

연구노트

## 지구온난화 최소화를 위한 신재생 에너지들의 잠재환경영향\*

김용범\*\* · 정 용\*\*\*

전남 순천시 매곡동 315 순천대학교 기초과학연구소\*\*

서울 서대문구 신촌동 134 연세대학교 의과대학 예방의학교실\*\*\*

(2006년 11월 8일 접수, 2006년 12월 4일 승인)

## Identification of Potential Environmental Impacts among Renewable Energy Technologies Promising to Minimize Global Warming\*

Yong-Bum Kim\*\* · Yong Chung\*\*\*

Institute of Basic Science, Suncheon National University Suncheon, Chun-Nam, 540-742, Korea\*\*

The Dept. of Preventive Medicine and Public Health, College of Medicine, Yonsei University, Seoul, 120-752, Korea\*\*\*

(Manuscript received 8 November 2006; accepted 4 December 2007)

### Abstract

Global warming, which is one of the most serious challenges, has been the subject of intense debate and concern for many scientists, policy-makers, and citizens for at least the past decade. To protect the health and economic well-being of current and future generations, we must reduce our emissions like carbon dioxide. Alternatives to achieve an energy future without serious global warming are to change to clean and renewable sources of energy like the wind, the sun lights, rivers, the biomass, hydrogen, and oceans. To identify some of the key and new environmental impacts associated with renewable energy and hydrogen energy, we set up the new conceptual methodology. Specifically, new identified environmental and health impacts are related with the usage of hydrogen energy. When comparing with fossil fuel, the renewable energies can reduce the release of carbon dioxide when they are used except hydrogen produced from fossil fuel. However, all renewable energy technologies are not appropriate to all applications or locations. Our results suggest that all of alternatives to replace fossil fuel can release the several global and local impacts although they seems to be smaller than the impacts from fossil fuel. Therefore, the quantitative and detail analysis to assess environmental impacts of the alternative energies might be useful to make our decision for the future energy against

\* 이 논문은 각각 2004년도 한국학술진흥재단의 전문인력연구 지원(KRF-2004-075-C00014)과 2005년 순천대학교 TIC (Technical Innovation Center) 지원에 의하여 연구되었음.

Corresponding Author: Kim, Yong-Bum, Institute of Basic Science, Suncheon National University Suncheon, Chun-Nam, 540-742, Korea

Tel: 82-61-750-3956 Fax: 82-61-750-3608 E-mail: yongbkim@suncheon.ac.kr

the global warming.

Key words : Environmental impacts, Renewable energy, Hydrogen energy, EIA, EIS

## 1. 서 론

산업 활동에 의한 온실가스 배출은 산업혁명이전 280 ppm이었던 이산화탄소 대기 중 농도를 2000년 370 ppm으로 약 30% 증가시켰다. 이산화탄소 농도 증가는 사막화, 기후변화 그리고 지구온난화를 야기하여 인류의 생존을 위협하기 때문에 이의 배출에 대한 국가간 규제, 감독의 필요성으로 1992년 기후변화협약 그리고 1997년 교토의정서를 채택하였다(기후변화협약대책위원회, 2006). 교토의정서(1997)에 의하면 이산화탄소 의무감축 대상국은 오스트레일리아, 캐나다, 미국, 일본, 유럽연합(EU) 회원국 등 총 38개국이며 각국은 2008~2012년 사이에 온실가스 총배출량을 1990년 수준보다 평균 5.2% 감축하여야 하며 감축 대상 가스는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 불화탄소(PFC), 수소불화탄소(HFC), 불화유황(SF<sub>6</sub>) 등의 여섯 가지이다. 이러한 기체들이 온실효과에 기여하는 기여도는 이산화탄소가 55%, 메탄이 15%, 이산화질소가 6%, 그리고 다른 가스들의 총합이 24%로 이산화탄소가 온실효과를 유발하는 주범이다(국가과학기술자문회의, 2007).

한국은 2003년 세계 10위의 온실가스 배출국으로 연간 582.2백만 톤의 이산화탄소를 배출하고 있다(기후변화협약대책위원회 2006). 지구온난화가스 부문별 배출량은 2003년 에너지 82.7%, 산업공정 12%, 농업 15.5%, 폐기물 15.6%이며 온실가스 종류별로 배출량을 이산화탄소 배출량으로 환산하였을 때 이산화탄소 87.7%, 메탄 4.4%, N<sub>2</sub>O 3.1%, HFCs 1.3%, PFCs 0.4%, 그리고 SF<sub>6</sub> 3.0%를 차지하고 있다(기후변화협약대책위원회, 2006). 또한, 1990년 이후 배출량 증가가 85.4%로 세계 최고의 증가세를 기록하고 있다. 2013년~17년 의무대상국이 개발도상국에 집중되는 대상국 확대협약에서 한국의 동참이 예상되기 때문에(기후변화협약대

책위원회, 2006) 한국에서도 온실가스 배출 저감에 적극적 대응을 위한 준비를 하고 있다(국가과학기술자문회의, 2007).

지구온난화를 막기 위해서는 화석연료 사용 절감이나 대체 에너지의 이용 증대 등이 필요하며(에너지관리공단, 2004; 기후변화협약대책위원회, 2006), 온실가스 감축을 위해서 소비 절감이나 산업구조조정과 함께 신 재생에너지의 이용 증대가 필요하다(에너지관리공단, 2004). 신·재생에너지는 풍력, 조력, 소수력, 바이오에너지, 그리고 수소 에너지 등 다양한데, 수소 에너지를 사용할 경우 오존층의 오존량이 감소 및 성층권 온도저하 가능성이 있으며(Tromph *et al.*, 2002) 구름형성변화를 포함한 기상변화의 영향 가능성이 있다(Schultz *et al.*, 2002). 다른 재생에너지들도 토지이용의 제한 등 다양한 환경영향을 가지고 있다. 예를 들어 바이오 에너지 생산을 위한 영농이 확대될 경우 생물종 다양성 감소 등이 우려되며(U.S. Congress, 1993), 풍력발전은 소음, 미관 문제, 전자파 간섭을 발생시키고 조류 충돌이나 동식물 생태계에도 영향을 미친다(Wanger *et al.*, 1996; Spera, 1994). 이러한 보고들 지구온난화를 줄이기 위한 신재생에너지의 사용이 전지구적인 관점에서 다른 환경문제를 야기할 가능성이 있음을 보여준다. 따라서 화석에너지의 대안인 신재생에너지들의 이용이 확대될 경우 발생할 수 있는 잠재적인 환경 영향을 파악하는 것은 신재생에너지를 효과적으로 이용할 수 있도록 하는 기초자료로서 제공할 수 있다고 생각한다.

한국에서는 기후변화가 미치는 사회경제적 영향이나 취약성에 대한 평가를 하고자 하고 있다(국가과학기술자문회의, 2007). 그러나 현재 우리나라에서 시행되는 환경영향평가방식은 평가대상이나 조사항목이 고정되어 탄력성을 가지고 있지 못하기 때문에 아직 시행되지 않은 기술이나 정책에 대한 영향을 파악하고 그러한 영향이 사회경제에 미치는

영향을 도출하는데 어려움이 있다. 따라서 새로운 개념의 방법론을 도입하여 신재생에너지의 잠재적 환경영향을 지속가능한 개발의 관점에서 파악해 볼 필요가 있다. 본 연구에서는 새로운 개념의 방법론을 고안하였고 신재생에너지의 사용이 확대되었을 때를 가정하여 고안된 방법론이 실질적으로 사회경제적 영향이나 취약성 또는 환경영향을 파악하는데 활용될 가능성을 확인하였다.

## II. 연구 범위 및 방법

### 1. 평가 방법론

과학기술은 사회를 구성하는 구성요소로서 다른 요소들의 영향을 받는 동시에 사회를 구성하는 요소에 영향을 주는 역할을 한다. 특히 현대에 와서 과학기술은 인간의 삶의 질이나 방식 등에 중대한 영향을 미치고 사회를 구성하는 구성요소의 변화를 야기한다. 예를 들면 인간의 과학기술의 발전으로 화석에너지를 사용한 결과 발생한 지구온난화를 발생시켰으며 이러한 지구 온난화는 다시 인류에게 새로운 과학기술의 발전을 유도하고 있는 것과 같다. 또한 줄기세포, 유전자 조작 등 과학기술의 발달은 인간의 건강이나 삶에 직접적으로 영향을 줄 가능성이 높은 많은 새로운 기술이 개발될 수 있음을 보여준다. 따라서 과학기술에 대한 영향을 정확히 파악하는 것은 인간의 삶의 질을 높이고 지속성을 유지하는데 매우 중요한 요소가 된다. 그러나 이러한 영향을 체계적으로 분석할 수 있는 방법론은 체계화되어있지 않다고 판단되어 본 연구에서는 그림 1에서 보여주는 과정을 통하여 신재생에너지와 관련된 과학기술로 인하여 발생 가능한 영향을 파악하고자 하였다.

본 연구는 지구온난화를 이야기하는 이산화탄소 배출을 줄이기 위해 필요한 신재생에너지에 대한 영향을 분석하기 위한 연구다. 신재생에너지 중에서 사용되지 않은 에너지에 대한 영향을 판단하는 것은 어려움이 많다. 또한 사용량이나 범위가 낮은 에너지 종류도 사용량이나 빈도 또는 범위가 확대

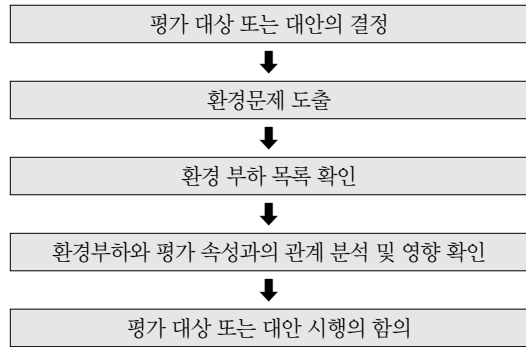


그림 1. 신재생에너지들의 환경에 미치는 영향 확인 과정

될 때 예측하지 못한 다른 영향이 나타날 수 있다. 신재생에너지들의 환경영향을 정확히 파악을 위해서는 구체적인 지역이나 공간 또는 시간에 대한 범위가 필요하지만, 현재 신재생에너지는 구체적인 사업계획을 가지고 있지 않으며 이용될 수 있는 정도를 파악하기 어렵다. 따라서 각 기술이 전세계적으로 시행되었다는 것을 가정할 상태에서 나타날 부정적으로 영향을 추정하는 것을 목적으로 신재생에너지에 대한 포괄적 환경영향을 확인하기 위해서 그림 1에 제시한 방법론을 개발하였다. 본 연구에서 사용한 방법론에는 대안 혹은 기술의 시행이 가지는 함의를 경제 사회적 그리고 제도적인 함의를 파악할 수 있도록 하고 있는데 이것은 과학기술이 사회의 변화를 야기하는 주요한 사회 구성요소이기 때문이다.

### 2. 단계별 내용

과학기술이 가져올 환경에 대한 영향을 파악하는 방법은 여러 가지로 개발되어 있다. 환경영향평가, 전과정평가, 건강위해성 평가 등 다양한 방법이 이미 개발되어 있는데 이러한 방법들을 효과적으로 이용할 경우 새로운 과학기술에 대한 잠재적인 영향을 파악하는데 유용할 것으로 판단되어 그림 1에 나타난 각 과정에 적합한 기법들에 의해서 평가된 보고를 이용하였다.

#### 1) 평가대상

평가 대상은 특정 목적을 위해서 제안된 것이나

필요한 것을 의미하는데, 비교하고자 하는 과학기술 등 영향을 파악하기 위한 대안들을 의미하는 것으로 평가할 수 있는 범위이다. 그러나 이러한 범위는 지역적인 범위를 규정하지 않는다는 점이 환경영향평가의 범위나 평가대상과는 차이가 있는 개념이다. 지구온난화를 해결하기 위해서 필요한 기술에는 에너지를 바꾸는 것과 이산화탄소를 배출을 저감하는 기술이 포함될 수 있지만 본 연구에서는 기후변화협약 대응기술 중 에너지와 관련되어 대안으로 논의되는 에너지 형태만으로 한정하고 있다. 본 연구에서 기후변화협약 대응기술의 환경영향 파악을 위하여 제 1 단계로 기후변화협약 대응기술로 사용이 가능한 에너지 형태를 조사한 결과 이산화탄소 저감할 수 있는 에너지는 원자력과 신재생에너지로 구분할 수 있었다. 신재생에너지는 풍력, 수력(소수력) 및 조력, 지력, 태양력, 바이오에너지, 그리고 수소와 연료전지를 포함한다. 우리나라의 지리적 특성상 지력으로부터 에너지를 확보하는 것은 어려운 바 본 연구에서는 풍력, 수력(소수력) 및 조력, 태양력, 바이오에너지, 그리고 수소를 포함하는 연료전지를 대상으로 하였으며 특히 태양력의 경우는 태양전지를 대상으로 하였다.

## 2) 환경문제의 도출

특정 문제를 해결하기 위한 과학기술이 개발될 경우 그 기술은 다른 해결해야할 기존의 환경문제에 긍정적 또는 부정적으로 작용할 수 있다. 예를 들어 지구온난화를 위해서 개발된 수소 이용증대는 오존층 감소를 유발할 수 있다(Tromph *et al.*, 2002). 즉, 하나의 문제를 해결하기 위해 도입된 기술이 목적하지 않은 다른 환경문제에 부정적인 영향을 줄 수 있기 때문에 다른 문제점들에 어떠한 영향을 줄 수 있는지를 파악하는 단계가 필요하다.

환경문제는 평가하고자 하는 대안들이 시행되었을 때 나타날 환경 변화나 영향을 예측하기 위한 범주 또는 해결하여야 할 문제점을 의미하는 것이다. 이것은 평가 대상의 각 대안들이 실행되었을 때 나타날 수 있는 환경 영향을 파악하는 단계로 환경영향평가상의 scoping과 개념적으로 비슷하다. 그러

나 새로운 과학기술에 의해서 발생 가능한 다수의 가능한 문제점을 찾아내는 것은 현실적으로 한계가 있기 때문에 중요한 이슈가 된 것에 대해서만 파악할 필요가 있다.

본 연구에서는 지구온난화 대응을 위해서 새로운 에너지를 이용하거나 기존 에너지의 이용을 확대할 때 현재 문제점으로 부각되는 있는 전지구적 환경 문제들을 문헌조사를 통해서 도출하였다. 전지구적 환경문제는 지구온난화를 유발하는 이산화탄소 배출, 오존층 파괴, 생물다양성 감소, 그리고 유해화학물질 노출로 구분하였다. 그러나 유해화학물질의 노출은 인간이나 생태계 건강 및 생존에 영향을 주지 않아야 한다는 것을 의미하므로 인간의 건강 또는 수명에 영향을 주지 않아야 한다는 것으로 해석이 가능하다. 또한 지속가능한 개발 측면에서 유한 자원의 이용은 현재 인간이 인식할 수 있는 범위 내에서 궁극적으로 인간 생존의 지속성에 부정적인 영향을 줄 수 있는 요인이 될 수 있다. 따라서 상기 4가지 환경문제와 더불어 자원 이용의 지속성을 포함하여 우리의 미래에 에너지를 이용할 때 적어도 5가지 영향을 고려하여야 할 것으로 판단하였다. 이러한 환경 문제를 도출하는 방법으로는 기존 문헌 조사 외에도 델파이, 전문가 인터뷰 등의 방법을 이용할 수 있을 것으로 판단되는데, 이중장기이식이 라는 새로운 기술이 시행되었을 때 나타날 가능성이 있는 문제점을 도출하기 위하여 델파이 조사가 수행된 바 있다(Jeong *et al.*, 2006).

## 3) 자원과 환경부하목록 확인

자원과 환경부하목록은 대기, 수, 토의 환경과 지구적인 자원 보유에 영향을 미쳐 궁극적으로 생태계, 지구환경 및 인간 건강 및 삶에 부정적 영향을 야기할 수 있는 것을 파악하는 것으로 평가대상의 생산, 이용 그리고 폐기되는 과정에서 발생하는 것들이다. 자원과 환경부하는 평가대상에 의하여 소비되는 자원을 포함하여 기존에 알려진 환경오염물질을 포함하여 배출될 수 있는 모든 유형의 물질이나 소음 그리고 에너지 같은 무형의 것을 포함한다. 즉, 과학기술이 시행되었을 때 소모되는 모든 자원

을 파악하고 동시에 배출되는 모든 것을 분석하는 단계이다. 이 단계를 수행하기 위한 가장 적합한 방법 중에 하나는 이미 사용되는 전과정 평가로 판단하고 있다. 따라서 본 연구에서는 생산 및 이용과정을 중심으로 신재생에너지의 전과정 평가에 대한 기존 보고 자료를 통하여 주로 소모되는 자원과 배출되는 물질을 확인하였다. 또한 기존에 보고된 오염물질 뿐 아니라 평가대상에 의하여 배출될 수 있거나 소비되는 자원의 대표적 물질을 조사하여 자원과 환경부하목록에 포함시켰다.

#### 4) 환경부하와 평가 속성과의 관계 분석을 통한 잠재 영향 확인

환경부하목록 단계에서 파악된 유무형의 자원이나 배출물이 해결하여야 할 환경문제들에 나타내는 영향을 파악함으로써 평가 대상의 잠재적 영향을 파악하는 과정이다. 평가대상의 환경영향을 직접 파악하는 방법을 사용할 경우 이미 알려진 환경영향을 기존 문헌을 통해서 파악이 가능하지만 수소 및 연료전지와 같이 현재 사용하지 않는 평가 대상에 대한 잠재 환경영향은 기존 문헌을 통해서 파악하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 평가대상의 자원과 부하목록을 작성하고 각 목록의 물질이 야기할 수 있는 환경영향을 파악하는 2단계 접근 방식을 사용하여 잠재 영향을 도출하였다. 왜냐하면 새로운 과학기술이 이용될 경우에는 과거의 경험으로부터 정보를 얻을 수 없으며 오로지 새로운 과학기술로 인해서 소비되는 자원과 배출되는 물질에 의해서만이 영향을 확인할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 환경부하목록에서 얻어진 대표적인 물질의 종류에 따라 2)번 과정에서 도출한 환경문제별로 범주를 나누어 각각이 미치는 영향을 파악하는 과정으로 선행연구에 대한 문헌 고찰을 통하여 정성적 영향을 파악하였다. 이 과정에서는 각 물질의 특성에 따라 생태계 위해성 평가나 건강위해성 평가를 이용할 수 있으며 모델링 등의 방법을 이용할 경우 정량적 영향을 파악하는 것이 가능하다고 판단된다. 실질적으로 지표에 수소가 축적되면 오존층이 손상될 수 있다는 보고는 (Tromph *et al.*, 2002) 잠재영향을 확인하기 위해서 모델링이 매우

유용하다는 것을 보여주고 있다.

#### 5) 대안 시행의 함의

평가 대상 또는 대안을 실시하였을 때 환경 부하 종류의 변화와 이로 인해서 나타나는 환경영향으로 발생할 수 있는 경제·사회적, 제도적, 환경적 의미를 파악하는 단계이다. 이 단계에서는 이해당사자들의 의견을 반영하는 것이 매우 중요하다. 이 단계의 필요성은 과학기술이 사회구조의 변화를 유발하게 되고 이로 인해서 직업군이 바뀔 수 있으며(Ha, 2007), 새로운 과학기술이 도입될 경우 취약층이 발생이나 변화가 나타날 수 있으며 사회구성원 상호간의 이해가 충돌하여 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 예를 들어 모든 자동차가 수소를 이용하는 상황을 가정할 때 새로운 기술 도입으로 연료전지와 관련된 직업을 포함한 관련 분야는 확대될 것이지만 도시 대기질 관리체계는 변화는 필수적이다. 즉, 현재 이용하는 오존경보제나 대기질 모니터링 시스템은 의미를 상실할 가능성이 크게 되며 여기에 종사하는 사람들에 대한 기능적 변화를 수반할 가능성을 추정할 수 있다. 따라서 어떤 목적이나 문제를 해결하기 위해서 새로운 과학기술을 도입하거나 시행하였을 때 이것이 사회 각 구성요소에 미치는 영향의 파악은 필수적인 것이다. 위해성 평가에서는 이해당사자와의 협의의 필요성을 강조하고 있고 환경영향평가에서 주민의견수렴제도가 있지만 기존 제도나 전과정평가 혹은 이와 유사한 평가에서는 이러한 사회적 함의를 평가하는 부분이 취약한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 과학기술의 사회적 영향을 고려해서 기존의 방법론이 가진 부족한 부분을 보완하기 위해서 시행되는 과학기술이 가지는 사회적 함의를 파악하는 단계를 추가하였다. 이 단계가 환경영향평가의 주민의견수렴과 다른 점은 환경영향평가 대상사업은 구체적인 대상이 결정되어 있지만 과학기술에 대한 평가는 구체적인 대상을 정할 수 없고 포괄적이라는 것이다. 왜냐하면 이해당사자들의 특정지역에 한정된 것이라기보다는 어떤 직업에 종사하는 직업군의 형태로 나타나기 때문이다. 따라서 환경영향평가의

주민의견수렴과는 차이가 있다. 이러한 단계는 기존 문헌 고찰을 통하여 의미를 파악할 수 있으며 각 대안에 대한 시나리오 평가를 이용하여 환경영향을 최소화하는 단계로 이러한 평가는 전략적 평가를 통하여 대안을 비교 하거나 잠재 영향에 대한 가중치를 통하여 평가를 포함하는 것이 필요하다고 생각되며, 델파이조사 공청회 등의 방법을 활용하여 이해당사자들과의 협의를 하는 방법 등이 이용될 수 있다. 이 단계에서는 이해당사자와의 협력이 매우 중요한 요소이기 때문에 원활한 협의가 이루어지도록 하는 것이 필요하며 그러한 수단으로서 보고서 작성을 포함하여 공고, 고시 등의 방법이 이용될 수 있을 것이라 생각한다. 그러나 이러한 단계는 본 연구에서 사용하는 방법론이 제도적으로 시행될 때 필요한 것이기 때문에 본 연구에서는 개념적 필요성을 파악하는 정도의 의미를 가진다. 따라서 기존 문헌 분석을 토대로 신재생에너지의 특성상 평가 대상에 속한 기술 이용이 증대되었을 때 발생 가능한 영향을 간략히 정리하고 도시 대기질 관리와 관련된 변화에 대해서 간략하게 기술하였다.

### 3. 자료 수집과 분석

기후변화협약 대응기술로 알려진 에너지 종류에 대한 특성, 환경영향, 그리고 전과정평가 등에 대한 자료는 전지구적 환경문제와 연관성을 가지는 자료를 수집하여 평가하였다. 환경영향 예측은 각 대안의 환경영향에 대한 기존 보고를 통하여 파악하였으나 환경영향에 대한 보고가 없는 경우 비슷한 경험 또는 동물을 대상으로 연구한 연구 결과를 토대로 앞으로 일어날 가능성이나 개연성을 파악하였다. 신재생에너지의 기술 특성, 환경영향, 그리고

전과정평가, 그리고 이산화탄소배출현황 등을 파악하기 위한 문헌 조사 및 관련 문헌을 확보하기 위하여 인터넷 검색 서버 및 한국학술정보 데이터베이스를 이용하여 신재생에너지(renewable energy), 지구온난화가스, 이산화탄소, 기후변화협약 및 기타 관련 단어를 검색단어로 사용하여 검색하여 관련 자료를 획득하였다.

## III. 연구 결과

### 1. 소비자원 및 환경부하목록

각 에너지 종류별 이용자원 및 유무형의 환경부하를 조사하여 대표적인 이용자원과 환경부하 목록을 표 1에 나타내었다. 태양전지 및 연료전지는 은이나 백금 같은 고갈자원이 이용된다(Lenkeit *et al.*, 2006). 전기에너지 획득 및 전송 등을 관리하기 위한 기기를 제작하는 과정에서 여러 가지 황 또는 질소산화물 등을 비롯한 오염물질들이 배출되지만 화석에너지에 비하여 매우 미미하거나 낮은 수준이다(Hu *et al.*, 2004; Lunghi *et al.*, 2004; NTNU, 20004).

### 2. 이산화탄소 저감 효과

#### 1) 에너지 대안별 이산화탄소 감소 효과

표 2는 수력, 태양전지를 이용한 발전, 풍력발전 그리고 기타 화석연료나 천연가스를 사용하여 전기에너지 생산하였을 때 발생하는 이산화탄소, 대기오염물질 그리고 발생하는 폐기물 등을 비교한 것이다. 화석연료에 비하여 수력과 풍력 그리고 태양력이 재생에너지의 경우 화석에너지에 비하여 이산

표 1. 에너지 대안별 주요 이용 자원 및 환경부하 목록

|          | 대표적 이용 자원 종류          | 환경으로 배출되는 대표적인 유무형 환경부하 종류  |
|----------|-----------------------|---|
| 태양전지     | 토지, 은(Ag), 실리콘, 방염제 등 | S, 질소산화물, 방사선, CO <sub>2</sub> , 분진, 카드뮴(Cd), 방염제, 기타 미량기체            |
| 풍 력      | 토지, 철(Fe) 등           | S, 질소산화물, 소음, CO <sub>2</sub> , 기타 미량기체                               |
| 조 력      | 해안 및 해수 등             | S, 질소산화물, CO <sub>2</sub> , 기타 미량기체                                   |
| 수력 (소수력) | 삼림, 농경지 또는 토지, 하천수 등  | S, 질소산화물, CO <sub>2</sub> , 기타 미량기체                                   |
| 바이오 에너지  | 토지, 영양염류 등            | S, 질소산화물, N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> 등의 미량기체 |
| 수소· 연료전지 | 백금(Pt) 등              | S, 질소산화물, CO <sub>2</sub> , 수증기(H <sub>2</sub> O), 기타 미량기체            |

표 2. 에너지 종류별 이산화탄소, NOx, SOx 그리고 폐기물 발생량 비교

|                      | 수 력         | 태양전지(Photovoltaics) | 풍 력         | 화력(Oil)    | 화력(석탄)     | 화력(천연가스)   |
|----------------------|-------------|---------------------|-------------|------------|------------|------------|
| 자료출처                 | ACARP<br>호주 | ACARP<br>호주         | ACARP<br>호주 | RCEP<br>영국 | RCEP<br>영국 | RCEP<br>영국 |
| 에너지(GJ)              | 0.012       | 0.28                | 1.00        | 1          | 1          | 1          |
| CO <sub>2</sub> (Kg) | 1.27        | 29                  | 1.69        | 261        | 316        | 278        |
| NOx (g)              | 10.4        | 0.36                | 8.60        | 575        | 513        | 464        |
| SOx (g)              | 1.8         | 0.09                | 9.10        | 2,690      | 1,210      | 66         |
| 폐기물 (g)              | 0.8         | 6.4                 | 1.75        | 2,359      | 74,823     | 5,710      |

(Góralczyk, 2003)

화탄소 배출량을 포함하여 조사한 다른 오염물질 배출이 낮다(Góralczyk, 2003).

표 2의 평가 결과와 직접 비교는 어려우나 본 연구에서 조력은 수차발전기를 돌리는 방식의 경우 수력과 비슷한 것으로 판단되며 바이오에너지를 이용한 경우 70% - 98% 정도의 이산화탄소가 배출 저감효과가 있고(Hu *et al.*, 2004; Keoleian and Volk 2005). 조력을 이용하는 경우 1GWh당 734 톤의 이산화탄소 배출 절감효과가 있는 것으로 보고된 바 있다(WWF, 2005). 그러나 수소를 연료로 하는 fuel cell 차량의 경우 수소를 재생에너지로부터 얻을 경우 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있는 것으로 보고되었다(NTNU, 20004).

### 2) 에너지 대안별 지구온난화 저감 효과

표 3은 미량 대기 성분이 지구 온도 상승 미치는 영향을 보여주는 것으로 수증기는 직접 온실효과에 긍정적인 영향을 미칠 수 있으며 대기 중 수분은 자연상태에서 지구온난화의 약 70%를 차지한다. 그런데 수소 연소를 이용하는 연료전지를 이용할 경우 연소 후 배출되는 배기가스가 수증기이기 때문에 지역적으로 연료전지 사용증가에 의한 배출되는 수증기의 순환정도를 파악하는 것이 필요하다. 또한, 바이오에너지 생산을 위한 재배 과정에서 질소 비료는 필수 요소이기 때문이 이들이 토양에서 분해되어 N<sub>2</sub>O가 형성되는 경우(Shin 1994; 기후변화협약대책위원회 2006) 그리고 폐기물을 메탄으로 전환하여 이용할 경우 메탄에 의한 지구온난화 가능성을 배제할 수 없으나(표 3) 기존 보고에서 온난화 저감효과를 고려할 때(Hu *et al.*, 2004;

표 3. 미량 대기성분에 의한 지구 온도상승 예측

| 성 분                              | 농도(ppb) |       | 온도상승(K) |
|----------------------------------|---------|-------|---------|
|                                  | 증가전     | 증가후   |         |
| N <sub>2</sub> O                 | 300     | 375   | 0.12    |
| CH <sub>4</sub>                  | 1,650   | 2,062 | 0.09    |
| CFCl <sub>2</sub>                | 0       | 1     | 0.14    |
| CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>  | 0       | 1     | 0.16    |
| CF <sub>2</sub> Cl               | 0       | 1     | 0.22    |
| CF <sub>2</sub> HCl              | 0       | 1     | 0.04    |
| CHCl <sub>2</sub>                | 0       | 1     | 0.06    |
| CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>  | 0       | 1     | 0.03    |
| CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> | 0       | 1     | 0.02    |
| CCl <sub>4</sub>                 | 0       | 1     | 0.08    |
| CF <sub>4</sub>                  | 0       | 1     | 0.06    |
| NH <sub>3</sub>                  | 0       | 1     | 0.09    |
| NHO <sub>3</sub>                 | 현재의 농도  | 2     | 0.06    |
| O <sub>3</sub> (대류권)             | 현재의 농도  | 1.5   | 0.40    |
| O <sub>3</sub> (Total)           | 현재의 농도  | 0.75  | 0.34    |
| H <sub>2</sub> O(성층권)            | 3       | 6     | 0.60    |

(Shin, 1994)

Keoleian and Volk 2005) 그 효과는 미미할 것으로 판단된다. 풍력이나 조력, 태양력 등 기타 에너지 종류에서 발생하는 미량기체는 지구 온난화 가능성에 영향이 미미할 것으로 판단된다.

### 3. 에너지 대안별 오존층에 미치는 영향

오존층 훼손은 UV 증가를 야기하고 2차적으로 광합성을 크게 저해하여 유기물에 의한 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 흡수를 감소시킨다. 결과적으로 임목의 성장과 호흡을 저해시켜서 소경목화 또는 왜림화를 유발할 수 있으며 발육부진이 및 토양 미생물의 활동 저하와 소멸을 초래함으로써 이산화탄소에 의한 지

표 4. 지구온난화와 오존층에 미치는 미량 대기성분들의 정성적 영향

| 미량대기성분  | 지구온난화에 미치는 영향 |      |                    | 오존층에 미치는 영향 |      |                    |
|---|---------------|------|--------------------|-------------|------|--------------------|
|   | 직접영향          | 간접영향 | 매개체                | 직접영향        | 간접영향 | 매개체                |
| CFCs  | +             |      |                    | -           |      |                    |
| Halons, CH <sub>3</sub> Br                          |               |      |                    | -           |      |                    |
| CCl <sub>4</sub> , CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> |               |      |                    | -           |      |                    |
| HCFCs   |               |      |                    | -           |      |                    |
| HFCs  | +             |      |                    |             |      |                    |
| N <sub>2</sub> O                                    |               |      |                    | -           |      |                    |
| NO <sub>x</sub>                                     |               | +    | 대기권 O <sub>3</sub> |             | +    | 대기권 O <sub>3</sub> |
| CO <sub>2</sub>                                     | +             |      |                    |             | +    | 온도                 |
|   |               |      |                    |             | -    | PSCs               |
| CH <sub>4</sub>                                     | +             | +    | 대기권 O <sub>3</sub> |             | -    | HO <sub>x</sub>    |
|   |               |      |                    |             | +    | HCl                |
| CO  |               |      |                    |             | +    | 대기권 O <sub>3</sub> |
| NMHC  |               | +    | 대기권 O <sub>3</sub> |             |      |                    |
| SO <sub>2</sub> /DMS                                | -             | +    | 대기권 O <sub>3</sub> |             | -    | aerosols           |
| H <sub>2</sub> O                                    | +             |      |                    |             |      |                    |

(Velders, 1997)

구온난화를 가중시킬 수 있다(김두희, 1992). 따라서 오존층 훼손 가능성을 파악하는 것은 지구온난화를 최소화하기 위하여 고려하여야 하는 중요한 요인이 된다.

표 4는 미량가스들이 지구온난화와 오존층에 미치는 영향을 직접 또는 간접 영향을 정성적으로 나타낸 것으로 미량 가스들이 오존층에 부정적 또는 긍정적 영향을 줄 수 있다. 그런데 신재생에너지를 얻는 과정에서 발생하는 미량 가스들이 종류별로 오존층에 미치는 영향은 상대적으로 미미할 것으로 추정되지만 정량적으로 예측하는데 어려움이 있다. 그러나 최근 보고에 의하면 수소에너지의 경우 수소의 운송이나 이용과정에서 유출되는 양 또는 불완전 연소에 의해 대기 중으로 유출되는 수소에 의해서 오존층이 현재와 같은 수준의 에너지 사용량을 수소로 대체할 경우 약 8-10% 정도의 오존층이 훼손될 가능성이 제기된 바 있다(Tromp *et al.*, 2002).

#### 4. 에너지 대안별 생물다양성에 미치는 영향

풍력발전은 소음, 미관 문제, 전자파 간섭을 발생시키고 조류 충돌이나 동식물 생태계에도 영향을 미친다(Wanger *et al.*, 1996; Spera, 1994). 태양

전지를 이용한 발전을 할 경우 지상부에 태양빛이 공급되지 않아 태양전지가 야외에 건설될 경우 식물의 생장 등 부정적 영향을 미칠 수 있다(Lenkeit *et al.*, 2006). 수력발전의 경우는 댐의 건설을 수반하는 바 댐의 환경영향으로는 숲, 농토, 야생동물의 서식지, 경관, 그리고 거주지 등이 수몰됨으로써 기초 생산력이 저하되며 댐이 존재하게 되면 동물이나 식물상의 변화가 야기된다(이승호, 1998). 또한 댐 상류와 하류 하천의 생태계를 단절시킴으로써 어류의 이동이 제한될 수 있으며 저온 어종이 고온 어종으로 바뀌는 현상이 나타나기도 한다. 바이오에너지를 얻기 위한 농업활동은 보다 많은 토지가 농경지로 이용되기 때문에 농약이나 비료와 같은 화학물질의 사용이 증가하게 된다. 또한 삼림의 개간으로 인하여 종서식지 훼손을 통한 생물 다양성 감소가 일어날 수 있다(U.S. Congress, 1993). 또한 농업생산물이 연료로 이용될 경우 토양 내 무기물이 없어지는 결과를 초래하여 지력 감소를 야기할 수 있으며, 현재 발생하는 대기오염을 저감시키기 어렵다는 단점을 가지고 있다(U.S. Congress, 1993). 수소를 이용하는 연료전지의 경우 수소에 의한 토양 미생물 군집구조 변화(Tromp



*et al.*, 2002), 구름형성변화와 같은 기상변화를 야기할 가능성이 있다(Schultz *et al.*, 2002). 또한 수소는 오존층을 손상 및 성층권 온도 저하를 유발할 수 있는 바(Tromp *et al.*, 2002) 오존층 파괴로 인한 생물의 DNA 손상, 세포 파괴 현상 등 간접 영향이 발생할 수 있다.

### 5. 에너지 대안별 인간 건강에 미치는 영향

태양전지를 만드는 과정에서 카드뮴과 같은 중금속 사용에 의한 오염이나 실리콘 등의 영향이 발생할 수 있으며, 태양전지를 가정집이나 건축물에 설치하게 될 경우 화재로 인하여 이들이 연소될 경우 독성 가스가 발생할 수 있다(Lenkeit *et al.*, 2006). 이러한 태양전지를 화재로부터 안전하게 제작하기 위해서는 난연제 첨가가 수반되는데, 세계 불연제시장의 약 40%정도를 브롬화 난연제(Brominated Flame Retardants, BFRs)의 경우 위해하다는 보고가 최근 확인되고 있다(WHO, 1994; SAEFL, 2003; 김용범 등 2005). 풍력의 경우 발생가능한 환경문제로 인간의 건강에 영향을 줄 수 있는 것은 소음으로 발전단지 주변의 거주지에 민원을 발생시킬 가능성이 있으며(김석현 · 김태형 2006). 바이오에너지는 현재 도시의 대기오염과 비슷한 현상이 발생할 수 있다.

수력발전은 댐의 건설을 수반하는 바 춘천지역과 충주호 주변지역을 예를 볼 때 수력발전의 경우 댐 건설시 주변 지역에 수증기 유입의 증가를 유발하여 안개 발생 빈도를 높일 수 있으며 안개발생시각이 빨라지고 소산시간을 늦추는 역할을 한다(이승호, 1998; 이종범, 1981; 홍성길, 1982; 양문석, 1993)). 안개에 의한 시정감소는 산업활동 제한과 도로, 항공, 해상교통의 방해요인으로 작용하며 고속도로에서 평균 교통량의 약 20%를 감소시키는 역할을 한다(Perry and Symons, 1991). 또한, 수증기 유입 증가는 상대습도를 변화시켜 적정수준에서는 쾌적감을 증가시킬 수 있으며 연료전지의 사용증가는 배출되는 대기오염물질 감소를 야기하는 바 대기질 개선 및 인체 건강에 긍정적 영향을 미칠

수 있다(Jacobson *et al.*, 2005)고 보고한 바 있다. 그러나 수증기가 특정 수준을 초과할 경우 안개가 잦아지고 호흡기 질환 등의 발생이 증가할 수 있으며, 산업활동 제한(Perry and Symons, 1991)에 의한 사회적 비용이 증가하고 심장마비 등을 촉진시킬 수 있다(Arundel *et al.*, 1986). 또한 상대습도가 40-60% 정도의 경우 상대적으로 높은 병원균 사멸 효과를 나타내지만 상대습도가 증가할 경우 오히려 생존률이 증가한다. 또한 adenovirus나 coxsackie virus는 상대습도 약 70% 정도를 선호하는 것으로 알려져 있다(Miller and Artenstein, 1967; Davis *et al.*, 1971). 그러나 influenza virus의 경우 상대습도가 40%에서 70%로 증가함에 따라 감염율이 감소하기도 하지만(Schulaman and Kilbourne, 1962) 곰팡이류는 약 75% 이상의 상대습도에서 효과적으로 성장하고 습도가 높아지면 여러 가지 알레르기성 질병이 증가한다(Arundel *et al.*, 1986). 특히 우리나라는 인구 밀도가 높고 대도시가 구릉이나 분지에 위치하고 있으며 고밀도 도시개발로 도시 대기에 유입되는 물질의 확산을 어렵게 하고 있다(고운화, 2002). 따라서 댐이나 연료전지와 같이 대기 중 수증기 함량을 증가시키는 에너지원의 경우 상대습도 증가에 의한 부작용이 나타날 가능성이 있다.

### 6. 에너지별 자원이용의 지속성

태양광을 이용하는 태양전지 또는 연료전지는 은이나 백금같은 여러 금속성분이 함유되며 이러한 성분을 제련하는 과정에서 환경에 대한 부하가 발생할 수 있다. 전지 재료는 고갈자원으로 부존량이 전지의 생산과 밀접하게 연결되어 있어 자원고갈의 관점에서 고찰 할 필요성이 있으며, 태양에너지를 흡수하기 위한 다량의 토지를 필요로 하는 바 부분적으로 토이지용에 제약을 가져올 수 있다(Lenkeit *et al.*, 2006). 풍력, 조력 및 수력에서 사용되는 자원은 자원의 특성상 풍부한 매장량을 가지고 있어 단기적으로 자원 고갈의 문제가 발생할 가능성은 낮다. 또한 바이오에너지는 태양에너지에 의한 식

물 생장을 근간으로 하고 있어 자원 고갈문제는 없으나 토지의 과량이용에 의한 지력 감소 또는 관개에 의한 토양염화, 그리고 농경지 개발에 의한 삼림 훼손 등의 문제를 야기할 수 있다(U.S. Congress, 1993). 연료전지는 백금을 촉매로 사용하는데, 지구상의 백금 매장량이 약 28,000톤으로 추정하고 있으며, 2030년까지 일본 연료전지자동차 누적 판매 대수가 1천5백만 대로 추정되며 1대당 필요한 백금이 90g 정도이므로 약 1,350톤의 백금이 소요될 수 있다(해외과학기술동향, 2005). 이러한 결과는 백금을 촉매로 사용하는 에너지원의 경우 다른 대체 촉매가 개발되지 않을 경우 매우 빠른 시간 내에 자원 고갈의 문제에 직면할 수 있음을 의미한다.

## 7. 신재생에너지 생산 기술의 확대 이용의 함의

온난화가 계속될 경우 태풍과 허리케인을 거대화시켜 피해가 증가하며 또한 지구상의 생태계 교란이 발생할 수 있으며, 사막화, 산호초 파괴, 그리고 종의 멸종 등은 지구온난화와 밀접한 관계를 가지고 있다(국가과학기술자문회의, 2007). 이러한 지구온난화에 대응하기 위한 대체에너지가 지구온난화를 비롯하여 여러 가지 지구적 환경문제 개선에 효과가 있는지를 검토한 결과 태양력, 풍력, 조력, 수력 및 바이오에너지는 모두 지구 온난화를 야기하는 이산화탄소 배출저감에 분명한 효과를 나타내었다. 그러나 수소에너지의 경우는 수소를 어떤 재료에서 얻는지가 가장 중요한 요소였다. 조사한 신재

생에너지는 지구온난화 저감 외에 다른 환경에 부정적 영향을 유발할 가능성이 있었는데 태양전지, 풍력, 조력, 바이오에너지 등은 토지이용이나 생태계에 미치는 영향이 부정적 영향이었다. 수소에너지는 도시지역에 미기상변화가가능성이 가장 중요한 문제로 부각될 것으로 판단된다(표 5). 따라서 신재생에너지 이용을 증가시킬 경우 지역적 환경문제와 전지구적 환경 문제가 서로 충돌할 가능성이 있다. 한편, 전지구적 환경영향은 조사한 에너지 종류별로는 대부분 크지 않을 것으로 판단되지만 수소에너지의 경우는 오존층 훼손에 대해서 고려할 필요가 있었다.

도시의 대기오염에서 자동차는 가장 중요한 오염원으로 자리잡고 있어 도시 대기질 개선을 위한 자동차 개선 정책이 도입되고 있다(고윤화, 2002). 도시 대기질 개선을 위해서 교통분야에 이용 가능한 에너지는 재생에너지로부터 생산한 전기에너지, 수소에너지와 바이오디젤과 같은 바이오에너지로 요약되며 바이오에너지는 직접 적용이 가능하고, 다른 에너지는 전기자동차나 연료전지 자동차를 통하여 적용가능하다. 신재생에너지를 수송 분야에 적용할 경우 이산화탄소 발생을 절감할 수 있으나 신재생에너지 종류에 따라 환경관리 및 관련 산업에 미치는 변화는 커다란 차이가 예상된다. 바이오에너지의 경우는 현재의 도시지역 오존예보제 같은 대기오염관련 환경관리 체계와 자동차 부품 산업 등은 현재의 체계가 유지되거나 일부 보완되는 방향으로 전개될

표 5. 신재생에너지의 잠재적 환경영향

|          | 지역적 환경 영향                                  | 전지구적 환경영향  |
|----------|--|--|
| 태양 전지    | 토지이용제한, 중금속 오염<br>지역적으로 생태계 일부 변화          | *유해물질의 국가간 이동  |
| 풍력       | 미관, 전파장애, 동식물 생태계 영향                       | 유의한 영향 확인이 어려움   |
| 조력       | 수생생태계 영향, 해안이용제한                           | 유의한 영향 확인이 어려움   |
| 수력 (소수력) | 수생생태계 영향, 토지 수몰                            | 유의한 영향 확인이 어려움   |
| 바이오 에너지  | 토지이용제한<br>경작지 확대에 인한 생태계변화                 | 유의한 영향 확인이 어려움   |
| 수소·연료전지  | *과밀도시지역내 수증기 증가로 인한<br>미기후의 변화와 건강이나 건물 영향 | 성층권 오존감소 및 교란<br>수소나 오존층 감소에 의한 생태계 변화<br>촉매로 사용되는 자원 고갈 |

\* 본 연구 방법론은 통해서 가능성을 파악한 영향으로 기존 보고에서는 확인하지 못한 잠재환경영향

것으로 판단된다. 그러나 전기나 수소자동차의 보급 증가는 배출되는 오염물질에 없거나 수증기가 발생되므로 기존 오염물질에 오염된 대기질로 인한 손실을 개선에 긍정적인 효과를 나타낼 것이다 (Colella *et al.*, 2005). 도시 대기질 관리 체계에 뚜렷한 변화를 유발뿐만 아니라 자동차 관련 산업 구조 및 직업구조의 변화가 수반될 수 있기 때문에 수소자동차 또는 전기 자동차의 보급확대로 인한 변화가 긍정적인 것인지에 대한 보다 정확한 분석이 선행될 필요가 있는 것으로 판단된다.

### III. 결론 및 제언

본 연구는 과학기술의 영향을 파악할 수 있는 방법론을 개발하여 이것의 활용 가능성을 확인하기 위하여 지구온난화를 줄이기 위해서 사용 증가가 예상되는 신재생에너지에 의해서 발생 가능한 영향을 조사하였다. 신재생에너지에 의해서 발생할 수 있는 영향중 기존문헌에서는 보고되지 않은 영향으로는 수증기에 의한 영향이 발생할 가능성이 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 본 연구는 정성적인 평가이기 때문에 그 영향을 정확히 확인할 수 없는 바 수소경제로 가기 위해서는 수증기의 거동에 대한 모델과 그에 따른 영향을 수행하는 것이 필요한 것으로 생각된다.

본 연구결과 온실가스 감축을 위하여 조력과 수력 또는 소수력이나 바이오매스 풍력, 태양력 등 재생에너지 사용 증대는 필수적인 것으로 판단된다. 그러나 이러한 신재생에너지를 사용함에 있어 국민의 부담과 발생 가능한 사회적 비용 손실을 최소화 하면서 지구온난화를 해결하여야 한다. 따라서 이산화탄소 고갈에 대안들에 대해서 보다 정확한 비용편익 분석을 실시하고 부정적 영향을 최소화 할 수 있는 최적조건을 찾는 BAT 개념 도입이 필요할 것으로 판단된다.

마지막으로 본 연구에서 사용한 방법론을 구체적으로 발전시켜 제도적으로 시행할 필요가 있다고 생각된다. 현대는 첨단과학기술의 발전으로 인해서

인간의 수명이나 능력향상 및 환경변화에 중대한 영향을 주는 기술들이 연구됨에 따라 과학기술에 대한 영향을 제도적으로 평가할 필요성이 증가하고 있기 때문이다. 본 연구방법론을 체계화하고 심화한다면 과학발전으로 인해서 나오는 여러 가지 새로운 과학 기술의 잠재적인 환경영향을 파악하는데 유용하게 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

### 참고문헌

- 고윤화, 2002, 대기보전 정책방향 Kiest News, 9, 10-15.
- 국가과학기술자문회의, 2007, 기후변화의 현황과 전망.
- 기후변화협약대책위원회, 2006, 기후변화협약대응 제 3차 종합대책.
- 김두희, 1992, 왜 생기고 지구에 어떤 영향미치나 : 오존층파괴현상 날로 심각, 과학동아 11월호 pp 110-112.
- 김석현, 김태형, 2006, 750 kW 풍력발전기의 소음 실증, 한국소음진동공학회논문집, 16, 124-131.
- 양문석 외, 1997, 주암 다목적댐 건설에 따른 국지 기후의 변화가 농작물의 생산성에 미치는 영향, 한국기상학회지, 33, 409-427.
- 에너지관리공단, 2004, 에너지소비 및 절약에 대한 올바른 이해(쟁점사항에 대한 문답).
- 이승호, 1998, 충주호가 주변지역의 안개 특성에 미치는 영향 -충주와 제천을 중심으로-, 대한지리학회지, 33, 165-177.
- 이종범, 1981, 춘천지방의 인공호에 의한 안개 및 운량의 변화, 한국기상학회지, 17, 18-26.
- 해외과학기술동향 2005 [http://www.kosen21.org/pls/kosendev/NEWS\\_ALL\\_BOARD.contents\\_view?n\\_program\\_seq=1&n\\_board\\_seq=20&n\\_data\\_seq=326189](http://www.kosen21.org/pls/kosendev/NEWS_ALL_BOARD.contents_view?n_program_seq=1&n_board_seq=20&n_data_seq=326189)
- 홍성길, 1982, 안동댐 건설이후 안동지방의 안개 증가, 한국기상학회지, 18, 26-31.

- Arundel A. V., Sterling E. M., Biggin J. H., and Sterling T. D., 1986, Indirect health effects of relative humidity in indoor environments, *Environ, Health Perspect*, 65, 351-361.
- Colella W. G., Jacobson M. Z., and Golden D. M., 2005, Switching to a U.S. hydrogen fuel cell vehicle fleet: the resultant change in emissions energy use and greenhouse gases, *J. Power Source*, 150, 150-181.
- Davis. G. W., Griesemer, R. A., Shadduck, J. A., and Farrell R. L., 1971, Effect of relative humidity on dynamic aerosols of adenovirus 12. *Appl. Microbiol.* 21, 676-679.
- Góralczyk M., 2003, Life-cycle assessment in the renewable energy sector. *Applied Energy* 205-211.
- Ha, T-J., 2007, Structural change of employment and job creation in the Korean manufacturing sector, *Asian J. of Tech. Innov.*, 15, 149-165.
- Hu Z., Pu G., Fang F., and Wang C., 2004, Economics, environment, and energy life cycle assessment of automobiles fueled by bio-ethanol blends in China, *Renewable Energy*, 29, 2183-2192.
- Jacobson, M. Z., Colella W. C., and Golden, D. M., 2005, Cleaning the air and improving health with hydrogen fuel cell vehicles, *Science*, 308, 1901-1905.
- Jeong, D-Y., Kim, Y-B., and Chang S-O., 2006, Societal impacts and implications of xenotransplantation *Kor. Soc. Sci. J.* 33, 1-32.
- Kangwon-do, 2001, Feasibility study on the construction of wind power plant in Kangwon area, Kangwon-do Government Report.
- Keoleian G. A. and Volk T. A., 2005, Renewable energy from willow biomass crops : Life cycle energy, environmental and economic performance *Cirti, Rev. Plant Sci.*, 24, 385-406.
- Lenkeit, B., Russell, R., Wild - Scholten, M. J. de, Nagel, H., Schmidt, W., Weeber, A. W., Tool, C. J. J., Tathgar, H., Gjerstad, Ø., McCann, M., Raabe, B., Huster, F., Canizo, C. del, Roberts, S., Bruton, T.M. 2006 Evaluation of high-efficiency mc-Si cell processing technologies regarding environmental impact and industrial applicability. 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Dresden, Germany, 4-8 september.
- Lunghi P., Bove, R., and Desideri U., 2004, Life-cycle-assessment of fuel-cells based landfill-gas energy conversion technologies, *J Power Source*, 131, 120-126.
- Miller, W. S. and Artenstein, M. S., 1967, Aerosol stability of three acute respiratory disease viruses, *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.*, 125, 222-227.
- NTNU (Norwegian University of Science and Technology), 2004, Hybrid life cycle assessment of large scale hydrogen production facilities. Ed. E. Hertwich.
- Perry, A. H. and Symons L. J., 1991, Highway Meteorology E & FN Spon, 91-130.
- SAEFL (Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape), 2003, Selected polybrominated flame retardants - PBDEs and TBBPA.
- Schulman, J. L. and Kilbourne, E. D., 1962, Airborne transmission of influenza virus

- infection in mice, *Nature*, 182, 1129-1130.
- Schultz M. G., Diehl T., Brasseur G. P., and Zittel W., 2003, Air pollution and climate-forcing impacts of a global hydrogen economy, *Science*, 302, 624-627.
- Shin C-K., 1994, Source, sinks and distribution of greenhouse gas N<sub>2</sub>O Kor. J. Sanitat 9, 62-66.
- Spera, D. A., 1994, Wind Turbine Technology, ASME Press.
- Tromp, T. K., Shia, R-L., Allen, M., Eiler, J. M., and Yung, Y. L., 2003, Potential environmental impact of a hydrogen economy on the stratosphere, *Science*, 300, 1740-1742.
- U.S. Congress, 1993, Potential environmental impacts of bioenergy crop production.
- Velders GJM Effect of greenhouse gas emissions on stratospheric ozone depletion. National Institute of Public health and the environment Bilthoven. Netherlands.
- Wanger, S., Bareiß, R., and Guidati G., 1996, Wind turbine noise, Springer Verlag.
- WHO (World Health Organization), 1994, International Program on Chemical Safety, Borminated Diphenyl Ethers, World Health Criteria #162.
- WWF, 2005, Marine renewable energy for the UK.