

레이더 강우자료에 의한 홍수 예보 시스템 연구

Study on Flood Prediction System Based on Radar Rainfall Data

김 원 일* / 오 경 두** / 안 원 식*** / 전 병 호****

Kim, Won Il / Oh, Kyoung Doo / Ahn, Won Sik / Jun, Byong Ho

Abstract

The use of radar rainfall for hydrological appraisal has been a challenge due to the limitations in raw data generation followed by the complex analysis needed to come up with precise data interpretation. In this study, RAIDOM (RADar Image DigitalizatiOn Method) has been developed to convert synthetic radar CAPPI(Constant Altitude Plan Position Indicator) image data from Korea Meteorological Administration into digital format in order to come up with a more practical and useful radar image data. RAIDOM was used to examine a severe local rainstorm that occurred in July 2006 as well as two other separate events that caused heavy floods on both upper and mid parts of the HanRiver basin. A distributed model was developed based on the available radar rainfall data. The Flood Hydrograph simulation has been found consistent with actual values. The results show the potentials of RAIDOM and the distributed model as tools for flood prediction. Furthermore, these findings are expected to extend the usefulness of radar rainfall data in hydrological appraisal.

keywords : Radar rainfall, CAPPI, Distributed model

요 지

수문학적 해석에 있어 레이더 강우의 활용은 원시자료를 획득하기가 어려울 뿐만 아니라 이를 처리하여 적용하는 과정이 간단하지 않기 때문에 대부분의 연구와 실무적용에 있어 많은 어려움이 있다. 본 연구에서는 레이더 영상자료를 실용적으로 활용하기 위한 방안으로 기상청에서 제공하는 레이더 합성 CAPPI(Constant Altitude Plan Position Indicator) 이미지 자료를 디지털 강우자료로 변환할 수 있는 ‘레이더 영상 디지털 변환법(RAIDOM, RADar Image DigitalizatiOn Method)’을 연구 개발하였다. 2006년 7월에 발생한 국지성 집중호우와 한강유역 중상류 지역에 걸쳐 큰 홍수량을 발생시킨 2개의 호우사상에 대하여 레이더 강우자료를 분포형 모형에 적용하여 활용성을 검토하였다. 모의된 홍수수문곡선은 실측치와 잘 일치하였고 RAIDOM과 이를 적용한 분포형 모형이 홍수예보를 위하여 활용될 수 있음을 보여주었다. 이러한 연구를 통하여 수문해석에 있어 레이더 강우에 대한 활용성을 넓히는데 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어 : 레이더 강우, CAPPI, 분포형 모형

* 교신저자, 수원대학교 하천환경기술연구소 책임연구원, 공학박사
Ph.D, River Environment Technology Institute of Suwon University
(e-mail: wikim@suwon.ac.kr)

** 육군사관학교 토목공학과 교수
Professor, Dept. Civil Engineering, Korea Military Academy, Seoul, 139-799, Korea

*** 수원대학교 토목공학과 교수
Professor, Dept. Civil Engineering, Suwon University, Kyonggido, Korea

**** 육군사관학교 토목공학과 명예교수
Emeritus Professor, Dept. Civil Engineering, Korea Military Academy, Seoul, 139-799, Korea

1. 서론

전통적으로 수문학적인 해석을 위한 강우자료는 유역 내에 있는 지상 강우관측소에서 획득되었다. 이러한 지상 강우관측소는 유역 내 한정된 지점에 위치하고 있어서 강우의 공간적인 분포를 정확하게 제공하는데 어려움이 있다. 특히 국지적인 집중호우를 발생시키는 대류성 호우(convective storms)의 경우 유역 내에 다수의 지상 강우관측소가 운영되더라도 매우 국지적으로 발생하여 강한 비가 내리는 부분이 지상 강우관측소에 포착되지 않을 수 있으므로 시공간적 분포를 파악하는데 많은 제한점을 가지고 있다. 따라서 지상 관측소만을 운영할 경우 홍수예측에 많은 제한을 받게 된다. 이로 인하여 국지적 집중호우로 인한 피해에 취약한 도시유역의 경우 레이더 강우자료의 활용은 그 중요성을 더하게 되었다. 강우-유출과 같은 수문학적인 해석에 레이더 강우자료를 활용하려는 목적은 강우의 시공간적 분포에 대한 정확성을 높임으로써 홍수예측의 정밀도를 향상시키기 위한 것이다.

반면에 지상관측소와 동일 지점에 대하여 레이더로 관측된 강우자료를 비교해보면 지상관측소의 강우자료에 비하여 레이더 강우는 대부분 상당한 편차를 포함하고 있다. 일반적으로 유역 내 다수 지점에서 측정된 지상관측소와 해당 지점의 레이더 누적 강우량 자료들의 평균값을 비교하여 보정계수를 레이더 강우에 곱해줌으로써 편차가 보정된 레이더 강우자료를 얻게 된다. 즉, 지상 관측소망과 레이더를 연계 운용하는 다중센서시스템(multi-sensor system)을 채택함으로써 레이더 시스템이 갖고 있는 다양한 요인으로 인한 편차를 제거하여 신뢰성 있는 수문해석 자료를 얻게 되는 것이다.

그러나 레이더를 중심으로 한 다중센서시스템에 의한 도시홍수예보시스템 구축을 위해서는 레이더 강우자료의 실용화, 레이더 강우에 적합한 강우유출 모형구축, 모형의 매개변수 검정 등이 반드시 필요하다. 또한 레이더 강우와 관련된 대부분의 연구와 실무적용에 있어 많은 어려움이 있는데 그 이유는 레이더 반사도 등의 원시자료를 획득하기가 어려울 뿐만 아니라 이를 처리하여 수문해석에 적용하는 과정이 간단하지 않기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 '레이더 영상 디지털 변환법(RAIDOM, RAdar Image DigitalizatiOn Method)'을 연구 개발하고 레이더 강우와 연계된 분포형 도시유출 모형을 구축하여 RAIDOM 강우와 구축된 분포형 모형의 적용성을 검증하고자 하였다.

분포형 모형에 대한 국내 연구로서 김병식 등(2007)은 레이더 강우를 보정하는 방법으로 컨디션널 머징

(conditional merging) 기법이 MFB(Mean Field Bias) 방법보다 우수한 것으로 보고하였으며 분포형 모형과 레이더 강우를 연계한 홍수량산정 방법을 제시하였다. 박진혁과 강부식(2007)은 최신 수자원 IT 기술을 활용하여 홍수기 돌발홍수에 대응한 초단기 정량적 강우-유출예측을 위한 분포형 유출예측시스템을 구축하였고 오경두 등(2006)은 곡릉천과 중랑천에 대한 분포형 모형 적용 예를 중심으로 도시홍수량 산정과 레이더 강우 연계, 유역개발과 보전의 수문학적 영향 평가 등 분포형 모형의 다양한 적용 방안을 제시하였다.

국외의 경우 Vieux *et al.*(2002)은 Salt and Verde River, Brays Bayou, Tar River에 Vflo 모형과 레이더 강우자료를 연계하여 분포형 강우-유출 모형의 충분한 적용성을 보여주었다. Hunter *et al.*(2003)은 Arizona의 Santa Maria 유역에 대하여 분포형 모형인 GSSHA와 Vflo를 적용하여 모의시간을 비교하여 홍수량을 산정할 사례가 있다.

2. 레이더 영상 디지털 변환법

기존의 레이더 강우처리기법 연구들은 대부분 레이더 반사도(reflectivity)와 같은 디지털 원시자료로부터 각종 편차를 보정하고 반사도와 강우강도간의 관계식을 적용하는 복잡한 처리 과정을 거쳐 최종 강우자료를 산정하였다. 기상청에서는 10분 간격으로 전국 각 레이더에서 관측된 일정고도(Constant Altitude, 1.5 km 고도)의 구름영상을 합성한 CAPPI(Constant Altitude Plan Position Indicator) 합성영상을 제공하고 있으며 실시간 레이더 강우 이미지는 이미 편차 보정과 반사도-강우강도 관계식을 적용한 산출물로서 상당한 신뢰수준을 확보하고 있다. 따라서 복잡한 과정을 되풀이할 필요 없이 레이더 강우 이미지를 바로 디지털 강우자료로 변환하여 수문해석에 적용할 수 있는 기법을 개발한다면 레이더 강우의 실무적 활용성을 높일 뿐만 아니라 레이더 강우자료의 품질과 신뢰성 확보 및 표준화를 이룰 수 있게 된다.

RAIDOM은 수신된 레이더 영상을 실시간 처리하여 수문모형에 필요한 디지털 강우자료로 변환하는 기법이며 또한 자동화된 연산처리장치에 적용하기 위하여 개발되었으나 기본 알고리즘은 일반적인 오프라인 이미지 처리기법에 의하여 구현이 가능하다. 따라서 온라인 처리장치가 없더라도 수문해석에 필요한 레이더 강우자료를 간단한 이미지처리기법으로 손쉽게 얻을 수 있다. 이 기법은 레이더 영상만이 아니라 RGB로 변환 가능한 위성사진 등에도 일반적으로 적용이 가능하다.

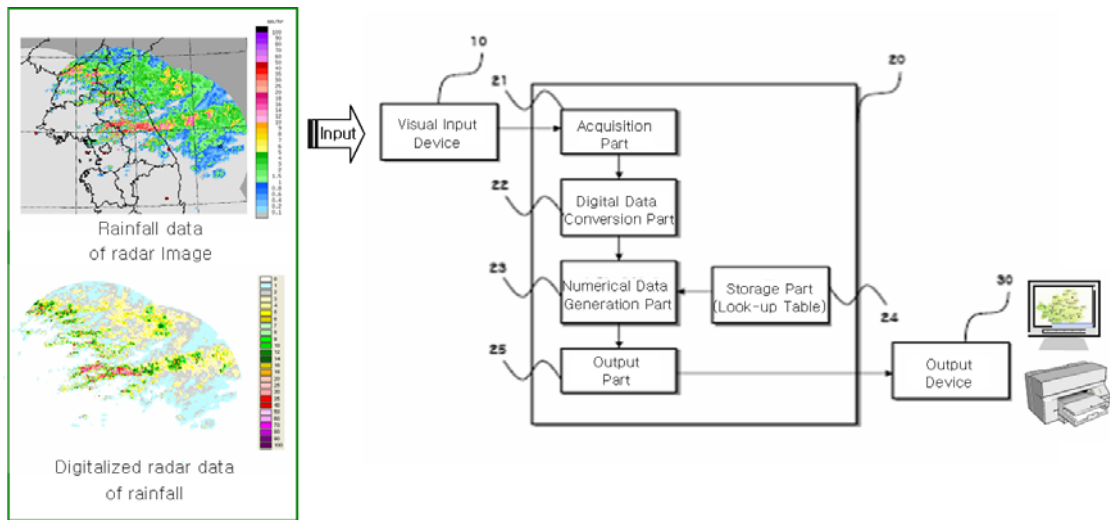


Fig. 1. Composition of RAIDOM

2.1 RAIDOM 개요

RAIDOM은 전송받은 레이더 영상의 RGB 값을 기반으로 해서 룩업테이블(Look-Up Table)상의 데이터 값을 참조하여 변환하는 장치 및 방법에 관한 것으로서 전송받은 영상의 RGB 값을 추출한 후에 이 RGB 값을 기반으로 룩업테이블 상의 데이터 값을 참조하여 해당 수치 어레이로 변환하여 얻는 방법 및 시스템에 관한 것이다.

일반적으로 영상정보는 RGB 색상 모형을 바탕으로 각 색에 대한 256단계의 명도 값을 이용하여 컴퓨터로 디지털 처리를 할 수 있다. 따라서 RGB 삼원색의 조합으로 $256 \times 256 \times 256 = 16,777,216$ 의 색상 정보를 표현할 수 있고 실시간 데이터를 담은 영상을 기반으로 영상 정보를 분석하고 변환하여 그 값을 사용할 수 있다.

RAIDOM의 구성은 촬영된 영상의 RGB 정보를 독출하여 영상정보를 특정 수치데이터로 변환하는 시스템이다. Fig. 2는 R, G, B 데이터 조합에 따른 룩업테이블의 배열모습을 보여주는 그래프로서 도시된 바와 같이 룩업테이블은 R, G, B 조합에 따라 0에서부터 255까지 각각 256개의 칸을 형성하여 총 16,777,216의 수치 데이터를 담을 수 있도록 형성되어 있다. 룩업테이블 $L(R,G,B)$ 은 각각의 R, G, B 값에 대하여 0에서부터 255까지 동적 메모리를 할당하여 $L(0,0,0)$ 에서부터 $L(255,255,255)$ 까지 총 16,777,216 칸의 크기를 가진 룩업테이블을 형성하며 필요한 수치데이터를 담을 수 있도록 구성되어 있다.

따라서 입력된 아날로그 영상으로부터 특정 위치에 있는 픽셀 $N(i,j)$ 의 RGB 정보를 독출하게 되면 수치데이터 생성부는 해당 픽셀의 RGB 값들을 바탕으로 등

급에 맞게 룩업테이블상의 R값과 G값 및 B값에 해당하는 위치에 있는 룩업테이블 $L(R,G,B)$ 의 수치데이터를 리드하여 출력을 생성하게 되는 것이다.

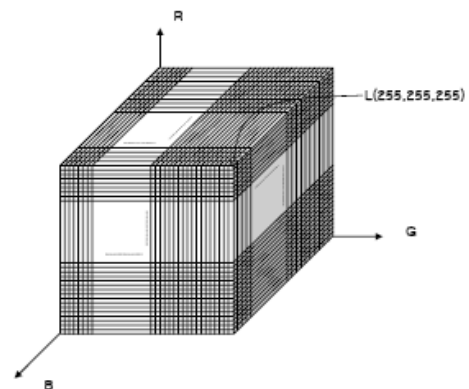
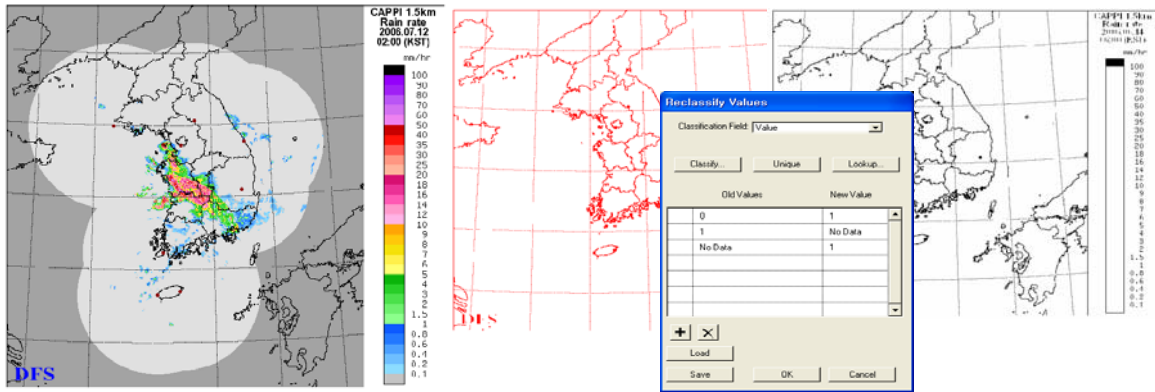


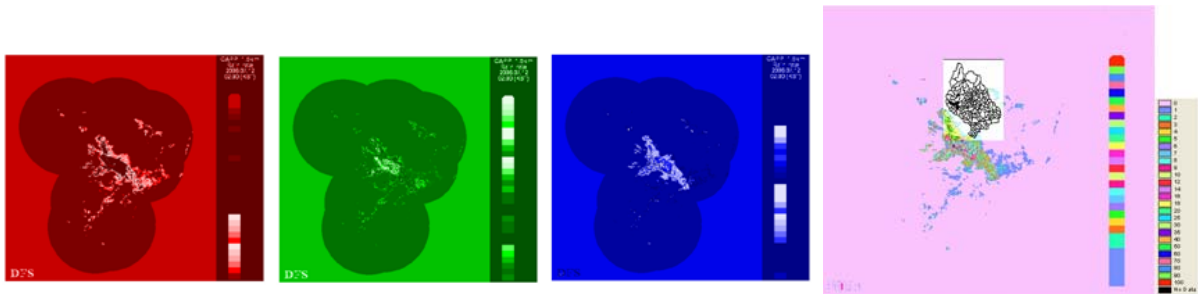
Fig. 2. Arrangement of Look-up Table

이와 같이 영상에 대한 RGB 색상등급의 조합으로 데이터를 측정시 색상 등급과 등급 사이에 모호하게 위치하는 색상이 존재하지 않기 때문에 등급과 등급 사이를 정확하게 구분할 수 있어 보다 정확한 측정데이터를 얻을 수 있다. 그리고 여기서 룩업테이블은 자료의 성격에 따라 R, G, B 조합뿐만 아니라 R, G, B 값들의 대수연산 처리결과를 이용하여 얻어진 특정 데이터를 바탕으로 룩업 테이블을 형성할 수도 있는데, 통상 입력된 X-Y 축상의 아날로그 영상에 있어서, i 와 j 위치에 있는 픽셀 $N(i,j)$ 의 RGB값을 리드하여 독출하게 되면, 이 독출된 RGB값들을 바탕으로 기존의 정량적 분석을 통하여 표현할 수 있는 해당 색상과 다음 색상 사이의 간격을 표현하는 경계 값이나 가중치 혹은 변화량 등을 나타내는 실수 K 값들을 곱하여 얻어진 값에 따라 해당 수치데이터를 얻도록 룩업테이블을 형성할 수 있다.



(a) Radar CAPPI Image

(b) Mask Grid Process



(c) Nibble Process

(d) Clipping and Resampling

Fig. 3. Implementation of Offline RAIDOM

그리고 출력부는 X와 Y 좌표 상에서 해당 픽셀N(i,j)이 가진 RGB값 대신 새롭게 생성된 수치 데이터를 치환하여 출력해 줌으로서 통상 디스플레이 장치나 프린터를 통해 해당 픽셀N(i,j)에 대한 변환된 수치데이터를 출력해 주는 것이다.

입력된 영상의 RGB 조합을 이용하여 그 값을 특정 수치데이터로 변환하여 출력해 주는 방법은 우선 제공된 영상을 화상입력장치에 입력하여 입력된 영상의 크기를 설정하는 단계 그리고 설정된 해당 좌표에서 각 픽셀의 RGB 데이터를 독취하는 단계 그리고 이 독취된 RGB 데이터를 설정된 영상의 크기만큼 메모리를 할당하여 배열형태로 임시 저장하는 단계와 이 저장된 RGB 배열을 해당 록업테이블의 RGB 조합과 매핑하여 해당 픽셀의 수치데이터를 얻는 단계 그리고 이 얻어진 수치데이터를 해당 픽셀의 RGB 데이터 대신 치환하여 수치데이터 배열을 형성하는 단계 그리고 마지막으로 이 수치데이터 배열을 출력장치에 표출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

2.2 오프라인 RAIDOM 구현

RAIDOM은 레이더 화상자료를 온라인상에서 실시간 처리하기 위한 목적으로 개발되었고 오프라인으로 구현

하는 방법은 기상청에서 획득한 레이더 합성 CAPPI 이미지 자료를 그리드 형태로 변환하여 이루어진다. 이때, RGB 3개 band의 파일을 하나씩 이름과 장소를 지정하면서 순서대로 저장을 하고 Fig. 3과 같이 Mask Grid와 Nibble 처리 그리고 Clipping 및 Resampling 처리를 하여 ASCII 그리드 파일로 변환하여 저장한다.

Fig. 4는 원래 기상청 합성 CAPPI 이미지와 RAIDOM에 의하여 디지털 변환된 강우자료를 비교하여 나타낸 것이다. 원자료가 누락 없이 변환되고 있음을 알 수 있다.

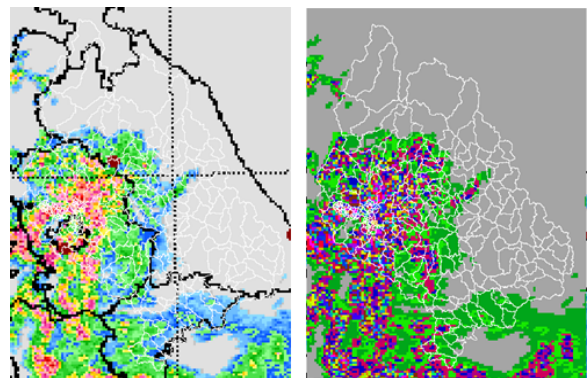


Fig. 4. Original Radar Rainfall Image and Digital Rainfall processed by RAIDOM

3. 분포형 강우-유출 모형의 구축

3.1 분포형 모형 Vflo™의 특징

대부분의 분포형 모형은 수문해석에 필요한 영역(domain)을 배열(array)과 같은 형태의 일정한 크기의 격자체계(grid system)를 기반으로 하고 있다. 일정한 크기의 정사각형으로 세분된 각 지점별로 물리적 특성치나 매개변수를 입력하게 되므로 공간적인 변화를 적절히 반영할 수 있으며 첨단 레이더 강우시스템과 연계하여 국지성 집중호우에 대한 홍수 예측을 할 수 있다.

미국의 Vieux & Associates사에서 개발한 Vflo는 레이더 강우 시스템, GIS 수리수문모델 솔루션을 제공하는 물리적 인자 기반의 분포형 모형(Physics-Based Distributed Model)이다. 이 모형은 격자기반의 분포형 수문 모형으로서 모든 매개변수 산정을 토양도, 토지피복도, 지형도로부터 직접 GIS 처리하여 일괄 입력하며 유역 요소망의 각 격자는 운동과 방정식에 의하여 지표면 흐름과 하도 흐름을 추적한다. 초과강우량에 의한 지표면 흐름은 다음과 같은 1차원 연속방정식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} = R - I \quad (1)$$

여기서 R 은 강우강도, I 는 침투율, h 는 수심, u 는 지표면 흐름의 유속이다. 지표면흐름을 등류로 가정하면 다음과 같은 Manning의 경험공식을 적용할 수 있다.

$$u = \frac{S_0^{1/2}}{n} h^{2/3} \quad (2)$$

여기서 S_0 는 지표면 경사이며, n 은 Manning의 조도계수이다. Eq. (2)를 Eq. (1)에 대입한다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{S_0^{1/2}}{n} \frac{\partial h^{5/3}}{\partial x} = R - I \quad (3)$$

이 식은 Vflo 모형에서 지표면 흐름을 추적하기 위한 지배방정식이다. 하도에 대한 1차원 연속방정식은 Eq. (1)의 수심 h 대신에 하도 단면적 A 를 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (4)$$

여기서, Q 는 하도의 유량이며, q 는 하도 단위 길이당 측면 유입량이다. Eq. (4)도 하도 단면의 제원, Manning의 경험공식을 이용하여 Eq. (3)과 같은 형태로 하도흐름을 추적하는 지배방정식이 된다. 이들 지배방정식은 등류조건을 가정하므로 배수위 효과(backwater)가 뚜렷한 구간에는 적용에 제한을 받는다.

3.2 Vflo™ 강우-유출 모형의 구축

본 연구에서는 도시화된 유역의 강우-유출 기록을 보유하고 있는 중랑천 유역을 한강유역의 일부로 포함시켜 구축한 자료를 활용하였다(건교부, 2007).

DEM(Digital Elevation Model)을 이용한 지형구축을 위해 격자 크기에 따른 계산의 효율성과 유역경계를 포함한 유역특성의 묘사 정도를 비교 검토하여 유역면적 34,150 km²의 한강유역에 대하여 500 m 크기의 격자 480×648개를 적용하였다. DEM과 토지피복도 및 토양도로부터 산정한 주요 지형매개변수는 Fig. 5와 같다.

3.3 Vflo™ 강우-유출 모형의 보정

강우-유출 모형을 보정하기 위해서는 실측 강우량과 수위(홍수량) 자료가 필요하다. 본 연구에서는 국제수문 개발계획(IHP) 시범유역으로 강우-유출 자료가 체계적으로 관리되고 있는 평창강 유역을 대상으로 모형의 보정을 수행하였다.

평창강은 유역의 최고봉인 계방산(EL. 1577.4 m)에서 발원하여 남한강으로 유입되는 우리나라의 중동부에 위치한 한강의 제1지류이며 유역 최하류에 위치하고 있는 방림수위관측소까지의 유역면적은 526.7 km²이며, 유로연장은 51.9 km이고 유역의 평균 폭은 10 km이다. 유역의 토지이용은 산림이 86%, 논 10%, 밭 4%로 구성되어 있으며, 주거지는 0.14%로 거의 개발이 안된 자연 상태의 유역이다. 따라서 평창강 유역은 인위적 교란이 적은 곳으로 비교적 장기간 관측된 강우-유출 자료에 대한 수문지형 정보의 일관성이 높다고 할 수 있다.

유역 내에는 자기우량관측소 11개소와 자기수위관측소 6개소가 설치되어 있다. 본 연구에서 모형 보정에 사용한 홍수량은 유역 최하류단 방림에서의 관측 수위 자료로부터 산정된 값들이다. 방림에서 결측되거나 모형에서의 계산치와 실측치간에 차이가 크게 나는 경우에는 상안미 지점의 자료도 함께 검토하였다. 유역 외 남서쪽에 위치한 계천 자기우량관측소는 티센망을 이용하여 검토한 결과 평창강 유역에 대한 영향권 밖에 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 강우-유출 모의를 통한 모형 보정에 이

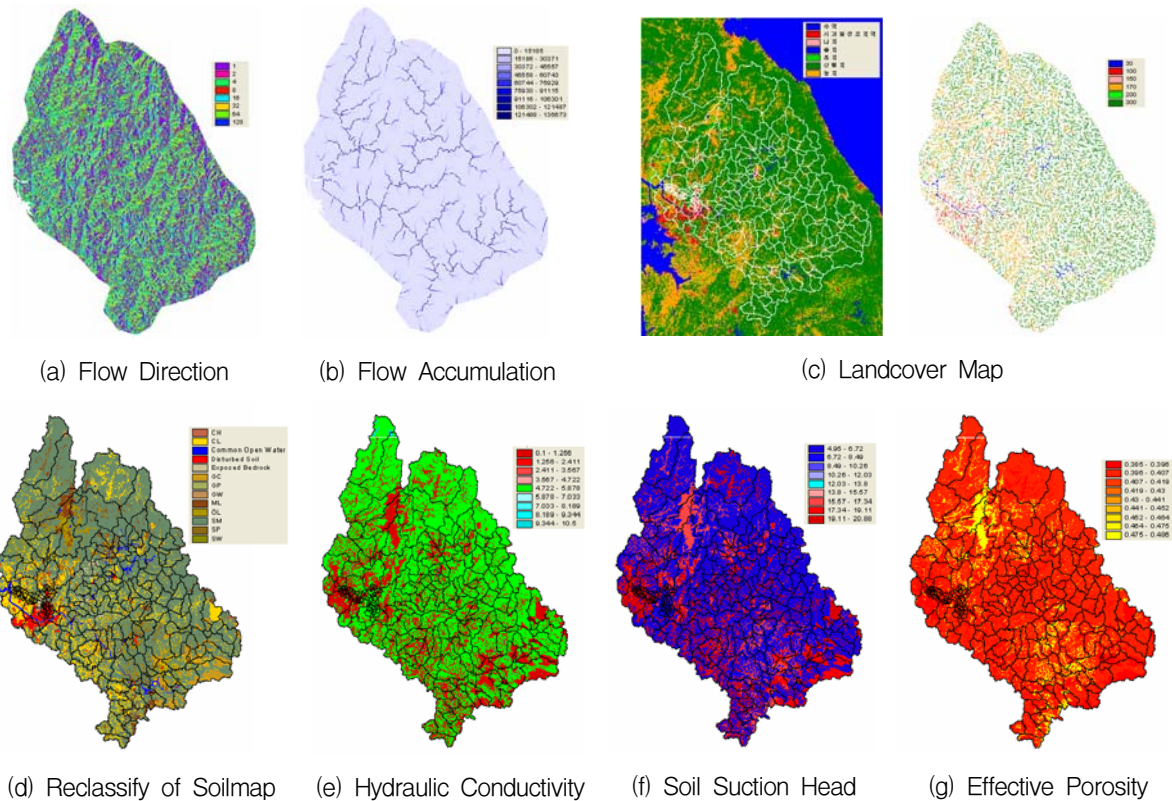


Fig. 5. Topographic Parameter

Table 1. Major Rainfall Events for Compensation

Rainfall Date	Total Precipitation (mm)	Peak Discharge (m/s)	Remark
1984. 7. 2 ~ 5	223	1,182	
1986. 7. 18 ~ 19	135	1,401	
1987. 7. 21 ~ 23	263	1,558	
1998. 8. 6 ~ 9	290	1,176	
2001. 7. 22 ~ 24.	160	1,582	Banglim-bridge Missing Data
2002. 8. 5 ~ 9	369	1,351	

용한 호우사상은 1983년부터 2006년까지 관측된 호우사상 중에 1,000 m/s 이상의 침투홍수량을 발생시킨 6개의 주요 호우사상들이다.

강우량은 10개 자기우량관측소에서 측정된 시강우량 형태로서 티센망 형태로 산정한 후 매시간 입력하였다. Fig. 6의 좌측 그림은 티센망 형태로 입력한 호우의 총량이며 우측은 실측 홍수량과 모의치를 비교한 것이다. 약간 더 가는 적색선이 실측홍수량, 굵은 흑색선이 모의치이다. 그리고 청색으로 표시된 굵은 수직선은 강우가 종료된 시점을 표시한 것이다.

강우량은 10개 자기우량관측소에서 측정된 시강우량 형태로서 티센망 형태로 산정한 후 매시간 입력하였다. Fig. 6의 좌측 그림은 티센망 형태로 입력한 호우의 총

량이며 우측은 실측 홍수량과 모의치를 비교한 것이다. 약간 더 가는 적색선이 실측홍수량, 굵은 흑색선이 모의치이다. 그리고 청색으로 표시된 굵은 수직선은 강우가 종료된 시점을 표시한 것이다.

대부분의 호우 사상에 대한 수문곡선은 모의치를 실측치와 비교하여 볼 때 발생시점과 크기면에서 거의 완벽하게 재현하고 있음을 알 수 있다. 여기서 상승부와 하강부에 일정한 차이가 발생함을 알 수 있는데 이것은 Vflo 모형이 지하수 흐름을 추적하지 않기 때문이다. Vflo 모형에서는 일단 땅속으로 침투된 양은 손실량으로 처리하여 다시 하천으로 유입되지 않는다. 앞으로 이러한 지하수 추적과정이 Vflo 모형에 보완이 된다면 더욱 완벽한 홍수추적이 이루어 질 것이다.

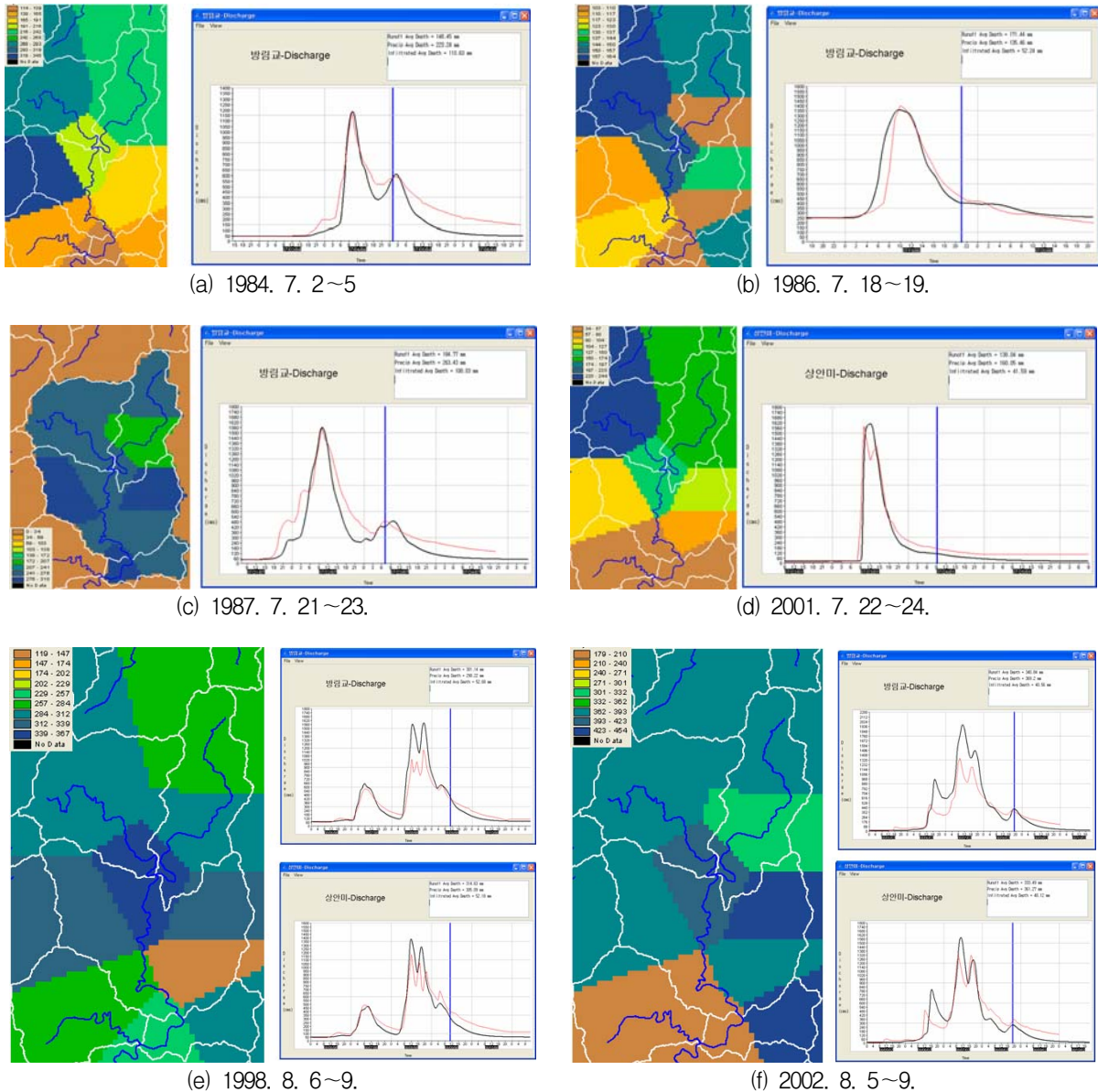


Fig. 6. Accumulated Amount of Rainfall and Flood Hydrograph

4. 레이더 강우자료를 이용한 홍수예측

본 연구에서 적용한 레이더 강우는 2006년 6월 이후 발생한 2개의 호우사상을 대상으로 하였다.

4.1 2006년 7월 12~13일 호우사상 모의

강우입력으로 30분 간격의 기상청 레이더 합성 CAPPI 자료를 오프라인 RAIDOM에 의해 디지털자료로 변환하여 중랑천을 포함한 한강 유역의 Vflo 입력자료를 구축하였다.

중랑천 유역 레이더 누적강우량을 보정하기 위하여 의정부 외에 추가적으로 한강홍수통제소에서 운영하는 장암, 상계, 우이 지상우량관측소의 누적강우량을 Table

2와 같이 비교하였다. 지상관측강우량에 대한 레이더 강우량의 비는 Eq. (5)에 의해 계산되었다.

$$F = \frac{\sum G_i}{\sum R_i} = \frac{1,105}{785.4} = 1.41 \quad (5)$$

여기서, G_i 는 지상관측강우량(mm), R_i 는 레이더측정강우량(mm)이다.

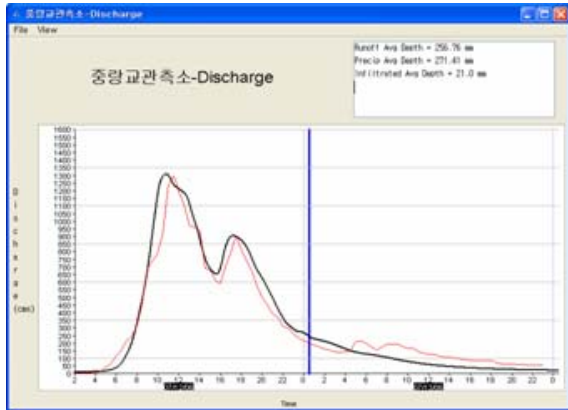
레이더 강우량에 대한 강우보정계수를 1.41로 조정하여 각 관측소에서 홍수수문곡선과 레이더 강우량을 적용하여 모의한 홍수수문곡선을 Fig. 7(a), 7(b)와 같이 나타내었다. 수문곡선이 발생시점과 크기면에서 거의 완벽하게 재현되고 있음을 알 수 있다.

Table 2. 2006. 7. 12~13. Comparison of Rainfall

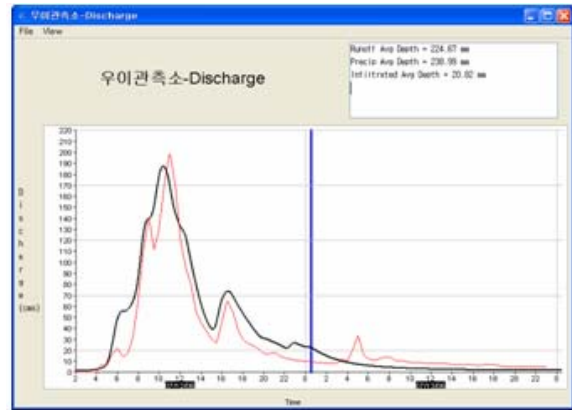
Station	Accumulative Rainfall of Station(mm)	Accumulative Rainfall of Radar(mm)
Uiyeongbu	329.0	205.3
Jangam	286.0	201.3
Sanggye	276.0	201.3
Ui	214.0	177.5
Total	1,105	785.4

Table 3. 2006. 7. 15~16. Comparison of Rainfall

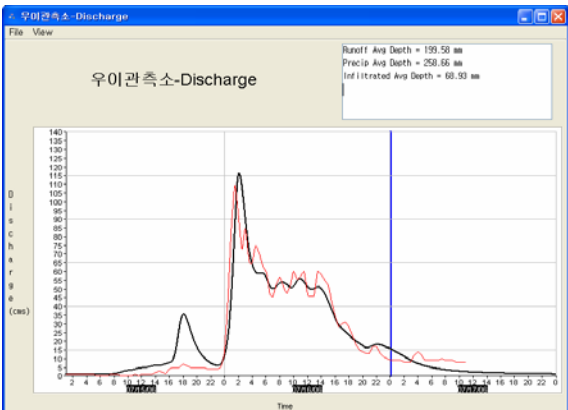
Station	Accumulative Rainfall of Station(mm)	Accumulative Rainfall of Radar(mm)
Uiyeongbu	187.0	162.0
Ui	272.0	189.0
Toegyewon	271.0	181.0
Peace Dam	292.0	198.0
Hwacheon Dam	229.0	189.0
Total	1,251	919



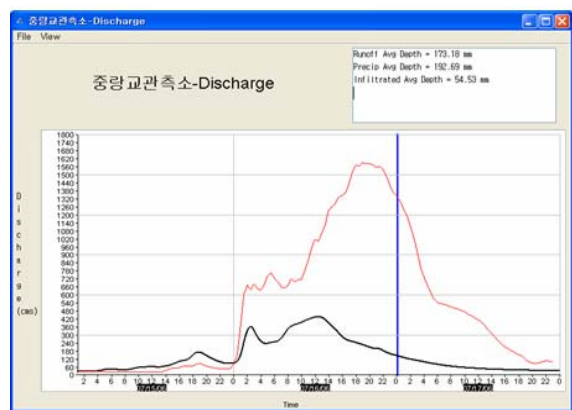
(a) July 12~13 Jungnang bridge Station



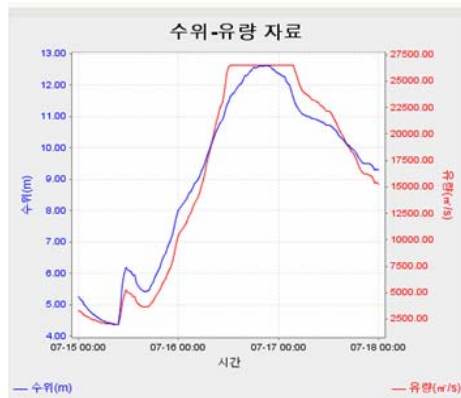
(b) July 12~13 Ui Station



(c) July 15~16 Ui Station



(d) July 15~16 Jungnang bridge Station



(e) Submerged bridge Rating Curve

Fig. 7. Results of Rainfall Event Simulation

4.2 2006년 7월 15~16일 호우사상 모의

2006년 7월 15일~16일 사이에 발생한 호우는 그 공간분포가 광범위할 뿐만 아니라 48시간여에 걸쳐 한강 유역에 많은 비를 내렸다. 본 연구에서는 1시간 간격의 기상청 레이더 합성 CAPPI 자료를 오프라인 RAIDOM에 의해 디지털자료로 변환하여 중랑천을 포함한 한강 유역의 Vflo 입력자료를 구축하였다.

호우의 범위가 한강 유역 전반에 걸쳐 광범위함을 고려하여 레이더 누적강우량을 보정하기 위한 지상우량 관측소로 중랑천 유역내에 위치한 의정부, 우이 외에 중랑천 유역 밖에 위치한 퇴계원, 평화의 댐, 화천댐 지상우량관측소를 포함하여 Table 3과 같이 비교하였다. 지상관측강우량에 대한 레이더 강우량의 비는 Eq. (6)에 의해 계산되었다.

$$F = \frac{\sum G_i}{\sum R_i} = \frac{1,251}{919.0} = 1.36 \quad (6)$$

여기서, G_i 는 지상관측강우량(mm), R_i 는 레이더측정강우량(mm)이다.

레이더 강우보정계수를 1.36으로 조정하여 모의한 홍수수문곡선은 Fig. 7(c), 7(d)와 같다. Fig. 7(c)에서 7월 15일 18시경에 나타나는 제 1 첨두 홍수량은 실측치와 다소 차이가 나지만 최대 첨두유출량을 나타내는 제 2 첨두 홍수량 수문곡선을 발생시점과 크기면에서 거의 완벽하게 재현하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7(d)의 중랑교 관측소의 결과에서는 2006년 7월 16일 한강 수위가 크게 상승하여 잠수교수위관측소 수위가 EL. 12.62 m(유량 26,487 m³/s 이상)에 이르고 있다. 영점표고가 EL. 9.170 m인 중랑교 수위관측소는 한강 잠수교 수위가 EL. 8 m를 넘어서는 7월 16일 오전부터 배수위 영향을 받고 있으며 오후부터는 유량이 감소하나 한강 본류 수위에 거의 전적으로 영향을 받게 됨으로 인하여 수위가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 한강 본류의 배수위 영향을 강하게 받았던 2006년 7월 16일 중랑교 수위관측소 자료는 모의치를 검토하는데 적용할 수 없는 것으로 판단된다.

5. 결 론

레이더 강우와 관련한 대부분의 연구나 실무적용이 제한을 받는 이유는 레이더 반사도 등의 원시자료를 획득하기가 어려울 뿐만 아니라 이를 처리하여 수문해석에 적용하는 과정이 간단하지 않기 때문이다. 이를 해

결하기 위하여 다음과 같은 내용을 연구하였다.

- 1) 레이더 영상자료를 실용적으로 활용하기 위한 '레이더 영상 디지털 변환법(RAIDOM)'을 연구 개발하였다. 또한 오프라인상에서도 기상청 레이더 합성 CAPPI 이미지 자료를 디지털 강우자료로 변환할 수 있는 방법을 제시하였다. 이러한 기술은 앞으로 레이더 강우 연구와 레이더 강우의 활용성을 넓히는데 기여할 것으로 기대된다.
- 2) RAIDOM 레이더 강우와 연계한 분포형 유출모형을 구축하였다. DEM, 토지피복도, 토양도로부터 분포형 강우-유출모형의 매개변수를 산정하는 연구는 앞으로 분포형 강우-유출모형에 대한 연구와 활용성을 넓히는데 기여할 것으로 기대된다.
- 3) 주요 관측 레이더 호우사상을 이용하여 RAIDOM 강우와 구축된 분포형 모형의 적용성을 검증하였다. 이를 위하여 먼저 강우-유출자료가 체계적으로 관리되고 있는 평창강 국제수문개발계획(IHP) 시범유역의 자료를 이용하여 모형의 매개변수 보정을 수행하였다.

강우 전 하천의 기저유량과 유역의 초기함수조건을 제외한 나머지 매개변수는 유역특성을 나타내는 인자들이므로 모든 강우사상에 대하여 변경될 수 없도록 지정하여 매개변수 보정을 수행하였다. 6개 주요 호우사상에 대하여 보정한 결과 4개의 호우사상에 대하여 강우-유출과정을 거의 완벽하게 재현하였으며, 2개의 호우사상에 대해서는 수문곡선의 상승과 하강은 비교적 일치하나 첨두부에서 차이가 발생하였다.

보정된 분포형 모형을 2006년 7월에 발생한 국지성 집중호우와 한강유역 중상류지역에 걸쳐 큰 홍수량을 발생시킨 2개의 호우사상에 대하여 레이더 강우자료를 적용하여 검토하였다. 검토결과 우이천 수위관측소와 중랑교 수위관측소에서 모의된 홍수수문곡선은 실측치와 잘 일치하는 것으로 나타나 본 연구에서 제시한 RAIDOM과 이를 적용한 분포형 모형이 홍수예보를 위하여 활용될 수 있음을 보여주었다.

앞으로 태풍에 수반된 강우와 장마전선 등을 포함한 다양한 유형의 여러 가지 강우에 대한 적용을 통하여 모형의 검증과 보완을 수행하여 RAIDOM 레이더 강우와 분포형 강우유출모형을 연계한 도시유역 및 일반 자연유역에 대한 홍수예보시스템으로 발전시켜 나갈 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술

평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설기술혁신사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구단의 연구 성과입니다.

참 고 문 헌

건설교통부 (2007). 홍수량 산정기법 가이드라인.
김병식, 홍준범, 김원, 윤석영 (2007). “레이더 강우 자료와 분포형 모형을 이용한 홍수 유출량 산정.” **한국수자원학회 '07 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 1783-1787.
박진혁, 강부식 (2007). “레이더 및 강우수치예보자료를 이용한 초단기강우-유출예측시스템 개발.” **한국수자원학회 '07 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 281-285.
오경두, 박상우, 류재희, 문용주, 안경열 (2006). “도시홍수량산정을 위한 분포형모형 적용 방안.” **제12회 도**

시홍수 재해관리기술 세미나 -도시유역종합치수계획의 실무와 정책-, 도시홍수재해관리기술연구사업단, pp. 21-73

Hunter S., Vieux B., Ogden, F., Niedzialek J., Downer, C., Addiego, J., Daraio, J. (2003). “A test of two distributed hydrologic models with WSR-88D radar precipitation data input in Arizona”, *31st Intl. Conf. on Radar Meteorology*, 6-12 Aug. 2003, Seattle, Washington.
Vieux, B.E., Vieux, J.E. (2002). “VfloTM: A real-time distributed hydrologic model.” *Proceedings of the Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference*, July 28-August 1, 2002, Las Vegas, NV.

(논문번호:08-58/접수:2008.05.01/심사완료:2008.10.31)