

ORIGINAL ARTICLE

해양기상부이와 표류부이에서 관측된 유의파고 및 파주기 비교 분석

조형준 · 김백조* · 최규용 · 노민¹⁾ · 강기룡²⁾ · 이철규

국립기상과학원 관측연구부, ¹⁾한국해양과학기술원 해양공간개발 · 에너지연구부, ²⁾기상청 지진화산국 지진화산기술팀

Comparative Analysis of Significant Wave Height and Wave Period Observed from Ocean Data and Drifting Buoys

Hyeong-Jun Jo, Baek-Jo Kim*, Reno Kyu-Young Choi, Min Roh¹⁾, KiRyong Kang²⁾, Chul-Kyu Lee

Observation Research Department, National Institute of Meteorological Sciences, Jeju 63568, Korea

¹⁾Ocean Space Development and Energy Research Department, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Korea

²⁾Earthquake and Volcano Technology Team, Earthquake and Volcano Bureau, Korea Meteorological Administration, Seoul 07062, Korea

Abstract

In this study, the significant wave height and wave period of a specially designed observation system that connected two drifting buoys to an ocean data buoy was observed for 23 days from February 7 to 29, 2020, and the results were compared and analyzed. The results indicated that, in comparison to the ocean data buoy, the drifting buoy exhibited greater variability in significant wave height over shorter time intervals. The wave period of the ocean data buoy also appeared longer than that of the drifting buoy. The greater the observed significant wave height and wave period from both the ocean data and drifting buoys, the more pronounced the differences between the two observation instruments become. Moreover, the study revealed that the disparity in observation methods between the ocean data and drifting buoys did not significantly affect the significant wave height characteristics, as long as the period remained unchanged for up to half of the observation time.

Key words : Ocean data buoy, Drifting buoy, Significant wave height, Wave period

1. 서론

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 국가의 대외 무역활동과 국민의 여가생활 증진을 위해 해양기상정보의 수요가 증가하고 있다. 정확한 해양기상정보는 보다 상세한 해양기상관측망 확보를 통한 관측자료 생산이 중요하다. 해양기상정보에서 파랑(Wave)은 선박 운항, 수산업, 해양 레저 등 해상 활동에 커다란 영향을 미치

는 해양기상요소이다. 여기서 말하는 파랑은 바람이 해면 위를 지속적으로 불 때 생기는 풍랑(Wind wave)과 해상풍이 강한 먼 지역에서 형성되어 전파해 온 파랑인 너울(Swell)을 총칭하는 의미이다. 특히 해상 예·특보 지원 강화를 위해 해양기상부이, 표류부이, 파고부이 등을 이용한 해양기상 관측자료가 필요하다. 하지만 다양한 해양기상관측장비에서 관측된 자료의 신뢰성 확보에 대한 요구가 있어, 이에 대한 능동적 대응을 위해

Received 14 November, 2023; Revised 22 November, 2023;

Accepted 23 November, 2023

*Corresponding author : Baek-Jo Kim, Observation Research Department, National Institute of Meteorological Sciences, Jeju 63568, Korea

Phone : +82-64-780-6591

E-mail : swanykim@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

해양기상관측장비의 개선이나 비교·분석이 요구된다.

바다에서의 파랑은 모든 해수면에서 존재한다. 해수면의 파랑은 해양과 대기 간 에너지, 열, 물질 교환에 중대한 영향을 미치며(Melville, 1996), 기후 및 기상 예측에 있어서도 중요한 역할을 한다(Hisaki, 2021). 이와 같은 파랑은 바다에 설치된 해양기상관측장비 및 파랑예측모델을 통해 생산된다. 국내외에서 실시간 파랑 관측을 위한 해양기상관측장비로는 고정형인 해양기상부이, 파고부이와 비고정형인 표류부이를 운영하고 있다. 기상청은 현업 해양예보를 위해 해양기상부이 28대와 해양 위험기상 대응을 위해 파고부이 75대를 운영하고 있으며, 최근 3년간 표류부이 26대(2020년 15대, 2021년 7대, 2022년 4대 투하)를 투하 하였다. 표류부이는 해양기상부이의 설치가 어려운 먼바다 위주로 관측하고 있으며, 특히 태풍 예상 진로에 투하하여 위험기상 감시에 크게 기여하고 있다. 이처럼 해양기상관측장비를 활용하여 한반도 근해의 해양기상 모니터링 시스템을 구축하여 운영하면서 해양기상상황을 감시하고 해양에서의 위험기상을 대비하여 안전한 해상 활동을 지원하는데 활용되고 있다.

파랑예측모델의 성능 향상을 위해서도 다양한 해양기상관측장비를 활용한 정확한 파랑자료 생산이 필수적이다. Jeong at al.(2019)은 2013년 2월부터 2018년 11월까지 6년간 연속 관측된 파랑자료를 월별 및 연별 변동성을 분석하였으며, 유의파고와 유의파주기의 상관관계식을 새롭게 제시하였다. 또한, 파랑을 생산하

는 해양기상관측장비 중 해양기상부이와 표류부이의 관측 자료에 대한 유의성 확보도 중요하다. 특정 지점에 고정된 해양기상부이와 달리 해류를 따라 이동하는 표류부이에서 생산된 기본적인 파랑 관측 요소는 동일하지만, 동일한 관측지점에서 직접 비교하기에는 한계가 있다(Doble et al., 2013; Waseda et al., 2014; Hisaki, 2018). 해양기상부이와 표류부이는 고정 방식의 차이 외에도 부이의 크기와 관측 방식의 차이가 있다. 무엇보다 해양기상부이는 가속도계 센서를 이용하여 파고를 관측하는 반면에 표류부이는 GPS의 고도 변위를 이용하여 파고를 산출한다. 파고를 관측하는 방식의 차이에 따라 유의파고를 산출하는 관측 주기와 자료 개수가 다르다. 해양기상부이의 경우, 관측 주기와 자료 개수는 각각 1초와 1024개이고, 표류부이는 각각 0.5초와 512개이다. 이와 같은 해양기상관측장비의 설치 방식, 관측 환경, 관측 주기 및 자료 개수 등의 차이가 있어 동일한 조건에서의 비교·분석한 연구가 매우 드물다.

최근 Huh et al.(2012)은 해양기상부이의 가속도계 센서와 표류부이의 GPS 센서의 성능 평가를 통해 두 개의 센서에서 관측된 유의파고와 파주기가 거의 일치함을 보였다. 해양기상부이에 두 개의 센서를 부착하여 비교한 것으로 해양기상부이와 표류부이의 크기 차이에 따른 움직임과 각각 장비의 특성은 반영되지 않았다. Kang et al.(2015)은 한반도 주변해역의 해양기상부이와 등표에서 관측된 자료를 이용하여 등표보다는 해양

Table 1. Observational characteristics of ocean data buoy and drifting Buoy.



Buoy type	Ocean Data Buoy(NOMAD, 6m)	Drifting Buoy(Sphere, 40cm)
Platform		
Period	30min	20min
Parameter	Wind direction, Wind speed, Humidity, Pressure, Surface temperature, Max. wave height, Sig. wave height, Ave. wave height, Wave period, Wave direction	Pressure, Surface temperature, Sig. wave height, Wave period
Sensor type	Acceleration (Hippy-40)	GPS

Table 2. Experiment configuration for analyzing the effect of observation period time and period on significant wave height.

Exp. No.	Sampling method	Number of data	Sampling interval	Sampling duration(s)
Exp. 1	1024 sampling	1,024	1	1,024
Exp. 2	512 sampling-1 (1~512)	512	1	512
Exp. 3	512 sampling-2 (513~1024)	512	1	512
Exp. 4	512 sampling-3 (1, 3, 5, ..., 1023)	512	2	1,024
Exp. 5	512 sampling-4 (257~768)	512	1	512
Exp. 6	256 sampling (385~640)	256	1	256

Table 3. Bias and RMSE for significant wave height and wave period between ocean data buoy and drift buoy.

Parameter	interval	Bias	RMSE
Significant wave height	0~1m	-0.02	0.11
	1~2m	0.09	0.23
	2m~	0.44	0.76
Wave period	0~5s	0.06	0.29
	5~10s	1.63	1.92
	10s~	3.63	3.86

Table 4. Statistics and linear regression analysis results of significant wave height using raw data at each experiment.

Case	Sampling method	Bias (m)	RMSE (m)	slope	R (Correlation coefficient)
Sig. Wave height 3m (2019.08.10.)	Exp. 2	-0.038	0.195	0.88	0.81
	Exp. 3	-0.019	0.185	1.09	0.87
	Exp. 4	0.174	0.183	0.91	0.98
	Exp. 5	0.008	0.184	1.02	0.85
	Exp. 6	0.037	0.339	0.93	0.63
Sig. Wave height 1m (2019.08.20.)	Exp. 2	0.002	0.016	0.98	0.99
	Exp. 3	-0.001	0.016	1.00	0.99
	Exp. 4	0.052	0.052	0.85	0.99
	Exp. 5	-0.001	0.015	0.99	0.99
	Exp. 6	0.002	0.024	0.98	0.97

기상부이의 풍속-유의파고간 상관성이 높은 것을 확인하였다. 이는 연안으로 근접할수록 파고의 발달이 풍속보다는 낮아지는 해저 지형의 영향을 크게 받기 때문으로 분석하였다.

따라서 본 연구에서는 해양의 파랑을 관측하는 방식이 다른 해양기상부이와 표류부이에서 관측된 유의파고 및 파주기를 직접 비교하기 위해 특별한 관측시스템 설계를 바탕으로 두 관측 요소의 차이를 알아보고, 유의파고 산출에 미치는 관측 주기와 자료 개수의 영향을 분석하였다. 이러한 해양기상관측장비간의 관측 요소 비교 및 유의파고 영향 분석을 위하여 동해와 마라도에 설치하여 현업 운영 중인 해양기상부이(Fig. 1)와 동해 해

양기상부이에 일정 거리에 로프를 사용하여 연결한 표류부이에서 관측된 유의파고 및 파주기 자료를 사용하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 관측시스템 설계

해양기상부이와 표류부이에서 관측된 유의파고와 파주기를 비교·분석하기에 앞서 두 장비에 대한 특성을 제시하고자 한다. 본 연구에서 사용된 해양기상부이는 기상청 현업으로 사용되고 있는 동해부이(지점번호 22105)이며, 6 m 선박형(NOMAD) 모델로 위도

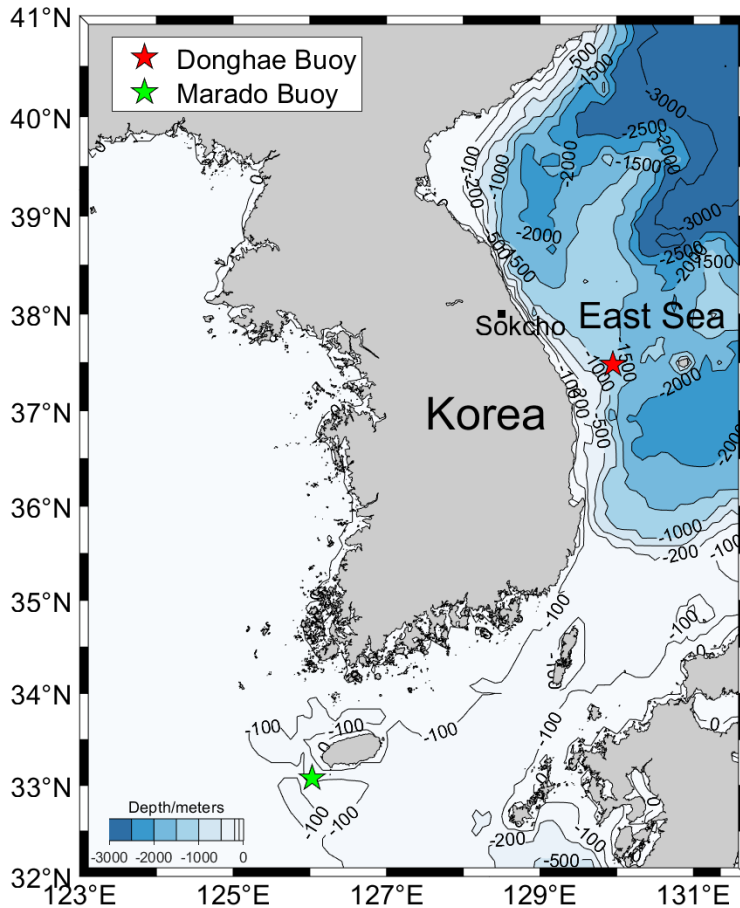


Fig. 1. Bathymetry and location of Dong-hae and Marado ocean data buoys for operational purpose.

37°25'N, 경도 129°57'E 지점에서 2001년부터 관측을 시작하여 2015년 신규 장비로 교체되어 현재까지 운영되고 있다(Table 1). 동해부이는 약 3톤에 달하는 콘크리트로 된 싱커(Sinker)에 체인으로 연결되어 한정된 영역 안에서 고정되어 관측하도록 설계되었으며, 해류 및 주변 환경에 관계없이 지정된 지점에서 관측을 수행한다. 동해부이는 AXYS Technologies사에서 제조한 모델로 Inmarsat 위성을 통해 관측 자료를 수집하고 있다. 파고를 관측하는 센서는 전세계적으로 널리 사용되고 있는 가속도식 파고계(HIPPY-40 센서)를 사용하고 있다. HIPPY-40 센서는 다른 파고 센서에 비해 높은 정확도를 보이는 것으로 알려져 있으며 파랑 외에도 파향, 파주기 등과 같은 파랑 변수를 산출한다(Woo et al., 2018).

한편 해양기상부이와 비교 분석에 사용된 지름 40 cm 정도의 비교적 작은 구 형태를 가지는 표류부이는 국내 업체인 오션테크(주)에서 자체 개발한 장비로 Iridium 위성을 이용해 유의파고, 파주기, 수온, 해면기압 등 관측자료를 송신하게 된다(Table 1). 파고 관측을 위해 GPS 모듈과 파고 모듈을 사용하며, GPS 모듈의 수신정보를 이용하여 유의파고 및 파주기 등의 정보를 도출한다.

Fig. 2는 동해 해양기상부이와 표류부이에서 관측된 유의파고와 파주기를 비교·분석하기 위하여 설계된 관측시스템의 모습이다. 해양기상부이 좌측 전면과 좌측 후면에 각각 로프로 연결하여 표류부이 2기를 설치하였다. 해양기상부이의 높이를 고려하여 5 m의 로프를 선체에 연결하였으며, 로프의 꼬임을 방지하는 스위블사



Fig. 2. Design of experiment for analyzing the characteristics of wave observed from ocean data buoy and drifting buoy.

클을 양 옆으로 배치하여 나일론 재질의 30 m 로프를 연결하여 투하하였다. 2월 7일부터 관측을 시작한 표류부이(지점번호 20002)는 2월 17일까지 약 11일간, 또다른 표류부이(지점번호 20003)는 3월 19일까지 약 42일 동안 관측하였다. Fig. 3은 동해부이에 연결된 표류부이의 이동 궤적을 제시한 것이다. 표류부이는 해양기상부이를 기준으로 최대 약 30 m까지 이동할 수 있도록 설계하였다. 로프가 팽창했을 때 관측에 영향을 미치는지 알아보기 위해 Spike 값이 나타난 지점과 로프의 가장자리와 비교한 결과, 특별한 관련성이 없는 것으로 나타났다. 해양기상부이에 연결된 표류부이는 관측 범위를 벗어나지 않고 관측이 수행되었음을 알 수 있었다.

2.2. 분석 자료

동해 해양기상부이와 표류부이의 관측 주기는 각각

30분과 20분으로 차이가 있어 정시 자료를 추출하였다. 표류부이의 관측 시작 시점인 2020년 2월 7일부터 튀는 값(Spike)이 나타나기 전인 2월 29일까지의 자료를 사용하였다. 두 개의 표류부이 중 관측기간이 총 23일로 상대적으로 길었던 표류부이(지점번호 20003)의 관측자료를 이용하여 유의파고와 파주기를 비교·분석하였다.

또한 해양기상부이와 관측 환경의 차이에 따른 유의파고 산출에 미치는 관측 주기와 자료 개수의 영향을 알아보기 위해 원시 자료 습득이 가능한 마라도 해양기상부이(지점번호 22107)에서 2019년 8월 10일과 20일에 관측된 자료를 사용하였다. 마라도 부이는 위도 33°04'N, 경도 126°01'E에 위치하며, 2008년부터 해당 지점에서 관측을 시작하였고 동해부이와 동일한 6 m 선박형 부이로 가속도식 파고계(HIPPY-40 센서)를 부착하여 사용한다. 2019년 8월 10일과 20일을 사례

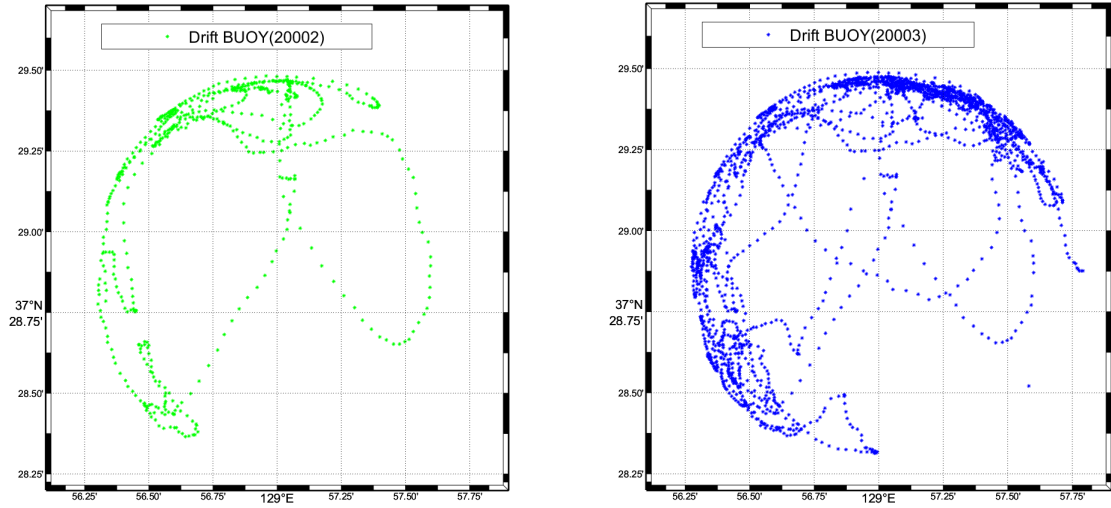


Fig. 3. Trajectory of drifting buoy from February 7 to 17 (ID: 20002, left) and from February 7 to March 19 (ID: 20003, right).

일로 선정한 이유는 유의파고가 각각 3 m 이상과 1 m 이하가 발생하여 파고 높이에 따른 유의파고 산출 특성을 파악할 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다.

해양기상부이의 기존 관측 방식인 1초 주기로 1,024개 관측자료를 기준으로(Exp. 1) 유의 파고 1 m 이하와 3 m 이상으로 각각 구분하였다. Exps. 2, 3, 5는 해양기상부이의 관측 자료를 1/2로 줄인 512개 관측 자료를 앞, 뒤, 가운데로 각각 구간을 나누어 계산하였다(Table 2). Exp. 4는 관측 자료는 동일하나 관측 주기를 2배(2초)로 늘린 경우이고, Exp. 6은 관측 주기는 유지하면서 자료 개수를 1/4(256개)로 줄인 것이다. 각각의 실험에서 계산된 유의파고는 마라도부이 원시 자료에 영점 상향 교차법(Zero-up crossing method)을 적용하여 산출하였다. 영점 상향 교차법은 파곡으로부터 파봉을 향하여 상승할 때 수면과의 교차점을 영점으로 하고, 다음에 동일하게 이어지는 영점까지를 하나의 파로 정의하는 방법이다.

2.3. 분석 방법

본 연구에서는 해양기상관측장비의 관측 자료에 대해 식 (1)~(3)의 Bias, RMSE(Root Mean Square Error), 상관계수(R)을 이용하여 비교하였다.

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

여기서 x_i 는 해양기상부이의 유의파고와 파주기, y_i 는 표류부이의 유의파고와 파주기이다. \bar{x} 와 \bar{y} 는 각각 해양기상부이와 표류부이의 유의파고 및 파주기 평균값이다. 두 식에서 통계 값이 0에 가까울수록 두 변수의 값이 유사한 것을 의미한다. 식 (3)의 상관계수 R을 이용하여 두 변수간의 상관관계를 분석하였으며, 상관계수는 1에 가까울수록 상관성이 높은 것으로 해석된다.

또한, 해양기상부이와 표류부이의 유의파고를 0~1 m, 1~2 m, 2 m 이상으로 3구간으로, 파주기는 5초 간격으로 동일하게 3구간으로 나누어 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유의파고 및 파주기

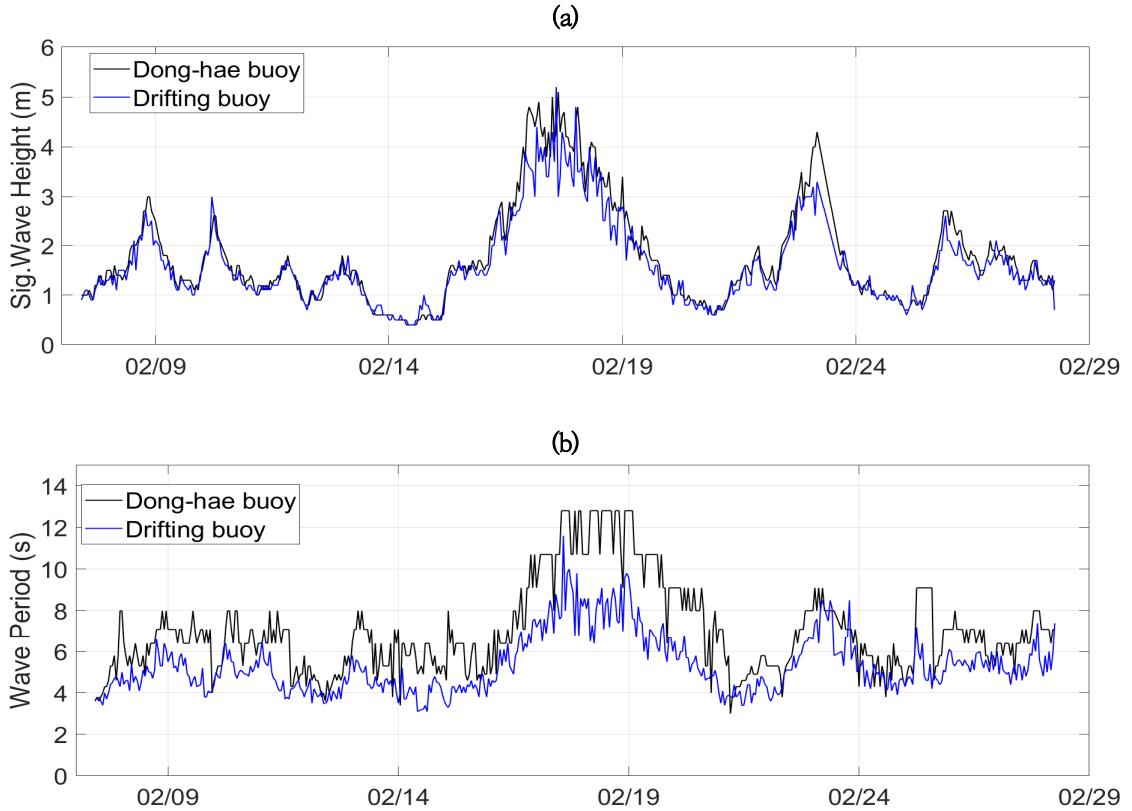


Fig. 4. Time series of (a) significant wave height and (b) wave period from Dong-Hae ocean data buoy and drifting buoy.

Table 3에 나타난 바와 같이 해양기상부이와 표류부이의 유의파고 0~1 m의 구간에서 Bias는 -0.02, RMSE는 0.11로 각각 나타났다. 1~2 m와 2 m 이상의 구간에서는 Bias가 각각 0.09와 0.44, RMSE는 각각 0.23와 0.76으로 보였다. 구간별 통계값을 보면 유의파고가 높을수록 Bias와 RMSE가 모두 커지는 것을 확인할 수 있었다. 2 m 미만인 경우에는 Bias가 0.1 m보다 작게 나타나면서 유의파고가 낮을 때에는 해양기상부이와 표류부이가 유사한 경향을 보였다. 유의파고가 2 m 이상인 구간에서는 두 관측장비간에 다소의 차이를 보이긴 하지만, 시간변화에서는 유사한 변동 패턴이 나타났다. 또한 해양기상부이에 비해 표류부이가 유의파고 관측에 있어서 순간 변동성이 크고, 그 값은 다소 낮게 관측되었다.

또한, 해양기상부이와 표류부이의 파주기가 0~5 초 구간에서는 Bias가 0.06, RMSE가 0.29로 각각 나타났고, 5~10초 구간과 10초 이상 구간에서는 Bias가

1.63와 3.63, RMSE가 1.92와 3.86을 각각 보였다. 파주기가 길어질수록 그 차이가 커지는 경향을 보임을 알 수 있으며, 5초 미만에서는 거의 차이가 없었다. Fig. 4에서 보듯이 해양기상부이에서 표류부이보다 파주기가 더 길게 나타났다. 평균적으로 유의파고가 높아지면 이에 해당하는 파주기는 길어지는 경향을 보였다.

해양기상부이와 표류부이의 통계적 비교를 통해 유의파고와 파주기 모두 유의한 결과를 보였다. 하지만, 파고가 높은 환경과 파주기가 길어질 때 차이가 존재함을 알 수 있었다. 이는 해양기상관측장비가 갖고 있는 장비별 특성(고정형, 표류형) 차이와 해양기상부이(고정형) 관측 방식에 맞춰 관측시스템 설계에 기인한 것으로 사료된다. 다만, 2 m 이상의 높은 파고가 나타나는 기상상황에서 두 장비의 관측 값의 시간변화 패턴은 유사하게 나타났다. 파고가 높은 환경에서 해양기상부이와 표류부이간의 관측값의 차이가 크게 나타나는 이유에 대해서는 관측 시스템 개선 및 추가 연구

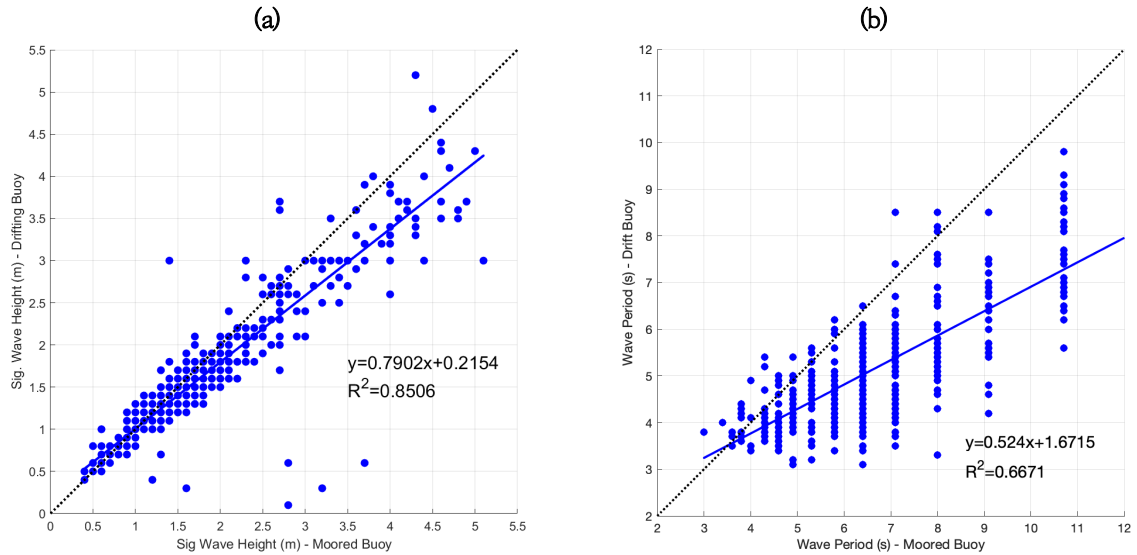


Fig. 5. Scatter plot of (a) significant wave height and (b) wave period from Dong-Hae ocean data buoy and drifting buoy.

가 필요한 것으로 판단된다.

분석기간 중 해양기상부이의 최대 파고와 평균 파고는 각각 5.1 m와 1.7 m이며, 최대 파주기는 12.8초, 평균 파주기는 6.82초로 나타났다. 표류부이의 최대 파고는 5.7 m, 평균 파고는 1.61 m이며, 최대 파주기는 11.6초, 평균 파주기는 5.35초를 각각 나타냈다. 특히, 흥미로운 것은 해양기상부이의 파주기가 계단식 형태를 보였다. 이는 HIPPY-40 센서에서 나타나는 특징으로 Fig. 5(b)와 연관지어 설명할 수 있다. Huh et al.(2012)의 연구에서 파주기 관측 해상도의 영향으로 분산도가 다소 크게 나타나는 경향을 밝혔다. 본 연구에서도 1,024초의 시간 해상도와 파주기 산출 시간(30분 간격)의 영향으로 판단된다. 이와 같은 파주기 형태가 최근 도입된 Wave unit 센서에서는 시간 해상도의 증가로 많이 개선되었다는 보고가 있다((주)씨텍 관계자와 개인통신).

한편 관측 기간 중 2월 17일과 2월 23일에 3 m 이상의 높은 파고가 발생하였다. 2월 17일에는 한반도 서쪽에서 다가오는 저기압의 영향으로 강한 바람과 함께 높은 파고가 나타났고, 저기압이 동해로 빠져나가는 18일 까지 이어지다가 점차 낮아지는 경향을 보였다. 2월 23일에는 최대 4.3 m의 유의파고가 관측되었고, 해당 기간에도 동해 북부를 가장자리로하여 북동진하는 저기압의 영향으로 판단된다. 이처럼 기상상황에 따라 해상

상황도 급변하는 경향이 확인되었고, 유의파고는 해상 풍의 영향을 가장 많이 받는 것을 알 수 있었다.

Fig. 5는 동해 해양기상부이와 표류부이에서 관측된 유의파고와 파주기의 산점도이다. 유의파고는 해양기상부이와 표류부이가 군집되어 나타나는 반면(Fig. 5(a)), 파주기에서는 해양기상부이가 표류부이에 비해 파주기가 다소 길게 나타나는 경향을 보이면서 그 차이가 존재하였다(Fig. 5(b)). 또한, 해양기상부이와 표류부이 간의 유의파고에 대한 상관관계가 $y=0.7902x+0.2154$ 이고 $R^2=0.85$ 으로 상관관계가 높음을 알 수 있었다. 파주기에 대해서는 상관관계가 $y=0.524x+1.6715$ 으로 $R^2=0.66$ 이었다.

3.2. 관측 시간 및 주기에 따른 유의파고 특성

해양기상부이의 기존 관측 방법인 Exp. 1을 기준으로 관측 시간과 주기에 따라 유의파고의 차이를 보였다. 평균 유의파고가 1 m 이하일 때보다 3 m 이상인 경우에 변동성이 더 크게 나타났다. Table 4에서 볼 수 있듯이 3 m 이상인 경우에 관측 시간이 1/2(512개 관측자료)인 Exps. 2, 3, 5에서는 RMSE가 0.2 m 이하로 통계적으로 유의한 결과를 보였으나, 관측 시간을 1/4(256개)로 줄인 Exp. 6에서는 RMSE가 0.33 m 이상이었다. 이는 다른 실험들에 비해 그 값이 매우 큼을 알 수 있었

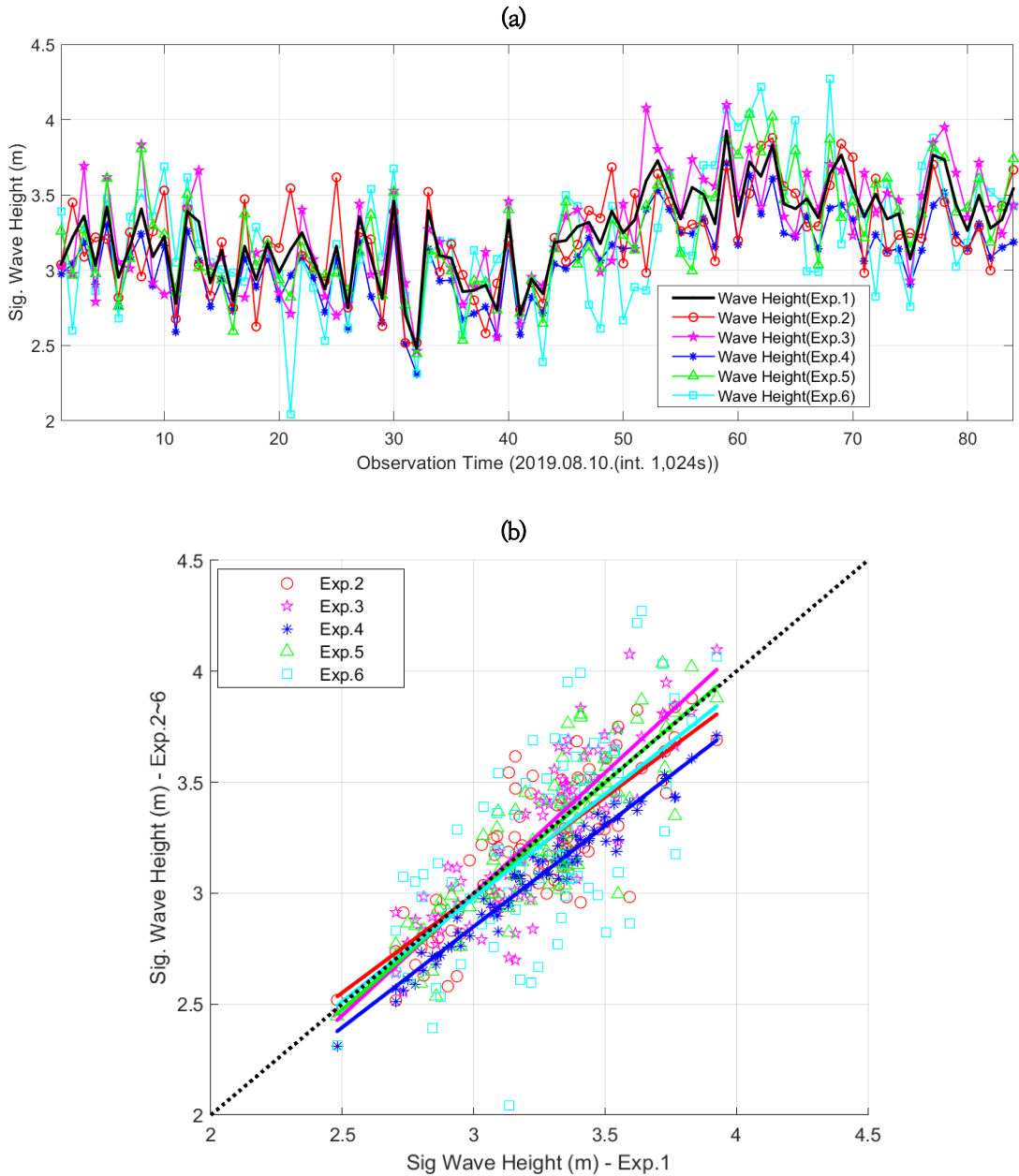


Fig. 6. (a)Time series and (b) scatter plot of significant wave height from Marado ocean data buoy by each experiment on Aug. 10, 2019.

다. Bias는 관측 주기를 2배로 늘린 Exp. 4에서 크게 나타났고, 관측 시간을 1/2로 줄인 Exp. 5에서 0.008로 가장 작았다.

Figs. 6과 7은 2019년 8월 10일(파고가 높은 경우)

와 8월 20일(파고 낮은 경우) 마라도 해양기상부이로부터 관측된 유의파고의 실험별 시간변화(a)와 산점도(b)를 각각 나타낸 것이다. 파고가 높은 경우(Fig. 6), Exp. 1을 기준으로 유의파고의 실험별 시간변화를 살펴

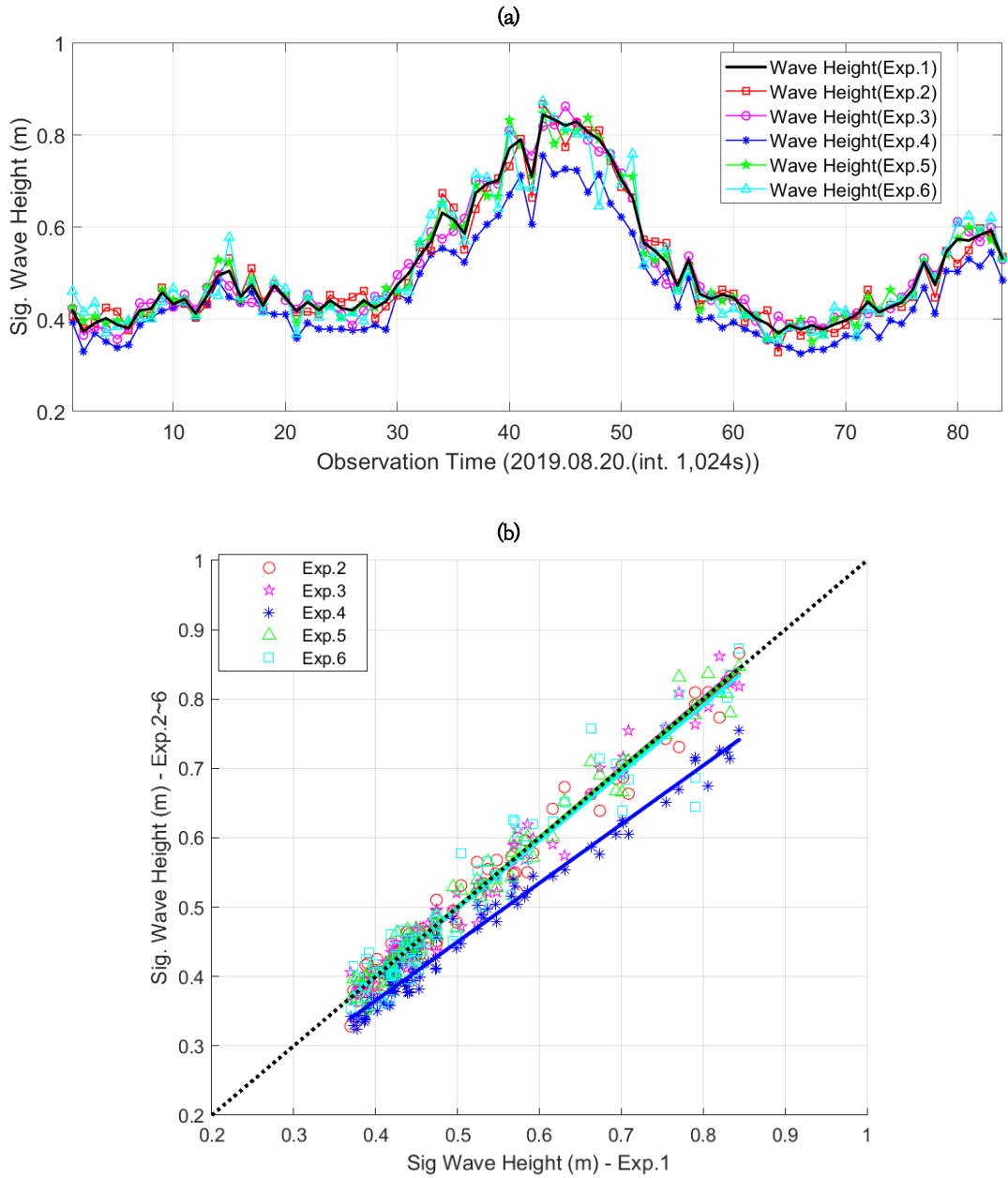


Fig. 7. Same as in Fig. 6 but for on Aug. 20, 2019.

면, 관측 시간을 1/4로 줄인 Exp. 6의 변동성이 크게 나타났다(Fig. 6(a)). 또한 Fig. 6(b)에서는 상관성이 Exp. 6이 가장 낮았고 Exp. 4은 다소 낮은 관측 값을 보였다. 1 m 이하인 경우는 3 m 이상인 경우와 마찬가지로

지로 RMSE는 Exps. 2, 3, 5에서 작았고 관측 주기를 2 배로 늘린 Exp. 4와 관측 시간이 1/4인 Exp. 6에서 RMSE가 컸다. Bias는 각 실험별로 -0.001~ 0.002로 작은 값을 보여 유의하게 나타났으나, Exp. 4에서는

Bias가 크게 나타났다. 파고가 낮은 경우(Fig. 7), Exp. 4의 유의파고는 분석기간 동안 낮았고 Exp. 6이 다소 낮은 상관성을 보였다.

위의 결과를 정리해 보면 관측 주기를 2배 늘린 Exp. 4와 관측 시간을 1/4로 줄인 Exp. 6에서 타 실험들보다 유의파고의 차이가 크게 나타났다. 따라서 유의파고를 산출함에 있어 관측 시간보다는 관측 주기에 민감하게 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 관측 시간은 기존 대비 50%(512개)까지는 유의하나, 추가적으로 반으로 줄인 25%(256개) 기간으로는 유의파고의 차이가 뚜렷하였다. 즉, 해양기상부이와 표류부이간의 관측 방법에 차이에서는 관측 시간이 1/2까지는 주기가 변함이 없는 한 유의파고 특성에 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다. 이는 동일한 해양기상 현상에 대해 해양기상부이와 표류부이에서 관측된 유의파고와 파주기 자료를 함께 사용할 수 있음을 의미하지만 제한된 실험 사례로 일반화하기에는 한계가 따르므로 이를 위한 추가적인 연구가 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 기상청 현업 해양기상부이와 위험기상 발생 감시 등의 특별 관측에 활용되는 표류부이에서 관측된 유의파고 및 파주기를 비교·분석하였다. 이를 위해 고정형인 동해 해양기상부이에 표류부이 2기를 로 프로 연결하여 일정 범위 안에서 관측이 가능하도록 관측시스템을 설계하였다. 여기서 생산된 2020년 2월 7일부터 29일까지 23일간의 유의파고와 파주기 관측자료를 비교·분석하였다. 또한 마라도 해양기상부이를 활용하여 관측 시간 및 주기가 유의파고 산출에 미치는 영향을 조사하였다.

해양기상부이와 표류부이에서 생산된 구간별 유의파고의 RMSE는 0.11~0.76을, 파주기의 RMSE는 0.29~3.86을 각각 나타냈다. 또한, 유의파고의 Bias는 -0.02~0.44, 파주기의 Bias는 0.06~3.63의 범위에서 보였다. RMSE와 Bias 모두 유의파고가 높을수록, 파주기가 길수록 두 관측장비간의 차이가 크게 나타났다. 또한, 해양기상부이에서 관측하는 방식인 1,024초 동안 1초 주기 관측을 기준으로 관측 시간은 50%인 512초까지는 유의한 결과를 보였으며, 관측 주기는 2초로 늘렸을 때 유의 파고 차이가 커지는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 해양기상부이와 표류부이를 직접 연결

하여 동일한 조건 하에 비교 관측을 수행하였으며, 해양기상정보를 제공하는 두 관측장비를 비교하여 관측 자료의 신뢰성을 조사한 최초의 실험이었다. 하지만 관측 시기가 겨울철로 한정되었고, 동해 중부해역에서만 관측이 수행되어 계절별, 해역별 특성은 종합적으로 볼 수 없었다. 향후 추가적인 연구를 통해 서해, 남해 등 한반도 근해 전체로 영역을 확장하고 겨울철과 여름철, 혹은 4계절로 나누어 계절별 특성도 확인해 볼 필요가 있다.

감사의 글

이 연구는 기상청 국립기상과학원 「해양기상 감시 및 차세대 해양예측시스템 개발」(KMA2018-00420)의 지원으로 수행되었습니다. 해양기상부이 및 표류부이 관측 업무를 수행한 국립기상과학원 기상관측선 기상1호 관계자 분들에게 감사의 말씀을 드립니다.

REFERENCES

Doble, M. J., Bidlot, J. R., 2013, Wave buoy measurements at the Antarctic sea ice edge compared with an enhanced ECMWF WAM: Progress towards global waves-in-ice modelling, *Ocean Model*, 70, 166-173.

Hisaki, Y., 2021, Validation of drifting buoy data for ocean wave observation, *J. of Mar. Sci. Eng.*, 729, 1-13.

Hisaki, Y., 2018, Wave hindcast in the North Pacific area considering the propagation of surface disturbance, *Prog. Oceanogr.*, 165, 332-347.

Huh, Y., Hwang, C. S., Kim, D. H., Heo, S., Kim, J. Y., Lee, K. W., Hong, S. D., 2012, Performance evaluation of wave observation system using GPS, *J. Korea Soc. Mar. Environ. Eng.*, 15, 357-362.

Jeong, W. M., Oh, S. H., Cho, H. Y., Baek, W. D., 2019, Characteristics of wave continuously observed over six years at offshore central east coast of Korea, *J. Korean Soc. of Coast. Ocean Eng.*, 31, 88-99.

Kang, Y. H., Seuk, H. B., Bang, J. H., 2015, Seasonal characteristics of sea surface winds and significant wave heights observed marine meteorological buoys and lighthouse AWSs near the Korean peninsula, *J. Environ. Sci. Int.*, Vol.24, 291-302.

Melville, W. K., 1996, The role of surface-wave breaking in air-sea interaction, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 28, 279-321.

- Tolman, H., 2002, User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22, Technical Note 222, NOAA/NWS/NCEP/OMB, 133.
- Tolman, H. L., Balasubramaniyan, B., Burroughs, L. D., Chalikov, D. V., Chao, Y. Y., Chen, H. S., Gerald, V. M., 2002, Development and implementation of wind generated ocean surface wave models at NCEP, *Wea. Forecasting*, 17, 311-333.
- Waseda, T., Sinchi, M., Kiyomatsu, K., Nishida, T., Takahashi, S., Asaumi, S., Kawai, Y., Tamura, H., Miyazawa, Y., 2014, Deep water observations of extreme waves with moored and free GPS buoy, *Ocean dyn.*, 64, 1269-1280.
- Woo, H. J., Park, K. A., Byun, D. S., Lee, J., Lee, E., 2018, Characteristics of the differences between significant wave height at Jeodo ocean research station and satellite altimeter-measured data over a decade (2004~2016), *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 23, 1-19.

-
- Researcher. Hyeong-Jun Jo
Observation Research Department, National Institute of Meteorological Sciences
hjo543@korea.kr
 - Senior Research Scientist. Baek-Jo Kim
Observation Research Department, National Institute of Meteorological Sciences
swanykim@korea.kr
 - Principal Researcher. Reno Kyu-Young Choi
Observation Research Department, National Institute of Meteorological Sciences
renochoi@korea.kr

-
- Senior Researcher. Min Roh
Ocean Space Development and Energy Research Department, Korea Institute of Ocean Science & Technology
rohmin@kiost.ac.kr
 - Senior Research Scientist. Ki-Ryong Kang
Earthquake and Volcano Technology Team, Earthquake and Volcano Bureau, Korea Meteorological Administration
krkang@korea.kr
 - Director. Chul-Kyu Lee
Observation Research Department, National Institute of Meteorological Sciences
chulkyu.lee@korea.kr