

실시간 수문관측자료에 의한 돌발 홍수예경보 시스템
-중랑천 유역을 중심으로-

Flood Forecasting and Warning System using Real-Time Hydrologic Observed
Data from the Jungnang Stream Basin

이 종 태* / 서 경 아** / 허 성 철***

Lee, Jong-Tae / Seo, Kyung A / Hur, Sung-Chul

Abstract

We suggest a simple and practical flood forecasting and warning system, which can predict change in the water level of a river in a small to medium-size watershed where flash flooding occurs in a short time. We first choose the flood defense target points, through evaluation of the flood risk of dike overflow and lowland inundation. Using data on rainfall, and on the water levels at the observed and prediction points, we investigate the interrelations and derive a regression formula from which we can predict the flood level at the target points. We calculate flood water levels through a calibrated flood simulation model for various rainfall scenarios, to overcome the shortage of real water stage data, and these results as basic population data are used to derive a regression formula. The values calculated from the regression formula are modified by the weather condition factor, and the system can finally predict the flood stages at the target points for every leading time. We also investigate the applicability of the prediction procedure for real flood events of the Jungnang Stream basin, and find the forecasting values to have close agreement with the surveyed data. We therefore expect that this suggested warning scheme could contribute usefully to the setting up of a flood forecasting and warning system for a small to medium-size river basin.

Keywords : flood forecasting and warning system, Jungnang Stream, real time hydrologic observed data, meteorological correction factor

요 지

본 연구에서는 도달시간이 짧은 중소하천유역에서 돌발홍수 발생시 강우에 따른 하천의 수위변화를 신속하고 간편하게 예측하는 홍수예경보 모형을 제시하고 그 적정성을 중랑천 유역에 대해서 검토하였다. 이를 위하여 먼저, 제방안전도 평가와 침수위험구역 조사를 통해 홍수방어목표지점으로 선정하였다. 강우량 및 관측지점수위와 홍수방어목표지점 수위와의 상관성 분석을 하였으며, 이로부터 홍수방어목표(예보지점)지점의 수위변화를 예측할 수 있는 회귀모형을 산정하였다. 이 때 기초자료로서의 실제강우 조건에 따른 실측 수위자료는 그 범위와 조건의 수가 너무 작

* 교신저자, 경기대학교 토목공학과 교수
Corresponding Author, School of Civil Engineering, College of Engineering, Kyonggi University, Seoul 120-702, Korea (e-mail: jtlee@kyonggi.ac.kr)
** 경기대학교 토목공학과 석사과정
School of Civil Engineering, College of Engineering, Kyonggi University, Seoul 120-702, Korea
*** (주)이산 수자원부 부장
#1608-4 Dong-a Plaza Gwanyang-dong, Dongan-gu, Anyang-Si, Kyonggi-Do, 431-060, Korea

음으로, 이를 대신하여 다양한 강우시나리오별 유출분석을 통하여 홍수위들을 산정하고 이를 상관성 분석의 모집단 자료로 사용하였다. 산정된 회귀모형으로부터 적정 선행예보시간에 대한 수위를 산정하고 기상보정계수를 고려하여 예측수위를 보정 결정하는 방안을 제시하였다. 예측수위가 주위보수위(Flood watching level; 계획홍수량의 50 %의 수위)를 초과하는 경우에 예경보를 수행할 수 있는 시스템을 구성하였으며, 실제 호우사항에 대하여 그 적용성을 검토하였다.

핵심용어 : 홍수예경보, 중랑천, 실시간 수문관측자료, 기상보정계수

1. 서론

돌발홍수로 인한 홍수위의 급격한 증가는 범람위험 뿐만 아니라 하천내의 산책로 및 고수부지를 이용하는 시민 및 차량의 피해위험도 증대시킨다. 이러한 홍수피해를 막기 위해 관리부서에서는 재해예방, 재해응급대책, 재해복구의 3단계로 분류되는 방제체제를 수립하고 있는 실정으로, 홍수예경보 시스템의 운영은 예방 및 응급대책에 해당하는 방제 활동이라 할 수 있다. 이 연구에서는 중소하천으로서 중하류부가 서울 도시지역을 관류하는 중랑천 유역을 대상으로 이 유역 특성에 맞는 간편하고 실용적인 실시간 홍수예경보시스템을 지원하는 이론 및 절차를 개발하여 하천관리 실무에 기여토록 하였다.

중소하천에 대하여 실시간 수문관측자료에 근거한 도시홍수예경보 모형에 관한 국내의 최초 연구로서 이범희(2006)는 대전광역시 지역의 갑천 유역을 중심으로 한 3대 하천(갑천, 유등천, 대전천)에 대해 홍수예경보 모형을 구성하고 수문자료간의 상관분석, 상관계수의 해석 및 검증, 회귀분석을 실시하여 최종적으로 미계측 지점에 대한 수위변동을 예측하고자 하였다. 신현석 등(2007)은 부산시 온천천을 대상으로 도시유출모형인 SWMM을 적용하고 실시간 수문관측시스템과 연계 운영하는 연구를 실시하였다. 유역이 해안도시임을 고려하여 조위영향을 고려하고, 실시간 모니터링 시스템을 구축하여 모형의 적정 운영관리 방안을 평가 분석하였다.

이 연구에서는 이범희(2006)의 통계모형과 기본을 같이 하면서도 제한된 실측자료를 극복하기 위해 가상시

나리오에 의해 생성된 자료로부터 상관모형을 제시한 점과 예측수위 결정에서 기상예보를 고려한 점에서 그 차이가 있다. 이 연구에서는 먼저 실시간 수위 및 강우량을 이용하여 예측 선행시간에서 수위를 예측하며, 주위보수위를 넘는 시점부터 작동을 시작하여 대피시간(선행시간)을 확보할 수 있도록 홍수예경보를 발령하는 것이 최종적인 목적이다.

2. 중랑천 유역의 시스템의 수문·수리 특성

중랑천 유역은 면적 296.0 km², 유로연장 34.80 km, 유역평균폭 8.51 km로서 서울특별시와 의정부시가 전체유역의 3/4 이상을 점하고 있는 고밀도의 도심지 및 인구밀집지역이고 농경지는 주로 상류부 제1, 2지류 연안에 다소 분포하고 있다(Table 1).

2.1 홍수위험지역의 선정

제내지의 침수 피해를 저감하기 위해 빈도별 홍수량을 적용하여 중랑천 제방의 안전도를 평가하였다. 중랑천의 계획빈도인 100년 빈도 홍수량과 이상홍수를 고려한 200년 빈도 홍수량을 적용하여 홍수위를 각각 산정하였으며, 이에 따른 제방의 여유고 부족 구간과 제방 월류시 침수위험지역을 조사하였다.

2.1.1 제방안전도 및 침수위험지역

중랑천의 100년 및 200년 빈도 홍수위와 제방마루 높이와의 비교를 통해 안전도를 평가하였다. 안전도는 현 제방의 마루높이를 기준으로 ① 계획빈도 홍수위보다 낮은 구간, ② 여유고가 부족한 구간, ③ 안전구간의 세 등급으로 구분하였으며, 결과는 다음과 같다(Table 2, Fig. 1).

Table 1. Basin Status

Classification	Area (km ²)	Channel length (km)	Basin slope	Mean width of basin (km)	Soil type	Land use
Jungnang Stream basin	296.0	34.80	1/1,150	8.51	A, B	Forest and meadow (43 %), Residential, Commercial (31 %), etc (26 %)

<Ref.> Report on River Management Directions Linked with Universities (Seoul City, 2008)

Table 2. Safe Evaluation for Jungnang Stream Levee

Reach (No).	Flood design water level (EL.m)	Levee elevation (EL.m)		Safety		Remarks
		Left	Right	Left	Right	
150~206	20.99~31.38	23.17~31.94	23.01~33.52	○	○	
148~149	20.96~20.97	23.02~23.09	21.01~21.21	○	×	
147	20.90	22.95	20.81	○	×	
142~146	20.50~20.72	21.86~22.87	21.81~23.16	○	○	
139~141	19.51~20.44	20.41~20.73	22.27~22.45	×	○	Hagye 1 Bridge
118~138	17.71~19.39	18.71~20.40	20.16~21.73	○	○	Wolgeye 1 Bridge
117	17.67	19.21	18.35	○	×	
44+26~116	15.86~17.65	18.99~19.41	18.71~19.09	○	○	Wolleung Bridge, Jungnang Bridge, Jangpyeong Bridge
44	15.86	16.51	18.35	×	○	U-TURN Bridge
0~43	15.48~15.85	17.12~18.41	17.61~18.42	○	○	Songjeong Bridge

<Notes> ○ : safe; × : lack of freeboard; ×× : below flood design level

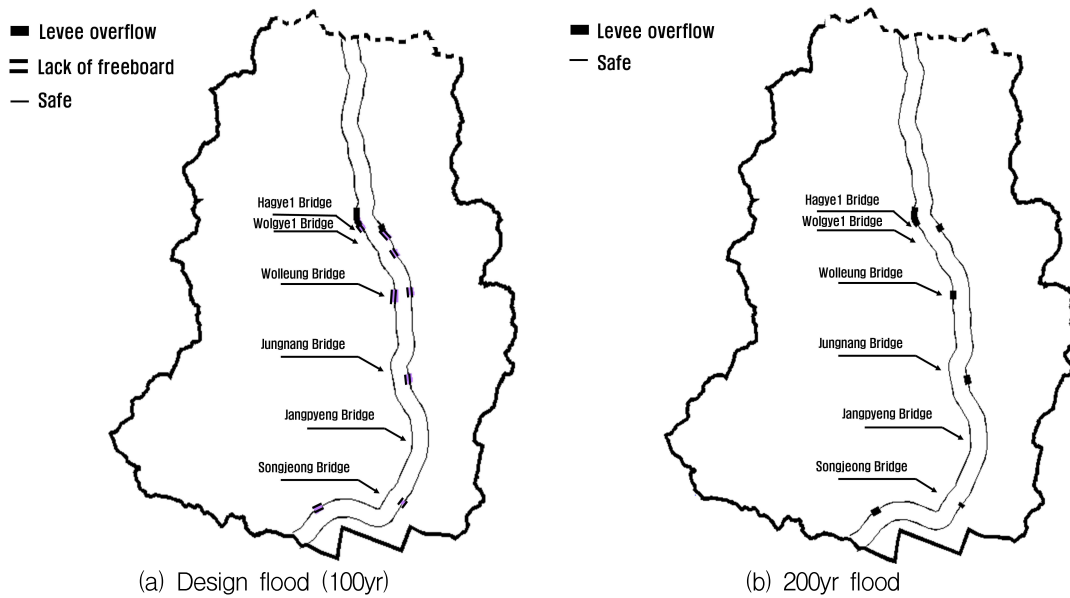


Fig. 1. Levee Safety Evaluation for Jungnang Stream

검토결과 월계1교 직상류구간의 우안 제방의 경우에는 금회 산정된 계획빈도 홍수위보다 낮은 제방고를 보이고 있어 중랑천의 전 구간에서 가장 취약한 것으로 분석되었으며, 하계 1교의 좌안부와 월릉교 우안부의 제방도 취약한 것으로 분석되었다.

한편, 중랑교(측점 NO. 88) 하류 구간은 한강 배수위 영향이 미치는 구간으로 제방이 충분히 높게 구축되어 있어 안전도가 높았다. 한편, 하류측에 위치한 측점구간 NO. 44번의 U-TURN교 지점의 여유고가 부족하게 나타난 것은 동부간선도로의 표고를 제방으로 설정하여

발생한 것으로 실제 제방으로 볼 수 있는 고도는 약 EL.18.00m 대로 제방 안전에 이상이 없는 것으로 나타났다. 나머지 서울시 구간의 제방은 200년 빈도 홍수위보다도 높은 제방고를 나타내고 있고 또한 대부분 충분한 여유고를 확보하고 있어 안전한 것으로 판단되었다.

모의 결과, 제방이 제 역할을 하지 못하여, 붕괴 또는 월류 될 경우에 범람 홍수영향은 하천연안의 중하류에 걸쳐 넓게 확산되어 나가는 것으로 나타났다. 특히 월계 1교 하류부 연안 구간은 체내지의 상대고도가 낮아 제방의 역할이 매우 큰 것으로 분석되었다. 제방

붕괴시 계획빈도인 100년 및 200년 빈도의 홍수시 제방의 붕괴 또는 월류로 인한 가상침수위험구역은 Fig. 2 및 Table 3과 같다. 이때, Fig. 2는 Arcview와 WMS에 의해 작성하였다.

침수면적으로 볼 때, 성동구, 동대문구, 중랑구의 순

으로 가상침수면적이 큰 것이 나타났으며, 이 분석결과를 통하여 예경보시스템의 홍수방어목표지점을 선정하였다. 한편, 강북구·종로구·중구는 중랑천 홍수의 영향이 없는 것으로 검토되었다.

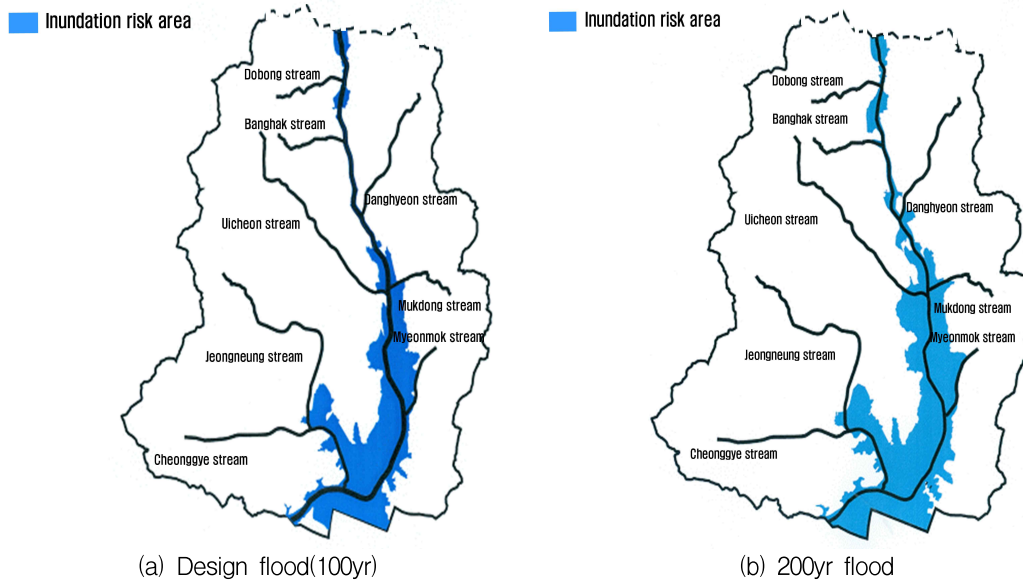


Fig. 2. Potential Inundation Risk Area in Case of Levee Break

Table 3. Potential Inundation Risk Area in Case of Levee Break

Administrative district		Basin area (km ²)	Inundation area (km ²)		Remarks
			Flood design (100 yr)	200 yr flood	
Seoul	Gangbuk-gu	23.60	-	-	non-inundation
	Gwangjin-gu	17.05	1.15	1.68	
	Nowon-gu	35.42	1.94	3.12	
	Dobong-gu	20.80	0.51	1.04	
	Dongdaemun-gu	14.22	5.79	6.63	
	Seongdong-gu	16.85	5.93	6.85	
	Seongbuk-gu	24.57	0.19	1.19	
	Jongno-gu	23.91	-	-	non-inundation
	Jung-gu	9.96	-	-	non-inundation
	Jungnang-gu	18.50	3.52	4.08	
Sum		204.88	19.05	24.59	

Table 4. Flood Protection Target Points in Jungnang Stream

Classification	Reach (No).	Reach distance (km)	Elevation difference (m)	Remarks
A	149~139	1.000	0.30	Nokcheon Bridge ~ Hageye 1 Bridge
B	119~115+39	0.361	0.20	U-TURN Bridge ~ Wolleung Bridge

Table 5. Rainfall Conditions for Simulation Scenario

cumulative rainfall (mm)	Duration (min)														
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900
100															
150	-														
200	-														
300	-	-	-												
400	-	-	-	-	-										
500	-	-	-	-	-	-	-	-							
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					

<Notes> □ : simulation; □ : excess PMP; □ : safe

Table 6. PMP in Duration (Jungnang Stream, Basin Area : 200 km²)

Time of duration (hr)	1	2	6	12	24
PMP (mm)	130	210	460	630	940

<Ref.> Report on Revised National PMP Map (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2005)

2.1.2 홍수방어 목표지점 선정

제방 안전도 평가와 침수위험구역 조사를 통하여, 홍수예정보에서 우선하는 목표지점을 선정하였다. 선정기준은 홍수시 제방의 역할을 고려할 때, 제방의 여유고가 부족한 구간이면서 월류시 제내지의 낮은 표고로 인하여 침수피해의 과급범위가 확대될 것으로 예상되는 곳이다. 즉, 제방의 안전도가 부족하며 범람시 제내지의 가상침수면적이 가장 넓은 제방구간을 홍수방어 목표지점 A, B로 설정하였다(Table 4).

즉, A구간은, 녹천교와 하계1교 사이의 구간으로 우안의 제방고가 계획홍수위(Flood design water level)보다 약 0.09 m 낮아 꾸준히 그 문제점이 지적되어 온 구간이다. 제내지에는 도봉구의 창4동, 노원구의 하계2동 등이 위치한다. B구간은 우안의 제방 여유고가 약 0.32 m 부족한 곳으로 교량 및 지류 합류점이 위치한 지점이다. 인접 제내지 지역은 행정구역 상 노원구 월계1·3동이 해당한다. 이들 제방구간은 침수 피해 발생시 그 위험도 및 과급효과가 매우 큰 것으로 판단되어, 홍수방어의 일차적 목표지점으로 선정하였다. 이 두 홍수방어 목표지점은 홍수에 가장 취약한 곳임으로 이곳에서의 수방성공은 전 하도구간의 수방이 잘 이루어진 것을 의미한다.

2.2 가상 시나리오 선정

강우량, 홍수위의 실시간 자료로부터 방어 목표지점

의 홍수위를 예측하기 위해서 본 연구에서는 해당 하천 유역에서 발생할 수 있는 다양한 강우조건과 홍수위의 상관관계를 분석하였으며, 이를 위한 기초자료의 생성을 위하여 먼저 다양한 가상강우 시나리오를 작성하였다(Table 5).

이때, 가상강우의 규모는 PMP보다 크거나, 홍수피해 위험이 없는 100mm이하의 강우를 제외한 영역으로 하였다. 강우지속시간은 중랑천의 유역 규모 및 도달시간이 약 6 시간 전후인 점과 홍수량 산정시에 계산된 임계지속시간이 약 12 시간인 점을 고려하여, 누가강우량 규모에 따라 60 분~900 분(1 시간 간격)을 적용하였다. 이 때 빈도별 지속시간별 강우량은 서울시(2007)의 연구성과를, 지속시간별 PMP는 국토해양부(2005)의 연구결과(Table 6)를 참조하였다.

2.3 예경보 지점별 홍수위 및 발생시간 검토

2.3.1 홍수위 검토

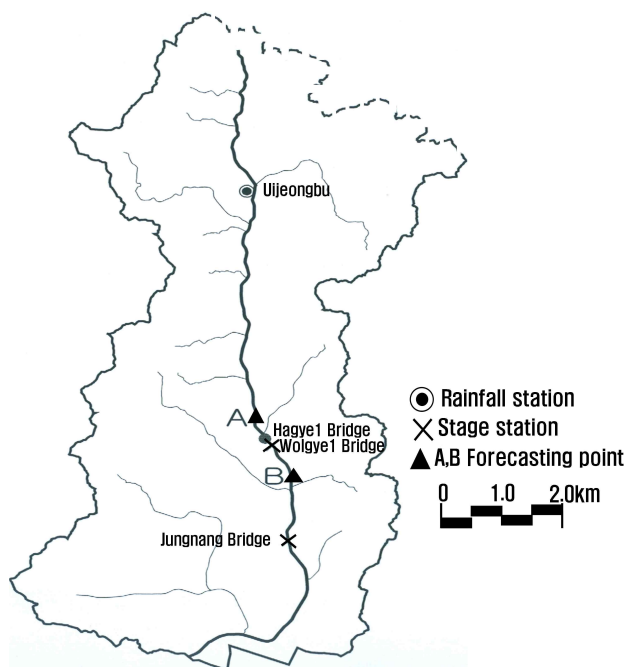
가상 시나리오에서 채택된 누가강우량과 지속시간을 적용하여 시간에 따른 유출수문곡선을 서울지역 상류경계단 및 각 지천에 대하여 각각 산정하고 이로부터 하도의 홍수파를 계산하였다. 홍수량 산정은 HEC-HMS로 실시하였으며 강우규모에 따른 홍수위 및 발생시간을 분석하기 위하여 예보지점 상류유역의 상단구간이 경기도에 위치한 자연유역이므로 HEC-RAS(UNET)에 의한 유출해석 및 부정류해석을 실시하였다. 이때의 기점수위는 중랑천 유역의 유출특성만을 고려하기 위하여

한강의 배수영향을 고려하지 않는 등류수심인 중랑천하천정비기본계획(2002, 서울시) 상의 기점수위 EL.15.48 m를 일정하게 적용하였다.

A구간의 대표단면으로 하계1교 지점을 선택하였다. 이 지점의 제방고는 우안이 EL.20.66 m로 좌안의 EL.22.31 m보다 1.65 m 낮고, 하천정비기본계획 상(하도 정비후)의 계획홍수위는 EL.19.36 m이다. 이 구간에는 당현천 합류점이 있으며, 제방의 여유고가 부족하여 홍수시 특별히 수방에 관심을 가져야하는 지점이다 (Fig. 3).

이 지점의 계획홍수량을 기준으로 계산된 경보수위

(Flood warning level; 계획홍수량의 70 %의 수위)와 주위보수위(Flood watching level; 계획홍수량의 50 %의 수위)는 각각 EL.18.14 m와 EL.17.41 m로서 240 분 동안 100 mm 이상의 누가강우량이 왔을 때를 주위보수위에 도달하는 것으로 분석되었으며, 이후 강우 상황에 따라 예경보의 과정을 거친다. Table 7은 시나리오별 강우조건에 따른 홍수위를 산정하고 이를 경보수위 및 주위보수위와 비교한 결과를 정리한 것으로서 약 300 mm이상의 강우시에는 대부분 계획홍수위를 초과함으로써 제방붕괴 및 범람위험이 크게 됨으로 예경보시스템의 필요성이 매우 큼을 알 수 있다.



(a) Wolgye 1 Bridge station



(b) Jungnang Bridge station

Fig. 3. Rainfall and Staging Station Site Map

Table 7. Simulated Flood Water Levels for Rainfall Events Scenario (A point) (EL.m)

Cumulative rainfall (mm)	Duration (min)														
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900
100	17.53	17.51	17.46	17.41	17.35	17.29	17.23	17.17	17.12						
150	-	18.58	18.51	18.41	18.31	18.21	18.12	18.05	17.98	17.91	17.85	17.79	17.74	17.69	
200	-	19.43	19.37	19.25	19.12	19.00	18.90	18.80	18.71	18.62	18.54	18.47	18.39	18.33	18.27
300	-	-	-	20.91	20.70	20.49	20.30	20.12	19.98	19.87	19.73	19.59	19.49	19.40	19.31
400	-	-	-	-	-	21.53	21.50	21.42	21.29	21.13	20.94	20.80	20.66	20.51	20.37
500	-	-	-	-	-	-	-	-	21.54	21.53	21.51	21.50	21.49	21.45	21.35
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.55	21.54	21.52	21.52	21.51

<Notes> □ : safe ; ▨ : over flood watching level ; ▩ : over flood warning level
 ■ : over flood design level ; ◻ : over PMP

한편, B구간은 월릉교 지점으로 교각에 의해 하천의 통수단면이 급격히 줄어들며 교각의 높이가 낮은 지점이다. 이 지점의 하천정비기본계획 상(하도 정비후) 계획홍수위는 EL.17.69 m이고, 경보수위와 주위보수위는 각각 EL.16.67 m와 EL.16.01 m 이다. 이곳의 제방 높이는 좌안 EL.19.41 m, 우안 EL.18.71 m이나 인접제방이 EL.18 m 대의 높이를 가지고 있어 대규모의 홍수시 여유고 부족에 의한 제방월류의 위험이 있다. 가상시나리오에 의한 분석결과 지속시간 10 시간(600 min) 동안 300 mm 또는, 15 시간(900 min) 동안 400 ~ 600 mm 이상의 강우 시에 계획홍수위 이상의 홍수위가 발생하였다. 한편, 지속시간 10 시간(600 min) 동안 400 mm(최대 강우강도 85 mm/hr) 또는, 15 시간(900 min) 동안 500 ~ 600 mm(최대 강우강도 72~87 mm/hr) 이상의 강우 시에는 제방의 월류가 발생하였다(Table 8).

이상의 검토결과 유역의 누가강우량이 커질수록, 홍수위는 급격히 증가하는 추세를 보였으며, 같은 누가강

우량의 경우, 지속시간이 길어질수록 홍수위가 감소하였다. 침수 피해위험도는 A구간(당현천합류부, 하계1교)이 B 구간에 비하여 피해위험도가 큰 것으로 분석되었다.

또한, 15 시간 이내의 300 mm 이상의 강우가 집중된 경우에는 A, B구간 모두에서 홍수피해가 막대할 것으로 판단되며, 특히 500 ~ 600 mm(최대 강우강도 72~87 mm/hr) 이상의 강우시에는 제방을 월류하여 큰 피해가 예상되므로 신속한 대피가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2.3.2 도달시간 산정

시나리오 강우시점으로부터 침투발생까지의 시간을 A, B 구간에서 산정하여 강우발생시 예경보의 판단 및 의사결정에 영향을 줄 수 있는 선행예보시간을 판단하고자 하였다. 이때, 강우의 시간분포는 분포형의 선택에 따라 차이가 있겠으나 선행예보시간이 1시간으로 짧아 그 편차는 크지 않음으로 서울지역의 최빈 분포인 Huff 2분위를 적용하였다.

Table 8. Simulated Flood Water Levels for Rainfall Events Scenario (B point) (EL.m)

Cumulative rainfall (mm)	Duration (min)														
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900
100	15.89	15.87	15.86	15.84	15.82	15.79	15.77	15.74	15.72						
150	-	16.57	16.53	16.47	16.40	16.33	16.27	16.22	16.17	16.13	16.09	16.05	16.02	15.99	
200	-	17.30	17.28	17.19	17.08	16.97	16.88	16.80	16.72	16.65	16.59	16.53	16.48	16.43	16.38
300	-	-	-	18.58	18.42	18.25	18.09	17.95	17.84	17.74	17.64	17.54	17.45	17.36	17.28
400	-	-	-	-	-	19.47	19.34	19.09	18.95	18.80	18.65	18.54	18.42	18.30	18.18
500	-	-	-	-	-	-	-	-	19.92	19.75	19.60	19.47	19.37	19.16	19.03
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.57	20.38	20.23	19.97	19.82

<Notes> □ : safe ; ▨ : over flood watching leve ; ▩ : over flood warning level
 ■ : over flood design level ; ▤ : over PMP

Table 9 (a). Lag Time from Flood Watching Level to Flood Warning Level (A point)

cumulative rainfall (mm)	Duration (min)														
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900
100	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-
150	-	20	30	40	40	50	*	*	*	*	*	*	*	*	-
200	-	20	20	20	20	30	30	30	40	40	50	50	70	80	90
300	-	-	-	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30	40	40
400	-	-	-	-	-	10	10	10	20	20	20	30	30	30	30
500	-	-	-	-	-	-	-	-	10	20	20	30	30	30	30
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	20	20	20	30

<Notes> □ : simulated; ▤ : excess PMP; * : below flood watching level

Table 9 (b). Lag Time from Flood Watching Level to Flood Warning Level (B point)

cumulative rainfall (mm)	Duration (min)														
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900
100	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-
150	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-
200	-	50	40	50	50	50	60	70	90	*	*	*	*	*	*
300	-	-	-	30	30	30	30	40	40	50	50	60	60	60	70
400	-	-	-	-	-	20	20	40	40	40	40	40	50	60	60
500	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	30	40	40	40	50
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	40	40	50

<Notes> ■ : simulated; □ : excess PMP; * : below flood watching level

Table 10 (a). Lag Time from Flood Warning Level to Flood Design Level (A point)

cumulative rainfall (mm)	Duration (min)														
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900
100	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-
150	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	-
200	-	40	60	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
300	-	-	-	20	30	30	40	40	50	60	70	90	90	130	*
400	-	-	-	-	-	30	30	30	40	40	50	50	60	60	70
500	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	40	40	50	50	50
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	30	40	40

<Notes> ■ : simulated; □ : excess PMP; * : below flood warning level

Table 10 (b). Lag Time from Flood Warning Level to Flood Design Level (B point)

cumulative rainfall (mm)	Duration (min)														
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900
100	*	*	*	*	*	*	*	*	*						
150	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
200	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
300	-	-	-	30	40	40	50	60	80	90	*	*	*	*	*
400	-	-	-	-	-	30	30	30	40	40	50	60	70	70	80
500	-	-	-	-	-	-	-	-	30	40	40	50	50	60	60
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	40	40	50	50

<Notes> ■ : simulated; □ : excess PMP; * : below flood warning level

단일 강우의 중심시간과의 홍수위가 침투치에 도달한 시각의 차를 도달시간이라고 볼 때, 강우조건에 따라 도

달시간까지에도 경보기준 홍수위에 도달하지 않는다면, 누가강우량 600 mm이상의 강우시에는 도달시간 이전

에 계획홍수위 이상의 수위에 도달하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 유역의 중상류에 위치한 A, B구간에서 주위보수위로부터 경보수위까지의 소요시간은 10분~90분이었으며(Tables 9(a) and 9(b)), 경보수위에서 계획홍수위까지는 20분~130분의 시간차이가 발생했다(Tables 10(a) and 10(b)). 한편, 주위보수위로부터 계획홍수위까지의 시간은 예측구간에 따라 차이가 있으나 약 60분~140분인 것으로 분석되었다. 따라서 홍수위예측을 위한 선행시간은 60분 이내로 함이 적절한 것으로 판단된다.

3. 홍수예경보 시스템 구축 및 적용

3.1 목적 및 기본방향

홍수예경보 시스템은 재해예방과 재해응급대책, 재해복구 등의 3단계로 분류되는 방재체제 중 예방과 응급대책에 대응하는 방재활동으로서 하천에 발생할 홍수를 미리 예측, 통보하여 홍수로 인한 국민들의 피해를 최소화 시키고 홍수 예·경보의 지속적인 향상을 도모하기 위해 구축되는 시스템이다. 이 시스템을 구성하는 요소는 유역 및 예·경보 대상에 따라 다양한 선택이 가능하다. 중랑천의 경우, 지천의 유입량이 크고, 홍수도달시간이 비교적 짧아 사전대피 여유시간이 부족하므로, 이에 따른 간편하고 신속, 정확한 판단과 작동이 가능하도록 시스템이 구성되어야 할 것이다.

또한, 모니터링 시스템에서의 자료의 전달은 우량계 및 수위계로부터의 실시간 정보에 의하여 수행되는 것이므로 이를 지원하는 측정 시스템은 단순하고 신속, 정확하며 안정적으로 정보를 제공할 수 있도록 설비가 구축되어야 할 것이다.

3.2 시스템의 구성 및 수행절차

각 위험지역 별로 시나리오 상황에 따른 예경보의 근거가 되는 실시간 수위인 관측지점, 월계1교 및 중랑

교의 홍수위를 분석한 결과, 강우발생(주위보수위) 시점으로부터 걸쳐 120 분 이후의 수위는 강우시간 분포에서의 집중도 둔화와 중랑천 유역의 특성상 수위가 감소하거나, 증가추세가 둔화되어, 홍수예경보를 위한 모의가 불필요할 대상일 것으로 판단되었다. 따라서 가장 급격한 수위증가 추세를 보이는 60~120 분을 홍수위 선행예측이 적절한 것으로 분석되었으며, 결국, 실측치에 의한 수위의 보정이 용이하고 수위의 상승 패턴이 뚜렷한 60 분을 선행예보 대상시간(Leading time)으로 선정하였다.

즉, 시스템의 구성은 현재 기초 수문 자료 구축을 통해 확정된 유출 및 하천 수리 분석 모형을 바탕으로 가상시나리오에 의한 모의를 통해 60 분 후의 수위변화를 예측할 수 있는 모형을 구성하였다. 최종적으로 분석된 모형은 실제 중랑천을 대표하는 강우 관측소 1개소(의정부 관측소)와 수위 관측소 2개소(월계1교, 중랑교)의 실시간 수위 및 누가강우량과, 60분후 예보대상지점 수위와의 관계성을 회귀모형으로 제시함으로써 홍수예경보가 가능토록 하였다.

3.3 회귀분석을 통한 예보모형 개발

실시간의 수위부터 일정시간 이후 예보지점 A, B의 홍수위를 예측하기 위하여서는 각종 유출 및 하도 매개변수의 결정과, 수문·수리모형의 수행 및 분석과정이 필요하다. 특히, 돌발 홍수시 대피를 위한 선행시간의 확보가 어려운 문제점을 극복하기 위하여서는 유출해석 및 수위예측과정을 단순화 하는 것이 중요하다. 따라서 이 연구에서는 측정된 현재시점의 자료로부터 원하는 예보시간 수위변화를 직접적으로 제시할 수 있는 회귀모형을 예보모형으로 채택하였다.

즉, 수위 예측관계 식은 독립변수 X_1, X_2, \dots, X_m 이 하나의 종속변수 Y 를 결정하는 다중회귀모형의 선형식으로 구성하였다(Eq. (1)).

$$H_t = \alpha_0 + \alpha_1 D + \alpha_2 R + \alpha_3 H_0 + \alpha_4 H_1 + \alpha_5 H_2 \quad (1)$$

$$H'_t = H_t + \beta \Delta H_t \quad (2)$$

H_t : Stage after time t at target point (m)

H'_t : Predicted water level (m)

ΔH_t ; Change in water level ($H_t - H_{t-\Delta t}$)

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$: Coefficients of regression eqn.

β : Meteorological correction factor ($\beta \geq 0.0$)

D : Rainfall duration until present (min)

R : Cumulative rainfall until present (mm)

H_0 : Predicted level at target point (EL.m)

H_1 : Present Wolgye 1 Bridge water level (EL.m)

H_2 : Present Jungnang Bridge water level (EL.m)

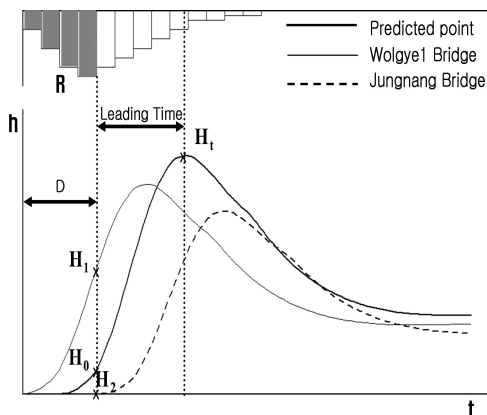


Fig. 4. Regression Calculation Description

모형으로부터 산정된 예측수위는 실시간 수문정보에 의해 산정된 것임으로 미래 상황에 대한 정보의 도입 되지 못함으로 인한 예측오차를 내포하고 있다. 이러한 문제를 보완하기 위해서는 예측시점에서 제공되는 기상 정보에 의해 수위를 보정할 필요가 있다. 즉, 회귀모형에서 산정된 예측수위 H_t 는 산정시점의 기상정보 등급에 따라 (Eq. (2))에서의 보정계수에 의하여 보정하여 예측수위로 채택한다. 이때 기상가중계수 값은 Table 11에서 제시되는 값을 고려하여 결정할 수 있다. 이 값은 기상특보뿐만 아니라 레이다 강우 정보의 도입으로 보다 합리적인 결정이 가능할 것임으로 관련분야의 실용화 연구가 긴요하다. 한편, (Eq. (2))에서 ΔH_t 가 - 감수위를 나타내는 경우에는 기상정보에 의한 보정항은 적용하지 않는다.

위 식에서의 회귀상수결정에 앞서 먼저 각 강우지속

시간, 강우량과 H_1 , H_2 및 H_t 는 앞장에서 언급한 시나리오에서의 강우조건에 대한 유출해석으로부터 산정하였으며 그 결과들을 회귀식의 모집단 자료로 사용하였다. 모형에 의해 예측된 수위는 실측 수위자료와의 비교검토를 통하여 그 적용성을 평가하였다. 홍수방어 지점별 예보회귀모형은 Table 12와 같다.

3.4 시스템의 설계 및 운영

3.4.1 시스템의 설계

금회 개발된 회귀모형에 의한 홍수예경보의 발령 흐름도는 다음과 같다(Fig. 5). 즉, 모니터링 시스템에서 실시간으로 관측된 자료를 정리 및 분석하여 회귀식 계산에 필요한 변수를 모으고, 이를 회귀모형에 적용하여 $t + \Delta t$ 시간 후의 수위를 예측한다. 그리고, 예측된 수위는 모니터링시스템을 통해 수집되는 실제 $t + \Delta t$ 시

Table 11. Meteorological Correction Factor

Message	β	Remarks
No Message	$\beta = 0.0$	or, $\Delta H_t < 0$
Torrential rain warning	$\beta > 0.1$	24 hr rainfall over 80mm
Heavy rain warning	$\beta > 0.2$	24 hr rainfall over 150mm

Table 12. Regression Model for Prediction of Flood Level after 60 Mins

Point	Regression	R^2
A	$H_{60} = 0.787005 + 0.000855D - 0.00711R + 0.792744H_0 + 0.411929H_1 - 0.22881H_2$	0.976
B	$H_{60} = -4.71326 + 0.003977D - 0.01623R + 0.673443H_0 + 0.83394H_1 - 0.27564H_2$	0.991

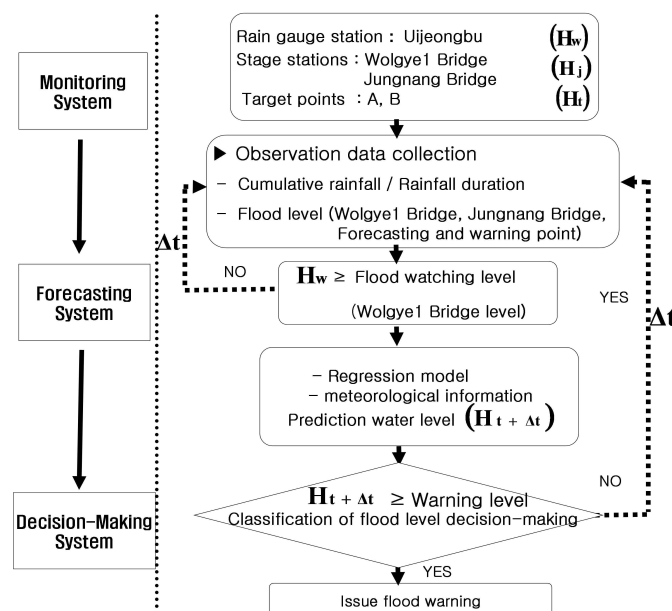


Fig. 5. Flood Forecasting and Warning System

간 후의 수위와 비교평가하며, 관측지점의 실측값은 다음 단계의 예보에 순차적으로 도입된다. 예측수위는 위험지역의 예경보기준에 따라 최종 발령여부를 판단하는 순서로 운영된다.

3.4.2 시스템 적용성 검토

금회 제시한 예보 시스템을 실제 홍수사상에 적용하고 그 타당성을 검토하였다. 이를 위하여 해당구역에서 실제로 제방 월류의 침수 피해가 나타났던, 2001년 및 2006년의 홍수사상의 실측자료(도시홍수재해관리기술 연구단, 2005, 2006, 2007)에 근거하여 시스템의 신뢰성을 파악하였다. 예측치는 실측치와 비교하여 그 예측오차를 평가하였다. 그러나 해당 강우시 예보 지점 A, B에서의 실시간 실측수위는 자료의 획득이 곤란하였으므로 중랑교 및 월계1교수위를 하류경계 및 내부경계조건으로 산정한 수위를 채택하였다.

홍수예정보는 월계1교의 수위가 계획홍수량의 50 %를 초과하는 주위보수위(EL. 16.93 m)이상일 경우에 작동하며, 실측수심과 예측수심과의 오차 비율을 통해 시스템의 적정성을 판단하였다. 즉, 수심 대비 오차범위가 $\pm 5\%$ 이하의 것을 “예측 성공”, $\pm 10\%$ 이하는 “적정”, 그리고 $\pm 10\%$ 초과하는 “예측 실패”로 기준을 정하였으

며, Eq. (3)으로 오차를 산정하였다.

$$Error(\%) = \frac{\left| \frac{(observed\ elev - bed\ elev) - (predicted\ elev - bed\ elev)}{(observed\ elev - bed\ elev)} \right|}{(observed\ elev - bed\ elev)} \times 100 \quad (3)$$

2001년 7월 14일과 2006년 7월 12일의 호우시 A 예보지점에 대한 홍수예보시스템에 적용하고 그 적정성을 분석하였으며 그 결과는 Fig. 6과 같다.

2001년 7월 14일의 경우, 강우지속시간 600 분에 월계1교의 주위보수위 EL.16.93 m를 초과하였고, 예경보시스템이 발동하였다. 1 시간 후인 660 분의 홍수위를 회귀식을 통한 예측값은 EL.19.88 m로서 실제 관측수위 EL.19.86 m와 약 0.02 m의 오차를 나타내어 수심대비 오차가 0.37 %로 매우 적정하다고 볼 수 있다.

이 후 강우지속시간 840 분까지 총 4 차례의 예측을 실시하였으며, 오차범위 0.37 ~ 1.17 %로 모두 적정한 것으로 판정되었다. 그러나, 540 분일 때 A지점 예측수위가 EL.16.84 m로 주위보수위에 도달하지 못하여 홍수위의 급격한 증가 과정을 예측하지는 못하였으나, 660 분의 침두수위 EL.19.86 m를 매우 근사하게 예측함으로써는 예측모형 적정성을 판단할 수 있었다(Fig. 6(a) and Table 13).

Table 13. Flood Level Prediction Results (Target Point A; 2001/07/14)

Duration (min)	Rainfall (mm)	Cumulative rainfall (mm)	Observed water level (EL.m)			Predicted level	Water level error (EL.m)	Depth contrast error (%)	Propriety
			Wolgye 1 Bridge	Jungnang Bridge	A point				
0	0	0	14.95	9.70	15.45	safe	-	-	-
60	1	1	14.95	9.70	15.39	safe	-	-	-
120	1	2	14.95	9.70	15.34	safe	-	-	-
180	6	8	14.95	9.70	15.32	safe	-	-	-
240	13	21	15.09	9.70	15.41	safe	-	-	-
300	3	24	15.18	10.26	15.51	safe	-	-	-
360	3	27	15.05	10.32	15.52	safe	-	-	-
420	2	29	15.09	10.23	15.64	safe	-	-	-
480	61	90	15.13	10.55	16.66	safe	-	-	-
540	74	164	16.84	10.87	18.51	safe	-	-	-
600	51	215	18.83	13.55	19.49	safe	-	-	-
660	35	250	19.16	15.34	19.86	19.88	0.02	0.37	○
720	23	273	18.99	15.83	19.77	19.70	-0.07	1.33	○
780	2	275	18.19	15.19	19.31	19.33	0.02	0.42	○
840	0	275	17.51	14.20	18.77	18.82	0.05	1.17	○

<Notes> The predicted level is "safe" if the Wolgye 1 Bridge observed level (H_1) is lower than the flood watching level. ○: depth contrast error below 5 %; △: depth contrast error below 10 %

또한, 2006년 호우에서는 강우지속시간 360 분에 월계1교의 주위보수위를 초과하여, 예측을 시작하였다. A 지점의 1시간 후인 420 분의 예측값은 EL.18.17 m로 실제 관측수위 EL.18.12 m과 약 0.05 m의 오차를 나타냈다. 이후 840 분까지 총 10 차례의 예측을 실시하였으며, 오차범위 0.00 ~ 6.04 %로 모두 적정한 것으로

판정되었다.

침두수위였던 강우지속시간 540 분의 예측수위는 EL.18.79 m로 나타나 약 -0.15 m의 오차를 나타낸 것은 예측범위 내라는 점에서는 시스템의 신뢰도를 나타내지만, 안전도의 측면에서는 만족스럽다고 볼 수 없겠다(Fig. 6(b) and Table 14).

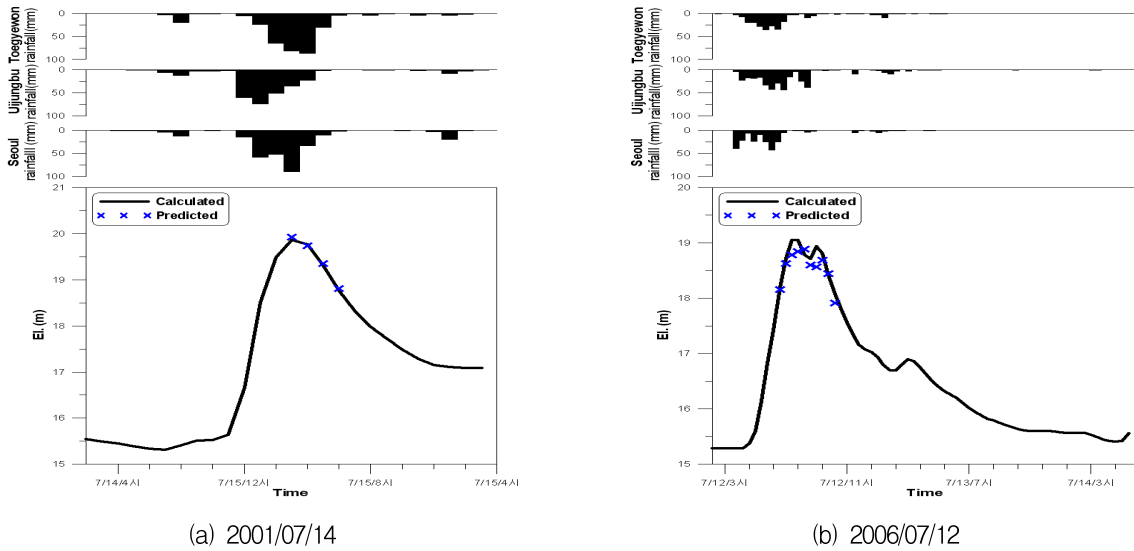


Fig. 6. Real Flood Event Simulation Results (A point)

Table 14. Flood Level Prediction Results (Target Point A; 2006/07/12)

Duration (min)	Rainfall (mm)	Cumulative rainfall (mm)	Observed water level (EL.m)			Predicted level	Water level error (EL.m)	Depth contrast error (%)	Propriety
			Wolgye 1 Bridge	Jungnang Bridge	A point				
0	0	0	14.67	9.78	15.29	safe	-	-	-
60	4	4	14.71	9.78	15.29	safe	-	-	-
120	23	27	14.92	10.29	15.38	safe	-	-	-
180	18	45	15.45	10.77	15.60	safe	-	-	-
240	19	64	15.61	11.21	16.17	safe	-	-	-
300	17	81	16.46	11.60	16.80	safe	-	-	-
360	33	114	17.24	13.03	17.37	safety	-	-	-
420	43	157	17.69	13.31	18.12	18.17	0.05	1.39	○
480	29	186	18.09	14.36	18.61	18.64	0.03	0.73	○
540	44	230	18.20	14.27	18.94	18.79	-0.15	3.39	○
600	16	246	18.20	13.77	18.92	18.86	-0.06	1.36	○
660	4	250	17.94	13.70	18.65	18.90	0.25	6.04	△
720	25	275	17.86	12.98	18.59	18.61	0.02	0.49	○
780	39	314	18.09	12.70	18.82	18.57	-0.25	5.80	△
840	1	315	17.97	13.30	18.69	18.69	0.00	0.00	○
900	1	316	17.4	13.37	18.31	18.44	0.13	3.42	○
960	2	318	16.91	12.96	17.98	17.93	-0.05	1.44	○

<Notes> The predicted level is "safe" if the Wolgye 1 Bridge observed level (H_1) is lower than the flood watching level. ○: depth contrast error below 5 %; △: depth contrast error below 10 %

한편, B지점에 대한 예측 및 적정성에 평가도 앞의 동일한 강우조건에 대하여 실시하였으며 그 결과 그림 7과 같다. 2001년 7월 14일의 경우, 강우지속시간 660분의 침투시 예측값은 EL.17.43 m로 실제 관측수위 17.46 m와 약 -0.03 m의 오차를 나타냈고, 오차범위

0.48 %로 매우 적정하다고 볼 수 있다. 이후 강우지속 시간 840 분까지 총 4 차례의 예측을 실시하였으며, 오차범위 0.32 ~ 0.60 %로 모두 적정한 것으로 판정되었다(Fig. 7(a) and Table 15).

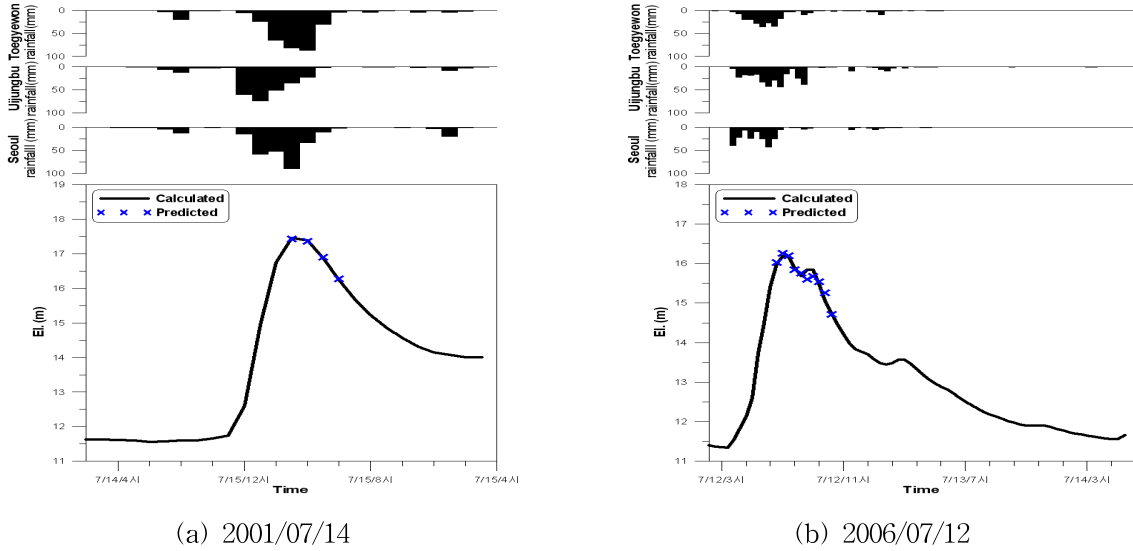


Fig. 7. Real Flood Event Simulation Results (B point)

Table 15. Flood Level Prediction Results (Target Point B; 2001/07/14)

Duration (min)	Rainfall (mm)	Cumulative rainfall (mm)	Observed water level (EL.m)			Predicted level	Water level error (EL.m)	Depth contrast error (%)	Propriety
			Wolgye 1 Bridge	Jungnang Bridge	A point				
0	0	0	14.95	9.70	11.62	safe	-	-	-
60	1	1	14.95	9.70	11.60	safe	-	-	-
120	1	2	14.95	9.70	11.56	safe	-	-	-
180	6	8	14.95	9.70	11.57	safe	-	-	-
240	13	21	15.09	9.70	11.61	safe	-	-	-
300	3	24	15.18	10.26	11.60	safe	-	-	-
360	3	27	15.05	10.32	11.66	safe	-	-	-
420	2	29	15.09	10.23	11.74	safe	-	-	-
480	61	90	15.13	10.55	12.61	safe	-	-	-
540	74	164	16.84	10.87	14.94	safe	-	-	-
600	51	215	18.83	13.55	16.75	safe	-	-	-
660	35	250	19.16	15.34	17.46	17.43	-0.03	0.48	○
720	23	273	18.99	15.83	17.38	17.36	-0.02	0.32	○
780	2	275	18.19	15.19	16.87	16.90	0.03	0.53	○
840	0	275	17.51	14.20	16.24	16.27	0.03	0.60	○

<Notes> The predicted level is "safe" if the Wolgye 1 Bridge observed level (H_1) is lower than the flood watching level. ○: depth contrast error below 5 %; △: depth contrast error below 10 %

Table 16. Flood Level Prediction Results (Target Point B; 2006/07/12)

Duration (min)	Rainfall (mm)	Cumulative rainfall (mm)	Observed water level (EL.m)			Predicted level	Water level error (EL.m)	Depth contrast error (%)	Propriety
			Wolgye 1 Bridge	Jungnang Bridge	A point				
0	0	0	14.67	9.78	11.54	safe	-	-	-
60	4	4	14.71	9.78	11.82	safe	-	-	-
120	23	27	14.92	10.29	12.13	safe	-	-	-
180	18	45	15.45	10.77	12.6	safe	-	-	-
240	19	64	15.61	11.21	13.73	safe	-	-	-
300	17	81	16.46	11.60	14.49	safe	-	-	-
360	33	114	17.24	13.03	15.40	safe	-	-	-
420	43	157	17.69	13.31	15.99	16.03	0.04	0.84	○
480	29	186	18.09	14.36	16.18	16.26	0.08	1.61	○
540	44	230	18.20	14.27	16.18	16.20	0.02	0.40	○
600	16	246	18.20	13.77	15.89	15.84	-0.05	1.07	○
660	4	250	17.94	13.70	15.69	15.76	0.07	1.56	○
720	25	275	17.86	12.98	15.85	15.61	-0.24	5.17	△
780	39	314	18.09	12.70	15.84	15.68	-0.16	3.46	○
840	1	315	17.97	13.30	15.48	15.55	0.07	1.64	○
900	1	316	17.4	13.37	15.07	15.26	0.19	4.92	○
960	2	318	16.91	12.96	14.74	14.71	-0.03	0.85	○

<Notes> The predicted level is "safe" if the Wolgye 1 Bridge observed level (H_1) is lower than the flood watching level. ○: depth contrast error below 5 %; △: depth contrast error below 10 %

2006년 7월 12일의 경우, 강우지속시간 420 분부터 840 분까지 총 10 차례의 예측을 실시하였으며, 오차범위 0.40 ~ 5.17 %로 모두 적절한 것으로 판정되었다.

침투수위였던 480 분의 EL.16.18 m의 예측수위가 EL.16.26 m로 나타나 약 0.08 m의 오차를 보인다. A지점의 경우와 달리 회귀식에 의한 예측치가 실측치에 비하여 더 큰 값으로서 홍수예경보 측면에서 더 안정적인 값을 나타내는 것으로 판단되었다. 반면에 경계수위보다 예측치는 낮은 경우의 실측치에 비하여 작은 값을 나타내는 경향이 있어 보완이 필요할 것이나 전반적으로 허용오차 범위내의 안정적인 값을 보이고 있어 적절함으로 판단되었다(Fig. 7(b) and Table 16).

한편, 기상보정계수의 적용에 관하여서는 Table 11로 제시하였으나 그 적용범위가 주관적임으로 타당성에 관하여서는 추후 다양한 검토가 필요하며, 기상특보상황 뿐만 아니라 기상레이더 정보를 도입하는 방안이 필요한 연구분야로 판단된다.

4. 결 론

중소하천 유역의 돌발홍수예경보시스템 구축을 위하

여 기상특보 상황을 고려한 통계적인 수위예측모형인 회귀모형을 구성하였고, 이를 활용한 예경보시스템의 구축 및 운영을 위한 이론적 절차를 제시하였으며, 그 적정성을 검토하였다.

- (1) 강우 시나리오에 의해 각각 경계, 위험, 계획 및 제방 월류 홍수위에 해당하는 도달시간을 중랑천 유역에 대하여 계산하였으며, 이에 따른 대피여유 시간을 분석하였다. 분석결과, 각 수위에 도달하기까지 최소 10분~ 최대 130 분으로 대피 여유 시간이 부족한 조건의 유역으로서 분석되었으며 한편 신속한 예보모형의 필요성이 큰 것으로 분석되었다.
- (2) 다양한 강우시나리오에 대한 월계1교와 중랑교 수위관측지점의 수위와 홍수방어 목표지점 수위를 계산하고 이를 모집단 자료로 하는 다중회귀 분석을 실시하였으며, 기준시간으로부터 60 분 후의 수위 변화를 예측할 수 있는 회귀모형을 구성하였다. 이 연구에서 제시된 회귀모형에서는 실측자료가 부족한 중소하천에서 다양한 호우 조건에 대한 유출모형에 의해 생성된 자료로부터 회귀모

형을 구성하는 방안을 제시하였다는 면에서 그 실용성이 크다.

- (3) 제안된 홍수예보시스템에서는 위의 회귀모형에 의하여 선행예측 시간에서의 산정수위와 기상특보사항을 고려한 보정계수에 의하여 보정된 예측수위로부터 예경보를 발령할 수 있도록 하였다. 이 시스템은 실제 호우 사상에 대하여 적용하였으며 중소하천에 대해서 비교적 양호한 홍수위예측을 수행할 수 있는 것으로 판단되었다.
- (4) 본 연구에서 제시한 방식의 홍수예경보시스템은 계산에 필요한 변수가 적고 그 방식이 간단하여 특히 홍수위의 변화가 급격히 변하며 예보선행시간이 짧은 중소하천에 대하여 간편하고 신속한 실용적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.
- (5) 실시간 기상정보를 고려한 홍수위 예측은 강우량과 수위에만 의존함으로써 예상되는 오차를 크게 줄일 수 있을 것으로 판단되나, 적정한 기상보정계수 값의 결정에는 기상레이더 도입등 향후 충분한 연구가 필요한 분야로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-09-NH-01] 제방붕괴에 따른 피해 및 경제적 손실예측모형 개발과제 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

국토해양부 (2005). 전국 PMF도 제작성 보고서
 배덕효, 김형섭, 이종태, 김이현(2005). **중랑천 시험유역 수문자료집 2005**, 도시홍수재해관리기술연구사업

단, FFC04-05.
 배덕효, 김형섭, 이종태, 김이현(2006). **중랑천 시험유역 수문자료집 2006**, 도시홍수재해관리기술연구사업단, FFC05-05.
 배덕효, 김형섭, 이종태, 김이현(2007). **중랑천 시험유역 수문자료집 2007**, 도시홍수재해관리기술연구사업단, FFC06-03.
 서울특별시(2007) **대학과 연계한 하천관리에 대한 연구용역(2단계 2차)**, 연구보고서
 서울특별시(2008) **대학과 연계한 하천관리에 대한 연구용역(2단계 3차)**, 연구보고서
 신현석, 강두기, 김홍태, 송영현(2007) “실 수문관측을 통한 해안도시홍수 경보발령기준안 검증.” **한국수자원학회 2007년도 학술발표회 논문집**, pp. 336-340.
 신현석, 박용운, 김홍태(2005) “SWMM과 HEC-RAS 모형을 이용한 해안 도시 홍수예경보 시스템 구축.” **한국수자원학회 2005년도 학술발표회 논문집**, pp. 816-820.
 이범희 (2006) “도시 홍수 예경보 시스템의 특징과 구성방향에 관하여.” **한국수자원학회지**, 제39권, 제1호, pp. 50-54.
 US Army Corps of Engineers, HEC (2002). *HEC-RAS River Analysis System User's Manual*.
 Peter B. Andrysiak Jr. and David R. Maidment (2000). *Visual Floodplain Modeling with Geographic Information System (GIS)*. Center for Research in Water Resources, InterSys, RiverTools Visual 2.0 Manual.

논문번호: 09-092	접수: 2009.08.03
수정일자: 2009.09.21/11.12	심사완료: 2009.11.12