

# 기후친화적 연료 생산 확대를 위한 정책 수단간 일반균형효과의 비교\*

배 정 환\*\*

## 〈차 례〉

- |                   |            |
|-------------------|------------|
| I. 서 론            | IV. CGE 모형 |
| II. 목질계 바이오매스 기술  | V. 결과 및 해석 |
| III. 목질계 바이오매스 수요 | VI. 결 론    |

## I. 서 론

최근 들어 ‘저탄소·녹색성장’이 우리나라 경제발전의 새로운 패러다임이 되고 있다. 그러나 우리나라와 같이 에너지 집약 산업에 대한 의존도가 높을 뿐만 아니라, 에너지의 97% 이상을 해외 수입에 의존하는 나라에서 과연 ‘저탄소·녹색성장’을 달성할 수 있을 것인가에 대해서는 회의적인 시각도 만만치가 않다.

\* 이 논문은 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 에너지경제연구원 2009년 기본연구사업의 위탁과제 형태로 추가 지원을 받았음.

\*\* 전남대학교 경제학부 조교수.

전력원별로 기여도를 따져 보면, 2007년도에 우리나라는 약 40만 GWh의 전력을 생산하였는데 이 가운데 38.4%가 석탄을 이용한 화력발전소에서 생산되었다. 그러나 석탄은 가장 많은 온실가스를 내뿜는 연료이다. 국내 무연탄 기준으로 1톤을 연소시키면 1.86TCO<sub>2</sub>의 이산화탄소를 발생시킨다. 즉, 석탄은 석유에 비해 같은 열에너지를 생산하는 경우 1.4배의 온실가스를 더 방출하고, 도시가스에 비해서는 1.9배, 우드칩에 비해서는 4.8배나 더 많은 온실가스를 배출한다.<sup>1)</sup>

이렇게 기후비친화적인 연료인 석탄은 산업 지원과 에너지 복지 차원에서 많은 보조금을 받고 있다.<sup>2)</sup> 따라서 기후변화에 대비하고, 녹색성장 패러다임 실천을 위해서는 화석연료에 대한 보조금을 제거하고, 기후친화형 연료에 대한 지원정책을 강화할 필요가 있다. 본 연구는 기후 친화형 연료에 대한 지원정책을 강화하기 위해 석탄에 대한 보조금을 목질계 바이오매스<sup>3)</sup>와 같은 기후친화적 연료 생산 확대를 위한 보조금으로 전환할 경우 어떤 방식이 더 적합한지를 분석함을 목적으로 한다.

여기에서는 기후친화형 연료인 목질계 바이오매스(biomass) 생산에 대해 가격 보조를 실시하는 경우와 정부에서 목질계 바이오매스에 대한 공공지출을 직접 확대하는 정책을 연산가능일반균형모형(computable general equilibrium model: CGE)을 이용하여 경제적·환경적 효과 및 후생 수준을 비교하기로 한다.

사실 이러한 논의는 환경세에 대한 ‘이중배당가설(double dividend hypothesis)’

1) TOE 단위로 환산하면 석탄 1TOE당 4TCO<sub>2</sub>의 이산화탄소를 발생시키는데, 타 연료와 비교하면 다음과 같다. 즉, 실내등유는 TOE당 2.78TCO<sub>2</sub>, 도시가스가 2.1TCO<sub>2</sub>이며, 바이오매스(산림부산물)를 이용한 우드칩의 경우 0.84TCO<sub>2</sub>이다.

2) 석탄 이용에 대한 지원정책으로는 석탄수급안정사업과 무연탄발전지원사업이 있다(국회예산정책처, 2009). 석탄수급안정사업은 탄가안정대책, 석탄비축자산관리보조, 저소득연탄보조사업을 포함하고 있다. 1989년에 시작되어 2008년까지 총 52,200억 원을 지원하였고, 향후 2012년까지 연간 2,000억 원 이상의 사업비가 책정되어 있다. 이 밖에도 국내 무연탄을 사용하여 발전한 경우 손실액을 국가가 보전해 주는데 2001년~2008년간 누적 지원금이 12,840억 원에 이른다. 또한 연탄에 대해서는 부가가치세가 면세되고 있다(국회예산정책처, 2009).

3) 목질계(ligneous) 바이오매스는 셀룰로오스(cellulose)가 포함된 나무, 초본식물을 의미하며 이들에서 파생된 제품이나 그것의 폐기물, 즉 목재, 폐목재, 종이 등을 포함한다.

논쟁과 연관되어 있다. 이미 유럽은 1990년대부터 화석연료에 대한 탄소세 내지는 환경세 도입 논란이 한창 꽃을 피웠었다. 논란의 핵심은 과연 탄소세 내지는 환경세를 도입할 경우 이른바 ‘이중배당가설’이 성립할 것인지의 여부였다. 첫 번째 배당은 환경세 도입에 따른 환경 개선효과이고, 두 번째 배당은 환경세 부과로 인해 추가로 발생하는 조세 수입을 럼프섬세(lump-sum tax)로 환원하기보다는 기존의 왜곡세(distorted taxes)를 감면해 주면 이로 인해 왜곡비용 감소효과가 발생한다는 것이다. 이를 약한 이중배당(weak form double dividend)이라고 한다. 그러나 Bovenberg and de Mooij(1994)는 환경세가 최선의 세계(first best world)에서는 한계피해비용과 일치하는 수준에서 결정되어야 하지만, 차선의 세계(second best world)에서는 조세상호작용(tax interaction effect)이라는 비용을 수반하므로 한계피해비용보다 낮은 수준에서 환경세가 결정되어야 한다고 주장하였다. 이후에 많은 학자들이 이 세 번째 효과가 이중배당효과를 압도하는지의 여부에 대해 CGE 모형을 이용하여 다양한 실증연구를 하였다(Goulder *et al.*, 1997; Bohringer *et al.*, 1997; Bruvold and Ibenholt, 1998; Parry and Bento, 2000; André *et al.*, 2003).

본 논문에서는 이러한 이중배당가설의 논쟁을 다소 색다르게 조명해 보고자 한다. 즉, 석탄에 대한 보조금을 철폐하고, 그 수입을 기존의 조세왜곡을 시정하는 데에 이용하는 것이 아니라, 친환경연료에 대한 가격보조 정책과 공공부문 수요팽창 정책 가운데 어느 쪽에 투자하는 것이 사회 전체의 후생을 증가시키는지를 보이려고 한다.<sup>4)</sup> 여기에서는 왜곡비용을 감소시키는 조세환원효과가 작용하지 않고, 왜곡비용을 증가시키는 조세상호작용만 있으므로 두 정책 모두 사회 후생은 감소될 것이다. 그러나 친환경연료에 대한 가격보조 정책과 공공수요 확대 정책 가운데 어느 정책이 사회 후생에 긍정적인 영향을 미치는지를 비교함으로써, 어떤 정책 수단이 더 우수한지를 판단할 수 있을 것이다.

제II장에서는 기후친화형 연료인 목질계 바이오매스를 이용한 에너지 생산

4) 환경세 부과와 보조금 감소는 실질적인 효과 측면에서 동일하다고 볼 수 있다. 다만 시계가 단기(short run)이고, 완전경쟁상태이며, 기업이 동질적이어야 한다(Kolstad, 2000).

기술 및 지원계획을 살펴보고, 제Ⅲ장에서는 목질계 바이오매스 에너지에 대한 잠재수요를 추정하였다. 제Ⅳ장에서는 주요 방법론인 CGE 모형의 구조를 설명하고, 주요 데이터와 시나리오에 대해 설명한다. 이어서 제Ⅴ장에서는 결과를 요약하고, 마지막으로 결론에서는 연구 결과를 이용하여 정책 수단간 비교를 하도록 한다.

## Ⅱ. 목질계 바이오매스 기술

목질계 바이오매스를 에너지로 활용하는 기술에는 다양한 스펙트럼(spectrum)이 존재한다. 우선 가장 오래된 방식으로는 단목집재된 목재 연료를 가공 처리하지 않고 난방용으로 이용하는 화목보일러가 있고, 현대적 에너지 생산 기술에는 우드칩(wood chip) 보일러(boiler), 우드펠릿(wood pellet) 보일러, 우드칩 열병합 발전소가 있다. 또한 초임계수법 등을 활용하여 바이오에탄올(bioethanol)이나 바이오디젤(biodiesel)을 추출하기도 하고, 간접연소에 의한 바이오매스 가스화를 통해 발전하는 기술도 개발되고 있다. 여기에서는 전근대적인 방식인 화목보일러와 차세대 기술인 초임계수 및 바이오매스 가스화는 연구 대상에서 제외하기로 한다. 따라서 주요 연구 대상 기술은 우드칩/우드펠릿 보일러 및 열병합 발전 기술이 되겠다. 또한 공간적 연구 대상은 국산 바이오매스에 국한하기로 한다. 우드칩이나 우드펠릿의 경우 이미 상당량이 수입되고 있고 국산 우드칩/펠릿에 비해 가격경쟁력이 높은 편이다. 그러나 앞으로 국내 부존 바이오매스를 적극적으로 이용하기 위해 산림 부산물의 수집과 폐목재 재활용률을 제고하기 위한 인프라에 공공 투자가 증가할 경우 국산 바이오매스를 이용한 에너지 생산도 가격 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 기대된다. 또한 국산 바이오매스의 에너지로의 전환을 통해 에너지 안보와 온실가스 저감 수단이라는 편익이 기대된다.

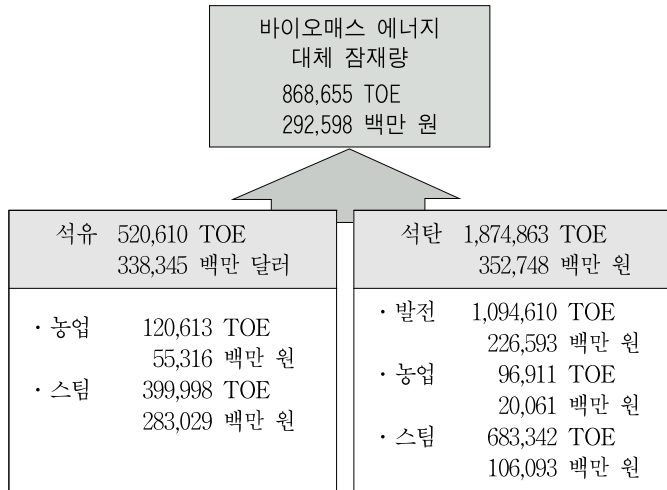
한편 정부는 2013년까지 650만  $m^3$ 에 달하는 산림 바이오매스를 에너지화 할 계획이다. 이를 위해 정부는 바이오매스 에너지화를 위한 인프라 구축에 최소한 1조 원 이상을 투입할 예정이다(정부합동보고, 2009). 물론 이러한 계획이 추후에 변경될 수도 있으나 본 연구는 이러한 추세가 중장기적으로 유지될 것으로 가정하고, 잠재적인 공급 능력을 대상으로 이에 의한 경제적·환경적 파급효과를 분석한다.

### Ⅲ. 목질계 바이오매스 수요

목질계 바이오매스를 에너지로 이용할 경우 부문별 잠재적 수요를 추정하여 가상적인 바이오매스 에너지 시장을 설정해야 한다. 이를 통해 우리는 기존의 산업연관표에는 나타나지 않는 바이오매스 에너지 이용 부문을 산업연관표에 도입할 수 있게 된다. 바이오매스에 대한 잠재적 수요를 대체 가능한 연료로 우선 구분하면 석탄과 석유로 나눌 수 있다. 또한 석탄은 다시 사용 부문에 따라 발전부문과 농업, 스팀 부문으로 나눌 수 있고, 석유는 농업부문과 스팀부문으로 구분할 수 있다(<그림 1> 참조). 부문별 잠재적 바이오매스 수요량(TOE)을 산출한 다음, 석탄과 석유에 대한 적절한 평균 가격을 적용하여 수요액(백만원)을 최종 산출하게 되고, 이를 기존의 산업연관표에 포함시킴으로써 목질계 바이오매스 부문이 비로소 CGE 모형 내에서 분석이 가능하게 된다.

목질계 바이오매스는 우선 우드펠렛으로 전환한 다음 발전용 연료로 이용할 수 있다. 우드펠렛의 발열량은 통상 4,500kcal/kg을 기준으로 하며, 석탄 화력 발전소에서 유연탄이나 무연탄과 함께 혼소방식으로 이용된다(에너지경제연구원, 2008). 한편 농업용, 가정용, 상업용, 공공용 난방 수요를 바이오매스 에너지에 의해 대체할 수 있다. 우선 발전용 바이오매스 수요 잠재량을 추정하면 다음과 같다.

<그림 1> 목질계 바이오매스에 대한 잠재적 수요의 산출



우리나라는 오는 2012년부터 발전소에서 생산되는 전력 생산량의 2%를 신재생에너지에 의해 생산하도록 의무화하는 재생에너지의무할당제(Renewable Portfolio Standard : RPS)를 도입할 예정이다. 이 제도에서 요구하는 수준을 달성하기 위해서는 태양광이나 풍력, 수소-연료전지, 바이오가스 등 다양한 방식의 기술이 존재하지만 여기에서는 목질 바이오매스를 이용한 우드칩/우드펠릿에 의한 석탄화력발전소의 혼소(co-firing) 기술을 BAT(Best Available Technology)로 간주한다(삼성경제연구원, 2008). 이러한 측면들을 고려할 때 목질계 바이오매스에 의한 발전용 연료 대체가 상당한 타당성을 지녔다고 볼 수 있고 단기적으로 대체 가능한 기술 가운데는 유력하다고 하겠다.

에너지통계연보(에너지경제연구원, 2009a)에 의하면 석탄화력발전소의 국내 무연탄 수요는 2005년 기준으로 2,354천 MT<sup>5)</sup>이었다. 이를 국내 무연탄 발열량인 4,650kcal/kg를 적용하여 환산하면 1,094,610TOE<sup>6)</sup>가 된다. 국내 무연탄에

5) MT는 metric ton을 의미하며 통상 석탄의 중량을 표시하는 단위로 사용된다.

6) TOE는 ton of oil equivalent로 10,000,000kcal에 해당된다(에너지경제연구원, 2009a).

대한 가격정보가 없어 동년도 해외 무연탄의 수입단가인 \$94/MT를 기준가격으로 하여 환산하면 226,593백만 원이 된다. 그러나 국내 무연탄 전체를 목질계 바이오매스 연료로 대체한다는 것은 실현 가능성이 매우 낮고, 통상 기존의 석탄화력발전소에서 우드칩이나 우드펠렛 혼소시 7~10% 이하로 혼합하면 전체 시스템의 효율에 미치는 영향이 0.3~1% 이내 정도로 알려져 있다(Hughes, 2000). 따라서 본 연구에서는 10% 혼소를 적용하기로 한다. 바이오매스와 석탄의 혼소발전은 환경적으로도 우수한 것으로 알려져 있다(Hughes, 2000).

혼소율을 10%로 가정할 경우 국내 무연탄 235,400MT를 대체할 수 있고, 이는 109,461TOE에 해당되며 산업연관표상에 22,659백만 원으로 산입될 수 있다. 2005년 산업연관표에 따르면 전력부문의 석탄수요량은 3,614,988백만 원으로 바이오매스 대체율은 0.6%로 나타난다. CGE 모형에서 기준균형해를 도출하기 위해서 발전용 바이오매스 수요량을 22,659백만 원으로 산입하고, 발전용 석탄 수요량에서 차감하여 총수요량을 고정시키기로 한다.

다음으로 농업용 바이오매스 에너지 수요는 대부분 우드펠렛/우드칩 보일러 수요이며, 기존의 석탄이나 석유를 이용한 보일러/난방 시스템을 대체하는 것으로 가정하였다. 에너지 총조사(에너지경제연구원, 2006)에 따르면 농림수산업 부문의 에너지 수요를 농림업과 어업 부문으로 구분하고, 농림업은 기타설비용의 석탄수요가 96,911.2TOE, 석유류 수요가 111,230TOE이며, 건물용 석유류 수요가 8,249TOE로 나타난다.<sup>7)</sup>

이들 부문들은 주로 보일러를 이용하여 난방을 필요로 하는 부문으로 간주하였다. 농림업부문 난방용 총에너지 수요는 216,390TOE로 집계되었고 이를 가치로 환산하기 위해서 석탄의 경우는 수입 무연탄의 2005년 연평균 가격을 적용하고, 석유류는 자동차용 휘발류를 제외한 등유, 경유, 중유의 가격을 평균한 세전가격인 리터당 468원을 기준가격으로 삼았다. 농업부문의 경우 농림어업용 석유류에 대해서는 면세혜택이 적용되고 있다는 점을 반영한 것이다(문영석,

7) 석탄수요는 국내 무연탄 기준, 석유수요는 자동차용 휘발류를 제외한 등유와 경유, 중유 수요를 포함시키고, 발열량은 평균값인 10,107kcal/리터를 적용하였다.

〈표 1〉 농업용 석탄 및 석유류 에너지 수요

(단위 : TOE)

산업부문 용 도	농림업		어 업	합 계
	기타설비용	건물용	건물용	
석 탄	96,911	0	0	96,911
석 유	111,230	8,249	1,134	120,613
합 계	208,141	8,249	1,134	217,524

자료: 에너지경제연구원(2006), '에너지 총조사 보고서'에서 인용 및 수정함.

2007). 또한 어업용에서 건물용 석유수요는 1,134TOE로 집계되었고, 가치로 환산할 경우 525백만 원으로 추정된다.

농림업과 어업 부문 석탄 및 석유 수요를 합하면 217,524TOE이고, 가치로 환산하면 75,377백만 원으로 추정된다(<표 1> 참조). 이를 산업연관표상의 농림어업 부문 석탄 및 석유 수요량인 1,658,345백만 원과 비교하면 5%에 해당되는 양이다.

다음으로 스팀산업의 석탄수요의 경우에는 에너지 총조사 보고서나 석유공사 자료에서 분류가 되어 있지 않으므로 2005년 산업연관표로부터 유추하였다. 우선 산업연관표의 스팀부문 석유수요는 283,029백만 원이고, 석탄수요는 106,093백만 원이다. 석유수요를 2005년 석유류 평균가격인 리터당 715원으로 나누고, 평균 석유류 발열량인 10,107kcal/리터를 적용하면 총 399,998TOE로 추정된다. 한편 석탄의 경우에는 무연탄 수입단가인 \$94/MT를 적용하고, 기준환율 1,024원을 이용하면 1,102,164MT이고, 이를 수입 무연탄 발열량인 6,200kcal/kg을 적용하면 683,342TOE가 된다. 스팀부문 전체가 바이오매스에 의해 대체된다는 가정은 현실성이 떨어지므로 50%만 대체된다고 가정하여 석유류의 잠재수요가 199,998TOE, 석탄이 341,671TOE인 것으로 추정하였다.

지금까지 추정된 부문별 석탄 및 석유류에 대한 바이오매스 대체 잠재량을 집계해 보면 총 868,655TOE로 나타난다(<표 2> 참조).



〈표 2〉 부문별 바이오매스 대체 잠재량

(단위 : TOE)

부 문	석 탄	석 유	합 계	조정후 합계
발 전	1,094,610	0	1,094,610	109,461
농 업	96,911	120,613	217,524	217,524
스 팀	683,342	399,998	1,083,339	541,670
합 계	1,874,863	520,610	2,395,473	868,655

한편 부문별 바이오매스 대체 수요량을 가치로 환산하면 292,598백만 원으로 나타난다. 부문별 수요액은 <표 3>과 같다.

〈표 3〉 부문별 바이오매스 대체 수요액

(단위 : 백만 원)

부 문	석 탄	석 유	합 계	조정후 합계
발 전	226,593	0	226,593	22,659
농 업	20,061	55,316	75,377	75,377
스 팀	106,093	283,029	389,122	194,561
합 계	352,748	338,345	691,093	292,598

## IV. CGE 모형

### 1. 선행 연구

연산가능일반균형모형(CGEM)은 생산과 소비, 무역, 정부, 투자 등 한 경제를 구성하는 각 경제주체(economic institute)들의 상호작용을 경제 모형화하여 모든 시장에서 수요와 공급을 일치시키는 일반균형가격이 존재하며, 정부의 시장

개입 정책을 통해 이러한 균형가격이 변할 경우 각 시장에 미치는 미시적, 거시적 영향을 평가하기 위한 방법론이다. 이론적으로는 이미 1954년 Arrow와 Debreu에 의해 정립된 ‘고정점 정리(fixed point theorem)’에 의해 일반균형가격의 존재가 증명되었으나, 일반균형이론의 정량화는 Scarf (1967, 1973)의 Newton 기법과 Johansen (1960)의 선형화기법에 의해 가능해졌다. 즉, 모형내에 포함된 선형 및 비선형 제약조건들을 고려하기 위해 Merrill (1972)이나 Walley (1973) 등에 의해 Newton 기법이 지속적으로 개선되었고, Ginsburgh and Waelbroeck (1981), Dixon *et al.* (1982) 등에 의해 Johansen의 선형화기법이 지속적으로 발달해 왔다.

CGE 모형을 이용하여 신재생에너지를 한 부문으로 보아 이에 대한 정책 시나리오를 분석한 기존의 국내 문헌은 몇 편 있으나, 목질계 바이오매스라는 특정한 분야를 독립적인 부문으로 간주하여 이에 대한 CGE 모형 분석을 시도한 논문은 없다. 문영석·조경엽(2003)의 연구에서는 에너지 빈티지 모형을 동태 CGE 모형에 사용하여 석탄과 석유, 천연가스, 대체에너지로의 점진적 대체관계를 규명하고, 환경 정책 및 보조금 정책의 효과를 분석하였다. 배정환·조경엽(2006)의 연구에서는 에너지 빈티지 모형을 동태 CGE 모형과 결합하고 다시 수소에너지에 대한 수급 데이터와 에너지 믹스를 고려하여 보조금 효율 증가에 따른 에너지 믹스와 산업별, 거시경제별 영향을 평가하였다.

해외에서 신재생에너지를 명시적으로 CGE 모형에 고려한 경우로는 우선 Rana(2003)의 연구가 있다. 그녀의 연구에서는 태양에너지 기술 도입과 발전이 인도의 거시경제, 일차 에너지 소비 믹스, 이산화탄소 배출에 미치는 영향을 알아보기 위해 차세대 CGE 모형(Second Generation Model: SGM)을 사용하였다.

한편 Kancs(2002)의 연구는 독점적 경쟁을 가정한 다부문 폴란드 CGE 모형을 사용하여 재생가능에너지 기술을 보급하기 위한 정책의 경제적 편익-비용을 정량화하였다. 여기서는 CGE 모형을 패키지화한 GTAP(Global Trade Analysis Project) 모형을 불완전 경쟁을 고려할 수 있도록 수정하여 적용하였다. 특히 이 연구에서는 바이오에너지 부문을 명시적으로 고려하고, 바이오에너

지 부문에서 간접세가 감소하는 시나리오와 화석에너지 부문의 보조금을 철폐하는 시나리오로 구분해서 분석하여 본 연구와 매우 유사한 구조를 갖고 있다. Kancs (2002)의 연구 결과 바이오에너지 부문은 화석에너지의 보조금을 철폐하는 것보다 바이오에너지에 대한 간접세를 감소시킴으로써 더 많은 공급이 가능한 것으로 나타났다.

끝으로 Ignaciuk and Dellink (2006)의 연구는 농림부산물 및 복합작물 (multi-product crops)을 바이오매스 에너지로 전환하여 전력을 생산하는 경우 농산물 가격과 생산, 토지이용 등에 미치는 영향을 응용일반균형모형(applied general equilibrium model)을 이용하여 분석하였다. 비록 실현 가능한 잠재량이 전체 전력 생산의 2~3%에 불과하지만, 향후 에너지 작물 생산지 확대에 따라 바이오전력 잠재량은 더 늘어날 수 있음을 보여주었다. 또한 에너지 작물 생산을 확대하더라도 기존 농업생산량은 최대 5%, 농산물 가격 상승폭도 5% 이내로 제한적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 약 25만 ha의 농경지가 에너지 작물 재배지로 전환될 것으로 추정되었다.

## 2. 모형의 구성요소<sup>8)</sup>

모형은 크게 생산과 무역, 소비, 정부, 투자의 부문별 균형식과 부문간 균형식, 그리고 외생 충격에 대한 후생 변화를 측정하기 위한 식들로 구성된다.<sup>9)</sup> 각 균형식을 모두 만족시키는 균형 가격을 구하기 위해 본 모형에서는 국내총생산(GDP)을 극대화하는 방법을 선택하였다.<sup>10)</sup>

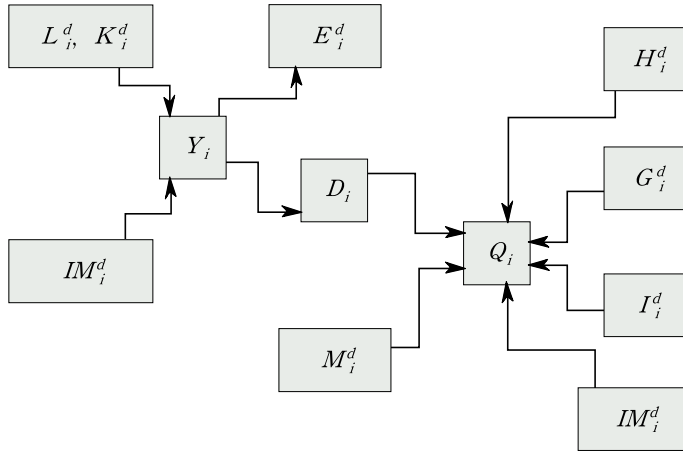
우선 생산과 무역 부문부터 살펴보면 다음과 같다.

8) 모형을 구성하는 주요 방정식들은 <부록>을 참조하기 바란다.

9) 모형에 포함된 기본 방정식들은 Lofgren *et al.* (2002)에 기초하고 있으며, 이 가운데 일부 방정식들을 본 연구에 맞게 수정하였다.

10) 모형의 해를 구하기 위해 GAMS-CONOPT 프로그램을 사용하였으며, 목적함수로는 일반적으로 GDP나 총소비 등이 주로 사용된다(Lofgren *et al.*, 2002).

<그림 2> 생산과 무역 부문 흐름도



상품  $i$ 의 생산 ( $Y_i$ )을 위해서는 생산요소인 본원적 요소 ( $L_i^d, K_i^d$ )와 중간재 투입요소 ( $IM_i^d$ )를 필요로 한다. 또한 생산된 상품에 대한 수요는 수출수요 ( $E_i^d$ )와 국내수요 ( $D_i$ )로 구성되며, 국내수요와 수입수요 ( $M_i^d$ )가 결합된 아밍턴 복합 상품(Armington composite commodity) ( $Q_i$ )에 대한 소비는 가계소비 ( $H_i^d$ )와 정부소비 ( $G_i^d$ ), 투자수요 ( $I_i^d$ ), 중간재 투입수요 ( $IM_i^d$ )로 구성된다. 생산과 무역 부문의 흐름도는 <그림 2>와 같다.

이와 같은 생산부문의 흐름을 방정식으로 정리하면 다음과 같다.

$$D_i \equiv Y_i - E_i^d \quad (1)$$

$$Y_i \equiv IM_i^d + H_i^d + G_i^d + I_i^d + E_i^d - M_i^d \quad (2)$$

$$Q_i \equiv D_i + M_i^d \quad (3)$$

즉, 국내수요는 총생산에서 수출수요를 제외한 것이고(식 (1) 참조), 총생산은 중간재투입수요와 가계의 최종소비, 정부의 최종소비, 투자수요, 수출수요를 모

두 합한 값에서 수입수요를 제외한 것이다(식 (2) 참조). 또한 아밍턴 복합상품에 대한 수요는 총유입(absorption)이라고도 하는데, 이는 국내수요와 수입수요를 합한 것으로 정의할 수 있다(식 (3) 참조).

다음으로 소비 및 정부 부문의 균형식을 살펴보면 다음과 같다.

소비자는 동질적인 선호를 갖는 합리적인 주체(a rational agent)로서, 자신의 노동소득과 자본소득으로 구성된 예산제약 하에서 상품에 대한 소비를 통하여 누리는 효용을 극대화한다. 효용함수는 논의를 단순화하기 위해 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 함수 형태를 갖고 있다고 가정하였다. 따라서 각 상품에 대한 지출액을 총가처분소득으로 나눈 할당비율(share)이 그 상품에 대한 소비를 결정하는 구조이다. 한편 정부부문은 조세 수입원으로서 각 상품 생산에 부과되는 생산세(production tax), 수입되는 상품에 부과되는 관세(tariff) 및 수입상품세(excise tax)로 구성되고, 세출은 상품 생산에 대한 보조금과 공공부문 수요로 구성된다.

다음으로 저축과 투자 부문을 살펴보면 다음과 같다. 가계부문은 총소득에서 총지출을 제외한 나머지를 저축하고, 정부부문도 총세수에서 총세출을 제외한 나머지를 저축하는 것으로 가정하였다. 또한 무역부문의 경우 총수출에서 총수입을 제외한 나머지는 환율에 의해 외환보유액으로 전환하였다. 이렇게 가계저축, 정부저축, 외환저축에 의해 총저축이 형성되고, 총저축은 투자수요를 통해 소진된다.

끝으로 부문간 균형식을 살펴보면 다음과 같다.

균형조건에 의해 균형 가격과 균형 수량이 최종 결정된다. 즉, 상품 시장에서 상품에 대한 수요와 공급 균형, 요소시장에서 노동공급과 노동수요의 균형, 자본공급과 자본수요의 균형을 전제한다. 또한 총유입은 중간재투입수요, 가계수요, 정부수요, 투자수요의 합과 균형을 이룬다. 총저축은 총투자자와 일치하고, 총수입은 총수출과 균형을 이룬다.

한편, 소비자 후생 변화 측정을 위해 보상변화(compensating variation)를 이용하였다. 보상변화란 변화된 소비자 가격에서 상품을 구매하기 위한 소비자의 최대 지불용의액이라고 정의할 수 있다(Freeman III, 1999). 즉, 변화된 가격에

의해 얻을 것으로 기대되는 잠재적 소비자 후생을 보상하기 위해 소비자가 기꺼이 지불하고자 하는 일시불(lump-sum payment)을 의미한다. 소비자의 보상 변화( $CV_h$ )는 외생적 충격(정책 시나리오)에 의해 가격<sup>11)</sup>변화가  $Pa_i^0$ 로부터  $Pa_i^1$ 으로 발생했을 때, 변화된 가격을 기준으로 한 간접효용함수( $V_h$ )의 차이를 반영한 지출함수( $M_h$ )를 이용하여 식 (4)와 같이 도출된다. 이 때 간접효용함수는 가격과 소비자의 가처분소득( $HH_{EXP}$ )의 함수이다.

$$CV_h = M_h(Pa_i^1, V_h(Pa_i^1, HH_{EXP}^1)) - M_h(Pa_i^0, V_h(Pa_i^0, HH_{EXP}^0)) \quad (4)$$

### 3. 데이터 · 보정 및 시나리오

#### 1) 데이터

CGE 모형에 의한 기준균형해(benchmark solution)를 도출하기 위해서는 각 산업의 산출 수준과 가격, 요소수요량과 요소가격, 소비주체별 최종수요와 저축, 투자, 정부부문의 세수와 세입, 무역부문의 수출입 수준과 수출입 가격 등에 대한 정보를 입력해야 한다. 기본적인 산출 수준, 요소 및 재화에 대한 수요량은 한국은행의 2005년도 산업연관표에 기반하였고, 바이오매스의 잠재적 수요는 전술한 바와 같이 에너지 총조사 보고서, 에너지통계연보, 임업통계연보 등의 2005년 데이터로부터 도출하였다.<sup>12)</sup> 가격의 설정 문제와 보정(calibration) 문제에 대해 설명하면 다음과 같다. 기준 균형을 도출하기 위해서는 지출의 합과 소득의 합이 일치해야 하며, 산업연관표의 경우 모든 데이터가 가치(수량과 가격

11) 이때 소비자 가격은 모형에서 아밍턴 복합재화의 가격으로 정의되며, 아밍턴 복합재화는 전술했듯이, 국내에서 생산된 재화와 해외에서 생산되어 수입된 재화를 포괄한 가상의 재화이다(Ballard *et al.*, 1985).

12) 산업연관표는 이미 2006년까지 나와 있으나, 에너지 총조사 보고서의 경우 매 3년마다 보고되는데 2005년과 2008년에 조사되어 시점을 일치시키기 위해 2005년을 기준으로 삼았다.

의 공급)로 되어 있다. 이를 분해하기 위해서 통상 가격에 대한 정규화(normalization)를 가정한다. 즉, 현실적으로 모든 재화와 요소가격은 제각기 다르지만 이에 대한 데이터가 없기 때문에 모든 재화의 가격과 요소가격을 1로 간주하는 것이다. 또한 CGE 모형에서는 사회계정행렬(Social Accounting Matrix : SAM)을 일반적으로 이용하지만, 굳이 SAM 데이터를 구축하지 않고, 기존의 산업연관표에만 의지하더라도 CGE 모형 구축이 가능하다(Rutherford and Paltsev, 1999).

한편 모형에서 주로 사용된 외생 파라미터(parameter)로는 재화  $i$ 에 대한 공급 측면에서 국내 생산과 해외수입 간의 불완전대체관계를 가정하는 아밍턴 복합 생산함수에 대한 대체탄력성과 생산된 재화  $i$ 에 대한 수요 측면에서 국내수요와 수출수요 간의 관계를 가정하는 수출전환함수에 대한 전환탄력성이 있다. 원칙적으로 이들 파라미터에 대한 데이터는 계량경제학적 방법을 통해 직접 추정함이 타당하나, 데이터 구축의 어려움으로 본 연구에서는 타 연구 결과를 인용하기로 한다. 우선 수입 대체탄력성은 GTAP(Ver.5) 및 정인교(2001)의 연구를 참조하였다. 목질계 바이오매스를 포함하는 임업부문의 경우 1.4로 선택하였다. 석탄, 석유, 천연가스도 상대적으로 대체 가능성이 높은 1.4를 적용하였다. 전력은 실제로 수출입이 매우 낮기 때문에 제조 및 서비스 전반과 동일한 0.4를 적용하였고, 수송은 자동차 등 수출입이 비교적 활발하므로 가장 높은 1.9를 적용하였다. 수출 수요와 국내재 간의 전환 탄력성은 정재호 외(2003)의 연구에서 직접 추정한 탄력성을 인용하였다. 그러나 이들 연구에서는 산업연관표 가운데 대분류인 26개 산업을 대상으로 탄력성을 추정하였기 때문에 재분류가 필요하다. 이에 따라 농업은 0.729를 적용하였고, 석유, 석탄, 천연가스는 0.31을 적용하였다. 또한 전력부문은 전력, 가스 및 수도 부문의 3.476을 적용하였다. 수송부문은 운수 및 보관 부문의 0.85를 적용하고, 제조 및 서비스 부문은 77개 산업분류에서 본 연구에서 재분류한 농업, 축산 및 관련제품, 임업 및 관련제품, 사료, 석유 및 관련제품, 전력, 수송 등 13개 부문을 제외한 모든 제조 및 서비스업(64개)을 정재호 등의 연구에서 분류한 26개 산

〈표 4〉 데이터의 유형별 분류

구 분	데이터 출처	비 고
산업별 산출 수준, 요소 및 재화수요, 정부 세수 및 세입, 수출 및 수입 수요	산업연관표	
바이오매스 수요 및 투입구조	에너지 총조사, 에너지통계연보, 임업통계연보	
재화 및 요소가격, 수입 및 수출재 가격, 환율	-	정규화 가정
기술진보계수, 요소소득비율, 소비율, 세율, 공공지출비중, 저축률, 투자율	-	보정에 의한 내생 파라미터 도출
수입대체탄력성, 수출전환탄력성	GTAP(Ver.5) 및 정인교(2001), 정재호 외(2003)	외생 파라미터

업으로 통합하고, 이들의 전환탄력성들과 수출비중을 고려하여 가중평균합인 1.04를 최종 제조 및 서비스업에 대한 전환탄력성으로 이용하였다.

외생 파라미터와 별도로 생산함수와 소비함수, 정부부문, 투자 및 소비 부문 방정식에는 내생적으로 계산되는 파라미터들이 있다. 즉, 생산함수상의 기술진보계수 및 요소소득비율, 각 재화에 대한 소비율, 정부의 각종 세율과 공공지출 비중, 소비자와 정부, 외생부문의 저축률, 투자비중 등이다. 이들은 각 방정식에 적용되는 외생 파라미터와 산업연관표에서 제공되는 데이터들을 이용하여 계산될 수 있으며, 이를 CGE 모형에서는 파라미터에 대한 보정(calibration)이라고 한다(Ballard *et al.*, 1985).

지금까지 논의한 데이터에 대한 분류를 요약한 것이 <표 4>에 정리되어 있다.

## 2) 부문 통합

산업연관표상의 부문 분류를 그대로 적용하기에는 연구 목적과 무관한 산업들이 많기 때문에 주요 관심 대상인 산업 중심으로 부문을 재분류할 필요가 있다. 우선 168개 부문으로 구성된 소분류 생산자가격평가표를 본 연구의 목적에



맞도록 20개 부문으로 통합하였다. 여기에는 농업(AGR), 임업(WOOD), 석탄(COAL), 석유(OIL), 천연가스(LNG), 광업(MINE), 식료품(FOOD), 의류(CLOTHE), 펄프(PULP), 화학(CHEMICAL), 금속 및 세라믹(METAL AND CERAMIC), 기계(MACHINE), 전력(ELECTRICITY), 도시가스(TOWNGAS), 스팀(STEAM), 건설(CONSTRUCTION), 도소매(SALES), 교통(TRANSPORT), 통신(COMMUNICATE), 서비스(SERVICE)가 포함된다.

산업부문 이외에는 노동소득, 자본소득, 생산세, 보조금으로 구성된 부가가치부문과 가계 최종소비, 정부 최종소비, 투자소비, 수출수요, 수입수요, 관세, 수입상품세 부문들이 있다.

기존의 산업연관표에서 농업부문에 대한 석탄과 석유 수요량 가운데 에너지(난방 기준) 수요를 추정하고, 이를 목질계 바이오매스에 의해 대체되는 것으로 가정하였다. 또한 전력과 스팀 부문 역시 석탄과 석유 수요의 일정 비율만큼 목질계 바이오매스에 의해 대체되는 것으로 가정하였다. 대체효과를 고려하기 위해 기존의 석탄과 석유에 대한 에너지 수요는 감소되는 것으로 산업연관표를 변경하였다. 또한 목질계 바이오매스가 에너지로 활용되기 위해 정부는 목질계 바이오매스에 대한 사회 인프라 구축 비용을 지출하는 것으로 가정하기 위해 산업연관표상의 정부수요부문을 조정하였다.

구체적인 조정 방식은 다음과 같다.

우선 산업연관표상의 행의 합과 열의 합을 구한다. 이때 주의할 점은 행의 합은 중간재 투입수요의 합과 최종수요의 합에서 수입수요의 합을 차감한 것이다. 최종수요는 가계최종수요와 정부최종수요, 투자수요 및 수출수요로 구성된다. 또한 수입수요의 합은 수입수요와 관세, 그리고 수입상품세로 구성된다. 다음으로는 행의 합에서 열의 합을 차감한 값이 0이 되는지 확인한다. 이렇게 하는 이유는 행의 합이 투입합이 되고, 열의 합이 산출합이 되므로 각 부문별로 투입과 산출이 일치하도록 조정하기 위함이다. 만약 투입보다 산출이 더 크다면 음(-)의 값을 갖고, 더 작다면 양(+ )의 값을 가진다. 세 번째 단계에서는 자본소득부문을 조정한다. 자본소득은 기업의 이윤과 감가상각으로 구성되며, 투입과 산출액의 차이를

이윤으로 보아 자본소득부문에 흡수시키기 위함이다. 조정 후 자본소득이 음(-)이 될 경우 자본소득을 0으로 대체하고, 음(-)의 값만큼을 노동소득에 흡수시키기로 한다(Rutherford and Paltsev, 1999). 마지막으로는 재조정된 행의 합과 열의 합을 구하여 차이가 0이 되는지를 확인한다. 이렇게 행의 합과 열의 합이 일치하는 데이터를 이용하면 일반균형해가 존재하는 연립방정식 체계를 구성할 수 있게 된다. 통상 이러한 연립방정식 체계는 비선형인 제약조건들을 갖는 목적함수의 극대화 문제로 환원하여 풀 수 있으며 본 연구에서는 GAMS(General Algebraic Modeling System) CONOPT Solver 프로그램을 이용하여 균형해를 도출한다.

이상과 같은 조정 과정을 거쳐 가공된 주요 데이터를 요약하면 다음과 같다. 우선 중간재투입수요는 1,217조 원으로 집계되었고, 가계부문의 최종수요는 466조 원, 정부부문 최종수요는 120조 원, 투자부문의 최종수요는 256조 원, 수출수요는 343조 원으로 집계되었다.

한편 총수입수요는 321조 원, 총관세수입이 6.4조 원, 총수입상품세가 5.3조 원으로 나타났고, 중간재투입수요와 가계최종수요, 정부 및 투자수요, 수출수요를 합한 최종수요의 합은 2,402조 원으로 집계되었고, 최종수요의 합에서 수입수요의 합을 제한 총공급은 2,069조 원으로 집계되었다. 총노동소득은 397조 원, 자본소득이 370조 원, 생산세는 88조 원, 보조금이 2.9조 원으로 나타났고, 이들을 모두 합한 총부가가치는 852조 원으로 나타났다. 총부가가치는 국내총생산(GDP)을 소득(earning)의 측면에서 나타낸 것으로 이를 지출 측면에서 나타내면 민간지출, 투자수요, 정부지출, 수출의 합에서 수입을 차감한 것이다. 이는 다시 노동소득, 자본소득, 세금의 합에서 보조금을 차감한 것과 같다. 총수요에서 수입수요를 차감한 액수는 852조 원으로 이는 정확히 총부가가치와 일치하는 것이다.

### 3) 시나리오

시나리오는 1) 석탄 및 석유 부문에 대한 보조금 제도 폐지 및 이로 인해 추가로 발생하는 재원을 목질계 바이오매스 에너지에 대한 가격보조를 실시하는 경우와, 2) 석탄 및 석유 부문에 대한 보조금 제도를 폐지하고 여기에서 발생하

는 추가 재원을 정부의 목질계 바이오매스에 대한 공공지출 확대에 이용하는 경우로 구성된다. CGE 모형에서는 식 (5)와 식 (6)에서와 같이 석탄 산출량 ( $Y_{coal}$ )에 대한 가격보조율 ( $sb_{coal}$ )을 설정하고, 가격보조율이 0의 값을 가질 때, 1) 이에 따라 증가된 정부수입만큼 목질계 바이오매스에 대한 시장가격을 보조하는 데에 이용되는 경우와, 2) 증가된 정부수입을 목질계 바이오매스에 대한 공공지출 확대에 이용하는 경우로 적용된다. 석탄과 바이오매스에 대한 가격 보조는 모형내의 부가가치에 대한 가격 ( $Pf_i$ )을 통해 그 영향이 전파되는데, 부가가치 가격은 산출가격 ( $Py_i$ )에서 생산세율 ( $ty_i$ )과 보조율 ( $sb_i$ )을 제하고, 아밍턴 복합재 가격 ( $Pa_i$ )에서 계산된 레온티에프 투입산출계수 ( $LC_{j,i}$ )를 다시 제함으로써 구해진다. 즉, 산출에 필요한 중간투입재와 부가가치(노동 및 자본), 생산세 및 보조금을 고려한 가격으로 이를 통해 생산세나 보조율 변화가 모형내의 타 방정식에 영향을 주게 된다(Lofgren *et al.*, 2002).

$$sb_{coal} = \frac{Sb_{coal}}{Y_{coal}}, \quad sb_{wood} = \frac{Sb_{wood}}{Y_{wood}} \quad (5)$$

$sb_{coal}$  : 석탄가격 보조율,  $sb_{wood}$  : 바이오매스 가격 보조율

$$Pf_i = Py_i(1 - ty_i - sb_i) - \sum_{j=1}^n LC_{j,i} Pa_j \quad (6)$$

$i, j = AGR, \dots, SERVICE$

한편 정부의 공공지출 ( $Gd_i$ )은 식 (7)과 식 (8)에서와 같이 정부 수입 ( $GR$ )과 기준균형해를 통해 고정된 공공지출률 ( $g_{share}$ ), 그리고 아밍턴 복합재화 가격 ( $Pa_i$ )에 의해 결정된다.

$$Gd_i = \frac{g_{share} GR}{Pa_i}, \quad g_{share} = \frac{Gd_0}{GR_0} \quad (7)$$

$Gd_0$  : 기준균형해에서의 공공지출,  $GR_0$  : 기준균형해에서의 정부수입

$$GR = \sum_{i=1}^n (Tm_i + Ty_i - Sb_i) \quad (8)$$

$Tm_i$  : 정부의 관세수입,  $Ty_i$  : 정부의 생산세입,  $Sb_i$  : 정부 보조금

## V. 결과 및 해석

### 1. 시나리오 1

2005년 산업연관표에서 파악된 석탄에 대한 총보조금은 2,402억 원으로, 이를 삭감하고, 증가된 세수만큼 목질계 바이오매스가 포함된 임업부문에 대한 보조금을 늘려줄 경우의 미시경제적 효과를 살펴보고자 한다.

우선 산업별 국내판매량(domestic sales), 총유입(absorption), 총산출(output), 수출 및 무역 부문의 변화를 살펴보면, 목질계 바이오매스를 포함한 임업부문의 성장이 두드러진다. 반면 석탄을 비롯한 모든 타산업부문은 대부분 감소하는 것으로 나타났다. 임업부문은 보조금 정책으로 인해 대부분의 변수들에 대해 증가세를 보였고, 다만 수입이 소폭 감소하는 것으로 나타났다. 이는 국산 목질계 바이오매스에 대한 보조금 정책에 따라 수입 바이오매스의 상대적 경제성이 악화되기 때문이다. 한편 석탄의 경우 국내판매량과 총산출은 6% 가까이 감소하고, 수출 또한 14% 감소하는 반면에, 상대적으로 경제성이 개선되는 수입 석탄에 대한 수요가 증가함을 알 수 있다. 따라서 총유입량은 소폭 감소한 -1.67%로 나타났다.

기타 부문을 살펴보면, 전력 및 건설 부문의 산출 감소가 두드러진다. 석탄부문에 비해서는 소폭 감소한 것이지만, 농업이나 석유, 증기, 식품 산업 등에 비해서는 다소 많이 감소한 것을 알 수 있다. 이는 전력 및 건설 부문의 석탄 사용 비중이 높거나 바이오매스에 대한 중간재 수요가 상대적으로 낮기 때문이다.

다음으로 본원적 요소수요인 노동수요와 자본수요, 그리고 부가가치와 중간재

투입수요를 살펴보면 다음과 같다. 우선 임업부문은 목질계 바이오매스에 대한 보조금 정책으로 전반적인 산출 수준이 증가하고, 이에 따라 본원적 요소수요도 증가하게 된다. 본원적 수요 증가는 생산세를 포함한 부가가치를 당연히 증가시키게 된다. 반면에 임업부문의 중간재 투입수요는 소폭 감소하는 것으로 나타났다. 이는 임업 역시 중간재로 석탄을 이용하며, 석탄에 대한 보조금 철폐에 따라 석탄가격이 상승하고, 이에 대해 석탄에 대한 수요를 줄임으로 인한 결과로 해석된다. 석탄의 경우 전반적인 산출 수준 하락에 따라 본원적 수요도 감소하는데, 노동수요는 5.88% 감소하나 자본수요는 변화가 없다. 이는 기준 균형해에서 석탄부문의 경우 자본에 대한 수요가 없다는 사실에 기인한다. 석탄의 중간재 투입수요는 1.68% 감소한다. 전력부문은 타 산업 가운데 노동과 자본수요가 가장 많이 감소하는 산업으로 분석되었다. 반면에 중간재 투입수요에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 석탄에 대한 중간재 투입수요를 감소시키고, 이를 대체하여 우드펠렛이나 우드칩에 대한 수요를 증가시킨 때문으로 풀이된다.

한편 임업부문의 경우 정부수요가 6.52% 증가하고, 공공서비스부문 수요가 0.23% 감소하는 것으로 나타난다. 정부수요는 기준 균형해에서 임업과 서비스부문만 나타나기 때문에 타부문에 대한 영향은 없는 것으로 나타난다. 생산세(output tax)는 석탄의 경우 생산량 감소에 따라 5.88%가 감소하고, 임업의 경우 보조금 정책으로 생산이 확대되므로 4.14% 증가하게 된다. 다른 부문들의 경우 산출 감소에 따라 생산세가 모두 감소하는 것으로 나타났다. 한편 수입관세는 석탄을 제외하고, 수입수요가 있는 경우라면 모두 감소하는 것으로 나타났다. 이는 석탄에 대한 수입수요만이 증가하기 때문이다.

전반적인 산출 감소에 따라 산출액에 비례하는 보조금 규모도 대부분의 산업에서 감소하였다. 시나리오의 가정에 의해 석탄부문은 2,402억 원의 보조금 전체가 삭감되면서 100% 감소하였고, 임업부문은 기준 데이터에서 보조금이 없었기 때문에 상대적인 변화율이 나타나지 않는다.

다음으로 시나리오 1에 의한 거시경제변수 변화를 우선 살펴보면, 국내총생산은 0.27%가 감소하고, 후생 수준은 1조 87억 원 감소한다. 온실가스 배출량

배 정 환

〈표 5〉 시나리오 1 : 석탄 보조금 철폐와 바이오매스 보조금 정책의  
산출 및 무역 효과

(단위 : %)

Sector	Domestic Sales	Absorption	Output	Export	Import
AGR	-0.14	-0.15	-0.14	-0.01	-0.23
WOOD	4.00	2.94	4.14	10.72	-0.38
COAL	-5.85	-1.67	-5.88	-14.05	0.22
OIL	-0.22	-0.23	-0.21	-0.19	-0.24
LNG	-0.17	-0.27	-0.17	-0.02	-0.27
MINE	-0.28	-0.31	-0.28	-0.23	-0.32
FOOD	-0.17	-0.18	-0.17	-0.08	-0.24
CLOTH	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26
PULP	-0.19	-0.22	-0.17	0.05	-0.36
CHEMICAL	-0.23	-0.24	-0.23	-0.20	-0.26
METAL	-0.31	-0.30	-0.32	-0.37	-0.27
MACHINE	-0.27	-0.27	-0.27	-0.27	-0.28
ELEC	-0.34	-0.34	-0.34	-0.60	-0.16
TOWNGAS	-0.27	-0.27	-0.27	-0.25	-0.29
STEAM	-0.04	-0.04	-0.04	0.45	-0.37
CONSTRUCT	-0.31	-0.31	-0.31	-0.33	-0.30
SALES	-0.23	-0.23	-0.23	-0.19	-0.26
TRANS	-0.25	-0.25	-0.24	-0.22	-0.26
COMM	-0.23	-0.23	-0.23	-0.19	-0.26
SERV	-0.25	-0.25	-0.25	-0.23	-0.26

기후친화적 연료 생산 확대를 위한 정책 수단간 일반균형효과의 비교

〈표 6〉 석탄 보조금 철폐와 바이오매스 보조금 정책의  
요소수요 및 중간재 투입 효과

(단위 : %)

Sector	Labor Demand	Capital Demand	Value-Added	Intermediate Demand
AGR	-0.54	-0.09	-0.35	-0.17
WOOD	3.70	4.16	3.89	-0.05
COAL	-5.88	0	-5.71	-1.68
OIL	-0.54	-0.10	-0.36	-0.23
LNG	-0.60	-0.15	-0.42	-0.27
MINE	-0.58	-0.14	-0.40	-0.31
FOOD	-0.39	0.06	-0.21	-0.20
CLOTH	-0.41	0.04	-0.23	-0.25
PULP	-0.37	0.08	-0.18	-0.22
CHEMICAL	-0.47	-0.02	-0.28	-0.24
METAL	-0.58	-0.13	-0.39	-0.30
MACHINE	-0.47	-0.02	-0.28	-0.27
ELEC	-0.69	-0.25	-0.51	-0.27
TOWNGAS	-0.59	-0.14	-0.41	-0.29
STEAM	-0.38	0.07	-0.19	-0.19
CONSTRUCT	-0.44	0	-0.26	-0.26
SALES	-0.46	-0.01	-0.28	-0.25
TRANS	-0.45	0	-0.27	-0.25
COMM	-0.50	-0.05	-0.32	-0.24
SERV	-0.45	0	-0.26	-0.25

배 정 환

〈표 7〉 석탄 보조금 철폐 및 바이오매스 보조금 정책이  
정부부문에 미치는 효과

(단위 : %)

Sector	Government Demand	Output Taxes	Import Taxes	Subsidy
AGR	-	-0.14	-0.23	-0.14
WOOD	6.52	4.14	-0.38	-
COAL	-	-5.88	0.22	-100
OIL	-	-0.21	-0.24	-
LNG	-	-0.17	-0.27	-
MINE	-	-0.28	-0.32	-0.28
FOOD	-	-0.17	-0.24	-0.17
CLOTH	-	-0.26	-0.26	-0.26
PULP	-	-0.17	-0.36	-0.17
CHEMICAL	-	-0.23	-0.26	-0.23
METAL	-	-0.32	-0.27	-0.32
MACHINE	-	-0.27	-0.28	-0.27
ELEC	-	-0.34	-	-0.34
TOWNGAS	-	-0.27	-	-
STEAM	-	-0.04	-	-0.04
CONSTRUCT	-	-0.31	-	-0.31
SALES	-	-0.23	-	-0.23
TRANS	-	-0.24	-	-0.24
COMM	-	-0.23	-	-0.23
SERV	-0.23	-0.25	-0.25	-0.25



〈표 8〉 시나리오 1의 온실가스 배출 저감량과 저감비용

(단위: 백만 TCO<sub>2</sub>)

구 분		온실가스 배출량	온실가스 배출변화
에너지 부문	석 탄	211.00	-12.41
	석 유	208.62	-0.44
	LNG	70.95	-0.12
	합 계	490.57	-12.97
산업공정 및 폐기물		79.76	-0.19
농업/축산		16.12	-0.02
토지이용/임업		-31.96	-1.32
총배출량		586.44	-13.18
GDP 감소액(조 원)		-2.30	
GDP 대비 온실가스 저감비용(원/TCO <sub>2</sub> )		174,536	
후생손실(십억 원)		-1086.63	
후생손실 대비 온실가스 저감비용(원/TCO <sub>2</sub> )		82,445	

변화를 살펴보기 위해서는 원래 기준균형해(benchmark solution)에서 각 발생 원별 온실가스 배출량을 내생적으로 결정해야 한다. 그러나 여기서는 2005년도 산업연관표를 이용하고 있기 때문에 온실가스 배출량을 정확하게 산출할 수 없다. 따라서 에너지경제연구원에서 추정한 2005년 에너지원별 온실가스 배출량(에너지경제연구원, 2009b)에 기초하여, 시나리오 1에서 도출된 에너지원별 산출량 변화를 곱하여 원별 배출량 변화를 분석하기로 한다.

시나리오 1에 의하면 석탄에 의한 온실가스 배출량이 12.4백만 TCO<sub>2</sub> (Ton of CO<sub>2</sub>) 감소되고, 석유에 의해서는 0.44백만 TCO<sub>2</sub>, LNG는 0.12백만 TCO<sub>2</sub>가 저감되어, 에너지 부문에서 총 12.97백만 TCO<sub>2</sub>가 저감된다. 또한 산업공정 및 폐기물 부문에서 0.19백만 TCO<sub>2</sub>, 농업 및 축산에서 0.02백만 TCO<sub>2</sub>가 저감되며, 목질계 바이오매스를 포함한 임업부문이 1.32백만 TCO<sub>2</sub>가 저감된다. 총배

출 저감량은 13.18백만 TCO<sub>2</sub>이고, 국내총생산 감소액이 2.3조 원임을 감안할 때, 1톤의 이산화탄소를 저감하는 데에 드는 저감비용이 174,536원이 된다. 또한 후생손실 기준으로는 톤당 82,445원이다.<sup>13)</sup>

## 2. 시나리오 2

석탄에 대한 보조금인 2,402억 원을 삭감하고, 이를 목질계 바이오매스를 포함하는 임업부문에 대한 공공지출을 증가시킬 경우 미시경제적 효과부터 살펴 보도록 한다.

우선 국내판매량과 총유입, 산출량, 수출수요 및 수입수요에 대한 영향을 살펴보면, 전반적으로 시나리오 1에 비해 임업부문에 대한 영향이 더 크다는 것을 알 수 있다. 이는 가격 보조보다 직접적인 공공수요 확대가 해당 산업에는 영향을 더 확실하게 미친다는 것을 보여준다. 또한 석탄의 경우 시나리오 1보다 전반적인 수준이 더 감소하고 있음을 보여준다. 이는 석탄에 대한 목질계 바이오매스 대체가 더 크게 나타남을 보여준다. 또한 시나리오 1과 달리 공공 지출이 확대됨에 따라 수입수요도 상당히 증가하는 것으로 나타나는데, 이는 보조금을 통해 목질계 바이오매스의 경제성을 확보하는 정책이 국산 바이오매스 시장 확보 차원에서는 더 우수한 전략임을 보여주는 것이다.

한편 농업, 광업, 에너지 부문, 제조업 및 서비스 부문 전반에 걸쳐 시나리오 1보다 감소율이 더 높게 나타났다. 이 역시 가격보조 정책이 타산업에 대한 부정적인 영향을 줄인다는 것을 보여주는 것이다.

임업부문에 대한 전반적인 산출 수준 증가에 따라 노동과 자본수요도 함께 증가하는데, 이 역시 시나리오 1에 비해 더 큰 폭으로 증가하였다. 석탄에 대한 노동 및 자본수요, 부가가치도 더 큰 폭으로 하락하였다. 타부문의 본원적 수요

---

13) 후생손실(welfare loss)은 전술한 바와 같이 보상변화에 의해 측정되었다. 즉, 소비자가 가격이나 수량변화로 인해 입게 되는 금전적 비용을 말한다. 본 연구에서는 후생손실의 관점에서 1TCO<sub>2</sub>의 이산화탄소를 저감하는 데에 드는 비용을 계산하였다.

기후친화적 연료 생산 확대를 위한 정책 수단간 일반균형효과의 비교

〈표 9〉 석탄 보조금 철폐와 바이오매스 공공수요확대 정책이  
산출 및 무역에 미치는 효과

(단위: %)

Sector	Domestic Sales	Absorption	Output	Export	Import
AGR	-0.30	-0.31	-0.29	-0.12	-0.42
WOOD	5.97	5.92	5.97	6.24	5.78
COAL	-6.03	-1.86	-6.06	-14.23	0.04
OIL	-0.38	-0.40	-0.37	-0.33	-0.41
LNG	-0.27	-0.45	-0.27	-0.01	-0.45
MINE	-0.48	-0.52	-0.48	-0.39	-0.54
FOOD	-0.35	-0.35	-0.34	-0.25	-0.41
CLOTH	-0.44	-0.45	-0.44	-0.44	-0.45
PULP	-0.42	-0.42	-0.42	-0.39	-0.44
CHEMICAL	-0.41	-0.41	-0.39	-0.36	-0.44
METAL	-0.53	-0.52	-0.53	-0.56	-0.51
MACHINE	-0.48	-0.48	-0.46	-0.44	-0.50
ELEC	-0.51	-0.51	-0.51	-0.76	-0.34
TOWNGAS	-0.45	-0.45	-0.45	-0.41	-0.47
STEAM	-0.40	-0.40	-0.40	-0.38	-0.42
CONSTRUCT	-0.62	-0.62	-0.62	-0.64	-0.60
SALES	-0.40	-0.40	-0.39	-0.34	-0.44
TRANS	-0.41	-0.42	-0.40	-0.37	-0.45
COMM	-0.37	-0.38	-0.37	-0.30	-0.42
SERV	-0.37	-0.37	-0.37	-0.34	-0.38

배 정 환

〈표 10〉 석탄 보조금 철폐와 바이오매스 공공수요확대 정책이  
요소수요 및 중간재 투입수요에 미치는 효과

(단위 : %)

Sector	Labor Demand	Capital Demand	Value-added	Intermediate Demand
AGR	-0.96	-0.21	-0.66	-0.34
WOOD	5.22	6.01	5.54	-0.20
COAL	-6.06	0	-5.78	-1.86
OIL	-0.93	-0.18	-0.63	-0.39
LNG	-0.99	-0.24	-0.69	-0.45
MINE	-0.98	-0.23	-0.68	-0.52
FOOD	-0.71	0.03	-0.42	-0.36
CLOTH	-0.70	0.05	-0.40	-0.43
PULP	-0.75	0	-0.45	-0.42
CHEMICAL	-0.80	-0.05	-0.50	-0.41
METAL	-0.96	-0.22	-0.67	-0.52
MACHINE	-0.79	-0.05	-0.49	-0.46
ELEC	-1.10	-0.35	-0.80	-0.44
TOWNGAS	-0.97	-0.23	-0.68	-0.47
STEAM	-0.97	-0.23	-0.67	-0.40
CONSTRUCT	-0.83	-0.09	-0.53	-0.39
SALES	-0.78	-0.04	-0.49	-0.41
TRANS	-0.75	-0.01	-0.46	-0.43
COMM	-0.82	-0.08	-0.53	-0.39
SERV	-0.70	0.05	-0.40	-0.41

기후친화적 연료 생산 확대를 위한 정책 수단간 일반균형효과의 비교

〈표 11〉 석탄 보조금 철폐와 바이오매스 공공수요확대 정책이  
요소수요 및 중간재 투입수요에 미치는 효과

(단위: %)

Sector	Government Demand	Output Taxes	Import Taxes	Subsidy
AGR	-	-0.29	-0.42	-0.29
WOOD	19.96	5.97	5.78	-
COAL	-	-6.06	0.04	-100
OIL	-	-0.37	-0.41	-
LNG	-	-0.27	-0.45	-
MINE	-	-0.48	-0.54	-0.48
FOOD	-	-0.34	-0.41	-0.34
CLOTH	-	-0.44	-0.45	-0.44
PULP	-	-0.42	-0.44	-0.42
CHEMICAL	-	-0.39	-0.44	-0.39
METAL	-	-0.53	-0.51	-0.53
MACHINE	-	-0.46	-0.50	-0.46
ELEC	-	-0.51	-	-0.51
TOWNGAS	-	-0.45	-	-
STEAM	-	-0.40	-	-0.40
CONSTRUCT	-	-0.62	-	-0.62
SALES	-	-0.39	-	-0.39
TRANS	-	-0.40	-	-0.40
COMM	-	-0.37	-	-0.37
SERV	-0.13	-0.37	-0.38	-0.37

〈표 12〉 시나리오 2에서의 온실가스 저감량과 저감비용

(단위: 백만 TCO<sub>2</sub>)

구 분		온실가스 배출량	온실가스 배출변화
에너지 부문	석 탄	211.00	-12.79
	석 유	208.62	-0.77
	LNG	70.95	-0.19
	합 계	490.57	-13.75
산업공정 및 폐기물		79.76	-0.35
농업/축산		16.12	-0.05
토지이용/임업		-31.96	-1.91
총배출량		586.44	-14.15
GDP 감소액(조 원)		-3.83	
GDP 대비 온실가스 저감비용(원/TCO <sub>2</sub> )		271,028	
후생손실(십억 원)		-1895.74	
후생손실 대비 온실가스 저감비용(원/TCO <sub>2</sub> )		134,011	

와 중간재 투입수요, 부가가치도 대체로 감소하였고, 의류와 서비스 부문만 자본수요에 변화가 없는 것으로 나타났다. 이들 부문의 경우 석탄수요와는 거의 관련이 없기 때문으로 보인다.

목질계 바이오매스에 대한 공공지출 확대에 따라 임업부문에 대한 정부수요도 20% 가까이 증가하는 반면, 공공 서비스 수요는 -0.13%로 소폭 감소하였다. 또한 생산세의 경우 임업부문의 산출 증가에 따라 5.97%가 증가하였고, 석탄의 경우 생산 감소에 따라 생산세도 6.06% 감소하는 것으로 나타남을 알 수 있다. 이 밖의 산업들은 대부분 산출 감소에 따라 생산세도 소폭 감소하였다. 수입관세의 경우 임업의 수입수요 증가에 따라 수입관세도 늘어났다. 반면에 타 부분들의 수입관세는 대부분 수입수요 감소에 따라 감소하였다. 보조금도 석탄은 100% 삭감되었고, 대부분 산업에서 산출 감소에 따라 보조금도 감소하였다.

한편 시나리오 2에 의한 거시경제적, 환경적, 후생 변화를 살펴보면 다음과 같다. 국내총생산은 0.45% 줄어들어, 시나리오 1에 비해 더 크게 감소하고, 후생 수준도 1,895십억 원 감소하여 시나리오 1보다 더 후생손실이 크게 나타난다. 이는 정부가 직접 바이오매스 수요를 창출하기보다는 보조금 지급을 통해 간접적으로 수요를 창출하는 것이 거시경제적 측면에서 더 우월한 정책임을 보여주는 것이다.

또한 온실가스 저감량을 살펴보면, 석탄에 의한 온실가스 배출량은 12.79백만 TCO<sub>2</sub>가 감소하고, 석유가 0.77백만 TCO<sub>2</sub>, 천연가스 0.19백만 TCO<sub>2</sub>가 저감되어 에너지 부문에서 13.75백만 TCO<sub>2</sub>가 저감된다. 또한 산업공정과 폐기물부문에 0.34백만 TCO<sub>2</sub>, 농업 및 축산에서 0.05백만 TCO<sub>2</sub>, 목질계 바이오매스를 포함한 임업이 1.91백만 TCO<sub>2</sub>가 저감되어 총 14.15백만 TCO<sub>2</sub>가 저감된다. 시나리오 1에 비해 약 1백만 TCO<sub>2</sub>가 더 저감될 수 있다. 또한 GDP 감소액인 3.83조 원에 대해 단위당 저감비용을 계산하면 이산화탄소 톤당 271,028원이 들고, 후생손실 대비로는 톤당 134,011원이 소요된다. 즉, 이산화탄소 저감을 위한 비용효과성 측면에서는 시나리오 1이 시나리오 2보다 우수한 정책임을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 연구에서는 대표적인 화석연료 보조금 제도인 석탄에 대한 보조금 제도를 폐지하고, 여기에서 발생하는 세원을 친환경 연료이면서 석탄과 기술적 대체가 용이한 목질계 바이오매스 보급을 확대하는 데에 이용할 경우 경제·환경적 파급효과가 얼마나 될 것인지를 연산가능일반균형(CGE)모형을 이용하여 분석해보았다. 구체적인 정책 수단으로 목질계 바이오매스에 대한 가격보조와 정부의 공공지출 확대를 선정하고, 이들 정책이 시행되었을 때 산업 생산과 소비, 요소 수요, 정부와 무역 부문 등 미시적인 영향과 국내총생산 및 후생변화와 같은 거

시경제적 영향, 그리고 온실가스 감축량과 단위당 온실가스 저감비용과 같은 환경적 측면의 영향을 살펴보았다.

우선 석탄에 대한 연간 보조금 2,402억 원을 삭감하고, 이를 목질계 바이오매스 생산에 대한 가격 보조금으로 전환할 경우, 목질계 바이오매스를 포함하는 임업부문 산출 수준은 4.14% 증가하고, 수출은 11% 증가하는 반면, 석탄산업은 산출이 5.85% 감소하고, 수출 또한 14%가 감소하는 것으로 분석되었다. 대부분의 산업들도 간접적인 영향을 받기는 하지만 전력부문을 제외하고는 생산량도 소폭 감소하였다. 이러한 산출 수준 변화에 따라 본원적 수요도 같은 방향으로 변하는 것을 확인하였고, 대체로 자본수요보다는 노동수요가 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 한편 거시경제변수의 경우 국내총생산이 0.27% 감소하고, 후생 수준은 1,087십억 원 감소되는 것으로 나타났다. 또한 온실가스 저감량은 13.18백만 TCO<sub>2</sub>이고, 국내총생산 손실 대비 톤당 이산화탄소 저감비용은 174,536원, 후생손실 기준으로 톤당 82,445원으로 분석되었다.

다음으로 석탄 보조금을 철폐하고, 이를 목질계 바이오매스에 대한 공공지출 확대 재원으로 이용할 경우, 목질계 바이오매스를 포함하는 임업부문 산출량이 시나리오 1보다 더 크게 증가한 5.97%로 나타났고, 석탄에 대한 산출량은 6.06% 감소하였다. 여기에서 시나리오 1과 두드러지는 차이점은 목질계 바이오매스에 대한 수입수요가 시나리오 1에 비해 크게 증가한 5.78%에 달한다는 점이다. 따라서 국산 바이오매스 보급 확대 정책을 주요 정책 목표 가운데 하나로 설정한 경우라면 공공지출 확대보다는 가격 보조 정책이 더 우월하다고 하겠다. 목질계 바이오매스 산출 증가에 따라 관련된 본원적 수요도 함께 증가하고, 석탄과 기타 산업들의 경우 대체로 요소수요는 감소하는 것으로 나타났다. 한편 거시경제변수의 변화를 살펴보면, 국내총생산은 0.45% 감소하고, 후생 수준은 1,895십억 원 감소되어 시나리오 1에 비해 더 크게 감소한 것을 알 수 있다. 반면 온실가스 저감량은 14.15백만 TCO<sub>2</sub>로 시나리오 1보다 더 많이 저감된 것을 알 수 있다. 또한 국내총생산 손실 대비 단위톤당 저감 비용은 271,028원이고, 후생손실 대비로는 134,011원으로 나타나, 시나리오 1보다 약 1.6배 더 비싸게



드는 것으로 나타났다.

끝으로 환경세의 이중배당가설의 관점에서 본 연구 결과를 해석하면 다음과 같다. 기후친화적 연료에 대한 보조금을 삭감하고, 그 재원을 기후친화적 연료 생산 확대를 위해 이용하고자 할 때, 소비자 후생에 대한 보상변화(CV)가 음(-)의 값을 가져 이중배당이 성립하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 소비자 후생 측면에서나, 단위당 CO<sub>2</sub> 배출저감 비용 측면에서나, 바이오매스의 국내생산 확대를 위해서나 정부가 직접 공공지출을 확대하기보다는 가격보조를 실시하는 것이 더 우월한 정책임을 보여주었다.

## 〈부록〉 CGE 모형을 구성하는 주요 방정식

### 1. 가격 방정식

$$Pm_i = Pwm_i(1 + tm_i)Pfx, \quad Px_i = Pwx_iPfx,$$

$$Pa_iA_i = Pdd_iD_i + Pm_iM_i$$

$$Py_iY_i = Pdd_iD_i + Px_iE_i^d, \quad Pf_i = Py_i(1 - ty_i - sb_i) \sum_{j=1}^n Lc_{i,j}Pa_j$$

$Pm_i$  : 원화표시 수입재 가격,  $Pwm_i$  : 상품  $i$ 에 대한 국제시장가격,  
 $tm_i$  : 수입재  $i$ 에 대한 관세율,  $Pfx$  : 환율,  $Pa_i$  : 아밍턴 복합재 가격,  
 $Pdd_i$  : 국내재 가격,  $M_i^d$  : 상품  $i$ 에 대한 수입수요,  
 $D_i$  : 상품  $i$ 에 대한 내수,  $Py_i$  : 산업  $i$ 의 산출가격,  
 $Px_i$  : 원화표시 수출재 가격,  $E_i^d$  : 상품  $i$ 에 대한 수출수요,  
 $Pf_i$  : 부가가치가격,  $ty_i$  : 생산세율,  $sb_i$  : 가격 보조율,  
 $Lc_{i,j}$  : 산업  $j$ 의 산업  $i$ 에 대한 중간투입계수

## 2. 생산 및 무역 부문 방정식

$$Y_i = Av_i L_i^{d_{l_i}} K_i^{d_{k_i}}, \quad L_i^d = \frac{Pf_i \Theta l_i Y_i}{Pl}, \quad K_i^d = \frac{Pf_i \Theta k_i Y_i}{Pk}$$

$$Vad_i = PIL_i^d + PkK_i^d, \quad GDP = \sum_{i=1}^n (Vad_i + Ty_i)$$

$$Q_i = Ac_i (\delta_i M_i^{d_{\sigma_i}} + (1 - \delta_i) D_i^{\frac{\sigma_i - 1}{\sigma_i}})^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i - 1}}, \quad M_i^d = D_i \left( \frac{Pdd_i}{Pm_i} \frac{\delta_i}{1 - \delta_i} \right)^{\sigma_i}$$

$$Y_i = At_i (\gamma_i E_i^{d_{\tau_i}} + (1 - \gamma_i) D_i^{\frac{\tau_i + 1}{\tau_i}})^{\frac{\tau_i}{\tau_i + 1}}, \quad E_i^d = D_i \left( \frac{Px_i}{Pdd_i} \frac{1 - \gamma_i}{\gamma_i} \right)^{\tau_i}$$

$$IM_i^d = \sum_{j=1}^n Lc_{i,j} Y_j$$

$Y_i$  : 산업  $i$ 의 산출 수준,  $Av_i$  : 콥-더글러스 생산함수 기술진보계수,  
 $L_i^d$  : 산업  $i$ 의 노동수요,  $K_i^d$  : 산업  $i$ 의 자본수요,  $\Theta l_i$  : 노동비용비중,  
 $\Theta k_i$  : 자본비용비중,  $Pl$  : 노동가격,  $Pk$  : 자본가격,  
 $Vad_i$  : 산업  $i$ 의 부가가치수요,  $GDP$  : 국내총생산,  
 $Ty_i$  : 산업  $i$ 의 생산세,  $Q_i$  : 아밍턴 복합재화의 수요량,  
 $Ac_i$  : 아밍턴 함수의 기술진보계수,  $\sigma_i$  : 아밍턴 대체탄력성에 관한 계수,  
 $At_i$  : 수출전환함수의 기술진보계수,  $\gamma_i$  : 수출수요의 할당비중,  
 $\tau_i$  : 수출전환탄력성에 관한 계수,  $IM_i^d$  : 산업  $i$ 의 중간재 투입 수요

## 3. 정부부문 방정식

$$Gd_i = g_{share_i} \frac{GR}{Pa_i}, \quad Ty_i = ty_i Y_i, \quad Tm_i = tm_i M_i, \quad Sb_i = sb_i Y_i$$

$$GR = \sum_{i=1}^n (Tm_i + Ty_i - Sb_i), \quad Govsav = \Theta g GR$$

$Gd_i$  : 정부의 산업  $i$ 에 대한 공공지출,  
 $g_{share_i}$  : 산업  $i$ 에 대한 공공지출비중,  
 $GR$  : 정부 수입,  $Govsav$  : 정부 저축,  $\Theta g$  : 정부 저축률

#### 4. 소비부문 방정식

$$Laby = \sum_{i=1}^n (L_i^d P_i), \quad Capy = \sum_{i=1}^n (K_i^d P_k), \quad Hhy = Laby + Capy$$

$$Cd_i = \frac{\Theta P_i}{Pa_i} C, \quad C = Hhy - Hhsav, \quad Hhsav = \Theta s Hhy$$

$Laby$  : 가계의 노동소득,  $Capy$  : 가계의 자본소득,  
 $Hhy$  : 가계총소득,  $Cd_i$  : 상품  $i$ 에 대한 가계수요,  
 $\Theta p_i$  : 가계의 소비율,  $C$  : 가계의 총소비,  
 $Hhsav$  : 가계 저축,  $\Theta s$  : 가계 저축률

#### 5. 투자부문 방정식

$$Id_i = \frac{\Theta i_i Is}{Pa_i}, \quad Is = Hhsav + Gowsav + Exosav + Rowsav$$

$Id_i$  : 산업  $i$ 의 투자수요,  $\Theta i_i$  : 산업  $i$ 의 투자율,  $Is$  : 총투자액,  
 $Rowsav$  : 해외로부터의 저축

#### 6. 시장 균형 방정식

$$Q_i = IM_i^d + Cd_i + Id_i + Gd_i,$$

$$Exosav = \sum_{i=1}^n Id_i - Hhsav - Gowsav - Rowsav$$

$$Ls = \sum_{i=1}^n L_i^d, \quad Ks = \sum_{i=1}^n K_i^d, \quad Rowsav = \sum_{i=1}^n M_i^d P_m - \sum_{i=1}^n E_i^d P_x$$

$Exosav$  : 총저축과 투자수요의 차이,  
 $Ls$  : 총노동공급,  $Ks$  : 총자본공급

◎ 참 고 문 헌 ◎

1. 국회예산정책처, 「난방부문 에너지 수요관리 정책 및 사업 평가」, 사업평가 09-02, 2009.
2. 문영석, “에너지정책변화와 세수보전: 난방유 세율체계 개편을 중심으로”, 「이슈페이퍼」, 1권 12호, 에너지경제연구원, 2007.
3. \_\_\_\_\_ · 조경엽, “불완전 경쟁시장하의 대체에너지 기술개발과 기후변화협약”, 에너지경제연구원, 2003.
4. 배정환 · 조경엽, “동태 CGE 모형을 활용한 수소에너지 보급의 경제적 영향 추정”, 「자원 · 환경경제연구」, 16권 2호, 2006, pp. 275~311.
5. 삼성경제연구소, 「신재생에너지 산업화 촉진방안 연구」, 지식경제부 · 에너지관리공단, 2008.
6. 에너지경제연구원, 「에너지 총조사 보고서」, 지식경제부, 2006.
7. \_\_\_\_\_, 「바이오매스에 의한 열공급 부문 지원방안」, 지식경제부, 2008.
8. \_\_\_\_\_, 「에너지통계연보 2008」, 지식경제부 · 에너지관리공단, 2009a.
9. \_\_\_\_\_, 「온실가스 인벤토리 2005」, 내부자료, 2009b.
10. 정부합동보고, “저탄소에너지 생산 · 보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획”, 청와대, 2009.
11. 정인교, 「한 · 미 경제관계와 양국간 FTA의 평가」, 대외경제정책연구원, 2001.
12. 정재호 · 성명재 · 이명현, 「관세율 체계 개선을 위한 연구 : 국제비교 및 일반균형 모형의 응용」, 한국조세연구원, 2003.
13. 한국은행, ‘2005년 산업연관표’, www.ecos.bok.co.kr, 2009.
14. André, F. J., M. A. Cardenete, and E. Velazquez, “Performing an Environmental Tax Reform in a Regional Economy : A Computable General Equilibrium Approach,” Working Paper, No. 2003-125, Tilberg University, 2003.
15. Arrow, K. J. and G. Debreu, “Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy,” *Econometrica* 22, 1954, pp. 265~290.

16. Ballard, C. L., D. Fullerton, J. B. Shoven, and J. Whalley, "A General Equilibrium Model for Tax Policy Evaluation," Chicago: University of Chicago Press, 1985.
17. Bohringer, C. and F. T. Rutherford, "Carbon Taxes with Exemptions in an Open Economy: A General Equilibrium Analysis of the German Tax Initiative," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 32, 1997, pp. 189~203.
18. Bovenberg, A. L. and R. A. de Mooij, "Environmental Levies and Distortionary Taxation," *The American Economic Review*, Vol. 84, No. 4, 1994, pp. 1085~1089.
19. Bruvoll, A. and I. Karin, Green Throughput Taxation: Environmental And Economic Consequences, 12, 1998, pp. 387~401.
20. Dixon, P. B., B. R. Parmenter, J. Sutton, and D. P. Vincent, "ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy," Amsterdam: North-Holland, 1982.
21. Freeman III, A. M., "The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods," Resources for the Future, Washington, D.C., 1999.
22. Ginsburgh, V. A. and J. L. Waelbroeck, "Activity Analysis and General Equilibrium Modelling," Amsterdam: North-Holland, 1981.
23. Goulder, L. H., I. W. H. Parry, and D. Burtraw, "Revenue-Raising versus Other Approaches to Environmental Protection: The Critical Significance of Preexisting Tax Distortions," *The RAND Journal of Economics*, Vol. 28, No. 4, 1997, pp. 708~731.
24. Hughes, E., "Biomass Cofiring: Economics, Policy, and Opportunities," *Biomass and Bioenergy* 19, 2000, pp. 457~469.
25. Ignaciuk, A. M. and R. B. Dellink, "Biomass and Multi-product Crops for Agricultural and Energy Production-an AGE Analysis," *Energy Economics* 28, 2006, pp. 308~325.
26. Johansen, L., "A Multi-sectoral Study of Economic Growth," Amsterdam: North-Holland, 1960.
27. Kancs, d'Artis, "Integrated Appraisal of Renewable Energy Strategies: A CGE Analysis," *International Journal of Energy Technology and Policy*, Vol. 1, No. 1/2, 2002.
28. Kolstad, C. D., Environmental Economics, Oxford University Press, NY, USA, 2000.
29. Lofgren, H., R. L. Harris, and S. Robinson, A Standard Computable General Equilibrium (CGE) Model in GAMS, IFPRI, 2002.

30. Merrill, O. H., "Applications and Extension of an Algorithm that Computes Fixed Points of Certain upper Semi-continuous Point to Set Mappings, Ph. D. Thesis, Department of Industrial Engineering, University of Michigan, 1972.
31. Parry, I. W. H. and A. M. Bento, "Tax Deductions, Environmental Policy, and the 'Double Dividend' Hypothesis," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 39, 2000, pp. 67~96.
32. Rana, A., "Evaluation of a Renewable Energy Scenario in India for Economic and CO<sub>2</sub> Mitigation Effects," *Review of Urban and Regional Development Studies*, Vol. 15, No. 1, 2003, pp. 45~54.
33. Rutherford, T. and S. Paltsev, "From and Input-Output Table to a General Equilibrium Model: Assessing the Excess Burden of Indirect Taxes in Russia," Working paper, Department of Economics, University of Colorado, 1999.
34. Scarf, H. E., "The Approximation of Fixed Points of a Continuous Mapping," *SIAM Journal of Applied Mathematics* 15, 1967, pp. 1328~1343.
35. \_\_\_\_\_, "The Computation of Economic Equilibria," New Haven: Yale University Press, 1973.
36. Whalley, J., "A Numerical Assessment of the April 1973 Tax Changes in the United Kingdom," Ph.D. dissertation, Yale University, 1973.

접수일(2010년 8월 5일), 수정일(2010년 8월 28일), 게재확정일(2010년 9월 3일)

---

## 기후친화적 연료 생산 확대를 위한 정책 수단간 일반균형효과의 비교

---

배 정 환

석탄은 중요한 에너지원이지만 가장 ‘기후친화적인’ 연료로 알려져 있다. 석탄의 생산과 소비를 줄이기 위해서는 일반적으로 탄소세나 환경세, 배출권거래제가 정책수단으로 지금까지 많이 논의되어 왔다. 그러나 석탄에 대한 보조금이 일반화되어 있는 우리나라의 경우, 환경세나 배출권거래제보다는 보조금 제도를 점진적으로 철폐하는 것이 시장왜곡을 줄이는 데에 더 적절할 수 있다. 본 연구에서는 석탄에 대한 보조금을 폐지하고, 여기서 발생하는 재원을 석탄과 연료 호환성이 뛰어난 목질계 바이오매스의 원활한 대체를 위해 가격보조 혹은 공공지출 확대에 이용할 경우 어떤 방식이 더 우수하며, 미거시적 영향과 온실가스 저감에 미치는 영향은 어떻게 나타나는지를 연산가능일반균형모형을 이용하여 분석하였다. 분석 결과 비록 이중배당가설이 성립하지는 않지만, 공공지출보다는 가격보조 방식이 소비자 후생에 대한 부정적인 영향이 더 적고, 단위당 온실가스 배출비용이 더 적은 것으로 평가되었다.

주제어 : 석탄, 목질계 바이오매스, 연산가능일반균형모형, 온실가스

Comparison of Different Policy Measures for  
Fostering Climate Friendly Fuel Technology Applying  
a Computable General Equilibrium Model

---

Jeong-Hwan Bae

Although coal has been utilized as major fuel, it is known as ‘most climate unfriendly’ fuel. Carbon tax or tradable permit policy has been discussed as major measure for reducing production and consumption of coal, but it might be more efficient to remove subsidy on coal production and consumption. This study examines economic and environmental effects of recycling revenue from reducing subsidy on the use of coal to foster climate friendly fuel (ligneous biomass) by price subsidy or increased public expenditure. A static CGE model was applied to analyze the welfare consequences and economic impacts of two policy measures. The result shows that price subsidy policy is more desirable than creation of public demand in terms of welfare as well as overall economic impacts.

Keywords : climate-unfriendly fuel, coal, ligneous biomass,  
climate-friendly fuel, CGE model