



지자체 온실가스 배출량 예측모델 연구 - 전라북도를 중심으로 -



Jthink 2010-BR-04

지자체 온실가스 배출량 예측모델 연구 - 전라북도를 중심으로 -

2010

국립중앙도서관 출판시도서목록(CIP)

지자체 온실가스 배출량 예측모델 연구 : 전라북도를 중심으로 / 장남정, 김성민. -- 전주 : 전북발전연구원, 2010

p. : cm. -- (Jthink ; 2010-BR-04)

참고문헌 수록

ISBN 978-89-92471-33-6 93530 : 비매품

온실 가스 배출[溫室--排出]

539.92-KDC5

628.53-DDC21

CIP2011000404

연구진

연구책임 장남정 • 전북발전연구원 연구위원
공동연구 김성민 • 전북발전연구원 부연구위원

연구자문 유승직 • 온실가스 종합정보센터
 김도희 • 인천발전연구원
 이승훈 • 대전발전연구원

연구관리 코드 : 10GI10

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
전라북도의 정책과는 다를 수도 있습니다.

연구 요약

- 저탄소 녹색성장의 패러다임을 천명한 정부가 2020년 배출전망치 (BAU; Business As Usual)대비 30%의 온실가스 감축목표를 설정함에 따라 광역 지자체 차원에서도 적극적인 온실가스 감축대책 수립이 요구됨
- 지자체가 감축목표를 설정하고 감축정책을 수립하는 과정은 크게 배출량 산정, BAU 예측, 감축잠재량 산정, 감축 옵션에 따른 경제적 파급효과 분석, 최적의 감축정책 수립의 단계로 구분할 수 있음
- 본 연구에서는 온실가스 감축목표 설정 및 감축대책 수립의 근간이 되는 온실가스 배출전망치(BAU)를 산정하기 위한 광역지자체 차원의 예측방법을 모색하였음
- 배출전망치 산정을 위한 다양한 방법 중 다음의 8가지 방법을 적용하여 2020년 전라북도 BAU 범위를 도출하고자 하였음
 - ① 1인당 온실가스 총배출량 활용 (원단위)
 - ② 1인당 부문별 온실가스 배출량 활용 (원단위)
 - ③ 국가 총배출량 대비 지자체 온실가스 배출비중 활용 (원단위)
 - ④ 온실가스 배출량과 GRDP, 총에너지 사용량과의 관계식 도출 (다중회귀분석)
 - ⑤ 시계열 분석(ARMA)을 통한 에너지원별 배출량 예측 (부문별 예측)
 - ⑥ 국가에너지 기본계획에 따른 에너지원별 배출량 예측 (부문별 예측)
 - ⑦ 에너지 부문 배출량 요인분석법 (부문별 예측)
 - ⑧ 국립환경과학원 가이드라인 적용 (지자체 가이드라인)
- 새만금 사업은 현재의 지속적인 추이에 포함시키기에는 무리가 있으므로, 신규지역으로 다음의 2가지 방법으로 BAU를 추가적으로 예측하였음
 - ① 유입인구 원단위 적용
 - ② 토지이용특성 원단위 적용
- 상기 방법론에 따라 2020년 전라북도 BAU를 산정한 결과 평균 29,298,084 tCO₂e로 예측되었으며, 2005~2020년 연평균 증가율은 2.90%로 2005년 대비 2020년 53.53%가 증가할 것으로 나타남

목 차

제 1 장 연구의 개요	3
1. 연구의 필요성	3
2. 연구의 목적	3
3. 연구의 내용	3
4. 연구방법	4
5. 연구추진 전략	4
제 2 장 온실가스 배출량 예측방법-문헌조사	7
제 1 절 전지구적 장기 배출량 예측(IPCC)	7
제 2 절 지역적 분석모형을 활용한 방법	9
1. 부속서 I 국가들의 국가보고서 배출량 예측방법	9
2. 에너지 분석모형	13
3. 회귀분석모형	17
4. 통합평가모형(IAMs)	18
제 3 절 국내 선행연구	19
1. MARKAL	19
2. CGE모형	21
3. LEAP모형	22
4. 계량경제 시뮬레이션 모델	23
5. 다중회귀분석	24
6. AIM모델	25
7. 국가 감축목표 설정을 위한 온실가스 배출전망치(BAU) 산정방법	26
8. 선행연구의 시사점	28

제 3 장	지자체 온실가스 배출량 추정방법	31
제 1 절	배출량 영향인자	31
1.	온실가스 배출량 예측 개요	31
2.	온실가스 배출량 영향인자	33
제 2 절	검토방법론	35
1.	원단위 활용방법	35
2.	다중회귀분석	41
3.	부문별 주요지표 예측에 따른 분석	42
4.	지자체 기후변화 대책 가이드라인(2010.7 국립환경과학원)	45
제 3 절	검토방법론에 따른 온실가스 배출량 예측결과	49
1.	원단위를 활용한 예측 결과	49
2.	다중회귀분석 예측 결과	53
3.	부문별 예측 결과	55
4.	국립환경과학원 가이드라인에 따른 예측 결과	67
5.	배출량 산정결과 종합	73
제 4 장	새만금 지역 온실가스 배출량 추정	77
1.	개요	77
2.	예측방법 및 결과	78
제 5 장	결론 및 연구 활용방안	85
1.	결 론	85
2.	연구결과 활용방안	87
참고문헌		91

표 목 차

<표 2.1.1-1> SRES 시나리오 특성	8
<표 2.2.1-1> 부속서I국가들의 온실가스 배출전망 방법현황	10
<표 2.3.4-1> GDP, 에너지수요 및 CO ₂ 배출전망	23
<표 2.3.7-1> BAU산정에 적용한 유가, 인구, 경제성장을 전망	26
<표 2.3.7-2> 국가 감축목표 설정을 위한 BAU 산정결과	26
<표 3.1.1-1> 전라북도 온실가스 배출량 산정결과	32
<표 3.1.2-1> 온실가스 배출량 주요활동도 자료 (IPCC 기준)	33
<표 3.1.2-2> 에너지 부문 온실가스 배출 영향요인 (국립환경과학원, 2010)	34
<표 3.2.1-1> 전라북도 1인당 온실가스 배출량 변화	36
<표 3.2.1-2> 전라북도 부문별 1인당 온실가스 배출량 변화	37
<표 3.2.1-3> 전라북도 면적당 온실가스 배출량 변화	38
<표 3.2.1-4> 전라북도 토지용도별 온실가스 배출량 원단위(2006년 기준)	39
<표 3.2.1-5> 국가 총배출량 대비 전라북도 온실가스 배출비중	40
<표 3.2.3-1> 전라북도 에너지집약도 및 탄소집약도	43
<표 3.3.1-1> 1인당 온실가스 원단위 추정에 따른 온실가스 총배출량 예측	50
<표 3.3.1-2> 1인당 부문별 온실가스 원단위 추정에 따른 온실가스 총배출량 예측	50
<표 3.3.1-3> 국가 온실가스 비중에 따른 전라북도 온실가스 총배출량 예측	52
<표 3.3.2-1> 다중 회귀분석에 따른 전라북도 온실가스 총배출량 예측	54
<표 3.3.3-1> 최종에너지 원별 수요 전망	61
<표 3.3.3-2> 산업공정, 농업, 폐기물 부문 온실가스 배출량 예측결과	66
<표 3.3.4-1> NIER 가이드라인 산업부문 BAU 산정결과	67
<표 3.3.4-2> NIER 가이드라인 가정부문 BAU 산정결과	68
<표 3.3.4-3> NIER 가이드라인 상업공공부문 BAU 산정결과	69
<표 3.3.4-4> NIER 가이드라인 수송부문 BAU 산정결과	70
<표 3.3.5-1> 전라북도 2020년 BAU 온실가스 배출량 산정결과 종합	74
<표 4.1.2-1> 용도별 용지배분 및 소관행정기관	78
<표 4.1.2-2> 새만금 내부토지 용지별 유입인구	79
<표 4.1.2-3> 인구유입 시나리오별 새만금 지역 2020년 온실가스 배출전망치 추정	80
<표 4.1.2-4> 개발배분 면적에 따른 새만금 지역 2020년 온실가스 배출전망치 추정	81
<표 5.1.1-1> 온실가스 배출량 산정결과 종합	86

그림 목 차

<그림 2.1.1-1> SRES 시나리오에 따른 배출량 예측	8
<그림 2.2.1-1> 온실가스 배출량 실적 및 예측치 제시방법	9
<그림 2.2.4-1> IAMs의 구조	18
<그림 2.3.3-1> ROK2006-KEEI모형의 기본 구조	23
<그림 2.3.4-1> 계량경제 시뮬레이션 모형의 환경모듈	24
<그림 2.3.6-1> AIM 모형의 구조	25
<그림 2.3.7-1> 국가 2020년 중기 감축목표설정 방법론	27
<그림 3.2.4-1> 에너지 부문 배출량 전망치(BAU) 산정 방법	48
<그림 3.3.1-1> 2005년, 2020년 배출전망치 온실가스 배출량	51
<그림 3.3.1-2> 2005년, 2020년 배출전망치 부문별 온실가스 배출비중	51
<그림 3.3.3-1> 시계열분석(ARMA)을 통한 전라북도 월간 석유소비 예측량	56
<그림 3.3.3-2> 시계열분석(ARMA)을 통한 전라북도 연간 석유소비 예측량	56
<그림 3.3.3-3> 시계열분석(ARMA)을 통한 전라북도 월간 전력소비 예측량	57
<그림 3.3.3-4> 시계열분석(ARMA)을 통한 전라북도 연간 전력소비 예측량	57
<그림 3.3.3-5> 시계열분석(ARMA)을 통한 전라북도 월간 도시가스 소비 예측량	58
<그림 3.3.3-6> 시계열분석(ARMA)을 통한 전라북도 연간 도시가스 소비 예측량	58
<그림 3.3.3-7> 에너지 부문 시계열 분석을 통한 전라북도 배출전망치(BAU) 예측	59
<그림 3.3.3-8> 2005년, 2020년 배출전망치 부문별 온실가스 배출비중	60
<그림 3.3.3-9> 국가에너지 기본계획 전망에 따른 전라북도 에너지 부문 온실가스 배출량	62
<그림 3.3.3-10> 국가에너지 기본계획 전망에 따른 전라북도 에너지 부문 온실가스 배출비중	62
<그림 3.3.3-11> 국가에너지 기본계획 전망에 따른 전라북도 배출전망치(BAU) 예측	63
<그림 3.3.3-12> 2005년, 2020년 배출전망치 부문별 온실가스 배출비중	63
<그림 3.3.3-13> 에너지 부문 배출량요인 분해법에 따른 전라북도 배출전망치(BAU) 예측	65
<그림 3.3.3-14> 2005년, 2020년 배출전망치 부문별 온실가스 배출비중	65
<그림 3.3.4-1> NIER가이드라인(에너지 부문)에 따른 전라북도 배출전망치(BAU) 예측	71
<그림 3.3.4-2> 2005년, 2020년 배출전망치 부문별 온실가스 배출비중	72
<그림 3.3.5-1> 전라북도 2020년 BAU 온실가스 배출량 산정결과 종합	73
<그림 4.1.1-1> 새만금 공간구조 배치안	77



제 1 장

연구의 개요

1. 연구의 필요성
2. 연구의 목적
3. 연구의 내용
4. 연구방법
5. 연구추진 전략

제 1 장 연구의 개요

1. 연구의 필요성

- 정부는 2009년 국가 온실가스 감축목표를 설정하였고 감축방안에 대한 구체적인 대책수립을 계획함에 따라 지자체에서도 온실가스 감축목표를 설정하고 목표에 따른 감축대책 수립이 요구됨
- 온실가스 감축목표 설정 및 감축대책 수립에서 온실가스 배출량 추정은 매우 중요한 과정이나 지자체 차원의 예측방법이 없어 정책수립에 어려움이 있음
- IPCC는 시나리오 예측에 인구성장, 경제성장, 기술혁신, 에너지소비 패턴변화, 토지이용 패턴변화를 주요인자로 반영하고 있으나, 지자체에서 다양한 변화를 예측하는데 한계가 있음
- 따라서, 지자체 온실가스 목표설정에 활용할 수 있는 지역의 특수성을 반영한 지자체 차원의 온실가스 배출량 예측 방법론이 필요함

2. 연구의 목적

- 기후변화협약에 대응하기 위한 지자체 온실가스 감축목표 및 기후변화 정책 수립에 활용가능한 광역지자체 차원의 다양한 온실가스 배출량 추정방법을 모색하여 전라북도를 대상으로 배출전망치(BAU) 범위를 분석함

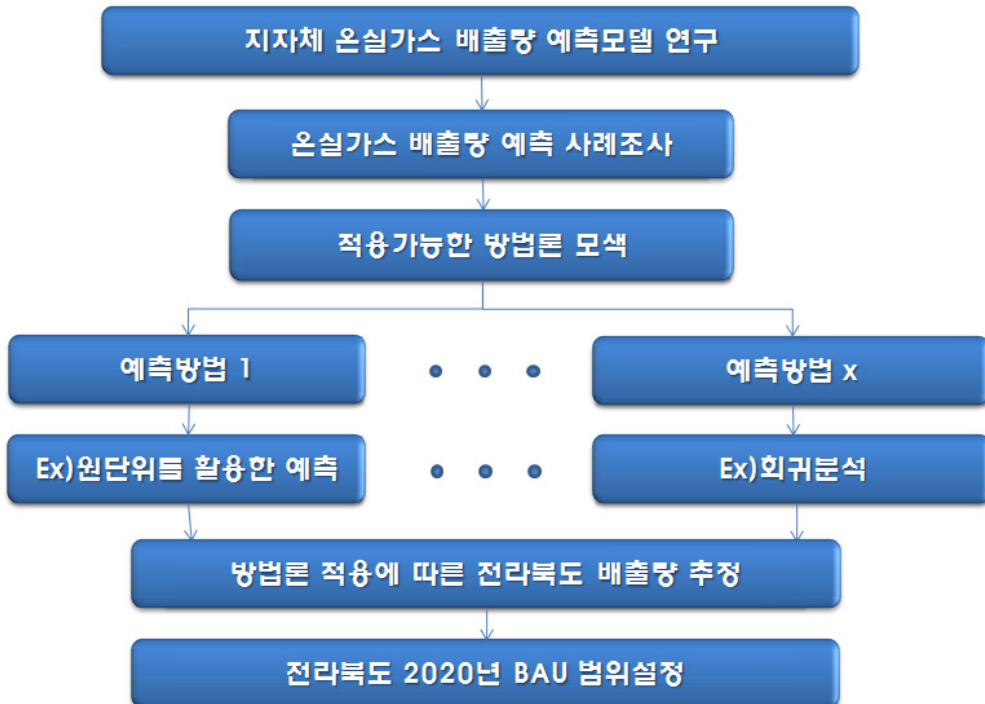
3. 연구의 내용

- 온실가스 배출량 예측 선행연구 조사
- 온실가스 배출량 예측 방법론 검토
- 주요 영향지표와 온실가스 배출량의 상관관계 분석
- 다양한 방법론 적용에 따른 전라북도 2020년 BAU 예측 및 범위조사
- 신규지역(새만금)에 대한 온실가스 배출량 예측

4. 연구방법

- 선행연구조사 : 문헌조사, 국내·외 모델조사, 전문가 자문
- 배출량 예측 : 통계자료분석 및 활용가능한 활동자료를 중심으로 다양한 방법론 적용 ⇒ 배출량 범위설정

5. 연구추진 전략



제 2 장



온실가스 배출량 예측방법-문헌조사

- 제 1 절 전지구적 장기 배출량 예측(IPCC)
- 제 2 절 지역적 분석모형을 활용한 방법
- 제 3 절 국내 선행연구

제 2 장 온실가스 배출량 예측방법-문헌조사

제 1 절 전지구적 장기 배출량 예측 (IPCC)

지금의 기후변화는 인위적인 인간활동에 의해 유발된 것으로 알려져 있다. 인구, 경제성장, 기술발전 수준 등의 사회경제적 변화는 기후변화에 영향을 미치며 기후모델을 통해 이러한 영향인자를 입력하여 미래 기후변화를 예측할 수 있다.

IPCC는 2000년에 SRES (Special Report on Emission Scenarios)를 통해 배출 시나리오에 따라 기후변화를 예측하였다. SRES는 인구증가, 경제성장, 기술혁신, 에너지 소비 패턴의 변화, 토지이용 패턴의 변화 5가지 항목을 온실가스 배출량 증가의 주요 원인으로 가정하고 경제, 환경, 국제성, 지역성에 따라 크게 4가지의 사회경제적 시나리오를 제시하였는데 각각의 시나리오는 세부적인 여러개의 시나리오(2001년 기준 40개)가 제시되었다. SRES 시나리오의 특성은 <표2.1.1-1>과 같으며, 현재의 기후정책 외의 추가 기후정책을 포함하지 않는다. 기간은 1990년부터 2100년까지의 변화를 보여 준다. SRES에서 제시한 네 개의 대표 시나리오를 전제로 온실가스 배출량을 예측한 결과 B1 시나리오가 가장 낮은 농도를 보였으며, 다원화 사회를 지향했던 A2 시나리오가 가장 높은 농도를 보였다. 지역에 중점을 둔 B2 시나리오의 경우는 예상과는 달리 2100년의 이산화탄소 배출량이 경제발전에 중점을 둔 A1 시나리오와 거의 같게 예측되었다. 각 시나리오군은 일정범위는 가지고 있으며 대표(마커) 시나리오를 실선으로 표현하고 최적값으로 활용하고 있다. IPCC는 SRES 시나리오를 기반으로 전지구 기후모델(Global Climate Model; GCM)을 이용하여 지구 기후시스템의 변화를 예측하였다.

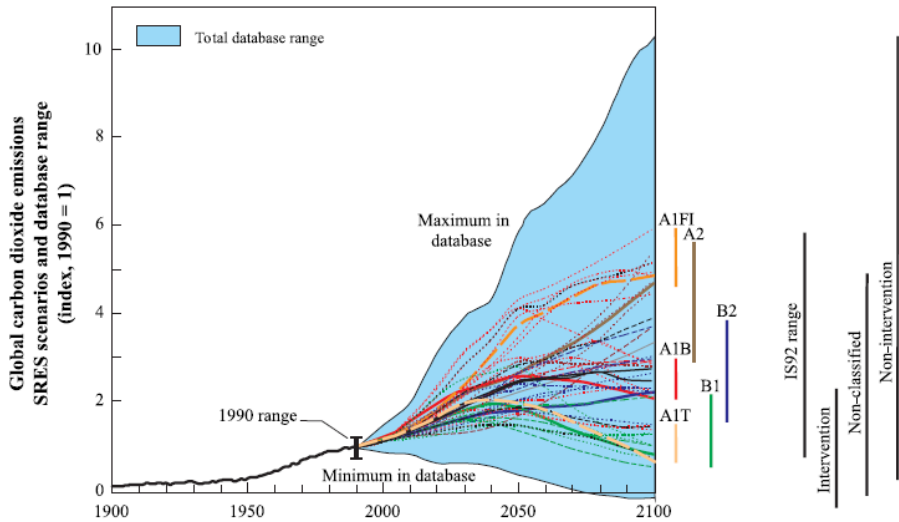
이러한 전지구적 배출량 예측 모델은 국가차원의 지역 연구에 충분한 정보를 제공하기 어려우므로 특정지역(국가 또는 지자체)을 대상으로 적용하기는 한계가 따른다. 따라서, 기후변화협약에 대응하기 위해 교토의정서의 국가들은 다양한 방법의 배출량 예측방법을 모색하였다.

〈표 2.1.1-1〉 SRES 시나리오 특성

시나리오	특 성
A 1 (고성장사회)	<ul style="list-style-type: none"> • 급속도의 경제성장과 인구증가가 2050년까지 지속되다 그 이후 감소하는 스토리라인 • 새롭고 효율적인 기술은 계속 도입된다고 가정 • 시장의 이점을 활용하여 전세계가 눈부신 경제성장을 이루고 지역적인 불평등 및 1인당 소득 격차도 점차 좁혀짐 • 에너지시스템의 기술적 발전방향에 따라 화석연료의 집중적·효율적 사용을 하게 되는 그룹(A1F), 비화석연료 에너지를 이용하는 그룹(A1T), 모든 에너지원의 균형을 향해가는 그룹(A1B)이 있음
A 2 (다원화사회)	<ul style="list-style-type: none"> • 지역적인 자립과 지역의 정체성을 보전하자는 주제를 가진 스토리라인 • 세계인구는 계속적으로 증가하게 되고 지역적인 격차도 좁혀지지 않음 • 경제 개발은 기본적으로 지역에 기반을 두며 1인당 경제성장 및 기술혁신도 지역에 따라 편차가 크며 다른 스토리라인에 비해 느린 편임
B 1 (지속발전형)	<ul style="list-style-type: none"> • 환경이나 사회에 대한 관심이 높음에 따라 경제구조가 정보기반경제로 변화하게 되고 자원 이용의 효율이 높아지며 청정기술이 도입되는 스토리라인 • 경제, 사회, 환경의 지속가능성과 평등 분배를 중요시하지만 추가적인 기후변화 정책은 수립되지 않음
B 2 (지역공존형)	<ul style="list-style-type: none"> • 경제, 사회 및 환경의 지속가능발전을 지역의 문제와 공평성을 강조하여 모색하려 하는 스토리라인 • A2 스토리라인에 비하여 낮은 인구성장률을 가정하며 경제성장은 중간 정도 수준이고 A1, B1 스토리라인에 비하여 보다 다양하고 점진적인 기술의 변화를 가정 • 이 스토리라인은 환경보호와 사회적 분배에 중점을 두지만 지역수준에서의 해결에 초점이 있다는 점이 중요

A : 경제지향적, B : 환경지향적, 1 : 전지구적, 2 : 지역적

자료 : 한화진 외, 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 III (부록), 한국환경정책평가 연구원 (2007)



자료: IPCC, IPCC Special Report on Emissions Scenarios, 2000

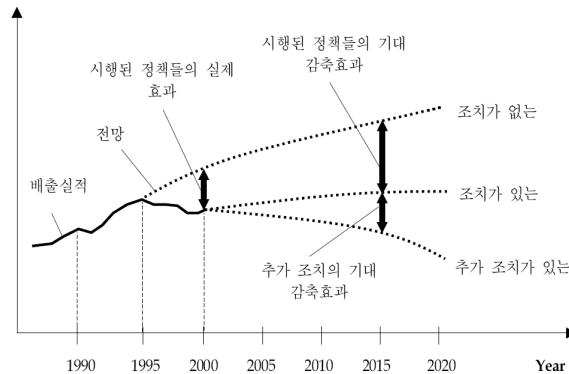
〈그림 2.1.1-1〉 SRES 시나리오에 따른 배출량 예측

제 2 절 지역적 분석모형을 활용한 방법

1. 부속서 I 국가들의 국가보고서 배출량 예측방법

국가보고서 작성을 위한 기반구축연구(임재규, 2006)에서 소개한 기후변화협약상의 부속서 I 국가의 예측치 제시방법은 다음과 같다.

- without measure (조치가 없는) : baseline 또는 reference로 정책 및 조치들이 시행되지 않는 경우의 예측
- with measure (조치가 있는) : 기 도입되고 채택된 정책 및 조치들을 반영한 예측 (국가보고서 제시기준)
- with additional measure (추가 조치가 있는) : 정책에 부가적으로 계획되어 있는 정책까지 반영한 예측



〈그림 2.2.1-1〉 온실가스 배출량 실적 및 예측치 제시방법

자료: 에너지경제연구원, 기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구, 2006

※ 본 자료는 전라북도 온실가스 배출량 예측결과와 무관함

〈그림2.2.1-1〉에는 각 온실가스 배출량 실적 및 예측치 제시방법을 보여준다. 1990~2000년까지 실선은 배출실적을 보여주고 있으며, 1995~2020년까지 ‘조치가 없는’ 예측을 나타낸다. 다음으로 2000년(현재) 기 시행된 정책들의 실제효과 및 2000~2020년 시행된 정책들의 기대 감축효과를 반영하여 ‘조치가 있는’ 예측을 할 수 있다. 끝으로 2000~2020년 추가 조치의 기대 감축효과를 반영하여 ‘추가조치가 있는’ 예측

이 가능하다.

그러나, 임재규(2006)에 따르면 부속서 I 국가들의 경우 대부분 “With Measures”에 의한 전망치를 보고하지 않고 “낙관적” 또는 “비관적” 시나리오, “고성장” 또는 “저성장” 시나리오에 대해 전망치를 보고한다고 한다. 또한, 국가보고서 작성 가이드라인에는 기후변화 정책 및 조치들의 거시 경제적 비용과 영향에 대한 전망을 요구하지 않지만, 몇몇 당사국들은 보고서를 통해 GDP, 고용 및 기타 거시경제변수 등에 대한 비용과 영향을 제시하고 있다. 기후변화 정책은 거시경제효과가 중요한 정책적 판단 기준이기 때문이다.

부속서 I 국가들이 제3차 국가보고서에서 제시한 방법론을 정리하면 <표2.2.1-1>과 같다. 모형의 형태에 따라 엔지니어링 상향식 모형, 거시경제 하향식 모형, 통합평가모형 등이 있으며, 모형의 해 도출방법에 따라 accounting, simulation, optimization 모형 등으로 구분할 수 있다. (임재규, 2006)

부문별로 살펴보면 일반적으로 에너지 부문은 분석모형을 활용하여 배출량을 추정하였으며, 산업공정, 농업, 폐기물 부문의 경우 배출전망과 배출계수를 활용하였다. 경제적인 분석을 포함할 경우 각 국가의 경제가 서로 연계되어 있으므로, 단일국가 차원의 분석이 아니라 일부지역 또는 전세계 차원의 모형을 모색할 수 있다.

<표 2.2.1-1> 부속세국가들의 온실가스 배출전망 방법현황

국 가	주 요 내 용
Australia	<ul style="list-style-type: none"> - 하향식 및 상향식 경제모형 연계활용 - 하향식 : 연산일반균형모형인 GEM, MMRF-Green, G-Cube 활용 - 상향식 : 여러 상향식 모형이 특정 부문에 대한 전문가 분석을 위해 활용, 분석결과를 계량경제 모형의 투입자료로 활용
Austria	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지부문 전망을 위해 에너지 모형인 DEDALLUS 활용 (에너지 수요분석을 위한 계량경제모형) - 다부문 분석을 위해 거시경제 모형인 MULTIMAC 활용 - 산업공정, 농업, 폐기물부문의 경우 탄소순환 모형인 ACBM (Austrian Carbon Balance Model) 활용
Belarus	<ul style="list-style-type: none"> - 배출계수 및 연료소비 전망 등을 활용한 이산화탄소 배출량 단수 계산 - 활동변수 및 배출계수에 대한 전망치를 기초로 메탄 및 이산화질소 배출전망 단수계산 (Excel 활용)
Bulgaria	<ul style="list-style-type: none"> - 미국이 개발한 ENPEP 모형활용 (MACRO, DEMAND, BALANCE, WASP, IMPACSTS 모듈활용)

국 가	주 요 내 용
Canada	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지 소비, 공급 및 배출량 전망을 위해 계량경제 및 관련 기술 데이터 활용 - 경제활동, 고용, 무역 등 거시경제변수 전망을 위해 Infometrica 모형 사용 - 에너지 연료 수요 전망을 위해 계량경제 하향식 모형인 연료대체 전망모형 (IFSD)사용 - 각 지역별/부문별 에너지소비 전망에 상향식 end-use process모형활용 - 전략공급 전망에 MARKAL 및 Canadian Integrated Modelling System (CIMS) 등의 최적화모형 활용
Croatia	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지 수급 추세 전망 ENPEP의 BALANCE 모듈, 전력 및 가스 부문에 ENPEP의 투입자료 생성, 에너지 수요전망에 MEDEE 모형 활용
Czech Republic	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지연소에 의한 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 배출량 전망에 MARKAL 활용 - 산업공정 및 농업부문의 배출량 전망에 EXCEL을 이용한 계산 - MARKAL의 경제모듈을 이용한 거시경제 전망 - 최종에너지 수요전망에는 MEDEE모형 활용
Denmark	<ul style="list-style-type: none"> - 산업 및 공공부문 에너지 수요전망에 ADAMEMMA 활용 - 가정부문 수요전망에 상향식 접근 - 전력 및 열 생산 전망에 덴마크 에너지부 자체모형 (RAMSES 활용)
Estonia	<ul style="list-style-type: none"> - MARKAL을 이용한 전문가 분석 실시
Finland	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지부문의 경우 EFOM사용 - 감축효과 평가를 위해 연산일반균형모형인 KESSU 모형과 ELTA모형 활용
France	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지 수요전망에 MEDEE모형활용, 거시경제모형인 DIVA의 결과를 MEDEE 모형에 활용 - 비에너지부문 배출량은 Excel을 활용하여 계산
Germany	<ul style="list-style-type: none"> - 이산화탄소 감축옵션에 대한 정책 및 기술적 검토 수행 - 최적화모형을 활용한 기술적 옵션분석 실시
Greece	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지 공급 및 수요에 대한 전망에 ENPEP (BALANCE 모듈) 활용 - 비에너지부문의 경우 Spread-Sheet 모형들이 사용됨 (활동변수 전망치는 통계, 배출계수 IPCC/CORINAIR방법론 활용)
Hungary	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지부문에 대하여 ENPEP(BALANCE 및 IMPACTS 모듈) 활용 - 농업부문의 메탄 배출량 전망을 위해 활동변수 및 IPCC 배출계수 활용
Iceland	<ul style="list-style-type: none"> - 각종 가정과 전문가 판단에 근거하여 Excel을 활용한 전망수행
Italy	<ul style="list-style-type: none"> - CEPRI모형을 통해 도출 (System Dynamic 접근에 기초) - 전망 시나리오에 대한 비교는 MARKAL 활용
Japan	<ul style="list-style-type: none"> - 일반균형모형인 KEO 모형을 통해 에너지부문의 이산화탄소 배출전망 도출 - 통합 KE모형의 검증에 Regression Analysis 모형사용 - 통합 KEO 모형을 통해 GDP, 에너지소비, 정책수단의 결과 등을 분석 - 상향식 접근 및 전문가 판단을 통해 비에너지부문의 이산화탄소와 메탄 및 아산화질소 배출전망 도출

국 가	주 요 내 용
Latvia	- 일반균형모형을 통한 경제성장, 물가 등에 대한 정보도출 후 이를 MARKAL 모형에 활용 - LUCF에 대한 전망은 Latvia 임업연구소에서 개발한 SILAVA 모형활용
Liechtenstein	- 전문가 판단에 의한 전망도출 - 수송부문에 대해서는 수송모형 사용
Netherlands	- 에너지 공급부문에 대해 SELPE 모형활용 - RM+ 및 RVM 모형을 통해 부문별/가스별 배출량 산정 - 비에너지 부문에 대해 Spreadsheet 모형 활용
New Zealand	- 에너지 부문에 SADEM모형과 5개의 부문별 모형 활용 (산업부문의 정량적 수요모듈과 기타산업, 상업, 수송, 가정부문에 대한 계량경제모형을 포함) - 비에너지부문의 경우 전문가 평가에 의존
Norway	- 거시경제모형인 MSG 모형 활용
Poland	- 일반균형 거시모형(COE-PL), 에너지수요 시뮬레이션 모형(PROSK-E) 등 활용
Russian Federation	- 에너지 부문 이산화탄소 배출전망은 GDP증가율, 에너지집약도 개선, 에너지공급의 배출집약도 등과 연계된 다수의 함수를 이용하여 도출
Slovakia	- ENPEP의 BALANCE 및 IMPACTS 모듈을 사용하여 배출전망치 도출 - COPERT 프로그램으로 수송부문 배출전망치 도출 - 전문가 평가 및 각종 가정치를 활용하여 기타 전망치 도출
Slovenia	- MESAP 모형활용
Spain	- 3단계에 걸쳐 배출 전망치 도출 - MED-PRO 모형으로 최종에너지 소비량 도출 - 전환부문의 에너지 수요에 대해서는 여러 가지 시나리오 적용
United States	- NEMS 활용 : 부문 및 연료 간 가격경쟁과 함께 에너지 수요 및 공급균형 도출 - 연료공급, 발전 등에 대한 모듈에서 계량경제, 엔지니어링 및 기술정보 포함
European Community	- 각 회원국의 배출량 전망치 합산 - 에너지부문 이산화탄소 배출량 전망을 위해 PRIMES 모형활용 - 기타 배출량에 대한 전망은 활동변수와 배출계수를 활용하여 산출

자료 : 임재규, 기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구(제3차년도), 에너지경제연구원, 2006

2. 에너지 분석모형

온실가스 배출량의 가장 큰 비중을 차지하는 에너지 부문의 경우 에너지 제품의 다양성, 에너지 전환기술, 소비목적이 매우 복잡한 구조를 가지고 있으며, 장기적인 평가를 필요로 하므로 모형을 활용한 예측이 필요하다. 모형의 개발과 사용목적은 해결하고자 하는 문제를 정형화하는데 있다. 일반적으로 에너지 분석모형은 배출량 분석뿐 아니라 특정 기술이나 정책이 온실가스 배출에 미치는 영향을 분석하여 감축잠재량을 산정하는데 활용된다.

유럽국가들 중심으로 에너지 계획을 평가하기 위해 공급모형으로 MARKAL (MARKet ALlocation of Technical Model), EFOM(Energy Flow Optimization Model), MESSAGE (Model for Energy Supply System Alternative and their General Environmental Impact)등이 활용되고 있으며, 특정목적에 위한 수요모형으로 MEDEE (Modele d'Evaluation de la Demande En Energie) 등이 활용되고 있다. 이들 모형은 모형에서 설정한 지역, 분석시간, 기술 등에서 최소비용의 에너지, 기술의 공급전략 구축을 목표로 한다. 모형의 분류기준별 특성은 다음과 같다 (강희정 외, 산업자원부, 2006). 이러한 모형의 분류는 에너지 분석모형이 중심이지만, 이를 기후변화 모형으로 확대적용이 가능하다.

가. 일반적 목적과 특수 목적에 의한 분류

- 1) 미래를 예측하기 위한 목적 : 과거 데이터에서 발견된 추세를 탐색하는 것에 바탕을 두며 비교적 단기간의 예측에 사용된다.
- 2) 미래를 탐색하기 위한 목적(시나리오 분석) : 미래를 분석하는 것은 시나리오 분석에 의해 이루어지며, BAU 혹은 기준시나리오와 설정 시나리오를 비교한다. 일반적으로 시나리오는 경제활동, 물리적 에너지자원의 필요량, 기술진보, 인구성장 등에 대해 설정된다.
- 3) 미래로부터 현재를 재구성하기 위한 목적(Backcasting) : 재구성모형의 목적은 관련 전문가와의 인터뷰 등을 통해 미래에서 요구되는 사항이 무엇인지, 무엇이 변화되어야 할지 파악하는 것이다.

4) 에너지 모형의 목적은 다음과 같이 분류된다.

- 에너지 수요모형 : 경제전체 혹은 특정 산업에 주안점을 두며, 수요는 인구, 소득, 에너지가격 등의 변화에 의한 함수로 표현된다.
- 에너지 공급모형 : 에너지 시스템의 기술적 측면에 주로 초점을 맞추고 수요를 공급이 맞출 수 있는가에 관심을 갖는다.
- 영향도 평가모형 : 특정 시스템의 설정이나 법령의 제정에 의한 영향력을 분석하는데 이용된다. 영향의 범주에는 재무, 경제, 고용수준, 건강, 환경적 상황의 변화 등이 포함된다.
- 평가모형 : 비교평가가 되어야할 여러 모형들이 있을 때 사용된다.

나. 모형구조에 의한 분류 : 내부적 가정과 외부적 가정

1) 내생화(endogenization)의 정도: 내생화는 외생(exogenous) 매개변수의 수를 최소화하기 위해 모형 방정식에 모든 매개변수를 포함시키는 것을 의미한다.

- 경제의 비에너지부문에 대한 묘사 정도 : 투자, 무역, 비에너지 재화와 용역의 소비, 소득 분포 등의 비에너지 부문에 대한 모형의 서술이 상세할수록 에너지정책이 전체경제에 미치는 영향을 분석하기가 용이해진다.
- 에너지 최종사용자에 대한 묘사 정도 : 에너지 최종사용자에 대한 모형이 상세할수록 에너지 효율의 기술적 잠재성을 분석하기에 적합하다.
- 에너지 공급기술에 대한 묘사 정도 : 기술에 대한 상세한 서술이 가능할수록 연료대체와 새로운 에너지공급 기술에 대한 기술적 잠재성이 효과적으로 분석될 수 있다.

2) 매개변수 값이 가정되지 않은 경우, 외부적 가정이 필요하다.

- 인구성장률 : 다른 조건이 일정할 때, 인구 성장은 에너지수요를 증가시킨다.
- 경제성장 : 경제성장은 에너지를 필요로 하는 활동을 증가시키고, 에너지를 사용하는 장비의 경제적 수명을 단축하기도 한다.
- 에너지 수요 : 에너지수요는 경제의 구조적 변화에 의해 영향을 받는다. 기술의 선택과 이에 따른 에너지효율은 에너지 수요에 영향을 미치게 된다.
- 에너지 공급 : 에너지 공급의 공급가능성과 기술에 의해 결정된다.

- 에너지수요의 가격과 소득탄력성 : 탄력성이란 에너지 가격과 소득의 변화에 대한 에너지수요의 상대적 변화를 측정하는 수단으로, 탄력성이 클수록 에너지사용의 변화가 큼을 의미한다.
- 조세정책 : 조세정책은 에너지 시스템의 총원가에 큰 영향을 미친다.

다. 분석적 접근방법에 의한 분류 : 하향식 모형과 상향식 모형

- 1) 하향식 모형 : 하향식 모형은 집중화된 경제변수를 사용하는 거시경제이론과 계량경제학을 기반으로 한다. 하향식 모형은 에너지부문과 경제부문 간의 경제적인 피드백을 포함할 수 있지만, 에너지 기술의 상세한 표현을 포함하지 않는다. 에너지 사용은 경제 평형의 결과로 정의된다. 하향식 모형의 예로는 EPPA (MIT에서 개발한 일반 균형 모형), GEM-E3 (EU를 위해 개발한 일반 균형 모형), MACRO (Ramsey-type 최적 성장 모형)이 있다.
- 2) 상향식 모형 : 상향식 모형은 에너지 부문을 상세하게 표현할 수 있는 분산모형의 기본원리인 기술-경제 원리를 따른다. 모든 사용된 에너지는 입력과 출력으로 상세하게 계산되고 외생적으로 주어진 에너지서비스를 위한 수요정보에 따라 운영된다. 상향식 모형의 예로는 EFOM, MESSAGE, MARKAL을 들 수 있으며, 이러한 모형은 신기술 평가와 한계 비용분석에 적합하다.

라. 내제된 방법론에 의한 분류

- 1) 계량경제(Econometric) 모형 : 경제문제에 통계기술을 적용하는 것을 말하며, 과거의 시장행위를 미래에 외삽하여 예측하는 것이 이 모형의 주요 목적이다. 그러나, 특정 기술옵션을 고려하지 못한다는 단점이 있다.
- 2) 거시경제(Macro-Economic) 모형 : 한 사회의 전체 경제와 산업 부문간의 상호작용에 초점을 두므로 에너지수요분석을 하는데 거시경제학적 접근방법이 유용할 수 있다.
- 3) 균형(Economic Equilibrium) 모형 : 계량경제와 거시경제 모형이 단기 또는 중기적 영향을 연구하는데 비해, 균형 모형은 중기에서 장기에 이르는 기간에 적용된다. 전체경제의 한 부문으로서의 에너지부문을 연구하며 에너지 부문과 기타

부문과의 상호관계에 초점을 둔다. 균형모형은 에너지 수요와 공급간의 균형처럼 경제의 부분적 균형에 초점을 두는 부분균형모형과 모든 시장의 동시적 균형을 고려하는 일반균형모형으로 구분된다.

- 4) 최적화 모형과 시뮬레이션 모형 : 최적화 모형은 이상적인 결과물에 중점을 두고, 시뮬레이션 모형은 가장 발생할 만한 결과물에 포커스를 둔다.
- 5) 스프레드시트(Spreadsheet)활용 모형 : 스프레드시트 모형이란 모형자체보다 모형을 생성하기 위한 소프트웨어 패키지와 유사하다고 할 수 있다.
- 6) 재구성(Backcasting) 모형 : 재구성 모형은 분야 전문가를 인터뷰하여 미래에서 요구되는 사항에 대한 비전을 구축하는데 사용된다.
- 7) 다기준(Multi-criteria) 모형 : 경제적 효율 이외의 다른 기준들을 포함하여 사용한다.

마. 수학적 접근방법에 의한 분류

- 1) 선형계획법(Linear Programming) : 결과물을 빨리 얻을 수 있는 비교적 단순한 기법으로 모든 관계식은 선형함수로 표현되는 실무적인 기법이다.
- 2) 혼합정수계획법(Mixed Integer Programming) : 선형계획법의 연장으로, 에너지 시스템에서 기술특성의 관계를 세밀하게 공식화하는데 사용된다.
- 3) 동적계획법(Dynamic Programming) : 최적의 의사결정 경로를 찾는 데 사용되는 기법으로 원래의 문제를 분할하여 최적 해결안을 찾아낸다.

바. 지리적 범위에 의한 분류 : 세계적, 지역적, 국가적, 프로젝트 단위 등

지리적 범위는 분석이 이루어지는 수준을 의미하여 모형구조를 결정하는 중요한 요인이다. 세계적(global), 지역적(regional), 국가적(national), 특정지역(local) 등 대상에 따른 분류가 가능하다.

사. 산업영역 범위에 의한 분류 : 다부문, 단부문

다부문 모형은 국제적, 국내적 수준에서 사용되며 각 부문간의 상호작용에 관심을

둔다. 단부문 모형은 에너지부문과 같이 특정의 한 부문에 대한 정보만 제공하고, 해당 부문과 기타 부문과의 거시경제적 연관성은 고려하지 않는다..

아. 기간에 의한 분류 : 단기, 중기, 장기

기간의 명확한 구분은 없지만, 단기는 5년 이내의 기간, 중기는 3년에서 15년 사이, 장기는 10년 이상의 기간을 나타낸다고 한다. 시간축에 따라 상이한 경제, 사회, 환경적 프로세스를 가지므로 에너지 모형의 구조와 목적을 결정하는데 중요한 기준으로 작용한다.

3. 회귀분석모형

Douglas Holtz-Eakin와 Thomas M Selden (1995)는 경제성장과 이산화탄소 배출량과의 관계를 도출하기 위해 108개국의 1951~1986년간 패널자료를 이용하여 다음의 두 가지 형태의 모형을 제안하였다.

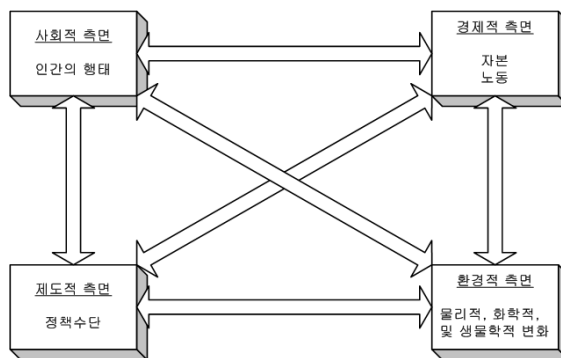
$$c_{it} = \beta_0 + \beta_1 y_{it} + \beta_2 y_{it}^2 + \gamma_t + f_i + \epsilon_{it}$$
$$\ln c_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 (\ln y_{it}) + \alpha_2 (\ln y_{it})^2 + \gamma_t + f_i + \epsilon_{it}$$

여기서, i 와 t 는 국가와 연도를 나타내며, c 는 1인당 이산화탄소 배출량, y 는 1인당 국민총생산, f 와 γ 는 국가와 연도의 고정효과, ϵ 는 확률적인 오차를 의미한다. 회귀분석을 통해 관계식을 도출하고 1986~2100년의 GDP를 예측하여 2100년까지의 온실가스 배출량을 전망하였다.

4. 통합평가모형(IAMs)¹⁾

통합평가모형(IAMs)란, 지구온난화의 과급효과나 이를 방지하기 위한 지구적 노력의 평가를 위해 기후변화의 과학적 측면과 사회경제적 측면을 결합한 모형으로 정의할 수 있다. 최초의 IAMs는 1972년 로마클럽에 의해 구축(World3 모형) 되었으며, 이는 자원고갈, 인구 및 오염에 관한 수많은 이후의 모형개발에 기초가 된 것으로 알려져 있다. 이후 IAMs는 에너지문제, 산성비문제, 기후변화 문제 등에 적용되었다. 기후변화 문제를 다루는 IAMs는 1987년 시작하여 약 50여개가 개발된 것으로 보고되었다(Rotmans 등, 1996). IAMs는 정책평가모형(policy evaluation models)과 정책최적화모형(policy optimization models)으로 구분할 수 있다. 정책평가모형은 정책이 환경, 경제, 및 사회에 미치는 영향을 평가한다. 이 유형의 모형은 흔히 '시물레이션 모형'으로 알려져 있으며, 정책최적화모형은 정해진 정책목표를 달성하기 위해 탄소배출량이나 탄소세 수준 등의 정책변수를 최적화하는데 활용된다.

대부분의 온실가스가 화석연료의 연소과정에서 배출되기 때문에 기후정책모형들은 에너지-환경-경제의 상호의존 관계를 모형화하고 일반적으로 감축잠재량 및 정책의 과급효과 분석을 목적으로 한다. 기후경제모형은 일반적으로 상향식 모형과 하향식 모형으로 구분되며, 최근 발전된 모형은 다양한 수준의 변수를 통합적으로 고려하여 명확한 구분이 모호한 경우도 있다고 한다.



〈그림 2.2.4-1〉 IAMs의 구조¹⁾

1) 포스트교토 기후변화 정책수립을 위한 IPCC 기초자료 연구, 기후과학연구관리단, 2010

제 3 절 국내 선행연구

온실가스 배출량 예측방법과 관련된 선행연구를 조사한 결과 온실가스 배출량 추정 및 감축잠재량 산정에 다양한 모델을 적용하는 연구는 찾아볼 수 있었으나, 구체적인 예측방법이 제시되어 있는 연구는 찾기 어려웠다. 특히 모델을 이용한 연구의 경우 사용된 변수나 입력 자료를 표기하기 어려워 결과만을 보여주는 경우가 대부분이었다. 많지 않은 국내 연구자료의 경우 국가차원의 연구가 대부분이었으며, 광역지자체를 대상으로 한 연구로는 최근에 발표된 ‘기후변화대응 종합대책 수립 지원을 위한 온실가스 감축계획 수립 가이드라인(국립환경과학원, 2010)’이 있었다. 지자체 가이드라인은 본 연구의 다양한 방법론 중의 하나로 선정하여 직접 예측방법으로 활용하였다.

1. MARKAL 모형

가. 개요

MARKAL 모형은 국가 중기 온실가스 감축목표 설정시 사용된 모형이다. 국제에너지기구(IEA, International Energy Agency)의 주도로 다국간 국제협력사업으로 20년간(2001년 기준) 개발된 모형이다. MARKAL모형은 공급과 수요를 서술하는 상향식 에너지 시스템 모델로, 에너지생산과 소비되는 기술의 세부사항과 사적, 공적인 부문의 정책결정과 계획을 제공할 수 있다. 또한, 거시경제와 에너지사용 사이의 상호작용의 이해관계에 대한 정보도 제공한다. 모형의 특징은 다음과 같다.

○ 사용목적

- 최소비용 에너지 시스템을 도출
- 배출제한의 비용효율성을 평가
- 여러 시나리오 하에서 장기간 에너지균형의 분석
- 새로운 기술과 연구개발의 우선순위를 평가
- 법규, 세금, 국가보조금의 영향 평가
- 온실가스 배출예측 및 관련정책(감축잠재량) 분석

- 에너지, 환경부문 등에서의 지역협력 평가 등

○ 적용분야

- 신기술 대안의 탐색 및 평가, 투자의 잠재력(비용 및 환경) 평가
- 일관성 있는 온실가스 배출원 및 배출 목록작성 및 미래전망
- 특정 에너지기술 또는 에너지원(예, 원자력 등)의 단계적 이용 전환에 따른 경제, 안정도, 환경효과 평가
- 에너지 사용 패턴의 전환 등을 위한 다양한 에너지 관련 오염제어정책(예, 탄소세)의 평가
- 수송수단 전환, 산업구조 변화, 건물부문의 에너지절약 및 새로운 에너지 사용 패턴의 도입과 같은 전환 결과로 발생하는 기술적, 경제적, 환경적 영향평가

○ 장점

- 세계적으로 가장 많이 사용되는 모형으로서 지속적인 모형 확장이 이루어지고 있는 모형임 (MARKAL-MACRO, MARKAL-MICRO 등)
- 다목적 함수로 여러 가지 목적을 동시에 고려할 수 있음
- 폭넓은 확장성과 유연성을 가지고 있음

○ 단점

- 방대한 양의 기술 데이터베이스를 필요로 함
- 선형 문제만을 고려하기 때문에 비선형 문제를 설명할 수 없음
- 기술데이터 외에 1차에너지 가격과 에너지수요의 상세한 예측데이터가 필요함

※ 관련연구 : 강희정 외, “온실가스 배출감축 잠재량분석 연구”, 산업자원부, 2006

나. 국내 적용사례

상향식 모델의 대표적인 모델인 MARKAL은 부문/업종별 온실가스 감축수단, 온실가스 감축잠재량, 한계감축비용(MAC), 온실가스 감축 비용분석에 유용하다. 노동운

(2009, 에너지경제연구원)에 따르면, MARKAL을 적용한 경우 2020과 2030년 국가 온실가스 배출량은 각각 657,534과 686,456천tCO₂로 전망하였다. 최종수요, 온실가스 감축수단, 에너지 물질의 투입과 산출, 비용 등 기술별 구체적인 자료를 입력하여 2020년 온실가스 감축잠재량을 112,434천tCO₂로 산정하였다. 또한, 2020년 온실가스 배출량의 5%를 감축할 경우 평균감축비용은 -\$1,083/tCO₂, 배출량의 10%일 경우 -\$285/tCO₂로 분석되었다.

※ 관련연구 : 노동운, “저탄소 경제시스템 구축전략 연구 : 지역별 저탄소 경제시스템 개발”, 에너지경제연구원, 2009

2. CGE 모형

가. 개요

연산가능일반균형(CGЕ) 모형은 생산·소비·투자·정부지출 등 국내 경제부문들과 수출입 등 대외 부문이 상호의존적으로 반응하는 상황에서 정책변화나 특정사건의 효과를 연산할 수 있도록 만든 모형이다. 경제주체들의 모든 행위를 묘사하는 방정식 체계를 구축하고, 실제 현실의 데이터를 모형의 각 방정식에 들어있는 변수의 값과 연결하여 구성한다. 이러한 상태에서 특정 충격(변수의 변화)이 가해지면 이와 관련된 모든 변수들이 상호작용을 하면서 새로운 균형 상태(Steady State)에 도달하게 되며, 이때의 주요 변수의 수치로 영향을 분석한다.

나. 적용 사례

CGE는 온실가스 감축수단이나 정책이 국민총생산, 물가, 수출, 고용 등의 거시경제 지표에 미치는 효과를 추정하는데 유용하다. 노동운(2009, 에너지경제연구원)에 따르면, CGE를 적용한 경우 2020과 2030년 온실가스 배출량은 각각 1,093,015과 1,595,983천tCO₂로 전망하였다. 배출권거래제를 시행할 경우 2018년부터 BAU대비 5% 감축 시나리오는 2018년 1,888원/tCO₂, 2033년 594원/tCO₂로 하락하는 것으로 나타났다. 시간이 지날수록 배출권 가격은 하락하지만 감축강도가 강해질수록 배출권거래가

격은 상승하는 것으로 분석되었다. 탄소세를 적용할 경우 온실가스 배출량의 5%를 감축하는 시나리오의 경우 2019년을 기준으로 지역에 따라 1,222~4,023원/tCO₂의 감축 비용이 필요한 것으로 나타났다.

※ 관련연구 : 노동운, “저탄소 경제시스템 구축전략 연구 : 지역별 저탄소 경제시스템 개발”, 에너지경제연구원, 2009

3. LEAP모형

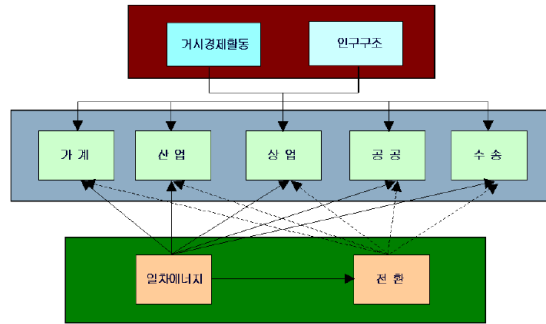
가. 개요

상향식 모형의 하나인 LEAP모형은 SEI-Boston (The Boston Center of the Stockholm Environmental Institute)가 개발한 LEAP(Long-Range Energy Alternatives Planning System) 시스템에서 시작되었다. LEAP 시스템은 시뮬레이션기법에 기반을 두어 모형의 구조를 신축적으로 조정할 수 있으며 각 부문별로 상이한 방법론을 추가적으로 결합시킬 수 있다. LEAP 모형은 에너지부문과 이에 영향을 주는 요인을 몇 개의 모듈로 나누어 하나의 분석시스템으로 구축하는 ‘모듈팩키지’ 형태를 띠고 있어 각 모듈은 그 특성에 따라 서로 다른 계산기법을 적용할 수 있다.

나. 적용 사례

LEAP모형을 기반으로 한 ROK2006-KEEI모형은 2001년을 기준으로 구축되었으며, 최종에너지부문(가정, 산업, 상업, 수송, 공공), 전환부문(발전, 송배전, 도시가스 생산, 지역난방, 천연가스), 공급부문(에너지 생산과 수입), 환경부문(온실가스 배출량)으로 구성되었다. 천연가스 보급 확대, 대기전력 1W 프로그램, 경차 보급확대, 건축물 에너지 절약설계 기준강화, 고효율 기자재 인증대상품목 확대, 지역난방 보급확대의 6개 감축정책의 효과를 분석한 결과 2020년 38.14백만tCO₂의 감축잠재량이 있는 것으로 나타났으며 이는 2020년 베이스라인 대비 약 4.34%에 해당하였다.

※ 관련연구 : 임재규, “기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구”, 에너지경제연구원, 2006



〈그림 2.3.3-1〉 ROK2006-KEEI모형의 기본 구조

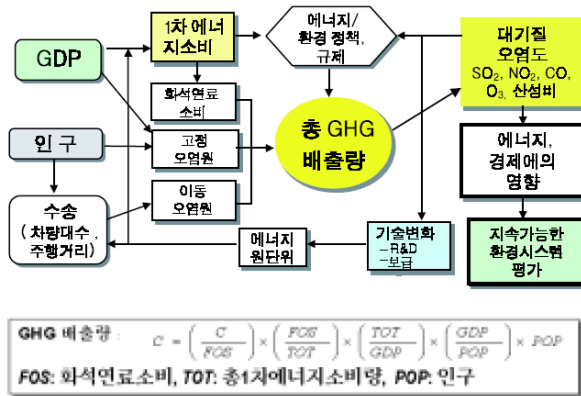
4. 계량경제 시뮬레이션 모델

부경진과 최도영(에너지경제연구원, 2002)은 경제주체들의 행태에 주안점을 둔 계량경제 시뮬레이션 모형(에너지, 경제, 환경 모듈로 구성)을 개발하여, GDP, 에너지수요, 오염물질 배출량을 추정하였다. 계량경제 시뮬레이션 모델의 경우 다음 표와 같이 에너지수요와 온실가스 배출량을 전망하였으며, 탄소세 부과 시나리오에 따라 파급효과를 분석하였다.

※ 관련연구 : 부경진, “에너지·환경·경제 통합 계량경제 시뮬레이션 모형에 의한 온실가스 저감수단의 평가”, 에너지 경제연구원, 2002

〈표 2.3.4-1〉 GDP, 에너지수요 및 CO₂ 배출전망

	2001년	2010년	2020년	연평균 증가율 (%)
실질 GDP (10억원)	493,026	695,549	1,021,780	3.9
1차 에너지소비 (백만TOE)	198.3	260.2	325.9	2.7
CO ₂ 배출량 (백만TC)	123.3	155.0	181.0	2.0



〈그림 2.3.4-1〉 계량경제 시뮬레이션 모형의 환경모듈

5. 다중회귀분석

조한진 등(2008)은 세계은행의 122개국 온실가스 배출현황을 정리하고 국민소득(GNI)에 따라 6개의 그룹으로 구분하여 다중회귀분석으로 온실가스 배출량 추정모형을 제안하였다. 대한민국은 Group 5 (17개국)에 속하였으며 다음과 같은 식을 도출하였다.

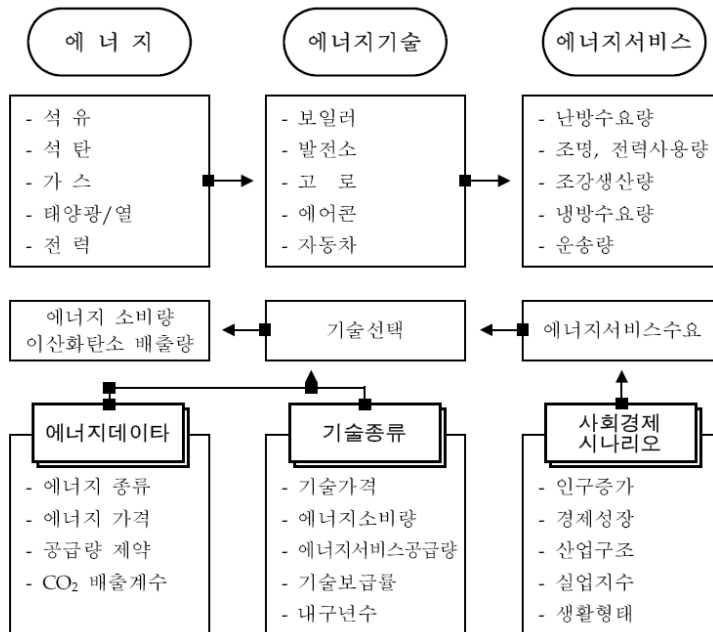
$$\begin{aligned}
 \text{1인당 CO}_2 \text{ 배출량} &= -6776.260 + 1.945 (\text{1인당 전기사용}) - 24787.725 (\text{1인당 전기 사용/GNI}) \\
 &+ 32124.460 (\text{1인당 오일/GNI}) + 2876.751 (\text{1인당 CO}_2 \text{ 배출량/1인당 오일}) \quad R^2 = 0.959
 \end{aligned}$$

※ 관련연구 : 조한진, 장성호, 김영식, “다중회귀분석을 이용한 CO₂배출량 추정모형”, 한국환경보건학회지, 34(4), pp 316-326, 2008

6. AIM모델

AIM(Asia-pacific Integrated Model)은 아시아태평양지역에서 지속가능한 개발에 대한 정책옵션을 평가하기 위한 모델로 1991년부터 일본 NIES(National Institute for Environmental Studies)에서 개발되었으며, IPCC SRES(Special Report on Emission Scenarios 및 TAR (IPCC Third Assessment Report) 작성 시 reference model로 선정되었다.

AIM은 크게 온실가스 배출모델, 기후모델, 영향모델로 이루어진 통합평가모델(Integrated Assessment Model)이며 각각의 모델은 또다시 세부적인 모델로 구성된다. 국립환경과학원(2009)에서는 AIM/emission 모델 중 상향식 모델인 AIM/Enduse모델을 이용하여 가정·상업 부문을 중심으로 온실가스 배출량 전망 및 감축잠재량을 평가하였다.



〈그림 2.3.6-1〉 AIM 모델의 구조

※ 관련연구 : 윤소원 외, “온실가스 배출량 전망 및 감축잠재량 평가 -가정·상업 분야를 중심으로”, 국립환경과학원, 2009

7. 국가 감축목표 설정을 위한 온실가스 배출전망치(BAU) 산정방법

국가 중기 온실가스 감축목표 설정 시 BAU 산정을 위해 온실가스 배출량에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 주요 경제변수(유가, 인구, 경제성장율) 등을 전망하였다. 유가는 미국 에너지정보청(EIA, Energy Information Agency)에서 발간한 국제전망(International Energy Outlook, 2008)을 토대로 전망하였고, 인구는 통계청의 인구전망 자료를 활용하였으며, 2018년 49백만명을 정점으로 감소하는 것으로 전망하였다. 또한, 경제성장율은 2020년부터 점차 둔화되어 2030년 2.24%로 하락하는 것으로(KDI) 적용하였다. BAU 전망결과, 2005년 대비 2020년은 약 37%(2.2억톤), 2030년은 약 49%(2.9억톤) 증가하며, 1인당 배출량은 지속적으로 증가('20년 16.4 CO₂톤/명)할 것으로 나타났다.

〈표 2.3.7-1〉 BAU산정에 적용한 유가, 인구, 경제성장율 전망

	2008	2010	2020	2030
유가(\$/bbl)	106	93	104	135
인구(백만명)	48.6	48.9	49.3	48.6
경제성장율(%)	4.2	4.75	3.66	2.24

〈표 2.3.7-2〉 국가 감축목표 설정을 위한 BAU 산정결과

구 분	2005	2020	2030	연평균증가율	
				'05~'20	'20~'30
총배출량(백만톤CO ₂)	594(100)	813(137)	888(149)	2.1%	0.9%
1인당배출량(톤CO ₂ /명)	12.3	16.4	18.2	-	-

BAU산정 결과를 기초로 MARKAL모형을 활용하여 감축잠재량을 분석한 결과 2020년 2.44억tCO₂를 감축할 수 있을 것으로 나타났다. CGE모형을 활용하여 온실가스 감축으로 인한 경제적 효과를 분석한 결과 GDP 0.49%감소, 가구당 21.7만원의 부담액이 발생할 것으로 예측하였다.



자료 : www.greengrowth.go.kr

〈그림 2.3.7-1〉 국가 2020년 중기 감축목표설정 방법론

8. 선행연구의 시사점

미래 온실가스 배출량 예측할 수 있는 다양한 방법을 찾아볼 수 있었으나, 순수하게 배출량 예측을 위한 모형은 국가차원의 다중회귀분석 모형 정도를 찾아볼 수 있었다. 대부분의 모델 적용연구는 그 목적이 온실가스 배출량 예측보다는 감축잠재량과 경제적 파급효과를 분석하기 위한 기후경제모형이었다.

상향식 모형인 MARKAL모형의 경우 에너지 공급모형으로 국가차원의 계획수립에는 적용이 용이할 것으로 판단된다. 그러나, 지자체의 경우 에너지 공급에 대한 독립성이 없어 적용에 한계가 있을 것으로 판단된다. 전라북도의 경우 대부분의 에너지를 외부에서 공급받고 있으므로, 정부에서 에너지 공급 부문의 특정 감축수단을 적용했을 경우 직접적인 영향을 받기 어려울 것이다. 따라서, 지자체의 경우 1차 에너지 수요, 전환부분에 대한 에너지 공급차원의 예측보다 최종에너지 수요중심의 예측이 필요하다. 하향식 모형인 CGE모형은 특정 정책이 경제에 미치는 영향을 분석하기에 용이한 모델이나 지자체 차원의 온실가스 계정 구축을 통한 지역 CGE모형 개발이 필요하다.

또한, 선행연구(노동운, 2009)에 따르면 상향식 모형과 하향식 모형의 배출량 예측 결과를 비교할 경우 큰 차이를 보이고 있다. 기후경제모델의 경우 각 모델이 가진 가정사항으로 다양한 한계점을 내포하고 있으므로 이를 보완하기 위한 노력이 지속적으로 필요할 것이다.

국가 온실가스 목표수립에서는 BAU산정과 감축잠재량 분석을 분리하여 별도의 방법으로 수행하였다. 각 부처에서 해당 부문별 예측을 통해 BAU를 산정하고, 감축잠재량 및 경제파급 효과는 기후경제모형을 활용하였다. 따라서, 본 연구에서는 기후경제모델 등을 활용한 감축잠재량 또는 지역경제에 미치는 영향 보다는 향후 온실가스 배출전망치(BAU)를 산정하는 방법론 모색에 중점을 두고자 하였다.

제 3 장



지자체 온실가스 배출량 추정방법

제 1 절 배출량 영향인자

제 2 절 검토방법론

제 3 절 검토방법론에 따른 온실가스 배출량 예측결과

제 3 장 지자체 온실가스 배출량 추정 방법

제 1 절 배출량 영향인자

1. 온실가스 배출량 예측 개요

향후 온실가스 배출량 예측을 위해서는 온실가스 배출량에 영향을 주는 주요인자들의 변화를 예측할 필요가 있다. 국가 온실가스 감축목표 설정시 온실가스 배출전망치(BAU)는 “조치가 있는” 예측을 하였으므로, 현재의 인간활동이 미래에도 지속되고 기술의 개선도 과거부터 현재까지의 추이를 지속하는 경우를 가정한 것이다. 광역지자체에서도 국가 온실가스 감축목표와 같은 개념의 BAU를 산정하여 과거와 현재까지의 변화추이를 중심으로 미래를 예측하는 것이 바람직하다.

그러나, 향후 BAU 전망치는 경제상황 등의 주요인자에 따라 시간이 지남에 따라 변동될 수 있다. 이러한 특성을 고려하여 정부에서는 BAU 재설정 주기, 방법론, 원칙 등의 프로토콜을 마련중에 있다. 따라서, 국가 BAU의 재설정에 따라 BAU기준의 목표를 수립한 지자체에서도 주기적인 재조정이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 현재 국가 온실가스 감축목표가 2005년을 기준으로 2020년 BAU를 예측하였고, 대부분 지자체의 자체 배출량 산정결과가 2000년 이후인 점을 고려할 때 2020년 BAU산정을 위해 최근 6년간(2000~2005년)의 배출특성을 기준으로 배출량을 예측하고 그 결과를 국가 BAU값과 비교하고자 하였다. 또한, 온실가스 감축을 위한 BAU예측에 목적을 두었으므로, 흡수원에 대한 고려없이 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물 부문의 온실가스 총배출량을 예측하고자 하였다.

온실가스 배출량은 전라북도 기후변화 종합대책(전라북도, 2010)의 2000~2007년 산정된 배출량을 활용하였으며, 배출량 산정결과는 <표 3.1.1-1>과 같다. 국가배출량 자료가 1990년에서 최근 2007년까지 배출량이 산정되었지만, 지자체에서는 활동자료의 부족으로 2000년 이전의 배출량 자료 산정이 어려운 현실이다.

〈표 3.1.1-1〉 전라북도 온실가스 배출량 산정결과

(단위 : tCO₂e/yr)

구분	에너지				산업공정	농/축산 및 임업 부문				폐기물	총배출량	순배출량	
	산업	수송	가정·상업	공공·기타		합계	농업부문	축산부문	합계				흡수량
2000	6,465,457	4,461,612	4,078,275	226,692	15,232,036	261,969	634,290	413,832	1,048,122	-2,286,560	197,638	16,739,765	14,453,205
2001	6,625,116	4,425,184	4,319,998	387,041	15,757,339	292,968	616,462	807,681	1,424,143	-2,261,895	243,538	17,717,988	15,456,093
2002	6,807,706	4,847,784	4,301,241	401,283	16,358,014	602,100	607,525	764,704	1,372,229	-2,243,277	220,884	18,553,227	16,309,950
2003	6,556,190	4,908,800	4,309,296	397,164	16,171,450	696,847	581,093	382,149	963,242	-1,675,187	250,884	18,082,423	16,407,236
2004	6,665,981	4,979,347	4,250,602	456,464	16,352,394	759,120	605,731	862,439	1,468,170	-2,018,744	257,802	18,837,486	16,818,742
2005	6,841,212	4,872,544	4,340,791	514,621	16,569,168	796,003	584,450	864,355	1,448,805	-1,865,566	269,165	19,083,141	17,217,575
2006	7,890,587	4,884,310	4,326,097	495,473	17,596,467	1,005,181	574,569	944,464	1,519,033	-2,297,450	302,197	20,422,878	18,125,428
2007	6,963,164	5,028,965	4,327,821	552,620	16,872,570	856,231	588,777	1,713,651	2,302,428	-1,807,550	312,061	20,343,290	18,535,740

자료 : 전라북도 기후변화 종합대책(전라북도, 2010)

2. 온실가스 배출량 영향인자

온실가스 배출량 영향인자를 조사하기 위해서는 우선 배출량 산정에 사용되는 주요활동자료를 파악할 필요가 있다. 가장 배출비중이 높은 에너지 부문의 경우 용도(산업, 가정, 상업공공, 수송 등)에 따른 에너지원별 사용량에 따라 배출량이 산정되며, 산업공정은 온실가스와 밀접한 화학물질 사용의 생산과 연관이 있다. 농업은 축종별 가축사육두수, 논벼재배면적, 비료사용량 등이 주요원인이며, 폐기물 처리량과 특성에 따라 폐기물 부문 배출량이 결정된다. 부문별 주요활동도와 광역지자체 차원의 자료출처를 정리하면 다음 표와 같다.

〈표 3.1.2-1〉 온실가스 배출량 주요활동도 자료 (IPCC 기준)

구분	주요활동도	자료확보 출처	
에너지	석유류	에너지원별, 용도별 석유류 사용량	PEISIS
	전력	용도별 전력 사용량	한국전력공사
	도시가스	용도별 도시가스 사용량	도시가스공급사
	열에너지	열에너지 사용량	지역에너지통계연보
	석탄	석탄사용량	지역에너지통계연보
	탈루성배출	에너지 채광, 수송, 보관 시스템	정유업체, 석유 및 가스자료 활용
산업공정	광물산업, 화학산업 등	특정 화학물질의 사용량 및 생산량	지자체 환경관리카드 등
	HFCs	HFCs의 사용량	통계청
	PFCs	PFCs의 사용량	-
	SF6	SF6의 사용량	한국전력통계(가스절연부하개폐기)
농업	축산	축종별 가축사육두수, 가축분뇨 처리특성	각시군 통계연보
	벼논경작	논벼재배면적, 경작방법, 비료사용량	각시군 통계연보
폐기물	매립	폐기물 매립처리량	전국폐기물발생 및 처리현황
	소각	폐기물 소각처리량	전국폐기물발생 및 처리현황
	수처리	하수처리인구, 유기물부하량	도청자료

배출량 산정방법에 따라 주요활동도 자료가 달라지며, 온실가스 배출영향 요인 또한 달라질 수 있다. 국립환경과학원의 가이드라인(국립환경과학원, 2010)에서는 에너지 사용에 따른 온실가스 배출요인을 활동량, 에너지원단위, 탄소집약도의 변화로 요약하였으며, 각 부문별 배출영향지표를 다음과 같이 제시하였다.

〈표 3.1.2-2〉 에너지 부문 온실가스 배출 영향요인 (국립환경과학원, 2010)

부문	요소	분석항목
가정부문	활동량	- 세대수 및 인구
	원단위	- 세대속성(세대원수, 가족유형)의 변화 - 주택속성(주택면적, 주택유형)의 변화 - 난방일수, 냉방일수의 변화 - 가전제품 보급률 - 에너지고효율기기 보급 - 그린 홈 등 고효율주택보급
	탄소집약도	- 소비연료구성의 변화 - 도시가스보급 - 신재생에너지의 보급 - 전력 CO ₂ 배출계수 변화
상업부문	활동량	- 사업종사자수 - 사업장 연면적 - 업종구성의 변화
	원단위	- 업종별 에너지소비원단위의 변화 - 난방일수, 냉방일수의 변화 - 사무기기 보급률 - 사무기기 고효율기기 보급
	탄소집약도	- 소비연료구성의 변화 - 도시가스보급 - 신재생에너지의 보급 - 전력 CO ₂ 배출계수 변화
교통부문	활동량	- 자동차등록대수
	원단위	- 연비개선 - 교통수단부담율의 변화 - 공공교통의 이용증대 - 자동차 차종, 크기구성의 변화
	탄소집약도	- 그린카의 보급
산업부문	활동량	- 인구 - 업종별 사업체수·종업원수 - 업종별 총생산량 - 소비자물가지수
	원단위	- 업종별 소비 원단위 증감 - 국가단위 에너지 소비 원단위 증감 - 사업장 생산능력 증감
	탄소집약도	- 연료구성의 변화 - 전력의 온실가스 배출계수 변화 - 에너지가격 변화

본 연구에서는 IPCC 가이드라인을 기준으로 작성한 배출량을 활용하였으므로, 에너지 배출량 영향지표는 부문별 활용도 항목보다는 에너지원별 지표를 중심으로 선정하였다.

제 2 절 검토 방법론

1. 원단위 활용방법

원단위 활용방법은 온실가스 배출량을 직접적으로 설명할 수 있는 대표지표를 이용하여 배출량을 추정하는 방법이다. 그러나, 원단위를 적용할 경우 가장 간단하게 온실가스 배출량을 산정할 수 있는 반면, 부문별 특성을 충분히 반영하지 못하는 한계를 가지고 있다. 지자체 차원의 대표적인 원단위로 인구, GRDP, 최종에너지 소비, 토지이용특성, 국가대비 배출비중 등을 검토할 수 있다. 본 연구에서는 상대비교가 가장 용이한 인구를 중심으로 검토하였으며, GRDP, 최종에너지는 부문별 주요지표 예측에서 에너지 부문에서 검토하였다.

가. 1인당 온실가스 총배출량

국토연구원(최영국 등, 2008)에 따르면, 광역지자체별 1인당 온실가스 배출량은 2006년 기준 국가전체 8.4 tCO₂e/인으로, 전남이 32.9 tCO₂e/인으로 가장 높았으며, 제주가 4.1 tCO₂e/인으로 가장 낮아 지역별로 큰 편차를 보였다. 같은 연구에서 전라북도의 경우 2003년 6.9에서 2006년 7.6 tCO₂e/인으로 점차 증가하는 추세를 보였다. 본 연구에서 활용한 배출량 산정결과는 2005년 기준 10.5 tCO₂e/인의 값을 보였으며, 지속적인 증가추세에 있다. 국가 BAU전망에서도 1인당 온실가스 배출량은 2005년 기준 12.3 tCO₂e/인에서 2020년 16.4 tCO₂e/인으로 증가할 것으로 전망하였다.

2000~2007년 동안 전라북도 1인당 온실가스 총배출량 변화는 <표 3.2.1-1>와 같다. 인구는 지속적으로 감소하지만, 1인당 배출량은 꾸준히 증가하는 추세를 보였다. 이는 전라북도의 산업구조 변경(제조업 및 축산업 증가)에 의한 특성으로 추정된다.

따라서, 1인당 온실가스 배출특성과 인구를 추정할 경우 향후 전라북도 1인당 온실가스 배출량을 통해 전체 배출량을 예측할 수 있다.

〈표 3.2.1-1〉 전라북도 1인당 온실가스 배출량 변화

년도	온실가스 총배출량 (tCO ₂ e/년)	전라북도 인구* (명)	1인당 온실가스 배출량 (tCO ₂ e/인·년)
2000	16,739,765	1,927,005	8.69
2001	17,717,988	1,915,888	9.25
2002	18,553,227	1,895,397	9.79
2003	18,082,423	1,870,390	9.67
2004	18,837,486	1,842,734	10.22
2005	19,083,141	1,816,566	10.51
2006	20,422,878	1,796,572	11.37
2007	20,343,290	1,770,698	11.49

*자료 : 통계청 인구총조사, 장래인구추계 자료

나. 1인당 부문별 온실가스 배출량

1인당 온실가스 총배출량은 부문별 특성을 반영하지 못하므로, 부문별 원단위 변화를 예측하여 부문별로 온실가스 배출량을 산정할 수 있다. 부문별 1인당 온실가스 배출량을 산정한 결과를 <표 3.2.1-2>에 산정하였다. 배출량이 높은 산업부문 에너지 소비에 의한 배출이 3.36~4.39tCO₂e/인·년로 가장 높은 원단위를 보인 반면, 폐기물 부문은 증가경향을 보이긴 하나 0.10~0.18tCO₂e/인·년으로 가장 낮은 원단위를 나타내었다. 모든 부문에서 원단위가 증가경향을 보이고 있으며, 축산부문의 경우 연평균 증가율이 24.00%로 가장 증가율이 빠른 것으로 나타났다.

그러나, 1인당 부문별 배출량도 총배출량과 마찬가지로 직접적인 부문별 특성을 반영하기는 어렵다. 예를 들어 농업_축산부문의 경우 가축의 사육두수가 주요원인이 되므로 인구의 증감과 직접적인 연관성을 찾기 어렵다. 다만, 지역의 부문별 배출량 정도를 상대적으로 평가할 수 있는 척도로 인구 원단위 적용법은 사용가능할 것으로 판단된다.

〈표 3.2.1-2〉 전라북도 부문별 1인당 온실가스 배출량 변화

단위 : tCO₂e/인·년

구분	에너지				산업공정	농업		폐기물
	산업	수송	가정상업	공공기타		농업부문	축산부문	
2000	3.36	2.32	2.12	0.12	0.14	0.33	0.21	0.10
2001	3.46	2.31	2.25	0.20	0.15	0.32	0.42	0.13
2002	3.59	2.56	2.27	0.21	0.32	0.32	0.40	0.12
2003	3.51	2.62	2.30	0.21	0.37	0.31	0.20	0.13
2004	3.62	2.70	2.31	0.25	0.41	0.33	0.47	0.14
2005	3.77	2.68	2.39	0.28	0.44	0.32	0.48	0.15
2006	4.39	2.72	2.41	0.28	0.56	0.32	0.53	0.17
2007	3.93	2.84	2.44	0.31	0.48	0.33	0.97	0.18
연평균 증가율 (%)	2.29	2.96	2.08	14.96	19.87	0.14	24.00	8.04

다. 면적당(km²) 온실가스 배출량

1인당 온실가스 배출량과 같은 방식으로 면적당(km²) 온실가스 배출량을 추정할 수 있다. 2000~2007년 동안 전라북도 면적당(km²) 온실가스 배출량 변화는 <표 3.2.1-3>와 같다. 전체면적은 큰 변화가 없으나, 배출량 증가에 따라 면적당 배출량은 증가하는 추세를 보였다. 1인당 온실가스 배출특성과 마찬가지로 면적당 온실가스 배출원단위를 예측할 경우 전라북도 배출량을 예측할 수 있다.

그러나, 단순한 면적에 따른 온실가스 배출량과의 상관관계를 도출하기 어려우므로 본 연구에서는 면적당 온실가스 배출량 예측은 고려하지 않았다. 다만, 토지용도별 원단위를 산정할 경우 신규지역이나 토지용도 변화에 따른 향후 온실가스 배출량 변화를 예측하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

〈표 3.2.1-3〉 전라북도 면적당 온실가스 배출량 변화

년도	온실가스 총배출량 (tCO ₂ e/년)	전라북도 면적 (km ²)	면적당 온실가스 배출량 (tCO ₂ e/km ² 년)
2000	16,739,765	8,050.07	2,079
2001	17,717,988	8,050.77	2,201
2002	18,553,227	8,050.94	2,304
2003	18,082,423	8,050.65	2,246
2004	18,837,486	8,052.69	2,339
2005	19,083,141	8,054.62	2,369
2006	20,422,878	8,054.84	2,535
2007	20,343,290	8,062.97	2,523

라. 토지이용별 원단위

온실가스 배출량은 토지피복 및 토지용도별 특성에 따라 배출특성이 달라질 수 있다. (이인희·장은미 2009, 최영국 등 2008) 토지용도별 배출원단위 DB가 구축될 경우 향후 토지용도별 면적과 원단위 변화특성을 추정함으로써 총배출량을 예측할 수 있다.

전라북도 14개 시군의 온실가스 배출특성을 조사한 선행연구(장남정, 2010)에 따르면, 2006년 기준 전라북도 토지용도별 평균 원단위는 농업용도가 249,749tCO₂e/km²·년로 가장 높았으며, 도로(69,980), 상업(37,646), 주거(6,935), 농업(340) 순으로 원단위가 낮아지는 것으로 분석되었다.

그러나, 토지용도별 원단위를 이용하여 온실가스 배출량을 예측할 경우 시계열에 따른 토지용도별 원단위 DB 구축이 선행되어야 하며, 배출량 산정방식도 다양한 가정이 필요하므로 본 연구에서는 적용하기에는 어려움이 있었다. 다음 표는 선행연구를 통해 산정한 전라북도 토지용도별 온실가스 배출량 원단위를 보여준다.

〈표 3.2.1-4〉 전라북도 토지용도별 온실가스 배출량 원단위(2006년 기준)

(단위 : tCO_{2e}/km²·년)

구 분	농업	상업	도로	주거	공업
전북평균	340	37,646	69,980	6,935	249,749
전주시 덕진구	637	231,389	63,348	32,617	319,844
전주시 완산구	464	227,323	88,670	35,070	514,042
군산시	420	4,695	37,778	3,602	129,991
익산시	524	7,414	63,206	2,736	223,160
정읍시	430	512	24,150	2,614	173,847
남원시	275	48	31,031	2,526	139,948
김제시	612	640	75,289	2,639	90,009
완주군	165	84,064	51,443	2,240	95,928
진안군	83	216	153,509	5,433	790,254
무주군	80	250	30,906	3,020	509,354
장수군	134	406	167,286	3,186	330,830
임실군	207	6,811	90,178	1,583	123,151
순창군	200	85	45,171	3,795	98,431
고창군	357	4	78,806	1,683	357
부안군	506	828	48,926	1,283	55,769

자료 : 시군별 온실가스 배출특성에 따른 전라북도 온실가스 감축 기본전략 연구, 전북발전연구원, 2010에서 정리

※ 각 원단위는 토지이용에 따라 산정되었으며, 다양한 가정사항을 포함하고 있음

마. 국가 총배출량 대비 전라북도 온실가스 배출비율

국가 온실가스 총배출량에서 전라북도가 차지하는 온실가스 배출비율을 원단위로 설정하여 국가 BAU예측량을 기준으로 배출량을 산정하는 방법이다. 국립환경과학원 GHG-CAPSS자료(국립환경과학원, 2009)에 따르면 전국 2006년 온실가스 총배출량은 588.01백만tCO₂e이고, 전북의 온실가스 배출량은 20.93백만tCO₂e로 전국 총배출량 중 3.56%를 차지하여 16개 광역지자체 중 12위에 해당하였다. 영국표준협회(BSI, 2009)의 조사에서는 총 배출량 594,44백만tCO₂e 중 전라북도가 19.86백만tCO₂e로 전국 총배출량 중 3.34%를 차지하였다.

에너지경제연구원에서 보고한 국가 온실가스 총배출량 기준으로 전라북도 총배출량 비중을 산정하면 전라북도는 3.08~3.39%의 범위를 보이며 평균 3.21%로 산정된다. 국가 총배출량 대비 전라북도 온실가스 배출비중이 큰 변화가 없다고 가정할 경우, 국가 BAU산정 결과를 활용하여 장래 지자체 온실가스 배출전망치 예측이 가능하다.

〈표 3.2.1-5〉 국가 총배출량 대비 전라북도 온실가스 배출비중

년도	국가 총배출량 (백만tCO ₂ e/yr)	전라북도 총배출량 (백만tCO ₂ e/yr)	비율 (%)
2000	534.4	16.74	3.13
2001	553.8	17.72	3.20
2002	574.6	18.55	3.23
2003	586.3	18.08	3.08
2004	593.9	18.84	3.17
2005	596.7	19.08	3.20
2006	602.6	20.42	3.39
2007	620.0	20.34	3.28
평균 (3.17 (2000~2005년))			3.21

2. 다중회귀분석

다중회귀분석은 독립변수가 2개 이상인 추정식을 이용하는 회귀분석이다. 온실가스 배출량에 미치는 요인인 다양하므로 온실가스 배출량과 주요 영향인자 간의 상관관계를 파악하여 관계식을 도출하고 미래의 영향인자 값을 대입하여 배출량을 추정할 수 있다. 3장 1절에서 온실가스 배출량 영향인자에서 검토하였듯이 부문별로 영향인자가 다양하므로 지자체 온실가스 배출량에 가장 큰 영향을 미치는 영향인자를 주요변수로 하여 다중회귀분석을 수행할 수 있다.

광역지자체 온실가스 총배출량을 종속변수로 하고 인구, 전기사용량, 도시가스 사용량, 석유사용량, 총에너지사용량, GRDP 등을 독립변수로 하는 다중회귀분석을 수행하여 모형을 찾아내고 도출된 모형에 2020년의 예측자료를 입력하여 온실가스 배출량을 예측할 수 있을 것이다.

그러나, 총배출량 결과를 종속변수로 하는 다중회귀분석의 경우 각 광역지자체의 특성을 충분히 반영하기 어려운 단점이 있다. 우리나라를 대상으로 경계를 설정한다 하더라도 각 지자체별 특성이 서로 다르므로 공통분모를 찾아내기는 어려울 수 있다. 예를 들어 인구증가와 온실가스 배출량의 상관관계를 살펴보면, 대전과 같이 산업체의 수가 미미한 지역의 경우 인구변동과 온실가스 배출량의 상관관계가 높게 나타날 수 있다. 반면, 온실가스 배출량의 큰 부분을 차지하는 산업부문의 비중이 큰 지역의 경우 인구가 감소한다 하더라도 온실가스 배출량은 증가하는 경향을 보인다. 전라북도의 경우도 인구는 지속적으로 감소하지만, 산업부문의 비중이 증가함에 따라 온실가스 배출량은 증가하는 경향을 보이고 있다.

따라서, 본 연구에서는 1인당 온실가스 배출량을 종속변수로 설정하고 1인당 총에너지사용량, 또는 1인당 GRDP 등을 독립변수로 설정하여 관계식을 도출하고자 하였다.

3. 부문별 주요지표 예측에 따른 분석

가. 에너지 부문

1) 에너지원별 수요량 추정_시계열(Time Series) 분석

과거의 에너지원별(석유, 전력, 도시가스) 사용량을 이용하여 시계열 모형을 찾고 모형을 바탕으로 2020년까지의 에너지원별 수요량을 예측하는 방법으로, 예측된 수요량을 통해 에너지 부문 온실가스 배출량을 예측할 수 있다.

2) 에너지원별 수요량 추정_국가에너지기본계획

국가에너지기본계획 수요추정 결과를 활용하여 에너지 부문 온실가스 배출량을 예측하는 방법이다. 이 방법은 지자체의 에너지 수요가 국가의 경향과 유사하다는 가정 하에 적용할 수 있다.

3) 에너지 부문 배출량 요인분석법

온실가스 배출에 가장 큰 영향을 미치는 에너지부문만을 고려한다면 온실가스 배출량은 에너지를 소비하는 경제활동과 단위당 에너지소비량(에너지원단위), 단위당 온실가스 배출량(탄소집약도)에 따라 결정된다.

$$GHG_{\text{배출}} = \frac{GHG}{\text{에너지소비}} \times \frac{\text{에너지소비}}{\text{경제활동}} \times \text{경제활동}$$

전라북도 에너지 집약도, 단위당 온실가스 배출량 산정결과는 다음과 같으며, 에너지나 온실가스 관련 기술에 대한 예측이 가능하다면, 2020년 온실가스 배출량은 전라북도 GRDP의 예측을 통해 산정이 가능하다. 전라북도 에너지 원단위는 소폭 감소하는 경향을 보이고 있으며(평균 0.2 TOE/백만원), 탄소집약도는 증가하는 경향을 보이고 있다(평균 3.50tCO₂/TOE). 국가에너지기본계획(2008~2030)에 따르면, 자동차 등의 에너지이용기기의 보급속도 둔화, 에너지이용효율 개선, 산업구조의 변화 등으로 2006~2010년, 2010~2020년 각각 2.1과 2.3%의 감소율을 보일 것으로 전망하였다.

〈표 3.2.3-1〉 전라북도 에너지집약도 및 탄소집약도

구분	에너지부문 배출량(tCO ₂ e)	에너지사용량(TOE) [최종에너지소비]	GDP (백만원)	에너지원단위 (TOE/백만원)	탄소집약도 (tCO ₂ /TOE)
2000	15,232,036	4,373,000	21,772,991	0.20	3.48
2001	15,757,339	4,583,000	22,267,828	0.21	3.44
2002	16,358,014	4,653,000	23,079,665	0.20	3.52
2003	16,171,450	4,599,000	24,245,359	0.19	3.52
2004	16,352,394	4,640,000	24,764,793	0.19	3.52
2005	16,569,168	4,721,000	25,221,161	0.19	3.51
평균				0.20	3.50

나. 산업공정 부문

산업공정에서 배출되는 온실가스 배출량 예측을 위해서는 온실가스 배출량 산정에서 필요한 시계열 활동도 [광물산업(시멘트 생산, 석회생산, 유리생산), 금속산업(철강, 합금철, 마그네슘, 납, 아연), 화학산업(유리화학, 무기화학), 기타산업(비연료제품, 제지 및 펄프, HFCs, PFCs, SF6 생산·소비)] 자료가 필요하다. 세밀한 예측을 위해서는 전라북도내 탄산칼슘과 유리의 생산량, 탄산염의 사용량, 냉매 사용량(HFC), 가스절연부하개폐기(SF6, PFCs) 수량 등을 예측하고 배출량 산정방식에 따라 미래 배출량을 산정할 수 있을 것이다.

2005년 기준 산업공정 부문 온실가스 배출량 비중은 4.17%로 큰 비중을 차지하지 않고 해당산업의 생산전망과 해당물품의 수요 등을 추정하기에는 한계가 있어 본 연구에서는 산업공정 부문 전체 경향을 단순회귀분석하여 2020년 BAU를 산정하였다.

다. 농업 부문

농업 부문 온실가스 배출량은 벼논경작에 의한 배출량과 축산에 의한 배출량으로 구분할 수 있다. 벼논경작에 의한 온실가스 배출량은 벼농사에서 발생하는 메탄 배출량과 요소비료, 석회질 비료에 의한 아산화질소를 산정해야하므로, 배출량 예측을 위

해서는 미래 경작지 면적 및 비료사용량에 대한 예측이 필요하다. 축산의 경우 가축의 장내발효와 가축분뇨에 의해 발생하는 메탄 배출량을 산정한다. 따라서, 배출량 예측을 위해서는 미래 가축사육두수 및 축산처리 시스템에 대한 예측이 필요하다.

본 연구에서는 벼논경작과 축산에 의한 배출량 경향을 단순회귀분석하여 2020년 BAU를 산정하였다. 2005년 기준 전라북도 벼논경작과 축산에 의한 온실가스 배출량은 총배출량 대비 각각 3.06와 4.53%를 나타내었다.

라. 폐기물 부문

폐기물 부문 온실가스 배출량은 매립, 소각, 하·폐수 의한 배출량으로 구분할 수 있다. 폐기물 매립에 의한 온실가스 배출량 예측을 위해서는 도내 매립되는 폐기물량 예측이 필요하며, 소각의 경우 소각되는 폐기물량의 예측을 통해 온실가스 배출량 예측이 가능할 것이다. 하·폐수 부분은 인구수와 산업폐수 발생부하량에 대한 예측이 필요하며, 발생 하·폐수의 성상과 처리시설의 특성에 대한 고려도 필요하다.

2005년도 기준 폐기물 부문 온실가스 배출량 비중은 1.41%로 큰 비중을 차지하지 않아 본 연구에서는 산업공정 부문 전체 경향을 단순회귀분석하여 2020년 BAU를 산정하였다.

나. 가정 부문

에너지 소비기기 및 소비에너지 형태를 구분(냉방, 난방 및 온수, 취사, 조명, 냉장고, TV, 기타가전기기)하여 가정부문 에너지원별 소비량을 예측하고 가전제품 보급률, 바닥면적, 에너지효율, 미래 서비스점유율 등을 추정하여 다음과 같이 산정하였다.

$$ER_t(s,e) = \left(\sum_e ER_0(s,e) \right) \times AT_t(s) \times SS_t(s,e) \div EE_t(s,e)$$

$$AT_t(s) = HH_t \times HR_t(s) \times TI_t \times AR_t$$

ER : 가정부문 에너지소비량

AT : 활동량

SS : 서비스 점유율

EE : 에너지효율

HH : 세대수

TI : 사용시간

AR : 주택면적

*0 : 기준년도, s : 서비스, e : 에너지, t : 목표년도

※ 이산화탄소 배출량 산정은 산업부문과 동일함

다. 상업공공 부문

소비에너지 형태를 구분(냉방, 난방 및 온수, 조리, 설비 및 자가발전, 조명 및 기타)하여 상업공공부문 에너지원별 소비량을 예측하고 에너지효율, 미래 서비스점유율 등을 추정하여 다음과 같이 산정하였다.

$$EC_t(s,e) = \left(\sum_e EC_0(s,e) \right) \times AT_t(s) \times SS_t(s,e) \div EE_t(s,e)$$

EC : 상업공공부문 에너지소비량

AT : 활동량

SS : 서비스 점유율

EE : 에너지효율

*0 : 기준년도, s : 서비스, e : 에너지, t : 목표년도

라. 수송 부문

자동차 등록대수(승용차, 택시, 승합차, 화물차)와 주행거리를 대표적인 활동량으로 사용하였으며 자동차 등록대수를 예측하여 연비개선, 그린카도입 등을 고려하여 에너지원별 에너지소비량을 예측하였다.

$$ET_t(s,e) = \left(\sum_e ET_0(s,e) \right) \times AT_t(s) \times SS_t(s,e) \div EE_t(s,e)$$

ET : 수송부문 에너지소비량

AT : 활동량

SS : 서비스 점유율

EE : 에너지효율

$*_0$: 기준년도, s : 서비스, e : 에너지, t : 목표년도

마. 산업공정 부문

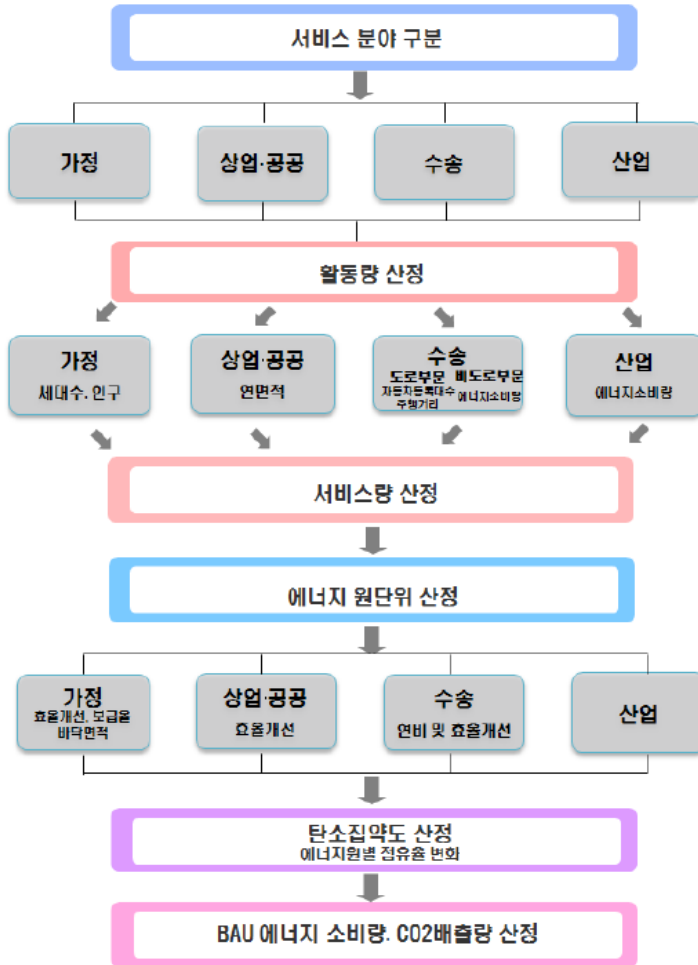
해당산업의 생산량 추이를 바탕으로 전망할 수 있다.

바. 농업 부문

경작지면적, 가축두수, 비료사용량을 인자로 장래 추이를 고려하여 배출량을 추정할 수 있다.

사. 폐기물 부문

매립, 소각, 하수, 폐수, 분뇨로 구분하여 배출량을 예측할 수 있다.



〈그림 3.2.4-1〉 에너지 부문 배출량 전망치(BAU) 산정 방법

제 3 절 검토방법론에 따른 온실가스 배출량 예측결과

검토한 방법론에 따라 각각 2005년도 기준 2020년 전라북도 BAU를 추정하였다. 온실가스 배출량은 외부환경에 따라 가변적이므로 본 연구에서는 특정값을 도출하기 보다 적정 범위를 찾아보고자 하였다.

1. 원단위를 활용한 예측 결과

가. 1인당 온실가스 총배출량을 활용한 방법

전라북도 2000~2005년간 1인당 온실가스 총배출량 경향을 2020년까지 추정하고 예측인구(통계청 추계인구)를 곱하여 산정한 결과 다음과 같이 총배출량을 추정할 수 있었다. 전라북도 1인당 온실가스 총배출량은 2005년 10.5 tCO₂/인에서 2020년 15.6 tCO₂/인으로 연평균 약 2.7%가 증가하였다. 이는 국가 BAU전망 결과 1인당 총배출량이 2005년 12.3 tCO₂/인에서 2020년 16.4 tCO₂/인으로 증가하여 연평균 약 1.9%의 증가율에 비해 높은 증가율이다.

이러한 경향을 반영하여 전라북도 2020년 온실가스 배출전망치(BAU)를 산정한 결과 23,782천tCO₂e로 2005년 대비 24.6%가 증가하였으며, 연평균 증가율은 1.48%로 산정되었다.

나. 부문별 1인당 온실가스 배출량을 활용한 방법

전라북도 2000~2005년간 부문별 1인당 온실가스 배출량 경향을 2020년까지 추정하고 예측인구(통계청 추계인구)를 곱하여 산정한 결과 다음과 같이 총배출량을 추정할 수 있었다. 전라북도 2020년 온실가스 배출전망치(BAU)는 23,782천tCO₂e로 2005년 대비 26.3%가 증가하는 것으로 나타났으며 연평균증가율은 1.57%로 산정되었다.

〈표 3.3.1-1〉 1인당 온실가스 원단위 추정에 따른 온실가스 총배출량 예측

년도	전라북도 인구* (명)	1인당 온실가스 배출량 (tCO ₂ e/인·년)	온실가스 총배출량 (tCO ₂ e/년)
	추정 (2006~)	추정 (2006~)	산정
2005	1,816,566	10.51	19,083,141
2010	1,702,960	12.19	20,755,676
2015	1,608,889	13.89	22,342,642
2020	1,525,887	15.59	23,782,475
연평균증가율	△1.16%	2.66%	1.48%

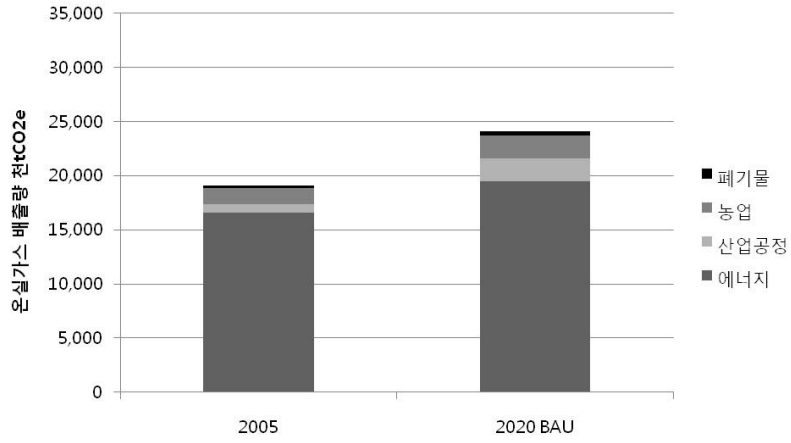
*자료 : 통계청 장래인구추계 자료

〈표 3.3.1-2〉 1인당 부문별 온실가스 원단위 추정에 따른 온실가스 총배출량 예측

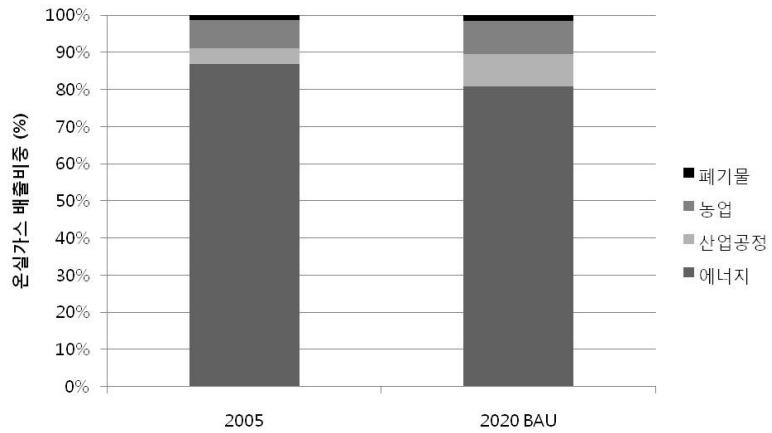
(단위 : tCO₂e)

구분	에너지				산업공정	농업부문		폐기물	총배출량
	산업	수송	가정상업	공공기타		농업부문	축산부문		
2005	6,841,212	4,872,544	4,340,791	514,621	796,003	584,450	864,355	269,165	19,083,141
2010	6,980,433	5,534,620	4,575,854	716,946	1,207,399	697,532	1,120,548	272,474	21,105,805
2015	7,157,143	5,936,800	4,681,063	899,369	1,678,876	653,370	1,345,031	322,582	22,674,234
2020	7,321,206	6,301,913	4,779,078	1,063,543	2,102,672	614,322	1,547,249	367,739	24,097,723
연평균증가율	0.45%	1.73%	0.64%	4.96%	6.69%	0.33%	3.96%	2.10%	1.57%

각 부문별 연평균 증가율을 살펴보면, 산업공정 부문이 6.69%로 가장 높은 증가율을 보였으며, 에너지 부문에서는 공공·기타 부문이 4.96%, 농업 중 축산에 의한 배출량이 3.96%로 상대적으로 높은 배출량 증가율을 보였다. 따라서, 2020년 부문별 배출 비중은 에너지 부문은 86.83%에서 80.78%로 감소하고 산업공정부문, 축산부문이 각각 4.17에서 8.73%, 7.59에서 8.97%로 증가할 것으로 예측되었다.



〈그림 3.3.1-1〉 2005년, 2020년 배출전망치 온실가스 배출량
(부문별 1인당 원단위 적용)



〈그림 3.3.1-2〉 2005년, 2020년 배출전망치 부문별 온실가스 배출비중
(부문별 1인당 원단위 적용)

다. 국가 총배출량 대비 온실가스 배출비중을 활용한 방법

국가 감축목표 설정을 위한 BAU 추정결과를 활용하여 전라북도 2000~2005년 평균 비중원단위인 3.17%를 적용할 경우 다음과 같이 총배출량을 예측할 수 있었다. 전라북도 2020년 온실가스 배출전망치(BAU)은 26,097천tCO₂e로 2005년 대비 36.8%가 증가하는 것으로 나타났다.

〈표 3.3.1-3〉 국가 온실가스 비중에 따른 전라북도 온실가스 총배출량 예측

년도	국가 총배출량 (tCO ₂ e/yr)	비율원단위 (%)	전라북도 총배출량 (tCO ₂ e/yr)
2005	596,700,000	-	19,083,141
2010	669,200,000	3.17	21,481,320
2015	741,300,000	3.17	23,795,730
2020	813,000,000	3.17	26,097,300
연평균 증가율	2.08 %	-	2.11 %

2. 다중회귀분석 예측 결과

12개 광역지자체(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 경기도, 강원도, 충북, 충남, 전북, 경남)의 온실가스 총배출량을 종속변수로, 인구, 전기사용량, 도시가스 사용량, 석유사용량, 총에너지사용량, GRDP를 독립변수로 하는 다중회귀분석을 수행하여 온실가스 배출량 산정 모형을 찾아보고자 하였다. 온실가스 총배출량 자료는 지자체 용역보고서, 지역연구원 자료, 2009년 환경공단 지자체 온실가스 배출량 사업결과를 이용하였다. 에너지 사용량은 지역에너지통계연보를 이용하였고, 인구와 GRDP 자료는 통계청 자료를 활용하였다.

1인당 온실가스 배출량 추정모형 연도별 패널 데이터를 사용하여 Fixed-Effect 회귀 분석을 이용하였다. 각 항목의 단위는 온실가스 배출량은 천tCO₂e, 인구 천명, GRDP 억원, 에너지 천TOE 기준으로 산정되었다. 모형을 찾는 과정에서 도시가스, 전기, 오일 사용량 관계를 설명할 수 있는 모형을 찾기 어려웠다. 각 지자체별 특성이 다르므로 세부 요인을 통해 공통 관계를 도출하기에는 한계가 있었다. 따라서, GRDP와 총에너지 소비량이 최종 독립변수로 선정되었으며, 도출된 관계식은 다음과 같다.

$$\text{CO}_2/\text{인 배출} = -2.85 + 2.36 (\text{GRDP}/\text{인}) + 4.90 (\text{총에너지}/\text{인}) \quad R^2 = 0.7368$$

도출된 관계식을 통해 2006~2020년 전라북도 온실가스 배출량을 예측하기 위해서는 배출하고자 하는 목표연도의 인구, GRDP, 총에너지에 대한 전망자료가 필요하다. 본 연구에서는 통계청 인구자료를 사용하였으며, 미래의 전라북도 총에너지 소비량은 국가에너지 기본계획(2008~2030년)의 에너지원별 증가율을 활용하여 추정하였다. GRDP 추정을 위해 통계청의 1990~2007년 전라북도 GRDP 2005년 기준가격 자료를 단순회귀분석하여 추정하였다.

통계청 인구추계 결과에 따르면 전라북도 인구의 경우 2020년까지 1.40% 감소율을 보일 것으로 나타났다. 인당 GRDP는 4.14%의 증가율을 보이고, 인당 총에너지 사용량은 3.52% 증가할 것으로 산정되었다. 위에도 도출한 관계식을 이용하여 1인당 온실가스 배출량을 산정한 결과 2005년 10.12 tCO₂e/명에서 2020년 18.35 tCO₂e/명으로 연평

균 4.04% 증가하였다.

다중회귀분석에 따른 전라북도 2020년 온실가스 배출전망치(BAU)는 27,995천tCO₂e로 2005년 대비 46.7%가 증가하여 연평균 2.59%의 증가율을 보일 것으로 나타났다.

〈표 3.3.2-1〉 다중 회귀분석에 따른 전라북도 온실가스 총배출량 예측

년도	인구 (천명)	인당 GDP (억원/천명)	인당 총에너지 (천TOE/천명)	1인당 온실가스 배출량(tCO ₂ e/명)	온실가스 배출량(tCO ₂ e)
	추정 (2006~)	추정 (2006~)	추정 (2006~)	관계식으로 산정	산정 (2006~)
2005	1,885	0.13	2.50	10.12	19,083,141
2010	1,703	0.17	3.08	12.65	21,542,933
2015	1,609	0.21	3.60	15.28	24,581,795
2020	1,526	0.25	4.21	18.35	27,994,703
연평균 증가율	△1.40%	4.14%	3.52%	4.04%	2.59%

본 연구에서는 지자체 자료수집에 한계가 있어 관측수가 충분하지 않고, 산정방법이 상이하여 향후 배출량 결과가 달라질 수 있다. 향후 검증된 방법으로 지자체의 배출량이 산정되고 시계열 자료가 축적되면 통계적으로 유의성이 높은 모형을 찾을 수 있을 것으로 판단된다.

3. 부문별 예측 결과

가. 에너지원별 수요량 추정_시계열(ARMA) 분석 결과

2000년부터 2005년까지의 에너지원별(석유, 전력, 도시가스) 사용량을 이용하여 단변량 시계열 모형을 찾고 이 모형을 바탕으로 2020년까지의 에너지원별 수요량을 예측하고자 하였다. 시계열 예측모형의 기본적인 구축 방법은 먼저 분석 대상이 되는 시계열 자료의 안정성 여부를 확인한 이후에 가장 적합한 예측 모형을 선택하고 이 선택된 모형의 적합성 여부를 검정하는 방식으로 이뤄졌다.

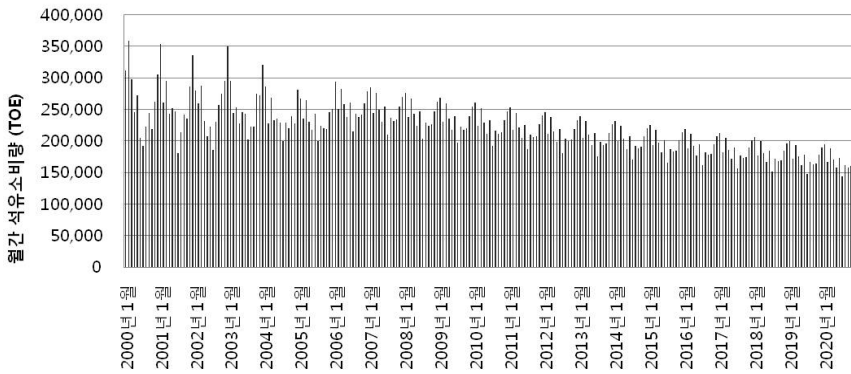
먼저 시계열 분석을 하기 위해서는 분석 대상이 되는 시계열이 안정성을 가지고 있는지의 여부를 판별해야 한다. 여기에서 안정적인 시계열이란 시계열의 통계적 특성인 평균이나 분산 혹은 공분산 등이 시간과 관계없이 항상 일정한 것을 의미한다. 대부분의 통계적 예측 모형에 있어서 기본 가정은 분석 대상이 되는 시계열은 반드시 안정적이어야 한다는 것이며 이 경우에만 의미 있는 예측이 가능해진다.

본 연구에서는 시계열의 안정성 여부를 판별하기 위해서 단위근 검정(Unit Root Test)을 이용하는데 보다 구체적으로 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정과 PP(Phillips-Perron) 검정, 그리고 KPSS(Kitawoski-Phillips-Schmidtshin) 검정을 실시한다. 이 과정을 통해 분석에 사용되는 시계열 자료가 불안정하다고 판단이 되면 차분(Differncing) 방법을 대상 시계열을 안정적 시계열로 바꾸어 분석을 실시하였다.

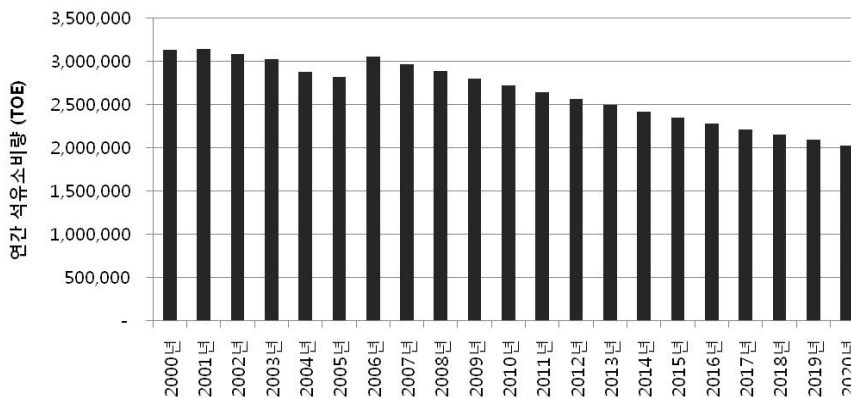
다음으로 주어진 시계열 자료를 이용하여 예측 모형을 선택하기 위해서 단변량 분석을 실시하는데 사용된 방법론은 Box와 Jenkins가 제시한 ARMA(Autoregressive Moving Average) 모형이다. 이 모형을 이용하여 차수인 p 와 q 값을 선택하고 추정된 ARMA(p,q)모형의 적합성을 RMSE(Root Mean Squared Error), MAE(Mean Absolute Error), MAPE(Mean Absolute Percentage Error) 값을 기준으로 검정하였다. 본 연구에서는 2020년까지의 에너지원별 수요량을 예측하기 위한 모형을 구축하기 위해서 주어진 데이터를 두 부분으로 나누게 되는데 한 부분은 시계열 모형을 추정하는데 이용하고 분석에서 추정된 ARMA 모형을 이용하여 다른 나머지 부분의 예측치를 구하고, 이 예측치를 실제 데이터와 비교함으로써 모형의 적합성 검정을 실시할 수 있게 된다.

1) 에너지원별 소비예측

2000~2005년 월별자료를 분석하여 2006~2020년 석유소비를 시계열 분석을 통해 예측한 결과 연간 2.97%의 감소율을 보일 것으로 나타났다. 이는 최근 고유가로 인한 에너지 소비 패턴의 변화, 산업 부문 에너지 다소비 업체의 노력, 수송부문 친환경 연료 전환사업 등에 따른 것으로 판단된다. 향후 이러한 경향이 지속될 경우 전라북도 석유소비량은 2005년 2,816,339TOE에서 2020년 2,030,962TOE로 감소하는 것으로 나타났다.

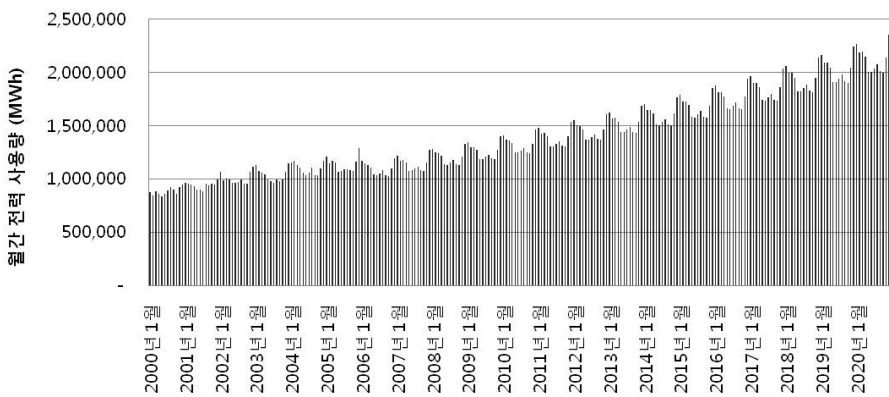


〈그림 3.3.3-1〉 시계열분석(ARMA)을 통한 전라북도 월간 석유소비 예측량

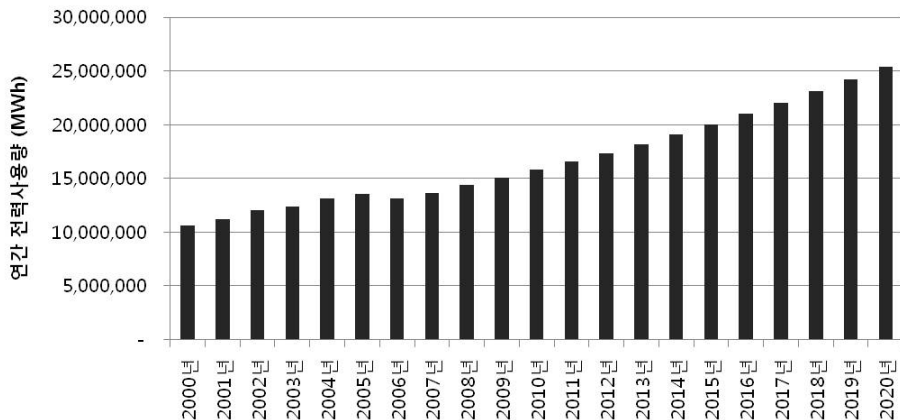


〈그림 3.3.3-2〉 시계열분석(ARMA)을 통한 전라북도 연간 석유소비 예측량

2000~2005년 월별자료를 분석하여 2006~2020년 전력사용량을 예측한 결과 연간 4.61%의 증가율을 보일 것으로 예측되었다. 전라북도 용도별 전력소비량 비율은 2009년 기준 제조업 52.5%, 서비스 25.8%, 가정용 12.5%, 기타 (공공, 광업, 농수산업) 9.2%로 구성되어 있으며, 2000~2005년 간 모든 분야에서 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 향후 이러한 경향이 지속될 경우 전라북도 전력소비량은 2005년 13,592,997MWh에서 2020년 25,394,010MWh로 증가하는 것으로 나타났다.

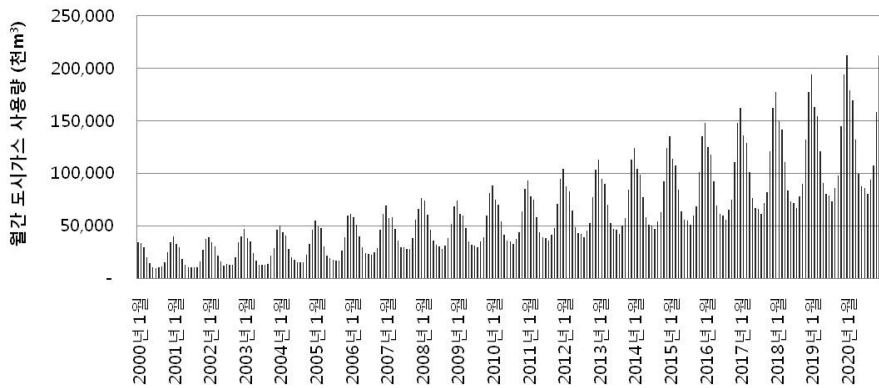


〈그림 3.3.3-3〉 시계열분석(ARMA)을 통한 전라북도 월간 전력소비 예측량

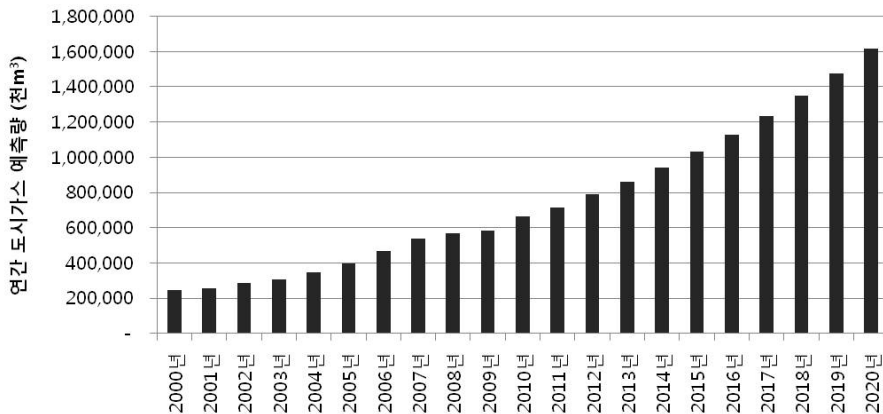


〈그림 3.3.3-4〉 시계열분석(ARMA)을 통한 전라북도 연간 전력소비 예측량

2000~2005년 월별자료를 분석하여 2006~2020년 도시가스 사용량을 예측한 결과 연간 10.48%의 높은 증가율을 보일 것으로 예측되었다. 2000년 초기 전주, 완주, 익산, 군산 위주로 공급되던 도시가스 보급이 정읍, 김제로 확대되고 있으며, 향후 도시가스 공급지역이 지속적으로 확대될 것으로 전망된다. 전라북도 도시가스 소비량은 2005년 399,248천 m^3 에서 2020년 1,614,319천 m^3 로 증가하는 것으로 나타났다.



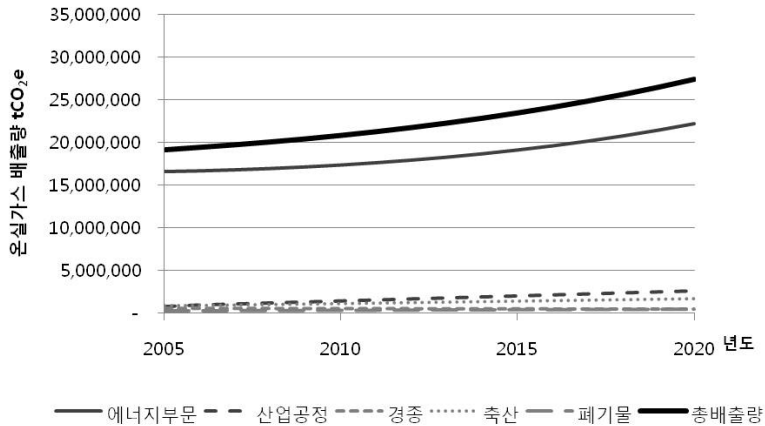
〈그림 3.3.3-5〉 시계열분석(ARMA)을 통한 전라북도 월간 도시가스 소비 예측량



〈그림 3.3.3-6〉 시계열분석(ARMA)을 통한 전라북도 연간 도시가스 소비 예측량

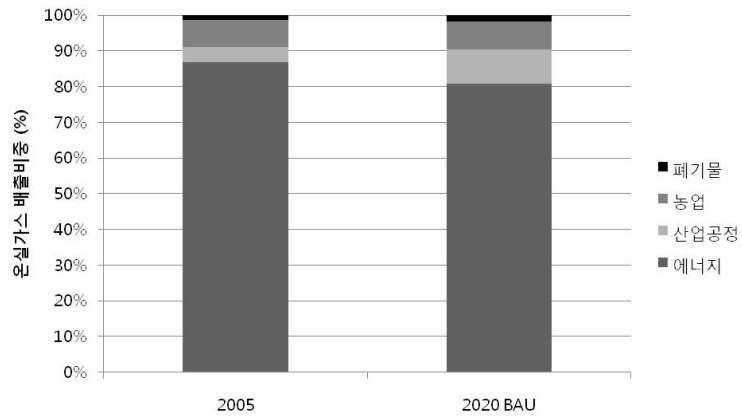
2) 배출량 산정결과

시계열 분석을 통해 도출한 에너지원별 증가율을 이용하여 온실가스 배출량을 산정한 결과 다음 그림과 같은 결과를 얻었다. 석탄소비에 의한 온실가스 배출량은 국가 에너지 기본계획의 증가율을 적용하였으며, 산업공정, 농업(경종, 축산), 폐기물 부문은 단순회귀분석 결과를 적용하였다. 전라북도 2020년 온실가스 배출전망치(BAU)는 27,415천tCO₂e로 2005년 대비 43.7%(연평균증가율 2.44%)가 증가하였다.



〈그림 3.3.3-7〉 에너지 부문 시계열 분석을 통한 전라북도 배출전망치(BAU) 예측

2020년 부문별 배출비중은 에너지 부문은 86.83%에서 80.83%로 감소하고 산업공정 부문, 축산부문이 각각 4.17에서 9.67%, 7.59에서 7.84%로 증가할 것으로 예측되었다.



〈그림 3.3.3-8〉 2005년, 2020년 배출전망치 부문별 온실가스 배출비중
(에너지 부문 시계열 분석)

나. 에너지원별 수요량 추정_국가에너지기본계획

1) 국가에너지 기본계획에 따른 배출량 추정

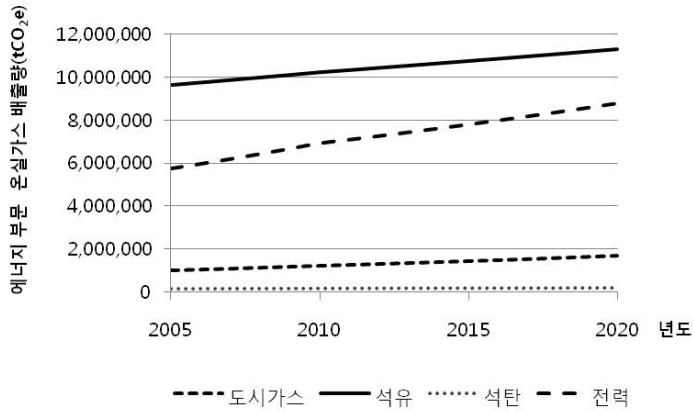
제1차 국가에너지 기본계획(2008~2030년)에 따르면 최종에너지 원별 수요를 다음 표와 같이 전망하였다. 석탄은 2006~2010년 5년간 연평균 증가율 1.7%, 2010~2020년 연평균 증가율 1.2%로 예측하였다. 석유는 각각의 기간 동안 1.2%와 1.0%, 도시가스는 3.9%와 3.2%, 전력의 경우 3.8%와 2.4%의 수요증가를 예측하였다. 본 연구에서는 열에너지와 신재생에너지 보급에 따른 에너지 대체 효과는 반영하지 않았다.

〈표 3.3.3-1〉 최종에너지 원별 수요 전망

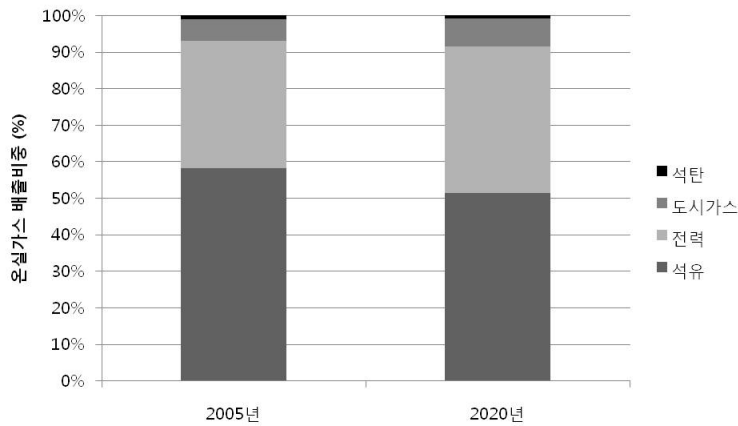
(단위:백만TOE)

	2006	2010	2015	2020	2025	2030	연평균 증가율(%)			
							06-10	10-20	20-30	06-30
석탄	22.7 (13.1)	24.3 (12.8)	25.7 (12.4)	27.2 (12.1)	28.3 (11.8)	27.6 (11.3)	1.7	1.2	0.1	0.8
석유	97.0 (55.9)	101.9 (53.6)	107.0 (51.4)	112.4 (49.8)	117.0 (48.6)	114.7 (46.8)	1.2	1.0	0.2	0.7
도시가스	18.4 (10.6)	21.4 (11.3)	25.5 (12.2)	29.2 (13.0)	32.2 (13.4)	33.9 (13.8)	3.9	3.2	1.5	2.6
전력	30.0 (17.3)	34.8 (18.3)	39.7 (19.1)	43.9 (19.5)	47.9 (19.9)	50.3 (20.5)	3.8	2.4	1.4	2.2
열에너지	1.4 (0.8)	1.9 (1.0)	2.4 (1.2)	2.9 (1.3)	3.4 (1.4)	3.9 (1.6)	8.1	4.0	3.0	4.3
신재생	4.1 (2.4)	5.9 (3.1)	7.8 (3.7)	9.8 (4.4)	12.2 (5.0)	14.6 (6.0)	9.5	5.3	4.1	5.4
계	173.6 (100.0)	190.2 (100.0)	208.1 (100.0)	225.4 (100.0)	241.0 (100.0)	245.1 (100.0)	2.3	1.7	0.8	1.4

국가에너지 기본계획에 따른 최종에너지 원별 증가율을 적용하여 각 에너지원별 2020년 온실가스 배출량을 산정한 결과 2005년 16,569천tCO₂e에서 21,974천tCO₂e로 32.62% 증가하였다. 석유 사용에 의한 온실가스 배출비중은 2005년 58.20%에서 2020년 51.46%로 감소하며, 전력은 각각 34.78%에서 40.07%, 도시가스는 각각 6.10%에서 7.63% 증가하는 것으로 나타났다.



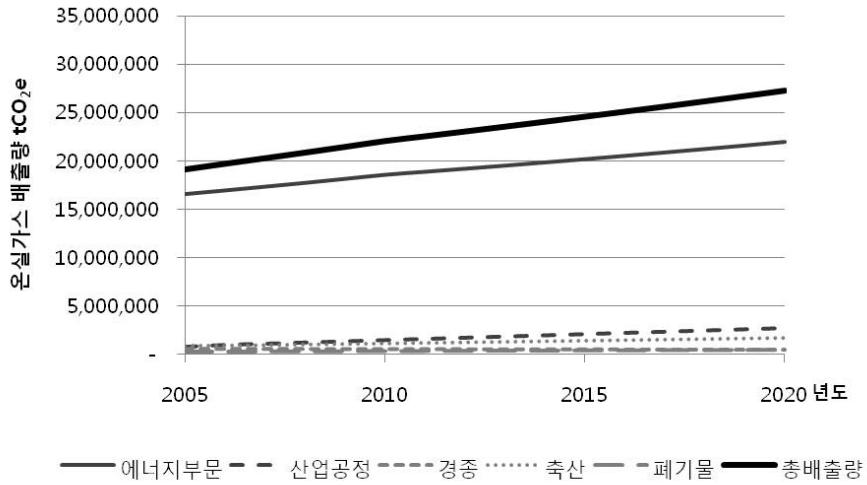
〈그림 3.3.3-9〉 국가에너지 기본계획 전망에 따른 전라북도 에너지 부문 온실가스 배출량



〈그림 3.3.3-10〉 국가에너지 기본계획 전망에 따른 전라북도 에너지 부문 온실가스 배출비중

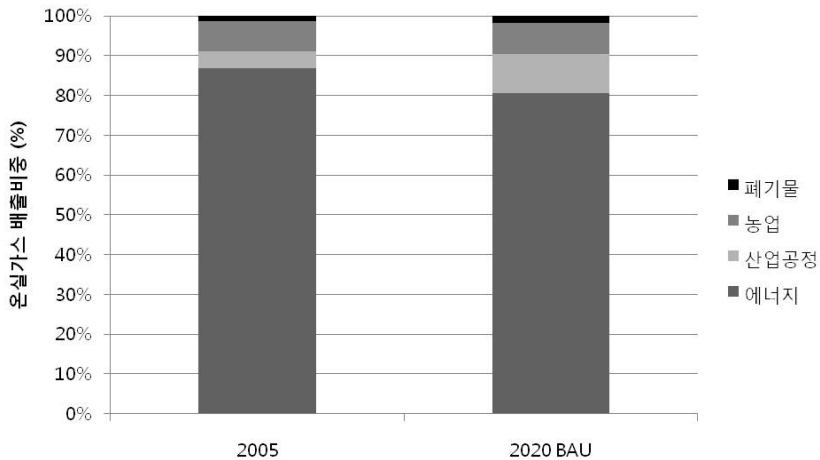
2) 배출량 산정결과

에너지 부문 온실가스 배출량 예측결과에 본 연구에서 산정한 산업공정, 농업(경종, 축산), 폐기물 부문의 결과값을 적용하였다. 전라북도 2020년 온실가스 배출전망치(BAU)는 27,229천tCO₂e로 2005년 대비 42.7%(연평균 증가율 2.40%)가 증가하였다.



〈그림 3.3.3-11〉 국가에너지 기본계획 전망에 따른 전라북도 배출전망치(BAU) 예측

2020년 부문별 배출비중은 에너지 부문은 86.83%에서 80.70%로 감소하고 산업공정 부문, 축산부문이 각각 4.17에서 9.73%, 7.59에서 7.90%로 증가할 것으로 예측되었다.



〈그림 3.3.3-12〉 2005년, 2020년 배출전망치 부문별 온실가스 배출비중 (에너지 기본계획에 따른 에너지원별 배출량 예측)

다. 에너지 부문 배출량 요인분해법

1) 지표산정에 따른 배출량 예측

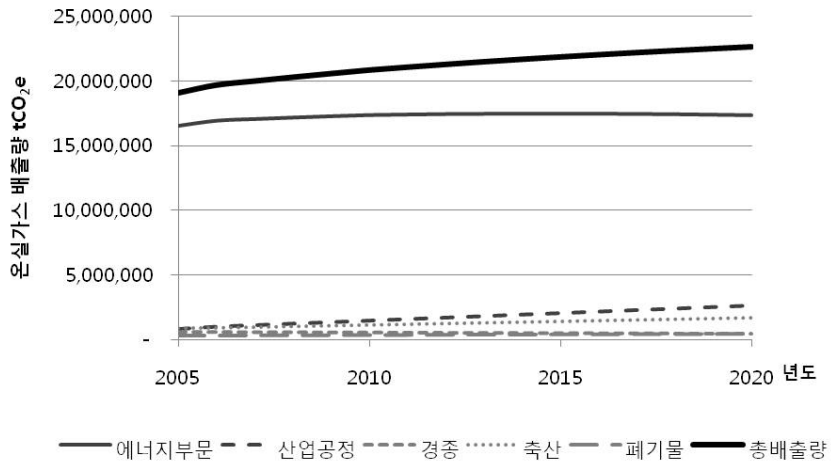
1990~2005년 동안의 전라북도 GRDP를 단순회귀분석하여 추정한 결과 2020년 전라북도 GRDP는 37,271,670백만원으로 예측되었다. 따라서 2020년 전라북도 에너지 부문 온실가스 배출량은 다음식과 같이 전라북도 에너지원단위, 탄소집약도를 곱하여 17,390천tCO₂e로 산정되었다. 에너지원단위는 국가에너지기본계획의 연평균증가율을 반영하여 2006~2010년 연평균 2.1%감소, 2010~2020년 연평균 2.3%감소하는 경향을 따랐다. 에너지나 온실가스 관련 기술이 현재의 수준을 유지한다고 가정하여 탄소집약도를 2000~2005년 평균값을 사용하였다.

$$GHG_{\text{배출}} = \frac{GHG}{\text{에너지소비}} \times \frac{\text{에너지소비}}{\text{경제활동}} \times \text{경제활동}$$

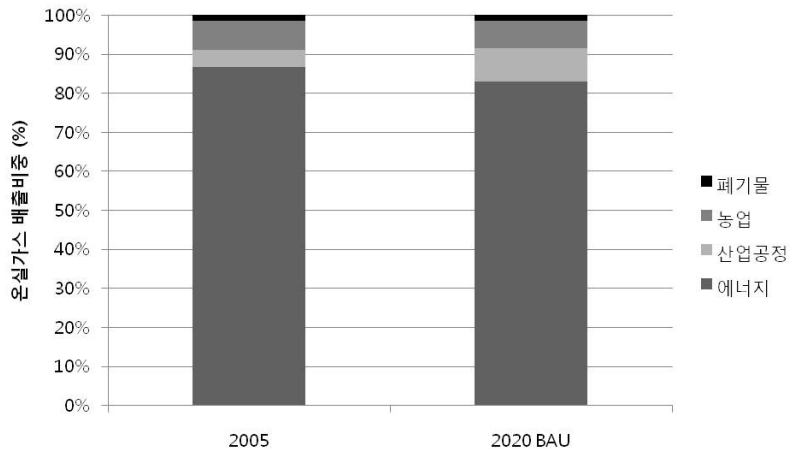
2) 배출량 산정결과

전라북도 2020년 온실가스 배출전망치(BAU)은 22,646천tCO₂e로 2005년 대비 18.7%(연평균증가율 1.15%)가 증가하였다. 산업공정, 농업(경종, 축산), 폐기물 부문은 단순회귀분석 결과를 적용하였다. 에너지 부문의 경우 에너지원단위 개선의 효과로 2015년경 17,513천tCO₂e로 정점을 보이다가 점차 감소하는 경향이 나타났다.

2020년 부문별 배출비중은 에너지 부문은 86.83%에서 76.79%로 감소하고 산업공정 부문은 각각 4.17에서 11.70%로 증가하며, 축산부문이 7.59에서 7.51%로 소폭 감소할 것으로 예측되었다.



〈그림 3.3.3-13〉 에너지 부문 배출량요인 분해법에 따른 전라북도 배출전망치(BAU) 예측



〈그림 3.3.3-14〉 2005년, 2020년 배출전망치 부문별 온실가스 배출비중 (배출량 요인분해법)

라. 산업공정 부문 예측 결과

2000년 대비 2005년 산업공정 부문 배출량은 261,969 tCO₂/yr에서 796,003 tCO₂/yr로 200%이상 증가하였다. 도내 지속적인 산업단지 용지의 증가경향을 고려하여 산업공정 부문 온실가스 배출량이 선형적인 증가를 보일 경우 2020년 2,649,846 tCO₂/yr (연평균 증가율 8.35%)이 배출될 것으로 예측되었다.

마. 농업 부문 예측 결과

2000년 대비 2005년 경종 부문 배출량은 7.86% 감소하였으며, 감소경향이 계속될 경우 2020년 451,013 tCO₂/yr로 연평균 1.71% 감소할 것으로 예측되었다. 축산 부문 배출량은 2000~2005년 100%이상 증가하였으며, 증가경향이 계속될 경우 2020년 1,699,697 tCO₂/yr로 연평균 4.61%가 증가할 것으로 나타났다. 경종 부문 감소량 보다 축사에 의한 온실가스 배출량 증가량이 높아 농업 부문은 2020년 2,150,709 tCO₂/yr로 연평균 2.67%의 증가율을 보일 것으로 예측되었다.

바. 폐기물 부문 예측 결과

2000년 대비 2005년 폐기물 부문 배출량은 197,638 tCO₂/yr에서 269,165 tCO₂/yr로 36%정도 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향을 반영하여 2020년 온실가스 배출량을 예측한 결과 455,190 tCO₂/yr로 연평균 3.56%의 증가율을 보일 것으로 나타났다.

〈표 3.3.3-2〉 산업공정, 농업, 폐기물 부문 온실가스 배출량 예측결과

(단위 : tCO₂e)

연도	산업공정	농업			폐기물
		경종	축산	합계	
2005	796,003	584,450	864,355	1,448,805	269,165
2010	1,460,311	538,963	1,118,458	1,657,421	332,211
2015	2,055,078	494,988	1,409,077	1,904,065	393,700
2020	2,649,846	451,013	1,699,697	2,150,709	455,190
연평균 증가율(%)	8.35	△1.71	4.61	2.67	3.56

4. 국립환경과학원 가이드라인에 따른 예측 결과

가. 산업부문 에너지

산업부문은 제조업 및 건설업, 농림어업 부문으로 구분하여 경유, 유연탄, B-C유, LNG, 전력의 에너지원별 사용량을 추정하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 에너지원별 사용량 추정은 각 에너지원별 사용량과 기준유가, 환율, 제조업 생산지수, 인구, GRDP등의 경제지표 상관분석을 통해 회귀식을 도출하였다. 도출된 회귀식에 경제지표 예측값을 대입하여 2020년 에너지원별 소비량을 전망하고 이에 따른 온실가스 배출량을 산정하였다. 산업부문 에너지 소비에 의한 온실가스 배출량은 다음 표와 같다.

〈표 3.3.4-1〉 NIER 가이드라인 산업부문 BAU 산정결과

(단위 : 천tCO₂)

구분		제조업 및 건설업	농업/임업/어업	합계
2005	휘발유	0.0	157.3	157.3
	경유	131.5	379.8	511.3
	등유	0.0	91.0	91.0
	석탄류	678.0	0.0	678.0
	부탄	0.0	0.0	0.0
	프로판	0.0	0.0	0.0
	중유	2,169.9	66.4	2,236.3
	LNG	197.1	0.0	197.1
	전력	3,014.4	215.8	3,230.2
	기타	256.8	11.9	268.7
	Total	6,447.6	922.3	7,369.9
2020	휘발유	0.0	128.4	128.4
	경유	188.9	389.0	577.9
	등유	0.0	70.3	70.3
	석탄류	1,541.1	0.0	1,541.1
	부탄	0.0	0.0	0.0
	프로판	0.0	0.0	0.0
	중유	1,406.2	66.3	1,472.5
	LNG	259.7	0.0	259.7
	전력	4,526.2	153.2	4,679.3
	기타	389.7	10.6	400.3
	Total	8,311.7	817.7	9,129.4

나. 가정부문 에너지

가정부문은 냉방, 난방 및 온수, 취사, 조명, 냉장고, TV, 기타기기(세탁기 외 10개) 분야로 구분하여 석탄류, 석유류, 가스, 바이오, 신재생, 열에너지, 전력의 에너지원별 사용량을 추정하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 가정부문 에너지원별 최종에너지 점유율 전망은 녹색성장위원회에서 제시한 증가율을 활용하였다. 분야별 에너지 소비량 산정을 위한 활동량은 세대수, 가구 구성원수, 평균바닥면적, 가전제품 보급률을 고려하였으며, 각 분야별 보급기기의 에너지 효율개선 정도를 반영하였다. 가정부문 에너지 사용에 의한 온실가스 배출량을 산정한 결과는 다음과 같다.

〈표 3.3.4-2〉 NIER 가이드라인 가정부문 BAU 산정결과

(단위 : 천tCO₂)

구분	냉방	난방 및 온수	취사	조명	냉장고	TV	기타기기	Total	
반영 활동도 (기기 보급률 포함)	가구수, 가구구성원수, 평균바닥면적,		가구수, 구성원 수	가구수, 바닥면적	가구수	가구수	가구수	-	
2005	석탄류	0.0	127.3	0.0	0.0	0.0	0.0	127.3	
	석유류	0.0	967.8	0.0	0.0	0.0	0.0	967.8	
	가스	0.0	473.8	276.7	0.0	0.0	0.0	750.4	
	바이오	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	신재생	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	열에너지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	전력	62.0	121.0	134.1	102.5	222.2	114.1	455.2	1,211.1
	합계	62.0	1,689.9	410.8	102.5	222.2	114.1	455.2	3,056.7
2020	석탄류	0.0	62.8	0.0	0.0	0.0	0.0	62.8	
	석유류	0.0	387.1	0.0	0.0	0.0	0.0	387.1	
	가스	0.0	857.1	188.1	0.0	0.0	0.0	1,045.2	
	바이오	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	신재생	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	열에너지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	전력	95.6	216.9	102.6	94.8	175.4	88.9	393.7	1,167.9
	합계	95.6	1,523.9	290.6	94.8	175.4	88.9	393.7	2,663.0

다. 상업·공공부문 에너지

상업공공 부문은 공공, 도소매, 음식 및 숙박, 통신, 금융 및 보험교육서비스, 보건 및 사회복지, 오락 및 운동 등을 포함하는 분야이다. 상업공공 부문은 냉방, 난방 및 온수, 조리, 설비 및 자가발전, 조명·기타 분야로 구분하여 석탄류, 석유류, LPG, 도시가스, 전력, 열에너지, 기타의 에너지원별 사용량을 추정하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 분야별 에너지 소비량 산정을 위한 활동량은 상업연면적 변화를 고려하였으며, 각 분야별 에너지 효율개선 정도를 반영하였다. 가정상업부문 에너지 사용에 의한 온실가스 배출량을 산정한 결과는 다음과 같다.

〈표 3.3.4-3〉 NIER 가이드라인 상업공공부문 BAU 산정결과

(단위 : 천tCO₂)

구분	난방 및 온수	냉방	조리	설비 및 자가발전	조명 및 기타	Total	
반영 활동도	상업연면적					-	
2005	석탄류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	석유류	426.5	2.4	11.9	5.3	1.7	447.8
	가스	47.9	12.1	16.4	0.2	0.5	77.1
	바이오	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	신재생	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	열에너지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	전력	218.5	271.5	28.4	250.5	565.4	1,334.3
	합계	692.9	286.0	56.7	255.9	567.6	1,859.2
2020	석탄류	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	석유류	449.9	0.0	7.1	0.0	0.0	457.0
	가스	222.2	22.6	34.8	0.0	0.0	279.6
	바이오	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	신재생	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	열에너지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	전력	452.8	360.5	50.0	396.6	826.3	2,086.2
	합계	1,124.9	383.1	91.9	396.6	826.3	2,822.7

라. 수송부문 에너지

상업공공 부문은 도로(승용/택시/승합/화물차)와 비도로(열차/항공/해운) 분야로 구분하여 등유, 휘발유, 경유, 병커유, JET, LPG, LNG의 에너지원별 사용량을 추정하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 분야별 에너지 소비량 산정을 위한 활동량은 도로부문의 경우 자동차등록대수를 선정하였고 이에 영향을 미치는 요인으로 유가, 환율, 소비자물가지수, 인구, GRDP, 제조업생산량, 제조업생산지수 등을 선정하고 상관분석, 회귀분석을 통해 예측하였다. 자동차등록대수와 주행거리를 이용하여 분야별 에너지수요를 산정하여 에너지소비량을 전망하였다. 비도로부문의 경우 최근 3년간 이동평균법을 이용하여 예측하였다. 또한, 향후 그린카 보급율에 따라 연료별 점유율과 연비개선을 고려하였다. 수송부문 에너지 사용에 의한 온실가스 배출량을 산정한 결과는 다음과 같다.

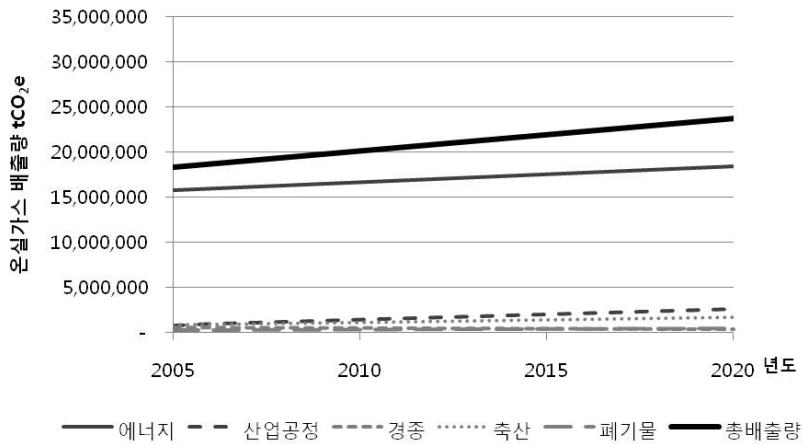
〈표 3.3.4-4〉 NIER 가이드라인 수송부문 BAU 산정결과

(단위 : 천tCO₂)

구분	승용차	TAXI	승합차	화물차	열차	항공	해운	Total	
2005	등유	0.0	0.0	0.0	0.09	0.0	0.0	0.1	
	휘발유	722.1	5.6	1.0	0.11	0.0	0.0	728.9	
	경유	221.9	5.0	107.6	1,827.59	46.6	0.0	2,220.8	
	병커유	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	10.7	
	JET	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	11.4	0.0	
	LPG	279.5	188.6	54.0	0.00	0.0	0.0	522.1	
	LNG	0.0	0.0	27.1	0.00	0.0	0.0	27.1	
	전력	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	
	바이오매스	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	
	태양광/풍력	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	
	열에너지	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	
	수소에너지	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	
종합	1,223.5	199.3	189.7	1,827.8	46.6	11.4	22.8	3,521.1	
2020	등유	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	휘발유	381.2	7.6	2.6	0.3	0.0	0.0	0.0	391.7
	경유	810.3	9.0	171.4	1,964.1	47.3	0.0	17.5	3,019.7
	병커유	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	4.8
	JET	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	0.0	11.9
	LPG	224.3	174.9	13.3	27.8	0.0	0.0	0.0	440.3
	LNG	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	전력	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	바이오매스	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	태양광/풍력	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	열에너지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	수소에너지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
종합	1,415.9	191.5	187.3	1,992.2	47.3	11.9	22.4	3,868.5	

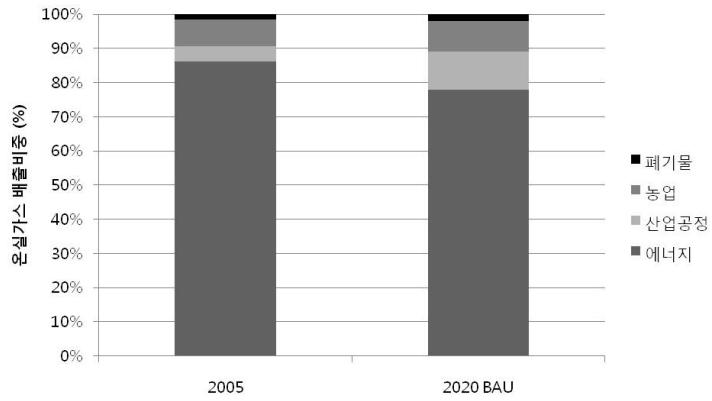
마. 가이드라인 총배출량 예측 결과

에너지 부문 각 부문별 합계와 본 연구의 산업공정, 농업(경종, 축산), 폐기물 부문의 단순회귀분석 결과를 적용하여 2020년 전라북도 BAU를 산정하였다. 배출량 산정방법이 전라북도 종합대책의 방법과 상이하여 2005년 기준값을 가이드라인 산정 결과인 18,321천tCO₂e으로 설정하였다. 전라북도 2020년 온실가스 배출전망치(BAU)는 23,739천tCO₂e로 2005년 대비 29.6%(연평균 증가율 1.74%)가 증가할 것으로 전망되었다.



〈그림 3.3.4-1〉 NIER가이드라인(에너지 부문)에 따른 전라북도 배출전망치(BAU) 예측

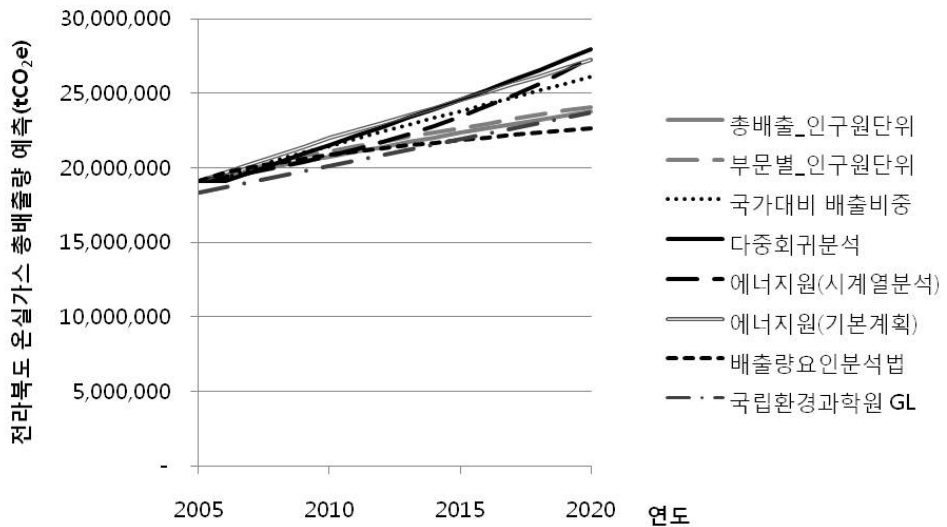
2020년 부문별 배출비중은 에너지 부문은 86.28%에서 77.86%로 감소하고 산업공정 부문, 축산부문이 각각 4.34에서 11.16%, 7.91에서 9.06%로 증가할 것으로 예측되었다.



〈그림 3.3.4-2〉 2005년, 2020년 배출전망치 부문별 온실가스 배출비중
(국립환경과학원 가이드라인)

5. 배출량 산정결과 종합

다양한 방법론을 통해 2005년 기준 2020년 전라북도 자연배출량을 산정한 결과 22,646~27,994천tCO₂e의 온실가스 배출량 범위를 보였다. 모든 방법론에서 온실가스 배출량은 증가할 것으로 나타나, 인구의 감소에도 불구하고 전라북도 온실가스 총배출량은 2020년까지 지속적으로 증가할 것으로 추정되었다. 그러나, 배출량요인분석법의 경우 에너지원단위의 개선이 이루어질 경우 2015년경 정점을 보이다 에너지 부문의 온실가스 배출량은 점차 감소하는 것으로 나타났다. 2020년 BAU증가량은 2005년 대비 18.67~46.70%로 ‘배출량요인분석법’이 가장 낮은 18.67%의 증가율을 보였으며, ‘다중회귀분석법’이 46.70%로 가장 높은 증가율을 보였다. 각 방법별 최고~최저의 차이는 5,349천tCO₂e로 2005년 배출량의 28.03%에 해당하였다.



〈그림 3.3.5-1〉 전라북도 2020년 BAU 온실가스 배출량 산정결과 종합

적용한 8개의 방법론에 의한 2020년 평균 전라북도 온실가스 배출전망치(BAU)는 25,375,300tCO₂e이며, 2005~2020년 연평균증가율은 1.93%로 2005년 대비 2020년 평균 33.62% 증가할 것으로 나타났다. 이는 국가 감축목표 설정시 산정한 BAU 전망결과치인 '2005~2020년 연평균증가율 2.1%와 2005년 대비 2020년 약 37% 증가'에 비해 낮은 수준인 것으로 분석되었다. 부문별 비중은 에너지 부문이 평균 79.4%로 가장 높았으며, 산업공정, 농업, 폐기물이 각각 10.2, 8.7, 1.8%를 차지할 것으로 나타났다.

〈표 3.3.5-1〉 전라북도 2020년 BAU 온실가스 배출량 산정결과 종합

No.	방법론	구분	2020년 전라북도 온실가스 배출전망치(BAU)	연평균 증가율 (%)	2005년 대비 증가율 (%)	부문별 비중 (%)				
						에너지	산업 공정	농업	폐기물	합계
1	1인당 온실가스 총배출량	원단위	23,782,475	1.48	24.63	-	-	-	-	-
2	부문별 1인당 온실가스 배출량		24,097,723	1.57	26.28	80.77	8.73	8.97	1.53	100.00
3	국가 총배출량 대비 온실가스 배출비중		26,097,300	2.11	36.76	-	-	-	-	-
4	다중회귀분석 모형	회귀분석	27,994,703	2.59	46.70	-	-	-	-	-
5	시계열 분석(ARMA)을 통한 에너지원별 배출량 예측	부문별 예측	27,415,427	2.44	43.66	80.83	9.67	7.84	1.66	100.00
6	국가에너지 기본계획에 따른 에너지원별 배출량 예측		27,229,264	2.40	42.69	80.70	9.73	7.90	1.67	100.00
7	배출량 요인분석법(에너지 부문)		22,646,161	1.15	18.67	76.79	11.70	9.50	2.01	100.00
8	국립환경과학원 가이드라인(에너지 부문)	가이드라인	23,739,345	1.74	29.57	77.86	11.16	9.06	1.92	100.00
평균			25,375,300	1.93	33.62	79.39	10.20	8.65	1.76	100.00

제 4 장



새만금 지역 온실가스 배출량 추정

2. 예측방법 및 결과

2010년 1월 확정된 새만금 내부개발 기본구상 및 종합실천계획(안)에 따르면, 각 부처별로 용지를 배분하여 2020년까지 1단계, 2021년 이후 2단계로 구분하여 개발계획을 수립하였다. 새만금 사업은 초기 농지중심의 토지이용계획이 산업, 관광 등의 복합 용도 위주로 전환됨에 따라 녹색성장의 대표지역으로써 온실가스 배출량을 최소화하는 친환경개발을 지향하고 있다. 새만금 내부의 온실가스 배출량 원단위는 다양한 신기술 적용으로 전라북도 고유값보다 낮아질 것으로 예상되나, BAU산정인 만큼 현재 기준의 원단위를 적용하여 연구를 수행하였다.

현재 개발중인 사업의 온실가스 배출량 산정은 공사중 발생하는 온실가스 배출량과 사업완료 후 발생하는 온실가스 배출량으로 구분할 수 있다. 그러나, 공사중 발생하는 온실가스 배출량(중장비 운전, 공사현정 근로자 생활 등)은 각 지자체 배출량에 반영된 것으로 가정하고, 사업이 완료된 부분에 대해서만 고려하였다.

〈표 4.1.2-1〉 용도별 용지배분 및 소관행정기관

구 분	계		1단계 (2020년까지)		2단계 * (2021년 이후 또는 소관기관 개발결정시)		소관 중앙 행정 기관
	면적(ha)	비율(%)	면적(ha)	비율(%)	면적(ha)	비율(%)	
계	28,300	100.0	20,213	71.4	8,087	28.6	
복합도시 (산업/국제/관광레저/생태환경)	6,730	23.8	3,143	11.1	3,587	12.7	국토해양부 문화부 지식경제부 환경부 전라북도
농업	8,570	30.3	8,570	30.3	-	-	농식품부
산업용지(IEZ)	1,870	6.6	1,870	6.6	-	-	지식경제부
과학·연구	2,300	8.1	-	-	2,300	8.1	교과부
신·재생에너지	2,030	7.2	830	2.9	1,200	4.3	농식품부 지식경제부
- 연구시험단지	430	1.5	430	1.5	-	-	지식경제부
- 생산(우선)	400	1.5	400	1.4	-	-	농식품부
- 생산(유보)	1,200	4.3	-	-	1,200	4.3	농식품부 지식경제부
도시	1,460	5.1	460	1.6	1,000	3.5	
- 농촌	460	1.6	460	1.6	-	-	농식품부
- 배후도시(유보)	1,000	3.5	-	-	1,000	3.5	국토해양부
생태·환경	4,240	15.0	4,240	15.0	-	-	환경부 농식품부
방수시설물 등	1,100	3.9	1,100	3.9	-	-	

가. 유발인구 기준

새만금 내부개발에 따른 유입인구는 총 730,000명으로 추정된다. 그러나, 1단계 사업에 대한 명확한 인구추정이 어려워 2020년까지 산업용지, 관광용지 중심으로 발생하는 유입인구에 대해 시나리오를 구상하였다.

〈표 4.1.2-2〉 새만금 내부토지 용지별 유입인구

구 분	수용인구(인)
계	730,000
농업용지(농촌마을) 내 수용	1,200
명품복합도시 내 수용	130,000
산업용지 및 군산 시가화 예정구역 내 수용	247,000
주변도시(전주, 익산 등) 내 분산수용	240,000
농촌도시 수용	11,800
배후신도시 수용	100,000

자료 : 새만금 내부개발 기본구상 및 종합실천계획, 2010

시나리오 1의 경우 경자청 사업수준의 인구가 유입될 경우를 가정하였는데, 경제자유구역이 1단계 사업을 완료할 경우 196천명의 인구유발 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 시나리오 2의 경우 전체 인구유발의 50%가 유입되는 것을 가정하고 그중 50%는 도내에서 50%는 전라북도 이외의 지역에서 유입되는 것으로 가정하였다. 시나리오 3의 경우는 1단계 개발면적비인 71.4%의 인구가 유입될 경우로 시나리오 2와 마찬가지로 외부유입 50%를 가정하였다.

시나리오 별 온실가스 배출량을 예측한 결과는 다음과 같다. 각 시나리오에 본 연구에서 산정한 1인당 총배출량 원단위를 적용한 결과 2020년경 새만금 지역 온실가스 총배출량(흡수원 제외)은 2,845천~4,782천tCO₂e의 범위를 보일 것으로 추정되었다. 전라북도 2020년 BAU를 전체 산정방법의 평균값인 25,375천tCO₂e라 볼 때 새만금이 전라북도 온실가스 총배출량의 11.2~18.8%를 증가시킬 것으로 예측된다.

〈표 4.1.2-3〉 인구유입 시나리오별 새만금 지역 2020년 온실가스 배출전망치 추정

No.	시나리오	유발인구(명)	원단위		2020년기준온실가스배출량(tCO ₂ e/년)
			적용원단위(tCO ₂ e/인·년)	원단위 출처	
1	경자청 산업지구, 관광지구 사업 유발인구	196,107*	15.59	1인당 총배출량 (2020년 기준)	3,057,308
			18.35	다중회귀분석 (2020년 기준)	3,598,563
2	전체 유발인구의 50% 적용 (외부유입 50%)	182,500	15.59	1인당 총배출량 (2020년 기준)	2,845,175
			18.35	다중회귀분석 (2020년 기준)	3,348,875
3	전체 유발인구의 71.4%(1단계 면적비율) 적용 (외부유입 50%)	260,610	15.59	1인당 총배출량 (2020년 기준)	4,062,910
			18.35	다중회귀분석 (2020년 기준)	4,782,194

*군산시 배후지구 166,000명, 산업지구 30,107명 적용(www.sgfez.go.kr), 관광객에 의한 인구유발은 제외

나. 토지이용 기준

2020년 개발면적 기준으로 온실가스 배출량을 산정할 경우 2020년 면적에 따른 온실가스 배출량 원단위를 산정할 필요가 있다. 선행연구에서 인접지역인 군산, 김제, 부안의 토지용도 면적당 온실가스 배출량의 평균값을 이용하여 2020년 면적당 배출원단위를 추정하였다. 배출량은 본 연구의 방법론의 연평균 증가율 1.93%를 적용하여 산정하였다.

개발면적별 온실가스 배출량을 예측한 결과는 다음 표와 같다. 2020년까지 전체 202.1km²의 면적에서 총 4,230천tCO₂e의 온실가스가 배출될 것으로 추정되었다. 명품복합도시 용지에서 전체 배출량의 21.7%를 배출하고, 경제자유구역 산업용지에서 53.1%, 신재생에너지 용지에서 23.6%를 배출할 것으로 나타났다. 용도별 배출비중을 살펴보면 공업용도로 조성되는 개발지역에서 약 97%의 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 산림에 대한 흡수원, 신재생에너지에 의한 연료대체 효과를 반영하지 않았으나, 이를 반영할 경우 순배출량은 총배출량 대비 감소할 것으로 판단된다.

〈표 4.1.2-4〉 개발배분 면적에 따른 새만금 지역 2020년 온실가스 배출전망치 추정

구 분	2020년 개발면적 (km ²)	원단위*			2020년 기준 온실가스 배출량 (tCO ₂ e/년)	비중
		2006년 원단위 (tCO ₂ e/km ²)	2020년 원단위 추정** (tCO ₂ e/km ²)	비고		
복합도시 (소계)	31.4				916,410	21.7
산업	7.3	91,923	120,130	공업용도	876,951	20.7
관광레저	13.7	2,054	2,684	상업용도	36,775	0.9
국제업무	1.0	2,054	2,684	상업용도	2,684	0.1
생태환경	9.4	-	-	-	-	-
농업	85.7	513	670	농업용도	57,455	1.4
산업용지(FEZ)	18.7	91,923	120,130	공업용도	2,246,436	53.1
과학·연구	-	-	-	-	-	-
신·재생에너지	8.3	91,923	120,130	공업용도	997,081	23.6
도시	4.6	2,054	2,684	상업용도	12,348	0.3
생태·환경	42.4	-	-	-	-	-
방수시설물 등	11.0	-	-	-	-	-
총계	202.1				4,229,731	100.0

1) 새만금 인접지역 (군산, 김제, 부안)의 용도별 원단위 평균값 적용

(원단위 출처 : 시군별 온실가스 배출특성에 따른 전라북도 온실가스 감축 기본전략 연구, 전북발전연구원, 2010)

2) 본 연구 방법론의 평균 연평균 증가율 2.19%를 적용

다. 평균 결과값

새만금 지역 온실가스 배출량을 산정하기 위해 인구유입과 토지이용계획 기준으로 원단위를 적용하여 온실가스 배출량을 예측하였다. 2020년 인구유입에 의한 온실가스 배출량은 평균 3,616천tCO₂e로 산정되었으며 토지이용계획에 따르면 4,230천tCO₂e의 온실가스가 배출될 것으로 추정되었다. 두결과의 평균값은 3,923천tCO₂e로 전라북도 2020년 BAU평균값 25,375천tCO₂e의 15.5%에 해당한다.



제 5 장



결론 및 연구 활용방안

제 5 장 결론 및 연구 활용방안

1. 결론

본 연구에서는 온실가스 감축목표 설정 및 감축대책 수립에서 중요한 과정인 온실가스 배출전망치(BAU)를 산정하기 위한 지자체 차원의 예측방법을 모색하였다. 대부분의 국가차원 배출량 예측에서는 기후경제모델을 중심으로 배출량 산정은 물론, 감축 잠재량, 감축영향, 감축옵션 등을 고려한 다양한 방법이 적용하였으나, 본 연구에서는 BAU산정과 기후경제모델 과정을 분리하고 BAU산정에 초점을 맞추었다.

따라서, 적용가능한 다양한 방법론을 활용하여 2020년 온실가스 배출전망치의 범위를 도출하였다.

원단위를 활용한 방법으로는 1인당 온실가스 총배출량과 1인당 부문별 온실가스 배출량 원단위 그리고, 국가 총배출량 대비 온실가스 배출비중을 적용하였으며, 다중회귀분석을 수행하여 온실가스 배출량과 GRDP, 총에너지 사용량과의 관계식을 도출하여 배출량 예측을 수행하였다. 에너지원별 추정을 위해 시계열(ARMA)분석과 국가 에너지 기본계획을 활용하였으며, 배출량 요인분석법을 통해 에너지 부문 온실가스 배출량을 추정하였다. 최근 개발된 국립환경과학원의 지자체 기후변화 종합대책 가이드라인에서 감축잠재량 산정을 고려한 배출량 예측방법을 개발하여 이를 하나의 방법론으로 적용하였다.

새만금 사업의 경우 40,100ha의 간척지에 28,300ha의 토지와 11,800ha의 담수호가 조성되는 사업으로, 현재의 지속적인 추이에 포함시키기에는 무리가 있으므로, 신규지역으로 온실가스 배출량을 추가적으로 예측해 보았다. 2020년 1단계 개발을 기준으로 유입인구와 토지용도별 원단위를 사용하여 온실가스 배출량을 추정하였다.

전라북도 2020년 온실가스 배출량 추정을 위해 적용한 8가지 방법과 새만금 지역에 적용한 2가지 방법론의 추정결과는 다음 표와 같다. 두지역의 모두 고려한 2020년 온실가스 배출량전망치(BAU)는 26,262천tCO₂e~32,224천tCO₂e의 범위를 보였으며, 평균값은 29,298천tCO₂e로 산정되었다.

새만금 지역을 포함한 2020년 평균 전라북도 온실가스 배출전망치(BAU)는 29,298,084tCO₂e이며, 2005~2020년 연평균증가율은 2.90%로 2005년 대비 2020년 평균 53.53% 증가할 것으로 나타났다. 이는 2020년 국가 BAU 전망결과치인 ‘2005~2020년 연평균증가율 2.1%와 2005년 대비 2020년 약 37% 증가’를 상회하는 결과이다. 2020년 전라북도 온실가스 배출비중은 2020년 국가 BAU 전망결과치의 3.60%를 차지하는 것으로 나타났다.

〈표 5.1.1-1〉온실가스 배출량 산정결과 종합

대상 지역	방법론	구분	2020년 온실가스 배출전망치 (BAU)	평균값	범위
전라북도	1인당 온실가스 총배출량	원단위	23,782,475	25,375,300	26,261,998 ~ 32,224,434 평균값 (29,298,084)
	부문별 1인당 온실가스 배출량		24,097,723		
	국가 총배출량 대비 온실가스 배출비중		26,097,300		
	다중회귀분석 모형	회귀분석	27,994,703		
	시계열 분석(ARMA)을 통한 에너지원별 배출량 예측	부문별예측	27,415,427		
	국가에너지 기본계획에 따른 에너지원별 배출량 예측		27,229,264		
	배출량 요인분석법 (에너지 부문)		22,646,161		
	국립환경과학원 가이드라인 (에너지 부문)		가이드라인		
새만금	인구유입 시나리오에 따른 원단위	원단위	3,615,837	3,922,784	
	토지이용 원단위	원단위	4,229,731		

2. 연구결과 활용방안

본 연구에서는 지자체 차원의 온실가스 배출전망치(BAU) 예측 방법을 모색하고 전라북도 지역을 사례로 다양한 예측결과를 분석해보았다. 현재 통계자료의 부족으로 예측에 한계가 있으나, 향후 축적된 지자체 자료를 통해 이를 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

현재 국가 감축목표는 ‘2020년 BAU 대비 30%감축’이다. BAU값은 기준년도에 따라 값이 달라지며, 향후 주기적으로 재산정하여 시의적절할 대책 수립이 필요하다. 온실가스 감축의 주체가 되는 지자체에서도 자체목표를 수립하여 적극적으로 온실가스 감축에 참여해야 할 것이다.

각 지자체가 감축목표를 설정하고 감축정책을 수립하는 과정은 크게 배출량 산정, 배출량(BAU) 예측, 감축잠재량 산정, 감축 옵션에 따른 경제적 파급효과 분석, 최적의 감축정책 수립의 단계로 구분할 수 있다. 본 연구에서 검토된 다양한 방법론은 각 지자체에서 온실가스 배출량 예측에 활용될 수 있으며, 배출량 예측 결과를 통해 지역 온실가스 감축정책 평가, 감축잠재량을 분석 등에 활용될 수 있을 것이다.



참고문헌

참 고 문 헌

- _____ (2008), “제1차 국가에너지기본계획 (2008~2030)”, 국무총리실 외 유
관부처
- _____ (2009), “국가 온실가스 중기(2020년) 감축목표 설정 추진계획”, 녹색
성장위원회
- _____ (2009), “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas
Inventories 적용을 위한 지자체 온실가스 배출량 산정지침”, 한국환경공
단
- _____ (2010), “새만금 내부개발 기본구상 및 종합실천계획”, 국무총리실 외
유관부처
- _____ (2010), “포스트교토 기후변화 정책수립을 위한 IPCC 기초자료 연구”,
기후과학연구관리단
- _____ (2010), “전라북도 기후변화대응 종합계획”, 전라북도
강희정 외 (2006), “온실가스 배출감축 잠재량분석 연구”, 산업자원부
- 노동운 (2009), “저탄소 경제시스템 구축전략 연구 : 지역별 저탄소 경제시스템 개
발”, 에너지경제연구원
- 부경진 (2002), “에너지·환경·경제 통합 계량경제 시뮬레이션 모형에 의한 온실가스
저감수단의 평가”, 에너지 경제연구원
- 윤소원 외 (2009), “온실가스 배출량 전망 및 감축잠재량 평가 -가정·상업분야를
중심으로”, 국립환경과학원
- 이인희, 장은미 (2009), “행정구역단위 CO₂배출량 추정을 위한 기초연구(I)”, 충남발
전연구원
- 임재규 (2006), “기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구(제3차년
도)”, 에너지경제연구원
- 장남정 외 (2008), “기후변화협약 대응을 위한 전라북도 온실가스 저감전략”, 전북
발전연구원

- 장남정 외 (2010), “시군별 온실가스 배출특성에 따른 전라북도 온실가스 감축 기본전략 연구”, 전북발전연구원
- 조한진, 장성호, 김영식 (2008), “다중회귀분석을 이용한 CO2배출량 추정모형”, 한국환경보건학회지, 34(4), pp 316-326
- 최영국 외 (2008), “기후변화에 대응한 지속가능한 국토관리 전략(I) : 지역별 온실가스 인벤토리 구축 및 지역특성 분석”, 국토연구원
- 홍유덕 외 (2010), “지자체 기후변화대응종합계획 수립지원을 위한 온실가스 감축 계획 수립 가이드라인”, 환경부·국립환경과학원

Douglas Holtz-Eakin, Thomas M Selden, "Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth", *Journal of Public Economics* 57, 85~101 (1995)

Rotmans, J, P. Shukla, R.S.J. Tol, W. Cline, and S. Frankhauser, "Integrated Assessment of Climate Change: An overview and comparison of approaches and results," *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*, J.P. Bruce, H. Lee, and E.F. Haites, eds., IPCC, Cambridge University Press (1996)

Jthink 2010-BR-04

지자체 온실가스 배출량 예측모델 연구
-전라북도를 중심으로-

발행인 | 원도연

발행일 | 2010년 12월 31일

발행처 | 전북발전연구원

560-014 전북 전주시 완산구 전라감영로 57(중앙동 4가 1)

전화:(063)280-7100 팩스:(063)286-9206

ISBN : 978-89-92471-33-6 93530

본 출판물의 권리는 전북발전연구원에 속합니다.

