

# 중소하천 홍수예보시스템



**김경탁 >>**  
한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원  
kikim1@kict.re.kr



**김주현 >>**  
한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원  
jh-kim@kict.re.kr



**최윤석 >>**  
한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원  
yschoi51@kict.re.kr

## 1. 머리말

지난 1998년 서울 및 경기북부 홍수시 한강 수계의 중랑천과 안양천이 범람위기를 맞은 것을 계기로 기존의 대하천 위주의 홍수예보에서 주요 중소하천에 대한 홍수예보의 필요성이 대두되었다. 2000년 건설교통부에서는 『주요지천 홍수예경보시스템 기본계획 조사』를 완료하고 2001년~2002년 한강수계의 중랑천, 왕숙천, 탄천, 안양천과 금강수계의 갑천, 낙동강 수계의 금호강, 영산강수계의 지석천 등 7개 주요지천을 대상으로 수위 및 유량관측소 신설을 통한 실시설계와 함께 주요지천 홍수예보시스템을 구축하게 되었다. 이때 도달시간이 짧은 중소하천에서의 홍수예보 가능성에 대한 판단은 당시 기상청에서 제공하는

수치예보자료의 신뢰성에 전적으로 의존하여 내린 것이었다.

홍수예보의 목적은 범람 위험이 예상되는 예보지점의 주민들에게 경보 발령 후 대피할 수 있는 시간(그림 1의 가용선행시간)을 확보해 주기 위해서이다. 홍수예보를 발령하기 위해서는 유역으로부터의 유출현상을 예측해야 하는데 이는 기본적으로 관측된 강우 자료를 이용하여 예보 지점의 향후 유량 상승 정도를 예측하는 강우-유출 분석을 수행하여야 한다. 그러나 도달시간이 경우에 따라서는 1시간조차 되지 않는 중소하천에서는 예보관이 유출 분석에 소요되는 시간을 포함한 선행시간을 확보하기 어려우며 최소한 30분 정도의 가용선행시간조차 시민들에게 확보해 줄 수 없게 되어 사실상 예보가 불가능하게 된다. 따라서 이런 지역의 예보를 위해서는 예측된 강우자료를 사용하여야 하며, 예보의 정확도는 강우-유출모형의 정확도보다는 입력된 예측 강우량의 정확도에 의존하게 된다.

본 고에서는 현 시점에서 홍수예보 실무에 바로 이용할 수 있는 정량적 강우예측 방법에 대해 살펴보고 수문학적 입장에서의 수치예보자료에 대한 검토와 예

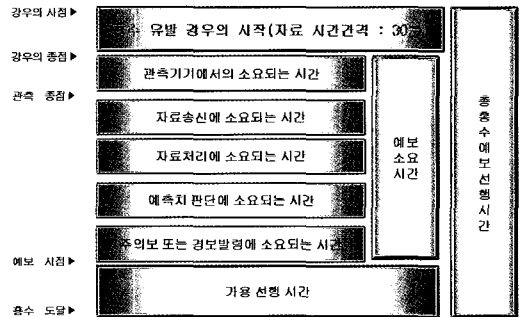


그림 1. 홍수예보 선행시간(lead time)의 구성

측 강우량을 이용하지 않고 홍수예보를 수행할 수 있는 통계학적 모형에 대해 서술하고자 한다.

## 2. 정량적 강우예측 자료

강우 예측을 위한 경험적 방법으로 현 강우량 유지법, 3시간 평균 강우량 유지법 등이 있으나 이들은 실무에서 사용하기는 어렵다. 현재 건설교통부에서는 강우관측을 주목적으로 강화도 강우레이더를 시작으로 2011년까지 전국에 강우레이더 11기를 설치하여 홍수예보에 이용할 계획으로 있다. 그러나 강우레이더가 실무에 이용되기까지는 아직 많은 시간이 필요하다. 따라서 본 절에서는 기상청을 중심으로 연구, 적용되고 있는 강우예측 자료들에 대해 검토해 보고자 한다.

### 2.1 기상레이더를 이용한 강우량 예측 자료

건설교통부의 강우레이더 관측망이 완성되고 실무

에 이용되기 이전까지 전국적으로 이용 가능한 레이더 강우자료는 기상청의 기상레이더에서 생산되는 강우자료라 할 수 있다. 현재 기상청에서는 10대의 도플러 레이더를 운영하고 있으며, 매 10분마다 레이더사이트의 개별영상, 합성영상 및 정량적 강수량 자료를 생성하고 있다(그림 2). 레이더자료의 처리는 기상청 기상레이더과에서 담당하고 있으며 현재 시가에 대한 실황 자료를 생산하고 있다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 중소하천 홍수예보를 위해서는 현재 시각의 강우자료가 아닌 단기 강우예측자료가 필요하다.

레이더 관측 자료를 이용하여 예측 자료를 만들기 위해서는 단기 강우예측모형을 이용하여야 하며, 미국의 TITAN(Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting)모형, 일본의 VSRF(Very-Short-Range Forecasting of precipitation)모형 등이 그 예이다. 그러나 이들 각 모형들은 모형을 개발한 국가에 심각한 영향을 주는 기상 현상에 초점을 맞추어 개발된 것이다. 우리나라는 지형이 복잡하고 그로 인한 국지적 기상 변화가 심하므로 미국과 같은 대평원의 모형이나 해양성 기

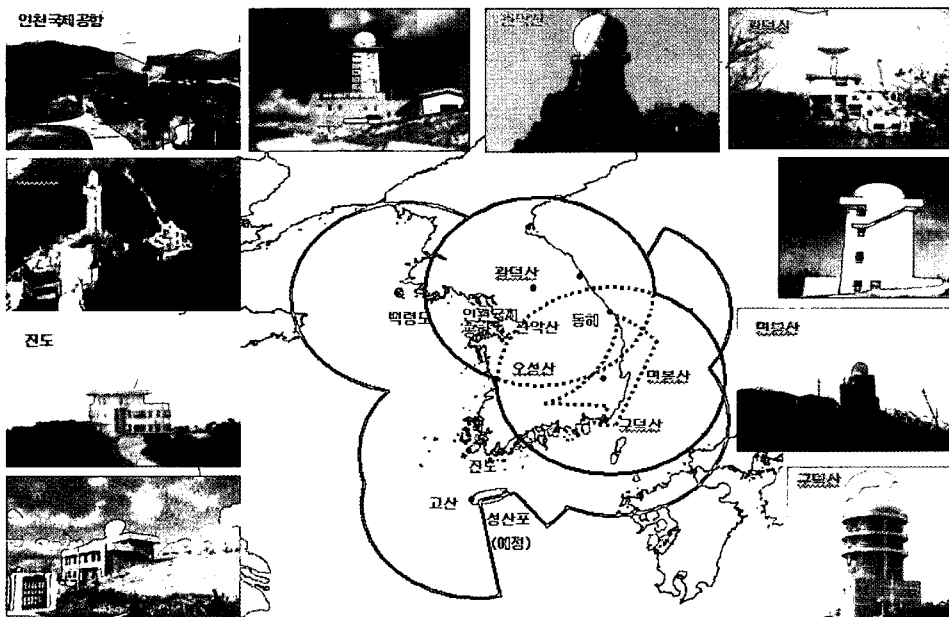


그림 2. 기상청 기상레이더 네트워크

후를 지닌 일본의 모형을 도입하는 것은 어려운 실정이다(건설교통부, 2003). 따라서 우리나라의 지형, 기후 및 기상현상에 적합한 단기예측모형의 개발이 필요한 실정이며 이에 대한 연구가 기상학자들 사이에서 활발히 진행되고 있다.

즉, 세계 각국에서 많은 단기 강우예측 모형들이 개발되어 시험 및 운영되고 있지만 현업에서 운영될 만큼 안정적이고 정확한 자료를 산출하는 단기 강우예측 모형은 아직 미흡한 실정이다. 이는 국내 현실도 같은 상황이라 할 수 있다. 아직까지 기상청에서는 레이더자료를 이용한 단기 강우예측 자료를 공식적으로 제공하고 있지 못하고 있으므로 현재의 지천홍수예보 시스템에서 이를 활용하기는 어려운 실정이다.

## 2.2 디지털예보 자료종 강수량 예측 자료

최근 기상청에서는 디지털예보개발과를 신설하여 동단위 강수예보를 시범적으로 실시하기 시작하였다

(그림 3). 2005년 11월 1일부터 시범 실시한 디지털예보는 전국을 5km 단위로 구분해 3만7천여개 읍·면·동 지역의 시간대별 날씨 정보와 기온·풍향·습도·하늘 상태 등 12가지 기상정보를 3시간 간격으로 최장 48시간까지 제공하고 있다. 예보지역은 동쪽으로는 독도, 서쪽으로는 격렬비열도, 남쪽으로 이어도 지역까지 확장되며 자료는 그래픽·도표·음성·격자자료 등 다양한 형식으로 제공되고 있다.

이 디지털예보는 30km 격자간격을 갖는 RDAPS (Rigonal Data Assimilation and Prediction System)모형의 결과를 근간으로 하여 GIS를 이용하여 각 지역에 대해 고도에 대한 보정 등을 실시한 후 5km 격자로 변환하여 발표되는 자료이다. 30km 격자간격의 RDAPS 모형의 결과를 이용하여 각 기상청 지구별 예보관이 해당 지역의 지형을 고려하고 객관적 절차에 의하여 예측 값을 보정하여 발표하는 자료이며 강수량의 경우 12시간 누적강수량 형태로 예보하게 된다. 즉, 오전 03시부터 3시간 간격(03시, 06

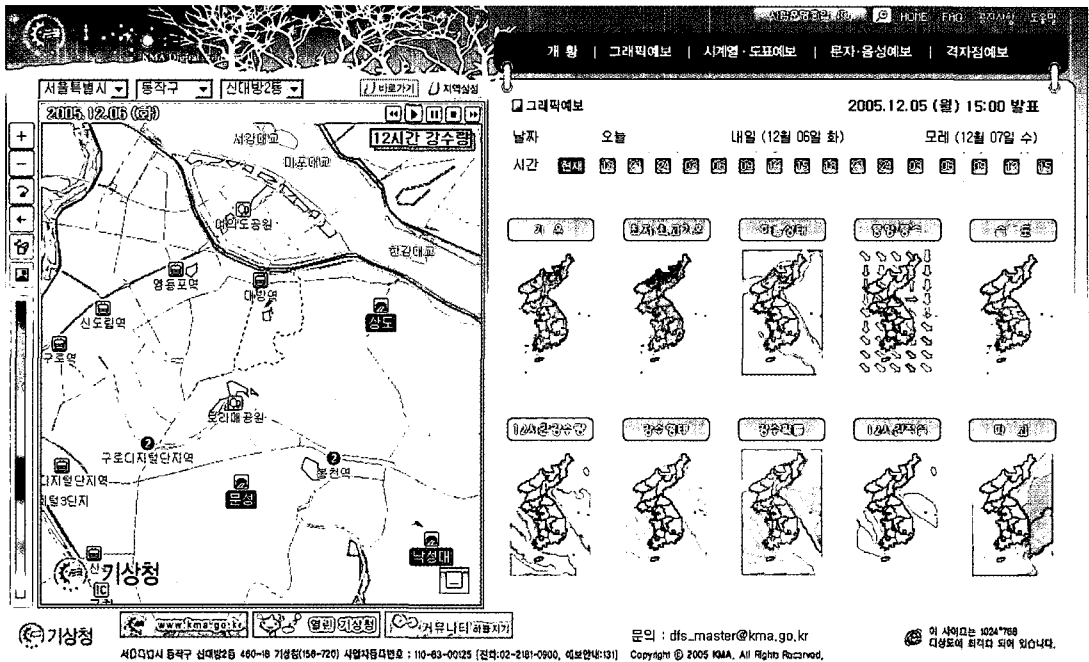


그림 3. 기상청 디지털예보 화면(www.digital.go.kr)

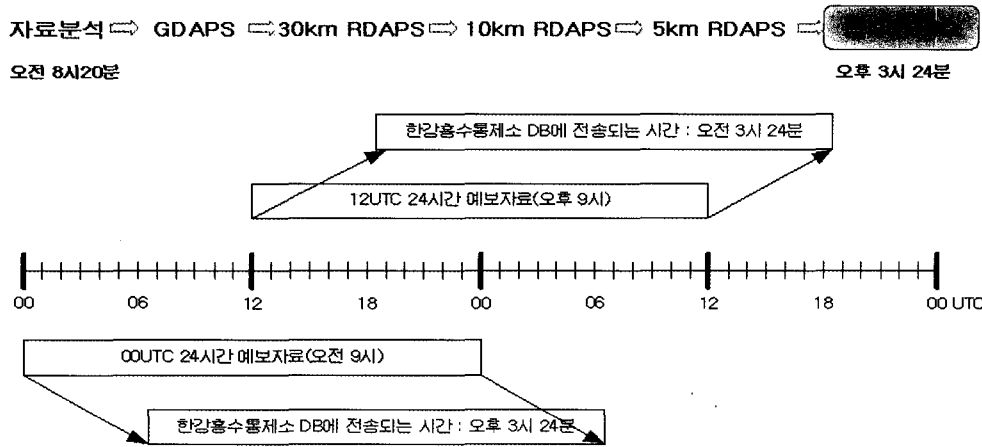


그림 4. 수치예보자료 분석 단계 및 한강홍수통제소 DB로의 전송 시각

시, 09시, 12시, 15시, 18시, 21시, 24시)으로 각 시 각대별로 향후 12시간의 누적 강우가 얼마나 올 것인가를 예보하는 형태이다.

그러나 홍수예보시스템의 수문모형에서 이용하기 위해서는 향후 30분 또는 1시간 단위의 예측 강우량 값이 제공되어야 하며, 시스템 측면에서 분석된 자료가 전국적으로 통합되어 일정한 시각에 홍수통제소로 제공되어야 하나 아직까지 디지털예보 자료는 이러한 형태로 제공되고 있지 못하고 있다. 따라서 디지털예보 자료중 강우 예측자료 또한 현재로서는 지천홍수예보시스템에서 이용되기 어려운 실정이다.

### 2.3 수치예보 자료중 강우량 예측 자료

기상청의 정량적 강우량 예측자료중 현 시점에서 공식적으로 제공되어 홍수예보 실무에서 이용 가능한 강우 예측자료는 수치예보자료가 유일하다. 현재 한강홍수통제소로 제공되는 수치예보자료는 5km 격자 간격을 갖는 고해상도 RDAPS자료로 00UTC (Universal Time Coordinated)와 12UTC에 1시간 단위의 강우량을 향후 24시간동안의 예측한 자료로 제공된다. 그러나 기상청 슈퍼컴퓨터에서 수치예보프로그램 가동 후 자료처리, 모형구동, 자료변환 등의

각 과정을 거치고 기상청 내의 각 서버를 거쳐 한강홍수통제소로 전송되므로 실제로는 00UTC 자료(한국시간 오전 9시)는 6시간 24분후인 한국시간 오후 3시 24분경에 한강홍수통제소 DB에 저장되고 있다 (그림 4). 따라서 약 7시간의 자료는 이전 단계(전날 12UTC 예측자료)의 예측자료를 이용하여야 한다.

기상청에서 한강홍수통제소로 제공되는 5km 격자의 수치예보자료는 강우자료를 포함한 다양한 기상정보가 함께 압축된 형태로 제공되고 있으며 그 용량은 약 80MB가 된다. 데이터 맵핑은 램버트 컨포멀 (lambert conformal conic projection)로 지구반경 6370.19584m, 표준위도 N60, N30, 중심위경도 N30, E126이며 중심 격자는 X방향 57.5, Y방향 - 63.7을 채택하고 있다. 5km 간격의 수치예보 포인트는 동서방향으로 141개 남북방향으로 141개의 격자를 구성하고 있다. 이를 TM 좌표계로 전환하여 나타내면 그림 5와 같다.

#### (1) 기상청에서의 수치예보자료의 검증

기상청에서는 매년 현업에서 운영되는 수치예보 모델에 대한 검증을 실시하여 보고서로 발간하고 있다. 검증방법은 WMO 권고사항의 표준 방법을 따르며, 기온, 바람 등에 대해서는 연속 변수형 검증방법

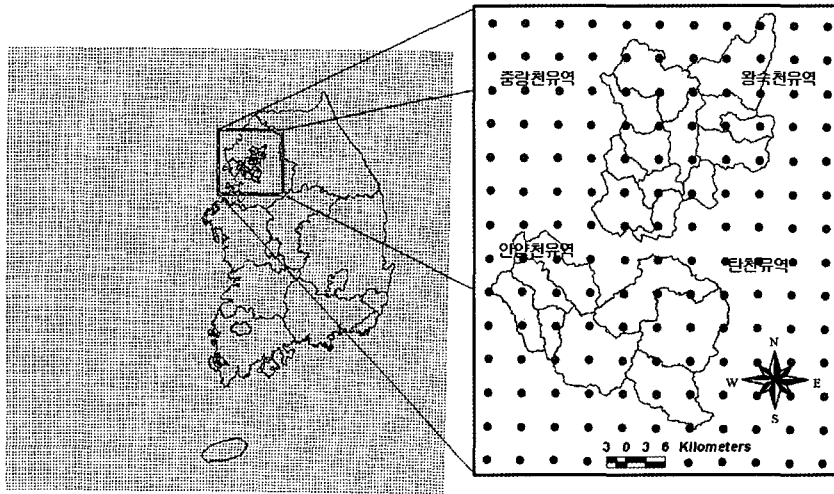


그림 5. 기상청 수치예보자료의 격자 포인트

을, 강수, 안개 등에 대해서는 범주형 검증방법을 따라 수행하고 있다. 지천 홍수예보 시스템에서 사용되는 강수는 범주형 검증방법을 따르며, 이는 양분 예보(dichotomous)에 속하는 것으로 양분 예보는 “사건이 일어날 것인가?”에 대해 “예 혹은 아니오”라고 말하는 것과 같은 예보를 말한다. 즉, 예보와 발생 각각에 대한 “예”와 “아니오”의 빈도수를 보여주는 분할표(contingency table)를 이용하여 예보와 발생에 대한 “예”와 “아니오”로 구성된 4개의 조합으로 구성된다(기상청 2004).

- ① 맞힘(hit) : 사건이 발생할 것으로 예측, 실제로 발생
- ② 놓침(miss) : 사건이 발생하지 않을 것으로 예측, 실제로 발생
- ③ 거짓 알람(false alarm) : 사건이 발생할 것으로 예측, 실제로 발생하지 않음
- ④ 부의 정확(correct negative) : 사건이 발생하지 않을 것으로 예측, 실제로 발생하지 않음.

완벽한 예보 체계일 경우는 단지 맞힘(hits, 이하 H)과 부의 정확(correct negatives, 이하 C)만이 존재하고 놓침(miss, 이하 M)과 거짓 알람(false alarms, 이하 F)이 없는 결과를 산출한다. 또한, 예

보 성능의 특정 상태를 설명하기 위해 분할표에 있는 요소들을 가지고 다양한 형태의 범주형 통계를 계산하여 다음과 같은 항목을 이용하고 있다.

- ① 정확도(accuracy) : 값의 범위는 0에서 1이며 완벽한 예보는 1의 값을 갖는다.

$$\text{accuracy} = \frac{H+C}{H+M+F+C} \quad (1)$$

- ② 치우침(bias score) : 값의 범위는 0에서 무한대까지이며 완벽한 예보는 1의 값을 갖는다. 1보다 작은 값은 예보 시스템이 과소 예보 경향을, 1보다 큰 경우에는 예보 시스템이 과대 예보 경향을 갖는다고 말한다.

$$\text{bias score} = \frac{H+F}{H+M} \quad (2)$$

- ③ 성공 임계 지수(CSI, Critical Success Index): Threat Score(TS) 또는 Gillbert Score로도 불리며 값은 0과 1의 값을 가지며, 1은 완벽한

표 1. 분할표(Contingency Table)

		Forecast		
		yes	no	Total
Observed	yes	H(hits)	M(misses)	observed yes
	no	F(false alarms)	C(correct negatives)	observed no
Total		forecast yes	forecast no	total

표 2. 5km Bias Score(무차원)

FCST	FCST	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ave.
Rain or Not	12hr	1.70	1.50	1.41	1.28	1.30	1.23	0.94	0.80	0.93	1.72	1.38	2.68	1.41
	24hr	1.81	1.61	1.50	1.28	1.26	1.34	0.87	1.03	0.94	1.88	1.43	2.73	1.47
5.0mm 이상	12hr	1.15	0.84	1.20	0.96	1.02	0.92	0.64	0.44	0.54	0.87	0.79	1.27	0.89
	24hr	1.90	0.80	1.04	1.01	1.03	0.95	0.64	0.64	0.61	1.14	0.99	1.55	1.03
15.0mm 이상	12hr	0.44	1.05	0.80	0.78	0.99	0.78	0.55	0.46	0.46	0.57	0.64	0.69	0.68
	24hr	0.94	1.07	1.14	0.75	0.91	0.95	0.57	0.59	0.56	0.48	0.95	0.62	0.79
25.0mm 이상	12hr	0.33	1.14	0.60	0.71	0.96	0.88	0.50	0.59	0.45	0.40	0.62	0.00	0.60
	24hr	0.67	1.71	0.80	0.66	0.75	1.05	0.52	0.64	0.61	0.00	0.62	0.00	0.67
50.0mm 이상	12hr	0.00	0.00	0.00	0.15	0.85	0.72	0.58	0.64	0.38	0.00	3.00	0.00	0.53
	24hr	0.00	0.00	0.00	0.88	0.59	0.76	0.72	0.74	0.71	0.00	3.00	0.00	0.62

예보를 의미한다.

$$TS = CSI = \frac{H}{H+M+F} \quad (3)$$

기상청에서 매년 발행하는 수치예보시스템에 대한 검증 보고서에는 위 3가지 검증 방법 중에서 Bias Score와 Threat Score 에 대해서 전년도에 예보한 수치예보자료의 검증 결과를 실고 있다. 한강홍수통제소에 전송되는 5km 고분해능 RDAPS 모델에 대한 Bias Score에 대한 2003년도의 검증결과는 표 2와 같다. 표 2에서 보면 50mm 이상에 대해 24시간 예보인 경우 연평균 Bias Score는 0.62의 값을 갖는다. 다시 말해 많은 사상이 실제 관측된 강우량에 비해 과소 예측되었음을 알 수 있다.

(2) 수문학적 수치예보자료의 검증

지천홍수예보시스템에서는 갑작스럽게 오는 집중호우에 의한 범람을 예측하는 것이 중요하므로 시간별 강우 분포, 및 강우량을 얼마나 잘 예측하는냐에 대한 판단이 필요하다. 그러나 기상청에서 제

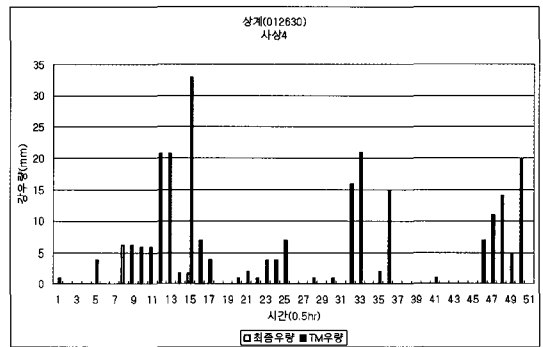


그림 6. TM 관측우량과 수치예보 예측우량

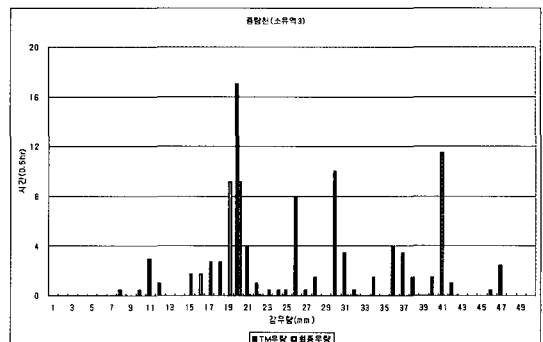


그림 7. 소유역 평균우량 (TM vs 수치예보)

공하는 위와 같은 검증자료만 가지고 이들에 대한 정확도를 판단하기는 어렵다. 따라서 기상청 수치예보자료의 정확도를 수문학적 입장에서 검증할 필요가 있다.

2005년 6월부터 2005년 9월까지의 자료중 TM우량관측소의 80mm 이상의 호우사상과 같은 기간의 수치예보자료를 분석한 결과 상관계수가 역상관(-)을 갖는 경우도 있었다. 또한 효율지수(Efficiency Index)의 경우도 0.6 정도가 최고이고 대부분의 효율지수가 매우 낮게 나타났으며, 총우량 상대오차의 경우 1%에서 96%까지 매우 편차가 크게 나타났으며 첨두우량의 상대오차도 매우 큰 오차를 보이고 있다. 그림 6은 TM우량관측소의 실측 자료와 해당 지점의 수치예보 격자의 예측 자료를 비교한 예이며, 그림 7은 TM 자료를 이용하여 산정된 소유역별 평균강우량과 수치예보 자료를 이용하여 산정한 소유역별 평균강우량을 비교한 것이다. 통계적 분석 결과와 이들 그림에서 보는 바와 같이 강우의 총량, 시간당 분포, 첨두값 등을 볼 때 현재로서는 지천홍수예보 실무에

서 이용하기에는 문제점이 있음을 알 수 있다.

### 3. 통계학적 모형을 이용한 홍수예보

#### 3.1 일반사항

도달시간이 짧은 지천에서의 홍수예보를 위해서 정량적 강우예측자료를 이용한 홍수예측이 필요하다. 그러나 앞에서 살펴본 바와 같이 홍수예보 실무에서 이용할 수 있을 만한 신뢰도를 갖는 정량적 강우예측 자료의 확보가 현재로서는 어려운 실정이다. 따라서 본 절에서는 현 시점에서 가능한 지천홍수예보 방법으로 정량적 강우예측자료를 이용하지 않는 방법인 통계학적 모형을 이용한 홍수예보에 대해 검토하고자 한다.

통계학적 모형은 기존의 유역에서 측정된 강우 및 수위, 유량 자료 등을 분석하여 다중선형회귀모형(multiple linear regression model)을 구성하는

표 3. 유럽(Rhine 강)에서의 홍수예보 방법

River	Country	1 Relationships Between different gauges	2 Discharge Sums	3 Linear and Nonlinear Flood Routing Models	4 Combination of Precipitation-Runoff Models and 3	5 Multiple Regression Models	6 Filter models
							Wiener   Kalman
Lahn	Germany		●				
Main	Germany	▲	▲				▲
Moselle	Germany		●				
Moselle(Stadtbredimus)	Luxembourg					●	
Nahe	Germany				●		
Neckar	Germany						●
Rhine(Lobith)	Netherlands					●	
Rhine(Bonn up to Emmerich)	Germany		▲				●
Rhine(Maxau up to oberwinier)	Germany	▲	▲	▲	▲		● ▲
Rhine(kembs)	France		●				
Rhine(up to Rheinfelden)	Switzerland				●	●	
Saar	Germany						●
Sauer/Sure	Germany	●					
Sauer/Sure	Luxembourg				●		
Sieg	Germany		●				

형태로 이루어지는 것으로 그 적용성에 대해서는 국내외에서 여러 편의 논문이 발표된 바 있다. 유럽의 경우 라인강 유역에 1993/1994년과 1995년도의 두 차례의 큰 홍수를 경험한 이후 1995년도에 스위스, 프랑스, 룩셈부르크, 독일, 네덜란드 등이 라인강 위원회(International Commission on the Protection of the River Rhine, ICPR)를 설립하여 홍수방어를 위한 실행계획에 착수하여 라인강을 대상으로 홍수예보를 실시하고 있다. 룩셈부르크, 네덜란드, 스위스 등에서는 표 3과 같이 실무에서 다중선형회귀모형을 이용한 홍수예보를 실시하고 있다. 표에서 ●는 실무에서 이용하고 있는 방법이며 ▲는 연구 중이거나 보조적인 수단으로 이용되고 있는 것이다.

통계학적 모형은 기존 자료를 분석하여 모형을 구성하는 것으로 유역에 신뢰성 있는 자료가 확보되어 있어야 하며 예보를 위해서는 실시간 자료전송 체계가 구축되어 있어야 한다. 한강유역의 중랑천, 안양천, 탄천, 왕숙천 유역의 경우 실시설계를 통해 우량

및 수위관측소가 보완, 신설되어 운영되고 있으므로 이들 자료를 분석하여 모형을 구성할 수 있다.

회귀모형을 구성하기 위해 우선 매개변수로서 어떤 것을 선택할 것인가를 결정해야 하며 다음 식들의 형태를 취하는 것이 일반적이다.

$$Q_{t+n} = C + \sum_{j=1}^{m_1} a_j Q_{t-j} + \sum_{j=1}^{m_2} b_j U_{t-j} + \sum_{j=1}^{m_3} c_j R_{t-j} + \dots \quad (4)$$

$$H_{t+n} = C + \sum_{j=1}^{m_1} a_j H_{t-j} + \sum_{j=1}^{m_2} b_j T_{t-j} + \sum_{j=1}^{m_3} c_j R_{t-j} + \dots \quad (5)$$

여기서,

Q: Discharge at the station under consideration

U: Discharge at the upstream station

H: Water level at the station under

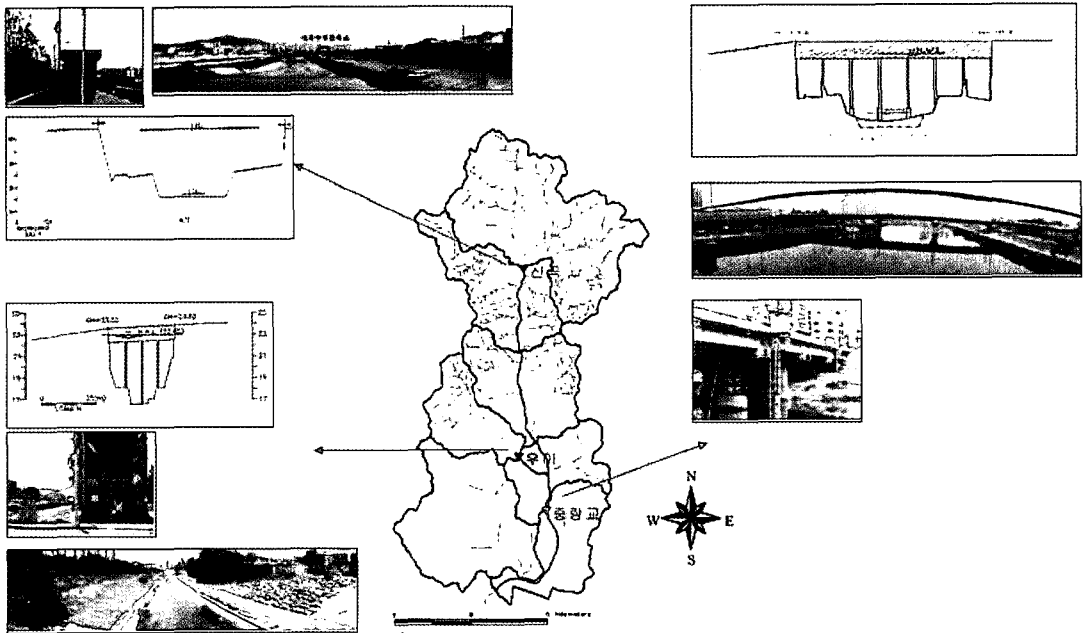


그림 8. 중랑천 유역의 수위관측소 위치 및 수위표 지점의 하도 단면 형태



consideration

$T$ : Water level at the upstream station

$R$ : Rainfall

$C, a_j, b_j, c_j$ : Regression coefficients

$m_1, m_2, m_3$ : Maximum lags

$n$ : Forecasting lead time (day, hours, ...)

### 3.2 통계학적 모형의 적용 사례(중랑천 유역)

본 절에서는 한강유역의 주요지천중 하나인 중랑천 유역을 대상으로 통계학적 모형을 적용한 사례를 살펴보고자 하며, 자세한 사항은 건설교통부/한강홍수통제소(2005)의 주요지천 홍수예보프로그램 개선 보고서를 참고할 수 있다. 중랑천 유역의 경우 그림 8과 같이 3개의 수위 관측소와 앞의 7개 우량관측소 자료를 홍수예보에 이용할 수 있으며 현재 중랑교 지점이 홍수예보 지점으로 고시되어 있다. 통계학적 모형은 위 식(4) 및 (5)에 포함된 다양한 매개 변수를 이용하여 구성할 수 있으며 어떤 매개변수를 선정할 것인가는 회귀모형을 구성한 후 상관분석, 회귀방정식의 계수 추정, 회귀모형의 유의성 검정, 회귀모형의 설명력 확인 등의 절차를 거친 후 실측치와의 검정을 통해 이루어진다.

한편, 중소하천 유역에 적용할 때 하도구간이 아닌 지류(예, 우이관측소) 등의 수위자료를 이용할 경우에는 회귀모형 구성하기 위해 사용된 사상에서 하도 및 단면 특성 등에 따라 상류지점의 수위 변동이 예보 지점의 수위 변동과 상관성이 없는 경우가 다수 발생할 수 있으므로 수위를 매개변수로 이용하는 경우는 주의할 필요가 있다. 중랑천 유역의 경우에 있어서는 위 식(4) 및 (5)의 다양한 조합을 이용한 결과의 비교 및 분석을 통해 식(6)과 같은 형태로 모형을 구성하였다.

$$Q(t+n) = C + a_1Q(t) + a_2Q(t-1) + \dots + a_{m+1}Q(t-m) + b_1R(t) + b_2R(t-1) + \dots + b_{m+1}R(t-m)$$

(6)

여기서  $Q$ 는 예보지점(중랑교 지점)의 유출량,  $R$ 은 유역의 평균강우량,  $a_1, a_2, \dots, a_{m+1}, b_1, b_2, b_{m+1}, C$ 는 회귀계수이며  $n(m=n-1)$ 은 선행예측시간이다. 지천에서의 홍수예보를 위해 예보관의 판단 및 저류함수모형을 이용한 모의 및 비교 분석에 필요한 시간을 확보하기 위해 선행예측시간을 3시간으로 하였다. 따라서 현재 한강홍수통제소에서는 30분 간격으로 수위 및 강우량 자료가 전송되므로  $n$ 은 6의 값을 갖게 되며, 30분 간격으로 구성된 6개의 다중선행회귀모형의 결과가 그림 9와 같이 제시되어 홍수예보업무에 이용하게 된다.

그림 10과 11은 저류함수모형과 통계학적 모형(30분 및 60분 예측모형)의 모의 결과를 비교한 것이다. 이때 저류함수모형의 유역 및 하도매개변수는 현재 주요지천 홍수예보시스템내에 설정되어 있는 고정자료를 그대로 사용한 것이다. 실제 홍수예보 업무에서는 30분 간격으로 전송되는 강우량 및 수위 자료를 이용하여 저류함수모형의 매개변수를 보정하며 예측 업무를 수행하게 되므로 보다 나은 모의를 수행할 수 있다. 그러나 이럴 경우 매개변수 보정 및 분석을 위한 충분한 시간이 필요하게 된다.

통계학적 모형을 이용한 예측 유출량에 대한 통계적 검증은 표 4와 같은 자료를 이용하여 이루어질 수 있다. 중랑천 유역에 대해 통계학적 모형 적용시, 30분 예측 유출량의 경우 상관계수가 0.98~0.99로 매우 높은 상관관계를 보이고 있으며, 60분 예측에서도 0.93~0.99, 그리고 90분 예측에서는 0.83~0.97로

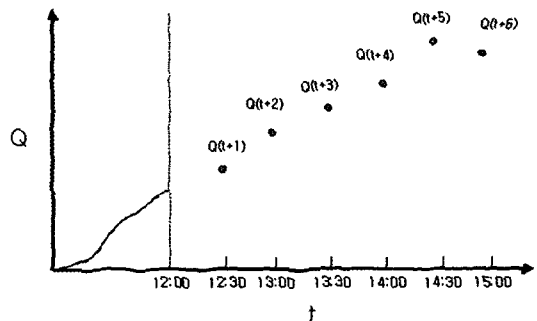


그림 9. 통계학적 모형에 의한 예측

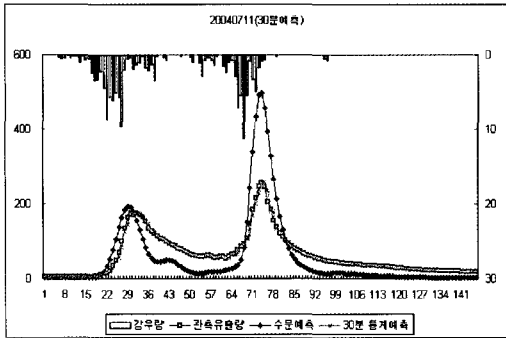


그림 10. 모의결과 비교(30분 예측모형 이용)

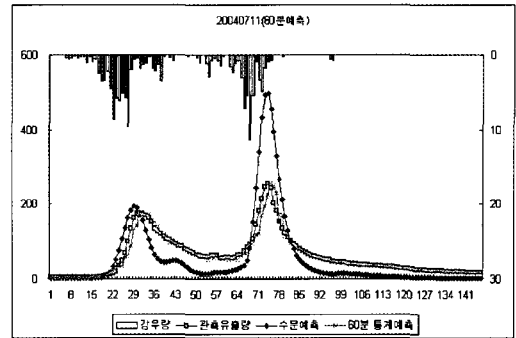


그림 11. 모의결과 비교(60분 예측모형 이용)

높은 상관성을 보이고 있다. 또한 효율지수의 경우에도 90분 예측까지는 일부 사상을 제외하고는 0.8이 상으로 매우 상관성이 높은 결과를 나타내고 있다. 상대첨두오차는 90분 예측홍수량까지 약 11% 정도이하로 매우 양호한 결과를 나타내고 있으며 상대첨두시간오차는 저류함수모형의 경우에는 0~0.5까지인데 반해 통계학적 모형에서 30분 예측값의 경우 0~0.20정도이고, 60분 예측의 경우 0~0.17, 그리고 90분 예측유출량의 경우에도 최대 0.4정도로 저류함수모형을 이용한 모의 결과보다는 매우 정확한 값을 나타내고 있다. RMSE 분석결과에서도 수문학적 홍수예측에 의한 RMSE보다 통계학적 모형의 RMSE는 대부분 90분 정도까지는 저류함수모형에 의한 RMSE보다 작은 오차값을 나타내고 있다.

저류함수모형 및 통계학적 모형 모두 기존의 호우 사상에 적용한 결과 대체로 그 경향성을 어느 정도 반영하고 있으며, 특히 통계학적 홍수예측 모형의 경우에는 90분 홍수량 예측까지는 상대적으로 정확한 결과를 나타내고 있다. 또한, 통계학적 모형은 모형의 매개변수 보정 과정 없이 이용할 수 있는 장점이 있어 선행시간 확보가 중요한 지천홍수예보 업무를 위한 보조수단으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 맺음말

중소하천과 같이 도달시간이 짧은 유역에서의 홍수예보를 위해서는 선행시간 확보를 위해 정량적 강

표 4. 검증 평가지표

평가지표	수식	비고
상관계수 (Correlation coefficient)	$CC = \frac{S(xy)}{\sqrt{S(xx)S(yy)}}$	$S(xy) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)/n$
효율지수* (Efficiency index)	$EI = \frac{ST - SSE}{ST}$	$S(xx) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2/n$
상대첨두오차 (Peak relative error)	$PRE = \frac{ \hat{Q}_p - Q_p }{Q_p}$	$S(yy) = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2/n$
상대첨두시간오차 (Peak time relative error)	$PTRE = \frac{ \hat{T}_p - T_p }{T_p}$	$ST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$
평균제곱근오차 (Root mean squar error)	$RMSE = \frac{SSE}{\sqrt{N}}$	$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2$

\* Nash와 Sutcliffe(1970)

우예측자료의 이용이 필수적일 수밖에 없다. 현재로서는 실무에 이용 가능한 신뢰성 있는 정량적 강우예측자료를 확보할 수 없는 실정이므로 위에서 언급한 통계학적 모형을 홍수예보를 위한 보조수단으로 이용할 수 있을 것으로 기대한다. 다만, 통계학적 모형이 과거의 사상을 대상으로 구성되는 되는 것으로 사용된 자료의 한계로 인해 미래에 닥칠 이상홍수사상을 얼마나 잘 모의할 수 있을 것인가에는 의문이 남는다. 따라서 향후에 관측되는 사상의 분석을 통해 통계학적 모형의 정확도에 대한 검증 및 개선이 지속적으로 이루어질 필요가 있을 것으로 사료된다.

또한, 기상학자들에 의해 수치예보 모형의 개선, 기상레이더 관측자료를 이용한 단기예측모형의 개선 및 개발이 꾸준히 이루어지고 있으며 건설교통부에서도 강우레이더 사업을 통한 보다 정확한 강우 관측 및 예측이 이루어질 전망이다. 국민의 생명과 직결된 홍수예보업무는 미래의 기술 발전에 따라 보다 정밀하게 이루어 질 수 있을 것으로 예상되나 현 시점에서 홍수예보 정확도를 높이기 위해서는 예보관이

보다 정확한 판단을 할 수 있도록 다양한 형태의 정보가 제공될 필요가 있으며 통계학적 모형 또한 하나의 수단으로 이용될 수 있을 것으로 기대한다.

### 참고문헌

- 건설교통부(2003). 전국 강우레이더 설치 및 홍수예경보시스템 개선 기본계획 수립. 2차년도 보고서.
- 건설교통부/한강홍수통제소(2005). 주요지천 홍수예보프로그램 개선.
- 기상청(2004). 수치예보시스템의 검증(2003년). 기상청 수치예보과 기술보고서 2004-3.
- Wilke, K. (1997). Ribamod: river basin modelling management and flood mitigation : Forecast Systems for Large Rivers - The River Rhin Catchment pp.105-126. 