

원격탐사기법 이용 APEC 회원국에 적합한 홍수 예보감시 시스템 개발

Development of Flood Early Warning System for APEC Countries using Remote Sensing Technology

박경원

원격탐사기법 이용 APEC 회원국에 적합한 홍수 예보감시 시스템 개발

Development of Flood Early Warning System for APEC Countries using Remote Sensing Technology

박경원

발간사

최근 전 세계적 기후변화로 인해 홍수 관련 재해가 점차 증가하고 있으며 기온 상승에 따라 강수 강도의 세기가 갈수록 커져 이전에 볼 수 없었던 대규모 홍수 재해 또한 예상되고 있다. 국내에서도 최근 태풍 차바의 영향으로 짧은 시간에 많은 양의 비가 상대적으로 좁은 울산 지역에 집중적으로 내려 인명·재산상의 많은 피해를 발생하였다. 더불어 아시아 태평양 지역에서도 집중호우로 인한 홍수 피해가 많았다.

APEC 기후센터에서는 기후변화로 인한 홍수 피해 저감노력의 일환으로 위성 강우의 정확도 높은 강우량 관측 모형을 2015년도에 개발한 바 있으며, 본 연구는 이를 바탕으로 차세대 정지궤도 위성에 정확도 높은 알고리즘을 고도화하여 신뢰도 높은 강우 정보를 제공하고자 기획되었다. 본 연구에서 사용되는 위성강우는 관측범위에 제한이 없기 때문에 아시아·태평양 지역 어느 지역에서도 강우량 정보가 제공 가능하다는 장점이 있으며, 이 정보와 본 센터에서 연구되고 있는 침수 위험관리 정보가 결합된다면 아시아·태평양 지역에서 실질적으로 강우 피해가 보다 저감될 수 있도록 하는 정책적 활용이 가능하리라고 생각한다.

끝으로 연구결과가 나오기까지 본 연구를 수행해 주신 박경원 박사의 노고에 감사드린다. 그리고 차세대 위성자료 분석 및 레이더 자료를 이용한 검증에 도움을 준 센터의 이성규, 장상민 박사와 위성자료 수집 및 처리를 도와준 정유림 연구원에게 깊은 감사의 뜻을 전한다.

2017년 1월
APEC 기후센터
원장 정 홍 상

ABSTRACT

Heavy rainfall is one of the most devastating natural hazards in the Korea peninsular. As a result, the monitoring and forecasting of heavy rainfall is one of the most important challenges for flash floods in terms of providing accurate estimation of rainfall. Precipitation data from satellites is very effective for predicting flash floods. Geostationary satellites are especially important for estimating and predicting heavy rainfall in high spatial resolution with time sensitivity during a flash flood event caused by a typhoon. This study validated the rainfall algorithm for typhoon Chaba using Korea's geostationary satellite images and Global Precipitation Mission (GPM), Dual Precipitation Radar (DPR), and GPM Microwave Imager (GMI) sensors. We developed an algorithm that co-located GPM Level 2 precipitation with rain flag, precipitation type flag, land/ocean flag, convective/stratiform flag, cloud top height flag, and COMS geostationary satellite 5 channels. This algorithm can be applied to the Himawari 8 satellite with more than 3 times the time resolution and 2 times the spatial resolution in comparison with the COMS satellite. This paper describes the improvement in the accuracy of rainfall estimation utilizing the Himawari 8 satellite with additional spectral bands.

목 차

1. 서론	1
2. 연구방법	3
2.1 정지궤도 위성강우 활용	3
2.1.1 APEC 회원국	3
2.1.1.1 필리핀	3
2.1.1.2 베트남, 라오스	4
2.1.2 미계측 지역	5
2.1.3 국외 위성강우 활용	7
2.2 연구자료 및 자료처리	9
2.2.1 GPM(Global Precipitation Mission)	9
2.2.2 천리안 위성	12
2.2.3 Himawari 8	15
2.2.4 자료처리	22
3. 연구내용	24
3.1 태풍 차바 피해	24

3.2 울산 태풍 차바 피해-----	27
3.3 지상관측자료-----	28
3.4 GPM 기반 알고리즘 검증-----	34
4. 연구결과-----	44
5. 결론 및 토론-----	50
■ REFERENCE-----	53

LIST OF TABLES

표 1. COMS 센서 특징-----	13
표 2. 전지구 정지궤도 위성 센서 특징-----	14
표 3. Himawari 8 센서 특징-----	18
표 4. Himawari-8 관측지역 및 관측주기-----	20
표 5. Himawari-8 관측지역 및 픽셀갯수-----	21
표 6. 매봉산 레이더 특징-----	28

LIST OF FIGURES

그림 1. 필리핀 홍수 예경보시스템	3
그림 2. 베트남 위성자료 수신 현황	4
그림 3. 라오스 위성자료 수신 현황	5
그림 4. 북한 홍수 피해	5
그림 5. 북한 홍수	6
그림 6. COMS 북한 홍수 관측	6
그림 7. Himawari 8 북한 홍수 관측	7
그림 8. NOAA HE(Hydro-Estimator) 전지구 강우관측	8
그림 9. GPM 위성	9
그림 10. GPM 듀얼레이더(DPR) 센서	10
그림 11. GPM GMI 센서	11
그림 12. GPM GMI 센서 특징	11
그림 13. Himawari-8 위성	16
그림 14. Himawari-8 컬러 합성 이미지	16
그림 15. AHI 센서	17
그림 16. Himawari-8/AHI 센서 적외영역 SRF	19
그림 17. Himawari-8/AHI 센서 가시, 근적외영역 SRF	19

그림 18. AHI 관측시간 해상도 -----	20
그림 19. 복사모형으로 모의된 각 채널별 이미지 -----	21
그림 20. GPM DPR Level 2 자료 -----	23
그림 21. 태풍 차바 경로 및 피해 -----	25
그림 22. COMS 태풍 차바 관측 -----	26
그림 23. 매봉산 레이더와 울산, 부산지역 AWS 관측위치 -----	29
그림 24. 매봉산 레이더 10월 5일 10시 40분 강우량 자료 ----	30
그림 25. 2016년 10월 5일 울산 ASOS 강우량 -----	30
그림 26. 2016년 10월 5일 (a) 삼동 (b) 매곡 AWS 강우량 --	31
그림 27. 2016년도 10월 5일 (a) 두서 (b) 간절곶 AWS 강우량 -----	32
그림 28. 2016년도 10월 5일 ASOS, AWS 관측 위치 -----	33
그림 29. 2016년도 10월 5일 COMS 태풍 차바 관측 강우량 -	33
그림 30. 2016년도 10월 5일 부산사상 (a)AWS 강우자료 (b)COMS, Himawari 강우 검증 결과 -----	35
그림 31. 2016년도 10월 5일 울산 ASOS 강우자료와 COMS 위성강우, 레이더 강우 검증결과 -----	36
그림 32. 2016년 10월 5일 10시 40분 울산 ASOS 지역의 레이더 수직 단면도 -----	38
그림 33. 2016년 10월 5일 8시 태풍 차바 레이더 수직 단면도 -----	39
그림 34. 2016년 10월 5일 8시 태풍 차바 레이더 수직 단면도 -----	40
그림 35. 2016년도 10월 5일 5시 20분 태풍 차바 구름높이 --	41
그림 36. 태풍 차바 적운/층운형 구름 영상 -----	42
그림 37. 울산지역 태풍 차바 적운/층운형 구름 영상 -----	43

그림 38. GPM Ku 레이더 강우강도 2016년도 10월 4일 20:20(UTC)-----	46
그림 39. GPM 강우강도와 Himawari 8 강우강도 비교 (적운형 구름)-----	47
그림 40. GPM 강우강도와 Himawari 8 강우강도 비교 (층운형 구름)-----	47
그림 41. GPM 강우량과 Himawari 8($7.34\mu\text{m}$ - $11.2\mu\text{m}$) -----	48
그림 42. Himawari 8 강우추정알고리즘 흐름도-----	48
그림 43. 예측인자 기반 Himawari 8 강우량 산정-----	49
그림 44. 예측인자값을 이용한 위성 강수 비교-----	49
그림 45. APCC 침수 예측 시스템-----	52

1. 서론

기후변화에 따른 영향으로 전 지구적 기상이변과 지구 온난화 현상이 발생하고 있으며, 국내의 경우에도 2014년 부산 온천천 범람과 같은 자연재해가 반복적으로 발생하고 있다. 그리고 이러한 자연재해는 점차적으로 대형화·복합화 되고 있으며, 재해와 재난으로부터 안전하고 지속가능한 복지도시 구현과 국민의 삶의 질 향상에 대한 정책적 요구가 점차 커지고 있다.

태풍 차바로 인해 발생한 울산 홍수피해와 부산 홍수사상은 짧은 시간 동안 많은 양의 비가 상대적으로 좁은 지역에 집중적으로 내린 집중호우로 발생하였다. 이러한 집중호우는 국지성·돌발성과 같은 특성을 갖고 있기 때문에 상대적으로 큰 해상도와 장시간의 계산이 필요한 현재의 수치모형으로는 이와 같이 돌발적으로 발생하는 강수를 예측하고 대응하는 것이 기술적으로 대단히 어렵다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여, 위성레이더 및 정지궤도 위성을 이용한 집중호우 예측방안이 대두되고 있다. 정지궤도 위성을 이용한 강수관측 및 예측은 관측범위의 한계가 있는 지상레이더, 면적 관측이 어려운 지상관측자료(AWS)을 대신하여 서해에서 돌발적으로 발생하여 한반도에 영향을 주는 집중호우나 남해에서 북상하는 태풍의 관측에 매우 유용할 뿐만 아니라, 북한지역과 같은 미계측 지역이나 관측기반 기술이 부족한 APEC 개발도상국에 대해서도 강수관측과 예측에 유리하다는 장점 또한 가지고 있다.

NOAA에서는 정지궤도위성이 발사된 1970년대부터 위성을 이용하여 강우량을 관측하고 돌발홍수에 적용하였다(Scofield 1987). 1990년대에는 수문분야에 활용하기 위하여 Autoestimator(Vicente et al. 1998, 2002)을 개발하였고, 이 알고리즘을 발전시켜 Hydroestimator(HE; Scofield and Kuligowski 2003)을 개발하였다. 마이크로파를 이용한 강우량 추정방법은 운정온도를 이용하는 정지궤도 강우량 정보보다 더 정확한 강우량을 얻을 수 있다(Ferraro 1997; Ferraro and Li 2002; Kummerow et al. 1996; Olson et al. 2006). 마이크로파 위성으로 관측한 강우량은 정지궤도 위성강우보다 더 정확한 강우량 관측이 가능하지만 시간 해상도는 떨어지는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 멀티위성을 이용하여 시간 해상도 단점을 극복하기 위한 연구가 진행되어 왔다. TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission) 기반 합성강우는 CMORPH(the Climate Prediction Center morphing technique; Joyce et al. 2004)

와 TMPA(TRMM Multisatellite Precipitation Analysis; Huffman et al. 2007)가 대표적이며, 현재는 수명이 다한 TRMM의 임무를 계속적으로 수행하기 위하여 GPM(Global Precipitation Measurement Mission)이 성공적으로 발사되어 합성강우 IMERG(the Integrated Multisatellite Retrievals for GPM) 개발 제공하고 있다(Huffman et al. 2015). 하지만 이러한 합성강우는 돌발홍수와 같이 즉각적으로 정보를 얻어 대응하는 현업환경에는 매우 제한적이다(Zhang et al. 2013). 적외채널을 이용하는 정지궤도 위성강우는 실시간으로 예측할 수 있는 활용분야에 있어서 마이크로파 위성강우보다 매우 활용도가 높다. 현재 발사된 Himawari 8과 앞으로 발사될 GOES-R, GEO-KOMPSAT 2A호는 차세대 정지궤도 위성으로 현재의 5개 채널보다 더 많은 16개의 채널이 탑재될 예정이며, 적외채널 공간해상도도 현재 4km에서 2km로 해상도가 높아진다(Schmit et al. 2005). 히마와리 위성은 발사되어 현재 일본기상청에서 강수 알고리즘을 개발하여 현업에 적용하고 있으며, 미국 GOES-R 위성은 Kuligowski가 개발한 SCaMPR(the Self-Calibrating Multivariate Precipitation Retrieval algorithm)이 탑재되어 NOAA에서 현업으로 운영하고 있다(Kuligowski 2002; Kuligowski et al. 2013). 이 알고리즘은 마이크로파 강수로부터 강수량 정보를 받아 실시간으로 보정 강우량을 생산한다. 적외채널에 기반한 이러한 알고리즘은 레이턴시 6시간 IMERG에 비해 15분내에 계산되기 때문에 수문분야의 홍수 감시·예측 활용에 효과적이다(Zhang et al. 2013; Lee et al. 2014).

본 연구에서는 실시간 홍수 감시·예측에 효과적인 정지궤도 위성강우의 APEC 개발도상국의 활용을 알아보기 위하여 나라별 위성자료 수집 및 예경보시스템을 알아보고, APEC 회원국에 적용될 GPM 기반 알고리즘을 COMS 위성에 적용하여 2016년 10월 태풍 차바로 인해 발생했던 울산 침수 지역에 대하여 지상관측자료와 검증하였다. COMS 위성 정확도 불확실성의 원인인 층운형 구름의 집중호우에 대해서 최근 발사된 Himawari 8의 채널별 활용 강우 정확도 향상에 대한 기법을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 정지궤도 위성강우 활용

2.1.1 APEC 회원국

2.1.1.1 필리핀

필리핀은 태풍과 집중호우의 영향을 많이 받기 때문에 정확한 강수 정보는 매우 중요한 기상인자이다. 필리핀 기상청(PAGASA)은 미국, 일본 등 선진국과 연계하여, 홍수 예경보 시스템을 설치하였고 현업 운영 중에 있다. 일본에서 발사된 Himawari 8 위성자료를 실시간으로 수신하고 있으며, 더불어 수문모형과 GIS 결합한 홍수 감시 시스템을 운영 중에 있다. 다양한 시스템이 현업운영 중에 있기 때문에 새로운 홍수 예경보 시스템 설치에는 다소 유보적이며, 기 설치된 시스템 활용에 초점을 두고 있다(그림 1).

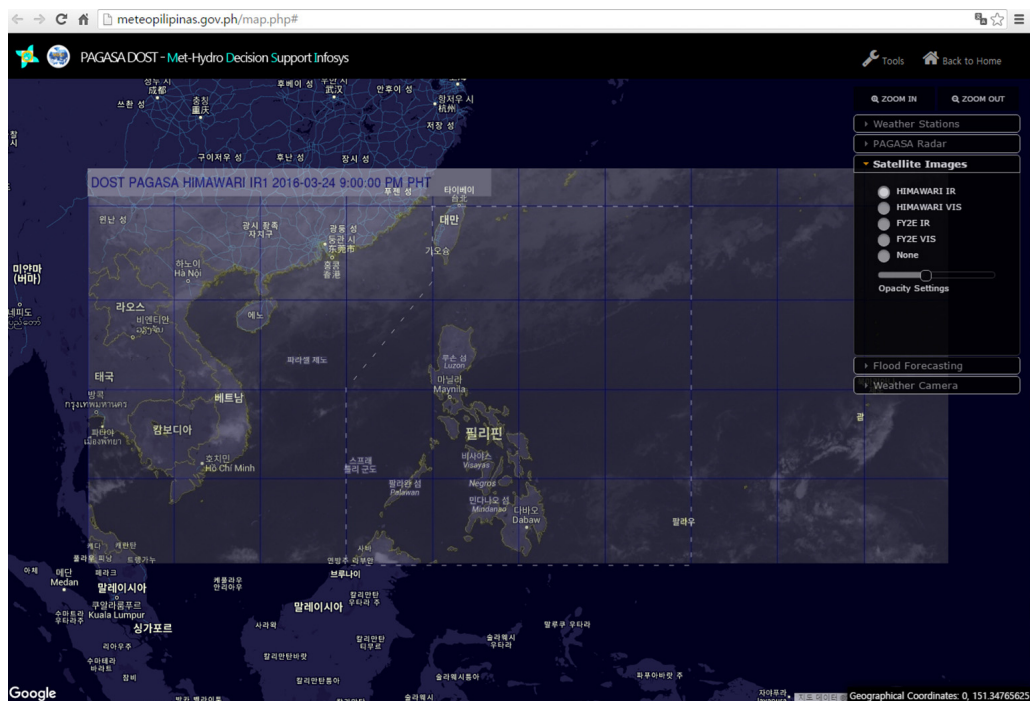


그림 1 필리핀 홍수 예경보시스템

2.1.1.2 베트남, 라오스

베트남은 국립수문센터에서 Himawari 8 수신시스템을 설치 운영 중에 있으며, 집중호우 및 수문 관련 정보들을 제공하고 있다. 현재 베트남은 홍수사상에 대해서 실시간으로 입력되는 정보들을 표출하는데 그치고 있다. 그러나 전 세대 위성 MTSAT-2에서 Himawari 8 위성으로 전환되면서 추가된 채널로 인해 늘어나는 정보를 가공하여, 홍수예경보 시스템을 운영할 여건은 아직 되지 않는 것으로 보인다.

라오스는 한국의 COMS 위성을 수신하고 있으며, 베트남과 마찬가지로 Himawari 8 위성 역시 수신하고 있다. 그리고 한국 KOICA에서 홍수분야 해외프로젝트 사업을 지원하고 있다(그림 3).

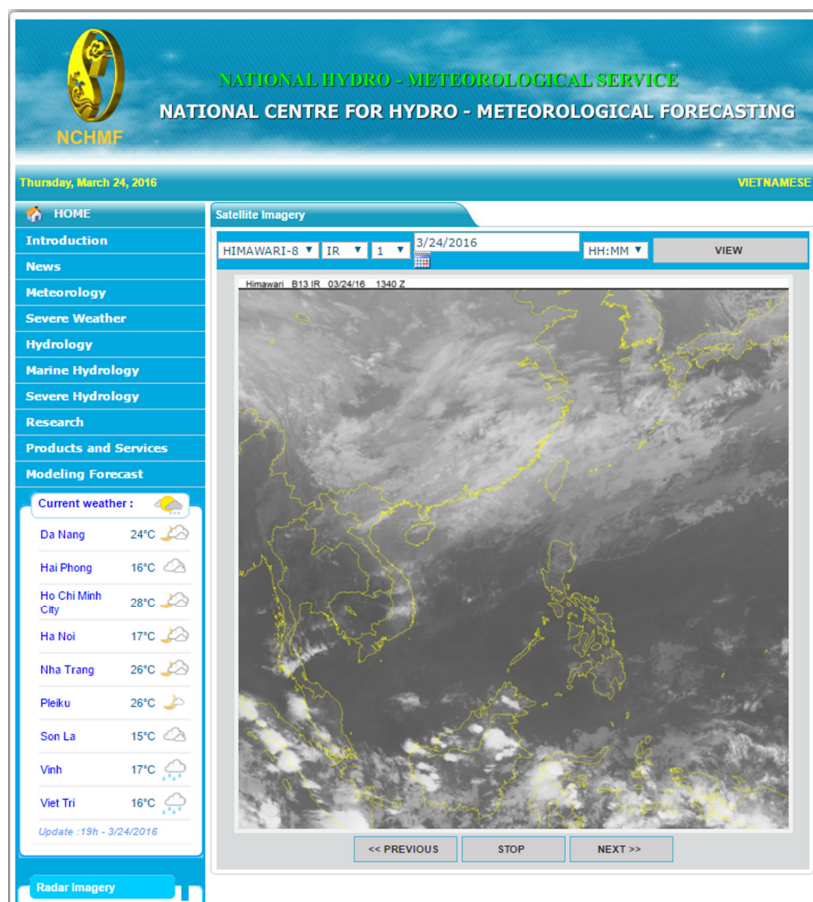


그림 2 베트남 위성자료 수신 현황

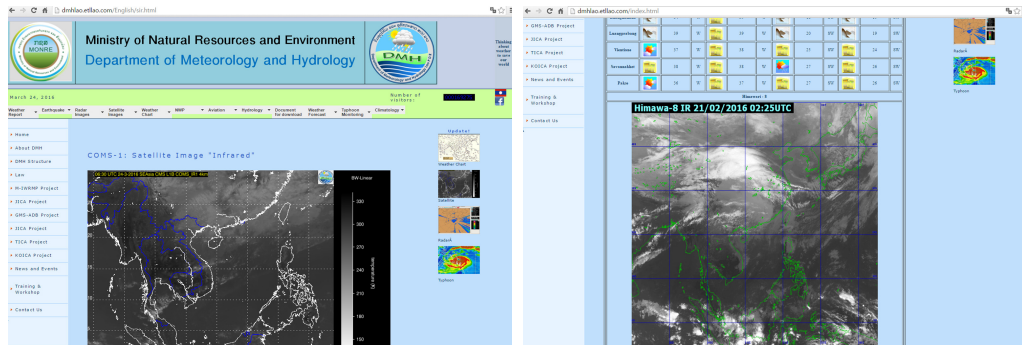


그림 3 라오스 위성자료 수신 현황

2.1.2 미계측 지역

유엔 인도주의 업무조정사무소(OCHA)에 의하면 북한은 홍수로 인하여 133명이 사망하였으며, 실종자는 395명, 그리고 6만 8900명의 이재민이 발생하였다고 한다(그림 4). 두만강 주변 지역에서 10만 7000명이 대피하고, 주택 3만 5500여채가 피해를 입어 70%가 파괴되었다. 가장 심각한 피해는 함경북도 회령시 등 중국접경지역에서 두만강이 범람하면서 발생하였다(그림 5).

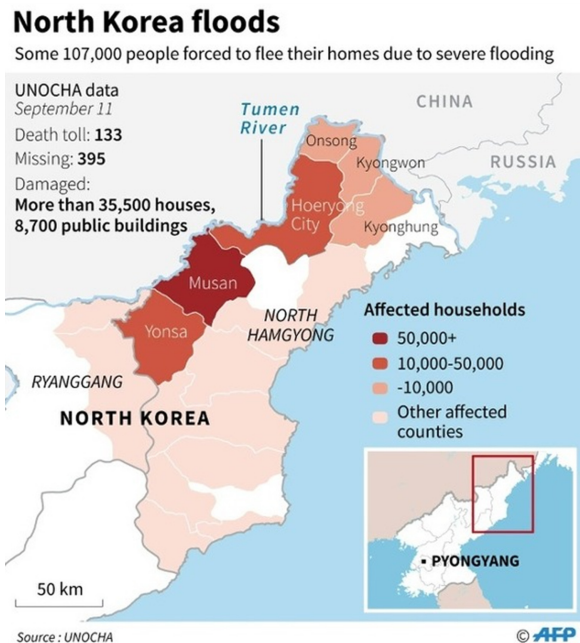


그림 4 북한 홍수 피해



그림 5 북한 홍수

북한과 같은 미계측지역에서 발생하는 홍수사상에 대한 정보는 위성정보를 이용하는 것이 가장 효과적이다. 실시간으로 발생하는 홍수 정보를 얻기 위해서는 극궤도 위성 보다는 시간 해상도가 높은 정지궤도 위성이 상대적으로 덜 정확하지만, 활용가치는 매우 높다. 2016년 8월말에 발생한 북한홍수 사례를 COMS위성과 Himawari 8위성으로 홍수사상에 대한 정보를 얻을 수 있다(그림 6; 그림 7). 정지궤도 위성으로 정보를 보게 되면 10호 태풍이 라이언락이 지나가면서 수증기가 북한지역에 지속적으로 유입이 되고 태풍 라이언락이 동해를 통해 최종적으로 북한지역에서 소멸되면서 시간당 강우강도는 높지 않았지만, 8월 말부터 9월초까지 지속적으로 내린 강우량으로 홍수가 발생하였음을 알 수 있다.

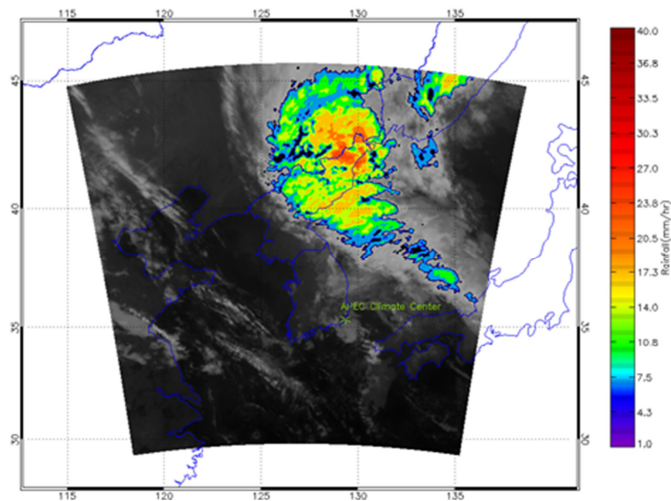


그림 6 COMS 북한 홍수 관측

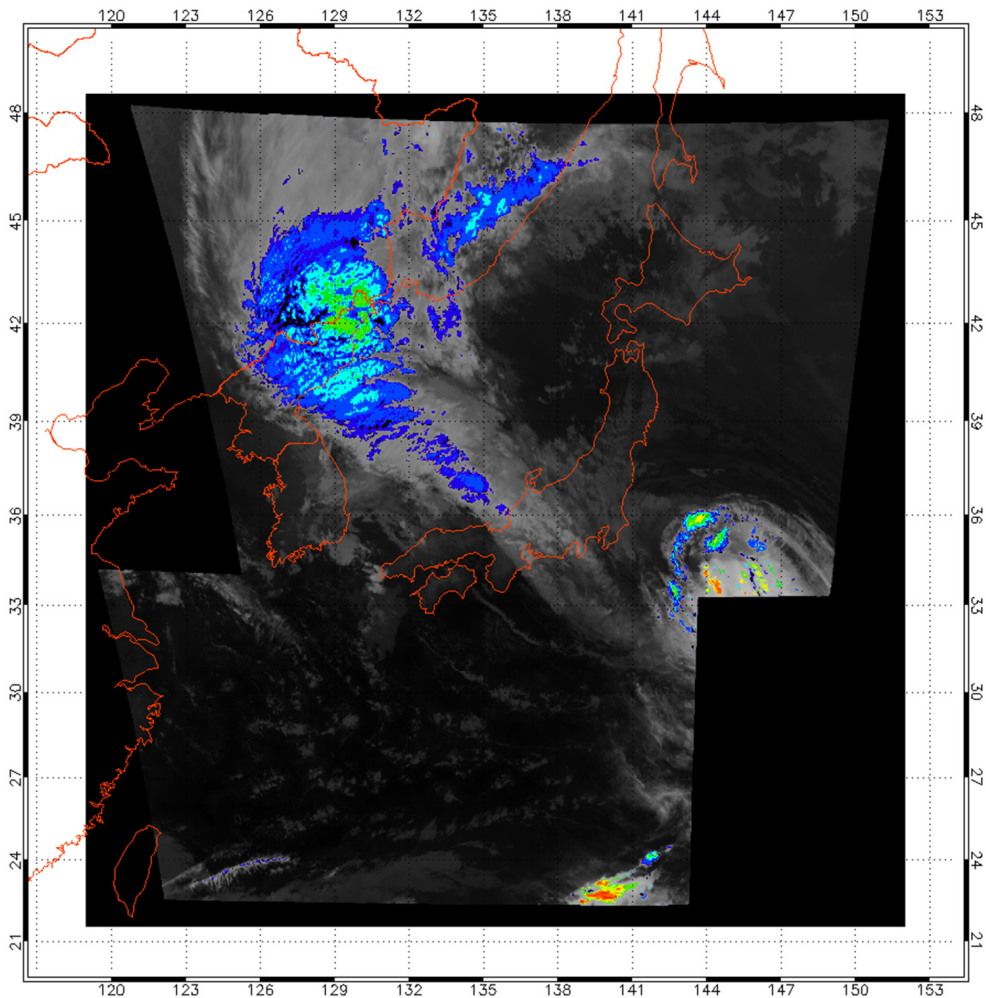


그림 7 Himawari 8 북한 홍수 관측

2.1.3 국외 위성강우 활용

미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)에서는 수문 분야에 위성강우를 이용하고 있으며, HE(Hydro-Estimator) 알고리즘을 개발하여 홍수 모니터링에 이용하고 있다. HE 알고리즘은 기본적으로 적외 휘도온도값을 기반으로 강우량을 추정하고 있으며, 보조자료로 GFS(Global Forecast System) 모델의 가강수량, 증발산 등의 값으로 강우량을 보정하여 강우량을 산출하고 있다. NOAA는 지상관측자료나 레이더가 관측하기 힘든 해양이나 관측소가 드문곳에 자료를 제공하고

있으며, 최근에는 전지구의 홍수 정보 제공을 목표로 연구를 확대하고 있는 중이다. HE 알고리즘은 미국의 GOES(Geostationary Operational Environmental Satellites) 정지 위성을 기본 자료로 이용하고 있고, 유럽이나 아프리카는 METEOSAT, 동아시아 MTSAT 위성에 적용하여 전지구 강수량을 생산 제공하고 있다(그림 8).

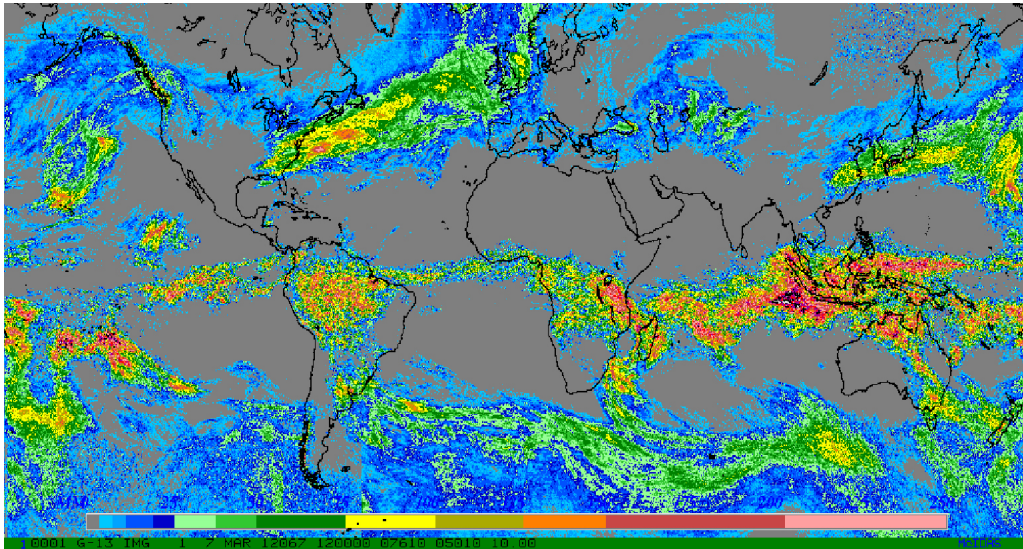


그림 8 NOAA HE(Hydro-Estimator) 전지구 강우관측

2.2 연구자료 및 자료처리

2.2.1 GPM(Global Precipitation Mission)

GPM위성은 2014년 2월 28일 오전 3시 37분, 일본 다네가시마 우주센터에서 성공적으로 발사가 되었다. 2005년부터 제작되기 시작한 전지구강수관측위성(Global Precipitation Measurement, GPM)은 지구의 강수량, 태풍, 호우 예보 등을 관측하는 위성으로 미국 항공우주국(NASA)의 위성 기술 로드맵에 따라 일본 우주항공국(JAXA)의 합작으로 공동 개발되었다).

GPM 위성의 핵심 센서인 DPR(Dual Precipitation Radar)는 태풍의 구조뿐만 아니라, 시간과 위치에 따라 변화하는 태풍을 감시할 수 있으며, 강수량을 3D로 관측하는 것도 가능하다. 미국에서 개발된 마이크로파 라이오미터(GPM Microwave Imager, GMI)는 강수량과 강설량의 강도를 관측할 수 있으며, 두 센서를 탑재한 GPM 핵심 관측위성과 기존의 강수량을 관측할 수 있는 여러 기상위성자료가 결합되어 지구 전체의 약 90%로 해당되는 곳의 강수량과 강설량을 매 30분마다 관측할 수 있다(그림 9).



그림 9 GPM 위성

GPM 코어 위성 중에 가장 중요한 센서 중의 하나인 듀얼레이더(Dual-frequency Precipitation Radar, DPR)는 Ku밴드 레이더(KuPR), Ka밴드 레이더(KaPR)로 구성되어 있으며, KuPR 센서는 13.6GHz로 이전 TRMM 위성의 센서와 같으며, 수직 해상도는 250m, 수평해상도는 5km이다(그림 10). KaPR센서는 GPM코어 위성에서 새롭게 탑재된 센서로 35GHz의 주파수를 가지며, 수직 해상도는 250/500m이며, 수평 해상도는 KaPR센서와 같은 5km이다.

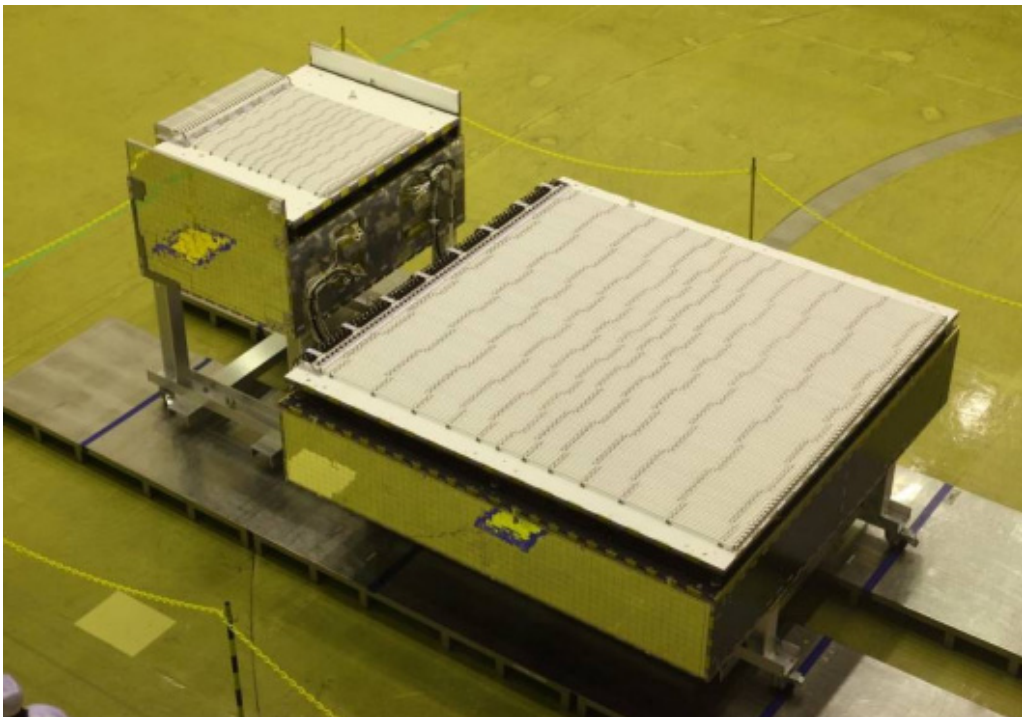


그림 10 GPM 듀얼레이더(DPR) 센서

GMI센서는 GPM위성에 탑재되어 있는 마이크로 라디오미터 센서이다. 407km 곡원 궤도로 관측하며, 관측고도는 635km이다(그림 11). GMI는 10GHz부터 183GHz까지 각각의 수직 수평 전자파로 총 13개의 채널을 가지고 있다. 1.2m 크기의 메인 안테나가 회전하면서 관측하며, 지상 Swath 거리는 885km이다. 13개의 채널 중 10-23GHz이 강수입자에 민감하여 강수량 추정에 많이 이용되며 36-89GHz는 강수 및 강설입자에 민감하고, 166-183GHz 채널은 강설입자에 민감하여 강설량 추정에 사용된다.(그림 12).



그림 11 GPM GMI 센서

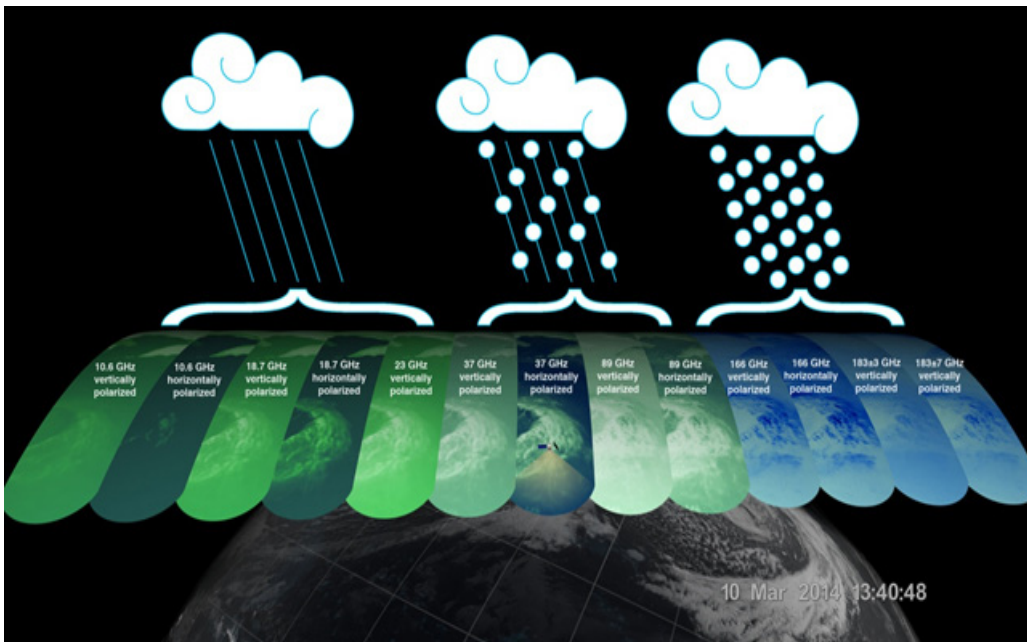


그림 12 GPM GMI 센서 특징

GPM 자료는 Level 0, Level 1A, Level 1B, Level 1C, Level 2, Level 3자료의 형태로 제공된다. Level 0 자료는 기본적인 정보와 데이터 missing에 대한 정보로서 일반 유저에게는 제공되지 않는 정보이다. Level 1A 자료는 센서에 대한 정보, 고도, 위치, 센서, 위성 상태 등의 정보로써 이 정보 또한 일반 유저에게는 제공되지 않는다. Level 1B, Level 1C자료는 기하적인 보정된 자료로 반사도값, 휘도온도값을 제공한다. Level 2자료는 반사도값과 휘도온도에서 강수량 산정 알고리즘에 따라 강수량으로 변환된 값을 제공한다. Level 3자료는 통계적인 방법을 이용하여 시공간적으로 격자화 된 자료를 제공한다. Level 3자료 중에서 GPM 핵심위성 자료만으로 보간하여 격자화된 자료가 있으며, GPM 코어 위성과 여러 마이크로파 협력위성, 정지궤도 위성에서 산출되는 강수량을 결합하여 시간해상도 30분 10km의 공간 해상도로 NASA에서 개발하여 제공되는 자료는 GPM IMERG자료이다. Level 2에서 GPM위성 이중강우레이더(DPR)에서 KuPR센서에 제공하는 강수량, KaPR센서에서 제공하는 강수량이 있으며, KuPR, KaPR의 강수량값을 서로 보정하여 제공하는 DPR 강수량 값도 제공한다.

또한 GMI(GPM Microwave Imager) 센서는 미국 수동 마이크로파 알고리즘 팀의 GPROF 알고리즘 기반으로 GMI Level 2 강수량을 제공한다. 본 연구에서는 DPR 강수량값과 COMS 센서와 Himawari 8 센서들을 시간 및 공간 정보들을 일치화 시켜 데이터베이스화하였으며, DB를 통하여 COMS 강수량 산정 알고리즘을 검증하고, Himawari 8 위성 강우 알고리즘 개발 기반 자료로 이용하였다.

2.2.2 천리안 위성

국가기상위성센터에 따르면 천리안 위성(Communication, Ocean and Meteorological Satellite, COMS)은 지구적도상공 36,000km 고도, 동경 128.2도에 위치하여 기상 관측, 해양관측 통신서비스 임무를 수행하는 우리나라 최초의 정지궤도 복합위성이다. 이 위성은 2003년부터 국가 우주개발 중장기 계획에 따라 기상청, 교육과학기술부, 국토해양부, 방송통신위원회 공동사업으로 추진하여 한국항공우주연구원이 총괄주관 연구기관으로 개발을 책임지며, 프랑스의 EDAS Astrium사와 미국의 ITT가 해외 협력 회사로 참여 2010년 6월 27일 남미 프랑스령 기아나 꾸르 우주센터에서 성공적으로

발사하였다. 그리고 현재 한반도를 비롯하여 전구를 27분 이하의 시간 간격으로 관측하고 있다. 위성의 제원은 중량이 2,497kg으로 7년의 위성수명으로 발사되었다. 기상관측센서, 해양관측센서, 통신 탑재체(Ka-band)을 탑재하고 있으며, 이 위성으로 인해 그동안 일본으로부터 30분 간격으로 수신하고 있던 기상위성자료는 평상시 15분 간격, 악기상시 최대 8분 간격의 관측이 가능해졌다.

기상탑재체는 미국 GOES-8호 ~ GOES 13호 및 일본 MTSAT-2에 탑재된 기상센서와 동일한 센서를 탑재하고 있다(표2). 총 5개의 센서를 탑재되어 있으며, 가시광선(VIS : visible) 센서는 태양광의 가시광선 영역인 0.5 ~ 0.9 μ m 파장대의 지구반사량을 관측하고 있다. 가시채널은 태양광이 있는 주간에만 관측이 가능하고 하층운, 안개, 적설, 해빙 등의 기상요소를 관측이 유용하다. 단파적외 채널은 3.7 μ m의 파장대로 주간에는 태양광의 지구반사량을 측정 가능하며, 야간에는 지구 복사량을 측정하여 하층운, 야간 안개, 산불등의 관측에 이용된다. 수증기 채널은 6.7 μ m의 파장대에서 대기의 수증기 흡수에 따른 복사량을 측정하며, 이 채널을 이용하여 대류권 상층 및 중층의 수증기량 관측이 가능하다. 적외 1, 적외 2채널은 각각 10.8 μ m, 12.0 μ m의 파장대를 가지며, 지구표면이나 구름에서의 온도를 측정하여 구름탐지, 바람장, 강우강도, 해수면 온도 등의 기상 물리값으로 변환하여 이용된다. 센서의 각 채널의 정보는 표 1에 정리하였다.

표 1 COMS 센서 특징

채널	파장(μ m)	공간해상도	활용분야
가시광선	0.67	1km	주간 구름영상, 황사·산불·연무관측, 대기운동벡터
단파적외	3.7	4km	야간안개 및 하층운, 산불감지, 지면온도 추출
수증기	6.7	4km	중상층 대기 수증기량, 상층대기 운동파악
적외1	10.8	4km	구름정보, 해수면 온도, 황사관측
적외2	12.0	4km	구름정보, 해수면 온도, 황사관측

표 2 전자구 정지궤도 위성 센서 특징

위성	번호	채널	파장범위(μm)	해상도
미국 GOES-13 (=GOES N) 2006.5.24	1	VIS	0.55-0.75	1km
	2	IR	3.8-4.0	4km
	3	VW	6.5-7.0	4km
	4	IR	10.2-11.2	4km
	5	IR	13.0-13.7	8km
유럽 MSG-2 (=MATEOSAT-9) 2005.12.21	1	High.Res.VIS	0.6-0.9	1km
	2	VIS 0.6	0.56-0.71	3km
	3	VIS 0.8	0.74-0.88	3km
	4	IR 1.6	1.50-1.78	3km
	5	IR 3.9	3.48-4.36	3km
	6	IR 8.7	8.30-9.10	3km
	7	IR 10.8	9.80-11.80	3km
	8	IR 12.0	11.00-13.00	3km
	9	VW 6.2	5.35-7.15	3km
	10	VW 7.3	6.85-7.85	3km
	11	IR 9.7	9.38-9.94	3km
	12	IR 13.4	12.40-14.40	3km
일본 MTSAT-1R 2005.2.26	1	VIS	0.55-0.75	1km
	2	IR 1	3.8-4.0	4km
	3	IR 2	6.5-7.0	4km
	4	IR 3(VW)	10.2-11.2	4km
	5	IR 4(Near IR)	13.0-13.7	4km
중국 FY-2C 2004.12.24	1	VIS	0.55-0.90	1.25km
	2	IR3	3.5-4.0	5km
	3	VW	6.3-7.6	5km
	4	IR1	10.3-11.3	5km
	5	IR2	11.5-12.5	5km

천리안위성은 지상으로부터 약 36,000km 떨어진 적도 상공에서 지구를 관측하기 때문에 지구의 크기는 아주 작아 보여서 이를 보완하기 위하여 위성의 기상 영상기에는 망원경이 함께 부착되어 있다. 그리고 이 망원경 앞에 달린 스캔 거울이 좌우/상하로 움직이면서 지구로부터 반사된 태양복사에너지와 적외선 에너지를 망원경으로 전달하며, 디텍터가 디지털화해 기록하고 이어붙이는 방식으로 영상을 만들어내고 있다. 좌우(동서방향)로 한 번 스캔한 값들의 집합을 한 스캔라인이라고 하며, 이 한 스캔라인은 위성에서 볼 때, 남북방향 8 km 정도의 폭으로 이루어져 있다. 위성에서 보이는 둥근 지구의 모습을 모두 촬영한다면 1천 번이 넘는 스캔라인 관측이 이뤄져야 하며, 한 스캔라인을 관측하는 데는 약 1초 가량이 소요된다. 따라서 전지구 촬영 모드는 약 27분이 소요되며, 한반도 영역만 촬영하는 데에도 1분 가량이면 관측이 가능하다. 자료는 2011년 4월부터 현재까지 국가기상위성센터로 한반도 지역자료를 바이너리 자료를 수신하여 적외 채널을 TBB온도값으로 변환하여 사용하였다.

2.2.3 Himawari 8

히마와리-8 위성은 2014년 10월 7일 다네가시마 우주센터에서 H-11A로켓으로 성공적으로 발사되었다. 이 기상위성은 기존의 MTSAT-2 정지궤도 위성을 대체하여 운영되도록 설계되었다. 히마와리-8 위성은 16개의 다중분광영상을 찍을 수 있는 AHI 센서가 탑재되어 있으며, 기존의 30분마다 전지구를 관측하던 주기보다 더 빨라져 10분마다 전지구 관측이 가능하다. 특히, 이 위성은 향후 발사될 한국의 복합정지궤도 2A, 미국의 GOES-R, 유럽 MSG와 같은 센서가 탑재되어 특정지역인 일본주변을 2.5분 간격으로 관측이 가능하며 이전의 MTSAT-2 위성보다 공간, 시간 해상도가 비약적으로 향상되었으며, RGB 컬러 가시 영상 등 50배나 많은 데이터를 생산 제공하게 된다(그림 13).

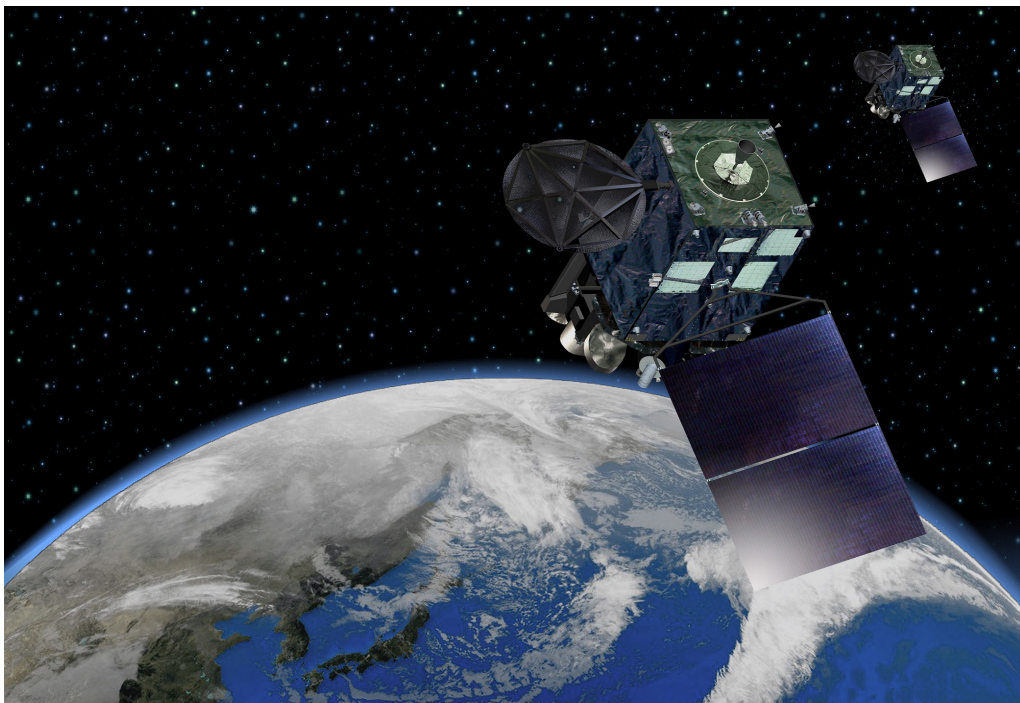


그림 13 Himawari-8 위성

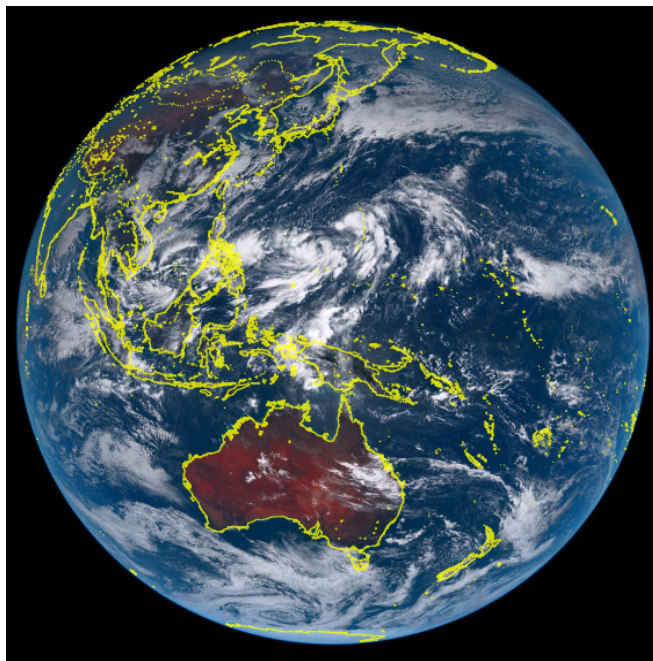


그림 14 Himawari-8 컬러 합성 이미지

히마와리 위성은 MTSAT-2위성과 달리 가시 채널 1,2,3을 합성하여 컬러 이미지를 재생할 수 있다. 전지구 full disk 촬영하는데 10분의 시간이 걸리며 이미지는 다음과 같다(그림 14). 히마와리 위성의 채널은 이전 COMS, MTSAT-2 의 Visible, Waver vapor, near infrared, infrared1, infrared2 등 총 5개의 채널에서 Visible 6개, 적외채널 10 등 11개의 채널이 추가되어 총 16개의 채널을 가지고 있다.(그림 15; 그림16; 그림 17). 또한 가시채널 1km에서 0.5km로, 적외채널 4km에서 2km로 공간해상도가 2배 향상되었다(표 3).

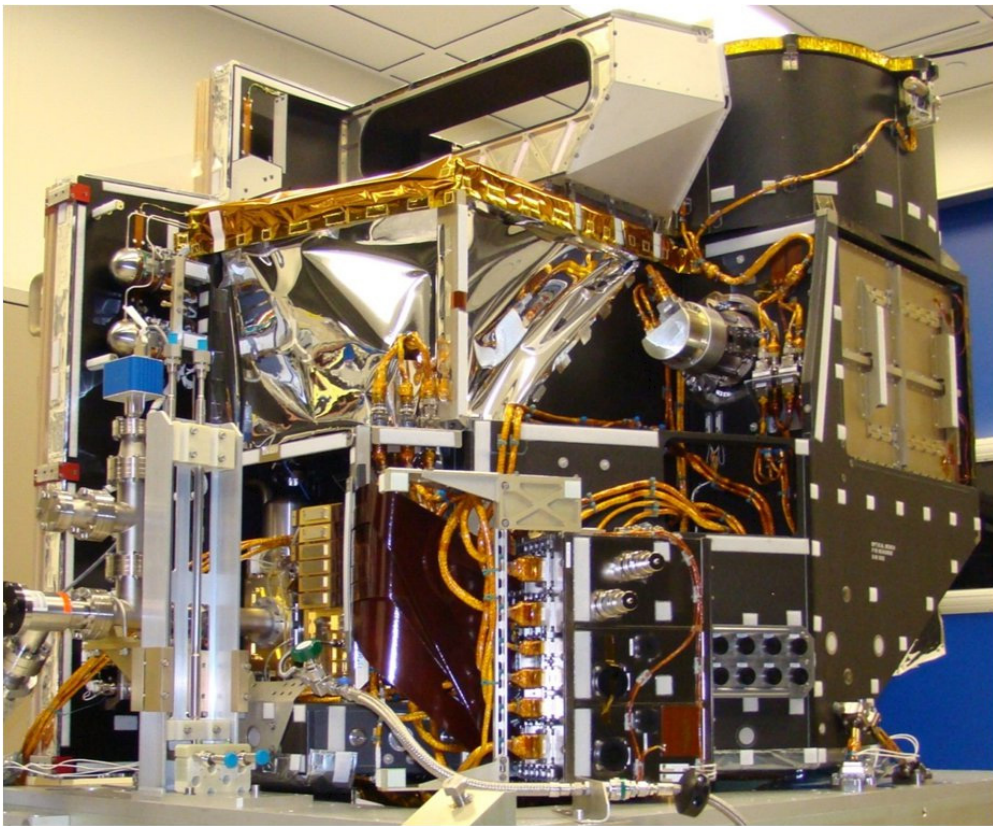


그림 15 AHI 센서

표 3 Himawari 8 센서 특징

Wave length [μm]	Himawari-8/9				MTSAT-1R/2	
	Band number	Spatial resolution at SSP [km]	Central wave length [μm]		Channel name	Spatial resolution at SSP[km]
			AHI-8	AHI-9		
0.47	1	1	0.47063	0.47059		
0.51	2	1	0.51000	0.50993		
0.64	3	0.5	0.63914	0.63972	VIS	1
0.86	4	1	0.85670	0.85668		
1.6	5	2	1.6101	1.6065		
2.3	6	2	2.2568	2.2570		
3.9	7	2	3.8853	3.8289	IR4	4
6.2	8	2	6.2429	6.2479	IR3	4
6.9	9	2	6.9410	6.9555		
7.3	10	2	7.3467	7.3437		
8.6	11	2	8.5926	8.5936		
9.6	12	2	9.6372	9.6274		
10.4	13	2	10.4073	10.4074	IR1	4
11.2	14	2	11.2395	11.2080		
12.4	15	2	12.3806	12.3468	IR2	4
13.3	16	2	13.2807	13.3107		

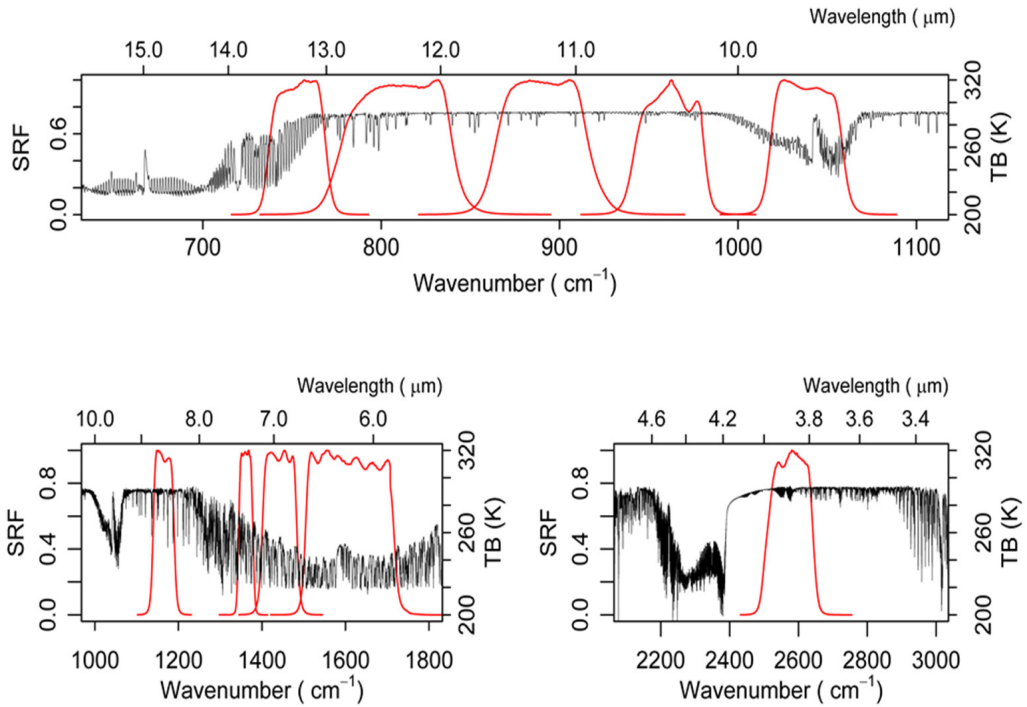


그림 16 Himawari-8/AHI 센서 적외영역 SRF

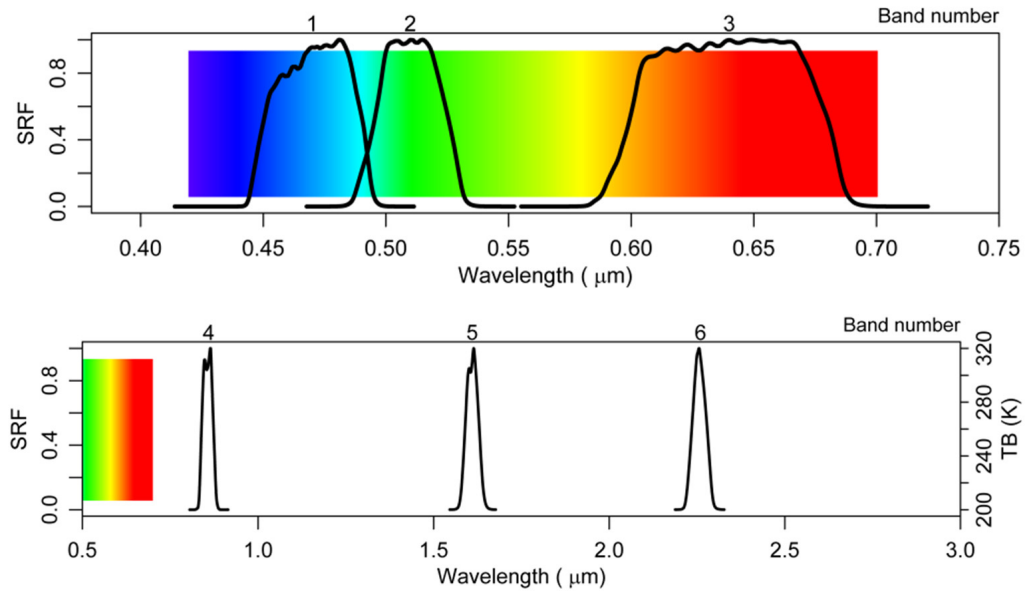


그림 17 Himawari-8/AHI 센서 가시, 근적외영역 SRF

히마와리 8위성은 매 10분마다 전지구를 관측하고 있으며, 이외에도 한국을 포함한 일본 전 지역을 2.5분마다 관측하고 있다(그림 18). 태풍은 2.5분마다 특별관측을 한다(표 4). 관측지역마다 관측주기와 픽셀에 대한 정보를 표4에 나타내었다. 히마와리 16개 채널중 6개는 지표반사도 값을, 나머지 채널은 radiance에서 휘도온도값으로 변환후 값을 제공한다(그림 19).

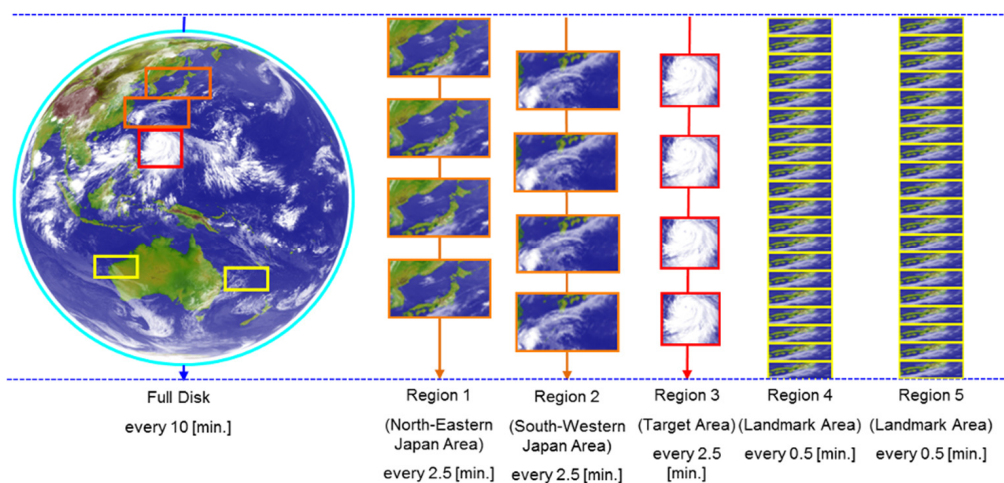


그림 18 AHI 관측시간 해상도

표 4 Himawari-8 관측지역 및 관측주기

	Observations per timeline	Time cycle(min)	Observation per day
Full Disk(Fixed)	1	10	144
Japan Area(Fixed) (Region 1+Region 2)	4	2.5	576
Target Area(Flexible) (Region 3)	4	2.5	576
Landmark Area (Flexible) (Region 4)	20	0.5	2,880
Landmark Area (Flexible) (Region 5)	20	0.5	2,880

표 5 Himawari-8 관측지역 및 픽셀갯수

Observation area	Band number (see table1)	Spatial resoluion at SSP[km]	Numbers of pixels	
			East-west direction	North-south direction
Full Disk	3	0.5	22,000	22,000
	1,2,4	1	11,000	11,000
	5-16	2	5,500	5,500
Japan Area (Region 1+Region 2)	3	0.5	6,000	4,800
	1,2,4	1	3,000	2,400
	5-16	2	1,500	1,200
Target Area (Region 3)	3	0.5	2,000	2,000
	1,2,4	1	1,000	1,000
	5-16	2	500	500
Landmark Area (Region 4)	3	0.5	2,000	1,000
	1,2,4	1	1,000	500
	5-16	2	500	250
Landmark Area (Region 5)	3	0.5	2,000	1,000
	1,2,4	1	1,000	500
	5-16	2	500	200

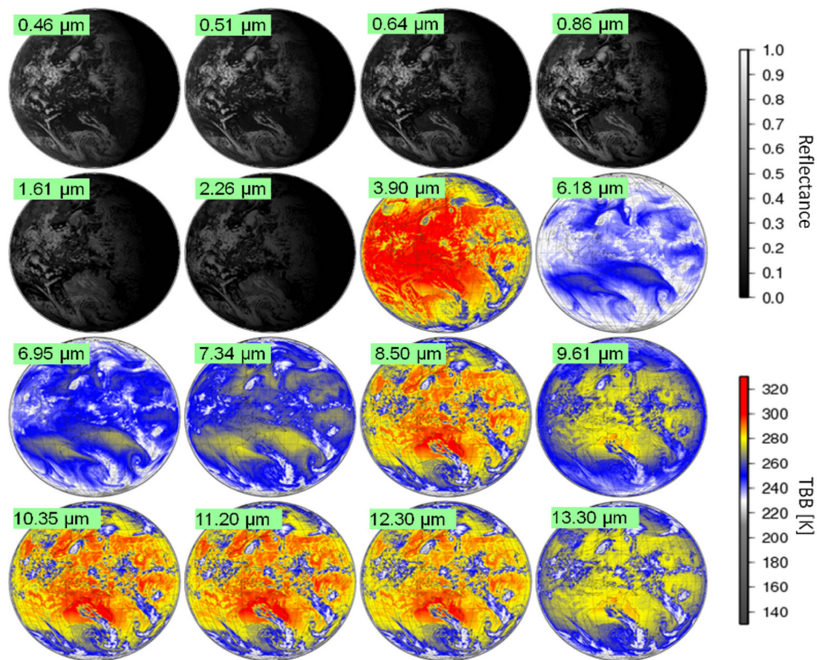


그림 19 복사모형으로 모의된 각 채널별 이미지

2.2.4 자료처리

관측지역은 위도 30도부터 45도, 경위120도부터 135도까지로 정하였다. 천리안 위성자료는 현재 국가기상위성센터에서 자료를 제공하고 있다. COMS Level 1 자료는 적외영상 1, 적외영상 2, 단파적외영상, 가시영상, 수증기 영상, 합성영상, 강조영상 자료를 제공하고 있으며, 각각의 자료에 대한 영상자료와 raw 자료인 바이너리 자료를 내려 받을 수 있다. 동아시아, 북반구 지역 및 한반도 자료는 각각 15분 간격의 자료이며, 본 연구에서 사용된 COMS 자료는 한반도 지역의 자료는 00, 13, 15, 28, 30, 43, 45, 58분의 자료로 13, 28, 43분의 자료가 더 제공이 된다. 집중호우의 특성상 짧은 시간에 많은 양의 강수량이 내리기 때문에 집중호우를 더 많이 관측하는 한반도 지역자료를 선택하였다. 자료는 바이너리 자료로 용량은 3MB자료로 가시, 수증기, 단파적외, 적외1, 적외2 데이터를 받았으며, rain/no rain 구름분류로는 가시, 수증기, 단파적외, 적외 채널을 이용하였고, 강수량 산정 때는 기본적으로 적외1 자료를 이용하였다. 이진 바이너리 자료는 국가위성센터에서 제공하는 Digital Count 값으로 제공 받았고, 이 자료는 국가기상위성센터에서 제공하는 Conversion table를 이용하여 실제 물리량인 Radiance와 휘도온도로 변환하였다. GPM 자료는 10월 25일 새벽 5시 20분 태풍 차바를 관측 한 Level 2 자료를 수집하였다. 태풍 차바에 대한 Convective/Stradiform, 강수구름 높이 정보에 대한 정보를 DB화 하였다(그림 20). 동일한 시간과 공간자료에 맞는 Himawari 8위성자료를 수집하였고, 각각의 채널 정보를 시·공간적으로 일치시켰다. Japan area 자료로 한반도 주변 일본 지역이 포함하고 있으며, NC(NetCDF) 포맷된 자료를 매 10분간 간격의 자료를 수신하였다.

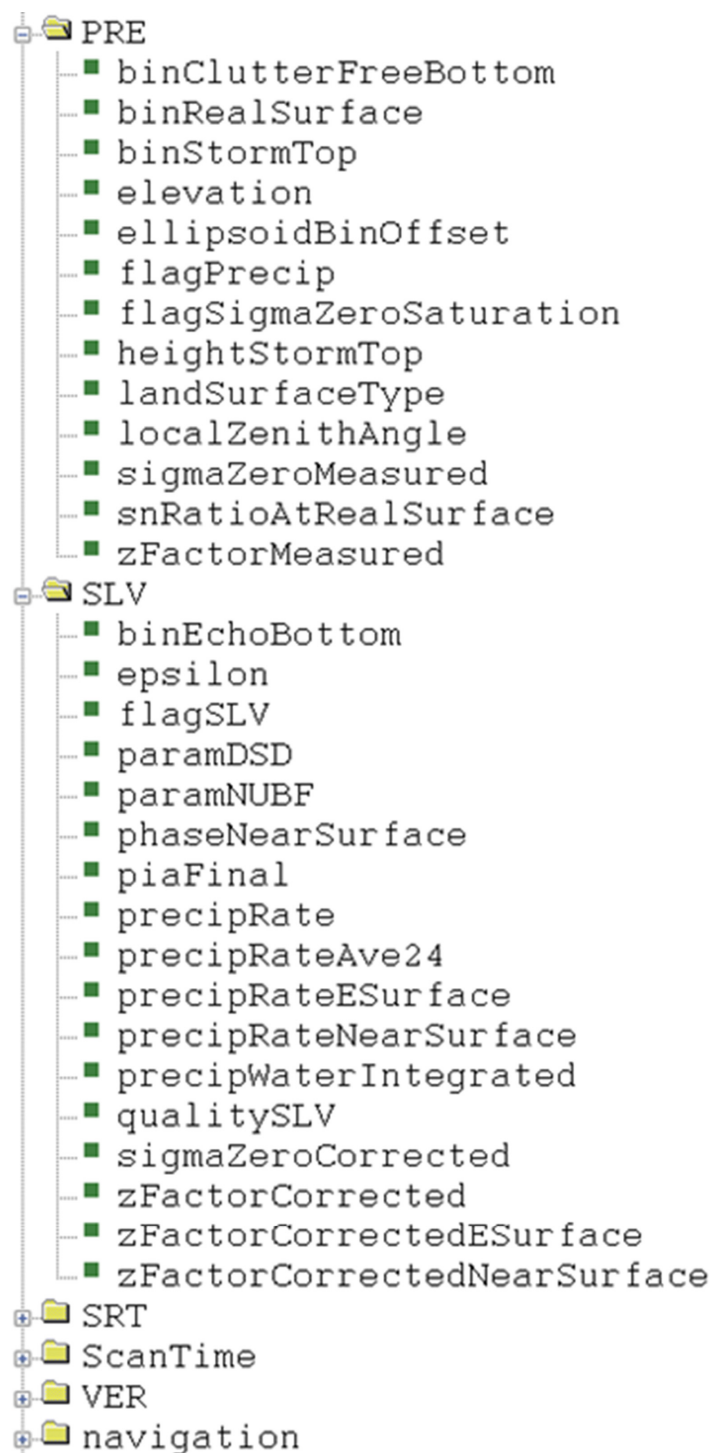


그림 20

GPM DPR Level 2 자료

3. 연구내용

3.1 태풍 차바 피해

제18호 태풍 ‘차바’가 5일 제주와 남해안을 지나가면서 사망 4명, 실종 3명 등의 인명피해를 냈고, 차량 980여대가 침수되는 등 재산 피해가 컸다. 오후 6시를 기준으로 한 피해상황에 따르면, 부산 영도구 공사장의 크레인이 넘어져 1명이 숨졌고, 수영구 주택에서 1명이 사망했다. 울산 울주군 현대아파트 주차장에서 급류에 휩쓸려 1명이 숨졌고, 부산 가덕도 방파제에서 추락해 1명이 사망했다. 또 울주군에서 구조에 나선 소방공무원 1명과 제주에서 정박한 어선을 이동하던 1명이 실종됐다. 경주에서도 차량이 전도돼 1명이 실종되었다.

사유시설 피해는 전남 여수에서 1가구가 침수됐고 전남 7개 시·군의 농경지 1183ha가 물에 잠겼다. 차량 침수는 제주 한천교의 80대와 울산 울주군 언양읍 현대아파트 등의 900여대 등 1000대에 육박했다. 제주 서귀포에 정박했던 5.7t급 어선 1척이 전복됐고, 가로수 79그루(제주 3, 전남 76)가 폭우와 강풍에 쓰러졌으며, 전봇대 1개와 간판 22개가 파손됐다. 공공시설 피해는 울산 북구의 저수지 2곳이 일부 붕괴되었으며, KTX 울산역 부근에서 낮 12시 50분쯤 안전펜스가 선로에 쓰러져 단전됨에 따라 KTX 운행이 오후 2시50분까지 중단되었다. 동해남부선은 호개역에서 태화강역 구간 200m에서 자갈이 유실돼 부전역에서 경주역 구간 운행이 중지됐다. 정전 피해는 22만 6945가구에서 발생했으며 거제 대우조선해양은 오전 9시쯤 정전됐다. 태풍 피해로 도로 55곳(부산 15, 울산 23, 경북 14, 경남 3)이 통제되었고, 항공편이 결항했다(그림 21; 그림 22).

태풍 '차바' 영향 주요 지역 강수량



이재윤, 반종빈 기자 20161005 페이스북: toney.kr/LetN1, 트위터 @yonhap_graphics

그림 21 태풍 차바 경로 및 피해

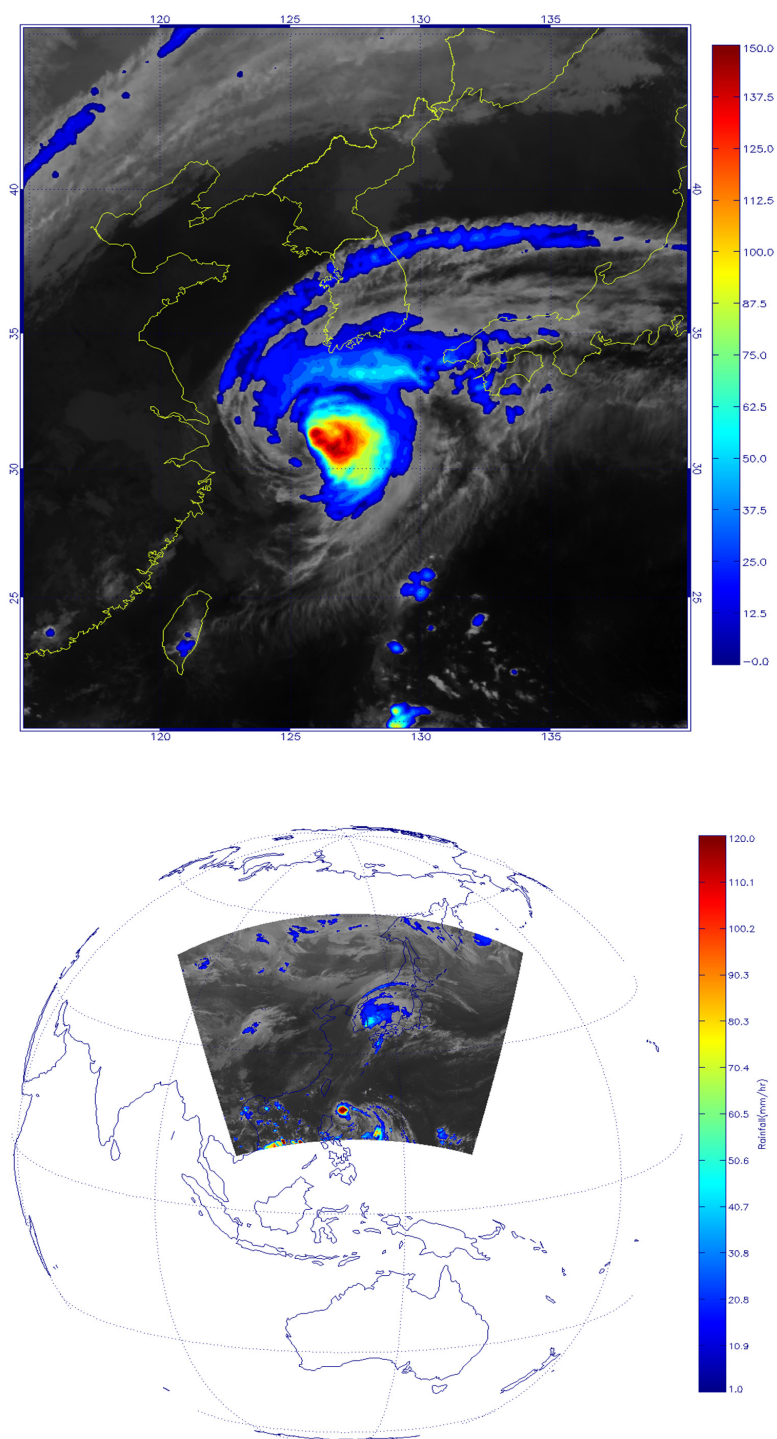


그림 22 COMS 태풍 차바 관측

3.2 울산 태풍 차바 피해

태풍차바의 영향으로 오전 11시에 포항 155.3mm, 부산 95.0mm, 대구 49.0mm, 창원 135mm, 여수 101.6mm의 강우량을 기록하였으며, 태풍 차바가 울산을 관통하면서 울산시 기상관측 이래 시간당 최대 강우량을 기록하며 인명상/재산상의 큰 피해를 입었다. 울산에서 5일 새벽 2시 태풍중의보, 오전 6시 30분에 태풍경보가 발효되며, 북구 매곡지역은 382.5mm 하루 최대 누적 강우량을 기록하였다. 울주군 상동지역은 10시부터 11시 사이에 131.5mm으로 시간당 최대 강우량을 기록하였으며, 이 강우량은 태화강하천정비기본계획상 200년 계획빈도 89mm를 두배 이상의 강우빈도로 분석된다. 태화강은 오후 12시 30분 홍수주의보 수위 4.5m, 오후 12시 55분경 홍수경보 수위인 5.5m를 기록하였으며, 오후 1시에 최고수위인 5.64m에 도달하면서 둔치가 완전히 침수됐다.

태풍 차바로 울산지역에서는 인명피해 사망 3명, 이재민은 145세대 331명이 발생하였다. 시설피해로는 주택침수 2968건, 차량침수 1670건, 도로파손 618건 등을 비롯한 총 6289건의 피해가 발생했다. 주요 피해 지역을 보면 중구 태화·우정시장의 230개 전 점포 침수, 울주 반천 현대아파트는 지하주차장 및 차량 600여 대가 침수됐다.

오전 10시부터 11시 사이에 131.5mm의 집중호우가 내린 울주군 삼동면의 보은천이 범람해 제방 10km의 유실과 주택 120여 동, 삼동초등학교, 농경지 등이 침수됐다. 북구 대안마을은 신명천 범람으로 제방도로 4km가 유실됐으며, 상수도·전기 두절로 159세대 320명이 고립됐다. 374mm 집중호우로 계곡의 토석류 등이 몰려들면서 북구 화동마을의 주택 100여세대가 침수됐다. 이밖에도 소규모 하천·소하천 205개소의 유실과 도로·교량 151개소, 수리시설 75개소 및 33개의 사방시설, 26개의 상하수 도시설과 9개의 어항 시설이 파손됐다. 그리고 현대자동차 1·2공장의 침수로 공장 가동 중지 등의 피해가 발생했다. 현재 피해금액은 1930억 원으로 추정되고 있다.

3.3 지상관측자료

COMS 강우 알고리즘을 비교 검증을 위하여 울산 홍수 사상이 있었던 2016년 10월 5일 일자 먼봉산 레이더(테이블)와 지상관측자료(AWS) 자료를 수집하였다. 먼봉산 레이더는 태풍 차바와 강수형태와 분포를 알아보고COMS, Himawari 8 위성강우 자료와 비교하기 위하여 10분 1 1km 격자화된 자료를 수집하였다. (표 6; 그림 23; 그림 24). ASOS자료는 울산(ID : 152)을 수집하였고, AWS자료는 울산 주요지역의 10월 5일 하루 강우량을 나타내었다(그림 25). 그 중에서 특히 울산에서도 비가 많이 온 삼동(854), 매곡(943), 두서(900), 간절곶(924) 검증 관측자료를 이용하였다(그림 26; 그림27; 그림 28). COMS자료는 그림 29에서 보듯이 10월 4일부터 10월 5일 오후 3시까지 태풍 차바가 제주도를 관통하고 울산으로 빠져나가는 시간대의 자료를 수집하였고, COMS 기반 알고리즘을 적용하여 강우량을 산출하였다. COMS는 평균 10분 간격의 격자화된 자료를 수집하였고, GPM 기반 강우 알고리즘에 적용하여 검증하였다.

표 6 매봉산 레이더 특징

Radar site	Myeonbongsan (MYN)
Type (wavelength)	C-band (5 cm)
Bin Spacing (m)	250
Range (km)	200
Beam width(°)	1
Number of Elevation Angle	10 (0.9° ~ 19.6°)
Scan Interval (minute)	7
Location	36.1794°N, 128.9973°E

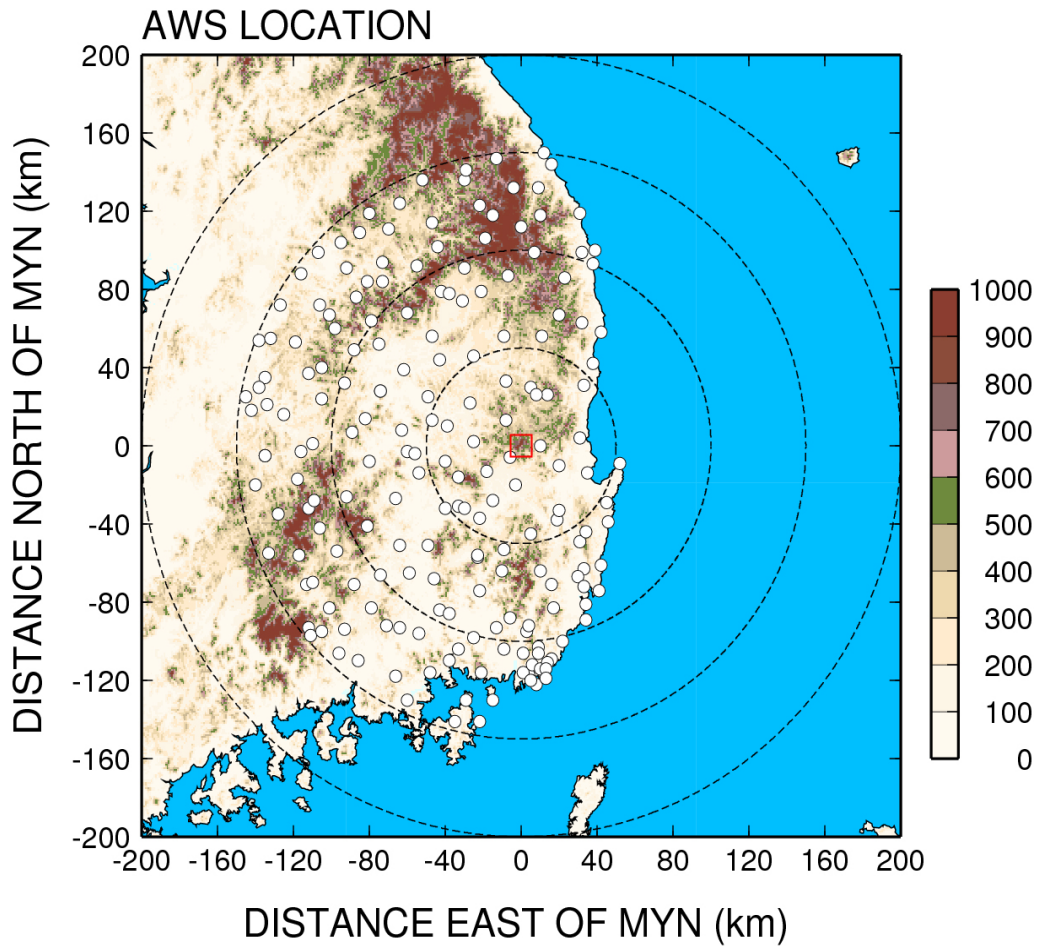


그림 23 매봉산 레이더와 울산, 부산지역 AWS 관측위치

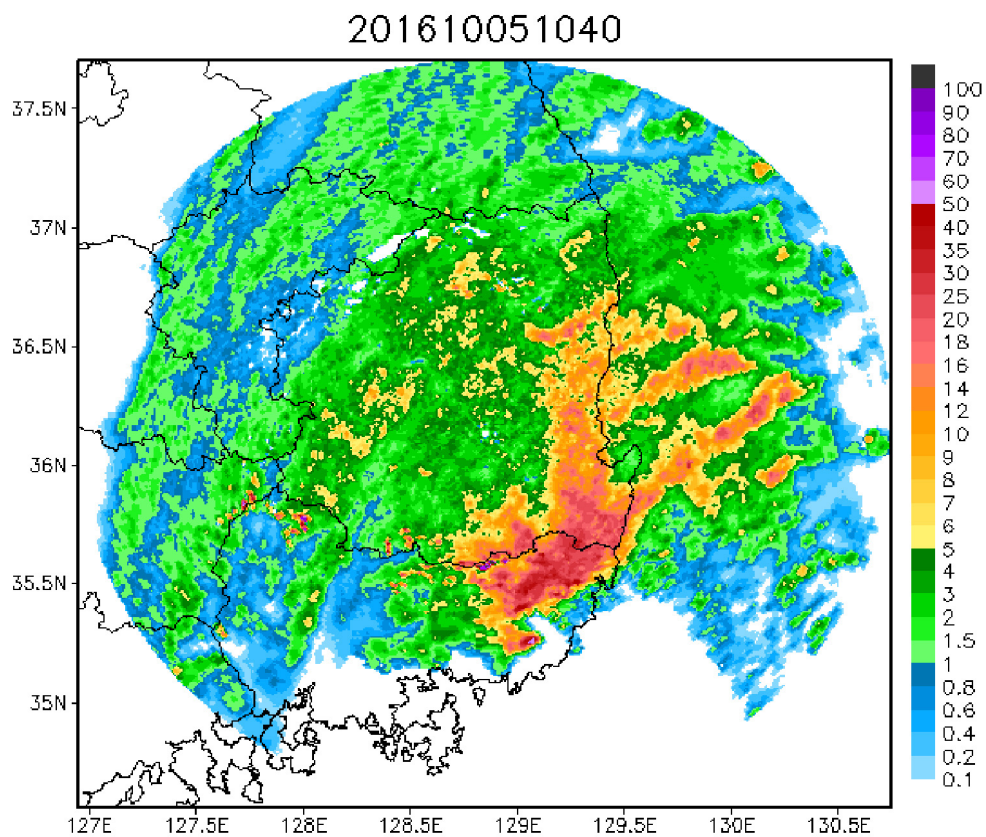


그림 24 매봉산 레이더 10월 5일 10시 40분 강우량 자료

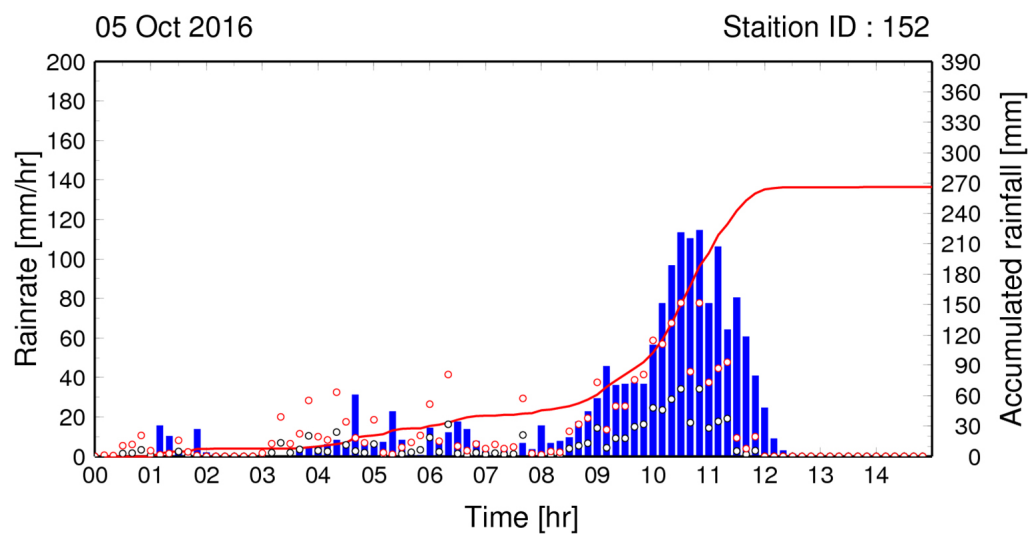


그림 25 2016년 10월 5일 울산 ASOS 강우량

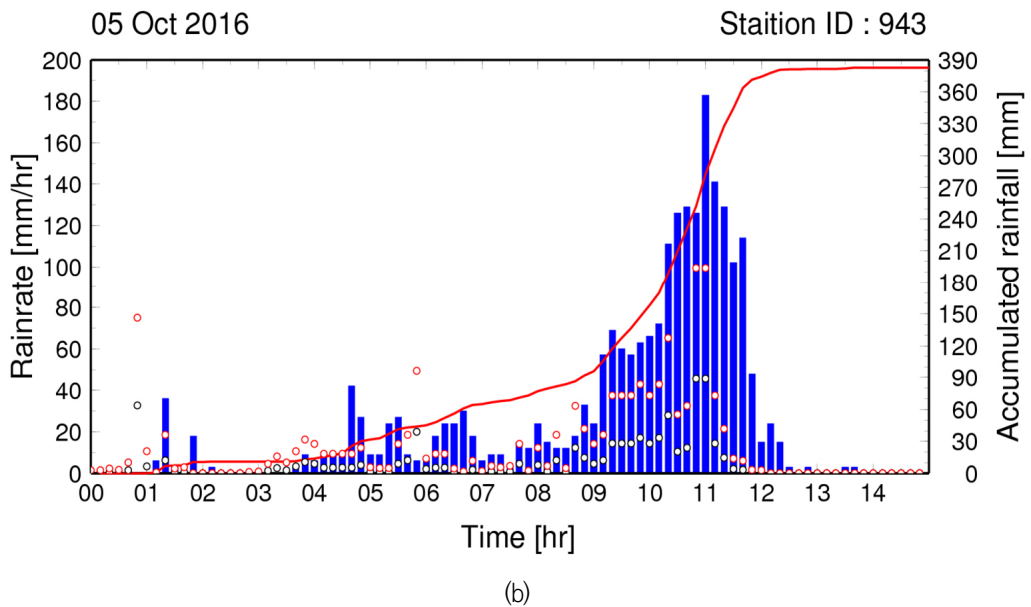
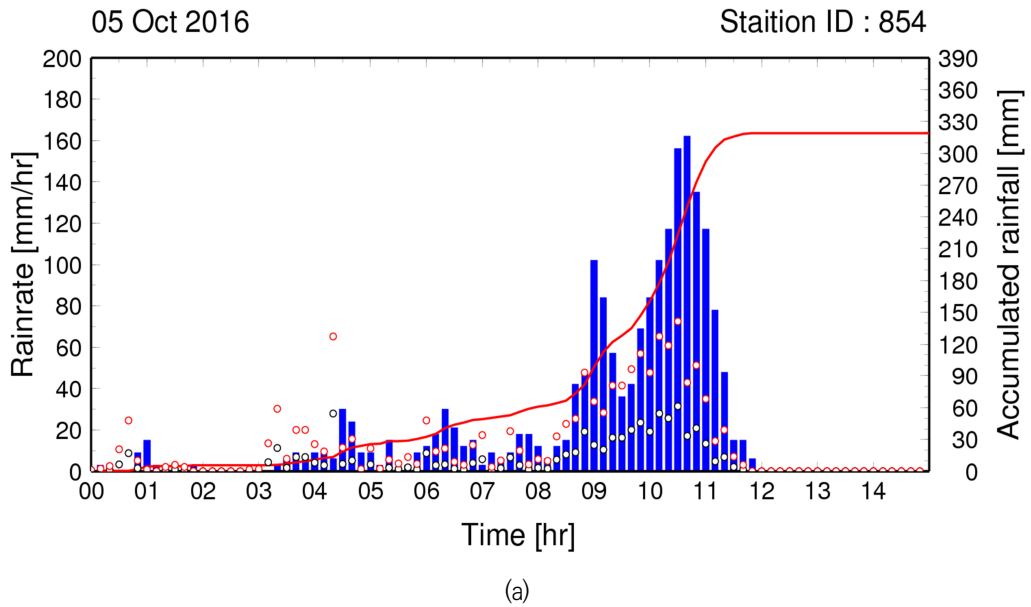


그림 26 2016년 10월 5일 (a) 삼동 (b) 매곡 AWS 강우량

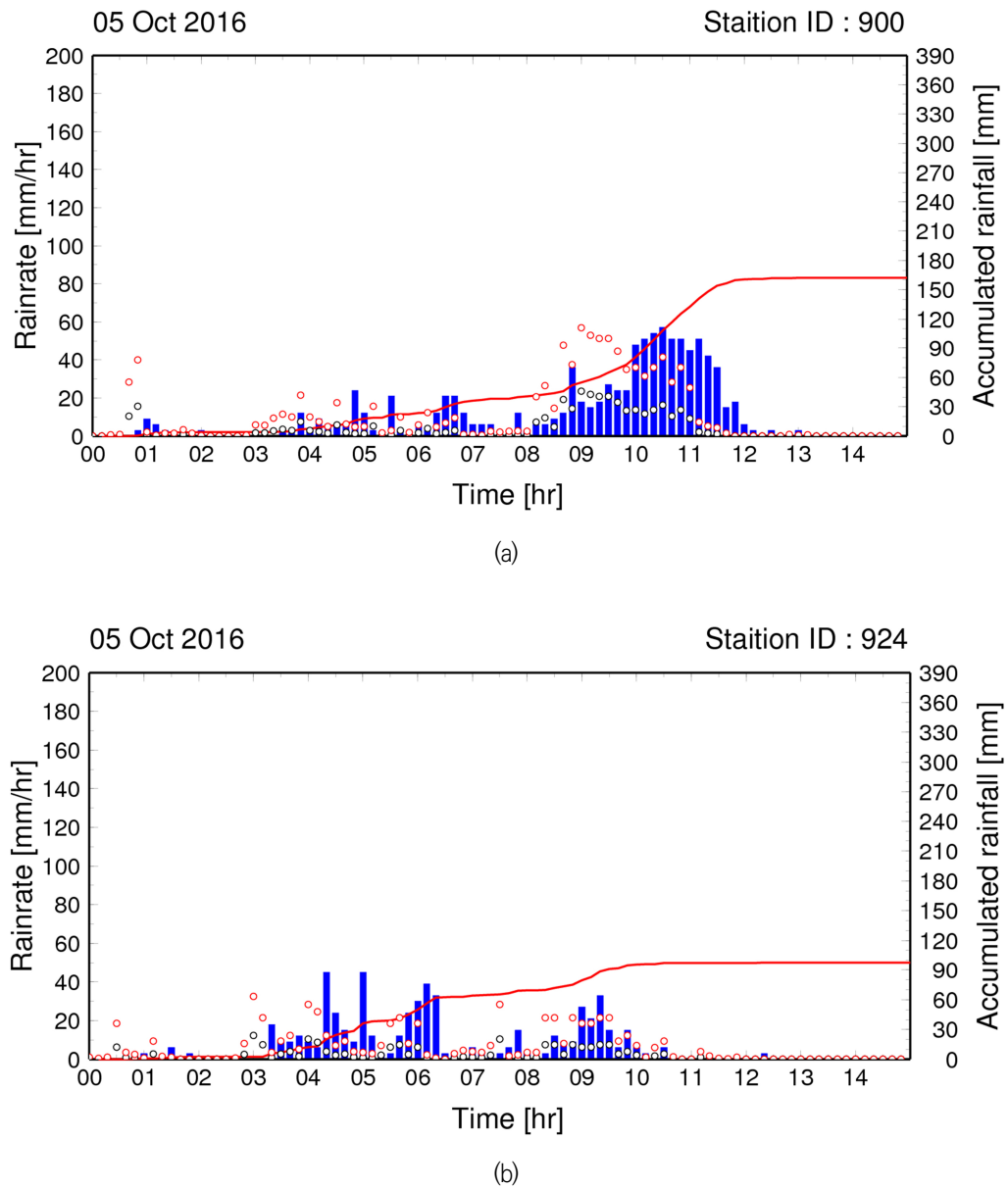


그림 27 2016년도 10월 5일 (a) 두서 (b) 간절곶 AWS 강우량

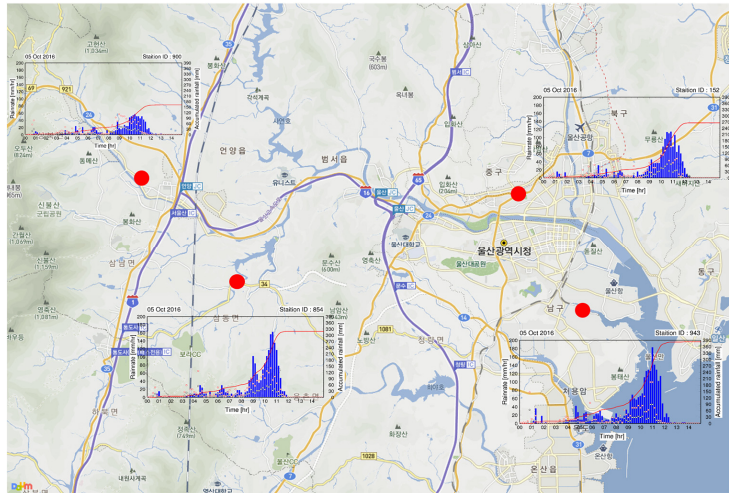


그림 28 2016년도 10월 5일 ASOS, AWS 관측 위치

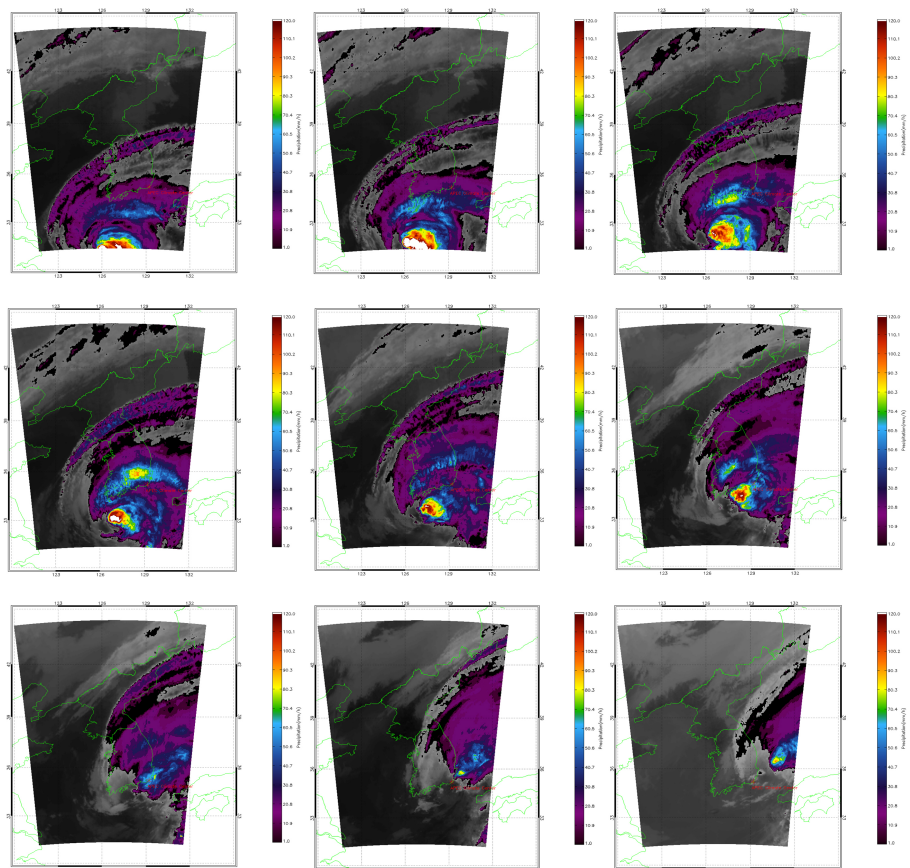


그림 29 2016년도 10월 5일 COMS 태풍 차바 관측 강우량

3.4 GPM 기반 알고리즘 검증

GPM기반 강수 알고리즘을 태풍 차바의 집중호우시의 정확성을 알아보기 위하여 지상관측 자료와 비교 검증을 실시하였다. 태풍이 제주도를 관통하는 2015년도 10월 4일 21시부터 울산으로 빠져나가는 10월 5일 14:00시까지 COMS 5개의 채널을 수집하여 알고리즘을 적용 지상관측의 시간과 위치에 일치하는 격자만 산출하여 비교하였다.

부산 홍수 사상은 최고 순간 강우량이 60mm/h 근처이며, 8시부터 10시까지 집중적으로 집중호우가 내렸다. GPM 기반 강우 알고리즘을 적용한 COMS 강우량을 지상관측자료와 비교하면 0시부터 4시까지는 비교적 과대추정하는 경향이 보인다. 구름의 운정온도를 이용하는 COMS 알고리즘의 경우에는 비교적 과대추정하지만, 0-60mm/h에 잘 맞는 레이더 강우자료와 결합할 경우 보정이 가능하다. 8시부터 10시까지는 과대추정하나 비교적 정확도가 높은 것으로 판단된다(그림 30). 태풍 차바로 가장 많은 피해를 입은 울산의 ASOS 강우량과 COMS 강우량을 비교한 결과를 그림 30에 두었다. 7시부터 9시까지 과대추정한 결과는, 앞서 사상의 경우와 마찬가지로 정지 궤도에서 가지는 일반적인 불확실성으로 rain/no rain 구름분류가 잘 되었을 경우나 레이더 자료를 결합하여 강수량을 산정할때는 보정이 가능하다. 9시부터 12시까지 울산지역에 강우량이 집중적으로 내리는 시간대에는 COMS 강우 알고리즘이 가지는 일반적인 결과와 달리 과소추정을 한다(그림 31). COMS 연속 영상에서 분석하면 태풍 차바가 부산을 지나면서 구름의 운정온도가 낮아져서 층운형으로 변환되지만 COMS 강우 알고리즘은 집중호우시 적운형에만 적용이 되도록 개발되었기 때문에 층운형에서 집중적으로 비가 내린 울산의 경우에는 과소추정하는 경우가 발생되었다. GPM 기반 강우추정 알고리즘은 Convective(적운형구름)에서 비교적 정확한 값을 보였으며, 이전 연구에서도 알수 있듯이 2014년도 부산 도시 홍수 사상에 대해서 80mm/h 이상의 집중호우 사상에 잘 맞도록 개발된 알고리즘이다. 이번 태풍 차바 태풍의 이동 경로 중에서 층운형 구름이면서 집중호우가 많이 내린 경우는 천리안 위성의 5개 채널로는 적운/층운형 구름 구별이 어렵기 때문에 운정온도 기반의 GPM 기반 알고리즘은 층운형에서의 집중호우 경우에는 과소추정하는 문제점을 가지게 된다.

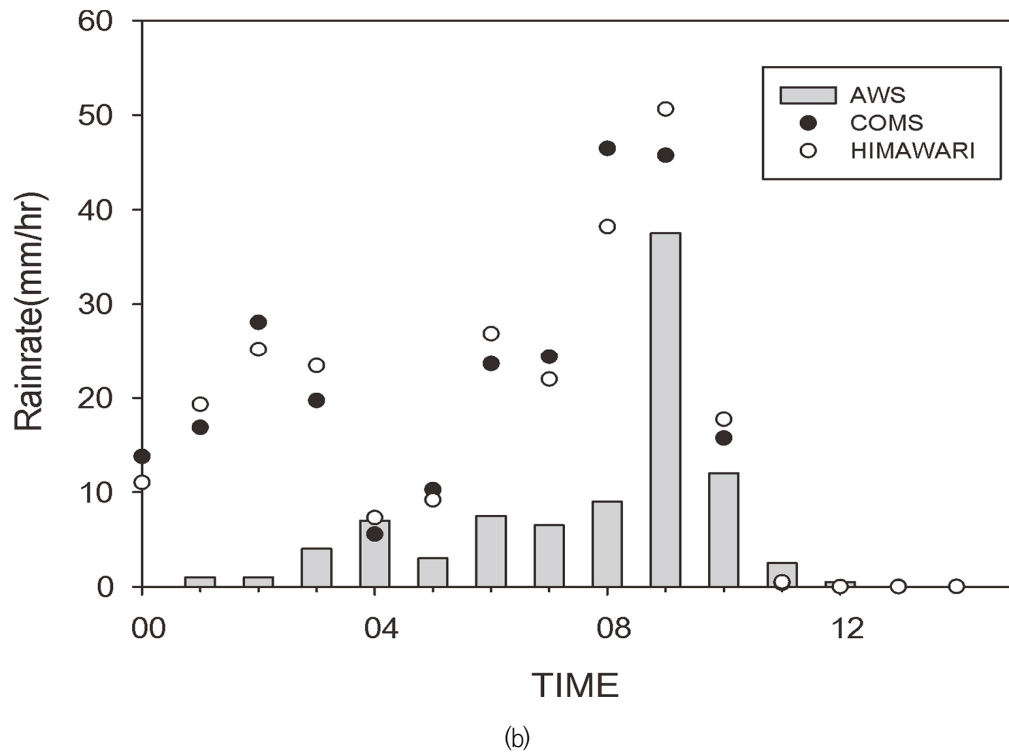
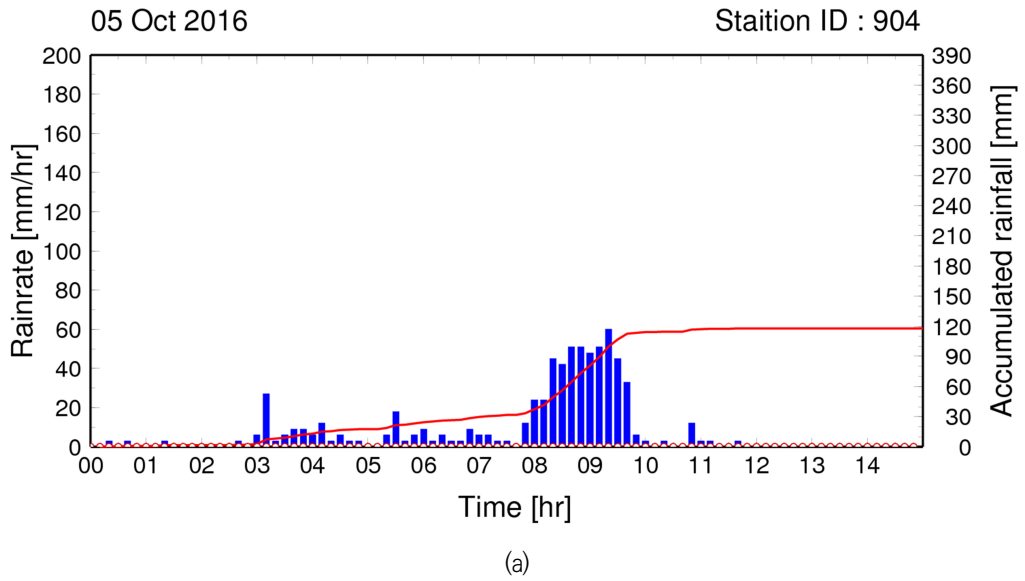


그림 30 2016년도 10월 5일 부산사상 (a)AWS 강우자료(b)COMS, Himawari 강우 검증 결과

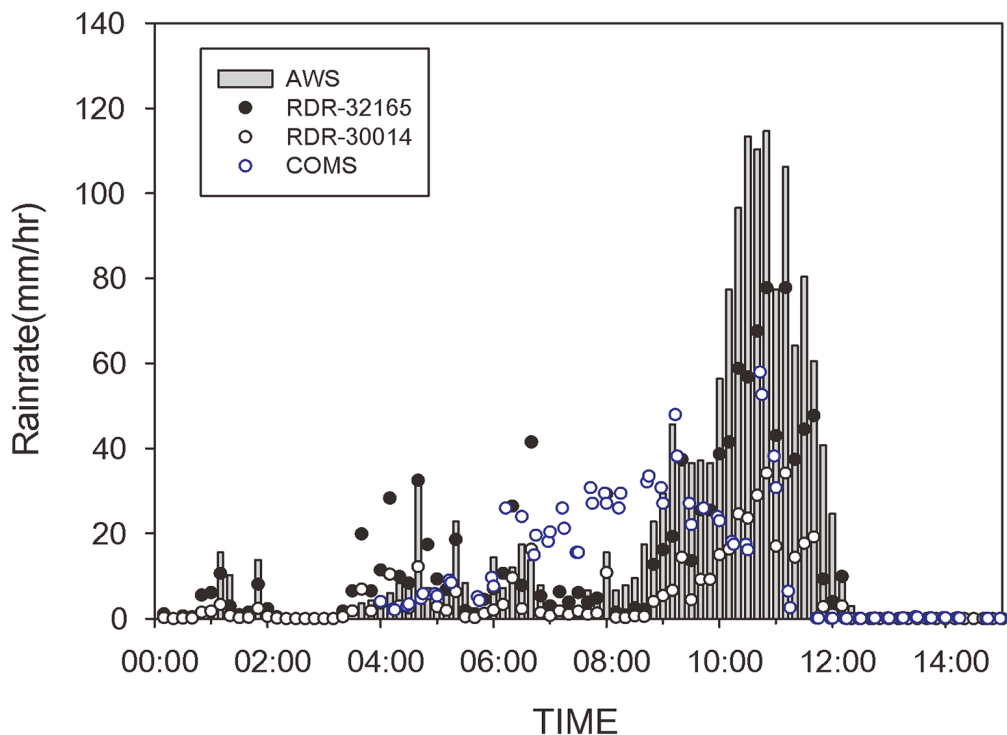


그림 31 2016년도 10월 5일 울산 ASOS 강우자료와 COMS 위성강우, 레이더 강우 검증결과

앞에서 분석한 결과와 같이 울산에서 가장 강우량이 높았던 10시 12시 사이의 COMS 강우량이 과소추정하는 결과는 이 시간대가 집중호를 내렸던 비구름대가 층운형 구름으로 많은 양의 수증기를 가지고 있던 구름인지를 분석하기 위하여, 구름 내부를 관측할 수 있는 매봉산 레이더를 이용하여 태풍 차바의 수직 단면도를 작성하였다. 그림 32에서 알 수 있듯이, 2016년 10월 5일 10시 40분 울산 ASOS지역을 중심으로 동서로 수직단면한 레이더 dBz값을 보면, 평상시 집중호우 내리는 적운형 구름이 최대 15km 발달하는 것에 비하여 구름높이가 9km 내외로 울산에서의 집중호우는 적운 구름은 아닌 것으로 판단된다. 매봉산 레이더에서 가장 먼저 관측 가능한 남해 주변의 태풍 차바를 동서, 남북으로 수직단면한 구름대를 보면 구름높이가 12km 구름대임을 알 수 있다(그림 33; 그림34). 남해로부터 차바 태풍이 상륙하면서 구름대가 층운형으로 바뀌었다는 것을 알 수 있다.

태풍 차바가 강력하게 이동하면서 제주도 부근에서 GPM 위성이 2016년 10월 5일 새벽 5시 20분에 태풍 눈을 비롯한 차바의 3차원 강수분포 대역을 관측하였다. 태풍

눈 근처에서 구름의 높이가 15km로 강력한 적운형 구름임을 알 수 있었다(그림 35). 태풍 차바가 제주도를 지날 때 구름높이 15km의 강력한 비구름대가 남해를 지나면서 12km로 줄어들었고 울산지역을 지나면서는 9km로 구름높이가 낮아졌다.

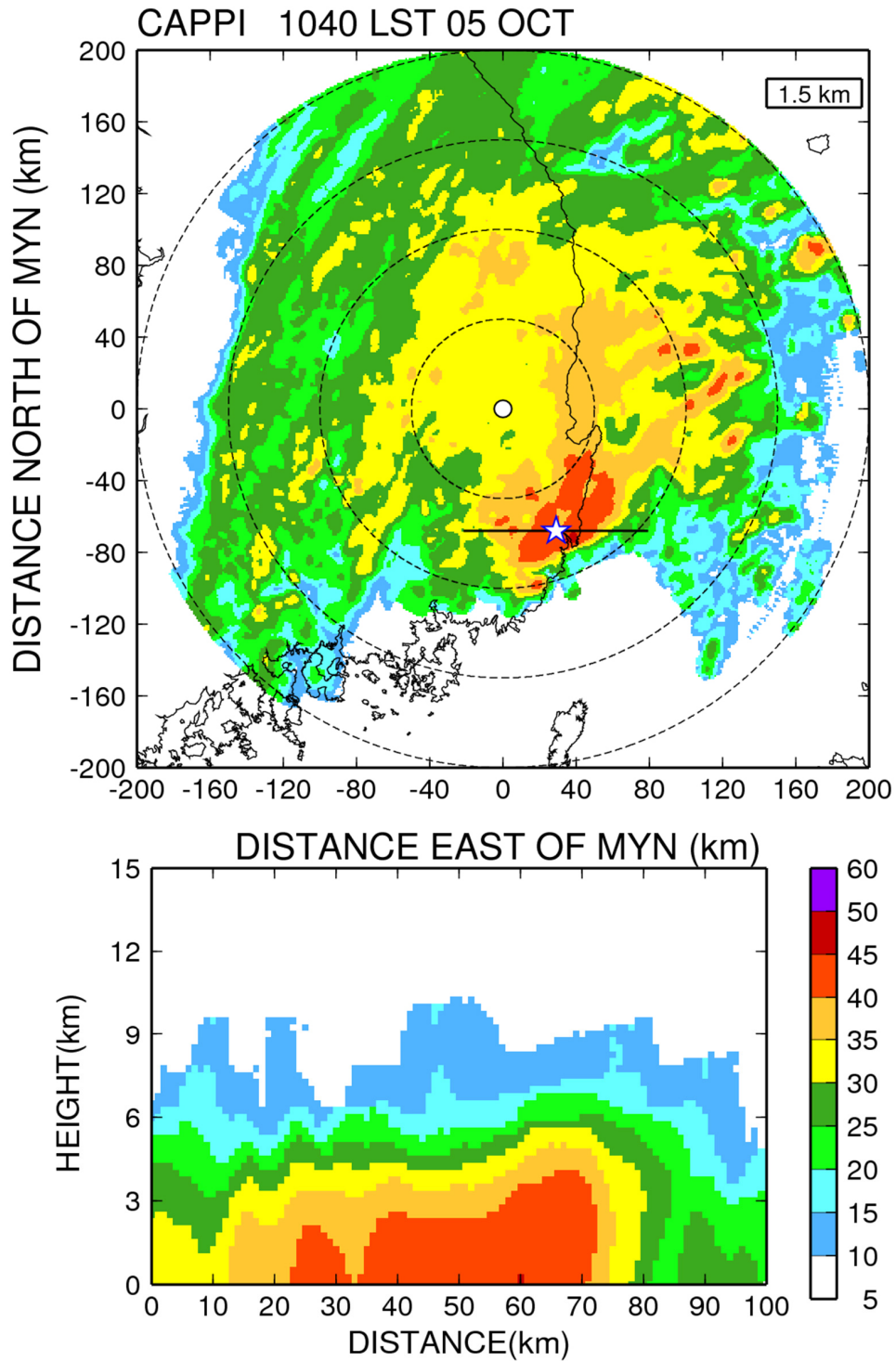


그림 32 2016년 10월 5일 10시 40분 울산 ASOS 지역의 레이더 수직 단면도

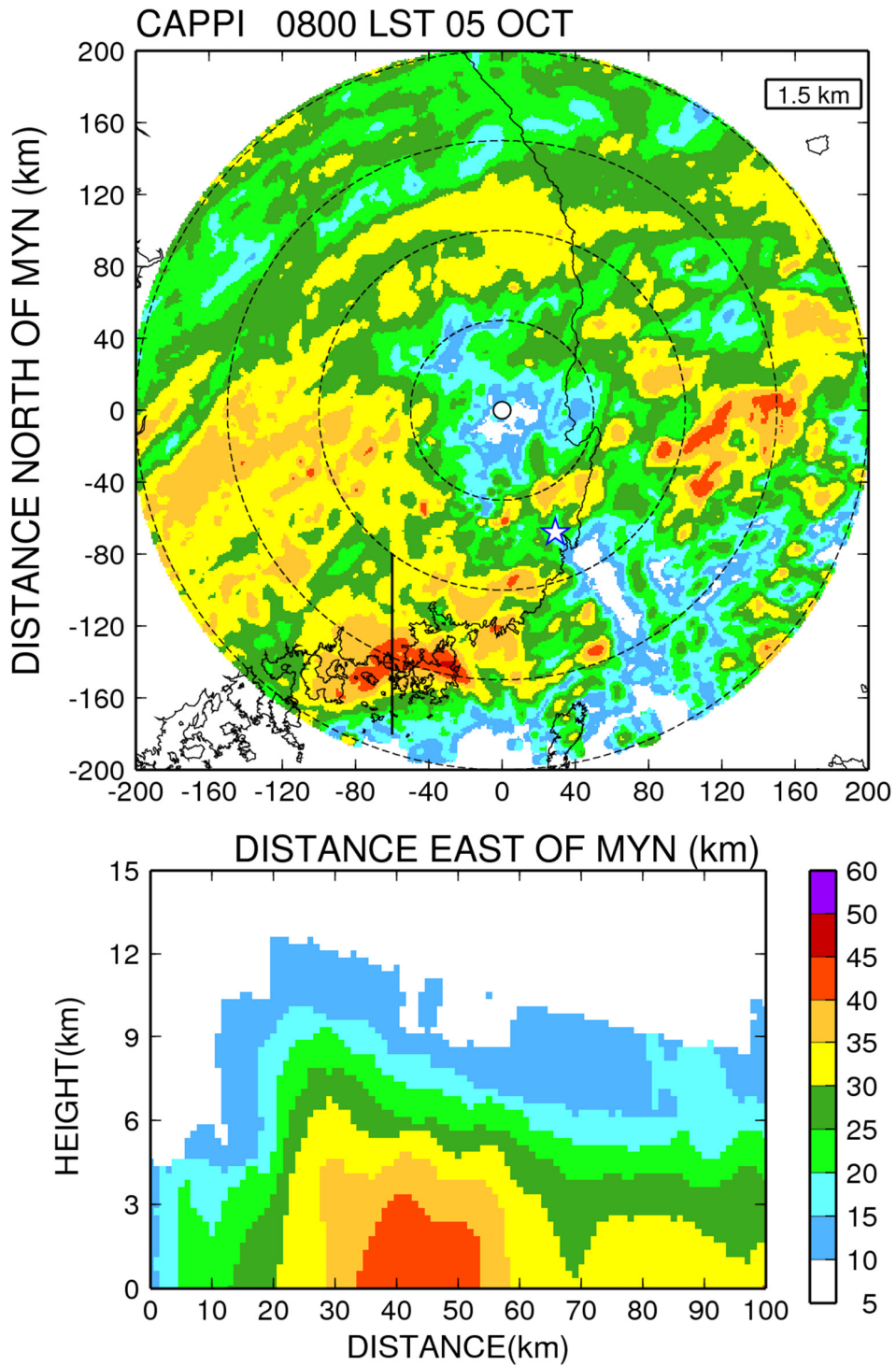


그림 33

2016년 10월 5일 8시 태풍 차바 레이더 수직 단면도

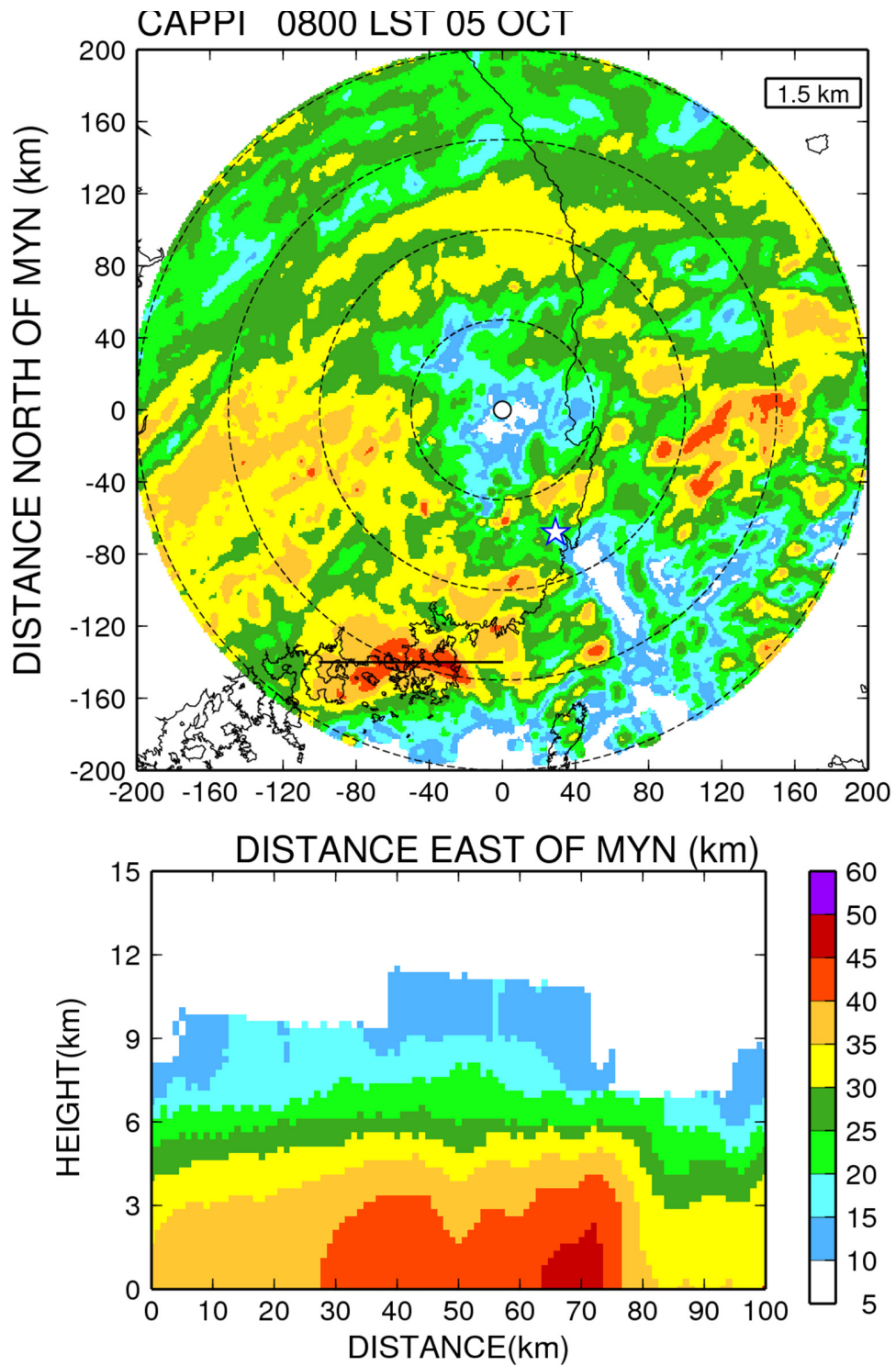


그림 34 2016년 10월 5일 8시 태풍 차바 레이더 수직 단면도

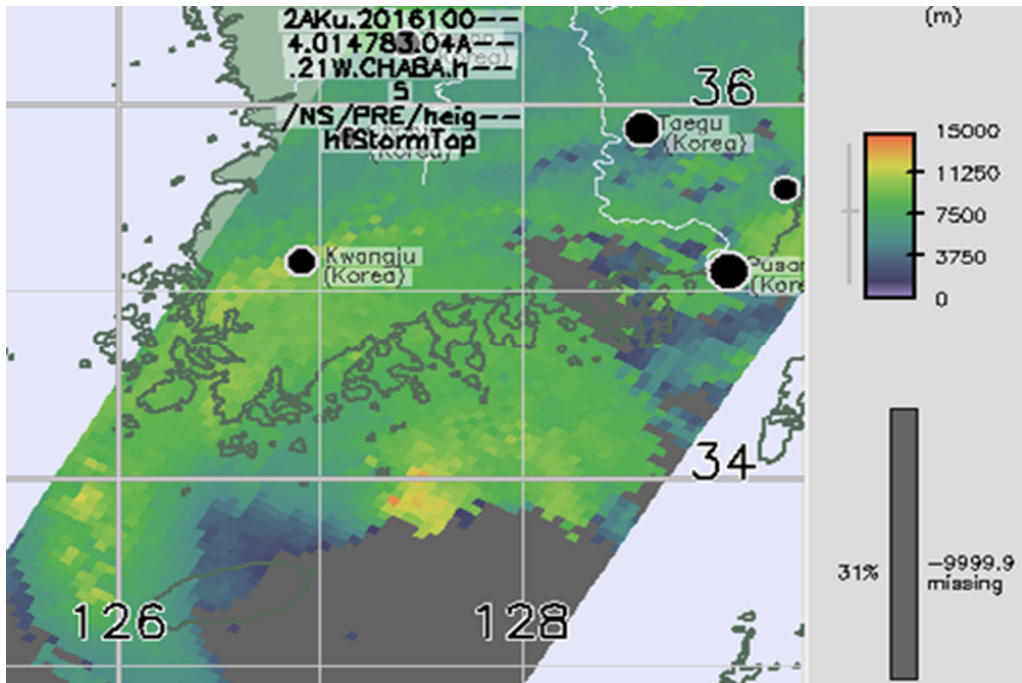


그림 35 2016년도 10월 5일 5시 20분 태풍 차바 구름높이

앞서 분석한 결과를 토대로 울산지역의 집중호우를 내렸던 태풍 차바가 남해 적운형 구름에서 부산을 지나 울산으로 이동하면서 층운형 구름으로 구름의 높이가 낮아진 것을 매봉산 레이더의 수직단면과 GPM에서 관측한 구름높이로부터 알 수 있었다. 적운에서 층운으로 변경되었지만, 울산에서 집중호우가 있었던 것은 COMS의 5개 채널로는 파악하기 어렵다. 따라서 같은 시간대에 관측한 Himawari 8 위성자료를 이용하여 층운형 구름이지만 수증기가 많았던 구름임을 알아보기 위하여 Himawari 8의 TBB $7.34\mu\text{m}$, TBB $8.5\mu\text{m}$, TBB $11.2\mu\text{m}$ 자료를 내려받았다. 구름유형에 따른 강우 알고리즘의 영향을 분석하기 위하여 NOAA Kuligowski에 의해서 분류된 3가지 유형으로 구름을 분류하였다. 첫 번째 water 구름은 $T_{7.34\mu\text{m}} < T_{11.2\mu\text{m}}$ 및 $T_{8.5\mu\text{m}} - T_{11.2\mu\text{m}} < -0.3$ 두 번째 ice 구름은 $T_{7.34\mu\text{m}} < T_{11.2\mu\text{m}}$ $T_{8.5\mu\text{m}} - T_{11.2\mu\text{m}} \geq -0.3$ 세 번째 convective 구름은 $T_{7.34\mu\text{m}} \geq T_{11.2\mu\text{m}}$ 으로 구름을 분류하였다.

태풍 차바가 부산지역을 지나면서 적운형 구름에서 수증기기를 많이 품은 water 구름으로 실질적으로 변환되었는지를 알아보기 위하여 Himawari 8 영상에 기 분류된 방법을 이용하여 주황색의 적운형 '*'과 파란색의 층운구름 '*'로 찍어서 그림 36

에 나타내었다. 그림 36에서 알수 있듯이 제주도를 지나던 새벽 4시의 태풍 차바를 보면 태풍 눈 주변이 적운형구름으로 표시된다는 것을 알 수 있다. 반면에 울산에 많은 비를 내렸던 10시 반의 태풍 차바 구름을 보게 되면 층운형 구름임을 알 수 있다 (그림 37). 분석에서도 알 수 있듯이, 10-11시의 울산지역에서는 적운형에 맞추어진 COMS 강우 알고리즘은 층운형 구름대에서는 과소추정되는 것을 알 수 있었다.

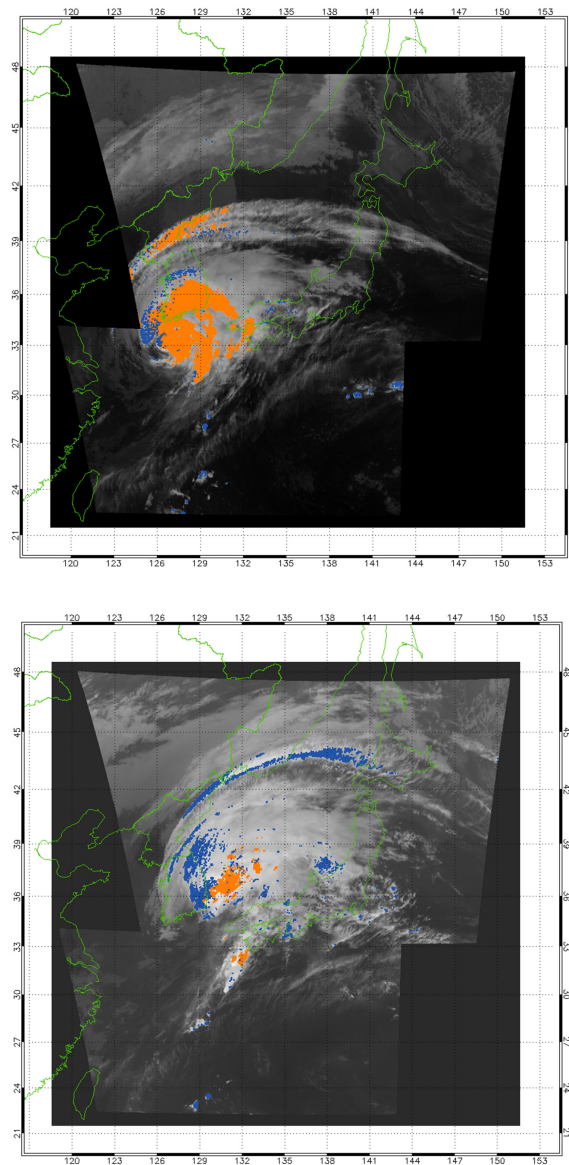


그림 36 태풍 차바 적운/층운형 구름 영상

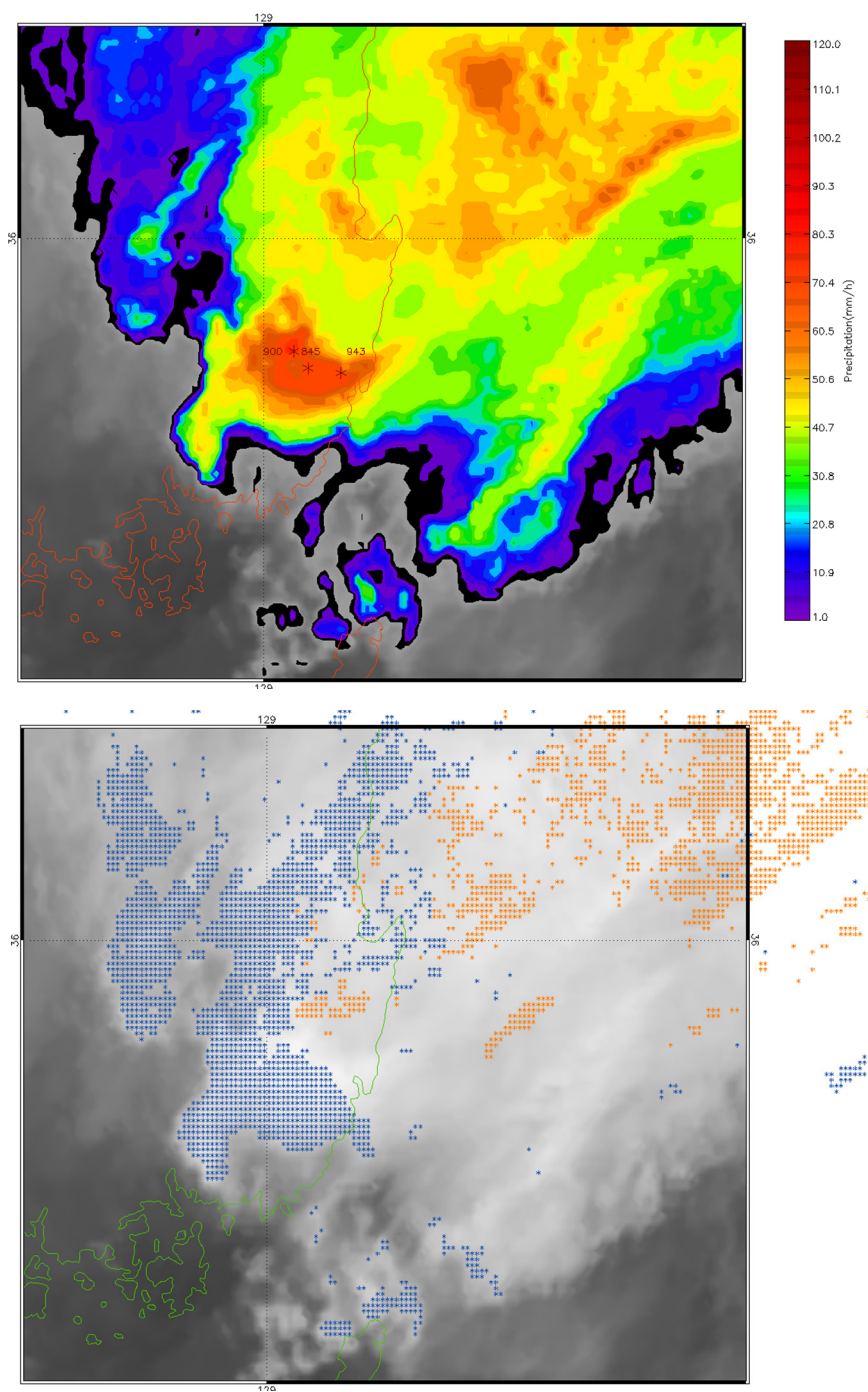


그림 37 울산지역 태풍 차바 적운/층운형 구름 영상

4. 연구결과

울산지역의 태풍 차바의 COMS 과소추정 알고리즘을 개선하기 위하여 2016년 10월 5시 20분 제주도 지역을 지나가는 태풍 차바를 관측한 GPM DPR 자료를 이용하였다. 같은 시간대의 Himawari 8의 16개 채널에서 $7.34\mu\text{m}$, $8.5\mu\text{m}$, $10.4\mu\text{m}$, $11.2\mu\text{m}$ 자료를 GPM의 픽셀마다 시간과 위치를 맞추어 Himawari 8 자료를 일치시키고 데이터베이스화 하였다. GPM자료는 14GHz와 35GHz로 구성된 듀얼레이더로 처리된 강우강도 자료와 convectiv/stradiform flag, land/sea flag, rain/no rain flag를 같이 데이터베이스화 시켜 강우추정 알고리즘 산출하는데 기본 자료로 이용하였다(그림 38). 데이터베이스화된 자료에서 Himawari 8의 $T_{7.34\mu\text{m}} \geq T_{11.2\mu\text{m}}$ 의 결과로 구름 분류된 적운형 강우자료에 있어서, 시간당 40mm/h 넘어가는 GPM 강우량 자료와 COMS 강우 알고리즘이 적용된 Himawari 8 강우량 자료를 비교하면 Himawari 8 강우자료가 과대추정하지만, 비교적 정확도가 높은 것을 알 수 있다(그림 39). 이러한 결과는 적운형 구름에서 집중적으로 내리는 강우량 자료는 COMS 강우 알고리즘이 비교적 정확도가 높다는 것을 알 수 있다.

반면에 $T_{7.34\mu\text{m}} < T_{11.2\mu\text{m}}$ 및 $T_{8.5\mu\text{m}} - T_{11.2\mu\text{m}} < -0.3$ 의 층운형이면서 집중호우가 내린 구름(Water 구름)의 사례가 15개 격자자료로 유의미한 자료수집이 없었으며, 이를 바탕으로 한 유의미한 결과를 얻기도 어려웠다(그림 40). GPM 위성으로 한반도를 관통하고 있는 차바는 강력한 태풍을 유지하고 있었기 때문에 층운형 구름이면서 집중호우를 유발한 구름의 사례를 얻기는 어려웠다. Himawari 8이 발사되고 GPM 위성의 같은 시간, 위치이면서 층운형 집중호우가 내린 사례 또한 없었다. 하지만 COMS와 같은 정지궤도 위성은 기본적으로 적외선으로 온정온도에 기반에 기반하여 강우량을 산출하기 때문에 현재와 같은 5개 채널로 구성된 정지궤도 위성하에서는 층운형이면서 집중호우가 내리는 구름의 강수량 불확실성에 대해서는 정확한 강우량 산출이 어렵다는 것을 알 수 있으며, 이에 대한 대안으로 차세대 위성인 Himawari 8위성의 TBB $7.34\mu\text{m}$, TBB $8.5\mu\text{m}$, TBB $11.2\mu\text{m}$ 자료를 이용하게 되면 적운/층운형 구름 분류가 가능하다는 것을 알 수 있었다.

향후 차세대 위성에 적용될 알고리즘 개발을 완성하기 위해서는 먼저 적운형 분류 구름대에서 Himawari 8 $7.34\mu\text{m}$ - $11.2\mu\text{m}$ 의 값과 GPM 강우량값을 비교한 결과 GPM

강우량이 클수록 두 채널의 차 값이 증가한다는 것을 알고리즘 개발에 이용할 수 있다(그림 41). 또한 수증기가 많아지면 휘도온값이 상승하는 $7.34\mu\text{m}$ 채널과 수증기의 영향이 거의 없는 $11.2\mu\text{m}$ 영역대의 채널의 $7.34\mu\text{m}$ - $11.2\mu\text{m}$ 의 값은 예측요인으로서 알고리즘 개발에 활용이 가능하다. Himawari 8 $7.34\mu\text{m}$, $8.5\mu\text{m}$, $10.4\mu\text{m}$, $11.2\mu\text{m}$ 자료와 적운/층운 구름분류로 판단되는 $7.34\mu\text{m}$ - $11.2\mu\text{m}$, $8.5\mu\text{m}$ - $11.2\mu\text{m}$ 값은 적운/층운형 구름 각각에 대하여 강수 추정 알고리즘을 개발하기에 좋은 예측인자 값으로 이용가능하다(그림 42).

부족한 표본이지만 향후 차세대 정지궤도 강우 추정 알고리즘 개발의 기반 기술 단계로 강우 알고리즘 개발의 방향을 알아보기 위하여 TBB $7.34\mu\text{m}$, TBB $8.5\mu\text{m}$, TBB $11.2\mu\text{m}$ 자료로 제시한 예측인자 값을 이용하여 다양하게 Himawari 8 기반 강우 알고리즘을 산출하였다. 기반기술로 산출한 강우 알고리즘을 울산지역 태풍 차바에 적용 검증하였다. 그림 43에서 알 수 있듯이, 적운형 구름에서는 비교적 정확한 값을 가지지만, 층운형 구름에서는 여전히 과소추정하는 것을 알 수 있다.

또한 울산 ASOS의 지점에서 비교한 검증한 결과값도 마찬가지로 상대적으로 층운형 구름에서는 GPM 기반 알고리즘보다는 더 정확한 결과를 보이고 있으나, 과소추정하는 경향을 알수가 있었다(그림 44). 이러한 결과가 발생하게 된 원인은 GPM 위성자료와 Himawari 8 위성자료를 추출하는데 있어서 최근 Himawari 8 위성이 발사되고 한반도 지역에서 층운형이면서 집중호우가 내린 2016년 10월 5일 관측한 하나의 사례만으로 데이터베이스화 하였기 때문에 보정이 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 향후 1-2년간의 층운형이면서 집중호우가 내리는 사례연구 자료를 더욱 확보하게 된다면 차세대 강우 알고리즘은 더욱 정확도 높은 기술 개발이 가능할 것으로 판단된다.

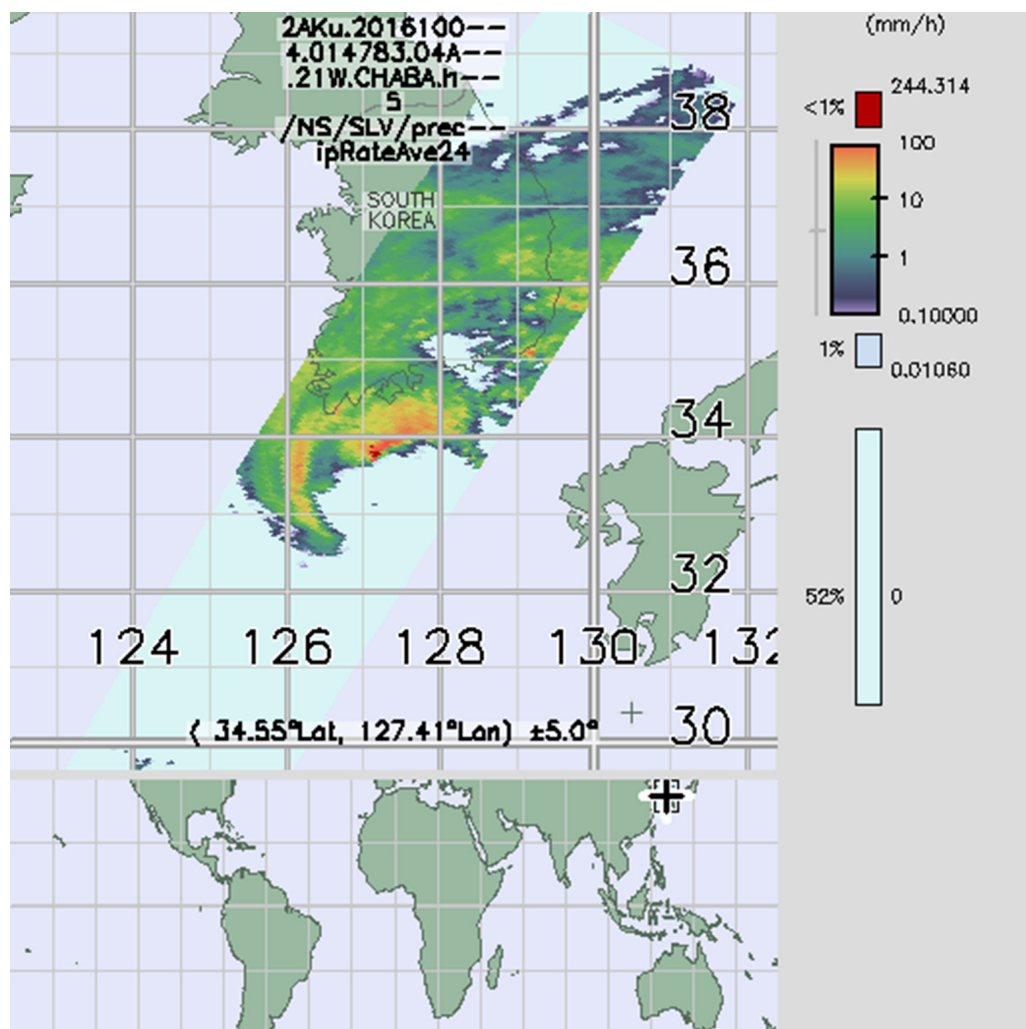


그림 38 GPM Ku 레이더 강우강도 2016년도 10월 4일 20:20(UTC)

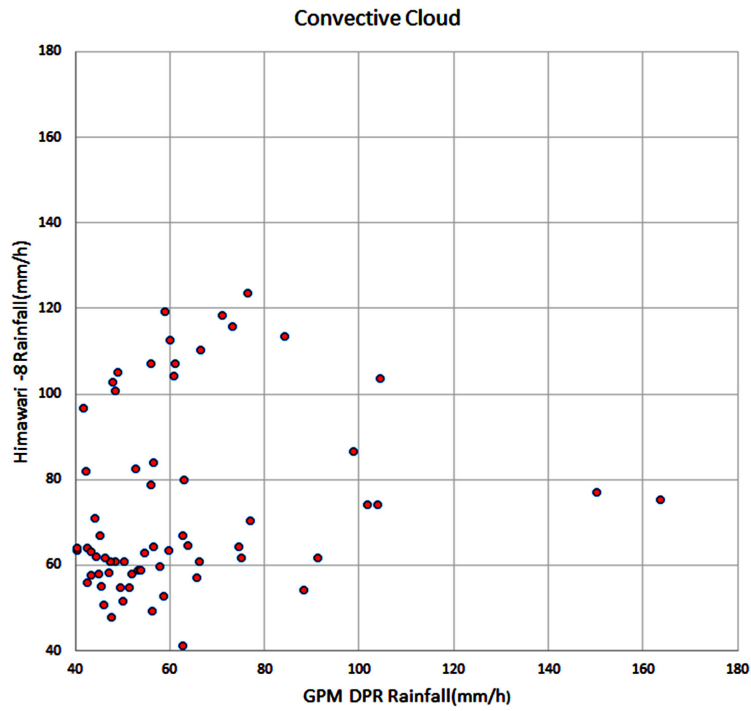


그림 39 GPM 강우강도와 Himawari 8 강우강도 비교(적운형 구름)

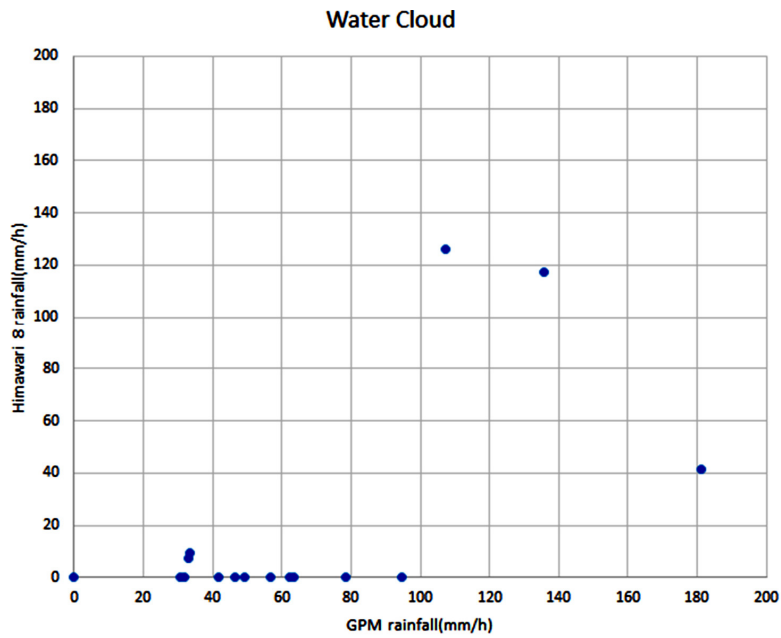


그림 40 GPM 강우강도와 Himawari 8 강우강도 비교(층운형 구름)

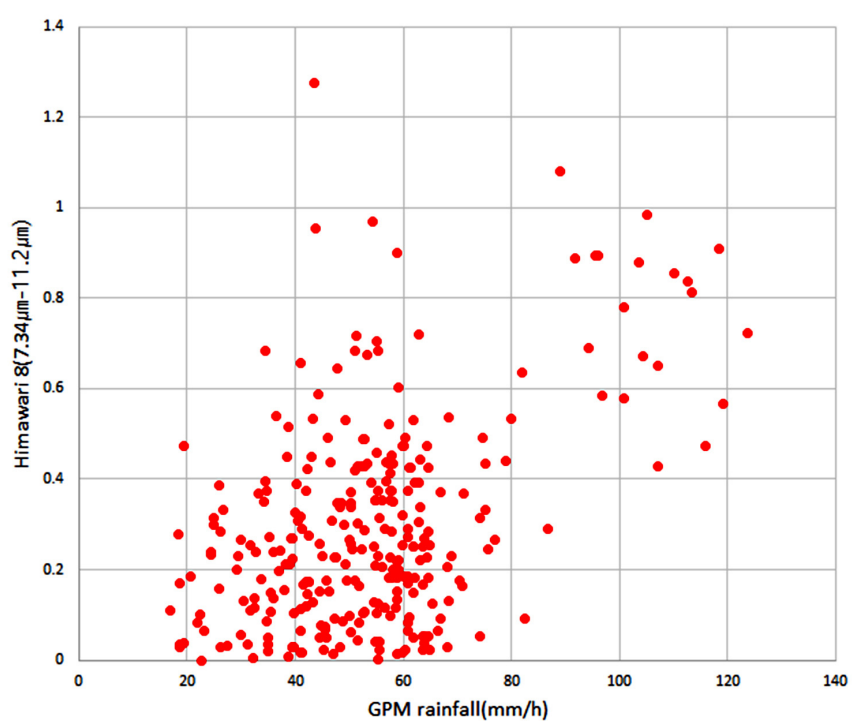


그림 41 GPM 강우량과 Himawari 8(7.34 μ m-11.2 μ m)

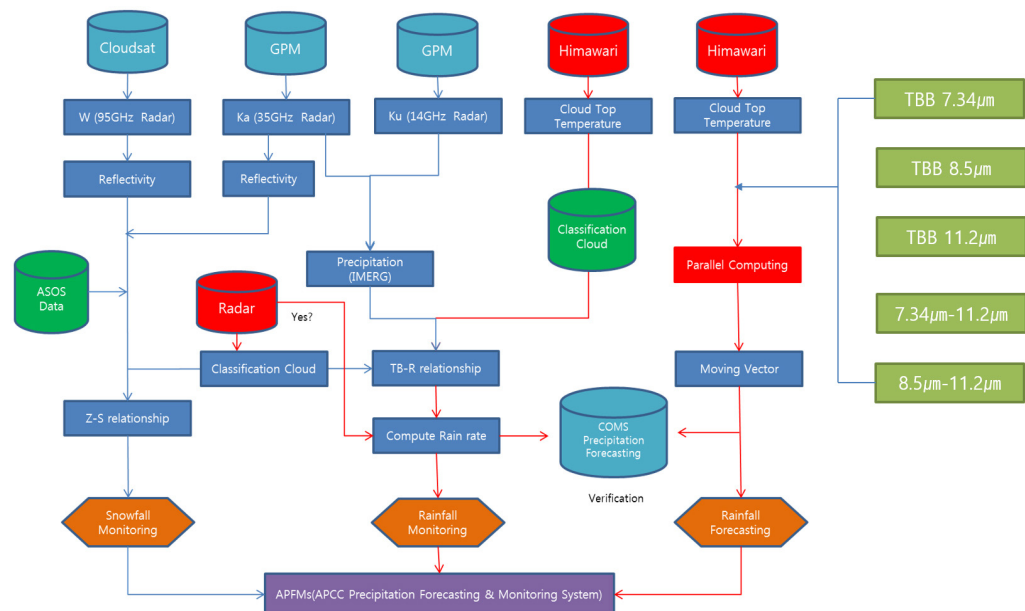


그림 42 Himawari 8 강우추정알고리즘 흐름도

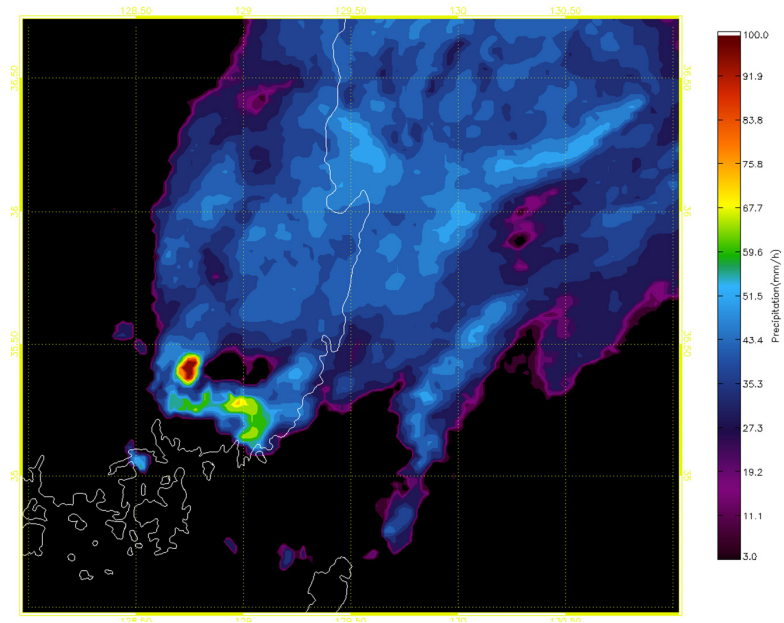


그림 43 예측인자 기반 Himawari 8 강우량 산정

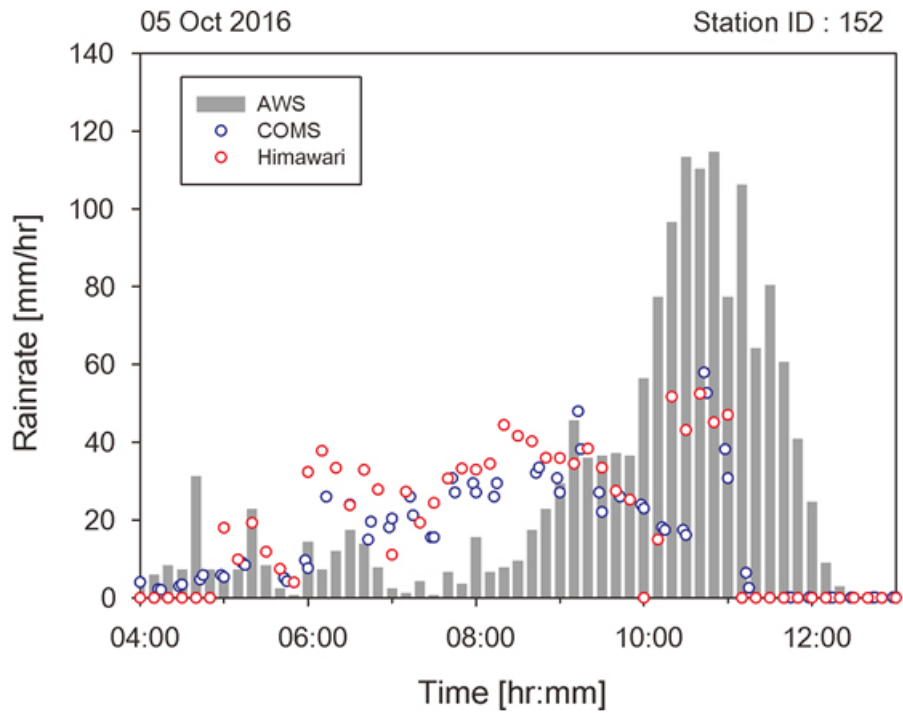


그림 44 예측인자값을 이용한 위성 강수 비교

5. 결론 및 토론

본 연구에서는 향후 미계측 지역인 APEC 개발도상국에 실시간 스마트 홍수 위험 관리를 제공하여 해당지역의 피해저감을 하기 위한 기반기술로 위성기반 강우산출 기술을 개발을 하고자 하였다. APEC 지역에 홍수 피해 저감을 활용하기 위하여 위성 단독으로 정확한 강우량을 산출 제공하는 것이 중요하다. 이전 연구를 통해 개발된 GPM 강우 알고리즘의 정확도 제고를 위하여 한반도를 관통하며 많은 피해를 남기고 간 태풍 차바 사례 연구에 GPM 기반 강우알고리즘을 적용 COMS 위성강우 성능을 검증하였다. GPM기반 강우 알고리즘은 GPM KuPR, KaPR 듀얼 강우레이더와 GMI기반 13개의 수동 마이크로파 센서를 결합하여 산출한 CMB Level2 자료와 강우 유무, convective/stratiform, 육지/해양 등의 정보들과 COMS 위성에서는 가시($0.64\mu\text{m}$), 단파적외($3.7\mu\text{m}$), 수증기($6.7\mu\text{m}$), 적외 1($10.8\mu\text{m}$)채널 자료를 이용하여 한반도 지역에서 발생하는 집중호우 강우 사례를 데이터베이스화 하여 GPM 기반 강우 알고리즘을 산출하고, 태풍 차바 홍수사상에 적용 검증하였다. 검증결과 부산지역 사상에서는 약간 과대 추정하였으나 비교적 정확한 값을 나타내었다. 짧은 시간에 집중호우가 내려 많은 피해를 입은 울산지역에 적용한 결과 COMS 강우량은 과소 추정하는 경향을 보였다. 과소 추정한 원인을 알기 위하여 태풍이 이동한 경로중에 남해 지역 및 울산지역에서의 레이더 수직단면과 GPM 구름높이 정보를 확인한 결과, 태풍 차바는 남해지역에서 부산을 지나 울산지역을 관통하면서 적운형 구름에서 층운형 구름으로 변화하면서 많은 비로 홍수가 발생하였다. 이전 연구에서 5개의 채널을 탑재한 COMS 위성으로는 층운형 구름이면서 집중호우가 발생하는 구름을 분류하기 어렵다. 최근 발사된 차세대 Himawari 8 정지궤도 위성을 이용하여 적운/층운형 구름 분류가 여부를 확인하기 위하여 TBB $7.34\mu\text{m}$, TBB $8.5\mu\text{m}$, TBB $11.2\mu\text{m}$ 자료와 $7.34\mu\text{m}$ - $11.2\mu\text{m}$, $8.5\mu\text{m}$ - $11.2\mu\text{m}$ 온도차이값을 이용하여 분석한 결과 울산지역 태풍 차바는 층운형이면서 수증기를 많이 내포한 구름임을 알 수 있었다. 향후 차세대 정지궤도 강우알고리즘 개발을 위한 기반 기술로 과소추정하는 층운형 구름의 강우알고리즘 개발을 위하여 태풍 차바를 관측한 GPM 위성 강우자료 및 많은 양의 정보인자와 Himawari 8 TBB $7.34\mu\text{m}$, TBB $8.5\mu\text{m}$, TBB $11.2\mu\text{m}$ 자료와 $7.34\mu\text{m}$ - $11.2\mu\text{m}$, $8.5\mu\text{m}$ - $11.2\mu\text{m}$ 온도차이값을 위성자료를 데이터베이스화 하고, 예측인자로 활용 다양한 알고리즘을 산출하여 울산지역에 적용하였다.

비교분석한 결과 적운형에서는 비교적 정확한 값을 나타내지만 층운형이면서 집중호우가 발생한 구름에서는 약간의 보정은 되었지만 여전히 과소추정하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 GPM 위성자료와 Himawari 8 위성자료를 데이터베이스화 하면서 층운형이면서 집중호우를 내렸던 사례의 표본 양이 알고리즘 개선에 이용될만큼 없었기 때문이다. 향후 충분한 사례연구를 통하여 다양한 홍수사상에 대한 사례가 포함되고 알고리즘 개발이 적용된다면 층운형이면서 집중호우를 발생하는 구름에 대해서도 정확한 강수량 산출이 가능할것으로 본다.

본 연구에서는 그동안 COMS 위성 강우 알고리즘의 불확실성 중의 하나인 층운형이면서 집중호우가 발생하는 구름에 대해서 레이더와 GPM 정보를 이용하여 원인을 확인하였으며, Himawari 8의 다양한 채널을 이용하여 현재보다 더욱 정확한 강수량 산출이 가능함을 보였다. 더불어 Himawari 8위성과 같은 센서를 탑재하고 발사될 GEO-KOMPSAT 2A 정지궤도 위성에 현재의 COMS가 가지고 있는 단점을 극복한 강우 추정 알고리즘을 적용된다면, 정확한 홍수사상에 대한 정보를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 수문모형의 입력자료로 이용이 가능하다. 또한 침수모형 등의 수문정보와 위성의 강우정보가 융합되어 새로운 정보 제공이 가능하면, 북한을 포함한 한반도 전체와 미계측 지역인 APEC 개발도상국에서 지금 보다 더욱 홍수 정보를 정확하게 알 수 있게 되어 정책결정자들의 홍수로 인한 피해저감 대응에 효과적으로 이용이 가능할 것으로 판단된다.

위성기반 강우량 정보는 수문정보 및 GIS 정보와 결합하여 실시간 스마트 침수예측 모형이 개발가능하며, 이전에 보지 못했던 새로운 형태의 정보로 활용이 가능하다.

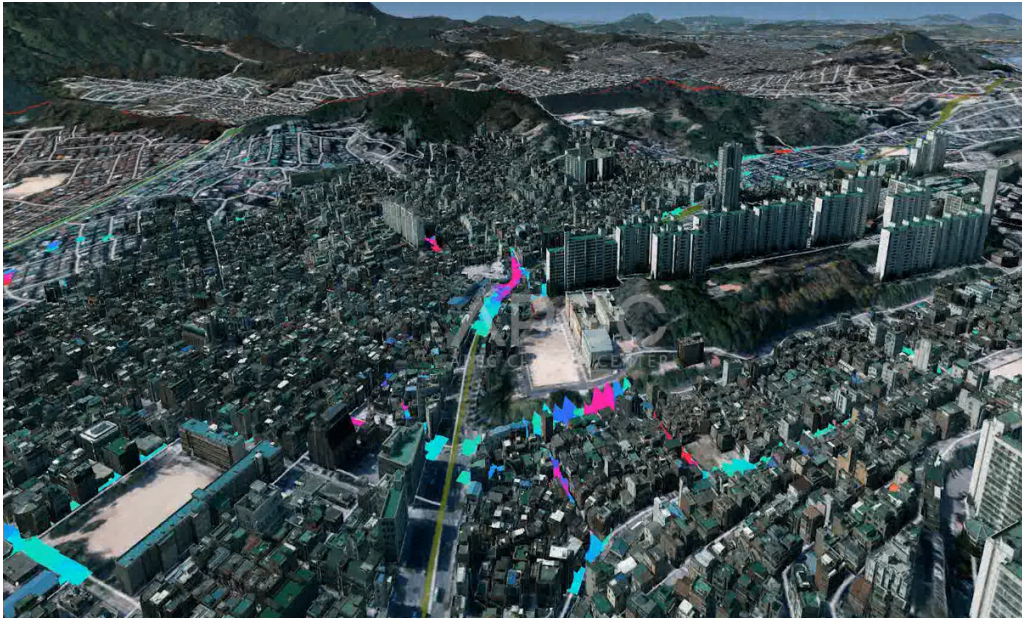


그림 45 APCC 침수 예측 시스템

그림 45은 향후 개발하게 될 실시간 스마트 침수 예보감시 시스템이다. 시스템은 정지궤도 위성의 강우량 정보와 현재부터 2시간까지 강수를 예측 할 수 있으며, 이 정보를 바탕으로 실시간 침수 예측이 가능하게 된다. 이러한 시스템은 스마트 CCTV와 센서 기반의 IoT정보, 위치기반 정보들을 결합하여 정책결정자들이 피해저감 대응을 할 수 있도록 정보를 제공하게 될 것이다. 더불어 통합 위험관리 시스템이 APEC 개발도상국과 태평양 도서국에 제공된다면, 집중호우나 태풍으로 피해를 받고 있는 이들 지역에 많은 도움이 될 것이다.

또한 위성강우예측자료는 지자체의 홍수 예경보시스템과도 활용이 가능하다. 구축된 부산대 수영강 홍수 예경보시스템과 결합한다면 부산대 실시간 수문정보를 통하여 위성강우의 정확도를 향상시킬수 있고, 부산대 홍수 예경보시스템은 위성강우의 예측정보를 통하여 온천천, 수영강 일대 홍수 정보 제공을 미리 예측해 시민들이 대피할수 있는 정보 제공이 가능하다. 부산시의 상황실에도 위성강우예측 정보들이 제공된다면 시민들의 인명상, 재산상의 피해가 줄어들 것으로 판단된다.

REFERENCE

- Ferraro, R. R., 1997: Special sensor microwave imager derived global rainfall estimates for climatological applications. *J. Geophys. Res.*, 102, 16 715–16 735.
- _____, and Q. Li, 2002: Detailed analysis of the error associated with the rainfall retrieved by the NOAA/NESDIS Special Sensor Microwave/Imager algorithm 2. Rainfall over land. *J. Geophys. Res.*, 107, 4680, doi:10.1029/2001JD001172.
- Huffman, G. J., and Coauthors, 2007: The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *J. Hydrometeor.*, 8, 38–55, doi:10.1175/JHM560.1.
- _____, D. T. Bolvin, D. Braithwaite, K. Hsu, R. Joyce, C. Kidd, E. J. Nelkin, and P. Xie, 2015: NASA Global Precipitation Measurement Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG). Algorithm Theoretical Basis Doc., version 4.5, 30 pp. [Available online at http://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_ATBD_V4.5_0.pdf.]
- Joyce, R. J., J. E. Janowiak, P. A. Arkin, and P. Xie, 2004: CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrometeor.*, 5, 487–503, doi:10.1175/1525-7541(2004)005<0487:CAMTPG.2.0.CO;2.
- Kuligowski, R. J., 2002: A self-calibrating real-time GOES rainfall algorithm for short-term rainfall estimates. *J. Hydrometeor.*, 3, 112–130.
- _____, Y. Li, and Y. Zhang, 2013: Impact of TRMM data on a low-latency, high-resolution precipitation algorithm for flash-flood forecasting. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 52, 1379–1393, doi:10.1175/JAMC-D-12-0107.1.
- Kummerow, C., W. S. Olson, and L. Giglio, 1996: A simplified scheme for obtaining precipitation and vertical hydrometeor profiles from passive microwave sensors. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 34, 1213–1232.
- Lee, H., Y. Zhang, D.-J. Seo, R. J. Kuligowski, D. Kitzmiller, and R. Corby, 2014: Utility of SCA-MPR satellite versus ground-based quantitative precipitation estimates in operational flood forecasting: The effects of TRMM data ingest. *J. Hydrometeor.*, 15, 1051–1069, doi:10.1175/JHM-D-12-0151.1.
- Olson, W. S., and Coauthors, 2006: Precipitation and latent heating distributions from satellite passive microwave radiometry. Part I: Improved method and uncertainties. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 45, 702–720.

- Scofield, R. A., 1987: The NESDIS operational convective precipitation-estimation technique. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1773-1792.
- Vicente, G. A., R. Scofield, and W. P. Menzel, 1998: The operational GOES infrared rainfall estimation technique. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 1883-1898, doi:10.1175/1520-0477(1998)079<1883:TOGIRE.2.0.CO;2
- _____, J. C. Davenport, and R. A. Scofield, 2002: The role of orographic and parallax corrections on real time high resolution satellite rain rate distribution. *Int. J. Remote Sens.*, 23, 221-230, doi:10.1080/01431160010006935.
- Zhang, Y., D.-J. Seo, D. Kitzmiller, H. Lee, R. J. Kuligowski, D. Kim, and C. Kondragunta, 2013: Comparative strengths of SCaMPR satellite QPEs with and without TRMM ingest versus gridded gauge-only analyses. *J. Hydrometeor.*, 14, 153-170, doi:10.1175/JHM-D-12-053.1.

연구보고서 2016-20

태평양 열대 지역 수산자원의
지구 온난화 적응 기작 연구

Identification of warming acclimation mechanisms in tropical fish

유태우



APEC 기후센터

48058 부산광역시 해운대구 센텀7로12

Tel: 051-745-3900 Fax: 051-745-3949

www.apcc21.org



9 791156 981718

ISBN 979-11-5698-171-8