

경안천 유역에 대한 강수예보모델의 검증 및 수문모형활용

Verification of Precipitation Forecast Model and Application of Hydrology Model in Kyoungan-chun Basin

최 지 혜* / 김 영 화** / 남 경 엽*** / 오 성 남****

Choi, Ji Hye / Kim, Young Hwa / Nam, Kyung Yeub / Oh, Sung Nam

Abstract

In this study, we performed verification of VSRF (Very Short Range Forecast of precipitation) model and application of NWSPC (National Weather Service PC) rainfall-runoff model in Kyoungan-chun basin. We used two methods for verification of VSRF model. The first method is a meteorological verification that evaluates the special quality feature for rain amount between AWS and VSRF model over Kyoungan-chun basin, while second method is a hydrological verification that compares the calculated Mean Area Precipitation (MAP) between AWS and VSRF quantitatively. This study examines the usefulness of VSRF precipitation forecasting model data in NWSPC hydrological model. As a result, correlation coefficient is over 0.6 within 3 hour lead time. It represents that the forecast results from VSRF are useful for water resources application.

keywords : VSRF, NWSPC rainfall-runoff model, Kyoungan-chun basin, meteorological verification, hydrological verification

요 지

본 연구에서는 경안천 유역에 대해 초단시간 강수예보모델인 VSRF(Very Short Range Forecast of precipitation) 모델에서 생산되는 예측강우량의 검증을 실시하고, 이를 NWSPC(National Weather Service PC) 강우-유출 모형에 적용하였다. 강수는 기상학적 검증과 수문학적 검증으로 구분하여 검증하였다. 기상학적 검증은 유역 내에 존재하는 AWS 강수량과 VSRF 모델 강수량의 정성적 관계를 객관적으로 제시하였고, 수문학적 검증은 AWS 면적 가중치를 고려한 유역평균 강수량과 VSRF 유역평균 강수량과의 정량적 검증결과를 제시하였다. 또한 예보모델에서 생산된 6 시간 예측강수량을 NWSPC 모형에 적용해 강수예보모델의 수문연계 가능성을 검토해 본 결과 0.6 이상의 높은 상관관계를 보여 예보모델의 수자원 활용 가능성을 제시하였다.

핵심용어 : 초단시간 강수예보모델, NWSPC 강우-유출 모형, 경안천 유역, 기상학적 검증, 수문학적 검증

- * 기상연구소 원격탐사연구실 연구원
Assistant Researcher, Remote Sensing Research Lab., Meteorological Research Institute, KMA, Seoul 156-720, Korea
(e-mail: chezy@metri.re.kr)
- ** 기상청 예보국 기상위성연구관
Senior Researcher, Meteorological Satellite Division, Forecast Bureau, KMA, Seoul 156-720, Korea
(e-mail: yhkim@kma.go.kr)
- *** 기상연구소 원격탐사연구실 연구사
Researcher, Remote Sensing Research Lab., Meteorological Research Institute, KMA, Seoul 156-720, Korea
(e-mail: kynam@metri.re.kr)
- **** 국립환경과학원 지구환경연구소 소장
Director, Global Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea
(e-mail: niersnoh@me.go.kr)

1. 서 론

매년 전 세계적으로 발생하는 잦은 국지성 집중호우 및 태풍으로 많은 인명과 재산피해가 증가하고 있다. 이에 국내에서는 수치예보모델의 단시간 예측의 한계성을 보완하고, 단시간에 발생하는 집중호우에 대한 신속한 예측을 위하여 위성 및 레이더 자료를 이용한 단시간 강수예보시스템 개발 연구(기상연구소, 2000), 초단시간 강수특성분석 및 예보모델 개발(기상연구소, 2003) 등의 관련 연구들을 수행해 오고 있다. 이러한 노력의 결과로 단시간 강수예보모델의 정확도는 크게 향상되었다. 하지만 여전히 단시간 강수예보모델을 실시간 홍수예보로 적용하기에는 두 학계간의 연계가 잘 이루어지지 않아 아직 미흡한 실정이다.

하지만 최근 단시간 강우에 대한 대처 방안의 하나인 레이더 자료를 이용하여 홍수를 예측하려는 다양한 시도가 이루어지고 있다. Philip et al.(2000)은 NEXRAD와 HEC-1 모형을 결합하여 홍수예측을 수행하였고, Lange et al.(1999)은 레이더에 의해 생산된 강우자료를 이용하여 비선형 유출해석을 실시하였으며, Cluckie and Owuns(1985)는 레이더로부터 추정된 강우량의 수문학적 사용에 대한 가능성을 입증하였고, Moore(1985)는 수문학적으로 사용 가능한 기상레이더의 정보에 대한 중요성과 홍수예보를 위한 기상레이더의 이점과 미래의 수문연구를 위한 기상레이더 병행이 필수요소임을 강조하였다. 우리나라에서도 최근 기상레이더의 수문학적 활용에 대한 연구가 기상청, 수자원공사, 대학 등 관련기관에서 다각적으로 이루어지고 있다.

본 연구에서는 강수예보모델로는 초단시간 강수예보모델(Very Short Range Forecast of precipitation, VSRF)에서 생산되는 6시간 예측강수량 자료를 경안천 유역에 대해 2003년 여름철 사례와 집중호우사례, 태풍 사례의 3개 사례에 대해 정성·정량적으로 검증수행 결과를 제시하였다. 기상학적 검증을 통해서 이들 유역 내에 존재하는 AWS 강수량과 강수예보모델 강수량과의 정성적 관계를 객관적으로 제시하였고, 수문학적 검증을 통해 각 유역별 AWS 면적 가중치를 고려한 유역 평균강수량(Mean Area Precipitation, MAP)과 강수예보모델 강수량과의 검증결과를 제시하였다. 또한 VSRF 모델에서 생산되는 6시간 예측강수량을 강우-유출 모형인 NWSPC 모형에 적용하여 초단시간 강수예보자료의 수자원 활용 가능성을 제시하였다.

2. 모형 이론

2.1 강수예보모델(VSRF 모델)

본 연구에서는 일본 기상청에서 현업운영 중인 VSRF 모델을 한국 환경에 맞게 새롭게 구축하여 사용하였다. 새롭게 선정된 모델 영역은 기상청이 보유하고 있는 8개의 레이더 사이트 관측 자료와 AWS 관측 자료들을 최적으로 활용하기 위하여, 중심위치 36°N, 127°E, 수평분해능 5 km, 전체 격자영역 160×160(800×800 km)로 Lambert-Conformal 투영도법을 적용하여 구성하였다. 이 모델은 크게 분석과정, 예보과정, 병합과정으로 구성되어 있고, 매시 모델을 운영하여 6시간까지 1시간 간격의 강수량 예측자료를 생산한다. 분석과정에서는 레이더 에코 합성자료와 AWS 강수량자료를 합성하여 모델 수행을 위한 초기자료를 생산하고, 예보 및 병합과정은 Fig. 1과 같이 외삽법에 의해 예측자료를 생산하고, 중규모 수치예보모델(Regional Data Assimilation and Prediction System, RDAPS)과의 병합을 통해 3시간 이후의 예측 정확도를 개선시킨다.

예보과정은 강수분석과정을 통하여 얻은 레이더-AWS 합성 강수장의 이동속도를 계산하는 단계, 중규모 수치예보모델의 900 hPa의 온·습도와 바람장을 이용하여 지형에 의하여 형성되는 정체성 강수 영역 설정하는 단계, 설정된 영역의 지형성 강수의 발달과 쇠퇴의 강도를 결정하는 단계, 계산된 강수장의 이동속도와 지형성 강수 및 700 hPa의 바람장을 이용하여 6시간 외삽과정을 통하여 단시간 강수예보를 하는 4단계로 구성되어 있다. 외삽법에 의한 예측강수량 생산루틴은 강수 분석과정을 통해 생산된 강수장을 이용하여 강수의 이동 패턴이 시간이 경과하여도 계속 유지된다는 가정에 강수장을 이동시켜 예보한다. 이동패턴 분석과정에서는 수시간전의 강수장과 현재의 강수장의 상관도 분석을 통해 일치영역을 설정하고, 계산된 이동속도를 외삽법을 적용하여 강수장을 예측한다. 만약 일치 영역을 찾지 못할 경우에는 현재 강수장에 중규모수치예보모델의 700 hPa의 예상 바람장을 적용하여 예측강수장을 생산한다. 일반적으로 선행 연구들의 결과들로부터 외삽법을 이용한 지속성 단시간 강수예보 모델의 예측능력은 예측시간이 경과함에 따라 크게 감소하는데, Doswell(1985)은 단시간 예보를 위하여 여러 방법을 채택하였을 때 단순 외삽을 이용한 방법이 극히 단시간(약 2시간 이내) 동안에는 다른 방법들보다 유리하다고 보고하고 있다.

한편 외삽법을 이용한 강수예보는 여러 가지 한계가

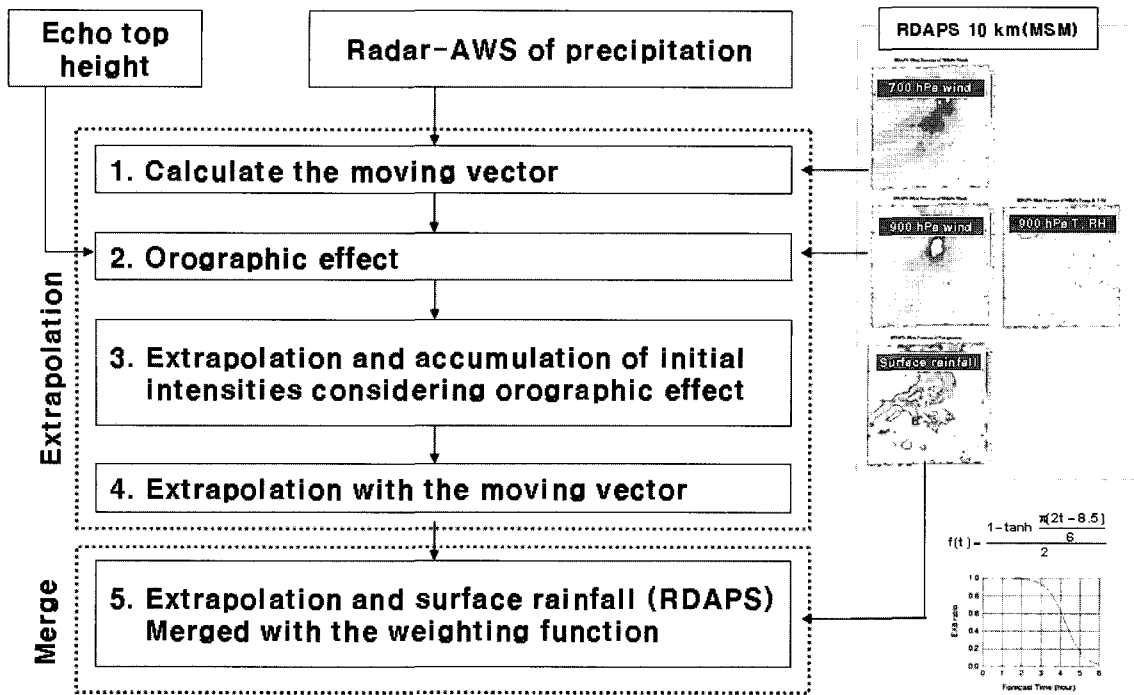


Fig. 1. Flowchart of the forecast and merge process of VSRF

있다. 첫 번째로, 구름 및 강수의 동역학적인 부분을 고려하지 않고, 지속성 외삽법을 사용하기 때문에 예보시간이 증가할수록 경계영역에서 강수장이 사라져 버리는 현상이 발생한다. 두 번째로 역확수치예보모델과는 달리 강수를 성장시킬 구름물리 과정이 없고, 단지 지형 효과만을 고려하여 발달과 소멸을 결정하기 때문에 예측능력이 제한된다. 따라서 3시간이 지나면 예측능력이 급속도로 나빠져 중규모 수치예보모델 보다 정확도가 낮아지는데, 이와 같은 문제점을 보완하기 위해 중규모 수치예보모델과의 병합과정을 거치게 된다(기상연구소, 2004).

2.2 강우-유출모형(NWSPC 모형)

본 연구에서 사용된 NWSPC 모형은 미국 국립기상청(National Weather Service)의 수문관측 사업그룹이 강수, 눈의 축적과 용해, 토양함수의 계산, 유출의 하도 추적, 매개변수 최적화 등의 유출해석체계를 컴퓨터 프로그래밍하여 National Weather Service River Forecast System(NWSRFS)을 개발한 것으로 이 NWSRFS의 PC 버전 모형이다(최지혜, 2002).

NWSPC 모형은 크게 토양함수상태계산 모형인 SAC-SMA(Sacramento soil moisture accounting)와 흐름에 대한 추적모형인 HEC-1의 운동파(kinematic wave) 추적 프로그램이 결합되어 있다.

토양함수상태모형의 구성요소로는 하천유량에 영향

을 미치는 지표하 영역을 상층부(Upper Zone)와 하층부(Lower Zone)의 2개의 개념적인 저수지로 나누고 각각의 층에는 장력수(tension water)와 자유수(free water)의 영역으로 구성되어 있다고 생각한다. 상층부는 지표에 인접한 토양층 부분과 차단 저류고를 나타내며, 주로 증발산, 직접유출, 지표면 유출, 중간유출 및 침투수와 관련이 있다. 이에 비해 하층부는 하천유량의 기저유출과 관련이 있는 지하수 저장고로 간주된다. 각각의 층을 장력수와 자유수 영역으로 나누는 이유는 토양입자 사이의 공극을 통한 지하수 흐름의 물리적 특성을 수식화하기 위한 것으로, 장력수는 토양입자 주위에 흡착되어 있는 토양수분을 나타내며 자유수는 공극을 통해서 흐르는 지하수를 말한다. 이에 따라 장력수는 증발산에 의해서만 없어질 수 있으며, 자유수는 상층부에서 하층부로 침투수, 하천으로의 유출, 하천으로 유입되지 않는 지하수 및 증발산에 의해서 변할 수 있는 것으로 간주된다. NWSPC 모형에서 모의되는 유출성분은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 다음의 다섯 가지로 구성된다.

- ① 영구적인 또는 일시적인 불투수 영역으로부터 유출되는 직접유출(direct runoff)
- ② 상층부의 자유수 저류고가 포화되거나 강우강도가 침투 및 중간유출을 초과할 때 발생하는 지표면 유출(surface runoff)

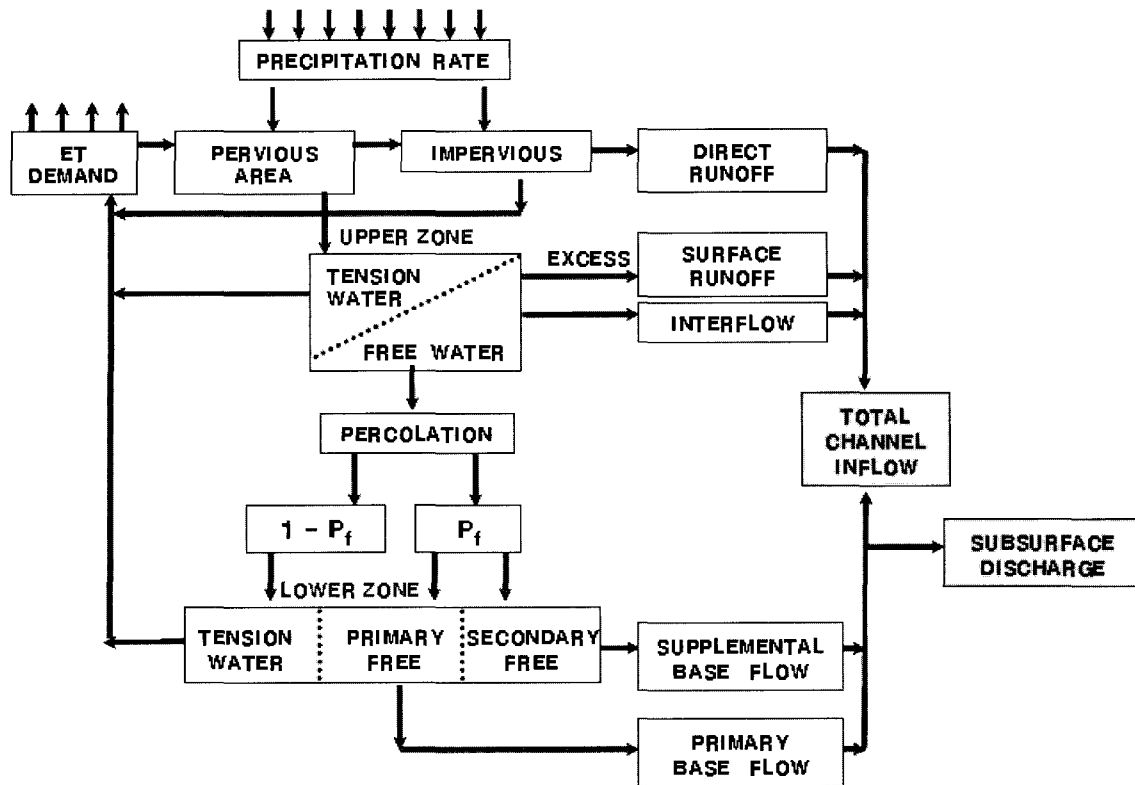


Fig. 2. Flow chart of Sacramento soil-moisture accounting model

- ③ 상층부의 자유수에서 배수되는 중간유출(inter-flow)
- ④ 보조지하수(supplemental base flow)
- ⑤ 기저지하수(primary base flow)

처음 3개 성분으로 구성된 총 하도 유입량은 HEC-1의 운동과 추적법이나 단위도-Muskingum 방법에 의해 유역 추적되며, 마지막 2개의 성분으로 구성되는 지하유출(subsurface flow)은 선형, 감쇠가중함수(linear, decay weighting function)로 계산한 후 유역 출구에서 합산된다.

3. 적용사례

3.1 대상유역 및 사례선정

적용대상유역인 경안천 유역은 동경 127°16'47" ~ 127°14'40", 북위 37°11'08" ~ 37°21'01" 사이에 위치하고 있는 한강 제 1지류로서 동측으로 경안천의 최대 지류인 곤지암천 유역, 청미천 유역과 경계를 이루고 있으며, 남측으로 진위천 유역, 서측으로 탄천 유역과 각각 경계를 이루고 있는 유역이다. 본 유역은 568 km²의 유역면적을 갖는 경안천 유역의 중·상류부에 용인시가 위치하고 있으며, 국가하천구간의 제 1지류인 목현천

하류부 구간에는 광주읍이 형성되고 있고, 유역 중앙부를 영동고속도로가 횡단하고 있으며, 하류로부터 모현면, 포곡면, 용인시까지 구간인 농업용 취수보가 단계별로 조성되어 비교적 완만한 경사를 이루고 있고, 용인시까지 상류부 구간 및 각 지류는 급경사의 산지유역을 이루고 있으며, 유역 중앙부 좌측 안쪽의 에버랜드는 관광지로 활용되고 있다.

또한 검증의 사례는 경안천 유역에 대해 2003년 하계기간, 집중호우, 태풍에 의한 호우 등 3가지로 구분하여 수행하였다.

3.2 예측강우량 검증

예측 강우량의 검증은 실시간 강우 예보에 사용될 예측자료와 수문모델 등 응용모델 입력자료로 사용될 예측자료의 품질에 대한 객관적인 평가기준을 제시한다. 강수 검증을 위한 통계적 방법으로 Stanski et al.(1989)와 Wilks(1995)는 범주통계와 연속통계로 구분하였고, Storch and Zwiers(1999)는 범주예보와 정량예보로 구분하여 모형의 예측결과를 검증하였다. 위의 통계적 검증 방법들은 서로 개념이 유사하고, 검증 방법 또한 비슷하다.

본 연구에서는 범주통계의 기법(정성적 검증)을 기상학적 검증에 적용하고 연속통계의 기법(정량적 검증)을

수문학적 검증에 적용하였다. 강우의 정성적인 검증은 예측강수와 관측강수의 유무의 행렬로 이루어진 강우분할표(rain contingency table)에 기초하며, Table 1은 모형의 예측 능력과 예측에서 발생하는 오차의 종류를 알려준다. N(total numbers)은 예측강수 총 수로 $Z + H + M + F$ 이다. 방법으로는 정확도(forecast accuracy, 이하 ACC), 편이(bias score, 이하 BIS), 강수감지확률(Probability of Detection, 이하 POD), 오보율(False Alarm Ratio, 이하 FAR), 임계성공지수(Critical Success Index, 이하 CSI) 등이 있고, 강우의 정량적인 검증은 강수의 정확한 위치와 강수량 예측 능력의 척도로 사용되며 방법으로는 평균오차(Mean Error, 이하 MERR), 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, 이하 RMSE), 상관계수(Correlation coefficient, 이하 CORR)등이 있고 식은 다음과 같다.

Table 1. Rain contingency table

verifying analysis		forecast rainfall	
		no rain	rain
observed rainfall	no rain	Z(zero)	F(false)
	rain	M(miss)	H(hit)

$$ACC = \frac{\text{correct forecast}}{\text{total forecast}} = \frac{Z + H}{N} \quad (1)$$

$$BIS = \frac{\text{rain forecast}}{\text{rain observation}} = \frac{F + H}{M + H} \quad (2)$$

$$POD = \frac{\text{correct rain forecast}}{\text{rain observation}} = \frac{H}{M + H} \quad (3)$$

$$FAR = \frac{\text{false alarm}}{\text{rain forecast}} = \frac{F}{F + H} \quad (4)$$

$$CSI = \frac{H}{H + M + F} \quad (5)$$

$$MERR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \quad (7)$$

$$CORR = \frac{\sum (F - \bar{F})(O - \bar{O})}{\sqrt{\sum (F - \bar{F})^2} \sqrt{\sum (O - \bar{O})^2}} \quad (8)$$

본 연구에서는 VSRF 모델의 예측 강수량의 정확도를 검증하기 위해 기상학적 검증과 수문학적 검증으로 구분하여 검증을 수행하였다. 기상학적 검증에서는 경안천 유역 주위에 존재하는 7개 지점의 AWS 강수량과 VSRF 모델 강수량의 정성적 관계를 비교하였고, 강수 강도에 따른 유형별 검증결과를 산출하기 위해 강수량의 시간당 임계값을 0.1, 1.0, 5.0 mm 이상의 3가지로 나누어 시간당 예측 강수량에 대한 검증을 실시하였다. 수문학적 검증은 AWS 면적 가중치를 고려한 유역평균 강우량과 VSRF 유역평균 강우량과의 정량적 관계를 비교하였다. 이때 AWS 유역평균 강우량은 GIS Arc/Info를 이용하여 Fig. 3과 같이 각 지점에 대해 티센가중치를 부여하여 산정하였고, VSRF 유역평균 강우량은 VSRF 모델 격자 강수량의 합을 격자수만큼 나누어 유역평균 강우량을 산정하였다(기상연구소, 2004).

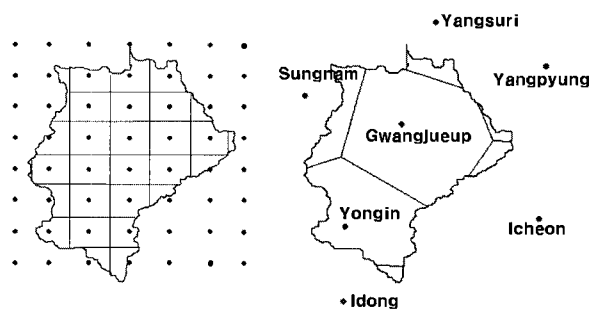


Fig. 3. Thiessen of Kyounganchun basin

3.2.1 기상학적 검증

다음 Figs. 4~8은 선정된 세 사례에 대한 경안천 유역의 기상학적 강우검증 결과이다. ACC의 경우 여름철 사례(case 1)에 대해 0.8 이상의 높은 정확성을 나타내었고, 집중호우기간(case 2)에는 0.6 이상의 스코어값을 나타내었다. BIS의 경우는 전체적으로 1.5~3배정도 과다모의 하는 것을 볼수 있고, 강우현상의 빈도를 과다 추정하는 경향에 의해 POD는 좋아지지만 상대적으로 FAR의 값이 높게 나타났으며, CSI의 경우에도 여름철 사례의 경우 모두 0.3 이하의 값을 나타내 50% 이하의 확률을 나타내었다. 하지만 집중호우 기간과 태풍기간의 경우의 CSI는 임계값 0.1 mm의 경우 0.4 이상의 값을 나타내 지속적인 강우에 대해서는 비교적 잘 모의하는 것을 알 수 있다. 따라서 경안천 유역의 검증 결과 5 대강 유역에 대해 검증했던 결과(최지혜 등, 2005)에 비해 소유역에서의 검증결과가 다소 낮게 나타나 유역면적이 작을수록 검증능력이 감소된 것을 볼 수 있다.

3.2.2 수문학적 검증

Fig. 9는 AWS 관측강우량과 VSRF 예측강우량의 경안천 유역에 대한 평균강우량이다. 관측강우량에 비해 강우의 패턴이 예측시간 2시간까지는 비교적 일치하는 것을 볼 수 있으나 이후의 예측강우량은 강우패턴이 약간 지체되거나 거의 일치하지 않는 것으로 나타났다. Fig. 10은 예측강우량의 평균 및 표준편차를 나타낸다.

여름철 사례(case 1)의 AWS 평균강우량은 0.42 mm/hr였으며, 표준편차는 1.84 mm/hr였으며, 집중호우사례(case 2)의 AWS 평균강우량은 6.38 mm/hr였으며, 표준편차는 4.75 mm/hr였다. 마지막으로 태풍사례(case 3)의 AWS 평균강우량은 0.89 mm/hr였으며, 표준편차는 1.74 mm/hr였다. Fig. 11은 경안천 유역의 수문학적 검증 결과이다. 먼저 여름철 사례(case 1)에 대해 살

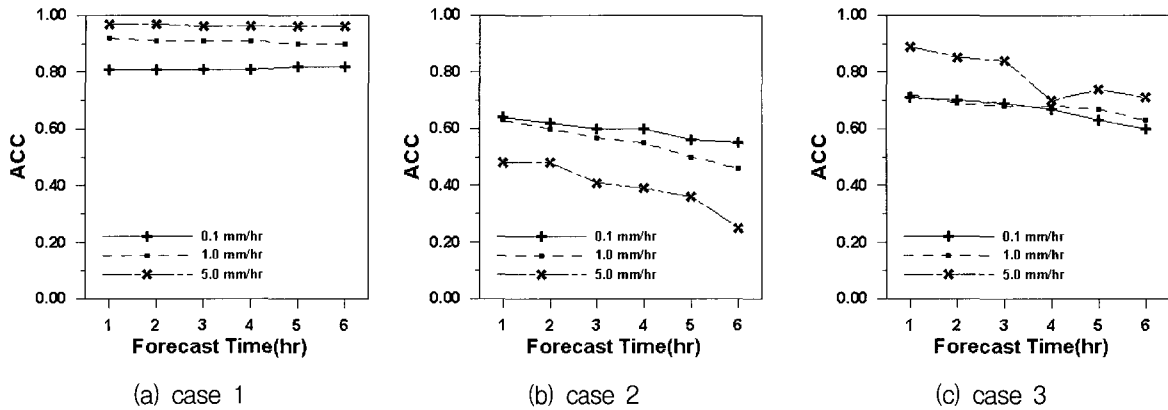


Fig. 4. Accuracy between forecasted precipitation of VSRF and measured precipitation at AWS in Kyounganchun Basin

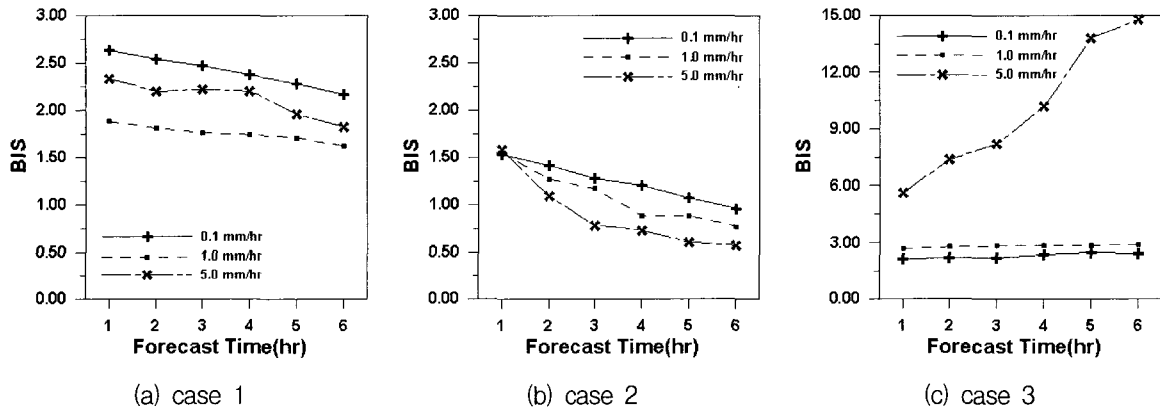


Fig. 5. Same as Fig. 4 except for Bias score

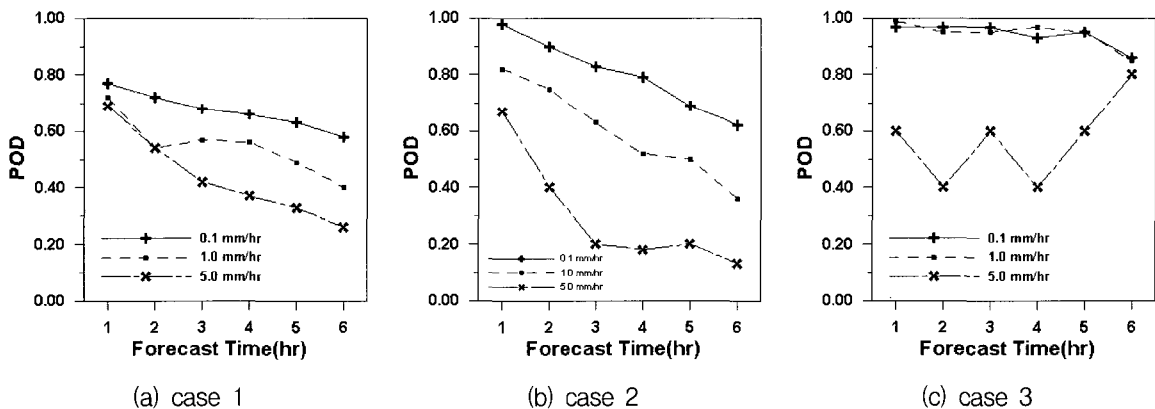


Fig. 6. Same as Fig. 4 except for Probability of detection

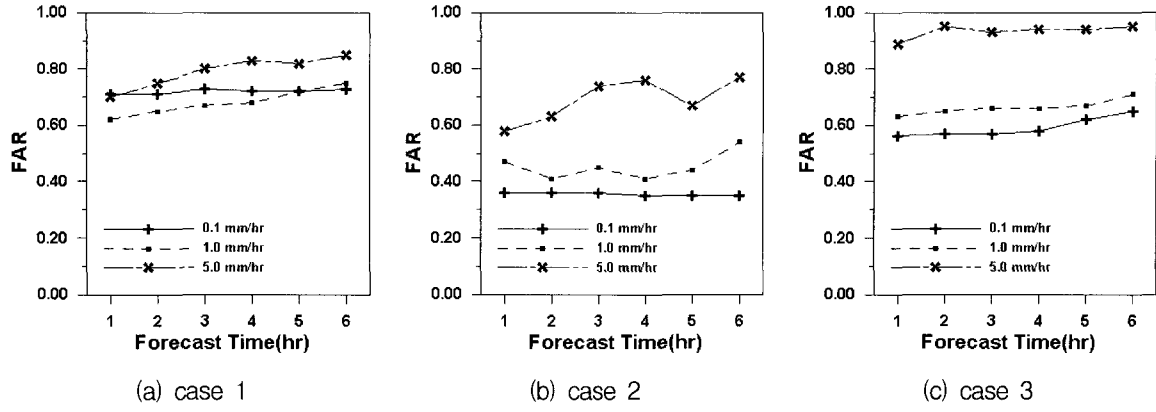


Fig. 7. Same as Fig. 4 except for False alarm ratio

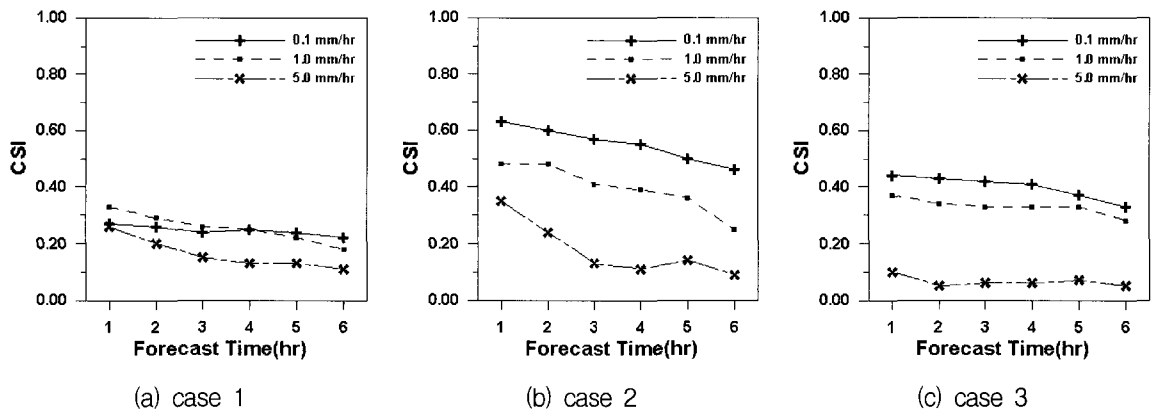


Fig. 8. Same as Fig. 4 except for Critical success index

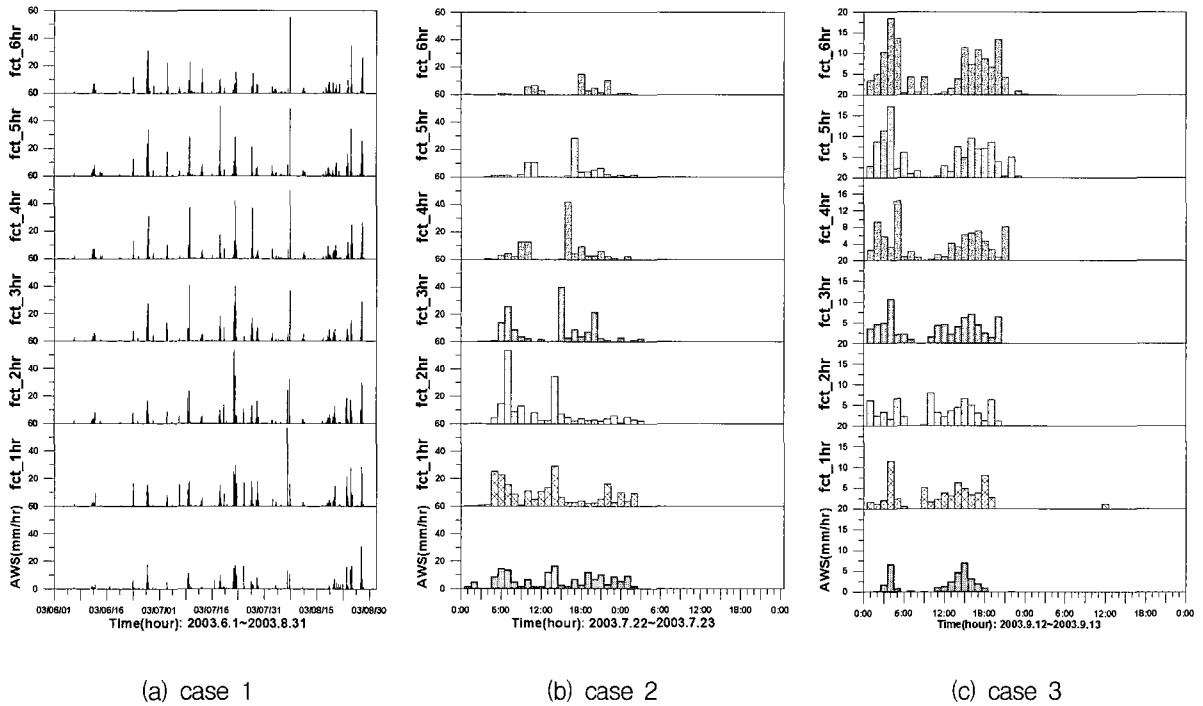


Fig. 9. Mean Areal Precipitation in Kyonganchun Basin

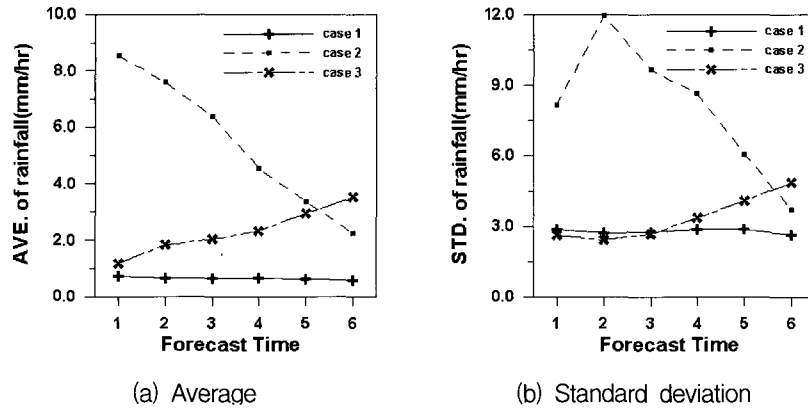


Fig. 10. (a)Average and (b)Standard deviation of forecasted precipitation of VSRF and measured precipitation at AWS in Kyounganchun Basin

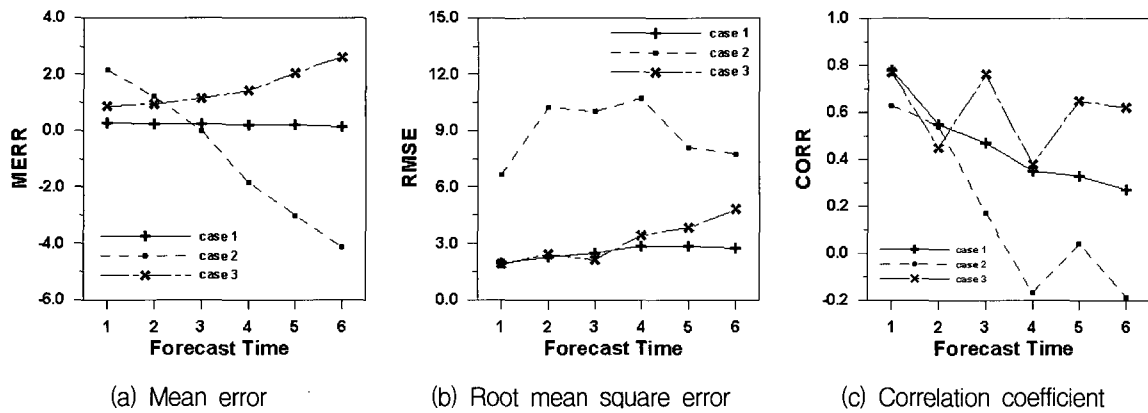


Fig. 11. Same as Fig. 10 except for (a)MERR, (b)RMSE, (c)CORR

퍼보면 약 1.3~1.7배 정도 과다모의 되었고, 3시간 이내의 예보에 대해서는 0.5 이상의 상관관계를 나타내었다. 집중호우 사례(case 2)에 대해서는 오히려 4시간 이후의 강수량이 과소모의 되었으나 이 때 상관도가 매우 낮아 모델의 경향을 나타내기에는 다소 무리가 있음을 볼 수 있다. 마지막으로 태풍사례(case 3)의 경우는 1.9~3.9배 정도 과다모의된 것으로 나타났고, 상관도는 0.4 이상으로 나타났다. 결론적으로 유역평균강우량의 검증결과에서는 VSRF 모델이 5 km의 해상도로 경안천 유역에 포함되는 격자가 29개 밖에 되지 않아 경안천 유역과 같은 소유역의 국지예보에는 한계가 있는 것으로 보여진다.

3.3 수문모형연계

모형의 매개변수 계산기간은 2003년 7월 15일~31일까지 사상으로 모의하였으며, case 1~3 사례에 대해 관측강우 및 예측강우를 이용하여 검증해 보았다. 일반적으로 모형의 매개변수를 추정하는 방법에는 자동추적법과 수동보정법이 이용되고 있다. 자동추적법은 최적

화기법을 사용하여 수렴 한계치의 변화에 따라 매개변수를 추정하는 방법으로서 비교적 빠르다는 장점이 있지만, 자동추적법의 목적함수에 따라 추적을 하기 때문에 수학적으로는 적합한 결과를 얻을 수 있으나 물리적 의미를 갖지 못하는 최적치로 수렴하는 경우가 있다. 한편, 수동보정법은 임의의 매개변수 값에 대한 모형의 모의 결과를 관측치와 비교하여 사용자의 주관에 따라 매개변수를 조정하는 방법이다(배덕효, 조원철, 1995). 본 연구에서는 수동보정법에 의해 모형의 매개변수를 산정하였다.

Fig. 12는 유출 모형의 모의기간인 2003년 7월 15일~2003년 7월 31일의 강우-유출 곡선이다. NWSPC 모형에 의한 검증 결과를 살펴보면 침투유량의 경우 8.63% 과소모의 되었고, 침투시간은 2시간 지체되는 결과를 나타냈으며, RMSE의 경우 21.72 cms로 적게 나타났으며, 0.94의 상관관계를 나타내었다. 이 기간의 매개변수를 2003년 여름철 사례(case 1)와 2003년 7월 22일 집중호우사례(case 2) 및 태풍 매미 사례(case 3)에 대해 검증해 보았다. 산정된 매개변수는 Table 2와 같다.

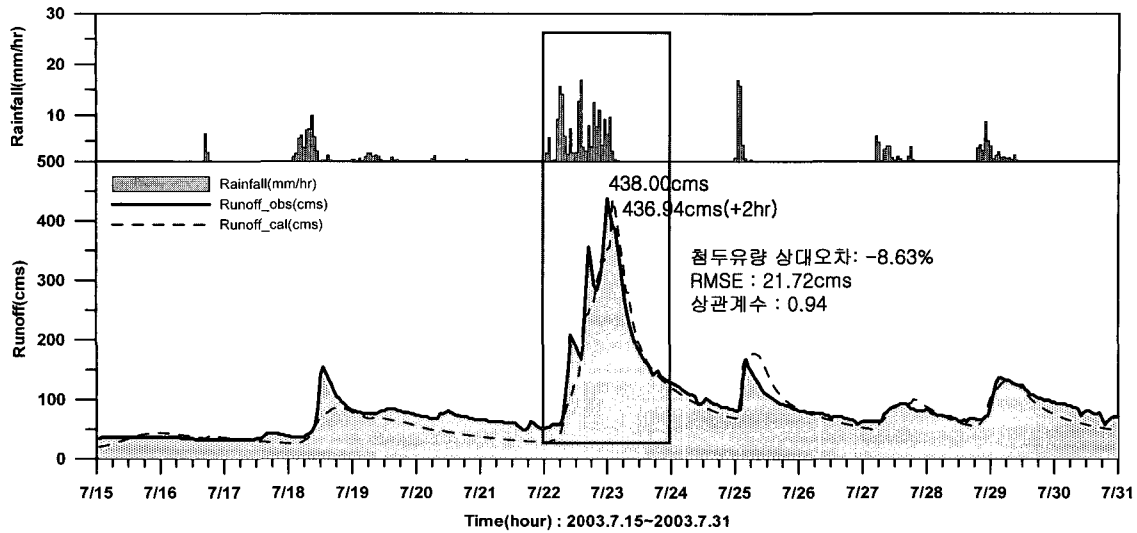


Fig. 12. Statistical results for model calibration period(2003.7.15~7.30)

Table 2. Parameter of NWSPC model

symbol	explanation	parameter	unit
UZTWM	upper zone tension water storage capacity	100	mm
UZFWM	upper zone free water storage capacity	100	mm
LZTWM	lower zone tension water storage capacity	300	mm
LZFPM	lower zone free primary water storage capacity	800	mm
LZFSM	lower zone free supplementary water storage capacity	200	mm
UZK	upper zone free water storage depletion coefficient	0.0096	1/Δt
LZPK	lower zone supplementary storage depletion coefficient	0.010	1/Δt
LZSK	lower zone primary storage depletion coefficient	0.0055	1/Δt
ZPERC	proportionality constant in increasing percolation from saturated to dry condition	147.0	-
REXP	exponent defining curvature in percolation curve with changes in the lower zone soil moisture deficiency	0.507	-
PCTIM	fraction of permanent impervious area	0.089	-
RIVA	fraction of basin covered by streams, lakes and riparian vegetations are met	0.84	-
ADIMP	fraction of impervious area when all tension storage water requirements are met	0.1175	-
PFREE	fraction of percolated water transmitted directly to the lower zone free water	0.79	-
RSERV	fraction of lower zone free water unavailable for transpiration purposes	0.42	-
SIDE	portion of baseflow not observed in the channel	0.005	-
PXADJ	precipitation adjustment factor	1.0	-
PEADJ	evapotranspiration demand adjustment factor	1.0	-

3.3.1 여름철 사례

Fig. 13은 case 1에 대한 강우-유출 모의결과를 나타낸다. 이 기간 동안 과다 모의된 강우량의 양에 비해 유출의 거동은 관측유량과 비교하였을 때 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있는데 이는 토양의 수분이 완전히 포화되지 않아 NWSPC 모형이 토양을 완전히 채우고 모의하도록 구성되어 있어 예측강우량의 과다모의된 양만큼

유출이 과다 모의되지 않은 것으로 판단된다. Table 3에서 볼 수 있듯이 3시간 이내에는 0.8 이상이고, 대부분 0.6 이상의 상관관계를 나타내 비교적 잘 모의된 것을 볼 수 있다.

3.3.2 집중호우사례

Fig. 14는 case 2에 대한 강우-유출 모의 결과이다. 앞서 강우의 검증결과에서 보면 전반적으로 1.5배 정도

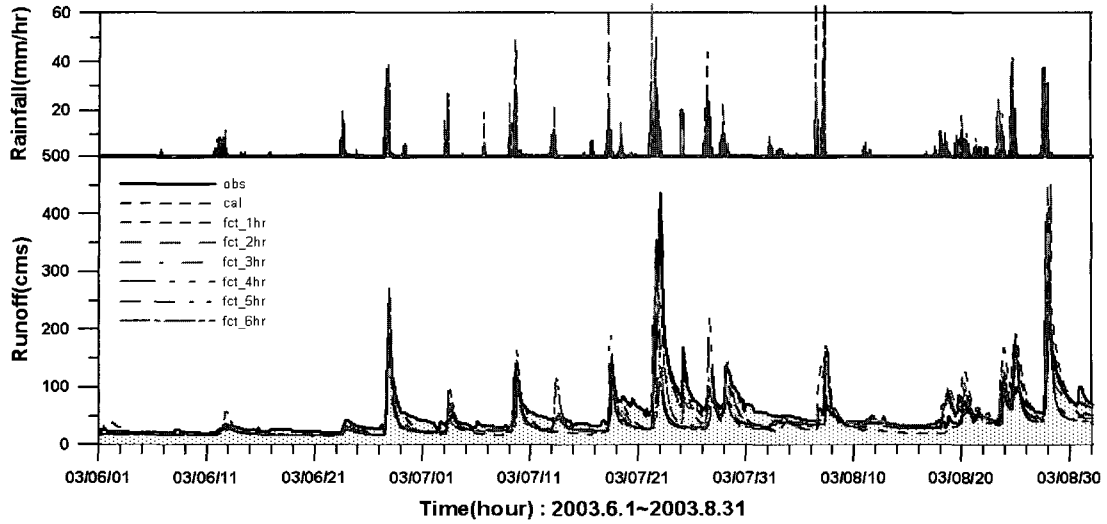


Fig. 13. Observed and Simulated runoff for summer(case 1)

Table 3. Statistical results for model verification period(case 1)

Statistic	case 1(2003.6.1~2003.8.31)							
	OBS	AWS	+1hr	+2hr	+3hr	+4hr	+5hr	+6hr
Peak Flow (cms)	438.00	424.62	452.22	367.83	447.43	333.03	276.50	325.09
Peak Time (hr)	1248	1250	2118	2112	2112	2113	2114	2115
ave. of Flow (cms)	52.72	43.75	48.68	41.64	41.57	40.58	39.01	37.56
std. of Flow (cms)	42.44	44.55	46.41	34.59	35.66	33.61	29.17	29.77
Mean Error (cms)	-	-8.98	-4.04	-11.08	-11.15	-12.14	-13.71	-15.17
RMSE (cms)	-	17.04	26.17	27.07	27.52	32.82	34.90	38.05
Correlation Coef.	-	0.95	0.83	0.81	0.81	0.70	0.66	0.58

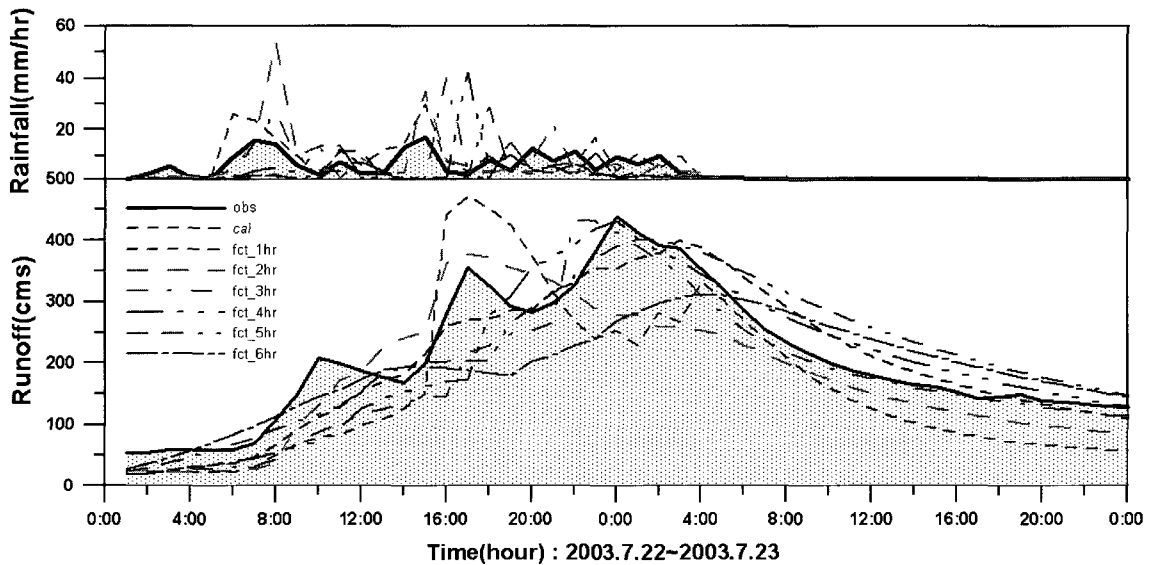


Fig. 14. Observed and Simulated runoff for a heavy rain(case 2)

과다 모의된 결과를 볼 수 있는데 이에 비해 유출의 결과는 과다 모의되지 않은 것을 볼 수 있다. 그 이유는 집중호우 기간 동안 내린 강우의 총량은 165.4 mm이며, VSRF 예측강우량의 총량은 예측시간 1시간의 경우

219.1 mm로 실 관측강우량에 비해 약 40% 정도 과다 모의되어 유출의 거동에는 크게 영향을 끼치지 못한 것으로 사료되며 또한 이 기간 동안 토양의 수분이 완전히 포화되지 않아 NWSPC 모형에서 토양을 완전히 채

우고 모의해 예측강우량의 과다모의 된 양만큼 유출이 과다 모의되지 않은 것으로 판단된다. 그 결과로 Table 4에서 볼 수 있듯이 관측유량과는 0.8 이상의 높은 상관관계를 나타내 VSRF 모델이 가지는 과다모의 부분을 유출모형에 의해 다소 감소시키는 결과를 얻었다.

3.3.3 태풍사례

Fig. 15는 case 3에 대한 강우-유출 모의 결과이다. 태풍 매미의 경우 경상남도 지방에 많은 강우가 내렸으며 경안천 유역의 경우에는 30 mm 정도 호우가 발생하였으며 VSRF 모델의 경우 전반적으로 약 2~3배 정도 과다

모의된 결과를 볼 수 있다. 이에 비해 유출의 결과는 과다 모의되지 않은 것을 볼 수 있다. 이 기간의 유출거동은 앞선 두 경우와는 조금 다른 결과를 나타내는데 실제 침투유량 발생 시간까지는 토양이 완전히 포화되지 않아 과다 추정된 강우량에 비해 유출량이 크게 증가하지 않았으나 침투시간 이후 토양수분이 포화되어 유출의 양이 실제 관측유량의 약 60%까지 증가하는 것을 볼 수 있다. 따라서 유역의 유출은 강우량뿐만 아니라 토양의 수분함량에 따라 크게 변하는 것을 알 수 있으며 토양의 수분함량을 산정할 수 있는 기법도 같이 연구되어야 할 것이다.

Table 4. Statistical results for model verification period(case 2)

Statistic	case 2(2003.7.22~2003.7.23)							
	OBS	AWS	+1hr	+2hr	+3hr	+4hr	+5hr	+6hr
Peak Flow (cms)	438.00	400.19	471.39	377.48	431.05	431.25	401.80	311.15
Peak Time (hr)	24	27	17	17	23	24	25	28
ave. of Flow (cms)	207.25	200.33	163.02	175.55	175.71	200.24	217.36	191.74
std. of Flow (cms)	105.44	112.91	128.41	106.48	111.01	119.73	107.97	74.80
Mean Error (cms)	-	-6.92	-44.23	-31.70	-31.54	-7.0	10.11	-15.51
RMSE (cms)	-	38.42	83.08	61.46	51.53	53.31	54.51	68.18
Correlation Coef.	-	0.94	0.83	0.88	0.93	0.90	0.87	0.78

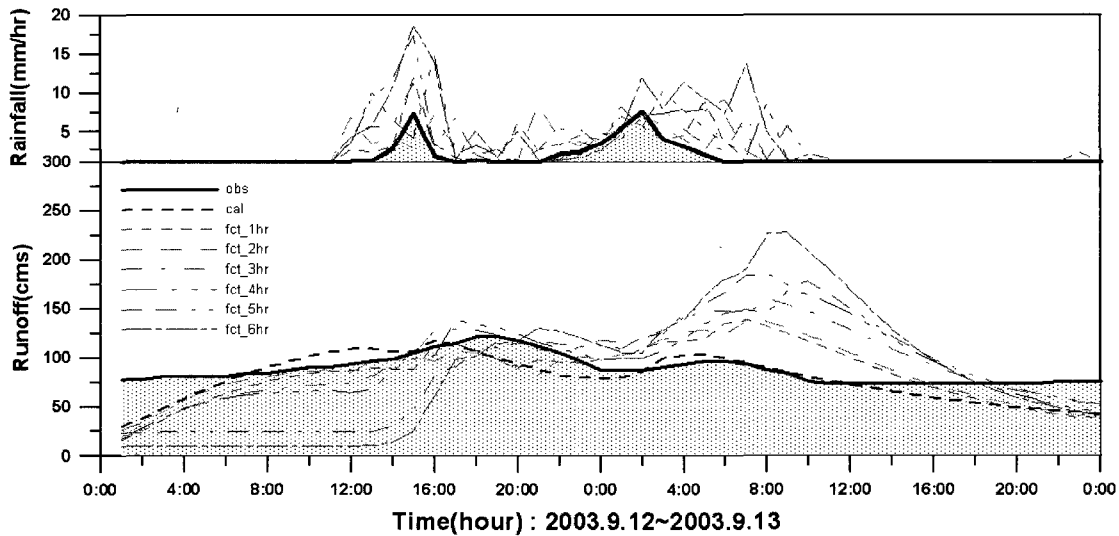


Fig. 15. Observed and Simulated runoff for Typhoon(case 3)

Table 5. Statistical results for model verification period(case 3)

Statistics	case 3(2003.9.12~2003.9.13)							
	OBS	AWS	+1hr	+2hr	+3hr	+4hr	+5hr	+6hr
Peak Flow (cms)	121.00	117.50	138.26	137.30	159.17	168.11	185.04	227.11
Peak Time (hr)	18	16	31	31	32	33	32	33
ave. of Flow (cms)	87.73	78.98	83.69	86.35	96.42	93.93	87.57	86.04
std. of Flow (cms)	13.91	23.05	29.89	28.70	35.29	38.29	52.15	66.05
Mean Error (cms)	-	-8.75	-4.04	-1.38	8.69	6.20	-0.16	-1.69
RMSE (cms)	-	18.03	26.18	25.96	33.54	36.56	52.67	66.48
Correlation Coef.	-	0.74	0.50	0.43	0.40	0.34	0.10	0.08

4. 결 론

본 연구에서는 VSRF 모델에서 생산된 6시간 예측강수량 자료를 경안천 유역에 2003년 여름철 사례와 집중호우사례 및 태풍사례에 대해 NWSPC 모형을 이용하여 적용해 보았다. 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 예측강우량의 경우 강우의 패턴이 예측시간 3시간까지는 비교적 일치하는 것을 볼 수 있으나 이후의 예측강우량은 강우패턴이 약간 지체되거나 거의 일치하지 않는 것으로 나타났다. 또한 강우량의 양에 있어서도 약 2배 정도 과다모의하는 결과를 나타내었다. 이는 VSRF 모델이 5 km의 해상도로 경안천 유역에 포함되는 격자가 29개 밖에 되지 않아 경안천 유역과 같은 소유역의 국지예보에는 한계가 있는 것으로 보여진다. 향후 모델의 해상도를 1 km로 세분화시키는 연구도 병행되어야 할 것이다.
- (2) 예측강우량을 NWSPC 모형에 적용해 본 결과 NWSPC 모형이 토양을 완전히 채우고 모의하도록 구성되어 있어 예측강우량의 과다모의된 양만큼 유출이 과다 모의되지 않은 것으로 판단된다. 그 결과로 관측유량과는 0.8 이상의 높은 상관관계를 나타내 VSRF 모델이 가지는 과다모의 부분을 유출모형에 의해 다소 감소시키는 결과를 얻었다.
- (3) 하지만 태풍 매미의 사례(case 3)에서 알 수 있듯이 토양의 수분 함량에 따라 유출의 현상이 크게 좌우되는 것을 볼 수 있는데, 향후 토양수분을 산정할 수 있는 연구가 진행된다면 기상과 수자원 연계 연구에 도움이 될 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 1-3-1)과 연구용 도플러 기상레이더 운영 및 자료분석 기술개발의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 기상연구소 (2000). 위성 및 레이더 자료를 이용한 단시간 강수예보시스템 개발연구(III).
기상연구소 (2003). 초단시간 강수 특성 분석 및 예측

모델개발(IV).

- 기상연구소 (2004). 수자원 관리를 위한 장·단기 기상예보 제공기술개발(III).
배덕효, 조원철 (1995). "물리적·개념적 연속 유출모형에 의한 유출 모형." 한국수자원학회지, 제28권 제6호, pp. 193-202.
최지혜 (2002). 소하천 유역의 돌발홍수평가기법 개발, 공학석사논문, 창원대학교 일반대학원.
최지혜, 김영화, 오성남 (2005). "5대강 유역에 대한 초단시간 예보모델의 검증." 한국기상학회지, 제41권 제3호, pp. 347-357.
Cluckie, J.D., and Owens, M. D. (1985). "Real-Time Rainfall Runoff Models and Use of weather Radar Information." *Weather Radar and Flood Warning Symposium*, Lancaster, 16-18 September.
Doswell, C.A., III (1985). "Short-range forecasting." Chapter 29 of *Mesoscale meteorology and forecasting*. Ed. P. S. Ray. *American Meteorological Society*, pp. 689-719.
Lange J., Leibundgut C., Greenbaum N., and Schick A.P. (1999). "Noncalibrated rainfall-runoff model for large, arid catchments." *Water Resources Research*, vol. 35, No. 7, pp. 2161-2172.
Moore, R.J. (1985). "Toward more Effective Hydrological Use of Radar Data." *Weather Radar and Flood Warning Symposium, Lancaster*, 16-18 September.
Philip, B.B., Brian, H.C., Gladwell, C. and Baxter, V.E. (2000). "NEXRAD Radar for Flood Prediction in houston." *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 5, No. 3, pp. 269-277.
Stanski, H.R., Laurance J.W., and William R.B. (1989). "Survey of common verification method in meteorology." *WMO/TD*, Vol. 358, pp. 144-168.
von Storch, H., and Zwiers, F.W. (1999). "18 Forecast quality equation." *Statistical Analysis in Climate Research*, pp. 391-406.
Wilks, D.S. (1995). *Statistical methods in the Atmospheric sciences*. Academic press, pp. 467-475.

(논문번호:05-53/접수:2005.04.06/심사완료:2006.01.17)