

해안개발과 기후변화로 인한 서해 연안해역의 평균해수면 변화 Change of Mean Sea Level due to Coastal Development and Climate Change in the Western Coast of Korean Peninsula

정태성*
Tae Sung Jung*

요지 : 서해 연안해역과 제주에서 국립해양조사원이 관측한 기왕의 조위자료를 분석하여 평균해수면을 산출하고, 그 변화추세와 원인을 고찰하였다. 서해안에서 그 동안 진행된 대규모 해안개발사업이 평균해수면을 변화시켰다는 것을 확인할 수 있었으며, 그 영향을 추정하였다. 해안개발로 인한 평균해수면 변화는 지역에 따라 큰 차이를 보였으며, 인천항 1단계 개발로 6.8 cm가 하락한 것을 제외하고는 해안개발로 인해서 평균해수면이 대체로 상승하였으며, 금강하구둑 개발로 인해서 인접한 군산내항에서는 평균해수면이 38 cm가 상승하였다. 또한 해안개발로 인한 해수면 변화량을 보정한 평균해수면 자료를 회귀분석하여 해안개발 이외의 요인 즉 자연적 요인으로 인한 해수면 상승률을 추정하였다. 서해안에서 평균해수면은 지구온난화 등의 자연적인 요인으로 인하여 연평균 1.1~4.4 mm/year가 상승하였으며, 지역적으로 편차가 커서 남부해역에서는 크고, 북부해역에서는 작았다. 제주에서는 해수온도의 상승과 평균해수면 상승과 서로 밀접한 관계가 있어서 수온이 1°C 상승하면, 평균해수면은 약 6 mm가 상승하였다. 서해안에서 평균해수면은 대체로 1980년대 중반이전에 비해서 1980년대 중반이후에 급격하게 상승하는 경향을 보였다.

핵심용어 : 평균해수면, 서해안, 해수면 상승, 해안개발, 지구온난화

Abstract : Change of mean sea level in the western coast of Korean peninsula was estimated with the observed tide data of the KHOA. The cause of the change was investigated. Mean sea levels in the western coast have been changed due to coastal development projects in the coastal zone. The estimated variations, which are significantly different regionally, vary from -6.8 cm in Incheon to 38 cm in Gunsan. The changing rate of mean sea level occurred by natural factors such as global warming varies from 1.1 mm/year in the north to 4.4 mm/year in the south of western coast of Korean peninsula. In Jeju, sea level rise and rise of sea temperature showed a close relationship. Water temperature rise of one degree increases mean sea level to 0.6 mm in Jeju. Rising rate of mean sea level has increased rapidly after the mid-1980s.

Keywords : Mean Sea Level, Western coast of Korean peninsula, Sea level rise, Coastal development, Global warming

1. 서 론

서해연안은 수심이 얇고 해안선이 복잡하여 간척사업이 매우 활발하게 진행되어 왔다(Table. 1; Yun, 1999; Sunwoo, 1996). 군사적인 이유로 개발되지 않은 한강을 제외하고는 서해로 유입되는 하천과 수심이 얇은 조간대의 대부분이 하구둑과 방조제로 막혀있다. 이로 인해서 조간대의 면적이 크게 감소하였다. 국립해양조사원(KHOA, Korea Hydrographic and Oceanographic Administration)의 조석 관측결과와 연구자들의 조석 수치모델링 결과에 의하면, 개발로 인해서 조석특성이 변화하였으며(Kang et al., 2013; Jo et al., 1998; Min et al., 2011), 조석의 비선형성과 비대칭성이 심화되었다(Jung and

Jeong, 2013; Jung, 2011; Kang, 1996). 조석의 비선형 및 비대칭 특성의 변화는 창조류와 낙조류의 비대칭성을 유발하여 하천으로부터 연안해역으로 유입된 퇴적물 이동과 유입된 오염물질의 외해수와의 혼합과 확산에 영향을 미치며, 궁극적으로는 해양생태계의 변화에 영향을 미치게 된다(Moore et al., 2009). 최근에는 지구온난화로 인해서 전지구적으로 해수면이 상승하고 있으며, 우리나라 주변해역에서도 전반적으로 해수면이 상승하고 있다(Yoon and Kim, 2012; Kang et al., 2005). 국립해양조사원의 조위자료 분석결과(KHOA, 2011)에 의하면, 우리나라 주변해역에서 해수면 상승률은 2010년 말까지 연평균 2.48 mm가 상승하였으며, 해역별로는 동해 2.12 mm/year, 남해 3.17 mm/year, 서해 1.36 mm/year로 나타나 서해에서는

*한남대학교 건설시스템공학과 교수(Corresponding author: Tae Sung Jung, Department of Civil & Environmental Engineering, Hannam University, Daejeon, 306-791, Korea, Tel: +82-42-629-7931, Fax: +82-42-629-8306, jungts@hnu.kr)

해수면 상승이 작게 발생하고 있으며, 제주부근에서는 5.81 mm/year로 크게 나타나고 있다. 해수면 상승으로 인해서 군산해역과 목포해역에서는 하구둑과 방조제 건설 후에 침수피해가 증가한 것으로 알려져 있으며, 주요 피해요인은 해안개발과 지구온난화로 인한 평균해수면의 상승과 조차의 증가, 해수면 상승으로 인한 내수배제의 불량 그리고 최근에는 강도가 커지고 빈도가 증가하고 있는 태풍 등이다 (Korea Maritime Institute, 2012). 이와 같이 서해연안에서는 다양한 요인에 의하여 평균해수면의 상승과 조석변화로 인해서 해안재해가 증가하고 있어서 해수면 상승요인에 대한 분석과 장래 해수면 변화의 정확한 예측에 대한 필요성이 증대되고 있다. 서해안과 같이 대규모의 해안개발이 진행된 지역에서는 지구온난화와 같은 자연적인 요인뿐만 아니라 인위적인 요인으로 인한 해수면 상승이 발생할 수 있으며, 인위적인 부분을 평균해수면 관측자료에서 제거하여야 기후변화와 같은 자연적 요인만으로 인한 장래 해수면상승량을 회귀분석을 사용해서 정확하게 추정할 수 있다. Kang et al.(2005)은 2003년까지 관측된 군산과 목포에서 평균해수면 관측자료에서 해안개발로 인한 영향을 파악하기 위하여 개발 전과 후의 해수면 상승률이 같을 것이라는 가정 하에 임의로 가정한 평균해수면 상승률을 사용해서 개발전후 조위자료의 차이를 보정하고, 선형회귀분석에서 상관성이 가장 높게 나는 보정 값을 개발로 인한 평균해수면 상승률로 추산하였다. 그러나 서해안에서 조위관측자료를 분석한 국립해양조사원의 연구결과에 의하면, 우리나라 해안의 해수면 상승률은 항상 일정한 값이 아니라 변화하고 있다(KHOA, 2011). Kang et al.(2005)의 관측된 전체기간에 대해서 해수면 상승률이 일정하다고 보고 개발후의 값에서 일정한 값을 제거하여 선형회귀분석을 한 후에 오차가 최소가 되는 값을 개발로 인한 영향으로 평가하는 방법은 개발 전후의 해수면상승률 변화를 제대로 고려하지 못하는 문제점이 있으며, 해안개발 공사기간에 발생하는 불규칙한 조위변화를 포함해서 분석한 것은 개발로 인한 영향을 정확하게 추정하지 못할 수 있다. 또한 해안개발로 인한 영향은 제거하지 않고 단순히 선형 회귀분석식을 사용해서 평균해수면 변화율을 추정하는 방법(Yoon and Kim, 2012; KHOA, 2011)은 개발의 영향이 큰 곳에서는 자연적인 요인 만에 의한 해수면변화량을 정확하게 추정할 수 없다.

본 연구에서는 2012년도까지 서해안(제주포함)에 위치한 국립해양조사원 조석관측소(Fig. 1)에서 관측한 조석자료를 분석하여 장기자료가 있는 지점에서 평균해수면(MSL, Mean Sea Level) 변화에 대해서 조사하고, 해안개발(인위적인 요인)과 지구온난화 등(자연적인 요인)으로 인한 평균해수면 변화를 분리하여, 자연적 요인만으로 인한 해수면변동률을 추정하였다. 자연적 요인으로 인한 해수면상승률 추정에서는 분석기간에 따라 달라지는 해수면상승률을 고려하고, 해안개발동안의 급격한 변동으로 인한 불확실성을 제거하기 위해서 해안개발 전과 해안개발 준공 후의 자료만을 사용하여 각각 추세선을 구

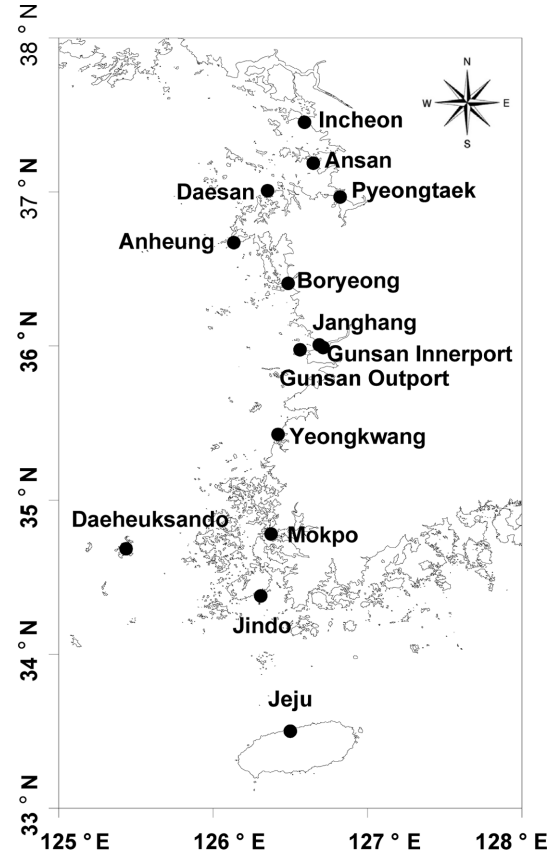


Fig. 1. KHOA's stations for tide observation

하였으며, 개발기간 동안의 자료는 분석에서 제외하였다. 개발전과 후에 대해서 구한 각각의 선형회귀식을 이용하여 해안개발 종료시점의 평균해수면을 구한 후에 그 차이를 가지고 해안개발사업으로 인한 해수면 변동량을 산정하였다. 또한 지구온난화와 해수면 상승과의 관련성에 대해서 검토하기 위하여 자연적인 요인에 의한 해수면 상승과 해수온도 변동과의 관련성에 대해서도 고찰하였다.

2. 서해안에서 평균해수면의 변화

서해안에 위치한 13개 검조소와 제주항 검조소에서 평균해수면의 경년변화를 조사하기 위해서 국립해양조사원(KHOA)이 매시간 관측한 월별 조위자료를 다운받아서 1년 단위로 나눠서 정리하고, 이를 평균하여 평균해수면을 산정하였다. 13개 검조소 중에서 안산, 대산, 장항, 영광, 진도는 관측기간이 짧고 결측이 많아서 경년변화 분석에서 제외하고, 5개 지점을 제외한 9개 지점에서 평균해수면의 경년변화를 분석하였다. 매시간 조위관측결과를 평균하여 얻은 연평균 평균해수면의 경년변화를 보면, 북부해역은 Fig. 2, 중부해역은 Fig. 3, 군산해역은 Fig. 4, 제주를 포함한 남부해역은 Fig. 5와 같다. 이 결과는 인위적인 요인과 자연적인 요인을 모두 포함하는 결과이다. 해안개발사업 전후로 평균해수면이 급격하게 변화하는 모습을 보였으며, 관측지점과 관측기간에 따라서 큰 차

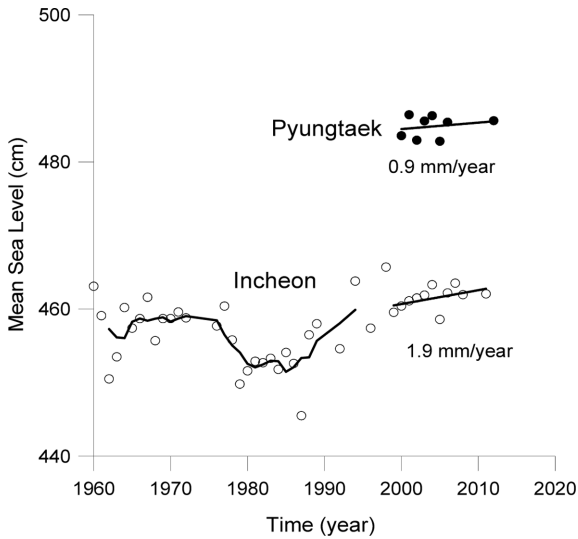


Fig. 2. Yearly variations of mean sea level at Incheon and Pyungtaek.

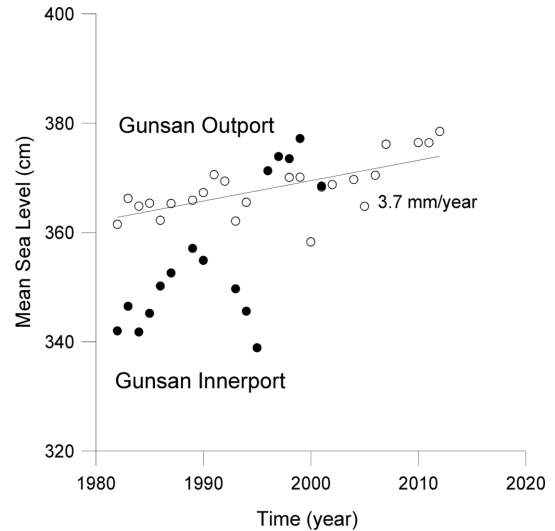


Fig. 4. Yearly variations of mean sea level at Gunsan.

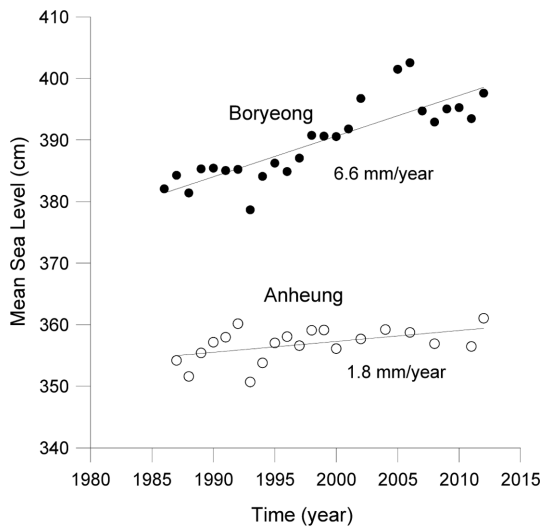


Fig. 3. Yearly variations of mean sea level at Anheung and Boryeong.

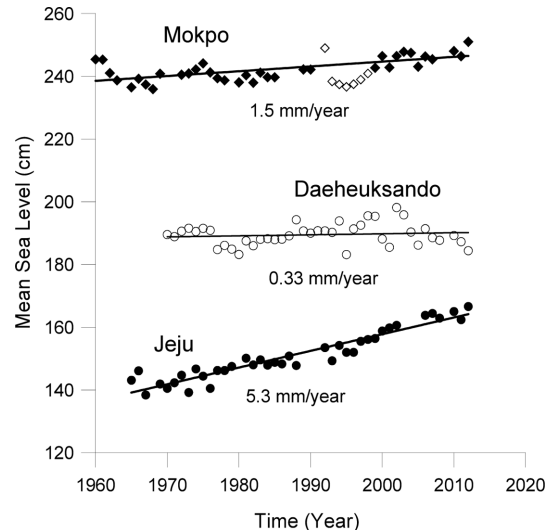


Fig. 5. Yearly variations of mean sea level at Mokpo, Daeheuksando and Jeju.

이를 보이고 있다. 북부에 위치한 인천에서는 2000년 이후 자료를 가지고 추정된 해수면상승률이 1.9 mm/year, 평택에서는 0.9 mm/year이다. 인천검조소는 1998년에 월미도에서 연안부두로 이설하였다. 이설하기 이전의 자료를 보면, 1980년대 중반까지는 하강하다가 그 이후로는 빠르게 상승하는 모습을 보이고 있다. 이 기간 동안 인천해역에서는 1973년부터 1985년까지 인천항개발사업이 진행되었고, 1992년부터 2000년까지 인천신공항을 개발하기 위하여 영종도간척사업이 진행되었다. 따라서 인천항개발사업의 영향으로 평균해수면이 하강하였고, 영종도간척사업은 평균해수면을 상승시켰다고 추정된다. 평균해수면 상승률이 중부에 위치한 보령에서는 6.6 mm/year, 안흥에서는 1.8 mm/year, 군산외항에서는 3.7 mm/year, 남부에 위치한 목포에서는 2.3 mm/year, 대흑산도에서는 0.3 mm/year이었고, 제주에서는 5.3 mm/year이었다. 위치에 따라 큰 차이를 보여 서해안에서 평균적인 해수면상승률의 크기를 언급

하기 매우 어렵다. 대흑산도를 제외하면, 전반적으로 북부에서는 작고 남부에서는 크게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 해수면상승률의 지역적인 차이의 원인을 살펴보기 위하여 서해안에서 그동안 진행되어온 해안개발 현황과 수온변화를 살펴보았다. 평균해수면 변화와 해안개발의 관련성을 검토하였으며, 이를 토대로 지구온난화 등의 자연적인 요인에 의한 평균적인 상승률을 산출하고, 장래 해수면 상승을 예측하였다.

3. 해안개발로 인한 평균해수면의 변화

서해 연안은 해안개발 즉 간척과 매립 및 하구둑 건설 등으로 인하여 해안선이 단순화되어 길이가 감소하고, 연안해역의 면적이 줄어들면서 조석특성이 변화하여 왔다(Jo et al., 1998). 연안개발에 의해서 일반적으로 반일주조의 진폭은 감소하고, 위상은 빨라져 왔다(Jung and Jeong, 2013; Choi and Kang,

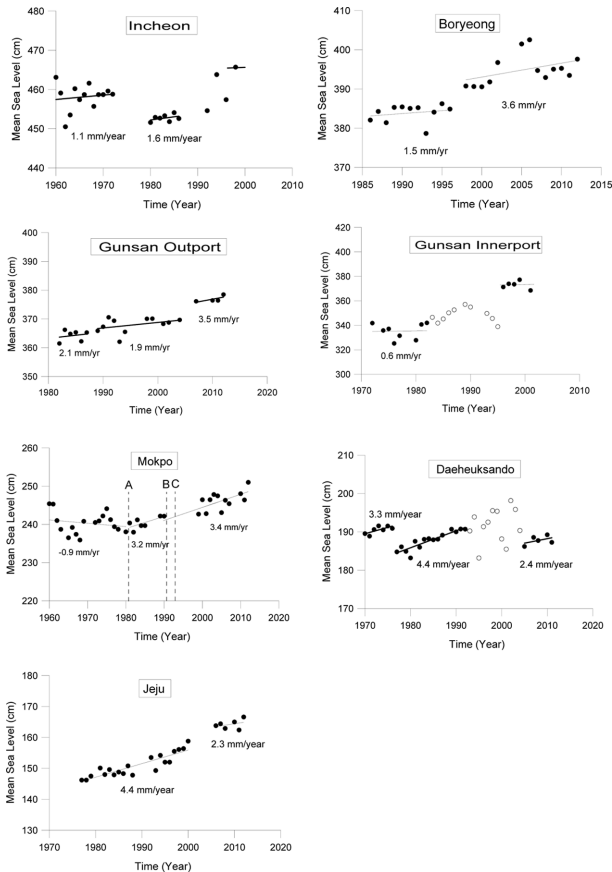


Fig. 6. Estimation of mean sea level changes due to coastal development.

1990; Koo, 1998). 본 연구에서는 지구온난화로 인한 해수온도의 상승으로 인해 해수가 팽창하고, 빙하가 녹아서 해수의 양이 증가하는 등의 자연적인 요인에 의해서 해수면이 상승하는 효과만을 알아보기 위해서 연안개발 즉 인위적 요인에 따른 평균해수면의 변화량을 추정하였다. 우리나라 인근해역에서 해수면상승에 대한 대부분 기존 연구들은 해안개발에 따른 평균해수면의 상승을 제거하지 않고 단순히 조위 관측자료로부터 평균해수면 상승량을 추정함으로써 인하여(KHOA, 2011; Yoo and Kim, 2012; Kang et al., 2005), 지구온난화로 인한 영향을 실제와 다르게 추정했을 가능성이 있다. 새만금방조제 준공 이후로 대규모 연안개발이 서해안에서 거의 추진되지 않고 있으며, 환경과피문제로 인하여 앞으로 추진될 가능성도 매우 적다. 따라서 현재시점에서 장래의 해수면 상승량을 정확하게 추정하기 위해서는 과거 자료로부터 인위적인 요인 즉 해안개발로 인한 해수면 상승분을 제외한 부분만을 고려하여 해수면 상승률을 추정하고, 이를 기초로 장래 해수면 상승량을 추정하는 것이 보다 타당하다고 하겠다. 해안개발로 인한 영향을 추정하기 위하여 다양한 방법이 사용될 수 있다. 개발 이전과 이후의 평균해수면을 평균하여 그 차이를 가지고 해안개발로 인한 평균해수면 변동량을 단순하게 추정하는 방법은 간편성으로 인하여 널리 사용되고 있으나 지구온난화 등에 의한 해수면상승률의 경년변화를 정확하게 고려하지 못하는 문제점이 있다. Kang et

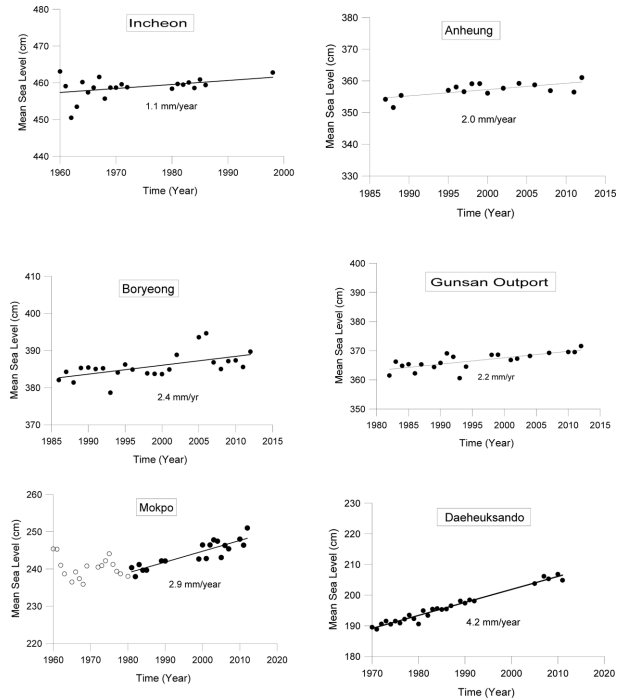


Fig. 7. Mean sea level changes due to climate change.

al.(2005)의 연구에서와 같이 개발로 인한 변동량을 가정하여 개발 후의 평균해수면에서 제거한 후에 선형회귀분석을 반복적으로 한 후에 회귀분석식과 관측 값의 오차가 최소가 되는 임의 변동량을 구하고, 이 값을 개발로 인한 영향으로 추정하는 방법을 사용할 수 있다. 그러나 이 방법은 전 분석기간의 해수면 상승률이 일정한 경우는 효과적일 수 있으나, 해수면상승률이 가속화되거나 해안개발 등으로 인해서 해수면 변화률이 달라지는 지점에서는 오차를 야기할 수 있다. 본 연구에서는 개발이전의 평균해수면의 추세선을 선형회귀분석을 사용해서 구한 후에 개발 종료년도의 평균해수면을 추정하고, 개발이후의 자료를 사용하여 평균해수면의 추세선을 구한 후에 개발 종료년도의 평균해수면을 추정한 후에 그 차이를 가지고 개발로 인한 평균해수면의 변동량을 추정하였다. 제주항의 연평균해수면 관측 자료를 보면, 1970년대 이후로 꾸준히 상승하고 있으며, 나머지 지역도 해안개발기간 동안의 급격한 변동을 제외하면 꾸준히 상승하는 양상을 보이고 있어서 선형회귀분석식을 이용하는 방법의 적용이 가능하다고 판단하였다. 또한 분석에 사용한 기간 동안에 인접국가인 일본 해안에서도 우리나라와 같이 꾸준히 상승하는 양상을 보였다(Ishii, 2006). 그러나 평균해수면의 상승양상은 지역에 따라 크게 다르다(Haigh, 2009). 외국에서 장기 조위자료를 10년 주기로 나눠서 분석할 결과에 의하면, 분석기간별로 상당히 다르게 변화하는 양상을 보이고 있다. 분석기간에 따른 차이는 주로 기상요인에 의한 것으로 기압변동과 바람자료 등을 사용해서 보정하면, 분석기간별 상승률의 차이는 크지 않다(Pugh, 1987). 따라서 기상요인으로 인하여 연평균해수면이 크게 변하는 지역에서는 매년 상승률이 크게 변화하지 않는다고 가정한 본 연구에서 사용한 방법의 적

Table 1. Summary of coastal development projects and mean sea level changes due to coastal development projects in the western coast of South Korea

Name of project	Date of completion (year & month)	Length (km)	Change of Mean Sea Level (cm)	Location of observation	Remark
Incheon Harbor	1978 1985		-6.8 -	Incheon	1973-1978 (1st stage) 1981-1985 (2nd stage)
Youngjong Island	2000		+9.7	Incheon	Reclamation for Incheon Airport
Sihwa Dike	1994. 1	12.7			
Hwaong Dike	2003. 3	9.8			
Pyeongtaek-Dangjin Harbor	under construction				
Asan Dike	1973. 2	2.6			
Sapkyo Dike	1978. 3	3.4			
Sukmoon Dike	1991.11	10.6			
Daeho Dike	1983. 1	7.8			
Seosan Dike	1984. 2	A(6.5) B(1.2)			
Boryeong Dike	1997.11	1.1	+7.9	Boryeong	
Keum River Estuary Dam	1988. 2	1.8	+1.5 +38	Gunsan Outport Gunsan Innerport	
Saemangeum Dike	2006. 4	33.9	+5.4	Gunsan Outport	
Youngsan River Estuary Dam	1981. 2	4.4	+0.3	Mokpo	
Youngam Dike	1991. 4	2.2	+0.4	Mokpo	
Keumho Dike	1993. 3	2.1	+0.2	Mokpo	

용이 어려울 것이다. 우리나라의 경우에는 기상요인이 연평균 해수면에 미치는 영향은 크지 않아서, 기압변동에 의한 영향을 보정한 결과와 보정하지 않고 구한 평균해수면 변화율이 거의 같다(KHOA, 2010). 일부 기간의 선형회귀식에는 부족한 자료 수로 인하여 오차를 함유할 가능성이 있다. 그러나 인위적인 요인에 의한 평균해수면 상승량을 제거한 회귀식의 상관성이 Fig. 7에서와 같이 매우 높게 나타나고 있어서, 본 연구에서 사용한 방법은 다소 오차를 포함하고는 있지만 적용성이 있다고 판단된다. 그러나 보다 정확한 평가를 위해서는 무엇보다도 장기적인 자료의 확보가 필수적이며, 시간별 조위자료에서 조석, 해일, 지각변동, 수온변동 등의 영향을 제거하고, 일자료 또는 월자료를 이용해서 분석하는 방법을 사용하는 것이 바람직할 것이다. 또한 충분하고 안정적인 자료가 확보된다면, 이동평균을 사용해서 단기 변동성을 제외한 후에 분석하는 방법(Jensen, 2010)의 적용이 필요할 것이다. 대규모 해안개발로 인한 해수면 변화가 예상되는 지점에 대한 평균해수면 변동량 추정결과(Fig. 6과 Table 1)를 자세히 살펴보면, 다음과 같다.

3.1 북부해역

북부해역에서 조위는 인천항을 제외하고는 최근에 관측이 시작되어, 장기 변동성을 추정할 수 있도록 자료가 축적된 지점이 없다. 따라서 인천항에서 조위관측자료를 토대로 북부해역

의 평균해수면 변화를 조사하였다. 인천해역에는 수차례의 대규모 해안개발이 수행되었다. 1973년부터 1978년까지 1단계 인천항개발사업이 실시되었고, 1981년에서 1985년까지 2단계 개발사업이 실시되었으며, 1992년부터 2000년까지 인천신공항 건설을 위한 영종도 간척사업이 진행되었다. 인천항의 평균해수면 변화를 살펴보면, 1단계 인천항 개발 이전에는 해수면이 거의 변화하지 않았으나 개발과정에서 크게 변화되었으며, 2단계 개발 사업기간에는 거의 변화되지 않았고, 영종도 간척사업기간에는 해수면이 크게 상승하였다. 개발로 인한 영향을 위에서 언급한 방법을 가지고 평균해수면 변동량을 추정해 보면, 인천항 1단계 개발로 6.8 cm가 하강하였으며, 2단계 개발로는 거의 변화하지 않았다(Fig. 6). 영종도 개발이후의 평균해수면으로 1998년의 평균해수면이라고 가정하면, 영종도 개발사업으로 평균해수면이 9.7 cm 상승한 것으로 추정된다. 이 이후의 변화는 검조소가 월미도에서 연안부두로 이설되어, 자료의 연속성이 없어서 평가할 수 없었다. 해수면 상승률은 인천항 개발이전에는 1.1 mm/year, 인천항 2단계 개발기간에는 1.6 mm/year, 연안부두로 이설한 2000년 이후에는 0.9 mm/year가 상승하였다.

3.2 중부해역

태안반도에 위치한 안흥에서 평균해수면 변화(Fig. 3)는 신진대교 건설기간인 1990년에서 1994년까지 변동성이 매우 크게

나타나고 있다. 신진대교 건설기간 동안의 급격한 평균해수면 변화의 경향을 찾기는 어려운 것으로 보아서, 신진대교의 건설은 건설기간동안에 가호안 건설 등으로 평균해수면의 변동성을 크게 하였으나 해수면상승률과 평균해수면의 변화를 크게 야기하지 않은 것으로 추정된다. 평균해수면의 연평균상승률은 1.8 mm/year로 북부해역 보다는 크고, 남부해역보다는 작았다.

보령에서 평균해수면의 변화에 영향을 준만한 대규모 개발 사업은 1997년 11월에 준공한 보령방조제 건설과 1983년부터 준공되어 가동되고 있는 보령화력발전소이다. 1997년도 보령방조제 건설로 인한 영향을 평가하기 위하여 1996년 이전의 자료와 1998년 이후의 자료를 분리하여 분석하였다. 보령방조제 전후기간의 자료를 가지고 구한 회귀분석식을 사용해서 1998년도의 평균해수면을 추정한 결과, 방조제 준공전과 후의 회귀식을 이용한 추정 값이 7.9 cm의 차이를 보였고, 방조제 건설전과 후의 회귀선의 그래프가 불연속적인 모습을 보이는 것으로 보아서 7.9 cm의 대부분이 보령방조제 건설로 인해서 상승한 것을 판단된다. 또한 방조제 건설 이전에는 평균해수면의 상승률이 1.5 mm/year이고, 방조제 건설 이후에는 3.6 mm/year이다. 해수면상승률 증가의 원인은 지구온난화로 인한 해수온도의 증가가 주요 요인일 수 있으나, 보령지역에는 1983년부터 화력발전소가 건설되기 시작하여 2008년까지 8기의 발전소가 준공되었으며, 발전소에서 해수를 냉각수로 사용하고 있어서 수온상승 후에 방류되는 온배수로 인해서 해수온도가 지속적으로 상승했을 가능성이 있다. 보령발전소 건설에 따른 영향을 감안하면, 추정결과는 다소 오차를 내포할 가능성이 있다. 방조제 건설 이후의 평균해수면 상승률 3.6 mm/year는 자연적인 요인에 의한 상승으로 보기에 다소 큰 것으로 보인다. 발전소 가동으로 인한 해수온도의 상승으로 상승률이 일부 증가하였을 가능성이 있다고 판단된다. 앞으로 장기간의 자료가 축적되면 정확한 평가가 가능할 것이다.

군산해역에서 평균해수면의 변화를 살펴보기 위하여 군산외항과 군산내항의 조위관측결과로부터 구한 평균해수면을 분석하였다. 군산 인근해역에서 해안지형을 크게 변화시킨 대규모 개발사업은 1988년 2월에 준공한 금강하구둑 건설과 2006년 4월에 준공된 새만금방조제이다. 금강하구둑 준공 전후와 새만금방조제 준공 전후의 평균해수면에 대한 회귀분석으로부터 얻은 추세선으로부터 군산외항에서 평균해수면 변화를 추정해보면, 평균해수면이 금강하구둑의 건설로 1.5 cm 상승하였으며, 새만금방조제 건설로 5.4 cm가 상승하였다. 새만금방조제에 의한 영향은 방조제 준공후의 자료가 단지 4개에 불과하여 불확실하다. 기간별 평균해수면의 상승률은 금강하구둑 건설 이전에는 2.1 mm/year이며, 이후 새만금방조제 준공전까지는 1.9 mm/year로 큰 차이가 없었으나 새만금방조제 준공 후에는 3.5 mm/year로 크게 증가한 모습을 보였다. 새만금방조제 이후의 결과는 자료길이 짧아서 신뢰성이 높지 않다. 군산외항에 대해서 분석한 방법과 동일한 방법으로 군산내항에서 평균해수면 변화를 추정하였다. 그러나 군산내항에서 관측

된 결과를 보면, 금강하구둑 건설기간동안에 큰 변화를 보이고 있다. 따라서 금강하구둑 건설이전인 1982년 이전의 결과와 준공이후에 수문을 완전히 막은 1996년 이후의 결과를 비교하여, 금강하구둑으로 인한 영향을 추정하였다. 방조제 건설기간에도 해수면은 지구 온난화에 의해서 지속적으로 상승하였을 것으로 추정되며, 개발이외의 요인으로 인한 상승률은 인근에 위치한 군산외항의 평균적인 상승률인 2 mm/year를 적용하였다. 관측자료에 의하면, 금강하구둑 건설이전의 평균해수면 상승률은 0.6 mm/year이다. 금강하구둑 건설이전에 대해서 군산외항하의 추세선을 반영하고, 건설이후에 대해서는 관측된 평균해수면을 평균하는 방법으로 계산한 결과, 금강하구둑 건설로 인해서 평균해수면이 약 38 cm가 상승한 것으로 추정된다. 군산내항 조위관측소가 하구둑과 인접해 있어서 하구둑 건설의 직접적인 영향을 크게 받아서 평균해수면이 크게 변화한 것으로 판단된다.

3.3 남부해역

목포해역에서는 조위관측이 시작된 이래로 3개의 대규모 해안개발사업이 있었다. 1981년 2월에 영산강하구둑이 준공되었으며, 1991년 4월과 1993년 3월에 각각 영암방조제와 금호방조제가 준공되었다. 목포해역에서 개발이 목포항에서 평균해수면의 변화에 끼친 영향을 추정하기 위하여 영산강하구둑 개발이전인 1960년부터 1980년까지의 자료, 1982년부터 1990년까지의 자료, 1999년 이후의 자료로 분리하여 분석하였다. 1991년부터 1998년까지의 자료는 Fig. 5에서와 같이 전후자료와 일관성이 결여되어 있어서 영암방조제와 금호방조제의 개발로 인해서 변동성이 크게 나타나는 기간으로 판단되어, 분석에서 제외하였다. 이러한 급격한 평균해수면의 변화는 방조제 건설로 인하여 인근에서 유입되는 담수의 양의 감소와도 관련된 것으로 추정되며, 정확한 판단을 위해서는 모델링 등을 통한 체계적인 검토가 필요할 것이다. 조위자료를 분석한 연구결과(Jung and Jeong, 2013)를 보면, 방조제 건설로 인하여 1990년 초반에서부터 1990년대 후반까지 M₂ 분조의 위상이 크게 변화하였다. 전체분석기간 동안 목포의 평균해수면 평균상승률은 1.5 mm/year이다(Fig. 5). 해안개발로 인한 영향을 살펴보기 위하여 구간별로 상승률을 분석한 결과(Fig. 6), 1980년 이전에는 평균해수면이 0.9 mm/year로 감소하였으나, 영산강하구둑이 준공된 1981년 이후로는 평균해수면이 3.2 mm/year와 3.4 mm/year로 상승하였다. 1980년도 이전의 감소추세는 실제로 감소하였다기 보다는 자료의 변동성이 매우 큰 것으로 보아 관측방법 또는 관측센서 등의 오류로 발생했을 가능성이 있다. 각각의 개발사업 준공 직후의 평균해수면 변화를 구해 보면, 1980년도 이전자료를 이용해서 회귀분석한 곡선식을 가지고 추정하면 1981년도의 평균해수면이 239.2 cm이고, 이후 자료를 가지고 추정하면 239.5 cm이다. 따라서 영산강하구둑 건설로 인하여 목포항에서 평균해수면이 0.3 cm가 상승한 것으로 추산된다. 영산강하구둑의

건설로 조석 조화상수는 크게 변화하였으나 평균해수면은 거의 변화하지 않았다는 Choi(1984)의 연구결과와도 일치한다. 영암방조제와 금호방조제의 건설로 인해서는 각각 0.4 cm와 0.2 cm가 감소한 것으로 나타났다. 따라서 관측자료의 불확실성을 감안하면, 개발로 인해서 목포항에서 평균해수면은 거의 변화하지 않았다고 할 수 있다. 그러나 평균해수면이 1980년 이전에 비해서 1980년 이후에는 더 빠르게 상승하고 있었으며, 2000년 이후로 상승률은 3.4 mm/year로 전체기간에 대한 평균상승률인 1.5 mm/year 보다 크게 나타났다.

대흑산도에서 평균해수면 변화(Fig. 5)를 보면, 전체기간에 대해서 변화율이 0.33 mm/year로 거의 변화하지 않았다. 자세히 살펴보면, 1970년대 중반부터 1990년대 초반까지는 상승하다가, 2000년대 초반까지는 큰 변동성을 보이고, 그 이후에는 오히려 하강하는 패턴을 보이고 있다. 급격한 변동성을 보인 기간은 새만금방조제의 건설기간(1991~2006년)과 대략적으로 일치하는 것으로 보아 새만금 방조제 건설이 그 변동의 한 요인일 가능성이 있다. 급격한 변동을 보인 기간의 자료를 제외하고, 두 기간을 나누어서 분석해 보면, 1970년대 중반에서 1992년 이전까지의 해수면 상승률은 4.4 mm/year이고, 2004년 이후의 상승률은 2.3 mm/year이다. 1990년대 초반의 4.4 mm/year 라는 상승률은 동기간 제주의 상승률인 4.4 mm/year와 동일하고, 2000년대의 상승률 2.3 mm/year는 제주의 상승률과 정확하게 일치한다. 제주의 결과는 대흑산도와 같은 분석기간을 설정하여 분석한 결과이다. 제주와 비교해 보면, 대흑산도에서 1970년대와 1990년대의 급격한 해수면 변동은 지구온난화가 아닌 다른 요인에 의하여 평균해수면이 하강했을 가능성이 있다. 정확한 요인에 대해서는 지속적인 연구가 필요할 것이다.

제주에서 평균해수면 변화를 보면, 1960년대 중반이후로 현재까지 연평균 5.3 mm/year로 다른 지점에 비해서 해수면이 빠르게 상승하여 왔다. 전체기간을 2000년 이전과 이후로 분리하여 살펴보면, 2000년 이전에는 4.4 mm/year로 빠르게 상승하였으나, 오히려 2000년 이후로는 상승속도가 2.3 mm/year로 감소하는 모습을 보이고 있다. 2000년대 초반의 급격한 평균해수면 변화가 제주외항 건설과 같은 인위적인 개발로 인한 것인지 지각변동과 같은 다른 요인에 의한 것인지는 확실하지 않다. 그러나 급격한 변화가 발생한 기간이 제주외항 방파제 건설기간과 대체로 일치하므로 그 관련성을 자세히 분석할 필요가 있다. 최근에 평균해수면 상승률이 둔화되는 결과는 한반도 인근해역에서 해수면상승률이 지속적으로 증가한다는 기존의 연구결과(KHOA, 2011)와 상반되는 결과로 앞으로 자료가 더 축적되면, 이에 대해서도 지속적인 검토가 필요할 것이다.

4. 기후변화에 의한 평균해수면의 변화

서해안에서 진행되어온 연안개발사업이 평균해수면 변화에 끼친 영향을 검토한 결과에 의하면, 지점별 기간별로 해수면

상승률에 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. 자연적 요인만의 영향을 분석하기 위하여 해안개발에 의한 해수면 변화량을 보정하였다. 급격한 변동성을 보인 이상자료를 제거하고, 평균해수면의 상승률을 재산정한 후에 국립해양조사원의 수온관측결과와 비교하여, 지구온난화로 인한 해수온도 상승과 관련성에 대해서 분석하였다.

인위적 요인을 제거하고 해수면 상승률을 재산정한 결과(Fig. 7), 인천에서는 1.1 mm/year, 안흥에서는 2.0 mm/year, 보령에서는 2.4 mm/year, 군산외항에서는 2.2 mm/year, 목포에서는 2.9 mm/year(1980년 이후 자료), 대흑산도에서는 4.2 mm/year, 제주항 5.3 mm/year로 북에서 남으로 갈수록 해수면 상승률이 증가하는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 국립해양조사원이 인위적인 요인을 제거하지 않고 구한 안흥 1.1 mm/year, 군산 1.7 mm/year, 목포 1.3 mm/year, 대흑산도 1.1 mm/year (KHOA, 2010) 보다 다소 큰 값이다. 목포자료의 분석에서는 1980년 이전 자료의 변동성이 너무 커서 제외하였으며, 대흑산도자료의 분석에서는 1993년이 이후부터 2000년대 초반의 자료가 변동성이 커서 제외하였다. 평균해수면 변동과 지구온난화로 인한 수온상승과의 관련성을 검토하기 위하여 수온변동(Fig. 8)에 대해서 검토하였다.

4.1 북부해역

인천에서 최근 수온 변동을 살펴보면, 최근 10여 년간 0.01°C/year로 감소하는 것으로 나타났으나 그 값이 크지 않아서 관측오차를 감안하면 거의 변화하지 않았다고 볼 수 있다. 그러나 오히려 평균해수면은 크지는 않지만 1.1 mm/year로 상승하였다. 한편 인근에 위치한 평택에서는 수온이

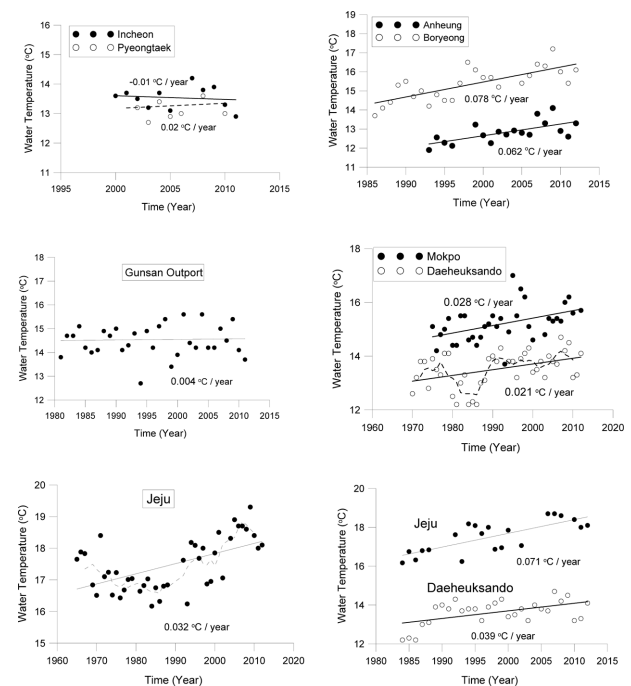


Fig. 8. Changes of water temperature in the western coast of Korean peninsula.

0.02°C/year로 증가하는 경향을 보였으며, 해수면은 0.9 mm/year의 변화율로 상승하였다. 수온변화가 크지 않고, 자료수가 많지 않아서 해수면 상승과 수온변화의 뚜렷한 관련성을 찾기는 매우 어려웠다. 그러나 인천에서 수온이 하강하는 경향을 보인 것은 최근 2년간의 인천 수온이 낮게 나타난 것이 원인으로 보이며, 최근 2년간의 자료를 제외하면 수온상승률이 0.05°C/year로 뚜렷하게 상승하는 것으로 나타났으나 자료의 수가 적어서 경향성을 제대로 파악하기에는 문제가 있다고 판단된다. 보다 장기간의 자료가 축적되면, 수온상승과 해수면상승의 상관성을 보다 정확하게 파악할 수 있을 것이다.

4.2 중부해역

안흥과 보령에서 수온은 지속적으로 상승하여 왔으며, 상승률은 각각 0.062°C/year와 0.078°C/year로 매우 크다. 수온상승률이 큰 보령에서 해수면 상승률이 안흥보다 약간 크게 나타나는 것으로 보아서 해수면 상승은 수온 상승과 관련성이 있는 것으로 보인다. 군산외항의 자료를 참고해서 살펴보면, 군산에서는 수온상승률이 0.01°C/year 미만으로 작았으며, 그림에서와 같이 수온의 변동성이 매우 크게 나타났다. 이는 군산외항에서 수온이 외해에 있는 해수온도의 영향 보다는 금강으로부터 유입되는 담수의 영향으로 수온이 크게 변화하기 때문으로 추정된다.

4.3 남부해역

내만에 위치한 목포해역에서는 수온변화를 보면, 0.028°C/year의 상승률을 보여 꾸준히 상승하였으나 중부에 위치한 안흥과 보령보다는 작게 나타났다. 이는 목포가 내만에 위치하여 외해의 해수온도 변화보다는 인근에 위치한 영산강하구둑과 금호방조제 및 영암방조제로부터 담수 방류의 영향을 크게 받기 때문으로 보인다. 그 근거로는 영산강하구둑 건설과 금호방조제와 영암방조제 건설기간에 수온이 크게 변동하는 것으로부터 추정할 수 있을 것이다. 최근에 빠른 평균해수면 상승의 원인을 찾아보기 위하여 목포항에서 기존에 관측된 해수온도의 변화를 분석하였다. 1975년부터 2012년까지 연평균 0.028°C의 수온이 상승하였으며, 1980년대 이전에는 해수온도의 상승이 뚜렷하지 않았으나 1980년대 중반 이후로 뚜렷하게 수온이 상승하고 있었다. 특히 영암방조제와 금호방조제가 건설된 1990년대에는 연평균수온이 불규칙하게 변화하는 모습을 보이고 있었으며, 이는 대규모 방조제 건설에 따라 목포해역에서 수표면의 면적과 해수의 체적이 급격하게 변동되고, 담수유입량이 변화됨에 따라 발생한 것으로 보인다. 이 상과 같은 목포해역에서 해수면 변화에 대해서 분석한 결과를 종합하면, 1990년대 이후로 해수면이 뚜렷하게 상승하고 있으며, 이는 전체기간 자료의 분석으로 얻은 해수면 상승률과 큰 차이가 난다. 따라서 목포는 전체기간의 자료를 분석하여 얻은 결과를 이용할 경우에 해수면 상승량을 과소하게 추정하게 될 가능성이 있으므로 방재계획 등을 수립할 때 최

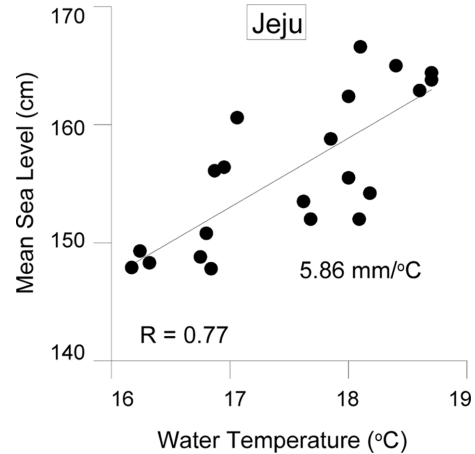


Fig. 9 Relationship of water temperature and mean sea level at Jeju.

근의 지구온난화로 인한 상승률 증가현상을 고려하여 목포해역에서 장래 해수면 상승량을 추정해야 할 것이다.

외해에 위치하여 연안개발의 영향을 거의 받지 않는 대흑산도와 제주에서의 수온변화를 보면, 관측초기부터 1980년 중반까지는 감소하는 경향을 보이다가 그 이후로는 빠른 속도로 수온이 상승하는 모습을 보였다. 관측기간 전체에 자료를 분석하면 수온상승률이 대흑산도에서 0.021°C/year, 제주에서 0.032°C/year로 서해 중부에 비해서 크지 않다. 그러나 수온의 상승률이 과거에 비해서 증가하는 경향(Fig. 9)을 보이는 1984년 이후의 최근 30년간의 자료만을 가지고 분석해 보면, 수온상승률은 대흑산도에서 0.039°C/year, 제주에서는 0.071°C/year로 대략 2배 이상 증가한다. 그러나 최근 몇 년간은 오히려 수온이 감소하는 경향을 보였으며, 해수면상승률도 다소 감소하는 경향을 보였다. 이러한 현상이 지속될 지와 일시적인 현상인 지는 추후 몇 년간의 자료가 더 확보되어야 가능할 것이다. 그러나 1980년 중반이후에 외해에 위치하여 연안으로부터 담수유입으로 인한 영향을 받지 않는 대흑산도와 제주에서 수온이 빠르게 상승한 것이 서해 남부해역에서 해수면상승을 가속화하였으며, 이는 재해관점에서 앞으로 주의 깊게 관찰해야 할 것이다.

수온변화와 해수면변화의 관련성을 파악하기 위하여, 해안개발의 영향이 없고 담수 유입의 영향이 없는 제주에 대해서 수온이 상승하기 시작한 1984년도 이후의 자료만을 사용하여 상관성을 조사해 보았다(Fig. 9). 수온과 해수면의 상관계수가 0.77로 비교적 높게 나타나고 있어 제주에서 해수면 상승의 주요 요인이 해수온도의 증가임을 확인할 수 있었다. 최근의 연구결과(KHOA, 2011)를 보면, 우리나라 연안해역에서 평균해수면의 상승이 가속화되고 있다고 보고하고 있다. 해수면 상승의 경향성을 파악하기 위하여, 2차 함수를 사용하여 회귀분석을 하였다. 전체 관측기간에 대한 비선형 회귀분석결과(Fig. 10)를 보면, 해수면 상승이 가속화되는 모습을 보이고 있다. 수온이 증가하지 않았던 1983년 이전에도 완만하지만 평균해수면은 상승하고 있었으며, 수온이 빠르게 상승

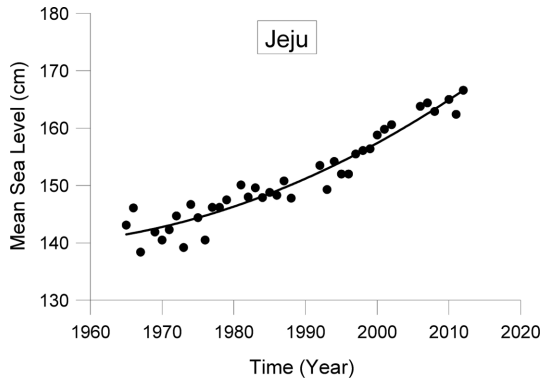


Fig. 10 Trend of sea level change at Jeju.

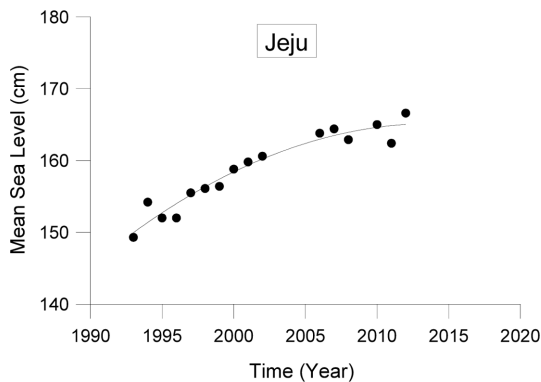


Fig. 11 Trend of sea level change estimated with the data of recent 20 years at Jeju.

하는 1984년 이후에는 해수면 상승이 가속화되는 모습을 보였다. 이 결과만을 보면, 지구온난화 등으로 인한 해수온도의 상승으로 인해서 평균해수면이 빠르게 상승하는 것처럼 보인다. 그러나 우리나라 전체연안의 평균해수면의 변화를 조사한 자료(KHOA, 2010)를 살펴보면, 전반적으로 최근에 해수면 상승이 가속화되기보다는 오히려 감소되는 모습을 보이고 있다. 이를 확인하기 위하여 해수온도의 변동성이 크고 상승률이 완화되고 있는 최근 20년의 자료만을 가지고 회귀분석을 다시 실시하였다(Fig. 11). 그 결과를 보면, 전체기간에 대해 분석한 결과와는 달리 오히려 해수면상승이 최근에 완화되는 모습을 보이고 있다. 종합하면, 1980년대 이전에 비해서 21세기 초까지는 해수면상승률이 증가하였으나 최근에는 다시 상승률이 완화되고 있다고 할 수 있다. 이는 우리나라 연안에서 최근의 수온상승의 완화와도 관련되어 있을 것으로 추정된다. 그러나 현재의 부족한 자료로는 정확하게 판단하기는 어려우며, 전반적인 장기변화추세를 정확하게 파악하기 위해서는 앞으로 몇 년간의 자료를 관심 있게 관찰해야 할 것이다.

5. 기후변화로 인한 장래 해수면변동량 추산

조위관측자료에 기초하여 최근에 수행된 해역별 평균해수면의 평균상승률에 대한 연구결과를 보면, 국립해양조사원

Table 2. Changing rate and predicted rise of mean sea level in the western coast of Korean peninsula

Station	Changing rate (mm/year)			Predicted mean sea level rise (cm)		
	This study	KHOA (2010)	Yoon & Kim (2012)	Kang et al. (2005)	2020	2040
Incheon	1.1	-	0.6		1.1	3.3
Anheung	2.0	1.1			2.0	6.0
Boryeong	2.4	-			2.4	7.2
Kunsan	2.2	1.7	2.4	2.1	2.2	6.6
Mokpo	2.9	1.3	1.5	-0.3	2.9	8.7
Dacheuk-sando	4.2	1.1	0.6	3.9	4.2	12.6
Jeju	5.3	6.2			5.3	15.9

(KHOA, 2010)은 서해안에서 1.3 mm/year, 남해안에서 3.2 mm/year(제주포함), 동해안에서 2.2 mm/year를, Yoon and Kim(2012)은 서해안에서 1.3 mm/year, 남해안에서 3.2 mm/year, 동해안에서 2.0 mm/year로 추산하여, 두 연구결과 모두 서해안에서 상승률이 다른 해역에 비해서 작다는 연구결과를 보이고 있다. 국립해양조사원은 안흥, 군산, 목포, 대흑산도에서 결과를 평균하였으며, Yoon and Kim(2012)은 안흥 대신에 인천항에서 결과를 사용하여 평균한 값이다. 본 연구에서 구한 결과를 국립해양조사원과 같은 지점에 대해서 평균해 보면, 2.8 mm/year이고, Yoon and Kim(2012)의 연구와 같은 위치에서 평균해 보면, 2.6 mm/year이다. 두 결과 모두 기존 연구결과인 1.3 mm/year의 약 두 배의 상승률에 해당한다. 이러한 결과의 차이는 목포와 대흑산도에서 해안개발 기간 동안의 불안정한 자료와 해안개발로 인한 해수면 상승량을 제외한 자료를 분석하여 얻어진 것이다. 해안개발의 영향을 포함한 결과(Fig. 2~5)와 제외한 결과(Fig. 7)를 비교해보면, 해안개발로 인한 영향을 제외한 Fig. 7의 선형회귀분석 결과가 보다 상관성이 높게 나타나고 있다. 또한, 1993년부터 2005년까지 복합위성자료를 분석하여 구한 Ha et al.(2006)의 연구결과에 의하면, 동해는 5.04 mm/year, 남해는 3.55 mm/year, 서해는 3.7 mm/year의 증가율을 보인 것으로 나타나고 있어 해역에 따른 상승률의 차이는 조위관측자료로부터 구한 결과만큼 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 조위자료를 직접 이용한 기존 연구와는 달리 해안개발로 인한 영향을 제거하고 얻은 본 연구결과가 서해안에 비해서 해안개발사업으로 인한 해안지형의 변화가 적은 동해와 남해의 상승률에 대한 위성자료 분석결과와 일치하는 경향을 보인 것은 고무적인 연구결과로 판단된다.

서해안에서 진행되어 온 해안개발사업으로 인한 변화를 제외한 평균해수면 상승률 분석결과로부터 해수면이 선형적으로 상승한다는 가정 하에 2010년을 기준으로 10년 후(2020년)와 30년 후(2040년)의 평균해수면 변동량을 추정하였다.

Fig. 7의 선형회귀곡선을 사용해서 예측하였으며, 제주의 경우에는 전체기간 자료의 선형회귀분석결과(Fig. 5)를 사용해서 예측하였다. 30년 후에 대해서 예측한 결과를 보면, 인천에서는 3.3 cm, 제주에서는 최대 15.9 cm가 상승할 가능성이 있는 것으로 추산되었다. 전반적으로 평균해수면 상승량은 북부해역에서는 작고, 남부해역으로 갈수록 커지는 경향을 보였다. 수온자료를 보면, 지구온난화로 인한 수온상승의 영향이 남부해역에 뚜렷하게 나타나는 것으로 보아 지구온난화와 평균해수면 상승은 밀접하게 관련되어 있는 것으로 판단된다. 이 결과는 향후 30년간 동일한 상승률로 평균해수면이 상승한다고 가정한 것으로 기존의 관측결과와 연구결과에서 나타나는 상승률 변화를 감안하면, 정확성은 높지 않다. 따라서 설계에 직접적인 반영보다는 참고자료로만 활용되어야 할 것이다.

6. 결 론

서해연안과 제주의 조위관측자료를 이용해서 평균해수면의 경년변화를 분석하였으며, 대규모 해안개발과의 관련성에 대해서 조사하였다. 해안개발로 인하여 평균해수면이 급격하게 변화한 것을 확인할 수 있었다. 인천에서는 인천항 개발로 인해서 평균해수면이 6.8 cm가 하락하였고, 인천신공항 건설을 위한 영종도 개발로 9.7 cm가 상승하였다. 보령에서는 보령방조제 건설로 9.7 cm가 상승하였으며, 인근에 대규모 개발사업이 수행되지 않은 안흥에서는 거의 변화하지 않았다. 금강하구둑 건설로 인해서 군산내항에서는 평균해수면이 약 38 cm 상승하였으며, 새만금방조제 건설로 인해서 군산외항의 평균해수면이 5.4 cm가 증가하였다. 목포해역에서는 방조제 건설로 인한 평균해수면의 변화가 거의 발생하지 않았다. 지구온난화로 인해서 남부해역을 중심으로 해수온도가 빠르게 상승하고, 평균해수면도 빠르게 상승하고 있음을 확인할 수 있었으며, 자연적인 요인으로 인한 평균해수면 상승률은 북부에서는 작고 남부로 갈수록 커지는 경향을 보였다. 2010년을 기준으로 2040년(30년 후)의 자연적 요인에 의한 평균해수면 상승량을 추정 한 결과, 인천에서는 3.3 cm로 작으나 제주에서는 15.9 cm가 상승할 것으로 추정되었다. 이 결과는 단순하게 선형적으로 해수면이 변화된다는 가정에 근거한 것으로 제주의 분석결과에서 나타난 바와 같이 해수면상승률이 증가하고 있다면, 평균해수면 상승량은 추정결과보다 클 가능성도 있다. 현재 연구 결과는 일부 지역에서 제한된 기간의 자료로 인하여 결과의 신뢰성이 높지 않을 수 있다. 정확한 해수면 변화를 추정하기 위해서는 무엇보다도 외국과 같이 장기간의 신뢰성 있는 조위자료의 확보와 다양한 방법을 이용한 분석이 필요할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의해 연구된 결과입니다. 국립해양조사원의 자료제공에 감사드립니다.

References

- Choi, B.H. (1984). Effect of a barrier on tides in the Youngsan estuary. *J. of the Korean Society of Civil Engineers*, 4(2), 113-124.
- Choi, B.H. and Kang, Y.D. (1990). Preliminary estimation of barrier effects on tides in Saemangeum area. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 2(1), 34-42.
- Ha, K.-J., Jeong, G.-Y., Jang, S.-R. and Kim, K.-Y. (2006). Variation of the sea surface height around the Korean Peninsula with the use of multi-satellite data (TpeX/Poseidon, Jason-1, ERS, Envisat) and its association with sea surface temperature. *Korean Journal of Remote Sensing*, 22(6), 519-531.
- Haigh, I., Nicholls, R. and Wells, N. (2009). Mean sea level trends around the English Channel over the 20th century and their wider context. *Continental Shelf Research*, 29, 2083-2098.
- Ishii, M., Kimoto, M. Sakamoto, K. and Iwasaki, S.-T. (2006). Steric sea level changes estimated from historical ocean surface temperature and salinity analyses. *J. of Oceanography*, 62, 155-170.
- Jepsen, J., Wahl, T. and Frank, T. (2010). Improved estimates on mean sea level change in the South-eastern North Sea since 1843. *Proceedings of 32nd Conference on Coastal Engineering (in CD)*, Shanghai, China, edited by J. M. Smith and P. Lynett, p10.
- Jo, J.H., Park, S.H. and Ku, Y.H. (1998). Tidal changes of Kyonggi-Bay after the large reclamation in the Inchon coastal area. *J. of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 40(6), 70-78.
- Jung, T.S. (2011). Numerical modeling of tide asymmetry in the southeast coastal zone of Yellow Sea. *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 23(6), 429-441.
- 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.
- Kang, J.W., Moon, S.R. and Oh, N.S. (2005). Sea level rise at the southwestern coast. *J. of the Korean Society of Civil Engineers*, 25(2B), 151-157.
- Kang, J.W. (1996). Tide/Tidal currents changes by construction of seadike/seawalls near the coastal zone of Mokpo. *Journal of Water, Coastal, and Environmental Engineering, KSCE*, 16(II-6), 611-619.
- Kang, S.K., Jung K.T., Kim E.J., So J.K. and Park, J.J. (2013). Tidal regime change due to the large scale of reclamation in the west coast of the Korean peninsula in the Yellow and East China Sea. *J. of Coastal Research*, 65, 254-259.
- Koo, Y.H. (1998). Changes of Tidal Characteristics due to Development of West Coastal Area. Ph.D. thesis, Chungnam University, Korea.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Administration (KHOA) (2010). Detailed Analysis and Prediction (2nd) of Sea Level Change in Korea.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Administration (KHOA) (2011). Detailed Analysis and Prediction (3rd) of Sea Level

- Change in Korea.
- Korea Maritime Institute (2012). Evaluation and Improvement of Coastal Areas' Climate Change Response Capabilities : with focus on climate change adaptation capability of coastal municipalities.
- Min, B.I., Kim, K.O., Lee, H.S., Yuk J.-H. and Choi, B.H. (2011). Disturbances in tidal and sedimentation regimes at Saemangeum due to a dike. *J. of Coastal Research*, 64, 576-580.
- Moore, R., Wolf, J., Souza, A., and Flint, S. (2009). Morphological evolution of the Dee estuary, Eastern Irish Sea, UK: A tidal asymmetry approach. *Geomorphology*, 103(4), 588-596.
- Pugh, D.T. (1987). *Tides, surges, and mean sea level*. John Wiley & Sons Ltd.
- Sunwoo, J.H. (1996). *Land Reclamation in the West Coast of Korea*. Seoul National University, Korea.
- Yoon, J.J. and Kim, S.I. (2012). Analysis of long period sea level variation on tidal station around the Korea peninsula. *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(3), 299-305.
- Yun, O.S. (1999). *History of Reclamation Technology: Evaluation of Reclamation Project*. The Korean Society of Agricultural Engineers, 189-222.

원고접수일: 2014년 4월 4일

수정본채택: 2014년 5월 19일

게재확정일: 2014년 5월 26일