

3차원 GIS 정합 및 투영에 기반한 사용자 친화적 레이더 자료 표출 기법

High-Precision and 3D GIS Matching and Projection Based User-Friendly Radar Display Technique

장 봉 주* / 이 건 행** / 이 동 루*** / 임 상 훈****

Jang, Bong-Joo / Lee, Keon-Haeng / Lee, Dong-Ryul / Lim, Sanghun

Abstract

In recent years, as frequency and intensity of severe weather disasters such as flash flood have been increasing, providing accurate and prompt information to the public is very important and needs of user-friendly monitoring/warning system are growing. This paper introduces a method that re-produces radar observations as multimedia contents and applies reproduced data to mesh-up services. In addition, a accurate GIS matching technique to help to track the exact location going on serious atmospheric phenomena is presented. The proposed method create multimedia contents having structures such as two dimensional images, vector graphics or three dimensional volume data by re-producing various radar variables obtained from a weather radar. After then, the multimedia formatted weather radar data are matched with various detailed raster or vector GIS map platform. Results of simulation test with various scenarios indicate that the display system based on the proposed method can support for users to figure out easily and intuitively routes and degrees of risk of severe weather. We expect that this technique can also help for emergency manager to interpret radar observations properly and to forecast meteorological disasters more effectively.

keywords : weather radar, GIS matching, radar data processing, radar data expression

요 지

최근, 기상레이더는 돌발적 기상재해들을 예방하고, 기상관측의 공익을 위해 널리 이용되고 있으며 이에 따라 사용자 관점의 레이더 표출 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 본 논문은 레이더 관측 자료들을 멀티미디어 콘텐츠로서 재생산하는 방법과 생성된 자료를 이용해 매쉬업 서비스에 적용하는 방법을 제안하였다. 이와 함께 주요 기상현상이 발생중인 지역의 정확한 위치를 추적하기 위한 정밀 GIS 정합기술을 제안하였다. 본 연구에서 제시하는 방법을 통해 기상 레이더로부터 관측된 다양한 레이더 변수들을 재가공함으로써 2차원의 영상 및 벡터 그래픽 자료, 또는 3차원 볼륨 자료 등을 생성할 수 있다. 생성된 멀티미디어 형태의 레이더 자료들은 다양한 래스터 또는 벡터 정밀 GIS 맵과 정합된다. 다양한 강수 시나리오에 대한 실험 결과, 제안한 방법에 의한 표출 시스템은 사용자로 하여금 정확한 레이더 차폐영역 분석, 강수이동경로 파악, 강수량 추정에 따른 홍수위험도 분석 등을 쉽고 직관적으로 이해시킬 수 있음을 확인하였다. 제안하는 정밀한 GIS 정합을 통해 재난 관리자가 레이더 관측자료를 명확히 해석하고 이를 통해 보다 효과적인 기상재해 예보가 가능할 것으로 기대한다.

핵심용어 : 기상레이더, GIS 정합, 레이더자료처리, 레이더 자료 표출

* 한국건설기술연구원 수자원연구실 박사후연구실 (e-mail: roachjbj@kict.re.kr)

Post-Doctor, Water Resources Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

** 한국건설기술연구원 수자원연구실 박사후연구실 (e-mail: leeggun@kict.re.kr)

Post-Doctor, Water Resources Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

*** 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구위원 (e-mail: dryi@kict.re.kr)

Senior Research Fellow, Water Resources Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**** 교신저자, 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구위원 (e-mail: slim@kict.re.kr, Tel: 82-31-910-0373)

Corresponding Author, Research Fellow, Water Resources Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

1. 서 론

우리나라의 기상관측은 일찍이 기원전 발생한 용오름 현상을 기록한 것으로부터, 시대가 흐름에 따라 적설량, 강우량 등의 상세한 정보를 기록해올 만큼 그 역사가 오래되었다. 근대에 이르러 이처럼 누적된 기상정보들을 활용함으로써 통계에 따른 기상 예측이 어느 정도 가능하게 되었다. 현대에 이르러서는 기상레이더, 인공위성, 고도화된 분석 장비와 슈퍼컴퓨터 등을 활용하여 체계적이고 정확한 기상관측과 예측을 도모하고 있다. 특히, 기상레이더의 활용은 기상관측의 정확성을 향상하는 데 크게 이바지하고 있다. 현재 레이더 시스템의 주파수 대역 필터링 기술의 향상과 멀티 도플러 레이더 등의 발전을 통해 더 다양한 레이더 변수들을 획득하여 높은 시·공간 해상도에서 대기 현상 구분의 정확성을 높여가고 있으며, 지속적인 연구를 통해 기상 예측 정밀도를 향상시키고 있다(Lim et al., 2005; Chandrasekar et al., 2011; You et al., 2012). 따라서 최근 증가하는 기상재해의 정확한 관측과 예측을 위해 기상레이더를 활용한 관측 기술이 중요하며, 재해 예방을 위해 여러 기상 선진국들은 고성능의 레이더 관측 데이터로부터 얻어지는 정보들을 통해 기상 현상을 감시하고 예측하는 기술 개발을 위한 연구에 의존도를 높이고 있다. 특히, 국지성 호우 및 태풍 등과 같은 급격한 기후변화로 인한 인명·재산 피해가 자주 발생하는 지역에 더욱 정밀한 소형 기상레이더를 설치하여 실시간 기상 관측 및 예측함으로써 피해를 최소화하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 또한, 이중편파, 이중주파수 및 시공간적 고해상도 등을 만족하는 차세대 레이더 기술의 발전으로 기상레이더는 단순히 거시적인 기상의 관점에서 벗어나 대기입자를 정밀하게 분석하는 방법으로 점차 활용범위를 넓혀가고 있다.

반면, 기상레이더를 활용하여 높은 정확성과 시공간적 고해상도를 갖는 강우자료를 얻을 수 있음에도 불구하고, 이를 정확한 지리적 위치로 정합하여 고해상도의 지도상에서 특정 지역을 직관적으로 관측하는 것은 현재까지 잘 이루어지지 않고 있다. 국부적, 돌발적 기상현상이 날로 증가하는 상황에서 고해상도 레이더 자료를 효과적이고 정밀하게 해석하고 기상, 기후, 수문정보의 예·경보와 환경 및 수문학적 응용 등을 위해서는 보다 다양한 분석 플랫폼에 적합한 레이더 자료의 가공이 요구된다. 향후 보다 진보된 재난관리 시스템과 개인화 된 매쉬업(mash-up) 서비스를 위한 멀티미디어 자료로서의 레이더 자료의 가공이 필요하다. 하지만 현재까지의 기상 관련 기관들에서

는 단순히 표출된 레이더영상을 저해상도의 국토지도 윤곽을 나타내는 GIS (geographic information system) 상에 도시하여 해석하는 정도이다(HRFCO, 2014; KMA, 2014). 또한, 자료의 전문적인 분석과 수문 모델링을 위한 DEM 또는 고정밀의 GIS 정합을 위한 연구가 진행되고 있지만, 특정 플랫폼에만 한정된 연구로서 범용성이 제한되는 단점이 있다(James et al., 2000; Xie et al., 2005; Hu, 2014).

한편, 기상레이더 자료의 고해상도 GIS 융합을 위해 Jang et al. (2013)은 레이더 네트워크로부터 생성되는 대용량의 레이더자료에 대해 GIS를 기반으로 하여 효과적으로 표현하는 기법을 제안하였다. Jang et al. (2013)의 기법은 저고도에서 일어나는 국지성, 기습성 기상변화를 관측하고 효과적으로 대응하기 위해, CASA-ERC (engineering research center for collaborative adaptive sensing of atmosphere)에서 운영하는 X-밴드 레이더 네트워크로부터 획득되는 100×100 m 해상도의 반사도 및 시신속도 격자자료들에 대해 지역별 분산처리를 거쳐 GIS 데이터와 결합하는 방법으로 레이더 데이터를 시각화하는 기법을 개발 및 적용하였다. 이 기법에서는 분산 처리된 각 영역별 2차원 레이더 영상을 합성하여 반경 70 km 범위를 갖는 고해상도 영상 데이터를 GIS와 정합하여 시각화하는 방법과, 합성된 영상을 벡터(vector) 변환함으로써 벡터 좌표계를 갖는 GIS 평면에서 정합하여 시각화하는 방법을 구현하였다. 이를 통해, 고해상도 레이더 영상과 GIS의 정밀정합을 통해 지리적 환경을 배경으로 전체적인 레이더 강수 특성 뿐 아니라 지역적, 국부적 레이더 강수를 분석하는 데 용이함을 알 수 있었다.

본 논문에서는 이러한 기법의 유용성을 바탕으로 레이더 자료 표출 기술을 향상시키고, 다양한 GIS 플랫폼과 포맷에 효율적으로 적용할 수 있는 레이더 자료의 사용자 친화적인 실감 GIS 정합 기법을 제안하고자 한다. 제안된 기법을 활용하여 현재 국내에 도입되고 있는 고해상도 레이더 및 향후 구축될 계획에 있는 소형레이더 네트워크로부터 생성되는 레이더자료의 효과적인 분석을 수행할 수 있다. 또한, 강수로 인한 재해 발생의 가능성이 있는 지역에서 기상의 정밀관측 및 예측 정확성 향상을 위해 빠르고 직관적인 레이더 자료 분석을 수행할 수 있다. 제안하는 기법은 레이더로부터 획득되는 강우정보를 활용하여 높은 시공간해상도와 정확성을 갖는 강수 해석, 예측 및 재해 경보를 서비스하기 위해 레이더 강수 정보들을 고정밀 GIS와 정확히 정합하여 표출하는 방법을 제안한다.

2. KICT 이중편파 레이더 소개

기상레이더는 대기 중의 강수입자 관측을 위해 주로 S, C, X-밴드의 주파수 대역을 사용한다. 레이더가 갖는 각 주파수 대역의 특성들에 따라 주파수 대역이 높을수록 전파의 파장이 짧아지므로 보다 미세한 강수 입자를 관측할 수 있는 반면, 거리와 강수입자에 의한 신호감쇠로 인해 관측 유효반경이 짧아지는 특징이 있다. 한편, 레이더 시스템에서 사용되는 편파에 따라 수평편파만을 이용하는 단일편파 레이더의 경우, 반사되는 레이더 펄스의 크기와 위상에 대해 각각 I , Q 로 표현되는 시계열 데이터를 처리하여 반사도(reflectivity, Z), 도플러 시선속도(doppler velocity, V) 및 스펙트럼 폭(spectrum width, W) 등의 변수를 획득함으로써 기상관측을 수행한다. 반면, 수직 및 수평 편파를 동시에 이용하는 이중편파 레이더는 두 편파로부터 각각 획득되는 I , Q 데이터들로부터 다양한 관계식을 정립함으로써 단일편파 레이더에서 얻어지는 레이더 변수들 외에 차등반사도(differential reflectivity, Z_{DR}), 차등위상차(differential phase, ϕ_{DP}), 교차상관계수(cross correlation coefficient, ρ_{hv}), 비차등위상차(specific differential phase, K_{DP}) 등과 같은 이중편파 변수를 확보할 수 있다(Bringi and Chadrsekar, 2001). 이 이중편파 변수들은 단일편파 레이더로는 판단이 어려운 강수유형(비,

우박 등)을 구분할 수 있게 해주며, 이 변수들을 이용하여 보다 정확하게 강수량을 산정할 수 있다. 한국건설기술연구원(KICT)에서는 이러한 이중편파 레이더의 장점을 인지하고 수문활용 및 기상 연구를 목적으로 X밴드 이중편파 소형레이더를 2013년부터 설치하여 운영 중에 있다. Table 1에 한국건설기술연구원의 X밴드 이중편파 레이더의 제원을 나타내었다.

Fig. 1은 KICT 이중편파 레이더의 자료처리과정 및 자료생성의 흐름을 나타낸 것이다. 이중편파 레이더로부터 획득된 수평 및 수직 편파에 대한 각각의 이산 신호 I_h , Q_h 및 I_v , Q_v 로부터 지형에코 및 이착에코 제거, 속도필름 등을 비롯한 각종 신호처리 및 필터링을 통해 앞서 언급한 다양한 레이더 변수들을 얻을 수 있다. 현재 KICT 이중편파 기상레이더 시스템은 Fig. 1로부터 획득된 다양한 레이더 변수들을 활용하여 보다 정확하고 정밀한 강수 분석 및 강수량 추정/예측을 수행할 수 있다.

3. 연구 방법 및 시뮬레이션

3.1 연구방법

본 연구에서 제안하는 레이더자료의 고정밀 실감 GIS 정합 기법은 급변하는 국내외 기후조건 및 기상 현상들 중에서 재난과 관련된 주요 돌발성, 국지성 호우, 폭설의

Table 1. Specification of KICT's X-band Dual-polarization Radar

	Type	Magnetron with solid state modulator
	Weight	633 kg
	Antenna	Parabola/1.8 m diameter
	Peak power	8 kW
	Beam width	1.4°
	Max range	50 km
	Frequency	9410 ± 30 MHz
	Scan speed	10 rpm (max)
	Resolution	1.2~192 m

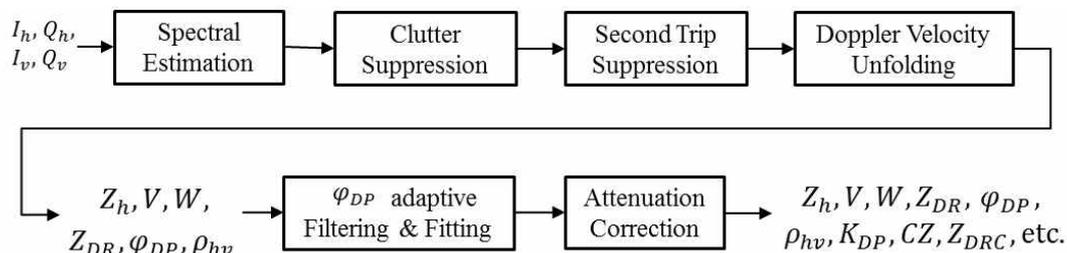


Fig. 1. Multi-stage Process of Radar Variables for KICT Radar

피해를 잘 예측하고 경보하기 위해 빠르고 직관적인 레이더 자료 분석을 수행하는 것을 목적으로 한다. 또한 향후 레이더 자료의 매쉬업 서비스를 위해 다양한 소프트웨어, 하드웨어 및 GIS 플랫폼에 적용 가능한 영상 및 벡터 형태의 자료를 시뮬레이션하고 그 결과를 분석한다. Fig. 2에 본 연구에서 제시한 자료 처리 알고리즘의 고정밀 GIS 정합을 위한 레이더 자료 가공 및 매쉬업을 위한 여러 형태의 자료 생성 과정에 대해서 나타내었다.

고정밀 GIS 정합을 위한 첫 단계로, Figs. 1 and 2의 신호처리 과정에서 생성된 극좌표계의 레이더 변수들에 대해 평면 좌표계변환 및 품질제어 과정이 수행한다. 두 번째 단계에서는 다양한 형태의 GIS 플랫폼 적용을 위해 좌표계변환 및 품질관리 된 레이더 변수들을 영역분할(segmentation)한 후 2차원 또는 3차원 벡터 변환을 수행하거나, CAPPI(McGill Univ., 2014) 등과 같은 격자 형태의 2차원 영상의 형태로 변환한다. GIS 맵은 자료형태와 정밀도에 따라 주로 2차원 영상으로 표현되는 격자구조의 래스터(raster)형과 2D/3D 그래픽으로 표현되는 기하구조의 벡터(vector)형 데이터베이스로 분류된다. 레이더 자료와 다양한 GIS 데이터베이스의 정합을 위해 레이더 자료 역시 래스터 또는 벡터 형태의 자료로 가공할 필요가 있다. 또한, 연속된 레이더 모멘트(moment) 자료들에 대해 누적강우량 등의 통계적 데이터를 처리하기 위해 별도의 누적 처리기를 사용하며, 이 누적처리기를 통해 생성된 자료 역시 Fig. 2와 같이 벡터 또는 픽셀 영상으로 가공될 수 있다. 다음 단계로서 가공된 레이더 데이터는 영상, 벡터좌표 및 3차원 매쉬(mesh) 등과 같은 1차 원시 멀티미디어 포맷으로 생성되며, 이 때 멀티미디어 포맷 외에 정확한 레이더 데이터 해석을 위한 정밀 수치자료들

로써 각각의 게이트(gate) 변수들을 메타데이터 포맷으로 저장하여 멀티미디어 형태의 레이더 자료에 대한 부가자료로 사용할 수 있다. 마지막으로 레이더 자료의 사용 목적 및 해석 방법에 따라 멀티미디어 자료와 메타 데이터를 활용하여 다양한 GIS 플랫폼 및 S/W 환경에서 적용될 수 있는 레이더 자료로 2차 가공함으로써 제한한 레이더 데이터의 고정밀 GIS 정합을 수행한다.

한편, 가공된 래스터 또는 벡터 형의 레이더 자료를 GIS 맵과 정합하기 위해 좌표 변환이 중요하다. 래스터 과 벡터 맵을 각각 M^R 및 M^V 라 하고 R^R 및 R^V 를 각각 래스터 형과 벡터형으로 가공된 레이더자료라 하면, GIS와 레이더 자료 정합의 방법론은 자료형에 따라, M^R+R^R , M^R+R^V , M^V+R^R 및 M^V+R^V 의 네 가지 경우로 이루어진다. Table 2에 이 네 가지 경우의 정합 방법을 각각 설명하였다.

레이더 자료와 GIS 정합을 위해 각 자료의 해상도를 같도록 하는 것이 중요하다. Table 2에 래스터 자료형으로 정합할 경우와 벡터 자료형으로 정합할 경우에 대해 각각의 스케일(scale)/스패닝(spanning) 팩터를 s_s 및 s_v 로 정의하였다. s_s 의 경우, 래스터 GIS 맵 M^R 각 픽셀들과 Fig. 2의 과정을 통해 생성된 래스터 형의 레이더 자료 R^R 내 각각의 픽셀들의 단위 면적당 픽셀 해상도의 비율로 계산되며, s_s 를 이용하여, M^R 와 R^R 중 낮은 해상도의 자료를 기준으로 높은 해상도의 자료를 축소함으로써 두 자료를 정확히 정합할 수 있다. 한편, 벡터 자료형을 갖는 M^V 의 경우, 주로 각 좌표점들은 TM/UTM, BESSEL, WGS84 등의 좌표체계를 갖는다. 레이더자료의 중점-실제 레이더 위치의 좌표점과 각 레이더 게이트들의 거리를 M^V 의 좌표계로 변환함으로써 벡터자료 플랫폼에서의 정합을 수행할 수 있다. 이때 변환을 위한 스페닝 팩터 s_v 를

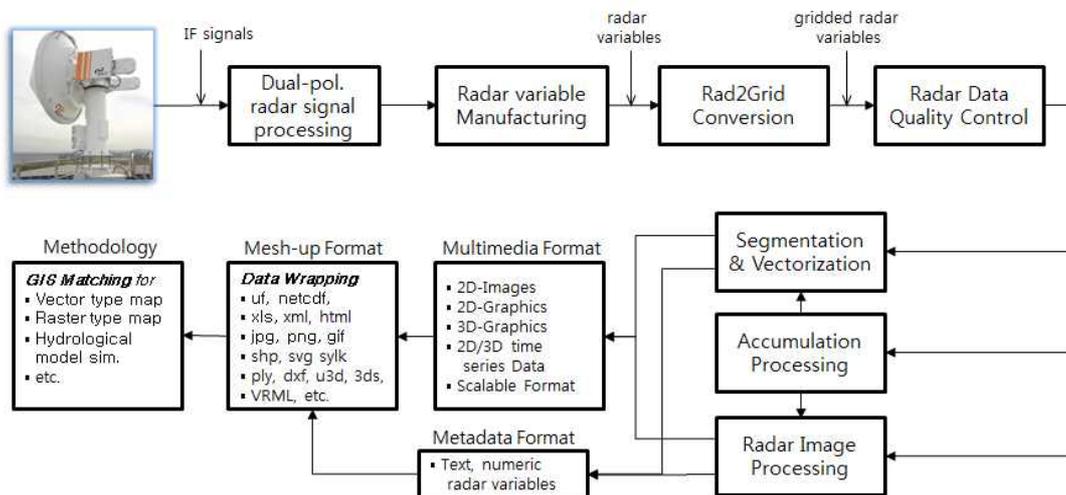


Fig. 2. Proposed Radar Data Manufacturing Method for High-precision GIS Matching

Table 2. Classification of GIS-radar Data Matching Method according to Data Types

Content	Method	Note
$Q^{RR}(M^R, R^R)$	$M^R(m, n) = p(x, y)$ for $M^R(m, n) \cap R^R(x, y)$ $p(x, y) = S(R^R(x, y), s_s)$	S: scaling function for raster platform s_s : scala scaling factor
$Q^{RV}(M^R, R^V)$	a. Vector Data Platform $M_{\alpha}^R = A(M^R, b(R^V)) \rightarrow M_{\alpha\tau}^R = T(M_{\alpha}^R, b(R^V)) \rightarrow Q^{RV}(M^R, R^V) = M_{\alpha\tau}^R \cup R^V$ b. Raster Data Platform $R_{\eta}^V = G(R^V) \rightarrow R_{\eta\sigma}^V = S(R_{\eta}^V, s_s) \rightarrow Q^{RV}(M^R, R^V) = Q^{RR}(M^R, R_{\eta\sigma}^V)$	s_v : vector spanning factor A: spanning function for vector platform T: Translation function b: radar data boundary in vector space G: vector to raster conversion function
$Q^{VR}(M^V, R^R)$	a. Vector Data Platform $R_{\alpha}^R = A(R^R, b(M^V)) \rightarrow Q^{VR}(M^V, R^R) = M^V \cup R_{\alpha}^R$ b. Raster Data Platform $M_{\eta}^V = G(M^V) \rightarrow M_{\eta\sigma}^V = S(M_{\eta}^V, s_s) \rightarrow M_{\eta\sigma\tau}^V = T(M_{\eta\sigma}^V, b(R^R)) \rightarrow Q^{VR}(M^V, R^R) = Q^{RR}(M_{\eta\sigma\tau}^V, R^V)$	※ Subscripts α : spanned, τ : Tranlated η : raster converted, σ : Scaled
$Q^{VV}(M^V, R^V)$	$M_{\alpha}^V = A(M^V, s_v) \rightarrow Q^{VV}(M^V, R^V) = M_{\alpha}^V \cup R^V$	

적용하며, 이 s_v 는 지구곡률에 따른 수직, 수평의 비율이 다르므로 벡터로써 표현된다. 래스터 자료 플랫폼은 픽셀 기반의 격자형 자료구조를 사용하므로, 레이더 자료의 GIS 정합은 M^R 상에서의 특정 위치(m, n)와 정확히 일치하는 레이더 자료 R^R 의 위치(x, y)값을 치환함으로써 이루어진다. Table 2에서는 이를 위한 조건으로서 교집합의 기호 \cap 로 표현하였다. 반면, 벡터 자료 플랫폼에서의 정합은 M^V 의 각 좌표들과 R^V 의 좌표들이 동일한 좌표지점에 중복 표현 될 수 있으므로, 합집합의 기호 \cup 로 표현하였다. 이 때, GIS 상에서의 정확한 레이더 위치를 표현하기 위해 좌표이동(translation) 변환이 수행된다. 또한 3차원 벡터 자료 플랫폼에서는 R^R 및 R^V 자료들에 대해 고도 정보 h를 추가함으로써 보다 사실적인 정합이 가능하다. 이 때, CAPPI 자료로 생성된 각 고도별 레이더 영상 R_h^R 는 3차원 벡터 공간상에서 평면 영상으로 투영되며, 벡터 변형된 레이더 영상 R_h^V 에 대해서는 벡터공간 상에서 볼륨 또는 평면의 형태로 투영된다.

3.2 시뮬레이션 결과

고정밀 GIS를 표현하기 위해서는 주로 위성사진과 같은 래스터 형의 GIS 자료를 사용한다. 이는 방대한 자료에 의한 용량의 한계와 확장성 및 활용성이 현저히 떨어지는 단점이 있으므로 일반적인 GIS 응용 분야에서는 다양한 축척비를 갖는 벡터 자료형을 주로 사용한다. 따라서 본 논문에서는 벡터 자료형을 갖는 다양한 GIS 플랫폼을 고려하여 레이더 자료의 고정밀 정합을 위해 벡터 GIS

자료를 기반으로 시뮬레이션을 수행한다. 레이더 데이터의 고정밀 GIS 정합을 위해 관측반경 40km의 KICT 레이더로부터 획득된 관측자료를 사용하였으며, 이때 관측 자료의 거리해상도는 60×60 m이다. 고정밀 GIS 정합을 위한 GIS S/W 플랫폼으로 일반적으로 널리 사용되는 구글어스(Google, 2014)를 사용하였으며, 이러한 플랫폼에 레이더 데이터를 정합하기 위해 획득된 레이더 자료를 2차원 영상, 2차원 벡터데이터 및 3차원 데이터로 가공한 후 KML(Wernecke, 2008) 자료구조로 생성하였다. Fig. 3은 각각 2013년 8월 29일 07시 경 KICT 레이더로부터 획득된 단일 PPI 및 RHI 스캔 자료에 대해 품질관리를 거친 후 2차원 영상으로 생성하여 GIS 좌표정보와 정밀 정합한 결과를 일반적인 평면 생성자료와 비교하여 나타낸 것이다.

Fig. 3에서와 같이 고해상도 레이더 자료는 일반적인 레이더 자료 표출 방법에 비해, 제안한 GIS 정합 표출 방법이 지역 및 고도에 따른 강우강도와 강우의 공간분포 등을 파악하는데 있어 시각적으로 용이함을 알 수 있다. 본 연구에서 제안한 고정밀 GIS 정합에 의한 또 다른 레이더자료의 평면영상 표현 예로써 레이더반경 지면클러터(ground clutter)에 의한 차폐지도를 Fig. 4와 같이 생성하였다. 차폐지도 생성을 위해 2014년 4월 중 맑은 기상에서 KICT 레이더로부터 4회에 걸쳐 지상클러터 필터를 역으로 적용하여 $0 \sim 20^\circ$ 사이에서 45개의 각도로 스캔한 관측자료를 수집하였다. 그 후, 고도별 차폐분석을 위해 수집된 자료들을 평균하여 $0 \sim 3$ km 고도에서 100m의 수직해상도를 갖는 2차원 CAPPI 영상 R_h^R 을 각각 생성하였다. Fig. 4는

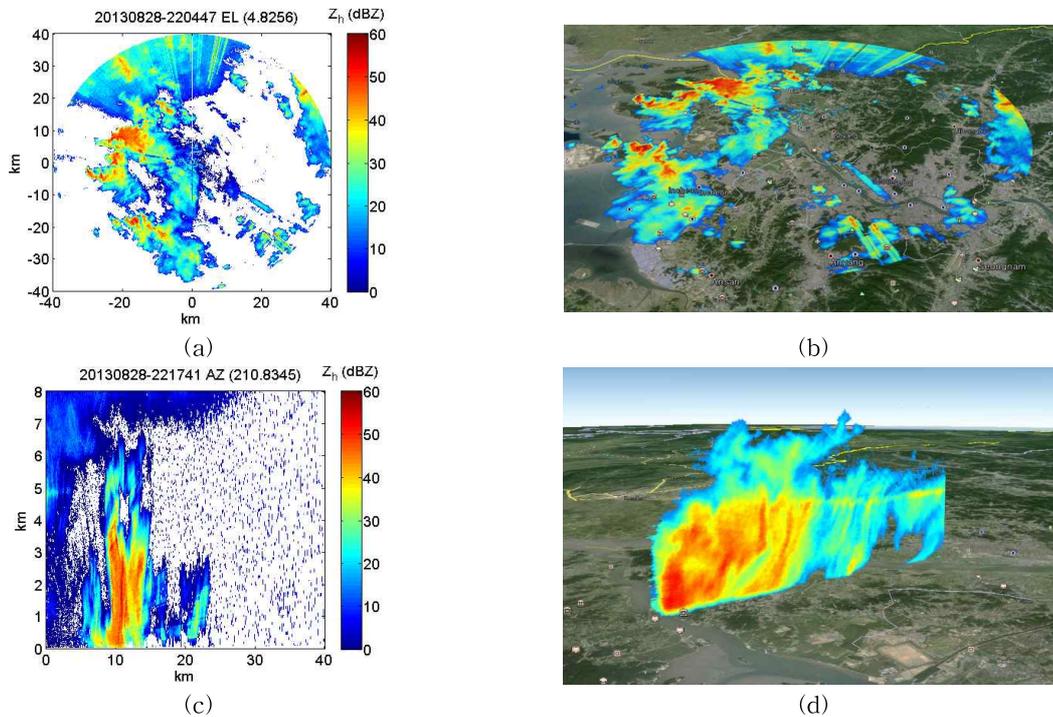


Fig. 3. 2D Radar Observation Data from KICT Radar and Its GIS Matching Result, (a) an Example of PPI Observation Data (b) GIS Matching Result of (a) on Google Earth, (c) an Example of RHI Observation Data, and (d) GIS Matching Result of (c) on Google Earth

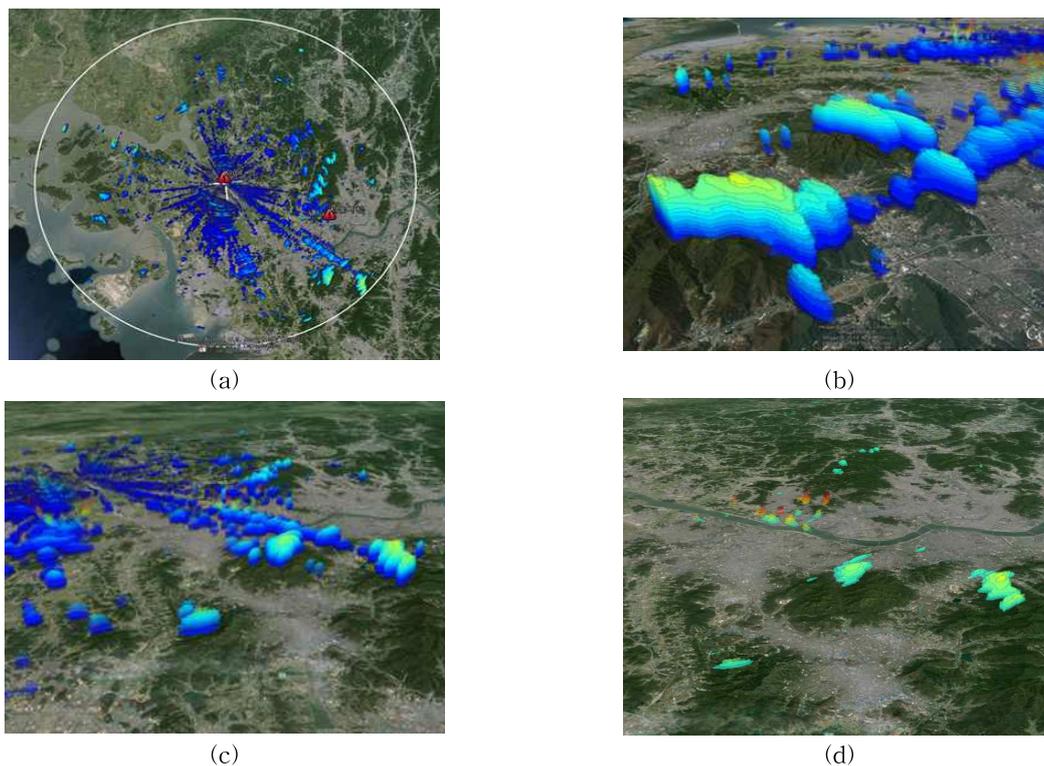


Fig. 4. GIS Matched Radar Shadow and Masking Map at 100m-height Intervals, (a) Blockage Masks within KICT Radar Radius from a Top View, (b) and (c) Various Blockage Masks according to Different View Points, and (d) Blockage Mask Areas of More than 1 km-height

생성된 CAPPI 영상들에 대하여 고도정보를 입력하여 KML 형식의 계층적 영상 자료로 가공한 후, 그 결과를 구글어스와 정밀 정합한 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 4와 같이 제한한 레이더 데이터의 GIS 정합 기법을 이용함으로써 고도정보가 포함된 정밀 GIS 상에서 지면 클러터에 의한 레이더 차폐지역에 대해 정확히 분석할 수 있음을 확인하였다. 이 자료를 활용함으로써 레이더 자료의 지면클러터에 의한 감쇄보정 및 강수의 과소추정 문제 등을 분석하는데 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 레이더 설치 지점에서 레이더 빔의 부분 차폐, 사이드로브(side-lobe) 등에 의한 영향을 분석하는데 용이할 것으로 기대한다.

Fig. 5는 2013년 12월 12일 강수사상 자료에 대해, 시간에 따른 레이더 반사도 데이터의 관측 영상을 GIS와 정합하여 표출한 것이다. 여기서 표현한 데이터는 1분의 시간 해상도를 갖는 데이터에 대해 5분 간격으로 표본 추출한 것이다. Fig. 5로부터 붉은 색으로 표현되는 국부적인 강한 강수예코의 생성 및 이동 과정을 정확한 GIS 좌표와 함께 정밀하게 표현할 수 있음을 보였다. 이를 통해 각 지역에 따른 레이더 강수의 이동 및 패턴 변화를 정확하고 직관적으로 관측할 수 있으며, 향후 시간변화에 따른 강수정보 변화를 추적함으로써 강수예측 및 재해경보 등에 응용할 수 있을 것이다.

Fig. 5의 레이더 자료에 대하여 시간축 상에서의 레이

더자료 변이추이를 관찰하는 중, 특정 시각에서 지상 지점의 관측 예를 Fig. 6으로 나타내었다.

Fig. 6(a)와 동일 시간대에 실험 레이더 설치 지점인 한국건설기술연구원(37° 40′ 07″, 126° 44′ 20″)과 레이더 관측 반경에 있는 서울특별시청(37° 33′ 58″, 126° 58′ 40″)에서의 레이더 자료를 3차원 GIS 상에서 지상 시점으로 관측한 예를 각각 Fig. 6(b) 및 Fig. 6(c)로 나타낸 것이다. Fig. 6과 같이 정밀 3차원 GIS 상에서 정확한 CAPPI 자료를 정합함으로써, 레이더 관측 반경 내의 전 지역에서 대기수상체의 구분이 용이할 것으로 기대할 수 있다.

비슷한 예로, 레이더 반사도 및 누적강우량을 GIS자료와 3차원 정합한 예를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7은 강수 강도에 따라 레이더자료를 강수 영역별로 분류한 후 GIS 상에서 3차원 히스토그램으로 정합하여 표현한 것으로, Fig. 7(a) 및 Fig. 7(b)를 통해 관측자로 하여금 정밀하고 직관적으로 강수 분포를 관측할 수 있게 하는 것을 확인하였다. 또한 Fig. 7(c), Fig. 7(d) 및 Fig. 7(e)과 같이 특정 지상 시점에서의 3차원 강수정보 관측을 통해, 돌발홍수, 산사태와 같은 재해가 예측되는 지역을 실시간 정밀 감시함으로써 보다 빠르고 정확한 재해 예방 및 정보를 도모할 수 있을 것으로 기대한다.

앞서 보였던 Figs. 3~7의 결과를 활용함으로써, 향후 스마트폰, 태블릿 PC 및 웨어러블 디바이스(wearable device) 등을 이용한 기상정보의 개인화 서비스를 가능케

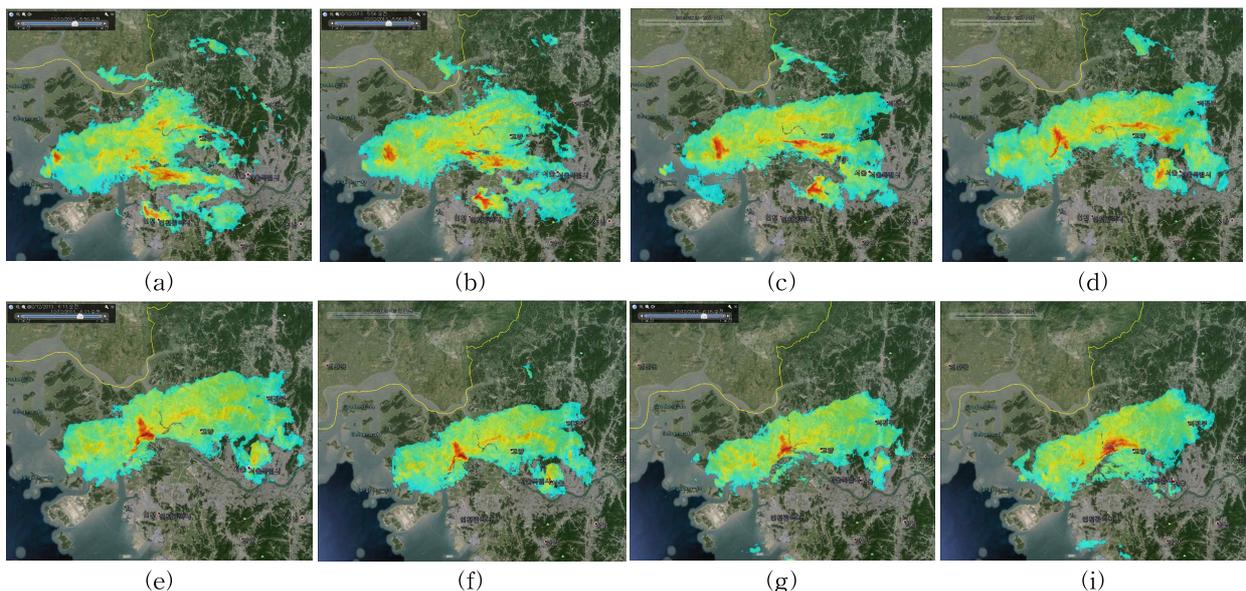


Fig. 5. GIS Matching Examples for Radar Data on Time Series [precipitation event on Dec. 12, 2014], (a) Data at 05:50, (b) Data at 05:55, (c) Data at 06:00, (d) Data at 06:05, (e) Data at 06:10, (f) Data at 06:15, and (g) Data at 06:20 on UTC

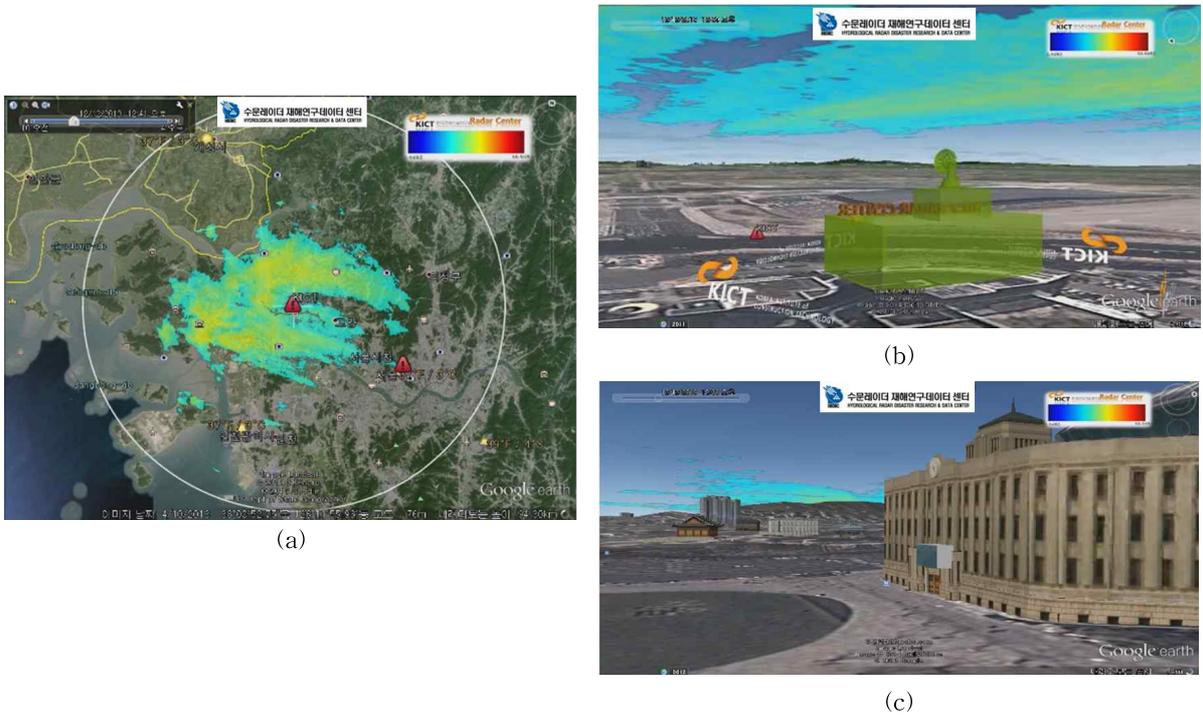


Fig. 6. Example of Intertemporal GIS Matched Radar Data Expression at Different Areas [precipitation event at 24:41, Dec. 12, 2014 on UCT], (a) Radar Data within KICT Radar Radius from a Top View, (b) Ground View of Radar Data Beside KICT Building, and (c) Ground View of Radar Data Beside Seoul City-hall

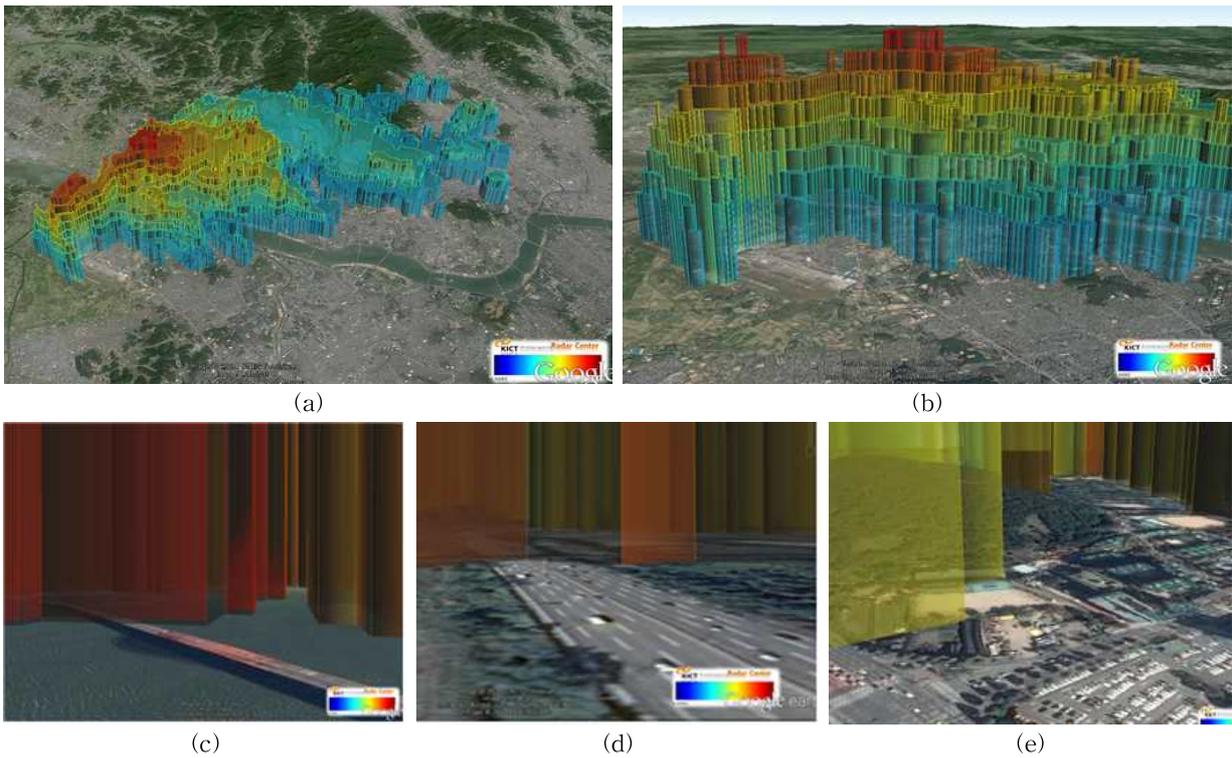
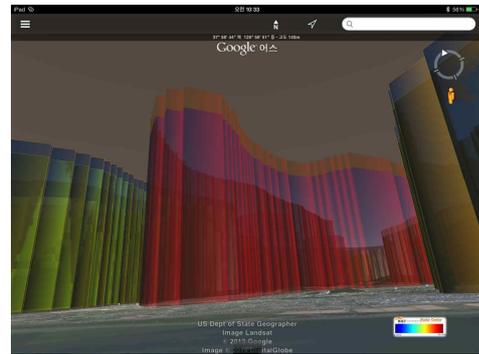


Fig. 7. 3D Histogram Generation and Its High-precision GIS Matching for a Precipitation Event, (a)–(e) Observations at Various View Points



(a)



(b)

Fig. 8. Expression of 3D Precipitation Information of Fig. 7 on Mobile Devices, (a) iPhone4, and (b) New iPad

할 수 있으며, 각 장비의 GPS (global positioning system) 을 활용한 정밀한 GIS 기반 기상정보의 증강현실화를 구축할 수 있다. Fig. 8로부터 Fig. 7에 나타난 3차원 강수정보를 모바일 단말에 적용하여 GPS 및 자이로 센서를 이용하여 사용자 위치 기반의 기상정보 서비스의 예를 구현하여 검증하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 레이더의 다양한 응용 및 보다 정확한 기상, 수문 해석을 위해 레이더 자료를 멀티미디어자료로써 재가공하여 매쉬업 서비스에 활용하는 기법을 제안하였다. 또한, 레이더 자료의 보다 효과적인 분석과 해석을 통해 기상현상이 발생중인 정확한 위치와 실황 및 예보를 돕기 위한 정밀 GIS 정합 기법을 소개하였다. 본 연구에서 제안한 기법은 기상레이더로부터 관측된 다양한 레이더 변수들을 이용하여 2차원의 영상 및 벡터 그래픽 자료, 또는 3차원 볼륨 자료 등의 다양한 고해상도 멀티미디어 자료로 변환하여 3차원 GIS 플랫폼 상에서 정확한 좌표 위치와 고도에 표현하는 방법이다. 다양한 강수 시나리오에 대한 실험 결과, 제안한 방법을 통해 3차원 GIS 플랫폼과 융합된 고해상도 레이더 자료를 이용함으로써 정확한 레이더 차폐영역 분석, 강수의 이동경로 파악, 강수량 추정 등에 따른 홍수위험도 분석 등에 효과적으로 사용될 수 있음을 확인하였다. 제안된 레이더 자료 표출 기법은 매쉬업 서비스를 통해 스마트폰, 태블릿 PC, 텔레매틱스 등의 개인용 단말기에서부터 항공 선박 등의 대형 장비들에 이용이 가능할 것이며, 아울러 개개의 GPS 정보를 이용하여 위치기반 개인형 기상정보 서비스가 가능할 것으로 기대한다. 또한, GIS를 통한 직관적인 자료 표출에 의해 레이더 관련 비전문가들 역시 레이더로부터 관측되는 기

상 현상을 쉽게 파악할 수 있게 함으로써 보다 능동적이고, 효과적으로 피해를 예방할 수 있을 것이다. 향후, 보다 진보된 연구와 고해상도 기상데이터 분석을 통해 증강현실 수준의 기상 서비스를 제공함으로써 재난현장의 실시간 3차원 실감 시뮬레이션 및 예측을 통해, 기상 현상에 의한 재난 피해를 최소화 할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 2014 주요사업('수문레이더 운영 및 웹·모바일 경보 플랫폼 개발' 및 '전자파를 이용한 초소형우량계 개발')의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Bringi, V.N., and Chandrasekar, V. (2001). "Polarimetric Doppler Weather Radar: Principles and Applications." Cambridge University Press, New York, NY.
- Chandrasekar, V., Wang, Y., Lim, S., and Francesc, J. (2011). "Accomplishments, challenges and opportunities in developing network based radar systems for high-impact small-scale weather events." Radar Conference (RADAR), IEEE, pp. 1056-1061.
- Google, <http://www.google.com/earth/index.html>, Retrieve June, 5 2014.
- HRFCO (Han River Flood Control Office), http://www.hrfco.go.kr/html/flood/realTime_4.jsp, Retrieved Oct., 29 2014.
- Hu, H. (2014). "An algorithm for converting weather radar data into GIS polygons and its application in

- severe weather warning systems." *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 28, No. 9, pp. 1765-1780.
- James, C.N, Brodzik, S.R., Edmon, H., Houze Jr, R.A., and Yuter, S.E. (2000). "Radar data processing and visualization over complex terrain." *Weather and Forecasting*, Vol. 15, No. 3, pp. 327-338.
- Jang, B.-J., Lim, S., Lee, S.-H., Moon, K.-S., Chandrasekar, V., and Kwon, K.-R. (2013). "A visualization method of high definition weather radar information for various GIS platform." *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 16, No. 11, pp. 1239-1245.
- KMA (Korea Meteorological Administration), http://www.kma.go.kr/weather/images/rader_composite_cappi.jsp, Retrieved Oct., 29 2014.
- Lim, S., Chandrasekar, V., and Bringi, V.N. (2005). "Hydro-meteor classification system using dual-polarization radar measurements: Model improvements and in situ verification." *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, Vol. 43, No. 4, pp. 792-801.
- Mcgill University, <http://www.radar.mcgill.ca/>, Retrieved June, 11 2014.
- Wernecke, J. (2008). *The KML Handbook: Geographic Visualization for the Web*. Addison-Wesley Professional. p368.
- Xie, H., Zhou, X., Vivoni, E.R., Hendrickx, J.M.H., and Small, E.E. (2005). "GIS-based NEXRAD Stage III precipitation database: automated approaches for data processing and visualization." *Computers & Geosciences*, Vol. 31, No. 1, pp. 65-76.
- You, C.-H, Lee, G.-W., and Han, H.-Y. (2012). "Radar data quality control algorithm for KMA weather radar center." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 8, pp. 44-49.

<p>paper number : 14-076 Received : 14 August 2014 Revised : 7 October 2014 / 5 November 2014 Accepted : 5 November 2014</p>
