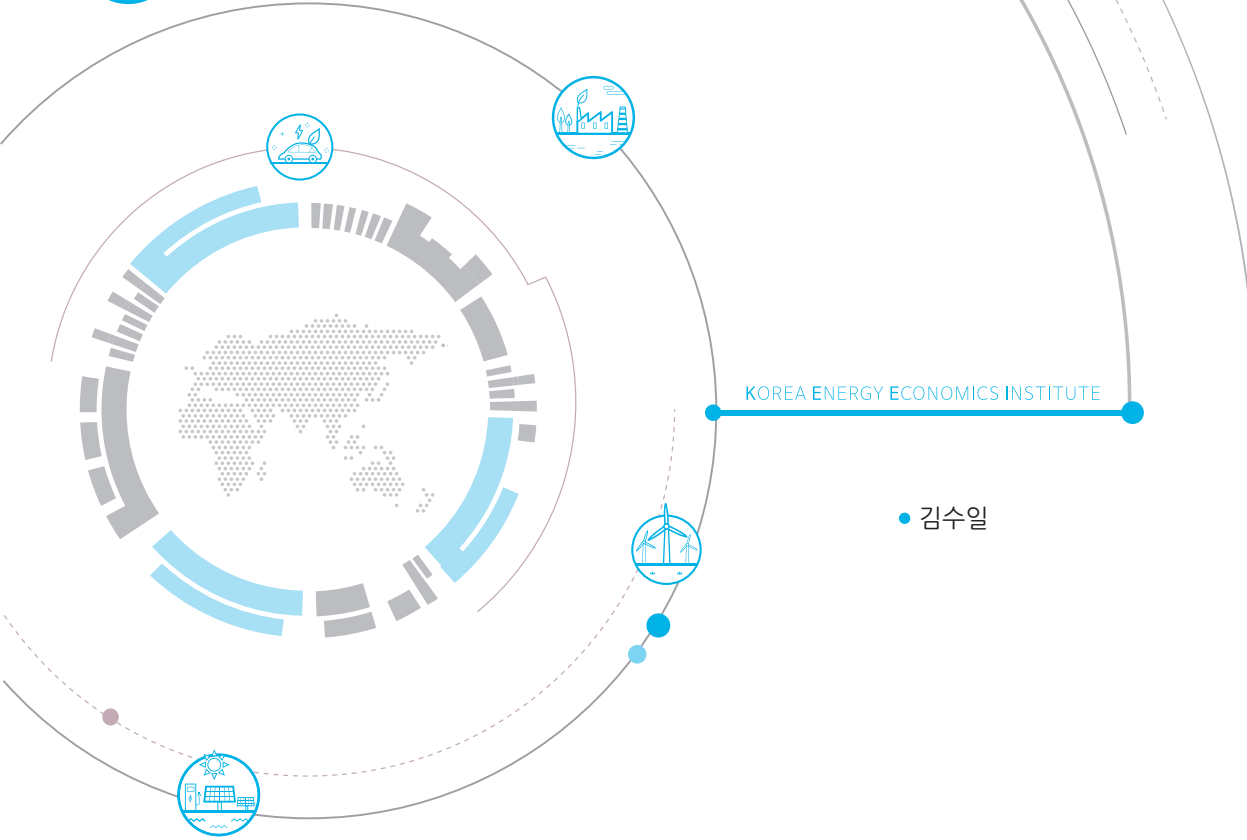


기본연구
22-20



KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE

• 김수일

에너지 정책이 국민 삶의 질에 미치는 영향과 대응 전략 연구(2/3)

에너지 정책이 국민 삶의 질에 미치는 영향과 대응 전략 연구(2/3)

Modelling the Effect of Energy Policies on the Quality of Life (2/3)

김수일



저 자 김수일

연구진

연구책임자 김수일(에너지경제연구원 선임연구위원)

연구참여자 김지호(에너지경제연구원 연구위원)
김성균(에너지경제연구원 연구위원)
추다해(에너지경제연구원 부연구위원)
허윤지(에너지경제연구원 부연구위원)

기타기여자

자문위원 신석하(숙명여자대학교 교수)
박호정(고려대학교 교수)
이서진(홍익대학교 교수)
김용건(한국환경연구원 선임연구위원)

목 차	요약	v
<hr/>		
	제1장 서론	1
	<hr/>	
	1. 연구의 배경과 필요성	1
	2. 연구의 목적	5
	3. 보고서의 구조	8
	제2장 모형의 개요	9
	<hr/>	
	1. 에너지 수급 및 온실가스 배출 전망	9
	1.1. 에너지 전망을 위한 주요 전제 작성 방법	9
	1.2. 에너지 전망 방법	12
	2. 에너지 수급과 경제 모형	15
	2.1. 에너지 모형과 경제 모형의 주요 연계 변수	17
	2.2. 모형 구축의 주요 이슈	18
	3. 에너지 및 온실가스 정책	24
	제3장 모형의 상세구조	29
	<hr/>	
	1. 경제 모형 개요	29
	2. 거시 모듈	31
	2.1. 소득 블록	32
	2.2. 지출 블록	36
	2.3. 생산 블록	42

2.4. 물가 블록	46
3. 산업 모듈	50
3.1. 최종수요 블록	52
3.2. 투입/산출 블록	54
4. 모형의 평가	57
제4장 2022년 에너지 전망과 베이스라인 설정 결과	61
1. 2022년 에너지 전망	62
1.1. 주요 전제와 에너지 전망	62
1.2. 에너지 설비 및 기기 보급과 에너지 효율	66
2. 베이스라인의 경제 전망	68
2.1. 거시 경제 변수	68
2.2. 산업 생산 변수	76
3. 베이스라인에서의 국민 삶의 질과 국가발전 지표	80
제5장 결론 및 시사점	85
1. 연구의 주요 성과	85
2. 결론 및 시사점	88
참고 문헌	91

표 목차

<표 1-1>	국민삶의질 및 국가발전 지표에서 정량화 가능 지표	6
<표 2-1>	에너지 모형에서 경제 모형으로 환류되는 변수	17
<표 3-1>	취업자	32
<표 3-2>	실질 임금	34
<표 3-3>	가계최종소비지출	36
<표 3-4>	정부총지출	38
<표 3-5>	건설투자	40
<표 3-6>	설비투자	40
<표 3-7>	지식재산생산물투자	41
<표 3-8>	고정자산소모	43
<표 3-9>	잠재 국내총생산	45
<표 3-10>	생산자물가 상승률	48
<표 3-11>	소비자물가 상승률	48
<표 3-12>	GDP 디플레이터 상승률	49
<표 3-13>	거시 모듈 추정 적합도	58
<표 3-14>	산업 모듈 추정 적합도 (RMSPE, 2015~2021)	60
<표 4-1>	상품별 최종수요 전망 (단위: 조원)	77
<표 4-2>	업종별 총산출 전망 비교 (단위: 조원)	78
<표 4-3>	국민 삶의 질 및 국가 발전 지표	81

그림 목차

[그림 2-1] KEEI-EGMS 산업 부문의 에너지 수요 전망 흐름	13
[그림 2-2] KEEI-EGMS 에너지 수요 및 온실가스 배출 전망 흐름	16
[그림 2-3] 자본스톡/국내총생산과 고정자본소모/자본스톡 추이	21
[그림 2-4] 한계자본생산 추이	21
[그림 3-1] 거시 모듈의 연산 흐름	31
[그림 3-2] 정부처분가능소득, 정부총지출, 정부최종소비지출 추이	37
[그림 3-3] 고정자본형성 추이	39
[그림 3-4] 국내총생산 대비 자본스톡 추이	44
[그림 3-5] 생산자물가, 소비자물가, GDP 디플레이터 상승률 추이	47
[그림 3-6] 산업연관표 구조와 상품별 투입-산출 관계	50
[그림 3-7] 고정 투입산출계수와 전제 조정에 따른 2050년 중간수요의 변화	55
[그림 3-8] 에너지 전망 반영에 따른 2050년 중간투입의 변화	56
[그림 4-1] 국내총생산, 총에너지 수요, 온실가스 배출 전망 추이 (2018 = 100)	65
[그림 4-2] 에너지원단위 추이	65
[그림 4-3] 부문별 에너지원단위 추이	66
[그림 4-4] 기초 전제와 베이스라인의 잠재 국내총생산 성장률 비교	68
[그림 4-5] 고정자본형성 추이	69
[그림 4-6] 고정자본소모와 자본스톡 추이	70
[그림 4-7] 취업자, 실질임금, 피용자보수 추이	72
[그림 4-8] 최종소비지출 추이	73
[그림 4-9] 영업잉여 추이	73

요약

1. 연구의 필요성 및 목적

- 본 연구는 2021년 수행한 「에너지 정책이 국민 삶의 질에 미치는 영향과 대응 전략 연구(1/3) (김수일, 2021)」에 이은 2차년도 과제임.
 - 1년차 연구의 주요 목적은, 첫째 거시경제이론에 부합하는 거시 모듈과 투입산출 관계를 반영한 산업 모듈이 이론적 측면과 연산 측면에서 원활히 작동하도록 구축하는 것과, 둘째 경제 모형과 에너지 모형의 직접 연계하여 하나의 시스템을 구축하는 것이었음.
 - 1년차 연구에서는 기본 모형에서 전제 → 에너지 전망 → 경제 전망 → 에너지 전망으로 이어지는 일련의 순환 과정이 무난히 작동하는 것을 확인함.
- 본 연구에서는 1년차에 구축된 기본 모형을 고도화하여 정책 파급효과 분석을 위한 모형 활용의 준비를 마치고자 함.
 - 우선, 1차년도에 구축된 모형의 이론적 정합성과 연산 효율성을 높이고 산업 부문을 세분화하며 에너지 모형과의 연계를 강화하는 것임.
 - 거시 모듈의 행태 방정식은 물가 추정식을 추가한 것 외에는 1차년도 모형의 구조를 유지하지만 경제 이론과 결과의 적합성을 고려하여 기존 행태 방정식에 포함된 변수들을 변경함.
 - 산업 모듈의 경우 1차년도에 농림어업, 광업, 제조업, 전력가스및증기, 서비스업으로 구분했던 산업 분류를 2차년도에는 7개의 제조업과 6개의 서비스업으로 추가 세분화함.

- 본 연구의 최종 목적은 에너지 및 온실가스 정책의 파급효과를 분석하는 모형을 구축하고, 실제 정책 목표를 적용했을 때 주요 지표들을 도출함으로써 정책 수립에 기여하는 것임.
 - 정부의 효과적인 정책 설계와 제도 도입이 에너지 및 온실가스 목표 달성에 중요한 역할을 하며, 정부의 정책 설계를 위해서 과학적인 분석이 필요함.
 - 3차년도 연구는 2030 NDC 및 2050 탄소중립 목표 달성과 10차 전력수급 기본계획, 수소수급계획 등이 경제변수에 미치는 직접 효과와 변경된 경제변수가 다시 에너지 및 온실가스 배출에 미치는 간접 효과를 분석하고, 국민 삶의 질 및 국가 발전 지표 들을 도출할 계획임.
 - 본 연구를 통해 구축된 모형은 에너지 및 온실가스 정책 수립에 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대됨.

2. 연구내용 및 주요 결과

■ 모형의 구조

- 경제 모형은 거시 모듈과 산업 모듈로 구성되어 있음.
 - 거시 모듈은 소득 블록, 소비 블록, 생산 블록으로 구성되어 있으며 물가 블록이 새로 추가됨.
 - 거시 모듈은 일반적인 거시계량모형처럼 행태 방정식의 변수들이 서로 연결되어 있으며 추정된 계수값을 제약으로 모형의 균형해를 탐색함.
 - 산업 모듈은 최종수요 블록과 투입/산출 블록으로 구분되며, 최종수요 블록은 최종소비지출, 설비투자, 건설투자, 지식재산생산물투자, 수출 및 수입을 상품별로 계산함.
 - 투입/산출 블록은 기준년도 투입산출계수, 산업 구조 전제에 반영된 미래 투입산출계수 변화, 에너지 전망 등을 이용하여 상품별 중간투입과 부가가치 및 총산출을 계산함.

- 경제 모형은 물가 블록을 제외하면 모두 실질 변수로 구성되어 있음.
 - 국제 에너지 가격의 변화는 에너지의 생산자물가 및 소비자물가를 통해 장단기 에너지 소비에 영향을 미치며, 가격의 영향은 경제 모형이 아니라 에너지 모형에서 전망함.
 - 통화당국은 에너지 가격을 제외한 기타 외생적인 요인이 물가에 미치는 영향을 적절하게 통제하는 것으로 가정함.
- 정부는 균형 재정을 유지하는 것으로 가정함.
 - 균형재정은 에너지 및 온실가스 정책으로 인해 추가적인 재정 지출이 필요할 경우 다른 재정 지출을 축소하여 정부 총지출의 변화가 없다는 것을 의미함.
 - 정부 총지출은 재정 수입의 함수로 재정 수입에 따라 변동함.
- 대외 조건과 환율은 외생적인 것으로 가정함.
 - 교역 상대국의 생산과 물가는 국내 생산과 물가에 영향을 미치고 실질 교역 조건에 따라 환율이 변하는 것이 현실이지만, 모형에서는 국내 경제의 변화가 실질적인 교역 조건의 변화를 초래하지 않는 것으로 가정함.
 - 대외 환경이 외생적이라는 것은 국내 경제의 변화는 외부적으로 흡수될 뿐이며 적어도 명목이나 실질 변수를 통해 다시 국내에 영향을 미치지 않는다는 것을 의미함.

■ 거시 모듈

- 소득 블록은 취업자와 실질임금 등 두 개의 행태 추정식과 피용자보수, 실업률 등 7개의 정의식으로 구성됨.
 - 취업자(PopEmploy)는 경제활동인구, 산출액 그리고 실질임금의 함수로 설계함.
 - 실질임금(RWAGE)은 국민계정의 피용자보수를 취업자로 나눈 값에 디플

레이터를 이용하여 구하며, 실질임금 추정식은 평균노동생산과 실업률을 변수로 포함하고 있음.

- 가계처분가능소득(RCNDI)은 피용자보수, 재산소득, 경상이전의 합으로 정의함.
 - 기업처분가능소득(RBNDI)은 재산소득과 경상이전의 합으로 정의함.
 - 정부처분가능소득(RGNDI)은 재산소득, 생산및수입세, 경상이전의 합으로 정의함.
 - 국민총처분가능소득(RTNDI)이다. 국민총처분가능소득은 국내총생산에 비례하는 것으로 가정하고 있으며, 국민처분가능소득(RNDI)은 국민총처분가능소득에서 고정자본소모(RFCD)를 제하여 계산함.
- 지출 블록은 지출 측면의 국민소득을 의미하며, 가계최종소비지출, 정부총지출, 건설투자, 설비투자, 지식재산생산물투자 등 총 5개의 행태식으로 구성되어 있음.
- 가계최종소비지출(RCE)은 노인인구비율과 가계처분가능소득의 함수로 구성함.
 - 정부총지출(RTGE)은 정부의 최종소비지출(RGE)과 총고정자본형성(RFIN.gov)의 합계로 정의하며, 정부총지출은 정부처분가능소득의 함수로 설정함.
 - 건설투자(RFIN.CNST)는 국민총처분가능소득과 신규 설비용량, 주택건설의 함수로 구성함.
 - 설비투자(RFIN.FCLT)를 에너지효율지수, 신규 설비용량, 신규 운송장비, 기업처분가능소득의 함수로 설정함.
 - 지식재산생산물투자(RFIN.RND)는 에너지효율지수와 재생에너지 비중 그리고 국민총처분가능소득의 함수로 설정함.
 - 건설투자, 설비투자, 지식재산생산물투자의 합으로 총고정자본형성을 계산함.

- 재고증감 및 귀중품 순취득은 과거 3년의 평균으로 계산하고 총고정자본과 합하여 총자본형성(RINV)을 구함.
- 생산 블록은 잠재 국내총생산을 추정하기에 앞서 고정자본소모를 추정하고, 지출 블록에서 추정한 투자와 함께 자본스톡을 계산함.
 - 고정자산소모(RFCD)는 에너지효율지수와 자본스톡의 함수로 설정함.
 - 자본스톡(CapitalStock)은 영구재고법에 따라 건설투자, 설비투자, 지식재산생산물투자 등 총고정자본형성과 고정자산소모를 이용하여 계산함.
 - 잠재 국내총생산은 취업자 1인당 국내총생산으로 추정하며, 취업자 1인당 잠재 국내총생산은 에너지효율지수, 취업인구당 자본스톡 그리고 추세변수의 함수로 설정함.
 - 마지막으로 수출(REX)은 잠재 국내총생산에 비례하는 것으로 가정하고, 수입(RIM)은 생산과 수요의 차이로 계산함.
- 물가 블록은 전제로 사용된 국제 에너지가격과 거시 모듈의 결과를 이용하여 생산자물가와 소비자물가 그리고 GDP 디플레이터 상승률을 전망함.
 - 일반적인 관심도에 따라 물가가 아니라 물가상승률을 전망하는데, 「한국의 장기 거시경제변수 전망 (신석하 외, 2013)」처럼 장기 실질변수 전망에 부합하는 물가상승률을 계산함.
 - 생산자물가 상승률(PPI)은 자기시차변수, 전년 실질임금 상승률, 에너지 생산자물가 상승률을 이용하여 회귀분석함.
 - 소비자물가 상승률(CPI)은 자기시차변수, 전년 경제성장률, 생산자물가 상승률의 함수로 설정함.
 - GDP 디플레이터 상승률(DFL)은 전년 디플레이터 상승률, 무역의존도, 소비자물가 상승률의 함수로 구성함.

■ 산업 모듈

- 산업 모듈은 에너지 모형과 거시 모듈의 결과를 이용하여 상품별 최종수요, 중간투입/중간수요, 부가가치, 총투입, 총산출을 계산함.
 - 이를 위해 산업 모듈은 최종수요 블록과 투입/산출 블록으로 구성함.
 - 산업 모듈의 농림어업, 광업, 건설, 전력·가스·증기와 더불어 석탄및석유제품, 화학제품, 비금속광물, 1차금속, 기계류, 운송장비, 기타제조 등 7개 제조업, 도소매, 정보통신, 공공행정, 교육서비스, 보건복지, 기타서비스 등 6개 서비스업으로 세분화됨.

- 최종수요 블록에서는 가계최종소비지출, 정부최종소비지출, 총자본형성, 수출 그리고 수입을 상품별로 계산함.
 - 산업연관표의 상품별 지출 비중과 국민계정의 지출 통계 그리고 에너지 모형의 전망 결과를 이용함.
 - 가정 부문의 지출 항목을 17개의 상품별 지출로 전환하며, 정부최종소비지출은 산업연관표의 비중에 따라 배분함.
 - 총자본형성은 민간고정자본형성과 정부고정자본형성으로 구분하고 각 경제주체별 고정자본형성 내에서 투자 항목을 세분화하여 거시 모듈의 투자 항목과 일치시킴.
 - 수출은 산업연관표의 비중을 적용하여 상품별 수출을 계산하며, 석탄및석유제품을 에너지 모형의 석유제품 수출 전망으로 대체하여 최종 결과를 도출함.
 - 수입 역시 수출과 비슷한 방법을 사용하는데, 에너지 수입 품목을 원유, 석탄, 천연가스 등 일차에너지 상품과 이차에너지 상품인 석유제품으로 구분하며, 광산물 수입은 일차에너지 상품 수입으로 대체하고 석탄및석유제품 수입은 석유제품 수입으로 대체함.

- 투입/산출 블록은 농림수산물, 광산물, 건설, 전기가스증기와 함께 7개 제조 상품 및 6개 서비스 상품의 중간수요와 생산을 위한 투입을 계산함.
 - 이를 위해 산업연관표의 투입산출 계수와 KIET 전제의 중간투입 그리고 에너지 모형의 전망 결과를 활용함.
 - 우선 거시 모듈과 최종수요 블록의 결과를 이용하여 상품별 중간수요계와 업종별 부가가치 그리고 업종별 중간투입계를 구함.
 - 두 번째, 기준년도 산업연관표 투입산출계수를 이용하여 상품별 중간투입을 계산한 후 KIET 중간투입 전망을 이용하여 중간투입을 조정함.
 - 마지막으로 에너지 모형의 산업 및 서비스 부문 에너지 수요 전망을 이용하여 상품별 중간투입을 조정하고 최종적인 투입과 산출을 도출함.
- 총투입은 취업자 전망의 변수로 사용되고 국내총생산과 부가가치의 차이는 정부의 생산및수입세를 계산하는데 사용됨.
 - 조정된 정부처분가능소득은 기업처분가능소득에 영향을 미치며 이들은 다시 투자를 변경함.
 - 조정된 취업자는 투자와 함께 잠재 국내총생산을 변화시키고, 또한 피용자 보수를 거쳐 가계최종소비에 영향을 미침.
 - 변경된 거시 모듈의 해는 다시 산업 모듈에 입력되며, 이러한 순환 과정을 거쳐 거시 모듈과 산업 모듈 전체를 만족하는 경제 모형의 해를 찾게 됨.

■ 모형의 평가

- 2차년도 연구에서 구축 및 수정된 경제 모형은 다양한 방법을 통해 적합성과 안정성을 평가함.
 - 거시 모듈 추정 결과의 통계적 유의성, 내생변수 추정치와 실제 데이터의 오차, 전망 결과의 안정성 및 적합성 등을 통해 평가함.
 - 최종 결과인 베이스라인이 합리적으로 설정되었다고 판단할 때까지 조정을 거친 후의 결과를 이용하여 모형을 평가함.

- 모형 적합도 평가를 위해서는 평균제곱근퍼센트오차(Root Mean Squared Percent Error; RMSPE)를 이용함.
- 전반적인 결과는 적합도가 우수한 것으로 나타남.
 - 거시 모듈에서 RMSPE가 5%를 넘는 것은 피용자보수, 실업률, 정부총지출, 건설투자 등이며, 실업률의 경우 추정 적합도가 낮게 나오는 것이 기존 연구에서 일반적으로 발견되는 현상임.
 - 산업 모듈의 업종별 총산출, 부가가치, 중간투입에 대한 RMSPE는 전반적으로 매우 작게 나타남.

■ 베이스라인의 경제 전망

- 에너지 전망의 결과를 다시 경제 모형에 입력하여 경제 구조를 파악한 결과는 다음과 같음.
 - 베이스라인의 잠재 국내총생산 성장률은 기초 전제의 성장률과 거의 유사한 전망 결과가 나왔지만, 전망기간 초반의 성장률은 베이스라인이 다소 높았음.
 - 기초 전제의 2021년에서 2050년 사이 잠재 국내총생산의 연평균 성장률은 1.20%인데 반해 베이스라인의 연평균 성장률은 1.22%로 전망됨.
 - 에너지 전망에서 보는 설비 증설 및 교체 그리고 선도기술의 에너지 효율 개선에 부합하는 총고정자본형성은 2021년에서 2050년 사이 연평균 1.74% 증가하여 잠재 국내총생산보다 빠르게 증가할 전망이다.
 - 하지만, 2050년 총고정자본형성이 잠재 국내총생산에서 차지하는 비중은 34%로 2000년대 초반 수준으로 회복하는 수준임.
 - 자본스톡 대비 고정자본소모 비율은 다소 증가하는 것으로 보이지만 지난 30년과 향후 30년의 차이는 거의 없는 것으로 나타났으며, 국내총생산 대비 자본스톡이나 고정자본소모의 비율은 향후 증가할 전망이다.
 - 노동수요는 계속 증가하지만 인구가 감소함에 따라 취업인구는 2030년대

초반 정점을 기록한 후 감소할 전망이다.

- 향후 30여년의 실질임금 증가는 지난 30년의 증가의 91% 수준으로 거의 비슷할 것으로 예상됨.
 - 피용자보수가 1998년 외화위기 이후 국내총생산에서 차지하는 비중이 급격히 떨어졌으나 이후 꾸준히 상승하고 있으며 2030년에 50%를 넘어서며 2050년에는 약 52% 수준이 될 것으로 전망됨.
 - 피용자보수의 증가로 가계처분가능소득이 증가하고, 이는 다시 가계최종 소비지출 증가로 이어짐.
 - 정부처분가능소득은 외화위기 이후 빠르게 증가했지만 전망기간의 증가 속도는 대폭 둔화될 것으로 예상됨.
 - 가계와 정부의 최종소비지출을 합한 최종소비지출은 잠재 국내총생산에 비례해서 증가하는 것으로 나타남.
 - 영업잉여는 부가가치계에서 피용자보수와 고정자본소모를 값으로 계산하는데, 2018년 정점을 기록한 영업잉여가 이전의 가파르게 상승하던 모습과 반대로 빠르게 감소하는 것으로 나타남.
 - 영업잉여의 감소는 고정자본소모가 빠르게 증가하는 것이 원인으로, 고정자본소모를 포함한 총잉여는 연평균 0.63%로 꾸준히 증가함.
- 베이스라인의 산업 생산 변수 전망 결과는 다음과 같음.
- 최종수요가 전망기간 연평균 1.20% 증가하는 가운데 서비스에 대한 지출이 연평균 1.70% 증가하면서 향후 서비스 상품의 수요가 늘어날 전망이다.
 - 서비스 중에서는 인구 구성 변화와 미래 사회에 대한 전제가 반영되어 정보통신에 대한 지출이 가장 빠르게 증가하고 도소매와 보건복지에 대한 수요도 빠르게 증가할 전망이다.
 - 한편, 제조업 상품에 대한 수요는 기계류 및 운송장비를 제외한 대부분의 상품 수요가 감소하면서 전망기간 연평균 0.43% 감소할 것으로 예상됨.
 - 석탄및석유제품의 감소는 석유제품에 대한 최종소비지출이 감소하는 것으

로 에너지 모형의 전망 결과가 반영됨.

- 제조업 상품은 절반 이상이 중간재로 소비되고, 기계류와 운송장비를 제외한 제조업 상품의 실제 최종수요는 재고증감이나 수출에 해당하기 때문에 최종수요의 감소가 생산의 감소를 의미하는 것은 아님.
- 총산출계를 살펴보면, 기초전제는 총산출이 연평균 1.42% 증가하는 것으로 전망한 반면, 본 모형에서 잠재 국내총생산의 증가는 총산출의 증가로 이어져 총산출도 연평균 증가율이 1.45%로 기초전제에 비해 미세하게 증가함.
 - 총산출계는 기초 전제와 그다지 차이가 없지만 에너지 전망 반영으로 업종별 중간투입이 바뀌면서 업종별 총산출은 몇 가지 눈에 띄는 변화가 발생함.
 - 제조업은 최종수요의 패턴과 비슷하게 기계류와 운송장비의 총산출이 증가하고 나머지 업종의 총산출은 감소하는 방향으로 변경됨.
 - 석탄및석유제품의 총산출은 2050년 기준 88.4조원에서 61.2조원으로 31% 가량이 더 감소하는 것으로 전망되는데, 수출을 포함한 석유제품 수요 감소가 원인임.
 - 기계류 및 운송장비는 설비투자 증가로 인해 총산출이 증가하며, 마찬가지로 건설의 총산출은 건설투자 증가에 반응하여 증가함.
 - 1차금속은 연평균 0.07% 감소로 기초전제보다 감소폭이 줄어드는데, 이는 기계류 및 운송장비의 산출 증가로 인해 1차금속에 대한 중간수요가 증가하기 때문임.
 - 서비스의 총산출은 전반적으로 증가하는 방향으로 변하지만, 공공행정과 기타서비스는 다른 서비스와는 달리 총산출이 더 감소하는 결과가 나타남.

■ 베이스라인에서의 국민 삶의 질과 국가발전 지표

- 본 연구는 베이스라인을 이용하여 구한 국민 삶의 질과 국가발전 지표의 계산 결과를 도출함.

- 하지만, 본 모형에서 도출하는 지표는 많은 변수들이 함께 변수로 되어 있으며 유사한 변수를 대리 변수로 사용하기 때문에 국가지표체계에서 제시하는 수치와 정확히 일치하지 않음.
 - 따라서 모형에서 도출하는 지표는 지표의 수준 자체가 아니라 시간의 흐름에 따른 지표의 변화에 주목해야 함.
- 지표 결과는 경제 및 사회 전반에 대한 정책 변화가 아니라 에너지와 온실가스 정책으로 인한 변화만을 반영함.
 - 즉, 지표 변화는 정부 정책 중에서 일부 정책의 변화가 초래하는 부분 균형의 결과에 해당함.
- 지표를 도출하는 목적은 시나리오 간 변화를 보는 것을 우선으로 함.
 - 즉, 정책 도입으로 인한 지표의 변화를 비교하는 것이 주요 목적이기 때문에, 본 모형의 지표 결과 그 자체도 의미가 있지만 그보다 3차년도 과제에서 수행할 정책 목표 시나리오의 결과와 비교하는 것이 중요함.

3. 결론 및 시사점

- 본 연구의 목적은 앞서 설명한 것처럼 정책 수단과 목표에 부합하는 분석 모형을 구축하고 실제 정책 목표에 적용함으로써 에너지 및 온실가스 정책 효과를 분석하고 정책 설계에 기여하는 것임.
 - 본 연구의 경제 모형은 거시경제 변수 및 산업 구조를 전망하는 모형이 아니라 외부 전문 연구기관에서 제공한 경제 전제를 바탕으로 에너지에 대한 분석을 추가하여 경제 전망과 에너지 전망의 정합성을 확보하는 것임.
 - 본 모형을 통해 도출하는 정량 지표의 변화는 국민 삶과 국가 발전이라는 정성 지표의 변화를 가늠할 수 있는 일차 정보를 제공함.

- 본 모형은 정책 수립에 활용하는 것을 목적으로 하지만 모형의 특징과 한계를 염두에 두고 조심스럽게 사용할 필요가 있음.
 - 첫 번째, 경제 모형과 에너지 모형의 연계는 정책의 경제 파급 효과 분석에서 강조하는 간접 효과를 모형에 내부화한다는 것을 의미함.
 - 두 번째, 베이스라인 대비 정책 시나리오에 의한 변화를 비교함으로써 정책 도입으로 인한 변화에 보다 집중해야 함.
 - 세 번째, 모형의 결과는 우리가 기대하는 최종적인 결과가 아니라 에너지 및 온실가스 정책이 초래하게 될 순수 변화로 정책 설계를 위한 정보를 제공하는 것임.
 - 네 번째, 어느 모형이나 마찬가지로, 본 모형에서 채택한 몇 가지 가정들은 분석 결과의 의미를 제약하는 중요한 요인으로 작용하기 때문에 가정의 범위를 넘어서는 해석을 시도해서는 안됨.

제1장

서론

1. 연구의 배경과 필요성

본 연구는 2021년 수행한 「에너지 정책이 국민 삶의 질에 미치는 영향과 대응전략 연구(1/3)」에 이은 2차년도 과제이다. 1차년도 연구에서는 경제 모형의 기본적인 구조를 구축하고 에너지경제연구원에서 활용하고 있는 장기 에너지 모형인 KEEI-EGMS(Korea Energy Economics Institute - Energy Greenhouse-gas Modelling System)와 직접 연계하여 모형의 구동을 시험하였다. 1년차 연구에서 연구의 필요성을 밝히고 목적을 설명하긴 했지만 아직도 정책 효과 분석의 의미와 모형의 차이에 대해 명확히 이해시키는 것이 부족했다는 것을 연구 과정에서 느낄 수 있었다. 특히, 분석 결과인 삶의 질과 국가 발전 지표보다 분석 도구인 모형 측면에서 기존 연구와의 차이점이 명확하지 않았다는 평가이다. 따라서 연구의 목적과 범위를 보다 쉽게 전달하기 위해, 우선 정책 수립을 위한 에너지 전망은 어떻게 진행하고 그 과정에서 무엇이 부족했는지 되짚어 보고자 한다.

매년 에너지 수급에 대한 장기 전망을 주기적으로 제공하는 대표적인 두 기관인 IEA(International Energy Agency)나 EIA(Energy Information Administration)는 항

상 보고서 첫 머리에서 전망과 시나리오가 무엇인지 정의한다. 이를 정리하면 다음과 같다. 전망(prediction)은 미리 설정한 주요 전제와 정책에 대한 가정 하에서 모형을 이용하여 미래를 조망(projection)하는 작업이며, 미래를 정확히 맞추는 것을 목적으로 하는 예측(forecast)과 달리 주어진 전제와 가정에 따라 예상되는 미래의 모습을 전망하는 것이다. 전망 작업을 진행할 때 중요한 세 가지 요소는 전제, 가정 그리고 모형이다. 물론 작업을 진행하는 전문가의 역량도 중요하지만 이는 논의에서 제외한다. 전제와 가정은 상황에 따라 구별이 모호한 경우도 있다. 보통은 모형을 작동하는데 필요한 기초 변수들을(주로 인구, 경제, 기온 등) 전제 변수라고 하고, 변화를 발생시키는 수단 변수들을(주로 정책 수단들) 가정 변수로 구분한다. 전제와 가정을 변경함으로써 다양한 시나리오를 만들어낼 수 있다.

정책 측면에서 전망의 가장 중요한 목적은 어떤 목표를 설정하거나 정책을 도입하고자 할 때 정책을 도입하기 전(reference scenario)과 도입 후(policy scenario)의 차이를 비교함으로써 정책의 기대 효과를 사전에 파악하고자 하는 것이다. 또는, 현재 상황에서 미래를 조망함으로써 미래를 기대하는 방향으로 바꾸기 위해 무엇을 해야 하는지 결정하기 위한 정보를 제공하는 것이다. 따라서 전망은, 특히 기준 시나리오는, 전망이 정확하게 이루어졌다고 한다면, 미래가 현실이 되었을 때의 모습과 다를 수밖에 없다. 가장 큰 이유는 정책을 통해 변화를 추구하기 때문이다.

실제 정책에서 발견할 수 있는 전망의 사례는 수 없이 많다. 에너지 부문에서는 에너지기본계획을 대표적으로 꼽을 수 있다. 현 시점에서 가장 최근의 계획이라고 할 수 있는 「제3차 에너지기본계획 (산업통상자원부, 2019)」을 잠시 살펴보자. 「제3차 에너지기본계획」은 우리나라의 국내총생산이 2018년 1,812조원에서 연평균 1.9% 성장하여 2040년에는 2,756조원이 될 것으로 전망하고 있다.¹ 에너지는 가계의 최종소비지출 항목이지만 압도적으로 더 많은 양이 생산을 위한 중간재로 소비된다. 따라서 업종별 총산출 전망이 에너지 전망에 큰 영향을 미친다. 국가 전체의 총산출은 2018년 4,119조원에서 2040년 6,352조원으로 1.5배 증가한다.² 제조업의 총산출

1) 장기 잠재 국내총생산이며 한국개발연구원(KDI)에서 전망하였으며, 보고서에는 성장률만 제시되어 있다. 비교 편의를 위해 내부 자료를 이용하여 2010년 기준 화폐가치를 2015년 기준으로 환산하였다. KDI의 전망 모형은 '제2장'에서 살펴본다.

2) 업종별 총산출 및 부가가치는 산업연구원(KIET)에서 전망하였다. KIET 모형은 KIET-DIMM이며, 자세한 내용은 '제2장'에서 설명한다.

은 2018년 2,165조원에서 2040년 3,182조원으로 늘어나며, 이러한 생산 활동을 통해 제조업은 2018년 623조원에서 2040년 863조원의 부가가치를 만들어낼 것으로 예상된다. 서비스업은 같은 기간 총산출이 1,098조원 늘어나 2040년 2,651조원이 되며,³ 서비스업의 부가가치는 2018년 855조원에서 2040년 1,393조원으로 증가한다. 서비스업의 부가가치가 국내총생산에서 차지하는 비중이 2018년 47.2%에서 2040년 50.6%로 늘어나는 것을 통해 가치 창출이 점차 서비스로 이동하는 것을 알 수 있다. 경제성장과 산업구조 외에도 석유, 석탄, 천연가스의 국제 가격, 기온, 인구 등이 주요 전제로 사용되지만, 이들은 본 연구를 통해 구축하고자 하는 경제 모형의 핵심 이슈가 아니기 때문에 설명을 제외한다.

앞에서 설명한 주요 전제를 바탕으로 전망 작업 시점에 시행되고 있는 에너지 및 온실가스 관련 정책들이 미래에도 유지되며 추가적인 새로운 정책의 도입이나 기존 정책의 변경이 없다고 가정할 때 도출한 결과가 기준 시나리오이다. 「제3차 에너지기본계획」의 기준 시나리오는 최종 에너지 수요가 2018년 178.8백만toe에서 2030년 204.9백만toe를 거쳐 2040년 211.0백만toe로 증가할 것으로 전망하고 있다.⁴ 한편 에너지 효율 개선을 비롯하여 다양하고 강력한 수단을 동원하여 2030년 175.3백만toe, 2040년에는 171.8백만toe로 에너지 소비를 감축하는 것을 목표로 설정하였다. 여기서 전제나 전망의 수치를 인용하는 것은 결과를 평가하기 위한 것이 아니기 때문에 전망 결과의 자세한 분석은 피하고자 한다. 중요한 점은 기준 시나리오에서도 우리나라의 에너지 소비 효율이 꾸준히 개선되고 있다는 점이다. 기준 시나리오의 최종 에너지 소비 기준 에너지원단위는 2018년 0.099toe/백만원에서 2040년 0.077toe/백만원으로 하락한다. 에너지 목표는 2040년 에너지원단위를 0.062toe/백만원까지 낮추는 것이다.

에너지원단위는 일정한 규모의 생산(백만원)을 하기 위해 소비하는 에너지의 양으로 계산한다. 생산은 노동과 자본 등 투입요소들을 기술적으로 결합하는 행위이다. 에너지원단위가 일시적으로 변하는 것이 아니라 추세적으로 감소한다는 것은 생산요소 결합의 기술적 관계가 변한다는 것을 의미한다. 기준 시나리오는 2040년

3) 전기·수도·가스를 포함한 수치이다.

4) 원료용 소비를 제외한 최종 소비이다. 이하 「제3차 에너지기본계획 (산업통상자원부, 2019)」 내용은 26~31쪽을 참조.

의 기술 수준이 1백만 원의 부가가치를 생산하는데 2018년에 비해 에너지를 20% 이상 덜 사용할 것이라고 전망하는 것이다. 정책 목표는 투자, 지원, 규제 등을 통해 기술 관계를 에너지 소비가 줄어드는 방향으로 가속화하는 것이다. 노동을 비롯하여 다른 투입 요소들에 대한 수요는 에너지 전망의 대상이 아니므로 알 수가 없지만, 에너지 외의 다른 기술적 관계가 변화가 없을 것이라고 가정하는 것은 현실적이지 않다. 투입의 기술적 관계가 변한다는 것은 상품별 중간수요가 바뀐다는 것을 의미하고, 이로 인해 산업 간의 관계가 변하며 더 나아가 경제 생산 능력이 달라질 수 있다. 이러한 변화를 파악하기 위해 정책 파급효과 분석이 필요하다.

에너지 및 온실가스 정책 목표가 다른 정책에 비해 국가 전략의 상위를 차지하고 정책 범위도 점점 확대되면서 에너지 및 온실가스 정책이 경제를 비롯한 사회 전반에 미치는 영향에 대한 관심도 높아지고 있다. 정책 파급효과 분석을 위한 기존의 노력에 대해서는 뒤에서 다시 살펴보겠지만, 간단히 말하자면 다수의 학술적 성과에 비해 정책 수립 과정에서의 적용은 부족했다고 평가할 수 있다. 물론 에너지 효율 목표나 온실가스 감축 목표의 경제적 파급 효과같은 연구들이 정책 수립 전후에 진행된 적이 있지만, 에너지기본계획 내에 공식적으로 포함된 적이 없다. 그나마 2021년 10월 관계부처합동으로 발표한 「2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안 (정부부처합동, 2021)」에서 파급효과 분석의 흔적을 찾을 수 있다.

정책 파급효과 분석은 에너지만이 아니라 정책과 관련된 모든 분야에서 광범위하게 수행하는 일반적인 주제이기 때문에 역사적으로 수 많은 연구 노력과 성과가 있었다. 기존의 많은 연구 성과들을 정리하는 것이 연구 목적이 아니므로 여기서는 연구의 필요성을 보여주는 사례를 소개하고자 한다. 2021년 8월 국가 탄소중립위원회는 2030년 국가 온실가스 감축목표를 상향하고자 하는 안을 발표하였다. 여기에는 한국환경연구원(KEI)의 거시경제분석 모델을 활용하여 감축 목표의 경제적 파급효과를 분석한 내용이 한 장 포함되어 있다. 내용을 살펴보면, 사회 전 부문에 탄소가격제를 도입하고 정부의 추가 세수는 고용지원에 활용하는 것을 가정하고 파급효과를 분석하고 있다. 2030년의 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해 필요한 만큼의 탄소가격을 부과하면, 전력화 및 수소화 기술 발전에 대한 시나리오에 따라 온실가스 배출은 줄어들고 국내총생산과 고용이 변하게 된다. 거시경제분석 모델의 결과는 2030년의 온실가스 배출을 2018년 대비 40% 감축할 경우 국내총생산이 기

준 시나리오 대비 0.07% 감소, 고용은 0~0.02% 증가하는 것으로 나타났다.⁵ 문제는 목표 설정의 적절성이나 모형의 합리성 또는 분석 결과의 타당성 여부가 아니다. 여기서 지적하고자 하는 것은 목표에서 제시하는 정책과 분석에 사용된 정책의 일관성 문제이다. 「국가 온실가스 감축 목표 상향안」은 전환 부문에서 재생에너지 발전 및 무탄소 연료 사용 확대, 산업 부문에서 연료 및 원료 전환 기술 확대, 건물 부문에서 제로에너지 건축 확대 및 고효율기기 보급, 수송 부문에서 주행거리 감축 및 친환경차 450만대 보급 등을 주요 감축 방안으로 담고 있다. 하지만 경제 파급효과는 오로지 탄소가격 부과만을 정책 수단으로 사용하며 전력화 및 수소화 기술발전은 외생 시나리오로 설정하고 있다. 최종 목표에 해당하는 온실가스 배출이 아니라, 탄소가격 부과로 발생하는 부문별 에너지 소비 및 에너지 효율 개선 등이 ‘상향안’에서 제시한 정책 방안과 정합성을 갖는지는 모형 담당자 외에는 알 수가 없다.

2. 연구의 목적

연구의 목적을 쉽게 설명하면 다음과 같다. 우선, 국민 삶의 질이라는 정성적 표현과 정책 파급효과의 관계이다. 국가에서 선정하고 주기적으로 제공하는 국민 삶의 질 또는 국가 발전 지표들은 상당수의 정성 지표로 이루어져 있다. 만족도, 인식 수준 등과 같은 정성 지표는 모형의 분석 대상으로는 적절하지 않다. 하지만 국가 지표에는 정성 지표 외에도 많은 정량 지표를 포함하고 있으며, 정량 지표의 변화는 정성 지표의 변화를 가늠할 수 있는 일차 정보를 제공한다. 따라서 우리는 에너지 및 온실가스 정책으로 인한 정량 지표의 변화를 분석할 필요가 있다. 다음 <표 1-1>은 국민 삶의 질과 국가발전 지표 중에서 모형을 통해 산출할 수 있는 정량적 지표를 추려본 것이다. 본 연구는 에너지 및 온실가스 정책의 파급효과를 분석하는 모형을 구축하고, 실제 정책 목표를 적용했을 때 주요 지표들을 도출함으로써 정책 수립에 기여하는 것을 목적으로 하고 있다. 다만 두 번째 부분은 연구의 최종 결과로써 3년차 연구를 위해 남겨두었다.

5) 전력화 및 수소화 기술 발전 정도에 따라 기준 시나리오와 기술진보 시나리오로 구분하고 있는데, 본 연구의 기준에 따르면 ‘점진적 기술진보 시나리오’와 ‘가속적 기술진보 시나리오’라고 할 수 있다. 아마도 전력화 및 수소화 외의 에너지 효율 개선이나 연료 대체는 탄소가격을 포함한 에너지 가격에 반응하는 것으로 짐작된다.

〈표 1-1〉 국민 삶의 질 및 국가발전지표에서 정량화 가능 지표

공통지표	추가지표(국가발전지표)	
1인당 국민총소득	경제성장률	1인당 전력소비량
근로시간	국내총생산	1차에너지공급량
월평균 임금	총요소생산성증가율	석탄화력발전비율
1인당 주거면적	노동생산성지수	신재생에너지공급량
실업률	노동소득분배율	신재생에너지발전비율
고용률	경상수지비율	수출입비율
	정부지출구성	온실가스배출량
	정부지출비율	인구 1000명당 주택수
	총고정투자율	인구성장률
	고정자산비율	총인구
	연구개발투자비율	합계출산율
	가구소득원천구성	가구원수
	가구처분가능소득	부양인구비
	1인당 개인처분가능소득	1인가구비율
	민간소비지출비율	
	가계저축률	
	시간당 노동생산성	
	시간당 임금	
	경제활동참가율	
	소비자물가상승률	

자료: 국가지표체계 (<https://www.index.go.kr/unify/idx-list.do?clasCd=8&pagenum=1>)

모형 측면에서의 연구 목적은 앞서 배경과 필요성에서 다소 장황하게 설명한 것처럼 기존 연구에서 부족하다고 판단되는 정책 수단과 정책 분석의 정합성을 확보한 분석 모형을 구축하는 것이다. 이를 위해 2년차인 본 연구는 1년차에 구축된 기본 모형을 고도화하여 활용의 준비 단계를 마치려고 한다. 1년차에 구축된 기본 모형은 거시 모듈과 산업 모듈로 구성된 경제 모형이다. 1년차 연구의 주요 목적은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 하나는 거시경제이론에 부합하는 거시 모듈과 투입산출관계를 반영한 산업 모듈이 이론적 측면과 연산 측면에서 원활히 작동하도록 구축하는 것이다. 이렇게 구축된 경제 모형은 구조 측면에서 하향식 동태적 산업간 거시경제모형과 유사하다. 두 번째는 경제 모형과 에너지 모형의 직접 연계이다. 이를 위해 에너지 수요만이 아니라 에너지 모형에서 도출하는 신규 설비 및 주택 규모, 에

너지 효율 기술의 발전, 전력 사용 기기 수요 등 경제 모형의 지출 및 투입과 관련된 주요 변수들을 추려 경제 모형의 입력 변수로 사용한다. 1차년도 과제에서는 전제 → 에너지 전망 → 경제 전망 → 에너지 전망으로 이어지는 일련의 순환 과정이 무난히 작동하는 것을 확인하였다.

2차년도 과제의 목적은 1차년도에 구축된 모형의 이론적 정합성과 연산 효율성을 높이고 산업 부문을 세분화하여 에너지 모형과의 연계를 강화하는 것이다. 거시 모듈의 행태 방정식은 물가 추정식 외에는 기존의 구조를 유지하고 있다. 하지만 이론과 결과 적합성을 고려하여 기존 행태 방정식에 포함된 변수들을 변경하였다. 그 외에 생산 측면의 잠재 국내총생산과 지출 측면의 국내총생산이 상시 균형을 달성하도록 조건을 추가하였다. 산업 모듈의 경우 회귀 분석과 에너지 모형의 결과를 이용하여 상품별 최종수요를 결정한다. 또한 전제의 산업연구원(KIET) 업종별 총산출 전망에 반영된 미래 투입산출 관계와 에너지 수요 전망 결과를 이용하여, 중간투입과 중간수요를 조정하고 최종적으로 업종별 총산출을 계산한다. 1차년도에 농림어업, 광업, 제조업, 전력가스및증기, 서비스업으로 구분했던 산업 분류를 2차년도에는 7개의 제조업과 6개의 서비스업으로 추가 세분화하였다.

본 연구를 통해 구축된 모형은 에너지 및 온실가스 정책 수립에 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 온실가스 감축이라는 목표를 설정하고 목표를 달성하려면 시장 기능을 통해 시장이 스스로 목표를 향하도록 하는 것이 가장 효율적일 것이다. 시장은 스스로 길을 찾아가지만 길이 향하는 방향은 미리 알 수 없다. 특히, 온실가스 같이 경제적 외부효과를 갖고 있는 경우는 더욱 그렇다. 외부효과를 내생화하는 온실가스 배출권이나 탄소세 모두 합당한 경제이론에 근거하지만, 배출권이나 탄소세 도입이 무조건 시장을 하나의 경로로 이끌지는 않는다. 더구나, 기술 개발과 보급이 제대로 성과를 달성하기 위해서는 시장의 반응을 고려해야 하며, 시장 반응은 다시 정부의 제도에 따라 영향을 받는다. 정부의 효과적인 정책 설계와 제도 도입이 목표에 부합하는 방향을 잡는데 중요한 역할을 하며, 정부의 정책 설계를 위해서 과학적인 분석이 필요한 이유이다.

3. 보고서의 구조

본 보고서는 다음과 같이 구성되어 있다. 제2장에서는 우선 개략적으로 모형의 구조와 분석의 흐름을 살펴보고, 모형 구축 과정에서 발생하는 이론적, 실천적 이슈에 대해서 논의한다. 여기서는 에너지 모형의 전제를 도출하는 장기 거시경제 전망과 산업생산 전망 방법을 비롯하여, 정책의 효과를 분석하는 기존의 방법을 살펴봄으로써 본 연구에서 구축하는 모형의 차이점을 설명한다. 제3장에서는 구축된 모형의 구조를 상세히 소개한다. 또한, 거시 모듈에 포함된 행태 방정식의 추정 결과와 경제 모형의 균형을 달성하는 변수들의 추정 적합도를 통해 모형의 적절성을 평가하고 있다. 제4장은 「2022 장기 에너지 전망 (에너지경제연구원, 2022)」에 사용된 잠재 국내총생산 및 산업 구조 전망을 이용하여 베이스라인을 설정하는 것을 보여준다. 여기서는 초기 입력 전제와 에너지 모형의 결과를 반영한 베이스라인을 비교한다. 또한 베이스라인에서 도출할 수 있는 국민 삶의 질 및 국가발전 지표를 제시함으로써 모형을 어떻게 활용할 수 있는지 사례를 보여주고 있다. 마지막으로 제5장에서는 연구의 결과를 정리하고 연구의 의의와 향후 계획을 제시한다.

제2장

모형의 개요

1. 에너지 수급 및 온실가스 배출 전망

우리는 서론에서 기존의 에너지 전망이나 배출 목표 달성을 위한 정책 분석의 과정에서 무엇이 부족했는지 간단히 설명하였다. 현실을 완벽히 묘사하는 모형을 만드는 것은 가능하지도 않고 본 연구의 목적도 아니다. 본 연구를 통해 구축할 모형이 무엇이고 그 모형을 통해 우리가 얻을 수 있는 것은 무엇인지 이해하기 위해서는, 에너지 수급 전망에서 온실가스 목표의 파급효과 분석에 이르기까지 전 과정을 자세히 살펴볼 필요가 있다. 본 절에서는 우선 KEEI-EGMS 모형을 이용하여 에너지 수급과 온실가스 배출을 어떻게 전망하는지 살펴본다.

1.1. 에너지 전망을 위한 주요 전제 작성 방법

KEEI-EGMS의 전망 흐름은 우선 경제, 산업구조, 에너지 가격, 기온 및 인구에 대한 전제 설정에서 시작한다. 국내총생산을 변수로 사용하는 경제는 일반적으로 한국개발연구원(KDI)의 장기 잠재 국내총생산 전망을 사용한다. 산업구조는 업종별 실질 총산출과 부가가치를 의미하며, 산업연구원(KIET)의 장기 산업구조 전망

을 이용한다. KDI나 KIET는 장기 전망을 매년 수행하지 않기 때문에, 신규 전망 결과가 없는 경우에는 실적 데이터의 업데이트만 진행하고 기존 성장률 전망을 유지한 채로 전제를 작성한다. 본 연구에서 구축하는 경제 모형을 이해하기 위해서 KDI와 KIET의 전망 모형을 간단히 설명하면 다음과 같다.

KDI는 생산함수 접근법을 이용하여 2100년까지 잠재 경제성장률을 전망한다.⁶ 이때 생산함수에 포함되는 노동은 통계청의 인구추계를 기반으로 경제활동참가율 전망과 실업률 전망을 결합하여 도출한 취업자를 사용한다. 자본은 자본스톡 추계와 투자 전망치를 영구재고법에 적용하여 계산하는데, 실질투자는 피부양인구비율의 함수로 정의된 저축률로부터 도출된다. 신석하 외 (2013)는 노동투입을 취업자수로 전망하며 그와 관련된 논쟁 사항을 정리하였다. 특히, 노동의 질적 측면과 관련하여, 우리나라의 학력구조 특성으로 인한 인적자본 증가율 반영의 문제점 때문에 인적자본을 전망하지 않고 총요소생산성에서 반영하였다고 밝히고 있다. 총요소생산성은 1인당 소득수준, 대외개방도, 법제 및 재산권 지수, 기업활동 규제, 교육 및 인적자본, 연구개발투자 등을 정성적으로 검토하여 향후 증가율을 전제하고 있다. 한편, KDI 생산함수 모형은 경제성장률 전망과 연동하여 물가상승률, 임금, 금리 등 주요 거시경제변수를 전망한다. 명목 거시변수는 잠재 경제성장률 전망과 부합하는 물가상승률과 GDP 디플레이터 전망치를 구하고, 잠재 경제성장률에서 도출되는 실질 임금 및 실질 금리와 결합하여 명목 임금과 명목 금리를 계산하는 방식이다. 즉, 물가상승률을 비롯한 명목 변수는 내생적으로 결정되는 것이 아니라, 외생적인 충격이 없는 조건에서 실질 변수 전망에 부합하는 적정 수준을 의미한다.⁷

KIET는 상향식 산업-거시경제모형인 KIET-DIMM(Dynamic Interindustry Macroeconomic Models)을 이용하여 78개 업종의 장기 산출액과 부가가치를 전망한다.⁸ KIET-DIMM은 산업별로 생산, 자본투입, 노동투입, 소비, 투자, 수출, 가격

6) KDI는 주로 5년마다 시행하는 국민연금 재정추계를 위해 장기 거시경제변수를 전망하는데, 본 설명은 공개된 보고서인 2013년 「한국의 장기 거시경제변수 전망 (신석하 외., 2013)」을 참고하고 있다.

7) 명목 거시변수의 내생화는 주로 보기 자료를 이용하여 단기 경제 전망과 경기 파급효과 분석을 수행하는 거시계량모형에서 구현하고 있다. KDI의 거시계량모형은 신석하 (2005) 등을 통해 살펴볼 수 있다.

8) KIET도 정기적으로 전망 작업을 수행하지는 않으며, 인구구조의 변화 (이진면 외, 2012)나 4차 산업혁명의 영향 (이진면 외, 2018) 등 특정 주제에 대한 연구보고서를 작성하고 있다. 본 보고서에서는 모형을 가장 자세하게 설명하고 있는 2007년 보고서를 (이진면 외, 2007)를 바탕으로 이 후 보고서들을 참고하여 모형을 파악하였다.

으로 모형을 구성하고, 미시경제 측면의 산업별 수요와 공급 간 균형과 거시경제 측면의 총수요와 총공급의 균형이 달성되는 결과를 도출한다. KIET-DIMM은 산업연관표와 국민계정 통계를 연계한 산업연관표 형태의 통계DB를 구축하여 사용하고 있다. 산업연관표 형태의 통계를 국민계정 통계와 맞추기 위해 방대한 통계작업을 수행하는데, 여기서 주목하는 것은 세 가지이다. 하나는 전망 결과에 반영된 미래 중간투입계수이다. 구체적인 방법을 밝히고 있지는 않지만, KIET-DIMM은 중간투입계수, 노동계수, 자본계수를 외생변수로 처리하고 있으며, 최종 결과인 총투입과 중간투입 그리고 부가가치는 KIET에서 판단한 미래의 투입계수를 반영해서 도출한다. 두 번째는 짧은 통계자료 기간과 우리나라 경제의 급격한 구조변화로 인해 발생하는 행태방정식 추정의 어려움에 대한 해결 방식이다. KIET-DIMM은 특정 변수에 대해 다른 연구기관에서 발표한 중장기 전망치를 이용하여 통계DB를 미래까지 확장한 후 이를 개별 방정식 추정에 활용하고 있다 (이진면 외, 2018). 마지막으로 잠재 국내총생산의 전망이다. KIET-DIMM의 잠재 국내총생산 전망은 좀더 자세히 살펴볼 필요가 있다. KIET-DIMM은 1차동차 콥-더글라스 생산함수를 설정하고 노동과 자본의 완전고용 가정 하에 잠재 국내총생산을 전망한다. 생산함수의 총요소생산성은 OECD에서 발표하는 다요소생산성을 활용하고 노동소득 분배율이나 1인당 근로시간은 선진국의 추이를 따라가거나 연장하는 방식을 사용하고 있다 (이진면 외, 2018). 완전고용 자본스톡은 실제 투자의 장기 추세인 균형투자지출을 구하고 영구재고법을 이용하여 결정한다. 잠재 국내총생산과 지출국민소득의 합계의 차이인 GDP 갭은 GDP 디플레이터나 전산업 실질 평균임금에 변수로 포함되어 수요측면과 공급측면의 균형을 조절하는 역할을 한다.⁹⁾

에너지 전망을 위한 다른 주요 전제인 인구 및 가구는 통계청의 장기 인구 및 가구 추계를 사용한다. 통계청은 인구총조사를 실시한 후 조사결과를 바탕으로 인구와 가구 추계를 갱신하고 있다. 통계청의 인구 추계는 KDI나 KIET의 장기 경제 전망에도 동일하게 사용된다. 기온 변수는 미래의 냉방도일 및 난방도일을 계산하는

9) GDP 갭은 2007년 모형에서는 GDP 디플레이터 추정식의 변수, 2012년 모형에서는 전산업 실질 평균임금의 추정식 변수로 사용되었으나 2018년 모형에서는 제외된 것을 확인할 수 있다. 보고서의 누락인지 실제 제외된 것인지는 알 수 없다. 보고서에 총실하면, 여전히 잠재 국내총생산을 전망하지만 모형의 균형 달성을 위한 역할은 없으며 장기 실질 국내총생산이 잠재 실질 국내총생산에 장기적으로 수렴하는지 여부는 알 수 없다.

데 사용된다. 과거에는 지난 30년의 일일 전국 평균 기온을 이용하여 미래의 일일 평균 기온을 가정하였는데, 최근 장기 에너지 전망에서는 IPCC의 기후변화 시나리오를 미래 일일 기온의 전제로 사용하고 있다.¹⁰ 마지막으로, 국내 에너지 가격의 경우 IEA 전망 보고서의 에너지 가격을 이용하여 국내 에너지 물가지수를 산출한다. 원유, 천연가스, 석탄의 아시아 가격 전망과 국내 도입단가가 동일한 추세로 변한다는 가정 하에 국내 도입단가를 계산하고, 각 에너지 제품별로 관세를 포함한 에너지 세제를 적용하여 국내 에너지 제품 가격을 산출한다. 에너지 상품의 생산자물가 및 소비자물가는 국내 에너지 제품 가격의 변화와 연동된다.

1.2. 에너지 전망 방법

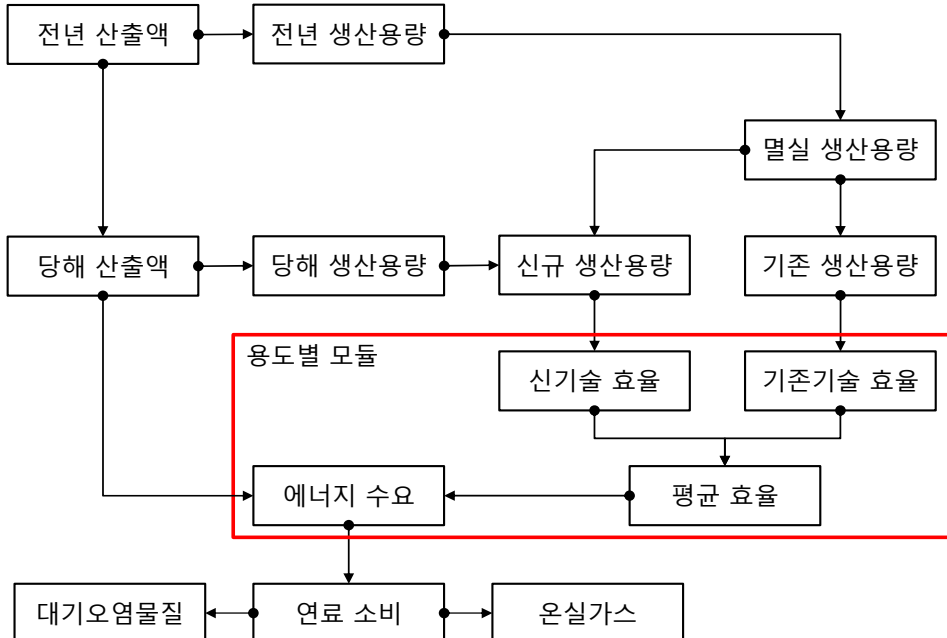
전제가 준비되면 KEEI-EGMS를 이용하여 2060년까지의 에너지 수급을 전망한다.¹¹ KEEI-EGMS는 산업, 수송, 가정, 서비스 등 에너지 사용 주체별로 에너지 수요를 전망하고, 정책적으로 결정된 발전 설비 계획에 따라 발전 부문의 생산과 연료 수요를 계산하여 국가 총에너지수요와 에너지 부문 온실가스 배출을 전망하는 상향식 전망 모형이다. 에너지 전망에 대한 정책적 관심이 개별 정책 수단이라는 세세한 부분까지 구분하여 확대되는 경향이 있다. 이런 추세에 따라 정책에 활용되는 수요 전망은 거시경제 또는 미시경제적 이론에 기반하여 수요함수를 설정하는 것이 아니라 수요를 구조적으로 분석하고 각 요소를 최대한 경제 이론에 부합하게 구축하는 방식이 널리 사용되고 있다. KEEI-EGMS도 사용 주체, 해당 용도 등에 따라 세부 전망 방법이 달라지긴 하지만, 큰 틀에서는 Kaya 항등식에 따라 에너지 소비의 구조를 분해하고 요인별 전망을 결합하여 에너지 수요를 전망한다. 즉, KEEI-EGMS의 에너지 전망은 영구재고법과 생존곡선을 이용한 설비의 변화, 확률변경분석을 이용한 선도기술의 추정과 전망, 에너지 가격에 따른 에너지 상품의 비중 선택이 결합된 과정이다. 다른 많은 모형들이 세부 기술에 대한 선택을 통해 효율 개선

10) '2021 장기 에너지 전망 (에너지경제연구원, 2021)'에서는 기준 시나리오에 SSP2-4.5 시나리오, 탄소중립 시나리오에 SSP1-1.6 시나리오를 사용하여 냉난방도일을 계산하였다.

11) 에너지경제연구원의 장기 에너지 전망 보고서는 2050년까지 전망 결과를 담고 있지만 전망 경로의 안정성, 시나리오 분석의 타당성 등을 검토하기 위해 모형의 시간 경계는 더 길게 설정한다.

과 에너지 수요 변화를 계산하는데 반해,¹² KEEI-EGMS는 구조 분해를 바탕으로 한 경제적 분석이라 할 수 있다. KEEI-EGMS에 적용된 각각의 전망 방법에 대해서 좀 더 자세히 살펴보도록 한다.

[그림 2-1] KEEI-EGMS 산업 부문의 에너지 수요 전망 흐름



출처: 저자 작성

산업 부문의 연료 수요를 사례로 전망 방법을 설명하면 다음과 같이 묘사할 수 있다.¹³ 위의 [그림 2-1]은 산업 부문 모듈의 에너지 수요 전망 흐름을 보여주고 있다. 산업 부문은 우선 업종별 산출액 자료를 이용하여 설비 규모를 추정하는데, 여기서 설비 규모는 총 생산가능규모를 의미한다. 한편, 미리 설정한 설비의 생존확률곡선

12) MARKAL-TIMES, GCAM, FORECAST 등이 기술 DB를 구축하고 기술 선택에 따라 에너지 수요를 전망하는 대표적인 모형이다.

13) 산업 부문의 에너지 사용은 크게 원료용과 연료용으로 구분되며, 연료용은 다시 철강공정, 석유정제및화학공정, 시멘트제조공정 등 특수 공정과 직접가열, 간접가열, 동력, 전기화학, 건물및기타 등 일반 용도로 나뉘어진다. 여기서 설명하는 내용은 일반 용도의 전망과정이다.

에 따라 과거의 설비 교체 규모와 속도를 추정하고, 이를 바탕으로 전망 기간의 설비 교체 규모와 속도를 전망한다.

$$CapacityAdded_t = CapacityTotal_t - CapacityTotal_{t-1} + CapacityScrap_t$$

$$CapacityScrap_t = \sum_{i=0}^{t-1} (1 - Probability_i) \times CapacityAdded_{t-i}$$

여기서 Probability는 생존 확률을 의미한다. 즉, t기의 멸실 설비 용량은 과거 매 년도마다 신규 설치된 설비가 수명에 따라 달라지는 확률만큼 멸실되는 양을 전체 기간에 걸쳐 합한 것이다. 이는 자산별 폐기 패턴(IOWA 생존곡선)을 고려하여 자본스톡을 추계하는 미국 BEA(Bureau of Economic Analysis)의 추계 방식과 유사하다. 일반적인 영구재고법과 다른 점은, 영구재고법은 기존 자본스톡에 감가상각되는 자본스톡과 신규 자본투자를 계산하여 다음기의 자본스톡을 계산하는 방식인데 반해, 여기서는 총 설비 규모와 멸실 설비 규모를 이용하여 신규 설비 규모를 계산한다는 점이다.

확률변경분석은 기술적으로 가장 효율이 높은 설비의 에너지 이용 수준을 추정한다. 에너지의 사용 용도를 직접가열, 간접가열, 동력, 전기화학, 건물및기타로 구분하고, 각 용도별 에너지 소비 자료에 업종별 더미와 산출액, 에너지가격지수 등을 변수로 한 패널 회귀분석을 통해 첨단 기술의 에너지 소비량을 추정하는 것이다(김수일, 2020). 선도기술의 미래 에너지 소비, 즉 선도기술의 에너지 효율은 정책의 강도, 과거 추세, 해외 사례 등을 참고하여 외생적으로 결정한다. 확률변경분석의 에너지 수요 함수 추정식은 다음과 같다.

$$ED_{it} = \alpha + w_i + \beta x_{it} + v_{it} + u_{it}$$

여기서, v_{it} 는 순수 오차이고, u_{it} 는 비효율, 시간 불변인 관측 대상자 고유의 이질성 w_i 는 시간 불변인 관측 대상자 고유의 이질성으로 업종별 더미를 사용한다.

영구재고법을 통한 멸실 설비와 신규 설비 그리고 확률변경분석을 이용한 선도기술의 에너지 효율, 그리고 행태적 이용 효율을 결합하면 연료 선택이 가능한 에너지서비스 양이 도출된다. 이제, 전망의 마지막 단계로 어떤 에너지 상품을 이용하여 에너지서비스를 충족할 것인지를 결정한다. 에너지 상품은 석탄, 석유, 가스, 전기,

열, 재생에너지로 구분하며, 에너지 상품의 선택은 에너지 상품별 생산자 물가지수를 변수로 사용하는 로짓비중함수를 이용한다. 초기 년도의 에너지 소비 비중이 로짓비중함수의 가중치로 들어가며, 가격변수는 초기 생산자 물가지수에서 해당년도의 생산자 물가지수 차이가 사용된다.

$$S_{i,t} = \frac{S_{i,0} \exp(\beta_i c_{i,t})}{\sum_{j=1}^N S_{j,0} \exp(\beta_j c_{j,t})}$$

여기서 S_i 는 에너지 상품 i 가 연료 소비에서 차지하는 비중, $c_i = (1 - p_i)$ 는 에너지 상품의 기준년도 대비 물가지수를 1에서 뺀 값이다. $S_{i,0}$ 은 기준년도 에너지 상품의 비중으로 비중의 가중치 역할을 한다.

에너지 전망은 기준 시나리오 외에도 주요 정책이 도입되거나 혹은 정부가 설정한 목표를 달성할 경우의 에너지 수급 경로를 전망함으로써 에너지 정책의 효과를 분석한다. 효과 분석을 목적으로 에너지 및 온실가스 정책들을 효율 개선 정책, 가격 정책 그리고 직접 규제 정책 등으로 분류한다. 에너지 효율을 개선하는 정책들은 신규 설비에 대한 수요, 선도 기술의 에너지 효율 수준, 신규 설비에서 선도 기술의 점유율에 영향을 미치는 정책들이다. 가격을 변화시키는 정책들은 연료간 선택을 결정하며 선도 기술의 발전 속도에도 영향을 준다. 가격 정책에는 탄소가격도 포함된다. 직접 규제 정책들은 각종 규제나 지원 정책들로, 각각의 특성에 따라 에너지 수요에 영향을 미치는 경로가 달라진다.

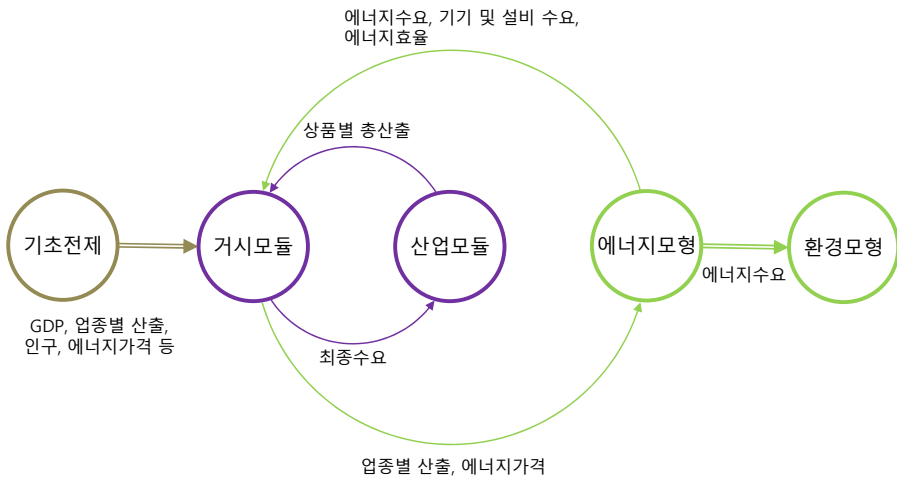
주요 전제의 작성 방법과 에너지의 전망 모형 그리고 에너지 전망 흐름을 대략적으로 살펴보는 것은 에너지 모형을 기반으로 한 경제 모형의 목적과 한계에 대한 고민과 연결된다. 에너지 모형과 경제 모형의 연계, 경제 모형의 이론적 논점과 현실적 해결책, 전망 목적 등에 관해서 다음 절에서 논의를 이어간다.

2. 에너지 수급과 경제 모형

[그림 2-2]는 앞서 설명한 에너지 전망의 흐름을 포함하여 에너지 모형과 경제 모형이 어떻게 연결되어 작동하는지를 보여준다. 기존의 에너지 수요 및 온실가스 배출 전망은 [그림 2-2]의 아래 부분 화살표 흐름에 한정된다. 즉, 외부에서 기초전제

가 작성되면 기초전제는 에너지 모형으로 입력되어 에너지 수요를 도출하고 에너지 수요에 따라 온실가스 배출을 계산함으로써 전망 작업이 완료되었다. 본 연구에서는 나머지 연결 부분을 채움으로써 경제-에너지-환경이 유기적으로 상호작용하는 모형을 구축한다고 할 수 있다.

[그림 2-2] KEEI-EGMS 에너지 수요 및 온실가스 배출 전망 흐름



출처: 「에너지 정책이 국민 삶의 질에 미치는 영향과 대응전략 연구 (1/3) (김수일, 2021)」 25쪽 [그림 3-1] 인용 및 수정

한편, 경제 모형의 구축은 에너지 모형의 확대라는 점에서 기존 경제 모형들과 차이점이 있다. 기존 경제 모형들은 거시 또는 미시 경제변수들의 변화에 따라 에너지 수요를 결정하거나, 에너지 가격의 충격이 경제에 미치는 영향을 분석한다. 반면, 기존 에너지 모형들은 경제 모형의 결과로 제시된 생산 및 가격 전망에 따라 에너지 수급을 전망한다. 이 때 전제 도출에 내재된 경제 모형의 논리는 반영하지 못한다. 에너지 모형의 확대는 경제 모형과 에너지 모형이 유기적으로 연결된다는 것을 의미하며, 특히 에너지 모형에 기반하여 경제 모형이 구축된다는 것을 강조한다. 따라서 에너지 모형이 어떻게 경제 모형으로 연결되는지 살펴보는 것이 중요하다.

2.1. 에너지 모형과 경제 모형의 주요 연계 변수

앞서 살펴본 것처럼, KEEI-EGMS는 멸실 설비와 신규 설비를 통하여 자본재의 감가상각과 투자의 변화를 묘사한다. 확률변경분석을 통해 추정된 선도기술의 에너지 효율은 총요소생산성과 관련이 있고, 또한 국민계정의 연구개발투자와 연결된다. 산업 부문과 서비스 부문의 에너지 수요는 생산을 위한 상품별 중간수요이며, 중간투입계수의 변화를 의미한다. 수송 부문과 가정 부문은 자동차를 비롯한 가계의 내구재 및 준내구재 그리고 에너지 상품에 대한 최종소비지출과 연결된다. 또한 가정 부문의 주택 및 보일러 설비 변화는 주거용 건설투자와 관련이 깊다. 아래 <표 2-1>은 에너지 모형에서 경제 모형으로 유입되는 변수들이다. 이는 앞의 [그림 2-2]에서 에너지 모형에서 거시 모듈로 연결되는 가장 윗 부분의 화살표에 해당한다.

<표 2-1> 에너지 모형에서 경제 모형으로 환류되는 변수

변수	변수명	내용
주택 에너지 소비	RSD	연탄, 석유, 도시가스, 전기, 지역난방, 기타
신규 주택	HousingNew	단독, 아파트, 기타 공동주택
신규 보일러	BoilerNew	석탄, 석유, LPG, 가스, 전기, 지역난방, 기타
개인운송장비연료 소비	TRP	비사업용 자동차(승용차, 승합차, 화물차) 연료 소비
가전기기 판매	HAplianceNew	에어컨, 선풍기, 전기매트, 냉장고, 김치냉장고, 전기밥솥, 전자레인지, TV, 컴퓨터, 세탁기, 청소기
자동차 판매	PrvVehicleNew	비사업용 자동차(승용차, 승합차, 화물차) 판매
산업 에너지 소비	IND, SER	제조업, 서비스업, 농림어업, 광업, 건설업
생산 용량	CapacityTotal	제조업, 서비스업, 농림어업, 광업, 건설업
신규 설비 용량	CapacityAdded	제조업, 서비스업, 농림어업, 광업, 건설업
에너지 효율 기술 지수	ManTech	제조업, 광업, 건설업
발전 에너지 소비	TRF	석탄, 석유, 가스, 원자력, 수력, 재생에너지
에너지 수출	Export.energy	석유제품
에너지 수입	Import.energy	원료탄, 연료탄, 원유, 석유제품, 천연가스

출처: 「에너지 정책이 국민 삶의 질에 미치는 영향과 대응전략 연구 (1/3) (김수일, 2021)」, 30쪽 <표 3-1> 인용 및 수정

짐작할 수 있듯이, 에너지 모형에서 경제 모형으로 유입되는 변수들의 미래 변화 경로는 전제로 사용한 경제 또는 산업 구조를 도출할 때 전망한 내생 변수들의 변화와 일관성이 있다고 보장할 수 없다. 예를 들어, 에너지 모형의 신규 주택이나 신규 설비의 전망 경로가 국내총생산의 건설투자나 설비투자 전망과 동일한 패턴을 갖는지 알지 못한다. 에너지 상품에 대한 수요가 광산물, 석탄 및 석유제품, 전력·가스·증기의 산출량에 대한 전망과 같은 경로를 따라가는지도 확인되지 않는다. 국내총생산, 산업구조, 에너지가 각각 전문 분야의 고유 모형으로 전망되기 때문인 영향이 크다. 이렇듯 경제 부문과 에너지 부문이 밀접한 관계가 있음에도 불구하고, 그동안의 연구들은 국내총생산에서부터 에너지 소비에 이르기까지 모형 내의 논리 관계를 모형 간에 유지하지 못하고 있다. 여기서, 모형 내의 논리 관계는 모형의 구조만이 아니라 결과에 담겨있는 전망 관점까지 포함한다. 이 점이 에너지 모형과 연동한 경제 모형 구축의 이유이며 기존 경제 모형들과의 차이점이다.

물론 경제와 에너지 부문이 유기적으로 결합된 모형들은 이전부터 존재했다. 하지만 정책에 직접 활용하는 것을 목적으로 에너지와 경제 변수들이 하나의 모형으로 구현된 경우는 드물다. 하나의 시스템으로 운영하는 대표적인 모형이 EIA의 NEMS이다. 이와 관련된 설명은 다음 절에서 다시 다루기로 하고, 여기서는 일반적인 경제 모형과의 차이점을 정리하고자 한다. 본 연구의 경제 모형은 국내총생산과 산업 구조로 대표되는 주요 경제 변수들을 자체적으로 전망하는 것이 아니다. 에너지 수급의 결과로 도출하는 경제 행위들을 이용하여 전망 전제와 부합하는 주요 경제 변수들을 복구하는 것이 모형 구축 측면에서의 핵심 목적이라고 할 수 있다. 물론 경제 변수 복구 과정에서 전제로 사용된 변수들의 수치가 변할 수 있다.

2.2. 모형 구축의 주요 이슈

당연한 일이지만, 경제 모형 구축 과정에서 이론적 그리고 실제적 문제가 발생하는 것을 피할 수 없다. 문제에 대한 연구자 판단이 다음 장에서 설명하는 모형의 상세 구조라는 결과물로 나왔으며, 여기서는 결정이 필요했던 주요 문제 몇 가지를 소개하고자 한다.

우선 기술에 대한 관점 문제를 들 수 있다. 경제 모형과 에너지 모형을 아울러 크

계 세 가지의 기술 개념이 나타나고 있다. 첫 번째는 잠재 국내총생산 전망에 사용되는 총요소생산성, 두 번째는 상품 생산의 중간투입과 부가가치를 결정하는 투입산출관계, 세 번째는 에너지 전망에 사용되는 선도기술의 에너지 효율이다. 우선 전체의 총요소생산성과 에너지 모형의 선도기술과의 관계에 대해서 살펴보자. 경제성장 전제는 앞서 살펴본 것처럼 노동, 자본, 총요소생산성에 대한 전망으로 작성된다. 본 연구에서는 내생적 성장모형에 따라 잠재 국내총생산 추정식에 선도기술의 에너지 효율 지수를 변수로 포함하고 있다.¹⁴ 이는 에너지 효율 개선을 총요소생산성의 변화를 결정하는 요인의 하나로 보고 있다는 것이다. 에너지 효율 지수는 또한 연구개발투자, 즉 지식재산생산물투자 추정식에도 변수로 포함된다. 에너지 효율 지수를 매개로 연구개발투자와 총요소생산성이 연결된다.

총요소생산성은 자본과 노동의 질 그리고 자본과 노동을 결합하는 기술을 모두 포함한다. 따라서 기술 외에도 교육, 제도, 정치 등 다양한 요인이 총요소생산성에 영향을 미친다. 물론 추정식이 에너지 효율 지수 외에도 시간 추세를 포함하고 있지만, 모형의 추정식 구조는 총요소생산성의 결정 요인으로 자본의 기술적 요인을 강조하는 경향이 있다. 에너지 효율이 총요소생산성과 통계적으로 유의미한 관계가 있긴 하지만 (Santos, et al., 2021), 모든 기술 발전이 에너지 효율의 개선을 동반한다는 근거는 없다. 회귀식으로 설정할 만큼 지식재산생산물투자의 성과가 분명하지 않다는 지적도 있으며, 지식재산생산물투자가 에너지 효율만을 위한 것도 아니다. 하지만 장기적으로 지식재산생산물투자가 기술 수준을 높이고 총요소생산성에 영향을 미친다는 것은 부인할 수 없다. 선형적으로 볼 때 기술 개발을 통한 에너지 효율 개선이 에너지 및 온실가스 감축의 가장 중요한 수단이라는 점을 고려하면, 정책 효과를 추적하기 위해 총요소생산성에 에너지 효율 지수를 고려하는 것이 적합하다. 본 연구는 최종 결과로 도출되는 설비투자, 한계자본생산, Solow 잔차 등의 타당성 검토를 통해 에너지 효율 지수와 총요소생산성 관계의 적합성을 판단하였다. 하지만, 정책 시사점으로 지식재산생산물투자가 성과를 만들 수 있도록 효과적인 투자 대상 선정과 제도적 관리가 뒷받침되어야 한다는 것을 잊어서는 안된다.

14) NEMS의 경우 연구개발투자와 기술변화 추세가 총요소생산성을 결정한다. E3ME는 ICT와 non-ICT 부문의 연구개발투자와 총 투자를 이용하여 부문별 기술 진보를 함수 형태로 직접 표현하며, 연구개발투자와 총투자는 에너지 수요 함수의 변수로 포함된다.

투입산출관계는 투입산출표에 나타나는 업종별 투입계수이다. 기준년도 실질 가격으로 표시한 투입산출계수는 하나의 상품을 생산하기 위해 필요한 다른 상품의 양으로써 상품 생산을 위한 기술적 관계를 의미한다. 전제로 사용하는 업종별 실질 총산출과 실질 부가가치는 상품별 최종수요와 중간수요에 대한 정보를 제공하지는 않지만 미래 투입산출관계에 대한 관점을 포함하고 있다. 한편, 에너지 전망 결과는 생산 부문(산업 및 서비스)의 경우 생산에 투입되는 에너지 상품의 양과 동일하며 소비 부문(가정 및 수송)의 경우 최종 소비지출에 해당한다. 에너지 효율 개선을 반영한 에너지 수요는 전제로 사용된 에너지 상품의 총산출 전망과는 다른 관점을 가지고 있기 때문에 상품별 총산출에서 중간투입의 투입산출관계를 조정하여 새로운 총산출을 도출할 필요가 있다.

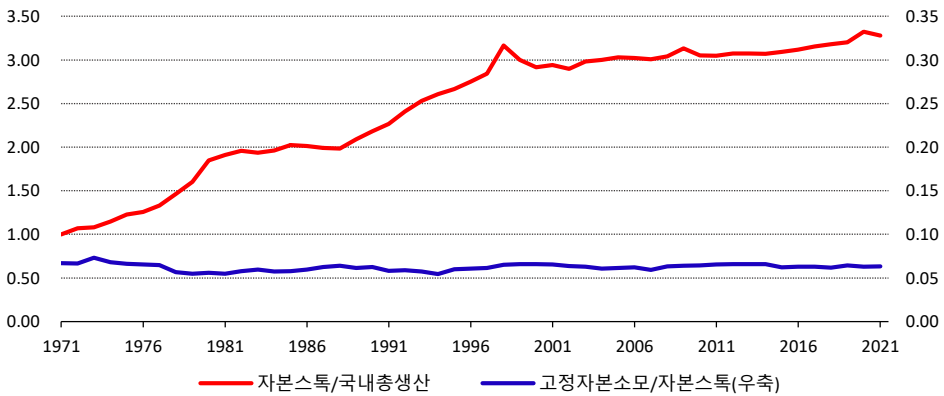
다음으로 자본스톡과 감가상각의 추계 및 전망에 대해 살펴보자.¹⁵ 보통, 미래 생산에 기여할 수 있는 자원의 개념으로 자본스톡을 추계한다. 과거에는 자본스톡을 재생산가능 유형고정자산으로 정의하며, 특허권 같이 실물이 아닌 무형자산, 재고, 재생산불가능자산은 포함하지 않았다(서재환, 2000). 반면, 한국은행은(비금융) 생산자산을 고정자산, 재고자산 및 귀중품으로 구분하며, 2008 SNA 권고에 따라 고정자산에 건물, 기계, 설비를 비롯하여 연구개발 등과 같은 지식재산생산물도 포함하고 있다(한국은행, 2020). 국민계정은 여러 회계연도에 걸쳐 생산에 이용되는 재화를 자본재라고 하며, 자본재 구입을 총고정자본형성으로 정의한다. 한편, 한국은행은 경제적 개념의 감가상각으로 고정자본소모라는 용어를 사용하는데, 고정자본소모는 고정자산이 일정기간 생산에 사용됨으로써 발생하는 가치의 감소분으로 정의한다.¹⁶ 연구개발이 자산에 포함되면서 통계적으로는 영업잉여와 고정자본소모의 규모가 증가하고 국내총생산 규모도 확대되었다(한국은행, 2020). 모형에서 채택한 내생적 성장모형의 구조는 연구개발투자가 자본스톡과 중요소생산성 두 경로를 통해 중복된다는 문제가 있다.

15) 연구재고법을 이용한 자본스톡 추계에 대해서는 이론적 또는 실증적 연구들이 다수 존재한다. 본 연구에서는 모형 구축 과정에서 발생한 모형 안정성 문제로 인해 유형고정자본을 이용하는 방법과 총고정자본형성을 이용하는 방법을 검토하였다. 결론적으로 기존 방식과 마찬가지로 총고정자본형성을 이용하여 자본스톡을 추계하는 방식을 채택하였다.

16) 한국은행은 총자본스톡에서 정액, 정률, 연수합계법 등의 감가상각 함수를 이용한 연구재고법을 이용하여 고정자본소모를 직접 추계한다(한국은행, 2007).

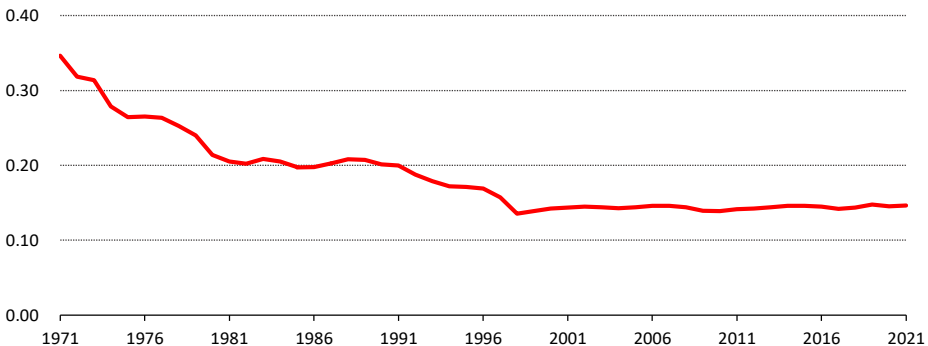
총고정자본형성과 영구재고법을 이용하여 자본스톡을 추정한 결과 국내총생산 대비 자본스톡의 크기가 1998년을 기점으로 둔화되기는 하지만 꾸준히 증가하며, 자본스톡 대비 고정자본소모 비율은 전 기간에 걸쳐 큰 변화가 없이 일정한 비율을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 한계자본생산은 빠르게 감소하다 1998년 이후 일정 수준을 유지하고 있다. 이러한 결과는 크기 차이가 있긴 하지만 기존 연구의 결과들과 비슷한 것으로 판단된다.

[그림 2-3] 자본스톡/국내총생산과 고정자본소모/자본스톡 추이



자료: 한국은행 경제통계시스템(<https://ecos.bok.or.kr/#/>), 저자 작성

[그림 2-4] 한계자본생산 추이



자료: 한국은행 경제통계시스템(<https://ecos.bok.or.kr/#/>), 저자 작성

자본스톡 대비 고정자본소모 비율은 감가상각율을 의미한다. 감가상각율이나 한계자본생산이 일정 수준을 유지한다는 것이 기존 연구에서 보편적으로 가정하는 방법이며 이해하기도 용이하다.¹⁷ 본 연구에서는 고정자본소모를 자본스톡의 함수로 설정하며, 자본스톡은 에너지 모형의 신규 설비와 건물의 규모에 부합하는 투자를 이용하여 계산한다. 즉, KEEI-EGMS의 에너지 효율 전망이 지식재산생산물투자, 건설투자, 설비투자의 흐름을 결정하고, 이는 자본스톡을 통해 생산에 영향을 미치며 또한 고정자본소모를 통해 소득과 지출에 영향을 미친다.

일반적인 거시경제 모형에서는 물가 또는 금리가 모형의 균형을 보장한다. 경제이론이나 기존 연구들이 동의하고 있는 것은 가격에 영향을 미치는 일시적인 충격은 단기적으로 실질 변수를 장기 균형에서 벗어나게 하지만 시차를 두고 그 효과가 사라지면서 다시 장기 추세로 회복한다는 것이다. 물가는 명목 변수와 실질 변수를 이어주고 수요 측면과 공급 측면의 균형을 달성하며 단기 충격이 장기 추세로 수렴하게 하는 역할을 한다. 특히 외생변수의 충격으로 인한 단기 변화에 대한 분석을 목적으로 하는 거시계량 모형에서 잘 확인할 수 있다. 보통은 잠재 국내총생산과 최종 수요의 합계인 국내총생산 차이를 GDP 갭으로 계산하고, GDP 갭을 물가 함수에 포함시키는 방식으로 모형을 구축한다. 반면 잠재 국내총생산 전망이 주 목적인 경우 물가는 잠재 성장률에 부합하는 거시명목변수로 전망한다. 신석하 외 (2013)에서는 물가상승률의 시차변수 및 실질성장률을 이용한 회귀분석과 중앙은행의 물가안정 목표수준을 감안하여 장기적으로 일정 수준이 되도록 전망한다. 본 연구에서도 이러한 관점을 차용하여 경제 모형에서 소비자 및 생산자 물가를 전망한다. 다만 신석하 외 (2013)에서는 원자재 가격 전망의 어려움을 들어 원자재를 반영하지 않았는데, 여기서는 국제 에너지 가격의 전제를 이용하여 에너지 물가를 작성하기 때문에 에너지 물가가 소비자물가 및 생산자물가에 미치는 영향을 회귀식으로 분석한다. 에너지 가격이 에너지 소비에 미치는 영향은 에너지 모형에서 분석한다.

17) 칼도(Nicholas Kaldor)는 선진국 경제성장을 분석하면서 몇 가지 정형화된 사실을 정리했는데(stylized facts), 그 중 하나가 한계자본생산이 시간에 상관없이 일정하다는 것이다. 이는 솔로 성장모형에서 정상상태(steady state)에 있는 경제의 특징으로도 출할 수 있다. 하지만 1998년 이후 우리나라 경제가 정상상태에 있다고 주장하는 사람은 없을 것이다. 한계자본생산이 일정 수준을 유지했다는 것은 정상상태의 자본스톡 수준으로 가기 위해 필요한 만큼의 투자가 이루어지지 않고 자본 수익률을 유지하기 위한 수준 정도로만 투자가 이루어졌다고 해석할 수도 있다.

해외 부문의 경우는 국내 정책이 해외에 영향을 미치지 않는다는 가정 하에 외생 변수로 취급한다. 다만 2050 탄소중립 같은 범 세계적인 목표는 국제 사회가 동일한 방향으로 움직인다는 가정 하에 국제 에너지 가격의 전망을 모형에 반영한다. 모형이 해외 부문을 구현하고 있는 것은 실질 수출입을 통해서이다. 일반 거시경제 모형과 다른 점은 교역 대상국의 생산이나 해외 물가 또는 환율이 국내 경제에 영향을 미치는 것이 아니라 국내 생산과 수요의 차이를 조정하는 역할을 한다는 점이다.¹⁸ 수출이 국내총생산에 비례해서 변한다고 가정하면, 수입은 잠재 국내총생산과 총수요의 차이에 따라 변하게 된다. 결국 수입이 실질 거시경제변수들의 균형을 맞추게 된다.

경제 모형 구축 과정은 이론적 측면과 연산적 측면의 균형 조건을 모두 고려하고 있다. 이론적 측면의 균형은 방금 설명한 거시경제 측면의 균형 조건이다. 일반적인 거시경제 모형이 물가를 매개로 생산과 수요의 균형을 달성하는데 반해 본 연구에서는 수입이 생산과 수요의 균형을 유지한다. 실제 경제에서는 수요의 부족이나 초과가 물가를 자극하고 물가의 영향으로 수요는 균형 상태인 잠재 생산수준으로 돌아가는 과정을 반복한다. 장기적으로 경제의 생산 수준과 소비 수준을 결정하는 것은 잠재 생산 수준이고 잠재 생산은 노동, 자본, 기술 등 실질 요소에 의해 정해진다. 정상 상태에서는 수요가 잠재 생산과 균형을 이루며, 수요 측면 또는 공급 측면의 외생적 충격에 의해 초과 수요 또는 초과 공급이 발생한다. 본 연구는 외생 충격에 의한 단기 경기 변동을 분석하는 것이 아니라, 온실가스 국가 목표의 설정이 정책 및 제도를 포함하는 사회 기간구조(social infrastructure)의 변경을 초래하고 이러한 사회 기간구조의 변화는 장기적으로 생산과 수요의 근본적인 변화를 가져온다는 관점 하에 경제변수들의 장기적인 실질 변화를 분석하는 것이다. 따라서 실질 생산과 수요는 항상 균형 상태에 있다. 이 균형 상태에서는 국내 수요보다 많이 생산한 것은 수출하고 부족한 부분은 수입을 하게 된다.

다른 하나는 연산 측면에서의 균형 조건이다. 이는 앞서 자본스톡의 범위에 대한 논의에서 언급한 바 있다. 연산 측면의 균형 조건은 경제 이론과 더불어 개별 행태

18) 실물 변수로서 수입의 역할은 단순하다. 국내 생산이 늘면서 소득이 증가하고, 생산과 소득의 증가는 소비와 투자의 증가로 이어진다. 수출이 생산에 고정되어 있기 때문에 생산보다 적게 소비하면 수입이 줄어들고 소비가 생산보다 커지면 수입이 증가하여 소비를 채운다.

방정식 설정과 모형의 구조를 설계할 때 판단의 근거로 사용한다. 모형이 균형을 찾지 못하고 연산 실패를 하는 경우는 여러가지가 있다. 일반적으로는 해가 발산하거나 다중 해가 존재하는 경우이다. 해가 발산하는 경우는 무한히 커지는 경우와 이론적 제약에 도달하는 경우를 모두 포함한다. 데이터나 프로그램 연산 방식 등의 기초적인 점검을 거친 후에도 연산 실패가 발생하는 경우 이론적 범위를 넘어서지 않는 수준에서 행태 추정식의 변수를 변경하거나 단순화하는 방법을 통해 모형의 안정성을 확보하였다.

아무리 광범위하게 변수들을 포함하고 내생화해도 일단의 변수들은 외생변수로 가정하게 된다. 1국가 모형인 경우 교역 국가들의 생산과 물가 같은 해외 변수들을 외생변수로 설정하고, 경제 모형인 경우 인구나 기타 경제 외적인 변수들을 외생변수로 취급한다. 본 연구에서는 통화 및 금리, 해외 변수들을 모형에서 제외하였다. 이는 효과 분석의 대상이 되는 정책이 에너지 및 온실가스 정책이나 목표로 한정되어 있기 때문이다. 물론 에너지 및 온실가스 정책에는 탄소세나 에너지세 같은 가격 정책이 포함되어 있다. 세계 변경으로 인한 에너지 가격의 변화는 에너지 모형에 반영되어 있으며, 여기서는 일반적인 경제 파급 효과 분석 대상인 통화 정책, 금리 정책, 물가 정책이 통화당국의 물가 목표에 따라 움직이며 에너지 수요 및 온실가스 배출에 영향을 미치기 위해 조정되지 않는다는 것을 의미한다.

3. 에너지 및 온실가스 정책

기준 시나리오는 현재 시행되고 있는 정책이 미래에도 유지된다는 가정 하에 에너지 수요 및 온실가스 배출을 전망한다. 반면 정책 시나리오는 현재의 정책이 변경되거나 새로운 정책이 도입될 때 에너지 수요 및 온실가스 배출 경로를 전망하며, 목표 시나리오는 먼 미래의 특정 시점에 특정 수준의 온실가스 배출에 도달하는 경로를 도출한다. 시나리오 정의 측면에서 기준 시나리오와 다른 시나리오의 차이, 즉 정책 수단은 에너지 및 온실가스 정책과 목표로 한정된다.

본 모형은 특정 정책이나 기술의 보급에 따른 파급효과도 분석할 수 있지만 주요 목적은 에너지기본계획, 2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC), 2050 탄소중립(NZE) 같은 장기 국가 목표 달성과 관련된 경제의 변화이다. 장기 국가 목표는 에너지세제

를 비롯한 가격 정책, 전기차 보급 목표나 고효율기기 보급 등의 기술 개발 및 보급 정책, 석탄화력발전의 퇴출 같은 규제 정책, 금융 지원 및 시장 개설 등의 제도 정책 등 다양한 정책 수단을 포함한다. 이러한 정책 수단들을 동원하여 장기 국가 목표를 달성할 경우 에너지 수급의 변화를 전망하고, 에너지 수급 변화에 부합하는 거시경제 변수들의 변화를 도출하는 것이다. 이러한 목적은 다른 거시경제 모형과의 차별점을 만든다. 반복하는 얘기이지만 국제 유가의 예상치 못한 상승, 콜금리 인상이나 정부 재정지출 증가, 해외 생산의 변화 등 전통적이면서 순수 경제적 측면의 외생 충격은 분석 대상이 아니다. 순수 경제 변수들의 외생적 충격에 의한 단기 경기변동 효과 분석에 대해서는 1차년도 과제에서 정리한 바가 있다.

에너지 및 온실가스 정책의 효과를 분석하기 위해 다수의 모형이 오랜 시간동안 개발되었으며, 널리 사용되는 모형만 해도 연산가능일반균형 모형(CGE, Computable General Equilibrium), E3ME(Economy-Energy-Environment Macroeconomics), NEMS(National Energy Modeling System), ASTRA(Assessment of Transport Strategies) 등을 꼽을 수 있다.¹⁹ 개별 모형들에 대한 자세한 소개는 모형을 제공하는 기관이나 사용자의 자료를 참고하기를 바라며,²⁰ 여기서는 정책 효과 분석 측면에서의 차이점을 위주로 설명하고자 한다. NEMS를 제외한 다른 모형들은 주로 외부 모형의 전망 결과를 전제로 이용하여 경제 파급 효과를 분석한다. E3ME나 CGE 등도 경제 및 에너지에 대해 자체 전망을 수행할 수 있긴 하지만, 정책을 수립할 때는 보통 경제 전망이나 에너지 전망은 관련 전문 모형의 결과를 활용한다. 예를 들어, 유럽의 에너지 효율 정책으로 인한 거시경제 및 산업 부문 영향을 평가하기 위해 E3ME는 PRIMES(Price-induced market equilibrium system)²¹ 모형

19) 물론 이 외에도 무수히 많은 모형이 있지만, CGE는 본 모형의 거시계량적 구조와의 비교, E3ME 및 NEMS는 모형 구축을 위한 기본 참고 모형, ASTRA는 운영 방식의 비교 등을 이유로 선택하였다. 한편, CGE는 특정 모형의 이름이 아니라 연산가능일반균형을 사용하는 모형을 대표하는 의미이다.

20) 경제균형모형의 발전 과정과 현황은 이진면 외 (2007) 등에서 잘 정리하고 있으며, E3ME는 Cambridge Econometrics (<https://www.e3me.com/wp-content/uploads/2019/09/E3ME-Technical-Manual-v6.1-onlineSML.pdf>), NEMS는 EIA(<https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/overview/index.html>)에서 설명서를 제공하고 있다. ASTRA는 TRT, M-Five, Fraunhofer에서 개발하였으며 주로 유럽의 에너지 효율 정책을 분석하는데 사용되고 있다(<http://www.astramodel.eu/downloads-research-applications.htm>).

21) 아테네 국립공과대학(NTUA) E3MLab에서 분리된 E3Modelling에서 유럽 국가들의 에너지 수요, 공급, 가격, 무역과 온실가스 배출을 전망하고 정책 효과를 평가하기 위해 개발한 에너지 시스템 모형이다. PRIMES는 GEM-E3, GAINS 등과 연결되어 에너지-경제-환경 정책을 하나의 통합 시스템으로 분석한다. 자세한 내용은 E3Modelling 홈페이지에서 확인할 수 있다

에서 사용한 에너지 가격 및 경제 성장 전제 그리고 에너지 전망 결과를 이용하여 기준 시나리오를 작성하였으며, 효율 개선 시나리오에 따른 파급 효과를 분석했다 (European Commission, 2017). CGE는 OECD를 비롯하여 다수의 기관에서 널리 활용되고 있는데, 우리나라에서도 OECD에서 개발한 ENV-Linkages 모형을 수정, 보완한 모형을 이용하여 온실가스 감축 목표나 배출권거래제 등의 효과를 분석한 바 있다. 이 때 기준 시나리오 작성을 위해 KDI의 국내총생산 전망, KIET의 산업구조 전망, KEEI의 에너지 전망을 사용하였다. 조금 다른 얘기지만 GCAM(Global Change Analysis Model)에서도 정책 목표에 따른 에너지 및 온실가스 배출 변화 시나리오를 분석할 때 외부 전망 결과를 이용하여 기준 시나리오를 설정한다.²²

에너지 및 온실가스 정책의 파급 효과 분석은 모형 내의 자체 논리에 따른다. 각 모형은 나름대로 경제 이론에 근거해서 구축되어 있기 때문에 파급 효과 분석 논리에 대한 이론적 쟁점을 다룰 필요는 없다. 여기서는 모형의 이론적 쟁점보다 파급 효과 분석을 위한 시나리오와 정책 수단의 일관성에 대한 문제에 주목하고 있다. 탄소 중립과 같은 장기 목표를 분석할 때 모형들은 여러 정책 조합을 시나리오로 설정하기는 하지만 정부에서 실제로 설정한 정책 수단들과 그 일정 및 목표를 포괄하지는 못한다. 서론에서 사례를 든 「국가 온실가스 감축 목표 상향안 (정부부처합동, 2021)」의 경우를 다시 살펴보자. 전기화 및 수소화의 점진적 기술진보와 가속적 기술진보를 가정하여 두 가지 시나리오를 설정하고 있지만 경제 파급 효과 분석에 사용된 정책 수단은 탄소가격이 유일하다. 또 다른 사례로 E3ME를 이용하여 제3차 에너지기본계획의 목표 달성에 따른 경제 파급 효과 분석이 있다. 김수일 (2019)은 제3차 에너지기본계획의 목표를 달성하는 5개의 시나리오를 설정하고 사회경제적 파급 효과를 제시하였다. 여기서도 정책 수단은 효율 개선 투자와 에너지세 그리고 세수 활용에 대한 가정에 국한한다.

외부 모형 결과를 이용하여 파급 효과를 분석할 때 칼리브레이션(calibration)이

(<https://e3modelling.com/modelling-tools/primes/>).

22) GCAM은 목표 달성에 따른 파급 효과를 분석하는 것이 아니라 목표 달성을 위한 정책 시나리오 작성에 목적이 있기 때문에 앞서 모형들과 다르다는 표현을 사용하였다. 하지만 모형의 정책 수단이 제한적이고 정책 효과 분석이 현실의 정책 제언과 부합하지 않는 모형 내부의 논리에 그친다는 점에서는 다른 모형과 유사한 문제를 갖고 있다. GCAM에 대한 자세한 내용은 JGCR1가 제공하는 매뉴얼에서 확인할 수 있다(GCAM v6 Documentation: Global Change Analysis Model (GCAM). Available at: <http://jgcri.github.io/gcam-doc/>)

라는 방법이 적용된다. 칼리브레이션은 주요 전제를 공유한 상황에서 효과 분석 모형에서 나오는 기준 시나리오가 이미 정책에서 채택된 기준 시나리오와 동일하지 않기 때문에 유사하게 조정하는 과정을 말한다. 이렇게 설정된 모형 내의 시나리오를 E3ME에서는 베이스라인(baseline)이라고 부른다 (Cambridge Econometrics, 2014). 정책 효과는 베이스라인을 기준으로 측정된다. 베이스라인 대비 각 변수의 차이(또는 변화율)를 계산하고 이를 다시 원래의 기준 시나리오 및 전제에 적용하여 최종 효과를 구하게 된다. E3ME는 변수 간의 관계가 로그 선형일 경우 칼리브레이션이 결과에 영향을 미치지 않지만 단순 선형인 경우 칼리브레이션 오차가 발생하기 때문에 베이스라인이 원래의 전망을 적절하게 묘사하는 것이 중요하다고 설명한다. 하지만 칼리브레이션 오차보다 칼리브레이션이 가지고 있는 더 중요한 문제는 두 가지 측면에서 설명할 수 있다. 첫 번째는 베이스라인이 외부에서 작성된 경제 전제 및 에너지 수요(또는 온실가스 배출) 전망의 관계와 일관성이 있는가이다. 이는 앞서 '2. 에너지 수급과 경제 모형'에서 강조한 내용이다. 두 번째는 시나리오 분석의 정책 수단이 현실에서 설정한 정책 목표가 포함하고 있는 정책 수단들과 일관성이 있는가이다. 앞선 사례에서 보듯이 파급 효과 분석에 사용된 정책 수단은 국가 정책 목표에서 제시하고 있는 정책 수단의 일정 및 강도와는 상관이 없다. 이것이 여기서 지적하고자 하는 기존의 정책 파급 효과 분석의 문제이다.

ASTRA를 이용한 연구 사례는 조금 다른 방식의 분석 방식을 보여준다. 예를 들어, Hartwig et al. (2017)은 에너지 효율 확산을 분석하는 상향식 모형인 FORECAST의 에너지 수요와 투자 전망 결과를 ASTRA-D의 기초 데이터로 입력하고 독일의 의욕적인 에너지 효율 정책의 거시경제 효과를 분석하였다. FORECAST에서 전망한 투자는 ASTRA-D에 있는 투입산출표의 최종수요 행렬의 투자 벡터에 추가된다. FORECAST에서 전망한 에너지 수요는, 가정 부문의 경우 소비 벡터에 적용되고 산업 부문의 경우 중간 수요에 영향을 미친다. 투자의 변화는 가격에도 영향을 미치지만 총요소생산성을 증가시키고 이는 경제의 전반적인 잠재 생산을 변화시킨다. 투자의 일부는 외국에서 조달하는데 이로 인해 무역수지가 바뀌게 된다. Hartwig et al. (2017)의 분석 방법은 본 연구가 추구하는 모형 운영 방식을 잘 보여주는 사례이다. ASTRA-D는 국내총생산, 소득, 소비, 투자의 피드백 효과가 특징이며 에너지 효율 정책이 장기적으로 발생시키는 간접효과를 강조한다. 다

만, 연구 사례에서 기준 시나리오에 전제로 사용된 경제 구조와 ASTRA-D의 기준 시나리오가 일관성을 갖는지는 여전히 알 수 없다.

시스템 체제와 모형의 운용 방식에 있어 가장 모범적인 사례는 EIA의 NEMS라고 판단한다. NEMS는 시스템 내에 4개의 에너지 수요 모듈(산업, 수송, 가정, 상업)과 4개의 에너지 공급 모듈(석유, 천연가스, 석탄, 재생에너지), 2개의 전환 모듈(전력, 석유제품) 그리고 경제 모듈 및 국제 에너지 모듈을 갖추고 있다. 개별 모듈은 통합 모듈을 통해서 서로 연결되어 상호 작용을 한다. 모델 개요 (EIA, 2019)와 경제 모형 설명서 (EIA, 2018)를 살펴보면, 경제 모듈(Macroeconomic Activity Module)은 경제 변수들을 전망하여 에너지 수요 및 공급 모듈의 입력 변수로 제공하고 에너지를 전망한다. 에너지 수요 및 공급 모듈은 에너지 가격, 효율, 규제 등 모든 에너지 및 온실가스 배출 관련 정책 수단들에 대한 가정을 바탕으로 에너지를 전망한다. 에너지 수요 및 공급 모듈에서 전망한 에너지 가격, 소비, 국내 생산을 이용하여 MAM이 다시 경제 변수들을 재전망하며, 에너지 수요 및 공급 모듈은 새로운 경제 변수를 사용하여 다시 에너지 수급과 가격을 전망한다. 이런 모듈 간 관계와 구조를 이용하여 MAM은 정책의 변화가 경제에 미치는 잠재적 영향을 평가하고 경제의 변화를 다시 에너지 모형에 반영함으로써 통합 시스템의 해를 도출한다. 이러한 통합 시스템은 Hartwig et al.(2017)의 분석 방법이 하나의 시스템으로 구현된 것과 비슷하며, 앞서 문제로 지적한 모형의 정책 수단과 실제 국가 목표의 정책 수단 사이의 불일치 문제를 해결할 수 있다.

제3장

모형의 상세구조

1. 경제 모형 개요

본 연구의 경제 모형은 거시 모듈과 산업 모듈로 구성되어 있다. 거시 모듈은 소득 블록, 소비 블록, 생산 블록으로 구성되어 있으며 물가 블록이 새로 추가되었다. 거시 모듈은 일반적인 거시계량모형처럼 행태 방정식의 변수들이 서로 연결되어 있으며 추정된 계수값을 제약으로 모형의 균형을 찾는다. 산업 모듈은 최종수요 블록과 투입/산출 블록으로 구분되며, 최종수요 블록은 최종소비지출, 설비투자, 건설 투자, 지식재산생산물투자, 수출 및 수입을 상품별로 계산한다. 투입/산출 블록은 기준년도 투입산출계수, 산업 구조 전제에 반영된 미래 투입산출계수 변화, 에너지 전망 등을 이용하여 상품별 중간투입과 부가가치 및 총산출을 계산한다. 에너지 결과가 반영된 총산출은 다시 거시 모듈로 입력되어 거시 모듈의 해를 계산하는데 영향을 미친다. 거시 모듈과 산업 모듈의 연산 순환 관계는 [그림 2-2]에서 보라색 화살표로 표시되어 있다.

경제 모형과 에너지 모형은 앞서 설명한 것처럼 밀접하게 연결되어 있다. 전체 시스템은 에너지 모형의 결과가 경제 모형에 영향을 미치고, 경제 모형의 변화는 다시

에너지 전망을 변하게 한다. 하지만 경제 모형만 따로 떼어놓고 볼 때 에너지 모형에서 입력되는 변수들은 외생 변수와 마찬가지로이다. 즉, 에너지 모형의 결과가 경제 모형의 해를 찾는 과정에서 변하지 않는다. 알기 쉽게 사례를 들어보면, 건설투자를 결정하는 변수는 국민총처분가능소득, 신규 주택, 신규 설비이다. 신규 주택과 신규 설비는 에너지 모형에서 결정되며, 경제 모형의 해를 찾는 과정에서 변경되지 않는다. 하지만 국민총처분가능소득은 국민총생산에 따라 달라지며 국민총생산은 투자 및 노동의 영향을 받기 때문에 건설투자는 에너지 모형의 결과만이 아니라 경제 전체의 수준에 따라 달라지게 된다.

경제 모형은 물가 블록을 제외하면 모두 실질 변수로 구성되어 있다. 하지만 가격 변수의 영향이 없는 것은 아니다. 예를 들어 국제 에너지 가격의 변화는 에너지의 생산자물가 및 소비자물가를 통해 장단기 에너지 소비에 영향을 미친다. 외생 충격으로써의 에너지 가격 변화와 다른 점은 국제 에너지 시장의 변화로 실질 에너지 가격의 장기적인 경로가 변한다는 점이고, 가격의 영향은 경제 모형이 아니라 에너지 모형에서 전망한다는 것이다. 통화당국은 에너지 가격을 제외한 기타 외생적인 요인이 물가에 미치는 영향을 적절하게 통제하는 것으로 가정한다. 통화당국이 물가에 미치는 영향을 적절하게 통제한다고 해서 목표 물가상승률을 항상 달성하는 것은 아니다. 국제 에너지 가격에 의해 에너지 가격이 변하고 에너지 가격의 변화는 에너지 물가를 통해 나타난다. 따라서 물가 전망은 통화당국이 다른 경기 변동을 잘 조절하는 가운데 에너지 가격이 전체 물가에 미치는 부분적인 영향을 보여준다.

정부는 균형 재정을 유지하는 것으로 가정하는데, 균형 재정을 가정하는 것은 정부의 재정수입과 재정지출이 일치한다는 것을 의미하지는 않는다. 여기서 균형재정은 에너지 및 온실가스 정책으로 인해 추가적인 재정 지출이 필요할 경우 다른 재정 지출을 축소하여 정부 총지출의 변화가 없다는 것을 의미한다. 다만 정부 총지출은 재정 수입의 함수로 재정 수입에 따라 변동한다.

마지막으로 대외 조건과 환율은 외생적인 것으로 가정한다. 교역 상대국의 생산과 물가는 국내 생산과 물가에 영향을 미치고 실질 교역조건에 따라 환율이 변하는 것이 현실이지만, 모형에서는 국내 경제의 변화가 실질적인 교역 조건의 변화를 초래하지 않는 것으로 가정한다. 에너지 및 온실가스 정책으로 인해 상품별 총산출과 국내 수요가 변하고 이로 인해 수입의 변화가 생긴다. 따라서 대외 환경이 외생적이

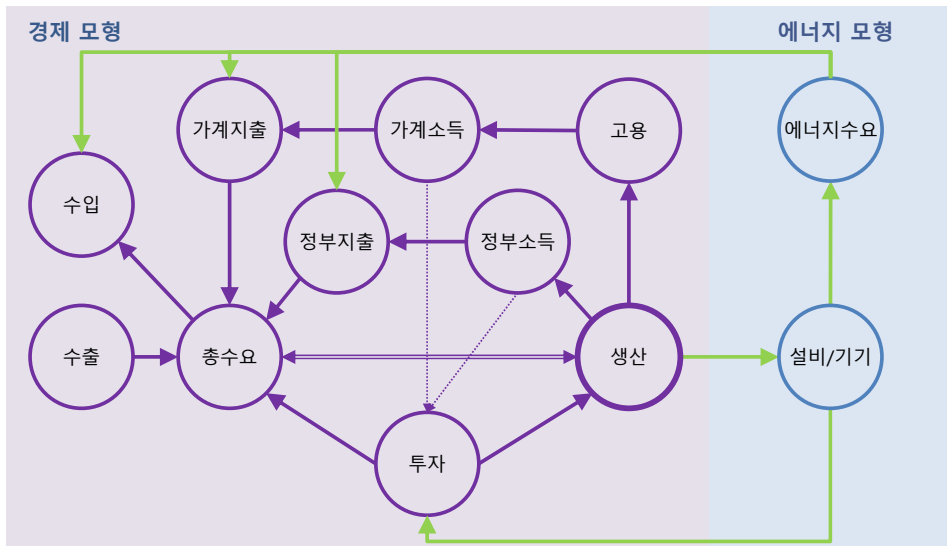
라는 것은 국내 경제의 변화는 외부적으로 흡수될 뿐이며 적어도 명목이나 실질 변수를 통해 다시 국내에 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다.

2차년도 모형은 모형의 구조보다는 개별 행태 추정식의 개선, 행태식 간의 관계, 산업의 세분화를 중심으로 개선되었다. 다음 2절과 3절에서 각 모듈에 포함된 행태식과 행태식의 추정결과를 자세히 소개한다. 4절은 경제 모형에서 찾은 균형해와 실제 데이터를 비교하여 모형 적합도를 평가한다. 본 모형은 행태식 추정결과, 균형해의 적합도, 베이스라인의 합리성 등 전반적인 결과를 살펴보면서 행태식의 변수 설정이나 전체 구조를 설계하였다.

2. 거시 모듈

거시 모듈은 거시계량모형과 유사하며 크게 소득 블록, 지출 블록, 생산 블록, 물가 블록으로 구분된다. [그림 3-1]은 거시 모듈의 연산 흐름을 보여주고 있다.

[그림 3-1] 거시 모듈의 연산 흐름



주: 물가 블록은 연산 흐름에 영향을 미치지 않으므로 제외함

출처: 김수일 (2021) 26쪽 [그림 3-2] 저자 수정

거시 모듈에서 경제의 규모와 성장은 장기 잠재 국내총생산이 결정한다. 나머지 변수들은 국민소득 삼면 등가 원칙에 입각하여 분배와 지출 측면의 국민소득이 일치하도록 작동한다. 생산 측면의 국민소득 균형은 산업 모듈에서 달성된다. 본 절에서는 거시 모듈의 주요 행태식과 정의식을 블록별로 구분하여 설명한다. 주요 변수들은 한국은행의 국민계정통계를 사용하기 때문에 이후 설명하는 용어의 정의는 대부분 한국은행의 「알기 쉬운 경제지표해설 (한국은행, 2019)」과 「우리나라 국민계정 체계 (한국은행, 2020)」를 참고하고 있다.

2.1. 소득 블록

소득 블록은 취업자와 실질임금 등 두 개의 행태 추정식과 피용자보수, 실업률 등 7개의 정의식으로 구성되어 있다. 우선 취업자는 경제활동인구, 산출액 그리고 실질임금의 함수이다. 경제활동인구는 노동이 가능한 만 15세 이상 인구 중에서 수입이 있는 일에 종사하고 있거나 구직활동을 하고 있는 사람으로 정의한다. 경제활동 참여율은 외생적으로 결정되며 생산가능인구에 경제활동참여율을 곱하여 경제활동인구를 구한다.

〈표 3-1〉 취업자

종속변수	변수명	변수설명
ln(Employment) =		취업자
+ 1.9257 (0.4409)		상수항
+ 0.7108 (0.0605)	ln(PopActivity)	경제활동인구
+ 0.0423 (0.0176)	ln(Shipment.total)	산출액
+ 0.0622 (0.0257)	ln(RWAGE)	실질임금
+ 0.0330 (0.0040)	dummy	더미 (1981~1997)

취업자는 수입을 목적으로 1시간 이상 일한 사람, 18시간 이상 일한 무급가족종사자, 일시 휴직자로 정의되어 있다. 취업자는 임금근로자(상용근로자, 임시근로자, 일용근로자)와 비임금근로자(자영업자, 무급가족종사자)로 구분된다. 실업은 수입이 있는 일을 하지 않았지만 지난 4주간 적극적으로 구직활동을 한 사람으로서 즉시 취업이 가능한 사람을 말한다. 실업률은 경제활동인구 중에서 실업자가 차지하는 비중이다. 인구구조가 주어진 상황에서 경제활동참여율, 취업율, 실업률 세 가지 중에서 두 가지를 추정해야 하는데 여기서는 외생적으로 경제활동참여율을 가정하고 취업자를 직접 전망함으로써 취업율과 실업률을 사후적으로 계산한다.

주의할 점은 취업자가 과거 최저 실업률을 적용한 취업자 상한의 제약을 받는다는 점과 잠재 경제성장률 전제가 자연 실업률을 사용하고 있다는 점이다. 취업자 상한 제약은 경제가 지속적으로 확장되는 것을 억제하는 역할을 하지만 경제가 일정 수준 이상이 되면 시나리오에 따른 취업자의 차이가 발생하지 않게 된다. 한편, 국내총생산 전제 작성에 사용된 KDI 모형은 미시 모형을 이용한 단기(2030년까지) 경제활동참여율 전망과 이후 장기 추세 전망, H-P 필터링과 추세 연장을 이용한 장기 자연 실업률 전망을 이용하여 취업자 수를 계산한다(신석하 외, 2013). 이러한 장기 잠재 국내총생산에서 역추정한 실업률은 경기 변동이 제거된 구조적 실업률을 의미한다. 따라서 에너지 및 온실가스 정책으로 인한 실업률의 변동은 크게 의미가 없으며 산업간 취업자 이동이 더 중요한 정책적 의미를 갖는다고 할 수 있다.

실질임금은 국민계정의 피용자보수를 취업자로 나눈 값에 디플레이터를 이용하여 구한 실질 변수이다. 피용자보수는 일정기간 피고용자가 제공한 노동의 대가로 기업이 지급한 현금 또는 현물 보상 총액으로 정의된다. 피용자보수는 실제 임금 및 급여 외에도 고용주의 사회부담금을 포함하고 있다. 피용자보수를 노동시간으로 나누어 시간당 임금으로 정의하고 잠재 국내총생산과 함께 변형을 시도해보았으나 추정 실익이 없어 기존처럼 취업자로 나눈 실질임금을 사용하고 있다. 실질임금 추정식은 평균노동생산과 실업률을 변수로 포함하고 있다. 이전과 달리 산출액 변수가 평균노동생산으로 바뀌었다. 이는 이진면 외(2007)의 전 산업 평균임금 추정식과 유사하다. 반면, 신석하(2005)는 장기 명목임금을 한계노동생산성과 소비자물가의 함수로 설정하였다. 균형상태에서 실질임금은 한계노동생산성과 동일하기 때문에 본 모형에서 한계노동생산성을 변수로 쓰는 것은 논리 순환 문제가 발생한다.

〈표 3-2〉 실질 임금

종속변수	변수명	변수설명
ln(RWAGE) =		실질임금
- 2.3357 (0.1110)		상수항
+ 1.1149	ln(APL)	평균노동생산
(0.0092)		
- 0.0918	ln(UnemployRate)	실업률
(0.0151)		
- 0.0568	dummy	더미 (2007~2018)
(0.0094)		

여기서 평균노동생산과 실업률은 다음과 같이 계산한다.

$$APL_t = RGDP_t / Employment_t$$

$$UnemployRate_t = 1 - Employment_t / PopActivity_t$$

경제 모형은 실질임금이 취업자에게 영향을 주고 취업자는 실업률을 통해 실질임금에 영향을 주며 균형을 찾는다. 실질임금과 취업자수는 가계의 본원소득을 구성한다. 가계본원소득은 가계처분가능소득을 구하는데 사용된다.

처분가능소득은 가계, 기업, 정부 등 경제 주체가 임의로 소비나 저축으로 처분할 수 있는 소득이다. 처분가능소득은 본원소득잔액에 경상세, 순수취 경상이전을 더한 값으로, 가계처분가능소득, 기업처분가능소득, 정부처분가능소득은 각각 다음과 같이 구한다. 처분가능소득을 구하는 방법은 1차년도 과제와 동일하기 때문에 설명의 중복이 있지만 독자의 편의를 위해 다시 소개한다. 우선 가계처분가능소득(RCNDI)는 피용자보수, 재산소득, 경상이전의 합으로 정의된다.²³

$$RCNDI_t = RCNDI.wage_t + RCNDI.earning_t + RCNDI.trans_t$$

23) 가계와 기업의 경상이전은 이전소득보다 경상세가 많기 때문에 음의 값을 갖는다. 1차년도에는 이를 고려하여 경상이전을 빼는 것으로 표시했으나 여기서는 변수가 음의 값을 갖는 것으로 취급하여 더하는 것으로 식을 표현하였다. 따라서 가계와 기업의 경상이전은 차감하는 것이고 정부의 경상이전은 추가되는 것이다.

피용자보수는 앞서 구한 실질임금과 취업자 수의 곱으로 계산하며, 재산소득은 고정된 것으로 가정한다. 경상이전은 이전소득과 경상세의 합인데, 피용자보수와 재산소득에 비례하는 것으로 가정하고 있다.

$$RCNDI.wage_t = RWAGE_t \times Employment_t$$

$$RCNDI.earning_t = RCNDI.earning_{t-1}$$

$$RCNDI.trans_t \propto (RCNDI.wage_t + RCNDI.earning_t)$$

기업처분가능소득(RBNDI)은 재산소득과 경상이전의 합으로 정의한다. 기업의 재산소득은 국민처분가능소득에서 가계와 정부의 처분가능소득을 뺀 값에 비례하고, 기업의 경상이전은 기업의 재산소득에 비례하는 것으로 가정하고 있다.

$$RBNDI_t = RBNDI.earning_t + RBNDI.trans_t$$

$$RBNDI.earning_t \propto (RNDI_t - RCNDI_t - RGNDI_t)$$

$$RBNDI.trans_t \propto RBNDI.earning_t$$

정부처분가능소득(RGNDI)은 재산소득, 생산및수입세, 경상이전의 합으로 정의한다. 재산소득은 가계와 마찬가지로 고정된 것으로 가정하고, 경상이전은 가계와 기업의 경상이전에 비례하는 것으로 계산한다. 정부의 주 수입원인 생산및수입세는 국내총생산에서 부가가치합계를 뺀 값에 비례한다.

$$RGNDI_t = RGNDI.tax_t + RGNDI.earning_t + RGNDI.trans_t$$

$$RGNDI.tax_t \propto (RGDP_t - ValueAdded.total_t)$$

$$RGNDI.trans_t \propto (RCNDI.trans_t + RBNDI.trans_t)$$

국민처분가능소득(RNDI)은 소비나 저축으로 자유로이 처분할 수 있는 소득으로 지출 블록에서 경제 주체별 지출 행태식의 변수로 사용된다. 한편, 국민처분가능소득에 고정자본소모를 더한 것이 국민총처분가능소득(RTNDI)이다. 국민총처분가능소득은 국내총생산에 비례하는 것으로 가정하고 있으며, 국민처분가능소득은 국민총처분가능소득에서 고정자본소모(RFCD)를 제하여 계산한다.

$$RTNDI_t \propto RGDP_t$$

$$RNDI_t = RTNDI_t - RFCD_t$$

1차년도에는 고정자본소모를 소득 블록에서 취급했지만, 본 연구에서는 생산 블록으로 이전하여 구성을 변경하였다.

2.2. 지출 블록

지출 블록은 지출 측면의 국민소득을 의미하며, 가계최종소비지출, 정부총지출, 건설투자, 설비투자, 지식재산생산물투자 등 총 5개의 행태식으로 구성되어 있다.

가계최종소비지출(RCE)은 1차년도와 동일하게 노인인구비율과 가계처분가능소득의 함수로 구성하였고 인플레이션이나 이자율 등은 변수에 포함하지 않았다. 이는 단기 경기 변동을 제거한다는 의미이며 인플레이션 및 이자율이 지출에 영향을 미치지 않는다는 것은 아니다. 에너지 가격의 변화로 인한 가계의 지출 변화는 에너지 모형의 에너지 수요에서 포착하며, 에너지에 대한 지출은 전체 소비 지출을 변화시키는 것이 아니라 지출 구성 상품의 변화를 가져온다. 이는 산업 모듈의 최종수요 블록에서 계산한다.

〈표 3-3〉 가계최종소비지출

종속변수	변수명	변수설명
ln(RCE)	=	가계최종소비지출
+	0.1540 (0.0702)	상수항
+	0.0634 ln(OLDratio) (0.0339)	노인인구비율
+	0.9473 ln(RCNDI) (0.0216)	가계처분가능소득
-	0.1002 ln(dummy) (0.0207)	더미 (1998, 2019~2021)

여기서 노인인구비율은 전체 인구에서 65세 이상 인구의 비율이다.

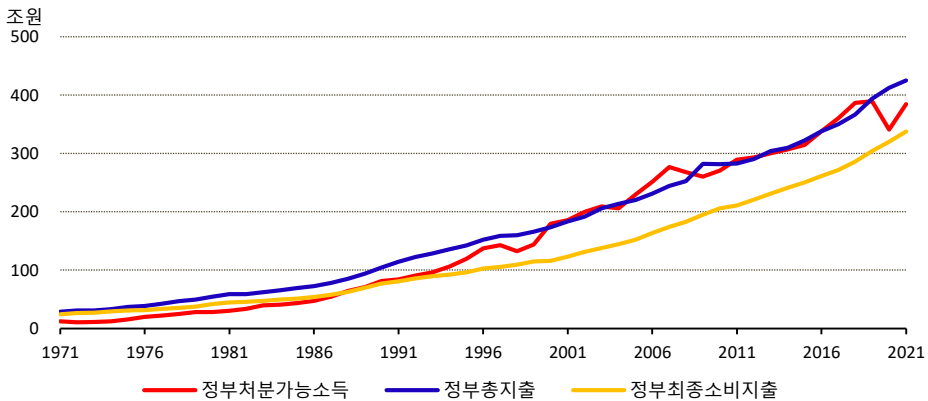
$$OLDratio_t = PopOver65_t / PopTotal$$

1차년도에는 정부최종소비지출을 행태식으로 구성했지만 2차년도에는 정부총지출로 변경하였다. 정부총지출(RTGE)은 정부의 최종소비지출(RGE)과 충고정자본형성(RFIN.gov)의 합계로 정의한다.

$$RTGE_t = RGE_t + RFIN.gov_t$$

앞서 서술한 것처럼 본 모형은 정부최종소비지출이 외생적인 것으로 가정하지 않고 정부총지출을 내생적으로 추정하며 정부는 장기적으로 균형 재정을 유지하는 것으로 가정하고 있다. 정부의 균형 재정은 정부 재정수입과 재정지출이 동일하게 움직이는 것을 의미한다. 과거 소득 및 지출 추이를 보면 정부총지출과 정부처분가능소득이 거의 유사하게 움직이고 있는 것을 확인할 수 있다. 물론 정부최종소비지출도 추세적으로는 정부처분가능소득과 같이 움직이지만 정부총지출을 행태식으로 구성하고 정부최종소비지출과 정부충고정자본형성을 분배함으로써 정부 투자의 효과를 분석할 수 있는 기회가 생긴다. 기준 시나리오에서는 정부총지출에서 최종소비지출과 충고정자본형성의 비율이 일정한 것으로 가정하고 있다.

[그림 3-2] 정부처분가능소득, 정부총지출, 정부최종소비지출 추이



자료: 한국은행 경제통계시스템(<https://ecos.bok.or.kr/#/>), 저자 작성

정부총지출은 정부처분가능소득의 함수로 설정하였다. 1차년도에는 추세변수를 포함하여 정부최종소비지출을 추정하였으나 추세변수의 부호가 기대와 다르게 나타나기도 하고 정부총지출로 변경하면서 통계적 유의수준도 감소하였기 때문이다.

〈표 3-4〉 정부총지출

종속변수	변수명	변수설명
ln(RTGE)	=	정부총지출
	+ 1.7409 (0.0328)	상수항
	+ 0.6692 ln(RGNDI) (0.0075)	정부처분가능소득
	+ 0.1723 ln(dummy) (0.0151)	더미 (2009~2021)

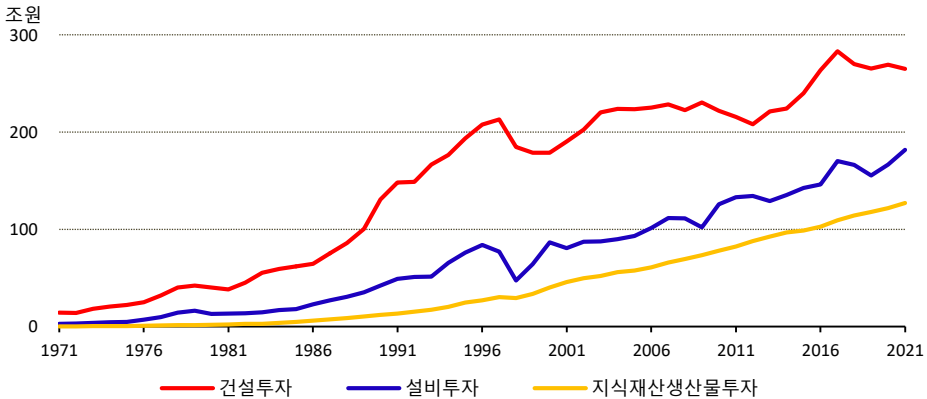
정부최종소비지출은 가계최종소비지출 및 총고정자본형성 등과 함께 지출 측면의 국내총생산을 계산하는데 사용되고 정부총고정자본형성은 총고정자본형성에서 민간의 총고정자본형성을 계산하는데 사용된다.

국민계정은 생산자가 1년 이상의 시간동안 반복적, 지속적으로 사용하는 유형 또는 무형의 산출물을 고정자산으로 정의하고 고정자산의 순취득을 총고정자본형성이라고 한다. 경제학에서는 통상적으로 총고정투자라고 부른다. 국민계정의 총자본형성은 총고정자본형성과 재고증감 및 귀중품순취득의 합계이다. 모형에서는 재고증감과 귀중품순취득은 고정된 것으로 가정하고 있다. 고정자본형성의 대상이 되는 자산은 비금융자산 중에서 생산과정을 통해 생겨난 자산에 한정하며, 자산 형태에 따라 건설투자, 설비투자, 지식재산생산물투자로 나눈다. 아래 [그림 3-3]은 각 투자항목의 추이를 보여주고 있다.

투자 행태가 구조적 변화를 보인 시점은 외환위기인 1998년이다. 건설투자나 설비투자는 1980년대 중반 이후 빠르게 증가하다 외환위기를 겪으면서 증가 속도가 크게 감소하였다. 이는 특히 건설투자에서 두드러지게 보이고 있다. 80년대 중반 건설투자의 급속한 증가는 88 올림픽을 전후로 한 아파트 붐과 경제 호황이 원인이며,

2010년대 중반 신도시 건설과 재개발이 다시 한번 건설투자 증가를 가져온 것으로 분석된다. 반면 지식재산생산물투자는 외환위기 이후 증가가 빨라지고 있다. 투자 행태의 구조적 변화는 앞 장에서 살펴본 것처럼 빠르게 감소하던 한계자본생산의 추이가 1998년을 기점으로 안정적으로 일정 수준을 유지하는 것과 관련이 있다.

[그림 3-3] 고정자본형성 추이



자료: 한국은행 경제통계시스템(<https://ecos.bok.or.kr/#/>), 저자 작성

건설투자는 건물건설과 토목건설이 있으며 건물건설은 다시 주거용 건물과 비주거용 건물로 구분되는데, 비주거용 건물에는 공장이나 상가, 창고, 학교 등을 포함하고 있다. 에너지 모형 가정 부문 모듈에서 전망하는 주택 건설과 신규 보일러 수요가 주거용 건설투자과 관련이 있으며 산업 및 서비스 부문 모듈에서 전망하는 신규 생산 용량이 비주거용 건물에 포함된다. 물론 에너지 모형의 신규 생산 용량은 생산 건물과 생산 설비를 모두 포함한 개념이다. 따라서 경제 모형에서는 건설투자(RFIN.CNST)를 국민총처분가능소득과 신규 설비용량, 주택건설의 함수로 구성하였다. 건설투자는 가계와 기업의 건물건설과 정부의 토목건설을 모두 포함하고 건축물 노후화로 인한 고정자본소모도 포함하기 때문에 국민총처분가능소득을 변수로 사용한다. 에너지 모형에서 도출하는 신규 설비 용량이나 주택 건설은 에너지 및 온실가스 정책 목표에 따른 투자 변화의 효과를 반영하고 있으며, 노후화로 인한 개보수를 비롯하여 성능 향상을 위한 교체 수요를 포함한다.

〈표 3-5〉 건설투자

종속변수	변수명	변수설명
ln(RFIN.CNST) =		건설투자
- 2.7779 (0.2888)		상수항
+ 0.4484 (0.0507)	ln(RTNDI)	국민총처분가능소득
+ 0.4498 (0.1064)	ln(CapacityAdded)	신규 설비용량
+ 0.4360 (0.0375)	ln(HousingNew)	주택건설
+ 0.1703 (0.0336)	ln(dummy)	더미 (1996~2000)

〈표 3-6〉 설비투자

종속변수	변수명	변수설명
ln(RFIN.FCLT) =		설비투자
- 7.4789 (2.5688)		상수항
- 1.7782 (0.3442)	ln(Manufacture.Tech)	에너지효율지수
+ 0.6966 (0.3463)	ln(CapacityAdded)	신규 설비용량
+ 0.1981 (0.0805)	ln(BizVehicleSale.total)	신규 운송장비
+ 0.0218 (0.0882)	ln(RBNDI)	기업처분가능소득

설비투자는 생산설비로 사용되는 기계류와 운송장비를 의미한다. 본 모형에서는 설비투자(RFIN.FCLT)를 에너지효율지수, 신규 설비용량, 신규 운송장비, 기업처분가능소득의 함수로 설정하였다. 1차년도 모형에 비해 신규 운송장비가 새롭게 추

가된 것이다. 2015년 투입산출표에 따르면, 운송장비는 민간 고정자본형성의 6.3%와 정부 고정자본형성의 9.6%를 차지하는 것으로 나타났다. 고정자본형성에서 차지하는 비중이 적지 않을 뿐만 아니라 에너지 및 온실가스 정책의 주요 대상이기 때문에 변수로 추가하는 것이 바람직하다는 판단이다. 운송장비의 경우 에너지 모형 수송 부문 모듈에서 전망하는 사업용 자동차 판매를 변수로 사용한다. 에너지효율지수는 선도기술의 발전에 따른 설비 교체 수요로 인해 설비투자가 증가하는 것을 나타낸다. 에너지 모형의 추정치 개선과 경제 모형의 변수 추가 등으로 신규 설비용량에 대한 계수 추정치의 통계적 유의성이 증가했지만 반대로 기업처분가능소득의 유의성은 떨어졌다. 기업처분가능소득의 유의성이 감소하고 신규 설비용량과 신규 운송장비 등의 계수 추정치가 유의성을 확보한 것은 에너지 모형의 추정이 적절히 이루어졌다고 평가하는 간접적인 근거라고 할 수 있다.

〈표 3-7〉 지식재산생산물투자

종속변수	변수명	변수설명
$\ln(\text{RFIN.RND}) =$		지식재산생산물투자
- 5.9116 (0.8911)		상수항
+ 0.0282 (0.2240)	$\ln(\text{Manufacture.Tech})$	에너지효율지수
+ 0.0325 (0.0454)	$\ln(\text{RenewShare})$	재생에너지(수소포함) 비중
+ 1.4514 (0.1434)	$\ln(\text{RTNDI})$	국민총처분가능소득

지식재산생산물투자는 연구개발이 대부분을 차지하고 있다. 지식재산생산물투자(RFIN.RND)는 에너지효율지수와 재생에너지 비중 그리고 국민총처분가능소득의 함수로 설정하였다. 1차년도와 비교하면 재생에너지 비중에 수소를 포함하였고 기업처분가능소득 대신 국민총처분가능소득으로 변경되었다. 행태식 추정 결과나 전체 변수들의 적합도 측면에서 개선되긴 했지만 지식재산생산물투자만 보면 에너지효율지수의 부호가 바뀌고 통계적 유의성이 떨어진 점이 발견되었다. 계량적인

측면에서는 제외하는 것이 바람직하겠지만, 에너지효율 기술 개발과 지식재산생산물 투자의 관계의 중요성을 고려할 때 실제 정책효과 분석에 앞서 반드시 개선해야 할 부분으로 선정하였다.

건설투자, 설비투자, 지식재산생산물투자의 합으로 총고정자본형성을 계산한다.

$$RFIN_t = RFIN.CNST_t + RFIN.FCLT_t + RFIN.RND_t$$

재고증감 및 귀중품 순취득은 과거 3년의 평균으로 계산하고 총고정자본과 합하여 총자본형성(RINV)을 구한다. 한편, 민간총고정자본형성은 정의에 따라 총고정자본형성에서 정부총고정자본형성을 제하여 구한다.

$$RFIN_t = RFIN.gov_t + RFIN.priv_t$$

2.3. 생산 블록

본 연구의 잠재 국내총생산 함수는 보편적인 방식에 따라 Solow의 생산함수 접근법을 차용하고 있으며, 기술은 내생적 기술 성장 모형을 따른다. 즉, 총요소생산성을 지식재산생산물 투자의 함수로 설정하였다. 노동과 자본 투입을 질적 요인을 제외한 순수 물리적 투입으로 가정하고 있기 때문에 총요소생산성은 노동과 자본의 질적 변화를 포함한다. 신석하 외 (2013)가 지적한 것처럼 학력 수준을 이용하여 인적자본의 증가율을 전망할 경우 장기의 인적자본 증가율이 영에 수렴하는 문제가 있다. 총요소생산성은 간단히 설명하면, 생산에 기여한 노동의 몫과 자본의 몫을 제외한 설명되지 않는 나머지 요인이다. 여기에는 노동과 자본을 결합하는 기술 및 제도 등 다양한 요인이 포함된다.

잠재 국내총생산을 추정하기에 앞서 생산 블록에서는 고정자본소모를 추정하고, 지출 블록에서 추정한 투자와 함께 자본스톡을 계산한다. 고정자본소모란 고정자산이 생산에 사용되면서 발생하는 물리적 노후화나 사고, 손실에 따른 가치의 감소분으로 정의한다 (한국은행, 2020). 고정자산은 앞서 소개한 것처럼 장기간 반복적, 지속적으로 생산에 사용되는 산출물이며, 2008 SNA 권고에 따라 연구개발을 고정자산으로 포함하고 있다. 고정자산소모(RFCD)는 에너지효율지수와 자본스톡의 함수로 설정하였다.

〈표 3-8〉 고정자산소모

종속변수	변수명	변수설명
ln(RFCD)	=	고정자산소모
	- 4.2398 (0.2038)	상수항
	+ 0.0736 ln(Manufacture.Tech) (0.2131)	에너지효율지수
	+ 1.2070 ln(CapitalStock) (0.0961)	자본스톡
	- 0.0450 ln(dummy) (0.0102)	더미 (2007, 2016~2019)

일반적으로 자본스톡을 추정할 때 감가상각율을 고정시키고 영구재고법을 이용하여 계산한다. 앞서 살펴본 것처럼 자본스톡 대비 고정자산소모 비율이 안정적인 것이 이유이기도 하다. 고정자산소모를 자본스톡만의 함수로 설정하는 것이 자본스톡 추계방식과 유사하고 고정자산소모 추정식을 추정하는데 무리가 없으며 기존 연구에서 사용하는 방법과 유사하다. 하지만 계수추정치의 통계적 유의성을 희생하더라도 에너지효율지수를 추가하는 것이 모형의 전반적인 추정 적합도를 높이는 것으로 나타났다. 자본스톡만의 함수로 설정할 경우, 특히 미래 고정자산소모가 줄어들고 자본스톡은 증가하며 한계자본생산의 하락이 더 빠르게 진행되는 것으로 분석되었다. 결과의 경제적인 해석은 다음 장에서 다시 다루도록 한다.

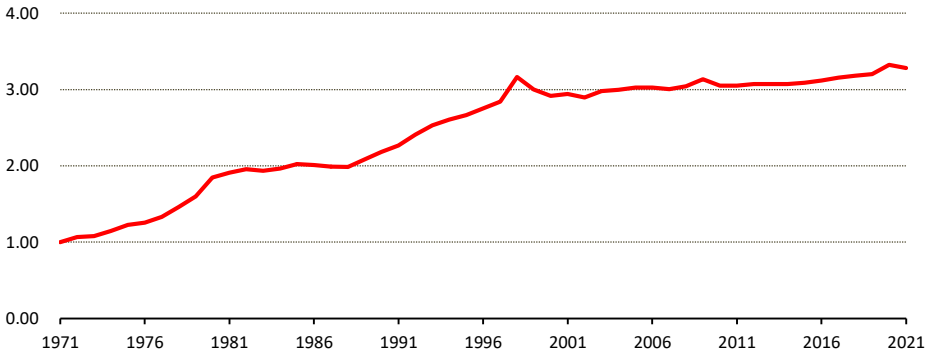
자본스톡(CapitalStock)은 영구재고법에 따라 건설투자, 설비투자, 지식재산생산, 물투자 등 총고정자본형성과 고정자산소모를 이용하여 계산한다. 초기 자본은 1971년 국내총생산과 동일한 것으로 가정하고 있다.

$$CapitalStock_{t+1} = CapitalStock_t + RFIN_{t+1} - RFCD_{t+1}$$

아래 [그림 3-4]은 국내총생산 대비 추정된 자본스톡의 크기를 보여준다. 자본스톡은 1988년 이후 빠르게 증가하다 외화위기를 기점으로 자본스톡의 크기가 국내총생산 대비 그리 커지지 않고 있다. 고정자본형성, 고정자산소모 그리고 자본스톡은 서로 연관되어 있기 때문에 앞서 살펴본 것처럼 투자의 구조적 변화가 원인인 것

으로 파악된다. 국내총생산 대비 고정자본소모의 비율도 자본스톡 크기와 동일한 추세를 보여준다.

[그림 3-4] 국내총생산 대비 자본스톡 추이



자료: 한국은행 경제통계시스템(<https://ecos.bok.or.kr/#/>), 저자 작성

잠재 국내총생산은 취업자 1인당 국내총생산으로 추정한다. 여기서 추정식을 잠재 국내총생산이라고 한 것은 오해의 소지가 있기 때문에 추가적인 설명이 필요하다. 잠재 국내총생산은 보통 H-P 필터링을 통해 경기 변동 효과를 제거한 국내총생산의 추세를 말한다. 추정 데이터로 사용한 국내총생산은 경기 변동을 포함한 실적 데이터이기 때문에 잠재 국내총생산 추정이라고 할 수 없다. 따라서 자본스톡이나 추세변수의 계수 추정치는 경기 변동의 영향이 반영되어 있고, 이러한 계수 추정치는 엄밀히 말하자면 잠재 국내총생산이 해당 변수에 대해 갖는 탄력성이라고 할 수 없다. 여기서 잠재 국내총생산이라고 한 이유는 국내총생산의 장기 전망치가 잠재 장기 성장률 전망에 따라 도출된 것이며, 지출 측면의 국내총생산이 기준으로 삼는 생산 측면의 국내총생산이기 때문이다.

취업자 1인당 잠재 국내총생산은 에너지효율지수, 취업인구당 자본스톡 그리고 추세변수의 함수로 설정하였다. 에너지효율지수는 통계적 유의성이 다소 떨어지긴 하지만 추정 계수의 부호는 예상에 부합하는 것으로 나타났다.

〈표 3-9〉 잠재 국내총생산

종속변수	변수명	변수설명
ln(perLaborGDP) =		취업인구당 국내총생산
+ 1.0415 (0.2008)		상수항
- 0.0929 ln(Manufacture.Tech) (0.0757)		에너지효율지수
+ 0.4911 ln(perLaborCapital) (0.0692)		취업인구당 자본스톡
+ 0.0439 ln(trend) (0.0068)		추세
+ 0.0183 ln(dummy) (0.0042)		더미 (2008, 2009, 2020)

결과적으로는 제외되었지만 향후 추가적인 연구를 위해 한 가지 기록을 남기면, 초기 모형에서는 국내총생산 추정 데이터에 전망치를 포함했다. 이는 이진면 외(2012)에서도 중장기 산업구조를 전망하기 위해 시도한 방법이다.²⁴ 장기 잠재 국내총생산 전망을 추정에 포함함으로써 미래 기간에 변할 것으로 예상되는 국내총생산과 투입 요소들의 관계까지 추정치로 복원하고 이를 기반으로 정책 효과를 분석하는 것이다. 추정 결과는 과거 실적만을 하는 경우보다 통계 유의성이 미세하게 증가하지만 에너지효율지수의 부호가 예상과 반대로 나왔다. 취업인구당 자본스톡과 국내총생산의 통계적 관계가 강화되면서 에너지효율지수의 부호가 바뀐 것으로 순수한 통계적 문제로 판단된다. 모형 내 다른 내생변수들의 균형해에 미치는 영향이 거의 없었기 때문에 추정 계수의 부호에 문제가 없는 현재의 추정식을 선택하였다. 잠재 국내총생산은 취업자당 국내총생산에 취업자 수를 곱하여 계산한다.

$$RGDP_t = perLaborGDP_t \times Employment_t$$

24) 이진면 외(2012)는 다른 연구기관에서 발표한 경제 및 산업 중장기 전망을 이용하여 통계DB를 2030년까지 확장하고 이를 개별 방정식 추정에 활용함으로써 급속한 구조변화를 담고 있는 과거 25년 간의 통계정보로 도출하기 어려웠던 중장기 산업 구조 전망을 도출하였다.

‘제2장’에서 설명한 것처럼 순수출(RNEX)은 국내총생산 항등식에 따라 생산 측면과 지출 측면의 실물 경제가 균형을 이루도록 작동한다.

$$RGDP_t = RCE_t + RGE_t + RINV_t + RNEX_t$$

$$RNEX_t = REX_t - RIM_t$$

수출(REX)은 실적 데이터를 사용하며 전망은 잠재 국내총생산에 비례하는 것으로 가정한다. 따라서 실적 추정치의 수입(RIM)은 지출 측면 변수들의 추정오차 합계에 해당하며 전망에서는 생산과 수요의 차이이다.

거시 모듈의 결과는 산업 모듈에 입력되어 상품별 최종수요와 총산출을 계산하는데 사용된다. 산업 모듈의 최종 결과 중에서 부가가치계 및 총산출은 다시 거시 모듈로 돌아와 거시 변수를 전망하는데 사용된다. 이런 연산 순환 과정을 통해 거시 모듈과 산업 모듈이 서로 연결되어 경제 모형 전체의 균형해를 찾게 된다.

2.4. 물가 블록

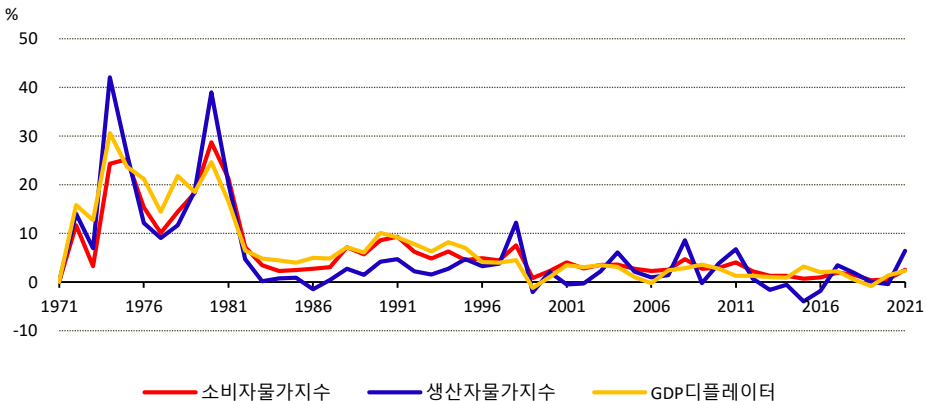
물가 블록은 전제로 사용된 국제 에너지가격과 거시 모듈의 결과를 이용하여 생산자물가와 소비자물가 그리고 GDP 디플레이터 상승률을 전망한다. 여러 번 설명했듯이 경제 모형은 실질 변수로 구성되어 있고 장기 추세를 전망하기 때문에 물가가 다른 추정식의 변수로 사용되지는 않는다. 또한 일반적인 관심은 물가 자체보다 인플레이션에 있기 때문에 물가가 아니라 물가상승률을 전망한다. 여기서는 ‘한국의 장기 거시경제변수 전망 (신석하 외, 2013)’처럼 장기 실질변수 전망에 부합하는 물가상승률을 계산하는 것이다. 신석하 외(2013)와 차이점은 국제 에너지 가격이 반영된 물가지수라는 점과 통화당국의 물가상승률 목표에 수렴하는 것이 아니라 에너지 물가로 인한 차이를 유지한다는 점이다. 즉, 물가 블록에서 전망하는 물가상승률은 경제 모형의 실질변수 변화 외에 에너지 가격의 변화가 물가에 미치는 영향만 반영하고 있다. 따라서 물가상승률 전망 결과에 대한 해석에 주의해야 한다.

국제 에너지 가격은 국내 에너지 제품의 물가에 반영되어 에너지 모형에서 에너지 수요를 전망하는데 사용된다. 에너지 제품의 생산자 및 소비자물가와 수송연료 가격은 에너지 모형의 전제 작성에 해당하는 부분이기 때문에 간단히 설명하고자

한다. 우선 국제 에너지 가격은 ‘제2장’에서 설명했듯이 주로 IEA 에너지 전망 보고서에서 전망하는 원유, 천연가스, 유연탄 가격을 전제로 사용한다. 국제 에너지 가격을 국내 도입단가로 환산한 후 에너지별 조세체계를 적용하여 국내 가격을 계산한다. 에너지 제품의 생산자물가와 소비자물가는 에너지 가격의 변화와 동일하게 움직이는 것으로 가정하고 에너지 물가를 전망한다.

생산자물가와 소비자물가 총지수의 상승률 그리고 GDP 디플레이터 상승률은 회귀분석을 사용하여 다음과 같이 전망한다. 우선 생산자물가는 원가 개념에 가깝기 때문에 실질임금과 에너지물가를 이용하여 생산자물가 상승률을 전망한다. 생산자물가 상승률은 소비자물가 상승률을 전망하는데 사용되며, GDP 디플레이터 상승률 다시 소비자물가 상승률을 이용하여 전망한다. 아래 [그림 3-5]에서 나타난 바와 같이 생산자물가 상승률, 소비자물가 상승률, GDP 디플레이터 상승률은 상당히 밀접한 움직임을 보이고 있다.

[그림 3-5] 생산자물가, 소비자물가, GDP 디플레이터 상승률 추이



자료: 한국은행 경제통계시스템(<https://ecos.bok.or.kr/#/>), 저자 작성

생산자물가 상승률(PPI)은 자기시차변수, 전년 실질임금 상승률, 에너지 생산자물가 상승률을 이용하여 회귀분석하였다. 명목변수를 포함한 거시계량모형에서는 명목실효환율, 원유도입단가, 수입단가, 명목금리 등을 변수로 포함하기도 하지만(신석하, 2005), 본 모형은 명목변수를 고려하지 않기 때문에 제외하였다. 한편, 국

제 에너지가격의 변화는 에너지 생산자물가에 이미 반영되어 있기 때문에 변수에 포함하지 않았다. 또한 가격 경직성으로 물가상승률이 실질 변수의 변화에 후행하는 것으로 알려져 있기 때문에 전년도 실질임금 상승률을 사용하였다. 추정 결과, 전년 생산자물가 상승률, 전년 실질임금 상승률 그리고 에너지물가 상승률이 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

〈표 3-10〉 생산자물가 상승률

종속변수	변수명	변수설명
PPI	=	생산자물가 상승률
	- 0.0072 (0.0068)	상수항
	+ 0.2933 PPI(-1) (0.0429)	전년 물가상승률
	+ 0.2390 GRWAGE(-1) (0.0971)	전년 실질임금 상승률
	+ 0.3434 PPI.energy (0.0189)	에너지생산자물가 상승률

〈표 3-11〉 소비자물가 상승률

종속변수	변수명	변수설명
CPI	=	소비자물가 상승률
	+ 0.0016 (0.0049)	상수항
	+ 0.3267 CPI(-1) (0.0427)	전년 물가상승률
	+ 0.1620 GRGDP(-1) (0.0605)	전년 경제성장률
	+ 0.5194 PPI (0.0323)	생산자물가 상승률

소비자물가 상승률(CPI)은 자기시차변수, 전년 경제성장률, 생산자물가 상승률의 함수로 설정하였다. 시차변수와 경제성장률은 신석하 외 (2013)의 방식을 채택한 것이며, 생산자물가 상승률은 신석하 (2005)의 소비자 물가 행태식을 참고하여 포함하였다. 에너지 가격의 변화는 생산자물가 상승률을 통해 소비자물가 상승률에 영향을 미치는 구조이다. 추정 결과, 기존 연구와 비슷하게 전년 물가상승률 및 전년 경제성장률이 유의하게 나타났으며, 생산자물가 상승률이 소비자물가 상승률에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

마지막으로 GDP 디플레이터 상승률(DFL)은 전년 디플레이터 상승률, 무역의존도, 소비자물가 상승률의 함수로 구성하였다. GDP 디플레이터와 소비자물가의 차이가 주로 수출재화의 가격변동에서 비롯되고 대외개방 정도가 GDP 디플레이터와 소비자물가 상승률의 차이에 영향을 미치는 것으로 알려져 있기 때문이다. 앞의 [그림 3-5]에서 보았듯이 소비자물가 상승률이 GDP 디플레이터 상승률보다 약간 낮은 수준에서 매우 밀접하게 움직이는 것을 알 수 있다.

〈표 3-12〉 GDP 디플레이터 상승률

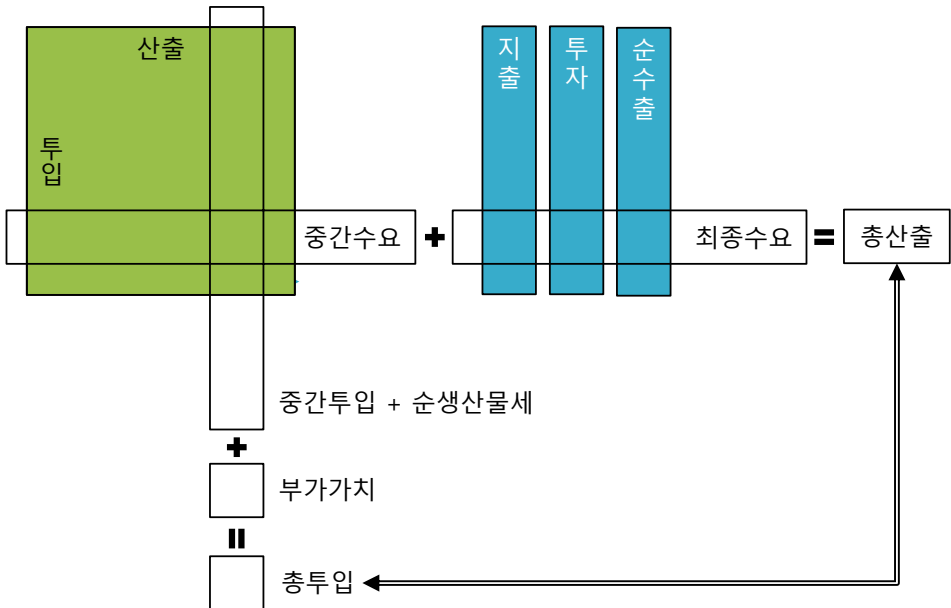
종속변수	변수명	변수설명
DFL	=	GDP 디플레이터 상승률
	+ 0.0345 (0.0145)	상수항
	+ 0.1261 DFL(-1) (0.0952)	전년 디플레이터 상승률
	- 0.0530 Trade (0.0217)	무역의존도
	+ 0.7961 CPI (0.0934)	소비자물가 상승률

무역의존도는 국내총생산에서 무역이 차지하는 비중으로, $Trade_t = (REX_t + RIM_t)/RGDP_t$ 로 계산한다. 추정 결과, 무역의존도가 높아질수록 GDP 디플레이터 상승률이 하락하는 것으로 나타났으며, 전년 디플레이터 상승률과 소비자물가 상승률 모두 통계 유의수준이 매우 높은 것으로 분석되었다.

3. 산업 모듈

산업 모듈은 에너지 모형과 거시 모듈의 결과를 이용하여 상품별 최종수요, 중간 투입/중간수요, 부가가치, 총투입, 총산출을 계산한다. 이를 위해 산업 모듈은 최종수요 블록과 투입/산출 블록으로 구성되어 있다. 산업 모듈의 경우 2차년도 연구에서는 업종/상품 세분화와 투입/수요 배분 방식의 효율화가 주요 성과이다. 산업 모듈의 세부 업종은 1차년도 농림어업, 광업, 제조업, 전력·가스·증기, 서비스업에서 2차년도에는 제조업이 석탄및석유제품, 화학제품, 비금속광물, 1차금속, 기계류, 운송장비, 기타제조 등 7개 업종으로 세분화되었고, 서비스업이 도소매, 정보통신, 공공행정, 교육서비스, 보건복지, 기타서비스 등 6개 업종으로 세분화되었다. 업종 세분화는 에너지 소비 비중이 큰 업종 그리고 미래 생산의 변화가 크게 발생할 것으로 예상되는 업종을 중심으로 선택하였다. 또한 에너지 및 온실가스 정책이 중요하게 고려하는 업종을 포함하였다.

[그림 3-6] 산업연관표 구조와 상품별 투입-산출 관계



출처: 김수일(2021) 27쪽 [그림 3-4] 인용 및 수정

방법 측면에서 산업 모듈의 투입 산출 계산 방식은 1차년도와 개념적인 면에서는 유사하다. 하지만 투입과 수요의 균형을 찾기 위한 연산 과정이 보다 효율적으로 개선되었다. 앞서 거시 모듈이 지출과 분배 측면의 국민계정이 일치하게끔 작동한다면, 산업 모듈은 지출과 생산 측면의 국민계정이 일치하도록 한다. 하지만 산업 모듈의 전망 방법은 경제 이론을 따르기 보다는 산업연관표의 투입산출 관계를 이용한 연산의 문제라고 할 수 있다. 거시집계변수를 이론에 맞게 추정된 후 상품별 투입과 산출로 배분한다는 점에서 하향식 산업·거시경제모형과 비슷하지만, 최종 도출된 부가가치와 총산출이 다시 거시 모형에 영향을 준다는 점에서 기존 하향식 모형과 차이가 있다. 또한 미래 투입산출관계의 변화에 대해서 전문 기관의 전망과 에너지 모형의 결과를 반영한다는 점에서 의의가 있다.

앞의 [그림 3-6]은 산업 모듈의 계산 원리를 보여준다. 최종수요 블록에서는 거시 모듈의 결과를 이용하여 상품별 최종수요계를 전망한다. 한편, 업종별 총투입계는 전제로 제공되고,²⁵ 정의상 업종별 총투입계는 상품별 총산출계와 일치하므로 투입/산출 블록에서는 상품별 총산출계에서 상품별 최종수요계를 빼서 상품별 중간수요계를 구한다.²⁶ 또한 정의상 부가가치와 순생산물세의 합은 최종수요의 합과 동일하므로 거시 모듈에서 전망한 국내총생산과 일치하는 부가가치 합계를 계산할 수 있다. 부가가치 합계에 전제의 산업 비중을 적용하여 업종별 부가가치를 계산하고, 이를 이용하여 새로운 업종별 중간투입계를 구한다. 여기까지가 거시 모형의 결과가 반영된 초기 투입산출 테이블이며, 투입산출 테이블의 내용을 채우기 위해서는 우선 기준년도 산업연관표의 고정투입산출계수를 적용한 초기값 설정,²⁷ 전제의 중간투입을 이용한 미래 기술관계 변화 반영, 에너지 전망 결과를 이용한 기술관계의 최종 조정 단계를 거친다. 두 번째 과정에서 투입/산출 블록은 KIET-DIMM의 통계 DB를 활용한다. 물론, KIET-DIMM의 통계DB를 활용한다는 것은 산업연구원에서 구축한 DB를 직접 이용하는 것이 아니라 DB를 바탕으로 수행한 산업구조 전망 결과를 이용한다는 의미이다.

25) 거시 모듈에서 전망한 국내총생산에 맞춰 조정된 총투입과 중간투입을 사용한다.

26) 산업연관표의 투입산출 부분 행에 위치한 것을 업종, 열에 위치한 것을 상품으로 표현한다.

27) 산업연관표는 2015년 실측표를 사용한다.

고정 투입산출계수를 이용하여 연장한 상품별 총산출은 당연히 전제에서 제공된 총산출(= 총투입)과 일치하지 않는다. 전망 방법 측면에서 이 차이가 중요한 이유는 KJET가 연도별 가변적 투입계수를 반영하여 산업구조를 전망한다는 점과 상품별 최종수요가 본 모형에서 독자적으로 전망된다는 점 때문이다. 산업의 업종별 생산 관계 변화가 앞서 계산한 고정투입산출계수 기반 상품별 총산출과 전제로 제공된 상품별 총투입의 차이이다.²⁸ 또한, 투입/산출 블록은 에너지 모형의 전망 결과를 반영하여 중간투입과 중간수요를 최종적으로 조정한다. 산업 모듈에서 계산한 부가가치와 총투입은 거시 모듈에 입력되어 취업자 및 정부처분가능소득을 계산하는데 사용된다. 다음은 산업 모듈의 연산 블록별로 계산 과정을 상세히 설명한다.

3.1. 최종수요 블록

최종수요 블록에서는 가계최종소비지출, 정부최종소비지출, 총자본형성, 수출 그리고 수입을 상품별로 계산한다. 이를 위해 산업연관표의 상품별 지출 비중과 국민계정의 지출 통계 그리고 에너지 모형의 전망 결과를 이용한다. 에너지 모형의 가정 부문은 에너지 소비, 가전기기 구매, 주택 건설을 전망하고 수송 부문은 비사업용 자동차의 판매와 연료소비를 전망하므로, 전망 결과를 해당하는 가계최종소비 지출의 상품별 지출 추세에 적용하여 상품별 가계최종소비지출을 전망한다. 재화별 지출을 상품별 지출로 전환하는 방법은 1차년도 과제 내용을 참고하기 바람이며, 간단히 설명하면 다음과 같다. 우선 가정 부문의 지출 항목을 내구재, 교통, 임대수도광열비, 식료품, 의료보건, 정보통신, 교육서비스, 기타로 분류한다. 2차년도 모형에서는 상품과 업종이 세분화되면서 최종소비지출의 재화도 1차년도에 비해 조금 더 세분화되었다. 재화별 지출은 다시 17개의 상품별 지출로 전환하는데, 전환 과정에서 발생하는 오차는 기타서비스가 흡수하는 것으로 가정한다. 한편, 정부최종소비지출은 서비스 수요이므로 산업연관표의 비중에 따라 배분한다. 정부최종소비지출은 공공행정, 보건복지, 교육서비스가 99%를 차지하고 있다.

28) 산업 전체의 전반적인 기술 발전에 대한 정보를 반영한 KJET의 연구 결과를 기준으로 삼는 것이 바람직하다는 판단 하에 고정 투입산출계수를 이용한 결과를 조정한다.

총자본형성은 민간고정자본형성과 정부고정자본형성으로 구분한다.²⁹ 1차년도 모형에서는 건설투자, 설비투자, 지식재산생산물투자로 구성했지만, 투자 항목의 상품별 지출 정보가 없기도 하며 향후 정부의 재정 지출 효과 분석을 위해 정부 투자를 분리할 필요가 있다고 예상되기 때문이다. 2차년도 모형에서는 총자본형성을 민간과 정부의 고정자본형성으로 구분하고 각 경제주체별 고정자본형성 내에서 투자 항목을 세분화하여 거시 모듈의 투자 항목과 일치시키고 있다. 정부고정자본형성은 건설이 62%를 차지하고 있으며 운송장비가 10%, 기계류가 8%를 차지하고 있으며, 정부고정자본형성 비중은 고정된 것으로 가정한다. 민간고정자본형성은 정부의 상품별 고정자본형성을 건설, 설비, 지식재산생산물투자로 분류하고 거시 모듈에서 전망한 항목별 투자에서 정부고정자본형성을 제하여 항목별 민간고정자본형성을 계산한다. 이어서 항목별 민간고정자본형성을 17개 상품별로 배분하는데, 건설은 건설투자, 운송장비는 사업용 자동차 판매에 연동되며, 차이는 기계류가 조정한다. 기준년도의 민간고정자본형성 역시 건설이 38%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 기계류가 21%, 운송장비가 6%를 차지한다.

수출은 산업연관표의 비중을 적용하여 상품별 수출을 계산하며, 석탄및석유제품을 에너지 모형의 석유제품 수출 전망으로 대체하여 최종 결과를 도출한다. 총수출이 국내총생산에 비례하는 것으로 가정했기 때문에 석유제품 수출로 대체하면서 발생하는 총수출의 차이는 기계류 수출로 조정한다. 기계류 수출은 2015년 기준 전체 수출의 37%이며, 일반장비를 비롯하여 반도체, 디스플레이, 통신기기 등 우리나라 수출의 주요 품목을 대부분 포함하고 있기 때문이다. 수입 역시 수출과 비슷한 방법을 사용한다. 다만 에너지 수입 품목을 원유, 석탄, 천연가스 등 일차에너지 상품과 이차에너지 상품인 석유제품으로 구분하며, 광산물 수입은 일차에너지 상품 수입으로 대체하고 석탄및석유제품 수입은 석유제품 수입으로 대체한다. 에너지 상품 수입의 대체로 발생하는 차이는 기계류 수입으로 조정한다. 기계류의 비중이 가장 클 뿐 아니라 에너지효율 개선으로 인한 에너지 상품 수입 감소는 에너지효율 개선을 위한 고효율기기의 수입을 동반하기 때문이다.

29) 민간고정자본형성은 재고 및 귀중품순취득을 포함하여 계산한다. 재고 및 귀중품순취득은 고정된 것으로 가정하고 있다.

3.2. 투입/산출 블록

투입/산출 블록은 농림수산물, 광산물, 건설, 전기가스증기와 함께 7개 제조 상품 및 6개 서비스 상품의 중간수요와 생산을 위한 투입을 계산한다. 이를 위해 산업연관표의 투입산출 계수와 KIET 전제의 중간투입 그리고 에너지 모형의 전망 결과가 활용된다. 투입/산출 블록은 크게 세 단계 연산 작업을 수행한다. 우선 거시 모듈과 최종수요 블록의 결과를 이용하여 상품별 중간수요계와 업종별 부가가치 그리고 업종별 중간투입계를 구한다. 두 번째 단계에서는 기준년도 산업연관표 투입산출계수를 이용하여 상품별 중간투입을 계산한 후 KIET 중간투입 전망을 이용하여 중간투입을 조정한다. 마지막으로 에너지 모형의 산업 및 서비스 부문 에너지 수요 전망은 상품의 중간투입이므로 상품별 중간투입을 조정하고 최종적인 투입과 산출을 도출한다. 이와 같이 투입/산출 블록은 초기값 설정, 전제의 중간투입 반영 그리고 에너지 모형의 전망 반영 순서로 계산한다.

투입/산출 블록이 중간투입과 중간수요를 조정하는 기준은 다음과 같은 산업연관표의 투입 산출의 관계이다. 우선 상품별 총산출은 업종별 총투입과 일치한다. 업종별 총투입은 중간투입계와 생산물세 그리고 부가가치의 합계이다. 상품별 총산출은 중간수요계와 최종수요의 합계이다. 이는 산업연관표의 기본 구조이다.

$$\text{총산출}_i = \text{총투입}_j \quad (i = j)$$

$$\text{총산출}_i = \sum_j \text{중간수요}_{ij} + \text{최종수요}_i$$

$$\text{총투입}_j = \sum_i \text{중간투입}_{ij} + \text{생산물세}_j + \text{부가가치}_j$$

여기서 i 는 상품, j 는 업종을 표시한다. 전제의 국내총생산 및 총투입의 관계를 이용하여 거시 모듈에서 전망한 국내총생산에 상응하는 총투입과 업종별 총투입을 계산한다. 이는 국내총생산 변화를 비례적으로 적용한다. 이어서 최종수요 블록에서 전망한 상품별 최종수요를 이용하여 상품별 중간수요계를 구한다.

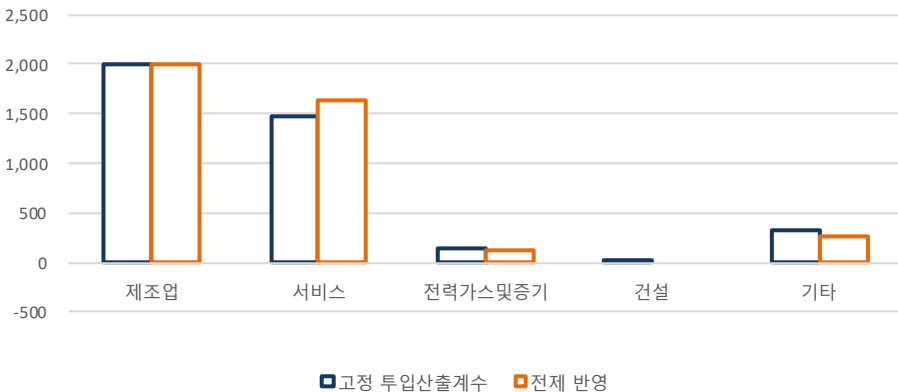
다음으로 조정된 국내총생산에 부합하는 업종별 부가가치와 중간투입을 계산한다. 이를 위해서 다음과 같은 관계를 이용한다.

$$\sum_i \text{최종수요}_i = \sum_j (\text{부가가치}_j + \text{순생산물세}_j) + \sum_i \text{생산수입세}_i$$

여기서 \sum_i 생산수입세_i는 지출부분 순생산물세의 합을 의미한다. 생산수입세는 최종수요 블록에서 함께 전망된다. 또한 최종수요계는 국내총생산과 일치한다. 기준 시나리오에서는 순생산물세율이나 생산수입세율이 고정된 것으로 가정하고 있다. 따라서 최종수요 블록의 최종수요 합계에서 생산수입세 합계를 뺀 것을 전제의 업종별 부가가치와 순생산물세 합의 비중에 따라 배분한다. 마지막으로 총투입과 중간투입의 관계를 이용하여 업종별 중간투입계를 계산한다.

두 번째 단계는 업종별 중간투입계과 기준년도 투입산출계수를 이용하여 업종의 중간투입계를 상품별로 배분한다. 이때 상품별로 행의 방향 합계는 중간수요계가 된다. 정의상 중간투입계의 합과 중간수요계의 합은 항상 일치하지만, 기준년도 고정 투입산출계수를 적용하여 구한 상품별 중간수요계를 상품별 최종수요와 합하여 계산한 상품별 총산출은 상품별 총투입과 일치하지 않는다. 이 차이가 KIET 산업구조 전망에 고려된 가변투입산출관계의 결과라고 할 수 있다. 상품별 총산출과 총투입의 차이는 다시 상품별 중간수요의 업종별 비중에 따라 업종으로 재분배된다.

[그림 3-7] 고정 투입산출계수와 전제 조정에 따른 2050년 중간수요의 변화

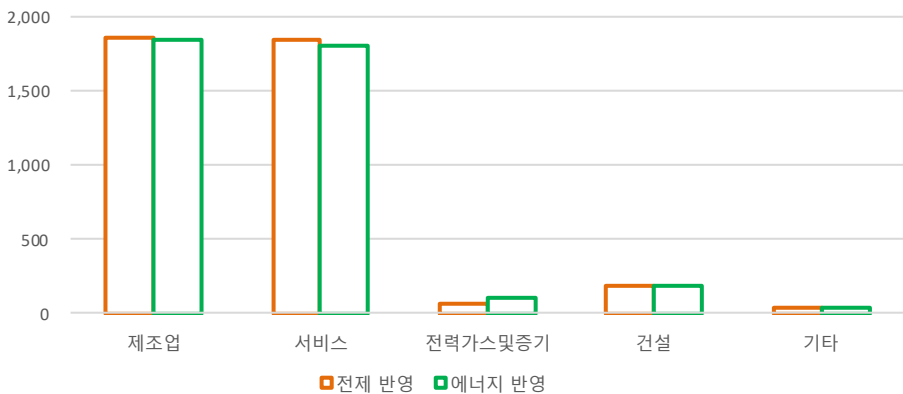


자료: 「2022 장기 에너지 전망(2022)」의 기준 시나리오 잠정치 사용

[그림 3-7]은 고정 투입산출계수를 적용했을 때 2050년 업종별 중간수요와 전제의 산업구조 변화를 반영한 중간수요의 차이를 보여주고 있다. 고정 투입산출계수를 사용하면 제조업 상품이 중간투입에서 차지하는 비중은 50.3%이며 서비스 상품은 37.3%를 차지한다. KIET의 산업구조 전망을 반영하여 중간투입을 조정하면 2050년 제조업 상품의 비중은 49.9%로 감소하며 서비스 상품의 비중은 40.9%로 증가한다. 여기까지 구한 값은 거시 모듈의 국내총생산 전망, 전제의 산업구조 그리고 최종수요 블록의 상품별 최종소비지출에 부합하는 중간투입 및 중간수요이다.

마지막 단계에서는 에너지 모형의 전망 결과를 이용하여 업종별 중간투입을 조정한다. 에너지 모형에서는 업종별 에너지 수요가 전망되므로, 앞서 구한 중간투입에서 각 업종별 석탄및석유제품, 전기가스및증기 투입을 에너지 모형의 전망 결과로 대체한다. 또한 석탄및석유제품의 광산품 투입은 원유 수입, 1차금속의 광산품 투입은 원료탄 수입,³⁰ 전기가스및증기의 광산품 투입은 천연가스 및 연료탄 수입으로 대체하여 연료 사용만이 아니라 원료 사용에 대한 전망까지 반영한다. 이로써 에너지 모형의 결과가 반영된 중간투입과 중간수요를 얻게 된다. [그림 3-8]은 에너지 모형의 결과를 반영했을 때 2050년 중간투입의 업종별 비중을 보여주고 있다.

[그림 3-8] 에너지 전망 반영에 따른 2050년 중간투입의 변화



자료: 「2022 장기 에너지 전망(2022)」의 기준 시나리오 잠정치 사용

30) 1차금속의 광산품 수입은 철광석을 포함한다. 수소환원제철 기술의 도입은 원료탄 수입과 철광석 수입 추세를 다르게 만들 수 있다. 따라서 향후 이에 대한 개선이 필요할 것으로 보인다.

투입/산출 블록에서는 결과로 도출된 중간투입에서 생산물세를 계산한다. 생산물세는 기준년도 세율이 고정된 것으로 가정하고 있다. 투입/산출 블록은 에너지 모형의 결과가 반영된 중간투입과 앞서 계산한 부가가치를 이용하여 총투입을 구하고 결과를 거시 모듈로 보낸다. 이때 부가가치는 부가가치와 생산물세의 합이 국내총생산과 일치하도록 다시 조정된다.

총투입은 취업자 전망의 변수로 사용되고 국내총생산과 부가가치의 차이는 정부의 생산및수입세를 계산하는데 사용된다. 조정된 정부처분가능소득은 기업처분가능소득에 영향을 미치며 이들은 다시 투자를 변경한다. 조정된 취업자는 투자와 함께 잠재 국내총생산을 변화시키고, 또한 피용자보수를 거쳐 가계최종소비에 영향을 미친다. 이러한 변화는 거시 모듈 전체의 변수들에 퍼져나가며, 변경된 거시 모듈의 해는 다시 산업 모듈에 입력된다. 이러한 순환 과정을 거쳐 거시 모듈과 산업 모듈 전체를 만족하는 경제 모형의 해를 찾는 것이다.

4. 모형의 평가

2차년도 연구에서 구축 및 수정된 경제 모형은 다양한 방법을 통해 적합성과 안정성을 평가하였다. 여기서는 거시 모듈 추정 결과의 통계적 유의성, 내생변수 추정치와 실제 데이터의 오차, 전망 결과의 안정성 및 적합성 등을 통해 평가했다. 대개의 모형 운영 방법이 그러하듯이 합리적 전망 결과가 도출될 때까지 외생변수에 대한 가정과 추정방정식에 대한 조정이 진행되므로 평가 항목들을 단계적으로 판단할 수는 없다. 여기서는 최종 결과인 베이스라인이 합리적으로 설정되었다고 판단할 때까지 조정을 거친 후의 결과를 이용하여 모형을 평가한다. 앞서 2절에 소개된 개별 행태방정식의 계수 추정치는 그런 과정을 거친 후의 결과이다. 본 절에서는 내생변수 추정치를 실제 데이터와 비교한 결과를 소개한다. 모형의 전반적인 평가는 다음 제4장에서 설명하는 베이스라인 설정 결과를 함께 고려해야 한다.

모형 적합도 평가를 위해서는 평균제곱근퍼센트오차(Root Mean Squared Percent Error; RMSPE), 평균절대비오차(Mean Absolute Percent Error), Theil의 불균등계수(inequality coefficient) 등 다양한 지표를 사용하지만 여기서는 RMSPE를 이용한 결과만 제시한다. RMSPE는 다음과 같이 계산한다.

〈표 3-13〉 거시 모듈 추정 적합도

변수	변수명	추정기간	RMSPE(%)
총산출	Shipment.total	2015 ~ 2021	0.31
국내총생산	RGDP	2004 ~ 2021	0.57
중간투입	Intermediate.total	2015 ~ 2021	0.49
순생산물세	ProdTax.total	2015 ~ 2021	3.64
부가가치	ValueAdded.total	2015 ~ 2021	0.28
국민총처분가능소득	RTNDI	2004 ~ 2021	0.57
고정자본소모	RFCDD	2004 ~ 2021	1.43
국민처분가능소득	RNDI	2004 ~ 2021	0.72
가계처분가능소득	RCNDI	1975 ~ 2021	2.60
기업처분가능소득	RBNDI	2004 ~ 2021	2.15
정부처분가능소득	RGNDI	2004 ~ 2021	1.23
실질임금	RWAGE	1972 ~ 2021	4.86
취업자	PopEmploy	1981 ~ 2021	0.63
비용자보수	RCNDI.wage	1972 ~ 2021	5.04
실업률	UnemployRate	1981 ~ 2021	16.68
가계소비지출	RCE	1975 ~ 2021	3.80
정부총지출	RTGE	1971 ~ 2021	8.58
민간고정자본형성	RFIN.PRIV	2004 ~ 2021	3.01
건설투자	RFIN.CNST	1982 ~ 2021	6.49
설비투자	RFIN.FCLT	2004 ~ 2021	3.50
지식재산생산물투자	RFIN.RND	2004 ~ 2021	1.95
총자본형성	RINV	1971 ~ 2021	0.25
자본스톡	CapitalStock	2004 ~ 2021	0.53
생산자물가*	PPI	1973 ~ 2021	1.97
소비자물가*	CPI	1973 ~ 2021	7.12
GDP 디플레이터*	DFL	1973 ~ 2021	1.90

* 평균절대바오차(MAPE) 결과임

$$RMSPE = 100 \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t} \right)^2}$$

<표 3-13>는 거시 모형의 적합도 평가를 보여주고 있다. 단, 생산자물가, 소비자물가, GDP 디플레이터는 상승률을 전망하였기 때문에 평균절대비오차(MAPE) 지표를 제시하였다. 전반적인 결과는 보다시피 적합도가 우수하게 나온 것으로 판단된다. RMSPE가 5%를 넘는 것은 피용자보수, 실업률, 정부총지출, 건설투자 등으로 나타났는데, 실업률의 경우 추정 적합도가 낮게 나오는 것이 기존 연구에서 일반적으로 발견되는 현상이다. 피용자보수의 경우 취업자와 실질임금의 추정 오차가 누적되기 때문에 RMSPE가 비교적 크게 나왔다. 총산출, 중간투입, 순생산물세, 부가가치는 추정기간이 짧음에도 불구하고 RMSPE가 우수한 것으로 나왔는데, 이는 거시 모형의 추정 결과가 아니라 산업 모형의 추정 결과이다. 이에 대해서는 뒤에서 다시 설명한다.

<표 3-14>는 산업 모듈 내생변수에 대한 RMSPE 결과를 보여주고 있다. 산업 모형의 추정치는 행태 방정식의 추정이 아니라 투입산출계수와 전제를 이용해서 거시 변수 추정치에 부합하는 산업 변수들에 대한 탐색의 결과라는 점에서 차이가 있다. 따라서 내생변수 추정 결과가 거시 모형의 결과에 비해 상대적으로 우수한 적합도를 보일 것으로 기대하였다. 총산출, 부가가치, 중간투입에 대해서 RMSPE는 전반적으로 매우 작게 나왔는데, 총산출에 비해 중간투입의 RMSPE가 큰 것이 특징이다. 이는 중간투입의 추정이 산출만이 아니라 상품별 최종수요 추정에도 영향을 받기 때문인 것으로 추측된다.³¹ 한편, 업종별로 살펴보면 석탄및석유제품의 RMSPE가 다른 업종에 비해 비교적 큰 것을 확인할 수 있다.

앞서 설명한 것처럼 모형의 전반적 평가는 미래에 대한 전망이 합리적인지 혹은 적어도 논리적인지를 함께 고려해야 한다. 이는 다음 제4장에서 다루는 내용이다. 제4장에서는 에너지 전망에 사용된 전제 원본과 에너지 전망 결과를 간략히 소개하고, 이어서 경제 모형의 전망 결과와 비교하여 보여준다.

31) 상품별 최종수요에 대한 통계 부재로 최종수요에 대한 추정 적합도 판정은 할 수 없었다. 상품별 최종수요 통계가 확보되면 아마도 최종수요만이 아니라 산업 모듈 전체의 추정 적합도를 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

〈표 3-14〉 산업 모듈 추정 적합도 (RMSPE, 2015~2021)

변수	총산출	부가가치	중간투입
합계	0.31	0.28	0.49
농림수산물	0.45	0.25	0.97
광산품	0.90	0.24	1.73
제조업	0.85	0.24	1.18
석탄및석유제품	3.34	0.25	3.80
화학제품	0.87	0.24	1.24
비금속광물	0.20	0.24	0.29
1차금속	0.78	0.24	1.02
기계류	1.02	0.24	1.57
운송장비	1.28	0.24	1.60
기타제조	0.55	0.25	0.70
전력가스및증기	1.27	0.26	2.07
건설	0.47	0.25	0.73
서비스	0.96	0.25	2.03
도소매	1.38	0.24	2.77
정보통신	1.27	0.24	2.63
공공행정	0.94	0.25	3.15
교육서비스	0.78	0.26	2.22
보건복지	0.32	0.26	0.63
기타서비스	1.14	0.25	2.32

제4장

2022년 에너지 전망과 베이스라인 설정 결과

제4장에서는 「2022 장기 에너지 전망」에 사용된 주요 전제와 에너지 전망 결과를 이용하여 주요 거시 변수 및 산업 변수들을 전망한 결과를 소개한다. 본 연구에서 사용한 기준 시나리오는 잠정치이며 최종 전망 보고서에 수록될 전망 수치는 변경될 가능성이 있다. 에너지 및 경제 시스템이 모듈 구조로 되어 있기 때문에 경제 모형을 에너지 모형과 독립적으로 운영할 수 있다. 따라서 이전 전망 보고서의 자료를 이용할 수도 있지만, 경제 모형의 개선이 에너지 모형의 개선과 동시에 진행된 탓에 잠정 전망 자료를 이용하여 분석을 진행하였다.

기초 전제는 에너지 전망에 사용된 외부 입력 전제를 의미한다. 기준 시나리오 에너지 전망을 반영하여 수정된 경제 전망을 베이스라인(baseline)이라고 정의한다. 정책 목표가 반영된 에너지 목표 시나리오가 전망되면 이에 상응하는 경제 시나리오 전망을 하게 된다. 정책 효과는 베이스라인과 목표 시나리오 전망의 차이로 도출된다. 목표 시나리오와 정책 효과 도출 그리고 그에 따른 국민 삶의 질과 국가 발전 지표의 변화는 다음 과제의 몫으로 남기고, 여기서는 2차년도 개선 모형을 이용하여 전망한 베이스라인의 타당성과 합리성을 분석하는 것이 목적이다. 이는 모형의 적합성 판단을 위한 또다른 평가 기준이기도 하다.

1. 2022년 에너지 전망

1.1. 주요 전제와 에너지 전망

에너지를 비롯하여 주요 경제 전망은 인구 전망에서 시작한다. 인구 전망은 통계청에서 정기적으로 진행하는 인구추계를 사용한다. 추계인구는 2020년 5천184만 명을 정점으로 감소하고 있으며 2040년 이후 5천만명대가 무너지고 2050년에는 4천736만명 수준까지 떨어지는 것으로 전망하고 있다. 인구 감소의 주 원인은 출산율 하락이며, 우리나라의 출산율 저하로 인한 인구 감소와 고령화는 심각한 사회문제로 인식되고 있다. 생산가능인구인 15세 이상 인구는 2030년대 초반까지 증가하지만, 이는 사망률 하락으로 인한 고령인구 증가가 원인으로 고령인구 비율은 2021년 16.6%에서 2040년 34.4%, 2050년은 40.3%까지 증가한다. 인구의 감소와 고령화가 경제에 미치는 영향에 대해서는 이미 많은 연구들이 진행된 바 있다. 자세한 내용은 신석하 외 (2013)와 이진면 외 (2012)를 참고하기 바란다. 비록 최근 통계청 인구 추계가 더 빠른 속도의 인구 감소를 전망하고 있지만 구조적 특성이나 경제적 시사점은 유사한 것으로 판단된다.

KDI의 장기 잠재 국내총생산은 앞서 방법론에서 설명한 것처럼 고용과 자본스톡 그리고 총요소생산성에 대한 전망을 이용하여 생산함수 접근법으로 계산한다. 고용은 인구 전제를 바탕으로 연령구조, 성별구조, 학력 등 다양한 요소를 고려한 경제활동참가율과 실업률 전망으로 계산된다. 자본스톡은 실질투자 전망으로 계산한다. 총요소생산성에 대한 가정과 고용 및 자본스톡에 대한 전망을 바탕으로 계산된 장기 잠재 국내총생산은 2021년에서 2050년까지 연평균 1.2% 증가하는 것으로 나타났다. 이는 2000년에서 2021년 사이 연평균 3.6% 성장한 것에 비해 성장률이 대폭 하락하는 것이다. 잠재 국내총생산의 성장률 하락은 인구 감소의 영향이 크지만, 총요소생산성의 빠른 증가가 인구 감소를 상당히 상쇄하는 것으로 짐작된다. 투자는 잠재 국내총생산 수준에서 자본의 장기 한계생산이 일정 수준을 유지하도록 자본스톡의 규모를 조정하는 것으로 예상된다.

국내총생산의 성장세 둔화는 총산출과 부가가치 그리고 중간투입의 성장 하락을 의미한다. 부가가치 성장률은 잠재 국내총생산 성장률과 동일하다. 하지만 부가가

치율이 점차 하락한 결과이기 때문에 총산출과 중간투입의 성장률은 잠재 국내총생산의 성장률보다는 다소 높게 나타난다. 총산출에서 부가가치가 차지하는 비중은 2021년 41.6%에서 2050년 38.9%로 감소한다. 부가가치율 감소의 의미는 뒤에서 다시 살펴보기로 한다. 미래의 생산은 서비스 상품이 2021년에서 2050년 사이 연평균 1.95% 증가하면서 서비스업이 생산활동을 주도하는 것으로 전망하고 있다. 제조업도 같은 기간 연평균 1.0%로 꾸준히 증가한다. 제조업 내에서는 화학업종의 산출량이 가장 빠르게 증가하는 것으로 전망되었다. 이는 전통적인 화학제품에 대한 수요도 꾸준히 증가하지만 전기화에 따른 배터리 수요 증가와 수소 경제 도래에 대한 기대가 높기 때문이다.³² 서비스는 인구 증가 둔화와 고령화에 대한 기존 연구 결과와 비슷하게 보건복지의 생산이 연평균 4.62%로 전체 생산에서 가장 빠르게 증가하고, 반면 교육서비스는 연평균 0.13%로 감소한다. 또한 미래 사회의 정보화에 따라 정보통신업의 생산도 연평균 2.15%로 빠르게 증가한다.

한편, 에너지 상품을 생산하는 석유정제업, 전기가스수도업과 에너지의 소비가 큰 화학, 1차철강의 산출은 조금 더 세밀하게 살펴볼 필요가 있다. 우선, 석유정제업의 생산은 2021년 106.3조원에서 2050년 88.4조원으로 감소한다. 반면, 전기가스수도업의 생산은 119.5조원에서 130.3조원으로 증가한다. 즉, KIET에서도 기본적으로 미래 석유제품에 대한 생산과 수요가 감소하고 전기 및 가스에 대한 생산과 수요는 증가할 것으로 전망하고 있다. 다만 석유제품과 전기 및 가스에 대한 다른 업종의 중간수요와 최종수요에 대한 전망을 기반으로 하고 있는지는 확인할 수 없다. 1차철강의 총산출은 2021년 104.1조원에서 2050년 100.4조원으로 감소한다. 철강제품의 구성이 변하지 않는다면 1차철강의 산출 감소는 철광석 및 유연탄의 수요 감소를 의미하며 이는 다시 전기 수요 감소로 이어진다. 하지만 전기로 공정의 생산이 증가하면 유연탄의 감소는 가속화되고 전기 수요는 증가할 수도 있기 때문에 철강업의 생산 제품 구성과 생산 공정의 변화는 에너지 수요만이 아니라 산업 전체에 영향을 미치게 된다. 화학은 빠르게 성장할 것으로 예상하는 업종이기 때문에 1차철강과는 반대의 영향을 미친다.

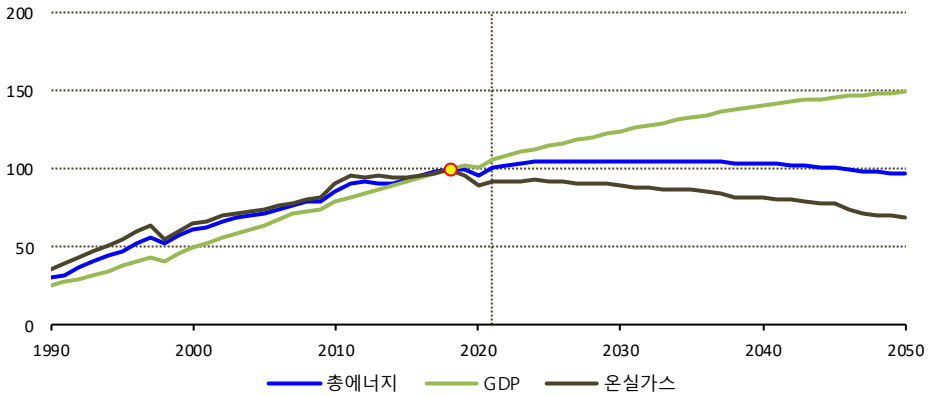
32) 제조업에서는 화학 및 철강을 중심으로 생산공정에 수소를 사용하고 있다. 여기서는 전통 에너지 상품을 대체하는 새로운 시장의 발달을 의미한다. 하지만 기준 시나리오에서는 수소 경제가 크게 성장하지 않으며 자동차 및 수소연료전지 등 일부 신규 수소 수요만 가정하고 있다. 수소 경제의 본격적 도래는 목표 시나리오에 담고 있다.

앞서 부가가치율이 감소하기 때문에 잠재 국내총생산에 비해 총산출과 중간투입의 증가율이 상대적으로 높다고 언급한 바 있다. 부가가치율 감소는 같은 규모의 생산을 하면 투입이 더 필요하다는 것인데, 이러한 부가가치율 하락이 업종 내 산출 재화의 구성 변화 때문인지 혹은 규모에 대한 수확체감의 영향인지는 확실하지 않다. 아무튼, 고용률이 하락하지 않거나 실질임금이 감소하지 않는다면 부가가치율의 감소는 영업이익률의 하락을 의미한다. 반면, 중간투입의 증가는 생산의 증가보다 에너지를 비롯하여 생산을 위한 다른 상품의 수요가 더 빨리 증가한다는 것을 의미한다. 에너지 효율이 추세적으로 하락할 것으로 전망되기 때문에 에너지를 제외한 다른 상품의 투입이 빨리 증가한다고 해석할 수 있다.

국제 에너지가격은 IEA의 2022년 전망보고서를 참고하고 있다 (IEA, 2021). 기준 시나리오에서는 IEA가 제시하는 시나리오 중에서 기준 시나리오에 해당하는 STEPS의 국제 원유가와 유연탄 및 천연가스 가격을 전제로 사용한다. 평균 국내도입단가로 환산했을 때, 원유는 2021년 배럴당 70 달러에서 2022년 100 달러로 폭등했다가 2024년경 다시 원래 수준을 회복한 후 꾸준히 증가하여 2050년에는 배럴당 89 달러 수준으로 상승할 전망이다. 천연가스도 전반적으로는 비슷한 추세이지만 온실가스 감축 경로에서의 교량적 역할과 생산 상류부문의 투자 증가로 2022년 정점 가격에서의 하락이나 이후 증가가 크지 않다. 천연가스 도입단가는 2050년 톤당 471 달러로 2021년 톤당 554 달러 수준에는 못 미치는 것으로 전망된다. 반면 유연탄은 전 지구적인 온실가스 감축 노력의 진행으로 발전용 수요가 크게 감소하면서 가격이 2021년 톤당 116 달러에서 2050년 73 달러로 꾸준히 감소할 전망이다.

이러한 인구, 잠재 국내총생산, 총산출, 중간투입 전제에 기온에 대한 가정을 더 하여 에너지 수요를 전망한 결과, 우리나라는 2050년에 현재와 비슷한 291백만toe 정도를 소비할 것으로 예상된다. 에너지 소비로 인한 연간 온실가스 배출은 2021년 569.2백만톤에서 2050년 429.2백만톤으로 감소한다. 국내총생산, 총에너지 수요, 온실가스 배출의 상호 관계는 과거와 확연히 달라질 것으로 예상된다. [그림 4-1]에서 보듯이, 1990년부터 온실가스 배출 정점을 기록한 2018년까지 총에너지 수요와 온실가스 배출은 거의 동일하게 움직였다. 총에너지와 국내총생산은 크지 않아도 뚜렷하게 탈동조화를 보이고 있다. 하지만 2018년 이후 국내총생산, 총에너지 수요, 온실가스 배출은 모두 상호 탈동조화가 가속화될 것으로 예상된다.

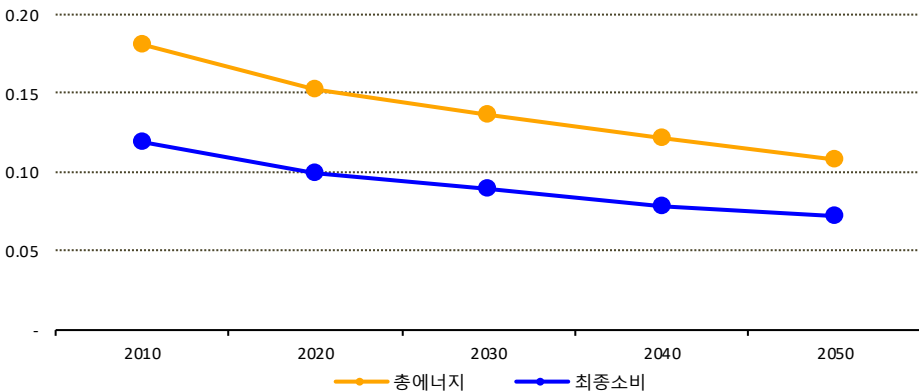
[그림 4-1] 국내총생산, 총에너지 수요, 온실가스 배출 전망 추이 (2018 = 100)



자료: 「2022 장기 에너지 전망(2022)」의 기준 시나리오 잠정치 사용

국내총생산과 총에너지 수요의 탈동조화는 또다른 지표인 에너지원단위의 개선으로 나타난다. 총에너지 수요와 온실가스 배출의 탈동조화는 최종소비 부문의 연료 대체와 발전설비의 변화가 원인이다. 발전설비에 대해서는 뒤에서 다시 살펴보기로 하고, 여기서는 에너지원단위에 대해서 먼저 살펴본다. 에너지원단위는 생산단위당 에너지 소비로 정의하는데, 보통은 산출액 백만원당 toe로 측정한다. 다음 [그림 4-2]는 총에너지와 최종소비의 에너지원단위 전망 추이를 보여주고 있다.

[그림 4-2] 에너지원단위 추이



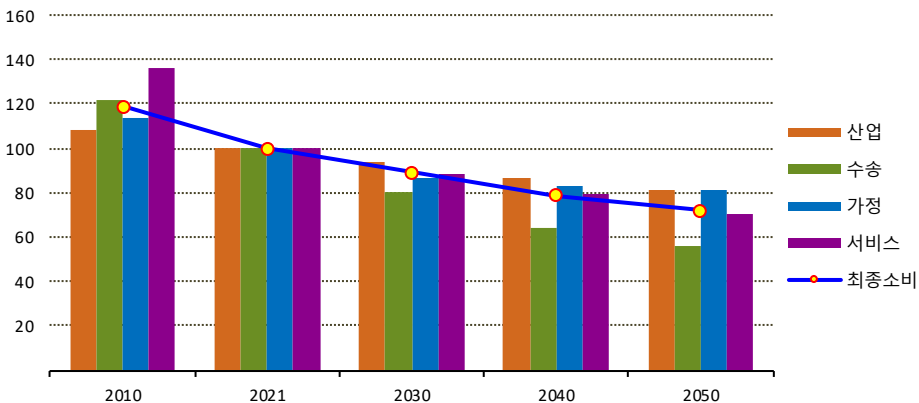
자료: 「2022 장기 에너지 전망(2022)」의 기준 시나리오 잠정치 사용

2010년 이후 현대제철의 신규 설비와 포스코의 설비 증설로 잠시 원단위가 악화 되기는 했지만 에너지원단위는 전반적으로 꾸준히 개선되고 있다. 현재의 에너지 및 온실가스 정책이 계속 유지된다고 가정할 때 에너지원단위도 시간이 흐르면서 점차 둔화되기는 하지만 지속적으로 개선될 것으로 전망된다. 에너지원단위의 개선은 주로 에너지 효율 개선의 영향이 크다. 에너지 효율은 앞서 에너지 전망 방법에서 살펴보았듯이 선도기술의 에너지 효율 향상과 보급 속도에 의해 결정되며, 이를 위해 적절한 설비 및 건설투자와 지식재산생산물 투자가 진행되어야 한다.

1.2. 에너지 설비 및 기기 보급과 에너지 효율

에너지원단위 개선은 산업 및 서비스업 등 생산 부문과 가정 및 수송 등 소비 부문 모두에서 진행될 것으로 예상된다. 다음 [그림 4-3]은 2021년을 100으로 했을 때 부문별 에너지원단위의 개선 추이를 보여주고 있다. 에너지원단위 개선 속도는 수송 부문이 가장 빠를 것으로 예상되는데, 이는 시장경쟁력을 확보한 전기차가 매우 빠르게 보급되는 것이 원인이다. 여기에 수소연료전지 자동차도 수송 부문의 에너지원단위 개선에 상당 부문 기여할 것으로 전망된다. 이는 역으로 다른 부문에 비해 수송 부문의 전력화가 아직 미진하며 전력화의 여지가 많다는 것을 의미한다.

[그림 4-3] 부문별 에너지원단위 추이



자료: 「2022 장기 에너지 전망(2022)」의 기준 시나리오 잠정치 사용

수송 부문에 이어서 서비스 부문의 에너지원단위 개선이 빠르게 진행될 것으로 예상되지만, 서비스 부문의 에너지원단위는 과거에 비해서는 둔화될 전망이다. 서비스 부문이나 가정 부문은 모두 건물 에너지 정책의 영향을 받는데, 건물 부문의 에너지 정책은 제로에너지건축물 의무화가 핵심이다. 제로에너지건축물은 건물의 외피 개선(패시브 기술)과 신재생에너지를 이용한 에너지 공급(액티브 기술)으로 구성되어 있으며, 건물 내에서 사용하는 모든 에너지 사용기기의 에너지 효율이 개선되는 것도 건물 부문의 에너지원단위를 개선하는데 기여할 전망이다. 한편 제로에너지건축물 의무화는 건물 연면적과 소유 주체에 따라 단계적으로 확대될 예정인데, 아무래도 거주용 주택보다는 공공 및 상업용 건물에 우선 적용되기 때문에 가정 부문의 에너지원단위보다 서비스부문의 에너지원단위 개선 속도가 빠를 것으로 전망되고 있다.

산업 부문은 다른 부문에 비해 에너지원단위 개선이 더딜 전망이다. 이는 주로 생산 방식의 변경이 어렵고 설비 교체를 위한 투자가 대규모로 필요한데 기인한다. 산업 부문은 에너지 사용 용도가 건물용, 공정용, 원료용으로 나뉘며, 공정용은 다시 직접가열, 간접가열, 동력, 전기화학으로 구분된다. 주요 생산 상품에 따라 필요한 에너지 용도가 다르다. 예를 들어, 석유정제나 비금속광물 같은 경우 가열용 에너지가 에너지 소비의 80% 이상을 차지하는데 반해, 기계류나 수송장비는 동력용 에너지가 30% 이상으로 상대적으로 비중이 높다(김수일, 2020). 비철금속은 다른 업종에 비해 전기화학용 에너지 소비 비중이 큰 편이다. 해당 상품을 생산하기 위해 다른 용도의 에너지로 대체할 수 없으며, 하나의 용도 내에서 다른 에너지로 대체하는 것도 상당한 제약이 따른다. 한편, 어느 용도의 설비 효율 개선이 성과를 내기 위해서는 특정 기기 하나만 교체하는 것이 아니라 공정 전반 또는 일부의 교체가 이루어져야 하는 경우가 많다. 이러한 특징은 산업 부문의 에너지 효율 개선과 온실가스 배출 감축의 어려움을 보여주지만, 반대로 대규모 투자가 집중되고 기술 개발이 적절히 달성된다면 온실가스 배출 감축의 여지도 매우 크다는 것을 의미한다.

발전 부문은 그동안 온실가스 배출 감축 정책의 핵심 대상이었다. 발전 부문의 에너지 투입은 총량적 관점에서 최종소비 부문의 전기 수요에 의해 결정되지만, 연료 구성은 정부의 발전 설비와 운영 계획에 따른다. 「2022 장기 에너지 전망」 기준 시나리오의 발전 설비는 「제9차 전력수급기본계획」의 발전 설비 계획을 반영한다.

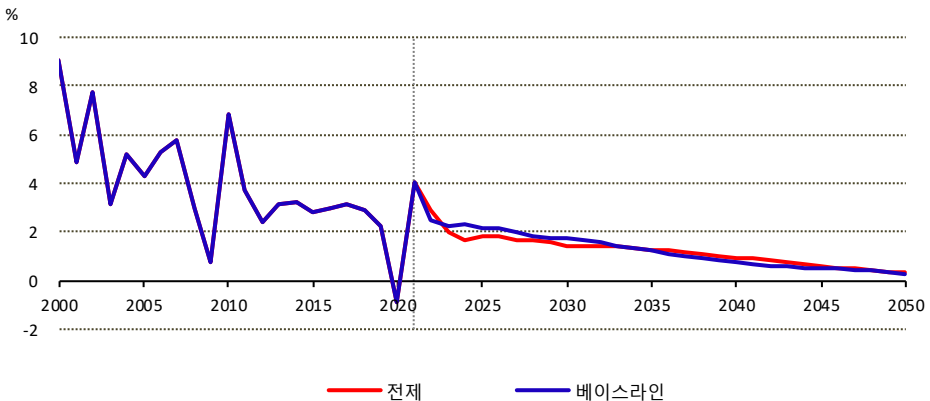
2. 베이스라인의 경제 전망

에너지 전망 결과를 살펴보면, 전제로 제공된 국내총생산이나 업종별 총산출에 부합하는 에너지 수요가 전망된 것을 알 수 있다. 생산 부문만이 아니라 소비 부문도 국내총생산을 대리 변수로 사용하는 소득과 인구 변화 그리고 소비 패턴의 추세를 반영하여 에너지 수요를 전망한다. 하지만 여러 차례 언급한 것처럼, 국내총생산 및 업종별 산출을 구성하는 다른 경제 변수들은 알 수가 없으며, 에너지 수급의 변화에 부합하는 경제변수들의 변화를 파악해야 에너지 및 온실가스 정책 변화에 따른 경제 구조의 변화와 나아가 국민 삶의 질 및 국가 발전 형태를 분석할 수 있다.

2.1. 거시 경제 변수

에너지 전망의 결과를 다시 경제 모형에 입력하여 경제 구조를 파악한 결과는 다음과 같다. 우선 거시 측면의 주요 변수들을 살펴보자. [그림 4-4]는 기초 전제와 베이스라인의 잠재 국내총생산 성장률 전망을 비교하고 있다. 베이스라인의 잠재 국내총생산 성장률은 기초 전제의 성장률과 거의 유사한 전망 결과가 나왔지만, 전망 기간 초반의 성장률은 베이스라인이 다소 높았다. 기초 전제의 2021년에서 2050년 사이 잠재 국내총생산의 연평균 성장률은 1.20%인데 반해 베이스라인의 연평균 성장률은 1.22%로 전망된다.

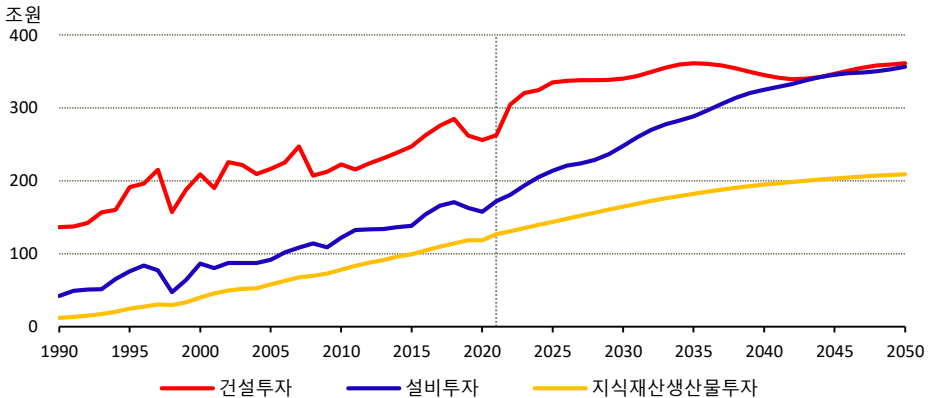
[그림 4-4] 기초 전제와 베이스라인의 잠재 국내총생산 성장률 비교



이러한 차이는 KDI의 장기 거시경제 변수 전망이 노동시간과 인구구조를 반영하고 총요소생산성의 추세를 상대적으로 높게 유지하는 가정을 했기 때문인 것으로 짐작된다. 증가율의 차이는 잠재 국내총생산의 규모 측면에서 평균 1.42%의 전망 차이를 발생시키는 것으로 계산된다.

잠재 국내총생산 외의 거시 변수에 대한 장기 전망은 전제로 제공되지 않았기 때문에 이하의 내용은 베이스라인의 거시 변수 전망 결과만을 보여주고 있다. 먼저 투자에 대한 전망을 살펴본다. 투자를 먼저 살펴보는 이유는 모형 구조나 에너지 및 온실가스 정책의 파급 경로 측면에서 투자가 핵심적인 역할을 하기 때문이다. 앞서 거시 모듈 설명에서 살펴본 것처럼 고정자본형성은 다른 거시 변수에 비해 변동성이 크다. 건설투자는 미래에도 변동이 심할 것으로 전망되는데, 이는 특히 주택 건설 주기가 영향을 미치는 것으로 분석된다.

[그림 4-5] 고정자본형성 추이

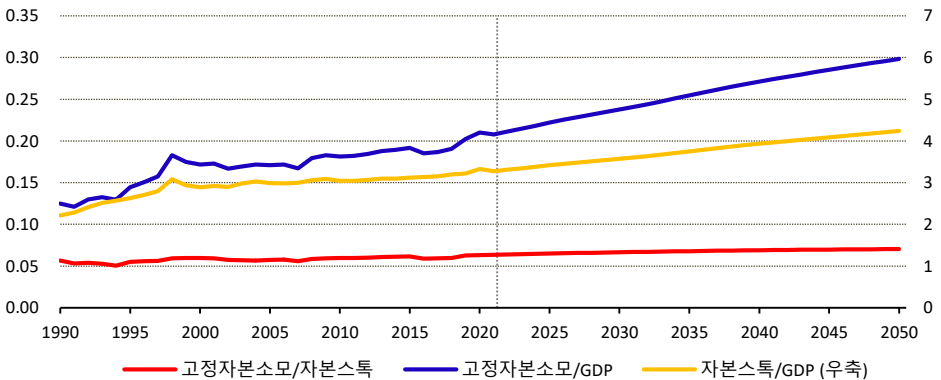


에너지 전망은 생산 부문, 즉 산업과 서비스 부문에서 에너지 효율이 지속적으로 개선되며 에너지 대체와 더불어 온실가스가 감축되는 것으로 전망하고 있다. 생산 부문의 에너지 효율 개선은 주로 설비투자과 지식재산생산물투자의 성과가 발현되고 있다는 것으로, 에너지 전망에서 보는 설비 증설 및 교체 그리고 선도기술의 에너지 효율 개선에 부합하는 설비투자와 지식재산생산물투자는 2021년에서 2050년 사이 각각 107%와 65% 증가한다. 이는 1990년부터 2021년 사이 이루어진 설비투

자의 141%이며 지식재산생산물투자의 71%에 해당한다. 투자 전망의 시사점은 에너지 전망이 선도기술의 에너지 효율 개선보다 개발된 기술의 보급이 더 온실가스 감축에 기여할 것으로 보고 있다는 것이다. 더불어, 총고정자본형성이 2021년에서 2050년 사이 연평균 1.74% 증가하여 잠재 국내총생산보다 빠르게 증가할 전망이다. 과거 1990년에서 2021년 사이 국내총생산이 연평균 4.70% 성장할 때 총고정자본형성이 연평균 3.54% 증가한 것에 비해 확연한 성장의 차이를 보여준다. 하지만 2050년 총고정자본형성이 잠재 국내총생산에서 차지하는 비중은 34%로 2000년대 초반 수준으로 회복하는 정도이다. 총고정자본형성은 1998년 외환위기 이후 40%대에서 30%대 중반으로 하락한 후 지속적으로 감소하였고 2010년대에는 30% 수준을 유지하는 상황이다.

고정자본형성 전망을 이용하여 자본스톡을 계산하면 다음과 같은 결과가 나온다. 우선 자본스톡은 영구재고법에 따라 전기 자본스톡에서 감가상각(고정자본소모)을 제하고 투자(고정자본형성)를 더하여 구한다. 2차년도 모형은 고정자본소모를 자본스톡의 함수로 전망한다. 아래 [그림 4-6]에서 보듯이, 자본스톡 대비 고정자본소모 비율은 다소 증가하는 것으로 보이지만 지난 30년과 향후 30년의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 총고정자본형성이 잠재 국내총생산보다 빠르게 증가하면서 국내총생산 대비 자본스톡이나 고정자본소모의 비율은 향후 증가할 전망이다.

[그림 4-6] 고정자본소모와 자본스톡 추이



앞서 ‘제3장’에서 살펴본 것처럼 국내총생산 대비 고정자본소모나 자본스톡의 비율은 1998년을 기점으로 추세가 크게 바뀐 바 있다. 특히 총고정자본이 국내총생산에서 차지하는 비중이 크게 감소하면서 국내총생산 대비 자본스톡의 크기 증가가 둔화되었다. 하지만 향후 자본스톡의 크기가 다시 증가로 전환될 것으로 보고 있는데, 이는 온실가스 감축을 위해 자본 형성이 빠르게 진행되기 때문이다.

총고정자본형성이 빠르게 증가하는 것은 자본의 한계생산성이 낮아지는 것을 의미한다. 자본의 한계생산성은 다음과 같이 계산하였다.

$$MPK_t = \alpha \times (CapitalStock_t / RGDP_t)$$

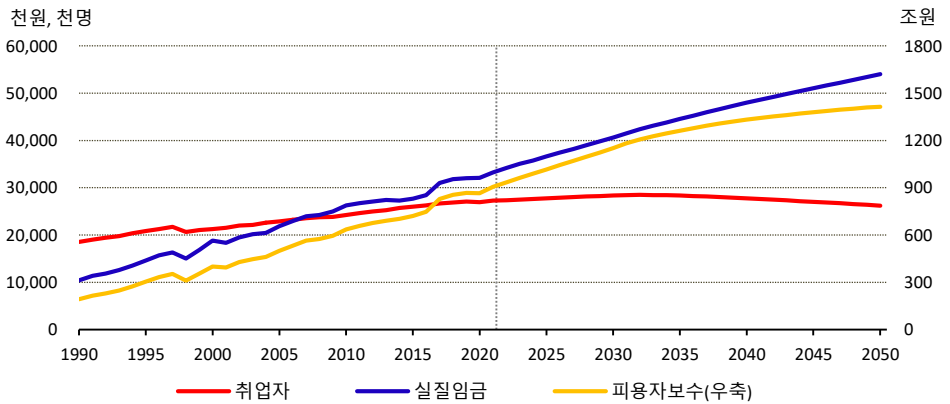
$$RWAGE_t = MPL_t = (1 - \alpha) \times (RGDP_t / PopEmploy_t)^\alpha$$

여기서 α 는 자본의 성장기여도이다. 잠재 국내총생산 함수를 콥-더글라스 함수로 가정했기 때문에 실질임금과 한계노동생산성이 일치한다는 가정 하에 노동의 성장기여도를 구하고, 이를 이용하여 자본의 성장기여도와 한계생산성을 계산하였다. ‘제3장’에서 살펴본 것처럼 한계자본생산은 1971년 이후 빠르게 감소하다 1998년 외환위기를 거치면서 일정한 수준을 유지하고 있었다. 전망기간 잠재 국내총생산 대비 총고정자본형성의 빠른 증가는 한계자본생산의 감소를 초래한다. 분석 결과, 2000년대 이후 0.15 수준을 유지하던 한계자본생산은 2050년 0.12 수준까지 하락하는 것으로 나타났다. 실질 금리를 자본스톡의 수익률로 이해한다면, 한계자본생산의 하락은 실질 금리의 하락을 의미한다. 1990년대 이후 벌어졌던 실질금리(3년 만기 회사채 실질 수익률, AA-)와 한계자본생산 패턴은 2000년대 들어 움직임이 매우 비슷해졌기 때문에 전망 기간 실질금리는 점차 하락할 것으로 예상된다.

잠재 국내총생산의 성장은 자본스톡, 고용, 총요소생산성 성장의 합이다. 투자에 이어 이제 고용의 변화를 살펴보자. 총산출이 증가하면서 노동수요는 계속 증가하지만 인구가 감소함에 따라 취업인구는 2030년대 초반 정점을 기록한 후 감소할 전망이다. 취업인구의 감소는 생산가능인구의 감소에 의한 것으로 실업률은 2030년대 이후 완전고용 실업률을 유지하는 것으로 분석되었다. 노동에 대한 초과수요로 인해 한계노동생산에 해당하는 실질임금은 지속적으로 증가한다. 향후 30여년의 실질임금 증가는 지난 30년의 증가의 91% 수준으로 거의 비슷할 것으로 예상된다. 하

지만 취업인구의 감소로 피용자보수의 증가는 2030년대 초반 이후 둔화될 전망이다. 피용자보수는 1998년 외화위기 이후 국내총생산에서 차지하는 비중이 급격히 떨어졌으나 이후 꾸준히 상승하고 있으며, 2021년 현재 국내총생산의 약 45% 수준을 차지하고 있다. 피용자보수의 비중은 2030년에 50%를 넘어서며 2050년에는 약 52% 수준이 될 것으로 전망된다. 피용자보수의 증가로 가계처분가능소득이 증가하고, 이는 다시 가계최종소비지출 증가로 이어진다.

[그림 4-7] 취업자, 실질임금, 피용자보수 추이

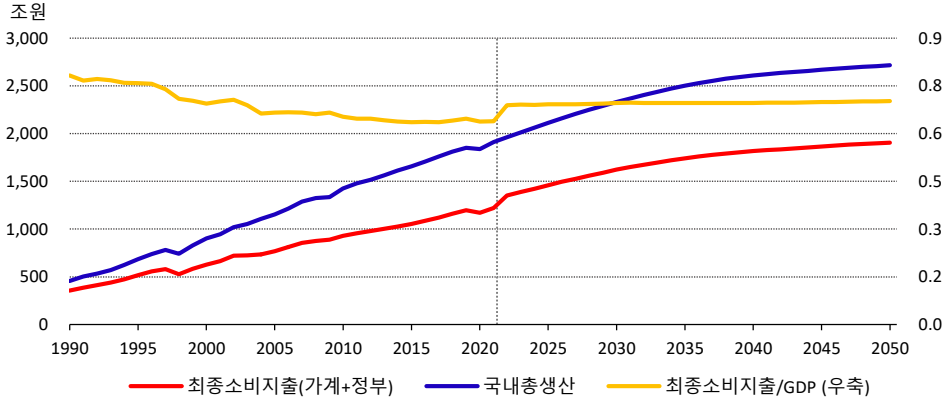


한편, 정부총지출은 정부처분가능소득에 따라 결정된다. 정부처분가능소득은 국내총생산에서 부가가치세를 뺀 생산및수입세와 경상이전 합계로 계산하기 때문에 생산 측면의 변화와 민간처분가능소득의 영향을 받는다. 정부처분가능소득은 외화위기 이후 빠르게 증가했지만 전망기간의 증가 속도는 대폭 둔화될 것으로 예상된다. 이에 따라 정부 총지출도 증가 속도가 둔화되며, 베이스라인에서는 정부최종소비지출과 정부고정자본형성의 비중을 고정된 것으로 가정하기 때문에 정부최종소비지출은 정부총지출에 비례해서 증가한다.

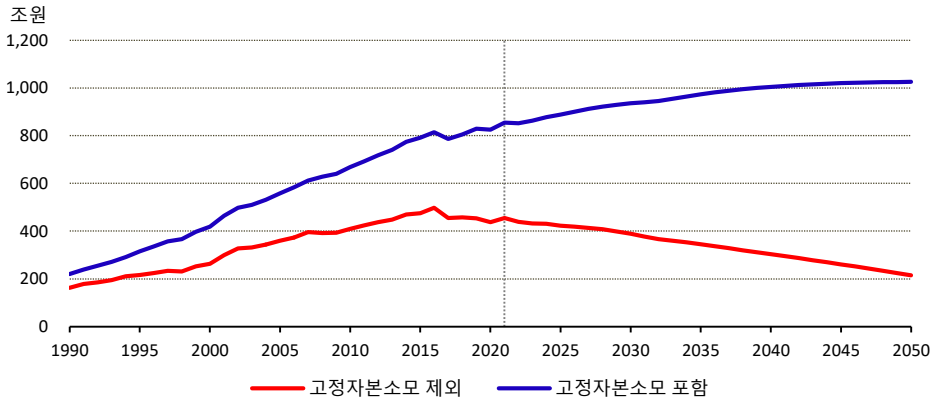
가계와 정부의 최종소비지출을 합한 최종소비지출은 잠재 국내총생산에 비례해서 증가하는 것으로 나타났다. 2000년대 초반 이후 가계 및 정부의 최종소비지출이 거의 일정 수준을 유지하고 있는데, 세부적으로 보면 이 기간 정부최종소비지출의 비중은 증가하고 가계최종소비지출의 비중은 감소하였다. 하지만 전망기간 최종소

비지출은 가계의 지출 비중이 늘어날 것으로 예상된다.

[그림 4-8] 최종소비지출 추이



[그림 4-9] 영업잉여 추이



다음으로 기업의 소득에 해당하는 영업잉여를 살펴본다. 영업잉여는 부가가치 총액에서 피용자보수, 고정자본소모, 순생산 및 수입세를 차감한 것으로 기업이 자본을 제공함으로써 받는 대가이다 (한국은행, 2020).³³⁾ 모형에서는 부가가치계에서 피

33) 고정자본소모가 고정자산의 감가상각이고, 고정자산에는 기업만이 아니라 가계와 정부 소유의 주택 등 건물이 포함되어 있다. 따라서 기업만이 아니라 경제 주체 전체가 제공하는 자본의 대가라고 할 수 있다.

용자보수와 고정자본소모를 값으로 계산한다. 모형의 결과는 2018년 정점을 기록한 영업잉여가 이전의 가파르게 상승하던 모습과 반대로 빠르게 감소하는 것으로 나타났다. 2050년 영업잉여는 1990년대 초반 수준으로 감소한다. 영업잉여의 감소는 특히 고정자본소모가 빠르게 증가하는 것이 원인이다. 즉, 고정자본소모를 포함한 총잉여는 전망 기간에도 연평균 0.63%로 꾸준히 증가한다. 고정자본소모의 증가로 영업잉여가 감소한다는 것은 경제 전체적으로 고정자본형성이 빠르게 증가한다는 것을 의미한다. 이는 앞서 온실가스 감축이 주로 설비 투자를 중심으로 한 고정자본형성의 증가를 통해 이루어진다고 분석한 것과 일관된 결과이다.

거시 경제 변수를 살펴보면 있어 이제 마지막 두 가지의 쟁점이 남아 있다. 하나는 수출입 전망 결과이고 나머지 하나는 생산성과 관련된 내용이다. 우선 수출입 전망 결과를 살펴본다. 거시 모듈에서는 순수출이 지출 측면 국내총생산과 생산 측면 국내총생산이 일치하도록 조정하는 역할을 한다. 수출이 잠재 국내총생산에 비례해서 증가하는 것으로 가정하고 있기 때문에 국내총생산의 균형은 수입이 조정하게 된다. 결국 실질 데이터 기간의 수입 추정치 오차는 다른 지출 거시 변수들에 대한 추정 오차의 합계에 해당하고, 전망 기간의 수입은 잠재 국내총생산과 다른 지출 합계의 차이에 해당한다. 따라서 순수출 또는 수입은 전망 수치 자체보다는 변화 추세에 주목할 필요가 있다.

경제 모형 분석 결과 전망 기간 순수출은 크게 감소하여 무역적자가 발생하는 것으로 나타났다. 무역적자 확대 패턴은 총고정자본형성의 패턴을 뒤집은 것과 비슷한데, 결국 온실가스 감축을 위해 투자가 증가할수록 기계류를 중심으로 한 수입이 증가하는 결과가 나타난 것이다. 쉽게 해석하자면, 소득이 늘어난 만큼 지출이 증가하고 온실가스 개선을 위해 기업 투자도 증가하는 상황에서 생산에 필요한 재화에 대한 수입이 증가하는 것이다. 모형 구조상 순수출은 다른 거시경제 변수의 전망치 변화에 민감하게 반응하는데, 실질임금 증가 속도의 둔화나 실업률의 증가는 무역적자를 줄이거나 다시 무역수지 흑자로 반전되게 만든다. 즉, 생산 측면의 국내총생산이 고정된 상황에서 에너지 효율 개선을 위한 투자 수준이 외생적으로(여기서는 에너지 모형에서) 결정되므로 최종소비지출이 무역수지의 수준을 결정하게 된다. 여기서 쟁점은 수입 증가의 논리보다는 순수출 수준에 대한 추정 적합도일 것이다. 지식재산생산물투자 외에도 다른 요인에 의해 총요소생산성의 증가율이 더 높아질

경우 잠재 국내총생산의 규모가 커지고, 이는 무역수지 적자를 무역수지 흑자로 만드는 요인이 된다. 노동에 대한 초과수요 압력이 약해서 실질임금의 증가 속도가 낮아지면 가계처분가능소득과 가계최종소비지출이 하락하게 되고, 이 역시 무역수지를 개선한다. 따라서 순수출 수준에 대한 의문이 강하다면 잠재 국내총생산과 실질임금을 중심으로 거시 변수 추정식에 대한 검토가 필요하다.

또다른 쟁점은 생산성 문제로, 특히 총요소생산성의 증가율과 관련이 있다. 경제 모형 결과는 노동생산성이 미래에도 꾸준히 증가하는 것으로 전망된다. 하지만 전망기간 총요소생산성 증가율은 1% 미만에 불과한 것으로 나타났다. 이는 취업자수로 계산한 노동생산성이기 때문에 노동생산성 더 나아가 총요소생산성의 증가는 인적자본 성장을 포함한 것임에도 매우 낮게 나온 것이다. 경제 모형의 결과는 「한국의 장기 거시경제변수 전망 (신석하, 2005)」보다 낮은 수준이며, 최근 수정된 인구추계를 고려할 때 전제의 잠재 국내총생산 성장률 전망에서 사용하는 총요소생산성 증가율과는 차이가 더 있을 것으로 짐작된다. 본 모형에서 계산한 총요소생산성이 기존 연구에서 전제로 사용한 장기 총요소생산성 전제보다 낮게 나온 이유는 전망 초기 급격한 총고정자본형성의 증가 때문인 것으로 추측된다. 잠재 국내총생산이 내생적으로 조정되기는 하지만 전제로 입력된 잠재 국내총생산의 제약을 받는 상황에서 총고정자본형성의 급격한 증가가 성장 잔차를 감소시킨 것으로 이해되기 때문이다.

다른 시각으로 보면, 취업자가 감소하는 것과 총요소생산성의 증가율이 낮다는 것은 잠재 국내총생산의 성장이 자본축적에 의해 이루어지는 부분이 크다는 것을 의미한다. 총고정자본형성의 급격한 증가가 경제의 잠재 성장률을 즉각적으로 변화시키기는 어렵다. 반면 에너지 및 온실가스 정책의 시행은 총고정자본형성의 빠른 증가를 필요로 한다. 이 과정에서 내생적인 거시 변수들의 상충이 발생하는데, 여기서는 그 중의 하나로 낮은 총요소생산성이 나타난 것으로 해석된다. 이론과 현실에 어느 결과가 더 부합할지에 대해서 추가적인 연구가 필요한 부분이며, 또 다른 한편으로 에너지 모형의 전망에 대해서도 재검토도 필요하다고 할 수 있다. 비록 모형의 주 목적이 거시 경제 변수의 장기 전망이 아니라 정책 도입으로 인한 차이를 비교하는데 있지만, 베이스라인 설정이 잘못된 경우 정책 효과에 대한 분석 결과 신뢰성도 하락할 수밖에 없다.

2.2. 산업 생산 변수

이번 절에는 거시 경제 변수에 이어 베이스라인의 산업 생산 변수 전망 결과를 살펴본다. 우선 산업 모듈의 연산 흐름에 따라 상품별 최종수요 전망을 먼저 검토한다. 산업 모듈은 거시 모듈의 가계최종소비지출, 정부최종소비지출, 총고정자본형성, 수출입 등 지출 항목을 기준년도 산업연관표와 에너지 전망 결과를 이용하여 상품별로 분배한다. 상품별 최종수요 결과는 다음 <표 4-1>에 정리되어 있다.³⁴

최종수요가 전망기간 연평균 1.20% 증가하는 가운데 서비스에 대한 지출이 연평균 1.70% 증가하면서 향후 서비스 상품의 수요가 늘어날 전망이다. 서비스 상품 중에서는 정보통신에 대한 지출이 가장 빠르게 증가한다. 또한 도소매와 보건복지에 대한 수요도 빠르게 증가할 전망이다. 도소매의 경우 유통의 매개 역할을 하는 산업이기 때문에 (한국은행, 2020) 최종소비지출의 증가에 따른 모든 상품에 대한 판매활동 증가를 의미한다. 정보통신과 보건복지에 대한 수요는 인구 구성 변화와 미래 사회에 대한 전제가 반영된 것이라고 할 수 있다.

한편, 제조업 상품에 대한 수요는 전망기간 연평균 0.43% 감소할 것으로 예상된다. 제조업 상품의 수요 감소는 기계류 및 운송장비를 제외하면 대부분의 상품에서 수요가 감소한다. 이 중에서 석탄및석유제품의 감소는 석유제품에 대한 최종소비지출이 감소하는 것으로 에너지 모형의 전망 결과가 반영되었다. 석탄및석유제품의 최종수요가 음의 값을 갖는다는 것은 석유제품의 수요에 비해 국내 생산이 부족해서 수입이 증가한다는 의미이다. 기계류 및 운송장비의 증가는 설비투자가 증가하기 때문이다. 2015년 산업연관표 기준 민간고정자본형성에서 기계류와 운송장비가 각각 21%와 6%를 차지하는 것을 고려하면, 설비투자의 증가는 자연스럽게 기계류와 운송장비에 대한 수요 증가로 이어진다. 제조업 상품의 수요 감소에 대해서 다소 오해의 소지가 있을 수 있어 추가적인 설명이 필요하다. 제조업 상품의 최종수요 감소는 제조업의 생산 감소를 의미하는 것이 아니다. 제조업 상품은 절반 이상이 중간재로 소비되고, 기계류와 운송장비를 제외한 제조업 상품의 실제 최종수요는 재고증감이나 수출에 해당한다. 따라서 최종수요는 감소하더라도 수출은 증가한다.

34) 여기서 최종수요는 산업연관표의 최종수요와는 달리 총수요에서 수입을 제한 총산출을 의미한다.

〈표 4-1〉 상품별 최종수요 전망 (단위: 조원)

	2015	2021	2050	2021~2050
최종수요계	1652.7	1918.5	2714.0	(1.20)
농림수산물	6.2	5.6	6.7	(0.59)
광산품	-110.8	-114.1	-87.4	(0.92)
제조업	498.4	598.1	528.3	(-0.43)
석탄및석유제품	20.2	18.4	-21.1	(-200.48)
화학제품	27.3	32.8	21.2	(-1.49)
1차금속	-5.0	-4.1	-26.1	(-6.57)
비금속광물	-4.0	-4.6	-9.8	(-2.69)
기계류	237.2	277.1	324.7	(0.55)
운송장비	160.3	191.0	224.4	(0.56)
기타제조	62.2	87.6	15.0	(-5.90)
건설	198.0	211.0	289.9	(1.10)
전기가스및증기	16.7	18.9	18.0	(-0.16)
서비스	951.2	1096.4	1788.0	(1.70)
도소매	105.6	114.5	200.5	(1.95)
정보통신	59.9	78.1	160.6	(2.51)
공공행정	119.9	166.4	215.5	(0.90)
교육서비스	114.4	136.0	231.3	(1.85)
보건복지	112.6	155.5	266.2	(1.87)
기타서비스	438.9	446.0	714.0	(1.64)
순생산물세	93.0	102.6	170.6	(1.77)

주: 괄호는 2021~2050년의 연평균 증가율

광산품의 최종수요는 0.92% 증가하는데, 이는 원유 및 석탄의 수입 감소에 따른 결과이다. 전기가스및증기도 가스 수요의 둔화로 연평균 0.16% 감소한다. 반면, 건설에 대한 수요는 연평균 1.10%로 꾸준히 증가할 전망이다. 이는 설비투자과 마찬가지로 건설투자가 증가하기 때문이다.

다음은 기초 전제로 입력된 업종별 총산출 전망과 본 모형의 총산출 전망을 비교해 본다. <표 4-2>는 업종별 총산출에 대한 2021년 실적과 2050년 전망을 보여주고 있다.

<표 4-2> 업종별 총산출 전망 비교 (단위: 조원)

	2021	2050	
		기초전제	베이스라인
총산출계	4226.9	6369.4 (1.42)	6413.7 (1.45)
농림수산물	65.6	63.8 (-0.09)	63.2 (-0.13)
광산품	3.4	3.2 (-0.23)	3.3 (-0.14)
제조업	1850.3	2505.0 (1.05)	2480.5 (1.02)
석탄및석유제품	106.3	88.4 (-0.64)	61.2 (-1.89)
화학제품	277.5	538.0 (2.31)	530.1 (2.26)
1차금속	104.1	100.4 (-0.12)	102.1 (-0.07)
비금속광물	43.0	58.4 (1.06)	57.5 (1.01)
기계류	749.8	1029.6 (1.10)	1044.3 (1.15)
운송장비	251.7	277.0 (0.33)	281.7 (0.39)
기타제조	317.9	413.2 (0.91)	403.6 (0.83)
건설	242.7	266.4 (0.32)	274.2 (0.42)
전기가스및증기	119.5	130.3 (0.30)	140.6 (0.56)
서비스	1945.0	3400.4 (1.95)	3451.8 (2.00)
도소매	263.4	379.4 (1.27)	393.7 (1.39)
정보통신	166.1	308.3 (2.15)	321.7 (2.31)
공공행정	164.3	195.6 (0.60)	197.2 (0.63)
교육서비스	135.2	130.3 (-0.13)	132.1 (-0.08)
보건복지	171.6	636.3 (4.62)	643.5 (4.66)
기타서비스	1044.3	1750.6 (1.80)	1763.5 (1.82)

주: 괄호는 2021~2050년의 연평균 증가율

우선 총산출계를 살펴보면, 기초전제는 총산출이 연평균 1.42% 증가하는 것으로 전망하고 있다. 본 모형에서 잠재 국내총생산의 증가는 총산출의 증가로 이어져 총산출도 연평균 증가율이 1.45%로 기초전제에 비해 미세하게 증가한다. 총산출계는 기초 전제와 그다지 차이가 없지만 에너지 전망 반영으로 업종별 중간투입이 바뀌면서 업종별 총산출은 몇 가지 눈에 띄는 변화가 발생했다.

광산품의 경우 총산출은 감소폭이 줄어드는 것으로 나타났다. 앞서 최종수요에서 광산품은 수입이 감소하는 것으로 전망되었는데, 이는 석탄및석유제품, 1차금속, 전기가스및증기 등의 중간수요가 감소하는 것으로 광산품의 총산출에 영향을 미치는 요인은 아니다. 비록 연평균 증가율 측면에서 베이스라인의 전망이 다소 증가했지만 이는 총산출의 크기가 작아서 생기는 민감성 문제이지 총산출의 규모면에서는 기초전제와 베이스라인의 차이가 없는 것으로 판단된다.

제조업은 최종수요의 패턴과 비슷하게 기계류와 운송장비의 총산출이 증가하고 나머지 업종의 총산출은 감소하는 방향으로 변경되었다. 가장 두드러지게 차이가 발생한 업종은 역시 석탄및석유제품이다. 석탄및석유제품의 총산출은 2050년 기준 88.4조원에서 61.2조원으로 31% 가량이 더 감소하는 것으로 전망되었다. 앞서 설명한 것처럼 석유제품 수요 감소가 원인이며, 석유제품 수요 감소는 국내 수요뿐만 아니라 수출의 감소도 포함하고 있다. 기계류 및 운송장비는 설비투자 증가로 인해 총산출이 증가하며, 마찬가지로 건설의 총산출은 건설투자 증가에 반응하여 증가한다. 전기가스및증기의 총산출은 경제 전반의 전기 수요 증가가 원인이다. 제조업 중에서 변화 방향이 예상과 다르다고 평가되는 업종은 1차금속이다. 1차금속은 기초전제에서 전망기간 총산출이 연평균 0.12% 감소할 것으로 예상했는데, 본 모형에서는 연평균 0.07% 감소로 감소폭이 줄어들었다. 이는 기계류 및 운송장비의 산출 증가로 인해 1차금속에 대한 중간수요가 증가하기 때문에 발생한다.

에너지 지출이 감소하면서 생긴 여분의 소득이 주로 서비스에 지출되기 때문에 서비스의 총산출은 전반적으로 증가하는 방향으로 변했다. 소비지출의 증가는 도소매와 정보통신으로 집중되는 것으로 나타났다. 교육서비스도 총산출 감소 속도가 둔화되는 결과를 보였다. 하지만 공공행정과 기타서비스는 다른 서비스와는 달리 총산출이 더 감소하는 결과를 얻을 수 있었다.

3. 베이스라인에서의 국민 삶의 질과 국가발전 지표

<표 4-3>은 베이스라인을 이용하여 구한 국민 삶의 질과 국가발전 지표의 계산 결과를 보여준다. 우선, 지표 해석에서 주의할 점은 많은 지표들이 e-나라지표의 국가지표체계에서 제공하는 지표 수치와 일치하지 않는다는 점이다. 국가지표체계의 지표는 통계청을 비롯하여 다양한 기관에서 엄밀한 정의에 따라 지표를 작성한다. 반면 본 모형에서 도출하는 지표는 많은 변수들이 함께 변수로 되어 있으며 유사한 변수를 대리 변수로 사용하기 때문에 수치가 정확히 일치할 수 없다. 이런 점에서 모형에서 도출하는 지표는 지표의 수준 자체가 아니라 시간의 흐름에 따른 지표의 변화에 주목해야 한다. 두 번째, 지표 결과는 경제 및 사회 전반에 대한 정책 변화가 아니라 에너지와 온실가스 정책으로 인한 변화만을 반영한다. 인구 변화, 경제 성장, 산업 산출의 변화가 전제에 고려되어 있지만 이는 지표 전망을 위한 것은 아니다. 따라서, 지표 변화는 정부 정책 중에서 일부 정책의 변화가 초래하는 부분 균형의 결과에 해당한다. 마지막으로, 지표를 도출하는 목적이 시나리오 간 변화를 보는데 우선하고 있다. 즉, 정책 도입으로 인한 지표의 변화를 비교하는 것이 주요 목적이다. 따라서 <표 4-3>의 결과는 그 자체도 의미가 있지만 그보다 3차년도 과제에서 수행할 정책 목표 시나리오의 결과와 비교하는 것이 중요하다.

국민 삶의 질 지표는 대부분 만족도 조사 중심의 정성 지표로 구성되어 있다. 경제 및 에너지, 온실가스와 관련된 정량 지표를 추려보면 모두 국가 발전 지표와 중복되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 <표 4-3>은 국가 발전 지표의 구성 체계에 따라 분류하였다. 여기서는 지표를 정확히 이해하기 위해 국가지표체계에서 정의하는 지표와 본 연구에서 계산하는 방식의 차이점에 대해서 설명한다.³⁵ 우선 경제성장률부터 정부지출비율까지는 성장과 안정 지표이다. 노동생산성 지표는 산출량지수를 노동투입량지수로 나눈 값이며 2015년 100을 기준으로 삼고 있다. 원지수는 산업생산지수를 산출량지수로 사용하고 노동투입량지수는 근로자수에 근로시간을 곱한 지수를 사용한다. 여기서는 산출액과 취업자수를 사용하여 계산한다.

35) 원 지표에 대한 정의는 국가지표체계(<https://www.index.go.kr/unify/idx-list.do?clasCd=7&pagenum=1&orderType=top>)를 참조하였다.

〈표 4-3〉 국민 삶의 질 및 국가 발전 지표

	단위	2021	2050	비고
경제성장률	%	3.6	1.2	00~21, 22~50년 평균
국내총생산	조원	1,911	2,715	
노동생산성지수		108.7	174.6	2015=100
총고정투자율	%	30.0	34.0	
고정자산비율(GDP 대비)	%	3.3	4.2	
연구개발투자비율(GDP 대비)	%	6.7	7.7	지식재산생산물
수출입비율(GDP 대비)	%	82.6	93.1	무역수지
경상수지비율(GDP 대비)	%	6.2	-4.6	무역수지
정부지출비율(GDP 대비)	%	22.27	20.85	총지출
고용률	%	59.8	60.6	
경제활동참가율	%	62.1	61.9	
실업률	%	3.7	2.0	00~21, 22~50년 평균
월평균 임금	천원	2,815	4,501	
노동소득분배율	%	68.0	86.9	
가구처분가능소득	백만원	49.1	65.9	
민간소비지출비율	%	57.3	74.8	
소비자물가상승률	%	2.34	0.37	00~21, 22~50년 평균
1인당 국민총소득	천원	36,926	57,324	1인당 국내총생산
1인당 개인처분가능소득	백만원	19.5	30.6	
부양인구비	%	39.7	95.8	
인구성장률	%	0.5	-0.3	00~21, 22~50년 평균
총인구	백만	51.7	47.4	
가구원수	백만	20.6	22.0	
인구 1000명당 주택수	호	336	408	빈집 제외
1인당 주거면적	m ²	25.5	29.6	
온실가스배출량	백만톤	569.2	429.2	에너지연소 배출
1차에너지공급량(GDP 대비)	toe/백만원	0.153	0.107	
석탄화력발전비율	%	34.6	7.9	발전사업자 기준
1인당 전력소비량	MWh	11.0	14.2	
신재생에너지발전비율	%	8.2	34.6	발전사업자 기준
신재생에너지공급량	백만toe	14.4	53.6	

자료: 저자 작성

고정자산비율은 명목 순자산스톡으로 계산하지만, 여기서는 실질 자산스톡으로 계산한다. 연구개발투자비율의 경우 모형에서 도출하는 지식재산생산물투자를 이용하여 계산한다. 따라서 예술품 원본, 소프트웨어 및 데이터베이스 등을 포함하고 있다. 수출입비율이나 경상수지비율은 요소소득, 본원소득수지, 이전수지 등을 포함하고 있는데, 본 연구의 지표는 무역수지만을 이용한 지표이다.

고용률부터 노동소득분배율까지는 고용과 노동 지표이다. 고용률과 경제활동참가율은 15~64세 인구를 기준으로 작성된다. 하지만 인구고령화와 함께 노인 취업인구가 증가하고 있고 미래에는 그 비중이 지표에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상되어 여기서는 15세 이상 인구 기준으로 지표를 계산하였다. 월평균임금은 임금근로자의 정액급여, 초과급여, 특별급여를 합한 것으로 고용노동부의 조사 통계로 작성되는 지표이다. 여기서는 실질임금을 12개월로 나눈 값을 사용한다. 노동소득분배율은 피용자보수를 피용자보수와 영업잉여를 합한 값으로 나눈 지수이다. 여기서는 부가가치계에서 고정자본소모를 빼 값을 모수로 사용하고 있다.

가구처분가능소득부터 1인당 개인처분가능소득까지는 소득·소비·자산 지표이다. 가구처분가능소득은 전국 2인 이상 가구를 대상으로 조사한 처분가능소득 통계이다. 본 연구에서는 가계처분가능소득을 전체 가구로 나눈 값을 사용한다. 1인당 국민총소득은 국민총소득을 인구로 나눈 값이다. 국민총소득은 국내총생산에 국외순수취요소소득을 더하여 구하는데, 본 모형에서는 국외순수취요소소득을 고려하지 않기 때문에 1인당 국민총소득 대신 1인당 국내총생산을 계산한다.

부양인구비부터 가구원수는 인구 및 가족 지표이다. 인구는 통계청에서 작성하는 인구 추계를 외생 전제로 사용하기 때문에 모형에서의 변화는 없다.

1000명당 주택수와 1인당 주거면적은 주거와 교통 지표이다. 주택수는 에너지 모형에서 전망한 주택수를 사용한다. 국가지표체계에서는 2005년부터 세대구분 등기가 불가능한 다가구주택을 구분거처를 1호로 산정하여 주택 호수를 계산하고 있다. 에너지 모형에서는 주택 수급이 아니라 건물 내 에너지 소비 전망이 목적이기에 때문에 기존 방식대로 다가구주택 건물 전체를 1호로 계산한다. 1인당 주거면적은 개별 가구의 주택사용면적을 가구원수로 나눈 값의 평균으로 정의한다. 여기서는 주택연면적을 인구로 나눈 값을 사용하고 있다.

온실가스 배출량부터 신재생에너지공급량까지는 기후변화와 에너지 지표이다.

기후변화와 에너지 지표는 에너지 모형의 결과를 이용한다. 국가지표체계의 온실가스 배출량은 산업공정, 농업, 폐기물의 온실가스 배출을 모두 합한 국가 온실가스 배출 총량을 보여주고 있다. 하지만 본 연구에서는 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출량만 계산한다. 1인당 전력소비량은 한전의 계약종별 판매량을 기준으로 지표를 작성한다. 신재생에너지 발전의 증가로 인해 자가발전이 급격히 늘면서 한전 판매만으로는 전기 소비 추세를 제대로 반영하기 어렵기 때문에, 본 모형에서는 자가 발전을 포함한 전체 전기 소비를 기준으로 1인당 전력소비량을 계산한다. 신재생에너지발전량은 총발전량 대비 신재생에너지 발전량으로 정의하는데, 국가지표체계의 총발전량은 한국전력통계의 총발전량을 사용한다. 여기서는 개정 에너지밸런스 통계에서 산정한 총발전량을 기준으로 지표를 계산한다. 국가지표체계의 신재생에너지공급량은 한국에너지공단의 신재생에너지보급통계를 사용한다. 이는 석탄액화가스화에너지, 중질잔사유가스화에너지 등 화석연료를 기반으로 한 신에너지를 포함하고 있다. 본 모형에서는 화석연료를 대체하는 신재생에너지 공급량을 정확히 파악하기 위해 재생에너지와 수입 또는 비화석기반 신에너지만을 공급량으로 계산한다.

제5장

결론 및 시사점

1. 연구의 주요 성과

본 연구는 2021년 수행한 「에너지 정책이 국민 삶의 질에 미치는 영향과 대응전략 연구(1/3)」에 이은 2차년도 과제로, 1차년도 연구에서는 경제 모형의 기본적인 구조를 구축하고 장기 에너지 모형인 KEEI-EGMS와 직접 연계하여 모형의 구동을 시험하였다. 본 연구에서는 1차년도 연구에서 명확하지 못했던 연구 목적을 다시 정리하고, 경제 모형의 이론적, 연산적 측면을 보강하였다. 또한 산업 부문을 보다 세분화하여 국민 삶의 질 및 국가발전 지표 생성과 모형의 활용도를 확대하였다.

본 연구는 3년에 걸쳐 경제 모형을 구축하고 에너지 모형과 경제 모형을 이용하여 에너지 및 온실가스 정책 목표가 주요 경제 변수에 미치는 영향을 분석하고 정책 시사점 및 대안을 제시하는 것이 목적이다. 본 연구에서 구축하는 경제 모형은 구조적으로 거시 모듈과 산업 모듈로 구성되어 있으며 주요 변수들이 에너지 모형과 직접 연결되어 있다. 경제 모형의 전체 구조는 하향식 동태 산업·거시 모형과 유사한 형태라고 할 수 있다.

거시 모듈은 소득 블록, 지출 블록, 생산 블록, 물가 블록으로 구성되어 있다. 1차

년도에 비해 물가 블록이 추가되었다. 또한 기존 행태방정식을 구성하였던 변수들을 이론적, 실증적으로 점검을 거친 후 필요한 부분은 개선을 시도하였다. 예를 들어, 자산의 개념을 유형고정자본형성에서 총고정자본형성으로 명확히 하고 영구재고법을 이용하여 자본스톡을 전망한다. 이에 따라 고정자본소모를 총설비가 아니라 자본스톡의 함수로 변경하였다. 투자함수에 영향을 미치는 소득도 투자항목에 따라 국민총처분가능소득이나 기업처분가능소득의 함수로 적절히 변경하였다. 결과적으로 거시 모듈에서 도출되는 결과들이 기존 연구들의 결과와 유사한 패턴을 갖는 것으로 나타났다.

산업 모듈은 업종(상품) 세분화와 연산 효율화가 개선되었다. 산업 모듈의 업종은 1차년도 경우 농림수산물, 광산물, 제조업, 건설, 전기가스증기, 서비스로 분류하고 있으나, 2차년도에서는 제조업과 서비스 상품이 각각 7개와 6개로 세분화되었다. 업종(상품) 세분화는 에너지 소비 비중, 에너지 및 온실가스 정책 관심도, 미래 사회에서의 중요도 등을 고려하였다. 이에 따라, 제조업은 석탄및석유제품, 화학, 1차철강, 비금속, 기계류, 운송장비, 기타제조 등으로 세분화하였고, 서비스는 도소매, 정보통신, 교육서비스, 공공행정, 보건복지, 기타서비스 등으로 세분화하였다.

산업 모듈은 연산 흐름에 따라 최종수요 블록과 투입/산출 블록으로 구성하였다. 최종수요 블록에서는 산업연관표, 경제 모형 결과, 에너지 전망 결과 등을 이용하여 상품별 최종수요를 전망하고, 투입/산출 블록에서는 산업연관표, 산업 전제, 에너지 전망 결과를 이용하여 총산출, 부가가치, 중간투입을 다시 계산한다. 산업 모듈의 결과는 거시 모듈로 재입력되어 거시경제의 균형을 찾는 데 다시 사용된다.

본 연구는 거시 모듈의 계수 추정치의 통계적 유의성, 주요 내생변수의 추정 적합도 그리고 전망 결과의 이론적 정합성을 두루 고려하여 경제 모형을 평가하였다. RMSPE(Root Mean Squared Percentage Error)를 기준으로 거시 변수들의 추정 적합도를 평가한 결과 대부분의 변수가 평균 오차율 5% 이내의 우수한 추정 적합도를 보였다. 산업 모듈 내생변수에 대해서도 RMSPE를 계산했는데, 산업 모듈의 추정치는 행태 방정식의 추정이 아니라 투입산출계수와 전제를 이용해서 거시 변수 추정치에 부합하는 산업 변수들에 대한 탐색의 결과라는 점에서 차이가 있다. 산업 모듈의 결과는 RMSPE가 전반적으로 매우 작게 나왔으며, 전반적으로 중간투입보다 총산출의 RMSPE가 작게 나왔다.

또 다른 모형 평가 기준은 주요 변수들에 대한 전망이 경제 이론에 부합하는가이다. 이는 경제 모형의 결과인 베이스라인을 이용하여 주요 경제 지표를 산출하고, 지표들의 변화가 경제학에서 일반적으로 동의하는 정형화된 사실에서 벗어나지 않는지를 정성적으로 검토하는 방식이다.

베이스라인의 잠재 국내총생산 성장률은 기초 전제의 성장률과 거의 유사한 결과가 나왔다. 에너지 전망에서 보는 설비 증설 및 교체 그리고 선도기술의 에너지 효율 개선에 부합하는 설비투자와 지식재산생산물투자는 2021년에서 2050년 사이 각각 107%와 65% 증가하는 것으로 나타났다. 총고정자본형성이 잠재 국내총생산보다 빠르게 증가할 전망이지만 2050년 총고정자본형성이 잠재 국내총생산에서 차지하는 비중은 34%로 2000년대 초반 수준과 비슷하다.

자본스톡 대비 고정자본소모 비율은 다소 증가하지만 과거와 거의 비슷한 수준을 유지한다. 한계자본생산은 1971년 이후 빠르게 감소하다 1998년 외환위기를 거치면서 일정한 수준을 유지하고 있는데, 잠재 국내총생산 대비 총고정자본형성의 빠른 증가로 한계자본생산이 다시 감소할 전망이다. 기업 영업잉여는 2018년 이전 가파르게 상승하던 모습과 반대로 빠르게 감소하는 것으로 나타났다. 영업잉여의 감소는 특히 고정자본소모가 빠르게 증가하는 것이 원인이다. 한계노동생산에 해당하는 실질임금은 지속적으로 증가하지만, 취업인구의 감소로 피용자보수의 증가는 2030년대 초반 이후 둔화될 전망이다. 가계와 정부의 최종소비지출 합계는 잠재 국내총생산에 비례해서 증가하는 것으로 나타났다.

경제 모형 결과 중에서 향후 검토가 필요한 부분은 순수출과 총요소생산성 부분으로 평가하고 있다. 분석 결과, 전망 기간 순수출은 크게 감소하여 무역적자가 발생하는 것으로 나타났다. 무역적자 확대는 온실가스 감축을 위해 투자가 증가할수록 기계류를 중심으로 한 수입이 증가하는 결과가 나타난 것이다. 또한, 총요소생산성 증가율은 1% 미만인 것으로 나타났다. 모형의 결과는 기존 연구들보다 낮은 수준인데, 전망 초기 급격한 총고정자본형성의 증가 때문인 것으로 추측된다.

산업 모듈의 결과, 총산출계는 기초 전제와 그다지 차이가 없지만 에너지 전망이 반영되면서 업종별 총산출은 변화가 발생했다. 제조업은 기계류와 운송장비의 총산출이 증가하고 나머지 업종의 총산출은 감소하는 방향으로 변경되었다. 석탄및 석유제품의 총산출은 2050년 기초 전제에 비해 31% 가량이 더 감소하는 것으로 전

망되었다. 기계류 및 운송장비는 설비투자 증가로 인해 총산출이 증가하며, 마찬가지로 건설의 총산출은 건설투자 증가에 반응하여 증가한다. 1차금속은 기계류 및 운송장비 산출 증가로 중간수요가 증가하면서 기초전제에 비해 총산출 감소폭이 줄어든다. 서비스의 총산출은 전반적으로 증가하는데, 특히 도소매와 정보통신으로 집중된다. 하지만 공공행정과 기타서비스는 다른 서비스와는 달리 총산출이 더 감소하는 결과가 나타났다.

일부 추정식의 경우 개선의 필요성이 있지만, 경제 모형의 목적이 거시 및 산업 변수들에 대한 전망 자체가 아니라 정책 효과로 인한 변화를 비교하는 것에 있기 때문에 시급한 개선 사항으로 취급하지 않았다. 본 연구는 베이스라인에서의 국민 삶의 질 및 국가발전 지표들을 도출함으로써 에너지 및 온실가스 정책에서 비롯한 경제 변화의 영향을 정량적으로 파악하는 사례를 제시하는 선에서 모형의 연구 활용 방안을 보여주고 있다.

한편, 베이스라인 전망 결과와 베이스라인 및 기초 전제의 비교를 통해 3차년도 정책 목표 분석에서 다룰 예정인 정책 효과 일부분을 미리 짐작해볼 수 있다. 온실가스 감축 목표 달성은 모든 방면의 수단을 동원해야 하는 일이지만, 특히 에너지 사용 기기의 효율 강화와 저배출 또는 무배출 에너지원로의 대체라는 두 가지 수단으로 묶을 수 있다. 효율 개선을 위한 지식재산생산물 투자를 비롯하여, 두 수단의 기저에는 설비 및 건설 투자 확대라는 경제 변수의 움직임이 필요하다. 관련 변수들의 변화는 기계류, 서비스, 전기가스수도 및 건설 업종의 중간 수요와 총산출에 영향을 미치고, 탄소중립 시나리오에서 해당 업종들의 산출 비중이나 부가가치 비중을 변화시킬 것이다. 수소경제의 도래는 국내 생산의 비중만큼 화학업종의 성장을 의미한다. 탄소중립이라는 목표가 극적인 변화를 담고 있기 때문에 탄소중립 시나리오에서 업종별 변화도 베이스라인과는 크게 달라질 것으로 예상된다.

2. 결론 및 시사점

본 연구의 목적은 앞서 설명한 것처럼 정책 수단과 목표에 부합하는 분석 모형을 구축하고 실제 정책 목표에 적용함으로써 에너지 및 온실가스 정책 효과를 분석하고 정책 설계에 기여하는 것이다. 앞서 밝혔듯이 본 연구의 경제 모형은 스스로 국

내총생산을 비롯하여 관련된 거시경제 변수 그리고 산업 구조를 전망하는 모형이 아니다. KDI와 KIET를 비롯한 전문 연구기관의 연구 성과를 바탕으로 에너지에 대한 분석을 추가하여 경제 전망과 에너지 전망의 정합성을 확보하는 것이다. 본 모형을 통해 도출하는 정량 지표의 변화는 국민 삶과 국가 발전이라는 정성 지표의 변화를 가늠할 수 있는 일차 정보를 제공한다. 하지만, 본 모형을 실제 정책 목표에 적용함으로써 정책 수립에 기여하는 목적은 3개년 연구의 마지막 연구를 위한 목적으로 남겨두었다. 여기서는 정책효과 분석에 모형을 활용할 시 주의할 점을 중심으로 연구의 시사점을 제시하고자 한다.

거시 및 산업 변수들의 변화 그리고 주요 지표들의 결과는 본 연구를 통해 기대할 수 있는 모형의 활용 방안을 보여주고 있다. 하지만 모형의 특징과 한계를 인식하지 않고 사용하면 잘못된 해석을 할 수 있다. 우선, 경제 모형과 에너지 모형을 연계한다는 것은 경제 파급 효과 분석에서 강조하는 간접 효과를 모형에 내부화한다는 것을 의미한다. 간접 효과란 정책으로 인한 경제 변수들의 변화가 다시 에너지 수요 및 온실가스 배출에 미치는 추가적인 변화를 말한다. 간접 효과는 정책 시나리오에서만 나타나는 것이 아니며, 간접 효과를 고려한 베이스라인의 설정이 정책 효과를 보다 엄밀하게 추정하는데 기여할 수 있다.

두 번째, 경제 모형의 목적은 에너지 및 온실가스 정책 변화에 따른 시나리오 분석이며, 하나의 시나리오 결과보다 시나리오 사이의 차이를 보는 것이 중요하다. 이는 모형의 자체 논리 구조와 이론적 정합성에 대한 중요성을 경시하는 것이 아니라 결과의 사용 방법을 강조하는 것이다. 즉, 베이스라인 대비 정책 시나리오에 의한 변화를 비교함으로써 정책 도입으로 인한 변화에 보다 집중할 필요가 있다.

세 번째, 정책 변화로 인한 경제 파급 효과와 주요 지표들의 변화는 에너지 및 온실가스 정책으로 인한 순수 효과이다. 즉, 이 외의 정책들은 고정되어 있거나 경제 변수의 변화에 대응하여 기존 영향을 유지하도록 변한다고 가정한다. 모형의 결과는 우리가 기대하는 최종적인 결과가 아니라 에너지 및 온실가스 정책이 초래하게 될 순수 변화이므로, 해당 정책을 어떻게 설계할 지 그리고 다른 정책들을 이용하여 예상되는 변화에 어떻게 대응할 지에 대한 정보를 제공하는 것이다.

네 번째, 모형에서 채택한 몇 가지 가정들은 모형의 안정성과 분석의 간결성을 위한 것으로 보일 수 있지만, 분석 결과의 의미를 제약하는 중요한 요인이 되기도 한

다. 예를 들어, 앞서 언급한 것처럼 에너지 및 온실가스 정책 외에 경제에 영향을 미치는 다른 요인들이 고정되어 있거나 현재의 균형 상태에서 관계를 유지하는 것으로 가정하고 있다. 현실 세계는 당연히 그렇지 않다. 최근의 사례만 보더라도 국제 에너지 가격의 급등과 고가격 유지로 인해 탄력세율 범위를 확대하고 에너지세를 낮춤으로써 국내 경제에 미치는 영향을 완화하고자 대응하였다. 코로나19에 대응한 유동성 확대와 러시아-우크라이나 전쟁으로 인한 국제 에너지 가격의 급등으로 세계 주요 국가들의 물가가 크게 올랐고, 이에 대응하여 각국 통화당국은 물가안정을 위해 금리를 크게 올리고 있다. 이는 금리, 환율, 물가 그리고 실물 경제의 충격으로 국내 경제에 영향을 미치고 있다. 하지만 모든 사안들을 하나의 모형 안에서 유기적으로 분석하고 해석하는 것은 불가능에 가깝다. 따라서 중요한 점은 어떤 조건을 가정한 상태에서 결과를 도출했는지 항상 염두에 두어야 한다는 것이다.

에너지 및 온실가스 정책이 효과적이기 위해서는 정책 당국이 정책 수단 또는 목표에서 의도한 바가 시장을 통해서 구현되어야 한다. 미시경제적 측면에서 정책에 포함된 기술개발, 보급을 비롯하여 다수의 규제와 조정이 비용과 효용을 제대로 반영해야 시장이라는 기능이 작동할 수 있을 것이다. 거시경제 측면에서는 경기변동으로 인한 손실을 줄이고 생산성을 높이도록 정책을 설계해야 한다. 이를 위해서는 정책을 설계할 때 정책 내용이나 목표만이 아니라 정책으로 인한 여러가지 변화를 두루 살펴야 한다. 이것이 본 연구가 기여하고자 하는 부분이다.

참고 문헌

〈국내 문헌〉

- 김수일, 2019. E3ME를 이용한 제3차 에너지기본계획 주요 정책의 사회경제적 파급효과 분석, 에너지경제연구원.
- 김수일, 2020. 에너지 정책 효과 분석을 위한 에너지 용도별 선도 기술의 에너지 효율 추정, 에너지경제연구원.
- 김수일, 2021. 에너지 정책이 국민 삶의 질에 미치는 영향과 대응전략 연구(1/3), 에너지경제연구원.
- 대한민국정부, 2020. 2050 탄소중립 추진전략,
- 산업통상자원부, 2019. 제3차 에너지기본계획,
- 서재환, 2000. 우리나라의 자본스톡 추계기법에 관한 고찰, 통계청.
- 신석하, 2005. 거시계량모형을 이용한 외생적 요인의 경제파급효과 분석, 한국개발연구원.
- 신석하, 황수경, 이준상, 김성태, 2013. 한국의 장기 거시경제변수 전망, 한국개발연구원.
- 에너지경제연구원, 2021. 2021 장기 에너지 전망, 에너지경제연구원.
- 에너지경제연구원, 2022. 2022 장기 에너지 전망, 에너지경제연구원.
- 이진면 외., 2018. 4차 산업혁명과 우리 산업의 증장기 구조변화 전망. 산업연구원
- 이진면 외., 2012. 고령화를 고려한 증장기 산업구조 전망, 산업연구원.
- 이진면 외., 2007. KIET 산업경제계량모형. 산업연구원.

장하원, 2000. 한국의 자본스톡 추계와 방법론에 관한 연구, 한국개발연구원.

정부부처합동, 2021. 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안,

한국은행, 2007. OECD 자본스톡 측정 메뉴얼 해설, 한국은행.

한국은행, 2019. 알기 쉬운 경제지표해설, 한국은행.

한국은행, 2020. 우리나라의 국민계정체계, 한국은행.

〈외국 문헌〉

Cambridge Econometrics, 2014. E3ME Technical Manual, Version 6.0, Cambridge: Cambridge Econometrics. Available at <https://www.e3me.com/wp-content/uploads/2019/09/E3ME-Technical-Manual-v6.1-onlineSML.pdf>

EIA, 2018. Macroeconomic Activity Module of National Energy Modeling System: Model Documentation 2018, EIA.

EIA, 2019. The National Energy Modeling System: An Overview 2018, EIA.

European Commission, 2017. The macro-level and sectoral impacts of Energy Efficiency policies, European Union.

Hartwig, J., Korkat, J., Schade, W., Braungardt, S., 2017. The macroeconomic effects of ambitious energy efficiency policy in Germany - Combining bottom-up energy modelling with a non-equilibrium macroeconomic model. Energy, 제 124, pp. 510-520.

IEA, 2021. World Energy Outlook 2021, Paris: IEA Publication.

Santos, J., Borges, A. S., Domingos, T., 2021. Exploring the links between total factor productivity and energy efficiency: Portugal, 1960-2014. Energy Economics, 제 101.

〈웹사이트〉

대한민국정부, 국가지표체계. Available at:

<https://www.index.go.kr/unify/idxlist.do?clasCd=8&pagenum=1>

[액세스: 2022년 8월 19일].

한국은행, 경제통계시스템, <https://ecos.bok.or.kr/#/> [액세스: 2022년 8월 24일]

Astra Model, Astra Model - Assessment of Transport Strategies. Available at:

<http://www.astra-model.eu/downloads-research-applications.htm>

[액세스: 2022년 8월 3일].

E3Modelling, PRIMES. Available at: [https://e3modelling.com/modelling-](https://e3modelling.com/modelling-tools/primes/)

[tools/primes/](https://e3modelling.com/modelling-tools/primes/) [액세스: 2022년 8월 6일].

EIA, The National Energy Modeling System: Overview. Available at:

<https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/overview/>

[액세스: 2022년 8월 3일].

JGCRI, GCAM v6 Documentation: Global Change Analysis Model (GCAM).

Available at: <http://jgcri.github.io/gcam-doc/> [액세스: 2022년 8월 3일].

김수일 | 現 에너지경제연구원 선임연구위원

〈주요저서 및 논문〉

「에너지 정책이 국민 삶의 질에 미치는 영향과 대응전략 연구(1/3)」, 에너지경제연구원 기본연구, 2021

「에너지 용도별 선도기술의 에너지 효율 추정」, 에너지경제연구원 자체연구, 2020

「E3ME를 활용한 제3차 에너지기본계획 주요 정책의 사회경제적 파급효과 분석」, 에너지경제연구원 기본연구, 2019

연구보고서 2022-20

에너지 정책이 국민 삶의 질에 미치는 영향과 대응 전략 연구(2/3)

인쇄 2022년 12월 29일

발행 2022년 12월 31일

저자 김수일

발행인 양의석

발행처 에너지경제연구원

주소 44543 울산광역시 중구 중가로 405-11

연락처 (052)714-2114(대) FAX (052)714-2028

등록 제 369-2016-000001호(2016년 1월 22일)

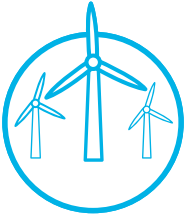
인쇄 (사)한국척수장애인협회 디지털 인쇄사업소
(053)965-7277

©에너지경제연구원2022

ISBN 978-89-5504-881-0 93320

* 파본은 교환해 드립니다.

값 7,000원



KOREA
ENERGY
ECONOMICS
INSTITUTE



ISBN 978-89-5504-881-0

과 7,000원
33301

www.keei.re.kr
울산광역시 중구 중가로 405-11
TEL | 052. 714. 2114
ZIP | 44543