特 輯 I

原産／學會 年次會議 및 壓力容器 심포지움

原電에 對한 美國에서의 認識變化

John J.Taylor

〈美國電力硏究所 (EPRI) 副所長〉

미국의 원전산업계에도 지금 봄기운이 감돌고 있습니다. 여러분들이 잘 아시는 바와 같이 미국의 원전 건설은 지난 십년간 일시 중단되었습니다. 그 당시에는 많은 새로운 발전소가 완성되어 전력생산을 막 개시하였으며, 모두 110여기의 발전소가 운전허가를 받은 상태였고, 12기 발전소가 건설 마지막 단계에 있었지만 이들 발전소는 모두가 1978년 전에 이미 인허가를 받은 것들이었습니다.

신규 발전소의 건설이 일시 중단된 근본적인 이유는 OPEC의 석유 금수조치와 이란혁명사태 직후에 발생한 전력수요의 급격한 감소가 주 원인이었습니다.

그 당시에는 미국 전역에 걸쳐 전력생산이 과잉상태였습니다. 이런 발전설비의 과잉에 따른 문제를 최소화하기 위해 실제로 많은 원자력과 석탄발전소 건설계획이 취소되었습니다. 지난 십년동안에는 기저부하를 담당할 만한 대용량 발전소의 발주가 전혀 없었습니다. 따라서 원전 건설의 일시 중단은 원자력에만 해당된 것이 아니었다고 말할 수 있습니다.

그러나 원자력의 전망을 불투명하게 한 원자력에만 국한된 두가지의 다른 문제가 있었습니다.

첫번째 문제로는 그 당시 미국 원전의 운영실적과 신뢰성이 평균적으로 기대한 만큼 성과를 올리지 못했으며, 다른 국가의 원전 운영실적과 비교할 때 상당히 저조하였던 것입니다.

두번째로는 원전의 안전성과 방사성폐기물의 처분에 관한 관심을 불러일으켜 정치권과 일반대중들로 부터 상당한 반대운동이 일어난 것입니다. 한편 TMI발전소의 사고는 이런 관심을 더 증가시켰으며, 체르노빌원전 사고로 관심은 더욱 고조되었습니다.

이러한 결과로 미국의 모든 전력회사는 원전 설비를 증가시킬 계획을 포기하게 되었던 것입니다. 원자력산업계는 차가운 겨울에 처하게 되었었으나 우리는 다시 따뜻한 봄을 기대해볼 수 있게 되었습니다. 봄의 징조는 각 분야에서 확인할 수 있습니다.

(1) 전력수요가 다시 증가하고 있고,

(2) 원전 운영실적의 향상으로 기술적인 면에

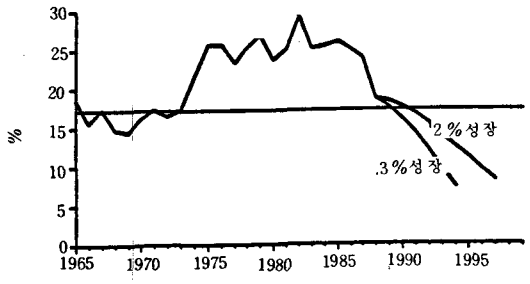
서 다시 수용하게 되었으며, 원전 운영기술 개발의 전망을 밝게 해주고 있으며,

(3) 정치권에서의 이해와 대중의 이해도 증가되고 있다는 것입니다.

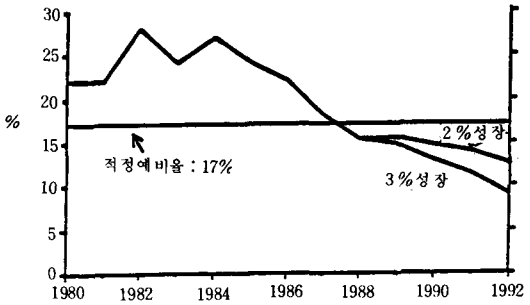
電力需要의 增加

꾸준한 자원절약 노력과 열효율의 개선을 가정하고, 기존 화석연료 발전소의 수명연장을 감안하더라도 1990년대 미국의 발전설비는 증가되어야 할 것으로 예상됩니다. 지난 2년동안 전력수요 증가는 산업계와 정부에서 예측했던 것 보다 더 빠른 속도로 증가되었습니다. 지난 여름의 폭서로 인해 미국 동부지역의 많은 전력회사는 전력공급의 부족으로 인해 전압은 떨어뜨리지 않을 수 없었습니다.

1987년 대비 1988년도 미국의 최대전력수요 증가는 산업계의 예상치인 1.1%를 훨씬 초과한 6.7%의 증가를 나타냈습니다. 이러한 전력수요의 증가는 전력설비 예비율의 감소를 예상 보다 더 크게 하였습니다. 그림 1은 미국의 전력설비 예비율이 1991년에는 적정 예비율인 17% 이하로 떨어질 것임을 나타내고 있으며, 동부해안지역의 발전설비 예비율은 이미 17% 이하로 떨어진 것을 그림 2가 보여주고 있습니다. 그림 3은 전력수요의 증가는 GNP의 증가와 평행으로 증가하고 있음을 보여주고 있어 미국의 경제성장의 지속을 위해서는 새로운 전력설비의 용량을 어떻게 결정해야 할 것인가를 보여주고 있습니다.



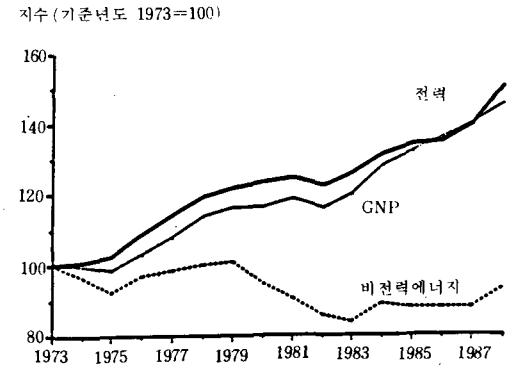
〈그림 1〉 미국의 발전설비예비율 감소추세



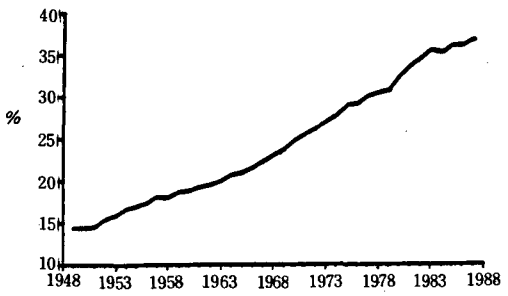
〈그림 2〉 미국 동부해안지역 발전설비예비율 감소추세

이러한 경향은 총 에너지수요 가운데 비전력 에너지의 수요에 있어 감소추세와 결부되어 나타나고 있습니다. 그림 4에서 보는 바와 같이 미국의 전력소비는 아랍제국이 석유 금수조치를 취한 1973/1974년의 전력소비 보다 50% 이상 증가되었음을 알 수 있고, 반면에 전력 이외의 에너지소비는 7%가 감소했음을 알 수 있습니다.

발전설비의 증설은 분명하나, 원자력발전이 이 요구는 충족시킬 것인가 하는 것은 아직도 의문입니다. 이런 점에서 미국 원전보유 전력회사는 어떤 가시적인 계획도 가지고 있지 않지만, 원자력의 선택도 가능하다는 희망을 갖고 있음은 분명합니다. 미국의 원전감시위원회(Industry's Nuclear Power Oversight Committee)의 회장이며 미국 최대 전력회사인 Commonwealth Edison사의 회장인 James J. O'Connor씨는 원전산업계를 대표하여 원전산업계의 의견을 부시행



〈그림 3〉 GNP성장과 에너지 소비



〈그림 4〉 미국 총에너지소비중 전력소비 비중

정부에 제출하는 서신을 에너지성의 신임장관인 Admiral Watkins씨에게 송부한 바 있습니다. 그는 이 편지에서 "국가의 에너지수요를 해결하기 위해 탄수화물, 열 또는 석탄 뿐만 아니라 원자력을 안전하게 이용하여야 한다"고 주장했습니다.

원전 건설의 재개를 위해 추진해야 할 몇가지 사항을 원전감시위원회는 다음과 같이 제시하고 있습니다.

"수(秀)받기 운동(Drive for Excellence)"이라 일컬어지는 원전운영기술 개선을 위한 일련의 조치가 원전설비 공급업체들의 지원하에 모든 원전보유 전력회사들의 주도로 계속 추진되어야 하며, 아울러 전력연구소(EPRI)와 원자력발전운전협회(Institute of Nuclear Power Operations, INPO)에 재정적 뒷바침을 계속해야 한다는 것입니다. 그리고 미국 에너지성에 의해 시범적으로 시도되고 있는 고준위 방사성폐기물의 효과적인 저장방안이 계속 추진되어야 하며, 이 사업을 위해서도 전력회사들의 계속적인 재정적 뒷받침이 이루어져야 한다는 것입니다. 이러한 사안들에 대하여 고무적인 진척상황을 간략히 말씀드리고자 하는 바 입니다.

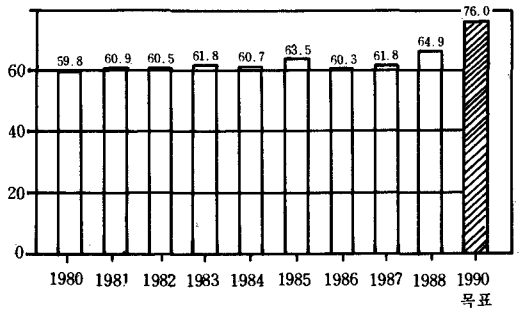
技術的인 面에서의 受容

원전산업계는 전력회사의 경영층, 정치권 및 일반대중의 원전에 대한 이해를 증진시키도록 하기 위해 현재 운전중인 발전소의 전반적인 운영을 개선해야 하겠다는 필요성을 인정해 왔습니다. 원전산업계는 원전운영기술의 향상을 위해 수억달라에 달하는 막대한 자금을 쓰고 있습니다.

INPO는 원전운영실적을 정량적으로 나타내는 일련의 지표를 선정·개발하였으며, 이들 각각에 대하여 1990년도 목표치를 제시했습니다. 이들 지표들은 발전소 불시정지 회수, 안전계통의 불시동작회수, 발전소 종사자의 방사선피폭량, 방사성폐기물의 발생량, 사고로 인한 운전시간 손실율, 발전소 열효율 및 발전소 이용률입니다. 1980년 이래 이들 발전소 운영실적을 나타내는 지표에 있어서 많은 성과를 거두고 있습니다.

INPO가 작성·발표한 지표에 의하면 일부는 이미 1990년도 목표를 초과 달성하였거나, 1990년 목표에 상당히 근접한 것을 보여주며 언젠기는 목표를 달성할 것이 틀림없음을 보여주고 있습니다. 단 한가지 예외는 이용률로 그림 5가 보여주고 있습니다.

1987년도에 61.8%로 부터 1988년에 64.9%로 증가하여 상당히 향상은 되었지만 목표치인 76%와는 거리가 먼 것을 알 수 있습니다. 하지만 NRC의 명령으로 장기간 운전을 정지하고 있는 6기의 발전소를 제외한다면 1988년도의 이용률은 70%를 상회하게 됩니다. 이들 발전소가 운전을 재개하면 1990년도 목표를 달성하게 될런지도 모릅니다. 물론 이 수자는 모든 발전소를 포함한 평균수치가 되어야 합니다. 미국의



〈그림 5〉 발전소 이용률

원자력발전소중 성적이 좋은 상위 25%의 발전소는 1990년도 이용율 목표를 초과 내지는 달성하고 있고, 전 세계적으로도 우수한 편에 속하고 있습니다.

또 다른 중요한 원전운영기술 개선책으로는 고준위 방사성폐기물의 저장을 들 수 있습니다. 비용이 많이드는 수중저장조를 추가로 건설하는 방법 대신에 발전소 구내에 공기냉각방식으로 사용후연료를 저장하는 방안을 전력회사가 연합하여 EPRI로 하여금 개발토록 추진해 왔습니다. 버지니아전력회사의 Surry발전소에 설치된 금속통형 저장설비는 관계 당국으로 부터 인허가를 취득하였으며, 이미 사용후연료를 저장하고 있습니다.

또한 전력회사들은 2000년대 초기를 대비한 사용후연료의 영구저장설비를 건조하기 위한 자금확보를 위해 매년 5억불을 DOE에 적립하고 있습니다.

미국 의회는 사용후연료의 영구저장부지로 Nevada주의 Yucca산을 선정하였으며, 부지에 대한 타당성 조사를 현재 추진중에 있습니다.

New Mexico주의 Carlsbad에 위치한 폐기물 분리시험공장은 군사시설이나 민간시설로 부터 발생되는 초우라늄폐기물의 저장을 위해 국방성의 폐기물처리계획의 일환으로 추진중에 있습니다. 최종단계의 인허가를 취득하게 되면 폐기물의 저장은 곧바로 시작될 것입니다. 고준위 폐기물저장을 위한 사업은 느린 속도로 진전되고 있고, 막대한 비용이 소요되지만 중단없이 계속 추진되고 있습니다.

앞으로 20여년간은 경수로기술이 지배적일 것으로 판단되므로 전력회사들은 경수로의 기술개발을 EPRI에 의존하고 있습니다.

〈表 1〉 개량형 경수로 개발계획

○ 전력회사의 요구사항
○ 개량된 설계의 인허가 취득
○ 수동적개념(고유안전성)을 반영한 설계

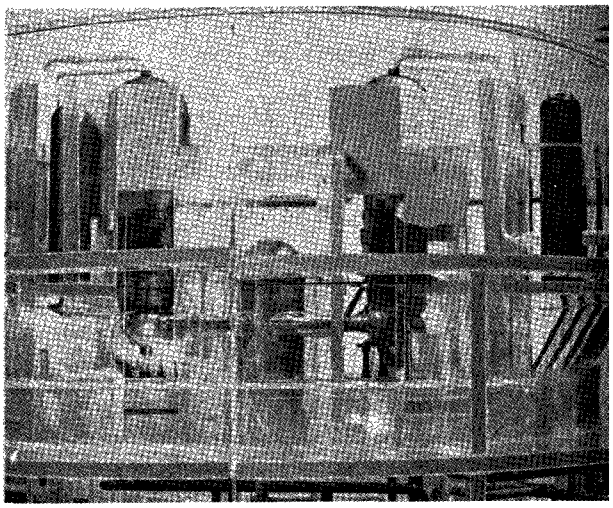
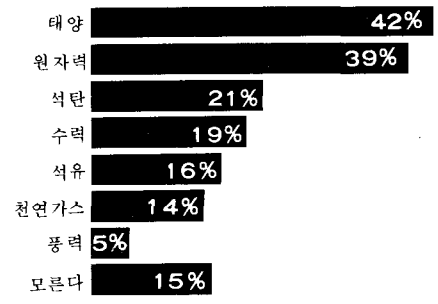


표 1은 미국 에너지성과 미국을 제외한 세계 각국의 전력회사들이 연합하여 수행하고 있는 경수로기술 개발계획의 개요를 보여주고 있습니다. 이 계획의 목적은 1,200MWe급과 600MWe급 출력규모를 갖는 개량형 경수로에 대하여 전력회사들의 요구조건을 수용하여 설계 및 개발을 수행하고, 이들 개량형 경수로에 대하여 NRC의 승인을 얻어내는 것입니다. 안전성 확보, 구조의 단순화, 전수명기간에 걸쳐 신뢰성 확보, 비용절감의 측면에서 실질적인 개선이 이루어지고 있습니다. 전력회사의 요구사항은 NRC의 동의를 얻기 위해 현재 NRC가 검토를 수행하고 있습니다.

가압경수로와 비등형경수로의 설계는 몇몇 주요 제조업체와 기술용역회사가 협조하여 개발하



〈그림 6〉 앞으로 국가이익에 가장 중요하다고 생각되는 에너지원을 두가지 선택하십시오

고 있습니다. "진화된-Evolutionary" 개량형 경수로라 불리는 대용량 발전소의 설계는 현재 NRC의 승인을 얻기 위해 인허가수속중에 있습니다.

"수동형-Passive" 개량형 경수로라 불리는 소용량 발전소의 설계는 비상노심냉각계통과 격납용기 냉각계통에서 수동적인 면, 즉 고유안전성을 더욱 강화하고 있습니다. 이 발전설비는 "능동형-Active" 안전장치는 없애고 고유안전성을 향상시키는 방안을 채택하여 출력규모의 축소에 따른 경제적 손실을 보상하게 될 것입니다.

또한 발전소 기기의 조립성을 증가시키고, 특히 공장 조립의 양을 증가시켜 소규모 발전소가 갖는 이점을 최대한 이용하는 노력도 기울이고 있습니다. 이 설계는 현재 개발·시험중에 있으며, 1990년대 중반에는 NRC의 승인을 얻어낼 계획입니다.

〈表 2〉 신규 원전 개발계획

○ 원전개발에 관한 법안골자
- 계획의 재정립
- 목표 : 2000년대까지 실증발전소 운개
- 자금 : 1억달러(1991년)
2억달러(1992년)
3억달러(1993년)
비용의 50%는 산업계가 분담
○ 설계기준
- 경제성이 있을 것
- 고유안전성 제고
- 폐기물 발생량 최소화
- 표준설계
- 400~600 MWe 출력규모

政治圈 및 一般大衆의 理解增進

이러한 각종 기술적인 사업추진에 주력하더라도 미국내에서 원자력을 선택하도록 문호를 개방하는 가장 중요한 요소는 일련의 제도적인 개혁이라고 판단됩니다. 제도적인 개혁의 예로는 인허가제도를 한단계로 단축하는 방안, 원전 설계의 표준화, 그리고 좀더 신뢰성있는 전력요금 조정제도의 확립을 들 수 있습니다. 전력회사들은 이런 제도개선을 위해 입법부와 절충을 시도하고 있습니다.

미국에서는 지난해 여름에 기록적인 폭서를 경험하였고, 대기온도 상승 가능성에 대한 언론매체의 관심의 제고로 이러한 노력은 약간의 실효를 거두었습니다. 이 문제에 대한 관심을 완화하거나 증가시키기 위해 어떤 기본자료를 갖고 있지는 않지만 의회의 관심을 불러 일으켰고, 이 문제를 다루는 상당수의 법안이 상정되었으며, 이들 법안의 대부분은 대기온도 상승을 감소시키기 위한 한가지 방편으로 원자력발전의 개발의 가속화를 포함하고 있습니다. 표 2는 이들 법안에 포함된 원자력에 관한 사항을 요약하고 있습니다.

(1) 2000년까지 개량형 원자력발전소의 운전개시를 목표.

(2) 이 개량형 원전의 기준으로 경제성이 있을 것, 수동적으로 안전할 것(고유안전성의 제고), 폐기물 생성량의 최소화, 설계가 표준화되어야 하며, 출력범위는 400~600 MWe 일것 등의 기준을 제시.

(3) 1991년에 1억달러 투자, 1992년에 2억달러, 1993년에 3억달러의 재정투자를 하며, 비용의 50%는 산업계가 분담하는 방안을 제시.

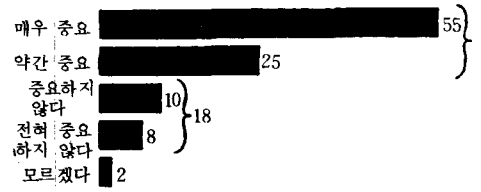
수냉식, 가스냉각방식, 용융금속냉각방식의

모든 기술이 대상이 됨은 물론입니다. 이 법안에 대해 아직까지 어떤 조치도 취해지지 않았지만 이들중 몇가지는 내용 변경없이 거의 동일한 내용으로 금년도 의제에 다시 포함되어 있습니다.

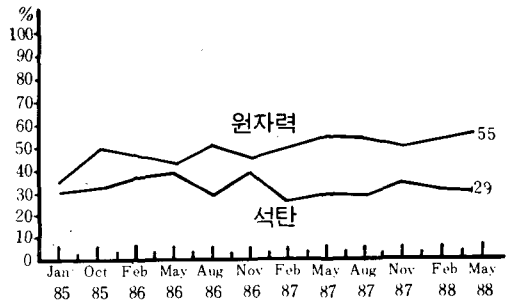
바로 지난 달에 미국 환경청은 "온실효과를 일으키는 기체"의 발생을 적정 수준으로 떨어뜨릴 수 있다고 결론짓는 보고서를 발표한 바 있습니다. 그러나 이렇게 하기 위해서는 석탄이나 석유에 대해서는 비용이 더 필요하며, 많은 태양열 이용장치, 더 많은 원자력발전의 이용 및 바이오매스에너지(Biomass Energy)의 이용을 전제로 하고 있습니다. 이 보고서도 의회의 활동은 더욱 자극을 받을 것입니다. 또한 이 보고서로 환경문제를 다루는 국제회의에 참석하는 미국대표들에 의해 이용될 것이므로 국제적으로도 파문을 일으킬 것입니다.

또 다른 정치권에서의 밝은 전망은 반핵주의 정책이 미연방정치차원에서는 이제 더 이상 효과적인 정치적 무기가 될 수 없게 되었다는 것입니다. 이것은 지난 대통령 선거전의 각종 토론에서 잘 입증되었습니다. 토론에서 부시대통령후보가 안전한 원전에 대해 찬성하는 발언을 했을 때, 점수를 잃지도 않았을 뿐더러 토론후에도 아무도 이를 비판하지 않았습니다. 종합해서 말씀드리면 탄수화물연료로 야기되는 대기온도 상승 가능성에 대한 관심과 전반적인 공기오염문제에 대한 관심의 증가로 미국 정치권에서 원자력에 대한 이해가 증진되고 있다는 것입니다.

원자력발전에 대한 일반대중의 이해는 아직도



〈그림 7〉 앞으로 전력문제 해결에 원자력발전이 얼마나 중요하다고 생각하십니까?



〈그림 8〉 원자력과 석탄이 매우 중요하다고 응답한 비율

주요 문제가 되고 있습니다. 원자력산업계가 대중의 이해도를 측정하기 위해 주기적으로 수행하는 여론조사에 의하면 이제 막다른 곳까지 와 있음을 암시하고 있습니다.

다음은 1988년 8월 Cambridge Report 사가 조사한 자료로 대기온도 상승에 대한 언론보도가 아직은 큰 영향을 미치지 못하고 있음을 알 수 있습니다. 그림 6은 조사결과로써 일반대중은 태양열과 원자력이 앞으로 국가의 에너지문제 해결에 가장 이로운 것으로 믿고 있습니다. 이것은 조사자들이 에너지원의 종류에 대해 예로 들지 않은 개방된 질문에 대한 답변이었습니다. 그러나 "앞으로 원자력발전이 국가의 전력공급에 얼마나 중요하다고 생각합니까?"라고 물었을때 약 80% 정도가 매우 중요하거나, 어느 정도 중요하다고 느낀다고 답하고 있습니다(그림 7 참조). 여론조사기관인 Gallop 은 1989년 2월에 같은 질문을 던진 결과, 동일한 결과를 얻은 바 있습니다.

그림 8은 일반대중이 석탄과 원자력에너지가 중요하다고 생각하는 정도를 백분률(%)로 표시한 것으로 1985년 1월부터 1988년 5월까지의 경향을 보여주고 있습니다. 미래의 에너지로 원자력의 중요성에 대한 인식은 35%에서 55% 정도로 증가해 왔으며, 석탄은 계속 30% 정도를 유지하고 있음을 알 수 있습니다.

이러한 여론조사로 보아 미국의 국민들은 미래의 에너지로 원자력을 받아 들이고 있음을 알 수 있습니다. 그러나 현시점에서 원자력발전에 대해 대중이 품고 있는 의문점들은 실제에 있어

서는 더 부정적인 의견을 발생시키고 있습니다. 이점에서는 원자력발전도 화학공장, 석탄공장이나 쓰레기 처분장과 마찬가지로 "NIMBY"(Not In My Back Yard : 다른 곳에는 좋아도 내집뜰에 만은 안된다는 뜻)라는 문제를 가지고 있습니다. "NIMBY"는 대중언론매체에서 널리 사용되어온 관계로 이제는 누구나 다 알고 있는 낱말로 되어 버렸습니다. NIMBY는 현재 정치계 및 사회 각 분야에서 널리 영향을 미치고 있는 문제입니다. 실제로 NIMBY는 기술산업의 발전을 저해하는 가장 큰 장애요소로 대두되고 있습니다.

結　論

본인은 앞에서 말씀드린 바와 같이 봄이 다가오고 있는 여러가지 징조로 보아, 원전산업의 새로운 확장을 대비한 확고한 계획들이 속속 수립되기 시작할 것으로 기대하고 있습니다. 이러한 판단은 기존 원전의 운영기술 개선, 방사성 폐기물 저장의 시범적인 실시 및 개량형 원전설계 개발사업의 지속적인 추진을 전제로 합니다.

이러한 사업의 추진은 대기오염 문제를 풀기 위한 해결책 가운데 한가지 방법이 원전이라는 공감대의 확대와 더불어 정치권과 일반대중의 원전에 대한 태도를 호의적인 방향으로 바꾸어 나가게 될 것입니다. 이러한 사업의 성공적인 추진은 전 세계적으로 일반대중의 원전에 대한 이해를 증진하게 할 것이지만, 반대로 심각한 기술적인 난제들, 특히 세계 어떤 곳이든 간에 원전사고를 수반하는 기술적인 난제가 있다면, 이것들은 미국내의 정치권과 대중의 지지를 얻어내는데 장애요소가 될 것입니다. 그러므로 원전산업계의 국제협력의 증진은 무엇보다도 중요한 것입니다.

본인은 한국전력공사와 한국에너지연구소가 EPRI의 연구·개발사업에 참여하고 있는 것을 기쁘게 생각하며, 앞으로도 더욱 협조해 나갈 것을 바라마지 않습니다. 다음 달에 모스크바에서 창립총회를 갖게 될 세계원전사업자협회(WANO)의 구성으로 우리는 더욱더 용기를 갖게 됩니다. 전세계의 원전사업자, 정부, 국제원자력기구(IAEA) 및 OECD·원자력기관은 국제협력을 위해 발벗고 나서야 할 것입니다.

近着資料案內

- Nucleonics Week (Mc Graw Hill) Vol. 30 .NO. 11～16
- CNS Bulletin (CNS) 2月號, 3月號, 4月號
- Materials Evaluation (ANS) 2月號
- Info (USCEA) 2月號, 3月號
- CSNDT Journal (CSNDT) 1月號, 2月號
- Rodioisotopes(日本 RI協會) 3月號, 4月號
- Atom(UKAEA) 2月號, 3月號
- Nuclear Canada(CNS) 2月號
- ABB Atom Progress Report 3月號
- Out - Look on Advanced Reactors (McGraw Hill)
- Atoms in Japan(JAIF) 3月號
- Nuclear Europe(ENS) 4月號
- ANS News(ANS) 4月號
- Power(McGraw Hill) 3月號
- Nuclear Industry(USCEA) 1月號
- Nuclear News(ANS) 4月號
- 原子力產業新聞(日本原產)1482號, 1483號, 1484號
- 日本原子力文化振興財團月報(JAERO) 3月號
- 原子力文化(JAERO) 4月號