낙동강 중소하천 홍수에경보시스템 구축을 위한 한계강우량 산정과 적용

Rainfall Thresholds Estimation to Develop Flood Forecasting and Warning System for Nakdong Small River Basins

박재범* · 신동수** · 박무중*** · 강봉권**** · 신현석*****

Park, Jae Beom · Shin, Dong Soo · Park, Moo Jong · Kang, Bong Gwon · Shin, Hyun Suk

Abstract

An procedure for the definition of rainfall threshold value is illustrated in order to develop optimal flood forecasting and warnings systems for small river basins. Threshold overcoming could produce a danger situation in river sites and trigger the prevention and emergency system alert. Rainfall threshold values is based both on the quantitative rainfall observed and the hydrological response of the small river basin. Threshold values specify the rainfall amount for a given duration that generates a danger discharge in a outlet's cross section and are estimated by hydrological modeling for several scenarios(e.g. Soil Moisture conditions, Initial Abstraction). Nakdong River basin is separated to 2,268 small river basins by using Hec-GeoHMS, rainfall threshold for small river basins are presented for several scenarios.

Key words : Danger discharge, Threshold rainfall, Hec-GeoHMS, Hec-HMS

요 지

본 연구에서는 중소하천 홍수경보시스템 구축을 위한 소유역기반 한계강우량 산정 방법론을 제안하였다. 소유역 말단 하천단면에서 위험유량에 해당하는 한계강우량을 초과하는 강우가 발생하면 위험상황이 발생하고 하천재해에 대응하고 대처하기 위한 경보를 발령한다. 관측강우량과 유역의 수문학적반응특성을 기반으로 하는 한계강우량은 소유역 말단에서 위험상황을 발생하는 유량에 해당하는 특정 지속시간 동안의 총강우량을 의미한다. 지형분석도구인 ArcGIS 기반 Hec-GeoHMS를 이용하여 낙동강유역을 2,268개 소유역으로 분할 후 Hec-HMS모형을 구축하였으며 이를 이용하여 선행토양함수조건과 초기손실 시나리오에 따른 한계강우량을 산정하였다.

핵심용어 : 위험유량, 한계강우량, Hec-GeoHMS, Hec-HMS

1. 서 론

최근 기후변화와 기상이변 등으로 인한 자연재해 발생빈도와 규모가 커지고 있으며 홍수에 의한 피해의 대부분의 경우는 중소하천에서 발생하고 있다. 따라서 중소하천의 홍수피해를 최소화하기 위한 국가적 노력과 유사피해발생 방지를 위한 연구가 필요한 실정이다.

홍수에경보시스템은 기술적 오류, 설계빈도를 초과하는 홍수 등으로 발생하는 위험에 대처하여 사회경제적 피해를 최소화하기 위한 비구조적 대응방안으로 신뢰성 있는 시스템 구축을 위해서는 유역의 규모와 도달시간에 대한 고려가 필요하다.

Rosso(2002)는 유역 규모와 도달시간에 따른 홍수에경보기법을 제안하였다. 도달시간 10시간 이상, 유역면적 10,000 km²인

*정회원. 부산대학교, 사회환경시스템공학부 박사과정(E-mail: jbpark72@hanmail.net)
Member. Ph.D Candidate, Civil and Environmental Engineering, Pusan University

**정회원. ㈜ 웨스, 유역개발부 과장
Member. Watershed Management Dept Manager, Water & Environmental Management System Corp.

***정회원. 한서대학교 토목공학과 교수
Member. Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University

****한국수자원공사
Korea Water Resources Corporation

*****교신저자. 정회원. 부산대학교 사회환경시스템공학부 교수(Tel : +82-51-510-2348, Fax : +82-51-513-9596, E-mail: hsshin@pusan.ac.kr)
Corresponding Author. Member. Professor, Civil and Environmental Engineering, Pusan University

대규모 유역의 경우 상류수위를 이용한 수위법이 적당하며 도달시간 3시간~10시간, 유역면적 400~10,000 km²인 중규모 유역의 경우 강우법과 수위법을 통합한 기법, 도달시간 3시간 이내 유역면적 400 km²이하인 소규모 유역의 경우 강우법이 적당한 것으로 분석하였다.

강우법은 미국 국립기상청에서 1970년대에 도입되어 운영되고 있는 돌발홍수능(Flash Flood Guidance, FFG) 산정 알고리즘을 기반으로 하고 있다. Carpenter et al.(1999)은 위험단면에서의 홍수유량 산정을 위해 제방율류량과 Snyder단위도법, 제방율류유량과 GIUH법, 2년빈도 홍수량과 Snyder단위도법, 2년빈도 홍수량과 GIUH법의 4가지 방법에 대한 특성 분석을 수행하였다. Georgakakos(2006)는 미국 기상청의 돌발홍수 시스템을 분석하여 해석적 기법을 통해 실시간 돌발홍수능 산정을 위한 방안을 제안하였다. Norbiato et al.(2008)은 이태리와 프랑스에 위치한 11개 미계측 산악 유역을 대상으로 매개변수를 전이한 확률분포수분모형(Probability Distributed Moisture, PDM)을 이용하여 선행토양함수조건에 따른 돌발홍수능의 적합성을 검토하였다.

Shin et al.(2004a,b)은 지형학적순간단위도법(Geomorpho-Climatic Unit Hydrograph, GCUH)이 산악지역의 유출량과 돌발홍수 기준유량을 산정하는데 적절한지를 덕천강 유역을 대상으로 검토하였다. GCUH의 침투유량과 기존 보고서의 확률 홍수량 자료를 비교하는 방법과 실측 호우사상을 HEC-HMS 모형과 GCUH에서 산정된 침투 유량을 태수지점의 실측자료와 비교함으로써 GCUH의 타당성을 검증하였다. 또한 GCUH와 SCS 유효유량 방법을 이용하여 돌발홍수 기준유량을 산정함으로써 산악지역의 돌발홍수 기준유량 산정 방법을 제시하였으며 실유역 적용을 통해 산악지역에서의 돌발홍수 경보발령 기준유량 산정 방법을 검토하였다. Kim(2005)는 지형수문학에 기초한 GIS기반 지형수문도의 모형을 개발하여 단일유역 돌발홍수 기준강우량 산정시스템과 분할유역 돌발홍수 기준강우량 산정시스템을 구축하고 실유역에 적용 및 검증함으로써 개발 모형의 타당성을 검증하였다. Kim(2006)은 한강유역을 대상으로 돌발홍수 예측시스템의 수문 및 기상학적 구성요소인 한계유출량, 모델기반 토양수분 산정, 수문학적 레이더 강수추정 및 예측가수량 산정 등의 관련기법을 개발하고 적용결과를 제시하였다. Joe et al.(2011)은 유역의 하도구간을 자연하도, 인공하도, 본류하도의 3개 유형으로 구분하고 국내 유역특성을 반영한 한계유출량 산정기법을 제안하고 한강유역을 대상으로 적합성을 검토하였다.

이와 같이 강우법을 기반으로 하는 홍수예경보시스템은 소유역 말단 하천단면에서 한계강우량을 초과하여 강우가 발생하면 위험상황이 발생하고 하천재해에 대응하고 대처하기 위한 경보를 발령하는 체계로 구성되어 있다. 관측강우량과 유역의 수문학적반응특성을 기반으로 하는 한계강우량은 위험상황을 발생하는 유량에 해당하는 특정 지속시간 동안의 총강우량을 의미한다.

본 연구에서는 Hec-GeoHMS를 이용하여 낙동강 유역을 2,268개 소유역으로 분할 후 Hec-HMS 모형을 구축하였으며 이를 이용하여 선행토양함수조건과 초기손실 시나리오에 따

른 한계강우량을 산정하였다.

2. 한계강우량 산정과 적용

한계강우량은 산사태와 토석류, 홍수 관련 예경보시스템 연 구에서 위험단면에서의 산사태 또는 홍수를 유발하는 특정강우량으로 정의하고 있다. 즉, 소유역 말단에서 위험상황을 발생하는 유량에 해당하는 특정 지속시간 동안의 선행토양함수 조건을 고려한 총강우량을 의미한다.

2.1. 위험단면 선정 및 위험유량 산정

유역내 유량과 중형단 측량자료가 이용 가능한 계측유역일 경우 측정단면을 위험단면으로 선정하고 위험수심에 해당하는 유량을 수위-유량관계곡선을 이용하여 산정한다. 미계측유역일 경우에는 과거의 홍수이력, 위험도 분석 등을 이용하여 위험단면을 일차적으로 분석하고 중형단 측량자료가 이용 가능할 경우에는 수리모형을 이용하여 위험단면을 선정하고 해당단면에서의 위험유량을 산정하는 것이 바람직하다. 하지만 유역에 대한 정보가 전혀 없을 경우에는 소유역 출구지점을 위험단면으로 선정한다.

위험단면을 선정후 홍수를 유발하는 위험유량을 산정한다. 위험단면이 계측단면일 경우 위험수심에 해당하는 유량을 수위-유량관계곡선을 이용하여 산정하나 미계측 단면일 경우는 Fig. 1과 같이 계측유역의 유역면적, 하천연장, 하천경사 등을 이용하여 구축한 지역적 회귀식과 Manning 공식을 이용하여 해당유역의 위험유량을 산정한다. 또한 특정설계빈도에 해당하는 유량을 위험유량으로 적용이 가능하며 Carpenter et al.(1999)은 2년 빈도 유량을 제방을 월류하는 위험유량으로 제안하였다.

2.2 유출해석모형 구축

한계강우량은 유출해석모형을 이용하여 위험유량에 해당하는 특정 지속시간 동안의 누가강우량을 반복적으로 역산함으로써 산정한다. 미계측유역일 경우 관측자료의 부재로 인해 매개변수에 대한 보정이 어려우며 보정이 필요 없는 매개변수를 가진 모형을 적용하거나 유역의 지형기후학적 특성을 이용한 지형학적순간단위도(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph, GIUH)모형을 적용하는 방법이 있다.

본 연구에서는 Hec-GeoHMS를 이용하여 낙동강 유역을 지방하천 합류점을 기준으로 2,268개 소유역으로 분할 후 Hec-HMS 모형을 구축하였으며 이를 이용하여 한계강우량 산정을 위한 강우량-침투유량 곡선을 산정하였다.

Fig. 1. Danger discharge calculation

Fig. 2. Schematic diagram for threshold rainfall estimation

2.3 한계강우량 산정

다양한 호우 상황에서 유역은 위험유량에 도달할 수 있으며 이와 같은 위험상황을 판단하기 위한 수단은 호우발생 후 특정시간 동안에 발생하는 누가 유역평균강우량을 산정하는 것이다. 한계강우량은 위험단면의 특성, 토양함수조건, 강우의 시간적인 변동성 관련 함수이다. 중소하천 한계강우량 산정절차는 Fig. 2와 같으며 경보발령시 유역의 토양함수조건을 고려하기 위한 인자로 선행토양함수조건(Antecedent Moisture Condition, AMC)을 선정하였다. 강우의 시간적인 변동성은 확률강우량도 개선 및 보완 연구(MOLIT, 2011)에서 제시한 해당 지점 강우량의 Huff 시간분포 곡선을 이용하여 고려하였다.

3. 낙동강 중소하천 한계강우량 산정

Hec-GeoHMS를 이용하여 낙동강수계를 2,268개 소유역으로 구분하고 해당 소유역에 대한 유역 및 하도 관련 특성자료를 이용하여 Hec-HMS모형을 구축하였다. 낙동강 중소하천 자료를 이용하여 지역적회귀식을 구축하여 소유역별 위험유량을 산정하였다. 또한 낙동강 유역내 15개 수위표 지점을 대상으로 모형에 대한 검보정을 수행하여 최적매개변수를 선정하였으며 이를 이용하여 선행토양함수조건별 한계강우량을 산정하였다.

3.1 위험유량 선정

위험유량을 산정하기 위해 Manning 공식을 적용하였다. 이를 위해서는 하천의 단면폭, 조도계수, 위험수심을 입력하여야 하며 단면폭과 위험수심은 홍수량 산정에 많은 영향을 미친다.

$$Q_d = \frac{1.486}{n} S_c^{0.5} B_b \left[\frac{Y_b}{m+1} \right]^{0.38} \quad (1)$$

여기서 Q_d 는 위험유량(ft^3/s), S_c 는 유역하도경사(ft/ft), B_b 는 하폭(ft), Y_b 는 위험수심(ft), n 은 Manning의 조도계수를 의미한다.

낙동강유역 내 소하천 자료 중 유역특성과 하도특성이 이용 불가능한 자료를 제외한 자료에 대해 Fig. 3과 같이 다중회귀분석을 수행하였다. 독립변수로 유역면적(km^2), 하천길이(km), 하천경사를 종속변수로 하천폭(m)과 수리수심(m)을 선정하여 소하천 횡단면도와 종단면도를 이용하여 해당변수를 추출하여 미계측 소유역의 하천폭과 수리수심을 산정하기 위한 지역적회귀식을 개발하였다. 하폭과 수리수심에 대해 지형

(a) Width

(b) Hydraulic Depth

Fig. 3. Multiple linear regression analysis

Table 1. Danger discharge for nakdong river catchment(Unit: m³/s)

Code	Subbasin	Watch	Warn	Evacuation
2001	Andong dam	169.96	193.14	209.19
2002	Imha dam	57.42	65.25	70.84
2003	Andong dam down	47.88	54.41	59.08
2004	Naeseong River	48.46	55.07	59.88
2005	Young River	47.68	54.18	58.99
2006	Byeongseong River	35.07	39.86	43.44
2007	Nakdong Sangju	125.64	142.77	154.19
2008	Wicheon	42.73	48.56	52.77
2009	Nakdong Gumi	410.48	466.46	502.62
2010	Gamchun	43.04	48.91	53.30
2011	Nakdong Waegwan	127.37	144.74	156.39
2012	Gumho River	43.36	49.27	53.61
2013	Hoicheon	48.82	55.47	60.42
2014	Nakdong Goryeong	348.15	395.64	426.44
2015	Hapchun Dam	70.46	80.07	86.85
2016	Hwang River	35.88	40.77	44.50
2017	Nakdong Changnyeong	234.10	266.03	286.90
2018	Namgang Dam	85.83	97.54	105.68
2019	Nam River	38.47	43.72	47.56
2020	Nakdong Miryang	135.49	153.97	166.32
2021	Miryang River	62.47	70.99	77.09
2002	Nakdong River Estuary	268.86	305.53	329.47

인자인 유역면적, 하천길이, 하천경사의 회귀분석을 단일변수와 다중변수 각각에 대해서 전진선택법(Forward selection)을 이용하여 수행하였다. 단일변수와 다중변수 분석결과 모두 똑 같은 결과를 나타내므로 다중변수는 무의미함을 알 수 있다. 따라서 하천하폭과 수리수심 관련 지역회귀식을 단일변수인 유역면적의 함수로 결정하였다.

$$B = 3.5085 \times A^{0.5549} \quad (2)$$

$$H = 4.0466 \times A^{0.2261} \quad (3)$$

여기서 B 는 하폭(m), H 는 수리수심(m), $A(\text{km}^2)$ 는 유역면적을 의미한다.

본 연구에서는 경보단계를 토지이용특성과 배수면적을 기준으로 산지하천과 평지소하천으로 분류 후 위험수심에 따라 주의, 경계, 대피의 3단계로 나누어 설정하였다. 인명피해가 발생 가능한 수심을 고려하여 산지소하천의 경우 주의, 경계, 대피관련 위험수심으로 0.5 m, 0.7 m, 1.0 m로 설정하였으며 도시 및 평지 소하천의 경우 수리수심의 50%, 70%, 85%로 설정하였다(Shin et al., 2004a, 2004b).

경보단계별 위험유량 산정결과는 Table 1과 같으며 평균 114.89 m³/s, 130.56 m³/s, 141.16 m³/s로 분석되었다. 위험유량은 안동댐, 낙동구미, 낙동고령, 낙동창녕, 낙동강하구연 등 낙동강 본류에 위치한 중권역이 높고 변동성이 큰 것으로 분석되었다.

Fig. 4 Hec-HMS model construction

3.2 유출해석모형 구축

낙동강 22개 중권역에 대한 유역 및 하도 특성자료를 Hec-GeoHMS를 이용하여 산정하였다. 이를 이용하여 손실모형으로 SCS, 유역추적모형으로 Clark, 하도추적모형으로 Muskingum 모형을 선정하여 관련 매개변수를 산정하고 낙동강 중소하천 유출해석을 위한 Hec-HMS 모형을 구축하였다. 낙동강 22개 중권역 중 주요 4개 다목적댐 유역에 해당하는 안동댐, 임하댐, 합천댐, 남강댐 중권역의 유출해석 모형은 Fig. 4와 같다.

3.3 최적매개변수 산정

낙동강 유출해석모형의 최적매개변수 선정을 위한 검정오차 분석 통계치로 상대첨두치오차(RPE, Relative Peak Error), 절대평균편차(AMB, Absolute Mean Bias), 제곱근평균자승오차(RMSE, Root Mean Square Error), 상관계수(CC, Correlation Coefficient) 등 4개 항목을 Table 2와 같이 선정하였다.

낙동강내 수위관측소 중 강우-유출관계가 유의한 15개 지점에 대한 관측소별 호우사상을 선정하여 최적매개변수 선정을 위한 Hec-HMS 검보정을 수행하였다. 15개 관측지점에 대한 검보정결과는 Table 3과 같으며 합천댐 중권역과 남강댐 중권역의 4개 호우사상별 검보정결과는 Fig. 5 and Fig. 6과 같다. 낙동강 15개 지점에 대한 분석결과 중소하천의 홍수예警보를 위한 모형 적용시 중요한 통계치인 상대첨두치오차의 경우 안동댐과 합천댐 관측소의 2번째, 4번째 호우사상이 5.37%, 7.54%로 통계적 유의수준을 벗어나고 있다. 하지만 평균 상대첨두치오차 1.51%, 상관계수 0.88로 모의치가 관측치를 적합하게 재현하고 있으므로 중소하천의 유출량 산정에 적합한 모형임을 확인하였다.

Table 2. Validation error statistics

Statistics	Equation	Definition
Relative Peak Error	$RPE = \frac{[\hat{R}_p - R_p]}{R_p} \times 100$	$\hat{R}_p$ = Predicted Peak R_p = Observed Peak
Absolute Mean Bias	$AMB = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \hat{R}(t) - R(t) $	$\hat{R}(t)$ = Predicted $R(t)$ = Observed N = Observed
Root Mean Square Error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [\hat{R}(t) - R(t)]^2}$	$\hat{R}(t)$ = Predicted $R(t)$ = Observed N = Observed
Correlation Coefficient	CC	Correlation coefficient between predicted and observed data

Table 3. Validation Results

Statistics	RPE	AMB	RMSE	CC
Mean	1.51	65.51	91.94	0.88
Std	1.51	65.11	88.31	0.08
Min	0.10	4.77	6.31	0.65
Max	7.54	315.55	389.85	0.98

Fig. 5 Hapchun dam calibration

3.4 한계강우량 산정

Hec-HMS의 최적매개변수를 이용하여 지속시간 20분에 대해 강우량을 100 mm까지 10 mm씩 증가하면서 소유역별 강우량-침투유량 관계곡선을 작성하였다. 이를 이용하여 단계별 위험유량에 해당하는 한계유출량을 산정하였다. 한계유출량은 유효우량을 의미하므로 SCS 방법의 총우량-유효우량관계를 이용하여 총강우량으로 환산하여 단계별 한계강우량을 산정하였다.

유역의 유출특성은 토양수분에 따라 달라지므로 경보발령

을 위한 기준강우량 산정을 위해서는 토양함수조건과 무강우에 대한 고려가 필요하다. 이를 위해 5일 선행강우량을 이용하여 선행토양함수조건을 고려하였으며 SCS의 유효우량 산정시 차단, 침투, 지면저류를 고려하는 초기손실(I_a)의 규모를 일반적으로 적용되는 0.2S와 초기손실이 적은 0.1S, 초기손실이 없는 0.0S를 고려하여 기준강우를 산정하였다.

본 연구에서는 선행토양함수조건, 초기손실, 경보단계를 고려하여 2,268개 소유역의 27개 시나리오에 대한 한계강우량을 산정하였다. AMC-II, 0.0S 시나리오일 경우의 낙동강수계

Fig. 6 Namgang dam calibration

Fig. 7 Nakdong river threshold rainfall

에 대한 한계강우량 분포는 Fig. 7과 같다. AMC-II, 초기손실 0.0S일 경우의 경보단계별 평균 한계강우량은 18.58 mm, 20.39 mm, 22.10 mm와 같으며 초기손실량이 0.1S로 증가할 경우 26.89 mm, 28.71 mm, 30.41 mm로 증가였다. AMC-III, 초기손실 0.0S일 경우의 경보단계별 평균 한계강우량은 13.02 mm, 14.35 mm, 15.61 mm로 감소하였다. 이와 같이 유역의 유출특성은 토양수분과 초기손실량에 따라 달라지므로 경보발령을 위한 한계강우량 산정시 이에 대한 고려가 필요하다.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (4)$$

여기서 Q 는 유효강우량(mm), P 는 한계강우량(mm), I_a 는 초기손실량, S 는 유역의 최대잠재보유수량을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서는 중소하천을 대상으로 홍수경보시스템 구축을 위한 소유역기반 한계강우량 산정 방법론을 낙동강을 대상으로 적용하여 적합성을 검토하였다.

Hec-GeoHMS를 이용하여 낙동강 유역을 2,268개 소유역으로 분할 후 Hec-HMS 모형을 구축하였으며 이를 이용하여 선행토양함수조건에 따른 한계강우량을 산정하였으며 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 중소하천의 유역특성을 반영한 지역적 회귀식을 개발함으로써 미계측유역의 위험유량산정에 대한 불확실성을 감소할 수 있었다.
- 2) Hec-GeoHMS와 연계하여 유출해석모형을 구축하고 15개 지점에 대한 검보정을 수행하여 최적 매개변수를 선정하였다. 검정통계치로 평균 RPE는 1.51%, AMB는 $65.51 \text{ m}^3/\text{s}$, RMSE는 $88.31 \text{ m}^3/\text{s}$, CC는 0.88로 중소하천의 유출량 산정에 적합한 모형임을 확인하였다.
- 3) 지속시간 20분에 대해 강우량을 100 mm까지 10 mm씩 증가하면서 소유역별 강우량-침투유량 관계곡선을 작성하였다. 이를 이용하여 선행토양함수조건과 초기손실 시나리오에 따른 단계별 위험유량에 해당하는 한계강우량을 산정하였다.
- 4) 신뢰성 있는 유출해석모형과 한계강우량을 바탕으로 국내실정에 맞는 중소하천 홍수에경보시스템 구축을 위한 기법과 방향을 제시하였다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-자연-2011-45] 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Carpenter, T.M., Sperflage, J.A., Georgakakos, K.p., Sweeney, T., and Fread, D.L. (1999) National Threshold Runoff Estimation Utilizing GIS in Support of Operational Flash Flood Warning Systems, *Journal of Hydrology*, Vol. 224, pp. 21-44.
- Daniele Norbiato, Marco Borga, Silvia Degli Esposti, Eric Gaume, Sandrine Anquetin (2008) Flash flood Warning based on rainfall thresholds and soil moisture conditions: An assessment for gauged and ungauged basins, *Journal of Hydrology*, Vol. 362, pp. 274-290.
- Konstantine P.Georgakakos (2006) Analytical results for operational flash flood guidance, *Journal of Hydrology*, Vol. 317(1-2), pp. 81-103.
- Joe, B.G., Jee, H.S., and Bae, D.H. (2011) Development and Evaluation of Computational Method for Korean Threshold Runoff, *Journal of Korea Water Resources Association*, Korea Water Resources Association, Vol. 44, No. 11, pp. 875-887.
- Kim, J.H. (2006) Development of Korean Flash Flood Guidance Model, *D.Sc. Thesis*, Sejong University, Seoul, Korea.
- Kim, H.T. (2005) GIS-based geomorphohydrological watershed model and it's application to flash flood prediction in ungauged basins, *D.Sc. Thesis*, Busan University, Busan, Korea.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2011) Study of Probable Rainfall Intensity Improvement and Complementary.
- Rosso, R. (2002) "Manuale di Protezione Idraulica del Territorio", Cusi, Milano, Italy.
- Shin, H.S., Kim, H.T., and Park, M.J. (2004a) The Study of the Fitness on Calculation of the Flood Warning Trigger Rainfall Using GIS and GCUH, *Journal of Korea Water Resource Association*, Korea Water Resources Association, Vol. 37, No. 5, pp. 407-424.
- Shin, H.S., Kim, H.T., and Park, M.J. (2004b) An Application of making the Flash Flood Warning Trigger Rainfall in Real Basin using GIS and GCUH -At the Namcheon Basin of the Sobaek Mountain-, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 24, No. 4B, pp. 311-319.

© Received February 26, 2013

© Revised March 1, 2013

© Accepted March 8, 2013