

전기철도 변전소의 직류고속차단기 동작 감소방안에 관한 연구

A Study on the DC High Speed Circuit Breaker(HSCB) in Electric Railway Substation System

허태복* 김학원** 장상훈***
Heo, Tae-bok Kim, Hak - lyun Chang, Sang-hoon

ABSTRACT

This paper proposes a reduction method for the mis-operation analysis of the DC High Speed Circuit Breaker(HSCB) in electric railway substation system. The analysis method is based on present condition of operation which is a method for accuracy level up.

There is reason to operation of HSCB that it is mis-operation of fault detection relay(50F), operation of ground fault relay(64P), and trouble of electric car. A countermeasure is relay resetting through field test, induction of GTOCB(Gate Turn Off Thyristor Circuit Breaker), HSCB(High Speed Vacuum Circuit Breaker), coordination with electric car.

The results presented in the paper can be used as a reference for maintenance free in electric railway substation system.

1. 서 론

우리나라에 직류전기철도가 도입된 것은 '74.8.15일 개통된 서울지하철 1호선이며, 그후 부산, 대구, 인천, 광주, 대전 등에 도입되어 운영중이거나 운영예정이며, 지하철은 대도시 교통수단의 속으로 대량수송과, 안정성, 정시성 등에서 타 교통에 비하여 월등히 우수하여 지속적인 건설과 운영이 예상되고 있다.

직류전기철도는 서울역에서 청량리구간에 최초로 적용되어 철도청에서 운영하는 열부구간을 제외하고는 도시철도 대부분에서 운영중에 있다.

전동차에 전력을 공급하는 지하철 변전설비의 핵심장비로는 전류를 차단하는 차단기를 들 수 있으며, 특히 직류고속차단기가 핵심설비이다.

직류전기철도 운영 및 건설분야에 30여년의 경험과 운영실적을 바탕으로 최근의 차단기 동작사항을 분석하고, 분석결과에 따라 적절하게 대책을 수립하며, 불필요한 차단예방으로 장비의 수명을 연장하고, 더 큰 장애로의 확대를 예방하여 지하철 전력계통의 안정성 향상 및 시설물 유지관리 및 운영기술 발전에 연구배경이 있다.

연구목적은 최근의 직류 전기철도 분야의 차단기 동작사항을 상세하게 분석하여 문제점을 도출하고, 사례별 유지관리 대책을 수립하며, 이상전류로 인한 차단이 아닌 부하전류 특성변화에 따른 정상전류에서 발생하는 차단현상 방지로 차단기의 수명 단축과 차단장애발생으로 파급되는 정전 장애를 예방하고자 한다.

연구방법은 장기간의 방대한 자료로 인한 분석의 비효율성을 배제하고 장기사용으로 인한 노후화와 연관된 분석을 위하여 2003년도에 발생한 차단기 동작 및 트립 횟수를 중심으로 분석하고,

직류 고속차단기 동작관련 자료를 차단시간별, 요일별, 월별 등으로 수집하고, 수집된 자료를 체계적으로 분류하여, 동작형태별, 조건별, 년도별 발생후이 및 차량종류까지 상세하게 분석하여, 문제점을 도출하고 적절한 유지관리 방안 및 보완대책을 기술하고자 한다.

* 서울지하철공사 차장, 정회원
** 서울산업대학교 교수, 비회원
*** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

2. 적류 고속도차단기 동작분석

가. 적류고속도차단기 시설현황

표 1. 적류고속도차단기 시설 현황(2003.12 현재)

구 분	합계	정류기용	전차선용
계	374(315)	136(118)	238(197)
1호선	30(25)	11(9)	19(16)
2호선	143(120)	53(45)	90(75)
3호선	109(90)	38(33)	71(57)
4호선	92(78)	34(31)	58(47)

※ ()안은 운영중인 차단기 현황

1~4호선 직류전력공급 계통에 운용중인 차단기는 변전소 및 구분계통을 포함하여 374대의 차단기가 설치되어 315대가 상시 운용중에 있다.

나. 적류고속도 차단기 동작현황

표 2. 적류 고속도차단기 동작현황

구 분	계	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
계	1,341	153	95	117	115	120	92	81	123	115	101	97	132
1호선	333	29	15	51	21	35	14	15	36	33	37	12	35
2호선	646	91	43	50	30	63	66	38	54	49	37	59	66
3호선	266	23	37	14	56	15	9	8	27	28	12	26	11
4호선	96	10		2	8	7	3	20	6	5	15		20

다. 전차선용 적류고속도 차단기 시간대별 동작횟수

표 3. 차단기 시간대별 동작현황

구 분	계	0~4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
계	1341	39	33	76	67	246	82	67	45	55	42	51	58	49	77	100	61	51	33	48	61
1호선	333		2	25	7	63	23	14	21	17	16	9	16	13	38	31	22	9	5	2	
2호선	646	29	30	20	46	152	37	41	15	26	16	23	22	19	24	25	25	18	18	35	25
3호선	266	6	1	26	4	28	19	12	4	8	2	16	10	13	15	38	12	20	5	9	18
4호선	96	4		5	10	3	3		5	4	8	3	10	4		6	2	4	5	2	18

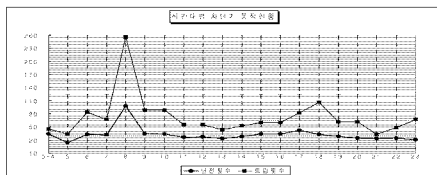


그림 1. 시간대별 차단기 동작현황

전차선용 적육고속도 차단기 시간대별(그림1) 차단은 아침 러시아워 시간대인 8시대 단전 동작 횟수가 96회로 전체동작의 15.3%를 차지하였으며, 저녁 러시아워시간대인 17시·18시대 단전 빈도가 높게 나타났다. 그 원인은 승객증가로 인한 과부하인 것으로 분석되었다.

라. 호선별 차단원인별 차단기 동작현황

표 4. 1호선 차단원인별 동작 횟수

구분	계	순시과전류 (54 WF)	고장선택계전기(50F)					점지 (64P)	열락 차단 (85)	기타
			소계	차량 고장 (OC)	차량 고장 (GR)	자체 감지	기타			
트립 회수	333	38	197	86	6	104	1	62	35	
분포율 (%)	100	11	59	26	2	31	0.3	17	11	

표 5. 2호선 차단원인별 동작 횟수

구분	계	순시과전류 (54 WF)	고장선택계전기(50F)								점지(64P)				열락 차단 (85)	
			차량고장								자체 감지	차량 고장	차고 연동	기타		소계
			일 반	LB TL	LB TL 연동	OC	OC 연동	OV	OV 연동							
트립 회수	646	23	549	29	122	66	44	12	39	19	218	1	11	1	13	61
분포율 (%)	100	4	85	5	19	10	7	2	6	3	34	0.2	2	0.2	2	9

표 6. 3호선 차단원인별 동작 횟수

구분	계	순시과전류(76)	점지(64P)								열락 차단 (62)			
			소계	차량 고장	차량 고장 연동	차량 고장 (LR TL)	차량 고장 (LR TL 연동)	자체 감지	차량 고장	차량 고장 LR TL		차량 고장 LR TL 연동	기타	소계
트립회수	266	47	42	1	3	18	3	17	22	32	12	13	79	98
분포율(%)	100	18	16	0.4	1	7	1	6	8	12	5	5	30	37

표 7. 1호선 차단원인별 동작 횟수

구분	계	순시과전류(76)	점지(64P)							열락 차단 (62)	
			소계	차량 고장	차량 고장 연동	차량 고장 (LR TL)	차량 고장 (LR TL 연동)	자체 감지	차량 고장		차량 고장 (LR TL)
트립회수	96	28	13	2	7	4	4	4	12	20	35
분포율(%)	100	29	13.5	2	7	4	4	4	13	21	37

표 8. 보유차량의 종류별 동작 횟수

구 분	차량보유 현황		단전회수		(단전회수/편성수)	
	편성수	비율(%)	회수	비율(%)		
계	199	100	236	100	1.19	
저항차량(편성)	20	10.1	14	5.9	0.70	
초파차량(편성)	Melco	39	19.6	57	24.2	1.46
	GEC	83	41.7	156	66.1	1.88
VVVF차량(편성)	57	28.6	9	3.8	0.16	

마. 차량종류별 차단기 동작현황

2003년도 차량과 관련하여 236회 단전되어 539회 트립(Trip)이 발생 되었다.(원도선 차량과 관련하여 21회 단전, 69회 트립은 제외) 1~4호선 중 199편성 1,944량이 운용되고 있으며, 차량별 보유현황은 저항차량 20편성, 초파(Chopper)차량 122편성, VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)차량 57편성으로 운용되고 있다.

위의 표8은 운용 차량별 단전횟수를 나타낸 것으로 VVVF차량이 1편성당 0.16회로 단전비율이 가장 낮고, 저항차량 0.7회, 초파(Chopper) Melco차량 1.46, 초파(Chopper) GEC차량 1.88회로 가장 많음을 알 수 있다.

1회 단전에 따른 전차선용 격류차단기의 트립횟수는 1호선이4.2회, 3호선 3.6회, 4호선 2.3회, 2호선 2회로 1호선의 경우 개부입에 따른 트립(Trip)이 많이 발생함을 알 수 있다.

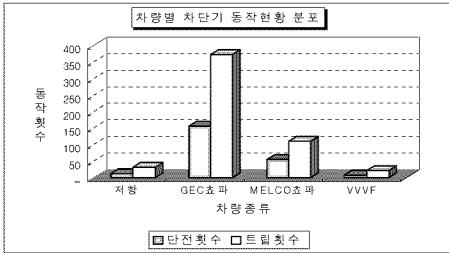


그림 2. 차량 종류별 차단기 동작현황

바. 전년대비 차량종별 동작사항

표 8. 전년도 대비 차량 종류별 동작사항

구 분	계	저항	GEC	MELCO	VVVF
02년	671	23	447	197	4
03년	539	33	373	111	22
증·감	-132	+10	-74	-86	+18
증·감율	▽19.7	△43.5	▽16.6	▽43.7	△450

전년대비 차량과 관련된 단전은 20.5% 감소하였으며, 특히 2호선 운행중인 GEC차량 · Melco차량은 각각 25.7%와 24% 감소하였다.

차량과 관련된 트립은 19.7%감소하였으나, 1호선과 4호선 운행중인 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)차량은 차량고장으로 인한 접지계전기(64P)동작으로 전년도에 비하여 18회 증가하였고, Melco차량은 43.7% 감소하였다.

차단기 동작 감소방안으로는 운용중인 시설물의 보완 및 향후 전기시설물 유지관리의 방향을 제시하고자 하였다.

3. 차단기 동작원인 분석

최근의 적류전기철도에서 발생하는 차단기 동작특성을 경밀하게 분석하고 문제점을 도출하여 그에 따른 시설물 보완 및 개량 개선방안을 제시하고자 하며, 차단기 동작원인의 분석에는 장기간의 지하철 전력계통의 운영경험을 바탕으로 한 세부적인 사항까지 포함하였다.

가. trip 횟수 분석

호선별 운용차단기 대비 연간 트립횟수는 1호선이 7.02회로 타 호선에 비하여 높은 트립(Trip) 빈도를 보였으며, 2호선 4.02회, 3호선 1.46회, 4호선 0.61회로 동작되었다. 1호선은 철도청 차량과 지하철차량이 혼합 운영되고, 직류와 교류를 동시에 수용할 수 있는 차량시스템으로 인하여 잦은 트립(Trip)이 발생된 것으로 볼 수 있다.

나. 시간대별 분석

전차선을 적류고속도 차단기의 시간대별 분석은 아침 러시아워(Rush Hour) 시간대인 8시대 단전 동작횟수가 96회로 전체동작의 15.3%를 차지하였으며, 저녁 러시아워시간대인 17시 · 18시대 단전 빈도가 높게 나타났다.

다. 호선별 분석

호선별 분석에서 1호선은 고장선택계전기(50F)동작으로 인한 트립이 전체의 59%를 차지하였고, 2호선은 고장선택계전기(50F)동작이 85%를 차지하여 1호선과 비교하여 많았고, 대지전위 상승으로 인한 적류지락계전기(64P) 동작으로 13회 트립이 있었다. 3호선은 연락차단(85) 37%, 적류지락계전기(64P) 동작으로 30%, 한시과전류계전기(176F) 18%, 순시과전류계전기(76) 동작으로 16% 있고, 4호선은 적류지락계전기(64P) 동작 20%, 한시과전류계전기(176F)로 30%, 순시과전류계전기(76)동작이 14%를 차지하였다.

러시아워 시간대의 차단기 동작은 부하증가에 따른 지속적인 계전기 설정치 조정으로 메넨 감소추세에 있으나, 호선별 분석에서 보는 바와 같이 고장선택계전기(50F) 동작이 1호선과 2호선의 비율이 39:85로 크게 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 1호선과 2호선의 차량관련사항으로 2호선에 차단기동작을 많이 일으키는 초과(Chopper)차량이 많이 운용됨에 따른 원인임을 알 수 있다. 3,4호선의 경우에는 과부하에 따른 계전기동작이 3호선 18%, 4호선 30%로 4호선의 승객밀도가 3호선 보다 많이 발생되었다. 따라서 실무하 측정과 승객증가를 고려한 과전류계전기(176F) 설정치 조정이 요구된다.

라. 차량과의 협조관련 분석

차량과 관련된 차단기동작은 최근 도입되고 있는 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)차량이 1편성당 0.16회로 단전비율이 가장 낮고, 저항차량 0.7회, 초과 Melco차량 1.46, 초과 GEC차량 1.88회로 가장 많았다. 원인은 VVVF차량은 차량내의 차단기와 보호회로가 변전소 차단기 보다 먼저 동작하는 보호협조가 이루어지기 때문이며, 초과차량이 많은 것은 초과차량이 기동시 부하변동이 심하고, 회생제동과 관련 있는 것으로 분석된다.

마. 동작현황 종합분석

차단기의 년도별 동작 추세는 1호선은 증가하였으며, 증가 원인으로선 전년도에 비하여 철도차량 고장으로 인한 트립(Trip)횟수가 증가하였고, 종로5가 변전소 색선보상장치이상으로 인한 장애가 원인이며, 2호선은 감소하였다. 또한 노후 전력교체공사로 고장선택계전기(50F)가 개량되어 발생된 것으로 분석된다.

3호선은 변류기(CT)결연과파 장애와 직류지락계전기(64P)동작으로 인하여 발생되었으며, 4호선은 증가 하였다. 증가 원인으로선 전차선 이상, 차량고장으로 인한 직류지락계전기(64P)동작 분석된다. 3, 4호선의 경우 전반적으로 대기전위상승으로 인한 직류지락계전기(64P)계전기 동작으로 승객증가에 따른 부하증가와 차량이상에 기인한 것으로 판단된다.

4. 결 론

도시철도 급전시스템에 적용되고 있는 직류 고속도차단기의 동작현황을 시간별, 요일별, 월별 등으로 수집하고, 수집된 자료를 체계적으로 분류하여, 동작형태별, 조건별, 년도별 발생추이 및 차량 종류별 고장을 분석하여 문제점을 도출하였으며 이에 대한 대책은 다음과 같다.

- (1) 과부하에 대한 차단기동작 적감 대책으로는 향후 차량 도입시 차량의 경량화 제작, 부하 실추를 통한 계전기 셋팅치 조정과 향후 노후전력설비 교체시 현재보다 성능이 향상된 GTO(Gate Turn Off Thyristor), HVCB(High Speed Vacuum Circuit Breaker)등의 차단기와 보호계전기의 도입이 필요하다.
- (2) 1, 2호선의 경우 주요 동작원인이 구형 고장선택계전기(50F)가 회생전력에 의한 오동작으로 판단되며, 대책으로는 회생전력 회수설비의 설치로 방지가 가능하나, 근본적으로는 노후설비 개량시에 교체하여야 한다.
- (3) 3, 4호선의 경우에는 직류지락계전기(64P)동작에 의한 차단이 많았으며, 부하증가에 의한 정상적인 상승의 경우에는 계전기 셋팅치 재조정으로 예방할 수 있으나, 일부 차량고장에 의한 경우는 변전설비의 개량만으로 차단을 줄일 수 없는 문제점이 있다. 향후 차량과의 보호협조와 관련된 기술적 검토가 필요하다.

이러한 차단기 동작 감소에 대한 대책은 전력계통의 안정성을 향상시키고, 차단기 및 관련 장비의 노후화를 예방하여 장비의 수명연장 뿐만아니라 대형 장애로의 파급을 방지할 수 있을 것이다. 또한 분석결과 및 대책을 현장에 적용하여, 이에 대한 결과를 지속적으로 모니터링 할 경우 직류 전기철도의 유지관리 분야의 기술발전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 서울지하철공사 차단기 동작현황 자료, 2003
2. 강인권, "최신 전기철도 개론" 도서출판 의제, 2002
3. 편집부 역, "전기철도공학", 도서출판 신기술, 2002
4. 한국전기연구소, "지하철1호선 전력설비 정밀기술 진단시험 연구", 1990.12
5. 한국전기안전공사, "지하철2호선 1단계개통구간 전력설비 정밀진단 결과보고서", 1996.11
6. 한국전기안전공사, "서울지하철 전력계통 분석용역 보고서", 1999.8
7. 서울지하철공사교육원 전기분야 실무자 교육교재