

산업연관분석을 이용한 수소 에너지 도입에 따른 중장기 국내 총산출 변화 분석¹⁾

김윤경*, 김정인

Forecast of Domestic Outputs from the Introduction of Hydrogen Energy in Korea Using Input-Output Analysis

Yoon-kyung Kim*, Jeong-in Kim

Abstract 산업자원부가 발표한 “수소경제 실현을 위한 장기 로드맵”을 근거로 본 연구에서는 우리나라에 연료전지 산업이 도입되었을 경우에 국내총산출의 변화 정도를 추정하였다. 동 계획에 따르면 2020년까지는 기술개발단계이며, 2020~2030년은 도입단계이며, 2030년부터는 상용화단계이다. 이를 토대로 우리나라의 경제성장을 전망, 산업구조 변화 전망 등 관련 정보들을 이용하면서 산업연관분석과 KEO-RAS법을 이용하여 연료전지가 수송용과 발전용에 보급된다는 계획이 추진되었을 2010년, 2020년, 2030년의 산업연관표를 추정한 후 국민경제 전체의 산출의 변화를 추정하였다. 그 결과 2020년경에는 약 0.6%, 2030년경에는 약 0.9%의 국내 총산출 효과를 유발할 것으로 추정되었다.

Key words 수소에너지, 국내총산출, 발전용 연료전지, 수송용 연료전지, 산업연관표분석, 라그랑주승수법

* 이화여자대학교 사회과학대학 경제학전공
 ■ E-mail : yoonkim@ewha.ac.kr ■ Tel : (02)3277-4690 ■ Fax : (02)3277-2783

Nomenclature

I/O: Input-Output
 RE: Renewable Energy

1. 서론

선진국 대부분은 원재료와 에너지로서 쓰이는 천연자원을 생산과정에 대량으로 투입하여 많은 양의 재화를 생산하고, 경제주체들은 생산된 재화와 용역들을 유통하고 소비하는 과정

속에서 자신들의 효용을 증대시켰다. 그리고 급속한 성장구조의 변화를 겪으면서 발전을 이루어 왔다.

천연자원 대량소비형으로 평가할 수 있는 이러한 경제성장의 과정은 생산, 유통, 소비의 흐름 속에서 총 투입과 총산출로 측정할 수 있는 정(正)의 시장가치를 갖는 재화(goods)를 만들었다. 그러나 이러한 경제성장은 천연자원의 고갈과 환경오염과 같은 시장에서 평가할 수 없는 재화에 대해서 부(負)의 재화(bads)라는 문제를 발생시키고 있다.

1) 본 논문은 고효율수소에너지제조·저장·이용기술개발산업단의 지원 하에 이루어졌다. 본 논문을 위한 연구에 있어서 한국에너지기술연구원 정책연구부 김종욱박사님께서 많은 조언을 주셨다.

정의 재화와 부의 재화가 동시에 만들어지는 상황 속에서 자국의 경제가 지속적으로 성장(sustainable growth)을 할 수 있는지의 여부는 중요한 문제이며 에너지를 안정적으로 공급받는 것도 간접적으로 주요한 정책의 하나다.

우리나라와 같은 자원빈국에게 지속적 성장을 위한 에너지 안보에 대한 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않지만, 에너지안보를 보장할 수 있는 대응책은 많은 검토와 시간, 그리고 비용을 필요로 한다.

에너지안보를 강화하고 구체적인 성과를 얻는 하나의 대안이 수소에너지의 이용이라고 할 수 있다. 수소에너지는 에너지원의 다양화를 위한 좋은 대안으로서 최근부터 우리나라를 비롯한 미국, 일본, EU 등이 가장 관심을 두고 추진하는 분야다. 특히 수소는 이용단계에서 CO₂가 배출되지 않는 청정한 에너지며, 2차 에너지라고 할 수 있다.

흔히 에너지나 환경 문제에 대한 해결책으로써 에너지절약, 에너지 효율, 대체에너지 등을 거론 하는데 수소에너지의 도입은 이런 방안을 모두 충족시킬 수 있는 가장 중요한 역할을 할 것으로 예상하고 있다. 이에 세계 각 국들은 1970년부터 지속적으로 수소에너지 실용화를 위해서 노력해왔다. 에너지 의존도가 매우 높은 한국도 수소경제에 대한 연구를 추진하는 것은 에너지문제에 대한 대안이 적은 자원빈국으로서 아주 필요한 일이다.

연구에 대한 것과 동시에 수소에너지 도입으로 인한 경제적 기여도 분석과 타 산업에 대한 산업연관 분석은 수소 에너지에 대한 도입을 빠르게 할 수 있으면 정책 결정의 유용한 판단 기준으로 기여할 수 있을 것이다.

이러한 경제적 분석이 필요한 이유는 유한한 자원을 효율적으로 사용하기 위해서는 자원 사용의 우선순위에 대해서 결정하고 선택하여야 하기 때문이다. 즉 효율과 후생의 증가측면에서 보다 많은 성과를 가져오는 것을 최우선으로 자원을 배분하고, 국민경제 전체의 효율성을 최대로 증대시키기 때문이기도 하다.

이러한 점을 근거로 본 논문에서는 수소에너지 도입에 대한 경제적 영향을 산출 측면에서 분석하고자 하였다. 2005년 산자부가 발표한 “수소경제 실현을 위한 장기 로드맵”을 기본적인 근거로 하였으며 가정으로는 수송용과 발전용에서 연료전지산업에 이용되는 비중의 전망을 적용하여 국내총산출에 미치는 영향 정도를 추정하고 분석하였다.

본 논문의 2장에서는 연료전지 보급에 따른 효과를 측정하기 위하여 2010년, 2020년, 2030년에 대한 산업연관표를 작성하였으며, 3장에서는 추정 산업연관표를 이용하여 수소에너지 도입에 따른 국내 산출의 영향을 추정하고 분석하였으며 4장에서는 본 논문의 결론을 맺었다.

2. 산업연관표의 추정: 2010,2020,2030

2010년, 2020년, 2030년의 산업연관표를 추정하기 위해서는 국내총생산(GDP), 산업구조, 인구변화와 같은 거시경제 지표에 대한 전망이 일차적으로 필요하다.

그러나 산업연관표 추정에서 가장 중요한 것은 과거와는 다르게 변화할 투입계수를 어떻게 예측하는가이다. 그 방법은 각 부문의 생산액 합계를 관련 통계자료들로부터 추정하고 기준년도가 되는 기본표의 투입계수를 기준으로 하면서 행렬의 균형(Matrix balancing)을 조정하는 것이다. 이 때에 예측시점의 투입계수에 관한 직접적 정보가 없더라도 과거시점의 투입계수를 사용하지는 않는다. 중간투입의 합계, 중간수요의 합계, 생산액(Control Total, CT) 등과 같은 투입구조에 관한 주변정보가 잠정적인 값의 형태로 파악되면, 이를 이용하여 투입계수를 구하는 것이 과거의 투입계수를 사용하는 것보다는 현실을 반영한다점에서 추정결과가 신뢰성을 높인다.

행렬의 균형조정은 식 (2.1)과 식 (2.2)를 풀어서 해를 구하는 과정이다. X_{Ri} 와 X_{Ci} 는 각각 사전에 주어진 제 i 행 및 제 j 열의 합계로 관련통계자료로부터 구한다. 이에 기초하여 중간수요(또는 중간투입), 최종수요, 부가가치의 각 항의 값인 X_{ij} 가 식 (2.1)과 식 (2.2)를 만족하도록 추정한다.

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = X_{Ri} \quad (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = X_{Ci} \quad (2.2)$$

$$i = 1, \dots, n$$

$$j = 1, \dots, m$$

1) 그러나 연장표와 같은 간이표를 추정하는 경우에는 작성에서부터 공표까지의 시간적 제약 때문에 이용할 수 있는 자료들이 국한되므로 추정의 최종 단계에서 균형조정이 반드시 사용된다.

X_{ij} 추정하고 싶은 행렬의 제 i 행 제 j 열에 있는 요소

식 (2.1)과 식 (2.2)를 푸는 균형조정방법으로는 RAS법, 평균증가배율법, 라그랑주승수법이 있다. RAS법과 평균증가배율법은 반복계산법을 기초로 하며, 라그랑주승수법은 통계학적인 방법에 기초한다.

RAS법은 행과 열의 양쪽에서부터 제약값을 만족할 때까지 행렬을 조정하는 반복(iteration) 계산을 사용하는 알고리즘이다. 투입계수의 변화방향을 대체변화와 가공도변화의 2가지의 방향으로 분해하면서 이 변화와 방향들이 정합적으로 투입계수의 변화를 표시하도록 계산한다. 그러나 RAS는 조정된 행렬이 목표연도의 정보인 행합 조건(CT)과 열합 조건(CT)을 만족시킬 때까지의 행과 열을 조정하는 과정의 횟수를 결정하기 어렵다는 문제가 있다.¹⁾

평균증가배율법은 RAS법과 유사한데 행방향과 열방향을 서로 수정하지 않고 각 각의 수정계수의 단순평균값으로 동시에 수정하는 방법이다. RAS법에 비해서 수정횟수가 적다는 장점이 있지만, RAS법처럼 최종적인 수정계수를 R과 S로 표현할 수는 없다.

라그랑주승수법²⁾은 RAS법을 사용할 때에 생길 수 있는 문제들을 해결하고 있다. 식 (2.1)과 (2.2)와 같은 제약 하에서 식 (2.3)의 목적함수를 최소화하도록 X_{ij} 를 구한다. 식 (2.3)에서 가중치로 사용하는 것은 $1/a_{Cij}$, $1/a_{Rij}$ 등이며, 추정목적에 따라서 적절한 가중치를 적용한다.⁴⁾

$$Q = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left\{ w_{C_{ij}} \left(\frac{x_{ij}}{X_{C_{ij}}} - a_{C_{ij}} \right)^2 \right\} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left\{ w_{R_{ij}} \left(\frac{x_{ij}}{X_{R_{ij}}} - a_{R_{ij}} \right)^2 \right\} \quad (2.3)$$

a_{Cij} 기준으로 주어진 열비율

a_{Rij} 기준으로 주어진 행비율

w_{Cij} 열에 대한 가중치

w_{Rij} 행에 대한 가중치

식 (2.3)은 식 (2.4)과 같은 제약 하의 최소화문제가 된다. 이 식을 라그랑주함수의 형태로 만들어 풀 수 있다.

$$\min \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left\{ w_{C_{ij}} \left(\frac{x_{ij}}{X_{C_{ij}}} - a_{C_{ij}} \right)^2 \right\} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left\{ w_{R_{ij}} \left(\frac{x_{ij}}{X_{R_{ij}}} - a_{R_{ij}} \right)^2 \right\} \quad (2.4)$$

$$s. t. \quad \sum_{j=1}^m x_{ij} = X_{R_{ij}} \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = X_{C_{ij}}$$

기준년을 0시점, 추정 대상연도를 t 시점으로 할 때에 라그랑주승수법은 기준년의 투입계수 $a^0_{Cij} (= \frac{x^0_{ij}}{X^0_{C_{ij}}})$, 산출비율 $a^0_{Rij} (= \frac{x^0_{ij}}{X^0_{R_{ij}}})$, 부가가치부문에 관한 열비율 $(\frac{v^0_{ij}}{X^0_{C_{ij}}})$, 행비율 $(\frac{v^0_{ij}}{V^0_i})$, 최종수요부문에 관한 열비율 $(\frac{f^0_{ij}}{F^0_j})$, 행비율 $(\frac{f^0_{ij}}{X^0_{R_{ij}}})$ 을 기초자료로 삼는다. 그리고 추정하고자 하는 년도의 제 i 행의 명목생산액 $X_{R_{ij}}$, 제 j 열의 명목생산액 $X_{C_{ij}}$, 부문별 부가가치액의 V_i 합계, 부문별 최종수요액 합계 F_j 를 주어진(given) 것으로 해서 식 (2.6)~(2.9)의 제약 하에서 목적함수인 (2.5)을 최소화하는 문제로 다시 쓸 수 있다. 이를 통해서 추정하고자 하는 년도의 산업연관표의 각 항의 값인 x'_{ij} , f'_{ij} , v'_{ij} 를 얻을 수 있다.⁵⁾

본 논문에서는 2000년에 한국은행에서 발표된 산업연관표를 기초로 라그랑주승수법을 이용하여 2010년, 2020년, 2030년 산업연관표를 추정하였다. 이는 RAS법을 사용할 때에 발생할 수 있는 수렴하지 않을 가능성을 감안한 것이다. 라그랑주승수법을 적용할 때에 가중치는 $WC_{ij} (= \frac{1}{a^2_{Cij}})$ 와 $WR_{ij} (= \frac{1}{a^2_{Rij}})$ 를 사용한다.

1) 유승훈(2002)

2) 균형조정이 진행되는 과정에서 수렴계산을 사용하고 있고, 이에 추정된 투입계수행렬이 목표연도의 정보에 수렴하지 않고 발산하는 경우가 발생하는 것에 대한 문제를 해결하는 방법이다.

3) 이 가중치들 중에서 $WC_{ij} (= \frac{1}{a^2_{Cij}})$ 와 $WR_{ij} (= \frac{1}{a^2_{Rij}})$ 를 사용하는 경우를 KEO-RAS라고 한다.

4) 어떠한 가중치를 사용하는가에 따라서 추정결과는 달라진다. 따라서 보다 정밀한 추정을 하기 위해서는 다양한 가중치에 대해서 검토해야 한다. 방법으로서의 실제로 다양한 종류의 가중치를 사용하여 실험적으로 추정을 하고 그 결과에 대해서 검토하는 방법 등이 고려될 수 있다. 그러나 이러한 연구는 본 논문의 목적과는 괴리를 가지므로 본 논문에서는 다루지 않는다.

5) $X'_{ij} (i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m)$ 제 i 산업의 제 j 상품의 명목투입액

$v'_{ij} (i = 1, \dots, k, j = 1, \dots, m)$ 제 j 부문에 투입되는 제 i 번째 부가가치부문의 부가가치액

$f'_{ij} (i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, l)$ 제 j 번째 최종수요부문의 제 i 상품에 대한 수요액

2.2 산업연관표 추정을 위한 가정

1) 경제성장률

국내총생산에 대한 전망은 한국개발연구원(KDI)가 2003년에 발표한 2020년까지의 전망치를 기본으로 한다. KDI의 전망치는 우리나라의 연평균 경제성장율을 2001~2010년에는 5.1%, 2010~2020년에는 4.1%로 추정하였다. 그러나 2005년의 경제성장률이 3.8%정도일 것이라는 관련 연구기관들의 전망에 비추어 볼 때에 2001~2010년의 연평균 경제성장률이 5.1%에 이를 것이라고 보는 것은 낙관적일 수 있다.

이에 본 논문에서는 연평균 경제성장율을 2006~2010년은 5%, 2010~2020년은 4%로 설정하였다. 전망치가 없는 2020년~2030년에 대해서는 3.5%의 연평균 경제성장율을 가정하였다. 이러한 수치는 경제의 성숙단계에 들어선 선진국들의 연평균 경제성장율을 상회하는 수치이다. 그러나 우리나라가 이전의 급속한 경제발전보다 상대적으로 낮은 발전을 이루더라도 여전히 높은 경제성장을 할 것이라는 가정에서 설정하였다.

2) 산업구조

우리나라의 산업구조에 대한 전망 자료는 2003년에 산업연구원(KIET)에서 발표한 산업구조 전망을 이용하여 산업구조 변화를 예측하였다. 그러나 산업연구원 전망도 2020년까지만 추정하였으므로 2030년까지의 구조는 2020년의 산업구조와 연평균 경제성장률을 고려하면서 추정하였다.

3) 산업분류

2010년, 2020년, 2030년의 산업연관표의 분류는 발표된 산업연관표의 통합대분류(산업부분 28부분)를 사용하였다. 물론 산업부분을 상세히 하는 경우에 수소에너지의 보급에 따른 보다 정밀한 산업간의 관계와 영향의 정도를 파악할 수 있을 것이다. 그러나 본 논문의 성격상 미래에 대한 추정을 함으로 인해서 상세한 분류에 맞는 산업연관표를 추정하기 위해서는 또 다른 많은 가정들이 필요하다. 가정을 많이 설정하여 추정하는 산업연관표의 잠재적 오차는 불확실성의 증대로 더 커질 것으로 예상된다. 따라서 본 논문에서는 필요최소한의 산업분류인

표 2-1. 연평균 경제성장률 가정

단위:%

	전망	KDI 전망
2005년	3.8(예상치)	
2006년~2010년	5.0	5.1
2010년~2020년	4.0	4.1
2020년~2030년	3.5	

주 1) 2005년의 예상치는 2005년 3/4분기에 관련연구기관들이 2005년 3/4분기까지의 실적을 이용하여 전망한 값임.

주 2) : KDI 자료에 근거하여 연구자가 추정한 결과임.

자료 : KDI(2003)

표 2-2. 우리나라의 산업구조 변화 전망

단위:%

	2010	2020	2030
농림어업	3.0	2.0	1.3
광공업	1.0	0.1	0.02
제조업	28.9	27.9	25.1
서비스	68.6	70.0	73.5
계	100.0	100.0	100.0

주 : 2010년과 2020년의 자료는 산업연구원(2003)임. 2030년의 자료는 연구자의 추정결과임.

자료 : 산업연구원(2003)

통합대분류(28부분)에 국한하여 사용하였으므로 흔히 발생하는 산업연관 분석의 결과에서 통합의 문제는 있다고 본다.¹⁾

3. 수소에너지 도입에 따른 국내총산출의 파급 효과

3.1 연료전지산업을 통한 수소에너지보급계획의 적용

“친환경 수소경제 구현을 위한 마스터플랜(안) - 연료전지산업 및 중장기 신·재생에너지 개발 비전 -”²⁾ 수소경제 Task Force Team(2005), 공청회자료

에 따르면, 2020년에 연료전지산업이 우리나라의 국내총생산(GDP) 중의 4%를 차지하고, 2040년에는 8%를 차지하게 될 것이다.

세부적으로 보면 자동차 중에서 수송용 연료전지의 비중은

1) 통합대분류는 한국은행(2003)에 자세히 서술되어 있다.

2) 수소경제 Task Force Team(2005), 공청회자료

표 3-1. 2010, 20, 30년의 수소에너지 도입계획 단위:%

	2010	2020	2030
수송용 연료전지산업의 GDP 비중	2.8	8.0(195만대)	20.8
우리나라 자동차대수 전망(1000만대)	2,501	2,431	2,375
발전용 연료전지산업의 GDP 비중	3.8	7.0(2GW)	12.4
우리나라 총발전량 전망(GWh)	355,324	430,627	519,809

주 1) : 2020년 자료는 “친환경 수소경제 구현을 위한 마스터플랜(안)” 공청회 자료에서 인용함. 2010년과 2030년 자료는 공청회자료에 기초하여 연구자가 추정된 결과임.

주 2) : 우리나라 총발전량 전망은 제2차전력수급계획의 전망치임.
 자료 : “친환경 수소경제 구현을 위한 마스터플랜(안)” 공청회 자료, “제2차 전력수급계획”

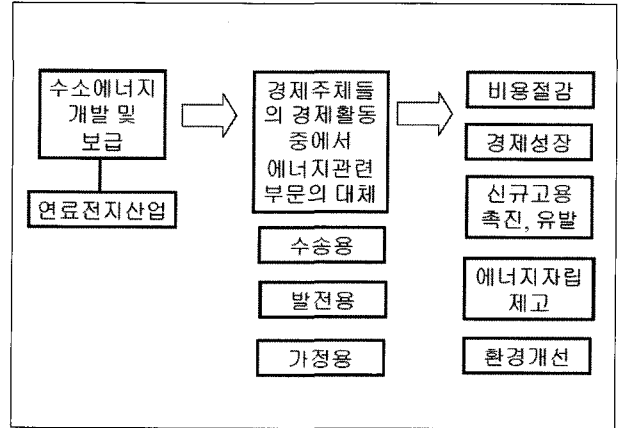


그림 3-1. 연료전지 보급에 따른 기대효과들

2020년에는 8%, 2040년에는 54%로 늘어날 전망이다. 그리고 총발전량 중에서 발전용 연료전지의 비중은 2020년에는 7%이고, 2040년에는 22%로 늘어날 것으로 전망하고 있다. 추후택 수요 중, 가정용연료전지의 비중은 2020년에는 5%이고, 2040년에는 23%로 늘어날 것이다.

차량 대수로 보면 2020년에 수소를 이용한 연료전지의 도입목표가 연료전지차량 195만대, 발전용 연료전지 2GW, 가정용 연료전지 75만대로 설정되어 있다. 그리고 2040년에는 수소를 이용한 연료전지의 도입목표가 연료전지차량 1,250만대, 발전용 연료전지 17GW, 가정용연료전지 350만대로 제시되어 있다.

본 논문에서는 “친환경 수소경제 구현을 위한 마스터플랜(안)”에는 2020년과 2040년의 자료만이 제시되어 있으므로, 이 2개년도를 이용하여 2010년과 2030년의 도입정도를 추정하였다. 2010년과 2030년의 도입에 따른 추정결과는 <표 3-1>과 같다.¹⁾

3.2 연료전지산업을 통한 수소에너지보급에 따른 국내총산출의 파급 효과 분석

수송용 연료전지산업이 직접적으로 영향을 주는 곳은 산업 분류표 상에서 I-15 “수송장비”와 I-21 “운수 및 보관”이다. I-15 “수송장비”와 I-21 “운수 및 보관”은 자동차 외에도 철도, 선박, 항공도 포함한다. 따라서 2000년의 각 해당산업들의 산출액 비율을 참고하면서 2010년, 2020년, 2030년 산업연관표의 I-15 “수송장비”와 I-21 “운수 및 보관”의 산출액 중에서 자동차에 해당하는 부분만을 분리한다. 그리고 이 산출액 중에서 연료전지가 담당하는 정도를 다시 구분한다.²⁾

연료전지가 보급되면 경제의 다른 산업과 다른 부문에 미칠 영향들을 1차 및 2차로 구분하여 볼 수 있는데 수송용 연료전지가 보급될 때의 영향을 보면 다음과 같다.

I-15 “수송장비”와 I-21 “운송 및 보관”에서 연료전지자동차가 보급되면 1차적으로 연료전지자동차들이 기존의 석유계를 사용하던 자동차를 대체할 것이다. 1차적 영향이란, 연료전지차량으로 대체되면서 사용 연료비가 변화고 환경오염 저감에 따른 편익이 발생한다는 것이다. 이로 인하여 연료 대체가 발생하고 석유소비가 하락하며 수송부분 생산 단가도 하락한다. 그 결과 다른 운송장비들보다 상대적으로 저렴한 연료비를 부담하게 될 것이다. 따라서 단위당 산출액이 다른 운송장비들보다 높을 것이다.

2차적으로 I-15 “수송장비”와 I-21 “운송 및 보관부문”은 중간투입재로서 다른 산업부문에 하나의 생산요소로 사용됨으로 I-15 “운송 및 보관”의 생산단가가 하락은 다른 산업부문의 생산단가의 하락을 유도하고, 하락한 다른 부문의 생산단가는 또 다시 다른 산업부문의 생산단가가 하락을 유도하는 연쇄효과를 발생시킬 것이다.

1) 공청회 자료와 본 논문의 추정값의 차이는 우리나라 자동차대수 전망과 우리나라 총발전량 전망의 차이에 기인한다. 공청회 자료의 발전용 연료전지 산업의 크기는 2GW로 설비용량 기준이지만, 본 논문은 제2차 전력수급계획의 GWh를 사용한다.

2) 수송부분의 경우, 유럽에서의 연구에 의하면 2015~2020년에 수소에너지 차량이 200만~900만대가 사용되면 수소생산의 연료가격이 가솔린가격 대비 0.65 Euro/liter 일 것이라고 전망하고 있다. 여기서 자동차부문에서 200만~900만대는 유럽의 전체차량 대비 수소자동차의 보급율이 1~5%에 이르는 것을 의미한다.

전력부분에 대한 효과를 추정하기 위하여 제 2차 전력수급 계획의 전망치를 이용할 경우 2017년까지의 값만을 제시하고 있으므로, 2017년 이후의 값에는 2000~2017년의 발전량의 연평균 증가율(1.9%)을 적용하였다.

전력의 경우에도 발전용 연료전지가 도입되면 기존의 발전원들의 발전비용은 변하지 않는다고 하여도, 발전용 연료전지를 이용한 발전량의 발전비용은 기존의 발전비용보다 낮을 것으로 예상된다. 실제로 발전용 연료전지를 이용한 발전의 발전비용이 기존의 발전비용보다 높다고 하여도 회계 상의 비용 외에 CO2 저감에 따른 환경비용까지 고려한다면 비용은 낮아질 것이다. 그리고 발전용 연료전지를 이용한 발전의 발전비용이 낮아야만 도입의 의의를 확보할 수 있을 것이다.

이러한 전력의 발전비용의 하락은 앞에서 본 I-15 “수송장비”와 I-21 “운송 및 보관”에서의 생산단가의 하락처럼 생산비용이 하락한 다른 산업부문의 생산단가는 또 다시 다른 산업부문의 생산단가 하락을 유도하는 연쇄효과를 가져올 것이다.

3.3. 수소에너지보급에 따른 국내산업별 생산 유발효과 분석

유발효과분석은 각 해당재화를 1단위(100만원) 생산한 경우에 생산과정과 소비과정에서 직·간접적으로 발생하는 산출의 정도를 말한다. 각 산업부문의 생산과정에 의한 직접적인 영향과 간접적인 영향을 모두 고려하는 것이다. ([그림 3-2] 참조)

유발효과를 분석하기 전에, I-15 “수송장비”와 I-21 “운송 및 보관”, I-17 “전력, 가스 및 수도”의 중요성을 다른 산업과의 관계 속에서 파악하기 위하여 영향력계수와 감응도계수를

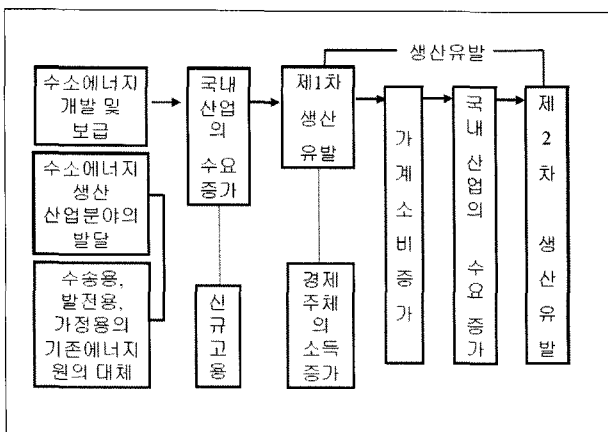


그림 3-2. 연료전지 보급에 따른 경제주체들간의 관계 및 경제효과의 흐름

동시에 고려한다.¹⁾ 식 (3.6)과 식 (3.7)을 이용하여 I-15 “수송장비”와 I-21 “운송 및 보관”, I-17 “전력, 가스 및 수도”의 감응도와 영향력을 추정하고, 그 산업형태²⁾를 분류한다. (식 (3.6)~식 (3.7) 참조)

$$X_{FD} = (I - A)^{-1} FD \tag{3.1}$$

$$X_{EX} = (I - A)^{-1} EX \tag{3.2}$$

$$X_{IM} = (I - A)^{-1} IM \tag{3.3}$$

$$X = X_{FD} + X_{EX} - X_{IM} \tag{3.4}$$

$$= (I - A)^{-1} (FD + EX - IM)$$

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix}, FD = \begin{pmatrix} FD_1 \\ \vdots \\ FD_n \end{pmatrix},$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & & a_{1n} \\ & \ddots & \\ a_{n1} & & a_{nn} \end{pmatrix},$$

$$(I - A)^{-1} = \begin{pmatrix} b_{11} & & b_{1n} \\ & \ddots & \\ b_{n1} & & b_{nn} \end{pmatrix}$$

- FD 최종수요
- EX 수출벡터
- IM 수입벡터
- X_{FD} 최종수요에 의한 국내생산유발액
- X_{EX} 수출에 의한 국내생산유발액
- X_{IM} 수입에 의한 국내생산유발액
- X_j 제 j 산업의 총생산
- X_{ij} 제 j 산업의 제 i 산업에 대한 투입
- a_{ij} 제 j 산업에 대한 제 i 산업으로부터의 투입계수
- I 단위행렬
- A 투입계수의 행렬
- b_{ij} 레온티에프 역행렬의 계수
- B 레온티에프 역행렬=

제 j 부분의 영향력계수

$$= \frac{\sum_{i=1}^n b_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n b_{ij}} \tag{3.6}$$

1) 이러한 산업분류는 경제개발을 위한 투자우선순위를 선정하는 하나의 기준을 제공한다.

2) 강광하(1994)

제 i 부분의 감응도계수

$$= \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}} \quad (3.7)$$

산업특성을 규정하여 4가지의 산업형으로 구분할 때에 기준으로 하는 것은 영향력계수 1과 감응도계수 1이다. 이 기준 하에서 각 산업들의 영향력계수와 감응도계수에 의해서 결정되는 위치로 산업을 구분한다. 중간수요적 제조업형은 감응도 및 영향력이 모두 높은 산업이며, 중간수요적 원시산업형은 감응도가 높고 영향력이 낮은 산업이며, 최종수요적 제조업형은 감응도가 낮고 영향력이 높은 산업이며, 최종수요적 원시산업형은 감응도 및 영향력이 모두 낮은 산업이다.

감응도와 영향력의 구분에 따르면 I-15 “수송장비”와 I-17 “전력, 가스 및 수도”는 다른 산업으로의 중간재로 사용되기 보다는 최종수요를 위한 재화로서 쓰이고 있으며, I-21 “운송 및 보관”은 다른 산업의 중간재로 쓰이고 있다.

3가지 산업만을 대상으로 하여 투자대상을 선정한다면 다른 산업에 대한 영향을 보다 많이 미칠 수 있는 I-21 “운송 및 보관”을 대상으로 하는 것이 바람직하다. 이러한 측면에서 볼 때에 수송용 연료전지의 도입 정도가 다른 부문에 대한 연료전지의 보급정도보다 높은 것은 우리나라 경제활동을 보다 촉진한다는 측면에서 바람직하다. (<표 3-2, 3, 4> 참조)

표 3-2. 2010년의 주요산업들의 산업분류

산업분류	감응도	영향도	산업구분
I-15 수송장비	0.8286	1.0566	최종수요적 제조업형
I-21 운송 및 보관	1.0358	1.0255	중간수요적 제조업형
I-17 전력, 가스 및 수도	0.6563	0.8026	최종수요적 원시산업형

표 3-3. 2020년의 주요산업들의 산업분류

산업분류	감응도	영향도	산업구분
I-15 수송장비	0.7200	0.9360	최종수요적 원시산업형
I-21 운송 및 보관	1.1124	1.0290	중간수요적 제조업형
I-17 전력, 가스 및 수도	0.9405	0.8454	최종수요적 원시산업형

표 3-4. 2030년의 주요산업들의 산업분류

산업분류	감응도	영향도	산업구분
I-15 수송장비	0.8346	1.0424	최종수요적 제조업형
I-21 운송 및 보관	1.0774	1.0025	중간수요적 제조업형
I-17 전력, 가스 및 수도	0.8774	0.8121	최종수요적 원시산업형

표 3-5. 수송용 연료전지 도입에 따른 국내총산출의 변화 단위:십억원

	기준인	수송용 연료전지 도입 시의 국내총산출	기준인 대비 증가율(%)
2010	2,417,641	2,418,653	0.00
2020	3,447,824	3,585,261	0.19
2030	5,091,830	5,119,035	0.53

표 3-6. 발전용 연료전지 도입에 따른 국내총산출의 변화 단위:십억원

	기준인	발전용 연료전지 도입 시의 국내총산출	기준인 대비 증가율(%)
2010	2,417,641	2,418,041	0.02
2020	3,447,824	3,448,936	0.03
2030	5,091,830	5,095,836	0.08

각 부문별의 최종수요 1단위가 만드는 유발생산량을 구하기 위해서는 식 (3.1)을 사용하는데 식 (3.1)의 우변의 제 1항은 각 재화를 생산하는 과정이 직·간접으로 만드는 유발생산량이다. 유발생산량은 기술의 도입에 따라 추가적으로 유도되는 생산량을 평가할 때에 유용하게 사용된다.¹⁾

각 해당연도에 수송용 연료전지가 장기 로드맵의 계획에 따라서 도입된다고 가정할 때의 국내총산출의 변화는 <표 3-5>와 같다. 2010년의 경우에는 수송용 연료전지의 보급정도가 2.8%로 보급이 낮아서 국내총산출의 변화가 없지만, 2020년에 8%로 보급률이 상승함에 따라서 국내총산출이 0.19% 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 2030년에는 보급률이 20.7%에 이르고, 이에 따라 국내총산출이 0.53% 증가하는 것으로 나타났다.²⁾

그리고 각 해당연도에 발전용 연료전지 도입될 경우 국내총산출의 변화는 <표 3-6>과 같다. 2010년의 경우에는 수송용 연료전지의 보급정도가 3.8%로 국내총산출은 0.02% 증가하고, 2020년에는 7.0%의 보급률로 국내총산출이 0.03% 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 2030년에는 보급률이 12.4%에 이르면 이에 국내총산출이 0.08% 증가하는 것으로 나타났다.

수송용 연료전지의 도입에 따른 총산출과 발전용 연료전지 도입에 따른 총산출을 산업별로 추정하여 정리한 것이 <표 3-7>이다.

1) 기술 도입과 관련한 유발생산량은 2가지로 나눌 수 있으며, ①기술을 도입할 때의 투자활동에 관련된 유발생산량과, ②기술을 도입한 이후에 경제활동에서 발생하는 유발생산량이 있다.

2) 중간투입과 부가가치의 합계인 국내총산출을 기준으로 하고 있다. 따라서 국내총생산(GDP)의 수치와는 다르며, 그 변동추이도 다르다.

표 3-7. 수송용 연료전지 도입에 따른 산업별 총산출의 변화 단위:십억원

산업	2010	
	기준	대체 시
1차산업	72,530	72,540
2차산업	749,469	750,061
3차산업	1,595,643	1,596,052
총산출	2,352,365	3,418,653

산업	2010	
	기준	대체 시
1차산업	71,574	71,618
2차산업	1,002,036	1,006,097
3차산업	2,374,214	2,376,637
총산출	3,447,824	3,454,352

산업	2010	
	기준	대체 시
1차산업	67,308	67,471
2차산업	1,276,683	1,291,118
3차산업	3,747,839	3,760,446
총산출	5,091,830	5,119,035

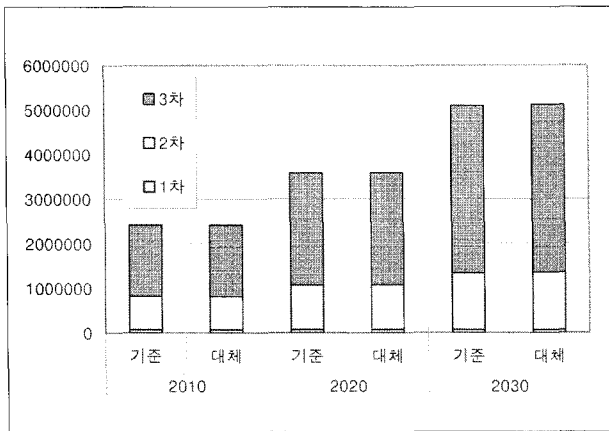


그림 3-3. 수송용 연료전지 도입에 따른 산업별 총산출의 변화 추이

수송용 연료전지 도입에 따른 추정결과에 따르면 우리나라의 경제구조가 3차산업을 중심으로 발전해감에 따라 동 산업의 산출증가 정도가 가장 크게 나타난다. 수송용 연료전지 도입으로 1차산업에서도 산출은 증가하지만 정도는 미비하고, 1차산업보다는 2차 및 3차산업에서 산출 변화의 정도가 크다.

각 산업기준으로 보면 I-17 “수송장비”와 I-21 “운송 및 보관”이 가장 크다. 이 부문들에서는 기존운송수단들을 연료전지 운송수단으로 대체하는 것이 일어나기 때문에 1차적으로 비용 절감에 따른 산출 증대가 발생하고, 생산비용 절감에 따른 증

표 3-8. 발전용 연료전지 도입에 따른 총산출의 변화 단위:십억원

산업	2010	
	기준	대체 시
1차산업	72,530	72,534
2차산업	749,469	749,722
3차산업	1,595,643	1,595,782
총산출	2,352,365	2,418,039

산업	2010	
	기준	대체 시
1차산업	71,574	71,586
2차산업	1,002,036	1,002,747
3차산업	2,374,214	2,505,525
총산출	3,447,824	3,579,859

산업	2010	
	기준	대체 시
1차산업	67,308	67,336
2차산업	1,276,683	1,278,994
3차산업	3,747,839	3,749,504
총산출	5,091,830	5,095,835

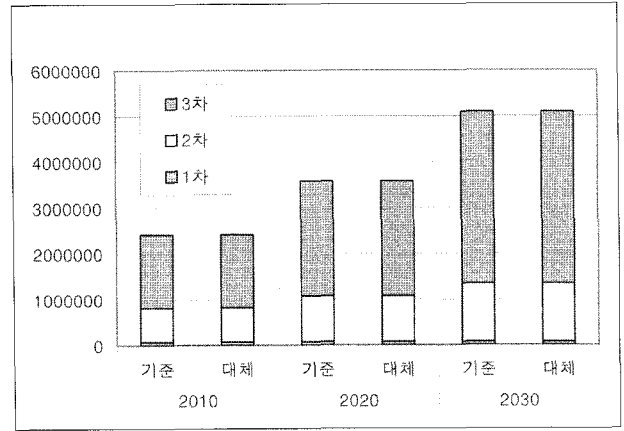


그림 3-4. 발전용 도입에 따른 산업별 총산출의 변화

간재 가격 하락으로 다른 산업들의 생산유발이 발생하여 재차 이 부문들의 산출에 영향이 미치게 된다.

발전용 연료전지 도입으로 산업별 총산출의 변화추이는 수송용 연료전지의 도입의 경우와 거의 유사하다. 1차, 2차 산업에서 산출이 증가하지만 변화의 정도가 거의 없다. 그러나 3차산업에서 산출의 변화의 정도가 크게 나타난다. 이는 서비스산업들의 전력에 대한 의존도가 다른 1차 및 2차산업보다 높기 때문에 나타나는 것으로 추정된다.

산업별로 보면 연료용 연료전지의 도입의 경우와는 다르게

I-21 “전력, 가스 및 수도”에서의 1차적인 효과가 크지 않다. 이는 도입의 정도가 작기 때문에 큰 효과가 나타나지 않는 것으로 추정된다.

4. 결론

본 연구는 정부의 “수소경제 실현을 위한 장기 로드맵”에서 계획하고 있는 수송용, 발전용, 가정용에서의 연료전지산업의 비중을 사용하여 로드맵의 계획이 실현되었을 때 2030년까지의 산업연관표를 RAS-KEO법을 이용하여 내총생산에 미치는 영향의 정도를 추정하였다.

연료전지차량이 보급되면 수송장비산업과 운수 및 보관산업에 1차적으로 영향이 발생할 것으로 보인다. 그리고 2차적으로 수송장비산업과 운수 및 보관산업의 생산비용이 감소하고 이 산업들의 생산물들이 다른 산업에서 생산요소로 사용될 때에 기존의 비용보다 낮은 비용으로 사용되고, 다른 산업의 생산요소비용을 절감하는 효과를 가질 것으로 예측된다. 이러한 1차적 영향과 2차적 영향을 통해서 국민경제 전체의 생산비용을 하락시키고 생산규모를 증가시키고 경제발전을 유도할 것이다.

추정결과에 따르면 2010년에는 수송용 연료전지를 보급하더라도 총산출에 큰 변화는 없다. 이러한 결과는 2010년의 수송부문에서의 연료전지 보급정도가 2%이기 때문이다. 보급률이 낮기 때문에 국민경제에 대해서 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 나타난다. 2020년에는 총산출이 0.19% 증가하고 2030년에는 0.53% 증가하는 것으로 추정되었다. 2020년의 보급률은 8%, 2030년의 보급률은 20%로서 2010년의 보급률과 비교하면 각각 4배와 10배의 크기이다. 이러한 보급률의 확대가 총산출의 더 큰 증가를 가져온다고 할 수 있다.

발전용 연료전지가 2010년에 3.8%로 보급되면 국내총산출은 0.02% 증가하고, 2020년에 7.0%로 보급되면 0.03% 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 2030년에는 12.4% 보급시 0.08% 증가하는 것으로 나타났다.

연구의 제약점으로서 본 연구에서는 생산공정과 산업간의 생산기술면에서의 관계에만 초점을 맞추고 있으나, 최종소비자인 가계부문을 산업부문과 같은 하나의 경제주체로서 모형 내에 삽입시켜서 분석할 수 없었다는 점이다. 그리고 추가적으로 수소에너지를 도입하는 초기에서부터 수소에너지가 우리나

라의 경제체제 내에서 안정화되고 사용되고 폐기될 때까지의 라이프사이클의 각 단계를 모형 내에 도입하여야 분석하지 못했다는 점이다.

본 연구에서 사용한 분석방법은 미래를 대상으로 하고 있다는 점 때문에 많은 불확실성을 가정하고 있다. 이러한 불확실성에 따른 오류를 보완할 수 있는 것은 보다 많은 경제적 요건들을 고려하는 일반균형모형을 작성하여 분석하는 방법일 것이다.

비록 한정된 모형이기는 하지만, 수소에너지도입 정책은 다른 정책 및 다른 산업과의 연계를 어떻게 만들어서 많은 긍정적인 외부효과를 만들고 보다 큰 시너지효과를 유도하는가에 따라서 그 실효성이 더욱 커질 것이다.

수소의 이용과 연료전지기술의 체계를 확립하기 위해서는 경제주체들이 적절하게 역할분담을 해야 한다. 화석연료를 많이 사용하는 산업부문에서 기존의 에너지들이 수소에너지로 대체된다면 생산비용측면, 산출측면, 고용측면, 환경오염측면 등에서 긍정적인 효과가 나타날 것으로 추정된다. 이윤극대화를 추구하는 기업은 비용절감이 이윤극대화를 유도하기 때문에 수소에너지 도입으로 얻을 수 있는 비용절감의 크기가 계량화된다면 비용절감이라는 유인에 의하여 도입은 자연스럽게 이루어질 것이다.

산업부문이 수소에너지 연구에 적극적으로 가담하기 위해서는 정부의 역할이 중요하다. 정부는 산업부문이 그 분야에서 충분히 경쟁할 수 있고 사업측면에서도 살아남을 수 있도록 환경을 정비해야 한다. 조건이 갖추어져 있다면 이윤극대화를 위해 행동하는 산업부문은 자연스럽게 참여하게 될 것이다.

수소에너지 도입에 따른 국내경제에 대한 영향력을 키우기 위해서는 보다 활발한 연구개발, 상용화, 보급이 지속적으로 이루어져야 한다. 적정하고 효율적인 기술이 개발되고 상용화된다면 보급과 경제주체들의 적극적인 참여는 비교적 용이하게 이루어질 것이다.

References

- (1) Duraiappah, A.D., 1993, Global Warming and Economic Development, Kluwer Academic Publishers B.V. 1993.
- (2) Leontief, W.W. 1966, Input-Output Economics, Oxford

- University Press, 1966
- (3) US National Academy of Science, 2005, The Hydrogen Economy, Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs, US National Academy of Science, 2005.
- (4) 機械振興協會 經濟研究所, 2000, "産業構造の早期把握に関する調査研究(1)", 機械振興協會 經濟研究所, 2000.
- (5) 機械振興協會 經濟研究所, 2001, "産業構造の早期把握に関する調査研究(2)", 機械振興協會 經濟研究所, 2001.
- (6) 金玟慶, 2003, "北東アジアの産業と環境: EDEN1990とEDEN1995から", 環太平洋産業聯關分析, 11(2), pp.38~48, 2003.
- (7) 宮澤建一, 1996, 『産業聯關分析入門』, 日本經濟新聞社, 1996.
- (8) 강광하, 『산업연관분석론』, 비봉출판사, 1994.
- (9) 산업연구원, "장기산업구조전망", 2003.
- (10) 수소경제 Task Force Team, "친환경 수소경제 구현을 위한 마스터플랜(안)" 공청회자료, 2005.
- (11) 에너지경제연구원, 『동북아에너지협력연구 동북아주요국의 에너지효율 비교 분석 연구』, 2005.
- (12) 유승훈, "전파통신산업의 경제적 파급효과- RAS기법의 응용을 중심으로-", 2002.
- (13) 한국은행, 『2000년 산업연관표』, 2003.
- (14) 한국개발연구원 web site www.kdi.re.kr

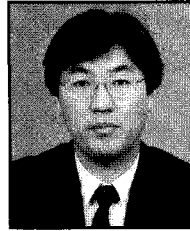
김윤경



1992년 이화여자대학교 경제학과 경제학사
 1996년 이화여자대학교 경제학과 경제학석사
 2001년 慶應大學校 경제학연구과 경제학박사

현재 이화여자대학교 경제학전공 전임강사
 (E-mail: yoonkim@ewha.ac.kr)

김정인



1985년 중앙대학교 산업경제학과 경제학사
 1986년 University of Wisconsin 자원경제학과 경제학석사
 1993년 University of Minnesota 응용경제학과 환경경제 경제학박사

현재 중앙대학교 산업경제학과 조교수
 (E-mail: jeongin@cau.ac.kr)