



# 원자력 발전과 CO<sub>2</sub> 배출

서 중 석

한국원자력산업회의 사무총장



**오**실 가스 배출량 감축을 위한 교토 의정서가 내년 2월 발효된다. 우리나라의 경우 온실 가스 배출량이 세계 9위를 차지하는 데다 OECD 국가 중 가장 높은 증가율을 보이고 있다. 우리도 2013년부터 2차 감축 대상 국가에 포함될 것이 거의 확실시 되므로 대비를 서둘러야 한다.

온실 가스를 1990년 기준으로 5% 줄이려면 현재 가동중인 공장의 50%를 폐쇄해야 한다는 비판적

인 분석을 내놓는 에너지 전문가들도 있다. 이처럼 급박한 상황에도 불구하고 신고리 및 신월성 신규 원전 건설을 위한 공사 착공이 계속 지연되고 있어 안타깝기 그지없다.

최근에 세계에너지협의회(WEC)는 LCM 기법을 사용하여 석탄, 원자력 및 재생 에너지 등의 발전으로부터 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량을 계산한 연구 결과를 발표하였는데 원자력 홍보 활동에 좋은 자료가 될 것 같아 여기에 소개를 한다.

본문은 <Nuclear Engineering International> 2004년 10월호에 게재된 'Putting nuclear in its place'를 참조하기 바란다

세계에너지협의회(WEC: World Energy Council)는 2002~2004년 자체 연구 프로그램의 일환으로 여러 가지 에너지원의 라이프사이클 평가(LCA: Lifecycle Assessment)에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구는 지난 10~15년 동안에 수행된 LCA 연구들을 파악하여 검토한 후 쉽게 이해할 수 있는 보고서를 편찬하는 데 목적을 두고 있다.

환경 영향 평가에 비해 LCA는 범위가 보다 제한적이기 때문에 WEC는 총비용(알려진 외적인 요소까지를 포함하는)의 비교에 목표를 두지는 않았지만, 탐사와 추출로부터 가공, 저장, 수송, 2차 연료로의 변환 및 최종 사용까지 전체 에너지 생산 체인을 고려하였다

WEC는 전기는 각 시점에서 공급과 수요가 균형을 이루어야 하기 때문에 전기 생산과 일반 대량 상품 생산과의 사이에는 큰 차이점이 있다는 데 주목을 하였다.

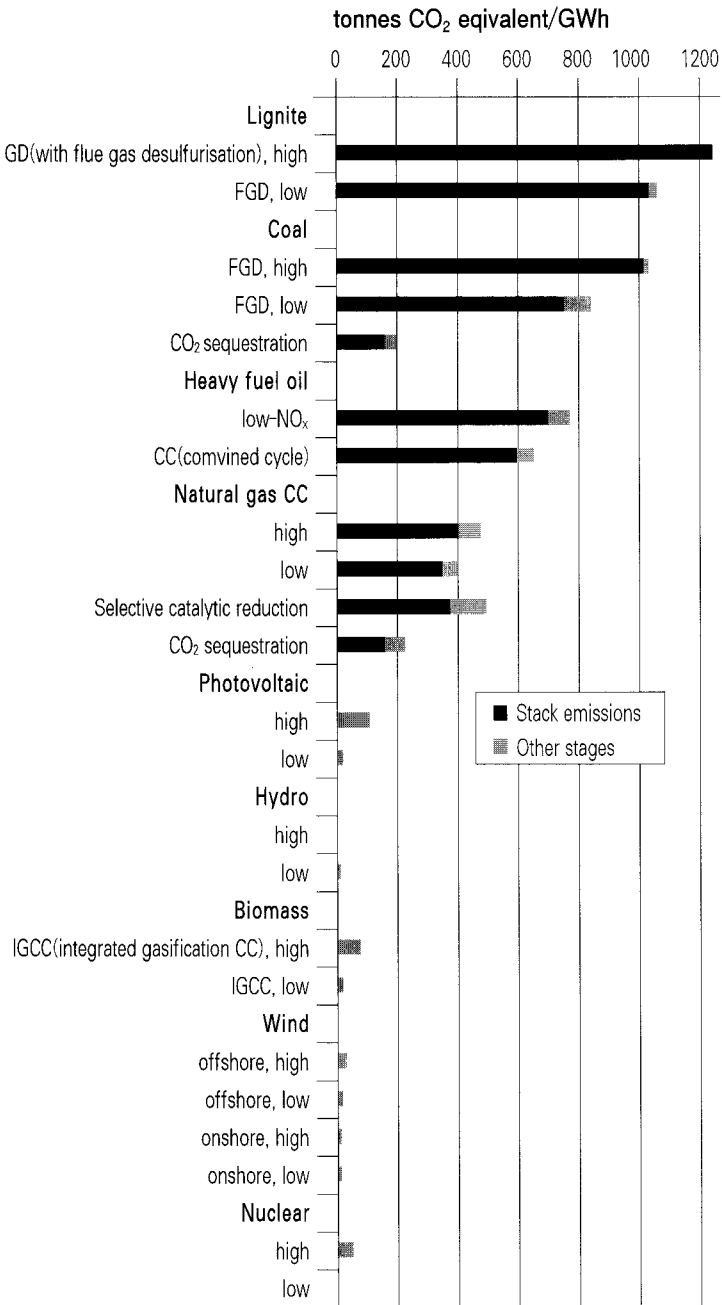
이러한 차이 때문에 발전 옵션 모두가 한 특수한 목적을 위한 진정한 대안이 될 수는 없다.

어떤 발전소는 기저 부하 운전에 적합한 반면에 다른 발전소는 첨두

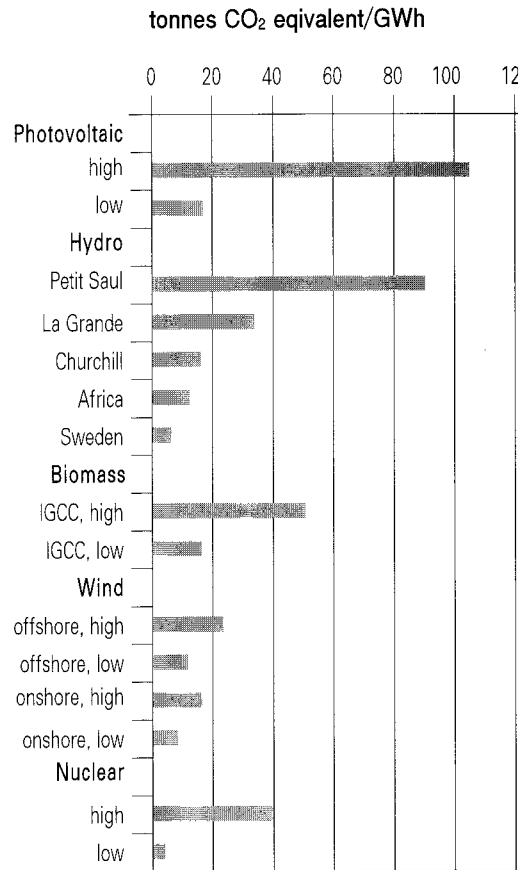
화석, 재생 가능 및 원자력 에너지 계통으로부터의 온실 가스 배출량 비교.

배출량을 직접 배출(굴뚝)과 간접 배출(라이프 사이클 중 나머지 단계)로 구분하여 나타내고 있음.

〈그림 1〉



〈그림 2〉



부하 발전에 사용된다.

간헐적으로 운전되는 발전소들은 축전지나 다른 종류의 발전으로부터의 백업을 필요로 한다

발전 계통에 있어서 계통 특성은 신규 발전소를 위한 투자를 결정하는 데 중요한 역할을 한다.

송전망 용량, 현재 설치되어 있는 백업 설비, 부하 형태, 그리고 여러 가지 다른 요소들이 고려되어야 한다.

어떤 경우에는, 전력과 열을 함께 생산하는 것이 적합할 수도 있다. 개방된 전력 시장에서는 대체

- Lignite: 갈탄 · Coal: 유연탄 · Heavy fuel oil: 중유 · Natural Gas CC: 천연 가스 CC · Photovoltaic: 광전기 · Hydro: 수력
- Biomass: 바이오매스 · Wind: 풍력 · Nuclear: 원자력
- CO<sub>2</sub> sequestration: CO<sub>2</sub> 제거 · CC(Combined Cycle): CC(복합 사이클) · Selective catalytic reduction: 선택적 촉매 제거 · FGD: 배출 가스 탈황 설비 설치 (with flue gas desulfurisation) · IGCC: 석탄 가스화 (integrated gasification CC)



공급 비용이 대단히 중요하다

대용량 발전 계통에서는 용량이 큰 발전소가 망에 접속이 되더라도 계통의 특성에 미치는 영향이 미미하지만, 용량이 적은 계통에서는 계통에 연결되어 있는 발전소들의 운전에 큰 충격을 줄 수가 있다.

수용가들은 보통 배전 공급자를 통하여 전기를 구매하는데, 이들 전기는 계통의 운전중인 모든 발전소가 생산한 전기의 혼합물이다.

사용한 전기의 환경적 특성은 계통에 의해 결정되며 시간에 따라 변한다. 이들 변화는 상이한 발전 대안을 비교하는 LCA에는 포함될 수가 없다. 더군다나 각 에너지 생산 옵션들은 서로 다른 형태의 충격을 가할 수 있다. 예를 들면 온실 가스 효과나 기상 사고와 같은 것이다.

이러한 형태의 충격들의 비교에서는 많은 불확실성을 배제할 수가 없으므로 투명성이 무엇보다 중요하다

WEC는 라이프 사이클 단계를 다음과 같이 제시하였다

- 연료 준비: 연료 자원의 탐사/시굴, 연료 자원의 추출 및 가공, 수송

- 산업 기반(infrastructure): 발전소 건설. 이 단계에는 광석과 광물의 탐사/시굴, 추출, 재료 제조, 부품/기기 생산, 장비 및 도로 건설/철거, 수송이 포함된다

- 운전: 이 단계는 정상적인 오동작, 운전 중 화학물 생성, 운전 폐기물 소각, 연료 잔류물, 기기의 처리 및 수송을 포함한다

- 수명 말기 과정: 폐기물 처리 소각과 처분을 포함한다

- 배후 산업 기반: 건설과 해체를 위한 설비를 포함한다

- 송전/배전: 산업 기반, 정비 및 망손실을 포함한다

〈그림 1〉은 화석, 재생 가능 및 원자력 에너지로부터 발생하는 온실 가스 배출량의 비교를 보여준다. 이 자료는 국제원자력기구(IAEA)가 1994~1998년에 수행한 「에너지 지원 프로그램의 비교 평가」 연구 결과에서 발췌되었다. 또한 그림은 CO<sub>2</sub> 제거, 저NO<sub>x</sub> 버너 및 선택적 촉매 제거와 같은 배출 제어 기술을 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 저감 효과를 나타내고 있다.

〈그림 2〉는 재생 및 원자력 에너지 자료를 확대하여 보여준다

에너지 옵션에 따라 이들이 환경에 미치는 영향의 특성이나 규모가 다르다. 〈표〉는 의사 결정에서 중요한 역할을 하는 요인들에 관련된 여러 가지의 1차 에너지원의 상대적인 특성을 예시하고 있는데 이들 요인들은 대부분 LCA 연구에 포함된다

연료의 종류가 무척 다양할 뿐 아니라 이들 연료를 전기로 변환하는 기술도 다양하기 때문에 연료 기술

이 환경에 미치는 영향을 모두 평가하는 것은 쉬운 일이 아니다.

더구나 같은 발전소라도 이 발전소가 처한 환경에 따라서 영향이 달라지기 때문에 평가가 복잡해진다.

인구 밀집 지역으로부터 멀리 떨어져 있는 발전소가 환경에 미치는 영향은 인구 밀집 지역에 위치한 유사한 발전소의 경우와 다르다.

이러한 특성은 이들 발전소의 배출 규제 방법에 반영된다. 환경 영향에 대한 수용 수준은 세계의 지역에 따라 다르기 때문에 결과적으로 배출 규제 수준도 달라지게 된다.

지역의 지리적 특성과 기상 조건들도 역시 배출된 가스의 농도에 영향을 미친다

화석 연료에서는 환경 부담이 주로 발전소에서 발생한다. 발전소 이전 단계에서 발생하는 배출은 많아야 전체 배출량의 10~15% 정도이다.

수력, 태양력 및 풍력이 환경에 미치는 영향은 각기 특성이 다르다. 이들 에너지원에서는 운전중에는 오염 물질이 배출되지 않으나 건설 단계에서 오염 물질이 배출된다. 또한 이들 에너지원은 넓은 지역을 차지하며, 댐과 수로 축조를 위해서 사람들을 이주시켜야 한다. 이들 에너지원이 미치는 영향은 방대하나 이를 정량화 하거나 평가하는 것은 쉽지 않다.

정책 결정자들은 에너지 접근성

〈표〉 의사 결정에서 중요한 역할을 하는 주요 인자들에 대한 1차 에너지원들의 상대적 특징

의사 결정의 주요 인자	연소 기준				원자력	수력	풍력	태양광
	석탄	석유	가스	바이오매스				
에너지 접근성(직접 비용 면에서)	F	M	M	M	F	F	D	D
에너지 접근성(보안/신뢰성 면에서)	F	M	M	M	F	F	D	D
에너지 접근성(외적 요소)	D	D	M	F	F	F	F	F

주) F: 유리한 입장, M: 중간 입장, D: 불리한 입장

(에너지 직접 비용 관련), 에너지 가용성(에너지원 확보/신뢰도 측면에서), 그리고 에너지 수용성(외적인 환경 요소 들)을 토대로 각 옵션들의 상대적인 장점을 측정한다.

LCA가 환경 영향에 관련된 질문에 도움을 줄 수는 있지만 보통 이들 영향 중 일부만이 LCA에 포함된다. 이들 외적 요소 중 일부는 LCA 방법이나 다른 어떠한 분석 방법으로도 다룰 수 없으며 단지 정치적으로 처리될 수 밖에 없다는 주장에는 상당한 일리가 있다

WECC는 LCA가 포괄적인 분석과는 거리가 멀다고 주의를 주었다. LCA는 쉽게 분석할 수 있는 사항에 초점을 맞추고 있을 뿐 쉽게 정량화할 수 없는 기준에 대해서는 별로 도움이 되지 않는다.

국가간의 사회 가치 제도의 차이는 LCA에 반영되지 않는다. 미적인 감정이나 다른 정성적인 외부 요소들에 값을 매길 수 있을지는 확실치 않다. 이러한 외부 요소를 정량화하려는 시도 - 이 중 일부는 이미 LCA에 들어 있지만 - 가 있었

다.

생물학적 다양성과 같은 영향들은 정의하기가 매우 어렵는데, 이유는 이들 영향의 내용과 측정하는 방법을 알지 못하며 발전 방식이나 연료 수송 옵션에 의해 어떻게 달라지는지, 그리고 이러한 영향으로 생물학적 다양성이 어떻게 변하는지를 알지 못하기 때문이다.

라이프 사이클에 가해지는 충격을 현저하게 변화시키는 기술 개발은 고려되지 않았는데, 이유는 LCA의 정적인 평가 특성 때문에 동적인 시스템 진화를 반영할 수 없기 때문이다.

공개적으로 입수 가능한 에너지 시스템에 관련된 데이터 베이스들은 흔히 비중양식 신재생 에너지 전력 계통에 대한 최신의 투명한 자료를 포함하고 있지 않다

이들 기술이 장래 차지하는 비중이 계속 증가하는 추세임을 감안할 때 이러한 사실은 심각한 결점으로 받아들여야 한다. 더욱이 일반적으로 가용 자료가 아주 적은 상태이기 때문에 이들 에너지 시스템의 운전

성능이 지리 및 기상 조건에 따라서 크게 달라지는 사실을 설명하지 못하고 있는 실정이다.

LCA를 에너지 모델링, 계획 그리고 정책 결정에 활용하는 데 있어서 가장 걸림돌이 되는 것은 많은 데이터 베이스들이 향후 갱신의 옵션이 없이 개발되었다는 사실이다.

오늘날 에너지 분야에 도입되는 기술들의 급속한 발전은 많은 데이터 베이스를 쓸모없게 만든다.

따라서 많은 중요한 정책 결정이나 모델링 결과가 외관으로는 건실한 데이터처럼 보이지만 실제로는 부정확하거나 구식인 데이터에 기초를 두고 있을 위험이 있다

LCA는 정책 결정자에게 보다 많은 정보를 제공해 주는 도구이며 비용과 성능과 같은 다른 결정 기준과 함께 사용되어야 한다는 사실을 염두에 두어야 한다.

마지막으로 경제적 결정이 나오 후에 어떻게, 그리고 얼마만큼 환경 영향을 경제적 결정에 추가할 것인지는 정치적인 결정임을 잊지 말아야 한다. ☹