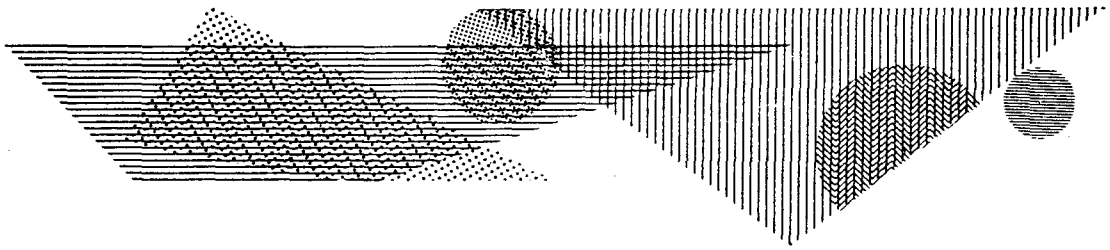
소련의 核에너지産業戰略



新型 原子力發電所 建設에 着手

현재 소련에서는 원자력 증기가스터어빈발전소 건설에관한 構想이 검토되고 있다. 이 발전소는 ceramic을 구조재로 한 高温가스냉각형원자로를 사용하여 공기, 수증기, 수증기와 가스 혼합체를 고온으로 가열하여 증기가스터어빈을 駆動해서 전력을 생산하며 더나아가서 熱供給이라든가 鉄鋼, 화학, 석유화학, 석탄산업 등 에너지산업이외의 공업분야에서도 많은 用途를 갖는 것이다.

원자력 증기가스터어빈발전소의 原型炉는 이미 15년전에 소련과학아카데미 高温연구소에 건설되어서 원리적으로는 어떤 가스로라도 数万시간을 1,700℃ 또는 그 이상의 고온으로 가열할 수 있다고 한다. 따라서 에너지산업뿐만 아니라 많은 공업부문에서의 활약이 기대되고 있다. 특히 증기가스터어빈 장치는 종래 화력발전소에서 얻어지고 있는 30~40%의 열효율을 50~60%로 향상시키는 것이 가능하며 이로서 귀중한 化石연료를 대폭 절약할 수 있게 된다고 한다. 또한 터어빈내 排出가스의 열로 증기발생과 난방에 필요한 물을 가열하면 증기가스터어빈의 에너지효율은 사실상의 한계치인 90~95%에 달한다.

현재 소련에서 생산되고 있는 전력의 거의 80%는 증기터어빈으로 행해지고 있는데 새로운 형의 증기가스터어빈 개발에 의해 화력발전에서도 막대한 경제적 利点이 생기게 할 수 있을 것으로 생각하고 있다. 즉 이 형의 터어빈은 원자력발전소와 화력발전소에서 다같이 사용될수 있다는 것이며 출력단위당 자본투자가 종래의 반으로 가능하여 그 결과 전력 생산코스트를 작게 할 수 있기 때문이다.

또 증기가스터어빈은 증기터어빈에 비하여 1機의 출력이 10배나 되며, 건설에 필요한 금속재료도 10분의 1밖에 안들며 건설기간을 반으로 단축할 수 있다고 생각되고 있다.

이와같이 전력생산체제에 획기적인 방법인 신형의 대출력증기가스터어빈발전소 개발과 건설이 현재 소련에서 진행되고 있는데 증기가스터어빈장치의 기본적인 기술데이터는 모두 수집되었고 또한 量産되고 있는 가스터어빈으로 증기가스터어빈장치를 建造할 수 있다고 한다. 종래의 증기터어빈이나 가스터어빈 생산과 비교하여 증기가스터어빈장치 생산에 특히 어려운점은 없다고 한다.

소련에너지産業 1981

소련 에너지산업의 현상은 1981년의 실적을 보면 전력생산 1兆 3,250億kWh, 가스condensate를 포함한 석유생산 6억900만톤, 가스생산 4,650억m^3, 석탄생산 7억400만톤이었다. 1985년에 소련전체의 연료에너지는 표준연료로 환산해서 23억톤으로 전망되고 있다.

앞으로 소련의 연료에너지산업 방향은 소련 유럽부에 원자력발전소를 건설하고 동부지역에서는 수력발전소 건설을 확대할 계획이다. 시베리아와 중앙아시아에서 소련 유럽부로 석유, 가스의 수송은 계속증가시키나 앞으로는 석유, 가스의 需要中에서 화학공업의 비율을 확대시킨

다. 연료에너지 밸런스중 석유·가스의 비율은 가스의 경우 1980년 26%에서 1985년 32%로 증가시킬 예정이나, 석유는 43.9%에서 28.8%로 감소시킬 계획이다. 연료에너지 밸런스에서 가스가 점하는 비율이 커지는 것은 시베리아와 소련중앙부, 북서부, 서부국경지역을 연결하는 7本의 가스파이프라인을 건설하기 때문이다.

이 7本의 가스파이프라인은 각각 길이가 3,000km에서 5,000km에 이르는 것으로 건설비도 30억루우블에서 50억루우블이 소요되는 巨大프로젝트이며 現行의 소련5개년계획에서 중심적인 건설목표가 되고 있다. 1981년에 이 가스파이프라인의 일부가 개통되었다. 연료에너지생산중에서 석유의 産地도 변하고 있다. 西시베리아가 주요한 석유공급지이기는 하나, 볼가강유역과 아젤바이쟌, 北가프가, 카자프등 오래된 油由이 深層採油, 掘鑿기술 개발에 의해 새롭게 復活되고 있다. 한편 석탄산업은 채탄량이 1978년부터 감소되는 경향이 있다. 1978년에 7억 2,400만톤, 1979년에 7억 1,900만톤, 1980년에 7억 1,600만톤 이었다.

에너지産業 全体中의 原子力産業

소련공산당 제26차대회에서 원자력발전을 급속하게 발전시키도록 방침을 결정하였다. 국내 최대 전력소비지이며 값싼 有機연료의 부족이 현저한 소련 유럽部에 대해서 실시할 것인데, 가까운 장래에 경제적으로 유효하다고 인정되는 지역에서는 復水式원자력발전소 AES, 원자력發熱발전소 ATEC, 그외에 장래의 원자력發熱 station AST가 많은 유기연료를 대체하게 될 것이다.

원자력발전 역할의 평가는 전력산업과 연료에너지 밸런스 전체에서 몇개의 要因으로 결정된다. 원자력발전과 전력산업분야 뿐만 아니라 有機연료를 채굴, 운반하는 분야에서도 유기연료를 발열량이 큰 핵연료로 대체하므로서 국민경제가 기본적으로 경제효과를 얻는 것이다. 즉 핵연료를 도입하여 얻는 효과는 많은 부문에 걸쳐지는 것으로 算定되며 여기에 원자력발전소와 연료사이클, 화력발전소와 燃料基地의 경제문제를 포함하여 검토할 필요가 생기게 된다.

원자력발전소에 투자되는 자본은 같은 규모의 화력발전소에 비해 1.5배 또는 그 이상인데, 固形유기연료의 채굴과 운반수단의 확대에 드는 비용과 비교했을 경우 기업에서 연료사이클에 투자하는 자본이 대폭적으로 적기 때문에 원자력발전소는 경제적으로 유리하다. 그러나 핵연료 및 연료사이클시설의 기술은 공학적인 면에서 볼때 유기연료의 채굴이나 운반과는 비교할 수 없을만큼 복잡하다. 또한 이와 관련해서 건설, 생산, 관리, 요원양성에 한층 더 고도의 수준이 요구된다. 이것이 최종적으로 원자력발전소의 발전규모 가능성을 결정한다.

그리고 원자력발전소의 건설, 열과 전력을 생산하기 위한 핵연료의 넓은 이용은 소련의 다른 지역에서부터 운반된 고체연료를 사용하는 전력생산과 비교하면 에너지자원의 채굴, 처리, 이용분야에서 노동생산성을 2~3배 높이고 있다. 즉 핵연료의 도입으로 유기연료의 채굴, 운반분야의 노동지출이 대폭적으로 절감될 수 있어 발전소=연료공급시스템에서 노동생산성을 크게 향상시킬 수 있는 것이다. 오늘날 원자력발전의 発電規模는 광범위 하다. 1982년 1월현재 소련의 원자력발전소 총출력은 1,600만kW이며, 전력생산에서 点하는 비율은 6%이다.

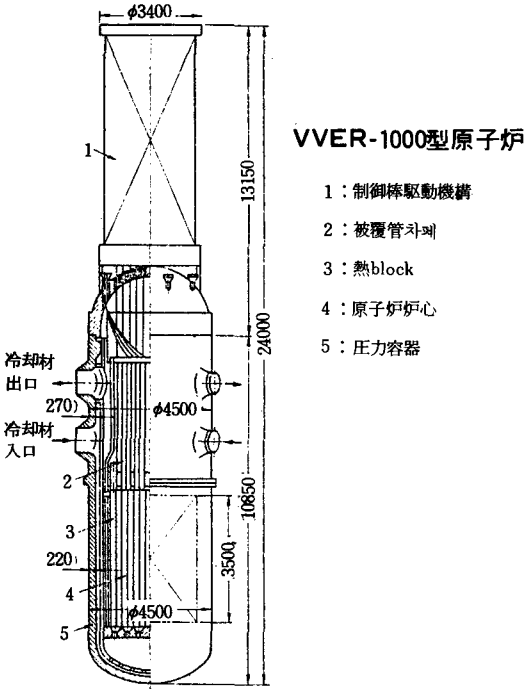
현재 원자력발전소의 건설은 소련유럽部의 北西부, 서부, 중앙부, 남부등 20개소이상의 지구에서 추진되고 있으며 유기연료를 사용하는 基幹発電所와 교체되어 가고 있다. 카프가즈, 포볼제, 우릴에도 AES가 건설되고 있다.

1981년~1985년에 원자력발전소 定格出力의 增強은 RBMK-1000型원자로(channel형 우라늄·黒鉛炉)와 WER-1000형원자로(軽水감속경수냉각炉)를 사용하는 1基当 출력 100만kW인 발전Unit를 최우선적으로 도입하여 달성할 것이다. RBMK-1000型炉의 제1호원자로는 1973년에 레닌그라드 원자력발전소에 설치되었다. 이와 같은 발전Unit에 관한 고도의 운전경험이 현

재 Leningrad, Kursk, Chernobyl의 각 원자력발전소에서 축적되고 있다. 앞으로 이와같은 원자력발전소의 건설에는 1개소에 4기~6기의 Unit가 설치 될 것이다.

1基의 출력이 150만kW인 RBMK-1500 型炉는 1985년까지 Ignalina 원자력발전소에서 운전을 시작하며 Kostroma, Smolensk의 각 원자력발전소에도 설치가 예정되고 있다. VVER-1000型炉의 제1호는 작년에 Novo Voronezh 원자력발전소에서 운전을 시작했다.

多年間에 걸친 원자력발전소의 운전경험은 그 신뢰성을 뒷받침하고 있다. 폐기물의 방사능은 통상, 규제치보다 1~2자리 낮다.



VVER-1000型原子炉

1 : 制御棒駆動機構
2 : 被覆管차폐
3 : 熱block
4 : 原子炉炉心
5 : 圧力容器

원자력발전소에 불가결인 안전시스템을 포함해서 원자력발전소 건설비가 상당히 높은 것이 전력생산중에서 생산자금효율과 여러시설의 단위出力当 건설비등의 指数를 악화시키고 있다. 그러나 국민경제는 원자력발전소를 도입하므로서 전력이외에 석탄, 석유산업, 철도수송으로의 자본투자나 노동지출의 규모축소로 기본적인 경제효과를 얻고 있다. 그러므로 全体로서는 원자력발전소의 건설이 경제적으로 유리하다. 이것은 소련의 연료에너지자원의 분포와 소비의 특수성, 핵연료의 막대한 발열량등 2가지의 기본적요인의 결과이다.

원자력발전의 최대 利点은 핵연료의 발열량이 크다는 것이다. 단위질량当 핵연료의 발열량은 유기연료의 약 200만배에 해당한다. 연료사이클중에서 소비되고 재처리되는 핵연료의 양은 같은 양의 전력생산을 위해 채굴, 수송되어 연소되는 유기연료 양의 수십분의 1이다. 유기연료자원의 이용레벨이 증대되고 있으므로 재(灰)의 폐기나 폐가스에 의한 환경오염의 면에서도 急機的 상황이 생기고 있다.

출력 240만kW인 석탄에 의한 화력 발전소는 연간 약 500만톤이나 되는 석탄을 태우고 있다. 이때 약 50만톤에서 100만톤의 재가 나오는데 그중 1~2%(1만~2만톤)의 재가 대기중에 방출되어 여러가지 否定的影響을 가져오고 있다. 폐가스는 특히 유해하며 연료의 유황분이 3%에 달하는것도 있다. 따라서 이러한 발전소의 경우 아황산가스로 굴뚝에서 배출되는 유황은 연간 15만톤이나 된다.

핵연료를 난방이나 공업용熱源으로 이용하는 사업이 소련에서 진행되고 있다. 현재 VVER-1000型炉와 給熱復水터어빈 TK-500-60을 結合시킨 Odessa 원자력発熱발전소가 건설중이다. 앞으로 이와같은 型의 원자력발열발전소를 数개소에 건설할 계획이 추진되고 있다.

또한 소련에서는 원자로냉각재의 한층 낮은 諸元, 즉 안전성이 높은것을 특징으로 하는 원자력発熱 Station이 건설되고 있다. 이 원자력발열 Station은 안전성으로 보아 공업지역이나 주택지역에 인접시켜 건설할수 있으므로, 幹線수송용의 大口径파이프를 작게 할 수 있다. 1985년까지는 고오리키 원자력발열스테이숀, Voronezh원자력발열스테이숀이 운전을 시작한다.

蒸気를 給熱로 이용하는 방식은 현재 Beloyarsk, Kursk, Chernobyl, Novo Voronezh, Kola, Armenia의 각 원자력발전소에서 채택되고 있다. Rostov원자력발전소에는 생산성을 높게 한 제

1호 급열장치가 설치된다. 1基의 전기출력이 12,000kW인 channel형 우라늄·黑鉛炉를 4基 장비하여 每時 100Gcal의 열을 공급할 수 있는 Bilibino 원자력발열발전소 건설은 핵연료를 사용해서 원격지의 給熱·給電의 문제를 해결하는 본보기가 될 것이다.

Beloyarsk 원자력발전소에서 고속중성자炉 BN-600型炉의 제 3 Unit가 운전을 시작한 것은 세계의 원자력발전소에서 중요한 사건이었다. BN-600의 구조는 이 형식의 원자로를 장비하는 원자력발전소의 설계와 공업적인 규모를 점검하여 가능성을 보증했다. 고속중성자로를 도입하여 핵연료 재생산의 문제를 해결하면 원자력발전소코스트는 천연우라늄의 가격상승에 크게 영향을 받지 않게된다.

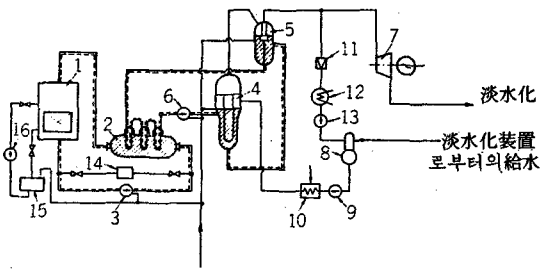
1985년에 소련의 발전량은 1조5,500억~1조6,000억kWh가 되는데 이중 원자력발전소의 발전량은 2,200억~2,250억kWh가 된다. 원자력을 국민경제에 넓게 도입하는 것은 기술적, 경제적, 사회적으로 중요한 결과를 가져온다. 원자력발전소의 대량건설은 채굴과 수송을 포함해서 연료에너지 総合体 전체의 구조적 抜本的 재검토를 촉진하고 있다. 원자력발전은 최신의 공업적 성과와 과학적기술에 의해 연료에너지 부문에서 근본적으로 고도의 노동생산성을 보증하고 있다.

高速中性子增殖炉가 主流로

소련의 원자력산업발전의 주류는 현재 이미 전개되고 있는 고속중성자증식로를 軸으로 출력 1,600MW의 고속중성자증식로 BN-1600을 장비하는 大出力 원자력발전소의 量産에 있다. 소련에서 고속중성자로의 건설은 1965년부터 Dimitrovgrad에서 시작되었다. 이 증식로는 BOR-60型이라고 불리며 출력은 60MW이다. 이 증식로에서는 여러가지의 구조 및 구성연료요소가 試験되었고, 炉材, 열교환기, 증기발생기, 순환펌프, 고온나트륨사용설비, 耐방사성, 高温 및 中性子束 조건하에서의 炉材의 연구 등 고속중성자 実用炉의 운전시험이 행해졌다.

BOR-60형 고속중성자 증식로의 諸元은 다음과 같다.

熱出力	60MW
電気出力	12MW
核燃料	UO_2
燃料要素	^{235}U 150 kg
濃縮率	90%
1次, 2次回路冷却材	Natrium
1次回路Natrium温度, 炉入口	360~480℃
炉出口	580~600℃
2次回路Natrium温度,	
蒸気発生器入口	560℃
蒸気発生器出口	340℃
循環Loop数	2
Turbine流入口의 蒸気諸元	
圧 力	90at
温 度	510℃
原子炉炉心Size	
直 径	400㎜
높 이	400㎜
平均熱流量	900kW/l
最大中性子流	3. 10^{15}cm^2/s
燃焼度	10%
継続運転時間	145day



Shevchenko原子力淡水化装置発電所

1 : 原子炉, 2 : 中間熱交換器, 3 : 循環Pump, 4 : 蒸気発生器, 5 : 蒸気加熱装置, 6 : 中間回路循環Pump, 7 : 蒸気Turbine, 8 : 脱気装置, 9 : 給水Pump, 10 : 高圧加熱装置, 11 : 減圧装置, 12 : 復水器, 13 : Pump, 14 : 濾過装置, 15 : 排水Tank, 16 : 電磁Pump

고속중성자증식로 BOR-60의 운전성공으로 Shevchenko市에 고속중성자炉의 대형実用炉 BN-350을 장비한 원자력발전소를 건조하기로

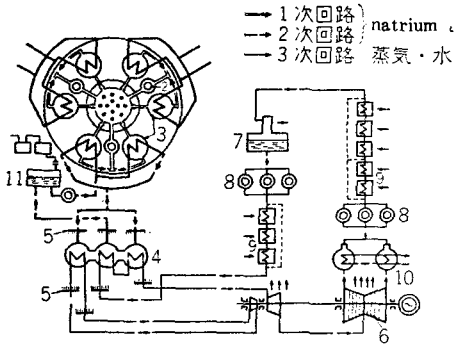
했다.

Shevchenko원자력발전소의 출력은 350MW로 그 출력의 대부분은 海水의 淡水化에 사용되며 나머지가 発電에 이용되고 있다. 이 발전소는 소련領 카스피海의 東岸에 있다. 1972년에 이 발전소의 물리운전이 시작되었으며 다음해인 1973년 7월16일에 동력운전이 개시되어 증기터어빈과 해수담수화장치에 증기가 통해졌다. 증기발생기의 제원은 다음과 같다.

loop의 熱出力		172.10^{16} kcal / h
蒸気発生能力		276t / h
冷却材消費量		$3.1 \cdot 10^{6}$ kg / h
冷却材温度	炉入口	453℃
	炉出口	273℃
冷却材圧力		6 at

出力160万kW의 소련高速中性子炉가 将来炉

소련에서 고속중성자증식로 개발의 다음단계는 600MW라는 대출력의 BN-600型炉의 출현이다. 1980년 5월 우랄의 Beloyarsk 원자력발전소의 제3호기로 고속중성자로를 장비한 공업용원자로가 운전을 개시하였다. 이 원자력발전소에 사용된 고속중성자로는 앞서 운전실험된 BOR-60형 및 BN-350형의 원자로를 기초로하여 개량발전시켜서 제작한 것이다.



소련製高速中性子炉 BN-600型原子炉를 装備한 大出力 3次回路式原子力発電所의 集積熱回路

1：原子炉炉心 및 核燃料再生産炉心, 2：主循環Pump, 3：熱交換器, 4：分割式蒸気発生器, 5：Collector, 6：Turbine発電機, 7：脱気装置, 8：Pump, 9：再生熱交換器, 10：復水器, 11：給水 System

BN-600형 고속중성자로는 핵에너지산업의 새로운 발전단계가 되었다. BN-600형 원자로는 열출력, 전기출력외에 燃焼度가 BN-350형炉의 5%에 비해 10%, 연료要素의 挿入부터 다음 삽입까지의 계속운전기간이 50일에서 150일로 증대되었다. 炉心에서 나트륨을 빼내는 온도도 높게할 수 있는데 이는 최적의 제원을 갖는 증기를 만드는 것을 가능케 하고 있다. 터어빈入口의 증기온도는 510℃, 압력은 140at로 규격의 터어빈을 사용할 수 있게 되었다. BN-600형 원자로를 장비한 원자력발전소에는 1基의 전기출력이 200MW인 터어빈 발전기 3基 설치되어 있다.

핵연료사이클의 見地로볼때 소련에서 지금부터의 핵에너지산업발전의 総路線은 고속중성자로를 장비한 원자력발전소群의 건설인데, 이것도 160만kW라는 대출력의 원자로를 중심으로한 것이다. 그리고 고속중성자증식로를 도입하므로서 핵연료자원을 확보하고, 플루토늄의 생산량이 충분히 확보되었을 때 열중성자 증식로도 개발할 방침이다.

고속중성자炉를 장비한 원자력발전소는 BN-350을 장비한 Shevchenko 원자력발전소가 출력 35만kW, BN-600을 장비한 Beloyarsk원자력발전소는 출력 60만kW이나 다시 대형의 고속중성자로가 현재 개발되고 있다. 이 원자로는 BN-600을 상회하는 것으로 80만kW와 出力160만kW의 고속중성자발전 Unit이다. 이 대형 고속중성자로에서는 핵연료사용 효율을 현저하게

BN－1600型炉의 諸元

高速中性子炉 BN-1600型	소련製
電気出力	1600MW
効率	40%
原子炉炉心Size	
直径	300 cm
높이	100 cm
中性子束最大密度	10^{16}中性子/$cm^2 \cdot s$
核燃料	PuO_2-UO_2
燃焼度	10%

冷却材最大密度	710kW/l
原子炉出口에서의 Natrium 温度	530~550℃
蒸気温度	490~510℃
蒸気圧	140at
継続運転時間	120day

증대시킨다. 현재 개발중인 고속중성자炉 BN-1600型炉는 전기출력이 1,600MW로 소련원자력발전소 대량건설의 기본적인 原子炉로 결정되어 있다.

소련핵에너지의 장래를 담당하게될 현재개발중인 고속중성자로 BN-1600형로는 재래로에 비해 훌륭한 物理諸元을 가지며 원자로용기, 원자로炉心, 연료집합체등에 개량이 이루어졌으며 뛰어난 경제指数를 가지게 된다.

세계적으로 본 고속중성자로 개발 전망은 앞으로 10~15년내에는 핵에너지산업중에서 고속중성자로가 아직 주도적인 지위를 정하지는 않을것 같으나 2000년까지 고속증식로의 비중은 30%를 넘을 것으로 평가되고 있다. 그러나 천연우라늄핵연료자원의 枯渇도 시간 문제가 되고 있다. 그런의미에서 소련은 고속중성자 증식로의 본격적인 보급에 막대한 투자를 하고 있는 것이다.

国 際 会 議 案 内

期 間	会 議 名	場 所	主 催
1982. 9. 1 ~ 9. 3	Uranium Institute: Seventh Annual Symposium	London, UK	Uranium Institute
9. 12 ~ 9. 16	International Conference on Radioactive Waste Management	Winnipeg, Canada	Canadian Nuclear Society
9. 13 ~ 9. 17	International Conference on the Nuclear Power Experience	Vienna, Austria	IAEA
9. 13 ~ 9. 17	Conference and Exhibition: "The Neutron and its Applications"	Cambridge, UK	AERE Harwell / Inst. of Physics
9. 16	Lecture by Franklin E. Coffmann (US Dept. of Energy)	London, UK	BNES
9. 19 ~ 9. 22	8 Annual Meeting, Sociedad Nuclear Espanola (SNE)	Santander, Spain	SNE
9. 20 ~ 9. 24	Gas-cooled reactors today	Bristol, UK	BNES
10. 3 ~ 10. 6	Conference on raciation issues for the nuclear industry adi	New Orleans, USA	AIF
10. 12	"What are the Alternatives? — A Review of the Energy Scene" by Dr. A. F. Pexton, SSEB	Glasgow, UK	I Nuc E
10. 14	Lecture by M. Levenson (Bechtel, USA): "Light Water Reactor accidents-is there really a major public risk?"	London, UK	BNES
10. 17 ~ 10. 20	WNFM 9 th Annual Meeting and International Conference on Nuclear Energy	Nice, France	World Nuclear Fuel Market
11. 11	Lecture by D. Peirson (Harwell) on environmental radioactive monitoring	London, UK	BNES
11. 14 ~ 11. 17	Atomic Industrial Forum Annual Conference	Washington, USA	AIF
11. 16	"Operation of Naval PWRs" by Lt. B. Higginson, RN	Glasgow, UK	I Nuc E
11. 22 ~ 11. 26	International Symposium on water chemistry and corrosion problems of nuclear reactor systems and components	Vienna, Austria	IAEA
12. 2	Lecture by Professor J. H. Fremlin on power production at minimum risk	London, UK	BNES
1983. 1. 20	"Reliability and Safety Assessment" by Mr. G. M. Turner, Y-Ard Limited	Glasgow, UK	I Nuc E
2. 24	"The Hazards of Low Level Radiation" by a member of the National Radiological Protection Board	Glasgow, UK	I Nuc E
3. 24	"Fast Reactor Experience in the United Kingdom" by A. M. Broomfield, UKAEA	Glasgow, UK	I Nuc E