

다중 레이어 CAPPI를 이용한 단시간 강우 예보모형 개선

Improvement of Short-range Rainfall Forecasting Model using Multi-layer CAPPIs

김광섭*, 한건연**, 김종필***

Gwangseob Kim, Kun Yeun Han, Jong Pil Kim

요 지

일정한 시간간격으로 제공되는 연속된 두 장의 레이더 반사도(합성 CAPPI) 자료의 최대 상관계수를 찾아냄으로써 강수의 움직임을 산출하는 TREC(Tracking Radar Echoes by Correlation) 기법은 동일 고도의 레이더 반사도 자료를 이용하기 때문에 수평방향의 2차원이며, 대류성 구름체계에서 발생하는 수직 활동을 표현할 수 없는 한계성을 지니고 있다.

본 연구에서는 여러 고도의 레이더 반사도 자료를 이용하여 기존의 TREC 기법을 이용한 단시간 예보모형을 개선하고자 하였다. 특정고도의 레이더 반사도를 이용하여 에코를 추적하는 TREC 기법의 단점을 보완하기 위하여 서로 다른 고도의 레이더 반사도를 이용함으로써 기존의 접근법보다 실제 강수의 움직임에 더욱 가깝도록 단시간 강우 예보 정확도를 개선하였다.

핵심용어 : TREC, 레이더, CAPPI, 단시간 예보

1. 서 론

단시간 강우예보 모델 중의 하나인 TREC 기법은 레이더로부터 동일 고도에서 일정한 시간간격으로 제공되는 연속된 두 장의 CAPPI 이미지를 이용하여 최대상관계수를 찾아냄으로써 강수의 이동을 예측한다. 이러한 TREC 기법은 단순히 통계적인 기법으로써 대류성 구름체계에서 일어나는 수직 활동 등의 물리적인 요소를 전혀 포함하지 못한다. 본 연구에서는 이러한 TREC 기법의 단점을 보완하기 위하여 여러 고도의 CAPPI 이미지를 이용하여 보다 실제에 가까운 단시간 강우예보 모델을 개발하고자 하였다.

2. 자료생산

2.1 CAPPI 자료의 산출

레이더 원시자료(UF; Universal Format)는 구면좌표계(Spherical coordinates)로 고도각과 방위각, 그리고 레이더로부터의 거리로 반사도값의 위치정보를 제공하도록 구성되어 있다. Header나 sweep, ray, bin의 개수 등의 정보는 레이더 기기마다 다르게 이루어져 있다. 본 연구에서는 진도 S-band 레이더의 자료를 사용하였으며, 진도 레이더 자료의 경우 240개의 bin, 360개의 ray, 그리고 10개의 sweep으로 구성된다. 이 레이더 원시자료는 4가지 종류의 자료를 포함하고 있으며, 이것은 각각 DZ(Uncorrected Reflectivity), CZ(Corrected Reflectivity), VR(Radial Velocity), SW(Spectrum Width)이다.

* 정회원-경북대학교 토목공학과 조교수E-mail : kimgs@knu.ac.kr

** 정회원-경북대학교 토목공학과 교수E-mail : kshanj@knu.ac.kr

*** 경북대학교 토목공학과 석사과정E-mail : gangster3569@hotmail.com

2차원의 CAPPI 이미지를 산출하기 위해서는 이 구면좌표계로 이루어진 원시자료를 데카르트 좌표계 (Cartesian coordinates)로 변환하여야 한다. 본 연구에서는 Mohr(1979)가 제안한 방법을 이용하여 CAPPI 자료를 산출하였다. 먼저, 원하는 고도의 평면을 레이더의 위치를 원점으로 x, y 방향으로 각각 $-240 \text{ km} \sim 240 \text{ km}$ 까지 1 km 간격의 데카르트 좌표로 정의하고, 모든 격자점(x, y, z)의 위치를 다음 식을 이용하여 거리 (R), 방위각(θ), 고도각(ϕ)으로 변환한다.

$$R = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}, \theta = \tan^{-1} \frac{x}{y} \quad (1)$$

빛의 굴절과 지구의 곡률을 고려하기 위하여 방위각의 계산은 기본적인 조정을 하였다. 즉, 레이더로 감지한 수평면 위의 해당 위치 (x, y, z)의 높이 (z_h)와 고도각은 각각 다음의 식들로 계산한다.

$$z_h = z - \frac{x^2 + y^2}{iD}, \phi = \sin^{-1} \frac{z_h}{R} \quad (2)$$

여기서, i 는 대류권에서 빛의 굴절에 대한 표준보상계수(Battan, 1973)이며, D 는 레이더 위치에서의 지구의 지름(한반도 영역에서 지구의 지름은 12740 km)이다.

다음 과정은 변환된 격자점들에 해당하는 반사도값을 추출하는 것이다. 이 격자점들은 반사도의 위치와 정확히 일치하지 않기 때문에 이 격자점 주위의 4개의 반사도값을 이용한 내삽을 통하여 각 격자점들에 해당하는 반사도값을 추출하였다. 일정 고도 평면 위의 투영점 (R, θ)에서의 추정 반사도값은 다음과 같다.

$$Z_e(R, \theta) = \frac{1}{\Delta R \Delta \theta} [(R - R_i) \{(\theta - \theta_j) Z_e(i+1, j+1) - (\theta - \theta_{j+1}) Z_e(i+1, j)\} - (R - R_{i+1}) \{(\theta - \theta_j) Z_e(i, j+1) - (\theta - \theta_{j+1}) Z_e(i, j)\}] \quad (3)$$

여기서, R 과 θ 는 각각 투영점의 경사거리와 방위각을 나타내며, ΔR 은 거리간격을, $\Delta \theta$ 는 θ_j 와 θ_{j+1} 사이의 각거리이다.

내삽지점 (R, θ, ϕ)에서의 반사도값을 구하기 위하여 투영점 (R, θ, ϕ_k)와 (R, θ, ϕ_{k+1})에서의 추정값을 이용하여 내삽을 수행한다.

$$Z_e(R, \theta, \phi) = \frac{1}{\Delta \phi} \{(\phi - \phi_k) Z_e(R, \theta, \phi_{k+1}) - (\phi - \phi_{k+1}) Z_e(R, \theta, \phi_k)\} \quad (4)$$

여기서, ϕ 는 점 (R, θ, ϕ)의 고도각이며, $\Delta \phi$ 는 ϕ_k 와 ϕ_{k+1} 사이의 각거리이다.

마지막으로, 변환된 격자점들을 다시 데카르트 좌표계로 변환하면 481×481 의 CAPPI를 얻을 수 있다.

2.2 이동벡터와 예측장의 산출

일정한 시간간격으로 생산된 연속된 두 장의 레이더 반사도 자료 사이에서 에코의 움직임은 상관법을 이용하여 구할 수 있다. 상관법을 이용하여 이동벡터를 산출하는 방법은 Hilst와 Russo(1960)가 처음으로 사용하였으며, 당시 폭풍의 전체적인 움직임을 보기 위하여 사용되었다. 그 뒤 고해상도의 레이더 자료를 사용하기 시작하면서 폭풍의 전체적인 움직임뿐만 아니라 내부 셀들의 이동벡터를 산출할 수 있게 되었다(Rinehart and Garvey, 1978; Tuttle and Foote, 1990).

TREC 기법은 연속하는 두 장의 CAPPI 이미지를 이용한다. 두 시점 t_1, t_2 에서의 CAPPI 이미지를 여러 개의 2차원 윈도우로 나눈다. 그런 다음 t_1 과 t_2 에서 윈도우 사이의 상관계수를 구한다. 두 윈도우 사이의 상관계수 R 은 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n Z_1(i) Z_2(i) - \left(\sum_{i=1}^n Z_1(i) \right) \left(\sum_{i=1}^n Z_2(i) \right)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n Z_1^2(i) - \left(\sum_{i=1}^n Z_1(i) \right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Z_2^2(i) - \left(\sum_{i=1}^n Z_2(i) \right)^2}} \quad (5)$$

이러한 과정을 거친 뒤 t_1 에서의 윈도우 중심을 시점으로 하고, 최대의 상관계수를 갖는 t_2 에서 윈도우 중심을 중점으로 하는 이동벡터가 각 픽셀별로 생산된다.

이렇게 생산된 이동벡터장은 어느 정도의 잡음(noise)을 포함하고 있기 때문에 간단한 과정을 거쳐서 이를 제거할 수 있다. 본 연구에서는 연속적인 패턴의 벡터장을 얻기 위해서 수정 Cressman 가중함수를 이용한 객관분석을 수행하였다. Cressman 가중함수는 원래 등방형의 형태를 갖지만(Cressman, 1959), 수정된 형태는 거리에 따라서 타원형의 형태를 갖는다(Benjamin and Seaman, 1985).

$$w(i, j, k) = \begin{cases} \frac{R^2 - d^2}{R^2 + d^2} & \text{if } d^2 < R^2 \\ 0 & \text{if } d^2 > R^2 \end{cases} \quad (6)$$

여기서, d 는 분석지점으로부터 관측지점까지 거리의 함수이다.

산출된 벡터장으로부터 Semi-Lagrangian 외삽법을 이용하여 예측장을 산출할 수 있다. 이동벡터장은 Δt 동안에 에코의 변위량을 포함하고 있기 때문에, 각 픽셀에서의 2차원 변위량을 구할 수 있다. 이 변위량은 곧 정보의 시작점과 도착점의 공간적인 위치를 반영한다. 이렇게 각 정보의 도착점을 산출한 뒤, 각 도착점으로부터의 내삽에 의해서 다음 시간에서의 각 픽셀에 대한 새로운 벡터가 산출된다. 여기서 산출된 벡터를 이용하여 이전 시간에서 정보의 시작점을 알 수 있다.

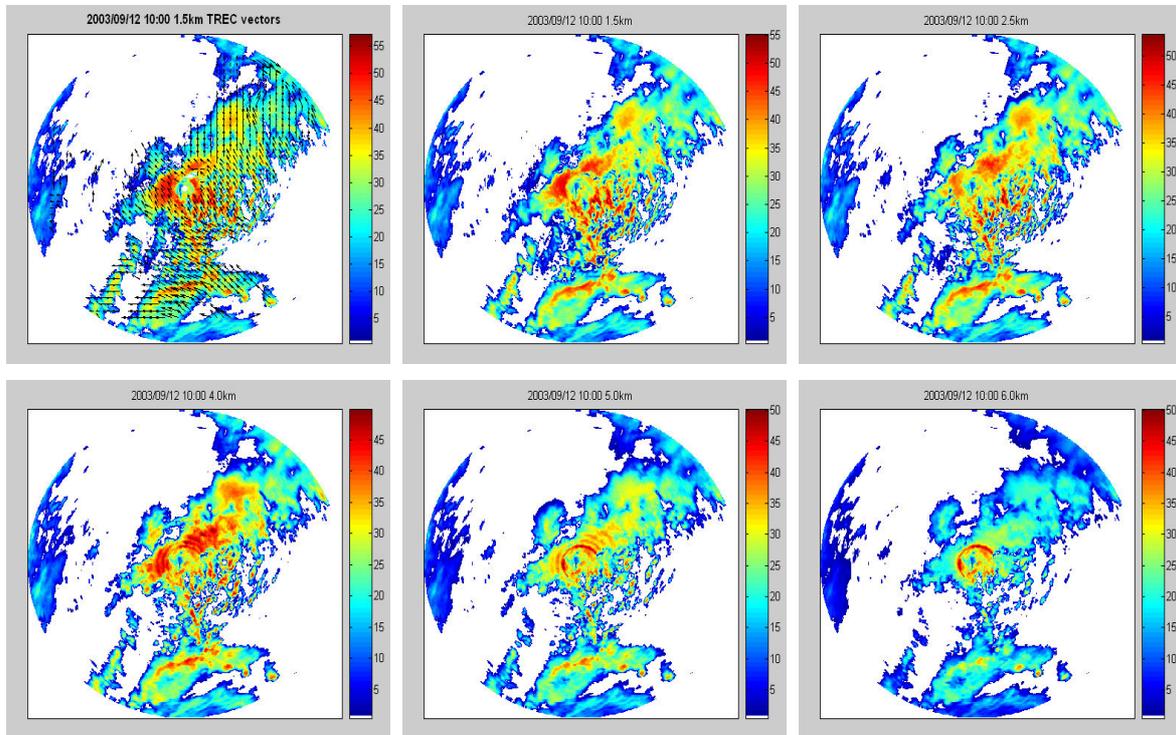


그림 1 고도별 반사도와 1.5km TREC 벡터

3. 결 론

본 연구에서는 여러 고도의 레이더 반사도 자료를 이용하여 기존의 TREC 기법을 이용한 단시간 예보모형을 개선하고자 하였다. 그림 1은 각각 2003년 9월 12일 10시에 진도 레이더 관측 범위 내를 지나가는 태풍 “매미”의 1.5km, 2.5km, 4.0km, 5.0km, 6.0km 고도의 반사도와 1.5km TREC 백터를 나타낸 것이다. 특정고도의 레이더 반사도를 이용하여 에코를 추적하는 TREC 기법의 단점을 보완하기 위하여 서로 다른 고도의 레이더 반사도를 이용함으로써 기존의 접근법보다 실제 강수의 움직임에 더욱 가깝도록 단시간 강우 예보 정확도를 개선하였다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

1. Battan, L. J. (1973). *Radar observation of the atmosphere*, rev. ed. The University of Chicago Press, pp. 324.
2. Benjamin, S. G. and Seaman, N. L. (1985). A simple scheme for objective analysis in curved flow. *Monthly Weather Review*, Vol. 113, pp. 1184-1198.
3. Cressman, G. P. (1959). An operational objective analysis system, *Monthly Weather Review*, Vol. 87, 367-374.
4. Hilst, G. R. and J. A. Russo, Jr. (1960). An objective extrapolation technique for semi-conservative fields with an application to radar patterns, *Tech. Memo. No. 3*, Travelers Weather Research Centre, Hartford, CT.
5. Kessler, E. III. and J. A. Russo, Jr. (1963). Statistical properties of weather echoes, *Preprints 10th Weather Radar Conference*, Washington, DC, American Meteorological Society, pp. 25-33.
6. Li, P.W. and E.S.T. Lai. (2004). Short-range quantitative precipitation forecasting in Hong Kong, *Journal of Hydrology*, 288, 189-209.
7. Mohr, C. G. and Vaughan, R. L. (1979). An economical procedure for Cartesian interpolation and display of reflectivity factor data in three-dimensional space, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 18, pp. 661-670.
8. Rinehart, R. E. and Garvey, E. T. (1978). Three-dimensional storm motion detection by conventional weather radar. *Nature*, Vol. 273, pp. 287-289.
9. Tuttle, J. D. and Foote, G. B. (1990). Determination of the boundary layer airflow from a single doppler radar, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 7, 218-232.