creative commons

COMMONS DEED

저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000241039

2011년 2월
석사학위 논문

# X-band 이중편파레이더와 지상우량계의 강우강도 비교연구

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

김 진 수

2011년 2월 석사학위논문 X-band 이중편파레이더와 지상우량계의 강우강도 비교연구 김 진 수

# X-band 이중편파레이더와 지상우량계의 강우강도 비교연구

Comparative Research on X-band Dual-Polarimetric Radar and Rain Intensity of the Rainfall Gauge on the Ground

2011년 2월 25일

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

김 진 수

# X-band 이중편파레이더와 지상우량계의 강우강도 비교연구

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사 학위신청 논문으로 제출함

2010년 10월

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

김 진 수

# 김진수의 석사학위논문을 인준함

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 위원장 | 조선대학교 | 겸임교수 | 정 병 옥 | (인) |
| 위 원 | 조선대학교 | 전문경력 교 수 | 정 효 상 | (인) |
| 위 원 | 조선대학교 | 교 수 | 류 찬 수 | (인) |

2010년 11월

조선대학교 대학원

# List

List of Tables ..... III
List of Figures ..... IV
ABSTRACT ..... VI

제1장 서 론 ..... 1

제2장 연구용 X-band 이중편파레이더 ..... 2
제1절 연구용 X-band 이중편파레이더의 기본 원리 ..... 2
제2절 설치장소 및 환경 ..... 3
제3절 연구용 X-band 이중편파레이더의 제원 ..... 4
제4절 TITAN ..... 7

제3장 자료 및 분석방법 ..... 9
제1절 자료 선정 ..... 9
제2절 분석 방법 ..... 12

제4장 자료의 분석과 결과 ..... 14
제1절 사례1(2009. 8. 12.) ..... 14
제2절 사례2(2009. 8. 27.) ..... 18
제3절 사례3(2009. 9. 27.) ..... 22

제4절 사례4(2009. 10. 1.) ..... 26
제5절 사례5(2009. 11. 8.) ..... 30
제6절 사례6(2009. 11. 10.) ..... 34
제7절 상관관계 비교 ..... 38

제4장 결론 ..... 39

참고문헌 ..... 40

# List of Tables

Table 1. The specifications of the research X-band dual-polarimetric radar · 4
Table 2. Location information of AWS ····· 11
Table 3. Correlations by date ····· 38
Table 4. Correlations by distance ····· 38
Table 5. Correlations by observatory ····· 38

# List of Figures

Fig. 1. The basic principle of dual-polarimetric radar ····· 2
Fig. 2. The location of Weather Radar Research Center ····· 3
Fig. 3. The research-use X-band dual-polarimetric radar installed in Muan Weather Radar Research Center ····· 4
Fig. 4. Hardware block diagram ····· 6
Fig. 5. Waveguide composition diagram ····· 6
Fig. 6. The main screen of TITAN ····· 8
Fig. 7. Weather Radar Research Center and AWS discharge site ····· 10
Fig. 8. Surface weather charts(2009. 8. 12.) ····· 14
Fig. 9. Satellite images(2009. 8. 12.) ····· 15
Fig. 10. Research X-band dual-polarimetric radar images(2009. 8. 12.) ····· 16
Fig. 11. Comparison of rainfall amounts(2009. 8. 12.) ····· 17
Fig. 12. Surface weather charts(2009. 8. 27.) ····· 18
Fig. 13. Satellite images(2009. 8. 27.) ····· 19
Fig. 14. Research X-band dual-polarimetric radar images(2009. 8. 27.) ····· 20
Fig. 15. Comparison of rainfall amounts(2009. 8. 27.) ····· 21
Fig. 16. Surface weather charts(2009. 9. 27.) ····· 22
Fig. 17. Satellite images(2009. 9. 27.) ····· 23
Fig. 18. Research X-band dual-polarimetric radar images(2009. 9. 27.) ····· 24
Fig. 19. Comparison of rainfall amounts(2009. 9. 27.) ····· 25
Fig. 20. Surface weather charts(2009. 10. 1.) ····· 26
Fig. 21. Satellite images(2009. 10. 1.) ····· 27
Fig. 22. Research X-band dual-polarimetric radar images(2009. 10. 1.) ····· 28
Fig. 23. Comparison of rainfall amounts(2009. 10. 1.) ····· 29
Fig. 24. Surface weather charts(2009. 11. 8.) ····· 30
Fig. 25. Satellite images(2009. 11. 8.) ····· 31
Fig. 26. Research X-band dual-polarimetric radar images(2009. 11. 8.) ····· 32
Fig. 27. Comparison of rainfall amounts(2009. 11. 8.) ····· 33

Fig. 28. Surface weather charts(2009. 11. 10.) ····· 34
Fig. 29. Satellite images(2009. 11. 10.) ····· 35
Fig. 30. Research X-band dual-polarimetric radar images(2009. 11. 10.) ···· 36
Fig. 31. Comparison of rainfall amounts(2009. 11. 10.) ····· 37

# ABSTRACT

## Comparative Research on X-band Dual-Polarimetric Radar and Rain Intensity of the Rainfall Gauge on the Ground

Kim, Jin-Su
Advisor : Prof. Ryu, Chan-Su, Ph.D.
Department of Atmospheric Science,
Graduate School of Chosun University

Regional torrential rains have been frequently occurring due to global climate changes and anomaly climate. Regional torrential rains are accidental and concentrated in particular regions, so weather forecast is difficult due to these characteristics. It is the weather radar data that is used as the most important data for forecasting the regional torrential rains.

This research is to conduct comparative analysis on the rain intensity of expected rainfall depth of the research-use X-band dual-polarimetric radar with that of actually measured AWS rainfall depth and to utilize the weather radar data with high limit of resolution to enhance the degree of accuracy in short time forecast of rainfalls.

For this research, radar echo and AWS rainfall depth data of each spot from July 28, 2009 to November 30, 2009 were used, and the echo analysis and statistical analysis were conducted on the 6 cases observed during the above-mentioned period.

The results of analyzing the degree of correlation of radar echo and actually measured AWS rainfall depth showed that stratiform rain with small rainfall depth was found to have higher degree of correlation.

The results of evaluating the rain intensity by Z-R relational expression

( $Z=200R^{1.6}$ ) in the 5 cases of this research showed that the rainfall depth estimated by X-band dual-polarimetric radar was underestimated, compared with the actually measured AWS rainfall depth. However the degree of correlation between radar echo and actually measured AWS rainfall depth is found to be high. Accordingly, a new Z-R relational expression that integrates weighting functions is considered necessary.

There can be a slight error since the radar rain intensity used in this research used data of only the 0.5° elevation angle that is closest to the ground. Accordingly, if many cases and the radar echo with observatory elevation angle of high degree of correlation are used through continuous researches, more accurate estimation of rainfall depth through weather radar will be possible.

# 제1장 서 론

RADAR(RAdio Detection And Ranging)는 매우 짧은 시간에 임의의 물체에 지향성 안테나를 통하여 전자파를 발사하면 물체로부터 미약한 반사파가 생기는데, 이때 발생된 반사파를 수신하여 표적까지의 거리를 측정하는 원격 관측 장비이다.

현재 기상청에서는 11대의 기상레이더 관측소(관악산, 인천공항, 광덕산, 동해, 강릉, 면봉산, 구덕산, 오성산, 진도, 고산, 성산, 백령도)를 운영하고 있다. 그 외에 전남 무안군 해제면에 위치한 국립기상연구소 부설 기상레이더연구센터에 연구용 X-band 이중편파레이더가 설치되어 운영 중에 있다.

레이더 반사도와 지상우량계의 비교에서 나타나는 오차는 실질적으로 레이더 반사도의 정확도와 비례하며, 레이더의 정확도가 떨어지는 궁극적 원인은 레이더 전자파의 감쇠라 볼 수 있다. 이와 류(2009)에 의하면 레이더전자파의 감쇠는 레이더 빔이 대기 중을 진행함에 따라 에너지가 강수입자, 구름입자, 먼지, 연기 등과 상호작용할 때 에너지의 손실이 일어나는 대기에 의한 감쇠, 강수에 의한 감쇠, 레이더 돔에 의한 감쇠 등이 있다.

기상레이더의 강우강도 추정은 공기 중의 강우입자에 의한 반사도 인자(Z)와 강우강도(R)와의 관계식인 Z-R식을 이용하고 있다. 이 Z-R식이 강수 시스템의 강우강도를 결정하는 만큼 다양한 연구가 진행되어 오고 있다.

본 연구에서는 연구용 X-band 이중편파레이더를 이용하여 2009년 7월 28일부터 2009년 11월 30일까지 강수를 지점별로 자동기상관측장비(Automatic Weather System, AWS)로 측정한 강수량과 레이더 관측 자료와의 자료를 비교·분석하여 여러 가지 오차를 찾아 정량적인 강우강도를 평가하고, 공간적으로 높은 분해능의 기상레이더를 이용하여 단시간 예보와 연구에 활용하고자 하였다.

# 제2장 연구용 X-band 이중편파레이더

## 제1절 연구용 X-band 이중편파레이더의 기본 원리

기상레이더는 목표물의 대상이 수적이나 우립자일 경우를 말하며, 주로 X-band (파장이 3㎝대), C-band(파장이 5㎝대), S-band(파장이 10㎝대)의 마이크로파를 사용한다.

일반적으로 파장이 짧을수록 강수에 의한 감쇠가 크고, 넓은 영역을 관측 할 수가 없기 때문에 X-band 레이더는 연구용으로 사용하고, 현업용 레이더는 주로 C-band와 S-band의 레이더를 사용하고 있다.

이중편파 기상레이더는 기존 수평편파만을 사용하는 기상레이더와 달리 수평/수직 편파를 동시에 송수신하여 비, 눈 또는 우박과 같은 강수 형태를 구분함으로서 강수 형태에 따라 강수량을 산출하여, 강수분석과 예측에 유용하게 활용할 수 있다.

Fig. 1은 이중편파레이더의 기본 원리를 설명하는 그림이다.

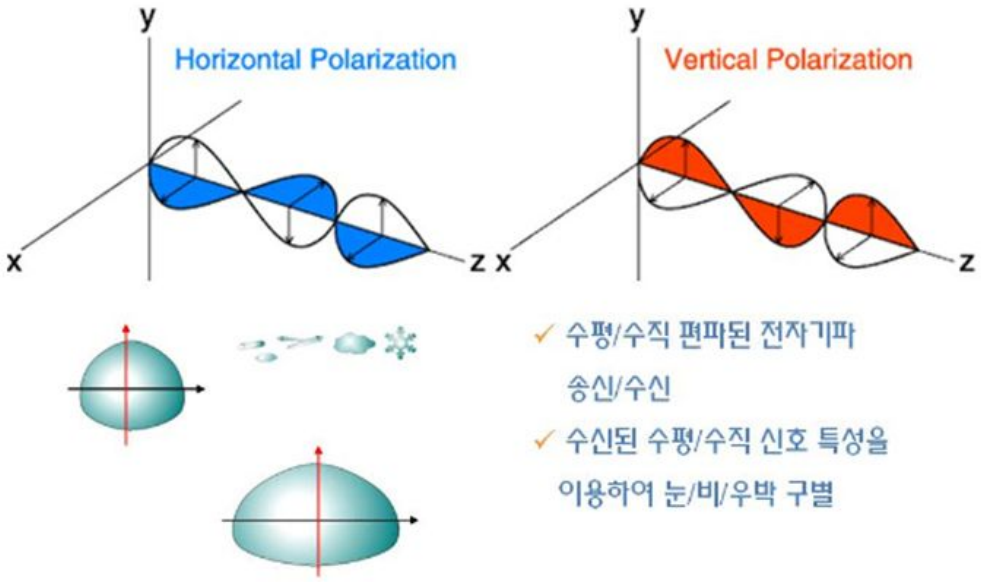


Fig. 1. The basic principle of dual-polarimetric radar.

## 제2절 설치장소 및 환경

기상레이더연구센터의 주소는 전라남도 무안군 해제리 광산리 242-20이고, 그 좌표는 35.09°N, 126.28°E이고, 설치 고도는 33 m이다.

군산의 오성산 레이더와 112 km, 진도 레이더와 67 km 거리에 위치하고 있어 이들 레이더와 비교 연구 및 보정이 가능하다.

기상레이더연구센터가 위치한 무안의 기후는 서해안의 영향으로 다습하고, 복사·이류안개 발생하며, 여름철 남서류 유입 시에는 호우가 일어나며, 겨울철 북서류 유입 시에는 대설이 발생한다. 연평균강수량 1200 mm이고, 연평균기온 13.5℃이다

Fig. 2는 기상레이더연구센터와 인접한 오성산레이더, 진도레이더의 위치와 측반경을 나타낸 것이다.

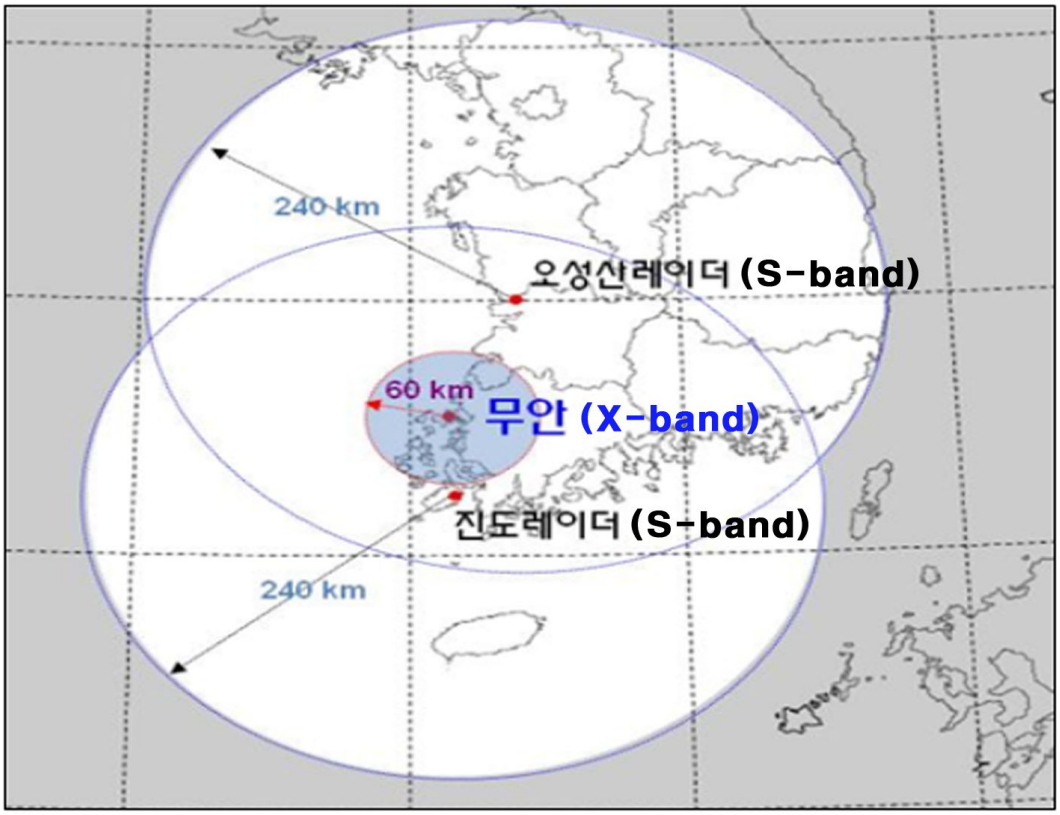


Fig. 2. The location of Weather Radar Research Center.

Fig. 3은 기상레이더연구센터에 설치된 이중편파레이더의 모습이다. 좌측의 그림은 연구센터에 고정형으로 관측을 할 때의 모습이고, 우측은 이동관측을 위해 차량에 탑재한 모습이다. 지난 2010년 1월부터 4월까지 강원도 대관령과 인천 수도권매립지에서 이동관측을 실시하였다.

Fig. 3. The research-use X-band dual-polarimetric radar installed in Muan Weather Radar Research Center.

## 제3절 연구용 X-band 이중편파레이더의 제원

Table 1은 연구용 X-band 이중편파레이더의 제원을 나타낸 것이다.

Table 1. The specifications of the research X-band dual-polarimetric radar.

| Antenna | Specifications |
|---|---|
| - Type | Parabolic reflector |
| - Diameter | 2.44 m |
| - Beamwidth | 1.0° at 3dB |
| - Gain | > 45 dB |
| - Sidelobes (co-polar) | < -28 dB |
| - Cross polar isolation | > 32 dB |
| - Beamwidth coincidence | < 0.08° (Hor and Ver) |
| - Beam direction coincidence | < 0.08° (Hor and Ver) |

Table 1. continue

| Receiver | Specifications |
|---|---|
| - Type | HiQ digital receivers (Hor and Ver) |
| - Noise Power | < -115 dBM |
| - Receive isolation (Hor and Ver) | 50 dB |
| - Radar Noise Figure | 2.9 dB at 1MHz |
| - Dynamic Range | > 80 dB (receiver LNA dominated)<br>> 100 dB (compressed at hi & lo power) |
| - Sensitivity | -11 dBZ @ 50 km 1 μsec pulse (dBZ0 = -45)<br>-17 dBZ @ 50 km 2 μsec pulse (dBZ0 = -51 |
| - Bandwidth | Matched pulse length (=gate spacing) |
| - Polarization switching | None (SHV with parallel receivers) |
| **Transmitter** | **Specifications** |
| - Type | Magnetron |
| - Peak Power | 250 KW |
| - Frequency | 9325 MHz |
| - PRF | 0 ~ 2.5 kHz |
| - Pulse width | 0.2 ~ 2 μsec (0.2 μsec steps) |
| - Duty Cycle | 0.001 Maximum |
| - Transmit isolation | > 50 dB |
| - Waveguide pressure | 20 psi (dry air) |

Fig. 4는 하드웨어 블록 다이어그램이다

이중편파레이더의 하드웨어 구성은 전자기파 에너지를 송수신하는 안테나 부 시스템, 안테나의 스캔 및 움직임을 조정하는 안테나 제어 부 시스템, magnetron의 고출력 펄스 신호를 생성하는 송신기 부 시스템, 안테나를 통해 수신된 미약한 RF 신호를 증폭하고 IF신호로 변환하는 수신기 부 시스템, 그리고 IF신호에서 I/Q값

을 생성하는 HIQ 부 시스템으로 이루어져 있다.

Fig. 5는 도파관의 구성도이다.

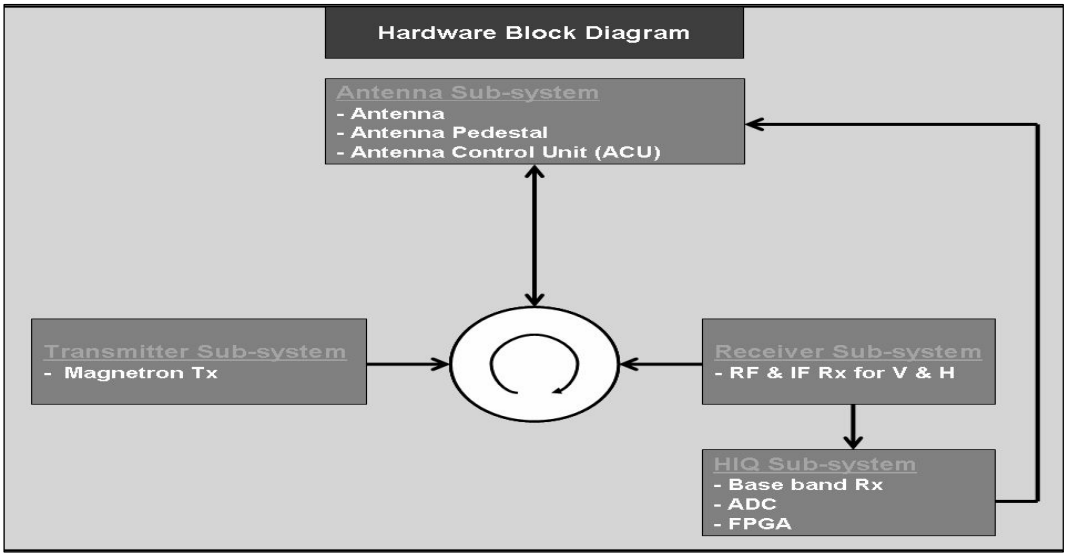


Fig. 4. Hardware block diagram.

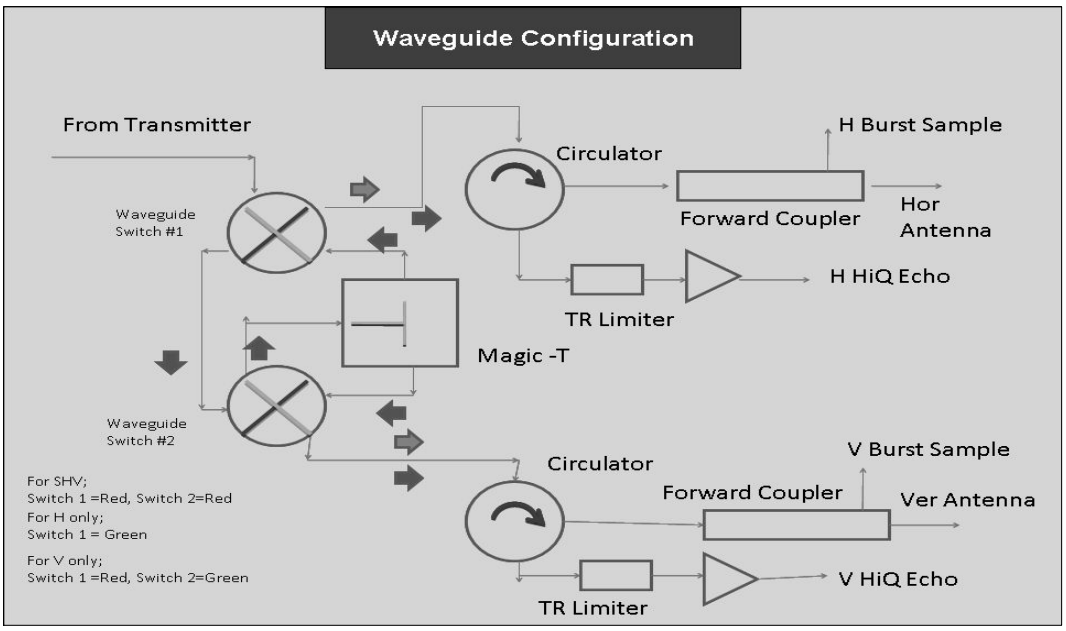


Fig. 5. Waveguide composition diagram.

연구용 X-band 이중편파레이더에 이용되는 레이더 방식은 conventional 레이더 방정식을 이용하며, 이 방정식은 레이더의 수신 전력에만 초점을 맞춘 방정식이다. 다음은 Conventional 레이더 방정식이다.

$$P_r = C \cdot \frac{Z}{r^2}$$

$P_r$은 레이더 수신 전력, $r$ 은 레이더 안테나와 기상 목표물까지의 거리, $Z$ 는 레이더 반사도 인자(radar reflectivity factor), $C$ 는 레이더 상수(운영 레이더 시스템에 의해 결정되는 고유한 상수)로 일반적인 레이더 상수 값은 65 ~ 75dB이다.

다음은 레이더 상수 $C$ 를 구하는 식이다.

$$C = \frac{P_i \cdot G^2 \cdot \Theta \cdot \Phi \cdot c \cdot h \cdot \pi^3 \cdot |K|^2}{1024 \cdot \ln 2 \cdot \lambda^2 \cdot L}$$

$P_t$ : 송신기 첨두출력(TX Peak Power)　　$g^2$ : 안테나 이득(antenna gain)

$\theta$ : 안테나 수평 빔 폭　　$\phi$ : 안테나 수직 빔 폭

$h$ : 펄스 폭　　$\lambda$ : 레이더 파장

$L_r$ : 레이다 시스템 손실(안테나, 도파관, 커플러, 필터...)

$|K|^2$ : 기상 목표물의 복소 유전율(물 : 0.9,  눈, 얼음 : 0.1)
물의 경우로 고정하여 상수에 포함

## 제4절 TITAN (뇌우 분석 및 추적 현황예보 시스템)

TITAN(Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting)은 뇌우를 정의하고 추적하는 목적으로 고안된 시스템이다. 현재는 연결된 레이더 시스템의 자료처리와 분석, 표출, 레이더자료의 예보, 기상 분석, 기후학적 관점에

서의 활용 기능이 확장되어 개발되었다. 표출 소프트웨어는 CIDD(the Cartesian Interactive Data Display)로 확장되었다.

세부 기능으로는 다양한 포맷의 기상레이더 자료 입력 및 표출, 항공기상, 위성, 낙뢰, 모델 자료 입력 및 표출, 기상레이더 자료의 직교좌표계 변환, 여러 대의 기상레이더 자료의 3-D mosaic 기능, 클러터 및 AP 에코 정의 및 제거, 뇌우 추적 및 이동 경로 예측, 강수량 추정, 그리고 VIL 및 뇌우시스템의 위험도 계산이 있다.

Fig. 6은 TITAN 시스템의 메인 화면이다.

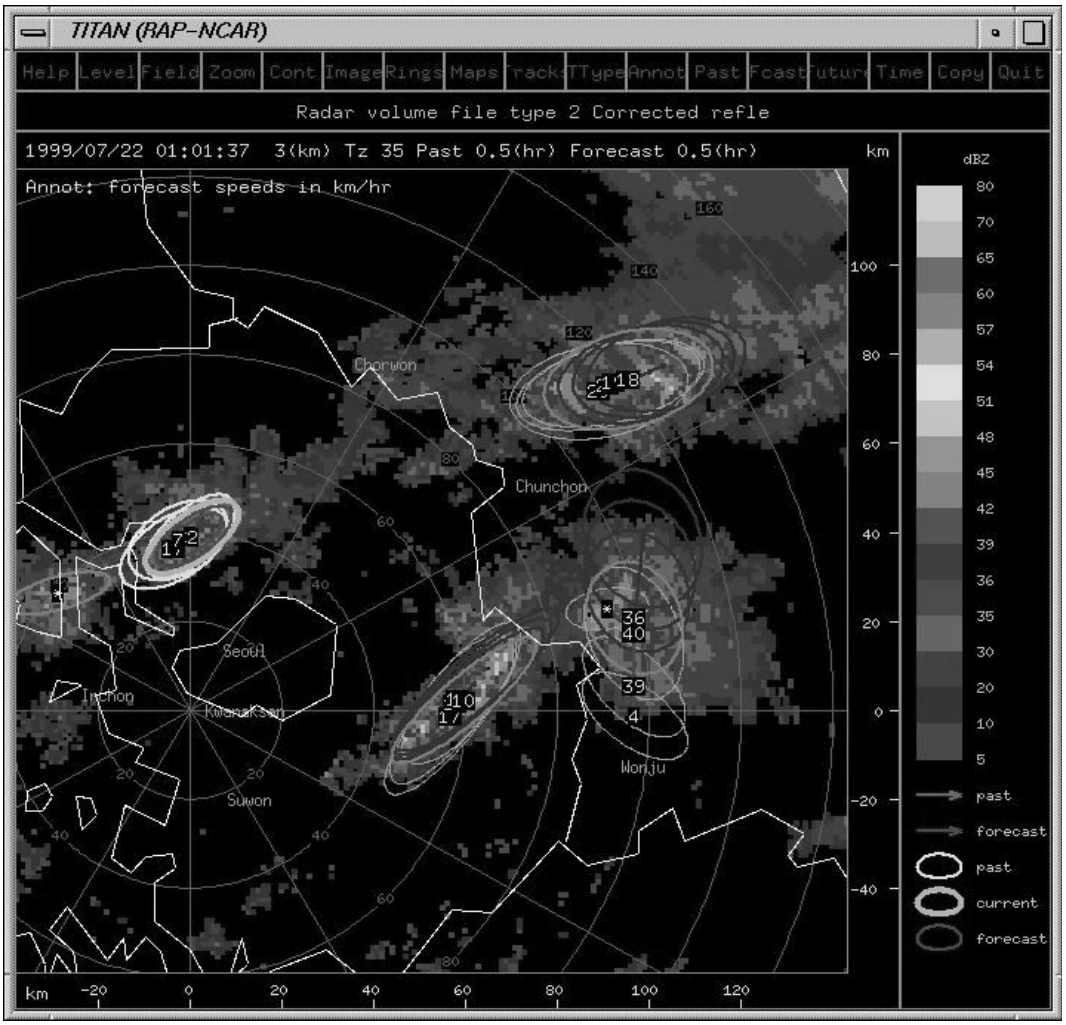


Fig. 6. The main screen of TITAN.

# 제3장 자료 및 분석방법

## 제1절 자료 선정

본 연구에서는 기상레이더의 정확도를 비교 검증을 통하여 보완하고, 위험기상 발생 시 강우강도를 보다 정확히 추정하여 향상된 관측값을 찾고자 하였으며, 장기적으로는 레이더의 관측 자료와 지상우량계 자료를 검증·연구를 위한 기반 구축하여 레이더 영상에서 불러 올 수 있는 강수의 오차를 줄이고자 다양한 방법으로 분석 조사하였다.

기상레이더연구센터의 연구용 X-band 이중편파레이더는 최대 반경 약 110㎞ 이내의 모든 영역에 대한 탐지가 가능하며, 일반적으로 관측 자료의 품질을 높이기 위해 60km 반경으로 관측을 실시하고 있다.

관측주기는 10분으로 3차원 입체관측(볼륨관측) 5분과 연직단면(Range Height Indicator : RHI)관측 5분으로 이루어진다. 볼륨관측은 16개의 고도각(0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 15, 18, 21, 25°)으로 관측되며, RHI 관측은 강한 강수 셀이 위치한 방향으로 0~53° 관측을 실시한다.

자료의 분석기간은 2009년 7월 28일부터 2009년 11월 30일까지로 제한하였다. 그 이유는 11월 30일 이후의 겨울철 자료의 경우, 기상현상이 강우가 아닌 강설의 형태로 나타났는데, 이 경우 강우입자와 강설입자의 유전율을 차이에 의해 레이더 설정값을 바꿔 관측을 실시하게 된다. 이에 따른 오차를 사전에 막고자 겨울철 자료는 삭제하였고, 2010년 겨울 집중관측을 수행한 후 수리와 점검에 의해 관측조건이 바뀌었기 때문이다.

분석에 이용한 자료는 고도각 0.5° 자료를 이용하였다. 이는 높은 고도각을 이용할수록 지상에 실제 내리는 강수가 아닌 공기 중에 존재하는 수증기나 구름입자를 관측하게 되는데 이에 대한 자료의 오차를 줄이고자 연구에 이용한 연구용 X-band 이중편파레이더의 고도각 자료 중 가장 낮은 0.5° 자료를 이용하였다.

비교지점의 선정기준은 레이더의 관측반경별 유효고도가 다른 점을 감안하여 20㎞, 40㎞, 60㎞ 반경별 AWS 지점을 선정하였다. 반경별 AWS의 위치는 Fig. 7과 같

으며, 위치 정보는 Table 2와 같다.

Fig. 7의 중앙이 연구용 X-band 이중편파레이더가 위치하는 곳이며, 레이더를 중심으로 그리진 원은 레이더로부터 반경 20, 40, 60km 영역을 나타내고 있다. 영역별로 각각 3곳의 AWS 관측지점을 선정하였다. 0~20km 영역에서는 해제, 지도, 염산, 20~40km 영역에서는 무안, 몽탄, 월야, 그리고 40~60km 영역에서는 풍암, 광주과학기술원(GIST), 영암을 선정하였다.

AWS의 위치는 관측소를 중심으로 동쪽과 남동쪽 방향으로 위치해 있는데, 이는 관측 기간 동안 무안지역의 우세풍을 감안해 강수 셀의 연속관측을 위해 선정한 것이다.

Fig. 7. Weather Radar Research Center and AWS discharge site.

Table 2. Location information of AWS.

| Radius | Stations | Latitude(° ′ N) | Longitude(° ′ E) |
|---|---|---|---|
| 20km | Haeje | 35 06 | 126 17 |
| | Jido | 35 04 | 126 12 |
| | Yeomsan | 35 13 | 126 22 |
| 40km | Mongtan | 34 56 | 126 30 |
| | Muan | 34 59 | 126 29 |
| | Wolya | 35 11 | 126 38 |
| 60km | GIST | 35 14 | 126 50 |
| | Pungam | 35 08 | 126 53 |
| | Yeongam | 34 48 | 126 42 |

## 제2절 분석 방법

### 1. 예상 강우량 산출

레이더의 반사도 자료를 이용한 예상 강우량 산출은 Z-R 관계식을 이용하여 이루어진다. Z-R 관계식은 레이더 반사도 인자 Z와 강수강도 R과의 경험적, 통계적인 관계식을 말하며 기본식은 다음과 같다.

$$Z = \alpha R^{\beta}$$

여기서 R의 단위는 mm/h이고, $Z$ 는 단위는 $mm^6/m^3$이다. $\alpha$와 $\beta$는 경험에 의한 상수 값으로 구름의 형태와 강수형태에 따라 변화한다. $Z$는 레이더 반사도의 단위인 dBZ와의 관계식을 이용하여 구하며 다음과 같다.

$$dBZ = 10\log Z$$

Z-R 관계식은 구름의 형태와 강수형태에 따라 여러 종류가 있지만 일반적으로 Marshall & Palmer의 층상형 강우에 적용하는 Z-R 관계식이 많이 쓰인다. 본 연구에서도 Marshall & Palmer의 층상형 강우에 적용하는 Z-R 관계식을 이용하였으며 식은 다음과 같다.

$$Z = 200R^{1.6}$$

본 연구에서 얻는 자료는 dBZ 값이므로 이를 이용하여 예상 강우량을 산출하기 위하여, 식을 다음과 같이 변형하여 이용하였다.

$$Z = 10^{\frac{dBZ}{10}}$$

$$R = (\frac{Z}{200})^{0.625}/6$$

$R$을 구하는 관계식에서 6을 나눈 이유는 레이더 관측 자료는 10분 자료를 이용하

지만 여기서 구한 R의 단위가 mm/h이기 때문이다.

## 2. 상관계수

연구용 X-band 이중편파레이더의 자료를 이용한 예상 강우량과 AWS에서 측정된 실제 강우량과의 상관성을 측정하고자 거리별, 날짜별의 상관계수를 계산하였다.

상관계수(correlation coefficient)는 두 변수 사이의 일치성을 측정하는 계수로, -1에서 1의 값을 가지며 perfect score는 1이다.

상관계수의 부호와 절대값은 두 변수의 관계의 방향과 세기를 나타내는 것으로, 절대값이 클수록 두 변수는 강한 선형관계를 갖는다. 즉 상관계수가 0이면 두 변수는 가장 약한 선형관계를 갖는다. 양의 상관계수일 때 두 변수는 비례 관계이며, 음의 상관계수일 때 두 변수는 반비례 관계를 나타낸다. 다음은 상관계수 $r$을 구하는 식이다.

$$r = \frac{\sum(F-\overline{F})(O-\overline{O})}{\sqrt{\sum(F-\overline{F})^2}\sqrt{\sum(O-\overline{O})^2}}$$

$\overline{F}$ : 레이더반사도 자료의 평균값, $\overline{O}$ : 지상우량계 자료의 평균값

상관계수 $r$은 다음의 성질을 가지고 있다.

① $-1 \le r \le 1$

② $r > 0$ : X의 값이 증가함에 따라 Y의 값도 이에 비례하여 증가하는 경향이 있고 이를 양의 상관이라 한다.

③ $r < 0$ : X의 값이 증가함에 따라 Y의 값은 이에 반비례하여 감소하는 경향이 있으며 음의 상관이라 한다.

④ $r = 0$ : 상관이 없는 무상관이다.

# 제4장 자료의 분석과 결과

## 제1절 사례1(2009. 8. 12.)

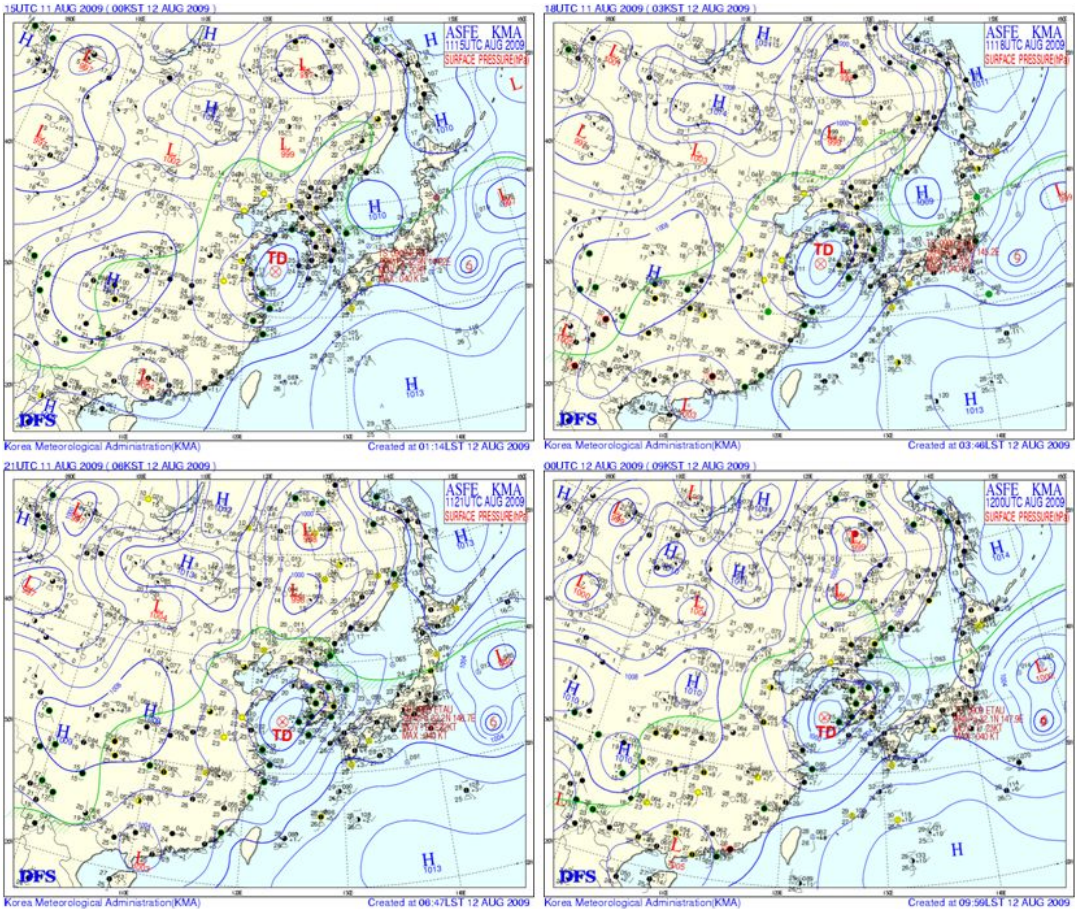


Fig. 8. Surface weather charts(2009. 8. 12.).

Fig. 8은 사례 1 당일의 지상일기도 자료로 열대저압부가 서해남부 해상으로 진출하여 북동진하여 중부지방을 지나면서 온대저기압으로 변질될 것으로 전망되고, 서울 경기도지방은 오늘 밤에 점차 저기압의 영향권에서 벗어나겠으나 그 밖의 지방은 내일 새벽/아침까지 영향을 받은 후 점차 벗어날 것으로 예측되었다.

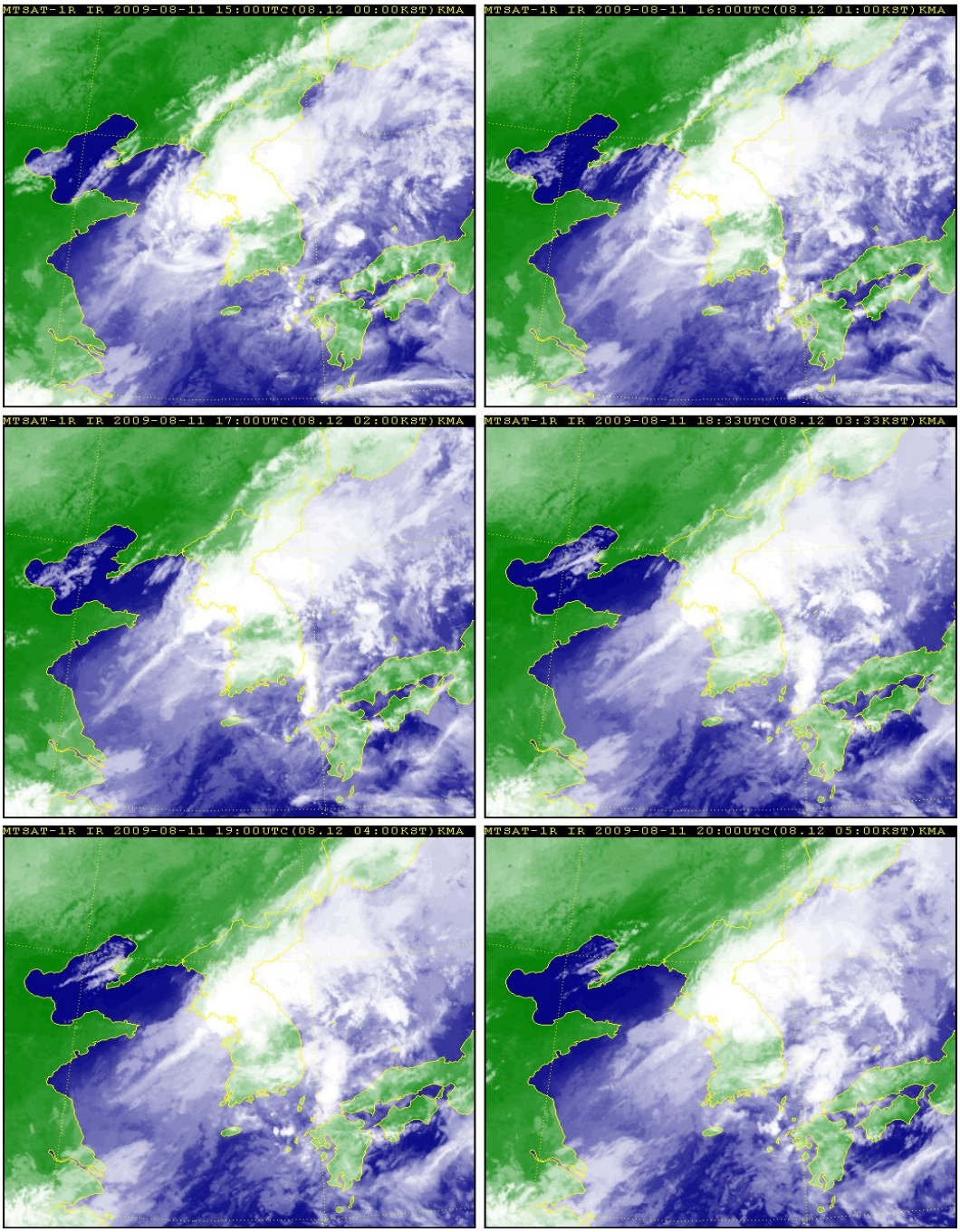


Fig. 9. Satellite images(2009. 8. 12.).

Fig. 9는 위성영상으로 곳곳에 위치한 구름이 남서에서 북동방향으로 한반도 상공을 빠르게 통과하는 것을 확인할 수 있다.

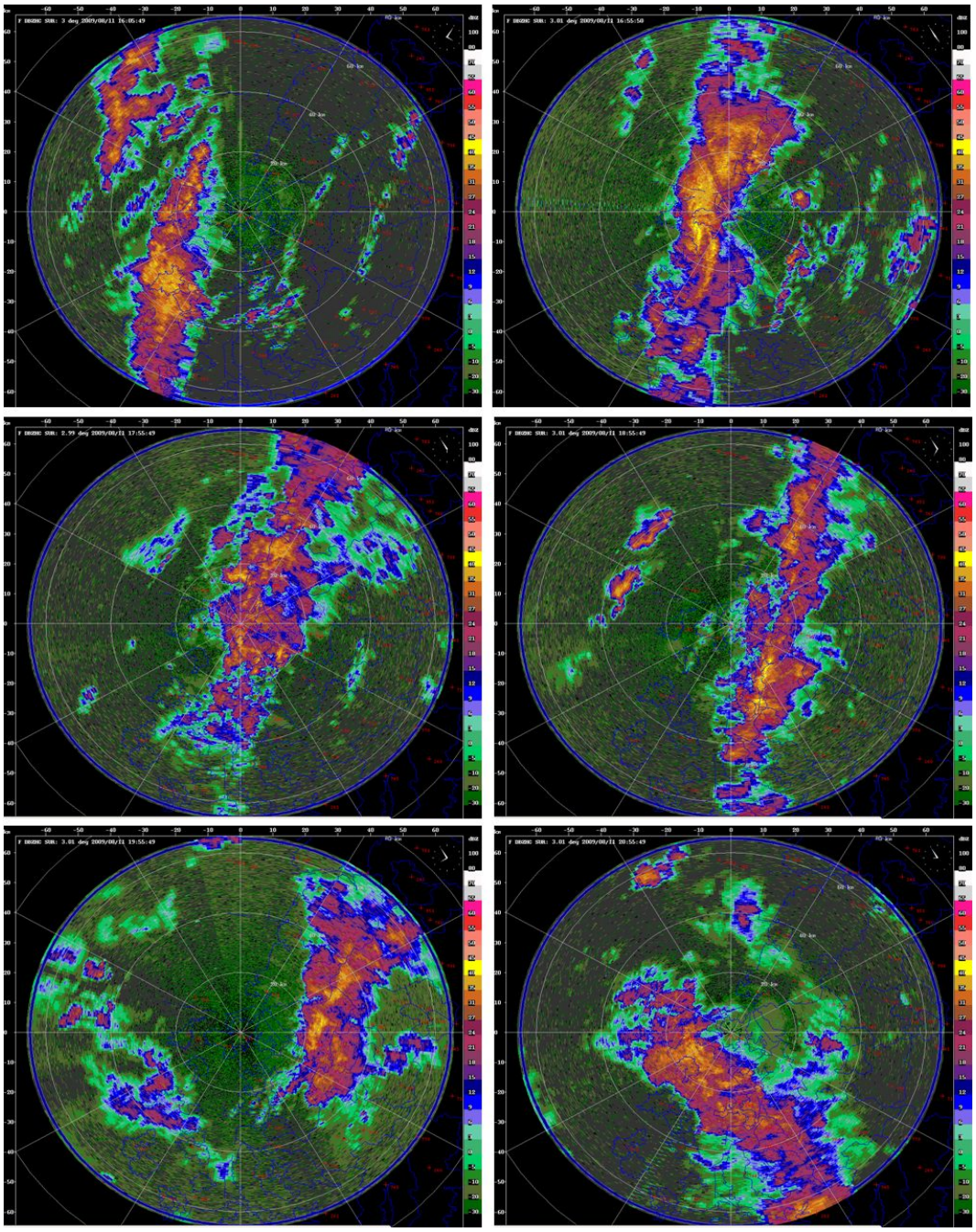

Fig. 10. Research X-band dual-polarimetric radar images(2009. 8. 12.).

Fig. 10은 X-band 이중편파레이더 영상자료 중 하나인 DBZHC(reflectivity in the horizontal polarization) 영상이다. DBZHC 영상은 한 지점의 수직 에코강도

중 가장 강한 에코강도를 나타내는 영상으로 강우량 산출에 이용되지는 않으나, 강우에코의 이동을 확인할 때 유용하게 이용된다.

Fig. 10 에서 레이더에 잡힌 에코가 발달과 약세를 반복하면서 남서에서 북동방향으로 빠르게 이동하는 것을 확인할 수 있다.

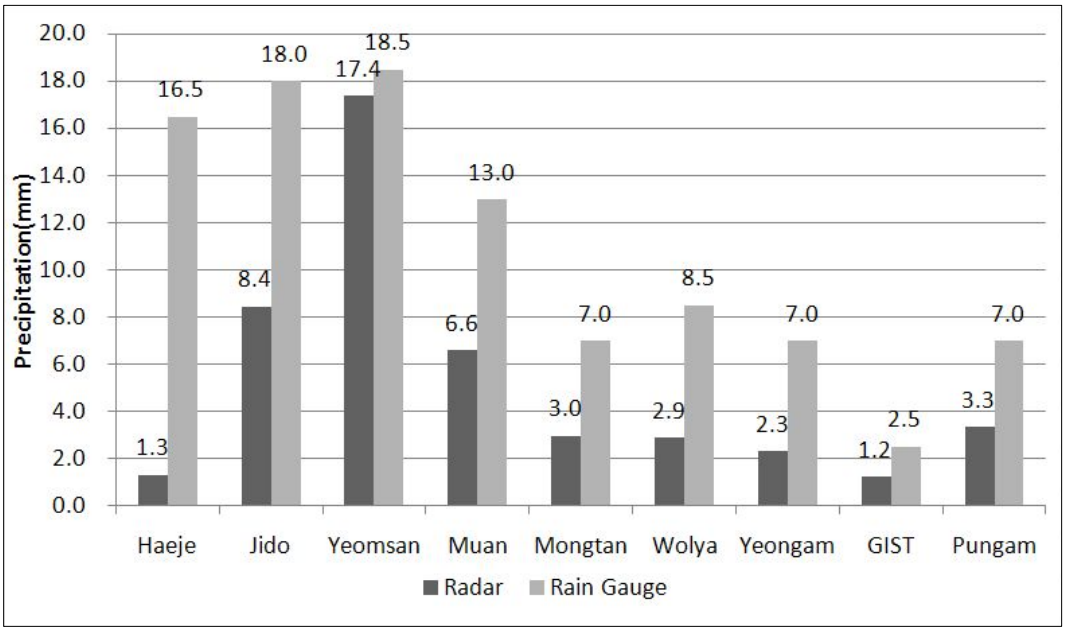


Fig. 11. Comparison of rainfall amounts(2009. 8. 12.).

Fig. 11은 사례1에서 연구용 X-band 이중편파 레이더 강우강도를 이용해 구한 예상 강우량과 AWS의 관측자료를 이용한 실제 강우량의 비교이다.

대부분의 관측지점에서 실제 강우량에 비해 예상 강우량이 과소 추정되고 있으며, 염산의 경우, 실제 강우량과 예상 강우량이 거의 비슷한 수치를 나타냈다.

## 제2절 사례2(2009. 8. 27.)

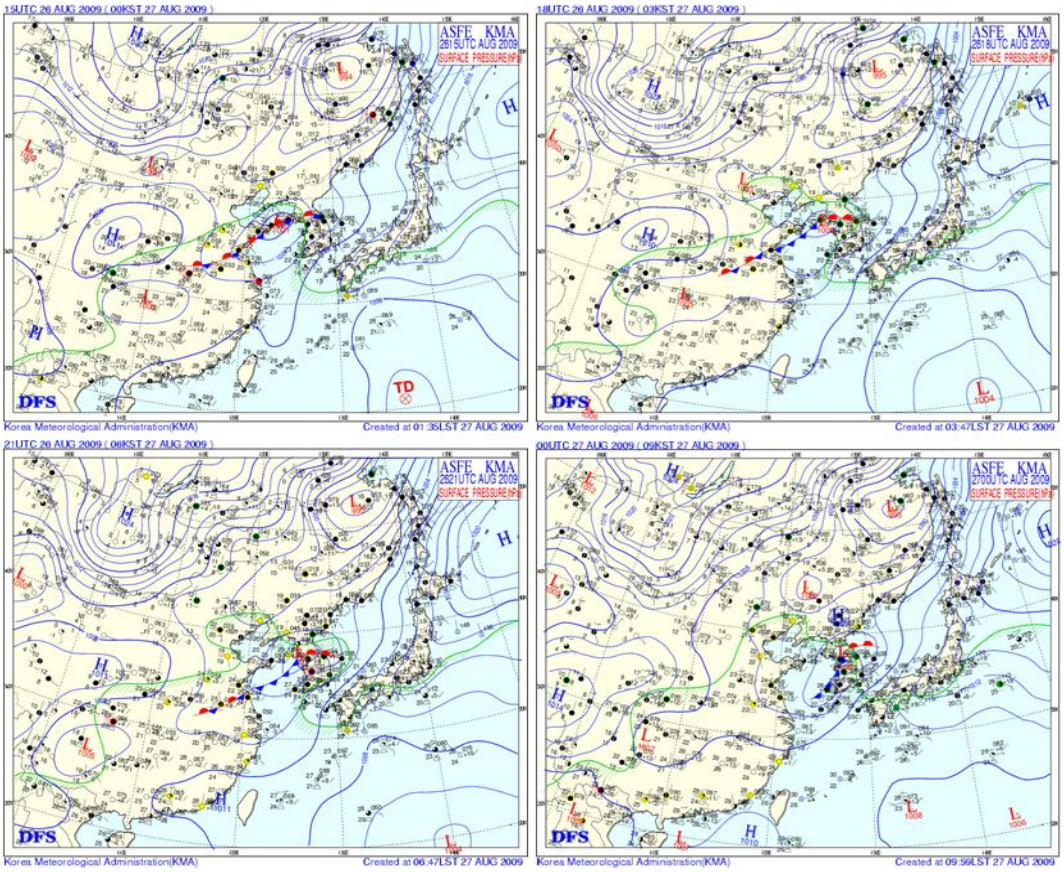


Fig. 12. Surface weather charts(2009. 8. 27.).

Fig. 12의 지상일기도에서 서해중부해상에 전선을 동반한 저기압이 위치한 가운데 점차 북한 내륙지방으로 이동 중에 있으며, 이 저기압은 오전에 중부, 오후에는 남부지방에 주로 영향을 미치겠고, 동쪽으로는 기압능이 강화되면서, 남서류가 강하게 유입되어, 충청도와 남부지방도 많은 강수 가능성이 있음. 강수종료 시점은 이 저기압에 동반된 한랭전선이 통과한 후가되겠으나, 남부지방은 남동쪽의 고압대가 유지되고 있어, 강수종료 시점이 다소 늦추어 질 가능성도 있음. 따라서 한반도는 오늘 저기압 영향을 받아 전국적인 강수가 예상되며(오전은 중부중심, 오후는 남부중심). 강수 종료 후 서쪽(중국 중부지방)의 고압대 접근으로 날씨는 점차 호전됨이 예상되었다.

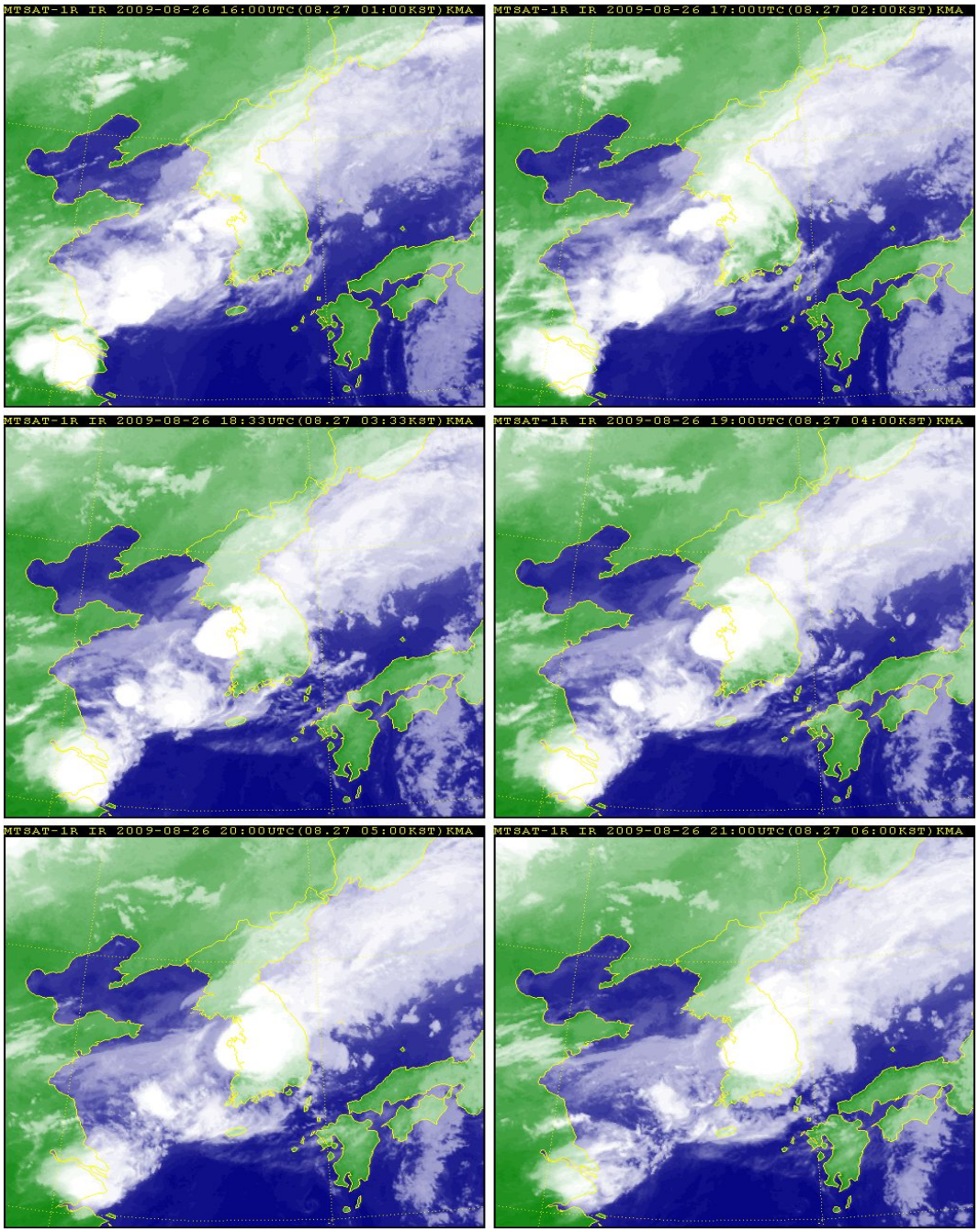


Fig. 13. Satellite images(2009. 8. 27.).

Fig. 13의 위성영상에서 넓고 두터운 구름층이 한반도 상공에 머무르며 느린 속도로 남서에서 북동으로 이동하는 것을 확인할 수 있다.

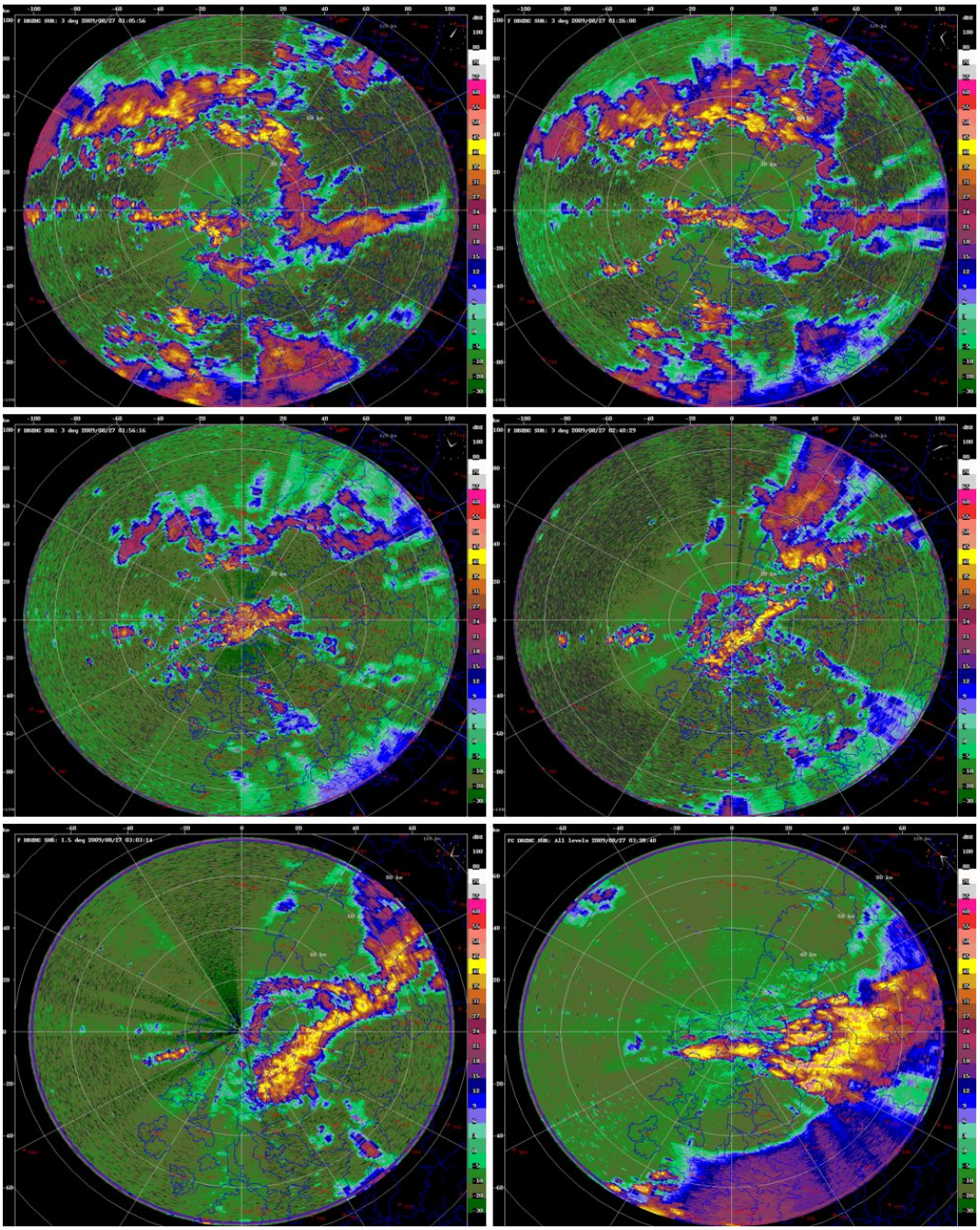

Fig. 14. Research X-band dual-polarimetric radar images(2009. 8. 27.).

Fig. 14의 연구용 X-band 이중편파레이더의 영상자료에서 서쪽에서 유입된 강수 에코가 강한 에코로 발달하면서 동쪽으로 이동하는 모습을 확인할 수 있다.

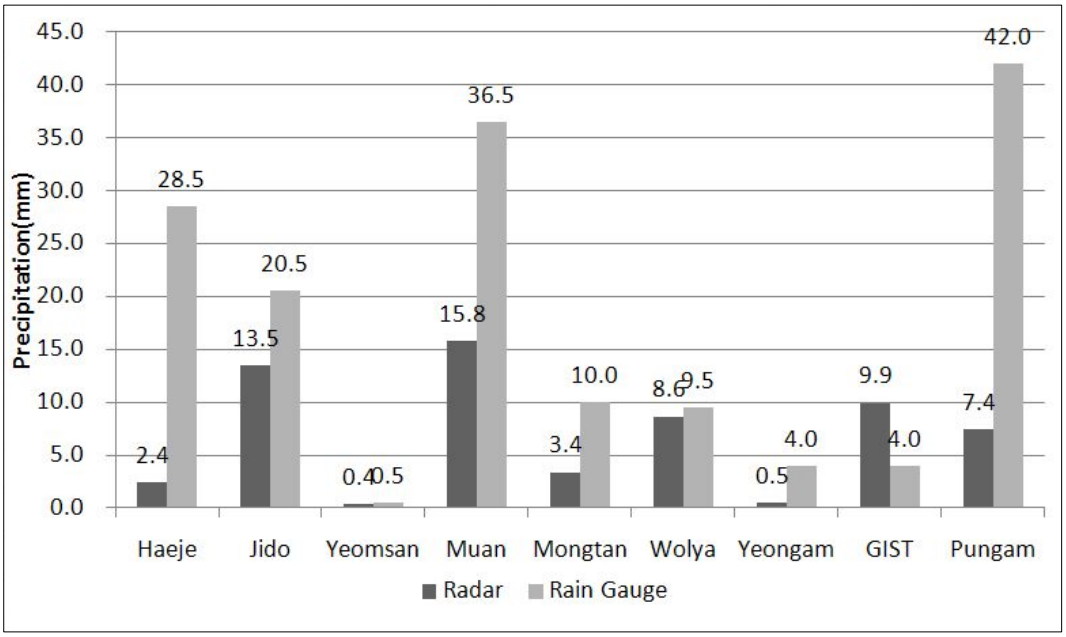


Fig. 15. Comparison of rainfall amounts(2009. 8. 27.).

Fig. 15는 사례 2의 연구용 X-band 이중편파 레이더 강우강도를 이용한 추정 강우량과 실제 강우량 비교이다. 대부분의 관측지점에서 예상 강우량이 과소 추정되었으며, 염산, 월야의 경우, 비슷한 수치를 보였다. 광주과학기술원에서는 실제 강우량보다 예상 강우량이 더 크게 나타났다.

## 제3절 사례3(2009. 9. 27.)

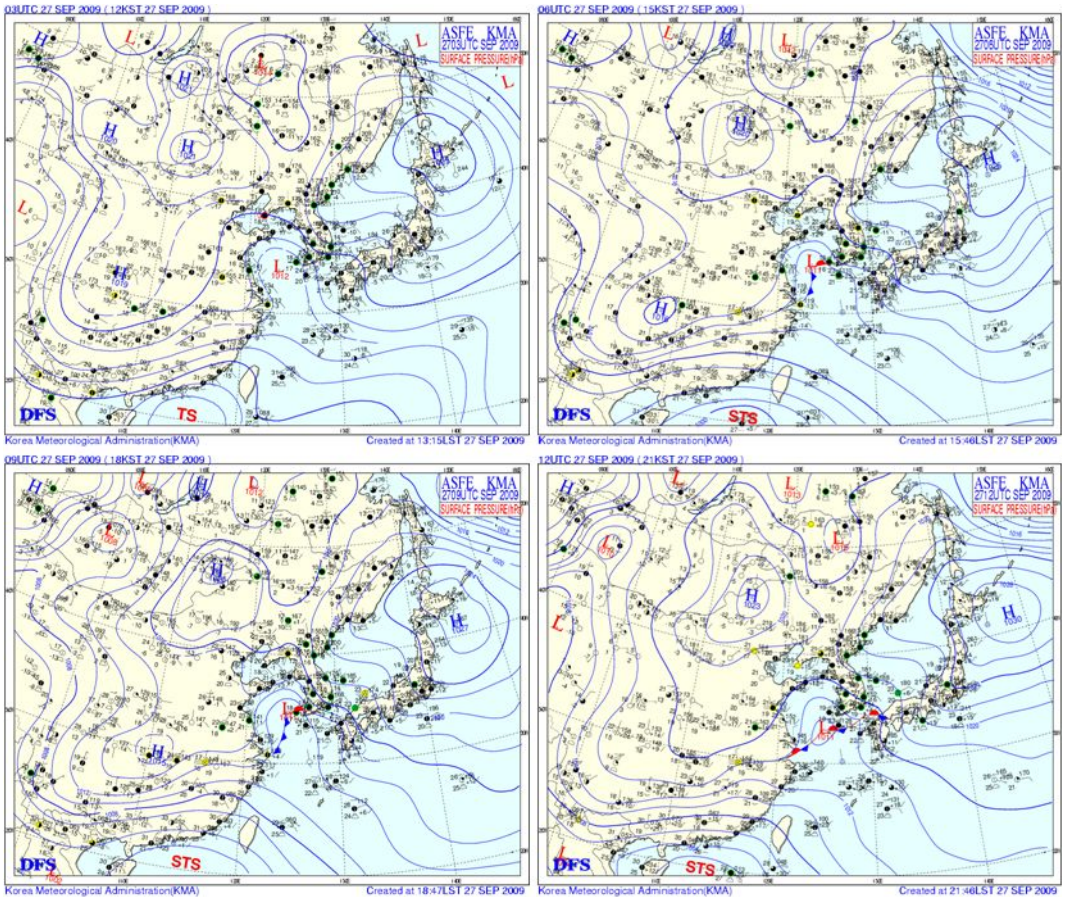


Fig. 16. Surface weather charts(2009. 9. 27.).

Fig. 16의 지상일기도에서 캄챠카반도 부근의 발달한 저기압은 전면의 능에 저지되어 느리게 이동하고 있고, 저기압 후면으로 상층수렴장이 위치하고 있어서 동해상의 고기압은 세력을 유지하면서 느리게 이동하고 있다. 하층으로 남동류가 유입되면서 강수 전면에서 다소 약화되는 경향을 보이고 있으나, 오늘 오후 늦게나 밤부터 남서가 강화되면서 남부지방으로 불안정이 강화되면서 강한 비가 올 것으로 예측되었다. 서해남부해상의 저기압은 동북동진하면서 오늘밤에서 내일 오전 사이에 남부지방을 통과하여 나가겠음. 몽골 동부지방에 위치한 고기압은 남동진하여 내일(28일) 만주지방에 위치하면서 점차 중서부지방부터 이 고기압의 영향을 받을 것이라 예상되었다.

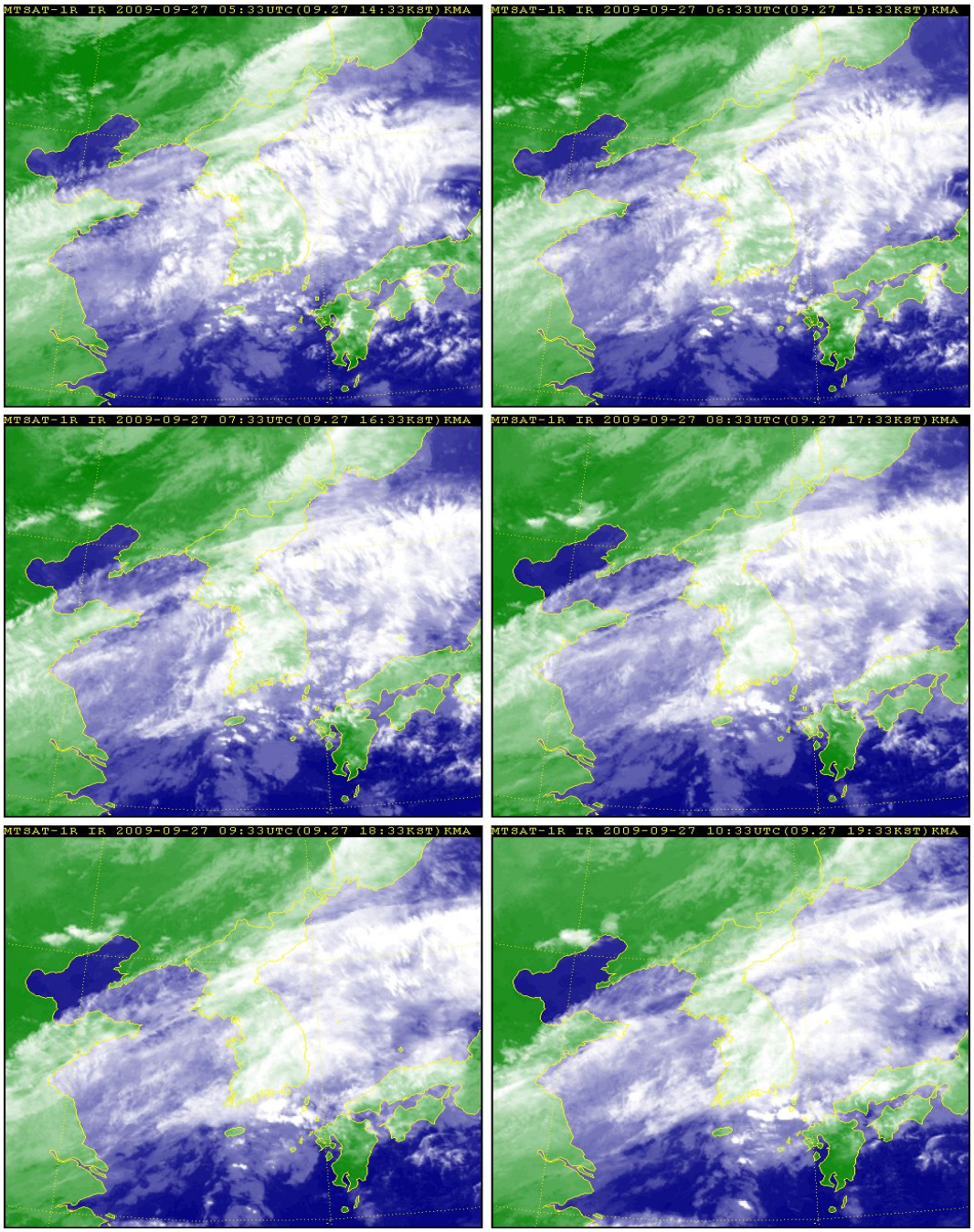


Fig. 17. Satellite images(2009. 9. 27.).

Fig. 17의 위성영상에서 한반도 상공 전역에 걸쳐 옅은 구름이 자리 잡고 천천히 서에서 동으로 이동하는 것을 확인할 수 있다.

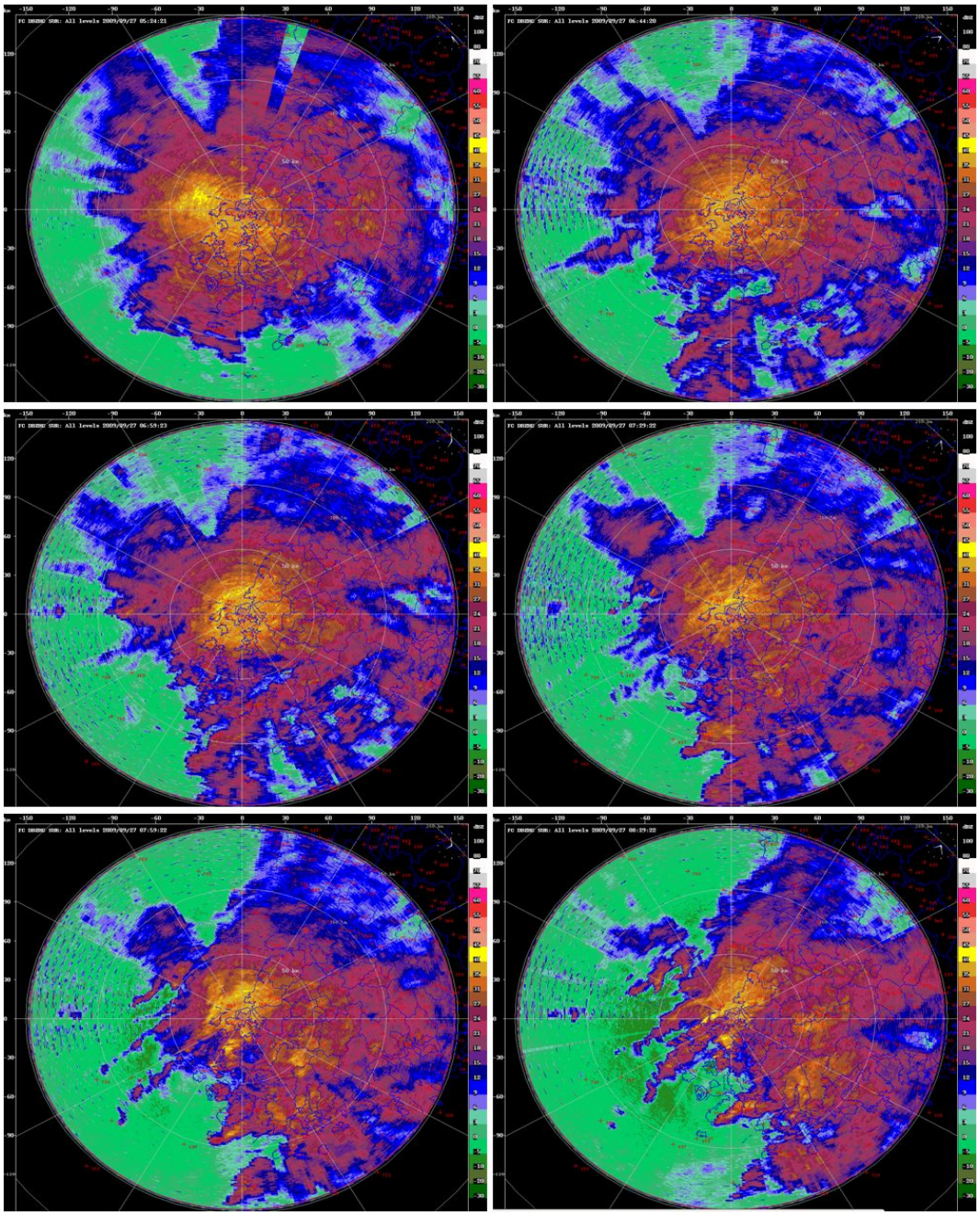

Fig. 18. Research X-band dual-polarimetric radar images(2009. 9. 27.).

Fig. 18의 연구용 X-band 이중편파레이더 영상에서는 레이더를 중심으로 넓은 지역에 붉은색의 약한 에코가 존재하였으며, 아주 느린 속도로 서에서 동으로 이

동하는 것을 확인할 수 있다.

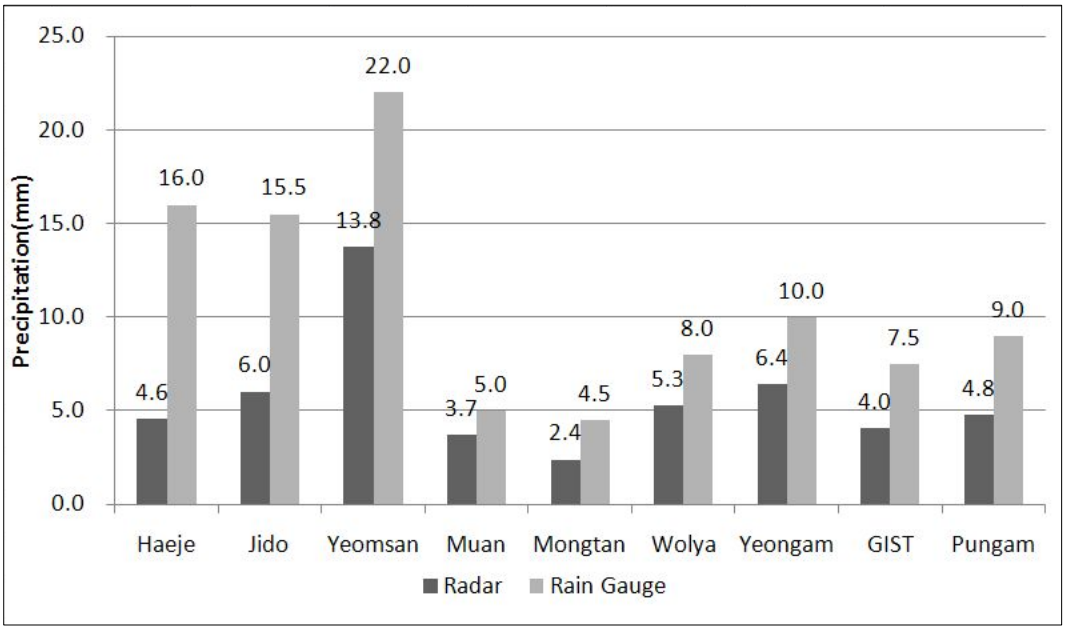


Fig. 19. Comparison of rainfall amounts(2009. 9. 27.).

Fig. 19는 사례 2의 연구용 X-band 이중편파 레이더 강우강도를 이용한 추정 강우량과 실제 강우량 비교이다.

모든 관측지점에서 예상 강우량이 과소 추정되었으나 앞선 사례에 비해 근접한 수치가 예상되었다.

## 제4절 사례4(2009. 10. 1.)

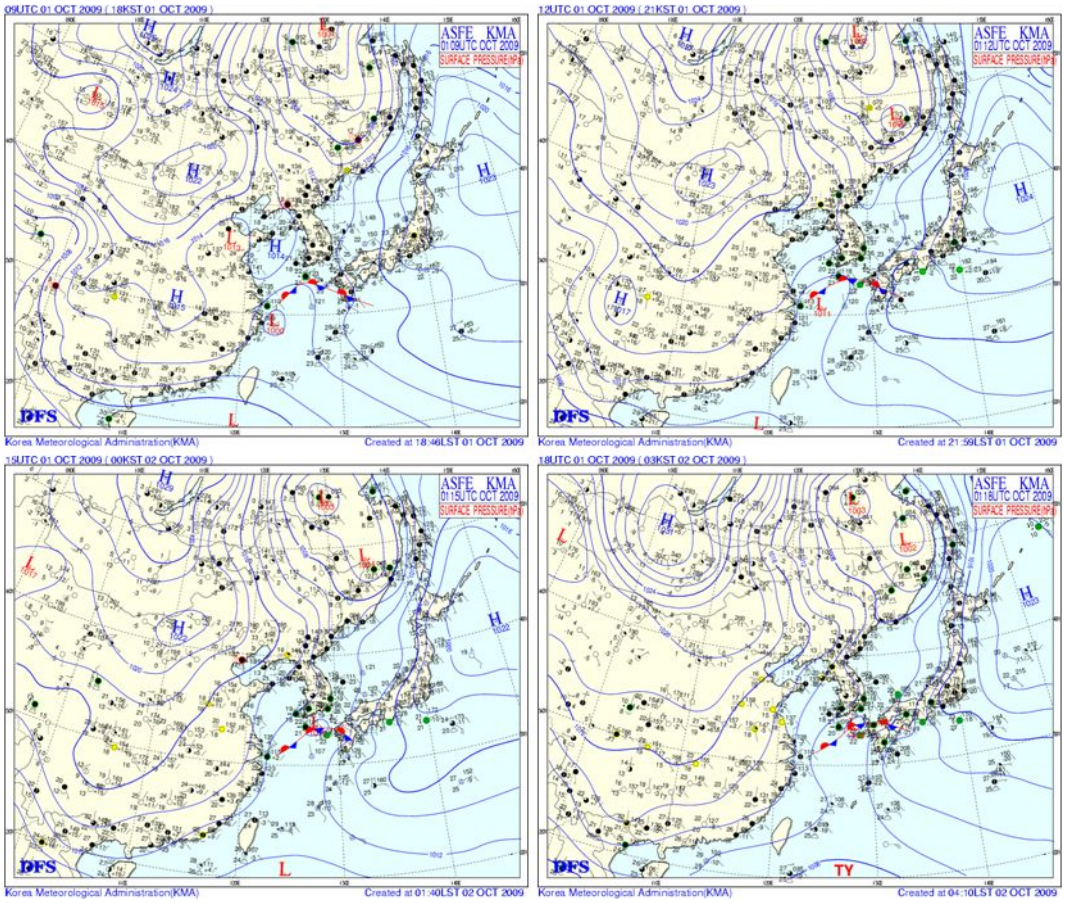


Fig. 20. Surface weather charts(2009. 10. 1.).

Fig. 20의 지상일기도에서 홋카이도 부근에 위치한 고기압이 동진하고 있으면서 한반도는 그 가장자리에 들어 있으나, 오늘 후반에 제주도와 남부지방은 고기압이 동진하여 나가면서 고기압 후면으로 moisture가 유입되면서 영향을 받을 것이라 생각된다.

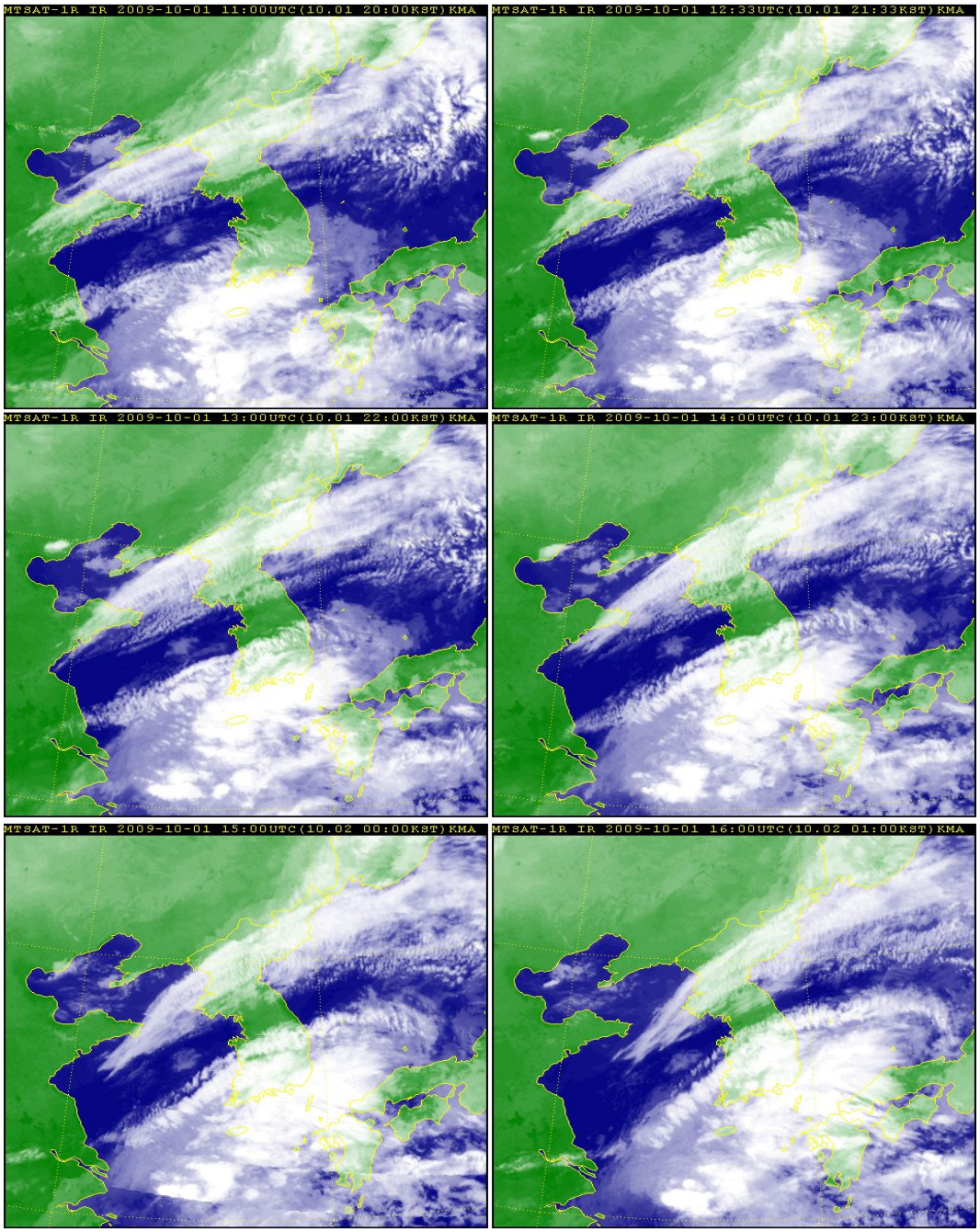


Fig. 21. Satellite images(2009. 10. 1.).

Fig. 21의 위성영상에서 남해안과 제주도 상공의 두터운 구름층이 점차 북동진하면서 영역이 확대되는 것을 확인할 수 있다.

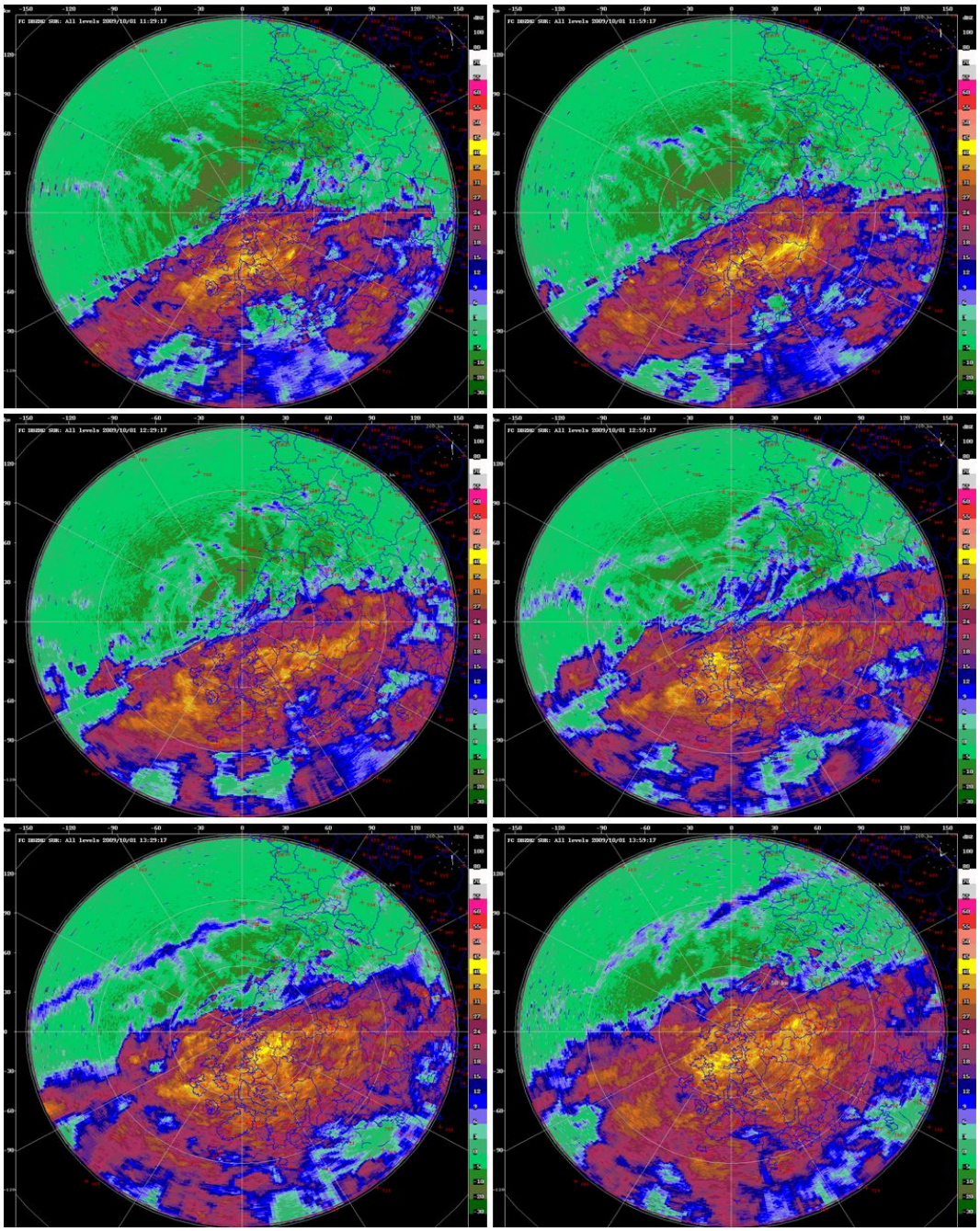

Fig. 22. Research X-band dual-polarimetric radar images(2009. 10. 1.).

Fig. 22의 연구용 X-band 이중편파레이더 영상에서는 남쪽 방향에 넓은 영역에 걸쳐 약한 에코가 존재하였으며, 점차 북동진 하는 것을 확인할 수 있다.

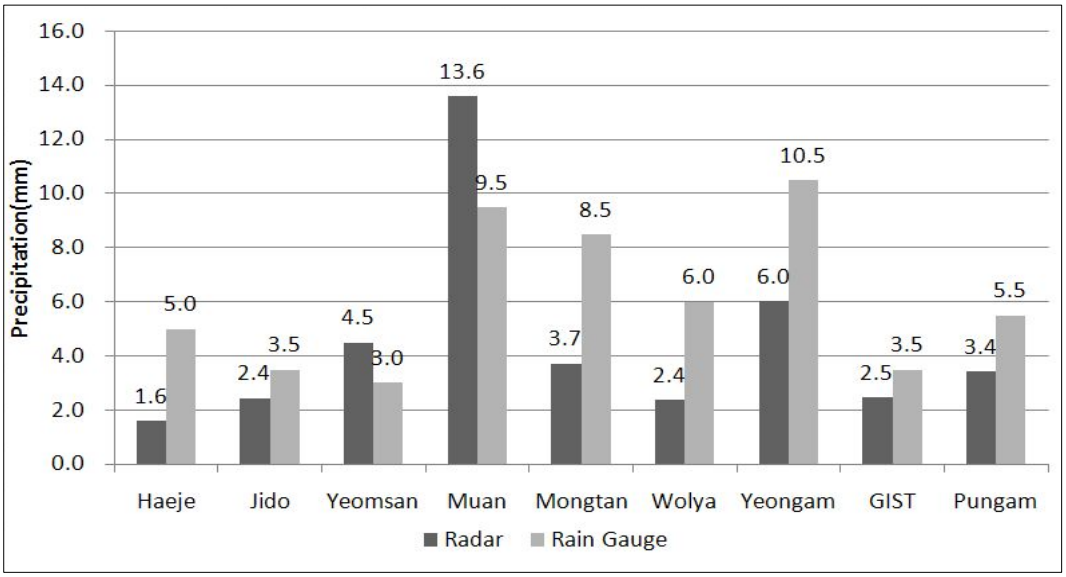


Fig. 23. Comparison of rainfall amounts(2009. 10. 1.).

Fig. 23은 사례 4의 연구용 X-band 이중편파 레이더 강우강도를 이용한 추정 강우량과 실제 강우량 비교이다. 이번 사례에서도 대부분의 관측지점에서 예상 강우량이 과소 추정 되었으며, 염산과 무안의 경우, 과대 추정되었다.

## 제5절 사례5(2009. 11. 8.)

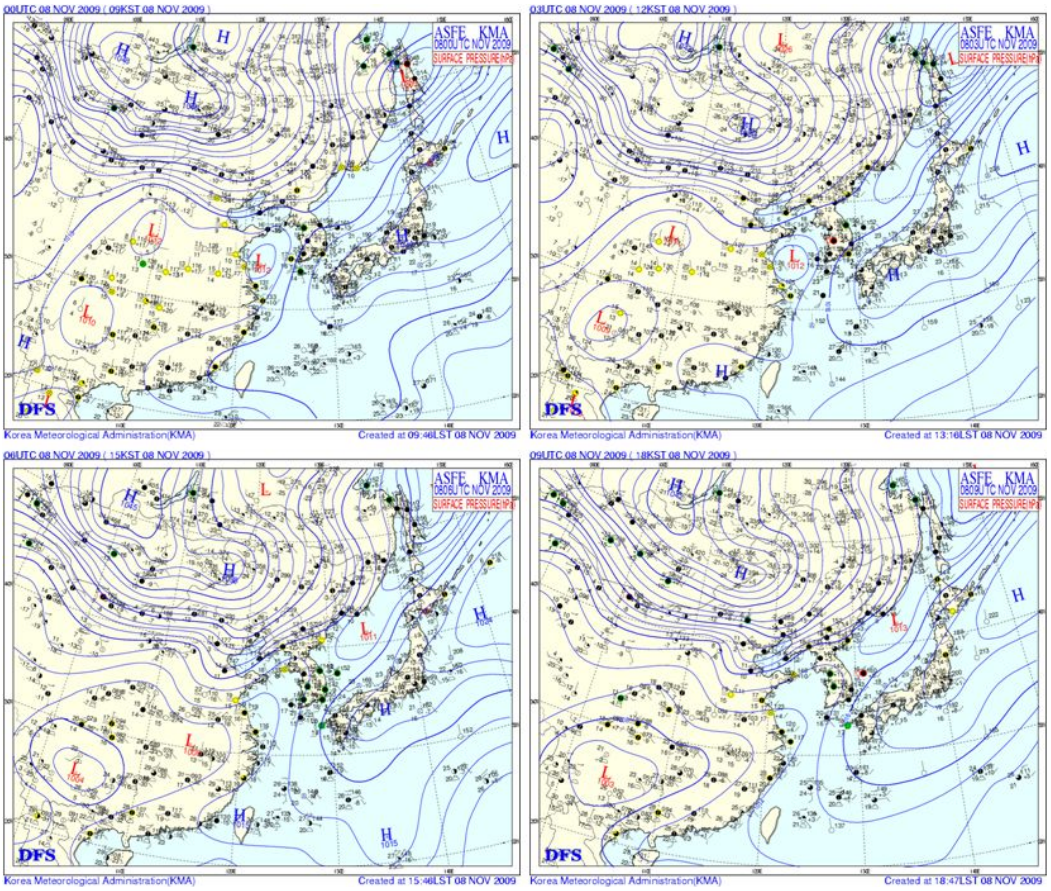


Fig. 24. Surface weather charts(2009. 11. 8.).

Fig. 24의 지상일기도에서 일본열도에 자리 잡은 고기압의 가장자리에서 강수가 시작 (서울경기, 서해안지방)되엇고, 이 고기압은 천천히 동쪽으로 이동하고 몽골에 자리 잡은 대륙고기압은 상층의 원활한 흐름과 함께 남동진하였다.

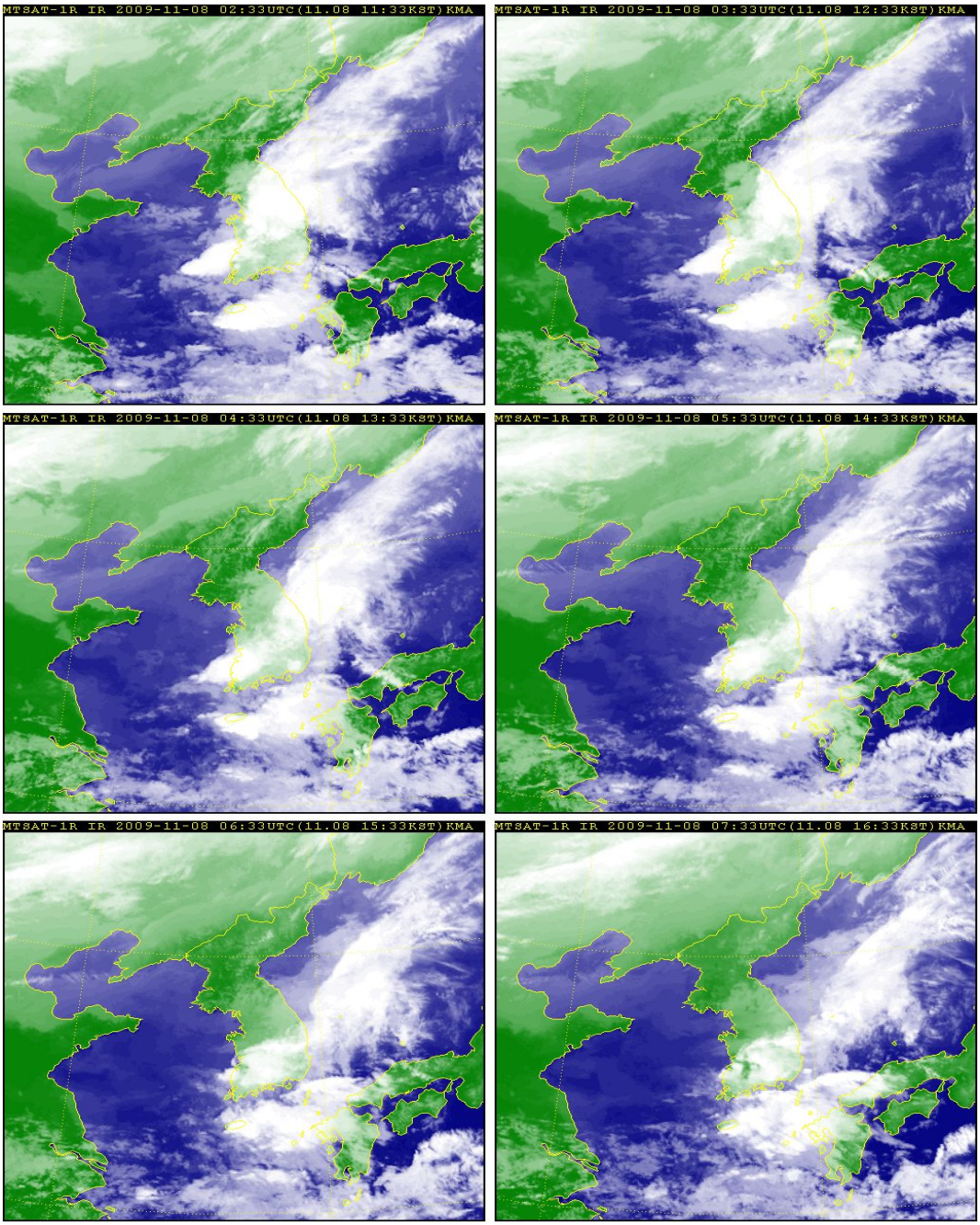


Fig. 25. Satellite images(2009. 11. 8.).

Fig. 25의 위성영상에서 한반도 남서해안에서 동해상으로 길게 뻗은 두터운 구름대가 서서히 동진하는 모습을 확인할 수 있다.

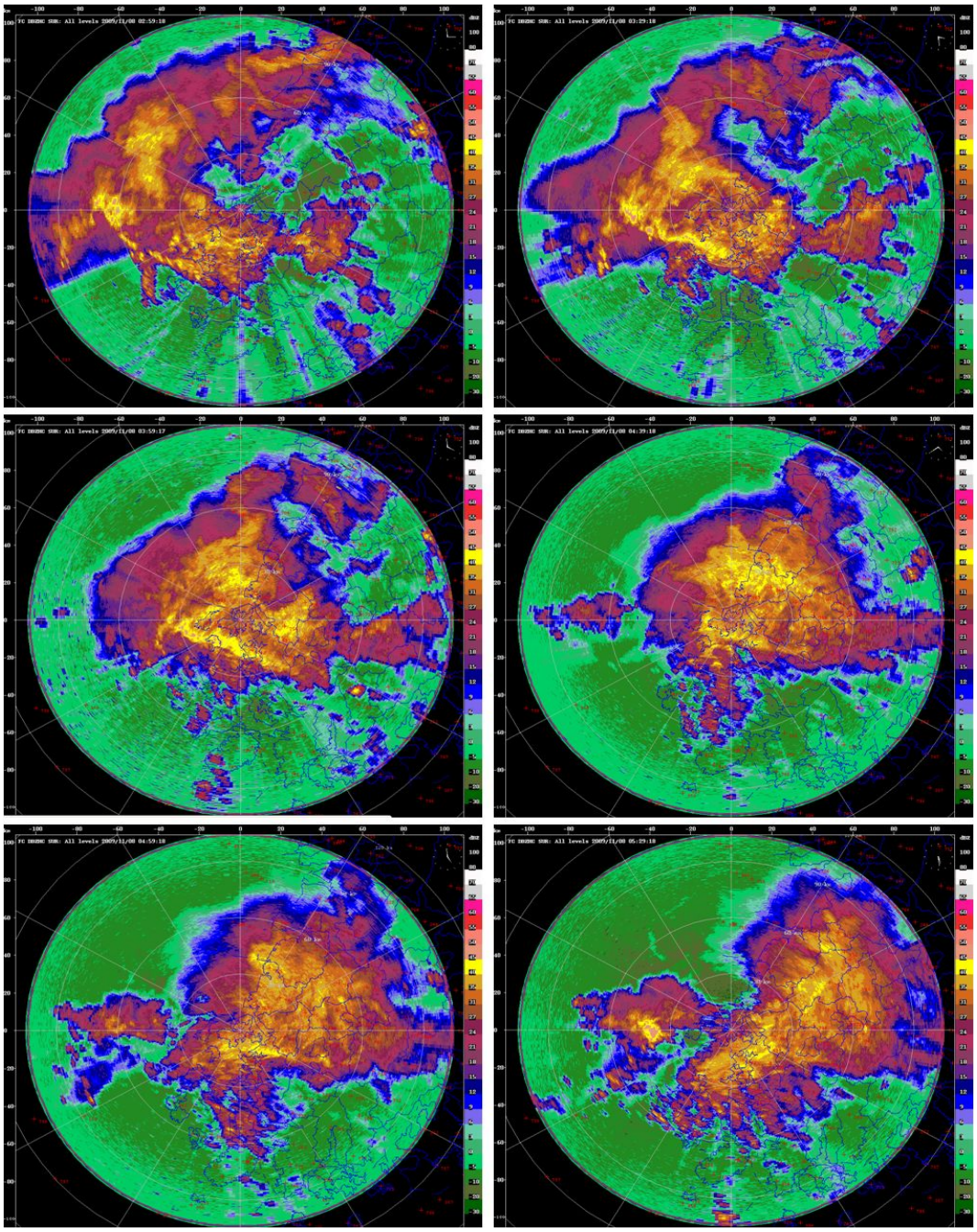

Fig. 26. Research X-band dual-polarimetric radar images(2009. 11. 8.).

Fig. 26의 연구용 X-band 이중편파레이더 영상에서 넓은 지역에 걸쳐 강한 에코가 존재하며, 점차 동진하는 것을 확인할 수 있다.

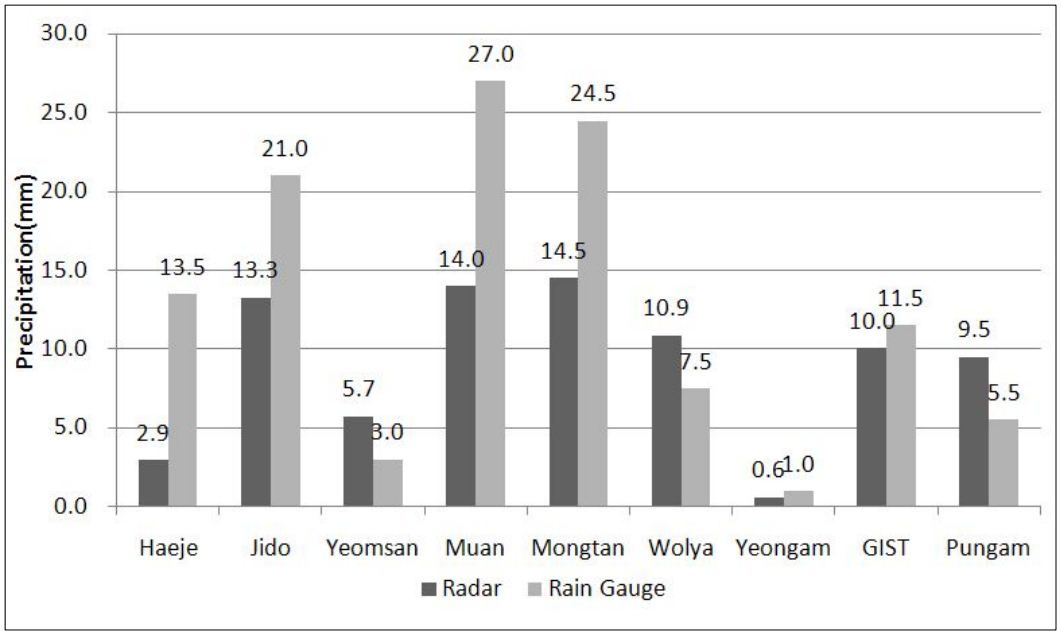


Fig. 27. Comparison of rainfall amounts(2009. 11. 8.).

Fig. 27은 사례5의 연구용 X-band 이중편파 레이더 강우강도를 이용한 추정 강우량과 실제 강우량 비교이다. 이번 사례는 다양한 경우가 발생하였다. 해제, 지도, 무안, 몽탄의 경우에는 예상 강우량이 과소 추정 되었으나, 염산, 월야, 풍암의 경우에는 예상 강우량이 과대 추정 되었다. 염암, 광주과학기술원에서는 비슷한 수치가 예상되었다.

## 제6절 사례6(2009. 11. 10.)

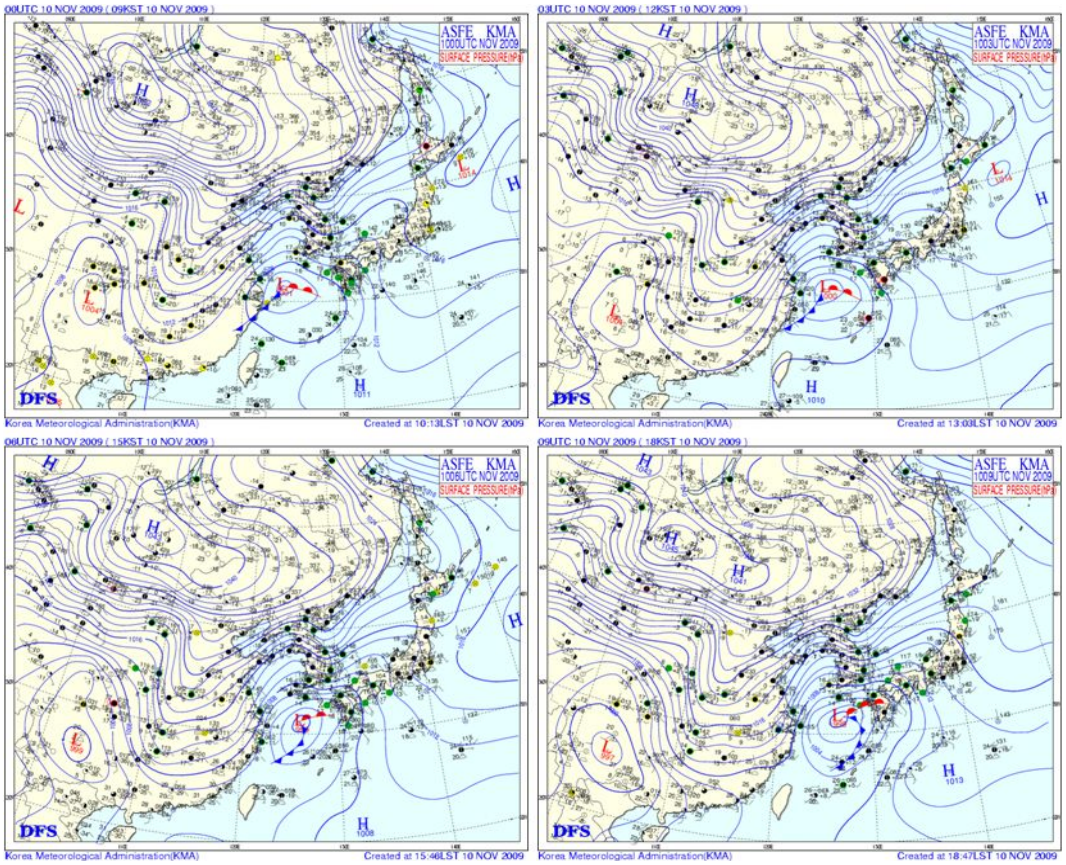


Fig. 28. Surface weather charts(2009. 11. 10.).

Fig. 28의 지상일기도에서 한반도는 몽골내륙에 중심을 두고 있는 다소 발달한 대륙고기압(cP)이 남하(한축은 중국내륙 또 다른 축은 동해상으로 진출)하고 있으며, 중국남부의 기압골은 계속 동진하고 있는 추세이다. 대륙 고기압이 지속적으로 확장하고 있어, 상대적으로 한반도 서쪽으로 기압골이 강화되고 있으며, 남서쪽으로 부터 기압골도 상층의 지원을 받아 발달하면서 동진하고 있다. 또한 cP가 동해상으로 확장하고, 상층한기 이류가 강화되고 있어, 영동을 중심으로 동풍이 강화되어 지속적인 강수 및 다소 많은 강수가 예상된다. 한편 남서쪽의 기압골의 접근으로제주 및 남해안을 중심으로 강수가 전개 되겠으나, 강수의 확장(북쪽으로)에는 cP가 지속적으로 확장함에 따라 제한적으로 이루어 질것으로 예상되었다.

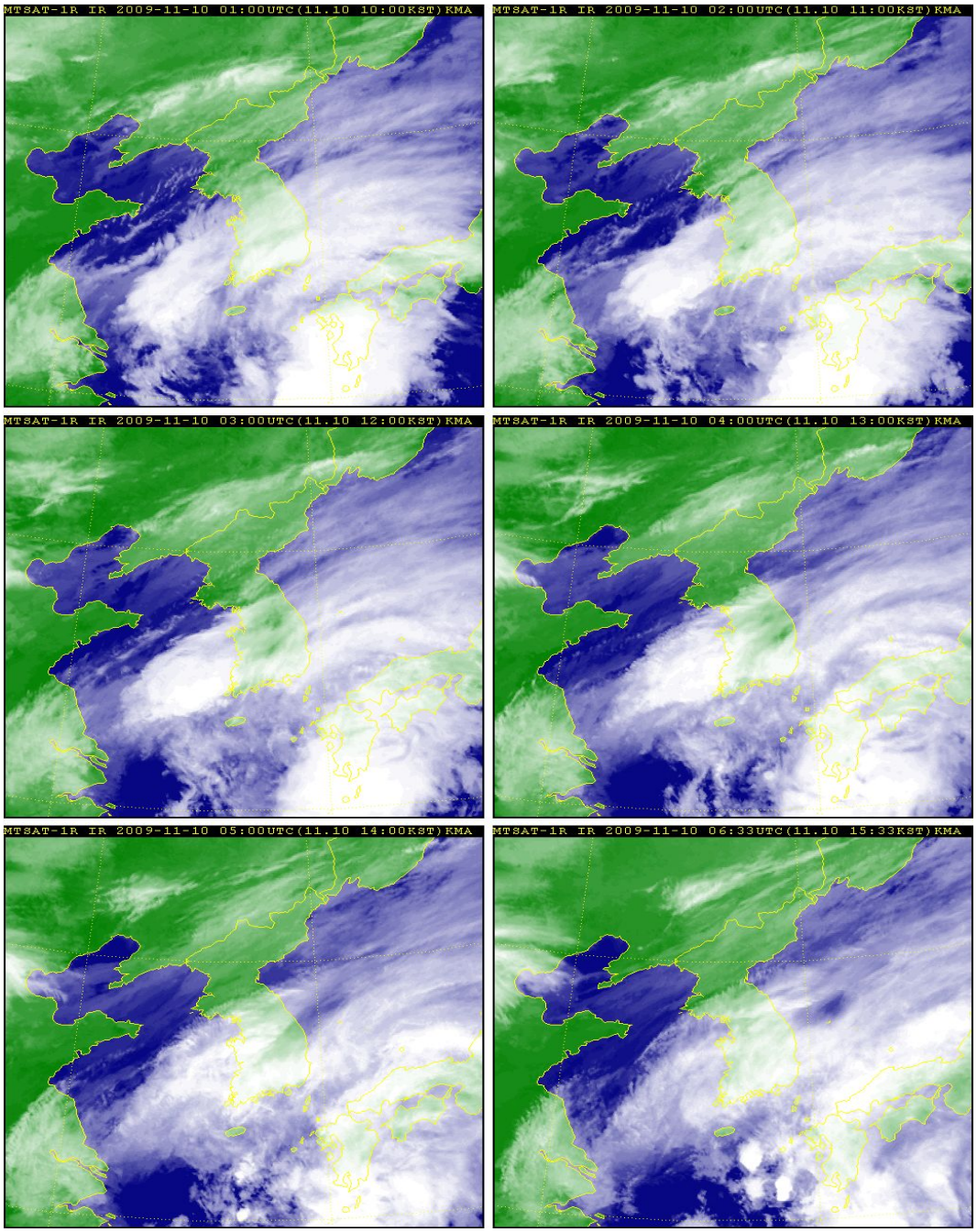


Fig. 29. Satellite images(2009. 11. 10.).

Fig. 29의 위성영상에서 한반도 남서해안에서 중·남부지방에 걸쳐 얇은 구름이 넓게 위치한 것을 확인할 수 있다.

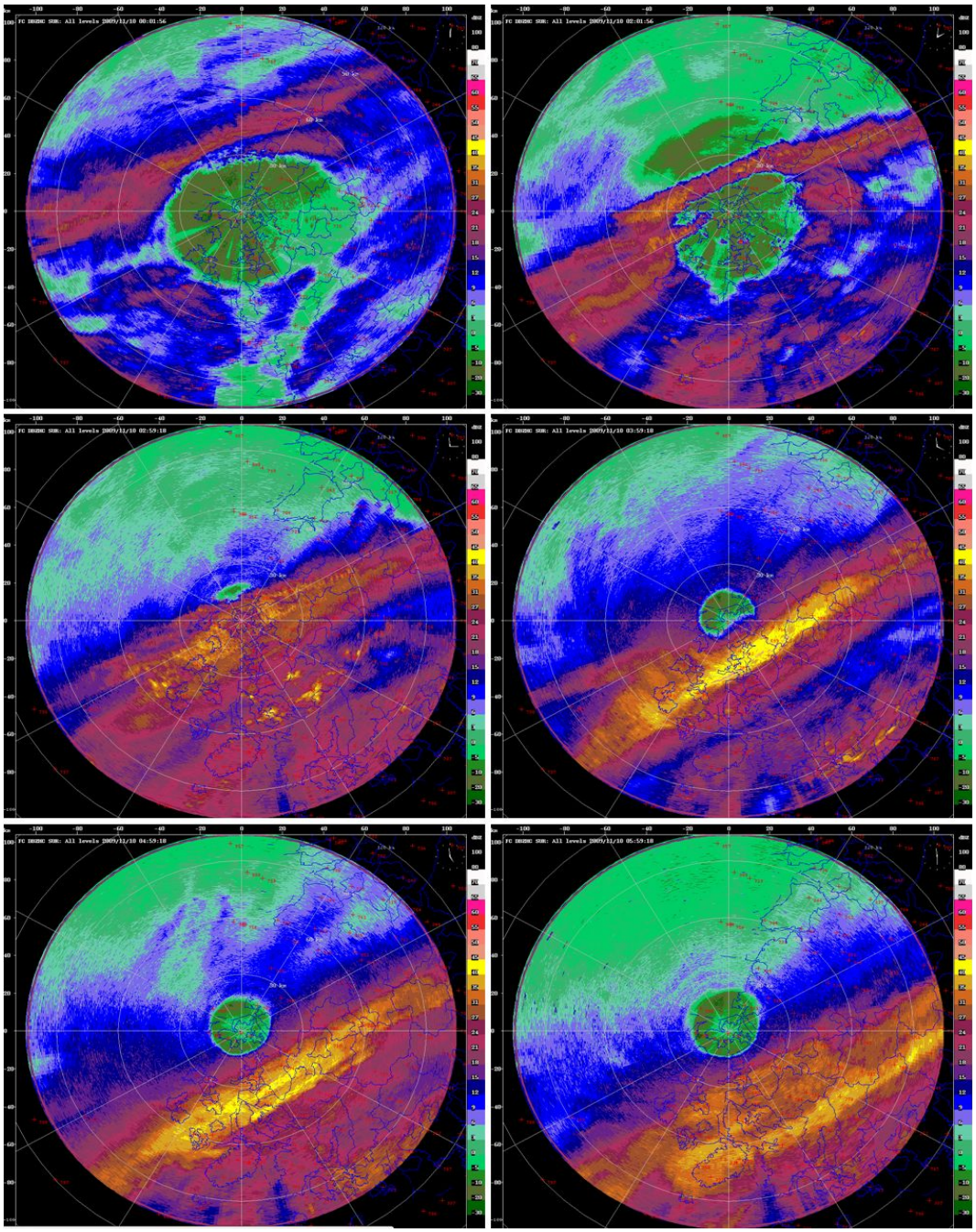

Fig. 30. Research X-band dual-polarimetric radar images(2009. 11. 10.).

Fig. 30의 연구용 X-band 이중편파레이더 영상자료에서 레이더를 중심으로 넓게 자리 잡은 약한 에코가 남동진 하는 것을 확인할 수 있다. 영상에서 레이더가 위

치한 일정 영역내의 에코가 공백에 생기는 것을 볼 수 있는데 이는 무안의 이중편파레이더가 보조파가 발사되지 않고 메인파만 발사되기 때문이다.

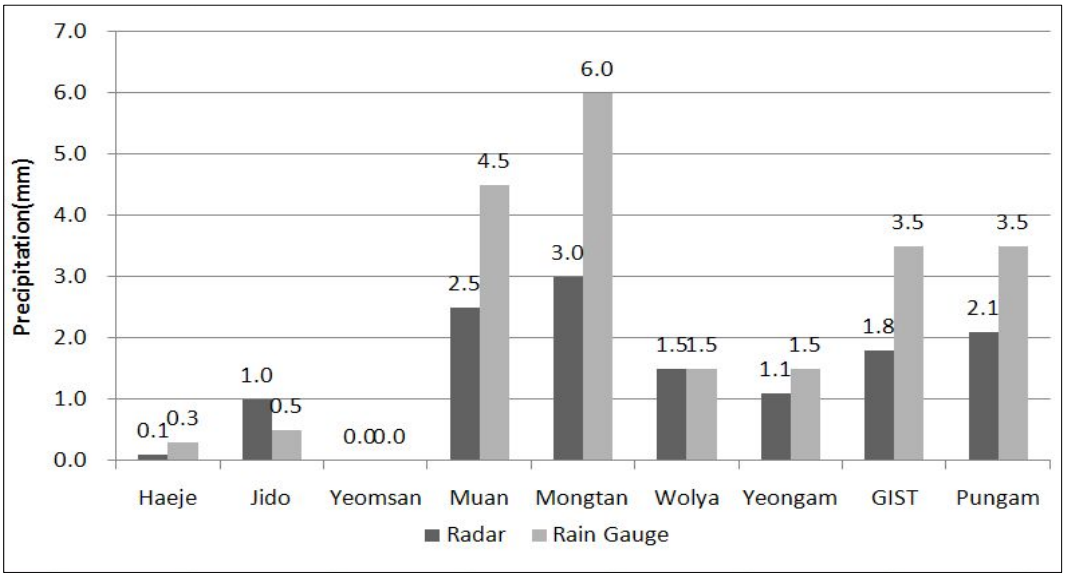


Fig. 31. Comparison of rainfall amounts(2009. 11. 10.).

Fig. 31은 사례 6의 레이더 강우강도를 이용한 추정 강우량과 실제 강우량 비교이다. 대부분의 관측지점에서 예상 강우량이 과소추정 되었으며, 지도에서는 과대추정 되었다. 월야에서는 예상 강우량과 실제 강우량이 같은 수치를 나타냈다.

## 제7절 상관관계 비교

날짜별로 9월 27일과 11월 10일 다른 날짜에 비해 높은 상관관계가 나타났다. 이는 강우량과 관계가 있는 것으로 추측된다. 강우량이 적을 경우, 상관관계가 높게 나타났으며, 강우량이 많을 경우, 상관관계가 낮게 나타났다.

거리별로는 20~40km 영역의 관측소에서 가장 높은 상관관계가 나타났다.

관측소별 상관관계에서는 지도, 염산, 무안, 몽탄, 그리고 영암에서 높은 상관관계를 나타냈다. 월야, 광주과학기술원, 품암의 경우, 거리가 비슷하거나 더 떨어진 영암에 비해 낮은 상관관계를 나타냈는데 이는 지형적 요인이라 생각된다.

Fig. 7를 보면 세 지역 주변에 산간지역이 존재하는데 이에 의해 레이더 전자파가 영향을 받아 오차가 발생한 것으로 생각된다.

Table 3. Correlations by date.

| Day | 8/12 | 8/27 | 9/27 | 10/1 | 11/8 | 11/10 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Correlation coefficient | 0.683 | 0.467 | 0.829 | 0.620 | 0.749 | 0.955 |

Table 4. Correlations by distance.

| Radius | 0~20km | 20~40km | 40~60 |
|---|---|---|---|
| Correlation coefficient | 0.622 | 0.816 | 0.426 |

Table 5. Correlations by observatory.

| Stations | Haeje | Jido | Yeomsan | Muan | Mongtan |
|---|---|---|---|---|---|
| Correlation coefficient | 0.513 | 0.938 | 0.943 | 0.809 | 0.982 |
| Stations | Wolya | Yeongam | GIST | Pungam | |
| Correlation coefficient | 0.581 | 0.922 | 0.628 | 0.418 | |

# 제4장 결론

국립기상연구소의 연구용 X-band 이중편파레이더의 관측자료와 지상우량계의 실측값을 비교분석하는 연구를 수행하였다.

그 결과;

・6가지 사례 모두에서 대부분의 관측지점에서 레이더의 예상 강우량이 실제 강우량에 비해 과소 추정되는 것을 볼 수 있었다.

・상관관계를 통해 날짜별 상관계수를 비교해본 결과, 강우량이 적은 층상운일 경우 더 높은 상관관계를 나타났다. 거리의 경우 20~40㎞ 영역에서 높은 상관관계가 나타났다.

・지상우량계와 기상레이더 강우강도의 비교연구(임재환; 2009), '지상 강우량과 오성산 레이더 반사도 자료의 관측 오차 비교(전수현; 2010)'와 비교하였을 때 예상 강우량과 실제 강우량의 차이는 본 연구에서 더 크게 나타났지만, 상관계수의 경우가 0.400~0.600 사이를 나타난 것에 반해 본 연구에서는 평균 0.717을 나타내 다른 연구에 이용된 단일편파레이더에 비해 연구용 X-band 이중편파레이더의 자료가 더 높은 상관관계를 나타냄을 알 수 있었다.

・레이더 반사도를 이용한 예상 강우량이 실제 강우량에 비해 과소 추정된 이유는 이번 사례분석에 적용한 레이더 강우강도 값이 지상과 가장 가까운 관측각인 0.5° 자료만을 사용하여 나타난 오차 때문일 것으로 생각되므로 강수에코의 물리적인 형태와 상관관계가 높은 고도의 강우강도 값을 활용하여 강수량을 산출하는 연구와, 다양한 레이더 영상을 이용할 수 있는 연구가 차후 실시되어야한다고 생각된다.

・레이더 반사도에 의한 예상 강우량이 실제 강우량과 많은 차이를 보이고 있으나 높은 상관을 나타낸 것으로 보아 가중함수를 통합하는 새로운 Z-R 관계식에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

# 참고문헌


남경엽,송병현,서은경,최지혜,이정석,남재철, 2003, 청주부근에서 발생한 여름철강우의 레이더-지상강우량계 관계에 관한 연구. *한국기상학회지*, 39(4), 431-440.

석미경, 남경엽, 김영화, 오성남, 2005, WPMM을 이용한 레이더 반사도로부터 정량적 레이더 강우강도의 추정. *한국기상학회지,* 41(1), 123-138.

유철환,이동인,장민,김효경,김정희,김경익, 2005, Variation of Rainrate and Radar Reflectivity in Busan Area and Its Measurement by clouds Type. *한국기상학회지*, 41(2), 191-200.

엄원근, 1998, 레이더기상학, *영재사*, 9, 155-158

이종호, 류찬수, 2009, 레이더기상학, 시그마프레스

임재환, 2010, 지상우량계와 기상레이더 강우강도의 비교연구, *한국기상학회지,* 37(7), 1-7.

전수현, 2010, 지상 강우량과 오성산 레이더 반사도 자료의 관측 오차 비교, 49pp

정성화, 김경익, 하경자, 2005, 지상우량계의 강우강도를 이용한 개선된 레이더 강우강도의 실시간 추정. *한국기상학회지,* 41(5), 751-762.

Atlas. D., D. Rosenfeld, and D. B. Wolff, 1990, Climatologically tuned reflectivity-rain rate relations and links to area time integrals. *J. Appl. Meteor*, 29, 1120-1139.

Austin, P. M, 1987, Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall. *Mon, Wea. Rev*, 115, 1053~1070.

Marshall, T. S., and W. M. K. Palmer, 1948, The distributions of raindrops with size. *J. Meteor.*, 5, 165-166.

Rosenfeld, D., B. E. Wolff, and D. Atlas, 1993, General probability-matched relations between radar reflectivity and rain rate. *J. Appl. Meteor.*, 32, 50-72.

Wilson, W. L. and E. A. Brandes, 1979, Radar Measurement of rainfall. *Bull. Amer. Mereor. Soc,* 60, 1048-1058

# 감사의 글

대학원에 입학하면서 열심히 배우고 익혀서 더욱 유능한 사람이 되어 나가겠다고 마음먹었던 일이 엊그제 같은데 벌써 이렇게 졸업을 준비하게 되었습니다.

많은 분들의 격려와 도움이 있었기에 부족한 제가 이 논문을 완성할 수 있었습니다. 그분들께 감사의 마음을 전하고자 합니다.

먼저 입학해서부터 지금까지 많은 관심과 격려로 지도해주신 류찬수 교수님과 논문이 완성되기까지 전 과정에 큰 도움이 되어주신 정효상 박사님께 머리 숙여 감사를 드립니다. 그리고 본 논문의 심사를 맡아 지도를 해 주신 이종호 박사님과 많은 가르침을 주신 정병옥 박사님께 깊은 감사를 드립니다.

대기과학실험실에 들어와서 잘 적응할 수 있게 도와주고 가족처럼 보살펴 준 원효성, 박근영, 모선진, 김선희 선배님 그리고 후배 김진아, 허솔잎, 양세환, 전대훈, 황성은, 김창모 에게 고마운 마음을 전합니다.

그리고 무안 레이더 연구센터에서 많은 가르침과 항상 도움을 주시는 국립기상연구소 관계자분들과, 박근영, 모선진 선배님께 다시 한 번 감사드립니다.

마지막으로 오랜 시간동안 아무런 내색하지 않으시고 조용히 지켜봐주시며 아들 잘되기만을 기도해주신 부모님께 더 없이 감사합니다..

본 논문이 완성되기까지 여러 가지로 도움 주신 분들께 진심을 다해 감사드리며 모두 건강하시고 행복하시길 바랍니다.

2010. 12.

# 저작물 이용 허락서

| 학 과 | 대기과학과 | 학 번 | 20077197 | 과 정 | 석사 |
|---|---|---|---|---|---|
| 성 명 | 한글 : 김진수 한문 : 金鎭洙 영문 : Kim, Jin-Su | | | | |
| 주 소 | 전라남도 화순군 화순읍 부영1차아파트 103동 211호 | | | | |
| 연락처 | E-MAIL : angelos35@hanmail.net | | | | |
| 논문제목 | 한글 : X-band 이중편파레이더와 지상우량계의 강우강도 비교연구<br>영어 : Comparative Research on X-band Dual-Polarimetric Radar and Rain Intensity of the Rainfall Gauge on the Ground | | | | |

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

**동의여부 : 동의( ㅇ ) 반대( )**

2011년 2월

저작자: 김 진 수 (서명 또는 인)

**조선대학교 총장 귀하**