

레이더 강우와 분포형 모형을 이용한 임진강 유역의 홍수 유출 모의

Flood Runoff Simulation using Radar Rainfall and Distributed Model in Imjin River Basin

김병식* , 배영혜**, 박정술***, 김경탁****

Byung Sik Kim, Young Hye Bae, Jung Sool Park, Kyung Tak Kim

요 지

최근 기상이변으로 인한 돌발홍수의 빈번한 발생으로 인해 신속하고 정량적인 강우예측의 필요성이 대두되고 있으며 강우의 거동을 실시간으로 관측하여 예측이 가능한 강우레이더의 활용성이 높아지고 있다. 또한, 1Km 해상도의 격자형으로 제공되는 강우레이더를 효과적으로 활용하기 위해 격자단위의 분석이 가능한 분포형 수문모형의 활용이 증가하고 있다. 본 연구를 위한 선행연구로 배영혜 등(2007)은 레이더 강우와 물리적 기반의 분포형 모형인 Vflo™을 이용하여 임진강 유역에 대한 강우-유출 모의를 실시하였으며 분포형 모형의 입력 자료로 활용된 임진강 유역의 공간자료는 임진강 유역조사 성과 및 GIS/RS를 자료를 이용하여 구축하였다.

배영혜 등(2007)이 모의한 임진강 유역의 홍수 유출 모의 결과 모의치와 관측치 사이의 첨두값은 일치하나 지체 시간의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 오차의 원인을 파악하기 위해 북한의 하천과 연결되지 않은 임진강 영중지점을 대상으로 홍수 유출 모의를 실시한 결과 지상 강우계를 이용한 레이더 강우의 보정 유무보다는 GIS 수문매개변수의 불확실성이 오차에 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며 특히 토양분류 체계가 상이하고 현시성이 결여된 토양도의 활용이 수리전도도를 비롯한 토양 매개변수에 불확실성을 초래하여 첨두 유량과 지체시간 등에 영향을 준 것으로 파악되었다.

본 연구에서는 유역면적의 약 2/3가 미계측 지역인 임진강 유역의 지리적 특성과 현지조사가 필수적인 토양도의 재구축이 현실적으로 어렵다는 점을 고려하여 상대적으로 단순한 가 분포형(Quasi-distributed) 수문 모형인 ModClark 모형을 이용하여 2006년 7월 사상에 대하여 홍수 유출 모의를 실시하였으며 그 결과를 선행연구를 통해 모의한 Vflo™ 모형의 유출 모의 결과와 비교하였다.

핵심용어 : 레이더 강우, 가-분포형(Quasi-distributed), ModClark 모형, 홍수유출, 임진강

1. 서 론

1996년을 비롯하여 1998년, 1999년에 연이어 대규모 홍수가 발생하였던 임진강 유역은 유역 면적의 대부분이 군사지역으로 접근이 제한되어 있고 유역면적의 약 63%가량이 북한지역으로서 상류에서 발생하는 홍수를 사전에 인지하지 못하는 것은 물론 강우량과 같은 기본적인 수문상황도 알 수 없는 관계로 홍수대책의 수립에 근본적인 한계를 지니고 있었다. 임진강 유역의 홍수대책의 일환으로 도입된 임진강 강우레이더는 면관측(2차원) 또는 공간관측(3차원) 자료를 제공함으로써, 기존의 우량계 관측망이 제공하지 못하는 강우의 공간분포와 이동발달상황 등을 우수한 해상도로 제공하고 있으며 관측이 불가능한 북한 지역의 강수량 정보를 실시간으로 추정해 냄으로서 이를 활용한다면 보다 신뢰성 있는 홍수예보 시스템의 구축이 가능하다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원·공학박사·E-mail : hydrokbs@kict.re.kr
** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원·공학석사·E-mail : baebae@kict.re.kr
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원·공학석사·E-mail : parkjs@kict.re.kr
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 책임연구원·공학박사·E-mail : ktkim1@kict.re.kr

본 연구를 위한 선행연구로 배영혜 등(2007)은 레이더 강우와 물리적 기반의 분포형 모형인 Vflo™을 이용하여 임진강 유역에 대한 강우-유출 모의를 실시하였으며 분포형 모형의 입력 자료로 활용된 임진강 유역의 공간자료는 임진강 유역조사 성과 및 GIS/RS를 자료를 이용하여 구축하였으며, 그 결과 모의치와 관측치 사이의 첨두값은 일치하나 지체 시간의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 오차의 원인을 파악하기 위해 북한의 하천과 연결되지 않은 임진강 영중지점을 대상으로 홍수 유출 모의를 실시한 결과 지상 강우계를 이용한 레이더 강우의 보정 유무보다는 GIS 수문매개변수의 불확실성이 오차에 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며 특히 토양분류체계가 상이하고 현시성이 결여된 토양도의 활용이 수리전도도를 비롯한 토양 매개변수에 불확실성을 초래하여 첨두 유량과 지체시간 등에 영향을 준 것으로 파악되었다.

본 연구에서는 유역면적의 약 2/3가 미계측 지역인 임진강 유역의 지리적 특성과 현지조사가 필수적인 토양도의 재구축이 현실적으로 어렵다는 점을 고려하여 상대적으로 단순한 가 분포형(Quasi-distributed) 수문모형인 ModClark 모형을 이용하여 2006년 7월 사상에 대하여 홍수 유출 모의를 실시하였으며 그 결과를 선행연구를 통해 모의한 Vflo™ 모형의 유출 모의 결과와 비교하였다.

2. 분포형 수문모형

Vflo™ 모형은 미국 Oklahoma 대학에서 개발한 물리적 기반의 분포형 수문모형이다. 이 모형은 수치해를 구하기 위하여 공간적으로는 유한요소법(Vieux, 2001, 2002, 2004)을, 시간적으로는 유한차분 음해법을 사용하고 지표유출 산정을 위하여 운동과 방정식(Kinematic Wave Equation, KWA)을 사용하고 있다. 홍준범 등(2006)과 김병식 등(2007)이 Vflo™ 모형을 국내 유역에 적용하여 정확성을 평가한 바 있으며 자세한 내용은 위 논문에서 참고하였다.

HEC의 John Peter는 실시간 수문 예측 적용에서 유역의 공간 분포와 강우의 공간 분포 정보를 이용하기 위해 ModClark을 개발하였다. ModClark 모형의 개념은 Clark의 개념적인 강우-유출 모형에서 사용하고 있는 기본 원리를 기초로 하여 공간적으로 분포된 강우자료의 모의 기능을 추가한 것이다. 안상진 등(2005), 김병수 등(2007)와 배영혜(2008)가 국내 유역에 적용하였으며 모형에 대한 자세한 개념은 위 논문을 참고하였다.

3. 수치지형자료 및 강우자료 구축

물리적 기반의 분포형 모형인 Vflo™ 모형과 개념적 기반의 가 분포형(Quasi-distributed) 모형인 ModClark 모형 구동을 위해서는 강우자료와 동일한 셀 간격의 수치지형자료의 입력이 요구되며 본 연구에서는 표 1의 수치자료를 수집, 구축하였다. 표 1의 자료들은 원시자료의 포맷이 벡터와 레스터로 구분되며 공간해상도 역시 상이하나 본 연구에서는 1km×1km의 격자형 자료로 제작되는 레이더 강우자료와의 중첩 연산을 위하여 자료 포맷을 격자화 하였으며 공간해상도 역시 1km 크기로 재배열하였다. 북한지역의 수치자료가 존재하지 않는 DEM 및 토양도 등은 임진강 유역조사(2006) 성과를 활용하였으며 유역경계도는 수자원단위지도를 조도계수 산출을 위한 토지피복도는 환경부 자료를 각각 활용하였다. 북한지역 토양도의 경우 조선지리전서 강원도편을 디지털화하여 구축한 유역조사 결과를 참고로 하였으며 토양분류체계가 남한과 다른 이유로 한국의 산림토양 분류표(산림토양 환경관리시스템) 등을 참고하여 속성을 일치시켰다.

표 1 Vflo™ 모형의 입력인자로 사용된 수치공간자료

자료구분	자료원	해상도 (축척)
DEM	남한 수치지도	1/5,000, 1/25,000
	북한 수치지도	1/50,000
유역경계도	수자원단위지도	1/25,000
하천망도	DEM	30m×30m
토지피복도	환경부 토지피복도	1/50,000
토양도	북한지역: 조선지리전서 강원도편 디지털지	-
	남한: 정밀토양도	1/25,000
	남한: 개략토양도 (정밀토양도 미 구축지역)	1/50,000

본 연구에서는 토지이용이나 식생상태에 따라 달라지는 조도계수를 산정하고 토지이용에 따른 불투수율을 고려하기 위하여 Vieux(2004)와 사공호상(2003)이 제시한 토지이용에 따른 각각의 속성값을 이용하였다. 침투요소는 Geen-Ampt법을 사용하였으며 토양도의 속성을 Vieux와 Koehler(2005)가 제시한 속성표에 매치시켜 수리전도도, 유효공극률, 습윤전선을 산정하였다. 또한, 공간 분석을 수행할 수 있는 HEC-GeoHMS모형을 이용하여 대상 유역의 유역 특성 및 매개변수를 산정하였다. 대상유역의 30m DEM을 이용하여 1Km ModClark 격자로 분할하고 토양도와 토지이용도를 이용하여 각 격자별 SCS CN계수를 산정하였고, ModClark 격자 파일을 생성하기 위하여 SHG(Standard Hydrologic Grid) 방법을 사용하였다. 초기포화도는 유역전체에 걸쳐 0으로 가정하였으며 유출모의를 위한 우량자료는 임진강 강우레이더를 이용해 수집한 2006년 7월 12일 00시~2006년 7월 13일 19시의 자료를 이용하였다.

4. 모형의 적용 및 분석

본 논문에서는 격자기반의 지형자료와 격자기반의 레이더 강우자료를 이용하여 유출량을 모의하였다. 임진강 유역은 횡산, 정연, 영중, 적성, 강화, 군남, 관인, 전곡, 통일대교 관측소가 위치하며, 이중 홍수예보지점은 전곡, 적성 지점이다. 그림 1은 임진강 유역도를 나타낸 것이다.

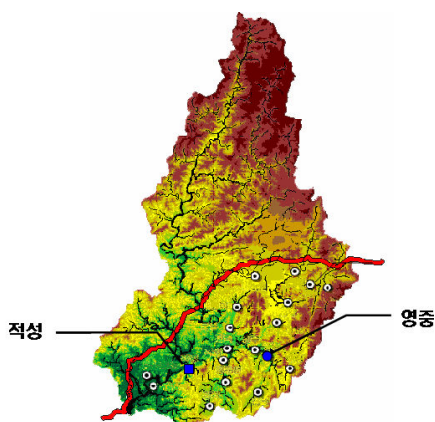


그림 1. 임진강 유역도

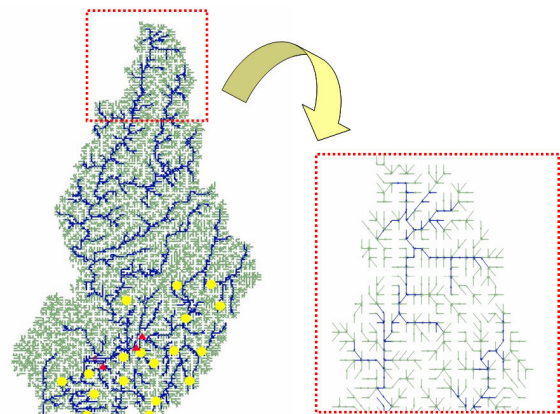


그림 2. Vflo™ 모형에 입력된 임진강의 흐름방향

1Km 격자크기로 재구성한 임진강 유역의 흐름방향, 경사도, 조도계수, 수리전도도, 유효공극률과 토양심도를 포함한 모든 지형 자료를 ASCII 형태의 파일로 변환하여 VfloTM 모형의 입력자료로 사용하였다. VfloTM 모형은, 침투에 관여하는 토양 관련 매개변수와 하도 및 지표면 유출량 추적에 필요한 조도계수 등의 매개변수를 입력받아 유출을 모의하며 Vieux(2002)는 토양 내 침투에 많은 영향을 미치는 매개변수가 전체적인 홍수유출량에 민감하게 반응하고, 침투 유량과 지체 시간 등 수문곡선의 모양을 결정하는 매개변수가 각각 수리전도도와 조도계수임을 연구한 바 있으며 김병식 등(2007)이 중랑천 유역을 대상유역으로 하여 VfloTM 모형의 민감도 분석을 실시하였다. 이를 근거로 본 연구에서는, 대상유역에 적합한 매개변수 보정을 실시하였으며 그림 2는 VfloTM 모형에 입력된 임진강 유역의 흐름방향이다. ModClark 모형을 이용한 유출 모의를 하기 위해서 1Km 격자크기의 레이더 강우를 DSS 파일로 변환하여 HEC_HMS의 입력자료로 사용하였고 도달시간과 저류상수에 대하여 매개변수 보정을 실시하였으며 그림 3은 ModClark 모형에 입력된 임진강 유역을 나타낸 것이며 그림 4는 각각의 모형에 입력된 레이더 강우의 시공간적 분포 변화를 나타낸 것이다.

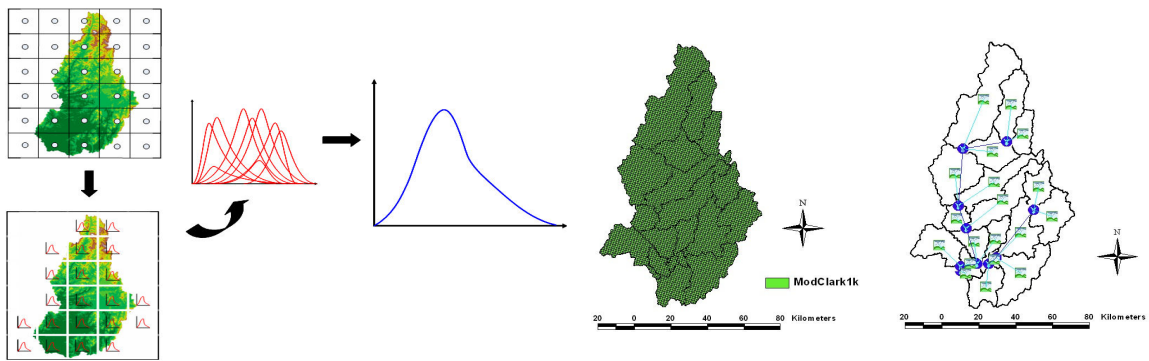


그림 3. ModClark 모형에 입력된 임진강 유역

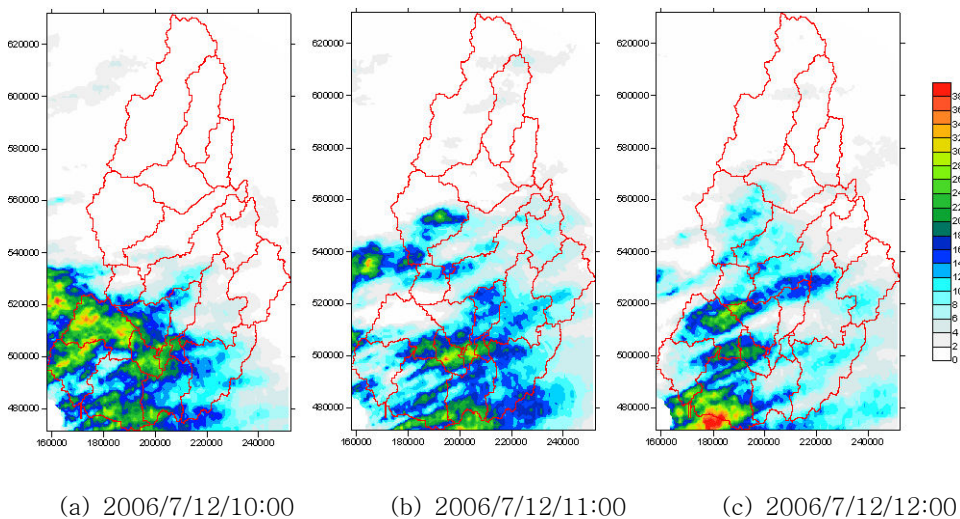
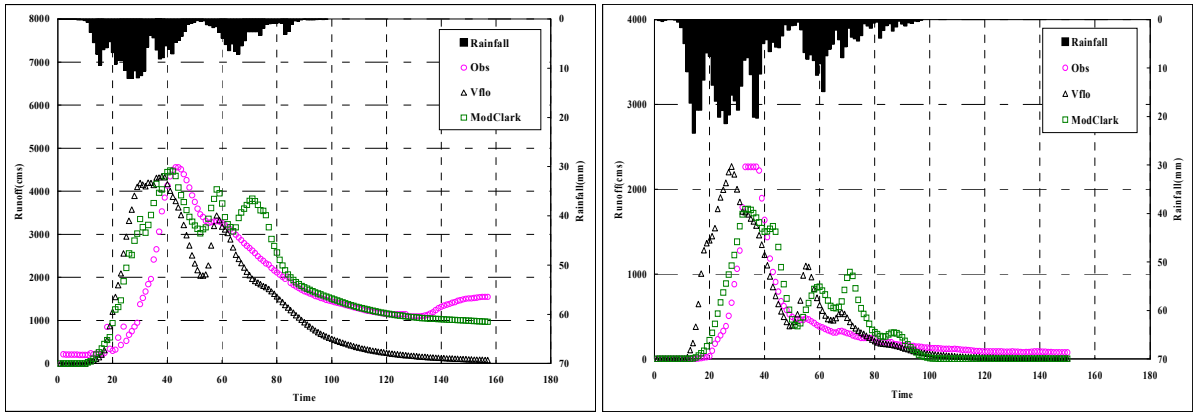


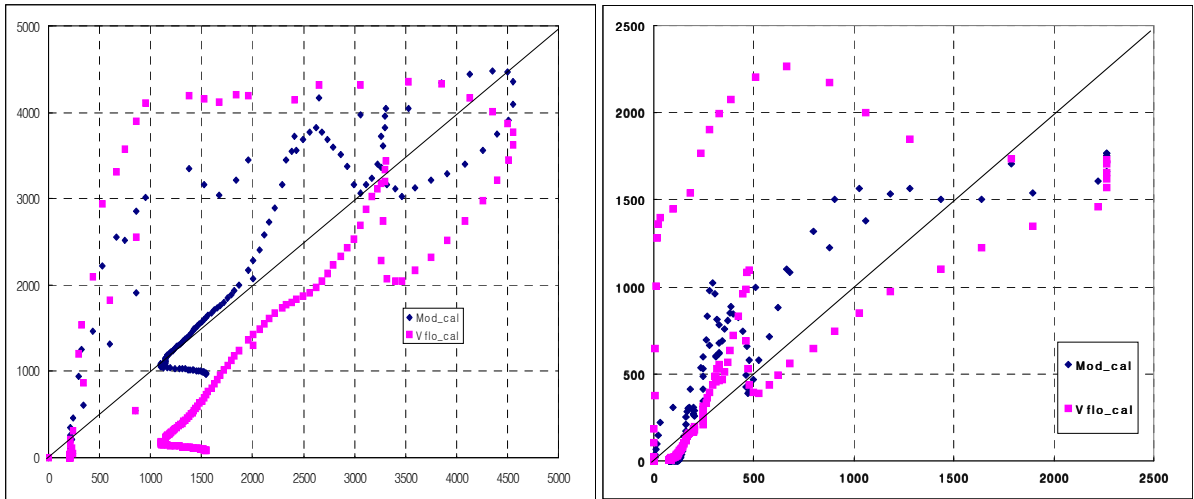
그림 4. 임진강 레이더 강우의 시공간적 분포 변화



(a) 적성지점

(b) 영중지점

그림 5. VfloTM 모형과 ModClark 모형의 매개변수 보정 후 홍수 유출 모의 결과 비교



(a) 적성지점

(b) 영중지점

그림 6. VfloTM 모형과 ModClark 모형 Q-Q plot 비교

표 2. VfloTM 모형과 ModClark 모형의 매개변수 보정 후 오차 비교

	적 성(>3000cms)		영 중(>1000cms)	
	Vflo TM	ModClark	Vflo TM	ModClark
MAE	233.67	39.64	302.28	262.91
RMS	836.27	497.93	593.69	420.48
NPE	-0.045	-0.016	0.002	-0.219
PTE	-2.5	-1	-2.5	0

그림 5에서 보는 바와 같이, 북한지역의 임진강 지류를 포함한 적성 수위 관측소 지점에서는 ModClark 모형의 모의 수문곡선이 VfloTM 모형보다 관측 수문곡선을 잘 재현한 것으로 나타났다. 또한, 남한지역의 임진강 지류만을 포함한 영중 수위 관측소 지점에서는 VfloTM 모형의 모의 수문곡선이 관측 수문곡선보다 첨두시간은 빠르게 모의됐으나 첨두치는 잘 재현하였고 ModClark 모형을 첨두치는 작게 모의되었으나 첨두시간을 VfloTM 모형보다 잘 재현하는 것으로 모의되었다.

VfloTM 모형과 ModClark 모형의 결과를 보다 정량적으로 비교하기 위하여, 각 모형의 모의 결과에 대하여 MAE(Mean absolute Error), RMS(Root Mean Square Error), NPE(Normalized Peak Error), PTE(Peak Timing Error)을 산정하였으며 자세한 식은 Byung Sik, Kim 등(2007)의 논문에서 참고하였다.

5. 요약 및 결론

본 연구의 연구내용과 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서는 강우자료의 미계측 지역인 휴전선 이북지역의 임진강 이북지역을 포함한 전 유역을 대상으로 홍수유출 분석을 위하여 레이더 강우자료를 이용하였다. 그 결과 강우의 공간 분포와 이동발달상황 등을 제공해 주는 레이더 강우자료를 활용하여 충분히 홍수유출 모의를 할 수 있음을 확인할 수 있었다.
- (2) 2006년 7월 12일 0시부터 2006년 7월 13일 19시까지의 1Km 격자크기의 원시(raw)레이더를 이용하여 VfloTM 모형과 ModClark 모형에 입력한 후 유출 모의를 실시하여 결과를 비교하였다. 미계측 지역인 북한 지역의 임진강 지류가 만나는 적성지점에서는 ModClark 모형의 모의 수문곡선이 VfloTM 모형의 모의 수문곡선보다 관측 수문곡선을 잘 재현하였다. 그러나, 남한 지역의 임진강 지류만 만나는 영중지점에서는 총 유출 체적과 첨두시간을 비교하였을 때 ModClark 모형이 VfloTM 모형보다 관측 수문곡선을 잘 재현하였으나 첨두값을 비교하였을 때는 VfloTM 모형이 ModClark 모형보다 관측 수문곡선을 잘 재현하였다.
- (3) 각 분포형 모형의 모의결과를 비교해 본 결과 약 2/3 이상이 미계측 지역인 임진강 유역의 경우처럼, 수문지형학적 자료가 충분하지 않을 경우에는 상세한 지형정보를 필요로 하는 물리적 기반의 분포형 모형보다는 유역의 물리적 특성을 보정이 가능한 매개변수로 표현하는 개념적 기반의 가 분포형 모형이 더 현실적이라는 것을 보여 주는 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)과 한국항공우주연구원의 일반연구사업(사업명 : 위성자료 공공활용 연구)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 통일부, 건설교통부 (2006). 임진강 유역조사
2. 김병수, 김경준, 윤정수, 유철상 (2007). "HEC-HMS를 이용한 격자 강우의 유출 해석 비교: 레이더, 강우계 및 레이더-강우계 합성 강우의 비교", 대한토목학회 정기학술대회, pp. 1220-1223
3. 김병식, 홍준범, 김형수, 최규현 (2007). "조건부 합성방법을 이용한 레이더 강우와 지상 강우자료의 조합", 대한토목학회 제27권 3B호, pp.255-265
4. 배영혜 (2008). "칼만필터 기법에 의한 레이더 강우 보정 및 분포형 모형을 이용한 홍수 모의", 인하대학교 석사학위논문
5. 안상진, 윤석환 (2005). "ModClark 모형을 이용한 유출 해석", 대한토목학회 논문집, Vol. 38. No. 3. pp. 245-257.
6. Byung Sik, Kim, Jun Bum, Hong, Hung Soo, Kim, Seok Young, Yoon, Byung Ha, Seoh(2007), "Flood simulation using rainfall data from rain gauges and radar by Conditional Merging method", *IAHR*