

발 간 등 록 번 호

11-1360577-000022-01

기상레이더센터 기술노트 WRC2014-02

레이더 원시신호(I/Q)의 이중편파변수 변환 및 신호특성 분석

2014. 12.



기상레이더센터

KMA Weather Radar Center

레이더 원시신호(I/Q)의 이중편파변수 변환 및 신호특성 분석

기상레이더센터장	권태순
레이더분석과장	고정석
기상연구관	박혜숙
기상연구사	박향숙
연구원	김혜리



기상레이더센터
K M A Weather Radar Center

목 차

제1장 서론	1
1.1 배경 및 목적	1
1.2 기상레이더 소개	2
1.3 기상레이더 신호처리	3
제2장 레이더 시스템별 원시신호(I/Q) 포맷	5
2.1 용인테스트베드레이더 원시신호(I/Q) 포맷	5
2.2 소백산레이더 원시신호(I/Q) 포맷	9
제3장 원시신호(I/Q)를 이용한 이중편파변수 변환	12
3.1 반사도 변환	14
3.2 시선속도 변환	16
3.3 스펙트럼 폭 변환	19
3.4 차등반사도 변환	21
3.5 교차상관계수 변환	23
3.6 차등위상차 변환	26
제4장 원시신호(I/Q) 자료 특성 분석	29
4.1 신호 전력 분석	30
4.2 위상 변동성 분석	31
4.3 도플러 스펙트럼 분석	33
제5장 요약 및 결론	36
참고문헌	38

제1장 서론

1.1. 배경 및 목적

기상레이더는 전파를 방사하여 강우입자로부터 반사된 신호를 수신하여 정보를 획득하는 시스템으로, 강수의 위치와 이동 속도, 강우강도 등에 대한 정보를 제공한다. 이때 수신한 신호는 전력(voltage) 형태이므로 이를 강수량 추정이나 눈·비 분류 등 예보에 활용하기 위해서는 신호처리를 통해 원시자료를 반사도나 시선 속도, 스펙트럼 폭 등의 모멘트 자료로 변환해야 한다.

현재 기상청의 기상레이더는 독일, 미국, 중국 등 국외에서 제작한 상용제품으로 시스템에 의한 산출물은 모멘트(moment) 자료이며 이렇게 산출된 자료를 품질 관리 프로세스를 통해 강수량 추정값 산출, 눈·비분류 등에 활용하고 있다. 그러나 신호처리 과정에서 지형 클러터 제거, 임계치 필터링 등 여러 모듈을 거치기 때문에 이 과정에서 신호의 손실이 발생할 수 있다. 이때 모멘트 자료만으로는 정확한 원인을 찾기 어렵고 신호처리 이후 자료만을 이용한 품질관리기법은 신호처리 이후에 여러 정보들이 손실되므로 이를 이용한 자료의 품질관리에 한계가 있다. 이러한 한계점을 가짐에도 불구하고 레이더 원시신호(In-phase/Quadrature -phase, I/Q)는 그 용량이 크고 시스템에서 자료가 따로 저장되지 않아 국내에서는 자체적인 기술 개발이 어려웠다. 그러나 새롭게 기상청과 국토교통부에서 도입하는 이중편파레이더 시스템은 레이더 원시신호(I/Q)를 수집할 수 있게 되어 이를 위한 처리기술 개발이 필요하다.

본 연구에서는 S-밴드 이중편파레이더인 용인테스트베드레이더(기상청) 및 소백산 레이더(국토교통부)를 이용한 관측변수 변환 기술을 개발하였다. 2장에서는 용인테스트베드레이더의 신호처리기인 IQ2와 소백산레이더의 신호처리기인 RVP8의 입력 신호 자료의 형태 및 변환 과정을 소개하였다. 3장에서는 이들 원시신호를 이용하여 반사도, 시선속도, 스펙트럼 폭, 차등반사도, 교차상관계수, 차등위상차로 변환하는 방법 및 변환 결과를 기술하였고 4장에서는 수신한 원시신호의 시간영역

(전력, 위상) 특성 및 주파수영역(도플러) 특성을 분석하였다.

테스트베드레이더를 활용한 연구는 최적의 관측전략뿐만 아니라 최적의 신호처리 기법 적용을 가능하게 할 것이다. 또한 이를 활용한 레이더 원시신호(I/Q) 처리 기술은 레이더자료의 품질관리를 통해 강수량 추정 정확도 향상뿐만 아니라 추후 기상레이더 국산화에 기여할 것이다.

1.2. 기상레이더 소개

기상레이더는 그림 1.1과 같이 전파를 방사한 후 목표물에 부딪혀 되돌아오는 후방 산란된 신호를 수신한다.

레이더 산출물은 그림 1.2의 레이더시스템 구성도와 같이 전자기파 생성기 (waveform generator)에서 생성한 신호를 송신기와 안테나를 통해 표적에 방사한 후 후방 산란된 신호를 수신기를 통해 수신한다. 수신된 신호는 신호처리 과정을 거쳐 모멘트 자료로 변환하여 활용한다. 이때 수신된 신호는 강수입자뿐만 아니라 지형클러터, 채프에코, 새떼 등의 신호도 함께 수신하는데 이러한 원하지 않는 목표물을 ‘클러터(Clutter)’라 한다. 이러한 클러터 신호를 신호처리 단계에서 적절히 제거해 주지 않으면 강수 신호로 오인하여 강수량 추정값 산출 오차로 이어지므로 수신된 신호의 처리(signal process)는 매우 중요하다.

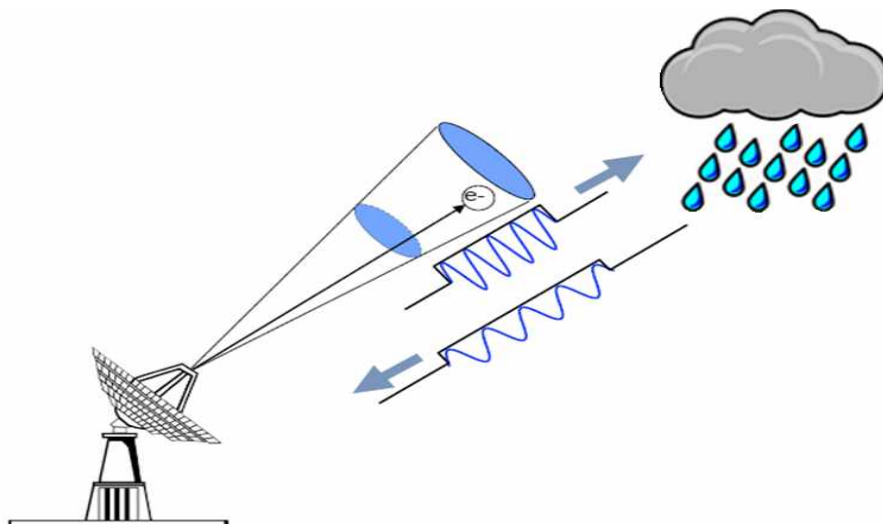


그림 1.1 레이더 신호 송·수신 원리

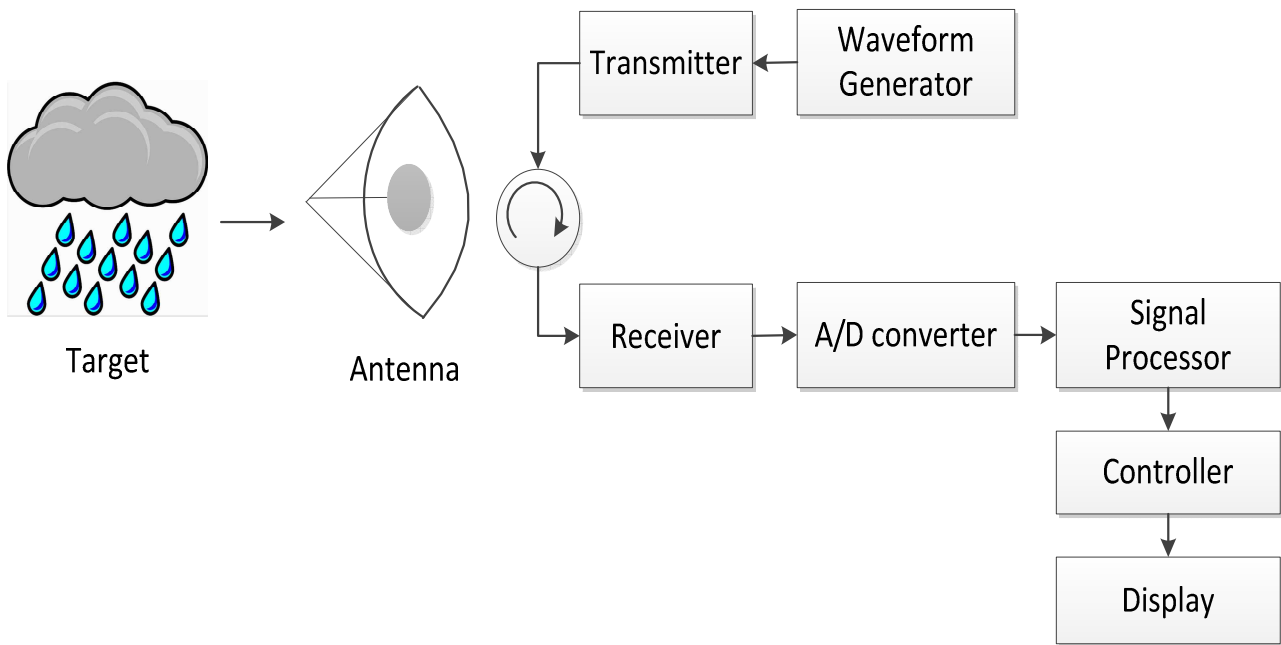


그림 1.2 기상레이더 시스템 구성

1.3. 기상레이더 신호처리

기상레이더는 전파를 방사하고 후방 산란된 신호를 수신하기 때문에 전력 (voltage) 형태로 수신한다. 이를 강수량 추정값 산출, 눈·비분류 등에 활용하기 위해서는 신호처리를 통해 모멘트 자료 형태로 산출물을 변환해 주어야 하는 이때 신호처리를 통해 필터링 과정 등을 거친다.

신호처리에서 수행되는 과정에는 지형 클러터 필터링, 상관계수 산출, 모멘트 변수 변환, 임계치 필터링, 스펙클 필터링 등이 있다. 신호처리는 시스템에 내장 되어 있기 때문에 이러한 과정들이 모듈화되어 있고 지형 클러터 필터와 임계치 등은 선택가능하다. 그림 1.3은 소백산레이더의 RVP8 신호처리에서 수행되는 신호 처리 과정이며 용인테스트베드레이더 신호처리 IQ2 역시 유사한 신호처리 모듈을 갖는다. 신호처리 과정에서 많은 필터링이 수행되기 때문에 과도한 필터링을 할 경우 중요한 신호 정보가 손실될 수 있고 클러터 제거 등을 수행하지 않으면 원하지 않는 클러터로 인해 강수량 추정 등의 원하는 정보에 오류를 초래할 수 있다. 따라서 적절한 클러터 필터 선택 및 임계치 설정이 중요하다.

최근에는 지형 클러터 필터에 관한 연구뿐만 아니라 레이더 관측변수 산출식 (estimator) 설정에 관한 연구 등 신호처리 단계에서 레이더 자료의 품질을 향상 시키기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

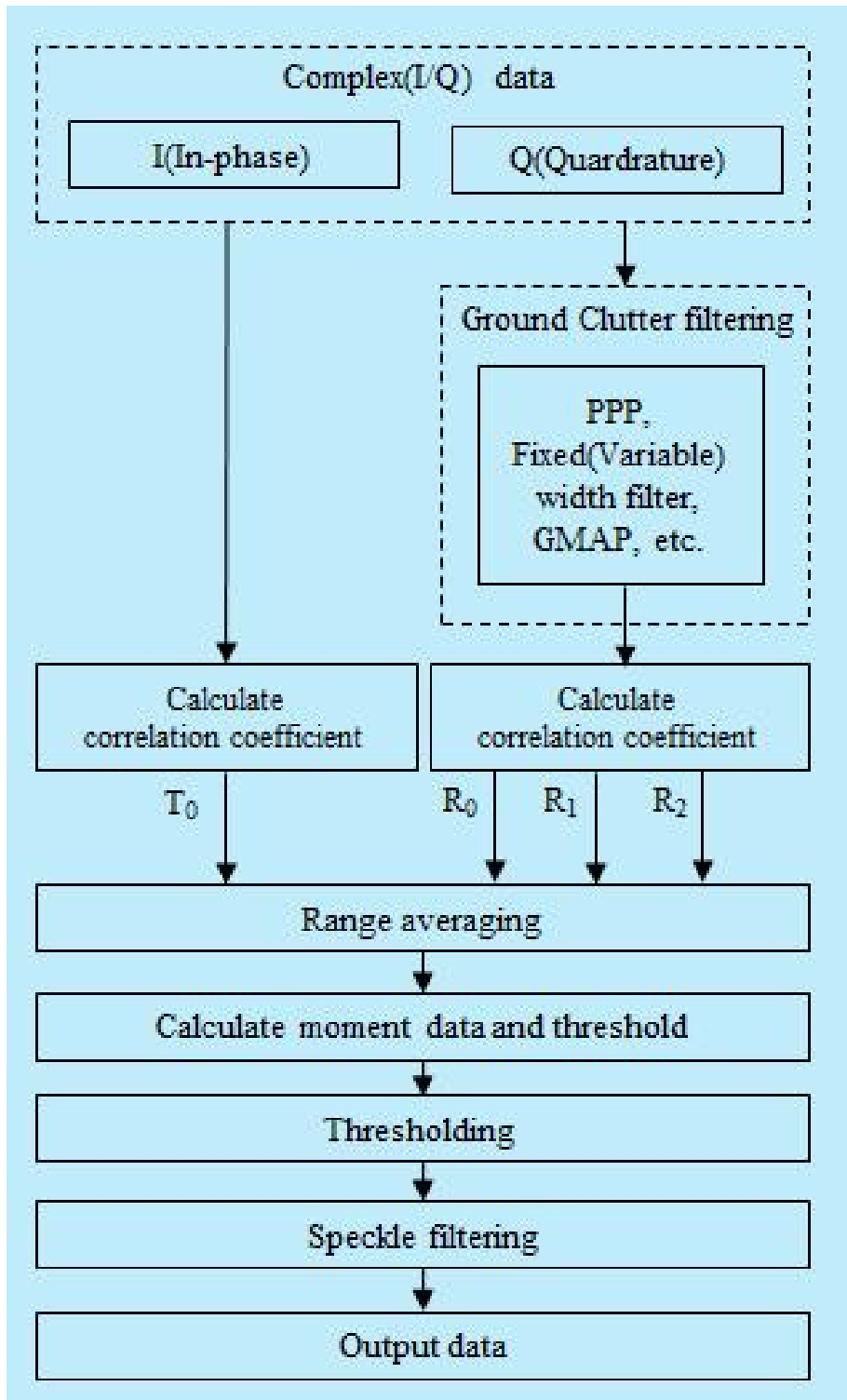


그림 1.3 RVP8 신호처리 과정

제2장 레이더 시스템별 원시신호(I/Q) 포맷

본 장에서는 이중편파레이더(기상청, 국토교통부) 신호처리기의 입력 자료인 원시신호(I/Q)의 자료 구조를 설명하였다. 자세한 내용은 다음과 같다.

2.1 용인테스트베드레이더 원시신호(I/Q) 포맷

기상청에서 2014년부터 백령도, 용인테스트베드 레이더를 시작으로 2019년까지 교체하는 이중편파레이더의 신호처리기는 IQ2 신호 처리기를 이용한다.

이 시스템의 원시신호(I/Q) 자료구조는 표 2.1~2.6과 같다. 먼저 표 2.2와 같이 24byte를 읽는데, 처음 4byte는 데이터의 Type ID로 표 2.3과 같이 Type ID 1에는 I/Q 데이터의 파라미터 정보가, Type ID 2에는 I/Q 데이터가, Type ID 3에는 헤더 정보가, Type ID 4에는 메타데이터가 저장되어 있다. Data Type ID 다음 4byte는 데이터의 크기로 이 크기만큼 데이터를 읽는데, Type ID가 2인 경우 표 2.4를 이용해서, Type ID가 3인 경우 표 2.5을 이용해 읽는다.

Type ID가 2인 경우 I/Q 데이터가 저장되어 있는데, 표 2.4와 같이 펄스별 방위 각과 고도각 정보, 게이트 수, 채널(H or V)정보, 송신전력 및 송신주파수, PRF 등의 정보가 36byte만큼 저장되어 있고 I/Q 신호가 게이트 수만큼 반복 저장되어 있으며, H 채널펄스와 V 채널펄스가 교대로 저장되어 있다. 표 2.4에서 Data flag는 표 2.5와 같은 형태로 저장되어 있다. Type ID가 3이면 다음 20byte에는 표 2.5과 같이 이중 PRF 비율, 시작지점, 게이트 폭 등의 정보가 저장되어 있다. 그림 2.1는 Data type 1의 예시이며, 그림 2.2은 Data type 2의 헤더정보 예시, 그림 2.3은 Data type 3의 예시이다.

표 2.1 데이터 헤더 정보 구조

Data	Description
uint 32	The data type of the block
uint 32	Size(in bytes) of the block to follow(does not include this header)
uint 64	Time in seconds
uint 32	Microseconds portion of time
uint 32	Spare(unused)

표 2.2 Data type 별 자료

Data Type ID	Description
1	Text block giving IQ2 configuration parameters
2	IQ Data(See Table 3 for header)
3	IQ Binary Header(See Table 5)
4	IQ Metadata

표 2.3 Data type 2 자료구조

Data	Description
uint 32	Antenna position. The high 16 bits represent the elevation angle, and the low 16 bits the azimuth angle. The integer values can be converted to floating point degrees by multiplying by 360./65536.
uint 32	Data Flags - Each bit gives information about data
uint 32	Number of gates
uint 32	Sync - integer representing data in sequence so that H and V channel data can be synchronized
float 32	PRF - the radar Pulse Repetition Frequency in Hz
float 32	Transmitter power in Watts
float 32	Transmitter frequency in Mhz
float 32	Initial phase (real portion)
float 32	Initial phase (imaginary portion)

표 2.4 Data type 2의 Data Flags

Hex Flag Value	Description
0x10	High-PRF data(when in dual-PRF mode)
0x20	Low-PRF data(when in dual-PRF mode)
0x40	Horizontal Polarization Data
0x80	Vertical Polarization Data
0x400	Dual-PRF mode

표 2.5 Data type 3 자료구조

Data	Description
uint 32	Format version
uint 32	Dual-PRF unfolding ratio(e.g. 2 implies 3:2 unfolding)
float 32	Radar pulse repetition frequency in Hz
float 32	Starting range for gates in km
float 32	Gate width in km

```
Data_type : 1
Size      : 1701
Time_sec  : 1169818592 (2014. 11.28.17:00 KST)
Time_usec : 308339
Spare     : 32630
Data info : 0 ok, buf=1, afc_freq=60.084, afc_man=0, afc_step=0.1, afc_wid=2.5, antsrc=1, asyc={1, 1}, bgcf_iters=0, bw=0.5,
cf={1, 6}, cf_coefs={{1,0,0,0,0}, {0.977734,1.99995,1.99035,0.990736,0.964731}, {0.95612,1.9998,1.98004,0.981561,0.930678},
{0.935125,1.99956,1.96907,0.972477,0.897773}, {0.914718,1.99921,1.95747,0.963486,0.865951}, {0.894872,1.99877,1.94523,0.954
59,0.835155}, {0.87556,1.99822,1.93238,0.94579,0.80533}, {0.838441,1.99684,1.90487,0.928489,0.748393}, {0.803184,1.99505,1.8
7506,0.911595,0.694773}, {0.722218,1.98878,1.79104,0.871214,0.573223}, {0.650027,1.97986,1.69465,0.833595,0.466458}, {0.5851
69,1.96814,1.58729,0.798845,0.371492}, {0.526555,1.95342,1.47026,0.76704,0.286071}, {0.473344,1.93545,1.34474,0.738229,0.208
458}, {0.424868,1.9139,1.21185,0.712444,0.137292}, {0.380595,1.88837,1.07261,0.6897,0.0714889} }, chn={{1,0}, {9.04275,-0.15
579}, {1.1811,-0.04327}, {10.7974,-0.08973} }, chn_sw=1e+06, covl_2=1, csr=21, dafc=0, dafcw=0.05, dprf=1, dst_op=0, dst_wg=
{0,1.1,2.17,20,20,60,1}, dtrig={0, 0, 2.52} , dtrig={1, 0, 2.52} , dtrig={8, 0, 2.52} , exe=2, fftw=0, gas=0.015, hv_ro
t=-2.1, iq_rec_type=0, kr_thresh=0, ks_thresh=0, kw_thresh=0, lambda=10.4138, log=0, max_tx_corr=3, miq_type=0, mode=0, nois
e={3, 0, 0}, npl=1000, nplb=0, nsk=0, p_thresh=0, pol={2, 3}, prf=600, prfb=0, pwr_cal=-123.663, rcon=-14.949, rcr=1, rng={0
.25, 1, 0.125, 249.125}, safc=1, sb={{-2,15,5,11}, {-2,5,356,1}, {0,0,0,0}, {0,0,0,0}, {0,0,0,0}, {0,0,0,0}, {0,0,0,0}, {0,0,0,0}, {0,0,0,0}, {0,0,0,0} }, sc2_lenab=0, sci_thresh=0, scut=0.15, spk=1, sqi=0.33, sz2_prf=0, tx={1, 7, 71}, tx_cal=1.962
77e+08, tx_lim=1e+06, tx_sam=240, ust_op=0, utrig={8, 0, 10} , whitening={1, 10}, zdr=-0.2, zer=6000
```

그림 2.1 Data type 1 자료 예시

```
Data_type : 2
Size      : 7980
Time_sec  : 1169818592 (2014. 11.28.17:00 KST)
Spare     : 32629
Azimuth   : 322.009277
Elevation : 0.214233
data_flag : 65
Gates     : 993
sync      : 56469
prf       : 599.000000
pt_watts  : 156551168.000000
pt_mhz    : 59.967144
ini_pha_real: -0.792817
ini_pha_imag: 0.609460
```

그림 2.2 Data type 2 헤더 정보 예시

```
Data_type : 3
Size      : 20
Time_sec  : 1169818592 (2014. 11.28.17:02 KST)
Spare     : 60
format_ver : 1
Dual PRF ratio: 1
PRF in Hz : 1013.000000
Start range : 0.125000
Gate width  : 0.250000
```

그림 2.3 Data type 3 정보 예시

2.2 소백산레이더 원시신호(I/Q) 포맷

본 연구에서 분석한 시스템 중 국토교통부에서 운영 중인 소백산레이더는 RVP8 신호 처리기를 이용한다. 원시신호(I/Q)의 자료 구조는 표 2.6과 같다. 먼저 펄스정보(pulse information)가 저장되어 있고, 펄스 별 헤더 정보와 I/Q 신호가 반복 저장되어 있다. 이중편파레이더는 수평편파의 I/Q 신호가 저장된 후 수직 편파 I/Q 신호가 저장된다.

표 2.6 RVP8 I/Q data structure

Pulse Information
Pulse header #1
Pulse I/Q data #1(horizontal)
Pulse I/Q data #1(vertical)
Pulse header #2
Pulse I/Q data #2(horizontal)
Pulse I/Q data #2(vertical)
...

펄스정보에는 그림 2.4~2.5와 같이 사이트명과 펄스폭, 파장, 잡음, 하드웨어 보정 상수 등의 시스템 정보가 들어 있으며, 펄스 헤더에는 그림 2.3과 같이 펄스별 PRT(Pulse Repetition Time), 방위각, 고도각, 거리빈 수, 편파 등 신호 처리를 위한 필요한 정보가 저장되어 있다.

I/Q 데이터는 저장용량이 크기 때문에 RVP8 신호처리기의 제조사인 Sigmet사는 저장용량의 효율성을 위해 그림 2.4와 같이 자체적인 포맷을 갖는다. 이 데이터를 디코딩(decoding)하는 방법은 다음과 같다.

1) Exponent가 0인 경우

- 0~11번 mantissa 부분을 12비트의 부호가 존재하는 정수형(signed integer)으로 읽으며, 여기에 2^{-24} 를 곱한다.

2) Exponent가 0이 아닌 경우

- 0번~10번은 mantissa 부분을 복사하여 넣고 S가 0이면 11과 12에 순서대로 0과 1을 넣고, S가 1이면 11과 12에 1과 0을 넣어 13비트의 부호있는 정수형 (signed integer)을 만든다. 여기에 $2^{(exponent-25)}$ 를 곱하는데, exponent 성분은 unsigned 4-bit integer이다.

```

rvptsPulseInfo start
iVersion=4
iMajorMode=0
iPolarization=3
iPhaseModSeq=1
taskID.iSweep=1
taskID.iAuxNum=0
taskID.iScanType=4
taskID.sTaskName=RAIN_DP
sSiteName=SOBAEKSAN-RVP8
iAqMode=220
iUnfoldMode=0
iPWidthCode=0
fPWidthUSec=1
fDBzCalib=-38.625
iSampleSize=55
iMeanAngleSync=182
iFlags=1

```

그림 2.4 RVP8 Pulse Information 예시1

```

iPlaybackVersion=0
fGdrOffset=0.3125
fXdrOffset=0.26
fSyClkMHz=71.9437
fWavelengthCM=10.48
fSaturationDBM=6
fRangeMaskRes=62.5
iRangeMask=21760 21845 21845 21845 21845 21845 21845 21845
fNoiseDBm=-79.43 -79.43
fNoiseStdvDB=0 0
fNoiseRangeKM=50
fNoisePRFHz=300
iGparmLatchSts=0 0
iGparmImmedSts=21156 4355 32 659 0 0
iGparmDiagBits=0 0 0 0
sVersionString=8.12.9
rvptsPulseInfo end

```

그림 2.5 RVP8 Pulse Information 예시2


```

rvptsPulseHdr start
iVersion=4
iFlags=1
iMsecUTC=298
iTimeUTC=1369650900
iBtimeAPI=3851300185
iSysTime=2177991947
iPrevPRT=71940
iNextPRT=71940
iSeqNum=443014053
iAqMode=220
iPolarBits=0
iTxFPhase=26624
iNanoUTC=298142288
iPedAz=41555
iPedEI=232
iAzV=3282
iEIV=0
iAz=41555
iEI=232
iNumVecs=1190
iMaxVecs=1190
iVIQPerBin=2
iTgBank=0
iTgWave=2
uiqPerm.iLong=0 0
uiqOnce.iLong=0 0
RX[0].fBurstMag=1.1239
RX[0].iBurstArg=11135
RX[1].fBurstMag=1.1239
RX[1].iBurstArg=11135
inu.iRoll=0
inu.iPitch=0
inu.iHead=0
inu.iRollV=0
inu.iPitchV=0
inu.iHeadV=0
inu.iLatitude=440569990
inu.iLongitude=1532365352
inu.iHeight=1429
inu.iVelEast=0
inu.iVelNorth=0
inu.iVelUp=0
rvptsPulseHdr end

```

그림 2.6 RVP8 Pulse header 예시

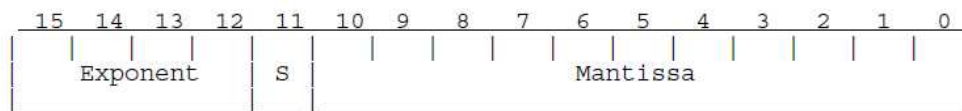


그림 2.7 High-SNR packed format (RVP8 manual)

제3장 원시신호(I/Q)를 이용한 이중편파변수 변환

본 연구에 이용한 자료는 용인테스트베드레이더(기상청)와 소백산레이더(국토교통부) 원시신호 자료이다. 용인테스트베드레이더 원시신호 자료는 2014년 11월 28일 1700 KST 주고도각인 두 번째 고도각(0.41°) 자료이며 소백산레이더 자료는 2013년 5월 27일 1930 KST(강수사례)와 2013년 5월 29일 1000 KST(맑은 날 사례)의 최저 고도각(-0.5°) 원시신호 자료이다.

용인테스트베드레이더의 주고도각 PRF는 약 600Hz이므로 식(3.1)에 의해 최대 탐지거리는 약 249km이며, 소백산레이더의 최저 고도각 PRF는 약 1,000Hz의 단일 PRF를 이용하므로 식(3.1)에 의해 최대 탐지거리가 약 150km이다.

$$R_{\max} = \frac{c}{2PRF} \quad (3.1)$$

레이더 수신 신호는 식(3.2)와 같으며, 여기에서 n 은 펄스 번호로 소백산레이더의 CPI(Coherence Processing Interval)는 55개이므로 55개의 Coherent한 펄스로 1개의 Ray 자료를 생성한다.

$$s_n = I_n + jQ_n \quad (3.2)$$

수신된 신호는 I(In-phase)와 Q(Quardrature -phase) 신호의 형태로 수신되는데 이는 도플러 속도를 알기 위함이며 I 신호는 수신신호와 동위상신호이고 Q 신호는 수신신호에 90도 변조를 수행한 것이다.

수신신호를 I/Q 신호로 변환하는 과정은 그림 3.1과 같고, I/Q 신호는 식 (3.3)~(3.4)와 같다.

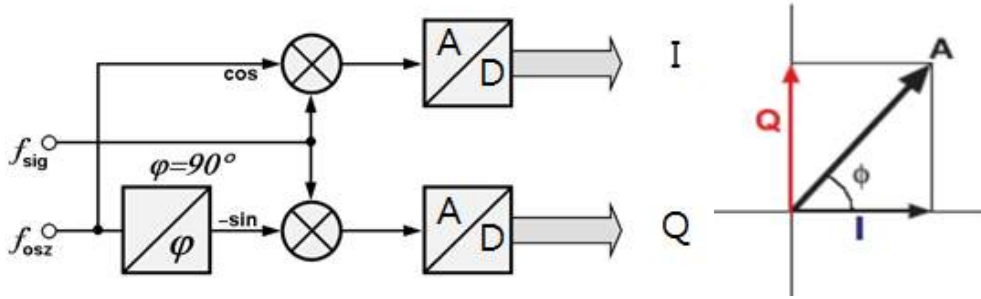


그림 3.1 원시 신호(I/Q)

$$I = A \cos(\Phi) \quad (3.3)$$

$$Q = A \sin(\Phi) \quad (3.4)$$

수신한 I/Q 신호를 이용해 식(3.5)~(3.6)과 같이 전력과 위상 성분을 산출할 수 있다.

$$Power(A^2) = I^2 + Q^2 \quad (3.5)$$

$$Phase(\Phi) = \tan^{-1}(Q/I) \quad (3.6)$$

모멘트 변수로의 변환을 위해 상관계수를 산출해야 하는데, RVP8 신호처리기의 경우 lag-0(지연 펄스 0개), lag-1(지연 펄스 1개), lag-2(지연 펄스 2개)에 대한 상관계수가 변수변환에 이용된다. 상관계수는 지형 클러터 필터 적용 전 상관계수와 지형 클러터 필터 적용 후 상관계수를 산출할 수 있다. RVP8 신호처리기에서 산출하는 상관계수인 T_0 , R_0 , R_1 , R_2 는 식(3.7)~(3.10)과 같이 산출된다.

$$T_0 = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M s_n^* s_n \quad (3.7)$$

여기서 M 은 한 번에 처리하는 펄스 수(하나의 ray를 만드는 펄스)이다. T_0 는 클러터 필터를 적용하지 않은 자기상관 계수이므로 물리적으로 표적 신호, 클러터 신호, 잡음이 혼재되어 있는 신호의 자기상관의 의미를 갖는다.

$$R_0 = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M s'_n * s'_n \quad (3.8)$$

여기서 R_0 는 클러터 필터 적용 후 자기상관 계수이므로 물리적으로 클러터 신호는 제거되고 표적 신호와 잡음만 혼재되어 있는 의미를 갖는다.

$$R_1 = \frac{1}{M-1} \sum_{n=1}^{M-1} s'_n * s'_{n+1} \quad (3.9)$$

$$R_2 = \frac{1}{M-2} \sum_{n=1}^{M-2} s'_n * s'_{n+2} \quad (3.10)$$

여기서 R_1 은 수신한 펄스와 한 펄스 지연을 갖는 펄스의 상관 계수이며, R_2 는 수신한 펄스와 두 펄스 지연을 갖는 펄스의 상관 계수이다. 이러한 상관 계수는 수신신호를 모멘트 자료로 변환하는데 이용된다.

3.1. 반사도 변환

반사도(reflectivity, Z)는 수신신호의 강도를 알 수 있는 변수로 레이더 원시신호 (I/Q)를 식(3.11)을 이용하여 변환할 수 있다. 수신신호를 CPI(Coherent Processing Interval)별로 상관계수를 구하며 이를 이용해 ray 자료를 생성하므로 용인테스트 베드레이더의 경우 약 85개가 소백산의 경우 55개의 펄스가 하나의 ray 자료를 생성한다(수집사례).

$$dBZ = 10 \log \left[\frac{T_0 - N}{N} \right] + dBZ_0 + 20 \log r \quad (3.11)$$

여기서 N 은 잡음 신호이며 dBZ_0 는 하드웨어 보정 반사도이고 $20 \log r$ 은 거리에 대한 보정 부분으로 수신 신호가 r^2 (거리²)에 반비례하므로 이를 보정한다. 식 (3.11)을 이용해 용인테스트베드레이더 2014년 11월 28일 17시 KST 사례의 원시 신호(I/Q)로 변환하면 그림 3.2와 같다. 지형 클러터 필터링을 수행하지 않았으므로 레이더 주변에 높은 반사도의 지형 클러터가 탐지되었으며 레이더 동·서 방향에 있는 강수 에코가 탐지되었다. 식(3.11)을 이용해 강수 사례인 소백산레이더 2013년 5월 27일 1930 KST 자료와 맑은 날 사례인 2013년 5월 29일 1000 KST I/Q 신호를 반사도로 변환하면 그림 3.3의 좌측 영상과 같으며 비교를 위해 레이더 시스템의 산출물인 UF 자료는 우측 영상과 같다.

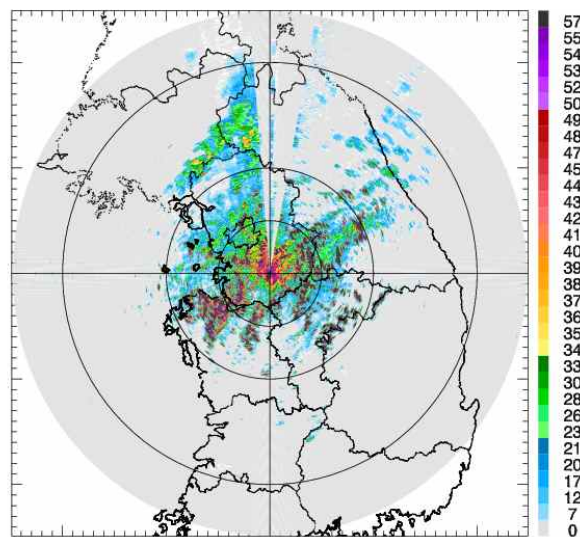


그림 3.2 용인테스트베드레이더 원시신호(I/Q)를 이용한 반사도 변환 결과
(20141128 1700 KST)

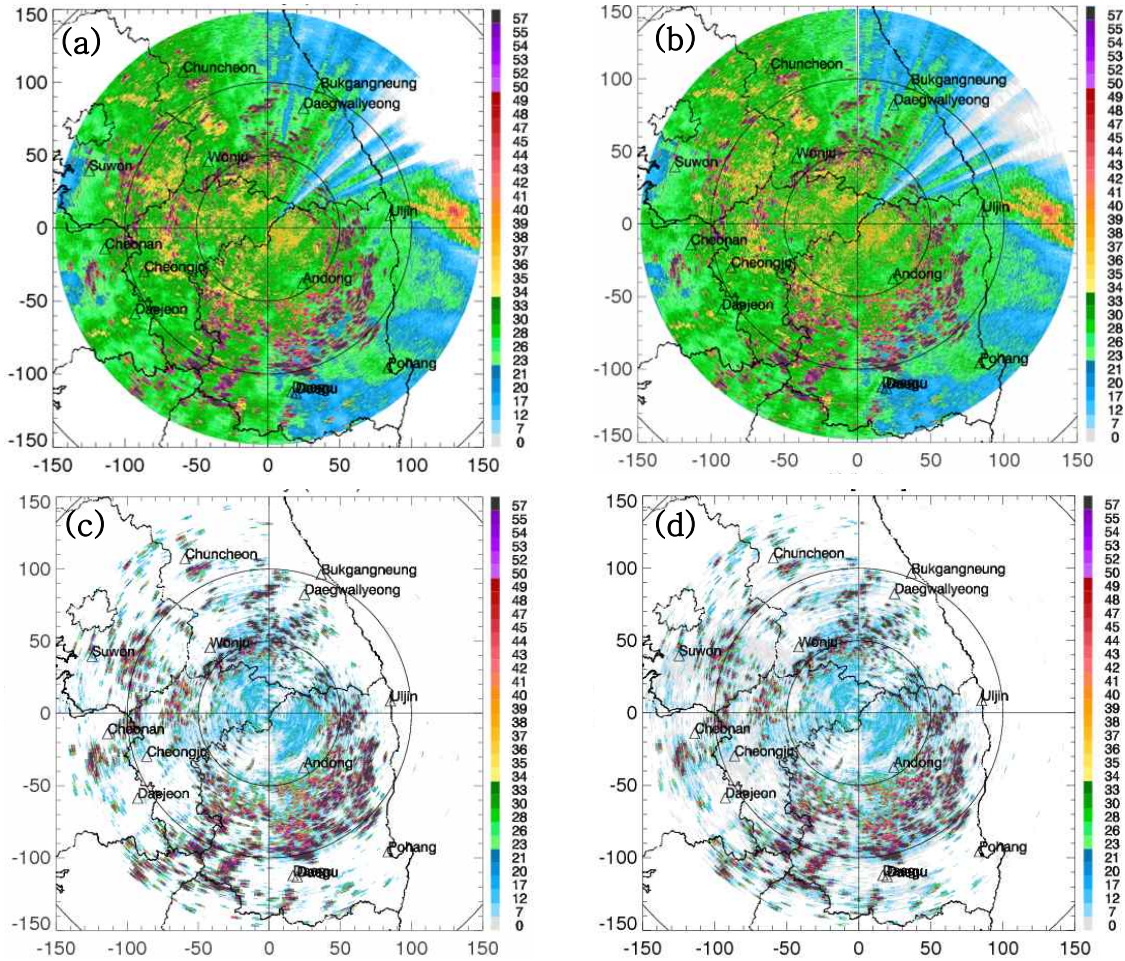


그림 3.3 원시 신호(I/Q)를 이용한 보정 전 반사도 변환 결과 (a) I/Q 직접 변환 결과, (b) UF 자료(2013.05.27.19:30 KST), (c) I/Q 직접 변환 결과, (d) UF 자료 (2013.05.29.10:00 KST)

3.2. 시선속도 변환

시선속도(VR: Radial Velocity)는 레이더와 가까워지면 음(-)의 속도, 레이더로부터 멀어지면 양(+)의 속도를 가지며 이를 이용해 바람 시어를 확인할 수 있다. 레이더 원시신호(I/Q)를 식(3.12)를 이용해 시선속도로 변환할 수 있다.

$$V = \frac{\lambda}{4\pi\tau_s} \theta_1 \quad \text{where } \theta_1 = \arg\{R_1\} \quad (3.12)$$

시선속도는 송신주기($PRT=1/PRF$)와 파장, 한 펄스와 다음 펄스(한 펄스 지연)의 상관계수의 위상 성분을 이용해 산출한다. 이때 파장은 고정된 값이므로(S-band: 약 10cm) PRF가 크면, 탐지 가능한 속도 범위가 넓어지나(Nyquist velocity가 커짐) 최대탐지거리가 짧아지고 PRF가 작으면, 최대탐지거리는 길어지나 탐지 가능한 속도 범위가 작아진다.

소백산 강우 레이더의 파장은 10.54cm이며 PRF가 1000Hz이며 θ 의 범위는 $[-\pi, \pi]$ 이므로 θ_1 의 최대값은 1이다. 따라서 최대 탐지 속도는 식(3.13)과 같이 산출된다.

$$V_u = \frac{0.1048}{4\pi(1/1000)} = 26.2[m/s]$$

(3.13)

따라서 소백산레이더의 탐지 가능한 속도 범위는 $\pm 26.2m/s$ 이다. 수신신호의 속도가 이 범위를 벗어나면 속도 접힘 현상이 발생하므로 이에 대한 보정이 필요하다. 식(3.1)을 이용하면 최대탐지거리를 산출할 수 있으며, 결과는 식(3.14)와 같다.

$$R_u = \frac{c}{2PRF} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^3} = 150[km]$$

(3.14)

식(3.12)를 이용해 용인테스트베드레이더 2014년 11월 28일 1700 KST 원시신호에 적용한 결과는 그림 3.4와 같으며, 이때 레이더 동·서 방향의 강수 에코 영역에서 $\pm 10m/s$ 이내의 시선속도가 산출된 것을 확인할 수 있다.

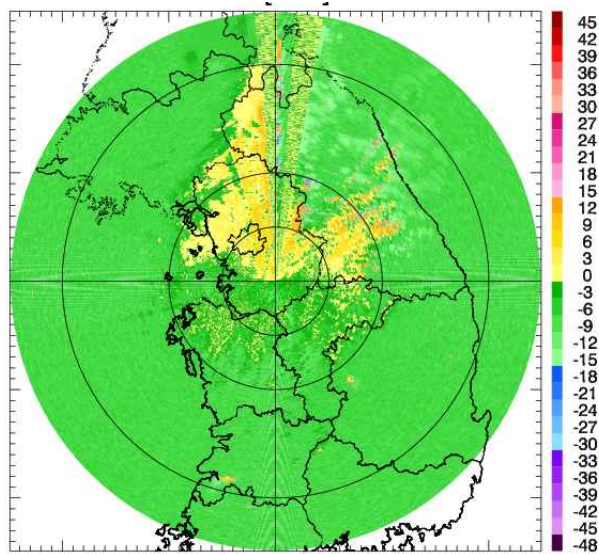


그림 3.4 용인테스트베드레이더 원시신호(I/Q)를 이용한 시선속도 변환 결과
(2014.11.28.17:00(KST))

식(3.12)를 이용해 강수 사례인 소백산레이더 2013년 5월 27일 19시 30분(KST) 자료와 맑은 날 사례인 2013년 5월 29일 1000 KST I/Q 신호를 시선속도로 변환한 결과는 그림 3.5 좌측 영상이며 우측 영상은 레이더 시스템의 기존 산출물인 UF 데이터의 시선속도 자료이다. UF 자료는 신호처리기에서 나온 산출물이므로 임계치 필터링과 지형 클러터 필터링이 수행되어 아래 지형 클러터 영역이 제거되었고 우측 빈 부분은 임계치로 사용되는 SQI(Signal Quality Index)가 낮아 제거된 결과이다. 좌측의 직접 변환 영상은 아무런 필터링이 수행되지 않아 수신한 모든 신호가 표출되었다.

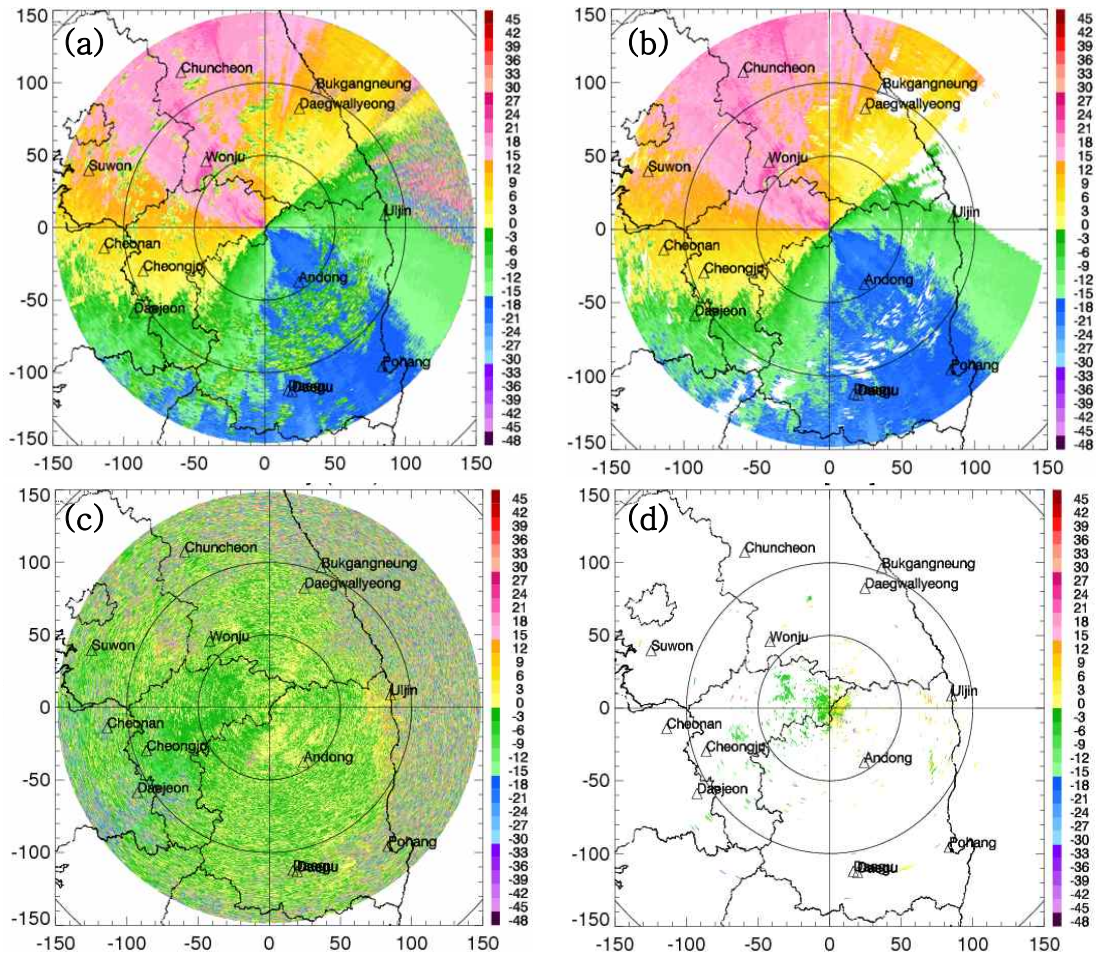


그림 3.5 원시신호(I/Q)를 이용한 시선속도 변환 결과 (a) I/Q 직접 변환 결과, (b) UF 자료(2013.05.27.19:30 KST), (c) I/Q 직접 변환 결과, (d) UF 자료 (2013.05.29.10:00 KST)

3.3. 스펙트럼 폭 변환

스펙트럼 폭(Spectrum Width, SW)은 바람 변동성을 나타내는 지표로 신호 품질 관리에 이용되며 신호처리에서 필터링 임계치로 이용되는 신호 품질지수(Signal Quality Index, SQI) 산출에 중요한 변수이다. 스펙트럼 폭은 식(3.13)을 이용해 산출할 수 있는데 여기에서 W 는 스펙트럼 폭이며 이를 산출하기 위해 변동성(variance)을 이용한다. 스펙트럼 폭 산출 시, 일반적으로 신호 대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio, SNR)가 0dB 이상인 경우 식(3.14)로 산출하나 SNR이 충분히

클 경우(10dB 이상) 식(3.15)로 산출한다.

$$Spectrum\ Width = \frac{\sqrt{Variance}}{\pi} \quad (3.13)$$

1) SNR > 0dB

$$Variance = \frac{2}{3} \ln \left[\frac{|R_1|}{|R_2|} \right] \quad (3.14)$$

2) SNR >> 10dB (신호 대 잡음비가 충분히 클 경우)

$$Variance = 2 \ln \left[\frac{R_0}{|R_1|} \right] = -2 \ln [SQI] \quad (3.15)$$

식(3.13)을 이용해 강수 사례인 소백산레이더 2013년 5월 27일 19시 30분(KST) 자료와 맑은 날 사례인 2013년 5월 29일 10시(KST) I/Q 신호를 스펙트럼 폭으로 변환한 결과는 그림 3.6 좌측 영상이며 우측 영상은 레이더 시스템의 기존 산출물인 UF 데이터의 스펙트럼 폭 자료이다.

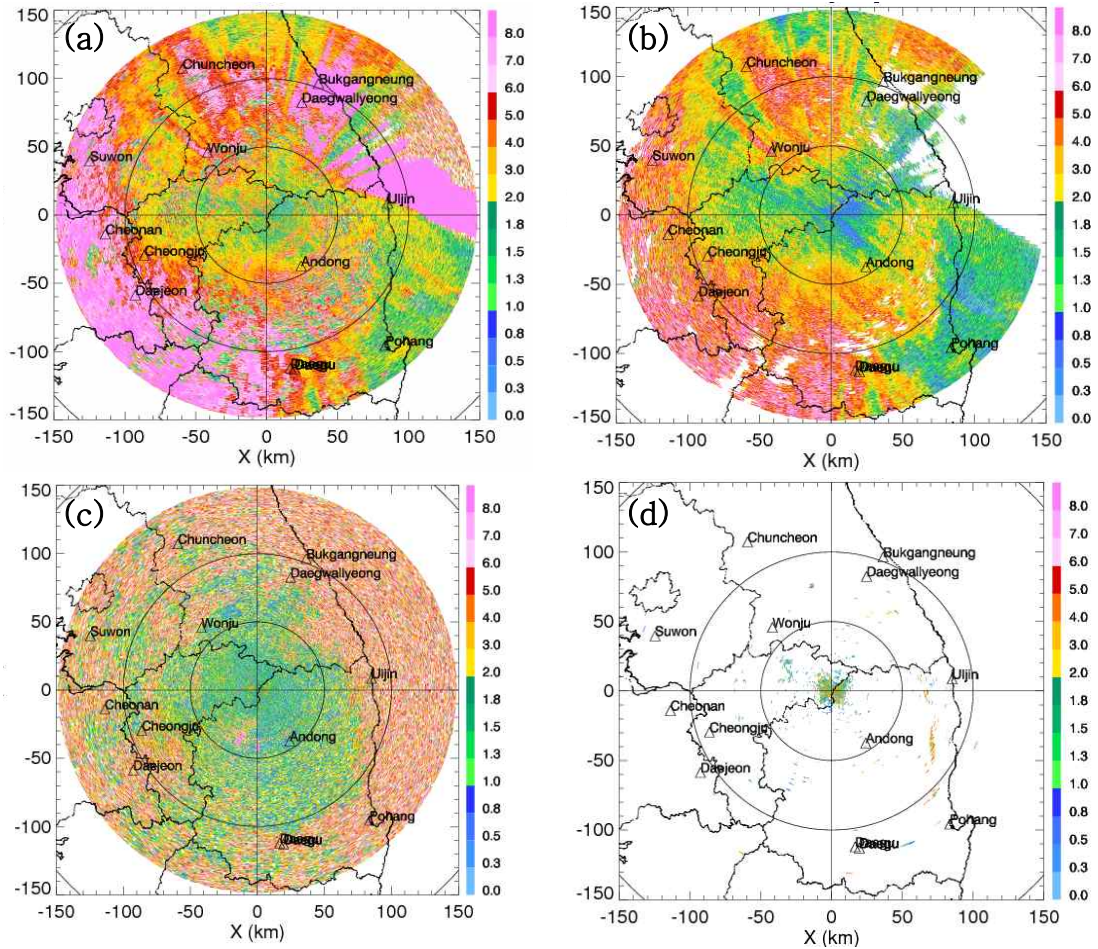


그림 3.6 원시신호(I/Q)를 이용한 스펙트럼 폭 변환 결과 (a) I/Q 직접 변환 결과, (b) UF 자료(2013.05.27.19:30 KST), (c) I/Q 직접 변환 결과, (d) UF 자료 (2013.05.29.10:00 KST)

3.4. 차등반사도 변환

차등반사도(differential reflectivity, Z_{DR})는 수평편파와 수직편파의 반사도 차이를 이용해 입자의 편평도를 결정한다. 강수입자는 입자의 가로와 세로 차이가 작으므로 차등반사도가 작고 지형 클러터나 채프에코, 새떼 등의 비기상 에코는 차등반사도가 크다. 강수입자도 강수유형에 따라 해양성 강수는 강수입자가 작아 구 형태이므로 차등반사도가 작으나(약 0~3dB) 대륙성 강수는 입자크기가 커 입자의 가로와 세로 차이가 커져 차등반사도가 해양성보다 크게(2~5dB) 나타난다. 따라서

이 변수를 이용하면 강수유형에 따른 강수량을 산출할 수 있다.

차등반사도는 식(3.16)을 이용해 산출할 수 있다. s_{hh} 는 수평편파를 송신하고 수신한 신호이며 s_{vv} 는 수직편파를 송신하고 수신한 신호이다. 여기에서 s 는 single complex number의 약자이고 N_h 는 수평편파의 잡음 레벨, N_v 는 수직편파의 잡음 레벨이다.

$$Z_{DR} = 10 \log \left[\frac{\langle |s_{hh}|^2 \rangle - N_h}{\langle |s_{vv}|^2 \rangle - N_v} \right] \quad (3.16)$$

식(3.16)을 용인테스트베드레이더 2014년 11월 28일 17시 KST 사례에 적용하면 그림 3.7과 같다. 레이더 주변의 지형 클러터 영역에서 6dB 이상의 높은 값이 산출되었고 레이더 동/서 방향의 강수에코 영역은 0-2dB 사이의 값이 산출되었다. 식(3.16)을 이용해 강수 사례인 소백산레이더 2013년 5월 27일 19시 30분(KST) 자료와 맑은 날 사례인 2013년 5월 29일 10시(KST) I/Q 신호를 차등반사도로 변환한 결과는 그림 3.8 좌측 영상이며 우측 영상은 레이더 시스템의 기존 산출물인 UF 데이터의 차등반사도이다. 지형 클러터 영역에서 6dB 이상의 높은 값이 산출되었으며 우측 UF 데이터는 지형 클러터 필터링으로 좌측 6dB 이상 영역이 제거된 것을 알 수 있고 임계치 필터링이 수행되어 우측 영역이 제거되었다.

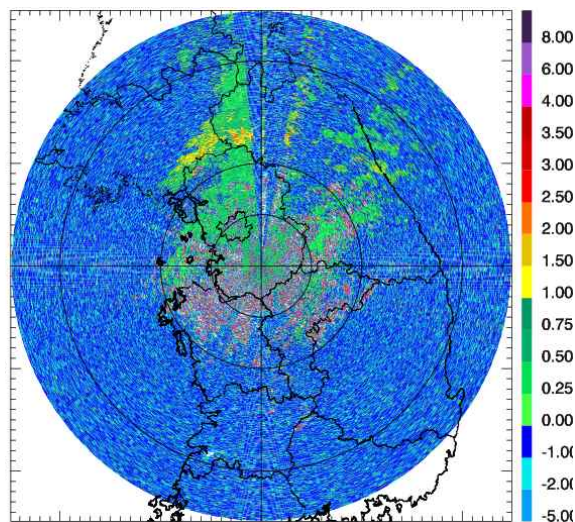


그림 3.7 원시 신호(I/Q)를 이용한 차등반사도 변환 결과 (20141128 1700 KST)

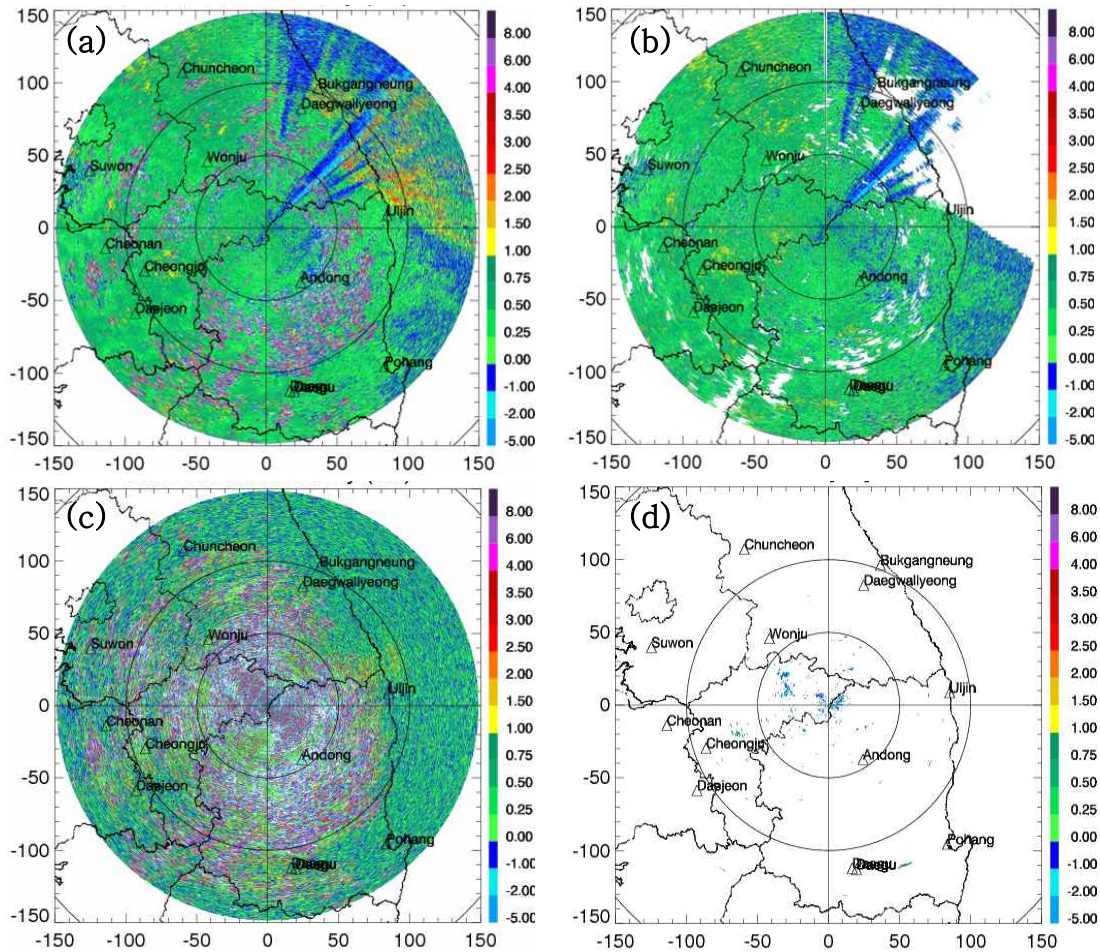


그림 3.8 원시신호(I/Q)를 이용한 차등반사도 변환 결과 (a) I/Q 직접 변환 결과, (b) UF 자료(20130527 1930 KST), (c) I/Q 직접 변환 결과, (d) UF 자료(20130529 1000 KST)

3.5. 교차상관계수 변환

교차상관계수(correlation coefficient, R_{hv})는 수평편파와 수직편파 신호의 상관 정도(유사성)를 나타낸다. 따라서 순수한 비의 경우 수평편파와 수직편파 신호의 수신 전력이 유사하므로 1에 가까운 높은 값(>0.97)이 나타나고, 눈/비 혼재 시 0.8 이상 0.97 미만 값을 가지며 채프에코, 새떼 등 비기상 에코는 0.8 이하의 낮은 값을 갖는다. 교차상관계수는 식(3.17)과 같이 산출할 수 있으며 이 변수는 강수/비강수 에코 구분 및 강수유형 구분에 유용하다.

$$R_{hv} = |R_{hv}(0)| = \left| \frac{\langle s_{vv} s_{hh}^* \rangle}{\langle |s_{hh}|^2 \rangle \langle |s_{vv}|^2 \rangle} \right| \quad (3.17)$$

식(3.17)을 용인테스트베드레이더 2014년 11월 28일 17시 KST 사례에 적용한 결과 그림 3.9와 같이 레이더 동/서 방향의 강수 에코 영역에서 1에 가까운 높은 값이 산출되었다. 그러나 지형 클러터 영역도 강수보다는 낮지만 약 0.9의 높은 값이 산출되었다.

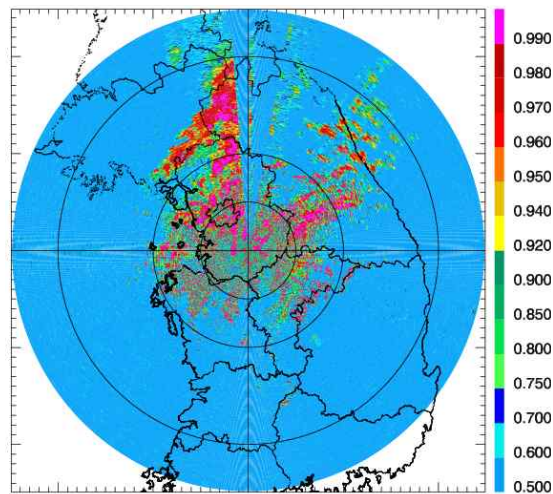


그림 3.9 원시신호(I/Q)를 이용한 교차상관계수 변환 결과(20141128 1700 KST)

식(3.17)을 이용해 강수 사례인 소백산레이더 2013년 5월 27일 1930 KST 자료와 맑은 날 사례인 2013년 5월 29일 1000 KST I/Q 신호를 교차상관계수로 변환한 결과는 그림 3.10의 좌측 영상이며 우측 영상은 레이더 시스템의 기존 산출물인 UF 데이터의 교차상관계수이다.

강수 사례의 경우 그림 3.10의 위 그림처럼 동북부 영역을 제외하고 강수가 존재하므로 교차상관계수가 높게 나타나나, 강수 신호와 지형 클러터 신호가 혼재된 영역의 신호는 교차상관계수가 낮게 나타났다. 맑은 날 사례의 경우, 강수가 없음에도 불구하고 지형 클러터 영역에서 0.9 이상의 높은 값을 보였다. 이러한 원인은

지형 클러스터 신호 수신 시 빔 영역에 균일한 지형 클러스터 신호가 수신될 경우, 수평편파 펄스와 수직편파 펄스의 수신 전력의 유사성이 높게 나타날 수 있기 때문이다(예를 들면, 산에 나무가 많지 않을 때). 그러나 지형 클러스터 영역에 강수가 발생하면 수신 신호가 혼재되므로 신호의 유사성이 떨어져 0.8 이하의 낮은 값이 산출되었다.

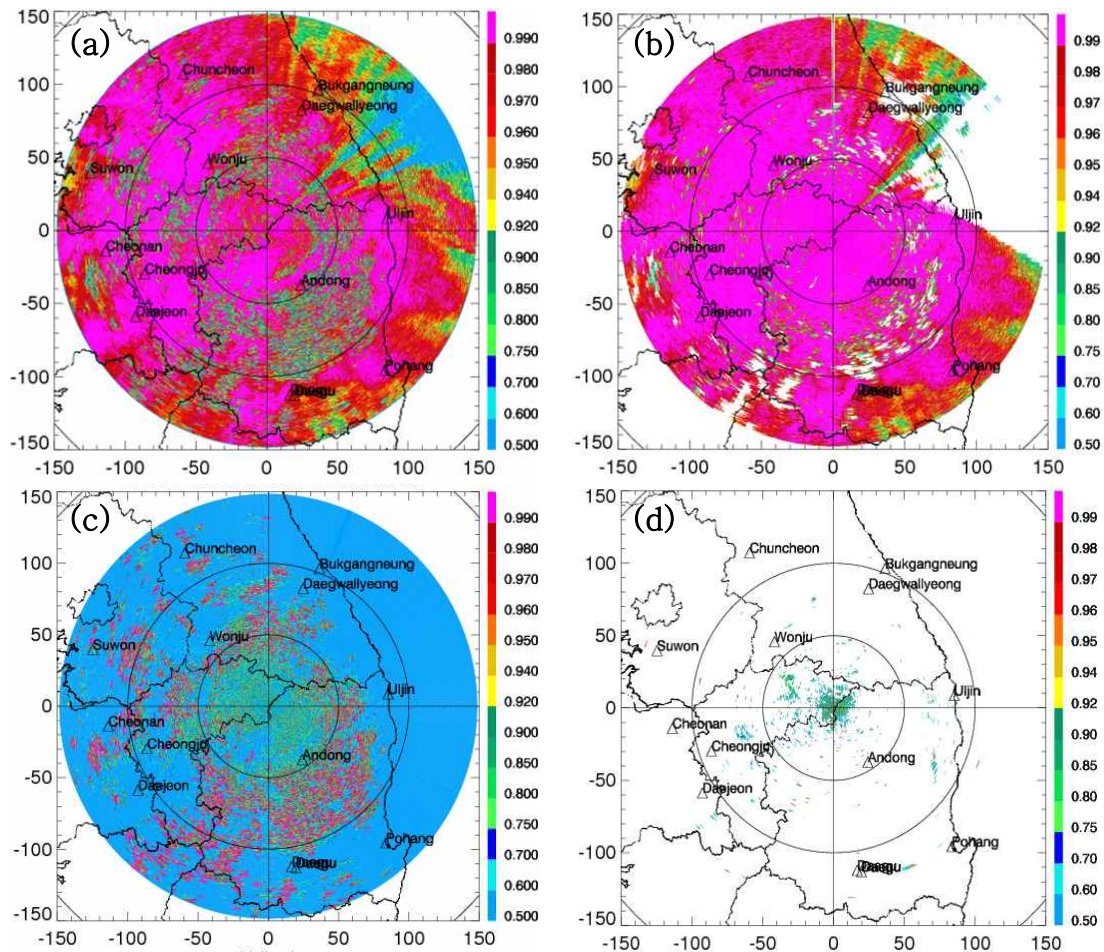


그림 3.10 원시신호(I/Q)를 이용한 교차상관계수 변환 결과 (a) I/Q 직접 변환 결과, (b) UF 자료(20130527 1930 KST), (c) I/Q 직접 변환 결과, (d) UF 자료(20130529 1000 KST)

3.6. 차등위상차 변환

차등위상차(differential phase, Pdp)는 수평편파와 수직편파의 위상차의 합을 전파경로에 따라 축적한 값으로 위상은 전파가 입자를 투과할 때 생기는 변화를 이용하여 그 차이를 구한다. 이때, 위상 차이는 입자의 거리에 비례하기 때문에 강수입자의 모양에 따라 수평편파와 수직편파의 위상 차이가 발생하며 단위부피 내 강수입자의 개수가 많을수록 전파경로가 길어져 위상 차이가 크게 나타난다. 차등위상차는 식(3.18)과 같이 산출할 수 있으며 수평편파와 수직편파의 상관함수를 이용해 구할 수 있다. 이때 산출한 상관함수의 크기는 교차상관계수이고, 편각은 차등위상차이다.

$$\Phi_{DP} = \arg[R_{hv}(0)] = \arg\left[\frac{\langle s_{vv}s_{hh}^* \rangle}{\langle |s_{hh}|^2 \rangle \langle |s_{vv}|^2 \rangle}\right] \quad (3.18)$$

식(3.18)을 용인테스트베드레이더 2014년 11월 28일 1700 KST 사례에 적용하면 그림 3.7과 같다. 차등위상차는 강수 영역에서 거리에 따라 그 값이 누적된다. 그림 3.11(a)는 차등위상차에 오프셋을 적용하지 않은 결과이며 지형 클러스터 영역은 높은 차등위상차가 산출되었고 강수 영역은 낮은 값이 산출되었으나 음의 값을 가져 구분이 어렵다. 따라서 50°의 오프셋을 준 결과 그림 3.11(b)와 같이 레이더 동/서 영역의 강수 영역에서 60° 이하의 낮은 값을 갖지만 거리가 멀어질수록 그 값이 누적되어 거리에 따라 커지는 것을 알 수 있다. 식(3.18)을 이용해 강수 사례인 소백산레이더 2013년 5월 27일 1930 KST 자료와 맑은 날 사례인 2013년 5월 29일 1000 KST I/Q 신호를 차등위상차로 변환한 결과는 그림 3.12의 좌측 영상이며 우측 영상은 레이더 시스템의 기존 산출물인 UF 데이터의 차등반사도이다.

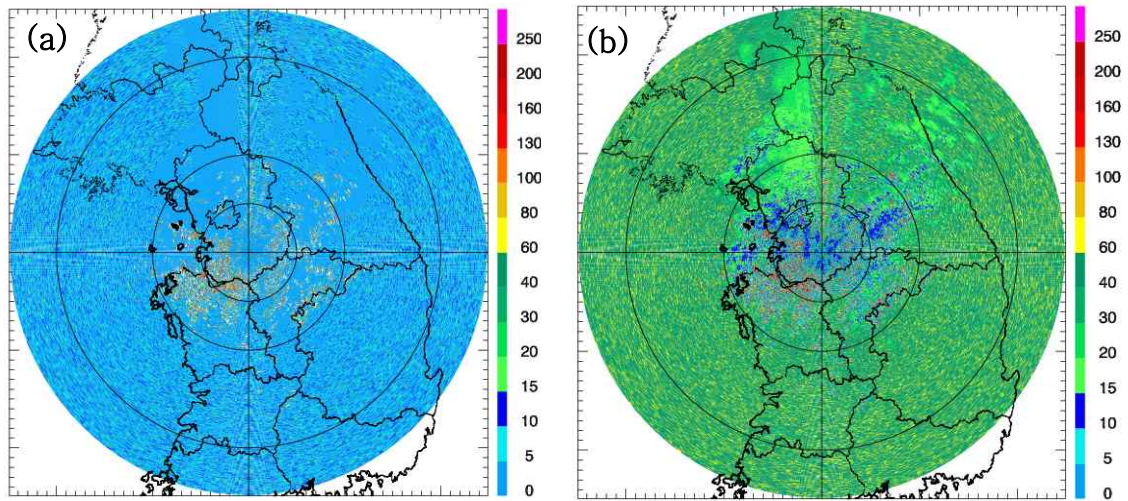


그림 3.11 용인테스트베드레이더 원시신호(I/Q)를 이용한 차등 위상차 변환 결과
(2014.11.28.17:00 KST) (a) no offset (b) 50° offset

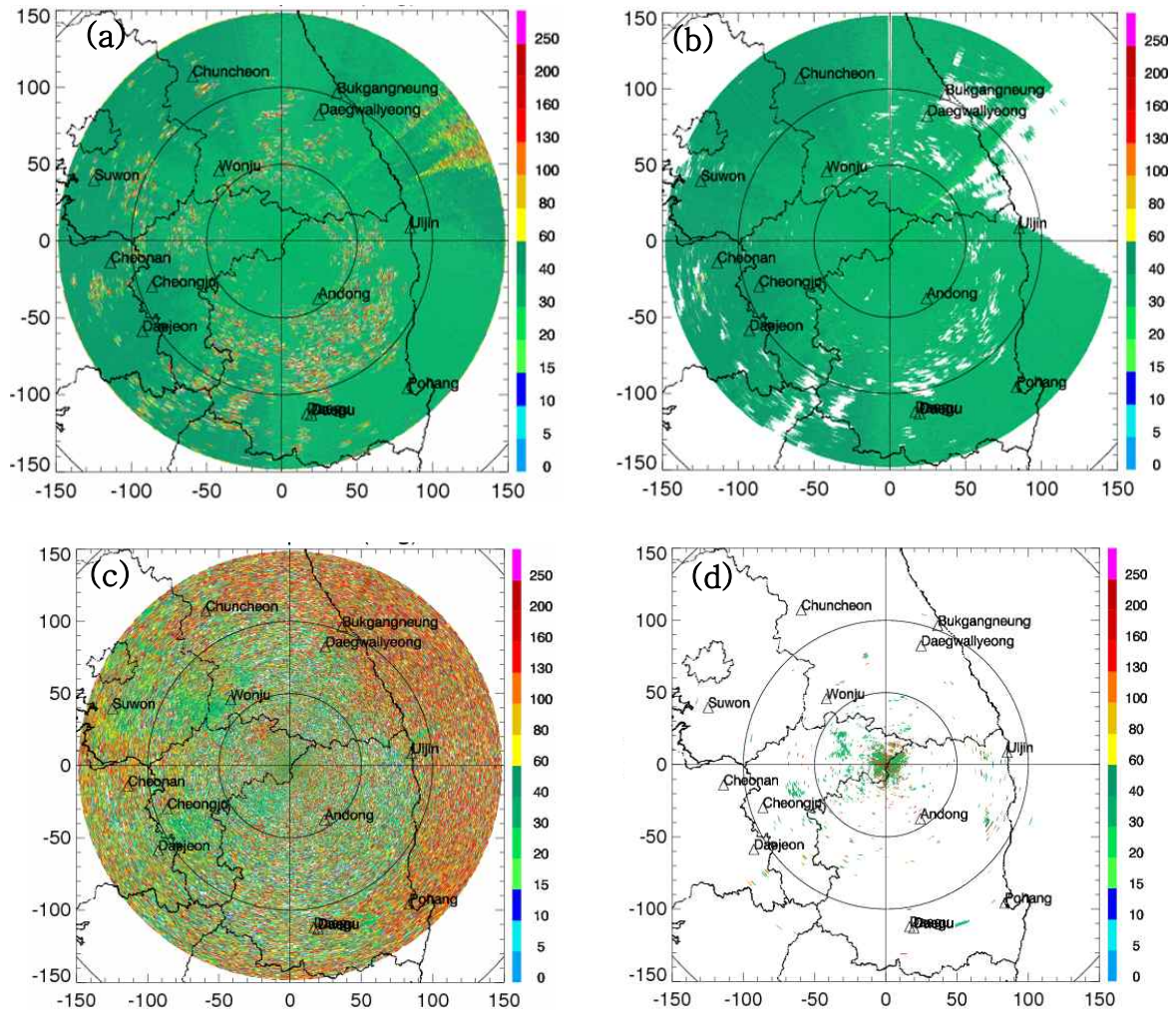


그림 3.12 소백산 레이더 원시신호(I/Q)를 이용한 차등 위상차 변환 결과 (a) I/Q 직접 변환 결과, (b) UF 자료(20130527 1930 KST), (c) I/Q 직접 변환 결과, (d) UF 자료(20130529 1000 KST)

제4장 원시신호(I/Q) 자료 특성 분석

레이더 원시신호의 특성 분석을 위해 그림 4.1의 방위각 0° 영역(빨간선)의 시간 영역(time-domain) 전력과 위상 신호 특성 및 주파수 영역(frequency-domain) 도플러 특성을 분석하였다.

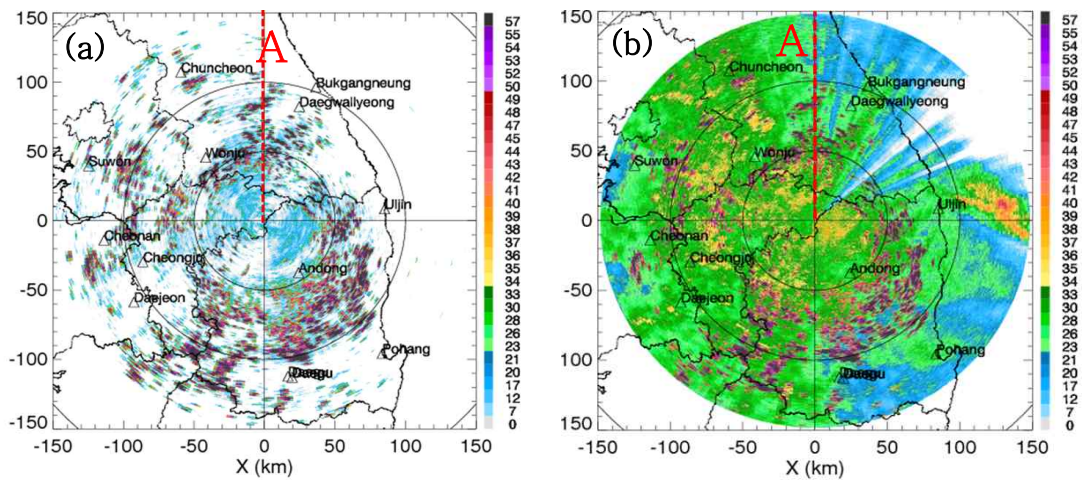


그림 4.1 보정 전 반사도 (a) 맑은 날 사례(20130529 1000 KST), (b) 강수 사례(20130527 1930 KST)(붉은 색 파선(A)은 원시신호(I/Q) 자료 특성 분석을 위한 방위각 방향을 나타냄)

그림 4.1의 레이더 중심으로부터 0° 방위각 방향의 붉은 색 선을 본 연구에서는 분석 방위각(A)으로 지정하여 분석하였다. 분석 영역의 최저고도각(-0.5°) 빔 경로는 표준 대기 굴절을 가정하면 그림 4.2와 같고 빔 경로 전체에 지형 클러터가 존재하며 45~60km 부근의 높은 지형 클러터로 인해 빔 차폐가 발생한다. 따라서 이 영역보다 먼 곳에서 수신되는 신호는 빔 차폐로 신호가 약하게 수신되고 90km 부근과 135km 영역 등 앞 신호보다 높은 지형 클러터가 존재할 때 추가적인 빔 차폐가 발생한다.

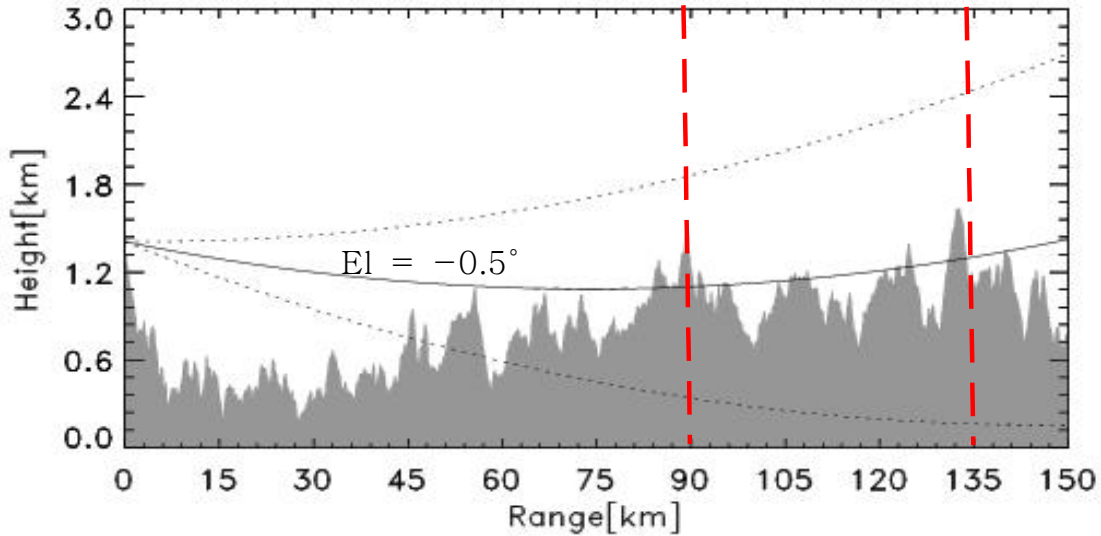


그림 4.2 분석 영역 빔 경로 및 지형

(붉은색 파선은 지형클러터가 강하게 나타나는 영역을 나타냄)

4.1. 신호 전력 분석

분석 영역의 신호 전력은 그림 4.3과 같으며 위 영상은 맑은 날 사례, 아래 영상은 강수 사례의 전력이다. 이때 수신 신호의 하드웨어 잡음 레벨은 -79.43dB 이다. 두 사례 모두 90km 이내 영역의 유사한 위치에서 강한 신호를 수신하는데 이는 지형 클러터로 그림 4.2에서 확인할 수 있다.

그림 4.2의 빔 경로를 보면 맑은 날 사례의 경우, 전 영역에 지형 클러터가 존재하나 90km 이후 영역 신호는 거의 수신되지 않았으며 135km 부근에서 높은 지형 클러터 신호가 수신되었다. 따라서 지형 클러터만 존재하는 경우, 레이더의 빔 경로 안에 포함되는 영역 중 레이더와 가까운 거리에 지형 클러터가 존재하면, 지형 클러터로 인한 전체 혹은 부분 빔 차폐가 발생한다. 예를 들어 레이더에 수신되는 신호가 지형 클러터보다 낮은 영역에 위치하면 전체 빔 차폐로 인하여 전혀 수신되지 않는다. 또한 신호가 지형 클러터를 걸쳐 수신되는 경우에는 부분 빔 차폐로 인해 원래 신호보다 약한 강도로 수신된다.

강수 사례는 분석 영역 전체에 강수가 존재하므로 전 영역에서 잡음 레벨 이상의 신호를 수신하였으나 맑은 날 사례와 유사한 위치에서 지형 클러터 신호를 수신

하며 이로 인해 빔 차폐가 발생하므로 강수 신호 역시 차폐된 신호가 수신된다.

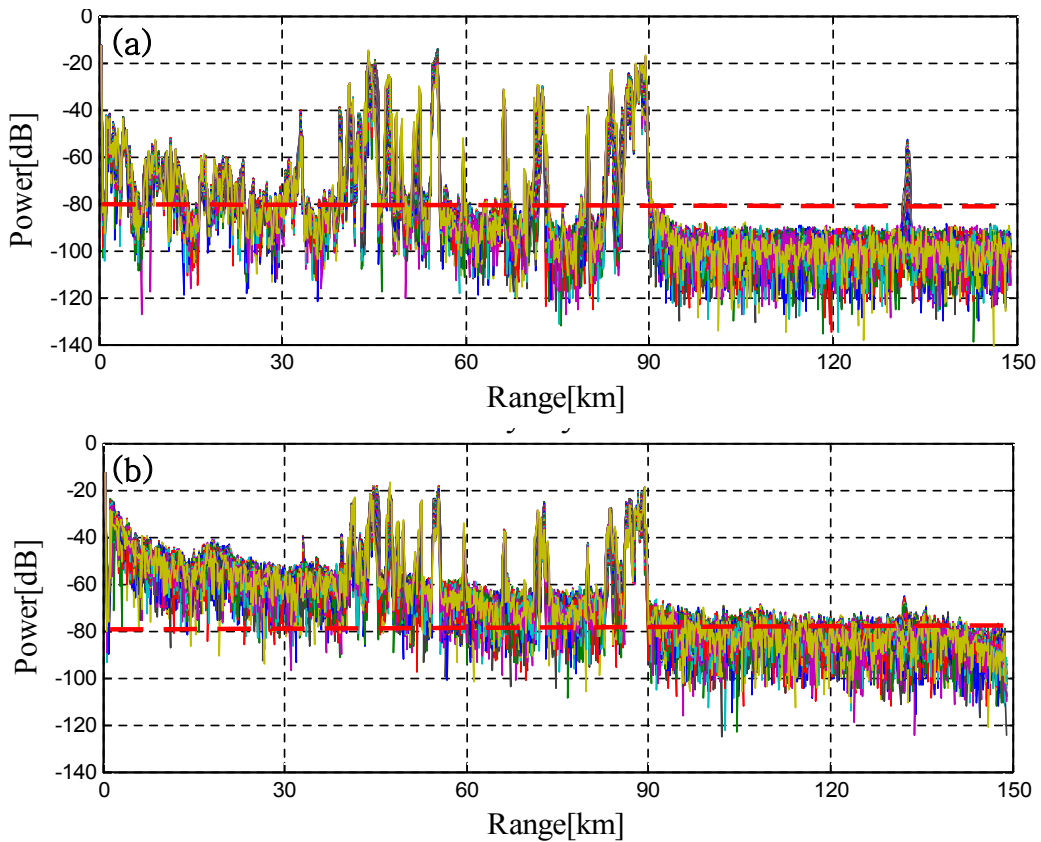


그림 4.3 분석 영역 전력 (a) 맑은 날 사례(20130529 1000 KST), (b) 강수 사례 (20130527 1930 KST)(붉은색 파선은 잡음 레벨을 나타냄)

4.2. 위상 변동성 분석

분석 영역의 위상 변동성은 그림 4.4와 같다. 신호의 위상 정보는 중간에 이전 신호에 없었던 장애물이 발생하면 지연되어 수신되고 장애물이 없다면 동일하게 수신된다. 따라서 고정 클러터는 수신신호의 일치도(coherence)가 높고, 이동 클러터는 수신신호의 일치도가 낮다. 그림 4.4는 그림 4.1 분석 영역(방위각 0°)의 CPI(Coherent Processing Interval) 단위로 위상 변동성을 확인한 결과이다. 위상 변동성이 높으면 수신신호의 일치도가 낮음을 의미하므로 이동 성분이 존재함을 의미하며 위상 변동성이 낮으면 수신신호의 일치도가 높음을 의미하므로 고정

클러터 신호를 수신한 것이다.

맑은 날 사례는 90km보다 가까운 거리에서는 지형 클러터로 인해 낮은 위상 변동성을 나타내야 하나 먼지 등의 신호가 혼재되어 있어 위상 변동성이 일정하지 않다. 90km 이후 영역에서는 빔 차폐로 인해 지형 클러터 신호를 거의 수신하지 않으므로 위상 변동성이 높게 나타나고 135km 부근의 지형 클러터로 인해 낮은 위상 변동성을 갖는다.

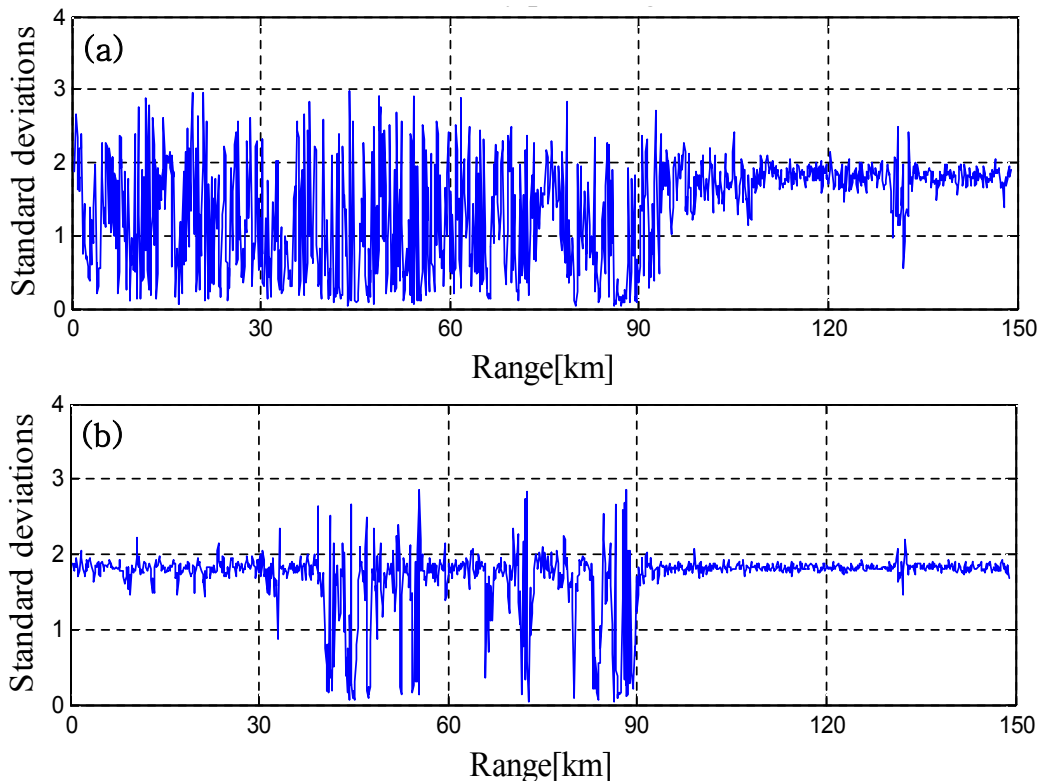


그림 4.4 분석 영역 위상 변동성 (a) 맑은 날 사례(20130529 1000 KST), (b) 강수 사례(20130527 1930 KST)

강수 사례는 강수 신호로 인해 명확한 이동 성분이 존재하므로 위상 변동성이 높게 나타나며 지형 클러터 영역에서 위상 변동성이 낮게 나타났다. 따라서 강수 사례에서 위상 변동성은 추후 지형 클러터 영역 판별에 중요한 정보로 활용할 수 있을 것이다.

실제로 이러한 신호의 위상 특성을 이용하여 고정 클러터와 이동 클러터를 구분

할 수 있어 PPP(Pulse Pair Processing) 등의 지형 클러터 제거 시 이용된다. 그러나 PPP의 경우 시간 영역에서 수행되므로 지형 클러터와 강수 신호 혼재 시에도 지형 클러터로 판별된 영역을 제거하므로 강수 신호의 손실을 초래한다는 단점이 있다. 그러나 위상 특성은 지형 클러터 영역을 판단하는 중요한 정보이므로 추후 이를 잘 활용하면 지형 클러터가 많은 국내 지형 특성을 고려한 지형 클러터 제거에 유용할 것이다.

4.3. 도플러 스펙트럼 분석

시간 영역의 신호를 FFT(Fast Fourier Transform)하면 주파수 영역 신호를 얻을 수 있다. 주파수 영역 신호의 도플러 특성은 속도 정보를 의미하므로 고정 클러터와 이동 클러터의 보다 정밀한 구분이 가능해 지형 클러터 제거 기법에 많이 활용된다. 지형 클러터는 제로 도플러(0m/s) 신호를 수신하고 강수 신호는 이동하므로 도플러 속도를 갖는다. 그림 4.5는 그림 4.1 분석 영역의 도플러 속도이며 x축은 도플러 속도, y축은 거리이다. 두 사례 모두 90km 이전 영역에서 지형 클러터로 인해 제로도플러 부근에 강한 신호(붉은색)를 수신한다.

맑은 날 사례는 제로 도플러 부근에 강한 지형 클러터 신호를 수신하고 양 옆으로 신호가 약화되며, 강수 사례는 맑은 날 사례와 유사한 위치의 지형 클러터신호 뿐만 아니라 강수로 인한 도플러 신호를 수신하였다. 지형 클러터 신호와 강수 신호는 도플러 특성을 이용하면 구분할 수 있으며 이를 이용한 지형 클러터 제거 기법들이 많이 연구되고 있다. 그러나 지형 클러터 신호가 강할 경우 제로 도플러 뿐만 아니라 양 옆으로 신호가 존재하므로 이 신호가 강수 신호보다 클 경우 구분이 어려워진다. 특히 우리나라는 산지가 많아 강한 지형 클러터 신호를 많이 수신하므로 국내 지형 환경에 적합한 지형 클러터 제거 기법을 적용하기 위해서는 이에 대한 많은 연구가 필요하다.

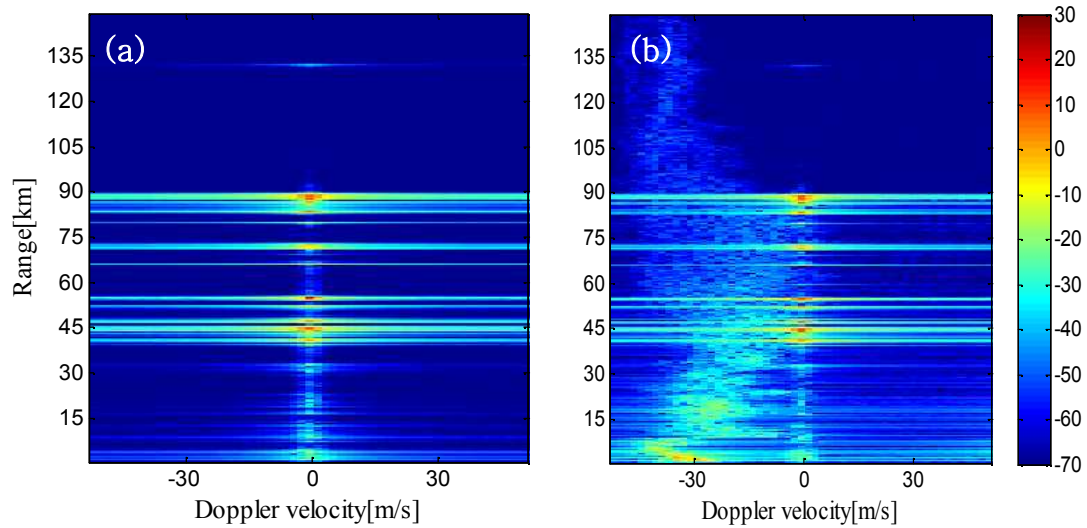


그림 4.5 분석 영역 도플러 속도 (a) 맑은 날 사례(20130529 1000 KST), (b) 강수 사례(20130527 1930 KST)

시간 영역 신호의 전력과 위상 특성을 정리하면 표 4.1과 같으며 그 공통적인 특징을 살펴보면 지형클러터 영역(그림 4.2의 지형 정보를 이용해 확인)은 전력 신호가 강하고 위상변동성은 낮고 제로도플러 근처에서 강한 신호를 수신하였다. 그러나 강수가 발생했을 때에는 위상변동성이 크고 제로도플러가 아닌 도플러속도를 갖는다.

표 4.1 맑은 날 및 강수 사례에 대한 시간영역(전력, 위상변동성), 주파수영역(도플러 스펙트럼) 특성 비교

		맑은 날 사례	강수 사례
시간 영역	전력	<ul style="list-style-type: none"> • 전 영역에 지형 클러터 존재 • 90km 이전 영역에서 강한 신호 수신 • 90km 이후에 빔 차폐로 지형 클러터 신호 수신하지 않음(135km 영역 제외) 	<ul style="list-style-type: none"> • 전 영역에 지형 클러터와 강수 신호 혼재 • 90km 이후에 빔 차폐로 지형 클러터 신호는 수신하지 않으나 강수 신호는 부분차폐되어 수신
	위상 변동성	<ul style="list-style-type: none"> • 90km 이전 영역: 수신된 지형 클러터가 많아 위상 변동성(표준편차) 낮음. 먼지 등의 신호와 섞여 변동폭 매우 큼 • 90km 이후 영역: 빔 차폐로 지형 클러터 신호 거의 수신하지 않아 위상 변동성(표준편차) 크나 변동폭은 작음 	<ul style="list-style-type: none"> • 전 영역에 강수가 있어 위상 변동성(표준편차)이 큼 • 강수 신호에 비해 매우 강한 지형 클러터 신호 수신 시 위상 변동성 낮음 • 90km 이후 영역: 빔 차폐로 지형 클러터 신호 거의 수신하지 않아 위상 변동성(표준편차) 크나 변동폭은 작음
주파수 영역	도플러	<ul style="list-style-type: none"> • 지형 클러터만 있으므로 제로 도플러(0m/s) 부근에서 강한 신호를 가짐 	<ul style="list-style-type: none"> • 제로 도플러(0m/s) 부근에 지형 클러터 • 이동하는 강수 신호로 인해 도플러 속도도 가짐

제5장 요약 및 결론

본 연구에서는 용인테스트베드레이더와 소백산레이더의 원시신호(I/Q)를 이용한 이중편파 변수 변환 및 원시신호(I/Q) 자료의 특성을 분석하였다. 일반적으로 레이더에서 제공하는 자료는 신호처리 이후의 자료이며 국내 기상 레이더는 국외에서 제작하여 수입한 장비로 완제품으로 되어 있어 산출물의 중간 과정을 변형하거나 진단하기 어려웠다. 그러나 이중편파레이더로의 교체로 인해 도입되는 시스템은 원시신호(I/Q) 수집이 가능하며, 레이더 신호처리 단계에서 원시신호(I/Q)를 이용하여 지형클러터 제거, 모멘트 변수 변환, 임계치 필터링, 스펙클 필터링 등이 수행된다. 따라서 원시신호(I/Q)를 처리할 수 있는 기술이 개발된다면 자체적인 신호처리 기술을 확보할 수 있다.

본 연구에서는 용인테스트베드와 소백산레이더의 원시신호(I/Q)를 모멘트 변수(반사도, 시선속도, 스펙트럼 폭, 차등반사도, 교차상관계수, 차등반사도)로 변환하였다. 본 기술노트에서 수행한 모멘트 변수 변환 결과를 기존 UF 자료와 비교한 결과, 강수영역은 비교적 유사하게 변환된 것을 확인할 수 있다. 그러나 지형클러터 영역은 UF 자료 산출 시 필터링하지 않은 반사도(DZ) 외의 모멘트 자료에 지형클러터 필터링이 수행되므로 UF 자료에서는 지형클러터가 제거되고 직접 변환한 원시신호(I/Q) 자료는 필터링을 하지 않았으므로 제거되지 않는다. 신호처리 단계에서 현재 임계치로 이용하고 있는 신호품질지수(SQI)는 SNR과 스펙트럼 폭을 변수로 하여 신호의 품질을 0~1 사이로 산출하는데 특정값 이하이면 제거하므로 UF 자료에서 약한 신호(SNR이 낮은 신호) 또는 스펙트럼 폭이 큰 영역의 신호 또한 제거되었다.

지형클러터 필터를 적용하지 않은 원시신호(I/Q)를 이용해 모멘트변수로 변환한 결과 지형클러터 영역에서 차등위상차가 높고 교차상관계수는 강수에코보다 낮게 산출되었다. 따라서 원시신호(I/Q)를 이용하면 기존에 제거되어 산출되는 지형클러터 영역 등의 비강수에코 신호의 모멘트 변수 특성을 알 수 있다.

수신한 신호의 시간영역(전력, 위상)과 주파수영역(도플러) 특성을 다양한 사례를 통해 분석한 결과, 순수한 지형 클러터 신호는 전력이 크고 위상의 변동성이 작으며, 제로 도플러 영역에서 강한 신호가 나타났다. 그러나 강수 신호는 위상 변동성이 크며, 제로 도플러 영역이 아닌 도플러 속도를 가졌다. 이러한 신호 특성은 추후 개발할 지형 클러터 영역에 대한 판별 및 제거 기법을 위한 중요한 연구 기반이 될 것이다. 특히 용인테스트베드레이더를 활용한 연구는 이중편파레이더의 최적 관측전략을 구축하고 레이더 자료 품질을 향상시킬 것으로 판단된다.

향후 레이더 원시신호(I/Q)를 이용한 지형클러터 제거 기법, 임계치 필터링, 스펙클 필터링 등의 국내 환경에 적합한 레이더 신호처리 기술을 개발한다면, 레이더 자료의 품질, 강수량 추정값 정확도, 눈·비분류의 정확도를 향상시킬 수 있으며, 자체 신호처리 기술 확보 및 국산화에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- A. D. Siggia and R. E. Passarelli, Jr. 2004: Gaussian model adaptive processing (GMAP) for improved ground clutter cancellation and moment calculation. *Proceeding of ERAD*, 67-73.
- Bassem R. Mahafza, 2009: *RADAR signal analysis and processing using MATLAB*. CRC.
- D. Curtis Schleher, 2009: *MTI and Pulsed Doppler Radar With MATLAB*. Artech House Remote Sensing Library.
- EEC, 2013: *IQ2 Manual*.
- Hubbert et al., 2009: Weather Radar Ground Clutter. Part I: Real-Time Identification and Filtering. *American Meteorological Society*.
- Hubbert et al., 2009: Weather Radar Ground Clutter. Part II: Real-Time Identification and Filtering. *American Meteorological Society*.
- Mark A. R, James A. S, William A. H, 2010: *Principles of modern radar: basic principles*. SCITECH
- Richard J. Doviak et al, 2007: *Doppler radar and weather observations*, DOVER PUBLICATIONS, INC., Second edition.
- Richards, M. A., 2005: *Fundamentals of Radar Signal Processing*, McGraw-Hills, New York.
- Ronald E. Rinehart, 1997: *Radar for meteorologists*, RINEHART PUBLISHING, Third edition
- Skolnik, M. I.(Ed.), 1990: *Radar handbook*. 2d ed., McGraw-Hill, New York.
- Vaisala, 2009: *RVP8 User' s manual*.

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 퍼지추론기법 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 분석현업 업무매뉴얼

WRC2012-01 : 이중편파레이더 자료 활용법

WRC2012-02 : 2012년 여름철 위험기상 레이더 분석보고서

WRC2013-01 : 2012년 겨울철 위험기상 레이더 분석보고서

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 : S-밴드 이중편파레이더 정량적 강수량추정 시험기술개발
및 사례검증(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 : 레이더자료 통합품질관리기술 개발 (III)
- WRC2014-02 : 레이더 원시신호(I/Q)의 이중편파변수 및 신호특성분석
- WRC2014-03 : 한반도 강우특성을 반영한 강우입자크기분포 특성분석
- WRC2014-04 : S-밴드 이중편파레이더 정량적 강수량 추정 시험기술개발
및 사례검증(II)
- WRC2014-05 : 레이더 강수량 추정값 후처리 보정기법 개선 및 과거자료
재생산