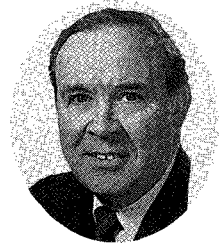


全世界의 持續的인 發展과 原子力發電의 役割



Stanley R. Hatcher

〈카나다原子力公社(AECL) 社長〉

序 論

지구의 지속적 발전을 위한 에너지공급에 있어 원자력의 역할은 세계적으로 대단히 중요한 주제이다. 어느 토론이든지 오늘날 지구의 에너지상황의 재고와 미래의 지구 예상인구분포 영향에 대한 검토시에는 그 인구의 에너지수요를 충족시키기 위한 방법의 평가를 포함하여야 한다.

오늘날 세계에너지現況

표1에 OECD(경제협력개발기구)와 OECD 이외 국가에서 1988년도의 전체 에너지소비상태를 요약하였다. 이 자료는 국제원자력기구(IAEA)가 보고한 에너지자료에 덧붙여 세계에너지회의(WEC)의 바이오매스 기여도 평가를 사용하고 있다.

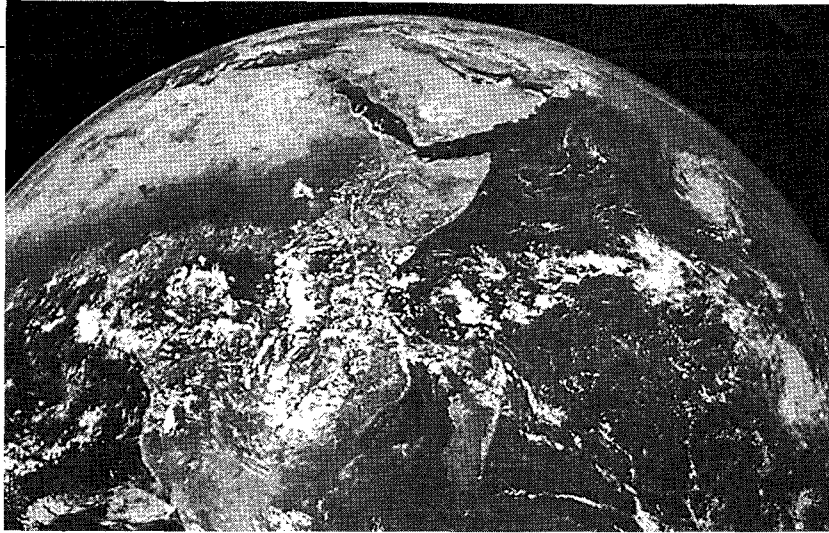
〈표1〉 세계 에너지소모량

	1988년			미래
	OECD	非OECD	세계	세계
인구(백만단위)	800	4200	5000	10000
총주요에너지(EJ)	175	218	393	1000
1인당주요에너지(GJ)	218	52	79	100

지구 전체 에너지소비는 393EJ이다. 그러나 단지 세계인구의 16%밖에 안되는 OECD국가들이 1988년도에 총 에너지의 44%를 소비했다. 이들 국가의 1인당 에너지소비는 OECD 이외 국가들의 4배가 넘었다.

人口展望

인구학자들은 지구인구가 21세기에 백억명에 도달할 것이라고 예상하고 있다. 세계의 모든 국가들은 선진국이 이미 누리고 있는 합당한 수준의 생활에 도달할 권리가 있다. 그리고 에너지효율정책과 절약을 통해 그 국가들도 개인당 100GJ 이하의 에너지소비를 유지하면서 그 수준의 생활을 영위하는 것이 가능할 것이다. 이와 같은 시도는 선진국의 1인당 소비를 줄일 뿐만 아니라 합리적인 시간내에 개발도상국들을 이 수준으로 끌어올릴 필요가 있다는 점에서 중요하다. 이 목표는 OECD(경제협력개발기구) 국가 소비에 실질적 소비 감소를 요구하지만, 지구 전체 수요량은 아직도 1,000EJ, 즉 1988년 소비수준의 2.5배 이상에 이르게 된다. 이 시도는 우리의 환경에 돌이킬 수 없는 피해를 입히지 않는 방법으로 막대한 양의



에너지를 공급하는 것이다.

그 문제는 지구의 백억인구가 어떻게 분포되는가를 조사하면 훨씬 더 복잡해진다. 표2에 지리적 지역에 따른 1990년과 2025년의 유엔의 인구예상이 요약되어 있다. 유엔의 이 산출에 따르면 2025년까지 지구인구는 80억 이상, 즉 20% 부족한 백억에 이르게 될 것이다. 유엔의 이 산출은 백억의 인구분포를 추정하는 토대를 제공하고 있다.

〈표2〉 세계 인구분포

(단위: 백만명)

지역	1990년		2025년		미래	
	인구	%	인구	%	인구	%
북미	275	5	347	4	380	4
유럽	791	15	894	11	920	9
아시아	3084	59	4507	55	5200	52
중남미	453	9	787	10	1000	10
아프리카	645	12	1643	20	2500	25
세계	5249	100	8177	100	10000	100

여기에서 보여진 가장 뚜렷한 특징은 아프리카에서 거주하게 될 인구의 급격한 증가이다. 따라서 미래의 에너지공급을 위해서는 특별한 대책이 요구된다.

에너지消費

매년 지구의 에너지소비를 1,000EJ로 제한하는 방법을 제기할때 모든 사람들은 어느 지역에 거주하든지 상관없이 1인당 동일한 기준에 의해 이용할 수 있는 에너지를 나누어야 한다고 가정하는

것이 합리적이다. 그래서 모든 지역이 100GJ의 동일한 1인당 에너지소비에 목표를 두게 된다.

표3은 1988년도에 각 지역의 1인당 소비를 이 목표와 비교하기 위해서 나타내었다. 북미와 유럽은 세계의 국가들과 일치된 수준으로 그들의 소비를 감소시키기 위해서 실질적인 에너지효율 향상과 절약프로그램을 수행해야 한다.

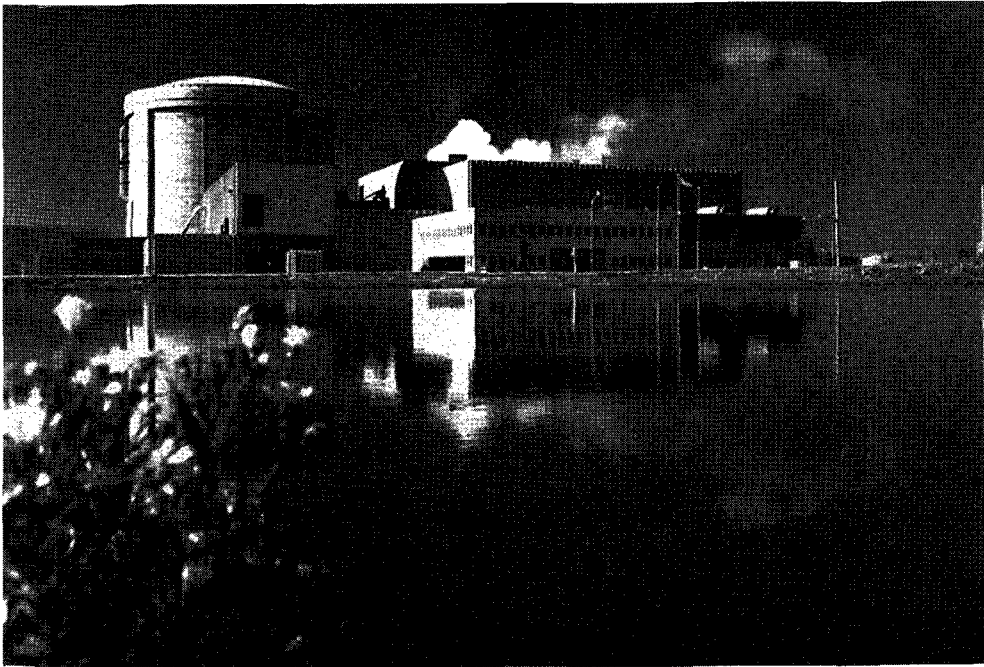
〈표3〉 세계 에너지소비량

지역	1988년		미래		인구 (백만단위)	EJ
	GJ/CAP	EJ	GJ/CAP	EJ		
북미	320	86	100	380	38	
유럽	177	149	100	920	92	
아시아	37	107	100	5200	520	
중남미	65	28	100	1000	100	
아프리카	39	23	100	2500	250	
세계	78	393	100	10000	1000	

化石燃料의 消費

각 지역과 전 세계의 총 에너지수요가 만족될 수 있는 방법이 검토되어야 한다.

1988년 토론토에서 열린 “변화하는 환경”이라는 주제의 회의 이후로 지구의 온난화를 방지하기 위해 이산화탄소(CO₂)의 방출을 제한할 필요를 인식하였다. 지구의 온난화에 대한 이산화탄소 농도의 양적인 영향과 방출 비율 및 대기농도 사이의 관계에 관해서는 아직도 과학적인 불확실성이



있다. 따라서 이산화탄소 방출 허용기준을 확정적으로 기술할 수는 없다. 그러나 토론토회의에서는 방출량을 현재의 비율보다 적어도 20% 이하로 제한할 것을 제의했다.

대기중 CO₂의 주요 원인은 화석연료의 연소라는 것이 널리 인식되고 있다. 현재 화석연료로 부터 생산되는 에너지수준은 토론토회의의 권고량이 200EJ인데 반해, 매년 300EJ을 초과하고 있다. 표4는 1988년도 화석연료 소비에 대한 IAEA 자료로서 각 지역의 화석연료 소비의 목표를 제시하고 있다.

〈표4〉 세계 화석연료 사용량

지역	1988년		미 래		
	GJ/CAP	EJ	GJ/CAP	인구 (백만단위)	EJ
북 미	260	70	10.5	380	3
유 럽	145	121	10.5	920	10
아 시 아	27	80	21	5200	112
중 남 미	43	19	21	1000	21
아프리카	23	14	21	2500	53
세 계	60	304	20	10000	200

화석연료 소비의 지역적 목표를 결정하는 것은 복잡한 문제이다. 화석연료는 대부분의 지역에 풍부하여 쉽게 접할 수 있기 때문에 일반적으로 선택되는 에너지원이다. 역사적으로 자국의 경제를 발전시키기 위해서 값싸고 풍부하게 공급되는 화석연료를 사용해온 대부분의 선진국가들에서도 마찬가지이다. 세계의 많은 개발도상국들은 지금 이 형태를 따르려는 것 같다. 그러나 그 국가들이 필요로 하는 에너지양의 절대치와 환경이 지탱할 수 있는 수준으로 CO₂ 방출을 제한하여야 하는 필요성 때문에 1인당 화석연료 소비는 엄격하게 제한될 것이다.

지구환경피해를 엄격히 방지하고 동시에 선진국들이 과거에 사용했던 1인당 화석연료량과 같은 양을 사용하는 것은 가능하지 않을 것 같다. 그러나 낙후된 기술과 부족한 재원을 가진 개발도상국들에게 값싼 화석연료를 미래에 사용하는 이점을 주어야 한다는 것을 가정해야 한다. 본인은 북미와 유럽의 선진국들이 개발도상국들의 1.5배 수준으로 그들의 1인당 소비를 제한할 수 있다고 가정하고 있다. 허용될 수 있는 화석연료 소비의 이러한 할당에 따라 각 지역의 에너지 예상이 표4에

나타나 있다.

결론은 선진국이 화석연료 소비를 극적으로 감소해야 할 뿐만 아니라 가장 낮은 에너지소비지역인 아프리카도 오늘날의 수준 이상으로 1인당 화석연료 소비를 증가 시킬 수 없다는 것이다. 선진국가들이 화석연료 소비를 전혀 하지 않는다 하더라도 동일한 일반적 결론이 적용된다. 왜냐하면 개도국의 인구가 훨씬 압도적이기 때문이다.

국제원자력기구의 자료에서 밝혀진 표5에 의하면 이미 확인된 지구의 화석연료 매장량은 약 250년동안 계획된 수준으로 소비할 수 있을 정도로 충분하고, 어떤 지역에서는 이미 확인된 화석연료 자원을 그 지역이 사용하는데 부족하지 않다는 것을 설명하고 있다. 가장 적은 자원을 부존하고 있는 것으로 알려진 중남미와 아프리카에서도 합리적인 소비를 한다면 수십년 동안은 충분하다.

〈표5〉 화석연료 소비량과 자원량 (단위: EJ)

지역	미래의 연간소비량	밝혀진 보유량			
		석탄	석유	가스	합계
북 미	4	5600	200	300	6100
유 럽	10	10000	430	1800	12230
아 시 아	112	22000	3300	1500	26800
중 남 미	21	400	670	275	1345
아프리카	53	1600	325	275	2200
세 계	200	39600	4925	4150	48675

代替에너지

화석연료에서 생산되는 에너지량은 제한되기 때문에 대체에너지사용의 유용성과 활용을 평가해야 한다.

이론적으로는 풍력과 태양에너지가 예상할 수 있는 미래의 에너지수요량에 많은 부분을 공급할 가능성을 가지고 있다. 그러나 경제성과 기술적 제한 때문에 현재 연간 1EJ 이하만이 이용되고 있다. 최근에는 기술의 발전으로 벽지지역에서 사용하는데 경제적인 소형 태양열시스템이 개발됐

으나, 태양에너지는 집열과 저장의 경제성 때문에 태양열에너지는 대도시지역에 경제적으로 대규모 에너지를 제공하지 못하고 있다.

풍력도 마찬가지다. 풍력에너지는 높은 에너지 밀도가 필요하지 않은 지역에 비교적 소규모의 에너지를 공급하는데 적합하다. 최근에 풍력은 1EJ의 적은 양을 공급하고 있으며, 대규모 이용 전망은 제한된다.

태양에너지의 이용성은 인구에 의해 제한받지 않으나, 지리와 기후에 직접적으로 관련되어 있다. 태양에너지는 집열하기 위해 넓은 지역이 필요하기 때문에 그 유용성은 지리적 요인과 일사량에 의존한다.

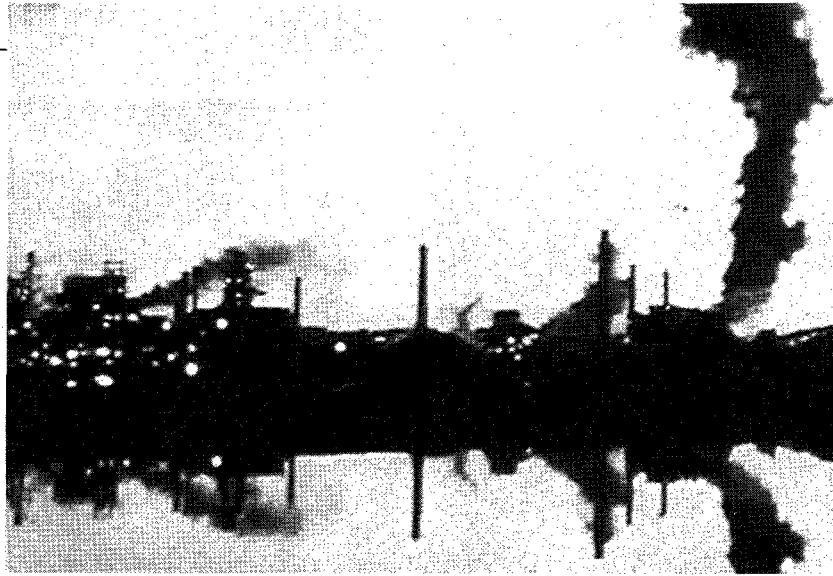
태양이용률이 태양에너지 이용상태를 평가하는 방법으로 사용된다(표6). 이것은 태양열 기술이 활용되는 지역을 근거로 태양열이 최고 가능한 기여정도를 결정하는데 도움이 된다. 편의상 풍력의 기여도는 태양에너지와 같은 방법으로 평가된다. 이들의 최근 기여도는 매우 제한되고 있지만, 우리가 에너지공급문제를 해결하려면 새로운 높은 목표를 세워야 한다.

〈표6〉 태양에너지 이용 가능성

지역	상대지역	상대인사량	태양열이용률	미래에너지
북 미	1.5	1	1.5	5
유 럽	1	1	1	3
아 시 아	4	1.5	6	18
중 남 미	1.5	2	3	9
아프리카	2.5	2	5	15
세 계			16.5	50

본인은 바람과 태양에너지 이용에 가장 큰 가능성을 지닌 지역으로 부상하는 아시아, 아프리카 그리고 중남미에서 매년 50EJ을 공급함으로써 50배의 태양과 풍력에너지의 기여도를 증대시킬 수 있다고 가정해 왔다.

수력발전은 많은 지역에서 관심있는 옵션이며, 전 세계적으로 이미 연간 약 25EJ을 생산하고 있다. IAEA 자료에 의하면 전 세계적으로 총 50EJ의 수력발전 가능성이 표7에서 볼 수 있듯이 분포되어 있다. 이것은 모든 잠재적인 수력발전능



력이 다 개발되었을 때를 가정한 것이다.

목재를 포함하여 바이오매스는 광범위하게 연료로 사용되어 왔으며, 세계적으로 보면 현재 55EJ 이상을 공급하고 있다. 이것은 개발도상국에서의 주요 에너지원이며, 그 나라의 총 수요량의 1/3 이상을 공급하고 있다. 오랜기간 동안 바이오매스 연료는 대기중 CO₂의 순증가를 가져오지는 않았으며, 어떤 형태는 특히 도시에서 심각한 지역적인 공기의 질문제를 야기시킬 수 있지만 환경적으로 지구 온난화라는 관점에서는 양성적이다. 표7은 최근의 생산과 미래에 배가될 수 있는 기대에 근거해서 지역적 에너지수요량에 바이오매스가 기여 가능함을 보여준다.

대체에너지의 모든 기여를 허용할 수 있는 수준의 화석연료 에너지공급에 추가하였을때 이 총량과 미래의 백억인구에 대해 각 지역에서의 수요량과 사이에는 차이가 있다. 표8은 이 부족량을 나타내고 있는데, 그 부족량은 총 590EJ로서 전체 수요량의 거의 60%가 된다.

〈표7〉 수력과 재사용연료의 가능성 (단위:EJ)

지역	풍력과 태양열	수력	생물자원	총계
북 미	5	4	9	10
유 럽	3	19	11	33
아 시 아	18	16	45	79
중 남 미	9	9	18	36
아프리카	15	2	27	44
세 계	50	50	110	210

〈표8〉 미래의 지구의 에너지 (단위:EJ)

지역	총필요량	화석연료	수력과재사용연료	부족량
북 미	38	4	18	16
유 럽	92	10	33	49
아 시 아	520	112	79	329
중 남 미	100	21	36	43
아프리카	250	53	44	153
세 계	1000	200	210	590

原子力에너지

오늘날 전세계적으로 부족한 에너지를 보충할 수 있는 유일한 에너지자원으로 알려진 것이 원자력에너지이다. 이것은 원자력에너지로 세계적으로 부족한 에너지를 보충하는 것이 기술적으로 경제적으로 가능한가 하는 의문을 제기한다.

원자력에너지의 필요량을 표9에 나타냈는데, 요구되는 원자력에너지의 총량은 약 7,000,000 MWe로서 현재 건설중이거나 설치된 용량의 17배 정도 되는 양이다. 이 양은 40년 동안 매년 176기의 신규 발전소를 세워야 하는 양이다. 이런 프로그램은 방대한 것이지만, 능력밖의 일은 아니다. 1984년과 1985년에는 매년 33기의 발전소가 완공되었으며, 1970년대 후반부터 1980년대 초반까지 세계적으로 연간 60기 내지 70기의 원자력발전소가 건설되었다. 이와 같은 상황에서라면 연간 176기의 발전소를 세우는 일은 10년전 건설 능력의 3배에 지나지 않으며, 또한 현재 그렇게 할

수 있는 산업적 능력도 갖추고 있다.

이러한 건설계획으로 야기되는 재정적인 문제점들은 상당한 것들이며, 과거에는 이 계획을 실행할 수 있는 능력이 세계적으로 부족하다는 점에서 원자력에너지에 대한 많은 비판이 있었다. 이런 점들을 올바르게 파악하기 위하여 국가 이익을 위해서는 중요한 것으로 생각되어졌던 다른 계획들이 무엇 때문에 채택되었는지 알아보자. 가장 분명하게 비교될 수 있는 계획은 군사계획이다. 표10에서는 1986년 지역별 군사계획비용이 지구의 미래에 중요한 원자력발전소 건설계획에 소요되는 비용과 비교되어 있다. 원자력발전소에 대한 연간 총 투자는 세계가 군사용 프로그램을 위해 소비하는 비용의 약 40% 밖에 지나지 않는 것이다.

주된 재정문제는 원자력발전소가 대부분 개발도상국에서 건설되는 점인데, 즉 이 나라들은 재정적 부담을 견딜만한 힘이 적기 때문이다. 북미나 유럽의 나라들이 상대적으로 적은 군사비 삭감으로 그들의 수요를 쉽게 해결할 수 있는 동안, 이들 지역과 개발도상국 사이의 일치된 국제적인 협력이 세계적 문제를 해결하는데 필요하다.

이런 협력의 결정적인 필요성에 대하여 호응하

는 것이 세계의 역량 밖의 일은 아니라고 본다.

結 論

세계 인구의 피할 수 없는 증가와 전 인류를 위하여 생활의 합리적인 수준을 위한 필요성이 에너지에 대한 수요를 세계가 전에는 경험해 보지 못한 매우 높은 단계까지 몰고 가고 있다. 에너지의 효율과 절약에 있어서의 급진적인 개선으로 세계 연간 수요량은 1인당 100GJ로 제한될 것이다. 이것은 북미의 1인당 에너지소비량을 1/3로 줄인 것이다. 이 정도에 상응하는 생활수준을 달성한 개발도상국을 합하면 세계 에너지수요량은 연간 1,000EJ로 2.5배 증가할 것이다.

지구의 온난화에 있어서 CO₂방출 영향에 대한 관심이 화석연료의 사용을 감소하자는 국제적인 여론을 쉽게 야기시킬 것이다. 환경을 보존하기 위해서는 세계의 모든 나라들은 그들의 화석연료 소비를 제한하여야 하며, 특히 북미와 유럽의 국가들이 이를 실천해야만 한다.

다른 에너지자원들이 모든 지역에서 중요한 역할을 할 것이다. 그러나 큰 부담은 전체 에너지 공급의 주요한 요소로서 원자력에너지가 질 것이다. 지구환경에 대한 피할 수 없는 파괴의 위험성은 세계의 모든 정부들이 지구차원에서 원자력 에너지의 사용을 인정하는 한 지구의 발전을 유지하면서 제거될 수 있을 것이다.

산업체제는 이런 주요한 국제적인 프로그램을 위해 적절히 이용할 수 있다. 더 어려운 문제점은 필요한 재정의 이용 가능성이다. 세계적 규모에서 재정문제는 현 군사경비의 영역안에서 해결된다. 하지만 아시아, 아프리카 그리고 라틴아메리카의 모든 나라들이 그들이 필요한 재정을 다 충당할 수 있는 것은 아니다. 새로운 국제협력프로그램이 필요할 것이다.

에너지형태의 변화는 극적이고 효과가 있을 때까지 시간을 요하는 것이다. 이 변화는 다음 세기 초부터 진행되어야 한다. 그렇지 않으면 화석연료사용 증가로 그들의 생활수준을 개선하려고 노력하는 나라에서 처럼 세계는 환경적인 재난과 사회적인 혼란에 직면하게 될 것이다.

〈표9〉 세계 원자력프로그램 요구도

지역	미래의총계(EJ)	40년간 매년요구량(EJ)	연간1000MWe 발전소의 수자
북 미	16	0.4	5
유 럽	49	1.2	14
아 시 아	329	8.2	98
중 남 미	43	1.1	13
아프리카	153	3.8	46
세 계	590	14.7	176

〈표10〉 연간 원자력발전소 비용

지역	연간1000MWe 발전소의수자	원자력발전소건설 비용(\$B/YR)	군사비지출 (1986\$B)
북 미	5	10	289
유 럽	14	28	411
아 시 아	98	196	134
중 남 미	13	26	11
아프리카	46	92	13
세 계	176	352	858