

## FTA를 이용한 전차선 안전성 분석

구본희\*, 차준민\*, 김영현\*, 김형철\*\*  
 대전대학교\*, 한국철도기술연구원\*\*

### Security Analysis of Electric Railtrack by using FTA

Bon-Hui Ku\*, Jun-Min Cha\*, Young-Hyun Kim\*, Hyung-Chul Kim\*\*  
 Daejin University\*, Korean Railroad Research Institute\*\*

**Abstract** -전기철도에서 전차선은 차량에 직접 전력을 공급하는 설비로서 철도차량 운행 시 전차선의 사고를 예방하는 것은 매우 중요하다. 본 논문은 한국과 영국의 전기철도 전차선로의 안전성을 비교하기 위하여 영국의 전차선 안전성 분석 보고서와 한국의 전차선의 장애사례에 대한 데이터를 검토하였다. 분석한 데이터는 Fault Tree Analysis(FTA) 알고리즘에 적용하여 시스템의 신뢰도를 산정하는데 사용하였다. 이를 통해 전기철도 급전 시스템의 사고율을 산정하여 각 요소별 및 전체 시스템의 신뢰도를 산정할 수 있었으며, 이는 유지보수주기 결정, 교체필요 요소의 결정 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 1. 서 론

전기철도에서 전차선은 차량에 직접 전력을 공급하는 설비이다. 전차선은 차량 운행과 직접 관련이 있는 설비로 전차선의 안전성을 유지하는 것은 중요하다. 본 논문은 한국과 영국의 전차선의 신뢰도를 비교하기 위하여 KORAIL 철도연구개발센터의 “전기시설물 점검주기 및 개량주기에 관한 연구(2006)[1]” 보고서와 영국 전차선 안전성 분석 보고서[2]를 이용하여 전차선의 고장률을 산정하였다. 영국 보고서의 데이터와 한국의 전차선 장애 사례를 분석하여 고장률을 산정하고, FTA 알고리즘에 적용하여 전체 시스템의 신뢰도를 산정하였다. FTA는 시스템의 고장을 해석하는 방법으로 사용되며 시스템의 고장을 발생시키는 사건 원인을 논리게이트를 사용하여 Fault Tree(FT)를 작성하고 시스템의 고장확률을 구하여 시스템의 신뢰성을 개선하는데 이용된다. 본 연구에서는 Relex 7.7 프로그램을 사용하여 FTA를 수행하였다.

### 2. Fault Tree Analysis를 이용한 신뢰도 산정

#### 2.1 FTA의 개요

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[3].

#### 2.2 고장률 산정 알고리즘

시스템의 신뢰도는 전체 시간 중 얼마나 시스템의 고장이 일어나지 않고 동작하는가를 나타낸다. 시스템의 고장은 연속적인 시간함수로 표시되며, 시스템은 t=0에서 신뢰도가 1이지만 시간이 경과하면 TBF(time between failures)가 t이상으로 될 확률은 최종적으로 0이다. 시간함수로 나타나는 신뢰도를 신뢰도 함수 R(t)라 하며 식 (1)과 같다.

$$R(t) = N_s(t)/N_0 = (N_0 - N_f(t))/N_0 = 1 - (N_f(t)/N_0) \quad (1)$$

시간당 어느 정도 비율에서 고장인지를 알려면 이것을 시간으로 미분한 고장확률밀도 f(t)를 구한다.

$$f(t) = dN_f(t)/N_0 = -dR(t)/dt \quad (2)$$

여기에서 고장률 λ(t)는 다음과 같이 나타낸다[4].

$$\lambda(t) = dN_f(t)/N_s(t)dt = F(t)/R(t) = -dR(t)/R(t)dt \quad (3)$$

### 2.3 FTA에서의 Gate 확률 산정

FTA에서 시스템의 고장확률 계산은 n개의 기본사상이 AND결합으로 Top event의 고장을 일으킨다고 할 때, 사상이 발생할 확률 F는 식 (4)와 같다.

$$F = F1 \cdot F2 \dots Fn = \prod_{i=1}^n Fi \quad (4)$$

OR결합으로 고장이 발생할 확률 F는 식 (5)와 같다[4].

$$F = 1 - [1 - F1][1 - F2] \dots [1 - Fn] = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Fi) \quad (5)$$

### 3. 사례연구

#### 3.1 모델계통

전차선은 전기차량에 전력을 직접 공급하는 설비로서, 전차선의 설비로는 팬터그래프와 직접 접촉하여 차량에 전력을 공급하는 전차선을 중심으로, 전차선을 일정한 높이로 조가하는 조가선, 전력을 공급하는 급전선 등의 가선 설비와 이에 부속된 부속설비, 전차선 장치 등으로 구성된다.

본 연구에 사용된 전차선 FT모델은 영국의 전차선 안전성 분석보고서의 FT가 한국의 전차선 모델과 유사하다고 가정하였다. FT모델에서 전차선의 고장을 Top event로 하여 전차선에 전력이 공급되지 않는 경우와 전차선의 조정 실패의 경우로 나누었다. 전차선에 전력이 공급되지 않는 사고의 하부에 가공선, 급전선 등의 선로고장이나 변압기가 작동되지 않는 등의 전력공급에 영향을 미치는 경우를 요소별 고장으로서의 Basic event로 설정하고, 전차선의 조정실패의 경우는 가공선이 제대로 설치되지 못한 경우 등이 Basic event로 나타나 있다[2].

각 사상의 고장률은 시스템의 사고율을 데이터로 하여 전체 전차선로 설비의 고장률을 산정하였고, 각 사상은 인과관계에 따라 결합되어 있기 때문에 FT모델을 통하여 시스템의 구성과 고장 발생의 인과관계를 알 수 있다.

#### 3.2 입력데이터

사례연구에 사용된 입력데이터는 KORAIL 철도연구개발센터의 “전기시설물 점검주기 및 개량주기에 관한 연구(2006)” 보고서의 각 설비별 수량, 사용시간, 장애건수, 장애시간 등의 고장사례 분석 데이터와 영국의 전차선 안전성 분석 보고서의 데이터를 사용하였다. 각 설비별 고장 데이터를 통하여 한국과 영국의 전차선의 고장률 λ(t)를 각각 산정하고 FT에 적용하여 전차선 시스템 전체의 고장률을 산정하였다. 단, 부족한 데이터에 해당하는 고장률은 영국모델의 값을 사용하였다. 다음 표 1에 Event의 내용과 각각에 해당하는 고장률을 나타내었다[1][2].

<표 1> 입력데이터

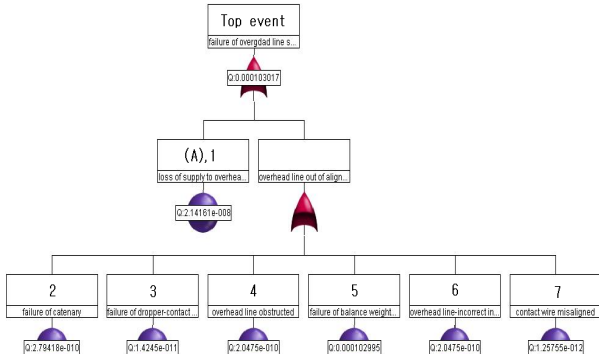
No.	basic event	한국 λ(t)	영국 λ(t)
1	loss of supply to overhead line section	2.14161e-005	7.80e-03
2	failure of catenary	2.79418e-007	0.318302387
3	failure of dropper-contact wire	1.4245e-008	2.472799209
4	overhead line obstructed	2.0475e-007	11.2363996

5	failure of balance weights-contact wire loses alignment	0.103	0.079129575
6	overhead line-incorrect installation	2.0475e-007	0.059347181
7	contact wire misaligned	1.25755e-009	0.454995054
8	fault on overhead line section	0.0157499	1.00e+00
9	loss of one feeding system	0.00141657	1.40E-03
10	25kV busbar failure	2.79418e-007	1.66E-03
11	25kV circuit breaker failure	0.001022222	1.40E-03
12	25kV feeder failure	0.0155	1.55E-02
13	failure of 132kV circuit breaker	0.001022222	7.80E-03
14	failure of 132kV feeder	1.4	1.4
15	132/25kV transformer failure	9.02527e-007	1.40E-02
16	132kV transformer sirsuit unavailable due to maintenance	9.02527e-007	1.00e+00
17	circuit breaker spurious trip	9.66	7.398615232
18	neutral section loss of insulation	2.87	2.195845697
19	failure of contactwire	1.25755e-009	1.978239367
20	short circuit-failure of insulation	3.25	2.492581602
21	Earth on contact wire	0.0258	0.019782394

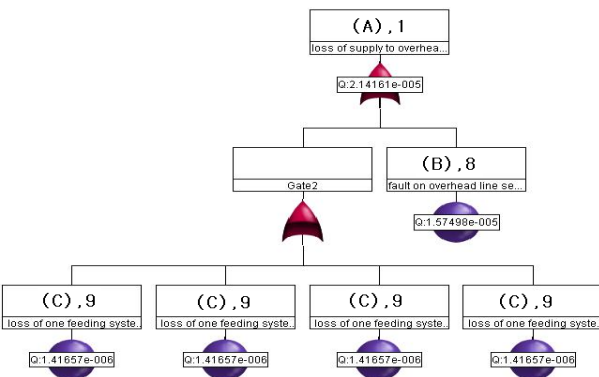
### 3.3 FTA를 적용한 고장을 선정

분석한 고장률 데이터는 FTA 알고리즘에 적용하여 급전시스템의 신뢰도를 산정하였다. 시뮬레이션 프로그램은 Relx 7.7을 이용하였다.

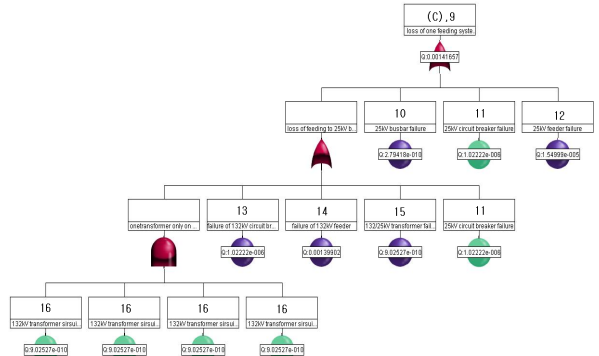
다음 그림은 전차선의 FT이며 그림 1은 최상위의 FT로 Top event의 고장률을, 그림 2~4는 고장원인별로 연결된 FT로 Basic Event별 사고율을 입력하여 FTA를 수행한 것이다. 이벤트의 내용은 위의 표 1에 나타나며 하부로 연결된 이벤트는 A~C로 연결하여 표시하였다.



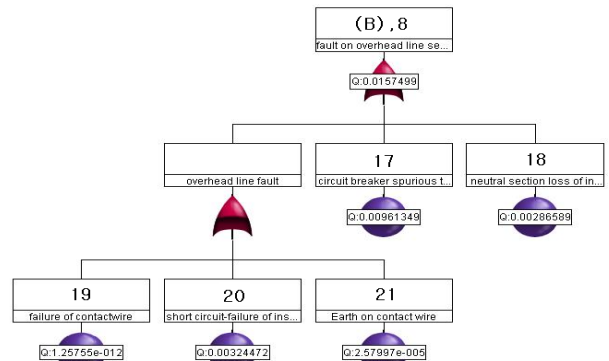
<그림 1> 전차선 시스템의 FTA적용(Top event)



<그림 2> 전차선 전력공급 실패 시 FTA



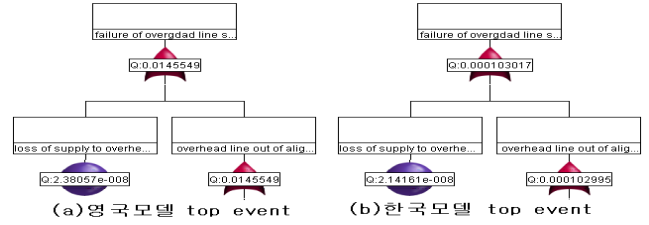
<그림 3> 급전시스템 이상시의 FTA



<그림 4> 가공선 구간의 이상시의 FTA

### 3.4 비교분석

한국과 영국의 전차선의 고장률을 FTA를 이용하여 분석한 결과 우리나라 전차선의 고장률은 0.000103017로 산정되었고 영국의 고장률은 0.0145549로 나타나, 한국의 전차선의 고장률이 더 우수한 것으로 나타났다.



<그림 5> 영국과 한국 FT의 Top event 구성과 고장률

## 4. 결론

본 연구에서는 영국의 전차선 안전성 분석 보고서의 FT모델에 KORAIL 철도연구개발센터의 “전기시설물 점검주기 및 개량주기에 관한 연구(2006)”보고서의 고장데이터를 적용하여 전차선의 신뢰도를 산정하고 영국 전차선의 고장률을 비교하였다. 사례연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. FTA를 적용하여 각 요소별 고장데이터를 실제 데이터를 적용함으로써 우리나라 실제 전력시스템의 신뢰도를 산정할 수 있었다.
2. 고장률 분석을 통하여 한국과 영국의 신뢰도 차이를 비교분석하였고, 추후 부품 교체 시 최적 부품으로 교환하거나 신뢰도가 높은 부품을 사용하여 전체 신뢰도를 향상시킬 수 있는 방안을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

### [참 고 문 헌]

[1] KORAIL철도연구개발센터, “전기시설물 점검주기 및 개량주기에 관한 연구”, pp. 5-25, pp. 291-305, 2006  
 [2] RAILTRACK EE&CS Report, “Infrastructure Risk Modelling Overhead Line Traction Delivery System”, Oct 1997  
 [3] 이치우, 김선진, 이성우, 정상영 “신뢰성공학”, 원창출판사, 2005  
 [4] 기초전력연구원, “전력IT 인력양성사업 7차 교육 교재”, 2008