

신뢰성 공학 기반 설비관리 시스템 개발

김홍석, 김성식, 최인선, 최영준, 홍정기
(주)효성, 중공업연구소

A Development of a Power Facility Management System using Reliability-centered Maintenance Technology

Hong-Seok Kim, Sung-Sik Kim, In-sun Choi Young-Jun Choi, Jung-Ki Hong
Hyosung Co. Power & Industrial R&D Center

Abstract - RCM(Reliability-centered Maintenance)은 Maintenance라는 사전적인 정의(사용자가 요구하는 설비의 기능을 지속적으로 유지)를 만족시키기 위하여 나온 절차로써 유지 보수하고자 하는 기기에 대하여 시스템의 신뢰도와 안정성 및 경제적 측면을 고려하여 적용이 가능하고 효율적인 유지보수 방법을 논리적으로 선택하는 기법이다.

본 논문에서는 전력 설비의 효율적인 유지보수 및 수명 평가를 위해 RCM의 설비 보전 방식에 대한 이론적 고찰과 신뢰성 공학을 기반으로 개발된 설비관리 시스템에 대하여 기술한다.

1. 서 론

최근 생산성 향상 및 간접비용 절감에 대한 관심이 증대되면서, 설비의 유지 보수에 대한 관심도 증대되고 있다. 즉 계획에 없는 유지 보수와 예상치 못한 정전 등을 최소화시키면서 전체 설비의 활용도를 증가시키는 방법에 대한 요구가 커지고 있는 것이다. 그러나 기존 계획기반의 유지보수(Scheduled Maintenance)기법은 설비의 상태에 관계없이 스케줄에 따라 유지 보수를 함으로서, 비용적인 측면에서도 비효율적이었으며 설비 고장 예방에도 많은 한계가 있었다. 최근 도입되고 있는 조건기반의 유지보수(Condition-based Maintenance)는 설비의 상태를 감시, 분석하여 유지 보수를 함으로써 진일보되었으나, 기술적·비용적인 문제로 전면적인 도입이 힘든 상황이다. 이에 반해 RCM은 설비 신뢰성 중심의 유지 보수 방법론으로서 각 설비의 특성 파악과 운용 환경에 따른 설비의 중요도 및 파급효과 분석(Failure modes effects analysis, FMEA)을 통해 가장 효율적이고 경제적인 유지 보수 기법을 결정한다.

본 논문에서는 RCM에 적용되는 설비 보전방법의 선택 및 적용에 대한 이론적 고찰로서 고장 관리 기술의 분류 및 특징을 알아보고, 전력 설비 중에 변압기의 FMEA를 바탕으로 설비 관리 시스템에서 고장 관리, 점검 방안, 수명평가에 대한 적용 방안을 기술한다.

2. 본 론

2.1 고장의 영향

RCM에서 고장상태는 설비가 원하는 표준 기능을 만족시키지 못하는 것을 의미하며 이론적으로 발생 가능성이 있는 설비 고장에 대하여 원인을 파악하고 발생하는 결과에 대해 영향평가를 수행한다. 이러한 영향평가는 고장 그 자체를 피하기 위해서가 아니라 고장으로 인한 영향을 줄이기 위한 것이며 고장으로 인한 영향은 아래 4가지 그룹으로 분류하고 있다.

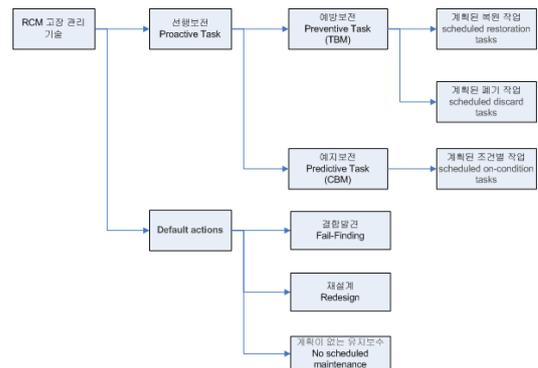
- 1) Hidden Failure consequences: 고장으로 인하여 숨겨진 영향은 직접적인 충격은 없지만 조직을 심각한 상황이나 재난에 노출되게 함
- 2) Safety and environmental consequences: 고장으로 인하여 사람이 다치거나 사망하는 경우가 발생하며, 환경기준을 위반하게 될 수도 있음
- 3) Operational consequences: 고장으로 인하여 생산(산출물, 품질, 고객 서비스, 직접 수선비, 운영비)에 나쁜 영향을 미침
- 4) Non-Operational consequences: 안전과 생산에 영향을 미치지 않는 고장으로 직접적인 수선비만 투입됨

RCM에서 고장에 대한 인식의 중심은 고장의 기술적인 특성보다 고장의 결과를 훨씬 중요하게 생각한다. 이러한 분류를 통해 운전자는 유지보수 활동을 성능에 크게 영향을 미치는 고장에 대하여 초점을 두어 관리하며 고장예방에만 집중하지 않고 고장을 다양한 방식으로 관리할 수 있게 한다.

2.2 고장 관리 기술

고장 관리 기술은 설비 및 시스템 유지에 관한 활동으로 정의할 수 있다. 고장 관리 기술에서 중요한 부분 중의 하나는 설비의 고장·정지로 발생하는 고장의 영향을 구체화를 통해 보전 방식을 정하는 것이다.

RCM에서는 이러한 고장 관리 기술을 그림 1과 같이 분류한다.



<그림 1> RCM의 고장 관리 기술

2.2.1 Proactive Maintenance

Proactive Maintenance는 설비의 고장을 방지하기 위하여 취해지는 조치로써, 전통적으로 예측(predictive)과 예방(preventive) Maintenance가 있다. RCM에서는 계획된 복원(scheduled restoration), 계획된 폐기(scheduled discard), 그리고 조건별(on-condition) 유지보수라는 용어가 사용되고 있다.

- 1) 계획된 복원: 정해진 사용시간 전에 혹은 기간에 부품의 조건에 관계없이 그 부품을 다시 제작하거나 정비하는 방법
- 2) 계획된 폐기: 정해진 시간에 그 대상품의 조건에 관계없이 어떤 부품을 폐기하는 방법
- 3) 조건별 유지보수: 대부분의 고장이 일어나려는 어떤 경고를 사전에 암시한다는 사실에 기초하여, 이러한 경고는 잠재적인 고장을 탐지하여 설비가 원하는 성능기준을 만족하도록 정비하는 방법

2.2.2 Default Maintenance

Default Maintenance는 고장 난 상태를 다루는 것으로 효율적인 proactive 작업을 발휘할 수 없을 때 선택하는 것이다. 고장발견, 재설계, 고장 날 때까지의 운행을 포함한다.

- 1) 결함발견: 부품의 고장 여부를 결정하기 위해 주기적으로 숨겨진 기능을 점검하는 것이며, 반면에 조건별 작업은 고장이 진행되고 있는지를 점검하는 방법
- 2) 재설계: 어떤 시스템의 내재된 능력에 대한 한 번의 변화를 만드는 것이다. 이는 하드웨어에 대한 수정을 포함하고 절차에 대한 변화를 포함.
- 3) 계획이 없는 유지보수: 고장 모드를 예방하거나 예측하는 노력을 하지 않고 고장이 발생하면 수선한다는 방법(run-to-fail)

2.3 Decision Logic Tree Analysis

RCM 절차는 proactive 작업이 기술적으로 타당하고 얼마나 자주 수행되어야 하며 누가 그것을 해야 하는가를 결정하는데 있어 기준을 제공한다. Proactive 작업의 기술적 가능 여부는 업무 및 고장의 기술적 특성에 의해 결정되며 작업이 가치가 있는지에 대해서는 고장의 결과를 얼마나 잘 처리할 수 있는가에 의해 결정된다. 이러한 작업에 대한 선택 절차는 Decision Logic Tree로 구성되며 고장의 영향 평가를 기준으로 선택되어 진다.

2.4 Maintenance

전력 설비 중에 변압기에 대한 고장 관리 기술은 주로 조건별 유지보수(on-condition)를 기반으로 실시되며 조건별 작업에 대한 경고는 다양한 진단 기술의 사용으로 가능하다. 그러나 이러한 진단 기술은 많은 비용을 요구하므로 경제적 측면에서 모든 변압기에 적용하기에는 문제점을 가지고 있으므로 대부분의 변압기는 운전자가 실시하는 점검을 통해

조건별 작업이 수행되고 있다. 운전자가 실시하는 점검은 운전 후에 기기의 이상 발견 및 사고를 미연에 방지할 목적으로 실시하며 일반적으로 순시 점검, 정기 점검으로 구분된다. 중대사고 및 경미사고의 상당 부분은 일상 적인 점검에서 충분히 발견할 수 있으므로 위험을 미연에 방지하기 위해 보수와 점검을 충분히 실시할 필요가 있다.

- 1) 순시점검- 기기의 이상 유무를 특수한 측정 시험장치 등을 사용하지 않고 주로 사람의 오감을 바탕으로 조사하는 동시에 기기의 운전 에 지장이 없는 범위에서 가볍게 손질을 가하며 운전의 유지를 도모하는 점검 (정상 운전시의 점검)
- 2) 정기점검- 기기의 기능 유지를 주목적으로 성능을 측정, 진단하여 현상기능을 파악하는 동시에 기능 유지, 회복을 위한 조정, 손질 및 소모품 교환을 하는 점검 (정상 운전 또는 정지 후 실시하는 점검)

그러나 운전자가 실시하는 점검은 운전자가 각 점검 항목에 대한 점검 기준과 원인 및 이상일 경우 대처 방안에 대하여 이해하기 어렵기 때문에 본 논문에서 제안하는 시스템은 이러한 문제점을 보완하고자 운전자가 실시하는 점검항목에 대한 구분, 점검 주기, 점검 기준을 작업일 지로 산출하여 운전자가 점검 시에 발생하는 문제에 대하여 쉽게 대응 할 수 있도록 하였다.

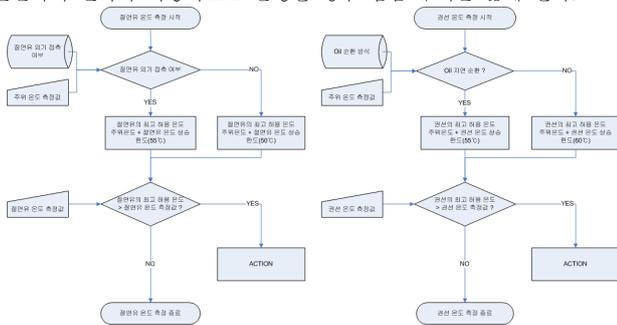
2.5 점검 방법

변압기의 순시점검항목은 그림 2와 같이 구분되며 각 항목별로 점검 사항, 판정 기준, 이상이 발생할 경우 발생원인 등을 구분하였다. 각 항목의 판정 기준은 변압기의 사양과 운전 상태에 의해 좌우되며 점검 주기는 고장의 영향과 점검 항목의 이력을 바탕으로 설정된다.

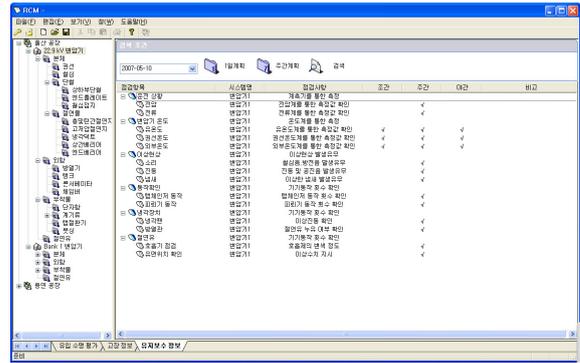
점검항목	점검 사항	결함발견시의 판정과 대책	변압기 Block	원 인
운전 상황	이상 여부	이상유지지시	일일환기	일일환기고장
변압기 온도	유온도, 권선온도	이상유도상승	온도계	온도계 불량 온전 상태 과부하 운전
			냉각팬	냉각 팬의 이상
소리 · 진동	이상음 발생유무	철성음	철성	과전압, 과전도 철성
		진동, 공진음	진동	철성 불균형의 오사용
냄새	이상한냄새 발생유무	이상한냄새 발생유무	절연유	절연유 열화 절연유 누유
	부종출조 계전기	동작 여부	변압기 내부	절연피리
계전기	송전압력계전기	동작 여부	변압기 내부	절연피리
	방압안정장치	동작 여부	변압기 내부	절연피리
	비동전류계전기	동작 여부	외부	단락
	지뢰과전류계전기	동작 여부	외부	단락
접지선	연선, 중선, 전선상태	이상유지지시	접지선	이전압의 침입 또는 발생
	중선기 절연	중선기의 변압 정도	중선기	중선 절연의 열화
냉각장치	냉각팬	이상음, 이상진동	냉각팬	베어링 마모 또는 조임부의 이완
	냉각액	절연유 누유 여부	냉각액	절연유 누유
유면 위치	유면위치 확인	이상유지지시	유면	과부하 운전
			가스기	가스기 열화
외관점검	단자부 이상유무	과열에 의한 변색	단자	과전압의 침입 또는 발생
	배관 유관확인	오손 · 파손	배관	배관 누유
	부품파손 및 누유유무	부품	부품 열화	과부하 운전
	단자부 누유	표면에 녹 발생 여부	단자	이전압의 침입 또는 발생
	녹유무		단자	단자 열화

<그림 2> 변압기의 순시 점검항목

본 논문에서 제안하는 설비 관리 시스템은 변압기의 사양과 운전 상태를 Database에 저장 관리하며 이를 바탕으로 판정 기준을 산출한다. 예로서 변압기의 유온도 및 권선 온도는 그림 3과 같이 변압기의 사양과 주변 온도를 기준으로 판정 기준이 다르다. 점검 주기는 통계적 부분과 환경적 부분을 고려하여 우선적인 주기를 선택한다. 통계적 부분은 RCM 절차에 따라 P-F 곡선을 바탕으로 점검 주기를 선정하여야 한다. 그러나 각각의 고장에 대한 P-F 곡선을 산출하기 어려운 관계로 축적된 데이터와 고장의 영향 평가를 바탕으로 B 수명을 산출하였다. 이에 따라 점검 주기는 초기에는 일정 점검 주기를 유지하다가 B 수명과 가까이 접근할수록 점검 점검 주기가 짧게 된다. 환경적 부분은 설비의 고유한 운전 환경으로 발생할 수 있는 고장을 점검하고자 이력의 변화를 관찰하여 변화가 이상적으로 발생할 경우 점검 주기를 짧게 한다.



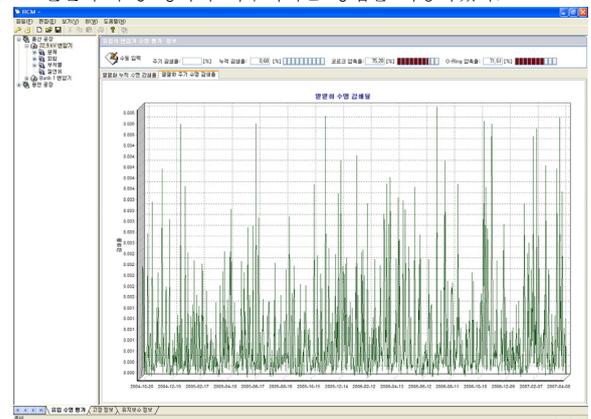
<그림 3> 변압기의 온도 기준



<그림 3> 설비 관리 시스템의 유지보수 화면

2.6 수명 평가

수명 평가는 전력 설비의 잔여 수명을 사용자가 인지하여 유지보수 계획을 설정할 수 있도록 하기 위해서 설비 관리 시스템에서는 통계적 부분과 환경적 부분으로 구분하여 잔여 수명을 그림 4와 같이 나타내고 있다. 통계적 부분은 RCM Process에 축적된 정보에서 설비의 중요 부품별로 MTBF(Mean Time Between Failures)를 선정하여 이를 바탕으로 설비의 신뢰도 및 수명을 평가한다. 환경적 부분은 전력기기의 열화 및 수명특성을 통계적으로 처리하여 데이터베이스로 수집한 후, 이를 기반으로 진단과 수명 평가가 이루어지는 방법을 적용하였다.



<그림 4> 설비 관리 시스템의 수명평가 화면

3. 결 론

본 연구에서는 전력설비의 경제성 및 신뢰성을 증대하기 위하여 설비의 유지보수 및 수명을 평가하는 신뢰성 기반의 전력 설비관리 시스템을 개발하였으며 연구 결과는 다음과 같다.

- i) 전력 설비의 점검항목에 따르는 점검사항, 설비 Block, 고장 원인을 구분하였으며 점검 기준 및 주기에 대한 산출 방법을 제안 하였다.
 - ii) 전력 설비의 수명 평가에 대하여 RCM을 통한 통계적인 수명과 사용 환경에 따라 평가되는 환경적인 수명을 구분하여 적용하였다.
- 본 논문에서 제시한 시스템은 현재 개발 중이며, 향후 고장 데이터의 수집 및 데이터의 검증이 요구되며 지속적인 연구를 통해 통계적인 수명과 환경적인 수명의 상관관계를 제시할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] John Moubay, "Reliability-centered Maintenance II", p1~20, 1997
- [2] Liu Shixin, "Fault diagnosis expert system for power substation based on RCM", Condition Monitoring and Diagnosis, 3.13, 2006
- [3] Masaaki Ikeda, "Maintenance and Asset Management of Electric Equipment of Manufacturing Industry", Condition Monitoring and Diagnosis, 4.4, 2006
- [4] 강영식, 백준배, 이근우, "신뢰성공학", 도서출판 동화기술, 2002

본 논문은 산업자원부의 중기거점과제 연구비 지원을 받아 수행되었습니다. (과제번호 10016660)