

# 제방붕괴조건에 따른 도시하천의 홍수범람 특성 및 홍수지도 작성

## - 중랑천 시험유역을 중심으로 -

### Characteristics of the Inundation and Process of Making a Flood Map According to the Levee Break Conditions in Urban Stream

#### - Jungrang Experimental Basin -

이 종 태\* / 허 성 철\*\* / 김 정 회\*\*\* / 한 건 연\*\*\*\*

Lee, Jongtae / Hur, Sung-Chul / Kim, Jeong-Hoi / Han, Kun-Yeun

#### Abstract

This study is for the inundation damage analysis caused by levee break, and for the applicability of GIS tool to make inundation map in the Jungrang stream basin which is one of the representative urbanized area in Korea. The FLDWAV was applied to the actual flood in 1998 to calibrate the parameters, and was used under the flood conditions of 100, 200 years and PMF for the analysis of inundation caused by the levee breach. As the conditions of the levee break, the duration of break(10, 30, 60 min), the width of break(10, 20, 30m) and the location of the break are considered. We found out that the range and the volume of the inundation are strongly influenced by the location of the levee break, the break width in order. And, we compared the two processes of making the inundation map using WMS and ArcView model. The Process 1 which use only WMS has the benefit by its simplicity but there could be considerable errors in making the inundation map, while Process 2 where the ArcView model is introduced to WMS has the capability of making detailed topography map but needs more process time. This study could contribute to levee breach flood analysis and making flood map to establish the EAP(Emergency Action Plan) in the urban basin.

**keywords** : levee break, FLDWAV, WMS, ArcView, inundation, Jungrang stream, flood inundation map, EAP

#### 요 지

도시하천유역에서 집중호우에 따른 제방 범람과 이에 따른 침수 피해규모를 해석하기 위하여 우리나라의 대표적 도시하천인 중랑천의 홍수 및 제방붕괴 특성을 시·공간적으로 다양한 조건에서 연구하였으며 실용적인 GIS 기법의 적용방법에 대하여 비교 분석하였다. 이를 위하여 '98년 실제 홍수상황에 대하여 적용분석하였으며, 100년, 200년, PMP의 빈도별 강우 조건에서 홍수량을 각각 산정하였다. 또한, 제방붕괴 조건별 하천의 부정류 해석 및 제내지의 홍수범람해석을 실시하였다. 제방붕괴의 조건으로서 붕괴시간(10, 30, 60분), 붕괴폭(10, 20, 30m) 및 제방붕괴위치(중상류부, 중류부, 중하류부) 등에 따른 홍수위, 월류량 및 제내지 침수 수위 변화 등을 검토한 결과, 제방붕괴의 위치 및 붕괴폭이 홍수범람규모와 침수피해에 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다. 또한 FLDWAV에 의한 산정결과를 이용한 홍수범람지도 작성과정에서 WMS와 ArcView 모형의 두 모형을 적용하는 과정을 비교하였다. WMS 모형은

\* 정회원 · 경기대학교 토목환경공학부 교수 (e-mail: jtlee@kyonggi.ac.kr)  
 \*\* 정회원 · 경기대학교 토목환경공학부 박사과정 (e-mail: drhydro@kyonggi.ac.kr)  
 \*\*\* 정회원 · (주)유신코퍼레이션 수자원부 (e-mail: y13138@yooshin.co.kr)  
 \*\*\*\* 정회원 · 경북대학교 토목공학과 교수 (e-mail: kshanj@knu.ac.kr)

비교적 간략한 절차를 통하여 작성할 수 있었으나 지형자료의 부정확성으로 말미암아 침수면적에 상당한 차이를 나타내었다. ArcView 모형은 보다 정밀한 범람도를 형성하여 도시구역 등의 적용에 유용할 것으로 판단되나 WMS 모형을 통한 전처리 과정이 필요하여 처리시간이 보다 긴 단점이 있다. 본 연구에서 제시한 분석절차는 도시하천구역의 EAP(Emergency Action Plan, 비상대처계획)수립을 위한 실용적 수문·수리 및 GIS 분석에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 제방붕괴, FLDWAV, WMS, ArcView, 홍수범람, 제내지 침수, 중랑천, 홍수범람지도, EAP

## 1. 서론

서울시의 대표적인 도시하천인 중랑천 유역은 홍수로 인한 잠재 피해위험도가 높은 인구밀집지역으로서 특히, 1998, 2001년에는 기록적인 집중호우로 인하여 의정부, 서울지역에서 막대한 인명과 재산 피해를 겪은바 있으며 '98년 홍수시에는 실제로 일부 제방이 붕괴되어 범람피해가 발생하기도 하였다. 이 하천에 대하여는 서울시의 "대학과 연계한 하천관리에 대한 연구"의 일환으로 2000년 이후 유량측정 등 하천조사를 실시하여 오고 있으며, 2003년 건설교통부의 핵심연구개발사업으로 구성된 "도시홍수재해관리기술연구사업단"에서는 이 하천을 시험유역으로 지정하여 하천 및 내배수계통의 수문자료를 집중적으로 수집하고 있다.

우리나라에서 하천홍수범람에 대한 연구는 1980년대부터 시작되어 이종태와 한건연(1989)은 도시하천 제방의 붕괴와 제내지 침수에 대해 연구하였고, 이종태와 이상태(2001a; 2001b)는 하천단면의 기하학적 형태와 붕괴특성, 축조재료 및 다짐도의 영향 등에 대하여 실험 연구를 하였다. 이종태 등(1995)은 1990년 9월 일산제 제방붕괴에 따른 범람홍수 해석기법에 관한 연구를 수행한 바 있다.

최근에는 홍수재해의 경감을 위한 가상범람 홍수량의 산정과 하천 연안지역에 대한 홍수범람도 및 대피지도 등을 작성함에 있어서 유출모형과 지리정보시스템(Geographic Information System)을 접목한 프로그램의 개발 등 수자원공학과 GIS의 연계가 활발히 이루어지고 있다. 이홍래 등(1998)은 DWOPER 모형에 제방월류 및 붕괴에 따른 홍수해석, 제내지에서의 범람 등을 처리할 수 있는 프로그램과 ARC/INFO를 연계처리할 수 있는 연구를 수행한 바 있으며, 한건연 등(2000)은 2차원 유한요소모형인 RMA를 이용하여 하도흐름의 홍수터로의 범람현상을 모의하였다. 최근 HEC 모형이 GUI 형태로 구축됨에 따라 HEC-RAS, HEC-HMS, ARC/VIEW 등을 이용한 하천범람분석을 위한 연구도 활발한 편이다(신현석과 전성우; 2000; 안상진 등, 2001;

박홍균과 이상일 2001; 김종해 등, 2003; 이주현 등, 2003)(Table 1).

본 연구는 홍수조건, 붕괴양상, 붕괴위치 등을 고려한 시·공간적 범람특성과 실용적 홍수지도제작과정에 대하여 비교 검토한 것으로서, 특히, 도시하천인 중랑천에 대하여 집중적으로 분석하였다.

이 연구에서는 중랑천 유역의 100년, 200년, PMF의 빈도별 강우에 따른 홍수량을 산정하고 침수피해가 발생하였던 노원마을지구, 상계 6동지구, 공릉지구 등에서 제방붕괴 위치 및 규모 등의 다양한 가상 시나리오 조건에 따른 하천 홍수 특성 변화 및 제내지의 범람 해석을 실시하였다. 또한 분석된 결과에 WMS, ArcView모형 등을 적용하여 가상 침수지도 작성방법 등을 연구함으로써 도시홍수의 시·공간특성을 고려한 입체적인 EAP수립에 기여하고자 하였다.

## 2. 홍수파해석 및 제방붕괴 유출곡선의 유도

하도에서의 홍수파 해석을 위하여 사용한 FLDWAV(Fread, 1998)는 미국 NWS의 DWOPER와 기존의 댐 붕괴피해측 모형인 DAMBRK를 통합한 것으로서 상류와 사류가 동시에 발생하는 흐름이나 복잡한 하도에도 적용 가능하며 댐 붕괴파의 해석, 조도계수의 자동보정, 단면 간격의 내삽 등의 기능이 있다. 또한 다양한 형태의 외부 경계 조건을 처리할 수 있으며, 댐, 교량, 보 등 하천 시설물도 내부 경계 조건으로 처리할 수 있다.

모형에서 채택한 지배 방정식은 다음의 St.Venant 방정식과 하천구조물 등에 대한 내부 경계 방정식으로 구성된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_0)}{\partial t} - q_l = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q / A)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) - q_l v_l = 0 \quad (2)$$

Table 1. Comparison of former researches and this study

Section	Main Content	Stream	Condition	Model	GIS
이종태 등 (1995)	제내지에서의 범람 홍수와 해석을 위한 모형의 개발	한강	1990.9. 일산제 제방붕괴	DFLOW-2	
이종래 등 (1998)	홍수범람해석을 위한 수치모형의 개발, 홍수범람시스템	남한강	1995.8. 여주지역 제방월류 및 붕괴	DWOPER	ArcInfo
신현석, 전성우 (2000)	하천 범람에 의한 침수지역의 설정	수영강	수영강 유역의 빈도홍수량, 홍수위	HEC-RAS	ArcView
한건연 등 (2000)	RMA를 이용한 하도흐름의 홍수터로의 범람현상 연구	금강	사행하도의 홍수터 상류단 유량	RMA2	
안상진 등 (2001)	HEC-GeoRAS를 이용한 홍수범람 시간, 수심, 범람면적의 산정	보청천	빈도별 홍수위	HEC-RAS	HEC-GeoRAS
이종태, 이상태 (2001)	하천제방의 물성치에 의한 제방붕괴 양상 분석		제방의 기하특성, 축조재료, 다짐도	수리모형	
박홍균, 이상일 (2002)	홍수범람지도의 제작 절차	임진강	문산유역 빈도별 홍수위	HEC-RAS	
김중해 등 (2003)	제방월류에 대한 위험도산정과 제내지 침수특성 추정 수치모형의 개발	낙동강	확률론적 흐름해석	개발모형	
이주현 등 (2003)	합성 DEM 자료를 이용한 홍수범람 모의시스템의 구축	양화천	빈도별 홍수위	HEC-RAS	WMS
본 연구	다양한 조건에 따른 홍수범람 특성 분석, 홍수지도제작	중랑천	제방붕괴의 폭, 위치, 시간, 규모	FLDWAV	WMS, ArcView

여기서,  $x$ 는 하천의 흐름방향거리,  $t$ 는 시간,  $Q$ 는 유량,  $h$ 는 수위,  $A$ 와  $A_0$ 는 각각 유동(active) 및 비유동(inactive) 하도단면적,  $q_i$ ,  $v_i$ 는 측방유출입량과 그 유속,  $S_f$ ,  $S_e$ 는 각각 마찰경사와 단면변화에 따른 손실경사의 항이다.

한편, 하천 양안의 제방 붕괴부로부터의 월류는 측방 유출·입량으로 고려되며 광정웨어로 해석하는 방법을 채택하였다. 즉,

$$q_i^{j+1} = S c_i k_i (\bar{h}_i - h_{oi})^{3/2} \quad (3)$$

여기서,  $q$ 는 횡월류량,  $S$ 는 붕괴부를 통한 월류의 발생 및 흐름방향 계수,  $c$ 는 위어의 횡월류 유량계수이며,  $k$ 는 잠수보정계수이다.  $h_o$ 는 제방의 붕괴부 마루 높이 또는 제내지 침수위이고,  $\bar{h}_i$ 는 하천의 단면 구간인  $i$ 와  $i+1$ 의 평균수위이다.

이상의 기본방정식에 의한 계산결과로부터 산정된 범람홍수량 수문곡선으로부터 제내지의 침수위와 침수 면적을 저류방정식으로 산정한 후 다시 이 결과는 Eq.(3)의 내부 경계조건으로서 완전·불완전 월류 등의 상태를 고려하여 반복 계산된다.

### 3. 제방붕괴에 따른 범람해석

범람해석에서는 상류유역에서의 유출분석과 하도단면의 홍수추적이 적정하게 계산되어야 하며, 이를 위한 유역 및 하도에 대한 충분한 조사와 실측치 등을 근거

로한 주요 매개변수의 채택이 선행되어야 하는 바, 본 연구에서는 중랑천유역에 의한 기존의 기초연구성과(서울특별시, 2004; 배덕효 등, 2004)들을 활용하였다. 또한, 실제로 제방범람이 발생하였던 1998년 8월의 홍수 상황에 대하여 해석 모형 및 주요 매개변수 등의 적용성을 사전 검토하였다.

#### 3.1 1998년 8월 제방붕괴 및 침수특성 분석

1998년 8월 전국적인 집중호우 당시의 침수피해가 광범위하게 발생하였던 노원마을지구를 대상으로 침수 자료와 모의 결과를 비교 검토하였다.

당시 노원마을은 중랑천 수위상승과 하수관거에서 계획빈도 이상의 우수유입으로 원활한 우수 배제가 이루어지지 않았으며, 제방붕괴로 인하여 하천수가 월류되어 침수피해가 발생되었다(Figs. 1~3). 1998년 8월 6~10일 주요 일간지에 의하면 서울시계에서 1km가량 떨어진 의정부지역 중랑천 좌안 제방이 20m가 무너져 넘쳐난 물이 의정부 장암동 등을 거쳐 서울시 노원구로 흘러 들어와 인근 노원마을에 침수가 발생하였으며, 노원마을 4백여가구 주민 1천여명이 침수 피해를 입었다. 가옥 수습채가 물에 떠내려 갔고 남은 집들도 대부분 파손되었으며, 중랑천의 수위가 급격히 올라가면서 월계1교의 수위도 18.6 EL.m까지 올라갔다고 보도했다(중앙일보 1998a; 1998b, 조선일보, 1998).

당시의 시간당 최대 강우는 의정부 관측지점에서 99mm, 일강우는 8월 6일에 365mm를 기록하였다(Fig. 2).



Fig. 1. Location of levee break('98. 8)

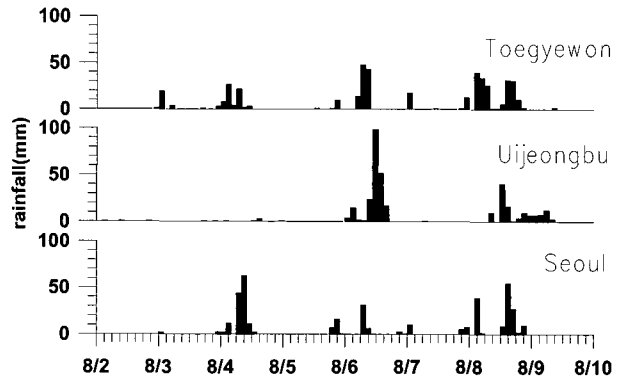


Fig. 2. Rainfall during Aug. 1998



Fig. 3. Levee break in Nowon

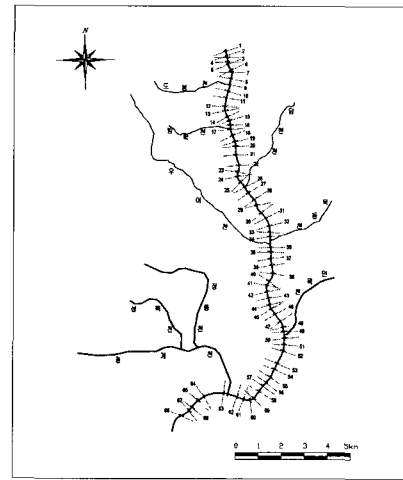


Fig. 4. Routing channel and cross sections

중랑천유역에서의 계산 모형 및 적정 매개변수의 타당성을 검토하기 위하여 1998년 8월의 상황을 모의하였다.

홍수파해석을 위한 하도구간의 상류경계 조건으로서 상류유역에서의 빈도별 홍수 유출곡선을 적용하였으며, 당현천, 우이천 등의 지천으로부터의 측방 유입량을 고려하였다. 상류유역(경기도 지역) 및 측방 유입량(지천)의 홍수 규모에 따른 유입수문곡선을 유도하기 위하여서는 Clark 합성단위도법과 Muskingum 하도 추적방법을 사용하였다. 하도는 68개의 단면으로 분할하여 홍수파를 FLDWAV 모형으로 계산하였다(Fig. 4).

하류경계조건은 건교부 중랑교 수위표의 자료를 적용하였다. 또한, 당시의 홍수피해 상황을 고려하여 제방 붕괴폭 20 m, 붕괴부높이 30.0 EL.m, 붕괴지속시간은 30분으로 하였다.

이상의 조건으로 계산한 결과 노원마을지구의 침수 지속시간은 약 5.45시간으로 나타났으며, 이 때의 최대 침수심은 약 2.7m로 분석되어 현장조사를 통한 침수심과 유사한 결과를 나타내어(Fig. 5, Table 2) 이 연구에서의 제방붕괴 등으로 인한 제내지 침수특성 분석과정

은 적절한 것으로 판단되었다.

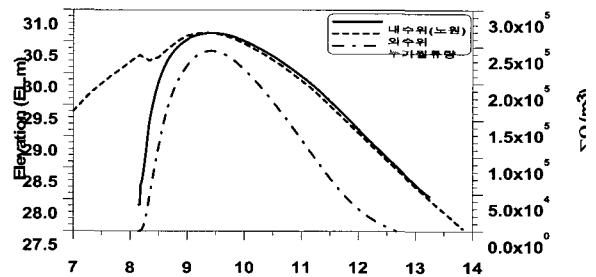


Fig. 5. Flood water level in Nowon(Aug. 1998)

### 3.2 가상 붕괴조건

가상 제방붕괴의 시나리오는 홍수규모, 붕괴조건 및 붕괴위치에 따라 12개의 CASE 들을 설정하였다. 즉, 홍수규모는 100년, 200년, PMF, 붕괴규모는 붕괴지속시간과 붕괴폭에 따라 각각 10분, 30분, 60분과, 10m, 20m, 30m, 붕괴위치는 중상류, 중류, 중하류부 등으로 가정하였다. 각 CASE별 조건은 Table 3과 같다.

Table 2. Inundation characteristic in Nowon, Aug. 1998

Location	Peak flow (m <sup>3</sup> /s)	Time of starting overflow (hr)	Time of peak overflow (hr)	Travel time of peak overflow (hr)	Travel time of High Water Level (hr)	Duration of inundation (hr)	Inundated area (m <sup>2</sup> )	Overflow Volume (m <sup>3</sup> )	Flood level (Wolgea-1 br., : EL.m)
Nowon	124	8.15	8.28	0.13	1.25	5.45	132,500	244,800	19.0

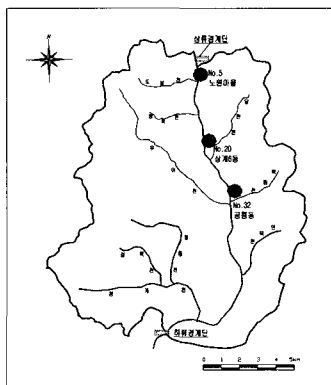
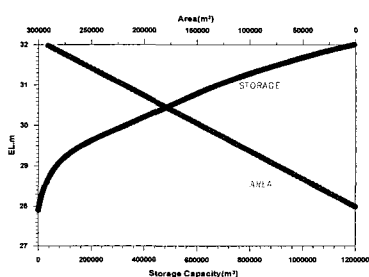


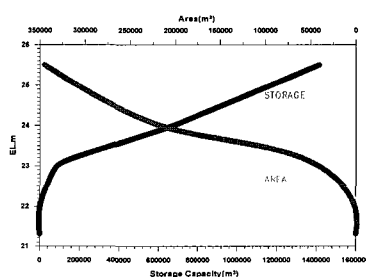
Fig. 6. Hypothetical location of levee break

Table 3. Scenario of flood and levee breach

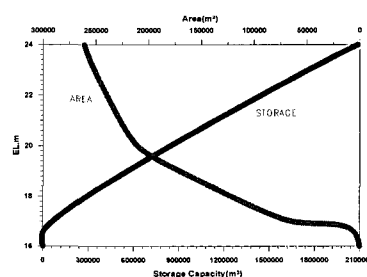
Section		CASE	Conditions
Flood frequency		A-1	100yr
		A-2	200yr
		A-3	PMF
Break form	Break time (min)	B-1	10
		B-2	30
		B-3	60
	Break width (m)	C-1	10
		C-2	20
		C-3	30
Location of break	D-1	Nowon village(No.5)	Flood frequency : 200yr
	D-2	Sanggye-6 dong(No.20)	Break time : 30min
	D-3	Gongreung dong(No.32)	Break width : 20m



(a) Nowon Village



(b) Sanggye-6 Dong

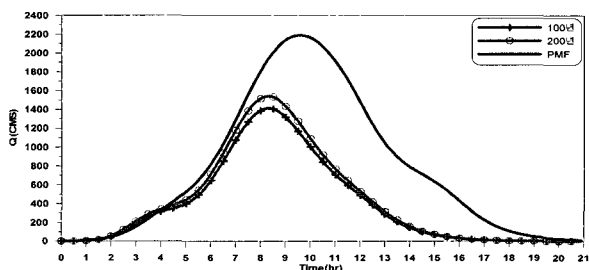


(c) Gongreung Dong

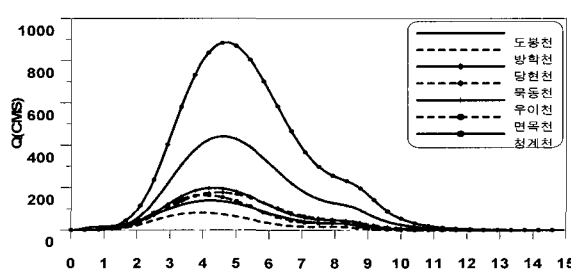
Fig. 7. Level-Area-Volume curve

먼저 가상의 제방붕괴 위치는 1998년 집중호우시 제방붕괴 및 범람에 의해 침수된 지역인 노원마을을 포함하여 상계 6동, 공릉동 등의 지역으로서 중랑천의 중상류, 중류, 중하류지역에 위치하고 있다(Fig. 6). 가상 붕괴지역의 침수면적과 내용적에 관한 수위-면적-체적의 관계는 Fig. 7과 같다.

강우조건에 따른 상류경계단 및 도봉천, 당현천, 우이천 등에서의 유입수문곡선을 유도하였으며, 그 결과는 Fig. 8 및 Table 4와 같다. 하류단(중랑천 하구) 경계조건으로서는 중랑천 하천정비 기본계획(서울특별시, 2000)상의 빈도별 기점 홍수위를 적용하였다.



(a) Upstream Boundary



(b) Lateral Flow

Fig. 8. Upstream boundary and lateral flow hydrograph

Table 4. Flood discharges from upstream and tributaries

(Unit : m<sup>3</sup>/s)

Stream	Basin Area(km <sup>2</sup> )	100year	200year	PMF	Remark
Jungrang	204.92	1,414	1,542	2,191	Seoul Boundary
Dobong	8.36	138	149	186	
Banghak	4.15	81	88	109	
Danghyun	13.65	198	215	274	
Mookdong	9.67	176	191	246	
Wooi	27.43	441	480	625	
Myonmok	8.67	163	177	221	
Cheonggye	62.82	885	961	1,246	

3.3 홍수규모에 따른 범람 분석

홍수규모(100년, 200년, PMP 등)에 따른 범람모의를 노원마을 지역에서 제방 붕괴시간 30분, 붕괴폭 20m, 붕괴높이 30.5 EL.m의 조건(CASE A1~A3)에서 실시하고 그 영향을 분석하였다.

붕괴 지점에서의 일반적 홍수특성을 살펴보면, 제방 붕괴 직후 급격한 월류량으로 제내지를 급속히 침수시켜 나가며, 이 과정에서 중랑천 홍수위는 일시적으로 하강하다가 제내·외의 수위와 같아지면 제내지로의 월류가 중지됨으로써 붕괴로 인한 하천 수위 하강 영향은 소멸되었다. 한편, 강우의 중단으로 하천의 수위가 하강하면 제내지의 범람수는 하천으로의 역방향 유입이 발생된다. 이로 인하여 감수기간의 하천 수위는 붕괴가 없는 경우보다 홍수위 수문곡선 후반부의 홍수위가 오히려 조금 더 높게 나타나는 경향을 보였다(Fig. 9).

또한, 큰 규모의 홍수일수록 붕괴시작 수위(제방고)

에 더 빨리 도달하여 제방붕괴로 인한 월류가 시작되고 침투 월류량도 크게 발생하였다. 즉, PMF의 경우에는 100년, 200년 빈도의 경우보다 붕괴가 초기에 발생하였으며 붕괴부를 통한 제내지로의 월류가 장시간 계속되었다. 이는 홍수량 산정시 PMF의 임계지속시간이 12시간으로 다른 강우 규모에 비하여 외수위가 높고 홍수지속시간과 홍수위 상승시간이 긴 것에 기인한 것으로 판단된다. 즉, 홍수규모가 가장 큰 PMF(A-3)에서의 월류지속시간이 대략 9시간으로 가장 길고 침투월류량도 177 m<sup>3</sup>/s로서 200년 빈도(A-2)에 비하여 약 20 m<sup>3</sup>/s 이상 크게 월류하고 있는 것으로 나타나 가장 큰 홍수피해를 발생시킬 것으로 예상된다.

노원마을 지구의 경우 29 EL.m까지는 대부분 농경지이며, 주민들이 거주하는 지역의 고도는 대부분은 그 이상의 지역에 위치하고 있으므로 제내지의 침수위가 이 수위에 이르기 전에 주민들의 대피가 필요할 것으로 판단된다. 그러나, 제방붕괴 이후부터 불과 10분 정도의 단

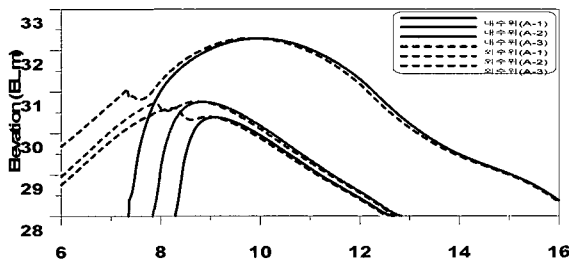


Fig. 9. Flood water level (CASE-A, Nowon)

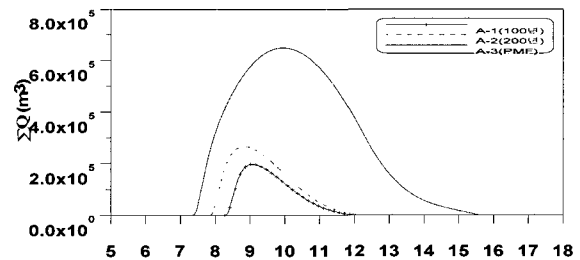


Fig. 10. Cumulative overflow discharge (CASE-A, Nowon)

Table 5. Effects of flood frequency(Nowon)

CASE	Flood frequency	Peak flow (m <sup>3</sup> /s)	Time of starting overflow (hr)	Time of peak overflow (hr)	Travel time of peak overflow (hr)	Travel time of High Water Level (hr)	Duration of inundation (hr)	Inundated area (m <sup>2</sup> )	Overflow Volume (m <sup>3</sup> )
A-1	100yr	143	8.27	8.42	0.15	0.80	4.56	115,700	196,800
A-2	200yr	157	7.83	7.98	0.15	0.99	5.22	139,400	266,800
A-3	PMF	177	7.35	7.50	0.15	2.58	9.38	211,900	648,500

시간에 급격하게 제내지의 수위는 29 EL.m에 달하게 될 것이므로 안전한 지역으로의 주민대피는 붕괴 위험의 조기 예측에 따라 사전에 이루어져야 할 것이다.

홍수규모에 따른 월류발생으로부터 침투월류량의 발생까지의 시간차이는 근소한 것으로 분석되었으나 최대 침수심에서는 약 2.4~4.3 m의 상당한 차이를 보였으며 주거지(29 EL.m이상)의 침수 지속 시간은 홍수규모에 따라 약 4~8시간으로 분석되었다.

### 3.4 붕괴지속시간에 따른 범람 분석

제방 붕괴지속시간에 따른 CASE별 범람분석을 실시하였다. 붕괴시간이 가장 짧은 10분의 경우(B-1)에서 가장 빠른 침투량에 도달하였으며, 붕괴지속시간 60분(159 m<sup>3</sup>/s), 30분(157 m<sup>3</sup>/s), 10분(150 m<sup>3</sup>/s) 순으로 침투월류량이 크게 발생하는 것으로 나타났다(Fig. 11).

즉, 붕괴지속시간이 짧을수록 침투월류량에 도달하는 시간은 짧았으나 침투월류량의 크기는 반대로 작게 나타났다. 이는 빠른 붕괴로 인한 월류량의 증대로 하천

수위가 저하되면서 최대 월류수위가 상대적으로 낮아졌기 때문으로 판단된다. 또한, 총 월류시간은 붕괴시간이 길수록 짧게 분석되었는데, 이는 최고내수위가 하천수위의 하강 이전에 발생하였기 때문인 것으로 분석되었다(Table 6).

이상의 검토 결과로부터 붕괴지속시간에 의한 제내지의 범람 양상은 하천의 홍수특성과 제내지의 지형조건이 결합하여 다양하게 나타남을 알 수 있다.

### 3.5 붕괴폭에 따른 범람 분석

제방의 붕괴 폭(10~30 m)에 따른 범람분석을 실시하였으며, 붕괴폭이 가장 큰 30 m(C-3)의 경우가 침투 및 누기월류량에서 가장 큰 값을 나타내고 있는데 이는 제방의 붕괴폭이 클수록 많은 양의 하천수가 붕괴부를 통하여 월류하게 된 결과이다. 붕괴폭에 따라 침투월류량이 발생하는 시간 및 월류시작시간은 유사하였으나, 붕괴폭이 클수록 월류지속시간은 짧아지는 것으로 분석되었다(Fig. 13).

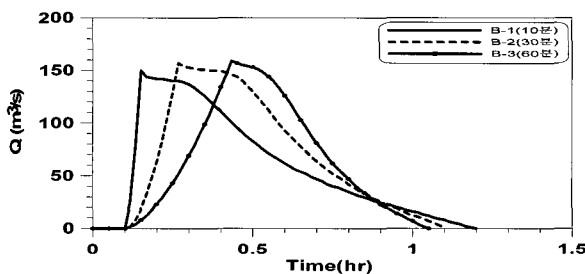


Fig. 11. Breach hydrograph (CASE-B, 200year)

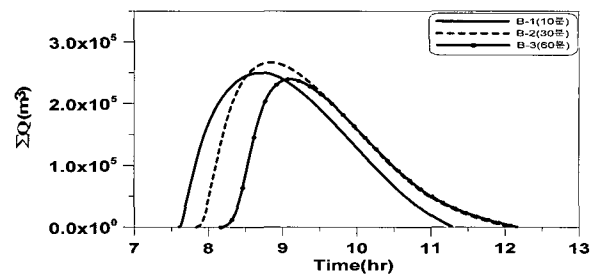


Fig. 12. Cumulative overflow discharge (CASE-B, 200year)

Table 6. Effects of breach duration(200year, Nowon)

CASE	Break duration	Peak flow (m <sup>3</sup> /s)	Time of starting overflow (hr)	Time of peak overflow (hr)	Travel time of peak overflow (hr)	Travel time of High Water Level (hr)	Duration of inundation (hr)	Inundated area (m <sup>2</sup> )	Overflow Volume (m <sup>3</sup> )
B-1	10min	150	7.60	7.65	0.05	1.08	5.45	134,200	250,100
B-2	30min	157	7.83	7.98	0.15	0.99	5.22	139,400	266,800
B-3	60min	159	8.17	8.48	0.31	0.91	4.88	130,700	239,300

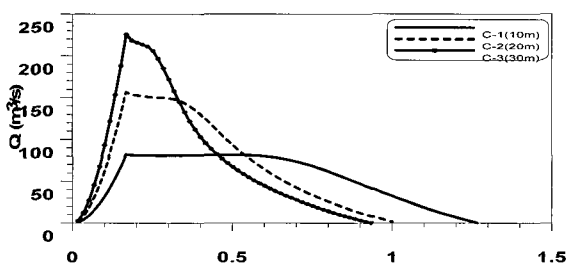


Fig. 13. Breach hydrograph (CASE-C, 200year)

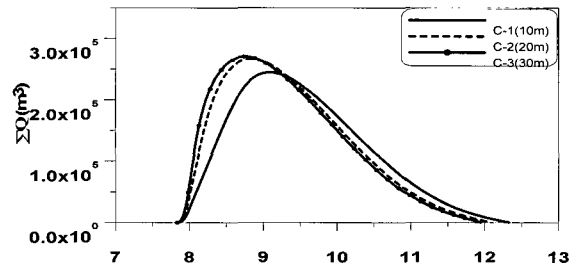


Fig. 14. Cumulative overflow discharge (CASE-C, 200year)

Table 7. Effects of breach width(200year, Nowon)

CASE	Breach width	Peak flow (m/s)	Time of starting overflow (hr)	Time of peak overflow (hr)	Travel time of peak overflow (hr)	Travel time of High Water Level (hr)	Duration of inundation (hr)	Inundated area (m <sup>2</sup> )	Overflow Volume (m <sup>3</sup> )
C-1	10m	82	7.83	7.98	0.15	1.25	5.97	132,500	244,900
C-2	20m	157	7.83	7.98	0.15	0.99	5.22	139,400	266,800
C-3	30m	225	7.83	7.98	0.15	0.92	5.00	140,500	270,500

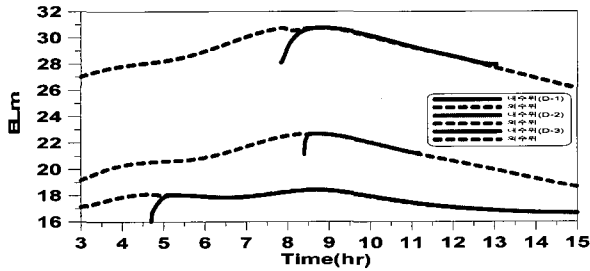


Fig. 15. Flood water level (CASE-D, 200year)

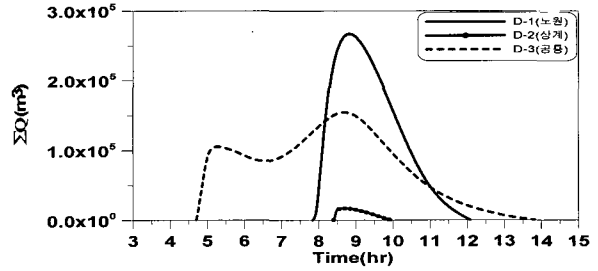


Fig. 16. Cumulative overflow discharge (CASE-D, 200year)

Table 8. Effects of the location of levee breach(200year)

CASE	Location	Peak flow (m/s)	Time of starting overflow (hr)	Time of peak overflow (hr)	Travel time of peak overflow (hr)	Travel time of High Water Level (hr)	Duration of inundation (hr)	Inundated area (m <sup>2</sup> )	Overflow Volume (m <sup>3</sup> )
D-1	Nowon	157	7.83	7.98	0.15	0.99	5.22	139,400	266,800
D-2	Sanggye-6	63	8.40	8.43	0.03	0.28	2.78	13,100	17,000
D-3	Gongreung	95	4.70	4.73	0.03	0.58	16.30	70,200	105,300

붕괴지점의 하천 홍수위는 붕괴가 없는 경우와 비교하여 붕괴폭이 가장 큰 경우(C-3)일 때 약 0.46 m의 가장 큰 외수위의 하강을 나타내었으며, 이는 제내지로의 월류 총 체적이 가장 많은 것에 기인하는 것으로 판단된다.

### 3.6 붕괴위치에 따른 범람 분석

제방의 붕괴위치는 범람 홍수특성에 상당한 차이를 보여주었다.

가장 상류부에 위치한 노원마을 지구(D-1)에서 약 157 m/s의 침두 월류가 발생하였으나, 상계지구(D-2)에서는 약 63 m/s로 분석되었다. 붕괴직후부터 노원지구는 약 1시간, 상계지구는 약 17분, 공릉지구는 약 35분에 최대 침수위에 각각 도달하였다. 또한, 누가월류량은 제내지의 수위별 내용적에 따라 큰 차이를 보였다.

노원마을에서의 누가월류량은 약 266,800 m<sup>3</sup>로서 가장 많았으나 침수지역의 대부분이 농경지이고 주택지의 대부분 지역이 29 EL.m이상에 위치하고 있어 피해 위

험도는 누가월류량이 보다 적은 공릉지구(105,300 m<sup>3</sup>)보다 오히려 작은 것으로 판단되었다. 한편, 대부분 지역이 거주지인 상계, 공릉지역에서의 월류 총량은 노원마을보다 적지만 인명과 재산 피해는 크게 발생될 것으로 예상된다.

## 4. GIS를 이용한 홍수범람도 작성

제방붕괴로 인한 제내지의 홍수범람도 작성을 위하여 1:1000의 수치지도로부터 셀크기를 3m로 DEM을 생성하고 이를 이용하여 WMS모형과 ArcView 및 FLDWAV로부터 홍수범람도를 Fig. 17에서와 같이 2단계의 과정(Process)으로 각각 작성하고 그 장단점을 비교 검토하였다(Fig. 17).

### 4.1 WMS 모형의 적용(Process 1)

FLDWAV모형에서 분석한 홍수위를 이용하여 각 측정



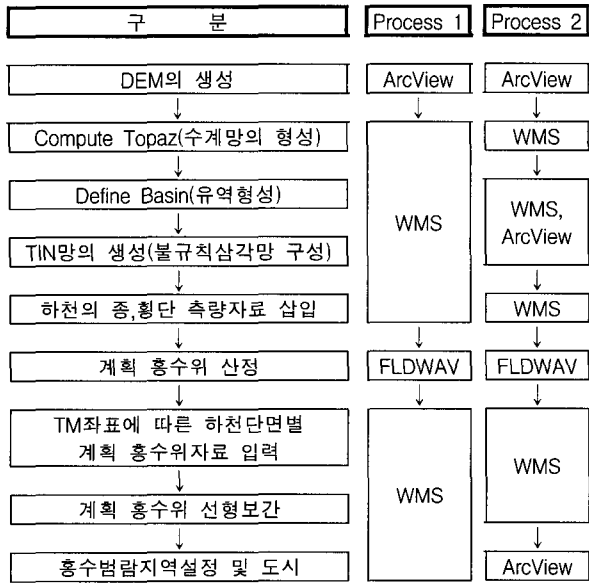


Fig. 17. Process of making inundation map

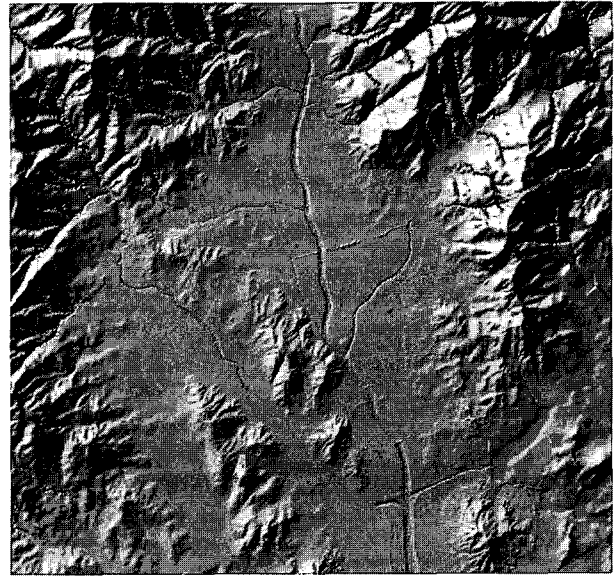
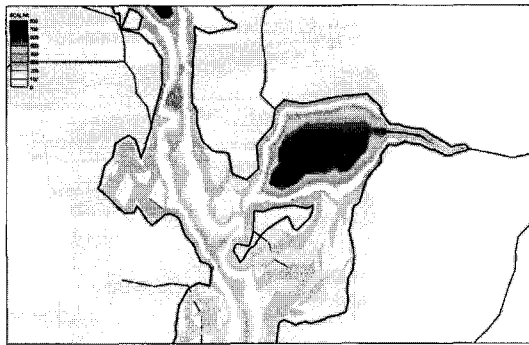
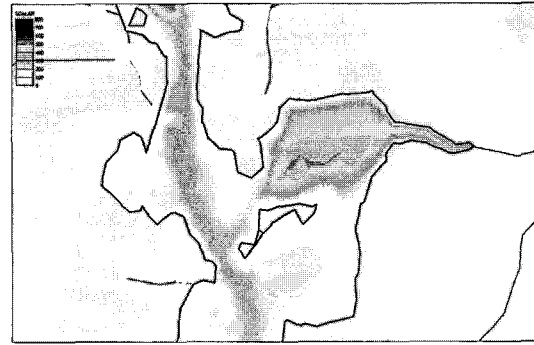


Fig. 18. GIS map the Jungrang stream made by WMS



(a) 100year Flood



(b) 200year Flood

Fig. 19. Inundation risk map(with WMS, Nowon)

에 해당하는 수치고도모형위에 홍수위를 입력하여 범람도를 제작하였다. ArcView에서 수치지도를 이용하여 DEM을 작성한 후 이를 WMS에 포함된 TOPAZ를 통하여 수계망을 구성하였으며, 이를 통하여 유역을 형성하였다(Fig. 18). 유역을 불규칙 삼각망으로 구성하여 FLDWAV로부터 산정된 홍수위를 하천단면별로 입력한 후 WMS의 Floodplain 기능을 이용하여 홍수범람지역을 도시한 결과 Fig. 19와 같이 분석되었다.

먼저, WMS모형으로 범람도를 작성함에 있어서 DEM을 통하여 수계망을 형성하거나 해당 유역의 특성을 분석하는 등에 있어서 용이하게 수행할 수 있었고 계산된 홍수위를 하천의 비교적 정확한 횡단면에 입력함으로써 보다 정밀한 홍수범람지도를 작성할 수 있었으며, 수치지도로부터 유역을 형성하고 각 횡단면에 계산된 홍수위를 입력한 뒤 침수면적을 분석하기까지의 일련의 과정이 손쉽게 수행될 수 있었다.

이 모형은 지형 자료에 의해 위험제방구간과 홍수범람지형 등을 쉽게 산정할 수 있는 장점 등이 있다. 그러나, 홍수범람에 분석되는 기초 지형인 불규칙 삼각망(TIN)을 형성할 시에 지형자료의 부정확성으로 인한 홍수범람지역의 영역 결정에 오류가 발생할 수 있음을 확인하였다. 즉, Fig. 19에서와 같이 WMS를 이용한 홍수범람도는 1:1000 지형도를 이용하여 DEM(셀크기 : 3m)을 구축하였지만 중량천과 같은 도시하천에서는 세밀한 침수영역을 나타내지 못하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 이 모형은 지형특성이 비교적 뚜렷한 산지유역에서는 유용하나 정확한 GIS자료(Lidar)의 구축없이 도시하천의 홍수범람도 작성에는 부적절한 점이 있으므로 지형이 복잡하면서 고도차이가 완만한 도시유역에는 그 적용에 신중을 기해야 될 것이며 하천정비계획에서의 정밀측량성과 등으로 보완하는 과정이 필요하다.

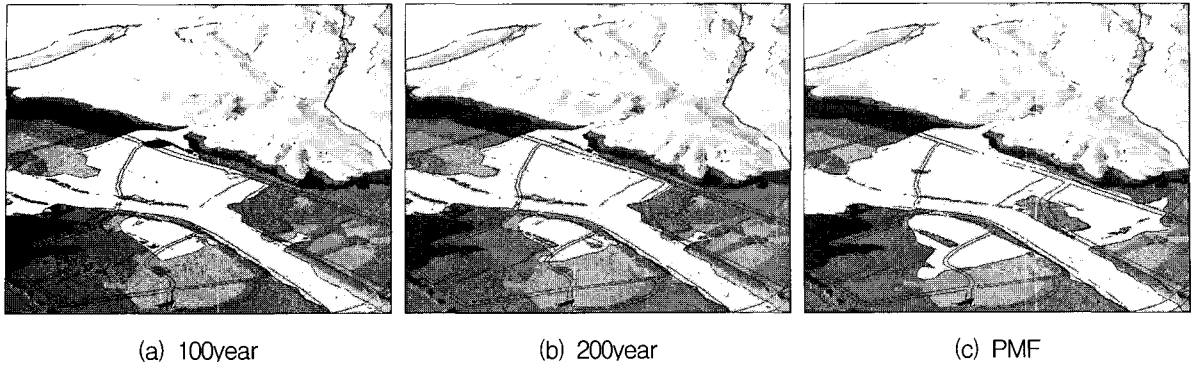


Fig. 20. 3-D inundation map(Nowon)

#### 4.2 ArcView 모형의 적용(Process 2)

FLDWAV 모형을 이용하여 각 시간별 침수지역의 홍수위를 산정한 결과로부터 각 빈도별로 시간에 따른 홍수범람지도를 GIS 모형인 ArcView를 이용하여 작성하는 과정을 검토하였다. ArcView를 이용한 범람지도를 작성하기 위하여서는 전처리 과정으로 4.1절에서 언급한 WMS 모형을 통하여 범람지역을 설정한 후, 이를 ArcView에서 생성된 불규칙 삼각망을 통하여 홍수범람지역을 도시할 수 있었다.

WMS 모형의 경우는 대유역에서는 대략적인 범람위치 및 범위를 쉽게 나타낼 수 있지만 중랑천과 같은 도시하천유역 등에서는 수치지도의 정확도 등에 의해 정확한 해석의 어려움을 갖고 있는 반면 ArcView 모형은 WMS 모형보다 TIN 구성이 용이하고 더 정밀하여 도심지역등에서도 어느 정도 비교적 양호한 범람위치 및 범위를 나타낼 수 있었다. 또한 이 모형으로 3차원적인 범람 형상을 보여주지만 이 때에도 WMS 모형을 통한 전처리 과정이 필요하여 홍수범람지도의 작성에는 상당한 전산처리시간이 소요되었다.

홍수 규모에 따른 가상의 범람지도를 작성한 결과 100년 빈도와 200년 빈도의 경우 제방이 붕괴시에는 범람지역이 유사한 것으로 분석되었으며, PMF 홍수시에는 하류지역으로 범람에 의한 수몰지가 더욱 넓게 증가함을 나타내었다(Fig. 20).

### 5. 비교 및 고찰

본 연구에서는 중랑천의 제방붕괴에 따른 범람해석을 강우규모, 제방붕괴의 시간, 폭 및 위치에 따라 제내지의 홍수범람 해석을 실시하고 가상범람도 작성방법을 검토하였다.

1차원 부정류 해석모형인 FLDWAV를 사용함으로써 실시간으로 침수예측이 가능할 것으로 판단되며, 또한

홍수범람도 작성을 위해 WMS와 ArcView모형을 사용하는 두 제작과정을 제시하고, 그 장단점을 비교 검토한 결과를 제시하였다.

홍수규모에 따른 분석결과 PMF의 경우에서 가장 높은 외수위가 발생하여 노원지역에서는 제내지의 광범위한 지역이 제방붕괴로 침수되는 것으로 분석되었으며, 홍수규모별로 산정된 제내지의 최고 수위를 기준으로 이보다 높은 지역으로의 대피계획이 이루어질 수 있을 것으로 사료된다.

제방붕괴 시간에 따라 첨두월류량 및 월류된 총 체적에서 약간의 차이를 보였으나 침수위, 월류 종료시간 등에서는 큰 변화를 발견할 수 없었다. 제방붕괴 폭이 증가함에 따라 첨두 월류량 및 월류 총체적은 뚜렷이 증가함으로써 침수에 미치는 영향이 큼을 알 수 있었다.

한편, 제방붕괴 위치에 따른 침수특성 분석결과 침수 규모와 예상되는 피해양상에 가장 큰 영향을 주었다. 즉, 하천에서 제내지로 월류되는 규모에 있어서는 노원마을에서 침수규모가 크게 분석되었지만 침수되는 대부분의 지역이 농경지로 나타났다. 그러나 상계 6동 지역과 공릉지구의 경우 월류되는 규모는 노원마을에 비하여 작지만 저지대 대부분이 거주지역으로 노원마을지구 에 비해 큰 침수피해가 예상됨으로써 적절한 EAP 수립을 위해서는 지구별 제내·외지의 수문·수리조건과 더불어 제내지의 토지이용현황에 대한 사전검토가 선행되어야 할 것이다(Table 9).

홍수지도 작성에 관한 연구로서는 HEC-GeoRAS와 지리정보시스템을 연계한 방법과 DWOPER, RMA 등을 이용한 1, 2차원 부정류 방법 등이 있으나, 지리정보시스템과의 연계에 관한 많은 연구가 진행된 HEC-GeoRAS의 경우에는 정류상태의 흐름을 계산하여 지리정보시스템과 연계함으로써 시간에 따른 제내지로의 범람형태를 분석할 수 없으며, 제내지의 침수위를 하천단

Table 9. Summary of levee break flood characteristics on each CASE

CASE	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2	D-3
	100yr	200yr	PMF	10min	30min	60min	10m	20m	30m	Nowon	Sanggye-6	Gongreung
Peak flow(m <sup>3</sup> /s)	143	157	177	150	157	159	82	157	225	157	63	95
Time of peak overflow	8.42	7.98	7.50	7.65	7.98	8.48	7.98	7.98	7.98	7.98	8.43	4.73
Time of starting overflow	8.27	7.83	7.35	7.60	7.83	8.17	7.83	7.83	7.83	7.83	8.40	4.70
Time of ending overflow	9.07	8.82	9.93	8.68	8.82	9.08	9.08	8.82	8.75	8.82	8.68	5.28
Travel time of peak overflow	0.15	0.15	0.15	0.05	0.15	0.31	0.15	0.15	0.15	0.15	0.03	0.03
Travel time of High Water Level	0.80	0.99	2.58	1.08	0.99	0.91	1.25	0.99	0.92	0.99	0.28	0.58
Duration of inundation	4.56	5.22	9.38	5.45	5.22	4.88	5.97	5.22	5.00	5.22	2.78	16.30
Inundated area(m <sup>2</sup> )	115,700	139,400	211,900	134,200	139,400	130,700	132,500	139,400	140,500	139,400	13,100	70,200
Overflow Volume(m <sup>3</sup> )	196,000	266,800	648,500	250,100	266,800	239,300	244,900	266,800	270,500	266,800	17,000	105,300

주) 시간은 유출이 시작된 시간에서부터 경과된 시간(hr)임.

면에 의해 산정함으로 과대하게 산정될 우려가 있을 것으로 판단된다.

HEC-GeoRAS에 의한 홍수지도의 작성은 하도단면 축출은 정밀한 하도 측량 단면에 의한 횡단면 보정이나 하도단면이 세밀하게 표현되는 축척의 수치지도에 의한 DEM 작성 등이 선행되어야 하므로 FLDWAV 모형에 비하여 변수 입력의 어려움을 수반하나, HEC-RAS 모형에 의해 산정된 홍수위를 Import시켜 직접 입력할 수 있도록 연동되어 있으므로 사용자가 보다 쉽게 적용할 수 있는 장점을 지니고 있다.

본 연구에서는 각 홍수범람 시나리오에 따른 개략의 홍수범람지도 작성에 의해 대피할 지역 등을 미리 예상할 수 있었으나 수치지도의 정확도(1000도의 경우 고도차 : 1m)가 높지 않아 정확한 홍수범람구역을 결정하기에는 한계가 있으므로 보다 정확한 지형도 구축이 선행되어야 한다. WMS 모형의 경우 대유역에서 개략적인 범람 위치와 범위를 산정하는데 편리하게 이용할 수 있으며, ArcView의 경우 비교적 적은 유역 등에서도 TIN 구성이 용이하고 WMS 모형에 비하여 정밀하며 유용하게 쓰일 수 있으나 대유역의 경우 연산시간이 긴 것이 문제점으로 분석되었다.

## 6. 결 론

제방붕괴로 인한 제내·외지의 홍수특성을 중량천 도시하천에 대하여 '98년 제방붕괴상황을 모의하였으며, 침투월류량, 월류시작 및 종료시간, 월류량 체적 등으로 구분하여 가상조건에 대하여 홍수상황을 분석하고 GIS 처리기법을 비교 검토하였다.

- (1) 제내지의 침수는 제방의 붕괴위치, 홍수규모 및 붕괴폭에 큰 영향을 받고 있으며 특히 붕괴위치의 영향이 침수위·면적과 파해규모에 주는 영향이 매우 컸는 바 EAP 수립에서는 제방붕괴의 공간적 분석이 국지 붕괴조건보다 중요함을 알 수 있다.
- (2) 도시지역의 하천제방 붕괴는 제내지의 급속한 침수를 발생시키며 침수 범위에 비해 예상되는 침수피해가 크에도 불구하고 대피시간이 짧고 제내지 특성에 따라 상이한 특징을 보이는 것으로 분석되어 하천유역별, 주요지역별로 신속한 홍수에·경보 및 대피 시스템의 구축이 필요하다.
- (3) 홍수범람지도 작성시에 WMS 모형은 간략한 절차를 통하여 작성할 수 있으나 정밀도가 낮으며, ArcView 모형은 보다 정밀한 결과를 얻을 수 있으나 범람도 작성에 보다 많은 시간이 소요되는 것으로 비교 검토되었다.
- (4) 본 연구에서 제시된 다양한 가상 제방붕괴조건과 저류방정식에 의한 단순 침수해석과정, 다양한 홍수규모와 붕괴조건별 가상 취약 붕괴 위치 및 제내지의 특성반영 등 시공간적 분석과 홍수범람도작성과정 등은 실용적인 EAP대책수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리

기술연구사업단의 연구성과물로서 관계당국에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

김중해, 한건연, 서규우 (2003). “하천 홍수범람모의를 위한 불확실도 해석기법의 적용.” **한국수자원학회 논문집**, 제36권 제3호, 한국수자원학회, pp. 661~671

박홍균, 이상일 (2001). “홍수위험지도 : 개발절차와 시나리오.” **2001년 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 1~4

배덕효, 이종태, 김형섭 (2004). **시험구역의 선정 및 계측망의 구축**, 기술보고서, FFC03-05, 도시홍수재해관리기술연구사업단

서울특별시 (2000). **중랑천 하천정비 기본계획**

서울특별시 (2004). **대학과 연계한 하천관리에 대한 연구**

신현석, 전성우 (2000). “HEC-HMS, HEC-RAS와 ArcView를 이용한 홍수범람지역 설정에 관한 연구.” **2000년 정기학술대회 논문집(III)**, 대한토목학회, pp. 221~224

안상진, 함창학, 김종섭, 김기석 (2001). “GIS를 이용한 홍수범람 지역 분석.” **2001년 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회

이종태, 이상태 (2001a). “하천제방 붕괴양상의 실험적 연구 (I) : 단면의 기하학적 특성치의 영향.” **한국수자원학회 논문집**, 제34권 제2호, 한국수자원학회, pp. 141~154

이종태, 이상태 (2001b). “하천제방 붕괴양상의 실험적 연구 (II) : 축조재료 및 다짐도의 영향.” **한국수자원**

**학회 논문집**, 제34권 제2호, 한국수자원학회, pp. 155~167

이종태, 한건연 (1989). “하천제방의 붕괴로 인한 제내지의 침수예측모형.” **한국수문학회지**, 제22권 제2호, 한국수문학회, pp. 223~231

이종태, 한건연, 윤세의, 박재홍 (1995). “제내지에서의 범람홍수파 해석을 위한 수치모형의 개발.” **한국수자원학회 논문집**, 제28권 제5호, 한국수자원학회, pp. 163~174

이주현, 최종진, 이희철, 이은태 (2003). “고해상도 수치 고도모형을 활용한 홍수범람도의 작성.” **대학토목학회 논문집**, 제23권 제68호, 대한토목학회, pp. 471~478

이홍래, 한건연, 김상호, 최현상 (1998). “하천 홍수범람 해석을 위한 수치모형의 개발 (I).” **한국수자원학회 논문집**, 제31권 제4호, 한국수자원학회, pp. 415~427

조선일보 (1998). “중랑천에 ‘양쯔강식 수방효과.’” 8월 10일, p. 20

중앙일보 (1998a). “주민 1만여명 대피 중랑천주변.” 8월 7일, p. 13

중앙일보 (1998b). “[집중호우]악몽의 중랑·안양·안성천변 저지대주민들.” 8월 10일, p. 13

한건연, 정재학, 이을래 (2000). “홍수터에서의 범람 홍수류에 의한 2차원 수치모의.” **한국수자원학회 논문집**, 제33권 제4호, 한국수자원학회, pp. 483~493

Fread, D.L., Lewis, J.M. (1998). *NWS FLDWAV MODEL*, National Weather Service

(논문번호:05-80/접수:2005.06.21/심사완료:2006.03.13)