

환경기술개발사업 연차보고서 (1연차)

제1장. 과제개요

과제번호	2014001300001			기술유형	응용연구			
단위사업명	기후변화대응 환경기술개발사업							
대분야명	기후변화대응 환경기술개발사업							
중분야명	온실가스 감축 통합관리 기술개발							
연구과제명	한국형 상하향식 온실가스 통합 감축 시스템 개발							
(총괄)주관연구기관	한국환경정책평 가연구원		(총괄)연구책임자		김 용 건		참여기업	
총 연구개발비 (천원)	구 분		계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	계			1,460,000	1,760,000	1,760,000	1,680,000	1,600,000
	정 부			1,460,000	1,760,000	1,760,000	1,680,000	1,600,000
	민간	계						
		현금						
		현물						
	당해연도 연구기간	2014 년 05 월 01 일 ~ 2015 년 04 월 30 일 (1 년차)						
총연구기간	2014 년 05 월 01 일 ~ 2017 년 04 월 30 일 (총 7년)							
세부1주관연구기관	한국과학기술원		세부1연구책임자		엄지용		참여기업	
세부2주관연구기관	경성대학교		세부2연구책임자		김후곤		참여기업	
세부3주관연구기관	아주대학교		세부3연구책임자		김수덕		참여기업	

과제번호	2014001300004			기술유형	응용연구			
단위사업명	기후변화대응 환경기술개발사업							
대분야명	기후변화대응 환경기술개발사업							
중분야명	온실가스 감축 통합관리 기술개발							
연구과제명	GCAM 시스템 및 부문별 특성 분석을 통한 한국형 상하향식 통합모형 SW시스템 개발							
(세부)주관연구기관	아주대학교		(세부)연구책임자		김수덕		참여기업	
총 연구개발비 (천원)	구 분		계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	계		1,225,000	225,000	250,000	250,000	250,000	250,000
	정 부		1,225,000	225,000	250,000	250,000	250,000	250,000
	민간	계	30,240	30,240	30,240	30,240	30,240	30,240
		현금						
		현물	30,240	30,240	30,240	30,240	30,240	30,240
당해연도 연구기간	2014 년 05 월 01 일 ~ 2015 년 04 월 30 일 (1 년차)							
총연구기간	2014 년 05 월 01 일 ~ 2017 년 04 월 30 일 (총 7년)							

〈제 목 차 례〉

제1장. 과제개요	1
제2장. 연구개발 목표 및 달성도	6
1절. 최종목표	6
2절. 당해 연도 목표 및 달성도	7
1. 당해 연도 연구목표	7
2. 연구개발 계획서 상 제시된 연구개발목표, 평가착안점 및 기준	9
3. 당해 연도 목표 및 달성도	11
제3장. 주요 연구내용 변경사항(해당사항 없음)	12
제4장. 연구개발 수행내용 및 결과	13
1절. 현재 확인되는 GCAM 의 구조와 모형구조 확인(GCAM 모형의 개요)	13
1. Global Change Assessment Model의 개요	13
2. GCAM의 구조 및 운용	15
3. GCAM의 코드 분석	20
4. GCAM의 세부구조	30
2절. OOP C++로 짜여진 현재의 GCAM모형 전체구조확인 작업	39
3절. 기존 모형을 C#으로 코드변환 및 연산과정 점검	45
4절. GCAM과 통합이 검토된 SGM모형의 추가 검토	47
1. SGM(Second Generation Model, 2002a) 개요	47
2. SGM의 연혁	52
3. SGM의 구조	59
5절. TOY 모델 개발에 관한 이슈	84
1. 개요	84

2. LP 모형의 특징과 OSeMOSYS	85
3. 특정기술선택을 확률과정으로 설명한 GCAM모형의 장점에 대한 연구	90
4. LP 모형 (OSEMOSYS)과 GCAM모형의 시뮬레이션 결과비교	96
 제5장. 연구개발비 집행실적	 98
 제6장. 성과목표 달성도	 99
 제7장. 기타	 100

Appendix

Appendix 1 C++ File Structure	1~265
Appendix 2 XCAM File Structure (Converted C++ codes to C#)	1~849
Appendix 3 PPT Presentation Materials	1~75
Appendix 3.1 PPT Presentation Material (June 13 th . 2014)	
GCAM Code Analysis and Korean Update: Progress and Challenges (1)	1
Appendix 3.2 PPT Presentation Material (June 26 th . 2014)	
GCAM Code Analysis and Korean Update: Progress and Challenges (2)	11
Appendix 3.3 PPT Presentation Material (July 17 th . 2014)	
GCAM Overview: Price / Demand / Supply Mechanism and Energy Flow Network (1)	19
Appendix 3.4 PPT Presentation Material (Aug. 20 th . 2014)	
GCAM Overview: Price / Demand / Supply Mechanism and Energy Flow Network (2)	28
Appendix 3.5 PPT Presentation Material (Sept. 12 th . 2014)	
GCAM & SGM	33
Appendix 3.6 PPT Presentation Material (Oct. 10 th . 2014)	
GCAM: Building Sector	44
Appendix 3.7 PPT Presentation Material (Nov. 14 th . 2014) 중간평가자료	
GCAM-Korea 및 한국형 상하향식 모형 SW개발 (1차년도 중간평가)	54
Appendix 3.8 PPT Presentation Material (Dec. 12 th . 2014)	
GCAM-Korea 및 한국형 상하향식 모형 SW개발	67
Appendix 3.9 PPT Presentation Material (Feb. 13 th . 2015)	
GCAM 시스템 및 부문별 특성 분석을 통한 한국형 상하향식 통합모형 SW시스템 개발 (1차년도)	76

제2장. 연구개발 목표 및 달성도

1절. 최종목표

1. 기존 온실가스 감축 모형분석 및 통합 감축 시스템 개발 체계 구축

- 한국형 상·하향식 온실가스 통합 감축 시스템의 이론 기반 구축 관련
 - 기존 GCAM 모형(온실가스 배출, 감축 비용 및 잠재량 분석, 온실가스 정책에 따른 파급효과 분석 등)의 기술적 모형구조 검토
 - 한국형 감축 시스템의 수리적 특성 규명 및 이론 기반 마련
 - 기술보급·확산 및 시장침투 효과에 대한 이론 정립
 - 감축정책 시행에 따른 경제구조 변화 및 기술개발 유인 체계의 이론적 기반 구축

2. 온실가스 감축 기술현황을 반영한 감축 모형 개발 및 영향 분석

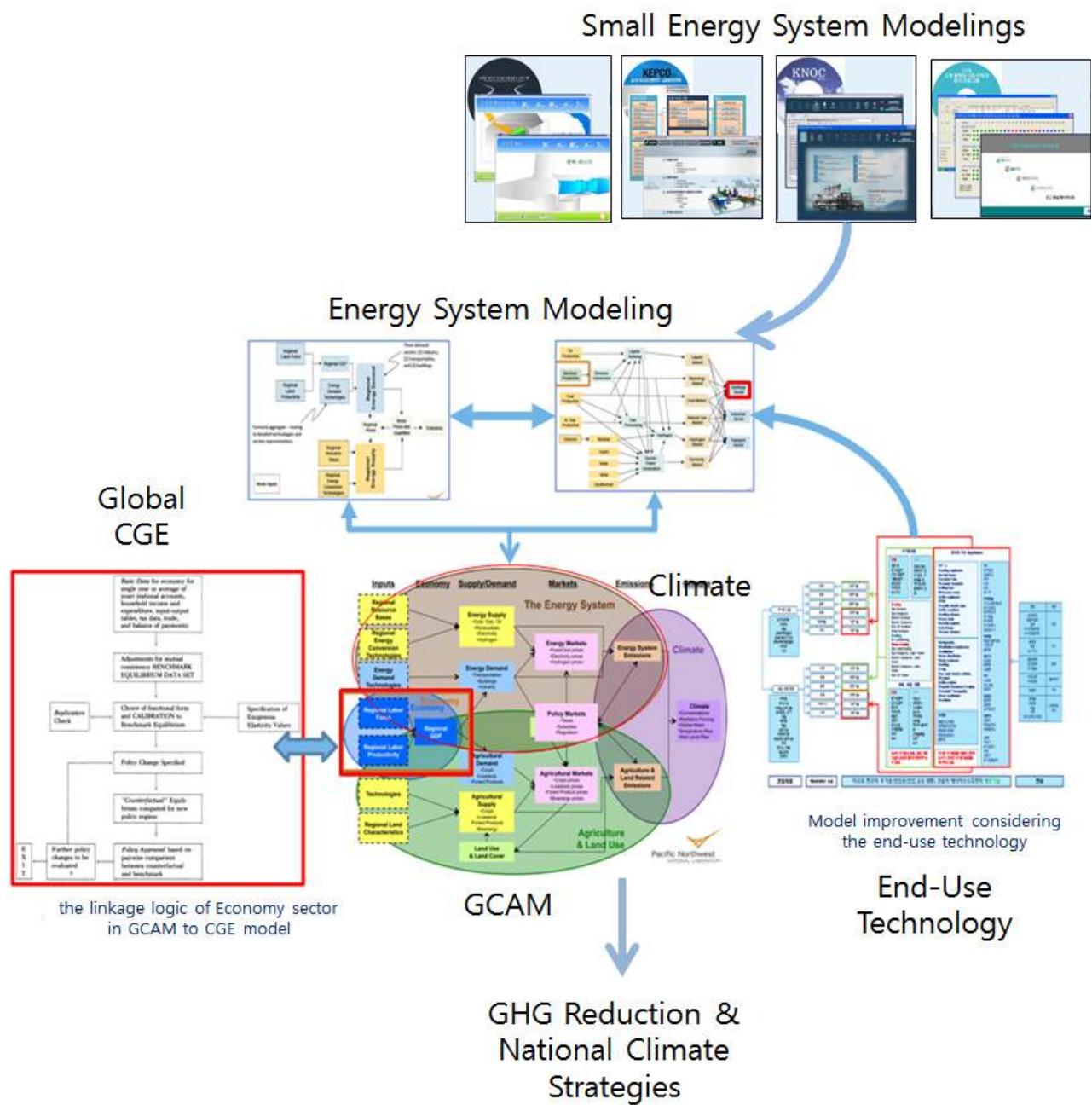
- 부문별 주요 온실가스 감축 기술 현황을 반영한 감축 모형 개발
 - 각 부문별 특성(산업, 비산업, 기술변화 등)을 고려하여 모형 내 특화 부문 도출
 - 기 구축된 DB에 근거한 과거 기술 확산 행태분석 및 미래 양상 예측, 비용곡선 추정
 - 주요 감축기술의 변화 유형을 분석하고 각 유형에 따른 온실가스 감축의 영향 분석

3. 감축 시스템 개발을 위해 필요한 핵심 입력자료 목록 구축과 주요 감축기술, 정책, 이행 실적 및 평가지표 등을 망라하는 구조화된 DB

- 통합 감축 시스템에 활용되는 주요 입력자료 및 변수 조사
 - 온실가스 배출 전 분야를 포함하고 개발 시스템과 정합성을 가지는 총괄적 기술 DB 구조 설계 및 주요 미래 감축기술 조사
 - 국내 현실이 반영된 경제자료 조사를 통한 대체탄력성 개발
 - 국가 감축목표 이행실적 평가와 관련된 핵심 통계 자료 조사

* 아래 그림은 상기의 목표를 달성하기 위한 연구의 흐름을 간략히 도식화한 것임.

상세한 내용은 연구개발의 추진전력 및 수행방법에서 상세히 설명함.



[그림 1] 연구개발 최종목표를 위한 개념도

2절. 당해 연도 목표 및 달성도

1. 당해 연도 연구목표

- 현재 확인되는 GCAM의 구조와 모형구조 확인
- OOP C++ 로 짜여진 현재의 GCAM모형 전체구조확인 작업 (이미 상당부분 연구가

진행되어 있으나 아래에서 보듯이 추가 연구필요 내용이 방대함)

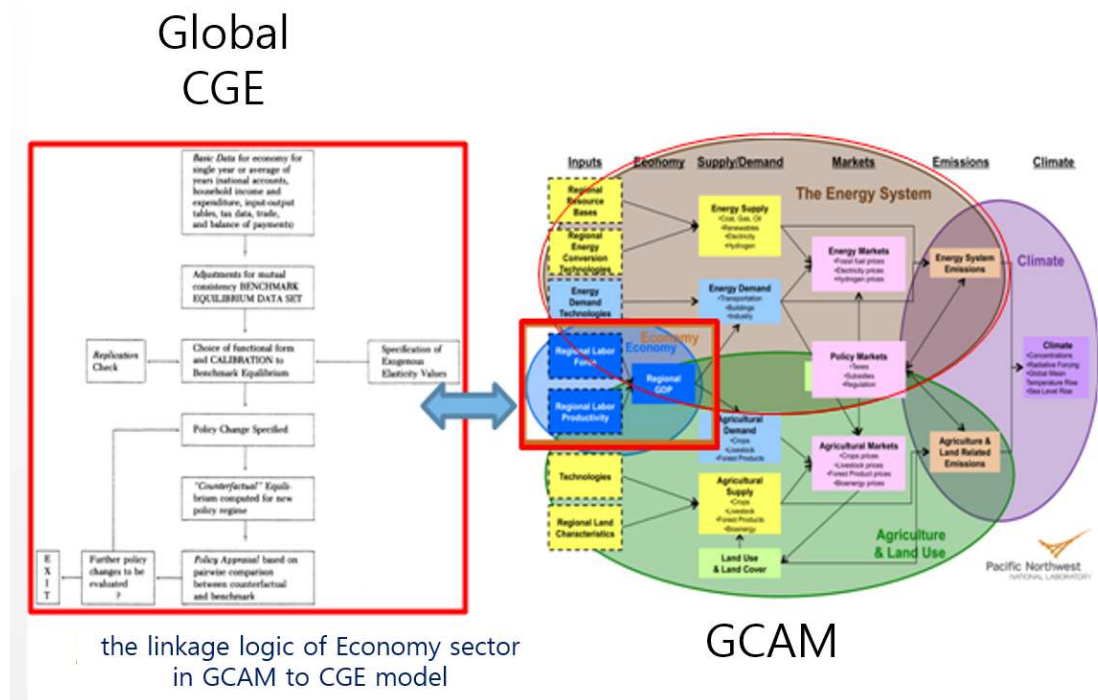
○ 기존 모형을 C#으로 코드변환 및 연산과정 점검

○ GCAM과 통합이 검토된 SGM모형의 추가 검토 (CGE모형과의 연계를 위한 연구 - 지속)

-현재로는 정확히 확인하기 어렵지만 5차년도가 되면 CGE모형과의 구체적인 연계방안에 대한 몇 가지 안을 마련하게 될 것으로 판단됨.

-현재로 예상해 볼 수 있는 사례로는 아래의 몇 가지 사례에 대한 조사를 통해 대략의 예상되는 barrier를 가늠해 볼 수 있을 것임

- SGM (Second Generation Model)의 진행과 중단이유
- Phoenix 프로젝트의 부진한 진전
- CGE모형이 중심이 된 Technology 평가모형



[그림 2] GCAM과 Global CGE 연계 구조

2. 연구개발 계획서 상 제시된 연구개발목표, 평가착안점 및 기준

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용	비고
1차년도	GCAM 구조 분석, 상향식통합모형 로드맵 구성	Code 분석을 통한 GCAM의 Blackbox구조 해체	주관
		GCAM과 통합을 진행하였던 상향식모형인 Second Generation Model(SGM)의 코드분석	
		관련 모형의 상하향식 통합노력과정 중 발생하는 제반 문제점 등을 가능한 범위에서 확인.	
2차년도	상향식 모듈의 구조 설계	GCAM 코드분석을 통해 확보한 지식을 기반으로 한국형 상향식 통합모형 모듈의 개념 설계	주관
		상향식 연구팀과 공동으로 상향식 모듈의 Component 논의 및 결정	
		상향식 모듈 구조 설계	
3차년도	상향식 모듈의 beta버전 완성	전년도 연구기반 모듈의 기술적, 수리적 모형세부내용을 완성	주관
		하향식 모형과의 연계구조를 감안한 새로운 상향식 통합모형의 구조에 관한 연구	
4차년도	Prototype 통합모형 완성	총괄, 하향식, 상향식 연구팀과 공동으로 통합감측시스템의 베타 버전 개발에 기여함	주관
		통합과정에서 발생하는 상향식 모듈의 개선점 파악 및 보완	
5차년도	통합모형 Software 및 UI완성	GUI를 포함한 통합모형과의 연동모듈 개발	주관
		연계구조와 GUI를 감안한 상향식 모형의 개선점 파악 및 보완	
6차년도	통합모형 소프트웨어 검증 및 수정	연계구조를 감안한 통합모형의 연동모듈 수정 및 검증	주관
7차년도			

<표 2> 제시된 평가의 착안점 및 기준

구분	세부 내용	평가의 착안점 및 기준
1차년도	Code 분석을 통한 GCAM의 Blackbox구조 해체	1.블랙박스 코드분석 작업 결과, 상향식 모형 개발에 대한 기여도 2.GCAM-SGM 코드 연계분석을 통한 통합모형 구축의 노력 파악 3.통합모형 개발시 발생할 수 있는 문제점에 대한 선행 검토
	GCAM과 통합을 진행하였던 상향식모형인 Second Generation Model(SGM)의 코드분석	
	관련 모형의 상하향식 통합노력과정 중 발생하는 제반 문제점 등을 가능한 범위에서 확인.	
2차년도	GCAM 코드분석을 통해 확보한 지식을 기반으로 한국형 상향식 통합모형 모듈의 개념 설계	1.Reference의 상향식 통합모듈 개념도 2.상향식 모형의 설계구조도
	상향식 연구팀과 공동으로 상향식 모듈의 Component 논의 및 결정	
	상향식 모듈 구조 설계	
3차년도	전년도 연구기반 모듈의 기술적, 수리적 모형세부내용을 완성	1.모듈의 수리적 모형의 파악 여부 및 세부내용의 완성도 2.하향식 모형과의 연계성 확보 여부
	하향식 모형과의 연계구조를 감안한 새로운 상향식 통합모형의 구조에 관한 연구	
4차년도	총괄, 하향식, 상향식 연구팀과 공동으로 통합감축시스템의 베타 버전 개발에 기여함	1.Prototype 상향식 통합모형 코딩 2.상하향 연계구조를 감안한 상향식 모형의 개선점 파악 및 보완
	통합과정에서 발생하는 상향식 모듈의 개선점 파악 및 보완	
5차년도	GUI를 포함한 통합모형과의 연동모듈 개발	1.GUI를 연계한 상향식 모형의 연동모듈개발 여부 2.연계구조를 감안한 상향식 모형의 개선점 파악 및 보완
	연계구조와 GUI를 감안한 상향식 모형의 개선점 파악 및 보완	
6차년도	연계구조를 감안한 통합모형의 연동모듈 수정 및 검증	1.통합모형 검증을 바탕으로 한 수정
7차년도		
최종평가	Hybrid모형개발	개발된 Hybrid모형의 완성도 및 유용성

3. 당해 연도 목표 및 달성도

당해연도 연구개발 목표	연구개발 수행내용	달성도(%)	비고 (미진사유)
현재 확인되는 GCAM의 구조와 모형구조 확인	<ul style="list-style-type: none"> 코드변환이 완성 후 코드 변환의 완결성을 debug 해 가며 구체적인 모형의 윤곽을 확인 Energy System의 부문별 코드확인작업은 세부 모듈간의 Class Association, Class Inheritance의 성격을 이해하고, 관련성을 추적하는 작업 각 과정별로 확인되는 사항을 Technical Report로 작성하고, 이를 지속적으로 Update 	100%	N/A
OOP C++로 짜여진 현재의 GCAM모형 전체구조확인 작업	<ul style="list-style-type: none"> OOP C++로 짜여진 현재의 GCAM모형 전체 구조 확인 (별책부록 1 참조) 	100%	N/A
기존 모형을 C#으로 코드변환 및 연산과정 점검	<ul style="list-style-type: none"> 새로이 porting한 Xcam의 구조점검 및 디버깅, GCAM의 Solver의 구조확인 (별책부록 2 참조) 	100%	N/A
GCAM과 통합이 검토된 SGM모형의 추가 검토	<ul style="list-style-type: none"> GCAM과 통합이 검토된 SGM모형의 현재 연계형태 확인 SGM (Second Generation Model)의 진행과 중단이유 Phoenix 프로젝트의 진행현황 파악 CGE모형이 중심이 된 Technology 평가모형 등의 몇 가지 사례에 대한 조사를 통해 대략의 예상되는 barrier를 가늠 	100%	N/A

○ 참여 연구원 연구 담당분야

소속 기관	직급	성명	과학기술인 등록번호	최종학위 전공	연구개발 내용	
					전년도	차년도
아주대학교	교수	김수덕	10024001	경제학	과제총괄, 연구내용 구성, 파라미터 계상	
아주대학교	연구교수	오재익	11057781	전자컴퓨터공학	GCAM의 구조확인, C++ 코드분석, C# 변환	
아주대학교	연구원	윤재희	11381144	컴퓨터공학	C++ 코드점검	
아주대학교	박사과정	민은주	11143852	에너지	CGE모형 구성, SGM 모형 검토	
아주대학교	박사과정	구자열	11308173	에너지	국내 Energy System 구성	
아주대학교	박사과정	Zulfikar Y.	11307978	전자공학	국내 데이터 입력 및 국내 Energy System 구성	
아주대학교	박사과정	백민호	10966188	에너지	국내 데이터 입력 및 국내 Energy System 구성	

제3장. 주요 연구내용 변경사항(해당사항 없음)

제4장. 연구개발 수행내용 및 결과

1절. 현재 확인되는 GCAM 의 구조와 모형구조 확인(GCAM 모형의 개요)

1. Global Change Assessment Model의 개요

가. 개요

- GCAM(Global Change Assessment Model)과 같은 통합평가모형(Integrated Assessment Model)은 인간과 지구와 기후 시스템을 통합하여, 전략적이며, 다학제적 통찰을 제공함.
- 공간해상도, 전망, 농업과 토지사용, 경제적 가정, 에너지시스템과 기후모델에 따라 다양함. GCAM은 다음의 시나리오 개발에 다양하게 사용된 모델임.¹⁾
 - IPCC의 AR5의 representative concentration pathways
 - 미국의 Climate Change' s Science Program (CCSP)' s scenario analysis.
 - 미국의 기후변화 기술 프로그램(Climate Change Technology Program)
 - Every EMF study on climate
 - Every IPCC assessment
 - 에너지 및 기타 기업에서 전략 개발을 위해 사용
 - 다양한 연구기관 및 정부 등에서 사용

나. 주요 입력값

- 인구통계: 지역별 인구 및 노동력(외생변수, 정책, 기술과 기타변수에 의해 변하지 않음, 현재 모델에서는 2065년 90억 정도의 인구를 peak로 가정하고 있음)
- 경제통계: 노동생산성, 가격과 소득 탄력성
- 자원: grade별 고갈성 자원 (화석연료, 우라늄) 및 신재생자원(풍력, 태양광).
- 기술: 생산, 전환과 에너지사용 기술 등의 표현

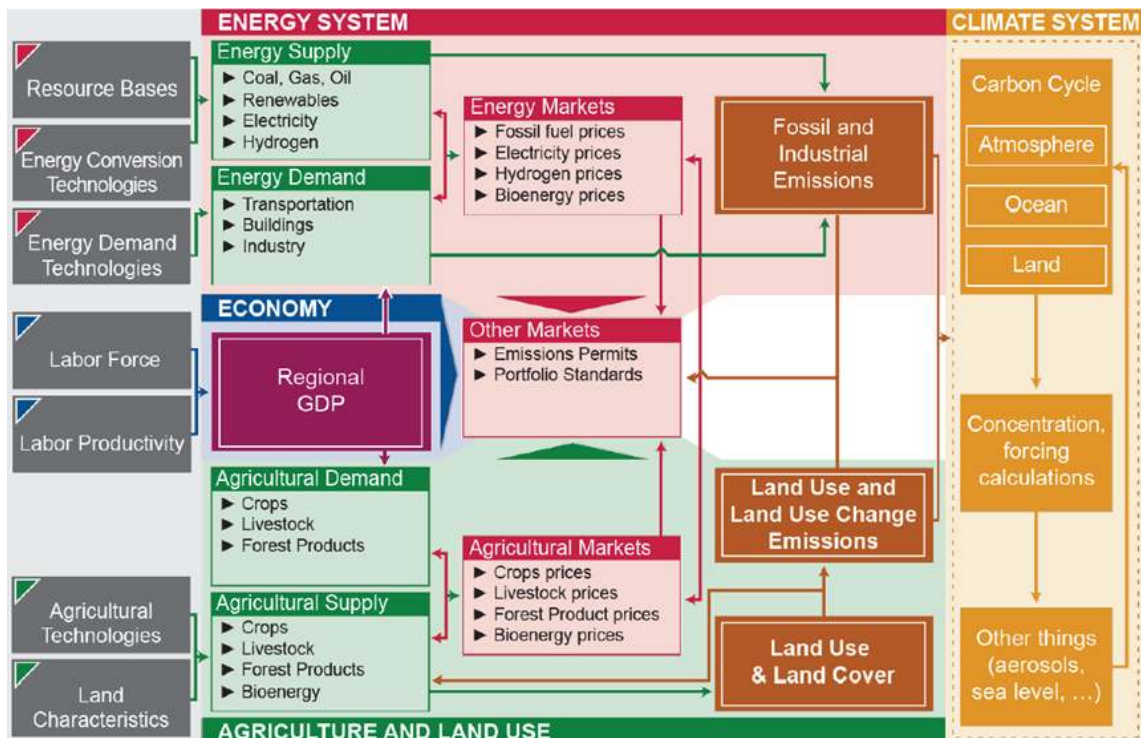
다. 주요 결과

- 경제통계: GDP(노동생산성 증가에 대한 구체적인 가정으로 정책 또는 기술 등에 의해 변하지 않음, 현재 장기노동생산성 성장률은 매년 1.5%(신진국) 이상으로 가정),

1) 출처: : Calvin, K., 2012, Introduction to the Global Change Assessment Model (GCAM), GCAM Community Meeting, 2012

세계 에너지 및 농산물 가격 (각종 에너지, 농산, 축산물 등)

- 에너지: 생산, 전환, 최종사용 및 무역
- 농업: 생산, 소비, 무역 및 토지사용.
- 배출물: 배출원별 CO₂, 비-CO₂ 배출 (CH₄, N₂O, short-lived species emissions (SO₂, BC, OC, CO, NMVOC)
- 기후: GHG 농축, 복사강제력, 기온상승



[그림 3] GCAM의 구조도

출처 : Calvin, K., Regional Modeling in GCAM, GCAM Community Modeling Meeting November 29-30, 2011

- 자원은 전환기술의 투입요소로 액체연료, 전기 또는 수소 등의 energy carrier 생산
- 고갈성 자원: 석탄, 천연가스, 석유(전통, 비전통), 우라늄
- 재생성 자원: 태양광, 풍력, 지열, 바이오에너지
- 최종에너지: 전기, 액체연료, 석탄, 가스연료, 수소
- 각 연료는 다양한 자원을 원료로 사용하는 전환부문이 있음. 예를 들어, 액체연료는 바이오에너지, 전통석유, 석탄과 천연가스 등에서 생산됨
- 에너지 변환은 다양한 기술을 사용할 수 있음. (석탄: existing coal plants,

pulverized coal plants, IGCC, and IGCC with CCS)

2. GCAM의 구조 및 운용

○ 아래는 연구초기단계 확인된 GCAM모형의 구조를 도식화한 것임,

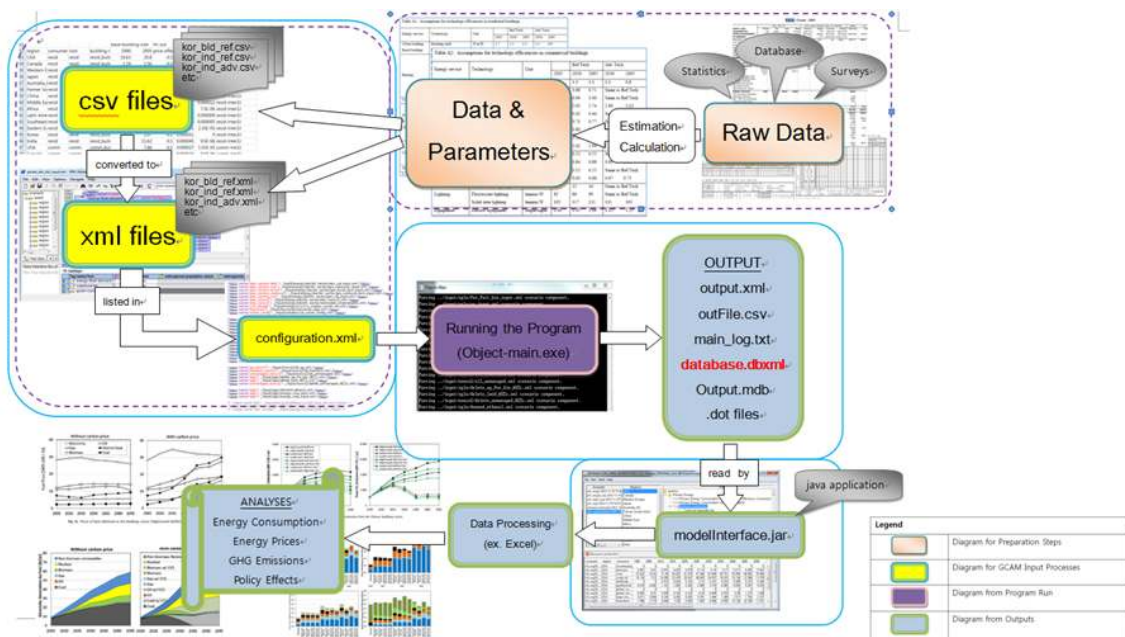
○ data 및 파라미터 입력

○ 입력자료의 변환 (xml 파일형식)

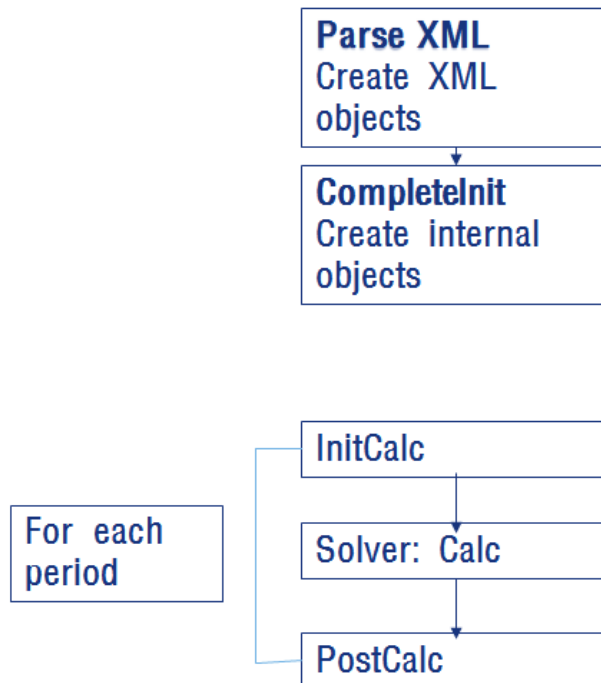
○ 모형내 black box를 통한 연산과정

○ 출력자료

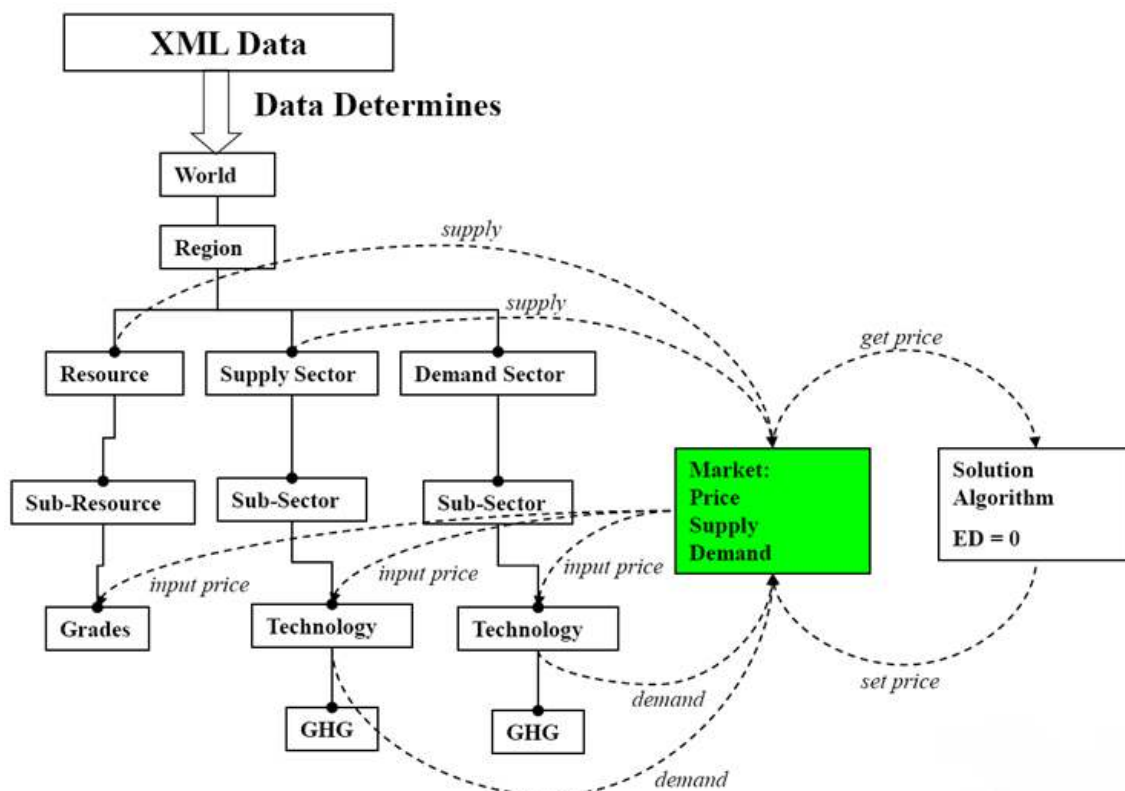
-출력자료의 이용을 위한 Java application - 출력자료는 databaseDB.xml로 나타나며 global 모형의 결과라는 점에서 DB가 매우 커 별도의 utility를 이용하여 원하는 결과를 추출하고 있는 형태임.



[그림 4] GCAM 모형의 흐름



[그림 5] GCAM 소스코드의 Run 구조



[그림 6] GCAM 의 Iteration 개략도

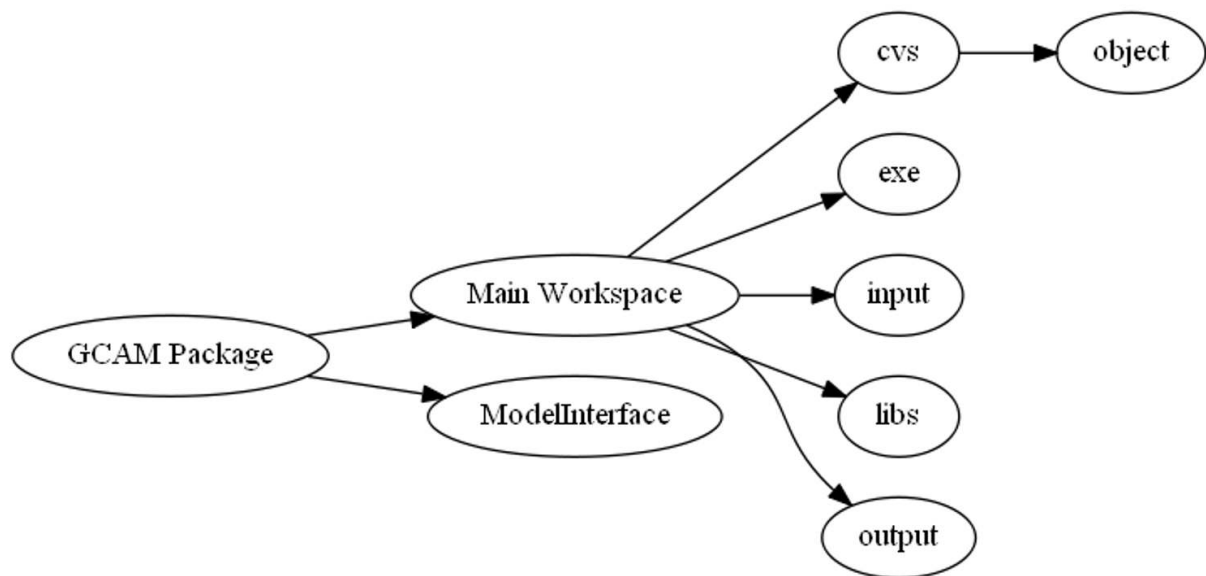
주요 구성은 다음과 같음

-carbon_model, climate, consumers, demographics, emissions, functions, investment, land_allocator, main, marketplace 등

일반적으로, GCAM User Package는 Main User Workspace와 Model Interface로 구성되어 있음. Main User Workspace 는 C++ code, input XML, CSV 파일을 포함하는 메인 폴더로 그 자체로 실행 프로그램이며, 프로그램 실행의 결과임. 반면, Model Interface는 GCAM의 추가 기능을 수행하기 위한 자바기반의 프로그램으로 쿼리를 이용하여 결과값을 표와 데이터 표 형태로 추출함. CSV타입의 데이터를 XML파일로 변환

아래의 그래프는 GCAM Package의 폴더구조임.

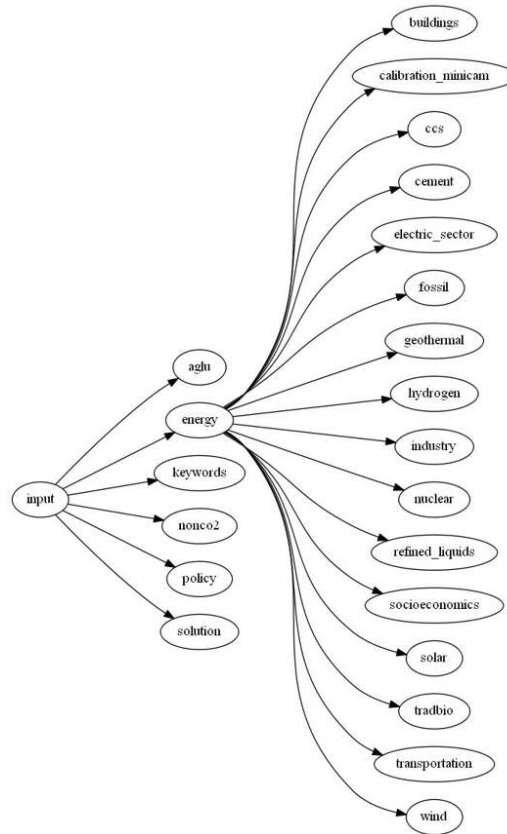
- EXE 폴더는 GCAM 실행프로그램을 포함(Objects-Main.exe, 실행파일).
- Output 폴더는 프로그램의 결과를 포함(dbxml)
- Input 폴더는 exe 폴더의 configuration 파일에 기반하여 투입하고 분석할 add-on 입력 파일을 포함하는 프로그램
- 입력파일은 프로그램에 투입되는 계층적 데이터 베이스인 xml파일과 xml파일의 원자료인 csv 파일.
- with code package 버전에서 cvs/object folder는 모든 GCAM의 소스코드를 포함
- without code package 버전은 cvs/object폴더는 magicc과 model_data를 포함.
- lib폴더는 GCAM의 소스코드 컴파일에 필요한 library와 일부 코드를 포함



[그림 7] Standard GCAM package의 일반구조

Input 폴더 내부에 6개 하부폴더가 있음.

- aglu (Agriculture and Land Use module)
- energy (Socioeconomics and energy modules)
- keywords (node tagging)
- non CO₂ (non CO₂ emissions)
- policy (정책시나리오 최적 입력파일)
- solution (해찾기 알고리즘 구성 입력파일)



[그림 8] GCAM Input 파일의 구조

○ 에너지 폴더에는 16개 하부폴더가 있음.

- ✓ buildings, calibration_minicam, ccs, cement, electric sector, fossil, geothermal, hydrogen, industry, nuclear, refined liquids, socioeconomics, solar, tradbio, transportation, wind

○ Object 폴더

- ✓ There are 25 subfolders under the cvs/object folder, which contain various files, as shown in figure below. The yellow boxes (under folder build) are the project files that are specified for different Operating Systems (OS): Linux, Windows, and Mac. Meanwhile, the gray boxes are folders or subfolders that contain the source code itself. Within those folders there are two subfolders: include, which contains the header files (.h) and source, which contains the code files (.cpp).

3. GCAM의 코드 분석

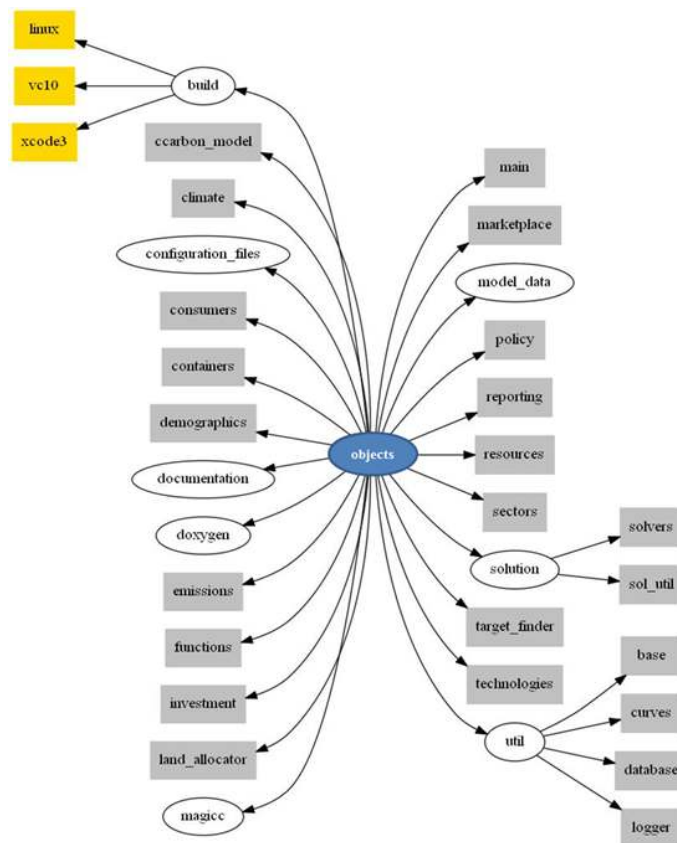
가. 개요

각 파일은 100~500개의 코드라인을 포함하며 다음과 같은 구조를 가짐

- 파일: 290개
- cpp파일, 341 개
- header file

주요 구성은 다음과 같음

- carbon_model, climate, consumers, demographics, emissions, functions, investment, land_allocator, main, marketplace



[그림 9] Object의 구조

나. GCAM의 C++소스코드 구성

<표 3> GCAM의 C++ 소스코드 구성

folder	include	source
ccarbon_model	asimple_carbon_calc.h carbon_model_utils.h icarbon_calc.h land_carbon_densities.h	asimple_carbon_calc.cpp carbon_model_utils.cpp land_carbon_densities.cpp
climate	iclimite_model.h MAGICC_array.h magicc_model.h ObjecTS_MAGICC.h	MAGICC_array.cpp MAGICC_IO_helpers.cpp magicc_model.cpp ObjecTS_MAGICC.cpp ObjecTS_MAGICC_others.cpp
consumers	calc_capital_good_price_visitor.h consumer.h govt_consumer.h household_consumer.h invest_consumer.h trade_consumer.h	calc_capital_good_price_visitor.cpp consumer.cpp govt_consumer.cpp household_consumer.cpp invest_consumer.cpp trade_consumer.cpp
containers	batch_runner.h dependency_finder.h final_demand_activity.h gdp.h iactivity.h icycle_breaker.h iinfo.h info.h info_factor.h iscenario_runner.h land_allocator_activity.h mac_generator_scenario_runner.h market_ependency_finder.h merge_runner.h national_account.h output_meta_data.h region.h region_cge.h region_minicam.h resource_activity.h scenario.h scenario_runner_factory.h sector_activity.h sector_cycle_breaker.h single_scenario_runner.h total_policy_cost_calculator.h tree_item.h world.h	batch_runner.cpp dependency_finder.cpp final_demand_activity.cpp gdp.cpp info.cpp info_factor.cpp land_allocator_activity.cpp mac_generator_scenario_runner.cpp market_ependency_finder.cpp merge_runner.cpp national_account.cpp output_meta_data.cpp region.cpp region_cge.cpp region_minicam.cpp resource_activity.cpp scenario.cpp scenario_runner_factory.cpp sector_activity.cpp sector_cycle_breaker.cpp single_scenario_runner.cpp total_policy_cost_calculator.cpp world.cpp

demographics	age_cohort.h demographic.h female.h gender.h male.h population.h population_mini_cam.h population_sgm_fixed.h population_sgm_rate.h	age_cohort.cpp demographic.cpp female.cpp gender.cpp male.cpp population.cpp population_mini_cam.cpp population_sgm_fixed.cpp population_sgm_rate.cpp
emissions	acomplex_emissions.h aemissions_coef.h aemissions_driver.h aggr_emissions_coef.h aghg.hh by_product.h CO2_emissions.h emissions_driver_factory.h emissions_summer.h generic_emissions.h ghg_factory.h ghg_mac.h indirect_emiss_coef.h input_driver.h input_emissions_coef.h input_output_drive.h luc_emissions_summer.h output_driver.h read_emissions_coef.h so2_emissions.h total_sector_emissions.h	acomplex_emissions.cpp aemissions_coef.cpp aggr_emissions_coef.cpp aghg.cpph by_product.cpp CO2_emissions.cpp emissions_driver_factory.cpp emissions_summer.cpp generic_emissions.cpp ghg_factory.cpp ghg_mac.cpp indirect_emiss_coef.cpp input_driver.cpp input_emissions_coef.cpp input_output_drive.cpp luc_emissions_summer.cpp output_driver.cpp read_emissions_coef.cpp so2_emissions.cpp total_sector_emissions.cpp
functions	ademand_function.h aproduction_function.h building_demand_input.h ces_production_function.h demand_input.h efficiency.h energy_input.h function_manager.h function_utils.h governmenet_demand_function.h household_demand_function.h icoefficient.h ifunction.h iinput.h inested_input.h input_capital.h input_OM_fixed.h input_OM_var.h	ademand_function.cpp aproduction_function.cpp building_demand_input.cpp ces_production_function.cpp demand_input.cpp efficiency.cpp energy_input.cpp function_manager.cpp function_utils.cpp governmenet_demand_function.cpp household_demand_function.cpp input_capital.cpp input_OM_fixed.cpp input_OM_var.cpp input_subsidy.cpp input_tax.cpp intensity.cpp investment_demand_function.cpp

	input_subsidy.h input_tax.h intensity.h investment_demand_function.h leaf_input_finder.h leontief_production_function.h logit_production_function.h minicam_input.h minicam_leontief_production_function.h minicam_price_elasticity_function.h nested_ces_production_function.h node_input.h non_energy_input.h production_input.h renewable_input.h sgm_input.h trade_demand_function.h trade_input.h utility_demand_function.h	leaf_input_finder.cpp leontief_production_function.cpp logit_production_function.cpp minicam_input.cpp minicam_leontief_production_function.c pp minicam_price_elasticity_function.cpp nested_ces_production_function.cpp node_input.cpp non_energy_input.cpp production_input.cpp renewable_input.cpp sgm_input.cpp trade_demand_function.cpp trade_input.cpp utility_demand_function.cpp
investment	accelerator.h get_distributed_investment_visitor.h idistributor.h iexpected_profit_calculator.h igrowth_calculator.h iinvestable.h iinvestor.h investable_counter_visitor.h investment_growth_calculator investment_utils.h levelized_cost_calculator.h market_based_investment.h output_growth_calculator.h output_share_levelized_cost_calculator.h rate_logit_distributor.h set_share_weight_visitor.h simple_expected_profit_calculator.h	accelerator.cpp get_distributed_investment_visitor.cpp investable_counter_visitor.cpp investment_growth_calculator investment_utils.cpp levelized_cost_calculator.cpp market_based_investment.cpp output_growth_calculator.cpp output_share_levelized_cost_calculator.c pp rate_logit_distributor.cpp set_share_weight_visitor.cpp simple_expected_profit_calculator.cpp
land_allocator	aland_allocator_item.h carbon_land_leaf.h iland_allocator.h	aland_allocator_item.cpp carbon_land_leaf.cpp land_allocator.cpp

	land_allocator.h land_leaf.h land_node.h land_use_history.h unmanaged_land_leaf.h	land_leaf.cpp land_node.cpp land_use_history.cpp unmanaged_land_leaf.cpp
main		main.cpp
marketplace	cached_market.h calibration_market.h demand_market.h imarket_type.h inverse_calibration_market.h market.h market_locator.h market_RES.h market_subsidy.h market_tax.h marketplace normal_market.h price_market.h trial_value_market.h	cached_market.cpp calibration_market.cpp demand_market.cpp inverse_calibration_market.cpp market.cpp market_locator.cpp market_RES.cpp market_subsidy.cpp market_tax.cpp marketplace normal_market.cpp price_market.cpp trial_value_market.cpp
policy	policy_ghg.h policy_portfolio_standard.h	policy_ghg.cpp policy_portfolio_standard.cpp
reporting	batch_csv_outputter.h demand_components_table.h energy_balance_table.h govt_results.h graph_printer.h indirect_emissions_calculator.h input_output_table.h land_allocator_printer.h sector_report.h sector_result.h sgm_gen_table.h social_accounting_matrix.h storage_table.h xml_db_outputter.h	batch_csv_outputter.cpp demand_components_table.cpp energy_balance_table.cpp govt_results.cpp graph_printer.cpp indirect_emissions_calculator.cpp input_output_table.cpp land_allocator_printer.cpp sector_report.cpp sector_result.cpp sgm_gen_table.cpp social_accounting_matrix.cpp storage_table.cpp xml_db_outputter.cpp
resources	accumulated_grade.h accumulated_post_grade.h aresource.h depleting_fixed_resource.h grade.h renewable_subresource.h resource.h smooth_renewable_subresource.h subresource.h unlimited_resource.h	accumulated_grade.cpp accumulated_post_grade.cpp depleting_fixed_resource.cpp grade.cpp renewable_subresource.cpp resource.cpp smooth_renewable_subresource.cpp subresource.cpp unlimited_resource.cpp
sectors	afinal_demand.h ag_supply_sector.h	ag_supply_sector.cpp ag_supply_subsector.cpp

	ag_supply_subsector.h backup_calculator_factory.h building_final_demand.h cal_quantity_tabulator.h capacity_limit_backup_calculator.h CSP_backup_calculator.h demand_sector.h energy_final_demand.h export_sector.h factor_supply final_demand_sector.h ibackup_calculator.h more_sector.hinfo.h non_energy_final_demand.h production_sector.h sector.h sector_utils.h subsector.h subsector_add_techcosts.h supply_sector.h tran_sector.h tran_subsector.h wind_backup_calculator.h	backup_calculator_factory.cpp building_final_demand.cpp cal_quantity_tabulator.cpp capacity_limit_backup_calculator.cpp CSP_backup_calculator.cpp energy_final_demand.cpp export_sector.cpp factor_supply final_demand_sector.cpp more_sector.cppinfo.cpp non_energy_final_demand.cpp production_sector.cpp sector.cpp sector_utils.cpp subsector.cpp subsector_add_techcosts.cpp supply_sector.cpp tran_sector.cpp tran_subsector.cpp wind_backup_calculator.cpp
solution/solvers	bisect_all.h bisect_one.h bisect_policy.h bisect_policy_nr_solver.h bisection_nr_solver.h log_newton_rapson.h log_newton_rapshon_sd.h lognrbt.hh solver.h solver_component.h solver_component_factory.h solver_factory.h user_configurable_solver.h	bisect_all.cpp bisect_one.cpp bisect_policy.cpp bisect_policy_nr_solver.cpp bisection_nr_solver.cpp log_newton_rapson.cpp log_newton_rapshon_sd.cpp lognrbt.cpph solver_component.cpp solver_component_factory.cpp solver_factory.cpp user_configurable_solver.cpp
solution/util	all_solution_info_filter.h and_solution_info_filter.h calc_counter.h edfun.hh fdjac.hh functor.hh functor-subs.hh isolution_info_filter.h linsearch.hh market_name_solution_info_filter.h	all_solution_info_filter.cpp and_solution_info_filter.cpp calc_counter.cpp edfun.cpp market_name_solution_info_filter.cpp market_type_solution_info_filter.cpp not_solution_info_filter.cpp or_solution_info_filter.cpp price_greater_than_solution_info_filter.cp p price_less_than_solution_info_filter.cpp

	market_type_solution_info_filter.h not_solution_info_filter.h nrsolver.hh or_solution_info_filter.h price_greater_than_solution_info_filter.h price_less_than_solution_info_filter.h solution_info.h solution_info_filter_factory.h solution_info_param_parser.h solution_info_set.h solvable_nr_solution_info_filter.h solvable_solution_info_filter.h solver_library.h ublas-helpers.hh unsolved_solution_info_filter.h	solution_info.cpp solution_info_filter_factory.cpp solution_info_param_parser.cpp solution_info_set.cpp solvable_nr_solution_info_filter.cpp solvable_solution_info_filter.cpp solver_library.cpp unsolved_solution_info_filter.cpp
target_finder	bisecter.h concentration_target.h emissions_stabilization_target.h forcing_target.h itarget.h itarget_solver.h kyoto_forcing_target.h policy_target_runner.h secanter.h simple_policy_target_runner.h target_factory.h temperature_target.h	bisecter.cpp concentration_target.cpp emissions_stabilization_target.cpp forcing_target.cpp kyoto_forcing_target.cpp policy_target_runner.cpp secanter.cpp simple_policy_target_runner.cpp target_factory.cpp temperature_target.cpp
technologies	ag_production_technology.h base_technology.h building_generic_dmd_technology.h cal_data_output.h cal_data_output_percap.h capture_component_factory.h default_technology.h empty_technology.h expenditure.h fixed_production_state.h generic_output.h global_technology_database.h ical_data.h icapture_component.h input_factory.h intermittent_technology.h internal_gains.h	ag_production_technology.cpp base_technology.cpp building_generic_dmd_technology.cpp cal_data_output.cpp cal_data_output_percap.cpp capture_component_factory.cpp default_technology.cpp empty_technology.cpp expenditure.cpp fixed_production_state.cpp generic_output.cpp global_technology_database.cpp input_factory.cpp intermittent_technology.cpp internal_gains.cpp marginal_profit_calculator.cpp non_energy_use_capture_component.cpp

	ioutput.h iproduction_state.h ishutdown_decider.h itechnical_change_calc.h itechnology.h itechnology_container.h marginal_profit_calculator.h non_energy_use_capture_component.h nuke_fuel_technology.h output_factory.h phased_shutdown_decider.h power_plant_capture_component.h primary_output.h production_state_factory.h production_technology.h profit_shutdown_decider.h res_secondary_output.h residue_biomass_output.h retired_production_state.h s_curve_shutdown_decider.h secondary_output.h sgm_output.h shutdown_decider_factory.h solar_technology.h standard_capture_component.h standard_technical_change_calc.h stub_technology_container.h technology.h technology_container.h technology_type.h tran_technology.h unmanaged_land_technology.h variable_cost_shutdown_decider.h variable_production_state.h vintage_production_state.h wind_technology.h	nuke_fuel_technology.cpp output_factory.cpp phased_shutdown_decider.cpp power_plant_capture_component.cpp primary_output.cpp production_state_factory.cpp production_technology.cpp profit_shutdown_decider.cpp res_secondary_output.cpp residue_biomass_output.cpp retired_production_state.cpp s_curve_shutdown_decider.cpp secondary_output.cpp sgm_output.cpp shutdown_decider_factory.cpp solar_technology.cpp standard_capture_component.cpp standard_technical_change_calc.cpp stub_technology_container.cpp technology.cpp technology_container.cpp technology_type.cpp tran_technology.cpp unmanaged_land_technology.cpp variable_production_state.cpp vintage_production_state.cpp wind_technology.cpp
util/base	atom.h atom_registry.h auto_file.h calibrate_resource_visitor.h calibrate_share_weight_visitor.h configuration.h default_visitor.h definitions.h fixed_interpolation_function.h	atom.cpp atom_registry.cpp calibrate_resource_visitor.cpp calibrate_share_weight_visitor.cpp configuration.cpp fixed_interpolation_function.cpp input_finder.cpp interpolation_function_factory.cpp interpolation_rule.cpp

	fltcmp.hh hash_map.h iinterpolation_function.h inamed.h input_finder.h interpolation_function_factory.h interpolation_rule.h iparsable.h iround_trippable.h istandard_component.h ivisible.h ivisor.h linear_interpolation_function.h model_time.h object_meta_info.h s_curve_interpolation_function.h string_hash.h summary.h supply_demand_curve.h time_vector.h timer.h TValidatorInfo.h util.h value.h version.h xml_helper.h xml_pair.h	linear_interpolation_function.cpp model_time.cpp string_hash.cpp summary.cpp supply_demand_curve.cpp timer.cpp util.cpp
util/curves	cost_curve.h curve.h data_point.h explicit_point_set.h point_set.h point_set_curve.h xy_data_point.h	curve.cpp data_point.cpp explicit_point_set.cpp point_set.cpp point_set_curve.cpp xy_data_point.cpp
util/database		output_helper.cppcpp
util/logger	ilogger.h logger.h logger_factory.h plain_text_logger.h xml_logger.h	logger.cpp logger_factory.cpp plain_text_logger.cpp xml_logger.cpp

다. C++ 코드의 구체적인 현황 폴더구조

Root

LICENSE & NOTICE - GCAM.txt

MiniCAM User Guide 5-11-12.pdf

Additional Licenses

Main_User_Workspace

ModelInterface

Subfolders

Additional Licenses

Additional LicensesWICENCE - TableSorter.txt

Additional Licenses: LICENSE - apache.txt

Additional Licenses: LICENSE - dbxml.txt

~~W~~Additional Licenses~~W~~LICENSE - Freechart.txt

~~W~~Additional Licenses~~W~~LICENSE - mapm.txt

~~W~~Additional Licenses~~W~~LICENSE - xqilla.txt

~~W~~Additional Licenses~~W~~LICENSE - yajl.txt

Additional Licenses: LICENSE - zlib.txt

Additional Licenses: LICENSE_1_0 - Boost.txt

ModelInterface

ModelInterfaceWatch_example.xml

ModelInterfaceWars

WModelInterfaceWbdb_java48.dll

ModelInterfaceWb48.dll

WModelInterfaceWbdbxml_java25.dll

ModelInterfaceWbdbxml25.dll

ModelInterfaceMain_queries.xml

ModelInterfaceModel_interface.properties

ModelInterfaceModelInterface.jar

ModelInterfaceXerces-c_3_0.dll

ModelInterfaceXqilla22.dll

WModelInterfaceWlibwapi.dll

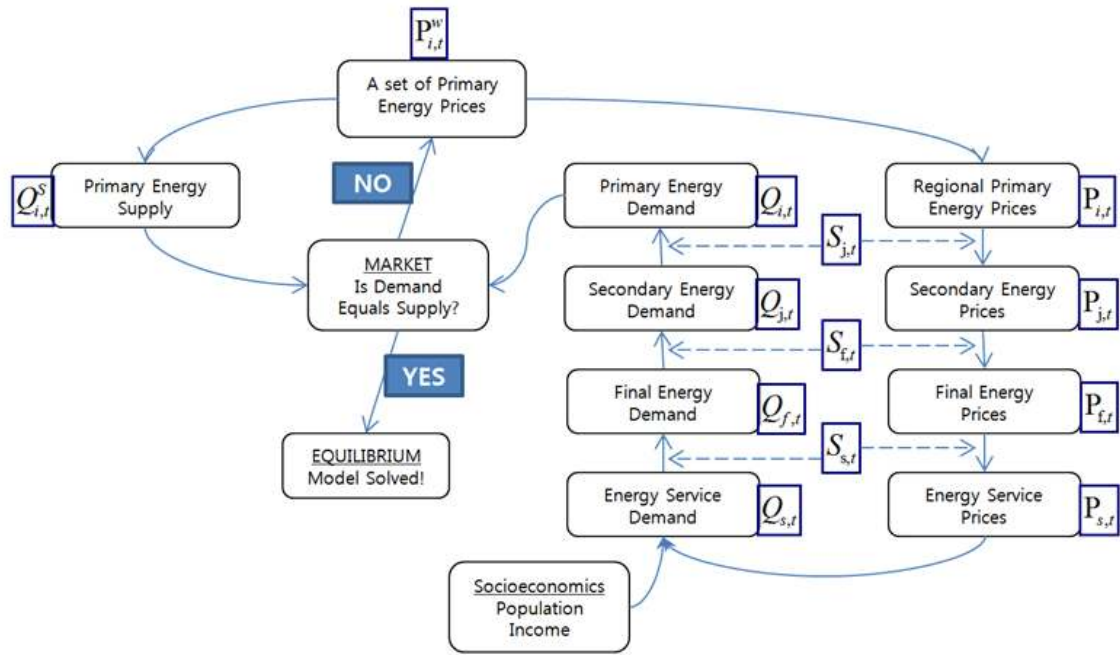
~~W~~ModelInterface~~W~~ars~~W~~ib.jar
~~W~~ModelInterface~~W~~ars~~W~~ibxml.jar
~~W~~ModelInterface~~W~~ars~~W~~common-1.0.0-rc1.jar
~~W~~ModelInterface~~W~~ars~~W~~freechart-1.0.0-pre2.jar
~~W~~ModelInterface~~W~~ars~~W~~poi-3.0-alpha1.jar
~~W~~ModelInterface~~W~~ars~~W~~poi-contrib-3.0-alpha1.jar
~~W~~ModelInterface~~W~~ars~~W~~poi-scratchpad-3.0-alpha1.jar
~~W~~ModelInterface~~W~~ars~~W~~xalan.jar

~~W~~Main_User_Workspace~~W~~vs
~~W~~Main_User_Workspace~~W~~xe
~~W~~Main_User_Workspace~~W~~input
~~W~~Main_User_Workspace~~W~~bs
~~W~~Main_User_Workspace~~W~~output

** ~~W~~Main_User_Workspace 폴더의 구체적인 파일구조는 별도의 부록에 첨부함.

4. GCAM의 세부구조

- GCAM의 세부구조는 부분균형을 찾아내는 **iterative method**를 에너지가격식, 에너지 수요식, 에너지공급식, 균형식 및 해찾기 알고리즘 등의 상호작용으로 볼 수 있으며, 아래 그림과 같이 아는 아래 그림과 같다.



[그림 10] 1차년도 연구를 통해 구체적으로 확인된 GCAM 모형의 세부구조

아래는 1차년도 연구를 통해 확인한 각각의 수식구조에 대해 간략히 설명한다.

가. 에너지가격식 (Energy Price Equation)

$$P_{i,t} = [(P_{i,t}^w + C_{i,t}^T) \times (1 + T_{i,t})] \times \text{coeff}_{i,t} + \lambda_{i,t}$$

$$P_{j,t} = \sum_g S_{g,j,t} \times c_{g,j,t} = \sum_g [S_{g,j,t} \times (P_{i,t} \times \text{coeff}_{g,j,t} + \lambda_{g,j,t})]$$

$$P_{f,t} = \sum_g S_{g,f,t} \times c_{g,f,t} = \sum_g [S_{g,f,t} \times (P_{j,t} \times \text{coeff}_{g,f,t} + \lambda_{g,f,t})]$$

$$P_{s,t} = \sum_h S_{s,h,t} \times c_{s,h,t} = \sum_h [S_{s,h,t} \times (P_{f,t} \times \text{coeff}_{s,h,t} + \lambda_{s,h,t})]$$

여기서, i, j, f, s 는 각각 1차 에너지, 2차 에너지, 최종에너지, 에너지서비스를 나타냄

$C_{i,t}^T, T_{i,t}$: 각각 운송비용, 세율

S : 각 기술의 점유율

c : 기술비용(또는 에너지공급 가격)

$coeff$: $(1/efficiency)$ 로 정의되는 상수

λ : *The levelized non-energy cost(input cost)*

나. 에너지서비스 수요식 (Energy Service Demand Equation)

$$Q_{k,t} = \sum_{s,h} Q_{k,s,h,t}$$

$$Q_{f,t} = \sum_k Q_{f,k,t} = \sum_k (S_{k,t} \times Q_{k,t})$$

$$Q_{j,t} = \sum_{g,f} Q_{j,g,f,t} = \sum_g (S_{g,f,t} \times Q_{f,t})$$

$$Q_{i,t} = \sum_{g,j} Q_{i,g,j,t} = \sum_{g,j} (S_{g,j,t} \times Q_{j,t})$$

여기서, k, f, j, i 는 에너지서비스 수요, 최종에너지 수요, 2차 에너지수요, 1차 에너지 수요이며, 이 때,

$$S_{s,h,t} = \frac{\alpha_{s,h,t} c_{s,h,t}^{\sigma_{s,h,t}}}{\sum_h \alpha_{s,h,t} c_{s,h,t}^{\sigma_{s,h,t}}}$$

Q : 에너지수요

S : 각 기술의 점유율

s : 에너지서비스(난방, 냉방, 기타)

h : 에너지서비스 공급기술(보일러, 에어컨, 가전, 기타)

k : 최종부문(건물, 산업, 수송)

f : 최종에너지

g : 변환기술(액화, 보일러, 기타)

j : 2차 에너지(LNG, 수소, 기타)

여기서 최종에너지는 delivered coal, delivered gas, refined liquids enduse, electricity 등을 포함한다.

다. 에너지공급 곡선 (Energy Supply Curve)

○ GCAM에서 1차에너지 공급곡선은 한계채굴비용과 채굴가능 에너지량에 따라 6개 등급으로 구분하여 구성된 값

$$Q_{i,t}^S = \sum_{r=1}^{n-1} Q_{i,r,t} + (P_{i,t}^w - C_{i,r=n-1,t}^E) \times m_{r=n}$$

여기서,

$Q_{i,t}^S$: 에너지 i 의 공급량

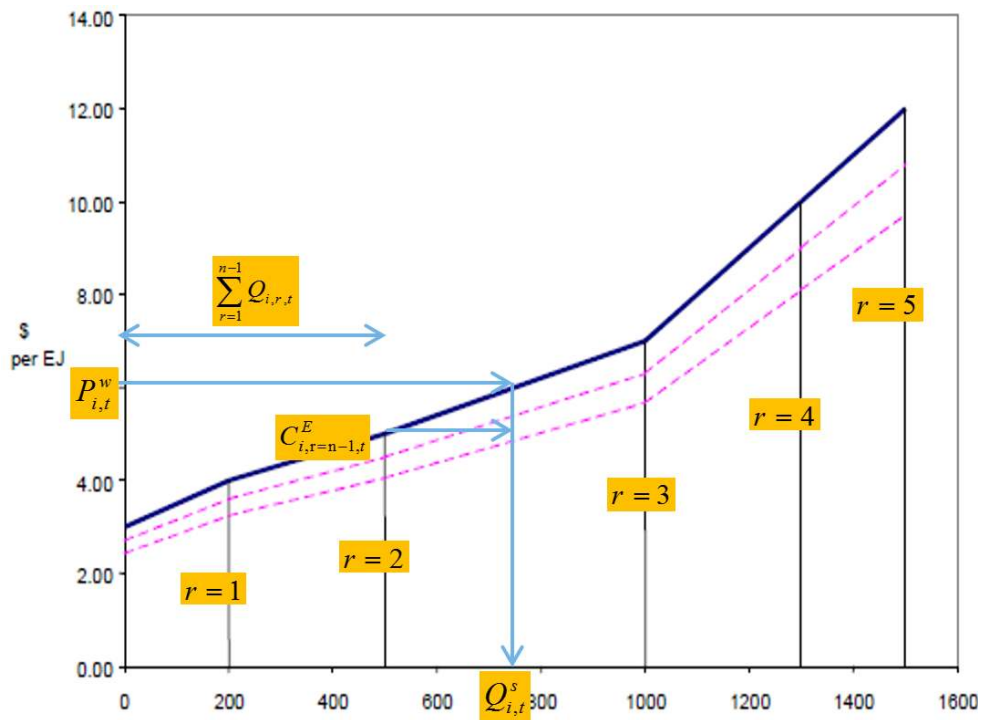
$Q_{i,r,t}$: grade r 수준의 에너지 공급량

$P_{i,t}^w$: 에너지 i 의 국제가격

$C_{i,t}^E$: 앞선 grade 수준에서 에너지 i 의 채굴비용

m : 공급곡선의 기울기

r : 에너지의 grade



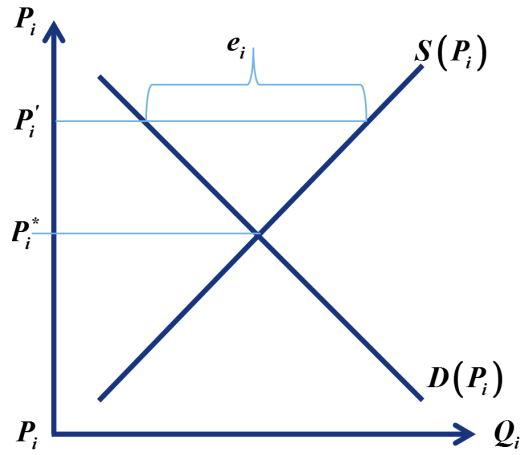
[그림 11] Cumulative Primary Energy Supply Curve

출처: PNNL 14337 (2003), Model Documentation for the MiniCam

라. 균형가격 파라미터 산정방식

$$e_i = S_i(p_i') - D_i(p_i')$$

$$L = \prod_{i=1}^n f(e_i), \text{ where } f(e_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{[S_i(p_i') - D_i(p_i')]^2}{2\sigma^2}}$$



[그림 12] 균형식으로 표시된 모형의 개념도

위와 같이 주어진 likelihood 함수의 값을 p_i 에 대하여 극대화 하는 것을 목표로 하며,

$$\text{Log } L = -\frac{n}{2} \log(2\pi) - \frac{n}{2} \log(\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (S_i(p_i') - D_i(p_i'))^2$$

Iterative method 의 예시 (Newton Raphson)

추정되어야 할 파라미터 값을 $\theta = (\sigma^2, p_1, p_2, \dots, p_n)$ 이라 하면, 위의 방정식은 $Q(\theta) = \text{Log } L(\sigma^2, p_1, p_2, \dots, p_n)$ 으로 표현할 수 있음.

$\frac{\partial \log L}{\partial \theta} \Big|_{\hat{\theta}} = 0$ 을 만족하는 *closed form*의 해로 $\hat{\theta}$ 를 추정할 수 있는 경우 문제가 없으나, *closed form*의 해를 찾을 수 없는 경우, *iterative method*로 θ 의 추정치를 찾기 위해, $\frac{\partial \log L}{\partial \theta} \Big|_{\hat{\theta}}$ 의 1차 Taylor Expansion 값을 사용함.

$$\frac{\partial \log L}{\partial \theta} \Big|_{\hat{\theta}} = 0 \equiv S(\hat{\theta}) \approx S(\hat{\theta}_i) + \frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta'} \Big|_{\hat{\theta}_i} (\hat{\theta} - \hat{\theta}_i) \text{ 이면,}$$

$$\begin{aligned} \hat{\theta} &= \hat{\theta}_i - \left[\frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta \partial \theta'} \Big|_{\hat{\theta}_i} \right]^{-1} S(\hat{\theta}_i) \text{ 또는} \\ \hat{\theta}_{i+1} &= \hat{\theta}_i - \left[\frac{\partial \log L}{\partial \theta \partial \theta'} \Big|_{\hat{\theta}_i} \right]^{-1} \frac{\partial \log L}{\partial \theta} \Big|_{\hat{\theta}_i} \end{aligned}$$

Quadratic Hill Climbing (Goldfeld, Quandt and Trotter, 1966)에서는 $\frac{\partial \log L}{\partial \theta \partial \theta'} \Big|_{\hat{\theta}_i}$ 의 값을 값이 아니면, 위의 *iterative method*는 다음과 같이 변환될 수 있음.

$$\hat{\theta}_{i+1} = \hat{\theta}_i - \left[\frac{\partial \log L}{\partial \theta \partial \theta'} \Big|_{\hat{\theta}_i} - \alpha_i I \right]^{-1} \frac{\partial \log L}{\partial \theta} \Big|_{\hat{\theta}_i}$$

DFP (Davidson 1959, Fletcher and Powell 1963)은 $\hat{\theta}_{i+1} - \hat{\theta}_i$ 가 최적값을 얻기에 너무 크거나 작은 경우, 위의 *iteration method*는 $\hat{\theta}_{i+1} = \hat{\theta}_i - \lambda_i \left[\frac{\partial \log L}{\partial \theta \partial \theta'} \Big|_{\hat{\theta}_i} \right]^{-1} \frac{\partial \log L}{\partial \theta} \Big|_{\hat{\theta}_i}$ 로 변환될 수 있음.

*iterative method*를 사용하여 i 번째 시장의 해를 찾음, 여기서 $i = 1, 2, \dots, n$

마. GCAM에서 사용되는 Algorithm

○ Bracketing

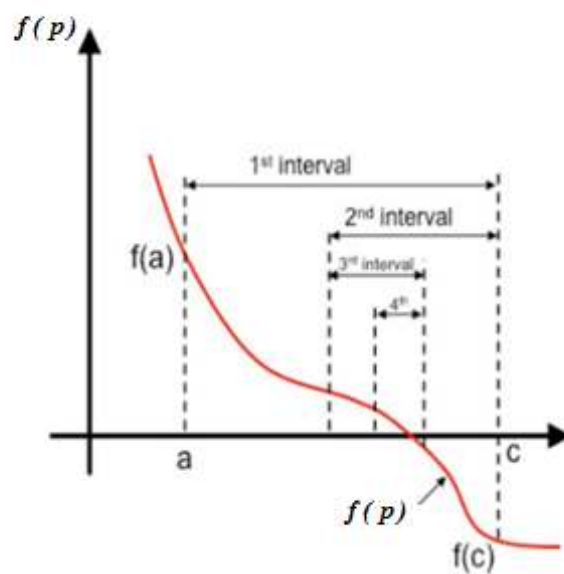
○ Bisection

○ Newton-Raphson or Broyden

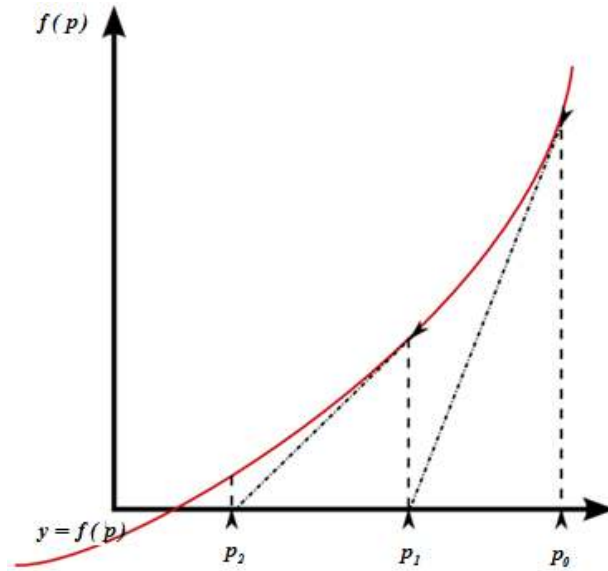
-There exists only one root since ED (Demand-Supply) curve is monotonically decreasing.

-Initial guess is pretty good because it is computed in the reference year when all the parameters are carefully calibrated.

$$f(p) = \ln(\text{Demand}) - \ln(\text{Supply})$$



[그림 13] Bracketing and Bisection on
(Demand – Supply) curve



[그림 14] Newton-Raphson Method: Single Variable Case

$$p: f(p) = 0$$

$$p_1 = p_0 - \frac{f(p_0)}{f'(p_0)}$$

...

$$p_{n+1} = p_n - \frac{f(p_n)}{f'(p_n)}$$

$f(p)$ 값이 0에 수렴할 때까지 iteration을 반복함.

$$\begin{aligned}
y &= \ln(\text{Demand}) - \ln(\text{Supply}) = \ln(\text{Demand} / \text{Supply}) \\
y &= F(X) \\
X &= \ln(p) = (\ln(p_1), \ln(p_2), \dots, \ln(p_n))' \\
\text{where Demand} &= \begin{pmatrix} \text{Demand}_1(X) \\ \text{Demand}_2(X) \\ \vdots \\ \text{Demand}_n(X) \end{pmatrix}, \text{Supply} = \begin{pmatrix} \text{Supply}_1(X) \\ \text{Supply}_2(X) \\ \vdots \\ \text{Supply}_n(X) \end{pmatrix} \\
F(X) &= \begin{pmatrix} \ln(\text{Demand}_1 / \text{Supply}_1) \\ \ln(\text{Demand}_2 / \text{Supply}_2) \\ \vdots \\ \ln(\text{Demand}_n / \text{Supply}_n) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_1(X) \\ F_2(X) \\ \vdots \\ F_n(X) \end{pmatrix} \\
X_{\text{new}} &= X_{\text{old}} - f(X)J^{-1} \\
\text{where } J &= \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial F_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial F_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

여기서 J 는 F 함수의 Jacobian임.

2절. OOP C++로 짜여진 현재의 GCAM모형 전체구조확인 작업

○ 아래는 OOP C++로 짜여진 현재의 GCAM모형의 Foler 구조임.

<표 4> GCAM Object folder의 source code 규모

Folder	C++ 코드				
	파일 갯수	라인 수	주석 라인	공백 라인	코드 라인
carbon_model	7	1300	601	184	523
climate*	9	12821	7761	395	4835
consumers	14	3286	1190	418	1737
containers	53	12322	5067	1503	5859
demographics	18	2863	1218	357	1343
emissions	37	5115	2407	687	2082
functions	80	17032	6498	2356	8281
investment	29	4894	2544	472	1900
land_allocator	15	4215	1698	633	1905
main	1	221	98	31	96
marketplace	27	5234	2542	611	2101
policy**	4	856	349	91	438
reporting	28	6872	2390	863	3677
resources	19	4092	1650	549	1947
sectors	42	10825	4504	1291	5144
solution/solvers	25	3932	1644	486	1854
solution/util	43	6607	3030	762	2911
target_finder	22	3770	1675	462	1649
technologies	95	21522	8651	2842	10187
util/base	52	11007	5083	1350	4666
util/curves	13	2364	854	299	1229
util/database	1	313	132	26	179
util/logger	9	1119	538	146	458
TOTAL	643	142582	62124	16814	65001

주: base 모형에 대한 C# porting작업은 완료 (*표시부분제외)

**policy부분은 alternative 모형에 해당됨으로 추가작업 예정

○ OOP C++코드 분석 및 GCAM 모형 구조확인 연구

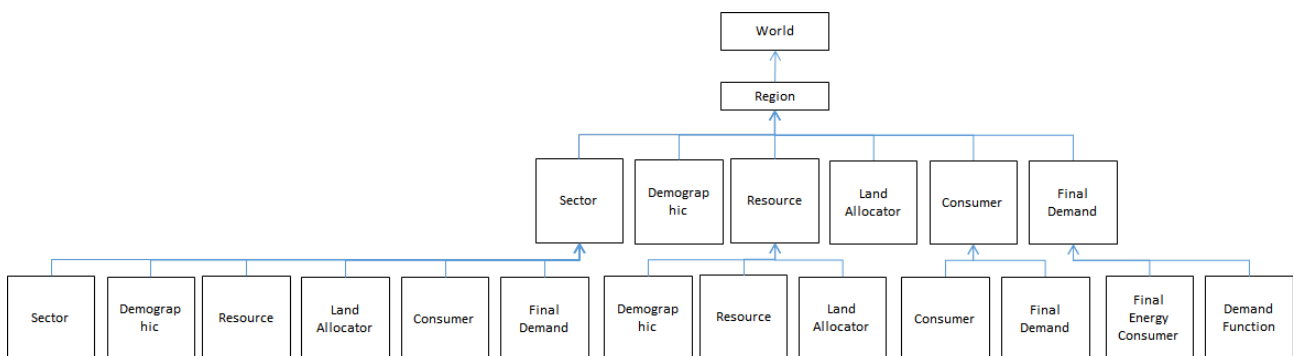
○ 코드변환과정과 관련 부문의 연구

- ✓ 소스 코드 Refactoring & Clean-Up 등은 GCAM 모형이 오랜 기간 많은 사람에 의해 개발되어 불필요하거나 레거시 코드를 많이 포함하고 있다는 점에서 필요한 작업으로 기타 필요 없거나 사용하지 않는 코드 확인 및 삭제, 리팩터링 작업을 통해 코드 단순화 등의 시간을 요하는 작업이 예상됨.
- ✓ Third party tool을 가능한 Windows .NET library로 대체

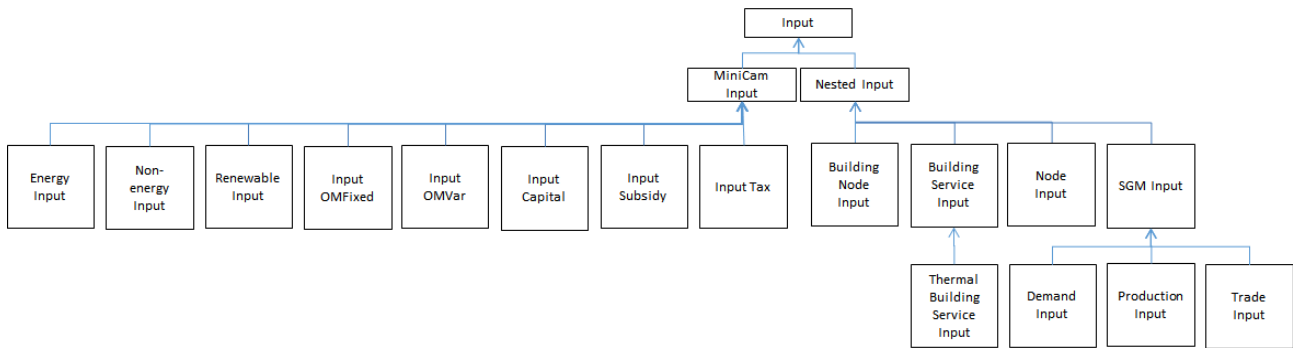
(1) GCAM을 reference로 한 상향식 통합모형 모듈의 개념 설계

○ 소스코드 기반의 GCAM의 Economy, Energy System 등의 모듈별 구조과악 연구 결과를 바탕으로 상향식 통합모형 설계

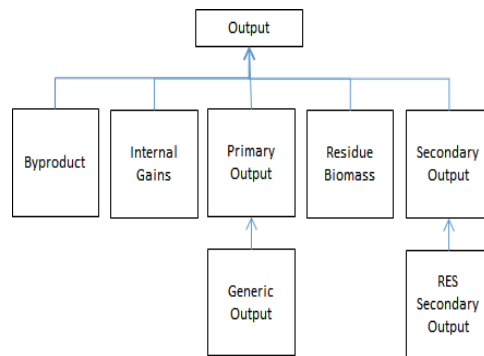
아래는 현재까지의 연구를 통해 확인한 모형의 Class Association, Class Inheritance를 보여주고 있음.



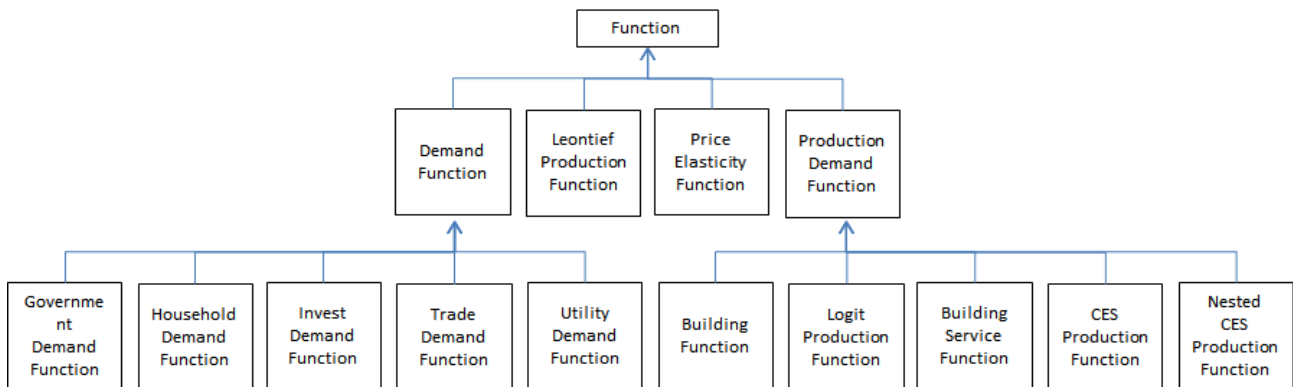
[그림 17] OOP 코드분석결과 확인된 GCAM의 Class Association



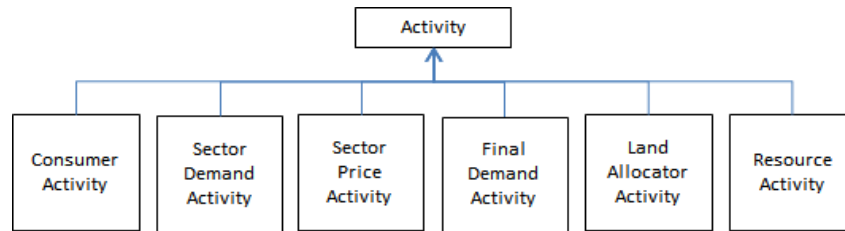
[그림 18] GCAM의 Class Inheritance for Input



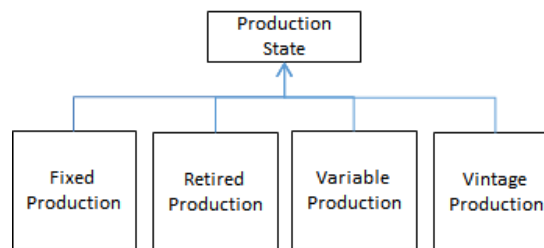
[그림 19] GCAM의 Class Inheritance for Output



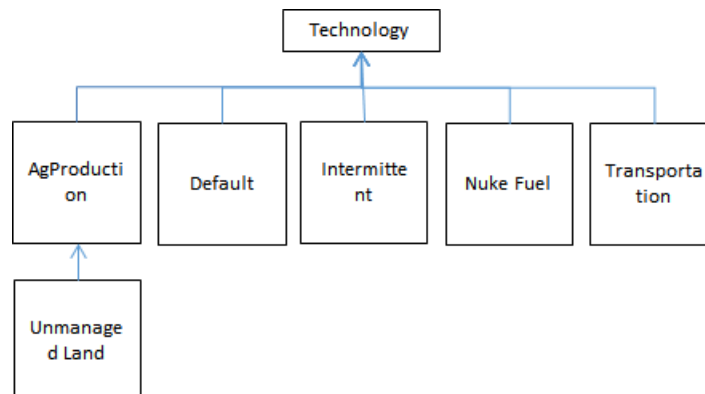
[그림 20] GCAM의 Class Inheritance for Function



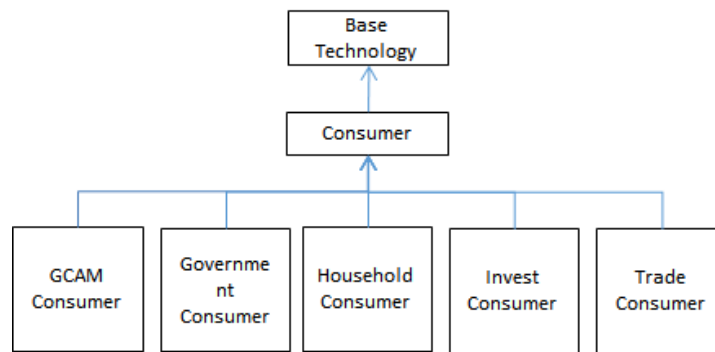
[그림 21] GCAM의 Class Inheritance for Activity



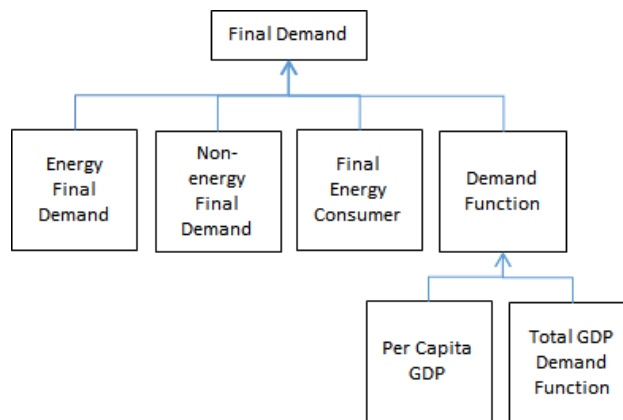
[그림 22] GCAM의 Class Inheritance for Production State



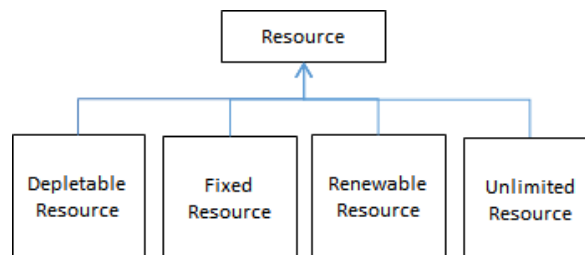
[그림 23] GCAM의 Class Inheritance for Technology



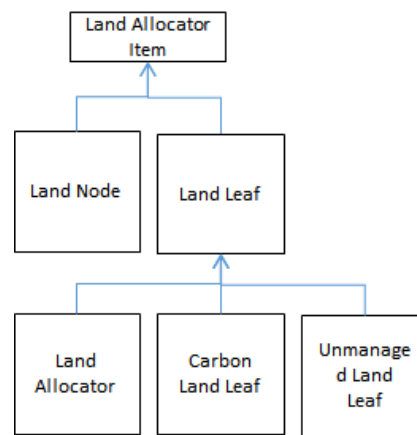
[그림 24] GCAM의 Class Inheritance for Base Technology



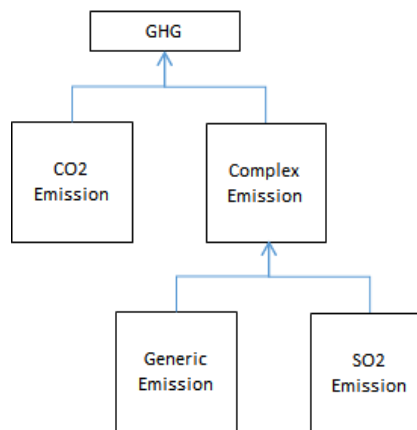
[그림 25] GCAM의 Class Inheritance for Final Demand



[그림 26] GCAM의 Class Inheritance for Resource



[그림 27] GCAM의 Class Inheritance for Land



[그림 28] GCAM의 Class Inheritance for GHG

3절. 기존 모형을 C#으로 코드변환 및 연산과정 점검

본 연구에서는 다음과 같은 이유로 C++대신 C#로 포팅하기로 결정.

- C# 언어는 가장 진전된 소프트웨어 공학을 적용한 현대적인 객체지향 프로그래밍 언어로 다음과 같은 장점을 가지고 있음
- Native garbage collection 지원으로 메모리 관리에 신경 쓸 필요가 없음
- enumeration, delegate, event, lambda expression 과 같은 modern programming language의 최첨단 기능을 제공하여 간결한 syntax와 가독성이 향상된 코딩이 가능
- Windows 시스템의 .NET framework 과 가장 완벽하게 통합된 언어로써 .NET의 XML, WPF, parallel program 기능들을 지원
- 최신 GUI 개발환경인 WPF를 가장 효율적으로 사용하기 위해서는 C#가 이상적인 언어임
- 소프트웨어 통합개발환경인 Visual Studio 와 가장 잘 통합되어 있으며 최적의 디버깅 환경 제공
 - ✓ 표에서 알 수 있듯이 원래의 코드크기보다 그 규모가 상당히 줄어든 형태이며, 코드변환이 완성되면 이후 코드 변환의 완결성을 debug해 가며 구체적인 모형의 윤곽을 확인해야 함.
 - ✓ Energy System의 부문별 코드확인작업은 세부 모듈간의 Class Association, Class Inheritance의 성격을 이해하고, 관련성을 추적하는 작업이 뒤따름.
 - ✓ 각 과정별로 확인되는 사항을 Technical Report로 작성하고, 이를 지속적으로 Update할 예정임.
- Advantages of C#
 - ✓ Modern object oriented programming language
 - ✓ Clean syntax
 - ✓ Modern features
 - ✓ Garbage collected
 - ✓ Optimal support from Visual Studio
 - ✓ Better debugging experience
 - ✓ Fast performance (6 min vs 20 sec for GCAM to complete init)
 - ✓ 무엇보다도 C#으로의 변환은 Java에 대응하여 개발된 언어인만큼 stand-alone 과 web-based 모형을 개발단계에서 구분할 필요가 없고, 상기표에서 보듯이 코딩이 단순해짐으로써 향후 모형개발 및 확장에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 판단됨.

- ✓ 아래 표는 기존의 C++ 코드와 C#코드로의 변환이 어떤 코드구조의 단순화 과정을 포함하는지를 보여주기 위해 예로 준비한 것임.

<p>C++ 소스코드</p> <pre>double Subsector::getFixedOutput(const int aPeriod) const { double fixedOutput = 0; for(CTechIterator techIter = mTechContainers.begin(); techIter != mTechContainers.end(); ++techIter) { ITechnologyContainer::CTechRangeIterator endIter = (*techIter)->getVintageEnd(aPeriod); for(ITechnologyContainer::CTechRangeIterator vintageIter = (*techIter)->getVintageBegin(aPeriod); vintageIter != endIter ; ++vintageIter) { double currFixedOutput = (*vintageIter).second->getFixedOutput(regionName, sectorName, false, "", aPeriod); if(currFixedOutput > 0){ fixedOutput += currFixedOutput; } } } return fixedOutput; }</pre>	<p>C# 소스코드</p> <pre>internal double GetFixedOutput(int period) { double fixedOutput = 0; foreach (ITechnologyContainer tech in _techContainers) { IEnumerable<ITechnology> vintages = tech.VintageIterator(period); foreach (ITechnology item in vintages) { double currFixedOutput = item.GetFixedOutput(_regionName, _sectorName, false, "", period); if (currFixedOutput > 0) { fixedOutput += currFixedOutput; } } } return fixedOutput }</pre>
---	--

- 부록에는 상기의 작업으로 정리된 C# code 전체를 출력하여 참고할 수 있도록 첨부하였음.

4절. GCAM과 통합이 검토된 SGM모형의 추가 검토

1. SGM(Second Generation Model, 2002a) 개요

가. 모델유형

- CGE모델의 regional sector 14개의 집합
- regional sector들은 국제배출권시장 거래시스템으로서
- 서로 독립적으로 실행되고
- 1990년부터 2050년까지 5년을 단위로 하는 동태적모형
- Pacific Northwest National Laboratory/Joint Global Change Research Institute at the University of Maryland에서 개발
- 모형일반
 - 가계, 정부, 농업, 에너지와 다른 생산 활동 부문의 세부적 표현
 - 자본스톡은 retirement와 retrofit이 포함된 빈티지로 표현
 - 고갈성 재생성 자원은 토지사용부문과 연관
 - 의사결정은 가계, 정부, 생산자
 - 생산부문 에너지, 농산물, 기타 상품에 대한 지역간 무역 발생
 - 농업과 토지사용 활동이 배출량을 결정
 - 1차 생산요소는 노동, 토지, 자본
 - 정부 서비스는 일반 정부, 국방, 교육 등
- SGM 구조의 개요
 - 경제학의 행태적 접근
 - 최적화 모화가 아닌 불완전 전망 모형
 - 행태모형은 계산으로는 간단, 현재의 행위는 실제 미래 사건과 의사결정과 독립인 것으로 가정
- 부문, 하부부문, 기술, 시장과 회계
 - 투입산출 구조: 경제주체간 관계가 생산, 분배와 상품 및 서비스 사용에 의해 설정
 - 투입산출 계수의 동시 결정
 - SGM 모델을 perfect foresight를 포함한 dynamic optimization 으로 전환할 수 있음.

나. 분야

- 농업 (1차생산물, 공정)
- 서비스
- 에너지생산 (오일, 천연가스, 석탄)
- 에너지변환 (코크스, 전기, 정제된석유, 가스 배전)
- 에너지집약 산업 (종이&펄프, 화학, 시멘트, 철강)
- 수송 (여객, 화물)
- 분야, 하위분야, 기술, 시장의 정의
 - 분야 : 재화를 생산하거나 소비하는 경제주체의 활동을 나타낸다. (생산분야, 최종수요 분야)
 - 생산분야 : 1차 생산요소와 다른 생산분야의 생산물 같은 것들의 분야들을 혼합한 것으로 나타난다.
 - 최종수요분야 : 최종재화와 최종서비스에 대한 수요를 만들어낸다. (가계, 정부, 투자, 순수출)
 - 중간 투입재 : 생산과 소비결정이 개별적으로 결정되어질 때마다 시장은 SGM에 존재한다. 교환되는 각각의 재화는 또한 생산요소가 될 수 있다. 모든 하위분야와 기술들은 동일한 재화를 생산한다.
 - 두 명의 경제주체 활동이 같은 산출물을 생산할 때마다 존재하고, 하위분야의 산출물의 가격은 같다. 하지만 산출물의 생산함수는 각기 다르다.
 - 기술 : 다양하고, 상호 배타적이지 않은 기술선택이 고려된다. 이러한 선택들은 하위 분야와 분야가 그러하듯 산출물의 가격은 같다. 하지만 기술들은 각기 다른 함수들을 가진다.
- 경제 분야
 - SGM 버전 0.0에는 8개의 에너지분야와 두 개의 비에너지분야 존재한다.
 - 데이터는 ERM 혹은 오픈데이터를 활용한다.
 - 미래에 잠재적인 온실가스 배출량에 영향을 주는 요소들을 이해하기 위한 필요성이 각 지역을 세분화하게 한다.
- 농업: 식품, 섬유, 목재를 생산한다.
 - 상품 : 버전 0.0 - 하나의 총합된 농생산물, 버전 1.0 - 주로 온실가스 배출량에 근거해 나뉜 9개의 산출물
 - 기본 투입재 : 토지, 노동, 에너지(버전0.0). 그리고 버전 1.0에서는 이러한 것들이 비료와 재료들을 포함시키기 위해 확장된다. 토지는 잠재적으로 토양의 유형과 기후에 따라 다양한 범주로 나뉘게 된다.

○ 에너지 : 재화생산을 위한 경쟁방식

-두가지 종류의 에너지기술 : 자원제약과 관련한 고갈성 에너지원과 신재생에너지원

-매장량의 추가는 자원의 계층구도와 가능한 기술에 의해 결정된다.

-신재생에너지 : 생산시점을 넘어서 지속적인 생산이 가능한 역량

○ 다른 생산물들

-농업도 아니고 에너지도 아닌 모든 생산물들은 제조업, 여객 & 화물 운송, 건강 그리고 다른 서비스들로 나뉘어 진다.

<표 6> SGM 0.0 sector, subsector와 Market

Sector No.	Market No.	Sector	Subsector No.	Subsector Name
1	1	농업	1	농업
2	2	원유생산	1-10	원유등급별 생산, subsector별 모델
3	3	원유정제	1	전통석유 정제
			2	석탄 액화
			3	바이오매스 액화
4	4	천연가스 생산	1-10	천연가스 등급별 생산, subsector별 모델
5	5	천연가스 변환	1	전통가스
			2	석탄가스화
			3	바이오매스 가스화
6	6	석탄 생산	1-10	등급별 석탄생산. 각 등급은 subsector로 모델
7	7	바이오매스 생산	1	전통 바이오매스
			2	바이오매스 waste
			3	바이오매스 농장
8	8	우라늄생산 및 정제	1-10	우라늄 생산 및 농축, subsector별 모델
9	9	전력생산	1	석유
			2	가스
			3	석탄
			4	바이오매스
			5	원자력
			6	태양/융합
			7	수력
10	10	기타 생산	1	기타 생산
11	n.a.	가계*	1	소비자 수요
			2	인구
			3	토지공급
			4	노동공급
			5	저축
12	n.a.	정부	1	일반 정부
			2	교육
			3	국방
n.a.	11	노동	n.a.	n.a.
n.a.	12	토지	n.a.	n.a.
n.a.	13	저축/투자	n.a.	n.a.

<표 7> SGM 0.0과 SGM 1.0의 섹터와 subsector

Sector SGM 0.0	Sectors SGM 1.0	Subsectors
농업		쌀
	기타곡물	기타곡물
	반추동물	반추동물
	기타동물	기타동물
	기타식품	기타식품
	섬유	섬유
	임산	임산
	펄프 및 종이	펄프 및 종이
	목재 및 임산물	목재 및 임산물
	가공식품	가공식품
기타 생산	제조	광물 기타제조
	여객	철도
		항공
		버스
		기타
	화물	철도
		항공
		트럭
		기타
	서비스	보건 및 기타 서비스

<표 8> SGM 0.0과 SGM 1.0의 지역구분

SGM 0.0	SGM 1.0
1. USA	1. USA
2. Canada	2. Canada
3. Western Europe	3. European Community
4. Japan	4. Other Western Europe
5. Australia/New Zealand	5. Japan
6. Eastern Europe and Russia	6. Australia/New Zealand
7. China and other planned Asia	7. Eastern Europe
8. Mid East	8. Russia
9. Africa	9. China
10. S. & E. Asia	10. Centrally planned Asia
11. Latin America	11. Mexico
	12. Brazil
	13. Other Latin America
	14. Indonesia
	15. India
	16. Philippines
	17. South Korea
	18. Other S. & E. Asia
	19. Middle East
	20. Africa

다. 지역

- 14개지역 : 미국, 캐나다, 멕시코, 서유럽, 동유럽, 러시아, 중국, 인도, 브라질, 일본, 한국, 호주/뉴질랜드, 중앙아시아, 기타 국가

라. 기술

- 생산함수는 CES 혹은 레온티에프생산 함수로 표현
- 전기분야는 (오일, 가스, 석탄, 수력, 신재생, 원자력)의 세부분야로 나뉨.
- 기술은 다음과 같은 특징들로 묘사된다.
 - 생산함수 파라미터
 - 배출량 계수
 - 자본투자 파라미터
 - 설비 파라미터
 - 제작일

마. 특징

- 지역적인 모델의 많은 부분이 각 지역들의 분석과 함께 공동으로 개발됨
- 주식자본은 분야별로 5년단위의 성과로 나뉘어짐
- 투입재들간의 대체탄력성은 old capital vintages보다 new capital 이 큼
- 투입-산출표는 기준년도 에너지밸런스와 일관성 있게 짜여짐
- 7개의 온실가스 : 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 수소불화탄소-23, 과불화탄소, 육불화황

<표 9> SGM의 CPP 코드 항목

```
household_consumer.cpp
invest_consumer.cpp
trade_consumer.cpp
national_account.cpp
region_cge.cpp
government_demand_function.cpp
household_demand_function.cpp
investment_demand_function.cpp
trade_demand_function.cpp
sgm_input.cpp
trade_input.cpp
accelerator.cpp
get_distributed_investment.cpp
investable_counter_visitor.cpp
investment_growth_calculator.cpp
levelized_cost_calculator.cpp
investment_utils.cpp
market_based_investment.cpp
output_growth_calculator.cpp
output_share_levelized_cost_calculator.cpp
rate_logit_distributor.cpp
set_share_weight_visitor.cpp
simple_expected_profit_calculator.cpp
factor_supply.cpp
production_sector.cpp
sgm_output.cpp
demand_components_table.cpp
govt_results.cpp
sgm_gen_table.cpp
social_accounting_matrix.cpp
```

출처: SGM& Phoenix Sep 12.ppt slide 15에서 옮겨왔으나, 그 슬라이드에 출처가 없습니다.;

2. SGM의 연혁

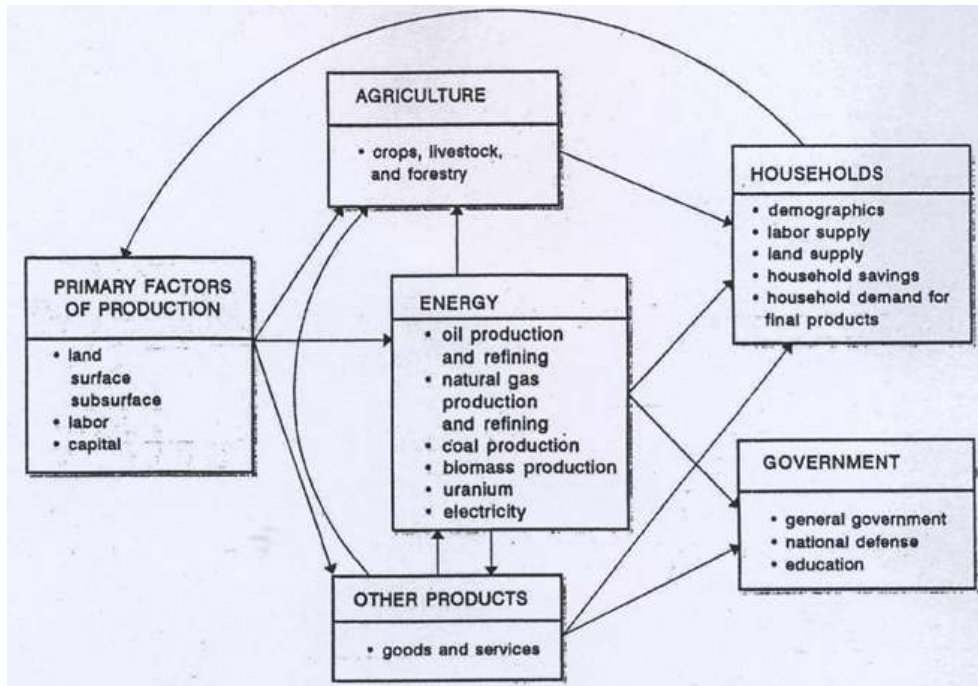
가. 1991년 포트란77언어로 SGM 개발

(1) First Generation of model

- 온실가스 배출에 집중하여 인간과 자연활동의 상호작용에 대해 고려하지 않음
- ERM은 commercial 바이오매스가 농업, 토지부문과 상호작용이 없는 global 모형
- SGM은 Problem Orientation, Minimum Modeling, Parametric Modeling 의 원리에 근거하여 개발한 모형임.
 - Problem Orientation: 주어진 문제를 분석하여 모델을 디자인
 - Minimum Modeling: 외부 정보를 이용하여, 연구 의도에 맞는 정보를 포함

-Parametric Modeling: 사용자가 검증하고 변경할 수 있는 데이터 베이스를 사용할 것

○ 개발은 순차적으로 간단한 모델로부터 모듈을 추가하면서 개발



[그림 29] SGM 0.0의 상품과 서비스의 흐름

출처: Edmonds et al. (1991)

○ 모델개발 전략

-일반구조: 순차적 모델 개발 원리에 따른 다양한 생산활동, 소비활동과 시장

-SGM 0.0: 모델링 시스템의 원리 점검

-SGM 1.0: SGM 시스템의 1차 적용

-상기 두 모델은 에너지생산, 전환과 소비활동을 활용하여 데이터 베이스는 ERM 모델과 다른 문헌을 활용하여 개발됨.

○ 따라서 모델은 다음 순서로 개발됨.

-ERM

-SGM 0.0: ERM에 농업과 기타 생산 부문 추가

-SGM 1.0: SGM 0.0에 정부, 수송, 기타 생산과 농업활동을 포함, 투자, 정부와 가계에 대한 최종수요부문이 개발됨.

○ 모형의 이론적 구조

-최소한의 코드변경, 분석의 변화에 유연한 대응, 지속적인 모델의 개발 등을 촉진하

기 위하여 일반적인 생산비용 구조를 채택한다.

-GPC 관계는 가격, 기술 그리고 새로운 주식자본 투자에 대한 수요 뿐만아니라 재화의 소비와 생산 정도를 계산하기 위한 이전의 투자에 관한 정보를 사용한다.

-기술의 자본제작일을 사용한다.

-기술이 한번 설비가 되고나면 세금과 약간의 보조금을 더한 운전비용을 회복하기 위해 기술을 작동시킬지 말지는 전적으로 기술의 능력에 달렸다.

○ For SGM 0.0,

<표 9> SGM government subsectors 버전 0.0과 버전 1.0

SGM 버전 0.0	SGM 버전 1.0
General, National Defence, Education	General, National Defence, Education, Infrastructure, R&D

<표 10> SGM 생산부문

		Region										
Commodity		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Agri.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Crude oil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	Oil ref.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	Nat. gas	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
5	Nat. gas tr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	Coal prod.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	Biomass	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	Uranium	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	Elec.	1	1	2	3	0	2	3	0	0	0	0
10	Other	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Labour	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Land	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	sav/inv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

나. 두가지 개발방향이 분석됨

○ SGM의 모듈버전을 만들기 위해 포트란 90을 이용하는 방법

○ C++이나 Java같은 언어로 코드를 다시 작성하는 방법

다. 2002년에 다음을 확인하기 위해 SGM의 포트란 90버전이 작성됨

- 모듈프로그래밍을 위한 도움이 되는지
- 다음과 같은 새로운 모델의 특징들을 점검하기 위해
- 주식자본 성과의 무한함
- 선형지출시스템에 근거한 소비자 수요
- 생산분야에 자본을 배분하기 위한 무이익 컨디션의 사용
- 이산화탄소 포집과 전기생산의 저장기술의 소개

라. 2005년의 SGM

- 2005년 전에 실행에서 배웠던 모든 것들을 SGM에 적용하여 SGM full 버전을 만듦
- SGM으로의 데이터 변환과정의 표준으로서 XML을 사용
- SGM과 MinCAM의 코드를 공유할수 있게함. (MinCAM은 PNNL에서 쓰는 에너지-경제모델의 부분균형을 말함)
- 데이터조작처리코드와 사용자인터페이스가 Java로 쓰여졌음에도 불구하고 새로운 SGM의 버전은 주로 C++로 코드작성.

마. SGM이 GAMS를 기반으로 개발되지 않은 이유

- GAMS를 쓰기 위해서는 미국 외의 많은 기관과 협업을 할 수가 없음
- SGM은 proprietary tool 필요 없이 다른 잠재적인 사용자들도 이용할 수 있어야 함
- SGM은 대중에게 많이 공개가 되지 않았지만, MiniCAM과 the Edmonds-Reilly model (ERM)은 많은 카피들이 배포되어 있음.

바. ERM

(1) ERM 모형의 구조

- CO₂ 배출에 관한 모델의 최소 requirement는 다음과 같음.
 - 연료형태별 구분, 장기-global scale에 걸친 적용, 지역 세분화, 에너지밸런스, CO₂ - 에너지 flow accounting
 - 에너지수요는 인구, 경제활동, 기술변화, 에너지가격과 에너지세제에 따라 결정
 - 에너지공급은 전통에너지의 자원제약(전통가스, 비전통 석유 포함), 재생에너지의 자

원제약 (수력, 바이오매스)와 제약이 없는 에너지(비전통 석유, 비전통가스, 폐기물, 원자력) 등을 포함

○ Generic 수식구조 - 레온티에프, 투입산출계수식, 탄력성 수식, logit, 평균식 등을 포함.

-레온티에프 수식: 에너지 전환기술을 설명(에너지와 기타 투입물)

$$P^* = gP + h$$

-평균식: 전환된 에너지 모드의 가격을 수집(전력가격은 6개의 자원의 가격의 합성 가격)

$$P^* = \sum_i s_i P_i$$

-탄력도 수식: 총 에너지서비스 수요는 constant 탄력도 수식에서 유추

$$Z = AX^B Y^C$$

$$B = d \ln Z / d \ln X$$

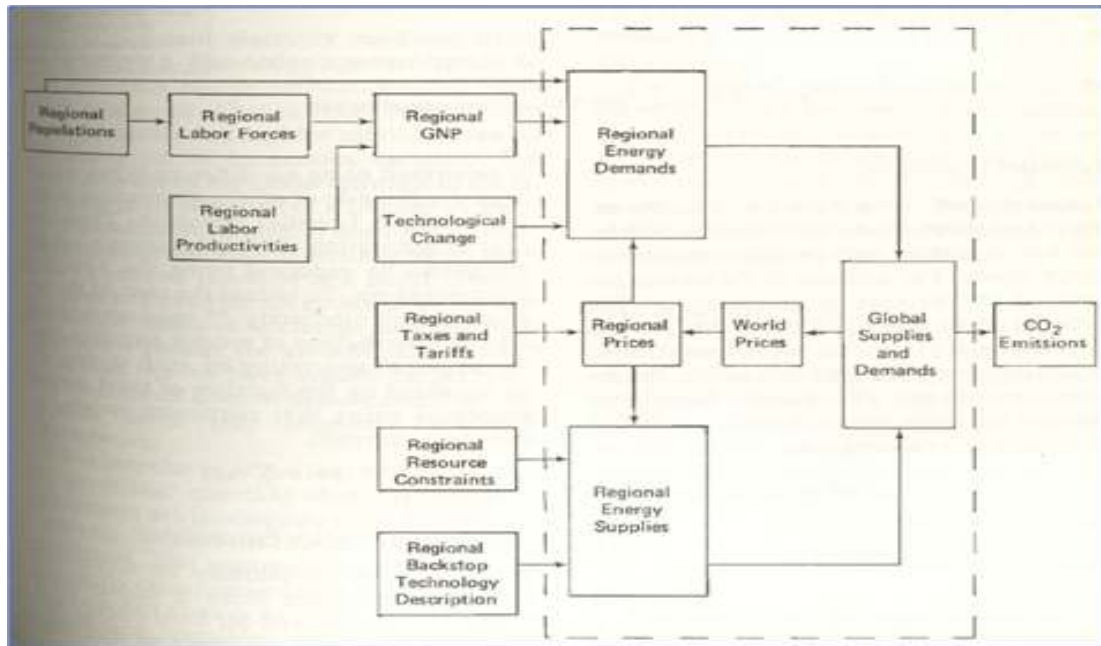
$$C = d \ln Z / d \ln Y$$

○ 에너지수요와 공급의 균형을 달성하기 위한 각 부문의 상호작용은 다음과 같음.

-에너지 공급과 수요 모듈은 각각 외생적인 입력변수 가정과 에너지 가격에 기반하여 에너지 공급과 수요의 추정치를 계산

-모든 거래부문에서 에너지 밸런스가 달성되면, global 에너지시스템의 균형이 달성됨. 이 경우, 에너지 가격에 대한 불명확한 가정이 필요하지 않음.

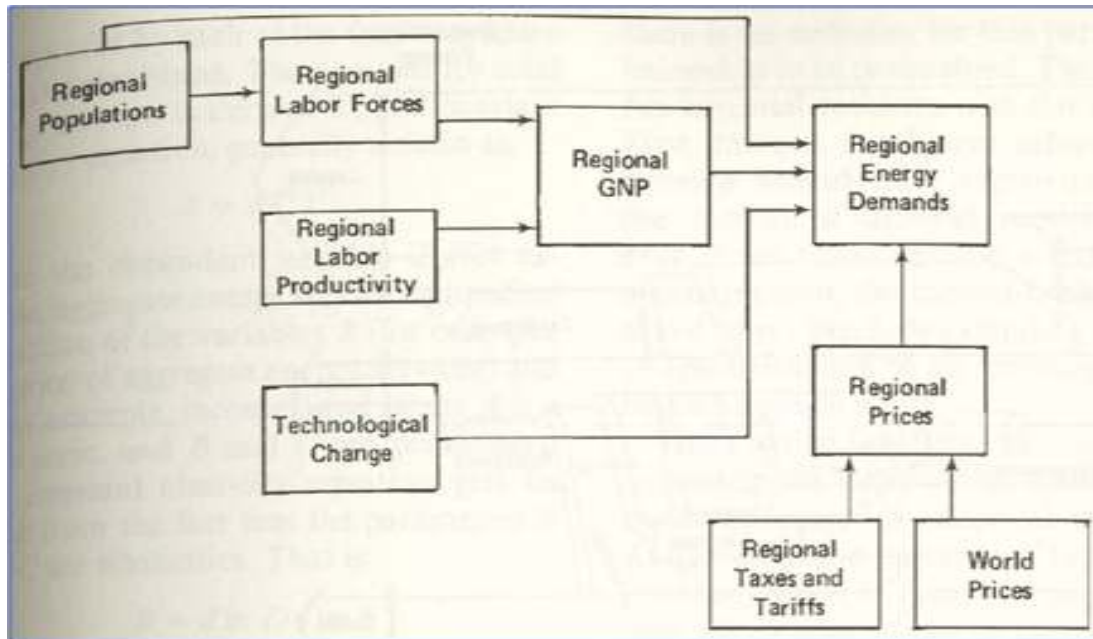
-에너지가격벡터는 설정한 범위 내에서 에너지시장 균형이 선택됨.



[그림 30] 온실가스 배출의 에너지-경제모형

출처: Edmonds and Reilly(1985)

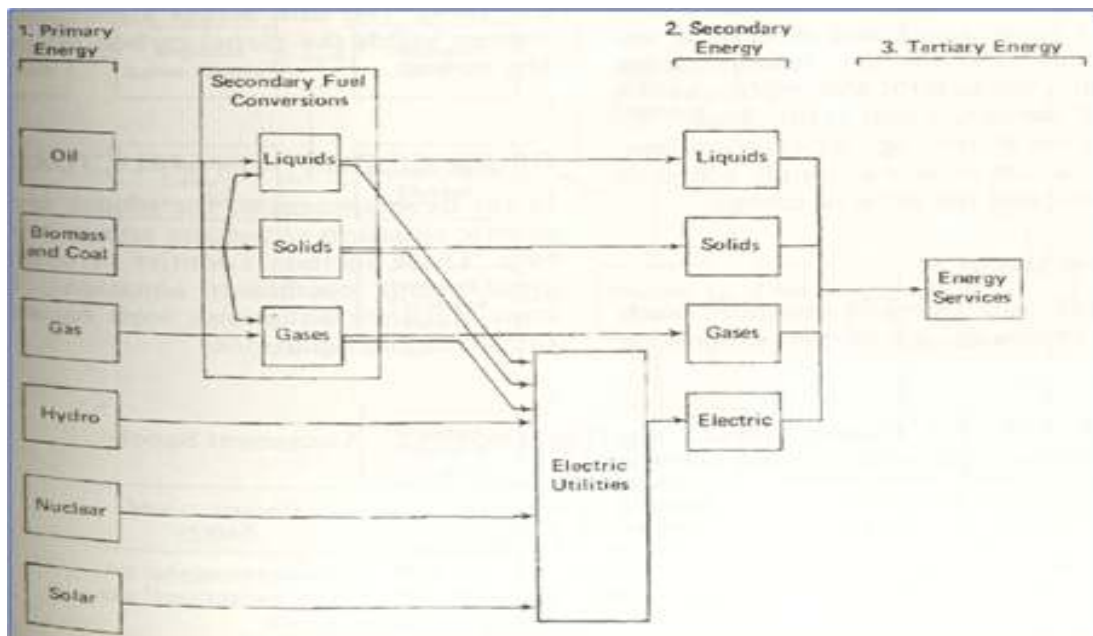
- 아래 그림은 에너지수요 평가모델의 구성요소를 나타냄.
- 에너지 흐름은 좌측에서 우측으로, 에너지수요는 우측에서 좌측으로 가면서 유도됨.
- 각 지역의 최종사용 부문에서 에너지서비스 수요는 에너지서비스 제공비용과 소득수준, 인구에 따라 결정됨. 이 서비스를 제공하기 위한 2차 에너지 믹스는 대체연료를 사용하여 이 서비스를 제공하는 상대비용에 의해 결정됨.
- 전력을 제공하기 위한 연료 수요는 생산의 상대비용에 의해 결정됨. 1차 에너지수요는 기술 parameter를 사용하여 간단하게 계산됨.



[그림 31] ORAU/IEA 장기 global 에너지 수여평가 모듈의 주요 구성요소

출처: Edmonds and Reilly(1985)

○ 에너지가격의 추정치가 국제가격인 경우, 시장 청산. 이 에너지 가격이 모든 에너지 gap을 줄이면 균형이 달성되었는지 test. 균형이 달성되지 않은 경우, 새로운 균형가격이 추정됨.



[그림 32] Energy Flow Accounting Framework

출처: Edmonds and Reilly(1985)

(2) ERM 모형의 시장균형

- 수요(Q^S)와 공급(Q^D)의 차이가 충분히 작으면 시장은 청산되었다고 가정. 로그를 취한 수요와 공급의 차이를 X_i 라 하면,

$$X_i = \ln Q_i^D - \ln Q_i^S$$

$$i = oil, gas, coal$$

- 초기 가격이 균형가격 가격에 가깝지 않은 경우, 수요의 가격 탄력성을 이용하여 새로운 균형가격을 추정함.
- 이때 수요의 가격탄력성(U_{ij})와 공급의 가격탄력성(V_{ij})는 다음과 같음.

$$U_{ij} = \frac{d \ln Q_i^D}{d \ln P_j} \quad V_{ij} = \frac{d \ln Q_i^S}{d \ln P_j}$$

- 각 연료에 대하여

$$dX_i = \sum_j (U_{ij} - V_{ij}) d \ln P_j$$

$$j = oil, gas, coal$$

- 균형가격의 추정치는 초과수요를 0으로 줄이기 위한 가격변화로 정확하게 계산할 수 있음. 가격변화는 dX_i 를 ($-X_i$)와 같다고 설정하여 두고 아래와 같이 계산

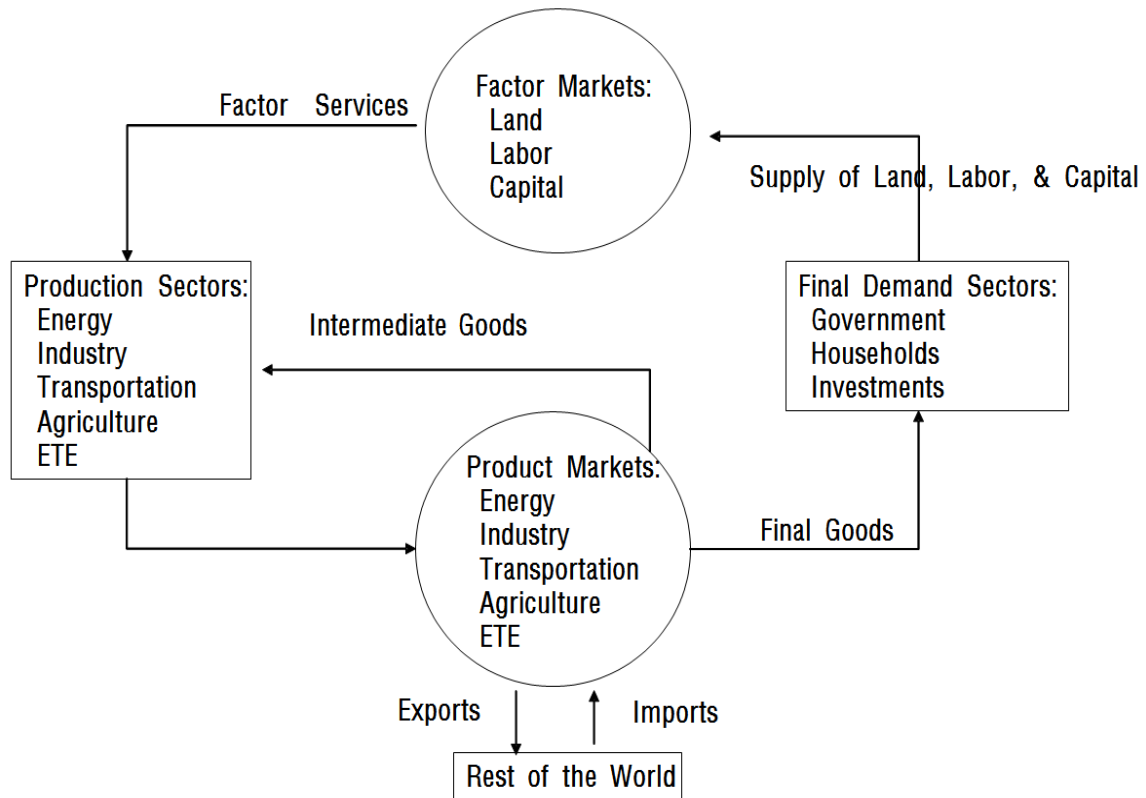
$$\begin{bmatrix} d \ln P_{oil} \\ d \ln P_{gas} \\ d \ln P_{coal} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{oil, oil} & W_{oil, gas} & W_{oil, coal} \\ W_{gas, oil} & W_{gas, gas} & W_{gas, coal} \\ W_{coal, oil} & W_{coal, gas} & W_{coal, coal} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -X_{oil} \\ -X_{gas} \\ -X_{coal} \end{bmatrix}$$

여기서, $W_{ij} = U_{ij} - V_{ij}$.

- 새로운 가격은 $P_{new, i} = P_{old, i} (1 + d \ln P_i)$ 로 계산되며, 새로운 가격은 수요와 공급의 차이를 계산하는데 사용됨.

3. SGM의 구조

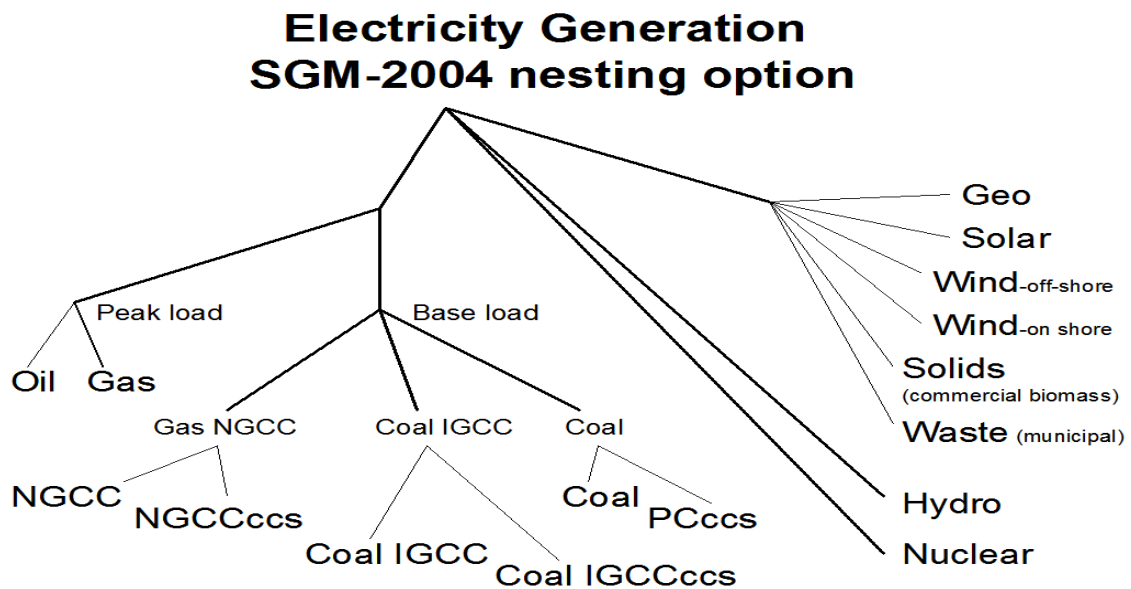
가. SGM의 구조



[그림 33] SGM의 구조

출처 : Kim, S.H., 1995, Stabilization of carbon emissions: a viable option for the Republic of South Korea. MIT, Cambridge, MA

나. SGM 내의 전력부문 nesting 구조



[그림 34] 전력부문 nesting 구조

출처 : Jae Edmonds, Ron Sands, Hugh Pitcher, Antoinette Brenkert, The Second Generation Model, Presentation Material for US Environmental Protection Agency Science Advisory Board SAB-SGM Advisory Panel, 04 February 2005

다. SGM의 에너지 부문구조

<표 12> SGM 생산부문

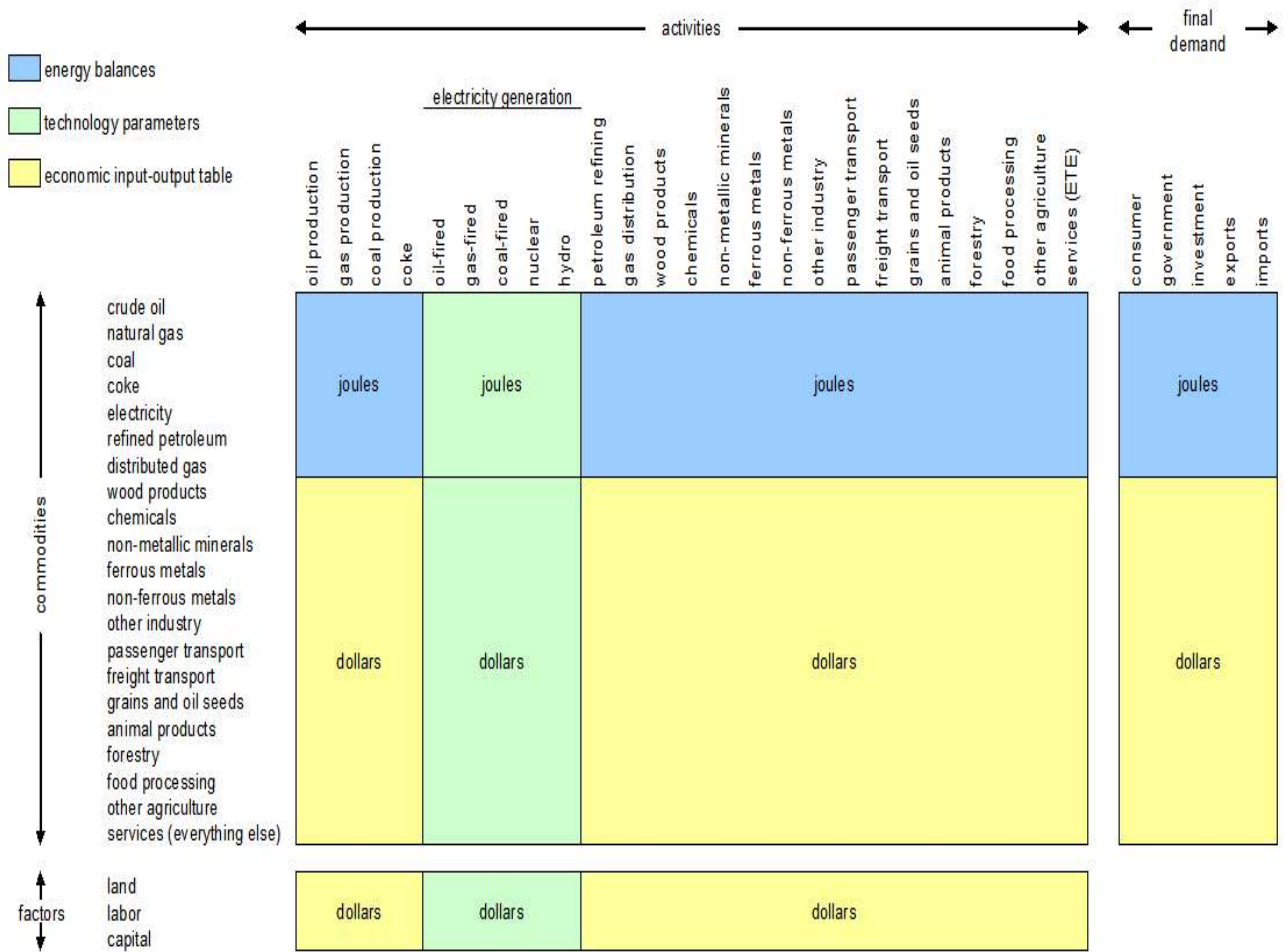
Agriculture	Grain and Oil crops	
	Animal Products	
	Forestry	
	Food Processing	
	Other Agriculture	
Services		
Energy Production	Crude Oil Production	
	Natural Gas Production	
	Coal Production	
Energy Transformation	Coke	
	Electricity	Oil-fired
		Gas-fired
		Coal steam
		Nuclear
		Hydro
		Municipal Waste
		Bioenergy
		Wind (on shore)
		Wind (off shore)
		Solar PV
		Geothermal
		NGCC
		IGCC
		NGCC w/ccs
		IGCC w/ccs
	Refined Petroleum	
	Gas Distribution	
Energy-Intensive Industries	Paper and Pulp	
	Chemicals	
	Cement	
	Iron and Steel	
	Non-ferrous Metals	
	Other Industry and Construction	
Transportation	Passenger Transport	
	Freight Transport	

출처 : Michael Shelby, Brief Overview of the Second Generation Model, Presentation to U.S. EPA Science Advisory Board SAB Second Generation Model (SGM) Advisory Panel, December 2, 2004

<표 13> 생산부문의 배출물 Mapping

Gas	Source #	Emissions Source	Associated Production Sector
CO ₂	1	Oil Combustion	2 - Crude oil production
	2	Gas Combustion	3 - Natural gas production
	3	Coal Combustion	4 - Coal Production
CH ₄	4	Coal Production	4 - Coal Production
	5	Enteric	21 - Other agriculture
	6	Natural Gas Systems	10 - Distributed gas
	7	Oil Systems	2 - Crude oil production
	8	Landfills	1 - Everything else
	9	Manure	21 - Other agriculture
	10	Other Agricultural Methane	21 - Other agriculture
	11	Other Non-Agricultural Methane	1 - Everything else
	12	Wastewater	1 - Everything else
HFC-23	13	HFC-23	1 - Everything else
HFCs	14	Ozone Depleting Substance Substitutes	1 - Everything else
N ₂ O	15	Industrial Processes	1 - Everything else
	16	Manure	21 - Other agriculture
	17	Mobile Source	1 - Everything else
	18	Soil	21 - Other agriculture
	19	Stationary Source	1 - Everything else
PFCs	20	Aluminum	1 - Everything else
	21	Semiconductor	1 - Everything else
SF ₆	22	Electricity Distribution	6 - Electricity generation
	23	Magnesium	1 - Everything else

출처 : Fawcett, A., and R. Sands, Non-CO₂ Greenhouse Gases in the Second Generation Model, submitted to The Energy Journal, September '04



[그림 35] 에너지 Hybrid input-output table

출처 : Jae Edmonds, Ron Sands, Hugh Pitcher, Antoinette Brenkert, The Second Generation Model, Presentation Material for US Environmental Protection Agency Science Advisory Board SAB-SGM Advisory Panel, 04 February 2005

라. SGM의 Framework 및 균형조건

○ GNP accounting

$$\begin{aligned}
 GNP &= \sum_{i=1}^N (P_i X_i - \sum_{j=1}^N P_j A_{j,i}) = \sum_{i=1}^N (TX_i + \pi_i + \sum_{j=N+1}^{N=M} P_j A_{j,i}) \\
 &= \sum_{i=1}^N P_t (C_t + G_t + I_t + EX_t - IM_t)
 \end{aligned}$$

GNP : 국민총생산

X_i : 생산물 i 에 대한 국민총생산

A_{ij} : 생산물 i 에 대한 국민총사용

P_i : 생산물 i 의 가격

N : 생산물의 개수

C_i : 가계에 의한 생산물 i 의 국내소비

G_t : 정부에 의한 생산물 i 의 국내소비

I_t : 생산물 i 의 국내 투자사용

EX_i : 생산물 i 의 총수출량

IM_i : 생산물 i 의 총수입량

$TXibt_i$: 간접영업세

π_i : 순이율과 자본감모충당금을 포함한 이윤

M : 생산의 1차요소의 개수(노동, 토지 등등)

-생산자와 소비자의 재화, 서비스, 1차 생산요소에 대한 수요와 일치하는 가격집합을 찾는다.

-가격, 생산, 재화와 서비스의 소비 간의 관계

○ 정부지출의 효용함수

$$\text{Max } G = \left(\sum_{ss=1}^{NGS} \delta_{ss} G_{ss}^{\mu} \right)^{\frac{1}{\mu}}$$

여기서

G = 정부의 효용

G_{ss} = 정부가 제공하는 서비스 양

δ_{ss} = 규모계수

μ = 탄력성

NGS = 정부가 제공하는 서비스 개수

아래의 제약하에서

$$TX_{tot} - S_{gov} - TR_{gov} - \sum_{ss=1}^{NGS} P_{g,ss} G_{ss} = 0$$

$$G_{ss} = (TX_{tot} - S_{gov} - TR_{gov}) \beta_{ss} P_{g,ss}^{\gamma-1} \left(\sum_{ss=1}^{NGS} \beta_{ss} P_{g,ss} \right)^{-1}$$

여기서,

$$\beta_{ss} = \delta_i^{(\mu/(\mu-1))}$$

$$\gamma = \mu/(\mu-1)$$

-공급부문

$$X_{labor} = \sum_{male}^{female} \sum_{age=3}^{NAGE} \alpha_{age,gender} POP_{age,gender} [P_{labor}(1-txa_{labor}) - txb_{labor}]^{\beta_{age,gender}}$$

$$X_{land} = LAND_{tot} \alpha_{land} (1 - e^{\beta_{land} P_{land}})$$

-수요부문

$$X_{labor,hh} = X_{labor} \alpha_{labor,hh} P_{labor}^{\beta_{labor,hh}}$$

$$X_{land,hh} = NHH \alpha_{land,hh} P_{land}^{\beta_{land,hh}}$$

-모형균형 해

$$e_i = \sum_{s=1}^{Ns} \sum_{ss=1}^{Nss_{i,n}} \sum_{tech=1}^{Ntech_{i,ss,n}} (Xd_{i,s,ss,tech} - Xs_{i,s,ss,tech}) \quad i = 1, \dots, N$$

$$\sum_{s=1}^{Ns} \sum_{ss=1}^{Nss_{i,n}} \sum_{tech=1}^{Ntech_{i,ss,n}} Xd_{i,s,ss,tech} = i\text{재화에 대한 수요의 총합}$$

$$\sum_{s=1}^{Ns} \sum_{ss=1}^{Nss_{i,n}} \sum_{tech=1}^{Ntech_{i,ss,n}} Xs_{i,s,ss,tech} \quad \text{모든분야(하위분야, 기술)들로부터 i재화 산출물의 합}$$

$$\sum e_i = 0, \quad i = 1, \dots, N$$

$$\sum_{i=1}^N e_i P_i = 0 \quad (\text{왈라스법칙에 의거})$$

○ Cobb-Douglas 생산/비용함수

$$X_s = \alpha_0 \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i X_i^\rho \right)^{1/\rho}$$

X_s : 공정의 총생산물

X_i : i 투입재의 사용량

α_0 : 규모계수

ρ : 대체탄력성

○ 이윤극대화

$$P_i = P_0 \frac{\partial X_s}{\partial X_i}, i = 1, \dots, N-M$$

P_i : i 번째 투입재의 가격

P_0 : 산출물의 가격

$N-M$: 가변요소의 개수

M : 고정요소의 개수

-이윤은 다음과 같이 정의

$$\pi = P_0 X_s - \sum_{i=1}^{N-M} P_i X_i$$

$$-\pi = \alpha_0 P_0 \left[1 - (P_0 \alpha_0)^\mu \left(\sum_{i=1}^{N-M} \alpha_i^{(\mu/\rho)} P_i^{-\mu} \right) \right]^{(-1/\mu)} \left(\sum_{i=N-M+1}^N \alpha_i X_i^\rho \right)^{1/\rho} \quad i\text{번째 투입재의 가격에 대해}$$

$$\text{각각 1차 편미분한 값은 } \frac{\partial \pi}{\partial P_i} = -X_i$$

-생산공정의 i 번째 투입요소의 수요는 다음과 같이 직접적으로 계산된다.

$$X_i = \left(\alpha_0 P_0 \frac{\alpha_i}{P_i} \right)^{(\mu/\rho)} \left(\frac{Y}{Z} \right)^{(1-\rho)}, i = 1, \dots, N-M,$$

$$Y = \sum_{i=N-M+1}^N \alpha_i X_i^\rho$$

$$Z = 1 - (\alpha_0 P_0)^\mu \left(\sum_{i=1}^{N-M} \alpha_i^{\mu/\rho} P_i^{-\mu} \right)$$

-채택한 기술의 운영으로부터의 기대수익

$$x_k = (X_{N-M+1}, \dots, X_N)$$

-영업기간 T년 의 고정요소

$$\pi_e(t_0) = \sum_{i=N-M+1}^N \left(\frac{\pi(x_k, t)}{1 + dis} \right)^t$$

$\pi(x_k, t)$: 고정된 기대 가격을 유지한 t 기의 이익률

dis : 할인율

○ 투자와 영업 결정

-영업: 생산가변요소의 가격들과 사용하는 고정요소의 양에 의해 결정된다.

-투자: 요소가격들의 현재가격과 미래의 기대가격에 의해 결정된다.

○ 미래 가격과 세율의 기대치

-1지역의 i 번째 분야에서 생산된 재화의 구입가격

$$P_{i,l} = \alpha_{i,l} [P_i (1 + \delta_{i,l} Tr_i) txa_{i,l} + txb_{i,l}],$$

$\alpha_{i,l}$: 조정계수

Tr_i : i 번째 재화를 수입할때 드는 운송비용

$\delta_{i,l}$: 해당지역이 순수출국가라면 0, 그렇지 않다면 1

$txa_{i,l}$: 지역 l 의 i 번째 상품에 부과되는 비례세

$txb_{i,l}$: 지역 l 의 i 번째 상품에 부과되는 부과세

-j번째 상품의 생산자가 받는 가격

$$P_{t,l} = P_t(1 + \delta_{i,l} Tr_i),$$

○ j번째 상품(투입물 혹은 산출물)의 현재가치

$$Pe_{j,t} = \sum_{i=1}^{T_{\text{exp}}} P_{j,i}(t_0) \cdot \left(\frac{1+r_j}{1+dis_j} \right)^t$$

T_{exp} : 투자의 일반적인 기간

r_j : 기대가격 이자율

dis_j : 하위분야 j 에 대한 할인율

-다음 표에 있는 투입재와 산출물에 관한 4가지 선택 가능한 사항을 혼합하여 만들 수 있는 4가지 가정

	Formed on the assumption that previous B periods rate of change will continue indefinitely	Given exogenously
Prices	1	3
Taxes	2	4

-할인율과 이자율간의 관계

$$dis_r = interest + fac_r,$$

○ 발전하는 기술의 기대수익률

-자본비용 대비 기대수익율

$$\pi_e = \frac{NR_e}{K}$$

$$\frac{NR_e}{K} = \alpha_0 Pe_0 \left[1 - (Pe_0 \alpha_0)^{\rho/(1-\rho)} \left(\sum_{i=1}^{N-M} \alpha_i^{1/(1-\rho)} Pe_i^{-\rho/(1-\rho)} \right) \right]^{1/(1-\rho)} \times \left(\sum_{i=N-M+1}^N \alpha_i x_i^\rho \right)^{1/\rho} (1-tx)$$

NR_e : 순기대수입

M 고정투입요소수

$N-M$ 변동투입요소수

○ 새로운 설비에 대한 투자가 한 기간(5년)보다 많이 발생할 때

○ 늘어난 건설기간

-각 투자기간동안

$$K_t = K / T_{construct}$$

K : 새로운 설비에 대한 총 투자양

$T_{construct}$: 건설기간

-필요한 투자의 현재가치

$$K_{e,t} = \left(\frac{K}{T_{construct}} \right) \sum_{tc=1}^{T_{construct}-t} \left(\frac{1}{1+dis} \right) tc, t=1, \dots, T_{construct},$$

t : 투자결정이 이루어지는 투자기간

tc : 남은 투자기간의 인덱스

-현재가치로 할인된 기대 순수입

$$\sum_{tc=1}^{T_{construct}-t} \left(\frac{1}{1+dis} \right) tc, t=1, \dots, T_{construct},$$

○ 성장-수확 의사결정 (농업부문)

-SGM1.0에서 산림부분이 농업부문으로부터 세분화됨에 따라 명시적으로 고려하여야

하는 함수로 상기의 생산함수 $X_s = \alpha_0 \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i X_i^\rho \right)^{1/\rho}$ 에 α_0 를 다음과 같이 명시

$$\alpha_0 = \alpha(C_t, C_{t-1}, Atmos_t, Atmos_{t-1}, t-t_0)$$

α : 기후와 대기변수의 벡터함수

t_0 : 초기투자사이에 경과된 시간

C_t : 기후변수 벡터

$Atmos_t$: 대기변수 벡터

-성장-수확활동의 투자에 대한 기대수익율

$$discountfactor = \sum_{t=1}^{T_{harvest}} \left(\frac{1}{1+dis} \right)^t,$$

$$\pi_e(T_{harvest} + 1) \geq \pi_e(T_{harvest})$$

○ 자원제약을 받는 기술들

-고갈성자원: 고갈성 자원은 한 기간 내의 자원소비가 다음 기간의 잠재적 소비에 영향을 주는 것

-신재생자원: 신재생자원은 한 기간 내의 자원소비가 다음 기간의 잠재적 소비에 영향을 주지 않는 것

○ 고갈성자원

-소비가능한 총자원

$$R_t = \sum_{g=1}^{NG} R_{t,g}$$

R_t : 잠재적으로 발견될 수 있는 i 번째 자원의 양

$R_{t,g}$: c_g 혹은 c_{g-l} 까지 집중적으로 발견되는 i 번째자원의 총량

-자원은 발견된 것과 발견되지 않은 것으로 나뉜다.

$$R_t = RE_i + RU_i + RV_i,$$

$$R_{t,g} = RE_{i,g} + RU_{i,g} + RV_{i,g},$$

○ 한 개 분야 안에 들어나는 투자들 사이에 경쟁

-기술들은 각기 하부분야의 범위 내에서 경쟁한다. 결국 전반적인 하위분야의 수익성을 결정한다. 로짓함수는 각 기술들이 가지는 투자의 몫을 결정하는데 쓰인다.

$$NO = \sum_{i=1}^{N_{ss}} N_{tech_i},$$

$$S_{i,tech} = \frac{\pi_{j,tech}^{\sigma} / N_{tech_j} N_{ss}}{\sum_{j=1}^{NO} (\pi_{j,tech}^{\sigma} / N_{tech_j} N_{ss})},$$

$\pi_{j,tech}$: 하위분야 i 에서 기술경쟁의 바탕이 되는 특징들의 메트릭

N_{ss} : 하위분야의 개수

N_{tech_j} : 하위분야 i 에서 경쟁하는 기술의 개수

σ : 민감도 계수

○ 새로운 설비에 투자한 분야들의 투자총합

-통합된 지역의 투자정도는 이전 기간의 총투자로부터의 엑셀러레이터를 사용함으로써 결정되어진다.

$$K_{tot_{t+1}} = K_{tot} \cdot baserate_{t+1} \cdot f[\exp(\pi_{t+1})]$$

K_{tot} : $t+1$ 기, i 분야의 새로운투자량

$baserate$: 투자증가의 기준율

$f(\exp(\pi))$: 기대수익율의 함수

-기준율

$$baserate_{t+1} = \frac{K_{tot_t}}{K_{tot_{t-1}}},$$

-기대수익율은 주어진 기대수익률의 평균에 이용된다.

$$\exp(\pi_{t+1}) = \overline{\pi_{t+1}} = \left(\sum_{i=1}^{NO} \pi_{i,t+1}^{\sigma} \right)^{1/\sigma}$$

$\pi_{i,t}$: t 기, i 번째 기술의 수익률

Price relationship	$p_j^{rec} = \frac{p_j}{(1 + tx_{ibt,j})}$	supplier price for j product
	$p_i^{paid} = p_i + cf_i$	input I price paid by demander
	$w = p_{i=labor} \cdot (1 - tx_{labor})$	after tax wage
production	$max_{x_{ij} i \in var} \pi_j = \frac{p_j}{(1 + tx_{ibt,j})} \alpha_{0j} \left[\sum_{i \in Inputs} (\alpha_{ij} x_{ij})^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}} - \sum_{i \in Var} (p_i + cf_i) x_{ij} \quad \forall j \in All$	
profit max	$q_j = \alpha_{0j} \left\{ \left[\sum_{i \in Inputs} (\alpha_{ij} x_{ij})^\rho \right] \right\}^{\frac{1}{\rho}} \quad \forall j \in All$	
	$x_{ij} = \alpha_0^{\frac{1}{1-\rho}} \alpha_{ij}^{\frac{\rho}{1-\rho}} \left[\frac{p_j / (1 + tx_{ibt,j})}{p_i + cf_i} \right]^{\frac{1}{1-\rho}} \left[\frac{V_j}{Z_j} \right]^{\frac{1}{\rho}} \quad \forall i \in Var, \forall j \in All$	
	$V_j \equiv (\alpha_{Nj} x_{Nj})^\rho \quad \forall j \in All$	
	$Z_j \equiv 1 - \left[\alpha_{0j} \frac{p_j}{(1 + tx_{ibt,j})} \right]^{\frac{\rho}{1-\rho}} \sum_{i \in Var} \left[\frac{p_i + cf_i}{\alpha_{ij}} \right]^{\frac{\rho}{\rho-1}} \quad \forall j \in All$	
	$\pi_j = \alpha_{0j} \frac{p_j}{(1 + tx_{ibt,j})} V_j^{\frac{1}{\rho}} Z_j^{\frac{\rho-1}{\rho}} \quad \forall j \in All$	
Expected future Profit rate	$e \pi_{j,t} = \sum_{yr=1}^{T_j} \left[\frac{\pi_{j,yr}}{1 + r_{j,t}} \right]^{yr} \quad \forall j \in Sec$	
	$r_{j,t} = r_t + \omega_j \quad \forall j \in Sec$	
	ω_j is the "investment wedge	
	$cfac_{i,j} = \sum_{yr=1}^{T_j} \left[\frac{1 + cfc_{i,yr}}{1 + r_{j,t}} \right]^{yr} \quad \forall i \in Var, \forall j \in Sec$	
	$e \pi_{j,t} = \alpha_{0j} \cdot \frac{p_{j,t}}{(1 + tx_{ibt,j})} \cdot fac_{i,j} \cdot V_{j,t}^{\frac{1}{\rho}} \cdot Ze_{j,t}^{\frac{\rho-1}{\rho}} \quad \forall j \in SecSub$	
	$cfc_{i,yr}$ is the percentage change in the carbon fee for input i in year yr	
	$e \pi_{j,t} = \alpha_{0j} \cdot \frac{p_{j,t}}{(1 + tx_{ibt,j})} \cdot fac_{j,t} \cdot V_{j,t}^{\frac{1}{\rho}} \cdot Ze_{j,t}^{\frac{\rho-1}{\rho}} \quad \forall j \in SecSub$	
	$e \pi rate_{j,t} = \frac{e \pi Sec}{x_{N,j,v=now} \cdot p_{i,j}} \quad \forall j \in Sec$	
출처: Allen A. Fawcett, Ronald D. Sands, The Second Generation Model: Model Description and Theory, PNNL-15432, October 2005		

Investment Accelerator Method	$I_{j,t} = I_{j,t-1} \cdot base-rate \frac{\cdot Pop_{WorkAge,t}}{Pop_{WorkAge,t-1}} \cdot e \pi rate_{j,t} \quad \forall j \in InvAcc$	
	$I_{j,t} = \tilde{I}_{j,t} \cdot e \pi rate_{j,t} \quad \forall j \in OutAcc$	
	$x_{N,j,v=new} = 2 \cdot I_{j,t-1} + 3 \cdot I_{j,t} \quad \forall j \in InvAcc$	
Output Accelerator Method	$\tilde{q}_{j,t} = q_{j,t-1} \cdot sclinv \quad \forall j \in OutAcc$	
	$\tilde{q}_{j,t,v=new} = \tilde{q}_{j,t} - \tilde{q}_{j,t,v=old} \quad \forall j \in OutAcc$	
	$\tilde{q}_{j,t,v=new}$: Output required from new capital	
	$\tilde{q}_{j,t,v=old}$: Output from existing vintages	
	$\tilde{x}_{N,j,v=new} = \alpha_{0j}^{\frac{\rho}{1-\rho}} \alpha_{Nj}^{\frac{\rho}{1-\rho}} \left(\frac{p_j / (1 + tx_{ibt,j})}{p_{N,j}} \right)^{\frac{1}{1-\rho}} \tilde{q}_{j,t,v=new} \quad \forall j \in OutAcc$	
	$\tilde{I}_{j,t} = \frac{\tilde{x}_{N,j,v=new} - 2 \cdot I_{j,t-1}}{3} \quad \forall j \in OutAcc$	
Sub-sector Investment Shares	$share_{jj} = \frac{b_{jj} C_{jj}^\lambda}{\sum_k b_k C_k^\lambda} \quad \forall jj \in Sub_j, \forall j \in Sec$	
	C_{jj} : It may be either -expected profit or -levelized cost in that sector	
	$e \pi Sec_{j,t} = \sum_{jj \in Sub_j} share_{jj} \cdot e \pi_{jj,t} \quad \forall j \in Sec$	
	$a_{N,jj} = \alpha_{0,jj}^{\frac{\rho}{1-\rho}} \alpha_{N,jj}^{\frac{\rho}{1-\rho}} \left(\frac{p_{jj} / (1 + tx_{ibt,jj})}{p_{N,j}} \right)^{\frac{1}{1-\rho}} \quad \forall jj \in Sub_j, \forall j \in Sec$	
	$\tilde{x}_{N,j,v=new} = \left(\sum_{jj \in Sub_j} \frac{share_{jj}}{a_{N,jj}} \right)^{-1} \cdot \tilde{q}_{j,t,v=new} \quad \forall j \in OutAcc$	
Sub-sector level Investment	$I_{jj,t} = I_{j,t} \cdot share_{jj} \quad \forall jj \in Sub_j, \forall j \in Sec$	
	$x_{N,jj,v=new} = 2 \cdot I_{jj,t-1} + 3 \cdot I_{jj,t} \quad \forall jj \in Sub_j, \forall j \in Sec$	
Retained Earnings	$s_{\pi,j} = remax_j \cdot (1 - \delta re_j \cdot e^{\phi re_j \cdot r}) \quad \forall j \in All$	
	$S_{RE} = \sum_{j \in All} \pi_j \cdot s_{\pi,j}$	

출처: Allen A. Fawcett, Ronald D. Sands, The Second Generation Model: Model Description and Theory, PNNL-15432, October 2005

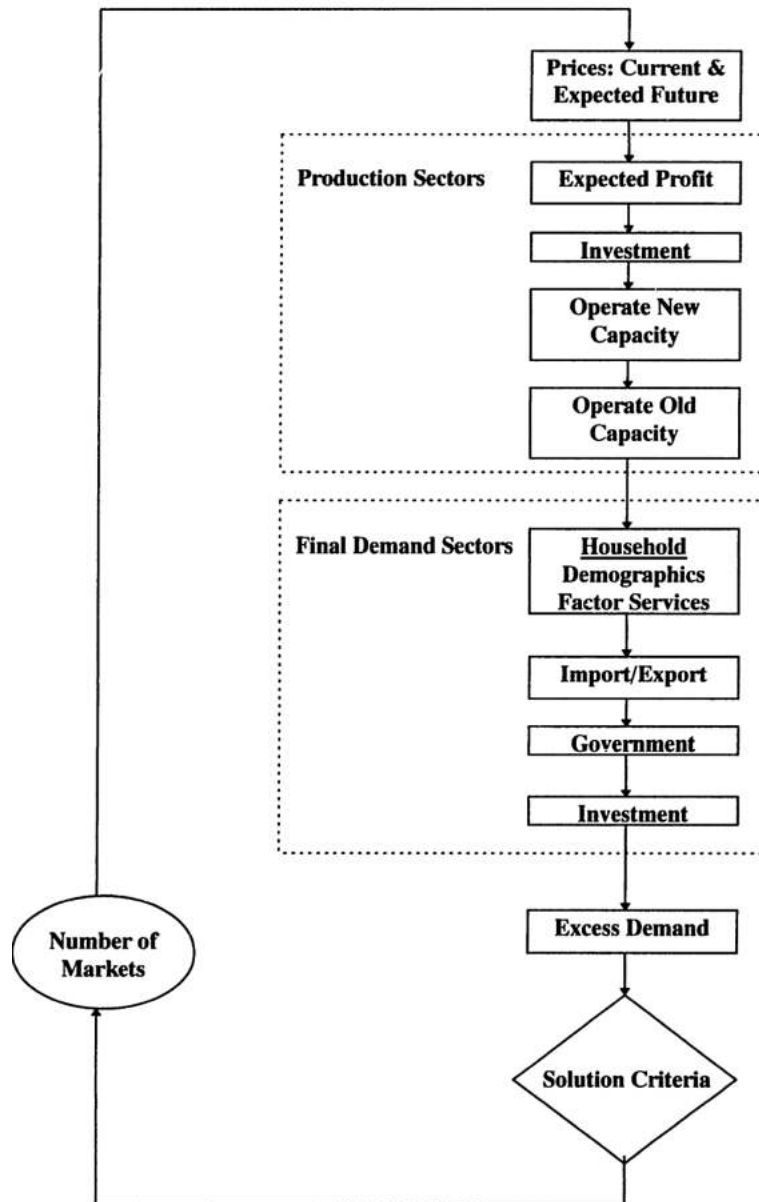
Production of Capital Goods	$Inv_{i,j,t} = I_{j,t} CapMat_{ij} \quad \forall i \in Sec, \forall j \in Sec$	
	$I_{j,t} = \sum_{i \in Sec} Inv_{i,j,t} \quad \forall j \in Sec$	
$I_{j,t} = \min_{Inv_{i,j,t} i \in Sec} \left\{ \frac{Inv_{i,j,t}}{CapMat_{ij}} \right\} \quad \forall j \in Sec$		
	$p_{i,j} = \sum_{i \in Sec} CapMat_{ij} \cdot (p_i + cf_i) \quad \forall j \in Sec$	
Technical Change	$\alpha_{0,j,t} = \alpha_{0,j,t=0} \prod_{s=1}^t (1 + \gamma_{0,j,s})^{NStep} \quad \forall j \in SecSub$	
	$\alpha_{i,j,t} = \alpha_{i,j,t=0} \prod_{s=1}^t (1 + \gamma_{i,j,s})^{NStep} \quad \forall i \in Inputs, \forall j \in SecSub$	
	$q_j = \alpha_0 \left[\sum_{i \in Inputs} (\alpha_{ij} x_{ij})^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}} \quad \forall j \in All$	
Labor Supply	$q_{labor} = \theta_{labor} \cdot Pop_{WorkAge} \cdot (1 - \delta_{labor} \cdot e^{\phi_{labor} \cdot (w/p_{num})})$	
	$w = p_{i=labor} \cdot (1 - tx_{labor})$	
	a labor supply responseiveness coefficient (ϕ_{labor}) numeraire price (p_{num})	
Household income		
Household savings		
	θ_{hhsave} is the maximum potential savings rate	
Household Final Demand	$Y_c = Y_{dis} - S_{hh} - p_{i=labor} \cdot x_{i=labor, hh}$	
	$x_{i=labor, hh} = \eta_{labor, hh} \cdot q_{labor}$	
household demand for good 1		
	$Y_{exp} = S_{hh} + p_{i=labor} \cdot x_{i=labor, hh} + \sum_{i \in Sec} (p_i + cf_i) \cdot x_{i, hh}$	
출처: Allen A. Fawcett, Ronald D. Sands, The Second Generation Model: Model Description and Theory, PNNL-15432, October 2005		

Gov't Revenue	$GRv = RvTx_{ibt} + RvTx_{\pi} + RvTx_{labor} + RvTx_Y + RvCarb$
	$RvTx_{ibt} = \sum_{j \in All} q_j \cdot p_j \cdot tx_{ibt,j}$
	$RvTx_{\pi} = \sum_{j \in All} \pi_j \cdot tx_{\pi}$
	$RvTx_{labor} = p_{i=labor} \cdot tx_{labor} \cdot q_{labor}$
	$RvTx_Y = \left[p_{i=labor} \cdot (1 - tx_{labor}) \cdot q_{labor} + \sum_{j \in All} \pi_j \cdot (1 - tx_{\pi}) \cdot (1 - s_{\pi,j}) \right] \cdot tx_Y$
	$RvCarb = \sum_{i \in Inputs} cf_i \cdot \left[x_{i,hh} + x_{i,G} + \sum_{j \in All} x_{ij_i} \right]$
Government Expenditures	
	$TR_{gov,t} = p_{num,t} \cdot \left[Pop_t \cdot TR_{gov,0} \cdot \left(\frac{Y_{pre,t}}{Pop_t} \right) \cdot \left(\frac{q_{labor,t}}{Pop_{WorkAge,t}} \right) \cdot Pop_{YngOld,t} \right]$
	$Y_{pre,t} = Y_{dis,t} - Gov.Transfer$
	$Pop_{YngOld,t}$ is then non-working age population in period t.
	$GC = GEx - TR_{gov} - TR_{carb}$
	$x_{i,G} = \psi_i \cdot \frac{GC}{\sum_{i \in Var} \psi_i \cdot (p_i + cf_i)} \quad \forall i \in Var$
	ψ_i is the Leontief coefficient for government demand of input i cf_i is the carbon fee
Trade	$x_{i,NetExp} = q_i - x_{i,hh} - x_{i,G} - \sum_{j \in All} x_{ij} - \sum_{j \in SecSub} Inv_{i,j} \quad \forall i \in OpenMkt$
	$NetExp = \sum_{i \in Sec} x_{i,NetExp} \cdot p_i$
	$\sum_{l \in Regions} q_{i,l} = \sum_{l \in Regions} \left[\sum_{j \in All_l} x_{ij,l} + x_{i,hh,l} + x_{i,G,l} + \sum_{j \in Sec_l} Inv_{i,j,l} + x_{i,NetExp,l} \right]$
	$NetExp_l = \sum_{i \in Sec} x_{i,NetExp,l} \cdot p_i \quad \forall l \in Regions$
출처: Allen A. Fawcett, Ronald D. Sands, The Second Generation Model: Model Description and Theory, PNNL-15432, October 2005	

Equilibrium Condition	
Commodity Market Clearing Conditions	$q_i = \sum_{j \in All} x_{ij} + x_{i,hh} + x_{i,G} + \sum_{j \in SecSub} Inv_{i,j} + x_{i,NetExp} \quad \forall i \in CloseMkt$
Factor Market Clearing Conditions	$q_{labor} = \sum_{j \in All} x_{i=labor,j} + x_{i=labor,hh} + x_{i=labor,G}$
	$\sum_{j \in Sec} I_j \cdot p_{I,j} = S_{hh} + S_G + S_{RE} - D$
Income Balance	$Y_{dis} = \left[w \cdot q_{labor} + \sum_{j \in All} \pi_j \cdot (1 - tx_\pi) \cdot (1 - s_{\pi,j}) \right] (1 - tx_Y) + TR_{gov} + TR_{carb}$
	$GEx = GRv - S_G$
Walras' Law	$Walras = NetExp + D$
출처: Allen A. Fawcett, Ronald D. Sands, The Second Generation Model: Model Description and Theory, PNNL-15432, October 2005	
Kim, S.H (1995)	
National Accounting	$GNP = \sum_{i=1}^N P_i (X_i - \sum_{j=1}^N A_{i,j}) = \sum_{i=1}^N P_i (C_i + G_i + I_i + EX_i - IM_i)$
	$= \sum_{i=1}^N (TXibt_i + \pi_i + \sum_{j=N+1}^{N+M} P_j A_{j,i})$
	GNP = the Gross National Product
	X_i = the gross domestic production of product i
	$A_{i,j}$ = the domestic use of product i in the production of product j
	P_i = the price of product i
	N = the number of product
	C_i = domestic consumption by household of product i
	G_i = domestic consumption by government of product i
출처: Kim, S.H., 1995, Stabilization of carbon emissions: a viable option for the Republic of South Korea. MIT, Cambridge, MA.	

	I_i = domestic investment uses of product i
	EX_i = gross exports of product i
	IM_i = gross imports of product i
	$TXibt_i$ = ideirect business taxes
	π_i = profits including net interest and capital consumption allowances
	M = the number of primary factors of production (e.g labor and land)
	$Max\ G = (\sum_{ss=1}^{NGS} \delta_{ss} G_{ss}^\mu)^\frac{1}{\mu}$
	G = government utility, an unobservable variable
	G_{ss} = the production of government service ss
	δ_{ss} = a scale parameter
	μ = an elasticity parameter
	NGS = the number of services produced by the government (the number of government subsectors)
	$TX_{tot} - S_{gov} - TR_{gov} - \sum_{ss=1}^{NGS} P_{g,ss} G_{ss} = 0$
	$G_{ss} = (TX_{tot} - S_{gov} - TR_{gov}) \beta_{ss} P_{g,ss}^{\gamma-1} (\sum_{ss=1}^{NGS} \beta_{ss} P_{g,ss})^{-1}$
	$\gamma = \mu / (\mu - 1)$
출처: Kim, S.H., 1995, Stabilization of carbon emissions: a viable option for the Republic of South Korea. MIT, Cambridge, MA.	

Sector Supply	
	$X_{land} = LAND_{tot} \alpha_{land} (1 - e^{\beta_{land} P_{land}})$
Sector Demand	
	$X_{land, hh} = NHH \alpha_{land, hh} P_{land}^{\beta_{land, hh}}$
SGM Framework	
Solving the Model	$e_i = \sum_{s=1}^{Ns} \sum_{ss=1}^{Nss_{i,n}} \sum_{tech=1}^{Ntech_{i,ss,n}} (Xd_{i,s,ss,tech} - Xs_{i,s,ss,tech}) \quad i = 1, \dots, N$
	$\sum_{s=1}^{Ns} \sum_{ss=1}^{Nss_{i,n}} \sum_{tech=1}^{Ntech_{i,ss,n}} Xd_{i,s,ss,tech} = \text{summation of demand for commodity } i$ from all sectors, production and final demand.
	$\sum_{s=1}^{Ns} \sum_{ss=1}^{Nss_{i,n}} \sum_{tech=1}^{Ntech_{i,ss,n}} Xs_{i,s,ss,tech} = \text{summation of output for commodity } i$ from all sectors, subsectors and technologies
	$e_i = \text{excess demand for commodity } i$
	$\sum e_i = 0, \quad i = 1, \dots, N$ This set of prices is not unique. Walras's law
	$\sum_{i=1}^N e_i P_i = 0$
출처: Kim, S.H., 1995, Stabilization of carbon emissions: a viable option for the Republic of South Korea. MIT, Cambridge, MA.	



[그림 38] SGM의 흐름

출처: Kim, S.H., 1995, Stabilization of carbon emissions: a viable option for the Republic of South Korea. MIT, Cambridge, MA.

- Kim(1995)의 reference scenario(기존 화석연료 에너지기술, 수력, 원자력)에서, 1995년 수준으로 안정화하기 위해서는 탄소세 \$1,525/tC 를 부과 또는 1인당 2톤의 탄소를 저감해야 함. 이는 2030년 기준사례에서 6.5%의 GNP 손실이 발생.
- advanced energy technologies 시나리오(효율적인 천연가스, 석탄화력발전, 태양광, 바이오매스를 이용한 알코올 연료)에서, 1995년 수준으로 유지하기 위해서 탄소세는 \$180/tC이며, 2010년 GNP 기준으로 3%의 손실을 일으킴.

마. Phoenix

- Phoenix는 2005년부터 2100년까지 5년 단위 동태 모형
- Phoenix는 SGM모형을 대체함
- 미국, 브라질, 캐나다 같은 개별국도 있고, 중동지역, 북미지역처럼 지리적으로 그룹지어진 지역도 있음
- 각 산업분야별로 하나의 생산물을 만들어내고, 그것은 대표소비자와 정부에 의해 소비되거나, 중간재로서 생산분야로 투입됨
- 각 기간별로 재화의 배분은 생산자와 소비자 모두의 효용 극대화에 근거해 이루어짐.
- 생산자는 주어진 CES 생산함수에서 비용을 최소화 함
- 소비자는 주어진 예산제약하에서 CES 효용함수를 극대화함
- 천연자원, 토지, 노동, 자본 이라는 4가지 생산요소가 있음
- 주어진 기술하에서 산업분야에서는 최종재화를 만들기 위해 주된 생산요소를 중간재 & 에너지와 합쳐 만들어 냄
- 만들어진 재화는 민간에 의해 소비되고, 정부에 의해 소비됨. 혹은 생산분야에 중간재로서 소비됨
- 재화의 공급량과 수요량이 일치 할 때, 모형은 시장청산
- In Phoenix
 - 정부와 대표소비자 1명, 총 2명을 가정함
 - 세계를 24개 지역으로 나눔
 - 산업을 26개 부분으로 나눔

<표 15> Pheonix 모형의 지역구분

Phoenix Regions	GAMS Symbol
Australia & New Zealand	anz
Brazil	bra
Canada	can
Central & Other Asia	coa
Central America & Caribbean	cac
China & Taiwan	c_t
Eastern Other Europe	eo
European Union 15	eu15
India	ind
indonesia	idn
Japan	jpn
Korea	kor
Mexico	mex
Middle East	mes
North Africa	na
Other European Union 27	oe27
Other Latin America	ola
Rest of World	row
Russia	rus
South Africa	zaf
South Asia	sas
Sub - Saharan Africa	ssa
USA	usa
Wetern Other Europe	weo

<표 16> Pheonix 모형의 산업구분

Industrial Sectors	GAMS Symbol	Demand Categories
Agriculture	agr	Food products
Air Transport	atp	Transport
Chemicals, Rubber, Plastics	crp	Non-durable Goods
Clothing	t_l	Clothing
Coal	col	Non-electric Energy
Construction	cns	Services, Construction, Other
Electricity	ely	Electric Energy
Fishing	fsh	Food Products
Food & Tobacco	f_t	Food Products
Forestry	frs	Durable Goods
Gas	gas	Non-electric Energy
Investment Goods	CGDS	
Iron & Steel	i_s	Durable Goods
Machinery & Equipment nec	ome	Durable Goods
Mining & Quarrying	omn	Durable Goods
Non-durable Goods	u_i	Non-durable Goods
Non-ferrous Metals	nfm	Durable Goods
Non-metallic Minerals	nmm	Durable Goods
Oil	oil	Non-electric Energy
Paper products & Publishing	ppp	Non-durable Goods
Refined Oil Products	p_c	Non-electric Energy
Services	svs	Services, Construction, Other
Transport (other)	otp	Transport
Transport Equipment	tre	Durable Goods
Unspecified Other	u_o	Services, Construction, Other
Water Transport	wtp	Transport
Wood Products	lum	Durable Goods

-미국, 브라질, 캐나다 같은 개별국도 있고, 중동지역, 북미지역처럼 지리적으로 그룹지어진 지역도 있음

-각 산업분야별로 하나의 생산물을 만들어내고, 그것은 대표소비자와 정부에 의해 소

비되거나, 중간재로서 생산분야로 투입됨

-각 기간별로 재화의 배분은 생산자와 소비자 모두의 효용 극대화에 근거해 이루어짐.

-생산자는 주어진 CES 생산함수에서 비용을 최소화 함

-소비자는 주어진 예산제약하에서 CES 효용함수를 극대화함

-천연자원, 토지, 노동, 자본 이라는 4가지 생산요소가 있음

-주어진 기술하에서 산업분야에서는 최종재화를 만들기 위해 주된 생산요소를 중간재 & 에너지와 합쳐 만들어 냄

-만들어진 재화는 민간에 의해 소비되고, 정부에 의해 소비됨. 혹은 생산분야에 중간재로서 소비됨

-재화의 공급량과 수요량이 일치 할 때, 모형은 시장청산을 이룸

5절. TOY 모델 개발에 관한 이슈

1. 개요

- ✓ 우리나라의 다양한 에너지효율 개선 정책 시행 결과 시장에서 에너지 고효율 제품의 시장 점유율 변화 사례가 있음
- ✓ 조명 기술의 비용측면에서 보면, 형광등이 월등히 저렴한 기술이지만, 11년이 지난 이후에도 100% 잠식하지 못하는 것이 실제현황임.



Types	Incandescent lamps	Compact fluorescent lamps	Total
1999	53,319,833 (88.8%)	6,750,172 (11.2%)	60,070,005 (100.0%)
2000	56,315,505 (87.1%)	8,310,236 (12.9%)	64,625,741 (100.0%)
2001	49,973,991 (76.8%)	15,122,098 (23.2%)	65,096,089 (100.0%)
2002	39,391,626 (76.8%)	11,886,869 (23.2%)	51,278,495 (100.0%)
2003	49,357,065 (82.1%)	10,778,326 (17.9%)	60,135,391 (100.0%)
2004	35,719,694 (72.0%)	13,887,391 (28.0%)	49,607,085 (100.0%)
2005	29,417,507 (65.2%)	15,700,844 (34.8%)	45,118,351 (100.0%)
2006	27,143,119 (61.4%)	17,046,637 (38.6%)	44,189,756 (100.0%)
2007	20,874,884 (51.7%)	19,474,544 (48.3%)	40,349,428 (100.0%)
2008	18,584,249 (47.6%)	20,421,782 (52.4%)	39,006,031 (100.0%)
2009	10,683,484 (37.1%)	18,103,592 (62.9%)	28,787,076 (100.0%)
2010	2,400,069 (11.5%)	18,841,981 (88.5%)	21,282,050 (100.0%)

Source: KEMCO

[그림 39] 고효율조명기기 보급 정책에 의한 백열등의 형광등 전환실적

출처: Korea's Energy Standard & Labeling - Market Transformation, KEMCO

● Comparison of incandescent, compact fluorescent lamp and LED lamp

Types	Incandescen lamps	Compact fluorescent lamps	LED lamps
Power consumption	30~100W(60W)	12~20W(15W)	5~15W(10W)
Luminous efficiency	10~15 lm/W	45~80 lm/W	50~60 lm/W
Lifetime	1,000hours	6,000hours	50,000hours
Price (60W as reference)	500~800won (700won)	2,200~6,600won (6,000won)	40,000~60,000won (50,000won)

[그림 40] 조명기술의 주요 특성

출처: Korea's Energy Standard & Labeling - Market Transformation, KEMCO

2. LP 모형의 특징과 OSeMOSYS

* Demands		
	RH	Residential Space Heating
	RL	Residential Lighting
	TX	Automobile Transportation
* Energy Carriers		
	CSV	Conservation
	DSL	Diesel
	ELC	Electricity
	GSL	Gasoline
	HCO	Coal
	HYD	Hydro Power
	LTH	Low-Temperature Heat
	OIL	Oil
	URN	Natural Uranium
* Emissions		
	CO2	Carbon Dioxide
	NOX	Nitrous Oxide

* Conversion Technologies		
	E01	Coal Steam Electric
	E21	LWR Nuclear Plant
	E31	Hydro-electric Plant
	E51	Pumped Storage Power Plant
	E70	Oil Plant
* Resource Technologies		
	IMPDSL1	Import of Diesel
	IMPGSL1	Import of Gasoline
	IMPHCO1	Import of Hard Coal
	IMPOIL1	Import of Crude
	IMPURN1	Import of Uranium
* Process Technologies		
	SRE	Oil Refinery
* Demand Technologies		
	RHE	Electric Boiler
	RHO	Diesel Boiler
	RL1	Standard Incandescent Lighting
	TXD	Diesel Car
	TXE	Electric Car
	TXG	Gasoline Car

[그림 41] Sample Data Utopia (from Markal Answer)

- ✓ OSeMOSYS는 각 유형별 할인비용 산정을 통한 비용최소화의 틀을 제공
- ✓ Set 정의에 따라 유연하게 Technology를 추가할 수 있음.

```

set YEAR;
set TECHNOLOGY;
set TIMESLICE;
set FUEL;
set EMISSION;
set MODE_OF_OPERATION;

```

```

set EMISSION      := CO2 NOX ;
set TECHNOLOGY    := E01 E21 E31 E51 E70 IMPDSL1 IMPGSL1 IMPHCO1 IMPOIL1 IMPURN1 RHE RHO RL1 RL2 SRE TXD TXE TXG RIV RHu RLu TXu;
set FUEL          := CSV DSL ELC GSL HCO HYD LTH OIL URN RH  RL  TX  ;
set YEAR         := 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 ;
set TIMESLICE     := ID IN SD SN WD WN  ;
set MODE OF OPERATION := 1 2 ;

```

minimize $\sum_{y,t,r} \text{TotalDiscountedCost}_{y,t,r}$

$$\forall_{y,t,r} \text{TotalDiscountedCost}_{y,t,r} = \text{DiscountedOperatingCost}_{y,t,r} + \text{DiscountedCapitalInvestment}_{y,t,r} + \text{DiscountedTechnologyEmissionsPenalty}_{y,t,r} - \text{DiscountedSalvageValue}_{y,t,r}$$

$$\begin{aligned} \forall_{y,t} \text{DiscountedOperatingCost}_{y,t,r} &= \text{OperatingCost}_{y,t,r} / ((1 + \text{DiscountRate}_{t,r})^{(y - \text{StartYear} + 0.5)}) \\ \forall_{y,t,r} \text{VariableOperatingCost}_{y,t,r} &= \sum_m \text{RateOfActivity}_{y,t,m,r} * \text{VariableCost}_{y,t,m,r} \\ \forall_{y,t,r} \text{AnnualVariableOperatingCost}_{y,t,r} &= \sum_j \text{VariableOperatingCost}_{y,t,r} \\ \forall_{y,t,r} \text{AnnualFixedOperatingCost}_{y,t,r} &= \text{TotalCapacityAnnual}_{y,t,r} * \text{FixedCost}_{y,t,r} \\ \forall_{y,t,r} \text{OperatingCost}_{y,t,r} &= \text{AnnualFixedOperatingCost}_{y,t,r} + \text{AnnualVariableOperatingCost}_{y,t,r} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \forall_{y,t} \text{DiscountedCapitalInvestment}_{y,t,r} &= \text{CapitalInvestment}_{y,t,r} / ((1 + \text{DiscountRate}_{t,r})^{(y - \text{StartYear})}) \\ \forall_{y,t,r} \text{CapitalInvestment}_{y,t,r} &= \text{CapitalCost}_{y,t,r} * \text{NewCapacity}_{y,t,r} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{E4_EmissionsPenaltyByTechnology}(y \text{ in YEAR}, t \text{ in TECHNOLOGY}, r \text{ in REGION}): \text{sum}\{e \text{ in EMISSION}\} \\ \text{AnnualTechnologyEmissionPenaltyByEmission}[y,t,e,r] = \text{AnnualTechnologyEmissionsPenalty}[y,t,r]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \forall_{y,t} \text{DiscountedSalvageValue}_{y,t,r} &= \text{SalvageValue}_{y,t,r} / ((1 + \text{DiscountRate}_{t,r})^{(1 + \text{card}(\text{YEAR}))}) \\ \forall_{t,r,y: (y + \text{OperationalLife}_{t,r}) < \text{StartYear} + \text{card}(\text{YEAR})} \text{SalvageValue}_{y,t,r} &= 0 \\ \forall_{t,r,y: (y + \text{OperationalLife}_{t,r}) \geq \text{StartYear} + \text{card}(\text{YEAR})} \text{SalvageValue}_{y,t,r} &= \text{NewCapacity}_{y,t,r} * \text{CapitalCost}_{y,t,r} * (1 - (((1 + \text{DiscountRate}_{t,r})^{(\text{StartYear} + \text{card}(\text{YEAR}) - y)} - 1)) / ((1 + \text{DiscountRate}_{t,r})^{\text{OperationalLife}_{t,r}} - 1))) \end{aligned}$$

[그림 43] LP비용최소화 모형

출처: Mark Howells, Holger Rogner, Neil Strachan, Charles Heaps, Hillard Huntington, Socrates Kypreos, Alison Hughes, Semida Silveira, Joe DeCarolis, Morgan Bazillian, Alexander Roehrl, OSeMOSYS: The Open Source Energy Modeling System An introduction to its ethos, structure and development, Energy Policy 39(2011)5850-5870

○ 비용최소화 모형에서 기술 경쟁

- ✓ 승자독식 현상을 발생시킬 수 있는 파라미터는 Input to Activity Ratio, Output to Activity Ratio, Fixed Cost, Variable Cost, Capital Cost, Salvage Value, Availability Factor, Capacity Factor, Capacity to Activity Unit 등임.
- ✓ 승자독식 현상을 막기 위하여 시나리오에서 다음의 Residual Factor, Operational Life, Total Annual Max Activity, Total Annual Max Capacity Investment, Total Annual Min Activity, Total Annual Min Capacity Investment 등을 조정할 수 있음
- ✓ 승자독식 시나리오: 조명기술간의 경쟁(RL1(백열등) vs. RL2(형광등))
- ✓ 시나리오: 조명기술 RL2는 1999년 시장에 도입
- ✓ Reference 시나리오는 두 기술이 Identical 한 경우, Case 1은 RL2의 Input to Activity

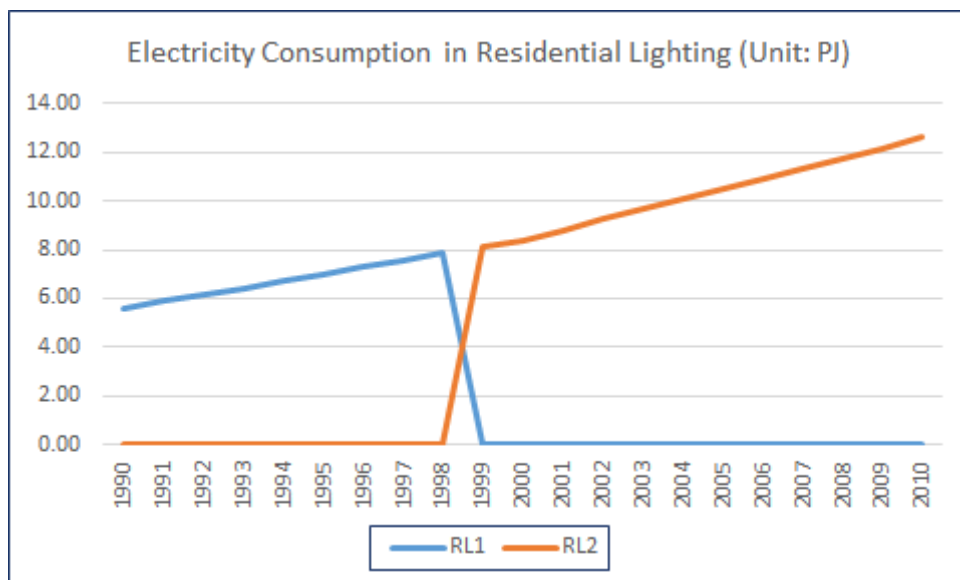
Ratio 가 1% 더 효율적인 경우, Case 2는 RL2의 고정비용이 0.01백만달러/GW 더 싼 경우

○ 아래 표는 OSEMOSSYS의 입력값을 수정하여 한국의 고효율조명기술 보급 Replication 시나리오임.

<표 17> 조명기술 시나리오 입력 및 결과값

	Input to Activity		Fixed Cost (M\$/GW)		Total Disc. Cost (M\$)	Electricity Consumption (PJ)
	RL1	RL2	RL1	RL2		
Ref	1	1	9.46	9.46	26629.4	184.1
Case 1	1	0.99	9.46	9.46	26622.4	182.9
Case 2	1	1	9.46	9.45	2628.8	184.1

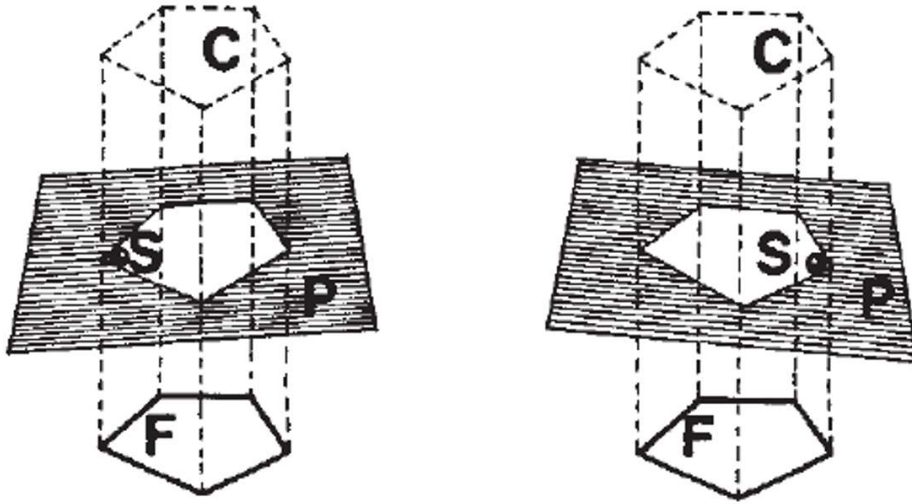
- ✓ Ref는 투입되는 두 기술에 대하여 효율, 고정비용을 동일하게 준 값으로 시뮬레이션 결과 각 기술의 점유율은 50:50
- ✓ Case 1은 Input to Activity ratio 가 달라지는 경우, Case 2는 Fixed Cost가 달라지는 경우로, 시뮬레이션 결과 승자독식 현상이 발생함



[그림 44] Case 1, Case 2에 따른 기술의 승자독식 현상

○ LP 모델 기술선택과 관련한 이슈

- ✓ 미래 비용에 대해 큰 불확실성이 주어진 상황에서, 비용최소화 LP 모형은 장기 robust 공급 전망에 적절하지 않음.
- ✓ 제약에 대한 가정은 매우 작은 실현가능 지역으로, 모형은 입력값 (제약)에서 결과로 항등변환하는 것과 같이 거동
- ✓ 제약은 매우 큰 불확실성을 조건으로 하는 임의의 전망값.



[그림 45] LP (Linear Programming) 모형의 최적선택상의 문제점

출처: Bill Keepin, Brian Wynne, Nature 1984

위의 그림에서

C: Constraints

P: Total cost plane

S: Minimum cost on the plane

비용 가정에 대한 약간의 차이로도 총 비용평면을 다른 방향으로 기울게 할 수 있음.

○ MARKAL 모형과 기술선택

- 최종사용 부문 시장의 전형적인 예시는 에너지 수요를 제공하는 다양한 기술의 set (예를 들어, 특정 연도의 미국의 모든 주거용 난방기술)
- 다양한 기술을 반영하지 않는 경우, 주어진 기간에 하나의 기술만을 선택할 수 있음 (예를 들어, 특정 기간에 미국에서는 표준 가스난로가 신규 주거용 난방수요를 공급). 이는 경쟁관계에 있는 기술 사이에서 에너지공급비용이 약간 낮은 기술에 의해 발생할 수 있음. 이 승자독식 현상은 penny-switching 또는 knife-edge effect라고 하며,

MARKAL과 다른 LP 기반의 모델에서 surplus expression의 선형성에 기인함(Loulou et al. 2004).

- ✓ MARKAL Documentation에서는 Market Sharing Mechanism이 EIA의 SAGE 모델 팀에서 개선될 것으로 설명하였으나, 2004년 이후 개선된 방향은 제공하고 있지 않음.
- ✓ SAGE 모델의 Market Sharing Mechanism에서 시장점유율은 각 시장 M 에 대하여 각 후보 기술에 대한 시장 점유율($MKTSHR_k$)을 2단계로 계산. 1단계: 존재하는 전체 시장($TOTMKTSIZE_M$)을 후보기술의 규모($MKTSIZ_M$)에 따라 재분배(사용자가 선택하는 비율, C)하면 각 후보기술의 시장규모와 후보기술의 시장 점유율을 다음과 같이 계산할 수 있음.

$$MKTSIZ = C * TOTMKTSIZ$$

$$MKTSHR_k = \frac{a_k * B_k^{-d}}{\sum_{i \in G} a_i * B_i^{-d}}$$

여기서, 각 후보기술은 Lower bound가 $LB_k = MKTSHR_k * MKTSIZ_M$ 으로 정의되어 있음.

- ✓ C 는 전체 시장(M)을 후보기술별로 재분배하는 사용자 지정 비율 (0~1)
- ✓ a_i 는 기술 i 에 대한 사용자 정의 선호도
- ✓ B_i 는 기술 i 의 reduced cost
- ✓ $d(> 0)$ 은 재분배를 결정하는 reduced cost의 degree
- ✓ G 는 기술 k 속해있는 후보기술 그룹

○ CIMS Model²⁾

$$MS_j = \frac{CC_j PVF(r, n) + MC_j + EC_j + i_j)^{-\nu}}{\sum_k (CC_k PVF(r, n) + MC_k + EC_k + i_k)^{-\nu}}$$

2) 출처: Jaccard, M., J. Nyboer, C. Bataille and B. Sadownik. 2003. "Modeling the cost of climate policy: distinguishing between alternative cost definitions and long-run cost dynamics." The Energy Journal 24(1): 49-73.
Nyboer, J. 1997. Simulating evolution of technology: a case study of strategies to control greenhouse gas emissions in Canada. PhD Thesis School of Resource and Environmental Management. Burnaby, Simon Fraser University.

$$PVF(r,n) = \frac{r}{(1 - (1+r)^{-n})} \quad \text{if } CC = \sum_{i=1}^n \frac{A}{(1+r)^i}$$

$$PVF(r,n) = \frac{r}{(1+r - (1+r)^{-n})} \quad \text{if } CC = \sum_{i=0}^n \frac{A}{(1+r)^i}$$

여기서,

MS_j : Market share

CC_j : Capital cost

MC_j : OM cost

EC_j : Energy cost

i_j : Intangible cost

r : Private Discount Rate

ν : Measure of Market Heterogeneity

3. 특정기술선택을 확률과정으로 설명한 GCAM모형의 장점에 대한 연구

○ 기술의 비용에 기반한 기술간 경쟁은 다양한 부문과 수준에서 이뤄짐.

- ✓ 이분산적 상황에서 실현된 기술의 비용분포를 가정
- ✓ 기술의 도입확률에 기반한 시장 점유율은 각 기술의 최소비용에서 적용.
- ✓ Logit 모형은 기술의 비용이 가장 낮을 때 선형모형에서 흔히 발생하는 “승자독식” 현상을 방지함
- ✓ 승자독식 현상은 시장에 존재하는 다양한 기술을 반영하지 못하는 단점이 있음.

$$S_{s,h,t} = \frac{\alpha_{s,h,t} c_{s,h,t}^{\sigma_{s,h,t}}}{\sum_h \alpha_{s,h,t} c_{s,h,t}^{\sigma_{s,h,t}}}$$

$S_{s,h,t}$: *Share of each technology*

$\alpha_{s,h,t}$: *Share weight*

$c_{s,h,t}$: *Cost or price of each technology*

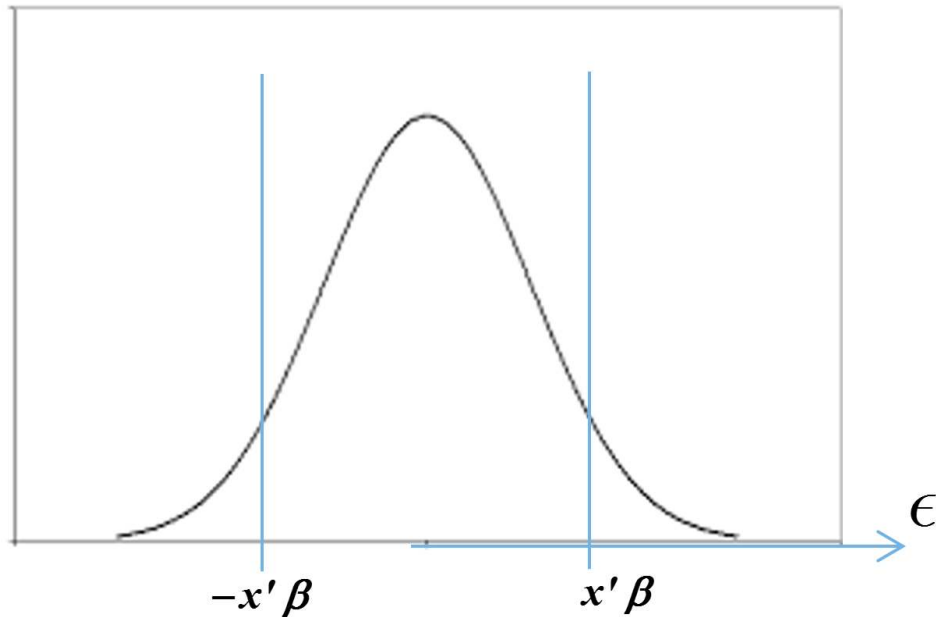
$\sigma_{s,h,t}$: *Logit exponent*

- logit 모형은 특정 연료 형태에 의해 제공되는 총 에너지서비스의 비율의 답을 제공
 - ✓ 특정 지역에서, 특정 연료의 비용, 즉, 특정 연료를 이용하여 에너지서비스를 제공하는 비용은 다양함. 비용 분포는 운송비용, 세금구조와 관련 요소 비용 차이의 결과임. 결과적으로, 에너지서비스를 가장 낮은 가격으로 제공하는 기술이라도 모든 시장을 점유하지 못함.
- Share-weight : Calibration parameter,
 - ✓ 새로운 기술 도입, 기준년도의 Calibrated Share weight에서부터 점진적 움직임을 보여줌. 새로운 기술도입 (Phase in)이 없는 경우, 시장은 신기술 도입에 의해 급격하게 변하는 문제가 LP모형에서 발생함.
- Discrete 모형과 기술선택
 - ✓ 특정한 에너지서비스 공급기술을 선택하면 1, 그렇지 않으면 0으로 주어진 기술선택 실적 데이터로부터, 아래와 같은 에너지서비스 공급기술을 선택할 확률을 구할 수 있음.

$$y^* = \alpha + x'\beta + \epsilon, \begin{cases} y = 1, & y^* > \alpha \\ y = 0, & y^* \leq \alpha \end{cases}$$

$$\begin{aligned} Prob[y = 1|x] &= Prob[y^* > \alpha|x] \\ &= Prob[x'\beta + \epsilon > 0|x] \\ &= Prob[\epsilon > -x'\beta|x] \end{aligned}$$

$$Prob[y=1|x] = \begin{cases} \Phi(x'\beta) & \text{when assumed normal} \\ \Lambda(x'\beta) = \frac{e^{x'\beta}}{1+e^{x'\beta}} & \text{when assumed logistic dist} \end{cases}$$



[그림 46] $x\beta'$ 값의 확률 분포

- ✓ 일반적으로 선택항의 개수가 많을 때, Conditional Logit 모형이라 하며, McFadden (1973)은 다음과 같이 기술선택에 적용될 수 있는 비모수적 데이터의 선택 확률을 다음과 같이 나타냄.

$$U_j = x_j'\beta + \epsilon_j$$

$$Prob[U_j > U_k | x_1, x_2, \dots, x_j] = \frac{e^{x_j'\beta}}{\sum_j e^{x_j'\beta}} \quad \text{for all other } k \neq j$$

- ✓ McFadden(1973)에 의하면, j 번째 기술을 선택하여 얻을 수 있는 효용함수를 $U_j = \ln(\alpha_j C_j^{\delta_j}) + \epsilon_j$, where $\delta_j < 0$ 라 하면, j 번째 기술을 선택할 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있음.

$$Prob[U_j > U_k | C_1, C_2, \dots, C_j] = \frac{\alpha_j C_j^{\delta_j}}{\sum_j \alpha_j C_j^{\delta_j}} \text{ for all other } k \neq j$$

○ Subsector 내부에서 GCAM 의 기술 선택

$$S_{s,h,t} = \frac{\alpha_{s,h,t} c_{s,h,t}^{\sigma_{s,h,t}}}{\sum_h \alpha_{s,h,t} c_{s,h,t}^{\sigma_{s,h,t}}}$$

$$c_{s,h,t} = P_{f,t} \times coeff_{s,h,t} + \lambda_{s,h,t}$$

$c_{s,h,t}$: 에너지서비스(s) 공급기술 h 의 비용

$S_{s,h,t}$: 각 기술의 비율

$\alpha_{s,h,t}$: *Share-weight*

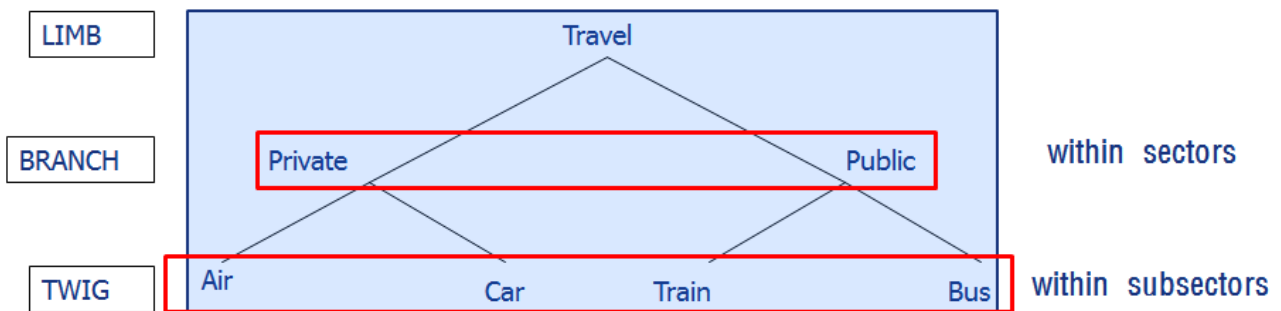
$\sigma_{s,h,t}$: *logit exponent*

$P_{f,t}$: 기술 h 에서 사용하는 연료 f 의 가격

$coeff_{s,h,t}$: $1/efficiency$ 로 정의되는 상수

$\lambda_{s,h,t}$: *levelized non-energy cost*

아래의 그림과 같이 한 final demand sector에서의 기술선택은 부문의 특성을 감안한 Sector, Subsector의 경쟁에서 선택됨.



[그림 47] Sector 내부에서의 기술선택

✓ 동일한 에너지서비스를 제공하는 기술은 sector 내부에서 비용에 기반한 경쟁

을 통해서 선택됨.

- ✓ 이러한 Sector 내부 기술경쟁은 GCAM 내부에서 Nested Logit model로 구현됨.

○ Logit Exponent의 추정

- ✓ 고효율조명기기 보급사업의 실적을 바탕으로 기술비용은 2010년 값을 적용
- ✓ 2010년(Target year)의 형광등($Tech_2$), 백열등($Tech_1$)의 share-weight을 모두 1로 설정(즉, 계산과정에서 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$)
- ✓ 2010년에 백열등의 비용($C_1 = 9.72$), 형광등의 비용($C_2 = 3.33$)과 형광등 기술의 시장점유율($\beta = 0.89$)을 설정하고 logit exponent를 계산

$$\delta = \frac{\ln(\frac{1}{\beta} - 1)}{\ln(\frac{C_1}{C_2})} = \frac{\ln(\frac{1}{0.89} - 1)}{\ln(\frac{9.72}{3.33})} = -1.95$$

- ✓ 위의 δ 를 구하는 식은 앞서 설명한 share equation에서 아래와 같이 도출할 수 있음.

$$share_i = \frac{SW_i^* C_i^{-\delta}}{\sum_i SW_i^* C_i^{-\delta}}$$

- ✓ 각각의 share-weight를 1로 두고 형광등($Tech_2$)의 logit exponent는 다음과 같이 표현됨.

$$Share_2 = \beta = \frac{C_2^{-\delta}}{C_1^{-\delta} + C_2^{-\delta}}$$

- ✓ 양변에 모두 C_2^δ 를 곱하면,

$$\begin{aligned} C_2^{-\delta} * C_2^\delta &= 1 = \beta(C_1^{-\delta} + C_2^{-\delta})C_2^\delta \\ &= \beta(1 + (C_2/C_1)^\delta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{C_2}{C_1}\right)^\delta &= \frac{1}{\beta} - 1 \\ \delta \ln\left(\frac{C_2}{C_1}\right) &= \ln\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \end{aligned}$$

$$\delta = \frac{\ln\left(\frac{1}{\beta} - 1\right)}{\ln\left(\frac{C_2}{C_1}\right)}$$

○ share-weight의 Calibration

- ✓ Target year의 share-weight를 1로 두고, base year의 share-weight값을 계산
- ✓ 1999년 기술가격은 백열등($C_1 = 9.72$), 형광등($C_2 = 3.33$), 형광등의 시장보급률($\alpha = 0.11$)이며 앞서 계산한 logit exponent ($\delta = -1.95$)를 적용
- ✓ 모든 기간에 백열등($Tech_1$)의 share-weight는 1($\alpha_1 = 1$)로 설정

$$\alpha_2 = \frac{\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)}{\left(\frac{C_1}{C_2}\right)^\delta} = \frac{\left(\frac{1}{0.11} - 1\right)}{\left(\frac{9.72}{3.33}\right)^{-1.95}} = 65.46$$

- ✓ 앞선 share-weight식으로부터, base year의 logit exponent는 다음과 같이 계산 됨.

$$Share_i = \frac{\alpha_i * C_i^{-\delta}}{\sum_i \alpha_i * C_i^{-\delta}}$$

- ✓ 위 식으로부터 share-weight는 다음과 같이 유도할 수 있음.

$$Share_i = \alpha_{1999} = \frac{C_2^{-\delta}}{C_1^{-\delta} + \alpha_2 * C_2^{-\delta}} \text{ 는 다음과 같이 나타낼 수 있음.}$$

$$C_2^{-\delta} * C_2^\delta = 1 = \alpha (C_1^{-\delta} + \alpha_2 * C_2^{-\delta}) C_2^\delta$$

$$= \alpha (1 + \alpha_2 * (C_2 / C_1)^\delta)$$

$$\alpha_2 * \left(\frac{C_2}{C_1}\right)^\delta = \frac{1}{\alpha} - 1$$

$$\alpha_2 = \frac{\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right)}{\left(\frac{C_2}{C_1}\right)^\delta}$$

✓ 데이터의 resolution에 따라 자세한 parameter를 구할 수 있음.

✓ 이와 같은 방법을 사용하는 경우, 앞서 다양한 LP 모형에서 사용되어 온 User-specific한 데이터 또는 명확하지 않은 임의의 경계조건 등이 필요하지 않음. 즉, 모형 내에서 모든 parameter들이 명확하게 결정되는 구조.

4. LP 모형 (OSEMOSYS)과 GCAM모형의 시뮬레이션 결과비교

✓ 위 데이터와 logit 모형을 이용하여, LP모형의 기술비용과 기타 parameter 차이에 의한 승자독식 현상을 개선할 수 있음.

<표 18> Logit 모형을 이용한 조명기술보급 시나리오 parameter

기술	비용	Logit Exponent	share-weight											
			1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
백열등(<i>Tech₁</i>)	9.72	-1.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
형광등(<i>Tech₂</i>)	3.33	-1.95	65.46	59.60	53.74	47.88	42.02	36.16	30.30	24.44	18.58	12.72	6.86	1.00
백열등 시장점유율			0.89	0.88	0.87	0.86	0.84	0.82	0.79	0.75	0.70	0.61	0.46	0.11
형광등 시장점유율			0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.18	0.21	0.25	0.30	0.39	0.54	0.89

✓ 위의 parameter 값으로 기술보급 실적에 따른 기술점유율과 logit 모형을 이용해 각 기술이 공급하는 에너지서비스는 다음 표와 같음.

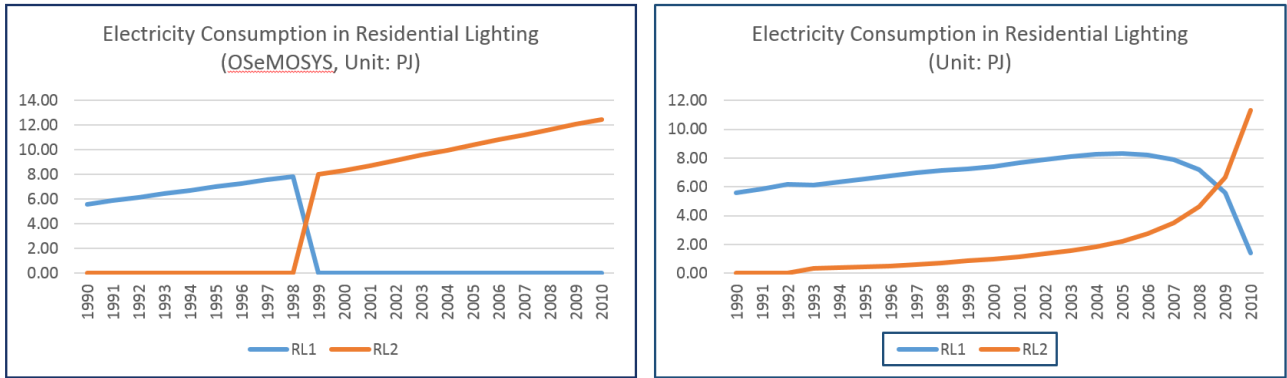
<표 19> Logit 모형을 이용한 조명기술보급 시나리오 결과

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
RL1(백열등) 비율	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.89	0.88	0.87	0.86	0.84	0.82	0.79	0.75	0.70	0.61	0.46	0.11
RL2(형광등) 비율	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.18	0.21	0.25	0.30	0.39	0.54	0.89
RL 수요	5.60	5.88	6.16	6.44	6.72	7.00	7.28	7.56	7.84	8.12	8.40	8.82	9.24	9.66	10.08	10.5	10.92	11.34	11.76	12.18	12.60
RL1의 에너지 서비스수요	5.60	5.88	6.16	6.12	6.35	6.57	6.78	6.97	7.12	7.23	7.40	7.67	7.90	8.10	8.24	8.29	8.20	7.90	7.19	5.59	1.39
RL2의 에너지 서비스수요	0.00	0.00	0.00	0.32	0.37	0.43	0.50	0.59	0.72	0.89	1.00	1.15	1.34	1.56	1.84	2.21	2.72	3.44	4.57	6.59	11.21

주: 1990~1998년 시장에서 기술의 비율, 에너지 서비스 등은 모두 임의의 값.

✓ 아래 그림의 좌측은 백열등과 형광등의 시장 점유율을 보여줌. 이 사례에서는 1999년의 기점으로 기술비용이 저렴한 형광등 도입에 의해 승자독식 현상이 나타나고 있음.

✓ 하지만 아래 그림의 우측과 같이 Logit 모형을 사용하는 경우, 시장점유율 추이를 반영해 승자독식 현상이 발생하지 않는 것으로 개선할 수 있음.



[그림 48] LP 모형의 승자독식 현상을 Logit 모형을 이용해 개선한 결과

<표 20> Logit 모형으로 개선 후 시뮬레이션 결과

	RL1 Cost	RL2 Cost	RL1 Eff	RL2 Eff	Total Disc. Cost (M\$)	전력량 (PJ)
OSeMOSYS	9.72	3.33	1	0.99	26273.8	182.86
Updated OSeMOSYS					26540.8	184.1

제5장. 연구개발비 집행실적

(단위 : 원)

비목	금액			계획서상의 당초예산	비목변경 후 예산	사용금액	잔액	비고	
	세목 및 사용용도								
직 접 비	인건비		미지급	(30,240,000)	(30,240,000)	(22,680,000)	(7,560,000)		
			지급	현금	117,792,000	117,792,000	71,300,373	46,491,627	
				현물					
	학생인건비			26,400,000	26,400,000	19,800,000	6,600,000		
	연구 장비 · 재료비	·기기·장비, 연구시설 설치·구입·임차비 등	현금	12,200,000	12,612,660	12,525,868	86,792		
			현물						
		·시약·재료구입비, 전산처리·관리비 등	현금						
			현물						
		·시작품·시험설비 제작비 등	현금						
			현물						
	연구 활동비	·국외 출장여비			4,673,000	4,673,000	0	4,673,000	
		·인쇄, 복사, 공공요금 등			1,297,000	1,297,000	7,940	1,289,060	
		·전문가활용, 회의장 사용료, 학회·세미나 참가비 등			7,302,000	6,889,340	900,000	5,989,340	
		·시험·분석·검사료, 기술정보 수집비 등							
		·세부과제관리비							
		연구 과제 추진비	·국내 출장여비, 시내교통비			4,200,000	4,200,000	1,850,500	2,349,500
	·사무용품, 연구환경유지비 등			2,250,000	2,250,000	2,207,120	42,880		
	·회의비			4,000,000	4,000,000	3,945,695	54,305		
	·해당과제와 관련된 식대(야근 및 특근 식대)			3,500,000	3,500,000	3,225,200	274,800		
	연구수당			20,932,000	20,932,000	0	20,932,000		
	위탁연구개발비								
	소 계			204,546,000	204,546,000	115,762,696	88,783,304		
간 접 비	간접비	·인력지원비 - 지원인력 인건비 - 연구개발능률성과급							
		·연구지원비 - 기관 공통지원경비 - 연구실 안전관리비 - 대학연구관련 기반시설 및 장비 운영비							
		·성과활용지원비 - 과학문화활동비 - 지식재산권 출원·등록비 - 기술창업 출연·출자금							
		소 계			20,454,000	20,454,000	20,454,000	0	
		연구개발비 총액			현금	225,000,000	225,000,000	136,216,696	88,783,304
					현물	30,240,000	30,240,000	22,680,000	7,560,000

제6장. 성과목표 달성도

성과목표 달성도

1. 성과목표 달성도(1 차년도)

연차	구분	성과목표	성과지표	목표치 (A)	가중치 (%) (B)	실적치 (C)	목표달성도 (D=C/A)	지표 점수 (D×B)
								100
1 차 년도	과학기술적 성과	Code 분석을 통한 GCAM의 Blackbow 구조 확인	변환하는 GCAM Code의 호환성, 확장성에 따른 개발성과(평가)	2	50	1	1	50
		Second Generation Model (SGM) 의 코드분석	SGM의 코드분석을 통한 통합모형 개발 방안마련	2	50	1	1	50

* "실적치 검증방법" 근거자료는 전산입력 시 증빙자료를 업로드함

2. 부가적으로 발생한 성과

성과지표	당해 연도 달성 내용	성과 근거

제7장. 기타

○ 연구수행에 따른 문제점

-월례회의 회의록 미공개 (6월 월례 회의제외) 지양

- ✓ 회의록은 각 기관의 주제발표 후 연구내용 점검과 의견을 공유하는 과정을 기록하는 것으로 회의 참석자와 공유하여 공식화하는 것이 타당함

-공식적인 논의나 협약변경 없는 연구진행 지양

- ✓ 연구단의 기존의 연구추진계획에 따르면 상향식모형개발의 1~3차년도 연구내용은 선행연구 및 기존모형을 점검하여 4차년도에 모듈개발 시작 등의 통합모형을 설계에 있었으나, 시작 후 6개월만에 LP를 기반으로 하는 주요 모듈설계가 결정됨

- ‘상·하향식 온실가스 통합 감축 시스템 개발’에 있어 국내정보만을 반영하는 ‘한국형’ 모형은 전세계적 기후변화협상에 대한 국가차원의 대응전략 수립을 위한 대안으로 부족함이 있음.

- ✓ ‘한국형 상·하향식 온실가스 통합 감축 시스템 개발’에서의 한국형은 global 모형의 틀 내에서 한국의 기술조건 등을 세분화하는 모형개발이라고 해석하는 것이 합당함.
- ✓ 본 연구의 제안내용처럼, Local모형을 토대로 얻어진 모형의 결과를 근거로 기후변화 관련 여러 이슈에 대한 선제적 대응을 기대할 수는 없음
- ✓ 국제 전문가와 일시적인 교류가 아닌 지속적인 연구논의와 협력도, 한정된 범위의 국내 모형개발을 전제로는 그 의의가 퇴색됨.

○ 개선방안

-연구단의 공식적인 회의록은 공개를 통해 연구 참여자간의 회의내용의 점검과 공유가 필요함

-중요한 연구내용 변경이나 결정사항은 충분한 협의와 절차가 동반되어야 함

-총 7년간의 연구기간에 비해 보다 빠른 연구의 진행이 필요하다면, 공론화과정을 거쳐 연구계획을 재점검할 필요가 있음

-사업제안요구서(RFP)에 한국형이라 제한하고 있는 모형개발은 한국만을 다루는 모형개발이라기보다는 한국의 특성을 반영한 Global 모형을 의미한다고 해석하는 것이 합당함.

참고문헌

- Allen A. Fawcett, Ronald D. Sands, The Second Generation Model: Model Description and Theory, PNNL-15432, October 2005
- Antoinette L. Brenkert, Ronald D. Sands, Son H. Kim, Hugh M. Pitcher, Appendices A -D for Model Documentation for the SGM, PNNL-14256, October 2004
- Antoinette L. Brenkert, Ronald D. Sands, Son H. Kim, Hugh M. Pitcher, Model Documentation: The Second Generation Model, PNNL-14256, October 2004
- Calvin, K., 2012, Introduction to the Global Change Assessment Model (GCAM), GCAM Community Meeting, 2012
- Edmonds, J.A., H.M. Pitcher, D. Barns, R. Baron, and M.A. Wise. "Modelling future greenhouse gas emission: The second generation model description." In Modelling global change, edited by K. Lawrence and F. Lo, 295-362. Tokyo, New York, Paris: United Nations University Press, 1991
- Edmonds, Jae, John M.Reilly, Global Energy: Assessing the Future, Oxford University Press
- <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.globalchange.umd.edu/models/sgm/>
- Fawcett, A., and R. Sands, Non-CO₂ Greenhouse Gases in the Second Generation Model, submitted to The Energy Journal, September 2004
- Hugh M. Pitcher, Ronald D. Sands, Allen A. Fawcett, The Second Generation Model: Future Directions for Model Development, PNNL-15437, October 2005
- Ian Sue Wing, Kathryn Daenzer, Karen Fisher-Vanden, Katherine Calvin, Phoenix Model Documentation, August 2011
- Jaccard, M., J. Nyboer, C. Bataille and B. Sadownik. 2003. "Modeling the cost of climate policy: distinguishing between alternative cost definitions and long-run cost dynamics." The Energy Journal 24(1): 49-73.
- Jae Edmonds, Ron Sands, Hugh Pitcher, Antoinette Brenkert, The Second Generation Model, Presentation Material for US Environmental Protection Agency Science Advisory Board SAB-SGM Advisory Panel, 04 February 2005
- Kim, S.H., 1995, Stabilization of carbon emissions: a viable option for the Republic of South Korea. MIT, Cambridge, MA.
- Loulou, Richard, Gary Goldstein, Ken Noble, Documentation for the MARKAL Family of Models, October 2004
- McFadden, Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior, in Zarambka ed., Frontiers in Econometrics, NY, Academic Press, 1973
- Nyboer, J. 1997. Simulating evolution of technology: a case study of strategies to control greenhouse gas emissions in Canada. PhD Thesis School of Resource and Environmental Management. Burnaby, Simon Fraser University.
- Ronald D. Sands, Sebastian Miller, Man-Keun Kim, The Second Generation Model: Comparison of SGM and GTAP Approaches to Data Development, Prepared for the United States Environmental Protection Agency, PNNL-15467, October 2005
- Ronald D. Sands, Tae Yong Jung, Sunghan Jo, Second Generation Model for Korea, PNNL-SA-33775, October 2000
- http://www.etsap.org/MrklDoc-III_SAGE.pdf
- 정현식, 이성욱, SGM_Korea 모형을 이용한 탄소세의 이산화탄소 배출저감 효과분석, 자원환경경제연구, 제 16권, 제1호, pp.129-169, 2007