



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

경 영 학 박 사 학 위 논 문

해양바이오에너지 연구개발사업의
경제적 편익 추정 및 파급효과 분석



2014년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 산 업 경 영 학 과

김 태 영

경 영 학 박 사 학 위 논 문

해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 편익 추정 및 파급효과 분석



부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 산 업 경 영 학 과

김 태 영

김태영의 경영학박사 학위논문을
인준함.



주 심	경제학박사	이 상 고	(인)
위 원	경제학박사	박 철 형	(인)
위 원	경영학박사	김 도 훈	(인)
위 원	경영학박사	장 학 봉	(인)
위 원	경제학박사	표 희 동	(인)

<목 차>

I. 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구방법론	4
3. 논문의 구성	7
II. 선행연구 검토	9
1. 해양바이오에너지 연구개발사업의 선행연구	9
2. 경제적 편익 추정의 선행연구	12
3. 공공사업 경제적 파급효과 분석의 선행연구	18
III. 해양바이오에너지 연구개발사업의 현황 및 과제	20
1. 해양바이오에너지 연구개발사업의 현황	20
2. 해양바이오에너지 연구개발사업의 과제	30
IV. 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 편익 추정	40
1. 편익추정방법론: CVM	40
2. 지불의사액 모형	44
3. 지불의사액 추정모형 및 제시금액 설정	49
4. CVM에 의한 설문지 설계 및 운용절차	64
5. 편익추정결과 및 논의	70
6. 소결	79

V. 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 파급효과 분석	81
1. 분석의 개요	81
2. 파급효과 분석방법론: 산업연관분석론	85
3. 자료	105
4. 분석결과 및 논의	108
5. 소결	119
VI. 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제성 분석	121
1. 경제성 분석의 개요와 기본가정	121
2. 비용의 추정	124
3. 편익의 범위 및 범주	128
4. 비용편익 분석결과	136
VII. 결론 및 시사점	140
1. 결론	140
2. 시사점	144
참고문헌	147
부록: 조사설문지 및 보기카드	157

<표 목 차>

<표 1> CVM을 이용한 국내 환경재 가치평가 사례 분석	14
<표 2> CVM을 이용한 국외 환경재 가치평가 사례 분석	16
<표 3> 해양바이오에너지자원과 타 자원의 특징 및 활용성 비교	21
<표 4> 바이오매스의 세대별 분류 및 비교	23
<표 5> 바이오매스 간의 온실가스 감축 및 수확시간 비교	24
<표 6> 해조류 바이오 에너지 생산기업 관련 정보	26
<표 7> 콩과 미세조류의 생산량 비교	32
<표 8> 미세조류와 다른 대상들과의 보이지 않는 비용 비교	33
<표 9> 해양바이오산업별 시장 규모 예측 결과	34
<표 10> 2030년까지의 해양바이오에너지 보급 목표	36
<표 11> 미세조류의 잠재성과 활용 전망	37
<표 12> 비모수 추정법의 평균추정치	59
<표 13> 지불의사금액의 응답자 분포(스파이크모형)	71
<표 14> 이중경계 모형의 WTP 추정결과	74
<표 15> 공변량의 정의 및 추정값	75
<표 16> 지불의사금액의 응답자 분포	76
<표 17> 제시금액의 보정된 수락확률	77
<표 18> 비모수적 추정법을 통한 WTP 추정	78

<표 19> 시나리오별 추정 결과	80
<표 20> 추정된 편익의 시나리오별 현재가치	80
<표 21> 우리나라 산업연관표의 간단한 형태	84
<표 22> 통합 전 3부문의 산업연관표	92
<표 23> 통합 후 2부문의 산업연관표	93
<표 24> 산업연관분석에서 해양바이오에너지 연구개발사업의 정의 ..	107
<표 25> 대상부문 외생화를 위한 재분류(29부문)	108
<표 26> 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 파급효과 결과 순위	110
<표 27> 해양바이오에너지 연구개발사업의 산업간 연쇄효과	118
<표 28> 인건비 산정표	125
<표 29> 해양바이오에너지 연구개발사업의 비용	127
<표 30> 해양바이오에너지의 연구개발사업 생산물의 경제적 가치	130
<표 31> 신규로 창출되는 해양바이오에너지사업 시장규모	131
<표 32> 부가가치 창출 편익의 전제 조건과 근거	132
<표 33> 해양 바이오에너지 연구개발사업의 부가가치 창출 편익 추정결과	135
<표 34> 해양바이오에너지 연구개발사업의 유·무형 편익	136
<표 35> 해양바이오에너지 연구개발사업의 할인 순편익	138
<표 36> 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제성 분석 요약	139

〈그 립 목 차〉

<그림 1> 경제적 편익 추정 및 파급효과 분석방법론	5
<그림 2> 해양조류 바이오매스에서 생산 가능한 바이오 에너지	25
<그림 3> 해양바이오산업 기술별 시장동향	34
<그림 4> 비모수적 추정법을 이용한 생존곡선	58
<그림 5> CVM 운용절차	65
<그림 6> 보정 전·후의 지불의사액 확률분포	77
<그림 7> 해양바이오에너지 연구개발사업의 타 산업과의 관계	88
<그림 8> 산업연관분석의 기본절차	88
<그림 9> 산업연관표의 구조	91
<그림 10> 생산유발효과 부문별 결과 및 순위	111
<그림 11> 부가가치유발효과 부문별 결과 및 순위	112
<그림 12> 취업유발효과 부문별 결과 및 순위	113
<그림 13> 연구개발유발효과 부문별 결과 및 순위	114
<그림 14> 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 파급효과	115

An Economic Evaluation of the Marine Bio-Energy Development Project Using Contingent Valuation Methods and an Input-Output Analysis

Tae Young, Kim

Department of Marine Business and Economics
The Graduate School of Pukyong National University

Abstract

The need to develop new technologies and to use alternative energy resources for the worldwide energy crisis and climate change, as well as to meet carbon dioxide reduction obligations and reinforce environmental restrictions, is increasing. The Renewable Fuels Standard (RFS) proposed in the United States is projected to produce 3.6 billion gallons of bioenergy by 2022, of which 2.1 billion gallons are technologically and economically advanced, as compared to corn ethanol.

Until now, first and second generation products such as cellulose ethanol from corn and other plants have been playing critical roles in Energy Independence and Security Act (EISA). However, the purpose of the EISA was to produce 2.1 billion gallons of bioenergy, which is a particular goal of RFS, using third generation products such as micro algae fuels rather than first and second generation fuels. The Republic of Korea is also affected by the EISA bill and aims at

maximizing the use of new renewable energy resources by up to 11% by 2030.

Nevertheless, it is very difficult to accomplish this goal because research and development as well as commercialization are not functioning effectively. A solution would be to produce bioenergy from marine organisms, which would eliminate fuel competition with edible plants. According to the Third Basic Plan for New Renewable Energy Technology Development and Usage/Distribution of 2008, mass production of marine bioenergy is aimed at 1,000 ha by 2018, producing five million TOE by 2030, with the expectation that 50% of overall bioenergy production will come from marine bioenergy.

Currently, marine bioenergy has an economic limit due to technological restrictions. However, it is a field in which supply will surprisingly increase in the near future, which is why the US, EU, and Japanese governments are leading technological development and supply. Marine bioenergy is an environmental resource: the market for evaluation projections is not yet ready. However, using valuation research, non-use values or intangible values can be estimated. It is hard to define the value of the reduction effect of greenhouse gases associated with marine bioenergy as a non-commodity and, even if the value were to be defined, it is still not easy to set up the “how” part. An objective of this research was to set out some of the implications of marine bioenergy development led by the Korean government in order to reveal the economic benefits, based on a willingness-to-pay(WTP) for the reduction of greenhouse gas using

contingent valuation methods (CVM) which include parametric approach such as double-bounded dichotomous choice model and spike model, and a non-parametric approach.

As a result, the estimated WTP for reducing greenhouse gas due to the marine bioenergy development project is 1,180 Won to 3,117 Won per month per household based on parametric approaches and 2,158 Won to 4,401 Won per month per household based on a non-parametric approach. And the annual aggregated WTPs for the entire nation are 70.6 billion Won for a conservative scenario, 129.2 billion Won for a normal scenario, and 263.5 billion Won for an optimistic scenario.

Another objective for the study was to quantify the economic effect on other industries using input-output analysis based on a demand-driven model with exogenous specifications so that more detailed economic effects can be projected. The conclusion deals with the overall economic effects of the total budget of 223.4 billion Won. The total value of induced production effects is 312.3 billion Won, which includes 223.4 billion Won from inside the industry and 88.9 billion Won from outside the industry. Added value will total 96.5 billion Won with 55 billion Won from its own industry and 31.5 billion Won from other industries. The research and development value will total 4.78 billion Won with 4.14 billion Won from its own industry and 0.64 billion Won from other industries. Also, the employment inducement effects will be up to 1,151 employees.

To understand the position of marine bioenergy R&D project

among the economy as a whole, there was an analysis of linkage effect among business from which the index of the sensitivity of dispersion recorded larger than 1. This means that marine bioenergy R&D project is largely effected by overall business cycle. Also, the index of power of dispersion recorded 1.0642 -larger than 1- which shows us that this business effects other industries substantially.

An economic feasibility of marine bioenergy R&D project has been proved as investment efficiency index such as net present value(NPV), internal rate of return(IRR), and benefit-cost ratio(BC Ratio) record better than each evaluation criteria. The specific results show NPV of 183 billion Won at the discount rate of 5.5%, IRR of 26.15%, and B/C ratio of 1.78 under the conservative scenario.

As there is no heuristic economic valuation of marine bioenergy, this will be meaningful from an academic perspective. Also, the marine bioenergy business is a public service that will be subjected to political judgments regarding the massive budget allocation. This research will provide both academic and policy implications as it is primarily based on the economic valuation of greenhouse gas reduction by marine bioenergy.

Keywords: contingent valuation method, double-bounded dichotomous choice, non-parametric, input-output analysis, marine bioenergy

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

전 세계적인 에너지 위기에 대한 대처기술의 강구, 기후변화에 따른 CO₂ 감축의무 압박과 환경규제 강화에 대응할 수 있는 원천기술 개발 및 대체 에너지원 개발의 필요성이 증대되고 있다.

이러한 문제를 해결해 나가고자 미국에서 발의된 신재생에너지 의무혼합 제도(Renewable Fuels Standard, RFS)는 2022년까지 36억 갤런의 바이오 에너지 생산을 목표로 하고 있으며, 이 중 21억 갤런은 옥수수 유래 바이오에탄올보다 기술·경제적으로 향상된 제3세대 바이오에너지를 생산하는 것이다. 바이오에너지는 일반적으로 옥수수, 콩 등 식량자원을 바이오매스로 활용하는 1세대 바이오에너지, 식물줄기, 목재 등을 바이오매스로 활용하는 2세대, 미세조류 및 해조류 등을 바이오매스로 활용하는 3세대로 구분하고 있는데 1·2세대 바이오에너지는 「에너지독립및안보법(EISA, energy Independence and Security Act)」¹⁾의 목표달성에 중요한 역할을 한다. 그런데 1·2세대보다 진보적인 미세조류 바이오에너지와 같은 3세대 바이오에너지를 활용하여 RFS 세부목표인 21억 갤런의 바이오에너지 생산 목표를 달성하도록 EISA법은 요구하고 있다(김태영 외, 2013).

우리나라도 2012년부터 RFS의 적용을 받고 있으며, 2030년까지 신재생 에너지 사용량을 11%까지 사용토록 계획되어 있으나 우리나라의 신재생에

1) 2007년에 제정된 이 법은 온실가스 배출을 줄이는데 도움이 되는 RFS에 대한 규정 등 에너지 효율 향상에 대한 규정이 포함되어 있다.

너지 관련 연구개발의 상용화 수준이 낮은 까닭에 이러한 국가적 목표 달성이 어려울 것으로 예상되고 있다(강도형 외, 2012). 그러나 3세대 바이오에너지가 1·2세대 바이오에너지에 비하여 식용식물과 경쟁하지 않으면서 환경과 에너지 문제를 동시에 해결할 수 있는 대안으로 주목받고 있다.

2008년에 확정된 「제3차 신재생에너지기술개발및이용·보급기본계획」에 의하면 우리나라의 경우 해양바이오에너지가 분담할 목표로 2018년까지 1천 헥타르의 실증배양에서 대량생산공정을 확보하여 5만 TOE를 생산하고, 2030년까지는 5백만 TOE를 생산하여 우리나라 신·재생에너지 중 바이오에너지 분야의 약50%를 생산하도록 계획되어 있다.

해양바이오에너지 분야는 현재 시점에서는 기술성숙 수준 등의 문제로 경제성을 확보하지 못하고 있으나, 머지않은 장래에 수요가 급증할 가능성이 매우 큰 분야로서 미국, EU, 일본을 중심으로 정부주도의 기술개발이 활발히 이루어지고 있다(장덕희 외, 2013).

일반적으로 미세조류는 광합성 탄소 동화작용을 통해 이산화탄소를 흡수하며 이는 대기중의 이산화탄소를 감소시켜 온실가스 저감효과를 기대할 수 있으며, 미세조류로부터 생산된 바이오에너지를 사용할 경우 화석에너지를 이용하는 것과 비교하여 이산화탄소, 탄화수소, 미세먼지 등이 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 경유와 휘발유 소비량을 각각 바이오연료로 1% 대체할 경우 바이오디젤과 바이오 에탄올의 온실가스 저감량 추정치는 각각 54.3만 톤과 11.3만 톤으로 나타났으며, 평균 미세조류 100톤당 183톤의 CO₂가 삭감된다고 보고되었다.

특히 일반적으로 식물성 플랑크톤으로 분류되는 해양미세조류는 에너지 및 산업소재 생산, 온실가스 저감이 가능한 미래자원으로서 주요 에너지 자원과 비교시 강점이 있는 것으로 재조명되고 있다(조성재, 2012). 이러한 해양미세조류를 이용하여 생산하는 바이오에너지의 경우 여타의 바이오에

너지에 비해 오일 수율이 높아 연료생산의 효율성이 높고, 성장속도 또한 빠르기 때문에 에너지 활용의 경쟁력이 높다고 평가되고 있다.

이처럼 해양바이오에너지는 일반재화와 달리 객관적인 가치를 관측할 수 있는 시장이 형성되어 있지 않은 대상으로서, 가치 추정 연구를 통해 대상 재화가 갖는 존재가치나 유산가치를 포함한 비사용가치의 추정이 가능하다. 이처럼 본 연구의 대상인 해양바이오에너지의 온실가스 저감 효과는 비시장재로서 가치의 정의가 어렵고, 가치를 정의한다 하더라도 어떻게 가치를 측정할 것인지를 결정하는 문제는 쉽지 않다. 이에 본 연구에서는 1차적으로 조건부 가치추정법(CVM, contingent valuation method, 이하에서는 CVM으로 함)을 활용하여 해양바이오에너지 개발 및 도입에 따른 온실가스 저감에 관한 지불의사액(WTP, willingness to pay, 이하에서는 WTP로 함)을 조사하고 이를 바탕으로 경제적 편익을 추정한다.

2차적으로 거시적 관점에서 해양바이오에너지 연구개발사업이 타 산업에 미치는 국민경제적 파급효과를 계량화하는 것이다. 이를 위해서 투입산출 분석(I-O, input-output analysis)을 이용하여 해양바이오에너지 연구개발사업의 국민경제적 파급효과를 분석하고자 한다. 투입산출분석을 수행하는데 있어서 수요유도형 모형(demand-driven model)을 다루되, 특히 해양바이오에너지 연구개발사업을 외생화(exogeneous specification) 기법을 이용하여 파급효과의 신뢰도를 높이려고 하였다. 또한 해양바이오에너지 연구개발사업의 국가 경제적 위치 혹은 해양바이오에너지 연구개발사업의 성격을 파악하기 위하여 감응도 계수와 영향력 계수를 활용한 산업간 연쇄효과를 추정하고자 하였다.

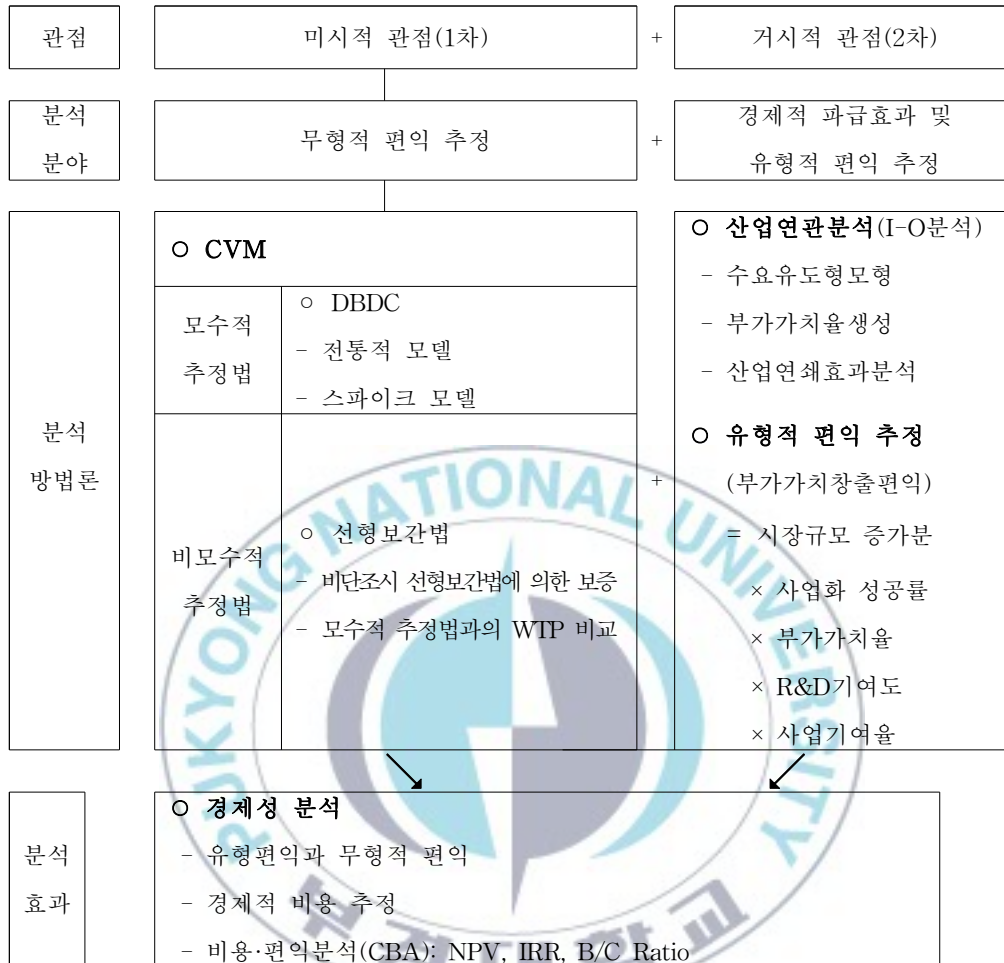
본 연구 범위내에서 CVM을 통하여 제시된 WTP를 확장한 무형편익과 산업연관분석에 의해 도출된 부가가치 창출편익의 유형편익을 경제적 비용과 비교함으로써 경제성 평가의 견고성을 기하고자 하였다.

해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 종합적인 관점에서의 경제성 평가는 국내·외에서 다루고 있지 않아 학술적 측면에서 중요한 의미를 가진다. 또한, 해양바이오에너지 연구개발사업은 막대한 국가 재정의 투입에 대한 정책적 판단이 수반되어야 하는 사업으로서 우리나라에서는 처음으로 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 편익을 추정하였는 바, 여기에서 학문적 의의를 찾을 수 있을 뿐 아니라 관련 사업에 대한 유용한 정책적 정보를 제공해 줄 것이다.

2. 연구방법론

환경문제가 심각해지면서 화석연료를 대체할 신재생에너지 개발의 필요성이 대두되고 있는 가운데 대안으로 제시되고 있는 해양조류 또는 미세조류를 이용하여 에너지를 생산하는 3세대 해양바이오에너지는 식용식물과 경쟁하지 않으면서 환경과 에너지 문제를 동시에 해결하는 큰 장점을 갖고 있다. 이러한 추세에 맞추어 우리나라도 「제3차신재생에너지기술개발및 이용보급기본계획」의 일환으로 해양 바이오에너지 연구개발사업을 추진하고 있다.

이에 본 연구에서는 해양바이오에너지 연구개발사업의 시행에 대하여 경제적 편익 추정과 파급효과 분석을 함께 조망함으로써 경제성 평가를 견고히 하고자 한다(그림1 참조).



<그림 1> 경제적 편익 추정 및 파급효과 분석방법론

먼저, 해양바이오에너지 연구개발사업과 연계된 비시장 편익요인을 고려한 무형적 편익 산정을 위해 가상적 시장상황을 설정하여 CVM을 수행할 필요가 있다. 이러한 배경하에서 본 연구에서는 CVM을 이용하여 온실가스 저감에 대한 경제적 편익을 추정하고자 한다. 경제적 편익에 대한 효율적이고 정확한 연구결과의 도출을 위하여 이중경계양분선택형(DBDC, double-bounded dichotomous choice, 이하에서는 DBDC로 함)의 지불의

사유도방법을 적용하여 그 결과를 제시한다. 또한 영(0)의 WTP를 보다 명시적으로 반영할 수 있는 장점을 가진 스파이크 모형을 결합하였다. 아울러 CVM을 적용하는데 있어서는 여러 가지 지침에 근거한 설문설계, 최근에 개발된 표본설문조사 표집기법 및 인터뷰 기법의 운용 등 특별하게 요구되는 여러 가지 조건들을 충분히 만족시키면서 연구를 수행한다.

일반적으로 모수적 추정법(parametric approach)은 분포에 대한 가정과 모형설정에서 발생하는 위험성 때문에 추정오차가 상대적으로 높다는 단점이 있다(Kristrom, 1990). 이러한 모수추정치 불안정성은 편익 추정의 불안정과 연결된다(표희동 외, 2011). 그래서 본 연구에서는 추정이 용이하고 분포에 대한 가정과 모형설정에서 발생하는 오차의 위험성이 상대적으로 낮은 비모수적 추정법(non-parametric approach)을 이용하여 CVM의 모수적 추정법에 의한 측정치들과의 유의점 차이를 비교하여 편익분석 결과의 객관성을 도모코자 한다.

해양바이오에너지 연구개발사업은 상용화를 통하여 해양바이오매스로부터 원료유를 얻을 수 있게 된다면 원료유의 국산화가 실현될 것이고 이를 통해 수입의존도를 줄이고 식량문제에서 자유로울 수 있어 새로운 산업분야로 부상할 것이다. 해양바이오에너지 사업이 해양, 환경, 교통 등 광범위한 산업에 영향을 미치므로 산업 각 부문에 미치는 경제적 파급효과를 면밀히 연구할 필요가 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 거시적 관점에서 투입산출분석과 산업연쇄효과 분석을 주요 분석도구로 사용하여 해양바이오에너지 사업의 상용화 시점 이후는 물론 상용화 추진 과정에서의 연구개발, 화학제품, 부동산 및 사업서비스 등을 중심으로 한 생산활동이 다른 국민 경제활동 부문에 미치는 총산출효과 및 관련 산업부문에 대한 파급효과를 측정한다.

3. 논문의 구성

이 논문은 전체 7장으로 구성된다. 제2장에서는 선행연구에 대한 검토를 3가지 관점에서 수행하였다. 먼저 해양바이오에너지 연구개발사업이 갖는 기술적/정책적 필요성에 대한 부분을 파악하여 여러 가지 바이오에너지원 중 본 논문에서 대상으로 하고 있는 해양미세조류를 이용한 해양바이오에너지 연구개발의 필요성을 검토하였고, CVM을 이용한 경제적 편익 추정 에 대한 국내·외 선행연구를 검토하였다. 또한 해양바이오에너지 연구개발 사업의 거시적 관점에서의 경제적 파급효과에 대한 선행연구를 검토하였다.

그리고 제3장에서는 해양바이오에너지 연구개발사업의 현황과 과제를 분석하여 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 관련 사항을 제시하여 연구 방향과 목적을 구체화하고자 하였다.

우리나라는 「제3차 신·재생에너지기술개발및이용·보급기본계획」의 바이오에너지의 약 50%를 해양바이오에너지가 담당토록 되어있다. 이러한 해양바이오에너지 사업의 전반적인 추진 현황 및 연구동향과 해양바이오 에너지의 종류별 특징과 기술적 동향 그리고 해양바이오 에너지 산업에 대한 국내·외 시장 예측을 살필 것이다. 또한 해양바이오에너지가 갖는 기술적 특성과 에너지원으로서의 생산전망 등 정책적 과제의 점검을 하고 이를 통하여 다양한 에너지원을 생산할 수 있는 해양바이오에너지 사업의 연구대상으로서의 정의와 범위를 제시할 것이다.

제4장에서는 해양바이오에너지 연구개발사업을 통하여 유발되는 온실가스 저감 부분에 대한 경제적 편익의 추정개요, 추정 방법론인 CVM에 대한 방법론적 이슈와 지불의사액 모형과 추정모형을 설명하고 CVM의 절차

(재화의 선정, 시나리오 작성, 지불수단의 선택, 제시금액의 선택 및 가치 평가, 해석 등)와 과정을 제시한다. 그리고 모수적 추정법과 비모수적 추정법에 의한 경제적 편익의 추정결과를 제시하고 그 결과에 대한 논의를 한다.

제5장에서는 투입산출분석을 통한 경제적 파급효과 분석의 개요를 설명하고 2009년도 산업연관표에 근거하여 해양바이오에너지 사업의 경제적 파급효과인 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과, 연구개발 유발효과를 분석하고자 한다. 또한 해양바이오에너지 연구개발사업의 산업간 연쇄효과도 분석을 한다.

제6장에서는 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 경제성 분석을 실시하며 제5장에서 제시된 자기산업의 부가가치 유발효과(율)를 활용한다. 제4장에서 도출된 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 무형편익과 연계하여 분석하고, 경제적 비용과 비교함으로써 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 경제적 타당성을 분석하고자 한다.

끝으로 제7장에서는 각각의 기법과 관점에서 제시된 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 편익과 동 사업으로 인한 국민경제적 파급효과의 학문적 기여와 정책적 시사점을 포함한 결론이 제시된다.

II. 선행연구 검토

1. 해양바이오에너지 연구개발사업의 선행연구

1970-1980년대부터 바이오에너지의 도입을 선도해 온 브라질, 미국, EU 등 바이오연료 강국은 물론 후발국인 일본, 중국 등도 바이오에너지의 생산과 도입을 국가정책으로 추진 해 오고 있다. 바이오에너지가 각국이 필요로 하는 고유가 대응, 온실가스 및 대기오염 감축 등 환경개선 효과, 자국의 소득 증대, 에너지 안보강화 등 여러면에서 경제적·정책적 필요성이 있었기 때문이다.

우리나라도 2002년 이후 바이오에너지에 대한 관심을 갖기 시작하였으며 2004년에는 「석유및석유대체연료사업법」이 개정되는 등 신재생에너지 도입에 대한 기반이 정비되었다. 정부는 2008년에 「제3차신재생에너지기본계획」을 통하여 바이오에너지 중에 개발될 해양바이오에너지의 분담 목표를 발표하였다. 그리고 정부는 2010년 12월 「제2차바이오디젤중장기보급계획」을 통하여 당분간 경유의 바이오디젤(BD) 혼합비율을 2% 수준으로 유지하는 계획의 일환으로 국내의 풍부한 해양자원을 활용할 수 있는 3세대(해조류) 에너지를 조기에 개발하여 세계적인 바이오에너지 수요 증가에 대응할 계획임을 밝혔다.

강희진(2007)은 비용/편익 분석을 통하여 우리나라의 바이오에너지 도입에 대한 가능성을 검토하였으며 연구결과 바이오 디젤의 국내생산이 가장 큰 편익을 제공하는 것으로 나타났다.

이철균(2009)은 고유가와 화석연료 고갈에 대처하기 위한 방안으로서 해

양조류와 같은 제3세대 바이오 에너지의 개발 필요성을 제기하였다. 또한 우리나라가 해양조류의 성장과 관련된 연평균 기온과 광합성 조건에 부합하여 해양바이오에너지의 개발 가능성이 큰 것으로 전망하였다.

오희목(2009)은 환경개선과 재생에너지를 생산하는 녹색기술로서 극한 환경에서도 성장하는 미세조류 유래 바이오디젤을 유망한 분야로 지목하였다²⁾. 같은 시기에 이선복(2009)은 해양이 가지는 생태학적 가치가 매년 21조에 달하므로 이를 해양산업과 접목하여 발전시켜야 한다는 방향과 해양화학바이오 산업의 중요성을 피력하면서 동 산업의 한 분야인 해양바이오에너지 산업 시장의 확장 가능성을 해조류 자원의 활용측면에서 지목하였다.

강도형(2012)은 미세조류가 전세계 수많은 연구자들과 기업들로 부터 차세대 바이오 연료의 원료로 주목받는 이유를 제시하였으며 특히 미세조류가 이산화탄소를 약 2배 까지 회수할 수 있는 잠재력까지 가지고 있으므로 환경 친화적인 차세대 연료로서 미세조류 바이오디젤의 기술적 타당성이 있다는 평가를 하였다. 이와 관련하여 ①생활 및 축산폐수, 배출 CO₂, 새로운 배지 개발 등 낮은 단가의 배양액 원료들을 이용하고 ②현재 보다 상대적으로 낮은 저비용 구조의 고밀도 배양, 수확, 탈수 및 추출기술이 개발되어야 하며 ③바이오에너지 뿐만 아니라 고부가가치 부산물도 동시에 개발하여야 사회적으로 실현 가능한 경제성 있는 미세조류 바이오에너지 생산의 모델을 세울 수 있다고 판단하였다.

조성재(2012)는 옥수수나 목질계 작물 같은 1,2세대 바이오매스 자원은 대규모 경작면적이 필요하기 때문에 국내 산업으로 육성하기 어려운 반면 해수면을 활용할 수 있고 좁은 면적에서 대량 생산이 가능한 해양 미세조류는 국토면적이 좁은 우리나라의 실정에 적합한 것으로 평가하였으며 임

2) 미세조류는 작물생산에 적합하지 않는 높은 염도, 강한 알칼리 등 극한 환경에도 성장하며 여기서 생산되는 바이오디젤은 “녹색 금(Green Gold)”라 호칭되기도 한다.

해 산업공단이 발달한 우리나라의 특성을 반영해 해양 미세조류 배양을 이용한 탄소배출 저감, 폐수 처리 등 실증사업의 추진을 통한 사업의 타당성과 경제성 확보를 위한 전략도 제시하였다.³⁾

가장 최근에 장덕희 외(2013)는 국내외 해양생명공학 산업시장의 장기예측 및 합의를 통하여 해양생명공학 산업을 제약 산업 분야, 에너지 산업분야, 기능성 식품분야, 기능성 화장품 분야로 구분하여 산업시장 규모를 분석하고 세계 해양생명공학 산업시장은 향후 10년간 급속히 성장 할 것으로 전망하였으며 이 중에서 해양바이오 에너지 산업은 타 분야에 비하여 시장 규모는 적은 편이나 증가속도가 높을 것으로 평가하였다. 또한 해양생명공학 사업은 외부경제효과와 파급효과가 크므로 공공부문의 역할이 강조되어야 하며 부가가치 창출을 위한 정부차원의 연구개발 투자의 필요성도 강조하였다.

Pulz(2004)는 미세조류를 이용한 생명공학기술의 중요성을 강조하였으며 생명공학산업의 확대 가능성을 예상하고 이러한 관점에서 미세조류 이용기술이 기존의 사료와 약품생산 위주에서 탈피하여 에너지 생산 등 새로운 아이템의 개발이 필요하다고 강조하였다.

Chisti(2007)는 옥수수 기반 바이오디젤 대비하여 탁월한 오일함량을 가진 미세조류 바이오디젤의 생산 가능성을 제시하였으며 유전공학 및 신진대사 기법의 개발을 통한 생산성 제고의 필요성도 같이 제시하였다.

Yanqun 외(2008)는 배양기 개발, 수확 및 건조기술 개선 등 기술개발을 통한 미세조류 기반 바이오디젤의 가격경쟁력 방안을 기술적인 측면에서 다루었다. Singh and Gu(2010)는 미세조류 기반 바이오에너지와 부산물의 동시 생산을 통한 상업적 가능성을 언급하였다.

3) 우리나라의 서해안 지역이 대규모 미세조류 배양이 가능한 입지로 평가되었다 (Harmelon 외(2006)).

Teresa 외(2010)는 광합성을 이용한 CO₂ 저감 등 환경적 활용 가치 측면에서 미세조류 바이오디젤의 활용성을 다루었다.

Helena(2012)는 미세조류의 높은 오일함량, 까다롭지 않은 재배 공간, 재배에 따른 CO₂ 저감 등 장점에도 불구하고 고비용의 생산단가로 인한 사업의 장애요인을 극복할 수 있는 대상 균주의 선택과 저비용, 고효율 구조의 배양액 개발 등이 수반되어야 배양의 안정성과 생산단가의 저하를 시도할 수 있다고 하였다.

본 연구는 여러 가지 해양바이오에너지 중에서 사회적 총 편익의 관점에서 미세조류 바이오디젤의 국내 생산을 연구대상으로 국한하였으므로 해양바이오에너지 사업의 전반적인 기술적·정책적 타당성 측면보다는 미세조류 기반 바이오디젤의 관점에서 선행연구를 검토하였다. 따라서 본 연구에서는 해양바이오에너지 연구개발사업에는 다양한 에너지원이 있으므로 연구대상을 해양미세조류 기반 바이오디젤의 국내생산을 연구범위로 설정하였다.

2. 경제적 편익 추정의 선행연구

가. CVM의 모수적 추정법에 관한 연구

본 연구의 연구대상이 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 편익 추정임을 감안하여 관련된 선행연구를 검토한 결과 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 편익과 관련된 연구는 국내외에서 아직 많이 이루어지지 않은 것을 알 수 있다.

먼저 바이오에너지에 대한 국내·외 선행연구를 검토하였다. Hite외(2008)

는 설문조사를 바탕으로 현재 소비하는 전기의 10%를 친환경에너지로 전환할 경우의 지불의사액을 CVM을 통하여 추정하였으며, Barry & Nicholas(2009)는 바이오매스 중에서 바이오에탄올로 현재의 화석연료를 대체하는 정책에 대한 소비자 지불의사액이 1인당 556달러인 것으로 추정하였다.

Solino 외(2010)는 스페인에서 소비되는 전기의 10%를 바이오매스 발전소에서 생산되는 전기로 대체하는 정책에 대한 소비자 지불의사액을 추정하였다. Solino 외(2012)는 화석연료 대신에 산림 바이오매스를 활용하여 전기를 생산할 경우의 지불의사액을 컨조인트 분석을 통하여 추정하였다.

국내의 경우 김혜민(2012)의 연구에서는 화석에너지에서 바이오에너지로 대체하는데 대한 소비자 지불의사액을 CVM을 이용하여 추정하였다.

김태영 외(2013)는 해양바이오에너지 연구개발사업의 온실가스저감 편익을 본 연구에서 사용하지 않은 SBDC(Single bounded dichotomous choice, 단일경계 양분선택형, 이하에서는 SBDC로 함)를 활용하여 추정하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 많은 국내·외 연구에서 경제적 편익을 추정할 때 CVM을 이용하고 있는 것을 알 수 있다. 한국환경정책평가연구원이 구축한 ‘환경가치 종합정보시스템’(http://evis.kei.re.kr)에서 추세를 살펴보면, 아래의 <표 1>과 <표 2>와 같은 연구들이 있음을 알 수 있고, 이는 실제 국내에서 환경재 가치평가를 위하여 CVM이 사용되고 있음을 알 수 있다. 다만 지불의사 유도 방법은 SBDC, DBDC를 비롯한 다양한 방법⁴⁾이 적용되고 있음을 알 수 있다.

4) 편익의 가능성 다소와 통계적 효율성 개선효과 등 복합적인 측면에서 연구자들은 어느 모형을 적용할 것인가가 항상 고민의 대상이다.

<표 1> CVM을 이용한 국내 환경재 가치평가 사례 분석*

저자	제 목	발표 연도	지불의사액	지불의사유도 방법
홍성표, 김정흠	CVM에 의한 대기환경의 경제적 가치 평가	1996	매월 가구당 57,129원	지불카드법
김태유 외	대기오염으로 인한 건강영향의 가치평가	1998	매월 1인당 안과질환: 2,833원 심장질환: 8,942원 천식: 55,023원	SBDC
유승훈 외	서울시 대기질 축성의 가치측정: 다속성효용이론에 근거한 CVM	1999	매월 1인당 먼지피해: 1,791원 가시거리: 1,621원 농업생산: 1,855원 사망위험: 2,169원 질병위험: 2,129원 지구온난화: 1,923원	개방형
신영철, 조승현	미래의 사망가능성 감소에 대한 지불의사금액과 통계적 인간생명의 가치 측정: 환경적 피해와 환경정책의 평가를 위한 통계적 인간생명의 가치	2000	매년 1인당 233,370원	DBDC
김예신 외	환경오염으로 인한 위해도 감소에 대한 지불의사금액 추정에 관한 연구	2003	매년 1인당 10,700원 (대기오염, Spike)	DBDC
조용성	대기오염개선의 사회적편익 추정: 만성호흡기 질환 사망률 감소효과를 중심으로	2003	매월 1인당 2,132원	SBDC
이용진 외	울산지역에서 대기중 벤젠으로 인한 사망 손실비용 추정모형에 관한 연구	2004	매월 1인당 14,852원	DBDC
이해춘 외	3중양분선택·개방형 CVM을 이용한 수도권 대기질의 편의가치	2004	개방형(N=296): 20,020원 개방형(N=342): 19,494원 단일경계양분선택: 69,808원 이중경계양분선택: 32,895원 삼중경계양분선택: 30,824원	SBDC, DBDC, TBDC, 개방형

* 출처: 한국환경정책·평가연구원(<http://evis.kei.re.kr>)

<표 1> CVM을 이용한 국내 환경재 가치평가 사례 분석(계속)

저자	제목	발표 연도	지불의사액	지불의사 유도방법
이준행 외	인천만 조력발전 경제성 평가	2008	매월 가구당 3,149원	SBDC
김충실 외	온실가스 감축의 부수적 가치 추정	2010	매년 가구당 315,336원	DBDC
김태영 외	해양바이오에너지개발사업의 온실가스 저감 편익 추정	2013	매년 가구당 4,190원	SBDC

Yoo 외(2009)는 한국의 그린전기에 대한 WTP를 SBDC를 통하여 추정하였다. 조용성(2003) 역시 SBDC로 대기오염개선의 사회적 편익 추정을 하였으며 이해준 외(2004)는 삼중양분선택형과 개방형을 이용하여 수도권 대기질의 편익가치를 추정하였다. 김충실 외(2010)는 DBDC로 온실가스 감축의 부수적 가치를 추정하였다.

바이오에너지와 환경재의 WTP추정시 CVM이 광범위하게 이용되고 있으며 지불의사유도방법 및 추정모형도 SBDC 와 DBDC가 범용적으로 채택되고 있음을 확인할 수 있다.

<표 2> CVM을 이용한 국외 환경재 가치평가 사례 분석

저자	제목	발표 연도	지불의사액	지불의사 유도방법
H.D.Pyo	An Economic Evaluation of Coastal Wetlands in Korea	2001	매월 가구당 3.9달러	DBDC, Spike
Nomura, N. and Akai, M.	Willingness to pay for green electricity in Japan as estimated through contingent valuation method	2004	매월 가구당 2000엔	DBDC
Barreiro 외	How much are people willing to pay for silence? A contingent valuation study	2005	매년 가구당 4유로	OOHBDC
Hite and Duffy 외	Consumer willingness-to-pay for biopower: Results from focus groups	2008	매월 가구당 7.56유로	개방형
Barry and Nicholas	Valuing climate protection through willingness to pay for biomass ethanol	2009	내년 1인당 556달러 (갤런당 40센트)	SBDC
Yoo, S.H. and Kwak, S.Y.	Willingness to pay for green electricity in Korea	2009	매월 가구당 1.8달러	SBDC
Solino and Prada 외	Designing a forest-energy policy to reduce forest fires in Galicia(Spain): A contingent valuation application	2010	매년 가구당 38.33유로	개방형
Won-Seok Lee 외	Measuring the Economic Benefits of the Tap Water Supply Service in Urban Areas: The Case of Korea	2013	㎡당 163.38원	SBDC

또한 바이오에너지가 아닌 환경재에 대한 WTP추정에서도 국내·외의 많은 연구에서 CVM이 가장 널리 이용되고 있다. Pyo(2001)는 한국의 연안 갯벌의 경제적 가치를 DBDC와 Spike모형을 통한 지불의사액을 추정하였다. 특히 이 연구에서는 많은 응답자(약42%)들이 자원보존을 위해 지불할 의사가 전혀 없다는 것에 대한 합리적 처리를 위하여 스파이크 모형을 적용하고 이를 전통적 모델과 비교하여 유의를 찾고자 하였다.

Nomura 외(2004), Barreiro 외 (2005), Hite 외(2008), Barry 외(2009) 등

이 WTP를 통한 환경편익을 추정하였다.

본 논문에서는 CVM의 중요한 요소인 지불의사액 유도모형을 SBDC보다 더 많은 지불의사액이 포함되어 구간이 더 세밀하여 통계적 효과성이 높고 편익의 수준도 적당한 DBDC를 채택하였다. 또한 설문결과 지불의사가 없는(0의 WTP) 지불거부자(protest bids)가 50% 이상이어서 이를 처리하기 위하여 스파이크 모형을 적용하고자 한다.

나. CVM의 비모수적 추정법에 관한 연구

CVM은 지불의사액의 함수설정에 있어서 특정분포를 가정하는 모수적 추정방법이다. 이러한 모수적 추정법과 비모수적 추정법을 비교분석하여 추정치에 대한 신뢰성을 확보할 뿐 아니라 설득력과 이론적 뒷받침을 확대하기 위하여 비모수적 추정법⁵⁾을 채택한다.

임혜진 외(2005)는 서울광장 조성에 대한 서울시민의 지불의사액 추정 연구를 하였고 Lee 외(2013)는 CVM을 적용하여 상수도 공급에 대한 WTP를 측정하고 이를 모수적 추정법과 비모수적 추정법을 비교하여 통계적 유의점에 대하여 결과를 비교하였다.

표희동 외(2011)는 비모수적 추정법에 의한 CVM을 이용하여 부산시 가정용수 수질개선에 대한 WTP를 추정하였으며 WTP 확률분포함수에서 비단조적(non-monotonous) 현상이 발생하여 선형보간법에 의한 보증을 실시하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 본 연구에서는 모수적 추정법과의 비교를 통한 유의점 도출을 위하여 비모수적 추정법도 함께 사용하기로 하였으며 응답자들의 WTP 확률분포상에서 비단조적 구간이 발생할 시에는 선형보간

5) Duffield와 Patterson(1991)는 비모수적 추정법이 모수적 추정법의 하나의 합리적 대안(a reasonable alternative)이라고 제안한다.

법6)에 의한 보증을 실시하여 추정의 신뢰도를 높이하고자 한다.

3. 공공사업 경제적 파급효과 분석의 선행연구

해양바이오에너지 연구개발사업을 통한 안정적 에너지자원의 확보는 지속적인 경제성장의 원동력으로 국가경쟁력 증진의 중요한 수단이 될 뿐 아니라 이를 통하여 얻어지는 경제적 편익은 최종수혜자인 국민후생의 증가로 귀결된다. 또한 해양바이오에너지 연구개발사업은 사업자체가 유발하는 단기적인 경제효과도 중요하지만 동 사업의 상용화 시점 전후의 관련 산업에 미치는 파급효과에도 주목하여 중·장기적으로 꾸준히 추진되어야 한다.

Han 외(2004)는 발전부문별 파급효과분석을 수요유도형과 공급유도형 모델을 같이 사용하여 분석을 실시하였으며 이준행 외(2010)는 인천만 조력발전 경제성평가에서 CVM과 산업연관분석을 이용하였다.

한건택(2012)은 수요유도형 모델을 이용하여 집단에너지산업의 파급효과를 분석하였고 김홍연(2012)의 경우 수요유도형 모델과 공급유도형 모델을 같이 사용하여 전력산업의 파급효과를 분석한 바 있으며 김태영 외(2013)는 수요유도형 모델을 사용하여 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 파급효과를 분석하였다.

이처럼 대부분의 공익사업은 대부분 거시적 관점에서 투입산출분석에 의한 국민경제활동에 대한 파급효과의 분석을 이행하고 있다. 본 연구에서는 환경경제학적 관점에서 해양바이오에너지 연구개발사업의 온실가스 저감에 대한 편익 추정을 CVM의 장점을 최대한 활용하고 단점을 보완하면서 실

6) Kristrom(1990)이 제안한 것으로 관측점간의 분포순서가 단조적이지 못하면-제시금액이 클수록 낮은 수락확률이 관찰(경제학적 기본가정) 되어야한다-응답확률을 보정하게 된다.

시하였고 거시적 관점에서의 투입산출분석을 적용하여 부가가치 창출편익의 유형적 편익을 도출함으로써 경제성 평가자료로 활용하고 국가의 자원 및 환경정책과 연계시켜 종합적 평가를 시도한다.



Ⅲ. 해양바이오에너지 연구개발사업의 현황 및 과제

1. 해양바이오에너지 연구개발사업의 현황

가. 해양바이오에너지의 중요성

기후변화와 이산화탄소 저감문제로 해양에 대한 연구가 다양하게 진행되면서 해양의 역할에 대한 이해와 중요성이 부각되고 있다. 해양 미생물의 1%만이 현재의 기술로 배양이 가능하지만 해양 미생물을 비롯한 해양생물들이 지구의 이산화탄소 등 물질순환에 매우 중요한 역할을 하고 있다는 사실도 밝혀지고 있다. 지구 총면적에서 70%에 달하는 면적을 차지하는 해양에는 약30만종의 생명체가 서식하고 있으며 이는 지구 전체 생물의 80%에 해당된다. 이처럼 해양이 가지는 생태학적 가치는 엄청나다고 할 수 있는데 그 규모가 매년 약 21조 달러에 달한다(이선복 2009).

선진각국에서는 다양한 해양생물자원을 이용한 화학, 소재, 에너지 제품 생산에 막대한 투자를 하고 있다. 이러한 해양 생물자원 중에서 특히 주목해야 할 것이 있다면 해조류를 들 수 있는데, 해조류 자원의 개발과 활용은 육상식물자원의 부족으로 인해 침체된 바이오산업분야의 활성화의 계기가 될 것이다. 최근 들어서는 화석연료의 사용이 온실가스(greenhouse gas, GHG) 축적 및 심각한 기후환경변화로 증폭되어 세계 경제활동 및 인류가 해결해야 할 당면 문제로 나타나고 있다.

급격한 화석연료 사용량 증가로 세계는 석유생산이 정점에 다다른 피크

오일 상태로 원유매장량과 원유생산량도 같이 줄어들고 있다. 또한 이로 인한 탄소가 매년 40억 톤 이상 대기중으로 방출되어 지구온난화를 가속화 하고, 우리나라는 석유와 석탄 등 화석연료에 대한 비중이 83%이며 게다가 에너지 수입의존도는 약 97%에 달하여 에너지 수입액은 매년 급증하고 있다. 현재 사용되는 에너지의 대부분이 석유, 석탄, 천연가스 등의 화석연료여서 이에 대한 대체 신·재생에너지의 개발이 시급하다.

신·재생 에너지군에 속하는 풍력, 지열, 조력, 태양열 에너지 등은 화석에너지의 사용량을 대체할 수 있는 양에 미달될 뿐 아니라 국지적으로 한정되어 있으며 에너지 전환 효율면에서도 한계점을 보이고 있다(양지원, 2012). 반면 생물자원인 바이오매스는 고갈의 염려가 없고 생산 및 이용공정이 환경친화적이므로 새로운 대체에너지원으로서 부각되고 있다(<표 3>참조).

<표 3> 해양바이오에너지자원과 타 자원의 특징 및 활용성 비교

구분	미세조류	석유	석탄	천연가스*	원자력	태양광	풍력
산업소재생산	가능	가능	가능	가능	불가	불가	불가
온실가스 배출량	저	고	고	중	저	저	저
가채년수	무한	54년	112년	64년	79년	무한	무한
경제성 확보시기	2020년	현재	현재	현재	현재	2020년	현재

* 천연가스: 셰일가스와 같은 비전통가스 불포함
출처: 삼성경제연구소, 2012

바이오매스는 물리, 화학 및 생물학적 전환과정을 거쳐 다양한 형태의 바이오에너지로 활용이 가능하다. 바이오에너지는 식물, 동물, 미생물을 이용하여 인공적으로 만들어낸 연료로서 재료와 만드는 방법에 따라 바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오가스 등으로 나눌 수 있다. 바이오에탄올은 식

물의 당분을 발효시켜 만들고 바이오디젤은 식물로부터 지방을 추출하여 만들며, 바이오가스는 미생물이 만드는 메탄(methane)이나 수소처럼 기체 상태의 연료를 말한다.

이러한 바이오에너지의 생산원료인 바이오매스는 1, 2, 3세대로 진화하고 있다. 1세대는 곡물자원을 이용한 바이오에너지로서 탄수화물을 다량 함유한 옥수수, 사탕수수 등이 당화와 발효과정을 거쳐 바이오에탄올로 전환되고, 지질함량이 높은 유채유, 팜유, 대두유 등은 전이에스테르화 반응을 통해 바이오디젤로 전환된다. 곡물자원을 사용한 바이오에너지는 곡물가격이 상승하면 바이오 에너지의 가격경쟁력이 위협 받을 뿐 아니라 에너지 수요 충족을 위하여 재배면적을 확대하면 식량자원이 위협받으며 환경파괴와 이산화탄소 발생이 증가하는 문제점을 안고 있다.

2세대는 작물의 줄기나 폐목재 등을 사용한 에너지로 이러한 목질계 바이오매스 중 셀룰로오스 성분의 당화 및 발효 공정을 통해 바이오에탄올을 만드는데 1세대 바이오매스가 안고 있는 식량문제와의 상충되는 부분은 피할 수 있으나 경작지의 제한성 문제는 여전히 있다.

1·2세대 바이오매스의 문제점을 해결할 수 있는 3세대 바이오매스인 조류(algae)는 여러가지 장점을 가지고 있다(<표 4>참조).

<표 4> 바이오매스의 세대별 분류 및 비교

구분	주요작물	특 징
1세대	옥수수, 사탕수수, 콩 등 (식량자원)	-곡물가격 상승 등의 부작용 초래 -곡물가격 폭등시 바이오연료 사업성 악화
2세대	식물줄기, 목재 등 (비식용자원)	-줄기성분(셀룰로오스)분해로 고비용 발생 -넓은 경작지 필요, 수집비용 과다
3세대	미세조류, 해조류 등 (비식용자원)	-대량생산기술 및 경제성 확보 필요 -미세조류는 비식용으로 (해)수면을 이용, 경작지 침해 없음 -지구 전체 광합성 절반을 해양미세조류가 담당(Rubion 외, 2003)

거대조류인 김, 다시마 등은 셀룰로오스 성분을 다량 함유하고 있어 바이오에탄올로 전환이 용이하고 2세대와는 달리 리그닌 성분이 없어 전처리 공정이 필요 없는 장점을 가지고 있다. 또한 미세조류는 <표 5>와 같이 성장속도가 빨라 식물에 비해 5-10배 정도로 바이오매스 생산성이 높을 뿐 아니라 이산화탄소 고정능력도 15배가량 높고 전형적인 육상 작물(야자, 대두, 유채 등)들 보다 단위면적당 훨씬 많은 지질을 생산 할 수 있는 장점이 있다(양지원, 2012; 강도형, 2012 등).

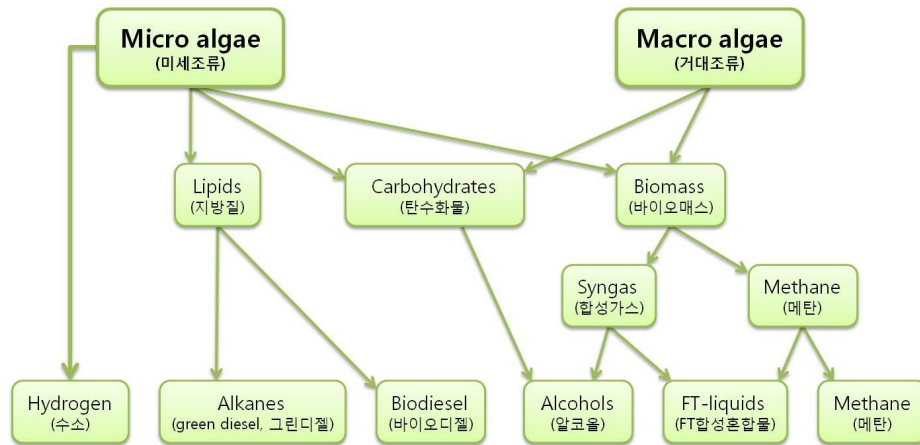
<표 5> 바이오매스 간의 온실가스 감축 및 수확시간 비교

작물명 구분	미세 조류	옥수수	코끼리 부들	수수	포플러	콩	해바 라기	카놀라
생산물	BD*, BE*, 그 외	BE	BE	BE	BE	BD	BD	BD
생산량kL (ha/y)	10~12	1.1~2.2	7.3	3.1~7.6	3.7~6.0	0.4	0.73	0.77
화석연료 대비 온실가스 저감(%)	High >100	60~100	65~70	37~73	51~100	15~ 78	15~78	15~78
수확량(회)	24~36	1~3	1~3	1~3	*	1~3	1~3	1~3

* BD: Biodiesel,

* BE: Bioethanol

현재 에너지원으로 사용되는 바이오매스의 99%가 육상식물 기원으로 1세대 바이오매스에서 연구가 시작되었으나 육상자원의 한계점이 드러나면서 해양산업과 접목시켜 해양 생물자원에서부터 에너지를 얻고자 하는 정책과 연구들이 전 세계적으로 시작되었다(장덕희 외, 2013). 옥수수, 콩 등 에너지 작물은 1에이커당 각각 80, 40 갤런의 연료가 생산되는 반면 해조류를 이용할 경우 매년 1에이커 당 1만 갤런 이상의 연료가 생산이 가능하므로 이론적으로 해양바이오매스만 확보되면 거의 모든 수송용 액체에너지를 생산할 수 있다(이철균, 2009; <그림2> 참조).



나. 해양바이오에너지 산업의 전반적 동향

해양바이오에너지에 대한 산업적 이용을 위한 개발과 시도가 다양하게 이루어지고 있는데 2010년도에 Science지는 네덜란드 와게닝엔 대학(Wageningen University) 연구센터에서 발표한 향후 10~15년 이내 미세조류로부터 바이오디젤 대규모 생산이 가능하다는 내용을 게재하였으며 미국에서는 해조류에서 추출한 바이오에너지를 이용하여 민항기 시험 운행을 성공한 사례⁷⁾가 있을 뿐 아니라 특히 캘리포니아 주에서는 주유소에서 가솔린과 조류에서 추출한 바이오에너지를 혼합하여 시험판매⁸⁾가 이루어지고 있다. 한편 우리나라도 해양수산부의 해양생명공학기술사업의 일환으로 해양 미세조류 대량배양 실증배양장을 준공(2012년)하는 등 해양바이오에너지 상업화를 위한 연구가 활발히 진행 중이다.

해양바이오에너지는 주로 수송 분야에 활용될 수 있을 것으로 예상되고

7) http://news.kbs.co.kr/news/NewsView.do?SEARCH_NEWS_CODE=2385461&retRef=Y&source=https://www.google.co.kr/

8) http://e360.yale.edu/digest/algal_biofuel_blend_reaches_market_at_california_gas_stations/3692/

있는데 기술적인 불확실성으로 인해 조류기반 바이오에너지의 대량생산 시설의 건설은 현재까지는 불투명한 상태이나 낙관론자들은 해조류의 높은 오일 함유율과 높은 성장성을 근거로, 향후 수송연료의 약 50% 정도가 조류기반 바이오에너지로 대체될 수 있다고 주장하고 있다. 조류기반 바이오에너지 개발이 가능하게 되고, 2015년~2020년 사이에 상업화가 확대되면 전체 바이오에너지 생산량의 5% 정도를 차지할 수 있을 것으로 전망⁹⁾되고 있다. 이처럼 해양조류를 활용한 바이오에너지(Algae-based Biofuels)는 실험적 연구단계를 넘어 상용화 및 경제성을 향상시키는 실용화 연구단계에 있으며 해조류 바이오에너지 생산기업의 사례(<표 6>참조)를 통하여 확인할 수 있다.

<표 6> 해조류 바이오 에너지 생산기업 관련 정보

회사	관련 정보
Algenol	- http://www.algenolbiofuels.com/ - 바이오 에너지 파일럿 생산시설구축에 2,500만불의 미국 정부 지원을 받았으며, 미세조류를 사용하여 에탄올 생산
Aquaflow Bionomics	- http://www.aquaflowgroup.com/ - 뉴질랜드의 블렌하임 지방정부의 폐수처리장에서 폐수처리를 하고 Algae유를 생산
Solazyme	- http://www.solazyme.com/ - 2008년에 처음으로 Algae유를 100% 바이오디젤로 만들어서 울트라 저유황 디젤 표준(the ultra low sulfur diesel: ULSD) 통과 - 미 해군에 Algae유 2만 갤런을 생산하여 제공
Sapphire Energy	- http://www.sapphireenergy.com/ - 미국의 정부자본금 1억 450만 불로 Algae 통합 정류공장 완공 예정 및 상업용 대량생산 예정

9) IEA,BIOENERGY, Current Status and Potential for algal biofuels production, 2010

다. 해양바이오에너지의 종류별 연구개발동향

(1) 바이오 에탄올

육상계 작물을 이용한 바이오에탄올 생산은 이미 활성화되어 있으며, 대표적인 국가로는 브라질, 미국, 유럽, 중국, 일본 등이 있으나 아직 해조류를 이용한 바이오에탄올 생산은 전 세계적으로 아직 연구단계에 머무르고 있는 것으로 알려져 있다.

우리나라의 경우도 한국생산기술연구원과 한국해양과학기술원에서 2007년부터 해조류 바이오에탄올 연구를 시작하였으며 현재 해조류 바이오에너지에 대한 기술개발이 본격적으로 이루어지고 있다. 금호석유화학에서는 2013년까지 2천억을 투자해 여수에 연간 10만톤 해조류 바이오에탄올 양산 체제를 구축하기로 하였으나 진행이 더딘 상황이며 중소기업인 바이올시스템즈에서는 2011년까지 200억을 투입하여 전남도에 1일 약 4,000리터 생산 시험시설을 마련하기로 한 바 있으나 진척사항이 미진한 것으로 알려져 있다.

(2) 바이오 디젤

바이오 디젤은 경유와 특성이 유사하여 자동차 엔진의 구조 변경 없이 경유와 혼합하여 사용이 가능하다는 장점과 미세조류를 이용하여 바이오 디젤을 생산한다면 CO₂ 회수와 청정연료 생산을 동시에 할 수 있다는 장점 때문에 미국, EU 등을 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 미국의 경우 1995년에 미국 에너지부(DOE, Department of Energy)의 수서생물프로그램(ASP, Aquatic Species Program)¹⁰⁾이 중단되었으나 2009년부터 다

10) ASP(1978-1996)는 동 프로그램에서 제시된 미세조류 지질생산단가(40-60달러/배럴)가 원유 생산가격(20달러/배럴)에 비하여 높아 사업이 중단되었다.

시 국방부와 에너지부 중심으로 연구개발투자가 이루어지고 있다.

국내에서도 2009년부터 한국에너지기술연구원, 한국생명공학연구원, 한국해양과학기술원 등의 연구기관과 대학 등에서 효율적인 미세조류 이용 바이오 디젤 생산 기술 개발을 위해 핵심 애로기술인 미세조류 배양 시스템 개선, 미세조류 수확(harvesting process) 기법의 개발¹¹⁾, 광 생물반응기 개발 등에 대한 연구를 진행하고 있다. 2012년 기준으로 16개 바이오디젤 제조업체가 등록되어 기업 활동을 하고 있으므로 바이오디젤은 국내에서도 바이오에너지중 가장 앞선 분야로 평가할 수 있다.

(3) 바이오 부탄올

세계적으로 지명도가 있는 화학 회사인 DuPont사와 정유회사인 BP사가 바이오부탄올에 대한 공동연구를 하고 있으며, Gevo, Green Biologies, Cobalt 와 같은 벤처회사들도 바이오부탄올 생산을 위한 미생물 개발 연구를 진행 중이다. 국내의 경우도 정부차원에서 2007년부터 바이오 에너지개발에 대한 사업으로 2010년까지 200억원을 투자해 청정 바이오에너지 기술 개발을 목표로 연구가 진행 중인데 현재는 목질계 바이오매스로부터 바이오부탄올을 생산하는 기술 개발에 대한 연구가 진행 중이다.

(4) 바이오 수소

바이오 수소는 전기분해 및 열공정에 의해 생산되는 수소 생산 기술 위주로 개발되었으나 이를 에너지용으로 활용시 경제성이 떨어지는 상황으로 최근에는 생명 공학적 방법으로 수소를 생산하려는 바이오수소 생산 기술 개발이 이루어지고 있다. 국내에서는 한국해양과학기술원이 태평양 심해저

11) 미세조류 수확비용은 총생산비의 20-30%를 차지한다고 보고(Gudin,1986)되는 등 경제성 확보의 중요한 요소이다.

열수구에서 분리한 고세균을 이용해 바이오수소를 실증 생산하는 기술을 개발하고 있는 단계로 2015년까지 소규모의 pilot plant 구축을 준비하고 있으며 생산성 향상을 위한 연구 개발을 진행하고 있다.

라. 해양바이오에너지 연구개발사업의 국내·외 시장 규모 예측

해조류 기반 에너지 생산은 2006년 이후 등장한 신규분야로 집중적 연구가 이루어지지 못하고 있으며 5 ha 이상의 대량배양을 통한 scale-up 연구 경험이 없기 때문에 해조류에 의한 바이오에너지 생산의 기술, 경제적 가치 평가는 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 글로벌 컨설팅 회사인 SBI Energy는 조류 바이오에너지의 시장규모는 2010년 기준 2억 7천만 달러(약 3,000억원) 정도로 평가하고 있으며 2010년~2015년 사이에 연평균 43%의 급속한 성장률을 보이고 2015년에는 16억2천7백만 달러(약 1조 8천억원)에 달할 것으로 예상하고 있다. 다른 조사에서는 세계 바이오에너지 시장이 현재 827억 달러 규모에서 2021년까지 1,853억 달러 규모로 두 배로 성장할 것이라고 예상되며¹²⁾ 2020년경에는 3세대 바이오매스가 바이오에너지 세계시장에서 약 15% 점유율을 차지할 것이라고 예측¹³⁾되고 있는 바 2020년경의 세계시장 규모는 277억 달러(약 3조 1천억원)에 달한다는 추정이 가능하다.

신재생 바이오에너지의 보급은 정부의 지원책 및 규제에 따라 시장형성이 크게 좌우될 수밖에 없는 공익사업으로 우리나라는 신재생에너지 의무혼합제도의 시행 계획 하에 2014년을 시작으로 바이오디젤부터 우선 의무혼합하는 방안이 유력한 것으로 알려져 있는데 그 혼합비율은 최초 2.5%

12) Pike Research, <http://www.pikeresearch.com/newsroom/global-biofuels-market-value-to-double-to-185-billion-by-2021>

13) <http://www.insightofgscaltex.com/?p=25047>

로 시작하여 최종적으로는 5% 수준까지 높일 예정이다. 2011년 기준 자동차 경유 소비량은 약 100,846천 배럴¹⁴⁾이며, 경유사용량의 5%를 바이오 디젤이 대체한다면 이는 약 8억 리터로 시장가격(소비자가격)으로 약 1조5천 억원 규모이다¹⁵⁾.

해양수산부는 제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획에 의거 2030년까지 연간 5백만 TOE의 바이오디젤을 생산하여 바이오에너지 중 48.3%를 생산하고자 하는 목표를 설정하고 있는데 이를 근간으로 2024년 경 국내 해양 바이오에너지가 전체 바이오디젤 중 20~40%정도를 대체한다고 전제하면 약 3천억~6천억원의 시장규모 형성이 예측된다.

2. 해양바이오에너지 연구개발사업의 과제

가. 기술성 측면에서의 과제

해조류(거대조류)의 광합성의 효율은 단위면적당 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/weight의 생산이 가능하다. 현재 추정되는 해양 바이오에너지 생산성은 해조류 1 ton은 약 300L의 바이오에탄올에 해당되므로 해조류는 헥타르당 3,000L~20,000L를 생산할 수 있다. 미세조류 1ton은 약 300L~500L의 바이오디젤에 해당되므로 헥타르당 바이오디젤 15,000L~100,000L를 생산할 수 있을 것으로 기대된다(이철균, 2009).

14) 에너지경제연구원 국가에너지통계종합정보시스템(<http://www.kesis.net>), 육상 수송 부문 경유 사용량 통계치이다.

15) 전체 경유사용량은 2011년과 동일한 수준인 것으로 전제하였다.

미세조류가 차세대 바이오에너지의 원료로 주목받고 있는 이유로 이미 언급한 ①단위면적당 고생산성 이외에 ②비식량 바이오매스 자원, ③비경작지 및 유휴 공간 이용 가능, ④다양한 수자원 활용 가능(담수, 기수, 해수, 각종 폐수 및 하수 등), ⑤탁월한 온실가스저감 능력, ⑥기존 인프라의 사용으로 사회적 투자비용 저감, ⑦고부가가치 에너지 원료 확보 등을 들 수 있다.

또한 미세조류는 바이오에너지용 육상식물들의 대량재배가 어려운 해안 인접 국가에서도 미세조류를 이용한 에너지 확보가 가능하다는 점이다. 미세조류 연료의 비용은 시장에 나와 있는 화석연료와 대등하거나 조금 더 높다고 보고되고 있으나(Chisti, 2008), 환경적인 측면에서 오염원을 만들지 않아 청정한 대기환경을 유지할 수 있어 사회적인 건강성을 증진시킬 뿐만 아니라 잠재적인 사회경제적인 비용을 낮출 수 있다.

현실적으로 전통적인 육상작물들과 폐식용유/지질들로부터 바이오에너지를 생산하는 것으로는 수송연료의 수요를 모두 충족시킬 수 없는 것으로 분석되고 있다.(Tyson et al., 2004). Sills (2009)는 2007년 미국 농경지 6,360만 에이커에서 산된 약 30억 갤런의 콩기름(<http://www.soystats.com>)을 모두 바이오에너지로 전환한다 할지라도, 약 660억 갤런에 달하는 경유 소모량의 약 4.5%만 대체할 수 있을 것이라고 예측하였다. 이러한 결과를 토대로 동일 면적의 대지를 미세조류 대량배양에 이용하고, 15%의 중성지질에서 전환된 바이오디젤 생산 최저 수율($10\text{ml/m}^2/\text{day}$)을 적용한다면 그 양은 연간 이용되는 경유의 61%를 대체할 수 있을 뿐만 아니라(<표 7> 참조), 바이오매스에서 약 20억 톤의 이산화탄소를 회수(capture)할 수 있을 것으로 보고하였다(강도형 외, 2012).

<표 7> 콩과 미세조류의 생산량 비교

생산성	콩	미세조류		
		LP	MP	HP
갤런*/에이커*	48	633	2,637	10,549
총 넓이(백만 에이커)	63.6	63.6	25	6.26
갤런/연(억)	30	400	660	660
경유 대체 가능 비율(%)	4.5	61	100	100

* 1갤런 = 약 3.8리터(미), 약 4.5리터(영), * 1에이커 = 약 4,050평방미터

* LP: Low Productivity, 10g/m²/day at 15% TAG, * MP: Medium Productivity. 25g/m²/day at 25% TAG

* HP: High Productivity, 50g/m²/day at 50% TAG* TAG: Triacylglycerols(트리아실글리세롤)

이러한 미세조류 바이오에너지 생산의 경제성은 바이오디젤의 원료인 트리아실글리세롤 (triacylglycerols, TAGs)의 공급을 위한 바이오매스 생산 가격에 의해 크게 좌우된다(Pienkos and Darzins 2009). 이는 미세조류 원료의 생산량이 화석연료인 원유의 양과도 동일시 할 수 있는 개념이기 때문이다. 물론 다른 요인들도 있긴 하나 TAGs의 가격과 생산량은 대상 미세조류에서 유도된 지질들이 치열한 시장경쟁에서 어떻게 생존할 수 있는지 결정하는데 중요한 요인이 된다고 할 수 있다.

미세조류지질 가격은 콩기름 가격과 경쟁할 수 있는 높은 생산성을 가진 것으로 보고되고 있다. 적어도 현재 석유 소매가격(우리나라 2012년 6월 현재, 1.6 USD/L)과도 경쟁할 수 있는 구도로 생각된다.

일반적으로 석유가 1배럴 당 110 달러 이상일 때 바이오에너지의 경제성과 경쟁이 가능할 것(Pienkos and Darzins, 2009)으로 보고되고 있지만, 현재 비산유국인 우리나라 상황만을 놓고 본다면 잠재적 시장이 벌써 마련됐다고 추정해 볼 수 있을 것이다. 이처럼 미래의 바이오에너지 생산 전망을 높인 미세조류 균주들은 국가적으로 대단히 중요한 바이오 원료라 할 수 있으며 온실가스 배출, 환경오염, 생태계 파괴, 자원고갈 등의 요소에서 경

쟁력을 갖는 지속가능한 자원의 원천을 짐작할 수 있다(<표 8> 참조).

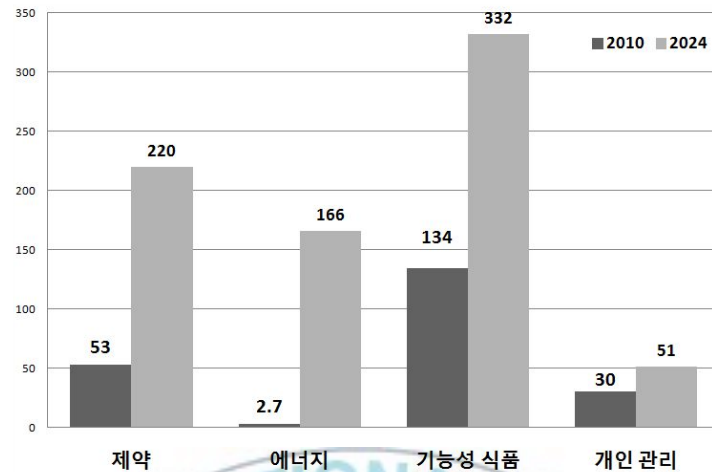
<표 8> 미세조류와 다른 대상들과의 보이지 않는 비용 비교

보이지 않는 비용 요소	미세조류	유기농업	영농작물	육류/낙농
음식의 독성1)	No	No	Yes	Yes
높은 의료비용2)	No	No	Yes	Yes
생태계 파괴3)	No	No	Yes	Yes
독성 제거 비용4)	No	No	Yes	Yes
국제적 군사비용5)	No	No	Yes	Yes
높은 부채 부담6)	No	No	Yes	Yes
착취7)	No	No	Yes	Yes
종합: 지속가능한 자원	Yes	Yes	No	No

- 1) 생산 및 가공시 첨가되는 방부제, 제초제, 첨가물, 발암물질 등,
 2) 암, 심장 및 장기관련, 퇴행성 질병, 3) 지구온난화, 표토 유실, 숲 및 동·식물 감소,
 4) 지표 및 수자원 오염, 5) 높은 세금, 6) 세금과 이자, 7) 지구 자원 및 인간의 고통

나. 정책적 측면에서의 과제

세계 해양생명공학 산업시장은 향후 10년간 급속한 증가추세를 보일 것으로 전망되며, 그 증가율은 다른 어떤 산업영역에 비해서도 클 것으로 판단된다. 그리고 각 산업분야별 시장변화 동향을 살펴보면 다음 <그림 3>과 같다(장덕희 외, 2013).



<그림 3> 해양바이오산업 기술별 시장동향

세계 시장규모 측면에서 상대적으로 큰 폭의 증가율이 예상되는 영역은 바이오에너지 분야로 판단된다. 전체 분야별 시장규모 측면에서 <표 9>에서 예측한 바와 같이 해양바이오에너지 산업은 기능성식품산업과 제약 산업에 비해 총 산업시장 규모는 적은편이지만, 증가율 면에서는 동 기간 동안 약 61.5배 이상이 예상된다(장덕희 외, 2013).

<표 9> 해양바이오산업별 시장 규모 예측 결과

산업 구분	2010		2024	
	세계	국내	세계	국내
제약	53	0	220	4.6
에너지	2.7	0	166	2.6
기능성 식품	134	1.8	332	4.7
개인 관리	30	0.6	51	2
합계	219.7	2.4	769	13.9

세계 바이오에너지 시장이 현재 827억 달러 규모에서 2021년까지 1,853억 달러 규모로 두 배로 성장할 것이라는 예상(Pike Research, 2011)과 2020년경에는 3세대 바이오매스가 바이오에너지 세계시장에서 약 15% 점유율을 차지할 것이라는 예측(양 2012)을 종합하면, 2024년의 세계시장 규모는 277억 달러(약 3조 1천억원)에 달한다는 추정도 가능하다. 따라서 이와 같은 추정을 종합하면, 해양 바이오연료 세계시장 규모는 대략 166억~277억 달러(약 18조 7천억원~약 3조 1천억원) 정도로 예측할 수 있다.

바이오에너지 시장이 말 빠르게 변화하고 있는 것과 비교할 때, 현재 국내에는 해양조류 등에 기반한 바이오에너지가 상업화 된 사례는 많지 않다. 따라서 바이오에너지의 국내시장 규모를 추정하기 위한 방법으로는 첫째, 바이오에너지의 세계시장 점유율을 적용하여 추정하는 방법과, 둘째, 정부의 규제(의무혼합비율 등) 및 지원정책(보조금 지급 등)이 해조류 바이오에너지시장 성장의 주요 요소라는 전제로 국내시장규모를 추정하는 방법이 추정의 근거로 활용될 수 있다.

우선 바이오에너지 시장 점유율을 이용하는 경우 현재 바이오에너지의 세계시장 점유율은 0.2%에 불과하나, 투자의 대폭 증가 등을 통해 정부는 2015년 1%, 2030년 5% 수준의 시장점유율을 기대하고 있다. 그리고 해양 바이오에너지 산업의 세계 시장규모를 166억~277억 달러 규모로 추정하고, 국내시장의 세계시장 점유율을 2% 수준으로 가정하면, 국내시장 규모는 3.32억~5.54억 달러(약 3,600억~6,000억원) 정도로 추정할 수 있다.

따라서 현재 자동차 경유 소비량과 미래의 해양바이오에너지 점유율을 적용하면, 2024년 기준의 바이오에너지 시장규모를 예측할 수 것으로 본다. 에너지경제연구원 국가에너지통계종합정보시스템(<http://www.kesis.net>)의 육상수송 부문 경유 사용량 통계에 따르면, 현재 자동차 경유 소비량은 2011년 기준 약 100,846 천배럴 이며, 경유사용량의 5%를 바이오 디젤이

대체한다면 이는 약 8억 리터로 시장가격(소비자가격)으로 약 1조 5천억원 규모이다(전체 경유사용량은 2011년과 동일한 수준인 것으로 전제). 따라서 2024년에 국내 해양바이오에너지가 전체 바이오디젤 중 20%~40% 정도를 대체한다고 가정하면 역시 약 3천억~6천억원의 시장규모를 형성할 것으로 추정할 수도 있다. 그리고 해양수산부는 2030년까지 연간 5백만TOE의 바이오디젤을 생산하여 바이오에너지 중 48.3%를 생산하고자 하는 목표를 설정한 바 있으므로, 이와 같은 가정은 충분한 타당성을 갖는다(<표 10> 참조).

<표 10> 2030년까지의 해양바이오에너지 보급 목표

(단위: 천 TOE)

구분	2010	2013	2018	2030
최종에너지(TE)	186,800	196,300	205,900	207,500
신재생에너지(RE)	5,989	8,505	12,014	23,379
(TE대비 점유율)	(3.21%)	(4.33%)	(5.85%)	(11.27%)
바이오에너지(BE)	987	2,210	4,211	10,357
(RE대비 점유율)	(16.5%)	(26.0%)	(35.1%)	(44.3%)
해양바이오에너지	-	3	50	5,000
(BE대비 점유율)	-	(0.1%)	(1.1%)	(48.3%)

출처: 국토부, 해양바이오에너지 기술개발 기획연구(2009.10)

다. 연구대상으로서의 해양바이오에너지 연구개발사업

화석연료 기반의 산업이 현재 큰 위기를 맞고 있다. 이는 화석연료는 결국 고갈된다는 사실과 이에 따른 공급 불안정 그리고 대기중 이산화탄소농도 증가 등의 문제에 기인한다. 그러므로 탄소중립적(carbon neutral)이고,

재생가능한 대체에너지가 필요하며 이는 환경적, 경제적으로 지속가능한 대안이어야 한다.

이러한 신재생에너지 중 바이오디젤은 운송연료로서 커다란 주목을 받고 있다. 그러나 일반적으로 유지식물로부터 생산이 되는 바이오디젤로는 현재 운송연료의 극히 일부만을 대체하고 있으며, 세계적인 운송연료의 수요를 충족시키기 위해서 다양한 장점을 가지고 있는 해양바이오매스(marine biomass)인 미세조류(microalgae)를 바이오 디젤의 생산원료로서 사용하는 것이 대안으로서 많은 관심을 가지고 있는데 이는 미세조류의 잠재성과 활용전망을 통하여 확인할 수 있다(<표 11>참조).

<표 11> 미세조류의 잠재성과 활용 전망

분야		활용전망
에너지	장점	○ 바이오디젤 생산작물 중 오일 생산성이 가장 우수 ○ 식량자원의 에너지화 회피 가능
	활용	○ 석유계 디젤과 유사한 물성을 가진 바이오연료 생산
화학	장점	○ 다양한 유용물질을 생산할 수 있는 가능성
	활용	○ 현재는 식품분야를 중심으로 산업화 진행 ○ 바이오케미컬 및 바이오플라스틱 분야로 확대 전망
환경	장점	○ 미세조류는 자기 무게 2배 정도의 이산화탄소 흡수 ○ 특정한 토양이나 수질의 제한 없이 배양
	활용	○ 미세조류를 이산화탄소 저감 및 공장 폐수 정화에 활용

출처: 삼성경제연구소, 2012

이와 같이 우리나라의 바이오 연료의 가능성 평가도 역시 여러가지 바이오에너지 중에서 바이오디젤의 국내생산이 가장 사회적 총 편익이 큰 것으로

로 평가되었다¹⁶⁾(조성재, 2012). 또한 해수면을 활용할 수 있고 좁은 면적에서 대량생산이 가능한 미세조류는 국토면적이 좁은 우리나라의 실정에 맞는 미래생물자원으로 평가된다. 하지만, 이를 실용화하기 위해서는 생산성을 높이기 위한 노력이 더욱 필요하며, 아직 더 많은 집중된 연구가 요구된다.

정책적이고 제도적 관점에서의 해양바이오에너지 사업은 신재생 바이오에너지의 보급의 일환으로 추진되는 공공 정책 사업으로서 정부의 지원책 및 규제에 따라 시장형성이 크게 좌우될 수밖에 없는 분야이다. 특히 정부는 신재생에너지 의무혼합제도의 시행 계획 하에 2014년을 시작으로 바이오디젤부터 우선 의무 혼합하는 방안(그 혼합비율은 최초 2.5%로 시작하여 최종적으로는 5%수준)을 고려하고 있는 바 미세조류 해양바이오매스를 이용한 바이오디젤 생산에 대한 경제적 가치의 추정과 평가는 우리나라 정부의 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 정부의 투자를 촉진할 수 있다는 정책적 의의를 가진다.

기술적이고 정책적인 측면에서의 미세조류 바이오에너지 연구개발의 필요성은 이미 언급한 바와 같이 에너지 문제의 해결뿐만 아니라 동시에 지구상의 대기환경을 좌우하는 일차생산자와 수자원을 사용하는 기술이기 때문에 환경·생태학적 이점들을 가능하게 하는 세부 기술들(생산, 추출 및 전환 기술 등)이 함께 발전해야 기후변화 대응 및 재생가능에너지 사용이라는 현재 및 미래사회의 전략과 함께 할 수 있다.

자원평가 관점에서 보면 석유가 110달러/배럴 이상일 때 바이오연료의 경제성은 확보된다고 전망되고 있지만(Pienkos and Darzin, 2009) 비산유국인 우리나라 입장에서 보면 해양바이오에너지 중 가장 큰 장점을 지닌

16) 사회적 총편익의 크기는 바이오디젤 국내생산>바이오에탄올 국내생산>바이오에탄올 수입>바이오 디젤 수입의 순서로 편익이 분석

미세조류 바이오디젤의 시장은 이미 잠재적으로 형성되었다 할 수 있다.

따라서 연구의 초점은 미세조류 유래 바이오에너지를 생산하는 것이 가능한지 여부가 아니라, 미세조류 바이오에너지들이 우리나라의 에너지 수요에 기여하는데 어느 정도의 도움이 될 만큼 경제적 가치가 있는지를 평가하는 것이다.



IV. 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 편익 추정

어떤 재화에 부여되어 있는 가치를 직접적으로 이끌어내는 방법으로 CVM은 국내·외의 많은 전문가들이 선호하는 방법론 중 하나이다. CVM은 개인면접, 우편, 혹은 전화인터뷰를 통해 사람들이 갖고 있는 재화에 대한 가치를 설문하는 방식을 사용하며, 특별히 고안된 설문지를 이용하여 환경재의 변화에 대한 가상적인 상황에 사람들을 몰입시키며 이러한 상황과 조건 하에서 사람들이 재화의 가상적인 변화에 어느 정도의 지불의사가 있는지를 응답하게 되는 방법이다(권오상, 2011)

Kealy 외(1998), Loomis(1990), Gonzalez-Caban and Loomis(1997)등은 그들의 연구에서 CVM의 타당성 및 결과의 정확성을 입증하였다. 또한 NOAA의 패널보고서에서는 CVM이 정해진 기준들을 준수한다면 비사용 가치를 포함하여 충분히 믿을만한 추정치를 제공한다고 결론을 내렸다(Arrow 외, 1993). Fisher(1996)는 응답자가 현안에 익숙하고 제반 정보의 의미전달과 지불수단이 응답자들에게 현실적으로 의미 있으며 전문적인 면접방법을 사용한다면 연구의 타당성과 그 결과의 정확성은 한층 향상될 것이라 발표하였다.

1. 편익추정방법론: CVM

가. CVM 모형

양분선택형 CVM (DC-CVM, Dichotomous Choice-Contingent

Valuation Method) 모형의 운용을 통해 얻어진 자료를 분석하여 WTP의 대표값을 분석할 수 있는 모형은 크게 Hanemann(1984)이 제안한 효용격차모형(utility difference model)과 Cameron and James(1987)이 제안한 WTP 함수 접근법의 2가지가 있다.

McConnell(1990)은 흥미로운 연구결과를 제시하고 있는데 주요 내용에 따르면, 이 두 가지 접근법이 서로 쌍대(duality)의 관계에 있어 어느 방법을 사용하느냐 하는 것은 옳고 그름의 문제가 아니라 단지 연구자의 스타일의 문제라는 것이다. 따라서 두 접근법 중에 하나를 연구자가 적절하게 선택하여 사용하면 되는 것으로 인식되었다. 하지만 효용격차모형이 효용이론에 보다 부합한다는 지적이 많이 제기되면서 거의 대부분의 실증연구에서 WTP 함수 접근법보다는 효용격차모형이 활용되고 있다.

이 모형의 운용은 다음의 절차를 따른다. 우선 제시된 금액에 대해 지불의사가 있는지 여부를 묻는 질문에 대한 응답을 모형화한다. 즉, ‘예’ 또는 ‘아니오’의 이산응답을 모형화한 후 최우추정법을 통해 관련된 모수들을 추정한다. 다음 단계로 분포의 성격과 평균값 또는 중앙값의 정의를 이용하여 WTP의 평균값 또는 중앙값을 계산한다.

응답자가 자신의 효용함수를 정확하게 알고, 주어진 화폐소득(m)과 개인의 특성벡터(S)에 근거하여 재화의 상태(j)에 대해 느끼는 효용은 다음과 같은 간접효용함수 u 로 표현될 수 있다.

$$u = u(j, m; S), \quad j = 0, 1 \quad (1)$$

여기서, $j=0$ 는 재화를 이용할 수 없는 또는 재화가 보존되지 않는 상태를 의미하며 $j=1$ 는 재화를 이용할 수 있는 또는 재화가 보존되는 상태를 의미한다. 그런데 연구자에게는 응답자가 측정대상 재화의 상태 변화를 선

택 또는 거부하는 데 있어 관측이 불가능한 부분이 존재한다. 따라서 간접 효용함수는 다음과 같이 관측 가능한 확정적인 부분 $v(j,m;S)$ 과 관측 불가능한 확률적 부분 ϵ_j 로 구성된다.

$$u(j,m;S) = v(j,m;S) + \epsilon_j \quad (2)$$

간접효용함수에 영향을 미치는 확률적 성분인 ϵ_j 는 j 에 상관없이 독립적 이면서 동일한 분포를 갖는(independently and identically distributed) 확률변수로 평균은 0이다. 각 개인이 효용을 최대화한다고 가정하자. 그렇다면 각 개인은 다음의 조건을 만족할 때, “당신은 재화의 이용을 위해 또는 재화의 보존을 위해 A 를 지불할 의사가 있습니까?”란 질문에 대해 “예”라고 대답하면서 A 를 기꺼이 지불함으로써 효용을 최대화한다.

$$v(1,m-A;S) + \epsilon_1 \geq v(0,m;S) + \epsilon_0 \quad (3)$$

또는

$$v(1,m-A;S) - v(0,m;S) \geq \epsilon_0 - \epsilon_1 \quad (3')$$

이제 효용의 격차와 오차항의 격차를 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta v(A) \equiv v(1,m-A;S) - v(0,m;S)$$

$$\eta \equiv \epsilon_0 - \epsilon_1$$

그렇다면 “예”라고 응답할 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$\Pr\{\text{응답이 “예”}\} = \Pr\{\Delta v(A) \geq \eta\} \equiv F_{\eta}[\Delta v(A)] \quad (4)$$

여기서 $F_{\eta}(\cdot)$ 는 η 의 누적분포함수(cdf, cumulative distribution function)이다. “예”란 응답은 $\Delta v \geq 0$ 일 때 관측되며, “아니오”란 응답은 $\Delta v < 0$ 일 때 관측된다. 지금부터 C 로 표기할 WTP는 확률변수로서 이의 cdf는 $G_C(A)$ 로 정의된다. 한편 식 (4)는 다음과 같이 다르게 표현될 수 있다.

$$\Pr\{\text{응답이 “예”}\} = \Pr\{C \geq A\} \equiv 1 - G_C(A) \quad (5)$$

따라서 식 (4)와 식 (5)를 비교하면 다음의 관계식을 구할 수 있다.

$$1 - G_C(A) \equiv F_{\eta}[\Delta v(A)] \quad (6)$$

이 결과는 이산반응모형 (4)를 적합시키는 것이 곧 WTP의 분포함수인 $G_C(\cdot)$ 의 모수를 추정하는 것으로 해석될 수 있다는 점을 시사한다. 이 때 C 는 $j=0$ 상태에서 $j=1$ 의 상태로 변화하기 위한 WTP이다. C 가 음의 값도 가질 수 있을 때의 전체(overall)평균(C^+)은 흔히 다음과 같이 계산된다.

$$C^+ = E(C) = \int_0^{\infty} [1 - G_C(A)] dA - \int_{-\infty}^0 G_C(A) dA \quad (7)$$

또한 중앙값(median) WTP(C^*)는 다음의 방정식을 C 에 대해 풀어서 구할 수 있다.

$$G_C(C) = 0.5 \quad (8)$$

만약 WTP가 0보다 크거나 같아야 한다면, 이 때의 평균(mean) WTP (C^{++})는 다음과 같이 계산된다.

$$C^{++} = \int_0^{\infty} [1 - G_C(A)] dA \quad (9)$$

2. 지불의사액 모형

가. 양분선택형 질문법

CVM의 연구논문에서 사용되는 지불의사 유도방법으로는 개방형 질문법(open-ended question), 경매법(bidding game), 지불카드법(payment card), 양분선택형 질문법 등이 있다.

대부분의 연구들은 여러 가지 지불의사 유도방법중에서 Hanemann(1984)에 의해 알려진 후 널리 사용되어 온 양분선택형 질문을 주로 사용한다. 양분선택형 질문은 모집단에서 무작위로 추출된 표본의 응답자에게 공공재의 공급을 위해 미리 정해진 특정 금액을 기꺼이 낼 의사가 있는 지 없는지를 물어보는 형태를 취한다. 이 방법의 큰 장점은 지불의사 유도가 유인 일치적이며(incentive-compatible) 지불거부의사를 사전에 방지할 수 있다는 것이다(Mitchell and Carson, 1989).

CVM 실증연구에서는 주로 현실시장에서 소비자들의 행동을 결정하는

유형 및 국민투표에서 투표하는 유형과 유사한 양분선택형 질문법으로 지불의사를 유도한다. 예컨대, 구매하고자 하는 물건의 시장 가격이 1,000원 일 때, 합리적 소비자라면 그 물건의 사용으로부터 얻게 될 효용이 1,000원 보다 크거나 같으면 물건을 구매할 것이고 그렇지 않다면 구매하지 않을 것이다. 또한 특정법안에 대해 국민투표를 시행시 투표자는 그 법안의 내용이 좋으면 ‘예’라는 응답을 싫으면 ‘아니오’란 응답을 할 것이다. 이렇게 양분선택형 질문은 단 1회에 걸쳐서 미리 설정된 금액을 “공공재 공급의 대가로 지불할 용의가 있는가”라고 물어보면, 응답자가 ‘예/아니오’로 한번만 대답하는 방식이다.

이 때 예상되는 평균 지불의사액에 의거하여 설문하고자 하는 금액들이 결정되며, 이들 중 임의로 한 가지 금액을 각 응답자에게 제시한다. 다만 각 금액들은 비슷한 수의 응답자들에게 배당된다. 응답자는 제시된 금액이 본인의 지불의사액보다 같거나 작으면 ‘예’라고 대답하고, 높으면 ‘아니오’라고 대답하게 된다. 이렇게 얻어진 자료를 이용하여 제시된 금액과 ‘예’라고 대답한 응답자의 비율을 분석함으로써 평균 지불의사를 측정하게 된다.

요약하면, 지불의사 유도방법으로서 응답자가 대답하기 용이하여 응답률이 높고, 출발점 편이나 설문조사원 편이에 의한 영향이 적으며, 비합리적 지불의사가 발생할 가능성이 적으면서 응답자의 전략적 행위를 줄일 수 있는 양분선택형 질문법을 널리 이용되고 있다.

나. 단일경계 모형과 이중경계 모형

양분선택형 질문유형 중에서 한 번의 질문만 하는 SBDC 질문유형보다는 Hanemann(1985)에 의해 제안된 DBDC 질문유형이 실제 CVM 연구에서 널리 사용되고 있다. 이는 DBDC 질문으로부터 얻은 응답을 분석하는 것이 SBDC 질문으로부터 얻은 응답을 분석하는 것보다 훨씬 효율적이기

때문이다(Hanemann 외, 1991). DBDC 질문은 각 응답자에게 두 개의 금액을 제시하여 자신의 WTP가 제시된 금액보다 크거나 같은 지에 대해 “예” 또는 “아니오”의 응답을 요구한다. 두 번째 제시되는 금액은 첫 번째 제시되는 금액에 따라 달라지는데, 첫 번째 제시금액에 대한 응답이 “예”이면 이보다 큰 금액을 제시하고 “아니오”이면 이보다 작은 금액을 제시한다.

DBDC 질문법을 사용한 자료를 이용하여 분석하기 위해서는 DBDC 질문의 사용과 관련된 두 가지 중요한 측면에 대해 논의할 필요가 있다. 첫 번째 측면은 삼중경계(triple-bounded) 양분선택형 모형과 같은 다중경계 모형을 왜 사용하지 않는가에 관한 것이다. 두 번째 제시금액에 대해 지불 의사 여부를 질문한 후에 응답자의 응답이 “예”라면 보다 높은 금액에 대한, “아니오”라면 보다 낮은 금액에 대한 지불의사를 묻는 세 번째 혹은 네 번째 질문을 할 수 있을 것이다. 실제로 Langford 외(1996)는 삼중경계 모형을 적용한 바 있다.

추가적인 질문은 응답자의 WTP에 대해 보다 많은 정보를 제공하여 WTP의 범위를 좁히므로, 다중경계 모형이 DBDC 모형에 비해 보다 효율적인 결과를 가져다 주는 것은 당연하다. 그러나 Cooper and Hanemann(1995)의 몬테칼로 모의실험(Monte Carlo simulation) 결과에 따르면, DBDC 모형과 비교할 때 세 번째 질문을 추가함으로써 인해 발생하는 효율성의 개선은 상대적으로 크지 않다. 추가적인 질문을 통해 얻을 수 있는 대부분의 통계적 혜택은 SBDC 모형 대신에 DBDC 모형을 사용할 때 이미 충분히 얻어진다.

삼중경계 모형의 사용으로 내적 일관성을 해치는 반응효과(response effects)가 발생할 가능성은 매우 커지는 반면에 통계적 효율성은 조금만 증진된다(Hanemann and Kanninen, 1999). 따라서 CVM 실증연구에선 삼중경계 모형과 같은 다중경계 모형은 잘 사용되지 않는다.

DBDC 모형의 사용과 관련된 두 번째 문제는 SBDC 모형 대신에 DBDC 모형을 사용할 때, 상당한 정도의 통계적 효율성 증진이 있다 하더라도 어느 정도의 편의를 초래할 가능성도 커진다는 것이다. 이것은 두 번째 질문에 대한 응답이 첫 번째 질문에 대한 응답과 일관성을 유지하지 못한다는 실증적 증거가 있기 때문이다. 예를 들어, Cameron and Quiggin(1994)은 이중경계 모형의 비일관성과 관련하여 두 가지 가능성을 제기하였다. 첫째, 본인의 진실된 지불의사액으로 볼 때 두 번째 질문에 대해 “아니오”라고 응답해야 함에도 불구하고, 설문조사원이 한 번 더 질문을 하는 것에 대해 응답자가 미안하게 느껴 “예”라고 거짓으로 응답할 가능성이 있다. 둘째, 본인의 진실된 지불의사액으로 볼 때 두 번째 질문에 “예”라고 응답해야 함에도 불구하고, 설문조사원이 한 번 더 질문을 하는 것에 대해 응답자가 귀찮고 짜증나게 여겨 “아니오”라고 거짓으로 응답할 가능성이 있다. 다시 말해서, 첫 번째 질문에 대한 응답이 시사하는 선호의 분포가 첫 번째 질문에 대한 대답과 두 번째 질문에 대한 응답이 함께 시사하는 분포와 같지 않을 수 있다는 것이다.

이 문제를 다루기 위해 많은 연구들이 있었다. 예를 들어, Cameron and Quiggin(1994)은 첫 번째 질문에 대한 응답이 시사하는 값과 두 번째 질문에 대한 응답이 시사하는 값의 상관관계가 매우 크고 동일한 분포로부터 나올 수 있지만 서로 동일하지는 않음을 발견하였다.

McFadden(1994)은 DBDC 모형에서 첫 번째 응답과 두 번째 응답이 동일한 분포로부터 나왔다는 가설이 유의수준 1%에서 기각될 수 있다는 점에서, DBDC 지불의사 유도방법의 내적 일관성이 결여된다고 결론을 내렸다.

Cameron and Quiggin(1994)도 유사한 결론을 얻었으며, 특히 첫 번째 질문만을 사용하여 얻은 WTP 추정치가 두 개의 질문 모두를 사용하여 얻

은 WTP보다 크다는 점을 발견하였다. 즉, DBDC 모형을 사용함으로써 통계적 효율성은 증진되지만 WTP 추정치가 과소하게 추정되는 편이가 발생한다.

이 점을 설명하기 위해 Herriges and Shogren(1996)은 출발점 편이에 근거하여 두 번째 질문에 대한 답을 모형화하였으며, Alberini 외(1997)는 오차성분모형(error-components model)을 적용하였고, McLeod and Bergland(1999)는 베이지안 모형을 적용하였다. 또한 Burton 외(2003)의 연구에서도 이 문제를 심도있게 다루었다.

Bateman 외(2001)는 이러한 비밀치성의 다양한 잠재적인 원인을 설명하면서 WTP 추정치의 계산에 있어서 두 번째 질문에 대한 응답을 사용하지 말 것, 즉, 단일경계 모형의 사용을 제안하면서, 이중경계 모형을 적용한다면 첫 번째 질문에 대한 응답만을 이용한 단일경계 모형의 주요 적용결과도 함께 제시하는 것을 요구하였다. Carson and Groves(2007)의 연구에서도 같은 맥락의 주장을 하였다.

이것은 평균자승오차의 관점에서 그리고 효율성의 관점에서 단일경계 모형보다 이중경계 모형이 바람직하지만, CVM 응용의 결과물은 다른 분석결과와 달리 후생분석에 직접적으로 사용되어 중요한 정책적 판단에 이르게 하므로, 평균값 WTP를 추정하는 데 있어서 효율성을 손해보더라도 편의를 줄이는 것이 더 중요할 수 있다는 문제의식의 산물이다. 설문조사에 산의 제약이라는 압박에 직면해 있는 연구자의 입장에서 보면, 효율성의 제고 또한 중요할 수밖에 없기에 단일경계 모형에 비해 이중경계 모형이 보다 매력적인 것은 사실이다.

이런 이유 때문에 실증연구에서는 여전히 이중경계 모형이 널리 사용되고 있다. 연구자에게 있어서 이중경계 모형은 단일경계 모형보다 여전히 매력적이며, 본 연구는 선행 연구(김태영 외, 2013)에서의 단일경계 모형을

통해 추정한 WTP와의 비교, 전통적 모형과 Spike모형과의 비교, 그리고 모수적 추정방법과 비모수적 추정방법과의 비교에 중점을 두고, 이중경계 모형을 선택하였다.

3. 지불의사액 추정모형 및 제시금액 설정

가. 지불의사액 모형의 추정모형

(1) 모수적 추정

(가) 단일경계 모형

실증연구에서 가장 널리 사용되고 있는 효용격차모형은 단일경계 모형의 경우 Hanemann(1984)에 근거한다. N 명의 응답자에 대해 단일경계 모형의 경우 로그-우도함수는 다음과 같이 표현된다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \{I_i^Y \ln [1 - G_C(A_i)] + I_i^N \ln G_C(A_i)\} \quad (10)$$

여기서 I_i^Y 및 I_i^N 은 다음과 같이 정의되는데, $1(\cdot)$ 은 인디케이터함수로써 괄호 안의 내용이 참이면 1의 값을 가지며 거짓이면 0의 값을 가진다.

$$\begin{cases} I_i^Y = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 “예”}) \\ I_i^N = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오”}) \end{cases}$$

(나) 이중경계 모형

이중경계 모형은 Hanemann 외(1991)에 근거한다. i 번째 응답자는 첫 번째 제시금액(A_i)을 지불할 지 여부에 대해 “예” 혹은 “아니오”로 응답한다. “예”라고 응답한 응답자에게 제시되는 두 번째 금액과 “아니오”라고 응답한 응답자에게 제시되는 두 번째 금액은 각각 A_i^H 및 A_i^L 로 표시한다. 아울러 WTP 질문에 대한 응답을 간단하게 나타내기 위해 다음과 같이 몇 가지 변수를 더 정의한다.

$$\begin{cases} I_i^{YY} = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 “예-예”}) \\ I_i^{YN} = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 “예-아니오”}) \\ I_i^{NY} = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오-예”}) \\ I_i^{NN} = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오-아니오”}) \end{cases} \quad (11)$$

앞서 언급하였듯이, $1(\cdot)$ 은 인디케이터함수로서 괄호 안의 조건이 만족되면 1의 값을 취하고 만족되지 않으면 0의 값을 갖는다. 예를 들어, I_i^{YY} 는 i 번째 응답자의 응답이 “예-예”이면 1이고, 아니면 0의 값을 취한다. 이제 효용극대화를 추구하는 응답자 N 명의 표본을 가정할 경우 i 번째 응답자의 응답결과를 구분하여 다음과 같이 로그-우도함수를 구성할 수 있다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ I_i^{YY} \ln[1 - G_C(A_i^H)] + I_i^{YN} \ln[G_C(A_i^H) - G_C(A_i)] + I_i^{NY} \ln[G_C(A_i) - G_C(A_i^L)] + I_i^{NN} \ln G_C(A_i^L) \right\} \quad (12)$$

(다) 평균 WTP의 추정

통상적인 관례에 따라 $F_\eta(\cdot)$ 를 로지스틱(logistic) 누적분포함수로 정형화하고 이것을 $\Delta = a - bA$ 와 결합하면 WTP의 누적분포함수는 다음의 형

태를 취하게 된다.

$$G_C(A) = [1 + \exp(a - bA)]^{-1} \quad (13)$$

이제 식 (15)를 이용하고 식 (7), (8), (9)에 근거하여 WTP의 mean과 median을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C^+ = C^* = a/b \quad (14)$$

$$C^{++} = (1/b) \ln [1 + \exp(a)] \quad (15)$$

(라) No-No-No 응답의 처리 방안의 하나로서 스파이크 모형 적용 가능성 검토

(1) 문제의식

현재 “No-No-No” 응답에 대해, 즉 지불거부 응답에 대해 지불거부의 이유를 묻는 캐어문기(debriefing or probing) 질문을 통해 진정한 지불거부(protest bids) 응답과 영의(true zero) WTP 응답을 식별하고 있다. 그런데 이렇게 지불거부 응답과 영의 WTP 응답을 식별해 놓고는 지불거부 응답만 자료집합에서 제외하고 통상적 모형(conventional model)을 적용하고 있다.

진정한 지불거부 응답은 비합리적 지불의사라 볼 수 있으므로 분석대상 자료집합에서 제외하고 분석하는 것이 합리적이다. 즉 지불거부 응답을 식별한 후 식별된 지불거부 응답을 빼고 분석을 해야 한다. 자료의 수가 줄어든다는 점에 있어서 앞서의 통상적 모형과 차이가 나지만 분석모형에 있어서 차이는 없다. 지불거부 응답의 처리와 관련하여 4가지 문제점을 제기할 수 있다.

첫째, 진정한 지불거부 응답이 표본에서 차지하는 비중이 매우 큰 경우 사업 자체에 대한 거부감이 커서 이런 현상이 발생했을 가능성이 큼에도 불구하고, 오히려 지불거부 응답의 제거로 인해 편익이 크게 추정되는 경우가 발생할 수 있다. 지불거부 응답이 많을 경우에 연구자 임의로 지불거부 응답을 제거하는 점에 대해서 논란의 여지가 있을 수 있다. 즉 지불거부 응답을 제거하게 되면 통상적 모형을 이용할 때에 비해 평균 WTP가 커지게 되는 상황에 직면하게 되므로 지불거부 응답을 제거할 때에는 신중을 기할 필요가 있다. 예를 들어, 지불거부 응답을 제거하지 않고 통상적 모형을 이용하면 경제성 분석을 통과하기 어려운 사업에 대해 지불거부 응답을 제거한 후 통상적 모형을 이용하게 되면 경제성 분석을 통과하는 경우가 발생할 수 있다.

둘째, “No-No-No” 응답 중 일부를 영의 WTP로 밝혀 놓고는 ‘WTP<제시금액’로 다룸으로써 논리적 모순점뿐만 아니라 점(point) 자료를 구간(interval) 자료로 다루 통계적 효율성도 떨어뜨리는 결과를 가져오고 있다.

셋째, “No-No-Yes” 응답은 그 성격상 ‘ $0 < \text{WTP} < \text{제시금액}$ ’으로 식별했음에도 불구하고 실제 자료를 분석시에는 ‘WTP<제시금액’으로 다룸으로서 마찬가지로 논리적 모순점 및 통계적 비효율성의 문제를 모두 안고 있다.

넷째, 진정한 지불거부 응답을 제외한 후 통상적 모형을 적용하여 분석을 했는데 추정된 평균 WTP가 통계적으로 유의하지 않거나 음수인 경우에는 과거 절단된 평균을 취하다가 이것의 문제점이 제기되면서 로그-선형 모형이 적용되기도 하는데 이것은 논리적 모순점을 가지고 있다. 즉 로그-선형 모형에서는 “No-No-Yes” 및 “No-No-No” 응답 모두를 “No-No”로 다루되 $\text{WTP} > 0$ 이라는 강한 가정에 근거하므로 “No-No” 응답에 대해 캐어묻기로 식별한 진정한 지불거부 응답 및 영의 WTP 응답이라는 자료의 성격과 일치하지 않는다.

(2) 합리적 대안에 대한 검토

앞서 “No-No-No” 응답의 처리와 관련된 몇 가지 문제점에 대해 논의했으므로 이제 “No-No-No” 응답을 다룰 수 있는 합리적 대안에 대해 논의를 해야 할 것이다. 이와 관련하여 다음과 같이 두 가지 대안이 있다.

- ① 진정한 지불거부(protest bids) 응답과 진정한 영(true zero)의 WTP 응답을 식별하여 진정한 지불거부 응답을 제외한 후 진정한 영의 WTP 응답을 명시적으로 다룰 수 있는 모형의 적용
- ② 다소 보수적인 접근으로서 진정한 지불거부 응답도 영의 WTP 응답으로 보고 분석

상기 두 가지 대안 중 어느 것을 적용하더라도 영의 WTP 응답을 명시적으로 다룰 수 있는 모형의 적용이 필요하다. 영의 WTP 응답을 명시적으로 다룰 수 있는 모형으로 문헌에서 제안된 것은 영의 WTP 응답을 일종의 스파이크로 다루면서 접근하는 스파이크 모형과 영의 WTP 응답에 점 질량(point mass)을 부여한 후 이 분포와 양의 영역에서 정의되는 분포(예를 들어, Weibull 분포, beta 분포, gamma 분포, log-normal 분포, log-logistic 분포 등)의 2가지 분포를 볼록결합(convex combination)하여 다루는 혼합모형이 있다.

(3) 영의 WTP 응답 자료

사실 예비타당성조사에서 CVM의 적용대상이 되고 있는 특정 공공사업은 응답자들에게 매우 생소한 재화이며, 특정 공공사업의 시행을 위해 본인의 소비를 일부러 줄여 이 금액만큼을 지불한다는 것에 대해 거절의 의

사를 가지고 있는 사람들이 적지 않을 것이다. 따라서 이러한 경우에 적용이 가능한 모형의 개발이 필요하며, 이 모형에 투입되어야 할 자료를 확보할 수 있도록 설문지도 적절하게 보완될 필요가 있다.

단일경계 모형에서 제시금액에 대해 지불의사가 없다고 밝힌 응답자를 대상으로 영의 WTP를 가지는지 여부를 식별하는 질문을 추가적으로 하여 응답을 얻게 되면 지불의사가 없다고 응답한 자료는 영의 WTP와 영보다 크면서 제시금액보다 작은 양의 WTP를 가진 자료로 구분된다.

이중경계 모형에서도 마찬가지로 두 번의 지불의사를 묻는 질문에 대해 모두 '아니오'라고 응답한 경우에 전혀 지불할 의사가 없는지를 물어 응답을 얻게 되면 마찬가지로 이 자료는 영의 WTP와 영보다 크면서 작은 제시금액보다 작은 양의 WTP로 구성된다.

이렇게 캐어묻기 질문을 통해 영의 WTP가 식별될 수 있으므로, 분석모형은 자료와의 일관성을 확보할 수 있도록 영의 WTP를 명백하게 반영하는 것이 바람직하다. 현재까지 영의 WTP를 반영할 수 있도록 CVM 연구 논문에서 제안되고 응용된 모형은 크게 WTP의 분포함수가 영에서 스파이크(스파이크)를 허용하도록 하는 스파이크 모형(Krström, 1997; Yoo and Kwak, 2002)과 영의 WTP를 가질 확률 분포와 양의 WTP를 가질 확률 분포를 볼록결합(convex combination) 형태로 결합하는 혼합 모형(Werner, 1999; Yoo 외, 2001)이 대표적이다.

많은 CVM 실증연구에서 조사대상 가구의 절반 이상이 평가대상 공공투자사업에 대해 지불의사가 전혀 없다는 의견을 밝힌다. 이러한 상황은 WTP에 관한 설문조사 자료에서 흔히 관측된다(Yoo 외, 2001a, 2001b).

영의 WTP는 평가대상 공공투자사업이 가구의 후생에 전혀 기여하지 못하거나 혹은 가구가 평가대상 공공투자사업에 완전히 무관심할 때, 다음과 같은 소득제약 하의 소비자 효용극대화 문제의 모서리해(corner solution)

로서 도출될 수 있으므로, 경제적 행위에 부합한다.

$$\max_{y,Z} [U(y,Z;h) \mid y+Z \leq m] \quad (16)$$

여기서, $U(\cdot)$ 는 효용함수, y 는 평가대상 공공투자사업에 대한 WTP, Z 는 다른 지출, h 는 개인특성을 나타내는 벡터, m 는 소득이다.

영의 값을 가진 WTP 자료의 분석을 위해서는 다수의 가구들이 평가대상 공공투자사업에 대해 전혀 지불할 의사가 없다는 사실을 고려해야만 한다. 다시 말해서, WTP의 분포는 영의 값을 갖는 응답자 그룹과 양의 WTP를 갖는 응답자 그룹으로 양분되는 것이다. 경제성 분석 등에 사용될 수 있는 WTP의 평균값을 구하기 위해서는 WTP의 분포를 구해야 하고, WTP의 분포를 구하기 위해서는 이러한 점이 반드시 고려되어야 한다.

만약 영의 WTP 응답을 무시하고 분석을 한다면 적지 않은 오류를 범하게 된다. 통상 양의 값만 가지는 경제변수의 경우는 양의 영역에서만 정의되는 분포를 이용하여 분석하면 되지만, WTP 자료와 같이 영의 값과 양의 값을 함께 가질 수 있는 경제변수의 경우에는 정형화(specification)의 어려움이 존재한다.

(4) 영의 WTP 응답 자료를 다루기 위한 스파이크 모형

이제 스파이크 모형을 정형화하면 식 (11)의 마지막 부분에 있는 “아니오-아니오”의 응답은 0의 WTP와 두 번째 제시금액(A^L)보다 작은 양의 WTP로 구분되므로, I_i^{NN} 은 다시 I_i^{NNY} 와 I_i^{NNN} 로 세분화된다.

$$\begin{cases} I_i^{NNY} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오-아니오-예”}) \\ I_i^{NNN} = \mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오-아니오-아니오”}) \end{cases} \quad (17)$$

앞에서와 마찬가지로, WTP의 누적분포함수를 $G_C(\cdot; \theta)$ 라 하고 이를 로지스틱(logistic) 함수로 가정하여 스파이크 모형을 구성하면 평균값 WTP를 추정할 수 있다. 스파이크 모형에 있어서, $\theta = (a, b)$ 일 때 WTP의 누적분포함수는 식 (18)과 같이 정의된다.

$$G_C(A; \theta) = \begin{cases} [1 + \exp(a - bA)]^{-1} & \text{if } A > 0 \\ [1 + \exp(a)]^{-1} & \text{if } A = 0 \\ 0 & \text{if } A < 0 \end{cases} \quad (18)$$

따라서 단일경계 스파이크 모형 및 이중경계 스파이크 모형에 대한 로그우도함수는 각각 (19) 및 (20)과 같다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \ln \left\{ I_i^Y [1 - G_C(A_i)] + (I_i^{NY} + I_i^{NNY}) [G_C(A_i^L) - G_C(0)] + I_i^{NNN} G_C(0) \right\} \quad (19)$$

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{aligned} & I_i^{YY} \ln [1 - G_C(A_i^H)] + I_i^{YN} \ln [G_C(A_i^H) - G_C(A_i)] \\ & + I_i^{NY} \ln [G_C(A_i) - G_C(A_i^L)] \\ & + (I_i^{NN} + I_i^{NNY}) [\ln G_C(A_i^L) - G_C(0)] + I_i^{NNN} \ln [G_C(0)] \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

이 때 스पा이크는 $1/\ln[1 + \exp(a)]$ 로 정의되며 표본에서 영의 WTP를 갖는 응답자의 비중을 의미한다. 한편 평균값 WTP는 다음과 같이 추정된다.

$$\overline{WTP} = (1/b)\ln[1 + \exp(a)] \quad (21)$$

(2) 비모수적 추정

CVM은 지불의사액의 함수 설정에 있어서 특정분포를 가정하는 모수적 접근 방법이다. 하지만 이와 달리 비모수적 접근방법은 지불의사액의 누적 확률분포함수의 형태를 가정하지 않고 대신에 구간선형함수(Piecewise Linear Function)에 의해 추정된다.

이와 같은 비모수적 접근방법은 주어진 제시가격의 지불의사비율에 대해 특정 분포의 가정없이 지불의사액을 도출하는 방법으로 Kriström(1990)이 처음으로 비시장재화의 가치평가에 도입했으며, Duffield and Patterson(1991)과 Boman 외(1999)에 의해 보다 발전된 비모수적 추정법이 개발되었다. 국내의 비시장재화의 가치평가에 있어서 비모수적인 접근방법이 사용된 예는 이충기 외(1998), 문혜선·이희찬(2010) 및 표희동 외(2011) 등이 있지만, 해양바이오에너지 연구개발사업의 환경편익 추정에 대한 사례는 없다.

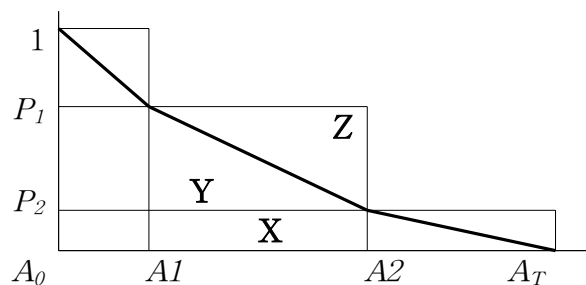
비모수적 추정법은 모수적 추정법에서 가정되는 모형분포의 적합도, 모형설정, 이분산 등의 가정과 검정이 필요 없을 뿐 아니라 비교적 추정이 용이한 방법이다(이충기 외, 1998). 추정방법은 주어진 제시금액에서 응답자가 그에 대응하는 “YES” 응답확률을 산출한 후 이를 근거로 한 분포무관최우추정함수(Distribution Free Maximum Likelihood Function)를 이용한다. 그에 따라 최대지불의사확률을 0~T사이에서 대안적으로 적분하여 지

불의사액을 산출할 수 있다. 여기에서 T는 선형보간법(Linear interpolation)에 의해 추정된 제시가격의 최대치를 의미한다. 비모수적 추정법은 모수적 추정법보다 낮은 편익 추정치를 도출하는 경향이 있는데 이는 부(negative)의 지불의사 가능성을 원천적으로 불허하기 때문이다.

일반적인 응답자의 경우 제시금액이 클수록 낮은 수락확률이 관찰되어야 하며 이는 경제학의 기본가정에 충족하게 된다. 하지만 그렇지 못하다면 이들 관측점 간의 확률을 선형보간법을 근거로 분포순서가 단조적(monotonic)일 때까지 보정한다. Kriström(1990)이 제안한 선형보간법을 사용하여 응답확률을 보정하는 방법은 아래의 식(22)와 같다.

$$(k_i + k_{i-1}) / (n_i + n_{i-1}) \quad (22)$$

여기서 n_i 는 각 제시금액(A_i)에 대한 총 응답자 수이며, k_i 는 제시금액별 지불의사가 있는 응답자의 수이다. 이렇게 하여 <그림 4>와 같이 얻어진 보정된 확률분포의 아래 면적을 계산함으로써 편익의 크기를 측정할 수 있다. 이는 Ayer 외(1995)가 증명하고 Kriström(1990)이 CVM연구에 최초로 활용한 소위 PAV(pooled adjacent violatores) 알고리즘을 이용하여 해당구간을 합쳐 마치 하나의 구간으로 취급하여 계산하는 것이다.



<그림 4> 비모수적 추정법을 이용한 생존곡선

가로축은 제시액으로서 최저제시액(A_1), 최고제시액(A_2), 그리고 합리적 지불의사의 상한(A_T)이고, 세로축은 각 제시액의 수락확률로서 최대 1이라고 할 경우 평균 지불의사는 가로축의 (A_0, A_1) , (A_1, A_2) , (A_2, A_T) 구간의 생존곡선 면적들을 합하면 된다. 그런데, 생존곡선 면적의 도출에 있어서 동일 구간에 대해 세 종류의 평균 추정치들을 도출할 수 있다. 예를들면, (A_1, A_2) 구간의 면적을 추정할 경우 다음과 같은 세가지 형태로 도출된다(Hanemann 외, 1998). 예를들면, (A_1, A_2) 구간의 면적을 추정할 경우 다음과 같은 세가지 형태로 도출된다.

<표 12> 비모수 추정법의 평균추정치

구간	도출방정식	평가
(A_2, A_1)	① X의 면적 : $(A_2 - A_1)p_2$	보수적 추정치
	② X+ Y의 면적 : $(A_2 - A_1)p_2 + \frac{A_2 - A_1}{2}(p_1 - p_2)$	중간적 추정치
	③ X, Y, Z,의 면적 : $(A_2 - A_1)p_1$	낙관적 추정치

①의 경우 가장 보수적인 추정치, 즉, 하한추정치(Lower Bound)로서의 Laspeyres 측정치이고, ③의 경우 가장 낙관적인 추정치, 즉 상한추정치(Upper Bound)로서의 Paasche 측정치인 반면에, ②의 경우는 중간추정치(Intermediate Bound)로서 보다 정확한 추정치라고 할 수 있다.

②의 추정방법을 평균 WTP의 Kaplan-Meier-Turnbull 추정량(Turnbull, 1976)이라고 부르는데, 비모수적 접근에 의한 평균 WTP는 식(23)과 같이 단순히 0부터 T에 이르는 구간선형함수의 아래 면적을 계산함으로써 도출할 수 있다. Boman et al.(1999)는 다음의 식(23')와 같이 함수식을 제시하

였지만, 이는 식(25)와 동일한 결과를 가져온다. 한편 WTP의 하한추정치는 식(24), WTP의 상한추정치는 식(25)와 같이 도출할 수 있다(Boman et al., 1999).

$$WTP_I = \sum_{i=1}^k \left[(A_i - A_{i-1}) \times p_i + \frac{(A_i - A_{i-1})}{2} \times (p_{i-1} - p_i) \right] \quad (23)$$

$$WTP = \sum_{i=0}^{k-1} \frac{1}{2} (A_i + A_{i+1}) (p_i - p_{i+1}) \quad (23')$$

$$WTP_L = \sum_{i=0}^{k-1} (A_i - A_{i-1}) \times p_{i+1} \quad (24)$$

$$WTP_U = \sum_{i=0}^{k-1} (A_{i+1} - A_i) p_i \quad (25)$$

여기서, A_0 는 제시금액이 '0'인 경우이고, 이때의 수락확률(p_0)은 1이라고 할 수 있다. 한편 WTP의 중앙값(median)은 수락확률이 0.5일 때의 제시금액을 말한다.

Boman et al.(1999)은 평균 WTP, 하한 WTP 및 상한 WTP의 분산추정량을 다음 식 (26), (27), (28)과 같이 제안하였다.

$$var(WTP) = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (A_{i+1} - WTP)^2 (p_i - p_{i+1})}{n} \quad (26)$$

$$var(WTP_L) = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (A_{i+1} - WTP_L)^2 (p_i - p_{i+1})}{n} \quad (27)$$

$$var(WTP_U) = \frac{\sum_{i=0}^{k-1} (A_{i+1} - WTP_U)^2 (p_i - p_{i+1})}{n} \quad (28)$$

나. 제시금액의 설정

(1) 예비타당성조사 수행을 위한 『일반지침 (제5판)』의 내용

양분선택형 질문법을 적용한다면 제시금액의 범위와 구간의 수 등 제시금액의 분포는 CVM문항의 응답(‘예/아니오’)에 영향을 미치고 결과적으로 추정 결과 얻게 될 WTP의 분포에도 영향을 미칠 것이므로 주의 깊은 실험설계가 필요하다. WTP 표본평균이나 중앙값은 양분선택형 모형의 계수 추정치들(혹은 추정치의 비율)로부터 도출되는데, 제시금액의 분포는 이들 계수 추정치들의 효율성(즉 추정치의 분산)에 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다. 특히 예비타당성조사의 경제성 분석의 기초로 채택되고 있는 제시금액만을 설명변수로 포함하는 단순 WTP함수 추정의 경우에는 제시금액만이 계수추정치들의 분산-공분산행렬에 직접 포함이 되어 효율성을 결정하기 때문에 더욱 중요하다.

WTP 추정치의 효율성을 극대화할 수 있는 최적 제시금액설계(optimal bid design)방법들이 제시되고 있지만, 최적제시금액들은 WTP 분포의 형태를 알거나 계수추정치를 알고 있을 때 설계가 가능하다(Kanninen, 1993a, 1993b). 그러나 이러한 정보들을 알고 있다면 CVM 설문조사 자체를 시행할 필요가 없을 것이다. 대안으로, 최적 제시금액들은 아닐 수 있지만 포커스그룹과 사전조사(pre-test) 결과 얻어진 WTP 분포를 사용하여 제시금액을 선정하도록 권고하고 있다(Hanemann and Kanninen, 1999). 즉 사전조사 결과 얻어진 WTP 분포의 15%에서 85% 범위 내에서 4가지에서 6가지 제시금액을 설정할 수 있다고 제시하고 있다.¹⁷⁾ 사전조사를 통하여

17) Hanemann and Kanninen(1999)는 단일양분형의 경우에는 사전조사 결과의 18%에서 82% 범위 내에서 선택하도록 권고하고 있으며 Kanninen(1993a)은 이중양분형의 경우에는 12%에서 88% 범위 내에서 선택하도록 제시하고 있다. 두 질문방법 사이의 제시금액의 범위가 큰 차이가 나지 않으므로 본문내용과 같이 운영하고 있다.

제시금액을 얻을 수 없는 경우에는 예비타당성 조사를 통하여 축적된 선행 연구결과를 참고하여 현실적으로 통용되는 수준에서 제시금액을 결정하기도 한다.

(2) 제시금액의 범위 설정

일반적으로 100가구를 대상으로 사전 조사를 수행한 후 분포의 양 극단 약 15% 정도를 제외하고 제시금액의 범위를 설정하고 있다. 이 경우 합리적이지 않을 정도로 큰 값이 관측되거나 WTP의 범위가 너무 좁은 경우가 관측되어 양쪽에서 15%의 절단이라는 원칙을 엄격하게 적용하기 어려운 상황이 발생할 수 있다. 이런 상황에서는 연구자의 직관이 어느 정도 개입될 필요가 있다. 즉 관련 선행연구 사례와 사전조사 결과를 함께 고려하여 제시금액의 범위를 합리적으로 결정하는 것이 불가피하게 된다.

아울러 평가대상 재화가 기존 선행연구 사례와 유사한 경우에는 100가구를 대상으로 한 사전조사를 하더라도 기존 선행연구 사례에서의 제시금액의 범위와 유사한 경우가 많다. 이러한 경우에는 많은 시간과 비용을 들인 100가구 대상 사전조사가 별 의미가 없을 수 있다.

따라서 기존 예비타당성조사 사례와 비교할 때 현저하게 차별성이 있는 경우에 한해 사전조사를 수행하는 방안을 고려할 필요가 있다. 물론 사전조사를 통해 설문지 상의 난해한 부분에 대한 수정이 이뤄질 수 있지만, 통상 표적집단 면접법(FGI, focus group interview)를 하게 되면 설문지를 충분히 수정할 수 있으므로 사전조사의 의미가 약할 수 있다.

(3) DBDC 질문에서의 2번째 제시금액 설정 방안

DBDC 질문을 할 때 2번째 제시금액을 어떻게 설정해야 할지가 쟁점이 된다. 최적 제시금액을 정확하게 결정하기 위해서는 관련 정보가 충분하여

야 하며 결정은 복잡한 수학적 과정을 요구한다. 즉 WTP 분포에 대한 정보가 필수적으로 요구되는데, 우리가 WTP 분포에 대해 알고 있다면 사실 CVM 조사를 할 필요가 없기 때문에 최적 제시금액의 결정은 일종의 넌센스가 될 수 있다.

따라서 사전적으로 최적 제시금액을 결정하는 것은 거의 불가능하므로 각종 모의실험으로부터 얻은 결과로서 국제적으로도 널리 통용되는 현재의 관례를 그대로 유지하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 즉 첫 번째 제시금액에 대해 ‘예’라고 응답한다면 2번째 제시금액은 1번째 제시금액의 2배 금액, 첫 번째 제시금액에 대해 ‘아니오’라고 응답한다면 1번째 제시금액의 1/2배 금액을 제시하는 것으로 하였다.

(4) 제시금액의 개수 및 구간 설정 방안

일반적으로 제시금액의 개수는 대략 6~10개가 사용되고 있다. 국제학술지에 게재된 CVM 연구를 살펴보면 대부분 6~10개의 제시금액을 사용하고 있다.

제시금액을 결정하는 데 있어서 구간을 등간격으로 할 것인지 아니면 간격을 달리 할지는 검토할 필요성이 있다.

통상 WTP의 분포가 좌우대칭형 이라기보다는 왼쪽에 분포가 치우친 오른쪽으로 긴 꼬리(long right-tail)를 가지므로 등간격으로 제시금액을 결정하는 것보다는 제시금액이 커질수록 간격이 큰 체증적 구간설정이 바람직하다.

4. CVM에 의한 설문지 설계 및 운용절차

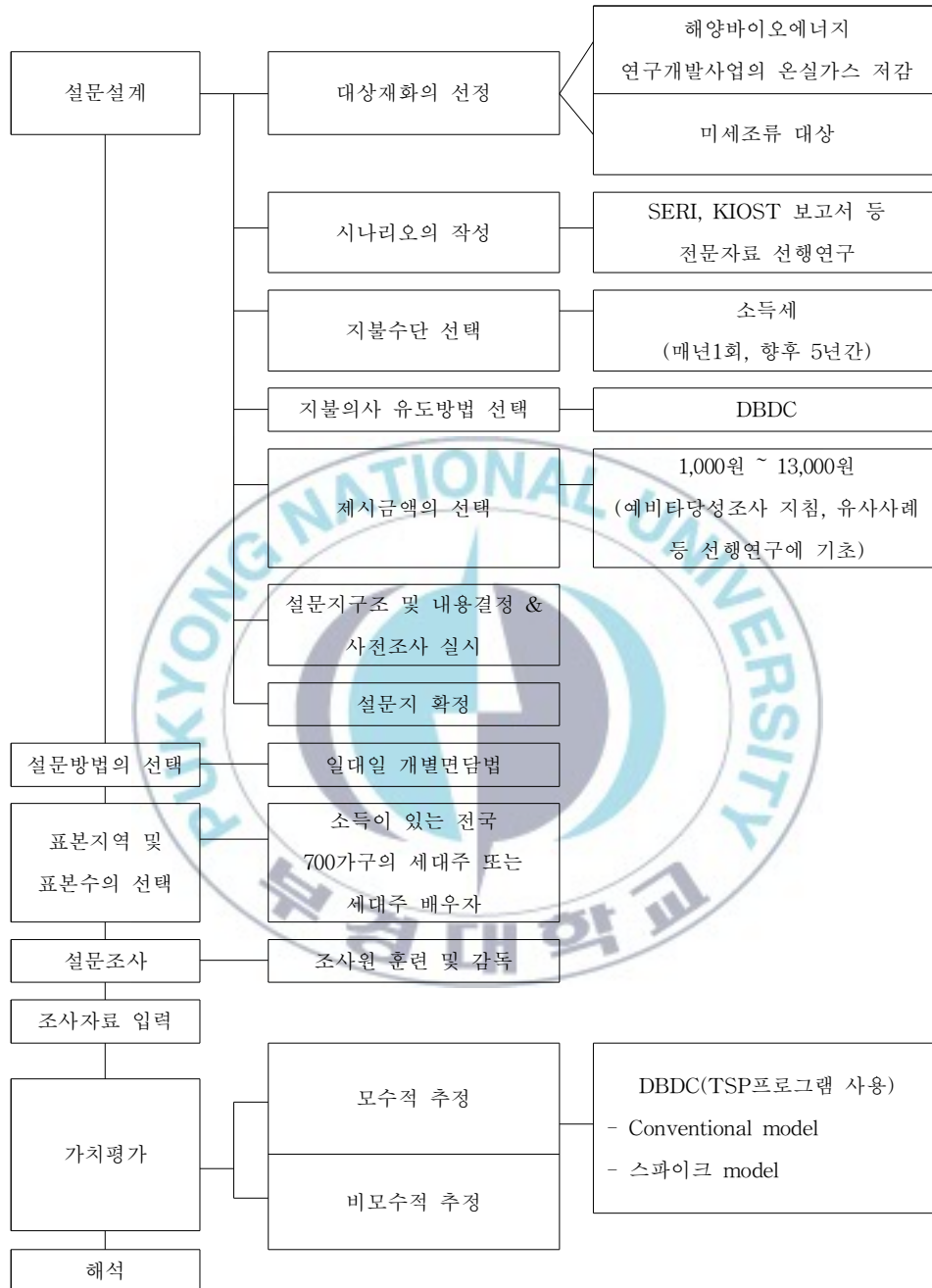
설문지는 연구목적에 부합하는 유용한 자료의 수집을 위한 수단으로, 분석에 필요한 정보의 종류와 설문방법, 분석내용과 분석방법 등을 고려하여 작성한다. 특히, CVM에서는 대상재화에 대한 시나리오가 얼마나 이해가능하고, 설명력이 있으며, 의미부여가 잘 되었는지와 설문조사의 전 단계를 걸쳐서 얼마나 과학적이고, 실용적으로 이루어졌는지의 여부에 따라 설문조사의 신뢰성과 타당성을 확보할 수 있다(표희동, 2001).

이와 같이 CVM의 지불의사액 추정은 전적으로 설문조사에 의존하기 때문에 설문 작성방법에 따라 분석결과가 민감한 영향을 받는다. 이러한 점을 고려하여 본 연구의 설문지 설계 및 운용절차는 <그림 5>의 절차와 같이 진행하였다.

가. 설문지 설계

(1) 대상재화 선정 및 시나리오 작성

본격적인 설문조사를 하기 위한 첫 단계로서 대상재화와 이에 대한 가상적(조건부)시장을 설정해야 한다. 보기카드(show card)를 이용하여 해양바이오에너지 연구개발사업의 필요성과 그리고 동사업의 환경적 역할로서 미세조류 유래의 바이오디젤의 온실가스 저감효과를 설명한 다음, 응답자들의 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 일반적인 인지와 동 사업의 특성들에 대한 태도를 검토하고, 긍정적인 효과와 부정적인 효과에 대하여 객관적으로 소개한다. 그 다음 단계로 지불의사 질문들을 통해 해양바이오에너지 연구개발사업의 수행을 위해 기꺼이 지불할 수 있는 금액에 대하여 응답자들에게 질문한다.



<그림 5> CVM 운용절차

(2) 지불수단 선택

조건부시장 설정에 있어서 중요한 역할을 하는 것은 응답자가 밝히고자 하는 지불의사를 쉽게 표현할 수 있도록 지불수단(payment vehicle)을 제시하는 것이다. 현실성 있는 지불수단이 되도록 시장을 설정하는 것은 응답자가 진정한 가치를 밝힐 수 있도록 유도한다는 측면, 가상적 상황을 좀 더 현실화시킨다는 점 및 의도와 행동 간의 관계를 밀접하게 할 수 있다는 점에서 중요하다.¹⁸⁾

본 연구에서의 지불수단은 해양바이오에너지 연구개발사업 시행시 기꺼이 지불할 수 있는 소득세(매년 1회, 향후 5년간)로 질문하였다. 소득세의 경우 응답자들이 이해하기 쉽고 지불저항이 적기 때문이다. 응답자에게 해양바이오에너지 연구개발사업의 시행에 대한 구체적인 방법을 읽어 준 후 제시한 지불의사금액과 관련한 구체적인 질문내용은 다음과 같다.

“이에 정부도 온실가스 저감효과가 탁월한, 해양 바이오에너지 연구개발사업을 진행하려고 합니다. 그런데 이러한 해양 바이오에너지를 실용화하기 위해서는 많은 비용이 소요됩니다. 만약 많은 사람들이 그 비용을 지불하지 않는다면 온실가스 저감효과가 있는 해양 바이오에너지 추출 기술은 확보할 수 없습니다.

본 조사에서는 귀하의 가구가 온실가스 저감효과가 있는 해양 바이오에너지 연구개발에 부여하는 가치에 대해 알고자 합니다. 귀하 가구의 소득은 제한되어 있고 그 소득은 여러 용도로 지출되어야 한다는 사실을 고려하신 후 다음 질문에 신중히 대답하여

18) 특정한 지불수단을 결정할 때는 우선 평가하고자 하는 재화와의 관련 정도, 둘째, 응답자의 결정을 단순화할 수 있는 정도, 셋째, 여러 가지 편의를 제거할 수 있는 정도를 기준으로 삼게 된다. 즉, 평가하려는 대상과 관련하여 현실성이 있고 사실과 부합하는 수단을 선택해야 한다는 것이다.

주시기 바랍니다.

질문내용 : 귀하의 가구는 해양바이오에너지 연구개발을 통한 온실가스
저감효과를 위해 향후 5년동안 매년 [제시금액 Q1](
원)의 가구 총 소득세를 추가로 지불할 용의가 있으십니까?

① 있다

② 없다

(3) 지불의사 유도방법 및 제시금액의 선택

본 논문에서는 NOAA의 “blue-ribbon CV panel”에서 개방형 질문법보다 더 강력하게 추천하였던 양분선택형 질문법으로 지불의사를 유도하였다 (Arrow 외, 1993).¹⁹⁾ 이는 앞서 언급한 바와 같이 현실시장에서 소비자들의 행동을 결정하는 유형과 국민투표에서 투표하는 유형과 유사한 것으로서 Hanemann(1984)에 의해 그 분석모형이 제시된 이래 큰 설득력을 얻고 있다. 양분선택형 질문은 단 1회에 걸쳐서 미리 설정된 금액을 “공공재 공급의 대가로 지불할 용의가 있는가”라고 물어보면, 응답자가 ‘예/아니오’로 한번만 대답하는 방식이다.

이 논문에서는 응답률이 높고, 출발점 편이나 설문조사원 편익에 의한 영향이 적으며 비합리적 지불의사가 발생할 가능성이 적고, 응답자의 전략적 행위를 줄일 수 있는 양분선택형 질문법을 이용하되 추정에 있어서의 통계적 효율성(statistical efficiency)을 증진시키기 위해 ‘예’라고 응답한 사람들에 대해서는 2배의 금액에 대해, ‘아니오’라고 응답한 사람들에 대해서는 1/2배의 금액에 대해 추가질문을 포함한 이중경계 양분선택형으로 하였

19) 개방형질문형은 하나의 지불의사 금액수준을 결정하도록 요구함에 따라 무응답이나 저항적인 ‘영’응답(non-response or protest zero responses)이 수용할 수 없을 정도로 큰 경향이 있다. 반면에 양자택일형 질문법은 개방형 직접질문법보다 대답하기가 더 쉽다.

다.

이 논문에서의 제시금액은 유사 연구사업에서 응답자들이 제시한 지불의사금액을 참고하여 1,000원에서부터 13,000원까지의 8가지 금액을 설정하였다.²⁰⁾ 그리고 제시금액은 체증적 구간설정을 하였다²¹⁾

설문지의 초안이 나오면, 특히 CV문항의 구성요소들에 대해 전문가들의 검토가 필요하다. 이 때 경제학자들 뿐 만 아니라 대상재화의 특성과 관련된 분야의 전문가들의 검토가 절실하다. 더욱 좋은 방법은 설문지 초안을 만들 때부터 관련 분야의 전문가들과 같이 작업을 하는 것이다²²⁾ 따라서 본 논문에서는 CVM 전문가 및 해양바이오에너지 전문가와 함께 작업을 진행하였다.

(4) 설문방법 및 표본설계

설문조사를 실시하기 전에 보다 해양바이오에너지의 기술적인 정보와 속성을 파악하기 위해 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 전문성을 가진 삼성경제연구소와 한국해양과학기술원의 관련 전문가그룹의 의견을 수렴하였다.

일반 설문방법은 개별면담설문, 전화설문, 우편설문 등이 있지만 본 연구에서는 개별면담법을 사용하였다. 개별면담법은 비용이 많이 소요되지만 응답자가 설문목적에 충분히 이해할 수 있는 장점이 있다. 또한 인터뷰 끝에 응답자의 전화번호를 물어 임의로 추출된 가구에 대해 서베이 감독자들

20) 국제학술지에 출판된 다양한 CVM 응용논문을 살펴보면 다수의 연구에서 제시금액의 개수를 6~10개 사이로 하여 설문을 진행하고 있으며 최근 예비타당성 사업의 사전조사에서 제시된 금액은 1,000원 ~ 15,000원 사이에서 설정되고 있다.

21) 통상 WTP의 분포가 좌우대칭형이라기보다는 왼쪽에 분포가 치우친 오른쪽으로 긴 꼬리(long right-tail)를 가지므로 등간격으로 제시금액을 결정하는 것보다는 제시금액이 커질수록 간격이 커지는 체증적 구간설정이 바람직하다.

22) 「예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)」 (2008, KDI)

은 조사원들이 면담을 제대로 하였는지 확인전화를 하였고 몇 가지 질문을 다시 해서 응답자들의 대답에 일관성이 있는지를 점검하고 응답이 빠진 항목에 대해 다시 질문을 하여 답을 얻었다.

설문대상지역은 전국 주요 7대도시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산)와 경기도로 한정하고 설문 대상지역의 전체 인구를 대상으로 랜덤포본(random sample)을 도출하기 위해 가구수 비율을 고려하여 표본수를 할당하였다. 대상지역의 인구 특성과의 일관성을 유지하면서 각 구역 내에서 무작위 표집을 하였다. 추출된 총 700가구의 설문결과를 얻을 수 있었다.

표본의 크기는 결과의 신뢰성과 밀접한 관련을 가진다. 즉 선택된 표본이 모집단을 대표할 수 있는가와 관련된다. 이 논문에서는 NOAA가 양자택일형 질문법에 의해 설문조사를 할 경우 1,000명 이상의 표본을 이용하도록 한 권장하고 있으나 700명을 모집단으로 하였다.²³⁾

여론조사 전문기관의 과학적인 표본추출, 전화나 우편조사가 아닌 세련된 일대일 면접조사를 이용하였기 때문에 의견을 정확하게 반영한다고 볼 수 있다.

(5) 설문조사

최종 설문지는 2012년 12월에 국내 유수의 설문조사기관의 전문가로부터의 조언과 사전조사의 결과를 반영하여 설문지를 가능한 한 이해가 쉽고, 간단하고, 압축된 형태로 작성하였다.

선발된 조사원들은 모두 시장실태조사 경험을 가지고 있었지만 이번의 조사방법은 지불금액에 대한 양분선택형 질문의 특성이 있으므로 그들에게 특별교육을 하는 것이 바람직하다고 판단되어 여러 단계에 걸친 교육을 실

23) 많은 선행연구들의 표본수와 비교해 봤을 때 본 연구에서 선정한 표본의 수는 분석을 하고 추정을 할 때 큰 문제가 없는 것으로 판단하였다. 설문을 진행하여 분석을 할 수 있는 유효 표본수는 분석을 하기에 충분하다 할 수 있다

시하였다. 먼저 질문사항을 자세히 설명하고 설문지와 보조자료 등의 사용법을 알려 주었다. 다음으로 조사원들이 실제 설문지를 사용해서 서로에게 인터뷰하는 연습을 하였다.

그리고 각자의 가족들에게 인터뷰하는 방식으로 하여 시험테스트 하였다. 마지막으로 설문회사의 감독자들이 그 결과를 점검하도록 하였다. 즉, 조사원들이 조사목적과 설문내용을 정확히 이해하였는지 또 적절하게 응답자들을 인터뷰할 수 있는지 검토하였다.

5. 편익추정결과 및 논의

가. 응답의 분포

총 700개의 유효한 표본으로 온실가스 저감을 위한 지불의사액을 조사·분석한 결과 <표 13>과 같은 응답 분포를 나타내었다.

본 연구에서는 응답자들을 초기 제시금액에 따라서 총 8개의 그룹으로 구분하였으며 제시금액별 표본의 수는 거의 차이가 없었다. 응답의 유형은 단일경계 모형 및 스파이크 모형으로 추정할 때에는 ‘예’, ‘아니오-예’, ‘아니오-아니오’의 3가지로 구분된다. 제시금액이 높아질수록 “지불의사가 있는지”에 대한 답변에 “네”라는 응답이 낮아졌다.

본 연구에서는 이중경계 형태로 설문을 진행하고 추정 또한 이중경계 형태로 진행하였다. 이는 이중경계 모형이 단일경계 모형에 비해 통계적 효율성이 높아지고, 편의 발생 가능성의 증가는 효율성의 증가에 비해 크지 않다는 선행연구의 결과들을 참고한 것이다.

통계적 효율성보다는 편의의 최소화가 더 중요할 수 있다는 의견도 존재

하는 것이 사실이나, 이중경계 모형은 가치평가 등에서 활발히 사용되고 있는 모형이며, 통계적 효율성이 증가하는 만큼 많은 연구자들이 선호하는 모형임에도 틀림없다.

따라서 본 연구에서는 이중경계 모형과 함께 0의 WTP를 처리할 수 있는 스파이크 모형을 사용하였다.

<표 13> 지불의사금액의 응답자 분포(스�파이크모형)

제시금액			표본 크기	응답유형별 응답자수				
				예		아니오		
First	Lower	Higher		예	아니오	예	아니오-예	아니오-아니오
1,000	500	2,000	87	30	24	5	0	28
2,000	1,000	4,000	88	11	36	9	0	32
3,000	1,500	6,000	88	9	19	13	2	45
4,000	2,000	8,000	87	10	18	10	5	44
5,000	2,500	10,000	87	6	15	14	7	45
7,000	3,500	14,000	88	4	10	10	11	53
10,000	5,000	20,000	87	2	13	12	13	47
13,000	7,500	26,000	88	6	7	6	13	56
계			700	78	142	79	51	350

나. 모수적 추정법

이중경계 모형을 이용하여 추정한 결과는 <표 14>에 요약되어 있다. 이중경계 모형의 전통적 모델에 의한 추정 결과는 표의 좌측에 위치하며, 스파이크 모델에 의한 추정 결과는 표의 우측에 위치한다. 공변량의 포함 여부에 따라 추정계수는 차이가 있었으나, 공변량 포함여부와 상관없이 평균 WTP는 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 것으로 추정되었다.

전통적 모델에서 확인할 수 있는 응답자의 응답 금액 범위를 $-\infty$ 에서 ∞ 까지 가정한 Overall Mean WTP는 공변량 미포함시 연간 가구당 1,216원으로 추정되었으며 공변량을 포함 하였을 때는 1,180원으로 나타났다.

응답자의 응답 금액 범위를 0부터 ∞ 까지로 가정한 Mean WTP는 전통적 모델 중 공변량을 포함하지 않았을 때 연간 가구당 3,136원으로 Overall Mean WTP보다 다소 높게 추정되었으며, 공변량을 포함한 Mean WTP 또한 Overall Mean WTP보다 높은 3,065원으로 나타났다. 스파이크 모델을 이용하여 추정한 Mean WTP는 3,117원(공변량 불포함), 3,030원(공변량 포함)으로 나타났다.

전통적 모델에서 중앙값을 구하는 공식은 Overall Mean WTP를 구하는 공식과 동일하기 때문에 그 값 또한 동일하게 추정되었다.²⁴⁾

스�파이크 모델은 공변량이 포함되었을 때와 포함되지 않았을 때의 스파이크 값은 각각 0.5076과 0.5068로서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이는 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며 ‘표본에서 영의 WTP를 갖는 응답자의 비중’을 의미하는 스파이크값과 실제로 지불거부의사를 보인 50%의 응답자 비율이 유사하게 추정되었음을 알 수 있다.

스�파이크 모델을 이용하였을 때 Mean WTP는 $C^+ = \ln[1 + \exp(a)]/b$ 로 나타난다. Median WTP는 식 (29)로 정리되므로 본 연구에서 스파이크모델을 이용한 Median WTP 값은 공변량을 포함여부와 상관없이 0으로 추정되었다.

$$C^* = \begin{cases} a/b, & \text{if } [1 + \exp(a)]^{-1} < 0.5, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (29)$$

24) 식(14)의 평균 WTP추정에서 구할 수 있다.

스파이크 모델에서의 Mean WTP는 공변량을 포함하지 않았을 때 매월 가구당 3,117원, 공변량을 포함하였을 때 매월 가구당 3,030원으로 전통적 모델을 이용하여 추정한 Mean WTP값보다 다소 적게 추정되었으나 전통적 모델의 Overall Mean WTP 보다는 크게 추정되었다.

본 연구에서는 응답자 또는 가구가 갖는 특성들이 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 지불의 확률에 어떠한 영향을 주는지 분석하기 위하여 공변량이 포함된 모형을 추정하였다. 공변량의 종류와 정의 및 평균을 포함한 추정값은 <표 15>에 제시되어 있다.



<표 14> 이중경계 모형의 WTP 추정결과

변수	추정 계수(t -value) ^{a)}			
	전통적 모형		스파이크 모형	
	without covariates	with covariates	without covariates	with covariates
상수항	0.3402(3.52)**	-4.2293(-3.22)**	-0.0273(-0.36)	-4.5743(-3.95)
제시금액	-0.2799(-23.70)**	-0.2858(-23.42)**	-0.2180(-22.05)**	-0.2237(22.03)**
관측 가구수	700			
로그우도 (Log-likelihood)	-815.5968	-803.0220	-982.4497	-968.5309
Wald 통계량 ^{b)} (p -value)	357.3490 (0.0000)	339.28671 (0.0000)	279.4951 (0.0000)	272.6492 (0.0000)
Overall Mean WTP	1,216원(3.82)**	1,180원(3.69)**	-	
95% 신뢰구간 ^{c)}	588원~1,817원	520원~1,769원	-	
99% 신뢰구간	387원~1,995원	323원~1,946원	-	
Mean WTP	3,136원(18.90)**	3,065원(18.42)**	3,117원(16.82)**	3,030원(16.51)**
95% 신뢰구간	2,824원~3,479원	2,746원~3,410원	2,773원~3,524원	2,698원~3,412원
99% 신뢰구간	2,729원~3,604원	2,648원~3,521원	2,683원~3,663원	2,581원~3,566원
Median WTP	1,216원(3.82)**	1,180원(3.69)**	0	
95% 신뢰구간	588원~1,817원	853원~1,817원	-	
99% 신뢰구간	387원~1,995원	554원~1,995원	-	

a: 추정치 오른쪽의 괄호 안에 있는 숫자는 t -값이다. **는 유의수준 5%에서 통계적으로 유의함을 나타낸다.

b: Wald 통계량은 추정되어야 할 모수의 값이 모두 '0'이라는 가설 하에서 계산된 것이다.

c: 평균 WTP의 표준오차는 델타법(delta method)을 이용하여 계산되었다. 평균 WTP의 신뢰구간은 Krinsky and Robb(1986)에 제시된 몬테카를로 모의실험 기법을 이용하여 계산하되 재표본추출의 횟수는 5,000회로 하였다.

<표 15> 공변량의 정의 및 추정값

구분	정의	평균	추정값	
			전통적 모델	스파이크 모델
EDU	가장(아버지)의 교육수준	15.4년	0.1455 (3.477)**	0.1344 (3.77)**
AGE	응답자의 나이	40.8세	-1.2717 (-1.44)	-1.5049 (-1.84)*
INCOME	월 세전 가구소득	410만원	0.3963 (1.95)*	0.4217 (2.35)**

*는 유의수준 10%에서, **는 유의수준 5%에서 통계적으로 유의함을 나타낸다.

세 공변량 모두 5% 또는 10% 유의수준 내에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 이는 아버지의 교육수준이 높을수록, 가구소득이 높을수록 제시금액에 대해서 “YES”라고 응답할 확률이 높다는 것을 의미하며 추정값이 음수로 표시된 응답자의 나이는 높을수록 “YES”라고 응답할 확률이 높지 않음을 의미한다, 추정값이 통계적으로 유의하지 않을 경우(예:성별) 그 변량은 “YES”응답 여부에 영향을 주지 않는다고 해석 가능하다.

다. 비모수적 추정법

DBDC를 통한 응답자료를 SBDC의 질문처럼 초기 제시금액만 주어졌다고 가정한다면, 아래의 <표 16>과 같은 형식으로 나타낼 수 있으며, 이를 통해 지불의사액의 확률분포함수를 도출할 수 있다. 이를 위해 Kriström(1990)의 가정처럼 지불의사액이 0원일 때의 확률은 1로, 확률이 0일 때는 선형보간법에 의해 추정된 제시가격의 최대치인 18,280원을 최대 제시가격으로 사용하였다.

<표 16> 지불의사금액의 응답자 분포

제시금액	표본크기	응답유형별 응답자수			
		예	%	아니오	%
First					
1,000	87(100.0)	54	62.1	33	37.9
2,000	88(100.0)	47	53.4	41	46.6
3,000	88(100.0)	28	31.8	60	68.2
4,000	87(100.0)	28	32.2	59	67.8
5,000	87(100.0)	21	24.1	66	75.9
7,000	88(100.0)	14	15.9	74	84.1
10,000	87(100.0)	15	17.2	72	82.8
13,000	88(100.0)	13	14.8	75	85.2
계	700	220	31.4	480	68.6

<그림 6>에서 3,000원에서 10,000원의 구간까지 수락확률이 비단조적으로 나타났기 때문에 이를 선형보간법으로 보정하였다. <표 17>에 나타난 바와 같이 제시금액 4,000원에서 7,000원까지의 수정확률 0.3218, 0.2414, 0.1591은 각각 0.2974, 0.2765, 0.2349로 보정되었다.²⁵⁾ 이와 같이 보정된 수락확률에 따른 지불의사액의 생존함수는 <그림 6>과 같다. 여기서 중앙값은 지불의사액 수락확률이 0.5일 경우이며, 평균값은 그래프를 적분한 값이다.²⁶⁾

25) 선형보간법에 의해 선형함수식($y=a+bx$)을 추정한다. 제시금액(x)의 계수(b)는 단조적인 기울기를 유지할 수 있도록 제시금액 3,000원에서 10,000원 사이의 수락확률(y)을 보정하는 방법으로 $b=(0.3182-0.1724)/(3000-10000)=-0.00002083$ 과 같이 산출할 수 있고, 상수(a)는 수락확률에서 bx 를 공제하는 방법($a=0.3182-(-0.00002083 \times 3000)=0.3807$)으로 구할 수 있다. 이와 같이 선형보간법에 의한 선형함수식은 $y=0.3807-0.00002083x$ 이다. 따라서 제시금액 4,000원과 7,000원 에서의 보정된 수락확률은 선형함수식의 x 에 제시금액을 각각 대입 함으로써 0.2974, 0.2765, 0.2349로 산출되었다.

<표 17> 제시금액의 보정된 수락확률

제시금액(=X)	수락확률(=Y)	보정된 수락확률
0	1	1
1,000	0.6207	0.6207
2,000	0.5341	0.5341
3,000	0.3182	0.3182
4,000	0.3218	0.2974
5,000	0.2414	0.2765
7,000	0.1591	0.2349
10,000	0.1724	0.1724
13,000	0.1477	0.1477
18,280	0	0



<그림 6> 보정 전·후의 지불의사액 확률분포

- 26) 중앙값은 보정된 수락확률 0.5에서의 제시금액을 찾는 것으로 본 연구에서는 제시금액 2,000원과 3,000원 원의 수락확률이 각각 0.5341, 0.3182이기 때문에 중앙값은 이 사이에 존재한다. 이 또한 선형보간법에 의해 구할 수 있다.

전술한 바와 같이 수락확률 0.5인 지점에서 중앙값이 존재함을 알 수 있다. 실제 수식에 의해 추정된 중앙값도 2,158원으로 <표 18>에 표시되어 있다.

DBDC의 비모수추정법을 통해 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 편익 추정 결과는 <표 18>과 같다.²⁷⁾ Boman 외(1999)의 mean WTP는 모수추정법의 절삭된 mean WTP와 유사한 것을 알 수 있다. 이러한 분포의 WTP는 median을 평균의 대표 특성치로 이용하는 것이 합리적이기 때문에 본 논문에서의 WTP는 추정된 중앙값을 토대로 5년을 곱하고 이를 다시 2012년 말 기준 설문대상지의 총 세대수를 곱하여 연 평균액을 계산하였다.

<표 18> 비모수적 추정법을 통한 WTP 추정

구분	Boman 외(1999)
WTP _{median}	2,158원
WTP _L	3,477원
WTP _{mean}	4,401원
WTP _U	5,325원

27) 평균값이 중앙값보다 큰 것은 지불의사액에 대한 응답자들의 분포가 정규분포를 이루고 있지 않고, 우측 긴 꼬리분포(skewed to the right)를 하고 있음을 암시한다. 즉, 중앙값을 기준으로 극단적으로 큰 추정값들의 수가 극단적으로 작은 추정값들의 수보다 많아 중앙값의 오른쪽으로 추정값들이 더 많이 분포하고 있음을 말한다.

6. 소결

가. 추정결과정리²⁸⁾

상기에서 추정된 모수적 또는 비모수적 결과를 토대로 이들 중 가장 낮은 WTP 추정치를 보수적 시나리오로 하고 가장 높은 WTP 추정치를 낙관적 시나리오로 하고, 이들의 중간 수준에 해당하는 WTP 추정치를 보통시나리오로 가정한다. 즉 보수적 시나리오는 모수적 방법 중 전통적 모형의 공변량이 포함된 overall mean 또는 median WTP인 1,180원, 낙관적 시나리오는 비모수적 방법의 mean WTP인 4,401원, 보통시나리오는 비모수적 방법의 median WTP인 2,158원을 활용한다.

보수적 시나리오의 추정값 적용 기준은 누락변수(misspecification)의 편향의 발생을 최소화하기 위하여 이중경계 모형의 WTP 추정결과치(<표 13>)의 전통적 모형의 공변량이 포함된 WTP를 적용하였다. 보수적 시나리오는 환경재에 관해 비현실적으로 높은 가치의 추정을 지양하는 NOAA 위원단의 CVM적용 가이드라인에 부합되는 신뢰할 수 있는 추정치라 할 수 있다(권오상, 2011). 한편, 각 시나리오별 WTP에 의거 국가적 차원에서의 총합화(aggregation)로 확장한 결과²⁹⁾는 다음의 <표 19>와 같다.

28) 모수적 추정치만을 고려할 경우 모수추정치의 신뢰구간의 상하한치를 보수적 시나리오와 낙관적 시나리오로 활용하는 것도 하나의 방법이다.

29) 보수적 시나리오: 전통적모형평균 WTP(1,180원) × 총편의발생기간(5년) × 전체가구수(11,974천가구)

보통 시나리오: 비모수추정법 Median WTP(2,158원) × 총편의발생기간(5년) × 전체가구수(11,974천가구)

낙관적 시나리오: 비모수추정법의 평균 WTP(4,401원) × 총편의발생기간(5년) × 전체가구수(11,974천가구)

<표 19> 시나리오별 추정 결과

구분	추정값	확장 결과
보수적 시나리오	전통적 모형의 공변량 포함 overall mean of median WTP	약 706억원
보통 시나리오	비모수적 추정법의 median WTP	약 1,292억원
낙관적 시나리오	비모수적 추정법의 mean WTP	약 2,635억원

<표 20>은 위의 <표 19>에서 추정된 시나리오별 결과를 바탕으로 총 5년 동안의 발생편익 및 현재가치를 추정해 보았다.

<표 20> 추정된 편익의 시나리오별 현재가치

(단위: 백만원)

	보수적		보통		낙관적	
	발생편익	현재가치	발생편익	현재가치	발생편익	현재가치
2014	14,129	12,694	25,840	23,126	52,696	47,345
2015	14,129	12,032	25,840	22,006	52,696	44,877
2016	14,129	11,405	25,840	20,858	52,696	42,537
2017	14,129	10,811	25,840	19,771	52,696	40,320
2018	14,129	10,247	25,840	18,740	52,696	38,218
합계	70,645	57,189	129,200	104,592	263,480	213,296

주: 시점은 2013년 말 기준(현재가치는 조사시점의 전년도 말 기준), 할인율은 5.5%(한국개발연구원에서 제시하고 있는 사회적 할인율임)

보수적 시나리오로 추정한 편익의 현재가치는 약 572억원, 보통 시나리오로 추정한 편익의 현재가치는 약 1,046억원, 낙관적 시나리오로 추정한 편익의 현재가치는 약 2,133억원으로 나타났다.

V. 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 파급효과 분석

1. 분석의 개요

가. 산업연관분석의 역사

산업연관분석은 미국의 레온티에프(Wassily W. Leontief)에 의하여 1936년 최초로 고안되었다. 레온티에프는 추상적인 이론모형에 머물러 있던 왈라스의 일반균형이론을 경험적인 경제사실과 결합하기 위한 실증적 연구로서 산업연관분석을 시도하였다(Miller and Blair, 1985). 이러한 이론적 바탕 위에서 레온티에프는 산업연관분석을 통하여 제2차 세계대전 후 미국의 철강생산수준과 그에 관련된 고용문제를 예측함으로써 산업연관분석기법의 정책입안도구로서의 유용성을 입증하였으며, 이 공로를 인정받아 노벨 경제학상을 수상한 바 있다.

산업연관분석을 위해서는 산업연관표가 필요하다. 산업연관표란 일정기간 중 국가 경제 내에서 재화와 용역의 생산 및 처분과정에서 발생하는 모든 거래를 일정한 원칙과 형식에 따라 기록한 종합적인 통계표이다. 우리나라의 산업연관표 작성은 1958년 당시의 부흥부 산업개발위원회가 1957년과 1958년의 산업연관표를 작성하면서부터 비롯되었다(한국은행, 1987). 그러나 비교적 체계적인 형식과 내용을 갖춘 실질적인 산업연관표 작성은 한국은행에서 1960년 산업연관표를 작성하면서 부터이다. 이 표는 제1차 경제개발 5개년 계획 수립을 위한 기초자료로 이용하기 위하여 정부의 요청

에 따라 1962년에 착수하였다. 그리고 약 1년 반의 작업을 거쳐 완성 발표 되었으며, 그 후 경제규모의 확대와 경제발전에 따른 산업구조의 변화를 더욱 정확히 파악하고 경제개발계획수립의 기초자료 및 제반 경제정책 입안자료로 이용하기 위하여 1963년부터 1995년까지 매 5년마다 실측표를 그리고 1968년부터 1998년까지 1년에서 5년 간격으로 연장표를 작성하여 한국경제에 대한 다각적인 분석을 시도해 왔다(한국은행, 1998). 가장 최근에 발표된 것은 2011년에 발표된 2009년도 산업연관표이다.

산업연관분석은 비록 선형계획법(linear programming)에 의한 단순한 분석수단임에도 불구하고 다음과 같은 여러 가지 장점을 가지고 있다.

첫째, 산업연관분석은 국민경제 전체를 포괄하면서 전체와 부분을 유기적으로 결합하고 있으며, 재화의 산업간 순환을 포함하고 있기 때문에 구체적인 경제구조를 분석하는데 유리하다. 둘째, 거시 및 미시분석이 모두 가능하기 때문에 소비, 투자, 수출 등의 변화에 따른 부문별 생산, 고용, 수입 등에 대한 분석을 포함하여 경제계획의 수립 및 예측 또는 산업구조정책의 방향설정 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, 특정 산업부문의 수요, 공급, 또는 가격의 변화가 타 산업 혹은 국민경제에 미치는 파급효과도 분석할 수 있어 유용하다. 넷째, 임금, 이윤 등 부가가치 변동에 따른 산업부문별 가격파급효과를 분석할 수 있으므로 특정 부문의 가격변동이 물가에 미치는 파급효과 측정을 보다 손쉬운 방법으로 수행할 수 있다.

나. 산업연관표의 구조

(1) 개방모형과 폐쇄모형

산업연관표는 그 구조에 따라 폐쇄모형과 개방모형으로 구분할 수 있다. 폐쇄모형(closed model)은 개방모형에서 외생부문으로 취급하는 부문을 내생부문인 산업으로 간주하여 모든 부문을 생산부문으로 만들고 있다. 따라서 이 체계에서는 특정해가 존재하지 않고 무수히 많은 해가 존재할 수 있다. 반면에 개방모형(open model)은 재화와 용역의 배분을 중간수요와 최종수요로 구분하여 기록하고, 투입 면에서는 생산을 위한 원재료 등 중간투입과, 노동 등의 원초적 투입으로 나누어 기록하여 최종수요부문과 원초적 투입부문을 개방부문(open sector)으로 취급한 것이다. 이 중에 주로 개방모형이 사용되며 본 연구에서도 개방모형을 다룬다.

(2) 우리나라의 산업연관표

우리나라 산업연관표의 간단한 형태를 살펴보면 <표 21>과 같다. 산업연관표를 종으로 보면, 어떤 산업이 생산 활동을 위해 중간재로서 다른 산업에서 생산된 산출물을 얼마나 구입하였는가를 나타내 주는 중간투입 부문과, 생산된 생산요소가 아닌 원초적 생산요소에 대하여 얼마나 지불했는가를 보여 주는 부가가치 부문으로 나누어져 있는 것을 알 수 있다.

산업연관표를 횡으로 보면, 어떤 산업의 생산물이 타 산업의 중간재로 얼마나 판매되었으며, 최종재로서 최종수요 부문에 얼마나 판매되었는가를 알 수 있다.

(3) 생산자 가격과 구매자 가격

산업연관표를 작성하는 데 있어 사용되는 가격은 생산자 가격과 구매자

가격이 있다. 생산자 가격은 수송비 및 유통마진을 포함하지 않은 가격으로서, 생산지에서의 생산자 출하가격을 의미한다.

따라서 생산자 가격 체계에서는 제품수취의 대가로서 생산자가 수령하는 가격으로 평가되기 때문에, 각 산업이 투입물을 구매할 때 그 재화를 구입하는 데 지불한 금액과 그 재화를 생산한 부문에서 실제 수령한 금액과의 차이, 즉 수송비용과 유통마진은 모두 유통과 운수부문에 지불하는 것으로 처리된다. 그러므로 투입요소와 마찬가지로 각 산업의 산출은 무역거래에서 사용되는 FOB가격으로 평가된다.

<표 21> 우리나라 산업연관표의 간단한 형태

투입 \ 산출		내생 부문				외생 부문					총 수요 계	수입 (-)	산출 액
		1차 산업	2차 산업	3차 산업	중간 수요 계	민간 소비	정부 소비	투 자	수 출	최종 수요 계			
내 생 부 문	1차 산업	0.7	6.2	0.1	7.0	2.8	-	-0.7	0.4	2.5	9.6	1.8	7.8
	2차 산업	1.3	25.5	9.4	36.2	11.8	-	4.8	9.2	25.8	62.0	13.5	48.5
	3차 산업	0.3	5.4	7.6	13.3	10.2	4.4	7.5	2.8	24.9	38.2	0.9	37.3
	중간투입계	2.3	37.1	17.1	56.5	24.8	4.4	11.6	12.4	53.2	109.8	16.2	93.6
외 생 부 문	비용자보수	0.8	4.7	9.8	15.2								
	영업잉여	4.4	2.9	8.2	15.5								
	자본소모 총당금	0.2	1.4	1.4	3.0								
	순 간접세	0.03	2.4	0.9	3.4								
	부가가치계	5.4	11.4	20.3	37.1								
총 투입액		7.8	48.5	37.7	93.6								

구매자 가격은 구매자가 구입하는 시점의 가격으로서 여기에는 수송비용과 유통마진이 포함된다. 따라서, 산출물의 판매에 있어서 실제 수령한 금액을 초과하는 수송비용과 유통마진은 유통·운수부문으로부터의 서비스 구매형태로 취급하기 때문에 도착가격(delivered price), 즉 CIF가격으로 평

가하는 셈이다.

생산자 가격을 이용할 경우 부문에 따라 상이한 유통마진율이 적용되고 있으므로, 이러한 차이에서 오는 과급효과를 배제할 수 있기 때문에 각 산업상호간의 물량적 의존관계를 분석하는 데 있어서는 구매자 가격을 사용하는 것보다 적합하다고 할 수 있다. 구매자 가격을 사용할 경우 재화와 용역의 실제 거래관계를 그대로 반영하고 있어 보다 현실적이기는 하나, 산업연관분석이 생산기술, 특히 투입계수의 안정성을 중시하므로 생산자 가격에 의한 분석이 바람직하다.

(4) 경쟁수입형과 비경쟁수입형 산업연관표

경쟁수입형(competitive imports) 산업연관표의 경우 수입품은 국내산업의 생산물과 비슷하고, 구매자에게 무차별하므로 국내 생산품과 동일하게 취급한다. 반면에 비경쟁수입형(noncompetitive imports)은 그렇지 않다.

경쟁수입형은 최종수요의 변화에 따른 과급효과 분석에 있어서 누출되는 수입액을 파악할 수 없는 단점이 있다. 반면에 비경쟁수입형은 수입품 소비구조가 반영되므로 산업부문별 수입유발효과를 계측할 수 있게 하는 이점이 있지만, 국산품과 수입품의 구입비율이 해외시장이나 국내사정에 따라 변동되는 경우 수입품에 대한 투입계수가 안정적이지 못하다는 약점이 있다.

따라서 종합적인 경제예측이나 계획수립에 있어서는 보다 안정적인 투입구조를 반영하는 경쟁수입형이 적절하다.

2. 과급효과 분석방법론: 산업연관분석론

본 절의 목적은 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 과급효과를 구

하기 위해 적용하는 연구방법론인 산업연관분석에 대해 설명하는 것이다. 특히 국민경제적으로 미치는 대표적인 효과로서 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과 등의 영향을 계량화 할 수 있으며 이를 위해서 해양바이오에너지 연구개발사업 뿐만 아니라 다른 모든 경제부문을 미시적으로 파악하면서도 거시적인 상호관계도 관찰하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 산업연관분석을 적용한다.

산업연관분석 또는 투입산출분석(input-output analysis)이란 생산활동을 통하여 이루어지는 산업간의 상호연관관계를 수량적으로 파악하는 분석방법이다. 산업연관분석은 국민경제 전체를 포괄하면서 전체와 부분을 유기적으로 결합한다. 따라서 산업연관분석은 거시적 분석이 미치지 못하는 산업과 산업간의 연관관계까지도 분석이 가능하기 때문에 구체적인 경제구조를 분석하는데 유리하다(강광하, 2000).

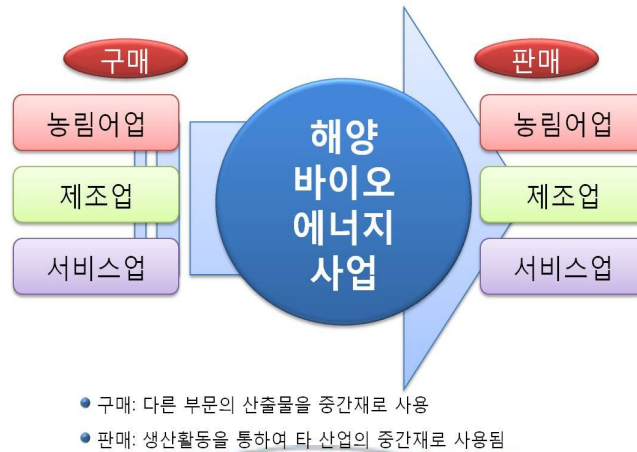
또한 최종수요가 생산·고용·소득 등 국민경제에 미치는 각종 파급효과를 산업 부문별로 나누어서 분석할 수 있기 때문에 경제계획의 수립과 예측 그리고 산업구조정책방향 설정이나 조정 등에 유용한 분석도구로 활용될 수 있다. 산업연관분석이 갖는 이러한 장점 때문에 해양바이오에너지 연구개발사업의 국민경제적 파급효과를 파악하는데 있어서 산업연관분석을 사용한다.

해양바이오에너지 연구개발사업을 중심으로 살펴보기 위해서는 최종수요 변동에 초점을 맞춰서는 안된다. 왜냐하면 최종수요는 총수요가 아니며 총수요라 하더라도 시장에서의 총공급과 일치해야만 명확한 의미를 갖는다. 그러므로 좀 더 엄밀한 의미에서 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 영향력을 고찰하기 위해서는 해양바이오에너지 연구개발사업 부문의 총산출 변동에 초점을 맞추어야 한다. 또한 통상적인 분석으로는 해양바이오에너지 연구개발사업 부문 변동시 자기부문 이외의 다른 부문들이 받는 영향

만을 고찰할 수 없다.

이에 따라 해양바이오에너지 연구개발사업의 최종수요가 증가하면 이와 함께 해양바이오에너지 연구개발사업의 산출물이 가장 크게 증가하는 것으로 분석되는데 이는 논리적으로 문제가 있다. 이러한 문제점들은 특정 부문이 산업연관표 상에 명시되어 있다면, 해당 부문의 외생화(exogenous specification)를 통해 해결이 가능하다. 경제에서 한 부문의 변화는 곧 그 경제 모형에 외생적인 힘으로 작용한다. 산업연관분석에서는 이렇게 내생 변수와 외생변수가 혼합되어 있는 경우, 외생적인 힘이 될 변수를 밖으로 내어주어 그 변수가 내생적인 경제부문에 미치는 영향을 살펴볼 수가 있는데 이를 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.

<그림 7>과 같이 해양바이오에너지 연구개발사업은 국민경제의 기초산업부문으로서 생산 활동을 위해서는 여러 부문의 산출활동을 필요로 한다. 즉 다른 부문들의 산출물을 중간재로 수요 한다. 따라서 해양바이오에너지 연구개발사업의 생산 활동은 타산업의 생산 활동에 직·간접적으로 영향을 미친다. 특히 해양바이오에너지 연구개발사업부문은 투자가 타 부문에 미치는 파급효과가 클 수 있다. 이 파급효과는 생산유발의 관점, 부가가치 유발의 관점, 취업유발의 관점 및 연구개발유발의 관점에서 살펴볼 수 있다.



<그림 7> 해양바이오에너지 연구개발사업의 타 산업과의 관계

본 절에서는 <그림 8>과 같이 이러한 제반 파급효과에 대한 분석모형을 소개하고 산업연관분석을 할 것이다.



<그림 8> 산업연관분석의 기본절차³⁰⁾

30) 수요유도형 모형을 적용한 것은 시장이 형성되지 않은 미래 사업군의 사업효과를 추정하는 것이기 때문이다.

가. 기본모형

산업연관분석 모형은 산출량 결정에 대해 선형인 부문 간 모형으로 한 부문의 생산수준 변화가 다른 부문의 생산물에 대한 연속적인 수요를 어떻게 발생시키는지 나타내고 있다. 이 모형은 투입요소의 판매와 구매사이의 연관관계에 강조를 둔 일반균형모형의 성격을 가지기 때문에, 전반적인 경제적 영향을 분석하고 예측하는 데 유용한 방법으로 인식되어 왔다 (Miller and Blair, 1985).

n 개의 산업이 경제 내에 존재한다고 할 때, 생산된 재화들은 최종수요를 충족하기도 하고 다른 산업에 중간재로 사용되기도 한다. 중간재를 z 로 나타내고 아래에 첨자를 붙여서 z_{ij} 라고 표기하면 이는 i 부문에서 j 부문에 투입되는 중간재의 양을 의미한다.

산업연관표를 행(行)으로 보면 i 산업의 중간수요(z_{ij}), 최종수요(Y_i), 수입(M_i) 및 총 산출(X_i)이 기록되는데 이는 i 부문의 산출구조를 보여준다. 이러한 산출구조에 대한 관계는 식 (30)과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + Y_i - M_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + Y_i - M_i \quad (30)$$

여기서, a_{ij} 는 j 부문에 사용되는 i 재의 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 산업의 산출물을 의미하며, 투입과 산출 간의 관계를 보여줌으로써 각 부문별 기술구조 또는 생산관계를 나타낸다. 식 (30)은 특정부문의 총생산이 경제

내 모든 부문의 한 단위 생산을 위해 투입되는 i 번째 부문의 생산액과 소비지출, 수출, 투자, 정부지출에 의한 최종 용도에 수요 되는 양을 합한 것과 같다는 것을 보여준다.

식 (30)과 달리 산업연관표에서 j 라는 산업을 열(列)로 보면 중간투입 (z_{ij}), 부가가치(W_j), 총 투입(X_j)이 기록되는데 이는 j 부문의 투입 구조를 보여주며 식 (31)로 표현된다.

$$X_j = \sum_{i=1}^n z_{ij} + W_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} X_i + W_j \quad (31)$$

여기서, r_{ij} 는 행벡터로 구성된 중간투입을 총 투입으로 나눈 것이며 ($r_{ij} = z_{ij}/X_i$), 이를 산출계수(output coefficient)라고 한다. 식 (31)은 어떤 부문의 총 생산은 그 부문이 경제 내 모든 부문과 수입부문으로부터 구매한 금액에 이 부문의 원초적 투입요소 또는 부가가치(즉, 임금, 이윤, 세금 등)에 대한 모든 수익을 합한 것과 같다는 것을 의미한다.

n 개의 산업이 존재하는 경제의 산업연관표의 기본 구조는 <그림 9>와 같다.

구 분	중간수요 (중간재)	최종수요	수입	총산출
중간투입 (중간재)	$\begin{matrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nn} \end{matrix}$	$\begin{matrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{matrix}$	$\begin{matrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_n \end{matrix}$	$\begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{matrix}$
부가가치	$W_1 \ W_2 \cdots W_n$			
총 투 입	$X_1 \ X_2 \cdots X_n$			

<그림 9> 산업연관표의 구조

식 (31)을 전 산업에 대해 축약된 행렬식으로 나타내면 식 (32)가 된다.

$$X = Zl' + Y - M = A\hat{X}l' + Y - M \quad (32)$$

여기서, Z 는 z_{ij} 로 이루어진 $n \times n$ 행렬, X 는 x_{ij} 로 이루어진 $n \times 1$ 행렬, l 은 1을 원소로 하는 $1 \times n$ 행렬을 의미하며, '은 전치한 것(transpose)을 의미한다. 그리고 A 는 $n \times n$ 으로 이루어진 투입계수 행렬이다. 즉 다음과 같은 식들이 성립한다.

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}, \quad Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nn} \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \quad M = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_n \end{bmatrix}$$

이 때, 투입계수행렬의 정의에 따라 $Z = A(\hat{X})$ 이 성립한다. 또한 $\hat{X}$ 은 행

벡터인 X 의 원소를 대각행렬로 나타낸 것으로, $X = \hat{X}I'$ 이다. 식 (32)를 정리하여 다시 쓰면 식 (33)이 된다.

$$X = (I - A)^{-1}(Y - M) \quad (33)$$

여기서, I 는 n 차원 단위행렬이다.

나. 산업연관표의 통합

가장 최근인 2011년 7월에 발표된 2009년도 산업연관표는 403부문으로 세밀하게 나누어져 있다. 그러나 해양바이오에너지 연구개발 사업부문에 대한 경제분석에 있어 이렇게 많은 부문을 사용하는 것은 매우 번거로우며, 통합하지 않을 경우에는 분석 및 분석결과의 제시가 어려워진다. 그러므로 적절한 부문 간 통합에 근거한 분석을 함으로써 본 연구의 경제적 함의를 명확히 하고자 한다.

산업연관표에서 부문 간에 통합을 하는 방법은 다음과 같은 사례를 통해 설명할 수 있다. <표 22>의 3부문 산업연관표를 2부문으로 통합하면 <표 23>이 된다. 여기서 1부문이 새로운 1부문으로, 2부문과 3부문이 합쳐져 새로운 2부문이 된다.

<표 22> 통합 전 3부문의 산업연관표

부문	1	2	3	최종수요	총생산
1	z_{11}	z_{12}	z_{13}	Y_1	X_1
2	z_{21}	z_{22}	z_{23}	Y_2	X_2
3	z_{31}	z_{32}	z_{33}	Y_3	X_3

<표 23> 통합 후 2부문의 산업연관표

부문	1	2	최종수요	총생산
1	z_{11}^*	z_{12}^*	Y_1	X_1
2	z_{21}^*	z_{22}^*	Y_2^*	X_2^*

그리고 각각의 중간재와 최종수요 그리고 총생산의 통합되는 내용은 아래에 제시된 식과 같다. 여기서 *는 통합 후의 결과를 의미하는 상첨자이다.

$$z_{11}^* = z_{11}$$

$$z_{21}^* = z_{21} + z_{31}$$

$$z_{12}^* = z_{12} + z_{13}$$

$$z_{22}^* = z_{22} + z_{23} + z_{32} + z_{33}$$

$$Y_2^* = Y_2 + Y_3$$

$$X_2^* = X_2 + X_3$$

앞의 예에서 볼 수 있듯이 통합의 과정은 매우 번거롭다. 또한 실제로 통합하여야 할 행렬이 커지면, 통합행렬을 구하기가 매우 복잡하고 계산상의 오류를 범하기가 쉽다. 하지만 통합행렬 S 를 이용하면 통합은 쉽게 이루어진다. 통합행렬 S 는 1과 0으로 구성된 행렬로서, $k \times n$ 차원으로 구성된 행렬 S 는 곧 n 부문의 $n \times n$ 행렬을 k 부문의 $k \times k$ 행렬로 만들어 준다. 우선 산업연관표를 열로 보고, 이 열로 본 산업연관표를 새로운 산업연관표로 재구성하는 방법은 다음과 같다. 예를 들어 2×3 의 통합행렬을 구성하여, 3

개의 부문을 2개 부문으로 통합한다고 하자. 이 때 2부문과 3부문을 묶어 통합행렬의 두 번째 부문으로 만들려면, 통합행렬 S 는 다음과 같이 구성된다.

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

통합 전에 3×3 의 중간수요 행렬을 Z 로 정의하고, 통합 후 2×2 의 중간재 행렬을 Z^* 로 정의하자. 이때 총 산출액은 중간재와 최종수요의 합이 되는데 다음 식과 같이 표현된다.

$$X^* = Z^* l' + Y^*$$

새로운 산업연관표를 구하려면 다음 식을 이용하면 된다.

$$Y^* = SY = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 + Y_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} Z^* = SZS' &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} \\ z_{21} & z_{22} & z_{23} \\ z_{31} & z_{32} & z_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} + z_{13} \\ z_{21} + z_{31} & z_{22} + z_{32} + z_{23} + z_{33} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

본 연구에서는 위와 같은 통합 방법을 통해 새로운 산업연관표를 구성하고 이로부터 투입계수표를 산출하여 각종 경제적 분석을 수행한다.

다. 수요유도형 모형

(1) 수요유도형 모형의 개요

식 (33)으로 나타낸 것을 특별히 수요유도형(demand-driven model) 모형이라고 한다. 이는 식 (33)을 이용하여 최종수요(Y)를 충족하기 위해 필요로 하는 산출량(X)을 구할 수 있기 때문이다. 이러한 수요유도형 모형을 이용하면 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과를 분석할 수 있다.

이러한 유발효과를 관찰하기 위해서는 먼저 해양바이오에너지 연구개발사업의 특성에 맞는 생산유발계수표를 선택해야 한다. 해양바이오에너지 연구개발사업 부문의 산출물은 특성상 수입할 수 있지만 수입 부문을 굳이 고려할 필요가 없으며, 국내에서의 파급효과가 우선적인 관심대상이므로 국내수요가 미치는 영향만을 관찰하는 것이 바람직하다. 따라서 보다 엄밀한 의미에서, 해양바이오에너지 연구개발사업 부문이 경제에 유발시키는 효과를 계측하기 위해서는 국내와 수입을 구분하여 작성한 비경쟁수입형표를 이용하는 것이 합리적이다.

따라서 본 연구에서는 비경쟁형수입형표에서 도출되는 $(I-A^d)^{-1}$ 형의 생산유발계수를 이용하여 분석하기로 한다(한국은행, 1987). 여기서 A^d 는 비경쟁형수입형표를 통해 재구성한 투입계수를 의미한다. 그리고 국내(domestic)를 나타내는 d 를 편의상 이후엔 생략한다. 그러므로 식 (33)을 비경쟁형수입형의 수요유도형 모형으로 재구성하면 식 (34)가 된다.

$$X = (I-A)^{-1}Y \quad (34)$$

라. 경제적 파급효과

(1) 생산유발효과

식 (34)를 변동모형(variability model)으로 바꾸면 식 (35)가 된다.

$$X = (I - A)^{-1} \Delta Y \quad (35)$$

여기서 Δ 는 변화량을 나타낸다. 특히 $(I - A)^{-1}$ 를 레온티에프 역행렬(Leontief inverse) 또는 투입역행렬(Leontief or input inverse matrix)이라 하며, 각 원소는 $\alpha_{ij} = \partial X_i / \partial Y_j$ 로 j 부문 최종수요 한 단위 증가로 인해 직접·간접적으로 소요되는 i 부문 산출의 총 변화량을 의미하는 총 상호의존계수를 나타낸다. 투입산출분석은 산업의 투입과 산출을 해양바이오에너지 연구개발사업 부문에 대한 중간수요 및 최종수요와 상호 연관지을 수 있으므로 해양바이오에너지 연구개발사업 부문에 대한 수요를 분석하는 데 유용하다. 식 (35)를 통해 최종수요가 변화하는 경우(ΔY), 이를 충족할 산출량(ΔX)을 계산할 수 있다.

해양바이오에너지 연구개발사업 부문의 최종수요액(총 산출액) 변화는 곧 그 경제 모형에 외생적인 힘으로 작용하여 여타 산업에 영향을 미친다. 그러나 통상적인 산업연관분석을 이용할 경우 해양바이오에너지 연구개발사업은 내생변수로서 작용하여 다른 부문에 미치는 경제적 파급효과가 정확히 파악될 수 없다. 또한 다른 부문의 산출에 영향을 미치는 것은 수요가 구체화된 해양바이오에너지 연구개발사업의 산출이다. 따라서 해양바이오에너지 연구개발사업이 여타 부문에 미치는 영향만을 보이고 해양바이오에너지 연구개발사업 부문 산출에 의한 파급효과를 계산하기 위해서는 외

생화 작업을 거쳐야 한다.

이러한 외생화 방법을 쓰게 되면 총수요가 아닌 특정부문의 산출이 미치는 영향과 그 산출이 타 산업에 유발하는 효과를 보다 명확히 알 수 있다. 외생화시키는 것을 e 로 표시하고 해양바이오에너지 연구개발사업을 편의상 H 로 표기하기로 한다.

경제를 3개 부문의 단순경제로 보았을 때, 외생화의 작업을 다음과 같이 예를 들어 설명할 수 있다.

$$\begin{aligned} X_1 &= a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 + Y_1 \\ X_2 &= a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{23}X_3 + Y_2 \\ X_3 &= a_{31}X_1 + a_{32}X_2 + a_{33}X_3 + Y_3 \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{bmatrix} (1-a_{11}) & -a_{12} & 0 \\ -a_{21} & (1-a_{22}) & 0 \\ -a_{31} & -a_{32} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & a_{13} \\ 0 & 1 & a_{23} \\ 0 & 0 & -(1-a_{33}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \quad (37)$$

식 (37)을 부분행렬(Partitioned matrix)의 역행렬을 취하여 보면 식 (38)이 도출된다.

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & 0 \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} & 0 \\ \beta_1 & \beta_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & a_{13} \\ 0 & 1 & a_{23} \\ 0 & 0 & -(1-a_{33}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \quad (38)$$

이 중에 우리가 외생화 작업을 하기 위해서는 식 (36)에서 세 번째 식을 없애는 작업을 하여야 하는데, 이를 식 (38) 행렬을 통해 살펴보면 결과적으로 식 (39)가 된다

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & a_{13} \\ 0 & 1 & a_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 + a_{13}X_3 \\ Y_2 + a_{23}X_3 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (39)$$

즉, 식 (39)를 행렬식으로 다시 표기하면 식 (40)이 된다.

$$X^e = (I - A^e)^{-1} (Y^e + A_3^e X_3) \quad (40)$$

이 중 투입계수는 늘 일정하므로 산출물계수도 일정하다. 그러므로 식 (40)을 변동률 식으로 표시하면 식 (41)이 도출된다.

$$\Delta X^e = (I - A^e)^{-1} (\Delta Y^e + A_3^e \Delta X_3) \quad (41)$$

그리고 n 부분으로 일반화시키면서 다른 부분의 최종수요는 변동이 없고 오직 해양바이오에너지 연구개발사업의 산출량만 변화한다고 가정하면 식 (41)을 식 (42)와 같이 변형시킬 수 있다.

$$\Delta X^e = (I - A^e)^{-1} (A_H^e \Delta X_H) \quad (42)$$

여기서, ΔX^e 는 해양바이오에너지 연구개발사업을 제외한 다른 부분의 산출량으로서 해양바이오에너지 연구개발사업의 산출에 영향을 받은 타 부분의 산출 증감량을 나타낸다. $(I - A^e)^{-1}$ 는 투입계수행렬에서 해양바이오에너지 연구개발사업이 포함된 열과 행을 제외시켜 작성한 레온티에프 역

행렬을 나타낸다. A_H^e 는 투입계수행렬 A 에서 해양바이오에너지 연구개발 사업을 나타내는 열벡터 중에서 해양바이오에너지 연구개발사업 원소를 제외한 열벡터이다. 그리고 X_H 는 해양바이오에너지 연구개발사업의 산출액을 나타낸다.

식 (42)은 해양바이오에너지 연구개발사업의 산출이 경제 내 다른 부문의 산출에 미치는 직·간접적인 효과를 나타낸다. 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 투자는 자체로서의 산출효과에 그치는 것이 아니라 연관효과를 통해 타 산업 부문의 생산을 유발시켜 결과적으로 전체 산업의 생산을 촉진하므로, 식 (42)로부터 해양바이오에너지 연구개발사업의 총 산출 또는 총 투자로 인한 파급효과를 구할 수 있다(Yoo and Yang, 1999).

(2) 부가가치유발효과

최종수요의 발생이 국내생산을 유발하고 생산활동에 의해서 부가가치가 창출되므로 결과적으로 최종수요의 발생이 부가가치 창출의 원천이라고 할 수 있다. 따라서 산업연관표를 이용하면 최종수요와 부가가치와의 기능적인 관계도 파악할 수가 있다. 이러한 관계는 식 (43)으로 요약된다.

$$W = \hat{A}_v X = \hat{A}_v (I - A)^{-1} Y \quad (43)$$

이 때 $\hat{A}_v$ 는 부가가치계수의 대각행렬을 의미한다. 부가가치계수행렬은 산출물 1단위의 변동 시 부가가치의 변동량을 보여준다. 식 (43)을 변동모형으로 바꾸면 식 (44)가 된다.

$$\Delta W = \hat{A}_v \Delta X = \hat{A}_v (I - A)^{-1} \Delta Y \quad (44)$$

이 때 $\hat{A}_v(I-A)^{-1}$ 을 부가가치유발계수 행렬이라 부른다. 이는 생산물에 대한 최종수요 한 단위 발생시 유발되는 부가가치의 크기를 보여준다.

생산유발효과의 경우와 동일하게 해양바이오에너지 연구개발사업의 산출액으로만 유발되는 부가가치 유발효과를 관찰하기 위해서는 해양바이오에너지 연구개발사업을 외생화할 필요가 있다. 그러므로 식 (44)를 외생화하면 식 (45)가 된다.

$$\Delta W^e = \hat{A}_v^e \Delta X^e = \hat{A}_v^e (I - A^e)^{-1} (A_H^e \Delta X_H) \quad (45)$$

W^e 는 해양바이오에너지 연구개발사업 외 다른 부문들의 부가가치로 이루어진 행렬이다. ΔX^e 는 총산출 행렬에서 해양바이오에너지 연구개발사업을 제외한 행벡터로서 식 (42)에서 유도된 것이다. $\hat{A}_v^e$ 는 부가가치계수의 대각행렬에서 해양바이오에너지 연구개발사업 부문의 행과 열을 제외시키고 남은 행렬을 의미한다.

(3) 취업유발효과

취업유발효과는 최종수요가 유발시키는 취업효과를 보는 것이다. 일반적으로 최종수요가 생산을 유발시키고 생산은 다시 노동수요를 유발시킨다. 그러므로 최종수요와 노동유발을 연결시킴으로써 취업유발효과를 구할 수 있다.

최종수요와 노동유발을 연결시켜 분석하려면 취업계수와 생산유발계수를 기초로 취업유발계수를 도출해야 한다. 취업계수(n_i)란 일정기간 동안 생산활동에 투입된 노동량(N_i)을 총산출액(X_i)으로 나눈 계수($n_i = N_i/X_i$)로서

한 단위의 생산에 직접 소요된 노동량을 의미한다. 이 경우 노동량은 취업자와 피용자(피용자뿐 아니라 자영업주와 무급가족종사자 포함)의 두 가지로 나뉘어 파악되므로 각각의 취업계수를 계측하게 된다. 그러므로 X 를 생산하기 위해서 요구되는 취업자 수는 식 (46)으로 표현할 수 있다.

$$N = \hat{n} X = \hat{n} (I - A)^{-1} Y \quad (46)$$

식 (46)에서 $\hat{n}(I - A)^{-1}$ 을 취업유발계수행렬이라 부른다. 단, $\hat{n}$ 은 취업계수행렬의 대각행렬이다. 취업유발계수는 어느 산업부문의 생산물 한 단위 생산에 직접 필요한 노동량뿐만 아니라 생산과급과정에서 간접적으로 필요한 노동량도 모두 포함하고 있다.

생산유발효과처럼 해양바이오에너지 연구개발사업 부문의 산출액이 미치는 취업유발효과를 보기 위해서는 해양바이오에너지 연구개발사업을 외생화시켜야 한다. 해양바이오에너지 연구개발사업을 외생화한 식은 다음과 같이 표현된다.

$$N^e = \hat{n}^e \Delta X^e = \hat{n}^e (I - A^e)^{-1} (A_H^e \Delta X_H) \quad (47)$$

단, N^e 는 해양바이오에너지 연구개발사업을 제외한 각 부문별 취업인수를 나타내며, $\hat{n}^e$ 은 취업계수대각행렬에서 해양바이오에너지 연구개발사업 부문의 행과 열을 제외시키고 남은 행렬이다.

다. 산업간 연쇄효과

(1) 개요

각 산업에서 생산된 제품은 소비를 위한 최종재로 사용되기도 하지만 다른 산업의 생산을 위한 중간재로도 사용되기 때문에 산업간에는 연관관계가 존재한다. 이러한 산업간 연관관계의 지표가 산업연쇄효과이다(홍동표·박성진, 1997; 한국은행, 1987).

산업연쇄효과는 전방연쇄효과(forward linkage effect)와 후방연쇄효과(backward linkage effect)로 나뉘어 관찰된다. 예를 들어 j 산업의 생산이 증가하였다고 하자. 이러한 경우 j 산업의 증산을 위해서는 다른 산업으로부터 투입이 증가하여야 하므로 j 산업은 타 산업에 투입량 증가를 유발시키게 된다. 즉 j 산업으로부터의 수요가 증가한다. 이를 j 산업의 후방연쇄효과라고 한다. 그런데 만약 j 산업의 증산이 이루어졌다고 하자. 이는 최종수요를 충족시키기도 하지만 전체산업 내에서는 j 라는 중간재의 공급이 증가한 것이다. 이를 j 산업의 전방연쇄효과라고 정의한다.

전방연쇄효과와 후방연쇄효과를 관찰하는 방법은 여러 가지가 있다(Rasmussen, 1956; Hirschman, 1958; Chenery and Watanabe, 1958; Yotopolous and Nagent, 1973; Laumas, 1975; Jones, 1976). 그러나 여기에서는 일반적으로 널리 알려진 두 가지를 살펴보도록 한다. 첫째 감응도 계수와 영향력 계수, 둘째 중간투입율과 중간수요율이다.

(2) 감응도 계수와 영향력 계수

확산 감응도(sensitivity of dispersion)를 나타내는 감응도 계수는 전방연쇄효과를 나타낸다(한국은행, 1998). 해양바이오에너지 연구개발사업을 적용하면 감응도 계수는 모든 산업부문의 생산물에 대한 수요가 각각 한 단

위씩 발생했을 때, 중간재로 사용되는 해양바이오에너지 연구개발사업이 받는 영향의 정도를 말한다. 이러한 감응도 계수(FL_i)는 전 산업평균에 대해 전방연쇄효과가 어느 정도인가 상대적 크기를 나타내주며, 이는 한 산업의 생산유발계수의 행합계를 전 산업의 평균으로 나누어 구한다. 감응도 계수(FL_i)는 식 (48)로 정의된다. 일반적으로 그 제품이 각 산업부문의 중간재로 널리 사용되는 산업일수록 감응도 계수가 커진다.

$$FL_i = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}}{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}} \quad (48)$$

확산력(power of dispersion)을 의미하는 영향력 계수(BL_i)는 후방연쇄효과를 나타낸다(한국은행, 1998). 해양바이오에너지 연구개발사업을 적용하면, 영향력 계수란 해양바이오에너지 연구개발사업 부문의 생산물에 대한 최종수요가 한 단위 발생할 때, 전 산업부문에 미치는 영향을 보이는 것을 말하며, 식 (49)로 정의된다.

$$BL_j = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_{ij}}{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}} \quad (49)$$

이런 영향력 계수는 후방연쇄효과의 정도를 전 산업 평균에 대한 상대적 크기를 나타낸 것으로, 한 산업의 생산유발계수의 열합계를 전 산업평균으로 나누어 구한다. 생산유발효과가 클수록 영향력 계수도 커진다.

생산유발계수는 직·간접적인 생산유발효과를 나타낸다. 그러므로 생산유발계수를 바탕으로 구하는 이러한 영향력 계수와 감응도 계수는 산업의 모든 직·간접적 생산유발효과를 함께 관찰할 수 있다(Miller and Blair, 1985).

다. 중간수요율과 중간투입율

총수요액에 대한 중간수요액의 비율을 중간수요율(D_i)이라고 하는데, 이는 전방연쇄효과를 나타내며 식 (50)으로 정의된다.

$$D_i = \frac{\sum_{j=1}^n z_{ij}}{\sum_{j=1}^n z_{ij} + Y_i} \quad (50)$$

총생산액에서 중간투입액의 합이 차지하는 비율을 중간투입율(U_j)이라고 하고 이는 후방연쇄효과를 나타낸다. 이는 식 (51)로 정의된다.

$$U_j = \frac{\sum_{i=1}^n z_{ij}}{X_j} \quad (51)$$

산업간의 상호연관관계는 이렇게 계산된 각 산업의 중간수요율과 중간투입율의 크기에 의해서도 파악될 수 있다(강광하, 2000).

각 산업의 중간수요율이나 중간투입율이 전 산업의 평균중간투입율이나 평균중간수요율보다 큰가 작은가에 따라 산업부문을 다음과 같이 네 가지 유형으로 분류할 수 있다. 첫째 전후방연쇄효과가 모두 높은 산업은 중간

수요적 제조업형, 둘째 전방연쇄효과가 높고 후방연쇄효과가 낮은 산업은 중간수요적 원시산업형, 셋째 후방연쇄효과가 높고 전방연쇄효과가 낮은 산업은 최종수요적 제조업형, 마지막으로 전후방연쇄효과가 모두 낮은 산업은 최종수요적 원시산업형으로 분류할 수 있다(한국은행, 1987).

3. 자료

가. 해양바이오에너지 연구개발사업의 분류 및 산업연관표의 재구성

한국은행에서 발표된 2009년도 산업연관표를 이용하며, 28부문 통합대분류 방식에 근거하여 분석을 한다. 해양바이오에너지 연구개발사업 부문은 별도로 추려내어 총 29부문 산업연관표를 작성하였다. 특히 한국은행 기본 부문 403부문에 근거하여 <표 24>와 같이 해양바이오에너지 연구개발사업을 정의하였다.

따라서 <표 25>와 같이 총 29 부문을 대상으로 분석을 하며 해양바이오에너지 연구개발사업은 제29부문으로 처리하였고 이 부문을 외생화를 하면 결국 28개 부문을 다루게 된다.

측정 관심대상 부문을 중심으로 한 논의를 위해 특정 부문을 별도의 부문으로 다루는 것은 산업연관분석에서 취하는 접근 방식이며(한국은행, 1987), 기존에 진행된 석탄화력발전 해외수출의 경제적 파급효과 분석(한국에너지공학회, 2012)을 살펴보면 석탄화력발전 관련 부문은 여러 산업이 복합적으로 포함되어 있어 관련 전문가 및 관계자에게 자문을 구하여 석탄화력발전부문을 정의한 것을 알 수 있다.

해양바이오에너지 연구개발사업 또한 여러 산업이 복합적으로 구성되어

있어 관련 연구자 및 바이오에너지 업계 관계자에게 산업연관표 403부문의 연관부문에 대하여 자문을 구해 정의 하였다.

나. 분석의 구도

해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 파급효과는 자기산업에 미치는 효과와 타산업에 미치는 효과의 합으로 구성된다. 앞서 설명했던 모형은 주로 타산업에 미치는 효과와 관련이 있다. 아울러 경제적 파급효과로 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과, 연구개발 유발효과의 4가지를 분석한다.

자기산업에 미치는 효과란 1차적인 것으로, 해당부문의 생산, 부가가치, 취업, 연구개발 등이 활성화되는 효과이며, 타산업에 미치는 효과는 2차적인 것으로 타산업의 생산, 부가가치, 취업, 연구개발을 유발하는 효과를 의미한다.

즉 해양바이오에너지 연구개발사업 활동으로 해양바이오에너지 연구개발사업 관련부문에 변화가 발생하며 이 변화를 기본 투입요소로 하되, 2009년 투입산출에 근거한 산업연관분석을 통해 각종 파급효과를 구한다. 아울러 각 경제적 파급효과를 구하는데 있어서 해양바이오에너지 연구개발사업에 미치는 효과와 해양바이오에너지 연구개발사업 외 타산업에 미치는 효과를 분리하여 추정한 후 취합한다.

<표 24> 산업연관분석에서 해양바이오에너지 연구개발사업의 정의

부문	부문명칭	부문	부문명칭	부문	부문명칭
032	원유	191	철강및봉강	225	보일러
034	철광석	192	형강	226	난방 및 조리기기
035	동광석	193	선재및케조	227	펌프 및 압축기
038	모래및자갈	194	열간압연강재	240	발전기 및 전동기
041	석회석	195	강관(주철강관제외)	241	변압기
114	제재목	196	냉간압연강재	243	전기공급 및 제어장치
115	합판	197	주철물	244	전선및케이블
122	인쇄용지	198	철강단조물	245	전지
129	인쇄	199	표면처리강재	246	전구램프 및 조명장치
130	기록매체출판 및 복제	200	기타철강1차제품	249	디지털 표시장치
134	휘발유	209	건물용금속제품	250	개별소자
136	등유	210	구조물용금속제품	251	직접회로
137	경유	211	설치용금속탱크및저장용기	262	컴퓨터 및 주변기기
148	합성수지	212	금속포장용기	263	사무용기기
149	합성고무	213	공구류	269	자동조정및제어기기
172	판유리 및 1차유리	214	나사제품	270	측정 및 분석기기
173	산업용유리제품	215	철선제품	300	원자력
179	시멘트	220	내연기관 및 터빈	308	도로시설
180	레미콘	221	밸브	314	상하수도시설
188	선철	222	베어링,기어 및 전동요소	317	전력시설
189	합금철	223	산업용운반기계	318	통신시설
190	조강	224	공기조절장치 및 냉장냉동장비	352	비생명보험

<표 25> 대상부문 외생화를 위한 재분류(29부문)

부문	부문명칭	부문	부문명칭
1	농수산물	16	기타제조업제품
2	광산물	17	전력, 가스 및 수도
3	음식료품	18	건설
4	섬유 및 가죽제품	19	도소매
5	목재 및 종이제품	20	음식점 및 숙박
6	인쇄 및 복제	21	운수 및 보관
7	석유 및 석탄제품	22	통신 및 방송
8	화학제품	23	금융 및 보험
9	비금속광물제품	24	부동산 및 사업서비스
10	제1차 금속제품	25	공공행정 및 국방
11	금속제품	26	교육 및 보건
12	일반기계	27	사회 및 기타서비스
13	전기 및 전자기기	28	기타
14	정밀기기	29	해양바이오에너지 연구개발사업
15	수송장비		

4. 분석결과 및 논의

가. 경제적 파급효과 분석결과

(1) 수요유도형 모형

해양바이오에너지 연구개발사업이 타산업에 미치는 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과, 연구개발 유발효과를 추정한 결과는 <표 26>에 제시되어 있다.

해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 1원의 투자는 타 산업의 생산을 0.3979원, 타 산업의 부가가치를 0.1412원 만큼 유발하며, 10억원의 투자는 타산업의 취업을 2.5173명만큼 유발하는 것으로 분석되었다.

전반적으로 보면 해양바이오에너지 연구개발사업의 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.



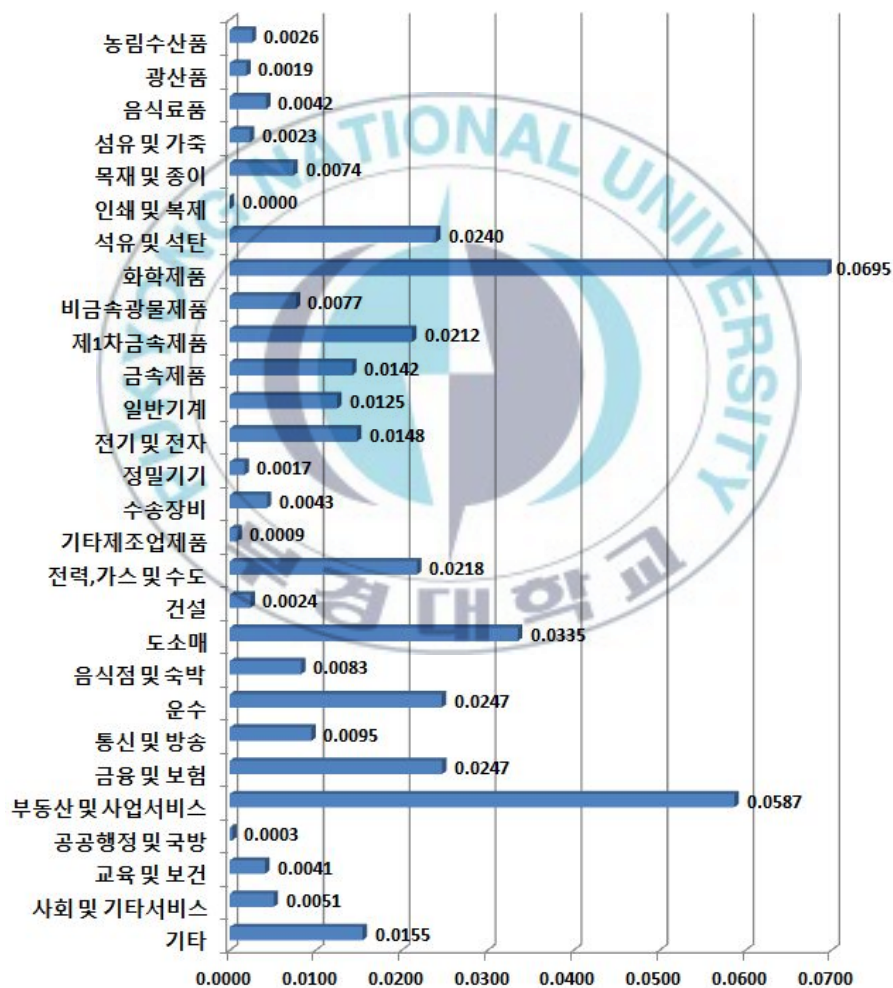
<표 26> 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 파급효과 결과 순위

부문명칭	생산유발효과		부가가치 유발효과		취업유발효과		R&D유발효과	
	결과	순위	결과	순위	결과	순위	결과	순위
농수산물	0.0026	21	0.0013	18	0.0838	7	0.0000	22
광산물	0.0019	24	0.0011	19	0.0087	23	0.0000	20
음식료품	0.0042	19	0.0011	20	0.0126	20	0.0000	15
섬유 및 가죽제품	0.0023	23	0.0007	23	0.0160	19	0.0000	19
목재 및 종이제품	0.0074	16	0.0021	15	0.0288	13	0.0000	17
인쇄 및 복제	0.0000	28	0.0000	27	0.0000	27	0.0000	27
석유 및 석탄제품	0.0240	6	0.0014	17	0.0040	25	0.0000	14
화학제품	0.0695	1	0.0147	3	0.1375	5	0.0009	1
비금속광물제품	0.0077	15	0.0021	16	0.0244	15	0.0001	13
제1차 금속제품	0.0212	8	0.0028	11	0.0162	18	0.0001	10
금속제품	0.0142	11	0.0045	7	0.0713	9	0.0001	11
일반기계	0.0125	12	0.0032	9	0.0484	11	0.0002	3
전기 및 전자기기	0.0148	10	0.0027	12	0.0323	12	0.0007	2
정밀기기	0.0017	25	0.0004	24	0.0097	22	0.0001	9
수송장비	0.0043	18	0.0010	21	0.0104	21	0.0001	6
기타제조업제품	0.0009	26	0.0003	25	0.0058	24	0.0000	21
전력, 가스 및 수도	0.0218	7	0.0047	6	0.0238	16	0.0001	7
건설	0.0024	22	0.0010	22	0.0207	17	0.0000	16
도소매	0.0335	3	0.0196	2	0.7843	1	0.0001	5
음식점 및 숙박	0.0083	14	0.0032	10	0.1711	4	0.0000	23
운수 및 보관	0.0247	5	0.0093	5	0.2419	3	0.0000	18
통신 및 방송	0.0095	13	0.0042	8	0.0255	14	0.0001	8
금융 및 보험	0.0247	4	0.0144	4	0.1287	6	0.0000	24
부동산 및 사업서비스	0.0587	2	0.0398	1	0.4711	2	0.0002	4
공공행정 및 국방	0.0003	27	0.0002	26	0.0026	26	0.0000	27
교육 및 보건	0.0041	20	0.0027	13	0.0579	10	0.0000	25
사회 및 기타서비스	0.0051	17	0.0026	14	0.0800	8	0.0001	12
기타	0.0155	9	0.0000	27	0.0000	27	0.0000	26
타산업효과	0.3979		0.1412		2.5173		0.0029	
자기산업효과	1.0000		0.2461		2.6347		0.0185	
합계	1.3979		0.3873		5.1520		0.0214	

주) 생산유발효과, 부가가치 유발효과 및 R&D유발효과는 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 1원의 투자 결과이고, 취업유발효과(인원)는 이 사업에 대한 10억원의 투자결과이다.

또한 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 1원의 투자는 타 산업의 연

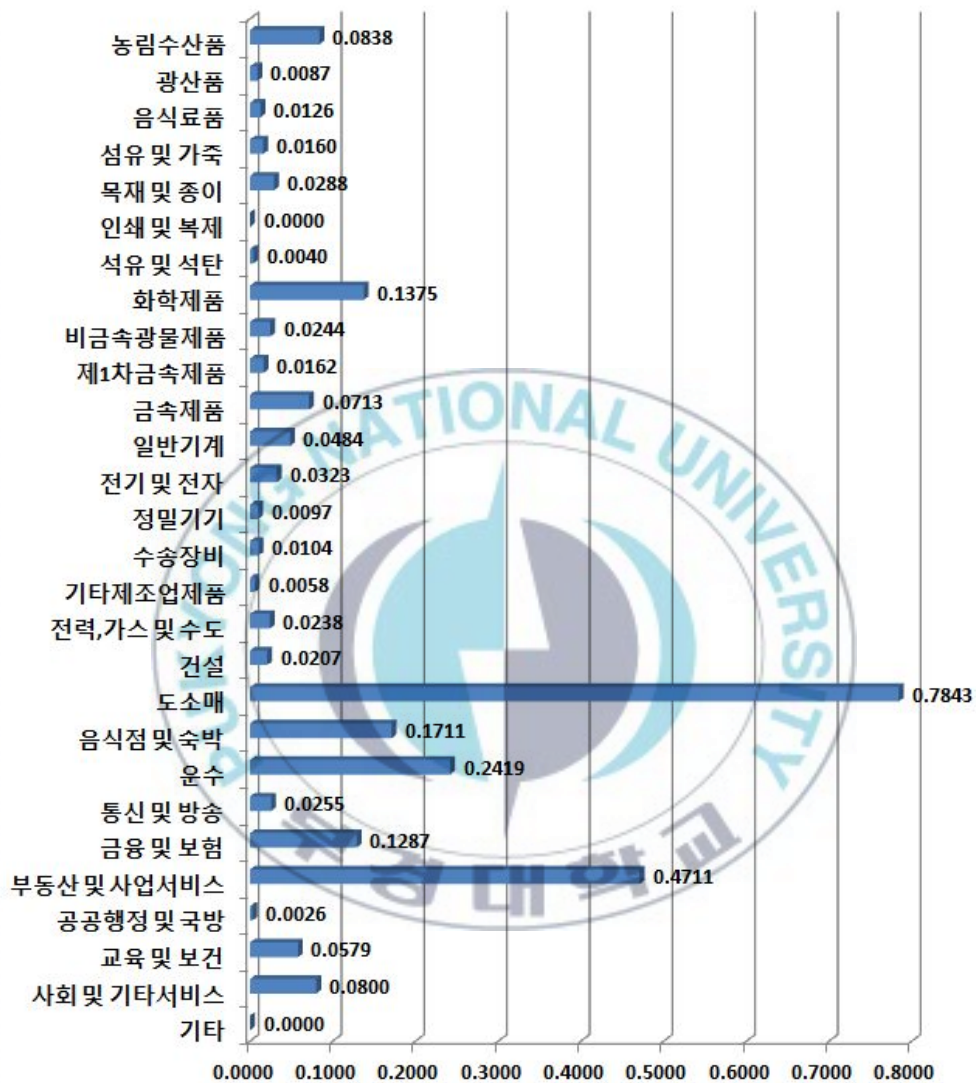
구개발을 0.0029원 만큼 유발하는 것으로 분석되었으며, 전반적으로 해양바이오에너지 연구개발사업의 연구개발은 화학제품, 전기 및 전자기기, 일반기계 등과 같은 제조업의 연구개발에 큰 영향을 미치며, 서비스업 중에서는 부동산 및 사업서비스와 도소매 부문에 대한 파급효과가 큰 것으로 판단된다.



<그림 10> 생산유발효과 부문별 결과 및 순위



<그림 11> 부가가치유발효과 부문별 결과 및 순위



<그림 12> 취업유발효과 부문별 결과 및 순위



<그림 13> 연구개발유발효과 부문별 결과 및 순위

자기산업에는 생산유발효과 1을 근간으로 부가가치를 0.2461원, 연구개발 0.0185원을 유발하며 취업을 2.6347명 만큼 유발한 것으로 나타났다.

한편 자기산업에 미치는 경제적 효과까지도 함께 구하여 총 경제적 효과를 분석한 결과는 <그림 14>에 요약되어 있다. 여기서 총 투자액은 2012년부터 2039년까지 해양바이오에너지 연구개발사업에 투입될 것으로 예상되는 2,234억원³¹⁾을 의미한다. 따라서 2,234억원의 투자가 미치는 경제적 파급효과를 구한 것이라 볼 수 있다.

		자기산업효과	타산업효과	합계
		↓	↓	↓
생산유발효과	⇒	1.0000원	0.3979원	1.3979원
		2,234억원	889억원	3,123억원
		⇕	⇕	⇕
부가가치유발효과	⇒	0.2461원	0.1412원	0.3873원
		550억원	315억원	865억원
		⇕	⇕	⇕
취업유발효과	⇒	2.6347명	2.5173명	5.1520명
		589명	562명	1,151명
		⇕	⇕	⇕
연구개발 유발효과	⇒	0.0185원	0.0029원	0.0214원
		41.4억원	6.4억원	47.8억원

<그림 14> 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 파급효과

31) 해양바이오에너지 연구개발사업에 필요한 3년간 투자비(플랜트 건설 공사비) 930억원과 투자완료 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. 즉, 총 투자액은 전술한 4,007억원에 사회적 할인율 5.5%를 적용한 2,234억원을 의미한다.

생산유발효과는 자기 산업 파급효과 2,234억원 및 타 산업 파급효과 889억원으로 총 3,123억원이다.

부가가치 유발효과는 해양바이오에너지 분야를 정의하면서 도출된 부가가치 비율인 24.61%를 적용하여 도출된 자기 산업 파급효과 550억원과 타 산업 파급효과 315억원으로 총 865억원이다.

연구개발 유발효과는 자기 산업 파급효과 41.4억원 및 타산업 파급효과 6.4억원으로 총 47.8억원으로 분석되었다. 취업유발효과는 자기 산업에서 589명을 유발하며 타 산업에서 562명 등 총 1,151명에 달하는 것으로 분석되었다.

(2) 산업간 연쇄효과

앞에서는 해양바이오에너지 연구개발사업을 외생부문으로 다루면서 해양바이오에너지 연구개발사업을 중심으로 한 각종 파급효과를 살펴보았다. 여기서는 해양바이오에너지 연구개발사업이 경제전체에서 차지하는 상대적인 위치를 파악하기 위한 하나의 방법으로 29개 산업 전체에 대해 전방연쇄효과와 후방연쇄효과를 계산하였다.

전체 산업의 전·후방연쇄효과를 서로 수평적으로 비교하면 해양바이오에너지 연구개발사업의 국가 경제적 위치 혹은 해양바이오에너지 연구개발사업산업의 성격이 무엇인가를 개략적으로 알 수 있기 때문이다.

29개 산업 부문에 대해 감응도계수와 영향력계수를 계산한 결과는 <표 27>에 제시되어 있다. 각 산업별 감응도계수(전방연쇄효과)를 먼저 살펴보면 「29. 해양바이오에너지 연구개발사업」 부문이 3.4033으로 가장 크며, 다음으로 「24. 부동산 및 사업서비스」 부문과 「8. 화학제품」 부문이 각각 1.7845와 1.7321로 분석되어 2위와 3위를 차지하였다. 해양바이오에너지 연구개발사업의 감응도계수가 1보다 크다는 것은 일반적으로 경기가 호황일

때, 해양바이오에너지 연구개발사업이 전반적인 산업성장에 의해 자극받는 정도가 크다는 것을 의미한다. 즉 해양바이오에너지 연구개발사업은 경기 변동에 영향을 받는 산업임을 의미하며, 최종수요적 성격보다는 중간수요적 성격을 갖는다는 사실을 알 수 있다.

각 산업별 영향력계수(후방연쇄효과)는 「28. 기타」 부문이 1.4925로 가장 높게 나타났으며, 「12. 일반기계」 부문이 1.2140, 「11. 금속제품」 부문이 1.1788로 각각 2위와 3위를 차지하였다.

해양바이오에너지 연구개발사업의 영향력계수는 1.0642로 13위를 차지하였다. 영향력계수가 1보다 크다는 것은 해양바이오에너지 연구개발사업의 투자지출에 따른 경제적 파급효과, 즉 타 산업을 견인하는 정도가 다른 부문에 비해 상대적으로 크다는 것을 의미한다.

이는 해양바이오에너지 연구개발사업이 기초산업적(primary input) 성격보다는 제조업적 성격을 갖는다는 사실을 보여주는 것이다. 따라서 해양바이오에너지 연구개발사업의 전방연쇄효과와 후방연쇄효과는 평균보다 높게 나타났으므로 중간수요적 제조산업형이라고 할 수 있을 것이다.³²⁾

32) 전후방연쇄효과의 크기에 따라 산업을 크게 네 가지 유형으로 구분할 수 있다. 첫째, 전후방연쇄효과가 모두 높은 산업은 중간수요적 제조업형, 둘째, 전방연쇄효과가 높고 후방연쇄효과가 낮은 산업은 중간수요적 기초산업형, 셋째, 후방연쇄효과가 높고 전방연쇄효과가 낮은 산업은 최종수요적 제조업형, 마지막으로 전후방연쇄효과가 모두 낮은 산업은 최종수요적 기초산업형으로 구분할 수 있다(한국은행, 1987).

<표 27> 해양바이오에너지 연구개발사업의 산업간 연쇄효과

부문명칭	전방연쇄효과		후방연쇄효과	
	감응도계수	순위	영향력계수	순위
농수산물	0.9882	12	0.9969	17
광산물	0.5690	27	0.9542	19
음식료품	1.1763	5	1.1246	8
섬유 및 가죽제품	0.8115	17	1.0822	12
목재 및 종이제품	0.9621	13	1.1368	6
인쇄 및 복제	0.5256	29	0.5256	29
석유 및 석탄제품	1.0136	10	0.6367	28
화학제품	1.7321	3	1.0360	14
비금속광물제품	0.6076	24	1.1284	7
제1차 금속제품	0.9156	14	0.8972	20
금속제품	0.7914	18	1.1788	3
일반기계	0.7620	20	1.2140	2
전기 및 전자기기	0.7633	19	1.0232	15
정밀기기	0.5765	26	1.0908	10
수송장비	0.8797	16	1.1753	4
기타제조업제품	0.6460	22	1.1622	5
전력, 가스 및 수도	1.0444	9	0.7600	27
건설	0.6050	25	1.0828	11
도소매	1.3234	4	0.8950	21
음식점 및 숙박	1.0610	8	1.0936	9
운수 및 보관	1.0994	7	0.8798	23
통신 및 방송	0.8861	15	0.9883	18
금융 및 보험	1.1491	6	0.8903	22
부동산 및 사업서비스	1.7845	2	0.8221	26
공공행정 및 국방	0.5411	28	0.8227	25
교육 및 보건	0.6431	23	0.8382	24
사회 및 기타서비스	0.7419	21	1.0076	16
기타	0.9971	11	1.4925	1
해양바이오에너지 연구개발사업	3.4033	1	1.0642	13

5. 소결

경제성장과 산업발전에 따라 에너지의 수요가 크게 증가하고 있으나 이로 인한 에너지 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 기존의 풍력, 태양광 등의 신재생에너지와 다르게 에너지 밀도가 높은 액체연료를 공급할 수 있고, 식량자원에 영향이 없으며, 이산화탄소를 직접적으로 회수 및 탄소중립화할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 추세에 맞추어 우리나라도 「제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획」 해양바이오에너지 연구개발사업을 추진하고 있다.

이러한 배경하에서, 본 연구는 2009년도 산업연관표에 근거한 산업연관분석을 통해 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 파급효과인 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과, 연구개발 유발효과를 분석하였다. 특히 해양바이오에너지 연구개발사업에 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 연구개발사업에 대한 1원을 투자할 경우 자기산업에는 생산유발효과 1을 기반으로 부가가치 유발효과 0.2461원, 연구개발 유발효과 0.0185원을 가져오고 이 연구개발 사업 10억의 투자에 대한 취업유발효과는 2.6347명으로 나타났다.

타 산업에 대한 효과를 종합해 보면, 해양바이오에너지 연구개발사업에
서의 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.

자기산업 유발효과와 타산업 유발효과를 포함한 국민경제 전체적인 효과
를 계산해 보면, 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 1원의 투자는
1.3979원의 생산유발효과, 0.3878원의 부가가치 유발효과, 0.0214원의 연구
개발 유발효과를 가져오며, 10억원의 투자로 5.1520명의 취업을 유발한다.
산업연관분석은 비교적 적용이 간단하면서도 다양한 정보를 제공하기에 연
구자와 정책 결정가에게 유용한 분석도구이다. 본 연구에 제시된 산업연관
분석을 보다 확장할 수 있는 추후 연구주제로는 여러 연도의 산업연관표를
동적으로 연결한 동적 분석, 해양 바이오에너지 연구개발 사업분야의 선진국
산업연관표에 근거한 국가 간 비교분석, 산업연관표의 업데이트 기법을 이용
한 해양바이오에너지 연구개발사업의 미래에 대한 예측 등을 들 수 있다.

VI. 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제성 분석

1. 경제성 분석의 개요와 기본가정

가. 경제성 분석의 개요

경제성(경제적 타당성)분석은 해당 사업에 소요되는 비용과 비교하여, 해당 사업이 어느 정도의 경제적 가치가 있는지를 사회적 관점 또는 국가 전체적인 관점에서 파악하는 것으로, 투자에 따라 얼마의 순후생이 증가할 것인지, 투자의 적정 규모는 얼마인지를 평가하게 된다.

본 논문에서는 정부에 의해 수행되는 공공사업이나 정부 정책에 대한 평가를 위해 사용되는 가장 일반적인 분석기법인 비용·편익 분석(benefit-cost analysis)을 이용하고자 한다(권오상, 2011).

이 비용·편익 분석에서는 순현재가치(net present value, NPV), 편익/비용비율(benefit/cost ratio), 내부수익률(internal rate of return, IRR)의 3가지 투자효율성 분석지표를 적용하고자 한다.³³⁾

비용·편익분석을 위해서는 먼저 1단계에서 해당 사업에 소요되는 비용을 추정해야하고, 2단계에서는 해당사업으로 발생하는 편익을 추정해야 하는데, 편익의 추정결과는 경제성 분석 결과에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 해당사업의 종류와 성격을 바탕으로 편익의 범위를 정확하게 설정한 후,

33) 비용·편익 분석 이외에 재원이 한정되어 있을 때에는 다양한 투자 계획 중 선택을 하기 위한 비용·효과 분석(cost-effectiveness analysis)도 있다.

편익을 추정하는 것이 매우 중요하다.

이는 소비자에게 미치는 편익은 소비자 잉여의 관점에서 그리고 기업 또는 산업에 미치는 편익은 부가가치의 관점에서 측정되어야 함을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 해양 바이오에너지 연구개발사업으로 인해 신규로 창출되는 시장의 부가가치 창출효과를 편익으로 추정한다.

다음으로 3단계에서는 3가지 평가기준을 이용한 비용·편익 분석을 적용하여 경제성 분석을 실시한다. 첫째, 순현재가치(NPV) 기준이란 사업에 수반되어 사업의 최종년도(T)까지 발생한 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재 가치로 할인한 다음에 총 편익의 현재가치에서 총 비용의 현재가치를 차감한 값으로 정의된다. 즉 NPV가 0보다 크면 경제성이 있으며 0보다 작으면 경제성이 없다고 해석한다.

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

B_t : t기의 편익
 C_t : t기의 비용
 r : 할인율

둘째, 편익/비용비율 기준이란 현재 시점으로 할인된 총 편익 대 총 비용의 비율을 말한다. 장래에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 것으로 편익/비용비율이 1보다 크면 경제성이 있다고 판단한다.

$$\text{편익/비용비율}(B/C) = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

셋째, 내부수익률(IRR)은 투자사업이 원만히 진행된다는 전제 하에 기대

되는 예상수익률이다. 투자사업의 전 기간에 걸쳐 발생하는 편익의 현재가치와 비용의 현재가치를 일치시켜 NPV가 0이 되게 하는 할인율을 의미하며 편익·비용비로 평가할 때는 B/C가 1이 되도록 하는 할인율(IRR)을 말한다. 즉, 편익흐름의 현재가치의 합이 비용흐름의 현재가치의 합과 같아지는 할인율(IRR)을 구하는 것으로 IRR이 사회적 할인율(r)보다 크면 경제성이 있다고 판단한다.

$$\text{내부수익율(IRR)} = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+IRR)^t}$$

나. 기본가정

경제성 분석을 위해서는 사회적 할인율(discount rate), 분석기간(planning horizon), 기준년도(base year)를 결정해야 한다.

첫째, 연구개발사업 수행의 비용과 편익은 어느 한 시점에만 발생하는 것이 아니라 보통 수년 혹은 수십년에 걸쳐 발생하므로, 사업수행에 대한 경제성 분석은 시점을 일정하게 놓고 이루어져야 한다. 통상 경제성 분석은 현재시점에서 평가된다. 그리고 적정 사회적 할인율을 추정하는 방법은 여러가지이나 본 연구에서는 한국개발연구원(KDI)에서 제시하고 있는 사회적 할인율(2013년 12월 현재 5.5%)을 이용한다.

둘째, 다음으로 분석기간을 정의해야 한다. 연구개발사업의 경제성을 평가하기 위해서는 사업수행기간이 아니라 해당 사업의 효과가 몇 년이나 지속 될 것인지를 의미하는 분석기간, 즉 비용편익분석의 대상기간이 결정되어야 한다.

본 연구에서는 경제성 분석의 대상기간을 해양바이오에너지 개발사업의

사업개발 후 25년 동안(2015년 ~ 2039년) 편익이 발생한다고 가정한다.

셋째, 본 연구에서는 비용·편익분석의 기준년도를 2012년 12월 시점으로 설정한다.

2. 비용의 추정

본 사업과 관련하여 발생하는 비용은 연도별 파일럿 플랜트 투자비와 사업 종료 후 운영에 투입되는 인건비, 재료비(배양액), 시설관리비, 보험료, 일반관리비, 유지보수비로 구성된다.

본 사업에서 추정된 비용은 파일럿 플랜트 공사비 930억원과 사업종료 후 운영에 사용되는 비용 3,077.5억원이며, 운영 비용으로는 인건비, 재료비, 시설관리비, 보험료, 일반관리비, 유지보수비 등이 포함된다. 사업 종료 후 총 25년간 운영이 된다고 가정했을 때 필요한 총 비용(투자비+운영비)은 약 4,007억원인 것으로 나타났으며 그 내역은 <표 29>와 같다.

가. 공사비

해양바이오에너지 연구개발사업과 관련하여 사업기간인 3년간 파일럿 플랜트 공사와 관련한 투자비가 발생한다. 1차년도 279억원, 2차년도 186억원, 3차년도 465억원 총 930억원의 투자비용이 3년간 발생한다(경상북도, 2012).

나. 인건비

사업개발 후 25년 동안 운영에 사용되는 인건비는 직급별, 임무별로 제각기 다르다. 따라서 사업 종료 후 해양바이오에너지를 생산하는 조직(가

청, 한국해양바이오에너지 주식회사) 운영에 대한 인건비로 산정하였다.

(가칭)한국해양바이오에너지(주)의 조직은 1단장, 3부 1실로 구성하고, 인원은 단장 1명, 부장 4명을 포함하여 총 56명으로 구성한다. 연구기획 및 지원부서는 에너지개발부, 연구전략부, 성과관리부의 연구기획부서와 운영지원실에 인사, 시설운영, 재무관리를 위한 지원부서로 구분하여 연구정규직 9명, 행정직 12명, 기술정규직 30명으로 구성된다.

(가칭)한국해양바이오에너지(주)의 인건비는 1,860백만원/년으로 산정되었으며(<표 28>참조), 2015년부터 2039년까지 25년간 발생한다.

<표 28> 인건비 산정표

(단위: 천원)

구분	월 급여	인원(인)	연간 인건비
사장	7,500	1	90,000
부사장	6,000	1	72,000
연구부			
부장	5,000	1	60,000
석사급	3,300	3	118,800
기술부			
부장	5,000	1	60,000
과장	4,500	3	162,000
주임	3,300	6	237,600
기술	2,500	12	360,000
보조	2,000	6	144,000
행정부			
부장	5,000	1	60,000
과장	4,500	2	108,000
사무	2,500	8	240,000
기능	1,800	7	151,200
합계		52	1,863,600

다. 재료비(배양액)

미세조류 배양을 위한 배양액 관련시약(Na_2CO_3 , K_2HPO_4 , NaH_2PO_4 , CaCl_2 , FeSO_4 , MnCl_2 , ZnSO_4 , Agar, HCl) 등의 구매로 발생하는 재료비는 2,540백만원/년으로 2015년부터 2039년까지 25년간 발생한다.

라. 시설관리비

해양바이오에너지 연구개발사업의 사업종료 후 (가칭)한국해양바이오에너지(주)를 운영하는데, 수도, 전기, 통신 등의 시설관리비가 3,600백만원/년으로 2015년부터 2039년까지 25년간 발생한다.

마. 보험료

해양바이오에너지 개발사업의 사업종료 후 (가칭)한국해양바이오에너지(주)의 사고 등을 대응하기 위한 보험 가입으로 930백만원/년의 비용이 2015년부터 2039년까지 25년간 발생한다.

바. 일반관리비

해양바이오에너지 연구개발사업의 사업종료 후 (가칭)한국해양바이오에너지(주)의 급료수당, 사무용 소모품비, 영업경비 등 사업단 경영상 불가결한 비용으로 운영비의 5%를 적용하였다. 해양바이오에너지 연구개발사업단의 일반관리비는 586백만원/년씩 2015년부터 2039년까지 25년간 발생한다.

사. 유지보수비

해양바이오에너지 개발사업의 사업종료 후 (가칭)한국해양바이오에너지(주)의 유지보수비를 총 투자비의 3%로 적용하여 산정하였다. (가칭)한국해양바이오에너지(주)의 유지보수비는 2,790백만원/년으로 2015년부터 2039년까지 25년간 발생한다.

<표 29> 해양바이오에너지 연구개발사업의 비용

(단위: 백만원)

연차	년도	공사비 및 시설관리비	인건비	재료비	시설관리비	보험 료	일반 관리비	유지 보수비	합계
1	2012	27,900							27,900
2	2013	18,600							18,600
3	2014	46,500							46,500
4	2015		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
5	2016		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
6	2017		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
7	2018		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
8	2019		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
9	2020		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
10	2021		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
11	2022		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
12	2023		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
13	2024		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
14	2025		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
15	2026		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
16	2027		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
17	2028		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
18	2029		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
19	2030		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
20	2031		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
21	2032		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
22	2033		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
23	2034		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
24	2035		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
25	2036		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
26	2037		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
27	2038		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
28	2039		1,864	2,540	3,600	930	586	2,790	12,310
합계		93,000	46,600	63,500	90,000	23,250	14,650	69,750	400,750

3. 편익의 범위 및 범주

가. 편익의 범위 및 범주

연구개발사업의 편익은 원칙적으로 연구개발 투자활동의 결과로 나타나는 모든 긍정적 효과를 총칭하며, 미시적 수준에서 긍정적 효과를 구분한 다음에 각각을 추정한 후 거시적 수준에서 긍정적 효과를 적절하게 합산해야 한다.

특정 연구개발사업으로 인해 혜택을 얻는 경제주체를 크게 소비자(또는 가계)와 생산자(기업 또는 산업)로 구분한다면, 소비자에게 발생하는 편익은 소비자잉여(consumer surplus)의 관점에서 평가되어야 하며, 생산자에게 발생하는 편익은 부가가치(value-added)의 관점에서 평가되어야 한다. 수혜의 대상을 소비자와 생산자로 뚜렷하게 구분하기 어려운 경우는 국가 전체적인 차원에서의 부가가치 창출액으로 평가하거나 정성적으로 평가할 수 있다(경상북도, 2012)

편익의 추정은 우선 편익항목을 도출하는 작업으로부터 시작된다. 연구개발사업의 편익항목은 사업의 성격과 내용에 따라 매우 다양하므로, 연구개발사업의 성격별 특수성을 반영하기 위한 가장 근본적이고 완전한 방법은 각 사업별로 발생할 수 있는 편익항목을 최대한 선별하고, 이를 이론적으로 타당한 금전화 기법에 의해 적절하게 추정하는 방식이다. 아울러 계량화가 가능한 편익항목 위주로 금전화를 시도하되 계량화가 가능하지 않은 부분은 정성적으로 언급해야 할 필요가 있다.

연구개발사업의 편익항목은 사업마다 다르고, 또한 동일한 종류의 사업

이라고 하더라도 투자규모에 따라서 편익이 다를 수 있다. 일반적으로 사업의 편익은 관점에 따라 다양하게 구분되기도 한다³⁴⁾. 본 논문에서는 시장에서 화폐단위로의 평가 여부에 따라 유형편익과 무형편익으로 구분하고자 한다.

경제성 분석에 있어서 편익이란 해당 사업으로 인해 새롭게 창출되는 가치를 의미하므로, 편익을 추정한다는 것은 가치를 어떻게 측정하느냐와 직접적으로 결부되어 있다. 즉, 가치를 측정하기 위한 접근방법은 가치창출의 수혜자가 생산자와 소비자 중에 누구냐에 따라 크게 두 가지로 구분될 수 있다.

본 해양바이오에너지 연구개발사업의 경우 생산자 측면의 부가가치 창출 효과가 중요한 편익 항목이 될 수 있다. 해양바이오에너지 연구개발사업의 결과로서 발생하는 가치창출의 1차적인 수혜자가 개발된 해양바이오에너지 연구개발사업의 기술을 적용하여 해양바이오에너지 제품을 만드는 사업자라 할 수 있으며, 이 경우 본 연구개발로 인한 해양바이오에너지 연구개발사업의 활성화로 발생하는 추가적인 부가가치의 크기가 바로 해양바이오에너지 연구개발사업의 편익이 될 수 있다.

제5장의 해양바이오에너지 연구개발 사업의 경제적 파급효과 분석시에도출된 해양바이오에너지 사업의 자기산업에 대한 부가가치율(24.61%)을 편익 추정에 반영하였다. 또한 이러한 유형편익과 함께 해양바이오에너지 연구개발사업의 활성화로 인하여 발생할 수 있는 환경개선(이산화탄소, 대기오염물질 감소 등)에 대한 무형편익이 해양바이오에너지 연구개발사업의 편익이 될 수 있다.

34) 사업의 편익은 사업의 효과를 바로 나타내는 직접편익과 직접편익으로 인하여 유발되는 2차적인 간접편익으로 구분하기도 한다.

나. 해양바이오에너지 연구개발사업의 편익 추정

(1) 유형편익 추정

(가) 해양바이오에너지의 경제적 가치

해양바이오에너지 연구개발사업의 비용 산출시 필요한 시설 및 생산 규모는 10ha(약 3만평)규모에서 연간 5,760톤의 미세조류 생산을 전제로 하였다. 동 시설에서 생산되는 미세조류는 해양바이오에너지(바이오디젤, 바이오에탄올)와 Chlorophyll-a, Phycocyanin, Cynocabalomin(비타민 B12), CO₂(탄소거래가) 등이 있고, 간접적으로 파생되는 효과로는 미세조류의 CO₂흡수로 인한 CO₂저감효과가 있다.

본 사업에서 발생하는 해양바이오에너지 연구개발사업으로 인한 생산물의 경제적 가치는 <표 30>에 제시되어 있으며, 연간 총 매출 8.9조의 기대효과를 가져온다. 해양바이오에너지 연구개발의 각각의 경제적 가치는 본 사업으로 인해 신규로 창출되는 시장규모라 할 수 있다.

<표 30> 해양바이오에너지의 연구개발사업 생산물의 경제적 가치

생산물	기준 판매가격 (USD/kg)	함량 (%/kg)	전체량 (kg/10,000m ²)	USD/년	원/년
Chl-a	133,000	1	58,176	7,737,408,000	8,511,148,800,000
Phycocyanin	1,500	3.5	203,616	305,424,000	335,966,400,000
Cynocabalomin	9,000	0.0003	17.5	157,075	172,782,720
Bio-ethanol	1.1	15	872,640	959,904	1,055,894,400
Bio-diesel	1.5	30	1,745,280	2,617,920	2,879,712,000
탄소거래가	0.05	180	10,471,680	523,584	575,942,400
합계				8,047,090,483	8,851,799,531,520

주: 생산면적 10ha, 미세조류 10% 생산량 증가 및 지방함량 3배 증가 시 환율(USD 1=KRW 1,100), 적용 출처: 원전 온배수를 이용한 해수자원화 방안(경상북도, 2012)

사업의 투자가 완료된 직후인 2015년부터 2039년까지의 25년 동안, 본 사업이 있을 때(Do Something)의 국내 해양바이오에너지사업 시장규모와 본 사업이 없을 때(Do nothing)의 국내 해양바이오에너지사업의 시장규모의 차이로 정의되는 본 사업으로 인해 신규로 창출되는 시장규모는 <표 31>과 같이 예측할 수 있다.

<표 31> 신규로 창출되는 해양바이오에너지사업 시장규모

(단위: 백만원)

연차	연도	본 사업으로 인해 신규로 창출되는 시장규모
1	2015	8,851,800
2	2016	8,851,800
3	2017	8,851,800
4	2018	8,851,800
5	2019	8,851,800
6	2020	8,851,800
7	2021	8,851,800
8	2022	8,851,800
9	2023	8,851,800
10	2024	8,851,800
11	2025	8,851,800
12	2026	8,851,800
13	2027	8,851,800
14	2028	8,851,800
15	2029	8,851,800
16	2030	8,851,800
17	2031	8,851,800
18	2032	8,851,800
19	2033	8,851,800
20	2034	8,851,800
21	2035	8,851,800
22	2036	8,851,800
23	2037	8,851,800
24	2038	8,851,800
25	2039	8,851,800
합계		221,295,000

나. 부가가치 창출 편익 추정 및 결과

(1) 부가가치 창출 편익의 전제조건과 근거

해양바이오에너지 연구개발사업으로 인한 해양바이오에너지사업의 활성화 측면을 다루기 위해서는 본 사업이 없더라도 해양 바이오에너지사업이 성장할 수 있음을 감안하여 본 사업만의 순 효과를 구할 수 있어야 하는데 <표 31>에 본 사업 유무에 따른 해양바이오에너지사업의 신규 창출 규모가 제시되어 있다. 하지만 <표 31>의 결과가 곧 경제적 편익은 아니므로, 3가지 요소를 반영하여 최종적인 부가가치 창출편익을 추정해야한다.

편익 추정 및 경제성 분석 과정에서 적용한 3가지 전제조건(요소)에 대해 검토한 결과는 <표 32>에 제시되어 있고, 부가가치 창출 편익을 산정하는 식³⁵⁾은 아래와 같다.

$$\text{부가가치 창출 편익} = \text{시장규모 증가분} \times \text{① 사업화 성공률(\%)} \times \text{② 부가가치율(\%)} \times \text{③ R\&D기여도(\%)} \times \text{④ 사업기여율(\%)}$$

<표 32> 부가가치 창출 편익의 전제 조건과 근거

구분	적용값	근거
편익 발생기간	25년	본 사업의 사업 종료 후 플랜트 가동기간
① 사업화 성공률	32.7%	국가연구개발사업의 효과분석시스템개발(KISTEP, 2009)에서 제시된 기술개발 사업화 성공률(=사업화 과제수/과제수) 적용
② 부가가치율	24.61%	제5장 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 파급 효과 분석시의 자기산업 부가가치율 적용
③ R&D기여도	28.1%	KISTEP 예비타당성조사 시 적용기준
④ 사업기여율	15%	KISTEP 예비타당성조사 시 적용기준

35) 부가가치 창출편익을 산정하는 방식은 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 대형연구개발사업 예비타당성 조사시 적용되는 방법이다.

연구개발사업은 기술개발자체에 대한 불확실성과 성공된 기술이 사업화 연계되는데 따른 변수가 있을 수 있으므로 추가적인 고려가 필요하다.

연구개발사업의 유형적 편익을 산정하는데 있어서 사업화 성공률의 중요도를 감안하여 객관적인 값을 적용해야한다. 연구개발을 통한 기술개발이 성공한다 하여도 신규로 창출되는 시장규모의 실현이 불가능하기 때문에 사업화 성공률을 감안하여야 한다.

본 연구에서는 2009년부터 활용하고 있는 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 대형연구개발사업의 예비타당성조사시의 사업화 성공률(=사업화 과제수/과제수)인 32.7%를 적용한다.

신규로 창출되는 해양바이오에너지 연구개발사업의 신시장규모는 당해 시장규모이므로 부가가치 창출액을 도출하기 위해서는 부가가치율을 곱하여야 한다. 해양바이오에너지 연구개발사업의 부가가치율이란 해양바이오에너지 연구개발사업의 총 산출액에서 부가가치가 차지하는 비중을 뜻한다. 따라서 본 연구에서는 해양바이오에너지 연구개발사업의 부가가치율을 한국은행에서 발표한 2009년 산업연관표 상에서 해양바이오에너지 연구개발사업 부문을 정의한 후 해당 부문의 부가가치율, 즉 타산업효과 부문을 제외한 자기산업효과 부분으로 추정된 26.41%로 산정하였다.

연구개발사업의 사업화를 통해 부가가치가 창출된다면 전체적인 부가가치 중에서 연구개발의 기여도를 감안한다면 관련 연구개발사업의 경제적 가치 추정의 신뢰도를 높일 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 대형연구개발사업 예비타당성 조사시 적용하는 지침상의 28.1%를 적용한다.

또한 연구개발사업에 대한 편익은 해당 사업 뿐 만 아니라 민간 및 유사 국가 연구개발 투자에도 영향을 받을 수 있으므로 사업기여율을 감안하여

야 하는데 순수하게 해당사업이 기여하는 비중만을 추정하여야 한다.³⁶⁾ 본 연구에서는 국가연구개발사업 예비타당성 조사지침 상의 사업기여율 15%를 적용한다.

이와같이 부가가치 창출편익의 산정식을 이용하여 시장규모 증가분에 사업화 성공률 32.7%를 곱하고 부가가치율 24.61%를 곱한 값에 R&D 기여도 28.1%를 곱하고 마지막으로 사업기여율 15%를 곱하여 새로운 부가가치 창출편익을 추정한 결과는 다음의 <표 33>과 같다.



36) 본 사업의 기여율 산정식은 다음과 같다. 해당사업예산/(해당사업예산+유사분야 민간투자+유사분야 정부투자)

<표 33> 해양 바이오에너지 연구개발사업의 부가가치 창출 편익

추정결과

(단위: 백만원)

연차	년도	본 사업으로 인해 신규로 창출되는 시장규모	부가가치 창출 편익	현재가치
1	2015	8,851,800	30,025	25,570
2	2016	8,851,800	30,025	24,237
3	2017	8,851,800	30,025	22,973
4	2018	8,851,800	30,025	21,776
5	2019	8,851,800	30,025	20,640
6	2020	8,851,800	30,025	19,564
7	2021	8,851,800	30,025	18,544
8	2022	8,851,800	30,025	17,578
9	2023	8,851,800	30,025	16,661
10	2024	8,851,800	30,025	15,793
11	2025	8,851,800	30,025	14,969
12	2026	8,851,800	30,025	14,189
13	2027	8,851,800	30,025	13,449
14	2028	8,851,800	30,025	12,748
15	2029	8,851,800	30,025	12,083
16	2030	8,851,800	30,025	11,454
17	2031	8,851,800	30,025	10,856
18	2032	8,851,800	30,025	10,290
19	2033	8,851,800	30,025	9,754
20	2034	8,851,800	30,025	9,245
21	2035	8,851,800	30,025	8,763
22	2036	8,851,800	30,025	8,307
23	2037	8,851,800	30,025	7,874
24	2038	8,851,800	30,025	7,463
25	2039	8,851,800	30,025	7,074
합계		221,295,000	750,625	361,855

4. 비용편익 분석결과

제4장에서 도출된 무형편익과 제5장의 분석결과를 이용하여 도출된 유형편익을 고려한 해양바이오에너지 연구개발사업의 유·무형 편익 결과는 다음 <표 34>에 제시되어 있다.

<표 34> 해양바이오에너지 연구개발사업의 유·무형 편익

(단위: 백만원)

유형편익			무형편익					
			보수적		보통		낙관적	
년도	부가가치 창출편익	현재가치	발생 편익	현재 가치	발생 편익	현재 가치	발생 편익	현재 가치
2014	-	-	14,129	12,694	25,839	24,492	52,696	49,949
2015	30,025	25,570	14,129	12,032	25,839	23,215	52,696	47,345
2016	30,025	24,237	14,129	11,405	25,839	22,005	52,696	44,877
2017	30,025	22,973	14,129	10,811	25,829	20,858	52,696	42,537
2018	30,025	21,776	14,129	10,247	25,839	19,771	52,696	40,320
2019	30,025	20,640	-	-	-	-	-	-
2020	30,025	19,564	-	-	-	-	-	-
2021	30,025	18,544	-	-	-	-	-	-
2022	30,025	17,578	-	-	-	-	-	-
2023	30,025	16,661	-	-	-	-	-	-
2024	30,025	15,793	-	-	-	-	-	-
2025	30,025	14,969	-	-	-	-	-	-
2026	30,025	14,189	-	-	-	-	-	-
2027	30,025	13,449	-	-	-	-	-	-
2028	30,025	12,748	-	-	-	-	-	-
2029	30,025	12,083	-	-	-	-	-	-
2030	30,025	11,454	-	-	-	-	-	-
2031	30,025	10,856	-	-	-	-	-	-
2032	30,025	10,290	-	-	-	-	-	-
2033	30,025	9,754	-	-	-	-	-	-
2034	30,025	9,245	-	-	-	-	-	-
2035	30,025	8,763	-	-	-	-	-	-
2036	30,025	8,307	-	-	-	-	-	-
2037	30,025	7,874	-	-	-	-	-	-
2038	30,025	7,463	-	-	-	-	-	-
2039	30,025	7,074	-	-	-	-	-	-
합계	750,625	361,855	70,645	57,189	129,196	110,340	263,482	225,028

이를 해석하면 현재가치 기준으로 유형편익과 무형편익의 보수적, 보통, 낙관적 시나리오에 대한 각각의 합은 419,044백만원, 472,195백만원, 586,883백만원이 도출되었다.³⁷⁾ 보수적 시나리오를 포함한 모든 시나리오가 해양바이오에너지 연구개발사업을 추진하기 위해 필요한 비용 400,700백만원을 초과한다.

결론적으로 해양바이오에너지 연구개발 사업은 경제적 타당성을 갖는 것으로 해석할 수 있다.

편익과 비용을 현재가치로 할인할 경우에도 보수적, 보통, 낙관적 시나리오에 대한 추정값은 각각 183,378백만원, 230,781백만원, 339,485백만원으로 기준을 상회하고 있다(<표 35> 참조).



37) 유·무형 편익의 각 시나리오의 합은 <표 20>상의 유형편익의 현재가치와 각 시나리오별 현재가치의 합이다.

<표 35> 해양바이오에너지 연구개발사업의 할인 순편익

(단위: 백만원)

연차	할인비용	할인편익			할인순편익		
		보수	보통	낙관	보수	보통	낙관
2012	27,900	0	0	0	-27,900	-27,900	-27,900
2013	17,630	0	0	0	-17,630	-17,630	-17,630
2014	41,778	12,694	23,216	47,345	-29,084	-18,562	5,567
2015	10,483	37,602	47,575	70,446	27,119	37,092	59,963
2016	9,937	35,642	45,095	66,774	25,705	35,158	56,837
2017	9,419	33,784	42,744	63,293	24,365	33,325	53,874
2018	8,928	32,023	40,516	59,993	23,095	31,588	51,065
2019	8,462	20,640	20,640	20,640	12,178	12,178	12,178
2020	8,021	19,564	19,564	19,564	11,543	11,543	11,543
2021	7,603	18,544	18,544	18,544	10,941	10,941	10,941
2022	7,207	17,578	17,578	17,578	10,371	10,371	10,371
2023	6,831	16,661	16,661	16,661	9,830	9,830	9,830
2024	6,475	15,793	15,793	15,793	9,318	9,318	9,318
2025	6,137	14,969	14,969	14,969	8,832	8,832	8,832
2026	5,817	14,189	14,189	14,189	8,372	8,372	8,372
2027	5,514	13,449	13,449	13,449	7,935	7,935	7,935
2028	5,227	12,748	12,748	12,748	7,521	7,521	7,521
2029	4,954	12,083	12,083	12,083	7,129	7,129	7,129
2030	4,696	11,454	11,454	11,454	6,758	6,758	6,758
2031	4,451	10,856	10,856	10,856	6,405	6,405	6,405
2032	4,219	10,290	10,290	10,290	6,071	6,071	6,071
2033	3,999	9,754	9,754	9,754	5,755	5,755	5,755
2034	3,791	9,245	9,245	9,245	5,455	5,455	5,455
2035	3,593	8,763	8,763	8,763	5,171	5,171	5,171
2036	3,406	8,307	8,307	8,307	4,901	4,901	4,901
2037	3,228	7,874	7,874	7,874	4,645	4,645	4,645
2038	3,060	7,463	7,463	7,463	4,403	4,403	4,403
2039	2,900	7,074	7,074	7,074	4,174	4,174	4,174
합계	235,666	419,044	466,446	575,150	183,378	230,781	339,485

<표 36>과 같이 편익/비용 비율(B/C Ratio)의 경우도 각각 1.78%, 1.98%, 2.44%의 추정값을 보여 그 기준을 상회하고 있다. 또한 내부수익률(IRR)역시 각각 26.2%, 36.8%, 63.7%로 그 기준을 상회하고 있는 것으로 나타나고 있다.

<표 36> 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제성 분석 요약

구분	시나리오		
	보수적	보통	낙관적
NPV(백만원)	183,378	230,781	339,485
B/C	1.78	1.98	2.44
IRR(%)	26.15	36.79	63.70

이상에서 살펴본 바와 같이 해양바이오에너지 연구개발사업은 중·장기적 관점에서 경제적 타당성이 있는 것으로 평가된다.

VII. 결론 및 시사점

1. 결론

경제발전과 산업발달에 따른 환경문제가 심각해지면서 화석연료를 대체할 신재생에너지 개발의 필요성이 절실히 대두되고 있는 가운데 대안으로 제시되고 있는 해양조류 또는 미세조류를 이용하여 에너지를 생산하는 3세대 해양바이오에너지는 식용식물과 경쟁하지 않으면서 환경과 에너지 문제를 동시에 해결할 수 있다는 점에서 큰 장점을 갖고 있어 많은 주목을 받고 있다.

이에 따라 우리나라도 「제3차신재생에너지기술개발및이용보급기본계획」의 일환으로 해양바이오에너지 연구개발사업을 추진하고 있다. 해양바이오에너지 연구개발사업은 일반재화와는 달리 객관적인 가치를 관측할 수 있는 시장이 형성되어 있지 않기 때문에 가치 추정 연구를 통해 존재가치나 유산가치가 포함되는 비사용가치를 추정할 수 있다.

본 연구의 대상인 해양바이오에너지의 온실가스 저감효과는 비시장재로서 가치의 정의가 어렵고 가치를 정의한다고 하여도 가치추정의 방법을 정하기가 쉽지는 않다.

이에 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제성 평가를 견고하게 하기 위하여 1차적으로 CVM을 활용하여 해양바이오에너지 연구개발사업의 시행에 따른 온실가스 저감에 관한 지불의사액을 조사하고 이를 바탕으로 경제적 편익을 추정하였으며 2차적으로 거시적 관점에서 해양바이오에너지 연구개발사업이 타 산업에 미치는 국민경제적 파급효과를 계량화하기 위하여

투입산출분석 방법론을 이용하여 관련 분석을 이행하였다.

해양바이오에너지 연구개발사업의 시행에 따른 경제적 편익에 대한 효율적이고 정확한 연구결과의 도출을 위하여 이중경계 양분선택형 지불의사 유도방법을 적용하였으며 영(0)의 WTP를 보다 명시적으로 반영할 수 있는 장점을 가진 스파이크 모형을 결합하였다. 아울러 CVM을 적용하는데 있어서 여러 가지 지침에 근거한 설문설계, 최근에 개발된 표본설문조사 표집기법 및 인터뷰 기법의 운용 등 특별하게 요구되는 여러 가지 조건들을 충분히 만족시키는 등 경제적 편익 추정과정의 적절성을 확보하고자 하였다.

서울, 경기, 인천 등 8개 권역의 700가구를 대상으로 실시하였으며 설문 내용 이해를 제고하기 위하여 보기카드를 사용한 1:1 면접방식으로 설문을 진행하였다. 다양한 방법으로 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 평균 WTP를 추정하였다.

WTP 추정결과 DBDC의 Conventional model과 지불거부 응답자(no-no)의 WTP를 0의 WTP(no)와 양(+)의 WTP(yes)로 구분해 주는 스파이크모델 및 지불거부 응답자를 제외하고 평균 WTP를 구하는 선형보간법을 이용한 Non-parametric 모형과 결과를 비교하면 전통적 모델의 평균 WTP는 3,136원(공변량 불포함)과 3,065원(공변량 포함)으로 추정되었고 스파이크 모델은 3,117원(공변량 불포함)과 3,030원(공변량 포함)으로 추정된 반면 비모수적 추정법은 4,401원으로 추정되었다.

이를 확장하면 보수적 시나리오로 추정한 편익의 현재가치는 약 572억원, 보통 시나리오로 추정한 현재가치는 약 1,046억원, 낙관적 시나리오로 추정한 현재가치는 2,133억원으로 나타났다.

선행연구로 제시한 김태영(2013)의 SBDC와 스파이크모형으로 추정한 결과로 도출된 평균 WTP는 4,190원(공변량 불포함)으로 위의 전통적 모델의

평균 WTP에 비하여 높게 추정되어 논리적으로 유의가 있는 것으로 나타났다³⁸⁾ 이를 확장하면 경제적 편익은 약 502억원이며 이중경계 스파이크 모형으로 추정된 값을 이용하여 도출된 경제적 편익은 약 373억원으로 추정되었다.

최근 세계 각국의 에너지 수급 불안정에 대한 관심은 양적으로 충분한 에너지원의 확보와 함께 에너지로 인한 환경오염문제의 최소화에 초점을 두고 있다. 최적의 대안으로 거론되고 있는 해양바이오에너지 연구개발사업은 많은 국가재정의 투입이 수반되므로 다른 대형 국가사업과 같이 거시적 관점에서 동 사업의 시행으로 인한 국민경제적 파급효과를 분석하고자 하였다.

본 연구는 2011년 7월에 발표된 2009년도 산업연관표에 근거한 산업연관 분석을 통해 해양바이오에너지개발사업의 경제적 파급효과인 생산유발효과, 부가가치 유발효과, 취업유발효과, 연구개발 유발효과를 분석하고자 하였다. 특히 해양바이오에너지 연구개발사업에 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 연구개발사업의 생산유발효과는 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 상대적

38) 첫 번째 질문만을 사용하여 얻은 WTP 추정치가 두 개의 질문만을 사용하여 얻은 WTP보다 크다는 점이 발견되었다(Cameron 외/1994) 즉, DBDC 모형으로부터의 WTP추정치와 SBDC 모형으로부터의 WTP 추정치보다 작음을 보였다(Carson 외/1999)

으로 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, 식음료에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이 외에 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, 일반기계부문 등과 같은 제조업에서 영향이 큰 것으로 분석되었다.

타 산업에 대한 효과를 종합해 보면, 해양바이오에너지 연구개발사업에서의 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. 한편, 자기산업에 대한 효과의 경우 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 1원 투자는 생산, 부가가치, 연구개발 유발효과 각각 1원, 0.2416원, 0.0185원 만큼 유발하며, 10억 투자에 대한 자기산업의 취업유발효과는 2.6347명으로 분석되었다. 이와 같이 자기산업효과와 타산업효과를 포함한 국민경제 전체적인 효과를 계산해 보면, 해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 1원의 투자는 1.3979원의 생산 유발효과, 0.8591원의 부가가치 유발효과, 0.0214원의 연구개발 유발효과를 가져오며, 10 억원 투자로 5.1520명의 취업을 유발한다.

해양바이오에너지 연구개발사업에 대한 산업간 연쇄효과 분석을 한 결과 감응도계수가 1보다 크게 나와 해양바이오에너지 연구개발사업이 경기변동에 영향을 받는 사업임을 알 수 있으며 영향력 계수 또한 1보다 큰 1.0642로 도출되어 타 산업을 견인하는 정도가 다른 부문에 비해 큰 사업이기도 하다.

또한 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제성 평가 결과의 견고성을 높이기 위하여 제4장의 CVM을 통하여 추정된 모수적, 비모수적 추정법에 의한 WTP를 확장하여 무형편익을 도출하였고 유형편익은 제6장의 부가가치 창출편익 추정방법을 적용하였는데 동 추정방법 중의 중요한 적용값 중의 하나인 부가가치율은 제5장의 경제적 파급효과 분석시 제시된 기준인 자기산업의 부가가치율을 적용하여 추정한 것이다. 이러한 유·무형 편익을 활용한 경제성 분석 결과 순현재가치, 내부수익률, 편익/비용 비율 등 투자효율성 분석 지표가 각각의 평가기준을 상회하여 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 타당성이 입증되었다.

WTP 추정치를 토대로 확장한 시나리오중 NOAA의 가이드 라인에 부합하여 신뢰할 수 있는 보수적 시나리오의 유·무형 편익(현재가치 기준)의 합이 419,044백만원으로 해양바이오에너지 연구개발사업을 추진하기 위해 필요한 비용인 400,700백만원을 초과하는 수준으로 경제성을 갖고 있다.

본 연구의 이러한 결과는 정책결정자들이 해양바이오에너지 연구개발에 대한 정책을 결정하는데에 기여할 것으로 기대된다.

2. 시사점

국내·외 모두 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 편익 추정과 관련된 연구는 찾기가 쉽지 않으며 또한 환경재에 대한 경제적 편익과 관련된 연구에서 DBDC(Conventional model, 스파이크 model, with & without covariates)와 비모수적 추정법과의 비교/분석 연구 또한 많지 않다.

이 연구의 학문적/정책적 의의는 현재 이슈가 되고 있는 바이오에너지원의 대상인 해양바이오에너지 연구개발사업의 경제적 편익을 다양한 방법을 이용하여 추정한 것에서 찾을 수 있다.

본 연구를 통하여 제시된 편익은 환경편익(온실가스 저감 편익)에 국한된 것으로서 환경편익(대기오염 저감 편익), 상품형태의 다양한 바이오연료 생산 및 판매, 부산물의 생산 및 판매 등 편익³⁹⁾이 추가 존재하므로 이를 포함한다면 큰 편익이 실현될 것으로 여겨진다.

해양바이오에너지 연구개발사업에서 제일 관심을 두어야 하는 부분은 양질의 바이오매스의 확보와 생산을 통한 차질 없는 공급이라 할 수 있다. 동 사업은 공익성 사업이므로 대체에너지 개발 및 바이오 기반기술 확보 관점에서 관련된 국가 분담계획의 차질 없는 수행과 정부 차원의 장기적인 투자가 필요하다.

또한 공급자로서 대량 생산 및 수거, 건조, 추출 등 단계별 공정기술 확보를 위한 정부차원의 중장기 연구개발지원이 요구된다. 이는 해양바이오에너지 중에서 가장 큰 사회적 총편익의 실현이 가능한 해양미세조류가 기술적으로 실용적이고 지속가능한 매력적인 대안임에도 불구하고 상용화가 늦은 이유는 미세조류 바이오매스의 높은 생산단가⁴⁰⁾ 때문이다. 고(高)생산성 확보를 위한 다양한 기술성 제고를⁴¹⁾ 위한 정부/민간 차원의 투자가 따라야 할 것이다.

해양바이오에너지는 현재는 경제성이 미흡한 단계이나 개별 공정 단축을 통한 기술혁신과 환경 오염처리와의 연계 등 기술 및 비즈니스 모델 혁신을 통하여 상용화 시점을 단축할 수 있을 것이다. 특히 임해 산업공단이

39) 바이오 연료에서 경제성을 확보하지 못한 기업들은 바이오케미컬 제품개발을 통하여 수익을 창출 병행하여 경제성 확보-미세조류 바이오연료 회사인 솔라자임은 조류기반 화장품을 개발하여 2011년에 720만불 수입 실현(삼성경제연구소, 2012)

40) 미세조류 생산단가는 5USD/kg으로 바이오디젤 생산단가 0.25USD/kg에 비하여 상대적으로 높아 미세조류의 단위 면적당 생산량을 높여야 한다(강도형, 2012)

41) ORS(open raceway system)와 PBRF(photobioreactor and/or fermentor)의 시스템 개발과 단위시간내에 지방합성을 증가시킬 수 있는 생물생리학적 처리기술의 동반 개발(강도형, 2012)

발달한 우리나라의 특성을 감안하여 해양 미세조류를 배양하고 이를 이용한 탄소배출저감, 폐수처리 등 실증사업을 할 수 있는 임해역 Pilot Plant를 구축할 필요가 있다.



참고문헌

- 강광하(2000), 산업연관분석론, 연암사
- 강도형, 허수진, 오철홍, 주세종, 전선미, 최현우, 노재훈, 박세현, 김태영
(2012), 미세조류 바이오연료 상용화를 위한 주요인자 연구,
Ocean and Polar Research, vol. 341, No. 4, 365-384
- 경상북도(2012), 원전온배수를 활용한 해수자원화 방안(해양바이오에너지
연구개발사업)
- 권오상(2011), 환경경제학 2판, 박영사
- 김예신, 이용진, 박화성, 남정모, 김진흠, 신동천(2003), 환경오염으로 인한
위해도 감소에 대한 지불의사금액 추정에 관한 연구, Journal of
Environmental Toxicology, Vol. 18, No. 1, 1-13
- 김충실, 이상호, 정상옥, 여준호, 이순석(2010), 온실가스 감축의 부수적 가
치 추정, Journal of Agriculture & Life Sciences, Vol. 44, No.
3, 89-97
- 김태영, 진세준, 박세현, 표희동(2013), 해양바이오에너지 개발사업의 경제
적 파급효과, 에너지공학회, Vol. 22, No. 2, 1-13
- 김태영, 표희동, 김혜민, 박세현(2013), 해양바이오에너지 개발사업의 온실
가스 저감 편익 추정, 한국해양환경·에너지학회, Vol. 16, No. 3,
217-225
- 김홍연(2012), 전력산업의 국민경제적 역할 분석: 산업연관분석의 응용, 서
울과학기술대학교 에너지환경대학원
- 문혜선, 이희찬(2010), 비모수 접근법에 의한 호텔객실 조망권 가치 평가,
호텔경영학 연구, Vol. 19, No. 1, 21-34
- 조성재(2012), 미래의 자원으로 각광받는 미세조류, 삼성경제연구원(SERI경

- 영노트), Vol. 170
- 양지원(2012), 바이오매스 기술의 발전과 미세조류 기반의 바이오에너지 기술 전망, 에너지논단
- 에너지경제연구원(2013), 국가에너지통계종합정보시스템,
<http://www.insightofgscaltex.com>
- 오희목(2009), 미세조류로부터 바이오디젤 생산 현황 및 전망, 바이오에너지
- 이선복(2009), 해양화학바이오산업의 현황과 전망, 해양생명공학
- 이준행, 노용환(2010), 인천만 조력발전 경제성 평가: CVM 및 IO분석, 에너지경제연구, Vol. 9, No. 2, 43-82
- 이철균(2009), 해양조류유래 해양바이오에너지, BT News, 23-25, 30-31
- 이충기, 이주희, 한상열(1998), 생태관광자원의 레크레이션 이용가치, 관광학연구, Vol 21, No. 2, 263-278
- 임혜진, 유승훈, 곽승준(2005), 서울광장 조성에 대한 서울시민의 지불의사액 추정, 서울도시연구, Vol. 6, No. 2, 39-55
- 장덕희, 강길모, 채기영, 김수지, 조민주, 차정미, 함현경(2013), 국내외 해양생명공학 산업시장의 장기예측 및 함의, Ocean and Polar Research, Vol. 35, No. 2, 1-13
- 조용성, 손양훈(2004), 대기오염개선이 건강에 미치는 사회적 편익 추정, 한국응용경제학회, Vol. 6, No.1, 133-150
- 표희동 유승훈, 곽승준(2001), 이중경계양자택일형의 CVM을 이용한 영산강유역 갯벌의 보존가치추정, 한국지역학회, Vol. 17, No. 1, 37-54
- 표희동 박철형, 추재욱(2011), 비모수추정법에 의한 부산시 가정용수 수질 개선에 대한 지불의사액 추정, 한국수자원학회, Vol. 44, No. 2, 125-134

- 한건택(2012), 산업연관분석을 이용한 집단에너지산업의 국민경제적 파급 효과 분석, 서울과학기술대학교 에너지환경대학원
- 한국개발연구원(2008), 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)
- 한국은행(2011), 2009년 산업연관표
- 한국은행(1987), 산업연관분석해설
- Alberini A., Cropper M., Sinica A., Yang Z., Ji J.(1996), What is the Value of Reduced Morbidity in Taiwan, in the Economics of Pollution Control in the Asia Pacific, eds Robert Mendelsohn and Daigee Show, Edward Elgar Pub
- Arrow, K., Solow R., Portney P., Leamer E., Radner R., Schuman H.(1993), Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA), Washington, DC.
- Ayer M., Brunk H.D., Ewing G.M., Reid W.T., Silverman E.(1995), An empirical distribution function for sampling with incomplete information, Analysis of Mathematical Statistics, Vol. 126, No. 4, 641-647
- Bateman(1985), Environmental and Economic Appraisal, Environmental Science for Environmental Management. Longman Scientific & Technical, London, 45-65
- Barreiro J., Sanchez M., Viladrich-Grau M.(2005), How much are people willing to pay for silence? A contingent valuation study, Applied Economics, Vol. 37, No. 11, 1233-1246
- Boman M., Bostedt G., Kriström B.(1999), Obtaining welfare bounds in

- discrete-response valuation studies: a non-parametric approach, *Land Economics*, Vol. 75, No. 2, 284-294
- Burton L., Zdaniuk B., Schulz R., Jackson S., Hirsch C.(2003), Transitions in spousal caregiving, *Gerontologist*, Vol. 43, No. 2, 230-241
- Cameron T.A., James M.D.(1987), Efficient estimation methods for closed-ended contingent valuation surveys, the review of economics and Statistics, Vol. 69, 269-276
- Cameron T.A., Quiggin J.(1994), Estimation using contingent valuation data from a dichotomous choice with follow-up questionnaire, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 27, 218-234
- Carson R.T., GrovesT.(2007), Incentive and informational properties of preference questions, *Environmental and Resource Economics*, European Association of Environmental and Resource Economists, Vol. 37, No. 1, 181-210
- Chisti Y.(2007), Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv.* Vol. 25, 294-306
- Chisti Y.(2008), Biodiesel from microalgae beats bioethanol, *Trends Biotechnol*, Vol. 26, 126-131
- Cooper J.C., Hanemann W.M.(1995), Referendum Contingent ValuationL How Many Vounds Are Enough?, USDA Economic REsearch Service, Food and Consumer Economics Division, Working paper
- Duffield J.W., PattersonD.A.(1991), Inference and optimal design for a

- welfare measure in dichotomous choice contingent valuation,
Land Economics, Vol. 67, 225-239
- Fisher A. Raucher R.(1984), Intrinsic Benefits of Improved Water
Quality: Conceptual and Empirical Perspectives, Advances in
Applied Micro-Economics, New York, JAI Press
- Gonzalez-Caban A. Loomis J.(1997), Economic Benefits of Maintaining
Ecological Integrity of Rio Mameyes in Puerto Rico,
Ecological Economics, Vol.21, 63-75
- Gubin C. Thepenier C.(1986), Bioconversion of solar energy into organic
chemicals by microalge, Adv. Biotechnol Processes, Vol. 6,
73-110
- Han S.Y., Yoo S.H., Kwak S.J.(2004), The role of the four electric
power sectors in the Korean national economy: an
input-output analysis, Energy Policy, Vol. 32, 1531-1543
- Hanemann W.M.(1984), Welfare evaluation in contingent valuation
experiments with discrete responses, American Journal of
Agricultural Economics, Vol. 66, 332-341
- Hanemann W.M.(1985), Some issues continuous- and discrete-response
contingent valuation studies, Northeastern Journal of
Agricultural Economics, Vol. 14, 5-13
- Hanemann W.M.(1989), Welfare Evaluations in Contingent Valuation
Experiments with Discrete Response Data: Reply, American
Agricultural Economics Association, Vol. 71, 1057-1061
- Hanemann W.M., Loomis J., Kanninen B.(1991), Statistical efficiency of
double-bounded dichotomous choice contingent valuation,

- American Journal of Agricultural Economics, Vol. 73, 1255-1263
- Hanemann W.M., Kanninen B.(1999), The statistical analysis of discrete-response CV data, in I. J. Bateman and K. E Willis, ed., Valuing Environmental Preferences: Theory and Practice of the Contingent Valuation Method in the US, EU and Developing Countries, Oxford, Oxford University Press
- Hanley N., Spash C.L.(1993), Cost-benefit analysis and the environment, Cheltenham, Edward Elgar
- Helena M.A., Angela C.M., Malcata F.X.(2012), Microalgae: An alternative as sustainable source of biofuels?, Energy, 1-9
- Herriges J.A., Shogren J.F.(1996), Starting point bias in dichotomous choice valuation with follow-up questioning, Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 30, 112-131
- Hite D., Duffy P., Bransby D., Slaton C.(2008), Consumer Willingness-to-pay for biopower: Results from focus groups, Biomass and Bioenergy, Vol. 32, No. 1, 11-17
- Kanninen B.J.(1993), Design of Sequential Experiments for Contingent Valuation Studies, Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 25, No. 1, 1-11
- Kanninen B.J.(1993), Optimal Experimental Design for Double-Bounded Dichotomous Choice Contingent Valuation, Land Economics, Vol. 69, No. 2, 138-146
- Kealy M.J., Dovidio J.F., Rockel M.L.(1988), Accuracy in Valuation is a Matter of Degree, Land Economics, Vol. 64, 158-170

- Kim H.M.(2013), Two Essays on Energy Economics and Policy(Causality Analysis of Coal Consumption and Economic Benefits from Switching Fossil-fuel Energy to Biomass Energy in Residential Sector, Seoul, Seoul National Univ. of Science and Tech. Press
- Krström B.(1997), Spike models in Contingent valuation, American Journal of Agricultural Economics, Vol. 79, 1013-1023
- Krström B.(1990), A Non-Parametric Approach to the Estimation of Welfare Measures in Discrete Response Valuation Studies, Land Economics, Vol. 66, No. 2, 135-139
- Langford I.H., Bateman I.J., Langford H.D.(1996), A Multilevel Modelling Approach to Triple-Bounded Dichotomous Choice Contingent Valuation, Environmental and Resource Economics, Vol. 7, 197-211
- Lee W.S., Yoo S.H., Kim J.(2013), Measuring the Economic Benefits of the Tap Water Supply Service in Urban Areas: The Case of Korea, Water Resource Management, Vol. 27, No. 2, 619-627
- Loomis J.B.(1990), Comparative Reliability of the Dichotomous Choice and Open-Ended Contingent Valuation Techniques, Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 18, 78-85
- McConnell K.E.(1990), Models for referendum data: the structure of discrete choice models for contingent valuation, Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 18, 19-34
- McFadden D.(1994), Contingent valuation and social choice, American Journal of Agricultural Economics, Vol. 76, No. 4, 689-708

- McLeod D.M. Bergland O.(1999), Willingness-to-pay Estimates Using the Double Bounded Dichotomous Choice Contingent Valuation Format: A Test for Validity and Precision in a Bayesian Framework, *Land Economics*, Vole. 75, No. 1, 115-125
- Miller R.E., Blair P.D.(1985), *Input-output Analysis: Foundations and Extensions*, New Jersey, Prentice-Hall
- Mitchell R.C., Carson R.T.(1989), *Using surveys to public goods: The contingent valuation method*, Resources for the Future, Washington, DC, 463
- Pienkos P.T., Darzins A.(2009), The promise and challenges of microalgal-derived biofuels, *Biofuels bioproduct and biorefining*, Vol. 3, 431-440
- Pulz O., GrossW.(2004), Valuable products from biotechnology of microalgae, *Applied Microbiology and Biotechnology*, Vol. 65, 635-648
- Pyo H.D.(2001), *An Economic Evaluation of Coastal Wetlands in Korea*, University of Portsmouth, UK
- Singh J., Gu S.(2010), Commercialization potential of microalgae for biofuels production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, 2596-2610
- Soliño M., Prada A., Vázquez M.X.(2010), Designing a forest-energy policy to reduce forest fires in Galicia(Spain): A contingent valuation application, *Journal of Forest Economics*, Vol. 16, No. 3, 217-233

- Teresa M.M., António A.M., Nidia S.C.(2009), Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, 217-232
- Tyson K.S., Bozell J., Wallance R., Petersen E., Moens L.(2004), *Biomass Oil Analysis: Research Needs and Recommendations*, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report
- Werner M.(1999), Allowing for Zeros in Dichotomous-Choice contingent-Valuation Models, *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 17, No. 4, 479-486
- Yanqun L., Mark H., Nan W., Christopher Q.L.(2008), Biofuels from Microalgae, *Biotechnology*, Vol. 24, 815-820
- Yoo S.H.(2009), Willingness to pay for green electricity in Korea: A contingent valuation study, *energy Policy*, Vol. 37, No. 12, 5408-5416
- Yoo S.H. and Kwak S.J.(2002), Using a Spike model to Deal with Zero Response Data from Double Bounded Dichotomous Choice Contingent Valuation Surveys, *Applied Economics*, Vol. 9, 929-932
- Yoo S.H. and Yang H.J.(1999), Role of water utility in the Korean national economy, *International Journal of Water Resources Development*, Vol. 15, No. 4, 527-542
- Yoo S.H., Yang H.J., Shin E.S.(2001), Analyzing Dichotomous Choice Contingent Valuation Data with Zero Observations: A Mixture Model, *The Korean Economic Review*, Vol. 17, No. 2, 311-327

Yoo S.H., Chae K.S.(2001), Measuring the Economic Benefits of the
Ozon Pollution Control Policy in Seoul: Results of a
Contingent Valuation Survey, Urban Studies, Vol. 38, No. 1,
315-318



부록: 조사설문지 및 보기카드

해양 바이오에너지의 온실가스 저감효과에 대한 인식조사

지구온난화 및 대기오염 등 환경문제가 범지구적 이슈가 되면서 신재생에너지의 보급 필요성이 대두되고 있습니다. 또한, 화석연료의 고갈문제도 신재생에너지의 필요성을 배가되고 있습니다. 2000년대 들어 고유가가 지속되고 대기오염원 저감의 필요성 때문에 미국, 브라질, EU를 중심으로 자국의 풍부한 부존자원을 활용 해 바이오에너지의 생산과 보급이 활발히 전개되고 있습니다. ([보기카드 1] 참조)

바이오에너지는 신재생에너지로서 생물자원인 대두, 해바라기, 자트로파, 미세조류 등을 활용하여 만들어내는 에너지입니다. 최근 들어, 이 바이오에너지는 화석연료 에너지의 지나친 의존을 해소할 수 있는 에너지원으로 부각되고 있습니다. 그중 해양생물인 미세조류를 활용한 바이오에너지는 여타의 바이오에너지에 비해 장점이 많이 존재합니다. 특히 미세조류를 활용한 바이오에너지는 여타의 바이오에너지보다 오일 수율이 높아 연료효율성이 높고, 비용이 필요 없는 데다 성장속도도 빨라 에너지 활용의 경쟁력이 높습니다. ([보기카드 2] 참조)

특히 미세조류를 활용한 해양 바이오에너지는 광합성 탄소동화작용을 통해 지구온난화의 주범인 이산화탄소(CO₂)를 흡수하며, 광합성 탄소동화작용으로 이산화탄소(CO₂)를 흡수한 미세조류는 바이오에너지의 원료로 사용 가능합니다. 만약 미세조류를 활용한 해양 바이오에너지 배양이 적극적으로 이루어진다면 대기중의 이산화탄소(CO₂)를 감소시켜 온실가스 저감효과가 발생합니다. 100톤의 미세조류는 183톤의 이산화탄소(CO₂)를 회수하여 체내에 저장할 수 있습니다. ([보기카드 3] 참조)

이에 정부도 대기오염 저감효과가 탁월한, 해양 바이오에너지 연구 사업을 진행하려고 합니다. 그런데 이러한 해양 바이오에너지를 실용화하기 위해서는 많은 비용이 소요됩니다. 만약 많은 사람들이 그 비용을 지불하지 않는다면 온실가스 저감효과가 있는 해양 바이오에너지 추출 기술은 확보할 수 없습니다.

본 조사에서는 귀하의 가구가 온실가스 저감효과가 있는 해양 바이오에너지 연구개발에 부여하는 가치에 대해 알고자 합니다. 귀하 가구의 소득은 제한되어 있고 그 소득은 여러 용도로 지출되어야 한다는 사실을 고려하신 후 다음 질문에 신중히 대답하여 주시기 바랍니다.

1. 귀하의 가구는 해양 바이오에너지 연구개발을 통한 온실가스 저감효과를 위해 향후 5년 동안 매년 [제시금액 Q1]() 원의 가구 총 소득세를 추가로 지불할 용의가 있으십니까?
 ① 있다 → [2로 가십시오] ② 없다 → [3으로 가십시오]
2. 그렇다면, 해양 바이오에너지 연구개발을 통한 온실가스 저감효과를 위해 향후 5년 동안 매년 [제시금액 Q1의 2배 금액]() 원의 가구 총 소득세를 추가적으로 지불하실 의사가 있습니까?
 ① 있다 ② 없다
3. 그렇다면, 해양 바이오에너지 연구개발을 통한 온실가스 저감효과를 위해 향후 5년 동안 매년 [제시금액 Q1의 1/2배 금액]() 원의 가구 총 소득세를 추가적으로 지불하실 의사가 있습니까?
 ① 있다 ② 없다 → [4로 가십시오]
4. 그렇다면 귀하의 가구는 단 1원도 지불하실 의사가 없습니까?
 ① 지불할 의사가 있다 ② 지불할 의사가 없다

해양바이오에너지 국가계획

해양바이오에너지(디젤, 에탄올) 전략목표(국가계획 의거)

- 제2차 바이오디젤 중장기 보급계획 발표(2010, 지경부)
 - 경유의 BD 혼합비율 2% 유지
 - BD 유류세 면세제도(528.7원/L) 대신 의무 혼합제도 도입(2012년)
- 해양바이오원료 대량양식기술 개발 및 실증 플랜트 건설('13)
- 양식장 50만ha를 확보하여 22.7억 리터를 생산함으로써 국내 휘발유 20% 대체('18)
- 국내 바이오에너지 소요(1천만 TOE 추정)중 50% 이상 해양바이오에너지로 충당('30)

국제 유가 급등

- 화석원료 고갈 대책 강구
- 에너지 위기 대처 기술강구
- 고유가 시대의 대체원료개발
- 생활필수품 가격 동반 상승

국제 환경규제 강화

- 기후변화 및 CO₂감축의무 임박
- 환경 규제 강화(EU) 대응기술
- 수출주력산업 기술장벽붕괴
- 새로운 아젠다 속국 탈피



대체
에너지 개발
시급

보기가카드.2

미세조류를 이용한 해양 바이오에너지의 장점

종류	옥수수	유채	미세조류 (微細藻類, Microalgae)
생장속도	연간 2회	연간 2~3회	연간 15~20회
비료유무	0	0	X
외부효과	토양침식 부영양화	토양침식 부영양화	부영양화 방지 수질 정화

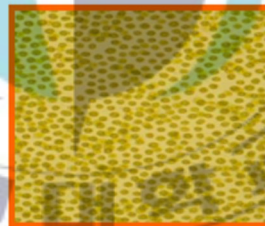
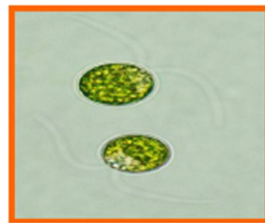
• 광합성을 하는 수중 단세포생물

• 식물성플랑크톤 등 종류가 10만종 이상

• 단기간 대량생산 가능(짧은 시간에 doubling 가능)

• 높은 생산량 : 3~8배 또는 250배까지 생산량이 높음

• 대부분 종류의 물 이용, 상업적 대량 생산이 가능



높은 경쟁력과 지속 가능성

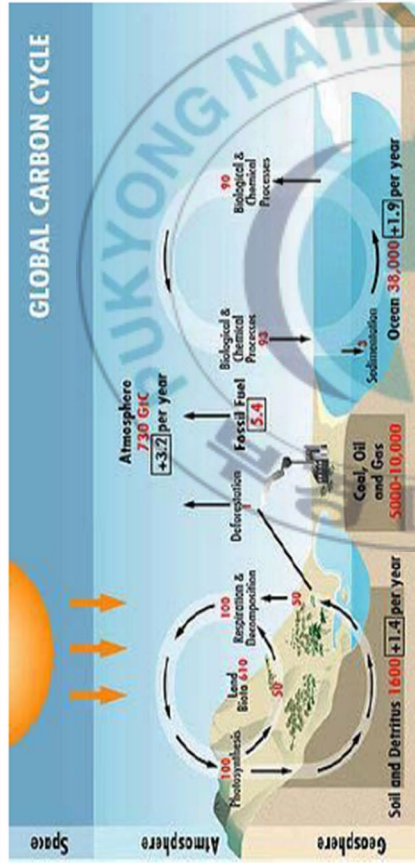
주요 바이오에너지별 오일 수율 비교

(단위: gal/acre)

종류	팜	코코넛	자트로파	콩	사탕수수	옥수수
미세조류	650	290	192	50	450	250
생산 가능량	1600-8500 (2,000)					

보기카드.3

해양 바이오에너지의 온실가스 저감효과



이산화탄소
흡수능력
타월

미세조류 바이오연료는 광합성 탄소동화작용을 통해 이산화탄소(CO₂)는 흡

산소와 오일 등 유용한 물질을 생산해 환경적으로 대단히 유익

그 결과, 미세조류 연료는 온실가스 회수에 파급효과 큼

• 이산화탄소(CO₂) 흡수 효율성이 높은 미세조류

→ 배양과정에서 자기무게의 1.8~2.0배에 달하는 CO₂ 흡수(육상식물 대비 10~50배)

→ 특정한 토양이나 수질을 가리지 않고 배양가능 (공장폐수 가능)

- CO₂ 소비량이 3.5배 이상 높음

→ 100톤 미세조류는 183톤 CO₂ 회수

체내 저장

감사의 글

감사의 글을 쓰는 지금의 느낌은 감개무량하고 감회가 새롭습니다. 뒤늦게 시작한 학문의 길이 이제 작은 결실을 맺기 때문입니다. 세상을 보는 시각과 자세가 더 겸손하고 진지해지는 계기가 되리라 여깁니다.

2009년 7월부터 시작된 약 1년간의 로드아일랜드대학의 초빙연구원 경험은 저에게는 아주 특별한 것이었습니다. 그때 저의 학문적 열망을 동기 유발 시켜준 표희동 지도교수님을 만나게 되었습니다. 그 이후 매주말 서울과 부산을 오가며 진행된 강의나 논문지도 과정에서 저의 부족한 점을 채워주시기 위하여 배려한 점 영원히 잊지 못할 것입니다.

또한 일하면서 공부를 한다는 것은 결코 쉬운 것이 아니었습니다. 이러한 과정을 위하여 기회를 주신 한국해양과학기술원 강정극 원장님, 박찬홍 박사님, 임장근 박사님, 권문상 박사님 이외 모든 분들께도 감사의 말씀을 전하지 않을 수 없습니다. 이제는 제가 배운 작은 것을 가지고 제 삶의 율타리인 한국해양과학기술원에 보답할 차례가 아닌가 합니다.

학위논문 심사과정 중에서 미흡한 부분을 채워주시고 매사 겸손하게 임하라는 소중한 말씀을 아낌없이 주신 이상고 교수님을 비롯한 박철형 교수님, 김도훈 교수님 그리고 장학봉 박사님께도 감사의 말씀을 전합니다. 또한 3년간의 강의 과정 중에서도 저의 학문적 발전을 위하여 다양하게 지도

편달을 해주신 해양산업경영학과의 장영수 교수님, 송정현 교수님, 박성쾌 교수님, 김병호 교수님께도 머리 숙여 감사드립니다.

한국해양과학기술원 정책연구소의 박세현 박사님, 진세준 연구원, 강길모 박사님, 장덕희 박사님과 해외생물자원센터의 강도형 박사님, 제가 소속된 해양R&D실용화센터의 박준수 박사님, 김혜민 연구원 그리고 서울과학기술대학의 유승훈 교수님 이외 많은 분들의 아낌없는 도움이 있었기에 본 논문을 쉽게 마무리할 수 있었습니다.감사드립니다.

특히 늦게 시작한 공부에 전념할 수 있게 묵묵히 도와준 나의 친구이자 아내인 이경미님께 이 모든 것을 다 주고 싶습니다. 그리고 이구동성으로 학문을 소중히 여기라 말씀을 주신 지금은 하늘에서 이를 지켜보고 계실 아버님 그리고 장인어른께 이 논문을 바칩니다. 아들의 발전을 기원하시는 어머님 그리고 물심양면 도와주신 장모님께도 감사의 인사를 올립니다. 마지막으로 저의 사랑하는 아들 김준형군에게 이 논문이 아버지라는 이름의 등불이 되기를 바라며 사랑의 메시지를 전합니다.

2014년 2월 김 태 영