



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 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](#)

공학석사 학위논문

유채유를 이용한 바이오디젤의
Emergy 분석



2008년 2월

부경대학교 대학원

환경 공 학 과

장 혜 현

공학석사 학위논문

유채유를 이용한 바이오디젤의
Emergy 분석

지도교수 이석모

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2008년 2월

부경대학교 대학원

환 경 공 학 과

장 혜 현

張慧賢의 工學碩士 學位論文을 認准함

2007年 12月



主 審 理學博士 金 一 奎 ㉠

委 員 工學博士 姜 大 錫 ㉠

委 員 工學博士 李 錫 謨 ㉠

목 차

Abstract	V
I. 서 론	1
II. 연구 배경	3
1. 대체에너지와 바이오디젤	3
1.1 대체에너지	3
1.2 바이오디젤	8
2. 에머지 분석법	23
2.1 시스템 생태학	23
2.2 에머지 개념	24
2.3 에머지 분석법의 가치평가 기능	29
III. 연구방법	31
1. 바이오디젤의 화폐경제적 가치 분석	31
1.1 바이오디젤의 거래가격	31
1.2 유채생산의 부수적 효과	31
2. 바이오디젤의 생태경제적 비용 분석	33
2.1 에너지 시스템 다이어그램 작성	33
2.2 에머지 평가표 작성	34
2.2 에머지 지수 계산	35
IV. 결과 및 고찰	38
1. 바이오디젤의 화폐경제적 가치 평가	38
1.1 바이오디젤의 거래가격	38
1.2 유채생산의 부수적 효과	38

2. 바이오디젤의 생태경제적 비용 평가	39
2.1 유채유를 이용한 바이오디젤의 에머지 분석	39
2.2 에머지 지수분석	41
V. 결론	43
Appendix A	44
Appendix B	50
Appendix C	54
감사의 글	55
참고문헌	57



표 목 차

Table 2.1 Pollutant contents of biodiesel and diesel	0 1
Table 2.2 Reduction effect of pollution by percent biodiesel	1 1
Table 2.3 Use of biodiesel in the world	7 1
Table 3.1 Tabular format for emergy evaluation	43
Table 4.1 Monetary economic value of biodiesel per barrel	83
Table 4.2 Emergy evaluation of biodiesel using rape oil	0 4
Table 4.3 Indices using emergy for overview	1 4

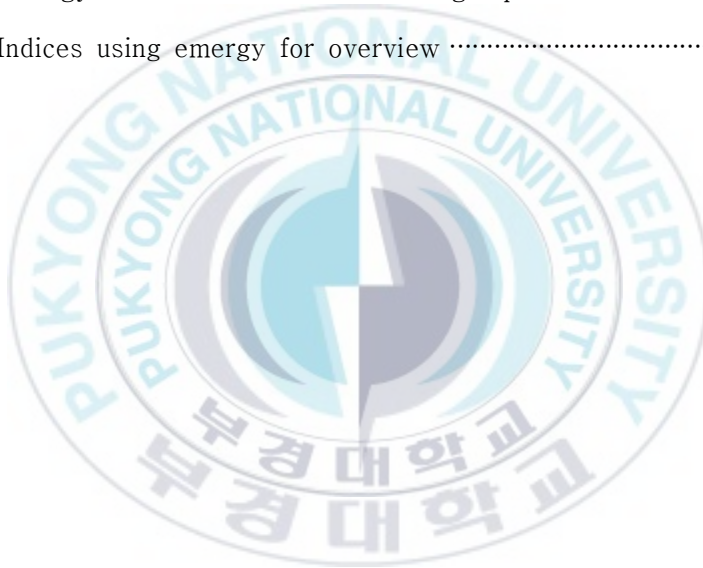


그림 목 차

Fig. 2.1 Kinds of bioenergy	5
Fig. 2.2 Reduction effect of pollution by percent biodiesel	21
Fig. 2.3 The methodological roots of systems ecology	42
Fig. 2.4 Emergy quality chain used to calculate solar transformity	52
Fig. 2.5 Hierarchical chain of energy transformations	62
Fig. 2.6 Emergy inputs used to evaluate the emergy/money ratio of the national economy	7
Fig. 2.7 Systems diagram of the autocatalytic storage to energy transformation process	2
Fig. 3.1 Typical energy sources driving an environmental system arranged in order from low quality on left to high quality on right	43
Fig. 3.2 Emergy based indices, accounting for local renewable emergy input(R), local nonrenewable inputs(N), and purchased inputs from outside the system(F)	63
Fig. 4.1 Energy diagram of biodiesel using rape oil	93
Fig. 4.2 Energy sources signature of biodiesel production	14
Fig. 4.3 Comparison of EYR between biodiesel and other energy sources	24

Emergy Analysis of Biodiesel Using Rape Oil

Hye Hyun Jang

Department of Environmental Engineering, Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Korea needs to develop alternative energy to reduce the high overseas reliance on resource and to reduce the pollution from burning fossil fuel.

Due to many efforts, we have bought and used biodiesel since July, 2006 and it is now most commonly used alternative energy which can reduce overseas reliance and also can improve the environment and keep the landscape.

But on the other hand, high production cost, side effects on car and instability of raw material supply bring criticism on practicality.

This study provides base data for energy policy by evaluating alternative effect, efficiency and sustainability base on the emergy analysis of biodiesel using rape oil.

Transformity of biodiesel is $7.55E+14$ sej/bbl which has low efficiency against

4.03E+14 sej/bbl of diesel.

Emergy Yield Ratio(EYR), which indicates value of resource, of biodiesel is 1.50 with is lower than 6 of fuel EYR but since it is over 1 it can help reducing fossil fuel use.

With high reliance on non-renewable source and purchased input, Environmental Loading Ratio of biodiesel is 2.01 and Emergy Sustainability Index(ESI) of biodiesel is 0.75.

Monetary economic value of biodiesel is 112,382won/bbl even combining value of by-effect(216,337 won/bbl) there for biodiesel costs more than its benefit which is lower than ecological economic cost of biodiesel(342,000 Won/bbl).



I. 서론

연간 사용되는 에너지의 대부분을 수입에 의존하고 있는 우리나라의 경우 (2005년 기준 96.8%), 대체에너지의 개발을 통한 에너지 수입 의존도를 감소시키기 위한 노력이 필요하며, 이와 함께 최근 화석연료 사용에 따른 환경 문제가 점차 심각해지고 있어 일부나마 기존의 석유에너지를 대체할 수 있는 무공해 에너지 자원의 개발이 절실히 필요한 실정이다(주, 2006).

많은 사람들의 연구를 바탕으로 2006년 7월부터 바이오디젤을 시중에서 구입할 수 있게 되었으며, 바이오디젤은 현재 가장 상용화된 대체 에너지 중의 하나이다. 바이오디젤은 식물성 오일과 알코올을 에스테르 교환 반응으로 합성한 물질로서 일반 경유와 물리·화학적 특성이 거의 같으며 일명 식물성 디젤이라고도 불린다. 식물성 유지와 알코올을 에스테르 반응시킨 물질로서 석유수입의존도를 줄일 수 있고, 환경개선 효과가 있으며, 경관보존효과가 있다(미래농정연구원, 2005). 우리의 일상생활과 밀접하게 관련되어 있는 측면에서 바이오디젤의 장점은 무엇보다 재생 가능한 연료라는 것과 이산화탄소 배출량을 감소시킨다는 것이다. 2005년 2월에 화석연료로부터 배출되는 이산화탄소를 감축할 목적의 교토 의정서가 발효되었으며, 앞으로 우리나라 산업에도 큰 영향을 줄 것으로 예상되고 있다. 바이오디젤로의 순환된 양에서 바이오디젤 생산에 소모된 화석연료만큼을 제외하면, 경유에 비하여 약 79%의 이산화탄소 저감효과를 보여주고 있다. 국내에 시범보급중인 BD20은 약 16%의 이산화탄소 저감효과를 나타내고 있다(강, 2005).

바이오디젤의 국외 사용 현황을 보면 1988년 오스트리아의 소규모 공장(500톤/년)에서 세계 최초로 상용 생산된 이래 유럽연합을 중심으로 생산용량이 급격히 증가하고 있으며 유럽, 북미 및 중남미, 아시아, 오세아니아 제국 등 세계 각국에서 BD100, BD30, BD20, BD5, BD3 등 다양한 형태로 사용되고 있다(이, 2006).

이와 같이 바이오디젤은 석유를 대체할 수 있는 연료로서 연구가 계속되고

있으며 선진사례에 따라 우리나라에서도 점차 사용량이 증가하게 될 것이다.

그러나 위에서 열거한 장점에 반해, 생산단가가 비싸고, 자동차에 나타나는 부작용과 원재료 수급의 불안정성 등의 단점도 지적되고 있어 바이오디젤의 대체연료로써 과연 효과가 있는지 논란이 지속되고 있다(박, 2006, 유, 2002).

본 연구는 자연환경의 역할과 경제활동을 통합·평가할 수 있는 Emergy에 대한 연구이다. 에머지는 한 가지 서비스나 생산물을 만드는 과정에 직·간접적으로 소모된 한 종류의 이용 가능한 에너지라고 정의되며 에머지 분석은 시스템의 지속가능성을 평가하는데 중요한 도구이다. Odum(1996)은 'Environmental Accounting : Emergy and Environmental Decision Making'에서 다양한 시스템을 평가하였고, Brown et al.(2001, 2003)은 최근에 이루어진 세계적인 에머지 연구를 소개한 바 있다. 우리나라에서 이루어진 Emergy 평가로는 Emergy Analysis Overview of Korea(Lee and Odum, 1994), 수산업 분석(손, 1996), 갯벌평가(이, 2001; Kang 2001b), 댐 건설(강 와, 1999 ; Kang and Park, 2002), Emergy 분석 방법에 의한 제조업의 환경친화성 지수에 관한 연구(제, 2004), 에너지 모델링을 이용한 대기 중 이산화탄소의 저감방안에 관한 연구(송, 2005)등이 있으며 대체 에너지와 관련한 Emergy 평가로는 시화호 조력발전 건설사업에 대한 Emergy 평가(주, 2006) 등이 있다.

본 연구는 바이오디젤의 생산에 이용되는 직·간접적인 자원에 대한 통합평가를 통하여 실질적인 가치를 평가하고 대체자원으로서의 효율성과 지속가능성을 평가하여 에너지 정책에 반영될 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구 배경

1. 대체에너지와 바이오디젤

1.1 대체에너지

화석연료의 사용으로 인한 이산화탄소의 증가로 지구온난화 등의 이상기온현상이 세계적으로 문제가 되고 있으며, 이를 해결하기 위하여 이산화탄소의 발생량을 줄이고자 화석연료의 사용을 제한하고 대체 에너지를 개발하여 활용하는 것이 세계적인 관심사가 되고 있다.

또한 원유의 가격이 배럴당 70달러가 넘는 현실에서 지구촌은 대체에너지 개발 경쟁이 심화되고 있으며, 각 국가들은 국가의 생존전략 차원에서 이러한 개발을 추진하고 있다. 즉, 화석에너지의 고갈에 따라 각 국가들은 기존 석유자원 확보의 최대화와 대체에너지 개발이라는 두가지 흐름에서 국가의 에너지 수급 정책을 세우고 있으나, 기술선진국들은 대체에너지의 개발을 통해서 원유의존도를 줄이는 방향으로 에너지 수급 정책을 세우고 있다.

유럽연합이 결정한 바이오 연료 로드맵에 따르면 전체 에너지 소비량 가운데 바이오 연료의 대체 비율을 현재 2%에서 2010년까지 5.75%(1천8백만t)로 끌어올린다는 계획을 세우고 있으며, 미국은 중동산 원유 의존도를 2025년까지 75%로 줄일 예정이고, 일본은 2030년까지 석유의존도를 40% 이상 낮추는 신국가에너지전략을 마련하였다. 가장 획기적인 국가는 스웨덴으로 현재 30%인 석유에너지 의존도를 2020년까지 0으로 낮추는 에너지 계획을 수행 중이다(노, 2006).

우리나라는 미래에 사용될 대체에너지로 석유, 석탄, 원자력, 천연가스가 아닌 에너지로 11개 분야를 지정하였고(대체에너지개발 및 이용·보급촉진법 제2조), 세분하여 보면 다음과 같다.

- 재생에너지 8개분야 : 태양열, 태양광발전, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물에너지
- 신 에너지 3개분야 : 연료전지, 석탄액화·가스화, 수소에너지

대체에너지에 대한 각각의 설명은 노(2006)의 문헌을 인용하였다.

1.1.1 자연에너지

가. 태양 : 태양열, 태양광

집열장치를 이용하여 태양열 에너지를 직접 이용하는 것으로 태양 전지와 같은 광전변환 소자를 개발하여 태양광 에너지로부터 전기를 생산하는 것이다.

나. 풍력

미국, 일본, 덴마크 등에서는 수백 kW급의 상업화에 성공하고 있으나, 국내는 수 kW급 초소형 실험용 설비로서 초보적 수준이다. 우리나라 서남해안 지방의 계절풍을 이용한 발전이 유망하다.

다. 해양 : 조력, 파력, 해류, 온도차

조력, 파력, 해류, 해수온도차와 같은 형태로 존재하며, 해양에너지는 발전에너지 자원으로 주목되고 있다. 현재 해양선진국을 중심으로 개발 중이다.

라. 지열

지하 수백 개의 화산성 지열대 및 수 km 깊이에 형성된 고온암체의 지열 자원을 이용하는 것으로 수백기압의 물을 이용하여 균열시켜 저유층을 조성한 후 여기서 얻는 수백 °C의 열에너지를 발전용으로 회수하는 것이다.

마. (소)수력

일반 수력발전 규모 이하의 전기를 생산할 수 있는 수력자원이며, 저낙차용 고성능 수차의 개발을 통한 수력에너지를 이용하는 것이다.

바. 바이오 연료

동식물로부터 나오는 유기물을 이용하는 것으로 알코올, 메탄가스, 바이오디젤 등과 같은 재생성 무공해 에너지이다.

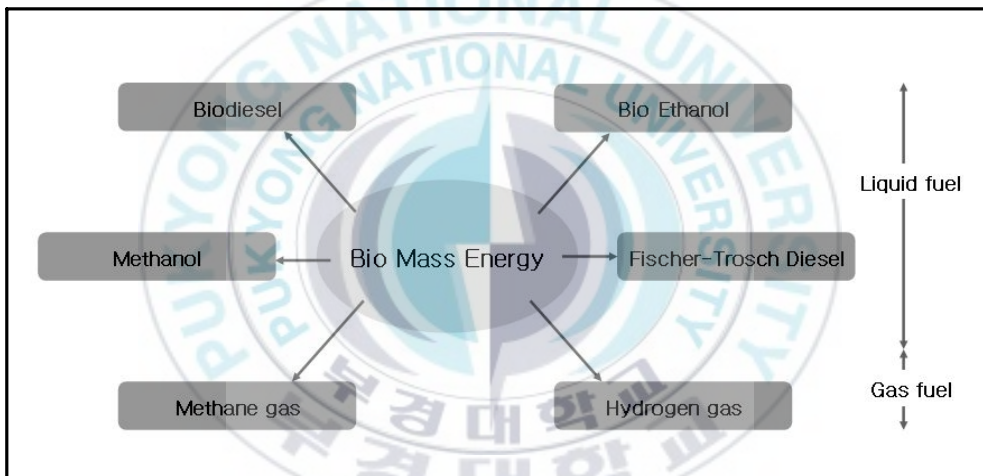


Fig. 2.1 Kinds of bioenergy.

1.1.2 신에너지

가. 연료전지

수소와 산소사이의 전기·화학적 반응으로 직접 전기를 생산하며, 발전효율이 40~60%로 높다.

나. MHD(Magneto Hydro Dynamic; 자기유체발전)

자기 마당을 유체가 운동할 때 전류가 발생하는 원리를 응용한 것이며, 발전 효율이 50 ~60%로 높다.

다. 수소

물로부터 추출하므로 자원이 무한정하다. 우주로켓 연료나 특정 화학공업 분야에 사용하고 있으나 현재까지는 생산비용이 높고 수송과 저장에 비실용적이다.

1.1.3 재활용에너지

산업폐열, 도시폐기, 고온배기가스, LNG 냉열을 이용하는 방법이다.

1.1.4 바이오 대체 연료

바이오 연료란 식물을 가공하여 획득하는 연료이다. 바이오 연료는 재생산성 연료로서, 환경 보전 차원에서 관심이 집중되고 있다. 식물의 성장 과정에서 공기 중의 이산화탄소 및 질소화합물의 흡수와 산소의 방출은 현재 지구의 온난화를 방지시켜 주는 부가적 이익을 가져다 줄 뿐 아니라 식물성 연료에는 석유에 포함되어 있는 각종 공해물질 (발암성 방향족, 유황 등)이 포함되어 있지 않아, 연소 시 공해물질의 발생을 최소화할 수 있다.

이러한 취지에서 셀룰로오스, 당분, 전분에서 발효되어 생산되는 알코올과 해바라기, 콩 등에서 생산되는 식물성오일과 이를 이용하여 생산된 바이오디젤에 대한 연료의 응용이 폭 넓게 연구되었고, 대체에너지 개발사업 중 가장 대규모로 적용이 되고 있다.

가. 바이오 휘발유(에탄올)

바이오 휘발유(에탄올)는 미국과 브라질 등 중남미에서 상용화에 성공한 바이오연료이다. 미국에서는 1980년부터 휘발유에 에탄올을 10% 혼합한 가소홀(Gasohol)을 판매하고 있으며, 이에 따라 1990년에 이미 에탄올 혼합물은 미국 내 휘발유 판매액의 10%를 차지하고 있다. 한편 에탄올의 사용을 증진시키기 위해 미의회에서는 에탄올의 생산에 면세 혜택을 지속적으로 부여하고 있으며 환경에 대한 여론의 힘에 의하여 에탄올 생산이 급격하게 증가하고 있다.

브라질에서는 1975년부터 에탄올을 휘발유 대용으로 이용하려는 계획이 시작되었으며, 이 계획은 브라질 휘발유 차량의 90%가 에탄올 또는 휘발유/에탄올 혼합연료 사용이 될 수 있도록 하는 것이었다. 현재 브라질에서는 5% 이상의 차량이 22%의 에탄올 혼합 휘발유를 사용하고 있다.

유럽의 대체 바이오 휘발유 개발의 시작은 역시 식물의 발효로 생산되는 에탄올이다. 현재 선진국의 경우 2% 이상의 산소가 휘발유 내에 포함되어야 하기 때문에, 바이오연료 5~15% 정도를 기존 휘발유에 첨가하여 사용하고 있다. 또한 앞으로 각종 규제강화로 이 수치는 약 20% 이상으로 상승할 예정이다.

나. 바이오디젤

쌀겨, 폐식용유 등 식품산업의 부산물인 식물성유지나 동물성기름을 촉매 장치 하에서 알코올과 반응시켜 생성되는 에스테르화 기름이며, 자동차용 경유와 특성이 유사하여 디젤자동차의 엔진변경 없이 경유와 혼합하여 사용이 가능한 대체에너지이다.

1.2 바이오디젤

1.2.1 바이오디젤의 정의

바이오디젤은 식물성 기름이나 동물성 지방, 폐식용유 등의 재생가능한 자원을 촉매 존재 하에 알코올과 반응시켜 생성하는 에스테르화 기름이며, 자동차용 경유와 특성이 유사하여 디젤자동차의 엔진변경 없이 경유와 혼합하여 사용이 가능한 대체에너지이다. 주성분은 C_{16} 과 C_{18} 의 지방산 메틸에스테르(조성: $C_{12}\sim C_{22}$ 까지 분포)이다.

1.2.2 바이오디젤의 장점

가. 대체에너지로서의 관점

산업의 발달에 의한 대량생산과 대량소비를 향유하던 서구의 패러다임은 중동전 이후 석유를 무기화하면서 불어 닥친 수차례의 석유파동으로 인하여 매우 충격적으로 변화하기 시작하였다.

산업화 초기와는 비교할 수 없을 정도의 타격을 입은 선진국들은 에너지절약 사회로의 전환과 더불어 새로운 에너지원의 확보에 모든 우선권이 주어졌고, 이에 따라 에너지 공급을 위한 고밀도 에너지원인 원자력발전 등에 많은 역량을 투입하였다. 이와 더불어 가장 대체하기 어려운 유동성 수송연료의 대체연료개발에 많은 투자를 하기 시작했으며, 바이오디젤에 많은 관심이 집중되었다.

바이오디젤은 기존의 경유와 그 성질이 비슷하기 때문에 엔진의 교체 없이도 즉시 사용할 수 있는 장점이 있으나 일반적인 대체에너지 개발 분야에서 당면하고 있는 비경제성 등의 문제점 해결 없이 실질적인 대체에너지로서 정착되는 일은 매우 어려운 일이었으며, 바이오디젤의 경제성은 1990년대에 들어와서 적극적으로 검토되기 시작했다.

80년대 석유파동 이후 경유의 생산가격 급등과 더불어, 석유 소비 억제를 위

한 석유 소비세의 도입으로 경유의 소비자 가격이 급속도로 상승하였고, 바이오디젤의 원료인 식물성 오일의 가격은 1950년 톤당 2,000\$에서 1990년 500\$로 감소하였으며, 통계적으로 볼 때 연간 3.4%의 가격하락율을 보이며 인플레이션을 감안할 때, 식물성 오일의 가격이 매우 저렴하게 떨어졌음을 알 수 있다.

1990년 중반에 들어서면서, 면세된 바이오디젤의 가격이 세금을 포함한 경유의 소비가격 보다 낮아지는 시점 이후 유럽의 각 정부는 그동안 기술개발의 마무리 단계였던 바이오디젤 산업을 출범시키기 시작하였다. 1993년 프랑스의 노방스사가 최초로 연간 3만 톤 규모의 바이오디젤 생산공정을 가동하기 시작한 후 2005년 말 기준으로 유럽은 프랑스, 독일, 이탈리아를 중심으로 318만 톤의 생산량을 기록하고 있다. 이는 유럽 각국이 바이오디젤에 동일한 면세혜택을 부여하여 바이오디젤의 생산을 독려하고 있기 때문이다.

선진국의 바이오디젤에 관한 세제혜택은 바이오디젤 생산기업의 개발을 고취시키게 되었고, 비연속 반응공정에서 고성능 연속식 반응공정으로 발전됨으로써 생산원가 절감으로 연결되는 상승효과를 보이고 있으며, 각종 기술개발은 농지에서 생산량 증대를 위한 농업생산기술과 유전공학 관련 기술의 발전을 촉진시키고 있다.

농업에 기반을 둔 바이오디젤 산업은 대체에너지 개발 분야 중 경제성과 동시에 대량 생산기반을 갖추고 있는 분야이다. 전 세계에 널려 있는 밀립, 유휴지 및 이모작 용지의 이용을 통하여 각 지역, 기후에 알맞은 다양한 유지식물을 재배한다면 유럽의 경우 2010년 까지 전체 경유의 12%와 미국의 경우 2020년까지 20%를 대체하려는 전략은 큰 무리 없이 추진될 것으로 기대된다.

한편 경유의 생산원가는 환경을 고려한 품질 향상 요구로 인하여 생산비가 증가하였고, 바이오디젤의 가격이 석유계 경유의 가격과 비슷하므로, 바이오디젤은 세계적으로 상용화되고 대량 생산되는 대체에너지로 이용되고 있다.

나. 환경적인 관점

1) 청정연료로서의 관점

바이오디젤의 청정성은 여러 경로를 통하여 충분하게 입증되어 왔다. 식용으로 사용되는 식물성오일이 원료이므로 바이오디젤 성분에는 석유계 경유에 포함되어 있는 발암성 방향족 벤젠계 고분자가 거의 포함되어 있지 않다. 따라서 인체에 무해하며, 자연계에서 28일 경과 시 77% 이상 분해되는 특징을 가지고 있다.

이에 따라 프랑스와 오스트리아에서는 누출 시 오염의 정도가 심한 담수호에서 이용되는 선박에 집중적으로 사용되고 있다. 또한, 바이오디젤에는 황성분이 없기 때문에 산성비의 원인인 황산화물이 발생되지 않는다.

Table 2.1 Pollutant contents of biodiesel and diesel

	PAHs	Sulfate content	Degradability(28days)
Biodiesel	0.30 mg/mm ³	< 10 ppm	77 %
Diesel	5.01 mg/mm ³	360 ppm	—

각국은 일반경유에서 황 성분을 줄이려는 노력을 많이 기울여 오고 있으며 이에 대한 규제치가 점점 강화되고 있으나 황 함유량을 낮출 경우 경유의 윤활성이 급격히 저하하여 연료분사기의 심각한 고장을 초래하고 있으며, 연료의 불완전 연소로 공해가 증가할 수 있다. 따라서 바이오디젤과 경유를 적절하게 혼합하여 사용할 경우, 마모성이 대폭 감소하여 일반경유의 유허 함유량을 크게 낮출 수 있어 공해 감소 효과가 크며, 이와 더불어 황산화물의 독성으로 인하여 현재까지 장착하기 어려웠던 후연소장치를 자동차 배기구에 설치할 수 있어 미세먼지나 질소산화물의 양을 더욱 낮출 수 있는 장점이 있다.

한편 바이오디젤은 지방산 메틸에스테르로서 분자 내에 10% 이상의 산소를 포함할 수 있다. 따라서 휘발유의 산소첨가제와 마찬가지로, 바이오디젤 100% 또는 경유와 혼합하여 사용할 경우, 산소의 산화촉진작용으로 인하여 연소가 어

려운 발암성 방향족 고분자의 연소를 촉진함으로써 분진(미세입자), 매연, 일산화탄소 등 각종 공해물질의 양이 급격히 감소한다.

그러나 연소 촉진에 의한 엔진의 온도 상승으로 공기 중 질소의 산화가 촉진되어 질소산화물의 양이 2~13% 정도 증가함을 보여주고 있다. 반면 질소산화물과 휘발성 유기물질에 의한 오존발생은 10~50% 감소함을 보여주고 있다. 미국 의회에서는 2년간의 연구와 조사를 바탕으로 바이오디젤을 대기청정법률에 의거하여, 청정에너지로 결정하였다.

Table 2.2 Reduction effect of pollution by percent biodiesel

	B100 (100% Biodiesel)	B20 (20% biodiesel + 80% diesel)
Total Unburned Hydrocarbons	-93%	-30%
Sulfur Oxides	-100%	-20%
Nitrogen Oxides	+13%	+2%
Carbon Monoxide	-50%	-20%
Particulate Matter	-30%	-22%
Ozone Forming Potential	-50%	-10%
PAHs	-80%	-13%
nPAHs	-90%	-50%

출처 : National Biodiesel Board, 2000

Average emission impacts of biodiesel for heavy-duty highway engines

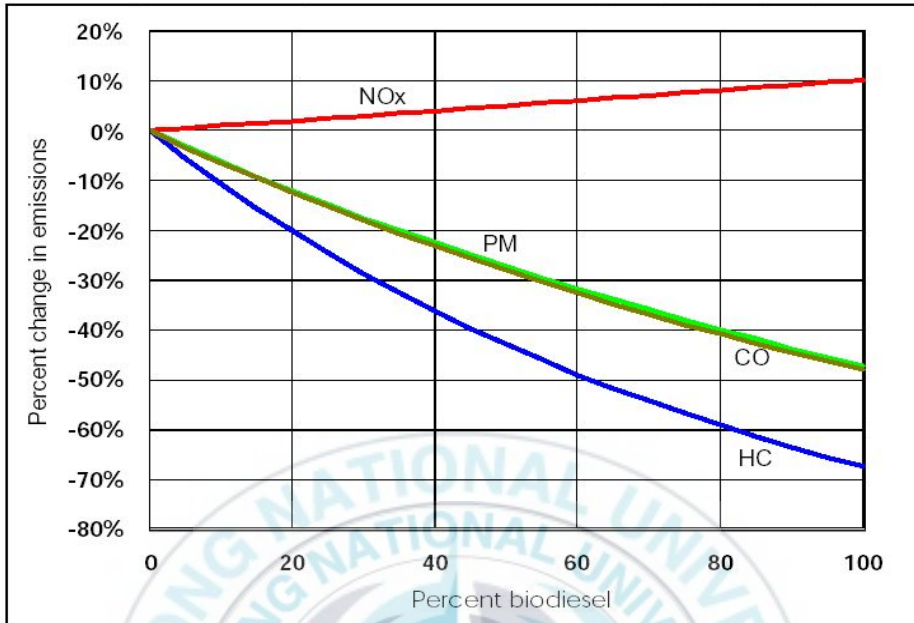


Fig. 2.2 Reduction effect of pollution by percent biodiesel(US Department of Energy, 2004).

2) 기후변화협약의 관점

제7차 유엔기후변화협약 당사국회의에서 지구온난화의 주범인 이산화탄소 배출을 감소시키는 교토 의정서 이행 안이 합의되었다. OECD 국가 중 멕시코와 함께 이 협약에서 제외된 우리나라로서도 간과할 사항이 아니다. 이에 따라 국제적으로 논의되고 있는 배출권 거래제도에 대한 관심이 집중되고 있다. 배출권 거래제도는 법적 허용기준 이내로 대기오염을 배출한 기업들에게 그들의 잔여 할당량을 배출기준 초과 국가들에게 판매할 수 있도록 허용하는 제도이다.

바이오디젤은 식물성오일에서 합성하기 때문에 연소 시 발생하는 이산화탄소는 식물이 다시 흡수하는 순환경로를 가지는 재생가능한 연료이며, 바이오디젤 중 식물이 생산한 탄소함량이 95%이기 때문에 바이오디젤 1톤당 2.2톤의 이산화탄소가 재생된 것으로 환산하여 이를 국가 발생량에서 저감시켜주고 있다. 이를 보면 기후변화협약은 바이오디젤에 대한 또 다른 차원의 경제성을 부여하고 있음을 알 수 있다.

1.2.3 바이오디젤의 단점

바이오디젤은 일반적으로 기존 광물성 연료인 경유에 비해 성분의 안정성이 낮고 장기 보관 시 생화학적으로 산화될 수 있으며 이에 따라 부식성이 높아지거나 광물성 연료와 혼합 시 중합반응을 일으키는 것으로 알려져 있다. 이를 방지하기 위해서는 별도의 산화방지제를 첨가하여 보완할 수 있다. 바이오디젤의 원료 생산 증대를 위해 소비되는 살충제에 의한 환경 영향도 장기적으로 문제될 수 있고 기존 경유에 비하여 점도가 높아 낮은 온도에서 사용하기에 상대적으로 불리하여 캐나다, 북미, 북유럽 등 겨울의 기온이 낮은 곳에서는 BD100 형태로 사용하는 것에 한계가 있다. 바이오디젤의 저장 수명이 기존 경유에 비해 짧으므로 빈번하게 사용하지 않는 비상용발전기나 엔진의 사용에는 적합하지 않은 측면도 있다. 또한 생산단가가 비싸며, 수급의 불안정성 등의 문제가 지적되고 있다.

1.2.4 바이오 디젤에 대한 각국 정부의 대응

바이오디젤은 1988년 오스트리아에서 세계최초로 상용 생산된 이래 생산량이 급격하게 증가하고 있다. 바이오디젤의 이용현황을 보면 세계 각국에서 순수 바이오디젤인 BD100 부터 BD20, BD10, BD5, BD1 등의 다양한 형태로 사용되고 있다. 바이오디젤의 보급정책은 교토 협약에 따른 CO₂ 감축 의무, 도심 대기환경 개선, 신재생에너지 사용 의무, 국내 원료 수급에 의한 농촌 경제 활성화, 관련 산업의 발전과 고용효과 등의 요인에 의해 검토되고 있다.

교토 협약에 따라 이행국가는 1990년도 수준으로 CO₂를 감축할 의무가 있으며, 한국도 머지않아 이행국가로 분류될 가능성으로 인해 정책을 수립하고 있다. 바이오디젤의 CO₂ 감소효과는 식물체가 성장하면서 흡수하는 CO₂의 총량과 식물성오일에 대한 CO₂의 변환량, 경작 시 에너지소모량, 경작 시 소요되는 에너지양 및 분해량, 줄기 등 폐기물의 부패량, 바이오디젤 생산 시 소요되는 에너지 양 등을 종합해 IPCC(UN산하 기후변화 협약에 대한 정부간 패널 모임)에

서 평가하였다.

그 결과, 유채를 재배할 시 저감되는 CO₂의 양은 총 24.68톤/ha이며 바이오디젤 1톤당 2.2톤의 CO₂를 보존할 수 있음을 보여주고 있다. CO₂ 발생량의 가장 중요한 요인인 수송용 에너지를 대체해야 하는 전략과 바이오디젤 사용 확대의 목적이 일치하므로 바이오디젤이 수송용 에너지를 대체해야 하는 중요한 이유가 되었다. CO₂ 발생량을 줄이기 위해서는 대기 환경 개선적 측면에서 바이오디젤은 더욱 유리한 위치에 놓여 있다. 바이오디젤은 분자 내에 약 11%의 산소를 함유하고 있기 때문에 순수한 바이오디젤 뿐만 아니라 경유와 혼합해 사용할 때 연료의 연소가 촉진되어 각종 공해물질은 물론 경유에 함유된 난산화성 방향족 화합물의 완전 연소를 촉진시킨다. 그 결과 선진국에서는 도심공해에서 가장 큰 문제를 야기하는 경유에 바이오디젤을 혼합해 사용하는 정책을 강력히 추진하고 있다.

특히 바이오디젤 등 바이오 연료는 원가의 80% 가량이 농촌 경제에 흡수될 뿐만 아니라 제품 생산 시 고용효과 등 각국 경제에 크게 이바지 할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 미국 재정부의 분석에 따르면 재생 가능한 연료의 생산 및 사용을 통해 2016년까지 농업 및 광공업 분야에서 30만개의 일자리 창출을 전망하고 있다.

그러나 바이오디젤의 많은 이점에도 불구하고 몇 가지 문제점이 예상되는데, 차량에 대한 성능 보장, 바이오디젤 생산 기술과 공급 역량, 원료유 확보, 경제성 극복 등이다. 유럽은 1980년대 말부터 기술개발계획을 확정하고 1990년대부터 상기의 장애요인을 제거하기 위해 적극적인 정책을 입안하고 시행해 왔으며, 최근에는 바이오디젤에 관한 모범사례로 세계 각국에서 유럽의 바이오디젤 정책을 도입하고 있는 상황이다.

가. 유럽의 이용현황 및 보급정책

전 세계적으로 바이오디젤의 생산이 가장 활발한 곳은 유럽으로 다른 국가들보다 바이오디젤의 상용화가 일찍 이루어졌다. 유럽에서 바이오디젤 산업이 빠르게 성장한 배경은 대표적인 비산유국인 유럽의 대다수 국가들이 그동안 러시

아와 중동에 의지하여 석유를 수입해 왔기 때문에 에너지 문제가 수면 아래서 잠재적인 위험요소로 남아 있었고, 우루과이 라운드 협상으로 유럽연합의 농민 보호와 유희경작지를 활용키 위한 대안의 필요에 따라 바이오디젤의 주원료인 콩, 유채 등의 적극적인 경작을 통하여 일석이조의 효과를 거둘 수 있었기 때문이다.

EU 25개국의 바이오디젤 생산량은 2004년 193만 톤에서 2005년 318만 톤으로 65% 증가 하였고, 2006년도에는 약 600만 톤으로 전년 대비 90% 이상의 생산량 증가를 예측하고 있다. 세계최초로 바이오디젤의 상용화 공정을 개발한 오스트리아에서는 2004년 4만5천 톤의 생산 용량을 갖추고 있다. 프랑스는 연간 44만 톤 규모의 바이오디젤 양산 공정을 갖추고 있으며, 바이오디젤의 생산은 정부에서 허용한 한도 내에서 가능하다. 이탈리아는 연간 35만 톤 정도의 바이오디젤 생산 설비를 갖추고 있다.

유럽의 신재생에너지 백서에 의하면 유럽연합은 2010년까지 총에너지 소모량의 12%를 신재생에너지로 대체하기로 결정했다. 또한 유럽의 총에너지 소모량은 석유를 기준으로 1990년 90억 톤에서 2020년 130억 톤에 이를 것으로 판단되며, 총 에너지의 25%를 2020년까지 신재생에너지로 대체할 것을 추진하고 있다. 이중 수송용 액체에너지는 2010년까지 총 5.75% 대체할 예정이며, 연간 1800만 톤에 해당된다.

특히 EU에서는 2003년 5월 EU Directive 2003/30/EC를 발효하여 2005년에 자동차 연료로 2%, 2010년에 5.75%, 2020년에 20%를 바이오디젤을 포함한 바이오 연료로 대체하기로 함에 따라, 앞으로 생산 및 사용량이 증가할 것으로 예상된다. 독일은 다른 나라들이 혼합유의 판매를 적극 지원하는 것과는 달리 순수 바이오디젤유의 보급을 정부 차원에서 적극 지원하고 있어서 2004년 총생산량의 65%가 공공운수업체, 택시회사와 같은 플릿차량 소유주에게 판매되고 있으며, 나머지 35%가 공공주유소에서 판매되고 있다.

또한 바이오디젤의 급속한 소비증가에 따른 원료 조달 문제를 해결하기 위해 동구권에 유지 작물의 경작을 위한 추가 경지의 확보 계획도 가지고 있다. 유럽에서 바이오디젤을 두번째로 많이 사용하는 프랑스는 정유업체가 많은 역할을

하고 있으며, 정유업체는 공급받은 바이오디젤을 경유에 5% 이내로 혼합해 일반 경유로 판매하고 있다. 이탈리아는 바이오디젤 생산량의 약 50%를 난방연료로 사용하고 있고 나머지는 프랑스와 동일하게 경유에 5% 이내로 혼합해 보급하고 있다.

Table 2.3 Use of biodiesel in the world

Nation	Content	Use
USA	Diesel 80% + Biodiesel 20%	the public vehicle & the heavy duty truck
France	Diesel 70% + Biodiesel 30%	the vehicle of downtown & public offices
	Diesel 97% + Biodiesel 3%	the vehicle of a big city
Germany	100% Biodiesel	the vehicle of downtown
	Diesel 95% + Biodiesel 5%	common diesel vehicle
Sweden	Low-sulfur diesel 70~95% + Biodiesel 30~5%	the vehicle of a big city
Italy	100% Biodiesel	the heating oil of a big city
	Diesel 70% + Biodiesel 30%	the vehicle of a big city

출처 : 바이오디젤의 국내의 기술 및 보급현황, 2006, 한국자동차공학회.

나. 독일의 바이오디젤 현황

독일 바이오에너지협회(BBE)에 따르면 2005년 독일 바이오연료의 총 연료시장에서의 비중은 2004년의 1.6%에서 2%로 증가하였다. 이 중 바이오디젤은 주로 BD5와 BD100으로 구분하는데, BD5는 바이오디젤 성분이 5% 일반 휘발유가 95% 섞인 것을 말하며, BD100은 100% 바이오디젤을 칭하는 것이다. 독일은 유럽에서 가장 큰 바이오디젤 시장이며, 지속적인 상승세를 보이고 있다. 2005년 판매량은 전년대비 67.4% 증가했으며 생산량 또한 49.5% 증가 하였다. 2006년에 도 26.6% 판매량 증가와 50.2%의 생산량 증가가 전망되고 있다

현재 독일에서 바이오디젤이 가장 많이 사용되는 분야는 상용 자동차 시장이

며, 독일 바이오디젤 품질 매니지먼트 협력조합(AGQM)에 따르면 2005년 68만 톤의 바이오디젤이 자급용 주유소를 통해 상용자동차(주로 농업용 운송기기)에 사용되었다.

독일 정부의 신재생에너지 지원정책에 의하면 정부의 바이오디젤에 대한 원유세 감면으로 일반 디젤보다 저렴한 가격으로 판매 가능하여(이 규정은 2009년까지 유효), 현재 기존 디젤보다 1리터당 10센트 정도 저렴하게 판매되고 있으며, 유가 상승 등으로 휘발유 및 일반 디젤 가격이 지속 오름세를 보이고 있어, 바이오 디젤에 대한 수요가 증가하고 있다. 또한 전국적인 공급 네트워크망 구축으로 현재 독일 전역에 약 1,900개의 바이오디젤 판매 주유소가 있다.

교토기후협약 준수 등 지속적인 환경보호를 위해 환경 친화적인 대체에너지 개발이 필요하고, 국제에너지기구(IEA)에 따르면 2030년까지 세계 에너지 수요가 50% 증가하며, 이에 따라 이산화탄소 배출량도 현재 수준보다 52% 증가할 것으로 전망되고 있어, 대기오염이 적은 신재생 에너지에 대한 요구가 점점 높아지고 있다. 또한 바이오디젤은 에너지 원자재 수입 의존 감소(독일은 총 에너지의 75%를 수입중이며, 에너지원별로 원유가 97%, 가스가 83%, 석탄은 60%) 효과를 나타내고 있다.

또한 지속적인 원료확보를 위해 유채는 “셋트 아사이랜드”라고 불리는 휴경지에서 재배되고 있다. 이 휴경지는 유럽 전체의 식량생산량을 확보하기 위한 경작지의 일정비율(독일은 10%)을 휴경지와 식량생산 외의 목적으로 이용하지 않으면 안된다는 합의("CAP"(1922))에 의한 것이다. 현재 농가는 바이오디젤용 유채꽃을 재배하여 CAP보조금을 추가시켜 유채의 판매수입을 얻을 수 있으며 독일 정부는 바이오 디젤에 대해 화석연료세 또는 환경세를 비과세로 하여 바이오디젤 가격은 경유보다 다소 낮은 수준을 유지하고 있다.

다. 미국의 이용 현황 및 보급정책

미국 바이오 연료 정책의 경우, 2000년 이전까지는 바이오디젤보다는 휘발유를 대체하는 바이오에탄올 보급에 많은 역량을 기울여 왔다. 그러나 1990년 말부터 미국은 교토협약 미비준으로 인한 국제적 압력과 경유가격의 상승으로 인해 세금 혜택만으로 바이오디젤의 경쟁력 확보가 가능하게 되었다. 콩과 유채등 유전자 변이 작물의 대량 재배로 유지 생산량의 급속한 증대 및 브라질 등 남미 3국의 농업정책 전환으로 미국 콩작물의 과잉 생산에 대한 새로운 활용처를 개발하고 국가적인 차원의 에너지 안보 확보를 추진하고 있다.

미국에서는 1992년 국제바이오디젤협회(National Biodiesel Board)가 설립된 이래 DOE(에너지부)의 EE(에너지효율 및 재생에너지국)를 중심으로 바이오디젤의 생산기술 개발 및 보급정책을 적극적으로 수행하고 있다. 그 결과 1998년 미국 의회에서 미국 내에 바이오디젤 연료를 사용할 수 있는 법안을 통과시켰으며, 1999년 대통령령에 의해 바이오디젤 사용을 권장했다. 에너지백서에서 2020년까지 바이오디젤을 포함한 바이오액체연료를 20% 까지 대체하도록 결정했다. 1998년에는 국회 및 환경보호국에서 BD20을 디젤차량 연료로 승인하였고, 2000년 미의회는 2년간의 연구와 조사를 바탕으로 바이오디젤을 대기청정법률에 의거해 청정에너지로 결정하고 청정에너지에 해당하는 모든 혜택을 부여하였다.

한편 미국은 경유의 저가정책을 유지하고 있어 시장경쟁성에 입각한 바이오디젤의 보급이 당분간 원활하지 못할 것으로 보여 관공서에서 바이오디젤(BD20)을 의무적으로 사용하도록 권장하고 있다. 바이오디젤 생산 공장들은 주로 원자재(콩)가 풍부한 지역에 위치해 있으며 중서부에서는 대두유를 주원료로 사용하나 다른 지역에서는 다른 형태의 재생식용유 또는 동물성 지방을 사용하고 있으며, 지속적으로 공장건설이 확장되고 있다.

미국은 최근 이라크와의 전쟁 및 수해 등으로 인해 휘발유 가격이 지속적으로 상승하고 있다. 각종 산업분야가 높은 유가로 인해 타격을 받고 있으며, 각종 화물 운반을 맡고 있는 트럭회사들이 가장 어려움을 겪고 있다. 최근 미국 트럭협회는 바이오디젤의 연료사용을 공식화 했다. 미국 전역의 주유소들이 바

이오디젤을 급유할 수 있는 기반 시설을 갖추고 있다는 점과 디젤연료 사용 및 환경보전이라는 측면을 동시에 만족할 수 있으므로 바이오디젤을 사용하는 큰 요인이 되었다. 또한 원유 수입의 감소와 미국 농부들의 새로운 경제 활동을 추구시키는 부수적인 효과도 되고 있다.

현재 바이오디젤에 대한 세금 보상과 인식의 향상으로 인하여 1999년 50만 갤런에서 시작하여 2004년에는 2천5백만 갤런으로 급격한 성장세를 보이고 있다. 2010년 4억5천만 갤런, 2015년 8억5천만 갤런의 수요가 예상되고 있다.

라. 기타 국가의 현황

1) 캐나다

캐나다는 재생 가능 에너지 관련 프로젝트 중 하나인 “바이오매스 프로젝트”는 환경성, 천연자원성, 퀘백주 자치단체 등 연방 및 주정부가 중심이 되어 이용을 추진하고 있다. 그 중 바이오디젤 프로젝트는 2004년 6월부터 56만 캐나다 달러를 투자해 바이오디젤유를 선박에 이용하는 시도를 하고 있다.

2) 일본

일본은 교토협약을 기점으로 깨끗한 에너지, 자원순환 이용 등에 대한 국민의식이 급격히 높아지고 있고 특히 바이오매스의 순환 이용에 대하여 일본정부는 “바이오매스 일본 종합전략(2002)”를 수립하고 각 분야에서 구체적 행동이 전개되고 있다. 현재 일본의 바이오디젤 연료 생산 능력은 유럽과 비교하여 작은 연간 1만 톤 정도이다. 현재의 생산수준에서 EU의 수준에 접근하기에는 많은 과제가 있다. 일본에서 연간 소비되는 식용기름은 약 200만 톤이며, 이중에서 폐식용유가 되는 것은 약 40만 톤 정도이다. 그 중 약 20만 톤은 사료나 염료 등으로 재이용되고 있지만 나머지 약 20만 톤은 버려지고 있다. 이를 모두 바이오디젤로 자원화하면 약 300억 엔의 바이오디젤 시장이 형성되고, 여기에 제조 플랜트 및 장치를 연계하면 약 100억 엔 정도의 시장이 추가로 형성될 것으로 예상된다.

3) 브라질

브라질은 풍부한 사탕수수 자원을 바탕으로 세계에서 가장 큰 80억불 규모의 바이오에탄올 시장을 형성하고 있으나 바이오디젤 연료 생산량은 미미한 수준이었다. 브라질의 바이오디젤은 “바이오디젤 생산, 이용 국가프로그램(PNPB)”으로 추진되고 있으며, 바이오디젤에 대한 상업 유통은 2004년에 시작되었고, 바이오디젤의 혼합을 2%(BD2)로 인정하는 기간 동안 적어도 연평균 8억 리터의 새로운 연료 수요가 예상된다. 이를 통해 석유 수입액을 최대 1억6천만 달러 정도 줄일 수 있을 것으로 예상하고 있다.

4) 인도

인도 정부는 2020년까지 20% 바이오디젤 혼합사용을 목표로 하고 있으며, 이를 위해 국가단위의 원료 확보인 자트로파 농장 구축에도 노력을 기울이고 있다.

5) 필리핀

모든 정부 수송 수단에 의무적으로 1~2% 코코넛 기름으로 만들어진 바이오디젤을 사용토록 하여 연료 수입 의존을 낮추도록 노력하고 있다.

6) 태국

태국정부는 2012년까지 바이오디젤 사용 10%를 목표로 바이오 원료 재배지와 30개의 정제소에 총 3.2억 달러를 투자할 예정이다.

7) 중국

중국도 바이오디젤 기술 산업화를 추진하고 있는데, 근래 중국의 원유소비량이 급증하여 2004년도에 2.9억 톤으로 이중 중국 국내 생산은 약 1.8억 톤으로 수입의존도가 약 42% 이었고, 2020년에 이르면 수요량이 약 4.5억 톤에서 6억 톤에 이를 것으로 보여 수입의존도가 60~70%에 이를 것으로 전망하고 있다. 또한

2005년 중국내 약 2천5백만 대인 자동차의 수가 2020년에 약 1.8억 대에 이를 것으로 보이며, 북경, 상해, 광주 등 주요 도시의 자동차 배기가스 방출량이 중국내 자동차 배기가스 방출량 전체의 50%를 상회하면서 휘발유자동차에 비해 무공해 성능이 월등한 디젤자동차, 특히 바이오디젤 자동차가 미래형 자동차 제품으로 주목을 받고 있다. 현재 중국의 바이오디젤 기술력은 선진국 수준이나 원료확보가 문제인 것으로 자체 진단하고 있으며, 이를 위해 사막화된 토지에 유사두(*Cyperus esculentus*), 퇴경화림지역에 황련목(黃連木, *Pistacia chinensis*), 문관과(文冠果, *Xantho cerassorbifolia*), 마풍수(麻瘋樹)(*Jatropha curcus*) 등을 심어 원료를 확보코자 하는 계획을 세우고 있다.

즉 심각해지는 환경과 에너지위기 극복을 위해 중국의 디젤자동차와 바이오디젤 보급은 불가피한 상황이 되어가고 있다. 현재 원료가 되는 식물성 기름 중 비식용인 자트로파에 대한 대규모 농장을 운남성과 사천성에 확보하고 있다.

1.2.5 우리나라 바이오 디젤의 현황

가. 기술과 품질 문제

2002년부터 4년간의 BD20 보급에 대한 시범 보급 사업을 추진하는 과정에서 일부 자동차 연료 계통의 필터 막힘, 시동불량, 시동 꺼짐 등의 기술적 결함이 발견 되었다. 또한 생산업체의 증가와 함께 바이오디젤의 품질 위반 등 관련 규정 위반사례도 증가하였다. 2005년도 95건 검사 중 24건이 위반 사항으로 지적되었고, 우리정유는 BD 제조 시 용제를 혼합하여 유사석유 제조로 입건되기도 하였다.

바이오디젤에 대한 품질문제에 논란이 계속되고 있다. 국내 바이오디젤은 BD0.5와 BD20을 채택하고 있다. 원료별 물성차이를 극복하고 유동점이나 산화안정성 강화를 위해 첨가제나 특수약품을 첨가·보완할 수 있어 크게 우려할 문제가 아니다. 문제의 핵심은 원료의 문제가 아니고 완제품의 품질문제이며, 유통의 품질관리문제가 중요하다. 또한 각국정부가 제정하는 바이오디젤의 품질

기준을 업체가 지킬 수 있는 기술력을 확보하고 있느냐가 관건이다.

현재 우리나라의 품질기준은 상당히 높아져 유럽 공통의 EN14124와 거의 유사하다. 유럽공통의 품질기준의 경우 1988년부터 18년 동안 겪은 시행착오와 검증의 결과물이다.

나. 생산(BD혼합량) 및 공급체계의 문제

2002년부터 시작된 4년간의 바이오디젤 시범보급 기간에는 BD20만을 보급했다. BD20은 주유소에서 혼합해서 판매했는데, 생산업체로부터 바이오디젤 원액(BD100)을 공급받고, 정유사로부터 경유를 공급받아 8대2로 혼합했다. 그런데 주유소의 혼합은 혼합비율의 미준수, 부정유통 등의 문제점을 일으킬 수 있었다. 이에 따라 BD20의 혼합은 바이오디젤 업체가, BD0.5의 혼합은 정유사가 담당하는 것으로 바이오디젤 보급정책을 전환하였다. 현재 정유사는 산자부와 협약을 통하여 연 9만 kL 이상의 바이오디젤을 사용하고 있다.

다. 가격 및 원료 공급 안정성 문제

대두유, 유채유는 생산국 소비로도 부족한 실정이고, 대두유로 BD5를 충족하기 위해서는 남한 면적의 52%에 달하는 경작지가 필요하다. 곡물가격은 기후 등 작황에 따라 수급 및 가격 변동이 심하고, 최근 원유가격 상승에 따라 바이오매스 가격도 연동하여 상승하고 있다.

현재 바이오디젤이 우리나라 경유시장의 일부분을 대체한다는 점과 재생에너지 생산 인프라를 확보한다는 점에서 가능한 대책을 세워야 하며, 장기적으로 안정성과 경제성을 가지기 위해서는 해외에 비식용유인 자트로파 등의 농장을 세워서 싸고 안정적인 원료 공급 체계를 갖추어야 한다. 이는 해외에 석유자원이나 가스자원 확보를 위해 국가적으로 투자를 하고 있는 시점에서 바이오디젤 원료 확보를 위한 해외 농장 건설에도 정부의 지원을 하는 등 보다 적극적인 정책 시행이 필요하다.

2. 에머지 분석법

2.1 시스템 생태학

시스템 생태학(System Ecology)은 지구의 환경문제를 국지적인 차원의 지역문제나 개별산업문제 또는 기술의 문제로만 인식하지 아니하고 하나의 통합된 시스템으로 파악하여, 인간을 포함한 모든 생물군과 그 주변의 환경을 하나의 통합된 시스템으로 인식하여 시스템 내의 구성요소들 사이에 일어나는 유기적인 관계와 상호 작용을 체계적이고 정량적으로 파악하는 학문이다. 포괄적인 접근 방식을 이용하는 시스템 생태학은 Fig. 2.3과 같이 물질과 에너지 흐름으로 형성되는 자연생태계 및 인간의 경제활동에 대해 에너지 척도를 기초로 시스템의 구조를 다이어그램으로 표현하고 이를 바탕으로 생태계의 부분적 기능을 통합하여 하나의 시스템으로 연구하는 학문이다.

시스템 생태학은 자연 생태계에서 일어나는 에너지 및 물질의 흐름과 변환과정을 시스템 언어로 분석하여 인간과 자연의 유기적 관계를 정량적으로 규명할 수 있는 방법을 제시해 주기 때문에 우리에게 자연을 보는 새로운 안목을 가질 수 있게 해주며, 오늘날 우리가 겪고 있는 환경문제를 해결하는 한편 자연을 합리적으로 보호하는데 활용될 수 있다. 또한 지역이나 국가 그리고 세계를 하나의 시스템으로 간주하고 재화의 이동이나 인간의 역할에 시스템 이론을 적용하는 예를 제시하여 사회 과학 분야의 연구에 새로운 접근 방법을 제시해 줄 것으로 보인다. 시스템 분석을 통한 에머지 분석으로 생태계를 분석하고 재구성하는 에너지 시스템 모델을 이용하여 시스템을 종합적으로 평가하고 있다. 그 결과는 실질적인 부의 평가와 공공의 이익을 위한 정책을 선택하는데 충분한 과학적 근거를 제공할 수 있을 것이다.

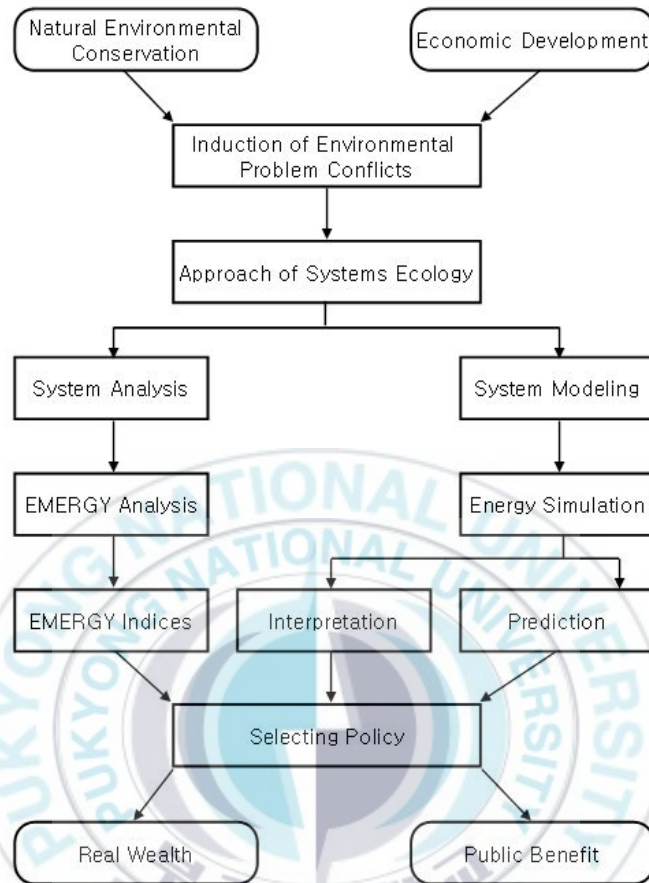


Fig. 2.3 The methodological roots of systems ecology(Lee, 2007).

2.2 에머지 개념

2.2.1 에머지의 정의

지구 순환과정은 각 에너지원에서 공급되는 다량의 저급 에너지로부터 내부 요소에 의해 이용되어 소량의 고급에너지로 전환되는 계층 구조를 가지고 있다. 또한, 생태계 내의 에너지 흐름도 에너지변화, 되먹임, 상호작용, 재순환 등으로 구성된 연결망 구조를 가지고 에너지 변환이 수렴되는 계층구조를 형성하고 있

다. 그러므로 물리학적으로 같은 크기의 에너지라도 실질적으로 일을 할 수 있는 능력에는 차이가 있다.

이러한 차이를 지구생산활동의 원동력인 태양에너지를 기준으로 하여 동일한 척도로 평가하기 위하여 각기 다른 형태의 재화와 용역이 형성되기까지 직·간접적으로 소모된 태양 에너지의 양을 Solar Emergy 라고 정의한다(Odum, 1988).

Fig. 2.4를 참고하여 설명하면, 태양에서 들어오는 40000J의 태양에너지량은 동일하게 유입되는데 반해 이 에너지를 이용한 결과물인 나무, 석탄, 전기는 각각 2, 1, 0.25의 에너지를 가지고 있다. 이 때의 태양에서 시스템 내로 들어오는 에머지(Solar Emjoule) 40000sej을 각각의 결과물이 가지는 에너지로 나누어주면 나무, 석탄, 전기 각각의 Transformity는 20000, 40000, 160000sej/J의 값을 가지게 된다.

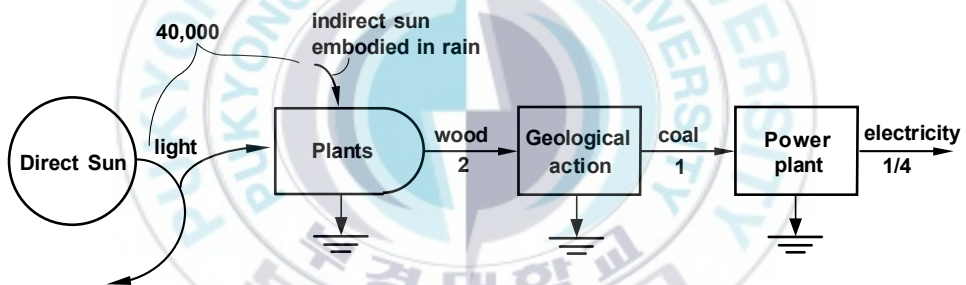


Fig. 2.4 Emergy quality chain used to calculate solar transformity(Odum, 1988).

2.2.2 Transformity

에너지의 흐름은 에너지 변환, 되먹임, 상호작용 그리고 재순환으로 구성된 연결망 구조를 가지고 있다. 이러한 흐름의 연결망 구조는 에너지 변환이 수렴하는 계층구조(hierarchy)를 형성한다. 에너지의 형태가 다르면 에너지의 질이 다르기 때문에, 한 생산물의 에너지 질은 이 에너지가 에너지 변환과정을 통해 형성되기 위해 직간접적으로 사용된 모든 에너지의 합, 즉 내재된 에너지(embodied energy)로 환산하여 측정하게 된다.

에머지는 각 에너지원에 내재된 태양에너지에 대한 척도이며, 이를 계산하기 위해 지구 시스템 내에서 태양에너지로부터의 전환정도를 나타내는 solar transformity가 사용된다. Transformity는 생산물의 에너지질의 척도로 어떤 형태의 에너지 1J을 만들기 위해서 직·간접적으로 소모된 태양에너지의 양으로 정의되며, 단위는 solar emjoules per joule(sej/j)로 표현된다. Transformity는 에너지 계층구조를 따라 진행하면서 점차적으로 증가되며, 에너지 계층구조 내의 에너지 흐름이나 보유량에 대한 질의 척도로 이용된다(Odum, 1988).

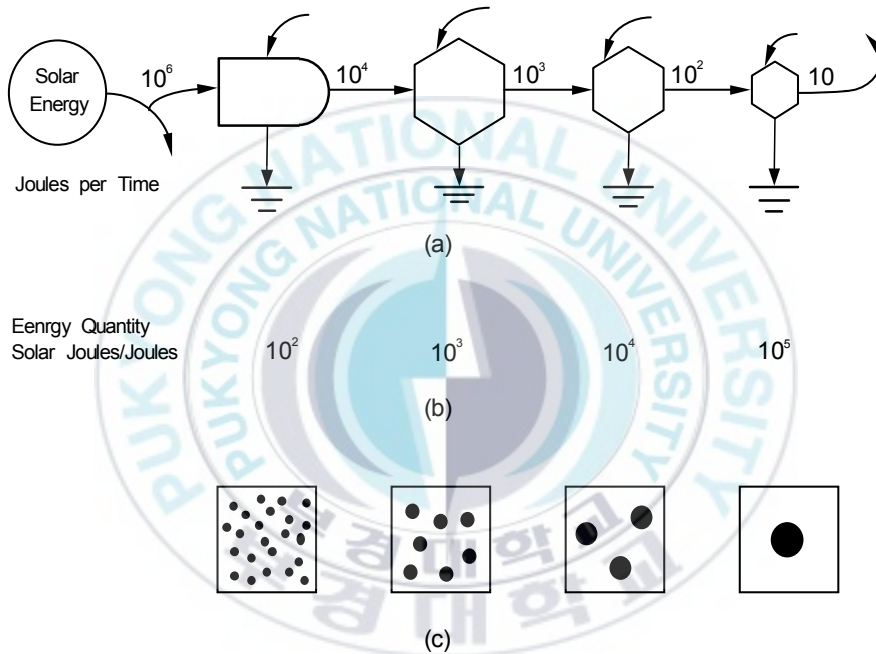


Fig. 2.5 Hierarchical chain of energy transformations: (a) decrease of energy in successive transformations; by-product pathways are omitted; (b) energy-transformation ratios in solar equivalents; (c) spatial hierarchy characteristics(Odum, 1983).

2.2.3 에머지-화폐비율(Emergy Money Ratio, EMR)

EMR은 에머지를 화폐단위로 환산한 것으로 경제적 생산을 위하여 소모된 총

에머지와 생산된 화폐가치와의 비를 이용하여 계산한다(Fig. 2.6). 예를 들면 평가하고자 하는 경제시스템이 1년 동안 사용한 총에머지량을 그 해의 총생산(GDP)으로 나눈 값이다. 에머지 개념은 에머지 흐름이 경제시스템의 순환의 원동력이라고 설명하므로 EMR은 경제의 화폐흐름을 에머지흐름과 연결하는 역할을 한다. EMR은 평가대상 경제의 화폐구매력을 나타내는데 이 비율이 감소한다면 단위화폐로 살 수 있는 에머지, 즉, 실질적인 부가 감소하는 것을 의미한다. 이 가치는 단순화폐가치가 아니라 과학적 척도로서 실질적인 부를 평가하는 에머지에 기초한 거시경제적 가치이다(강, 2003, Appendix A).

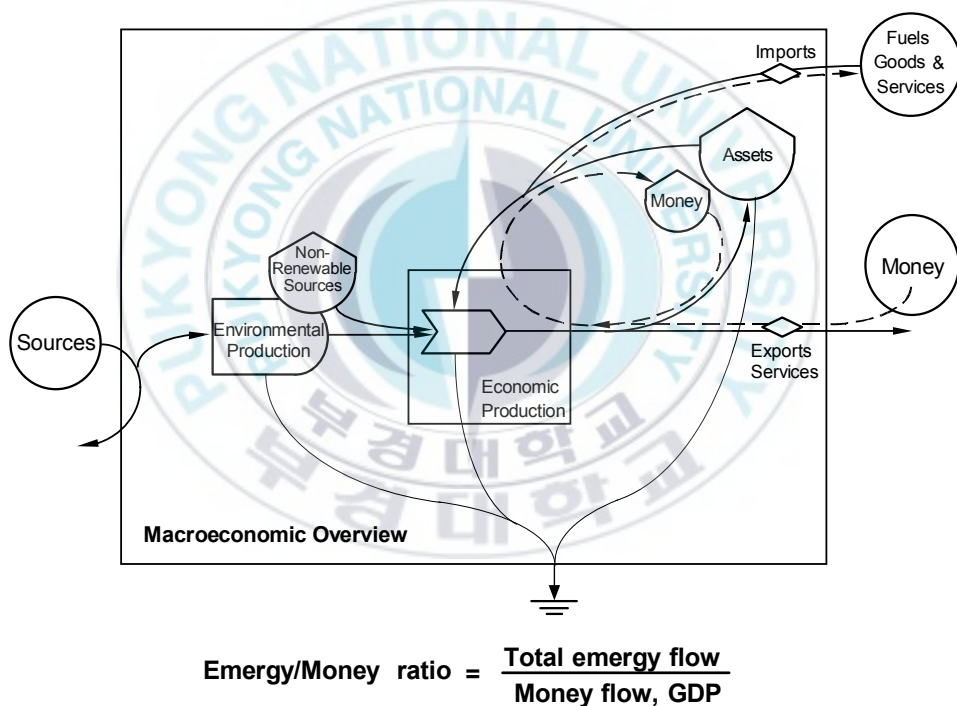


Fig. 2.6 Emergy inputs used to evaluate the emergy/money ratio of the national economy(Odum, 1996).

2.2.4 Maximum Power Principle

생산은 두 가지 이상의 성분이 결합하여 새로운 생성물을 형성하는 과정이다. 이러한 생산이 일어나는 동안 유입성분은 각기 다른 형태와 질의 에너지를 수반하는데 이러한 에너지는 새로운 형태로 전환한다. 일부 에너지는 이용할 수 없는 형태로 분산되어 열손실을 통해 유출되는데 이러한 에너지 변환을 일(work)이라 한다.

Fig. 2.7은 각 시스템이 단위시간당 에너지 흐름을 최대화하기 위하여서는 자원의 유입을 최대화하고 또한 최적의 효율로 운전되어야 하며 열손실 또한 최대로 되어야 한다는 것을 의미한다. 이러한 에너지 연결망의 관점에서 봤을 때 최상의 이용은 증식자로서 되먹임 과정에 참여하는 것이다. 달리 말하면 자원의 유입과 최적의 이용 두 가지 모두를 최대화하는 방법이 피드백인 것이다. 모든 에너지 변환과정의 최종산물에는 유입보다 항상 더 적은 양의 에너지가 만들어지기 때문에 이것이 지속되기 위해서는 생산되어 저장된 에너지는 이전의 생산 과정에 피드백 되어 생산을 재촉진 시켜야 한다.

즉, Maximum power principle은 특정형태의 시스템 조직에 대한 지속가능성 여부를 나타내는데 이 원리를 따르는 시스템은 끊임없이 에너지를 유입시키고 유입된 에너지를 이용하여 보다 많은 에너지를 유입시킬 수 있도록 피드백 시키는 구조를 가지게 되어 지속적으로 성장할 수 있게 된다(Odum, 1996).

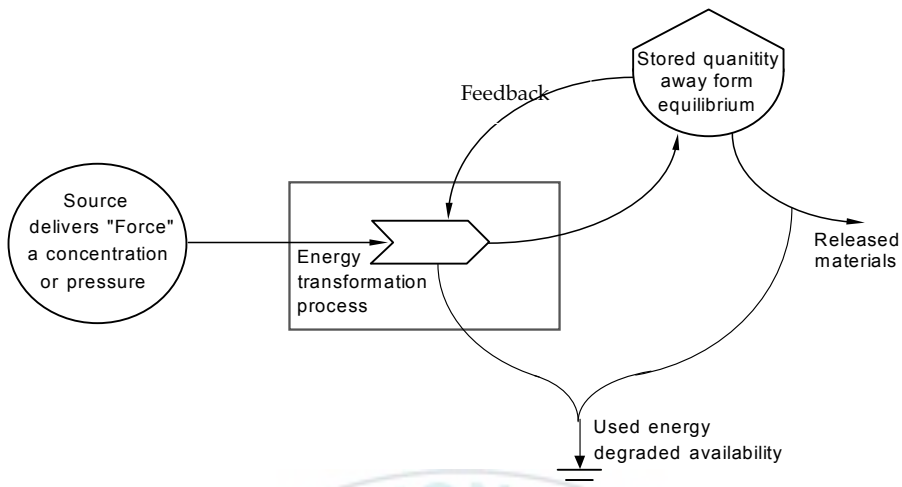


Fig. 2.7 Systems diagram of the autocatalytic storage to energy transformation process (Odum, 1996).

2.3 에머지 분석법의 가치평가 기능

임(2004)에 의하면 현재 지속적인 발전가능성을 구체화하기 위한 노력이 경제학, 환경경제학, 시스템 생태학 등의 여러 학문 분야에서 시도되고 있다. 그 중 경제학의 접근방법은 인간의 상대적인 가치평가 단위인 화폐를 기준으로 시스템의 자연환경 요소를 주관적인 입장에서 평가하고 있다.

현대 경제학에서는 오늘날의 환경오염의 원인을 환경의 질이 무료재에서 경제재 또는 희소재로 전환되었기 때문이라고 설명하고 있으며, 경제성 평가 기준인 GNP에서도 환경오염에 대한 평가를 하지 못하고 있으므로 경제적 ‘인센티브’에 의한 방법을 제시하고 있다. 그러나 이러한 방식은 자연환경을 다시 경제적 기준에 따라 가치를 주는 형식으로 실질적인 자원의 가치를 평가하지 못하고 있다. 또한 그 비용은 재생될 수 있는 재화와 재생되지 않는 재화 사이에서, 생산품과 서비스 사이에서 ‘비용’ 개념이 본질적으로 다르다는 점을 인식하지 못한 것이다. 경제학에서는 환경오염의 원인이 되는 자원을 제외한 자연환경자원을 아직도 자본의 개념이 아닌 소비재로 인식하고 있으며 생태경제학에

서 요구하는 조건인 전체 지구환경자원의 한계와 인류의 자연환경활동에 대한 의존을 인식하는 것이 필요하다고 여겨진다.

에너지 계층구조의 각 단계에서 실질적인 가치를 평가하는 에머지는 상품이나 용역을 생산하기 위하여 직·간접적으로 이용된 모든 에너지를 나타낸 것으로 자연활동에 대한 비용을 인간활동과 동일한 척도로 분석할 수 있기 때문에 가장 생태경제학적 가치평가 기능을 가진 분석법이라고 할 수 있겠다. 또한 에머지 분석법은 시스템 생태학을 기초로 지구의 환경문제를 국지적인 차원의 지역적 문제나 개별적인 산업 또는 기술의 문제로만 인식하지 않고 하나의 통합된 시스템으로 파악할 수 있다. 그리고 인간을 포함한 모든 생물군과 그 주변의 환경을 하나의 통합된 시스템으로 인식하여 시스템내의 유기적인 관계와 상호 작용을 체계적이고 정량적으로 파악하는 분석방법이다. 포괄적인 접근방식을 이용하는 시스템 생태학은 자연환경과 경제활동이 상호 작용하는 농업, 공업, 그리고 지역 등의 시스템에 대해 자연과학, 공학, 사회과학 등의 모든 학문분야의 기술과 방법을 연계시킬 수 있는 에너지 척도를 기초로 시스템의 구조를 다이어그램으로 표현하고, 에머지 분석을 통하여 화폐경제적인 비용/편익분석과 비교하여 나은 대안을 도출해 낼 수 있다는 장점이 있다.

Ⅲ. 연구방법

1. 바이오디젤의 화폐경제적 가치 분석

1.1. 바이오디젤의 거래가격

2002~2004년의 바이오디젤 거래가격을 평균하여 계산한다.

1.2 유채생산의 부수적 효과

유채를 이용하여 바이오디젤을 생산함에 따라 석유수입 대체효과, 환경개선효과, 농촌경관보전효과, 양봉 농가의 소득증대와 유채유의 부산물인 유채박으로 인한 부수적 효과를 조사한다.

1.2.1 석유수입대체효과

국내생산 유채를 이용하여 바이오디젤을 생산함에 따른 석유수입대체효과를 도출하기 위해 경유 수입의 국내가격(500원)과 바이오디젤 생산량을 곱한다.

1.2.2 환경개선효과

디젤을 바이오디젤로 대체할 경우 이산화탄소가 상당부분 감축되기 때문에 이를 통해 바이오디젤의 CO₂ 감축효과를 산출하였다. 바이오디젤 생산·이용에 따른 CO₂ 감축효과를 계측하기 위해서는 디젤의 CO₂ 배출계수와 바이오디젤 이용량을 이용하였으며, 디젤사용에 의한 CO₂ 배출계수는 2.65kg/L로 가정하였다.

교토의정서에는 온실가스 감축방안의 하나로 배출권거래제도를 인정하고 있는데, 이는 CO₂ 배출권을 하나의 상품으로 발행하여 수요·공급의 시장법칙에 의

해 거래가격이 결정되도록 하는 것으로 초기 온실가스 총량을 결정하고 이에 상응하는 CO₂ 배출권을 시장에 배분한 이후에 각 국가 또는 기업들은 온실가스를 감축하거나 시장에서 배출권거래제를 구입하여 온실가스를 배출할 것인가를 선택할 수 있다. 즉, CO₂ 한계저감비용과 배출권거래가격을 고려해서 국가 또는 기업은 오염저감활동을 결정하게 된다.

현재 미국과 유럽에서 배출권거래시장이 형성되어 있는데 CO₂ 거래가격은 미국의 경우 톤당 17US 달러이고 유럽은 23.45유로 수준이다.

CO₂ 감축효과는 배출권거래가격과 환율을 각각 적용하여 산출한다.

1.2.3 농촌경관보전효과

바이오디젤 원료용 유채재배에 따른 농촌경관보전효과를 추정하기 위하여 현재 제주도의 유채수매가격과 판매가격의 차이를 ha당 단가로 적용하였으며, 재배면적과 ha당 경관보전 효과 806천원을 적용하여 산정한다.

1.2.4 기타 부수적 효과

바이오디젤 원료용 유채재배에 따른 긍정적 외부효과로 양봉 농가의 소득증대와 유채유의 부산물인 유채박을 이용하는 경우를 고려하였다. 유채재배에 따른 ha당 양봉소득은 독일 자료를 이용하였다(ha당 양봉 총수입은 143.57유로이며, 이를 위한 총비용은 80.37유로이므로 ha당 양봉농가의 소득은 63.20유로. 환율을 적용할 경우 ha당 85,620원의 양봉소득 발생). 유채씨를 이용하여 유채유를 착유하는 과정에서 부산물로 발생하는 유채박은 ha당 2,000kg(유채생산량의 50%수준)이며, 유채박의 국제가격은 kg당 평균 200원 수준을 적용하였다. 또한 유채박은 사료용 또는 환경농업용 비료로 이용가능한데, 이에 대한 국내시장이 형성된다는 가정 하에 유채 재배면적에 따라 외부소득을 산정한다.

2. 바이오디젤의 생태경제적 비용 분석

2.1 에너지 시스템 다이어그램 작성

에머지 분석을 하기 위해서는 우선 Odum(1996)이 제안한 에너지 시스템 언어를 이용하여, 시스템의 자연환경과 경제활동의 생산, 소비, 재순환 등의 변화를 전체적으로 파악(Top-down)하기 위해 에너지 시스템 다이어그램을 작성한다(Fig. 3.1).

다이어그램의 작성 절차는 첫째, 분석대상 시스템의 경계를 설정한다. 시스템 분석을 위해서 각 시스템의 육지면적과 해양면적(대륙붕)을 시스템의 공간적인 경계로 설정한다. 둘째, 시스템 경계 외부에서 대상시스템에 영향을 미치는 주요 에너지원을 파악한 후, 대상시스템 내의 생산, 소비, 재순환 과정을 파악한다. 셋째, 외부 에너지원을 Transformity 순으로 왼쪽에서 오른쪽으로 시스템의 경계외부에 차례로 배열하고, 시스템 경계 밖의 외부 에너지원으로부터 시작하여 내부의 생산자, 소비자에 대한 에너지, 물질 그리고 화폐의 흐름에 따라 선을 연결하여 다이어그램을 완성한다.

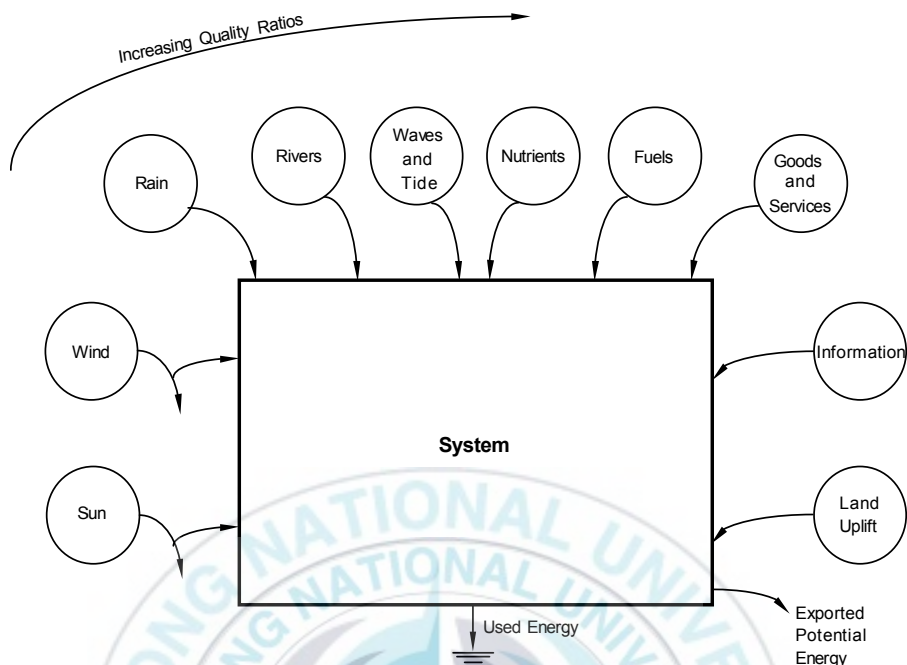


Fig. 3.1 Typical energy sources driving an environmental system arranged in order from low quality on left to high quality on right(Odum, 1983).

2.2 에머지 평가표 작성

분석대상 시스템의 자연환경과 경제활동에 있어 외부 에너지원의 역할과 가치를 평가하기 위해서 Table 3.1과 같은 형식의 에머지 분석표를 작성한다.

Table 3.1 Tabular format for emergy evaluation

No.	Item	Data Units (J, g, or W, \$)	Solar Transformity (sej/unit)	Solar Emergy (sej/yr)	Em\$ (dollar/yr)
(one line here for each source, process, or storage of interest.)					

첫 번째 열에는 각 항목의 순서를 기입한다.

두 번째 열에는 분석대상 시스템의 자연환경과 인간의 경제활동을 가능케 하

는 외부의 주요 에너지원과 내부 구성요소의 목록을 기입한다. 각 분석대상 시스템에 있어 자연환경과 경제활동을 가능케 하는 외부의 주요 에너지원을 태양, 바람, 비, 파도, 조석과 하천 유입량, 석탄소비량, 가스사용량, 석유 사용량, 그리고 각종 교역과 교환에 의해 유입되는 재화 및 용역으로 파악한다. 내부 구성요소에는 식물, 어류, 조류, 저서생물, 연안사주 등의 생산자, 소비자, 내부 물질보유량 등이 포함된다.

세 번째 열에는 주요 에너지원의 실제 에너지, 물질 또는 화폐 단위의 값을 기입한다. 본 연구에서는 태양, 바람, 비, 파도, 조석, 하천, 석탄, 천연가스, 석유, 전기는 에너지 단위로, 교역과 교환을 통한 재화와 용역은 화폐단위로 계산한다.

네 번째 열에는 주요 에너지원에 대한 Solar Transformity, 재화 및 용역에 대한 Energy/Money Ratio를 기입한다.

다섯 번째 열에는 두 번째 열의 주요 에너지원이 가지는 값에 세 번째 열의 Solar Transformity 또는 Energy/Money Ratio를 곱하여 에머지 값을 산출한다.

여섯 번째 열에는 주요 에너지원의 에머지 값을 Energy/Money Ratio로 나누어 계산한 거시 경제적 가치(Macroeconomic Value)를 산출한다.

2.3 에머지 지수 계산

Emergy 분석에서 구한 emergy 값을 기초로 분석대상 시스템을 비교하고, 그 특성을 파악하기 위해 Fig. 3.2와 같이 emergy 지표들을 계산한다.

시스템에 유입되는 emergy를 강우 및 지구활동에 의한 환경 에너지원의 $emergy(R)$ 와 시스템 내부의 보유에너지원의 $emergy(N)$, 그리고 경계 밖으로부터 유입되는 화석연료, 전기, 그리고 각종 재화와 용역의 구매 $emergy(F)$ 로 구분하여 emergy 지표들을 계산한다.

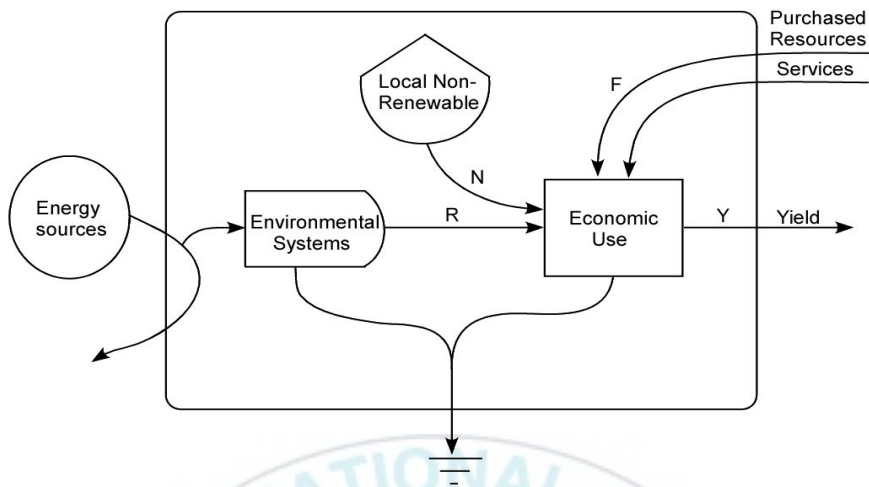


Fig. 3.2 Emergy based indices, accounting for local renewable energy input(R), local nonrenewable inputs(N), and purchased inputs from outside the system(F)(Brown and Ulgiati, 1997)

2.3.1 Emergy 생산비(Emergy Yield Ratio : ERY)

Emergy 생산비는 시스템으로부터 생산된 생산물이 가지는 전체 emergy 양에 경계 밖으로부터 교역과 교환을 통해 유입된 구매자원의 emergy 양으로 나누어 계산하며, 생산물이 가지는 자원으로서의 가치와 시스템의 효율성을 평가하는데 이용한다(강, 2003).

2.3.2 환경부하비율(Environmental Loading Ratio : ELR)

자연환경 활동에서 기인한 환경자원에 대한 내부보유자원과 구매자원의 유입 비율을 의미하는 환경부하율은 내부보유자원과 구매자원의 emergy 이용량에 대해 환경자원의 emergy 이용량으로 나누어 계산하며, 시스템의 생산과정 중, 자연환경에 대한 환경적 부하의 정도를 파악하는 지표이다(강, 2003).

2.3.3 Emergy 지속성 지수(Emergy Sustainability Index : ESI)

Emergy 지속성 지수는 emergy 생산비와 환경부하율의 비로서 계산된다. 지수의 값이 1보다 작으면 지속성이 적은 시스템이고, 10보다 클 경우에는 지속성이 높은 시스템이며, 1에서 10 사이의 경우에는 지속성이 중간정도인 시스템을 나타낸다(강, 2003).



IV. 결과 및 고찰

1. 바이오디젤의 화폐경제적 가치 평가

바이오디젤의 거래가격은 배럴당 112,382원으로 나타났으며, 유채생산에 따른 부수적 효과는 배럴당 216,336원으로 나타났다.

Table 4.1 Monetary economic value of biodiesel per barrel

	Selling price of biodiesel	Alternative effect of petroleum import	CO ₂ reduction effect	Conservation effect of landscape	Additional effect of rape production
Value (won/bbl)	112,382	79,562	8,349	80,159	48,266
Total value	328,710 won/bbl				

1.1 바이오디젤의 거래가격

바이오디젤의 거래가격은 2002년~2004년 기준으로 배럴당 112,382원이다(산업자원부, 2005).

1.2 유채생산의 부수적 효과

바이오디젤 생산에 따른 석유수입대체효과는 배럴당 79,562원으로 나타났고, 유채생산에 따른 CO₂ 감축금액은 배럴당 8,349원으로 나타났으며, 유채생산에 따른 농촌경관보전효과는 배럴당 80,159원으로 나타났다. 양봉과 유채박 등 유채생산에 따른 기타 부수적 효과는 배럴당 48,266원으로 나타났다(미래농정연구원, 2005).

2. 바이오디젤의 생태경제적 비용 평가

2.1 유채유를 이용한 바이오디젤의 에머지 분석

유채유를 이용한 바이오디젤에 대한 에너지 다이어그램은 Fig. 4.1과 같고, 에머지 평가표는 Table 4.2와 같다. 1bbl의 바이오디젤 생산에 따른 생태경제성 분석의 결과를 통하여 각 에너지원의 실질적인 기여정도를 비교해보면, 가장 큰 기여를 하는 에너지원은 자연환경에너지 중 비의 화학적 에너지로서 $2.51E+14\text{sej/bbl}$ 이다. 그 다음은 외부 에너지원으로 비료가 $8.13E+13\text{sej/bbl}$ 이다. 바이오디젤 1bbl의 생태경제적 비용은 342,000원으로 분석되었으며 디젤의 생태경제적 비용인 286,000원보다 크게 나타나 비용이 많이 들어가는 것으로 나타났다.

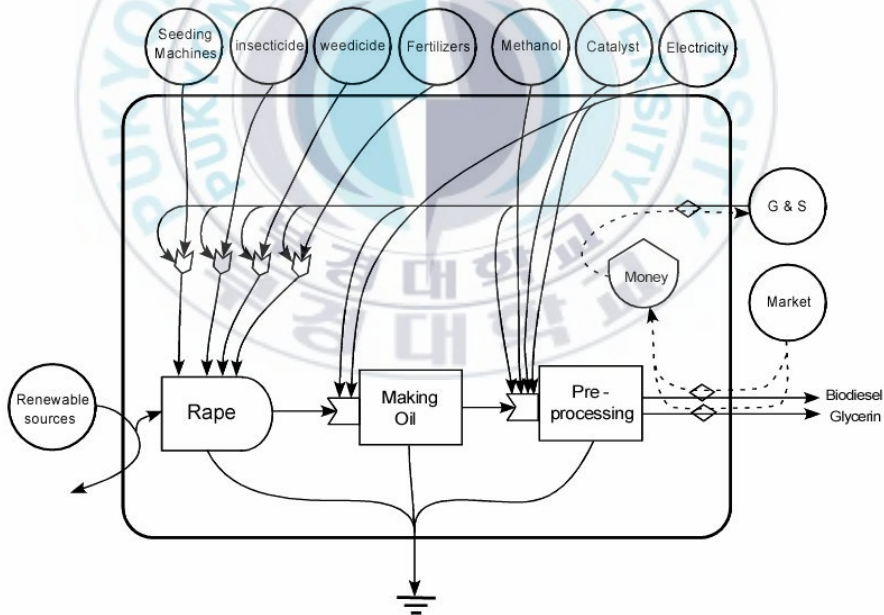


Fig. 4.1 Energy diagram of biodiesel using rape oil.

Table 4.2 Emergy evaluation of biodiesel using rape oil(per 1bbl of biodiesel)

Item	Data	Unit	Transformity (sej/unit)	Solar Emergy (sej)	Emwon (won)
Renewable sources					
Sun	3.42E+12	J	1.00E+00	3.42E+12	1.55E+03
Rain	8.20E+09	J	3.06E+04	2.51E+14	1.14E+05
Wind	1.51E+08	J	2.51E+03	3.78E+11	1.71E+02
Purchased input					
Seeding machines	1.82E+04	₩	2.21E+09	4.01E+13	1.82E+04
Insecticide	1.76E+01	g	1.69E+10	2.97E+11	1.35E+02
Weedicide	2.36E+02	g	1.69E+10	3.99E+12	1.81E+03
Fertilizer	1.59E+04	g	5.11E+09	8.13E+13	3.68E+04
Electricity	5.53E+07	J	2.91E+05	1.61E+13	7.29E+03
Methanol	1.59E+04	g	4.70E+09	7.47E+13	3.38E+04
Catalyst	1.59E+03	g	4.70E+09	7.47E+12	3.38E+03
Electricity(Production)	6.71E+07	J	2.91E+05	1.95E+13	8.85E+03
G&S					
Production(Rape)	7.30E+04	₩	2.21E+09	1.61E+14	7.30E+04
Labor(Making oil)	1.96E+04	₩	2.21E+09	4.32E+13	1.96E+04
Labor(Making BD)	1.97E+04	₩	2.21E+09	4.34E+13	1.97E+04
Transportation(Rape)	3.98E+03	₩	2.21E+09	8.79E+12	3.98E+03
Transportation(Rape oil)	1.67E+03	₩	2.21E+09	3.69E+12	1.67E+03
Production					
Rape	3.98E+02	kg	1.35E+12	5.38E+14	2.44E+05
Rape oil	1.67E+02	L	3.62E+12	6.06E+14	2.74E+05
Biodiesel	1.59E+02	L	4.75E+12	7.55E+14	3.42E+05
Glycerin	1.59E+01	L	4.75E+13	7.55E+14	3.42E+05

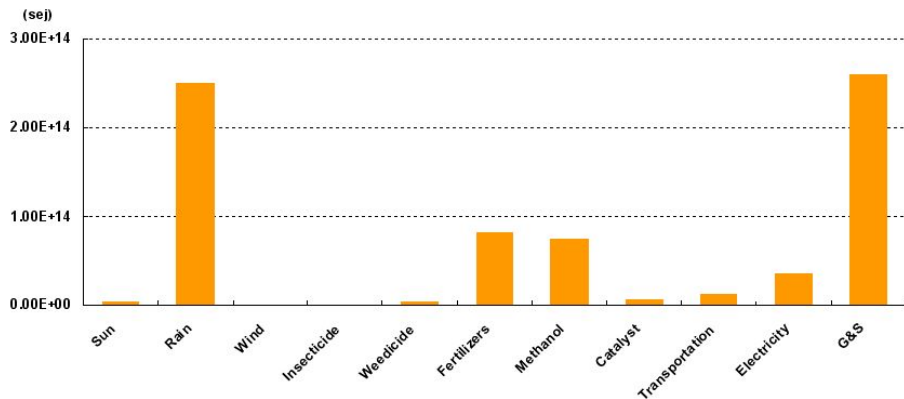


Fig. 4.2 Energy sources signature of biodiesel production.

2.2 에머지 지수 분석

에머지 분석결과에 따라 지수 분석을 한 결과는 Table 4.3과 같다.

Table 4.3 Indices using emergy for overview

No.	Name of Index	Expression	Result
1	Renewable sources	R	2.51E+14
2	Purchased input	F	5.04E+14
3	Yield	Y	7.55E+14
4	EYR	Y/F	1.50E+00
5	ELR	(F + N)/I	2.01E+00
6	ESI	EYR/ELR	7.45E-01

에머지 지수를 분석해본 결과 에머지 생산비율(EYR)은 1.50으로 나타났고, 환경부하비율(ELR)은 2.01로 나타났으며, 에머지 지속성지수(ESI)는 0.75로 나타났다. 다른 에너지원과의 EYR을 비교해보면 Fig. 4.3과 같다. 석유, 석탄, 천연가스 등의 EYR은 대부분 6 이상으로 바이오디젤의 EYR에 비해 높았으며, 경쟁력이 있는 전형적인 연료로 나타났다. 사탕수수로부터 생산된 에탄올이나 야자유 같은 경우 1 이상으로 나타나서 연료로서 경쟁력은 없으나 대체연료로서 가치는

있고, 바이오디젤의 EYR에 비해 다소 낮게 나타났다.

환경부하비율(ELR)은 2.01로 나타났으며, 사탕수수를 이용한 에탄올의 환경부하비율인 7.02(Odum, 1984) 보다 낮고, 조력발전의 환경부하비율인 0.66(주, 2006) 보다 높게 나타나, 바이오디젤이 환경에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 에머지 지속성지수(ESI)는 0.75로 나타났으며, 사탕수수를 이용한 에탄올의 에머지 지속성지수인 0.16(Odum, 1984) 보다 크고, 조력발전의 에머지 지속성지수인 5.06(주, 2006) 보다 낮게 나타나, 바이오디젤의 지속가능성은 크지 않은 것으로 나타났다.

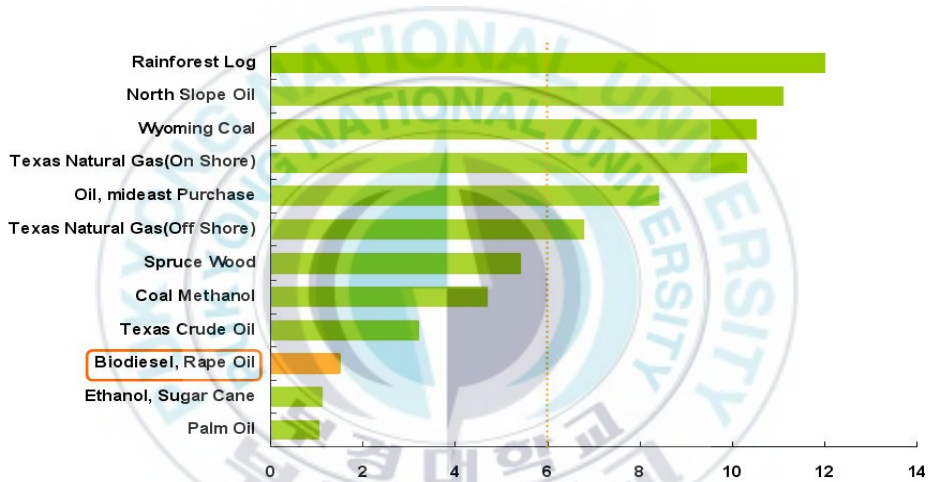


Fig. 4.3 Comparison of EYR between biodiesel and other energy sources (Odum, 1988).

V. 결론

바이오디젤의 트랜스포미티(Transformity)는 $7.55E+14$ sej/bbl로 나타났으며 디젤의 트랜스포미티(Transformity)는 $4.03E+14$ sej/bbl이므로 바이오디젤은 디젤에 비해 효율성이 낮은 것으로 나타났다. 바이오디젤의 에머지 지수를 분석해본 결과 에머지 생산비율(EYR)은 1.50로 나타났으며, 대표적인 연료인 석유나 석탄 등의 에머지 생산비율은 6 이상이므로 바이오디젤은 에너지원으로서 경쟁력이 없고 화석연료 절약의 효과만 있는 것으로 나타났다. 환경부하비율(ELR)은 2.01로 나타났으며, 사탕수수를 이용한 에탄올의 환경부하비율인 7.02 보다 낮고, 조력발전의 환경부하비율인 0.66 보다 높게 나타나, 바이오디젤이 환경에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 에머지 지속성지수(ESI)는 0.75로 나타났으며, 사탕수수를 이용한 에탄올의 에머지 지속성지수인 0.16 보다 크고, 조력발전의 에머지 지속성지수인 5.06 보다 낮게 나타나서 바이오디젤의 지속가능성은 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 바이오디젤의 생태경제적 비용은 342,000원/bbl로 바이오디젤의 거래가격인 112,382원/bbl에 유채를 재배함으로써 얻을 수 있는 부수적 효과 216,337원/bbl을 합하더라도 높게 나타나므로 생태경제에 대한 실질적 기여보다는 비용이 다소 크게 유발됨을 알 수 있다.

따라서 바이오디젤은 바이오에탄올 등 다른 대체에너지원에 비해서 경쟁력은 다소 있지만, 석유 등의 대체에너지원으로서의 가치는 없고 단지 석유 소비 절약효과는 있을 것으로 기대된다.

Appendix A. Emergy Flows for the Korea

Table A-1. Emergy Flows of the Korea in 2002

No.	Item	Raw Units	Transfomity (sej/unit)	Solar Emergy (sej/yr)	Macroeconomic value, (2004 won)
RENEWABLE RESOURCES					
1	Sunlight	1.17E+21	J 1	1.17E+21	5.07E+11
2	Wind, kinetic energy	1.63E+17	J 2.51E+03	4.10E+20	1.78E+11
3	Rain, geopotential	1.78E+17	J 4.68E+04	8.35E+21	4.91E+09
4	Rain, chemical	1.96E+18	J 3.12E+04	6.12E+22	5.41E+10
5	Waves	2.03E+17	J 5.13E+04	1.04E+22	9.21E+09
6	Tide	2.54E+17	J 2.83E+04	7.19E+21	6.37E+09
7	Earth cycle	9.94E+16	J 5.76E+04	5.73E+21	5.07E+09
INDIGENOUS RENEWABLE ENERGY					
8	Hydroelectricity	1.91E+16	J 2.06E+05	3.94E+21	3.48E+09
9	Agricultural Production	2.57E+17	J 3.36E+05	8.65E+22	7.65E+10
10	Livestock Production	4.05E+15	J 3.36E+06	1.36E+22	1.20E+10
11	Fisheries Production	6.35E+15	J 3.36E+06	2.13E+22	1.89E+10
12	Fuelwood Production	3.10E+15	J 5.86E+04	1.81E+20	1.61E+08
13	Forest Extraction	6.22E+16	J 5.86E+04	3.65E+21	3.23E+09
NONRENEWABLE SOURCE USE FROM WITHIN SYSTEM					
14	Coal production	9.62E+16	J 6.71E+04	6.46E+21	5.71E+09
15	Metallic Minerals	3.01E+11	g 1.68E+09	5.06E+20	4.47E+08
16	Inustrial Minerals	9.53E+13	g 1.68E+09	1.60E+23	1.42E+11
17	Top Soil	3.52E+16	J 1.24E+05	4.37E+21	3.87E+09
IMPORTS AND OUTSIDE SOURCES					
18	Coal, import	1.99E+18	J 6.71E+04	1.33E+23	1.18E+11
19	Oil, crude	4.97E+18	J 9.06E+04	4.50E+23	3.98E+11
20	Petroleum Products	5.39E+18	J 1.11E+05	5.98E+23	5.29E+11
21	Metallic Minerals	4.67E+13	g 1.68E+09	7.85E+22	6.95E+10
22	Industrial Minerals	4.76E+12	g 1.68E+09	7.99E+21	7.07E+09
23	Natural Gas	9.29E+17	J 8.05E+04	7.48E+22	6.62E+10
24	Goods & Services	1.52E+11	\$ 1.13E+12	1.72E+23	1.52E+11
Exports					
25	Goods & Services	1.62E+11	₩ 2.30E+09	3.74E+20	3.31E+08

Table A-2. Emergy Flows of the Korea in 2003

No.	Item	Raw Units	Transfomity (sej/unit)	Solar Emergy (sej/yr)	Macroeconomic value, (2004 won)
RENEWABLE RESOURCES					
1	Sunlight	1.17E+21	J 1	1.17E+21	5.32E+11
2	Wind, kinetic energy	1.63E+17	J 2.51E+03	4.10E+20	1.87E+11
3	Rain, geopotential	1.78E+17	J 4.68E+04	8.35E+21	4.91E+09
4	Rain, chemical	1.96E+18	J 3.12E+04	6.12E+22	5.41E+10
5	Waves	2.03E+17	J 5.13E+04	1.04E+22	9.21E+09
6	Tide	2.54E+17	J 2.83E+04	7.19E+21	6.37E+09
7	Earth cycle	9.94E+16	J 5.76E+04	5.73E+21	5.07E+09
INDIGENOUS RENEWABLE ENERGY					
8	Hydroelectricity	2.18E+16	J 2.06E+05	4.49E+21	3.97E+09
9	Agricultural Production	2.57E+17	J 3.36E+05	8.65E+22	7.65E+10
10	Livestock Production	4.05E+15	J 3.36E+06	1.36E+22	1.20E+10
11	Fisheries Production	6.50E+15	J 3.36E+06	2.19E+22	1.93E+10
12	Fuelwood Production	3.48E+15	J 5.86E+04	2.04E+20	1.81E+08
13	Forest Extraction	6.22E+16	J 5.86E+04	3.65E+21	3.23E+09
NONRENEWABLE SOURCE USE FROM WITHIN SYSTEM					
14	Coal production	9.56E+16	J 6.71E+04	6.42E+21	5.68E+09
15	Metallic Minerals	2.90E+11	g 1.68E+09	4.87E+20	4.31E+08
16	Industrial Minerals	9.98E+13	g 1.68E+09	1.68E+23	1.48E+11
17	Top Soil	3.49E+16	J 1.24E+05	4.34E+21	3.84E+09
IMPORTS AND OUTSIDE SOURCES					
18	Coal, import	2.03E+18	J 6.71E+04	1.36E+23	1.20E+11
19	Oil, crude	5.05E+18	J 9.06E+04	4.58E+23	4.05E+11
20	Petroleum Products	5.28E+18	J 1.11E+05	5.86E+23	5.18E+11
21	Metallic Minerals	4.67E+13	g 1.68E+09	7.85E+22	6.95E+10
22	Industrial Minerals	5.25E+12	g 1.68E+09	8.83E+21	7.81E+09
23	Natural Gas	1.03E+18	J 8.05E+04	8.32E+22	7.36E+10
24	Goods & Services	1.79E+11	\$ 1.13E+12	2.02E+23	1.79E+11
Exports					
25	Goods & Services	1.94E+11	₩ 2.19E+09	4.25E+20	3.76E+08

Table A-3. Emergy Flows of the Korea in 2004

No.	Item	Raw Units	Transfomity (sej/unit)	Solar Emergy (sej/yr)	Macroeconomic value, (2004 won)
RENEWABLE RESOURCES					
1	Sunlight	1.17E+21 J	1	1.17E+21	5.49E+11
2	Wind, kinetic energy	1.63E+17 J	2.51E+03	4.10E+20	1.93E+11
3	Rain, geopotential	1.78E+17 J	4.68E+04	8.35E+21	4.91E+09
4	Rain, chemical	1.96E+18 J	3.12E+04	6.12E+22	5.41E+10
5	Waves	2.03E+17 J	5.13E+04	1.04E+22	9.21E+09
6	Tide	2.54E+17 J	2.83E+04	7.19E+21	6.37E+09
7	Earth cycle	9.94E+16 J	5.76E+04	5.73E+21	5.07E+09
INDIGENOUS RENEWABLE ENERGY					
8	Hydroelectricity	2.18E+16 J	2.06E+05	4.49E+21	3.97E+09
9	Agricultural Production	2.57E+17 J	3.36E+05	8.65E+22	7.65E+10
10	Livestock Production	5.20E+15 J	3.36E+06	1.75E+22	1.55E+10
11	Fisheries Production	6.76E+15 J	3.36E+06	2.27E+22	2.01E+10
12	Fuelwood Production	2.37E+15 J	5.86E+04	1.39E+20	1.23E+08
13	Forest Extraction	6.22E+16 J	5.86E+04	3.65E+21	3.23E+09
NONRENEWABLE SOURCE USE FROM WITHIN SYSTEM					
14	Coal production	9.25E+16 J	6.71E+04	6.21E+21	5.50E+09
15	Metallic Minerals	3.78E+11 g	1.68E+09	6.35E+20	5.62E+08
16	Industrial Minerals	9.68E+13 g	1.68E+09	1.63E+23	1.44E+11
17	Top Soil	3.47E+16 J	1.24E+05	4.32E+21	3.82E+09
IMPORTS AND OUTSIDE SOURCES					
18	Coal, import	2.21E+18 J	6.71E+04	1.49E+23	1.31E+11
19	Oil, crude	5.19E+18 J	9.06E+04	4.70E+23	4.16E+11
20	Petroleum Products	5.57E+18 J	1.11E+05	6.17E+23	5.46E+11
21	Metallic Minerals	4.80E+13 g	1.68E+09	8.06E+22	7.13E+10
22	Industrial Minerals	5.73E+12 g	1.68E+09	9.62E+21	8.52E+09
23	Natural Gas	1.18E+18 J	8.05E+04	9.48E+22	8.39E+10
24	Goods & Services	2.24E+11 \$	1.13E+12	2.54E+23	2.24E+11
Exports					
25	Goods & Services	2.54E+11 ₩	2.13E+09	5.40E+20	4.78E+08

Table A-4. Summary of flows of the Korea in 2002

Letter in Fig. A.1.	Item	Numerical value
R	Renewable sources used, sej/yr	6.12E+22
N	Nonrenewable sources flow from within Korea, sej/yr	1.71E+23
F	Imported minerals and fuels, sej/yr	1.34E+24
P2I	Imported goods and services, sej/yr	1.72E+23
I	Dollar paid for imports, \$/yr	1.52E+11
E	Dollar paid for exports, \$/yr	1.62E+11
P1E	Exported goods and services, sej/yr	3.74E+20
X	Gross Demostic Product, won/yr	6.84E+14
P2	Ratio emergy to dollar of imports (sej/won)	1.13E+12
P1	Ratio emergy to dollar within the country and for its exports, sej/\$	2.30E+09

Table A-5. Summary of flows of the Korea in 2003

Letter in Fig. A.1.	Item	Numerical value
R	Renewable sources used, sej/yr	6.12E+22
N	Nonrenewable sources flow from within Korea, sej/yr	1.79E+23
F	Imported minerals and fuels, sej/yr	1.35E+24
P2I	Imported goods and services, sej/yr	1.79E+11
I	Dollar paid for imports, \$/yr	1.79E+11
E	Dollar paid for exports, \$/yr	1.94E+11
P1E	Exported goods and services, sej/yr	3.76E+08
X	Gross Demostic Product, won/yr	7.25E+14
P2	Ratio emergy to dollar of imports (sej/won)	1.13E+12
P1	Ratio emergy to dollar within the country and for its exports, sej/\$	2.19E+09

Table A-6. Summary of flows of the Korea in 2004

Letter in Fig. A.1	Item	Numerical value
R	Renewable sources used, sej/yr	6.12E+22
N	Nonrenewable sources flow from within Korea, sej/yr	1.74E+23
F	Imported minerals and fuels, sej/yr	1.42E+24
P2I	Imported goods and services, sej/yr	2.54E+23
I	Dollar paid for imports, \$/yr	2.24E+11
E	Dollar paid for exports, \$/yr	2.54E+11
P1E	Exported goods and services, sej/yr	5.40E+20
X	Gross Demostic Product, won/yr	7.78E+14
P2	Ratio emergy to dollar of imports (sej/won)	1.13E+12
P1	Ratio emergy to dollar within the country and for its exports, sej/\$	2.13E+09

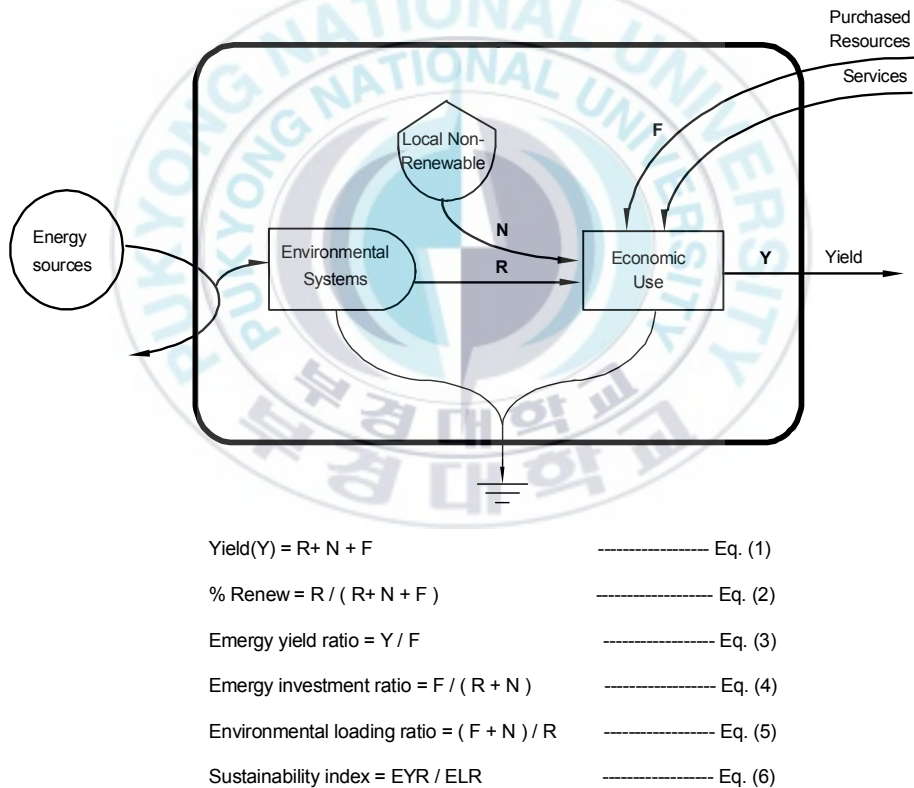


Fig. A.1 Emergy based indices, accounting for local renewable emergy inputs(R), local nonrenewable inputs(N), and purchased inputs from outside the system(F)(Brown and Ulgiati, 1997).

Table A-7. Indices using emergy for overview of the Korea in 2002

Name of Index	Expression	Value
Renewable emergy flow	R	6.12E+22
Flow from indigenous nonrenewable reserves	N	1.71E+23
Flow of imported emergy	F+P2I	1.51E+24
Total emergy inflow	R+N+F+P2I	1.75E+24
Total emergy used	U=N+R+F+P2I	1.75E+24
Total exported emergy	P1E	3.74E+20
Emergy to money ratio	P1=U/GDP	2.55E+09
Fraction of emergy used derived from home sources	(N+R)/U	0.13
Imports minus exports	(F+P2I)-P1E	1.51E+24
Ratio of imports to exports	(F+P2I)/P1E	4.05E+03
Fraction used, locally renewable	R/U	0.04
Fraction of emergy used derived from home sources	(N+R)/U	0.13
Fraction of emergy used purchased (imports)	(F+P2I)/U	0.87
EmergyYield Ratio	U/(F+P2I)	1.15
Use per unit area (9.96 E10 m2)	U/(area)	1.75E+13
Emergy investment ratio	F+P2I/R+N	6.51
Environmental loading ratio	(N+F+P2I)/R	2.76E+01
SI	EYR/ELR	0.04

Table A-8. Indices using emergy for overview of the Korea in 2003

Name of Index	Expression	Value
Renewable emergy flow	R	6.12E+22
Flow from indigenous nonrenewable reserves	N	1.79E+23
Flow of imported emergy	F+P2I	1.35E+24
Total emergy inflow	R+N+F+P2I	1.59E+24
Total emergy used	U=N+R+F+P2I	1.59E+24
Total exported emergy	P1E	3.76E+08
Emergy to money ratio	P1=U/GDP	2.19E+09
Fraction of emergy used derived from home sources	(N+R)/U	0.15
Imports minus exports	(F+P2I)-P1E	1.35E+24
Ratio of imports to exports	(F+P2I)/P1E	3.59E+15
Fraction used, locally renewable	R/U	0.04
Fraction of emergy used derived from home sources	(N+R)/U	0.15
Fraction of emergy used purchased (imports)	(F+P2I)/U	0.85
EmergyYield Ratio	U/(F+P2I)	1.18
Use per unit area (9.96 E10 m2)	U/(area)	1.60E+13
Emergy investment ratio	F+P2I/R+N	5.62
Environmental loading ratio	(N+F+P2I)/R	2.50E+01
SI	EYR/ELR	0.05

Table A-9. Indices using emergy for overview of the Korea in 2004

Name of Index	Expression	Value
Renewable emergy flow	R	6.12E+22
Flow from indigenous nonrenewable reserves	N	1.74E+23
Flow of imported emergy	F+P2I	1.67E+24
Total emergy inflow	R+N+F+P2I	1.91E+24
Total emergy used	U=N+R+F+P2I	1.91E+24
Total exported emergy	P1E	5.40E+20
Emergy to money ratio	P1=U/GDP	2.45E+09
Fraction of emergy used derived from home sources	(N+R)/U	0.12
Imports minus exports	(F+P2I)-P1E	1.67E+24
Ratio of imports to exports	(F+P2I)/P1E	3.10E+03
Fraction used, locally renewable	R/U	0.03
Fraction of emergy used derived from home sources	(N+R)/U	0.12
Fraction of emergy used purchased (imports)	(F+P2I)/U	0.88
EmergyYield Ratio	U/(F+P2I)	1.14
Use per unit area (9.96 E10 m2)	U/(area)	1.92E+13
Emergy investment ratio	F+P2I/R+N	7.13
Environmental loading ratio	(N+F+P2I)/R	3.02E+01
SI	EYR/ELR	0.04

Appendix B. Footnotes

1. Sun

$$\begin{aligned}
 \text{land area} &= 9.94\text{E}+02 \quad \text{m}^2 && (\text{미래농정연구원, 2005}) \\
 \text{Insolation} &= 4.91\text{E}+09 \quad \text{J/m}^2 && (\text{기상연보, 2002~2004}) \\
 \text{Albedo} &= 0.3 && (\% \text{ given as decimal}) \\
 \text{Energy(J)} &= (\text{marine Area}) * (\text{Insolation}) * (1 - \text{Albedo}) \\
 &= 3.42\text{E}+12 \quad \text{J/bbl} \\
 \text{Transformity} &= 1 \quad \text{sej/J}
 \end{aligned}$$

2. Wind

$$\begin{aligned}
 \text{land area} &= 9.94\text{E}+02 \quad \text{m}^2 && (\text{미래농정연구원, 2005}) \\
 \text{atmophere layer} &= 1.00\text{E}+03 \quad \text{m} \\
 \text{air density} &= 1.23 \quad \text{kg/m}^3 \\
 \text{drag coeff.} &= 1.00\text{E}-03 \\
 \text{wind speed} &= 2.34 \quad \text{m/s} && (\text{기상연보, 2002~2004}) \\
 \text{Energy(J)} &= (\text{height}) * (\text{density}) * (\text{drag coeff.}) * (\text{wind speed} * 10/6)^3 * (\text{area}) \\
 &= 7.25\text{E}+04 \quad \text{J/bbl} \\
 \text{Transformity} &= 2513 \quad \text{sej/J}
 \end{aligned}$$

3. Chemical potential energy in rain

$$\begin{aligned}
 \text{land area} &= 9.94\text{E}+02 \quad \text{m}^2 && (\text{미래농정연구원, 2005}) \\
 \text{rainfall} &= 1.67 \quad \text{m} && (\text{기상연보, 2002~2004}) \\
 G &= 4.94\text{E}+03 \quad \text{J/kg} \\
 \text{Energy(J)} &= (\text{land area}) * (\text{rainfall}) * (1000\text{kg/m}^3) * (G) \\
 &= 8.20\text{E}+09 \quad \text{J/bbl} \\
 \text{Transformity} &= 30574 \quad \text{sej/J}
 \end{aligned}$$

4. Insecticide

$$\begin{aligned}
 &: 17.68\text{g}/10\text{a} && (\text{미래농정연구원, 2005}) \\
 &= (0.09939\text{ha}) * (17.68\text{g}/10\text{a}) / (0.01\text{ha}/\text{a}) \\
 &= 1.76\text{E}+04 \quad \text{g/bbl}
 \end{aligned}$$

5. Weedicide

$$\begin{aligned}
 &: 237.5\text{g}/10\text{a} && (\text{미래농정연구원, 2005}) \\
 &= (0.09939\text{ha}) * (237.5\text{g}/10\text{a}) / (0.01\text{ha}/\text{a}) \\
 &= 2.36\text{E}+02 \quad \text{g/bbl}
 \end{aligned}$$

6. Fertilizer

$$\begin{aligned}
 &: 6000\text{g}/10\text{a} && (\text{미래농정연구원, 2005}) \\
 &= (0.09939\text{ha}) * (16000/10\text{a}) / (0.01\text{ha}/\text{a}) \\
 &= 1.59\text{E}+04 \quad \text{g/bbl}
 \end{aligned}$$

7. Methanol

: methanol 0.1kg/biodiesel 1kg (미래농정연구원, 2005)
 = $(159L) \cdot (0.1) \cdot (1000g/1L)$
 = $1.59E+04$ g/bbl

8. Catalyst

: catalyst 0.01kg/biodiesel 1kg (미래농정연구원, 2005)
 = $(159L) \cdot (0.01) \cdot (1000g/1L)$
 = $1.59E+03$ g/bbl

9. Electricity

: 전기세는 판매금액의 1%로 가정
 : 바이오디젤의 가격은 707.25원(2002~2004년 기준, 경유와 같다고 가정)

전기세(생산)

= $(707.25\text{원/L}) \cdot (159L) \cdot 0.01$
 = 1124.5275 원/bbl

한국전력자료에 의해 174945백만 kwh는 105402억원

전기에너지(생산)

= $(174945\text{백만kwh}/105402\text{억원}) \cdot (1124.5275\text{원})$
 = 13080.309 Wh (1Wh = 3598.326J)
 = 47067215.98 J/bbl

한국전력자료) : 174945백만kwh:105402억원 = x : 29.72756억원
 $x = \frac{49341454}{1} \text{ kwh/yr}$ (1wh = 3598.326J)
 = $1.775E+14$ J/yr

Sale: 707.25원/L

Appendix C. Data for environmental sources and productions

	Item	Value	Unit	From
	Land area	9.94E+02	m ² /bbl	산업용원료(바이오에너지)로 사용가능한 농작물의 경제성 분석 및 정책적 지원 방안 연구, 2005, 미래농정연구원
Sun	Insolation	4.91E+09	J/m ² /yr	기상연보, 2005, 부산
	Albedo	0.30		(% 지정값)
Wind	Land area	9.94E+02	m ² /bbl	산업용원료(바이오에너지)로 사용가능한 농작물의 경제성 분석 및 정책적 지원 방안 연구, 2005, 미래농정연구원
	Wind velocity	2.34	m/s	기상연보, 2005, 부산
Rain, chemical potential energy	Rainfall	1.67	m/yr	기상연보, 2005, 부산
	Land area	1.99E+08	m ² /bbl	산업용원료(바이오에너지)로 사용가능한 농작물의 경제성 분석 및 정책적 지원 방안 연구, 2005, 미래농정연구원
Purchase d input	Seeding machines Insecticide, Weedicide, Fertilizer, Catalyst		g/bbl, won/bbl	산업용원료(바이오에너지)로 사용가능한 농작물의 경제성 분석 및 정책적 지원 방안 연구, 2005, 미래농정연구원
Wattage	Price	1.66	million kwh/hundred million won	한국전력 자료
Rape oil	Price	707.25	won/L	에너지통계연보, 2005

감사의 글

먼저 많이 부족한 저를 사랑으로 지켜봐주시고 가르침을 베풀어주신 이석모 교수님께 진심으로 감사드립니다. 항상 노력하고 배우는 자세를 가지고 앞으로 더 열심히 하겠습니다. 바쁘신 와중에도 관심을 가지시고 논문의 심사를 맡아 지도와 격려를 아끼지 않으신 강대석 교수님, 김일규 교수님께 감사드립니다. 학문과 대학원 생활에 있어서의 깊이 있는 가르침을 주시고 항상 반갑게 맞아 주시는 박청길 교수님, 이제근 교수님, 여석준 교수님, 이병현 교수님, 강임석 교수님, 김상단 교수님, 이태윤 교수님, 성기준 교수님, 정용현 교수님, 김동명 교수님께도 감사드립니다.

부족한 후배를 예쁘게 봐주시고 많은 조언을 해주신 손지호 선배님, 최영근 선배님, 김우석 선배님, 김진만 선배님, 임정혁 선배님께 감사드립니다. 많이 도와드리지 못했는데도 불구하고 너무 고마워하며 격려해주신 진이언니께 감사드립니다. 한번도 실험실 생활을 같이 해보지는 못했지만 항상 관심 가져주시고 챙겨주신 윤미언니, 은지언니 감사합니다. 정이 많은 장군 용수선배님 보고 싶어요. 새벽까지 실험하느라 힘들었을 텐데 다독겨주시며 많이 가르쳐주시고 아껴주신 경미언니 덕분에 실험실 생활 즐거웠습니다. 많이 부족한 저를 믿고 무조건적으로 지원해 주신 영윤선배 너무 고마워요. 저 때문에 마음 고생 많았을 봉균선배, 알뜰하게 잘 챙겨주시는 영애언니, 항상 열심히 공부하는 주부문 보님 덕분에 공부 열심히 하고 있습니다^^. 회사생활 하는데 많이 도움 주시는 봉인선혁님, 항상 즐거워 보이는 혜민이언니 감사합니다. 수줍음 많으신 직영선배, 도움도 많이 주고 격려도 많이 해준 종명선배 감사합니다. 이제 얼마 안남았어요. 끝까지 포기하지 마시고 힘내세요^^. 항상 즐겁게 해주시는 멋진 광섭선배, 무한한 힘이 되는 이쁜 혜옥이.. 좋지?? 꿈을 찾아 열심히 노력하는 이쁜 동생 하나, 후배지만 후배 같지 않은 든든한 동주, 항상 막내로 기억될 이쁘고 귀여운 보라에게 감사드립니다. 올해 같이 졸업하게 된 오현택 박사님, 미옥이언니 그동안 고생 많으셨죠? 축하드립니다. 멀리서 와서 힘들텐데 웃으며 열심히

생활하고 있는 오미, 잉, 곤에게 감사드립니다. 공부 열심히 하는 로라씨, 용민 선배, 기섭선배, 승혁선배, 근주, 재근이, 창수, 성훈이 감사합니다.

회사일이 바쁜데도 논문 쓰는데 많은 도움 주신 이순규 이사님, 이지형 이사님, 김준현 과장님, 박성호 과장님, 노만중 과장님, 동석선배, 민호선배, 준이선배, 태현이, 권형준 이사님, 회장님 재훈씨, 장대리님, 주정언니, 창섭씨, 광일씨, 성혁씨, 하나언니, 백창모씨, 영민씨, 미희, 미란이 언니께도 감사드립니다.

졸업동기 동규선배, 홍균선배, 명국선배, 나형이 언니, 재형선배, 상훈선배 다들 고생 많으셨습니다^^. 항상 반갑게 맞아주시던 현승선배, 명국선배, 재철선배, 수희언니, 광현선배 감사합니다. 열심히 실험실에 적응하고 있는 대규, 규호, 영용이, 성주도 고맙습니다. 지금은 비록 졸업하셨지만 1호관 3층과 4호관 2층의 불을 항상 밝혀주셨던 형욱선배, 수현이 언니, 정선이 언니와 다른 많은 선배님들께도 감사드립니다. 짧지만 소중한 추억을 가지게 해주신 많은 선배님들과 주형선배, 성호선배, 수진선배, 영근선배, 세주선배, 민정이언니, 승현이언니, 민수선배, 경찬선배, 병률선배, 진희, 지혜, 켈에게 감사드립니다.

신입생 시절 무한한 사랑을 주셨던 집현전학우회 진우선배 용구선배 이하 많은 선배님들...이름은 다 말하지 못하지만 정말 감사드립니다. 그리고 사랑하는 동기들 완결이, 동욱이, 현수, 종영이, 도경이, 조태, 지숙이, 소진이, 동숙이, 보라, 윤희에게 감사드립니다. 덕분에 든든했습니다.

항상 내 편이 되어주고 많은 추억을 같이 나누어 가진 인경이, 수미, 경이, 은애, 영지, 유깁언니 너무너무 감사합니다.

마지막으로 언제나 든든하게 믿어주신 아빠, 엄마, 헤리, 현욱이 덕분에 여기까지 올 수 있었습니다. 사랑합니다^^

참고문헌

- 강대석·남정호, 2003, 에머지 개념을 이용한 해양자원의 가치평가와 정책활용방안, 한국해양수산개발원.
- 강명구, 2005, 바이오디젤, 오토저널 제27권 제 2호 p13~14
- 기상청, 2003~2005, 기상연보
- 김진이, 2007, 낙동강 유역의 오염총량관리계획에 대한 환경회계, 부경대학교 박사학위논문, p37~40
- 노영민, 2006, 환경보호와 에너지자급을 위한 바이오디젤의 활성화 대책, 정책보고서, pp.85
- 미래농정연구원, 2005, 산업용원료(바이오에너지)로 사용가능한 농작물의 경제성 분석 및 정책적 지원방안 연구
- 박경민 외 5명, 2006, 디젤 SUV에 대한 바이오디젤의 영향성 평가, 한국자동차공학회 2006년도 추계학술대회 논문집 pp.509~515
- 산업자원부, 2005, 에너지 통계연보
- 손지호·신성교·조은일·이석모, 1996, 한국 수산업의 EMERGY 분석, 한국수산학회지, 29(5), p689~700
- 송교욱·제윤미, 2005, 낙동강하구역의 생태경제학적 가치평가와 관리방안에 관한 연구, 부산발전연구원
- 송은지, 2005, 에너지 모델링을 이용한 대기 중 이산화탄소 저감방안에 관한 연구, 부경대학교 석사학위논문, p54~55
- 신봉균, 2007, 하수슬러지의 해양배출에 대한 생태경제성 평가, 부경대학교 석사학위논문, pp.48
- 유경민·윤용진·오영택, 2002, 바이오디젤유를 이용한 농업용 디젤기관의 성능 및 배기가스 배출 특성, 한국자동차공학회 2002년도 광주·호남지부 춘계학술대회논문집, p9~16
- 이영애, 2007, 낙동강 하구둑의 기능에 대한 에머지 분석, 부경대학교 석사학위논문, p3~12
- 이영재, 2006, 디젤차량 대체연료로서의 바이오디젤의 현황, 오토저널 제28권 제

5호 p16~23

이충근·이상봉, 2007, 일본의 바이오디젤 현황 및 유채 재배 기계기술 동향, 한국국제농업개발학회지

임정혁, 2004, 아파트 최적 건설층수 결정을 위한 Emergy 분석, 부경대학교 석사학위논문, p19~21

정중환, 2002, 경유의 착화성 평가방법 비교 및 성상이 세탄가에 미치는 영향, 인하대 산업대학원 석사학위논문, p33

제윤미, 2004, Emergy 분석법에 의한 제조업의 환경친화성 지수에 관한 연구, 부경대학교 석사학위논문, p57~58

주용수, 2006, 시화호 조력발전 건설사업에 대한 Emergy 평가, 부경대학교 석사학위논문, p4~6

최영근, 2003, 국가와 지역시스템의 지속성 평가에 대한 연구. 부경대학교 박사학위논문. p20~22

통계청, 2005, 한국통계연감

한국해양수산개발원, 2003, 에머지 개념을 이용한 해양환경 자원의 가치평가와 정책활용 방안

Brown, Bardi, EMERGY SYNTHESIS 3, Proceedings of the 3rd Biennial Emergy Conference, pp.370

Brown Mark T., H. T. Odum, Jorgensen S. E., 2004, Energy hierarchy and transformity in the universe, Ecological Modelling, Volume 178, p17~28

Brown Mark T., S. Ulgiati, 1997, Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability, Ecological Engineering 9, pp.51~69

Brown Mark T., S. Ulgiati, 2002, Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems, Journal of Cleaner Production 10, p321~334

Dang Viet Hung, 2006, Emergy Analysis and Energy Modeling for the Sustainable Use of the Lower Mekong River Basin, 부경대학교 박사학위논문, p39

EPA, 2005, Environmental Accounting Using Emergy : Evaluation of the State of West Virginia, pC-2~C-27

US Department of Energy, 2004, 2004 Biodiesel Handling and Use Guidelines
Jorge, 2004, Promise and problems of energy analysis, Ecological Modelling
Volume 178, p215~225

Jorge Luis Hau, B. S., 2002, Integrating life cycle assessment, exergy and
emergy analyses, The Ohio State University, p40~42

Lingmei wang, Jintun Zhang, Weidou Ni, 2005, Emergy evaluation of
Eco-Industrial Park with Power Plant, Ecological Modelling Volume 189,
p233~240

Odum E. C., and H. T. Odum, 1984, System of ethanol production from
sugarcane in Brazil, Ciencia e Cultura 37(11), pp.1849~1855

Odum H. T., 1983. Systems Ecology, John Wiley & Sons, New York, pp.644

Odum H. T., 1988, Energy, environment and public policy, Ecological Economics
Program, Phelps Lab, University of Florida, p179~186

Odum H. T., 1996, Environmental Accounting. John Wiley & Sons, New York,
p136~147

Simone Bastianoni · Daniel Campbell·Ludovico Susani·Enzo Tiezzi, 2005, The solar
transformity of oil and petroleum natural gas, Ecological Modelling Volume
186, p212~220

가야에너지 <http://www.kayaenergy.com/>

기상청 <http://www.kma.go.kr/>

농업진흥청 <http://www.rda.go.kr/>

대한민국 국회도서관 홈페이지 <http://www.nanet.go.kr/>

에너지 관리공단 <http://www.kemco.or.kr/>

통계청 <http://www.nso.go.kr/>

한국전력공사 <http://www.kepco.co.kr>

환경부 홈페이지 <http://www.me.go.kr/>

National Biodiesel Board <http://www.nbb.org>