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]I804:24011-200000241277

2011년 2월
석사학위 논문

이중편파레이더를 이용한 밝은 띠 연구

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

전 대 훈

2011년 2월 석사학위논문 이중편파레이더를 이용한 밝은 띠 연구 전대훈

이중편파레이더를 이용한 밝은 띠 연구

A Study on the Bright Band using Dual Polarization RADAR

2011년 2월 25일

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

전 대 훈

이중편파레이더를 이용한 밝은 띠 연구

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사 학위신청 논문으로 제출함

2010년 10월

조선대학교 대학원

대 기 과 학 과

전 대 훈

전대훈의 석사학위논문을 인준함

위원장	기 상 청	레이더 센터장	이 종 호 (인)
위 원	조선대학교	겸임교수	정 병 옥 (인)
위 원	조선대학교	교 수	류 찬 수 (인)

2010년 11월

조선대학교 대학원

List

List of table iii
List of figure iv

ABSTRACT v

제1장 서론 1

제2장 기상레이더 개요 3
제1절 레이더의 발달 3
제2절 레이더의 분류 3
제3절 반사도 단위 4
제4절 Z-R 관계식 5
제5절 레이더의 관측상 오차 6
제6절 밝은 띠 7

제3장 이중편파레이더 10

제4장 자료선정 및 분석방법 14

제5장 사례분석 16

제1절 정상에코 ····· 16
제2절 사례1(2009. 11. 7, 22:19 UTC) ····· 22
제3절 사례2(2009. 11. 8, 04:44 UTC) ····· 26
제4절 사례3(2009. 11. 10, 03:14 UTC) ····· 30

제6장 결론 ····· 35

참고문헌 ····· 37

List of table

Table 1. According to a change in wavelength and frequency according to a band ····· 4
Table 2. The spec of duel polarization radar ····· 11
Table 3. The fields manu of duel polarization radar ····· 13

List of figure

Fig. 1. The error of the radar's observation ·····6
Fig. 2. The mimetic diagram of the radar electron wave progress ·····8
Fig. 3. A change in the height of radar beam according to elevation angle ·9
Fig. 4. The reflex intensity of radar's vertical section ·····9
Fig. 5. The location of weather radar research center ·····10
Fig. 6. The duel polarization radar of weather radar research center ·····11
Fig. 7. The plan of AWS around radar ·····14
Fig. 8. DBZHC image(normal echo, 2010. 7. 2, 00:43 UTC) ·····16
Fig. 9. Cross section image(normal echo, 2010. 7. 2, 00:43 UTC) ·····17
Fig. 10. ZDR image(normal echo, 2010. 7. 2, 00:43 UTC) ·····18
Fig. 11. RHOHV image(normal echo, 2010. 7. 2, 00:43 UTC) ·····19
Fig. 12. KDP image(normal echo, 2010. 7. 2, 00:43 UTC) ·····20
Fig. 13. PID image(normal echo, 2010. 7. 2, 00:43 UTC) ·····21
Fig. 14. DBZHC image(2009. 11. 7, 22:19 UTC) ·····22
Fig. 15. Cross section image(2009. 11. 7, 22:19 UTC) ·····23
Fig. 16. The observed image of duel polarization radar(2009. 11. 7, 22:19 UTC) ·····24
Fig. 17. DBZHC image(2009. 11. 8, 04:44 UTC) ·····26
Fig. 18. Cross section image(2009. 11. 8, 04:44 UTC) ·····27
Fig. 19. The observed image of duel polarization radar(2009. 11. 8, 04:44 UTC) ·····28
Fig. 20. DBZHC image(2009. 11. 10, 03:14 UTC) ·····30
Fig. 21. Cross section image(2009. 11. 10, 03:14 UTC) ·····31
Fig. 22. The observed image of duel polarization radar(2009. 11. 10, 03:14 UTC) ·····32

ABSTRACT

A Study on the Bright Band using Dual Polarization RADAR

Jeon, Dae-Hoon
Advisor : Prof. Ryu, Chan-Su, Ph.D.
Department of Atmospheric Science
Graduate school of Chosun University

A bright band means that the intensity of radar echo is more exaggeratedly displayed than the real amount of rain due to the permittivity difference of raindrop at the altitude under the layer of 0℃(melting layer).

Echo intensity is used in forecasting the amount of precipitation by using a weather radar. When a bright band appears, which means that a more exaggerated echo appears, the value of the forecast amount of precipitation is exaggeratedly estimated than a real one. But as the amount of precipitation is zero or less than 1.0mm in the regions where the bright band does show up, the error of forecast takes place.

This research sought to find a new method to distinguish between bright bands by making use of the radar image materials of the duel polarization radar installed at the weather radar research center.

The analysis method was to select the cases where bright bands showed up(on November 1, 7, and 8, 2009) and analyze them by using the ZDR, RHOHV, KDP, and PID images of the duel polarization radar.

In analyzing the cases, it was difficult to make a clear distinction of the altitudes on which bright bands appeared on the ZDR image, and the scope with a negative(-) value showed up on the very upper altitude of the altitude on which bright bands appeared. In the RHOHV image, while the

correlation coefficient was close to 1 in the peripheral area, the correlation coefficient was lower on the altitude on which bright bands appeared. In the KDP image, its value of the altitude on which bright bands appeared was higher in comparison with that of other altitudes, and the value with the negative(-) value turned up on the upper and lower altitude of the altitude on which bright bands appeared in both altitudes. Finally, in the PID image, the type of raindrop consisting of the altitudes on which bright bands appeared turned up as a form of grain, small hail, and hail. Of all the image materials used in the analysis work, bright bands showed clearly up in the RHOHV and KDP image.

제1장 서론

레이더는 그 어원(RADAR : RAdio Detection And Ranging)에서 알 수 있듯이 전파를 방사하여 후방 산란되어 돌아오는 전자파를 수신하여 목표의 존재와 목표까지의 거리를 알기 위해 만들어진 대표적인 원격관측 장비이다. 레이더로부터 목표물의 위치는 안테나의 방위각, 고도각, 송신전자파와 반사파의 시간간격으로부터 알 수 있다. 레이더는 관측 목적에 따라 여러 가지로 분류하고 있으며, 그 중 강수입자의 관측을 목적으로 하는 레이더를 기상레이더라 한다.

우리나라 기상청에서는 1969년 관악산에 S밴드 레이더를 설치한 것을 시작으로 현재 10개의 기상레이더 관측소(관악산, 광덕산, 강릉, 면봉산, 구덕산, 오성산, 진도, 고산, 성산, 백령도)를 관리 운영 중에 있다(기상청 홈페이지). 기상청 뿐 아니라 다른 기관에서도 기상레이더를 운영하고 있으며, 이를 통합 운영하기 위해 2010년 5월 26일 기상청에 기상레이더센터가 개소하였다.

또한 2009년 7월에 전남 무안군 해제면의 위치하고 있는 국립기상연구소 부설 기상레이더연구센터에 연구용 이중편파레이더가 설치되어 현재까지 관리, 운영 중에 있다. 이중편파레이더는 하나의 전자파를 송수신하는 기존의 단일편파레이더와 달리 수직과 수평 2개의 전자파를 교대로 송신하여 수신된 자료를 분석하기 때문에 강수입자의 입체적 정보를 얻을 수 있으며, 이러한 볼륨자료를 통하여 기존보다 더 정확한 예보자료로서 활용할 수 있다.

우리나라는 우량계를 설치하기 곤란한 산악 지역이 많아 지상에 설치한 우량계로는(평균거리는 13㎞) 작은 규모의 비구름은 관측하지 못하며, 해상에서는 강수량 관측이 불가능하다. 하지만 기상레이더의 경우, 관측범위 내 어느 곳이든 원격으로 강수량의 관측이 가능함으로 비구름의 전체 규모와 작은 규모의 비구름을 관측하는데 용이하고, 비구름의 발달과 소멸을 파악하여 위험기상을 감시하는데 있어 매우 우수한 관측 장비이다.

그러나 기상레이더는 넓은 영역에 대해서 시간과 공간적으로 고해상도의 자료를 얻을 수 있다는 장점을 갖는데 반하여, 관측 방법의 특성 때문에 몇 가지 관측상의 오차가 발생하게 된다. 이러한 이유로 레이더 자료만을 이용한 분석보다는 위성 자료, 일기도 및 고층 자료와 같은 다른 기상 자료와 병행하여 분석할 필요가 있다.

기상레이더의 관측상 오차 중 하나가 밝은 띠(bright band) 현상이다. 강수입자가 강설입자에서 비로 변하는 0℃층(melting layer) 바로 아래 고도에서 입자의 크기, 반사도 및 낙하속도의 차이에 의해 에코강도가 실제 내리는 비의 양보다 과장되게 나타나게 되는데 이것을 밝은 띠라고 한다.

기상레이더를 이용한 강수량 예측에는 에코강도를 이용하게 되는데, 많은 강수량이 내릴수록 강한 에코강도가 나타나게 된다. 그러나 밝은 띠 현상이 일어날 경우, 실제 강우량에 비해 큰 에코강도가 나타나므로 강수량을 예보할 때 과대추정을 하게 된다. 이러한 밝은 띠 현상의 구분은 현상이 나타난 지역의 연직단면(cross section) 자료를 이용하여 일정 고도에 다른 고도와 달리 강한 에코강도가 나타날 경우에 이를 밝은 띠로 판별한다.

본 연구에서는 기상레이더연구센터에 설치된 이중편파레이더를 이용하여 밝은 띠를 관측할 때 나타나는 영상 자료를 이용하여 밝은 띠를 판별하는 새로운 방법을 모색하여 보고자 한다.

제2장 기상레이더 개요

제1절 레이더의 발달

레이더의 기초가 되는 이론은 맥스웰 방정식으로 독일의 Heinrich Hertz가 최초로 전파 특성을 증명함으로써 시작되었다. 그 후 1930년까지 주로 무선 전파의 특성을 실험하다가 무선파의 대표적인 목표물이라 할 수 있는 항공기를 탐지하는 연구가 본격화 되기 시작하였다. 1936년 일종의 전자 스위치인 듀플렉서(duplexer)가 개발되면서 pulse RADAR가 개발되었다(엄원근, 1995).

레이더는 제2차 세계대전을 치르면서 눈부신 발달을 하게 된다. 제2차 세계대전 중 레이더는 전투기나 군함 뿐만 아니라 폭풍에 기인한 에코도 탐지 하였으며, 이 폭풍 에코는 레이더의 성능에 상당한 장애요소가 되었다. 그러나 이러한 장애가 기상레이더의 연구 및 개발의 동기가 되었다. 전쟁 후 잉여의 레이더가 기상현상을 탐지할 목적으로 개조되어 현재에 이르게 되었다.

기상관측에 레이더가 처음 이용된 것은 1944년 캐나다의 Wilson에 의해서이며, 실질적인 레이더의 개발은 1946년 New Jersey주에서 뇌우 관측에 레이더가 사용되면서 시작되었다.

기상관측을 목적으로 개발된 최초의 기상 레이더는 1957년에 미국에서 개발한 WSR-57이라는 S밴드 레이더이다. 이후부터 세계적으로 기상레이더의 개발과 제작이 활발하게 이루어지게 되었다. 특히 1970년대부터는 도플러 기능을 탑재한 기상레이더의 연구가 활발하게 진행되어, 1988년에는 도플러 기능으로 우박, 토네이도, 마이크로버스트를 탐지하는 기능을 갖춘 WSR-88D가 미국에서 개발되면서 기상레이더가 중규모 악기상 감시에서 중요한 역할을 담당하게 되었다(박근영, 2005).

제2절 레이더의 분류

레이더는 안테나 형태, 전자파 형식 등에 따라 분류할 수 있다.

먼저 안테나 형태에 따라 단일 안테나 레이더, 이중 안테나 레이더, 다중 안테나 레이더로 분류한다.

단일 안테나 레이더는 송·수신 안테나가 동일하여 송신된 신호가 동일한 안테나로 수신되는 레이더로, 대부분의 기상 레이더의 형태이다. 이중 안테나 레이더는 전자파를 송신하는 안테나와 수신하는 안테나가 분리되어 다른 위치에 있는 레이더이다. 다중 안테나 레이더는 송신기 하나에 여러 개의 수신기로 구성되어 있는 레이더이다.

전자파의 송신 형식에 따라 연속파 레이더와 펄스 레이더로 분류한다.

연속파 레이더는 전자파를 연속적으로 송신해서 목표물까지의 거리와 반사도를 측정하여 목표물의 이동속도를 산출한다. 펄스 레이더는 짧은 간격의 전자파를 발사하여 목표물에 부딪혀서 목표물로부터 되돌아오는 신호를 관측는 레이더로, 대부분의 기상 레이더의 형태이다.

전자파의 신호처리 방법에 따라 재래식 레이더와 도플러 레이더로 분류한다.

재래식 레이더는 물체로부터 산란되는 전자파의 에너지를 분석하여 목표물까지의 거리와 반사도를 측정한다. 도플러 레이더는 송신파와 수신파의 위상변화를 측정할 수 있는 레이더로 목표물까지의 거리와 반사도를 측정하고 위상 변화를 측정하여 도플러 시선속도를 산출할 수 있다.

또한 파장에 따라 분류하기도 한다.

Table 1은 레이더의 밴드 분류에 따른 파장과 주파수의 변화를 나타내고 있다.

Table 1. According to a change in wavelength and frequency according to a band.

Band	Wavelength(cm)	Frequency(Hz)
K	0.8	37,500
X	3.2	9,300~10,000
C	5.6	5,300~5,700
S	11.1	2,700~2,900
L	27.0	1,100~1,300

제3절 반사도 단위

레이더 에코는 강수입자에 반사되어 되돌아오는 전자파의 자료를 분석하여 반사

도 인자(Z)를 데시벨(dB)로 나타내는 것으로 그 단위는 dBZ이다. dBZ는 단위체적(㎥)당 직경 1㎜인 강수입자 1개를 기준으로 한 반사도 단위로 다음과 같이 나타낸다.

$$dBZ = 10\log Z$$

여기서, $Z = \Sigma D^6$(㎜^{6}/㎥)로 나타낼 수 있으며, Z는 1㎥에 들어 있는 강수입자의 D(직경)를 6제곱하여 더한 값이다. 따라서 1㎥당 직경 1㎜의 강수입자가 1개 있을 경우 반사도는 0dBZ, 10개 있을 경우 10dBZ와 같은 값이 나타난다.

제4절 Z-R 관계식

Z-R 관계식은 레이더반사도(Z)와 지상 강우량(R) 사이의 관계식을 말한다. 오랜 기간 동안의 레이더 관측에서 Z와 R이 상당히 깊은 관계가 있음이 밝혀졌고, 이러한 관계를 정립하여 Z-R 관계식이 제안되었다. Z-R 관계식의 기본은 다음과 같다.

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

여기서 R은 지상강우량으로 단위는 ㎜/h이고, Z는 레이더 에코(dBZ)를 3절의 dBZ와 Z의 관계식을 이용하여 구하며 단위는 ㎜^{6}/㎥이다. a와 β는 경험에 의한 상수 값으로 구름의 형태와 강수형태에 따라 변화한다.

전형적인 Z-R 관계식은 다음과 같다.

- 층상형 강우 : Z=200$R^{1.6}$(Marshall & Palmer, 1948)
- 뇌우성 강수 : Z=486$R^{1.37}$(Jones, 1956)
- 지형성 강우 : Z=31$R^{1.71}$(Blanchard, 1953)
- 안개형 강우 : Z=140$R^{1.5}$(Battan, 1973)
- 강설 : Z=2000$R^{2.0}$(WMO, 1985)

가장 일반적으로 널리 사용되는 Z-R 관계식은 Marshall & Palmer의 층상형 강우에 적용하는 Z-R 관계식이며 기상 레이더로 측정된 Z에서 R을 산출할 경우 이 관계식을 이용한다.

제5절 레이더의 관측상 오차

레이더에서 얻어지는 강수강도 자료는 지상에 내리는 비의 양이 어느 정도인지 판단하는 자료로 널리 활용되고 있다. 그러나 우량계가 지상에 떨어지는 비의 양을 직접적으로 관측하는 장비인데 반해, 레이더는 대기 중에 떠 있는 강수 시스템을 간접적으로 관측하는 장비이다. 따라서 대기 중에 떠 있는 강수입자들이 지상에 도달하기까지는 산악이나 바람 등에 의해 많은 변화를 겪게 되므로 레이더가 관측한 값과 지상에 떨어지는 우량과는 차이가 발생하게 된다. 이 밖에도 레이더의 관측방법의 특성 때문에 몇 가지 관측상의 오차가 발생하게 되는데, 1982년 Browing은 이를 여섯가지로 구분하였다.

Fig. 1은 Browing이 정리한 레이더의 관측상 오차를 그림으로 나타낸 것이다.

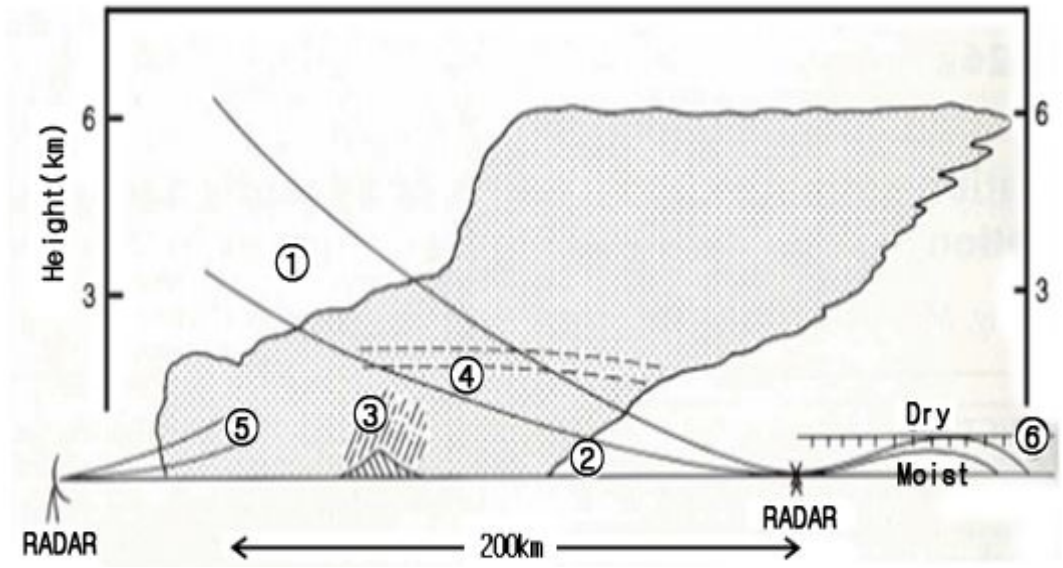

Fig. 1. The error of radar's observation(Browning, 1982).

다음은 레이더기상학(이종호와 류찬수, 2009)에서 Fig. 1을 설명한 글이다.

① 레이더로부터 멀리 떨어져 있는 강수 시스템은 에코탑(echo top) 높이가 낮을 경우 레이더 빔이 강수 시스템 상공을 지나게 되어 강수가 탐지되지 않아 지상에서는 비가 오더라도 레이더 영상에서는 강수 에코가 나타나지 않게 된다.

② 레이더 빔이 통과하면서 강수를 측정했지만 빔이 통과하는 고도 아래에서 고온 건조한 대기에 의해 강수입자가 증발하는 경우에도 레이더에서는 비가 오는 것으로 인식하지만 지상에는 비가 내리지 않는 경우로 상층 에코에서 많이 발생하는 현상이다.

③ 레이더 빔이 통과하는 높이 아래에 산악이 존재하는 경우에는 지형에 의해 강수 시스템이 발생하여 강수가 강해지는 경우가 있다. 이때는 레이더가 관측한 값보다 지상에 더 많은 비가 내리게 된다.

④ 강수입자가 강설입자에서 비로 변하는 melting layer 바로 아래 고도에서 입자의 크기, 반사도 및 낙하속도의 차이에 의해 에코강도가 실제 내리는 비의 양보다 과장되게 나타나는 경우가 발생한다.

⑤ 이슬비는 비교적 작은 강수입자가 지표 부근에 한정되어 나타나기 때문에 직경의 6제곱으로 강수강도를 추정하는 레이더 상관식에서는 실제보다 과소하게 추정되는 경우가 있다.

⑥ 대기의 성층 상태, 즉 연직적인 습도와 온도 차이에 의해 발생된 안정한 대기층을 빔이 통과할 때, 빔의 진행방향이 정상범위와 크게 달라진다. 이러한 이상굴절이 발생할 경우에는 관측범위에 들어 있지 않은 자료가 레이더 관측자료로 표출되어 강수분석에 지장을 주는 경우가 있다.

제6절 밝은 띠

밝은 띠 현상은 앞서 5절에서 설명한 레이더의 관측상의 오차 6가지 중 ④에 해당하는 현상이다.

앞서 설명한 바와 같이 밝은 띠 현상은 melting layer에서 강설입자가 녹으면서 나타나는 현상이지만 가장 근본적인 원인은 레이더에서 수신된 전자파가 직선 운

동을 하기 때문이다.

Fig. 2는 레이더 전자파의 진행 모식도이고, Fig. 3은 고도각에 따른 레이더 빔의 높이 변화를 나타낸 그래프이다.

지구는 직면체가 아닌 구형이다. 레이더에서 수신된 전자파는 보통 굴절되지 않고, 목표물까지 직선 운동을 하게 된다. 그러므로 Fig. 2에서와 같이 레이더에서 고도각을 어떻게 변화시키든지 레이더를 발사된 전자파는 거리가 멀어질수록 원래 관측하려고 했던 고도보다 높은 고도를 관측하게 된다. 이와 같이 진행되는 전자파가 구름의 melting layer를 통과할 경우, 밝은 띠 현상이 나타난다.

밝은 띠에서 강한 에코강도가 나타나는 이유는 melting layer에서 강설입자가 녹으면서 강설입자 표면에 수막이 형성되는데 이 경우 강설입자일 때보다 강한 에코강도가 나타나게 된다. 이는 강설입자와 강수입자의 유전율[1)]이 다르기 때문이다(강설입자의 유전율 : 0.1, 강수입자의 유전율 : 0.9)(White, A. B., 2002).

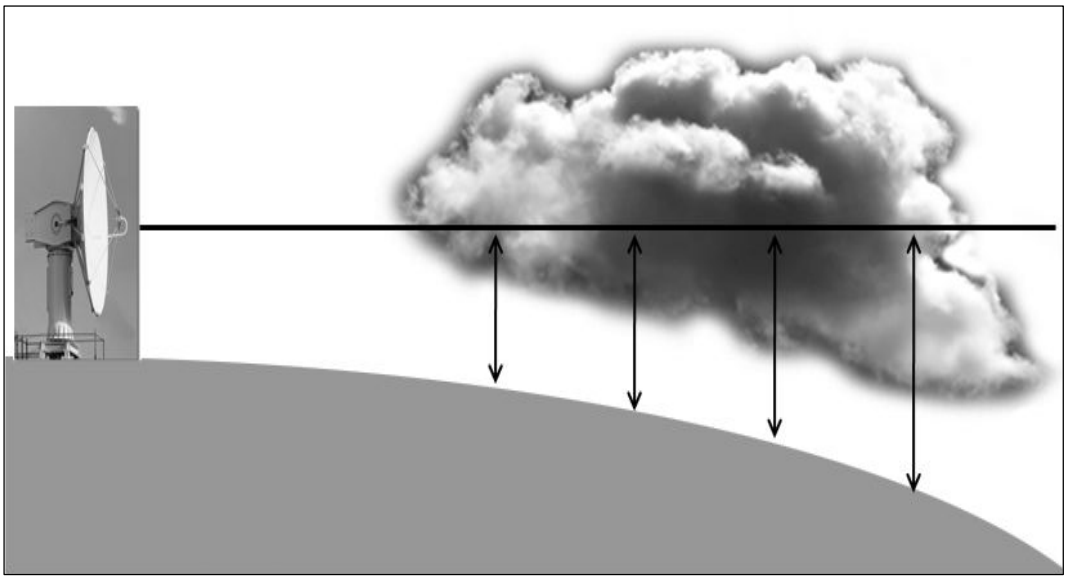

Fig. 2. The mimetic diagram of the radar electron wave progress.

1) 전하 사이에 전기장이 작용할 때, 그 전하 사이의 매질이 전기장에 미치는 영향을 나타내는 물리적 단위. 같은 양의 물질이라도 유전율이 더 높으면 더 많은 전하를 저장할 수 있기 때문에, 유전율이 높을수록 전기장의 세기가 감소된다.

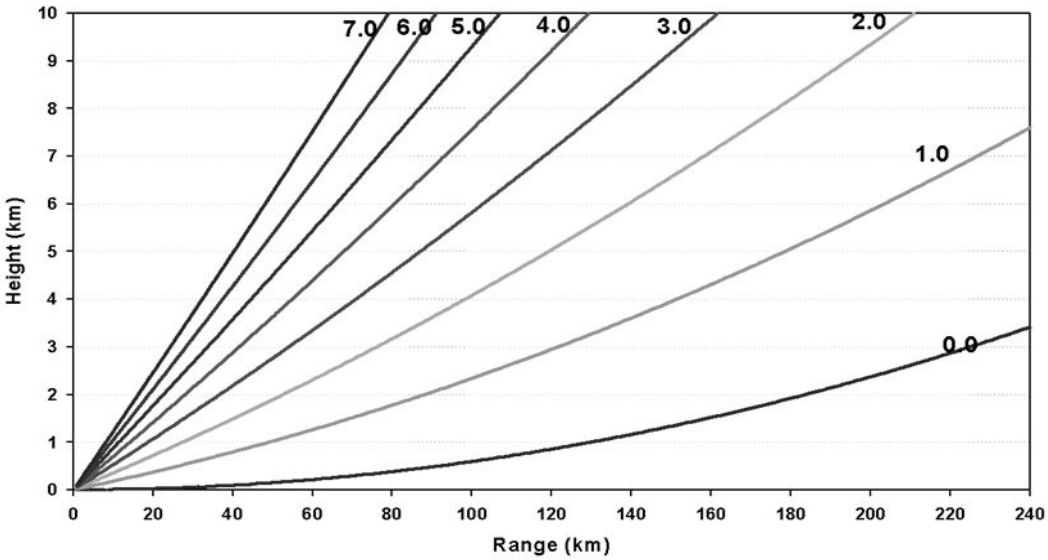

Fig. 3. A change in the height of radar beam according to elevation angle.

Fig. 4는 Rachel Ifanger Albrecht(2005)의 논문에서 밝은 띠가 나타났을 경우에 고도별로 레이더 반사도의 변화를 나타내고 있다.

레이더 반사도가 가장 큰 값을 나타내는 고도가 melting layer의 바로 아래에 나타나는 것을 볼 수 있다.

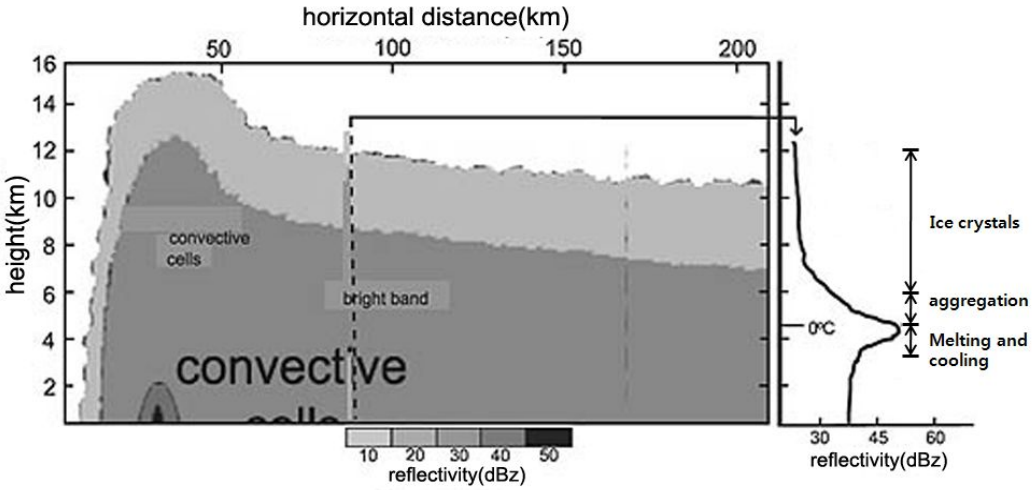

Fig. 4. The reflex intensity of radar's vertical section.

제3장 이중편파레이더

Fig. 5는 기상레이더연구센터의 위치를 지도에 표시한 것으로 사각형(□)이 위치한 곳이 기상레이더연구센터가 위치한 곳이다. 기상레이더연구센터는 전라남도 무안군 해제면 광산리에 위치하며, 정확한 위치 좌표는 35° 05′ N, 126° 17′ E이다. 오성산 레이더와 112 km, 진도 레이더와 67 km 거리에 위치하고 있다.

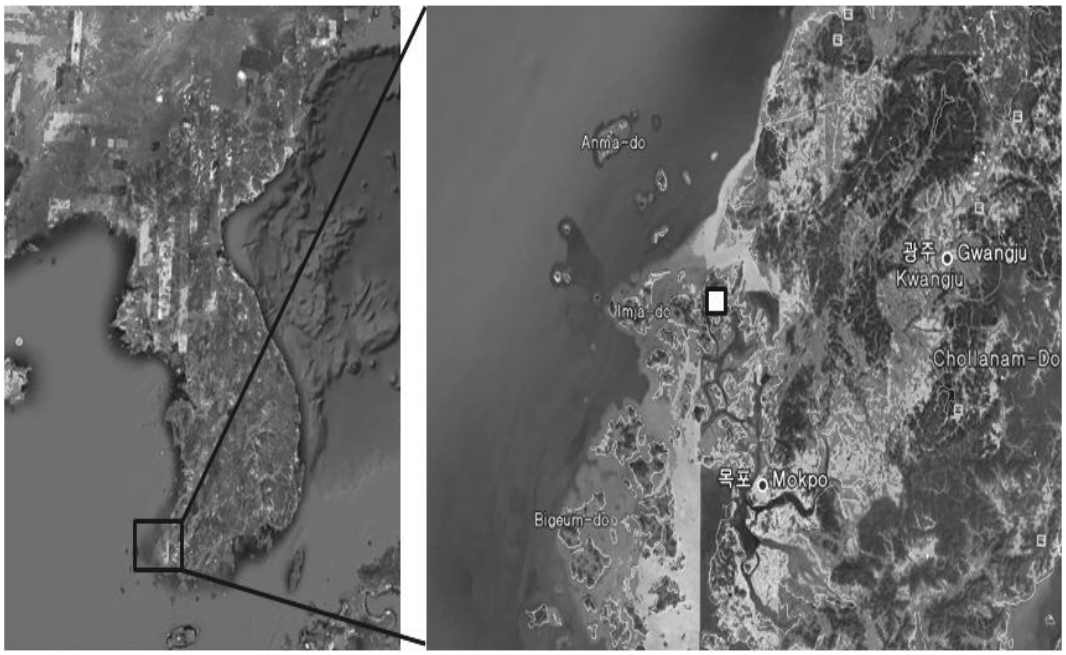

Fig. 5. The location of weather radar research center.

기상레이더연구센터에는 연구용 X-밴드 도플러 레이더가 설치되어 있었으나, 지난 2009년 7월 28일부터 이중편파레이더가 설치되어 운영 중에 있다.

Fig. 6은 기상레이더연구센터에 설치되어 있는 이중편파레이더의 모습이다.

기상레이더연구센터에 설치되어 있는 이중편파레이더는 Fig. 6에서와 같이 고정관측을 실시할 수 있으며, 관측차량에 설치하여 이동 관측을 실시할 수도 있게 설계되어 있다. 2010년 1월부터 3월까지 강원도 대관령지역과 인천 수도권매립지에서 이동관측을 실시하였다.

Fig. 6. The duel polarization radar of weather radar research center.
(a) fixed observation (b) moving observation

이중편파레이더는 수평편파만을 사용하는 기상레이더와 달리 수평/수직 편파를 동시에 송수신하여 비, 눈 또는 우박과 같은 강수 형태를 구분할 수 있고, 강수 형태에 따라 강수량을 산출하며, 강수분석과 예측에 유용하게 활용할 수 있다.

Table 2는 이중편파레이더의 제원을 나타낸 것이다.

Table 2. The spec of duel polarization 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 2. The spec of duel polarization radar(Continue).

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)
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) > 100 dB (compressed at hi & lo power)
- Sensitivity	-11 dBZ @ 50 km 1 μsec pulse (dBZ0 = -45) -17 dBZ @ 50 km 2 μsec pulse (dBZ0 = -51
- Bandwidth	Matched pulse length (=gate spacing)
- Polarization switching	None (SHV with parallel receivers)

이러한 이중편파레이더는 기존의 단일편파레이더의 영상 자료보다 추가적인 영상 자료를 표출할 수 있다. Table 3은 이중편파레이더가 표출할 수 있는 영상자료의 fields 메뉴이다.

Table 3. The fields manu of duel polarization radar.

Fields...

F DBZHC SUR	F DBZHC SEC	RAW DBZHC SUR	RAW DBZHC SEC
F DBZVC SUR	F DBZVC SEC	RAW DBZVC SUR	RAW DBZVC SEC
FC DBZHC SUR	FC DBZHC SEC	RAWC DBZHC SUR	RAWC DBZHC SEC
FC DBZVC SUR	FC DBZVC SEC	RAWC DBZVC SUR	RAWC DBZVC SEC
F VEL SUR	F VEL SEC	RAW VEL SUR	RAW VEL SEC
F WIDTH SUR	F WIDTH SEC	RAW WIDTH SUR	RAW WIDTH SEC
==========	==========	==========	==========
F ZDR SUR	F ZDR SEC	RAW ZDR SUR	RAW ZDR SEC
F ZDRM SUR	F ZDRM SEC	RAW ZDRM SUR	RAW ZDRM SEC
ZDR MEDIAN SUR	ZDR MEDIAN SEC	==========	==========
F PHIDP SUR	F PHIDP SEC	RAW PHIDP SUR	RAW PHIDP SEC
F RHOHV SUR	F RHOHV SEC	RAW RHOHV SUR	RAW RHOHV SEC
KDP SUR	KDP SEC	KDP SUR RAW	KDP SEC RAW
NCP SUR	NCP SEC	RAW NCP SUR	RAW NCP SEC
==========	==========	==========	==========
F SNRHC SUR	F SNRHC SEC	RAW SNRHC SUR	RAW SNRHC SEC
F SNRVC SUR	F SNRVC SEC	RAW SNRVC SUR	RAW SNRVC SEC
F DBMHC SUR	F DBMHC SEC	RAW DBMHC SUR	RAW DBMHC SEC
F DBMVC SUR	F DBMVC SEC	RAW DBMVC SUR	RAW DBMVC SEC
==========	==========	==========	==========
PID SUR	PID SEC	TEMP 4 PID SUR	TEMP 4 PID SEC

제4장 자료선정 및 분석방법

본 연구에서는 2009년 11월 1일부터 2010년 7월 31일까지의 무안 이중편파레이더의 관측 자료를 이용하였다. 이 기간 중 밝은 띠가 나타난 2009년 11월 7일, 8일, 10일을 선정하여 분석하였다.

관측 자료에서 밝은 띠가 나타난 사례를 선정하여, 이중편파레이더의 ZDR(differential reflectivity), RHOHV(correlation coefficient), KDP(specific differential phase), PID(Particle IDentification) 영상을 이용하여 분석하였다.

밝은 띠가 나타난 사례의 선정방법은 다음과 같다.

우선 반사도 영상 자료에서 강한 에코강도가 나타나 많은 강우량이 예측되지만, 실제 강우량이 없거나 매우 적은 경우(00~0.5mm)를 조사하였다. 예측 강우량은 Marshall & Palmer의 층상형 강우에 적용하는 Z-R 관계식($Z=200R^{1.6}$)을 이용하여 영상에서 나타난 *dBZ*값을 대입하여 구하였으며, 실제 강우량은 Fig. 7에 표시된 AWS(Automatic Weather System : 자동기상관측장비)를 이용하여 조사하였다.

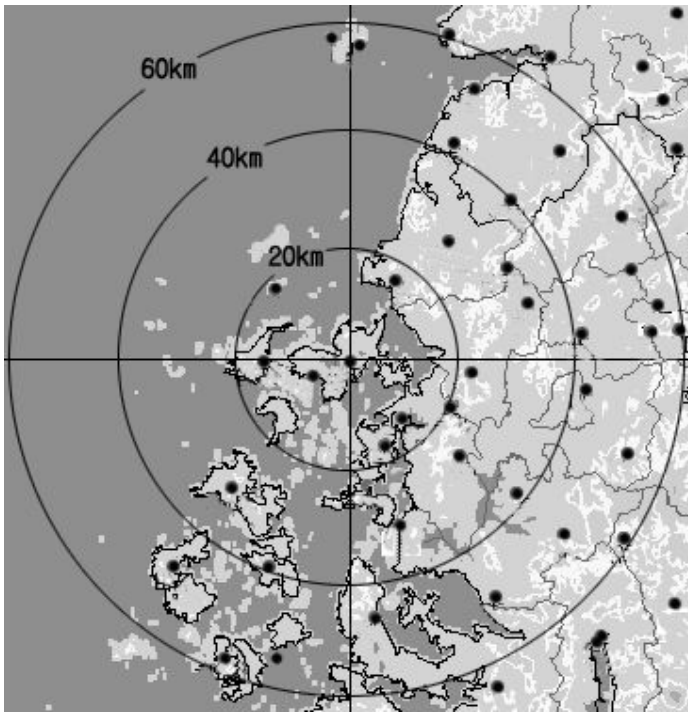

Fig. 7. The plan of AWS around radar(● : AWS)

조사된 자료 중 강한 에코가 나타난 지역의 연직단면 영상에서 일정 고도에 강한 에코강도가 나타나는 경우를 밝은 띠가 나타난 것으로 판별하여 선정하였다.

밝은 띠의 판별방법에는 단일 레이더를 이용할 경우, 위와 같은 방법을 이용하며, 2대 이상의 기상레이더가 존재할 경우, 각 레이더 영상 자료를 중첩하여 판별·제거할 수 있다. 또한 연구에 이용한 무안 기상레이더연구센터의 이중편파레이더의 경우, TITAN(Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting) system을 이용하여 밝은 띠를 제거할 수 있다.

그러나 본 연구에서는 필터링이나 변환되지 않은 이중편파레이더의 기본 영상 자료만을 이용하여 밝은 띠의 분석을 실시하였다.

제5장 사례분석

제1절 정상에코

1. DBZHC 영상

DBZHC 영상은 한 평면 위치의 고도별 관측 자료 중 가장 강한 에코를 나타낸 영상이다. 어떤 지점의 연직고도 자료가 각각 10, 20, 15*dBZ*가 나타날 경우 가장 강한 에코강도인 20*dBZ*로 나타내게 된다. 이 영상은 실제 강수량을 추정하는 자료로는 이용되지 않지만, 강우에코의 이동을 관측하는데 유용하게 이용된다.

Fig. 8은 2010년 7월 2일(00:43 UTC)의 DBZHC 영상이다. 영상에서 북북동 방향에서 남남서 방향으로 길게 에코가 발달해 있다.

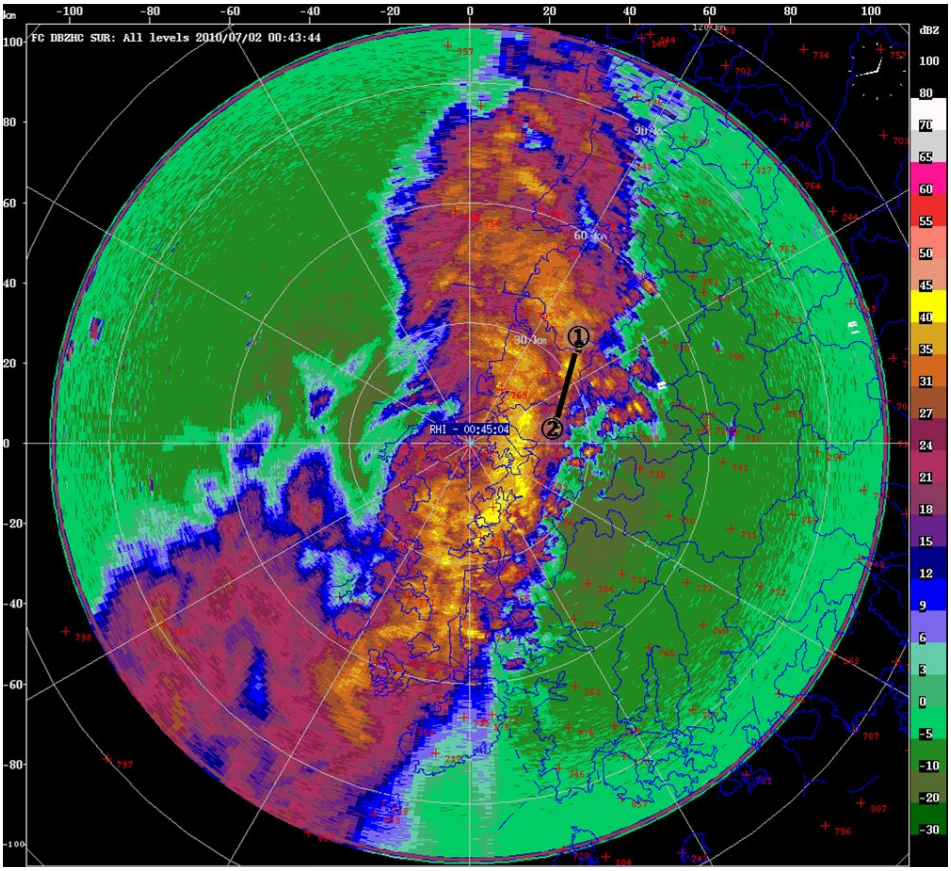

Fig. 8. DBZHC image(normal echo, 2010. 7. 2, 00:43 UTC).

Fig. 8의 ①-② 위치에서 레이더 에코강도는 31.2dBZ(고도각 0.5° 자료)를 기록하였으며, 강우가 발생할 당시의 실제 강우량은 6.5mm/h를 기록했다. 31.2dBZ를 Z-R 관계식을 이용하여 강우량을 예측하면 3.9mm/h로 실제 강우량에 비해 작은 값이 추측되었다.

2. 연직단면(cross section) 영상

Fig. 9는 Fig. 8의 ①-② 위치의 연직단면 영상이다.

연직단면 영상에는 RHI(Range Height Indicator) 영상과 cross section 영상이 있다. 두가지 영상 모두 선택된 지역의 연직단면을 나타내는 영상이지만 RHI 영상은 관측소를 기점으로 특정 방위각을 선택하여 표출한 연직단면 영상이고, cross section 영상은 Fig. 8의 ①-②와 같이 관측소와는 상관없이 특정 지역을 선택하여 표출한 연직단면 영상이다. 본 연구에서는 cross section 영상을 이용하였다.

Fig. 9에서 일정고도에 강한 에코가 나타나는 밝은 띠 현상은 나타나지 않았으며, 2km 위치의 4km 고도에 강한 에코가 나타난 것을 볼 수 있다.

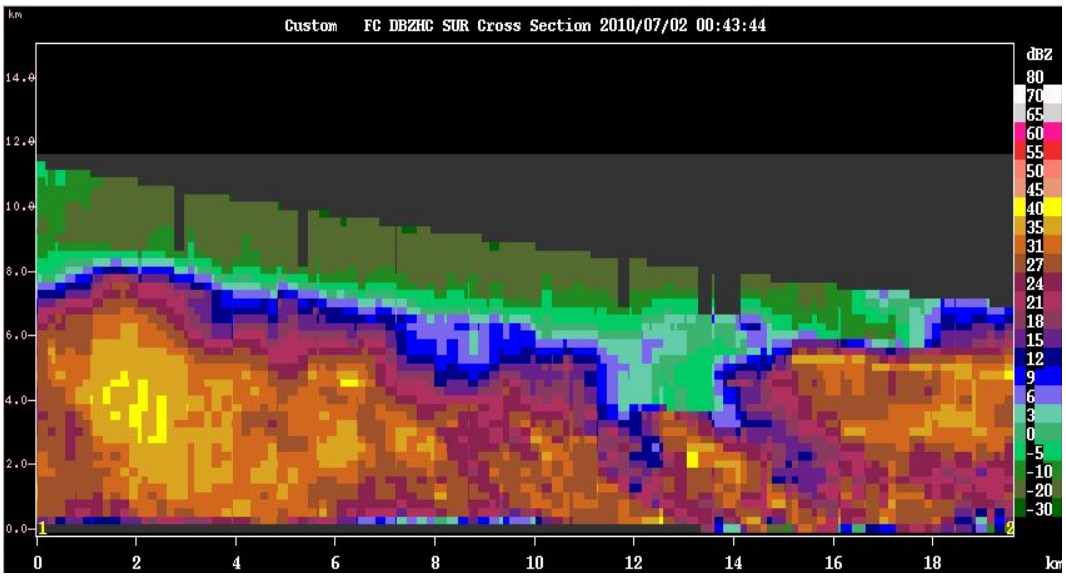

Fig. 9. Cross section image(normal echo, 2010. 7. 2, 00:43 UTC).

3. ZDR 영상

ZDR 영상은 Z_{DR}(차등반사도) 값을 영상으로 표현한 것이다. Z_{DR}은 수평신호 Z_H와 수직신호 Z_V의 비를 나타내는 것으로 식은 다음과 같다.

$$Z_{DR} = 10\log\frac{Z_H}{Z_V}$$

크기가 큰 강우입자의 경우, 가로 직경이 세로 직경보다 큰 타원형의 모양을 갖게 된다. 가로 직경에 비해 세로 직경이 크므로 후방 산란되어 돌아온 전자파의 Z_H 값에 비해 Z_V값이 크며, 이 경우 Z_{DR}값은 0보다 크게 된다.

우박(hail)의 경우, 반드시 구형은 아니지만 거의 구형에 가까운 모양을 갖는다. 따라서 우박의 Z_{DR}값은 일반적으로 0에 가깝다.

일부 싸라기눈과 우박형 대기현상의 경우, 가로 직경이 세로 직경보다 큰 원뿔 모양을 갖는다. 이 경우 Z_{DR}값은 음(-)의 값을 갖게 된다.

Fig. 10은 Fig. 9를 ZDR 영상으로 나타낸 것이다. 전체적으로 1~2.5 사이의 값을 갖으며, 낮은 고도에 음의 값이 나타난 것을 볼 수 있다.

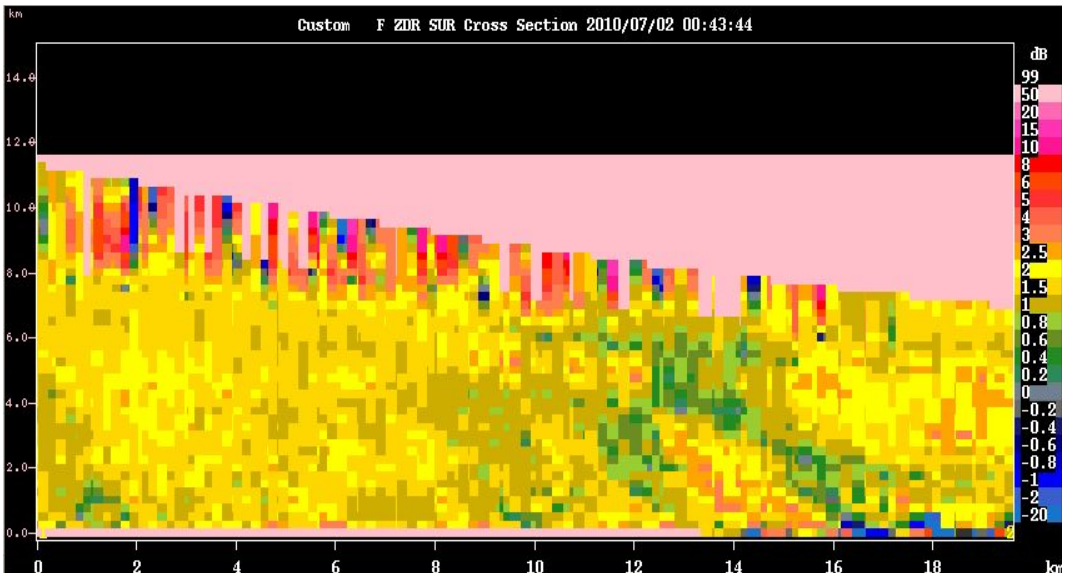

Fig. 10. ZDR image(normal echo, 2010. 7. 2, 00:43 UTC).

4. RHOHV 영상

RHOHV 영상은 Z_V와 Z_H 사이의 상관계수 값을 영상으로 표현한 것이다. 상관계수의 값이 1에 가까울 경우, 크기의 변화는 있으나 강수입자의 형태의 변화가 적고, 값이 0에 가까울 경우, 크기의 변화와 함께 강수입자의 형태의 변화가 급변함을 추측할 수 있다.

일반적으로 강우입자의 경우, 크기가 작을 때는 거의 구형이지만, 크기가 커질수록 낙하 중 공기의 저항을 받아 가로의 비율이 커지게 된다. 강설입자의 경우, 크기의 변화만 이루어질 뿐 형태의 변화는 거의 나타나지 않는다. 강우·강설입자가 성장할 경우 그 상관계수가 거의 1에 가까운 값을 갖지만, 강우입자에서 강설입자로 변하거나 그 반대의 경우에는 낮은 값을 갖게 된다.

Fig. 11은 Fig. 9를 RHOHV 영상으로 나타낸 것이다.

영상에서 대부분 1에 가까운 상관계수 값을 갖는 것이 나타났으며, 상층과 지표 가까운 위치에서 낮은 상관계수 값이 나타난 것을 볼 수 있다.

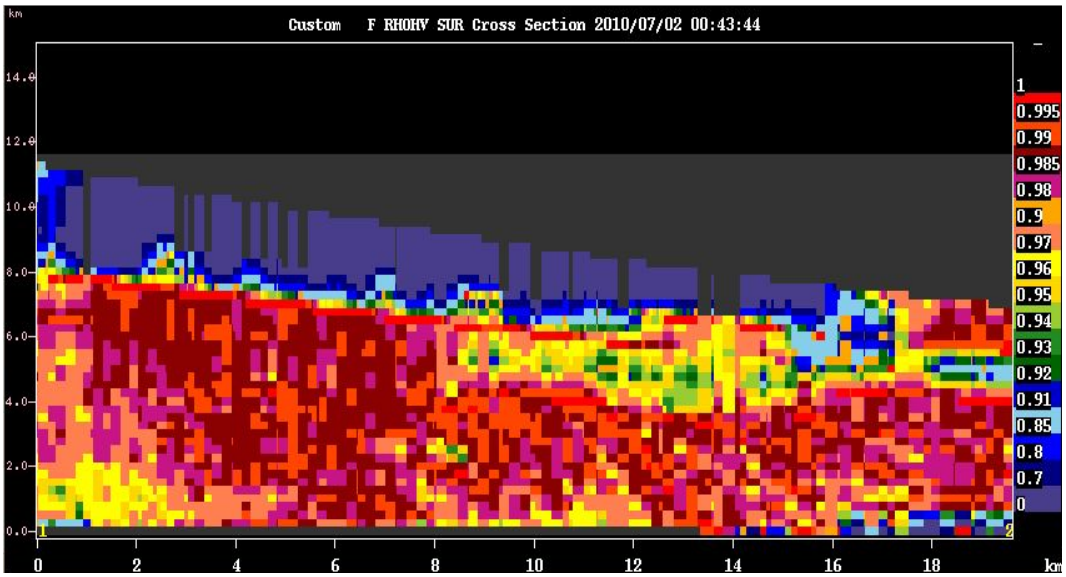

Fig. 11. RHOHV image(normal echo, 2010. 7. 2, 00:43 UTC).

5. KDP 영상

KDP 영상은 K_{DP}(위상차) 값을 영상으로 표현한 것이다. K_{DP}는 주어진 범위에서 수평편파와 수직편파의 전파 상수의 차이이다. K_{DP}를 구하는 식은 다음과 같다.

$$K_{DP} = \frac{\phi_{DP}(r_2) - \phi_{DP}(r_1)}{2(r_2 - r_1)} \quad [^\circ\ /\mathrm{km}]$$

$$(\phi_{DP} = \phi_h - \phi_v [^\circ\ ],\ \phi_h \geq 0,\ \phi_v \geq 0,\ r_1 < r_2)$$

여기서 ϕ_h는 전파 경로에 주어진 시점에서 수평 편파의 위상이고, ϕ_v는 전파 경로에 주어진 시점에서 수직 편파의 위상이다. r은 레이더로부터의 거리로 단위는 km이다.

강수입자가 존재하지 않을 경우 KDP 값은 0을 나타낸다.

K_{DP} 값이 0보다 클 경우, ϕ_{DP}의 증가율이 (r_2-r_1)의 증가율보다 크다는 것을 나타낸다. 정상의 경우 ϕ_h와 ϕ_v는 항상 0보다 크므로, 이것은 ϕ_h이 ϕ_v보다 더 크다는 것을 의미한다. 즉, 주어진 범위에서 수평 편파가 수직 편파에 비해 둔화된 것이다. 이것은 수평 영역에 강수입자가 더 많이 존재함을 의미한다.

Fig. 12는 Fig. 9를 KDP 영상으로 나타낸 것이다. 영상에서 2~5km 거리에 높은 K_{DP}이 나타나는 것을 볼 수 있다.

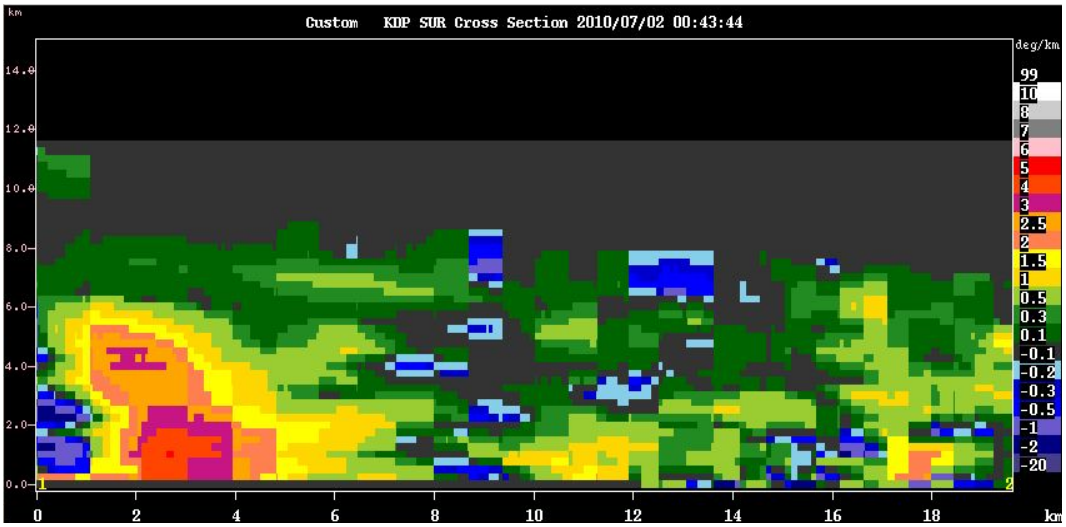

Fig. 12. KDP image(normal echo, 2010. 7. 2, 00:43 UTC).

6. PID 영상

PID 영상은 대기 중에 존재하는 강수입자의 형태를 영상으로 표현한 것이다.

PID 영상은 앞서 표현한 영상 자료들이 수평편파와 수직편파의 원시자료를 이용해 자료를 산출한 것과는 달리 계절(기온변화)에 따라 유전율의 값을 변화시켜 melting layer를 설정해 자료를 산출한다. 앞서 밝은 띠 현상에 대해 설명할 때 강수입자의 유전율과 강설입자의 유전율이 다름을 설명하였다. 여름철의 경우, 강수입자의 유전율을 설정하고, 겨울철의 경우, 강설입자의 유전율을 설정하여 관측을 실시한다. 이러한 설정 변환이 연직 기온 분포의 관측값의 변화에 따라 자동으로 이루어지는 것이 아닌 수동으로 이루어지기 때문에 앞서 설명한 영상 자료들에 비해 정확도가 떨어진다.

Fig. 13은 Fig. 9를 PID 영상으로 나타낸 것이다.

영상에서 보면 4km 아래 고도에서는 대부분 light rain의 형태가 나타나고, 4~6km 고도에서는 wet snow의 형태가, 그리고 6km 이상의 고도에서는 dry snow와 ice 형태가 나타나는 것을 볼 수 있다.

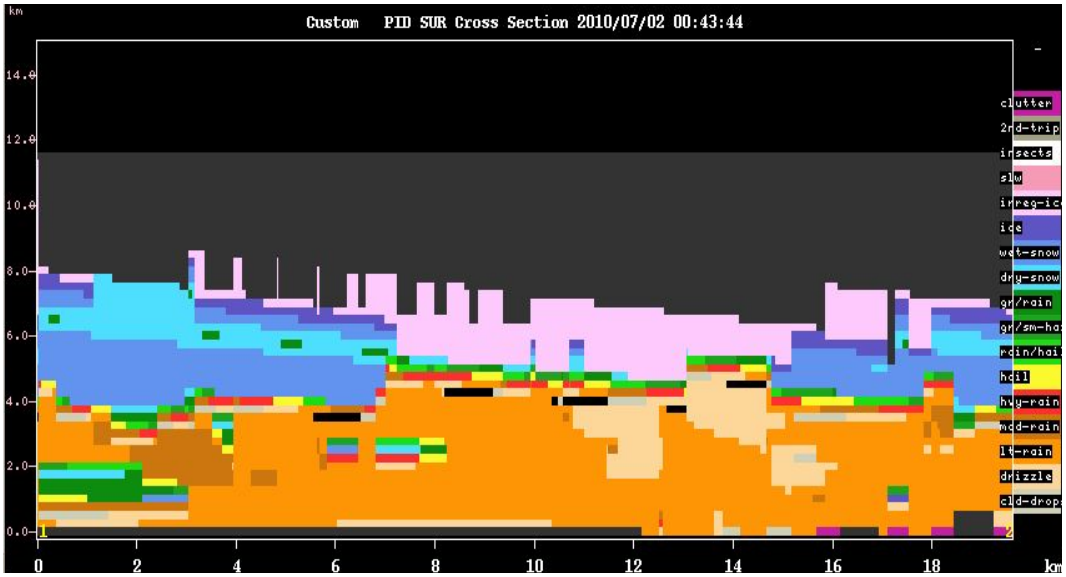

Fig. 13. PID image(normal echo, 2010. 7. 2, 00:43 UTC).

제2절 사례1(2009. 11. 7, 22:19 UTC)

1. DBZHC 영상

Fig. 14는 밝은 띠 현상이 나타난 2009년 11월 7일(22:19 UTC)의 DBZHC 영상이다.

영상에서 레이더를 중심으로 서쪽의 광범위한 지역에서 강한 에코강도가 나타난 것을 볼 수 있다.

영상에 표시한 ①-② 지역에서 레이더 에코강도는 41.2dBZ(예상 강수량 : 20.8mm/h)를 나타냈으나, 실제 강우량은 0.0~0.5mm/h 이하였다.

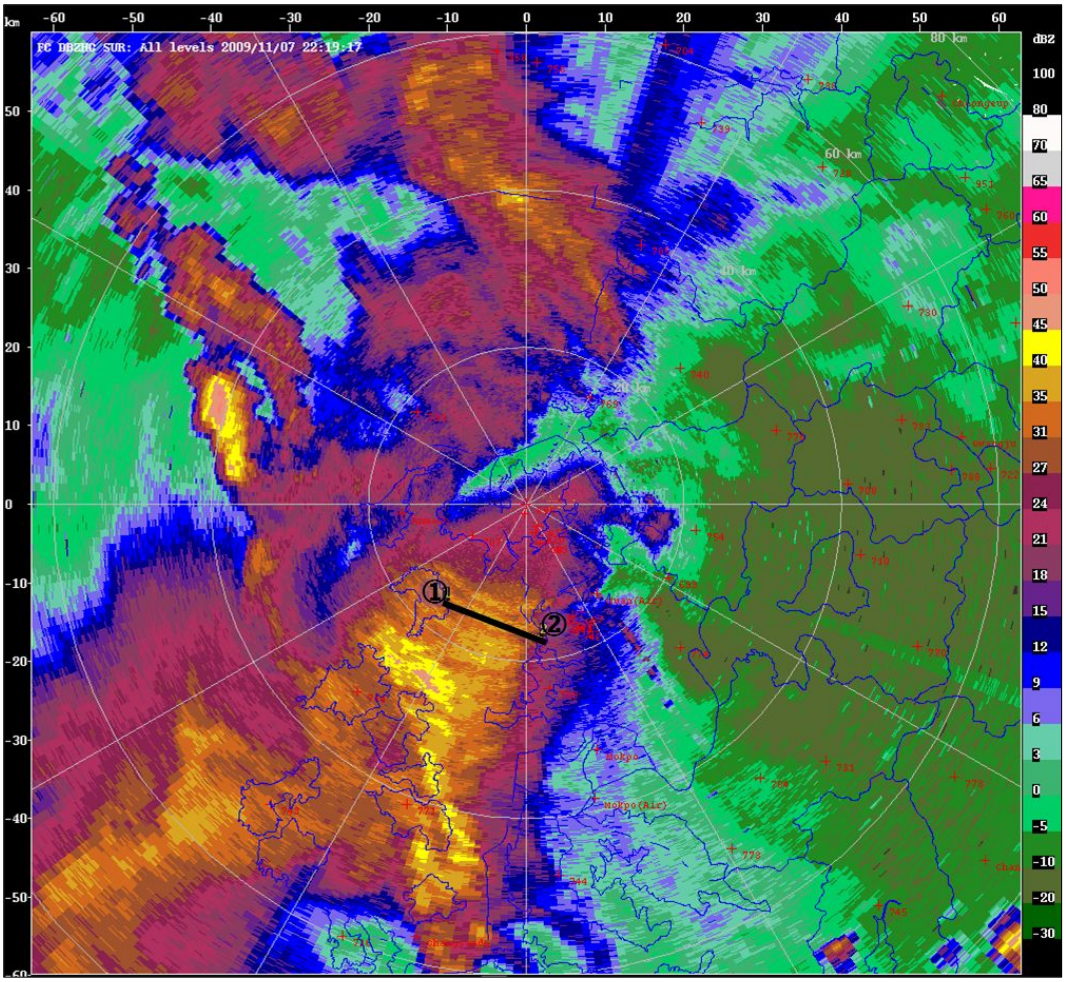

Fig. 14. DBZHC image(2009. 11. 7, 22:19 UTC).

2. 연직단면 영상

Fig. 15는 Fig. 14의 ①-② 지역의 연직단면 영상 자료이다.

영상에서 2~11km 구간의 2.8~3.2km 고도에 강한 레이더 에코강도가 나타난 것을 볼 수 있다. 지표 가까운 고도에서는 음(-)의 값이 나타났으며, 지상에서 밝은 띠가 나타난 고도까지 에코강도가 강해지다가 그보다 높은 고도에서는 점차 에코강도가 약해지는 것을 볼 수 있다.

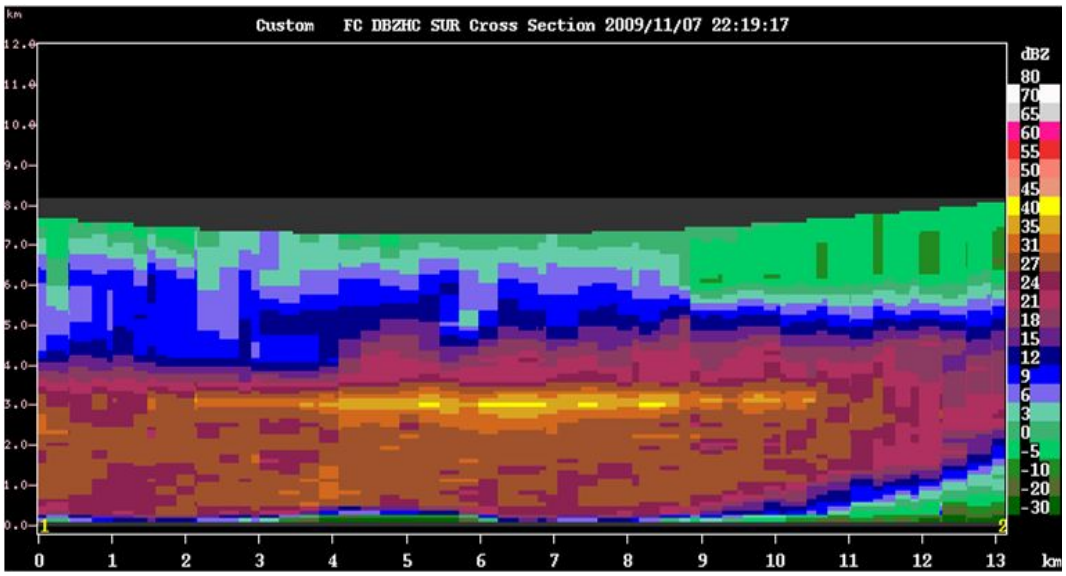

Fig. 15. Cross section image(2009. 11. 7, 22:19 UTC).

3. 이중편파레이더 영상

Fig. 16-(a)는 Fig. 15의 ZDR 영상이다.

밝은 띠가 나타난 고도보다 낮은 고도에서 0보다 큰 값이 나타났으며, 지상에서 가까운 고도에서 4보다 큰 값이 나타났는데 이는 건물이나 나무에 물방울이 맺혀 생긴 것으로 생각된다. 밝은 띠가 나타난 고도보다 높은 고도에서 음(-)의 값을 갖는 영역이 나타난 것을 볼 수 있다.

Fig. 16-(b)는 Fig. 16의 RHOHV 영상이다.

밝은 띠가 나타난 고도에 다른 고도에 비해 낮은 상관계수 값(0.85~0.97)이 나타난 것을 볼 수 있다. 이를 통해 다른 고도에 비해 밝은 띠가 나타난 고도에서의 강수입자의 변화가 크게 일어나고 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 16-(c)는 Fig. 16의 KDP 영상이다.

밝은 띠가 나타난 고도에 0.5~2.0 사이의 값을 갖은 층이 선명하게 나타난 것을 볼 수 있으며, 밝은 띠 고도의 상부와 하부에 음(-)의 값을 갖는 영역이 나타난 것을 볼 수 있다. 밝은 띠가 나타난 고도에서 K_{DP} 값이 0보다 크게 나타난 것을 통해 수직 영역보다 수평 영역에 강수입자가 더 많이 분포함을 알 수 있고, 상·하부 고도에는 수직 영역에 보다 많은 강수입자가 분포함을 알 수 있다.

Fig. 16-(d)는 Fig. 16의 PID 영상이다.

전체적으로 dry-snow의 형태가 나타난 것을 볼 수 있으며, 밝은 띠가 나타난 고도에서는 grain/small hail과 grain/rain의 형태가 나타난 것을 볼 수 있다. grain과 small hail은 강설입자의 종류이다.

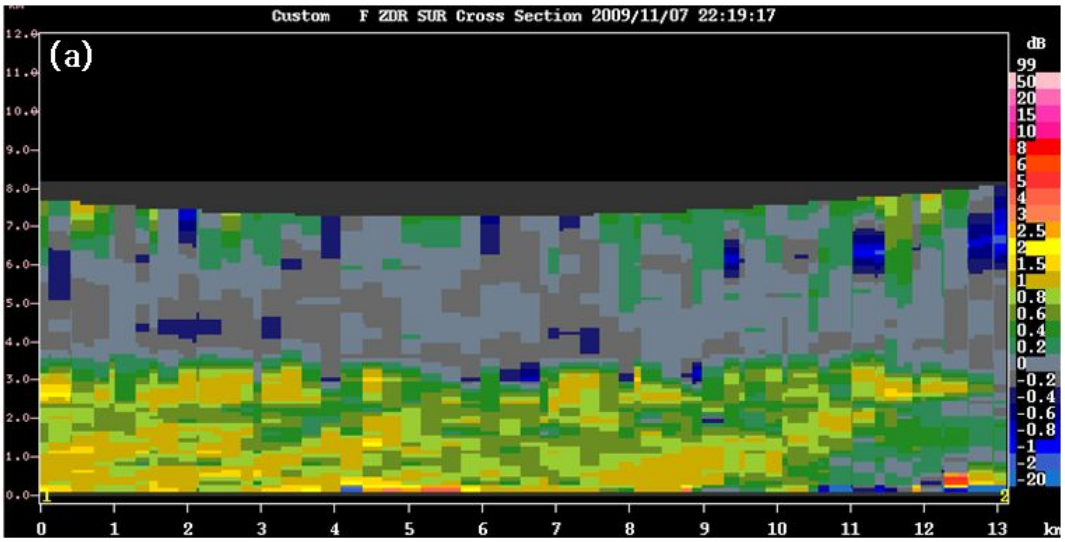

Fig. 16. The observed image of duel polarization radar(2009. 11. 7, 22:19 UTC).
(a) ZDR

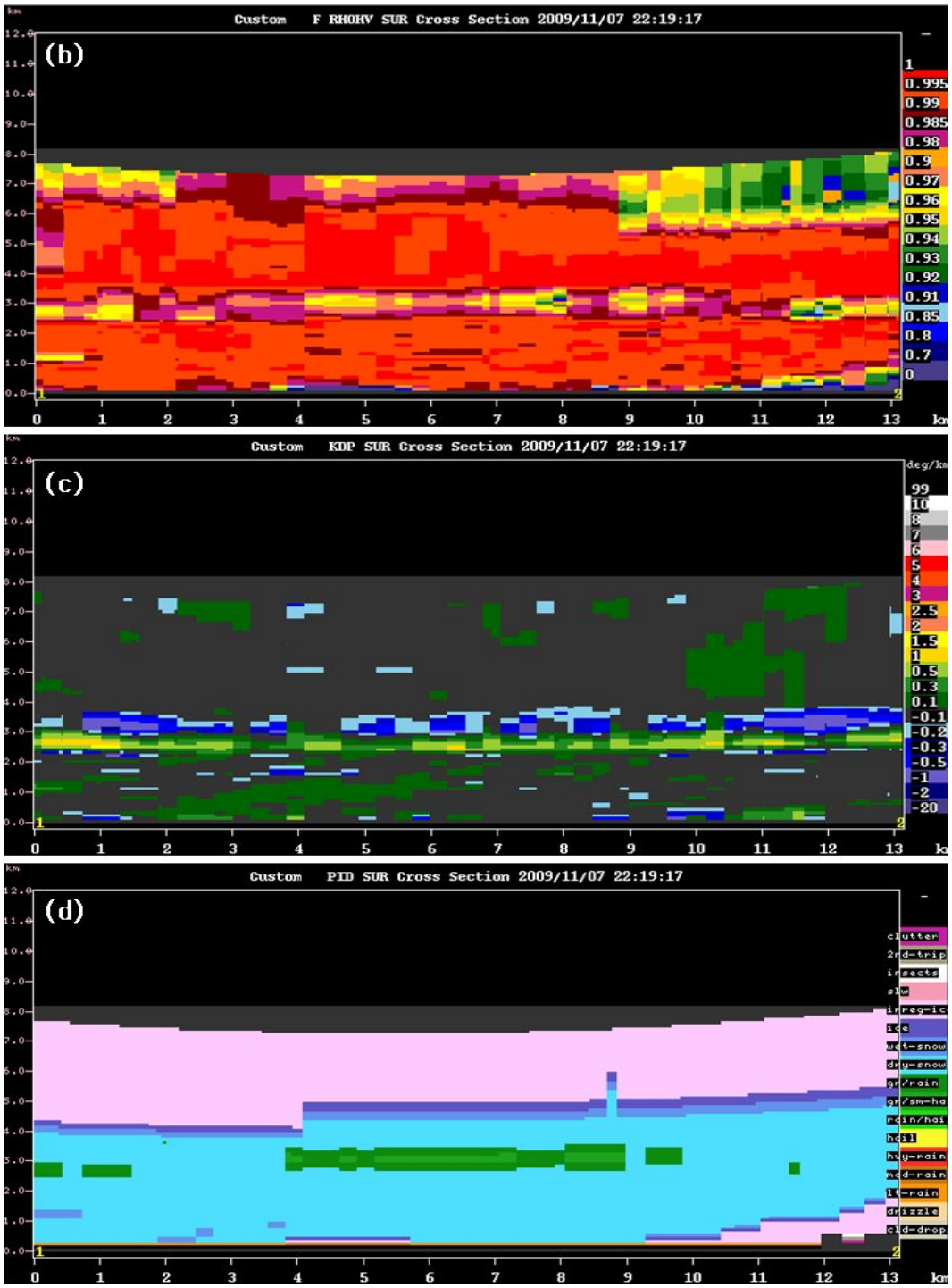

Fig. 16. The observed image of duel polarization radar(2009. 11. 7, 22:19 UTC). (b)RHOHV (c)KDP (d)PID (continue)

제3절 사례2(2009. 11. 8, 04:44 UTC)

1. DBZHC 영상

Fig. 17은 밝은 띠 현상이 나타난 2009년 11월 8일(04:44 UTC)의 DBZHC 영상이다.

영상에서 레이더를 중심으로 광범위한 지역에서 강한 에코강도가 나타난 것을 볼 수 있다.

영상에 표시한 ①-② 지역에서 레이더 에코강도는 42.7dBZ(예상 강수량 : 26.8mm/h)를 나타냈으나, 실제 강우량은 0.0~1.5mm/h 이하였다.

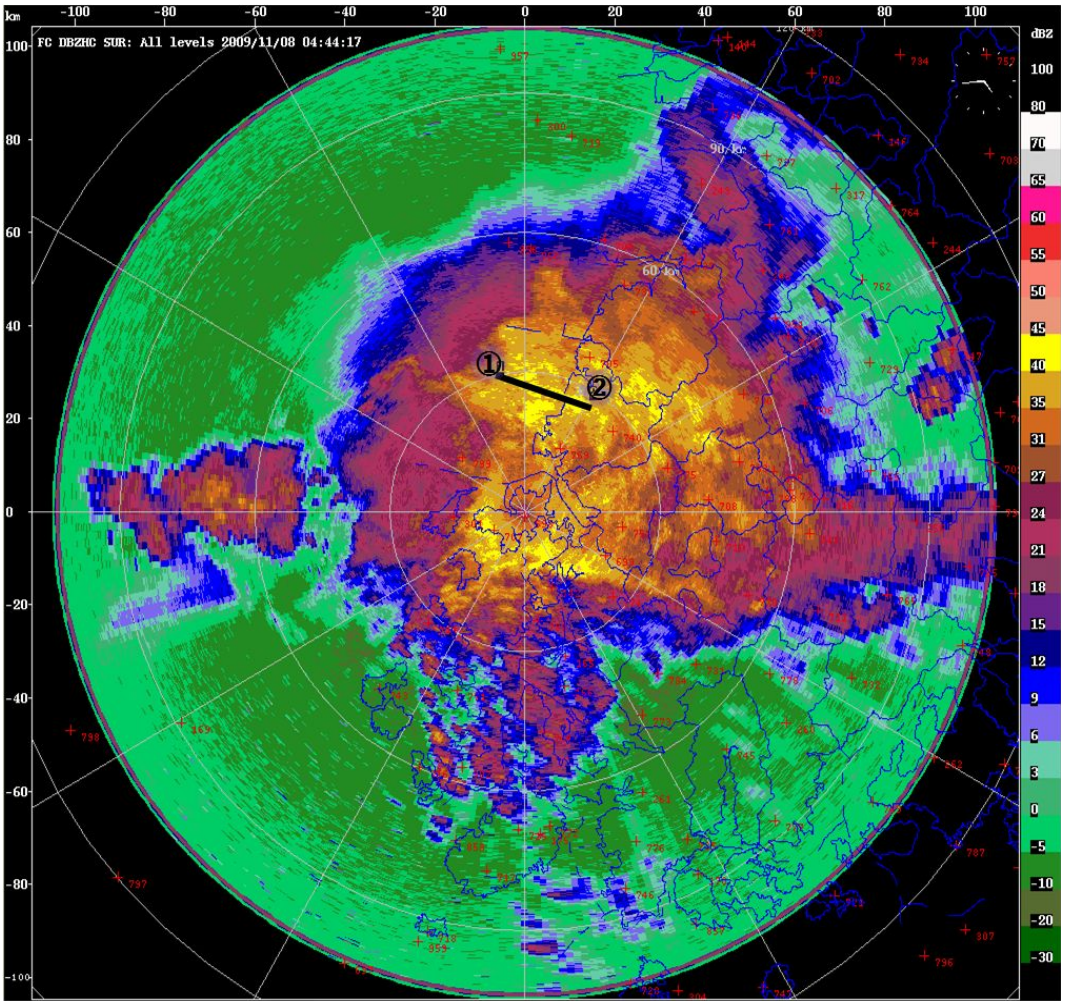

Fig. 17. DBZHC image(2009. 11. 8, 04:44 UTC).

2. 연직단면 영상

Fig. 18은 Fig. 17의 ①-② 지역의 연직단면 영상 자료이다.

영상에서 2.2~3.2km 고도에 강한 레이더 에코강도가 나타난 것을 볼 수 있다. 밝은 띠를 기준으로 하층에서는 31~40dBZ를 나타냈으며, 상층에서는 12~27dBZ를 나타냈다.

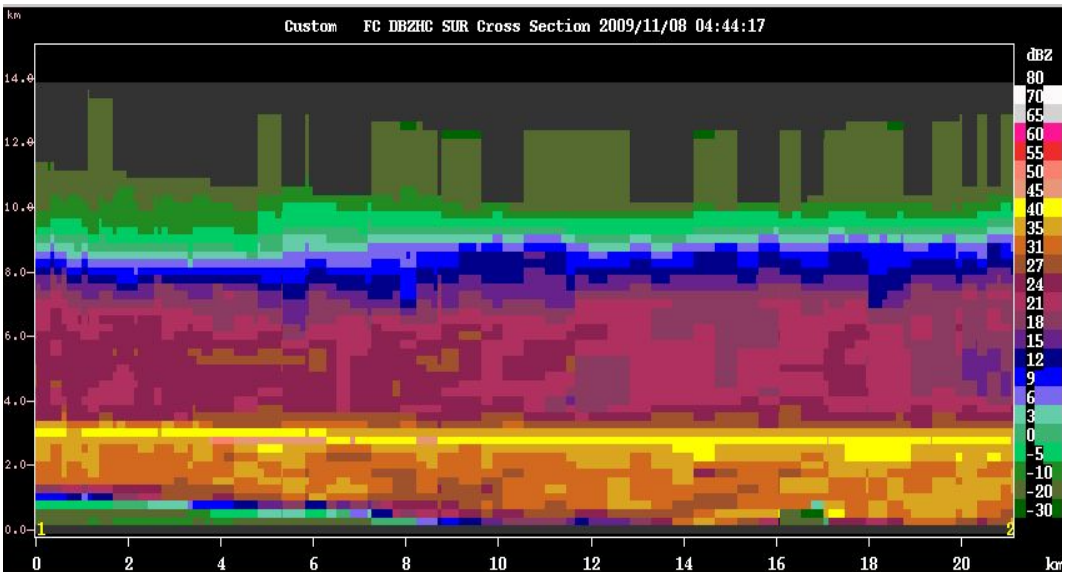

Fig. 18. Cross section image(2009. 11. 8, 04:44 UTC).

3. 이중편파레이더 영상

Fig. 19-(a)는 Fig. 18의 ZDR 영상이다.

밝은 띠가 나타난 고도를 기준으로 하층에서는 양(+)의 값이 상층에서는 음(-)의 값이 나타난 것을 볼 수 있었으며, 18~20km 영역에서 최대값이 나타났다. 다른 사례에서와 달리 음(-)의 값이 나타난 영역이 넓게 분포된 것을 볼 수 있다. 영상에 나타난 Z_{DR} 값을 통해 밝은 띠가 나타난 고도의 하층에는 수평 면적이 큰 강수입자가, 상층에는 수직 면적이 큰 강수입자가 존재함을 알 수 있다.

Fig. 19-(b)는 Fig. 18의 RHOHV 영상이다.

밝은 띠가 나타난 고도에 다른 고도에 비해 낮은 상관계수 값(0.7~0.92)이 나타난 것을 볼 수 있다.

Fig. 19-(c)는 Fig. 18의 KDP 영상이다.

밝은 띠가 나타난 고도에 1.0~3.8 사이의 값을 갖은 층이 선명하게 나타난 것을 볼 수 있으며, 밝은 띠 고도의 상부와 하부에 음(-)의 값을 갖는 영역이 나타난 것을 볼 수 있다. ZDR 영상에서 최대값이 나타난 18~20km 영역에서, 최대값이 나타났다.

Fig. 19-(d)는 Fig. 18의 PID 영상이다.

밝은 띠가 나타난 고도부터 그 하부 고도까지 grain/rain의 형태가 넓은 영역에 걸쳐 나타난 것을 볼 수 있었으며, 밝은 띠 고도에는 grain/small hail과 grain/hail의 형태가 나타난 것을 볼 수 있었다.

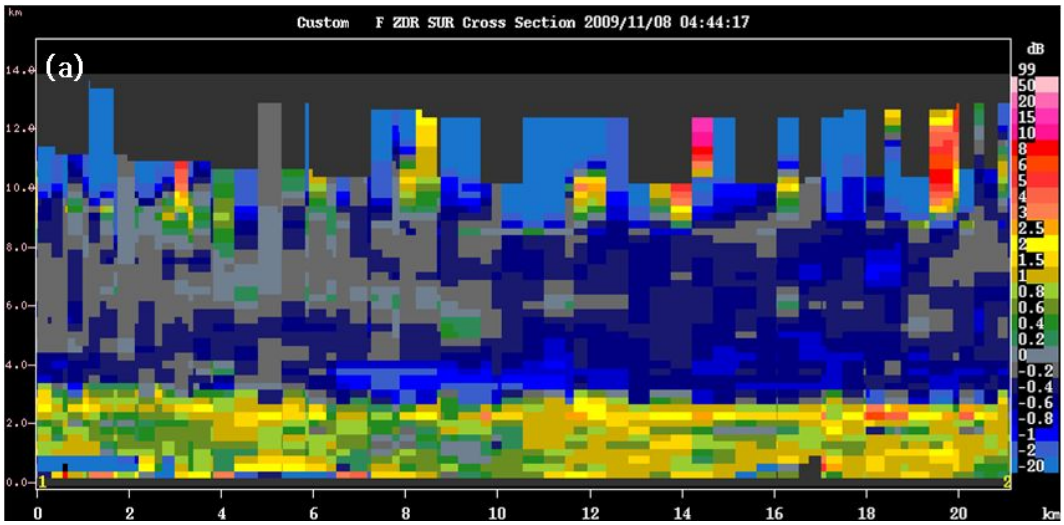

Fig. 19. The observed image of duel polarization radar(2009. 11. 8, 04:44 UTC).
(a) ZDR

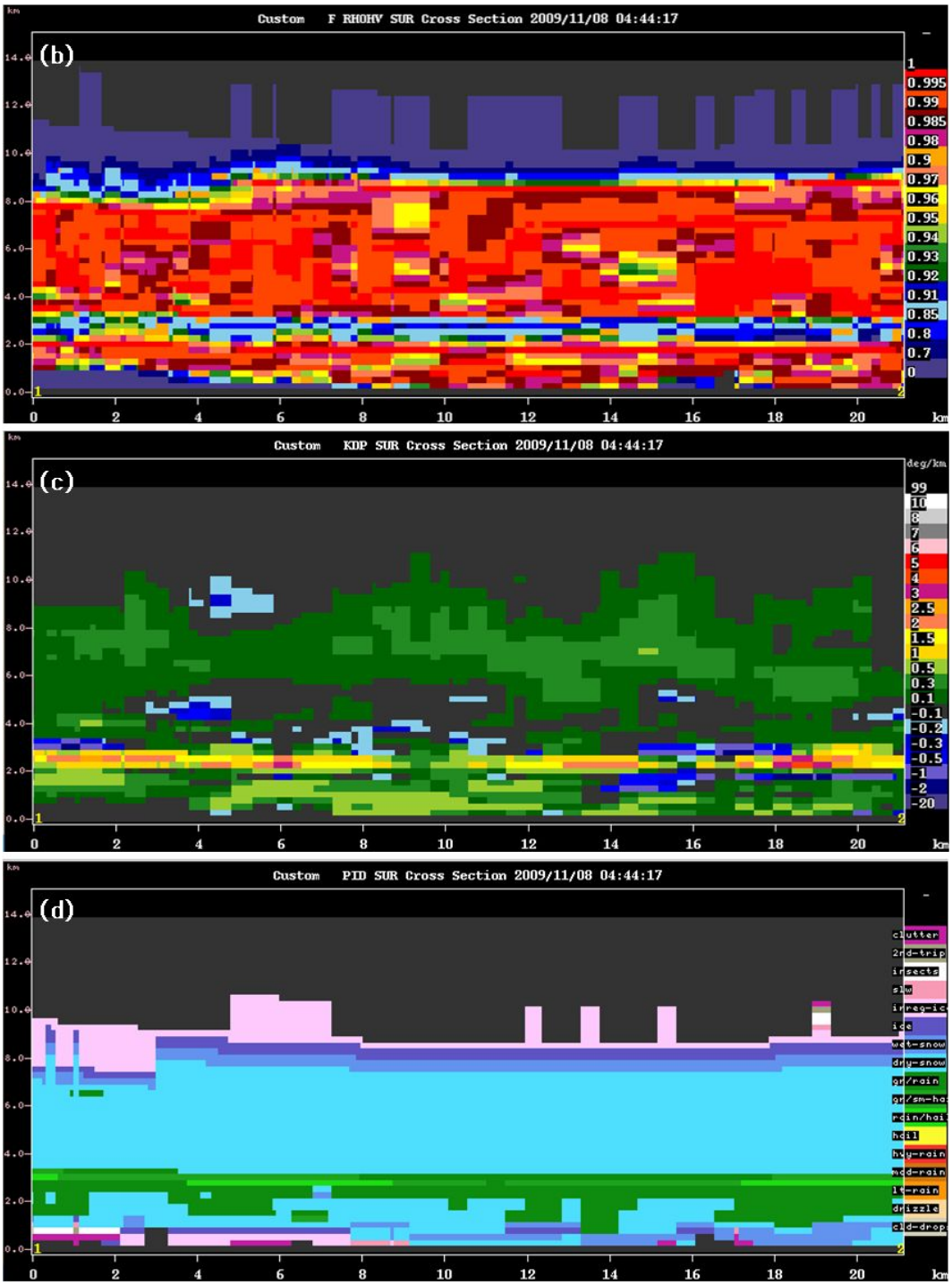

Fig. 19. The observed image of duel polarization radar(2009. 11. 8, 04:44 UTC). (b)RHOHV (c)KDP (d)PID (continue)

제4절 사례3(2009. 11. 10, 03:14 UTC)

1. DBZHC 영상

Fig. 20은 밝은 띠 현상이 나타난 2009년 11월 10일(03:14 UTC)의 DBZHC 영상이다.

영상에서 레이더를 중심으로 남서방향에서 북동방향으로 강한 에코강도가 나타난 것을 볼 수 있다.

영상에 표시한 ①-② 지역에서 레이더 에코강도는 38dBZ(예상 강수량 : 12.2mm/h)를 나타냈으나, 실제 강우량은 0.0~0.5mm/h 이하였다.

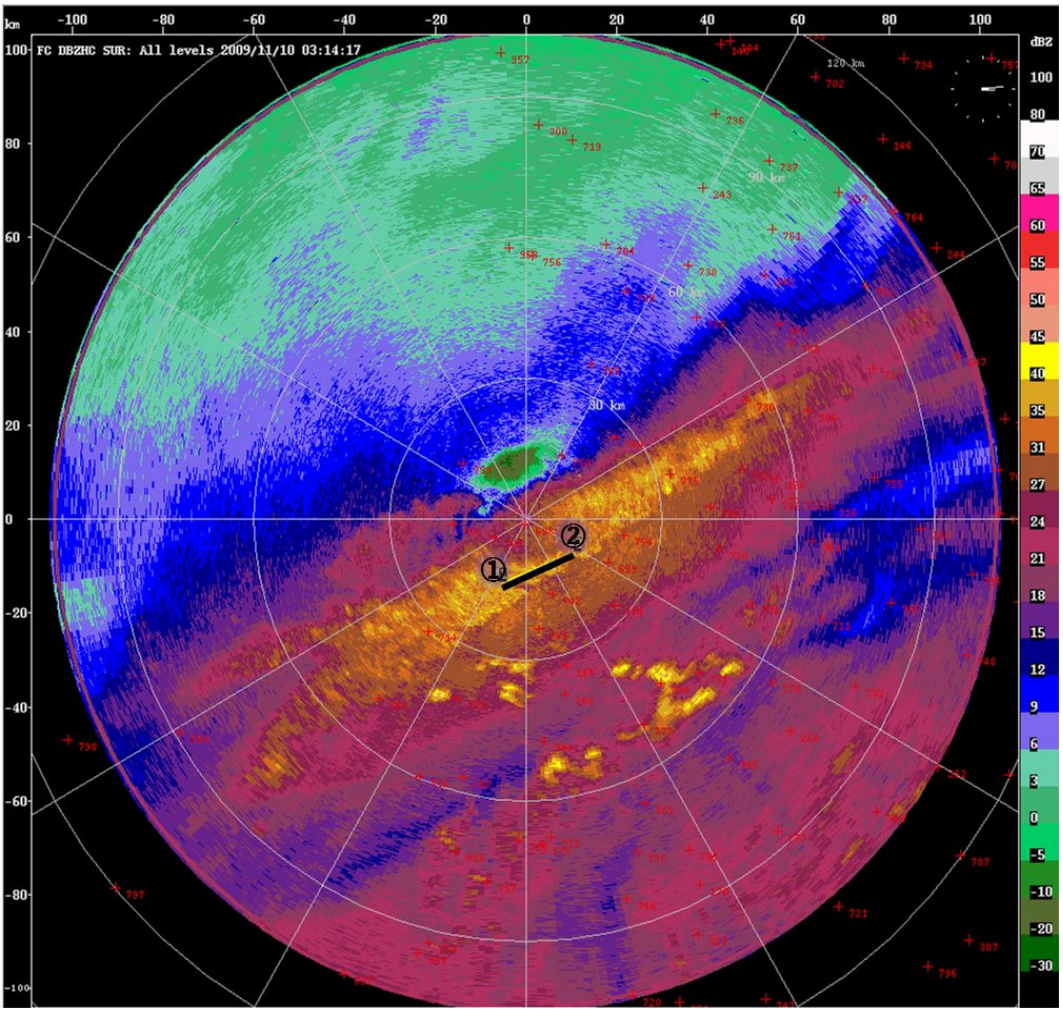

Fig. 20. DBZHC image(2009. 11. 10, 03:14 UTC).

2. 연직단면 영상

Fig. 21은 Fig. 20에서 ①-② 지역의 연직단면 영상 자료이다.

영상에서 보면 3.0km 고도 아래에 강한 에코강도가 나타난 것을 볼 수 있다. 밝은 띠 현상이 나타난 고도를 정확히 판별하긴 어려우나 대략 2~3km 고도에 나타난 것으로 보인다.

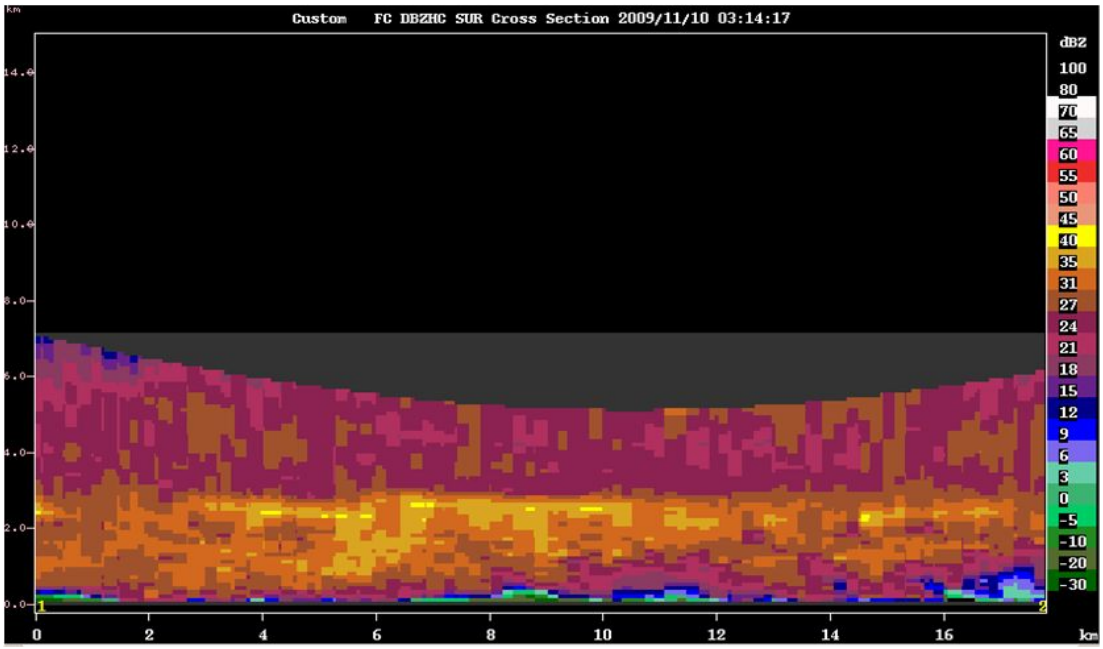

Fig. 21. Cross section image(2009. 11. 10, 03:14 UTC).

3. 이중편파레이더 영상

Fig. 22-(a)는 Fig. 21의 ZDR 영상이다.

밝은 띠가 나타난 고도에 1~2.5 사이의 값을 갖는 층을 볼 수 있으며, 사례1과 같이 밝은 띠가 나타난 고도보다 높은 고도에서 음(-)의 값을 갖는 영역이 나타난 것을 볼 수 있다.

Fig. 22-(b)는 Fig. 21의 RHOHV 영상이다.

밝은 띠가 나타난 고도에 다른 고도에 비해 낮은 상관계수 값(0.85~0.97)이 나타난 것을 볼 수 있다.

Fig. 22-(c)는 Fig. 21의 KDP 영상이다.

밝은 띠가 나타난 고도에 0.3~2 사이의 값을 갖은 층이 나타난 것을 볼 수 있으며, 앞서 사례들과 같이 밝은 띠 고도의 상부와 하부에 음(-)의 값이 나타난 것을 볼 수 있다.

Fig. 22-(d)는 Fig. 21의 PID 영상이다.

밝은 띠가 나타난 고도의 강수입자의 형태는 grain/rain과 grain/small hail의 형태가 나타난 것을 볼 수 있었으며, 그 외 영역에서는 dry snow의 형태가 나타났다.

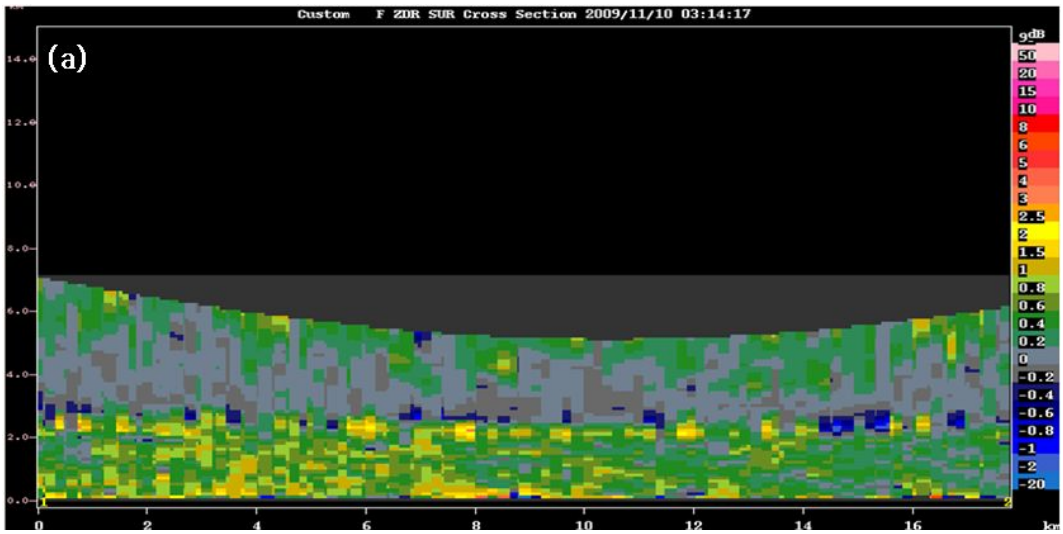

Fig. 22. The observed image of duel polarization radar(2009. 11. 10, 03:14 UTC). (a) ZDR

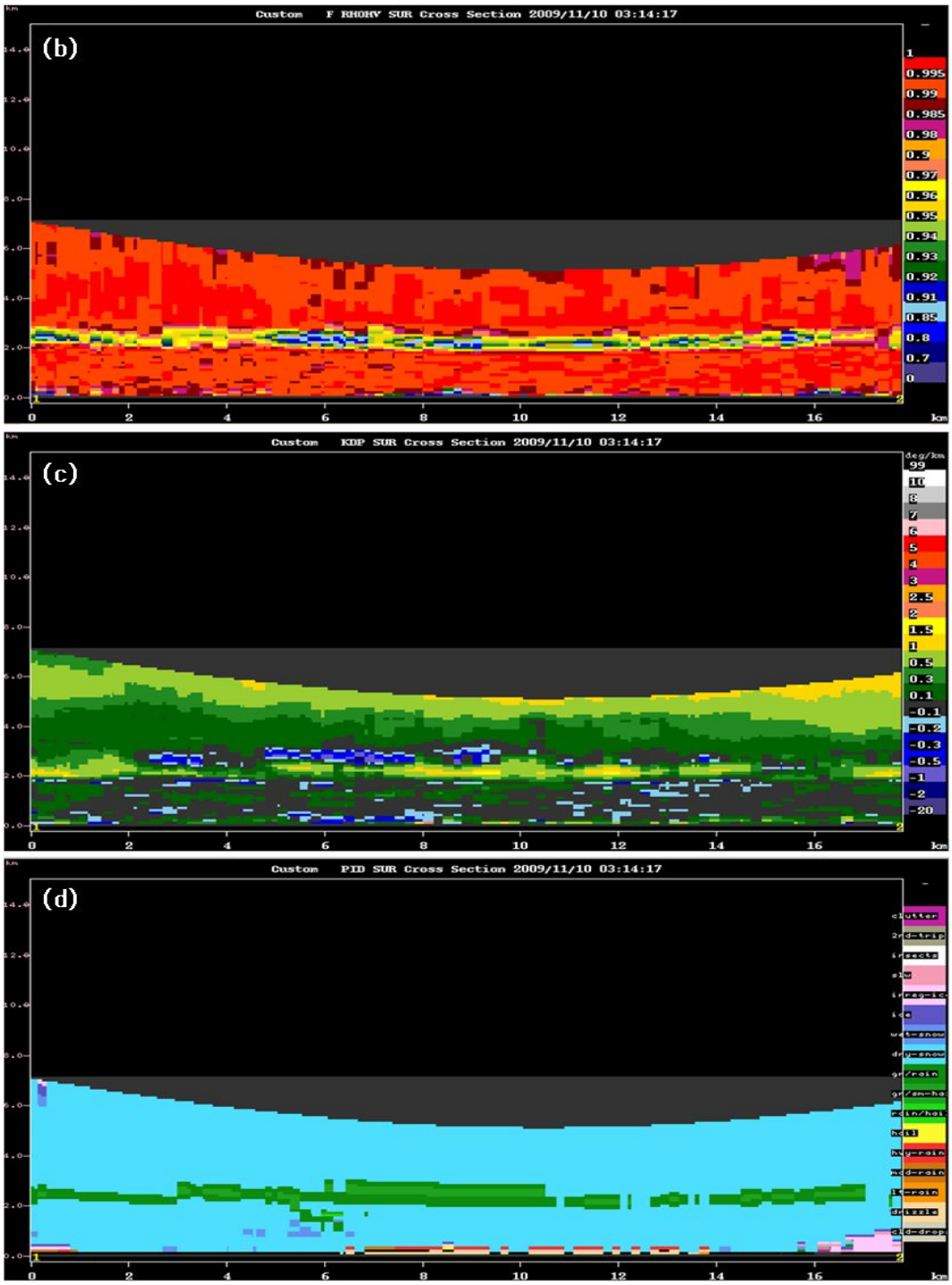

Fig. 22. The observed image of duel polarization radar(2009. 11. 10, 03:14 UTC). (b)RHOHV (c)KDP (d)PID (continue)

모든 사례에서 ZDR 영상의 경우, 뚜렷한 층이 나타나지 않았지만, 공통적으로 밝은 띠가 나타난 고도의 상층에 음(-)의 값을 갖는 영역이 나타났다. 음(-)의 값을 갖는 Z_{DR} 값을 통해 밝은 띠가 나타난 고도의 상층에 수평 면적보다 수직 면적이 큰 강수 입자가 분포하고 있음을 알 수 있다.

RHOHV 영상에서는 밝은 띠가 나타난 고도의 상관계수가 다른 영역에 비해 낮은 값이 나타났다. 이는 강수입자의 형태가 변화함을 뜻한다.

KDP 영상에서는 밝은 띠가 나타난 고도에 다른 영역에 비해 큰 값이 나타났으며, 뚜렷한 층이 나타났다. 또한 층의 상・하부에 음(-)의 값을 갖는 영역이 나타났다. 이는 층의 상・하부에 수평 영역에 존재하는 강수입자보다 수직 영역에 존재하는 강수입자가 많다는 것을 의미한다.

PID 영상에서는 밝은 띠가 나타난 고도에 grain, small hail, 및 hail의 형태의 강수입자가 나타났다.

제6장 결론

본 논문은 강수량 예보를 과대추정하게 하는 요인 중 하나인 밝은 띠 현상을 기존의 분석 방법과 다르게, 이중편파레이더의 영상 자료를 이용하여 분석을 실시하였다. 분석 결과는 다음과 같다.

- 밝은 띠 현상이 일어났을 경우, 일반적으로 밝은 띠 현상을 판별하는 방법인 연직단면 영상을 이용해 판별했을 때, 특정 고도에서 강한 에코강도가 나타난 것을 볼 수 있었지만, 명확한 판별을 하기 어려운 영상도 나타났다.

- ZDR 영상에서 명확하게 밝은 띠를 구별할 수 있는 영상을 보기 어려웠으나 공통적으로 밝은 띠가 나타난 고도보다 높은 고도에서 음(-)의 값을 갖는 영역이 나타난 것을 확인할 수 있었다.

- RHOHV 영상에서는 명확한 밝은 띠 구별이 가능했다. 이는 밝은 띠의 발생 원인에서 언급한 바와 같이 밝은 띠는 강설입자가 녹아 강수입자로 변하면서 발생하게 되는데, RHOHV 영상의 경우 H와 V의 상관계수를 이용해 형태의 변화를 판별하므로, 구형에 가까운 강설입자가 타원형의 강수입자로 변하게 되는 밝은 띠의 고도에서 다른 고도와 달리 낮은 상관계수를 나타내므로 뚜렷한 층이 나타나게 된다.

- KDP 영상에서 밝은 띠가 나타난 고도는 다른 고도에 비해 높은 값이 나타났으며, 공통적으로 밝은 띠가 나타난 고도의 상·하부에 음(-)의 값을 갖는 영역이 나타났다. 이는 밝은 띠가 나타난 고도에 분포하는 강수입자가 수직 영역에 비해 수평 영역에 더 많이 분포하고 있으며, 밝은 띠가 나타난 고도의 상·하부에서는 수평 영역보다 수직 영역에 더 많은 강수입자가 분포함을 뜻한다.

- PID 영상에서는 밝은 띠가 나타난 고도를 구성하는 강수입자의 형태가 grain, small hail, 그리고 hail의 형태로 나타났다. 이러한 형태는 강설입자의 종류로 melting layer에서 강설입자가 녹아 강우입자로 변하면서 밝은 띠가 나타난다는

기존의 발표와 동일한 결과를 나타내고 있다.

- ZDR, RHOHV, KDP, PID 영상을 이용한 분석을 통하여 2장 6절에서 설명한 밝은 띠의 발생원인과 동일한 원인에 의해 영상자료가 표출되고 있음을 알 수 있었다. 이 결과를 통해 밝은 띠의 발생 원인을 증명해주는 자료로써 위 영상 자료가 이용될 수 있으며, 또한 ZDR, RHOHV, KDP, PID 영상을 이용하여 밝은 띠를 구분할 수 있음을 알 수 있었다.

- 영상 자료 중 RHOHV, KDP, PID 영상이 비교적 명확하게 밝은 띠가 나타났다. PID 영상의 경우, 유전율을 수동으로 설정하여 얻는 자료이므로, RHOHV와 KDP 영상이 밝은 띠를 판별하는데 가장 적절하다.

- 본 연구에서는 이중편파레이더 영상자료에 나타난 밝은 띠의 고도가 실제 melting layer와 얼마나 연관 있는지 살펴볼 수 있는 기온 연직분포 자료가 없어 이 부분과 관련된 연구를 실시하지 못했다. 더 정확한 분석을 위해 이 부분에 대한 추가 연구가 필요로 하다. 또한 KDP 영상에서 공통적으로 밝은 띠가 나타난 상·하부 고도에 음(-)의 영역에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

박근영, 2005: 레이더 자료를 이용한 호남지방의 국지강수변화에 관한 수치연구, 조선대학교 석사논문, 3-13

엄원근, 1995: 레이더 기상학, 영재사, 67-107

이종호, 류찬수, 2009: 레이더기상학, 시그마프레스, 260pp

Bellon, A., I. Zawadzki, and F. Fabry, 1997: Measurements of melting layer attenuation at X-band frequencies, Radio Science, 32, 943-955

Drummond, F. J., R. R. Rogers, S. A. Cohn, W. L. Eckiund, D. A. Cater, and J. S. Wilson, 1996: A new look at the melting layer. J. Atmos. Sci., 53, 759-769

Glickman, T. S., 2000: Glossary of Meteorology. 2d Ed. Amer. Meteor. Soc., 855pp

Joo-Wan Cha, Ki-Ho Chang, Seong Soo Yum, Young-Jean Choi, 2009: ADVANCES IN ATMOSPHERIC SCIENCES; Comparison of the bright band characteristics measured by Micro Rain Radar (MRR) at a mountain and a coastal site in South Korea, Vol. 26, No. 2, 211-221

Klaassen, W., 1988: Radar observations and simulations of the melting layer of precipitation, J. Atmos. Sci., 45, 3741-3753

Rachel Ifanger Albrecht, Maria Assunção Faus da Silva Dias, 2005: Microphysical evidence of the transition between predominant convective/stratiform rainfall associated with the intraseasonal oscillation in the Southwest Amazon, Acta Amaz. Vol.35 No.2, 175-184

White, A. B., and D. J. Gottas, E. T. Strem, F. M. Ralph, and P. J. Neiman, 2002: An automated bright band height detection algorithm for use with Doppler radar spectral moment. J. Atmos. Oceanic Technol., 19, 687-697.

Zawadzki, I., W. Szyrmer, C. Bell, and F. Fabry, 2005: Modeling of the melting layer. Part III: The density effect. J. Atmos. Sci., 62, 3705-3723

감사의 글

대기과학과에 들어온 지 엊그제 같은데 벌써 시간이 지나 졸업 논문을 쓰게 되었다는 것이 실감이 나지 않습니다. 낯을 많이 가려서 대기과학실험실에 처음 들어왔을 때 많이 힘들었는데 좋은 분들이 있어서 잘 적응하여 이렇게 졸업할 수 있게 되었습니다.

먼저 실험실에 들어 올 때부터 지금까지 많은 관심과 격려로 지도해주신 류찬수 교수님과 부족한 제 논문의 지도해 주신 이종호 박사님과 정병옥 박사님께 감사드립니다.

대기과학에 대해 아무것도 모르던 제게 매 학기 대기과학 분야의 여러 지식을 가르쳐주신 오완탁 박사님, 윤용훈 박사님, 정효상 박사님, 최치영 박사님께 감사드립니다.

이중편파레이더에 대해 아무것도 모르던 제게 많은 자료와 가르침을 주신 무안기상레이더연구센터의 박근영, 모선진, 김진수 선배님께 감사드립니다.

그리고 실험실에서 같이 생활했던 김진아, 김도완 선배님과 동기인 서성용, 양세환, 허솔잎에게 고마운 마음을 전합니다.

마지막으로 제가 대기과학과를 졸업하기까지 뒤에서 조용히 응원해 주신 부모님께 감사드립니다.

이제야 뭔가를 알기 시작한 것 같은데 벌써 석사과정이 끝나 아쉽지만 이곳에서 배운 지식을 통해 더욱 발전된 모습을 보여드릴 수 있도록 노력하겠습니다.

이 작은 결실을 맺기까지 많은 도움을 주신 모든 분들께 다시 한 번 감사드립니다.

2010년 12월

저작물 이용 허락서

학 과	대기과학과	학 번	20097161	과 정	석사
성 명	한글 : 전대훈 한문 : 全大勳 영문 : Jeon, Dae-Hoon				
주 소	인천광역시 부평구 갈산1동 29-26 진성빌라 B동 101호				
연락처	E-MAIL : jhd8308@hanmail.net				
논문제목	한글 : 이중편파레이더를 이용한 밝은 띠 연구 영어 : A Study on the Bright Band using Dual Polarization RADAR				

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(O) 반대( )

2011년 2월

저작자: 전 대 훈 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하