

## 해양바이오에너지 개발사업의 경제적 파급효과

김태영 · 진세준\* · 박세현\* · 표희동\*\*

한국해양과학기술원 해양R&D실용화센터, \*한국해양과학기술원 해양환경산업연구소,  
\*\*부경대학교 해양산업경영학과

(2013년 4월 27일 접수, 2013년 6월 17일 수정, 2013년 6월 17일 채택)

## The Economic Impacts of Marine Bio-energy Development Project

Kim Tae-Young, Jin Se-Jun\*, Park Se-Hun\*, Pyo Hee-Dong\*\*

Center for Promoting Utilization of R&D results, KIOST, \*Environment & Economics Assessment Section,  
KIOST, \*\*Department of Marine Business and Economics of Pukyong National University\*\*

(Received 27 April 2013, Revised 17 June 2013, Accepted 17 June 2013)

### 요 약

경제 발전과 산업의 발달로 화석연료를 대체할 신재생에너지 개발의 필요성이 대두되고 있다. 환경과 에너지 문제를 동시에 해결할 수 있는 에너지 개발이 필수적이며, 그 대안으로 해양 미생물에 기초한 신재생에너지 개발이 해결방법으로 떠오르고 있다. 정부의 제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 계획에 근거하여, 2030년까지 바이오에너지 부분의 50%인 500만TOE를 해양 바이오에너지에서 생산 하려 한다. 본 연구는 국가 경제에서 해양바이오에너지 개발사업이 국내 경제에 미치는 파급효과에 대하여 산업연관분석을 적용하여 분석하고자 한다. 생산유발, 부가가치 유발, 취업유발에 미치는 효과 및 연구개발 유발효과 4가지를 분석하되, 수요유도형 모형을 적용한 분석 결과를 제시한다. 한국은행 산업연관표 기본부문 기준 403부문 중에서 66개 부문을 해양 바이오에너지 관련 부문이라 정의한 후, 해양바이오에너지 관련 부문을 중심에 놓고 이를 외생화하여 분석한다. 해양바이오에너지 개발사업에 2,234억원의 예산이 투입되면, 생산유발효과 3,123억원, 부가가치 유발효과 865억원, 취업유발효과 1,151명, 연구개발 유발효과 47.8억원으로 분석되었다. 이러한 정량적 정보는 해양바이오에너지 개발 사업의 상용화에 대한 정책 결정에 활용될 수 있다.

**주요어 :** 해양바이오에너지, 연구개발 유발효과, 산업연관분석, 수요유도형 모형, 외생화

Abstract - We need to develop new renewable energy that could fundamentally replace fossil fuel, since the volume of economy and industry of our time becomes uncontrollably enormous. One of the alternative is to develop energy based on marine biomass, which would meet environment and energy needs at the same time. The marine bio-energy productions is supposed to occupy 50% to 500 million TOE in bio-energy production that is based on the Korean 3rd new renewable energy technology development, utilization, supply plan until 2030. This study attempts to apply input-output analysis to investigating the economic impacts of marine bio-energy development project in the Korean national economy. More specifically, this study shows what national economy effect of production-inducing effect, value-added inducing effect, employment-inducing effect, and R&D-inducing effect are explored with demand-driven model. Furthermore, this study attempts to define and classify the marine bio-energy development project sector from I-O table. Also, this study pays particular attention to marine bio-energy development project by taking the industry as exogenous specification and then

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.

Environment & Economics Assessment Section, KIOST  
787, Haeanro, Ansan., 426-744, Republic of Korea  
Tel : 031-400-7681 E-mail : hisejun@kiost.ac

investigating its economic impacts. The Marine bio-energy development project case 223 billion won, production-inducing effect, value-added inducing effect, and employment-inducing effect are 312 billion won, 87 billion won, 1,151 persons, and 5 billion won respectively. These quantitative information can be usefully utilized in the policy-making for the industrialization of marine bio-energy development project.

**Key words** : marine bio-energy, R&D-inducing effect, input-output analysis, demand-driven model, exogenous specification

## 1. 서 론

경제 성장 및 산업의 발달에 따라 에너지에 대한 수요가 크게 증가하고 있으나 세계의 정치·경제 여건 변화로 에너지의 공급 불균형 및 고갈문제가 대두되고 있어 에너지의 안정적 확보가 생존의 필수적 문제로 등장하였다. 최근 The Association for the Study of Peak Oil (ASPO) and Gas International이나 미국 지질연구소 등에서는 전 세계적으로 원유 매장지의 대규모 발견시기가 1973-74년 또는 1980년대 초라는 점을 고려하여 35년 후인 현재 우리가 살아가는 시기(2007-2020년)에 석유공급이 정점에 이르고, 이 후 상대적인 생산량이 절대적으로 감소할 것으로 예상하고 있다(강도형, 2012). 또한 화석연료의 사용이 온실가스(global greenhouse gas, GHG) 축적 및 심각한 기후환경변화로 증폭되어 세계 경제활동 및 인류가 해결해야 할 당면 문제로 나타나고 있는 실정이다.

국제유가 급등, 국제 환경규제 강화, 블루오션 시장창출 등의 21세기 메가트렌드를 반영한 신산업 창출의 전략적 중요성이 대두되고 있으며, 에너지 위기 대처기술 강구, 고유가 시대의 대체원료 개발, 기후변화 및 CO<sub>2</sub> 감축의무 압박, 환경규제 강화 대응기술 등을 타파할 원천기술개발이 필요성이 증대되고 있다. 또한, CO<sub>2</sub> 배출량 세계 9위인 우리나라는 글로벌 'Green Race'에 대응하여 에너지기술 및 산업의 국제 경쟁력 확보를 위하여 선제적 기술개발을 통한 기후변화 대응 노력이 절실히 필요하다. 정부는 2020년 그린에너지산업 5대 강국 실현을 위한 에너지기술 개발계획 등 국가차원의 종합적·체계적 전략을 수립하여 추진하는 등 고무적으로 움직이고 있다.

이러한 문제를 해결해 나가고자 미국에서 발의된 신재생에너지 의무혼합제도(Renewable Fuels Standard, RFS)는 2022년까지 36억 갤런(1갤런=3.79리터)의 바이오연료 생산을 목표로 두고 있으며, 이 중 21억 갤런은 옥수수 바이오에탄올보다 기술·경제

적으로 향상된 바이오연료를 생산하는 것이다. 옥수수 및 초본류와 같은 1, 2세대 옥상식물 기반의 셀룰로오스계 바이오에탄올은 에너지독립 및 안보 실천(Energy Independence and Security Act, EISA)에 관한 법안의 목표달성에 중요한 역할을 한다. 더불어 EISA의 법안은 1, 2세대보다 진보적인 미세조류 바이오연료와 같은 3세대 바이오연료를 활용하여 RFS 세부목표인 21억 갤런의 바이오연료 생산 목표를 달성할 수 있도록 매우 특별한 역할과 비전을 보장하고 있다. 이는 국제적인 사안이 되어 우리나라도 2012년부터 적용받고 있으며, 2030년까지 신재생에너지 사용량을 11%까지 확대 사용할 수 있도록 계획되어 있다. 그러나 현재까지 우리나라의 연구개발 수준 및 신재생에너지 상용화 수준이 낮은 이유로 국가적 목표 달성에는 매우 어려운 목표임에 틀림이 없다(강도형, 2012). 이에 대한 유일한 해결책은 식용식물과 경쟁하지 않으면서 환경과 에너지 문제를 동시에 해결할 수 있는 해양생물을 이용하여 바이오에너지를 만드는 것이다.

이미 국내에서도 바이오디젤은 2000년대 후반부터 시중 주유소에서 판매되는 경유에 혼합 판매되기 시작하여 2013년 현재, 2%의 바이오디젤 혼합 경유(BD2)가 판매되고 있다. 특히, 바이오디젤 혼합비율은 세계적으로 증가되고 있는 추세이며, 바이오디젤 중장기 보급계획에 따라 지속적으로 사용량이 확대될 전망이다. 바이오매스에서 바이오에탄올, 바이오디젤을 만드는 기술은 어느 정도 확보된 기술이며 해양 바이오에너지 상용화의 관건은 원료의 확보에 있다. 해양바이오에너지 생산의 기본이 되는 해조류 양식은 우리나라가 세계 최고의 수준이며 아직 미세조류의 대량배양도 우리나라의 기술수준이 높은 편이므로 해양바이오에너지의 원료확보는 조기에 추진될 경우 국제적인 경쟁력이 있다고 판단된다. 이러한 상황에서 해양바이오에너지 개발사업의 경제적 파급효과 분석을 통해 사업의 정당성을 확보해야 한다. 미세조류로부터 바이오디젤 원료유를 얻을 수 있게 된다면 원료

유의 국산화를 통해 수입의존도를 줄이고 식량문제에서 자유로울 수 있는 장점을 가질 수 있어 유망한 분야로 떠오르고 있다.

이러한 배경 하에서 본 연구는 산업연관분석(input-output analysis)을 이용하여 해양바이오에너지 개발사업의 국민경제적 파급효과를 분석하고자 한다. 산업연관분석을 수행하는 데 있어서 수요유도형 모형(demand-driven model)을 다루되, 특히 해양바이오에너지 개발사업을 내생부문이 아닌 외생부문으로 다루는 외생화(exogenous specification) 기법을 이용하여 경제적 파급효과를 보다 분명하게 추정하고자 한다. 이를 통해 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과, 연구개발 유발효과를 분석한다.

본 연구의 이후 구성은 다음과 같다. 먼저 제2절에서는 해양바이오에너지 개발사업의 개요를 설명한다. 제3절에서는 산업연관분석을 위한 수요유도형 모형을 소개한다. 제4절에서는 해양바이오에너지 개발사업의 경제적 파급효과에 대한 분석결과를 제시한다. 마지막 절은 결론으로 구성한다.

2. 우리나라 해양바이오에너지 개발사업의 개요

2-1 해양바이오에너지 개발의 가능성 및 전망

당당, 전분질, 식물성 기름이나 동물성 기름 등에서 전통적인 기술을 이용하여 얻어지는 1세대 바이오에너지는 식량공급이나 생물학적 다양성의 파괴를 동반하지 않고는 대량생산이 불가능하며 온실가스저감도 그렇게 크지 않은 것으로 밝혀지고 있다.

2세대 바이오에너지는 목질계 바이오매스로 대표되는데 1세대 바이오에너지보다는 식량문제나 지구 온난화문제에 좀 더 친화적이나 경작지나 천연림의 파괴 등 환경문제의 유발이 수반되고 있다.

3세대 바이오에너지는 전술한 바와 같이 해양조류 또는 미세조류를 광합성을 이용하여 에너지를 생산하는 방법으로 3세대로 분류하는 이유는 해양에서의 대량배양이 가능하여 경작지나 삼림을 파괴하지 않으며 이미 지구상에서 광합성의 많은 부분을 담당하고 있으며 경제성이나 가능성이 입증된 기술이라는 점이다(Fig 1 참조).

2-2 해양바이오에너지의 생산성

해조류(거대조류)의 광합성의 효율은 단위면적당

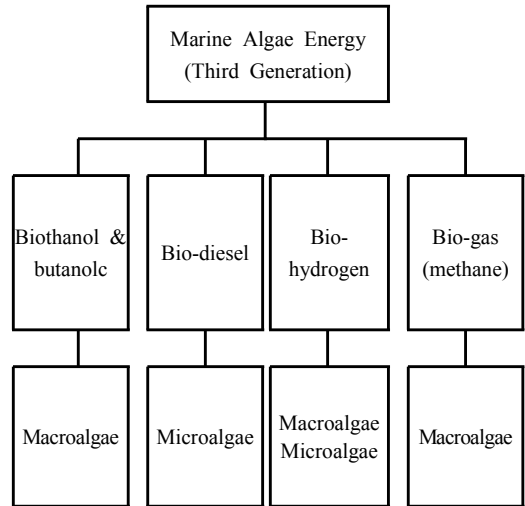


Fig. 1. Third generation bio-energy from algae biomass

태양에너지의 2-5% 정도를 고정하여 연간 헥타르당 10-50 ton/dry/weight 생산하는 것이 일반적이며 해양미세조류의 광합성은 태양에너지의 5-10%를 고정하고 연간 헥타르당 50-170 ton/dry/weight를 생산이 가능하다. 현재 추정되는 해양바이오에너지 생산성은 다음과 같다. 해조류 1 ton은 약 300 L의 바이오에탄올에 해당되므로 해조류는 헥타르당 3,000-20,000 L를 생산할 수 있다. 미세조류 1ton은 약 300-500 L의 바이오디젤에 해당되므로 헥타르당 바이오디젤 15,000-100,000 L를 생산 할 수 있을 것으로 기대된다(이철균, 2009).

2-3 해양바이오에너지 개발사업의 국가계획과 연계성

우리나라에서 사용되는 신재생에너지의 약 30%가 바이오에너지이지만 대부분 고체바이오매스인 목질계를 이용하는 것으로서 이는 산림의 황폐와 국토이용의 효율성을 저하시키므로 액체 및 기체바이오에너지에 대한 비중의 확대가 요구되었다(이철균, 2009). 2008년에 확정된 제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획의 바이오에너지 중에 개발될 해양바이오에너지가 분담할 목표는 2018년까지 1,000 헥타르의 실증배양에서 대량생산공정을 확보하고 5만 TOE, 2030년까지는 5백만 TOE를 생산하여 우리나라 신·재생에너지 중 바이오에너지 분야의 50%를 생산하도록 계획되어 있다(Table2 참조).

**Table 1.** Comparison of some sources of biodiesel

Crop	Oil yield (L/ha)	Land area needed (M ha) <sup>a</sup>	Percent of existing US cropping area <sup>a</sup>
Corn	172	1540	846
Soybean	446	594	326
Canola	1190	223	122
Jatropha	1892	140	77
Coconut	2689	99	54
Oil palm	5950	45	24
Microalgaeb	136,900	2	1.1
Microalgaec	58,700	4.5	2.5

a: For meeting 50% of all transport fuel needs of the United States.

b: 70% oil (by wt) in biomass.

c: 30% oil (by wt) in biomass.

**Table 2.** Marine bio-energy supplying plan until 2030

Inventory	2010	2013	2018	2030
Total Energy(TE)	186,800	196,300	205,900	207,500
Renewable Energy(RE) (% contribution to TE)	5,989 (3.21%)	8,505 (4.33%)	12,014 (5.85%)	23,379 (11.27%)
Biomass Energy(BE) (% contribution to RE)	987 (16.5%)	2,210 (26.0%)	4,210 (35.1%)	10,357 (44.3%)
Marine Biomass Energy (% contribution to BE)	—	3 (0.1%)	50 (1.5%)	5,000 (48.3%)

### 3. 연구방법론

#### 3-1 개요

본 연구의 목적은 해양바이오에너지 개발사업이 타 산업에 유기적으로 미치는 국민경제적 파급효과를 계량화하는 것이다. 이를 위해서는 해양바이오에너지 개발사업 뿐만 아니라 다른 모든 경제부문을 미시적으로 파악하면서도 거시적인 상호관계도 관찰하여야 한다(유승훈, 2003; 2007). 이 목적을 달성하기 위해, 본 연구에서는 산업연관분석을 적용한다. 산업연관분석이란 생산 활동을 통하여 이루어지는 산업 간의 상호연관관계를 수량적으로 파악하는 분석방법으로, 국민경제 전체를 포괄하면서 전체와 부분을 유기적으로 결합한다(Ghosh, 1958). 따라서 산업연관분석은 거시적 분석이 미치지 못하는 산업과 산업 간의 연관관계까지도 분석이 가능하기 때문에 구체적인 경제구조를 분석하는 데 유리하다(Bulmer-Thomas, 1982; Miller

et al., 1989; Wu and Chen, 1990).

이러한 산업연관분석의 장점을 정리해보자면 첫째, 산업연관분석은 국민경제 전체를 포괄하면서 전체와 부분을 유기적으로 결합하고 있으며, 재화의 산업간 순환을 포함하고 있기 때문에 구체적인 경제구조를 분석하는데 유리하다. 둘째, 거시미시 분석이 모두 가능하기 때문에 소비, 투자, 수출 등의 변화에 따른 부문별 생산, 고용, 수입 등에 대한 분석을 포함하여 경제계획의 수립 및 예측 또는 산업구조정책의 방향 설정 등에 유익한 자료를 제공한다. 셋째, 산업연관분석은 소비, 투자, 수출 등 최종수요의 변동이 각 부문의 생산 및 수입에 미치는 파급효과를 분석할 수 있기 때문에 경제정책의 실시에 따른 생산, 고용, 수입, 물가 등에 미치는 파급효과 측정에 유리하다. 이의 원리를 이용하면, 특정산업부문의 수요, 공급, 또는 가격의 변화가 타 산업 혹은 국민경제에 미치는 파급

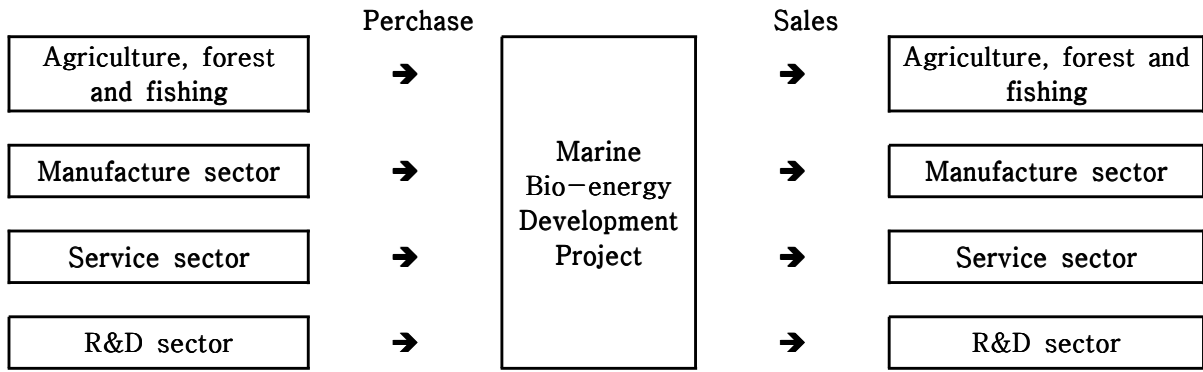


Fig. 2. Framework of looking at marine bio-energy development project in this study

효과도 분석할 수 있어 유용하다. 넷째, 임금, 이윤 등 부가가치 변동에 따른 산업부문별 가격과급효과를 분석할 수 있으므로 원유가격 등 특정 부문의 가격변동이 물가에 미치는 과급효과 측정을 보다 손쉬운 방법으로 수행할 수 있다(표희동 외, 2007).

해양바이오에너지 개발사업 부문을 중심으로 살펴보기 위해서는 최종수요 변동에 초점을 맞추는 통상적 접근법을 취해서는 안 된다. 왜냐하면 최종수요는 총수요가 아니며 총수요라 하더라도 시장에서의 총공급과 일치해야만 명확한 의미를 갖는다. 그러므로 좀더 엄밀한 의미에서 해양바이오에너지 개발사업 관련 부문의 경제적 영향력을 고찰하기 위해서는 해양바이오에너지 개발사업 관련 부문의 총산출 변동에 초점을 맞추어야 한다. 또한 통상적인 분석으로는 해양바이오에너지 개발사업 관련 부문 변동시 자기 부문 외의 다른 부문들이 받는 영향만을 고찰할 수 없다. 이에 따라 해양바이오에너지 개발사업 관련 부문의 최종수요가 증가하면, 해양바이오에너지 개발사업 관련 부문의 산출물이 크게 증가하는 것으로 분석되는데 이는 논리적으로 문제가 있다(유승훈 외, 2004).

이러한 문제점들은 관심대상 부문의 외생화를 통해 해결이 가능하다. 경제에서 한 부문의 변화는 곧 그 경제 모형에 외생적인 힘으로 작용한다. 산업연관분석에서는 이렇게 내생변수와 외생변수가 혼합되어 있는 경우, 외생적인 힘이 될 변수를 외생화라고 한다(Miller and Blair, 1985). 이런 외생화의 방법을 쓰게 되면 총수요가 아닌 특정부문의 산출물이 미치는 영향과 그 산출물이 타 산업에 유발하는 효과를 보다 명확히 알 수 있다.

또한 해양바이오에너지 개발사업 수요산업들의 생산활동에 직·간접적으로 영향을 미친다. 즉 해양바이

오에너지 개발사업을 중심으로 경제적 과급효과를 분석하는 구도는 Fig 2와 같이 파악할 수 있다. 해양바이오에너지 개발사업 관련 부문은 국내 경제의 기초 산업부문으로서 생산활동을 위해서는 여러 부문의 산출활동을 필요로 한다. 즉 다른 부문들의 산출물을 중간재로 수요한다. 따라서 해양바이오에너지 개발사업 부문의 투자가 타 부문에 미치는 과급효과가 클 수 있다. 이 과급효과는 생산유발의 관점, 부가가치 유발의 관점, 취업유발의 관점, 연구개발 유발효과라는 4개 관점에서 살펴 볼 수 있다.

산업연관분석에서는 관심대상 변수를 외생적으로 취급하여 그 변수가 내생적인 경제부문에 미치는 영향을 쉽게 살펴볼 수 있는데, 이 작업을 외생화라고 한다. 이런 외생화의 방법을 쓰게 되면, 총수요가 아닌 특정부문의 산출물이 미치는 영향과 그 산출물이 타 산업을 유발시키는 효과를 보다 명확히 알 수 있다(Miller and Blair, 1985). 본 연구에서는 이러한 외생화 모형을 중심으로 살펴보고자 한다.

### 3-2 산업연관분석의 기본구조

산업연관분석 모형은 한 경제내 생산부문간의 유기적 관계를 나타내는 부문간 선형모형이다. 이 모형은 투입요소의 판매와 구매사이의 연관관계에 강조를 둔 일반균형모형의 성격을 가지기 때문에, 전반적인 경제적 영향을 분석하고 예측하는 데 유용한 방법으로 인식되어 왔다(Ciaschini, 1988).

산업연관분석을 수행하기 위해서는 먼저 해양바이오에너지 개발사업의 특성에 맞는 산업연관표를 사용해야 한다. 해양바이오에너지 개발사업 부문의 산출물은 특성상 수입이 없기 때문에 국내수요에 미치는 영향만을 관찰하는 것이 타당하다. 이를 위해 비경쟁

수입형표에서 도출되는 국산거래표를 이용한다.

$n$ 개의 산업이 경제 내에 존재한다고 할 때,  $i$  부문에서 생산된 재화들은 최종수요를 충족하기도 하고 다른  $j$  부문에서의 생산을 위한 중간재( $Z_{ij}$ )로 사용되기도 한다. 산업연관표를 행(行)으로 보면  $i$  산업의 중간수요( $Z_{ij}$ ), 최종수요( $Y_i$ ) 및 총 산출( $X_i$ ), 총수입액( $M_i$ )이 기록되는데 이는  $i$  부문의 산출구조를 나타낸다. 이러한 산출구조에 대한 관계는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + Y_i - M_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + Y_i - M_i \quad (1)$$

여기서,  $a_{ij}$ 는  $j$  부문에 사용되는  $i$  재 투입량의 몫( $a_{ij} = z_{ij} / X_j$ )이며, 이를 투입계수(input coefficient) 또는 기술계수(technical coefficient)라고 한다. 이 비율은  $j$  부문에서 한 단위의 산출물을 생산하기 위해 투입된  $i$  부문의 산출물을 의미하며, 투입과 산출간의 관계를 나타냄으로써 각 부문별 기술구조 또는 생산관계를 나타낸다. 식 (1)은 특정 부문의 총생산이 경제 내 모든 부문의 한 단위 생산을 위해 투입되는  $i$  번째 부문의 생산액과 소비지출, 수출, 투자, 정부지출에 의한 최종 용도에 소요되는 양을 합한 것과 같음을 의미한다.

### 3-3 수요유도형 모형

#### 3-3-1 생산유발효과

타 산업 생산유발효과란 해양바이오에너지 개발사업에서의 생산이 1원 만큼 증가하였을 때, 해양바이오에너지 개발사업을 제외한 다른 산업에서 생산이 얼마나 증가하게 되는지를 의미한다. 산업연관분석은 산업의 투입과 산출을 해양바이오에너지 개발사업에 대한 중간수요 및 최종수요와 상호 연관지을 수 있으므로, 해양바이오에너지 개발사업에 대한 수요를 분석하는 데 유용하다. 분석대상인 해양바이오에너지 개발사업( $H$ )을 외생화한 행렬에 'e'란 상첨자를 붙여 다시 정리하면 다음 식이 유도된다.

$$\Delta X^e = (I - A^e)^{-1} (A_H^e \Delta X_H) \quad (2)$$

여기서,  $\Delta X^e$ 는 분석대상인  $H$ 부문을 제외한 다

른 부문의 산출량 변화분을 의미한다.  $(I - A^e)^{-1}$ 는 투입계수행렬에서  $H$ 부문이 포함된 열과 행을 제외시켜 작성한 레온티에프 역행렬을 나타낸다.  $A_H^e$ 는 투입계수행렬  $A$ 의  $H$ 부문을 나타내는 열벡터에서  $H$ 부문 원소를 제외하고 남은 열벡터이며,  $X_H$ 는  $H$ 부문의 산출액을 나타낸다.

식 (2)는 관심대상인 해양바이오에너지 개발사업 부문을 중심으로 한 생산유발효과를 나타내는 식으로 해양바이오에너지 개발사업 부문의 산출이 경제 내 다른 부문의 산출에 미치는 직·간접적인 효과를 나타낸다. 또한 해양바이오에너지 개발사업 부문에 대한 투자는 자체로서의 산출효과에 그치는 것이 아니라 연관효과를 통해 타 산업 부문의 생산을 유발시켜 결과적으로 전체 산업의 생산을 촉진하므로, 식 (2)으로부터 해양바이오에너지 개발사업의 총 산출 또는 총 투자로 인한 파급효과를 구할 수 있다(Yoo and Yang, 1999; Yoo and Yoo, 2009).

#### 3-3-2 부가가치 유발효과

타 산업 부가가치 유발효과란 해양바이오에너지 개발사업에서의 생산이 1원 만큼 증가하였을 때, 해양바이오에너지 개발사업을 제외한 다른 산업의 부가가치가 얼마나 증가하게 되는지를 의미한다. 해양바이오에너지 개발사업의 산출액 증가가 타 부문에 미치는 부가가치 유발효과를 관찰하기 위해, 최종수요의 변동이 없다는 가정 하에 해양바이오에너지 개발사업을 외생화하면 다음 식이 유도된다.

$$\Delta V^e = \widehat{A}^{v^e} (I - A^e)^{-1} (A_H^e \Delta X_H^e) \quad (3)$$

$\Delta V^e$ 는 분석대상인  $H$ 부문을 제외한 다른 부문의 부가가치 변화분을 의미한다.  $\widehat{A}^{v^e}$ 은 부가가치계수의 대각행렬에서 해양바이오에너지 개발사업의 행과 열을 제외시키고 남은 행렬을 의미한다. 식 (3)을 통해 해양바이오에너지 개발사업의 산출액 증가에 따른 부가가치 유발효과를 구할 수 있다.

#### 3-3-3 취업유발효과

타 산업 취업유발효과란 해양바이오에너지 개발사업에서의 생산이 1원 만큼 증가하였을 때, 해양바이

오에너지 개발사업을 제외한 다른 산업의 취업자가 얼마나 증가하게 되는지를 의미한다. 최종수요와 취업유발을 연결시켜 분석하려면, 취업계수와 생산유발계수를 기초로 취업유발계수를 도출해야 한다. 취업계수( $m_i$ )란 일정기간 동안 생산 활동에 투입된 노동량( $M_i$ )을 총산출액( $X_i$ )으로 나눈 계수( $m_i = M_i/X_i$ )로서 한 단위 생산에 직접 소요된 노동량을 의미한다.  $X$ 를 생산하기 위해 요구되는 취업자 수는 식 (4)로 표현할 수 있다.

$$M = \hat{m}X = \hat{m}(I - A)^{-1}Y \quad (4)$$

식 (4)에서  $\hat{m}(I - A)^{-1}$ 을 취업유발계수행렬이라 한다. 단  $\hat{m}$ 은 취업계수행렬의 대각행렬이다. 취업유발계수는 특정 산업부문의 생산물 한 단위 생산에 직접 필요한 노동량뿐만 아니라 생산과급과정에서 간접적으로 필요한 노동량도 모두 포함하고 있다.

해양바이오에너지 개발사업부문의 산출액이 미치는 효과를 살펴보기 위해서는 해양바이오에너지 개발사업부문을 외생화시켜야 한다. 해양바이오에너지 개발사업 부문을 외생화한 식은 다음과 같이 표현된다.

$$M^e = \hat{m}^e \Delta X^e = \hat{m}^e (I - A)^{-1} (A_H^e \Delta X_H) \quad (5)$$

단,  $M^e$ 는 해양바이오에너지 개발사업을 제외한 각 부문별 취업자수를 나타내며,  $\hat{m}^e$ 는 취업계수 대각행렬에서 해양바이오에너지 개발사업의 행과 열을 제외시키고 남은 행렬이다.

### 3-3-4 연구개발 유발효과

일반적으로 최종수요가 생산을 유발시키고 생산은 다시 연구개발 수요를 유발시키므로, 최종수요와 연구개발유발을 연결시킴으로써 최종수요가 유발시키는 연구개발효과를 의미하는 연구개발 유발효과를 구할 수 있다. 최종수요와 연구개발유발을 연결시켜 분석하려면 연구개발계수와 생산유발계수를 기초로 연구개발유발계수를 도출해야 하는데, 연구개발계수( $r_i$ )란 일정기간 동안 생산활동에 투입된 연구개발액( $R_i$ )을 총산출액( $X_i$ )으로 나눈 계수( $r_i = R_i/X_i$ )로서 한 단위의 생산에 직접 소요된 연구개발액을 의미한다. 이 경우 연구개발액은 연구개발계수를 계속하게 되

로,  $X$ 를 생산하기 위해서 요구되는 연구개발액은 식 (6)으로 표현할 수 있다.

$$R = \hat{r}X = \hat{r}(I - A)^{-1}Y \quad (6)$$

식식 (7)에서  $\hat{r}(I - A)^{-1}$ 을 연구개발계수행렬이라 부르며,  $\hat{r}$ 은 연구개발계수행렬의 대각행렬이다. 연구개발유발계수는 어느 산업부문의 생산물 한 단위 생산에 직접 필요한 연구개발액뿐만 아니라 생산과급과정에서 간접적으로 필요한 연구개발액도 모두 포함한다.

타 산업 생산유발효과처럼 해양바이오에너지 개발사업이 타 산업에 미치는 연구개발투자 유발효과를 살펴보기 위해서는 해양바이오에너지 개발사업을 외생화시켜야 하며, 해양바이오에너지 개발사업을 외생화한 식은 다음과 같이 표현된다.

$$R^e = \hat{r}^e \Delta X^e = \hat{r}^e (I - A^e)^{-1} (A_H^e \Delta X_H) \quad (7)$$

$R^e$ 는 해양바이오에너지 개발사업을 제외한 각 부문별 연구개발액이며,  $\hat{r}^e$ 는 연구개발계수 대각행렬에서 해양바이오에너지 개발사업 부문의 행과 열을 제외시키고 남은 행렬이다.

## 4. 분석 결과

### 4-1 자료

한국은행에서 발표된 2009년도 산업연관표를 이용하되, 28부문 통합대분류 방식에 근거하여 분석을 한다. 해양바이오에너지 개발사업 부문은 별도로 추려내어 총 29부문 산업연관표를 작성하였다. 특히 한국은행 기본부문 403부문에 근거하여 Table 3과 같이 해양바이오에너지 개발사업을 정의하였다. 따라서 Table 4와 같이 총 29부문을 대상으로 분석을 하며, 해양바이오에너지 개발사업은 제29부문으로 처리하였고, 이 부문을 외생화하게 되면 결국 28개 부문을 다루게 된다.

### 4-2 경제적 파급효과 분석결과

#### 4-2-1 분석의 구도

해양바이오에너지 개발사업의 경제적 파급효과는

**Table 3.** Definition of marine bio-energy development project in input-output table

Codes	Name of sector	Codes	Name of sector
032	Crude petroleum	210	Metal products for structure
034	Iron ores	211	Metal tanks and reservoirs for equipment
035	Copper ores	212	Metal cans, barrels, and drums
038	Sand and gravel	213	Handtools
041	Limestone	214	Bolts, nuts, screws, rivets, and washers
114	Lumber	215	Fabricated wire products
115	Plywood	220	Internal combustion engines and turbines
122	Printing paper	221	Valves
129	Printing	222	Bearings, gears, gearing and driving elements
130	Reproduction of recorded media	223	Conveyors and conveying equipment
134	Gasoline	224	Air-conditioning equipment and industrial refrigeration equipment
136	Kerosene	225	Boiler
137	Light oil	226	Heating apparatus and cooking appliances
148	Synthetic resins	227	Pumps and compressors
149	Synthetic rubber	240	Motors and generators
172	Sheet glass and primary glass products	241	Electric transformers
173	Industrial glass products	243	Electric transmission and distribution equipment
179	Cement	244	Insulated wires and cables
180	Ready mixed concrete	245	Batteries
188	Pig iron	246	Electric lamps and electric lighting fixtures
189	Ferroalloys	249	Digital display
190	Steel ingots and semifinished products	250	Semiconductor devices
191	Steel rods and bars	251	Integrated circuits
192	Section steel	262	Computer and peripheral equipment
193	Rails and wires	263	Office machines and devices
194	Hot rolled steel plates and sheets	269	Industrial automatic regulators
195	Steel pipe and tubes, except foundry iron pipe and tubes	270	Measuring and analytical instruments
196	Cold rolled steel sheet, strip, and bars	300	Nuclear power generation
197	Iron foundries and foundry iron pipe and tubes	308	Road construction
198	Forgings	314	Water main line and drainage project construction
199	Coated steel plates	317	Electric power plant construction
200	Misc. primary iron and steel products	318	Communications line construction
209	Metal products for construction	352	Non-life insurance

자기산업에 미치는 효과와 타 산업에 미치는 효과의 합으로 구성된다. 앞서 설명하였던 모형은 주로 타 산업에 미치는 효과와 관련이 있다. 아울러 경제적 파급효과로 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업 유발효과, 연구개발 유발효과의 4가지를 분석한다.

자기산업에 미치는 효과란 1차적인 것으로 해당

부문의 생산, 부가가치, 취업, 연구개발 등이 활성화 되는 효과이며, 타 산업에 미치는 효과는 2차적인 것으로 타 산업의 생산, 부가가치, 취업, 연구개발을 유발하는 효과를 의미한다. 즉 해양바이오에너지 개발 사업 활동으로 해양바이오에너지 개발사업 관련 부문에 변화가 발생하며 이 변화를 기본 투입요소로 하되,



2009년 투입산출에 근거한 산업연관분석을 통해 각종 파급효과를 구한다. 아울러 각 경제적 파급효과를 구하는 데 있어서 해양바이오에너지 개발사업에 미치는 효과와 해양바이오에너지 개발사업 외 타 산업에 미치는 효과를 분리하여 추정된 후 취합한다.

#### 4-2-2 분석 결과

해양바이오에너지 개발사업이 타 산업에 미치는 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과, 연구개발 유발효과를 추정된 결과는 Table 5에 제시되어 있다. 해양바이오에너지 개발사업에 대한 1원의 투자는 타 산업의 생산을 0.3979원, 타 산업의 부가가치를 0.1412원 만큼 유발하며, 10억원 투자는 타 산업의 취업을 2.5173명만큼 유발하는 것으로 분석되었다. 전반적으로 보면 해양바이오에너지 개발사업의 생산은 도소매 및 부동산 및 사업서비스 등과 같은 서비스업 산업의 생산, 부가가치, 취업, 고용을 많이 유발하며 제조업 중에서는 화학제품 부문에 대한 파급효과가 큰 것으로 판단된다.

또한 해양바이오에너지 개발사업에 대한 1원의 투자는 타 산업의 연구개발을 0.0029원 만큼 유발하는 것으로 분석되었으며, 전반적으로 해양바이오에너지 개발사업의 연구개발은 화학제품, 전기 및 전자기기, 일반기계 등과 같은 제조업의 연구개발에 큰 영향을 미치며, 서비스업 중에서는 부동산 및 사업서비스와 도소매 부문에 대한 파급효과가 큰 것으로 판단된다.

한편 자기 산업에 미치는 경제적 효과까지도 함께 구하여 총 경제적 효과를 분석한 결과는 Fig 3에 요약되어 있다. 여기서 총 투자액은 2012년부터 2039년까지 해양바이오에너지 개발사업에 투입될 것으로 예상되는 2,234억원<sup>1)</sup>을 의미한다. 따라서 2,234억원의 투자가 미치는 경제적 파급효과를 구한 것이라 볼 수 있다.

생산유발효과는 자기 산업 파급효과 2,234억원 및 타 산업 파급효과 889억원으로 총 3,123억원이다. 부가가치 유발효과는 자기 산업 파급효과 550억원과 타 산업 파급효과 315억원으로 총 865억원이다. 연구개발 유발효과는 자기 산업 파급효과 41.4억원 및 타

Table 4. 29 sectors re-classified in this study

Codes	Sectors
1	Agriculture, forestry and fishing
2	Mining and quarrying
3	Food, beverages and tobacco products
4	Textile and apparel
5	Wood and paper products
6	Printing and reproduction of recorded media
7	Petroleum and coal products
8	Chemicals, drugs and medicines
9	Non-metallic mineral products
10	Basic metal products
11	Fabricated metal products except machinery and furniture
12	General machinery and equipment
13	Electronic and electrical equipment
14	Precision instruments
15	Transportation equipment
16	Furniture and other manufactured products
17	Electricity, gas, steam and water supply
18	Construction
19	Wholesale and retail trade
20	Accommodation and food services
21	Transportation
22	Communications and broadcasting
23	Finance and insurance
24	Real estate and business services
25	Public administration and defense
26	Education, health and social work
27	Other services
28	Dummy sectors
29	Marine bio-energy development project

산업 파급효과 및 타 산업 파급효과 6.4억원으로 총 47.8억원으로 분석되었다. 취업유발효과는 자기 산업에서 589명을 유발하며 타 산업에서 562명 등 총 1,151명에 달하는 것으로 분석되었다.

## 5. 결론

경제성장과 산업발전에 따라 에너지의 수요가 크

1) 해양바이오에너지 개발사업에 필요한 3년간 투자비(플랜트 건설 공사비) 930억원과 투자 완료 후 25년 동안 매년 발생하는 운영비 123억원을 합한 4,007억원이다. 본 연구에서는 2011년 12월 시점으로 기준년도를 설정하고 미래에 발생할 모든 현금흐름은 기준년도의 가격인 불변가격을 적용함으로써 실질적 할인율과 일관성을 유지하는 실질 현금흐름을 활용한다. 따라서 총 투자액은 전술한 4,007억원에 사회적 할인율 5.5%를 적용한 2,234억원을 의미한다.

**Table 5.** Economic impacts of marine bio-energy development project investment on other sectors

Sector	Production-inducing effects		Value added-inducing effect		Employment-inducing effect		R&D-inducing effect	
	Value (won)	Rank	Value (won)	Rank	Value (persons/1 billion won)	Rank	Value (won)	Rank
Agriculture, forestry and fishing	0.0026	21	0.0013	18	0.0838	7	0.0000	22
Mining and quarrying	0.0019	24	0.0011	19	0.0087	23	0.0000	20
Food, beverages and tobacco products	0.0042	19	0.0011	20	0.0126	20	0.0000	15
Textile and apparel	0.0023	23	0.0007	23	0.0160	19	0.0000	19
Wood and paper products	0.0074	16	0.0021	15	0.0288	13	0.0000	17
Printing and reproduction of recorded media	0.0000	28	0.0000	27	0.0000	27	0.0000	27
Petroleum and coal products	0.0240	6	0.0014	17	0.0040	25	0.0000	14
Chemicals, drugs and medicines	0.0695	1	0.0147	3	0.1375	5	0.0009	1
Non-metallic mineral products	0.0077	15	0.0021	16	0.0244	15	0.0001	13
Basic metal products	0.0212	8	0.0028	11	0.0162	18	0.0001	10
Fabricated metal products except machinery and furniture	0.0142	11	0.0045	7	0.0713	9	0.0001	11
General machinery and equipment	0.0125	12	0.0032	9	0.0484	11	0.0002	3
Electronic and electrical equipment	0.0148	10	0.0027	12	0.0323	12	0.0007	2
Precision instruments	0.0017	25	0.0004	24	0.0097	22	0.0001	9
Transportation equipment	0.0043	18	0.0010	21	0.0104	21	0.0001	6
Furniture and other manufactured products	0.0009	26	0.0003	25	0.0058	24	0.0000	21
Electricity, gas, steam and water supply	0.0218	7	0.0047	6	0.0238	16	0.0001	7
Construction	0.0024	22	0.0010	22	0.0207	17	0.0000	16
Wholesale and retail trade	0.0335	3	0.0196	2	0.7843	1	0.0001	5
Accommodation and food services	0.0083	14	0.0032	10	0.1711	4	0.0000	23
Transportation	0.0247	5	0.0093	5	0.2419	3	0.0000	18
Communications and broadcasting	0.0095	13	0.0042	8	0.0255	14	0.0001	8
Finance and insurance	0.0247	4	0.0144	4	0.1287	6	0.0000	24
Real estate and business services	0.0587	2	0.0398	1	0.4711	2	0.0002	4
Public administration and defense	0.0003	27	0.0002	26	0.0026	26	0.0000	27
Education, health and social work	0.0041	20	0.0027	13	0.0579	10	0.0000	25
Other services	0.0051	17	0.0026	14	0.0800	8	0.0001	12
Dummy sectors	0.0155	9	0.0000	27	0.0000	27	0.0000	26
Marine bio-energy development project	0.3979		0.1412		2.5173		0.0029	

	Impact on own sector	Impact on other sector	Total impact
Production-inducing effects	1.0000 won 223.4 billion won	0.3979 won 88.9 billion won	1.3979 won 312.3 billion won
Value Added-inducing effect	0.2461 won 55.0 billion won	0.1412 won 31.5 billion won	0.3873 won 86.5 billion won
Employee-inducing effect	2.6347 persons per 1 billion won 589 persons	2.5173 persons per 1 billion won 562 persons	5.1520 persons per 1 billion won 1,151 persons
R&D-inducing effect	0.0185 won 4.14 billion won	0.0029 won 0.64 billion won	0.0214 won 4.78 billion won

Fig. 3. Summary of the economic impacts of marine bio-energy development project

게 증가하고 있으나 이로 인한 에너지의 공급 불균형 및 고갈 문제가 전 세계적인 이슈로 대두되고 있다. 이러한 문제에 대한 유일한 해결책은 식용식물과 경쟁하지 않으면서 환경과 에너지 문제를 동시에 해결할 수 있는 해양생물을 이용하여 바이오에너지를 생산하는 것이다. 해양바이오에너지는 기존 풍력, 태양광 등의 신재생에너지와 다르게 에너지 밀도가 높은 액체연료를 공급할 수 있고, 식량자원에 영향이 없으며 이산화탄소를 직접적으로 회수 및 탄소중립화 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 추세에 맞추어 우리나라도 「제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획」 해양바이오에너지 개발사업을 추진하고 있다.

이러한 배경 하에서, 본 연구는 2009년도 산업연관표에 근거한 산업연관분석을 통해 해양바이오에너지 개발사업의 경제적 파급효과인 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과, 연구개발 유발효과를 분석하고자 하였다. 특히 해양바이오에너지 개발사업에 대한 투자가 자기 산업에 미치는 영향과 타 산업에 미치는 영향을 구분할 수 있는 외생화 기법을 이용하여 경제 내 타 부문에 대한 기여도를 보다 엄밀하게 도출하였다. 주요 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

먼저 해양바이오에너지 개발사업의 생산유발효과를 살펴보았는데, 화학제품 분야와 부동산 및 사업서비스 부문에 가장 큰 영향을 미치며, 도·소매 부문, 금융 및 보험 부문 및 운송 부문에도 상대적으로 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 부가가치 유발효과는 전체적인 면에서는 생산유발효과와 비슷하나,

도·소매 부문에 큰 영향을 미치며 화학제품 부문, 금융 및 보험 부문에 상대적으로 영향을 미쳤으며 서비스업 중에서는 운수 부문에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 취업유발효과와 관련해서는 생산유발효과 및 부가가치 유발효과와는 전체적인 면에서는 유사하게 도·소매 부문, 부동산 및 사업서비스 부문, 식음료 부문에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이외에, 농림 및 수산 부문, 기타 서비스 부문에 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 제조업 중에서는 섬유제품 부문이 영향을 많이 받았다. 연구개발 유발효과는 화학제품 부문, 전기 및 전자기기 부문, 일반기계 부문 등과 같은 제조업에서 영향이 큰 것으로 분석되었다.

타 산업에 대한 효과를 종합해 보면, 해양바이오에너지 개발사업에서의 1원 생산은 타 산업의 생산, 부가가치, 연구개발을 각각 0.3979원, 0.1412원, 0.0029원 만큼 유발하며, 10억원 투자에 따라 취업은 타 산업에서 2.5173명만큼 유발되는 것으로 분석되었다. 해양바이오에너지 개발사업 자체에 미치는 효과까지도 포함하여 국민경제 전체적인 효과를 계산해 보면, 해양바이오에너지 개발사업에 대한 1원의 투자는 1.3979원의 생산유발효과, 0.8591원의 부가가치 유발효과, 0.0214원의 연구개발 유발효과를 가져오며, 10억원 투자로 5.1520명의 취업을 유발한다.

산업연관분석은 비교적 적용이 간단하면서도 다양한 정보를 제공하기에 연구자와 정책 결정자에게 유용한 분석도구이다. 본 연구에 제시된 산업연관분석을 보다 확장할 수 있는 추후 연구주제로는 여러 연

도의 산업연관표를 동적으로 연결한 동적 분석, 해양 바이오에너지 개발사업분야의 선진국 산업연관표에 근거한 국가간 비교분석, 산업연관표의 업데이트 기법을 이용한 해양바이오에너지 개발사업의 미래에 대한 예측 등을 들 수 있다. 또한 공공적인 성격이 강한 해양바이오에너지 개발사업의 경제성 분석과 편익추정을 위하여 조건부가치측정법(CVM:Contingent Valuation Method) 등 다양한 기법을 활용한 후속연구가 수행되기를 바란다.

사 사

이 연구는 경상북도의 ‘해수자원화 사업 (PG47690,KIOST)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 표합니다. 또한 한국해양과학기술원의 해양환경 산업연구실과 조류바이오연료 연구실의 연구자들의 도움과 노력에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강광하: “산업연관분석론”, 연암사 (2000)
2. 강도형 외: “미세조류 바이오연료 상용화를 위한 주요인자 연구”, Ocean and Polar Research, 제 341권 제4호, pp. 365-384. (2012)
3. 김요한, 김기남, K.I. Ekpeghere, 고성철: “해양바이오에너지의 현재와 미래”, 대한토목학회지, 제 59권, 제5호, pp. 63-70. (2011)
4. 유승훈: “정보통신산업의 국민경제적 산업파급효과 분석”, Telecommunications Review, 제13권, 제3호, SK Telecom, pp. 347-359. (2003)
5. 유승훈: “산업연관분석을 이용한 해양심층수 산업화의 국민경제적 파급효과 분석”, 산업경제연구, 제20권, 제4호, 한국산업경제학회, pp. 1345-1357. (2007)
6. 유승훈, 양창영: "지상과 방송광고 단가 변동의 경제적 파급효과", 광고연구, 제75권, 한국방송공사, pp. 143-162. (2007)
7. 유승훈, 임응순, 구세주: “광고산업의 국민경제적 산업파급효과 분석”, 광고연구, 제78권, 한국방송공사, pp. 189-214. (2008)
8. 유승훈, 정동원, 박세현: "태평양 심해저 망간단괴 개발사업의 경제적 파급효과", Ocean and Polar

- Research, 제32권, 한국해양연구원, 제4호, pp. 489-499. (2010)
9. 유승훈, 허재용, 김기주: “투입산출표의 외생화를 이용한 전파방송산업의 산업파급효과 분석”, 산업경제연구, 제17권, 제5호, 한국산업경제학회, pp. 1593-1612. (2004)
10. 이철균: “해양조류유래 해양바이오에너지”, BT News, pp. 23-25, 30-31. (2009)
11. 지식경제부: “제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용 · 보급 기본계획(2009년~2030년)”. (2008)
12. 진세준, 유승훈: “풍력발전 해외수출의 경제적 파급효과 분석”, 에너지공학, 제21권, 제1호, pp. 311-321. (2012)
13. 진세준, 유승훈: “석탄화력발전 해외수출의 경제적 파급효과 분석”, 에너지공학, 제22권, 제1호 pp. 17-27. (2013)
14. 한국은행: “2009년 산업연관표”. (2011)
15. 허재용, 유승훈: "지식서비스산업의 경제적 파급효과 국가간 비교분석 : 한국, 미국, 일본, 영국을 중심으로", 산업경제연구, 제22권 제6호, 한국산업경제학회, pp. 3189-3208. (2009)
16. 표희동 외: “통영해역 바다목장화사업 경제성 평가분석”, 한국해양수산기술진흥원 (2007)
17. Bulmer-Thomas, V.: “Input-Output Analysis in Developing Countries”, New York, Wiley (1982)
18. Ciaschini, M.: “Input-Output Analysis”, London, Chapman and Hall (1988)
19. Ghosh, A.: “Input-output approach to an allocative system”, Economica, 25, 58-64. (1958)
20. Han, S. -Y., Yoo, S. -H., & Kwak S. -J.: “The role of four electric power sectors in the Korean national economy: An input-output analysis”, Energy Policy, 32, 1531-1543. (2004)
21. Kwak, S. -J., Yoo S. -H. and Chang J. -I.: “Role of maritime industry in the Korean National Economy: An Input-Output Analysis”, Marine Policy, 29, 371-383. (2005)
22. Miller, R. E., & Blair, P. D.: “Input-output Analysis: Foundations and Extensions”, New Jersey, Prentice-Hall (1985)
23. Miller, R. E., Polenske, K. R., and Rose, A. Z.

- (ed.): "Frontiers of Input-Output Analysis",  
Oxford, Oxford University Press (1989)
24. Wu, R. H., & Chen, C. Y.: "On the application  
of input-output analysis to energy issues",  
Energy Economics, 12, 71-76. (1990)
25. Yoo S. -H., & Yang C. -Y.: "Role of water  
utility in the Korean national economy",  
International Journal of Water Resources  
Development, 15(4), 527-542. (1999)