

HF-Radar 관측자료의 단주기 변동성 분석 및 정확도 분류 Short-Term Variability Analysis of the Hf-Radar Data and Its Classification Scheme

최영진* · 김호균** · 이동환* · 송규민*** · 김대현****

Youngjin Choi*, Ho-Kyun Kim**, Dong-Hwan Lee*, Kyu-Min Song*** and Dae Hyun Kim****

요지 : HF-Radar 관측자료의 시간평균 간격에 따른 신호특성을 살펴보고, 국립해양조사원에서 운영하고 있는 HF-Radar 관측소별로 수집률과 공분산을 분석하여 자료질이 높은 대표정점을 선점(選點)하였다. HF-Radar 관측의 시간평균 간격이 짧아질수록, 취득률은 낮아지나 고주파 신호특성을 관측할 수 있었다. 그러나 조류예측에서는 현행 60분 간격의 평균자료와 20분 간격의 자료에서 취득되는 조류의 차이는 거의 없었다. 수집률 기준을 높이고 공분산을 고려한 자료는 기존에 수집률 50%만을 기준으로 한 정점에 비해 관측품질이 높아졌다.

핵심용어 : 고주파수 레이더, 조류예측, 시간평균간격, 관측정확도

Abstract : This study explores the signal characteristics for different averaging intervals and defines representative vertices for each observatory by criterion of percent rate and variance. The shorter averaging interval shows the higher frequency variation, though the lower percent rate. In the tidal currents, we could hardly find the differences between 60-minute and 20-minute averaging. The newly defined criterion improves reliability of HF-radar data compared with the present reference which deselects the half by percent rate.

Keywords : HF-Radar, tidal current prediction, averaging interval, observational accuracy

1. 서 론

HF-Radar(High Frequency Radar, 고주파수 레이더)는 원격관측소로부터 고주파수 전파를 해수면을 향해 발사한 뒤, 해면에서 산란되어 돌아온 전파로부터 도플러 주파수 변이를 통해 표층 유속을 계산하는 장비이다(Barrick 1972; Stewart and Joy 1974). HF-Radar 관측소에서 관측된 자료는 유/무선 망을 통해 중앙처리시스템으로 실시간 전송되어 자료가 관리된다(CODAR, 2000).

국립해양조사원에서는 10개 해역 26개 관측소에서 CODAR사의 Seasonde 장비(CODAR, 2000)를 이용한 HF-Radar 관측소를 운영하고 있는데, 관측장비는 전파로 관측이 수행되기 때문에 주변에서 유사한 주파수대역을 사용할 경우 전파간 간섭이 일어날 수 있으며, 지형적 요인에 의하여 전달되지 않는 음영대가 발생할 수 있다. 이에 따라 주파수 대역의 조정(APM, Antenna Pattern Measurement), 도플러 주파수 설정(Line Setup), 합성벡터 생성시의 계수값 조정 등의 설정

이 필요하다(Kohut and Glenn, 2003; Chapman et al., 1997; Paduan and Rosenfeld, 1996; Song et al., 2010; Song and Cho, 2012).

HF-Radar 관측소로부터 얻어진 원시데이터는 CrossSpectra(CSQ)의 자료 형태로 연속적으로 저장되며, 이 파일들은 CODAR사에서 제공하고 있는 프로그램인 CSPro 소프트웨어의 AnalyzeSpectra 처리과정을 거쳐 방사(Radial)자료와 평균된 값인 CrossSpectra Average(CSA) 파일을 생성하게 된다. 방사자료는 HF-Radar에서 발사되어 되돌아오는 전파의 주파수 변화를 도플러(Doppler)효과에 의해 분석하여 방사상으로 표출한 자료로서, 사용중심주파수(center frequency)와 사용대역(bandwidth)에 따라 최대관측범위와 거리해상도(range resolution)가 결정된다. 표층유속의 산출은 두 지역 이상의 중첩된 방사자료가 요구된다. 방사자료는 Time Averaged CrossSpectra(CSS) 자료의 평균사용 자료개수와 출력자료의 간격을 설정할 수 있으며, 이 과정에서 APM을 통해서 측정된 값이 적용되기 때문에 유속/유향의 결측이나 오측의 확률

* (주)지오시스템리서치(Corresponding author: Dong-Hwan Lee, GeoSystem Research Corporation, #306, 172 LS-ro, Gunpo city, Gyeonggi-do 15807, Korea, Tel:+82-70-7019-0669, Fax:+82-31-479-7410, dhlee@geosr.com)

** 국립해양조사원 해양예보과(Oceanographic Forecast Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency)

*** 한국해양과학기술원 해양순환기후연구센터(Ocean Circulation and Climate Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology)

**** 오션테크(주) (OCEANTECH Co.)

이 상대적으로 적은 고품질 자료생산과정에 있어 중요한 과정이다. 생성된 방사벡터값을 최종적으로 합성하면 합성벡터가 생성되는데, 합성벡터 생성 시에는 각 방사벡터의 격자정보를 통해 격자를 생성하고, 두 개 이상의 방사자료를 합성하여 생성된 격자별 벡터를 생성하게 된다. 최종적으로 생성된 합성벡터 자료는 항목별 결과값, 표준편차, 공분산 등의 정보를 수록하고 이를 이용하여 조류타원도, 그리고 시계열 분석 등을 수행할 수 있다(Fig. 1).

레이더 설정의 적절성 이외에도, 두 레이더의 방사가 이루는 각에 따라 기하학적 위치오차(GDOP, Geometric Dilution of Precision)가 발생하는 문제가 있기 때문에(Chapman et al., 1997) HF-Radar관측소로부터 얻어진 조류 및 해류 자료에서는 실제의 현상 및 현장 부이 관측값과 현저히 다른값이 얻어지는 경우가 있다. 현재 국립해양조사원의 HF-Radar관측소 분석기준을 보면 수집률이 50% 이상인 정점의 자료를 모두 이용하고 있어 일부 해역에서는 실제 유속과 일치하지 않는 정점들이 다수 존재한다(KHOA, 2016).

따라서, 본 연구에서는 HF-Radar관측소로부터 얻어진 자료의 재분석을 통해 각 HF-Radar관측소별로 현업에서 이용 가능한 양질의 유동자료가 얻어지는 격자점을 제시하고자 한다. 또한 관측되고 있는 HF-Radar관측 자료를 활용하여 조류 예보 정확도가 높게 산출되는 지역을 설정하고자 수집률과 공분산값을 활용하여 대표 20개 정점을 영역별로 도출하였다. 예보정확도는 100%관측된 정점의 자료의 예측 시계열과 80%, 70%, 60%, 50% 을 비교하여 예보 정확성을 상호 비교하고, 공분산은 임계치를 두어 대표정점 산출에 활용하였다.

HF-Radar는 sea echo 잡음을 줄이기 위해 원시자료를 일정시간별로 평균한 평균장을 사용하고 있는데, 일반적으로 60

분 간격을 사용하고 있으며 국립해양조사원에서도 마찬가지로 60분 간격으로 자료를 생산하고 있다. 본 연구에서는 원시자료의 생산간격을 재검토하여 60분보다 짧은 유동변화를 관측할 수 있는지에 대한 여부를 검토해보았다.

2. 관측자료

국립해양조사원에서 운용하고 있는 총 10개 해역의 26개 관측소 자료 중, 3개 지역(태안해역, 광양항, 울산항)의 6개 관측소 자료를 이용하여 평균시간간격별 정확도 검증을 수행하였고, 6개 해역의 16개 관측소 자료에 대하여 유효정점을 선점하였다. 관측자료의 현황과 정보를 Table 1에 관측위치는 Fig. 2에 각각 도시하였으며, 사용주파수별 해상도, 관측반경 등의 자세한 사양은 Table 2에 제시하였다. 수집된 관측자료는 앞 절에서 제시한 CODAR사에서 제공하는 소프트웨어를 사용하여 원시자료 후 처리를 수행하였다.

HF-Radar관측은 주파수 대역별로 최적화된 관측간격으로 설정되어 수행하고 있지만, 부산항신항의 경우 40 MHz 대역의 주파수를 사용함에도 불과하고 1 km의 관측간격을 가지는 것으로 보아 주파수대비 다소 넓은 범위의 격자간격을 지닌 것으로 보여진다. 또한 여수해만의 경우 관측소 신설(2010년) 이후 30분 간격의 자료가 수집되었지만, 2015년 1월 이후로 1시간 간격으로 수신간격을 조정하였으며, 태안해역, 울산항의 경우 2014년 10월 이후 정점 변동이 있었다.

3. 분석방법

3.1 생산자료 간격별 정확성 검토

HF-Radar관측소의 생산자료 간격별 자료품질 검토를 위해

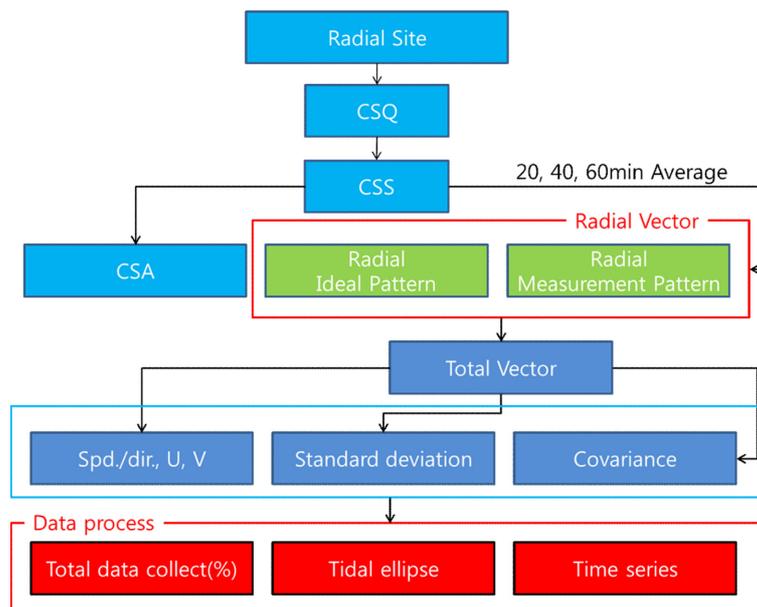


Fig. 1. Data Analysis process of HF-Radar.

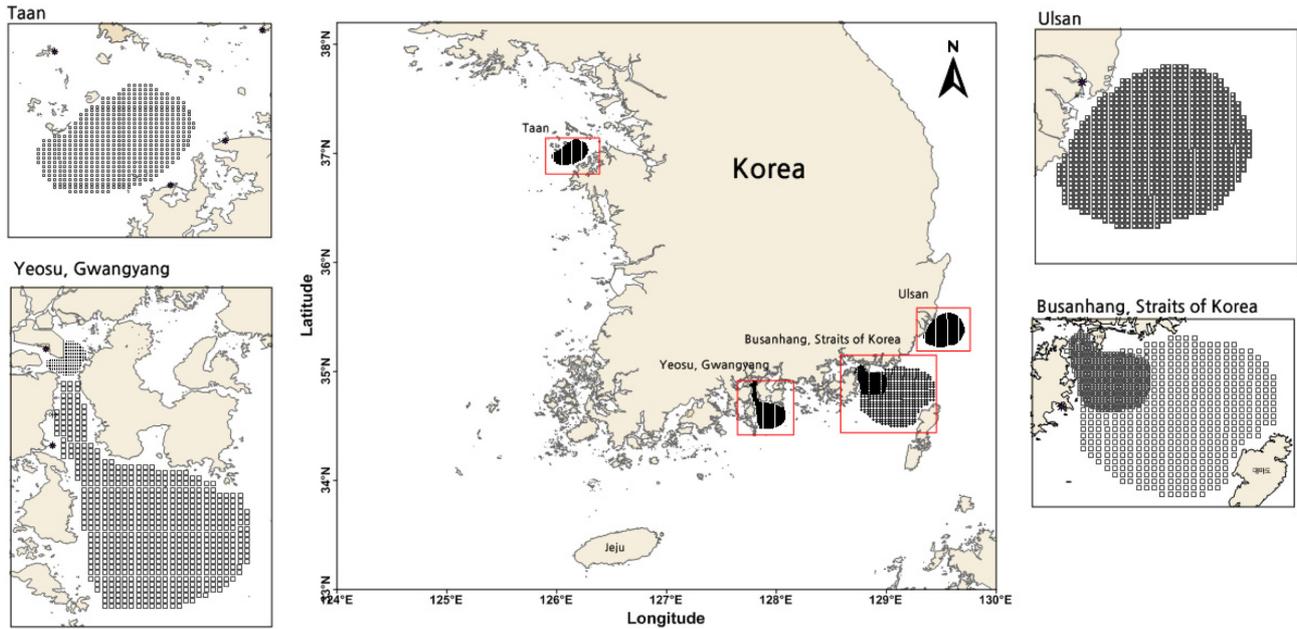


Fig. 2. HF-Radar observation sites.

Table 1. Summary of HF-Radar sites used in this study. Each column indicates: Site name, position, coordinates, time completed, start year of observation, resolution, and frequency, respectively.

Site Name	Site	Obs. Name	Position(WGS-84)	Constructed	Obs. from	Resolution	Frequency
PUSAN HANG SIN HANG	1	Yuho-Ri	35.51N, 128.72E	2006.11	2006	1 km	42.0 MHz
	2	Yeon-Do	35.06N, 128.77E	2006.11	2013		43.06 MHz
YEOSU	3	Hyangil-Am	34.59N, 127.80E	2010.11	2010	0.3 km (Yeosu Harbor) 0.75 km	24.525 MHz
	4	Odongdo	34.74N, 127.77E	2010.11	2010		43.5 MHz
	5	Sports Park	34.80N, 127.83E	2010.11	2010		42.4 MHz
	6	Hong-Hyun-Ri	34.72N, 127.89E	2010.11	2010		25.8 MHz
Korea Strait	7	Gadukdo	34.99N, 128.82E	2011.11	2011	2.5 km	24.4 MHz
	8	Yangji-Am	34.89N, 128.75E	2011.11	2011		25.15 MHz
	9	Taejong-Dae	35.04N, 128.09E	2011.11	2011		13.435 MHz
TAAN	10	Seoimal	34.79N, 128.74E	2011.11	2011	1.0 km	13.435 MHz
	11	Guryepo	36.88N, 126.17E	2012.11	2012		26.275 MHz
ULSAN PORT	12	Mandae-Hang	36.97N, 126.30E	2012.11	2012	1.0 km	24.525 MHz
	13	Bang-eo-Jin	35.48N, 129.44E	2013.12	2013		26.275 MHz
GWANG-YANG	14	Ganjeol-Got	35.36N, 129.36E	2013.12	2013	0.3 km	24.525 MHz
	15	Namhae Hwajeon	34.89N, 127.82E	2014.11	2014		43.75 MHz
	16	Namhae Yupo	34.86N, 127.81E	2014.11	2014		42.3 MHz

Table 2. HF-Radar specifications for each frequency range

-	4.3~5.4 MHz	11.5~14 MHz	24~27 MHz	40~45 MHz
resolution	3~12 km	0.5~3 km	0.5~2 km	0.2~0.5 km
Observation radius	100~220 km	60~90 km	20~60 km	15~30 km
Max distance to water	240 m	100 m	48 m	30 m
wavelength	60 m	25 m	12 m	8 m

Table 3. Three sites for the comparative analysis of averaging interval

point	Radial Site	Frequency band	Analysis period
TAAN	Guryepo(GR)	25 MHz	May, 2015
	Mandaehang(MD)		
GWANG-YANG	NamhaeHwajeon(NH)	42 MHz	July, 2015
	Namhaeyupo(NY)		
ULSAN PORT	bangojun(BO)	25 MHz	February, 2015
	Ganjeolgot(GG)		

태안해역(25 MHz), 광양항(42 MHz), 울산항(25 MHz) 관측소의 자료를 수집하여 각 Radial sites의 추출 시간별 시공간 자료를 비교 분석하였다(Table 3). 각 HF-Radar 관측소에서 생성되는 CSS 파일을 사용하여 Radial Vector를 산출하였다. Radial Vector를 생성하기 위해서는 관측된 원시 CSS 파일의 입력시간과 출력시간을 설정해야 하는데 본 연구에서는 출력

시간이 20분일 경우에는 35분의 자료 입력시간을 주도록 설정하였고, 40분은 55분, 60분은 75분의 입력시간을 주어 생성하였다. 20분, 40분, 60분으로 생성된 단일벡터 자료의 공간적 수집률과 시-공간 표준편차를 비교하였으며, 합성된 Total vector의 공분산, 시계열 비교 등을 통하여 자료평균시간별 자료 품질을 검토하였다.

Table 4. Observation period and frequency for each site

HF-Radar Site	Observation period	frequency
TAAN		25 MHz
YEOSU	2015.1 ~ 2015.10	25 MHz
GANGYANG		42 MHz
PUSAN HANG		42 MHz
SIN HANG	2014.1 ~ 2014.12	
Korea Strait		13.25 MHz
ULSAN Port	2015.1 ~ 2015.10	25 MHz

HF-Radar를 통해 관측한 해류자료는 전파의 산란, 일정하지 않은 관측시간, 벡터합성시의 근사 등에 의한 오차를 포함하게 되는데, 이에 대해 본 연구에서는 CODAR에서 제공하는 수집률과 공분산을 지표로 사용하였다. 수집률은 분석기간 중 자료가 수집된 기간의 비율(%)로써 나타내며, 공분산은 식(1)과 같이 각 Radial Vector의 편차를 가중 평균하여 구한 합성벡터의 결과에서 제시하는 값을 사용하였다. 합성벡터의 공분산은 매우 복잡한 과정을 통해 생성되며, 자세한 내용은 Lipa (2003), Lipa et al. (2006)에 설명되어 있다.

Table 5. HF-Radar grid point numbers correspond to covariance and percent rate. Shaded values indicate the representative points at each site.

HF-Radar Site	percent(%)	covariance (grid point number)			
		10>	25>	50>	50<
TAAN	50%<	77	175	278	84
	60%<	77	174	277	77
	70%<	74	163	259	70
YEOSU	50%<	503	549	564	4
	60%<	498	538	549	2
	70%<	492	525	534	2
GANGYANG	50%<	141	205	233	3
	60%<	141	200	218	1
	70%<	141	200	218	1
PUSAN HANG SIN HANG	50%<	326	476	510	9
	60%<	325	471	499	7
	70%<	324	465	488	1
Korea Strait	50%<	148	189	214	10
	60%<	148	189	211	6
	70%<	147	186	208	6
ULSAN Port	50%<	210	411	570	207
	60%<	210	411	564	204
	70%<	210	411	559	193

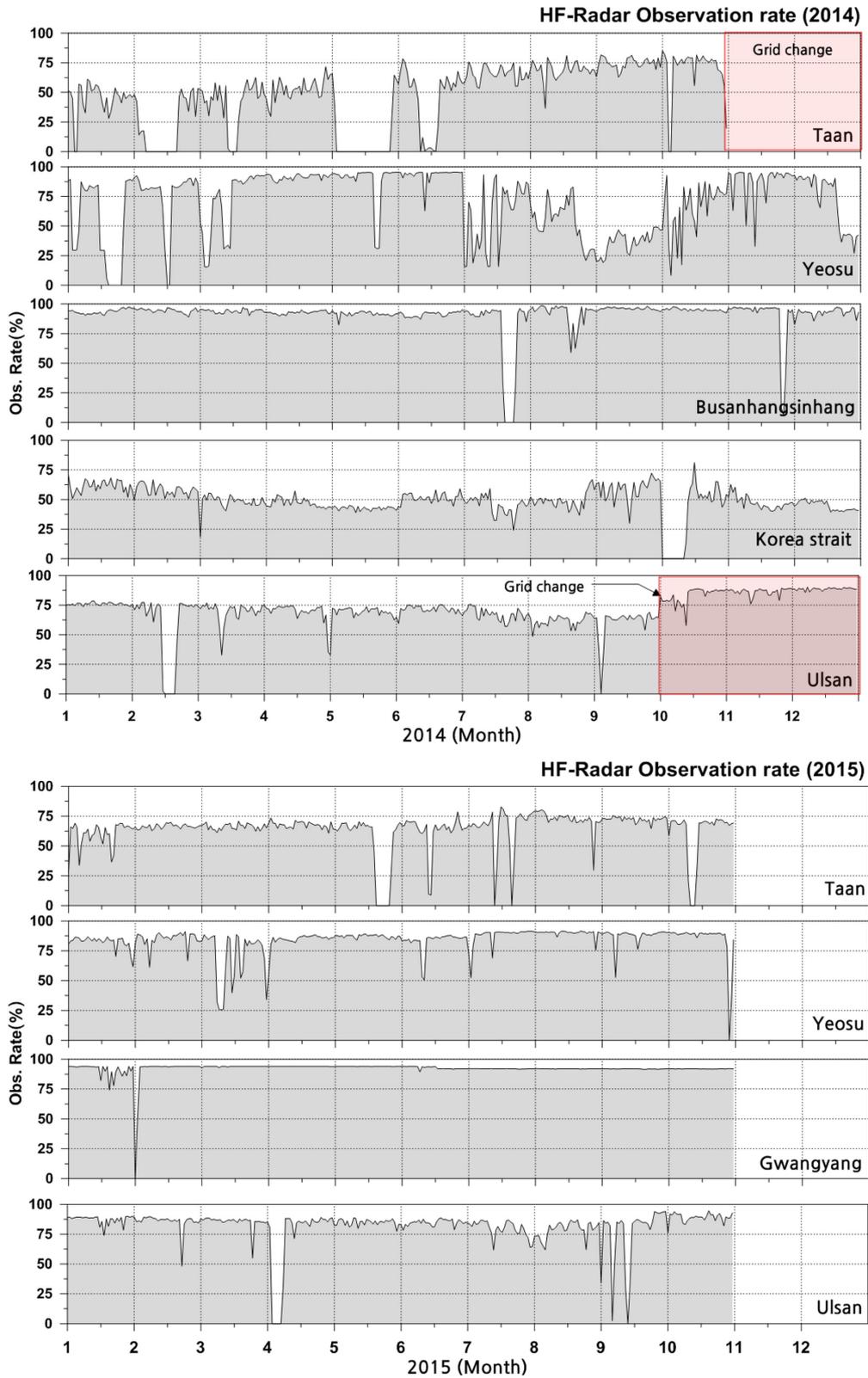


Fig. 3. HF-Radar daily percent rate for 2014 (upper) and 2015 (lower) year, respectively.

$$S = \sum_{i=1}^m \frac{(w_i - U \cos(\zeta_i) - U \sin(\zeta_i))^2}{(\Delta w_i)^2} \quad (1) \quad \text{를 나타낸다.}$$

여기서, S 는 합성벡터의 공분산, m 은 Radial Vector의 개수, ζ 는 각도, 그리고 w 는 가중치로서 Radial Vector의 오차범위

3.2 대표정점 산출

HF-Radar로 관측된 유속은 안테나와의 거리 및 방사각 등

Table 6. Percent rate for each observation interval

averaging interval	TAAN(%)	GANGYANG(%)	ULSAN port(%)
20min	43.75	90.56	77.02
40min	47.04	90.99	81.43
60min	48.94	91.12	83.48
Average	46.57	90.89	80.64

의 여러 가지 원인에 의해 모든 정점에서 동일한 신뢰도를 보이지 않는다. 따라서 통계적 방법에 의거하여 HF-Radar의 관측자료 중 현업에서 이용가능한 신뢰성 있는 양질의 유속자료가 얻어지는 격자점, 즉 신뢰할 수 있는 관측정점을 선점하였다.

유속관측자료 중 같은 격자에서 양호하게 관측된 6개월 이상의 기간을 찾아 공간 공분산과 수집률을 검토하였다. 수집률은 관측된 각 영역별 공간장 자료를 시간장 자료로 변환한 뒤 관측기간동안 수집된 자료의 rate로 계산하였고, 시계열 수집률은 공간장 자료에서 1일동안 수집된 자료의 평균으로 계산하였다. 부산항신항과 대한해협 자료는 2014년 1년간 전반적으로 양호한 수집률을 보여 2014년 자료를 사용하였고, 이외의 나머지 영역의 관측자료는 관측정점과 관측간격의 변경, 낮은 수집률 등의 원인으로 2015년 1월 ~ 10월 최근 관측 자료를 활용하였다(Table 4). Fig. 3은 2014년 유속관측자료의 일별 수집률과 정점이 변경된 시점을 도시하였다.

또한 동일한 관측기간에 대하여 HF-Radar에서 생산된 Total vector의 공분산값을 이용하였다. 공분산은 둘 이상의 방사벡터자료로부터 구한 U, V 벡터를 합성할 때에 계산되는 값으로서 해당 관측점의 시계열 변동성을 나타내며, 값이 클수록 변동성이 크다는 것을 의미한다.

조류의 경우 협수로나 외류 등의 영향으로 비선형성 변동이 강하여 공분산 값만을 100% 신뢰하기에는 무리가 있다. 따라서 공분산과 수집률을 동시에 고려하여 대표정점을 산출하였다. 수집률에 따른 예측 정확성 판단은 한 달 동안 관측된 임의의 관측 자료를 선택하고, 50 ~ 100% 사이의 결측 구간을 무작위(Random)로 설정한 후 조류 조화분해를 수행하였다. 각 수집률별 조류 조화상수를 이용하여 예측된 시계열 자료를 통해 조류 예보 타당성을 판정하였다. 여기서 수집률은 동일한 격자에서 관측된 자료의 오측값과 결측값을 종합하여 취득된 순수한 수집 자료의 값을 의미한다. 관측된 기간의 공분산과 수집률의 분포를 Table 5에 제시하였다.

4. 분석 결과

4.1 생성간격별 자료 품질 비교결과

태안해역, 광양항, 울산항의 수집률을 비교해보면 60분 간격의 자료가 가장 높은 수집률을 보였고, 20분 간격의 자료에서 가장 낮은 수집률을 나타냈다. 태안과 울산항의 경우 수집률이 평균적으로 각각 46.57%, 80.64% 였으며, 20분과 40분 간격의 수집률 차이는 5%이상으로 나타났다. 광양항의 경

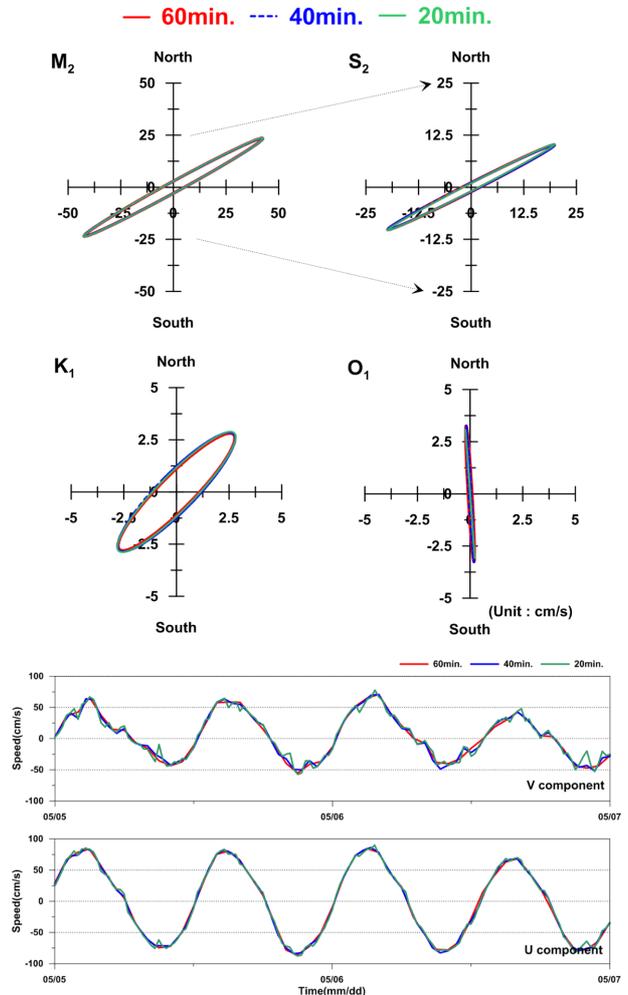


Fig. 4. Tidal ellipse (upper) and u-v velocity time series (lower) of TAAN site for each averaging interval, respectively.

우 60분 간격과 20분 간격 자료의 수집률 차이는 1%이내로 거의 다르지 않은 것으로 나타났다. Fig. 4는 태안해역에서 각 시간 간격별로 조류타원도와 유속성분의 시계열자료를 분석한 결과를 제시하였다. 조류타원도는 시간평균 간격과 상관없이 거의 일정하였으나, 유속 시계열 자료에서는 시간평균 간격이 작아질수록 단주기 변동이 뚜렷이 나타나는 것을 알 수 있다.

태안 구례포 관측영역의 자료는 태안반도 북단 주변 해역 이외의 관측 영역에서 양호한 품질을 보였다. 자료평균 시간 간격(20분, 40분, 60분)에 따른 자료의 신뢰성에는 큰 차이가 나타나지 않았으나, 공간적으로는 평균시간간격과 관계없이 태안반도 북단의 품질이 미흡하였으며, 20분 간격으로 생산

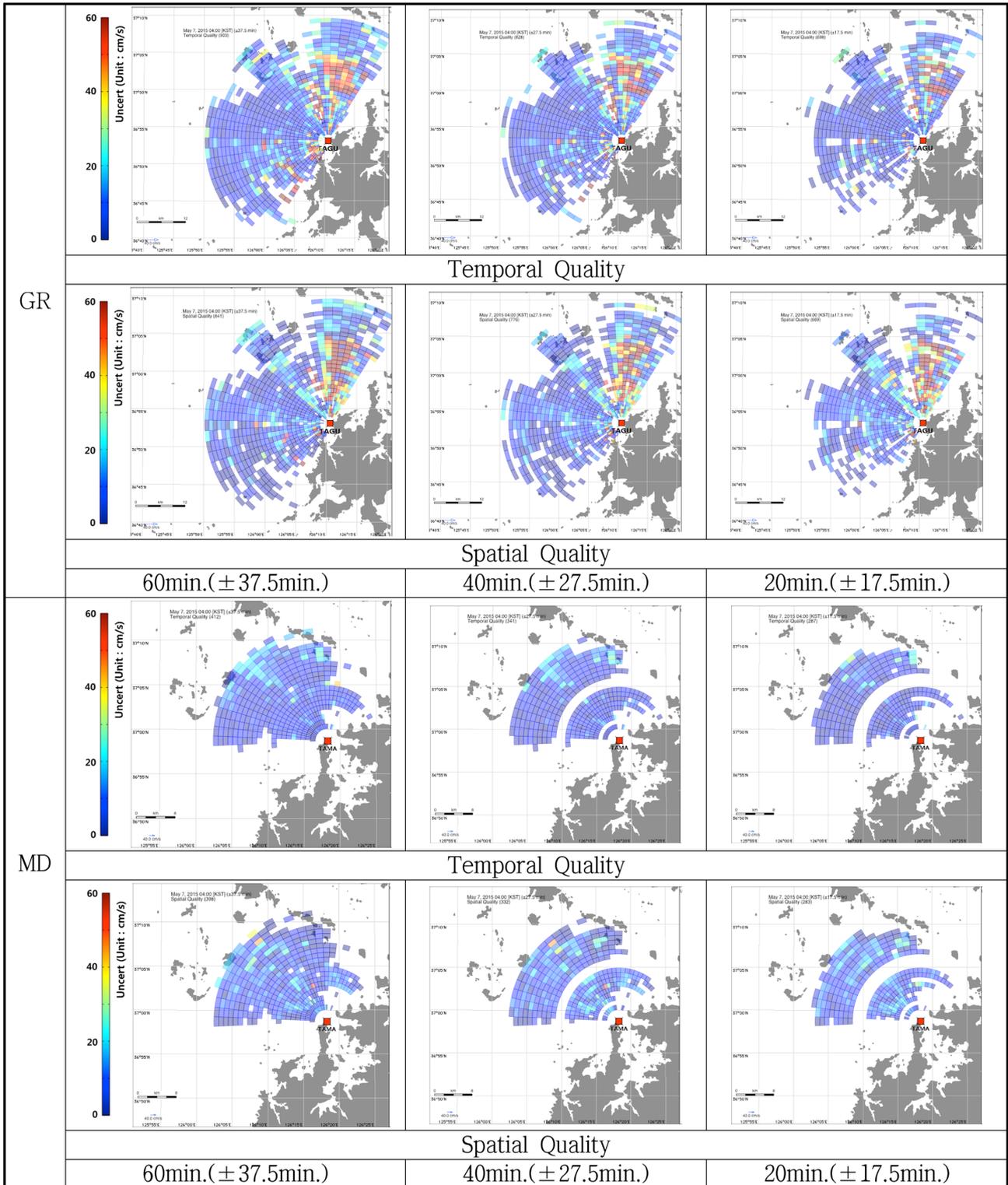


Fig. 5. Temporal and Spatial Quality at TAAN Radial site.

된 자료는 수집률이 다소 낮은 것으로 나타났다. 만대향의 자료는 60분 간격으로 생산된 자료의 시간적, 공간적 품질이 가장 양호한 것으로 나타났다. 특히 40분 이하로 생성된 자료는 결측구간이 많은 것으로 나타났다(Fig. 5). 광양항(42 MHz) 관측영역은 모든 평균시간간격에서 시간적-공간적 자료의 품질이 양호한 것으로 나타났다. 42 MHz의 고주파 수신은 짧은

단주기(20분, 40분)에서도 높은 신뢰성을 가지는 것으로 보인다(Fig. 6). 울산항 관측영역을 보면 60분 관측자료에서 자료수신이 가장 양호하였고 40분, 20분 관측자료에서는 시공간적 표준편차 값이 상대적으로 높게 나타났으며, 결측된 구간이 많이 발생하였다(Fig. 7).

HF-Radar 관측자료에서 자료 평균 시간이 길어지게 되면 수

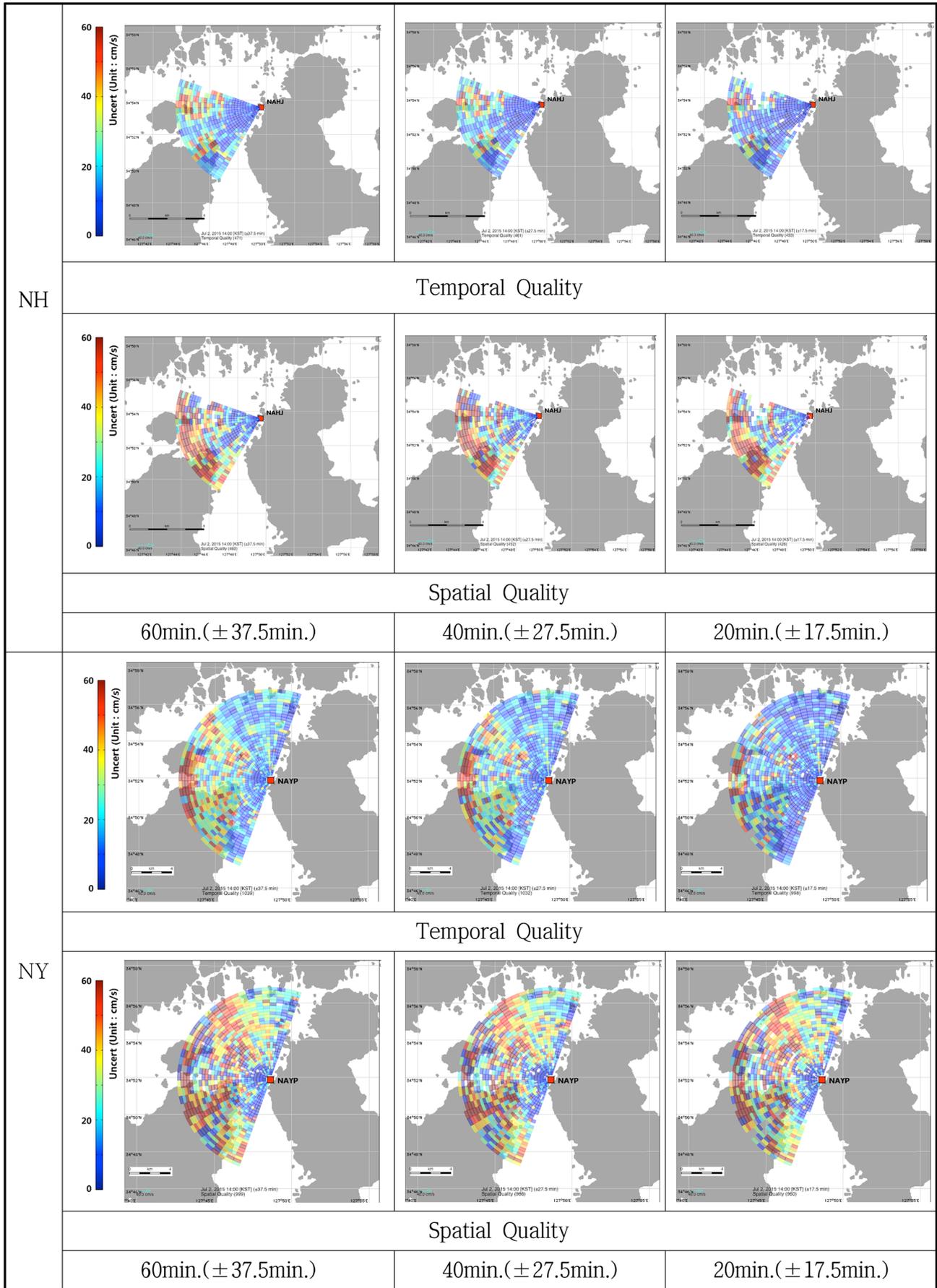


Fig. 6. Temporal and Spatial Quality at GANG-YANG Radial site.

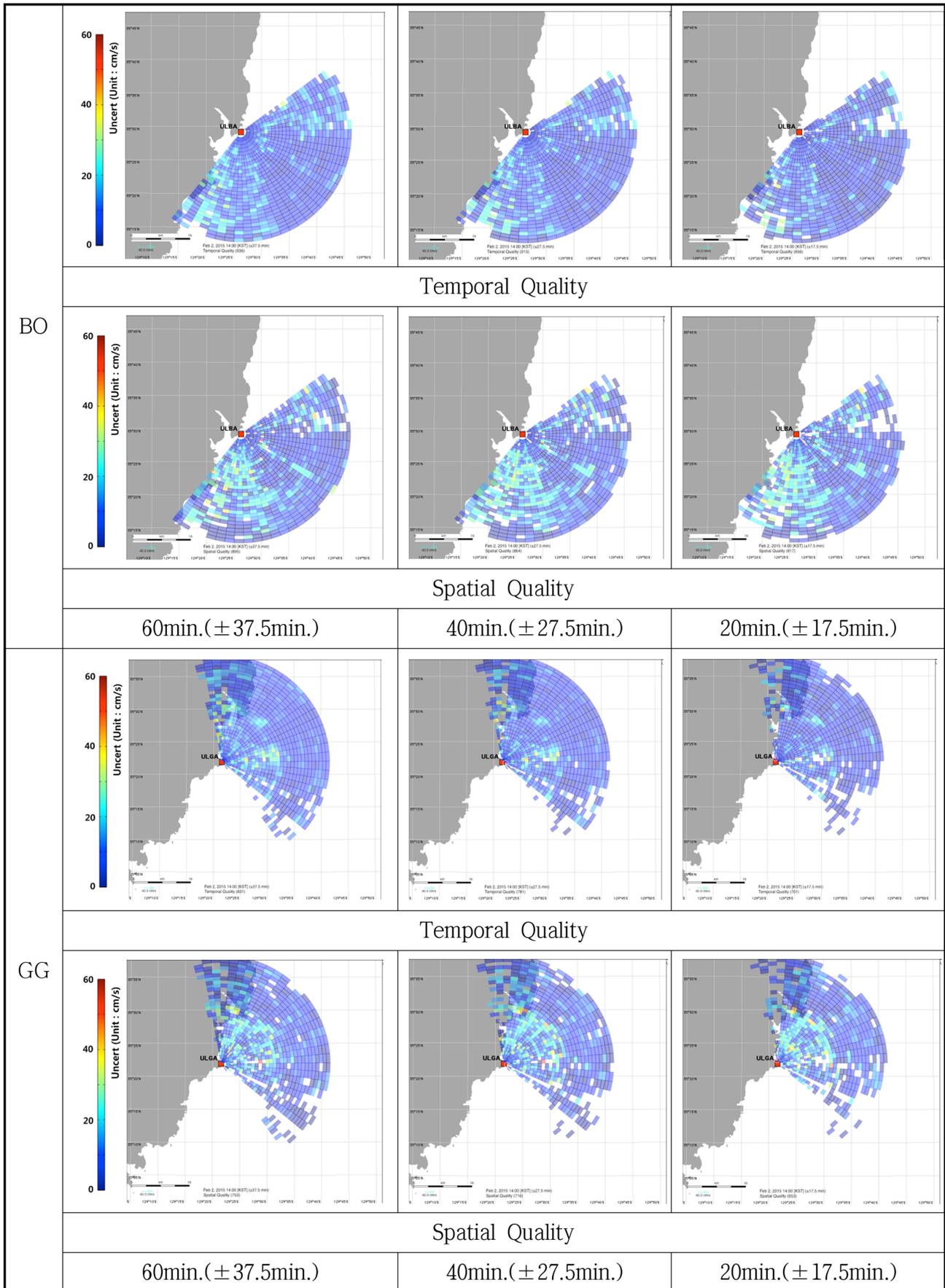


Fig. 7. Temporal and Spatial Quality at ULSAN PORT Radial site.

집결이 높아지는 것으로 나타났으나 고주파 대역(42 MHz)의 관측소는 20분 시간평균간격의 수집자료에서도 결측률이 크게 다르지 않은 것으로 나타났다.

4.2 HF-Radar 관측소의 대표정점 선정

예측 시계열 자료는 100% 관측된 자료를 예측한 시계열을 기준으로 나머지 항목들과의 RMS오차를 산출하고, 잔차류 차이를 검토하였다. 관측자료, 결측 구간별 예측 시계열 자료는 Fig. 8에 도시하였으며, 각 CASE 별 분석결과를 Table 6에 제시하였다.

여수해만에서 100% 관측된 임의의 정점 자료를 추출하고 조류 예측결과를 산출하였다. 100% 관측자료와 90% 관측자료의 예측시계열 유속 편차는 2.80 cm/s로 나타났으며, 수집률이 낮아짐에 따라 편차가 증가하여 수집률 50% 관측자료는 100% 관측자료와의 유속 편차가 9.00 cm/s이며 RMS는 50% 이상의 차이를 나타낸다.

Fig. 9는 1시간 간격으로 관측된 2015년 1월~10월 태안, 여수, 광양, 울산항 자료와 2014년 1월~12월 부산항신항, 대한해협 자료를 활용하여 공분산과 수집률을 고려한 대표정점을 선정한 결과를 도시하였다.

태안해역은 공간적으로 80%이상의 높은 수집률을 기록하였

으나 남쪽지역의 수집률은 다소 미비하였다. 또한 공분산의 크기가 선갑도 인근해역과 외곽에서 높게 산출되어 대표정점 산출에서 제외하였다. 선갑도 동측 해역은 창조사조의 방향이 반대로 산출되는 등 자료의 품질이 불량한 지역이며, 외곽자료는 주변 지역보다 다소 과대평가된 조류가 관측되기도 하였다. 대표정점은 이와같은 특이사항이 나타나는 정점을 제외하고, 공분산이 양호한 중심 지역으로부터 방사형으로 배치하였다.

여수해만 영역은 대부분의 영역에서 80%이상의 높은 수집률을 기록하였으나 남쪽 외곽지역의 수집률은 다소 미비하였다. 공분산의 크기는 돌산도 동측 일부 지역과 남해도 남동쪽, 외곽지역에서 다소 크게 산출되어 정점산출에서 배제하였으며 이를 제외한 대부분의 영역의 공분산의 크기는 10 내외로 매우 양호하였다. 대표정점은 공분산이 양호한 중심지역과 여수와 남해도 사이의 협수로를 중심으로 배치하였다. 대표정점의 평균 수집률은 79.09%, 평균 공분산은 1.65로 매우 작게 나타났다.

광양항 영역은 대부분의 영역에서 80%이상의 높은 수집률을 기록하였고, 공분산역시 전 영역에서 20 내외로 양호하게 나타났다. 대표정점은 공분산이 양호한 중심을 기준으로 방사형으로 배치하였으며, 다소 공분산이 크게 산출된 여수 북단 지역은 대표정점 산출에서 제외하였다. 대표정점의 평균 수집률

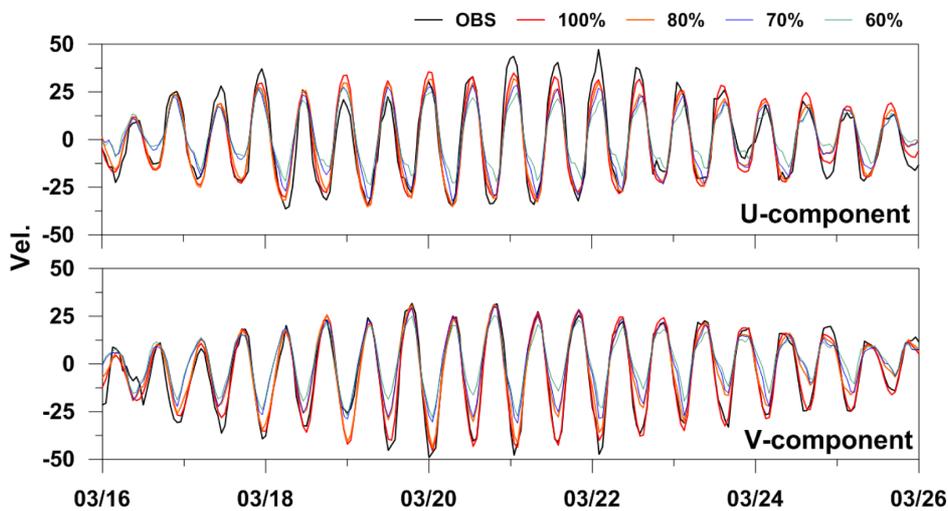


Fig. 8. The current prediction time series.

Table 6. RMS and residual currents of the percent rate

Percent Rate (%)	RMS (cm/s)			RMS Rate (%)	Residual current (cm/s)
	East-West (U Comp.)	North-South (V Comp.)	Current (Speed)		
90%	2.36	2.92	2.80	15.80	6.22
80%	3.21	5.30	4.80	27.09	7.39
70%	4.76	6.94	6.59	37.24	8.78
60%	6.69	8.64	8.25	46.60	10.27
50%	8.03	9.86	9.00	50.83	11.19

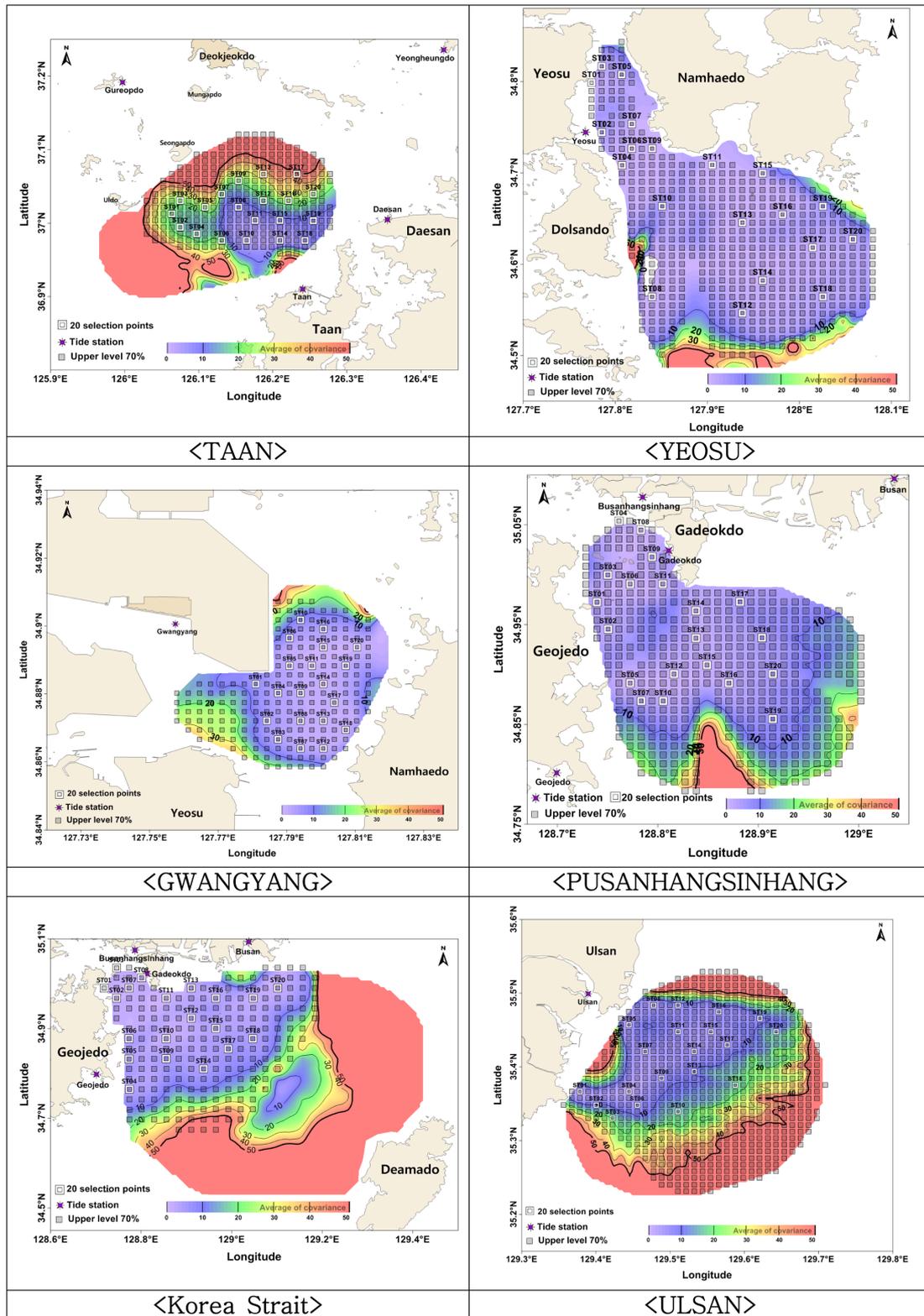


Fig. 9. Typical point with the rate of the covariance and percent.

은 99.21%로 매우 높았으며, 평균 공분산은 3.01로 나타났다. 부산항신항 영역은 외곽영역 일부를 제외하고 대부분의 영역에서 80%이상의 높은 수집률을 기록하였고, 공분산 역시 전 영역에서 20 내외로 양호하게 나타났다. 대표정점은 공분

산이 양호한 중심을 기준으로 방사형으로 배치하였으며, 다소 공분산이 크게 산출된 외곽 지역은 대표정점 산출에서 제외하였다. 대표정점의 평균 수집률은 95.92%로 매우 높았으며, 평균 공분산은 2.25로 나타났다.

대한해협은 외곽영역에서 수집률이 70% 미만으로 저조하였지만, 내만에서는 수집률과 공분산이 양호하였다. 외곽자료는 전파수신이 양호하지 못하고 강한 해류성분으로 공분산의 크기가 다소 크게 산출되었다. 대표정점은 공분산이 양호한 내만지역을 중심으로 방사형으로 배치하였으며, 가덕도와 거제도사이의 수로에 5개의 대표정점을 배치하였다. 평균 수집률은 94.11%, 평균 공분산은 2.09로 나타났다.

울산항 영역은 남쪽외곽지역을 제외하고 대부분의 영역에서 70%이상의 양호한 수집률을 보였다. 공분산의 경우 강한 해류성분으로 외곽의 공분산이 크게 산출되었으며, Radar site 간 마주보는 해역에서는 기하학적 위치오차(GDOP)가 높아져 공분산이 크게 산출되었기에 해당영역은 유효격자에서 제외되었다. 대표정점은 공분산이 양호한 영역을 중심으로 방사형으로 배치하였으며, 유효격자 내에 위치한 외곽의 자료가 최대한 포함될 수 있도록 선점하였다. 평균 수집률은 95.11%, 평균 공분산은 2.09로 나타났다.

5. 결론 및 토의

본 연구에서는 HF-Radar관측자료의 보다 효율적인 이용과 정확한 관측자료 제공을 위해 자료분석 기준에 따른 품질을 검증하고, 각 관측해역별로 실제 관측 및 예측에 활용 가능한 고품질의 자료만을 취득하기 위해 일정기준을 부여하여 대표정점을 선점하였다.

HF-Radar관측자료는 고주파의 신호인 스펙트럼 데이터를 평균하여 자료를 생산하기 때문에 사용자가 원하는 간격의 자료를 생산할 수 있다. 현재 국립해양조사원을 비롯해 CODAR사의 레이더 장비를 사용하는 국내외 대부분의 기관에서는 60분 평균자료를 표준으로 사용하고 있으나, 본 연구에서는 3개 해역을 대상으로 40분과 20분 간격의 평균자료를 생성하여 기존 60분 평균자료와의 차이를 비교해보았다. 자료평균 시간간격이 줄어들수록 변동주기가 짧은 고주파신호가 발견되었는데, 이는 내부조석이나 해류 등의 변동성이 나타난 것으로 판단된다. 특히 20분 평균된 자료에서는 고주파 신호특성이 확연하게 발견되었으나, 조류타원도는 60분 평균자료와 거의 차이가 없어 조류관측과 예측을 위한 용도로서는 현재와 같이 60분 평균자료를 사용하는 것이 보다 효율적이라 할 수 있다. 그러나 연근해역에서의 해양사고 발생 시에 해양유출유 혹은 해양쓰레기 등의 추적자 이동경로 예측이나, 항만에서의 도선관련 정보 제공을 위해서는 좀 더 높은 시간분해능의 자료를 얻기 위해 시간평균 간격을 현재보다 단축시켜 단주기 변동성을 파악하는 것이 도움이 될 수 있을 것이다. 시간평균 간격을 줄이면 줄일수록 수집률은 낮아지기 때문에 이에 따른 자료질의 저하나 잡음신호의 교란과 해류성분 정보를 명확히 구분할 수 있는 구체적인 기술연구가 필요할 것으로 생각된다.

관측영역별 대표정점 선점에는 수집률과 공분산을 고려하

였는데, 국내 HF-Radar관측소의 대부분을 운영하고 있는 국립해양조사원에서 기존에 적용하던 관측점 선점기준은 취득률 50%를 단순 적용함으로써 HF-Radar관측소에서 얻어진 자료와 실제 조류 및 해류의 유속장에 큰 차이가 나타나는 영역이 존재하는 문제가 있었다(KHOA, 2016). 본 연구에서는 수집률을 구간별로 분석한 결과 기존의 50%보다 높은 70% 이상의 취득률을 나타내는 정점의 자료를 이용하는 것이 보다 합리적이라 판단하였으며, 70% 이상의 취득률을 나타내는 정점에서는 유속편차가 약 6.59 cm/s로서 기존의 50% 취득률 정점에서의 9.00 cm/s 보다 약 27% 이상의 오차감소를 나타내었다. 또한 공분산 기준을 새롭게 도입하여 수집률과 공분산을 동시에 적용할 경우 기존에 태안 관측소 북쪽해역 등 오차가 크게 나타나는 해역이 제거되었다. 기하학적 위치오차(GDOP)가 높은 해역은 수집률이 높아도 기하학적 정확도가 낮기 때문에 자료의 신뢰도 역시 낮으나, 공분산 기준을 이용하게 되면 GDOP에 의한 신뢰도 저하영역을 제거하는 것이 가능하기 때문에 기존에 취득률에만 의존한 자료이용기준에서 제외하지 못하는 자료의 오차를 발견 및 평가할 수 있다.

HF-Radar관측소별로 사용되는 주파수가 모두 다른데, 고주파(42 MHz)를 사용하는 HF-Radar관측소의 자료에서는 보다 높은 기준을 도입하여도 대부분의 영역이 대표정점의 기준에 해당되는 좋은 관측품질을 나타내는 반면, 주파수 대역이 낮아질수록 공분산과 수집률이 낮아지기 때문에 향후 각 HF-Radar관측소별로 기준을 정립하는 연구가 필요할 것으로 보인다. 또한 HF-Radar관측소는 악천후 및 전파간섭 등의 외부요인에 의해 각 관측시기별로 수집률과 공분산이 계속해서 변하기 때문에 실시간으로 자료품질을 분석하여 대표정점 선점을 하는 동적 운용 시스템에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국립해양조사원의 「관측자료를 활용한 연안항로 조류 예측정보 생산체계 개발」 사업과 해양수산부의 「연안 이상현상(이상고파, 이안류) 발생원인 규명 및 대응체계 구축」 사업의 지원으로 수행되었습니다. 논문심사위원 세 분의 조언은 본 논문의 완성도를 높이는 데 큰 도움이 되었습니다. 끝으로 본 연구에 대해 아낌없는 조언을 주신 이상호 교수님, 이석 박사님, 강주환 교수님, 그리고 김형기 박사님께 감사의 말씀을 드립니다.

References

- Barrick, D.E. (1972). First-order theory and analysis of MF/HF/VHF scatter from the sea. IEEE Trans Antennas Propag., AP-20(1), 2-10.

- Chapman, R.D. and Graber, H.C. (1997). Validation of hf radar measurements. *Oceanography*, 10, 76-79.
- CODAR (2000). Characteristics Codar ocean sensor. <http://www.codar.com>. Accessed 18 Oct 2010.
- Kohut, J.T. and Glenn, S.M. (2003). Improving HF Radar Surface Current Measurements with Measured Antenna Beam Patterns. *J. Atmos. and Oceanic Tech.*, 20(9), 1303-1316.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA). (2016). 2015 Annual Report. 217pp. (in Korean)
- Lipa, B.J. (2003). Uncertainties in SeaSonde current velocities. *Proc. IEEE/OES Seventh Working Conf. on Current Measurement Technology*, San Diego, CA, IEEE/OES, 1-6.
- Lipa, B.J., Nyden, B., Ullman, D.S. and Terrill, E. (2006). SeaSonde radial velocities: Derivation and internal consistency. *IEEE J. Oceanic Eng.*, 31, 850-860.
- Paduan, J.D., Rosenfeld, L.K. (1996). Remotely sensed surface currents in Monterey Bay from shore-based HF radar (Coastal Ocean Dynamics Application Radar). *J. Geophys. Res.*, 101(C9), 20669-20686.
- Song, K.-M., Cho, C.-H., Jung, K.T. and Lie, H.-J. (2010). Report on the Present Condition and Operating of High Frequency Ocean Surface Radars in Korea. *J. Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 22(6), 437-445. (in Korean)
- Song, K.-M., Cho, C.-H. (2012). Effective Installation and Operating of High Frequency Ocean Surface Radars in Korea -Part 1: Hardware. *Ocean and Polar Res.* 34(4), 453-462. (in Korean)
- Stewart, R.H. and Joy, J.W. (1974). HF radio measurements of surface currents. *Deep-Sea Res.*, 21, 1039-1049.
-
- Received 11 October, 2016
Revised 8 December, 2016
Accepted 15 December, 2016