

W밴드 FMCW 레이더를 이용한 강우 관측 및 강우 강도 추정 사례 연구

장봉주[†], 임상훈^{**}

A Case Study on Rainfall Observation and Intensity Estimation using W-band FMCW Radar

Bong-Joo Jang[†], Sanghun Lim^{**}

ABSTRACT

In this paper, we proposed a methodology for estimating rainfall intensity using a W-band FMCW automotive radar signal which is the core technology of autonomous driving car. By comparing and analyzing the results of rainfall and non-rainfall observation, we found that the reflection intensity of the automotive radar is changed with rainfall intensity. We could confirm the possibility of deriving the quantitative precipitation estimation using the methodology derived from this result. In addition it can be possible to develop a new paradigm of precipitation observation technique by observing various events together with the weather radar and the ground rainfall observation equipment.

Key words: Rainfall Observation, FMCW Radar, Automotive Radar, Weather Radar

1. 서 론

강수를 관측하는 전통적인 방법은 약 600년 전 측우기의 발명과 함께 강수를 수집하여 측정한다는 기본 개념을 이용한 우량계가 널리 쓰이고 있다. 하지만 우량계는 0.1 mm, 0.5 mm, 1.0 mm 등의 정밀도 단위로 측정되며, 측정 정밀도에 따라 아주 약한 강수 또는 아주 강한 강수일 때 측정오차가 다르게 발생하는 문제가 있다. 또한 전 국토를 관측하기 위해서는 우량계의 공간적 밀도를 높여야 하며, 우량계 설치와 관련한 WMO 가이드라인에 따르면 도심지 설치가 거의 불가능한 실정이다. 그런 이유로 우량계 관측지 자료들의 티센(Thissen)망도를 이용한 공간

적 정밀도 및 해상도가 낮으므로 강우 관측의 공간적 오차율이 매우 크다는 단점이 있다.

그와 함께, 빗방울의 직경, 부피 등을 직접 측정하기 위한 광학식 강우 측정 장비로 PAR-SIVEL (PARticle SIze and VELocity disdrometer) 및 2DVD(2-D video disdrometer) 등이 있다. 이들은 아주 높은 강수 측정 정밀도를 가지지만 우량계에 비해 월등히 높은 가격 때문에 주로 기상레이더 등 타 장비의 검보정을 위해, 또는 대기 강수 입자 분석을 위해 한정적으로 사용되는 수준이다. 아울러, 간접적인 강수 관측 장비로 기상레이더가 있으며, 가장 높은 공간해상도를 가지지만, 설치 및 운영에 막대한 비용이 소요된다. 또한, 이러한 장비들은 모두 주변 환경

※ Corresponding Author: Bong-Joo Jang, Address: (10223) 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do Korea, TEL: +82-31-910-0670, FAX: +82-31-910-0100, E-mail: roachbj@kict.re.kr
Receipt date: Nov. 7, 2019, Revision date: Dec. 16, 2019
Approval date: Dec. 28, 2019

[†] Dept. of Land, Water and Environment Research, KICT
^{**} Dept. of Land, Water and Environment Research, KICT (E-mail: slim@kict.re.kr)

※ This research was supported by Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology Research Project (Development of Digital Pairing Core Technology for Water Resource Utilization and Disaster Surveillance)

을 고려해야하는 등의 설치 조건이 까다롭고, 유지 관리에 지속적인 노력이 요구된다[1].

한편, 다양한 센서 기술과 인공지능 기술의 발전에 기인하여 최근 들어 자율주행 자동차의 상용화를 위한 괄목할 만한 성과를 이룩했다. 요즘 생산되는 자동차들 대부분은 높은 수준의 신뢰성을 가진 ADAS (Advanced Driver Assistance System)을 장착하여 운전자의 편의성과 안전성을 향상시키는 역할을 하고 있다[2]. 하지만 자율주행 차량의 안정성에 대한 연구는 현재까지도 많은 시행착오를 겪고 있다. 특히 눈, 비, 안개 등과 같은 악기상 상황에서는 레이더, 라이다, 카메라 등의 센서 장비들의 관측 한계로 인해 많은 문제점을 안고 있다. 특히 완전한 무인자동차 기술을 위한 궁극적인 장애요인은 알고리즘과 인공지능의 문제보다 비, 눈, 안개와 같은 기상현상이 될 수도 있다[2].

그에 따라 본 논문에서는 차량주행 보조 장치로 사용되는 높은 신뢰성을 갖는 W밴드 차량용 레이더를 이용하여, 기존의 우량계보다 적은 비용으로 높은 정밀도의 강수 관측을 수행하고 이로부터 강수 강도를 추정하는 방법론을 제안한다. 제안 기법을 활용할 경우, 기존의 우량계 관측 정밀도 및 서비스 주기가 각각 0.5 mm 또는 1 mm 및 1분~10분인 반면, 제안 기법에서는 최대 0.1초의 관측 주기로 1/1000 단위의 강수강도를 측정할 수 있게 함으로써 보다 정밀한 강수 패턴의 변화를 관측할 수 있다. 또한, 그 결과로써 기존의 우량계를 이용한 강수 측정 방법보다 저렴하고 설치장소에 제약이 없으며, 시공간적 관측 밀도를 월등히 높일 수 있는 기술을 제안하고, 악기상 환경에서 자율주행 차량에의 적용성 등 그 가능성을 도출하고자 한다.

2. 관련 연구

2.1 FMCW 레이더 이론

레이더 시스템은 전파 경로를 따라 물체가 반사하는 전자파 신호를 전송하며 이후의 반사 신호를 포착함으로써 레이더 시스템은 물체의 범위, 속도 및 각도를 결정할 수 있다. 특히 밀리미터파 레이더는 단파장 전자기파를 사용하는 레이더 기술의 특수 부류에 속한다. 이것은 전자기 스펙트럼의 짧은 파장으로 간주되며, 이것이 이 기술의 장점 중 하나이다. 실제

로 밀리미터파 신호를 처리하는 데 필요한 안테나와 같은 시스템 구성 요소의 크기는 매우 작은 반면 높은 정확도를 갖는 장점이 있다. 76-81 GHz (약 4 mm의 파장)에서 작동하는 W-밴드 레이더 시스템은 몇 밀리미터 정도의 작은 움직임도 감지할 수 있는 장점이 있다.

레이더 시스템의 기본 개념은 물체가 경로에서 반사하는 전자기 신호를 전송하는 것이다. FMCW 레이더에 사용되는 신호에서 주파수는 시간에 따라 선형적으로 증가한다. 이 유형의 신호는 처프(chirp)라고도 한다. Fig. 1은 진폭(진폭)을 시간의 함수로 나타낸 처프 신호를 나타낸 것이다[2].

FMCW 레이더 시스템은 Fig. 1의 처프 신호를 전송하고 객체의 경로에서 반사된 신호를 캡처한다. Fig. 2는 FMCW 레이더의 주 RF 구성 요소를 간략하게 나타낸 블록 다이어그램이며, 레이더는 Fig. 2와 같이 작동한다[2].

2.2 차량레이더 관련 연구

나쁜 날씨에 기인한 ADAS의 오작동으로 인해 운전자의 판단과 ADAS의 판단이 상충되는 경우가 발생할 수 있으며, 운전자의 자율주행 시스템 개입 시점 역시 운행 안전성에 큰 영향을 미칠 수 있다. 그

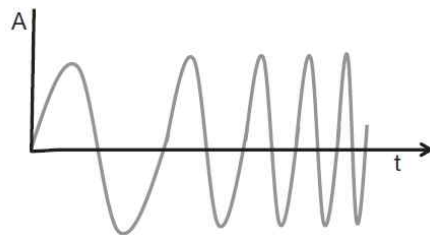


Fig. 1. Example of chirp signal with amplitude as a function of time.

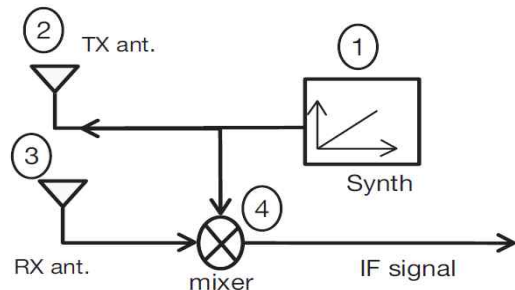


Fig. 2. Block diagram of FMCW radar.

문제점들을 인지하여 최근에서야 그와 관련된 연구들이 발표되고 있다. Goodin et. al.은 ADAS LIDAR의 날씨에 대한 영향성을 분석하기 위해, 강우에 대한 LIDAR의 성능 저하에 대한 수학적 모델을 제안하였다[3].

Goodin et. al.[3]이 제안한 기법을 장애물 검출 시물레이션 시스템에 적용함으로써 장애물을 정량적으로 예측하는데 미치는 영향성을 연구하였다. 한편, Roh and Park은 ADAS 센서인 LIDAR 및 카메라 센서에 대해 강우의 영향성을 정량적으로 모델링하는 연구를 수행하였다[4]. 이 연구는 인공강우 실험을 통해 차량의 속도, 정량적 강우량 및 센서들의 가시거리에 대한 상관성을 나타내었다.

Gourova et. al.[5]는 77GHz 대역의 상용 차량레이더를 이용하여 강수에 의한 클러터를 분석하였다. 강수가 ADAS 시스템에 미치는 영향을 분석함으로써 악기상시 자율 주행 차량의 안전성을 논의하였다. G Bertoldo et. al.는 자동차를 움직이는 통합 날씨 센서로 간주하여 77GHz 레이더를 마이크로파 우량계로 이용하는 연구를 수행하였다[6]. 이 연구는 77 GHz 차량 레이더가 근거리 마이크로파 우량계로 사용될 수 있는 방법에 대한 사전 분석 결과를 제시하였다. 또한, W- 밴드에서 주파수에서 Mie 산란(scattering) 분석을 수행한 후 강우량 추정을 위해 새로운 Z-R 방정식을 제안하였다.

이와 같이, 현재까지의 W-band 레이더 관련 논문은 차량의 ADAS 시스템의 개념으로 접근한 것이 대부분이다. 또한 주행 안전을 위한 다양한 센서들과 강우에 대한 상호 연관성에 대한 연구들이 최근 활발히 진행되고 있지만 대부분의 연구들이 실험실 혹은 시물레이션 환경에서 수행된 연구들이며, 실제 강우 환경 또는 도로, 주행 환경 등에서 발생할 수 있는 여러 불리한 조건들이 고려되지 않았다. 특히 차량레이더를 이용한 강우검출의 경우, 다양한 경로를 주행 중인 차량에서 주변 차량 또는 주변 지형지물 등에 의한 클러터와 검출된 오브젝트들에 의한 반사 강도가 강우량 추정에 미치는 영향 등은 고려되지 않았다. 그러므로 실제 차량 주행에 적용할 경우 큰 오차가 발생할 가능성이 높다.

본 논문에서는 W-band 차량레이더를 이용하여 강수를 정확히 관측하는 기술로서, 기존의 설치환경의 제약, 유지관리 및 관측의 시공간적 밀도 등의 한

계를 가진 우량계를 대체할 수 있는 초소형기상관측 단말장치로서의 가능성을 제시하고자 한다. 또한, 본 논문을 통해 ADAS 레이더를 통한 정밀강수관측에 대한 기술의 가능성을 보여줌으로써 지속적인 연구를 통해 정확한 강수 추정이 가능한 기술로 확장할 수 있는 기초를 마련하고자 한다.

3. W-banb FMCW 관측자료 분석

3.1 청천 시 관측자료 분석

가장먼저, 차량레이더를 이용한 강수관측 기술 개발을 위한 사전 단계로서 본 절에서는 우선적으로 청천 대기에서의 관측을 수행하여 그 결과를 분석하였다[7]. 사용한 차량레이더 칩셋은 TI사의 77GHz 주파수대역의 IWR1642 모델이며, 레이더 칩셋의 각 제어필드 및 설정값을 Fig. 3(b)에 나타내었다.

강수관측을 위한 세부 청천대기에서의 관측 실험은 2018년 5월 11일 오후 3시부터 수행하였으며, 모



제어필드	설정값
Frequency (GHz)	77
Azimuth Resolution(deg)	15
Range Resolution(m)	0.039
Maximum unambiguous Range(m)	31.99
Maximum Radial Velocity(m/s)	1.5
Radial velocity resolution(m/s)	0.19
Frame Duration(msec)	100
Range Detection Threshold (dB)	15
Doppler Detection Threshold (dB)	15
Range Peak Grouping	enable
Doppler Peak Grouping	enable
Static clutter removal	enable

Fig. 3. (a) Experiment place of rainfall observation using FMCW radar (in front of SOC Total management center), and (b) FMCW radar parameters.

든 실험은 한국건설기술연구원 SOC통합관리센터 앞 공터에서 이루어졌다. Fig. 3으로부터 관측 실험이 이루어진 환경을 나타내었다.

3.1.1 클러터 필터링 적용 전 자료 분석

Fig. 3의 실험환경으로부터 실제 장비 운영실험시에 발생할 수 있는 건물, 차량, 사람 등의 다양한 클러터에 대한 관측 조건을 설정할 수 있었다. 본 절에서는 W-밴드 FMCW 레이더 자체 클러터 필터링 기술을 적용하지 않은 결과를 분석하였다. 관측자료를 분석한 결과를 Fig. 4 (a) 및 (b)에 나타내었다. Fig. 4 (a)는 거리에 따른 반사강도의 프로파일을 나타내며, (b)는 거리프로파일 상에서 검출된 실제 차량레이더의 목적이 앞서 언급한 바와 같이 본 과제에서 클러터로 간주되는 오브젝트 검출이므로 Fig. 3의 환경에서 실험 결과 상당한 민감도로 클러터(오브젝트)가 관측됨을 실제 확인하였다.

Fig. 4와 같이 클러터 필터링 전의 관측 결과는 단순히 상대적인 반사강도의 차이를 이용하여 고정된 타깃(건물, 나무, 주차된 차량 등)과 이동 중인 타깃(사람, 차량 등)을 모두 검출하고 있다. 이 경우, 거리프로파일 전반에 오브젝트에 의한 반사강도의 변화 역시 포함하므로 강수에 의한 반사 강도를 분별

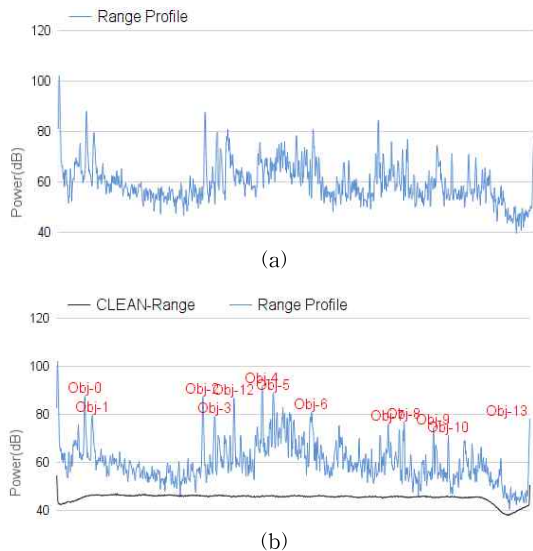


Fig. 4. The results of the FMCW radar observations before clutter filtering in the clear air environment, (a) distance profile and (b) detected objects with distance profile.

하기 어려울 것으로 판단하였다.

3.1.2 클러터 필터링 적용 후 자료 분석

다음으로 Fig. 5와 같이 클러터 필터링을 적용한 경우에 대한 청천 환경에서의 관측 결과를 분석하였다.

Fig. 5 (a)는 레이더에서 자체적으로 제공하는 클러터 필터링 알고리즘을 이용해 고정 타깃을 제거한 후의 거리 프로파일을 나타낸 것이다. 클러터 필터링은 레이더의 2차 FFT 연산인 doppler-FFT를 수행함으로써 각 오브젝트들의 도플러속도를 계산한 후, 도플러 속도가 0 m/s 인 오브젝트를 제거하는 것으로 필터링을 수행한다. Fig. 4 (a)와 비교하여 안정적인 파형이 출력됨을 확인할 수 있다. 또한 검은 색 굵은 실선으로 표현된 거리프로파일의 비강수 평균값에 전체적으로 수렴함을 확인하였다.

한편 5 (b)로부터 복합적으로 이동 중인 다양한 오브젝트들이 포함된 거리 프로파일을 나타내었다. 여기서 주목할 것은 거리에 상관없이 오브젝트의 크기에 따라 거리 프로파일에 큰 영향을 미치는 것으로 알 수 있으며, 오브젝트 이외의 영역은 여전히 비강수 평균값에 수렴함을 알 수 있다. 결론적으로, 차량용 레이더 자체 클러터 필터링을 적용함으로써 보다

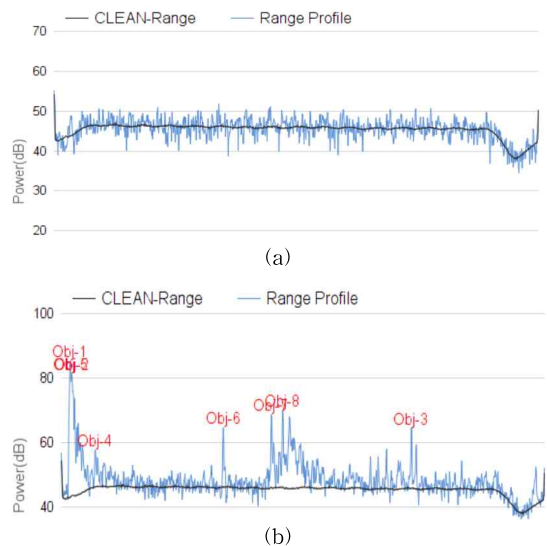


Fig. 5. The results of the FMCW radar observations before clutter filtering in the clear air environment, (a) distance profile and (b) detected objects with distance profile.

안정적인 관측결과를 얻을 수 있음을 확인하였으며, 강수 관측 시에도 클러터 필터링을 적용하는 것이 유리하다는 가설을 적용할 수 있었다.

3.2 강수 사상 관측자료 분석

앞 절에서는 청천 환경에서의 클러터필터링에 의한 거리프로파일 관측 결과를 분석하였다. 본 절에서는 앞 절의 가설을 기반으로 클러터필터링을 적용한 후, 동일 환경에서 강수 관측 시 그 결과를 분석한다. 강수 관측 실험은 2018년 5월 17일 오전 10시에 그림 3의 장소에서 수행되었다. 당시의 실험 환경을 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6에서와 같이, 이 때의 지상우량 검증을 위한 장비의 부재로 인해 대략적으로 주관적 판단에 근거하여 약한 강수(< 약 2 mm/h)와 강한 강수 (> 약 20 mm/h) 등으로 분류하여 그에 따른 거리 프로파일의 변화분을 분석하였다. 그 분석 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7 (a)~(c) 로부터 실험 환경에서의 강수 기준으로 각각 약한 강도, 중간 강도 및 강한 강도의 순간 강수 관측 결과를 나타내었다. Fig. 5에서와 같이 검은 색 실선은 청천 시 평균 거리프로파일을 나타내며, 추가로 파란색 굵은 실선은 관측된 거리 프로파일의 MAF(mean average filtering) 결과를 나타내었다.

Fig. 7 (a)~(c)의 순간 관측 결과에서 각 거리프로파일 최대값은 각각 53.32 dB, 56.45dB 및 59.98dB 로써 단순히 최대 반사강도 만으로도 강수 강도의 차이에 의한 변화를 관측할 수 있었다.

보다 안정적인 결과를 관측하기 위해 각 관측 결과에 대해 MAF를 수행하였다. 그 결과, 각 프로파일

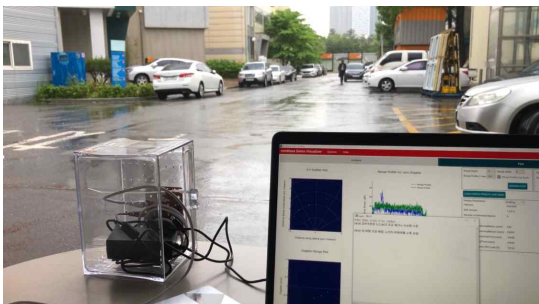


Fig. 6. Precipitation observations at the site shown in Figure 3 at 10:00 am on May 17, 2018.

의 MAF 최대값은 각각 약 46dB, 49dB 및 52dB로 수치적으로는 최대반사강도의 차이와 크게 다르지 않았지만, 장기적인 관측 시 강우강도 변화에 보다 안정적으로 가변하는 결과를 보였다.

또한, 매우 약한 강수에 대해서는 Fig. 7 (a)와 같이 거리프로파일 전반에 걸쳐 MAF 결과가 청천 시의 평균과 비교하여 비교적 균일하게 높은 값을 갖는 것을 확인하였다. 반면 Fig. 7 (b) 및 (c)처럼 어느 정도 이상의 강우강도에 대해서는 가까운 거리에서의 MAF-청천평균값 차이는 큰 데 비해 거리가 멀어질수록 그 차이가 감소하는 특성을 보였다.

결론적으로 강수 및 비강수 관측실험 결과를 분석함으로써, 강우 강도에 따라 레이더 신호의 반사강도 역시 경향성을 가지면서 변화함을 알 수 있었으며, 이러한 특성을 이용하여 강우강도를 추정할 수 있을

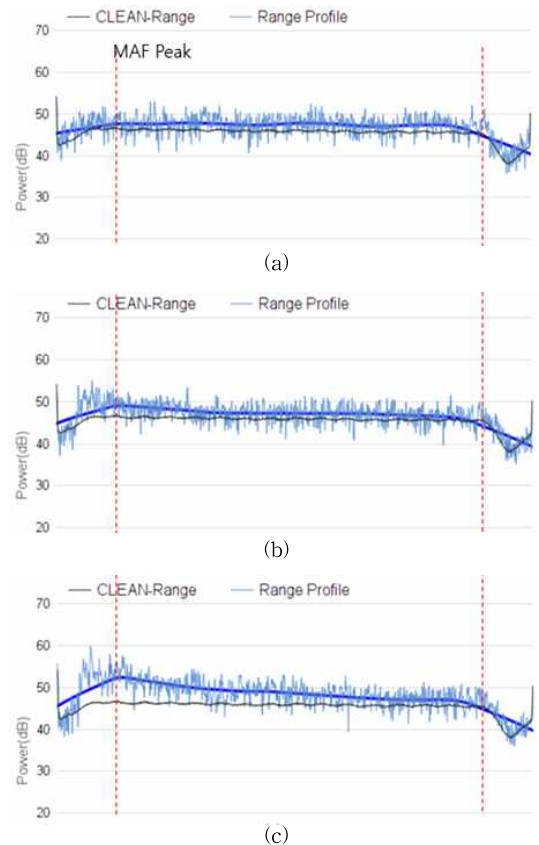


Fig. 7. Observation results of FMCW radar observations after clutter filtering in rainfall environments, (a) at low intensity rainfall, (b) at medium intensity rainfall, and (c) at high intensity rainfall.

것으로 판단된다.

4. 관측자료 기반 강우 강도 추정 결과 및 고찰

3장에서 분석한 결과를 바탕으로 보다 안정적인 강우강도를 추정하는 방법론을 적용함으로써 MAF 곡선의 1차 트렌드 곡선의 기울기를 이용하는 방법을 제안하여 적용해보았다[8]. Fig. 7에서와 같이 강우강도에 따라 MAF 최대값의 크기가 달라지므로, 이 MAF 최대값과 임시적으로 설정한 강우 관측 중단(Fig. 7의 오른쪽 붉은색 점선)의 값 사이의 기울기 변화를 시계열로 관찰함으로써 주관적인 강우강도 변화와의 상관성을 분석하였다. Fig. 8은 무강수 청천 시의 분석 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 8 (a)는 Fig. 8 (b)는 비강수 시에 10 fps로 관측된 결과에 대한 시계열 분석 결과이다. 파란색 선은 청천 기상에서의 800개의 거리프로파일 평균에 대한 트렌드 선의 기울기 값이며, 녹색 선은 현재 관측된 순간 프로파일의 MAF 트렌드 선의 기울기이다. Fig. 8 (a) 그래프의 거리프로파일의 트렌드 선이

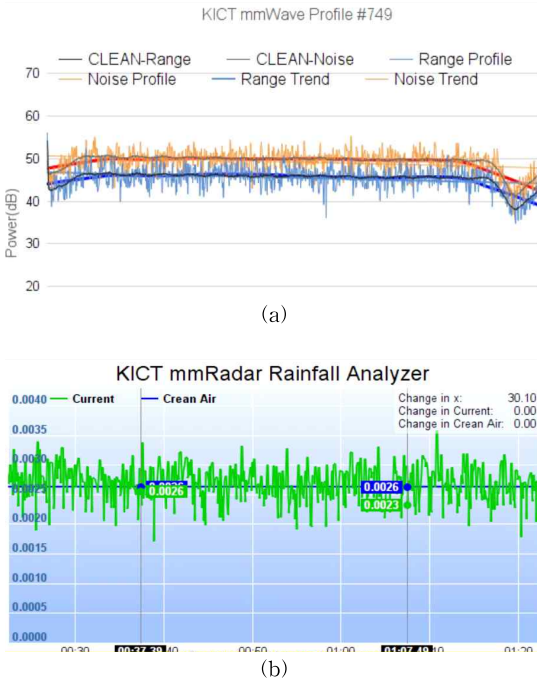


Fig. 8. The slope estimation graph for radar observation in non-rainfall environment, (a) FMCW radar reflectivity intensity in non-rainfall, and (b) estimated rainfall intensity.

청천 평균값과 거의 일치함으로 보임에 따라, Fig. 8 (b)의 관측 결과 역시 무강수 시의 평균 기울기에 낮은 오차값으로 수렴하는 것을 알 수 있다.

이와 같은 방법으로, 약한 강우강도(2mm/h 미만) 및 강한 강우강도(20mm/h 이상) 일 때의 레이더 강우 강도 추정 결과를 아래 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9로부터 무강수 시의 평균 강도(파란색 실선)에 비해 강수 강도에 따른 추정치(녹색 실선)이 확연히 차이 나는 것을 확인할 수 있었다.

한편 제안한 방법은 차량 ADAS용으로 주로 활용되는 레이더를 이용한 강수 관측 기술이며, 차량레이더와 강수와와의 관계 외에 현재 강수를 직접 관측하는 방법에 대한 연구는 세계적으로 아직 미비한 수준이다. 그에 따라, 현재 수준에서의 보다 명확한 비교를 위해 강수강도가 급변하는 시점에 대해 실험 장소와 가장 인접한 곳에서 관측한 환경부 우량계의 자료와 비교하였다. Fig. 10으로부터 각 관측지의 위치와 거리를 나타내었다.

Fig. 11은 2018년 5월 17일 09시 30분부터 2018년 5월 17일 11시 20분 사이에 환경부 우량계[9]로부터

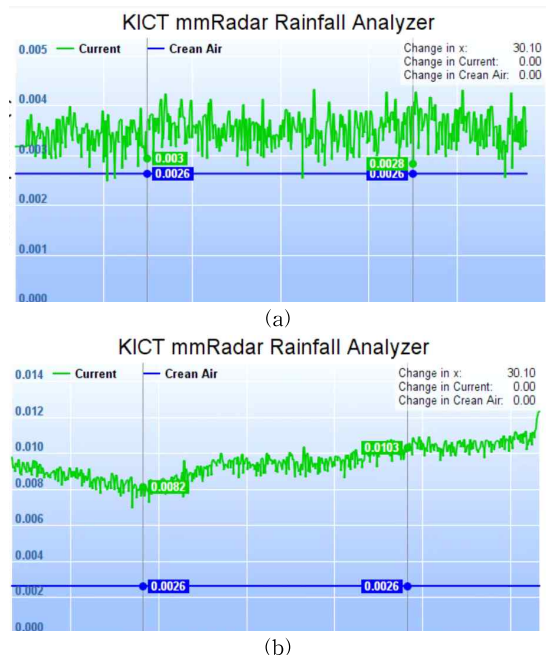


Fig. 9. Results of rainfall intensity estimation using automotive radar during the precipitation, (a) weak rainfall intensity (less than 2 mm/h) and (b) strong rainfall intensity (greater than 20 mm/h).



Fig. 10. Proposed FMCW radar observation point and Ministry of Environment rain gauge observation point.

관측된 데이터를 나타낸 것이다.

Fig. 11의 그래프 및 도표로부터 2018년 5월 17일 10시 20분~30분 사이 10분 동안 5 mm의 강수가 내린 것을 알 수 있다. 이것은 시간당 30 mm/h의 강한 강수를 의미한다. 이 시점의 FMCW 레이더를 이용하여 추정된 강수강도를 Fig. 12로부터 나타내었다.

Fig. 11의 우량계 자료로부터 10분 간격으로 강우 강도를 알 수 있는 반면, Fig. 12로부터 1/10초 단위로 W-밴드 FMCW 레이더에 의해 추정된 강수강도로 약한 강수로부터 강한 강수로 변해가는 과정을 실시간으로 관측할 수 있음을 확인하였다 .



Fig. 11. Rain gauge observations data of Ministry of the Environment from 09:30 to 11:20 May 17, 2018.



Fig. 12. The rainfall intensity estimated by W-band FMCW radar at the time of changing from weak to strong rainfall.

5. 결 론

본 논문에서는 자율주행의 핵심기술로 활용되는 W-밴드 FMCW 차량레이더를 이용하여 레이더 이론과 특성 및 구조를 면밀히 분석한 후, 이 신호를 이용하여 강수를 관측하고 강수강도를 추정하는 방법론을 제안하였다. 강수 관측 실험을 통해 강수 및 비강수 관측실험 결과를 비교 분석함으로써, 강우 강도에 따라 차량 레이더의 반사강도 역시 경향성을 가지면서 변화함을 알 수 있었으며, 이러한 특성을 이용하여 강우강도를 추정하였다. 본 결과를 도출한 방법론을 이용해 정량적 강수량 추정공식을 유도할 수 있는 가능성을 검증하였으며, 기상레이더 및 지상 강우량 관측 장비와 함께 다양한 사상을 관측함으로써 새로운 패러다임의 강수 관측 기술을 개발 할 수 있음을 확인하였다. 향후, 더 많은 강수 사상에 대한 관측 실험과 검증을 통해, 정확한 강수량을 추정하는 기술을 개발하고, 움직이는 차량에 장착하여 강우관측 정확성을 향상시키는 기술을 연구하고자 한다.

REFERENCE

[1] B.-J. Jang, K.-H. Lee, D.-R. Lee, S. Lim and K.-R. Kwon, "Study about Real-time Total Monitoring Technique for Various Kinds of Multi Weather Radar Data," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 19, No. 4, pp 689-705, Apr. 2016.

[2] A. Ziebinski, R. Cupek, H. Erdogan, and S. Waechter, "A Survey of ADAS Technologies for the Future Perspective of Sensor Fusion,"

Proceeding on ICCCI 2016: Computational Collective Intelligence, Vol. 9876, pp. 135-146, 2016.

[3] K. Stock, "Self-Driving Cars Can Handle Neither Rain nor Sleet nor Snow," *Bloomberg Businessweek*, 17 September 2018.

[4] C.-G. Roh and B. Park, "Analysis of the Effect of Rainfall on ADAS Sensor," *International Journal of Advanced Engineering and Management Research*, Vol. 4, No. 1, pp. 77-84, 2019.

[5] R. Gourova, O. Krasnov, and A. Yarovoy, "Analysis of Rain Clutter Detections in Commercial 77 GHz Automotive Radar," *Proceeding on 2017 European Radar Conference (EURAD)*, pp. 25-28, 2017.

[6] S. Bertoldo, C. Lucianaz, and M. Allegretti, "On the Use of a 77 GHz Automotive Radar as a Microwave Rain Gauge," *Engineering Technologies and Applied Science Research*, Vol. 8, No. 1, pp. 2356-2360, 2018.

[7] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, *Development of Driving Environment Observation, Prediction and Safety Technology Based on Automotive Sensors*, 2018.

[8] B.-J Jang, H. Kim, and S. Lim, "Case Study about Precipitation Observation Using 79GHz Automotive Radar Sensor," *Proceeding on Conference of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 2018, No. 10, pp.323-323, 2018.

[9] HRFco(2019), <http://www.hrfco.go.kr/main.do> (accessed June 23, 2019).



장 봉 주

저자는 부산외국어대학교에서 전자공학 전공으로 2002년과 2004년에 학사, 석사 학위를 취득하였으며, 부경대학교에서 정보보호 전공으로 2013년 공학박사 학위를 취득하였다. 2011년부터 2012년까지 미국 콜로라도주립대학교

에서 Visiting Scholar로 기상레이더 관련 연구를 수행하였다. 2013년부터 현재까지 한국건설기술연구원에서 수석 연구원으로 근무 중이다. 이미지, 비디오, 벡터 그래픽 등의 멀티미디어 프로세싱, 압축, 보안 등을 연구하였으며, 현재 주 연구 분야는 기상레이더 신호처리 및 다중센서 기반 기상 관측 및 예측 등이다.



임 상 훈

저자는 미국 콜로라도주립대학교에서 2006년 박사 학위를 취득하였으며, 그 후, 콜로라도주립대학교 및 NOAA/CIRA에서 레이더 기상학 및 수문학과 관련한 다양한 연구를 수행하였다. 현재 한국건설기술연구원에서 연구위원으로 근무

중이며 첨단 기상 관측 시스템 및 이중편파 레이더 그리고 차량 센서를 이용한 레이더 원격탐사에 관한 연구를 수행 중이다.