HEC-HMS/RAS와 HEC-GeoRAS 모델을 이용한 홍수범람 시나리오 수립 및 분석

Flood Inundation Scenario Development and Analysis Using HEC-HMS/RAS and HEC-GeoRAS Models

김선정* · 김건태** · 정종혁*** · 한상옥****

Kim, Seon Jeong · Kim, Geon Tea · Jeong, Jong Hyeok · Han, Sang Ok

Abstract

Damages by hurricanes and regional torrential rains due to anomaly climate changes take up the most of recent meteorological disasters in Korea. To reduce these damages, producing flood hazard maps and disaster maps is essential, and accordingly, the interpretation of flood inundation by scenario accounts for an important part. This study established a flood inundation scenario at Sacheon River in Gangneung-si and carried out an analysis using the HEC-GeoRAS model. The rainfall data at the Gangneung General Observation Post from 1961 to 2010(50 years) were used for probable rainfall, and the scenario was analyzed by assuming the case of Typhoon Rusa with 100-year and 200-year frequencies and Probable Maximum Flood (PMF). As a result, flood inundation is predicted if it exceeded the 100-year frequency rainfall while for the 200-year frequency and PMF frequency, flooded areas were simulated at 64.3 ha and 135.9 ha, respectively and maximum flooded depths in 4.1 m and 5.7 m, respectively. It is expected that these results will help predict flood inundation area with rainfall in the duration using the synthetic data of the real-time weather data and the model numerical analysis.

Key words : Probable Rainfall, Flood Discharge, Flood Inundation, Flood Scenario

요 지

최근 우리나라의 기상재해는 이상 기후변화로 인한 태풍 및 국지성 호우에 의한 피해가 대부분을 차지한다. 이러한 피해를 줄이기 위하여 홍수위험지도 및 재해지도 제작이 필수적이며, 이에 시나리오별 홍수범람 해석은 중요한 부분을 차지한다. 본 연구는 강릉시 사천천에서 홍수범람 시나리오를 수립하고 HEC-GeoRAS 모델을 이용하여 분석을 실시하였다. 확률강우량은 강릉지상관측소의 1961년~2010년(50년) 강우자료를 사용하였고 시나리오는 100년, 200년 빈도 및 가능최대홍수량(PMF)으로 태풍루사 사례를 가정하여 분석하였다. 그 결과 100년 빈도 강우량을 초과할 경우 홍수범람이 예측되며, 200년 빈도와 PMF빈도의 경우 범람면적이 64.3 ha, 135.9 ha, 최대 침수심은 4.1 m, 5.7 m로 각각 모의되었다. 이러한 결과는 실시간 기상자료와 모델수치해석 자료 합성을 활용하여 지속시간에 대한 강우량으로 홍수범람 구역을 예측하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

핵심용어 : 확률강우량, 홍수량, 홍수범람, 홍수시나리오

1. 서 론

최근 빈번히 발생하는 태풍 및 국지성 호우등 기상이변은 유역에서의 유출량을 급격히 변화시켜 짧은 시간의 호우사상에도 불구하고 큰 피해를 가중시키고 있다. 특히 우리나라 하천의 중류나 상류는 대부분 산지로 되어 있어 경사가 급하

여 집중호우 발생 시 매우 짧은 시간 유출의 발생으로 빈번한 홍수범람 피해가 증가하고 있는 추세이다.

이러한 홍수범람 피해를 줄이기 위해서는 유역 기존의 구조적 홍수방어시설과 함께 비구조적 대책을 병행할 필요가 있으며, 태풍 및 국지성 집중호우 발생 시 설계홍수량 초과에 따른 월류 또는 수공구조물 파괴가 예상되는 홍수 범람

*교신저자. 정회원. 국립기상연구소 재해기상연구센터, 연구원(Tel: +82-70-7850-6634, Fax: +82-33-644-2657, E-mail: mk0637@korea.kr)

Corresponding Author: Member, Researcher, High Impact Weather Research Center, National Institute of Meteorological Research

**정회원. 국립기상연구소 재해기상연구센터, 연구원

Member, Researcher, High Impact Weather Research Center, National Institute of Meteorological Research

***국립기상연구소 재해기상연구센터, 연구원

Researcher, High Impact Weather Research Center, National Institute of Meteorological Research

****국립기상연구소 재해기상연구센터, 연구관, 재해기상연구센터장

Senior researcher, High Impact Weather Research Center, National Institute of Meteorological Research

위험지역과 상습침수지역에 대해서는 침수면적이나 침수심도의 예측, 재해취약 지구의 보강 등의 적절한 사전 대책을 마련하여야 한다(이기하, 2011).

홍수범람에 관한 연구로 Andrysiak과 Maidment(2000)는 HEC-HMS(Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling system), HEC-RAS(River Analysis System)와 ArcView를 함께 이용하여 홍수터를 묘사하는 방법으로 현장측량 자료의 필요성을 줄이고 홍수지도처리의 자동화 및 가시화를 시켰고, 우리나라의 안승섭(2004)등은 금호강유역의 홍수범람 모의를 위해 1:25,000 수치지형도를 이용하여 HEC-RAS모형 결과를 ArcGIS와 결합하여 홍수터 분석 및 범람지역 면적분석을 실시하였다.

이정식(2011)등은 온라인으로 전 세계의 DEM(Digital elevation model)을 무료로 제공받을 수 있는 ASTER, SRTM 및 우리나라 수치지형도를 이용하여 HEC-RAS와 HEC-GeoRAS를 연계하여 낙동강 제2지류인 청도천의 홍수범람 모의를 비교해본 결과 수치지형도와 SRTM이 비교적 잘 모의한다는 것을 보였다. 또한 이기하(2011)등은 DEM기반의 2차원 홍수범람 모형으로 MD-FDA방법과 연계하여 홍수피해액을 산정한 결과 현장조사에서 이루어진 침수 범위 및 실제 피해액산정과 매우 유사하게 모의하였다. 박종덕(2011)등은 HEC-GeoRAS 모형으로 중랑천의 홍수범람 모의를 실시하여 토지피복도와 합성 후 네트워크 할당모델(allocation model)을 적용, 침수지역 주민들의 대피 경로를 제시하였다.

본 연구에서는 우리나라 하천 특성이 잘 나타나는 강릉시 사천천을 시험유역으로 선정하여 홍수시나리오 수립 및 분석을 실시하였다. 확률강우량 및 빈도별 홍수량을 산정하기 위하여 강릉지상관측소 강우자료를 활용하였다. 홍수 시나리오는 빈도별 홍수량을 기준으로 100년 빈도 및 200년 빈도를 선정하고 극한홍수 시나리오의 사례로 지난 2002년 태풍루사(RUSA)의 홍수량을 가능최대홍수량(Probable Maximum Flood, PMF)로 가정, HEC-GeoRAS를 이용하여 홍수범람 구역을 예측하였다.

2. 시험유역의 선정

2.1 유역 개황

본 연구에서 선정된 대상유역은 강원도 강릉시 사천면에 위치한 지방2급 하천으로 유로연장이 20.27 km, 유역면적은 56.04 km²이며, 동경 128°54'56.9~128°53'7.3, 북위 37°45'30.6~37°50'22.5에 위치하고 있다. 유역의 경계는 그림 1과 같이 북쪽은 강릉시 연곡면의 연곡천 유역과 남쪽은 경포천 유역과 접하고, 서쪽은 평창군 도암면 송천 유역과 접하며, 동쪽으로는 동해와 접하고 있다.

사천천은 강릉시 사천면 사기막리와 평창군 도암면 회계리 및 강릉시 연곡면 삼산리의 경계를 이루는 곤신봉의 서쪽계곡에서 발원 후 북류하여 무릉데미 큰골과 합류 후 북동류하여 무릉담을 거쳐 매봉 남동쪽 계곡에서 형성된 용수골과 합류 후 북동류하여 사천저수지(용연지)에 담수되고, 다시 유하하여 용연동 마을휴양지 계곡을 지나 동류하여 사천면 노

Fig. 1. Sachon River Basin

동리, 덕실리, 석교리, 미노리 등을 거치면서 생골천의 9개 소하천을 합류하고 사천진리와 방동리계의 후리포에서 동해로 유입된다(강릉시, 2005).

2.2 유역 특성

사천천의 상류는 V자곡의 계곡 하천을 이루고, 중하류부에서는 선상지 하도를 이루면서 하폭이 넓어지고 하상경사가 급변하는 양상을 보이고 있다. 하상 퇴적물은 중상류에서는 굵은 자갈 이상의 자갈로 주로 구성되고, 포인트바 및 사주 등에서는 표층이 굵은 모래로 구성되어 있다. 하류부에도 자갈이 주재료이면서 다소의 부재료인 모래도 혼합되어 있다. 복단면 하도형태는 일부 하류구간 외에 나타나지 않는다.

홍수범람을 예측하기 위하여 홍수량 산정시 필요로 하는 지형학적 인자와 수문학적 인자의 특성을 조사하기 위해, 지난 2005년 강릉시에서 실시한 하천정비기본계획을 인용하였다. 표 1은 유역의 특성을 정리한 것으로 유역면적, 유로연장, 평균폭, 형상계수, 평균고도, 평균경사등을 나타내었다.

사천천 유역은 지난 2002년 8월 말 제 15호 태풍루사로 인한 침수 피해와 더불어 많은 산사태 피해가 발생하였다. 이는 1998년과 2000년에 대규모 산불이 발생했던 지점에서 산사태가 발생하여, 이때 뽑힌 나무 및 기타 부유 물질이 교각에 걸려 물이 범람하여 주변 지역에 큰 피해를 주었다(장동호, 2005).

2.3 하천해석 모형

빈도별 홍수량 규모에 따른 자연하천 주변지역의 홍수범람 분석을 위하여 미육군공병단에서 개발한 HEC-HMS, HEC-RAS, HEC-GeoRAS 모형을 연계하였다.

HEC-HMS는 강우-유출을 해석하기 위해 개발된 HEC-1의 확장형 모델로 단위도 및 수문학적 홍수추적, 격자형 강우자료를 이용한 유사분포 유출변환과 장기 연속 모의에 적용할 수 있는 수분 감소 등을 포함하고 있다.

Table 1. Basin Characteristics (Gangneung-si, 2005)

Characteristics	Mean
Basin area A (km ²)	56.04
Basin Length L (km)	20.27
Mean width A/L (km)	2.76
Shape factor A/L ²	0.14
Mean elevation (EL.m)	289.6
Mean slope (%)	25.68

HEC-RAS 모형은 HEC-2 모형을 발전시킨 것으로 자연 혹은 인공수로의 1차원 점변정상류의 수면 곡선을 계산하며 상류, 사류, 혼합류 구간에서의 수면곡선 계산과 부정류의 수면형 계산을 수행할 수 있으며 하도내 교량, 암거 및 구조물의 영향분석을 수행할 수 있다. 또한 수리분석으로 교량의 수축 및 국부 세굴을 산정 및 도시화 하며 유사 모의도 가능하다.

HEC-GeoRAS는 특정 지역의 데이터를 HEC-RAS 모형에 적용하기 위한 Arc/INFO, ArcView GIS의 확장 모형이다. DTM(Digital Terrain Model) 데이터로부터 만들어진 지형 공간정보 데이터와 HEC-RAS 모형의 결과도 볼 수 있으며 강, 유역, 수위를 나타내는 Import file도 생성할 수 있다.

본 연구에서는 강릉지상관측소 자료를 분석하여 확률강우량 산정 후 HEC-HMS 모형을 적용하여 빈도별 홍수량을 도출하였고, HEC-GeoRAS 모형과 연계하여 강릉시 사천천 유역의 홍수범람을 예측 하였다.

3. 모형의 적용

3.1 빈도별 홍수량 산정

3.1.1 확률강우량

확률강우량은 기상청 강릉지상관측소의 1961년~2010년(50년) 강우자료를 분석하여 산정하였다. 강우자료는 국립방재연구원에서 개발한 FARD2006을 이용하여 산정하였으며 매개변수 추정 방법은 자료수나 이상치에 왜곡특성이 크게 나타나지 않는 확률가중모멘트법을 사용하였다. 또한, 최적 확률분포형으로 극치강우자료의 분석에 사용되며, 건설교통부에서 권장하는 Gumbel 분포형을 적용하였다. 적합도 검정으로 χ^2 검정을 실시하였으며, 다음 표 2와 같이 지속시간별 강우량에 의한 확률강우량을 산정하였다.

동일 재현기간에 해당하는 확률강우량이라도 특정한 면적에 내리는 강우량은 어느 한 점에서의 강우량 보다 작다. 이는 하나의 지점에 대한 강우량 값이 유역 면적 전체에 대해 동일한 강도로 내릴 수 없기 때문에 건설교통부(2000)에서는 유역면적이 26 km^2 이상에서는 면적감소계수(Areal Reduction Factor, ARF)를 적용하도록 명시한다. 그러나 본 연구유역인

사천천 유역은 소유역 별 지배면적이 26 km^2 이하이므로 ARF를 적용하지 않았다(강릉시 2005).

3.1.2 HEC-HMS 모형을 적용한 홍수량 산정

유역의 홍수량을 정확히 산정하려면 강우량과 유출량의 실측을 통하여 유역특성에 맞는 강우-유출모형이 확립되어야 하나 사천천 유역의 경우, 강우-유출의 실측이 전무한 상태이므로 강릉지상관측소의 강우자료와 HEC-HMS 프로그램을 이용하여 재현기간별 홍수량을 산정하였다. 또한 그림 2와 같

Fig. 2. Small Basin Partition

Fig. 3. Flood Hydrograph

Table 2. Probability Rainfall of Return Period (mm)

Station	Duration	Return period (yr)					Remarks
		50	80	100	150	200	
Gangneung	10min	19.2	20	20.4	20.8	21.0	GUMBEL
	1hr	66.4	74.1	84.3	93.4	97.6	
	2hr	97.7	110.2	128.5	146.9	155.9	
	3hr	120.7	136.2	159.6	184.1	196.7	
	4hr	139.6	157.2	184.0	212.6	227.6	
	6hr	170.4	191.2	222.2	255.6	273.3	
	8hr	195.9	218.8	252.2	287.8	306.6	
	12hr	237.9	263.6	299.2	335.8	354.7	
	18hr	288.1	316.5	352.7	387.3	404.1	
	24hr	329.8	359.9	395.2	426.3	440.2	

Table 3. Flood Discharge of Small Basin

No	Area (km ²)	Length (km)	Return period (yr)	Flood (m ³ /s)	River restoration project(/s)	No	Area (km ²)	Length (km)	Return period (yr)	Flood (m ³ /s)	River restoration project(/s)
SC.0 (Down Stream)	56.04	20.27	100	721.7	627	SC.3	37.01	14.46	100	520	472
			200	888.7	703				200	639	530
			PMF	1106.0	-				PMF	814.8	-
SC.1'	50.55	18.33	100	677.1	591	SC.4'	33.36	12.97	100	481.2	442
			200	833.4	664				200	590.8	496
			PMF	1054.2	-				PMF	766.4	-
SC.1	48.39	18.33	100	644.4	568	SC.4	31.29	12.97	100	450.6	417
			200	792.5	638				200	552.4	468
			PMF	999	-				PMF	713.6	-
SC.2'	43.15	15.7	100	605.5	539	SC.5'	29.99	12.04	100	434.3	401
			200	744.7	606				200	532.9	450
			PMF	955.7	-				PMF	688.3	-
SC.2	39.73	15.7	100	554.3	500	SC.5	25.43	12.04	100	366.8	345
			200	680.5	562				200	448.1	387
			PMF	868.4	-				PMF	571.9	-
SC.3'	37.91	14.46	100	533.4	481	SC.6 (Up Stream)	22.74	9.73	100	335.5	319
			200	655.8	541				200	410.7	357
			PMF	837.8	-				PMF	523.8	-

이 지류의 합류지점에 따라 6개의 소유역으로 분할하여 산정하였다.

강우의 유출분석으로 호우사상에 대해 시간분포를 분석하여 시간분포 양상을 1분위 호우부터 4분위 호우까지 총 네 가지 강우분포로 분류하는 Huff의 4분위 법을 사용하였다(그림 3). 이러한 강우의 분포 변화는 집중 강우의 시간이 변하므로 홍수량에도 영향을 미치게 된다(박선희, 2010).

강우유출의 직접적인 원인이 되는 지표면유출(Surface runoff)은 강우량으로부터 침투에 의한 손실을 제외한 유효우량으로 산정을 하며, 미계측유역의 유효우량 산정에 널리 사용되고 있는 SCS방법으로 산정하였다. SCS 방법에서 고려되어야 할 CN(Curve Number)은 최근 집중호우 성향 등을 고려하여 AMC-III 조건을 적용하였다. 유출의 임계지속 시간은 하천정비기본계획에서 홍수량 산정지점별로 강우지속 시간별 침투홍수량을 산정하여 제시한 8시간을 적용하였으며, 유역추적 기법은 홍수량의 차이가 적고, 강우로 인한 유수의 전이 및 유역의 저류효과 등 유역의 특성을 가장 잘 반영하는 Clark모형을 적용하였다.

표 3은 사천천 유역의 빈도별 홍수량 및 하천정비기본계획서의 홍수량을 나타낸 것으로 비교결과 평균 13.1% 증가하는 것으로 나타났다.

3.2 HEC-GeoRAS 모형의 적용

HEC-GeoRAS의 과정은 HEC-RAS 모형의 지형 속성자료를 구축하기 위한 PreRAS 과정과 홍수위 산정을 위한 RAS 과정, HEC-RAS에서 모의한 결과로 홍수범람도를 작성하는 후처리 과정인 PostRAS과정으로 구분된다.

홍수범람도를 분석하기 위해 전처리 과정인 PreRAS에서

1:5,000 수치지도를 합성하여 불규칙삼각망(Triangulated irregular network)을 생성하였다. 그러나 수치지도에서 하천 횡단면도는 나타나지 않기 때문에 하천정비기본계획 당시 측량한 횡단면 값을 합성하여 그림 4와 같이 수정 TIN을 생성하였다. 후처리과정(PostRAS)에서 홍수위 모의 결과와 지형데이터 표고를 병합하여 홍수범람 구역을 도출하였다. 도출한 홍수범람도는 침수면적, 최대수심, 유속분포 등을 알 수 있다.

생성된 지형자료를 HEC-GeoRAS의 XS Cutline을 생성하여 구간별 횡단면 자료를 추출하고, HEC-RAS 지형 입력자료로 사용하였다. 또한 조도계수는 하천정비기본계획서를 참고하여 하상재료 구성 물질 및 하상상태 등으로 상류 0.040, 중류 0.035, 하류 0.030의 값을 적용하였다. 흐름 상태는 정상류(Steady flow) 상태로 모의하였으며, 구조물에 의한 수위상승은 약 0.08~0.24 m로 큰 영향을 미치지 않는 것

Fig. 4. Triangulated Irregular Network(TIN)

으로 나타났다. 홍수 시나리오는 100년 빈도, 200년 빈도, 가능최대홍수량(PMF)으로 분류하였으며, 가능최대홍수량(PMF)은 지난 2002년 태풍루사 당시 홍수량을 가정하여 모의하였다.

4. 홍수범람 모의결과

시나리오별 홍수범람 모의 결과를 다음 그림 6과 같이 나타냈다. 사천천 유역은 100년 빈도의 홍수량을 기준으로 설계되어 100년 빈도의 경우 범람지점이 거의 발생하지 않았다. 그러나 200년 빈도의 경우 하천의 중·하류 지점에 범람이 발생하였으며, PMF 빈도에서는 중·하류 뿐 아니라 상류지점도 범람하는 것으로 나타났다. 홍수범람모의 결과를 정리하면 다음 표 4와 같다. 비교결과 PMF빈도의 경우 200년 빈도보다 침수면적이 약 2배 더 크게 나타났으며, 최대침수심은 1.6 m 크게 모의되었다.

범람하는 주요지점을 정사영상과 합성하여 분석한 결과 사천천 유역일대는 농경지가 발달한 지역으로 홍수 범람이 나타날 경우 주택침수피해 및 인명피해보다 농경지의 피해가 더 크게 나타날 것으로 예상된다. PMF 시나리오와 지난 2002년 태풍루사 당시 피해 범위 및 면적을 수해백서와 비교해본 결과 주요 범람지점 및 면적에서 차이가 발생하였다. 이는 첫 번째로 지난 2000년 대형 산불 이후 식생이 없는 유역에서 태풍루사로 인한 산사태 발생으로 대량의 토사 및 유목이 하천으로 유입된 결과 하천의 수위를 높이고 교량의 통수단면적을 감소시켜 그 주변으로 크게 범람한 것으로 나타났다. 그러나 HEC-GeoRAS에서는 제방을 월류하는 수위에 대하여 침수구역을 산정하기 때문에 이러한 현상을 모의하지 못하였다. 두 번째로 태풍루사 이후 하천정비기본계획으로 개수가 완료된 지형자료를 사용하여 차이가 발생한 것으로 판단된다.

그림 5는 유역의 거리에 따른 유속분포를 나타낸 것이다.

Table 4. Flood Inundation Analysis Result

Frequency	Inundation area	Inundation depth
100	-	-
200	643119.5 m ² (64.3ha)	4.1 m
PMF	1359584 m ² (135.9ha)	5.7 m

Fig. 5. Velocity Distribution

지점별로 차이가 발생하나 평균적으로 홍수량이 증가할수록 유속이 증가하고, 상류에서 하류로 갈수록 유속은 느려지는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 기상청 강릉지상관측소 50년 강우자료를 분석하여 확률강우량 및 빈도별 홍수량을 100년, 200년, PMF의 시나리오로 가정하고, 우리나라 하천의 특색이 잘 나타나는 강릉시 사천천 유역의 홍수범람을 HEC-HMS, HEC-RAS, HEC-GeoRAS 모형을 연계하여 모의하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 기상청 강릉지상관측소 자료를 분석하여 지난 2005년 하천정비기본계획 시 수립된 홍수량과 비교한 결과 지점별로 평균 13.1% 증가하였다. 이는 최근 10년간 이상 기후로 인한 확률강우량의 증가로 홍수량 역시 크게 모의된 것으로 판단된다.
- 2) 유역의 임계지속시간은 8시간으로 나타났으며, 지속시간 8시간의 150년 빈도인 약 280 mm 발생할 경우 홍수범람 위험이 예측되었다. 사천천의 범람지역으로 농경지가 주를 이루며, 200년 빈도와 PMF 빈도 모의 결과 침수면적은 64.3 ha, 135.9 ha, 침수심은 각각 4.1 m, 5.7 m로 모의되었다.
- 3) 가능최대홍수량(PMF)을 기준으로 모의한 결과와 2002년 강원수해백서의 비교 결과 주요 범람지점 및 면적의 차이가 발생했다. 이는 지난 2000년 대형 산불이 발생한 유역에서 산사태로 발생한 나무 및 기타 부유 물질로 인하여 교량의 통수단면적이 줄어 교량 주변에서 크게 범람이 발생하였기 때문이며, 본 연구에 적용한 모형은 수위로 홍수범람을 예측하기 때문에 차이가 발생한 것으로 판단된다.
- 4) GIS를 이용하여 모의한 홍수터 해석은 1차원 하천수리 모형이 가지는 한계점을 보완할 수 있으나, 기본적으로 수위로 홍수범람 모의를 한다는 점에서 한계점을 내포하고 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위하여 고해상도의 하천정보 및 수문정보를 생산하여, 2차원 모형과의 연계가 필요한 것으로 판단된다.
- 5) 본 연구에서는 기상청 강릉지상관측소 자료를 분석하여

Fig. 6. Flood Inundation Simulation Result

확률강우량으로 홍수량 및 홍수범람을 모의한 것으로, 향후 실시간 기상자료와 모델수치해석 자료 합성을 활용하여 지속시간에 대한 강우량으로 홍수범람 지점을 예측하는데 도움이 될 것으로 판단되며, 현재 가지고 있는 한계점을 극복하여 지속적인 연구를 진행할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국립기상연구소의 재해기상연구센터 설립운영(R&D)사업 (NIMR-2012-B-7)의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Ahn, J.H., Lee, J.E. and Choi, C.W. (2011) Flood Mitigation Analysis for Abnormal Flood at the South Han River Basin, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 5, pp. 265-272.
- Ahn, S.S., Lee, J.S. and Kim, J.H. (2004) Analysis of Flood Inundation Area Using HEC-RAS/GIS, *Journal of Korean Environmental Sciences Society*, Vol. 13, No. 1, pp. 19-26.
- Andrysiak Jr. P.B. and D.R. Maidment (2000) Visual floodplain modeling geographical information systems(GIS). CRWR Online Report 00-4.
- Kim, B.H., Choi, S.Y., Han, K.Y.(2011). An Analysis Method of 1D Hydrodynamic Model Based on GIS for Flood Inundation Mapping, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 6, pp. 227-235.
- Kim, E.S., Choi, H.I. and Jee, H.K. (2010) Estimation of the Flash Flood Index by the Probable Rainfall Data for Ungauged Catchments, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 10, No. 4, pp. 81-88.
- Kim, S.G., Song, I.H. and Kim, C. (2006) Comparison of Flooding Area Estimation using GIS and Hydraulic Model, *Journal of KAGIS*, Vol. 9, No. 3, pp. 183-192.
- Ahn, J.H., Lee, J.E. and Choi, C.W. (2011) Flood Mitigation Analysis for Abnormal Flood at the South Han River Basin, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 5, pp. 265-272.

Lee, G.H., Park, K.W., Yu, W.S., Jung, K.S. and Jang, C.L. (2011) A Study on Flood Damage Estimation Using DEM-based Flood Inundation Model and MD-FDA, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 5, pp. 327-336.

Park, J.D. and Choi, J.M. (2011) Flooding Area Estimation and Evacuation Path Analysis, *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 19, No. 1, pp. 1-11.

Park, S.H., Won, J.Y., Song, J.I. and Yoon, S.E. (2010) Analysis of Design Flood Change for the Small to Medium Size Rivers in Gyeonggi-do, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 10, No. 2, pp. 143-149.

© Received December 31, 2012

© Revised January 7, 2013

© Accepted March 6, 2013