

美國原電의 不時運轉停止 經驗

美國原子力規制委員會(USNRC)의 原電運轉資料 分析 및 評價에 의하면, 1988年度에 美國內 原電에서의 不時運轉停止 빈도가 淸목하게 감소하였다. 다음은 NRC의 Lawrence G. Bell氏가 美國原子力學會(ANS) 年次大會에서 발표한 내용이다.

미국 원전의 계획의 불시운전정지 빈도는 1987년도에 비해 1988년도에는 감소되는 추세를 보였다. 이와 같은 불시운전정지 빈도의 감소추세의 중요한 요인은 예년과 달리 신규원전(운전인가 2년 이내의 원전)의 성능이 크게 향상된 결과이다. 즉, 그동안 이들 신규원전은 비교적 높은 불시운전정지 빈도(예를 들면, 1,000임계시간당 3회 이상의 운전정지 빈도)를 보였는데, 1988년도에는 상당히 감소되었기 때문이다.

운전인가후 2년 이상 운전을 해온 기존원전의 불시운전정지자료를 검토해 보면, 기존원전에서도 1988년도에 淸목할만한 불시운전정지 빈도의 감소가 이루어졌음을 알 수 있다. 이들중 일부는 1988년도에 단 한번의 불시운전정지도 없이 운전되었다. 최근의 자료(1988년도 4/4분기와 1989년도의 1/4분기)에서는 불시운전정지 빈도가 안정된 상태에 들어간 것으로 나타났다. 원전 소유자그룹과 원전운전을 직접 맡고 있는 각각의 발전소들은 포괄적인 활동을 통해 더한층 성능 향상을 목표로 불시운전정지의 감소를 위해 계속 노력을 기울여야만 한다.

1984년부터 1988년까지 달성한 미국원전의 불시운전정지 빈도의 감소는 미국 원자력산업계

가 이룩한 淸목한만한 업적이다. 이것은 각각의 발전소와 원전소유자그룹 및 산업계 전반의 노력의 성과이다.

1989년 3월에 발간된 NUREG-1275의 제 5권 “운전경험피드백보고서-불시운전정지 감소진전”에는 이러한 감소추세를 달성할 수 있게 한 중요한 요인과 활동이 분석되어 있으며, 또한 핵증기공급계통(NSSS) 공급업체별 원전의 불시운전정지 감소계획이 논의되어 있다.

結 果

NUREG-1275의 제5권에 의하면 1984년도부터 1987년도까지의 원전 불시운전정지 감소는 주로 기존원전의 성능 향상에 의한 것이었다. 한편, 1988년도의 자료에서는 신규원전의 성능곡선이 전체 원전의 불시운전정지 빈도를 낮추는데 주된 영향을 미친 것으로 나타났다. 앞으로는 기존원전에 대해서도 가일층 노력을 경주함으로써 불시운전정지의 빈도가 더욱 감소될 것으로 예측된다.

1988년도의 기존원전 불시운전정지자료에서는 핵증기공급계통과 보조설비부문(Balance of

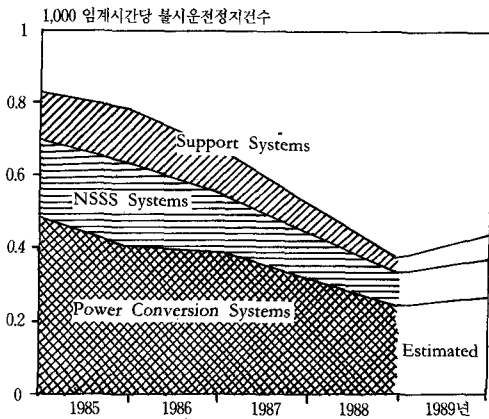
Plant)의 성능 향상이 상당히 진척된 것으로 나타나 있다. 이 부문을 더한층 개선하는 과제는 원자력산업계의 크나 큰 도전이다. 1989년도 초의 기존원전의 불시운전정지 빈도는 1,000임계 시간당 약 0.46회 정도로 추산된다.

1989年度の 評價

1984년도부터 1988년도까지 기존원전의 불시운전정지 빈도를 분기별로 나누어보면 제 1/4 분기의 불시운전정지 빈도가 그 해의 평균 불시운전정지 빈도와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 표 1에 이같은 비교결과를 제시하였다.

〈표 1〉 기존원전의 1/4분기와 연평균의 비교(1,000 임계시간당 불시운전정지)

	1984	1985	1986	1987	1988	1989
First Quarter Rates	0.89	0.75	0.65	0.51	0.39	0.46
Annual Rates	0.83	0.79	0.68	0.52	0.39	0.46



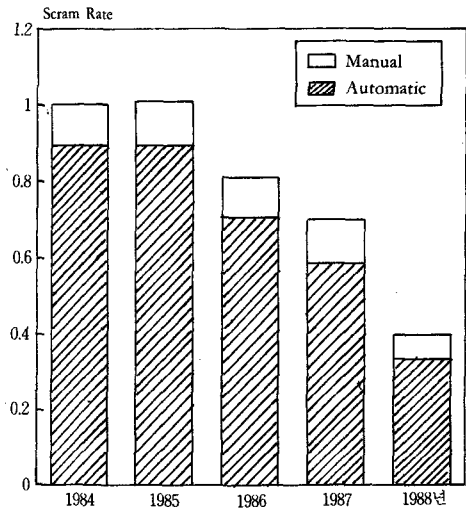
〈그림 1〉 미국 기존원전의 불시운전정지 감소추이 (원인 계통별)

이 상관관계로 부터 1989년도의 기존원전의 불시운전정지 빈도는 1988년도와 거의 같거나 근소하게 증가할 것으로 예측할 수 있다. 그러나 이것은 단지 예측일 따름이다. 1989년도의 잔여 기간동안 불시운전정지 빈도를 제1/4분기 보다

더 감소시킬 수도 있고, 더 나아가서 1988년도의 불시운전정지 빈도보다 더 낮게 할 수도 있다(최근에 집계된 기존원전의 자료에서는 제1/4분기의 불시운전정지 빈도가 1,000임계 시간당 약 0.45회로 나타났다).

1988年度の 經驗

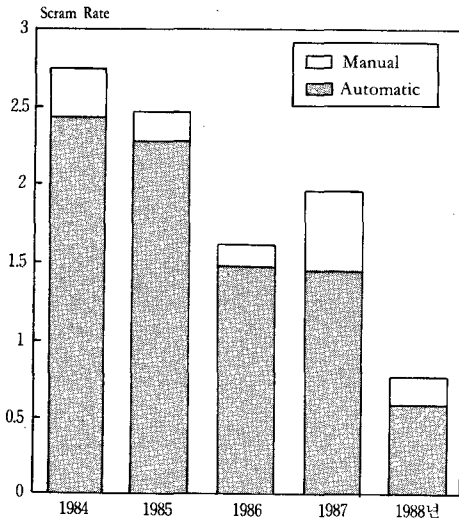
미국 전체 원전의 불시운전정지 빈도는 1987년도와 비교하여 1988년도에 39% 감소했다(1987년도의 1,000임계시간당 0.71회에서 1988년도에는 0.43회로 감소했다). 그림 2에 1984년도부터 5년간의 미국원전의 불시운전정지 빈도를 나타냈다. 수동운전정지와 자동운전정지 모두 감소되고 있음을 알 수 있다.



〈그림 2〉 미국 경수로의 계획외 불시운전정지 추이 (1,000 임계시간당 불시운전정지)

1988년도에는 총 286회의 경수로 원전 불시운전정지가 발생했다. 1987년도의 430회와 비교하면 144회가 감소했다. 신규원전의 경우에는 1987년도에 비해 99회의 불시운전정지 빈도가 감소했다. 신규원전의 이같은 불시운전정지 감소

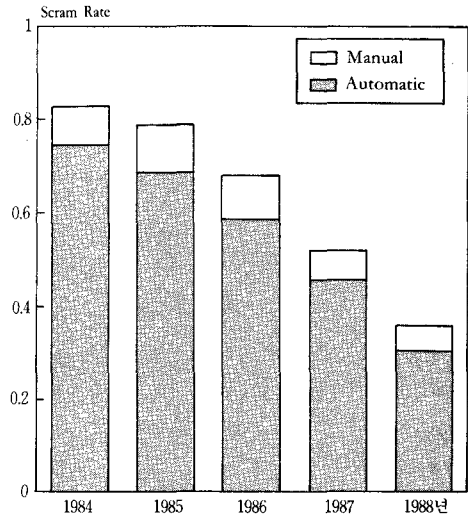
는 1988년도에 가동을 시작한 원전의 수가 적고, 1987년도에 가동을 시작한 원전도 그 성능이 향상되었기 때문이다. 이들중 일부는 비교적 높은 불시운전정지 빈도(1,000임계시간당 3회 이상의 불시운전정지 빈도)에서 팔목할 만큼 감소되었다. 따라서 1988년도의 원전 전체의 불시운전정지 빈도 감소는 주로 신규원전의 기여에 의한 것이었다. 그림 3은 신규원전의 최근 5년간 불시운전정지 빈도추세를 나타낸 것이다.



〈그림 3〉 신규원전의 계획외 불시운전정지 추이 (1,000 임계시간당 불시운전정지)

기존원전의 불시운전정지 빈도는 1987년도의 총 276회에서 1988년도에는 총 231회로 45회가 감소되었다. 1987년도와 1988년도 사이에 CE사와 GE사의 핵증기공급계통을 설치한 원전이 가장 많은 불시운전정지 빈도의 감소를 가져왔다.

그림 4는 기존원전의 전반적인 불시운전정지 빈도 감소추세를 보여준다. 1988년도의 연간 기존원전 불시운전정지 빈도는 1,000임계시간당 0.39회였다.



〈그림 4〉 기존원전의 계획외 불시운전정지 추이 (1,000 임계시간당 불시운전정지)

1988년도에 운전인가기간이 2년을 넘은 원전 중 10기의 원전이 1988년도에 1,000임계시간당 평균 1.01회의 불시운전정지 빈도를 보여 전체 평균 불시운전정지 빈도를 약간 증가시켰다. 이 원전들은 1988년도에 총 31회 불시운전정지 되었는데, 이는 총 기존원전의 불시운전정지 빈도의 14%에 해당한다.

원전의 불시운전정지 빈도 감소추세를 기존원전의 핵증기공급계통 성능 향상에 초점을 두고 검토해 볼 수도 있다. 1985년도와 1987년도에는 Westinghouse사가 설계한 핵증기공급계통(NSSS)의 주급수공급계통의 성능 향상으로 전체 원전의 불시운전정지 빈도가 감소했다. 그리고 1986년도에는 GE사가 설계한 NSSS의 발전소에서 불시운전정지를 야기시키는 원자로보호계통(RPS)의 감소가 불시운전정지 빈도 감소에 가장 큰 기여를 했다. 또한 1988년도에는 CE사가 제작한 NSSS의 주급수공급계통과 터빈계통의 성능 향상 및 GE사의 NSSS의 전반적인 성능 향상이 불시운전정지 빈도를 크게 감소시켰다.

WH社製 NSSS 原電

Westinghouse사가 설계한 기존원전의 임계운전 시간은 1988년도 전체 원전 임계운전시간의 약 40%에 상당하며, 불시운전정지는 전체의 52%를 차지했다. 이들 원전은 1987년도와 비교하면 1988년도에 1,000임계시간당 불시운전정지 빈도가 0.49회에서 0.45회로 감소했으나, 감소의 폭은 비교적 적다.

예년에는 주급수공급계통에서 야기된 불시운전정지의 감소가 전체 원전 불시운전정지 감소의 선도적 역할을 했으나, 1988년도에는 이에 의한 불시운전정지 빈도가 오히려 증가했다. 1988년도에 이들 기존원전이 비교적 소폭의 불시운전정지 빈도 감소를 나타낸 것은 주급수공급계통을 제외한 모든 계통에서 불시운전정지 요인이 전반적으로 조금씩 감소되었기 때문이다. 표 2에 Westinghouse사 기존원전의 불시운전정지 빈도를 불시운전정지를 유발시킨 계통별로 분류하여 나타내었다.

GE社製 原電

GE사가 설계한 기존원전에서는 1987년도와

비교하여 1988년도에는 1,000임계시간당 불시운전정지 빈도가 0.54회에서 0.39회로 괄목할 만큼 감소했다. 이처럼 1988년도에 크게 향상된 것은 1987년도와 1988년도에 운전을 개시하였으며, 1988년도에 단 한번도 불시운전정지가 되지 않은 5기의 원전 때문이다. 이들 원전이 총 20회의 불시운전정지 빈도를 감소시켰다.

1988년도에 가동된 25기의 원전중 12기에서 불시운전정지 빈도가 감소했다. 이해의 1년간 주급수공급계통에서 비롯된 불시운전정지가 1984년 이후 처음으로 크게 감소되었다. 그렇지만 터빈계통과 원자로보호계통에 의한 불시운전정지 빈도는 1986년 이후 계속 일정한 수준을 유지하고 있다. 1988년도의 전체적인 불시운전정지 빈도 감소는 주로 설비고장으로 인한 불시운전정지 빈도가 감소했기 때문이다.

표 3에 GE사의 기존원전의 불시운전정지 빈도를 원전계통별로 분류하여 나타내었다.

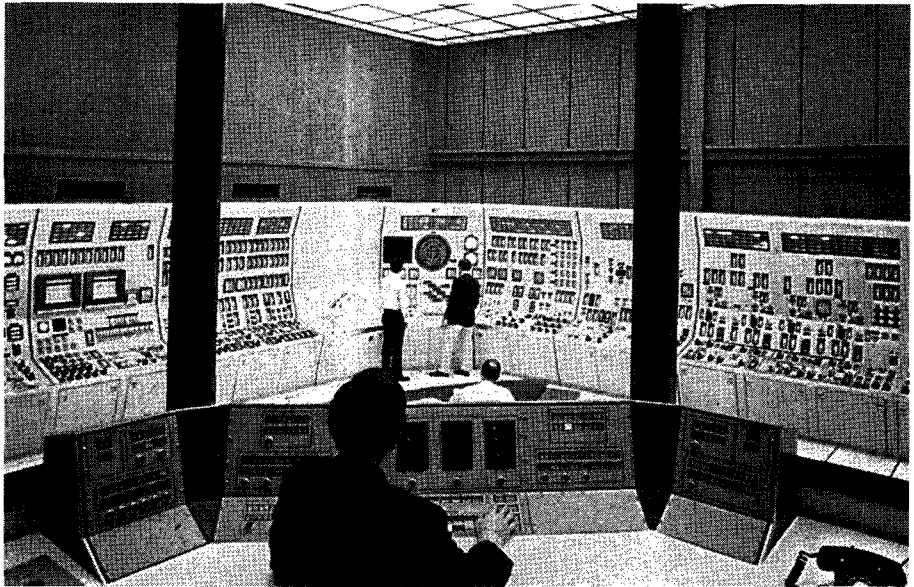
CE社製 原電

CE사가 설계한 기존원전은 1987년도에 비해 1988년도에는 총 30회의 불시운전정지 빈도가 감소되어 54%의 감소를 가져왔다. 이것은

〈표 2〉 WH社製 NSSS 기존원전의 원인계통별 불시운전정지

Systems	Scrams per 1000 Critical Hours					
	1984	1985	1986	1987	1988	1989*
Main Feedwater	0.34	0.18	0.21	0.10	0.14	0.19
Reactor Protection	0.16	0.14	0.13	0.09	0.10	0.04
Electrical Distribution	0.16	0.16	0.10	0.05	0.04	0.01
Main Turbine	0.11	0.05	0.12	0.10	0.06	0.09
Main Generator	0.08	0.05	0.02	0.04	0.02	0.03
Control Rod Drive	0.02	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03
Other	0.02	0.04	0.05	<0.01	0.02	0.01
Reactor Coolant	0.06	0.03	<0.01	0.03	0.01	0.03
Main Steam	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.07
Condensate	0.04	0.04	0.02	0.01	0.01	0.03

*1989년은 1/4분기



〈표 3〉 GE社製 NSSS 기존원전의 원인계통별 불시운전정지

Systems	Scrams per 1000 Critical Hours					
	1984	1985	1986	1987	1988	1989*
Main Feedwater	0.11	0.10	0.12	0.13	0.06	0.02
Main Turbine	0.13	0.13	0.09	0.08	0.08	0.09
RPS	0.12	0.17	0.07	0.07	0.06	0.07
Main Steam	0.13	0.07	0.06	0.05	0.02	0.09
Electric Distribution	0.05	0.10	0.07	0.05	0.02	0.09
Condensate	0.07	0.07	0.09	0.04	0.03	0.02
Other	0.05	0.03	0.05	0.03	0.02	0.02
Main Generator	<0.01	0.05	0.02	0.06	0.07	0.00
Reactor Recirculation	0.04	0.03	0.03	0.01	0.02	0.00
Control Rod Drive	0.02	0.04	0.03	0.01	0.01	0.02

*1989년은 1/4분기

1,000임계시간당 0.67회에서 0.28회의 불시운전정지 빈도 감소를 나타낸다. 주급수공급계통과 터빈계통 및 발전기계통 등 2차계통에서 비롯된 불시운전정지 빈도의 감소가 가장 큰 요인이다.

주급수공급계통에 의한 불시운전정지를 검토해 보면 1988년 이전에는 1,000임계시간당 0.22회의 불시운전정지율을 유지해 왔으나,

1988년도에는 0.09회로 줄어들어 1년 사이에 60%가 감소했다. 터빈계통에서 유발된 불시운전정지는 1985년도부터 1987년도까지 1,000임계시간당 0.09회로 지속되었으나, 1988년도에는 이 계통에 의한 불시운전정지가 전혀 발생하지 않았다. CE사 발전소의 불시운전정지 빈도 감소 중 1988년도의 불시운전정지 감소는 주로 설비 고장에 의한 불시운전정지의 감소 때문이다.

〈표 4〉 CE社製 NSSS 기존원전의 원인계통별 불시운전정지

Systems	Scrams per 1000 Critical Hours					
	1984	1985	1986	1987	1988	1989*
Main Feedwater	0.23	0.23	0.18	0.22	0.09	0.05
Main Turbine	0.07	0.09	0.08	0.11	0.00	0.05
Electrical Distribution	0.09	0.05	0.11	0.07	0.03	0.05
Control Rod Drive	0.13	0.15	0.03	0.02	0.00	0.00
Reactor Protection	0.13	0.05	0.08	0.05	0.03	0.14
Reactor Coolant	0.09	0.08	0.08	0.04	0.02	0.00
Main Generator	0.00	0.08	0.05	0.07	0.04	0.00
Main Steam	0.05	0.06	0.04	0.02	0.01	0.00
Condensate	0.00	0.02	0.07	0.04	0.02	0.00
Other	0.05	0.02	0.01	0.04	0.01	0.00

*1989년은 1/4분기

〈표 5〉 B&W社製 NSSS 기존원전의 원인계통별 불시운전정지

Systems	Scrams per 1000 Critical Hours					
	1984	1985	1986	1987	1988	1989*
Main Feedwater	0.19	0.42	0.14	0.14	0.14	0.08
Main Turbine	0.04	0.17	0.08	0.02	0.04	0.17
Reactor Protection	0.08	0.07	0.05	0.04	0.00	0.08
Electrical Distribution	0.04	0.12	0.05	0.04	0.02	0.17
Condensate	0.02	0.00	0.08	0.02	0.02	0.00
Main Generator	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.08
Control Rod Drive	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.08
Main Steam	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00
Other	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.08

*1989년은 1/4분기

표 4에 CE사 기존원전의 불시운전정지 빈도를 원인계통별로 분류하여 나타냈다.

B&W社製 原電

B&W사제 기존원전에서는 1988년도에 총 14회의 불시운전정지가 발생했다. 이들중 9회가 주급수공급계통에서 유발되어 1988년도에도 여전히 주급수공급계통이 불시운전정지의 가장

큰 요인이었다. 1985년도에는 주급수공급계통에서 비롯된 불시운전정지 빈도가 1,000임계시간당 0.42회로 최고치를 기록했으며, 1986년도부터 1988년도까지 0.14회로 일정수준을 유지하였다. 전체적인 불시운전정지 빈도는 1987년도의 0.33회에서 1988년도에는 0.27회로 감소했다.

표 5에 B&W사 기존원전의 불시운전정지 빈도를 원인계통별로 분류하여 나타냈다.