

레이더 정량강우와 연계한 홍수유출 및 범람해석 시스템 확립

I. 품질검사와 합성 CAPPI 산출

Development of a Flood Runoff and Inundation Analysis System Associated With 2-D Rainfall Data Generated Using Radar

I. Quality Control and CAPPI Composite Calculation

최규현* / 한건연** / 김경익*** / 이창희****

Choi, Kyu Hyun / Han, Kun Yeun / Kim, Kyung Eak / Lee, Chang Hee

Abstract

The need for economical and accurate presentations of equivalent radar reflectivity(Z_e) data in an orthogonal coordinate system has existed for some time. So, in this study, a fast and efficient procedure has been developed which allows the systematic interpolation of digital reflectivity data from radar space into Cartesian space. At first, QC(Quality Control) of radar data has been executed for extracting uncontaminated Constant Altitude Plan Position Indicator(CAPPI) data. The algorithm is designed so that only one ordered pass through the original Plan Position Indicator(PPI) scan data is necessary to complete the interpolation process. The model can calculate various resolution and altitude reflectivity data for many kinds of hydrological usage.

keywords : weather radar, QC, PPI, CAPPI COMPOSITE

요 지

본 연구에서는 3차원 공간상에서 구면 좌표계값을 가지는 레이더 반사도 자료를 직교 좌표계로 변환하기 위한 CAPPI(Constant Altitude Plan Position Indicator) 산출 프로그램을 개발한다. 오염되지 않은 CAPPI 자료의 산출을 위해서 레이더 반사도 자료에 대한 품질검사 과정이 선행되었다. 개발된 모형은 3차원 공간상에서의 연속성을 유지하기 위해서 가장 근접하고 가장 적은 자료수를 운영함으로써 최적의 반사도 자료를 보간하였다. 개발된 모형은 자료의 이용목적에 따라서 다양한 해상도 및 고도에 대한 자료가 필요할 수 있다는 생각 하에 임의의 해상도 및 고도 등에 대한 자료를 효율적으로 계산해 낼 수 있다.

핵심용어 : 레이더, 품질검사, PPI, 합성 CAPPI

* 정회원, 건설교통부 한강홍수통제소 하천정보센터 토목연구사 · 공학박사
Researcher, River Information Center, Han River Flood Control Office, MOCT, Seoul, 137-649, Korea.
(e-mail: khchoi@moct.go.kr)

** 정회원, 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사
Professor, Dept. of Civil. Eng., Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea.
(e-mail: kshanj@knu.ac.kr)

*** 정회원, 경북대학교 자연과학대학 천문대기학과 교수 · 이학박사
Professor, Dept. of Astronomy and Atmospheric Sciences, Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea.
(e-mail: kimke@knu.ac.kr)

**** 정회원, 경북대학교 공과대학 토목공학과 강사 · 공학박사
(e-mail: changheel@gmail.com)

1. 서론

최근 빈번히 발생하는 돌발홍수나 게릴라성 집중호우 등의 악기상에 대한 경고조치를 위한 단시간 강수에 보에는 강수량과 시선방향 속도를 실시간으로 예측할 수 있는 레이더의 이용이 반드시 필요하다. 레이더에 의한 강수량 자료를 이용한 수리·수문학적 해석은 전 세계적인 추세에 있다. 한반도에서 나타나고 있는 기상현상 중 기압계의 통과나 중규모(meso-scale)의 강수현상은 수자원을 공급하는 측면이 있는 반면 집중호우를 발생시키면서 국지적인 혹은 광역 단위의 피해를 내기도 하며 국지적인 호우는 돌발 홍수를 발생시켜 인명피해와 막대한 재산상의 손실을 가져오기도 한다. 2002년에도 한반도에는 여러 차례의 홍수와 태풍 루사로 인해 전국적으로, 혹은 국지적으로 많은 피해가 발생하였다(한국수자원학회, 2002).

본 연구의 목적은 레이더를 수자원에 활용하는데 있으며, 수문해석을 위한 정량적 강우산출을 위해서 정확하고 효율적인 합성 CAPPI(Constant Altitude Plan Position Indicator) 레이더 자료를 산출하고자 한다.

직교 좌표계에서의 레이더 반사도(radar reflectivity) 자료의 효율적이고 정확한 산출에 대한 많은 노력이 과거 수 차례 기상학 분야에서 시도된바 있다. CAPPI 및 PPI(Plan Position Indicator) 자료를 이용한 레이더 자료의 해석은 Marshall(1957), Kessler와 Russo(1963)에 의해 처음으로 시도되었으며, 자료의 구축과 컴퓨터 하드웨어에 있어서의 최근의 발전은 구형 좌표계에서 얻어지는 레이더 반사도자료를 3차원 직교 좌표계로 보간하기 위한 많은 기법들의 개발을 가능하게 하였다. 이 중 일부 기법들은 특정한 형식으로 수집된 자료에 의존하기도 한다(Boardman과 Smith, 1974). 개발된 많은 기법들은 도플러 레이더 자료를 처리하는 과정에 있어서 데이터의 필터링 및 여러 조작과정들을 수행하여야 한다(Heymsfield, 1976; Lhermitte와 Gilet, 1976; Miller와 Strauch, 1974; Ray 등, 1978). 국내에서의 레이더 자료 활용 예를 살펴보면 레이더 반사도자료를 일정 고도의 격자자료인 CAPPI 자료로 변환하기 위해서 SPRINT 프로그램(NCAR, 1999)을 이용하고 있다(송병현 등, 2004).

계속되는 연구에도 불구하고 많은 양의 반사도 인자(reflectivity factor) 자료를 구현하고, 데이터량을 줄이기 위한 효율적인 기법이 실시간 홍수예정보의 측면에서 여전히 필요한 실정이다. 이러한 필요성을 충족시키기 위해서는 구형 좌표계로 산출되는 레이더 반사도 자료를 3차원 직교좌표 자료로 변환하여야 한다. 이와 같은 목적으로 레이더 반사도자료가 변환된 것이 합성

CAPPI 자료이며, 본 연구에서는 이 자료를 산출하기 위한 프로그램을 개발하였다. 또한 개발된 CAPPI 자료 작성 프로그램은 수문학적 응용목적에 따라서 다양한 고도와 해상도에 대한 자료의 취득이 가능하도록 하였다. 또한 광역의 수문학적 홍수량 산정 등에 레이더 자료를 응용함에 있어서 항시 문제가 되고 있는 점이 바로, 분석 대상인 유역이 하나의 레이더 탐지범위 내에 완전히 포함되는 경우가 드물 뿐 아니라, 레이더를 이용한 태풍이나 집중 호우의 이동을 감시하기 위한 radar echo tracking 등의 목적을 위해서도 우리나라 전 지역에 대한 합성 CAPPI 자료를 생성할 수 있는 기능이 필요하다. 따라서, 레이더의 반사도자료를 이용하여 PPI 자료를 생성한 후 기본적인 품질검사 과정이 수행되었으며, 본 연구에서 제시한 CAPPI 산출 방법론에 의해 기상청에서 운영하고 있는 레이더 중 C-band 레이더 6대(관악산, 제주, 부산, 동해, 군산, 백령도)를 이용하여 합성 CAPPI 자료를 산출하였다.

2. 레이더 자료 품질검사

2.1 기상레이더 현황

레이더(RADAR: RAdio Detection And Ranging)란, 전자파의 직진성, 등속성, 산란성 등을 이용하여 안테나로부터 특정 방향에 집중하여 전자파를 발사하고, 그 목표물(target)에서 산란(scattering)되어 돌아오는 전자파(에코)를 다시 안테나로 수신, 전자파의 왕복시간과 안테나의 방향으로 목표물의 거리와 방위를 측정하는 전자장치(electronic device)이다(엄원근, 1995). Fig. 1은 레이더 시스템의 기본적인 구조를 나타내고 있는데, 안테나, 송신기, 수신기 및 표출 시스템의 4대 구성요소를 볼 수 있다.

레이더는 목표물을 탐지하여 강수량을 정량적으로 계산하는데 레이더 수신기 내부에서는 Eq. (1)과 같은 레이더 방정식이 이용된다(Probert, 1960).

$$\overline{P_r} = \frac{C|K|^2}{r^2} Z \quad (1)$$

여기서, $\overline{P_r}$ = 레이더로 수신되는 평균전력, K = 유전율, r = 레이더와 목표물 사이의 거리, Z = 입자의 크기를 나타내는 반사인자($Z = \sum$ (입자의 직경)⁶)를 나타낸다. 반사강도인 Z 는 산란체의 체적 내에 존재하는 물방울의 직경과 개수에 따라 결정되는 값으로 1 m³에 들어 있는 우적들의 직경 D (mm)를 6 제곱해서 합한 것이다. 통상, 반사강도 Z 값은 강수강도, 즉 강수율

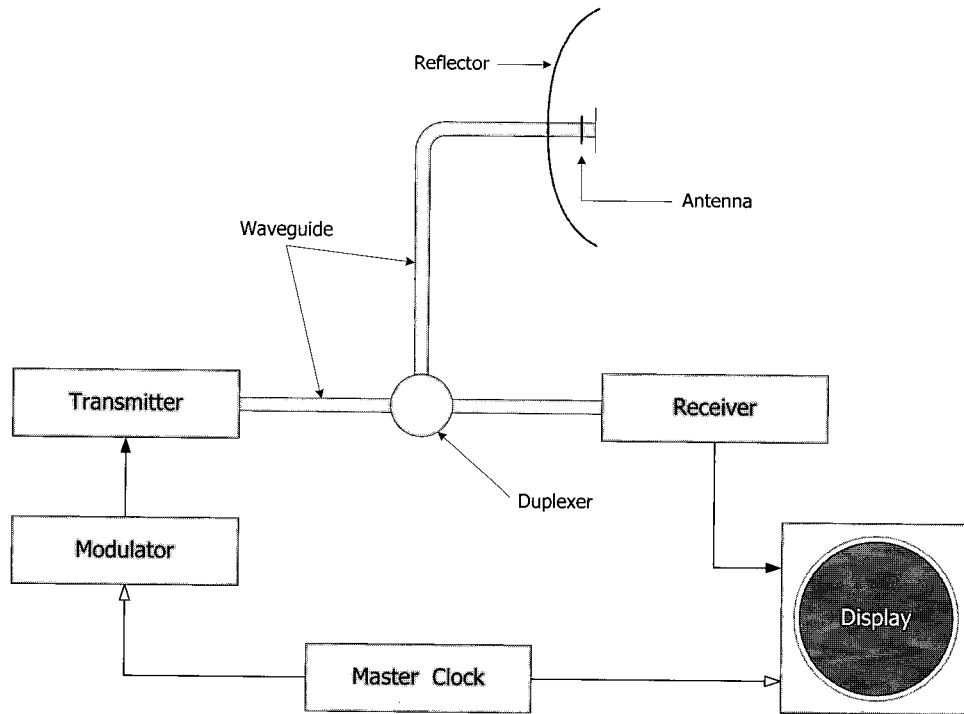


Fig. 1. Basic structure of a radar system

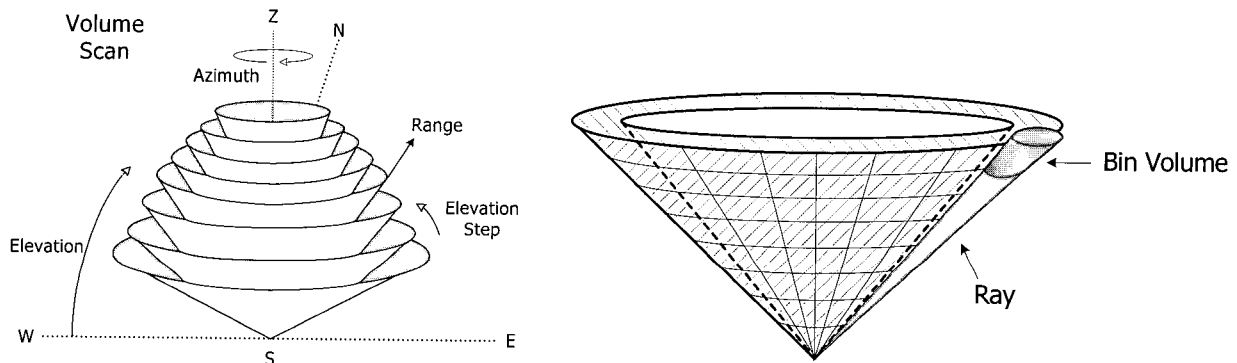


Fig. 2. Generation principle of radar data and UF data structure

(mm/hr)을 결정하는 인자이다(Marshall과 Palmer, 1948). 또한 C 는 레이더 매개변수로 레이더의 종류와 기능에 따라 결정되며 Eq. (2)로 표현할 수 있다.

$$C = \frac{\pi^3 c P_t G^2 \theta^2 h}{1024 \lambda^2 \ln 2} \quad (2)$$

여기서, c = 전자파의 속도, P_t = 송신전력, G = 안테나 이득, θ = 빔 폭, h = 펄스 폭, λ = 레이더 파장을 나타낸다.

레이더 자료는 임의의 고도각에 대해서 전 방향에 대한 값을 주어진 범위까지 읽게 된다. 전 세계적으로 생산되는 레이더 자료의 구조는 레이더의 종류 및 제작 기업에 따라서 다양한 형식을 취하고 있으며, 대표적인

구조로는 UF(Universal Format)가 있다. UF 자료는 "ray"와 "sweep"으로 구성되며 ray는 다시 일정한 간격의 "bin"으로 구성되어 있음을 Fig. 2를 통해서 확인할 수 있다.

현재 기상청은 관악산, 제주, 부산, 동해, 군산, 백령도, 영종도, 진도, 팽덕산, 면봉산 등 10개 지역에 기상 레이더를 설치하여 운영 중에 있다. 기상청은 1969년 서울 관악산에 최초로 기상레이더를 설치 운영한 이후, 1988년부터 기상장비의 현대화 사업의 일환으로 최신형 도플러 기상레이더를 도입하여 악기상 감시를 위한 전국적인 기상레이더망을 구축하였다. 또한 일본 남서부 해안지방에 설치된 7개 사이트 레이더 자료와 연계하여 예보에 활용하고 있다.

Table 1은 현재 기상청에서 운영하고 있는 레이더의

Table 1. KMA radar operation current situation

Site Name	Establishment Year	State	Production Company	Software	Band
KWK	Gwanaksan	USA	EEC	Edge	C
CJU	Jeju	USA	EEC	Edge	C
PSN	Busan	USA	EEC	Edge	C
DNH	Donghae	USA	EEC	Edge	C
KSN	Gunsan	USA	EEC	Edge	C
BRI	Baengnyeongdo	USA	Radtec	Sigmat	C
IIA	Youngjongdo	Japan	Mistubishi	Sigmat	C
JNI	Jindo	German	Gematronik	Rainbow	S
KDK	Gwangdeoksan	German	Gematronik	Rainbow	S
MYN	Myunbongsan	China	Metstar	Cinrad	C

특성을 나타내고 있는데, 각 레이더는 지형적인 영향으로 인하여 지형에코와 파랑에코가 존재하고 레이더의 관측반경은 240 km이다.

2.2 레이더 자료의 품질검사

레이더 자료를 수치모델의 입력자료로 이용하거나 정량적 강우량 추정(QPE: Quantitative Precipitation Estimation) 및 정량적 강우량 예측(QPF: Quantitative Precipitation Forecast)를 실시하기 위해서는 자료의 품질검사(QC: Quality Control)가 반드시 필요하다. 레이더 반사도 자료는 강수를 나타내는 강수에코와 레이더 라인지 내에서 강수 입자와는 상관없는 물체에 의해 반사된 비강수에코가 존재한다. 이러한 레이더 반사도 자료를 이용하여 강우량을 추정하기 위해서는 비강수에코를 제거하는 품질검사과정이 반드시 선행이 되어야한다. 본 연구에서 실시한 레이더 자료 품질검사 항목으로는 지형에코(Ground Clutter/AP), 점에코(Isolated Echo or Speckles), 파랑에코(Sea Clutter), 라인에코(Line Echo, Sun Strobe) 등이 있다. 본 연구에서는 오염이 없는 정확한 CAPPI 자료의 산출을 위해서 PPI 자료들에 대한 품질검사를 수행하였으며, Fig. 3은 본 연구에서 수행한 품질검사에 대한 내용 및 과정을 보여주고 있다.

도플러 레이더를 통해 관측된 자료는 4가지 형태로 산출되는데, 보정 전 레이더 반사도자료(UZ: uncorrected reflectivity, dBZ), 보정 후 레이더 반사도자료(CZ: corrected reflectivity, dBZ), 시선속도(VR: radial velocity, m/s), 스펙트럼 폭(SP: Spectral width, m/s) 등이 있다. 본 연구에서는 이들 자료 중 기본적인 품질검사가 이루어지기 전의 자료인 보정 전 레이더 반사도자료를 이용하여 PPI를 산출하였는데, UZ 자료로

부터 PPI 영상표출, 품질검사 및 CAPPI 합성 등과 관련된 일련의 작업을 자동적으로 수행할 수 있도록 프로그램화하였다.

품질검사 과정은 현재 기상청에서 수행되고 있는 방법들을 기준으로 실시되었는데, 지형에코의 경우 비강수 시(clear day) 관측된 에코를 제거함으로써 품질검사를 수행할 수 있었으며, 제거된 Pixel의 자료는 인접 자료에 의한 보간에 의해서 자료의 일관성을 유지하였다. 점에코는 주로 레이더의 부방사부(side lobe)에 의해서 레이더 중심 인근에서 발생되며 그 원인은 현재 정확히 알려져 있지 못하다. 본 연구에서는 에코가 4 Pixel 이하에서 나타날 경우 점에코로 간주하여 제거를 하였다. 파랑에코는 각 레이더 사이트에서 120 km 범위 내에서 일정 고도 이하에서 나타나는데, 백령도 0.95 km, 관악산 0.70 km, 동해 0.80 km, 군산 0.50 km, 부산 1.20 km, 제주 1.20 km에서 주로 관측되며, 특히 백령도, 관악산, 동해, 제주 기상레이더에서의 파랑에코가 자주 관측이 된다. 지형에코 및 파랑에코가 주로 1.0 km 이하에서 자주 발생하며, 지상 2.5 km 이상에서는 반사도 값의 이상치를 나타내는 밝은 띠(Bright Band)의 영향을 받을 수 있으므로 이들의 영향에 대해서 자유롭게 하고 실제 강우사상을 가장 잘 반영할 수 있는 지상에서 가장 가까운 고도값(1.5 km)을 수문해석에 이용하였다. 레이더 선진국에서 레이더 자료를 수자원에 활용하기 위해서 1.5 km ~ 2.0 km의 CAPPI 자료를 많이 이용하고 있다. 또한, 한 Ray를 따라서 나타나는 에코는 라인에코로 간주하였으며, 주로 일출·일몰 시기에 많이 관측되었다. 또한 시선속도가 "0" 인 부분이 띠 형태로 나타날 경우도 라인에코로 간주하여 제거함으로써 품질검사를 수행하였다.

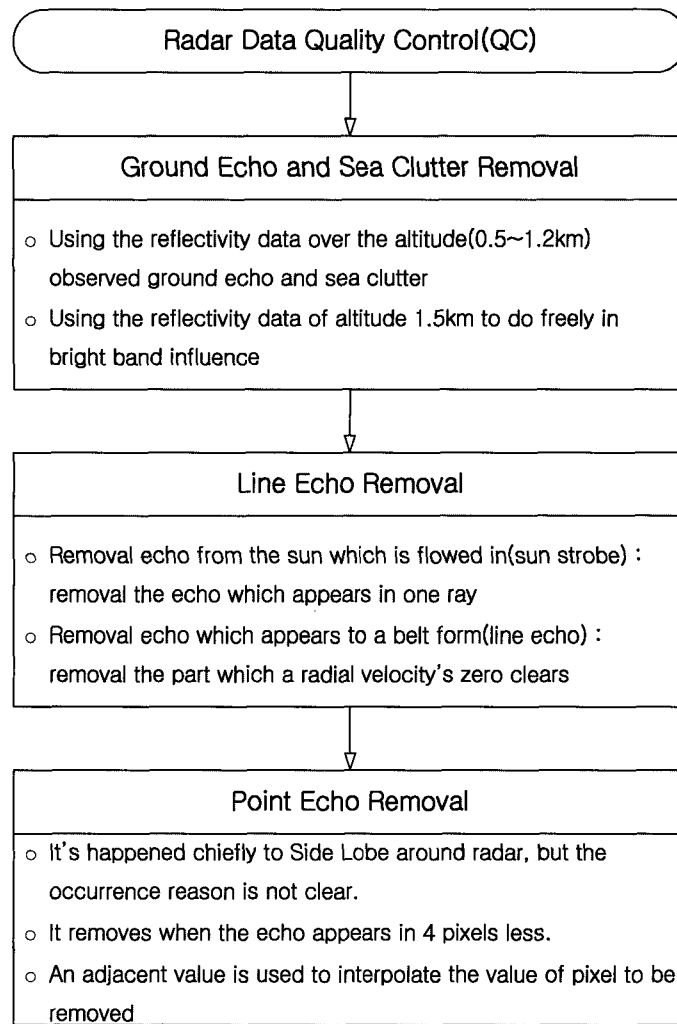


Fig. 3. Radar data QC flowchart

3. 합성 CAPPI 산출

레이더 반사도자료의 보간에 있어서 가장 많은 시간을 소요하는 작업은 해당 직교위치에서 보간에 필요한 레이더 반사도자료를 채수집하는 것이다. 이러한 시간은 레이더 반사도자료를 검토했을 동안에 모든 카테시안 격자점에서 원본 자료를 단 한번만 사용하여 계산할 수 있게 하는 3단계 초기 계산과정을 수행함으로써 최소화하였다.

첫 번째 단계로 먼저 3차원 카테시안 좌표계를 정의하고 모든 격자위치(x, y, z)를 Eqs. (3)~(5)를 통해 레이더 위치를 기준으로 한 격자점의 공간거리(R), 방위각(θ), 고도각(ϕ) 자료로 변환하였다.

$$R = (x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{x}{y} \quad (4)$$

빛의 굴절이나 지구의 곡률을 계산하기 위한 ϕ 의 계산을 위해서 기본적인 조정을 수행하였다. 즉, 레이더에 의해서 감지된 수평면 위의 해당 위치(x, y, z)의 높이(z_h)는 다음과 같은 Eq. (5)로 계산되며, 고도각(ϕ)는 Eq. (6)과 같이 계산된다.

$$z_h = z - \frac{x^2 - y^2}{iD} \quad (5)$$

$$\phi = \sin^{-1} \frac{z_h}{R} \quad (6)$$

여기서, i = 대류권에서 빛의 굴절에 대한 표준보정계수(Battan, 1973), D = 레이더 위치에서의 지구의 지름을 각각 나타낸다.

두 번째 과정으로 모든 격자위치(x, y, z)에 대한 고도각을 결정하는 것이다. 예를 들면 해당 격자점이 첫 번째와 두 번째 고도각 사이의 점이라면 해당 격자

점에 Level-1의 값을 할당한다. 같은 방법으로 두 번째와 세 번째 고도각 사이의 격자점에는 Level-2의 값이 할당된다. 첫 번째와 두 번째 과정을 거치면서 모든 격자위치는 다음과 같은 5가지의 값이 할당된다.

- ① Level-Number
- ② 방위각(θ)
- ③ 공간거리(R)
- ④ 고도각(ϕ)
- ⑤ 격자위치(x, y, z) 좌표값

레이더 자료는 방위각(θ)이 "0"에서부터 순차적으로 증가하지 않으며, 또한 일부분의 방위각 범위에서는 자료의 중복된 부분들이 존재한다. 이러한 불규칙적인 자료의 배치상태를 처리하는게 마지막 단계이다. 즉, 세 번째 과정으로 모든 고도각(ϕ) 자료에 대해서 중복된 방위각 자료를 제거하고, 방위각에 대한 자료의 배열을 "0"에서부터 순차적으로 증가하는 오름차순으로의 재배치과정이 수행되었다. 이상과 같은 세 단계의 초기계산과정을 통해서 격자시스템을 재구성하였으며, 이를 통해서 격자점에 할당될 보간 반사도값을 계산하기 위한 원시 레이더 반사도자료를 체계적으로 활용할 수 있었다.

다음으로 초기 계산과정에서 할당된 값들을 이용해서 해당 격자점에서의 반사도값을 추출하였다. 해당 격자점을 둘러싸고 있는 4개의 반사도 자료가 보간을 위해서 이용되었다. 이용된 방위각(θ) 자료는 격자점의 방위각에 해당되는 θ_j 와 바로 다음 방위각 θ_{j+1} 의 값이며, 고도각(ϕ)에 대해서는 해당 두 방위각 자료에 대한 고도각 ϕ_k 및 ϕ_{k+1} 의 값이 이용되었다. 이러한 과정은 방위각 및 고도각을 증가시킴으로서 반복되며, 결국 공간내에 있는 모든 격자점은 해당 위치를 둘러싸고 있는 4개의 레이더 빔의 값을 가지며 적절한 값을 할당 받게 된다.

(R, θ)를 따르는 이러한 보간기법은 해당 격자점을 둘러싸고 있는 4개의 인근 반사도 자료(Z_e)를 사용함으로써 각각의 고도평면상에 투영된 점의 값(CAPPI)을 구할 수 있게 된다. Fig. 4는 이러한 두 방위각 자료에 대한 보간 및 두 고도각 자료에 대한 보간 방법을 보여주고 있으며, Eq. (7)은 두 방위각 사이의 반사도자료 보간식을 나타내고 있으며, Eq. (8)은 Eq. (7)에서 구해진 두 개의 고도각 사이의 반사도자료 보간식을 나타내고 있다. 이들 두 과정을 통해서 최종적인 한 격자에서의 반사도자료 보간값이 산출된다.

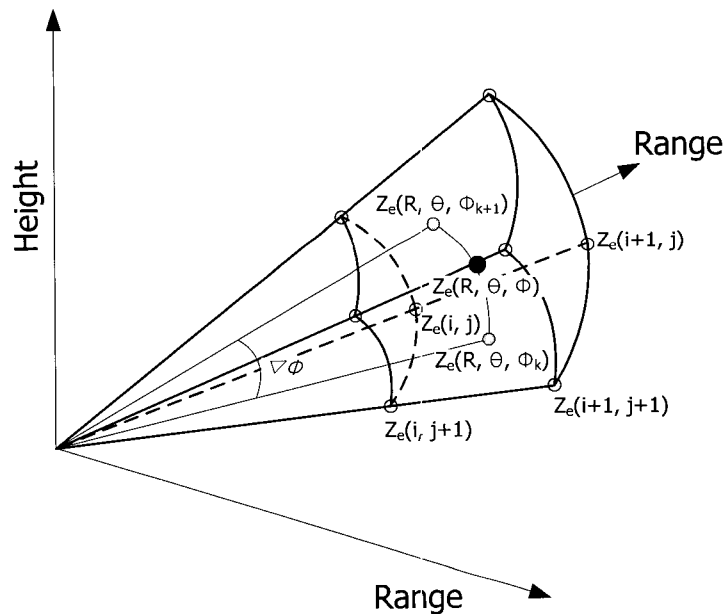


Fig. 4. Data interpolation about azimuth and altitude angle

$$Z_e(R, \theta) = \frac{1}{\Delta R \Delta \theta} \{ (R - R_i) [(\theta - \theta_j) Z_e(i+1, j+1) - (\theta - \theta_{j+1}) Z_e(i+1, j)] - (R - R_{i+1}) [(\theta - \theta_j) Z_e(i, j+1) - (\theta - \theta_{j+1}) Z_e(i, j)] \} \quad (7)$$

$$Z_e(R, \theta, \phi) = \frac{1}{\Delta \phi} [(\phi - \phi_k) Z_e(R, \theta, \phi_{k+1}) - (\phi - \phi_{k+1}) Z_e(R, \theta, \phi_k)] \quad (8)$$

여기서, i = 각 ray에 대한 bin의 순번, j = 각 sweep에 대한 방위각의 순번, k = 레이더 반사도자료의 sweep 순번, R = 레이더 위치로부터 격자점까지의 거리, θ = 레이더 위치로부터 격자점까지의 방위각, ϕ = 레이더 위치로부터 격자점까지의 고도각, ΔR = 방위각에서의 해당 격자점 인근 반사도값 사이의 거리, $\Delta\theta$ = 방위각 θ_j 와 θ_{j+1} 사이의 각도, $\Delta\phi$ = 고도각 ϕ_k 와 ϕ_{k+1} 사이의 각도를 나타내고 있다.

먼저 Eq. (7)을 이용해서 두 개의 고도에 대한 방위각상의 4개의 자료에 대한 대표값을 구한 후 이들 두 고도값을 Eq. (8)을 이용하여 최종 결과값을 결정하였다.

4. 연구 결과 및 토의

4.1 연구 대상 전역의 CAPPI 산출

본 연구에서는 현재 기상청에서 운영하고 있는 레이더 중 C-band 레이더 6대를 이용하여 레이더 빔의 감쇄를 고려한 합성 CAPPI를 산출하였는데, S-band 레이더를 제외한 것은 밴드의 특성이 서로 맞지 않아 정상적인 패턴에서 벗어나는 결과를 방지하기 위해서이다. 산출된 합성 CAPPI는 전국적인 레이더망을 포함함으로써 서쪽으로부터 접근하는 저기압에 의한 강수 현상은 백령도, 관악산, 군산 레이더에 의하여 탐지할 수 있으며, 남쪽으로부터 올라오는 저기압이나 태풍에 의한 강수는 제주와 부산 레이더에 의해 관측할 수 있다. 또한 동해를 빠져나가는 저기압이나 동해 선풍에 의해

급격히 발생하는 강수현상은 동해 레이더에 의해 탐지할 수 있도록 하였다.

기상청 레이더는 기본적으로 $0.0^\circ \sim 7.0^\circ$ 까지 1.0° 간격으로 총 8개의 고도각 관측을 수행하고 있는데, Fig. 5는 이러한 기상청 C-band 레이더의 관측 현황을 나타내고 있다. 지상 1 km 이하에서는 지형에 의한 오염이 존재할 수 있으며, 고도 약 3.5 km~5.5 km 사이에는 여름철 녹는고도(melting layer)에 의한 밝은 띠(bright band)가 존재하고 있음을 Fig. 5를 통해서 확인할 수 있다. Fig. 6은 본 연구에서 합성 CAPPI를 산출하기 위해 이용된 6대의 레이더(관악산, 제주, 부산, 동해, 군산, 백령도)에 대한 위치와 관측범위를 보여주고 있다.

본 연구에서 개발된 CAPPI 산출 모형에는 크게 두 가지 옵션을 전제로 하고 있다. 첫째는 6지점 레이더 사이트 각각에 대한 PPI 영상, CAPPI 영상 및 각 영상에 대한 반사도값의 빈도자료를 계산해 낼 수 있다. 이는 국부적인 혹은 게릴라성 호우의 감시를 위해서 개발되었으며, 이러한 개별 옵션은 계산시간의 절감 차원에서 필요한 레이더 자료만 사용하여 해당되는 지역에서 목적하는 값을 빠른 시간 내에 찾기 위함이다. 둘째는 태풍과 같은 중간규모의 호우나 호우의 장시간의 이동양상 등을 파악하기 위해서 우리나라 전 지역에 걸친 합성 CAPPI 자료를 계산해 낼 수 있는 옵션이다. 두 번째 옵션을 이용한 합성 CAPPI 자료는 호우의 이동양상을 정확하게 파악함으로써 이용목적에 따른 다양한 예측이 가능할 수 있을 것이다.

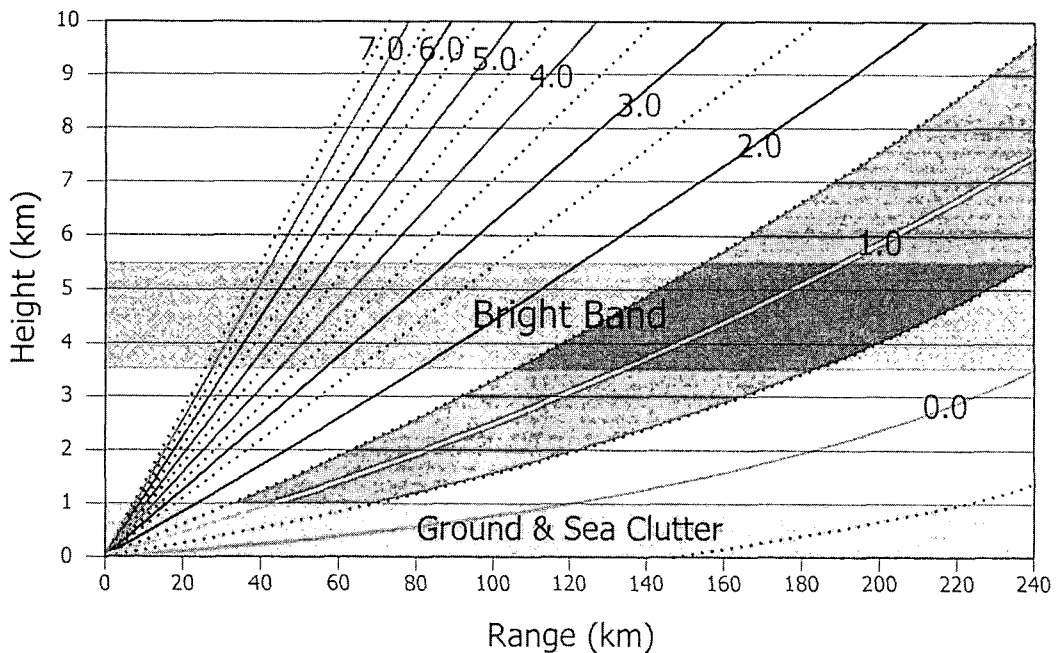


Fig. 5. KMA C-band radar observation state

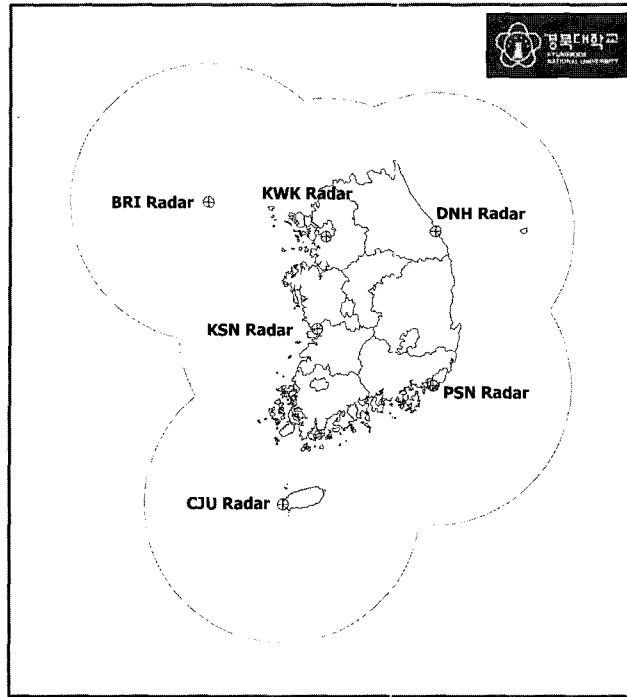


Fig. 6. The location radar and observation range

개발된 프로그램의 수평분해능은 1 km, 2 km, 4 km, 5 km, 10 km 등 총 5개의 분해능이 가능하도록 구성하였으며, 이는 레이더 자료의 이용목적에 따라 다양한 해상도의 자료가 필요할 수 있다는 생각에서이다. 즉, CAPPI 산출을 통한 강우이동, 강우량 자료와의 연계를 통한 개선된 강우량 산정, 유출해석 등의 일련의 과정에서 필요로 하는 다양한 해상도의 자료를 산출할 수 있으며, 이용 목적에 따른 다양한 고도 및 해상도의 자료가 원하는 범위에 대해서 효율적으로 계산되는 데에 그 강점이 있다. 각각의 분해능에 대한 격자의 수는 981×1081, 491×541, 246×271, 197×217, 97×109 등으로 구성된다.

Figs. 7~10은 본 연구의 결과를 나타내고 있는데, 먼저 Fig. 7은 옵션 1로서 태풍 루사시 8월 31일 10시 00분에 대한 6지점의 레이더 사이트에서의 고도 1.5 km에 대한 CAPPI에서의 반사도 빈도 분포도와 첫 번째 고도각 자료에 대한 PPI에 대한 반사도 빈도 분포도를 나타내고 있고, Fig. 8은 6지점의 레이더 사이트에 대한 첫 번째 고도자료에 대한 PPI 영상 표출과 1.5 km 고도 자료에 대한 CAPPI 영상 표출을 보여주고 있다. 또한 Fig. 9는 계산 옵션 2로서 고도자료 1.0 km 및 1.5 km에서의 우리나라 전체 영역에 대한 합성 CAPPI 영상 표출을 보여주고 있으며, Fig. 10은 합성 CAPPI 영상을 1km 간격으로 연직으로 분포시킨 3차원 CAPPI 영상을 나타내고 있다.

4.2 CAPPI 산출 보간기법의 적정성

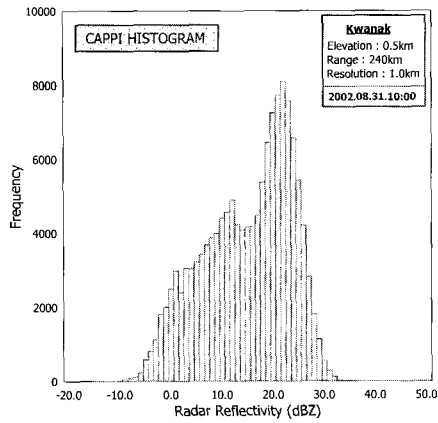
앞서 설명한 바와 같이 보간과정에서 중요한 사항 중의 하나는 레이더 반사도자료의 경향에 가능한 한 근접한 자료를 산출함에 있다. 레이더 원시자료가 실제로 정확하다고 가정한다면, 3차원의 공간상에서의 연속성을 유지하기 위해서 가장 근접하고 가장 적은 자료수를 운영하는 것이 최적의 보간 기법이 될 것이다. 이러한 가정하에서 격자점(x, y, z)을 둘러싸고 있는 8개의 반사도값을 이용하는 쌍방향 일차보간법(bilinear interpolation)이 가장 효율적이고 효과적인 방법임에는 틀림이 없다.

레이더 자료 보간에 있어서의 관심분야중의 다른 하나는 보간이 Z_0 의 단위와 dBZ의 단위 중 어느 것으로 수행하여야 할 것인가를 결정하는 일이다. 일반적으로 많이 이용되고 있는 Z_0 보간은 보간결과를 높은 값(> 35dBZ)에 근접하게 근사화시키며 낮은 반사도를 과대 평가하는 경향이 있다. 한편, dBZ보간의 경우는 이와는 반대 현상이 나타난다. 즉, 보다 낮은 값에 근접하게 근사화시키며 반사도값을 과소 평가하는 경향이 있다. 이에 대해 Mohr와 Vaughan(1979)는 낮은 반사도값과 공간적 구조를 필요로 하는 경우에는 dBZ보간이 좀 더 신뢰할 만한 결과를 제시할 수 있으며, 태풍과 같은 높은 반사도값과 최대 반사도값의 보존상황 등의 자료가 필요한 경우에는 Z_0 보간을 추천하고 있다. 이는 사용

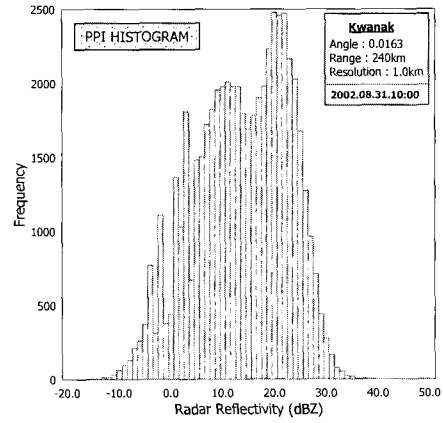
자가 합리적으로 상황에 맞는 보간자료를 선택하여야 함을 의미한다.

본 연구에서 개발한 프로그램은 모의 수행자가 Z_e 보간과 dBZ보간을 선택적으로 수행할 수 있도록 구성

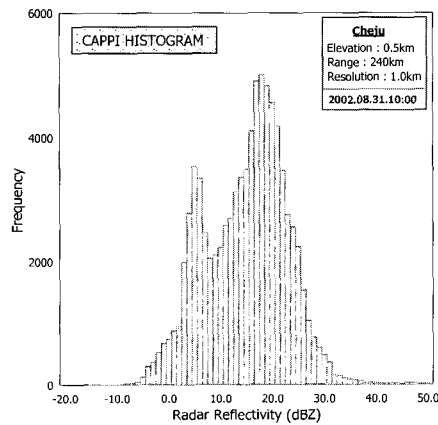
하였으며, 또한 PPI 스캔 영역에서 수집된 많은 양의 자료로부터 3차원 공간상의 격자점에 대한 반사도값으로의 효율적인 변환이 가능하도록 구성되어있다.



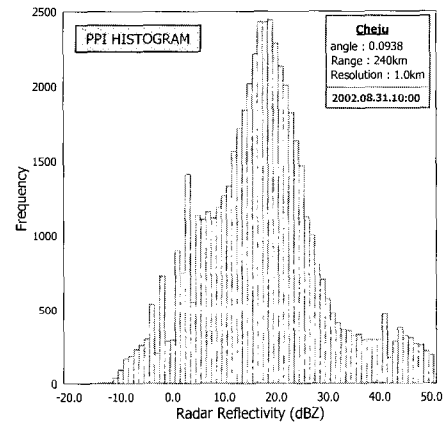
(a1) KWK CAPPI



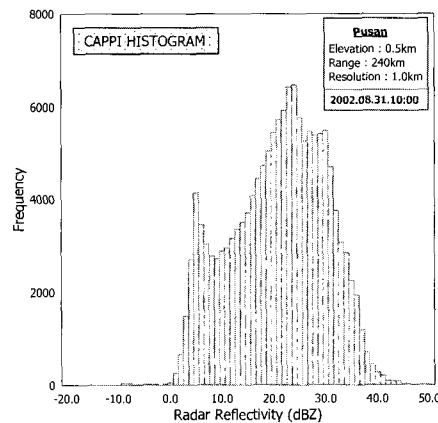
(a2) KWK PPI



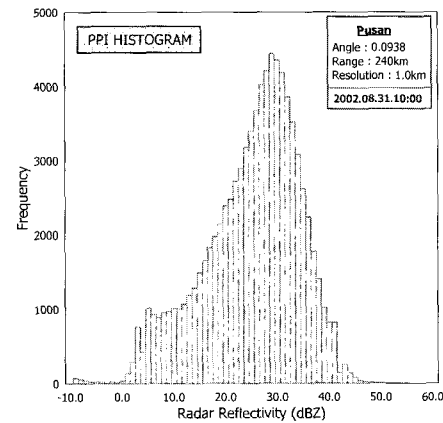
(b1) CJU CAPPI



(b2) CJU PPI

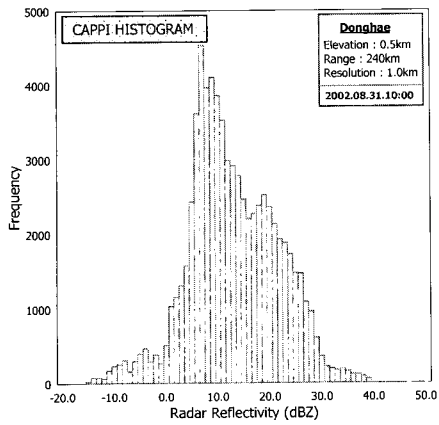


(c1) PSN CAPPI

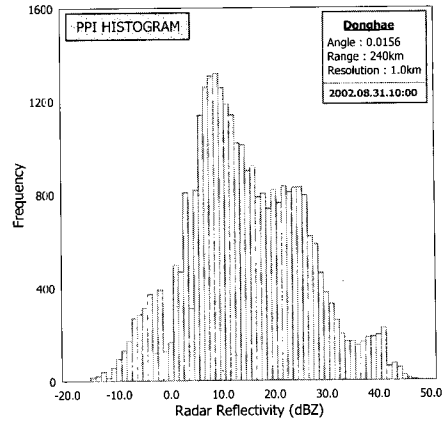


(c2) PSN PPI

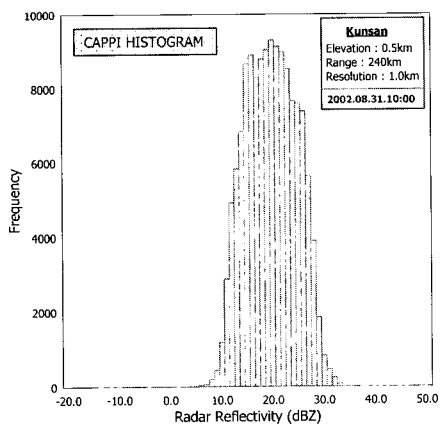
Fig. 7. Radar reflectivity distribution histogram(2002.8.31.10:00)



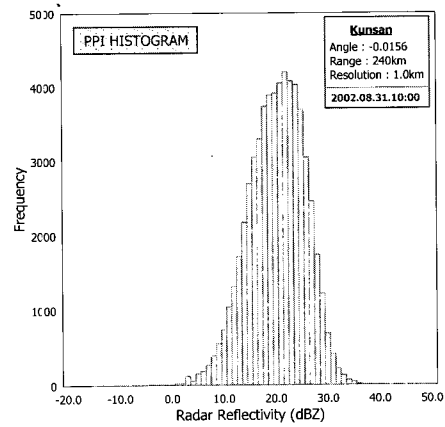
(d1) DNH CAPPI



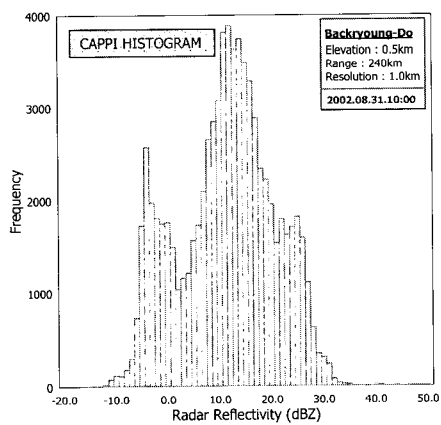
(d2) DNH PPI



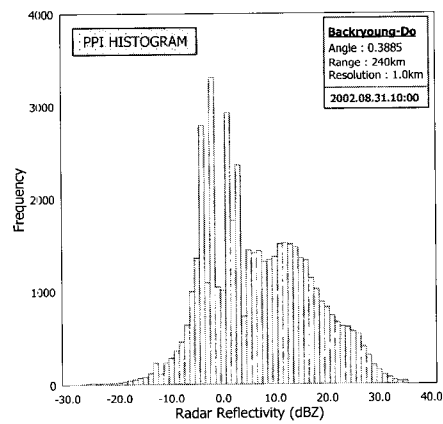
(e1) KSN CAPPI



(e2) KSN PPI

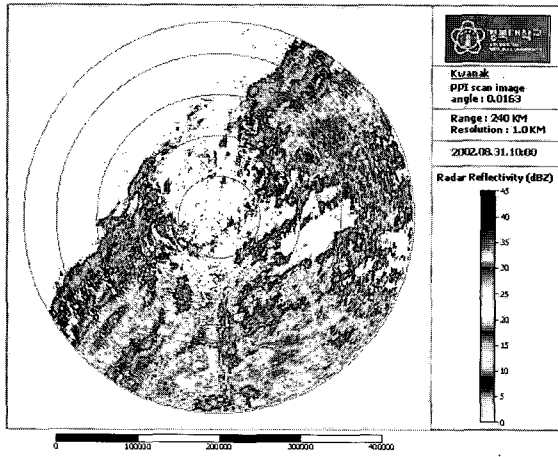


(f1) BRI CAPPI

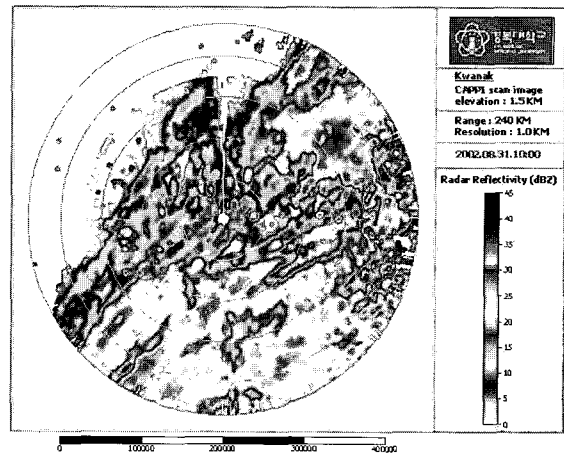


(f2) BRI PPI

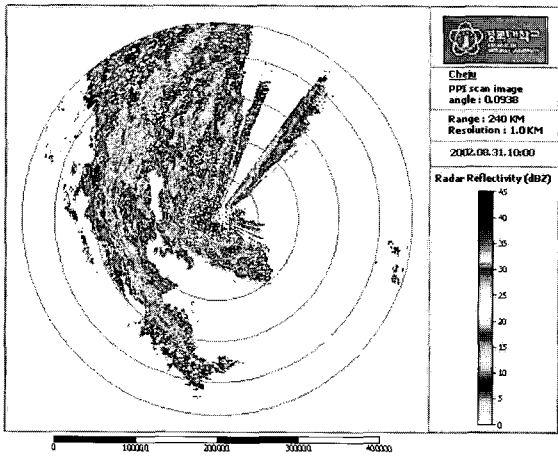
Fig. 7. Radar reflectivity distribution histogram(2002.8.31.10:00) (Continued)



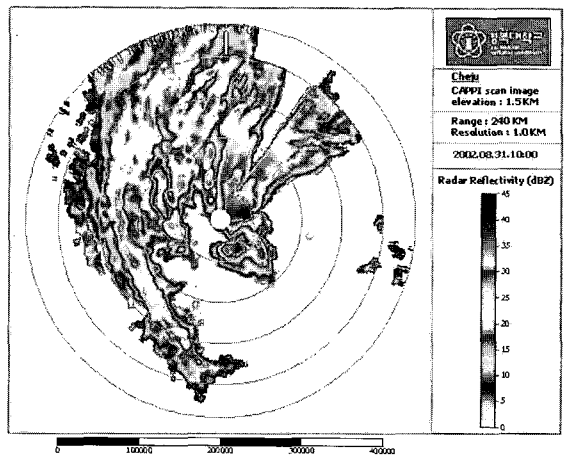
(a1) KWK PPI(altitude angle 0.0163)



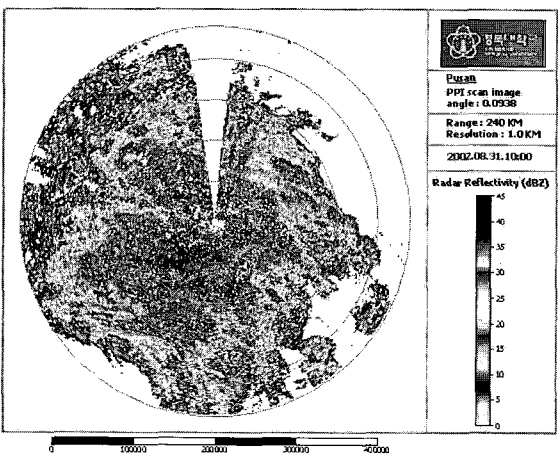
(a2) KWK CAPPI(altitude 1.5 km)



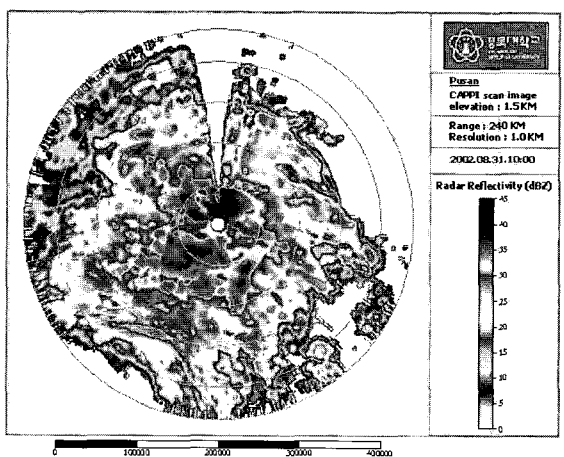
(b1) CJU PPI(altitude angle 0.0938)



(b2) CJU CAPPI(altitude 1.5 km)

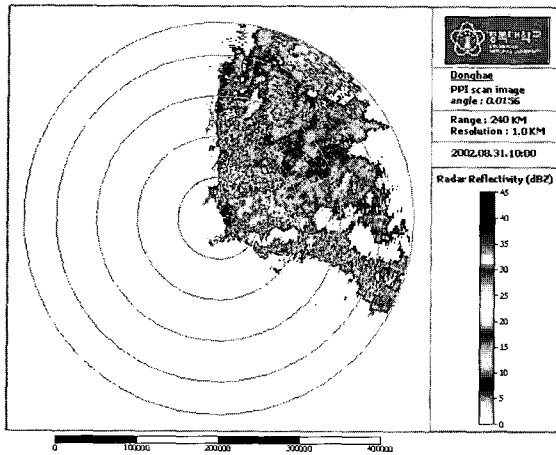


(c1) PSN PPI(altitude angle 0.0938)

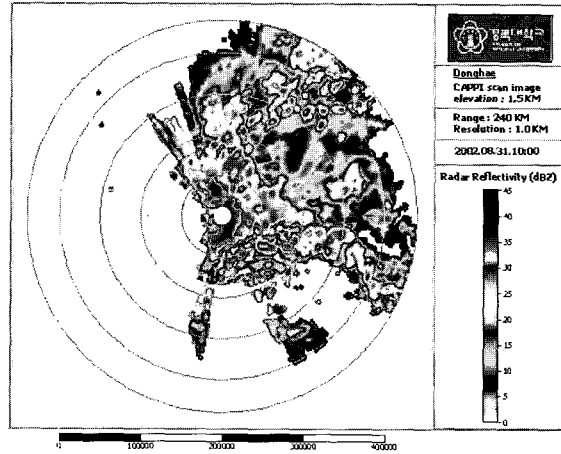


(c2) PSN CAPPI(altitude 1.5 km)

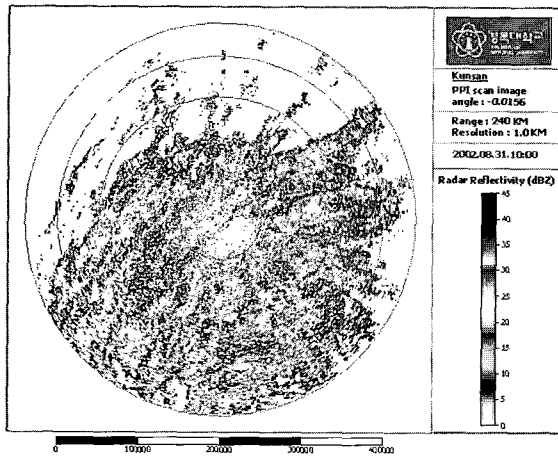
Fig. 8. PPI and CAPPI computation results(2002.8.31.10:00)



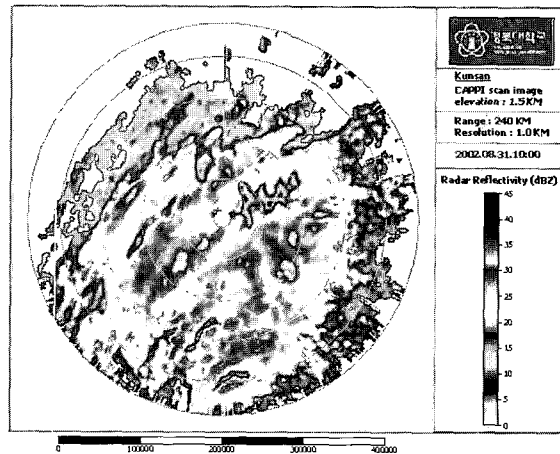
(d1) DNH PPI(altitude angle 0.0156)



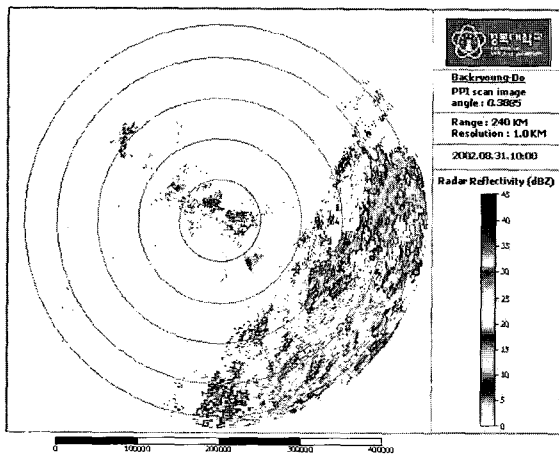
(d2) DNH CAPPI(altitude 1.5 km)



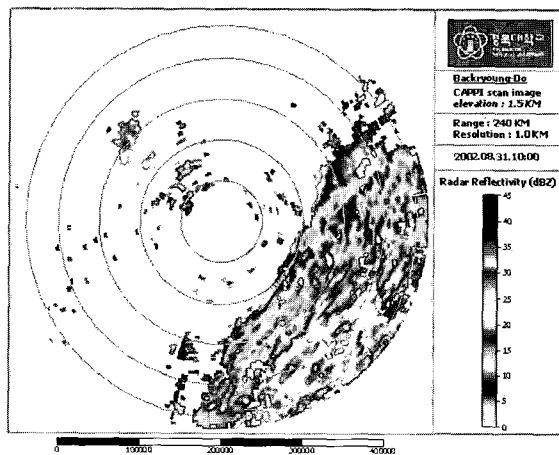
(e1) KSN PPI(altitude angle -0.0156)



(e2) KSN CAPPI(altitude 1.5 km)



(f1) BRI PPI(altitude angle 0.0385)



(f2) BRI CAPPI(altitude 1.5 km)

Fig. 8. PPI and CAPPI computation results(2002.8.31.10:00) (Continued)

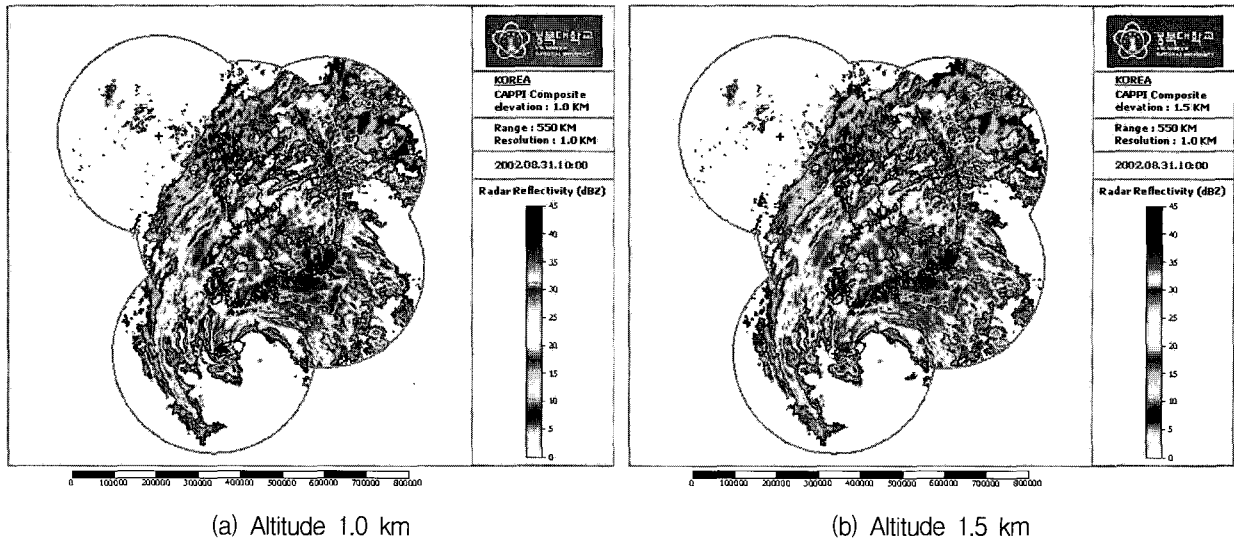


Fig. 9. CAPPI composite computation results about a total area(2002.8.31.10:00)

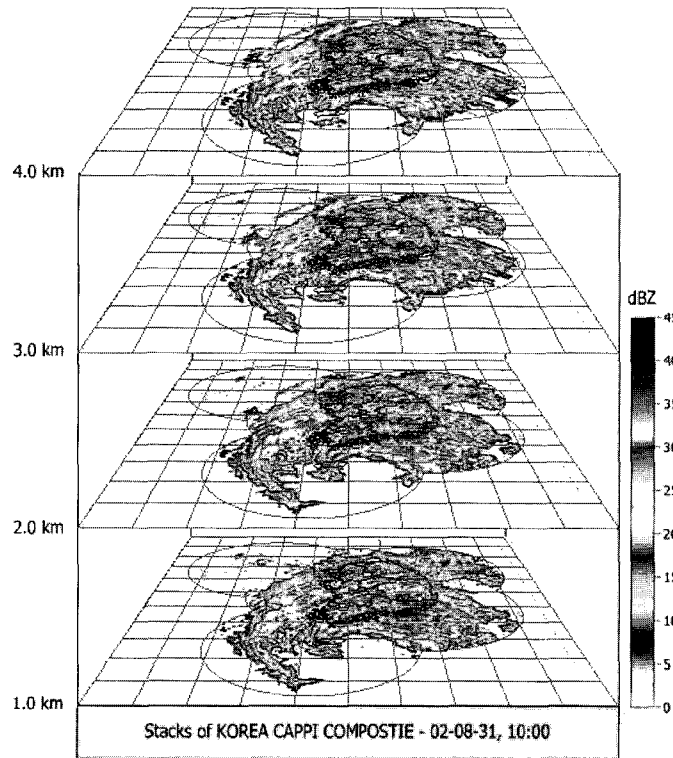


Fig. 10. CAPPI composite computation result per an altitude(2002.8.31.10:00)

5. 결 론

본 연구에서는 수자원에의 레이더 응용을 위해서 레이더의 반사도자료를 직교좌표계로 빠르고 효율적으로 변환할 수 있는 합성 CAPPI 산출 프로그램을 개발하였으며, 개발된 모형은 최적의 반사도 자료를 대표할 수

있도록 구성하였는데, 주요 연구결과는 다음과 같이 요약될 수 있겠다.

- (1) 레이더로 관측한 반사도 값의 자료 중 오염된 자료를 제거하기 위해서 품질검사를 수행하였다. 품질검사는 지형에코, 점에코, 파랑에코, 라인에코 등의 항목에 대해서 수행하였으며, 제거된 자

료는 인접 반사도 값에 의해서 보간되었다.

- (2) 3차원 공간상에서의 연속성을 유지하기 위해서 가장 근접하고 가장 적은 자료수를 운영함으로써 계산의 효율성을 더하였으며, 모의 수행자가 Z_e 보간과 dBZ 보간을 선택적으로 수행할 수 있도록 구성하였다.
- (3) 합성 CAPPI 프로그램은 홍수해석의 이용목적에 따른 다양한 해상도 및 고도에 대한 자료 산출이 가능하도록 구성하였으며, 국지적인 호우에 대한 개별 레이더 지점별 CAPPI 산출 및 중규모 호우에 대한 전체 영역에 대한 합성 CAPPI 산출 모두가 가능하도록 구성하였다.
- (4) 본 연구를 통해서 레이더와 수자원의 연계를 위한 최적의 레이더 반사도 값을 빠르고 효율적으로 산출함으로써 다양한 형태의 강우에 대한 강우레이더 자료의 실질적인 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부가 출연하고 한국과학재단에서 위탁시행한 2004년도 특정연구개발사업중 웹기반 홍수 정보 시스템 Prototype 개발사업(과제번호 : M1-0402-02-0002-04-002-02-000-00)에 의한 연구로서 관계당국에 감사 드립니다.

참고 문헌

송병현, 남재철, 남경엽, 최지혜 (2004). "레이더 자료를 이용한 충청지역 집중호우 사례 특성 분석." **한국기상학회 대기 연구노트**, 제14권, 제1호, pp. 24-43.

엄원근 (1995). 레이더기상학, 영재사.

한국수자원학회 (2002). "2002년 홍수특성과 재해대책." **한국수자원학회지**, 제35권, 제6호, pp. 8-47.

Battan, L.J. (1973). *Radar Observation of the Atmosphere*, The University of Chicago Press, p. 324.

Boardman, J.H., and Smith, P.L. (1974). "A Computer-generated four-dimensional graphic display for weather radar data." *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 55, pp. 16-19.

Heymsfield, G.M. (1976). "Statistical objective analysis of dual-doppler radar data from a tornadic storm." *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 15, pp. 59-68.

Kessler, E., and Russo, J.A. (1963). "A program for the assembly and display of radar-echo distribution." *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 2, pp. 582-593.

Lhermitte, R.M., and Gilet, M. (1976). "Acquisition and processing of tri-Doppler radar data." *Preprints 17th Radar Meteorology Conference*, Seattle, American Meteorological Society, pp. 1-6.

Marshall, J.S. (1957). "The constant-altitude presentation of radar weather patterns." *Preprints 6th Radar Meteorology Conference*, Cambridge, American Meteorological Society, pp. 321-324.

Marshall, J.S., and Palmer, W.McK. (1948). "The distribution of raindrops with size." *Journal of Atmospheric Sciences*, Vol. 5, No. 4, pp. 165-166.

Miller, L.J., and Strauch, R.G. (1974). "A dual-Doppler radar method for the determination of wind velocities within precipitating weather systems." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 3, pp. 219-235.

Mohr, C.G., and Vaughan, R.L. (1979). "An economical procedure for cartesian interpolation and display of reflectivity factor data in three-dimensional space." *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 18.

NCAR (1999). *Document of SPRINT(Sorted Position Radar INTerpolation)*.

Probert-Jones, J.R. (1960). "Meteorology use of pulsed Doppler radar." *Nature*, Vol. 186, pp. 271-273.

Ray, P.S., Wagner, K.K., Johnson, K.W., Stephens, J.J., Bumgarner, W.C., and Mueller, E.A. (1978). "Triple-Doppler observation of a convective storm." *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 17, pp. 1201-1212.

(논문번호:05-21/접수:2005.02.07/심사완료:2006.03.06)