

# 한국 연안 평균 해수면 자료의 공간 상관관계 분석

## Spatial Correlation Analysis of the Mean Sea Level Data Sets in the Coastal Seas, Korea

조홍연\* · 정신탉\*\* · 이욱재\*\*\*  
Hong-Yeon Cho\*, Shin Taek Jeong\*\* and Uk Jae Lee\*\*\*

**요지** : 우리나라 모든 조위관측소의 평균 해수면 자료의 기본 정보를 검토하고, 지점간의 상관관계 분석을 수행하였다. 광역적인 기후변화 영향으로 예상되는 평균 해수면 변화는 모든 지점 사이에서 지점간 거리와 무관하게 0.75 이상의 높은 상관을 보이는 것으로 파악되었다. 어떤 특정 지점간의 자료에 대해서는 음의 상관관계 및 0.25 이하의 낮은 상관관계를 보이는 것으로 파악되었으나, 이는 자료의 개수 및 이상자료의 영향으로 판단된다. 그러나 이러한 상관관계는 선형 증가 및 선형 관계를 가정하고 있기 때문에 이 가정에서 벗어나는 변동 추세를 가진 자료의 경우 추정결과가 왜곡될 수 있다. 모든 조위관측소 MSL 자료의 변동 양상 및 추세를 분석한 결과, 상당한 자료에서 선형 가정이 한계가 있는 것으로 파악되었다.

**핵심용어** : 평균해수면, 공간 상관관계, 선형 추세, 관측지점의 이격거리

**Abstract** : The basic information of mean sea level data of all tidal monitoring stations in Korea was reviewed, and the correlation coefficients between the stations were analyzed. Mean sea level changes expected due to global climate change effects were found to show a high correlation of more than 0.75 regardless of the distance between the stations were analyzed. The data between certain stations were found to have negative correlation and low correlation of 0.25 or less, but this was determined by the influence of small data numbers and outliers. However, since these correlations assume a linear increase and a linear relationship, the estimation results may be distorted for data with fluctuating trends that deviate from this assumption. Based on the results of the changing patterns of the MSL data, it shows that a number of the MSL data do not follow the linear trend.

**Keywords** : mean sea level, spatial correlation, linear trend, separation distance between stations

### 1. 서 론

기후변화로 유발되는 평균 해수면 변화 양상은 광역에서 장기적으로 점진적으로 발생하는 현상이지만, 그 정도나 특성은 국지적이고 일시적인 영향을 받을 수 있다. 어떤 특정 지역의 평균 해수면 변화 양상은 가용한 장기 자료를 이용하는 것이 적절할 수 있으나, 우리나라 모든 연안 해역의 해수면 변화 양상 분석은 가용한 자료 각각의 분석과 더불어 상호간의 상관관계 분석도 요구된다. 특히 평균 해수면 자료는 관측기간(자료의 개수), 변화 양상, 결측(missing) 양상 및 정도 등이 지점에 따라 다르기 때문에 가용 자료의 특성, 국지적인 특성 및 기본 통계정보를 고려하는 분석이 요구된다. Jung and Jeong(2013)과 Harker et al.(2019)는 서해 연안해역과

호주 주위의 해수면 변화를 추정하기 위해 조화분석을 통한 해수면 변화 분석을 수행했다. 한편, 우리나라의 평균해수면 분석에 관한 연구는 다양한 방법 및 관점에서 수행됐다. Hwang et al.(2016)은 인공위성 자료를 활용한 해수면 변동에 관한 연구를 수행했으며, Heo et al.(2018)은 IPCC AR5에서 사용된 CMIP5 모델 자료를 사용해 우리나라 주변 해역을 6개 구역으로 분리하여 해수면 상승의 특징을 분석했다. 한편, Yoon and Kim(2012)은 방재 관점에서 검조소 17개 지점의 평균해수면 변화 정도를 분석하였으며, Jung(2014), Lim et al.(2017)은 기후변화에 따른 영향분석의 관점에서 분석을 수행했다. 특히 Jung(2014)은 서해 연안의 평균해수면 변화 양상을 다양한 측면에서 분석하였다. 또한, Kim et al.(2016)은 특정 모델을 적용하여 극치해수면 변화양상(비정상

\*한국해양과학기술원 해양빅데이터센터 책임연구원(Principal Research Scientist, Marine Bigdata Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, University of Science and Technology)

\*\*원광대학교 토목환경공학과 교수(Corresponding author: Shin Taek Jeong, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Wonkwang University, Iksandae-ro 460, Iksan, Jeonbuk 54538, Korea, Tel: +82-63-850-6714, stjeong@wonkwang.ac.kr)

\*\*\*원광대학교 토목환경공학과 박사과정(Ph.D. Candidate, Department of Civil and Environmental Engineering, Wonkwang University)

성) 분석을 수행하였다. 대부분의 평균해수면 변화 분석은 분석 내용이 추세 분석으로 제한되어 있으며, 사용하는 자료의 기간, 지점, 이상자료 처리과정을 포함한 분석에 사용한 자료의 범위 등은 분석시점에 따라 서로 상이하고, 명확한 처리과정이 생략되어 있다. Wahl et al.(2010)은 평균 해수면 시계열을 생성하고 분석함에 있어 SSA(Singular System Analysis)와 같은 비모수적 데이터 분석 및 모수적 Fitting 접근방법을 통해 관측된 해수면 상승을 분석했으며, Cho et al.(2011)은 우리나라 조위자료의 결측 양상을 정리·분석하여 제시한 바 있다. MSL 변화는 특정 지역에 국한되는 국지적인(local) 변화가 아니라 광역적인(global) 변화이기 때문에 우리나라 전체의 MSL 자료를 이용한 변화 양상 분석이 필요하며, 광역적인 변화양상이 반영되어야 한다는 가정에 대한 통계적인 확인이 필요하다.

본 연구에서는 국립해양조사원에서 제공하는 모든 평균해수면 자료를 이용하여 자료의 통계적인 특성 및 상관관계를 분석하였다. 또한 추정 상관계수의 신뢰구간 분석, 계수 추정에 영향을 미치는 이상자료(outliers) 진단 및 평균해수면 자료의 품질에 대한 확률적인 진단도 수행하였다. 본 연구결과로 제시되는 공간적인 상관관계 분석 결과는 평균해수면 정보가 단기간으로 제한되어 있는 지점의 최적 평균해수면 추정에 활용할 수 있으며, 신뢰수준 향상을 위한 자료의 품질 관리 및 결측구간의 자료보충(filling-in) 영향 분석에도 적용 가능하다. 어떤 특정 지점, 특정 연도의 자료가 전체적인 변화 양상에서 크게 벗어나는 경우는 자료의 QC 관점에서 이상자료로 판단할 수 있으며, 그 이상자료에 대한 적절한 원인분석을 수행하여 자료의 사용여부를 판단할 수 있다. 한편 결측구간의 자료보충은 자료의 변동양상을 파악하여 최적의 방법을 찾는 과정이 필요하지만, 간단한 방법으로는 지점 또는 연도에 따른 상관관계 정보 등을 이용하여 신뢰할만한 인접 지점, 인접 기간의 자료로 보충할 수 있다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구에서 사용한 평균해수면 자료는 국립해양조사원에서 공개되는 자료로, 누구나 접근하여 받을 수 있는 공용자료로 분석 결과의 상호검정을 위한 공유 자료로서 큰 의미를 갖고 있다. 평균해수면 자료는 국립해양조사원(www.khoa.go.kr) -> 해양정보포털(실시간해양관측시스템, http://www.khoa.go.kr/koofs/kor/tide/tide.do) -> 조석예보 및 성과 -> 조석성과 -> 평균해면 성과표 자료이며, 이 자료는 월평균 해수면 자료와 연평균 해수면 자료, 조위관측소 위치정보를 포함하고 있다. 본 연구에서 사용한 평균 해수면 자료가 제공되는 조위관측소 위치는 Fig. 1에 도기하였으며, 명칭 및 위치, 자료 개수 등은 Table 1과 같다. 우리나라에서는 총 50개 지점에서 평균 해수면 자료를 제공하고 있으나, 순천만, 포항 지점은 관측기간이 매우 짧아 MSL 자료가 없기 때문에 분석에서 제

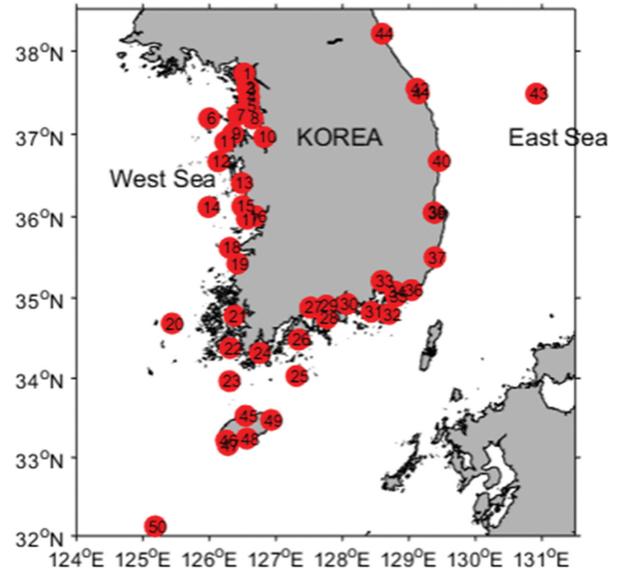


Fig. 1. Location map of the tidal gauging stations, Korea.

외하였다. 이 외에도 경인항, 삼천포 등과 같이 자료 개수도 적고, 결측자료가 많은 관측지점도 존재한다. 각각의 지점에 관측한 MSL 변동특성을 고려하여 분석하는 과정이 매우 중요하지만, 특정 지점에 국한되거나 명확한 변동 특성 파악이 필요한 경우(지반침하 및 지진으로 인한 일시적인 변화 등)가 발생할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 이러한 국지적인 분석보다는 MSL 자료의 시간·공간적인 전체적인 변화 양상 분석에 중점을 두고 수행하였다.

본 연구에서 사용한 해수면 자료는 연 평균 해수면 자료이며, 연간 결측 기간이 상당한 경우에는 부분적으로 월 평균 해수면 자료가 가용함에도 불구하고, Table 1에 정리된 바와 같이 연 평균 해수면 추산자료를 제공하지 않는 경우가 빈번하다. 평균 해수면 자료의 가용여부를 결측인자 행렬(missing indicator matrix)을 도식하였으며(Fig. 2 참고), 분석 시간구간은 목포 검조소의 1959년을 시점, 2018년을 종점으로 하고 있다. 조위관측지점마다 관측 시점이 다르고, 가용한 기간이 달라 자료 개수가 차이가 나기 때문에 신뢰수준에 차이가 발생할 수 있다. 상관계수 분석은 두 지점의 MSL 자료가 모두 존재하는 시기의 자료가 존재하는 경우에만 계산할 수 있으며, 자료개수에 의한 영향은 추정 상관계수의 신뢰구간에 반영된다. 또한 어떤 지점의 MSL 추세 분석도 자료의 개수 영향을 받기 때문에 다른 지점의 추세와 동등한 수준으로 비교하는 것은 곤란할 수 있으나, 실질적으로 불가피한 제약사항이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 조위 관측소는 지속적인 증가양상을 보이고 있으며, 2010년 이후 결측이 급격하게 감소하고 있다. 평균 해수면 추세 분석 등을 위한 가용자료의 개수가 30개 이상인 지점은 전체 48개 지점에서 총 18개 지점으로 38% 정도이다(Fig. 3 참조).

한편 조위 관측 지점간의 MSL 자료 상관관계 분석을 위한 조합의 개수는  ${}_{49}C_2 = 1,176$  가지의 경우가 발생

**Table 1.** Basic information of the tidal gauging stations

No	Name	Observation period	Geographical coordinate (N°, E°)	No of data	No of missing data	Data coverage (%)	Remarks
1	Ganghwa G. Bridge	2006~2019	37.73, 126.52	14	7	50	
2	Gyeongin Harbour	2015~2019	37.56, 126.57	5	1	80	
3	Youngjong G. Bridge	2009~2019	37.55, 126.58	11	4	63.6	
4	Incheon	1999~2019	37.45, 126.59	21	1	95.2	
5	Incheon-Songdo	2010~2019	37.34, 126.59	10	2	80	
6	Gulupdo	2010~2019	37.19, 126.00	10	4	60	
7	Youngheungdo	2009~2019	37.24, 126.43	11	4	63.6	
8	Ansan	2002~2019	37.19, 126.65	18	8	55.6	
9	Daesan	2003~2019	37.01, 126.35	17	3	82.4	
10	Pyeongtaek	1992~2019	36.97, 126.82	25	8	68	
11	Taeon	2019~2019	36.91, 126.24	10	2	80	West Sea
12	Anheung	1986~2019	36.67, 126.13	34	8	76.5	
13	Boryeong	1986~2019	36.41, 126.49	34	3	91.2	
14	Eocheongdo	2007~2019	36.12, 125.98	13	5	61.5	
15	Seocheon (Maryang)	2010~2019	36.13, 126.50	10	2	80	
16	Janghang	2004~2019	36.01, 126.69	16	8	50	
17	Gunsan	1980~2019	35.98, 126.56	40	5	87.5	
18	Wido	1985~2019	35.62, 126.30	33	10	69.7	
19	Younggwang	2002~2019	35.43, 126.42	18	5	72.2	
20	Heuksando	1965~2019	34.68, 125.44	55	21	61.8	
21	Mokpo	1956~2019	34.78, 126.38	63	12	81	Boundary St. (West and South Seas)
22	Jindo	2006~2019	34.38, 126.31	14	4	71.4	
23	Chujado	1984~2019	33.96, 126.30	36	6	83.3	
24	Wando	1983~2019	34.32, 126.76	37	5	86.5	
25	Geomundo	1982~2019	34.03, 127.31	38	4	89.5	
26	Goheung (Balpo)	2004~2019	34.48, 127.34	16	3	81.3	
27	Suncheon Bay (Excluded)	2019~2019	34.88, 127.52	0	0	0.0	
28	Yeosu	1965~2019	34.75, 127.77	55	7	87.3	
29	Gwangyang	2010~2019	34.90, 127.75	10	2	80	South Sea
30	Samcheonpo	2015~2019	34.92, 128.07	5	1	80	
31	Tongyoung	1976~2019	34.83, 128.43	44	3	93.2	
32	Geojedo	2006~2019	34.80, 128.70	14	3	78.6	
33	Masan	2002~2019	35.21, 128.59	18	5	72.2	
34	Busan New Harbor	2009~2019	35.08, 128.79	10	3	70	
35	Gadeokdo	1977~2019	35.02, 128.81	43	4	90.7	
36	Busan	1960~2019	35.10, 129.04	60	3	95	Boundary St. (South and East Seas)
37	Ulsan	1962~2019	35.50, 129.39	58	5	91.4	
38	Pohang (Excluded)	2018~2019	36.05, 129.37	2	2	0.0	
39	Pohang (OLD)	1972~2018	36.05, 129.38	47	4	91.5	
40	Hupo	2002~2019	36.68, 129.45	18	3	83.3	
41	Donghae Harbour	2011~2019	37.49, 129.14	9	3	66.7	East Sea
42	Mukho	1965~2019	37.55, 129.12	55	4	92.7	
43	Uleungdo	1965~2019	37.49, 130.91	55	21	61.8	
44	Sokcho	1974~2019	38.21, 128.59	46	4	91.3	
45	Jeju	1964~2019	33.53, 126.54	56	4	92.9	
46	Mosulpo	2003~2019	33.21, 126.25	17	2	88.2	
47	Donongtan	2010~2016	33.16, 126.27	7	5	28.6	
48	Seoguipo	1985~2019	33.24, 126.56	35	5	85.7	South Sea
49	Seongsanpo	2003~2019	33.47, 126.93	17	6	64.7	
50	Ieodo	2004~2019	32.12, 125.18	16	13	18.8	

다. 그 경우에 지점 상관분석을 위한 동일 연도의 자료가 12 개 이상 존재하는 경우로 한정하여 계산을 수행하였으며, 이 경우의 상관계수 추정치 가능한 조합은 304개, 비율로는 26%

정도이다. 상관분석을 위한 자료개수를 30개 이상으로 조정하는 경우 신뢰구간은 감소하지만, 상관관계 분석을 위한 조합은 175개, 비율로는 9% 수준으로 감소하기 때문에 분석에

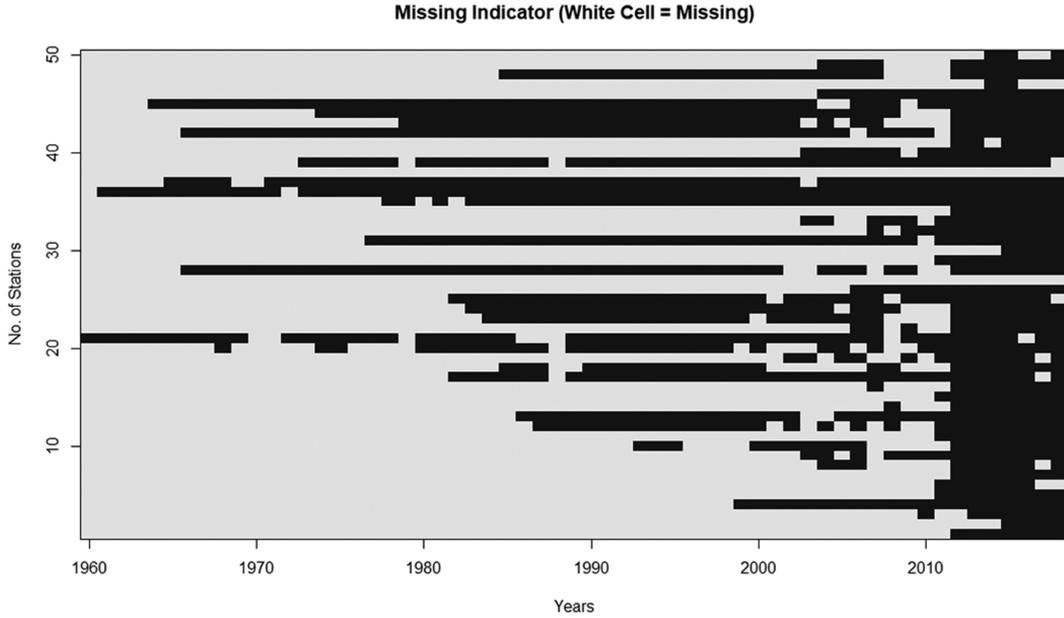


Fig. 2. Missing pattern of the annual MSL data at each station.

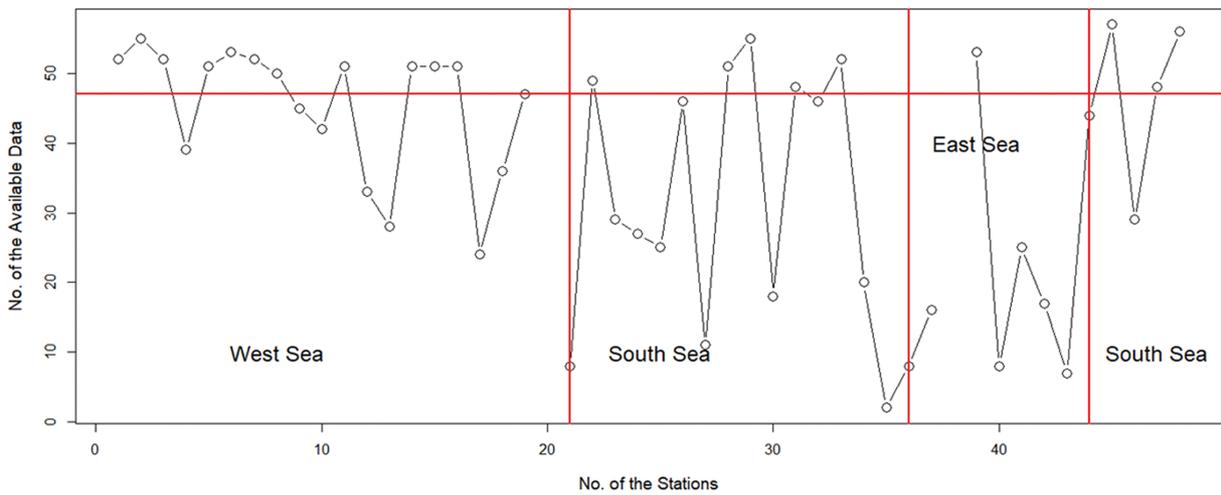


Fig. 3. Available data numbers of the MSL data at each station.

상당한 제약이 따른다. 따라서 본 연구에서는 상관분석에 사용한 두 지점의 공동 기간 자료개수를 12개로 선정하여 상관분석을 수행하였다. 최소 자료의 개수를 12개로 제한한 이유는 추정 상관계수의 신뢰구간(오차범위)을 적절한 범위로 제한하고, 작은 표본(*small sample*)의 자료 개수 추천기준을 반영한 것이다. 신뢰구간 또는 오차구간은 이론적으로 자료의 표준편차가 일정한 경우, 추정에 사용되는 자료의 개수(*n*)가 증가하면  $1/\sqrt{n}$  비율로 감소한다.

### 3. 결과 및 토론

#### 3.1 상관계수 분석

두 지점 사이의 상관 계수 추정이 가능한 조합에서 자료 개수 12개 이상 조건을 만족하는 304개 경우에 대한 상관계수

는 다음 그림과 같다(Fig. 4 참조). 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 약 10개(3% 정도)는 음의 상관을 보이고 있으나, 전체적으로는 0.5 이상의 수치를 보이고 있다. 상관계수 자료의 빈도분포를 보면 상관계수 0.5 이상이 75% 정도를 차지하고 있다(Fig. 5 참조). 추정 상관계수의 신뢰구간은 변동성 분과 자료개수의 영향을 받아 조합에 따라 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다(Fig. 6 참고).

상관계수의 신뢰구간 추정에 영향을 미치는 또 하나의 중요한 인자는 자료에 따라 차이를 보이지만, 자료에 포함되어 있는 소수의 이상자료이다. 이 이상자료는 MSL 자료의 품질 검정 과정에서 면밀한 검토와 적절한 처리가 요구된다. 본 연구에서는 Rosner 방법을 이용하여 이상자료를 진단하여 분석하였으며, 그 이상자료가 특정 지점의 자료에 국한되거나 특정시기로 제한(대산, 2003; 진도, 2006; 여수, 1980; 도농탄,

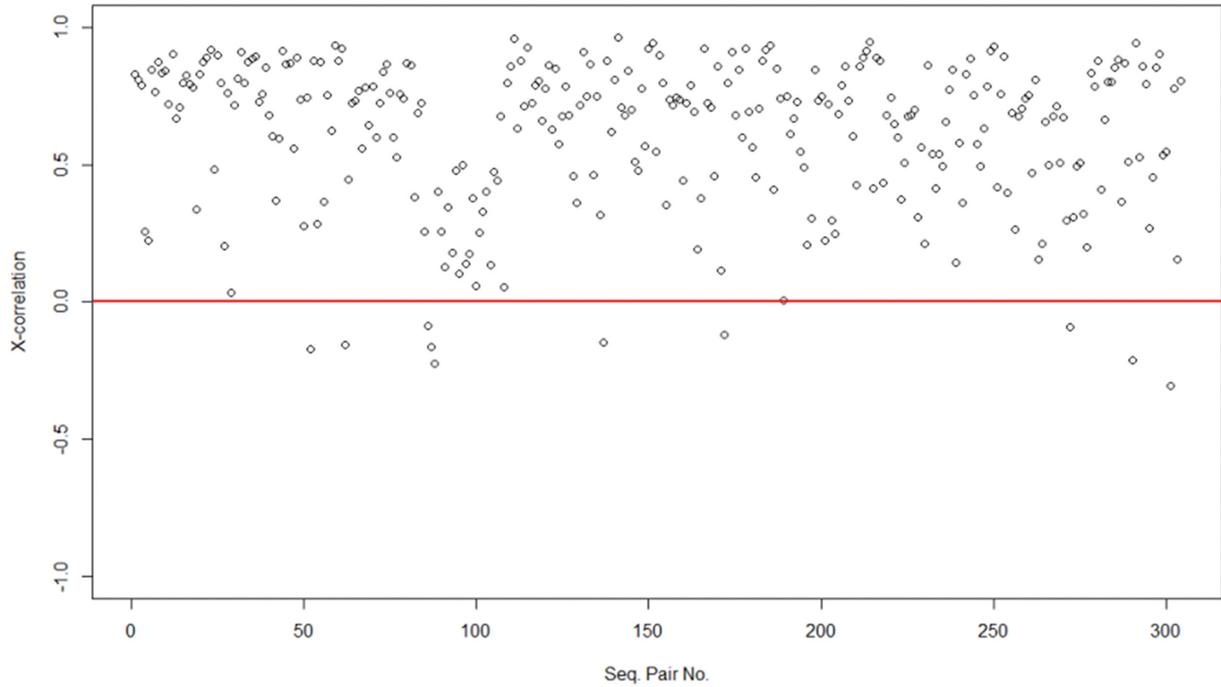


Fig. 4. Correlation coefficients between the two available stations.

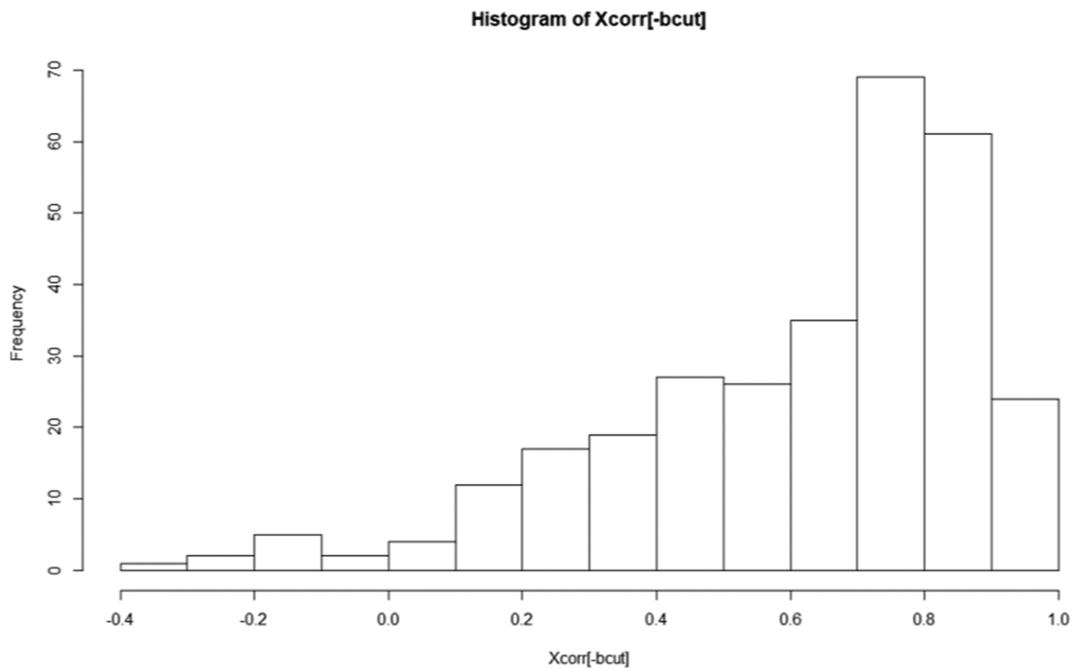


Fig. 5. Histogram of the correlation coefficients.

2014, 2015; 흑산도, 1968 등)되어 있는 것으로 파악되었다. 따라서 전체적인 MSL 분석 및 본 논문의 핵심주제에 해당하는 공간 상관계수 분석에서는 이상자료가 차지하는 비율이 매우 낮아 그 영향은 미미한 수준이다.

아래 그림(Figs. 7~8)은 자료 개수에 따른 신뢰구간과 상관계수 변화를 도시한 그림이다. 그림(Fig. 7)에서 볼 수 있는 바와 같이 자료의 개수 증가에 따라 신뢰구간의 크기가 감소(높은 신뢰수준)하는 일반적인 경향을 보이고 있으나, 자료의

개수가 20개 이하인 경우에는 크고 작은 신뢰구간의 크기가 발생하고 있는 것으로 보아, 소수 자료의 변화 양상에 크게 영향을 받는 것으로 판단된다. 한편 다음 그림(Fig. 8)에서 보이는 바와 같이, 12개 이하의 작은 개수의 자료에서 낮은 상관계수를 보이거나 30개 이상의 다수 자료에서 낮은 상관계수를 보이는 결과는 특정 자료(이상자료)의 영향으로 파악되었다. 이러한 영향은 상관분석에 사용한 자료의 원시자료의 검토 및 적절한 처리, 품질 관리가 요구된다.

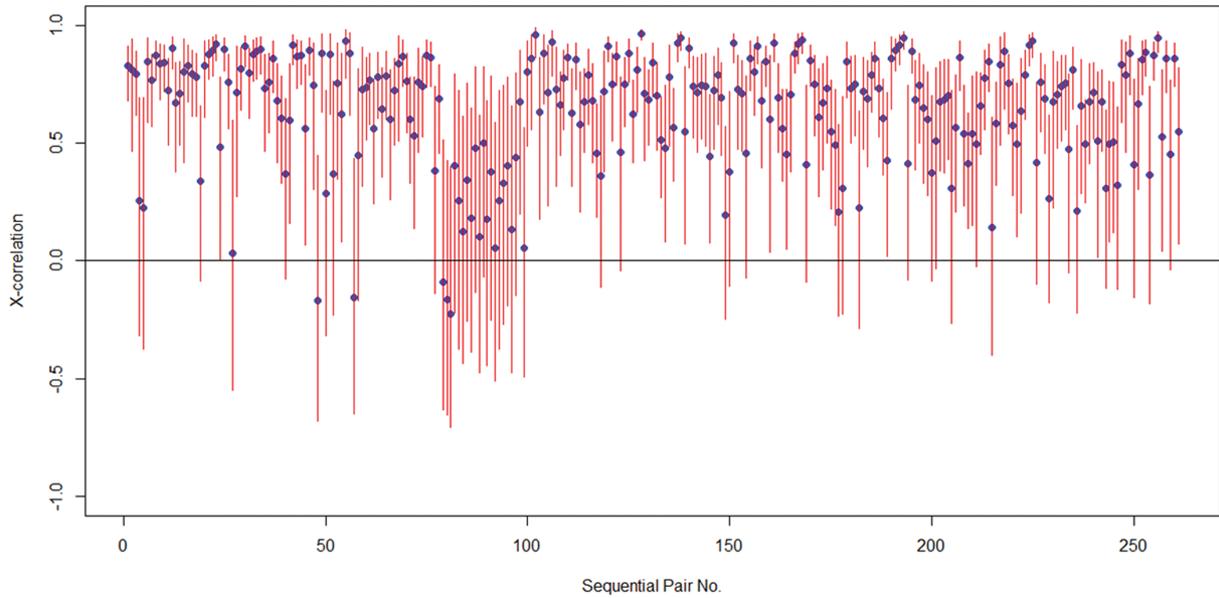


Fig. 6. Correlation coefficients (blue circle symbols) and their confidence intervals (vertical red lines of the lower and upper limits).

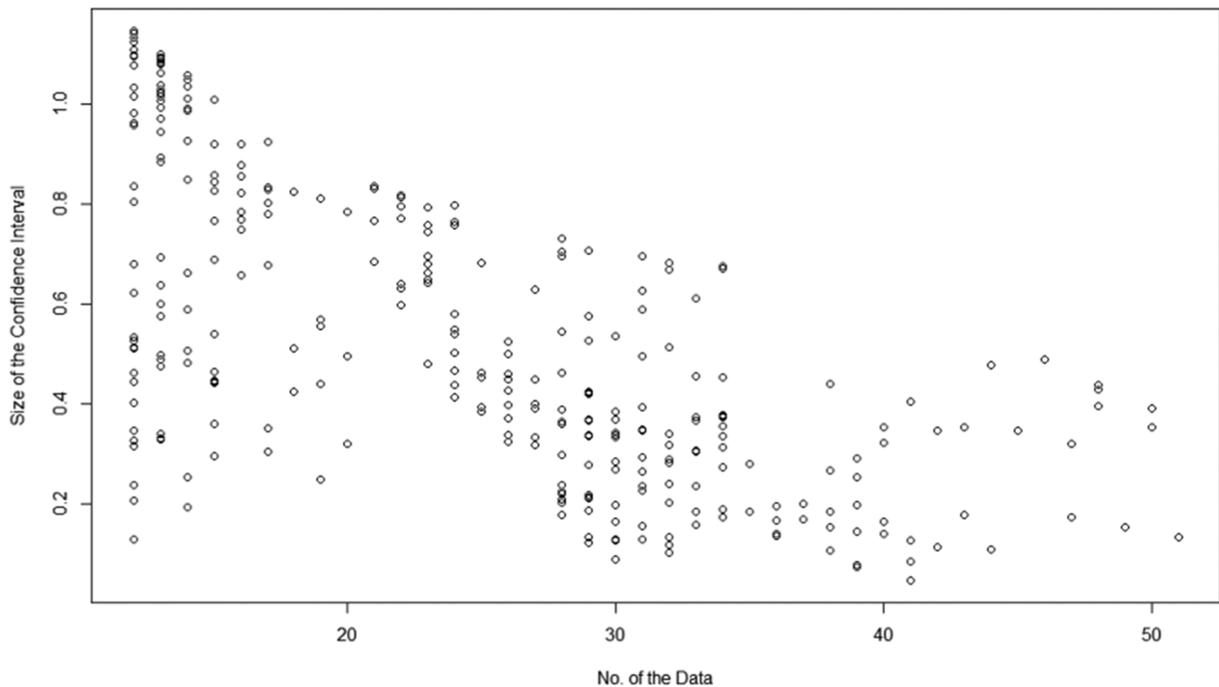


Fig. 7. Confidence interval ranges by the no. of the data.

### 3.2 공간 상관관계 분석

지점간의 상관계수 및 신뢰분석에 더불어 지점간의 거리를 고려한 공간 상관관계를 분석하였다. 해수면 변화가 광역적인 현상이라면 거리에 따른 공간 상관계수의 뚜렷한 변화를 기대할 수 없다. 이러한 가정에서 보면, 우리나라에서의 거리에 따른 MSL 자료의 상관계수는 거리에 무관한 광역적인 형상으로 파악된다. 이는 MSL 장기 변화가 국지적으로는 일시적인 해안개발 영향 및 지역적인 특성을 반영할 수도 있으나, 전반적으로는 거리와 무관하게 그리고 해역 특성까지 무

관하게 0.8 정도 수준의 높은 상관정도를 보이고 있는 것으로 파악되었으며, 이는 한반도 공간 규모의 광역적인 현상임을 자료로부터 확인할 수 있다(Fig. 9). 그러나 우리나라 연안의 정량적인 MSL 변화는 지역적 특성이 매우 강하게 나타날 수 있다. 역시 소수의 특이한 자료는 적절한 해석보다는 원시자료의 품질 검정이 수행되어야 할 것으로 판단된다. 특정 지점의 정량적인 MSL 변화 양상은 공간적으로 정도나 양상의 차이를 보일 수가 있으나, 본 연구에서는 정성적인 분석으로 제한하였으며, 선형 관계로 분석이 제한되는 한계를

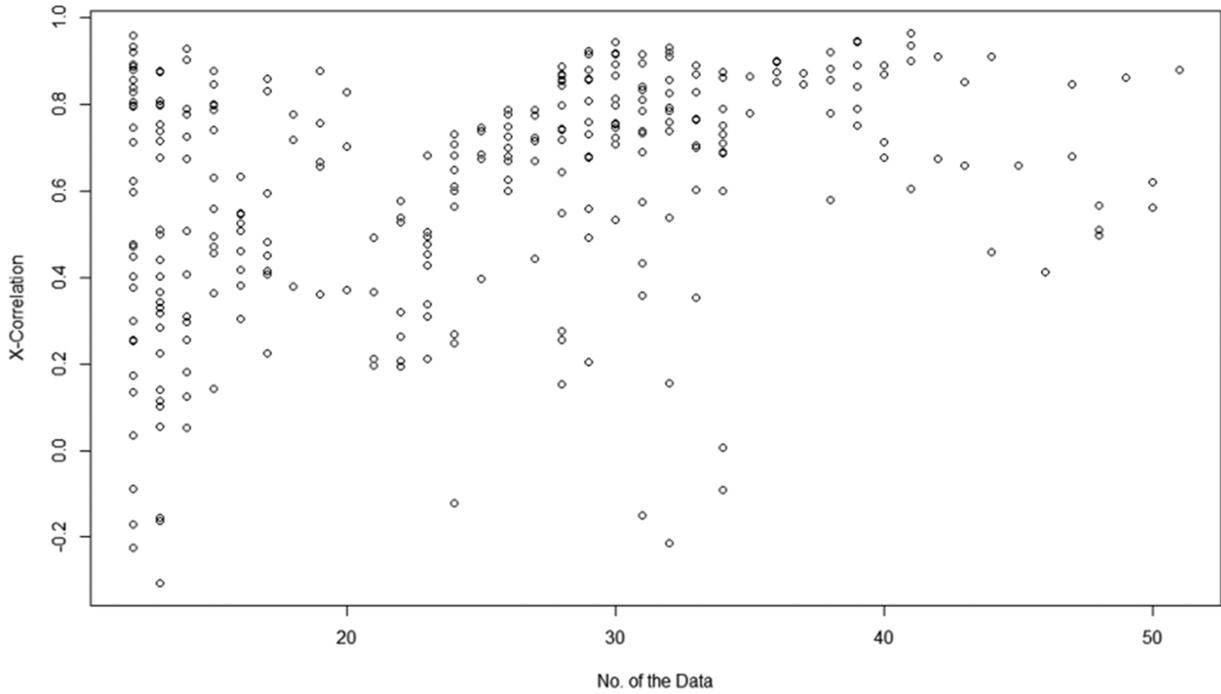


Fig. 8. Correlation coefficients change by the no. of the data.

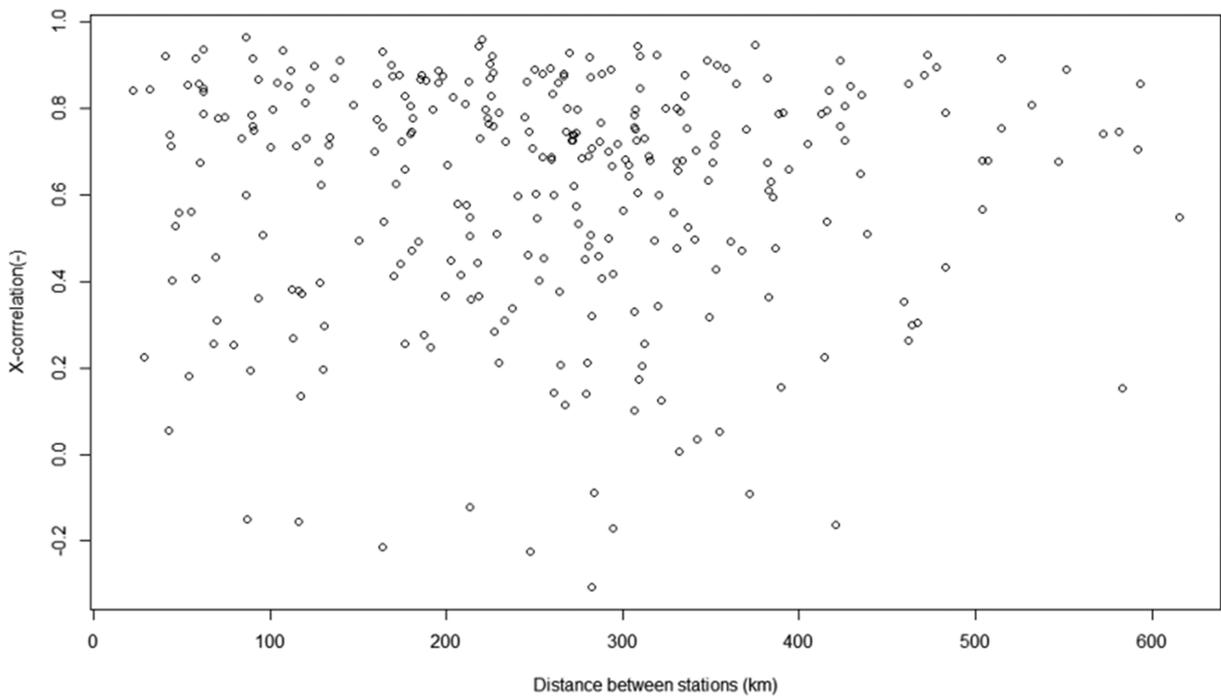


Fig. 9. Correlation coefficients by the distance between each station.

가지고 있다.

### 3.3 MSL 자료의 변화양상 분석

48개 검조소 자료의 평균해면 변화 양상을 분석한 결과는 Fig. 10에 도시하였다. 일반적으로 평균해수면의 변화 양상은 선형 추세변화를 가정하여 수행하고 있으며, 해수면 변화 정도는 연간 mm 단위로 제시하는 경우가 일반적이다. 그러나

우리나라 모든 검조소의 평균해수면 변화양상을 도시한 결과를 살펴보면, Jung(2014)도 이미 보고한 바와 같이 선형 추세 가정을 벗어나는 경우(21, 48 - 서귀포, 포함) 또는 변동이 크게 나타나는 자료가 빈번하게 발생하고 있음을 알 수 있다. 따라서 조위관측소간의 평균해수면 변화 상관관계 분석을 비선형의 경우로 확장하는 연구가 필요하며, 비모수적인 방법을 이용한 방법도 수행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

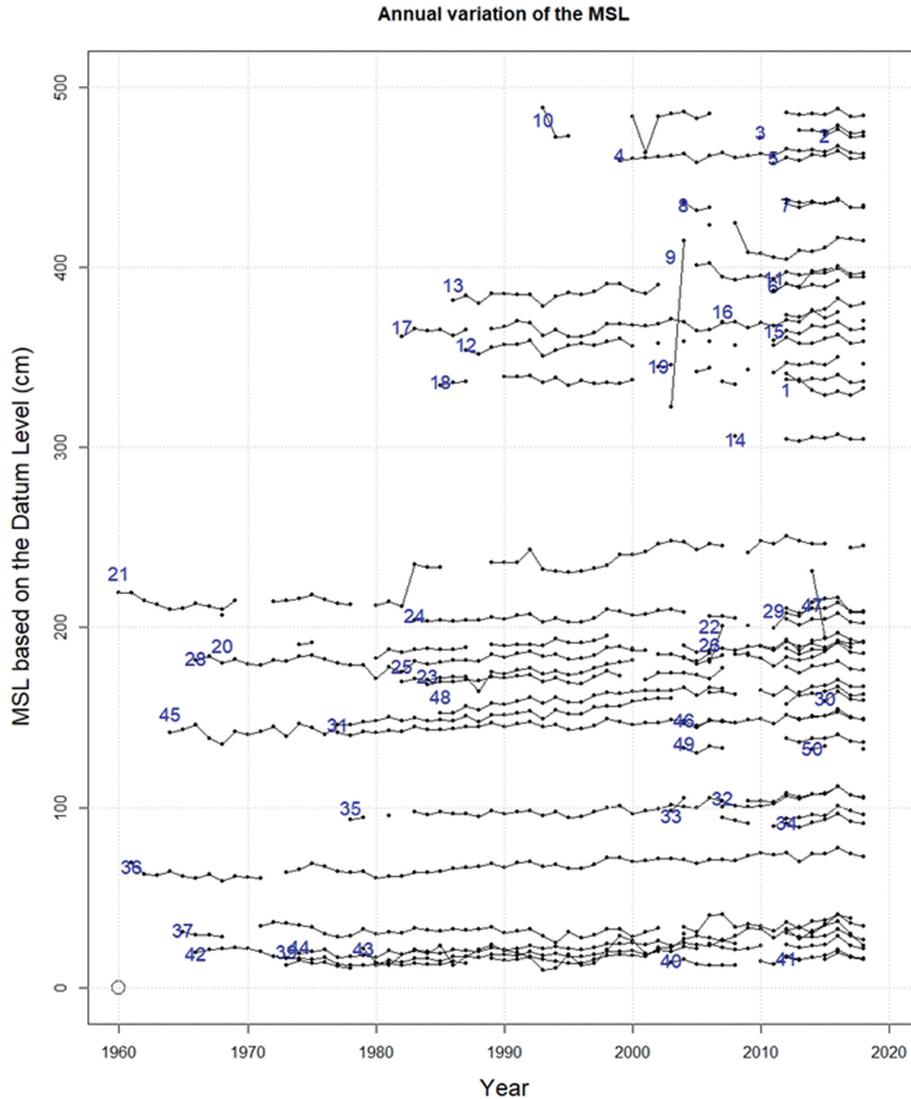


Fig. 10. Annual MSL change pattern of the all tidal gauging stations in Korea (The numbers shown in this figure are same of the tidal gauging station numbers assigned in the Table 1.).

#### 4. 결론 및 제언

우리나라 조위 관측소의 연평균 해수면 변화 자료를 이용하여 상관분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론이 도출되었다.

- (1) 지점별로 상관계수는 0.75 이상이 대부분을 차지하는 높은 수준으로 파악되었다.
- (2) 추정 상관계수의 신뢰구간 크기는 전반적으로 자료의 개수 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고 있는 것으로 파악되었다.
- (3) 두 검조소간의 상관계수는 거리와 무관하게 0.8 정도의 높은 상관정도를 보이고 있는 것으로 파악되었으며, 이는 해수면 변화가 한반도 공간 규모의 광역적인 현상임을 자료로부터 파악이 가능함을 입증하였다.
- (4) 조위 관측소의 MSL 변화 양상은 뚜렷한 선형 증가/감소 추세를 보이지 않는 자료가 적지 않은 부분을 차지하고 있기 때문에, 선형 추세 가정에 한계가 있는 것으로 판단된다.

또한 MSL 변화 자료를 이용한 상관계수 추정 및 추세분석 결과는 인접한 조위 관측소와 높은 상관을 보이고 있기 때문에, 다른 인접한 관심 지점의 MSL 변화 자료가 없거나 단기 관측 자료만이 가능한 상황에서도 상관분석 결과를 이용한 해수면 변화 양상의 적절한 추정이 가능할 것으로 판단되나, 가용 자료의 한계로 인한 불확실한 변동성분을 고려한 정량적인 오차분석이 병행되어야 한다.

#### 감사의 글

본 논문은 2019학년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

#### References

Cho, H. Y., Ko, D. H. and Jeong, S. T. (2011). Missing pattern of

- the tidal elevation data in Korean coasts. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 23(6), 496-501 (in Korean).
- Heo, T. K., Kim, Y., Boo, K. O., Byun, Y. H. and Cho, C. (2018). Future Sea level projections over the Seas Around Korea from CMIP5 simulations. *Atmosphere*, 28(1), 25-35 (in Korean).
- Hwang, D. H., Yoon, H. J. and Seo, W. C. (2016). Study on Sea level changes in Korean peninsula by using satellite altimetry data. *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, 11(3), 325-330 (in Korean).
- Harker, A., Green, J. A., Schindelegger, M. and Wilmes, S. B. (2019). The impact of sea-level rise on tidal characteristics around Australia. *Ocean Science*, 15(1), 147-159.
- Jung, T. S. and Jeong, J. K. (2013). Spatial distribution and time variation of M 2 tide and M 4 tide in the western coast of Korea. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 25(4), 255-265 (in Korean).
- Jung, T. S. (2014). Change of mean sea level due to coastal development and climate change in the western coast of Korean peninsula. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 26(3), 120-130 (in Korean).
- Kim, Y. T., Uranchimeg, S., Kwon, H. H. and Hwang, K. N. (2016). Hierarchical bayesian model based nonstationary frequency analysis for extreme Sea level. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 28(1), 34-43 (in Korean).
- Lim, C. W., Park, S. H., Kim, D. Y., Woo, S. B. and Kim, S. E. (2017). Analysis on the long-term MSL increasing trend estimation methods using tidal elevation data, of the Korean coastal waters, *Proc. of the Autumn Meeting of Korean Meteorological Society*, 481-484 (in Korean).
- Wahl, T., Jensen, J. and Frank, T. (2010). On analysing sea level rise in the German Bight since 1844. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(2), 171-179.
- Yoon, J. J. and Kim, S. I. (2012). Analysis of long period sea level variation on tidal station around the Korea peninsula. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(3), 299-306 (in Korean).
- 
- Received 10 December, 2019  
Revised 28 January, 2020  
Accepted 21 February, 2020