

상이한 보호방식의 전차선로 고장전류 계산

이형수 · 운동현 · 유보혁

한국산업안전공단

1. 서론

1972년 태백선을 시작으로 우리 나라에 전기철도가 도입된 이래 수도권에 전기철도가 건설되어 운행되어왔고 최근에는 수도권 광역 전철망, 충북선 전철화, 경부선 전구간의 전철화 등 기존철도의 전철화 사업이 지속적으로 추진되고 있다. 한편으로 경부고속철도의 건설과 함께 기존철도의 운행속도 향상, 시스템 보호 및 유지 보수의 현대화 등이 과제로 등장하였고 이를 해결하기 위하여 최신 전차선로 설비의 도입 등과 함께 전철 시스템의 전반적 기술검토의 필요성이 제기되었다.

전철시스템 보호방식은 이러한 기술검토 대상 가운데 하나로서 설치기준 및 시공기준의 확립이 시급한 실정에 있다. 지금까지 우리 나라 전기철도에서 시스템을 보호하는 방식은 주로 일본철도에서 시행되어 온 섬락보호방식과 이중절연방식을 도입하여 그대로 적용하여 왔다. 그러나, 경부고속철도에서 프랑스 국영철도 (SNCF)의 고속철도를 도입함에 따라 비절연 보호방식을 채택하였다[1]. 이 보호방식은 전력, 신호, 통신 등에 등전위 구성을 위하여 레일과 병행하여 접지선을 매설하고 가공 비절연 보호선(FPW)과 레일 및 선로의 모든 금속구조물을 이에 접속하는 접지-본딩시스템을 구성하는 것이다. 이러한 기술적 추세에 따라 이미 섬락보호방식이나 이중절연방식으로 구성된 기존 전철화 구간에서 비절연 보호방식의 새로운 전철화 사업이 진행되면서 서로 다른 보호방식의 전차선로가 동일 지지물에 설치되는 인터페이스 구간이 존재하게 되었다. 이러한 구간에서 보호방식이 다른 전차선로에 지락 등의 사고가 발생하였을 때의 영향에 대한 기술적 검토가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 상기한 문제가 전철 보호시스템에 미치는 영향을 경원선과 중앙선이 공유되는 회기역을 대상으로 시뮬레이션을 통하여 분석하고 이에 대한 대책을 수립하여 향후 전철화 사업에 기술 가이드 라인으로 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 공용접지 보호방식

급전계통을 보호하는 방식으로 유럽 여러 나라에서 광범위하게 채택되고 있는 공용 접지방식이 우리 나라에서도 도입되어 기존철도의 전철화 사업인 충북선에 적용되기 시작하였으며, 경부고속철도에서는 이미 적용되었다. 이 방식은 가공보호선, 레일, 공용 접지선 등이 전차선과 병행하여 설치되어 일정한 간격으로 서로 연결되어 있으므로, 전철 급전선로 부하전류와 지락이나 단락 등의 고장이 발생하였을 때 레일과 대지간에 나타날 수 있는 위험전압을 억제하고 고장전류를 변전소로 용이하게 되돌아 갈 수 있는 귀회로를 구성하는 접지시스템을 구축하는 것을 말한다.

유럽의 모든 전기철도는 규격 EN 50122-1(전기안전과 접지에 관한 보호규정)을 바탕으로 하여 각 국의 전기철도 시스템에 적합하게 적용하고 있다. 주요 내용은 전기철도에서 선로를 통하여 흐르는 큰 전류에 대한 인체 및 장비 보호에 대한 여러 사항을 다루고 있다. 보호의 기본개념은 급전회로의 직접 접지를 통해서 고장전류를 신속하게 전원으로 되돌아갈 수 있게 하여 안전을 도모하는 것이다. 가장 효과적인 방법은 등전위 접지망을 구축할 수 있도록 될 수 있는 대로 많이 금속구조물을 상호 연결하는 것이다.

3. 상이한 보호방식의 인터페이스 구간 고장전류 해석

3.1 문제점

향후 우리 나라에서 건설되는 전기철도는 공용접지라는 보호방식을 채택함에 따라 기존에 건설 운영되고 있는 구간에서 동일한 철구 지지물에 상이한 보호방식의 급전선로가 가선되어 있는데, 이러한 구간에서 보호방식이 다른 전차선로에 지락 등의 사고가 발생하였을 때의 영향에 대한 기술적 검토가 필요하다. 그 예로서 섬락보호방식의 경원선과 비절연 보호방식의 중앙선이 분기되는 회기역을 들 수 있다. 이 역의 경원선과 중앙선 전차선로를 공유하는 철구 지지물에서 경원선 가공선로의 애자에서 섬락이 발생할 경우 고장전류의 일부가 철구 지지물을 경유하여 중앙선의 가공선로로 흘러 가공보호선과 접속되어 있는 레일을 통할 때 중앙선 쪽의 보호릴레이가 동작될 수 있으며 이와 반대 현상도 생각할 수 있다.

3.2 컴퓨터 해석모델

보호방식이 서로 다른 전철계통이 동일 지지물에 의해 가선되어 있을 때 고장전류 해석을 위한 컴퓨터 모델링은 SES社의 CDEGS 소프트웨어 패키지 가운데 회로해석 프로그램인 SPLITS[2, 3]를 이용하였다.

상이한 보호방식의 전차선로 인터페이스에서 고장이 발생하였을 때 전류분포를 계산하기 위한 모델구간으로 회기역을 선정하였다.

가. 전원단 모델

회기역 구내에서 사고가 발생하였을 때, 고장전류의 공급원이 되는 성북 SSP, 왕십리 SP 및 도농 S/S 이후 구간은 55/27.5 kV의 AT와 전원임피던스 및 정전압원이 직렬로 연결된 등가전원단으로 표현하였다. 가장 가혹한 고장상태를 상정하기 위하여 전원단 임피던스는 급전용 변압기(AT)의 임피던스($Z_s = 0.1094 + j2.5184\Omega$)만을 고려하였다[4]. 각 전원단은 27.5 kV의 정전압원과 전원단 임피던스가 직렬로 연결되어 있고, 상행선과 하행선에 공급되는 전압의 위상차는 90° 로 하였다.

나. 선로정수 계산

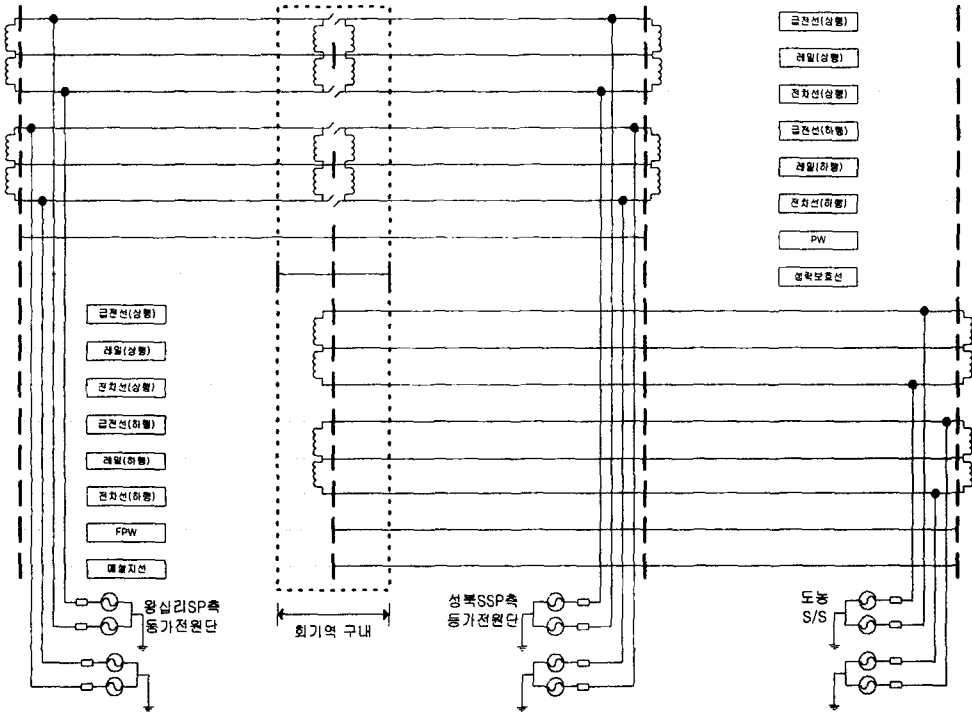


그림 1 전철계통의 회로모델

표 1 고장 시나리오

시나리오	단락 고장 지점	고장점 구간 번호	고장전류원
1	중앙선 전차선↔레일	#58	도농 S/S
2	“ 전차선↔급전선	“	“
3	“ 전차선↔FPW	“	“
4	“ 급전선↔FPW	“	“
5	경원선 전차선↔레일	“	성북 SSP
6	“ 전차선↔급전선	“	“
7	“ 전차선↔PW	“	“
8	“ 급전선↔PW	“	“
9	“ 전차선↔섬락보호선	“	“
10	“ 급전선↔섬락보호선	“	“
11	“ 전차선↔레일	#50	왕십리 SP
12	“ 전차선↔급전선	“	“
13	“ 전차선↔PW	“	“
14	“ 급전선↔PW	“	“
15	“ 전차선↔섬락보호선	“	“
16	“ 급전선↔섬락보호선	“	“

전기철도에서는 전동차의 부하전류가 레일을 귀로로 하여 흐르게 되므로 선로의 임피던스에 따라 레일전위 상승에 영향을 미치며, 급전계통의 임피던스는 급전선, 전차선과 레일 및 대지저항률에 따라 결정된다. 이때 대지저항률은 일반적으로 모델에 적용하는 $100\Omega \cdot m$ 로 가정하였다. 레일의 누설저항은 레일전위의 상승과 밀접한 관계가 있는데, 주변온도나 기온 등 외부환경에 따라 달라진다.

이 연구에서는 청정시 $5000 \Omega/km$ ($= 100000\Omega / 20 km$), 우천시 $0.5[\Omega/km]$ ($= 10 \Omega/20 km$)의 두가지 경우를 가정하였다.

그림 1은 급전계통도에서 SPLITS를 이용하여 구성한 전철계통의 회로모델을 나타낸 것이다. 이 계통에서 상정한 고장 시나리오는 표 1에서 보는 바와 같이 16가지 경우이다.

4. 고장전류 분포해석 결과

표 2는 레일의 누설저항이 $5000 \Omega/km$ 일 때의 계산결과를 요약한 것이다. 중앙선 구간에서 사고가 발생하는 경우에도 경원선 구간의 PW에 과다한 전류가 흐르거나 섬락보호선↔PW간 보안기가 동작할 가능성은 거의 없는 것으로 나타났다.

경원선 구간에서 사고발생시에도 중앙선 구간의 FPW로 흐르는 전류는 고장전류에 비하여 매우 작은 것으로 나타났으며, 결론적으로 청정시 레일의 누설저항이 큰 경우는 고장시 경원선 구간과 중앙선 구간의 상호영향을 크지 않을 것으로 추정된다.

표 3은 표 2와 동일한 상정사고이지만, 우천시를 가정하여 레일의 누설저항이 0.5Ω

/km인 경우의 계산결과를 요약한 것이다. 중앙선 구간에서 사고 발생시 경원선 구간의 PW로 흐르는 전류는 고장전류에 비하여 매우 작으나 섬락보호선의 1종 접지 전위상승이 1500 V에 달하여, 섬락보호선↔PW간 보안기가 동작할 가능성이 청정시에 비하여 커지는 것을 볼 수 있다.

여기서, 경원선 구간의 사고발생시 급전선과 섬락보호선이 단락된 경우에 섬락보호선의 1종접지 전위상승이 3000 V를 초과하여 섬락보호선↔PW간 보안기가 동작하는 경우가 발생할 것으로 생각된다(시나리오 15, 16).

이 경우, 경원선 구간의 사고발생시에도 FPW로 많은 고장전류가 흐르는 것으로 나타났으며, 중앙선 구간의 보호계통이 오동작할 가능성이 매우 높은 것으로 판단되어 별도의 대책이 강구되어야 할 것이다.

또, 동일지지물에 가선되어 있는 경우에서 본 바와 같이 경원선에서의 고장이 중앙선에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났기 때문에 이 경우만을 상정하였다.

표 2 계산결과 요약(청정시)

시나리오	고장 지점(단락사고)	고장 전류원	고장 전류[A]	PW전류 [A]	FPW 전류[A]	섬락보호선 전압[V]
1	중앙선 전차선 ↔ 레일	도농	4928	16	41	220
2			4575	4	911	135
3			4712	32	4600	960
4			5267	31	5100	970
5	경원선 전차선 ↔ 레일	성북 SSP	6370	1350	2	47
6			6652	430	7	47
7			6453	4170	22	128
8			6988	4700	16	115
9			113	23	105	66
10			113	32	105	67
11	경원선 전차선 ↔ 레일	왕십리 SP	7306	1350	1	42
12			9127	540	6	71
13			7251	4850	23	180
14			7896	5450	20	130
15			113	22	100	88
16			113	22	105	90

5. 결론

이 연구에서는 기존전철에서 적용된 급전계통의 보호방식과 새로 전철화되는 계통에 적용되는 보호방식이 상이한 인터페이스 구간에서 지락 등의 고장이 발생하였을 때 미치는 고장전류의 영향을 분석하여 대책을 수립하는데 그 목적을 두고 이를 달성하기 위해 실제통을 모의하고 그 결과를 분석하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 레일의 누설저항에 따라 고장전류 분포가 많은 영향을 받으며, 기후가 좋은 경우는

인터페이스 구간에서 서로 미치는 영향을 무시해도 좋다.

(2) 누설저항이 매우 낮을 때(우천시) 고장이 발생하면 상이한 보호방식의 전철계통에 영향을 미쳐 보호시스템이 오동작될 우려가 크다.

표 3 계산결과 요약(청정시)

시나리오	고장 지점(단락)		고장 전류원	고장 전류[A]	PW전류 [A]	FPW 전류[A]	섬락보호선 전압[V]			
1	중앙선	전차선 ↔ 레일	도농 S/S	4946	32	520	210			
		전차선 ↔ 급전선		4586	22	800	75			
		전차선 ↔ FPW		4902	115	4700	1450			
		급전선 ↔ FPW		5447	145	5150	1550			
2	경원선	전차선 ↔ 레일	성북 SSP	6518	1080	9	72			
		전차선 ↔ 급전선		6655	540	9	53			
		전차선 ↔ PW		6617	4300	26	187			
		급전선 ↔ PW		7113	4850	19	155			
		전차선 ↔ 섬락보호선		6423	1100	6200	225			
		급전선 ↔ 섬락보호선		6834	1650	6600	2450			
		3		경원선	전차선 ↔ 레일	왕십리 SP	7515	830	10	57
					전차선 ↔ 급전선		9129	690	6	44
전차선 ↔ PW	7494		4960		22		165			
급전선 ↔ PW	8123		5600		23		145			
전차선 ↔ 섬락보호선	6793		690		6250		4300			
급전선 ↔ 섬락보호선	7283		1290		6650		4650			

따라서, 다음과 같은 대책을 수립이 필요하다.

보호방식이 서로 다른 두 전철 급전계통이 동일지지물에 설치되어 있는 경우 고장으로 인한 상호 영향을 배제하기 위하여 가공보호선(FPW)이 애자를 통하여 지지물에 가선 되도록 하거나 기타 적절한 방법으로 상호간 절연이 유지되도록 대책을 마련해야 한다.

참고문헌

[1] 한국철도기술연구원, “전차선로 회로정수 측정 및 보호회로 최적화 방안 연구”, 1997. 12

[2] SES, SPLITS Users’ Manual, 1999

[3] F. P. Dawalibi, F. Donoso, “Integrated Analysis Software for Grounding, EMF and EMI”, IEEE Computer Applications in Power, Vol. 6, No. 2, April 1993

[4] 유신코퍼레이션, “중앙선 청량리~망우간 전철, 전력설비 실시설계 보고서”, 1999. 12.

[5] 한국철도기술연구원, “전차선로 시설기준 수립(섬락보호방식, 보호선용 접속선, 가공공동지선, 전차선로 현수방식)”, 1999. 6