

미계측 해안 도시 유역의 홍수예경보 시스템 구축 방법 검토 - 부산시 온천천 유역 대상 -

The Study on the Development of Flood Prediction and Warning System at Ungaged Coastal Urban Area - On-Cheon Stream in Busan -

신 현 석* / 박 용 운** / 홍 일 표***

Shin, Hyun-Suk / Park, Yong-Woon / Hong, Il-Pyo

Abstract

In this study, the coastal urban flood prediction and warning system based on HEC-RAS and SWMM were investigated to evaluate a watershed of On-Cheon stream in Busan which has characteristics of coastal area caused by flooding of coastal urban areas. The basis of this study is a selection of various geological data from the numerical map that is a watershed of On-Cheon stream and computation of hydrologic GIS data. Thiessen method was used for analyzing of rainfall on the On-Cheon stream and 6th regression equation, which is Huff's Type II was time-distribution of rainfall. To evaluate the deployment of flood prediction and warning system, risk depth was used on the 3 selected areas. To find the threshold runoff for hydraulic analysis of stream, HEC-RAS was used and flood depth and threshold runoff was considered with the effect of tidal water level. To estimate urban flash flood trigger rainfall, PCSWMM 2002 was introduced for hydrologic analysis.

Consequently, not only were the criteria of coastal urban flood prediction and warning system decided on the watershed of On-Cheon stream, but also the deployment flow charts of flood prediction and warning system and operation system was evaluated. This study indicates the criteria of flood prediction and warning system on the coastal areas and modeling methods with application of ArcView GIS, HEC-RAS and SWMM on the basin. For the future, flood prediction and warning system should be considered and developed to various basin cases to reduce natural flood disasters in coastal urban area.

keywords : Flood Prediction and Warning, SWMM, Huff's Distribution, Risk Depth, Threshold Runoff, Flash Flood Trigger Rainfall

요 지

본 연구에서는 해안 도시 하천의 범람으로 인한 홍수 재해 발생시 예상될 수 있는 피해에 대해 적절한 홍수예경보

* 부산대학교 공과대학 토목공학과 부교수

Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Pusan Univ., Busan 609-735, Korea

** 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원

Researcher, Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
(e-mail: ywpark@kict.re.kr)

*** 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원

Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea

및 피난대책을 수립하고자 대표적인 해안 도시 하천의 특성을 가지는 부산시 온천천 유역을 대상으로 수치지도에서 각종 지형자료를 추출하였고 수문 GIS 자료를 구축하였다. 강우 분석은 강우의 공간적 특성을 대상유역인 온천천에 티센망을 이용하여 고려하였으며 강우의 시간적 분포는 Huff의 2분위, 6차 회귀다항식을 이용하여 분석하였다. 홍수 예경보 발령 기준을 설정하기 위하여 선정 지점 세 곳을 선택하여 위험수심을 선정하였다. 그리고, 하천 수리 분석을 위한 한계유출량 산정을 위해 HEC-RAS 모형을 이용 조위의 영향을 고려하여 홍수위 및 한계유출량을 산정하였고 도시 돌발 홍수 기준수량 산정을 위해 PCSWMM 2002를 이용하여 수문 분석을 실시하였다.

그 결과 온천천 유역의 홍수예경보 시스템과 이에 따른 홍수예경보 발령흐름도, 운영체계가 결정되었고 홍수예경보 발령 기준이 설정되었다. 본 연구를 통해 SWMM, HEC-RAS, ArcView GIS 모형을 연계하여 대상유역과 하도에 적용 통합적인 모의 기법을 제시하였으며 해안 도시 하천에서의 홍수 재해 발생시 이에 대한 대비책을 마련하게 되었다. 앞으로 더욱 심도있게 연구하여 주요 해안 도시 하천에 대한 홍수예경보 시스템 구축이 절실히 요구된다.

핵심용어 : 홍수예경보, SWMM, Huff 분포, 위험수심, 한계유출량, 돌발 홍수 기준수량

1. 서 론

최근 급속한 도시화 및 개발에 따른 토지이용 증가와 토지이용 효율성의 증대는 불투수 표면의 확대, 유역의 조도계수 감소와 함께 유입시간의 단축, 수로망 정비에 의한 침투유량의 증가, 도달시간의 감소를 발생시켜 수로의 통수능 증가와 저류량의 급격한 감소 등 전반적인 수문현상의 변화를 가져와 도시 하천유역에 홍수 피해를 빈번히 발생시키고 있다. 전국 도시 중 해안 도시가 40% (부산, 인천, 울산, 포항, 목포 등) 이상인 우리나라에서 부산의 하천은 연안해역과 연결되어 남해 및 동해로 흐르고 있으며, 대부분 하천연장이 짧고 하상구배가 급한 편으로, 우수시 해안 도시 홍수 및 돌발 홍수 피해가 급증하고 있는 추세이다. 따라서, 홍수 재해 발생시 예상될 수 있는 홍수범람 예상구역에 대한 적절한 홍수예경보, 피난대책의 수립 등은 매우 중요한 문제라고 할 수 있으며, 실제로 최근 잦은 홍수로 인한 피해가 급증하여 이에 대한 대비책을 마련하기 위해 홍수예경보 시스템 구축에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

홍수예경보에 대한 연구가 본격적으로 시도되기 시작한 것은 1980년대 후반이며, 지금까지 많은 노력이 기울여지는 분야이다. 국외에서의 연구를 살펴보면 Syme와 Paudyal(1994)은 Bangladesh의 홍수관리모형을 위해서 Mike-II와 Arc/Info를 연계하여 해석하였으며, Estrela와 Quintas(1994)는 Spain의 Jucar강 홍수터에서의 홍수관리를 위해 GRASS 모형과 연계해석을 실시하였다. 지리정보 시스템과 홍수범람에 관한 연구에서 Eric Tate와 Francisco Olivera(1999)가 공동으로 HEC-RAS 모형을 통한 지형인자의 GIS로의 전환에 대해 연구하였고, Peter B. Andrysiak Jr과 David R.

Midment(2000)는 HEC-HMS, HEC-RAS, ArcView GIS 모형을 함께 이용하여 홍수터의 3차원 분석을 시도하였다. 국내에서는 심명필, 김경탁, 최윤석(1998)이 GIS 기초 자료에 따른 유출모의의 영향분석에 대해 연구한바 있고, 허창환, 지흥기, 이순탁(1999)은 GIS를 이용한 산지소유역의 홍수유출분석을 실시하였다. 신현석, 전성우, 서봉철(2000)은 HEC-HMS와 HEC-RAS를 이용한 수명강 홍수영향에 대해 분석하였고 최근 박무중, 신현석(2003)은 자동우량경보시설 경보발령기준 설정에 관한 연구를 통해 구축된 돌발 홍수예경보 시스템을 통하여 소하천 유역의 수문학적 돌발 홍수 예측 모형을 적용시켰다.

본 연구에서는 해안 도시 하천의 범람으로 인한 홍수 재해 발생시 예상될 수 있는 피해에 대해 적절한 홍수예경보 및 피난대책을 수립하고자 대표적인 해안 도시 하천의 특성을 가지는 부산시 온천천 유역을 대상유역으로 선정하였다. 수치지도(Digital Map, Digital Layer)로부터 지형분석(Terrain Analysis)을 실시 수문 GIS 자료를 구축하였으며 하천 수리 분석을 통한 한계 유출량 산정을 위해 조위의 영향을 고려한 HEC-RAS 모형과 도시 돌발 홍수 기준수량 산정을 위해 PCSWMM 2002를 이용한 수문 분석시스템을 구축하였다. 대상유역 내 친수공간을 대표하는 하도지점 세 곳인 온천2교 지점, 온천2호 인도교 지점, 세병교 지점을 선정하여 지속시간과 도달시간을 결정하였고 경보발령 기준을 설정하기 위하여 선정지점 세 곳의 위험수심 H_{c1} , H_{c2} , H_{c3} , H_{c4} 가 발생할 수 있는 강우량(위험 홍수량을 유발하는 위험 강우량(Trigger Rainfall))을 산정하였다. 강우분석은 강우의 공간적 특성을 대상유역인 온천천에 티센망을 이용하여 고려하였으며 강우의 시간적 분포는 Huff의 2분위, 6차 회귀다항식을 이용하여

분석하였다. SWMM을 이용한 모형화 기법으로 해안 도시 돌발 홍수 기준우량을 산정한 결과 온천천 유역의 홍수예정보 시스템과 이에 따른 홍수예정보 발행흐름도, 운영체계가 결정되어 해안 도시 돌발 홍수예정보 방안이 구축되었다.

2. 해안 도시 돌발 홍수 기준우량 산정 절차

설계강우의 시간분포 결정은 유역의 기상 및 수문, 그리고 지형적인 요인에 지배받는 매우 복잡한 과정이다. 이는 유출에 기여하는 설계우량추상도를 결정하고 침투홍수량 및 유출 수문곡선을 얻기 위한 홍수 강우-유출 분석의 기본이 된다. 본 연구에서는 Huff의 4분위법 중 제2분위, 6차 회귀다항식을 이용하여 강우를 시간분포 하였으며 지속시간별로 Huff 분포된 강우값을 수문 모의하기 위해 구축해 둔 온천천 유역 SWMM 모형에 입력하여 선정지점의 강우량별-지속시간별 침투홍수량을 산정하였다. 미리 결정해 둔 각 지점의 위험수심에 대해 HEC-RAS 모형을 이용 선정지점별 한계유출량을 산정해 두었기 때문에 그에 대한 한계유출량을 수위-유량 곡선과 Regression Curve에서 읽고 그 값을 강우량별-지속시간별 침투홍수량 표에서 다시 읽어 도시 돌발 홍수 기준우량을 산정하였다. 산정된 기준우량은 대상유역의 경보발령 기준안을 제시하는 중요

지표가 되며 강우의 지속시간-홍수량, 지속시간-침투유량 발생시간을 고려하여 20분간 누가강우량을 기준으로 경보발령 안을 설정하였다. Fig. 1은 해안 도시 돌발 홍수 기준우량 산정 절차를 나타낸 것이다.

3. 대상유역 적용

3.1 대상유역 자료 구축

3.1.1 지형자료 구축

본 연구는 미계측 해안 도시 유역의 홍수예정보 시스템 구축을 통한 시민의 보호를 최종 목표로 하며 이를 위해 다음과 같이 선정기준을 정하여 연구 대상유역을 선정하였다. 첫째, 해양과 인접한 하구에 위치하며 인구가 밀집한 도시 유역이어야 하고, 둘째, 관리대상 목적을 위해 소규모적이고 접근성이 용이한 유역이어야 하며, 셋째, 토지피복 분류상으로 도시화율이 높고 우수배제 시스템 및 하천정비가 이미 되어 있는 유역이어야 한다. 온천천 유역은 이런 선정기준을 모두 만족하는 유역이므로 본 연구의 대상유역으로 선정하였다.

대상유역의 유역분할은 강우시 월류수(Combined Sewer Overflow, CSO)의 모니터링 및 저감대책 수립을 위해 수영하수처리장 처리구역 내 처리분구를 소유역으로 선정하였다. 장전처리분구·부곡처리분구·사직

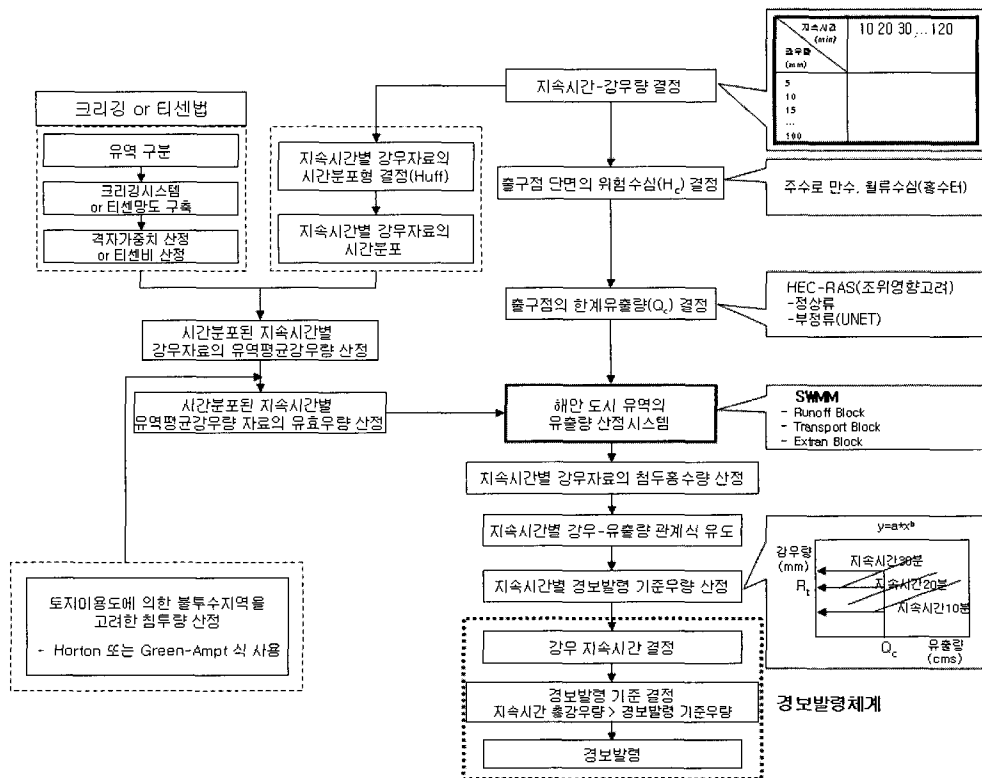


Fig. 1. Coastal Urban Flash Flood Trigger Rainfall Estimate Flowchart

Table 1. Status of Landuse Area and Population in each Watershed(Treating Basin)

구분	인구(인)	토지이용 현황(km ²)					
		논	밭	임야	대지	기타	계
장전	143,728	0.40	0.14	15.14	5.86	0.39	21.93
부곡	73,260	0.02	0.02	1.67	2.12	0.08	3.90
사직	166,817	0.16	0.11	4.30	6.85	0.29	11.72
수민	167,542	0.08	0.16	0.94	5.60	0.34	7.12
연산	230,490	0.07	0.07	3.31	7.48	0.40	11.33

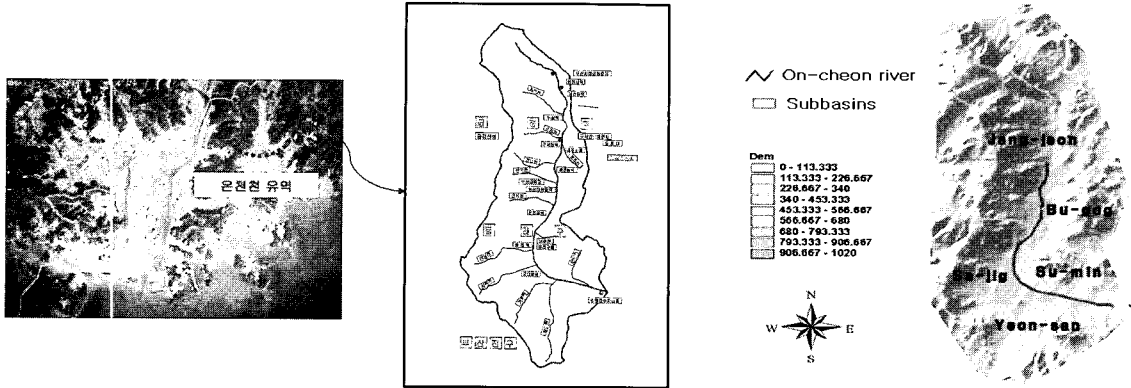


Fig. 2. State of the Watershed of On-Cheon Stream and Dividing its Watershed

처리분구·수민처리분구·연산처리분구의 5개의 소유역으로 대상유역을 분할하였으며, 대상유역의 소유역별 토지이용 현황 및 유역 현황도는 Table 1 및 Fig. 2와 같다.

수문해석용 지형특성자료의 연산 및 추출은 상용 소프트웨어인 GIS ArcView 3.3을 이용하여 수행하였다. 연구 대상유역의 좌표계는 측량법에 명시되어 있는 TM(Traverse Mercator)으로 선정하고 좌표원점은 중부원점을 사용하였다. DEM 생성을 위한 등고선은 국립지리원의 1:50,000 지형도를 스캐닝하여 사용하였고 유역분할 방법은 하천망도와 유하방향도를 이용하여 유

역 출구에 출구점을 지정함으로써 유역분할도를 산정하였다. 유역에 대해 유역면적, 유로연장, 경사 등의 기하학적인 특성을 정리하면 Table 2와 같고 CN값 산정을 위해 토양도를 구축하였고 농업진흥청 토양구분용 NRCS (Natural Resource Conservation Service) 방식으로 변환한 결과를 이용하여 NRCS 토양군의 배수특성별로 나타내었다. 온천천 유역의 NRCS 토양형별 면적 분포를 정리하면 Table 3과 같다. 원격탐사자료를 이용해 영상분류기법으로 분류한 토지이용도를 토지이용 현황별로 나타내었으며 토지이용 현황별 면적 분포를 정리하면 Table 4와 같다.

Table 2. Characteristics of the Watershed of On-Cheon Stream

유역구분	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역평균폭 A/L(km)	형상계수 A/L ²	평균고도 (m)	표면경사 (%)	비고
온천천	55.400	18.201	3.010	0.165	145.6	9.7	

Table 3. Area Distribution by NRCS Soil Groups

유역구분	NRCS 토양 구분				
	Type A	Type B	Type C	Type D	합계
온천천	5.02%	39.89%	52.63%	2.46%	100.0 %

Table 4. Area Distribution by Landuse Status

유역구분	토지이용 현황							
	수역	주거지	나대지	습지	초지	임야	농지	합계
온천천	0.0%	42.7%	3.9%	0.1%	9.4%	43.5%	0.4%	100.0 %

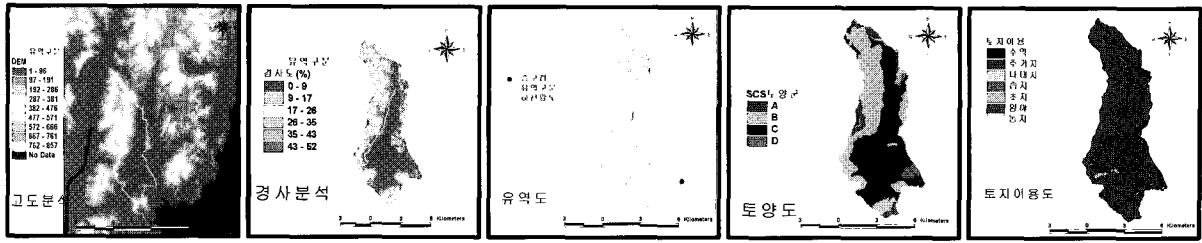


Fig. 3. Computation of GIS Hydrological Data on the Watershed of On-Cheon Stream(박용운, 2005)

3.1.2 HEC-RAS 모형 구축

수리 분석을 실시 선정지점의 홍수위와 한계유출량을 산정하기 위해 HEC-RAS 모형을 이용하여 수리 모형 시스템을 구축하였고 그 결과가 Fig. 4와 같다. 조위 영향을 고려하기 위해 부산항 조위를 육상기준으로 환산한 조위 1(소조평균 간조위, (-)37.2 cm)~조위 6(약 최고만조위, 47.5 cm)을 기점수위로 넣고 유량 500 cms까지 입력하여 수위-유량 관계를 구성하였다.

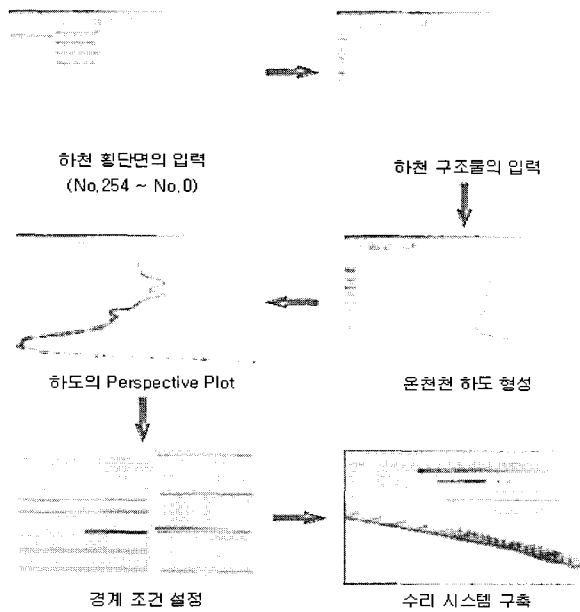


Fig. 4. Establishment of Hydraulic Modeling System

3.1.3 SWMM 모형 구축

도시 홍수 예측모형으로 RRL, ILLUDAS, STORM 모형 등이 기존에 널리 사용되어 왔으나 현재는 유출량과 수질 모의까지 가능한 SWMM (Storm Water Management Model) 모형이 가장 널리 사용되고 있다. 본 연구에서도 홍수 유출뿐만 아니라 CSO 관리 및 우수지 운영 등의 목적을 위해 SWMM 모형으로 대상유역에 대한 수문 모형 시스템을 구축하였고 지속시간별 시간분포 된 강우자료와 유역특성자료 등을 입력하여 Runoff Block에서 연산된 결과를 기본자료로 Trans-

port Block에서 수지상의 관거 시스템을 통해 지속시간별 강우자료의 침투홍수량을 산정하였다. Fig. 5는 온천천에 대한 SWMM 모형화 모식도이다.

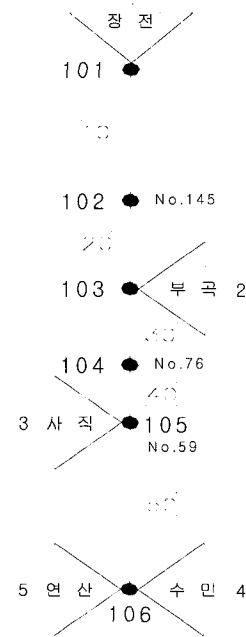


Fig. 5. SWMM Modelling Mimetic Diagram

3.2 해안 도시 돌발 홍수 기준우량 산정

3.2.1 온천천 유역 특성 및 지속시간 결정

온천천 유역은 유역면적 55.400 km², 유로연장 18.201 km로서 유역의 형상은 협장한 수지상으로 그 폭이 동서로 약 4~6 km, 남북으로 15 km 정도이다. 온천천 유역의 해안 도시 돌발 홍수 기준우량을 산정하기 위한 지속시간은 10분에서 120분까지 10분 단위의 지속시간을 정하고 해당유역에서 기준이 될 만한 지속시간을 결정하도록 하였다.

3.2.2 위험수심(H_c) 결정

온천천은 부산의 대표적인 해안 도시 하천이라는 점과 시민들의 휴식공간이라는 점을 감안할 때 무엇보다도 하천연변에 머물고 있는 시민의 안전을 확보하고 대피시키는 것이 최우선 과제이다. 따라서, 본 연구는 이런 점에 착안하여 주수위가 만수되는 수심, 홍수터가

일정부분 잠기는 수심 등을 위험수심으로 명명하고 도시 하천 내 친수공간을 대표하는 하도지점 세 곳(온천2교 지점, 온천2호 인도교 지점, 세병교 지점)을 선정하여 수위별 홍수위험도를 조사하였으며 결정된 위험수심을 Table 5에 나타내었다.

3.2.3 한계유출량(Qc) 산정

본 연구에서는 한계유출량을 대상유역 내 친수공간을 대표하는 하도지점의 위험수심을 발생시키는 유출량으로 정의하였고 하구 기점수위지점을 수영강과 온천천이 합류하는 No.0(수영강 측점 No.69)로 설정하여 HEC-RAS 모형을 이용해 온천천 유역의 한계유출량을 유량별, 지점별, 조위조건별로 고려하여 산정하였다. 그 결과 온천천 세 선정지점까지 실질적인 조위의 영향이 수위값에는 크게 영향을 미치지 못하나 조위로 인한 파는 전달되고 있음을 확인할 수 있었다. 50년 빈도가 523 cms임을 감안하여 유량을 500 cms까지 입력해 모형에서 그 때의 선정지점 세 곳의 홍수위 값을 산정하

였으며 각 지점에 대한 위험수심을 미리 선정해 두었기 때문에 그에 대한 한계유출량을 수위-유량 곡선과 Regression Curve에서 읽어 Table 6에 정리하였다.

3.2.4 확률강우량 산정

본 연구에서는 지속시간별 강우자료의 시간분포형 결정을 위하여 Huff의 4분위법을 사용하였으며, 건설교통부(2000)의 “수자원 관리기법 개발연구조사 보고서”에 따른 부산지역의 연구결과를 토대로 하였다. 부산기상대 관측기록에 의한 건설교통부의 2분위 누가우량곡선을 사용하여 다중 회귀분석(Multiple Regression) 해본 결과 6차 곡선으로 표현된 회귀식의 편차가 가장 작아 6차 다항식을 누가우량곡선식으로 채택하였다. 따라서, Huff의 2분위, 6차 회귀다항식(Eq. 1)을 이용하여 강우 지속시간 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120분에 대한 강우량 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 100 mm를 강우간격 1분 단위로 Huff 분포시켰고 시간분포 된 지속시간별 강우자료를 이용하여 확률강우량을 산정하였다.

Table 5. Risk Depth of Selected Points(Hc)

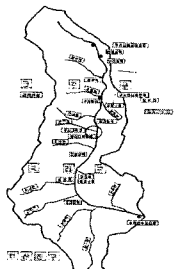
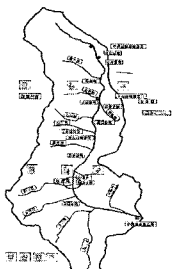
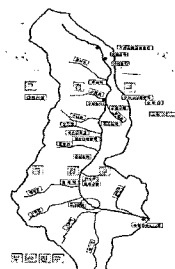
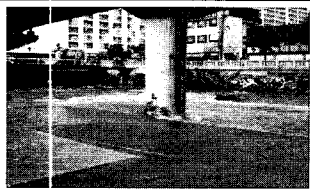
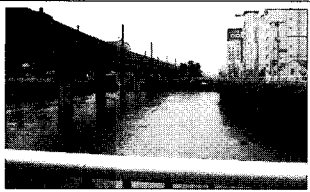
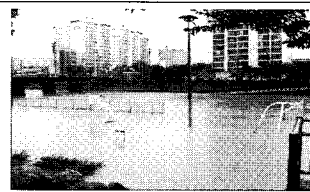
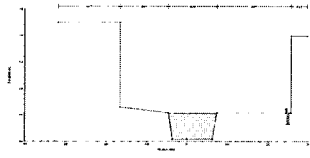
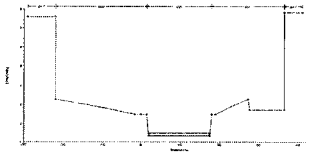
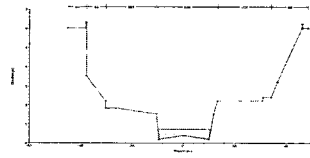
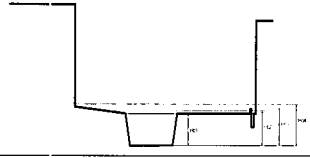
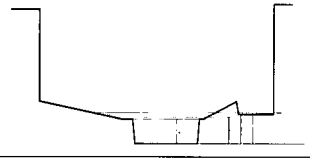
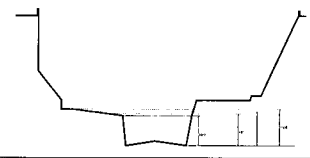
	선정지점 1 [온천2교 No.145]	선정지점 2 [온천2호 인도교 No.76]	선정지점 3 [세병교 No.59]																		
현장 지점																					
현장 사진																					
하도 단면																					
위험 수심																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>H_{c,1}</th> <th>H_{c,2}</th> <th>H_{c,3}</th> <th>H_{c,4}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>온천2교 지점</td> <td>1.0m</td> <td>1.1m</td> <td>1.2m</td> <td>1.3m</td> </tr> <tr> <td>온천2호 인도교 지점</td> <td>1.15m</td> <td>1.25m</td> <td>1.35m</td> <td>1.45m</td> </tr> <tr> <td>세병교 지점</td> <td>1.34m</td> <td>1.44m</td> <td>1.54m</td> <td>1.64m</td> </tr> </tbody> </table>		H _{c,1}	H _{c,2}	H _{c,3}	H _{c,4}	온천2교 지점	1.0m	1.1m	1.2m	1.3m	온천2호 인도교 지점	1.15m	1.25m	1.35m	1.45m	세병교 지점	1.34m	1.44m	1.54m	1.64m
	H _{c,1}	H _{c,2}	H _{c,3}	H _{c,4}																	
온천2교 지점	1.0m	1.1m	1.2m	1.3m																	
온천2호 인도교 지점	1.15m	1.25m	1.35m	1.45m																	
세병교 지점	1.34m	1.44m	1.54m	1.64m																	

Table 6. Threshold Runoff of Selected Points(Qc)

선정지점 1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>수량(cms) 수위(m)</th> <th>수량-수량곡선</th> <th>Regression Curve</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H_{c1}=1.0</td> <td>26.842</td> <td>24.805</td> </tr> <tr> <td>H_{c2}=1.1</td> <td>29.473</td> <td>29.405</td> </tr> <tr> <td>H_{c3}=1.2</td> <td>38.0</td> <td>34.804</td> </tr> <tr> <td>H_{c4}=1.3</td> <td>50.0</td> <td>41.134</td> </tr> </tbody> </table>	수량(cms) 수위(m)	수량-수량곡선	Regression Curve	H _{c1} =1.0	26.842	24.805	H _{c2} =1.1	29.473	29.405	H _{c3} =1.2	38.0	34.804	H _{c4} =1.3	50.0	41.134	
	수량(cms) 수위(m)	수량-수량곡선	Regression Curve														
H _{c1} =1.0	26.842	24.805															
H _{c2} =1.1	29.473	29.405															
H _{c3} =1.2	38.0	34.804															
H _{c4} =1.3	50.0	41.134															
<p>Regression Curve ⇒ $y = ax^b$ (a=9.34157, b=0.0528686) R²=0.962</p>																	
선정지점 2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>수량(cms) 수위(m)</th> <th>수량-수량곡선</th> <th>Regression Curve</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H_{c1}=1.15</td> <td>16.734</td> <td>17.507</td> </tr> <tr> <td>H_{c2}=1.25</td> <td>18.775</td> <td>20.498</td> </tr> <tr> <td>H_{c3}=1.35</td> <td>21.428</td> <td>23.858</td> </tr> <tr> <td>H_{c4}=1.45</td> <td>25.0</td> <td>27.613</td> </tr> </tbody> </table>	수량(cms) 수위(m)	수량-수량곡선	Regression Curve	H _{c1} =1.15	16.734	17.507	H _{c2} =1.25	18.775	20.498	H _{c3} =1.35	21.428	23.858	H _{c4} =1.45	25.0	27.613	
	수량(cms) 수위(m)	수량-수량곡선	Regression Curve														
H _{c1} =1.15	16.734	17.507															
H _{c2} =1.25	18.775	20.498															
H _{c3} =1.35	21.428	23.858															
H _{c4} =1.45	25.0	27.613															
<p>Regression Curve ⇒ $y = ax^b$ (a=1.2104, b=0.250579) R²=0.992</p>																	
선정지점 3	<table border="1"> <thead> <tr> <th>수량(cms) 수위(m)</th> <th>수량-수량곡선</th> <th>Regression Curve</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H_{c1}=1.34</td> <td>18.043</td> <td>17.847</td> </tr> <tr> <td>H_{c2}=1.44</td> <td>20.263</td> <td>21.235</td> </tr> <tr> <td>H_{c3}=1.54</td> <td>22.894</td> <td>25.006</td> </tr> <tr> <td>H_{c4}=1.64</td> <td>25.526</td> <td>29.180</td> </tr> </tbody> </table>	수량(cms) 수위(m)	수량-수량곡선	Regression Curve	H _{c1} =1.34	18.043	17.847	H _{c2} =1.44	20.263	21.235	H _{c3} =1.54	22.894	25.006	H _{c4} =1.64	25.526	29.180	
	수량(cms) 수위(m)	수량-수량곡선	Regression Curve														
H _{c1} =1.34	18.043	17.847															
H _{c2} =1.44	20.263	21.235															
H _{c3} =1.54	22.894	25.006															
H _{c4} =1.64	25.526	29.180															
<p>Regression Curve ⇒ $y = ax^b$ (a=0.542512, b=0.362031) R²=0.996</p>																	

$$\begin{aligned}
 Y = & - 3.146242E-09 X^6 + 9.869815E-07 X^5 \\
 & - 1.120079E-04 X^4 + 5.261312E-03 X^3 \\
 & - 7.821268E-02 X^2 + 9.804328E-01 X \\
 & - 2.934998E-02
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서, Y는 강수량(mm), X는 지속시간(hr)이다.

3.2.5 홍수량 산정 및 경보발령 우량 산정

본 연구의 목적은 온천천 유역 내에 설치할 우량국의 강우자료를 이용하여 위험가능성이 있는 하천지역에 경보를 내릴 수 있는 기준을 설정하는 것이다. 즉, 경보는 홍수위가 높아짐에 따라 하천 연변에 머물고 있는 시민의 안전을 확보하기 위하여 발령되는 것이며, 홍수위는 홍수량과 비선형적인 관계를 나타낸다. 또한, 홍수량은 강우량이 증가함에 따라 증가하게 되며 결론적으로 경보는 강우량의 규모에 따라 발령하게 된다. 그러나 현 조건에서는 강우량을 예측할 수 없으며 단지 강

우량의 규모에 따라 경보를 발령하여야 한다. 따라서, 경보발령은 경보발령 시점까지의 강우량만을 이용하여야 하며 이에 따라 경보가 발령되더라도 실제로는 수위의 상승이 발생하지 않을 수도 있다. 또한, 경보발령 기준을 완화(큰 강우량에 반응)하는 경우에는 실제 제대로 경보가 발령된다 하더라도 대피시간이 부족하여 피해의 감소효과는 기대하기 어렵게 된다.

본 연구에서는 온천천 유역 내 친수공간을 대표하는 하도지점 세 곳인 온천2교 지점, 온천2호 인도교 지점, 세병교 지점을 선정하였다. 지속시간별로 Huff 분포된 강우값을 수문 모의하기 위해 구축해 둔 온천천 유역의 SWMM 모형에 입력 선정지점의 강우량별-지속시간별 첨두홍수량을 산정(Tables 7, 8 and 9)하였으며 강우-유출량 관계식을 유도하였고 지속시간-유효강우-유량 관계곡선(Fig. 6)을 도시하였다.

Table 7. Peak Flood of Selected Points 1 [No.145] by Rainfall and Duration (단위:㎥/sec)

시간(분) \ 강우량(mm)	10	20	30	40	50	60	120
5	16.505	13.442	11.754	10.499	9.346	8.639	5.645
10	47.711	38.078	32.059	27.845	24.685	22.112	13.699
15	89.427	68.233	56.054	47.992	41.787	37.181	22.257
20	138.179	103.309	82.599	69.204	60.062	52.727	30.798
25	192.569	141.624	111.587	92.730	78.890	69.135	39.723
30	253.661	182.135	142.968	117.402	99.666	86.156	48.385
35	319.022	225.650	175.727	143.635	121.129	104.652	57.443
40	387.833	271.359	210.069	170.553	143.551	123.826	66.907
45	459.986	319.249	245.127	198.611	167.125	143.796	77.022
50	534.913	368.256	281.293	227.425	190.889	164.117	87.554
100	1385.710	909.759	684.219	547.925	457.728	393.410	220.311

계수 \ 시간(분)	$y=ax^b$ (y: 강우량(mm), x: 유출량(㎥/sec))						
	10	20	30	40	50	60	120
a	0.7415	0.7628	0.7844	0.8093	0.8513	0.8804	1.1561
b	0.6710	0.7081	0.7366	0.7594	0.7748	0.7909	0.8363

Table 8. Peak Flood of Selected Points 2 [No.76] by Rainfall and Duration (단위:㎥/sec)

시간(분) \ 강우량(mm)	10	20	30	40	50	60	120
5	19.168	14.548	11.815	10.655	9.695	9.190	6.663
10	54.673	37.807	32.488	29.661	27.341	25.242	16.891
15	97.377	67.008	58.546	52.801	47.669	43.570	27.818
20	145.602	101.920	87.851	77.765	69.849	62.800	38.817
25	197.710	142.347	121.411	105.709	92.966	83.129	50.252
30	252.530	186.280	157.800	135.743	118.679	104.773	61.385
35	309.455	233.819	196.132	167.613	145.672	128.199	73.202
40	368.854	283.052	236.292	201.293	173.843	152.628	85.530
45	431.465	336.503	278.707	236.036	203.666	178.088	98.804
50	503.292	391.075	322.175	271.483	234.005	204.159	112.630
100	1326.562	1015.014	812.805	674.736	574.048	498.578	284.573

계수 \ 시간(분)	$y=ax^b$ (y: 강우량(mm), x: 유출량(㎥/sec))						
	10	20	30	40	50	60	120
a	0.5853	0.7817	0.8592	0.8716	0.8898	0.8913	1.0308
b	0.7133	0.6985	0.7043	0.7224	0.7379	0.7561	0.8163

Table 9. Peak Flood of Selected Points 3 [No.59] by Rainfall and Duration (단위:㎥/sec)

시간(분) \ 강우량(mm)	10	20	30	40	50	60	120
5	27.203	21.461	17.995	16.146	14.759	13.852	10.291
10	79.963	58.271	49.651	44.886	41.574	38.663	26.961
15	145.328	102.404	88.678	80.285	73.538	67.866	45.034
20	220.474	154.993	132.956	119.355	108.747	98.918	63.392
25	302.460	215.446	183.929	163.230	145.857	132.209	82.550
30	390.175	281.220	239.930	210.444	187.448	167.272	101.309
35	481.649	351.685	298.831	261.565	230.644	205.490	121.235
40	577.253	425.609	362.277	314.549	276.336	244.984	141.912
45	675.688	504.839	427.394	369.755	323.911	286.363	163.942
50	779.310	586.343	495.594	426.889	372.168	329.209	186.757
100	1986.603	1547.480	1270.273	1069.331	918.381	803.712	460.485

계수	시간(분)	$y=ax^b$ (y:강우량(mm), x:유출량(m ³ /sec))					
	10	20	30	40	50	60	120
a	0.4719	0.5884	0.6492	0.6668	0.6754	0.6776	0.7330
b	0.6990	0.6978	0.7009	0.7131	0.7267	0.7414	0.8032

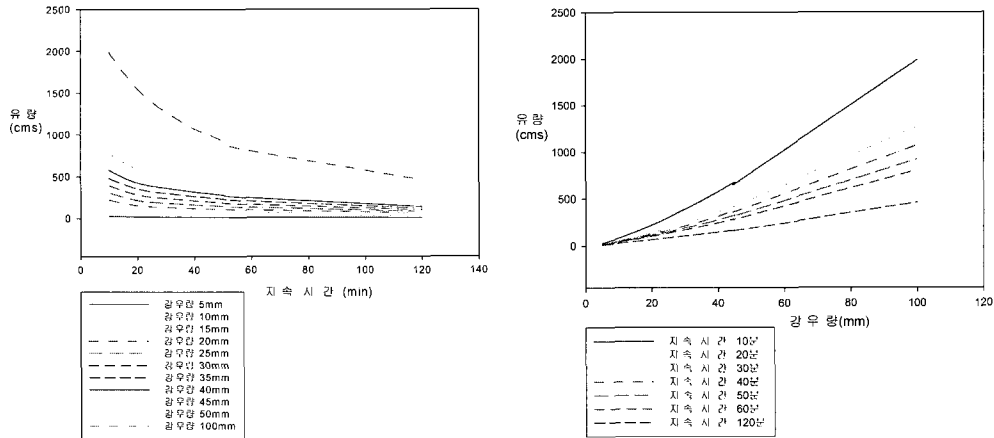


Fig. 6. A Correlation Curve of Duration-Effective Rainfall-Discharge [No.59]

3.2.6 경보발령 기준 설정

본 연구에서는 위험수심에 대한 한계유출량을 결정 하였으며 지속시간별 강우자료의 첨두홍수량을 산정하였다. 또한 지속시간별 강우-유출량 관계식을 유도하여 경보발령 기준우량을 산정하였는데 그 중 강우발생에 의한 경보발령 횟수는 최소화하며 위험가능성이 있는 강우에 대해서는 최대한 경보를 발령할 수 있는 기준의 설정을 위해 지속시간 20분에 대한 누가강우량으로 경보발령 안을 설정하였다(Table 10). 타당성 검토를 위해 부산지방기상청의 지속시간별 확률강우량 자료와 비교해 본 결과 재현기간 2년 빈도의 확률강우량을 하회하는 것을 확인할 수 있었으며 본 연구에서 제시한 경보발령 기준은 적절하다고 판단된다. 만약 높은 강우강도의 비가 내릴 경우에는 미리 선정해 둔 지속시간 10분에 대한 강우량으로 대처할 수 있을 것이며 향후 계

속적인 연구와 실시간 수문관측시스템을 이용한 수문자료의 장기계측을 통해 현실에 맞게 상향 혹은 하향 조정할 후 경보발령 기준을 다시 제시할 계획이다.

4. 예경보 시스템 적용

홍수예경보는 자료관측과 유출 예측, 홍수위 예측, 침수예상 예측, 자료전송, 경보발령 등 일련의 절차에 따라 시행되며, 이러한 절차에 대한 개요는 Fig. 7과 같다.

예경보의 발령은 온천천 유역의 관측망을 통해 관측된 자료를 이용하여 분석한 결과 경보발령이 필요하다고 판단될 경우 관련 기관 및 언론, 주민에게 경보발령을 하게 된다. Figs 8 and 9는 온천천 유역의 홍수예경보 운영체제와 홍수예경보 발령흐름도를 나타낸 것이다.

Table 10. Draft Strategy of a Warning system to the Watershed of On-Cheon Stream(Duration of 20min)

유역구분		발령	기준안	내용	비고
온천	온천2교 지점 No.145	홍수주의보	7 mm/20min	지속시간 20분에 위험수심 H _{c1} 발생 강우량	7.306 mm
		홍수경보 1	8 mm/20min	지속시간 20분에 위험수심 H _{c2} 발생 강우량	8.240 mm
		홍수경보 2	10 mm/20min	지속시간 20분에 위험수심 H _{c4} 발생 강우량	10.507 mm
온천	온천2호 인도교 지점 No.76	홍수주의보	5 mm/20min	지속시간 20분에 위험수심 H _{c1} 발생 강우량	5.636 mm
		홍수경보 1	6 mm/20min	지속시간 20분에 위험수심 H _{c2} 발생 강우량	6.279 mm
		홍수경보 2	7 mm/20min	지속시간 20분에 위험수심 H _{c4} 발생 강우량	7.809 mm
온천	세명교 지점 No.59	홍수주의보	4 mm/20min	지속시간 20분에 위험수심 H _{c1} 발생 강우량	4.158 mm
		홍수경보 1	5 mm/20min	지속시간 20분에 위험수심 H _{c2} 발생 강우량	4.947 mm
		홍수경보 2	6 mm/20min	지속시간 20분에 위험수심 H _{c4} 발생 강우량	6.048 mm

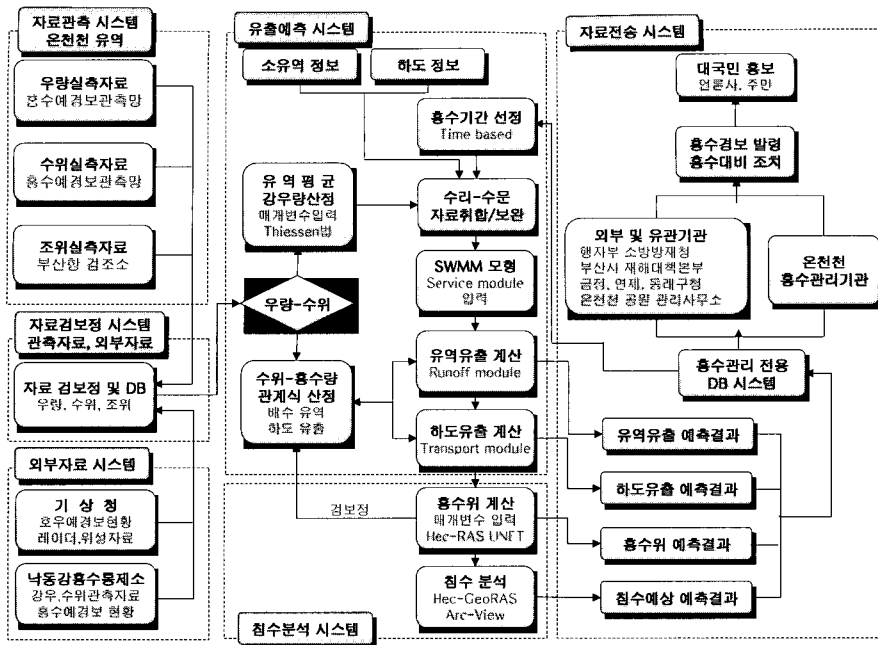


Fig. 7. Flood Prediction and Warning System of On-Cheon Stream

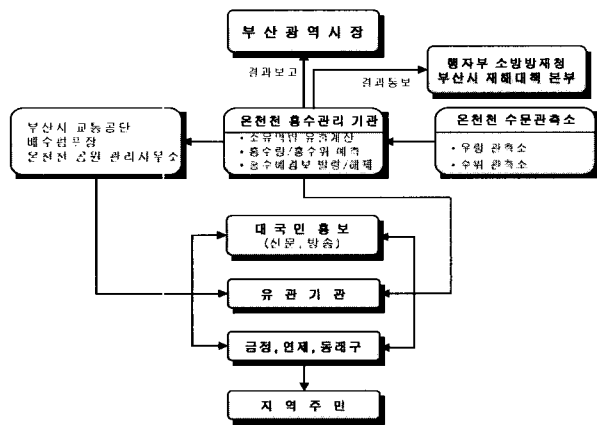


Fig. 8. Operation System of the Flood Prediction and Warning System

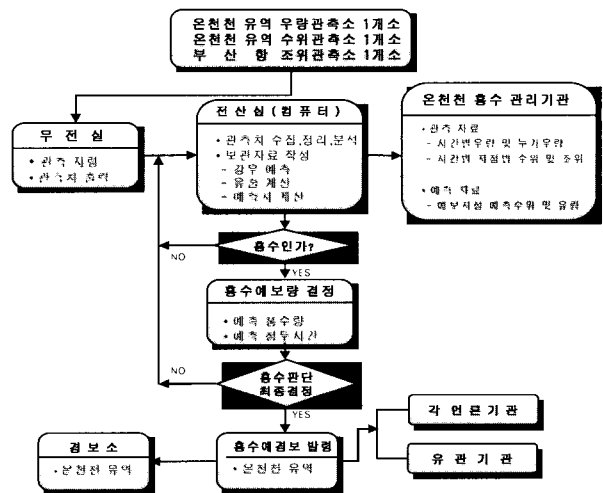


Fig. 9. Deployment Flowchart of the Flood Prediction and Warning System

5. 결론

해안 도시 하천의 범람으로 인한 홍수 재해 발생시 예상될 수 있는 피해에 대해 적절한 홍수예경보 및 피난 대책의 수립 등은 매우 중요한 문제이다. 따라서, 본 연구는 이에 대한 대비책을 마련하기 위해 아직까지 연구가 미흡한 해안 도시 하천의 홍수예경보 시스템 구축을 목적으로 국내의 홍수예경보 및 관리 관련 자료수집과 해안 도시 및 돌발 홍수의 메커니즘을 규명하였다. 그리고 해안 도시의 홍수 특성 분석을 바탕으로 해안 도시 및 돌발 홍수 예측 모형기법을 연구하였고 해안

도시 지역의 홍수예경보 시스템 구축 및 실용화 방안을 제시하였다.

본 연구에서는 GIS 기법을 이용하여 공간 지형자료를 정량적으로 산출하였고 홍수 해석을 위하여 SWMM, HEC-RAS, ArcView GIS 모형을 연계하여 대상유역과 하도에 적용하였다. 선정지점별로 인명피해를 발생시킬 수 있는 수위를 위험수심으로 결정하였고 HEC-RAS 모형을 이용하여 수리 분석을 실시 홍수위와 한계유출량을 산정하였으며 경보발령을 위한 기준유출량을 산정하기 위해 SWMM 모형을 이용 수문 분석을 실시하였다. 또한 지속시간별-강우량별 홍수량 조건표

를 작성하고, 이를 이용하여 정보발령 기준 강우량을 제안하였는데 결론은 다음과 같다.

- 1) GIS 기법에 의한 정량적인 자료 생성과 입력으로 지형자료에 대한 불확실성을 감소시킬 수 있었으며 강우-유출 분석을 위해 HEC-RAS 모형을 이용한 수리 분석과 SWMM 모형을 이용한 수문 분석을 실시하였다.
- 2) 둘째, 강우-유출 관계를 이용 도달시간을 함께 고려하여 지속시간 20분에 대한 누가강우량으로 정보발령 안을 설정하였고 인명 보호를 위한 대피 개념으로 홍수예경보가 발령된다. 선정지점 세 곳에 대한 정보발령 기준을 제시하였지만 향후 계속적인 연구와 실시간 수문관측시스템을 이용한 수문자료의 장기계측을 통해 현실에 맞게 상향 혹은 하향 조정할 계획이다.
- 3) 셋째, 해안 도시 홍수예경보 시스템의 정보발령 우량 산정기법을 제시함으로써 차후 정보발령 체계에 대한 보안 및 수정을 위한 기초 자료로 제시될 수 있을 것이다.

본 연구는 온천천 유역에 대한 해안 도시 홍수예경보 시스템을 구축한 것으로 향후 다른 대상유역의 적용 및 검토를 통해 본 연구에서 나타난 문제점과 산출 결과에 대한 연구 및 기법 개선의 노력이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (2000). **수자원 관리기법 개발연구조사 보고서, 1999년도: 제2권, 한국가용최대강수량 추정: 별책 제2권, 지역적 설계강우의 시간적 분포.**
- 건설교통부, 낙동강홍수통제소 (2002). **낙동강홍수예경보(낙동강·형산강·태화강)**, pp. 21-44.
- 국립공원관리공단, 한서대학교 (2003). **자동우량경보시설 정보발령기준 설정에 관한 연구 -전국 국립공원 일원-**, pp. 47-55.
- 박용운 (2005). SWMM과 HEC-RAS 모형을 이용한 해안 도시 홍수예경보 시스템 구축. 석사학위논문, 부산대학교.
- 부산광역시 (2004). **온천천 하천정비기본계획 보고서**, pp. 21-70.
- 신현석, 전성우, 서봉철 (2000). "HEC-HMS/HEC-RAS를 이용한 수영강홍수영향 분석연구." **한국수자원학회 학술발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 281-287.
- 심명필, 김경탁, 최윤석 (1998). "GIS 기초자료에 따른 유출모의의 영향분석." **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 684-689.
- 이재혁 (2002). 소하천 부정류 홍수 해석 및 GIS 범람 모형 기법 연구. 석사학위논문, 부산대학교, pp. 12-25.
- 한국건설기술연구원 (2001). **시험유역의 운영 및 수문 특성 조사·연구 -설계강우 지속기간 산정방법을 중심으로-**, pp. 109-133.
- 한국건설기술연구원 (1989). **지역별 설계강우의 시간적 분포.**
- 허창환, 지흥기, 이순탁 (1999). "GIS를 이용한 산지소유역의 홍수유출분석." **대한토목학회 학술발표회 논문집(III)**, 대한토목학회, pp. 369-372.
- Cordery, I. and Pilgrim, D.H. (1987). *Storm loss and design rainfall excess*. Australian rainfall and runoff, A guide to flood estimation, Volume I, Chapter 6, The Institution of Engineers, Australia.
- Eric Christopher Tate, M.S.E., Francisco Olivera., PhD and David R. Maidment. (1999). *Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS*. Center for Research in Water Resources.
- Estrela, T., and Quintas, L. (1994). *Use of a GIS in the modeling of flows on floodplains*. Proc. of Second International Conference on River Flood Hydraulics, March 22-25, 1994, York, England, pp. 177-183.
- HEC (2002). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual Version 3.1*. US Army Corps of Engineers, pp 3-1-3-25.
- Huff, F.A. (1967). "Time distribution of rainfall in heavy storms." *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.
- Keifer, C.J. and Chu, H.H. (1957). "Synthetic storm pattern for drainage design." *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 83, No. HY4, pp. 1-25.
- Peter B. Andrysiak Jr. and David R. Maidment. (2000). *Visual Floodplain Modeling with Geographic Information Systems(GIS)*. Center for Research in Water Resources, InterSys, River-Tools Visual 2.0 Manual.
- Syme, W.J. and Paudyal, G.N. (1994). *Bangladesh flood management model*. Proc. of Second International Conference on River Flood

- Hydraulics, March 22-25, 1994, York, England, pp. 167-176.
- William James & Robert C. James (1999a). *Water Systems Models Hydraulics*. pp. 53-63.
- William James & Robert C. James (1999b). *Water Systems Models Hydrology*. pp. 41-143.
- Yen, B.C. and Chow, V.T. (1980). "Design hyetographs for small drainage structures." *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 106, No. HY6, pp. 1055-1075.

(논문번호:06-73/접수:2006.07.18/심사완료:2007.06.12)