

철도급전시스템의 신뢰도기반 점검주기 산정

The Evaluation of Inspection Period based on Reliability in Railway Traction Power Systems

김형철*
 (Hyungchul Kim)

Abstract - In this paper, the analysis of inspection period bases on reliability is suggested in the field of traction power system. Even though there are several maintenance models, the most commonly used maintenance assessment has been focused on time based maintenance in real traction power systems. The maintenance intervals are selected on the basis of long-time experience. It ensures high availability and exact planning of staff. Reliability centered maintenance, which evaluates criticality and severity of each failure mode, achieves the operation, maintenance, and cost-effective improvement that will manage the risks of equipment. This paper deals with electrification in railway inspection frequency and applied reliability based inspection frequency instead of constant intervals. The distribution function of failure rate in traction power system belongs to Weibull function. Also, the fault data and the number of installed equipments for electrifications are collected. The failure history is investigated and classified in detail. Though these complicated procedures, it contribute to extend equipment lifetime and to reduce maintenance costs.

Key Words : Reliability, RCM, FMECA, Failure rate, Traction power system

1. 서론

철도산업에서의 급전시스템은 한국전력공사에서 공급되는 전력을 변환하여 전차선로에 급전하는 역할을 한다. 변전소의 구성은 크게 수전 설비, 변압기 설비, 콘덴서 설비, 급전 설비, 그 외 고압배전 설비와 소내 전원 설비로 구성된다. 각각의 기능을 간단히 설명하자면, 수전 설비는 송전선로에서 3상 154[kV] 특별 고압의 전원을 수전하기 위한 설비이다. 차단기, 단로기, 계기용변성기, MOF, 수전 모선, 피뢰기, 보호계전기 등으로 구성되어있다. 변압기 설비는 전차선로에 알맞은 전압 공급하고 스코트 결선 변압기 단상부하에 따른 3상 전원에 대한 불평형을 경감한다. 콘덴서 설비는 인덕턴스에 의한 전압강하를 보상하고 전기철도 운행 시 고조파 발생을 억제하며 무효전력 경감한다. 급전설비는 주변압기 2차 측의 급전용 모선으로부터 급전 인출설비까지를 말한다. 안정적이며 경제적인 전력 공급을 위해서는 여러 중요한 조건들이 있지만 그 중에서 전력시스템을 구성하고 있는 설비들이 안정적인 전력공급을 할 수 있는 상태를 유지시키기 위한 적절한 유지보수 계획 수립도 고려대상이 될 것이다.

현재 주로 우리나라에서 전력설비에 적용하고 있는 유지보수 계획은 설비 자체의 보존에 초점을 두거나 운영자 입장에서 운영의 편리성만을 지나치게 고려하여 설비의 특성과 운영 상태를 고려하지 않고 일괄적인 주기를 설비에 적

용하고 있는데 이러한 형태는 유지보수에 필요한 비용이 과다하게 소요되며 효율성을 감소시키는 결과를 가져온다. 그림 1의 세계철도연맹 UIC 2009년 조사에 따르면 우리나라의 유지보수 비용은 유럽 평균 유지보수 비용의 2배 가까운 것으로 조사되었다.

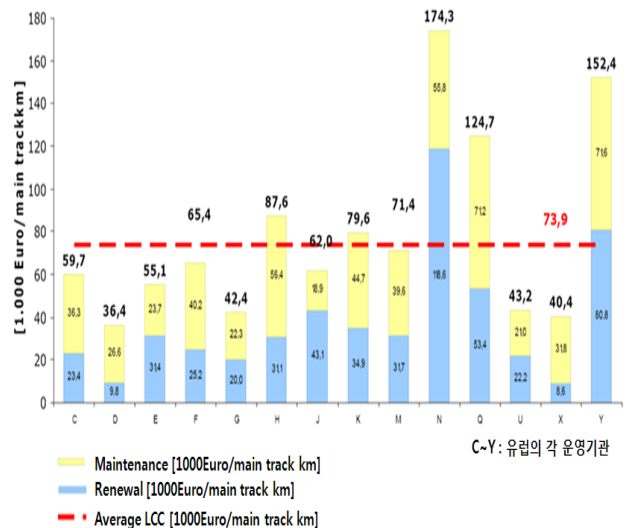


그림 1 유럽의 철도 유지보수 비용 [UIC LICB, 2009]
 Fig. 1 Railway maintenance cost of European country

그러므로 철도분야의 경영 악화 등으로 인하여 유지보수 비용의 절감이 그 어느 때 보다 요구되고 있는 상황이다. 이에 신뢰도 확보 및 경제성 향상을 위하여 불필요한 예방 유지보수의 감축을 비롯하여 최적 유지보수 적용기법 개발

* Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, Uiwang, Korea

E-mail : hckim@krii.re.kr

Received : June 27, 2013; Accepted : July 7, 2013

이 요구되고 있다. 따라서 신뢰도 기반 유지보수 계획의 급전계통 설비 적용연구는 설비의 기능유지에 매우 큰 영향을 미치는 설비와 그렇지 않은 설비를 고장 영향 및 임계분석을 통하여 선정하고 그에 따라 유지보수 방법을 달리하면서 설비의 기능유지와 경제성 모두를 고려해야한다.

본 논문에서는 점검주기를 결정하는 실제로 획득할 수 있는 자료와 적용 가능성 검토하고 최적의 점검주기 방식이 제시되었다. 그러기 위해서는 신뢰도 기반 유지보수(RCM: Reliability Centered Maintenance)계획에 따른 유지보수 계획 수립과, 평가의 중요 단계인 고장모드 및 임계분석(FMECA: Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) 평가가 선행되어야한다.

2. 본 론

2.1 전기철도 유지보수 체계

유지보수를 적용하고자 하는 설비나 기기가 담당하고 있는 기능, 고장의 발생하는 형태를 설명하는 고장모드, 그 고장모드를 일으키는 고장원인과 고장모드로 인한 전체 시스템에 미치는 과급효과 등을 고장모드 분석을 통하여 얻을 수 있으며 각 설비나 기기의 치명도와 심각도를 판별할 수 있다. 이러한 자료들은 유지보수 업무를 선택하는 과정과 적절한 예방정비를 수립하는데 중요한 기초가 된다.

유지보수 방법 선택은 설비의 고장의 원인을 제거하고 적절하며 비용 효율적인 유지보수인지를 고려해야 한다. 또한 유지 보수 업무 선택 과정은 유지보수 계획 수립에 중요한 영향을 미치므로 구조화된 논리과정으로 결정이 되어야 하는데, 이러한 논리과정은 고장 가능성을 줄이고 고장을 제거할 수 있는 일관된 유지보수방법을 선택해야 하며 이러한 선택을 하는 과정에서 고장모드 분석이 중요한 기초 자료로 활용된다. 현재 전철전력분야의 유지보수의 체계는 아래 그림 2와 같다.



그림 2 전철전력분야 유지보수 체계 (철도공사 제공)
Fig. 2 Maintenance structure of traction power systems

설비에 적용하는 유지보수 계획은 크게 설비에 고장 발생 후 고장의 원인을 제거하는 정비방법으로 설비의 중요성이 상대적으로 덜한 설비에 적용되는 고장정비(Corrective Maintenance)계획, 일정한 시간간격으로 고장을 발생시킬 수 있는 고장원인을 설비의 수리와 교체로 제거하는 정기정비

(Routine Preventive Maintenance)계획과 설비 운영 중에 설비의 상태를 감시하는 예측진단을 실시하여 고장이 발생하기 전에 고장원인을 제거하는 예측정비(Predictive Maintenance)계획으로 나누어진다. 특히 예측정비계획은 시스템의 기능유지에 중요한 설비에 적용되며 예측진단에는 설비의 상태를 감시하는 모니터링 장치를 설치하거나 일정한 시간 간격으로 설비의 상태를 감시하는 검사 등이 포함된다.

신뢰도 기반 유지보수는 IEC의 정의에 따르면 “설비와 구조물의 본래수준과 안전성을 효과적으로 달성하기 위한 체계적인 예방정비 프로그램을 수립하기 위한 방법”으로 정의하고 있다. 현재 철도분야에서는 차량에 대한 신뢰도 기반 유지보수가 일부 적용중이며, 전철전력설비에 관해서는 철도기술연구소에서 기초연구를 진행 중이다.

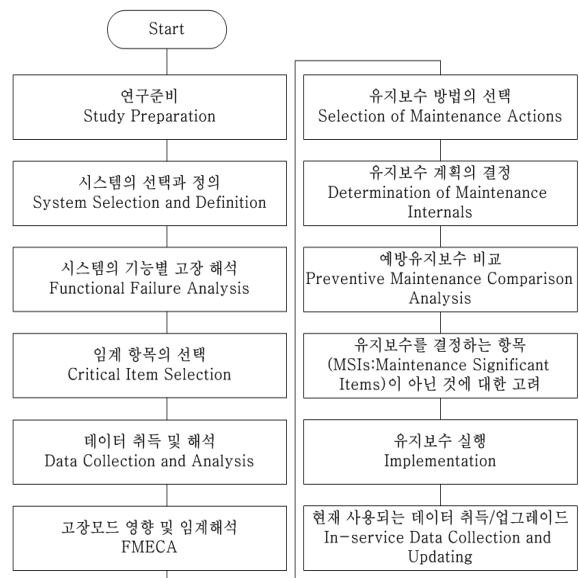


그림 3 신뢰도 기반 유지보수 절차
Fig. 3 The procedure of reliability centered maintenance

그림 3은 일반적인 RCM 적용 절차로, 이것에 포함되어 있는 고장모드 및 임계분석의 기본적인 목적은 시스템의 운용과정에서 생길 수 있는 위험요소를 설계단계에서 체계적으로 정리하고 분석하여 미래의 안전을 확보하자는 차원에서 시작되었다.

FMECA는 적용대상 설비나 기기가 일으키는 고장 형태에 따른 각각의 고장모드가 전체 시스템에 미치는 영향과 결과에 대한 분석을 함축하고 있다. 따라서 먼저 고장이 발생한 설비의 고장 모드를 인지함으로써 시작된다. 다음 과정은 고장모드에 따른 과급효과를 인지하는 것이다. 이러한 정보는 설비나 설비의 고장모드가 가지는 질적 또는 양적인 크기를 나타내는 치명도와 고장모드가 발생 시 전체 시스템에 미치는 영향을 심각도를 결정하는 중요한 지침이 된다. 또한 이러한 결과를 통하여 특정 설비나 특정고장모드의 중요성을 인식하고 우선순위를 결정하여 유지보수 계획수립에 반영하게 된다. 표 1은 스크트변압기의 고장모드 분석에 관한 예이다.

표 1 설비의 고장모드, 고장원인과 파급효과 분석의 예 (스코트 변압기)

Table 1 The example of failure mode and effect (Scott Transformer)

고장 모드	고장원인	해당 기기의 파급효과	전체 시스템의 파급효과
출력 비정상	절연고장	출력/기능 감소	설비 트립, 전력 감소 설비정지, 시동지연, 동작지시 등록, 기술적 스펙 위반 이벤트 기록, 보조전력 손실
	권선의 개방이나 단락	전력이상	
저 출력	절연고장	출력/기능 감소	설비 트립, 전력 감소 가능성, 설비정지 시동지연, 기술적 스펙 위반, 이벤트 기록
	권선의 개방이나 단락	전력 감소	
무 출력	절연고장	시스템 초기화 실패 출력/기능 손실	전력 감소, 설비정지, 시동지연, 동작지시 등록, 기술적 스펙 위반, 비상계획 실행, 보조 전력 손실
	권선의 개방이나 단락	보조시스템 불능 시스템/장비 절연성 능 및 전력 손실	

2.2 유지보수 방법 선택 및 고장모드 분석의 활용

유지보수 방법의 선택은 설비의 특성을 반영해야 하는데, 그림 4는 업무 선택 방법을 보여주고 있다. 선택할 수 있는 업무 형태들의 장, 단점을 인식하는 것도 중요하지만 더욱 중요한 것은 선택된 업무가 가장 경제적인 업무인지를 인식하고 고려해야 한다. 적절한 유지보수 업무를 선택하기 위해서 고장모드분석을 통하여 나온 결과들을 기초 자료로 활용한다. 그림 4의 유지보수 선택 프로차트에 따라 유지보수 업무 선택에 있어서 먼저 예측진단 업무가 적합한지를 확인한다. 예측진단 업무가 경제적이지 않다면 정기정비 업무를 선택하게 된다. 또한 위의 두 업무가 적합하지 않다면 다음 업무들을 고려해야 한다. 만약 업무를 선정해야 할 설비의 고장 발생 후 전체 시스템에 미치는 파급효과가 크다면 디자인 변경을 고려한다. 또한 파급효과가 그다지 크지 않다면 운영 후 고장이 발생하여 고장이 발생한 것을 인지하게 되어 고장 정비 실시하는 업무를 선택한다. 만약 고장 여부가 인지되지 않는 경우라면 고장진단 업무를 고려하게 된다.

예측진단 업무는 설비의 중요도와 업무 선택 시 필요한 비용을 고려하여 먼저 설비의 상태를 파악하여 고장을 예측하기 위한 예측진단을 고려한다. 예측진단은 예측정비와 차이가 있다. 예측진단은 장치의 고장을 예측하기 위해 사용되는 감시 혹은 진단 활동이며 예측정비 업무는 예측진단을 통하여 예측되는 고장을 예방하기 위하여 실시되는 업무를 말한다. 예측진단에 기초한 예측정비 업무는 설비의 상태를 확인할 때까지는 실시 할 수 없다. 또한 예측진단 업무는 설비를 운영하면서 설비의 상태를 알기 위해 색깔, 진동, 소음이나 외관 검사 등 간단한 진단법을 사용하거나 온도기록법과 용존 가스분석과 같은 복잡한 예측기술 형태 등을 통하여 정성적이나 정량적 감시의 형태를 갖게 된다. 업무의 이러한 형태는 설비가 언제 어떻게 고장이 발생되기 쉬운지 알 수 있어야 한다.

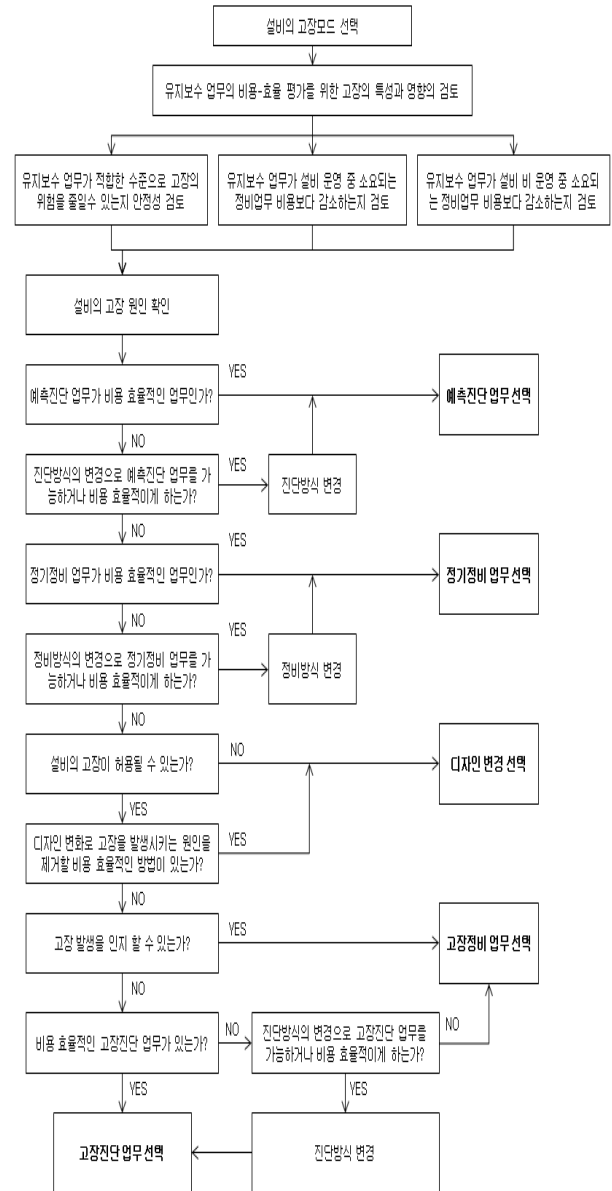


그림 4 유지보수 선택 프로차트

Fig. 4 The flowchart of maintenance selection

설비의 중요도와 업무 선택 시 필요한 비용 고려에 따라 예측진단 업무가 적합하지 않는 설비들은 다음 순서로 정기정비 업무를 고려해야 한다. 정기정비 업무는 일상적인 예방 활동이다. 그것은 시간의 흐름, 동작의 수, 동작 시간 혹은 연간 계절의 변화와 같은 요인들에 의해 추정된 설비의 상태에 기초하여 수행된다. 정기정비 업무의 특성은 설비의 상태에 상관없이 미리 정해진 시간에 따라 예방정비를 수행한다는 것이다. 예측진단 업무처럼 정기정비 업무도 세척, 윤활유 투입 혹은 상대적으로 복잡한 기기의 재 설치와 같은 간단한 유지보수 활동이 포함 될 수 있다. 또한 수리나 교체 등 넓은 범위의 활동들도 포함된다. 예측정비 업무는 예측진단의 결과에 기초하여 수행되지만 정기정비 업무는 미리 결정된 유지보수 계획에 따라 수행되므로 운영되고 있는 설비의 상태에 따라 적용되는 업무는 아니다. 이것이 정기정비 업무와 예측진단 업무의 차이점이다.

고장정비 업무는 예측진단 업무와 정기정비 업무가 기술적으로 적합하지 않고 중요도를 고려하여 선택 시 필요한 비용만큼 경제적이지 않을 때 적용되는 업무이다. 고장정비를 결정하기 위해 정보 중 두 가지가 검토되어야 한다. 하나는 관련 고장모드의 영향이다. 설비의 고장 발생 후 전체 시스템에 미치는 파급 효과가 크지 않다면 고장정비 업무가 적절하다. 그러나 고장 발생 후 파급효과가 크고 예측진단 업무와 정기정비 업무의 적용이 적합하지 않다면 디자인 변경을 고려해야 한다. 두 번째는 설비의 고장을 즉시 파악할 수 있는가 하는 문제이다. 즉시 고장의 일반적인 상태를 파악할 수 있다면 고장정비를 선택하는 것이 적당하다. 고장 상태를 파악하는데 경보장치나 다른 고장 감시 기기를 통해 파악할 수도 있다. 하지만 이때는 정확한 고장의 특성을 알 필요는 없다. 고장 특성은 분석을 통해 나중에 결정할 문제이지 고장 여부를 먼저 파악하는 것이 중요하기 때문이다. 만약 즉시 고장을 인지하지 못하는 경우라면 고장진단 업무의 적용을 고려해야 한다.

디자인 변경은 일반적 유지보수 방법이라 보기는 어렵다. 그러나 유지보수 업무를 선택할 때 적절한 업무가 없고 설비를 계속 운영하는 것은 효율적이지 않을 때 실행할 만한 대안이다. 업무선택 논리에 따라 적용할 예방/예측 기술이 경제적으로 효율성이 높은지를 결정한다. 효율적이지 않다면 고장 결과에 따라 고장정비가 고려되고 고장 발생 후 시스템에 미치는 파급효과가 크다면 디자인 변경을 고려하게 된다. 디자인 변경은 예측진단 업무와 정기정비 업무가 경제적이지 않는 경우에 많이 사용되며 디자인 변경이 고장의 원인을 제거하는 측면이므로 효율적이다. 정비의 실행 수를 줄이는 것이 예방정비와 고장정비를 반복수행 하는 것보다 장기적 측면에서 경제적이기 때문이다.

고장진단 업무는 고장이 예상되지 않거나 예방할 수 없을 때 이루어지는 테스트들과 검사 과정이다. 고장진단 업무와 다른 예방 업무 사이의 기본적인 차이점은 고장진단 업무는 설비의 고장모드를 인식하는 것에 중점을 둔다는 것이다. 반면 다른 업무는 고장의 원인에 중점을 둔다. 예를 들어 고장 예방업무는 고장이 일어나지 않게 하기 위해 적절한 교체나 재조정되는 시기를 결정하기 위해 오일의 비유전적 강도를 측정할 것이다.

2.3 전철전력 설비 유지보수 주기 분석

각 설비의 대한 적절한 유지보수 업무를 결정하였다면 다음으로는 선택한 업무의 주기를 결정하는 것이 중요하다. 업무의 주기를 결정짓는 요인이 많기 때문에 유지보수의 적절한 주기를 결정하기 위한 지침을 마련하는 것은 어렵다. 유지보수의 주기 결정에 관련한 영향은 고장원인, 운영시간, 의무주기, 설비수명, 환경, 고장모드의 치명도등이다.

따라서 고장모드 평가 자료를 기초로 업무의 주기를 결정하게 되지만 선택된 업무의 형태도 영향을 미치며 업무 적용에 따른 비용도 고려해야 할 중요한 항목이 된다. 예방진단 유지보수 주기는 시간경과, 연간활동량, 운영횟수, 운영시간 혹은 이러한 것들의 조합으로 고장원인들을 예방하도록 한다. 정기정비 업무는 설비의 상태에 무관하게 예방조치를 실시한다. 과거 실시된 업무의 결과를 통하여 주기를 변경

할 수 있다. 예방정비 업무의 적절한 주기를 찾는 핵심은 고장원인의 패턴들을 인지하고 심각한 피해를 줄 수 있는 고장을 피하기 위해 예방조치의 주기를 조절하는 것이다. 업무수행의 주기는 미래에 치명적인 고장을 발생시킬 수 있는 설비에 불필요한 마모, 물리적인 스트레스 혹은 손상을 피할 수 있어야 한다. 설비 운영의 안정성만 너무 과하게 고려하여 정기정비 업무사이의 시간을 짧게 가져가는 것은 예방 유지보수 자원을 과다하게 소모하므로 적절하지 않다.

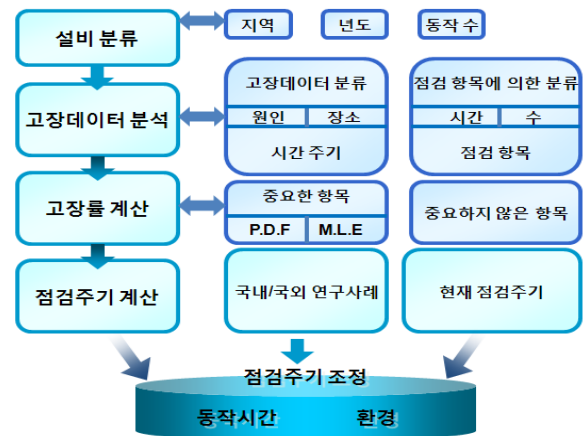


그림 5 점검 주기 조정의 흐름도

Fig. 5 The decision of inspection period

그림 5는 점검주기 산정의 절차를 나타낸다. 조사 결함의 경우 감시지역과 경로에 의해 분류될 수 있다. 지역과 경로의 분류 데이터는 각각 환경 영향 평가 및 고장분석에 적용할 수 있다. 점검주기의 결정은 다음 절차를 따른다.

1단계 : 전철 전력 시스템의 설비 분류

전철전력설비분류는 많은 시간이 요구되며, 데이터는 조사한 데이터베이스로부터 수집될 수 있다. 데이터는 설치데이터와 지역, 각 설비의 수와 작동 시간을 포함한다. 설치 데이터는 년도와 노선에 의해 분류 된다. 설치 년도의 히스토그램은 설비 교체 일정을 대체하는 데에 유익할 수 있다. 동작 시간은 평일과 주말의 기차일정에 따라 정해질 수 있다.

2단계 : 고장데이터 분석

고장 기록 데이터는 철저히 조사되고, 분류되어야 한다. 이는 위치, 원인, 지속시간 및 결과를 포함한다.

3단계 : 고장률 계산

고장률은 점검 주기를 위해 가장 중요한 요소 중 하나이다. 중요치 않은 항목의 경우, 고장률은 고려되지 않는다. 그림 6과 같이 와이블 함수가 고장률 추정을 위해 채택되었다. 전력 설비의 고장은 빈번하지 않고, 수집된 데이터도 충분치 않다. 최대 추정값의 적용은 와이블 분포함수의 매개변수를 확보하는 것이 일반적이다.

전기적, 기계적 장치들이 다양하게 있기 때문에, 고장률은 다양한 고장함수 패턴들로 이루어진다. 동작 시간에 고장이 날 확률은 몇 가지 패턴으로 나눌 수 있다. 어떤 설비들은 높은 고장률로 시작하고 결국엔 일정하게 떨어지고, 어떤 설

비들은 일정한 조건부 고장률을 가지고 있으며, 어떤 설비들은 천천히 증가하는 조건부 고장률을 가지고 있다, 마모시기의 끝부분에서, 이것은 다양한 패턴으로 표현될 수 있기 때문에 와이블 분포함수는 전력시스템설비에서 일반적인 수명 데이터를 분석하는데 있어 적합하다. 와이블 분포함수의 신뢰도 함수 $R(t)$ 와 고장률 $\lambda(t)$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$R(t) = \exp\left[-\frac{t}{\eta^\beta}\right], \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \frac{t}{\eta}^{\beta-1} \quad (1)$$

($\beta > 0$: 형상모수, $\eta > 0$: 척도모수)

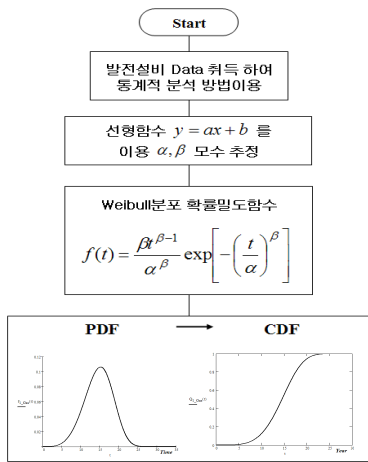


그림 6 고장확률 계산
Fig. 6 The evaluation of pdf

알 수 없는 매개변수 판단은 최대 추정값에 의해 적용된다. $f(X; \theta)$ 의 확률밀도함수와 분포로부터 가져온 임의의 확률 변수 X_1, X_2, \dots, X_n 를 고려한다. θ 는 분포에서 알 수 없는 변수의 벡터이고, 최대 추정값 $f_n(x; \theta)$ 는 식(2)에서처럼 임의의 관측의 집합 $x = x_1, x_2, \dots, x_n$ 다수의 확률 밀도 함수로 표현된다.

$$f_n(x; \theta) = f(x_1; \theta)f(x_2; \theta) \dots f(x_n; \theta) \quad (2)$$

변수의 추정을 위해 대수를 단순화하기 위해서, 우도함수 자체 대신 우도함수의 대수를 극대화하는 것이 일반적이다. 우도함수의 대수는 순차적으로 증가한다. 극대화 문제의 해결책은 목적함수의 변화에 의해서는 영향 받지 않을 것이다.

4단계 : 점검주기 계산

점검주기는 목적함수에 따라 다르게 결정될 수 있다. 본문에서는 신뢰도 향상을 목적함수로 두면 아래와 같이 표현된다.

$$\overline{R(T_0)} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0 - T_c} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda T_0} [1 - e^{-\lambda(T_0 - T_c)}] \quad (3)$$

(T_0 = 검사빈도주기, T_c = 평균수리시간)

점검주기를 평가하기 위해서, 동작시간 동안 신뢰도함수의 평균이 요구되며, 점검주기 T_0 는 평균 신뢰도함수의 최대화 된 값이다. 계산된 점검주기 T_0 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_0 = \left(\frac{2T_c}{\lambda} + T_c^2\right)^{1/2} \quad (4)$$

5단계 : 각 국가의 연구 사례/전문가 의견

국내 철도 운영 회사와 해외 회사들과의 비교한 경우가 고려되었다. “가공접촉선의 유지보수 지침”은 가공접촉선에서 벨기에, 체코, 폴란드, 독일, 프랑스, 스페인, 이탈리아, 슬로바키아, 스위스의 연구사례를 보여준다. 각 나라는 다른 가공접촉선을 가지고 있기 때문에 약간씩 다른 유지레벨을 가지고 있다. 국내에서도 각각 도시철도 운영회사는 다른 유지 보수 간격을 가지고 있다.

표 2 철도운영기관들의 유지보수 주기 (UIC code 791-1)
Table 2 Inspection period of railway company

		유지보수활동주기						
		주기						
해외 기관명		ADIF	DB	INFRABEL	RFI	SNCF	THSR C	
점검 / 제어	도보		6M	2M	4M	3/6M	-	
	트롤리		6M		1M	4/6W	1D	
	전철			1Y	2M		1W	
	주요 측정	절연체	1Y			1W		1
		절연체	6M			1W	1/2Y	6M
		애자	6M			1W		6M
		측정기	1Y			1W		-
		스위치	2M			4M	3/4Y	6M
		건넌선 장치	2M			1W	1/2Y	6M
		밸브	1Y			1Y		6M
		과전압 방전	1Y			1Y		6M
	스위치 단로기	1Y			1Y		1Y	
	변압기	1Y			1Y		2Y	

6단계 : 점검주기 조정

4단계로부터 구한 점검주기와 운영회사의 경우를 포함한 현재 점검주기가 수집될 수 있다. 지역별, 노선별 분류자료는 각각 환경 영향 평가 및 고장분석에 적용될 수 있다.

설비의 교체표준에 대해서는 일반적으로 경년을 따르나, 환경조건(염해, 공해 등) 및 사용조건(사용의 빈도, 부하율 등) 등에 의해 조건의 변화가 있어, 각각의 차이가 있으므로, 그것들의 구체적인 교체 표준치 및 검사시기의 설정에 대해서는 환경조건 및 사용조건에 의해 설비 담당자가 결정한다.

설비교체표준치의 설정 =
(환경조건의 계수)*(사용조건의 계수)*(교체표준) (5)

표 3 환경조건 및 사용조건 계수

Table 3 The parameter of environment & line condition

		계 수	
		90%	
급전선		염해	염해
		공해	중공업지대
보 호 장 치	가공선로	염해	A선구
		공해	중공업지대
	지락도선	염해	A선구
		공해	중공업지대
	A T 보호선	염해	A선구
		공해	중공업지대
	보호지선	염해	A선구
		공해	중공업지대
	섬락 보호지선	염해	A선구
		공해	중공업지대
	중성선 AT보호선용 접속선	염해	A선구
		공해	중공업지대

노선별*	열차운영횟수 비율	계수
a	100%	100%
b	33%	110%
c	13%	120%
d	3%	120%
e	2%	120%
f	1%	120%
g	2%	120%
h	97%	100%
i	7%	120%
j	10%	120%
k	63%	100%
l	48%	110%
m	51%	100%

오손등급		해안으로부터의 거리(km)	적용기준
등급	ESDD**	기준 적용 사례	
청정	0 ~ 0.030		100%
A	0.030 ~ 0.063	9 ~	110%
B	0.063 ~ 0.125	3.5 ~ 9	
C	0.125 ~ 0.25	1 ~ 3.5	
D	0.25 ~	0 ~ 1	120%

* 노선 a-m : 가상 노선
** ESDD: 등가염분밀도.

교체표준시기에 대해서 환경조건 및 사용조건 등의 표준적인 계수의 예는 표 3과 같다. 예를 들면 염해지역의 A 선구에서는 110 % 적용기준을 적용한다.

2.4 유지보수 주기 조정에 따른 보완사항

전철전력 각 분야별로 점검주기표가 제시되었으며, 점검주기표에는 현재 점검주기, 국내외 사례, 본 과제에서 산출된 이론적 점검주기 및 점검주기 제시안 등이 보여주고 있다. 각 분야에 대한 점검주기 산출비교는 다음과 같다.

표 4 전철전력 분야 점검주기 조정 예

Table 4 The example of inspection period in traction power systems

구 분	점검항목	점검주기 항목계	점검 주기		조정 축소
			동일	확대	
송 변 전	가공선로	10	10	-	-
	지중선로	6	3	3	-
	변압기	4	3	1	-
	유압 차단기	4	2	2	-
	가스 차단기	4	2	2	-
	가스절연 개폐장치	3	3	-	-
	진공 차단기	4	3	1	-
	단로기	7	4	3	-
	전력용콘덴사 및 부속기기	2	2	-	-
	계기용 변성기	3	1	2	-
	지락 보호용 방전장치	4	4	-	-
	피뢰기	4	2	2	-
	제어반 및 배전반	7	4	3	-
	압축공기 발생장치	6	2	3	1
	축전지	2	2	-	-
	충전장치	4	4	-	-
	원격감시 제어장치	2	1	1	-
	접지장치	2	2	-	-
	특고모선	4	4	-	-
	옥외철구 및 구축물	3	3	-	-
합계		85	61	23	1

정확한 점검주기의 분석을 위하여 장애사례의 정확한 작성과 원인분석이 수행되어야 하나, 현재까지의 장애 기록은 장애 시간, 보수완료시간, 장애원인, 보수내용 등의 내용으로만 작성되었다. 따라서 장애에 따른 보안대책에 대한 현장 실무자의 의견이 제외되어 있어, 점검주기의 산정을 위한 가장 중요한 점검항목의 검토가 미비 하였다. 장애의 발생 원인이 확인되면, 그에 맞는 사전 점검방법도 기록되어야 하며, 이를 통해 향후엔 발생 가능한 장애의 원인요소를 사전 예방할 수 있을 것이다.

장애의 발생종류를 기준으로 구분하여 어느 부분의 점검을 강화하므로 추가적인 장애 발생을 억제하고 추후 장애원인별 장애주기의 산정에 반영이 가능하기 때문이다. 그러므로 장애대책방안이라는 항목을 추가시키고, 장애 분류별로 점검주기항목의 대분류별 상세분류별로 작성하여 장애의 사전보수가 가능한 업무에 대하여 기록하고 만약 현재의 점검주기에 제외되어 있으면, 추가적인 항목을 기록하여 운영하되 추가적인 항목은 보편타당하여야 한다.

기존 사용되는 설비고장 원인분석 및 대책기록부의 양식에 장애의 원인분석을 통한 사전보수방안을 점검주기의 항목에 맞게 선택하여 작성하여야 한다. 또한 장애발생에서 보수완료까지의 소요시간을 명확히 기록하여야 점검주기의 정확한 분석이 가능할 것이다.

3. 결 론

본 논문에서는 점검주기를 결정하는 실제로 획득할 수 있는 자료와 적용 가능성 검토하고 최적의 점검주기 방식이

제시되었다. 그러기 위해서는 신뢰도 기반 유지보수 방법에 따라 계획수립과, 평가의 중요 단계인 고장모드 및 임계분석 평가가 선행되어야한다. 현재 운영 중인 철도전기시설물 점검주기가 노선별의 다른 특성이 반영되지 못하고 있으며, 열차빈도와 시설 노후도 등에 대한 내용도 반영되어 있지 않아, 유지보수의 최적화 및 과학화를 통한 유지보수 효율 극대화를 위해서는 이러한 특징들을 조사, 분석하여 이를 반영한 과학적인 점검주기 및 개량주기의 재설정 또는 신규 설정이 필요한 상황이다. 철도에서 전기시설물은 주로 전철전력, 정보통신, 신호제어로 대별되나 이들은 상호 연계된 설비조직으로 운영된다. 따라서 이들 각각의 설비 고장은 쉽게 전체의 철도계통으로 파급되는 특성을 가지고 있어서 총체적으로 다루어져야 하며 각각은 높은 신뢰성을 유지해야 한다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 철도기술연구원 일반사업 ‘철도 그린인프라 구축을 위한 Smart 철도시스템 통합 플랫폼 개발’ 과제지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

References

[1] UIC-code 791-1 "Maintenance guidelines for overhead contact lines" Oct. 2009
 [2] Korea Railroad Research Institute Report, "A study of maintenance efficiency in Korea railway systems" Jan. 2011
 [3] Korea Railroad Research Institute Report, "A study of inspection period and replacement period in railway electrification systems" Jan. 2011
 [4] Yun-Seong Lee, Jin-O Kim, Hyung-Chul Kim, Dong-Uk Jang, "A Study on Modeling of Life Cycle Cost for Magnetic Levitation Train" Korean Society for Railway, Journal of the Korean Society for Railway, pp. 1076-1080 Vol.12 No.6 2009
 [5] Dong-Jin Kim, Jin-O Kim, Hyung-Chul Kim, "Expert System for FMECA Using Minimal Cut Set and Fuzzy Theory", Korean Society for Railway, Journal of the Korean Society for Railway, pp. 342-347, Vol.12 No.3 (WN.52) 2009
 [6] Yun-Seong Lee, Jin-O Kim, Hyung-Chul Kim, Ju-Rak Kim, Jun-Kyung Lee, "Modeling for Power Supply Substation in Maglev Train System" Journal of the Korean Society for Railway, pp.278-282 Vol.13, 2010
 [7] Niveaux de maintenance, Edition du xx-xx-1999, SNCF
 [8] Maintenance Signalisation des lignes LGV 3 et 4 de la SNCB, SNCB

[9] John Moubray, Reliability-Centred Maintenance, Butterworth-Heinemann, Oxford, Reprint 1995.A.
 [10] Marvin Rausand, "Reliability Centered Maintenance," Reliability Engineering and System Safety, No. 60, pp.121-132, 1998.
 [11] MIL-STD 1629A, Reliability-Centered Maintenance, US Department of Defense, Washington DC 20301.

저 자 소 개



김형철 (金炯徹)

1967년 9월 30일생. 1991년 고려대 전기공학과 졸업, 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업, 2003년 Texas A&M Univ. 전기공학과 졸업(공박), 현재 철도기술연구원 책임연구원.