

# 原子力이 唯一한 無公害의 長期에너지源

本稿는 작년 11月 15日 韓國原子力研究所 講堂에서 열린 「開所 30周年 記念行事」에서 Stanley R. Hatcher 카나다原子力公社(AECL) 社長이 「Nuclear Power—The Only Clean Air Path to Sustainable Energy」라는 제목으로 특별강연한 내용이다.

한국은 부존 화석연료의 부족으로 말미암아 원자력으로 눈을 돌렸습니다. 물론 결과는 이러한 결정이 현명하고 정책적으로 중요한 선택이었음을 보여주고 있습니다. 그러나 원자력은 한 나라의 화석연료 부족에 대한 적절한 대응책 이상의 의미를 가지고 있습니다. 원자력은 장기적 지구 에너지원으로서의 잠재력을 지닌 무공해한 대안입니다. 이 논문에서 본인은 에너지소비의 문제를 검토하고, 미래의 에너지이용 가능성에 영향을 미칠 요인들을 논함으로써 이 점을 입증하고자 합니다.

세계 각국의 에너지소비량은 가공할 만한 증가 추세에 있습니다. 다른 여러나라와 마찬가지로 한국의 에너지소비량과 생활수준은 급격한 증가곡선을 그리고 있습니다. 그러나 OECD 회원국들과 여타 국가들 간의 1인당 주요에너지소비량 간에는 5대 1이라는 엄청난 격차가 있습니다. OECD는 미국, 캐나다, 일본, 서유럽, 호주 및 뉴질랜드로 구성된 경제협력 및 발전을 위한 기구입니다. 우리는 현재 50억에서 2025년에는 80억으로 증가될 것으로 예상되는 세계인구를 위해 어떻게 이러한 격차를 좁힐

것인가 하는 도전에 직면해 있습니다. 장기적으로 볼 때 세계인구가 100억에 이르고 아마도 그 이상으로 증가되리라는 것은 의심의 여지가 없습니다. 에너지공급원의 선택은 환경 안전성을 유지하는 한편, 세계의 주에너지소요량을 충족시킬 수 있어야만 합니다. 원자력은 환경적인 관점에서 볼 때 우월한 에너지공급원이 될 수 있는 기본적 이유들이 있습니다.

오늘날 화석연료의 소비형태와 매장량 및 환경에 미치는 영향을 검토해 봅시다. 전세계적인 에너지소비량은 막대하므로 엑사쥬울(1엑사쥬울= $10^{18}$ 쥬울)을 기본단위로 사용하겠습니다. 1엑사쥬울은 23.9백만톤의 석유 또는 0.95 퀴드(1퀴드= $10^{24}$ b.t.u)에 해당합니다. 표 1

〈표 1〉 1988년도 에너지 소비량  
(단위 : 엑사쥬울)

석 탄	101.6
석 유	127.1
가 스	68.2
수 력	22.5
원자력	18.4
계	337.8

주 : 1엑사쥬울(EJ)= $10^{18}$  쥬울

은 작년도 세계 주요에너지 총소비량이 337.8 엑사쥬울(EJ)이었음을 보여 줍니다.

화석연료는 금세기의 주 에너지원이 되어왔는데, 표 2를 보면 화석연료가 1988년도 세계 주요에너지소비량의 88%를 공급한 반면, 수력과 원자력은 겨우 12%를 공급하는데 그쳤고, OECD회원국들에서는 수력과 원자력이 16%를 공급하였음을 알 수 있습니다. 이 도표는 또한 세계 에너지의 절반이 전세계 인구의 16%를 차지하는 OECD회원국들에 의해 소비되었음을 보여주고 있습니다.

세계 화석연료 매장량은 아직은 에너지 가용량에 대한 장애요인이 아닙니다(표 3). 현재의 기술수준으로 볼때 경제적으로 채굴 가능한 화석연료자원은 38,000EJ로 추정됩니다. 지금의 소비속도대로 하면 세계 석탄 매장량은 석유와 천연가스 매장량 보다 훨씬 더 오래 사용 가능할 것입니다. 확인된 석탄의 매장량은 218년간

사용가능한 반면, 천연가스는 58년, 석유는 41년 밖에 사용할 수 없습니다. 하지만 장기적인 전망은 어떠합니까?

지난 600만년동안 자연에 의하여 생성된 화석연료의 총매장량을 추정할 수 있는데, 이 양은 현재의 지식 수준에 비추어 합리적인 다음의 두 가정에 근거하여 산출된 것입니다.

-지구 대기권의 산소는 이산화탄소로 부터 광합성에 의해 생성된 것이며,

-화석연료는 이러한 광합성에서 비롯된 것이다.

표 3은 이러한 가정들에 입각하여 지구상에 존재하는 화석연료 총량이  $10^7$  EJ에 상당함을 보여주고 있습니다. 이러한 거대한 화석연료 매장량중에서 미래의 기술수준으로 채굴 가능한 양은 총 매장량의 약 3%에 해당하는 352,000 EJ로 추정됩니다.

이로 부터 우리는 수백년간 사용하기에 충분한 양의 화석연료가 존재한다고 결론을 내릴 수도 있을 것입니다.

그러나 매장량만이 연료의 소비속도를 결정하는 것은 아닙니다. 세계는 더욱더 환경적 지탱 가능성의 중요함을 인식하고 있습니다.

1988년 6월 Toronto에서 “대기변환”학술회의가 개최된 아래, 여론은 온실효과에 대하여 많은 관심을 보여 왔습니다. 대중들은 이제 대기권에 방출된 이산화탄소를 비롯한 몇가지 가스들이 지구의 표면으로 부터 발산된 적외선을 흡수했다가 다시 반사함으로써 지구의 온도 상승을 야기시킨다는 것을 인식하고 있습니다. 지난 1세기 동안 약 0.5°C의 온도상승이 있었고, Mauna Loa에서의 측정치는 공업시대의 출범 아래 이산화탄소의 농도가 25% 증가하였음을 보여주고 있습니다. 에너지와 무관한 온실 가스들도 지구온도 상승을 일으키지만, 에너지 – 이산화탄소 연관고리가 기후변화의 시기와 폭에 가장 중요한 결정변수인 것으로 보입니다.

〈표 2〉 1988년도 에너지소비율 분포

	OECD회원국	OECD비회원국	전세계
화석연료, %	84	92	88
수력 및 원자력, %	16	8	12
총 주요에너지, EJ	168	170	338
인구, 10억	0.8	4.2	5
1인당 주요에너지,GJ	210	40	68

〈표 3〉 화석연료매장량

장기예측치		
총 매장량	$10^7$ EJ	
추정 가체량	352,000 EJ	
현재 입증된 가체량	단위	에너지
석탄	$1,023 \times 10^6$ MT	28,531 EJ
가체량 / 생산량	218년	
석유	$123.8 \times 10^3$ MT	5,179 EJ
가체량 / 생산량	41년	
천연가스	$111.9 \times 10^{12}$ M <sup>3</sup>	4,214 EJ
가체량 / 생산량	58년	

다.

온실효과와 그에 따른 유해한 기후변화는 화석연료의 사용에 양적으로, 또한 지리적으로 제한 요인이 될 것입니다. 환경과학자들은 이산화탄소를 탄소 방출량에 의해 언급하는 경향이 있는데, 이 양은 석탄 소비량과 쉽게 연관지어 질 수 있습니다. 1988년도 화석연료의 사용은 대기중에 220억톤의 이산화탄소를 방출하였는데, 이는 지구상의 인류 1인당 1톤이 넘는 총 60억톤의 탄소에 해당합니다. 1988년의 3대 주요화석연료로 부터의 탄소 방출량이 표 4에 나타나 있습니다.

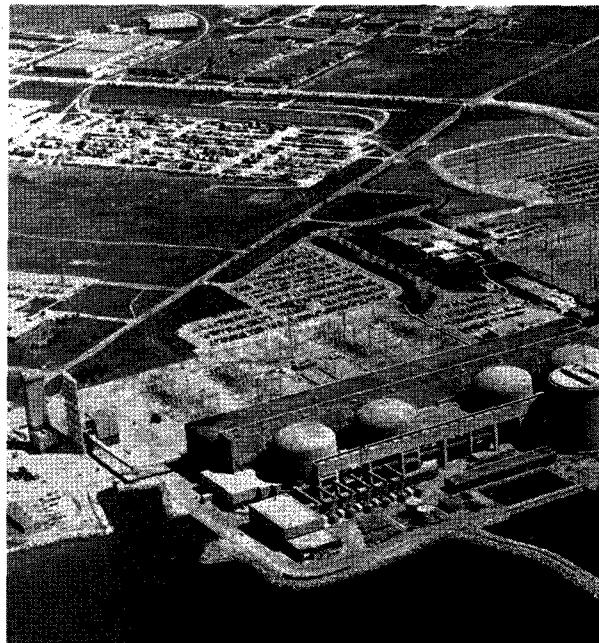
〈표 4〉 1988년도 화석연료에 의한 이산화탄소 방출량

	에너지생산량 (EJ)	단위에너지생산당 탄소방출량(MT / EJ)	탄소방출량 (10억톤)
석 탄	101.6	24.1	2.5
석 유	127.1	19.9	2.5
가 스	68.2	13.8	0.9

아직도 대기중의 이산화탄소 농도를 용납할 만한 수준에서 안정시킬 수 있는 최대 탄소 방출량이 얼마인가는 불확실합니다만, 많은 사람들은 연간 28억톤에서 40억톤 범주의 탄소량이라고 추정합니다. 이 기준에 따르면 탄소량은 지탱 가능한 수준을 넘어섰고, 따라서 우리는 탄소 방출량의 축소에 관심을 기울여야 할 것입니다.

화석연료로 부터의 대기중의 탄소 방출량을 축소시키는 방법에는 다음의 다섯가지 종류가 있습니다.

1. 연소전 탄소제거
  2. 연소후 탄소회수
  3. 연료대체
  4. 에너지절약
  5. 최종 수요 구성비의 변화
- 경제적으로 타당한 모든 탄소 경감기술을



이용하기 위해서는 이를 각 대안에 대한 연구가 행해져야 할 것입니다.

온실효과의 위협이 어느 정도인가에 대해서는 아직도 의견의 일치를 보지 못하고 있습니다. 본인은 선진국들이 지구상에서 위험한 실험을 행하고 있다는 인식이 점증하고 있기 때문에, 일반대중들이 의견의 일치를 볼 때까지 기다릴 만한 마음의 여유를 갖고 있지 못하다고 생각합니다. 환경론자, 여론선도자 그리고 대기업들은 이구동성으로 세계의 정책수립자와 정치지도자들에게 모종의 조치를 요구하고 있습니다.

온실가스 방출량의 축소에 관한 주제장연에서 캐나다 환경청 장관은 다음과 같이 간략하게 문제점을 말하고 있습니다. “이제 남은 문제는 어떻게, 얼마나, 그리고 무슨 방법으로 일 뿐입니다.” 이에 대한 해답은 자명합니다. “지금 즉시 시작하십시오. 탄소 방출량을 3분의 1 가량 줄이고, 경제적으로 사용 가능한 모든 방법을 동원하십시오.”

본인의 의견으로는 이러한 수단들이란 수요



측의 효율성을 증가시키는 동시에 원자력, 수력 그리고 기타 재생가능에너지원들과 같은 무공해 에너지기술로 대체하는 것입니다.

이로써 우리는 에너지소요량이 크게 증가할 것이며, 화석연료의 사용 가능량이 상당기간 동안 충분하기는 하나, 그 사용량이 환경적인 요인에 의해 제약되리라는 것을 알았습니다. 따라서 우리는 이 문제를 해결하기 위한 전략적 해결방안을 모색해야만 합니다.

에너지에 대한 수요는 세계 인구가 증가함에 따라 필연적으로 증가할 것이며, 이러한 증가는 주로 개발도상국에서 나타날 것입니다. 동시에 개발도상국들은 OECD회원국들의 생활수준을 달성하기를 열망할 것이며, 우리는 이러한 경향에 대비해야만 합니다. 그러나 OECD회원국들이 그들의 생활수준을 포기할 가능성이 없는 반면, 그들이 에너지소비를 줄이기 위하여 에너지효율의 대폭적인 증가를 위해 노력해야만 한다는 데에는 의문의 여지가 없습니다.

문제의 심각성을 이해하기 위하여 세계 인구

가 궁극적으로 100억에 도달한다고 가정합시다. 그리고 OECD회원국들을 포함한 전세계가 현재 OECD의 2분의 1 또는 북미의 3분의 1의 속도로 에너지를 소비한다고 가정합시다. 그러면 그에 따른 지구전체의 에너지수요는 현재의 3배인 연간 약 1,000EJ이 될 것입니다. 만일 동시에 탄소방출량이 현재 수준의 3분의 2인 연간 약 40억톤에서 안정된다면, 연간 약 200EJ의 화석연료 소비가 실제적인 한계일 것입니다. 현재 수력발전량에는 상당한 한계가 있지만, 일단 수력발전량을 현재의 2배인 연간 200EJ로 증가시킬 수 있다고 가정합시다. 끝으로 태양력, 조력, 생화학에너지 등과 같은 미래의 재생가능에너지원들의 목표치를 낙관적으로 잡아서 오늘날 천연가스, 수력 및 원자력의 합계에 해당하는 연간 100EJ이라고 합시다. 이상의 모든 공급원을 합치면 연간 350EJ로 여전히 총수요의 3분의 2에 해당하는 연간 650EJ이 부족하게 됩니다(표 5). 우리가 아직 고려하지 않은 에너지원은 단 한가지 뿐입니다.

유일한 실제적 대안은 원자력입니다.

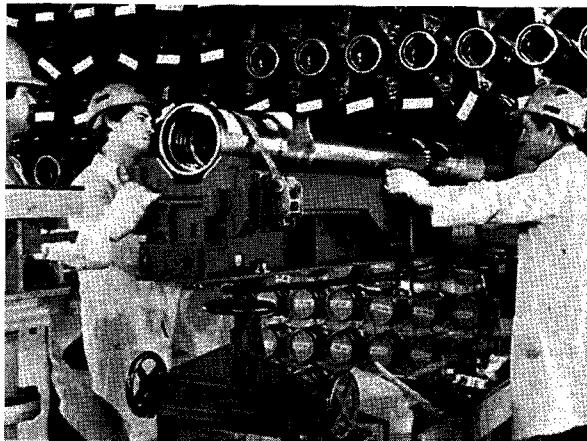
2개월전 Montreal에서 개최된 세계에너지회의에서 Alvin Weinberg는 500EJ에 달하는 지구 에너지수요를 해결하는 길은 모든 화석연료를

〈표 5〉 1988년도와 장기적 미래의 세계 에너지 구성비 및 Weinberg의 예측치와의 비교

	1988년 실제치	Weinberg 예측치	본고의 예측치
	EJ (%)	EJ (%)	EJ (%)
원자력	18(5.4)	315(60)	650(70)
화석연료	298(88)	157.5(30)	200(20)
기타재생가능 에너지원	23(66)	52.5(10)	150(10)
합 계	337	525.0	1,000

주 : 315EJ=5,325 GWe

650EJ=11,000 GWe



개발도상국가들이 사용토록 하는 것이라고 제안했습니다. 그는 이어서 연간 50EJ의 재생가능 에너지원을 목표로 하면, 나머지 수요는 원자력이 총족시켜야 한다고 추정했습니다. 비록 그의 예상이 본고에서 가정한 에너지수요의 증가를 고려하지는 않았지만, 결론은 질적으로 마찬가지 인 것입니다.

이러한 수요를 총족할 만큼의 핵연료가 과연 존재할까요? 지표의 천연매장량에 근거한 단순 계산에 따르면, 지표에서 1.6Km이내에 존재하는 우라늄과 토륨이 만약 현재의 핵반응과정대로 사용된다면  $10^{12}$ EJ의 에너지를 산출할 것입니다. NEA / IEA 자원추정량조사가 신중하게 예상하는 우라늄의 경제적 가채량은 기존의 원자로에서 사용되었을 경우  $10^6$  EJ 이상, CANDU 원자로와 고속증식로에서 재사용되었

〈표 6〉 핵연료 매장량

장기예측치	
지표에서 1.6Km 내에 매장된	
우라늄과 토륨량	$10^{12}$ EJ
가채량	$1 \times 10^6 \sim 50 \times 10^6$ EJ
$1\text{EJ}=10^{18}$ 쥬울=0.95 퀘드	
현재의 우라늄 가채량	
	메카톤 U
확인량	2.3
미확인량	2.9
추정량	9.6
현 사용속도=연간	0.05 메카톤 U.
	에너지 EJ
	1,250
	1,575
	5,215

을 경우  $50 \times 10^6$  EJ까지 에너지를 산출할 것이라고 합니다. 따라서 자연은 본고에서 예상한 높은 에너지소비를 감안하더라도 수천년간 사용하기에 충분한 연료를 제공하고 있습니다(표 6).

마지막으로, 그러면 이 만큼의 원자력을 사용하는 것이 가능하며 또한 실제적일까요? 원자력이 부담해야 하는 물의 크기를 과소평가해서는 안되겠습니다. 앞서 산출된 수요는 현재 가동중이거나, 건설중인 총용량의 25배에 해당하는 11,000,000MWe입니다. 50년간에 걸쳐 건설된다고 가정하면, 이는 매년 200기 정도의 원자력발전소를 신설해야 함을 의미합니다. 이 발전소들이 선진국들에만 세워질 수는 없으며, 사실은 대부분이 개발도상국들에 세워져야 할 것입니다. 분명히 이러한 목표의 달성을 원자력개발에 필요한 안전기준을 달성하기 위한 교육, 설계품질보증, 건설 및 운전 등의 광범위한 프로그램과 더불어 막대한 소요자본을 투자하려는 결단성있고 혁신적인 국제적 합의가 없이는 불가능합니다.

원자력의 방대한 확장이 해답이라면, 원자력 발전소의 건설과 발주 이외에도 채굴, 정련, 변환, 농축, 제조, 재가공 및 폐기물처리 등을 포함하는 전 원자력산업 하부조직을 확장시키는데 필요한 자본을 조달하여야만 합니다.

이제까지 본인이 말한 모든 것을 요약하면, 인류는 번영과 향상된 생활수준 그리고 깨끗한 환경을 가져오기 위해 지구의 에너지자원을 이용할 수단을 이미 보유하고 있거나, 아니면 개발할 수 있습니다. 원자력은 세계의 에너지와 환경문제를 해결하고 사용후 부산물을 안전하게 제어할 수 있는 대규모의 잠재력을 지닌 현재까지 알려진 유일한 수단입니다.

반면에 대안은 빈곤과 환경적 재난 그리고 전 세계 인류가 비싸지기만 하는 화석연료의 확보를 위해 벌일지도 모르는 국제분쟁입니다.