

安城川 洪水 豫警報 프로그램 開發

Development of Flood-Forecasting and Warning-System
Programs for the Anseong-cheon Basin

김창완* 김중희** 장용섭** 안계현***

1. 서론

홍수를 사전에 예보하여 홍수로 인한 피해를 예방하고 경감시킬 수 있도록 5대강 홍수 예경보 시스템이 이미 가동 중에 있다. 그러나 5대강 유역 외에 직할 하천이 포함되어 있는 중·소 하천에도 최근 산업의 급속한 발달과 토지 이용도의 제고에 따라 그림 1에 보인 바와 같이 홍수 피해 지수가 증가함에 따라 홍수 예경보 시스템의 설치가 요구되고 있다. 이 중에서 과거 홍수 피해 규모가 크고 피해 잠재성이 큰 안성천과 형산강 유역을 대상으로 기본 계획 조사³⁾를 1993년에 수행하였다. 이를 토대로 안성천 유역에 대한 홍수 예경보 프로그램 개발⁷⁾을 1994년에 수행하였다.

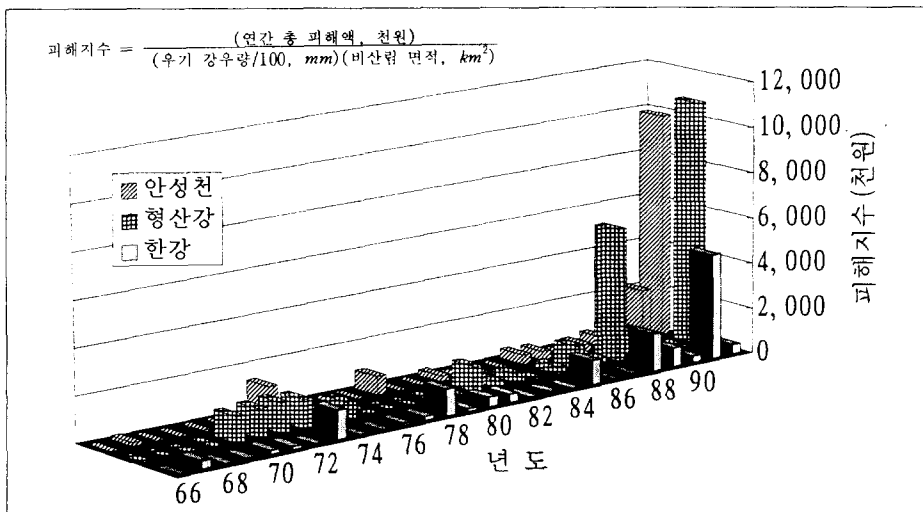


그림 1 연도별 피해 지수

* 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원

** 건설교통부 한강홍수통제소 조사과 토목주사

*** 건설교통부 한강홍수통제소 조사과 사무관

2. 기본 계획 조사 개요

2.1 홍수 예보 모형 선정

홍수 예보 방법으로 'alert' 방법, 수위법, 강우-유출법을 투자 비용과 효용성에 중점을 두어 비교·검토하여, 강우-유출법을 채택하였다. 강우-유출 계산법은 유효 우량, 유역 유출, 하도 유출 계산 방법에 어떤 모형을 채택하느냐에 따라 수 많은 모형이 가능하다¹⁰⁾. 본 유역 기존 수문 자료의 질과 예보 시스템 운영자의 수문학적 기술 수준을 고려할 때, 유효 우량 산정에는 '초기 유출율+포화 유출율+포화 우량' 방법(기존 저류 함수법에서 사용), 유역 유출에는 단위도를 이용한 수문 곡선 합성법, 하도 유출에는 'kinematic wave' 방법을 채택하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

2.2 수문 관측소 선정

우리나라의 경우 아직 우량 관측소 지배 면적과 오차의 관계를 조사한 결과가 제시되어 있지 않으므로 미국 National Weather Service의 자료⁹⁾를 이용하여 강우 표준 오차를 계산하였다. 본 유역의 동연교 지점의 실측 자료를 이용하여 검토한 결과에 의하면 10%의 강우 표준 오차는 1% 정도의 수위 수문 곡선의 형상 오차율을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 대유역의 경우 3% 이내의 형상 오차율이 허용되는 관례를 감안할 때, 중·소 하천 유역에서 1% 정도는 허용될 수 있을 것으로 판단되었다³⁾.

수문 관측소의 위치 선정은 가용한 기존 시설을 그대로 이용하고 전체 유역에서 강우의 표준 오차가 10% 이내에 들도록 우량 관측소를 증설하기로 하였으며, 합류 계산에 꼭 필요한 하천 지점에 수위 관측소를 증설하기로 하였다. 전과 소통 시험⁶⁾을 통하여 최종적인 수문 관측소 위치를 선정하였으며, 우량 관측소로 16개소(T/M 관측소 13개소, 기상청 AWS 3개소), 수위 관측소로 5개소의 위치와 소유역 분할은 그림 2에 보인 바와 같다.

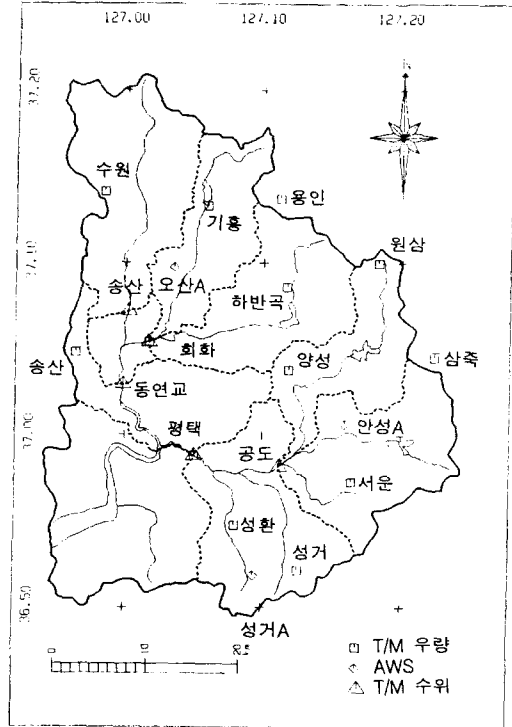


그림 2 수문 관측소 위치와 소유역 분할

3. 유출 계산 세부 모형 개발

3.1 수문 자료 결측 보완

우량 결측 보완 방법으로 단순 평균법, RDS 방법을 비교 검토한 후, RDS 방법을 제시하였다. 수위 결측 보완 방법으로 선형 외삽법과 비선형 외삽법을 비교 검토한 후, 선형 외삽법을 제시하였다. 제시된 방법들은 기존 한강 홍수 예경보 시스템에서도 사용되고 있는 방법이다.

3.2 강우 예측

Yen과 Chow 방법¹¹⁾을 적용하여 기존 우량 관측소에 대한 호우 지속 시간·총 강우량 규모·꼭지점 위치(a^0)의 상관성을 3차원 그래프 이용하여 분석을 시도하였으나, 매우 낮은 상관성을 보이므로 이를 기각하였다. 그러나 동일 기간에 대한 우량 관측소의 우량 분포를 그림 3에 보인 바와 같이 시·공간적으로 표시하였을 때, 삼각형 꼭지점의 위치는 강우 진행 방향과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 즉, 강우가 진행해 오는 쪽에서는 삼각형 꼭지점이 앞부분에 위치하며, 진행해 가는 쪽에서는 뒷부분에 위치함을 알 수 있다.

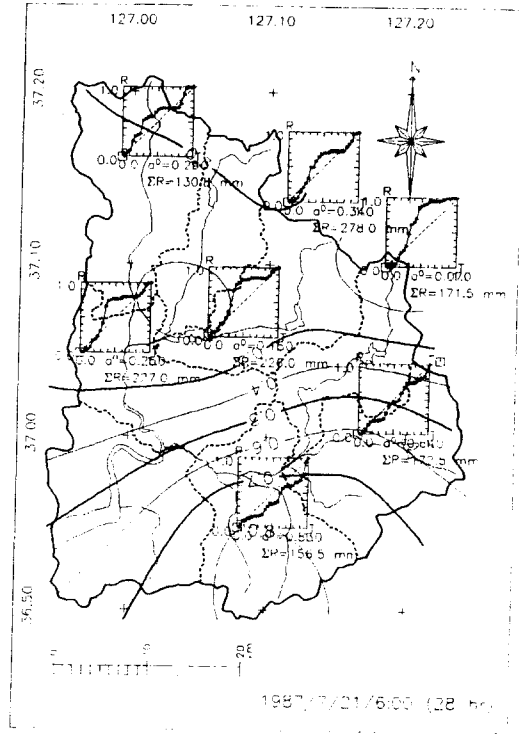


그림 3 a^0 값의 시·공간 분포(1987년 7월 21일)

3.3 유효 우량 산정 방법

기본 계획 조사에서 제시된 바와 같이 '초기 유출율+포화 유출율+포화 우량'에 의한 유효 우량 산정 모형을 채택하였다. 이 방법은 우리나라 기존 홍수 예경보 시스템에서 채택하고 있는 방법으로 홍수 예보 실무자에게 그 개념이 비교적 잘 알려져 있다. 이 방법의 적용을 위한 모형 상수의 초기 값은 과거 우량 자료에 SCS 유효 우량 산정 모형을 적용하여 그림 4와 같이 구하였다.

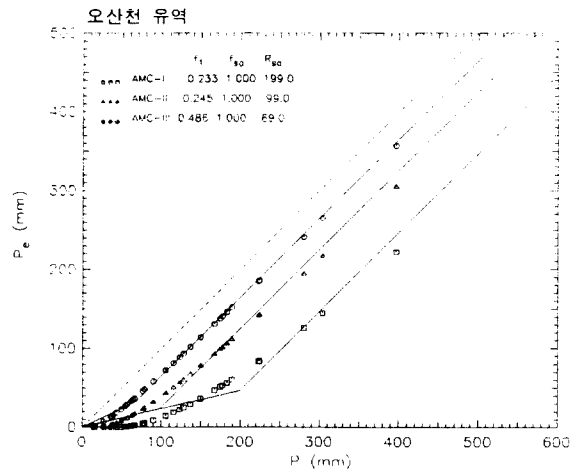


그림 4 초기 유출율과 포화 유출율 및 포화 우량

3.4 유역 유출 모형

본 유역의 9개 분할 소유역 출구점에는 과거 수문 기록이 거의 없으므로 실측 수문 자료를 이용하여 단위도를 작성할 수는 없었다. 국내의 합성 단위도 연구 경향을 살펴보면 Snyder, SCS, Nash 방법 등이 주종을 이루고 있다¹⁾. 이 중에서 시간 단계별로 단위도 증거를 수식에 의해 추정할 수 있는 방법은 Nash 방법이며, 건설부의 연구 결과에는 전국 유역을 대상으로 한 Nash형 합성 단위도 특성 변수 추정 도표가 제시되어 있다²⁾. 본 유역의 동연교 수위 관측소 유역에서 구한 단위도의 특성 변수를 이 결과에 대입해 본 결과 적용 가능성이 있음을 알 수 있었다. 건설부의 합성 단위도 특성 변수 추정 도표에 본 유역에서 구한 단위도의 특성 변수를 추가하여 회귀식으로 표시하면 다음과 같으며 이를 적용하여 구한 본 유역 9개 소유역의 Nash형 단위도는 그림 5에 보인 바와 같다.

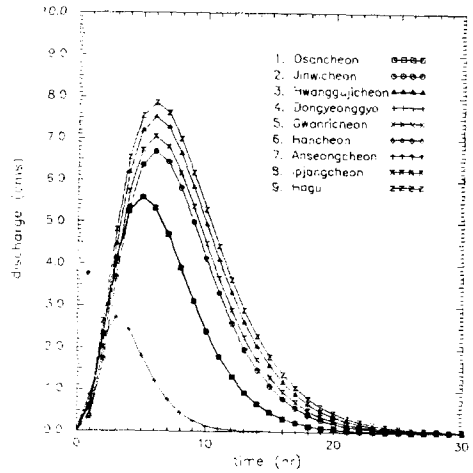


그림 5 소유역별 단위도

■ 단위도 침투 시간 추정식 : $t_p = 0.701A^{0.389}$ ($r^2 = 0.718$)

■ 단위도 침투 유량 추정식 : $q_p = 0.987A^{-0.403}$ ($r^2 = 0.744$)

여기서, t_p 는 침투 시간(hr), q_p 는 침투 유량(mm/hr), A 는 유역 면적(km²), r^2 는 결정 계수이다.

3.6 하도 유출 모형

하도 유출 계산에는 $LBdh = dt(Q_i - Q_o)$ 와 같은 수문학적 kinematic wave 방정식을 이용하였다. 여기서 L 는 하도 길이(m), B 는 수면 폭 (m), Q_i 는 유입량(cms), Q_o 는 유출량(cms), dh 는 수심 증가량(m), dt 는 계산 시간 간격(hr)이며, 하도 길이와 수면 폭은 하도 구간의 대표 값임에 주의해야 한다. Q_i 와 Q_o 는 동류 가정에 의한 유량이다. 본 유역 7개 분할 하도에 대한 기하 특성(하도 길이, 경사, 수면 표고-흐름 단면적-수면 폭 관계)과 수리 특성(조도 계수)은 건설부의 하천 중·형단 측량 성과^{4, 5)}를 이용하여 구하였다. 본 유역의 분할 하도는 모두 광폭 구형 수로라고 간주될 수 있다.

본 유역 최하류단에 있는 아산 방조제의 운영 자료를 수집해 분석해 본 결과, 방조제 관리 지침에 의거 홍수시 철저한 사전 내수 배제를 실시하므로써 아산호 내수위의 상승은 미약했다⁸⁾. 이를 감안할 때, 동연교와 평택 수위 관측소 지점까지는 背水 영향이 미치지 않을 것으로 생각된다.

4. 유출 모형 프로그램 작성

4.1 유출 모형 프로그램 구성

앞에서 검토된 세부 모형을 종합하여 강우로부터 유출을 계산해 내는 프로그램을 포트란 언어를 이용하여 작성하였다. 프로그램은 6단계로 구성되어 있다. a1mast.f는 마스터 화일을 초기화하거나 기존 화일 중에서 채택하는 작업, a2age.f는 오라클(Oracle) 데이터 베이스에서 실측 자료를 읽는 오는 작업, a4rain.f는 강우 예측 작업, a5run.f는 유역 유출량, 하도 유입량·유출량을 계산하는 작업, a8fcst.f는 예측 유량을 수위로 환산하는 작업, a9plot.f는 플롯터에 우량 주상도와 실측·예측 수위 수문 곡선을 작도하는 작업을 담당한다.

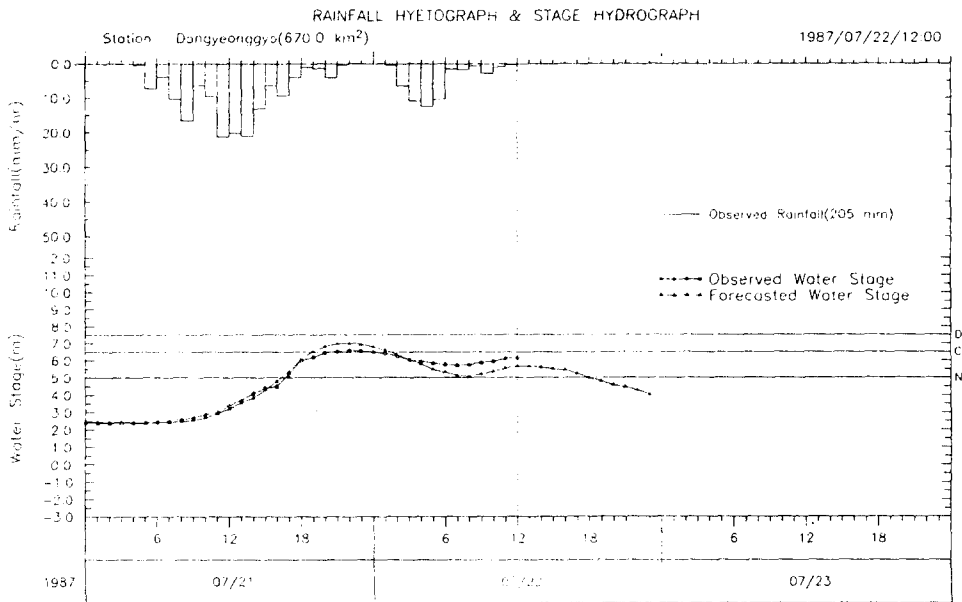


그림 6 1987년 7월 21일~7월 22일 홍수 사상의 2차 유출 계산

4.2 유출 모형 프로그램 검증

본 연구에서 제시된 모형 상수 초기 값을 이용하여 4개 홍수 사상에 대하여 테스트 런을 실시하였다. 1차 테스트 런 결과 계산치가 실측치로부터 많이 벗어나지는 않았으나 정확성이 높지는 않았다. 홍수 사상별로 초기 값을 약간 수정하여 2차 테스트 런을 실시한 결과 계산치가 실측치를 잘 재현하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 6은 1987년 7월 21일~22일 홍수 사상에 대한 동연교 수위 관측소 지점의 실측치와 2차 테스트 런의 계산치를 비교한 것이다.

4.3 전산 시스템 프로그램 개발

전산 시스템 프로그램을 오픈 윈도우 기반에서 작성하였기 때문에 텍스트 화면에서 시스템을 제어하는 방식에서 탈피한 GUI(Graphic User interface) 방식의 채택이 가능하였다. 홍수 예경보 시스템의 운영은 그래픽 처리가 가능한 SUN Sparc을 이용하였다. 시스템 프로그램의 운영 화면은 그림 7에 보인 바와 같으며 주로 마우스(mouse) 통해 작업이 이루어진다. 운영 화면 좌측에 실측 우량 주상도와 예측·실측 수위 수문 곡선 출력을 위한 화면이 준비되어 있다. 수문 자료의 입·출력은 오라클 데이터 베이스를 통해 관리되도록 프로그램을 작성하였다.

우량 주상도·수위 수문 곡선출 위한 화면	<input type="checkbox"/> 예 측 지 점 제 어			
	<input type="checkbox"/> 예측지점 <input type="checkbox"/> 평동연고		<input type="checkbox"/> 참고지점 <input type="checkbox"/> 공회송 <input type="checkbox"/> 도화산	
	PLOT		PRINT	
	CLEAR		작업종료	
<input type="checkbox"/> 프 로 그 램 실 행 제 어				
<input type="checkbox"/> 데이터파일생성 <input type="checkbox"/> 마스터파일 <input type="checkbox"/> 에 이 <input type="checkbox"/> 강우 예측 <input type="checkbox"/> 유출 상수 (실행)		<input type="checkbox"/> 프로그램실행 <input type="checkbox"/> 마스터작업 <input type="checkbox"/> 에 이 <input type="checkbox"/> 강우 예측 <input type="checkbox"/> 유출계산 <input type="checkbox"/> 유출예측 <input type="checkbox"/> 플로팅 (실행)		
LIST 파일출력				
<input type="checkbox"/> LST. A2 <input type="checkbox"/> LST. A4 <input type="checkbox"/> LST. A5 <input type="checkbox"/> LST. A8 (실행)				
홍수개시시간 : _____		예측수행현황		
현재 시간 : _____		<table border="1" style="width: 100px; height: 30px;"> <tr><td> </td></tr> </table>		
홍수종료시간 : _____				
현재 위치 : _____				
현재 오차 : _____				
MESSAGE : _____				

그림 7 시스템 프로그램의 운영 화면

5. 결론

이번 연구의 종료로 안성천 홍수 예경보 시스템의 프로그램 부문은 완성되었지만, 아직 수문 관측소 시설과 전파 송·수신 시설이 공사 중에 있어 시스템의 운용은 불가능 실정이다. 제한된 과거 자료만으로 모형을 검정한 것이기 때문에 모형 상수의 초기치가 정확하다고 할 수는 없다. 차후 실측 자료가 어느 정도 축적되면 모형 개선 및 모형 상수 수정이 수행되어야 할 것이다.

<참고 문헌>

1. 건설부, 1991년도 수자원 관리 기법 개발 연구 조사 보고서, 1991.
2. 건설부, 1993년도 수자원 관리 기법 개발 연구 조사 보고서, 1993.
3. 건설부, 안성천, 형산강 홍수 예경보 시스템 기본 계획 조사, 1993.
4. 건설부, 안성천 하상 변동 조사 1988.
5. 건설부, 안성천 하천 정비 기본 계획, 1979.
6. 건설부 한강홍수통제소, 안성천 유역 홍수 예경보 시설 실시 설계 보고서, 1994.
7. 건설부 한강홍수통제소, 안성천 홍수 예경보 프로그램 개발, 1994.
8. 농업진흥공사, 평택지구 다목적 농업 개발 사업 1976년도 수문 보고서, 1976.
9. National Weather Service, "National Weather Service. River Forecasting System, Forecast Procedures," National Oceanographic and Atmospheric Administration Technical Memorandum, NWS HYDRO. 14, 1972.
10. Singh, V. P., Hydrologic Systems; Volume I Rainfall-runoff Modelling, Prentice Hall, 1988.
11. Yen, B.C. and Chow, V.T., "Design Hyetographs for Small Drainage Structures," Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 106, No. HY6, pp 1055-1076, 1980.