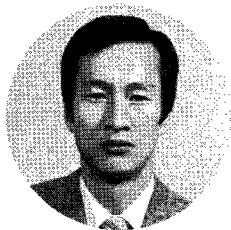


# '85年 原子力發電所 運營經驗

*Experiences obtained from NPP  
Operation in 1985*



李 泰 一

〈韓電 原子力發電處 原子力技術部長〉

## I. '85 原電의 意味

1985年은 우리나라 原子力發展史에 하나의 굵은 획을 긋는 時期로 기억될 것이다. 原子力이 도입된 지 10년, Reactor Year로 따져서 12年에 불과한 기간동안 얻어진 크고 작은 成果들과 만만찮은 挑戰들이 모여진 1985年은 成就에 따른 自負心과 그 자부심의 밑거름이 되는 苦痛스러운 教訓을 다른 어느 해보다 分明하게 提示하였다.

1985年은 먼저 우리에게 本格的인 原子力時代를 열어주었다. 본격적이라고 말할 수 있는 까닭은 단순히 原子力發電의 占有率이 1984年의 21.9%에서 1985年의 28.9%(施設容量은 '85에 18.3%)로 증가하였을 뿐 아니라 全世界的으로 原子力發電所의 標準設計概念으로 되어 있는 3Loop 950MWe級의 大容量 發電所 時代로 進入하였기 때문이다. 고리, 영광 및 울진의 3個 地域에서 同時에 建設中인 6基는 모두 P-WR 950MWe級으로서 表1에 나타나 있는 바와 같이 이미 준공된 5호기를 필두로 연속적으로 준공될 豫定이어서 3年内에 우리나라는 世界 尤수의 原子力發電國으로 성장하고, 이 발전소들의 建設과 試運轉 및 商業運轉過程에서 축적된 經驗과 技術은 2000年代의 原子力技術 自立에 至大한 寄與를 할 것이다.

또한 1985年에는 새로운 狀況展開에 能動的으로 對處하기 爲한 基盤造成에 注力하였다. 그 努力의 하나로 「原電 設備利用率 向上對策」의 마련을 들 수 있다. 實務者들의 刻苦의 노력과 政府의 지도, 겨려로 탄생한 이 計劃은 外資로 導入한 高價의 設備들을 最大限으로 活用하여 經濟性을 向上시키기 爲한 마스터 플랜으로서 發電所 運營 段階別로 最大의 效果를 거둘 수 있는 對策을 提示하고 있다. 勿論 本計劃은 細部的인 實踐計劃을 樹立하여 實施해야 하고, 試行錯誤를 거치면서 상당한 修正이 加해 지겠지만 최소한 全體的인 基本戰略과 對策을

Unit	착 공	준 공	노형 및 용량	NSSS	T/G
KNU 1	72.8	78.4	PWR 587	W	GEC
KNU 2	77.12	83.7	PWR 650	W	GEC
KNU 3	77.10	83.4	PHWR 678	AECL	BBH
KNU 5	79.4	85.9	PWR 950	W	GEC
KNU 6	79.4	86.3	PWR 950	W	GEC
KNU 7	80.12	86.12	PWR 950	W	W
KNU 8	80.12	87.9	PWR 950	W	W
KNU 9	82.3	88.9	PWR 950	FRA	ALSTHOM
KNU 10	82.3	89.9	PWR 950	FRA	ALSTHOM

〈表 2〉 '85年度 原電發電量 및 利用率

號 機	發 電 量 (MWh)			利 用 率 (%)		
	計 劃	實 績	實 績 率	計 劃	實 績	實 績 率
1	3,599,484	3,367,672	93.6	70.0	65.5	93.6
2	3,985,800	3,993,463	100.2	70.0	70.1	100.1
3	4,756,330	5,609,755	117.9	80.0	94.4	118.0
5	2,097,600	3,508,440	167.3	(50.0)	89.7	179.4
計	14,349,214	16,479,330	114.8	73.5	78.7	107.1

※ 6 호기 시운전 발전량 포함시 : 16,745,077MWh

保有하게 되었다는 점에서 意義가 크다고 하겠다.

## II. '85 原電 運轉實積 分析

### 1. 發電實積 및 利用率

原子力發電을 量的인 면과 質的인 면으로 區分하여 볼 때 發電實積은 量에 該當된다고 보겠다. 1985년의 原子力發電量은 1675억KWH로서 총발전량에 대한 점유비가 28.9%에 이르러 명실공히 원자력전력의 시대로 들어섰다 할 수 있겠다. 이와 함께 우리나라 原子力發電量累計가 500억KWH를 넘어섰다는 것도 指摘할 만하다. 1981년의 1號機에 이어 1985년에는 준공된 지 2년된 2號機와 3號機가 각각 100억KWH를 넘어섬으로써 상당한 實積을 保有한 成年의 문턱에 있음을 보여주고 있다(表2).

原電의 효율적 運營指標인 綜合利用率은 78.7

%로 세계의 原電保有 30여개국중에서 5위의 높은 수준에 도달하였는데, 원자력발전소 운전경험이 이제 겨우 7년을 넘어선 우리의 실정을 감안하면 자랑할 만한 일이다(表3).

특히, 加壓重水爐인 原子力 3號機가 94.4 %라는 놀라운 利用率을 달성함으로써 세계 350여기의 운전중인 원자력발전소중에서 6위의 성적을 나타낸 것은 경하할 만한 일로 생각된다(表4).

### 2. 事故停止分析

發電實積과는 正反對 概念인 사고정지는 年初의 目標가 21回였는데 比하여 實際 發生數는 33회로서 불만스러운 結果를 보여주었다(表5).

그러나 정작 종사자들에게 더 큰 苦痛을 준 것은 事故發生의 回數보다는 그 內容에 있다. 우선 다행스러운 것은 휴먼 에러에 의한 사고정지가 試運轉期間이 大部分이었던 5號機의 2

〈表 3〉 主要 原電保有國 綜合利用率

國 名	運轉基數	利 用 率 (%)	
		'84年	'85年(1~6月)
미 국	87	56.8	59.9
일 본	31	72.1	74.0
캐나다	15	73.3	64.6
프랑스	41	70.1	71.8
영 국	35	56.2	68.8
서 독	16	82.9	87.2
스위스	5	89.6	89.2
스웨덴	12	75.7	61.3
대 만	6	72.6	70.8
스페인	7	63.8	58.8

(84. 7~85. 6)

表 4  
上位 10개 發電所 利用率 實績

발전소명	국 명	이용율 (%)
St. Lucie 1	미 국	99.00
Pt, Lepreau	캐나다	97.04
Takahama 1	일 본	96.39
Miestone 1	미 국	95.57
Bruce 1	캐나다	94.61
Maine Yankee	미 국	94.06
9 Mile Pt	미 국	93.75
Ikata 1	일 본	92.82
Ohi 2	일 본	91.52
Zion	미 국	90.88

회를 제외하고는 한번밖에 없었다는 사실이다. 이는稼動中인 발전소의 技術人力水準의 向上과 꾸준한 교육훈련의 열매로 생각된다. 反面發電所의 經年化에 따른 機器劣化와 아직 우리가 갖고 있지 않은 노우하우가 있어야만 해결할 수 있는 원인들로 因하여 발생한 사고들은 技術自立을 위하여 반드시 풀어야 할 宿題들을 안겨주고 있다.

가. 蒸氣發生器細管漏泄(1號機)

加壓輕水爐의 증기발생기 세관 누설은 세계 여러 발전소에서 그간 많은 경험을 한 바 있으나 우리로서는 처음 겪은 일로서 많은 어려움

〈表 5〉 '85年 事故停止 分析表

(회)

발전소	기 기 고 장			오 조 작	계통과급	계
	기계	전기	계기			
KNU 1	2	1	4	1	1	9
KNU 2	1	1	13	0	0	15
KNU 3	0	2	0	0	1	3
KNU 5	2	0	2	2	0	6
계	5	4	19	3	2	33

과 교훈을 얻은 사고였다. 이는 原子力發電所의 수명기간중 필연적이라 할 수 있을 정도로 발생 빈도가 높은 사고로서 이에 대한 가능한 예방조치들을 취하여 왔으나 이번 사고로 더욱 根本的인 검토가 필요하게 되었다. 즉 水質管理方法, 증기발생기 세척방법, 停止中 機器保管 方法 및 세관와류탐상장비의 개선, 복수기와 열교환기의 재질 변경 등이 앞으로 研究檢討되어야 할 사항들이다.

나. 原子爐 制御棒 落下事故

준공 2년만에 214일 연속운전이라는 훌륭한 기록을 세운 2號機에 決定的인 손상을 입힌 사고가 바로 제어봉 낙하사고였다. 8月初의 年次定期補修後 3개월동안 各種 出力狀態에서 무려 11차에 걸쳐 제어봉 낙하로 인한 발전소 不時停止가 야기되었다. 이의 原因을 糾明하기 위하여 國內外 6개의 專門機關에서 20名の 高級人力이 長期間 投入되어 철저한 조사를 실시하였다.

調査는 기계적인 결함조사와 전기적인 결함조사로 나누어 실시하였는데 모든 관련 전기회로, 制御棒驅動裝置, 電源發生裝置, 원자로정지차단기, 母線 및 단자연결상태 등 모든 원인이 될만한 설비들을 點檢하였다. 즉, 제어봉계통중 原子爐容器속에 들어가 있는 일부 기계적인 부분을 제외하고는 모든 部分을 點檢한 것이다. 점검결과 사소한 몇가지 전기기계적 결함은 발견되었지만 연속적이고 불규칙적인 일

련의 낙하, 그것도 不特定多數의 同時 落下事故를 설명해 줄만한 완벽한 이유는 발견되지 않았으나 일련의 점검과 더불어 시행한 제어봉구 동장치용 전원공급라인의 중성점지선을 별도로 채후 2개월 이상 同一 사고가 발생하지 않고 있어 이 사고의 원인은 해소된 것으로 생각된다. 그러나 완전한 원인규명을 위하여 중요한 포인트마다 전자테이프 기록계와 소형 컴퓨터를 연결하여 순간 상황 포착을 위한 감시를 하고 있다.

#### 다. 發電機接地用 斷路機 損傷事故(5號機)

7月初 「발전기 고정자 냉각수 온도 높음」에 의하여 터빈이 정지되었다. 사고의 원인을 조사한 결과, 터빈 기동전에 주변압기 작업을 위하여 투입한 옥의 변전소의 접지단로기를 제거하지 않고 터빈을 Rolling시켜 속도가 1,290RPM에 도달한 순간 발전기에 전압이 인가되어 접지단로기의 일부가 소손되고 과도한 발전기 전류 및 고정자 냉각수 온도의 상승을 초래하였다. 각종 보호계전기의 정상적인 동작으로 발전기 및 주변압기의 건전성은 양호한 것으로 판명되어 손상된 접지용 단로기의 수리후 정상운전상태로 복구하였다. 복잡한 결과조치에 비하여 사고의 원인은 단순한 휴먼 에러에 起因한 것이었다. 작업자의 경험 부족과 관련 절차서 준수 미비로 인한 사고는 준공 직전에 있던 이 발전소에 값진 教訓을 주어 각종 운전절차서의 개정, 작업감독 강화, 운전원 훈련 강화, 주제어실의 직접 확인 감독기능 강조 등 여러가지 技術行政의 改善事項을 가져왔다.

#### 3. 核燃料管理

1985년에는 核燃料技術의 國産化를 위해서도 중대한 한 걸음을 내딛었다. 핵연료관리의 소프트웨어 기술인 노심 재장전 설계는 노심 배치 계산 및 안전성 분석시 韓電의 관련 기술자가 직접 核燃料供給會社에 가서 작업에 참여함으로써 상당한 技術을 蓄積하고 있다. 한편 하

드웨어 기술인 核燃料의 製作 및 수리는 한 걸음 더 앞서 나아가고 있다. 韓國에너지研究所에서 製作한 原子力 3號機用 핵연료 시제품 24개를 '84년 9월에 裝填하여 2차에 걸쳐 모두 방출하여 爐心内の 燃燒結果를 검토한 결과 캐나다 설계기준 이상으로 연소시켜도 어떤 결함발생의 징후도 보이지 않는 만족할 만한 품질이 있음이 판정되었다. 이 결과에 고무되어 계속 성능추적을 진행하면서 '86년에는 360, '88년에는 전량을 국산연료로 사용할 계획이다.

또 原子力 1號機에서는 상업운전의 초기에 原子爐容器 배플 벽의 젓트流로 말미암아 생긴 연료 파손을 수리하였다. 공급자인 웨스팅하우스 기술진의 지원을 받아 연료집합체의 Top Nozzle을 절단하고 기확인된 손상 연료봉을 새로운 연료봉으로 대체한후 Top Nozzle을 부착하는 작업인데 14개의 손상 핵연료를 사용후핵연료 저장지역의 수중에서 수리하는데 40일이 소요되었다. 처음 시도하는 작업으로서 난관도 많았으나 치밀한 준비와 원활한 협조로 성공적인 결과를 가져왔다. 수리된 연료들은 燃燒度의 정도에 따라 개량형 표준연료가 사용되기 전의 후속 주기에 모두 사용될 예정이다. 이 작업중 부수적으로 습득한 기술도 상당하다. 연료작업시의 방사선 피폭관리 요령, 수질관리 등을 통하여 품질관리를 강화하였고, 이번 손상 연료의 수리과정을 통하여 수중작업이라는 복잡하고 어려운 기술을 습득하였다.

### III. 原電 安全性 提高

#### 1. 設備改善

原子力發電所 機器設備의 性能을 개선함으로써 발전소의 安全性을 높이기 위한 노력은 '85년에도 꾸준히 계속되었다. '85년의 노력중 가장 두드러진 것은 TMI사고 후속조치중 미해결로 남아있는 事項들의 해결에 着手한 것이라 할 수 있을 것이다. 原子爐容器 및 加壓器 排氣設

備等原子爐 보호관련 설비의 설치 타당성 검토가 완료되어 후속조치가 진행중에 있다. 또한 事故의 판단 및 행동 결정을 위한 비상대응설비 (Emergency Response Facility)도 설치 원칙이 확정되어 현재 설비의 설치범위와 시기, 장소, 훈련 등 실무적인 기술적 문제점들이 검토 중이다.

安全設備와 병행하여 發電所의 效率과 信賴度를 높이기 위한 노력을 계속하였는데 1호기 습분분리기/재열기의 성능개선작업이 그 대표적인 것이다. 1號機의 效率低下要因中 대표적인 것으로 판명된 습분분리기/재열기의 성능개선 공사를 실시하여 내부의 熱交換 튜브를 모두 교체하고 노후된 밸브와 계기도 교체보정하였다. 교체후 韓電 및 施工業體인 韓國電力補修(株), 機器供給者인 SECO 합동으로 개조후 성능검사를 실시한 결과 개조전에 비하여 7.2MWe의 출력 증가를 가져왔다.

## 2. 安全點檢

'85年度에 原子力發電設備 安全點檢을 위하여 두가지 중요한 조치가 취해졌다. 그중 하나는 안전점검을 위한 독립기구의 新設이다. 品質管理室 機能의 일부로 수행되는 점검업무의 전담을 위하여 技術安全支援室을 발족시켜 건설중이거나 운전중인 발전소의 안전점검을 총괄하고, 對政府 안전업무의 窓口가 될 뿐아니라 優秀한 전문인력을 확보하여 기술지원을 제공하고 있다. 앞으로 本格的인 설비진단과 함께 고장에 의한 비상정지를 감소시키기 위한 諸般 對策을 樹立할 예정이다.

안전점검과 관련하여 또 하나의 중요한 활동으로서의 외국의 운전전문자문기구인 美國原子力發電協會(INPO)에 의한 발전소의 종합진단이다. '80년의 Levy조사단, '83년8월의 IAEA 진단, 동년 8월의 제1차 INPO 점검에 이어 네번째의 중요한 외국기관에 의한 점검으로서 '85년6월 중순 1주일 동안 8명의 전문가에 의

하여 原子力 2號機를 주대상으로 하여 점검이 진행되었는데, 주요 점검분야는 방사선관리, 비상관리 등 7개 분야였다. 점검결과 47개의 권고사항을 제안하였는데 이중 45개를 채택하여 14건은 조치완료, 16건은 조치중이고, 나머지 15건은 시간을 갖고 조치할 예정이다.

이 점검반은 점검소감으로서 발전소의 안전수준이 만족할 만한 상태이고, 發電所要員들의 자세가 적극적이고 성실하며 교육훈련의 노력이 돋보인다는 긍정적인 평가와 함께 部品調達體系의 개선과 방사선방호계획의 강화 및 주기적인 평가실시를 권고하였다. 앞으로도 韓電 自體點檢과 외부기관의 객관적 점검을 토대로 한 안전성 제고 노력은 계속될 것이다.

## 3. 原電 放射線災害 對策

'85년에는 非常時 방사선재해로부터 인근 주민과 종사자들을 安全하게 보호하기 위하여 상당한 노력을 경주하였다. 먼저 原子力發電所內에 방사선 재해대책을 전담할 재해대책부를 新設하여 각종 재해대책을 수립하여 훈련을 실시하고 평가하는 기능을 담당하게 하였다. 각 발전소 단위로 만들어져 있는 방사선비상계획을 수정보완하고, 훈련용 사고 시나리오를 개발하여 실시함으로써 비상시 대응태세를 확립하도록 노력하였다. 이 시나리오는 앞으로 계속적인 훈련을 통하여 보완될 것이다.

'85년도 비상훈련은 규모에 따라 발전소별로 분기에 1회씩 실시하는 부분훈련, 한 발전소를 대상으로 ('85년의 경우 고리 제2발전소) 韓電 自體計劃으로 실시하는 전체훈련 그리고 民官 合同으로 이루어지는 1회의 합동훈련 등 모두 14회 실시되었다. 특히, 원자력 3호기에서 실시된 합동훈련에는 한전의 3개 지역과 과학기술처 안전센터, 도 및 군 관계 공무원들이 참여한 民官合同訓練으로서 자체대응능력과 관련 기관간의 유기적인 협조체제 강화가 목적이었다. 총 244명이 참가하여 실제 행동과 도상연습을

〈表 6〉中長期 利用率 向上計劃

구분 \ 년도	86	87	88	89	90	91	2000
운전기수	4	6	7	8	9	9	14
이용률(%)	72.4	73.1	73.7	74.3	75.1	75.7	80.0

병행한 이 훈련결과에 대하여 세밀한 분석이 행하여졌다. 훈련요원의 자세가 적극적이고 例年에 비하여 훨씬 향상된 훈련이었으나, 훈련도중 평소에 드러나지 않았던 문제들도 상당히 도출되어 그에 대한 적절한 해결방안을 강구하게 되었다.

'85년중의 안전성 제고노력과 관련하여 한가지 중요한 변화는 안전성 제고를 경제성과 연결하여 검토하기 始作하였다는 것이다. 모든 設計와 規制의 根底에 깔려있는 假定, 즉 Source Term이 과연 合理的이고 實際的인 妥當性을 갖느냐 하는 반성과 함께 再檢討의 움직임이 胎動한 것이다.

Source Term이 과대하게 정해졌다는 것은 TMI사고의 결과가 逆說적으로 잘 증명하고, 미국의 기준에 전적으로 따르지 않는 프랑스나 日本 등이 더 경제적이고 효율적인 建設과 運轉을 하면서도 높은 信賴度를 유지하고 있는 것은 우리에게 重要한 示唆을 던져주고 있다.

#### IV. 原電 設備利用率 向上對策

脱油電源開發의 지속적인 노력으로 原子力發電의 占有率이 꾸준히 增大되어 감에 따라 앞으로는 우리나라 發電의 主宗이 原子力으로 이루어질 展望이다. 이에 따라 經濟的 利用을 爲한 原電 利用率 向上이 필수과제로 登場하게 되었다.

'85년에 마련한 原電 利用率 向上對策에 따르면 1991년까지 平均利用率 75%, '2001년에 80%를 目標로 하고 있다. 이 目標의 達成을 위한 구체적인 실천 계획으로서 고장정지회수를 감소하고, 정기보수기간을 단축하며 核燃料週期를 연장하는 한편 출력운전중 부하율을 높일

수 있는 각종 방안들을 마련하여 推進하고 있다. 이러한 일련의 계획들은 設計 및 施工段階, 試運轉段階, 發電所 運轉 및 補修段階 등 각 단계별로 필요한 조치를 취하게 될 것이다. 이 계획이 順調롭게 진행된다면 原電의 經濟性 向上과 더불어 安全性 및 信賴度 向上에 큰 효과를 줄 것으로 예상된다.

表 6에 나타나 있는 利用率 向上에 따른 可視的 計量的 効果에 덧붙여서 非計量的 効果인 技術自立的 基盤擴充이라는 면을 무시할 수가 없다. 이 계획속에 포함되는 발전소 운영관리의 표준화·전산화, 인력개발, 교육시설 확장 및 체제정비 등의 일관된 노력을 傾注하는 동안 우리 體質에 적합한 고유의 技術構造를 定着시키리라 믿는다.

#### V. 結 語

다른 分野에서도 마찬가지겠지만 특히 經驗과 技術蓄積의 年輪이 짧은 原子力發電分野에서 '85年度에 얻은 成果와 教訓을 앞으로의 發電所 運營에 反映시키는 것은 매우 重要한 일이다. 利用率 向上을 爲하여 세운 綜合對策을 일관성 있게 推進하여 나가면서 새로운 技術을 果敢히 收容하고 消化시켜 技術自立을 實現할 것이다. 이를 爲해서는 構成員의 資質을 높이는 것이 가장 重要한 과제로 提起되고 있다. '86년에는 設備改善 못지않게 職員의 資質向上에 努力할 것이다. 時期適切하게 人力開發팀이 作成한 人力基本計劃의 實踐과 步調를 맞추어 教育訓練이 強化될 것이다. 특히 實務能力 向上을 爲한 現場教育이 強調될 것이다.

꾸준한 설비진단과 개선을 통한 效率과 安全性의 提高, 非常計劃 確立과 放射線管理能力 向上, 企業의 社會的 責任遂行을 爲한 弘報 등을 持續적으로 推進하면서 우리 公社의 目標이자 부여받은 使命인 에너지建設의 先導的인 役割을 担當해 나갈 것이다.