

카플란-메이어 기법을 이용한 선로전환기 계전기의 수명예측에 대한 연구

A Study on life Prediction of Relay for Point-Machine using Kaplan Meier

한국현*, 최규형*[†]

Kook Hyun Han ^{*†}, Kyu Hyoung Choi ^{**}

Abstract Equipment and system that make up the various electrical, electron, mechanical, part, it is important to evaluate the reliability of the failure rate. Point machine in the railway signal is route change an important part of railway components. The train is traveling at a high speed derailment and safety issues affect the on-time service. Point machine in the detector close to the high failure rate is based on failure data non-informative prior distribution and prior distribution by comparison. The posterior distribution of relay for point machine using Kaplan-Meier techniques to predict the lifetime of equipment.

Keywords : Kaplan – Meier, Electric Point Machine, Relay

초 록 설비 및 시스템을 구성하는 다양한 전기, 전자, 기계 부품의 고장률은 시스템의 신뢰성 평가에 기준이 되는 중요한 요소이다. 철도신호에서 전기선로 전환기는 구내에서 진로를 바꾸는 철도 궤도구성품의 중요한 부분을 차지하고 있다. 열차가 고속으로 주행되는 관계로 열차 탈선등의 안전성 문제와 고장으로 인한 정시에 영향을 준다. 본 논문에서는 선로전환기 동작에 필수 요소인 선로전환기 계전기에 대한 현장데이터를 기반으로 사전정보의 유무에 따라 무정보 사전분포(non-informative)와 정보를 기반으로 하는 사전분포 (Prior distribution)를 비교분석하고, 계전기에 대한 수명을 예측하기 위함이다. 향후 체계적인 유지보수 방안을 제시하고자 한다.

주요어 : 카플란-메이어, 선로전환기, 제어계전기

1. 서 론

카플란 - -메이어(Kaplan - Meier) 분석은 누적한계추정법(product - limit)이라 지칭되며 생존시간데이터에 적합하도록 경험적 분포함수를 일반화하는 방법으로 비모수적 기법으로 확률론에 근거하고 있으며 중도절단 예를 포함하여 각 개체의 생존시간이 알려져 있으면 표본의 크기에 구애되지 않고 간단하게 유도 할 수 있다.

본 연구에서는 생존분석을 활용하여 선로전환기 동작에 필수 요소인 선로전환기 계전기의 생존을 추이를 분석하였다. 생존분석은 생존기간(survival time)을 분석하여 생존함수 또는 생존 곡선 (survival curve)를 추론하여 계전기(Relay)에 대한 수명을 예측하여 유지보수비를 절감할 수 있고 유효 적절한 예방정비 방안을 제시하고자 한다.

[†] 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 전기신호공학과 교수

*서울과학기술대학교 철도전문대학원 전기신호공학과

2. 카플란 - 메이어

2.1 수명예측을 위한 카플란 - 메이어 접근법

Kaplan과 Meier(1958)가 제안한 비모수형인 생존함수의 추정에는 확률론에 입각하고 있을 뿐만 아니라, 중도 절단 열 포함하여 각 개체의 생존시간만 알려져 있으면 표본의 크기에 구애되지 않고 간단히 유도한다. K-M법은 누적한계추정(Product-limit)법이라고도 하며, 관찰기간이 짧은 순으로 나열한 뒤 각 고장이 발생한 시점에서의 생존율을 산출해 나감으로써 누적생존율을 산출한다.

연구대상 표본의 크기가 작을 때 유용한 분석 방법이며, 관찰기간을 일정한 간격으로 구분하지 않는다. 관찰시간의 간격은 고장이 발생할 때 자동적으로 결정되며, 관찰시간의 간격은 일정하지 않고 고장이 발생할 때마다 random하게 정해진다.

카플란-메이어 분석은 대상이 일정기간 생존할 확률을 계산하는 것으로, 생존시간이 어떤 분포를 따른다고 가정하지 않은 상태에서 실시하는 비모수적 기법이다. 곡선을 이용한 생존율 계산은 일정구간 동안 생존할 확률을 계산하고 이 구간은 부실시점과 일치하게 된다. 표본의 크기가 n 인 관찰 자료가 있고 이 구간은 부실시점과 일치하게 된다. 표본의 크기가 n 인 관찰 자료가 있고 각 표본의 정확한 고장시간이 알려져 있다고 하면, i 번째의 기기가 고장한 시간을 t_i 라고 표기하면 각 개체의 사망시간은 t_1, t_2, \dots, t_n 으로 표현된다. 이렇게 관찰된 생존시간을 가장 짧은 것에서부터 시작하여 그 길이에 따라 다시 배열하고, 이때의 i 번째의 생존시간을 $t(i)$ 라고 표기하면 그 배열은 $t(0) < t(1) < \dots < t(i) < t(i+1) < \dots < t(n)$ 가 된다. 여기서 $t(0)$ 은 시점0, 시작한 시간을 말한다. 시간 $t(i)$ 이상 생존하는 개체는 $n-i$ 인 까닭에, 시점 $t(i)$ 을 넘겨 생존확률은 식(18)과 구간별 생존확률은 식(19)는 다음과 같다.

$$S(t(i)) = \frac{n-1}{n} \quad (1)$$

$$P(i) = 1 - \frac{t(i)\text{의 고장수}}{t(i)\text{무고장수}} = 1 - \frac{d_i}{n_i} \quad (2)$$

$S(t(i)) = \prod_{i=1}^i p(i)$ 이므로,

$$S(t(i)) = S(t_{i-1}) \times p_i = \prod_{i=1}^i \left(1 - \frac{d_i}{n_i}\right) \quad (3)$$

식(3) 같은 형태로 쓸 수 있다.

여기서 n_i 는 i 번째 구간의 시작점 바로 직전에 관측된 기수이고 이를 위험에 노출된 대상자라고 부른다. d_i 는 i 번째 구간에서 고장 수를 나타낸다. 카플란-메이어 생존율 추정은 표본수가 비교적 적은 경우에 유용하며, 곡선은 계단함수(step function) 모양을 가진다.

2.2 무 정보 사전분포(non-informative prior distribution)

사전정보가 거의 없거나 추정하고자 하는 모수에 대한 과거 경험에 대한 사전 정보나 사용

자의 주관에 전무한 경우에 사용된다. 또한 어떠한 특정값에 대해서도 다른 값들에 비해 더 많은 비중을 두고 고려하지 않는 것이다. 관심 모수의 분포를 직접 정하는 것이 아니고 분포 자체가 랜덤하다는 가정을 한다. 모수에 대한 사전정보가 거의 없을 때 특정한 사전분포를 정하는 문제는 어렵다.

2.3 정보에 의한 사전분포(Prior distribution)

추정하고자 하는 모수에 대한 사전정보나 이론적 지식이 있는 경우 이 정보와 지식을 반영하는 사전분포를 주관적 사전분포 또는 정보 사전분포라 한다. 사용자의 경험에 기반한 주관적 사전분포는 사용자의 자료를 이용하여 자료를 검증하기 이전에 모수에 대한 기존의 생각이나 믿음에 대한 정보를 포함한다.

3. 선로전환기

3.1 선로전환기

레일을 달리는 열차는 자동차처럼 별도의 조향장치가 없어 본선에서 측선으로 진로를 변경하는 것처럼 한 선로에서 다른 선로로 분기하기 위하여 설치한 레일 위의 설비를 분기기라 한다. 이를 행하는 것이 Fig. 1 선로전환기(Switch machine)이며, 그 내부 구조는 Fig. 2와 같다.

선로전환기의 고장이 발생하면 그 고장이 크든 작든 열차 지연의 발생 가능성이 크다. 그만큼 유지보수적인 측면에서 신뢰성이 중요한 장비이다. 선로전환기는 관제에 모 설비에서 진로 변경을 위한 레일의 전환제어 명령이 내려오면 이를 제어계전기 접점을 지나 전동기로 전달되어 전동기가 작동하며 텅레일을 전환한다. 전환이 완료되면 위의 표시정보를 동작 계통에 의해 모설비로 전송하여 관제사나 취급자가 표시상태를 확인하는 것으로 동작이 마무리 된다.



Fig. 1 선로전환기

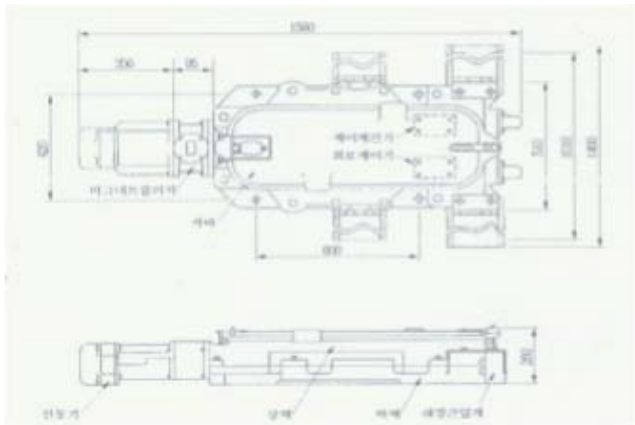


Fig. 2 선로전환기 내부구조(NS-AM형)

3.2 선로전환기용 제어계전기

Table 1 제어계전기 제원

전압	전류	Coil 저항	접점		접점 재질	
			NR4		가동 접점	고정 접점
DC 24V	120mA 이하	200Ω	전동기 회로용 (중접점 6A) NR2	표시 회로용 (경접점 1.5A) NR2	Ag-Ag(순은)	

제어계전기는 선로전환기 내부에 삽입형으로 설치되어 있고 코일에 전류가 흐르면 전자석으로 접점 전환을 하게 된다. 일단 접점이 구성되면 전원공급이 끊어져도 영구자석 때문에 원래의 접점을 유지하는 특성을 가지게 되며 제원은 Table 1에 나타나 있다. NCR로 이루어진 4가지 접점 중에 두 접점은 회로제전기(KR)로 나머지 두 접점은 전동기 회로용으로 구성된다. Fig. 3은 선로전환기 정·반 위 취급에 따른 제어계전기의 접점 구성이다.

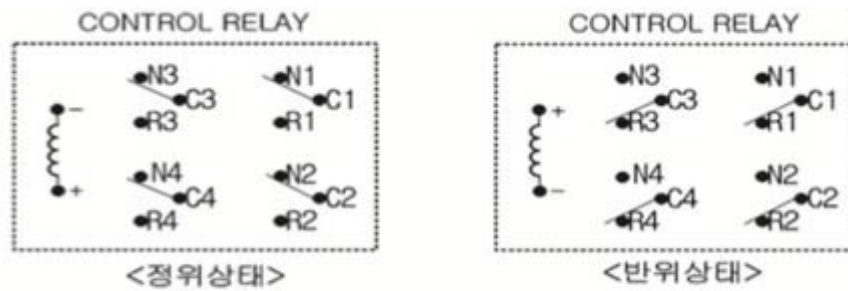


Fig. 3 정·반 위 취급에 따른 제어계전기의 접점구성

4. 선로전환기 계전기 신뢰도 분석

4.1 분포적합도 검정

신뢰성 자료의 통계적 분석을 위해 가정 먼저 획득한 수명자료를 어떠한 수명 분포에 적용시킬 수 있는지를 판정하는 적합도 검정이 필요하다. 분석 도구 중 고장분포의 적합성 검토에 Minitab을 사용하였다.

신뢰도 분석에 주로 사용되는 확률분포를 대상으로 하여, 이들 각 분포에 대하여 확률도를 작성하고 이로부터 분포 적합도를 산출하여 최적합 분포를 도출하였다. 모수 추정에는 최소제곱법을 적용하였다. 선로전환기 고장데이터를 대상으로 A-D 검정 값을 비교해보면 Weibull분포와 대수정규분포의 값이 낮은 것을 알 수 있다. 이중 정규분포의 A-D값이 0.952로 가장 높은 값으로 정규분포를 선로전환기의 고장 분포를 나타내는 확률분포로 선정하였다.

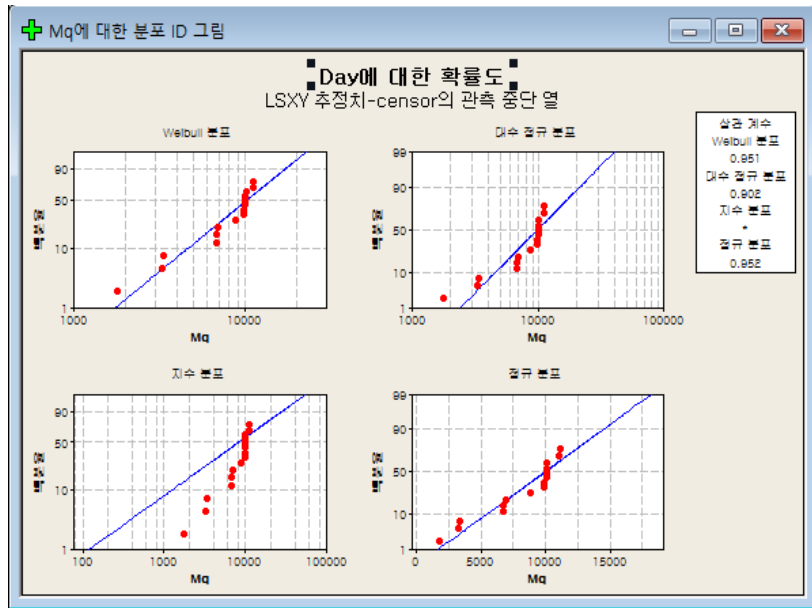


Fig. 4 Probability Plots for distribution

4.2 모수 및 평균수명 추정

정규분포에서 확률밀도 함수는 다음과 같다.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

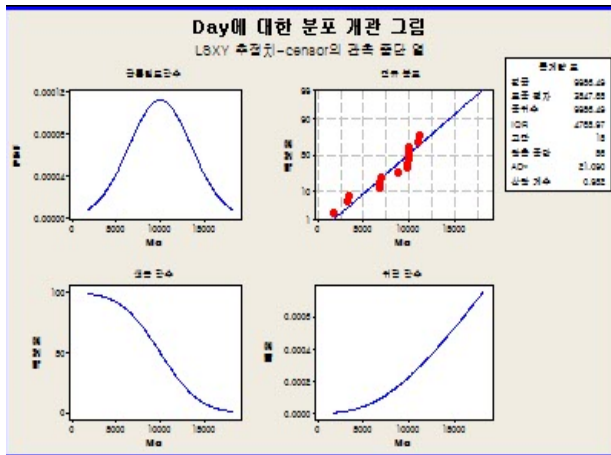


Fig. 5 Reliability function

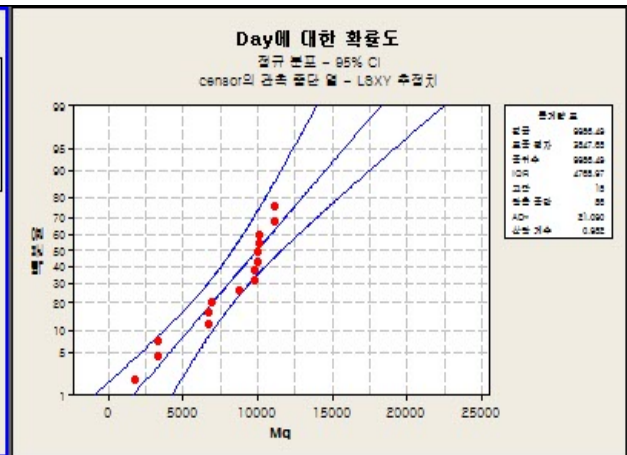


Fig.6 Probability plot with 95% confidence interval

Fig. 5는 전체 장치 중에서 고장이 발생하기까지 걸리는 시간을 보여준다. 또한 95% 신뢰도 구간에서 추정한 확률도는 Fig. 6과 같다. 선로전환기 계전기의 평균 수명은 약 9,956일로 추정되었다.

또한 정규분포에 의한 선로전환기 제어계전기의 평균 수명 예측은 카플란-메이어 기법을 이용하여 검증하였다.

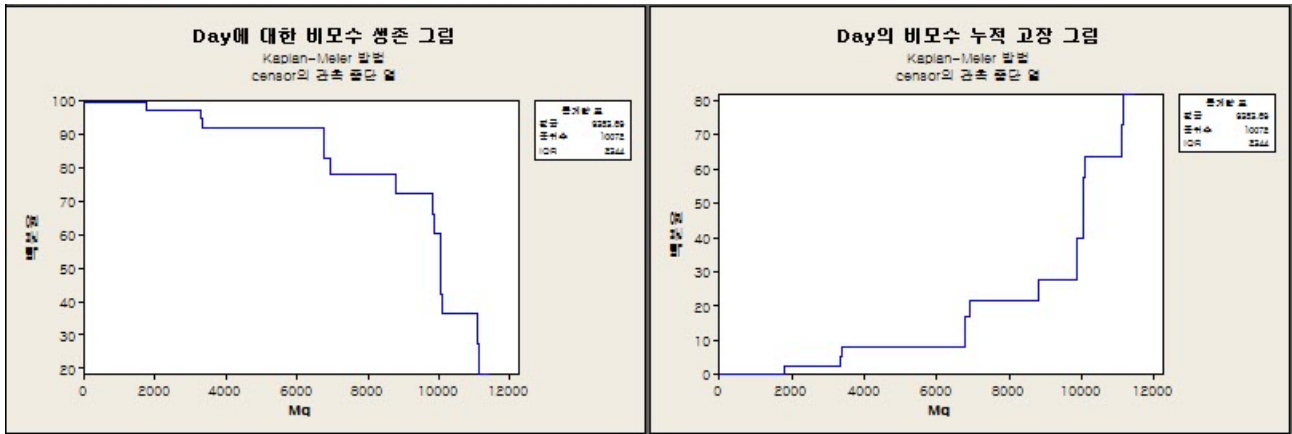


Fig. 7 Kaplan-Meier distribution

카플란-메이어에 의한 선로전환기 제어계전기 확률분포의 생존확률의 평균치, 즉 평균 수명은 약 9,354일 이다.

5. 결론

신호설비용 제어계전기는 열차의 진로를 구성하는데 없어서는 안될 장비 중 하나이다. 그러므로 선로전환기의 장애발생은 열차지연이나 탈선 등의 여러가지 나쁜 결과를 초래하게 된다. 선로전환기의 제어계전기에 대한 분석 결과를 다음과 같은 결론을 도출하였다. 선로전환기의 유지보수 기록으로 분석을 수행한 결과, 확률분포로는 정규분포가 추정되었다. 선로전환기 제어계전기의 수명을 예측 하는데 있어서 가장 중요한 요소인 사전분포를 선정함에 있어 사전정보가 거의 없는 무정보사전분포는 사용 빈도가 높은 카플란-메이어 추정법을 사용 생존확률을 추정하였고, 정규분포의 사전분포를 카플란-메이어 생존확률 기법으로 검증함으로써 더 나은 수명을 예측하였다.

추 후 정규분포보다 더 적절한 분포를 적용하여 결과를 비교함으로써 수명을 합리적으로 예측하리라 판단된다.

참고문헌

- [1] 서순근 (2015) "Minitab 신뢰성 분석"
- [2] Byeong-Mok Jang(2013) "A study on life prediction of railway safety equipment using Bayesian method"
- [3] Seung-Bo Choi (2014) Reliability analysis of electric door system for railway vehicle
- [4] Deok-Soo Choi(2015) A study on the characteristic of relay contact for urban railway signaling system
- [5] Hyo-Sun Choi(2013) A study on the RCM approach to renewing management system of metro signaling equipment