

발 간 등 록 번 호
11-1360000-001006-01

기상레이더센터 기술노트 WRC2014-01

위험기상 유형별
이중편파레이더 영상분석 가이드스

2014. 9.



기상레이더센터

KMA Weather Radar Center

위험기상 유형별
이중편파레이더 영상분석 가이드런스

기상레이더센터장	권태순
레이더분석과장	고정석
기상연구관	김지영
기상사무관	김지현
기상주사보	이호민



기상레이더센터

KMA Weather Radar Center

목 차

제1장 서론	1
제2장 이중편파변수의 특성	
2.1 차등반사도	2
2.2 교차상관계수	5
2.3 차등위상차 및 비차등위상차	8
제3장 위험기상 유형별 이중편파변수 활용 사례	
3.1 우박	13
3.2 층상형 강우	21
3.3 대류형 강우(집중호우)	52
3.4 눈/비 구분	28
3.5 강우와 강설 비교	9
3.6 채프에코	32
제4장 결론	36

제1장 서론

최근 기후변화로 인하여 단시간에 많은 비가 내리는 집중호우 및 뇌우의 발생이 빈번해짐에 따라 위험기상 탐지 및 예측에 있어 레이더 자료의 활용 가치가 높아지고 있다. 이중편파레이더는 수평편파와 수직편파를 이용하여 대기중의 입자를 이차원적으로 관측(그림 1)함으로써 단일편파레이더에서 제공되는 시선속도, 빔 폭, 반사도 외에 차등반사도, 교차상관계수, 차등위상차, 비차등위상차와 같은 변수를 추가로 산출한다. 이를 활용하여 강수/비강수에코 구분뿐만 아니라 눈/비/우박 등 강수형태의 구분이 가능하다. 이와 같은 유용한 관측 자료를 얻기 위해 현재 기상청에서는 운영 중인 S-band 단일편파레이더 10대를 이중편파레이더로 교체하는 사업을 추진 중이다. 현재 백령도 이중편파레이더가 현업 운영 중이며 국토교통부에서는 2010년부터 이중편파레이더 2대를 운영 중에 있다. 본 가이드스 발간을 통하여 이중편파변수에 대해 소개하고, 각 변수를 활용해 눈/비 구분 등 대기 수상체 분류 방법을 설명하고, 집중호우 등 위험기상 현상에 대해 사례별로 분석하여 강수예보 지원과 위험기상 사전 탐지에 활용하고자 한다.

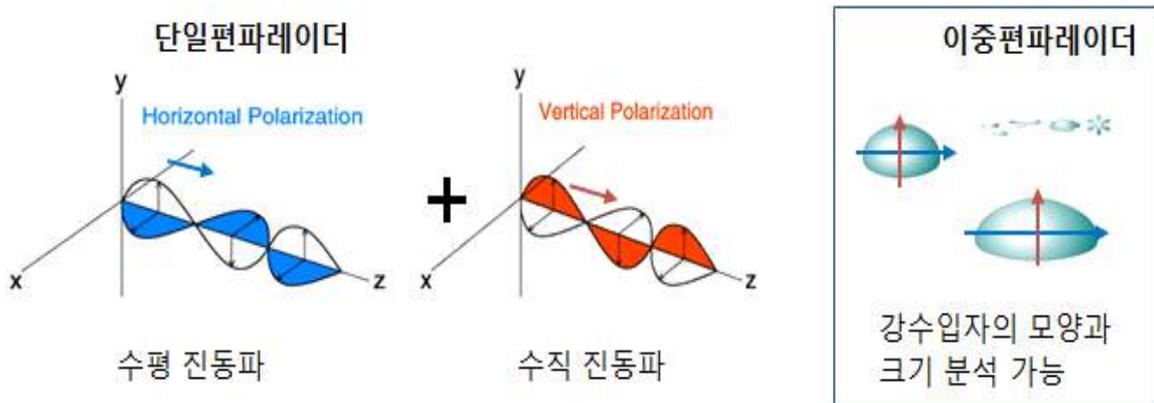


그림 1. 이중편파레이더 관측 원리

제2장 이중편파변수의 특성

2.1 차등반사도(Differential Reflectivity, ZDR)

차등반사도는 수평편파 반사도에 대한 수직편파 반사도의 차이이다. 이 변수는 강수입자의 크기와 관계된 변수로 입자의 크기가 클수록 차등반사도의 크기가 커진다.

◎ 차등반사도 활용분야

→ 강수입자의 크기, 모양 분석에 활용, 집중호우 구역 판별, 우박 판별

■ 주요 특성

- 이슬비와 같이 강수입자의 크기가 0.3 mm 보다 작으면 차등반사도는 거의 0이다.
- 강수입자의 크기가 커질수록 낙하 시 공기저항으로 인하여 입자는 가로 방향의 지름이 커지게 된다. 이는 차등반사도를 증가시키는 요인으로 작용한다.

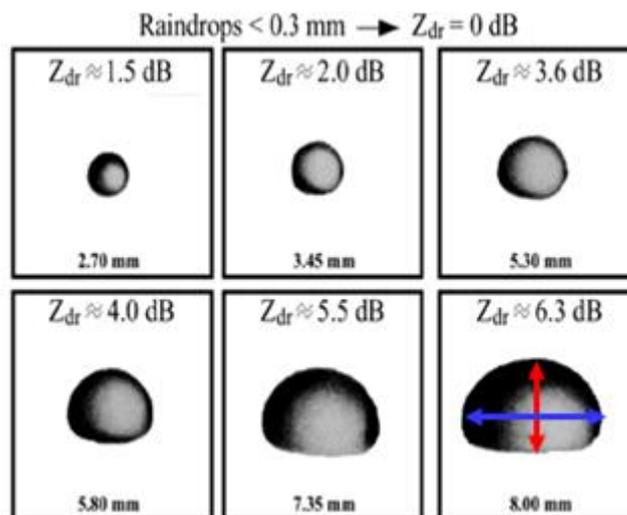


그림 2.1 강수입자 크기에 따른 차등반사도

차등반사도는 수평반사도(Z_H)와 수직반사도(Z_V)의 차이로서 다음 식과 같이 표현된다.

$$Z_{DR}(dB) = Z_H(dBZ) - Z_V(dBZ)$$

차등반사도는 일반적으로 -2 dB에서 6 dB 사이의 값을 가지며, 대기수상체의 모양을 나타내는 좋은 변수이다. 그림 2.2는 수평반사도와 차등반사도의 예이다.

일반적으로 거의 원형에 가까운 이슬비, 싹락눈, 작은 우박 입자들은 수평반사도와 수직반사도가 거의 동일하기 때문에 차등반사도가 거의 0 dB에 가깝다. 수평 방향으로 퍼진 형태의 크기가 큰 우적과 녹는 상태의 우박(melting hail) 입자는 수평반사도가 수직반사도보다 더 커서 차등반사도는 양(+)의 값을 가진다.

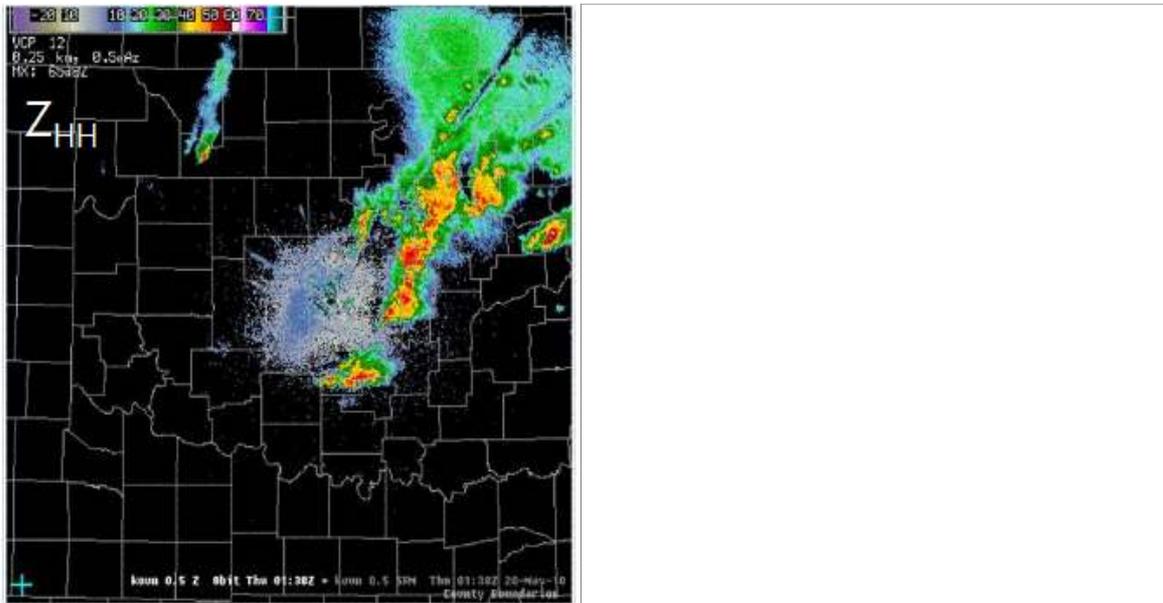


그림 2.2 반사도 영상과 차등반사도 영상의 예

그리고 수직 방향으로 긴 모양을 가진 빙정입자들의 차등반사도는 수평 반사도가 수직반사도보다 더 작은 값을 가지므로 음(-)의 값을 나타낸다. 표 2.1은 일반적인 차등반사도의 물리적 이해를 요약한 것이다.

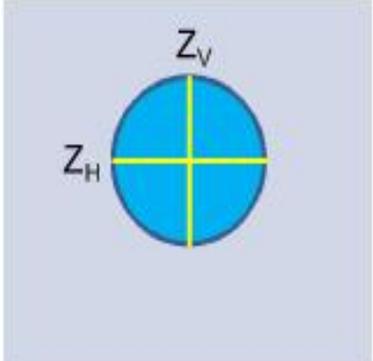
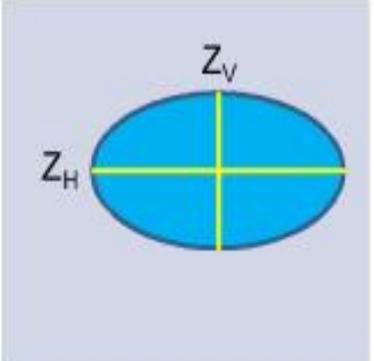
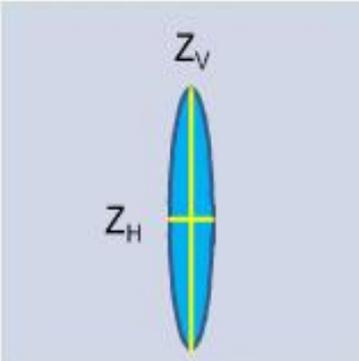
구형 (이슬비, 작은 우박 등)	수평 방향으로 퍼진 모양 (큰 수적, 녹는 우박, 등)	수직으로 긴 모양 (수직으로 긴 형태의 얼음입자)
		
$Z_H \sim Z_V$	$Z_H > Z_V$	$Z_H < Z_V$
$Z_H - Z_V \sim 0$	$Z_H - Z_V > 0$	$Z_H - Z_V < 0$
$Z_{DR} \sim 0 \text{ dB}$	$Z_{DR} > 0 \text{ dB}$	$Z_{DR} < 0 \text{ dB}$

표 2.1 강수입자 모양에 따른 차등반사도 값 특성

2.2 교차상관계수(Correlation Coefficient, CC, ρ_{HV})

교차상관계수는 수평편파와 수직편파 펄스신호의 상관관계를 나타낸다. 단일 형태의 입자들로 분포할수록 수평, 수직 신호가 유사하여 교차상관계수가 높고 두 종류 이상의 입자들이 분포하면 수평, 수직 신호의 상관도가 낮아 교차상관계수가 작게 나타난다.

◎ 교차상관계수 활용분야

→ 눈/비 구분, 채프에코 등 비기상 에코 판별, 우박 판별

■ 주요 특성

- 비 또는 눈으로만 존재하는 단일 강수입자로 분포할 때 교차상관계수는 1에 가깝다.
- 우박, 밝은 때, 눈/비가 혼합된 상태일 경우 교차상관계수가 낮다.
- 반사도 영상에서는 구분할 수 없는 눈과 비 구역을 구분할 수 있다.

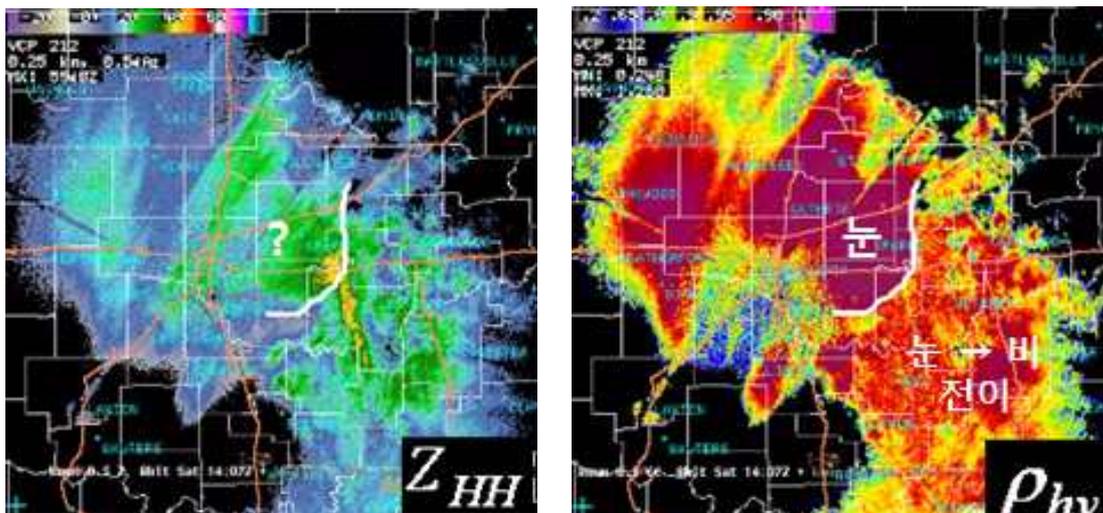


그림 2.3 반사도 영상과 교차상관계수 영상의 예

교차상관계수는 강수입자의 형태, 크기, 종류, 수 등의 성질이 균일하게 분포하는 경우와 눈과 비가 혼재된 상태와 같이 두 가지 이상 다른 형태의 강수입자가 공존하는 경우, 또는 강수입자와 비강수입자가 섞여 있는 경우를 구분해서 판단할 수 있게 해 주는 이중편파변수이다. 즉, 강수입자의 성질이 비슷한 입자들이 분포하는 경우 교차상관계수 값은 크고, 형태가 다른 입자 무리가 공존할 경우 교차상관계수 값은 작다.

교차상관계수가 나타내는 의미를 그림 2.4와 그림 2.5를 통하여 설명하고자 한다. 그림 2.4에서 수평파의 펄스 1번과 펄스 2번의 위상이 다른 것을 알 수 있다. 마찬가지로 수직파의 펄스 1번과 펄스 2번의 위상이 다르다(회살표 방향이 변화). 위상은 다르지만, 수평파와 수직파의 변화 양상은 비슷하다. 그리고 펄스 2번과 펄스 3 번을 비교했을 때 수평파, 수직파 모두 위상은 변화 없이 강도만 증가했다(회살표 길이 증가). 마찬가지로 수직파의 변화 양상은 수평파와 비슷하다. 이럴 경우 교차상관계수 값은 크다.

반면 그림 2.5에서는 펄스 1, 펄스2, 펄스 3의 수평파와 수직파의 위상 및 강도가 변하는 양상이 서로 다르다는 것을 알 수 있다. 이 경우 교차상관계수 값은 작다.

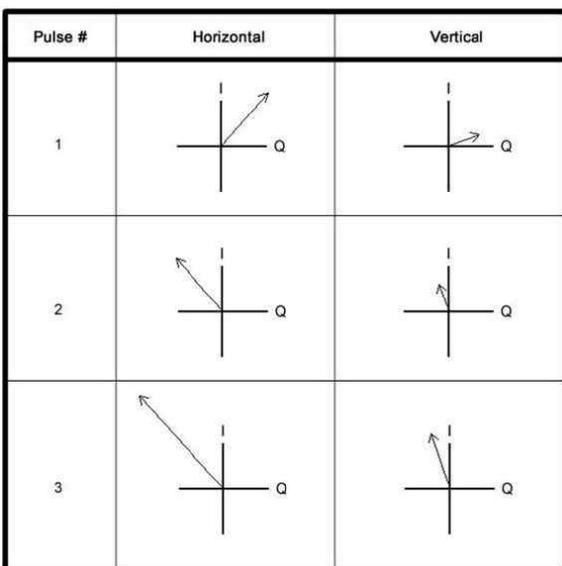


그림 2.4 교차상관계수가 큼

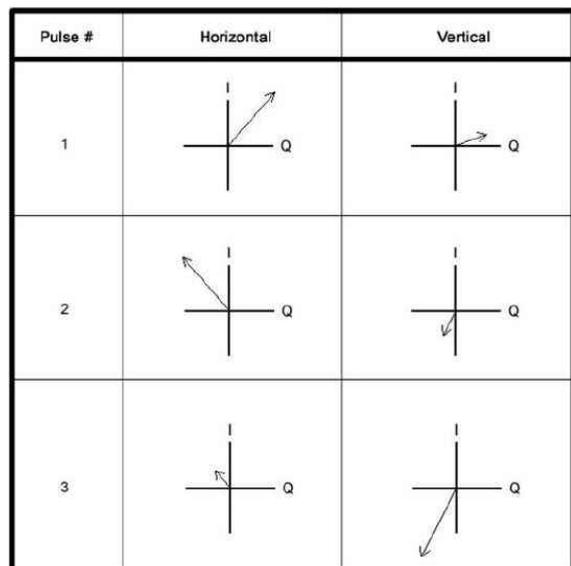


그림 2.5 교차상관계수가 작음

교차상관계수 값의 범위에 따라 대표적으로 관측되는 사례들을 표2.2에 정리하였다.

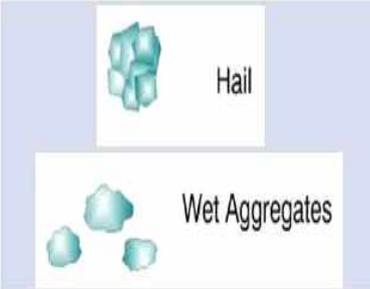
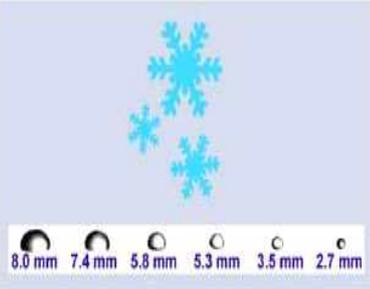
비기상 에코 (새, 곤충 등)	강수에코 (여러 형태 강수입자 혼재)	강수에코 (단일 형태의 강수입자만 분포)
		
수평파, 수직파 상호간 산란하는 방향, 강도가 매우 다양함	수평파, 수직파 상호간 산란 방향 및 강도가 다소 다양함	수평파, 수직파 상호간 산란 방향 및 강도의 차이가 거의 없음
교차상관계수 작음 (0.7이하)	교차상관계수 보통 (0.8~0.97)	교차상관계수 큼 (0.97이상)

표 2.2 강수에코 및 비강수에코의 일반적인 교차상관계수 범위

2.3 차등위상차(Differential Phase, ϕ_{DP}) 및

비차등위상차(Specific Differential Phase, KDP)

차등위상차는 수평편파와 수직편파 펄스 간의 위상 차이를 나타내는 변수이다. 레이더 관측 부피 내 강수입자의 수, 강우강도 추정을 위한 초기 변수로서 관측 부피 내 강수입자의 수가 많을수록 위상차가 크게 되어 차등위상차나 비차등 위상차의 값이 크게 된다.

◎ 차등위상차, 비차등위상차 활용 분야

→ 강우강도 추정, 집중호우 구역 탐지

■ 주요 특성

- 레이더반사도가 비슷하더라도 강우강도, 즉 실제 AWS에 기록될 수 있는 강수입자의 수에 차이가 날 수 있다. 그러한 차이를 차등위상차(비차등 위상차)에서 확인할 수 있다.

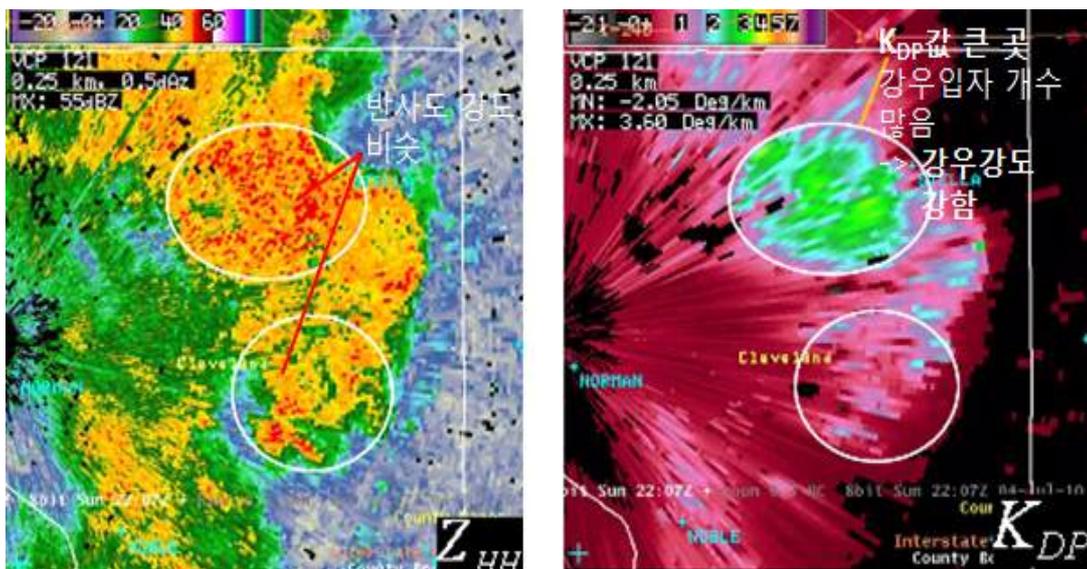


그림 2.6 반사도(좌)가 비슷할 경우 비차등위상차(우)에서 강도 구분

차등위상차(Φ_{DP})는 다음 식과 같이 수평편파와 수직편파 펄스 간의 위상 차이로 정의되며 단위는 도(degree)이다.

$$\Phi_{DP} = \Phi_{HH} - \Phi_{VV}$$

여기서 Φ_{HH} 는 수평편파의 펄스 위상, Φ_{VV} 는 수직편파의 펄스 위상을 말한다. 그림 2.7은 차등위상차의 개념도이다. 차등위상차는 주어진 경로상의 주어진 지점에서 수평편파와 수직편파의 위상차의 합이 전파경로를 따라 축적된 값으로 보통 대기수상체의 모양과 입자들의 수, 그리고 레이더로부터의 거리에 좌우된다.

차등반사도와 유사하게, 그림 2.8은 차등위상차가 대기수상체의 크기와 모양에 좌우됨을 보여준다. 수평방향으로 퍼진 입자의 경우 양(+)¹⁾의 값을, 수직방향으로 퍼진 입자는 음(-)의 값을, 구형의 입자는 거의 0인 차등위상차를 나타낸다. 차등반사도와 달리, 차등위상차는 레이더 관측샘플링 안에 입자들의 수(particle concentration)에도 좌우된다. 입자의 수가 많을수록 차등위상차가 증가한다. 예를 들어 수평방향으로 퍼진 입자들의 수가 많으면 많을수록, 레이더관측 샘플링 안에 큰 양의 값을 가진 차등위상차가 존재한다.

빗방울의 경우 보통 수평방향으로 퍼진 형태를 가진다. 따라서 수평축이 수직축보다 더 길어 레이더파의 전파경로가 연직보다 더 길기 때문에 수평편파의 위상속도가 수직편파의 위상속도보다 상대적으로 더 느리게 되어 그 결과

$$\Phi_{HH} > \Phi_{VV} \quad (\Phi_{HH}, \Phi_{VV} \geq 0)$$

이 된다. 비차등위상차(K_{DP})는 다음 식과 같이 단위거리에 차등위상차의 변화율로 정의되며, 단위는 degree/km이다.

$$K_{DP} = \frac{\Phi_{DP}(r_2) - \Phi_{DP}(r_1)}{2(r_2 - r_1)}$$

여기서 r_1 과 r_2 는 각각 레이더로부터의 거리이다. 차등위상차(Φ_{DP})가 주어진 경로상의 주어진 지점에서 수평편파와 수직편파의 위상차의 합이 전파경로를 따라 축적된 값으로 해석하기 어렵다면(그림 2.9), 비차등위상차(K_{DP})는 단위거리(왕복거리)에 대한 차등위상차의 변화율로서 주어진 지점마다 그 값을 얻을 수 있다(그림 2.10).

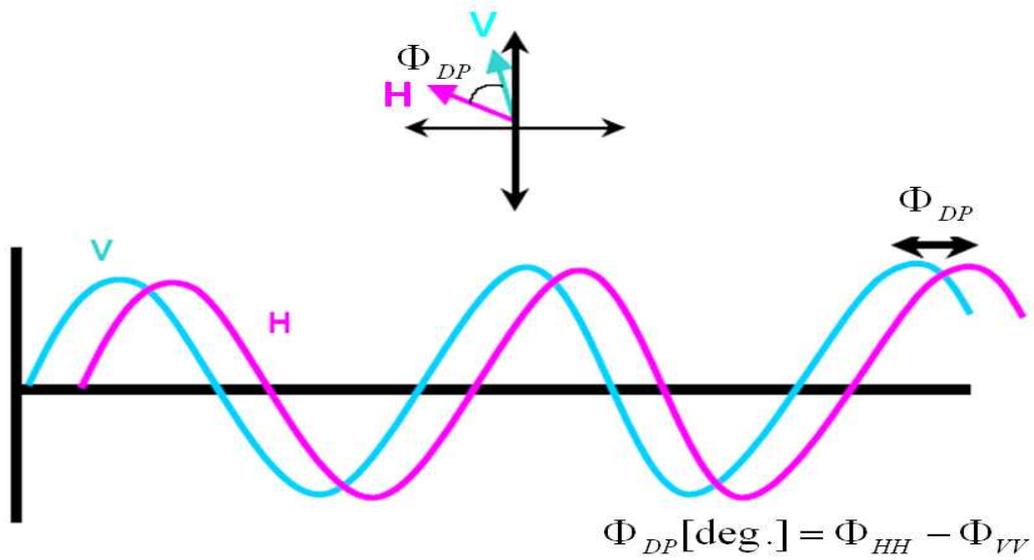


그림 2.7 수평 및 수직 편파의 전파위상 지연에 대한 개념

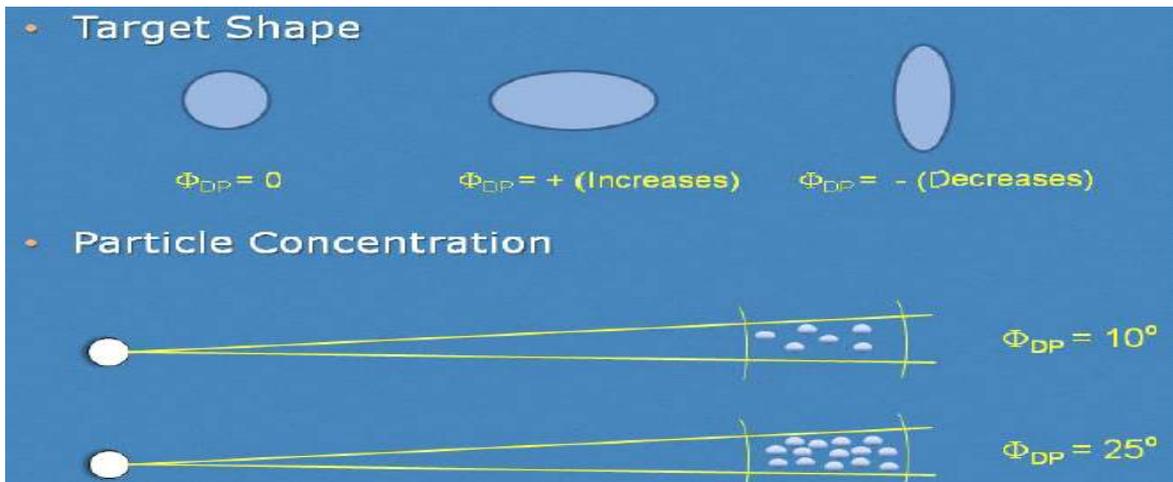


그림 2.8 차등위상차의 물리적 이해

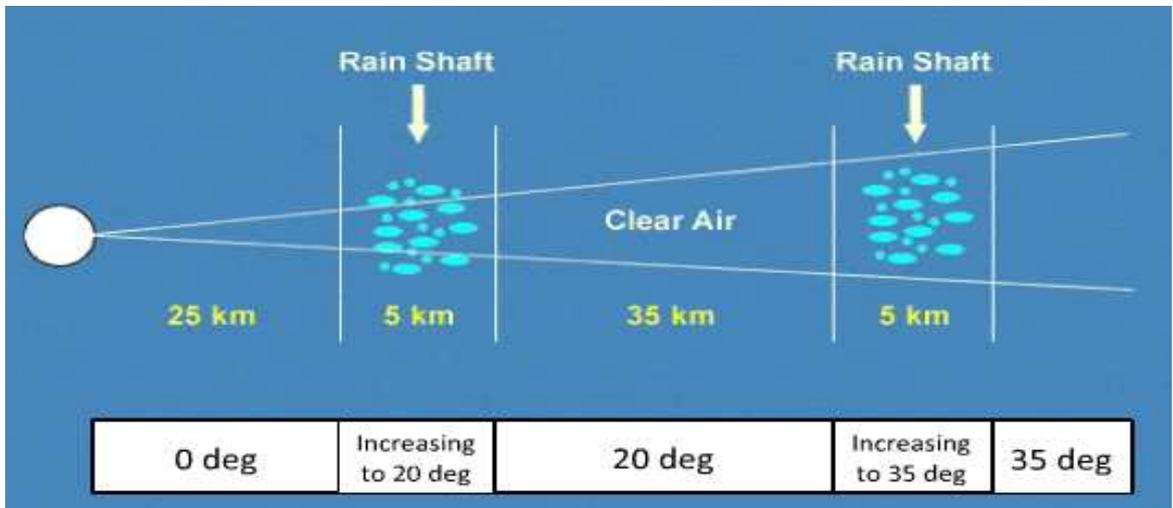


그림 2.9 레이더로부터 30 km와 70 km 거리에 위치한 강우관측 지역의 차등위상차

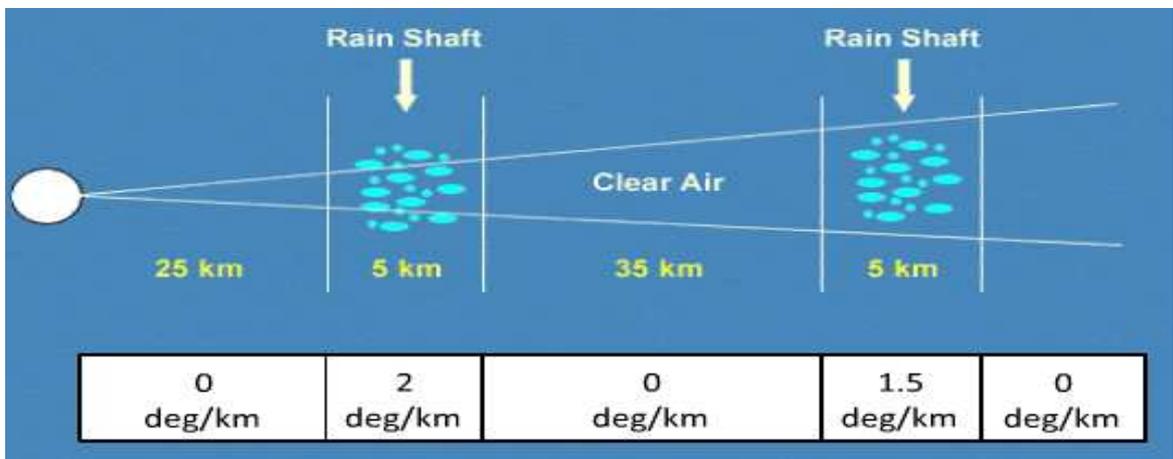


그림 2.10 차등위상차(Φ_{DP})에 대한 비차등위상차(K_{DP})의 적용 예

일반적으로 비차등위상차(K_{DP})는 기상에코에서 $-1\sim 6$ deg/km이며, 구형입자는 수평편파와 수직편파의 위상속도에 차이가 없기 때문에 K_{DP} 는 거의 0에 가깝다. 강한 비의 경우 빗방울의 수평크기와 많은 입자농도 때문에 큰 양(+)의 값을 나타내며, 눈/빙정입자와 회전운동을 하는 우박의 경우에는 아주 작은 차등위상차를 가지므로 K_{DP} 는 거의 0에 가까운 값을 나타낸다. 예외적으로 수평방향을 가지는 빙정입자는 양(+)의 값을 가지는 반면에, 연직방향을 가지는 빙정입자는 비차등위상차가 음(-)의 값을 가진다. 비강수에코의 경우 일반적으로 차등위상차의 변동이 매우 커서 비차등위상차는 계산하지 않는다.

제3장 위험기상 유형별 이중편파변수 활용 사례

3.1 우박

◎ 분석요소

→ 반사도, 차등반사도, 비차등위상차(차등위상차), 교차상관계수

■ 분석사항

- 반사도가 높은 지역은 우박이 발생할 가능성이 높다.
- 강한 비가 내리고 있는 곳도 반사도가 높기 때문에 우박과 구분하기 위해 비차등위상차를 추가로 분석해야 한다.
- 교차상관계수는 적은 값을 보인다.
 - ※ 우박과 비가 혼재된 경우 일반적인 이중편파변수 특징
 - 반사도: 55dBZ 이상, 차등반사도: 2dB이상,
 - 교차상관계수: 0.92~0.96
 - ※ 순수한 비 또는 눈의 교차상관계수: 0.99 이상

일반적으로 다양한 모양과 크기를 가진 우박(hail)은 강수입자와 달리 크기와 모양이 다양하다. 그러나 우박은 낙하하면서 그림 3.1과 같이 회전운동(tumbling)을 하므로 레이더에서 보면 구형인 것처럼 관측되어, 차등반사도 값은 거의 0에 가깝다. 일반적으로 이중편파레이더에서 우박은 낮은 차등반사도값과 높은 반사도값을 나타낸다. 그러나 2.5 cm 보다 작은 우박이 녹으면서 완전히 물로 코팅되는 경우는 다르다. 녹고 있는 작은 우박은 회전운동이 줄어들어 레이더에서 보면 거대 우박처럼 관측되어, 때로는 5~6 dB로 매우 높은 차등반사도값을 나타내기도 한다.

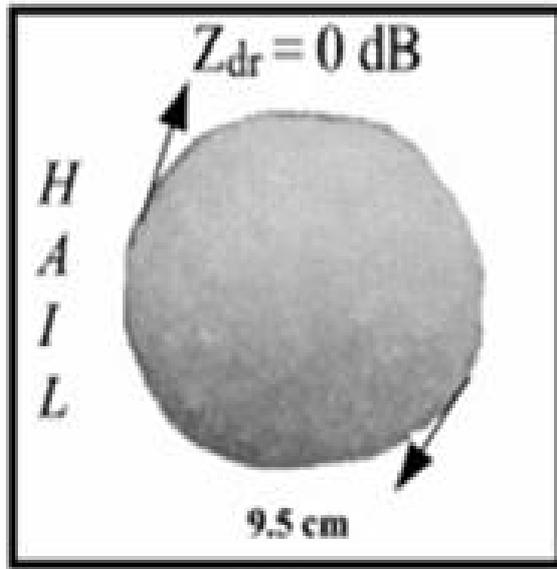


그림 3.1 회전하는 우박

○ 우박 분석

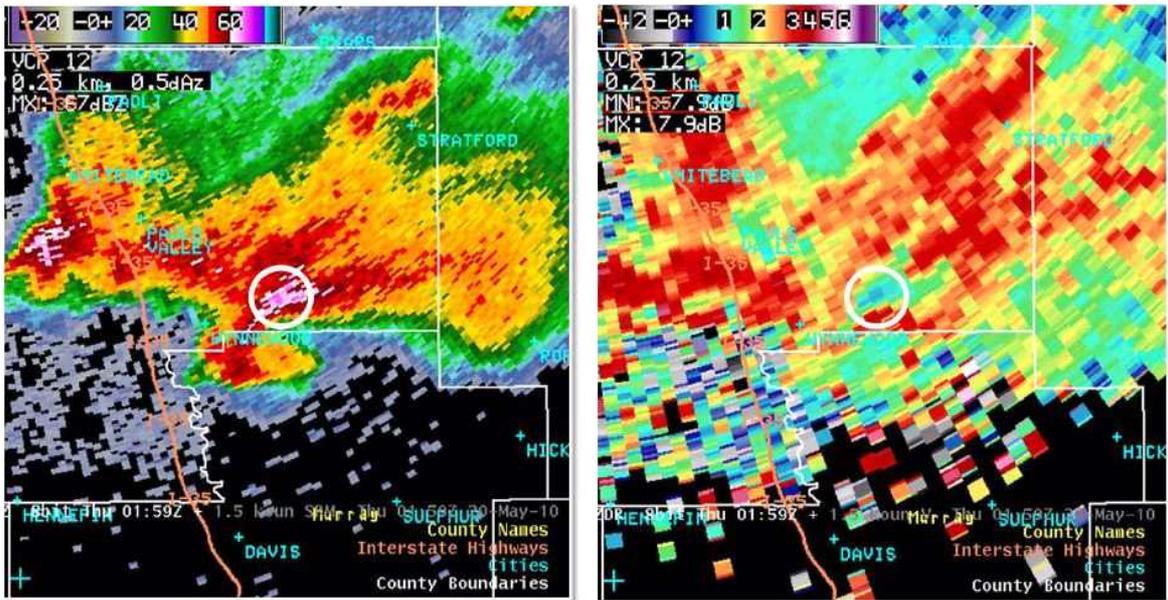


그림 3.2 반사도 영상(왼쪽)과 차등반사도 영상(오른쪽) - 우박

우박은 모양이 다양하기 때문에 차등반사도 값 또한 범위가 다양하다. 그러나 우박의 크기가 어느 정도 크고, 낙하하면서 회전하고 있다면 관측시간 내 가로와 세로의 길이가 수시로 바뀌게 되고, 이러한 우박을 관측한다면 가로와 세로 길이의 차이는 확률적으로 미미하게 된다. 따라서 우박의 크기가 어느 정도 크다면 차등

반사도 값은 적은 것으로 알려져 있다(단, 우박의 크기가 작고 겉 표면이 녹아 물로 코팅된 상태일 때는 아주 큰 빗방울처럼 관측되어 차등반사도 값이 크다). 그림 3.2는 우박사례에 해당하는 레이더 영상으로서 반사도 영상에 나타나는 강한 대류셀 영역이 차등반사도 영상에서는 값이 적게 표출이 되고 있다.

○ 강한 비와 우박이 혼재된 경우 특징

비차등위상차의 또 하나의 장점이 레이더 관측부피 내 우박의 존재유무에 상관 없이 액체상의 물을 판별할 수 있다는 것이다. 그림 3.3은 거대세포 스톱 사례이다. 3개 영역에 초점을 두자. 가장 오른쪽 흰색 원으로 표시한 영역은 반사도가 50 dBZ 정도이고 차등반사도가 3~4 dB 정도이므로, 이 영역에서 수평적으로 퍼진 모양을 가진 대기수상체가 낙하하고 있다는 것을 알 수 있다. 해당지역의 비차등 위상차 값은 1~1.5 deg/km 이므로, 이 영역에는 우박이 존재하지 않으며, 떨어지고 있는 빗방울은 크고 그 수는 적은 것으로 보인다. 중앙에 위치한 흰색 원의 영역에서 반사도는 약 50 dBZ이지만, 차등반사도는 0.5 dB정도이고 비차등위상차는 약 0 deg/km을 나타낸다. 이는 이 영역에 떨어지고 있는 대기수상체는 대부분이 우박이며, 액체상 빗방울은 거의 없다는 것을 의미한다. 나머지 가장 왼쪽에 위치한 흰색 원으로 표시한 영역은 반사도가 거의 60 dBZ이고 차등반사도는 3~4 dB, 비차등위상차는 5 deg/km로 매우 큰 값을 가진다. 이러한 큰 양(+)의 비차등 위상차가 관측되는 지역은 녹고 있거나 녹은 우박 그리고 상당한 양의 액체상 물이 우박과 혼재되어 있는 것으로 판단된다. 또한 그 영역에서는 다른 두 영역에서보다 상대적으로 더 많은 액체상 물이 존재하고 있음을 의미하기도 한다.

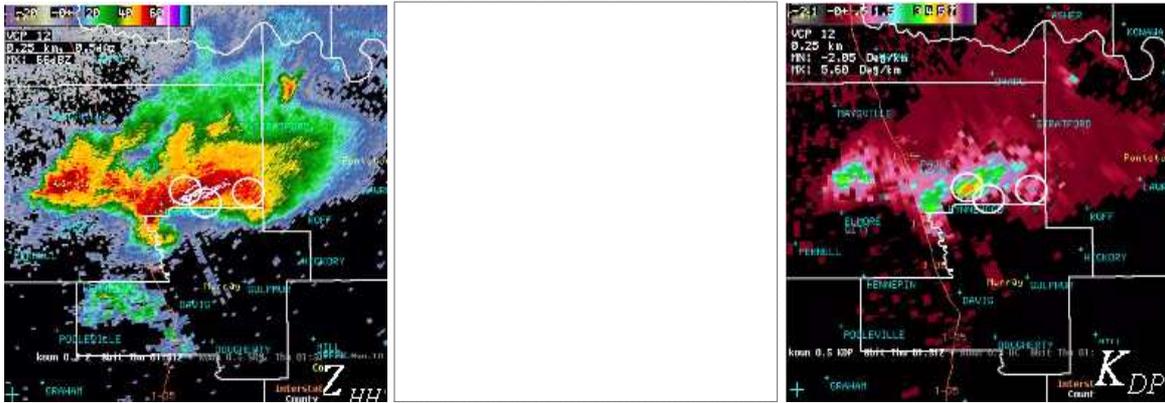


그림 3.3 반사도, Z_{DR} , K_{DP} 영상 - 거대세포 스톱사례

○ 우박 발생구역 판별

우박의 반사도는 매우 높아 55 dBZ 이상(우박이 매우 건조한 상태일 때는 40 dBZ 정도일 수도 있다), 차등반사도는 -0.5 dB~1.5 dB의 범위를 가지나, 대부분의 경우 우박은 겉 표면이 녹아 있기 때문에 양의 값을 가진다. 교차상관계수 값은 상당히 낮아 0.96 미만이고 0.7까지 낮은 경우도 있다. 비차등위상차도 얼음 상태의 우박만 있는 곳에서는 적은 값을 보이며 0.5°/km 미만 값을 가진다. 그러나 겉 표면이 녹은 상태이거나 우적의 수가 많은 곳에서는 비차등위상차값이 커진다. 다음 영상은 우박이 관측될 때의 전형적인 모습이다. 그림 3.4의 흰색 타원으로 표시된 부분은 우박이 나타나는 곳을 표시한 것이다.

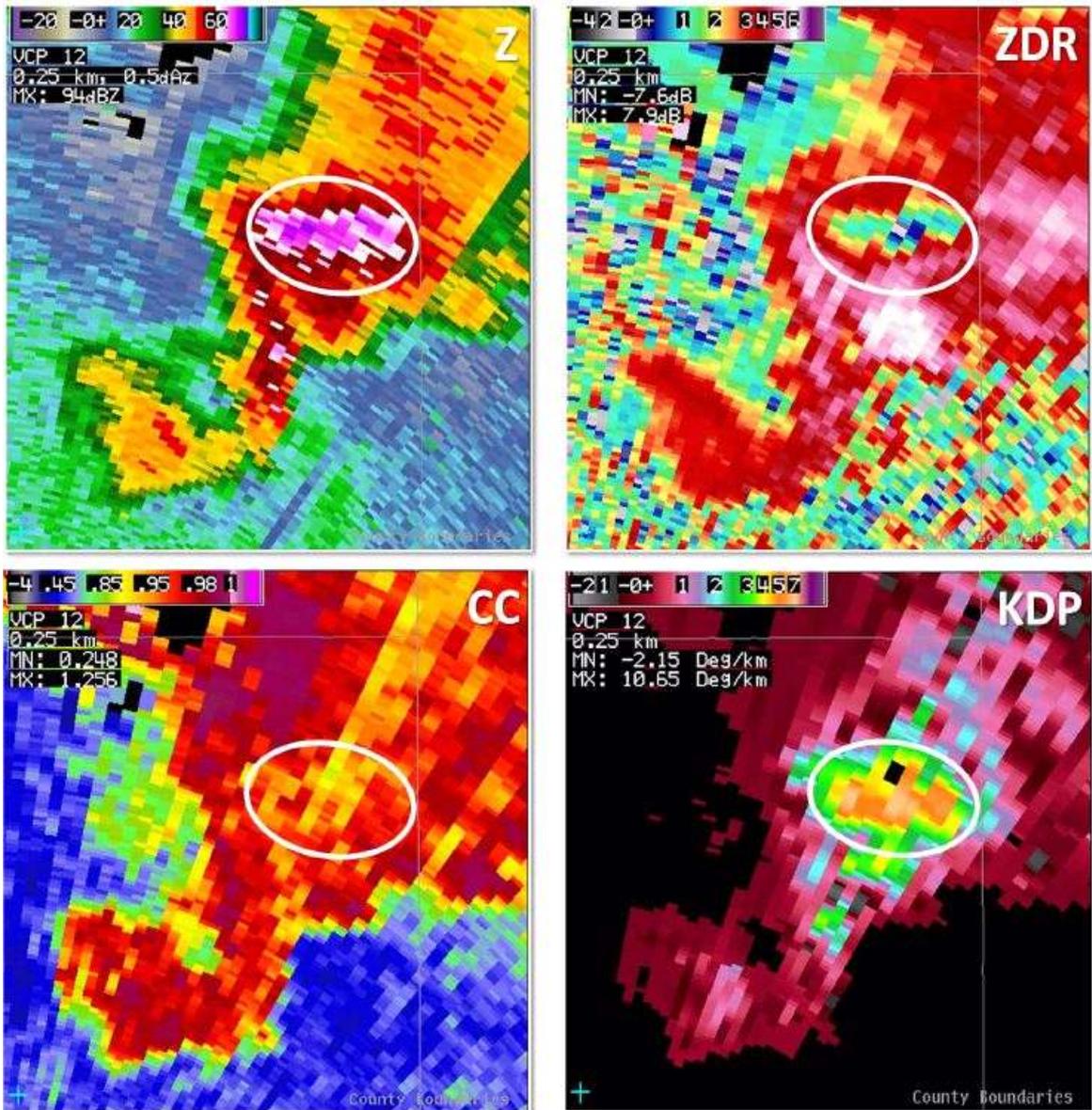


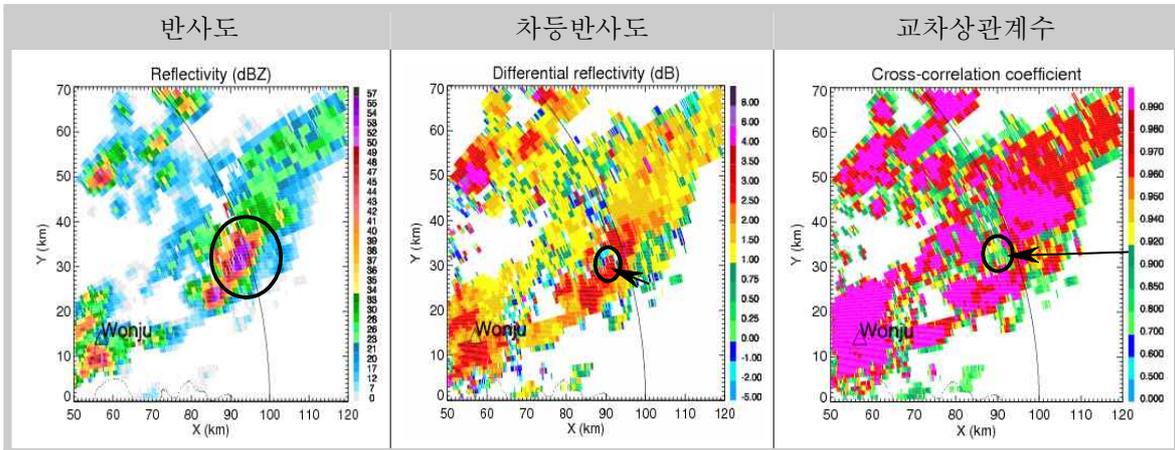
그림 3.4 우박 발생구역 (흰 색 타원)

○ 국내 우박사례에 대한 이중편파레이더 변수 분석

① 강원도 횡성 부근 우박사례(2014년 6월 10일 13:50~14:30)

- 지상 부근(고도각 0.5°) : 반사도 55 dBZ이상, 차등반사도 2~3.5 dB, 교차상관계수 0.90~0.96로 우박과 비가 혼합되면서 젖은 우박의 이중편파변수 특성이 잘 나타나고 있다. 부분적으로 빙정의 특성인 음의 차등반사도가 나타났다.
- 녹는 고도 부근(고도각 2.39°) : 반사도 40~47 dBZ, 차등반사도 1~1.5 dB, 교차상관계수 0.98이상으로 씨락눈과 우박과 같은 얼음입자의 변수 특성을 보인다.

※ 고도각 0.5° (횡성지점 고도 2.2 km)



※ 고도각 2.39° (횡성지점 고도 5.0 km)

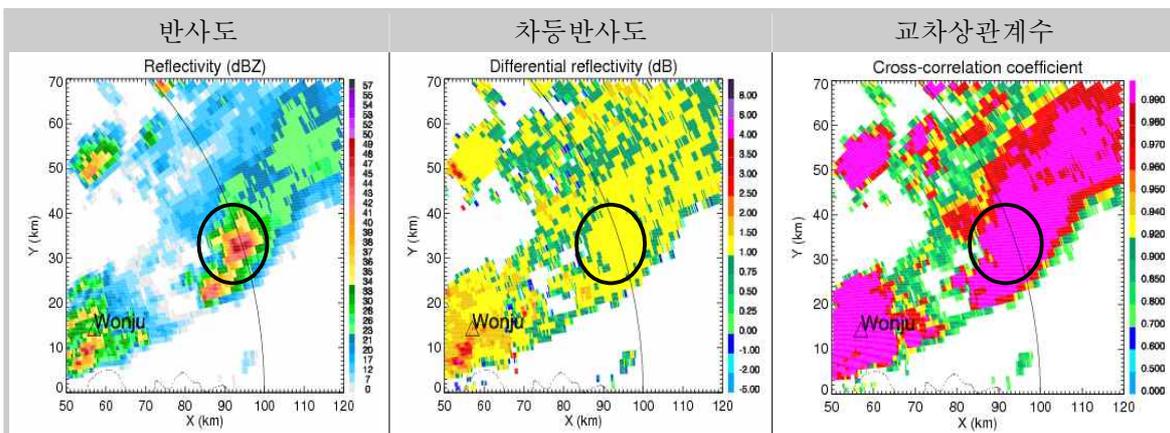


그림 3.5 2014년 6월 10일 14시경 반사도, 차등반사도, 교차상관계수 영상

② 경상북도 달성군 우박 사례(2012년 5월 8일 16시)

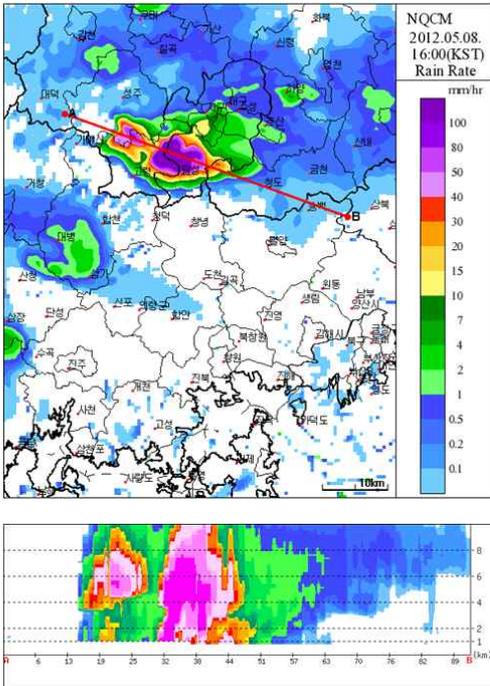


그림 3.6 합성영상 및 연직단면

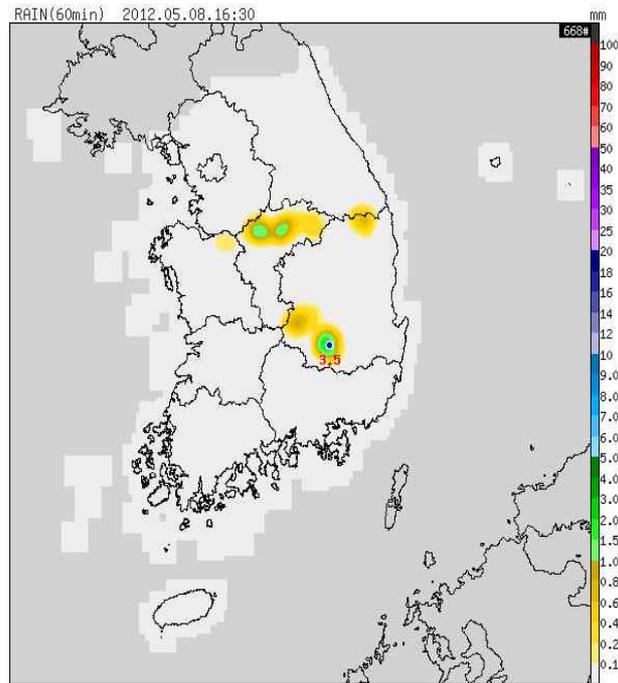


그림 3.7 AWS 누적강수량(1시간)

2012년 5월 8일 달성군, 청도군 부근에 우박이 관측된 사례이다. 16시경 달성군 부근에서 강우강도가 100 mm/h 이상으로 관측되고 있고, 중심셀의 에코탑이 10 km 이상으로 나타났다(그림 3.6). 그림 3.7에서 에코가 관측된 30분 이후에도 한 시간 누적 강우량이 3.5 mm이고 강우강도에 비해 기록된 강수량이 매우 적어 강수형태가 우박일 가능성이 높은 상태로 판단되는 상황이다. 그림 3.8을 통해 비슬산레이더 반사도 자료에서도 강한 대류셀이 나타난 것을 확인할 수 있다. 대류셀이 관측된 지점의 차등반사도 값은 주변 지역의 값 보다 높은 4~6 dB로 나타나고 있다. 대류셀 주변에는 채프에코가 혼재되어 있는데, 교차상관계수 자료에서 대류셀 에코 주변의 교차상관계수 값이 0.9 미만으로 낮게 나타나고 있고, 대류셀이 있는 지점에서는 0.98~0.99의 값을 확인할 수 있다. 비차등위상차 값은 채프에코 영역에서는 매우 높게 나타나고 있는 반면 대류셀 지점에서는 2~3°/km로 상대적으로 적은 값을 나타내고 있다. 차등반사도 값과 비차등위상차 값을 토대로 대류셀 내 우박과 약간의 우적들이 혼재된 상태로 판단된다.

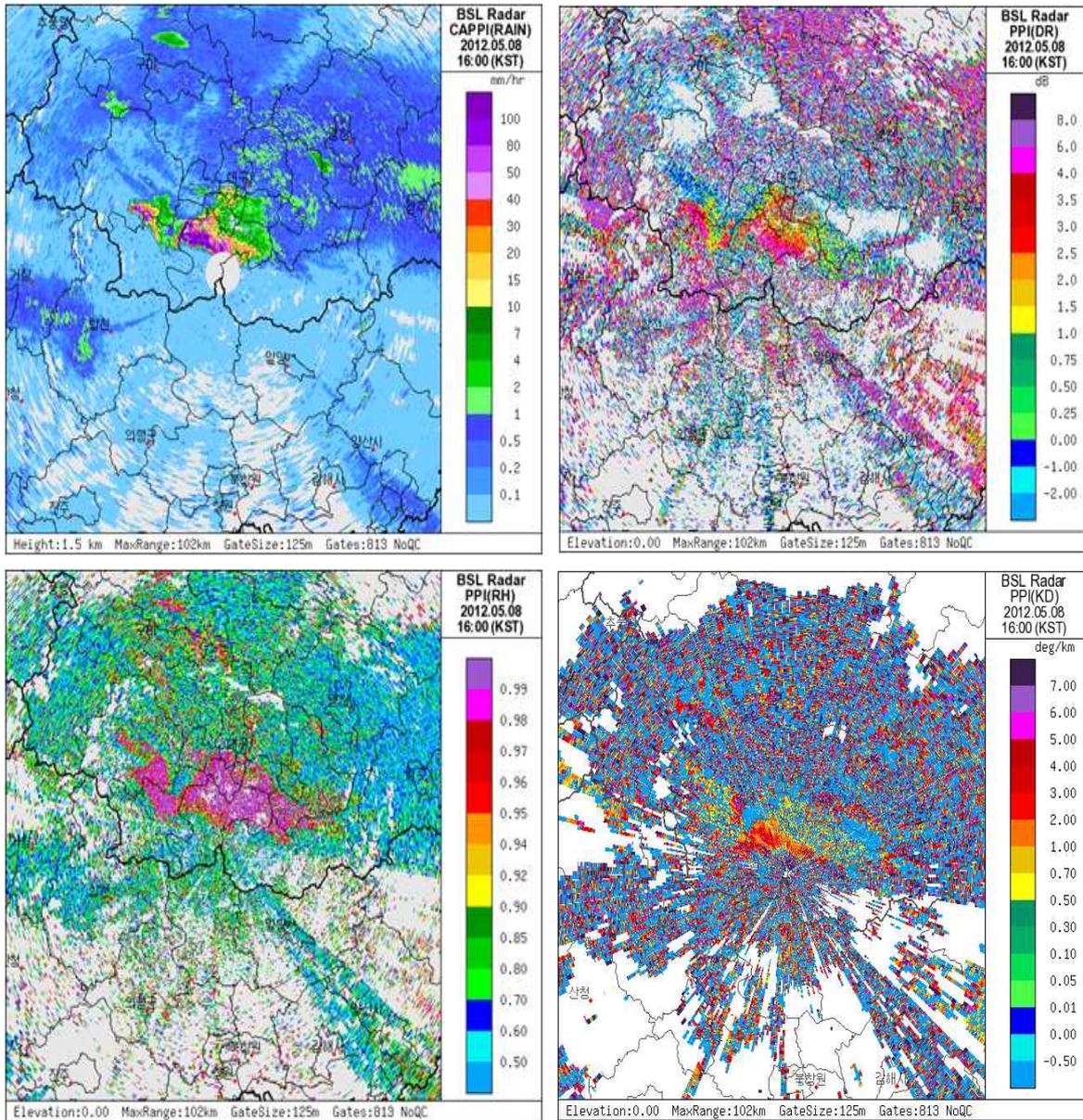


그림 3.8 비슬산레이더 영상 - 반사도(좌상), 차등반사도(우상), 교차상관계수(좌하), 비차등위상차(우하)

3.2 층상형 강우

◎ 분석요소

→ 반사도, 차등반사도, 교차상관계수, 차등위상차, 단열선도

■ 분석사항

- 밝은 띠 유무, 약한 반사도

○ 밝은 띠 고도 찾기

층상형 강수시스템의 대표적인 특징은 밝은 띠이다. 강수에코가 관측될 때 밝은 띠의 존재를 판별한다면 층상형 강수시스템일 가능성이 높다. 반사도 영상과 교차상관계수 영상 두 가지를 이용하면 밝은 띠를 쉽게 찾을 수 있다. 층상형 강수는 반사도가 대체로 40 dBZ 미만으로 낮게 나타난다.

한편, 0.5도 고도각 교차상관계수 영상에서 흰색 원 바깥쪽에 교차상관계수 값이 적은 것으로 보아 융해된 강설입자가 분포하고 있음을 알 수 있다(흰색 원 안쪽 영역은 비).

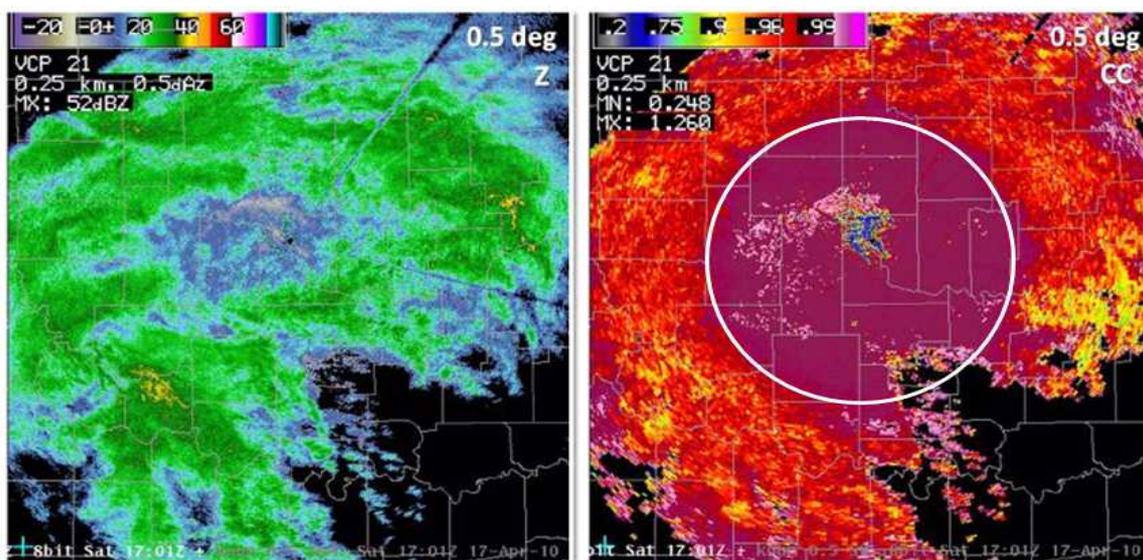


그림 3.9 반사도 영상(왼쪽), 교차상관계수 영상(오른쪽) - 밝은 띠 찾기(고도각 0.5°)

고도각을 올려 2.4도 교차상관계수 영상에서 전형적인 밝은 띠 구조가 나타난다. 낮은 고도각에서 높은 고도각으로 옮겨가면서 밝은 띠가 나타나는지 살펴보면 층상형 강수시스템을 쉽게 판별할 수 있다.

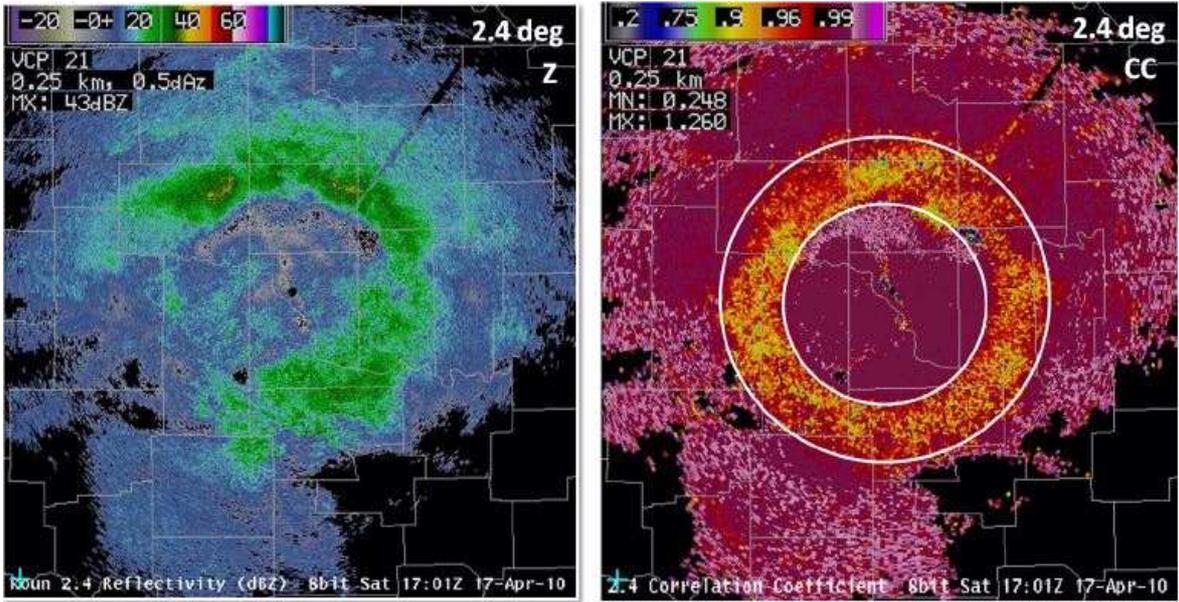


그림 3.10 반사도 영상(왼쪽), 교차상관계수 영상(오른쪽) - 밝은 띠 찾기(고도각 2.4°)

2.4도 고도각에서 차등반사도 영상 역시 밝은 띠 구조를 보여주고 있다.

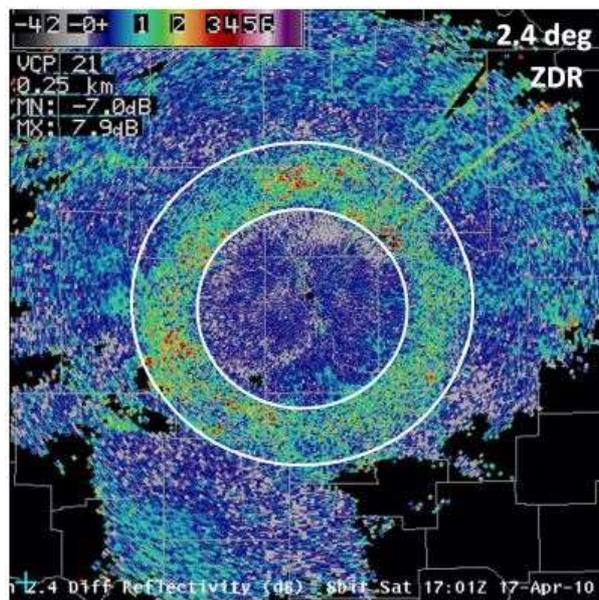


그림 3.11 차등반사도 영상 - 밝은 띠 찾기(고도각 2.4°)

○ 이슬비

이슬비는 강수강도가 매우 약하게 나타나는 것이 특징이다. 강수입자가 구형에 가깝기 때문에 차등반사도 값은 거의 0이며 강수입자의 분포가 균일하기 때문에 교차상관계수 값은 0.99 이상이다. 관측 볼륨 내에 입자의 수도 상대적으로 적기 때문에 차등위상차(ΦDP) 값은 적게 나타난다(그림 3.12).

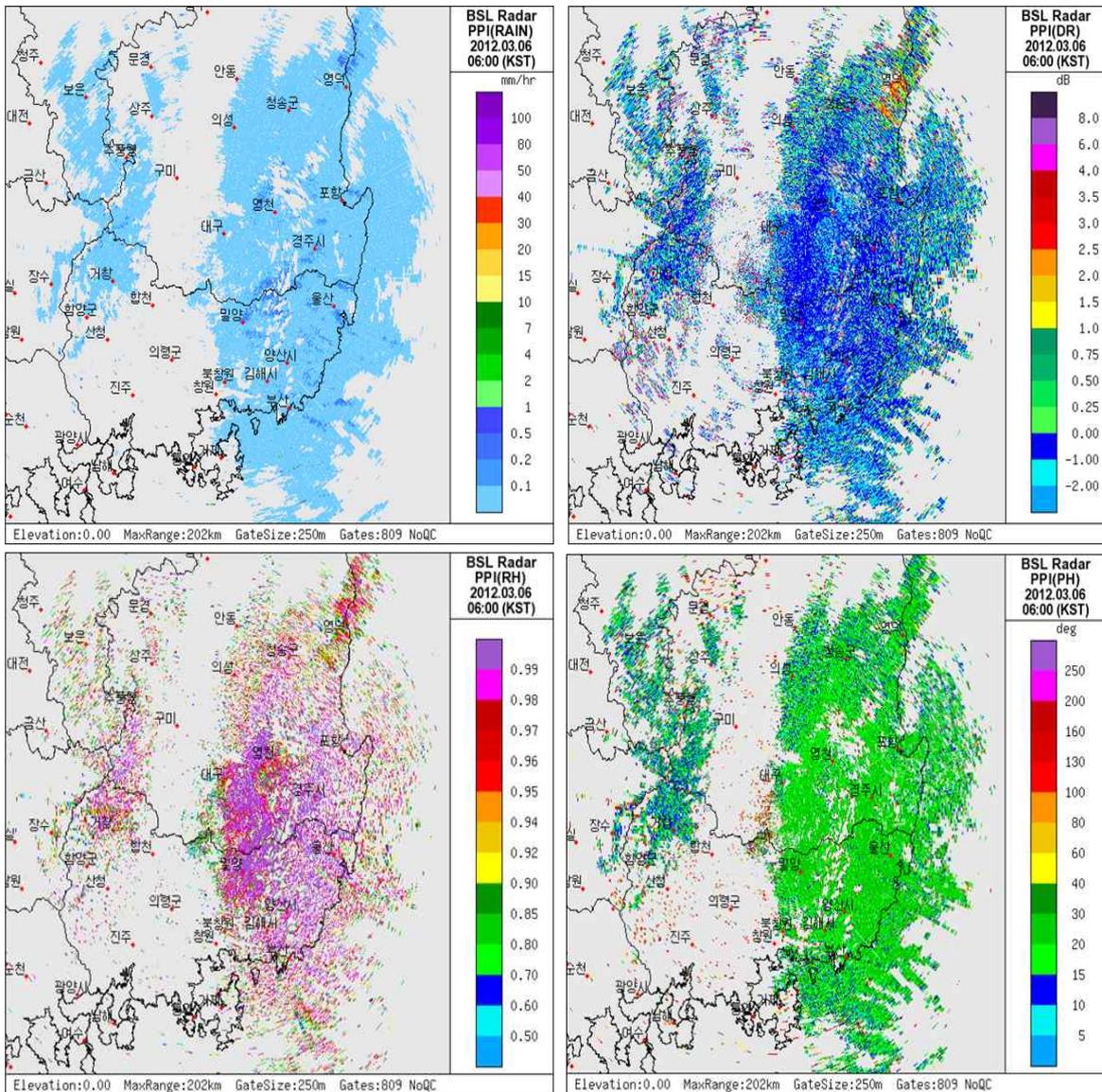


그림 3.12 비슬산레이더 영상 - 반사도(좌상), 차등반사도(우상), 교차상관계수(좌하), 차등위상차(우하)

○ 층상형 강우 사례

그림 3.13의 반사도 영상에서는 강우강도가 약한 층상형 강우형태를 보인다. 교차 상관관계수 영상을 통해서도 네모 박스 부분의 상관도가 낮은 경남 지역에서 눈과 비가 혼재되어 있는 것으로 분석할 수 있다. 그러나 실제 지상 실태에서는 눈 관측은 되지 않았고 비만 관측되었다.

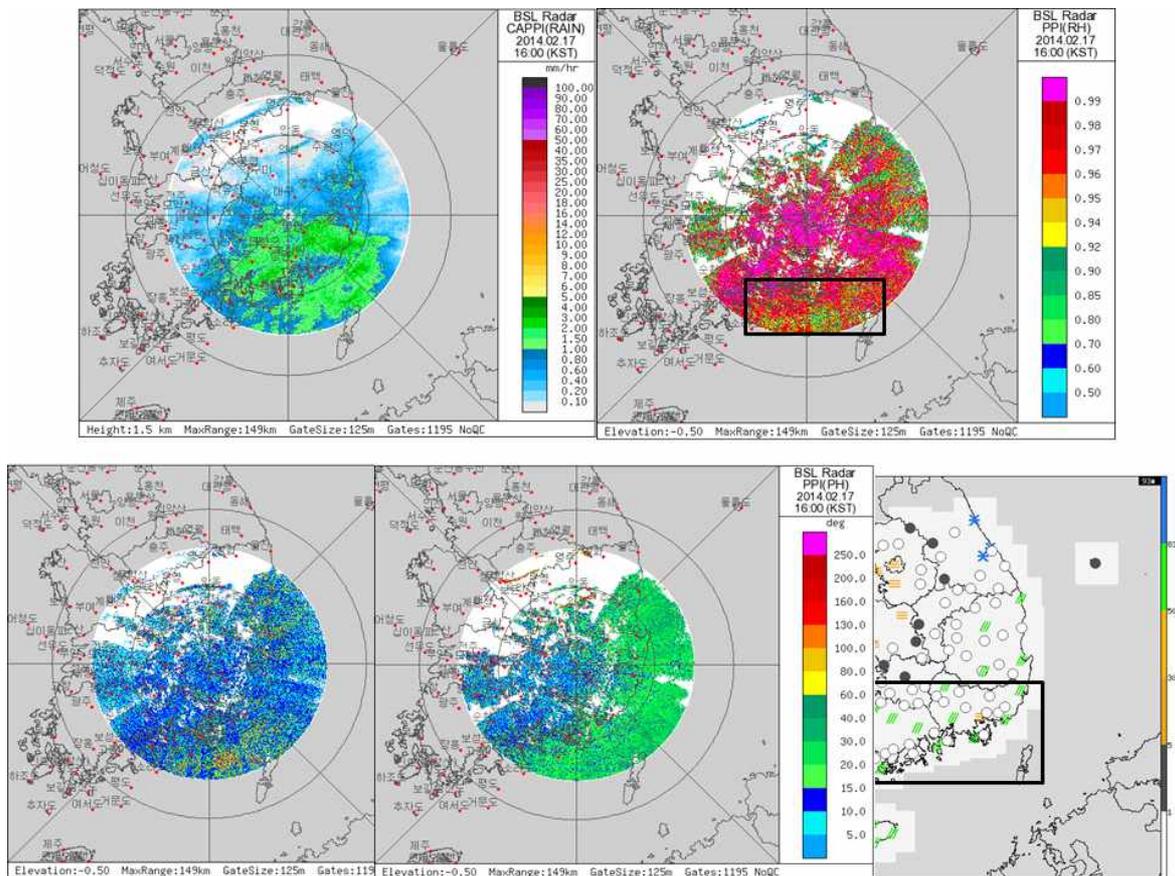


그림 3.13 비슬산레이더 영상

이 사례를 통해 레이더 중심으로부터 먼 거리의 영상은 고도가 높은 대기상층에 대한 정보를 나타내므로 이중편파 변수 정보가 실제 지상의 관측 현상과 다를 수 있음을 유의해야 한다.

3.3 대류형 강우(집중호우)

◎ 분석요소

→ 반사도, 차등반사도, 차등위상차(비차등위상차)

■ 분석사항

- 집중호우가 발생하면 반사도가 크다. 차등반사도도 비교적 크게 관측되며 차등위상차도 크다.

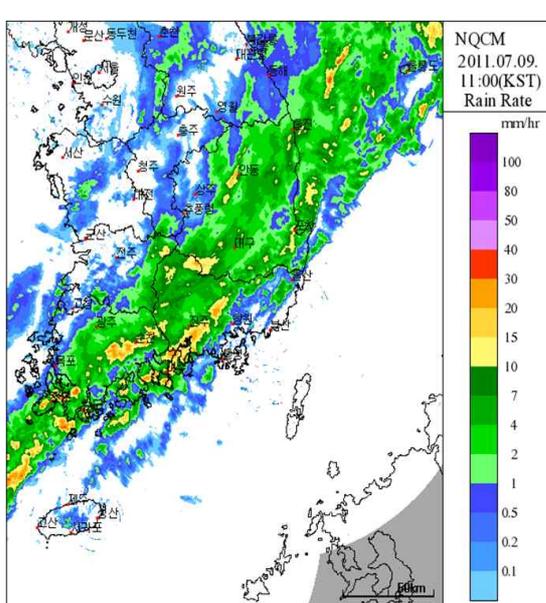


그림 3.14 합성영상

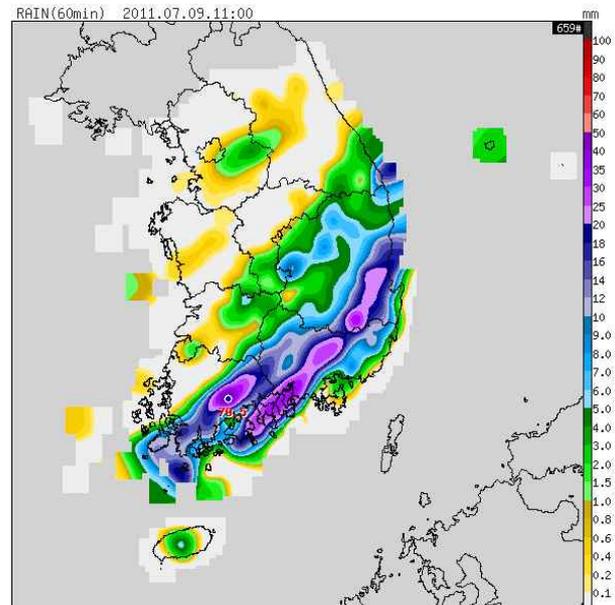


그림 3.15 AWS 누적강수량(1시간)

그림 3.14는 남해안과 경상 남북도 지역에 집중호우가 발생한 사례의 합성 영상이다. 그림 3.15는 시간당 50 mm에 육박하는 강한 강수역이 남해안과 경북 동해안에 분포하고 있음을 나타낸다. 그림 3.16의 비슬산레이더 반사도 자료에서 집중호우가 나타난 구역에 강한 강수에코가 관측되고 있다. 차등반사도 영상에서는 주변과 특별한 차이는 보이고 있지 않지만 교차상관계수 영상에서는 강한 강수 에코가 관측되는 영역에서 교차상관계수 값이 적게 나타나고 있다. 이는 크기가

다른 우적이 같은 공간에 분포하고 있어서 강우입자의 균일성이 낮다는 것을 알 수 있다. 또한 비차등위상차 값도 남해안 지역부터 경북 동해안 지역까지 1~2°/km로 높게 관측되어서 강우 입자의 수가 많음을 반영하는 집중호우 영역의 특징을 잘 나타내고 있다.

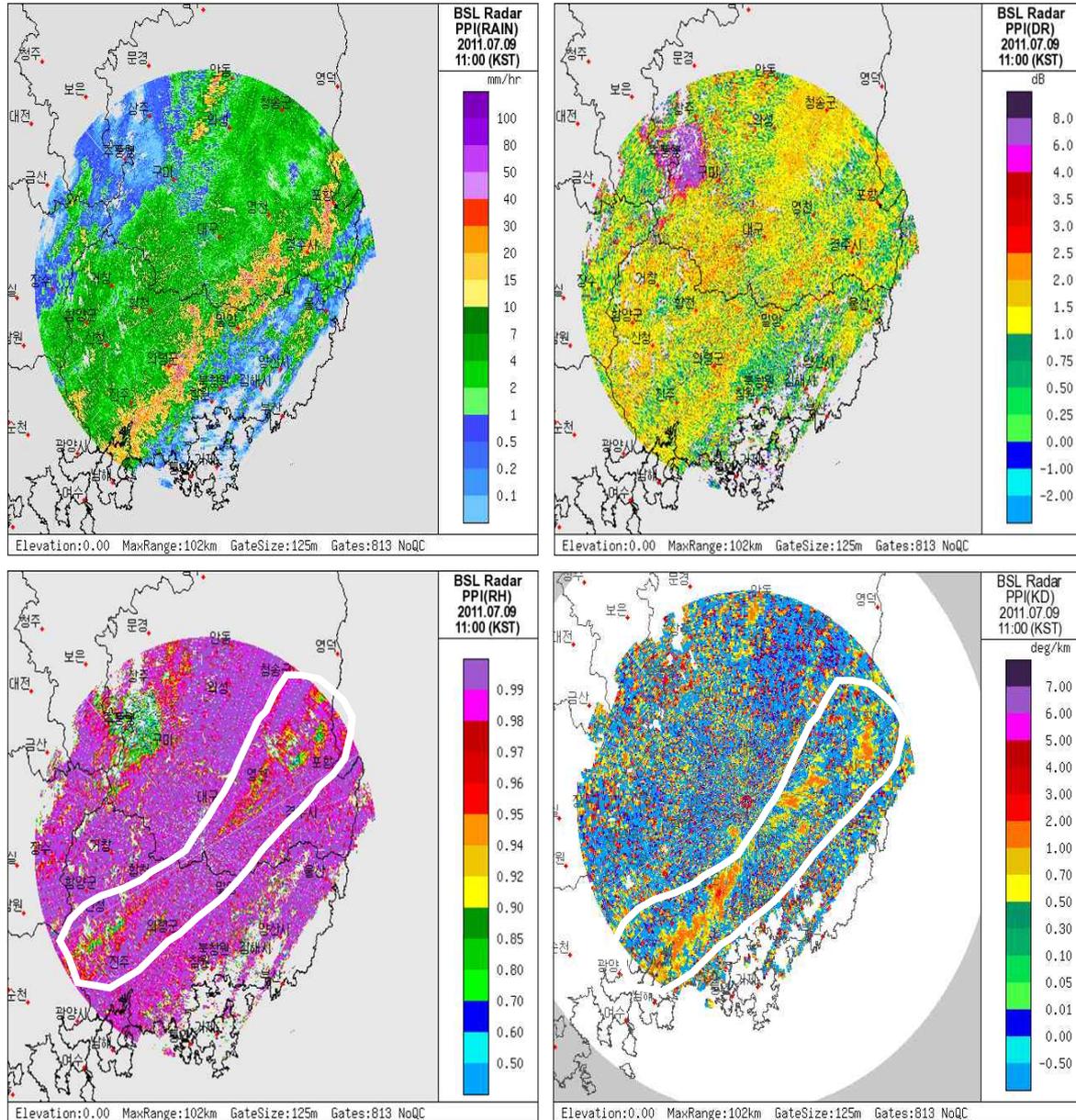


그림 3.16 비슬산레이더 영상 - 반사도(좌상), 차등반사도(우상), 교차상관계수(좌하), 비차등위상차(우하)

○ 2013년 8월 6일 집중호우 사례

그림 3.17 집중호우 사례에서 남부지방 내륙에서 강한 강수에코가 관측되고 있고 차등반사도 또한 높은 것을 확인할 수 있다. 교차상관계수는 상관도가 높아 단일형태 강수, 즉 비가 내리고 있음을 추정할 수 있고, 노란색 네모 영역에서 상관도가 낮은 부분이 존재하나 차등반사도 역시 큰 값이므로 우박 가능성은 낮다(우박이 포함되어 있으면 차등반사도는 낮음). 비차등위상차 또한 반사도값이 큰 지역에서 크게 관측되고 있다. 종합하면 반사도가 크고, 차등반사도, 비차등위상차 모두 크고 교차상관계수 값이 커 우박을 포함하지 않는 집중호우 구역임을 판단할 수 있다.

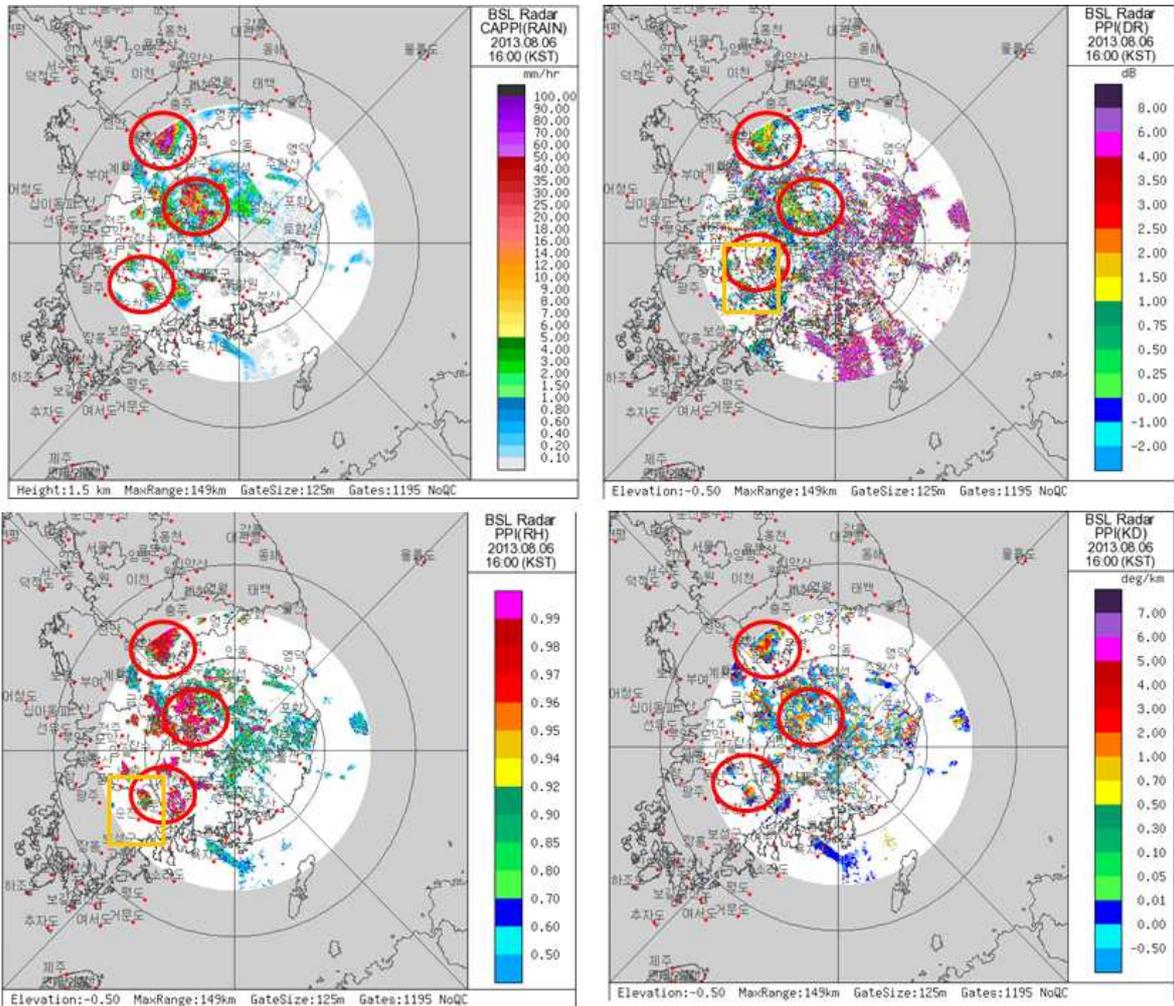


그림 3.17 비슬산레이더 영상 - 반사도(좌상), 차등반사도(우상), 교차상관계수(좌하), 비차등위상차(우하)

3.4 눈/비 구분

◎ 분석요소

→ 반사도, 차등반사도, 교차상관계수

■ 분석사항

- 비 또는 눈 단일 형태의 강수가 있는 곳은 교차상관계수가 높고 두 가지 이상 형태의 강수가 공존할 경우 교차상관계수는 낮게 관측된다. 밝은 띠가 분포하는 고도는 눈이 비로 바뀌는 곳이기 때문에 눈 입자와 비 입자가 공존, 교차상관계수가 낮다.

이중편파레이더의 장점 중 하나는 밝은 띠를 쉽게 판별할 수 있다는 것이다. 반사도 영상에서는 일반적인 밝은 띠의 모습을 볼 수 있다. 그림 3.18의 차등반사도 영상에서 화살표가 가리키는 곳에서 반사도 값이 증가하는 원인은 강설입자 길 부분만 녹았을 때 가로축 길이가 더 길기 때문이다. 화살표 반대방향의 0 dB 근처 영역(파란색 부분)은 융해고도 보다 고도가 높고, 화살표가 가리키는 방향 안쪽의 녹색으로 표출되는 부분(0 dB보다 약간 높은 값)은 융해고도 보다 고도가 낮다. 이는 바깥쪽 부분은 눈, 안쪽 부분은 비 형태로 강수입자가 분포함을 의미한다(눈 입자(건설)의 차등반사도는 0 dB에 가깝다). 같은 원리로 지상과 가까운 고도에서 눈, 비가 혼재되어 있다면 교차상관계수는 낮다.

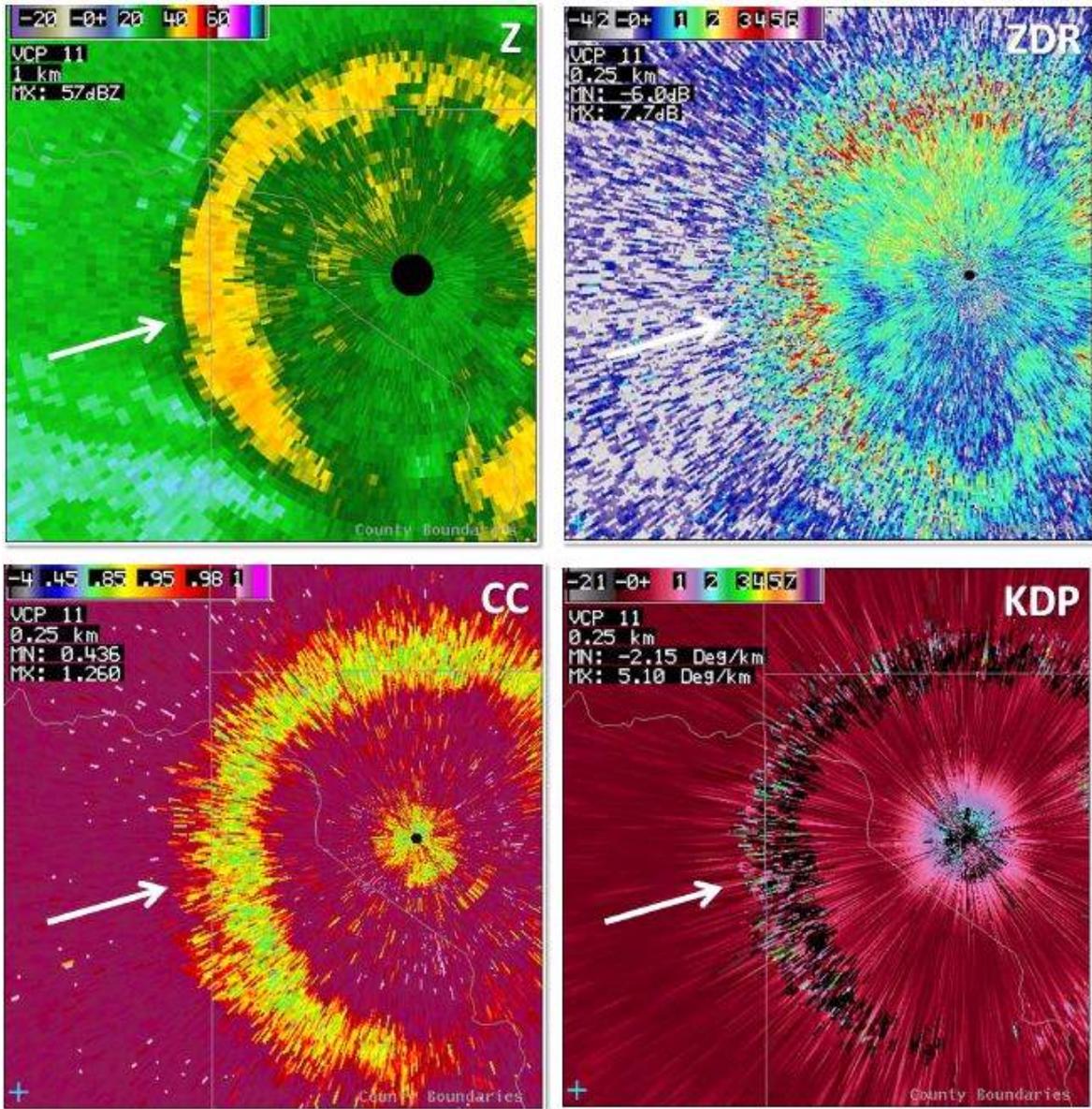


그림 3.18 반사도, 차등반사도, 교차상관계수, 비차등위상차 - 밝은 띠 사례

3.5 강우와 강설 비교

◎ 분석요소

→ 반사도, 차등반사도, 교차상관계수

■ 분석사항

- 눈은 반사도가 비교적 낮다. 순수한 눈 입자만 분포할 경우 교차상관계수가 높게 나오나 순수한 비 보다는 교차상관계수가 약간 낮다.

○ 비

비가 내릴 때 반사도는 보통 20 dBZ(그림에서 녹색계열) 내외로 표출된다(그림 3.19).

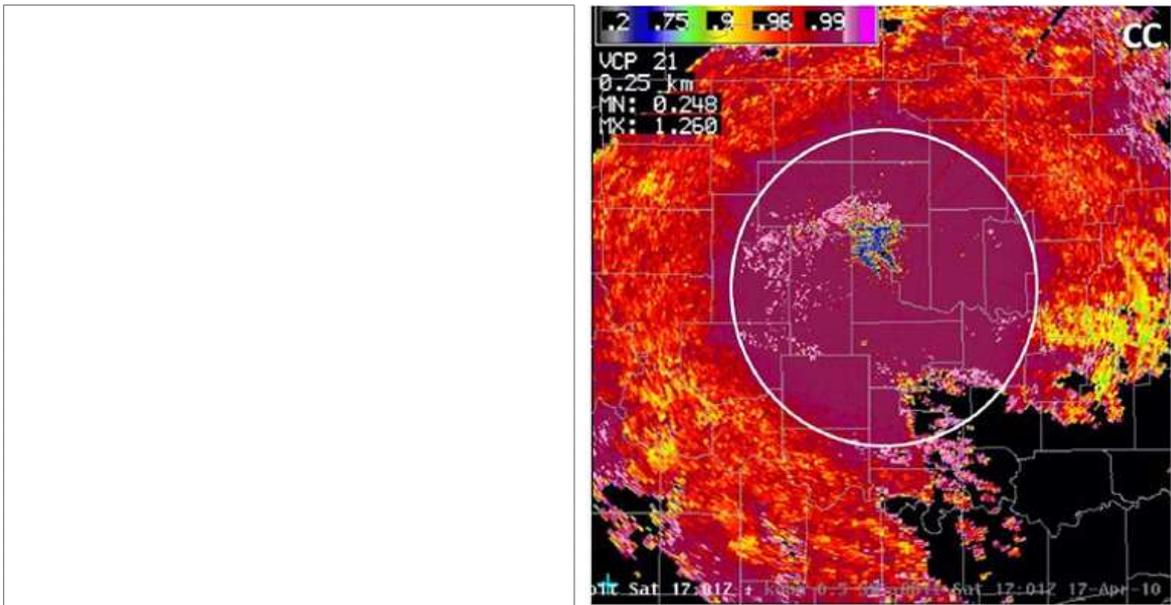


그림 3.19 반사도와 교차상관계수 - 비

그림 3.19에서 교차상관계수는 0.99 근처로 표출되고 흰색 원 안이 비가 관측되는 지역이다.

○ 눈

용해고도가 없으면 강수형태는 건설이 일반적이다. 건설의 경우 반사도는 40 dBZ 미만, 교차상관계수 값은 0.97 이상으로 매우 높은 편이고, 차등반사도는 상당히 적은 값이지만 0 dB보다 약간 높은 편이다. 다음의 교차상관계수영상에서 흰색 실선 안쪽 영역의 교차상관계수 값이 매우 높은 편이고 차등반사도 값은 0.2 정도로 전형적인 건설의 예를 보여주고 있다.

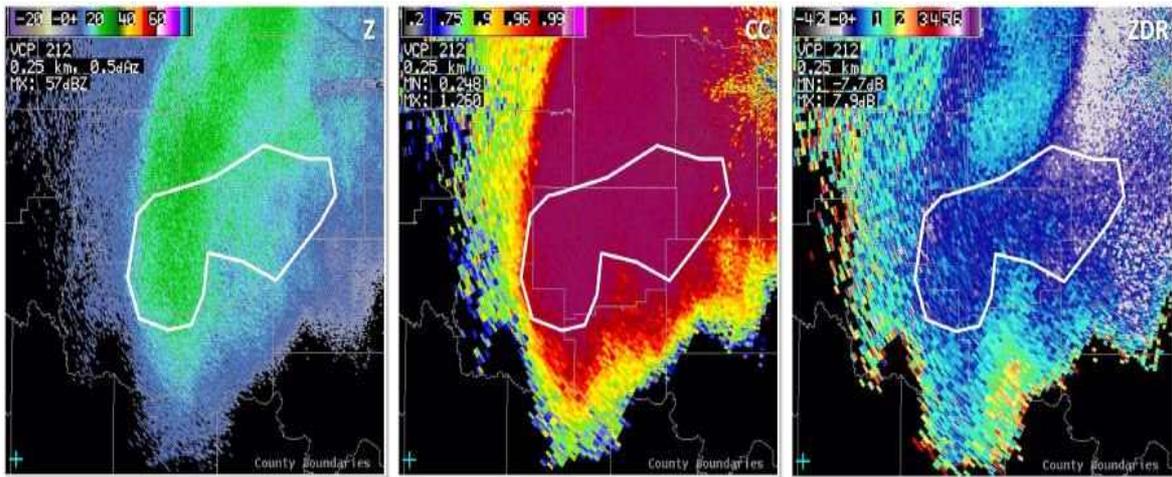


그림 3.20 반사도 영상(왼쪽), 교차상관계수영상(중앙), 차등반사도 영상 - 눈

3.6 채프에코

◎ 분석요소

→ 차등반사도, 교차상관계수

■ 분석사항

- 채프에코는 교차상관계수가 낮다. 채프와 강수가 혼재되어 있다면 교차상관계수가 높은 부분만 강수 영역으로 바로 판단할 수 있다.

채프에코는 확산하면서 수평으로 길게 늘어선 모양이 일반적이며, 차등반사도 값은 대체로 양의 값을 보이거나 상당히 높은 값을 나타낼 때도 있다. 그림 3.21의 채프에코 사례에서 차등반사도값은 5~8 dB를 나타내고 있다. 교차상관계수 값은 매우 적은 값을 가지며 보통 0.6 이하이다. 특히 비강수 에코를 분석할 때 교차상관계수 값을 이용하면 유리하다.

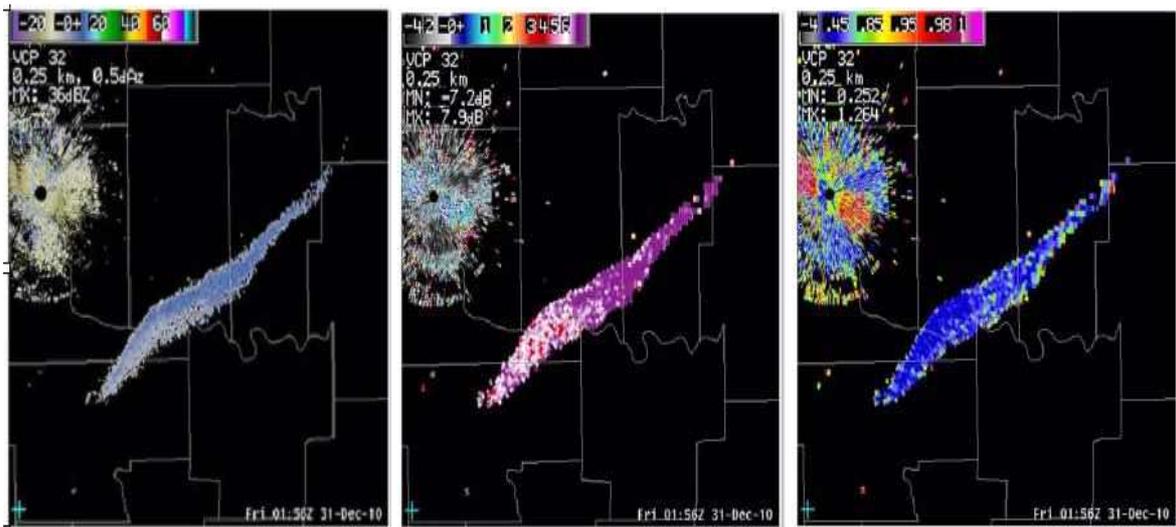


그림 3.21 채프에코

○ 눈/채프

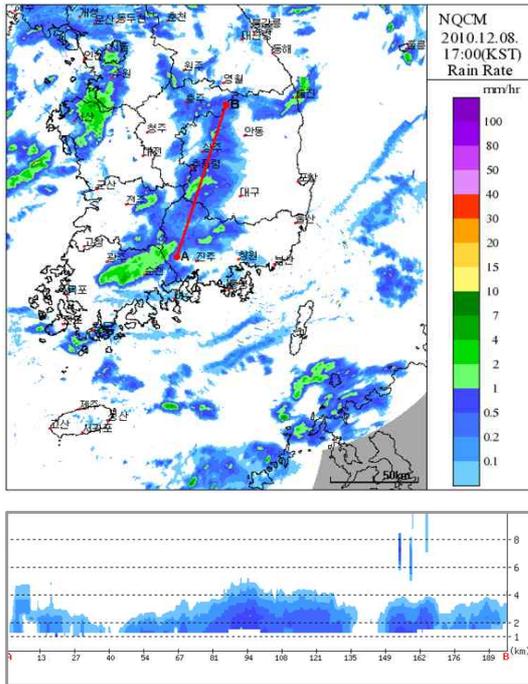


그림 3.22 합성영상 및 연직단면

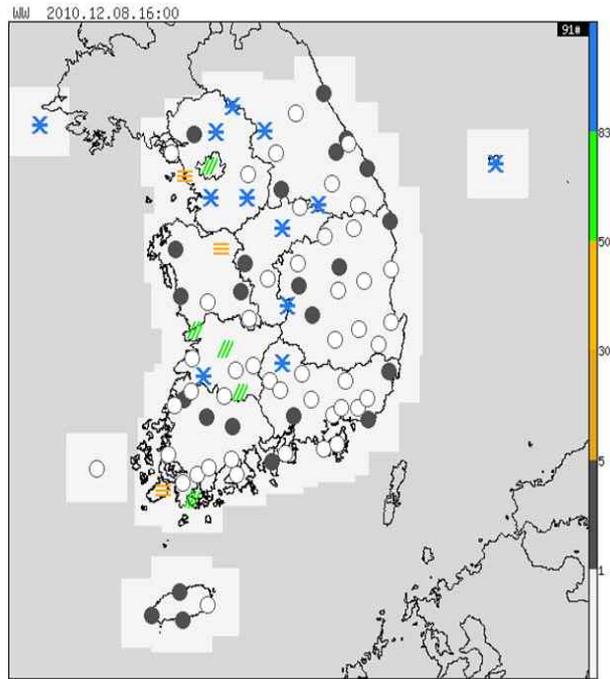


그림 3.23 강수실황

그림 3.22와 그림 3.23은 강설에코와 채프에코가 혼재되어 있을 경우의 사례로 올진 부근의 채프와 동해 남부해상의 채프가 이중편파레이더 영상에서 구분되어 표출되고 있다. 그림 3.24 반사도 영상에서는 구분이 어렵지만, 차등반사도 값은 채프에코 영역에서는 불규칙적인 패턴을 보여 주고 있고, 교차상관계수 값은 확실히 낮게 관측되어 강수에코 영역과 확연히 구분되는 모습이다.

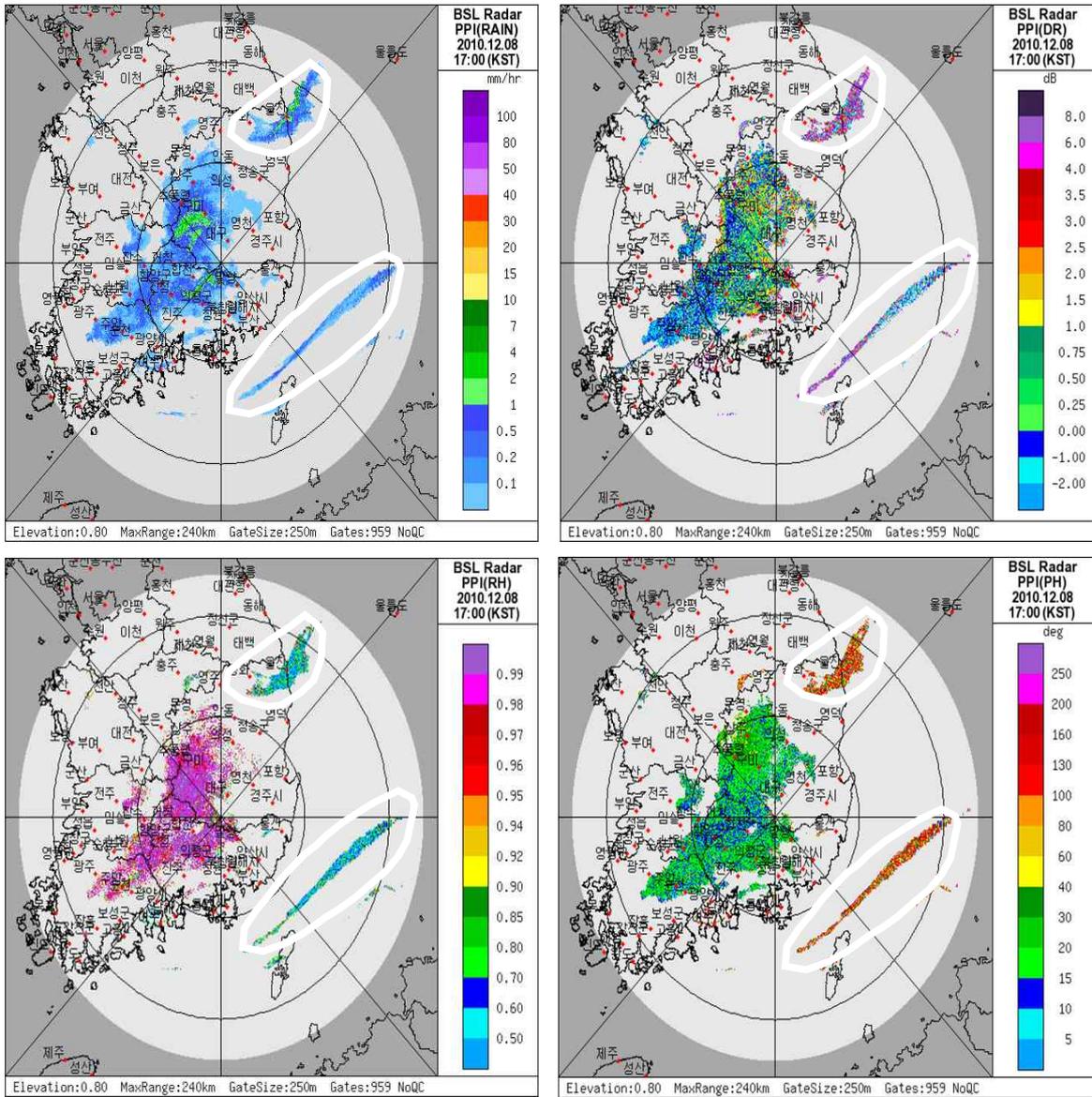


그림 3.24 비슬산레이더 영상 - 반사도(좌상), 차등반사도(우상), 교차상관계수(좌하), 차등위상차(우하)

그림 3.25에서도 교차상관계수만을 이용해 강수에코와 채프에코가 혼재되어 있을 때 강수에코만을 쉽게 구분할 수 있음을 보여준다. 대체적으로 그림 3.25에서 녹색으로 표출되는 영역이 채프에코이다.

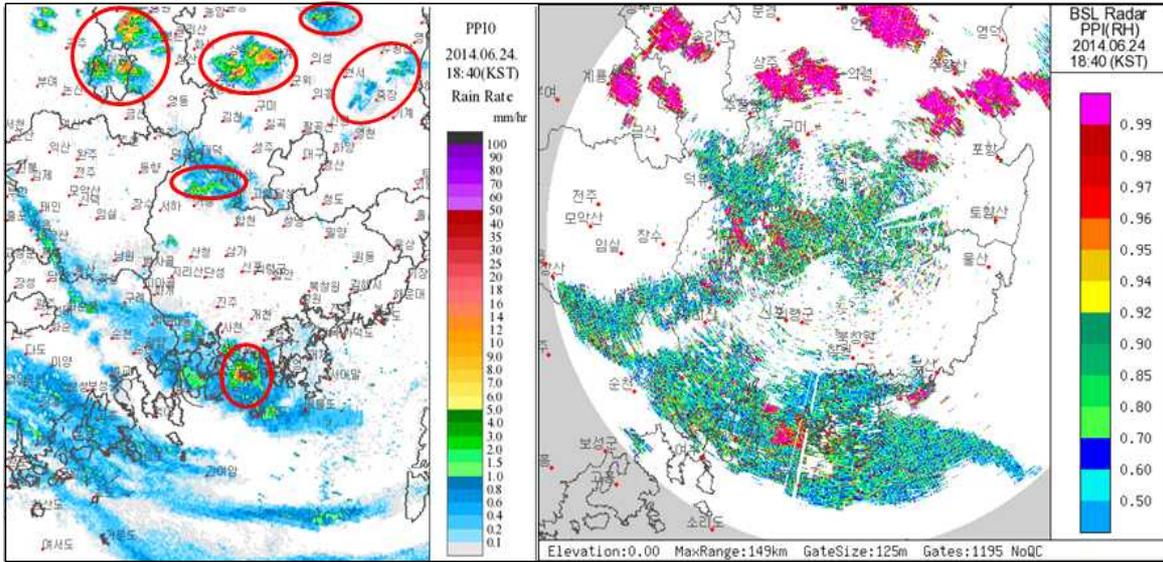


그림 3.25 반사도와 교차상관계수

제4장 결론

본 가이드선에서는 차등반사도, 교차상관계수, 차등위상차 및 비차등위상차와 같은 이중편파변수의 특성에 대해 소개하였고, 각 변수를 활용하는 방법을 강수형태, 비강수에코 등 사례별로 제시하였다. 제시된 활용법을 통해 이중편파변수를 활용하면 단일편파레이더로만으로는 분석할 수 없었던 부분을 분석할 수 있어 강수예보 및 위험기상 감시에 상당한 개선이 기대된다. 그러나 레이더빔은 거리가 멀어짐에 따라 고도가 높은 곳을 관측함으로써 눈/비 구분과 같은 분석은 어떤 지역에서는 지상보다 높은 상층대기에 대한 정보이므로 실제 지상실황과 다를 수 있다는 한계가 뒤따른다. 그리고 국내 이중편파레이더를 이용한 사례분석이 아직 부족하여 외국 사례에서 분석된 이중편파변수 기준값을 참고로 하고 있어 향후 지속적인 사례 및 분석 경험의 축적을 통하여 다양한 국내 기상실황에 적합한 이중편파변수 활용 기술 개발이 지속될 필요가 있다.

기상레이더센터 기술노트 발행목록

- WRC2010-01 : 채프에코 식별 및 제거 알고리즘
- WRC2010-02 : 레이더 강수량 예측시스템 활용 매뉴얼
- WRC2010-03 : 레이더 기반 태풍 추적 및 감시
- WRC2010-04 : 레이더 반사도 합성기법 분석
- WRC2010-05 : 이중편파 기상레이더 밴드 특성

- WRC2011-01 : 강릉기상레이더 운영을 위한 기술노트
- WRC2011-02 : 기상레이더를 이용한 조류이동 감시
- WRC2011-03 : 레이더 모멘트자료 표준형식 지정을 위한 자료형식 분석
- WRC2011-04 : 클러스터링 및 퍼지추론기법을 이용한 채프에코 식별
- WRC2011-05 : 낙뢰관측자료 통합표출 알고리즘 개발
- WRC2011-06 : 2011년 레이더자료 공동활용시스템 개발
- WRC2011-07 : 레이더자료 품질관리 모듈 개발
- WRC2011-08 : 레이더를 활용한 중규모 사례 분석
- WRC2011-09 : 레이더 분석 현업업무 매뉴얼

- WRC2012-01 : 이중편파레이더 자료 활용법
- WRC2012-02 : 2012년 여름철 위험기상 레이더 분석 보고서

- WRC2013-01 : 2012년 겨울철 위험기상 레이더 분석 보고서
- WRC2013-02 : 기상레이더 자료분석 가이드스
- WRC2013-03 : 레이더 바람자료 품질검증 기술노트
- WRC2013-04 : 대기수상체 분류 알고리즘 사용자 매뉴얼
- WRC2013-05 : 에코 종류별 이중편파변수 특성 분석 보고서
- WRC2013-06 : 레이더 기반 뇌우탐지 기술 보고서

WRC2013-07 : S밴드 이중편파레이더 정량적 강수량 시험기술 개발(I)

WRC2013-08 : 2차원 영상우적계 관측자료의 시뮬레이터 활용방안

WRC2013-09 : 레이더자료 퍼지 품질관리 알고리즘 최적화 연구

WRC2013-10 : 대기수상체 분류 알고리즘 검증 및 사례분석 I

WRC2014-01 : 위험기상 유형별 이중편파레이더 영상분석 가이드스