

## TRMM/PR 자료와 지상 레이더와의 비교

하경자<sup>1\*</sup> · 오현미<sup>1</sup> · 서애숙<sup>2</sup> · 김정희<sup>2</sup>

### Comparison between TRMM/PR and Ground-Based Radar

Kyung-Ja HA<sup>1\*</sup> · Hyun-Mi OH<sup>1</sup> · Ae-Sook SUH<sup>2</sup> · Jung-Hee KIM<sup>2</sup>

#### 요 약

TRMM/PR (Tropical Rainfall Measuring Mission/Precipitation Radar)과 기상청의 C-band 도플러 레이더(제주, 군산, 부산)의 비교는 지상 레이더의 검증을 위해서 이루어졌다. 검증에 사용된 사례는 2000년 하계에 TRMM이 한반도 남부, 약 36°N 이남을 지나갈 때 강한 강수가 있는 날을 선택하였다. 서로 view angle, bandwidths와 주파수가 다른 두 개의 레이더를 정량적으로 비교하는 것은 어려운 문제이다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해서 지상 레이더와 TRMM/PR을 동일한 격자로 만들어 동일 영역에서 비교하였다. 지상 레이더로부터 관측된 반사도는 PR에 의해 관측된 반사도에 비해 4-9dBZ정도 낮은 것으로 밝혀졌으며 이는 기계적인 성능이나 지형과 같은 많은 이유에 의해서 발생할 수 있다. 세 개의 지상 레이더 사이트 모두에서 TRMM과 비교하여 30dBZ 이상에서 RMSE가 가장 높게 나타나서 강한 에코를 지상레이더가 잘 관측하지 못하는 것을 알 수 있었다.

주요어: 지상 레이더, TRMM/PR, 반사도, 강수량

#### ABSTRACT

Comparison between the Tropical Rainfall Measuring Mission(TRMM)/Precipitation Radar(PR) and the C-band doppler radar at Cheju, Kunsan and Pusan, operated by the Korean Meteorological Administration (KMA), is conducted for validation of the surface precipitation structure, and for calibration of KMA radar instrument. Data used in validation was selected for seven rain events in the south region of about 36°N and at TRMM overflight in Korea, during the summer season of 2000. Quantitatively comparing radar reflectivities from two different platforms that have different view angles, bandwidths and frequencies is a challenging task. For the comparison, the precipitation patterns are projected on the same area for TRMM PR. Through the comparison, it is realized that the reflectivity from ground-based radar is under estimated, compared to TRMM/PR observations. We discuss that is underestimation may be produced by many factors(system performance, topography, etc).

*KEYWORDS: Ground-Based Radar, TRMM/PR, Reflectivity, Precipitation*

2002년 1월 10일 접수 Received on January 10, 2002 / 2002년 11월 16일 심사완료 Accepted on November 16, 2002  
1 부산대학교 대기과학과 Division of Earth Environmental System, Pusan National University

2 기상청 Korea Meteorological Administration

\* 연락처 E-mail: kjha@pusan.ac.kr

## 서 론

강수 현상은 다른 기상 현상에 비해 국지적이며 단시간 내에 발생, 소멸하고 그 피해정도가 커서 정확한 관측이 요구된다. 집중호우나 홍수와 같은 악기상의 실시간 감지와 예보를 위해서는 무엇보다도 중간규모 대기운동의 관측과 분석이 필요하다. 기상레이더는 수 백 km 반경 내에서 대기의 상태를 수 초의 시간 간격과 수 백 m의 공간 분해능으로 3차원 관측할 수 있는 유일한 장비이기 때문에 국지 규모 강수 관측에 적합하다. 기상청에서는 현재 6대의 C-band 레이더로 전국적으로 관측망을 구축하고 있으며, 10분 간격으로 관측을 하여 강수 현상 파악에 많은 도움을 주고 있다.

레이더 자료가 강수현상의 예보와 현상 분석에 사용되기 위해서는 자료에 대한 정량적인 비교가 선행되어야 한다. 기상청에서 현재 운용 중인 기상레이더를 우리나라 남부를 관측하는 TRMM/PR(Tropical Rainfall Measuring Mission/Precipitation Radar)자료와 비교하였다. TRMM/PR은 이미 많은 연구에서 자료에 대한 검증이 이루어졌으며(Bolen과 Chandrasekar, 2000; Kummerow 등, 2000), TRMM/PR은 지상의 보정이 잘 된 레이더와 비교할 때 0.8dBZ 이하의 차이가 나는 것으로 검증이 되었다(Kozu 등, 2000). 따라서 지상 레이더의 보정에 이용될 수 있으며, Anagnostou 등(2001)에 의하여 지상 레이더의 보정에 대한 연구도 수행되었다. 따라서 TRMM/PR 자료와의 비교는 기상청의 레이더 자료의 이해에 객관적인 도움을 줄 수 있으며 나아가 지상 레이더의 보정 및 한반도 특성에 맞는 Z-R 파라미터의 개선에도 사용될 수 있다.

## 연구자료 및 방법

### 1. 지상 레이더

기상청은 1969년 관악산에 최초의 기상레

이더를 설치한 이후 5대의 도플러 기상레이더를 도입하여 악기상 감지를 위한 전국적인 관측망을 구성하고 있다. TRMM/PR이 약 위도 35°N까지 관측하므로 본 연구에서는 한반도 남부를 관측하는 군산, 부산과 제주 3곳의 레이더 자료만 사용하였다.

각 기상레이더 특성은 표 1에 나타내었다. 관측은 매 10분마다 되고 있으며, 관측 고도각은 0.5°~1° 간격으로 6°~7°까지 관측되어 sweep은 5~6개이다.

TABLE 1. Specification of Kunsan, Pusan and Cheju radar

	군 산	부 산	제 주
관측반경	120,240,480	120,240,480	120,240,480
형태	C-band	C-band	C-band
Beam width	1.2	1.2	1.2
Peak power (kW)	250	250	250
Frequency (MHz)	5340	5340	5340
PRF(Hz)	250,1180	250,1180	250,1180

현재 기상청에서는 강수량 계산을 위해 아래의 반사도(Z)와 강수량 (R)과의 관계식(이하 Z-R 관계식)에서 파라미터 a, b를 층운형 강수인 200과 1.6을 적용하여 산출해 내고있다.

$$Z=aR^b \quad (1)$$

### 2. TRMM/PR

TRMM은 NASA(National Aeronautics & Space Administration)와 NASDA(National Space Development Agency of Japan)에서 공동으로 수행중인 적도 강수 관측 사업이다. TRMM 위성은 350km 고도에서 관측하는 궤도위성이다. 강수의 정확한 관측을 위해 강수 레이더(precipitation radar, 이하 PR)를 세계최초로 장착하고 있으며, 그 외 마이크로파를 관측하는 TMI(TRMM microwave imager)센서와

가시영역과 적외영역을 관측하는 VIRS(visible & infrared scanner)센서를 장착하고 있다. PR은 매 0.6초마다 220km swath 내에 49개의 beam을 관측하며 궤도를 돌며 한반도는 하루에 한 번 내지 두 번 관측한다. 연직 해상도는 250m, 수평해상도 4.3km로 PR은 남위와 북위 약 35°사이를 관측하며 그 특성은 표 2에 보인 것과 같다. 현재 기상청에서 운용 중인 레이더에 비해 짧은 파장인 Ku-band를 사용하고 있다.

TABLE 2. Specification of TRMM/PR

Item	Specification
Frequency	13.796, 13.802GHz
Swath width	220km(from end to end)
Observable range	Surface to 15km altitude
Horizontal resolution	4.3km(nadir)
Vertical resolution	0.25km(nadir)
Type	128-element WG planar array
Beam width	0.71°×0.71°
Scan angle	± 17(cross track scan)
Peak power	500W
PRF	2776Hz

TRMM/PR 자료는 알고리즘에 따라 다른 변수를 포함하는 8개의 산출물이 있으며 그 중 기상청의 레이더 자료와 비교를 위해서 2A25와 2A23을 사용하였다.

2A25는 level 1 자료에서 생산된 레이더 반

사도(Zm-factor)를 감쇠보정하고, 강수형태와 0°C 고도정보를 포함하는 2A23 자료를 사용하여 고도와 강수형태에 따라 Z-R 관계식의 파라미터를 다르게 적용하여 계산된 강수율의 수직·수평 분포를 포함하고 있다. 표 3에 PR 강수 추정에 사용된 계수 a, b를 나타내었다. a, b는 먼저 강수의 형태에 따라서 층운형과 대류형(기타 강수형태 포함)으로 나누어지며, 다시 높이에 따라 5가지로 세분된다(Iguchi 등, 2000).

TRMM은 Z-R 관계식을 강수 형태, 고도 별로 상세히 분류하여 적용하고 있으며 Z-R 관계식의 파라미터 차이로부터 발생하는 강수량의 차이 또한 클 것이다. 우선적으로 본 논문에서는 Z-R 관계식을 적용시키지 않은 반사도에 대해서 논의하고자 한다.

### 3. 분석기간

2000년 하계에 TRMM/PR이 한반도 남부를 지나갈 때 TRMM/PR의 한반도의 평균 강수량이 10mm/h 이상이 되는 시간대를 선정하였다. TRMM/PR은 한반도를 전체 스캔하는데 6분 정도의 시간이 걸리며, 레이더 자료는 TRMM/PR이 위도 34.5°, 경도 128°를 지나는 시간과 가장 가까운 시간대의 자료를 사용하였다. 비교 시간대는 아래의 표와 같다. 지상 레이더와 비교하여 TRMM/PR의 관측 시간이 수분에서 최대 15분 정도 차이가 나나 거의 일치한다고 보고 연구를 수행하였다.

TABLE 3. Parameters of TRMM/PR Z-R relation

		Top of echo	500m above bright band or 750m above freezing level	Bright band or freezing level	500m below bright band or 750m below freezing level	Lowest valid range bin
stratiform	a	250.8	304.6	1649.3	283.9	275.7
	b	1.294	1.308	1.372	1.446	1.487
convective	a	174.1	159.5	159.9	159.5	147.5
	b	1.323	1.511	1.511	1.511	1.554

TABLE 4. Matched case of TRMM/PR and ground-based radar

Orbit number	Orbit segment	레이더 관측 시간	TRMM/PR 관측 시간
15064	ascending	7월10일 12:30	7월10일 12:24
15064	descending	7월10일 14:00	7월10일 14:00
15126	ascending	7월14일 11:00	7월14일 10:47
15127	descending	7월14일 12:30	7월14일 12:23
15280	ascending	7월24일 5:00	7월24일 5:08
15281	descending	7월24일 7:00	7월24일 6:44
15451	descending	8월 4일 1:30	8월 4일 1:29

## 결과 및 고찰

### 1. TRMM/PR과 지상 레이더의 통계 분석

TRMM/PR과 지상 레이더는 관측 격자간 틀리기 때문에 두 자료의 비교를 위해서 먼저 두 자료의 반사도를 3차원 volume자료 형태로 만들었다. PR은 지상 레이더에 비해서 연직해상도는 좋으나 수평해상도는 좋지 않으므로 두 자료가 모두 만족하는 격자인 수평해상도 5km×5km에 연직해상도 1km로 지상에서 4km 4층의 3차원 volume자료를 만들었다. 자

료의 격자값의 산출을 위하여 Barnes의 내삽 방법(Barnes, 1964)을 이용하여 지상 레이더의 100km이내의 관측 영역 내에서 TRMM/PR이 지나가는 영역을 내삽하였다. 그리고 PR의 반사도는 감쇠가 보정이 되었으나 지상 레이더는 보정을 하지 않았다. 감쇠효과가 미미한 층운지역의 PR자료만을 비교하기 위하여 층운지역의 TRMM/PR의 반사도와 지상레이더를 비교하였다(Anagnostou 등, 2001).

그림 1에 제주, 군산과 부산의 TRMM과 지상 레이더의 상관을 산포도로 나타내었다.

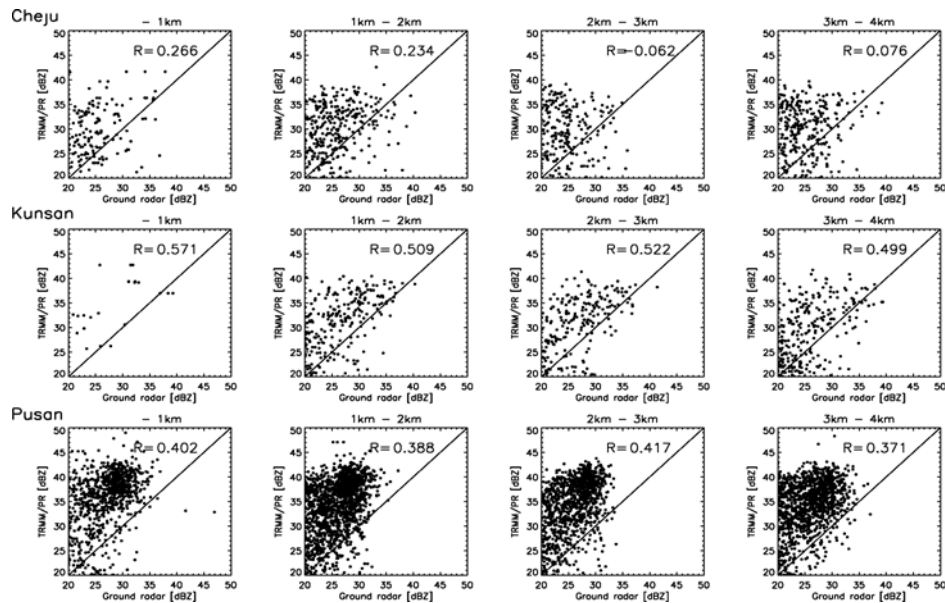


FIGURE 1. Scatter plots of the TRMM/PR reflectivity vs ground-based radar reflectivity according to region and altitude

기계적인 한계에 의해서 발생하는 PR의 noise floor가 20dBZ 정도되므로 신뢰할 수 있는 20dBZ 이상의 값만을 지역별로 높이에 따라서 구분하여 1km 간격으로 4km 고도까지 상관을 살펴보았다. 제주도의 지상 레이더는 상관이 낮게 나왔으며 특히 2km 이상의 고도의 상관이 낮았다. 이는 제주도의 지상레이더는 한라산으로 인하여 관측이 되지 않는 영역이 많아서 다른 관측소의 레이더에 비해서 높은 자유도를 가지지 못하였으며, 높은 주위의 높은 지형으로 인한 감쇠로 인하여 상관이 낮은 것으로 사료된다. 군산의 지상 레이더는 비교한 세 지역 중 가장 상관이 높았으며 높이에 따라 뚜렷한 차이는 없었다. 부산 지역의 경우는 상관이 약 0.37에서 0.4정도로 군산지역에 비해 낮았으며 PR에 비해 반사도가 낮게 관측되는 것을 알 수 있다. PR이 최고 50dBZ까지 관측되는데 비해서 35dBZ 이상을 관측하지 못하고 있었다. 이러한 차이는 세 지역의 레이더의 기계적인 문제, 관측 시간의 차이, 지형의 영향, 내삽 등에 의해서 발생할 수 있으며 정확한 원인의 규명은 본 논문의 주제에서 벗어나므로 다루지 않겠다.

좀 더 정확한 분석을 위하여 통계값들을 표 5에 나타내었다. 최대값의 경우는 높이에

따른 큰 차이는 없었으며 제주와 군산의 경우 PR에 비해 4dBZ 이하의 범위에서 낮게 관측되었으나, 부산지역은 최대 10dBZ 이상 낮게 관측되어서 부산의 지상 레이더가 강한 반사도를 잘 잡아 내지 못하는 것을 알 수 있다. 제주 지역은 평균값이 높이에 따른 변화 없이 대체로 4dBZ 정도 낮게 측정되었으며, 군산 지역은 1km 이하의 고도의 경우 평균값이 6dBZ 정도 낮게 관측되나 1km 이상의 고도에서는 2dBZ 이하의 차이를 보여서 대체로 정확하게 관측이 됨을 알 수 있다. 부산 지역의 경우 최대값에서 10dBZ 정도 낮게 관측되는 것과 마찬가지로 평균값에서도 10dBZ 정도 낮게 나타났다.

그리고 지상 레이더가 어떤 범위의 dBZ를 정확하게 관측하는지 보기 위하여 20~25dBZ, 25~30dBZ, 30~35dBZ사이의 지상 레이더와 PR의 RMSE(root mean square error)를 구해서 표 6에서 나타내었다. 제주 지역의 경우 1km고도 이하만 제외하고는 25~30dBZ 사이의 RMSE값이 가장 작았으며, 군산과 부산 지역은 20~25dBZ의 값이 가장 RSME가 작았다, 관측 지역의 차이 없이 모두 30~35dBZ의 RMSE가 가장 컸다. 따라서 지상 레이더는 30dBZ 이상의 높은 반사도는 잘 관측하지 못

TABLE 5. Statistics for ground-based radar(GR) and PR in Cheju, Kunsan and Pusan

	Cheju		Kunsan		Pusan	
	GR	PR	GR	PR	GR	PR
~1km Max. value	37.84	41.64	39.26	42.70	46.94	52.65
Mean	25.54	29.86	28.64	34.77	27.36	36.02
degree of freedom		<b>140</b>		<b>22</b>		<b>857</b>
1km~2km Max. value	40.34	42.57	40.28	40.42	37.19	47.07
Mean	26.96	31.18	24.01	26.10	26.10	35.46
Degree of freedom		<b>299</b>		<b>233</b>		<b>1447</b>
2km~4km Max. value	35.84	39.10	41.37	41.33	33.77	43.76
Mean	25.21	29.97	22.28	23.27	26.36	35.54
degree of freedom		<b>197</b>		<b>206</b>		<b>1007</b>
3km~4km Max. value	39.19	39.67	39.37	41.69	37.04	48.32
Mean	25.71	31.10	23.87	24.91	25.79	34.60
Degree of freedom		<b>269</b>		<b>249</b>		<b>1194</b>

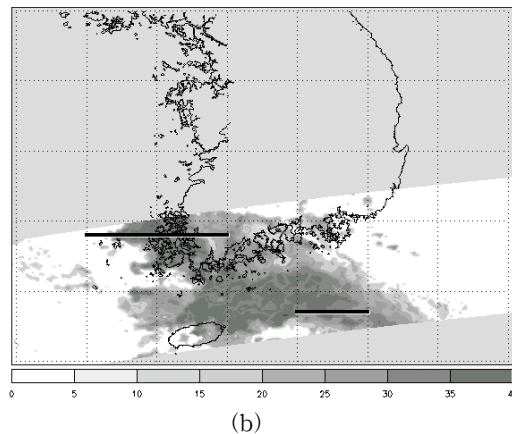
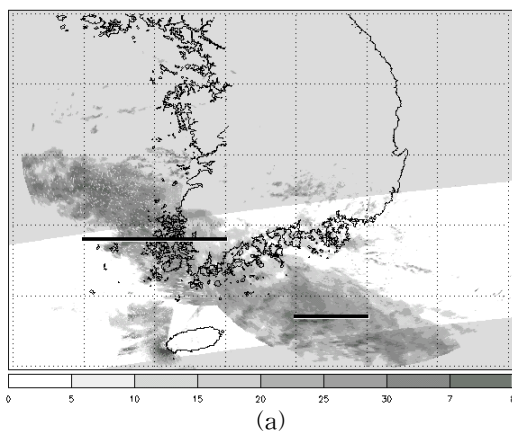
하나 낮은 반사도는 대체로 관측을 잘 하는 것을 알 수 있다.

**TABLE 6.** RMSE according to altitude and reflectivity on Cheju, Kunsan and Pusan

		Cheju	Kunsan	Pusan
~1km	20-25dBZ	4.35		4.11
	25-30dBZ	4.49	4.67	4.31
	30-35dBZ	8.49	8.77	7.92
1km ~2km	20-25dBZ	4.69	4.00	3.50
	25-30dBZ	4.25	5.38	4.40
	30-35dBZ	7.22	6.62	7.71
2km ~3km	20-25dBZ	4.96	3.94	3.28
	25-30dBZ	4.52	4.81	4.60
	30-35dBZ	8.23	6.39	7.83
3km ~4km	20-25dBZ	4.58	3.55	2.61
	25-30dBZ	4.31	4.79	4.76
	30-35dBZ	8.08	6.58	7.60

## 2. 수평분포

수평분포는 지상 레이더의 경우 최하층 고도인 PPI(plan position indicator)  $0^\circ$ 를 보였으며, PR은 지형에 영향을 받지 않는 고도인 2km의 반사도를 비교하였다.



**FIGURE 2.** Comparison of reflectivity fields: (a) ground-based radar at PPI  $0^\circ$  and (b) TRMM at 2km for the orbit number 15064 case(The solid line is position of vertical cross section on Figure 4)

그림 2는 orbit number 15064인 7월 10일의 경우이며, 지상 레이더 (a)와 PR (b)에서 PR의 반사도 분포 패턴과 지상 레이더의 반사도는 한라산에 의해서 관측이 안 되는 제주도 동쪽 해상을 제외하고 지역적으로 상당히 일치한다. 특히 전라남도 서쪽 해상의 강한 에코와 남해상에서 나타나는 강한 에코를 잘 잡아내고 있는 것을 알 수 있다. 그림의 가로선은 연직 분포를 보일 지역이다.

orbit number 15281의 경우를 그림 3에서 보았으며, (a)와 (b)에서 보듯이 강한 강도의 강수 밴드가 한반도의 남동해상에 걸쳐있는 사례이다. PR의 경우 지면에 상륙하는 강수 밴드의 강한 에코를 잘 보여주나 지상 레이더의 경우 강한 에코를 나타내지 못하고 있다. 부산지역의 레이더가 관측하는 영역이며 앞 절의 통계 분석에서 보았듯이 부산지역의 레이더가 반사도를 낮게 관측하는 것을 알 수 있다.

## 3. 연직분포

높이에 따른 반사도의 분포를 보기 위해서 수평분포와 같은 시간의 사례를 선정하여 PR과 지상 레이더를 동일 위도와 경도대에 대해서 연직분포를 살펴보았다.

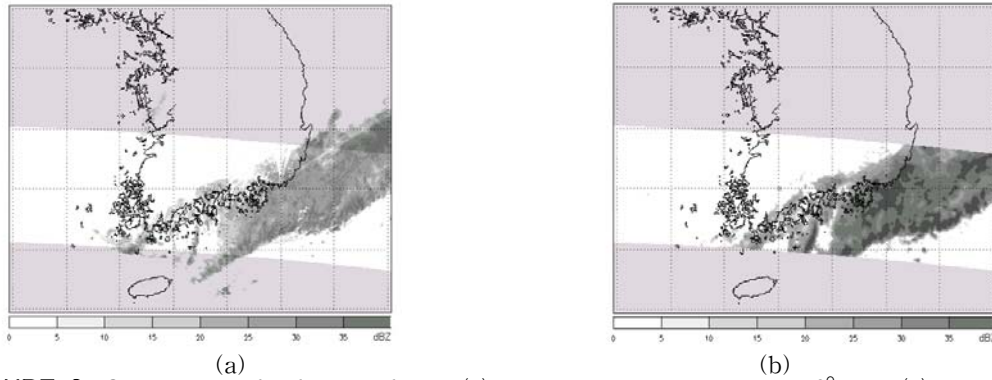


FIGURE 3. Comparison of reflectivity fields: (a) ground-based radar at PPI 0° and (b) TRMM at 2km for the orbit number 15281 case

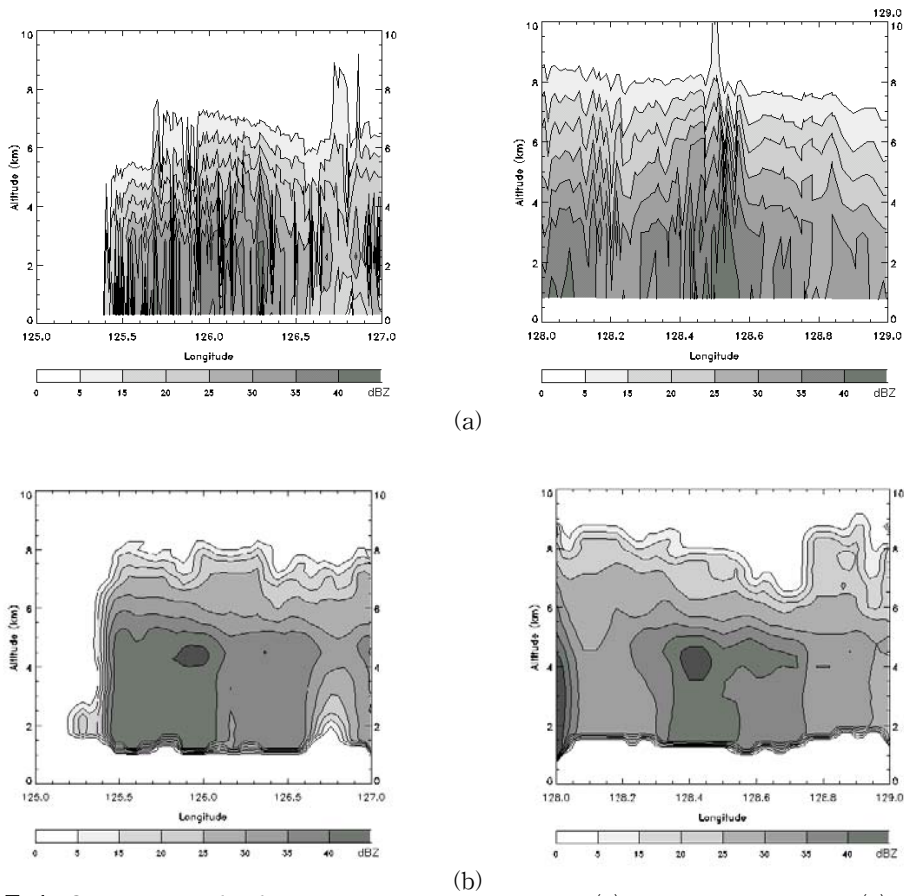


FIGURE 4. Comparison of reflectivity vertical cross section: (a) ground-based radar (b) TRMM for the orbit number 15064 case

그림 4의 (a)는 orbit number 15064의 사례인 그림 2에서 표시된 지역의 지상 레이더의 연직 분포이며, (b)는 PR의 연직 분포이다. PR과 비교하여 지상 레이더는 강수대의 높이와 최대 강수가 나타나는 위치 등을 잘 잡고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 최대 강수가 나타나는 지역의 반사도는 5dBZ 이상 낮게 관측되는 것을 알 수 있다.

## 결론

레이더 자료의 객관적인 검증을 위하여 TRMM/PR 자료와 비교를 해 보았다. TRMM/PR에 비해 기상청 레이더는 높은 반사도를 잘 잡아내지 못하나 낮은 값의 반사도는 잘 관측하였으며, 본 연구에 사용된 제주, 군산, 부산 지역의 레이더 중 부산 지역 레이더가 전체적으로 낮게 관측되었으며 군산 지역 레이더가 가장 신뢰도가 좋았다. 수평분포는 패턴에 있어서 PR과 상당히 유사하였으며, 강한 에코가 나타나는 부분의 강도가 낮게 나타났다. 연직 분포에서도 강도가 낮게 나타났으나 강수대의 높이나 강수셀의 위치를 잘 관측되었으며 장마 시기의 강수 분포를 입체적으로 볼 수 있었다.

통계 분석이나 수평, 연직 분포 모두에서 나타나는 강한 강수 에코를 4~9dBZ 정도 낮게 잡는 것은 레이더 시스템에 따른 기계적인 문제나 지형이나 강한 강수에 의한 감쇠와 같은 많은 원인이 있을 수 있다. 강수의 이동이나 위치를 실시간으로 감시하기 위하여 지상 레이더는 매우 유용한 도구이며, 적절한 사용을 위해서는 지상레이더에 대한 객관적인 정보를 가지고 있어야 한다. 따라서 본 연구와 같은 연구가 많이 이루어져야 하며 이를 바탕으로 지속적인 보정이 이루어져야 한다.

## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인

수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-3-1)에 의해 수행되었습니다. **KAGIS**

## 참고문헌

- Anagnostou, E.N., C.A. Morales and T. Dinku. 2001. The use of TRMM precipitation radar observation in determining ground radar calibration biases. *J. of Atmos. Oceanic Technol.* 18:616-628.
- Bolen, S.M. and V. Chandrasekar. 2000. Quantitative cross validation of space-based and ground-based radar observations. *J. of Appl. Meteor.* 39:2071-2079.
- Iguchi, T.T. Kozu, R. Meneghini, J. Awaka and K. Okamoto. 2000.
- Rain-profiling algorithm for TRMM precipitation radar. *J. of Appl. Meteor.* 39:2038-2052.
- Kozu, T. and Coauthors. 2000.(in press) Development of precipitation radar onboard the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*
- Kummerow, C., J. Simpson, O. Thiele, W. Barnes, A.T.C. Chang, E. Stocker, R. F. Adler, A. Hou, R. Kakar, F. Wentz, P. Ashcroft, T. Kozu, Y. Hong, K. Okamoto, T. Iguchi, H. Kuroiwa, E. Im, Z. Haddad, G. Huffman, B. Ferrier, W.S. Olson, E. Zipser, E.A. Smith, T.T. Wilheit, G. North, T. Krishnamurti and K. Nakamura. 2000. The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission(TRMM) after two years in orbit. *J. of Appl. Meteor.* 39:1965-1982. **KAGIS**