

기술보고

기후변화 적응방안 연구  
- 해수면 상승을 중심으로 -

조광우\* · 맹준호\* · 김해동\* · 오영민\* · 김동선\*\* · 김무찬\*\*\* · 윤종휘\*\*\*\*

\* 한국환경정책평가연구원 환경영향평가부, \* 계명대학교 환경대학, \* 한국해양연구원 연안항만공학본부,  
\*\* 부경대학교 해양산업개발연구소, \*\*\* 경상대학교 해양환경공학과, \*\*\*\* 한국해양대학교 해양경찰학과

Reviews on the Adaptation Strategy to Climate Change  
- Application to the Sea Level Rise -

Kwangwoo Cho\* · Jun-Ho Maeng\* · Hae-Dong Kim\* · Young Min Oh\* · Dong-Sun Kim\*\*  
Mu Chan Kim\*\*\* · Jong Hwui Yoon\*\*\*\*

\* Environment Impact Analysis Division, Korea Environment Institute, Seoul 122-706, Korea

\* College of Environment, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

\* Coastal and Harbor Engineering Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Seoul 425-744, Korea

\*\* Research Center for Ocean Industrial Development, Pukyong National University Pusan, 608-737, Korea

\*\* Department of Marine Environmental Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

\*\*\*\* Dept of Maritime Police Science, Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요 약 : 본 연구는 21세기 기후변화에 대한 적응전략을 해수면 상승 관점에서 검토하였다. 해수면 상승에 취약한 것으로 알려진 연안역에 대한 적응책을 고려하는 경우 적응이 필요한 장소, 적응방법, 적응시기에 대한 검토가 필요하다. 연안역에 대한 적응 능력 평가는 영향 및 적응 잠재력에 대한 이해를 필요로 한다. 해수면 상승에 대한 적응방법에는 관리적 이주, 순응, 방어가 있으며, 이들의 적용에는 취약지대 토지이용 상황, 취약성 정도, 경제성 분석 등의 검토를 통한 대응 방안의 조합이 요구된다. 적응시기에 대하여는 예측적 적응과 반응적 적응으로 구분할 수가 있으며, 이들을 함께 고려하는 것이 효과적이다. 기후변화 대응은 과학적 불확실성 하에서 이루어지는 과정으로 대응정책 결정은 정보와 인식 구축, 계획 및 정책 구상, 실행, 모니터링 및 평가의 단계로 이루어져야 한다.

핵심용어 : 기후변화, 지구온난화, 해수면상승, 연안역, 대응방안

Abstract : We review the adaptation strategies of the 21st climate change in an application to sea level rise. For the development of appropriate adaptation strategies on the coast vulnerable to the sea level rise, we have to consider the issues such as where to adapt, how to adapt, and when to adapt. The coastal target needed adaptation can be found by the evaluation of adaptive capacity of the coastal zone which requires the understanding of impacts and adaptive potential of the natural and socioeconomic systems in the coastal zone. Planned adaptation options to sea level rise can be classified into three generic approaches as managed retreat, accommodation, and protection. In practice, the implementation of the options requires the analysis of land use, degree of vulnerability, cost and benefit, etc, and may be combination of the options rather than one approach. In terms of the response timing, the adaptation can be grouped as anticipatory and reactive ones. Generally it is more effective to consider both anticipatory and reactive adaptations at the same time for the impacts of future sea level rise. Due to the scientific uncertainty of climate change issues including sea level rise, the adaptation processes have to be designed to deal with a series of processes such as information and awareness establishment, planning and design, implementation, and monitoring and evaluation in continuity and long-term period.

Key words : Climate Change, Global Warming, Sea level Rise, Coastal Zone, Corresponding strategy

1. 서 론

최근 발표된 UN 기후변화에관한정부간패널 (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) 3차보고서는 21세기말까지 인간의 활동에 의한 지구온난화로 지구평균기온이 최대 5.8℃, 해수면은 최대 88 cm 까지 상승할 것으로 예측하고 있다(IPCC, 2001c). 예상되는 지구온난화는 기후시스템을 구성하는 대기, 해양, 생물, 빙하, 육지 시스템에 다양한 경로로 영향을 줄 것으로 예상되며, 그 영향은 대부분 악영향인 것으로 평가되고 있다. 많

\* 대표저자 : 조광우, kwcho@kei.re.kr, 02)380-7615  
\* jhmaeng@kei.re.kr, 02)380-7653  
\* khdk@kmu.ac.kr, 053)580-5930  
\* ymoh@kordi.re.kr, 031)400-6312  
\*\* 정희원, kimds@pknu.ac.kr, 051)620-6255  
\*\*\* 정희원, kmc81@nongae.gsnu.ac.kr, 055)640-3063  
\*\*\*\* 정희원, jhyun@hhu.ac.kr, 051)410-4279

은 국가들은 지구온난화로 인한 기후변화의 영향이 자국의 지속 가능발전과 밀접한 관계가 있음을 인식하고 예상되는 기후변화에 대한 영향을 사전에 평가하고 적절한 대응방안 수립에 많은 노력을 경주해 오고 있다(일본환경성, 2001; IPCC, 2001b).

기후변화와 같은 지구환경문제는 기본적으로 지구규모에서 발생하지만 그 영향은 거주 지역을 포함한 지역적 또는 국가적 규모로 나타나고 있다. 기후변화 영향의 심각성은 세계 도처에서 이미 인지되고 있다. 최근의 한 예로 호주 근처의 섬나라인 투발루는 지구온난화에 따른 해수면 상승으로 인한 국토 손실에 대한 대처가 불가능해짐에 따라 26km<sup>2</sup>의 면적과 환초로 구성된 자국의 국토를 포기하기로 결정하기에 이르렀다(Brown, 2001). 이러한 현실에 비추어 전 세계에서는 기후변화 문제의 심각성에 대한 인식이 점차 확산되고 있는 실정이다. 2000년 스위스 다보스에서 열린 세계경제포럼에서 세계가 직면한 가장 긴박한 문제로 기후변화를 선정하였으며 미국 타임지의 2001년 3월 대국민 여론조사 결과 조사대상의 75%가 지구온난화를 심각하게 생각하고 있다고 답하고 있다.

우리나라도 미약한 관측과 연구결과를 토대로 볼 때 지구온난화의 안전지대가 아닌 것으로 평가되고 있다. 한반도의 기온 및 해수면 상승(Cho, 2002), 황사현상 빈발, 강수 양상의 변화로 인한 홍수 및 가뭄, 각종 기상재해 발발, 태풍 등에 의한 연안역의 범람, 냉수성 어족의 격감, 농업생산성의 변화, 전염병의 증가 등 지구온난화와 연관이 있는 각종 영향들이 국가적인 대응의 부재 속에 무방비 상태로 우리에게 다가오고 있는 것으로 보고되고 있다(국립환경연구원, 2000; 조 등, 2002). 기후변화의 또 다른 특성은 향후 온실가스를 상당히 저감시킨다 해도 현재 진행되고 있는 지구온난화현상은 기후시스템의 속성상 장기간 지속될 것으로 전망되고 있다(IPCC, 2001c). 이러한 기후변화는 산업 활동의 제약뿐만 아니라 인간의 생존 형태 자체를 변화시킬 수 있으므로 향후 적절한 대응이 매우 중요한 과제일 수밖에 없다.

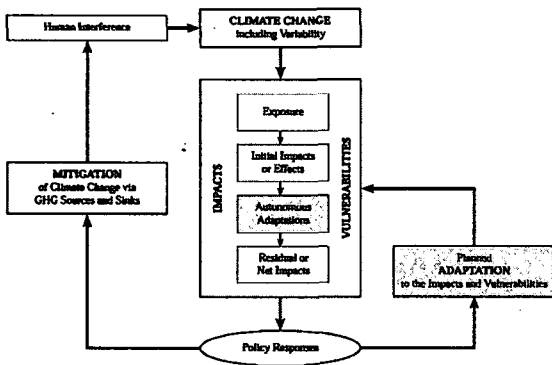


Fig. 1 Corresponding measures for global warming: mitigation and adaptation.

Source: Smit et al.(1999)

지구온난화에 따른 기후변화에 대한 대응은 지구온난화의 원인 물질인 온실가스를 지구적으로 감축 (mitigation)하여 기후변

화를 감소시켜 기후변화에 대한 자연 및 인간시스템을 보호하자는 국제적인 노력과 기후변화에 대한 영향을 미리 파악하여 예상되는 영향을 최소화하고자하는 지역적인 적응 (adaptation) 차원의 노력으로 대별될 수가 있다 (Fig. 1). 이와 같은 기후변화 속성 때문에 IPCC는 해수면 상승을 포함한 기후변화에 가장 좋은 대처 방안으로 적응 (adaptation)과 저감 (mitigation)의 조화를 제시하고 있으며(IPCC, 2001a), 기후변화협약상의 일반 국가의 의무도 적응과 저감의 두 사항으로 요약될 수 있다.

기후 시스템의 특성은 매우 큰 관성을 갖는 시스템이다. 기후변화협약의 성공으로 온실가스 감축이 성공적으로 이루어진다 하여도 큰 관성을 갖는 기후시스템의 특성상 기후변화의 영향을 회피할 수가 없다. 예를 들어 이산화탄소를 향후 수십 년 내에 감축을 실시하여 대기중 이산화탄소 농도를 일정 수준으로 안정화시키는 시나리오 하에서 대기중 이산화탄소 농도는 대기 중 체류 시간으로 인하여 50~300년 후에 안정화되기 시작하며 지구표면 온도의 안정화는 수백 년 정도 걸리는 것으로 나타나고 있다. 본 연구와 관련한 해수면 상승은 해수면과 관련된 물리적 과정에 의하여 천년 이상 계속 상승하는 것으로 알려져 있다 (IPCC, 2001c).

기후변화에 대한 대응 중 온실가스 감축 문제는 본질적으로 지구 규모의 환경 문제 성격을 띠고 있으나 그 영향 문제를 고려할 때에는 지역적, 국가적인 차원의 문제로 우리 자신이 대처해야 할 성격을 갖고 있다. 그러므로, 해수면 상승을 포함한 기후변화 문제에 있어서 가장 주요한 대응 노력은 계획적인 적응 전략이며 적절한 적응전략 개발 및 수립은 저감 방안을 보완하는 필수적인 요소로 평가되고 있다(Burton, 1996; Smit 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. 이에 따라 본 연구에서는 기후변화에 대한 적응 방안에 주안점을 두고자 하였다. 본 연구의 내용은 적응의 개념, 적응이 필요한 대상, 구체적인 적응 방안, 적응 시기, 적응의 과정을 포함하고 있다.

## 2. 적응 개념

IPCC에서 정의하는 적응 (adaptation)의 개념은 광범위한 개념으로 해수면 상승과 같은 기후변화에 대하여 생태, 사회, 경제 시스템의 조절을 의미한다 (IPCC, 2001a). 적응은 기후변화의 잠재적 영향을 완화 또는 상쇄하거나 기후변화 관련 기회를 이용하기 위한 과정, 실행, 구조의 변화를 의미한다. 전자의 예로는 해수면 상승에 대하여 방어벽 또는 인공 사구를 설치하는 것, 산호초가 해수면 상승에 대응하여 성장하는 것 등을 들 수 있으며, 후자는 기온 상승을 온실 재배에 이용하는 경우이다. 따라서 적응의 개념은 시스템의 자발적인 (autonomous) 것과 계획된 (planned) 것을 모두 포함하는 개념으로 설명될 수 있다.

적응은 기후변화 문제와 관련하여 기후변화 영향 및 취약성 평

가 그리고 대응방안 개발 및 평가에 있어 중요한 개념이다. 기후 변화로 예상되는 적응을 파악하는 것은 기후변화 영향 및 취약성 평가에 있어 중요하다. 이 적응개념은 기후변화협약에서도 사용되며 기후변화 저감을 결정하는 기준으로 사용되고 있다. 기후변화협약 2조에서 기후시스템의 위험 정도를 “생태계가 적응하도록, 식량생산이 위협받지 않도록, 지속가능한 경제 발전이 가능하도록”으로 명시하고 있다. 생태계, 식량공급, 지속발전의 취약성 정도는 기후변화 영향 및 시스템의 적응 능력에 따라 달라진다. 따라서 기후변화의 영향 및 취약성은 시스템의 적응과 밀접한 관계가 있다.

적응의 개념과 함께 고려해야 할 용어는 적응 용량 (adaptive capacity)이다. 적응용량은 시스템, 지역, 또는 사회가 기후변화의 영향에 적응할 수 있는 잠재력 또는 능력을 의미한다. 적응 능력 증진은 기후변화, 기후변동, 극단적인 기후현상에 대처하는 실제적인 수단을 나타낸다. 적응 능력의 증진은 취약성을 감소시키고 지속가능 발전을 촉진할 수 있다.

지구온난화에 의한 해수면 상승 적응 대책을 고려하는 경우 아래의 세 가지 문제 즉 적응이 필요한 장소 (where to adapt?), 적응 방법 (how to adapt?), 적응 시기 (when to adapt?)에 대한 해답이 필요하다. 이 문제들은 우리가 미래의 기후를 정확히 예측할 수 있는 경우 경제적인 편익분석을 통하여 해결의 실마리를 풀 수가 있다. 그러나 해수면 상승을 포함한 기후변화 문제는 불확실성이 매우 큰 문제이다. 따라서 해수면 상승에 대응하기 위한 접근 방식은 결정론적인 방법보다는 위험 및 불확실성에 기초한 방식이어야 한다. 먼저 해수면 상승에 대한 시스템의 자발적 적응 (자발적 조절)이 어느 정도로 영향을 감소시키는지를 파악하고, 계획된 적응이 필요한지에 대하여 고려하는 것이 중요하다.

Klein et al.(1999)의 연구에 의하면 많은 경우 자발적 적응이 연안역에서 일어나지만, 연안역에서 기후변화의 영향에 대해서는 대부분 계획된 적응을 필요하다고 제시하고 있다. 여기서 계획된 적응은 자발적인 적응을 최대한 수용하는 정책들을 포함한다. 그러나 지금까지 연안역에서 관리 관행은 연안역이 가지고 있는 자발적인 적응을 감소시키는 방향에서 이루어져 왔다. 예를 들어 우리나라의 경우 개발사업으로 갯벌 및 사구의 훼손을 가지고 왔으며 이들 행위는 연안역의 자발적인 적응 능력 즉 연안역 보호 능력을 훼손하는 행위로 간주된다. 역사적으로 많은 연안역 관리 결정이 자발적인 적응 과정을 감소시키는 방향에서 이루어진 것으로 평가되고 있다.

### 3. 적응 대상

해수면 상승 영향에 대한 적응을 고려하는 경우 먼저 적응이 필요한 장소 및 대상에 대한 평가가 필요하다. 적응 지역 및 대상에 대하여는 우리는 먼저 기후변화 시나리오 및 해수면 상승에 대한 연안역의 취약성을 평가하는 데서 출발한다. 연안역의 취약성 평가에 대하여 좀더 근본적이고 과학적으로 접근하여 보면 연안역의 취약성은 다차원적인 개념으로 그 구성 요소가 생지물리적, 경제적, 제도적, 사회문화적 요소와 관련이 있는 복잡한 개념

이다. 해수면 상승으로 인한 연안역의 취약성은 해수면 상승 요인에 대한 연안역의 대응능력의 함수로 고려하기도 한다 (Timmerman, 1981; Smith, 1992). IPCC에서는 연안역의 취약성을 “기후변화와 해수면 상승의 결과에 대처 불가능한 정도”로 정의하고 있다 (IPCC CZMS, 1992). 따라서 취약성 평가는 예상되는 영향과 가능한 적응 방안의 평가를 포함한다.

해수면 상승에 대한 취약성을 고려하기 위한 개념적 모식도는 Fig. 2와 같다 (Klein et al., 1999). 이 취약성 모식도는 자연계 (natural system) 와 사회경제적(socioeconomic system) 취약성을 구별하고 있으며, 취약성 평가에 수반되는 다양한 개념의 정의와 이들 개념이 어떻게 상호 관련되어 있는지를 보여주고 있다.

Fig. 2에서 보듯이, 자연계 및 사회 경제적 시스템 취약성은 서로 관련되어 있다. 해수면 상승에 대한 사회경제적 취약성 평가를 위해서는 먼저 자연계가 어떻게 영향을 받는가에 대한 평가가 선행되어야 한다. 따라서 해수면 상승에 대한 연안역의 취약성 평가는 해수면 상승의 생지물리적 (biogeophysical) 영향에 대한 자연계의 민감성 (susceptibility)과 자연계가 이런 영향에 대응하는 자연적인 능력 (탄성, resilience)과 저항 (resistance)을 먼저 평가하는 것이 필요하다. 좀더 구체적으로 해수면 상승과 관련하여 민감성, 탄성, 저항의 예를 들면, 민감성은 해수면 상승에 의한 삼각주 범람과 같은 해수면 상승에 대한 영향 잠재력을 의미하며, 탄성 및 저항은 산호초가 해수면 상승 속도보다 더 빨리

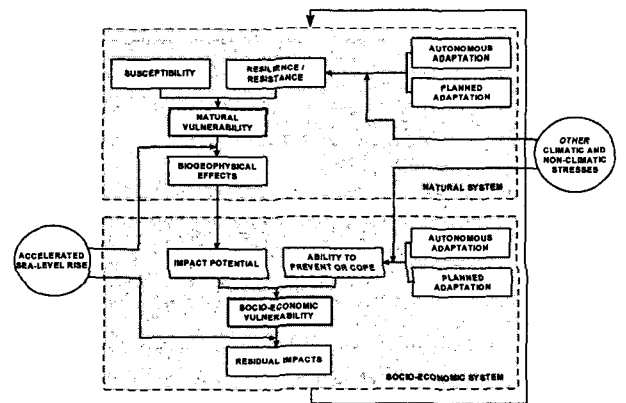


Fig. 2 Schematic diagram of coastal vulnerability assessment for sea level rise.

Source: Klein et al.(1999)

성장하여 해수면 상승에 대응하는 자연계의 자발적인 조절 능력을 의미한다. 따라서 민감성, 탄성, 저항의 3가지 요소가 해수면 상승 영향에 대한 연안역의 자연적 취약성을 결정하는 요소로 작용한다. 일반적으로 인간의 각종 행위는 연안역의 자연적 취약성에 부정적으로 작용한다. 그러나 계획된 적응은 시스템의 탄성과 저항을 강화시키고 이를 통해 자발적 적응 능력을 증대시켜서 자연적인 취약성을 감소시킬 수도 있다. 해수면 상승의 생지물리적인 영향은 사회경제적 영향의 범위를 증가시킬 가능성이 크다.

이런 영향 잠재력은 비록 현재는 그것이 인간 영향에 의존하고 있지만, 자연시스템의 민감성에 상응하는 사회·경제적 민감성이 있다. 민감성, 탄성, 저항의 함수인 연안역의 자연적 취약성과 동시에 사회·경제적 취약성은 영향 잠재력과 이런 영향을 방지하거나 대처하는 사회의 기술, 제도, 경제, 문화적 능력(즉, 자연적 변화의 시간 규모 내에서 적응하는 능력)에 의해 결정된다. 자연 시스템의 탄성과 저항 안에서 자발적 적응의 포텐셜과 계획된 적응은 영향을 방지 또는 대처하는 능력을 결정한다.

연안역의 취약성 평가에는 자연시스템과 사회·경제 시스템간의 역동적인 상호작용에 대한 지식이 중요하다. 이는 사회·경제 시스템에 대한 자연시스템의 영향과 사회·경제 시스템에 대한 계획된 적응을 포함한다. 따라서 각각 독립적으로 존재하는 두 개의 분리된 시스템을 고려하는 대신에 다양한 방법으로 자연시스템과 사회·경제시스템이 상호 작용한다.

연안역의 취약성 평가의 모식도와 이에 대한 개념 및 구조가 Fig. 2에서 정의되었지만 해수면 상승에 대한 연안역의 취약성 평가에는 아직까지 많은 어려움이 존재하고 있다. 연안역의 종합적인 취약성 평가를 수행하는데 있어 주된 어려움은 먼저 해수면 상승에 의해 영향을 받는 과정과 그 과정들의 상호작용에 대하여 아직까지 많이 알려져 있지 않은 점, 기존 상황에 대한 자료부족, 장래의 변화에 대한 국지적, 지역적 시나리오 개발이 어려운 점, 몇몇 영향에 대해서는 적절한 해석적 방법론의 부재 등을 들 수 있다. 그러나 Fig. 2의 모식도는 해수면 상승과 기후변화에 대한 연안역의 취약성 평가에 대한 향후 연구 방향을 제시하는 가이드라인 역할을 한다.

#### 4. 적응 방안

지구온난화에 의한 해수면 상승 예상치는 해수면 상승에 대한 적응 필요성을 강조하기에 충분하다. 이 문제는 다른 기후변화 영향 문제와 마찬가지로 장래에 다가올 영향을 감소시킬 수 있는 적절한 행동을 취할 것을 요구한다. Fig. 3에서 보여지는 바와 같이 해수면 상승에 대한 계획적인 적응 전략은 크게 관리적 이주(managed retreat), 순응(accommodation), 방어(protection)의 세 가지 전략으로 구분할 수가 있다(UNEP, 1996). 이들 중 방어 적응 전략은 크게 방파제와 같은 hard 기술과 사빈 보충과 같은 soft 기술로 다시 세분할 수가 있다.

관리적 이주 방안은 모든 자연환경에 대한 해수면 상승 영향은 허용하고 인간에 대한 영향은 해수면 상승으로 영향을 받는 취약 지대로부터 후퇴함으로써 인간에 대한 영향을 최소화하는 개념이다. 순응의 방안은 자연환경에 대해서는 관리적 이주 방안과 같이 모든 영향을 허용하고 인간에 대한 영향은 연안역의 이용 방식을 조절함으로써 해수면 상승 영향을 최소화하는 방안이다. 방어의 방안은 hard 또는 soft 기술을 이용하여 영향을 받는 지역을 보호함으로써 인간에 미치는 영향 및 자연 환경을 제어하는 방안이다.

위의 세 가지 적응 전략은 다시 적응의 유형에 따라 자발적인 조절(autonomous Source: IPCC CZMS(1990) adjustment)

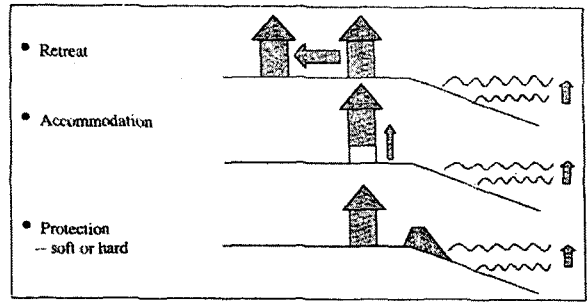


Fig. 3 Adaptation options for sea level rise.

과 전략적 행동(strategic action)으로 구분할 수가 있다. 또한 위의 세 가지 적응 방안의 도입 시기에 관하여 예방적(proactive)인 것과 반응적(reactive) 것으로 구분할 수가 있다. 해수면 상승에 대한 적응방안 및 적응방안 별 유형과 도입시기에 따라 구분하면 Table 1과 같다.

해수면 상승에 대한 관리적인 이주 전략은 대응 전략 중 가장 효율적인 전략 중의 하나로 평가되고 있다. 이 전략은 해수면 상승으로 예상되는 지역과 이 지역의 경제성에 대한 사전 평가를 토대로 사전 예방적(proactive) 차원에서 전략적 행위로서 취

Table 1 Strategies of adaptation response for sea level rise.

적응 방안	적응 유형		적응 시기	
	자발적 조정	전략적 행동	반응적	예방적
<b>관리적 이주</b> • 취약지구 미개발 • 조건적, 단계적 개발억제 • 정부 보조금 폐지 • 가정되는 이동성	✓	✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓
<b>순응</b> • 최악 영향 회피 선행 계획 • 토지 이용 변경 • 건물 양식 변경 • 위협받는 생태계 보호 • 재해 지역 규제 • 규제 강화를 위한 재해 보험	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓
<b>방어</b> 1) hard 구조물 방법 • 둑, 제방, 홍수제방 • 방파제, 방벽 • 방사제 • 이안제 • 방조문, 방조제 • 해수방어벽 2) soft 구조물 방법 • 주기적 사빈 공급 • 사구 복원 및 조성 • 습지 복원 및 조성 • 조립	✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ ✓

Source: UNEP (1996)

하는 전략으로 해수면 상승으로 인한 인간 사회의 피해를 최소화

할 수 있는 방안으로 사료된다.

그러나 관리적 이주 대응 전략은 그 사용에 있어 한계를 가질 수 있다. 먼저 해수면 상승에 관한 취약성 평가 결과 취약한 지역으로 나타난 곳이 도시 및 기간 시설 등 많은 투자가 이루어진 지역에 대해서는 이 전략만으로는 대처가 불가능한 경우가 생길 수 있다. 또한 우리나라와 같이 국가가 협조하고 주요 산업시설이 연안을 따라 많이 설치되어 있는 경우 이 방법만의 대응전략 수립은 효율적이지 못할 수 있다. 현재 해수면 상승으로 이미 영향을 겪고 있는 태평양의 섬나라들은 해수면 상승으로 인한 범람에 물리적 방어의 어려움과 막대한 경제적 비용 문제 등으로 이주 방안 외에는 대안이 없는 경우도 생길 수 있다. 투발루와 같이 태평양 및 인도양의 섬나라의 경우 해수면 상승으로 인하여 일차적으로 위협을 받고 있는 국가들이 투발루의 결정을 볼 때 해수면 상승에 대하여 방어 및 순응의 방법만으로 대처가 쉽지 않은 단면을 보여주고 있다. 향후 해수면 상승 영향을 고려한 연안역 저지대에 대한 토지 이용 계획 수립은 연안역의 지속 발전과 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

순응의 대응 전략 중 연안역의 토지 이용 계획의 변경은 취약한 지역으로 파악된 지역에 경제적인 가치가 비교적 떨어지는 구조물을 설치하는 경우와 해양과 친화적인 용도로 토지 이용의 용도를 변경하는 경우를 포함할 수 있다. 전자의 경우는 주택보다는 주차장 등과 같이 경제적 가치 및 인명의 피해를 줄일 수 있는 구조물을 건축하는 경우이고 후자는 농경지 등과 같이 해수에 취약한 지대에 양식장이나 염전 등과 같이 해수와 밀접한 시설물을 유지하는 것을 포함한다. 건물의 양식 변경의 예는 건축물의 구조를 해수면 상승에 의한 영향을 감안할 수 있는 구조물로 바꾸는 것으로 Fig. 3에서 보여지는 것과 같이 건물의 높이를 높이는 방법이다. 이러한 건물 구조 양식은 이미 허리케인 등에 의해 해수 범람을 자주 받는 미국의 동부 및 남부에서는 흔한 건축 양식이다.

이들 토지 이용 및 건축 양식 변경을 통한 순응 방법 외에도 규제 및 보험을 통한 순응 방법도 제시되고 있다. 이러한 방법 중 해안의 위협을 완화시키는 데에 가장 많이 활용되는 법적 제도적인 방법 중의 하나가 미국의 연방재해관리국 (Federal Emergency Management Agency)에서 시행하는 범람보장프로그램 (National Flood Insurance Program: NFIP)이다. NFIP는 재정적인 보호와 동시에 재해 완화를 모두 다루는 프로그램이다 (National Research Council, 1995). 재정보호 프로그램은 영향 평가 결과 범람 지역 및 범람 가능 지역 주택소유자와 사업자들에게 범람 보험형태로 제공된다. 재해 완화 프로그램은 예상되는 재해에 대하여 건축 기준 및 건축 지역 규제 기준을 설정하여 구조적으로 접근하는 방법이다. NFIP는 해수면 상승과 같은 범람 문제에 대응을 위한 법적 제도적인 관점에서 선진국에서는 가장 실현성이 있고 유망한 방법 중의 하나로 인식되고 있다.

해수면 상승 대응을 위한 hard 대응 구조물에는 선 구조(line structure) 개념의 1차원적인 방어 구조물과 분리 이안제나 인공 어초와 같이 2차원적인 방어 구조물로 구분할 수가 있다. 선 구조물은 어항이나 방파제 등을 건설하는데 사용되는 방법으로 방어

의 개념을 고려할 때 지금까지 가장 많이 활용된 전략이다. 그러나 이러한 선 구조물은 범람만의 문제만을 고려할 때 그 위험을 줄이는 역할에는 효율적이나 건설비용이 매우 비싸며, 또한 유지비용도 크며 태풍 등과 같은 저기압 내습시 강한 파랑 등에 의해 손상될 수 있어 주기적인 유지 보수가 필요하다. 이와 같은 구조물은 인간과 해안과 격리시켜 경관적으로는 해양에 대한 시계 제한, 해수욕장과 같은 해안에 대한 접근을 차단하는 부작용도 동시에 존재한다. 이러한 구조물은 주변 해역의 유동 및 파랑을 변화시켜 해안선의 퇴적 및 침식에 영향을 주어 주변 생태계에 영향을 준다. 또한 구조물 주변에서 발생하는 침식 작용은 구조물의 안전을 위협하는 등 부작용도 매우 큰 것으로 알려져 있다. 이러한 선 구조물의 단점을 보완하기 위한 방어의 개념으로 현재 분리된 방파제와 인공 암초 적절한 배열을 사용하여 해변의 안정화 및 침식을 조절하는 방식이 일본 등 선진국을 중심으로 도입되고 있다. 이런 구조물들은 파동에너지를 감소시켜 연안역의 침식을 방지하는 역할을 한다. 그러나 이런 구조물 자체가 연안역에서 모래를 생성하는 것이 아니므로 구조물 설치 시 사전 점검 및 계획이 필요하다.

해수면 상승에 대응하기 위한 soft 개념의 방어 기술 중 대표적인 것이 인위적인 연안 사빈 조성이다. 인공적으로 해변에 사빈을 조성하는 것은 해안선 보호를 위한 효과적인 공학적 대안인 동시에 사빈 복원의 주요한 기술로서 제시되고 있다. 기존 해변에 사빈을 공급하여 기존 사빈의 폭과 높이를 확대함으로써 파동 에너지를 분산시킬 수 있으며 이로 인하여 해수면 상승을 포함한 해양의 물리적 운동에 기인한 해안선의 침식을 억제함과 동시에 태풍, 저기압, 지구온난화에 의한 해수면 상승에 의한 범람 피해를 막을 수 있다. 인공적인 사빈 해변 조성은 미국, 유럽, 오스트레일리아를 포함한 구미의 국가에서 해수면 상승의 영향을 포함하여 해양의 물리적 영향으로부터 자국의 연안을 보호하기 위한 가장 수용하기 쉬운 기술적인 방안 중의 하나로 평가받고 있다. 일본의 경우도 해안선 보호를 위한 방안으로서 대규모의 주기적인 해변 재조성 작업을 검토하는 단계에 있다. 일본에서는 1999년 발효된 해안보호법 (seacoast law)에 이러한 연안역의 방어 및 보호 개념을 수록하고 있으며, 이 법에서는 사빈 공급을 포함한 해안 조성이 해안선 보호의 기술적인 대안임을 제시하고 있다.

우리나라에서는 연안역의 사빈이 연안을 따른 각종 개발 사업으로 인하여 침식이 크게 일어나고 있는 것으로 판단된다. 우리나라에서의 사빈 보호는 주요 해수욕장을 중심으로 이루어지고 있으며 이는 단지 관광 자원의 보호를 목적으로 이루어지고 있다. 해안 사빈 및 사구가 가지는 연안역의 보호 및 방어 개념을 고려할 때 이들 해안 특성을 보호, 관리 및 복원하는 정책 수립 및 이행이 절실히 요구된다고 할 수 있다.

지금까지 우리나라의 경우 연안역에는 주거지, 산업 시설, 도로 등과 같은 사회경제적 활동이 집중되어 있어 이들을 범람 등의 원인으로부터 보호하기 위하여 방어의 개념으로 주로 이 문제에 접근하여 왔다. 앞장에서 검토한 바와 같이 우리나라 연안역도 지구온난화에 따른 해수면 상승으로 잠재 위험성이 증가할 것으로 예상된다. 그러나 이러한 해수면 상승에 대한 잠재적 위협에

대한 방어만의 대처 방안은 효율적이지 못하며 위에서 언급한 세 가지 방안을 종합적으로 고려하는 것이 연안역의 취약성을 줄이면서 지속발전을 이룩할 수 있는 방안으로 사료된다.

### 5. 적응 시기

해수면 상승으로 인한 연안역의 부정적인 영향이 예상되는 점을 감안할 때 언제 적응 및 대응이 이루어져야 하는가에 고려가 중요하다. 대응 시기와 관련하여 Smit et al.(1999)의 연구를 인용하면 계획 적응을 예측적 (anticipatory)인 것과 반응적인 (reactive) 것으로 구별된다. 이들 개념은 좀 더 쉽게 풀이하면 예상되는 해수면 상승 및 그 영향에 대하여 오늘 대응을 시작할 것인가 아니면 내일까지 기다려보고 해수면 상승에 대한 영향이 가시적일 경우 대응을 시작할 것인가로 설명될 수 있다. 예측적 대응은 반응적인 대응보다 불확실성이 더 큰 상태에서 이루어지는 대응이지만 미래의 해수면 상승에 대한 과학적인 정보에 근거하여 이루어지는 대응이다. 해수면 상승 영향이 가시적인 상황에서 이루어지는 반응적인 대응은 연안역의 범람 예상 지역에 취약 구조물의 증가와 같은 바람직한 해수면 상승 대응 방향과 역행할 수 있으며 이로 인하여 오히려 효과적인 대응을 어렵게 할 수 있다.

해수면 상승 영향에 대한 예측적 대응과 반응적 대응을 적절히 조합하여 효과적으로 사용하는 것은 해수면 상승 영향에 대응 전략에 큰 도움을 주는 것으로 평가되고 있으며, 이에 대한 모식도는 Fig. 4와 같다.

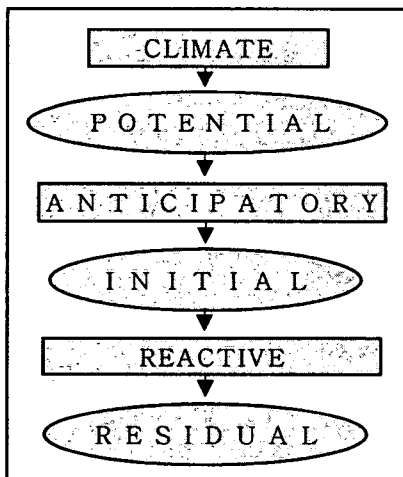


Fig. 4 Flowchart of anticipatory and reactive adaptations to climate change.

Source: Klein (1998)

이 모식도는 먼저 해수면 상승이 연안역에 잠재적인 영향 (potential impact)을 준다는 가정에서 출발한다. 향후 해수면 상승 영향에 대응하여 연안역의 각종 개발 및 보호 계획을 향후 해수면 상승을 예상하고 이에 따라 계획된 적응을 수립 실행하는 것은 해수면 상승의 잠재적 영향을 감소시킬 수 있으며 이를 초

기적 영향으로 정의한다. 이 초기 영향에 대한 반응적인 대응은 이 초기 영향을 더욱 감소시킬 수 있으며 이를 잔여 영향으로 정의할 수 있다. 해수면 상승에 대한 적응 시기는 위의 예측적 대응과 반응적 대응을 함께 고려하는 장기적인 대응의 경우 그 시너지 효과가 크며 향후 충격 (비용 및 영향)을 크게 완화할 수 있는 효율적인 선택으로 사료된다. 그러나 많은 경우 해수면 상승 영향에 대한 고려 없이 연안역 개발이 이루어지고 있으며 그러한 경우 오히려 연안역의 취약성을 증가시키며 이들은 적응의 관점에서 부정적인 적응으로 표현된다.

해수면 상승 영향에 대한 적응책 이행은 막대한 비용과 희생이 요구되는 경우가 많다. 따라서 해수면 상승 및 이에 따른 해수면 상승영향이 불확실한 상태 하에서 미래의 해수면 상승 영향에 대하여 예측적 대응을 사회적으로 정당화하는 것은 쉬운 문제가 아니다. 예측적 대응을 도입하기 위한 기준은 해당 국가나 사회에 따라 달라질 수가 있다. Smith (1997)는 예측적 대응이 정당화될 수 있는 몇 가지 경우에 대하여 언급하고 있다. 그 하나는 해수면 상승 문제 대응과는 별도로 예측적 대응으로 혜택이 있는 경우 (이 경우를 win-win 상황으로 정의함)와 해수면 상승 영향이 돌이킬 수 없는 파국적으로 영향을 주거나, 해수면 상승 영향을 받을 것으로 예상되는 사회인프라에 대한 장기 계획, 예측적 행위가 없는 경우 해수면 상승과 다른 장기적 경향 사이에 상호 나쁜 영향을 주는 경우로 제시하고 있다.

일반적으로 연안역에서 많은 사업 (인프라 건설 등)들은 장기적 이용을 예상하여 이루어지므로 어떤 결정을 내리기 전에 예측적인 적응의 필요성을 주의 깊게 고려하는 것이 필요하다. 연안역에서의 예측적 적응의 예는 앞서 기술한 해수면 상승 대응기술의 모든 것이 포함될 수 있다. 기존의 예로서는 범람 방파제 건설 및 폐수 배출 시스템 보강, 교량 및 방벽의 높이 증대, 연안으로부터의 구조물 후퇴 등이 포함될 수 있다.

### 6. 적응 과정

해수면 상승을 포함한 기후변화에 대한 적응 경험은 제한적이지만 태풍이나 해일 등과 같은 기후변동에 대해서는 많은 경험을 가지고 있다. 네덜란드, 영국, 일본 등 연안역 관리가 발달한 국가들의 경험을 토대로 연안역 문제에 대한 적응은 앞 절에서 제시한 적응 기술을 활용하는 이상의 것을 보여주고 있다. 이들 경험을 토대로 해수면 상승에 대응하기 위하여 정책 결정을 포함한 기본적인 과정을 Fig. 5에 나타내었다 (Klein et al., 1999). Fig. 5 의하면 해수면 상승 대응 과정은 (1) 정보와 인식 구축, (2) 계획 및 구상, (3) 실행, (4) 모니터링 및 평가의 네 가지 단계로 실시될 것을 제안하고 있다.

해수면 상승과 같은 기후변화 문제에 관한 대응은 과학적으로 불확실한 상황 하에서 이루어지는 과정이다. 따라서 불확실한 하에서의 기후변화 관련 정책결정은 환경, 경제적 결과, 위험에 대한 사회의 태도 등을 주의 깊게 고려하면서 장기적이고 연속적인 과정으로 이루어져야 한다. 현재의 지구온난화 및 기후변화는 인간의 활동에 의한 온실가스 배출이 그 원인으로 파악되고 있지

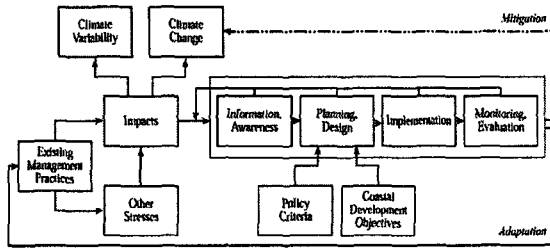


Fig. 5 Corresponding processes to climate change and sea level rise.

Source: Klein et al.(1999)

만 아직까지 불확실성이 매우 높은 것으로 평가되고 있다. 기후 변화의 불확실성은 탄소순환에 대한 현재까지의 지식의 불완전성, 이산화탄소 이외의 온실가스의 순환과정에 대한 이해의 부족, 기후모델의 불확실성 등이 있다. IPCC 3차보고서(IPCC, 2001c)에서 지적한 바와 같이 기후변화 탐지 및 원인, 지역적인 기후변화 및 기상이상 변화에 대한 이해 및 예측, 국지지역지구 규모에서 기후변화 영향의 정량화, 대응 및 저감 활동의 분석, 기후변화 문제의 모든 면을 지속발전 전략으로의 통합 문제, 기후계를 교란하는 위험한 인간 활동을 구성하는 요소에 대한 판단을 지원할 수 있는 종합적이고 통합적인 조사에 대해서는 향후 연구가 필요한 것으로 평가하고 있다.

기후변화에 대한 과학적 불확실성은 기후변화문제에 대한 대응이 중요치 않다는 것을 의미하지는 않는다. 현재 과학의 불확실성은 지구의 기후변화 및 그 영향에 대하여 우리가 과소평가 혹은 과대평가하고 있는 것을 의미하며 그 결과는 양방향으로 진행될 수 있다는 것을 모두 의미한다. 현재의 기후변화에 대한 과학적 문제는 기후가 향후 인간 활동에 의하여 더 변화할 것인가가 아니라 오히려 어떻게 (크기), 어디서 (지역적인 유형), 언제 (변화율) 일어 날 것인가에 대한 것이다. 이 질문에 대한 대답은 국가별 지역별로 적절한 기후변화 대응 방향 및 방법을 설정하는데 매우 중요한 문제이다. 이들 과정에서 모니터링 및 평가의 중요성은 현재의 대응 방법이 미래에는 과학 기술 및 지식 발전, 사회적 가치 변화로 인해 부적절할 수도 있다는 사실에 기초하고 있다. 위의 과정은 해수면 상승 대응 정책 결정 과정을 경험 획득 과정으로 본다 할 수 있다.

해수면 상승의 영향은 몇몇 국가는 예외지만 전 세계 연안에서 일어날 수 있는 것으로 평가되고 있다. 해수면 상승은 연안역이 갖고 있는 오염, 수산자원 감소, 연안역 훼손과 같은 현재의 압력과 문제들을 크게 악화시킬 것으로 예상되므로 연안역이 당면한 현안 문제들과 동시에 해수면 상승 문제를 포함한 기후변화의 적응 문제를 함께 고려시 시너지 효과를 가져올 것으로 기대되고 있다. 몇몇 상황에서 기후변화는 기후변화가 없는 상황에서도 실행할만한 가치가 있는 "win-win" 상황을 정의하는데 도움을 줄 수 있다. 앞 절에서 제시한 여러 적응 방안들은 장기적인 기후변화뿐만 아니라 단기적인 기후변동의 영향을 감소시키는 데에도

도움이 될 수 있다. 적응 능력을 증대시키고 적응이 가능한 환경 조성 및 관련된 광범위한 방안들을 고려하는 것이 해수면 상승 및 기후변화 대응에 무엇보다 주요한 접근방식으로 사료된다.

## 7. 결 언

20세기 이전부터 시작된 지구온난화는 21세기 현재 가속되고 있으며 그 영향은 점차 증대될 전망이다. 지구온난화에 의한 해수면 상승은 자연생태계의 보고이며 인간의 사회경제적 활동이 집중되어 있는 연안역에 다양한 영향 - 연안 저지대 및 습지 범람, 해안 침식, 강이나 지하수로의 해수 침투, 강 수위 증가 및 범람, 조석과 파동의 변화, 퇴적물의 변화 등 - 을 미칠 것으로 예상되고 있다. 위와 같은 지구온난화의 영향은 현 인류의 당면 과제인 평등 (equity), 빈곤 (poverty), 지속성 (sustainability)을 위협하는 지구환경문제로 인식되고 있다. 해수면 상승 영향에 대한 대응의 기본 전략은 온실가스 감축 (mitigation)과 적응 (adaptation) 두 가지 면에서 동시에 접근하는 것이 필요한 것으로 나타났다. 그러나 온실가스 감축을 통하여 21세기 해수면 상승을 어느 정도 감소시킬 수는 있으나 온실가스 감축의 어려움과 해양의 관성으로 인하여 21세기 해수면 상승은 피할 수 없는 것으로 나타났다. 이에 따라 해수면 상승 문제에 있어서 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 상승에 취약한 것으로 조사된 한반도 연안역에 대하여 적응책을 고려하는 경우 적응이 필요한 장소, 적응 방법, 적응 시기에 대한 고려가 필요한 것으로 조사되었다. 적응대상 및 장소는 상세한 해수면 상승에 대한 취약성 평가를 통하여 이루어질 수 있다. 연안역에 대한 적응 능력 평가는 영향 및 적응 잠재력에 대한 이해를 요구하며 연안역의 적응 잠재력은 자발적인 적응 능력과 계획적 (예측적 및 반응적) 적응력을 포함한다. 이 과정은 자연계의 자발적인 적응과정 및 사회경제시스템의 계획된 적응에 대한 평가를 통하여 이루어진다. 그러나 현재 연안역에 대한 적응 능력 평가는 영향을 받는 과정과 그 과정들의 상호작용에 대한 정보 부족, 과거의 상황에 대한 자료부족, 미래의 국지적/지역적 시나리오 개발이 어려운 점, 몇몇 영향에 대해서는 적절한 해석적 방법론의 부재 등으로 인하여 제약성을 가지고 있다.

해수면 상승에 대한 계획적인 적응 기술로는 크게 관리적 이주 (managed retreat), 순응 (accommodation), 방어 (protection)의 3가지 전략으로 구분할 수가 있으며 방어 적응 전략은 크게 방파제와 같은 hard 기술과 사빈 보충과 같은 soft 기술로 구분할 수가 있다. 이들 적응 기술들은 취약지대의 토지이용 상황, 취약성 정도, 비용대비 효과 분석 등을 통한 종합적인 검토를 통하여 위의 기술의 적절한 조합이 요구된다.

적응시기에 대하여는 예측적 적응과 반응적 적응으로 구분할 수가 있으며 예측적 적응은 해수면 상승에 대한 연안역의 취약성을 크게 감소시킬 수 있으므로 예측적 적응과 반응적 적응을 동시에 고려하는 것이 향후 해수면 상승의 취약성을 줄일 수 있다.

예측적 적응 증대는 기존 연안역 개발 관행 (갯벌, 사구 훼손 등)에 대한 재검토를 통하여 연안역의 자발적인 적응 능력의 보호 및 증가를 통하여 이루어 질 수 있다. 적응시기 결정과 관련하여 현재의 개발계획이 해수면 상승 대응과 더불어 기존의 연안역의 문제점 (태풍 및 조석에 의한 범람 등)을 동시에 고려하는가를 파악하고 예측적으로 적응해 나가는 것이 효과적인 것으로 사료된다. 해수면 상승과 같은 기후변화 문제에 관한 대응은 과학적으로 불확실한 상황에서 이루어지는 과정이다. 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 정책결정은 환경, 경제적 결과, 위험에 대한 사회의 태도 등을 주의 깊게 고려하면서 장기적이고 연속적인 과정으로 이루어져야 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] 국립환경연구원(2002), 지구온난화에 따른 한반도 영향평가가 및 적응전략 기술개발, pp.354.
- [2] 일본환경성(2001), 지구온난화가 일본에 미치는 영향, 지구온난화문제검토위원회, pp. 459.
- [3] 조광우 · 김지혜 · 정휘철 · N.Mimura · R. N. Nicholls(2002), 지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면 변화와 그 영향에 관한 연구 II, 한국환경정책평가연구원, pp. 220.
- [4] 조광우 · 한화진 · 강광규 · 김지혜 · 이한수(2002), 기후변화협약 대응체제 연구, 환경부, pp. 342.
- [5] Brown, L. R.(2001), Rising Sea Level Forcing Evacuation of Island Country, Eoo - Economy Update, Earth Policy Institute, pp. 4.
- [6] Burton, I.(1996), The growth of adaptation capacity practice and policy, In Adapting to Climate Change, Springer-Verlag, pp. 55-67.
- [7] Cho, K.(2002), Sea-Level Trend at the Korean Coast Korean Environmental Sciences Society 11(11), 1141-1147.
- [8] IPCC(2001a), Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation and Vulnerability, Cambridge Univ. Press, pp. 1032.
- [9] IPCC(2001b), Climate Change 2001 : Mitigation, Cambridge Univ. Press, pp. 1032.
- [10] IPCC(2001c), Climate Change 2001 : The Scientific Basis, Cambridge Univ. Press, pp. 1032.
- [11] IPCC CZMS(1990), Strategies for Adaptation to Sea Level Rise, IPCC, pp. 122.
- [12] IPCC CZMS(1992), Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea, pp. 35.
- [13] Klein R.J.T Nicholls and N. Mimura(1999), Coastal Adaptation to Climate Change Can IPCC Technical Guidelines be Applied?, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 4 : pp. 239-252.
- [14] National Research Council(1995), Science Policy and the Coast Improving Decision-making, National Academy Press, pp. 85.
- [15] Timmerman, P.(1981), Vulnerability, Resilience and the Collapse of Society, A Review of Models and Possible Climatic Applications, Environmental Monograph No. 1, University of Toronto.
- [16] Smit, B., I. Burton, R.J.T., Kelin and R. Street(1999), The science of adaptation A framework for assessment, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 4: pp. 199-213.
- [17] Smith, J.B.(1997), Setting priorities for adapting to climate change, Global Environmental Change 7 : pp. 251-264.
- [18] UNEP(1996), Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies, pp. 53.

원고접수일 : 2004년 12월 04일

원고채택일 : 2004년 12월 24일