

정비 효율성 감시를 위한 정비규정에 관한 연구

황미정[†] · 김길유

한국원자력연구소

(2001. 1. 4. 접수 / 2001. 5. 17. 채택)

A Study on Maintenance Rule for the Maintenance Effectiveness Monitoring

Mee-Jeong Hwang[†] · Kil-Yoo Kim

Korea Atomic Energy Research Institute

(Received January 4, 2001 / Accepted May 17, 2001)

Abstract : The objective of the Maintenance Rule (MR) is to require monitoring of the overall continuing effectiveness of licensee maintenance programs to ensure that the safety related and certain nonsafety-related SSCs are capable of performing their intended functions. In Korea, as risk informed applications and regulation become active, the necessity of Performance Based Regulation (PBR) has increased. The objective of this article is to study the effectiveness of MR based on performance and feasibility of MR adoption at Korean Nuclear Power Plants (NPPs) for effective maintenance and regulation.

Key Words : maintenance rule, risk informed regulation, performance based regulation, probabilistic safety assessment, SSC(Structures Systems Components), performance criteria, periodic safety review, reliability centered maintenance

1. 서 론

본 논문에서는 성능 감시를 통해 효율적인 정비가 수행되고 있는지를 감시하는 원자력발전소에 대한 성능기반 규제 조치의 일환인 정비규정에 대한 연구를 수행하였다. 어떤 계통에 대한 적절한 정비와 그 정비 빈도는 계통의 성능과 밀접한 관련을 갖는다. 그러므로 성능 유지를 위한 적절한 정비 수행 방법에 대한 관심이 산업계에서 증대되고 있는 실정이다.

정비규정은 미국내의 모든 원자력발전소를 대상으로 1996년부터 시행되고 있는 정비관련 규제 조치로, 발전소계통의 적절한 정비를 통해 안전기능이 상실되는 것을 방지하도록 사업자가 효율적인 정비를 수행하는지를 감시하는 규제 조치이다^{1~4)}.

현재, 우리나라의 원자력발전소 규제방식은 처방적 규제 (prescriptive regulation)이지만, 최근 들어 신뢰도 정보를 이용한 운영 및 규제에 대한 요구가 증

대되고 있어 정비규정과 같은 성능기반 규제에 대한 관심이 증대되고 있다. 뿐만 아니라, 주기적 안전성 평가제도 (Periodic Safety Review ; PSR)^{12,14)} 및 신뢰도 중심 정비 (Reliability Centered Maintenance ; RCM)¹¹⁾의 도입으로 이들과 조화를 이룬 정비규정에 대한 요구도 점차 고려되고 있다. 그러므로 본 논문에서는 국내 원전에서의 정비규정 적용의 타당성 검토 및 국내 현실을 고려한 효율적인 종합 정비 모델을 제시해 보고자 한다^{6,16)}.

2. 본 론

2.1. 정비규정 도입 배경 및 필요성

원전의 안전 운전을 위한 규제 사항인 기술 지침서(Technical Specification)에서 요구하는 허용정지시간(Allowed Outage Time ; AOT)¹³⁾, 가동중 시험(In-Service Test ; IST)¹⁴⁾ 및 가동중 검사 (In-Service Inspection ; ISI) 주기 등에 대한 규제치는 지금까지 대부분 공학적인 판단에 의해 결정론적으로 설정되어 왔다. 이에 이들 규제치가 너무 보수적이므로

[†]To whom correspondence should be addressed.
mjhwang@kaeri.re.kr

원전의 원활한 운전에 방해가 되어 경제성 면에서 원자력발전의 경쟁력 감소를 초래한다는 의견이 발전사업자들에 의해 제기되어 왔다. 그러므로 발전사업자들은 그동안 수행된 확률론적 안전성평가(Probabilistic Safety Assessment ; PSA) 결과와 운전경험을 바탕으로 신뢰도 정보를 이용하여 각종 규제치 완화에 대한 연구를 수행하게 되었으며, 실제로 이 연구 결과를 적용하여 규제 완화를 도모하고 있다.

이와 같이, 발전소의 안전성에 큰 영향을 주지 않는 범위 내에서 규제를 완화하면 불필요한 발전소의 정지를 줄일 수 있을 뿐 아니라, 운전 중 정비 등이 더욱 활발히 이루어질 수 있어 발전소의 계획예방정비(Overhaul) 기간도 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 그러므로 경제적인 측면에서의 효과가 커질 것으로 예측된다. 그러나 원전 운영의 경제성을 위해, 신뢰도 정보를 이용해 기술지침서나 규제 사항을 완화시키면, 상대적으로 안전성은 낮아진다. 이런 이유로 인해, 신뢰도 정보를 이용한 규제 완화가 활발히 이루어지고 있는 미국에서는 안전성 유지 측면에서의 보완 조치로 정비규정을 수행하게 되었다. 이와 같은 정비규정 도입 배경을 비추어 볼 때, 국내에서도 신뢰도 정보를 이용한 의사결정이 활발하게 수행되기 위해서는 안전성 확보를 위한 정비규정과 유사한 기능을 가진 규제 조치의 시행이 필요할 것으로 예상된다. 뿐만 아니라 정비규정을 시행하여 발전소의 성능이 일정 수준 이상을 유지함을 먼저 확인시키면, 신뢰도 정보를 이용한 발전소 적용을 할 수 있는 근거를 마련할 수도 있다.

2.2. 미국 정비규정 내용

미국에서 시행되는 정비규정(10CFR50.65)¹⁾의 내용을 요약하면 다음과 같다.

(a) (1)

SSC (Structures, Systems, Components)의 성능이나 상태를 운전면허자가 설정한 목표를 기준으로 감시하고, 성능이나 상태가 목표에 미달하면 적절한 시정조치(corrective action)를 취한다.

(a) (2)

성능이나 상태가 적절한 예방정비에 의해 효과적으로 조절되는 SSC에 대해서는 현재의 정비 방법을 계속 사용한다.

(a) (3)

성능 및 상태 감시와 관련 목표치, 그리고 예방정비를 적어도 매 재발전 주기마다 한번은 평가하여야 한다. 이때, 신뢰도와 이용불능도는 균형을 이루어야 한다.

(a) (4)

정비 수행에 앞서 정비로 인해 야기되는 위험도 증가에 대해 평가하고 관리해야 한다. 이 평가에 포함되는 대상 SSCs는 위험도 정보 평가를 통해 안전성과 대중의 건강에 미치는 영향이 큰 것으로 제한한다.

2.3. 정비규정의 활용 분야

앞에서도 언급된 바와 같이, 정비규정 시행 결과는 결정론적인 근거에 의해 규제치가 보수적으로 설정된 경우, 규제치 완화를 위한 근거로 활용될 수 있다 또한 정비가 효율적으로 이루어지지 않아 고장이 잦은 플랜트에 대해 실제 성능감시를 통한 결과를 바탕으로 최적의 정비를 수행하여 고장을 최소화할 수 있는 기술을 제공할 수 있다는데 있다. 그러므로 정비 효율성을 감시하는 정비규정의 개념은 원자력발전소에서 뿐만 아니라 일반 화학 플랜트를 대상으로도 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

2.4. 정비규정 적용 방법

일반적인 정비규정 프로그램 적용 절차를 간단히 요약하면 다음과 같다.

- 정비규정을 적용할 대상 SSC 선정
- 선정된 SSC가 위험도에 미치는 영향 정도 확인
- 선정된 SSC가 위험도에 미치는 영향에 따라 적절한 성능기준 설정
- 선정된 SSC가 설정된 성능기준에 부합하는지를 확인하기 위한 성능감시
- 성능감시 결과, 성능기준을 초과하면 적절한 조치 취함
- 발전소 수준의 성능기준을 갱신하고 보고
- 시험이나 예방정비 수행으로 인한 SSC의 이용불능으로 인해 초래되는 발전소 전체의 안전성을 고려

본 논문에서는 이 중 성능기준 설정에 대해서만 자세히 다룰 것이다.

발전사업자가 각 SSC에 대해 적절한 성능 기준을 설정하고 이를 기준으로 SSC의 성능이나 상태를

감시할 것을 요구하므로, 정비규정 적용 프로그램에서는 일반적으로 위험도에 미치는 영향이 큰 SSC에 대해서는 이용불능도와 신뢰도를 개별 성능기준으로 설정하고, 위험도에 미치는 영향이 적은 SSC에 대해서는 발전소 전체 수준의 성능기준을 설정한다.

2.4.1. 이용불능도 성능기준 설정 방법

이용불능도 성능기준은 과거 고장이력과 정비 이용불능 자료를 이용하여 설정하는데, 고장 시간(Out of service time ; OOS Time)을 감시기간으로 나누 값으로 정의할 수 있다. 이때 감시기간은 원전의 경우 보통 36개월 또는 2주기의 재발전 기간 중 짧은 기간으로 선택한다.

이용불능도 성능기준 설정 시에는 민감도 분석이 필요한데, 정비규정 이용불능도를 넣어 계산되는 노심손상빈도(Core Damage Frequency ; CDF)가 10^{-4} 보다 작아야 하고, 허용 가능한 CDF 증가량 ($\Delta CDF\%$)보다 작아야 한다.

여기서, 허용 가능한 영구적인 CDF 증가량은 다음 식을 이용하여 계산한다⁹⁾.

$$\Delta CDF\% = 10^{[-0.5 \log CDF_{base}^{-1}]}$$

2.4.2. 신뢰도 성능기준 설정 방법

신뢰도 성능기준을 설정하는데 있어서는 약간의 문제점이 있다. 정비규정에서 요구하는 2년 정도의 짧은 감시 기간 동안의 신뢰도 평가는 복잡할 뿐 아니라, 얻을 수 있는 데이터의 양이 많지 않으므로 통계치 계산은 사실상 불가능하다. 그러므로 계통의 허용 가능한 기능 실패 수를 추정하여 신뢰도 성능기준으로 설정한다^{7,8)}.

요구 기준 실패율 (demand-based failure rate)을 가진 기능에 대해서는 이항 분포 식으로, 시간기준 (time-based) 실패율을 가진 기능과 demand & time-based 실패율이 모두 포함된 기능에 대해서는 Poisson 분포 식으로 허용 가능한 실패 수를 추정한다.

허용 가능한 실패 수를 추정하기 위해 사용되는 식들은 다음과 같다.

이항 확률밀도함수 :

$$P(r) = \frac{n!}{r!(n-r)!} P^r(1-P)^{n-r}$$

Poisson 확률밀도함수:

$$P(r) = \frac{(\lambda T)^r}{r!} e^{-\lambda T}$$

오경보율(False alarm rate) :

$$f(r) = 1 - \sum_{x=0}^r P(x)$$

허용 가능한 계통의 기능 실패 수를 설정할 때는 기능 실패 사건 수 r이 일어날 확률 P(r)이 5% 이상이어야 하고, 각 실패 수에 따른 누적 확률밀도함수 P(x)가 95% 이상인 수로 정한다. 이때, 누적 확률밀도함수가 95% 이상이면, False alarm rate f(r)은 5%보다 작음을 의미한다. 이는 성능이력 자료 중 5% 정도는 잘못된 정보(false alarm)에 의한 것으로 간주할 수 있기 때문이다.

2.4.3. 개별 성능기준 설정 예

Fig. 1의 계통도와 같이 구성된 울진 3,4호기 기기냉각수계통을 예제로 이용불능도 및 신뢰도 성능기준을 평가했다^{9,10)}.

기기냉각수 계통은 4대의 펌프와 4대의 열교환기를 이용하여 해당 계열의 안전관련 또는 비안전관련 부품에 냉각수를 공급하는 계통으로, 정상운전시 계열당 1대의 펌프와 1대의 열교환기가 운전된다.

이용불능도를 계산할 때 계열 내의 모든 기기에 대한 정비이용불능도를 합하여 성능기준을 평가하기도 하지만, 주요 기기에 대한 이용불능도만을 고려하여 성능기준을 설정해도 결과에는 큰 차이가 없다. 그러므로 펌프에 대한 이용불능 시간만을 고려하여 성능기준을 계산하였다. 신뢰도 성능기준 계산에도 펌프관련 고장만을 고려하였다.

이용불능도 성능기준 설정을 위해서는 PSA 모델과의 연계를 위해 고장수목(Fault Tree) 모델에서 각 정비규정 SSC 기능과 관련있는 정비관련 이용불능 기본 사건(Basic Event) 파악한다. 이 결과 Table 1의 두 번째 열과 같은 기본 사건이 선정되었다. 세 번째 열은 PSA에서 사용하고 있는 이용불능도인데, 이 값으로부터 정비규정 감시 기간인 2년 동안의 계열의 평균 이용불능시간이 계산되며, Table 1의 마지막 열과 같이 계산된다. $[0.96 * 24 * 2 * 2 = 92.2hrs/2yr/train]$ 이렇게 계산된 이용불능시간을 PSA 이용불능도 성능기준(PSA APC)이라 한다.

정비규정 이용불능도 성능기준은 영광 3호기 자료에 근거하여 2년 동안 각 펌프의 고장으로 인한 이용불능시간을 추정하여 연간 이용불능시간을 추정하였다. 이때, 자료 수집의 대상이 되는 모든 계열의 수를 고려한다. 그러나 그 계열이 고장수목 모델에서 기본 사건으로 정확히 표현되지 않을 때는

정비 효율성 감시를 위한 정비규정에 관한 연구

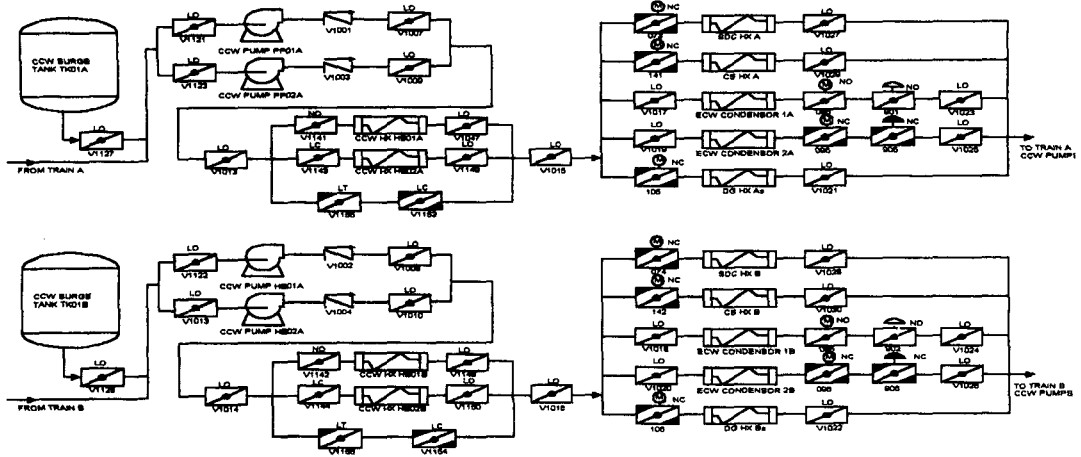


Fig. 1. Simplified P&ID of component cooling water system (Ulchin unit 3&4)

Table 1. Unavailability performance criteria

MR Function	Basic Event	PSA MUA	PSA APC days/yr	MR APC days/yr	# of Train	MR APC MUA	MR APC Hrs/2yr/tr	PSA APC Hrs/2yr/tr
CC1	CCMPM002PA	2.63E-3	0.96	2.08*	2	1.14E-2	199.7	92.2
CC1	CCMPM002PB	2.63E-3	0.96	2.08*	2	1.14E-2		

*Assumed based on the YGN 3 data

계열 수만큼을 곱해 주어야 한다. 기기냉각수 펌프의 경우 운전중이던 펌프에 대한 이용불능시간을 직접적으로 기본 사건과 연계시킬 수가 없다. 즉, PSA 모델에서 가동중인 기기에 대한 Maintenance UnAvailability(MUA)는 없으므로 다른 계열의 기기에 대한 MUA를 증가시킨다. 그러므로 기기냉각수 펌프의 계열 수를 2로 하였다. 이 결과 펌프에 대한 정비규정 이용불능도가 1.41E-3으로 계산된다. 그리고 정비규정 이용불능시간은 199.7hr/2yr/train으로 추정된다.

계산결과 정비규정 이용불능도 성능기준이 PSA 이용불능도 성능기준보다 크므로 민감도 분석 대상으로 분류된다.

신뢰도 성능기준을 설정하기 위해서는 PSA의 고장수복 모델과 연계하여 정비규정 SSC에 대한 정비규정 모니터링 기간 동안 허용 가능한 기능 실패 수를 설정한다.

정비규정 기능에 상대되도록 PSA 기본 사건을 그룹화하여 Table 2에서의 첫째 열과 같이 정리한다. 그리고 PSA에서 모델된 기기의 신뢰도로부터

Table 2. Reliability performance criteria

PSA Event for Functional Failure Minimal Cusets	PSA Value	Data Basis: Demand or Hourly	Failure Rate (per Demand or Hourly)	Estimated Demands or Hours	No. of Trains Aggregated	No. of Expected Failures Aggregated	P(r) %	P(r+1) %	Cumulative P(r)%	r	r+1
CCMPR001PA	1.2e-4	Hourly	5.0e-6	8760	1	0.2688	20.54	2.76	96.97	1	2
CCMPR001PB	1.2e-4	Hourly	5.0e-6	8760	1						
CCMPR002PA	1.2e-4	Hourly	5.0e-6	8760	1						
CCMPR002PB	1.2e-4	Hourly	5.0e-6	8760	1						
CCMPS002PA	1.3e-3	Demand	1.3e-3	18	2						
CCMPS002PB	1.3e-3	Demand	1.3e-3	18	2						

고장률을 계산한다. 다음으로 정비규정 모니터링 기간 동안의 평균 가동 시간과 가동 요구 수를 추정하는데, 본 분석에서는 가동 요구 수 및 평균 가동시간을 영광 3호기 자료를 이용하여 추정하였다. 기기 냉각펌프의 가동 요구 수를 18번으로 추정하였고, 펌프 가동 시간은 교체운전을 하므로 8760시간으로 하였다.

PSA 기본 사건에 대한 총 계열 수는 기기냉각수 펌프의 가동 실패에 대한 기본 사건에 대해 운전중인 펌프에 대한 모델을 고려하기 위해 계열 수를 2로 해 준다. 그리고 고장 추정치를 평가한 결과 고장 수는 0.2688로 추정되었다.

위의 계산과정을 거쳐 추정된 고장 수를 가지고 Poisson 확률밀도함수 식을 이용하여 허용 가능한 실패 수를 계산하면 1번 고장을 일으킬 확률이 20.54%이고 누적 확률밀도는 96.87%인 반면 2번 고장을 일으킬 확률은 2.76%로 낮아 허용가능 가능 실패 수는 1로 설정된다.

2.4.4. 발전소 수준 성능기준

발전소 수준의 성능기준은 7000시간 동안에 예기치 않게 자동으로 발전소가 정지된 사건 수 또는 예기치 않게 출력(capability)을 상실하는 사건 수 등으로 설정한다.

2.5. 국내 실정에 적합한 원전 종합정비 모델

본 논문에서는 정비규정 도입 필요성 및 도입할 경우 어떤 형태의 정비규정 도입이 필요한가 등을 논하고 있지만, 미국에서 정비규정은 예방정비(PM) 처럼 항상 있는 정비의 일환이 되었고, RCM은 그 개념만 PM 선정 및 개선에 활용되고 있다. 즉, Institute of Nuclear Power Operations (INPO)에서는 기기 신뢰도 처리 과정 (Equipment Reliability Process)으로 정비규정, RCM, PM, 그리고 장기 정비 전략을 서로 연관시킨 신뢰도 정보를 이용한 정비 모델을 제시하고 있다⁶⁾. 따라서, 미국과 달리 주기적 안전성 평가(PSR)를 추가로 고려해야 하는 우리나라에서는 INPO의 기기 신뢰도 처리 과정의 장기 정비 전략에 기기 노후화 관리를 추가하면, 정비규정, RCM, PM, 장기 정비 전략, 그리고 PSR이 서로 결합된 원전 정비 모델(Fig. 2)을 구성할 수 있을 것으로 기대된다.

정비규정 도입에 있어서는 우리나라의 경우, 미국 정비규정의 (a)(4)항을 보류하였다가 운전중 정

비가 활발해 질 경우 시행하는 것이 적합할 것이다. 또한, 정비규정의 적용범위를 처음부터 광범위하게 설정하지 말고 단계적으로 확대해가는 것이 좋을 것으로 예상되는데, 우선 신뢰도 정보 이용 적용에 의해 성능이 영향을 받을 것으로 예상되는 SSC부터 적용하고, 그 다음으로 일단 PSA의 고려 대상이 되는 SSC를 대상으로 하는 것이 좋을 것으로 판단된다. PSA에서 모델링 된 계통이 주요 안전 관련 계통이므로 정비규정 적용이 용이할 것이기 때문이다. 이후 전문가 위원회로부터 비안전 계통의 추천을 받아 대상범위를 확대하는 것이 바람직 할 것이다.

3. 결 론

정비가 효율적으로 수행되면 안전 기기의 신뢰도, 이용도 및 사용가능도가 향상되어 안전관련 계통의 고장이 줄고, 이에 따라 불시정지(Transient) 사건 수도 줄어 안전성 측면에서 향상이 있을 것으로 예상된다. 그러므로 본 논문에서는 효율적인 정비 방안 모색을 위해, 미국에서 시행하고 있는 정비규정에 대한 분석을 통해 국내에서의 이행 필요성을 고려하였다. 그 결과, 신뢰도 정보를 이용한 규제 완화를 활발히 수행하기 위해서는 정비규정과 같은 성능을 위주로 한 규제가 필요함을 밝혔다. 아울러, RCM, PSR, PM, MR 등을 고려하여 국내 실정에 적합한 종합적인 원전의 정비 모델을 제시하였다.

또한, 현 시점에서 정비규정 프로그램 적용을 위한 성능기준을 설정하기 위한 방법으로 기기 및 계통 이용률도 계산방법과 기능고장 횟수 제한 방식을 이용한 신뢰도 성능기준을 이용하는 방법이 합리적일 것으로 판단된다. 그러나 이들 방법도 PSA 모델과의 연계를 위해서는 한계점이 있으므로, 앞으로 이런 문제의 해결을 위한 연구는 계속되어야 할 것이다. 즉, PSA 모델은 기기 단위에 대한 고장으로 모델 되어 있어 계통의 기능 고장을 다루는 정비규정 적용시에는 어떻게 이들을 연계할 것인가에 대한 문제가 더욱 연구되어야 할 것이다.

또 하나의 문제점으로 대두된 사항은 국내의 운전 이력에 대한 자료의 정리가 체계적으로 이루어지지 않아 현 상태에서 정비규정이 도입되어 바로 시행이 된다면, 자료를 수집하는데 많은 인력이 투입되어야 할 것으로 예상된다. 이 결과 추정치를 사용하여 정비규정을 수행하면 실질적인 발전소 상태와 다른 성능기준이 설정되어 정비의 효율성 감시

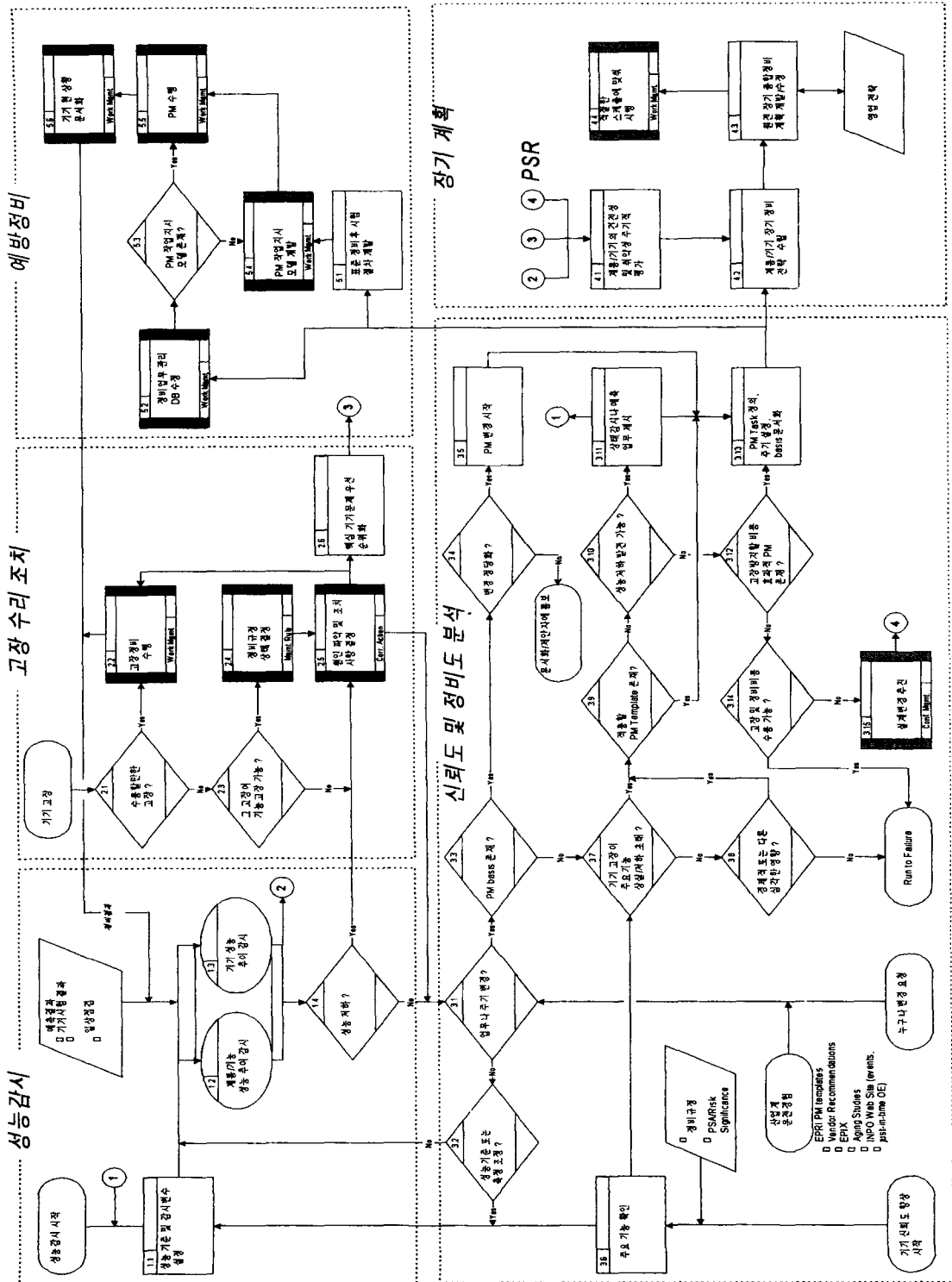


Fig. 2. Integrated maintenance model

결과가 부적절할 수도 있다. 그러므로 정비규정이 도입되어 시행될 경우, 준비기간 동안 최근 2~3년 동안 발전소 자료를 수집함과 동시에 계속적인 발전소 자료의 정리를 위해 체계적인 발전소 자료 수집 시스템의 구축이 이루어진다면 정비규정 프로그램 적용 시에 실제 발전소 상태를 반영한 성능기준 설정에 도움이 될 것이다.

본 연구에서는 원자력발전소를 대상으로 한 정비규정 적용에 대해 논하고 있지만, 정비규정을 이용한 정비의 효율화 도모는 기타 타 산업계에도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글 : 본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) U. S. NRC, 10 CFR 50.65, "Requirement for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at NPPs", 1991. 7.
- 2) U. S. NRC, "Regulatory Guide 1.160, Monitoring the Effectiveness of Maintenance at NPPs", Rev. 1, 1995.
- 3) Nuclear Management and Resource Council, NUMARC 93-01, Rev. 2, "Industry Guideline for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at NPPs", Rev. 2, 1996. 4.
- 4) NUREG-1526, "Lessons Learned from Early Implementation of Maintenance Rule at Nine NPPs", 1995. 6.
- 5) G. P. Rozga, "Calculation/Addendum Title: PSA Assessment of MR APC and RPC" Southern Co. 1998. 12.
- 6) 김길유 외, "정비규정의 국내 원전 적용 첫 타당성 연구", 한국원자력학회, '98 추계학술발표회, 1998, 10.
- 7) EPRI Technical Bulletin 96-11-01, "Monitoring Reliability for the Maintenance Rule", 1996. 10.
- 8) EPRI Technical Bulletin 97-03-01, "Monitoring Reliability for the Maintenance Rule - Failure to Run", 1997.
- 9) J. T. Hawley, M. A. Melnicoff, "Calculation No.: BRW-97-0938-N: PSA Basis for Braidwood's Maintenance Rule Performance Criteria", ComEd., 1997. 10.
- 10) 황미정 외, "정비규정 적용을 위한 성능 기준 평가, 한국원자력학회, 00춘계 학술발표회", 2000, 5.
- 11) 최상훈, "정비규정 이행을 위한 신뢰도 중심 정비(RCM) 기법의 역할", 한국원자력학회, 99추계 학술발표회, 1999. 10.
- 12) 조종철 외, "가동원전 주기적 안전성 평가 제도화 방안", 한국원자력학회, 97추계 학술발표회, 1997, 10.
- 13) 강대일 외, "울진 3,4호기 허용정지 시간 변경에 대한 연구", 한국원자력 학회, 98추계학술발표회, 1998, 10.
- 14) 강대일 외, "위험도 정보를 이용한 가동중 시험 방법의 울진 3,4호기 적용", 한국원자력학회, 98 추계학술 발표회, 1998, 10.
- 15) NRC Reg. Guide 1.174, "An Approach for Using Probabilistic Assessment In Risk-Informed Decisions On Plants-Specific Changes to the Licensing Basis", 1998. July.
- 16) INPO AP-913, "Equipment Reliability Process Description", March 2000.
- 17) IAEA, "Periodic Safety Review of Operational Nuclear Power Plants, Safety Series No. 50-SG-012", A Safety Guide, Vienna, 1994.