WRC Weather Radar Center

레이더 영상분석

기초이론(3)

2015.4.-5.

기상레이더센터 레이더분석과

이중편파레이더 관측 개요

- 전세계가 이상기상현상으로 게릴라성 폭우, 폭설, 기습한파, 우박 등 자연재해 급증

(폭설, '10.1.5)

(서울 104년만의 물폭탄, '11.7.27)

(대구,경북지역 우박, '13.5.8)

- 기상레이더센터는 2018년까지 첨단성능의 단일모델(S밴드) 이중편파레이더 관측망으로 전환 추진

연 도	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
지 점	백령도 테스트베드	진 도	면봉산	관악산, 구덕산	광덕산, 고 산	성 산, 강 릉, 오성산

이중편파레이더 관측 특성

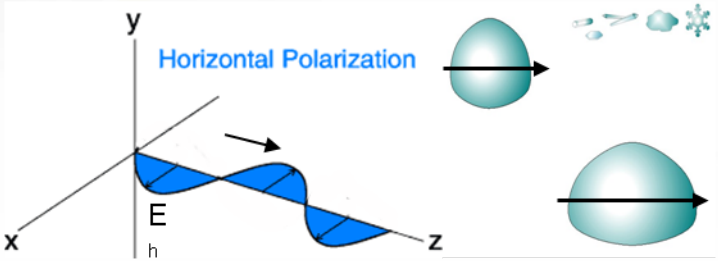
Table 1. The observation characteristics and application of RADAR.

레이더 구분	관측 특성	활 용
일반 레이더 (Conventional radar)	Z (반사도, 강도)	물체의 존재 및 상대적 위치 파악
도플러 레이더 (Doppler radar)	일반레이더 + (도플러 속도), SW (스펙트럼 폭)	물체의 존재 및 상대적 위치 + 물체의 운동 탐지
편파 레이더 (Polarimetric radar)	도플러 레이더 + $\mathbf{Z_{dr}}$, LDR, ϕ_{dp}, K_{dp}, ρ_{hv}, 등	물체의 존재 + 물체의 종류 (특성) + 물체의 위치 및 운동 탐지, 구름물리 연구

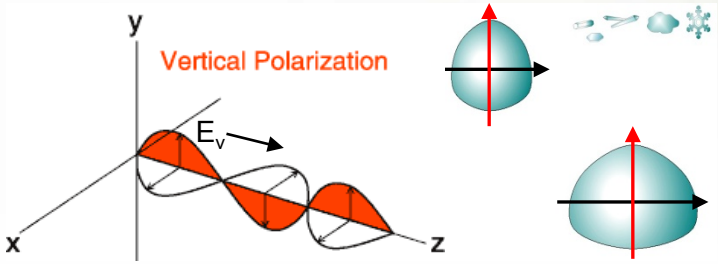
이중편파레이더 정의

이중편파 레이더란 ?

- 2개의 파 (수평파, 수직파) 를 송신하여 되돌아오는 파를 분석
- 수평파와 수직파의 수신신호와 그 차이를 분석하여 강수량, 강수 종류, 형태 등을 산출



< 단일편파 레이더 >



< 이중편파 레이더 >

이중편파레이더 관측변수

단일편파 도플러 레이더

- 반사도 (Z)
  - 물체의 위치와 강도 파악
- 시선속도 (Vr)
- 스펙트럼 폭 (SW)
  - 물체의 운동 탐지

이중편파 레이더

- 반사도 (Z)
- 시선속도 (Vr)
- 스펙트럼 폭 (SW)
- 차등반사도 Differential Reflectivity (Z_{DR})
- 차등위상차
  Differential Phase (Φ_{DP})
- 비차등위상차
  Specific Differential Phase (K_{DP})
- 상관계수
  Co-polar cross-correlation coefficient (ρ_{HV})

❖ 이중편파 레이더는 입자의 크기, 모양, 지향, 밀도, 수분 함량 등에 대한 매우 중요한 정보를 제공함.

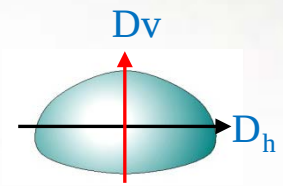
반사도 인자

반사도 인자(Z_h, Z_v)

- 수평 혹은 수직편파에서 단위체적(unit volume)당 레이더 반사도 인자

$$Z_h = \int_0^{D_{max}} N(D) D_h^6 dD \, (\mathrm{mm}^6/\mathrm{m}^3)$$

$$Z_v = \int_0^{D_{max}} N(D) D_v^6 dD \, (\mathrm{mm}^6/\mathrm{m}^3)$$



- 수평 혹은 수직편파 반사도 = $10\log Z_{h,v}$ (dBZ)
- 레이더 반사도는 입자의 수(N(D))와 직경(D)의 6승에 비례

  => 반사도는 입자의 크기에 더 민감

차등반사도

차등반사도(Differential Reflectivity, Z_{DR})

❑ 정의

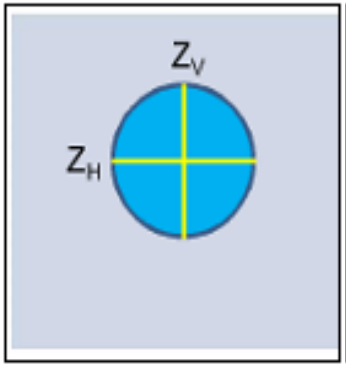
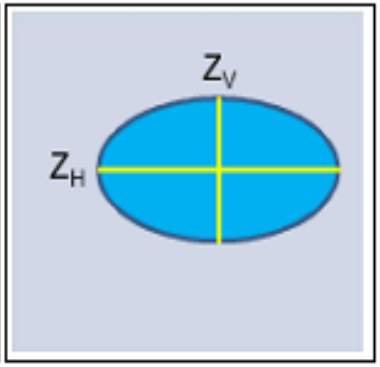
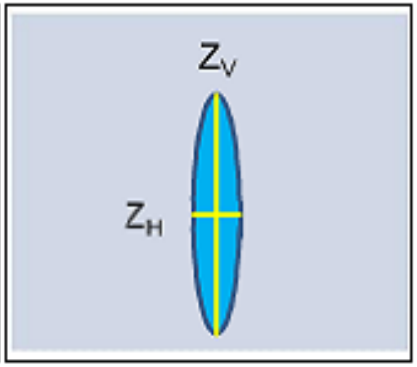
- 수직편파반사도에 대한 수평편파 반사도의 비율(단위: dB)

$$Z_{DR}(dB) = 10\log_{10}\left(\frac{Z_h}{Z_v}\right) = Z_H(dBZ) - Z_V(dBZ)$$

❑ 일반물리적 해석

- 레이더관측샘플링 안에 지배적으로 존재하는 대기수상체의 평균모양을 나타내는 좋은 지표

- 강우
- 우박
- 강설/빙정입자
- 비기상에코

구형 (이슬비, 작은 우박 등)	수평적으로 퍼진 모양 (큰 수적, 녹는 우박 등)	수직적으로 긴 모양 (수직적으로 긴 형태의 방향입자)
		
$Z_H \sim Z_V$	$Z_H > Z_V$	$Z_H < Z_V$
$Z_H - Z_V \sim 0$	$Z_H - Z_V > 0$	$Z_H - Z_V < 0$
$Z_{DR} \sim 0$ dB	$Z_{DR} > 0$ dB	$Z_{DR} < 0$dB

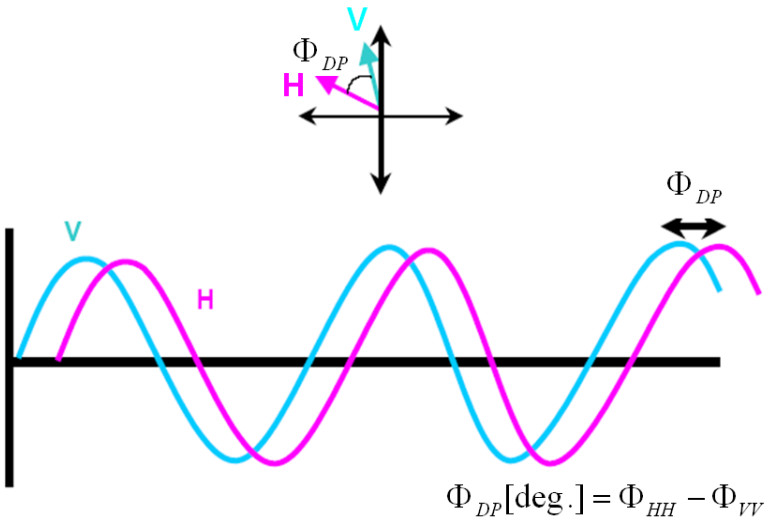
차등위상차

차등위상차(Differntial Phase ,Φ_{DP})

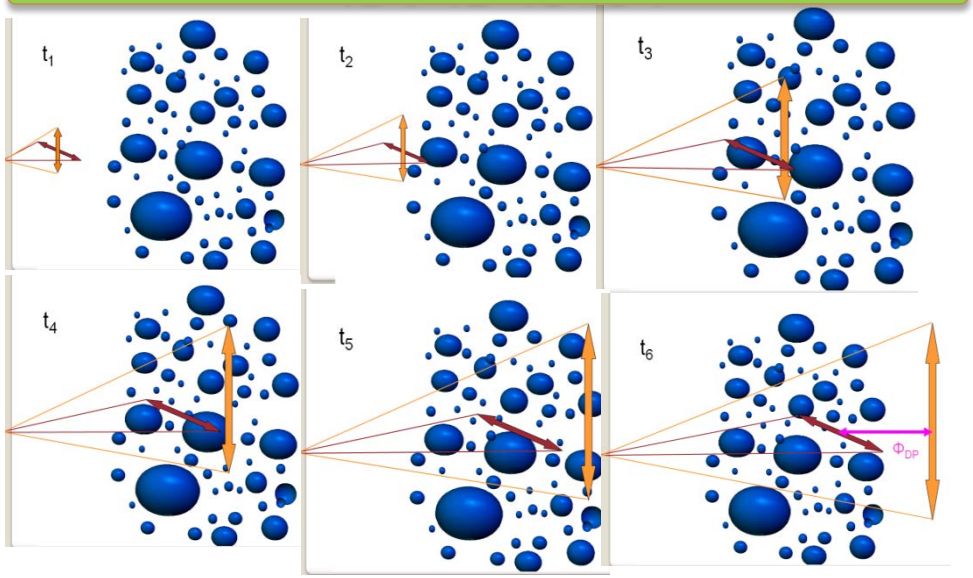
❑ 정의

– 차등위상차(Φ_{DP}): 수평편파와 수직편파 펄스간의 위상차이(단위: degree)

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



< 시간에 따른 차등위상차>



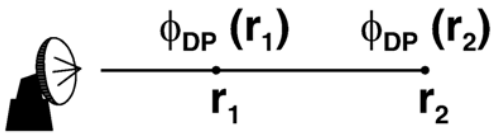
- 주어진 경로상의 주어진 지점에서 수평편파와 수직편파의 위상차의 합이 전파경로를 따라 축적된 값
- 빗방울의 경우 보통 수평적으로 퍼져있기때문에 수평축이 연직축보다 더 길어 레이더파의 전파경로가 연직보다 수평으로 더 길다($\Phi_{HH}>\Phi_{VV}$)
- 대기수상체의 크기, 형태, 방향, 양, 레이더로부터의 거리 등에 따라 다른 시간(time) 단위의 누적위상 편이(accumulative phase shift) 가 생김

비차등위상차

비차등위상차(Specific Differential Phase, K_{DP})

❑ 정의

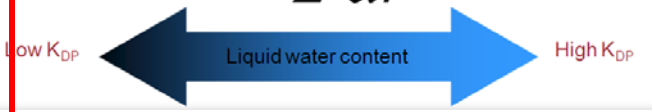
–비차등위상차(KDP): 단위거리에 차등위상차의 변화율(단위: degree/km)



$$K_{DP} = \frac{d\phi_{DP}}{2\,dr} \approx \frac{\phi_{DP}(r_2) - \phi_{DP}(r_1)}{2\,(r_2 - r_1)}$$

r1, r2: 각각 레이더로부터의 거리

$$K_{DP} = \frac{1}{2}\frac{d}{dr}\Phi_{DP}$$



장점 : 레이더 하드웨어의 보정, 부분적인 빔차폐의 영향을 받지 않음

부분적인 빔차폐 발생의 경우, 레이더반사도 인자는 감소하지만

K_{DP}는 전파가 산란되고 되돌아오는 한 부분적인 빔차폐의 영향을 받지 않아

정량적인 강수량 추정 활용에 좋음

교차상관계수

교차상관계수(Cross-correlation Coefficient, ρ_{hv})

❑ 정의

- 수평편파와 수직편파 펄스신호의 상관관계(0~1, 무차원)

$$\rho_{HV} = \frac{\left\langle s_{vv} s_{hh}^{*} \right\rangle}{\sqrt{\left\langle | s_{hh} |^{2} \right\rangle}\sqrt{\left\langle | s_{vv} |^{2} \right\rangle}}$$

S : power
< > : mean

수평편파와 연직편파의 후방산란 중 동일편파 성분만 고려하여 상관계수 계산

<> : 강수입자의 크기, 모양, 경사각이 통계적으로 분포한다고 가정했을 때의 기대치

s_{hh}^{*}는 s_{hh}의 공약복소수, 90° 위상차이가 있음을 의미

- 강수입자의 형태, 크기, 종류, 개수 등의 성질이 균일하게 분포하는 경우와 눈과 비가 혼재된 상태와 같이 2가지 이상 다른 형태의 강수입자가 공존하는 경우, 강수입자와 비강수 입자가 섞여 있을 경우를 구분해서 판단할 수 있게 해 주는 이중편파변수

=> 즉, 레이더의 관측샘플링 안에 입자가 얼마나 잘 정렬되어있는지를 나타내는 것으로 지형에코 등의 비기상에코는 값이 낮게 나타나고, 눈이나 비 등의 강수입자는 값이 높게 나타남.

따라서 교차상관계수는 강수에코와 비강수에코를 구분하는데 유용함

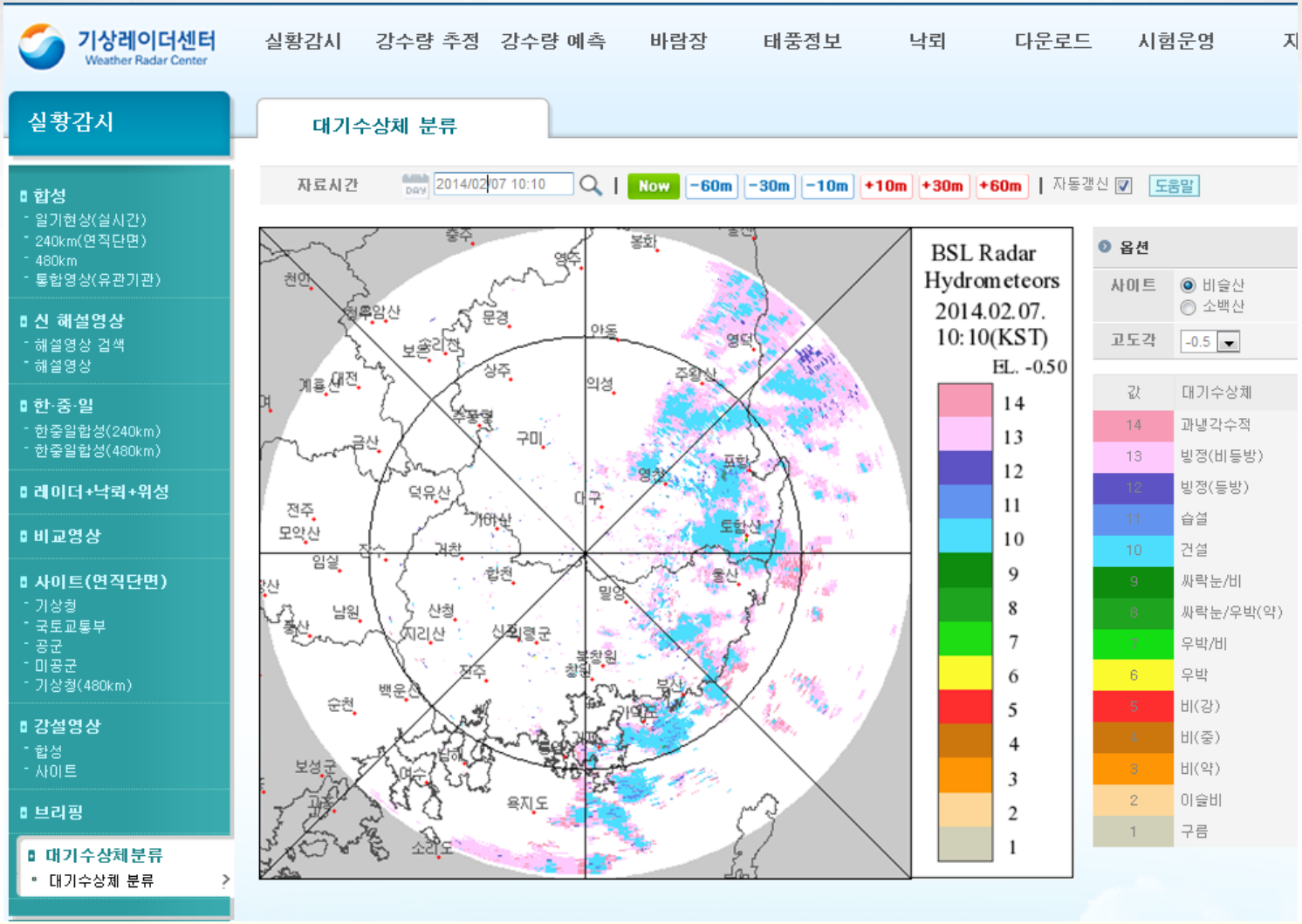
이중편파레이더 변수 적용 및 장점

Table Applications and advantages of Radar observables (Bringi et al., 2005).

적용 및 장점	Z_h	Z_{dr}	K_{dp}/φ_{dp}	ρ_{HV}
강우강도의 추정의 정확성 향상	O	O	O	
대기수상체 분류 (예, 우박, wet/dry 눈)	O	O	O	O
녹는층 고도 결정		O		O
레이돔 효과와 강수 감쇠 보정			O	
강수에 대해 Z 보정의 자체 일관성 체크	O	O	O	
AP에코와 지형 클러터 확인		O		O
바다의 AP에코와 파랑에코 구별				O
생물학적 에코확인 (예, 새, 벌레 등)		O		
빔차폐 문제 해결			O	
구름에서 눈결정의 영역 확인				

대기수상체 분류

- 레이더표출시스템 → 브리핑 → 대기수상체 분류
- 시험운영(‘12.12~) → 연업화(‘14.1~)



대기수상체 분류 사례 (비/건설/습설, '13.03.13, 04:00KST, 소백산)

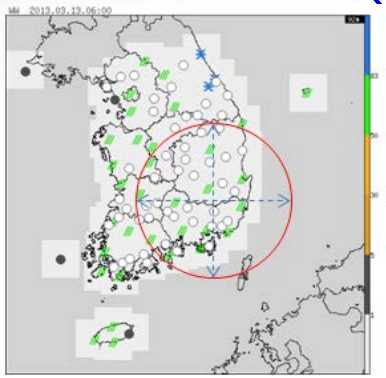
PPI=0°

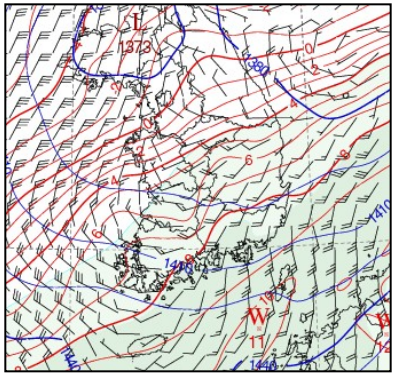
밝은띠

Z ↑

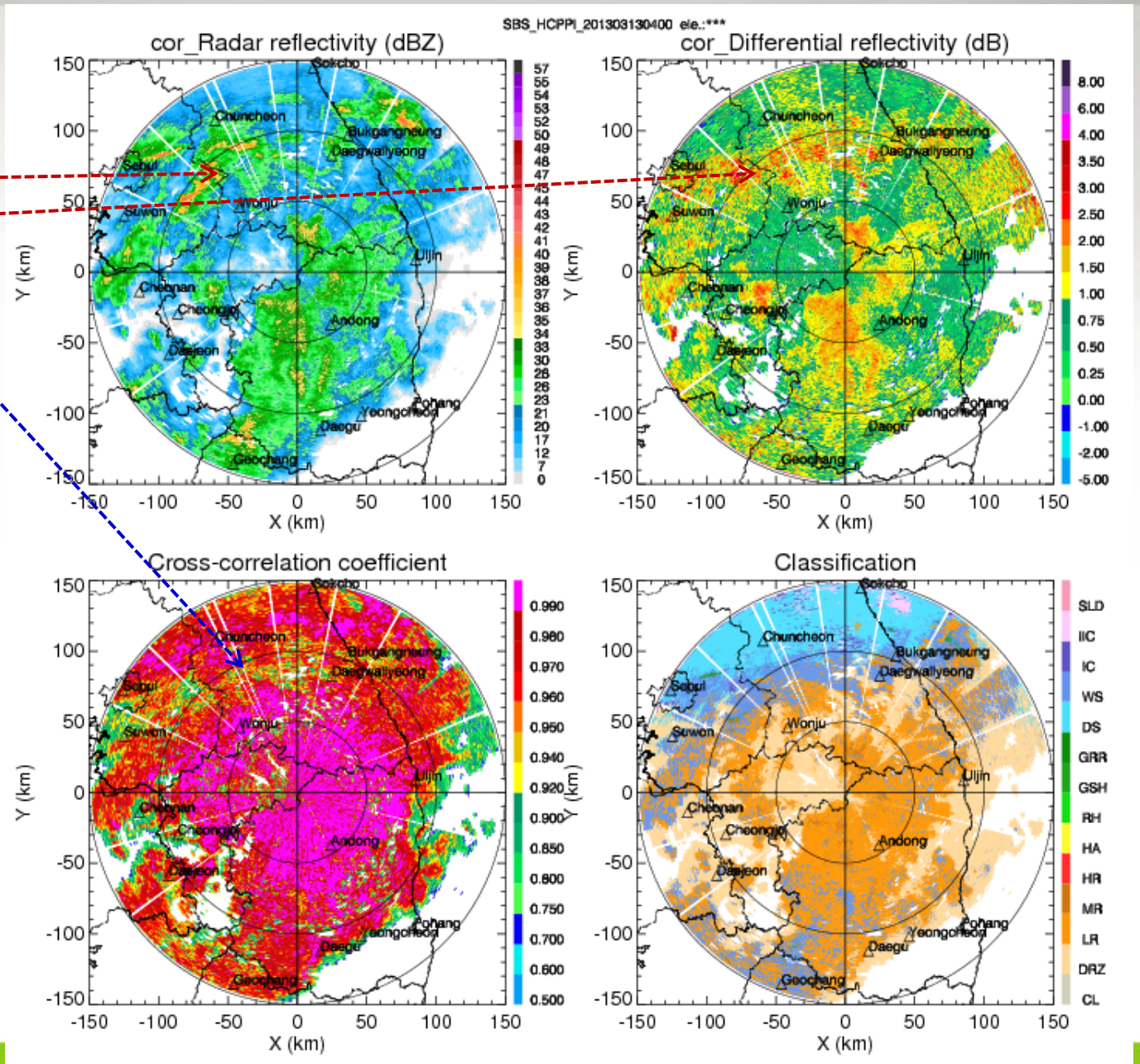
Z_{DR} ↑

ρ_{hv} ↓



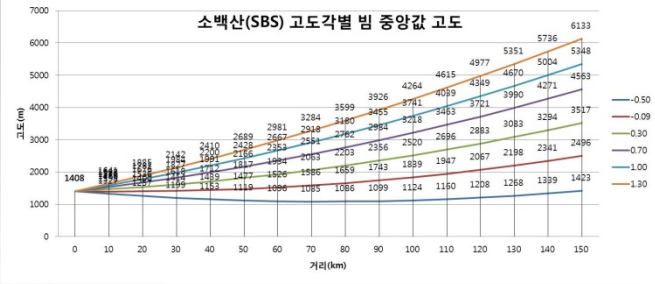


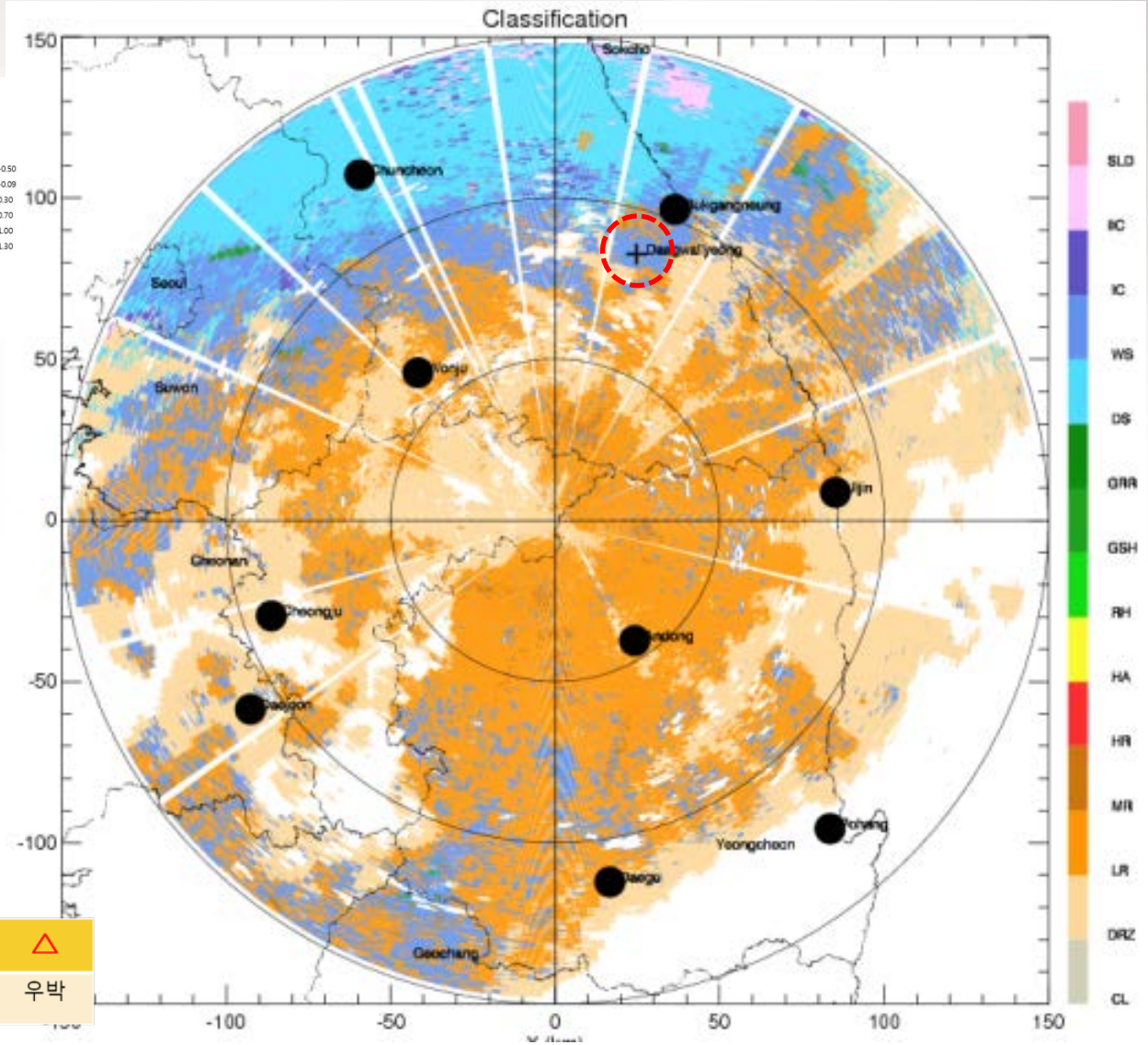
KLAPS 온도장(850hPa)



대기수상체 분류 검증(기사관측, '13.02.03, 21:00KST, 소백산)

PPI=−0.5°





	●	*	+	◇	X	△
맑음	비	눈	진눈깨비	어는비	싸락눈	우박

이중편파레이더 강수량 추정

$$R = 0.6\pi \times 10^{-3} \int v(D) D^3 N(D) dD; \qquad mmh^{-1}$$

$$R(Z_H) = \alpha Z_H^{\ \beta} \qquad (1)$$

$$R(K_{DP}) = \alpha K_{DP}^{\ \beta} \qquad (2)$$

$$R(Z_H, Z_{DR}) = \alpha Z_H^{\ \beta} 10^{0.1\gamma Z_{DR}} \qquad (3)$$

$$R(K_{DP}, Z_{DR}) = \alpha K_{DP}^{\ \beta} 10^{0.1\gamma Z_{DR}} \qquad (4)$$

$$R_{MP}(Z) = 0.0365 Z^{0.625}$$

$$R_{WSR}(Z) = 0.017 Z^{0.714}$$

$$R(Z_H, Z_{DR})$$

$$R = c_1 Z_H^{a_1} 10^{0.1 b_1 Z_{DR}}; \quad mmh^{-1}$$

GHz(band)	c_1	a_1	b_1
3 (S)	6.7 x 10^{-3}	0.93	-3.43
5.45 (C)	5.8 x 10^{-3}	0.91	-2.09
10 (X)	3.9 x 10^{-3}	1.07	-5.97

$$R(K_{DP})$$

$$R = c_2 K_{DP}^{b_2}; \quad mmh^{-1}$$

GHz(band)	c_2	b_2
3 (S)	50.7	0.85
5.45 (C)		
10 (X)	19.84	0.703

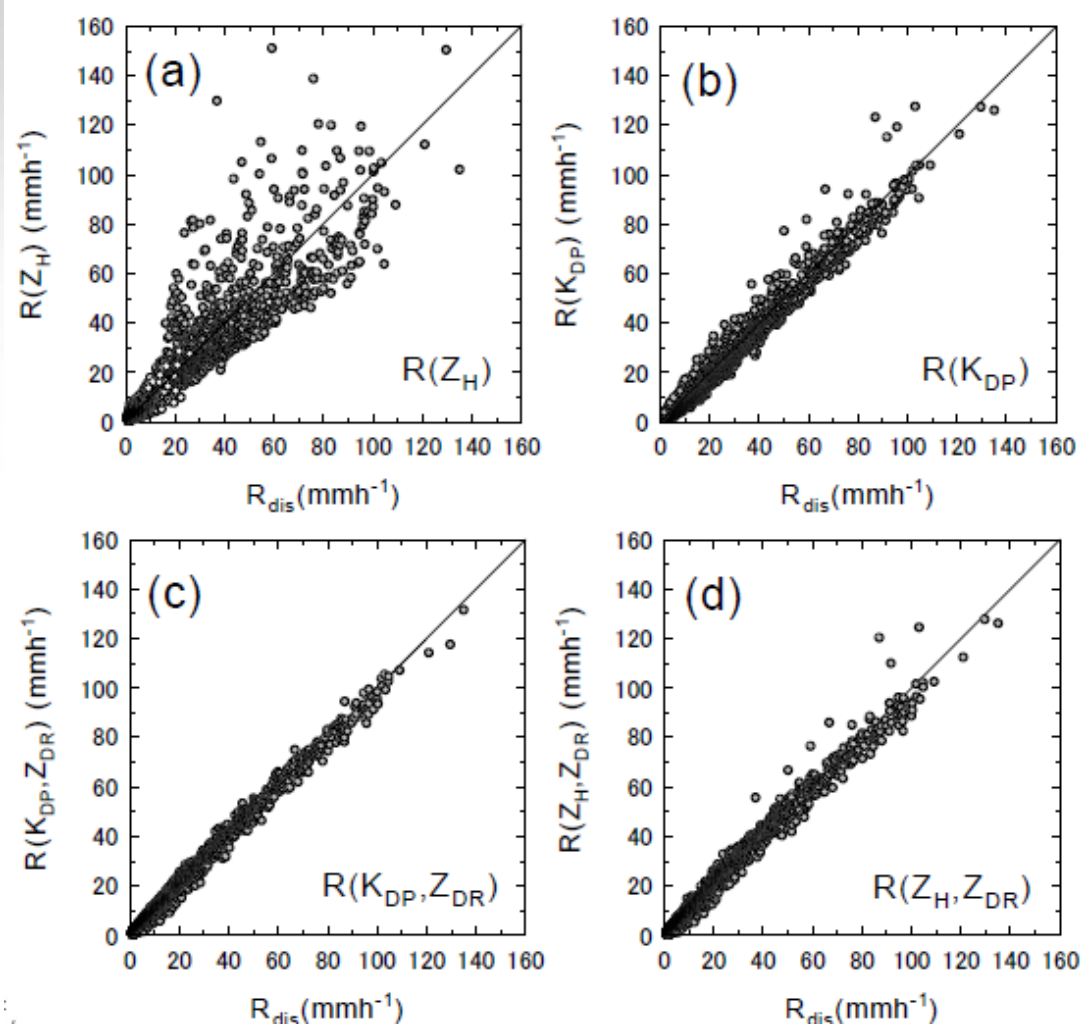
$$R(K_{DP}, Z_{DR})$$

$$R = c_3 K_{DP}^{a_3} 10^{0.1 b_3 Z_{DR}}; \quad mmh^{-1}$$

GHz(band)	c_3	a_3	b_3
3 (S)	90.8	0.93	-1.69
5.45 (C)	37.9	0.89	-0.72
10 (X)	28.6	0.95	-1.37

이중편파레이더 강수량 추정

정확도 비교(관계식별)



$$R(Z_H) = \alpha Z_H^{\beta} \quad (1)$$

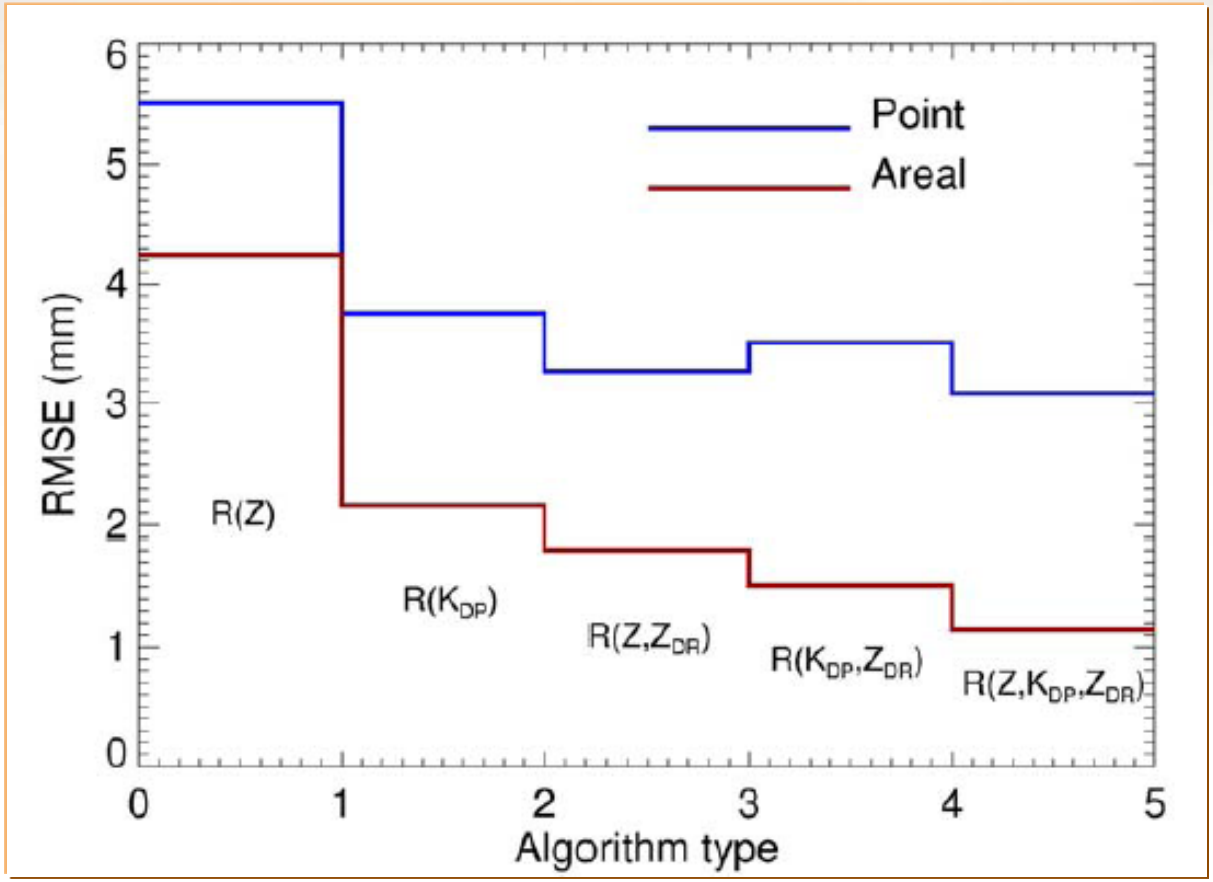
$$R(K_{DP}) = \alpha K_{DP}^{\beta} \quad (2)$$

$$R(Z_H, Z_{DR}) = \alpha Z_H^{\beta} 10^{0.1\gamma Z_{DR}} \quad (3)$$

$$R(K_{DP}, Z_{DR}) = \alpha K_{DP}^{\beta} 10^{0.1\gamma Z_{DR}} \quad (4)$$

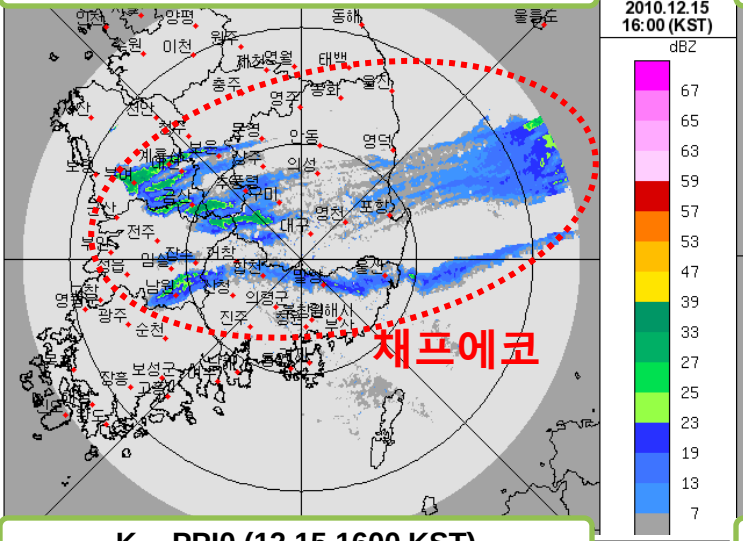
이중편파레이더 강수량 추정

정확도 비교(관계식별)

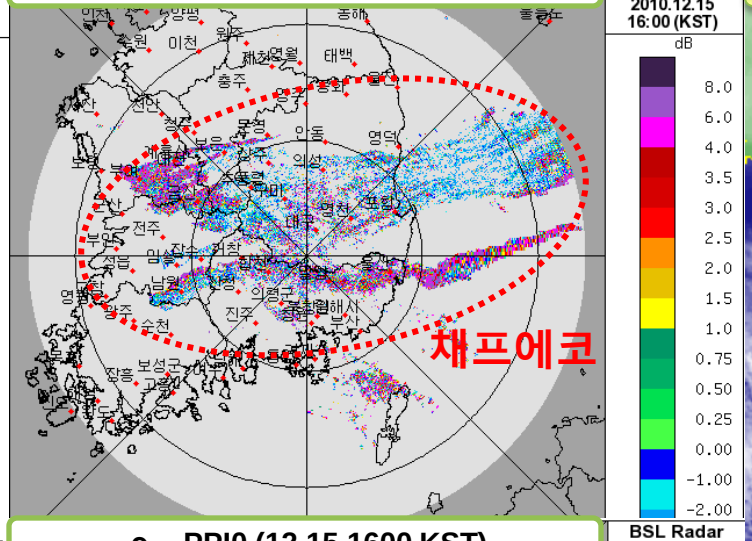


채프에코 영상분석(2010.12.15)

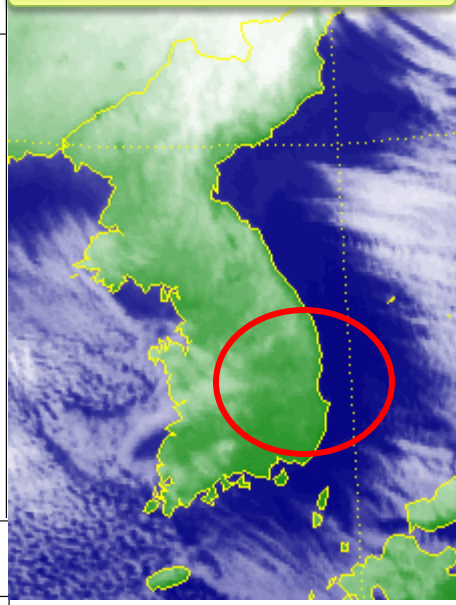
CZ PPI0 (12.15.1600 KST)



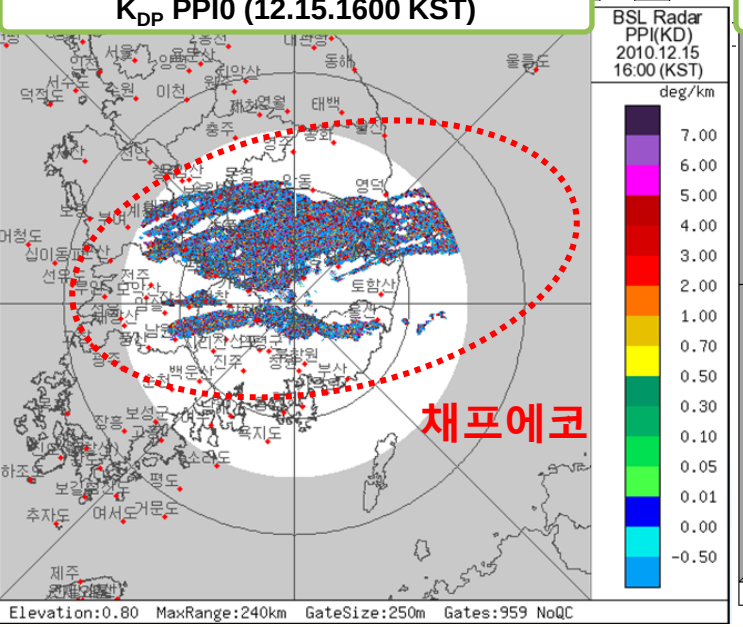
Z_{DR} PPI0 (12.15.1600 KST)



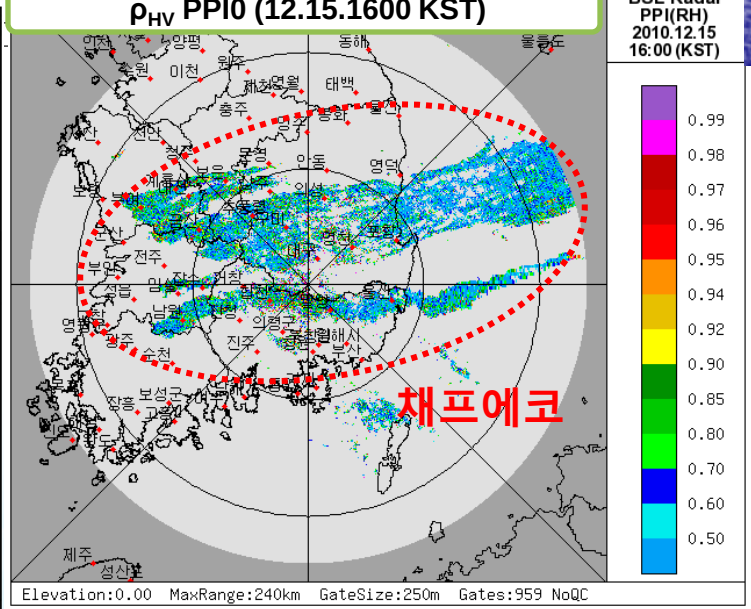
위성 적외영상(12.15.1600)



K_{DP} PPI0 (12.15.1600 KST)

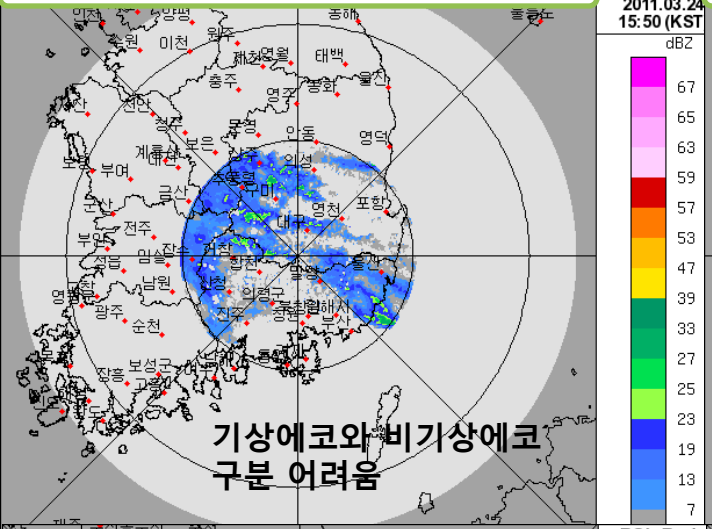


ρ_{HV} PPI0 (12.15.1600 KST)

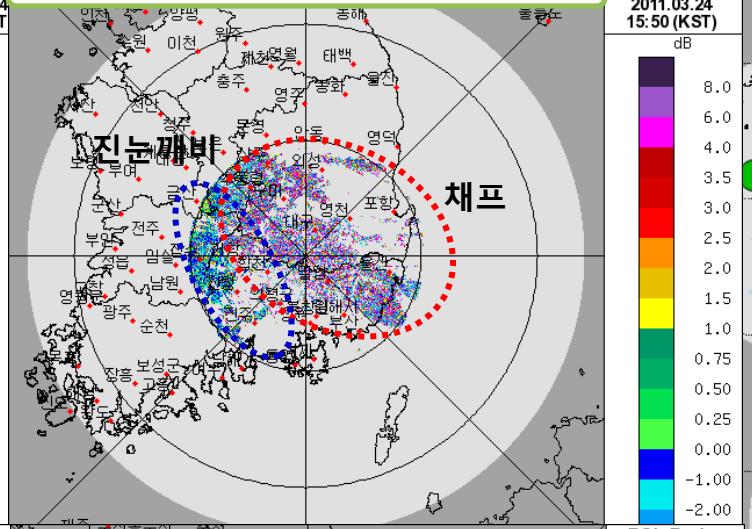


이중편파레이더 기본 개념
채프+강설 영상분석(2011.03.24)

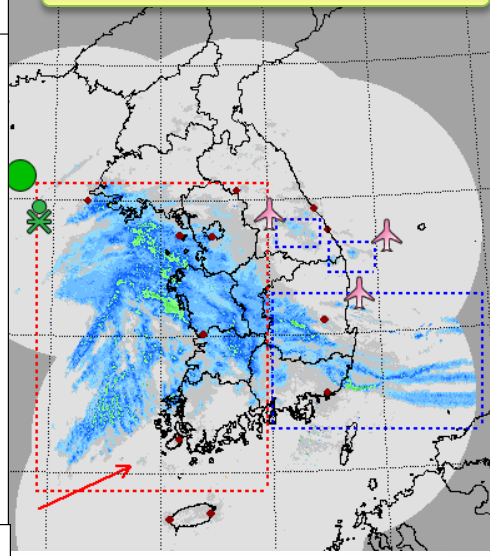
반사도 PPI0 (2011.03.24.1550 KST)



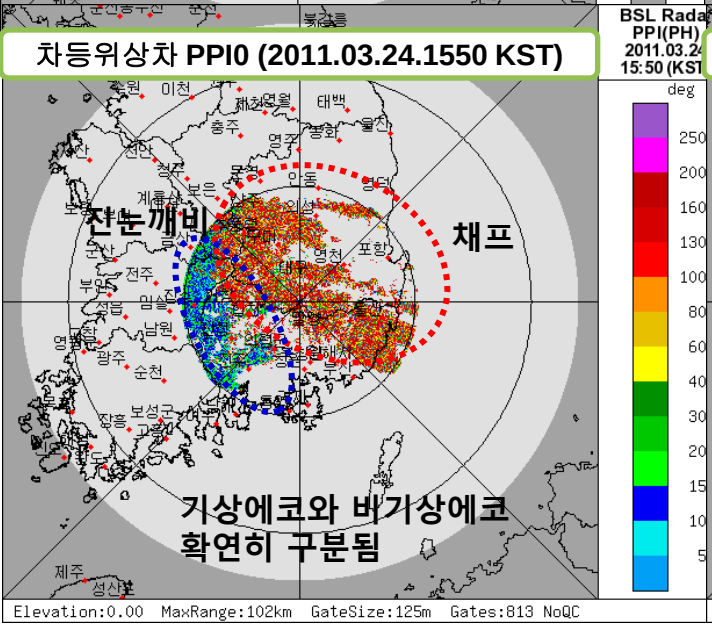
차등반사도 PPI0 (2011.03.24.1550 KST)



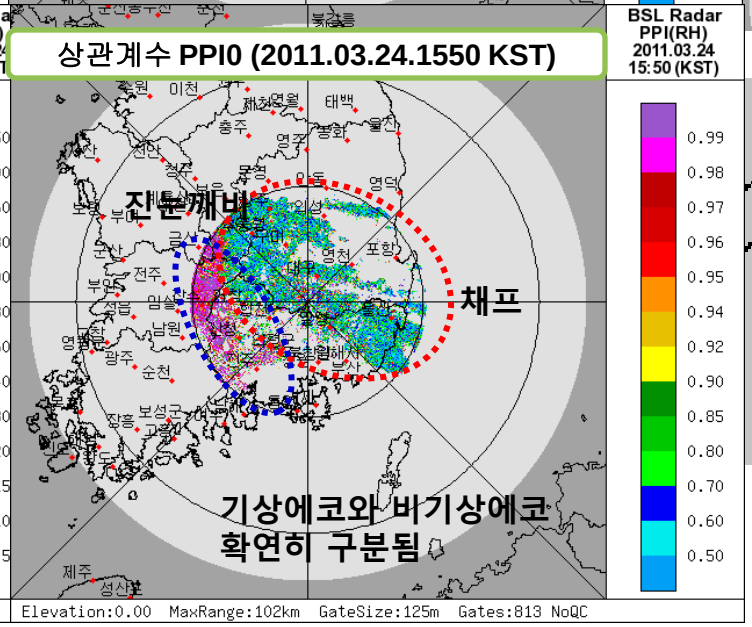
레이더 해설영상



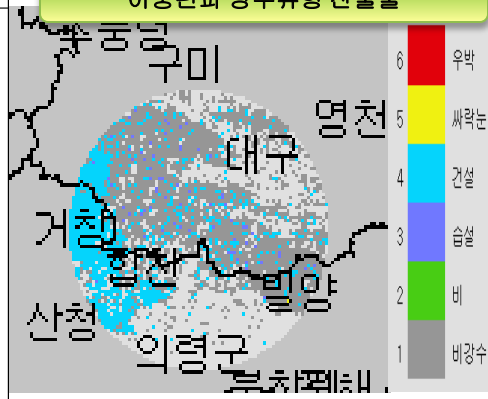
차등위상차 PPI0 (2011.03.24.1550 KST)



상관계수 PPI0 (2011.03.24.1550 KST)

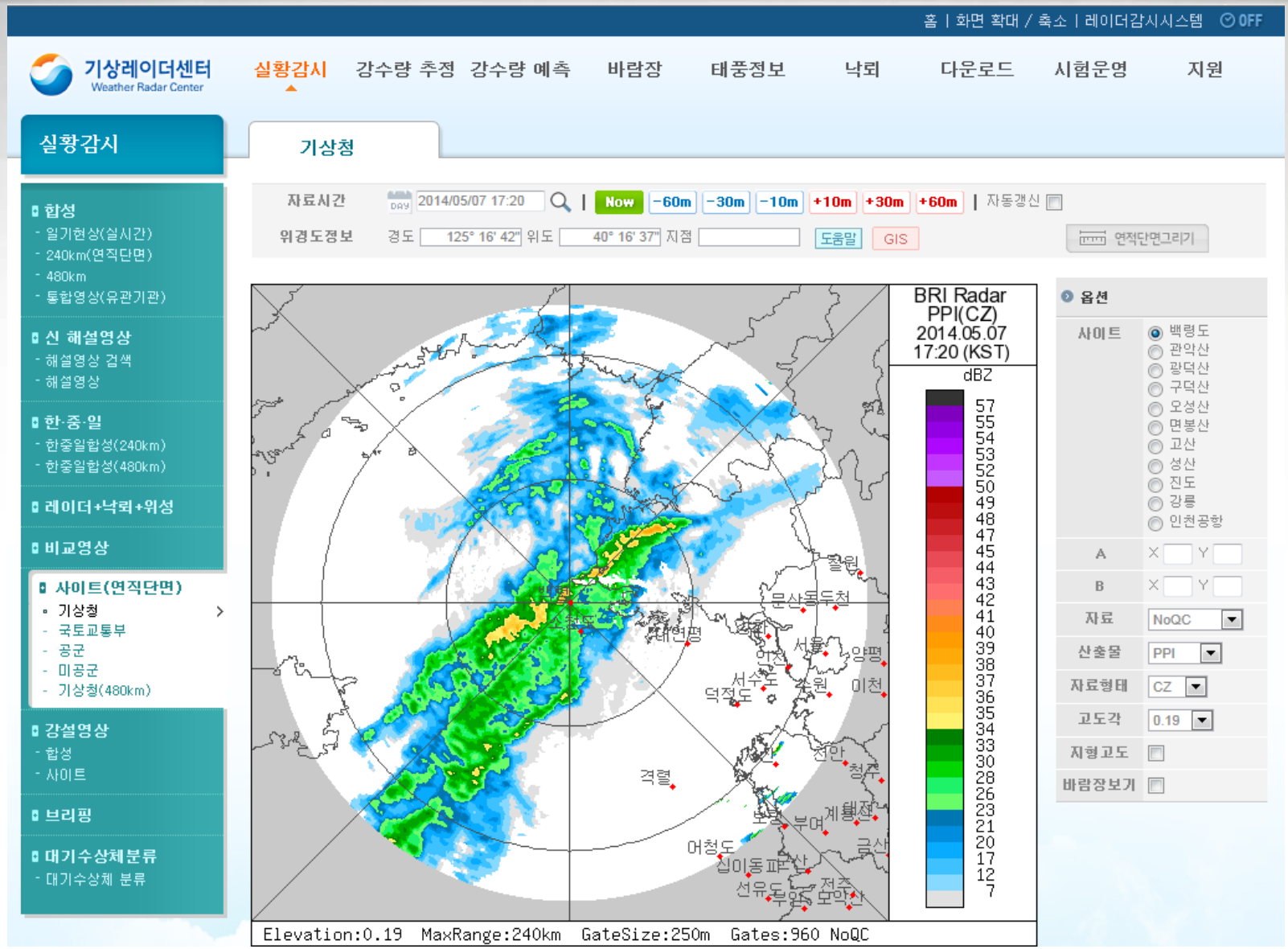


이중편파 강수유형 산출물

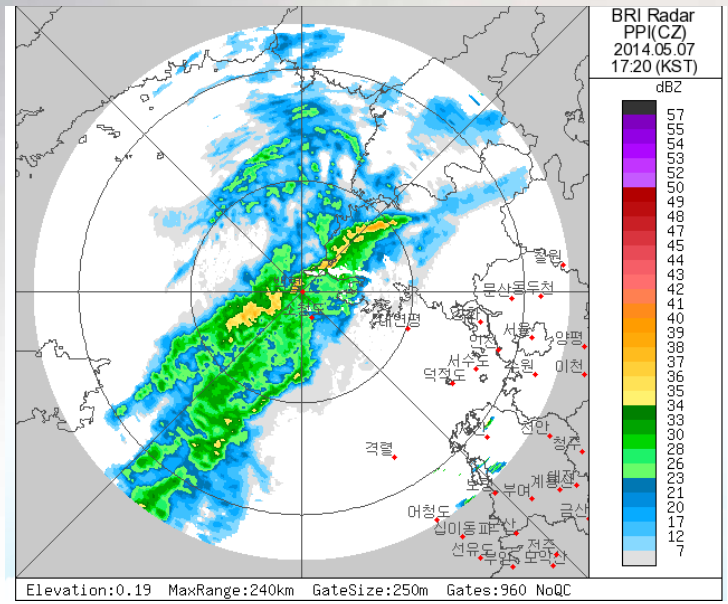


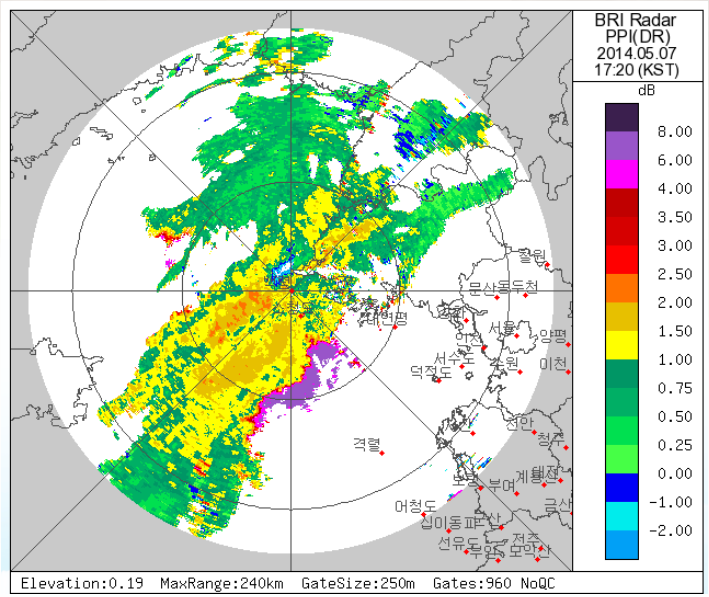
건설과 비강수에코 구분됨

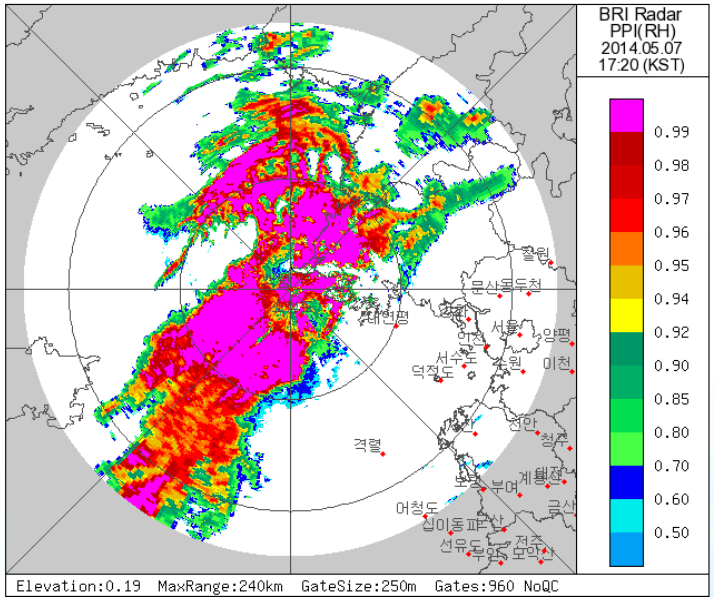
이중편파레이더 표출


홈 | 화면 확대 / 축소 | 레이더감시시스템 OFF
기상레이더센터
Weather Radar Center
실황감시
강수량 추정
강수량 예측
바람장
태풍정보
낙뢰
다운로드
시험운영
지원
실황감시
기상청
합성
- 일기현상(실시간)
- 240km(연직단면)
- 480km
- 통합영상(유관기관)
신 해설영상
- 해설영상 검색
- 해설영상
한·중·일
- 한중일합성(240km)
- 한중일합성(480km)
레이더+낙뢰+위성
비교영상
사이트(연직단면)
기상청
- 국토교통부
- 공군
- 미공군
- 기상청(480km)
강설영상
- 합성
- 사이트
브리핑
대기수상체분류
- 대기수상체 분류
자료시간
2014/05/07 17:20
Now
-60m
-30m
-10m
+10m
+30m
+60m
자동갱신
위경도정보
경도 125° 16' 42"
위도 40° 16' 37"
지점
도움말
GIS
연직단면그리기
BRI Radar
PPI(CZ)
2014.05.07
17:20 (KST)
dBZ
57
55
54
53
52
50
49
48
47
45
44
43
42
41
40
39
38
37
36
35
34
33
30
28
26
23
21
20
17
12
7
철원
문산동두천
서울
양평
이천
덕적도
격렬
어청도
부여
계룡
금산
옵션
사이트
백령도
관악산
광덕산
구덕산
오성산
면봉산
고산
성산
진도
강릉
인천공항
A
B
자료
NoQC
산출물
PPI
자료형태
CZ
고도각
0.19
지형고도
바람장보기
Elevation:0.19 MaxRange:240km GateSize:250m Gates:960 NoQC

이중편파레이더 표출


BRI Radar
PPI(CZ)
2014.05.07
17:20 (KST)
dBZ
57
55
54
53
52
50
49
48
47
45
44
43
42
41
40
39
38
37
36
35
34
33
30
28
26
23
21
20
17
12
7
Elevation:0.19 MaxRange:240km GateSize:250m Gates:960 NoQC


BRI Radar
PPI(DR)
2014.05.07
17:20 (KST)
dB
8.00
6.00
4.00
3.50
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-1.00
-2.00
Elevation:0.19 MaxRange:240km GateSize:250m Gates:960 NoQC


BRI Radar
PPI(RH)
2014.05.07
17:20 (KST)
0.99
0.98
0.97
0.96
0.95
0.94
0.92
0.90
0.85
0.80
0.70
0.60
0.50
Elevation:0.19 MaxRange:240km GateSize:250m Gates:960 NoQC