

우리나라 해수면 상승 대응방향에 관한 소고

조광우[†] · 맹준호
한국환경정책평가연구원

Some Thoughts on Direction to Cope with the Sea level Rise in Korea

Kwangwoo Cho[†] and Jun-Ho Maeng

Korea Environment Institute

요 약

해수면 상승 현황 및 영향에 대한 검토를 토대로 해수면 상승의 효율적 대응을 위한 기초적인 방향을 제시하였다. 지구온난화로 인한 기후변화 중 자연 및 인간 시스템에 가장 큰 악영향을 줄 수 있는 요소 중의 하나가 해수면 상승인 것으로 평가되고 있다. 해수면 상승 영향에 대한 대응 방향은 기본적으로 온실가스 감축과 기후변화 영향 적응 측면을 동시에 고려하는 것이 필요하다. 그러나 온실가스 감축의 어려움과 더불어 해양의 큰 관성으로 인하여 해수면 상승을 회피할 수는 없을 것으로 예상되는바 계획적인 적응 전략에 초점을 맞추는 것이 중요하다. 해수면 상승 대응은 과학적으로 불확실한 상황에서 이루어지는 과정으로 대응 정책 결정은 정보와 인식 구축, 계획 및 정책 구상, 실행, 모니터링 및 평가의 단계로 수행되어야 하며 관련 정책 결정은 환경, 경제, 위험에 대한 사회의 태도 등을 고려하면서 장기적이고 연속적인 과정으로 이루어져야 한다. 대응을 위한 과제로는 현황 및 예측에 대한 과학적 정보 증진, 적응 대책 검토 및 수립, 국민 의식 증진 및 대응 필요성에 대한 합의 형성 및 이들 과제를 종합적이며 지속적으로 다룰 수 있는 시스템 구축이 필요할 것으로 사료된다.

Abstract – The present study attempts to provide basic directions to respond to sea-level rise effectively based on the status of sea-level rise and its impact. The impact of the sea-level rise will be one of the most adverse component among climate change due to global warming. The basic approach to deal with sea level rise requires both mitigation and adaptation. Though the emission reduction can reduce a portion of sea level rise, the rising trend cannot be avoided due to the difficulty of the emission reduction and a strong inertia of the ocean. Therefore an effective corresponding direction has to focus on the development of appropriate adaptation strategies. Because sea level rise problem has scientific uncertainty, the corresponding system has to be designed to deal with the processes of information and awareness, planning and design, implementation, and monitoring and evaluation in continuous and long-term process. The future task to correspond effectively to the issue in Korea includes the improvement of scientific information, the development of adaptive measures, the enhancement of people awareness, the consensus of corresponding necessity, and formation of integrated corresponding system.

Keywords: Sea-level rise impact(해수면상승영향), Adaptation(적응), Corresponding to climate change(기후변화 대응), Climate change(기후변화), Global warming(지구온난화)

1. 서 론

최근 발표된 UN 기후변화에관한정부간패널(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) 보고서는 인간의 활동에 의한 지구온난화 및 그 영향이 가속화 될 것으로 예측하고 있다. 지구온난

화는 기후시스템을 구성하는 대기, 해양, 생물, 빙하, 육지 시스템에 다양한 경로로 영향을 줄 것으로 예상되며 그 영향은 대부분 악영향인 것으로 평가되고 있다. 많은 국가들은 지구온난화로 인한 기후변화 영향이 자국의 지속발전과 밀접한 관계가 있음을 인식하고 예상되는 기후변화에 대한 영향을 사전에 평가하여 적절한 대응방안 수립에 많은 노력을 경주해 오고 있다.

지구온난화로 인한 기후변화 중 인간사회에 가장 큰 악영향을

[†]Corresponding author: kwcho@kei.re.kr

줄 수 있는 요소 중의 하나가 해수면 상승인 것으로 평가되고 있다 (IPCC WG II[2001]). 해수면 상승의 직접적인 영향을 받는 연안은 육지와 해양의 경계부로 인류에 매우 주요한 역할을 담당하는 지역이다. 연안은 독특하고 대체 불가능한 자연생태계를 보유하고 있을 뿐만 아니라 사회경제적으로 수송, 산업시설, 자원, 관광 등 인간과 밀접한 관계가 있는 곳이다. 이러한 연안의 특성으로 인하여 인류사회는 연안을 중심으로 발달하였으며 그 추세는 전 세계적으로 확장되고 있다.

해수면 상승은 자연생태계 및 사회경제적으로 주요한 연안에 다양한 영향 - 연안 저지대 및 습지의 범람, 해안 침식, 강이나 지하수로의 해수 유입, 강 수위 증가 및 범람, 조석 및 파동 변화, 퇴적상의 변화 등 - 을 주며 그 결과 자연생태계, 인간거주지, 수자원 및 산업시설을 포함한 사회 인프라에 악영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 연안은 지구온난화로 인한 강수 및 태풍의 강도와 빈도 변화에도 영향을 받기 때문에 기후변화에 취약한 지대로 인식되고 있다.

한반도는 백중사리, 태풍 및 폭풍 등에 의한 해일과 같은 기상 재해에 의하여 이미 해수 범람 및 해안침식, 지하수로의 해수 침입 등의 피해를 경험하고 있다(마산시[2004]; 부산시[2005]; 조광우 외 [2005]). 삼면이 바다로 둘러싸이고, 연안에서 활발한 사회경제적 활동이 이루어지고 있는 우리나라에서의 해수면 상승은 향후 큰 영향을 미칠 수 있는바 지구온난화의 과학적인 예측에 근거한 사회경제적 영향 평가 및 대응전략 수립은 효율적인 국토 이용 및 연안의 지속발전 전략 수립에 필수적인 것으로 사료된다. 본 고에서는 향후 우리나라에서 해수면 상승에 효율적으로 대처하기 위한 기초적인 방향 및 과제를 제시하고자 한다.

2. 해수면 상승 현황 및 영향

2.1 해수면 상승 현황

20세기 해수면 변화에 대한 대부분의 연구는 장기 조위자료에 의존하고 있다(Douglas[1997]; Cho[2003]). IPCC 3차보고서(IPCC WG I [2001])는 이들 연구결과들을 토대로 20세기 지구 평균 해수면 상승률을 1.0~2.0 mm/yr로 평가하였다. 조석 자료에 의한 20세기 해수면 상승률은 19세기 보다는 상승한 것으로 평가되나, 20세기 내에서는 변화를 보이지 않는 것으로 보고되고 있다. 20세기 해수면 상승률 평가 범위는 육지의 수직운동, 조위 자료 선정 기준, 관측기간 등에 대한 서로 다른 가정 및 방법을 사용함으로써 나타나는 결과이다. 20세기 지구온난화에 따른 해수면 상승은 주로 해양 수온 상승을 통한 해양의 열팽창, 육상 빙하 및 빙모의 해빙, 남극 및 그린랜드 빙상의 용해, 영구동토 해빙 등에 기인한다(Table 1).

지구온난화에 따른 우리나라 주변의 해수면 상승과 관련하여 아직까지 정확한 연구 결과가 도출되지 못하고 있는 실정이다. 이는 관측 자료 및 관측 기간의 부족, 육지의 수직 운동에 대한 정보 부족 등에 기인한다. 한반도 해수면 변화와 관련하여 Cho[2003]는 한반도 주변 23개 조위자료를 사용 후빙기지각변동을 보정하여 산출한 해수면 변화율의 평균치는 2.30 ± 2.22 mm/yr인 것으로 보고하

Table 1. Estimated rate of change in sea level rise components from observation and model averaged over the period 1910 to 1990 (IPCC WG I [2001])

Range component	Minimum (mm/yr)	Central value (mm/yr)	Maximum (mm/yr)
Thermal expansion	0.3	0.5	0.7
Glaciers and ice caps	0.2	0.3	0.4
Greenland - 20 th century effects	0.0	0.05	0.1
Antarctica - 20 th century effects	-0.2	-0.1	0.0
Ice sheets - adjustment since LGM	0.0	0.25	0.5
Permafrost	0.00	0.025	0.05
Sediment deposition	0.00	0.025	0.05
Terrestrial storage	-1.1	-0.35	0.4
Total	-0.8	0.7	2.2
Estimated from observation	1.0	1.5	2.0

였다. 이 수치는 IPCC WG II[2001]에서 평가한 지구평균치 보다 크게 나타났으며 지역별로는 남해안과 제주도가 가장 높은 수치를 보였다. 그러나 모든 관측 자료가 40년 이하이고 공간 표준편차가 크게 나타나는 점을 감안하면 지구온난화에 의한 해수면 상승과 직접적으로 관련시키기 어려울 것으로 사료된다. 조광우 외[2001]는 1992년 5월부터 2001년 4월까지 Topex/Poseidon 및 ERS 위성고도계 자료를 토대로 한반도 동해 및 남해의 해수면 상승률이 각각 4.6 mm/yr, 4.8 mm/yr인 것으로 보고하였다. 이들 수치는 우리나라 주변해역의 해수면 상승의 가속화, 동해의 반응시간, 수십년 변동과 같은 자연변동, 관측기간의 보안 등과 연계하여 추가적인 연구가 필요하다. 그러나 위성고도계에 의한 동해 및 남해의 상승치는 IPCC에서 평가한 지구평균치의 상한선보다 크게 나타나며 또한 같은 자료를 사용한 지구 평균치보다 높게 나타나고 있는 점이 주목을 끈다.

21세기 해수면 상승은 지구온난화의 가속화에 기인하여 가속되는 것으로 예측되고 있다. IPCC는 총 35개 배출시나리오(Special Report on Emission Scenario: SRES)를 주요 기후모델에 적용하여 21세기 해수면 상승을 예측하였으며 그 결과는 Fig. 1과 같다. 지구 평균

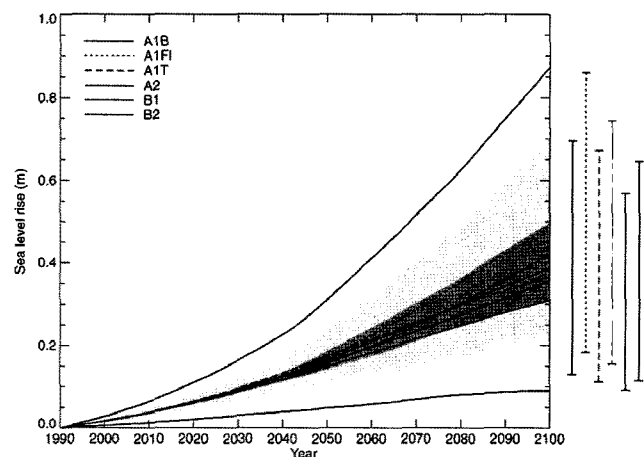


Fig. 1. Global sea level rise from 1990 to 2100 for SRES scenarios (IPCC WG I [2001]).

Table 2. Predictions of sea level rise due to the global warming in the 21th century by HadCM3 climate model for A2 and B2 emission scenarios (The unit is cm)

Year Region	2030	2060	2090
Global - A2	7.0	17.0	34.0
Korea - A2	4.9	17.9	40.7
Global - B2	8.0	17.0	28.0
Korea - B2	8.2	18.4	33.9

해수면은 2100년에 1990년 대비 0.09~0.88 m 상승하며 그 중간 값은 0.48 m로 예측되었다. 중간 값은 기준으로 21세기 해수면 상승률은 20세기에 비하여 2.2~4.4배 증가하는 것으로 예측되었다.

이들 예측치는 지구평균치를 의미하며 지역적으로는 그 차이가 크게 나타나고 있다(Gregory *et al.*[2001]). 지역적인 해수면 변화는 열팽창에 의한 지역적 차이 외에도 해양순환의 변화와 이로 인한 해양열의 수평이동, 기후변화에 따른 바람장의 변화 등 다양한 요인에 의하여 복잡한 양상을 보일 것으로 예상되며 그 크기는 지구평균치에 비하여 상당한 크기로 변할 것으로 평가되고 있다. Table 2는 영국 Hadley Centre의 HadCM3에 의한 A2, B2 배출시나리오별 해수면 상승 예측치를 나타낸다. 해수면 변화예측을 위한 HadCM3 기후 모델은 해양의 열팽창, 빙하의 해빙, 그린란드 및 남극 빙상의 질량수지 성분을 포함하고 있다(Gregory and Lowe[2000]). 해수면 변화의 기준연도는 1990년이며 이에 대한 변화치를 2030년, 2060년 및 2090년을 기준으로 10년 평균하여 나타낸 것이다. 한반도 주변 해역의 평균치는 지구 평균 예측치에 비하여 A2, B2 시나리오 공히 높게 나타나고 있다. HadCM3에 의한 해수면 변화 예측의 공간 분포는 북서태평양의 경우 Kuroshio와 관련된 해역에서 비교적 높게 나타나고 있다. 이에 따라 Kuroshio의 지류인 쓰시마 난류의 영향을 받는 한반도 주변 해역도 이 영향으로 비교적 높게 나타난 것으로 사료된다.

2.2 해수면 상승 영향

2.2.1 자연생태계에 미치는 영향

해안사빈은 전 세계 해안선의 약 20%를 차지하고 있으며, 해수면 상승은 연안침식을 통하여 이들 해안유지를 어렵게 한다. 현재 일어나고 있는 연안침식의 주된 이유는 강을 따라 건설한 댐에 의해 퇴적물 공급 감소와 연안구조물 건설에 따른 연안류의 변화에 기인하는 것으로 알려져 있다. 이에 부가하여 해수면 상승은 연안의 후퇴(retreat)와 이상 폭풍의 빈도 증가에 의하여 연안 침식을 더욱 심화시킬 것으로 예상된다. 해수면 상승에 의한 연안선 후퇴를 예측하는 가장 단순하고 유용한 모델인 Brunn's Rule 을 이용 해수면이 30 cm, 65 cm, 100 cm 각각 상승하는 경우 일본 모래사장의 56.6%, 81.7%, 90.3%가 각각 침식에 의해 손실되는 것으로 예측되고 있다(Mimura and Kawaguchi[1996]). 최근 우리나라 사빈 해안도 해안침식이 크게 일어나는 것으로 보고되고 있다(해양수산부[2003]).

연안 습지는 다양한 생물의 서식처인 동시에 풍부한 수산 자원

생산지로서 인간에게 매우 중요한 곳이다. Nicholls *et al.*[1999]에 의하면 2080년까지 해수면 상승에 의하여 세계의 연안 습지의 약 28%가 손실될 것으로 전망되고 있다. 인간의 다양한 활동에 의하여 현재 일어나고 있는 습지 손실(1990년 기준 약 40%)은 그 지역적인 차이가 크기는 하지만 해수면 상승으로 더욱 악화될 것으로 전망되고 있다. 갯벌의 경우 해수면 상승은 영양염 공급에도 영향을 주어 갯벌 기능에도 악영향을 줄 것으로 예측되고 있다(IPCC WG II[2001]).

해수면 상승과 강수 유형의 변화는 수자원에 영향을 줄 수 있다. 해수면 상승은 강의 상류 방향으로 더 많은 해수 유입이 가능하게 함으로써 해수가 식수 및 산업 용수로 쓰이는 물과 섞일 가능성을 증대시킨다. 해수면 상승으로 지하수면이 상승하게 되는 경우 담수층이 감소하게 되어 담수 이용도가 줄게 된다. 게다가 기후변화로 인한 강수 패턴의 변화가 수자원에 미치는 영향은 매우 심각하다. 기후변화는 담수 자원의 질과 양 공히 지금보다 더 큰 영향을 줄 것으로 예상된다.

해수면 상승은 석호에도 다양한 형태로 영향을 주는 것으로 평가되고 있다. 해수면 상승으로 인한 석호의 수면 상승은 석호 주변의 범람문제를 야기할 수 있다. 또한 연안 석호는 일반적으로 부드러운 퇴적물로 구성되어 있어 침식이 증가할 것으로 예상된다. 해수면 상승은 석호내의 물의 염분도 증가 및 지하수의 염분 침투를 유발하여 생태계의 변화를 유발할 수 있다.

해수면 상승은 위의 영향을 통하여 수질 변화, 생태계 변화, 생물다양성 감소 및 지하수 수질 악화 등의 자연 생태계에 대한 영향과 홍수 심화, 기수 인프라에 대한 영향, 수산업 및 양식에 대한 영향 및 수자원 이용에 대한 영향 등에 영향을 미칠 수 있다.

2.2.2 사회경제시스템에 미치는 영향

해수면 상승이 사회경제적으로 중요한 연안시스템에 영향을 미칠 수 있으며 그 영향은 일차적인 영향과 이차적 영향으로 구분할 수 있다. 해수면 상승의 일차적인 영향은 연안 저지대 및 습지의 범람 증대와 이동, 연안 침식 증대, 폭풍 해일 및 홍수의 위험 증대, 표층수 및 지하수의 염분 침투 등이다. 이들 영향들은 사회경제시스템에 다양한 경로를 통하여 부가적인 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 먼저 생계 및 건강에 대한 영향으로는 범람, 폭풍 해일 및 홍수 등을 통한 생명에 직접적인 위협, 재산 및 연안 거주지의 손실, 관개 수질 저하, 연안 농작물 수확량 저하, 어류 및 조개 생육장, 산호초, 연안 석호와 같은 중요 생태계의 질 저하 및 손실에 의한 식량 생산력에 대한 위협, 식수 수질 저하, 주거질 저하, 이주와 관련한 건강 위험 증가와 매개 전염균 확산에 의한 건강 및 생활 수준 저하 등의 영향을 받을 수 있다.

사회 기반 시설 및 경제 활동에 미치는 영향으로는 주요 사회 기반 시설(항구, 연안 도로, 철도, 빌딩 등), 연안 산업(석유 및 석유화학 공장 등) 및 서비스(관광)에 대한 위협으로 토지 및 건물 재산 가치 하락과 해수면 상승 영향에 대한 보호 비용 증대, 보험료의 증대, 정치적 제도적 불안 및 사회 동요 등을 유발할 수가 있다. 또한 직접적인 영향을 받을 주민 및 국가가 겪을 정치적, 경제적, 제

도적, 문화적 스트레스도 상당히 클 것으로 예상되고 있다.

전 세계의 연안의 저지대는 일반적으로 인간, 산업 및 인간 활동이 집중되는 곳이다. 세계적으로 연안에는 주민이 집중적으로 분포하여 연안 30 km 이내에 세계 전 인구의 21%, 100 km 이내에 37%가 분포하고 있는 것으로 알려져 있다. IPCC[1994]에 따르면 세계인구가 53억이 되는 시점에서 세계 주민의 50~70%가 연안에 거주하며 세계의 대도시중의 상당수가 연안에 위치하고 있다. 게다가 많은 연안 지역에서 인구 및 경제성장률은 점증하는 도시화 경향에 따라 국가의 평균치를 상회하고 있다. 또한 연안의 인구 집중으로 인한 활발한 경제 활동에 기인하여 세계 GDP의 상당 부분이 연안에서 창출되고 있다.

이와 같은 연안에서의 인간 활동은 세계적으로 습지 파괴와 같이 연안에 심각한 영향을 주고 있으며 연안에서의 다양한 사회경제 활동은 태풍에 의한 범람과 같이 다양한 연안의 위험을 이미 경험하고 있다. 이런 기존의 위험 요소에 부가하여 해수면 상승은 연안에 심각한 영향을 미칠 수 있으며 지구온난화에 의한 다른 기후 변화, 즉 태풍 유형의 변화, 강수 및 수문학적 변화 및 기온과 수온 변화와의 상호 작용을 통하여 다양한 악영향을 미칠 수 있다.

현재 평균 4천 6백만 명의 인구가 매년 폭풍 해일에 의한 홍수를 경험하고 있으며 50 cm의 해수면 상승이 일어나면 이 수는 9천 2백만 명, 1 m 해수면 상승은 1억 1천 8백만 명으로 이 수치가 증가할 것이다(IPCC, WG II[2001]). 이 예측치에 인구성장 예측을 추가하면 그 수치는 훨씬 증가할 것이다. 많은 연구 결과 소형 섬 및 삼각주 지역들이 특히 1 m 해수면 상승에 취약한 것으로 나타나고 있다. 적절한 완화 조치(방파제 건설 등)를 취하지 않는 경우 육지 손실은 이집트의 경우 1%, 네덜란드 6%, 방글라데시 17.5%, 마살군도는 약 80%에 달하며 수천만 명의 주민이 거주지를 옮겨야 하고 저지대 소형 군도 국가에서는 전 국토가 유실될 가능성이 있다 (Brown[2001]).

우리나라의 경우(조광우 외[2002])는 해수면 상승 취약성 지수로서 해수면 상승에 따른 범람 면적과 범람 인구를 선정 연안의 사회경제시스템에 대한 영향평가를 수행하였다. 취약성 평가를 위한 해수면 상승 시나리오는 지구온난화에 의한 해수면 상승과 더불어 조석 및 태풍해일에 의한 상대적 해수면 상승효과를 고려하여 14 개 시나리오를 산출하였다. 산출된 해수면 시나리오 중 조석 및 태풍 해일을 고려한 해수면 1 m 상승에 대하여 한반도 최대 범람 가능 면적은 약 2,643 km²로서 한반도 전체 면적의 약 1.2% 정도가 취약한 것으로 나타났다. 위의 취약 지대에 거주하는 범람 가능 인구는 약 1,255,000명으로 한반도 전체 인구의 약 2.6%인 것으로 나타났다. 지리적으로는 서해안이 남해안과 동해안에 비하여 훨씬 더 취약한 것으로 나타났으며 서해안중에서도 북한이 남한보다 더 취약한 것으로 나타났다.

Kitajima *et al.*[1993]은 1 m 해수면 상승에 대한 일본의 인프라 시설의 유지 보호를 위하여 11조 5천 엔의 비용이 드는 것으로 추산하였으며(Mimura *et al.*[1993])은 전 일본 연안을 보호하기 위한 비용은 20조 엔 이상이 드는 것으로 추산하였다. 향후 도시화로 인

하여 인간은 이들 대도시에 집중될 것으로 예상되며 그 경향은 개도국에서 더욱 심화될 것으로 예상된다. 이들 대부분의 도시들은 적절한 해안 방파제나 재해 방재 시설을 갖추고 있지 못하므로 해수면 상승 및 기후변화에 의한 폭풍 해일 및 태풍의 빈도 및 강도 증가에 취약할 것으로 사료된다. 최근 우리나라 해안도 태풍 및 강수 강도 변화에 따라 크게 영향을 받고 있는 것으로 나타나고 있으며(마산시[2004]; 조광우 외[2005]), 이에 대응하기 위한 비용이 시작되고 있는 실정이다(부산시[2005]).

3. 해수면상승 대응방향

3.1 기본방향: 저감과 적응

지구온난화에 따른 해수면 상승에 대한 대응은 지구온난화의 원인 물질인 온실가스를 지구적으로 감축(mitigation)하여 해수면 상승을 포함한 기후변화를 감소시켜 기후변화에 대한 자연 및 인간시스템을 보호하는 노력과 해수면 상승에 대한 영향을 미리 파악하여 예상되는 영향을 최소화하고자하는 적응(adaptation) 차원의 노력으로 대별될 수가 있다(Fig. 2). IPCC[2001]는 기후변화 문제의 속성으로 인하여 해수면 상승을 포함한 기후변화에 가장 좋은 대처 방안으로 적응과 저감의 조화를 제시하고 있으며 기후변화협약상의 일반 국가의 의무도 적응과 저감의 두 사항으로 요약될 수 있다. 해수면 상승 영향에 따른 대응의 기본적인 방향도 지구온난화에 대한 전반적인 영향에 대한 대응과 같은 방향에서 설정될 수 있다.

영국 기상청 Hadley Centre는 Hadley 기후모델을 사용하여 온실가스 감축시나리오와 비시나리오에 대하여 해수면 상승 비교실험을 실시하였다. 먼저 온실가스 감축이 이루어지지 않는 경우에 2080년의 지구 평균 해수면 상승은 1990년 대비 39 cm가 상승하며 2250년에 대기중 이산화탄소 농도를 750 ppm으로 안정화시킬 경우 28 cm 상승하고, 2150년에 550 ppm을 안정화시키는 배출 시나리오의 경우 25 cm가 각각 상승하는 것으로 예측되었다. 이에 따라 온실가스 감축이 해수면 상승을 감소시킬 수 있는 주요한 수단

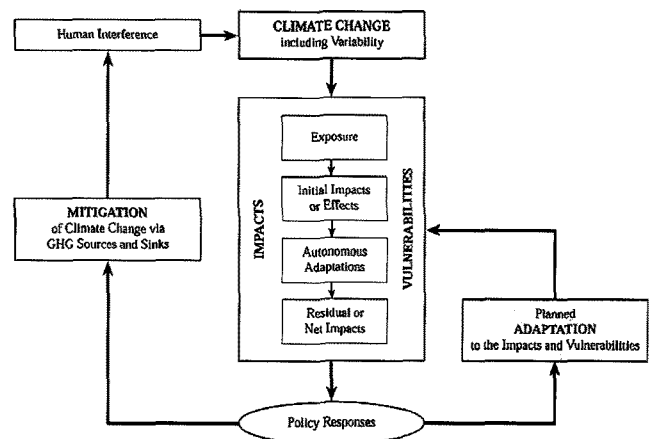


Fig. 2. Basic principle to correspond with climate change: mitigation and adaptation (Smith *et al.*[1999]).

임을 알 수 있다. 그러나 이 연구 결과는 해수면 상승을 억제하기 위한 수단으로서 기후변화협약에서 규정한 온실가스 감축만으로 해수면 상승을 억제할 수 없다는 결과를 우리에게 동시에 제시하고 있다. 이 같은 문제는 두 가지 면에서 고려가 필요하다. 그 첫째는 온실가스 감축의 어려움이며, 두 번째는 해수면 상승과 관련된 기후시스템의 관성의 문제이다.

지구온난화 자체를 줄이기 위한 감축 노력은 기존의 사회 경제 발달 경로의 변화를 요구한다. 어떤 사회 발전 경로를 취할 것인가와 관련하여 지구온난화에 대처할 수 있는 새로운 발달 경로의 구상은 기후변화와 관련한 사회적, 경제적, 환경적인 문제를 모두 고려해야 하는 어려운 문제이다. 현재 국제적인 노력은 가시적으로 성공적으로 보이지만 대부분의 국가가 교토의정서에 명시한 1990년 대비 온실가스 배출이 실제적으로 증가하였고 미국을 비롯한 주요 배출국가의 감축 목표 달성이 어려울 것으로 판단되고 있다. 또한 미국은 교토의정서에 의한 의무 감축이 자국에 미치는 사회경제적 충격에 대한 우려 때문에 온실가스 감축을 규정하고 있는 교토의정서에 참여 및 비준을 거부하고 있는 것도 온실가스 감축의 어려움을 더해주고 있는 실정이다.

온실가스 감축이 성공적으로 이루어진다 하여도 해수면 상승이 상당 기간 지속되는 이유는 해양이 갖는 매우 큰 관성에 기인한다. Fig. 3은 지구온난화의 원인 물질인 이산화탄소와 기후요소들의 관성과의 관계를 보여주고 있다. 먼저 이산화탄소를 향후 수십 년 내에 감축을 실시하여 대기중 이산화탄소 농도를 일정 수준으로 안정화시키는 시나리오 하에서 기후요소들의 관성을 모델 실험에 의거 설명하고 있다. 먼저 대기중 이산화탄소 농도는 대기 중 체류시간으로 인하여 50~300년에 후에 안정화되기 시작하며 지구표면온도의 안정화는 수백 년 정도 걸리는 것으로 나타나고 있다. 해수면 상승은 해수면과 관련된 물리적 과정에 의하여 천년 이상 계속 상승하는 것을 보여주고 있다. 이는 해수면 상승과 관련 해빙 등의 낮은 반응 시간과 대기중의 열이 해양의 심층까지 영향(convection)

을 미치는 시간이 매우 많이 걸리기 때문이다. 따라서 기후변화협약의 성공적인 감축 여부와 관계없이 해수면 상승은 상당기간 지속될 것으로 예측되고 있다.

또한 해수면 상승은 온난화로 인한 기온 및 수온 상승의 지역적 차이와 해양의 연직 혼합, 해류 등의 지역적 차이에 기인하여 지역적으로 큰 차이를 보일 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 지역적인 해수면 상승 현황 평가 및 예측은 향후 지역적인 영향 평가를 위하여 중요하다고 할 수 있다.

해수면 상승에 대한 대응 중 온실가스 감축 문제는 본질적으로 지구 규모의 환경 문제 성격을 띠고 있으나 그 영향 문제를 고려할 때에는 지역적, 국가적 차원의 문제로 우리 자신이 대처해야 할 성격을 갖고 있다. 그러므로 해수면 상승 문제에 있어서 가장 주요한 대응 노력은 계획적인 적응 전략 문제에 초점을 맞추어야 하며 적응전략 개발 및 수립은 저감 방안을 보완하는 필수적인 요소로 평가되고 있다(Burton[1996], Smith *et al.*[1999]). 이에 따라 기후변화협약 4.1조에서도 “기후변화에 대한 적절한 적응을 용이하게 하는 조직, 협력, 실행 방법”을 당사국에 위임한다. 또한 교토의정서(10조)는 협약 당사국들에게 기후변화를 다루기 위한 적응의 촉진 및 장려와 적응 기술의 전개를 위임하고 있다.

3.2 향후 과제

해수면 상승과 같은 기후변화 문제에 관한 대응은 과학적으로 불확실한 상황에서 이루어지는 과정이다. 따라서 해수면 상승 대응 정책 결정은 (1) 정보와 인식 구축, (2) 계획 및 정책 구상, (3) 실행, (4) 모니터링 및 평가의 네 가지 단계로 수행되어야 하며 관련 정책 결정은 환경, 경제, 위험에 대한 사회의 태도 등을 주의 깊게 고려하면서 장기적이고 연속적인 과정으로 이루어져야 한다. 이와 같은 대응과정과 연계하여 해수면 상승에 대한 연안역의 취약성을 저감하기 위한 우리의 향후 과제는 1) 해수면 상승 현황 및 예측 관련한 과학적 정보 증진, 2) 효과적 대응을 위한 적응책 검토 및 수립, 3) 국민 의식 증진 및 대응 필요성에 대한 합의 형성, 4) 위의 과제를 종합적이며 지속적으로 다룰 수 있는 대응시스템 구축이 필요할 것으로 사료된다.

해수면 상승에 대하여 효율적으로 대응하기 위해서는 무엇보다 먼저 현황에 대한 정확한 정보가 필요하다. 해수면 상승 현황은 조위계 및 위성고도계에 의한 직접적인 방법과 수온 및 염분 자료를 통한 간접적인 방법으로 산출할 수가 있다. 우리나라는 현재 동, 서, 남해 33개 정점에서 조위 측정을 통하여 해수면에 대한 정보를 수집하고 있다. 그러나 이들 자료들은 평균 관측기간이 24년으로 지구온난화에 의한 해수면 상승을 도출하기에는 비교적 짧다. 조위 측정망의 경우에도 우리나라는 33개 정점에서 측정하고 있는 반면 일본의 경우는 약 500개 정점에서 측정하고 있어 관측망의 확충이 필요하다. 또한 현재의 우리나라의 조위 정점은 물리적 지질학적 영향을 받는 연안에 설치되어 있어 해수면 상승 신호를 추출하는데 어려움이 많다. 현 조위 관측망은 지구온난화에 의한 해수면 상승을 측정하기 위하여 설치되어 있는 것이 아니므로 지구온난화 신

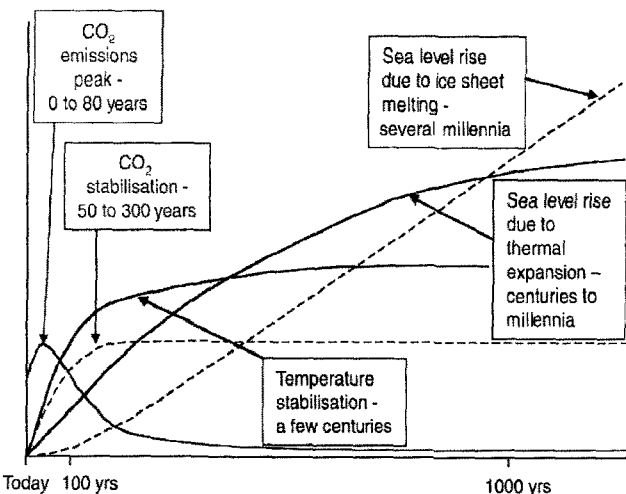


Fig. 3. The different inertia of climate elements to global warming (IPCC[2001]).

호를 추출하는 데에는 오차가 많을 것으로 사료된다. 지구온난화에 따른 해수면 상승 신호는 년 간 수 mm에 지나지 않는다. 따라서 기존의 조위관측은 위의 신호를 검출할 수 있도록 재검토되어야 한다.

해수면 자료는 지구온난화에 의한 미약한 신호뿐만 아니라 다양한 신호를 가지고 있어 지구온난화 신호 추출이 어렵다. 조위자료는 지각변동 및 지반 침하와 같은 육지의 연직적인 운동, 대기압, 해수 밀도, 해류, 바람, 강수 변화에 의한 성분 등 다양한 성분을 가지고 있으며 이로 인하여 매우 작으며 장기적인 지구온난화와 관련된 신호 추출이 어렵다. 이에 따라 아직까지 우리나라 주변 해역에 대하여 지구온난화에 의한 해수면 상승률을 직접적으로 도출하지 못하고 있다. 이 분야에 대한 정보 향상을 위해서는 조위 관측망 정비와 더불어 관련 자료의 종합적 평가, 인공위성 자료 수집 및 분석, 수온 및 염분 자료 활용 등 해수면과 관련된 위의 제 분야에 대한 연구 활성화가 요구된다.

지반 운동과 관련된 신호를 추출하기 위하여 현재 세계적으로 활용되고 있는 GPS(Global Positioning System), SLR(Satellite Laser Ranging), VLBI(Very Long Baseline Interferometer) 등의 위성장비의 활용이 필요하다고 사료된다. 조위관측 자료 및 관측망 정비와 더불어 해수면 상승과 관련한 각종 자료(연직 육지 운동, 해양 밀도 및 해류, 기상 자료 등)의 수집 및 분석도 조위자료의 보완을 위하여 필수적으로 사료된다. 이와 더불어 해수면 상승을 종합적으로 파악할 수 있는 위의 제 분야에 대한 연구 투자 및 관련 연구자 확보는 시급히 고려해야 할 분야이다.

해수면 상승에 대한 영향 및 효과적인 대응책을 구상하는 경우 관측 및 평가를 통한 현황 파악과 더불어 정확한 예측이 요구된다. 우리나라와 같이 지역적인 해수면 상승 예측 기술은 현재 매우 낮은 정확도를 가지고 있어 이에 대한 정확도 향상이 향후 대응을 위하여 필수적으로 요구된다. 지역 단위의 해수면 상승 예측 기술의 향상을 위해서는 정밀한 관측 정보 수집 및 이들 자료의 공개가 필수적이다. 해수면 상승 예측 기술의 개선은 장기적인 투자와 연구자들의 지속적인 헌신이 동시에 필요한 분야이다. 이 분야는 우리나라의 과학기술 역량과 밀접한 관계가 있으나 우리나라는 현재 해수면 상승을 예측할 수 있는 지역차원의 기후모델조차 구축하지 못하고 있는 실정이다. 기초 분야에 대한 투자가 부족한 우리나라에서 이 분야 역시 연구 투자는 미비한 상태여서 기술 축적이 어려운 것이 현실이다. 향후 효율적인 대응 및 정확한 예측 정보 획득을 위하여 예측 기술을 지속적으로 향상시키는 것이 중요한 것으로 사료된다.

다음으로 해수면 상승 취약성 평가에 기초한 적응 정책의 수립이 필요하며, 이들 적응대책은 적응이 필요한 장소(where to adapt?), 적응방법(how to adapt?), 적응시기(when to adapt?)에 대하여 구체적인 해답을 제시하는 과정이다 먼저 적응 대상의 파악은 해수면 상승 영향에 대한 연안의 취약성을 구체적으로 평가 분석함으로써 가능해진다. 이는 해수면 상승에 대한 미래의 재해지도 작성과 밀접한 관계가 있다. 해수면 상승에 대한 재해지도 작성은 한반도 주변에 대한 정량적인 해수면 상승 현황 및 예측 결과를 요구하며 동

시에 연안의 상세한 정보를 요구한다. 연안에 대한 자료로서는 해안선 정립문제, 정밀한 연안의 수심 및 고도자료, 기준면(평균해면 및 기준고도), 해양 저질 및 조간대에 대한 정보, 취약 연안의 토지 이용 현황 및 인공위성 사진, 현재의 해양 방어 시설물에 대한 자료, GIS 정보 등이 요구된다. 현재 연안 재해도 작성과 관련한 자료들 즉 위성사진구축, 해안선 정립 등이 해양수산부 중심으로 구축되고 있다. 연안의 취약성 평가를 위한 자료 구축은 효율적인 대책 수립에 기본 자료로 이용되므로 시급한 구축이 필요하다. 작성된 재해도는 국민에게 공개하여 취약 대상지역 주민 자체가 적응의 필요성 및 적응 능력을 증가시키는 것이 중요할 것으로 사료된다.

취약성 평가와 더불어 적절한 대응책 즉 적응 방법에 대한 고려가 필요하다. 해수면 상승에 대한 적응 대책은 크게 계획된 후퇴(managed retreat), 순응(accommodation), 방어(protection)가 있으며 이들을 적절히 사용할 필요가 있다. 이들 대책은 구체적으로 시설 중심의 대응책, 토지 이용 중심의 대응책으로 나눌 수 있다. 시설 중심의 대응책은 현재의 방재 구조물과 장래 계획에 대한 검토를 필요로 한다. 해수면 상승은 장기적이며 광범위한 지역에 영향을 미치므로 현 방어시설의 점검 및 계획을 점검하여 순차적으로 해수면 상승 영향에 대응할 수 있는 정비 계획이 요구된다. 시설 중심의 대응책은 방어 시설에 대한 비용 대비 피해경감 효과에 대한 경제성 분석을 필요로 한다. 비용 대비 효과를 고려한 시설을 검토하고 그 결과를 이해당사자에게 공개하여 합의를 도출하는 것이 중요하다. 토지이용 중심의 대책은 순응 및 관리적 후퇴 방안이 그 중심을 이루고 있다. 취약성 영향평가 결과 취약성 정도가 매우 큰 지역에 대하여 연안 방어만으로 한계가 있고 건축물의 양식을 변경한다든가 토지이용의 제한 및 변경, 재해 위험도가 낮은 지역으로의 이동 등의 대책이 필요하다.

적용시기에 대하여는 예측적 적응과 반응적 적응으로 구분할 수가 있으며 예측적 적응은 해수면 상승에 대한 연안의 취약성을 크게 감소시킬 수 있으므로 예측적 적응과 반응적 적응을 동시에 고려하는 것이 중요하다. 예측적 적응은 현행 연안의 관리 관행에 대한 재검토를 요구한다. 기존 연안의 시각은 연안을 방어의 개념으로 보는 시각이 부족하여 연안이 가지는 자발적인 적응 능력에 대한 훼손이 심하였다. 이러한 연안관리는 해수면 상승에 대한 연안의 적응 능력을 감소시키는 결과를 가져온다. 예를 들어 갯벌이 갖는 해양 파동에너지의 흡수를 통한 연안의 보호, 해안 사구 등에 의한 해수 범람 및 지하수로 해수 침투 방지 기능 등이 무시되고 개발이 이루어 졌다. 따라서 기존의 연안 개발 관행에 대한 재검토를 통하여 연안의 자발적인 적응을 보호하면서 자발적인 적응 능력을 증가시키는 방향으로 연안 보호가 이루어질 때 그 영향을 감소시킬 수 있다. 적용시기에 관하여 또 고려해야 할 점은 현재의 개발계획이 해수면 상승에 대응과 더불어 현재의 연안의 문제점(태풍 및 조석에 의한 범람 등)에 대한 대응 여부를 검토하여 예측적으로 적응해 나가는 것이 효과적인 것으로 사료된다. 현재 가장 효율적인 연안 관리 정책으로 제시되는 통합연안관리(Integrated Coastal Zone Management, ICZM)내에 해수면 상승 및 기후변화 영향을

고려하는 것이 효과적인 대응방향으로 사료된다. 우리나라의 경우 2000년 8월에 연안관리정책방향을 제시한 연안통합관리계획이 수립되었으며, 이를 반영한 연안관리지역계획이 수립 중에 있다(김종덕[2006]). 우리나라 연안통합관리계획은 5대 기본목표와 7대 추진 전략을 통해 지속가능한 연안·보전·이용·개발을 실현하고자 하며, 이를 위하여 전국 연안을 10개 권역으로 나누어 권역별 기본목표와 정책방향을 제시하고 있다. 그러나 우리나라 연안관리계획은 현재 기후변화와 해수면 상승 문제를 통합적으로 다루지 않고 있는바 연안의 지속성을 유지하기 위하여 기후문제를 함께 다룰 수 있는 연안관리계획 구상이 필요하다.

해수면 상승 영향은 이해당사자인 국민과 밀접한 관계가 있으나 기후변화의 불확실성은 정책이행에 필요한 이해당사자의 합의를 매우 어렵게 만들 것으로 예상된다. 따라서 해수면 상승 문제는 다른 기후변화 문제와 같이 정부, 지자체, 산업계, NGO, 일반 국민 모두가 능동적으로 참여할 때 그 기능을 제대로 발휘할 수가 있다. 해수면 상승에 대한 대응은 정부 및 지자체의 역할은 관련 분야의 연구 수행, 정책 및 대응 기술 개발을 주관 또는 유도하는 것이며 습득한 정보, 수립된 정책 및 기술개발은 많은 분야에서 산업계 및 일반국민을 통하여 실행되게 된다. 해수면 상승을 포함한 기후변화에 대한 효율적인 대응은 이해당사자의 유기적인 협조 체제하에서 가능한 것으로 사료된다. 정책 결정 과정에서도 이해당사자의 참여 없이는 이해당사자들이 공감하는 정책 수립이 어렵다. 향후 해수면 상승에 대한 대응책을 구상하는 경우 그 영향의 심각성을 홍보하여 대응정책의 필요성을 국민에 인식시키는 것이 중요하며 국민적인 합의 하에서 관련 정책을 수행하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 국민 홍보 및 합의점 도출은 해수면 상승과 관련한 각종 정보를 국민에게 즉시 제공하는 것에서 출발한다. 이를 위하여 국가차원의 정보를 수집하고 제공하는 조직 및 체제가 필요하다. 국민 각자가 해수면 상승의 심각성 및 대응책을 인식하는 경우 국가적인 해수면 대응책 이행에 시너지 효과가 발휘될 수 있을 것으로 사료된다.

마지막으로 해수면 상승에 대한 적절한 관측, 모니터링, 예측, 적절한 대응 정책의 수립 및 이행, 국민 홍보 및 합의의 전 과정을 지속적으로 수행할 수 있는 시스템의 구성이 필요하다고 하였다. 대응시스템은 미국이나 영국과 같이 기후변화 전반에 대한 대응시스템을 구성하여 다루는 경우와 일본과 같이 관련 부서별로 분야별 대응을 하는 체제로 대별될 수가 있다(환경부[2002]). 이들 국가들은 정부 체제가 상이한 상황이라 어느 체제가 더 효율적인지 판단하는 것은 어렵다. 그러나 대응체제 구성은 연구자나 정부 중심의 체제가 아닌 관련 이해당사자가 공동으로 참여하는 체제가 더 효율적인 것으로 평가되고 있다.

4. 결 언

20세기 이전부터 시작된 지구온난화는 21세기 현재 가속되고 있으며 그 영향은 점차 증대될 전망이다. 지구온난화에 의한 해수면 상승은 자연생태계의 보고이며 인간의 사회경제적 활동이 집중되

어 있는 연안역에 다양한 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 이들 영향은 현 인류의 당면 과제인 평등(equity), 빈곤(poverty), 지속성(sustainability)을 위협하는 지구환경문제로 대두하고 있으며, 현재 인류가 직면하고 있는 빈곤 경감과 지속 발전의 문제를 더욱 악화시킬 것으로 예상된다. 특히 사회적 빈곤층이 대다수인 연안 지역은 기후변화로 인하여 수산업, 농업 등 자연 자원에 미치는 영향과 더불어 범람, 담수 이용도 감소 및 수질 저하 등을 유발하여 빈곤층이 가난으로부터 벗어날 수 있는 능력을 위협할 수 있는 것으로 평가되고 있다. 따라서 21세기 기후변화 문제를 단순히 환경만의 문제가 아닌 인류의 발달을 위협하는 문제로 다루어야 한다는 시각이 증가하고 있다.

본 연구에서는 이와 같은 해수면 상승 문제에 대하여 대응의 기초적인 방향 및 우리의 향후과제에 대하여 제시하였다. 해수면 상승 영향에 대한 대응의 기본 전략은 온실가스 감축과 적응 두 가지 면에서 동시에 접근이 필요하다. 그러나 온실가스 감축을 통하여 21세기 해수면 상승을 어느 정도 감소시킬 수는 있으나 온실가스 감축의 어려움과 해양의 관성으로 인하여 해수면 상승은 피할 수 없는 것으로 나타났다. 이에 따라 우리나라와 같은 지역적인 차원에서의 가장 중요한 대응 노력은 계획적인 적응 전략에 초점을 맞추어야 하며 적응전략 개발 및 수립은 저감 방안을 보완하는 필수적인 요소로 판단된다. 해수면 상승 대응을 위하여 향후 고려하여야 할 우리나라의 과제로는 크게 1) 해수면 상승 현황 및 예측 관련한 과학적 정보 증진, 2) 효과적 대응을 위한 적응책 검토 및 수립, 3) 국민 의식 증진 및 대응 필요성에 대한 합의 형성, 4) 위의 과제를 종합적이며 지속적으로 다룰 수 있는 대응시스템 구축이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 김종덕. 2006, 우리나라 연안관리 정책의 기본방향.
- [2] 마산시, 2004, 태풍 매미에 의한 해일피해 원인조사 및 재해방지 대책, 대한토목학회.
- [3] 부산시, 2005, 해일피해영향분석 및 피해방지계획 수립용역보고서.
- [4] 조광우 외, 2001, 지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면 변화와 그 영향에 관한 연구 I, 한국환경정책평가연구원.
- [5] 조광우 외. 2002, 지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면 변화와 그 영향에 관한 연구 II, 한국환경정책평가연구원.
- [6] 조광우 외. 2005, 해안도로의 환경적 문제점과 개선방안, 한국환경정책평가연구원.
- [7] 환경부, 2002, 기후변화협약 대응체제연구.
- [8] 해양수산부, 2003, 연안침식방지 모니터링 구축(I).
- [9] Brown, L.R, 2001, Rising Sea Level Forcing Evacuation of Island Country. Eco-Economy Update, Earth Policy Institute.
- [10] Burton, I. 1996. The growth of adaptation capacity: practice and policy. In *Adapting to Climate Change*. Springer-Verlag.
- [11] Cho, K., 2003, "Sea-level Trend at the Korea Coast. Korean Environmental Sciences Society", 11(11), 1141-1147.
- [12] Douglas, B.C., 1997, "Global Sea Level Rise: a redetermina-

- tion”, *Surveys in Geophysics* 18, 279-292.
- [13] Gregory, J.M., J.A. Church, G.J. Boer, K.W. Dixon, G.M. Flato, D.R. Jackett, J.A. Lowe, S.P. O’Farrel, E. Roeckner, G.L. Russell, R.J. Stouffer, M. Wintern., 2001, “Comparison of results from several AOGCMs for global and regional sea level change 1900-2100”, *Climate Dynamics*.
- [14] Gregory, J.M. and J.A. Lowe, 2000, “Predictions of Global and Regional Sea Level Rise Using AOGCMs with and without Flux Adjustment”, *Geophys. Res. Lett.* 27, 3069-3072.
- [15] IPCC, 1994, *Preparing to Meet the Coastal Challenges of the 21st Century. Conference Report, World Coast Conference 1993*, 49.
- [16] IPCC, 2001, *Climate Change 2001: Synthesis Report.*, Cambridge Univ. Press.
- [17] IPCC WG I, 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis.*, Cambridge Univ. Press.
- [18] IPCC WG II, 2001, *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.*, Cambridge Univ. Press.
- [19] Kitajima, S., T. Ito, N. Mimura, Y. Tsutsui and K. Izumi, 1993, *Impacts of Sea-level Rise and Cost Estimate of Countermeasures in Japan*; in Mclean R. and N. Mimura (eds.). “Vulnerability Assessment to Sea-level Rise and Coastal Management”, *Proceedings of the IPCC Eastern Hemisphere Workshop*, 115-123.
- [20] Mimura, N., M. Isobe and Y. Hosokawa, 1993, “Coastal Zone in the Potential Effects of Climate Change in Japan”, edited by Nishioka *et al.* Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, 57-69.
- [21] Mimura, N. and E. Kawaguchi, 1996, “Responses of Coastal Topography to Sea-Level Rise”, *Proc. of 25th ICGE*, 1349-1360.
- [22] Nicholls, R.J., F.M.J. Hoozemans and M. Marchand, 1999, “Increasing Flood Risk and Wetland Losses due to Sea-Level Rise: Regional and Global Analysis”, *Global Environmental Change*, 9, S69-S87.
- [23] Smith, B., I. Burton, R.J.T. Klein and R. Street, 1999, “The science of adaptation: A framework for assessment”, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 4, 199-213.

2007년 10월 4일 원고접수

2007년 11월 19일 수정본 채택