

기후변화 · 해수면 상승에 따른 농업부문 통합평가 사례연구 비교분석 및 개선방안

안 소 은* · 오 서 연

한국환경정책 · 평가연구원, 환경전략연구실

Reviewing of Integrated Assessment of the Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise on Agricultural Sector

Ahn, SoEun[†] and Oh, SeoYun

Korea Environment Institute, Sejong, Korea

ABSTRACT

The aim of this paper is to review integrated assessment studies conducted to address the impacts of climate change · sea-level rise on agricultural sector and to derive suggestions for improving the integrated assessment process to assist decision-makers in establishing climate change adaptation policy. We collect integrated assessment studies which are based on the impact-pathway analysis, compare their step-by-step procedures and identify main factors addressed in each step. The assessment process is typically carried out in the sequence of scenario development, determination of assessment scope, physical impact assessment, economic analysis and synthesis of the outcomes from each step. We identify two types of integrated assessment. The first one examines the impacts of changes in temperature and/or precipitation on the crop-cultivation patterns and/or agricultural productivity and resulting economic effects on agricultural sector. The other investigates the impacts of sea-level rise on land use/coverage and resulting economic damages in terms of land-value loss where the effects on agriculture is treated as one sector among others. To enhance integrated assessment, we suggest that 1) scenarios need to incorporate the effects of climate change and sea-level rise simultaneously, 2) scope of the assessment needs to be extended to include ecosystem services as well as crop production, 3) social and cultural aspects need to be considered in addition to economic analysis, and 4) synthesis of the outcomes from each step should be able to combine quantitative as well as qualitative information.

Key words: Climate Change, Sea-level Rise, Integrated Assessment, Agricultural Sector

1. 서 론

기후변화는 인간활동에 전반적으로 영향을 미치나, 특히 농업은 온도, 강우패턴과 같은 기후인자에 의존하기 때문에 상대적으로 그 영향이 다른 부문에 비해 크다고 볼 수 있다. 해외 연구사례를 살펴보면, 기후변화로 인한 농업부문 통합평가는 주로 기온 · 강수량 변화가 농작물 경작패턴 및 농업생산성에 미치는 영향과 그에 따른 경제적 파급효과 분석을 위주로 진행되어 왔다(McCarl, 2006; EU-JRC, 2013; Wiebe *et al.*, 2015).

한편, 해수면상승으로 인한 통합평가는 글로벌, 지역, 국가 차원에서 범람면적 평가에 기반한 토지이용변화 예측과 그에 따른 사회적 비용추정 형태로 진행되어 왔으며, 농업부문은 포괄적 영향분석의 일부로 다루어져 온 측면이 있다(Tol, 2002; Anthoff *et al.*, 2010; Bosello *et al.*, 2012; Hinkel *et al.*, 2014). 국내 관련연구도 예외는 아니다. 국내에서 수행된 기후변화 · 농업부문 통합평가 역시 기온 · 강수량 변화에 따른 농업생산성 변화와 경제성분석을 연계하는 작업을 중심으로 진행되어 왔다(Shim *et al.*, 2011a; 2011b; Kwon and Lee, 2012).

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

* 논문에 사용된 용어(terms) 및 약어정리(glossary)는 부록을 참고하기 바랍니다.

Received August 5, 2016 / Revised August 19, 2016 / Accepted September 2, 2016

이는 대부분의 국내외 사례연구에서 ‘통합’을 기후변화 또는 해수면상승으로 인한 물리적영향평가와 경제성분석의 연계로 정의하여 왔기 때문이기도 한데, 기후변화로 인한 농업 부문은 다른 차원의 ‘통합’에 주목할 필요가 있다. 기후변화로 예상되는 해수면상승이 작물재배패턴 및 농업생산성에 미치는 영향을 반영하는 것이 그것이다. 우리나라의 경우, 전체 경지면적의 42%, 농가인구의 37.7%가 해안 54개 시·군에 분포하고 있어(Mafra, 2012), 해수면상승으로 인한 경지면적 손실이 상당할 것으로 예상됨에도 불구하고, 이를 고려한 연구사례는 매우 미흡한 상황이다. 향후 국내 농업부문 적응대책 마련을 위해서는 물리적영향평가와 경제성분석 간의 절차상 통합은 물론, 기온·강수량 변화와 범람이 농작물 경작패턴 및 농업생산성에 미치는 영향을 동시에 고려할 수 있는 접근법이 요구된다. 전자는 절차상의 통합으로, 후는 내용상의 통합으로 해석할 수 있겠다.

이러한 맥락에서 본 소고는 기후변화 또는 해수면상승으로 인한 농업부문 통합평가 국내외 사례연구를 검토하고 비교분석함으로써 관련연구의 현 주소를 점검하고, 기후변화 적응정책 수립 및 의사결정 지원을 위한 절차상의, 그리고 내용상의 통합평가 개선방안을 도출하고자 하는 목적으로 기획되었다. 이를 위해 먼저 영향경로분석(impact pathway analysis)에 기반한 통합평가의 절차 및 분석요소를 정리하고, 정리한 통합평가 절차 및 분석요소를 유형분류 기준으로 활용하여 기후변화·해수면상승에 따른 농업부문 국내외 사례연구를 검토한다. 다음으로 검토결과를 기반으로 사례연구의 유형을 분류하여 제시하고, 비교분석을 통하여 향후 통합평가 개선을 위한 시사점을 도출한다. 특히 통합평가 개선방안은 분석단계를

아우르는, 즉 시나리오개발-범위설정-물리적영향평가-경제성분석-종합평가 절차상의 개선방안과, 각 단계별로 기후변화와 해수면상승으로 인한 영향을 동시에 고려하기 위한 내용상의 개선방안을 함께 제시하고자 한다.

2. 통합평가 절차 및 분석요소

통합평가는 부문에 관계없이 영향경로분석에 기반하여 시나리오 개발 또는 정책대안 수립, 분석범위 설정, 물리적 영향평가, 경제성분석, 종합평가 순으로 진행되는 것이 통상적이다 (Fig 1 왼쪽패널). 통합평가의 1단계는 분석·정책목표에 기반한 시나리오 내지는 정책대안을 설계하는 작업으로, 2단계는 시나리오별 예상되는 영향을 확인하고, 확인된 개별 항목의 특성과 영향의 시간적·공간적 범위를 구체화하여 적용 가능한 물리적 영향평가 및 경제성분석 방법론을 선정하는 작업으로 구체화된다. 1단계와 2단계는 순차적보다는 병행하여 진행하고, 상호 피드백을 통하여 보완하는 것이 효과적이다.

물리적영향평가는 선정된 항목의 양적 변화량을 측정하는 작업으로, 가치추정은 양적 변화량에 대한 화폐화 작업으로 정의할 수 있다. 3단계 물리적영향평가와 4단계 경제성분석 역시 맞물려 진행되는 것이 바람직하다. 특히 측정단위 간의 연결고리가 명확하지 않으면 물리적 영향 분석결과가 화폐화로 이어지기 어렵다. 경제성분석은 분석목표에 따라 특정 항목 또는 부문의 피해비용 추정에 한정할 것인지, 아니면 사회적 편익·비용을 고려한 포괄적 비용편익분석으로 가져갈 것인지를 결정하여야 한다. 예상되는 영향의 100% 목록화도, 확인된 항목의 100% 물리적 측정도, 물리적 항목의 100% 화폐화도 가

	Integrated Assessment	Climate Change Agriculture	Sea-level rise (Agriculture)
Step 1 Scenario Development	- Set up policy goals - Design scenarios or alternatives	- Climate change scenarios - Avg. temperature/precipitation - Extreme events	- Climate change scenarios - Sea level rise scenarios - Extreme events
Step 2 Scoping	- Review on impacts - Temporal/spatial scope - Review data/methods	- Crops/fruits - Local/national/regional	- Inundation/salinization - National/regional/global
Step 3 Physical Assessment	- Physical impact assessment	- Cropland areas/patterns - Crop yields simulation - Agricultural productivity	- Inundation map (land use) - Salinization assessment (areas and concentration)
Step 4 Economic Analysis	- Monetary valuation - Cost/benefit analysis	- Revenues in agricultural sector - Regional economic analysis	- Damage costs - Cost/benefit analysis - Sectoral/full-scale
Step 5 Integration Synthesis	- Synthesis of results - Uncertainties/Sensitivity - Qualitative information	- Review on uncertainties - Sensitivity analysis - Policy alternatives	- Review on uncertainties - Sensitivity analysis - Policy alternatives

Fig. 1. Framework of integrated impact assessment for climate change and sea-level rise.

능하지 않은 것이 일반적이다. 따라서 평가과정을 거치면서 누락된 항목에 대한 고려가 필요한데, 이는 종합평가 단계에서 불확실성 검토와 함께 다루어지는 것이 통상적이다.

기후변화·해수면상승에 따른 농업부문 통합평가 국내의 사례연구에 대한 1차 검토결과, 통합평가는 Fig. 1의 중앙 패널과 같이 온도·강수량변화·작물재배패턴·농업생산성영향·경제성분석·정책대안의 흐름으로 이어지는 유형과, 오른쪽 패널과 같이 해수면상승·범람·염류화지도(또는 토지이용변화)·사회적비용(또는 농업부문 피해추정)·적응정책대안의 흐름으로 이어지는 유형으로 크게 이분되는 것으로 나타났다.

먼저 기후변화로 인한 농업부문 통합평가는 기후시나리오와 작물시뮬레이션 모형을 활용하여 평균기온·강수량변화 및 기상이변(한파, 폭설, 이상저온, 일조량부족 등)에 따른 특정 작물, 주로 쌀의 재배면적·패턴의 변화와 그에 따른 생산량·생산성 변화예측이 진행된다(CAB, 1994; OECD, 2010; OECD, 2014; Chung *et al.*, 2006; Shim *et al.*, 2010). 경제성분석은 농업생산량·생산성의 변화를 경제적 효과분석으로 연계하는 작업이 주를 이룬다. 분석목적, 대상지역, 대상작물 등에 따라 일반균형모형(CGE)(Kwon and Lee, 2012; EU-JRC, 2013; Wiebe *et al.*, 2015) 또는 농업부문모형(ASM)(Chang *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2014) 등 적용 가능한 경제성분석 방법론도 차별화된다.

한편, 해수면상승에 따른 농업부문 통합평가는 독립적으로 진행되었다기보다는 글로벌, 지역, 국가 차원의 범람·염류화 영향평가의 일부로서, 부문별 분석의 형태로 수행되어온 것으로 나타났다. 범람평가는 기후시나리오를 사용하여 해수면상승 고도를 예측하고, 이를 기반으로 태풍, 해일, 조석과 같은 기상 정보, 범람평가모의모형, 수치표고모형(DEM) 등을 활용하여 범람지도를 작성한 후, 분석목적에 따라 GIS 기법을 이용하여 토지피복, 인구, 주거, 산업정보를 중첩하는 절차로 진행된다. 경제성분석은 도출된 범람지도를 근거로 범람지역의 직접피해비용(주로 자산손실) 산정 또는 사회적 비용추정의 형태로 진행되거나, 해안 방어대안 평가를 목적으로 대안별 포괄적 비용편익분석 접근법을 취하기도 한다(Tol, 2002; Sarwar, 2005; Al-Jeneid *et al.*, 2008; Saidy and Azis, 2009; Stoorvogel, 2009; Hossain, 2010; Anthoff *et al.*, 2010; Bosello *et al.*, 2012; Jeong and Jang, 2011; Cho *et al.*, 2012; Hinkel *et al.*, 2014; Kontogianni *et al.*, 2014).

3. 농업부문 통합평가 사례연구 유형분류 및 비교분석

앞 절에서 통합평가의 절차 및 내용을 기술하고, 기후변화·해수면상승에 따른 농업부문 통합평가를 영향경로분석 측면에서 검토하였다. 본 절에서는 기후변화·해수면상승으로 인한 농업부문 영향을 다른 문헌을 목록화하고, Fig. 1에서 제시한 바와 같이 국내의 사례연구를 기후변화·농업부문과 해수면상승·(농업)부문으로 구분하는 작업을 진행하였다.

1차 문헌검토 결과, 기후변화·농업부문에 해당하는 국내의 사례연구 34편을 목록화하고, 개별연구에 대한 대표저자, 발표연도, 분석대상지역, 분석내용 등을 요약하면 Table 1과 같다. 분석내용은 해수면상승(SLR), 기후변화(CC), 염류화(SAL), 농업부문(AGR), 경제성분석(ECON), 적응정책(ADAP)의 6개 항목으로 구분하여 정리하였다. 이 중 해수면상승(SLR), 기후변화(CC), 염류화(SAL)는 시나리오 개발에 해당하고, 농업부문(AGR)과 경제성분석(ECON)은 영향평가 구분에 해당하며, 적응정책(ADAP)은 대안 제시여부를 검토하기 위한 항목이다. 확인된 사례연구 34편 중 기후변화로 인한 물리적 영향평가 즉, 작물재배패턴/농업생산성 영향에 초점을 둔 연구가 32편으로 대부분을 차지하고 있으며, 경제성분석까지를 포함한 사례연구는 17편에 해당한다. 국내 사례연구로 범위를 좁히면, 물리적 영향평가 14편, 경제성분석을 포함한 통합평가는 7편이 확인되었다.

해수면상승·(농업)부문 통합평가 국내의 사례연구는 총 35편을 검토하였다(Table 2). 이 중 해수면상승으로 인한 농업부문 평가를 포함하고 있는 연구는 19편에, 경제성분석까지를 포함한 통합평가는 8편에 불과하다. 국내 사례연구로 범위를 좁히면, 해수면상승으로 인한 농업부문 영향평가와 경제성분석을 모두 포함한 연구는 Jeong and Jang(2011)이 유일하다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이, 해수면상승으로 인한 범람영향 평가가 농업과 같은 특정 부문별 접근보다는 국가 또는 지역적 차원에서 범람지도를 작성하고, 그에 따른 자산손실 측면에서 접근한 연구가 대부분이기 때문이다.

다음으로는 확인된 사례연구를 대상으로 스크리닝 절차를 거쳐 대표사례를 선별하고, 통합평가 단계별 내용을 구체화하여 비교분석하였다. 심층비교를 위한 사례연구 선정은 Fig. 1에서 제시한 농업부문 통합평가 유형을 기준으로 선정하였다. 기후변화·농업부문과 해수면상승·(농업)부문의 대표사례 선정은 인용횟수가 상대적으로 많은 사례연구를 우선적으로 고려하였으며, 특히 적용 방법론과 대상지역을 중심으로 차별화하여 선정하고자 하였다. 선정된 대표 사례연구에 대해서는 저자, 발표연도, 시나리오, 분석범위(분석대상 항목, 분석시점, 공간 범위), 물리적영향평가(방법론, 결과형태), 경제성분석(방법론, 결과형태) 결과를 요약하여 정리하였다(Table 3과 Table 4).

Table 1. List of studies to address the impacts of climate change on agricultural sector

No.	Lead author	Year of publication	Study area	Contents ¹⁾					
				SLR	SAL	CC	AGR	ECON	ADAP
1	Chung UR	2006	160 cities/districts of Korea	-	-	○	○	-	-
2	Kwon OS	2008	7 provinces of Korea	-	-	○	○	-	-
3	Kim CG	2009	80 rural districts(crop yield)	-	-	○	○	○	-
4	Shim KM	2010	8 provinces of Korea	-	-	○	○	-	-
5	Park KW	2011	8 provinces of Korea	-	-	○	○	○	-
6	Kwon OS	2012	8 provinces of Korea	-	-	○	○	○	-
7	Kim CG	2012	8 provinces of Korea	-	-	○	○	-	-
8	Kwon OS	2012	23 industry classification of Korea	-	-	○	○	○	-
9	Nam YS	2012	8 provinces of Korea	-	-	○	○	-	-
10	Kwon OS	2013	15 global regions	-	-	○	○	○	-
11	Park KW	2014	9 provinces of Korea	-	-	○	○	○	-
12	Lee SH	2014	156 cities/districts of Korea	-	-	○	○	-	-
13	Chae YR	2014	228 districts of Korea	-	-	○	○	○	-
14	Chang YJ	2015	8 provinces of Korea	-	-	○	○	-	-
15	Mendelsohn R	1994	3,000 counties of USA	-	-	○	○	○	-
16	CABI	1994	11 countries of Asia	-	-	○	○	-	-
17	Adams R	1995	10 rural communities of USA	-	-	○	○	○	-
18	Darwin R	1995	8 global regions and countries	-	-	○	○	○	○
19	Fankhauser S	1997	9 global regions and countries	-	-	○	-	○	-
20	Zilberman D	2003	-	-	-	○	○	○	-
21	McCarl B	2006	US total acreage of crop	-	-	○	○	○	○
22	Yang X	2007	Northeast China	-	-	○	○	-	○
23	CSIRO	2008	Australia	○	○	○	○	○	○
24	Newbold SC	2009	-	-	-	○	-	○	-
25	Stoorvogel J	2009	Netherlands rural area	○	○	○	○	-	○
26	Iglesias A	2009	9 regions of Europe	-	-	○	○	-	○
27	AEA	2010	27 European countries	○	○	○	○	-	○
28	OECD	2010	26 global regions and countries	-	-	○	○	-	○
29	Chang CC	2012	Taiwan central/south-west region	○	-	○	○	○	○
30	CAI	2012	British Columbia, Canada	○	○	○	○	-	○
31	DEFRA	2012	UK(sectoral production area)	○	○	○	○	○	○
32	EU-JRC	2013	23 European countries	-	-	○	○	○	-
33	OECD	2014	21 global regions and countries	-	-	○	○	-	○
34	Wiebe KD	2015	13 global regions and countries	-	-	○	○	○	-

¹⁾ SLR (Sea-level rise), SAL (Salinization: ground-water, soil, etc), CC (Climate change: temperature, precipitation change), AGR (Agriculture-sectoral impact), ECON (Economic analysis), ADAP (Adaptation policy).

Table 2. List of studies to address the impacts of sea-level rise on agricultural sector

No.	Lead author	Year of publication	Target area	Contents ¹⁾					
				SLR	SAL	CC	AGR	ECON	ADAP
1	Lee SY	2011	Haeundae Gu, Busan	○	-	-	-	○	-
2	Jeong HR	2011	Sacheon bay, Gyeongnam	○	-	-	○	○	-
3	Hwang JH	2011	Jeonnam/Gyeonggi/Ulsan/Busan	○	-	-	-	○	-
4	Cho KW	2012	8 provinces 79 districts, Korea	○	-	-	-	○	○
5	Shin YS	2013	Incheon islands area	○	-	-	-	○	-
6	Min DK	2014	5 provinces of the east-southern coast, Korea	○	-	-	-	○	○
7	Eo G	2015	Masan and Changwon city, Gyungnam, Korea	○	-	-	-	○	-
8	Fankhauser S	1994	22 global regions and countries	○	-	-	-	○	○
9	Chen X	1999	Yangtze delta area, Shanghai	○	-	-	○	-	-
10	Tol RSJ	2002	15 global regions and countries	○	-	-	-	○	-
11	Wassmann R	2004	Mekong delta region, Vietnam	○	-	-	○	-	-
12	Sarwar GM	2005	Bangladesh coastal area	○	○	-	○	-	○
13	Anthoff D	2006	15 global regions and countries	○	-	-	-	○	○
14	Nicholls R	2006	16 global regions and countries	○	-	-	-	○	-
15	Al-Jeneid S	2008	Kingdom of Bahrain's 36 islands	○	-	-	○	-	○
16	CSIRO	2008	Australia	○	○	○	○	○	○
17	Saidy AR	2009	South Kalimantan, Indonesia	○	-	-	○	-	○
18	Stoorvogel J	2009	Netherlands rural area	○	○	○	○	-	○
19	Yoskowitz DW	2009	Galveston bay, Mexico	○	-	-	-	○	-
20	Nair KS	2010	Vembanad-Kol coastal wetland, India	○	○	-	○	-	○
21	AEA	2010	27 European countries	○	○	○	○	-	○
22	Hossain M	2010	Bay of Bengal, Bangladesh	○	○	-	○	-	-
23	Anthoff D	2010	15 global regions and countries	○	-	-	-	○	○
24	Foster H	2011	30 rural areas, Indonesia	○	-	-	○	-	○
25	Brown S	2011	22 European countries	○	○	-	-	○	○
26	Bosello F	2012	26 European countries	○	-	-	○	○	○
27	Chang C	2012	Taiwan central/south-west region	○	-	○	○	○	○
28	CAI	2012	British Columbia, Canada	○	○	○	○	-	○
29	Defra	2012	UK(sectoral production area)	○	○	○	○	○	○
30	Ackerman F	2012	16 global regions and countries	○	-	-	-	○	-
31	Hinkel J	2012	40 coastal areas, Africa	○	○	-	-	○	○
32	Hinkel J	2014	world's coastline	○	-	-	-	○	○
33	Kalther J	2014	Subang coastal area, Indonesia	○	-	-	○	○	-
34	Kontogianni A	2014	27 coastal areas, Greece	○	-	-	○	○	○
35	Dahn VT	2014	Mekong delta region, Vietnam	○	○	-	○	○	-

¹⁾ SLR (Sea-level rise), SAL (Salinization: ground-water, soil, etc), CC (Climate change: temperature, precipitation change), AGR (Agriculture-sectoral impact), ECON (Economic analysis), ADAP (Adaptation policy).

Table 3. Comparison of analysis factors of integrated assessment to address impact of climate change on agricultural sector (selected studies)

Lead author (year)	Climate change scenario	Scope			Physical impact assessment		Economic analysis		Note
		Impacts considered	Temporal	Spatial	Method	Type of results	Method/type of results		
Wiebe (2015)	<ul style="list-style-type: none"> 14 CC and social-economic scenarios (SSP, RCP, GCM, and trade policy) 	<ul style="list-style-type: none"> 5 crops Economic impact 	<ul style="list-style-type: none"> 2005 2050 	<ul style="list-style-type: none"> 13 global regions/countries 	<ul style="list-style-type: none"> Global gridded crop model (LPJmL) 	<ul style="list-style-type: none"> Crop yield change by CC scenarios 	<ul style="list-style-type: none"> CGE (ENVISAGE, FARM, MAGNET) PE (IMPACT, MagPIE) models 	<ul style="list-style-type: none"> Scrops (wheat, rice, coarse grains, oilseeds, sugar) Use partial and general equilibrium models 	
Chang (2012)	<ul style="list-style-type: none"> GCM/IPCC SRES (A2/B2) SLR scenarios 	<ul style="list-style-type: none"> Crop yield Cultivation area Welfare 	<ul style="list-style-type: none"> 2055 	<ul style="list-style-type: none"> Taiwan central/southwest 	<ul style="list-style-type: none"> Chang (2002) Dasgupta (2009) 	<ul style="list-style-type: none"> 75 crops yield change Farmland loss by flooding 	<ul style="list-style-type: none"> ASM (TASM) Production value/welfare change 	<ul style="list-style-type: none"> Treat CC/agricultural productivity and SLR/farmland loss independently and simultaneously 	
Defra (2012)	<ul style="list-style-type: none"> UKCP09 scenario IPCC SRES (BI/A1B/A1FI) 	<ul style="list-style-type: none"> AGR (crop/livestock) Economic impacts 	<ul style="list-style-type: none"> 2020 2050 2080 	<ul style="list-style-type: none"> UK (production area) 	<ul style="list-style-type: none"> Expert interview/survey/literature review 	<ul style="list-style-type: none"> 11 sectors' risk assessment and metric analysis (risk metrics analysis) 	<ul style="list-style-type: none"> Market price Expert's judgement Economic impacts from change in production 	<ul style="list-style-type: none"> Assess additional impacts of CC on ecosystem services such as regulation of air quality, water purification, landscape amenity, biodiversity change etc. 	
EU-JRC (2013)	<ul style="list-style-type: none"> IPCC SRES (A1B, E1) SLR height 	<ul style="list-style-type: none"> 6 sectors 	<ul style="list-style-type: none"> 2080 2100 	<ul style="list-style-type: none"> 23 countries Europe 	<ul style="list-style-type: none"> Cross-sectoral impact model 	<ul style="list-style-type: none"> Crop yield change Coastal/river flood Energy demand change Capital/natural asset loss 	<ul style="list-style-type: none"> CGE (GEM-E3) Sectoral GDP change Sectoral welfare change 	<ul style="list-style-type: none"> Comparisons of impacts by CC scenarios, regional, and sectors (agriculture, coastal area, river flood, energy, traffic infra etc.) 	
Park (2014)	<ul style="list-style-type: none"> IPCC SRES (A1B) RCP8.5 	<ul style="list-style-type: none"> Gross production 47 ag. commodities 	<ul style="list-style-type: none"> 2010 2100 	<ul style="list-style-type: none"> 9 provinces Korea 	<ul style="list-style-type: none"> CERES (Shim <i>et al.</i>, 2011a) (Shim <i>et al.</i>, 2011b) 	<ul style="list-style-type: none"> Crop yield change 	<ul style="list-style-type: none"> ASM(PMP) Economic impact by agricultural commodity and region 	<ul style="list-style-type: none"> - 	
Kwon (2012)	<ul style="list-style-type: none"> IPCC SRES (A1B) RCP8.5 	<ul style="list-style-type: none"> Rice, dairy, livestock industry 	<ul style="list-style-type: none"> 2050 	<ul style="list-style-type: none"> Korea 	<ul style="list-style-type: none"> ORYZA2000 Semi-parametric analysis 	<ul style="list-style-type: none"> Rice production change 	<ul style="list-style-type: none"> CGE Sectoral economic impact stock 	<ul style="list-style-type: none"> Analysis includes impacts on live-stock 	
Kim (2009)	<ul style="list-style-type: none"> Temperature/precipitation prediction (2020) 	<ul style="list-style-type: none"> Price of farmland 	<ul style="list-style-type: none"> 2020 	<ul style="list-style-type: none"> 80 cities/districts Korea 	<ul style="list-style-type: none"> - 	<ul style="list-style-type: none"> - 	<ul style="list-style-type: none"> Recardian land-use modeling Changes in farmland price 	<ul style="list-style-type: none"> Assess the impacts of climate change in agricultural asset in terms of farmland price 	
Lee (2014)	<ul style="list-style-type: none"> Temperature Precipitation Wind 	<ul style="list-style-type: none"> Climate change Ag. sector 	<ul style="list-style-type: none"> 2010 	<ul style="list-style-type: none"> 156 cities/districts Korea 	<ul style="list-style-type: none"> Factor analysis Clustering Multinomial logistic model 	<ul style="list-style-type: none"> Index 	<ul style="list-style-type: none"> - 	<ul style="list-style-type: none"> CC vulnerability index of agricultural sector considering exposure to CC, sensitivity and adaptation ability 	

Note : Glossary for the terms used in this paper can be found in Appendix.

Table 4. Comparison of analysis factors of integrated assessment to address impact of sea-level rise on agricultural sector (selected studies)

Lead author (year)	Scope		Physical impact assessment		Economic analysis		Note	
	Climate change scenario	Impact considered	Temporal	Spatial	Method	Type of results		Method/type of results
Anthoff (2010)	<ul style="list-style-type: none"> IPCC SRES (A1/A2/BI/B2) SLR scenarios (0.5 m/1.0 m/2.0 m) 	<ul style="list-style-type: none"> Dryland loss Wetland loss Migration cost Protection cost 	<ul style="list-style-type: none"> 2100 	<ul style="list-style-type: none"> 15 global regions/countries 	<ul style="list-style-type: none"> FUND 	<ul style="list-style-type: none"> Inundation area Dryland and wetland loss by adaptation policies 	<ul style="list-style-type: none"> FUND BC analysis Optimal protection level 	<ul style="list-style-type: none"> Assessing physical impact and economic analysis per adaptation responses in present socio-economic situation
Bosello (2012)	<ul style="list-style-type: none"> IPCC SRES (A2/B2) SLR scenarios (A2: 41.4~2,319.5 cm) (B2: 41.5~2,349.7 cm) 	<ul style="list-style-type: none"> Erosion Flood Wetland Salinization 	<ul style="list-style-type: none"> 2020s 2080s 	<ul style="list-style-type: none"> EU 26 countries 	<ul style="list-style-type: none"> DIVA 	<ul style="list-style-type: none"> Inundation area Flooding area Wetland loss Agricultural loss Forced migration 	<ul style="list-style-type: none"> DIVA(direct cost) CGE/GTAP-EF; indirect cost) Agricultural damage (land price, flood, salinity) 	<ul style="list-style-type: none"> Direct cost by adaptation alternatives Economic impact analysis using CGE
Kalther (2014)	<ul style="list-style-type: none"> IPCC SRES (B2) SLR scenarios (farmland of 28% is flooded) 	<ul style="list-style-type: none"> Farmland inundation Direct/indirect damage 	<ul style="list-style-type: none"> 2100 	<ul style="list-style-type: none"> Subang rural area, Indonesia 	<ul style="list-style-type: none"> GIS DEM 	<ul style="list-style-type: none"> Agricultural land/inundation map 	<ul style="list-style-type: none"> Values of inundated areas by TEV classification WTP benefit transfer 	<ul style="list-style-type: none"> Direct use value (crop production) Indirect use value (ecosystem service) Non-use value(conservation)
Kontogianni (2014)	<ul style="list-style-type: none"> SLR scenarios (0.1, 1.0 m) 	<ul style="list-style-type: none"> Residence/tourism Agriculture Wetland Forest 	<ul style="list-style-type: none"> 2100 	<ul style="list-style-type: none"> 27 coastal areas, Greece 	<ul style="list-style-type: none"> Literature review 	<ul style="list-style-type: none"> Inundation area and length by region 	<ul style="list-style-type: none"> GDP/year and asset-value loss by land use and SLR Benefit transfer Monte Carlo Simulation 	<ul style="list-style-type: none"> Adaptation alternative policy evaluation
Jeong HR (2011)	<ul style="list-style-type: none"> 6 scenarios (IPCC, storm wave height, maximum tide level) 	<ul style="list-style-type: none"> Flooding area Damage cost 	<ul style="list-style-type: none"> 2010 2050 2100 	<ul style="list-style-type: none"> Sacheon, Gyeongnam Korea 	<ul style="list-style-type: none"> GPS/GIS DEM 	<ul style="list-style-type: none"> Inundation map by land use 	<ul style="list-style-type: none"> Estimating damage cost using disaster-recovery cost and appraisal value of land 	<ul style="list-style-type: none"> Inundation map and damage cost by SLR scenarios
Min DK (2014)	<ul style="list-style-type: none"> RCP2.6 (0.21~0.87 m) RCP4.5 (0.22~1.21 m) RCP6.0 (0.20~1.02 m) RCP8.5 (0.21~1.36 m) 	<ul style="list-style-type: none"> Flood damage Protection cost 	<ul style="list-style-type: none"> 2100 	<ul style="list-style-type: none"> Eastern/southern coast districts, Korea 	-	<ul style="list-style-type: none"> Flood risk map 	<ul style="list-style-type: none"> FUND Inundation damage cost (dry-land loss, migration and settling protection cost) 	<ul style="list-style-type: none"> Calculating optimal protection ratio of coastal line considering protection cost
Lee SY (2011)	<ul style="list-style-type: none"> SLR scenarios (1~10 m SLR per meter) 	<ul style="list-style-type: none"> Flood Inundation damage 	<ul style="list-style-type: none"> 2009 	<ul style="list-style-type: none"> Haemdae, Busan, Korea 	<ul style="list-style-type: none"> GIS DEM 	<ul style="list-style-type: none"> Inundation rate/area by land use, industry building, road, facility 	<ul style="list-style-type: none"> A primary damage (land, house, road) A secondary damage (logistics, tourism) 	-

Note : Glossary for the terms used in this paper can be found in Appendix

선정된 기후변화·농업부문 사례연구는 주로 IPCC SRES/RCP 시나리오를 사용하여 작물시뮬레이션 모델, 예를 들면 LPJmL(Wiebe *et al.*, 2015), ORYZA2000(MOE, 2011), CERES(Shim *et al.*, 2011a; 2011b) 모델을 적용하였고, 그 결과를 기반으로 다양한 경제성분석 모델 예를 들면 CGE(Wiebe *et al.*, 2015; EU-JRC, 2013; Kwon and Lee, 2012), ASM(Chang *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2014), 토지이용모델(Kim and Lee, 2009) 등을 활용하여 파급효과를 추정하였다. 예외적으로 Lee and Park(2014)는 기후에의 노출, 민감도, 적응능력을 고려한 지자체별 취약성 지수를 통하여 기후변화로 인한 농업부문 영향을 분석하였다. Defra(2012)는 전통적인 작물시뮬레이션-경제모형 접근법에서 벗어나, 시장가격과 전문가 판단에 근거한 값을 산출하였으며, 식량생산 기능과 함께 농경지가 제공하는 대기조절, 수질정화, 경관미, 생물다양성 등과 같은 생태계서비스 영향을 고려하였다(Table 3).

해수면상승·(농업)부문 통합평가에 활용되고 있는 대표적 모형으로는 FUND(Anthoff *et al.*, 2010)와 DIVA(Bosello *et al.*, 2012)가 있는데, 범람면적을 추정한 후 범람면적의 자산가치를 중심으로 한 직접피해비용과 범람으로 인한 비자발적 이주비용 등을 포함한 간접피해비용 산정을 중심으로 경제성분석을 진행한다. FUND 또는 DIVA 모형은 해수면상승으로 인한 농업부문 영향평가에 특화된 모형이라기보다는 물리적영향-경제성분석 모듈을 포함한 통합평가 모형에 해당한다. Kalthar *et al.*(2014)은 농경지 침수면적에 따른 피해비용 산정 시 경제적총가치(TEV) 유형구분을 적용하여 작물생산은 직접사용가치에, 생태계서비스 항목은 간접사용가치에, 보전가치는 비사용가치에 대응시키고, 지불의사액(WTP) 편익이전을 활용하여 평가하였다. 국내에서는 Min and Cho(2014)가 FUND 모형을 적용하여 분석한 사례가 있고, Jeong and Jang(2011)이 경남 사천만 지역을 대상으로 해수면상승 시나리오별 농경지 침수면적지도를 도출하고, 그에 따른 자산가치 손실을 추정한 바 있다(Table 4).

한편, 농업부문을 대상으로 기후변화와 해수면상승으로 인한 영향을 동시에 다룬 사례연구도 일부 존재하는 것으로 나타났다. 대부분 국가보고서 형태를 띠고 있다. 대표적인 사례로 기후변화로 인한 해수면상승 리스크 시나리오를 작성하고, 그에 따른 범람, 농업, 수자원(관개용수), 축산업부문의 영향과 비용편익분석을 수행한 호주사례(CSIRO, 2008), 1960~1990년 기간 동안의 기상자료에 기반한 기후전망 및 범람 시나리오를 활용하여 Brithish Columbia 5개 농업지역의 작물생산변화와 경제적영향을 평가한 캐나다사례(CAI, 2012), 농업과 축산을 11개 부문으로 구분하고, 전문가 설문조사를 활용

하여 리스크행렬분석을 활용하여 기후변화·범람영향을 평가한 영국사례(Defra, 2012) 등이 있다. 아시아지역의 경우, IPCC/SRES에 따른 해수면상승 예측 시나리오를 이용하여 대만의 75개 작물생산량 변화와 농경지 손실에 따른 경제적영향을 농업부문모형(ASM)을 활용하여 추정한 사례(Chang *et al.*, 2012)가 유일한 것으로 확인되었다(Table 1와 Table 2).

국내외 관련 사례연구 검토결과와 시사점을 크게 2개의 범주로 요약하면 다음과 같다. 먼저 영향경로분석에 근거한 통합평가에서 물리적 영향평가 결과에 기반한 2차 영향평가가 경제성분석에 한정되어 진행되어온 점을 들 수 있다. 정량화 특히 화폐화가 가능한 부문에만 의존한 의사결정은 지속가능성을 담보하기 어렵다. 따라서 경제성분석과 함께 사회·문화적 영향평가를 도입하여 분석범위를 확장할 필요가 있다고 생각된다. 다음으로 앞서서도 언급한 바와 같이, 기후변화(기온, 강수량)로 인한 농업생산성 영향과 해수면상승으로 인한 경지면적 손실이 대부분의 사례에서 동시에 고려되지 못한 점을 들 수 있다. 기후변화와 해수면상승의 동시 고려는 특히 시나리오 개발, 스코핑, 물리적 영향평가 단계의 분석내용과 범위의 수정을 필요로 하며, 또한 가용한 자료의 특성 및 수준에 따라 적용 방법론의 선택에도 영향을 미칠 수 있다. 전자는 절차상의 통합과 후자는 내용상의 통합과 맥락을 같이 한다고 볼 수 있다.

4. 농업부문 적응정책 지원을 위한 통합평가 개선방안

앞서 선행연구 검토결과를 크게 통합평가의 절차적 측면과 내용적 측면으로 이분하여 정리한 바 있다. 본 절에서는 먼저 도출한 시사점을 중심으로 영향경로분석에 근거한 통합분석 틀 개선방안을 제시하고자 한다. 다음으로 평가단계, 즉 시나리오 개발, 분석범위 설정을 위한 스코핑, 물리적 영향평가, 사회·경제성분석, 종합평가 단계별로 기후변화와 해수면상승으로 인한 영향을 동시에 고려하기 위한 개선방안의 세부내용을 제시하고자 한다.

4.1 통합분석 틀

농업부문 통합분석 틀은 기후변화 또는 해수면상승으로 인한 영향을 독립적으로 다루어 왔던 기존의 틀에서 벗어나, 이들 영향을 동시에 반영할 수 있도록 수정하는 것이 필요하다. 또한 기후변화·해수면상승으로 인한 물리적 영향은 물론, 경제성분석과 함께 사회·문화적 영향을 고려할 수 있어야 하며,

적응정책 대안의 평가가 가능하도록 설계하여야 한다. 본 소고에서 제시하는 통합분석 평가 틀은 Fig 2와 같다. 기존의 통합분석과의 차별성으로는 1) 시나리오 개발 단계에서 기후변화뿐만 아니라, 해수면상승을 고려한 점, 사회·경제성분석의 기준선 제시를 위한 사회·경제환경 변화를 반영한 점, 적응대안의 평가를 목적으로 할 경우 적응정책 내용을 시나리오 구성에 반영하도록 한 점, 2) 물리적 영향평가 단계에 기온·강수량 변화와 함께 경지면적 손실 및 염류화가 작물재배패턴 및 농업생산성에 미치는 영향을 동시에 고려할 수 있도록 수정한 점, 3) 경제성분석과 함께 사회·문화적 영향평가를 도입하여 보다 균형 잡힌 의사결정이 가능하도록 지원하고자 한 점 등을 들 수 있다.

을 들 수 있다.

4.2 시나리오 개발

시나리오 개발 측면에서는 다음과 같은 구성요소를 고려하여야 한다. 첫째, 온도·강수량 변화 및 극한사상을 고려한 기후변화, 둘째, 기후변화로 인한 해수면상승 고도 예측, 셋째, 향후 50~100년 동안의 사회·경제환경 변화상, 넷째, 적응대안 또는 정책의 내용 등이 그것이다. 적응정책의 반영은 분석의 목적에 따라 해당사항이 없을 수도 있으므로 Fig. 2에서 점선 처리하였다. 원칙적으로 분석에 활용할 시나리오는 이러한 4가지 구성요소의 조합으로 결정된다.¹⁾ 그러나 현재 대부

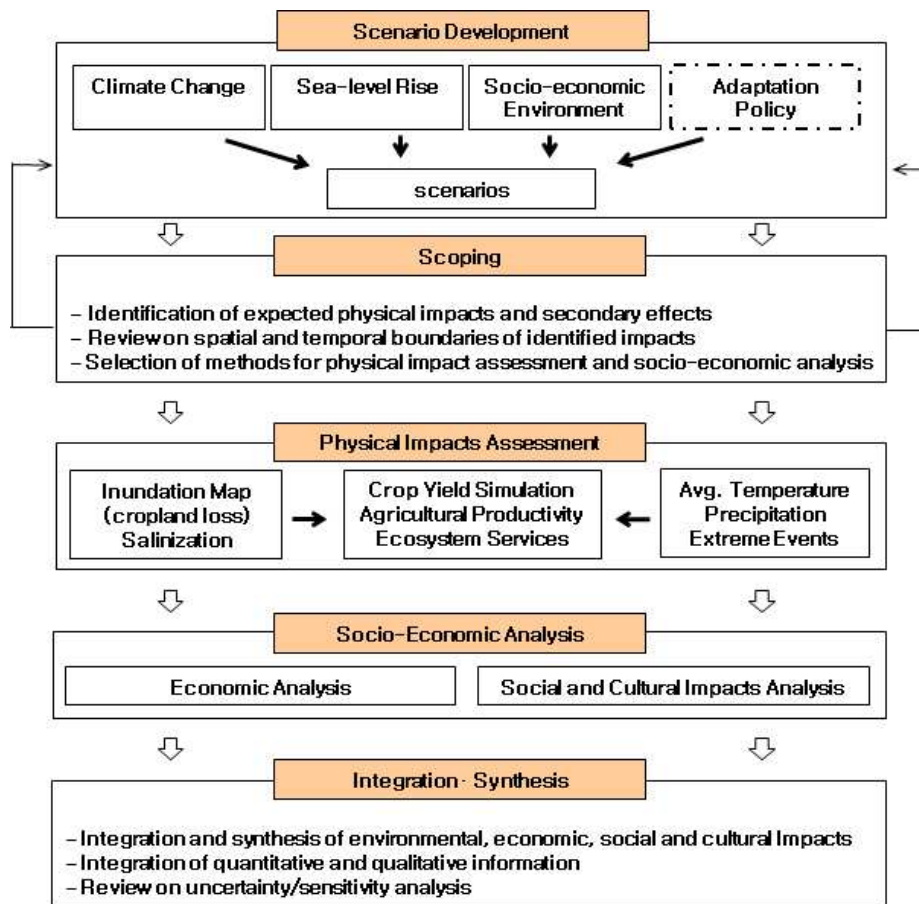


Fig. 2. Proposed framework of integrated assessment for climate change and sea-level rise

1) IPCC 4차보고서(AR4)의 기후전망 시나리오는 배출시나리오에 관한 특별 보고서(SRES)와 기후모의모형3(CMIP3)에 기반하고 있으며, 5차보고서(AR5)의 기후전망 시나리오는 대표농도경로(RCP)와 기후모의모형5(CMIP5)를 근거로 하고 있다(IPCC 2001, 2013). 또한 기후전망 시나리오뿐만 아니라, 기후 및 사회·경제 환경을 동시에 고려할 수 있는 신 시나리오의 개발도 병행적으로 진행되어 왔는데, 대표농도경로(RCP), 사회·경제환경경로(SSP), 공통정책가정(SPA)의 조합에 근거한 시나리오 매트릭스를 설계하여 다양한 미래 기후·사회·경제환경을 전망하고 있다(IPCC, 2010; Moss *et al.*, 2008, 2010; O'Neill and Schweizer, 2011; Chae, 2016).

분의 기후변화·해수면상승 사례분석에서는 기후전망과 해수면상승 예측만을 시나리오에 반영하여 사용하고 있고, 사회·경제환경 변화상 및 적응정책을 시나리오에 반영한 사례는 극히 드물다. 따라서 향후에는 기후변화·해수면상승과 같은 물리적 영향과 사회·경제환경 변화상의 조합을 통한 다양한 미래 예측 시나리오 구성이 필요하다. 시나리오 구성은 분석의 영향범위, 방법론 선정, 종합평가를 포함한 모든 영역에 기반이 되는 작업으로 신중하게 설계하여야 한다.

4.3 분석범위 설정을 위한 스코핑

분석범위 설정은 단순히 적용 시나리오에 따라 예상되는 영향을 확인하는 작업에 국한되는 것이 아니라, 예상되는 영향을 물리적 영향과 그로부터 파생되는 이차적 영향(경제적, 사회적, 문화적, 지역공동체 영향 등)으로 구분하여 목록화하는 작업은 물론, 개별 영향의 시간적~공간적 범위설정을 포함한다. 특히 물리적 영향 범위 관련, 작물재배 및 농업생산성 영향에 국한되어 진행되어 왔던 기존연구에서 벗어나, 농지가 제공하는 다양한 환경적 기능에 해당하는 생태계서비스를 포함하여 확장시킬 필요가 있다. 농지는 작물생산을 통한 식량 공급이 주 기능이지만, 하나, 수질정화, 물공급(관개용수), 생물다양성, 경관미 등의 다양한 생태계서비스를 제공하기도 한다. 경지면적 손실은 식량생산 기반뿐만 아니라, 다양한 생태계서비스가 사라지는 것을 의미하기도 한다. 또한 이차적 영향 중 기존의 사례연구에서 미흡했던 사회적, 문화적 영향을 검토하고 목록화하는 작업은 지역공동체 차원의 가치를 발굴함으로써 농촌의 전통적 가치를 유지하는데 기여할 수 있다는 차원에서 중요하다.

물리적 측정 관련 스코핑은 적절한 방법론의 선택과 최종 결과물의 표현형태 및 측정 기본단위 선정을 전제로 하며, 이차적 영향으로의 연결고리 마련을 포함한다. 특히 경제성분석 시 개별영향의 화폐화를 포함하고 있다면, 화폐화가 가능한 항목의 선별, 측정단위 간의 연결방법, 적용 가능한 단위가치(원단위)의 존재 및 활용여부를 검토하는 것이 요구된다. 또한 사회·문화적 측면의 이차적 영향은 특성상 정성적 정보일 가능성이 큰데, 이러한 정보를 어떻게 정리하여 종합평가에 반영할 것인가에 대한 고민이 필요하다. 시나리오 개발과 분석범위 스코핑 단계는 순차적으로 진행하는 것이 일반적이거나, 실제로는 병행하여 진행하는 것이 효과적이며, 상호피드백을 통하여 반복하고, 수정·보완하는 것이 포괄적인 분석을 가능하게 한다는 측면에서 바람직하다. 이러한 내용은 Fig 2에 시나리오 개발과 분석범위 스코핑 단계 사이에 피드백 고리를

첨가함으로써 반영하고자 하였다.

4.4 물리적 영향평가

물리적영향평가는 측정대상의 특성에 따라 적절한 방법론 선택과 합리적·과학적 적용절차에 기반한 평가결과의 신뢰성 확보로 요약할 수 있다. 농업부문 기후변화·해수면상승으로 인한 물리적 영향평가는 Fig 2에서와 같이 범람평가에 따른 토지이용변화와 염류화 및 온도·강수량 변화로 인한 농업생산성 변화로 이분된다. 그러나 이들 영향을 구체화하기 위해서는 일차적으로 범람지도와 염류화지도가 작성되어야 하고, 기후변화로 인한 작물재배패턴 및 작물재배면적 분석이 선행되어야 하며, 농업생산성과 토지이용변화 간의 상관관계를 검토하는 것이 필요하다.

실제로 기후변화와 해수면상승 영향을 동시에 고려하는 작업의 구체화는 물리적영향평가 단계에서 이루어진다. 경지면적 손실을 작물시물레이션 모형에 입력변수로 투입하는 것이 가능하다면, 모형 내에서 기후변화와 해수면상승으로 인한 작물생산성 변화를 동시에 정량화하는 것이 가능하다. 만약 이와 같은 접근이 어렵다면, 기후변화·해수면상승으로 인한 농업생산성의 변화 정도를 등급화하고, 전문가/이해당사자 설문조사를 통한 간이평가를 활용할 수 있다. 모형을 활용한 접근 또는 간이평가 모두 장단점이 있다. 전자는 정량화 측면에서는 이점이 있으나 자료 요구량이 많고, 후자는 상대적으로 쉽게 접근할 수 있으나, 결과의 대표성 및 객관성에 대한 논란이 있을 수 있다.

일반적으로 측정대상의 성격에 따라 적절한 접근법 예를 들면 모델링, 지표·지수, 설문조사 등을 선택하여야 하고, 정보전달력을 고려한 최종결과물의 표현형태 예를 들면 연속변수, 등급, 지도 등의 선택과 해당 측정단위를 결정하여야 한다. 동일한 방법론으로부터의 결과라 할지라도 표현방식은 차별화 될 수 있다. 예를 들어 작물시물레이션을 통해 도출된 농업생산성 분석결과는 단위면적당 수치로도 또는 등급화 된 지표/지수로서도 요약 및 합산될 수 있다. 이해당사자 설문조사 역시 맥락에 따라 정성적 정보의 형태로 기술하거나 또는 다 기준분석 내지는 통계적 기법을 이용하여 일부 정량화가 가능하다. 따라서 일차적 영향평가 결과에 해당하는 범람지도, 염류화지도, 작물재배패턴, 작물재배면적 변화에 대한 정보는 가능한 한 세분화하여 DB화하고, 분석목적에 따라 다양한 측정단위로 요약·합산될 수 있도록 체계적으로 관리하여야 한다.

4.5 사회·경제성분석

먼저 경제성분석은 스코핑 단계에서 특정 영향항목에 한정된 피해비용 추정에 초점을 둘 것인가, 아니면 포괄적 비용편익분석으로 가져갈 것인가를 결정하고, 그에 따른 절차로 진행한다. 특히 포괄적 비용편익분석으로 진행할 경우에는 직접 피해비용·편익뿐만 아니라, 사회적 비용·편익을 반영할 수 있도록 설계하는 것이 필요하다. 부문에 한정된 경제성분석이든, 포괄적 비용편익분석이든 현재 과학기술 수준에서 추정이 어려워 분석에서 누락된 항목을 열거하고, 그 내용을 정리하여 분석범위를 명확히 하는 것이 필요하다. 정량화가 어렵고 하여 중요하지 않은 것은 아니다. 이러한 작업은 최종결과 해석상의 범위와 분석의 한계를 명확히 한다는 측면에서 중요하다. 대부분의 기존 연구에서 간과되어 온 경향이 있다.

한편, 부문별 피해비용 추정이든 포괄적 비용편익분석이든 열거된 모든 영향항목에 대해 직접연구를 통한 화폐화는 가능하지 않다. 중요한 항목에 대해서는 직접연구를 통한 가치추정(화폐화)을 진행하고, 우선순위가 적은 기타 항목에 대해서는 가치이전(benefit transfer)²⁾을 활용하는 것이 현실적인 대안이다. 가치이전은 실제자료를 기반으로 연구가 완료된 지역(study site)으로부터 가치추정 결과나 정보를 다른 지역(policy site)에 적용·이전하는 방법을 총칭한다(Ahn et al., 2014). 가치이전은 적절한 단위가치(원단위)를 선정하는 작업이 중요한데, 국내 유사 선행연구로부터 적용 가능한 단위가치의 존재여부와 이전하고자 하는 단위가치가 연구맥락에 부합하는지 여부를 검토하는 작업이 선행되어야 한다. 가치이전은 환경경제화서비스 단위가치 정보의 DB화를 전제로 하는데, 국내 활용 가능한 DB로는 환경가치종합정보시스템(Environmental Valuation Information System: EVIS)³⁾이 있다.

기후변화·해수면상승으로 인한 사회·문화적 영향은 그 중요성과는 별도로 정량화의 어려움으로 기존의 통합평가에서 미흡하게 다루어져 온 측면이 있다. 사회·문화적 영향은 지역공동체 또는 특정 이해당사자 그룹에 미치는 영향을 대상으로 하는 것이 대부분이기 때문에, 공유가치를 이끌어 낼 수 있도록 설계되어야 하며, 따라서 방법론 역시 그룹 선호체계 분석 또는 이해당사자 인터뷰 등을 포함하는 설문조사를 활용하는 것이 적절하다. 특히 지역사회에서 농업부문이 전통적

으로 지켜온 공유가치에 대한 이해가 필수적이다.

4.6 종합평가

마지막으로 종합평가의 주요 내용은 지속가능성 제고를 위한 환경, 경제, 사회·문화적 영향의 통합, 즉 단계별 영향분석의 종합과 불확실성 검토를 포함한다. 먼저 환경, 경제, 사회·문화적 영향분석 결과의 종합은 단계별로 도출된 이질적 정보의 병렬적 통합과 연결변수를 중간에 두고 연계하는 순차적 통합으로 구분할 수 있다. 전자는 이해당사자 인터뷰로부터의 정성적 정보와 가치추정으로의 화폐화 정보와 같이 동일한 척도로 측정이 어려운 경우에 적합한 접근법으로 해당 정보를 장·단점과 함께 단순히 열거하거나, 다기준 분석을 활용하여 종합할 수 있다(Ahn et al., 2015). 후자는 중간에 연결고리 역할을 하는 변수를 두고, 해당 정보를 주고받는 형태의 통합을 의미하는데, 범람영향 또는 작물생산성 평가결과를 지표화 하거나 또는 가치추정으로 연계하는 접근법 등을 예로 들 수 있다.

한편, 기후변화·해수면상승으로 인한 통합평가는 시나리오 구성, 물리적 영향평가, 경제성분석 단계를 거치면서 불확실성이 증폭된다고 볼 수 있다. 특히 분석의 마지막 단계라 볼 수 있는 경제성분석은 이전 단계의 불확실성을 안고 출발하기 때문에 다양한 측면의 검토가 요구된다. 경제성분석의 불확실성 검토는 민감도분석, 몬테카를로 시뮬레이션 등을 활용하는 것이 일반적이며, 확률분포함수 등을 적용하기도 한다. 현재 의사결정이 주로 경제성분석으로부터의 정보에 의존하고 있음을 감안할 때, 불확실성의 검토는 적응정책의 효과적 이행에 중요하다. 불확실성의 검토와 함께 분석 단계별로 누락된 항목과 정성적 영향에 대한 고려도 종합평가에서 반드시 필요한 작업이다.

5. 결 론

본 소고는 기후변화·해수면상승으로 인한 농업부문 통합평가 사례연구 검토결과를 기반으로 적응정책 수립 및 사결정 지원을 위한 통합평가 차원의 개선방안을 제안하고자

2) 가치이전은 가치추정 직접연구가 시간과 예산이 많이 소요되는 작업이라는 현실적인 한계를 부분적으로 해결하기 위한 차선책에 해당한다(Ahn and Bae, 2014).

3) 환경가치종합정보시스템(EVIS)은 2011년부터 한국환경정책·평가연구원(KEI)에서 개발·운영 중인 웹기반 국내 환경경제화/서비스 가치추정 선행연구의 주요결과 요약 DB이다. 환경가치종합정보시스템(EVIS) 구축사업은 정부부처 및 민간기업의 의사결정자를 비롯하여 학계, 환경 컨설팅, 환경 NGO 등에게 환경가치에 대한 기초정보를 제공함으로써 비용편익분석, 환경영향평가, 사업타당성평가를 포함한 다양한 정책분석 지원을 일차적인 목표로 기획되었다(Ahn et al., 2011). 2011년 KEI 홈페이지(<http://evis.kei.re.kr>)를 통해 오픈되었으며, 2015년 12월 31일 현재 350여개의 선행연구가 수록되어 있다.

하였다. 여기서는 통합평가 전반에 영향을 미칠 수 있는 교차 이슈(cross-cutting issues)를 정리함으로써 논의를 마무리하고자 한다.

첫째, 통합평가는 정성적 정보와 정량적 정보를 포괄할 수 있어야 한다. 최근 정량화의 어려움으로 분석에서 누락된 항목에 대해 이해당사자 심층인터뷰를 통해 결과를 서술적으로 정리하거나 또는 고유의 점수체계 및 등급체계를 활용하여 일부 정량화하려는 시도가 이루어지고 있다. 정량적 측정 여부가 해당 항목의 중요성 정도를 결정해서는 안 될 것이다. 이러한 맥락에서 정성적 정보와 정량적 정보를 함께 종합하여 의사결정에 반영할 수 있는 방법론의 개발은 매우 중요하다.

둘째, 기후변화-해수면상승으로 인한 통합평가는 분석의 시·공간적 범위에 따라 개인, 지역공동체, 국가 등 다양한 사회조직 스케일에 따라 차별화된 이슈를 아우를 수 있도록 융통성 있게 설계되어야 한다. 적응정책은 의사결정 맥락이 개인, 지역공동체 또는 국가차원이냐에 따라 이슈가 상이할 수 있다. 예를 들어 개인차원의 적응정책은 농가의 소득보전이 주가 될 수 있으며, 지역공동체의 적응정책은 지역경제와 함께 농촌이 지켜온 사회·문화적 가치의 보전이 주가 될 수 있으며, 국가차원의 적응정책은 지속가능한 농업뿐만 아니라, 다른 부문 간의 균형을 고려할 수 있어야 한다.

셋째, 관련자료 및 연구결과의 체계화 및 DB화가 요구된다. 기후변화-해수면상승으로 인한 농업부문 통합평가는 시나리오개발-범위설정-물리적영향평가-경제성분석-종합평가 단계별로 다양한 성질의 자료가 활용되며, 새로운 정보가 생성된다. 따라서 각 단계별로 활용·생성된 정보를 체계적으로 정리하고, DB화하는 작업은 관련 연구결과의 축적이라는 측면에서 의미가 크다. 이를 위해서는 관련정보의 접근을 위한 온라인 포털 시스템의 구축이 요구되며, 시스템 구축을 위한 지속적인 예산투자가 필요하다. 개별 통합평가를 효과적으로 수행하는 것도 중요하지만, 연구결과를 체계적으로 관리함으로써 연구경험을 공유하고, 유용한 정보를 제공하는 일은 능력배양(capacity building) 차원에서 더 중요한 일이다.

넷째, 경제적 효과성·효율성뿐만 아니라, 환경과 사회·문화적 가치를 동시에 고려할 수 있도록 의사결정기준 패러다임을 전환할 필요가 있다. 환경·사회·문화적 영향에 대한 평가가 더 이상 경제성분석의 하위체계로 다루어져서는 안 되며, Fig 2에서와 같이 경제성분석과 동일한 가중치를 두고 진행되어야 하고, 그 결과가 종합평가에 반영되어야만 지속가능성을 논할 수 있을 것이다. 의사결정기준의 전환은 국민이 중요하게 생각하는 가치의 전환을 전제로 한다. 기본적인 경제적 요건의 충족을 넘어 삶의 질과 자연과 더불어 사는 세상

을 지향하는 사회는 경제적 효과성·효율성에만 의존하는 의사결정체계를 지지할 수 없기 때문이다.

6. 사 사

본 연구는 농촌진흥청 농업과학기술개발사업 “PJ0104750-032016(해수면상승 피해 농경지에 대한 경제성 평가)”의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Ackerman F, Munitz C. 2012. Climate damages in the FUND model: A disaggregated analysis. *Ecological Economics* 77:219-224.
- Adams R, Fleming RA, Chang CC, McCarl BA. 1995. A reassessment of the economic effects of global climate change on US agriculture. *Climate Change* 30(2):147-167.
- AEA. 2010. Adaptation to climate change in the agricultural sector. *AEA Energy and Environment* ED05334(1):1-245.
- Ahn SE, Bae DH, Lee CH. 2011. Construction of an environmental valuation database and analysis of valuation studies of Korea III. Korea Environment Institute, Korea (in Korean with English abstract).
- Ahn SE, Bae DH. 2014. The economic value of freshwater ecosystem services based on the evidences from the environmental valuation information system. *Journal of Korea Environmental Policy and Administration Society*(in Korean with English abstract) 22(4):27-54.
- Ahn SE, Kim GE, Rho PH, Kwon YH. 2015. Development and application of integrated measurement system to assess freshwater ecosystem services in Korea II. Korea Environment Institute, Korea(in Korean with English abstract).
- Al-Jeneid S, Bahnassy M, Nasr S, El-Raey M. 2008. Vulnerability assessment and adaptation to the impacts of sea level rise on the Kindon of Bahrain. *Mitig Adapt Strat Glob Change* doi: 10.1007/s11027-007-9083-8
- Anthoff D, Nicholls RJ, Tol RSJ, Vafeidis AT. 2006. Global and regional exposure to large rises in sea-level: A sensitivity analysis. *Tyndall Centre for Climate Change Research Working* 96:1-31.
- Anthoff D, Nicholls RJ, Tol RSJ. 2010. The economic im-

- fact of substantial sea-level rise. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 15(4):321-335.
- Bosello F, Nicholls RJ, Richards J, Roson R, Tol RSJ. 2012. Economic impacts of climate change in Europe: Sea-level rise. *Climatic Change* 112(1):63-81.
- Brown S, Nicholls RJ, Vafeidis A, Hinkel J, Watkiss P. 2011. The impacts and economic costs of sea-level rise in Europe and the costs and benefits of adaptation: summary of results from the EC RTD Climate Cost project. Stockholm Environment Institute, Sweden.
- CAI. 2012. BC agriculture climate change adaptation: Risk and opportunity assessment. BC Agriculture and Food Climate Action Initiative, Canada.
- CABI. 1994. Modeling the impact of climate change on rice production in Asia. CAB International, UK, Wallingford.
- Chae YR, Kang YK, Jang SJ, Yoon DK, Lee BK, Kang SW, Kim HK, Min DK, Yim DS, Cho YS. 2014. Analysis of socio-economic impacts of climate change using indicator based approach. Korea Environment Institute, Korea, pp 104-310(in Korean with English abstract).
- Chae YR. 2016. Development of socio-economic scenario for low carbon climate change adaptation ready society. Research Achievement Reviews of Korea Environment Institute, Korea. pp 61-84.
- Chang CC. 2002. The potential impacts of climate change on Taiwan's agriculture. *Agr Econ* 27:51-64.
- Chang CC, Chen CC, McCarl B. 2012. Evaluating the economic impacts of crop yield change and sea level rise induced by climate change on Taiwan's agricultural sector. *Agricultural Economics* 43(2):205-214.
- Chang YJ, Lee JW, Park JK, Park HJ. 2015. Study on effects of meteorological elements in the grain production of Korea. *Journal of Environmental Science International*(in Korean with English abstract) 24(3): 281-290.
- Chen X, Zong Y. 1999. Major impacts of sea-level rise on agriculture in the Yangtze delta area around Shanghai. *Applied Geography* 19(1):69-84.
- Cho KW, Lee HM, Kim TY, Kang JE, Nobuoka H, Min DK, Park WK, Shin CO, Lee YM, Kang TS, Kim YS, Rho PH, Park JH, Ahn IJ, Yoo HS, Lee YI, Jin JY, Kim JH, Lee SI, Lee SH, Jeong TS, Yoo HS, Lee MS, Lee BK, Lee JS. 2012. National assessment on sea level rise impact of Korean coast in the socioeconomic context 2. Korea Environment Institute, Korea(in Korean with English abstract).
- Chung UR, Cho KS, Lee BW. 2006. Evaluation of site-specific potential for rice production in Korea under the changing climate. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*(in Korean with English abstract) 8(4): 229-241.
- CSIRO. 2008. An overview of climate change adaptation in Australian primary industries-impacts, options and priorities. The National Climate Change Research Strategy for Primary Industries, Land and Water Australia, Canberra.
- Dahn VT, Khai HV. 2014. Using a risk cost-benefit analysis for a sea dike to adapt to the sea level in the vietnamese Mekong river delta. *Climate* doi: 10.3390/cli2020078
- Darwin R, Tsigas M, Lewandrowski J, Ranases A. 1995. World agriculture and climate change: Economic adaptations. An Economic Research Service: Agricultural Economic report(703).
- Dasgupta S, Laplante B, Meisner C, Wheeler D, Yan J. 2009. The impact of sea level rise on developing countries: A comparative analysis. *Clim Change* 93:9-388.
- Defra. 2012. Climate change risk assessment for the agriculture sector. Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK.
- Eo G, Hong SJ, Kang NR, Lee JS, Kim HS. 2015. Flood damage analysis of coastal urban area considering sea level rise and inundation. Korean Society of Civil Engineers 2015 Civil Expo and Conference, Korea, pp 75-76.
- EU-JRC. 2013. Climate impacts in Europe, an integrated economic assessment: Preliminary results of the JRC PESETA II project. International Conference on Climate Change Effects, Impact World 2013, Potsdam, pp 1-10.
- Fankhauser S, Tol RSJ, Pearce DW. 1997. The aggregation of climate change damages: A welfare theoretic approach. *Environmental and Resource Economics* 10(3):249-266.
- Fankhauser S. 1994. Protection vs. retreat: Estimating the costs of sea level rise. *Environmental and Planning A* 27:299-319.
- Foster H, Sterzel T, Pape CA, Moneo-Lain M, Niemeyer I, Boer R, Kropp JP. 2011. Sea-level rise in Indonesia: On adaptation priorities in the agricultural sector. *Reg Envi-*

- ron Change 11(4):893-904.
- Hinkel J, Lincke D, Vafeidis AT *et al.* 2014. Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111(9):3292-3297.
- Hinkel J, Brown S, Exner L, Nicholls RJ, Vafeidis AT, Kebede AS. 2012. Sea-level rise impacts on Africa and the effects of mitigation and adaptation: An application of DIVA. *Reg Environ Change* 12(1):207-224.
- Hossain MA. 2010. Global warming induced sea level rise on soil, land and crop production loss in Bangladesh. 19th World Congress of Soil Science. *Soil Solutions for a Changing World*, pp 77-80.
- Hwang JH, Lee SA, Kim BR, Yoo GY. 2011. Assessment of the potential economic damage in Korea from a future rise in sea level. *Journal of Coastal Research Special issue*(64):215-219.
- Iglesias A, Garrote L, Quiroga S, Moneo M. 2009. Impacts of climate change in agriculture in Europe: PESETA-agriculture study. Office for Official Publications of EC, Luxembourg(JRC Prospective Technological Studies), pp 1-59.
- IPCC. 2001. IPCC special report emissions scenarios: Summary for policy makers. IPCC, Washington DC.
- IPCC. 2010. IPCC workshop on socio-economic scenarios: Workshop Report. IPCC, Berlin.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013, The physical science basis: Summary for Policy Makers. IPCC, Switzerland.
- Jeong HR, Jang DH. 2011. Mapping of flood hazard maps based on different scenarios of sea level rising in Sacheon bay, Korea. *Journal of KU Climate Research Institute*(in Korean with English abstract) 6(2):143-158.
- Kalther J, Wijaya FA, Noviandri FD, Sukma E. 2014. Predicting the economic values of sea level rise's impact on agricultural sector at Subang coast, Indonesia: A basic reference for adaptation and mitigation policies. *International Conference on Agricultural, Environmental and Biological Sciences*(2014), Phuket, pp 60-64.
- Kim CG, Jeong HK, Han SH, Kim JS, Moon DH. 2012. Impacts and countermeasures of climate change on food supply in Korea. Korea Rural Economic Institute, Korea, pp 1-187(in Korean with English abstract).
- Kim CG, Lee SM. 2009. Economic impact assessment of climate change on agriculture in Korea. *The Korean Journal of Agricultural Economics*(in Korean with English abstract) 50(2):1-25.
- Kontogianni A, Tourkolias CH, Damigos D, Skourtos M. 2014. Assessing sea level rise costs and adaptation benefits under uncertainty in Greece. *Environmental Science and Policy* 37:61-78.
- Kwon OS, Kim CG. 2008. Climate change and rice productivity: Non-parametric and semi-parametric analysis. *The Korean Journal of Agricultural Economics*(in Korean with English abstract) 49(4): 45-64.
- Kwon OS, Lee HB. 2012. Climate change, agricultural productivity and their general equilibrium impacts: A recursive dynamic CGE analysis. *Environmental and Resource Economics Review*(in Korean with English abstract) 21(4):947-980.
- Kwon OS, Lee HB. 2013. The economic impacts of climate change on agriculture: A global CGE analysis. *Journal of Rural Development*(in Korean with English abstract) 36(3):1-32.
- Kwon OS, Roh JS, Suh Y. 2012. An input-output and CGE analysis of the economic impacts of agricultural production losses due to abnormal weather in Korea. *The Korean Journal of Agricultural Economics*(in Korean with English abstract) 53(2):1-31.
- Lee SH, Park JH. 2014. An analysis on classification of rural areas by vulnerability index. *The Korean Journal of Agricultural Economics*(in Korean with English abstract) 55(3):1-24.
- Lee SY, Choi JM. 2011. Analysis for economic cost of sea level rise-Case study: Haeundae Gu, Busan. *Journal of the Korean Geographical Society*(in Korean with English abstract) 46(5):597-607.
- McCarl B. 2006. US agriculture in the climate change squeeze: Part 1: Sectoral sensitivity and vulnerability. National Environmental Trust, Washington.
- Mendelsohn R, Nordhaus WD, Shaw D. 1994. The impact of global warming on agriculture: A ricardian analysis. *The American Economic Review* 84(4):753-771.
- Min DK, Cho KW. 2014. Economic damage of sea-level rise and the optimal rate of coastal protection in the Korean

- eastern southern area. *Environmental and Resource Economics Review*(in Korean with English abstract) 23(1): 21-42.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. 2012. Food, agriculture, forestry and fisheries statistical yearbook.
- Ministry of Environment. 2011. Economic analysis of climate change in Korea. MOE, Korea.
- Moss R, Babiker M, Brinkman S, Calvo E, Carter T, Edmonds J, Elgizouli I, Emori S, Erda L, Hibbard K, Jones R, Kainuma M, Kelleher J, Lamarque JF, Manning M, Matthews B, Meehl J, Meyer L, Mitchell J, Nakicenovic N, O'Neill B, Pichs R, Riahi K, Rose S, Runci P, Stouffer R, Vuuren DV, Weyant J, Wilbanks T, Ypersele JPV, Zurek M. 2008. Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies: Technical summary. IPCC Expert Meeting Report, Noordwijkerhout Netherlands, pp 1-34.
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA *et al.* 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463(11):747-756.
- Nair KS. 2010. Impacts of climate change and sea level rise on wetlands agriculture: A case study from India. *Proceedings of the Global Forum on Salinization and Climate Change* 105:53.
- Nam YS, Yang SR, Song YH, Park HJ. 2012. Research on the change of milled rice production under climate change in Korea: based on RCP8.5. *The Korean Journal of Agricultural Economics*(in Korean with English abstract) 53(4):61-88.
- Newbold SC, Daigneault A. 2009. Climate response uncertainty and the benefits of greenhouse gas emission reductions. *Environ Resource Econ* 44(3):351-377.
- Nicholls RJ, Tol RSJ. 2006. Impacts and responses to sea-level rise: A global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century. *Phil Trans R Soc A* 364:1073-1095.
- OECD. 2010. Climate change and agriculture: impacts adaptation and mitigation. OECD, Paris.
- OECD. 2014. Climate change, water and agriculture towards resilient systems: OECD studies on water. OECD, Paris.
- O'Neill BC, Schweizer V. 2011. Projection and prediction mapping the road ahead. *Nature Climate Change* 1(7):352-353.
- Park KW, Kwon OS, Kim KS. 2014. The regional impacts of climate change on Korean agriculture: A positive mathematical programming approach. *Journal of The Korean Economic Association*(in Korean with English abstract) 63(1):61-91.
- Park KW, Kwon OS. 2011. Analyzing the impacts of climate change on Korean agricultural sector using a recursive positive mathematical programming approach. *The Korean Journal of Agricultural Economics*(in Korean with English abstract) 52(2):51-76.
- Saidy AR, Azis Y. 2009. Sea level rise in South Kalimantan, Indonesia-an economic analysis of adaptation strategies in agriculture. *Economy and Environment Program for Southeast Asia, Singapore*, pp 1-57.
- Sarwar GM. 2005. Impacts of sea level rise on the coastal zone of Bangladesh. Masters thesis, Lund University, Sweden.
- Shim KM, Roh KE, So KH, Kim GY, Jeong HC, Lee DB. 2010. Assessing impacts of global warming on rice growth and production in Korea. *Journal of Climate Change Research*(in Korean with English abstract) 1(2):121-131.
- Shim KM, Min SH, Lee DB, Kim GY, Jeong HC, Lee SB, Kang K. 2011a. Simulation of the effects of the A1B climate change scenario on the potential yield of winter naked barley in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 13(4):192-203.
- Shim KM, Lee DB, Min SH, Kim GY, Jeong HC, Lee SB, Kang K. 2011b. Assessing impacts of temperature and carbon dioxide based on A1B climate change scenario on potential yield of winter covered barley in Korea. *Climate Change Research* 2(4):317-331.
- Shin YS, Ahn SM, Na YW, Kim UN, Choi BG. 2013. Impact analysis of sea-level rising in Incheon islands area using spatial information. *Korea Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 2013 Spring Conference, Korea*, pp 249-253.
- Stoorvogel JJ. 2009. Adapting Dutch agriculture to climate change. *Knowledge for Climate, Netherlands*.
- Tol RSJ. 2002. Welfare specifications and optimal control of climate change: An application of fund. *Energy Eco-*

- nomics 24(4):367-376.
- Wassmann R, Hien NX, Hoanh CT, Tuong TP. 2004. Sea level rise affecting the Vietnamese Mekong Delta: Water elevation in the flood season and implications for rice production. *Climate Change* 66:89-107.
- Wiebe KD, Lotze-Campen H, Sands R, *et al.* 2015. Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios. *Environ Res Lett* doi: 10.1088/1748-9326/10/8/085010
- Yang X, Lin E, Ma S, Ju H, Guo L, Xiong W, Li Y, Xu Y. 2007. Adaptation of agriculture to warming in Northeast China. *Climate Change* 84(1):45-58.
- Yoskowitz DW, Gibeaut J, McKenzie A. 2009. The socio-economic impact of sea level rise in the Galveston bay region. Environmental Defense Fund, Texas.
- Zilberman D, Liu X, Roland-Holst D, Sunding D. 2003. The economics of climate change in agriculture. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 9:365-382.

부록 (Glossary)

- AR4/5: Fourth/Fifth Assessment Report
- ASM: Agricultural Sector Model
- CABI: Centre for Agriculture and Biosciences International
- CAI: Climate Action Initiative
- CERES: The Crop Environment Resource Synthesis model
- CGE: Computable General Equilibrium
- CMIP: Coupled Model Intercomparison Project
- CSIRO: The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
- Defra: Department for Environment, Food and Rural Affairs
- DEM: Digital Elevation Model
- DIVA: Dynamic Interactive Vulnerability Assessment
- ENVISAGE: The Environmental Impact and Sustainability Applied General Equilibrium
- EU-JRC: European Union Joint Research Center
- EVIS: Environmental Valuation Information System
- FARM: Future Agriculture Resource Model
- FUND: The Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution
- GCM: General Circulation Model
- GEM-E3: General Equilibrium Model for Energy-Economy-Environment interactions
- GIS: Geographic Information System
- GPS: Global Positioning System
- GTAP-EF: refinement of GTAP-E (an Energy-Environmental oriented version of Global Trade Analysis Project)
- IMPACT: International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade
- IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
- LPJmL: Lund-Potsdam-Jena managed Land model
- MAGNET: Modular Applied General Equilibrium Tool
- MAGPIE: Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment
- NGO: Non-Governmental Organization
- PE: Partial Equilibrium Model
- PMP: Positive Mathematical Programming
- RCP: Representative Concentration Pathway
- SPAs: Shared Climate Policy Assumptions
- SRES: IPCC Special Report on Emissions Scenarios
- SSP: Shared Socio-economic Pathways
- TASM: Turkey Agricultural Sector Model
- TEV: Total Economic Value
- UKCP09: United Kingdom Climate Projections 2009
- WTP: Willingness to Pay