

FTA를 이용한 교류전철변전소의 신뢰도 분석

Reliability Analysis of AC Railway Substation by using FTA

구본희* 차준민** 김형철***

BonHui Ku Jun-Min Cha HyungChul Kim

ABSTRACT

Electric railway system consists of traction power system, rolling stock, track, and overhead line system. A railway substation transforms the electric power transmitted from a electric power company and supply it to the railway power system for the operation of traction system.. It is very important to prevent a possible accident and keep the security of electric power system. This paper proposes a reliability analysis of AC railway substation by using Fault Tree Analysis(FTA). Failure rates of each equipment of railway substation are used to evaluate the reliability of railway substation. The analyzed results can be used to improve the system reliability. FTA is performed by the commercialized program of Relex(Ver. 7.7).

1. 서론

전기철도는 차량, 궤도, 전차선로 등의 급전시스템으로 구성되어 있다. 전철변전소는 차량의 운행에 필요한 전력공급을 목적으로 전력회사로부터 송전된 전력을 차량 운행에 적합한 전압으로 변성하여 공급하고 있다. 그러므로 전철변전소의 사고를 예방하고 안전성을 유지하는 것은 중요하다[1,2].

본 논문에서는 교류전철변전소의 신뢰도를 산정하기 위하여 변전소를 구성하는 각 설비의 고장률을 FTA(Fault Tree Analysis) 알고리즘에 적용하여 시스템의 신뢰도를 산정하였다. 이를 통하여 시스템의 현재 신뢰도와 신뢰도 저하의 원인을 분석하여 시스템의 신뢰성을 개선할 수 있다. 본 연구에서는 Relex 7.7 프로그램을 사용하여 FTA를 수행하였다[3].

2. 교류전철변전소

전철변전소는 일반 변전소와 같이 전압을 변경하는 설비이다. 일반 변전소는 보통 전력의 부하공급을 주된 목적으로 하고 있으나 전철변전소는 열차의 부하공급을 주된 목적으로 하고 있다. 교류전철방식에서는 3상을 단상으로 변환하여 공급하여야 하는 특수목적의 변전설비로 교류 전철용 변전소는 전력 회사에서 공급되는 전력을 변성하여 2차측인 전차선로에 급전하는 역할을 하며, BT 급전 방식과 AT 급전 방식의 변전소로 구분되어 있다[1].

2.1 급전방식

교류전철방식에는 선로에 근접하는 통신선 등의 전선에 유도장애를 일으키는 문제가 있어 통신선 자체를 자기장의 영향으로부터 최대한 보호하기위해 차폐케이블을 사용함과 동시에 레일에 흐르는 전류를 빨아올리기(흡상)위해 AT 및 BT 급전방식의 변전소로 구분한다. <그림1>은 BT 급전방식과 AT 급전방식의 결선도를 나타낸 것이다. BT 급전 방식은 직류에 비해 교류는 보다 강력한 전력사용은 가능하지만 통신선에 유도 장애를 일으켜 통신에

* 대전대학교 전기공학과 석사과정, 학생회원

E-mail : kbony@hotmail.com

TEL : (031)539-1910 FAX : (031)539-1910

** 대전대학교 전기정보시스템공학과 교수, 정회원

*** 한국철도기술연구원 전기연구본부 선임연구원, 정회원

잡음을 일으키는 것은 물론 커다란 악영향이 발생하였다. 그래서 전차선에 전기가 통하지 않는 절연구간을 두고 거기에 부스터라는 장치를 넣어 레일에 흐르는 전류를 끌어올리는 방법 레일로부터 대지에 누설되는 전류의 양을 감소시킴으로써 통신장애를 해결한다. AT 급전 방식은 온도가 높은 청백색의 아크가 팬터그래프와 전차선을 손상시킬 우려 때문에 절연구간이 필요 없고 보수도 할 필요 없으며 레일에 흐르는 전류를 급전선으로 끌어올려 전류가 흐르는 레일구간의 길이를 줄여줌으로써 유도장애가 일어날 원인을 최대한 제거하려는 방식이다[4].

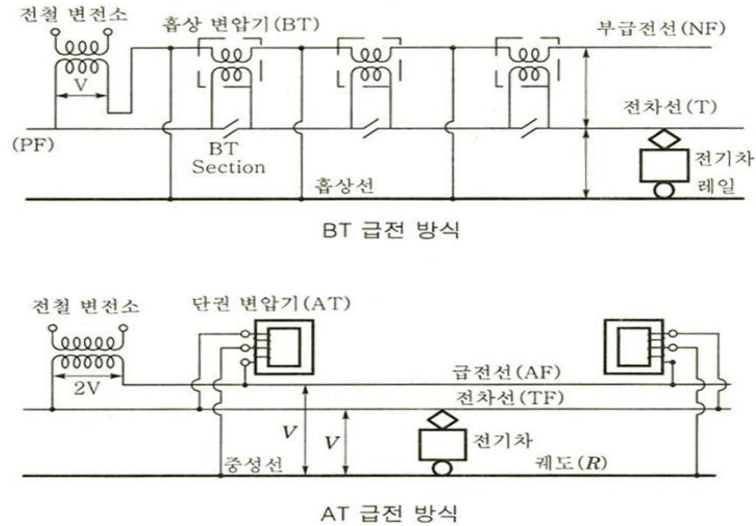


그림1. 교류전철의 급전방식

2.2 교류전철변전소의 설비와 기능

교류변전소를 구성하는 설비를 간단히 살펴보면 단로기는 부하전류를 제거한 후 회로를 격리하도록 하기 위한 장치이다. 계전기는 전기회로에서 회로를 두 개로 나누어 한쪽에서 신호를 만들고 그 신호에 따라 다른 쪽 회로의 작동을 제어하는데 사용하는 장치이며 변류기는 교류의 큰 전류에서 그것에 비례하는 작은 전류를 얻는 장치이다. 단권변압기는 특수한 형태의 변압기로서 1차코일과 2차코일의 일부분이 공통으로 되어 있는 것을 말하며 계기용변압기는 고압 회로의 전압을 이에 비례하는 낮은 전압으로 변성하는 것으로 회로에 병렬로 접속하여 사용된다. 교류 전철 변전소의 기본 설계안은 다음 <그림2>와 같다[1,4].

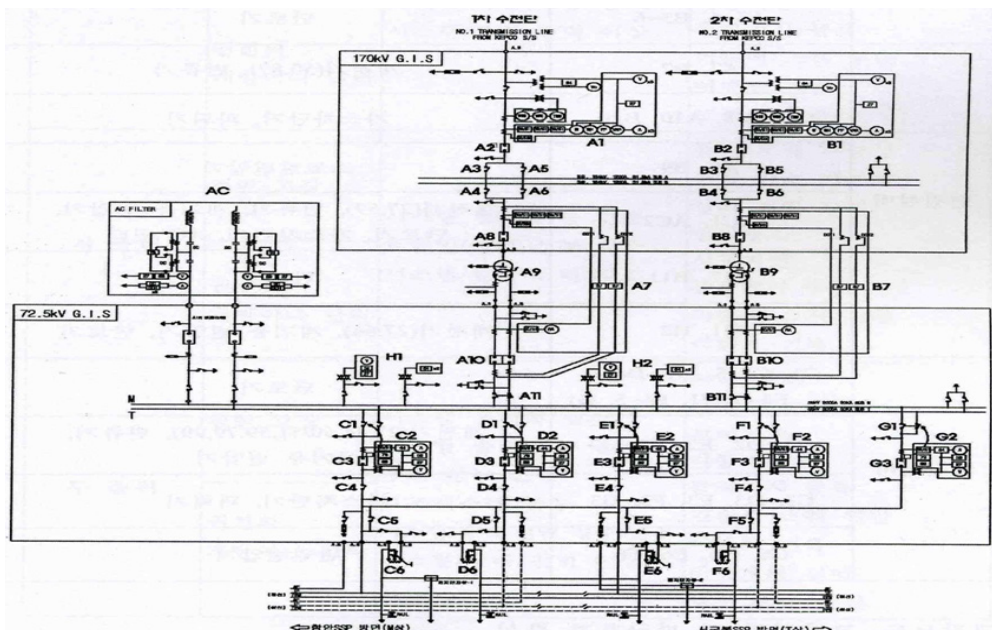


그림2. 기본 설계안 위치별 정보

3. FTA (Fault Tree Analysis)를 이용한 신뢰도 산정

FTA(Fault Tree Analysis)는 시스템의 전체와 일부분의 고장이 어떠한 논리로 결부되어 있는지를 FT(Fault Tree)로 나타내어 시스템의 고장을 해석하는 방법이다. 시스템의 고장이나 결함을 발생시키는 사상(event)을 사건 원인에 따라 논리게이트를 이용하여 FT를 작성하고 시스템의 고장률을 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[1].

FTA에서 시스템의 고장확률의 계산은 n개의 기본사상이 AND결합과 OR결합 등의 논리게이트의 결합에 따라 이루어진다. 논리구조에 따른 각 사상들의 결합으로 Top event의 고장을 일으킨다고 할 때, AND 결합의 사상이 발생할 확률 F는 식 (1)과 같다.

$$F = F_1 \cdot F_2 \cdots F_n = \prod_{i=1}^n F_i \quad (1)$$

OR결합으로 고장이 발생할 확률 F는 식 (2)와 같다[3,4].

$$F = 1 - [1 - F_1][1 - F_2] \cdots [1 - F_n] \quad (2)$$

$$= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i)$$

4. 사례연구

4.1 교류전철변전소의 FTA적용

본 연구에 사용된 데이터는 교류전철변전소의 기본설계안에 따른 것으로 위에 나타난 <그림 2>를 바탕으로 교류전철변전소는 <그림 3>의 블록도로 나타낼 수 있다. 변전소를 구성하는 설비는 기능에 따라 수전설비, 변전설비, 급전설비로 나눌 수 있으며 포함되는 설비와 고장률은 <표 1>과 같다[4].

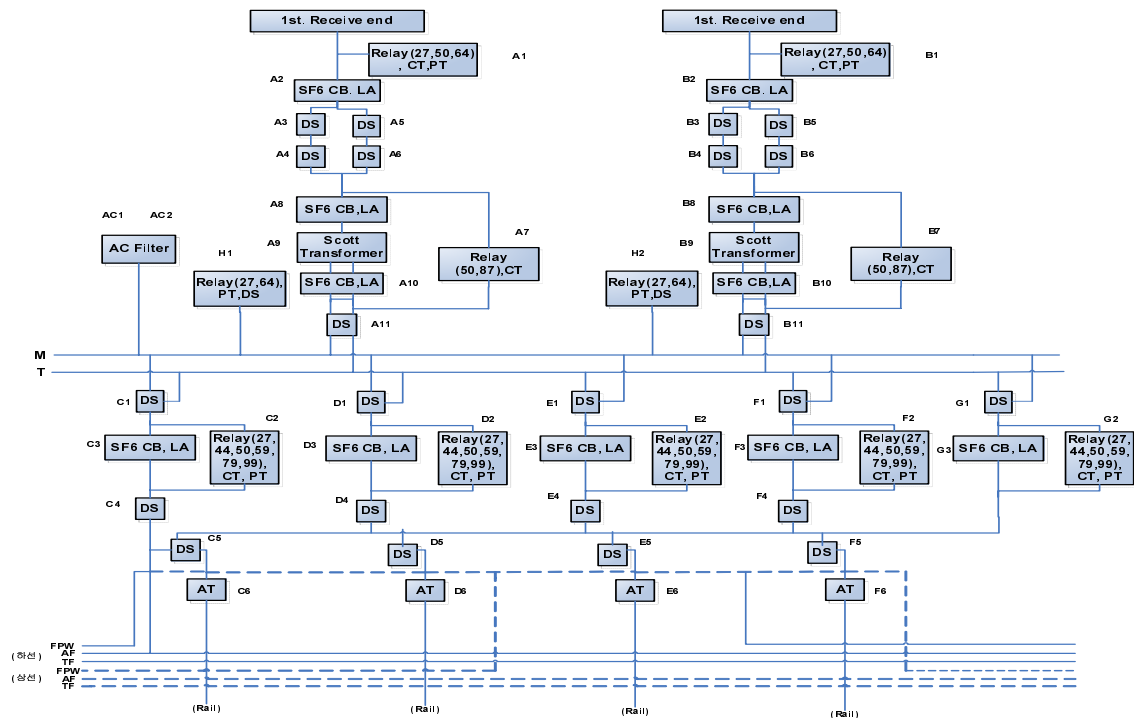


그림 3. 변전소 블록도

표 1. 변전소 위치별 그룹의 기능에 따른 구분 및 그룹포함 설비

설비기능	그룹	포함설비	고장률(100%)
수전설비	A1,B1	계전기, 변류기, 계기용변압기	2.3679
	A2,B2	가스차단기, 피뢰기	1.2802
	A3~6,B3~6	단로기	0.0229
변전설비	A7,B7	계전기, 변류기	0.1278
	A8,10,B8,10	가스차단기, 피뢰기	1.2801
	A9,B9	스코트변압기	0.8341
	AC1,AC2	계전기, 변류기, 계기용변압기, 단로기, 가스차단기, SC설비	3.3914
	A11,B11	단로기	0.0229
	H1,H2	계전기, 계기용변압기, 단로기	2.3149
급전설비	C1,4,5, D1,4,5, E1,4,5, F1,4,5, G1	단로기	0.0229
	C2,D2,E2,F2,G2	계전기, 변류기, 계기용변압기	3.37778
	C3,D3,E3,F3,G3	가스차단기, 피뢰기	1.2801
	C6,D6,E6,F6	단권변압기	0.3999

산정된 설비의 고장률은 FT를 구성하여 전철변전소 시스템 전체의 고장률을 산정하였다. 위의 <표 1>에 Event의 내용과 각각에 해당하는 고장률을 나타내었다. 그리고 다이어그램에 따라 FT를 작성한 후 고장률데이터를 이용하여 FTA를 실행하였다.

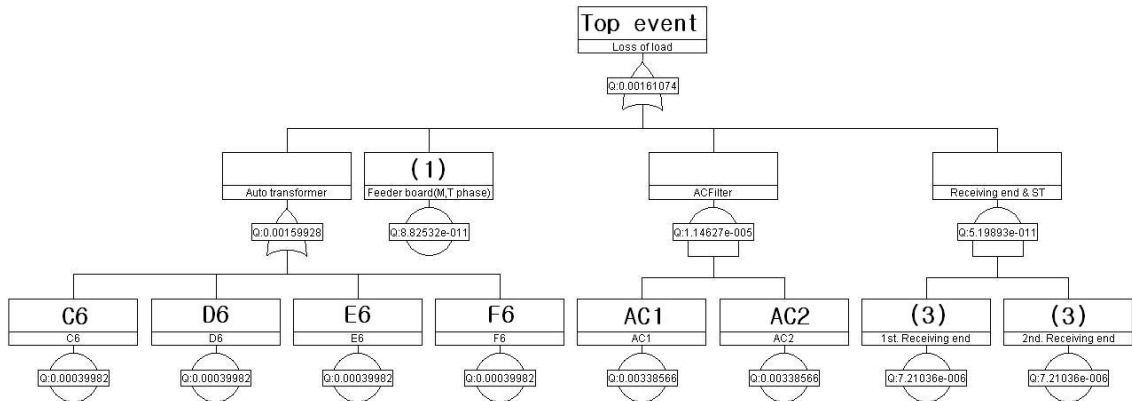


그림 3. 전철변전소의 Top event (Loss of load)

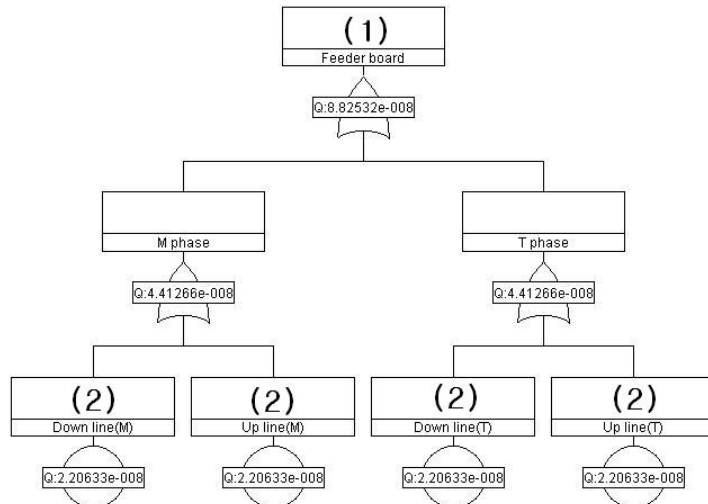


그림 4. M phase, Tphase Feeder board

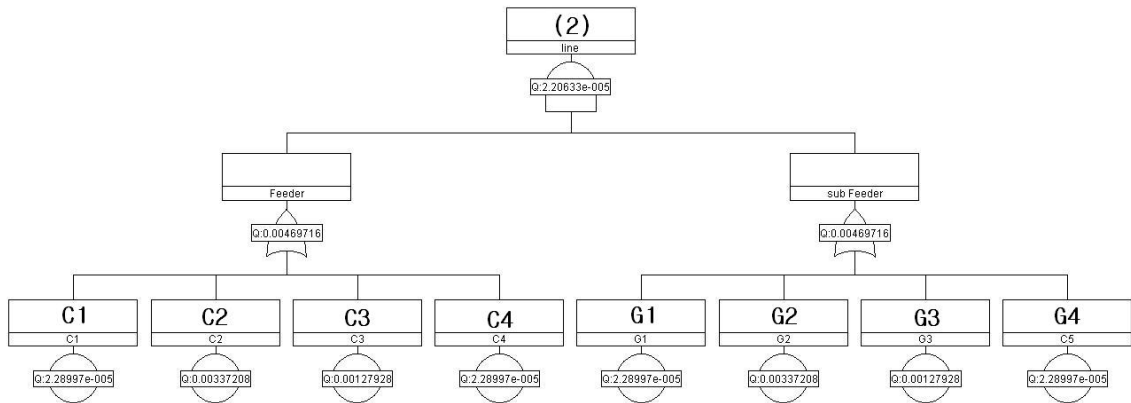


그림 5. phase의 Up/Down line

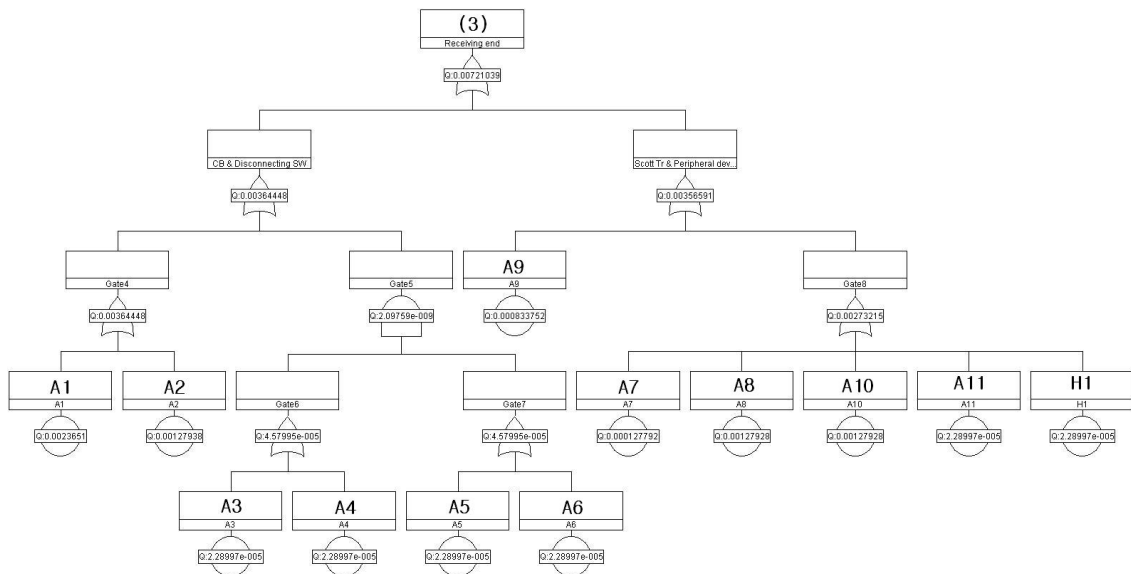


그림 6. Receiving & Scott Transformer

위 그림 3~6은 교류전철변전소의 FT이다. <그림 3>은 Top event로 최상위의 이벤트이고 <그림 4~6>그 하위 이벤트이다. 변전소를 구성하는 설비별로 그룹이 표시되어 있으며 FT는 (1)~(3)의 기호를 통하여 하위 이벤트와 연결되어 있다.

FTA를 실행한 결과 교류전철변전소의 고장률은 0.00161074로 산정되었다.

4.2 예비설비 유무에 따른 설비의 고장률 비교

전철 변전소의 FT 중 <그림 4,5>에 해당하는 단로기와 단권변압기 부분의 예비설비를 설치하지 않았을 경우와 예비설비를 병렬로 설치하였을 경우의 신뢰도를 산정해 보았다.

위의 <그림 4>에서는 Sub Feeder 게이트가 나타나 있지만 <그림 7>에서는 Sub Feeder에 해당하는 부분을 제거한 후 FTA를 실행하였다.

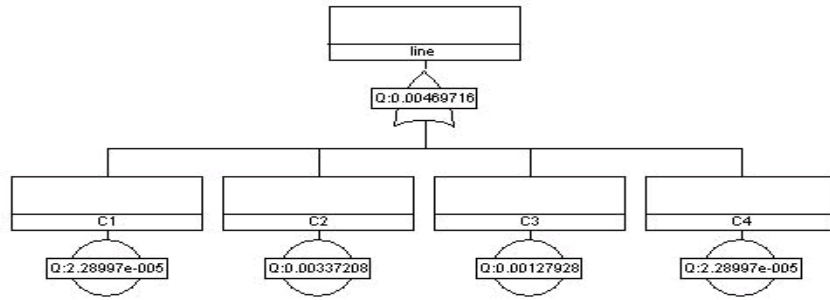


그림 7. Sub Feeder를 제거한 phase의 Up/Down line

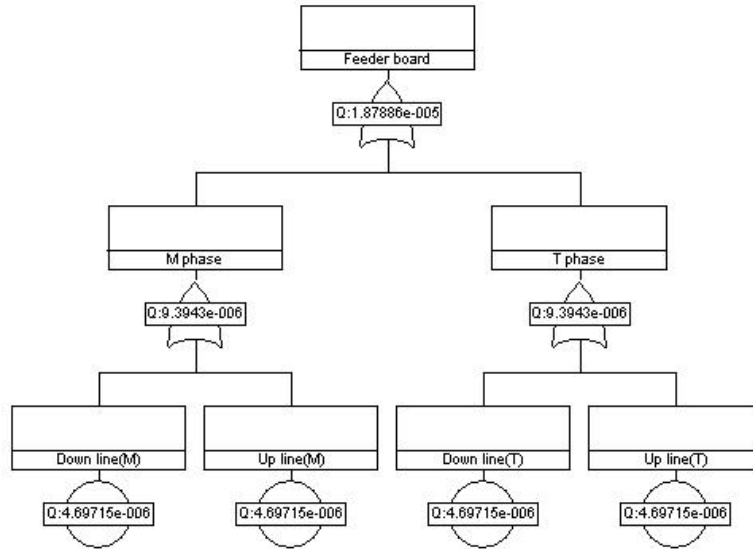


그림 8. Sub Feeder 제거 후의 M phase, Tphase Feeder board

표2. 예비설비 유무에 따른 고장률 비교

예비설비의 설치 유무	고장률
설치	8.82532e-008
비설치	1.87886e-005

예비설비가 설치되어 있을 경우와 그렇지 않을 경우의 고장률을 살펴보면 예비설비가 설치되어있을 경우의 고장률은 8.82532e-008인 것에 비하여 예비설비가 설치되어있지 않을 경우의 고장률은 1.87886e-005로 나타나 예비설비가 설치될 경우의 신뢰도가 더 높아지는 것을 알 수 있다.

5.결론

본 논문에서는 교류전철변전소의 신뢰도를 산정하기 위하여 변전소를 구성하는 각 설비의 고장률을 FTA(Fault Tree Analysis) 알고리즘에 적용하여 시스템의 신뢰도를 산정하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 설비를 교체하거나 예비설비의 설치 시 시스템의 신뢰도 개선효과를 알 수 있다.
2. 개선되는 설비의 파악으로 효율적인 설비의 운영이 가능하며 각 설비의 고장률에 따른 설비의 유지보수가 가능하다.
3. 주기적인 신뢰도 분석을 통하여 설비의 보수계획 수립에 반영 가능하다.

참고문헌

1. 김양수, 유해출 (1999), “전기철도공학”, 동일출판사
2. 구분희, 차준민, 김영현, 김형철, “베이즈 이론을 이용한 교류전철변전소의 신뢰도 분석”, 한국철도학회 춘계 학술대회 논문집 pp.122, 2008
3. 구분희, 차준민, 김형철, “장애사례 분석을 통한 전기철도의 신뢰도 산정”, 대한전기학회 전력계통연구회 춘계학술대회논문집 pp.165-167, 2008
4. 한국철도기술연구원, “전차선 안전기준 확립 및 안전성 분석 연구” 최종 보고서, 2008.