

UHF 윈드프로파일러 원시 자료의 이중 스펙트럼 침투 분리

조원기* · 권병혁** · 윤홍주***

Partitioning Bimodal Spectrum Peak in Raw Data of UHF Wind Profiler

Won-Gi Jo* · Byung-Hyuk Kwon** · Hong-Joo Yoon***

요약

비기상 에코뿐만 아니라 강수와 같은 산란 효과가 큰 기상 에코는 윈드프로파일러 바람 자료의 오류를 유발한다. 강우 상황에서 윈드프로파일러의 도플러 스펙트럼에는 강우 신호와 대기 신호가 모두 침투로 나타난다. 낙하하는 강우 입자에 의해서 강우 신호의 시선 속도가 매우 크게 나타난다. 강우에 의해 오염된 시선 속도는 수평 바람 벡터의 정확도를 낮추고 부정확한 기상 분석을 초래한다. 본 연구에서는 윈드프로파일러의 원시 데이터를 처리하는 알고리즘을 개발하였고, 강우 환경에서 도플러 스펙트럼에 대한 이중 침투를 분리하여 강우 신호와 대기 신호를 구분하였다.

ABSTRACT

In addition to non-meteorological echoes, meteorological echoes with large scattering effects, such as precipitation, cause errors in wind data measured by wind profiler. In the rainfall situation, the Doppler spectrum of wind profiler shows both the rainfall signal and the atmospheric signal as two peaks. The vertical radial velocity is very large due to the falling rain drop. The radial velocity contaminated by rainfall decreases the accuracy of the horizontal wind vector and leads to inaccurate weather analysis. In this study, we developed an algorithm to process raw data of wind profiler and distinguished rainfall signal and wind signal by partitioning bimodal peak for Doppler spectrum in rainfall environment.

키워드

Wind Profiler Radar, Bimodal peaks, Rain echo, Radial velocity, Vertical wind vector
윈드 프로파일러, 이중 침투, 강우 에코, 시선 속도, 연직 바람 벡터

1. 서론

윈드프로파일러(Wind Profiler Radar)는 수 십 MHz ~ 수 GHz의 주파수에 해당하는 전자기 펄스파를 방사하고 대기에서 산란된 신호를 검출하여 기상 정보를 수집한다. 수집된 기상 정보는 기상 감시와 예

보, 수치예보모델 등 다양한 연구 분야에서 기초 자료로 활용된다[1-5].

윈드프로파일러의 원시 자료는 대기 중의 입자나 대기 난류에 의해 산란된 신호를 수신하여 디지털 신호인 도플러 스펙트럼으로 저장된다. 도플러 스펙트럼은 바람 벡터 산출에 이용될 뿐만 아니라 대기의 특

* 부경대학교 지구환경시스템과학부(brilliantwg@gmail.com)

** 교신저자 : 부경대학교 환경대기학과

*** 부경대학교 공간정보시스템공학과(yoonhj@pknu.ac.kr)

• 접수일 : 2018. 11. 09

• 수정완료일 : 2018. 12. 22

• 게재확정일 : 2019. 02. 15

• Received : Nov. 09, 2018, Revised : Dec. 28, 2018, Accepted : Feb. 15, 2019

• Corresponding Author : Byung-Hyuk Kwon

Dept. of environmental atmospheric sciences, Pukyong National University,

Email : bhkwon@pknu.ac.kr

성을 나타낼 수 있다. 도플러 스펙트럼은 지형 에코, 새 에코, 전파 간섭과 같은 비기상 에코에 의해 오염된다[6]. 또한, 강우 환경에서 윈드프로파일러는 낙하하는 강우 입자와 청천 대기의 신호를 모두 수신하기 때문에 강우 입자에 의한 연직 바람의 변화와 오류가 발생한다[7-8]. 비기상 에코와 기상 에코에 의해 도플러 스펙트럼은 여러 개의 첨두가 나타나고[9-10], 강우 입자에 의해 과대 측정된 연직 빔의 시선 속도가 수평 바람 산출에 대한 오류를 야기할 수 있기 때문에 강우와 대기 운동에 의한 스펙트럼 첨두를 구분해야 한다.

본 연구에서는 강우 발생 유무에 따른 UHF 윈드프로파일러인 PCL1300에서 관측된 도플러 스펙트럼의 분포를 비교하였다. 혼재하는 대기 신호와 강우 신호를 구분하기 위해 스펙트럼의 이중 첨두 탐지 알고리즘을 개발하고, 기상 신호와 비기상 신호의 구분을 실험하였다.

II. 원시 자료의 구성과 처리방법

2.1 PCL1300

프랑스 Degreane사의 UHF 윈드프로파일러인 PCL1300은 고도 약 70 m에서 11000 m까지 24시간 내내 실시간으로 바람의 연직 프로파일을 제공한다(그림 1). 안테나 빔으로 대기를 스캔할 때, 저층 관측(Low mode)과 고층 관측(High mode)을 수행한다. 저층 관측은 고도 분해능 72 m, 최고 5.1 km까지 범



그림 1. UHF 윈드프로파일러 PCL1300
Fig 1. UHF wind profiler radar PCL1300

위에 해당되고(표 1), 고층 모드로는 고도 분해능 165 m, 최고 11.6 km까지 관측한다. 5개의 안테나 빔에서 각각 71개의 고도에 대한 레이더 신호를 수집하고, 수집된 자료를 바람 산출 프로그램의 알고리즘에 적용하여 바람 벡터를 산출한다.

PCL1300의 운용 시스템은 세 부분인 안테나 시스템(외부), 자료 수집 시스템(내부), 자료 처리 및 표출 시스템(내부)으로 구성된다. 안테나 시스템은 전파의 송수신이 이루어지는 곳으로써 한 개의 연직 안테나와 네 개의 경사 안테나로 구성된다. 자료 수집 시스템은 안테나 시스템으로부터 수집된 신호를 제어하고 디지털 신호로 변환시키며, 자료 수집 컴퓨터, UHF/IF 송신기, 신호 증폭기, 비디오 송신기로 구성된다. 자료 처리 시스템 및 표출 시스템은 자료 처리 컴퓨터와 GUI(Graphical User Interface)로 구성된다.

표 1. PCL의 장비 사양
Table 1. Basic specifications for PCL1300

Parameter	Value	Unit
Frequency	1290	MHz
Peak power	4.5	kW
Beam number	5	
Pulse width	500	ns
Pulse Repetition Frequency	16	kHz
Lowest sampled height	72	meter
Highest sampled height	5100	meter
Range resolution	71.68	meter
Number of height gates	71	

PCL1300의 운용 시스템을 구성하는 두 대의 컴퓨터는 자료 수집 장치(Acquisition computer)와 자료 처리 장치(Processing computer)로 사용된다. 자료 수집 장치는 레이더의 하드웨어를 조종하고 원시 데이터 파일을 생성한다. 자료 처리 장치는 각 안테나에서 수신한 I/Q 신호를 주파수 또는 시선 속도 기반의 스펙트럼으로 변환된 원시 자료를 이용하여 바람 벡터를 산출한다. 실시간 처리 모듈이 탑재되어 있어 최종 측정값을 ASCII 파일로 얻을 수 있고, 풍속과 풍향의 공간간적 분포를 이미지로 표출할 수 있다. 제조사에서 제공하는 바람 산출 프로그램 SRun은 장비와의 연결 없이도 실행할 수 있기 때문에 최종 측정값의

표 2. 원시 자료의 구조와 변수
Table 2. Structure and parameters in raw data

	Signification
Header	Number of heights
	Number of points per spectral
	Inter-pulse period
	Pulse width
	Time of measurement
	Azimuth beam
	Frequency
	Number of beam
	Site altitude
	Tilt beam
	Site longitude
Site latitude	
Spectral moments	Number of peaks calculated
	Radial velocity
	Power signal
	Noise power
	Signal to noise ratio
Doppler spectrum	Spectrum width
	Doppler spectrum

프로파일 산출에 제약이 없지만 능동적인 변경 및 조정이 불가능하므로 원시 자료의 품질을 향상시키기 위한 적절한 기법을 적용할 수 없다.

2.2 원시 데이터 파일의 구조

PCL1300의 관측 방식은 저층 모드 방식의 스캐닝을 실시한 다음, 고층 모드 방식의 스캐닝을 실시한다. 스캐닝은 우선 연직 빔으로 관측하고 북쪽, 동쪽, 남쪽, 서쪽 순서로 경사 안테나를 이용한 네 개의 연직 빔 관측을 하여 1회 스캐닝은 약 6~7분의 주기로 이루어진다. 1회 스캐닝 자료는 하나의 원시 데이터 파일에 관측 순으로 저장된다.

원시 자료는 다섯 개의 안테나마다 헤더, 스펙트럴 모멘트, 도플러 스펙트럼으로 구성되고, 형태는 바이너리 코드이다(표 2). 헤더는 관측 고도 수(NHTS), 스펙트럼 지점 수(NPTSP), 측정 시간(TIME) 등 윈드프로파일러의 관측 정보를 알 수 있는 변수들을 포함한다. 스펙트럴 모멘트는 시선 속도(Radial velocity), 수신 전력(Received power), 잡음 전력

(Noise power), 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR) 그리고 스펙트럼 폭(Spectral width) 순서로 각 고도에서 1st ~ 3rd 침두에 해당하는 값을 포함하고, 잡음 전력은 각 고도에서 하나의 값으로 존재한다. 도플러 스펙트럼 밀도의 개수는 NHTS × NPTSP에 해당한다. 도플러 스펙트럼의 용량은 안테나마다 관측 방식에 상관없이 동일하다.

2.3 원시 자료 처리

원시 데이터는 바이너리 형태이기 때문에 내용을 분석하려면 실수로 변환해야 한다. 헤더의 경우, 2 바이트의 크기를 가지는 각 변수들을 10 진수의 정수로 변환하였다. 도플러 스펙트럼과 스펙트럴 모멘트는 과일의 용량을 줄이기 위하여 절반으로 압축되어 있다. 압축을 풀기 위하여 2 바이트의 도플러 스펙트럼과 스펙트럴 모멘트를 4 바이트로 증가시키고 IEEE754 기법을 적용하여 실수로 변환하였다.

강우가 존재하는 대기에서 윈드프로파일러의 수신 신호는 강우 신호의 레일리 산란(Rayleigh scattering)과 청천 신호의 브래그 산란(Bragg scattering)을 포함한다. UHF 윈드프로파일러는 약한 강우에서만 두 신호의 침두 구분이 가능하고, 강한 강우에서는 강우

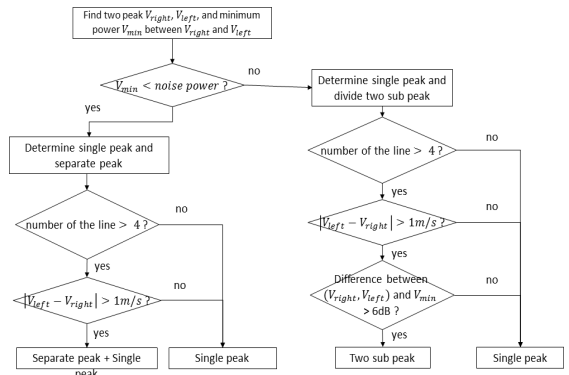


그림 2. 이중 침두 탐지 알고리즘
Fig 2. Bimodal peaks detection algorithm

신호의 침두만 관측할 수 있다. 낙하하는 강우 입자는 대기 입자보다 더 큰 연직 시선 속도를 가지기 때문에 수평 풍속을 산출하는 데 영향을 미친다[11]. 강우에 의한 도플러 스펙트럼의 이중 침두를 탐지하기 위

하여 침두 탐지 기법을 개발하였다(그림 2). 이를 적용하기 위한 조건은 먼저 두 침두의 각 스펙트럼의 지표는 4개보다 많아야 하고, 두 침두의 시선 속도의 차이는 적어도 1 ms^{-1} 보다 커야 한다. 그리고 두 침두 사이에 있는 하한점의 도플러 스펙트럼 밀도는 두 침두의 스펙트럼 밀도보다 작아야 한다.

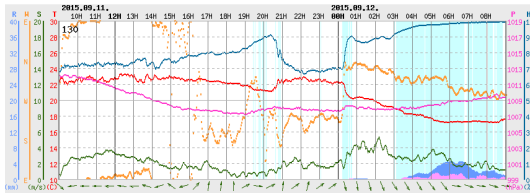


그림 3. 울진 자동기상관측 시스템에서 측정된 기상 인자. 음영 처리된 영역이 강우 기간이다.
Fig 3. Measured meteorological parameters at Ulsin AWS. Precipitation durations are indicated by shading area.

강우 신호와 청천 신호를 구분하기 위해서는 위 조건에 쓰인 두 개의 상한 침두와 한 개의 하한 침두가 필요하다. 도플러 스펙트럼에 Savitzky-Golay [12]의 평활 필터 계수를 적용하고 컨볼루션(Convolution)하여 상한 침두와 하한 침두를 결정한다[13]. 신호를 구분하기 위해 하한 침두에서 잡음 레벨까지 도플러 스펙트럼을 확장시킨다. 확장된 하한 침두를 중심으로 시선 속도가 큰 침두를 강우 신호, 시선 속도가 작은 침두를 청천 신호로 결정하고, 가우시안 분포를 적용하여 도플러 스펙트럼을 정규 분포로 나타낸다.

III. 결과

3.1 연직 바람과 SNR

강우 입자에 의해 윈드프로파일러 바람 자료의 오염을 조사하기 위해서 동해안 지역에 비가 내린 2015년 9월 11일~12일(LST) 기간을 조사하였다. 울진기상대에 설치된 자동기상관측시스템(Automatic Weather System, AWS)에서 그림 3과 같이 11일 19시~21시, 12일 00시~01시, 03시~09시에 강우가 탐지되었음을 확인할 수 있다[14]. 동일 지점에 설치된 윈드프로파일러로 측정된 바람 벡터와 SNR을 강우

탐지 시점에 대하여 분석하였다. 아래로 향하는 연직 바람은 청천 대기에서 0 ms^{-1} 주변의 수 cms^{-1} 의 크기로 관측되었고, 강우를 탐지했을 경우에는 낙하하는 강우 입자에 의해 3 ms^{-1} 이상의 연직 풍속으로 관측되어 오염되었음을 알 수 있다(그림 4a).

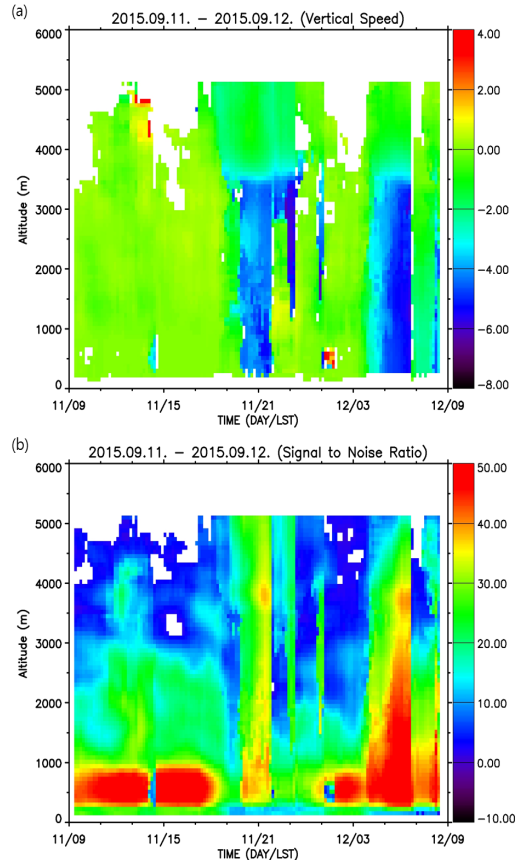


그림 4. 울진에서 자동기상관측시스템으로 관측된 (a) 연직 바람과 (b) 신호대잡음비
Fig 4. (a) Vertical wind speed and (b) SNR measured by AWS at Ulsin

안테나로 수신된 시계열의 신호에는 대기 신호와 함께 시스템 전기 잡음, 배경 잡음 등의 잡음이 포함되어 있다. 이러한 무작위 잡음이 많으면 기상 신호를 결정하기 어렵다. 신호와 잡음의 비율을 신호대잡음비(SNR)라고 하며 그 크기로 자료의 품질을 가늠할 수 있고, 강우 유무를 판단하는 자료로 사용할 수 있다. 강우 입자에서 산란되어 수신되는 신호는 상대적으로

강하기 때문에 고도 2~3 km 아래에서 청천 신호보다 약 10~20 dB가 증가하였다(그림 4b). 연직 속도가 하향 4 ms⁻¹ 이상인 시공간 구간에서 SNR이 35 dB 이상으로 매우 크게 나타나고, 이는 그림 3의 강수 기간과 일치하여 바람 벡터가 강우에 의해 오염되었음을 알 수 있다.

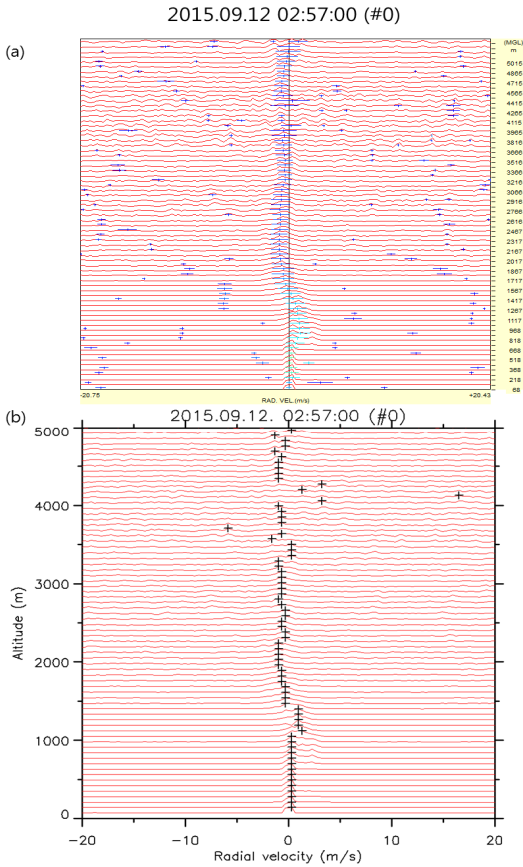


그림 5. 청천 대기에서 연직 빔으로 수신한 신호의 고도별로 정규화된 도플러 스펙트럼 (a) 원시 자료로부터 산출한 스펙트럼, (b) 제조사의 PCL1300으로 산출한 스펙트럼. 표시 기호 (+)는 최대 침투를 나타낸다.

Fig 5. Normalized doppler spectrum from vertical beam in clear air based on (a) raw data and (b) PCL1300. Cross mark indicates maximum peak with altitude

3.2 도플러 스펙트럼 분포

윈드프로파일러에서 수신한 신호의 도플러 스펙트

럼 침투와 분포에 따라 산출되는 바람 벡터와 SNR의 크기가 달라진다. 강우 유무에 따른 연직 바람과 SNR의 차이를 조사하기 위하여 바이너리에서 실수로 변환된 도플러 스펙트럼을 산출하는 알고리즘을 개발하였고, 그 결과를 제조사의 소프트웨어로 산출한 도플러 스펙트럼과 비교하였다(그림 5, 6).

강우가 없는 경우에 대부분의 고도별 도플러 스펙트럼의 최대 침투는 시선 속도 ± 2 ms⁻¹ 이내에서 나타나고(그림 5), 스펙트럼 폭은 0.5~2 ms⁻¹를 보인다. 제조사의 소프트웨어는 각 고도에서 스펙트럼 밀도가 큰 침투 세 개를 보여주고(그림 5a) 가장 큰 침투는 원시 자료에서 산출한 그림 5b의 각 고도별 최대 침투와 일치한다. 고도 약 4 km에서 두 알고리즘 모두 비기상 에코에 의한 오염된 결과를 보여준다. 사용자가 제조사의 알고리즘을 수정할 수 없지만 본 연구에서 개발한 알고리즘은 상황에 따라 개선 수정할 수 있는 장점이 있다. 비기상 에코에 의해 오염된 자료의 개선에 관한 논의는 후속 연구 주제로 남긴다.

약한 강우가 있을 경우에는 고도별 도플러 스펙트럼 밀도의 최대 침투는 시선 속도가 최대 5 ms⁻¹에서 탐지되고(그림 6), 스펙트럼 폭은 2.5~4 ms⁻¹를 보인다(그림 6a). 강우 신호의 도플러 스펙트럼은 청천 신호보다 넓은 폭으로 나타난다. 고도 800 m 아래에서는 시선 속도 0 ms⁻¹ 주변과 4 ms⁻¹ 주변에서 침투가 동시에 나타나서 기상 신호 결정에 혼란을 일으킨다. 고도 1500 m에서는 5 ms⁻¹ 이상의 매우 넓은 스펙트럼 폭의 침투가 나타나고, 스펙트럼 폭 범위 내에서 여러 침투가 탐지되어 대기 특성 관측에 오류를 일으킬 수 있다. 이와 같이 강우 환경에서는 한 고도에서 이중 침투가 나타나는데 이를 분리하여 기상 에코를 결정하지 않으면 그림 6b와 같이 고도에 따라 불연속적인 침투의 분포를 보인다.

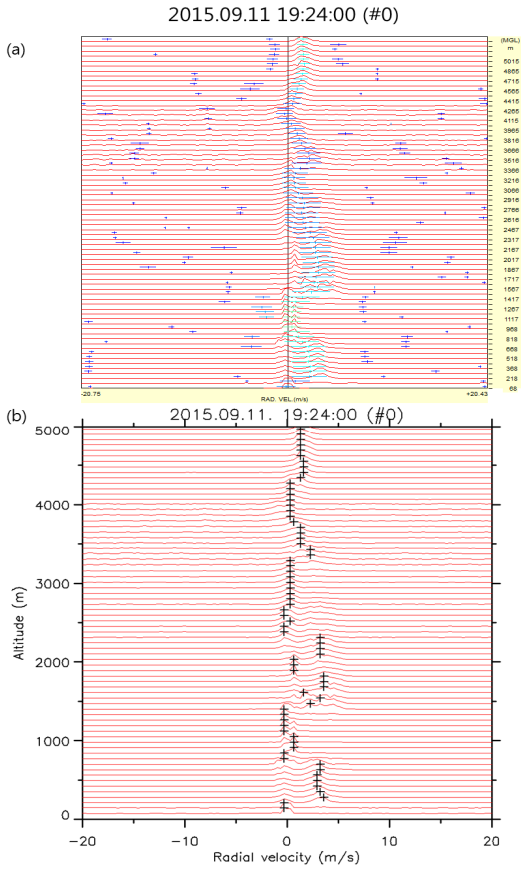


그림 6. 강우가 있을 때 연직 빔으로 수신한 신호의 고도별로 정규화된 도플러 스펙트럼 (a) 원시 자료로부터 산출한 스펙트럼, (b) 제조사의 PCL1300으로 산출한 스펙트럼. 표시 기호 (+)는 최대 침두를 나타낸다.

Fig 6. Normalized doppler spectrum from vertical beam during rain based on (a) raw data and (b) PCL1300. Cross mark indicates maximum peak with altitude

3.3 이중 침두 분리

강우 때문에 나타나는 이중 침두는 단계별로 임계값을 적용하여 두 침두로 분리하거나 하나의 침두로 합성한다(그림 2). 2019년 9월 11일 19시 24분에 울진에서 관측한 자료를 예로 이중 침두 분리 과정을 설명한다. 고도 210 m에서 도플러 스펙트럼의 밀도는 시선 속도 0 ms^{-1} 와 5 ms^{-1} 에 해당하는 침두를 보인다(그림 6a). 이를 확대하여 나타내면 그림 7과 같다.

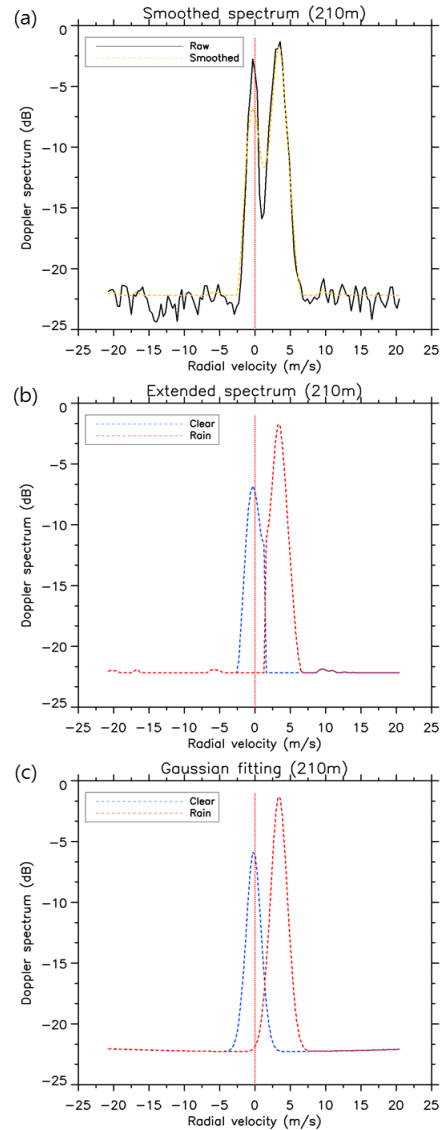


그림 7. 이중 침두 분리 과정 (a) 침두 탐지 (b) 도플러 스펙트럼 확장 (c) 가우시안 피팅
Fig 7. Bimodal peaks partitioning (a) peak detection (b) extension of doppler spectrum (c) Gaussian fitting

두 침두의 시선속도의 차이는 5 m s^{-1} 이고, 하한점의 도플러 스펙트럼은 두 침두의 도플러 스펙트럼보다 10 dB 작다(그림. 7a). 상한 침두와 하한 침두를 결정하고 강우 신호와 대기 신호를 구분하기 위하여 하한 침두에서 잡음 레벨까지 도플러 스펙트럼을 확장한다

(그림 7b). 두 개의 침투를 가진 도플러 스펙트럼을 각각의 침투를 가진 도플러 스펙트럼으로 구분한다. 그리고 하한점에서 분리된 대기 신호와 강우 신호를 가우시안 피팅을 적용하여 명확히 구분한다(그림 7c). 강우 신호와 바람 신호는 그림 7에서 각각 오른쪽 큰 침투와 왼쪽의 작은 침투이다.

IV. 결론

강우 환경에서 윈드프로파일러의 관측 정확도를 개선하기 위해 Degrean사의 윈드프로파일러인 PCL1300의 원시 데이터를 이용하여 강우 유무에 따른 도플러 스펙트럼의 분포를 비교하고, 강우 신호와 대기 신호를 구분하는 알고리즘을 개발하였다. 윈드프로파일러의 원시 데이터인 도플러 스펙트럼은 전자기파의 특성 때문에 비기상 에코와 기상 에코에 의해 바람 벡터 산출에 대한 오류를 유발한다. 기상 에코 중에서 강우에 의한 에코는 브래그 산란과 레일리 산란의 강도가 비슷하기 때문에 대기 신호의 침투와 강우 신호의 침투가 동시에 나타났다. 연직 안테나의 수신 신호가 이중 침투로 나타나는 스펙트럼 밀도의 분포에서 강우 신호는 시선 속도가 크고 스펙트럼 폭이 넓고, 대기 신호는 시선 속도가 작고 스펙트럼 폭이 좁은 침투로 나타나는 특징을 확인하였다. 두 신호의 특징에 따라 다섯 가지의 임계 조건을 적용하는 알고리즘을 개발하여 바람 정보와 강우 정보를 구분하였다. 본 연구에서 개발한 원시 자료를 처리하여 시선 속도를 구분하는 기술은 기상 및 비기상 에코에 오염되기 쉬운 바람 벡터의 품질을 사용자가 능동적으로 개선할 수 있는 기반을 제공한다.

감사의 글

이 연구는 기상청 「기상·지진See-At기술개발연구」(KMIPA2018-06310) 및 BK21 플러스 사업 지구환경재해시스템사업단의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] I. Holleman, H. van Gasteren, and W. Bouten, "Quality assessment of weather radar wind profiles during bird migration," *J. of Atmos. Oceanic Technol.*, vol. 25, no. 12, 2008, pp. 2188-2198.
- [2] E. Robert, and Jr. Barbré, "Quality control algorithms for the Kennedy Space Center 50-MHz Doppler radar wind profiler winds database," *J. of Atmos. Oceanic Technol.*, vol 29, no. 12, 2012, pp.1731~1743.
- [3] P. Kim, K. Kim, B. Campistrom, H. Yoon, and B. Kwon, "UHF and S-band Radar Networks," *J. of Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 13, no. 2, 2018, pp. 305-312.
- [4] W. Jo, B. Kwon, P. Kim, M. Kim, and H. Yoon, "Quality Control of the UHF Wind Profiler Radar," *J. of Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 13, no. 2, 2018, pp. 277-290.
- [5] S. Kim, B. Kwon, K. Kim, P. Kim, M. Kim, W. Jo, and H. Yoon, "Case Study on the Mixed Layer Development using the UHF Radio Sounding," *J. of Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 13, no. 1, 2018, pp. 253-263.
- [6] B. Heo, *Wind Profiler and Atmospheric Sounding*. Seoul: Hongrung publishing company, 2014.
- [7] K. Kim, M. Kim, S. Seo, P. Kim, D. Kang, and B. Kwon, "Quality evaluation of wind vectors from UHF wind profiler using radiosonde measurements," *J. of Environmental Science International*, vol. 24, no. 1, 2015, pp. 134-150.
- [8] L. B. Comman, R. K. Goodrich, C. S. Morse, and W. L. Ecklund, "A fuzzy logic method for improved moment estimation from Doppler spectra," *J. of Atmos. Oceanic Technol.*, vol. 15, no. 6, 1998, pp. 1287-1305.
- [9] C. S. Morse, R. K. Goodrich, and L. B. Comman, "The NIMA method for improved moment estimation from Doppler radar," *J. of Atmos. Oceanic Technol.*, vol. 19, no. 3, 2002, pp. 274-295.
- [10] S. Baek, C. Cho, J. Kim, and H. Song, "Analyses of precipitation cases using wind profiler," *Asia-Pacific J. of Atmos. Sci.*, vol. 41,

no. 1, 2005, pp.1-16.

- [11] C. R. Williams, M. Maahn, J. C. Hardin, G. Boer, "Clutter mitigation, multiple peaks, and high-order spectral moments in 35GHz vertically pointing radar velocity spectra," *J. of Atmos. Meas. Tech.nol.*, vol. 11, no. 9, 2018, pp. 4963-4980.
- [12] A. Savitzky, and M. J. E. Golay, "Smoothing and differentiation of data by simplified least-squares procedures," *Analytical Chemistry*, vol. 36, no. 8, 1964, pp. 1627-1639.
- [13] K. Wakasugi, S. Fukao, S. Kato, A. Mizutani, and M. Matsuo, "Air and precipitation particle motions within a cold front measured by the MU VHF radar," *Radio Science*, vol. 20, no. 6, 1985, pp. 1240-1253.
- [14] Meteorological Information Portal Service System_ Disaster Prevention, <https://afso.kma.go.kr>



윤홍주(Hong-Joo Yoon)

1983년 부경대학교 해양공학과 졸업(공학사)
1985년 부경대학교 대학원 해양학과 졸업(공학석사)

1997년 프랑스 그르노블 I 대학교 대학원 위성원격탐사전공 졸업(공학박사)
1999년~2002년 여수대학교 해양공학과 교수
2002년~현재 부경대 공간정보시스템공학과 교수
2013년 (사)한국클라우드센터얼파크 이사
2014년 한국전자통신학회 부회장
2015년 공간정보 Big Data 센터장
2015년 행정공간정보화연구소 소장
2016년 (사)한국생태공학회 회장
※ 관심분야 : 해양 원격탐사, GIS

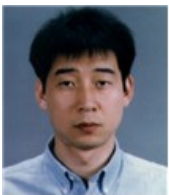
저자 소개

조원기(Won-Gi Jo)



2017년 부경대학교 환경대기과학과 졸업(이학사)
2017년~현재 부경대학교 일반대학원 지구환경시스템과학부 환경대기과학 전공 석사과정
※ 관심분야 : 대기과학, 미기상학

권병혁(Byung-Hyuk Kwon)



1986년 연세대학교 천문기상학과 졸업(이학사)
1994년 Joseph Fourier 대학교 지구유체역학 전공(이학석사)
1997년 Paul Sabatier 대학교 대기과학 전공(이학박사)

2001년~2002년 Alagoas 대학교 교수
2002년~현재 부경대학교 환경대기과학과 교수
※ 관심분야 : 대기과학, 미기상학