

〈論 文〉

한강인도교 수위와 영향인자간의 다중회귀분석에 의한 홍수위 예측모형 The Flood Forecasting Model for the In-do Brdg. by the Multi-regression Analysis between the Water-level and the Influence Parameters

윤 강 훈*, 신 현 민**

YOON Kang Hoon and SHIN Hyun Min

Abstract □ In order to enhance the short-term flood forecasting accuracy of the water level of the In-do Brdg., three statistical flood forecasting models are presented and the forecasting accuracies and stabilities of the models are studied. The presented statistical models are as follows: The multi-input model by the multi-regression analysis between the water level of the In-do Brdg. and the influence parameters(Model MM). The multi-level multi-parameter model by the multi-regression analysis(Model MMP). The two-level multi parameter model according to the water level tendency(Model 2MP). Among the three models, the Model MM showed the lowest forecasting accuracy, the model 2MP showed the highest forecasting accuracy, although this model sometimes became unstable and diverged. The model MMP forecasted the flood less accurately than model 2MP, but it gave more stable forecasting results.

요 지 : 홍수시 한강 인도교에 대한 단기간 예보의 정확도를 제고하기 위한 통계학적 홍수예보모형으로 '인도교수위와 영향인자간의 다중회귀분석에 의한 다변수 모형(MM 모형)'과 '수위구간별 다중회귀분석에 의한 다수준 다변수 모형(MMP 모형)' 그리고 '수위의 증감추세에 따른 2 수준 다변수 모형(2MP 모형)'을 제시하였다. 연구대상으로 분석된 세가지 모형 중, 'MM 모형'은 4시간예측시 평균오차가 35 cm 이내의 정도를 나타내며 'MMP 모형'은 모형개발시에 구분한 각 수위구간에 대해서는 매우 작은 평균오차를 나타내지만 실제 홍수사상에 적용시에는 뚜렷한 정도의 향상을 나타내지 못하는 것으로 보인다. 이것은 실제홍수시 수위가 각 구간내에만 머물지 않기 때문인 것으로 보인다. 한편 '2MP 모형'은 예측정도가 가장 높으나 드물게 발산현상이 나타나고 있어 안정도가 떨어지며, 'MMP 모형'은 '2MP 모형' 과 비교하여 예측정도는 약간 떨어지나 안정된 예측결과를 보여준다.

1. 서 론

북한강과 남한강이 합류하여 흐르는 팔당댐 하류부는 사회경제적으로 매우 중요한 지역이다. 따라서 홍수피해를 보다 경감시키기 위하여 상류에 소양강댐, 충주댐과 같은 대규모 다목적댐을 건설, 운영하여 왔으며, 1974년도부터 저류함수법에 의한 홍수예경보 시스템을 운영하고 있다. 그럼에도 불

구하고 홍수에 의한 피해는 계속 발생하고 있으며, 지난 1990년 홍수시에는 한강 상,하류부의 광범위한 지역에서 홍수의 피해를 겪은 바 있다. 특히 일산제의 붕괴로 인하여 능곡,일산등의 지역에서 심각한 홍수피해가 발생하였으며, 한강 본류부의 수위상승과 제내지의 배수불량으로 인하여 탄천,안양천등의 수도권지역은 현재까지도 상습적인 침수피해를 입고 있는 실정이다.

홍수예경보의 정확성은 홍수추적시 입력자료의

* 한국건설기술연구원, 선임연구원(工博)

** 한국건설기술연구원, 연구원

정확성과 방법자체의 정확성간의 함수로 표현 된다. 입력자료의 정확성을 별도로 간주한다면, 결과의 오차는 홍수전파현상을 기술하는 기본방정식의 적합성에 일차적으로 좌우 된다. 일반적으로 제거하기 가장 어려운 오차는 기본방정식 항목의 부적합으로부터 발생하는 오차이며, 유한차분법해석, 경계조건과 자료처리기법등에서 발생하는 오차는 현재 문제가 되지 않고 있다.

입력자료는 자연하천의 수로와 홍수터의 기하에 관한 자료와 과거 홍수유량과 수위등에 관한 자료들로서 홍수추적방법 선택에 있어서 대단히 중요한 요소들이다. 다행히도 일반적 지형정보를 얻는 것은 통상 가능하나, 하천구간별 침투 유속과 침투유량등에 관한 정보획득은 그렇지 않다. 따라서 정보의 질이 낮다면 복잡한 홍수추적방법을 사용한다 해도 간단한 저류함수법등에 비하여 결과가 나올 것이 없다.

따라서 본 연구에서는 기존의 축적된 수문자료를 바탕으로 홍수시 인도교 지점을 중심으로 수위의 변동양상을 신속, 정확히 예측할수 있는 통계학적 홍수예경보 모형을 개발하고자 하였다.

통계학적 홍수예보모형은 'Jamieson et al. (1972)' 과 'Natale et al. (1974)', 'Tao et al. (1975)'등에 의하여 제안이 되었으며 'Keefer et al. (1976)' 는 기존의 수리학적 홍수추적과 통계학적 홍수예보모델에 대한 비교를 통하여 통계학적 홍수예보모델의 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 'Yazicigil et al. (1979)'는 지금까지의 통계학적 홍수예보모형에 대한 연구결과를 종합하여 발표한 바 있다.

2. 팔당댐 하류 통계학적 홍수예측 모형

2.1 모형의 기본개념

팔당댐으로부터 인도교 수위관측소사이의 29번 소유역 [건설부(1991)]의 면적은 1,154km² 로서,

한강유역 전체면적의 약 4%에 해당된다. 따라서 팔당댐 하류의 본류구간의 흐름은 무엇보다도 팔당댐의 방류량이 가장 지배적 인자가 될 것으로 보인다.

한편 팔당댐에서 인도교 사이에 유입되는 1차 지류 가운데 인도교 수위에 상대적으로 큰 영향을 줄 수 있는 것은 왕숙천, 탄천, 중랑천 등이 있으며, 나머지 유역들은 중소 도시하천으로서 고수위시 수문에 의해 내수로 저류되거나, 방류되더라도 흐름에 주는 영향은 작다고 볼 수 있다.

또한 중랑천에는 수위관측소가 설치되어 있지 않으므로 실시간 홍수예측에 포함하여 직접적으로 고려하기는 어렵다. 왕숙천과 탄천의 유역 면적은 각각 276km², 302km² 로서 두 지류는 팔당댐 인도교 구간의 유역면적 1,154km² 의 50%에 해당한다. 한편 팔당댐 인도교 구간의 흐름에 영향을 미치는 인자로는 구간의 상류단 유입량인 팔당댐의 방류량과 주요 지류 유입량 이외에 구간내 유역에 발생하는 강우량을 들 수 있다. 이 구간의 유역면적은 한강 전체 유역면적의 약 4%에 해당되므로 하구로 방류되는 총유량에 주는 영향은 상당하다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 팔당댐 하류 2km에 위치한 고안 수위관측소와 인도교 사이의 본류구간을 주어진 입력으로부터 전달함수를 통하여 출력을 만들어내는 다중회귀분석 시스템으로 모의하였으며, 이 시스템의 전달함수는 일정한 것으로 간주하였다. 이러한 가정아래 시스템을 여러 개의 입력변수를 갖는 다변수 선형모형으로 설정하고, 적절한 모형의 형태와 매개변수값을 구하기 위하여 입력변수와 출력변수사이의 관계를 통계적 분석으로부터 유도하고자 하였다. 이상의 개념에 따른 고안~인도교 구간을 도식적으로 표현하면 그림 (1) 과 같으며, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\hat{O} = F(I, T_1, T_2, P) \quad (1)$$

여기서 O는 인도교의 수위를 I, T₁, T₂, P는 각각 고안 수위, 왕숙천 수위, 탄천 수위 그리고 소유역내 평균 우량을 나타내며, F는 전달함수이다. 전달함수는 입출력 자료계열의 회귀분석으로부터

예측수위와 실측수위와의 차이를 최소화하도록 결정되며, 그 형태는 입출력 자료의 분석 결과에 따라 결정되는 것으로, 이후에서는 이를 다변수 모형이라 지칭한다.

한편 회귀식에 포함되는 독립변수, 즉 이미 알고 있는 정보 가운데 가장 늦은 시점과 예측하고자하는 종속변수, 즉 미지수의 시점사이의 차이는 예측 선행시간이라 지칭하여, 식(1)의 각 독립변수와 종속변수의 시점은 예측시 결정되는 예측선행시간에 따라 달라질 수 있다.

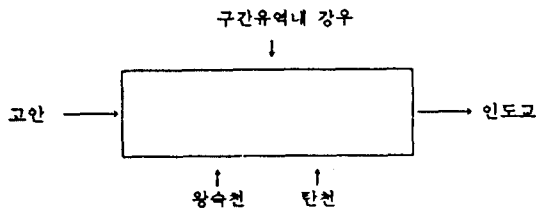


그림 1. 고안~인도교 구간 모식도

2.2 수문자료의 수집

팔당댐 하류 유역에는 건설부가 관리하는 11개의 우량관측소와 9개의 수위관측소가 설치되어 있다. 이 가운데 홍수예경보에 직접 이용되는 T/M 관측소는 우량, 수위가 각각 7개이며, 각 관측소의 명칭과 관측소별 기록기간은 다음 표 (1)과 같다.

본 연구에서는 이들 수위관측소와 우량관측소의 시수위, 시우량 자료를 한국건설기술연구원의 수문 데이터베이스인 'HISS'로부터 입수하였으나, 이 자료에는 결측과 오측이 상당히 포함되어 있다. 이들 중 자료가 불량한 고안 우량관측소를 제외한 6개 우량관측소 자료와 인도교하류의 전류와 안양 수위 관측소를 제외한 5개 수위관측소 자료를 분석하였다. 이들 자료로부터 홍수사상을 분리하여 추출한 후 각 사상의 자료를 검토하여 분석대상에 포함할 것인지를 결정하였다. 전체자료들 가운데 추출된 홍수사상은 각각의 홍수사상의 시작과 끝 시점과 기간내 최고수위 그리고 자료분석을 위한 특징적인 내용을 다음 표 (2)에 수록하였다.

2.3 모형의 형태를 결정하기 위한 기본분석

본 연구에서는 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.

① 시수위 자료의 계열 상관성 분석

하천의 수위는 다양한 요인에 의해 영향을 받으며 시간에 따라 변화하지만 시간 간격이 아주 긴 경우가 아니라면 수위 값은 이전의 수위 값에 상당한 지배를 받는다. 본 분석에서는 각 관측소별로 수위 자료의 시간에 따른 계열 상관성을 알아보기 위하여 계열 상관 분석을 하였으며, 그 결과는 그림 (2)와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 계열상관계수는 안양 수위관측소를 제외하고는 모두 4~5 시간 까지는 0.9이상을 유지하며, 따라서 특정 시점의 수위는 가까운 과거의 수위의 영향을 절대적으로 받고 있음을 확인할 수 있다.

② 상류-하류간 수위와 수위 변화의 단순 선형 관계 분석

앞에서 언급한 바와 같이 어느 시점의 수위는 비교적 가까운 과거 수위의 지배를 받으며 또한 다양한 요인에 의해 그 시점에 이르기 까지 변화하게 될 것이다. 팔당댐 상류 유역이 전체 한강 유역면적의 90% 이상을 차지하고 팔당댐 하류유역은 약 10%에 불과하며 또한 팔당댐에서 인도교에 이르는 구간의 유역 면적은 5% 이내 이므로 인도교의 수위 변화를 초래하는 요인은 무엇보다도 상류단에서 유입되는 유량 또는 수위에 의한 것으로 볼 수 있다.

본 연구에서는 팔당댐 하류 약 2km에 위치한 고안 지점의 수위를 기준으로 팔당댐 상류의 지천에

표 1. 팔당댐 하류 텔레미터관측소의 자료기간

| 우 량 관 측 소 | | | 수 위 관 측 소 | | |
|-----------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|
| 관측소명 | 코 드 | 자 료 기 간 | 관측소명 | 코 드 | 자 료 기 간 |
| 구 로 | 012250 | 1984~1991 | 전 류 | 012050 | 1975~1991 |
| 안 양 | 012350 | 1984~1991 | 안 양 | 012350 | 1984~1991 |
| 의 정 부 | 012650 | 1975~1991 | 인 도 교 | 012550 | 1975~1991 |
| 성 남 | 012800 | 1984~1991 | 잠 수 교 | 012600 | 1984~1991 |
| 낙 생 | 012900 | 1975~1991 | 성 남 | 012800 | 1984~1991 |
| 퇴 계 원 | 013300 | 1984~1991 | 퇴 계 원 | 013300 | 1984~1991 |
| 고 안 | 013600 | 1984~1991 | 고 안 | 013600 | 1975~1991 |

표 2. 추출된 홍수사상의 기간과 특징

| 일련 번호 | 사상시점 (연/월/일/시) | 사상종점 (연/월/일/시) | 최고 수위 (cm) | | 최고수위 시간차 | 교안~인도교수위간 상관계수 |
|----------|-------------------|-------------------|------------|------|-------------|-------------------|
| | | | 고 안 | 인도교 | | |
| 1 | 84/07/03/20 | 84/07/07/23 | 663 | 569 | 6 | 0.7875 |
| 2 | 85/10/12/17 | 85/10/14/02 | 600 | 458 | 4 | 0.5495 |
| 3 | 86/07/19/13 | 86/07/21/06 | 560 | 416 | 4 | 0.3573 |
| 4 | 86/08/28/06 | 86/08/31/18 | 648 | 505 | 4 | 0.6922 |
| 5 | 87/07/21/01 | 87/07/25/24 | 793 | 626 | 3 | 0.8442 |
| 6 | 87/07/26/01 | 87/07/31/24 | 769 | 700 | 1 | 0.9142 |
| 7 | 87/08/03/14 | 87/08/06/24 | 681 | 595 | 3 | 0.8119 |
| 8 | 87/08/07/13 | 87/08/11/21 | 579 | 498 | 2 | 0.6837 |
| 9 | 87/08/15/22 | 87/08/18/24 | 747 | 593 | 4 | 0.7468 |
| 10 | 87/08/29/10 | 87/09/03/17 | 743 | 660 | 4 | 0.9137 |
| 11 | 88/07/13/15 | 88/07/16/22 | 588 | 446 | 6 | 0.5157 |
| 12 | 88/07/20/06 | 88/07/22/24 | 691 | 546 | 6 | 0.6161 |
| 13 | 88/07/23/01 | 88/07/27/06 | 525 | 440 | 6 | 0.9334 |
| 14 | 89/07/25/07 | 89/07/27/10 | 477 | 377 | 9 | 0.4055 |
| 15 | 89/07/27/15 | 89/07/31/05 | 454 | 398 | 5 | 0.5551 |
| 16 | 90/06/19/01 | 90/06/20/24 | 427 | 350 | 5 | 0.3354 |
| 17 | 90/06/21/01 | 90/06/23/24 | 692 | 588 | 5 | 0.7973 |
| 18 | 90/06/24/01 | 90/06/29/24 | 516 | 547 | 3 | 0.9341 |
| 19 | 90/07/17/21 | 90/07/20/24 | 728 | 657 | 4 | 0.7690 |
| 20 | 90/07/24/20 | 90/07/28/10 | 514 | 560 | 2 | 0.8007 |
| 21 | 90/09/01/01 | 90/09/04/24 | 472 | 471 | 10 | 0.3750 |
| 22 | 90/09/10/10 | 90/09/15/24 | 1380 | 1127 | -2 | 0.9697 |
| 23 | 91/07/24/23 | 91/07/27/23 | 800 | 674 | 5 | 0.7360 |

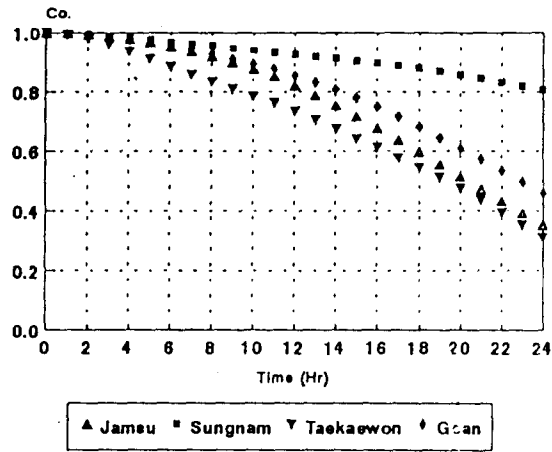


그림 2. 관측소별 수위자료의 지체시간별 상호상관계수

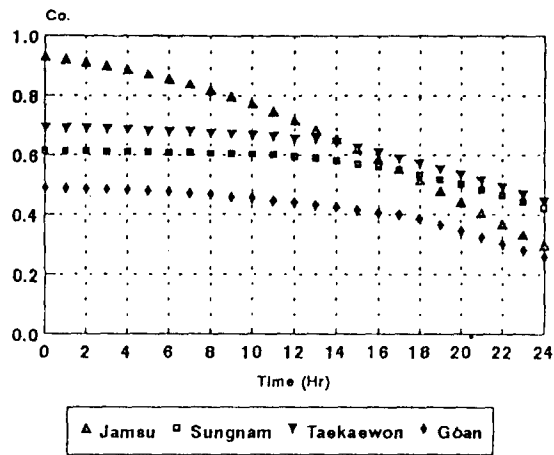


그림 3. 인도교수위와 타지점 수위와의 지체시간별 상호상관계수

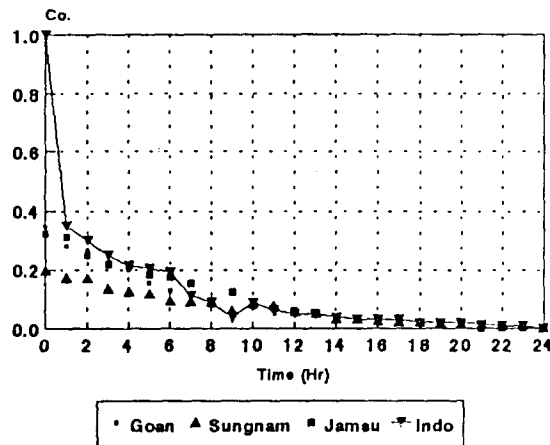


그림 4. 인도교수위와 타지점 수위변화와의 지체시간별 상호상관계수

위치한 경안 수위관측소, 본류 구간에 위치한 잠수교와 인도교 수위관측소, 그리고 하류 지천에 위치한 퇴계원, 성남 관측소의 수위와의 상관관계를 23개 홍수사상 전체를 대상으로 분석하였다. 그림 (3)은 관측소별로 시간지체에 따른 상호 상관관계를 나타낸 것이다.

그림에서 보이는 바와 같이 본류 구간에 위치한 잠수교와 인도교 수위관측소의 수위는 지류에 위치하고 있는 다른 관측소에 비해 상관계수가 월등히 높은 것으로 나타났으며, 이 것은 수문학적 상식과 일치하는 결과라고 하겠다. 또한 4시간 이내의 자료간 상관계수는 0.8 이상으로 상당히 밀접한 관계

가 있음을 보여주고 있다.

한편 그림 (4)는 인도교 수위의 변화에 대한 관측소별 수위변화의 상관계수를 표시한 것으로 수위대 수위의 상관성 보다는 떨어지지만, 상류의 수위 변화가 하류의 수위에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단하기는 어렵다.

③ 독립변수와 종속변수의 시점차에 따른 정도 분석

하천수위의 변화에 영향을 미치는 인자들은 각각 자체 계열 상관성을 지니며, 따라서 하천수위와 특정시점의 특정인자가 상관성이 있다면 마찬가지로

표 3. 독립변수의 시점 변화에 따른 회귀식의 결정계수

| 시점차 | 인 도 교 | | 고 안 | | 성 남 | 퇴 계 원 |
|-----|--------|-----------|--------|-----------|---------------------|---------------------|
| | 수위(VO) | 수위변화(DFO) | 수위(VI) | 수위변화(DFI) | 수위(T ₂) | 수위(T ₁) |
| 1 | 0.9916 | 0.9960 | 0.9963 | 0.9963 | 0.9963 | 0.9963 |
| 2 | 0.9712 | 0.9948 | 0.9963 | 0.9963 | 0.9963 | 0.9962 |
| 3 | 0.9408 | 0.9950 | 0.9963 | 0.9963 | 0.9963 | 0.9962 |
| 4 | 0.9022 | 0.9950 | 0.9919 | 0.9963 | 0.9921 | 0.9916 |
| 5 | 0.8870 | 0.9950 | 0.9837 | 0.9963 | 0.9845 | 0.9828 |
| 6 | 0.8068 | 0.9950 | 0.9731 | 0.9963 | 0.9724 | 0.9688 |
| 7 | 0.8767 | 0.9950 | 0.9592 | 0.9963 | 0.9573 | 0.9506 |
| 8 | 0.8645 | 0.9950 | 0.9425 | 0.9963 | 0.9403 | 0.9402 |
| 9 | 0.8627 | 0.9950 | 0.9224 | 0.9963 | 0.9226 | 0.9163 |
| 10 | 0.8797 | 0.9950 | 0.8990 | 0.9963 | 0.9068 | 0.9028 |
| 11 | 0.8722 | 0.9950 | 0.8724 | 0.9963 | 0.8939 | 0.8928 |
| 12 | 0.8671 | 0.9951 | 0.8407 | 0.9963 | 0.8835 | 0.8855 |
| 13 | 0.8633 | 0.9951 | 0.7879 | 0.9963 | 0.8761 | 0.8806 |
| 14 | 0.8610 | 0.9950 | 0.7496 | 0.9963 | 0.8706 | 0.8769 |
| 15 | 0.8589 | 0.9950 | 0.7158 | 0.9963 | 0.8673 | 0.8750 |
| 16 | 0.8602 | 0.9950 | 0.7135 | 0.9963 | 0.8644 | 0.8731 |
| 17 | 0.8628 | 0.9950 | 0.6842 | 0.9963 | 0.8619 | 0.8710 |
| 18 | 0.8633 | 0.9950 | 0.6525 | 0.9963 | 0.8600 | 0.8687 |
| 19 | 0.8627 | 0.9950 | 0.6773 | 0.9963 | 0.8588 | 0.8665 |
| 20 | 0.8623 | 0.9950 | 0.6582 | 0.9963 | 0.8581 | 0.8545 |
| 21 | 0.8620 | 0.9950 | 0.6416 | 0.9963 | 0.8574 | 0.8546 |
| 22 | 0.8619 | 0.9950 | 0.6286 | 0.9963 | 0.8574 | 0.8547 |
| 23 | 0.8618 | 0.9950 | 0.6165 | 0.9963 | 0.8575 | 0.8549 |
| 24 | 0.8618 | 0.9952 | 0.6058 | 0.9963 | 0.8575 | 0.8552 |

표 4. 자기회귀형 다변수모형의 예측선행시간별 결정계수와 평균오차

| 예측선행시간 | 결정계수 | 평균오차 | 예측선행시간 | 결정계수 | 평균오차 |
|--------|--------|---------|--------|--------|----------|
| 1 | 0.9926 | 14.6530 | 13 | 0.5394 | 115.3649 |
| 2 | 0.9756 | 26.5593 | 14 | 0.5100 | 118.9963 |
| 3 | 0.9511 | 37.5978 | 15 | 0.4832 | 122.2009 |
| 4 | 0.9178 | 48.7379 | 16 | 0.4618 | 124.7084 |
| 5 | 0.8769 | 59.6532 | 17 | 0.4442 | 126.7299 |
| 6 | 0.8292 | 70.2556 | 18 | 0.4271 | 128.6686 |
| 7 | 0.7768 | 80.3131 | 19 | 0.4126 | 130.2822 |
| 8 | 0.7249 | 89.1533 | 20 | 0.3995 | 131.7311 |
| 9 | 0.6756 | 96.8149 | 21 | 0.3877 | 133.0186 |
| 10 | 0.6323 | 103.072 | 22 | 0.3780 | 134.0685 |
| 11 | 0.5955 | 108.112 | 23 | 0.3708 | 134.8376 |
| 12 | 0.5668 | 111.877 | 24 | 0.3656 | 135.9791 |

특정인자의 특정시점 이전의 값과도 상관성이 있게 마련이다. 따라서 예측회귀모형에 포함되는 독립변수의 시점은 여럿일 수도 있으며, 또는 어느 한 시점일 수도 있다. 본 연구에서는 여러 시점의 독립변수 값을 포함할 경우 발생할 수 있는 입력 변수간의 독립성 확보를 위하여 단일시점의 변수를 회귀모형에 포함하였다. 또한 정확한 방법은 아니지만 다른 독립변수들의 시점을 최근으로 고정시킨채 그중의 한 변수의 시점만을 변화시켜가면서, 종속변수인 인도교 수위의 예측정도를 비교하였다. 즉 7개의 독립변수를 사용하여 다중회귀분석을 실시하였는데, 6개의 변수는 가장 최근의 값인 1시간 전 값을 사용하고 한 변수만을 24시간 이전에서부터 1시간 이전까지 변화시켜가면서 다중회귀분석을 실시하였다. 표 (3)은 각 변수의 시점을 변화시켜가면서 구한 회귀식의 결정계수를 수록하고 있다.

이상의 분석에서 결정된 홍수예측모형의 기본구조는 단계별로 약간의 차이는 있으나 모두 다중회귀식의 형태로서, 모형에 입력되는 변수는 모두 동일한 한시점의 정보이며, 독립변수와 종속변수의 관계로 선형으로 가정된다. 즉,

$$\hat{O}_t + i = \beta_0 + \beta_1 \cdot VO_t + \beta_2 \cdot DFO_t + \beta_3 \cdot VI_t + \beta_4 \cdot DFI_t + \beta_5 \cdot VT_{1t} + \beta_6 \cdot VT_{2t} + \beta_7 \cdot VR_t \quad (2)$$

로 표현된다. 여기서 O 는 인도교 수위이며, β_0, \dots, β_7 은 회귀식의 계수, 그리고 VI, DFI 는 고안의 수위, 수위변화량 VO, DFO 는 인도교의 수위, 수위변화량 VT_1, VT_2 는 성남과 퇴계원의 수위, VR 은 6개 우량관측소의 평균우량을 나타낸다. 종속변수와 독립변수의 시점차이는 예측선행시간에 해당된다.

2.4 자기회귀형 다변수모형

본 연구에서는 예측지점인 인도교 관측소의 과거 수위와 수위 변화량을 자기회귀(Autoregressive)형 변수로 유출하고 나머지 다른 변수를 다중회귀식의 변수로 사용하는 모형을 개발하고자 하였다. 즉

$$O_{t+i} = \beta_0 + \beta_1 \cdot VI_t + \beta_2 \cdot DFI_t + \beta_3 \cdot VT_{1t} + \beta_4 \cdot VT_{2t} + \beta_5 \cdot VR + \epsilon_t$$

$$\text{여기서 } \epsilon_t = a_1(O_{t-1}) + a_2(O_{t-2}) + a_3(O_{t-3}) + \dots + a_n(O_{t-n}) \quad (3)$$

다음의 표 (4)는 전체 홍수사상의 자료를 대상으로 하여 자기회귀형 모형을 도입하여 회귀분석을

실시한 결과로서 예측선행시간별 결정계수(R-Square)와 평균오차(Root Mean Square Error)를 수록한 것이다.

2.5 인도교 수위와 영향 인자간의 다중회귀분석에 의한 다변수모형

본 연구에서는 자기회귀형 다변수모형과 마찬가지로 인도교 수위에 영향을 미치는 것으로 보이는 인자로 상류인 고안의 수위와 수위 변화, 지류인 왕숙천의 퇴계원 관측소의 수위, 탄천의 성남관측소

수위 그리고 팔당댐 하류에 위치한 6개 우량관측소의 산술평균우량을 선정하였으며, 이들과 함께 인도교의 이전 수위와 수위 변화량을 독립변수로 하여 다중회귀 분석을 실시하였다. 분석방법은 우선 변수의 수에 따라 결정계수를 가장 크게 나타내는 변수의 조합을 찾아내고, 이 가운데에서 하나를 예측선행시간을 대표하는 다변수모형으로 결정하는 것이다. 다음의 표 (5), (6), (7)은 예측선행시간에 따른 회귀식의 결정계수와 평균오차 그리고 독립변수의 도입순서를 수록하고 있다.

표 5. 예측선행시간별 독립변수의 수에 따른 최적 회귀식의 결정계수

| 예측 선행 시간 | 1변수 | 2변수 | 3변수 | 4변수 | 5변수 | 6변수 | 7변수 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 0.9917 | 0.9960 | 0.9962 | 0.9963 | 0.9963 | 0.9963 | 0.9963 |
| 2 | 0.9718 | 0.9863 | 0.9875 | 0.9877 | 0.9877 | 0.9877 | 0.9877 |
| 3 | 0.9422 | 0.9705 | 0.9736 | 0.9741 | 0.9741 | 0.9741 | 0.9741 |
| 4 | 0.9049 | 0.9493 | 0.9552 | 0.9562 | 0.9562 | 0.9562 | 0.9562 |
| 5 | 0.8612 | 0.9229 | 0.9328 | 0.9344 | 0.9345 | 0.9345 | 0.9345 |
| 6 | 0.8127 | 0.8909 | 0.9061 | 0.9088 | 0.9090 | 0.9091 | 0.9091 |
| 7 | 0.7611 | 0.8560 | 0.8775 | 0.8810 | 0.8814 | 0.8816 | 0.8819 |
| 8 | 0.7073 | 0.8189 | 0.8478 | 0.8514 | 0.823 | 0.8527 | 0.8529 |
| 9 | 0.6524 | 0.7782 | 0.8148 | 0.8184 | 0.8199 | 0.8206 | 0.8210 |
| 10 | 0.5977 | 0.7460 | 0.7820 | 0.7855 | 0.7877 | 0.7884 | 0.7889 |
| 11 | 0.5441 | 0.7144 | 0.7503 | 0.7536 | 0.7566 | 0.7575 | 0.7582 |
| 12 | 0.4917 | 0.6828 | 0.7209 | 0.7242 | 0.7276 | 0.7289 | 0.7296 |
| 13 | 0.4215 | 0.6376 | 0.6799 | 0.6858 | 0.6882 | 0.6898 | 0.6911 |
| 14 | 0.3733 | 0.6030 | 0.6456 | 0.6531 | 0.6566 | 0.6583 | 0.6588 |
| 15 | 0.3297 | 0.5689 | 0.6057 | 0.6147 | 0.6203 | 0.6219 | 0.6221 |
| 16 | 0.2917 | 0.5392 | 0.5682 | 0.5789 | 0.5860 | 0.5880 | 0.5880 |
| 17 | 0.2583 | 0.5126 | 0.5347 | 0.5470 | 0.5555 | 0.5573 | 0.5574 |
| 18 | 0.2290 | 0.4882 | 0.5041 | 0.5183 | 0.5266 | 0.5289 | 0.5291 |
| 19 | 0.2034 | 0.4656 | 0.4762 | 0.4887 | 0.4996 | 0.5019 | 0.5022 |
| 20 | 0.1814 | 0.4451 | 0.4574 | 0.4685 | 0.4758 | 0.4781 | 0.4786 |
| 21 | 0.1623 | 0.4269 | 0.4407 | 0.4497 | 0.4546 | 0.4564 | 0.4570 |
| 22 | 0.1513 | 0.4135 | 0.4277 | 0.4338 | 0.4375 | 0.4390 | 0.4400 |
| 23 | 0.1502 | 0.4036 | 0.4175 | 0.4224 | 0.4247 | 0.4261 | 0.4273 |
| 24 | 0.1498 | 0.3912 | 0.4055 | 0.4125 | 0.4153 | 0.4158 | 0.4164 |

표 6. 예측선행시간별 독립변수의 수에 따른 최적 회귀식의 평균오차

| 예측 선행 시간 | 1변수 | 2변수 | 3변수 | 4변수 | 5변수 | 6변수 | 7변수 |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 237.0733 | 113.4827 | 107.5612 | 106.6702 | 106.4854 | 106.5110 | 106.5647 |
| 2 | 812.3433 | 393.0795 | 359.7052 | 355.1766 | 355.1096 | 355.2625 | 355.4963 |
| 3 | 1666.8903 | 849.7360 | 760.8372 | 747.9260 | 748.2960 | 748.7494 | 749.2524 |
| 4 | 2744.9079 | 1463.8152 | 1292.9677 | 1265.4765 | 1266.1195 | 1266.7617 | 1267.5011 |
| 5 | 4005.4506 | 2224.8443 | 1942.5765 | 1895.1127 | 1894.7639 | 1895.2315 | 1896.2216 |
| 6 | 5406.1320 | 3151.3469 | 2714.7306 | 2636.5095 | 2633.4205 | 2633.0650 | 2634.8095 |
| 7 | 6897.1542 | 4159.1842 | 3539.6418 | 3441.0169 | 3431.0850 | 3427.4052 | 3426.7615 |
| 8 | 8449.8896 | 5229.3162 | 4397.4828 | 4297.8341 | 4275.5678 | 4266.2995 | 4264.0589 |
| 9 | 10035.6872 | 6406.2664 | 5352.9936 | 5251.3442 | 5212.4266 | 5196.6708 | 5187.9845 |
| 10 | 11613.1905 | 7335.8609 | 6301.6053 | 6203.3686 | 6145.0970 | 6129.1662 | 6117.6115 |
| 11 | 13161.0938 | 8250.8006 | 7218.2745 | 7128.1015 | 7046.2909 | 7025.3654 | 7008.5604 |
| 12 | 14673.7927 | 9162.3633 | 8067.6668 | 7977.0915 | 7883.6393 | 7853.0498 | 7836.8422 |
| 13 | 16801.4597 | 0.532.0434 | 9310.1526 | 9142.3604 | 9078.9038 | 9039.6811 | 9007.8596 |
| 14 | 18199.7908 | 1537.2337 | 10305.5348 | 10096.2759 | 9998.8976 | 9957.1892 | 9948.9672 |
| 15 | 19468.6501 | 2527.7820 | 11465.9779 | 11211.9317 | 11058.4629 | 11018.3003 | 11021.2325 |
| 16 | 20571.8032 | 3393.1201 | 13556.6989 | 12255.1204 | 12056.9693 | 12005.7320 | 12013.9549 |
| 17 | 21542.1696 | 4164.0036 | 13532.9585 | 13182.0436 | 12944.0621 | 12899.9393 | 12907.0790 |
| 18 | 22392.8567 | 4873.7055 | 14420.7727 | 14018.3972 | 13785.2814 | 13727.9268 | 13731.8972 |
| 19 | 21542.1696 | 4164.0036 | 13532.9585 | 13182.0436 | 14573.3080 | 14515.5376 | 14516.2128 |
| 20 | 23774.2323 | 6125.4287 | 15780.1627 | 15466.5700 | 15267.1023 | 15209.2844 | 15206.9360 |
| 21 | 24329.5402 | 6655.2940 | 16266.5310 | 16016.6029 | 15884.4111 | 15840.6611 | 15834.5345 |
| 22 | 24648.6671 | 7044.6197 | 16644.2740 | 16479.2916 | 16380.3440 | 16347.7875 | 16332.3688 |
| 23 | 24680.0700 | 7332.1332 | 16939.5939 | 16810.9322 | 16753.5829 | 16724.4718 | 16701.8600 |
| 24 | 24693.7858 | 7693.5328 | 17291.1239 | 17097.3259 | 17027.6729 | 17025.0593 | 17020.8122 |

표 (5)에서 보는 바와 같이 예측선행시간에 6시간 이내인 경우는 결정계수(R-Square)가 0.8이상으로 비교적 정확한 예측이 가능한 것으로 보인다. 표 (5), 표 (6)과 표 (7)은 독립변수의 수를 1개에서 7개까지에 대하여 망라한 것이며, 예측을 위하여 최종적으로 예측선행 시간마다 정확도를 비교적 적은 수의 독립변수로 확보할 수 있는 것을 예측모형으로 선정하였다. 다음 표 (8)은 예측시간별 다변수모형의 계수를 수록하고 있다. 표 (5)와 표 (6)의 결과는 인도교 수위와 수위변화를 독립

변수로 도입한 다변수모형이 보다 낫은 결과를 주는 것을 보여주고 있다.

2.6 수위구간별 다중회귀분석에 의한 다수준 다변수 모형

다중회귀식에 의한 하류 수위의 예측모형은 선형 모형이므로, 수문학적 비선형성을 고려하지 못하여 본 연구에서는 전체 수위자료를 크기 수준에 따라 몇개의 계급으로 구분하고 각 계급에 대하여 회귀 분석을 실시하였다. 즉 인도교의 수위를 기준으로

표 7. 예측선행시간별 독립변수의 수에 따른 최적 회귀식의 변수 도입순서

| 예측 선행 시간 | 변 수 도 입 순 서 | | | | | | |
|----------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | VO24 | DFO24 | VT2-24 | VI24 | VR24 | VT1-24 | DFI24 |
| 2 | VO23 | DFO23 | VT2-23 | VI23 | VR23 | VT1-23 | DFI23 |
| 3 | VO22 | DFO22 | VT2-22 | VI22 | DFI22 | VR22 | VT1-22 |
| 4 | VO21 | DFO21 | VT2-21 | VI21 | VR21 | VT1-21 | DFI21 |
| 5 | VO20 | DFO20 | VT2-20 | VI20 | VT1-20 | VR20 | DFI20 |
| 6 | VO19 | DFO19 | VT2-19 | VI19 | VT1-19 | VR19 | DFI19 |
| 7 | VO18 | DFO18 | VT2-18 | VI18 | VT1-18 | VR18 | DFI18 |
| 8 | VO17 | DFO17 | VT2-17 | VI17 | VT1-17 | VR17 | DFI17 |
| 9 | VO16 | VI2-16 | DFO16 | VI16 | VT1-16 | VR16 | DFI16 |
| 10 | VO15 | VI2-15 | DFO15 | VI15 | VT1-15 | VR15 | DFI15 |
| 11 | VO14 | VI2-14 | DFO14 | VI14 | VT1-14 | VR14 | DFI14 |
| 12 | VO13 | VI2-13 | DFO13 | VT1-13 | VI13 | VR13 | DFI13 |
| 13 | VO12 | VT2-12 | DFO12 | VT1-12 | VR12 | DFI12 | VI12 |
| 14 | VO11 | VT2-11 | DFO11 | VT1-11 | VR11 | DFI11 | VI11 |
| 15 | VO10 | VT2-10 | DFO10 | VT1-10 | VR10 | DFI10 | VI10 |
| 16 | VO9 | VT2-9 | DFO9 | VT1-9 | VR9 | DFI9 | VI9 |
| 17 | VO8 | VT2-8 | DFO8 | VT1-8 | VR8 | DFI8 | VI8 |
| 18 | VO7 | VT2-7 | DFO7 | VT1-7 | VR7 | DFI7 | VI7 |
| 19 | VO6 | VT2-6 | VT1-6 | DFO6 | VR6 | DFI6 | VI6 |
| 20 | VO5 | VT2-5 | VT1-5 | VR5 | DFO5 | DFI5 | VI5 |
| 21 | VO4 | VT2-4 | VT1-4 | VR4 | DFO4 | DFI4 | VI4 |
| 22 | VT2-3 | VO3 | VT1-3 | VR3 | DFO3 | DFI3 | VI3 |
| 23 | VT2-2 | VO2 | VT1-2 | DFO2 | VR2 | VI2 | DFI2 |
| 24 | VT1-1 | VT2-1 | VO1-1 | VR1 | DFO1 | VI1 | DFI1 |

하여 전체 사상자료를 6개의 수준으로 구분하였으며 각 수준에 대하여 회귀분석을 실시하였으며 다음 표 (9)와 표 (10)의 결과를 얻었다. 표 (9)에서 보는 바와 같이 각 구간별 분석결과는 전체 자료를 대상으로 분석한 결과보다 결정계수는 떨어지지만 평균오차(RMSE)를 기준으로 볼 때는 오히려 나은 결과를 보여주는 것으로 보인다. 결정계수가 떨어지는 것은 자료를 구간별로 분류함으로써 계급 구간별 평균과의 차이가 현격히 줄어들기 때문으로 보인다. 그러나 수위구간별 다중회귀분석

결과를 실제사상에 도입한 결과는 수위 수준별 불연속성이 큰 문제로 작용하여 오히려 예측정도가 떨어지는 것으로 나타났다.

2.7 수위의 증감추세에 따른 2 수준 다변수 모형

본 연구에서는 수위 수준을 지나치게 세분함으로써 예측정도가 오히려 떨어지는 것을 고려하여 인도교 수위를 기준으로 5.0m 이상/이하의 두개 군으로 분리하고, 각 군을 다시 수위가 증가하는 기간

과 감소하는 기간으로 분리하여 다중 회귀분석을 실시하였다. 표 (11)은 이와같이 홍수자료를 4개 군으로 분리하여 다중회귀 분석을 실시한 결과로서 결정계수와 평균제곱의 차(MSE)를 수록하고 있다. 표에서 보이는 바와같이 이 방법은 수위의 증가시에 감소시 보다 잘 맞는것으로 나타났다.

3. 개발된 홍수예측 모형의 적용과 비교검토

이상의 분석으로부터 유도된 인도교 수위의 예측을 위한 다변수 모형은 약간의 변형된 형태로 다음의 네가지의 단계의 시도를 하였다. ① 인도교 수위의 자기회귀형 다변수 모형, ② 인도교 수위와 수위변화를 다른 인자와 마찬가지로 독립변수로 사용한 다변수 모형, ③ 인도교 수위를 기준으로 크기에 따라 전체 홍수위자료 계열을 6개 수준으로 구분하고 각 수준별로 다중회귀분석을 하여 구한 다수준 다변수모형, ④ 마지막으로 인도교 수위에 따라 수위수준을 둘로 나누고, 각 수준을 다시 수위의 증감에 따라 구분하여 네개의 군으로 나누어 다중회귀분석을 실시한 수위 증감에 따른 다변수모형 등이다.

①의 자기회귀형 모형은 개념적으로 두번째 다변수모형과 별다른 차이가 없으며 또한 결정계수와 평균오차의 단순한 비교에서도 상대적으로 정확도가 떨어지므로 적용대상에서 제외하였다.

그림 (5)는 ② 방법에 따라 예측선행시간을 1시간으로 하여 홍수사상 #1을 모의한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 실측치와 예측치의 차이는 수위의 상승부에서 크게 나타나며, 또한 예측치의 변화는 실측치의 변화를 거의 일정한 시간차를 두고 모사하고 있다. 이와 같은 두가지 사실은 나머지 세가지 방법에 의한 모의 결과에서도 동일하게 나타나고 있다.

그림 (6)과 그림 (7)은 각각 ②의 방법으로 홍수사상 #5를 예측선행시간 2시간으로 모의한 결과와 홍수사상 #4를 예측선행시간 4시간으로 모의한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 예측오차는 예측선행시간이 증가함에 따라 현격히 증가함을 보여주고 있다. ③과 ④의 방법은 ②의 방법에 비해 4시간 이내의 예측선행시간으로 홍수사상을 모의한 결과 예측의 정확도가 어느 정도 개선되었으나, 5시간 이상의 예측시에는 갑작스런 발산 현상을 보이는 경우가 많았다.

그림 (8)과 그림 (9), 그림 (10)과 그림 (11), 그리고 그림 (12)과 그림 (13)은 ③의 방법과 ④의 방법에 의한 모의결과와의 비교를 위하여 각각 동일한 예측선행시간으로 동일한 홍수사상에 대하여 적용한 결과를 보여주고 있다. 그림의 예측 모의결과를 보면 전반적으로 ④의 방법이 ③의 방법에 비해 약간 나은 결과를 보여주고 있으며 이것은 모형의 개발시 전체자료로부터 추출된 결과와 일

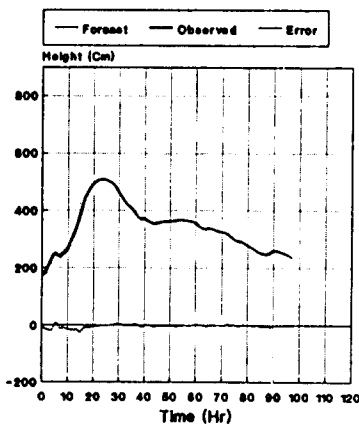


그림 5. 예측결과(1번홍수, ②방법, 1시간예측)

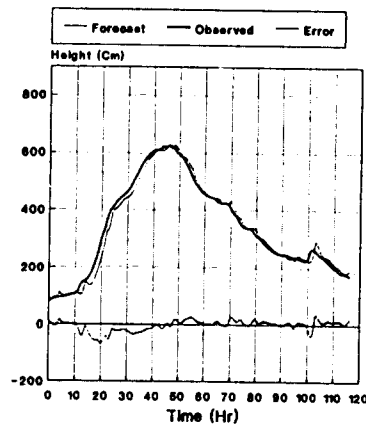


그림 6. 예측결과(5번홍수, ②방법, 2시간예측)

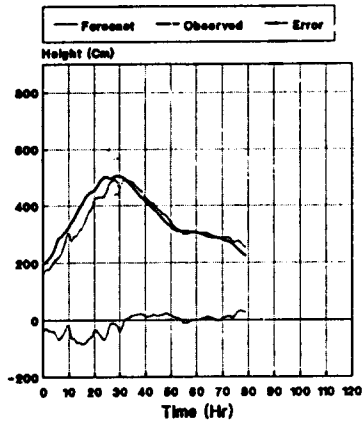


그림 7. 예측결과(4번홍수, ②방법, 4시간예측)

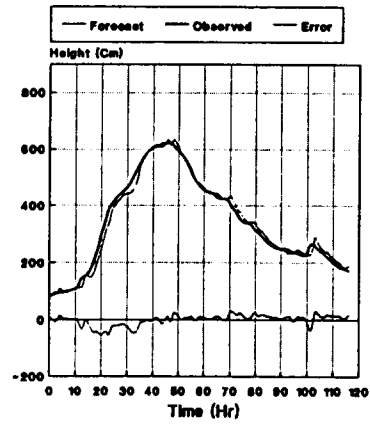


그림 8. 예측결과(5번홍수, ③방법, 2시간예측)

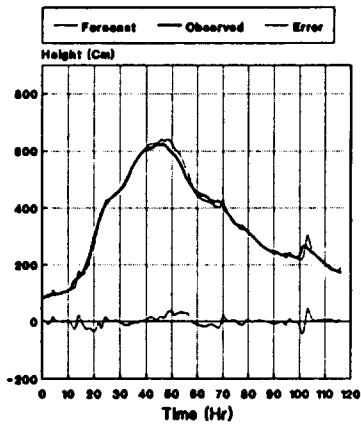


그림 9. 예측결과(5번홍수, ④방법, 2시간예측)

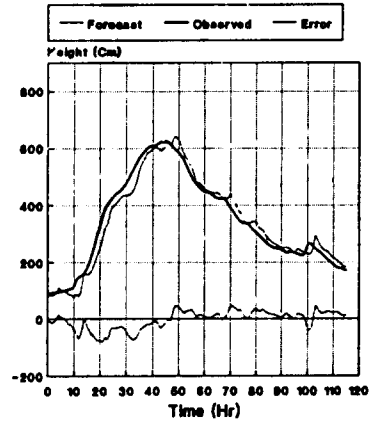


그림 10. 예측결과(5번홍수, ③방법, 3시간예측)

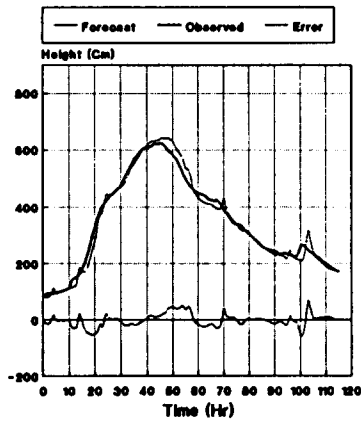


그림 11. 예측결과(5번홍수, ④방법, 3시간예측)

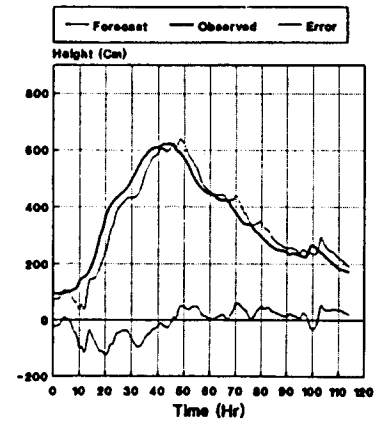


그림 12. 예측결과(5번홍수, ③방법, 4시간예측)

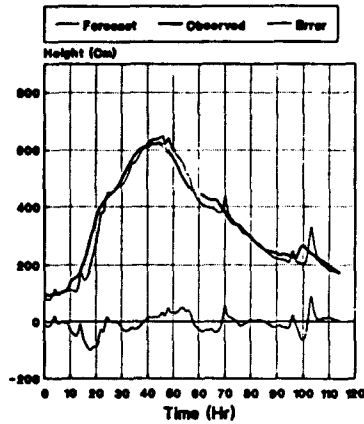


그림 13. 예측결과(5번홍수, ④방법, 4시간예측)

치하지만 실제로 ③, ④ 방법은 홍수사상에 따라 평균오차를 기준으로한 비교에서 우열이 엇갈리는 것으로 나타난다.

4. 결 론

본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 사회,경제적 중요성이 대단

히 큰 수도권의 홍수피해를 경감시키기 위하여 홍수시 단기간 예보의 정확도를 제고하기 위한 통계학적 홍수예보모형으로 『인도교수위와 영향인자간의 다중회귀분석에 의한 다변수 모형』과 『수위구간별 다중회귀분석에 의한 다수준 다변수 모형』 그리고 『수위의 증감추세에 따른 2 수준 다변수 모형』을 제시하였다.

(2) 연구대상으로 분석된 세가지 모형 중, 'MM 모형'은 4시간 예측시 평균오차가 35cm이내의 정도를 나타내며 'MMP 모형'은 모형개발시에 구분한 각 수위구간에 대해서는 매우 작은 평균오차를 나타내나, 실제 홍수사상에 적용시에는 뚜렷한 정도향상을 나타내지 못하였다. 이것은 실제 홍수시 수위가 각 구간내에 만 머물지 않기 때문인 것으로 보인다.

(3) '2MP 모형'은 분석과정에서는 예측정도가 가장 높으나 각 사상에 적용한 결과 발산현상이 나타나고 있어 안정도가 떨어진다.

(4) 수도권 지역에 대한 실시간 홍수예측시, 본 연구에서 제안된 세가지 모형의 결과와 기존의 저류함수모형에 의한 결과를 활용하여 보다 신뢰성있는 홍수예보를 할 수 있을 것이다.

표 8. 예측 선행시간별 다변수 모형의 계수

| 예측 선행 시간 | 모 형 계 수 | | | | | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | β_0 | β_1 | β_2 | β_3 | β_4 | β_5 | β_6 | β_7 |
| 1 | 4.7437 | 1.0176 | 0.5933 | -0.0129 | 0. | 0. | -0.1048 | 0. |
| 2 | 11.9667 | 1.0380 | 1.0255 | -0.0289 | 0. | 0. | -0.2497 | 0. |
| 3 | 20.7694 | 1.0609 | 1.3558 | -0.0490 | 0. | 0. | -0.4097 | 0. |
| 4 | 30.9557 | 1.0835 | 1.6180 | -0.0718 | 0. | 0. | -0.5715 | 0. |
| 5 | 42.6321 | 1.1038 | 1.8352 | -0.0949 | 0. | 0. | -0.7395 | 0. |
| 6 | 57.8840 | 1.1198 | 2.0083 | -0.1253 | 0. | 0.0289 | -0.9233 | 0. |
| 7 | 74.4130 | 1.1221 | 2.1587 | -0.1441 | 0. | 0.0476 | -1.1039 | -1.1996 |
| 8 | 91.0911 | 1.1129 | 2.3660 | -0.1472 | -0.1127 | 0.0630 | -1.3306 | -1.8418 |
| 9 | 108.5798 | 1.1011 | 2.4557 | -0.1499 | -0.1750 | 0.0806 | -1.5634 | -2.3762 |
| 10 | 128.0863 | 1.0859 | 2.4582 | -0.1486 | -0.2009 | 0.0973 | -1.8421 | -2.4413 |
| 11 | 148.6223 | 1.0637 | 2.4790 | -0.1445 | -0.2382 | 0.1142 | -2.1038 | -2.7902 |
| 12 | 169.2659 | 1.0258 | 2.5593 | -0.1319 | -0.2431 | 0.1342 | -2.3310 | -3.2362 |

표 9. 인도교 수위수준별 다중회귀분석 결과(결정계수)

| 예측선행시간 | < 3.5m | 2.5~4.5 | 3.5~5.5 | 4.5~6.5 | 5.5~7.5 | 6.5m < |
|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 1 | 0.9783 | 0.9613 | 0.9717 | 0.9892 | 0.9873 | 0.9829 |
| 2 | 0.9154 | 0.8929 | 0.9275 | 0.9438 | 0.9495 | 0.9779 |
| 3 | 0.8278 | 0.8037 | 0.7578 | 0.8741 | 0.8100 | 0.9669 |
| 4 | 0.7309 | 0.6980 | 0.7869 | 0.7939 | 0.6486 | 0.9708 |
| 5 | 0.6399 | 0.5887 | 0.6952 | 0.7042 | 0.4600 | 0.9691 |
| 6 | 0.5624 | 0.4903 | 0.6108 | 0.6281 | 0.3678 | 0.9727 |
| 7 | 0.5190 | 0.4237 | 0.5152 | 0.5391 | 0.3704 | 0.9681 |
| 8 | 0.4767 | 0.3630 | 0.4233 | 0.4417 | 0.3630 | 0.9665 |
| 9 | 0.4258 | 0.3250 | 0.3426 | 0.3602 | 0.4403 | 0.9591 |
| 10 | 0.3913 | 0.2873 | 0.3788 | 0.2981 | 0.3855 | 0.9681 |
| 11 | 0.3483 | 0.2573 | 0.2385 | 0.2577 | 0.3756 | 0.9688 |
| 12 | 0.2879 | 0.2262 | 0.2005 | 0.2574 | 0.3134 | 0.9791 |

표 10. 인도교 수위수준별 다중회귀분석결과(평균제곱오차)

| 예측선행시간 | < 3.5m | 2.5~4.5 | 3.5~5.5 | 4.5~6.5 | 5.5~7.5 | 6.5m < |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 1 | 55.2360 | 91.5592 | 79.3854 | 33.6471 | 20.2387 | 199.7219 |
| 2 | 216.0002 | 253.4236 | 203.3195 | 175.2127 | 80.7795 | 245.3661 |
| 3 | 438.8926 | 465.1614 | 399.7869 | 394.8281 | 304.1054 | 376.6710 |
| 4 | 687.4036 | 715.7134 | 599.4625 | 646.7137 | 562.3820 | 332.0146 |
| 5 | 919.7927 | 974.7134 | 857.3029 | 927.9245 | 864.4273 | 351.9952 |
| 6 | 1117.8466 | 1207.9818 | 1094.9524 | 1166.9141 | 1011.9452 | 303.5891 |
| 7 | 1234.3408 | 1367.9159 | 1363.8306 | 1455.3395 | 1026.4570 | 354.1707 |
| 8 | 1342.9017 | 1511.9136 | 1622.3728 | 1774.3829 | 1019.6942 | 371.5818 |
| 9 | 1473.3130 | 1604.6862 | 1849.3771 | 2046.7040 | 929.7399 | 453.9942 |
| 10 | 1561.9556 | 1691.7762 | 2028.9635 | 2230.6973 | 1001.9221 | 354.2059 |
| 11 | 1672.3614 | 1760.1234 | 2148.0990 | 2344.0079 | 1018.0389 | 346.9338 |
| 12 | 1827.3294 | 1833.8891 | 2249.2494 | 2344.9372 | 1119.4497 | 237.5096 |

감사의 글

본 연구는 건설부의 1993년도 『한강수계 홍수에 보 프로그램 개선』 연구사업의 일환으로 수행되었으며, 건설부와 연구수행에 많은 조언을 해주신 김남원 선임연구원에게 감사를 표하는 바이다.

참 고 문 헌

1. Jamieson, D.G., J.C. Wilkinson, and R.P. Ibbiis, "Hydrologic Forecasting with Sequential Deterministic and Stochastic stages", Intl. Symp. on Uncertainties in Hydrologic and Water Resource Systems, Tucson, Arizona, 1972.
2. Keefer, T.N., "Comparison of Linear Systems and Finite difference Flow Routing Techniques", in Water Resources Research, Vol. 12, No. 5, Oct, 1976.
3. Natale L. and E. Todini, "A Constrained Parameter Estimation Technique for Linear Models in

표 11. 수위 변화의 추세를 고려한 2수준 회귀분석결과

| 예측 선행 시간 | 구분 | 5.0m이하 | | 5.0m이상 | |
|----------------|----------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | | 수 위 감 소 | 수 위 증 가 | 수 위 감 소 | 수 위 증 가 |
| 1 | R ² | 0.9858 | 0.9990 | 0.9936 | 0.9979 |
| | RMSE | 127.6323 | 11.2847 | 100.5074 | 30.5165 |
| 2 | R ² | 0.9617 | 0.9964 | 0.9853 | 0.9955 |
| | RMSE | 350.5076 | 42.6532 | 230.6857 | 66.2165 |
| 3 | R ² | 0.9374 | 0.9915 | 0.9500 | 0.9919 |
| | RMSE | 567.8341 | 101.5722 | 788.8724 | 116.7102 |
| 4 | R ² | 0.9140 | 0.9850 | 0.8974 | 0.9898 |
| | RMSE | 773.4084 | 179.5979 | 1619.9591 | 150.1841 |
| 5 | R ² | 0.8961 | 0.9774 | 0.8720 | 0.9878 |
| | RMSE | 940.2373 | 271.2767 | 1890.2032 | 180.7128 |
| 6 | R ² | 0.8781 | 0.9698 | 0.8635 | 0.9833 |
| | RMSE | 1106.1858 | 362.9722 | 2083.5944 | 247.7452 |
| 7 | R ² | 0.8452 | 0.9618 | 0.8461 | 0.9795 |
| | RMSE | 1405.2263 | 459.2405 | 2430.1003 | 304.4318 |
| 8 | R ² | 0.8118 | 0.9542 | 0.8583 | 0.9758 |
| | RMSE | 1723.2588 | 551.5401 | 2162.1573 | 351.2141 |
| 9 | R ² | 0.7674 | 0.9486 | 0.8831 | 0.9744 |
| | RMSE | 2074.9983 | 618.5544 | 1783.8358 | 372.2333 |
| 10 | R ² | 0.7314 | 0.9389 | 0.8493 | 0.9743 |
| | RMSE | 2417.1797 | 739.9508 | 2156.1534 | 373.1198 |
| 11 | R ² | 0.6854 | 0.9216 | 0.8460 | 0.9751 |
| | RMSE | 2806.2015 | 944.2523 | 2274.4060 | 377.2731 |
| 12 | R ² | 0.6489 | 0.8964 | 0.9185 | 0.9747 |
| | RMSE | 3159.3556 | 1235.9776 | 1331.5815 | 374.6588 |

Hydrology”, Pub.No.13,Inst. of Hydraulics,U of Oaris,Italy, 1974.

- Rao,A.R.,C.Rukvichai and P.C.Tao, “Stochastic Forecasting Models of Reservoir Inflows for Daily Operation, III.Models of Nolin Baren and Green Reservoir Inflows”,Purdue University,School of Civil Engineering,Hydraulics and Systems Engineering, Report CE-HYD-77-1, April, 1977.
- Stevens,S.,A.R.Rao,G.H.Toebes and A. Chassiakos,“Green River Data Base System”, Purdue University,School of Civil Engineering, Hydraulics and Systems Engineering, Report CE-HSE-78-2,Oct., 1978.
- Tao,P.C.,A.R.Rao and C.Rukvichai, “Stochastic Forecasting Models and Reservoir Inflows for Daily Operation,I.Modek Development and Application to Rough River Reservoir Inflows”, Purdue University,School of Civil Engineering,Hydraulics and Systems Engineering, Report CE-HYD-75-8, Aug. 1975.
- Toebes,G.H. and C.Rukvichai, “Operating Policy Adaptions for a Reservoir system”, Purdue University Water Resources Research Center, Tech.Report 79, Aug., 1976a.
- Yazicigil,H.,A.R.Rao and G.H.Toebes, “The Green River Basin routing Model”, Purdue University, School of Civil Engineering, Hydraulics and Systems Engineering,Report CE-HSE-79-1,Nov., 1979.
- 건설부, “한강수계유출프로그램개선방안”, 1991.

〈접수 : 2/4〉