

# 초단시간 강수예보시스템 구축 및 활용

## The Establishment and Application of Very Short Range Forecast of Precipitation System

최지혜\* / 남경엽\*\* / 석미경\*\*\* / 최병철\*\*\*\*

Choi, Ji Hye / Nam, Kyung Yeub / Suk, Mi Kyung / Choi, Byoung Cheol

### 요 지

본 연구에서는 초단시간 강수예보(VSRF, Very Short-Range Forecast of precipitation) 시스템 구축 현황을 소개하고자 한다. VSRF 모델은 레이더 반사도 자료와 지상 AWS 자료를 이용하여 레이더-AWS 강우강도를 산출하는 강수분석과정과 분석된 강수량 자료와 중규모 수치예보장을 사용하여 외삽법에 의한 초단시간 강수예보를 수행하는 예보과정, 실시간으로 산출된 강수예보 자료를 검증하고 홈페이지에 제공하는 자료지원과정으로 구성된다. 본 연구에서는 모델의 예보능력을 향상시키기 위해 크게 두 가지 측면에서 모델을 개선하였다. 첫째는 모델의 입력자료인 레이더-AWS 강우강도 자료를 기상연구소 원격탐사연구실에서 운영하던 WPMM (Window Probability Matching Method)과 기상청 기상레이더과에서 운영하던 RQPE(Radar Quantitative Precipitation Estimation)의 알고리즘을 통합하여 정확한 강우강도 자료인 레이더-AWS 강우강도(RAR, Radar-AWS Rain rate) 시스템을 구축하여 개선하였으며, 둘째는 외삽과정을 통한 예보가 3시간이 지나면 예측능력이 감소하는 문제점을 보완하기 위해 현업 중규모 모델(RDAPS, Regional Data Assimilation and Prediction System)의 예측강수와 병합하여 모델을 개선하였다. 또한 이를 시계열 검증 및 공간 검증하는 실시간 검증 시스템을 구축하여 실시간으로 모델의 정확성을 평가하고 있다. 그 결과 입력자료 개선을 통한 모델의 정확도는 크게 향상된 결과는 볼 수 없었지만 미약하게 향상된 것을 확인할 수 있었으며, 모델의 병합을 통한 모델의 개선은 예측 3시간 이후부터는 50% 정도 향상되었다.

**핵심용어** : 초단시간 강수예보 시스템, 레이더-AWS 강우강도, 중규모 모델, 병합, 실시간 검증 시스템

### 1. 서 론

최근 전 세계적으로 매년 집중호우와 태풍 등의 악기상으로 막대한 인명 및 재산피해가 발생하고 있다. 이러한 기상현상들은 짧은 시간에 걸쳐 국지적으로 큰 영향을 미칠 가능성이 많아 이들에 대한 예측능력을 향상시키기 위해 상세한 지형특성과 다양한 관측자료 동화기술을 잘 반영할 수 있는 수치예보시스템이 요구된다. 6~12시간의 중관관측에 의존하는 수치예보시스템으로는 3시

\* 정회원 · 기상연구소 원격탐사연구실 · 연구원 · E-mail: chezy@metri.re.kr

\*\* 정회원 · 기상연구소 원격탐사연구실 · 기상연구사 · E-mail: kynam@metri.re.kr

\*\*\* 정회원 · 기상연구소 원격탐사연구실 · 연구원 · E-mail: mksuk@metri.re.kr

\*\*\*\* 정회원 · 기상연구소 원격탐사연구실 · 실장 · E-mail: cbc@metri.re.kr

간 이내의 예측에서는 수치모델의 고유 특성인 스핀업 등 내재된 예측 불확실성이 내재되어 단시간 집중호우를 예측하는데 한계가 있다. 따라서 초단시간 강수예보모델의 능력을 향상시키기 위한 노력은 계속되고 있다. 본 연구에서는 초단시간 강수예보(VSRF, Very Short-Range Forecast of precipitation) 시스템 구축 현황을 소개하고 모델 개선을 통한 예보의 정확성을 평가하고자 한다.

## 2. VSRF 모델 개요

초단시간 강수예보 시스템은 레이더 반사도 자료와 지상 AWS 자료를 이용하여 레이더-AWS 강우강도를 산정하는 강수분석과정과 분석된 강수량 자료와 중규모 수치예보장을 사용하여 초단시간 강수예보를 수행하는 예보과정, 실시간으로 산출된 강수예보 자료를 검증하고 홈페이지에 제공하는 자료지원과정으로 구성된다.

강수분석과정은 레이더 에코 합성자료와 AWS 강수자료를 합성하는 과정이며, 기존에 기상연구소 원격탐사연구실에서 운영하던 WPMM(Window Probability Matching Method)과 기상청 기상레이더과에서 운영하던 RQPE(Radar Quantitative Precipitation Estimation)의 알고리즘을 통합하여 정확한 강우강도 자료를 산출하기 위하여 RAR(RAR, Radar-AWS Rain rate) 시스템을 구축하여 정확한 강우강도 자료를 제공하고 있다. RAR 시스템의 알고리즘의 기본 연구는 WPMM의 이론을 적용하였다. WPMM 이론은 우량계에서 관측된 강우강도와 우량계에 근접한 영역의 레이더 반사도를 각각 대응시켜 확률밀도함수로 재산정하여 반사도인자(Z)와 강우강도(R)와의 관계식인 Z-R 관계식을 추정하는 방법이다(Rosenfeld *et al.*, 1993). 레이더 자료와 우량계 강수 자료를 이용한 고해상도 정량적 강우강도를 산출하기 위한 WPMM은 실시간으로 강수시스템의 특성에 따라 Z-R 관계식을 산출하고 고해상도의 강우강도를 추정한다(석미경 등, 2005). 레이더 자료는 기상청에서 운영하는 광덕산, 백령도, 군산, 진도, 동해, 부산, 고산, 면봉산, 구덕산 자료이다. 각 레이더 자료는 QC(Quality Control) 후 Mohr 방법(Mohr, 1979) 으로 1.5 km CAPPI(Constant Altitude Plan Position Indicator)이다. 각 레이더의 RAR 자료를 합성하여 디지털 예보시스템의 지원을 위한 1 km 수평분해능, 901×1051의 2차원 격자점 자료를 생산한다. 기상청 자동기상관측장비의 전도형 우량계는 0.5 mm의 전도도를 사용하여 1분 간격으로 누적 강우강도를 관측한다. 강우강도 자료는 강우량계에서 1분 간격으로 관측된 일 누적 강우강도 자료로부터 TRMM/GSP(Tropical Rain Measuring Mission/Gauge Software Package) 알고리즘을 사용하여 1시간 강우강도로 전환하였다. 강우강도 자료는 전국의 613개의 강우량계의 자료를 사용하였다. RAR에서 생산되는 강수자료를 이용하기 위해서는 RAR의 도메인과 VSRF 모델의 도메인이 서로 다르기 때문에 1 km 분해능을 가지는 RAR를 bi-linear 내삽법을 사용하여 VSRF 모델의 격자점의 자료로 객관분석하는 과정이 요구되며, 10분 단위의 자료를 1시간 자료로 누적하여 사용하였다.

예보과정은 Fig. 1과 같이 레이더 에코 자료와 AWS 강수분석과정과 강수분석과정을 통하여 얻은 레이더-AWS 강우강도의 상관도 분석을 통하여 얻은 강수장의 이동속도 계산하는 단계, 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 4단계의 과정으로 구성되어 있다(최지혜 등, 2005).

VSRF 모델의 외삽과정을 통한 예보과정은 구름 및 강수의 동역학적인 부분을 고려하지 않고, 지속성 외삽법을 사용하기 때문에 예보시간이 증가할수록 경계영역에서 강수장이 사라져 버리는 현상이 발생한다. 즉 한반도의 700 hPa 풍향은 여름철에는 남서풍, 겨울철에는 북서풍계열이 주를

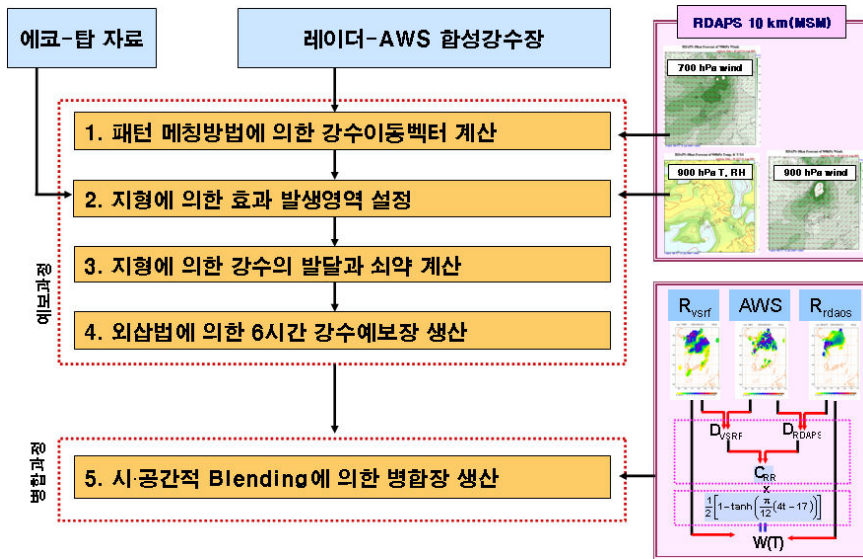


Fig. 1. Flowchart of the forecast and merge process of VSRF

이론이다. 따라서 VSRF의 도메인의 서쪽 경계부근에서 강수장이 사라져 버리는 현상이 발생한다. 또한 VSRF는 강수 발달과 쇠퇴를 결정짓는 요인으로 지형 효과만을 사용하기 때문에 물리과정에 의한 강수 발달과 쇠퇴를 일으키는 요인들에 대해서는 예보할 수 없다. 3시간 이후에는 중규모 예보 모델의 예보 강수장을 사용하면 이러한 부분들을 해결할

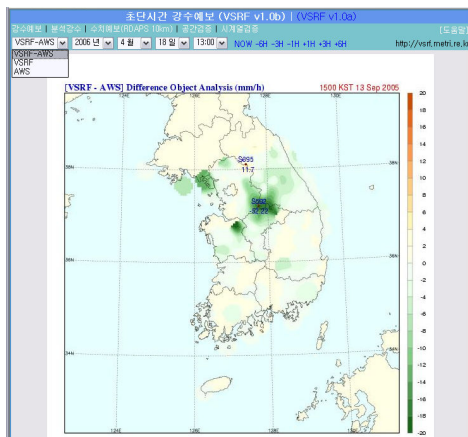


Fig. 2. Web page of space verification via <http://vsrf.metri.re.kr>

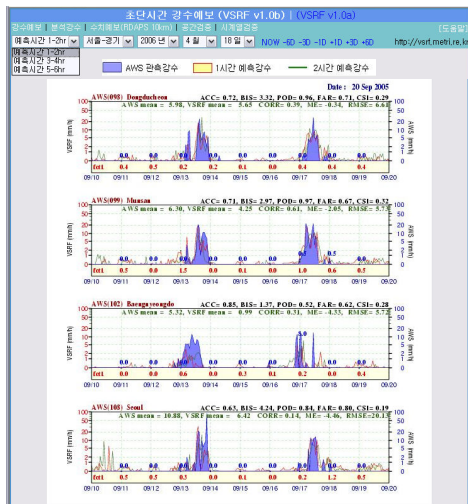


Fig. 3. Same as Fig. 2 except for time series verification

수 있고, 보다 더 정확한 강수 예보장을 산출할 수 있다. 따라서 심재관 등(2005)의 시-공간적 병합기법을 적용하여 병합장을 생산하고 있으며, Fig. 1에서 VSRF와 RDAPS 및 AWS 강수자료를 이용하여 병합 강수가 산출되는 과정을 간단히 나타내었으며,  $C_{RR}$ 은 상대적 신뢰도로  $D_{VSRF}$ 와  $D_{RDAPS}$ 를 이용하여 계산되며 0~1의 값을 갖는 공간적 가중치이며, 시간적 가중치는 쌍곡선 탄젠트 함수로부터 얻어진다.  $W(T)$ 는 예측 강수에 곱해지는 가중치로 RDAPS와 VSRF에 곱해지는 각각의 가중치 합은 항상 1의 값을 갖는다. 이 값을 공간적 가중치인  $C_{RR}$ 과 시간적 가중치인 쌍곡선 탄젠트 함수와의 곱으로 예측시간에 따라 다른 값을 갖는다.

### 3. 실시간 검증시스템

VSRF 모델의 정확도를 실시간으로 검증하기 위해 매시간 공간검증을 실시하고 10일 간격으로 시계열 검증을 실시하여 이 결과를 제공하고 있다. Fig. 2는 VSRF 홈페이지의 공간 검증화면을 나타내며, AWS와 VSRF 예측강수장의 difference를 매시간 마다 계산하여 객관분석하여 표출하고 있다. Fig 3은 시계열 검증화면을 나타내며, 기상대급의 AWS 지점에 대해 10일 간격으로 시계열 검증하여 정성적 검증에 Accuracy, Bias score, Probability of Detection, False Alarm Ratio, Critical Success Index를 정량적 검증에 AWS 평균 강우강도, VSRF 평균 강우강도, 평균오차, 평균계급오차, 상관계수를 표출하고 있다.

## 4. 결과

선정된 사례인 2005년 9월 13일은 태풍 카눈에서 변질된 저기압이 서해상에서 북동진하면서 경기북부지방으로 이동하여 시간당 10~50 mm의 강한 비가 내린 사례이다. 전국적으로 5에서 많은 곳은 100 mm 이상의 강수가 발생하였다(Fig. 4(a)). AWS의 경우 임계값 1 mm/hr에 대해 평균은 4.99 mm/hr였으며 표준편차는 6.96 mm/hr였다. 본 연구에서는 다음의 두 가지 측면에서 검증을 실시하였다. 먼저 입력자료인 레이더-AWS 강우강도의 QC에 대한 향상능력을 살펴보기 위해 각 우량계의 관측강우강도에 대하여 QC를 하지 않은 WPMM(이하 WPMM\_EXT)과 QC가 포함된 RAR(이하 RAR\_EXT)를 이용한 VSRF 결과를 살펴보았으며 이때는 모델에서 생산된 외삽장을 비교하였다. 또한 RDAPS 예측강수와 병합하여 생산된 병합장의 정확도를 살펴보기 위해 RAR 자료를 이용한 외삽장(이하 RAR\_EXT)과 병합장(이하 RAR\_MRG)을 비교해 보았다. 검증결과는 다음과 같다.

QC를 통한 모델 개선결과로 RAR\_EXT와 WPMM\_EXT의 평균값을 살펴보면 두 가지 방법 모두 VSRF 모델의 평균값이 모든 예측시간에 대해 과소모의 하는 경향이 있는 것을 볼 수 있으며, 표준편차도 RAR\_EXT가 더 관측값과 비슷한 것을 볼 수 있었다. 평균오차는 예측시간 3시간까지는 RAR\_EXT가 오차가 적었고 그 이후부터는 WPMM\_EXT가 오차가 더 적었으나 그 차이는 적었다. RMSE는 두 가지 방법 모두 예측시간 1시간까지는 AWS 편차인 6.96 mm/hr 이내의 범위에 존재하였지만 그 이후시간에 대해서는 표준편차보다 크게 나타난 것을 볼 수 있었다. 마지막으로 상관계수를 살펴보면 예측시간 2시간까지는 RAR\_EXT가 4~7% 정도의 개선된 결과를 볼 수 있었지만 이후시간에서는 WPMM\_EXT가 더 좋은 결과를 보였다(Fig. 4(b)~(f)). 이 사례의 경우 QC에 따른 모델의 개선은 뚜렷이 나타나지 않았다. 하지만 더욱 많은 사례에 대한 검증을 통해 모델을 평가할 것이다.

병합에 의한 모델의 개선정도를 살펴보기 위해 RAR\_EXT와 RAR\_MRG의 평균값을 살펴보면 예측 4시간까지는 RAR\_EXT가 관측값과 더 비슷한 것을 볼 수 있었지만 5시간 이후부터는 RAR\_MRG가 더 비슷하게 나타났다. 평균값의 경우 RAR\_MRG가 다소 과소모의하는 것을 볼 수 있었다. 표준편차는 전반적으로 RAR\_MRG에 의한 검증결과가 과소모의하는 결과에 의해 RAR\_EXT 보다 많이 적게 나타난 것을 볼 수 있었다. 평균오차는 예측 1시간까지는 RAR\_EXT가 적게 나타났으나 예측시간이 지날수록 RAR\_MRG에 의한 평균오차가 많이 감소된 것을 볼 수 있다. RMSE의 경우는 RAR\_MRG의 경우는 모든 예측시간에서 오차범위인 6.96 mm/hr 이내에 존재해 RAR\_EXT에 비해 많이 향상된 것을 확인할 수 있으며, 특히 상관계수를 살펴보면 예측시간 2시간까지는 비슷한 결과를 보이다가 예측 3시간 이후부터는 50% 이상 향상된 것을 볼 수 있다(Fig. 4(b)~(f)). 모델의 병합에 대한 개선 효과는 예측시간이 지날수록 크게 나타나 외삽에 의한 예보의 한계를 감소시키는 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 초단시간 강수예보모델 및 실시간 검증시스템 구축 현황을 소개하였고, 모델의 예보능력을 향상시키기 위해 모델을 개선하였다. 첫째는 모델의 입력자료인 레이더-AWS 강우강도 자료를 기상연구소 원격탐사연구실에서 운영하던 WPMM과 기상청 기상레이더과에서 운영하던 RQPE의 알고리즘을 통합하여 정확한 강우강도 자료인 레이더-AWS 강우강도 시스템을 구축하여 개선하였으며, 둘째는 외삽과정을 통한 예보가 3시간이 지나면 예측능력이 감소하는 문제점

을 보완하기 위해 현업 중규모 모델의 예측강수와 병합하여 모델을 개선하였다. 그 결과 입력자료 개선을 통한 모델의 예보 정확도는 크게 향상된 결과는 볼 수 없었지만 미약하게 향상된 것을 확인할 수 있었으며, 모델의 병합을 통한 모델의 개선은 예측 3시간 이후부터는 50% 정도 향상되었다. 향후 많은 강수사례 및 여름철 방재기간에 대한 모델의 검증을 통해 모델의 예보 능력을 평가할 예정이다.

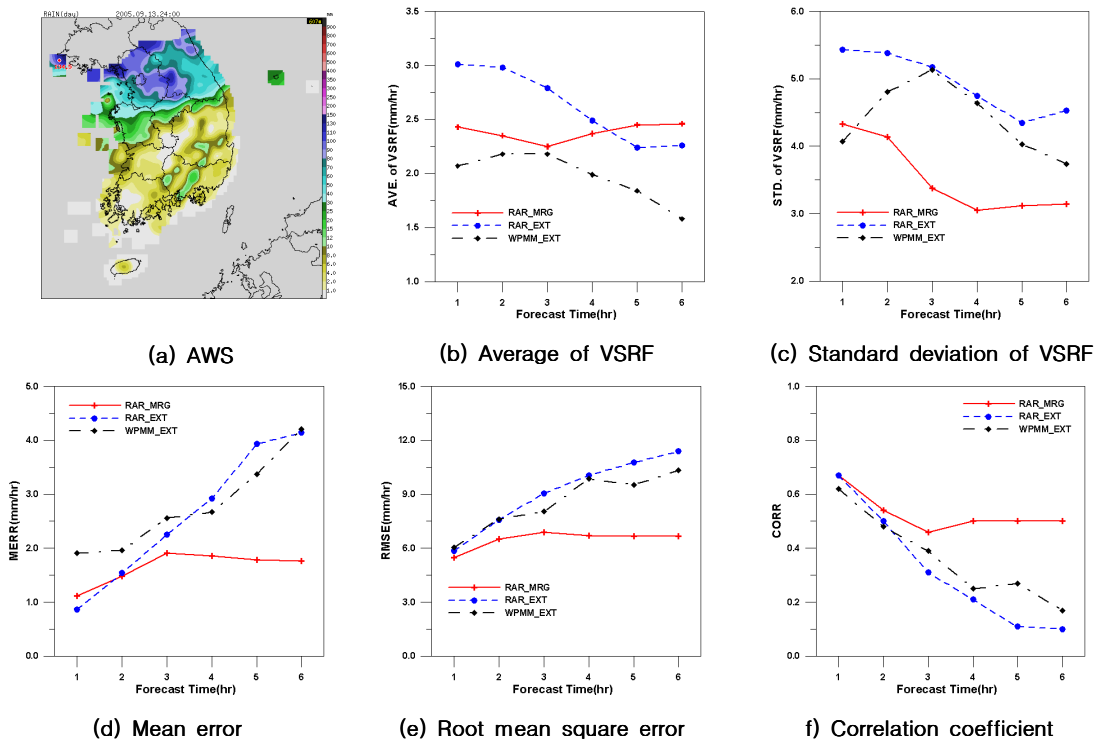


Fig. 4. Quantitative verification between forecasted precipitation of VSRF and measured precipitation at AWS on 13 September, 2005

#### 감사의 글

본 연구는 “연구용 도플러 기상레이더 운영 및 자료 분석 기술개발”의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- 석미경, 남경엽, 김영화, 오성남 (2005). “WPMM을 이용한 레이더 반사도로부터 정량적 레이더 강우강도의 추정.” **한국기상학회지**, 제41권 제1호, pp.123-138.
- 심재관, 장기호, 남경엽, 조천호 (2005). “병합기법을 이용한 정량적 강수 예측.” **한국기상기술지**, 제1권 제2호, pp.111-120.
- 최지혜, 김영화, 오성남 (2005). “5대강 유역에 대한 초단시간 예보모델의 검증.” **한국기상학회지**, 제41권 제3호, pp.347-357.
- Mohr, C. G., and R. L. Vaughan (1979). “An economical procedure for Cartesian interpolation and display of reflectivity factor data in three-dimensional space.” *J. Appl. Meteor.*, 18, 661-670.
- Rosenfeld, D., B. D. Wolff, and D. Atlas (1993). “General probability-matched relations between radar reflectivity and rain rate.” *J. Appl. Meteor.*, 32, 50-72.