

先進國의 原電運轉實績과 經驗

西獨·美國의 輕水爐運轉實績 比較

— 美國 MIT 研究報告書에서 —

다음은 美國 MIT 原子力工學科의 Hansen 教授와 西獨 베를린工科大學의 Winje 教授가 공동으로 양국 원자력발전소의 稼動實績(1980-1983년까지 年間)을 比較分析한 報告書의 내용이다. 對象으로한 原子爐는 美國이 PWR(WH社製) 21基, BWR(GE社製) 22基이고, 西獨側은 PWR(KWU社製) 6基, BWR(同) 4基인데 主要分析은 PWR에 중점을 두고 있으며(表1, 表2) 對象으로한 原子爐는

- ① 出力400MWe以上
- ② 1980年以前에 商業運轉開始
- ③ NSSS와 터빈·발전기의 공급자가 동일이라는 기준으로 선택되어 있다.

稼動實績의 比較로는 公同의 指標로 稼動率(一定期間中の 發電量을 同期間中の 定格出力發電量으로 나눈 것)을 사용하고 있다. 그밖에 發電損失(定格出力發電量과 實際發電量의 차이)의 原因을 比較분석하여 兩國 원전운전실적의 相違와 그 요인·배경을 明確히 하려는 것이 이 연구의 概要이다.

전하고 있는 점을 들 수 있다. 또한 原電을 소유하는 電力會社는 모두 최저 2기(건설중도 포함)의 원전을 소유하고 있으며(表3), 운전정보를 관리·교환하는 組織(VGB)을 공동으로 설립하고 있다.

電力價格을 위시한 경제면에서의 規制는 州政府와 그 價格委員會(price commission)가 담당하고 있다. 이들 各州의 위원회는 聯邦經濟省의 管轄下에 있으며 價格은 모두 위원회의 승인이 필요하다. 그러나 일반적으로 위원회는 개개의 設備投資決定에는 關여하지 않기 때문에 發電코스트가 합리적인 범위내에 들어가는 것이 확실하고 계산상 명백하면 技術(燃料)의 선택은 電力會社의 판단에 맡겨지고 있다. 또한 建設中 仮계정(Construction Work In Progress : CWIP)의 레이트 베이스算入도 인정되고 있다. 利子나 稅負擔도 美國에 비해 낮으며 建設期間도 짧기 때문에 電力業界에서의 經濟環境(規制狀況도 포함)은 결코 나쁘지 않다.

安全審査·認許可프로세스는 美國의 規制프로세스와 비슷하나 關聯官廳·電力會社·메이커(K-WU)사이의 關係는 순수하게 전문가의 立場으로 성립되고 있으며 매우 객관적으로 심사가 진행된다고 평가되고 있다. 民衆의 反對運動의 법적개입도 美國과 마찬가지로 가능하나 지금까

1. 産業·規制體制의 比較

(1) 西獨의 産業·規制體制

電力業界의 특징으로는 比較적 대규모인 電力會社가 단독 또는 공동으로 原電을 소유·운

〈表1〉 Investigated KWU Reactor Set-PWR

| Nuclear Power Plant | Type | Electric Capacity (MWe) | First Generation | Cumulated Capacity Factor until 12/31/83 | Cumulated Availability Factor | Operator | Owner |
|---------------------|------|-------------------------|------------------|--|-------------------------------|------------------------------------|---|
| Stade | PWR | 662 | 1. 1972 | 82.8% | 84.8% | Kernkraftwerk Stade GmbH | NWK(66 2/3%) HEW(33 1/3%) |
| Biblis A | PWR | 1204 | 8. 1974 | 65.9% | 70.5% | RWE | — |
| Neckarwestheim | PWR | 855 | 7. 1976 | 72.5% | 77.4% | Gemeinschaftskraftwerk Neckar GmbH | DB, EVS, Neckarwerke Technische Werke Stuttgart, ZEAG |
| Biblis B | PWR | 1300 | 4. 1976 | 60.8% | 70.4% | RWE | — |
| Unterweser | PWR | 1300 | 10. 1978 | 78.8% | 85.9% | Kernkraftwerk Unterweser GmbH | PreuBen-Elektra(50%), NWK(50%) |
| Gösgen/Switzerland | PWR | 970 | 1979 | 74.1% | 80.2% | Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG | Aare-Tessin AG for electricity, Nordostschweizerische Kraftwerke AG and 4 other |

KWU=Kraftwerk Union
NWK=Nordwestdeutsche Kraftwerke
HEW=Hamburgische Elektrizitäts-Werke

RWE=Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerke
DB=Deutsche Bundesbahn
EVS=Energieversorgung Schwaben

〈表2〉 US Reactor Set

| | |
|--|------------------|
| i) Westinghouse PWR and Westinghouse Turbine | |
| ii) Over 3years full-power operation | |
| iii) Over 400MW capacity | |
| Beaver Valley 1 | Prairie Island 1 |
| Farley 1 | Prairie Island 2 |
| Ginna | Robinson 2 |
| Conneticut Yankee | Salem |
| Indian Point 2 | San Onofre |
| Indian Point 3 | Surry 1 |
| Kewaunee | Surry 2 |
| North Anna 1 | Turkey Point 3 |
| Point Beach 1 | Turkey Point 4 |
| Point Beach 2 | Zion 1 |
| | Zion 2 |

지는 일부단체(녹색의 당 등)를 제외하면 심각한 영향을 준 예는 없다.

産業體制는 미국에 비해 單純明快해서 알기 쉽다. 主契約者는 KWU(또는 BBR)이며 모두 턴키계약으로 전력회사에 인도된다. 設計나 詳細計劃도 건설개시전에 거의 정해지며 건설자체도 매우 원활하다.

(2) 美國의 産業·規制體制

美國의 상황은 西獨과는 대조적이다. 電力業界는 西獨以上으로 소규모의 電力會社가 많으며, 그 數는 3,200社라고 하고 있다. 西獨과는 달리 1基만의 原電을 가지고 있는 전력회사도 많다.

經濟規制는 주로 州의 公益事業委員會(Public Utility Commission: PUC)가 담당하는데, 이 PUC의 역할이 서독의 價格委員會와는 크게 다르다. 즉, CWIP를 레이트 베이스에 導入하는 것을 허가하고 있는 PUC는 少數派이며, 일반적으로 投資決定에 대해 엄격한 체크를 하고 있다.

認許可프로세스에서는 주민단체 등의 개입이 비교적 자유로우며 원칙적으로 規制當局의 모든 결정에 대해 소송을 제기하는 것이 가능하다. 이로 인해 認許可프로세스는 長期化·遲延化되는 경향이 있어서 원자력산업에 매우 심각한 영향을 주고 있다.

原子力産業體制도 서독과는 달리 다양해서 북

〈表3〉 20 Largest Electric Utilities in the Federal Republic of Germany

| No. | Utility | Owner | sales of electricity in TWh (1982) | Nuclear power plants operating planned or underconstruction (1984) | |
|-----|--|-------|------------------------------------|--|---|
| 1. | Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerke AG (RWE) | g* | 119 | 3 | 4 |
| 2. | Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG (VEW) | g* | 25.8 | — | 1 |
| 3. | Nordwestdeutsche Kraftwerke AG(NWK) | g | 23.1 | 4 | 1 |
| 4. | Bayernwerk AG | o | 22.8 | 3 | 3 |
| 5. | PreuBische Elektrizitätswerke AG | p | 21.5 | 2 | 1 |
| 6. | Veba Kraftwerke Ruhr AG | p | 17.7 | — | — |
| 7. | Energieversorgung Schwaben AG(EVS) | o | 13.6 | 3 | 2 |
| 8. | Hamburgische Elektrizitätswerke AG (HEW) | g* | 12.8 | 3 | 1 |
| 9. | STEAG AG | p | 12.5 | — | — |
| 10. | Badenwerk AG | g* | 12.3 | 4 | 1 |
| 11. | Berliner Kraft und Licht AG | g* | 7.6 | — | — |
| 12. | OBAG AG | g | 7.1 | — | — |
| 12. | Schleswig AG | g | 6.8 | — | — |
| 14. | Isar-Amperwerke AG | g | 6.7 | 1 | 1 |
| 15. | Lech-Elektrizitätswerke AG | g | 6.5 | — | — |
| 16. | EAM AG | g | 6.1 | — | — |
| 17. | Pfalzwerke AG | g | 6.1 | — | — |
| 18. | HASTRA AG | g | 6.0 | — | — |
| 19. | VSE AG | g | 5.6 | — | — |
| 20. | Nekarwerke AG | g | 5.6 | 1 | 1 |

g*:majority of stocks owned by government o : stocks owned solely by public authorities
 g : majority of stocks owned by private investors p : privately owned

잡하다. 원래 토크계약이 원칙이었는데 현재 가장 일반적인 방법은 전력회사가 Architect Engineering會社(AE)와 계약하여 AE가 플랜트設計·建設管理의 책임을 갖는다. 즉, NSSF供給者는 原子力關聯部分(Nuclear Island)만을 맡게 된다. 또한 電力社會는 自體가 AE를 담당하는 경우도 있으나, 이와 같이 복잡한 건설관리체제도 건설기간의 長期化와 質의 저하에 영향을 미치는 것 같다.

2. 運轉實績 比較結果

그림1에 이 연구의 대상이 된 美國, 西獨 양국 PWR의 平均稼働率 및 平均設備利用率을 나타냈다. 이 그림만으로는 西獨(KWU社)의 PWR

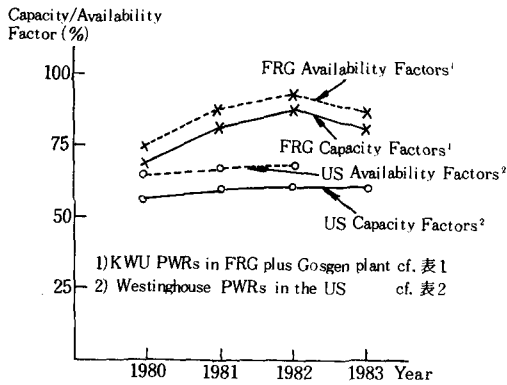
이 美國(WH社)의 PWR을 최대 20% 상회하는 好稼働實績을 나타내고 있음을 알 수 있다.

表4는 역시 같은 데이터에서 損失(capacity loss)比率을 원인별로 분류한 것이다. 美國과 西獨의 차이가 가장 현저하게 나타나고 있는 것이 「安全規制에 의한 停止(Regulatory losses)」이며 그 다음이 「1次系統의 豫定停止(Scheduled outages, Nuclear Island)」, 「2次系統에서의 異常停止(Forced outages, BOP)」이다. 그리고 燃料交換을 위한 정지기간은 예정정지기간에 포함되어 있다. 다음은 각 요인에 대한 檢討이다.

(1) 規制에 의한 停止

規制에 의한 정지기간은 美國과 西獨의 정지기간차이의 40%가 된다. 그 주요한 원인은 安

〈그림 1〉 Capacity and Availability Factors for US PWRs versus KWU PWRs. 1980~1983



1) KWU PWRs in FRG plus Gosegen plant cf. 表 1
 2) Westinghouse PWRs in the US cf. 表 2

全規制에 의한 것인데, 美國에서는 TMI事故와 관련된 규제변경이 큰 영향을 미치고 있다. 한편, 西獨에서는 규제에 의한 損失이 거의 없다.

(2) 豫定停止 : 1次系統

表5는 1次系統(Nuclear Island : NI)에서의 계획정지를 要因別로 정리한 것이다. 이 表에 나타나 있는 것처럼 美國에서는 原因의 거의 80%가 蒸氣發生器에 관한 것이었다. 西獨에서는 燃料에 관한 出力損失이 최대의 요인이 되었는데, 이것은 燃料 자신의 트러블이 아니고 운전 관리상 출력을 떨어뜨리는 코스트다운 운전에 의한 것으로 추정된다. 原子爐冷却系統(Reactor Cooling System : RCS)關聯(美國만 分類可能)에서는 냉각펌프의 문제가 큰데, 거기에는 펌프 시일에 관한 문제도 포함된다.

(3) 異常停止 : 1次系統

1次系統에서 異常停止의 要因別分類를 表6에 정리하였다. 이에 의해서 美國, 西獨 모두 원자로냉각계통과 증기발생기에 문제가 집중되어 있음을 알 수 있다. 美國의 데이터에 의하면 원자로냉각계통의 경우가 증기발생기보다 다소 문제가 많은 것같이 생각되는데 이는 증기발생기의 트러블은 豫定停止時間內에 처리되는 일이 많기 때문일 것이다.

(4) 異常停止 : 2次系統

〈表4〉 US versus FRG PWR capacity losses, Average Values, 1980~1983

| | US | FRG | △* |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| Forced Outages | | | |
| NI(Nuclear Island) | 5.15 | 2.38 | 2.77 |
| BOP(Balance of Plant) | 5.89 | 2.84 | 3.05 |
| Other | 2.30 | 0.96 | 1.34 |
| Scheduled Outages | 13.34 | 6.18 | 7.16 |
| NI | 6.79 | 0.80 | 5.99 |
| BOP | 1.16 | 0.12 | 1.04 |
| Other | 12.73 | 14.35 | -1.62 |
| Totals | 20.68 | 15.25 | 5.43 |
| Regulatory Outages | 7.70 | <0.1 | 7.70 |
| Unassigned Losses | | 1.44 | -1.44 |
| Totals | 41.72 | 22.86 | 18.84 |

* The difference, △, is the US-FRG losses.

表7에 2차계통에서의 異常停止 要因別分類를 나타내었다. 西獨에서는 문제의 거의 대부분이 터빈·발전기에 관한 것으로서 전체의 90% 가까이를 占하고 있다. 그러나 美國·西獨의 차이가 가장 큰 경우는 「기타」의 부분으로서 美國에서는 콘덴서나 制御機器 等에서의 트러블이 많다. 그외에는 熱效率低下에 의한 損失, 石炭火力熱燒義務에 의한 損失(西獨) 등을 요인으로 들 수 있다.

3. 考察과 結論

以上과 같은 정보외에 兩國에서 실시된 전문가로 부터의 의견청취를 기초로 양국의 가동실적의 차이가 어떠한 배경의 것인가를 3개항목(經濟環境·經濟規制, 安全規制, 技術의 相異)에 걸쳐 考察하여서 이 연구의 결론으로 하고 있다.

(1) 經濟環境과 經濟規制

경제환경에서 크게 다른 것은 資金코스트와 代替化石燃料코스트이다. 美國과 비교하여 西獨에서는 자금코스트가 낮고 대체연료코스트가 높기 때문에 原子力으로의 대규모 설비투자도 경제적으로 적합하다. 經濟規制面에서도 CWI-P의 레이트 베이스 算入이 인정되고 있는 등

〈表5〉 Average capacity losses from scheduled outages involving the nuclear island, 1980~1983

| | US | FRG | △ |
|-----------------|------|------|-------|
| Fuel | 0.80 | 0.44 | 0.36 |
| RCS | 0.60 | 0.22 | 5.65 |
| Steam Generator | 5.27 | | |
| Other | 0.12 | 0.14 | -0.02 |
| Total | 6.79 | 0.80 | 5.99 |

〈表6〉 Average capacity losses from forced outages involving the nuclear island, 1980~1983

| | US | FRG | △ |
|-----------------|------|------|------|
| Fuel | 0.07 | 0.0 | 0.07 |
| RCS | 2.47 | 2.37 | 1.72 |
| Steam Generator | 1.62 | | |
| Other | 0.99 | 0.01 | 0.98 |
| Total | 5.15 | 2.38 | 2.77 |

〈表7〉 Average capacity losses from forced outages in the Balance of Plant, 1980~1983

| | US | FRG | △ |
|-----------|------|-------|------|
| Turbine | 1.54 | 2.41* | 0.97 |
| Generator | 1.84 | | |
| CW/SW | 0.19 | 0.0 | 0.19 |
| Other | 2.31 | 0.43 | 1.88 |
| Total | 5.88 | 2.84 | 3.04 |

* Combined Turbine + Generator losses.

西獨의 경우가 설비투자면에서는 역시 유리하다.

이와 같은 상황의 차이에서 西獨의 電力會社는 原子力發電所에 의한 큰 투자를 할 수가 있으며, 그 결과 設計의 改良·高品質機器의 채택 등이 가능해진다. 例로 들 수 있는 것이 格納容器內的 공간이다. 西獨의 전력회사는 모두 중업원의 작업공간 확보를 중요시하고 있으며, 이와 같은 노력이 燃料交換이나 유지보수시간의 단축에 크게 공헌하고 있다.

한편, 美國의 상황은 거의 이의 逆이라고 해도 될 것이다. 資金코스트는 높고, 代替化石燃料(主로 석탄)코스트는 비교적 싸다. 經濟規制도 대규모 設備投資에는 결코 유리하지 않다. 따라서 美國의 電力會社는 原子力發電에 여유

있는 설비투자를 할 수가 없게 되어 있다. 플랜트의 設計나 建設工程에도 여유가 없기 때문에 품질관리가 소홀해지며, 그것이 트러블의 증가나 보수유지의 長期化로 이어진다고 판단된다.

(2) 安全規制

安全規制·認許可手續은 法律上 美國·西獨에서 큰 차이는 없다. 그러나 실제의 운용면에서는 큰 차이로 나타나고 있다.

첫째로 들 수 있는 것이 TMI事故에 관한 규제변경과 그에 의한 백피트의 문제이다. 美國에서는 백피트가 出力損失의 큰 원인으로 되어 있으나, 西獨에서는 그렇게 큰 영향을 주지 못했다. 두번째 相違點은 建設時의 설계변경이 미국에서 매우 많았다는 점이다. 美國에서는 건설허가가 나온 후에도 규제변경으로 인해 설계변경이 강요될때가 많다고 많은 전문가들이 지적하고 있다. 그 결과 建設期間의 長期化와 건설비의 상승, 나아가서는 중업원의 모럴 저하로 까지 이어진다고 생각된다. 西獨에서도 다소의 규제변경은 있으나 美國만큼은 아니다.

마지막 相違點은 기술진보와 그에 대한 대응이다. 경험의 축적에 따라 技術과 지식이 날로 향상되고 있는데, 西獨에서는 이와 같은 변화를 유연하게 플랜트의 설계·운전관리에 받아들이고 있다. 美國의 산업계는 이와 같은 변화가 規制變更으로 이어질까 하는 점을 우려하여서 技術의 향상을 적극적으로 받아들여려고 하지 않는다. 이 차이가 西獨에서의 稼動實積向上으로 이어지는 것이다.

(3) 技術의 相違

西獨의 PWR技術은 원래 美國技術을 베이스로 한 것으로서 근본적인 相違點은 거의 없다고 해도 좋다. 그러나 경제·규제환경의 차이가 다음과 같은 몇가지 중요한 相違點으로 이어진 것이다.

가장 뚜렷한 相違點으로 지적된 것은 美國의 플랜트는 개개의 獨自性을 가지고 있다는 점이

다. 西獨에서는 NSSS供給者·AE 等 全國에서 거의 같은 기업이 담당하고 있는데, 美國에서는 각각의 영역에 많은 기업이 존재하고 있다. 또한 電力會社의 數도 많고, 2基以上 플랜트를 소유하는 전력회사가 다른 메이커에 주문하는 경우도 많다. 例를 들면, 이 연구의 대상이 된 PWR도 西獨의 PWR은 모두 4루프(3루프 1기를 제외)인데, 美國에서는 2루프가 6기, 3루프가 9기, 4루프가 6기라는 것이다.

두번째 중요한 相違點은 설계와 건설의 타이밍이다. 西獨에서는 플랜트(NSSS와 BOP)의 설계를 건설이 시작될 때까지 끝마치는 것이 일반적이다. 한편, 美國에서는 건설과 병행해서 설계를 진행하는 방법을 취한다. 이 두가지 방법 모두 장점·단점이 있으며, 稼動實績에 얼마만큼 영향이 있는가는 앞으로의 조사과제중 하나이다.

西獨의 전문가가 지적하는 제3의 相違點은 QA/QC에 대한 인식이다. 美國보다 西獨에서의 QA/QC가 대단히 엄격하게 실시되고 있는 것 같다. 西獨에서는 엄격한 QA/QC가 가동실적의 향상에 직접 결부되는 것으로 기대되고 있다. 이 문제도 보다 상세한 조사가 필요할 것이다. 네번째는 電力會社·메이커·規制當局의 협조관계이다. 西獨에서는 각각의 技術者가 같

은 문제(例를 들면 稼動率向上)에 대해 기술정보의 교환 등을 통해 공동으로 해결에 힘쓴다. 최근 美國에서도 電力會社·메이커사이에 정보교환을 시작하게 되었는데, 西獨의 협력관계는 광범위하게 효율적으로 행해지고 있으며 구체적인 성과도 올리고 있는 것 같다.

마지막으로 플랜트 運開時의 수축을 제5의 相違點으로 들고 있다. 美國에서는 케이스 바이 케이스로 여러가지 방식이 취해지고 있다. 電力會社에 따라서 運開時부터 전책임을 지는 경우가 있고, 運開後 서서히 책임을 인계해나가는 경우도 있다. 한편, 西獨에서는 KWU가 運開에서부터 수개월간의 전출력운전까지 책임을 지는 것이 통례로 되어 있으며, 나아가서는 2년간 KWU가 책임을 지는 것이 美國과 다르다.

以上과 같은 考察·結論을 바탕으로 앞으로 다시 조사해야 할 과제로 다음과 같은 점이 지적되고 있다.

- ① 規制가 稼動實績에 주는 영향
- ② 美國異常停止의 要因分析
- ③ 建設費와 플랜트性能의 관계
- ④ 準備프로그램과 停止期間中 작업실적의 관계
- ⑤ 設計와 建設工程의 관계
- ⑥ 稼動實績의 國際 데이터 베이스作成

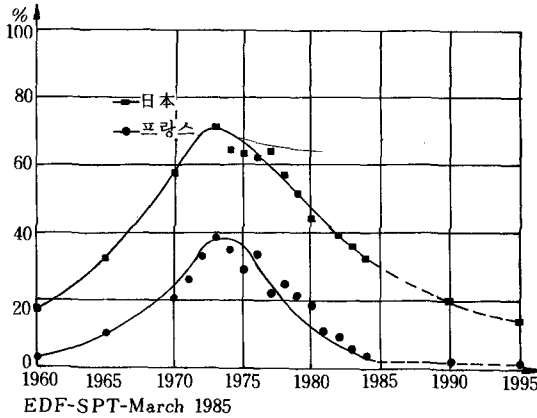
프랑스와 日本의 原電運轉經驗

原子力發電分野에서 프랑스와 日本은 많은 공통점을 가지고 있다. 먼저 兩國의 에너지政策에서 남하는 原子力의 위치를 나타내기 위해서 兩國의 공통되는 기본적 특징을 언급하고, 그 다음에는 性能指標를 검토한 후 마지막으로 앞으로의 상황을 展望하고자 한다.

1. 重要的 數字

- 一國의 경제성장수준을 측정하는 1인당 국민총생산량은 프랑스와 日本 모두 같은 레벨, 즉 1인당 1만\$이다.
- 1次에너지의 平均消費量은 양국 모두 1인당 3톤(石油換算)이다.
- 1인당 平均전기소비량도 5kWh로 같은 레벨에 있다. 이로서 人口比率을 고려하면 1984

〈그림 2〉 電力生産石油比率



년의 전기생산량은 日本(600TWh)이 프랑스(310TWh)의 2배가 된다.

●1차에너지에 대한 의존도는 양국 모두 높으며 1973년에는 일본이 87%, 프랑스가 77%이다.

이와 같은 배경하에서 石油를 포함한 輸入에너지에 대한 과대한 의존도는 양국 다같이 높으며(그림2), 1973년 석유위기 직후에 실시된 日·佛 양국의 에너지정책도 그 기본목표에서 거의 일치하고 있다.

●輸入1차에너지 및 輸入先의 多樣化

●省에너지政策의 추진

●國産에너지, 즉 외화절약으로 이어지는 에너지의 利用(새로운 에너지 또는 原子力에너지)

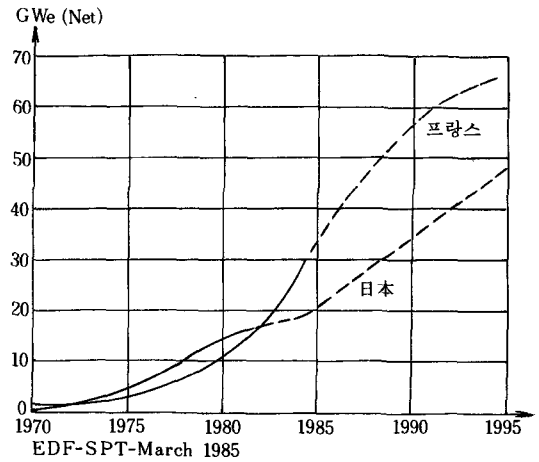
실제로는 原子力만이 에너지市場을 完화시켜 줄 수 있는 것으로서 그 개발은 그림3에서와 같이 1973년과 1980년의 석유위기에 대한 石油輸入國家의 전체적 해결책이다.

2. 綜合的評價

먼저 프랑스와 일본에서 稼動中인 原子力發電所의 현황을 알아보자(그림3).

日本은 1966년부터 加壓水型과 沸騰水型 두 가지를 균형있게 활용하는 原子力政策을 제정했다. 프랑스와 마찬가지로 美國의 노하우에 바탕을 두고 출발한 日本産業은 상당히 빠른 시

〈그림 3〉 日本과 프랑스의 原子力發電所純發電能力의 推移



기부터 독자적인 노선을 걸었으며, 各種 原子爐의 건설에 모든 책임을 질 수 있게 되었다.

프랑스를 보면 1960년부터 1972년까지 우라늄·가스黑鉛型原子爐를 개발한후 1972년부터 加壓水型 技術만으로 좁혀서 900MW와 1,300MW 級의 표준화된 原子爐를 제작하여 왔다.

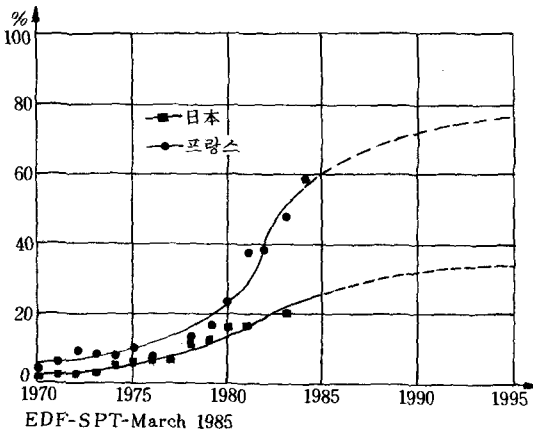
1985년2월1일 현재 日本은 電力8社가 14基의 BWR에서 10,350MW를, 13基의 PWR에서 9,650MW를 생산하고 있다. 프랑스에서는 프랑스電力이 900MW級爐 31基, 1,300MW級 2基와 305MW級 1基 合計41基로 33,000MW를 생산하고 있다.

프랑스의 總電氣生産量에 占하는 原子力의 비율은 1984년에 59%이었다(日本에서는 20%를 약간 넘을 정도, 그림4). 설비의 투입 페이스에 따라 PWR爐의 平均年壽는 1985년 초에 일본에서 7년, 프랑스에서는 4년으로 되어 있다(그림5). 그리고 프랑스의 경우 1992年運開의 총경제코스트의 비교에서는 베이스운전의 석탄화력발전의 kWh는 原子力發電의 kWh보다 약 40% 높게 되어 있다.

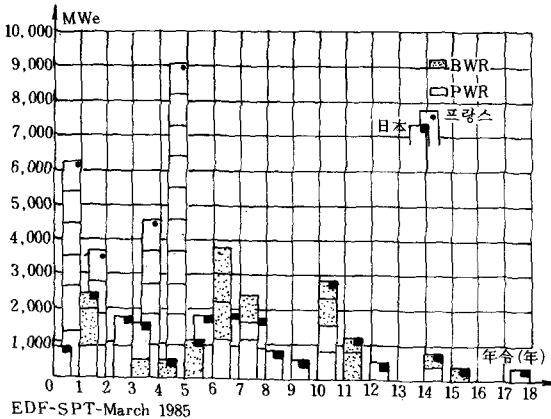
(1) 利用率

이것은 베이스 운전중인 하나의 爐 또는 복수의 爐에 대해 送電網으로의 공헌을 나타내는

〈그림 4〉 總電氣生産量에 占하는 原子力發電比率의 推移



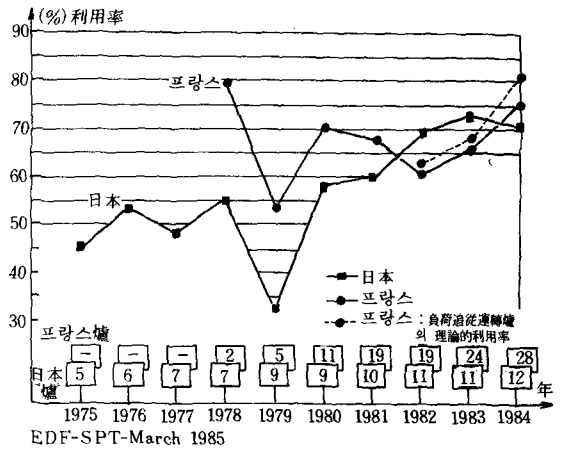
〈그림 5〉 輕水爐(日本과 프랑스)의 年度別出力 (1985年 2月 1日)



좋은 指標이다. 1984년의 계수에 따르면 일본의 PWR爐에 대해서는 71%, 프랑스의 爐에 대해서는 75%이었다.

그러나 프랑스의 發電系統에 占하는 原子力의 압도적 웨이트에 비해 PWR爐가 負荷追從에 상당히 참가하지 않으면 안되게 되어 있다. 이와 같은 技術的, 經濟的 條件은 완전히 만족할만한 것이다. 새로운 運轉方式을 裝備한 P-WR爐의 柔軟性은 火力발전플랜트보다 우수하다(1分間に 定格出力의 5%에 해당하는 出力變動). 이와 같은 原子力의 調整에서 때로는 生産할 수 있는 kWh를 生産하지 않을 경우도 있다. 이 경우 利用率은 貢獻度를 반영하지 못하

〈그림 6〉 PWR爐의 利用率推移 - 日本과 프랑스 - (프랑스의 경우 商業運轉中인 EDF社 900MW級 PWR)



게 된다. 이로 인해 實用運轉中인 PWR플랜트 전체를 대상으로 각 플랜트설비의 가동상태를 고려하면 프랑스에서의 1984년 에너지稼働率(理論的 生産係數)은 81.3%로 계산되고 있다.

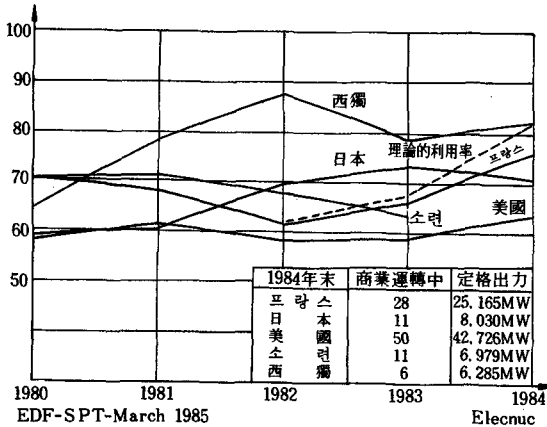
그림6에 日本과 프랑스에서 實用運轉中인 P-WR플랜트의 生産係數(利用率)比較를 나타내었다. 이 그림은 소수의 플랜트를 대상으로 撤底點檢(1年間 運轉後 3~4개월 停止)이 프랑스의 플랜트에 미치는 영향을 나타내고 있다. 이에 따르면 점검후 生産係數는 뚜렷하게 개선되고 있으며, 1982년 60%에서 1984년 75%까지 향상되고 있다. 이 개선은 1982년에 制御棒 클러스터案内管의 핀과 第2차 數次年契約(CP 2) 플랜트의 乾燥過熱器에 있었던 技術的 難點의 해소에 관계하고 있다.

日本の 각 플랜트도 1970년대에 특히 증기발생기에 關連되는 트러블이 있었다. 1980년에 關찰된 數値의 현저한 상승은 이와 같은 型的 爐에서 초기트러블의 해소를 말해주고 있다.

1984年12月31日 現在 350MW級以上の PWR 플랜트에서 5,000MW以上을 商業運轉으로 생산하고 있는 나라는 다음 5개국이다.

- 美國 : 50基, 42,726MW, 平均年令 9年
- 프랑스 : 28基, 25,165MW, 平均年令 4年

〈그림 7〉 PWR型爐의 利用率推移
 - 最大出力 > 350MWe (net)
 - 商業運轉
 - TMI 1과 TMI 2는 제외



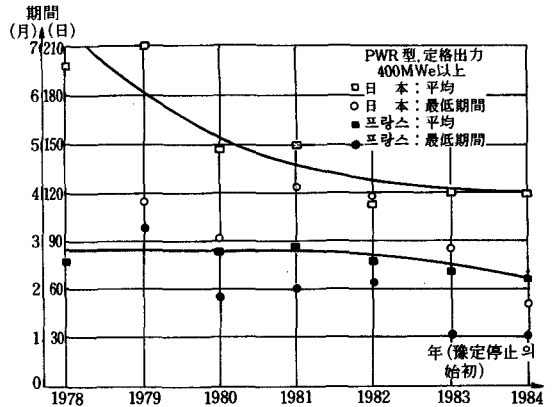
- 日本 : 11基, 8,030MW, 平均年令 7年
- 소련 : 11基, 6,979MW, 平均年令 9.5年
- 西獨 : 6基, 6,285MW, 平均年令 8年

設備利用率는 美國의 60%에서 西獨의 80%까지로 되어 있다. 1980년과 그 이전의 서독 실적은 1983년의 프랑스 실적 레벨이었다. 1984년에는 프랑스가 負荷追從運轉을 할 필요가 있었기 때문에 理論的利用率도 80%를 넘고 있다. 프랑스의 原子爐數가 약4배인데 그 평균연령이 4년이나 젊다(그림7)는 것을 생각하면 만족할 만한 결과이다.

(2) 稼働率

美國과 日本에서 널리 사용되고 있는 이 指標는 일정기간중에 送電網에 연결되어있는지 여부를 불문하고 그 플랜트가 商業運轉開始以來稼働하는 시간을 나타낸다. 1984년 프랑스에서 最良의 플랜트 10基를 보면 設備能力 8,970MW에 대해 稼働率은 89.3%에 달하고 있다. 전체로서 1984년의 실적은 일본이 73%, 프랑스가 83%이었다. 프랑스에서는 1982년과 1983년에 突發的稼働停止에 의한 손해가 없었기 때문에 이 차이는 定檢과 燃料交換을 위한 정지에서 생긴 것이다. 이로 인해 이와 같은 정지가 예정

〈그림 8〉 豫定停止의 平均期間 - 日本과 프랑스



되고 制御되어 있다는 것을 고려해서 베이스운전플랜트의 예정정지를 제외한 운전중의 이용률과 가동율은 송전망에 대한 플랜트의 전체평가를 훨씬 효과적으로 나타내는 것이다.

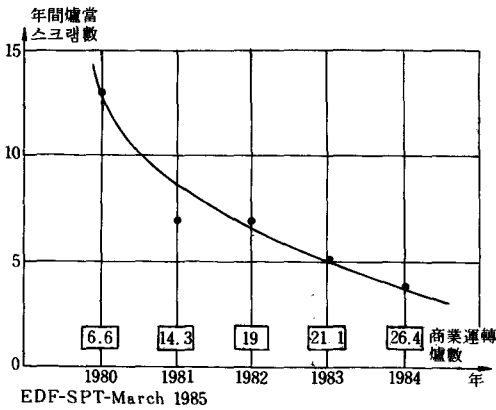
(3) 豫定된 停止期間

加壓水型原子爐의 운전은 斷續하고 있는 기간으로 나누어서 행해지는 것이다. 하나의 운전기간이 끝나면 플랜트는 정지되고 爐心の 3분의 1의 燃料를 교환하고 몇가지 점검과 보수가 실시된다. 運轉코스트를 억제하기 위해서는 이들 정지기간을 단축할 필요가 있다. 900MW級爐 1基의 1日 정지는 프랑스에서 평균 200만 프랑(\$30만)의 손해다.

점검과 예방보수계획의 규모나 修理變更場所의 量에 따라 정지기간은 各運轉期마다 다르다. 프랑스에서는 第1運轉期後에 3, 4個月의 「完全」點檢과 4~7주간의 「部分」的點檢이 반복된다. 年度別 停止期間의 平均推移를 그림8에 나타내었다. 프랑스의 목표는 全플랜트 平均으로 年間 豫定停止를 13%가 넘지 않도록 억제하는 것이며, 이 목표는 1984년에 거의 달성되었다. 또한 상업운전중 돌발정지목표가 5%(1984년에 프랑스의 각 플랜트는 平均하여 달성)이므로 이때의 稼働目標은 80%이상이다.

日本 PWR플랜트의 豫定停止期間은 이보다 상당히 긴것 같다. 처음부터 모든 정지(美浜1

(그림 9) 프랑스 : 年間爐當 平均緊急停止回數
 - 商業運轉中인 原子爐
 - 内部故障에 의한
 - 給電網에 接續中



號 제외)를 積算하면 年間 150日 이상인데, 현재는 약120일이다. 1984년 玄海2號의 정지(60일 이하)는 이 분야에서 많은 잠재적 진보의 가능성이 있음을 나타내고 있다. 경험을 활용하여 플랜트의 정지계획을 最良化하는 것은 稼動實績에 크게 작용하는 정지기간의 단축을 위해서 중요한 要素이다.

(4) 原子爐緊急停止頻度(그림9)

이 指標는 상당히 흥미가 깊은데 그 복잡한 성격때문에 國際比較에서는 신중을 요한다. 즉, 이 지표가 무엇을 나타내는가를 명확히 해두어야 한다. 그밖에 緊急停止로 유도하는 事情의 성격도 상당히 다른 종류로 나누어질 수 있다.

예를들면 機材의 信賴性, 原子爐保護系統의 리 단단시에 관한 방침, 보호계통에 대한 정기테스트 방침, 운전방식, 負荷追從運轉을 위한 機材로의 어세스頻도가 높은 경우 등이다.

프랑스에서는 1984년에 상업운전중인 900MW級 PWR 1基當 内部欠陥에 의한 自動緊急停止가 평균 4회이었다. 이 數値는 美國의 PWR(約 6回)에서 볼 수 있는 回數와 거의 비슷한데 일본 PWR의 回數(플랜트 年間當 0.5회 이하의 긴급정지)보다 상당히 많다. 이와 같은 것은 프

랑스에서는 이 분야에서 아직 개선의 여지가 있음을 나타내고 있다. 프랑스에서는 이들 強制停止의 형태를 잘 알고 있으며, 1次系統의 舉動을 개선하는 작업을 시작하고 있다.

(5) 放射能保護

전체 코스트의 관점에서 保守作業은 最良化가 되어야 하는데, 이 最良化는 작업원의 被曝이라는 희생에 의해서 이루어져서는 안된다. 발전소내의 개인 또는 集團被曝度를 감소시켜서 허용되는 레벨로 유지하는 것이 중요한 목표이다.

3. 展 望

경험의 활용과 國際比較에 의해서 성능의 개선이 가능해진다. 프랑스가 현재 연구개발하고 있는 미래의 방도는 다음과 같다.

運轉中 또는 곧 運轉을 개시하는 플랜트에 관해서,

- 人員訓練의 실시(프랑스에서는 1979년이후 熟生産部門의 2만5천명이 年間 1인당 80시간의 훈련을 받고 있다)

- 核燃料使用策의 最良化 : 技術的改善 : 運轉期間의 長期化

- 強制停止나 예정정지의 단축을 위해 작업의 조직이나 特別工具의 개발 등 保守面의 企劃實施方法의 개발 등을 하고 있다.

그외에 1990/2000년의 新世代 PWR도 거의 완성되고 있다. 프랑스의 N4計劃이나 일본의 新型PWR計劃 등이 그것이다. 각국의 움직임은 활발하며, 그 진전의 가장 현저한 성격은 세계규모로 공통의 가동목표, 즉 年間平均 80% 또는 그 이상의 목표로의 합류이다.

2000년에 프랑스의 原子力發電能力은 7萬 MW, 日本은 6萬MW에 도달한다. 이 數字는 기술의 계속성과 함께 兩國에서 원자력생산설비의 經濟的成熟度에 대한 신뢰를 의미하기도 한다.