

美國의 原子力發電

그 展望과 計劃

John V. morowski

빅텔會社

原子力發電計劃担当副社長

본인은 全世界의 原子力 分野를 특히 韓國이 아닌 美國의 原子力 狀況을 논의하려 한다. 世界의 成長과 에너지 需要는 지난 몇 십년간 낮은 率에서 계속 높아지고 있다. 2020年까지 에너지 需要成長率(그림 1과 2)는 에너지 保存協會에서

표1 PROJECTIONS 에 따른 에너지 수요

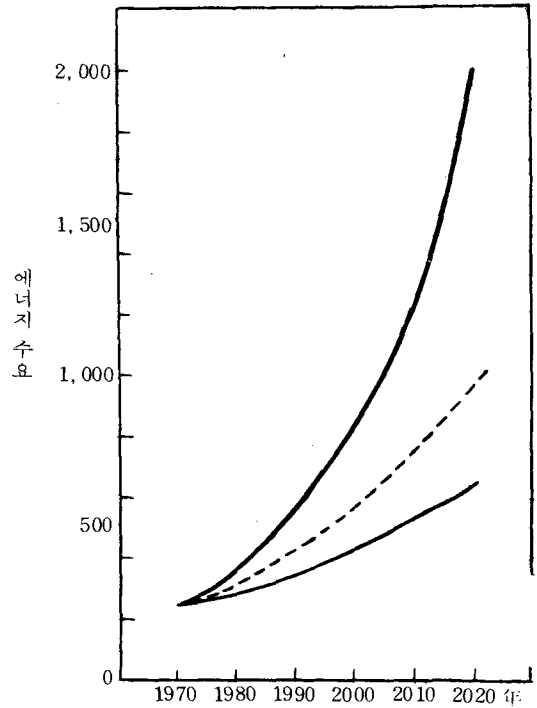
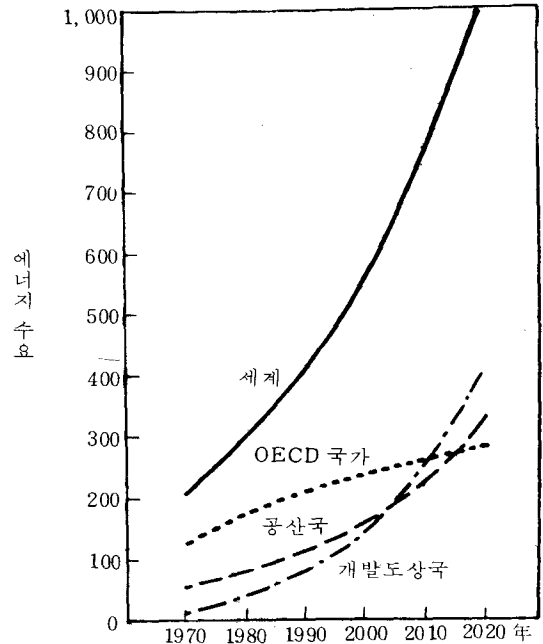


표 2



연구 결과, 개발 도상국은 해마다 2.7%로 계산되었다. 또한 이 연구에서 開發途上國의 에너지需要는 OECD 나라 및 공산국을 2010년부터 앞지를 것으로 예상하고 있다.

今世紀末에 야기될 에너지 압박과 긴장은 널리加重되며 우리에게 큰 關心거리가 된다. 우리는 原子力이 우리에게 큰 도움이 되리라 믿는다. 美國은 全世界 에너지의 1/3을 쓰고 市場石油의 1/4을 收入하기 때문에 韓國과 마찬가지로 에너지 위기는 공통 관심사이다.

표 3에서 보는 바와 같이 美國은 당분간 에너지

표 3

미국은 에너지가 모자라지 않는다

1977년 에너지 소비 76Quads *

미국에너지 자원 **

- 재처리해서 쓸 수 있는 자원 7,000~25,000Quads
- 전체자원 95,000~196,000Quads

* 1Quads는 1×10^{15} BTU, 175백만 BBLS의 Oil

** Range Reflects Degree to Which Nuclear Breeders are Utilized

지가 모자라지 않는다. 美國의 에너지 消費는 80 quads*로 상승되었다고 알려지고, 再處理해서 쓸 수 있는 立證된 에너지 資源은 100~300年 동안 充足시킬 것이다.

표 4에서 美國의 에너지 資源의 消費와 利用

표 4

에너지자원의 소비와 이용도 사이의 불균형

| 에너지원 | 에너지 소비비율 | 에너지원율 | |
|------|----------|-------------|-----------|
| | | W/O BREEDER | W BREEDER |
| 석유 | 49.3 | 0.5 | 0.2 |
| 천연가스 | 28.5 | 0.5 | 0.2 |
| 석탄 | 19.3 | 83.6 | 40.6 |
| 우라늄 | 2.9 | 1.5 | 52.3 |
| 오일 셸 | 0 | 13.9 | 6.7 |
| | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

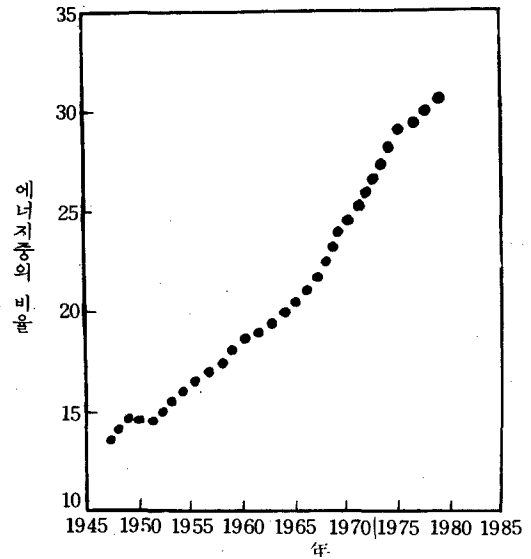
* 광물자원에서 수력발전 제외

度 사이에 커다란 不均衡을 보여준다. 비록 石油과 가스가 現在 美國의 總 에너지源의 1%보다 적지만 1977년 美國 에너지消費의 77.8%는 石油과 가스에서 충당됐다.

그림 5는 全 에너지 소비중 電力으로 消費된

量을 時間의 函數로 그린 것이다. 1973~74의 石油波動에도 妨害됨이 없이 增加함을 보여준다.

표 5 전 에너지消費中 電力으로 소비된 율



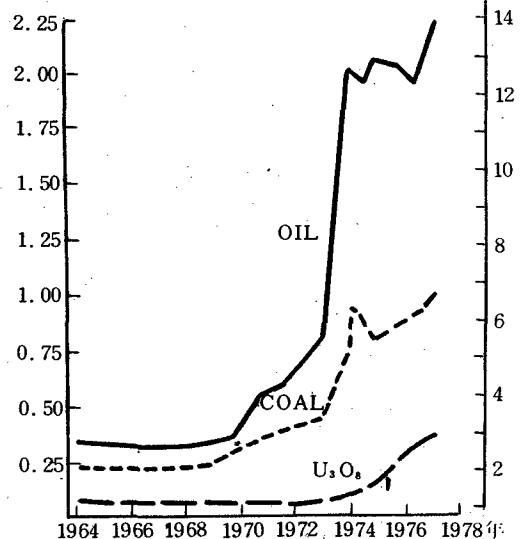
電氣에너지 消費는 增加할 뿐 아니라 약간 加速되어 대략 30%의 分率을 보인다. 우리는 金세기 말에는 45~50%로 되리라 믿는다.

특히 우리는 광범위하게 使用할 수 있는 燃料로서 石油과 가스를 피하고 石炭과 原子力에서 얻으려 한다.

알맞은 費用으로 電氣供給을 하는 것이 美國의 최고의 관심사이다.

그림 6은 美國에서 1973~74년에 OPEC 原油

표 6 미국전기공급 연료코스트



價의 상승으로 石油, 石炭, 우라늄 값이 增加함을 보여준다. 이에 따르면 우라늄값의 增加는 완만하며, U_3O_8 는 1 파운드당 40\$~45\$이다. AIF(原子力産業會議) 報告에 따르면 美國 原子力發電所는 1978년에 國家電力 出力의 12.5% 보다 많은 2760億kWh를 生産했다. 平均電力 總費用은 原子力 1.5Cent/kWh, 石炭 2.3Cent/kWh, 石油 4.0Cent/kWh이었다.

原子力發電은 1978년에 石炭 1億 3千萬톤 또는 4億 7千萬 배럴의 石油를 節約했고 이는 平均 36억불의 절약이다. 이는 原子力發電이 美國에서 成長하게 되는 커다란 이유이다. 原子力과 火力發電의 發電費를 比較해 보자. 1989年 1월에 2400MW의 商業發電이 要求된다면 原子力發電은 1200MW 2基, 火力은 800MW 3基가 需要하다.

표 7은 에스캐레이션 없이 計算된 資本費用이다. 이에 따르면 火力보다 原子力の 비용이 높다

표 7 에스캐레이션 없이 計算된 資本비용 (1979\$/kW)

| | 2×1200 MWe | 3×800MWe | | |
|-----------|------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | 원자력 발전 | High-S coal W/ Scrubbers | Low-S coal W/O Scrubbers | Low-S coal W/ Scrubbers |
| 건설비용 | 605 | 500 | 445 | 545 |
| AFDC@3.3% | 71 | 41 | 37 | 45 |
| 기타 비용 | 69 | 54 | 48 | 60 |
| 계 | 745 | 595 | 530 | 650 |

표 8은 에스캐레이션 없이 전 발전 稼動費를 나타낸다. 原子力發電은 유황除去 火力 發電보다 30% 利點이 있다. 또한 유황을 제거안한 火力發電보다는 24% 利點이 있고 가스공관 제거없

표 8 에스캐레이션 없이 전발전 가동비

| | 원자력 발전 | 유황제거 화력발전 | 가스공관 제거 없인 화력발전 | 유황제거안한 화력발전 |
|--------------------|--------|-----------|-----------------|-------------|
| Fixed Charges@9.4% | 12.4 | 9.8 | 8.7 | 10.7 |
| 연료비 | 6.9 | 15.6 | 16.2 | 17.0 |
| 가동유지비 | 2.0 | 5.0 | 1.5 | 2.2 |
| 계 | 21.3 | 30.4 | 26.4 | 29.9 |

이한 火力發電보다는 19%利點이 있다. 에스캐레이션을 포함한다면 fixed charge rate를 2배로 하면 된다. 燃料費는 앞을 예측할 수 없지만 석탄의 運送때문에 原子力發電은 더욱더 經濟的이다.

표 9는 世界 우라늄資源을 나타낸다. 왼쪽은 비축분이고 오른쪽은 예견분이다. 지금 예견비용은 파운드당 30\$이지만 실제적인 價格은 파운드당 45\$~60\$이 될 것이다. 美國은 世界에서 立證된 資源의 1/3을 가지고 있고 계산된 부수적 資源은 1/2로 예견된다. 이는 長期的 眼目으로 自明해 질 것이다(美國서 참조했음).

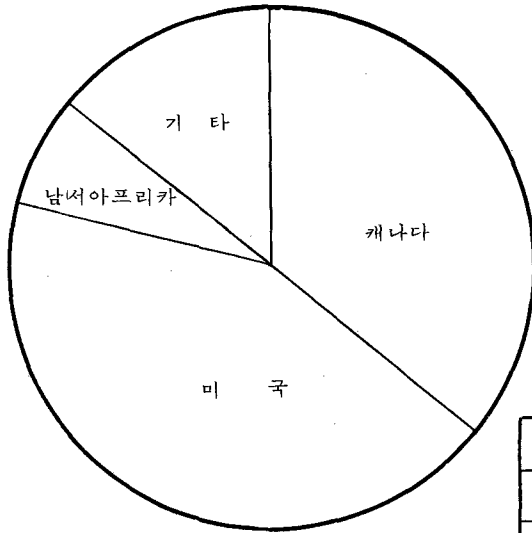
표 10은 예견비용으로 파운드당 30\$ 또는 계산치 費用으로 파운드당 70\$로 고려한 부수적 資源을 보여준다. 특이한 것은 스웨덴의 우라늄 保存量이다.

표 11은 에너지청(DOE)에서 鑛産會社를 상대로 入手하여 計算한 資源이다. 이에 따르면 450만 톤이 쓰여질 수 있다. 그러나, possible 이나 speculative는 장차 우라늄 供給에 믿을 수 없는 수치라고 주장하는 이도 있다. 부산물(by-production)은 磷鑛採掘에서 140,000톤을 얻을 수 있다. 대략 美國에는 180만~220만 톤의 우라늄 供給을 받을 수 있다. potential 資源을 입증된 (proven) 資源으로 變化시키는 일이 무엇보다 필요하다. speculative 資源의 반 이상을 proven 資源으로 굳혀야 한다. 美國의 鑛山採掘 産業은 年間 生産能力의 4배를 말하는 것이 당면과제이다. DOE에 의하면 採掘産業은 1978年, 年間 18,500톤에서 2000年에는 70,000톤의 U_3O_8 을 生産해야 할 것이다. 이에 부합될려면 새로운 200개의 鑛山과 鑛物에서 U_3O_8 을 추출하는 50개의 工場을 建設해야 한다.

濃縮은 天然우라늄 U^{235} 의 濃度を 0.7%에서 3%로 올리는 과정이다. 現在 기체확산 工場은 年間 17million SWU 以上の 能力을 가지고 있다.

1981년에는 27.3million SWU 능력으로 상승된다. 1988년에는 새로운 遠心分離工場에서 8.8million SWU중 2.2million SWU를 계획하고 있다. 1.1million SWU만도 장래 수급에 보탬이 될 것이다. 아무튼 이런 능력은 外國發電容量 110,000MWe와 美國內 202,000MWe의 發電契約을 DOE에서 의무 수행했을 때 발휘될 것이다. AIF에서는 美國의 濃縮能力은 4~6年은 아무일 없으나 1980年代는 압박을 받을 것이라 말한다. 다른나라의 濃縮能力은 1990年에 33.8million SWU가 기대된다. 그러나 전 濃縮能力은 全世界 需要量에 못 미칠 것이다.

표 12는 潛在需要量과 比較한 世界에너지 生産



| 예 | 전 | U ₃ O ₈ 1000톤 | % | |
|---|---|-------------------------------------|-----|-----|
| 캐 | 나 | 다 | 340 | 39 |
| 미 | 국 | | 385 | 44 |
| 남 | 서 | 아 | 50 | 6 |
| 기 | 타 | | 100 | 11 |
| 전 | 체 | | 900 | 100 |

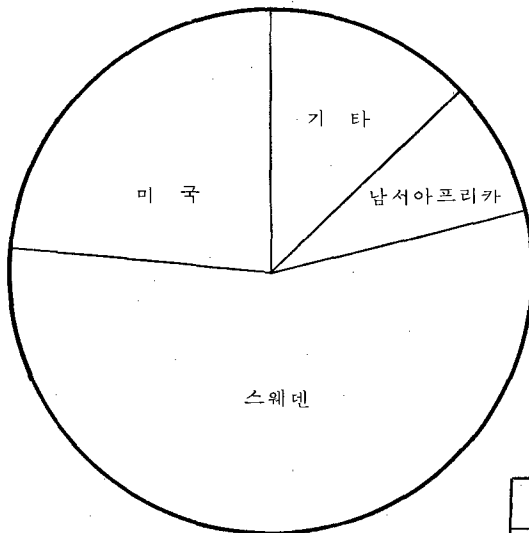
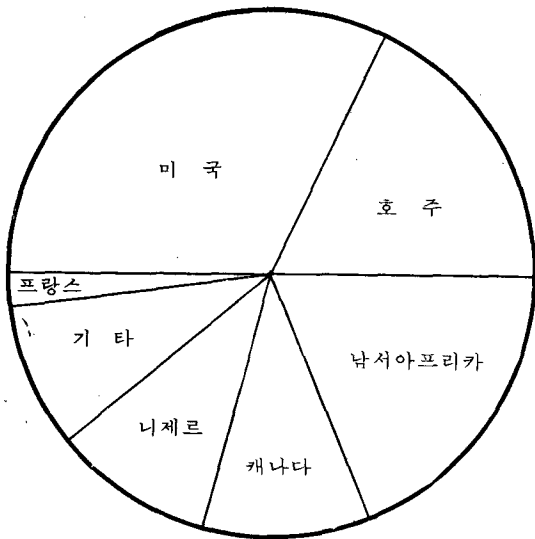


표 9 세계의 우라늄 자원(\$30-50PERLB. U₃O₈)

| 비 | 추 | U ₃ O ₈ 1000톤 | % | |
|---|---|-------------------------------------|-----|-----|
| 스 | 웨 | 덴 | 390 | 54 |
| 미 | 국 | | 160 | 26 |
| 남 | 서 | 아 | 60 | 8 |
| 기 | 타 | | 90 | 12 |
| 전 | 체 | | 700 | 100 |



| 비 추 | U ₃ O ₈ 1000톤 | % |
|--------|-------------------------------------|-----|
| 미 국 | 690 | 32 |
| 남서아프리카 | 400 | 19 |
| 호 주 | 380 | 18 |
| 캐 나 다 | 220 | 10 |
| 니 제 르 | 210 | 10 |
| 프 랑 스 | 50 | 2 |
| 기 타 | 200 | 9 |
| 전 체 | 2,100 | 100 |

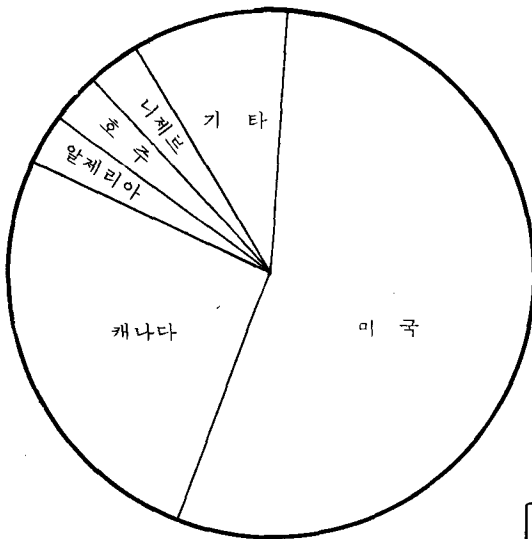


표 10 세계의 우라늄資源 (≦30PERLB. U₃O₈)

| 예 전 | U ₃ O ₈ 1000톤 | % |
|---------|-------------------------------------|-----|
| 미 국 | 1,065 | 55 |
| 캐 나 다 | 510 | 26 |
| 니 제 르 | 70 | 4 |
| 알 제 리 아 | 65 | 3 |
| 호 주 | 60 | 3 |
| 기 타 | 175 | 9 |
| 전 체 | 2,000 | 100 |

표 11

미국 우라늄 자원
U₃O₈ 천톤 1978. 1. 1 현재

| \$! LBU ₃ Q ₈ Cost Category | Reserves | 미국 우라늄 자원 | | | Total |
|---|----------|-----------|----------|-------------|-------|
| | | Probable | Possible | Speculative | |
| \$ 15 | 360 | 560 | 485 | 165 | 1,570 |
| \$ 15 - 30 INCREMENT | 330 | 505 | 635 | 250 | 1,720 |
| \$ 30 | 690 | 1,065 | 1,120 | 415 | 3,290 |
| \$ 30 - 50 INCRMENT | 185 | 385 | 350 | 155 | 1,075 |
| \$ 50 | 875 | 1,450 | 1,470 | 570 | 4,365 |
| BY-PRODUCT | 140 | | | | 140 |
| TOTAL | 1,015 | 1,450 | 1,470 | 570 | 4,505 |

표 12 장래 세계 에너지 생산과 수요

| 자 | 원 | 1972 | 1985 | 2000 | 2020 |
|---|----------------------------|------|------|------|------|
| 석 | 탄 | 66 | 115 | 170 | 259 |
| 석 | 유 | 115 | 216 | 195 | 106 |
| 가 | 스 | 46 | 77 | 143 | 125 |
| 원 | 자 | 2 | 23 | 88 | 314 |
| 수 | 력 | 14 | 24 | 34 | 56 |
| | 새로운에너지(태양열 지열) | 26 | 33 | 56 | 100 |
| 소 | 계 | 269 | 488 | 686 | 960 |
| | UNCONVENTIONAL OIL AND GAS | 0 | 0 | 4 | 40 |
| | 계 | 269 | 488 | 690 | 1000 |
| 수 | 요 | 269 | 363 | 570 | 1000 |

량을 보인다. 이표는 2020년에 1000exa-joules의 필요에 대비해서 에너지 保存協會에서 계산된 것이다. 2020년까지 계산된 生産能力은 수요량을 앞지른다. 앞으로 50년은 石炭의 消費가 매우 크고 2020年度에는 原子力消費가 더욱 더 커진다. 石炭利用增加를 배제하거나 原子力의 利用을 減少시키는 것이 매우 중대한 문제이다. 이러한 均衡은 새로운 에너지 資源(太陽熱)을 2000年度까지 강구해야 한다. 資源保存協會는 이를 實現키 위해 연 2.7%의 石炭生産 및 消費를 增進하여 2020년까지 年間 石炭 88億톤을 쓸 것이다. 이는 오랜 期間동안 維持되어야 하며 石炭의 生産 및 輸送은 많은 問題를 일으킨다. 原子力利用에 관해서도 똑같은 논평을 할 수 있다.

표 13은 原子力發電所 建設 計劃을 giga watt의 容量으로 나타내주고 있다. 平均 1000MWe의 原子爐를 가정해서 unit數를 보여주고 있다.

표 13 세계 원자력 발전소 건설계획 <GW (e)>

| 세 | 계 | 1975 | 2000 | 2020 |
|--------|---|------|-------|------|
| OECD국가 | | 68 | 800 | 2225 |
| 공 산 국 | | 7 | 560 | 1850 |
| 개발도상국 | | 1 | 180 | 925 |
| 계 | | 76 | 1,540 | 5000 |

표 14는 國際 原子力發電所 育成計劃이다. 1978年 600個의 原子爐가 450,000MWe 능력으로 稼動 또는 建設中이다.

표 14 미국 원자력발전소 육성계획

| | 원자력 발전소 수 | MWE | 미국전체 용량의 비율 |
|--------|-----------|---------|-------------|
| 1980 | 69 | 70,243 | 11.9% |
| 1985* | 151 | 139,407 | 18.8% |
| 1990** | 204 | 192,000 | 20.8% |
| 1995** | 287 | 275,000 | 24.0% |
| 2000** | 407 | 395,000 | 27.8% |

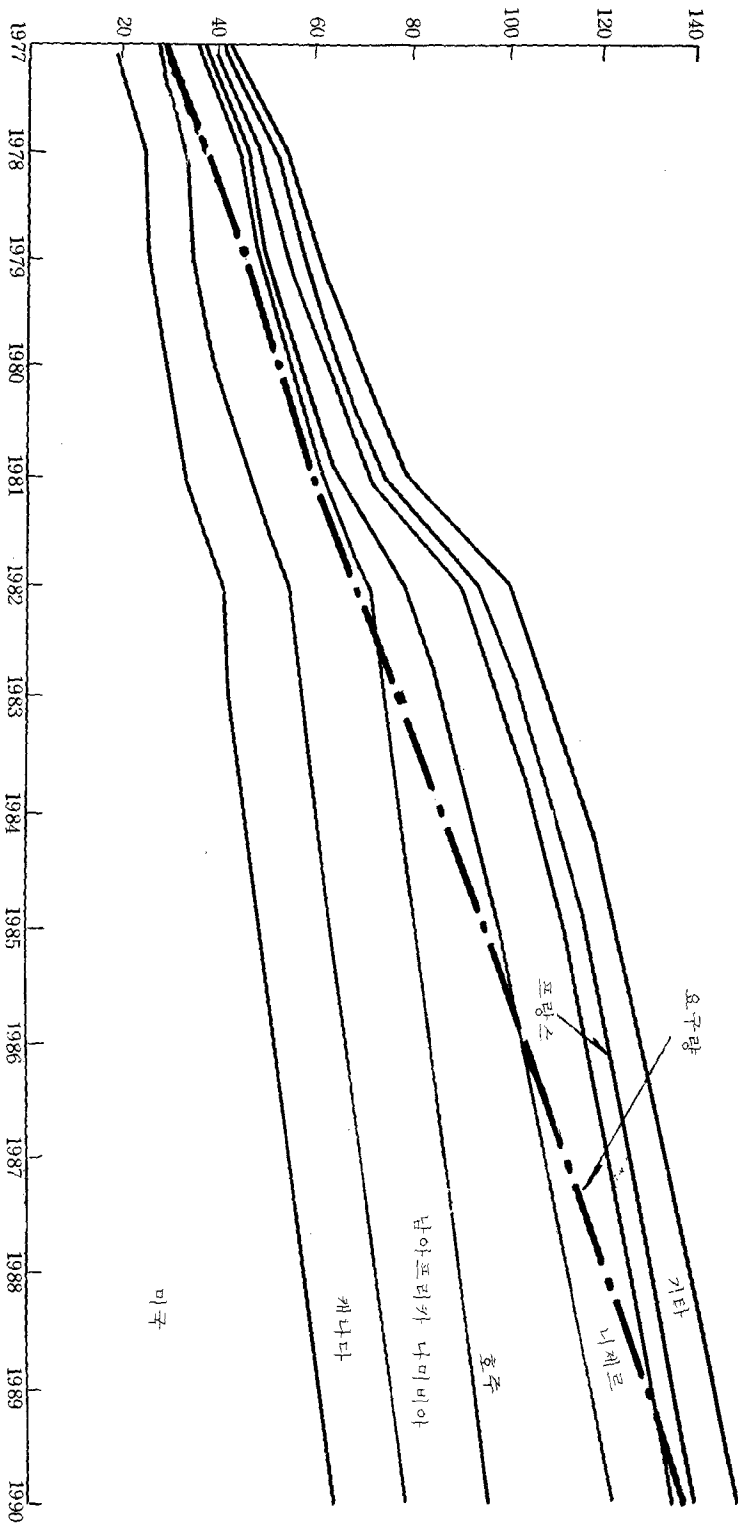
* ACCORDING TO CURRENT UTILITY SCHEDULE

** BASED ON ADMINISTRATION PROJECTIONS

그림 15는 全世界의 우라늄 生産能力을 요구량에 따라 보여준다. 成長率은 비교적 낮다. 1990年度에는 우라늄 生産力이 問題가 되기 시작할 것이다.

(재처리 및 재순환문제) 거대한 發電所에서 每年 放出된 核燃料의 30metric ton은 潛在分裂性 우라늄 0.36MT과 분열성 플루토늄의 0.17MT이 담겨져 있다. 再處理를 통해서 다시 얻고 再循

표 15 세계의 우라늄 생산능력



環할 수 있는 요소는 같은 燃料로부터 50%以上の 電氣를 일으킬 수 있을 것이다. 이런 에너지는 石油 540만 배럴과 맞먹는다. 廢棄物로 부터 얻은 再循環 우라늄과 Pu는 U_3O_8 의 요구량을 減少시킨다. 부수적인 우라늄 때문에 濃縮 능력은 부족을 메꾸기 위해 10年後(1990年代初)에나 効力이 있게 될 것이다. 이러한 生産物을 再循環하면 立證된 保有資源의 반과 맞먹는 石油 170億배럴을 아낄 수 있을 것이다. 再處理는 향후 10年 동안까지 輕水爐로부터 무한히 原子力을 일으킬 수 있다. 增殖爐의 4가지 타입은 LMFBR, GCFR, LWBR, MSBR 이다. 美國 및 여러나라에서는 LMFBR type에 초점을 맞추고 있다.

(중식로) LMFBR type은 消費되어 없어진 分열성 물질보다 100배만큼 우라늄 利用度를 크게 한다. 增殖爐에서 生成된 플루토늄은 요즈음 原子爐 뿐만 아니라 다른 增殖爐에 燃料로 사용될 수 있다. 그리하여 우라늄 資源의 이용도는 사실상 무시될 수 있을 것이다. 현재 原子力發電所에서 부산물로 비축된 廢棄 우라늄만 사용하면 이 增殖爐는 石油 2兆 3千億 배럴에 해당하는 發電을 할 수 있을 것이다. 이는 세계 recoverable 자원과 맞먹는다.

(현 미국에서 일어나는 주된 문제점)

○原子力 分野에 정부의 개입 및 支持의 필요성

○계획지연, 불필요하게 높은 價格, 免許의 불확실성의 결과로 原子爐 免許의 難點 解決

○燃料의 再處理의 遲延을 감안하여 長期 우라늄 供給의 適正性

○가장 실용적인 자본투자 재원으로서 적당하고 규칙적인 세입을 얻는 것

○減少되어진 負荷增大

○核燃料 주기에 잠재적인 효과 및 核擴散에 관련된 정부의 해결책

○필요한 廢棄物 저장소의 설계 및 건설에 정부의 무관심으로 高에너지核 폐기물의 放出로 인한 세상의 움직임

○TMI사건과 같은 경우에 법인의 재정상의 위기에 관련하는 問題

○특별단체에 의한 반 원자력정책 행위 및 거리낌없는 시민의 核支持 필요성

이런 상황은 美國聯邦政府가 原子力은 國家의 에너지 수급에 必要하고 믿어야 한다는 솔직한 정책을 채택한다면 改善되어질 것이다. 만일 그러한 행동이 근시일에 취해지지 않는다면 原子力 선택의 利點은 금세기 말 전에 실현되어지지 못할 것이다. 시민들의 대다수는 原子力 發電은 다른 發電과 비교해서 건강상 또는 환경에 위험성이 적다는 것을 점점 더 깨닫고 있다.

우리는 또한 1980年度 出刊될 INFCE 보고서에서 다음과 같은 예언을 할 수 있다. 核燃料의 끊임없는 再處理 및 再循環의 지경 및 增殖爐의 상업로화 그리고 國際的 安定性이다. 原子力은 美國 以外에도 産業國家 및 開發途上國家에서 급속히 成長하고 있다. 이런 電氣의 수요급증이 당연하다면 輕水爐 原子力發電은 代替 에너지가 개발될 때까지는 오랜 기간동안 전력공급의 믿을만한 資源이라 장담한다.

우리는 또한 석탄, 조력, 지열발전 뿐만 아니라 太陽熱, 風力, 그외 모든 代替에너지를 開發하는 것을 잊어서는 안된다. 에너지 難局에 原子力은 중요하며 人類의 安寧을 서로 나누기 위해 모든 國家는 협조해야 한다. 나는 未來에 韓國은 그러한 기회를 갖게 되리라 믿는다.



最新

電子用語大辭典

菊版 2104面

定價 4,500원

電子技術社 TEL ⑦4 2124 ⑦5 2266