

표준형 원전 정비효과 감시 기술 개발 및 적용 방안 연구

Study of Application and Development of Monitoring Technologies for Maintenance effectiveness at KSNP

최광희, 정현종, 지문학, 서미로, 홍승열
 한전 전력연구원
 대전광역시 유성구 문지동 103-16

확대 요약

1. 개요

원전의 안전성 및 불시정지 예방을 위한 원전 운영관리 방법으로 지금까지 결정론적 해석에 의한 규정적 요건에 의해 이행 되어온 관리 방법을 성능기반 및 위험도 정보 활용 기법을 활용하는 방향으로 전환해 가고 있다. 이러한 원전의 운영관리의 일환으로 1996년 7월부터 미국 원전에서 적용하고 있는 정비규정(Maintenance Rule, 10CFR 50.65) [1]을 2006년에 국내 표준형 원전에 적용하기 위해 2003년 10월부터 정비효과 감시 기술을 개발하고 있다. 현재까지 전체 계통을 대상으로 정비효과 감시 대상 범위를 선정하였고, 기능의 위험 중요도 수준을 PSA(Probabilistic Safety Assessment) 방법 및 Delphi 평가 방법을 이용하여 평가하였다. 단계별 평가 및 결정은 발전소의 전문가를 포함하는 8인의 전문가 위원회를 구성하여 각 분야의 전문가 의견을 수렴하였다. 본 논문에서는 현재까지의 기술 개발 결과와 향후 국내 원전에의 적용을 위한 발전적 적용 방안에 대해 제시하고자 하였다.

2. 방법 및 결과

2.1 정비효과 감시대상 범위 선정

2.1.1 감시대상 범위 선정시 고려사항

선정 기준은 NUMARC-93-01 기준 [2]을 활용 하여 7개 기준으로 구분하였다. 이 기준은 안전 등급에 3개 기준, 비안전 등급에 4개 기준으로 분류된다. 그러나 기능이 안전한가 아닌가 하는 기준은 SSC의 분류기준에 의해 분류하다 보면 기기는 안전등급으로 설계되어 있어도 기기가 포함된 기능은 안전등급이 아닌 경우가 있었다. 이러한 점을 고려하여 기능의 속성이 어떤 기능인가에 의해 안전등급여부를 평가하는 것이 바람직하다. 그리고 비안전등급 4의 적용시 원자로 정지에 대한 논의가 있었으며 다음과 같은 결론을 얻었다. 표준형 원전에서는 터빈정지를 일으키더라도 반드시 원자로정지를 유발하지 않는 설계특성을 갖으므로 이를 고려하여 평가 한다.

2.1.2 감시 대상 범위 선정 결과

일차적으로 선정된 계통의 기능은 전문가 위원회의 논의를 거쳐 다음과 같이 안전기능(SR), 비안전기능(NSR) 및 범위에 포함되지 않는 기능(Out-Scope)으로 분류하여 선정되었으며 그 결과는 [표 1]과 같다.

[표.1] 정비효과 감시 대상 범위 선정 결과

구 분	1 차측 기계	2 차측 기계	전기	계측	소계
계통수	39	52	19	25	135
기능수	231	224	62	90	607
SR	94	39	15	38	186
NSR	28	64	26	15	133
Out-Scope	107	120	21	34	282
Deleted	2	1	0	3	6

전체 계통을 대상으로 총 607개 기능에서 감시대상 기능으로 선정된 기능은 319개 기능으로서 전체의 53%가 해당되었으며, 47%는 감시대상에 포함되지 않는 것으로 나타났다.

2.2 중요도 수준 결정

위험 중요도 수준 평가는 정량적인 방법과 정성적인 방법을 병행하여 평가하였다. 정량적인 평가는 PSA 분석에 모델된 경우에 중요도 값을 사용하여 평가하며, 정성적인 평가는 PSA에 모델되지 않은 경우를 포함한 모든 감시 대상 기능에 대해 델파이 기법을 이용하여 평가하였다. 이 두 가지 평가를 종합하여 전문가 위원회에서 중요도 수준을 결정하였다.

2.2.1 PSA 결과를 이용한 평가

PSA 결과를 이용하여 위험도에 미치는 영향이 큰 SSC를 선정하는 방법은 여러 가지가 있는데, 본 연구에서는 NUMARC 93-01에서 제시하고 있는 위험도 감소 가치(Risk Reduction Worth ; RRW), 위험도 달성 가치(Risk Achievement Worth ; RAW) 그리고 노심손상빈도(Core Damage Frequency ; CDF)를 이용하여 평가하는 방법 세 가지를 모두 사용하였으며, 보수적으로 세 가지 기준중 하나라도 기준을 초과하면 위험도가 높은 것으로 평가하였다. 사용된 PSA 모델은 울진 3,4 호기 건설 및 운영을 위한 인허가 심사 요건으로 수행된 모델을 사용하였으며 주요 10개 기능에대한 PSA 위험 중요도(Risk significance)를 Mapping 하여 [표 2]와 같은 결과를 얻었다.

[표 2] PSA 위험 중요도 Mapping 결과

기능 ID	누적 CDF 90%	RRW	RAW
AF-01	yes	1.0276	4.8562
AF-02	yes	1.01	50.36
SX-01	no	no	no
CD-01	yes	1.0031	1.0099

VY-01	yes	1.0055	23.6971
FP-02	no	no	no
RP-01	yes	1.0397	1845.3
SY-01	yes	1.0517	1.7496
AN-01	no	no	no
CV-21	no	no	no

2.2.2 델파이 중요도 평가

각 분야 전문가로 구성된 전문가 위원회를 통 하여 전문가 의견 추출법인 델파이 평가 방법을 사용하여 정비효과 감시대상으로 결정된 기능별 중요도 평가를 수행 하였다. 중요도 수준을 결정하는 경계치는 평가대상 계통의 가중치의 최대치를 모두 더하여, 이 값의 70%값인 404 를 경계치로 설정 하였다. 그 결과 10 개 기능중 2 개의 기능을 제외한 8 개 기능이 중요도 수준이 High 로 나타났다.

2.2.3 전문가 위원회를 통한 위험중요도 결정

델파이 중요도 평가결과와 PSA 중요도 평가 결과에 대해 전문가 위원회(E.P)에서 최종적으로 위험 중요도를 결정하였다. 그 결과는 [표.3]과 같다.

[표.3] 위험 중요도 평가 결과

기능 ID	기능 명	위험 중요도 결정		
		Delphi	PSA	E.P
AF-01	S/G 에 비상 급수공급	High	Yes	Yes
AF-02	고장난 S/G 격리	High	Yes	Yes
SX-01	CCW 해수냉각수 공급	High	-	Yes
CD-01	배출증기 회수 기능	Low	Yes	Yes
VY-01	ECCS 실내환경 제어	High	Yes	Yes
FP-02	화재구역별 소화기능	High	-	Yes
RP-01	원자로 정지신호제공	High	Yes	Yes
SY-01	송전 및 수전 기능	High	Yes	Yes
AN-01	주요 경보 및 상태지시	High	-	Yes
CV-21	보조건물 RCS 누설회수	Low	-	no

2.3 향후 이행에 따른 발전적 적용방안

2.3.1 기능중심으로의 전환에 대한 인식 변화

지금까지의 정비관리 방법은 고장정비 및 운전중 예방정비 그리고 계획예방정비에 의해 수행되어 왔다. 이러한 방법은 주요 기기를 중심으로 접근하는 방법이다. 그러나 이를 감시하는 성능기준이 기기의 신뢰도에 국한된다는 약점이 있다. 기기의 성능은 발전소의 어떤 기능에 영향을 미치는지 결정되어야 하고, 기능 중심으로 성능이 감시되어야 한다. 이를 위해서 정비효과 감시 기술 적용은 기능중심으로의 전환을 의미한다. 이에 대해서

산업체에서는 지금까지 관리해온 정비관리의 방향이 기기중심에서 기능중심으로 전환함에 따른 운영 관리의 변화를 수용할 준비가 필요하다. 기능중심의 관리는 기기별 기능 주체(기계, 전기, 계측제어 분야등)에 의한 관리에서 통합적 기능 주체(NSSS, T/G, BOP)에 의한 관리가 요구된다.

2.3.2 기기의 신뢰도 개선 과정(ER : Equipment Reliability Process)과의 연계 전략

기능 중심에 의한 전환은 기능의 중요도에 따라 해당되는 기기를 얼마만큼의 강도로 점검 및 정비할 것인가를 결정하게 된다. 따라서 기기의 신뢰도를 증진하기 위한 ER 프로세스와의 연계는 필수적이다. 즉 중요기능에 할당된 기기 중심으로 정비 및 점검을 강화하도록 하는 전략이 필요하다.

2.3.3 2차 계통의 출력감발 대상에 대한 고려

정비규정은 발전소 안전성 및 원자로 불시정지를 일으키는 기능중심을 대상으로 하므로 상대적으로 BOP 계통이 많이 제외된다. 이에 대한 방안으로는 기능선정 및 중요도 평가 그리고 성능 감시에 대한 별도의 기준이 필요하다. 여기에서 고려해야 하는 항목은 터빈 정지 또는 출력 감발을 일으키는 기능, 다중성과 다양성을 감소시키는 기능, 정비비용이 높거나 정비기간에 영향을 주는 기능 등을 고려할 수 있다.

3. 결론

원전의 안전성 향상 및 불시정지 예방을 위하여 원전의 정비 효과 감시 대상 기능으로 전체의 약 53%의 기능이 선정되었다. 그리고 위험 중요도 수준 평가를 위해 PSA 의 리스크 정보를 활용하였다. 이는 앞으로 이들 기능에 대한 성능감시의 기준을 중요도 수준에 따라 차별적으로 관리 할 수 있게 한다. 즉 한정된 정비관리 자원을 중요도가 높은 기능에 집중함으로써 효과적인 감시와 정비를 수행할 수 있게 한다. 또한 이 기술을 발전소에 이행 시 고려해야 할 발전적 적용방안을 제시하였다.

REFERENCES

[1] U.S. Nuclear Regulatory Commission, 10 CFR 50.65, " Requirement for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants " , 1991. 7
 [2] Nuclear Management and Resource Council, NUMARC 93-01, Rev.3 " Industry Guideline for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants, Rev.3 " , 2000. 7