

철도집전전력시스템의 RCM 적용

김형철 차준민 김진오
한국철도기술연구원 대전대학교 한양대학교

The Application of RCM in Traction Power System

Hyungchul Kim Jin-O Kim Junmin Cha
Korea Railroad Research Institute Hanyang University Daejin University

Abstract - RCM(reliability Centered Maintenance) 적용 시 나타나는 장점으로 인해 이미 여러 산업 분야에 적용되고 있다. 설비의 안정성을 중요시하는 원자력발전 부문에서 처음으로 도입 후 전력산업분야 대부분에서 RCM을 적용하거나 적용연구가 진행되고 있다. 철도산업에서도 전력산업 분야와 같이 안정적이면서 경제적인 전력을 공급하는 것이 중요하므로 정비업무의 중요성이 크다고 할 수 있다. 특히 철도 시스템 중 한전에서 154kV 나 345kV를 수전 받아 철도 시스템에 전력을 공급하는 변전소의 역할은 매우 중요하다. 따라서 철도 변전소를 구성하고 있는 설비의 특성과 운영방식에 대한 연구를 통해 적절한 RCM적용 방안을 위한 고장모드 및 임계분석(FMECA: Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) 연구의 필요성이 대두된다. RCM과 FMECA는 적용 산업분야에 따라 적용 절차를 다르게 적용되어진다. 따라서 철도 변전소에 대한 고장데이터와 설비들의 특성 및 현재 운용방식 등을 종합적으로 고려하여 적절한 수립방법 연구가 필요하다.

나 형식이 없다는 특징을 가지고 있다. 그러나 효과적인 RCM도입을 위해서는 정확한 FMECA평가가 이루어져야 한다는 사실에는 변함이 없다. 즉, 효율적이고 경제적인 유지보수 계획 수립을 위해서는 FMECA 평가절차에 따라 모든 설비에 동일한 점검 기준이 아닌 대상 설비의 고장형태에 적절한 기준과 업무를 선별하여 적용하여야 한다. FMECA 평가 절차에 따르면, 평가를 수행하기 위해서 블록별 고장모드 분석이 선행되어야 하며, 이 단계가 매우 핵심적임을 확인 할 수 있다.

이와 같이 FMECA 평가절차는 정확한 블록별 고장모드 분석을 전제로 하고 있으나, 현재 국내에서는 체계적인 고장모드 분석이 제대로 이루어 지지 않고 있는 실정이다. 또한, 최근 여러 산업분야에 적용되고 있는 RCM의 효과를 극대화하기 위하여도 본격적으로 철도전력 설비에 FMECA를 적용하기 위한 근간이 되는 고장모드별 원인, 파급효과 등을 파악하고 현재 시행되고 있는 국내의 점검보수기준에 대한 조사와 분석을 수행하여 설비가 갖는 고장 모드에 따라 알맞은 조치를 선정하기 위한 기초자료를 마련이 시급하다.

1. 서 론

안정적이며 경제적으로 설비를 운영해야하는 산업분야의 운영자는 설비의 운영을 치밀하게 계획할 의무가 있다. 또한 일반적으로 복잡하고 거대한 구조를 가진 시스템일수록 운영 및 유지, 보수에 필요한 유지보수비가 전체 운영비에 미치는 영향이 크다고 알려져 있다. 철도 변전소 역시 복잡하고 거대한 구조를 가진 시스템에 속하며 효율적인 운영 및 유지보수 시스템의 구축을 위하여 신뢰도 기반 유지보수(RCM : Reliability Centered Maintenance)를 도입하기 위한 시도가 이루어지고 있다.

RCM은 설비 자체의 보존에 초점을 두고 운영상의 편리성만을 고려하여 설비의 구조적인 접근이 미흡한 상태에서 정비계획을 수립하던 전통적인 방식이 아닌, 설비의 기능유지에 초점을 두고 계획을 수립하므로 정비 업무의 가장 첫 번째 목적인 설비의 제 기능을 안정적으로 유지시키는데 초점을 맞추고 있어, 불필요한 정비 업무를 제거하게 되고 설비의 수명과 시스템 전체의 구조의 이해와 수명을 계획수립 단계에서 적절히 반영하면서 효율성과 경제성을 높인다.

RCM의 체계적인 적용을 위해서는 고장모드 및 임계분석(FMECA: Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)이 포함되어야 한다. FMECA는 설비의 기능에 대한 이해와 설비가 발생시키는 고장의 형태인 고장모드를 분석한다. 또한 고장모드를 발생시키는 고장원인과 고장발생시 전체 시스템에 미치는 파급효과를 확인하여 RCM계획 수립에 필요한 해당 설비의 중요성을 판별하기 위한 자료를 제공한다. 이처럼 RCM과 FMECA는 최적의 정비 업무를 계획하기 위한 도구로써 사용되며 일반적이고 포괄적인 절차는 있지만 적용하고자 하는 설비의 특성에 맞게 적절하게 변형하여 사용되어 정형화된 절차

2. 본 론

2.1 RCM(reliability Centered Maintenance)

RCM[1,2]. 분석을 위한 실행 절차는 적용되는 산업분야의 특성에 따라 다르게 적용되지만 일반적인 절차는 그림 1과 같이 12 단계로 구분하여 나누어진다.

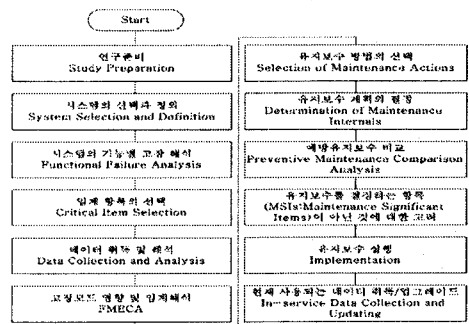


그림 1. 신뢰도 기반 유지보수 절차

RCM 해석에 있어서 연구해야 하는 조건으로는 정책, 안전에 대한 허용기준, 외부환경으로부터 보호 등이 있으며, 실제 설비와 설계상의 내용과 불일치하는 점을 확인해야 한다. 일반적으로 전력계통설비의 RCM 해석을 위한 과거실적 데이터는 충분하지 않기 때문에 RCM 해석의 각 단계의 조사 과정에서 사실과 다른 부분이 없어

야 한다. 시스템의 고장이 어떤 영향을 미칠 것인가의 수학적 표현과 그것을 확인하기 위하여 기능고장해석(FFA: *Functional Failure Analysis*)을 한다. 대부분 RCM의 시스템 고장 영향은 기능고장(*Functional Failures*)으로 정의한다. 고장 중 흔히 노화고장(*Aging Failures*)이라 일컫는 고장은 중요한 부분이며, 시간에 따라 고장이 발생할 확률이 증가하는 경우로 이것은 또한 마모고장(*Wear-out Failures*)이라고도 하며, 점진적인 고장을 의미하기도 한다.

RCM 해석에 있어서 운영 데이터, 신뢰도 데이터, 디자인 데이터 등 다양한 입력 데이터 Mean Time to Failure (MTTF), Mean Time to Repair (MTTR), Failure Rate가 필요하다.

2.1.1 고장모드 영향 및 임계분석(FMECA)

FMECA는 적용대상인 설비나 기기가 일으키는 고장의 형태인 각각의 고장모드(*Failure Mode*)가 전체 시스템에 미치는 영향과 결과에 대한 분석을 함축하고 있다. 따라서 먼저 고장이 발생한 설비의 고장 모드를 인지함으로써 시작된다. 다음 과정은 고장모드에 따른 파급효과를 인지하는 것이다. 이러한 정보는 설비나 설비의 고장모드가 가지는 질적(*Qualitative*) 또는 양적(*Quantitative*)인 크기를 나타내는 치명도(*Criticality*)와 고장모드가 발생 시 전체 시스템에 미치는 영향을 심각도(*Severity*)를 결정하는 중요한 지침이 된다. 또한 이러한 결과를 통하여 특정 설비나 특정고장모드의 중요성을 인식하고 우선순위를 결정하여 유지보수 계획수립에 반영하게 된다. 그리고 일반적으로 높은 고장확률을 가진 고장모드가 낮은 고장확률을 가진 고장모드보다 치명도가 높을 수 있다.

표 1. 철도변전소 단권변압기 고장모드, 고장원인과 파급효과

고장 모드	고장 원인	해당 기기의 파급효과	전체 시스템의 파급효과
출력 비정상	절연 고장	출력 감소 출력 파도 냉각/열 제거능력 감소 시스템/장비 전력 이상	설비 트립 가능성 전력 감소 가능성 설비 전력 감세 설비정지 시동지연 동작지시 등록 이벤트 기록
지출력	절연 고장	출력 감소 냉각/열 제거능력 감소 시스템/장비 전력 감소	설비 트립 가능성 전력 감소 가능성 설비 전력 감세 설비정지 시동지연 동작지시 등록 이벤트 기록
부출력	권선 개이나 단락	시스템조기화 실패 시스템 출력/기능 손실 출력 손실 우회성능 손실 냉각/열 제거능력 손실 보조시스템 조기화 시스템/장비 트립 시스템/장비 전력 손실	설비 트립 설비 전력 감세 설비 정지 시동 지연 동작지시 등록 이벤트 기록 일차전력 손실

2.1.2 고장을 예측

신뢰도 예측은 제품의 품질을 평가하거나 향상시키기 위해 구성 및 디자인 단계 뿐만 아니라 운영과 유지보수 단계에 있어서까지 활용되고 있다. 보다 정교한 신뢰도 예측을 위해서 최근에는 시스템의 구조를 고려하는 신뢰

도 블록 다이어그램(Reliability Block Diagram) 기법, 고장수목분석(Fault Tree Analysis)등의 방법론이 개발되고 있다. 초기 디자인 단계에서는 고장률 예측이 가장 널리 사용된다. 신뢰도 예측은 제품의 useful life 기간의 고장률 값을 예측하는 프로세스를 의미한다. 그러나 실제로는 제품의 디자인은 완벽할 수 없으며 어떤 파트의 고장은 전체 시스템의 고장을 야기하지 않기 때문에 실제상황을 완벽하게 고려한 신뢰도 예측은 불가능하다.

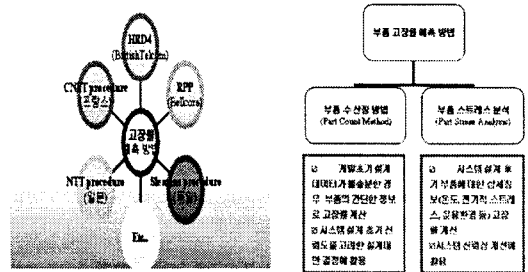


그림 2. 신뢰도 기반 유지보수 절차

또한 기존의 고장 데이터는 15년 이상 수집되어야 할 필요가 있는데 그런 데이터는 대개 존재하지 않는다. 따라서 예측된 데이터에도 불확실성이 내재되어 있다는 것을 무시할 수는 없다. 한편, 일부 예측 기법 매뉴얼에는 기존의 고장 데이터 대신 제조업체에서 제공하는 고장률을 사용하도록 허용하고 있다. 이러한 경우 제조업체에서 테스트한 환경에 종속적인 예측결과가 나오게 되는 것에 주의해야 한다. 전력설비의 신뢰도는 하위 부품들의 신뢰도를 알고 있다면 이들로부터 예측가능하다. 신뢰도 예측방법 중 하나인 Part Count 기법의 경우 새로운 제품의 디자인의 초기부터 가능한 장점이 있다. 또한 제품의 디자인이 완료된 후에 제품에 영향을 줄 수 있는 스트레스에 대한 조사와 측정이 끝난다면, Part Stress 기법으로의 예측이 가능해진다. 이외에도, 두 가지의 제품을 특수한 조건하에서 테스트함으로써 신뢰도 예측을 하는 방식도 있다. 이 경우 일상적인 조건보다 가혹한 조건을 주게 되는데 이러한 방식을 가속수명평가시험(Accelerated life test)이라고 한다. 이러한 방법을 통하여 다양한 조건하의 사용자에 맞는 신뢰도를 예측할 수 있다. 실제적으로는 제품을 출시하기 전에 제품 샘플을 사용자에게 공급하여 예측된 신뢰도 값과 실제 샘플에 의해 수집된 데이터가 얼마나 잘 맞는지에 대한 확인 작업을 수행하기도 한다. 일부 신뢰도 예측기법은 실제 샘플을 가지고 조사한 결과까지 고려하기도 한다.

2.1.3 고장목 해석에 의한 신뢰도 산정

FTA는 시스템의 전체와 일부분의 고장이 어떠한 논리로 결부되어 있는지를 고장목(Fault Tree)으로 나타내어 시스템의 고장을 해석하는 방법이다. 고장이나 결함을 발생시키는 사상(event)을 사건 원인에 따라 논리게이트를 이용하여 FT를 작성하고 시스템의 고장확률을 구하여 고장이 발생한 부분을 찾아 시스템의 문제점이나 시스템의 신뢰성을 개선할 수 있다. FT의 작성은 시스템 고장의 최상위사건 즉, 주요 시스템 고장(Top event)을 규정하고 사건을 일으키는 하위 고장의 원인을 찾아 각 요소별 연결의 인과관계에 따른 논리게이트로 결합하여 더 이상 분해가 불가능한 기본사상(Basic event)이 될 때 까지 반복한다. FTA는 시스템의 고장 원인의 연역적인 추론과 분석이 가능한 방법으로 사실과 현상이 복잡한 경우 인과관계를 알기 쉽다는 장점이 있다

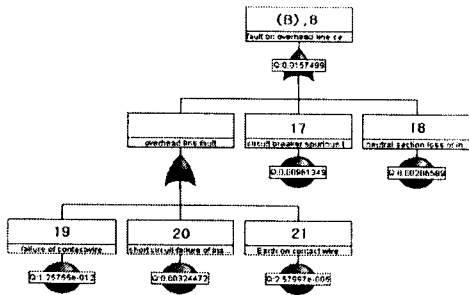


그림 3. Relax를 이용한 전차선로 고장수목도 해석의 예

2.2 철도변전소의 고장모드에 따른 치명도 산출

신뢰성 분석 소프트웨어인 Relx는 1980년 중반 미공군 산하 Rome 연구소 신뢰성 분석센터 연구원들에 의해 개발되어 전 세계 신뢰성 분석 소프트웨어 시장의 80%를 점유하고 있는 전문 프로그램으로 다양한 신뢰성 분석기법을 소프트웨어로 구현하여 시스템의 수명과 신뢰도, 가용도, 고장유형분석, 정비예측, 비용분석 등이 가능하며 그 밖의 신뢰성과 PRISM모델에서 NPRD(기계)와 EPRD(전자) 부품정보를 사용할 수 있다. 활용측면에서 일부 민수분야의 전자/전기제품 제작업체에서 많이 사용하고 있으나 아직 그 인지도가 매우 낮은 실정이다. 그림 4는 철도변전소의 고장을 및 심각도 발생도 발견도의 입력과정을 나타내고 있다.

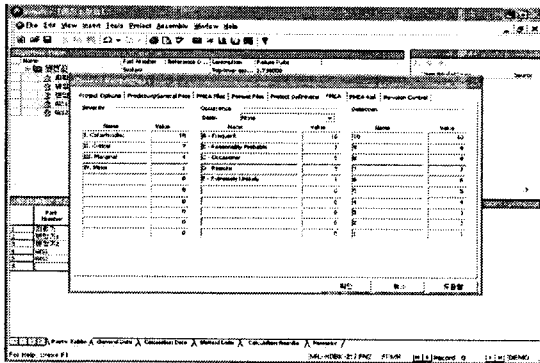


그림 4. 심각도 발생도 발견도의 입력과정

표 2. 철도변전소 단권변압기 고장모드, 고장원인과 파급효과

Mode Description	Mode Frequency	Failure to Mode	Mission Failure	Severity	FR Data Source	Effect Prob	Mode Rate	Failure Rate	Expos Time	Expos CTR	Worst CTR	Frequency
파괴전압	Voltage Transformer	Fault to insulation from improper operation	Ground Fault	3. Marginal	0.000000	3.00	40.0	0.000000	100.0	0.48.00	0.01.00	240.00
		Fault to ground insulation from	Ground Fault	3. Marginal	0.000000	3.00	80.0	0.000000	100.0	1.48.00	0.01.00	240.00
부정전압	Voltage Transformer	Fault to ground insulation from	Ground Fault	1. Catastrophic	0.000000	10.00	40.0	0.000000	100.0	27.3.00	0.01.00	273.00
		Fault to ground insulation from	Ground Fault	3. Marginal	0.000000	9.00	40.0	0.000000	100.0	2.48.00	0.01.00	24.80
		Insulation of the output	Ground Fault	3. Marginal	0.000000	9.00	20.0	0.000000	100.0	9.90.00	0.01.00	99.00
		Insulation of the output	Ground Fault	1. Catastrophic	0.000000	5.00	40.0	0.000000	100.0	2.49.00	0.01.00	24.90
과전압	Surge	Fault to ground insulation from	Ground Fault	3. Catastrophic	0.000000	6.00	40.0	0.000000	100.0	2.16.00	0.01.00	21.60
		Insulation of the output	Ground Fault	3. Marginal	0.000000	7.00	20.0	0.000000	100.0	0.95.00	0.01.00	9.50
		Fault to earth lead	Ground Fault	1. Catastrophic	0.000000	6.00	60.0	0.000000	100.0	0.60.00	0.01.00	6.00
과전압	Surge	Fault to earth lead	Ground Fault	3. Catastrophic	0.000000	9.00	20.0	0.000000	100.0	2.20.00	0.01.00	22.00
		Fault to earth lead	Ground Fault	3. Catastrophic	0.000000	4.00	30.0	0.000000	100.0	0.70.00	0.01.00	7.00
과전압	Surge	Fault to earth lead	Ground Fault	3. Catastrophic	0.000000	5.00	30.0	0.000000	100.0	0.70.00	0.01.00	7.00
		Fault to earth lead	Ground Fault	3. Catastrophic	0.000000	4.00	20.0	0.000000	100.0	0.64.00	0.01.00	6.40
과전압	Surge	Fault to earth lead	Ground Fault	3. Catastrophic	0.000000	3.00	30.0	0.000000	100.0	0.25.00	0.01.00	2.50
		Fault to earth lead	Ground Fault	3. Catastrophic	0.000000	3.00	30.0	0.000000	100.0	0.25.00	0.01.00	2.50

본 논문에서 사용도 위험도 순위는 심각도 발생도 발견도의 곱으로 나타내어진다.

$$\text{Risk Priority Number} = \text{Severity} * \text{Detection} * \text{Occurrence}$$

위의 식과 고장모드분석을 통한 결과는 표2에 나타나 있다.

3. 결 론

효율적이고 경제적인 유지보수를 위해서는 RCM 평가 절차에 따라 모든 설비에 동일한 점검 기준이 아닌 대상 설비의 고장형태에 적절한 기준과 업무를 선별하여 적용하여야 한다. RCM 평가 절차에 따르면, 평가를 수행하기 위해서 블록별 고장모드 분석이 선행되어야 하며, 매우 핵심적인 절차임을 확인할 수 있다. 이와 같이 RCM 평가절차는 정확한 블록별 고장모드 분석을 전제로 하고 있으나, 현재 국내에서는 체계적인 고장모드 분석이 제대로 이루어 지지 않고 있는 실정이다. 또한, 최근 여러 산업분야에 적용되고 있는 RCM의 효과를 극대화하기 위하여도 본격적으로 철도전력설비에 RCM을 적용하기 위한 근간이 되는 고장모드별 원인, 파급효과 등을 파악하고 현재 시행되고 있는 국내의 점검수준에 대한 조사와 분석을 수행하여 설비가 갖는 고장 모드에 따라 알맞은 조치를 선정하기 위한 기초자료를 마련이 시급하다.

[참 고 문 헌]

- [1] John Moubray, Reliability-Centred Maintenance, Butterworth-Heinemann, Oxford, Reprint 1995.A.
- [2] Marvin Rausand, "Reliability Centered Maintenance," Reliability Engineering and System Safety, No. 60, pp. 121-132, 1998.
- [3] MIL-STD 1629A, Reliability-Centred Maintenance, US Department of Defense, Washington DC 20301.
- [4] 이성훈, 이승현, 김진오, "통계적 분석방법을 이용한 복합화력 발전설비의 평균수명 계산 및 고장확률 예측," 전기학회 논문지, 제 54A권, 제 10호, pp. 480-486, 2005, 10.
- [5] R. Rillinton and R. N. Allan, Reliability Evaluating of Engineering System, Plenum Press, 1992.
- [6] M. J. Crowder, A. C. Kimber, R. L. Smith and T. J. Sweeting, Statistical Analysis of Reliability Data, Chapman and Hall, 1991.
- [7] Cheng Yun, T. S. Chung, C. W. Yu, C. Y. Chung, Zeng Ming, and Sun Xin, "Application of Reliability-Centred Stochastic Approach and FMECA to Conditional Maintenance of Electric Power Plants in China," IEEE International Conference on Electric DRPT, April 2004.