

철도신호설비 유지보수주기 할당에 관한 연구

Study on the maintenance period allocation method for railway signal equipment

이강미*
Lee, Kang-Mi

신덕호**
Shin, Ducko

이재호**
Lee, Jae-Ho

ABSTRACT

Railway signal system has been more complex, larger and required high reliability. So, maintenance by experience must be changed to optimize maintenance program or introduced systematic method for establish new maintenance program.

In this paper, we introduced the maintenance period decision method which are Age based method and Block replacement method based on the failure distribution for the equipment. So, we allocated optimum maintenance period for the railway signal equipment using block replacement method.

1. 서 론

철도 신호시스템은 점점 새로운 기술이 접목되어, 복잡해지고, 대형화됨과 동시에 신뢰도에 대한 요구 사항이 점점 높아지고 있다. 따라서 기존의 경험을 통한 유지보수업무 할당방법은 장치의 고장유형, 고장모드, 고장영향, 고장분포 등의 분석을 통해 최적의 유지보수 업무 및 업무주기 할당을 위한 체계적인 방법의 도입이 요구된다[1,2,3].

이러한 과학적 유지보수업무 할당방법으로 RCM(Reliability Centered Maintainability, 신뢰도 중심 유지보수)에 대한 연구가 진행중이다. RCM은 미항공사 및 미해군, 원자력 발전소 등 안전 필수 시스템에 적용되어온 유지보수체계로, 장치를 기능별로 분류하고, 각 기능의 고장모드 및 고장영향 분석(FMEA, Failure Mode and Effect Analysis) 후, 유지보수 결정논리를 통해 유지보수가 요구되는 장치에 적합한 유지보수업무를 할당하는 체계적이고 과학적인 방법이다[1,2,3].

본 논문에서는 최적의 유지보수업무로 교체가 선택된 장치의 유지보수업무주기 할당을 위해, 장치의 고장정보 통해 고장분포를 분석하고, 고장분포에 따라 수명교체(Age replacement), 블록교체(Block replacement)를 적용한, 유지보수비용을 최소화하는 교체주기 할당방법을 소개하고, 이를 철도신호설비에 적용하여, 유지보수비용이 최적화되는 교체주기를 산정한다[4,5,6,7,8,9,10]. 본 논문에서 소개된 과학적 유지보수주기 할당방법을 향후 새롭게 도입되는 장비 및 시스템의 유지보수업무주기를 과학적으로 할당하여, 시스템의 운영안전을 보장하면서, 운용비용을 최적화할 수 있다.

2. 본 문

2.1 고장분포

시간당 어떤 비율로 고장이 발생하고 있는가를 나타내는 고장확률밀도함수는 흔히, 지수분포, 와이블 분포 등으로 모델링되며, 이를 아래에 상세히 설명한다[4,5].

* 한국철도기술연구원, 신호제어연구실, 주임연구원, 정회원

E-mail : kmlee246@krri.re.kr

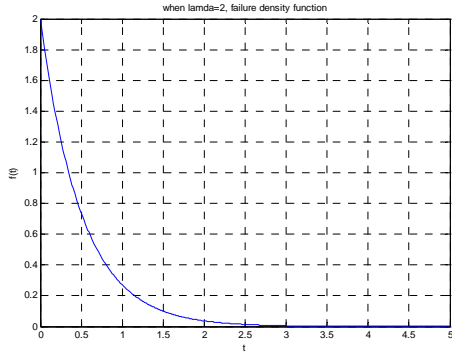
TEL : (031)460-5433 FAX : (031)460-5449

** 한국철도기술연구원, 신호제어연구실, 선임연구원

*** 한국철도기술연구원, 신호제어연구실, 책임연구원

2.1.1 지수분포

지수분포함수는 가장 널리 쓰이고 있는 수명분포함수 중 하나로, 장치의 고장률이 시간에 따라 일정할 때의 분포 (CFR, Constant Failure Rate)를 나타내는 함수이다. 흔히 고장이 우발적으로 발생하는 전기전자제품의 고장분포를 모델링하는데 사용되며, 확률밀도함수 및 관련 변수들의 값은 다음과 같다.

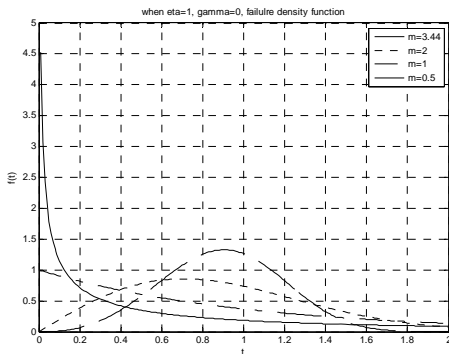


- 확률밀도함수 $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t > 0$
- 평균수명 $MTTF = \frac{1}{\lambda}$

그림 1. 지수분포의 확률밀도함수

2.1.2 와이블 분포

일반적으로 고장률함수의 분포는 감소형 고장률(DFR, Decreasing Failure rate), 일정형 고장률 (CFR, Constant Failure Rate), 증가형 고장률(IFR, Increasing failure rate)의 3가지가 있다. 와이블 분포는 위 3가지 고장률을 모두 모델링할 수 있으면, 관련된 확률밀도함수 및 관련 모수들의 값은 다음과 같다.



- 확률밀도함수 $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$
- 위치모수 γ (location parameter, 보통 $\gamma = 0$ 으로 가정.)
- 형상모수 m (shape parameter, 분포의 모양 결정)
- 척도모수 η (scale parameter, 가로축의 척도 결정)
- $\beta=1$ 이면, 고장률이 시간에 따라 일정한 지수함수
- $0 < \beta < 1$ 이면 고장률이 시간에 따라 감소하는 함수
- $\beta > 1$ 이면, 고장률이 시간에 따라 증가하는 함수

그림 2. 와이블 분포의 확률밀도함수($\eta = 1, \gamma = 0$)

2.2 최적유지보수업무 주기 산정방법

유지보수정책의 수립은 고장데이터의 정확한 정보가 수집될 때 가능하다. 고장데이터는 유지보수업무를 정하고, 주기를 할당할 수 있는데, 본 장에서는 유지보수프로세스에 의한 유지보수방법으로 교체를 가정하여, 교체방법에 따른 유지보수주기를 할당한다. 따라서 본 장에서는 교체의 종류와 종류에 따른 주기 산정방법을 살펴본다.

2.2.1 수명교체

수명교체방법은 그림 (3)과 같이 장치의 수명을 예측하여, 예측된 장비의 수명시점에 예방유지보수의 형태로 장비를 교체하는 방법이다. 즉, 장치의 고장이 발생하기 전에 예방유지보수차원의 교체가 이루어지는 방법으로 교체후 장치는 다시 초기 상태의 고장율을 갖는다. 이러한 수명교체 모델은 주로, 단일 장비 또는 일반적으로 전체 분해가 적용되는 장비의 유지보수에 적합하다.

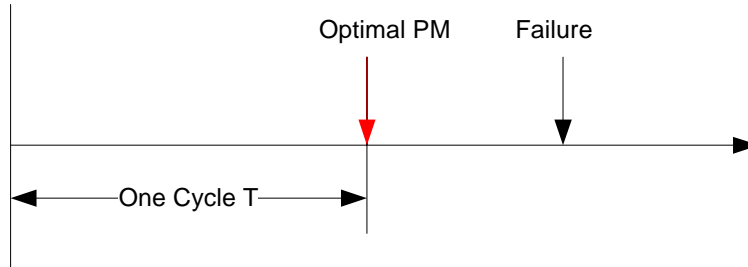


그림 3. 수명교체방법

수명교체시 최적의 유지보수비용을 위한 유지보수 주기(T_p) 산정 방법은 식 (1)과 같다[9,10].

$$C(T_p) = \frac{C_p R(T_p) + C_f F(T_p)}{T_p R(T_p) + \int_0^{T_p} t f(t) dt} \quad (1)$$

여기서, C_p 는 예방유지보수비용, C_f 는 교정유지보수비용, $R(T_p)$ 는 신뢰도함수, $F(T_p) = 1 - R(T_p)$, $f(t)$ 는 확률밀도 함수이다.

2.2.2 블럭교체

블럭교체방법은 그림 (4)와 같이 전체 장치의 수명동안 고장이 발생하면 최소한의 수리를 수행하고, 수명이후에 교체하는 방법이다. 이러한 블럭교체 모델은 엔진과 같은 유닛레벨의 장비의 유지보수에 적합하다.

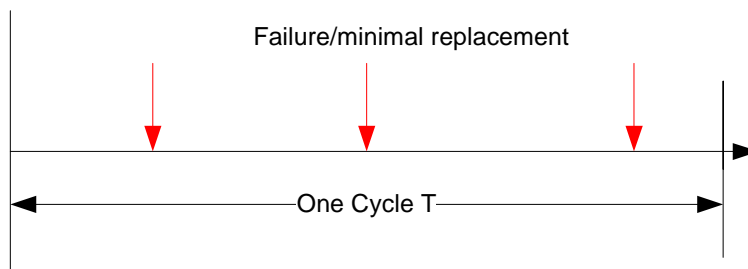


그림 4. 블럭교체방법

블럭교체시 최적의 유지보수비용을 위한 유지보수 주기(T_p) 산정 방법은 식 (2)와 같다[9,10].

$$C(T_p) = \frac{C_f M(T_p) + C_p}{T_p} \quad (2)$$

여기서 C_p 는 예방유지보수비용, C_f 는 교정유지보수비용, $M(T_p)$ 는 재생(renewal)함수이다.

2.3 철도신호설비 유지보수주기 주기 할당

앞서 소개한 유지보수업무 주기산정 방법을 철도 신호 장비에 적용하여, 최적의 유지보수 업무주기를 아래와 같이 산정한다. 이때 필요한 것은 유지보수하고자 하는 장비의 고장분포 함수이고, 고장분포는 고장정보를 바탕으로 그림 (5)와 같은 방법으로 결정할수 있다[4,5].

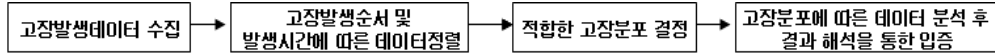


그림 5. 고장분포 분석방법

2.3.1 철도신호장비 고장정보

도표 1은 수집된 철도신호지상장비의 고장정보로 Ln(TTF)를 X축, Ln(Ln(1/(1/F(t))))를 Y축으로 하여 고장발생에 대하여 타점하고, 추세선을 그리면, 그림 (6)와 같다. 그리고, 그림 (6)의 그래프에서 나타난 추세선의 수식과 와이블 불신뢰도 함수를 이용하여 전개한 선형방정식과의 상관관계를 통해 MTTF 산출을 위한 항목들의 값을 산출할수 있다[4,5].

도표 1. 철도신호설비 고장데이터

NO.	Time To Failure(hour)	Median Rank(F(t))	Ln(TTF)	Ln(Ln(1/(1/F(t))))
1	456	0.7	6.122493	-2.155616006
2	504	1.7	6.222576	-1.175270415
3	960	2.7	6.866933	-0.601543551
4	1152	3.7	7.049255	-0.147287035
5	1848	4.7	7.521859	0.281917795
6	1920	5.7	7.56008	0.794336831

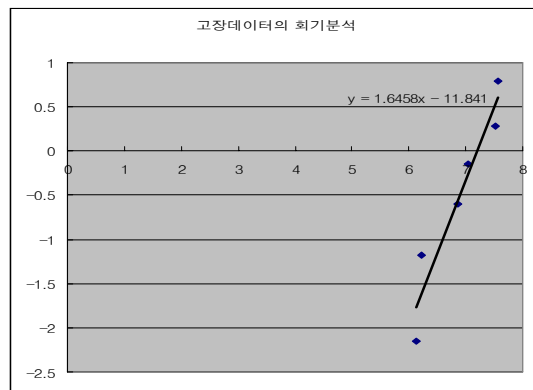


그림 6. 고장분포의 선형회기분석

2.3.2 철도신호장비의 고장분포

고장데이터는 $y = 1.6458x - 11.841$ 로 와이블 선형분석이 가능하므로, 이때 와이블 분포의 변속 $\beta = 1.6458$, $\eta = 133.23$ 이다. 따라서 $\beta > 1$ 이므로 정류기는 고장이 시간에 따라 증가하는 장치로 분석이 가능하다. 따라서, 정류기의 고장밀도 함수는 식 (3)이고, MTTF는 식 (4)와 같다.

$$f(t) = \frac{1.6458}{133.23} \left(\frac{t}{133.23} \right)^{0.6458} \exp \left[- \left(\frac{t}{133.23} \right)^{1.6458} \right] \quad (3)$$

$$MTTF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{m} \right) = 119.1602 \quad (4)$$

2.3.3 블럭교체를 적용한 철도신호장비의 유지보수주기

블럭교체를 적용할때의 최적의 교체주기 T^* 는 유지보수비용최적일 때 T_b 를 구하는 것으로, 식(2) $C(T_b) = \frac{c_f M(T_b) + c_p}{T_b}$ 에서, 재생함수 $M(T_b)$ 는 고장분포를 와이블 분포로 분석했을 때 식 (5)와 같이 산출된다[9,10].

$$M(T_b) = \int_0^{T_b} f(t)dt = \int_0^{T_b} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} dt = \left(\frac{T_b}{\eta}\right)^\beta \quad (5)$$

따라서 최소수리교체를 수행했을 때 최적의 유지보수비용은 $k = c_p/c_f$ 의 비율에 따라 그림 (7)와 같다.

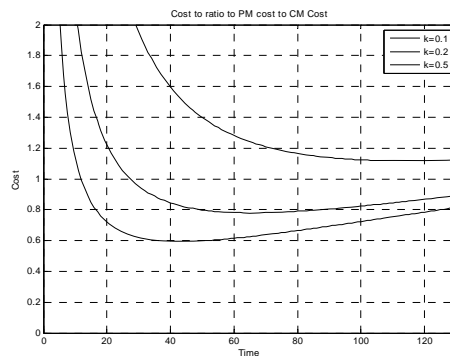


그림 6. k에 따른 유지보수주기 변화

이때, 최적화 주기는 식 (6)을 통해 도표 (2)와 같이 구할수 있다[9,10].

$$T^* = \left\{ \frac{c_p}{(\beta-1)c_f} \right\}^{(1/\beta)} \times \eta \quad (6)$$

도표 1. k값에 따른 유지보수 최적주기

k.	Maintenance period
0.1	42.8924
0.2	65.3565
0.5	114.0459

3. 결 론

본 논문에서는 최적의 유지보수업무로 교체가 선택된 장치의 유지보수업무주기 할당을 위해, 장치의 고장정보 통해 고장분포를 분석하고, 분석된 고장분포에 블럭교체방법을 적용하여 유지보수비용을 최소화하는 교체주기를 할당하였다. 이때, 할당된 주기는 고정유지보수비용과 예방유지보수비의 비율을 가정하여 산출하였다. 이와 같은 과학적 방법에, 장치의 고장데이터, 정확한 LCC데이터가 적용될 때 새롭게 도입되는 장비 및 시스템의 유지보수업무주기를 할당이 가능하고, 이를 통하여 시스템의 운영안전을 보장하면서, 운용비용을 최적화 할수 있다.

참고문헌

1. 신석균(2006), “철도시스템 적용을 위한 SRCM개발에 관한 연구”, 박사학위 논문, 광운대학교
2. 김종운외(2008.02), “철도시스템의 RAMS 중심의 유지보수 정책 결정을 위한 개념적 절차”, 한국철도학회 논문집
3. John Moubray(1997), “Reliability-Centered Maintenance” Elsevier publishing.
4. 정해성외(2000) , “신뢰성 분석과 응용”, 영지문화사.
5. 박경수(1999), “ 신뢰도 및 보전공학”, 영지문화사.
6. B.S. Dhillon(1999), “Engineering Maintainability”, Gulf Publishing Company.
7. Bry Dodson, Dennis Nolan(2002), “Reliability engineering handbook”, QA Publishing.
8. Benjamin S. Blanchard et. “Maintainability - A Key to effective serviceability and Maintenance Management” wiley-Interscience Publication.
9. Shunji Osaki, “Stochastic Models in Reliability and Maintenance”, Springer-Verlag.
10. S.O. Duffuaa et. “Planning and Control of Maintenance systems-Modeling and Analysis”, John Wiley & Sons.