, 대전천 등 3대 도심하천 구간에서 각 수위 및 강우관측소들 간의 자료들을 활용하고, 현재까지의 관측 자료들을 이용하여 최대 2시간 후의 수위변화를 예측할 수 있는 모형을 구성하고 웹기반의 홍수예보 시스템을 적용하였다. 대전지역 도시하천의 경우 강우 발생 후 도시하천 전반에서의 침투 유출의 발생이 2시간 이내에서 이루어짐을 통하여 2시간 이상의 수위예측은 큰 의미가 없는 것으로 보았다.

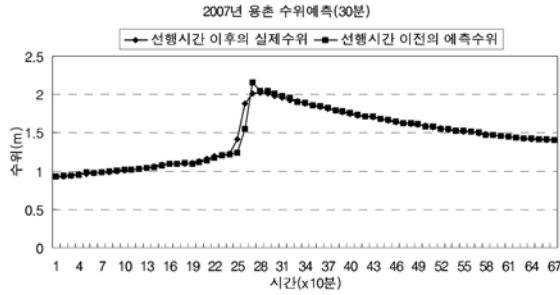
각각의 선행시간을 가지고 예측한 결과 실제 실측치를 예측하는 과정에서 표준편차가 최대 5 cm, 평균 표준편차가 1~4 cm에 머무르고 있는 점 및 결정계수의 값이 대부분 0.95 이상을 나타내는 점 등을 살펴보면 전체적으로 예측시스템이 안정적으로 운영이 되고 있음을 알 수 있었다. 다만 본 회귀모형의 특성이 유역반응의 정상성을 가정하여 구성된 것을 감안한다면 본 적용결과 추정계수의 구성 후 2년 동안(2007년, 2008년)은 그 적용 결과가 큰 오류없이 적용되고 있음을 보여주고는 있으나 어느 정도 기간까지 정상성을 유지할 수 있는가의 문제, 즉 얼마만큼의 기간마다 모형을 개선하여야 하는가는 추후 연구가 더욱 필요할 것으로 보이며 현재 본 모형의 구성 과정에서 “안정적인 시계열을 이용하는 경우에는 고전적인 회귀분석 결과도 설명변수간의 인과관계를 설명하는 데 유의적”이라 할 수 있다는 점을 근



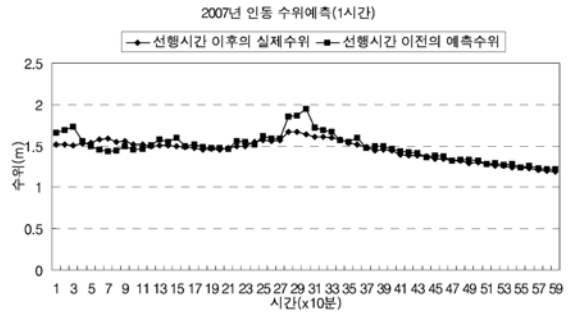
(a) 가수원지점 10분예측 결과



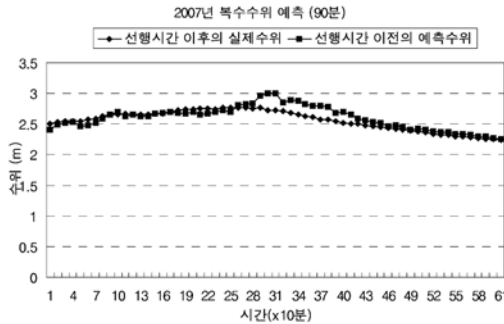
(b) 방동지점 20분예측 결과



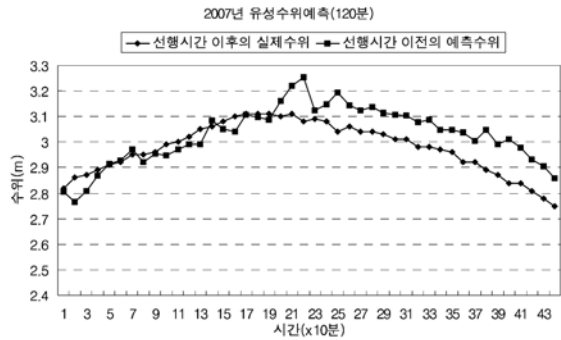
(c) 용촌지점 30분예측 결과



(d) 인동지점 60분예측 결과



(e) 복수지점 90분예측 결과



(f) 유성지점 120분예측 결과

그림 13. 2007년 각 지점별 강우-유출사상에의 적용 결과

거로 회귀분석 기법을 적용하였으나 이의 적용성 역시 본 연구에서 제시되었으므로 추후 시계열 모형의 구성을 통한 결과를 본 모형과 비교하는 것도 필요할 것으로 보인다. 이에 더하여 본 시스템의 구성을 위해서는 본 연구에서와 같이 인터넷을 통한 자료의 수집보다는 관측소들로부터 전용선을 연결하여 자료를 수집하는 것이 선행되어야 한다. 이는 현장에서의 자료수집 및 정보전달, 홈페이지 표기에 시간차가 존재하여 매 10분마다 제시하는 현재수위 값이 실제로는 10분전의 수위를 나타내는 경우가 발생하므로 10분 후의 수위를 예측한다는 것이 실제로는 현재의 수위를 예측하는 경우가 있다는 점을 볼 때, 전용선의 설치를 통한 실시간 자료의 획득문제 역시 홍수예측 모형의 개발과 더불어 앞으로 개선되어야 할 문제라고 볼 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설기술혁신사업(03산학연 C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구단의 연구성과입니다.

### 참고문헌

국기수자원관리 종합정보홈페이지(WAMIS). <http://www.wamis.go.kr/>, 한강홍수통제소[2008.9.14].  
 금강홍수통제소 홈페이지. <http://www.geumriver.go.kr/>, 건설교통부 금강홍수통제소[2008.9.14].  
 노형진, 정한열(2001) 한글 SPSS 10.0 기초에서 응용까지. 형설출판사.  
 대전광역시(2003) 대전광역시 물수요 관리 종합계획수립.  
 신현석, 박용운, 홍일표(2007) 미계측 해안 도시유역의 홍수예경보 시스템 구축 방법 검토 - 부산시 온천천 유역 대상 -. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제40권, 제6호, pp. 447-458.  
 정하우, 이남호, 김현영, 김성준(1994) 금강하구둑 홍수예경보시스템 개발(1). 한국농공학회지, 한국농공학회, 제36권, 제2호, pp. 79-87.  
 지구환경전문가 그룹 홈페이지. [http://www.ege.co.kr/ege\\_biz/ege\\_biz\\_si\\_01.asp](http://www.ege.co.kr/ege_biz/ege_biz_si_01.asp)[2009.6.1]  
 Knebl M.R., Yang, Z.L., Hutchison, K., and Maidment, D.R. (2005) Regional scale flood modeling using NEXARD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event, *J. of Environmental Management, ASCE*, Vol. 75, pp. 325-336.  
 Liang S.Y., Chan, W.T., and Ram J.S. (1995) "Peak-flow forecast-

ing with genetic and SWMM”. *J. of Hydraulic Engineering ASCE*, Vol. 121, Issue 8, pp. 613-617.

Maskey, Shreedhar, Vincent Guinot, and Roland K. Price (2004)  
“Treatment of precipitation uncertainty in rainfall-runoff mod-

elling: a fuzzy set approach”. *Advances in Water Resource*, Vol. 27, pp. 889-898.

(접수일: 2009.12.1/심사일: 2010.1.13/심사완료일: 2010.6.14)