

## 전력시스템의 신뢰성 기반의 유지보수 적용에 관한 연구

이현동\* 이도훈, 이용희, 박기훈, 류강열, 신양섭, 김영근  
LG산전 전력연구소

### A Study on the RCM Implementation for Power System

H.D Lee, D.H.Lee, Y.H. Lee, K.H. Park, K.Y. Ryu, Y.S. Sin, Y.K. Kim  
LGIS ELECTROTECHNOLOGY R&D CENTER

**Abstract** - 설비의 가용성 및 신뢰성 증대와 보수 정비 비용 절감에 대한 관심이 증대되면서 전력시스템의 유지보수에 대한 관심이 증대되고 있다. 계획에 없는 유지보수와 예상치 못한 정전 등을 최소화시키면서 전체 설비의 활용도와 신뢰도를 증가시키는 방법에 대한 요구가 커지고 있는 것이다. 기존의 계획기반의 유지보수에서 최근 도입되고 있는 상태 감시기반의 유지보수는 설비의 상태를 감시, 분석하여 유지 보수함으로써 진일보되었으나, 기술적, 비용적인 문제로 전면적인 도입이 힘든 상황이다. 따라서 각 설비의 특성 파악과 운용 환경에 따른 설비의 중요도 및 파급효과 분석을 통해 가장 효율적이고 경제적인 유지보수 기법을 결정하는 신뢰성 기반의 예방진단 기법인 RCM의 적용에 관한 분석사항 등을 살펴보았다.

#### 1. 서 론

전력시스템의 신뢰성 향상과 사고의 미연 방지를 위한 예방 또는 예측 진단 기술의 중요성이 크게 인식되고 있는 상황에서 전력시스템의 신뢰성은 설비들의 유지보수 형태에 좌우된다. 현재 주로 실시되고 있는 계획기반의 유지보수인 TBM(Time-Based Maintenance)은 가장 보편적인 유지보수 기법으로, 단순한 스케줄링과 설비 운용의 높은 가용성의 장점이 있는 반면에 비용 측면에서 유효하지 못하다. 최근, 전력시스템의 상태를 실시간 모니터링하는 새로운 기법인 상태기반의 유지보수인 CBM(Condition-Based Maintenance)이 주요 전력설비에 적용되어 설비의 상태를 감시, 분석하고 있는 실정이다. 그러나, 기술적, 비용적인 문제로 전면적인 도입이 힘든 상황이며, 전력시스템의 신뢰도를 보존할 수 있는 새로운 유지보수 전략들을 발전시킬 필요성이 있다.

최근 선진국을 중심으로 차단기, 변압기, 케이블, GIS와 같은 전력시스템 유지보수를 위해 신뢰성 기반의 유지보수인 RCM (Reliability-Centered Maintenance)적용이 시행되고 있다. CBM이 설비의 현 상태만을 감시하고 설비의 특정 부품의 고장에 의해 시스템이 어떠한 영향을 받는지에 대하여는 고려하지 않는다. 한편 RCM은 설비의 부분적인 기술적 상태를 고려할 뿐만 아니라, 전체 시스템에서의 설비의 중요도를 고려하므로 전통적인 유지보수 접근방법보다 비용측면에서 가장 효과적일 것으로 기대된다.

따라서 본 논문에서는 전력시스템의 효율적인 운영과 운영비 저감을 위하여 효과적인 유지보수 기법을 정하며

신뢰성 있는 운영을 위한 RCM기법에 대한 분석사항들을 살펴보고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 RCM 전략을 위한 고려사항

일반적으로 RCM을 시행하기 위해서는 다음의 7가지 사항에 대하여 고려하여야 한다.

1. 시스템의 현 운영 환경에서 시스템의 기능과 관련된 성능의 표준은 무엇인가?
2. 시스템의 기능상에 고장이 어떻게 발생하는가?
3. 기능상의 고장의 원인은 무엇인가?
4. 고장이 발생했을 때 일어나는 현상은 무엇인가?
5. 고장 발생이 시스템으로의 파급성은 무엇인가?
6. 고장을 예방하거나 예측하기 위해 무엇을 수행해야 하는가?
7. 적절한 선행보전을 할 수 없다면 무엇을 수행해야 하는가?

위의 7가지 고려사항에 대하여 적절한 해답을 가짐으로써 설비의 고장 모드, 고장의 원인, 고장모드의 중요도, 고장 모드를 방지하기 위한 적절한 대응책 마련과 최적의 유지보수 전략을 수립할 수 있다.

##### 2.2 신뢰성 척도

전력시스템에 관한 신뢰성 문제를 방지하기 위한 조직적 활동을 유효하게 수행하기 위해서는 신뢰성 개념을 명확히 하여 이것을 수치화해서 객관적으로 파악하기 위한 척도를 만들 필요가 있다. 일반적으로 전력시스템의 운영측면에서의 신뢰도, 보전성, 가동률 등을 고려하여야 한다.

신뢰도는 설비 또는 구성요소가 규격에 언급된 환경하에서 운영하는 동안 일정시간 이상 고장없이 정상적으로 기능을 발휘할 확률이다. 이는 수리후 다음 고장이 발생할 시간까지의 시간의 평균인 평균고장간격(Mean Time Between failure)으로 특징되며, 고장율의 함수로 계산되어 진다. 보전성은 전력시스템의 휴지시간의 단축을 목적으로 단순히 수리를 하는 것만이 아니라, 효율이 좋게 동작시키고 고장발생을 사전에 예방하기 위해서 각종 정비를 계획적으로 행하는 활동으로 고장개소 등에 접근해서 점검, 정비 등의 보전작업이 용이하게 이루어질 수 있도록 설계하며, 진단기술, 모니터링 시스템의 도입, 유니트의 모듈화, 부품의 호환성 확보 등의 보전설계가 요구된다. 가용성은 시스템의 운영률로 동작과

수리주기를 생각하여 주기를 구성하면 주기에 대해서도 Up time비율을 생각할 수 있는데 일반적으로 Up time과 Down time으로 나눌 때에 시간전체에 대한 Up time비율로 정의된다. 내구성 척도인 평균고장 간격과 Down time을 보전성 척도인 평균수리시간 (Mean Time To Repair)에 대한 평균고장 간격이 가동률이 된다.

### 2.3 FMEA (Failure Mode and Effects & Analysis)

전력시스템의 고장가능성으로부터 신뢰도를 평가하는 수법으로 FTA, FMEA,, ETA, RCA 등이 있다. 이중 FMEA는 시스템의 모든 고장모드가 다른 구성요소에 미치는 영향을 조사하여 예상고장원인, 고장의 영향, 고장발생확률 및 대책을 수립하여 시스템이 받는 손상을 줄이는 안전성 평가방법이다. 이 방법은 고장의 원인으로부터 시스템 고장측에 수반될 문제점인 고장을 정성적으로 고찰하는 것으로, 하위사상에서부터 상위사상에 도달한다고 하여 Bottom up방식이라 하며 그림 1과 같이 수행된다.

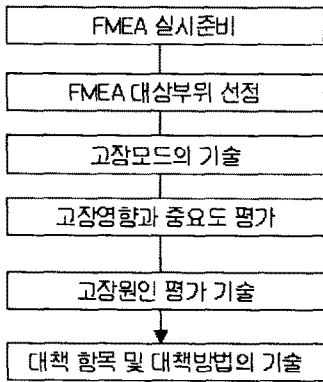


그림 1. FMEA 프로세스

### 2.4 Decision Making

설비의 유지보수 전략은 사후보전 개념의 고장수리 영역, 진단에 의한 열화감시 및 대체 작업 영역, 보수 작업 영역, 설비의 현 상태를 유지하는 무보수 작업 영역으로 크게 4가지로 분류할 수 있다.

고장 수리 영역에서의 설비는 전체 시스템에서의 특정 장치의 중요도가 기술적 조건에도 불구하고 어떤 임계치보다 하위인 것을 의미한다. 이런 경우에 특정 장치의 고장은 전체 시스템에 대한 주요한 영향력을 가지지 않으며, 설비의 비용이 낮아 유지보수를 무시하거나 고장의 경우에 새것을 설치하는 것이 더 경제적이다.

대체 작업 영역에서의 설비는 특정 장치가 불충분한 기술적 조건( $C > C_R$ )을 가지고 있는 것을 나타낸다. 그리고 장치의 고장은 시스템( $I > I_c$ )에 상당한 영향을 초래하므로 이런 경우에 진단에 의한 열화 감시 등 예방보존 활동을 개시하거나 낡은 장치는 새로운 것으로 대체되어야 한다.

보수 작업 범주에서의 설비는 특정 장치의 고장이 시스템에 상당한 영향을 초래하는 것을 의미하며, 기술적인 조건이 적절한 상태를 가진다.

이 범주의 장치는 기술적인 조건 인덱스를 줄이기 위하

여 보수 처리를 통하여 새로워질 필요가 있다.

기기의 현 상태를 유지하는 무보수 영역에서는 특정 장치의 고장이 시스템에 추론으로 이끄는 것을 의미하며, 장치의 기술적인 조건등이 양호한 것을 나타낸다.

이 무보수 영역의 장치는 시스템에 중요할지라도, 설비의 고장 확률이 작고 보수가 필요없는 것을 나타낸다. 일반적인 결정 지원 전형을 그림 2에 나타내었다.

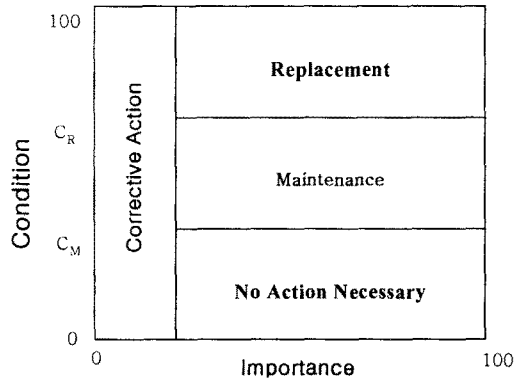


그림 2 Decision Making Map for Maintenance Action

### 2.5 전력설비의 RCM사례

376개의 변전소를 운영하는 Florida 전력회사(FPC)는 1997년부터 RCM을 적용하고 있다. 3100대의 CB, 1100대의 전력용 변압기, 110대의 커패시터 뱅크와 4600대의 배터리 뱅크와 아울러 45000대의 릴레이와 300마일의 송전선로를 자산으로 운영하고 있다.

위의 자산에 대한 유지보수를 1997년 이전까지 TBM을 배경으로 실시하였다. 1986년부터 자산을 효율적으로 관리하기 위하여 통합형 자산데이터베이스 시스템을 자체적으로 개발하여 SMMIS로 불리는 변전소 자동화를 시행하여 변전소 자산의 유지보수 활동을 전개하였으나 자산운영의 한계성을 인식하였다.

FPC는 1997년 방대한 자산운영에 대한 신뢰성을 향상시키고, 규제완화에 대한 운영경비를 최소화하면서, 자산의 수명을 연장시킬 목적으로 RCM을 시행하였다.

기본적으로 자산의 설비별 운전현황 및 환경분석과 설비별 취약점, 사용 적정성 평가 및 사고발생의 확률등급 분석 등을 위한 자산의 상태 평가를 토대로 자동화된 CMMS(Computerized Maintenance Management System)를 응용하여 RCM을 실시하였다.

Failure Mode	Task			
	Very effective	effective	Poor effective	No effective
Highly critical	If task existing periodically			If task existing periodically
critical	If New task "technical periodicity"			
Low critical	If task existing If New task "To Be Rejected"			
Non-critical	If task existing periodically If New task "To Be Rejected"			"To Be Rejected"

그림 3. EDF의 결정방법

프랑스의 전력회사인 EDF는 선로상의 일어날 수 있는 모든 결함을 제거하여 효율적이고 효과적인 송전시스템을 구축하기 위하여 두 변전소를 연결하는 400kV 송전선로의 bay시스템에 대하여 RCM을 적용하였다. 일반적으로 자산운영의 경제적 효과성을 창출하기 위하여 중요도와 효과성을 위주로 유지보수 방법론을 결정하고 개별적인 자산의 경제성을 검토하여 가장 최적의 경제효과를 창출할 수 있는 프로세스를 전개하였다. 일반적으로 최적의 유지보수를 결정하기 위한 중요도 선정의 일례를 그림 3에 나타내었다.

### 2.6 RCM시행의 기대 효과

첫째로 설비운영의 안전 및 환경상의 재고를 기대할 수 있다. RCM은 다양한 배경의 전문가 그룹으로 참여하여 수행한다. 따라서 현실적이고 균형있는 정비·보수 관리가 가능토록 한다. 업계를 막론하고 대형사고의 완전치 못한 보수 활동과 직접 관련된 경우가 많았던 것을 고려하면, RCM이라는 Team Work의 가치는 충분히 인정된다.

둘째로 설비의 가용도 및 신뢰도를 재고할 수 있다. 예상치 못한 고장이 감소될 경우 가용도 및 신뢰도는 증대된다. RCM은 상태감시를 통해 잠재 고장이 실제 기능고장으로 발전하는 것을 예방하여 주며, 동시에 정기보수의 빈도 역시 저감시켜서 시스템의 가용도 및 신뢰도가 향상되는 효과를 준다.

셋째로 보수 및 정비 비용효과를 창출할 수 있다. RCM을 통하여 보수·정비 횟수를 줄일 수 있음이 일반적으로 증명된다. 적어도 RCM은 보수·정비 활동이 충분한 근거 없이 증가되는 것을 제어하기도 한다. RCM프로그램이 원숙한 단계에 이를 경우, 어떤 경험자에 의하면 반복적인 Maintenance 활동의 40%에서 70%를 절감하였다고 한다. 또 실제 영국의 경우 RCM 시스템을 20년 운영한 경우 실제 고장에 의하여 전력 설비를 교체하는 비용의 10% 정도에 불과하다고 집계하였고, 미국의 Northern State Power에서는 RCM의 운영비용은 554개의 선로용 케이블에 대하여 실험한 경우 40 ~ 50불이 단위 케이블 당 소요되는데 이는 실제 선로케이블 교체비용 300 ~ 350불에 비하면 현저히 낮아진다는 것이 입증되었다. 보수·정비 관련 서비스를 외부에 용역을 주는 경우가 많은데, RCM은 경제적이고 합리적인 용역계약을 지원한다. 첫째는, 반복되는 시간 지향형 보수 활동을 최소화 할 수 있기 때문이고, 둘째는 고장 원인 및 결과 분석에 바탕을 두고 긴급보수 지침을 작성하여 시행함으로써 가장 경제적으로 관리할 수 있기 때문이다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 전력시스템의 고장을 예방하기 위해 각 구성요소의 고장 모드를 분석하고, 고장의 사전 예방을 위한 가장 효과적이고 효율적인 유지보수 전략을 수립함으로써 전력시스템의 신뢰성향상을 도모하는 RCM방법론에 관하여 살펴보았다.

RCM의 원활한 수행을 위해서는 설비의 중요도뿐만 아니라 기술적 조건 등의 평가를 통하여 가장 효과적이고 효율적인 유지보수 전략을 수립하여야 하며, 위험요소 분석, 고장모드와 영향분석과 새로운 유지보수 기술과 신뢰도와 유지보수의 용이성에 중점을 둔 설비 설계 등이 과제이다.

또한 향후 RCM의 경제성 및 타당성 평가, 각종 전력설비의 RCM적용을 통한 타당성 검증이 필요하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] J. Moubray, *Reliability-Centred Maintenance, Industrial Press Inc. (1997)*
- [2] G. Paoletti and M. Baier, "Failure Contributor of MV Electrical Equipment and Condition Assessment Program Development", Conference Record of Pulp and Paper Industry Technical Conference 2001, pp 37-47.
- [3] G. Balzer, O. Schmitt, M. Halfmann, and A. Hoble, "Maintenance and Refurbishment Strategies for M.V. Substations", 16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 2001. Volume 3, pp 6.
- [4] Basille, C.; Aupied, J.; Sanchis, G, "Application of RCM to high voltage substations", Reliability of Transmission and Distribution Equipment, 1995., Second International Conference on the , 29-31 Mar 1995 pp186 - 191
- [5] Hardwick, G.M. "Reliability centered maintenance at Florida Power Corporation", Power Engineering Society Summer Meeting, 1999. IEEE , Volume: 2 , 18-22 July 1999 pp1169 - 1170, vol.2