

고속철도 변전설비 유지보수 부품의 교체주기 산정에 관한 연구

A study on replacement cycle estimation for the maintenance parts of high-speed railway substation

김인수*, 최승호†

Insu Kim*, Seung Ho Choi†

Abstract Railway substation has composite safety devices and operation strategies such as duplicated equipment and operating methods for the consideration of breakdown or accident. However, effective inspection is difficult because of complex equipment and components. Although check types and cycles are defined and maintenance is performed, detailed inspection plans should be performed considering life-cycle for each components unit of main devices. In this study, we suggest replacement cycles for each component unit of railway substation based on statistical analysis of fault history, average life cycle, and impact factor of high-speed railway.

Keywords : substation equipment, replacement interval

초 록 전철변전소는 고장이나 사고 발생 시 여파가 크게 발생하여 설비 및 운용방법 이중화 등 복합적인 안전장치 및 방안을 구축하여 운용 중이다. 그러나, 변전설비의 구성이 단일품이 아닌 복합적인 설비 및 부품으로 구성되는 특징으로 효과적인 점검이 곤란하다. 변전기기에 대해서는 점검 종류 및 주기가 정의되고 유지보수가 시행되고 있으나, 변전기기를 구성하고 있는 주요 장치에 대해서는 부품단위 생애주기를 감안한 세부점검 계획이 수립, 시행되어야 한다. 본 연구에서는 고속철도 개통 이후 고장내역에 대한 통계분석과 평균수명, 영향인자를 토대로 하여 고속철도 변전설비의 장치별 유지보수 부품 교체주기를 제시하고자 한다.

주요어 : 변전설비, 교체주기

1. 서론

전철변전소는 한전변전소와 달리 설비의 수명에 부정적인 영향을 주는 요소들이 많아 부품의 수명이 단축될 여지가 있으며 주요 장치에 대해서는 적정 교체주기가 설정되어 있지 않아 고장 발생 이후에 점검 및 교체가 이루어지는 것이 현실이다. 본 연구에서는 고장모드 분류 기준을 설정하고 고속철도 5개 변전소(신창주, 김천, 평택, 옥천, 안산)의 2004년 고속철도 개통 이후 고장데이터를 분석하여 각 고장모드의 발생 빈도수를 Weibull 분포를 통해 예측하고 철도변전소에서 존재하는 부품 수명 저감 영향인자를 반영한 교체주기에 대하여 논한다.

* 서울과학기술대학교 전기신호공학과

† 교신저자: 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과(shchoi@seoultech.ac.kr)

2. 변전설비 고장 분석

2.1 부품별 고장 내역 분류

변전소에는 다수의 주요설비가 있으나 본 연구에서는 변압기, 차단기, 고조파저감설비, 단로기, 정류기를 대상으로 하였으며 이의 고장내역은 다음과 같다.

- (1) 변압기 : 온도계 불량, 압력계 불량
- (2) 차단기 : 트립 코일 소손, 투입 코일 소손, 차지 모터 불량, 스위치 파손 및 Limit S/W 접촉자 파손, 파워부 문제
- (3) 고조파저감설비 : 냉각팬 불량, 컨트롤보드 불량, PLC 모듈 불량, 파워서플라이 불량, IGBT 소손
- (4) 단로기 : DC모터 불량, 인터록 코일, 여자코일 불량 및 소손, 히터 불량, 링크부 소손, DI카드 불량
- (5) 정류기 : HJ 카드 불량 및 소손, 전자접촉기 내부코일 불량, 가변저항 소손, 다이오드 소손

2.2 고장의 시간 간격

부품의 수명을 예측하기 위해서는 각 고장 간의 시간 간격이 필수분석 항목이므로 개통 이후 고장발생 시점을 주요 부품 별로 분석하였으며, <Fig.1>에 대표적으로 차단기의 고장 종류 중 스위치 파손 및 Limit S/W 접촉자 파손 고장을 나타내었다.



Fig 1. 변전소별 고장 시간 간격

2.3 와이블 분포

스위치 파손 및 Limit S/W 접촉자 파손 고장 내역에 대하여 주기별 사고이력 데이터를 와이블 분포로 수학적 통계 분석 시행한 결과는 다음과 같다.

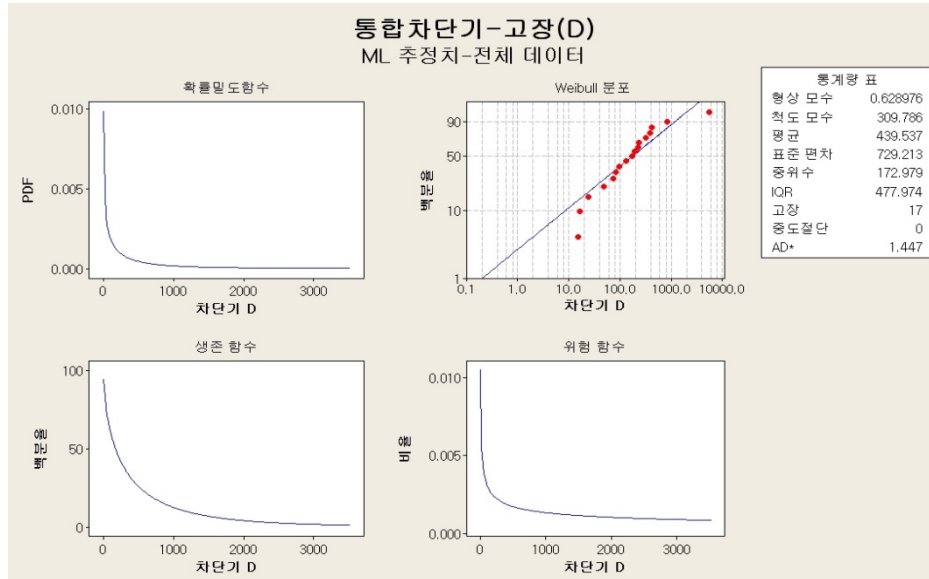


Fig 1. Weibull Distribution

2004년부터의 차단기 고장 내역은 스위치 부분의 파손이 가장 많은 빈도수를 차지했으며, 다음으로 트립 코일 소손이 6회 발생, 투입 코일 소손과 차지 모터 고장이 각각 3번과 4번, 마지막으로 파워부 문제는 단 1건이 발생하였다. 위치별로는 가장 많은 전차선로가 관통하는 평택 변전소에서 고장 빈도가 많이 나타났다.

2.4 부품 수명 결과

차단기의 고장 데이터를 분석하여 와이블 수명 분포를 도출해낸 결과는 <table 1>과 같다.

table 1 와이블 수명 분포 결과

부 품	형태 모수	척도모수	부품수명일(년)	A.D검정
트립 코일 소손	0.8490	2026.38	2206(6.04)	2.677
투입 코일 소손	2.8749	4201.32	3745(10.26)	2.967
차지 모터 불량	1.0119	3279.33	3263(8.93)	2.553
스위치, Limit S/W 파손	0.6290	309.786	440(1.20)	1.447
파워부 문제	6.6139	5294.66	4938(13.5)	3.612

본 연구에서 고장데이터를 바탕으로 분석할 차단기 내 고장모드는 아래와 같이 분류 하였다.

- (1) 트립, 계전기 동작
- (2) 투입, 보조계전기 불량
- (3) 가스누기, DashPot 누유(GCB)

차단기 내 평가할 부품은 트립 코일, 투입 코일, 차지 모터이며, 수명에 영향을 주는 인자들은 다음과 같다.

- (가) 트립, 계전기 동작 : 트립 코일, 차지 모터
- (나) 투입, 보조계전기 불량 : 투입 코일, 차지 모터
- (다) 가스누기, DashPot 누유 : 차지 모터
- (라) 고조파, (마)과전압, (바)과전류, (사)옥외환경 : 트립 코일, 투입 코일, 차지 모터

차단기의 영향 인자들 중 (가) ~ (다)는 차단기 내부고장인자이며, (라)~(사)는 추가로 고려할 외부 환경적 인자들이다[1,2,3]. 차단기 고장모드의 Impact Factor와 빈도영향지수, 고조파크기, 과전압크기, 과전류크기에 따른 부품 수명 저하 기준을 표로 정리하였고 옥외환경 영향지수는 0.98을 적용하였다. 고조파크기 및 과전압, 과전류크기에 대한 실측치는 평택 전철 변전소의 측정 데이터를 활용하였다(측정된 THD% 최고치 : 1.44%, 전압최고치 : 159.7kV, 전류최고치 : 80.4A).

table 2 차단기 고장모드별 빈도 영향지수

고장모드	MTBF(년)	빈도지수	Impact Factor	빈도영향지수
(가)	270(0.73)	0.88	0.92	0.8096
(나)	316(0.86)	0.88	0.94	0.8272
(다)	1092(2.99)	0.94	0.99	0.9306

table 3 차단기에 대한 고조파크기 영향지수

전압왜형을 최고치	0.8% 미만	0.8~1.1%	1.2~1.5%	1.5% 초과
고조파 영향	1.000	0.995	0.990	0.985

table 4 차단기에 대한 과전압크기 영향지수

154kV Incoming 전압 최고치	158kV 미만	158kV 이상	159kV 이상	160kV 이상
과전압 영향	1.000	0.980	0.960	0.940

table 5 차단기에 대한 과전류크기 영향지수

154kV Incoming 전류 최고치	50A 미만	50A 이상	75A 이상	100A 이상
과전류 영향	1.000	0.970	0.940	0.910

table 6 차단기 부품의 수명 단축 영향지수

부 품	(가)	(나)	(다)	(라)	(마)	(바)	(사)	영향지수
트립코일	0.8096			0.990	0.960	0.940	0.980	0.7088
투입코일		0.8272		0.990	0.960	0.940	0.980	0.7242
차지모터	0.8096	0.8272	0.9306	0.990	0.960	0.940	0.980	0.5456

차단기 내 부품의 수명 단축 영향 수준을 예상한 결과로 트립 코일은 본 수명의 71% 수준, 투입 코일은 72% 수준, 차지 모터는 55% 수준의 수명이 예상되므로, 고장모드 발생에 따른 부품의 노화진행을 고려한 적합한 교체 시점을 결정하는 데 이용할 수 있다.

table 7 주요소모품 교체 주기 제시

소 모 품	MTBF	제작사, 조달, 한전	수명단축 영향지수	수명주기	종합 교체주기
트립코일	6.04년	10 ~ 15년	0.7088	7.1 ~ 10.6	8년10개월
투입코일	10.26년	10 ~ 15년	0.7242	7.2 ~ 10.8	9년 1개월
차지모터	8.93년	10 ~ 15년	0.5456	5.5 ~ 8.3	6년10개월

3. 결 론

본 연구에서는 고속철도 5개 전철변전소의 차단기의 소모품 중 트립코일, 투입코일, 차지모터에 대하여 고속철도 개통 이후 고장내역을 기초로 국내외 관련자료를 수집, 분석하고 모의실험을 수행하였다. 현재 사고 발생 이후 조치가 불가피한 주요부품에 대하여 고장 발생이전에 노화도를 고려하여 적합한 교체시점을 결정하는데 이용할 수 있을 것이다. 향후 경제성 분석이 필수적인 수명주기비용(LCC)을 통한 소모부품의 교체주기 선정방법에 대해서도 많은 연구 검토가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 안치영, 김재중, 장석원, 신승중, 광계달 (2006년 11월) “알루미늄 전해 커패시터의 가속열화시험”, *대한기계학회 2006년도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집*
- [2] 민대준, 김재중, 손영갑, 장석원, 광계달 (2007년 5월) “알루미늄 전해 커패시터의 신뢰성 향상을 위한 Derating 설계 연구”, *대한기계학회 2007도 춘계학술대회 강연 및 논문 초록집*
- [3] 이대회, 채명준, 장미순, 장석원, 광계달 (2007년 10월) “정류다이오드의 수명예측”, *대한기계학회 2007도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집*
- [4] Byron L. Bair and Erwin A. Herr (1970) “Accelerated Humidity Tests for Plastic Encapsulated Devices”, *Reliability Physics Symposium*, Vol. 43, No. 2, pp88-92.
- [5] Youngjin Cho and Jae-Jung Kim (Mar 2011) “Lifetime Estimation of an ACF in Navigation”, *IEEE Trans. On Device And Materials Reliability*, Vol. 11, No. 1.
- [6] 강지웅, 장석원, 광계달 (2008년 11월) 효율적인 ESD(ElectroStatic Discharge) test를 위한 Stress mode 제안, *대한기계학회 2008년도 추계학술대회*