

기상레이더 자료를 이용한 시우량곡면 예측 Hourly Rainfall Surface Prediction with Meteorological Radar Data

鄭 在 盛* · 李 在 炯**
Jung, Jae Sung · Lee, Jae Hyoung

Abstract

In this study, a methodology for the hourly prediction of rainfall surfaces was applied to the Pyungchang river basin at the upstream of South Han river with meteorological radar and ground rainfall data. The methods for the exclusion of abnormal echoes, and suppression of ground clutter, and the augmentation of attenuation effects associated with rainfall phenomena were reviewed, and the relationship between radar reflectivity (Z) and rainfall rate (R) was analyzed. The transformation of augmented radar reflectivities into the radar rainfall surfaces was carried out, and afterward they were synthesized with the ground rainfall data generating the hourly rainfall surfaces. For the prediction of hourly rainfall surface, the moving factors of rainfall field estimated by the cross correlation coefficient method and the temporal variation of radar rainfall intensities were considered. The synthesized hourly rainfall surfaces were used to predict the hourly rainfall surfaces up to 3 hours in advance and subsequently the results were compared with the measured and the synthesized. It seems that the prediction method need to be verified with more data and be complemented further to consider the physical characteristics of rainfall field and the topography of the basin.

요 지

남한강 상류 평창강 유역을 대상으로 기상레이더 자료와 지상강우량 자료를 이용한 시우량 곡면 예측 방법을 연구하였다. 레이더 자료의 이용시에 필요한 비정상 에코와 지형에코의 제거, 강우에 의한 감쇄 효과의 보정 방법, 레이더 반사도 Z와 강우강도 R의 관계, 등을 검토·분석하였다. 보정된 레이더 반사도 자료를 레이더 우량곡면으로 변환하고, 그 결과와 지상강우량 자료를 이용하여 시우량곡면을 합성하였다. 시우량곡면 예측을 위하여 상호상관 계수법을 이용한 강우장의 이동성과 유역 평균 레이더 강우강도의 시변성을 고려하였다. 이 예측 방법을 합성된 시우량곡면 자료에 적용하여 3시간까지의 시우량곡면을 예측하고, 예측된 결

* 한국수자원공사 수자원연구소 연구원
** 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수

과를 지상우량 및 합성우량 곡면과 비교하였다. 본 연구의 단시간 강우예측 방법은 보다 많은 자료를 이용한 검증과 강우장의 물리적 특성 및 지형을 고려한 방법으로서의 보완이 필요한 것으로 사료되었다.

1. 서 론

홍수 예측에 있어서 원격 탐지에 의한 강우 정보의 이용이 근래에 들어 주목을 받고 있다. 국내에서 상시 관측이 가능한 원격 탐지 자료는 기상위성의 운정 온도와 기상레이더의 반사도 자료인데, 소규모 수문 유역의 강우 관측을 목적으로 할때는 레이더 자료의 유용성이 더 크다.

국내에는 관악산, 부산, 제주, 동해, 군산 5개소에 C-밴드 기상레이더가 설치되어 전국적인 레이더 기상관측을 실시하고 있으나, 레이더 반사도 Z와 강우강도 R의 관계는 관악산 레이더에 대해서만 연구되었다. 김익수 등(1989)은 '89년의 강우 사례를 근거로 관악산 레이더에 대한 Z-R 관계 계수를 추정하였고, 서동준 등(1992)은 '89년의 강우 사례로부터 관측 범위에 따라 값이 다른 기후학적인 Z-R 관계를 추정하고 indicator co-kriging을 이용한 우량 추정 방법을 연구하였다.

레이더 자료를 이용한 강우예측 연구로는 김익수 등(1990)이 레이더 자료의 오차 보정과 면적중심 이동법을 이용한 단시간 강우예측 결과를 평가한 것과 이정환(1994)이 레이더 자료의 오차 보정 방법과 상호상관 계수법(cross correlation coefficient method)을 이용한 강우예보 가능성을 연구한바 있는데, 이들 연구는 한반도 전역에 대한 강우특성 파악에 중점을 두고 수행되었다. 하천 유역에 대한 연구로는 엄원근 등(1995)이 김익수 등(1990)의 예측 방법을 충주댐 유역에 적용한 바 있다.

본 연구에서는 이상의 연구 성과들을 바탕으로, 남한강 상류 평창강 유역에 대하여 관악산 레이더 자료, 기상청 지상 우량 자료 및 수자원공사 TM 우량 자료를 이용한 시우량곡면 예측을 시도하였다. 레이더 강우관측의 기본 이론과 관측시의 오차

요인들을 고찰하고, 이들 오차의 보정 기법들을 검토·선정하여 레이더 반사도의 오차료를 보정하였다. 보정된 레이더 반사도 자료로부터 약 5분 간격의 레이더 강우강도를 산정한 후, 이를 누적시켜 1시간 간격의 레이더 우량곡면을 구성하고, 거리상관법을 이용하여 지상관측 강우량과 합성하였다. 합성된 시우량곡면에 상호상관 계수법을 적용하여 강우역의 이동벡터를 추정하고, 유역평균 레이더 강우강도의 시변성을 고려하여 3시간까지의 시우량곡면을 예측하였다.

2. 레이더 강우관측의 기본이론

2.1 레이더 강우관측 원리

펄스형 전자파를 이용하는 기상레이더는 전자파의 직진성, 등속성, 산란성을 이용한 것으로, 특정 방향으로 집중하여 발사된 전자파가 대기중의 강수 입자에 부딪혀 역방향으로 산란되는 신호를 수신하여 분석한다. 전자파 송출시의 방위각과 고도각으로부터 목표지점의 방향을 결정하고, 펄스파의 송출로부터 수신까지 경과시간의 0.5배에 전자파의 속도($\approx 3.0 \times 10^8$ m/s)를 곱하여 거리를 결정하면, 극좌표상에서 표본용적 $V [= \pi(r\theta/2)^2 h/2]$ 에 대한 반사도 Z (mm^6/m^3)의 자료를 얻는다. 여기서 r (m)은 레이더 빔의 진행거리, θ (radian)는 레이더 빔의 수평 및 수직 방향 빔폭, h(m)는 전자파의 펄스폭이다. 반사도 Z는 강수입자로부터 역방향으로 산란되는 레이더 기전력이 레이더빔이 투사된 대기중의 단위용적내 강수입자 직경의 6승 (D_i^6)의 합에 비례한다는 사실에 근거하여 다음과 같이 정의된다.

$$Z = \sum_i^n N_i D_i^6 = \int_0^\infty N(D) D^6 dD \quad (1)$$

여기서 N_i 는 대기의 단위 부피당 직경 D_i 를 갖는 우적(raindrop)의 수이고, $N(D)$ 는 단위 부피당 D 와 $D+dD$ 사이의 직경을 가진 우적의 수이다.

레이더 수신신호로부터 레이더 반사도 Z 을 산정하는 데에는 Probert-Jones의 레이더 방정식을 이용하는데, 이식의 이용에는 전자파의 등방 산란과 강수입자의 균등 분포 등 몇가지 기본 가정이 있다. 이에 관한 상세한 사항은 Huebner(1985)에 기술되어 있다. Probert-Jones 레이더 방정식은 식 (2)와 같으며, 이의 이용에 대하여 본 연구의 자료를 관측한 관악산 레이더 DWSR-88C를 예로 들어 설명하면 다음과 같다.

$$\bar{P}_r = \left[\frac{\pi^3 P_t G^2 \theta^2 h}{512(2\ln 2)\lambda^2} \right] \frac{|K|^2 Z}{r^2} \quad (2)$$

표 1. 레이더 방정식의 변수 설명

| 기호 | 변 수 명 | 크기 및 단위 |
|-----------|-----------|----------------------------------|
| P_t | 역복사기전력 | mW |
| P_r | 방출기전력 | 250kW = 2.5×10^6 mW |
| h | 펄스폭 | 6×10^2 m (2 μ s 파장) |
| r | 목표까지의 거리 | 0~400 km |
| G | 안테나 이득 계수 | 43 dB |
| θ | 안테나의 빔폭 | 1.2°, 0.0209 radians |
| λ | 레이더 파장 | 5.6 cm (C-band) |
| Z | 반사도 | mm ⁶ /m ³ |
| $ K ^2$ | 관측대상별 유전율 | 0.93(강우), 0.23(눈) |

식 (2)에서 괄호안의 부분은 레이더 장비의 특성에 따른 상수로서 관악산 레이더의 경우,

$$C = \frac{\pi^3 P_t G^2 \theta^2 h}{709.78\lambda^2} = 1.198 \times 10^{15} \text{ mW/cm} \quad (3)$$

이므로, 레이더 상수 $C = 1.198 \times 10^{-7} \text{ mWkm}^2\text{m}^3 \text{ mm}^{-6}$ 을 식 (2)에 대입하면 \bar{P}_r (mW)와 목표까지의 거리 r 을 측정하여 반사도 Z 가 산정된다.

레이더 반사도 Z (mm⁶/m³)와 강우강도 R (mm/hr)의 관계는 다음과 같다. 연직방향의 대기운동이 없다고 가정하면, 강우강도 R (mm/hr)과 우적직경 D (mm)는 식 (4)와 같은 관계를 갖는다.

$$R = \frac{\pi}{6} \int_0^\infty N(D) D^3 V_i(D) dD \quad (4)$$

여기서, 직경 D 인 강수입자의 종단속도 $V_i(D)$ (cm/s)는 식 (5)로 근사화 될수 있으므로, 식 (1)과 식 (4)에 Marshall-Palmer(1948)의 지수형 우적 크기 분포를 대입하면, Z 와 R 사이에 식 (6)과 같은 경험식을 구할 수 있다.

$$V_i = 1400 D^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$Z = AR^b \quad (6)$$

식 (6)은 레이더를 이용한 강우 관측에서 보편적으로 이용되고 있으며, A 와 b 는 기존 레이더 자료와 강우관측 자료로부터 유도되는 상수인데, 우적의 크기 분포와 대기의 연직운동 등에 따라서 매우 다양한 값을 갖는다(Smith와 Krajewski, 1993). 국외에는 Z - R 관계의 추정에 대한 많은 연구결과들이 있는데(엄원근, 1995), 본 연구에서는 관악산 레이더를 대상으로 연구된 김익수 등(1989)과 서동준 등(1992)의 결과를 이용하였다.

2.2 레이더 자료의 오차 보정

레이더 관측의 오차요인으로는 레이더 시스템의 안정성과 신호처리상의 기계적 오차, 대기 및 강수입자등에 의한 감쇄, 지구곡률 효과, 하층강수의 발달, 불확실한 Z - R 관계, 비정상 전파, 지형에코의 영향 등을 들수 있는데, 이에 대한 상세한 사항은 엄원근(1995)에 기술되어 있다.

레이더 시스템의 기계적 오차로 인한 비정상 전파의 제거를 위하여, 정상적인 레이더에코의 경우 1회 탐측시 전체 40,000개의 관측 격자중 10,000개 이내에서만 강수에코가 존재한다는 이정환(1994)의 연구결과를 채택하여, 20,000개 이상의 격자에서 에코값이 존재하는 탐측자료는 비정상 전파에 의한 자료로 간주하여 분석에서 제외하였다.

본 연구의 대상지역이 산악지역인 점을 고려하여

지형에코에 의한 오차를 제거하였다. 오차제거 방법은 대상지역에서 강우가 시작되기 이전에 관측된 레이더에코의 평균치를 강우시 관측된 레이더에코로부터 빼는 방법을 사용하였는데, 이때 이정환(1994)에 의거하여 매 5분 간격으로 탐측된 강우에코 표준편차에 대한 지형에코 표준편차의 비율을 적용하여 강우에코와 중첩된 지형에코 성분의 제거를 최소화 하도록 하였다.

레이더 탐지 신호의 감쇄 원인은 대기, 먼지, 대류현상, 강우 등 여러가지가 있는데, 본 연구에서는 가장 영향이 큰 강우에 의한 감쇄의 보정만을 고려하였다. 관악산 레이더와 유사한 C-band 레이더에 대한 강우감쇄의 기존 연구 결과에 따르면, 레이더로부터 관측지점까지 빔의 통과거리 D(km)와 레이더빔이 통과한 지역의 평균 강우강도 R(mm/hr)에 따른 편도 감쇄율 K [(dB/km)/(mm/hr)]는 표 2와 같다(Wexler와 Atlas, 1963).

표 2. 강우에 의한 레이더 에코의 감쇄율 K

| 구 분 | $K[(dB/km)/(mm/hr)]$ | $\lambda(cm)$ |
|-----------------|--------------------------------------|---------------|
| Marshall-Palmer | 0.003~0.004 ($R=20\sim50$ mm/hr) | 5.5 |
| Modified M.-P. | 0.0031 | 5.5 |
| Mueller-Jones | 0.0033 | 5.5 |
| Gunn and East | 0.0022R ^{0.17} | 5.7 |
| Huebner(1985) | 0.0038 (=1/260) | 5.5 |

3. 레이더 우량곡면 산정 및 합성

관악산 레이더는 기저 관측으로부터 200×200개의 4 km×4 km 격자 자료를 매 5분마다 제공하며, 적절한 Z-R 변환을 통하여 유효 관측범위 약 240 km내에서 수문 현업에 유용한 우량추정치를 얻을 수 있다(서동준 등, 1992). 레이더 장비의 특성상으로는 관측시 고도각을 변화시키는 입체 관측이 가능하지만 기상청의 기상관측 실무에서 운영체제에 저장되는 자료는 고도각 0°의 기저층 탐측자료이다. 본 연구에서는 관악산 레이더의 유효 관측범위와 3시간 후까지의 강우량 예측시 우량곡면의 이동가능거리 ±90 km(= 20~30 km/hr x 3 hr)를 고려하여, 그림 1과 같이 남한강 상류 평

창강 유역을 중심으로 한 지역에 대한 시우량 곡면 산정 및 예측을 시도하였다. 그림 1에서 X, Y 축은 관악산 레이더 관측소 지점(E126°57'58", N37°26'31")을 기준(0, 0)으로한 경도 및 위도 방향의 4 km 단위 격자거리를 나타내며, 점선과 실선은 각각 충주댐 유역과 평창강 유역의 경계 표시이다. 분석 대상자료는 1990년 9월 홍수의 초기인 9월10일에 관측된 5분 간격 레이더자료와 기상청 지상관측소 23개소(* 표시) 및 수자원공사 TM우량국 22개소(□ 표시)의 시우량 자료이다.

평창강 유역이 관악산 레이더로부터 약 100~140 km 범위내에 있고, 전체 분석 영역이 8~232 km 범위에 해당되므로, BMTG(1991)의 레이더 관측범위와 관측고도의 관계를 관악산 레이더의 안테나 고도(E.L. 633 m)를 고려하여 적용하면, 상승 및 하강 기류가 없는 표준대기 상태를 가정했을 때 평창강 유역은 E.L. 1.2~1.8 km, 분석영역은 E.L. 0.6~3.8 km 고도에서 관측된 자료를 이용하는 것이다.

레이더 강우관측 자료는 전체 유역에서 강우가 시작된 9월 10일 13시부터 21시까지 96회의 5분 간격 레이더 탐측자료를 분석하였다. 이들중 전술한 지형에코 제거를 위해서는 분석영역내 모든 우량국에 강우가 없었던 9월 10일 10시부터 11시까지 12회 관측된 레이더 에코의 평균치를 이용하

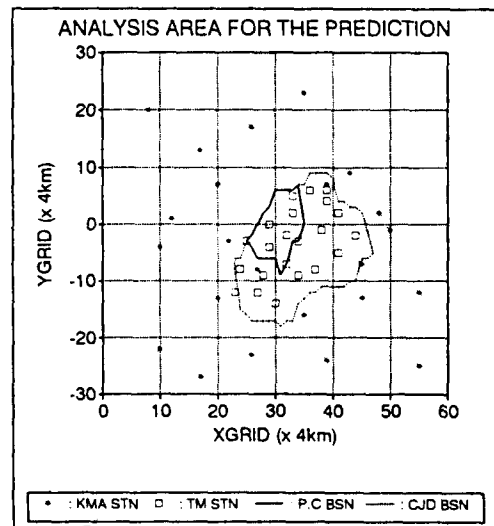


그림 1. 평창강 유역을 포함한 분석 영역의 우량 관측 현황

였다. 또한, 고립된 지형에코와 같이 주변 값에 비하여 지나치게 큰 차이를 보이는 경우에 대해서는 해당 격자점을 제외한 5×5격자의 평균치로 대체하였다. 이렇게 산정된 격자자료를 지상강우량과 비교할때에 편기된 값을 갖지 않도록 하기 위하여 자료의 평활화를 실시하였는데, 평활화의 범위를 3×3, 5×5, 7×7로 변화 시키면서 지상강우량과 레이더우량의 상관분석을 실시한 결과, 상관도의 변화가 미소하였기 때문에 3×3격자 영역에서 식(7)과 같은 거리 가중 평균을 취하였다.

$$Z_{i,j} = [4Z_{i,j} + 2(Z_{i+1,j} + Z_{i-1,j} + Z_{i,j+1} + Z_{i,j-1}) + 4(Z_{i+1,j+1} + Z_{i+1,j-1} + Z_{i-1,j} + Z_{i-1,j-1})] / 16 \quad (7)$$

표 2의 감쇄율중 4가지 경우를 각각 적용해서 레이더우량을 보정하고, 각 방법의 적합성을 검토하기 위하여 지상우량국 자료와의 상호상관계수를 산정한 결과, Marshall-Palmer의 K=0.003을 이용한 경우가 가장 적합하게 나타났다. 이상과 같이 보정된 레이더 반사도 자료에 전술한 김익수 등(1989)의 Z-R관계 계수 A=34.4와 b=1.34만을 적용한 경우(A), 강우에 의한 감쇄효과를 보정하여 A=34.4와 b=1.34를 적용한 경우(B), 서동준

등(1992)에 의한 거리별 Z-R관계(표 3)를 적용한 경우(C)에 대하여 각각 매 5분간격으로 분석영역의 평균 강우강도를 산정하여 비교 도시한 결과, 그림 2와 같이 나타났다.

표 3. 거리에 따른 기후학적 Z-R관계

| 구 분 | 0~60 | ~120 | ~180 | ~240 | ~300 |
|-----|--------|-------|-------|-------|-------|
| A | 1306.2 | 929.0 | 192.3 | 143.9 | 61.5 |
| b | 2.416 | 1.964 | 2.219 | 1.774 | 1.679 |

그림 2는 5분 전후의 강우강도와 3~10배 정도로 급격한 변동을 보인 5회의 탐측결과를 제외한 89회 탐측결과를 보인것인데, 지상관측 우량과 비교할때 면적평균 강우강도의 크기는 경우(B)가 가장 가깝고, 시간별 분포는 경우(C)가 가장 잘 일치함을 알 수 있다. 이들 방법의 적합성을 검토하기 위하여 각 우량국 지점의 시우량과 레이더우량에 대한 상호상관계수를 산정한 결과는 표 4와 같다. 지상우량과 레이더우량의 비교를 위하여 우량국의 경위도 좌표를 레이더 관측 격자로 변환하는 데는 박운용(1992)의 TM(Transverse Mercator) 투영 기법을 이용하였다.

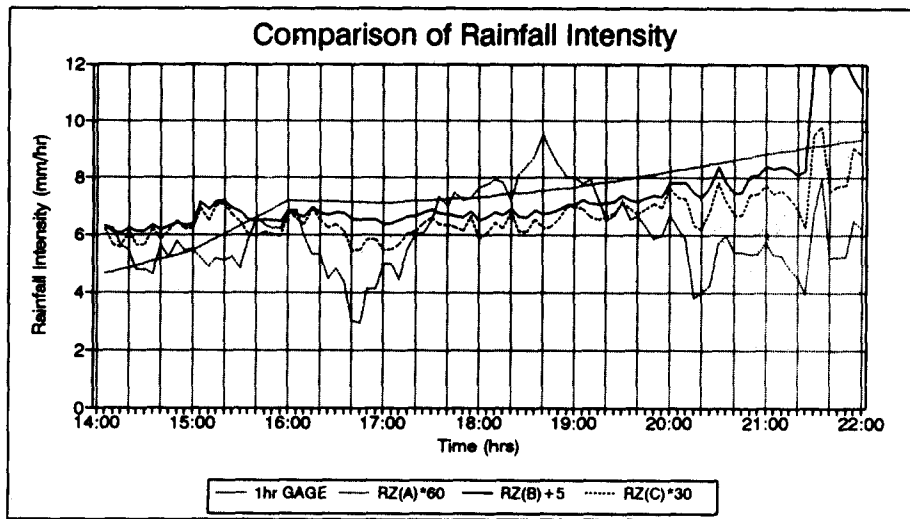


그림 2. 레이더 우량과 지상강우량의 시간분포 비교

표 4. 레이더우량과 지상우량의 상호상관계수를 이용한 레이더우량 산정방법 비교

| 관측시간 | 경우 (A) (GC제거) | 표 2의 감쇄율 적용 (GC제거) | | | | 기후학적 Z-R | |
|-------------|------------------|--------------------|--------|--------|--------|----------|--------|
| | | 0.006 | 0.0066 | 0.0044 | 1/137. | GC제거 | GC포함 |
| 13:00~14:00 | .3594 | .2391 | .2416 | .2293 | .2142 | .2939 | -.0211 |
| 14:00~15:00 | .2985 | .1851 | .1879 | .1283 | .1415 | .2093 | .1348 |
| 15:00~16:00 | .2849 | .1012 | .1103 | .0396 | .0351 | .1594 | -.1522 |
| 16:00~17:00 | .3777 | .1001 | .0767 | .1940 | .2374 | .0264 | -.1680 |
| 17:00~18:00 | .1333 | .1569 | .1514 | .1895 | .1742 | .2470 | .1718 |
| 18:00~19:00 | .1103 | .2474 | .2356 | .2449 | .2336 | .3485 | .3815 |
| 19:00~20:00 | .2619 | .2960 | .3131 | .1808 | .1864 | .4856 | .3099 |
| 20:00~21:00 | .4810 | .6097 | .6124 | .5921 | .3270 | .5988 | .5176 |
| 평 균 | .2884 | .2419 | .2411 | .2248 | .1937 | .2961 | .1468 |

표 4의 결과에서 거리별 Z-R관계에 의한 레이더우량 산정 결과가 지상강우량과의 상관성이 가장 큰 것으로 나타났다. 여기서 그림 2에 보인바와 같이 레이더 우량이 지상우량에 비하여 매우 작게 산정되었기 때문에, 과도한 지형에코 제거로 강우에코의 분포가 변형되었는지를 검토하기 위하여, 지형에코를 포함한 레이더자료에 대하여 우량을 산정한 결과 표 3의 최우측 열과 같이 상관계수가 더 작게 나타났다.

지상우량 자료와 레이더 우량곡면을 합성하기 위하여 그림 1에 도시한 45개 우량국 지점에 대한 지상우량과 레이더 우량의 비 (G/R)을 산정하였다. 이들로부터 각 격자에서 가장 가까운 주변 우량국 5개씩을 선정하여, 식 (8)과 같은 RDS(Reciprocal Distance Squared)방법으로 G/R 곡면을 산정하므로써, 그림 1의 전체 분석영역에 대한 시우량곡면을 합성하였다.

$$G_{i,j} = \left(\sum_{k=1}^n G_k / D_k^2 \right) / \sum_{l=1}^n 1 / D_l^2 \quad (8)$$

여기서 $G_{i,j}$ 는 우량국이 없는 격자점의 G/R 값, G_k 는 격자점 주변 우량국의 G/R 값, D_k 는 (i, j)격자와 k우량국 사이의 거리이고, n은 G/R 곡면 보정의 기준 우량국 수이다.

4. 이동벡터를 고려한 단시간 강우예측

3장에서 합성된 시우량곡면으로부터 강우역의 이동벡터를 추정하는 데는 위성이나 레이더 자료에 적합한 것으로 알려진 최대 상호상관 계수법(maximum cross-correlation coefficient method)을 이용하였다(이종철 등, 1992). 현재 시각과 1시간 이전의 우량곡면 자료로부터, 경도 및 위도 방향으로 ± 7 격자($\pm 0 \sim 40$ km)씩 지체시키면서, 식 (9)를 이용한 상호상관계수를 산정하였다. 그림 3과 같은 상관계수 곡면에서 최대값이 나타나는 경우를 선택하여 강우역의 이동벡터를 추정하였다.

표 5에 제시한 이동벡터의 방향은 북쪽을 기준으로 한 시계방향 방향각이고, Cor. F.은 추정된 이동벡터의 상관계수이다. 강우강도의 시간변화율은 평창강 유역의 평균 레이더 강우강도 변화를 고려하였다.

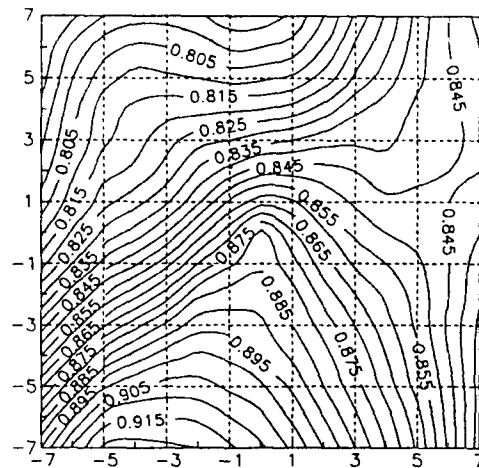


그림 3. 이동벡터 산정을 위한 상관계수 산정에

$$COR_{u,v,d} = \frac{SXY - SX \cdot SY / mn}{(SXX - SX^2 / mn)^{0.5} (SYY - SY^2 / mn)^{0.5}} \quad (9)$$

여기서,

$$SXY = \sum_i \sum_j R_{i,j,t} R_{i+u,j+v,t+d} \quad (10)$$

$$SX = \sum_i \sum_j R_{i,j,t} \quad (11)$$

$$SY = \sum_i \sum_j R_{i+u,j+v,t+d} \quad (12)$$

$$SXX = \sum_i \sum_j R_{i,j,t}^2 \quad (13)$$

$$SYY = \sum_i \sum_j R_{i+u,j+v,t+d}^2 \quad (14)$$

이들 분석 결과를 이용한 3시간후까지의 시우량 곡면 예측을 위하여 강우강도와 강우역의 이동 방향 및 속도의 변화율을 식 (15)로 추정하였다. 최대 예측시간을 3시간으로 한 것은 단시간 강우예측에서 3시간까지는 같은 초기자료를 이용해도 된다는 김익수 등(1990)의 연구 결과에 의거한 것이다.

$$F_{t+1} = F_t \cdot [1 + 0.5 \left(\frac{F_t}{F_{t-1}} - 1 \right) \cdot KF] \quad (15)$$

여기서, F_t 는 시간 t 에서 강우강도와 이동벡타의 경도 및 위도 방향 성분이며, KF 는 1~3 hr의 예측시간 이다.

이상의 예측방법을 적용한 결과중 일례를 그림 4에 도시하고, 예측치와 관측치에 대한 평창강 유역의 평균 시우량을 산정하여 비교한 결과는 표 5와 같다. 그림 4는 17:00~19:00에 20:00의 평창강 유역의 시우량곡면을 예측한 결과를 지상 및 레이더 합성우량과 비교한 것으로, X 및 Y축은 관악산 레이더를 중심으로 계산된 4km 단위의 격자 좌표이다. 표 5의 결과에서 지상우량 및 합성우량에 대한 예측우량의 예측시간별 평균편차율이 각각 0.17, 0.37, 0.58과 0.24, 0.46, 0.58로 계산되었다. 이는 엄원근 등(1995)의 예측시간별 평균편차율 0.38, 0.42, 5.01에 비하여 상당히 개선된 결과이지만, 더 많은 자료를 이용한 검증이 필요한 것으로 생각된다.

5. 결 론

남한강 상류 평창강 유역을 대상으로 기상레이더 자료와 지상우량국 자료를 이용한 시우량곡면 예측 방법을 연구하였다.

레이더 강우관측의 기본개념을 소개하고, 레이더 자료 이용시에 나타나는 비정상예코의 선별과 지형

표 5. 유역평균 강우량을 이용한 시우량곡면 예측 결과 비교

| 구분 시간 | 이동 벡타 | | | 관측치 (mm/hr) | | 예측치 (mm/hr) | | | 예측우량/지상우량 | | |
|----------|-------|------|--------|-------------|------|-------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | km/hr | deg. | Cor.F. | 지상 | 레이더 | (1hr) | (2hr) | (3hr) | (1hr) | (2hr) | (3hr) |
| 15:00 | .0 | 0. | .96 | 14.0 | 13.8 | - | - | - | - | - | - |
| 16:00 | .0 | 0. | .94 | 10.0 | 8.2 | 15.4 | - | - | 1.54 | - | - |
| 17:00 | 32.2 | 210. | .92 | 6.8 | 6.0 | 7.3 | 17.0 | - | 1.07 | 2.50 | - |
| 18:00 | .0 | 0. | .95 | 7.1 | 7.9 | 7.6 | 6.5 | 18.6 | 1.07 | 0.92 | 2.62 |
| 19:00 | 28.3 | 188. | .85 | 7.5 | 8.3 | 9.1 | 8.1 | 5.6 | 1.21 | 1.08 | 0.75 |
| 20:00 | .0 | 0. | .92 | 12.0 | 12.2 | 10.6 | 10.4 | 8.6 | 0.88 | 0.87 | 0.72 |
| 21:00 | .0 | 0. | .96 | 10.9 | 9.4 | 11.5 | 12.3 | 11.6 | 1.06 | 1.13 | 1.06 |
| 22:00 | - | - | - | 8.4 | - | 7.4 | 10.7 | 14.0 | 0.88 | 1.27 | 1.67 |

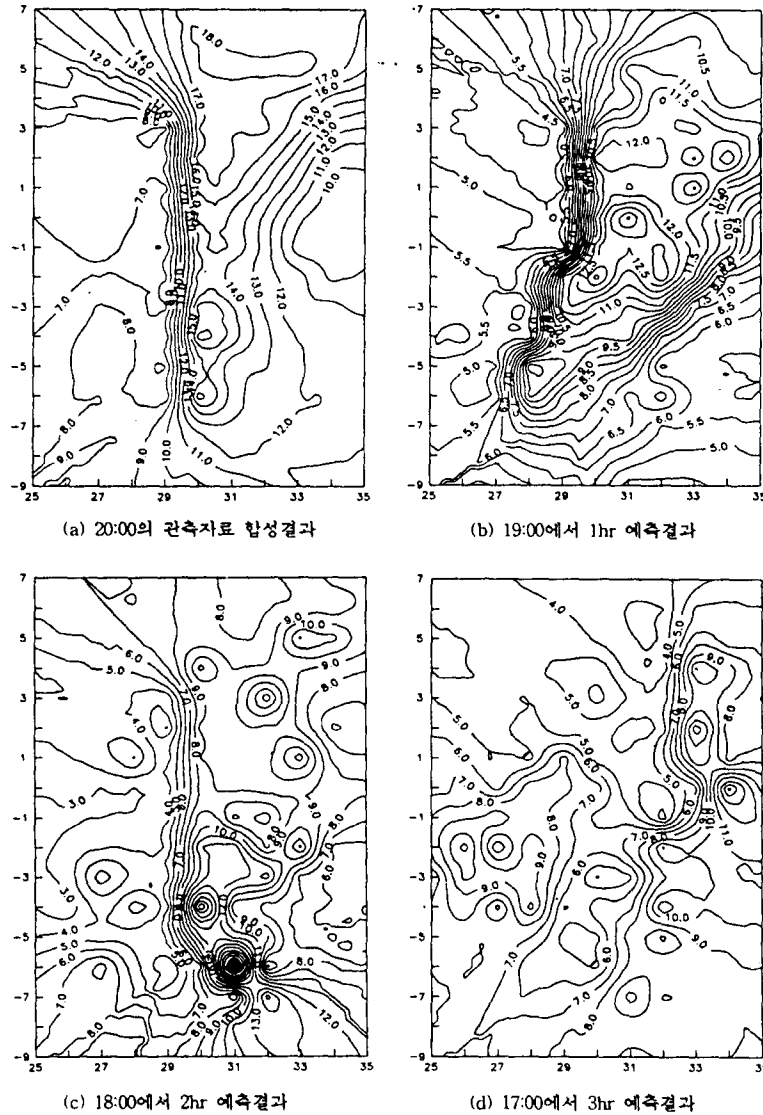


그림 4. 평창강유역의 시우량곡면 예측 사례(1990. 9. 10. 20:00)

·지물에 의해 발생하는 오차의 제거방법을 검토하고, 강우에 의한 감쇄효과와 보정방법을 분석하였다. 관악산 레이더에 대하여 추정된 기존의 Z-R 관계계수들을 비교·분석하여 적합한 방법을 선정하였다. 검토·분석된 방법들을 토대로 산정된 레이더 우량곡면을 지상 강우량을 이용한 거리상관법으로 보정하여 분석영역의 시우량곡면을 산정하였다. 산정된 시우량곡면에 최대 상호상관 계수법을 적용하여 강우역의 이동벡터를 추정하고, 레이더 강

우강도의 시간분포를 고려하여 3시간후까지의 시우량곡면을 예측하였다. 합성 우량곡면에 대한 시우량곡면 예측치의 정확도는 예측 시간별로 76, 54, 42%로 기존의 연구보다 개선된 결과를 보였다.

본 연구에서 적용된 시우량곡면 예측방법은 수문학적 강우예측에 레이더 자료를 이용하기 위하여 국내의 기상분야 연구결과들을 종합적으로 검토하여 제시된 것으로, 더 많은 자료를 이용한 검증과

강우장의 물리적 특성 및 지형을 고려한 방법으로서의 보완이 필요하다.

감사의글

본 연구는 한국수자원공사 수자원연구소의 연구 과제(WRRI-WR-95-4)와 병행하여 수행되었으며, 도움을 주신 기상청 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

김익수 등 (1989). "레이다 에코로 계산된 강우량의 정확도 평가 연구." 연구보고서, MR89-3, 기상연구소.

김익수 등 (1990). "레이다를 이용한 단시간 강우예측 결과의 정성 및 정량적인 평가(I)." 연구보고서, MR90-2, 기상연구소.

박운용 (1992). 응용측량학. 형설출판사.

서동준 등 (1992). "레이다와 우량계를 이용한 우량 추정(I)." 연구보고서, BS E20910, 시스템공학연구소, pp. 2-26.

엄원근 (1995). 레이더 기상학. 영재사.

엄원근 등 (1995). "레이더를 이용한 유역강우 산정기

법 연구." 연구보고서, 수자원연구소-기상연구소.

이정환 (1994). "레이다를 이용한 시간 강수량에 대한 연구," 석사학위논문, 서울대학교.

이종철 등 (1992). "기상위성 및 레이더 자료를 이용한 실시간 우량 추정 연구." 연구보고서, WRRI-WR-92-3, 수자원연구소-시스템공학연구소.

BMTG (1991). "Radar principles." Training Notes, Bureau of Meteorology Training Center, Australia.

Huebner, G.L. (1985). "Use of radar for precipitation measurements." *Hydrological forecasting*, M.G. Anderson and T.P. Burt, eds., John Wiley & Sons Ltd., pp. 77-100.

Marshall, J.S., and Palmer, W.M. (1948). "The distribution of raindrops with size." *J. Meteor.*, Vol. 5, pp. 165-166.

Smith, J.A., and Krajewski, W.F. (1993). "A modeling study of rainfall rate-reflectivity relationships." *Water Resources Research*, Vol. 29, No. 8, pp. 2505-2514.

Wexler, R., and Atlas, D. (1963). "Radar reflectivity and attenuation of rain." *J. Appl. Meteor.*, Vol. 2, pp. 276-280.

〈접수:1996년 2월 1일〉