

X밴드 선박용 레이더를 이용한 강우 추정

김광호* · 권병혁** · 김민성*** · 김박사*** · 윤홍주****

Rainfall Estimation by X-band Marine Radar

Kwang-Ho Kim* · Byung-Hyuk Kwon** · Min-Seong Kim*** · Park-Sa Kim*** · Hong-Joo Yoon****

요약

X밴드 선박용 레이더를 이용하여 개발한 강우 추정 기술로 강우 사례를 검증하였다. 디지털 신호 변환기를 사용하여 선박용 레이더로부터 수신된 신호를 디지털 반사 정보로 변환하였다. 반사도 정보에서 지형클러터 신호를 제거하고, 빔 감쇠와 빔 부피의 변화에 의해 발생하는 오류를 보정 처리하였다. 처리된 반사 정보는 우량계 강우량과 선형적인 관계를 보였다. 레이더 신호를 직교좌표계로 변환하여 정량적 강우를 추정하였다. 자동기상관측소 세 지점에서 5 mm hr^{-1} 이상의 강우가 기록된 사례에서 선박용 레이더의 강우 분포는 기상청 운용 기상 레이더의 결과와 일치하였다.

ABSTRACT

The rainfall cases were identified by rainfall estimation techniques which were developed by using X - band marine radar. A digital signal converter was used to convert the signal received from the marine radar into digital reflectivity information. The ground clutter signal was removed and the errors caused by beam attenuation and beam volume changes were corrected. The reflectivity showed a linear relationship with the rain gauge rainfall. Quantitative rainfall was estimated by converting the radar signal into an cartesian coordinate system. When the rainfall was recorded more than 5 mm hr^{-1} at three automatic weather stations, the rain cell distribution on the marine radar was consistent with that of the weather radar operated by Korea meteorological Administration.

키워드

Marine Radar, Quantitative Precipitation Estimation, X-band, Signal Correction, Ground Clutter Removal
선박용 레이더, 정량적 강우 추정, X밴드, 신호 보정, 지형 클러터 제거

1. 서론

대부분의 나라에서는 우량계와 기상 레이더를 사용하여 강우를 관측하고 있다. 우량계는 강우를 연속적으로 측정할 수 있지만 공간적 한계로 인하여 지리적

으로 접근성이 떨어지는 곳과 같이 우량계의 미설치 영역에 대한 강우 분포를 정확하게 제공할 수 없다. 기상 레이더는 3차원 공간에서 강우에 의해 산란된 전파신호를 감지하고, 우량계보다 정확하게 강우 공간 분포를 제공한다. 하지만 레이더 보정 오차, 밝은 띠

* 기상레이더센터(goodss777@naver.com)

** 교신저자 : 부경대학교 환경대기과학과

*** 부경대학교 지구과학연구소(willms@nate.com, withlord56@naver.com)

**** 부경대학교 공간정보시스템공학과(yoonhj@pknu.ac.kr)

· 접수일 : 2018. 04. 20

· 수정완료일 : 2018. 06. 17

· 게재확정일 : 2018. 08. 15

· Received : Apr. 20, 2018, Revised : Jun. 17, 2018, Accepted : Aug. 15, 2018

· Corresponding Author : Byung-Hyuk Kwon

Dept. of environmental atmospheric sciences, Pukyong National University,

Email : bhkwon@pknu.ac.kr

에 의한 오염 그리고 거리에 따른 빔 폭의 증가 등에 의하여 강우 추정 오차가 발생하고[1], 저층의 강우 분포를 직접 측정하는 것이 아니기 때문에 실제 지상 강우와 오차를 내포한다[2]. 기상 레이더는 거대한 규모와 광범위한 관측 반경을 통해서 5~15분 정도의 시간 해상도에 따라 여러 층의 대기를 스캔한다[3]. 기상 레이더는 우선적으로 기상학적인 활용을 위해 운용되기 때문에 돌발적인 국지성 집중 호우와 같이 짧은 시간 내에 발생하는 현상을 감시하는 것이 어렵고, 우리나라의 지형적 특성 때문에 레이더 관측 사각 지대가 존재한다[4].

산악이나 도심 지역을 중심으로 발생하는 돌발적인 집중 호우를 지속적으로 감시하고 피해를 예방하기 위해서 국지적 범위에 대한 강우의 시공간적 고해상도 관측이 요구되는데, X밴드 기상 레이더는 이와 같은 요구에 적합한 관측 시스템이다[5-6]. 미국은 X밴드 이중편파 레이더를 활용하여 S밴드와 C밴드 기상 레이더의 정량적 강우 추정 정확도를 향상시키고, 관측 사각 영역을 보완하고 있다[2]. 덴마크는 X밴드인 선박용 레이더를 기반으로 국지 강우 관측 시스템을 개발하고 복수의 국지 강우 레이더망을 구축하여 레이더의 관측 영역을 확장시켰다[5]. 선박용 레이더는 단일 고도각 스캔 방식과 단일편파 빔을 통해서 지형 및 선박 등을 탐지한다. 선박용 레이더를 통하여 X밴드 전파를 활용한 강우 관측 시스템을 구축 할 수 있고, 비용을 절감할 수 있는 경제적인 측면과 하드웨어 규모를 고려할 때 설치 및 운용이 매우 효율적이다.

본 연구에서는 강우 현상에 대한 X밴드 선박용 레이더의 신호를 처리하여 생성한 강우 정보의 정확도를 검증함과 동시에 우리나라의 지형적 특성과 장비에 따른 강우 관측의 한계를 극복할 수 있는 강우 관측 시스템을 제시한다.

II. 장비 구성 및 신호처리

선박용 레이더에서 안테나와 모니터 사이에 수신되는 반사 또는 산란 신호를 강수 신호로 처리하기 위해 ADC(Analog to Digital Converter)를 사용하였다. ADC는 신호 전송에 영향을 주지 않으면서 Head, Bearing, Trigger 그리고 Video 신호를 인식할 수 있

다[7]. 이러한 레이더 신호를 서로 연결 처리하여 신호 손실 가능성을 방지하고, 40 MHz의 ADC 샘플링 주파수와 12 bit의 디지털 신호 해상도를 사용하여 정밀도와 정확도를 극대화하였다(표 1 참조).

표 1. ADC 사양
Table 1. Specifications of ADC

	Specification	Unit
Sampling speed	40/20/10	MHz
resolution	12	bit
CPU	ATxMega128A/128Mbit SDRAM	
Interface	USB	
Power	DC12V IN / DC +5V, -5V, +3.3V	
Dimension	200 * 200 * 105 (W*D*H)	mm
PCB Board layer	134x74, 100x35, Layer4	
Version	GQV0.9	

레이더 신호처리 시스템은 안테나 부와 ADC 부, 모니터 부, 그리고 PC로 구성되어 있다. 안테나 부와 모니터 부 사이에 ADC를 연결하고, ADC에 장착된 인터페이스(USB 포트 혹은 RS232 포트)를 통해서 디지털 신호로 변환된 레이더 정보를 PC로 전송한다. 안테나는 FURUNO 사의 MODEL-1832 모델이며, 표 2와 같이 3.2 cm 파장의 전파를 송신하고 $\pm 10^\circ$ 의 수평 각도로 운용된다. 모니터는 레이더의 Range, Pulse length, Target 및 Heading 라인 등을 표시한다. 안테나와 모니터 간에 전송되는 신호는 모두 +12 V, 0 V 레벨로 On-off 신호이기 때문에 전압분배로 TTL 레벨로 만든 다음 IC 회로(7414 LOGIC)를 거쳐 On-off 상태를 나타내도록 설계하였다. Video 신호는 반사 정도에 따라 -6 ~ 0 V 레벨로 스윙하기 때문에 연산 증폭기(OP AMP)를 사용하여 상을 반전시킨 다음 그 전압레벨에 따라 양자화된 디지털 반사 정보로 변환시켰다.

표 2. 안테나 사양
Table 2. Specifications of antenna

	Specification	Unit
power	4	kW
wavelength	3.2	cm
pulse width	0.8	us
antenna	0.61	m
receiver		
elevation	± 10	degree
azimuth resolution	0.8	degree
observation radius	60	km
spatial resolution	50~250	m
temporal resolution	1 or 5	min
scanning	single elevation	

III. 신호 보정

3.1 지형클러터 제거 기술

선박용 레이더는 수평방향의 경우에 $\pm 10^\circ$ 이상의 고도각으로 빔을 방사하기 때문에 지면으로부터 반사된 지형 신호가 수신된다. 지형 신호는 강우 관측 오류의 치명적인 원인이 된다. 레이더 주변에 클러터 펜스를 설치하여 지형 신호를 물리적으로 제거하거나 지형클러터 지도를 기반으로 신호 보정 기술을 이용하여 제거할 수 있다. 고도각 0° 이하의 빔을 차단하기 위해 레이더 주위로 클러터 펜스를 설치하여 청천 사례에 대하여 클러터 펜스로 지형클러터를 제거하기 전과 후의 결과를 비교하였을 때, 그림 1과 같이 지형클러터로 인하여 포화되었던 레이더 반사도 영역이 52% 감소하였다.

청천 대기에서 레이더 스캔 라인에 대하여 시공간적으로 지속적인 강도를 나타내는 신호를 제거하기 위해서 2차원 지형클러터 지도를 작성하였다. 지형클러터 위에 강수가 발생할 경우, 그림 2와 같이 지형클러터와 강수의 신호가 더해져 더욱 강한 신호가 발생한다. 이러한 원리를 이용하여 지형클러터 지도를 통해서 강수 신호만을 추출하였다.

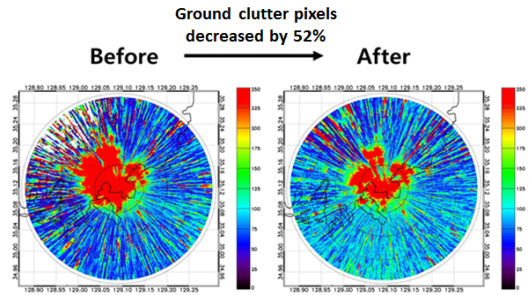


그림 1. 클러터 펜스 설치 전과 후의 지형클러터 제거 효과

Fig. 1 Clutter fence effect on removal of the ground clutter

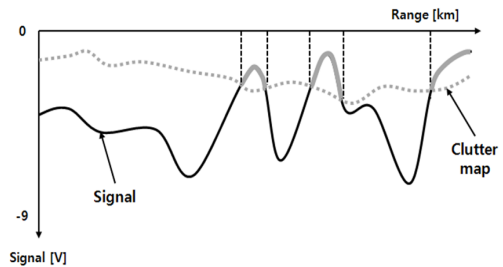


그림 2. 단일 스캔 라인에 대한 지형클러터 지도의 적용 원리

Fig. 2 Principle of ground clutter mapping to single scan line

3.2 선박용 레이더의 빔 보정 기술

선박용 레이더의 관측에서 강수 입자, 구름 입자 그리고 먼지 등에 의해 전파 감쇠가 일어나거나 거리에 따라 빔의 부피가 그림 3과 같이 지수 함수적으로 증가한다. 전파 감쇠는 강우 관측의 오류를 발생시키기 때문에 강수 입자와 거리에 대한 빔 감쇠 보정이 요구된다. 각 스캔 라인의 추출되는 디지털 신호를 식 (1)과 같이 경험적 상수를 적용하여 보정하였다. S_r 은 거리 r 에서 조정된 디지털 신호이고, $S_{g,r}$ 은 거리 r 에서 조정되지 않은 디지털 신호를 의미한다. $n_{samples}$ 은 단일 스캔라인에서 추출한 샘플 수(일반적으로 8000)이고, α 와 C_1 은 감쇠 보정을 위한 경험적 상수(전형적인 값은 각각 1.5와 200)이다. 과대 감쇠 보정은 레이더로부터 가까운 영역을 과소 추정하고, 과소 감쇠 보정은 레이더로부터 먼 영역을 과소 추정한다[8-9].

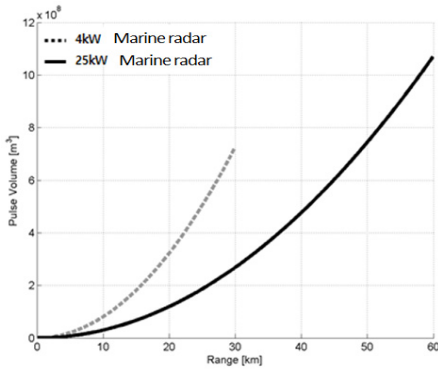


그림 3. 선박용 레이더의 거리에 따른 빔 높이 및 부피 변화
 Fig. 3 Beam height and volume according to the observation range of the marine radar

빔의 부피는 레이더 지점에서 멀어질수록 빔 부피 내의 강우에 의해 채워지지 않은 공간이 증가하여 동일한 양의 강우에 대해 가까운 지점보다 과소 추정할 수 있다. 특히, 빔 부피의 변화에 의한 강우 관측의 오차는 대류형 강우보다 층운형 강우에서 뚜렷하게 나타난다. 식 (2)를 사용하여 빔 부피의 변화에 의한 신호를 보정하였다. S_{rv} 는 거리 r 에서 부피 보정된 디지털 신호, S_r 은 거리 r 에서 감쇠 보정된 디지털 신호이다. C_2 와 C_3 는 장소에 예측적인 경험적 상수로 초기 값은 각각 1과 -0.03 이다[9].

$$S_r = S_{g,r} \left(1 + \frac{\alpha \sum_{i=0}^{r-1} S_i}{C_1 \cdot n_{samples}} \right) \quad (1)$$

$$S_{rv} = S_r \frac{1}{C_2 \cdot \exp(r \cdot C_3)} \quad (2)$$

IV. 정량적 강우 추정 및 검증

4.1 정량적 강우 추정(QPE)

그림 4와 같이 디지털 신호로 변환된 선박용 레이더 관측 자료는 우량계 강우량과 선형적인 관계를 보인다. 두 자료의 선형 관계를 통해 우량계 강우량과

대응하는 레이더 픽셀의 신호에 대한 비율을 산출하기 위해 QPE(Quantitative Precipitation Estimation)에 대한 변환 계수를 의미하는 식 (3)을 사용하였다. 범위 n 은 강우 사상의 시작과 끝나는 기간 동안의 관측 자료 개수이다. R 은 우량계로 관측한 지상 강우량이고, S_{rv} 는 선박용 레이더로 관측한 보정된 디지털 신호이다. 식 (3)으로부터 산출된 QPE 변환 계수를 보정된 디지털 신호에 적용하여 선박용 레이더의 강우량을 식 (4)로 산출하였고, 지상 우량계를 통해서 산출된 강우량을 정량적으로 검증하였다.

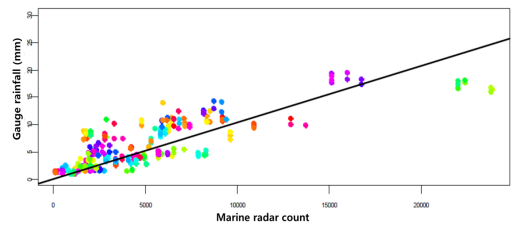


그림 4. 선박용 레이더의 디지털 신호와 우량계 강우량의 선형적 관계
 Fig. 4 Linear relationship between digital signal of marine radar and rain gauge rainfall

$$CF = \sum_{i=1}^n R_i / \sum_{i=1}^n S_{i_{rv}} \quad (3)$$

$$R = CF \times S_{rv} \quad (4)$$

4.2 레이더 자료의 좌표 변환

선박용 레이더의 QPE 검증을 위해서 우량계와 기상 레이더의 강우 정보를 비교하려면 자료의 좌표를 동일하게 설정해야하기 때문에 선박용 레이더의 좌표를 직교좌표계로 변환해야 한다. 따라서 식 (5)의 Cressman 가중 함수를 이용하여 식 (6)과 같이 2차원의 격자화된 레이더 자료를 생성하였다. $w(i,j,k)$ 는 측정 지점과 주변 격자점 사이의 거리를 통해 산출된 Cressman 가중 함수이며, R 은 가중 함수를 산출하기 위한 영향 반경, d_k 는 측정 지점과 주변 격자점과의 거리이다. a' 는 격자화된 선박용 레이더의 반사도이며, a_k 는 극좌표계에 표출되는 선박용 레이더의 반사도이다.

$$w(i, j, k) = \frac{R^2 - d_k^2}{R^2 + d_k^2}, \quad d_k^2 < R^2 \quad (5)$$

$$a'(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^n a_k w(i, j, k)}{\sum_{k=1}^n w(i, j, k)} \quad (6)$$

4.3 빔 차폐율

선박용 레이더 관측에 적합한 운용 지점은 전 방위에서 또는 최소한 관심 영역에서 빔 차폐가 적게 발생하는 곳이어야 한다. 레이더의 빔 차폐율을 계산하기 위하여 식 (7)을 사용하였다. y 는 레이더 중심 고도와 각 지점에 대한 지형 고도의 차이를 의미하며, a 는 레이더 빔 단면에서 반경을 의미한다[10].

$$PBB = \frac{y \sqrt{a^2 - y^2} + a^2 \arcsin \frac{y}{a} + \frac{\pi a^2}{2}}{\pi a^2} \quad (7)$$

V. 사례 검증

본 연구에서는 선박용 레이더를 이용하여 2016년 1월 17일 16시부터 19시까지 단기 강수 사례에 대한 관측을 수행하였다. 부경대학교 용당 캠퍼스에서 선박용 레이더 관측 시스템의 시범운용을 실시하였고, 운용 결과의 검증에 위하여 그림 5와 같이 관측 반경 내에서 운용 중인 13대의 AWS(: Automatic Weather Station) 자료를 사용하였다. 시범운용 지점은 레이더 방위각 $340^\circ \sim 360^\circ$ 사이에 300 m 이상의 산악 지형이 위치하는 것 외에는 300 m 미만의 낮은 지형으로 둘러싸여 있고, 부산 중심에 위치하기 때문에 부산에서 발생하는 대부분의 강수를 관측할 수 있으며, 서쪽과 남쪽으로 유입되는 강수를 관측하는 것도 가능하다. 운용 지점의 빔 차폐율 검사 결과, 300 m 이상의 지형에 의해 레이더 방위각 $340^\circ \sim 360^\circ$ 사이의 영역에서 50% 정도의 빔 차폐율을 보였으나 전반적으로 30% 미만으로 낮게 나타났다.

그림 6(a)는 강우 사례의 레이더 디지털 신호이고, 그림 6(b)는 지형클러터 신호가 제거된 강우 영역을

나타낸다. 선박용 레이더의 반사도는 빔의 감쇠와 부피에 대하여 보정된다. 식 (1)과 (2)에서 a , C_1 의 값에 따라 거리에 따른 감쇠 보정률은 변동하며, 반사도의 크기도 달라진다. 식 (1)의 a 와 C_1 에 각각 2와 200을 적용하여 평균 감쇠 보정률을 계산하고 감쇠 보정 전과 후의 반사도를 그림 7에 나타내었다. 감쇠 보정 후에 강우 영역에서 반사도는 증가하였다. 부피 보정을 위해 식 (2)에서 C_2 와 C_3 에 각각 1과 -0.03을 적용하여 부피 보정률을 계산하였다. 강우 영역임에도 과소 추정된 그림 8(a)의 붉은 원의 영역의 반사도가 부피 보정을 통하여 그림 8(b)와 같이 증가하였다.

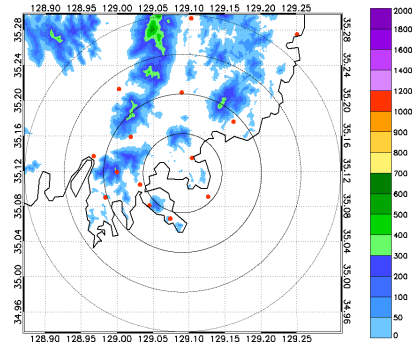


그림 5. 시범 운용 영역과 우량계 지점(빨강)
Fig. 5 Pilot operation area and rain gauge points (red dot)

선박용 레이더와 우량계로 추정된 강우를 비교하기 위해 극좌표계로 표출되는 레이더의 반사도를 XY 격자 해상도 100 m와 격자수 401×401 개의 2차원 반사도로 변환하였고, 레이더 반경 내 우량계의 위도와 경도를 직교 좌표(Cartesian coordinates)로 변환하였다. AWS 세 지점(No. 159, No. 919, No. 968)에서 강우가 뚜렷하게 기록된 사례에서 우량계를 통해서 선박용 레이더의 QPE 및 검증을 수행하였다. 관측기간의 AWS 우량계와 그 지점에 대응하는 선박용 레이더의 반사도를 통해서 선형성을 확인할 수 있었고, 상관계수 R^2 의 값은 0.58이었으며, 식 (3)을 통해서 결정된 QPE 변환계수는 0.02 mm hr^{-1} 이었다. 기상청 기상 레이더와 선박용 레이더의 강우 분포를 비교한 결과, 그림 9와 같이 5 mm hr^{-1} 이상의 강우에 대하여 두 레이더의 강우 분포는 일치하였다.

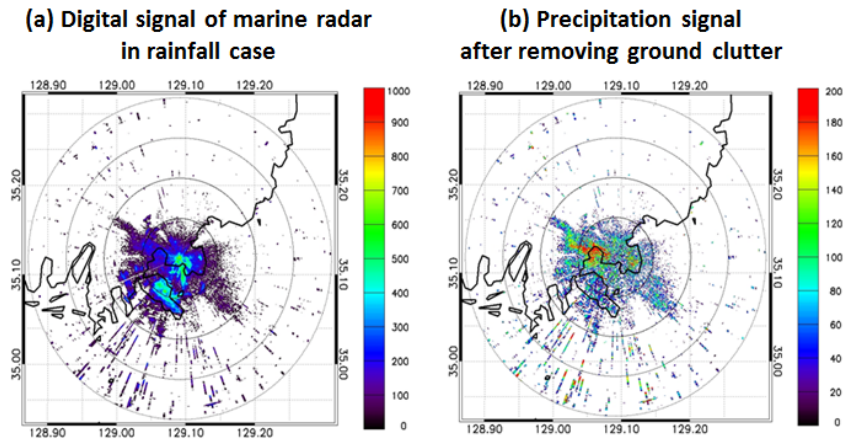


그림 6. 선박용 레이더의 지형클러터 지도를 이용한 강우 신호 추출
 Fig. 6 Extraction of precipitation signal using ground clutter map of marine radar

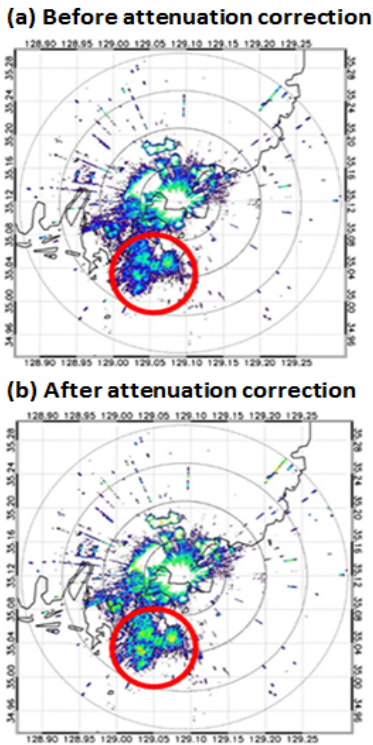


그림 7. 선박용 레이더의 감쇠 보정 전과 후
 Fig. 7 Before and after attenuation correction of marine radar

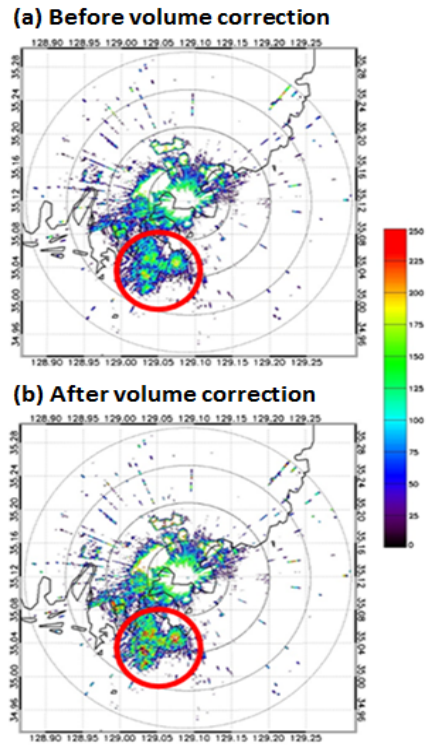


그림 8. 선박용 레이더의 부피 보정 전과 후
 Fig. 8 Before and after volume correction of marine radar

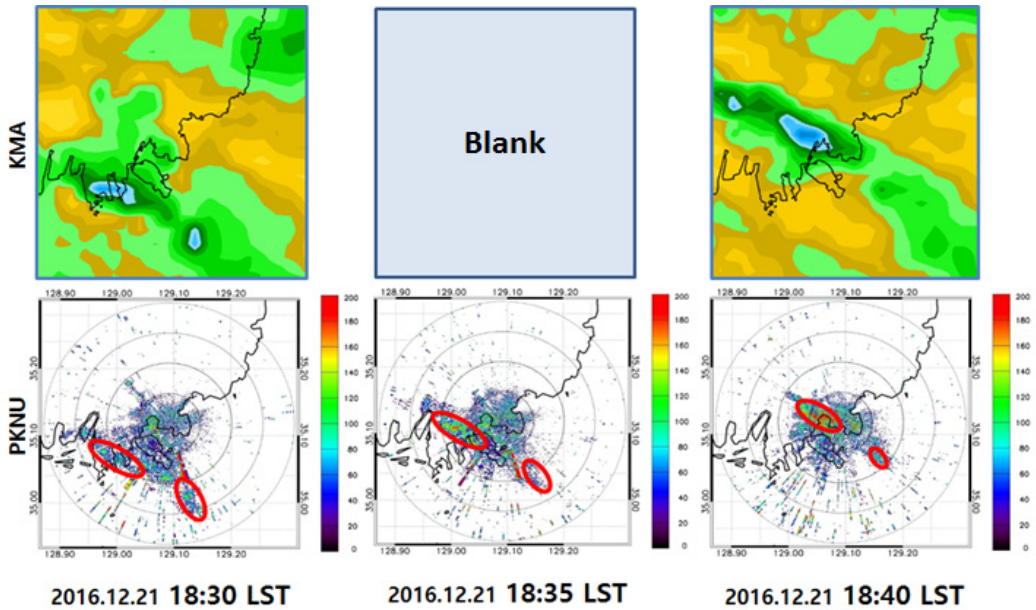


그림 9. 기상 레이더와 선박용 레이더로 관측한 강우 분포 비교이며, 선박용 레이더 관측 결과의 시공간 해상도가 높다

Fig. 9 Comparisons of the rainfall distribution between the weather and the marine radar show higher temporal and spatial resolution of the observational result from the marine radar

강우 관측에서 X밴드 레이더의 역할이 증가하고 있으며, 기상 선진국에서는 선박용 레이더를 기반으로 국지 강우 감시망을 운용하기 시작하였다. 미국의 CASA(Collaborative Adaptive Sensing of the Atmosphere) 프로젝트에서 X밴드 레이더 관측망은 기존의 C밴드와 S밴드 레이더 관측망보다 시간 해상도는 5배, 공간 해상도는 8배 향상시켰다[11]. 이에 대응하게 X밴드인 선박용 레이더 또한 국내 현업 기상 레이더보다 시간 해상도가 2~10배, 공간 해상도는 6배 이상으로 관측할 수 있다.

VI. 결 론

기상 레이더 관측망의 사각 지역을 보완하고 강우 관측의 시공간 해상도를 향상시키기 위해서 X밴드 선박용 레이더 시스템을 활용한 지상 강우 관측 기술을 제시하였다. 선박용 레이더의 신호는 ADC를 통해서

디지털 반사 신호로 변환되었다. 기상 레이더와 달리 선박용 레이더는 $\pm 10^\circ$ 이상의 단일 고도각으로 넓게 빔을 방사하여 스캔하기 때문에 지면으로부터 반사된 지형 신호가 수신되고, 거리에 따라 빔이 감쇠하거나 부피가 증가하는 문제가 있다. 이러한 문제에 대해 지형 클러터 제거 기술을 사용하여 변환된 신호의 포화된 반사도 영역을 제거하였고, 신호 보정 기술을 통해 거리에 따른 빔의 감쇠와 부피 변화에 의해 발생하는 관측 오류 문제를 해결하였다. 선박용 레이더의 QPE를 검증하기 위해서 단기 강우 사례에 대하여 선박용 레이더의 관측을 실시하였다. 관측 기간에 AWS 우량계의 강우량은 선박용 레이더의 반사도와 선형성을 보였고, 5 mm hr^{-1} 이상의 강우에 대하여 기상 레이더와 선박용 레이더의 강우 분포는 일치하였다.

선박용 레이더는 지상의 시공간적 고해상도 강우 분포 정보를 생성함으로써 기상 레이더의 자료를 검증하고 보정하는 데 활용될 수 있고, 지상 강우 관측 가능성을 제시함으로써 향후 기상용 X밴드 레이더 관

측망 구축의 기초 자료로 활용될 수 있다. X밴드 선박용 레이더의 활용은 산간 및 도심 지역의 국지성 집중 호우의 피해 예방에 활용될 뿐 아니라 선박용 레이더를 활용한 기상 장비의 발전에 기여할 것이다. 아직 약한 강우 분포에 대한 감지 능력이 낮으나, ADC의 offset과 gain 조절을 통해서 감지 능력은 향상될 수 있다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비 (2017년)에 의하여 연구되었음.

References

- [1] S. Jung and G. Lee, "Statistical characteristics of atmospheric conditions related to radar beam propagation using radiosonde data in 2005-2006," *J. of the Korean Earth Science Society*, vol. 31, no. 6, 2010, pp. 584-599.
- [2] K. Kim, M. Kim, G. Lee, D. Kang, and B. Kwon, "The adjustment of radar precipitation estimation based on the kriging method," *J. of the Korean Earth Science Society*, vol. 34, no. 1, 2013, pp. 13-27.
- [3] R. Gill, S. Overgaard, and T. Bøvith, "The Danish weather radar network," In *Proc. European Radar Conf. 2006*, Barcelona, Spain, Sept. 2006.
- [4] M. Kim, B. Kwon, and H. Yoon, "Estimation of surface layer heat flux using the UHF sensor installed on UAV," *J. of Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 1, 2018, pp. 265-276.
- [5] S. Thorndahl and M. Rasmussen, "Marine X-band weather radar data calibration," *Atmospheric Research*, vol. 103, 2012, pp. 33-44.
- [6] S. Lee, E. Im, and Y. Lee, "High power X-band SSPA Design using Gysel Power Combiner," *J. of Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 4, 2014, pp. 425-431.
- [7] P. Kim, B. Kwon, M. Kim, and H. Yoon, "Converting Analog to Digital Signals on the X-band Radar," *J. of Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 3, 2018, pp. 497-502.
- [8] L. Pedersen, "Identification and Quantification of Uncertainties Related to Using Distributed X-band Radar Estimated Precipitation as input in Urban Drainage Models," PhD Thesis, *DHI & Institute for Informatics and Mathematical Modelling (IMM), Technical University Denmark (DTU)*, 2009.
- [9] L. Pedersen, N. Jensen, and H. Madsen, "Calibration of Local Area Weather Radar—Identifying significant factors affecting the calibration," *Atmospheric Research*, vol. 97, no. 1-2, 2010, pp. 129-143.
- [10] J. Bech, B. Codina, J. Lorente, and D. Bebbington, "The sensitivity of single polarization weather radar beam blockage correction to variability in the vertical refractivity gradient," *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 20, no. 6, 2003, pp. 845-855.
- [11] D. McLaughlin and Coauthors, "Short-wavelength technology and the potential for distributed networks of small radar systems," *Bulletin of American Meteorological Society*, vol. 90, no. 12, 2009, pp. 1797-1817.

저자 소개



김광호(Kwang-Ho Kim)

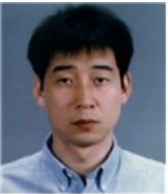
2007년 부경대학교 환경대기과학과 졸업(이학사)
2009년 부경대학교 일반대학원 환경대기과학과 졸업(이학석사)

2015년~2017년 부경대학교 지구과학연구소 전임연구원

2017년 부경대학교 일반대학원 지구환경시스템과학부 환경대기과학 전공(이학박사)

2017년~현재 기상청 기상레이더센터 연구원

※ 관심분야 : 미기상학, 레이더기상학



권병혁(Byung Hyuk Kwon)

1986년 연세대학교 천문기상학과 졸업(이학사)

1994년 Joseph Fourier 대학교 지구유체역학 전공(이학석사)

1997년 Paul Sabatier 대학교 대기과학 전공(이학박사)

2001년~2002년 Alagoas 대학교 교수

2002년~현재 부경대학교 환경대기과학과 교수

※ 관심분야 : 대기과학, 원격탐사



김민성(Min-Seong Kim)

2011년 부경대학교 환경대기과학과 졸업(이학사)

2013년 부경대학교 일반대학원 지구환경시스템과학부 환경대기과학 전공 졸업(이학석사)

2015년 부경대학교 일반대학원 지구환경시스템과학부 환경대기과학 전공 박사과정 수료

2016년~현재 부경대학교 지구과학연구소 전임연구원

※ 관심분야 : 대기과학, 미기상학



김박사(Park Sa Kim)

2010년 부경대학교 환경대기과학과 졸업(이학사)

2012년 부경대학교 일반대학원 지구환경시스템과학부 환경대기과학 전공 졸업(이학석사)

2014년 부경대학교 일반대학원 지구환경시스템과학부 환경대기과학 전공 박사과정 수료

2014년~현재 부경대학교 지구과학연구소 전임연구원

※ 관심분야 : 대기과학, 미기상학



윤홍주(Hong-Joo Yoon)

1983년 부경대학교 해양공학과 졸업(공학사)

1985년 부경대학교 대학원 해양학과 졸업(공학석사)

1997년 프랑스 그르노블 I 대학교 대학원 위성원격탐사전공 졸업(공학박사)

1999년~2002년 여수대학교 해양공학과 교수

2002년~현재 부경대 공간정보시스템공학 교수

2012년~2013년 부경대 공간정보연구소 초대 소장

2013년 (사)한국클라우드센터럴파크 이사

2014년 한국전자통신학회 부회장

2015년 공간정보 Big Data 센터장

2015년 행정공간정보화연구소 소장

2016년 (사)한국생태공학회 회장

※ 관심분야 : 해양 원격탐사, GIS

