

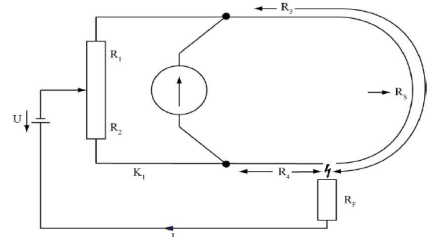
유도 및 고장저항에 따른 머레이루프를 이용한 고장점 탐지 정확도 분석

박진우\*, 양병모\*, 문경희\*  
한국전력공사 전력연구원\*

Analysis of Accuracy of Fault Location using Murray Loop

Jin-woo Park\*, Byeong-mo Yang\*, Kyeong-hee Mun\*  
KEPCO Research Institute\*

**Abstract** - 머레이루프 시험의 경우 기본적인 시험회로 구성을 위해 고장상과 인접한 건전상이 존재하여야 하는 단점이 있지만 써지 진행과를 이용하지 않기 때문에 크로스분딩 시스템과 무관하게 개략 고장점 탐지를 할 수 있는 방법이란 측면에서 크로스분딩 시스템의 지중케이블 고장점 탐지방법으로 추천가능한 방법이라 할 수 있다. 본 논문에서는 머레이루프 시험시 인접선로에 의한 유도전류의 영향, 시스템 시스접지에 의한 영향, 고장점 고장저항 등에 따른 머레이루프 실증시험을 시행하여 각각의 고장상황에 대한 고장점 탐지 정확도를 살펴보고 실 고장점 탐지 시험시 머레이루프 시험 방안을 제시하고자 한다.



<그림 2> 머레이루프법을 이용한 지중송전케이블 브릿지 회로

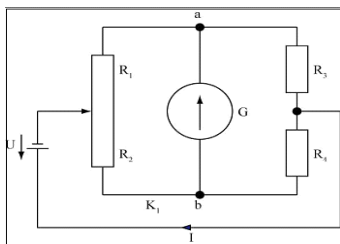
1. 서 론

지중송전케이블 시스템에서 고장이 발생할 경우 국내에서 주로 사용되고 있는 고장점 탐지방법은 임피던스 변화점에서의 펄스 반사를 이용하는 TDR시험과 휘스톤브릿지 원리를 이용하는 머레이루프 시험이다. 머레이루프 시험의 경우 기본적인 시험회로 구성을 위해 고장상과 인접한 건전상이 존재하여야 하는 단점이 있지만 써지 진행과를 이용하지 않기 때문에 크로스분딩 시스템과 무관하게 개략 고장점 탐지를 할 수 있는 방법이란 측면에서 크로스분딩 시스템의 지중케이블 고장점 탐지방법으로 추천가능한 방법이라 할 수 있다. 하지만 머레이루프 시험의 경우 통전중인 인접선로가 존재할 경우 유도의 영향으로 정확한 고장점 탐지가 불가능하다는 문제가 제기되었고 본 논문에서는 이를 고려하여 인접선로의 유무, 케이블시스템 시스의 접지상태 그리고 고장시 고장저항에 따른 머레이루프 시험의 정확도를 다양한 실증시험을 통해 살펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1 Murray Loop Test

머레이루프 Test는 브릿지 회로의 원리를 이용하여 고장점을 추정하는 방법으로 휘스톤 브릿지를 사용한다. 그림 1에서 보듯이 휘스톤 브릿지 회로를 구성하여 저항 R1, R2, R3, R4사이 에 평형이 되었을 때 a점과 b점은 등전위가 되며 이때 검류계 G는 Zero가 되는데 아래의 식을 만족하게 된다.



<그림 1> 휘스톤 브릿지 회로

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \text{ resp. } R_4 = \frac{R_2}{R_1} * R_3$$

이때, R4를 고장점까지의 저항 Rx이라고 하면 Rx는

$$R_x = \frac{R_2 * R_3}{R_1} \text{ 와 같이 된다.}$$

그림 2에서 보듯이 고장난 지중송전케이블의 루프된 회로에서 고장점까지의 저항을 Rs라 하면, Rs는 R3과 R4의 합이 된다.

이때, 정확한 고장점 탐지를 위한 머레이 루프법의 정확도에 영향을 미치는 인자로는 회로에 흐르는 전류 I, 루프(Loop) 형성된 회로의 루프저항 Rs, 검류계의 민감도 등을 들 수 있고, 또한 정확한 추정을 위해서는 최소한 1상의 건전상이 존재하여야 하며, 1선 지락고장시 고장점의 접지저항치가 0에 가까워야 측정이 정확해진다. 또한 고장선로에 남아있는 충전전하 등이 머레이루프 시험에 영향을 미칠 수 있기 때문에 정확한 머레이루프 시험을 위해서는 시험 전 접지시켜 충분히 방전한 후 시험을 진행할 필요가 있다.

2.2 고장점탐지 실증시험 결과

먼저 유도에 의한 영향을 차단하기 위해 통전중인 인접선로가 없는 선로에 대해 고장점 저항을 달리하여 고장점 탐지를 시행하였다. 시험대상은 운휴 중인 66kV급 지중송전선로 1.399km로써 A상을 건전상, C상을 고장상으로 설정하고 두 상의 끝단을 편조선을 이용하여 Common하였다. 고장점은 머레이루프의 두 도체 Common부 즉 선로 끝단에 지락고장을 모의하였고 고장점 저항은 1[kΩ]의 가변저항을 고장점에 연결하여 조정하였다. 측정에 이용된 장비는 전력연구원에서 보유한 2대의 머레이루프 Tester DMB5(아날로그 Type)와 Shirla(디지털 Type)이며 각각의 시험결과를 표 1에 나타내었다.



<그림 3> Murray Loop Tester DMB5(좌), Shirla(우)

<표 1> 운휴선로 고장저항에 따른 머레이루프 시험결과

시험장비	고장저항 (Ω)	고장모의 지점 (m)	시험결과 (m)	오차율 (%)
Shirla	0	1,400m (준공도면에 근거)	1352.8	-3
	100		1380.5	-1
	200		1372.9	-2
	300		1385.3	-1
	530		1388.3	-1
	1,000		1384.0	-1
DMB5	0	1,400m (준공도면에 근거)	1380.4	-1
	100		1379	-2
	1,000		1373.4	-2

준공도면에 의한 실 고장위치 1,400m를 기준으로 고장저항 0 ~ 1kΩ

변화에 의한 고장점 탐지 오차율은 1 ~ 3% 정도로 비교적 양호한 고장점 탐지 가능했으며 실제 선로길이가 준공도면에 표기된 길이보다 다소 짧은 것을 감안할 때 실 오차율은 0 ~ 2% 이내일 것으로 추정된다. 같은 조건에서도 각 측정시 조금씩 차이가 나므로 10회 이상 반복측정 후 평균값을 산출함으로써 오차를 줄일 수 있다.

이어서 통전중인 인접선로가 있는 경우 유도에 의한 고장점 탐지 정확도를 확인하기 위한 실증시험을 시행하였다. 시험대상선로는 154kV OF 케이블 2.8km로써 #1T/L을 휴전한 후 시험을 시행하였고 이 때 인접한 #2T/L은 정상 운전 중이었다. #1T/L의 B상을 건전상, C상을 고장으로 설정하였으며 고장점은 측정지점으로부터 220m지점에 못을 이용하여 도체와 시스를 연결하여 지락고장을 모의하였다. 먼저 유도에 의한 영향과 함께 케이블 시스템의 시스접지 상태에 따른 고장점 탐지 정확도를 분석하고자 하였다. 시험결과 Shirla의 경우 어떠한 조건에서도 유도의 영향으로 디지털 검류계 지침이 영점을 중심으로 좌우로 흔들린 증 지침이 영점과 일치하는 짧은 순간을 기기 내부에서 영점을 잡은 것으로 인식하고 측정이 종료되어 고장점 탐지 자체가 거의 불가능하였다. DMB5 역시 검류계 지침이 좌우로 흔들려 정확히 영점을 맞추기가 힘들긴 하지만 그나마 아날로그 검류계이다 보니 영점을 중심으로 좌우로 똑같은 양만큼 흔들릴 때를 영점이 맞춰진 상태로 판단하여 고장점을 측정하였고 그 결과는 표 2와 같다. 시험결과 양측 변전소측 단말에서 케이블 시스가 모두 접지가 되어있거나 분리되어 있는 상태에서 머레이루프 시험이 가능하며 간혹 큰 오차가 발생하지만 이는 수 차례의 측정을 통해 평균값을 얻거나 비정상적인 오차를 보이는 값을 시험 결과에서 제외함으로써 측정오차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

〈표 2〉 운휴선로 고장저항에 따른 머레이루프 시험결과

측정 횟수	고장 지점	시험조건	위치추정 결과	오차율 [%]
1	220m	양 변전소 시스 접지	224m	+2
2			207.2m	-6
3			210m	-5
4			179.2m	-19
5		한쪽 변전소 시스 접지	235.2m	+7
6			526m	+139
7		양 변전소 시스 비접지	218m	-1
8			218m	-1
9			257m	+17

양 변전소에서 케이블 시스템 시스를 비접지한 상태에서 고장저항과 시험전압을 바꿔가며 정확도를 분석한 결과 고장저항과 시험전압이 커질수록 측정오차가 증가하는 표 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

〈표 3〉 양 변전소측 시스 비접지 상태에서 머레이루프 시험결과

측정 횟수	고장 지점	고장저항	시험전압별 측정결과(m)		
			6V	10V	2.5kV
1	220m	102.3[Ω]	220.64	224	98
2		124.5[Ω]	238	344.4	571.2
3		168[Ω]	338.8	294	324.8
4		202[Ω]	296.8	607.6	1097.6
5		234[Ω]	389.2	854	604.8

마지막으로 관로 내 고장시 머레이루프 시험에 의한 고장점 탐지 정확도를 확인하기 위한 실증시험을 시행하였으며 시험선로는 154kV XKPE케이블 286m이며 국내 포설 사정상 대부분의 관로에서 내부에 물이 차 있는 것을 감안하여 시험선로를 수조에 침수시키고 못을 이용하여 측정지점으로부터 50m지점에 완전지락고장을 모의하였다. 시험장비는 유도에 의한 영향 하에서도 어느정도 측정이 가능한 DMB5를 사용하였으며 선로 양끝의 시스접지 여부 및 고장점의 대지저항 등에 따른 실증시험을 시행하여 표 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 시험결과에 따라 고장모의 케이블 양쪽 끝단 시스의 접지여부와 고장점 탐지 정확도를 비교해보면 양쪽 끝단 시스의 접지 및 어느 한쪽 시스의 접지 시 보다 양쪽 끝단 시스를 모두 접지와 분리한 경우의 정확도가 훨씬 우수함을 알 수 있다. 또한 고장점 시스-접지사이의 저항과 고장점 탐지 정확도를 비교할 때 시스가 고장점이 수조 내에서 침수되어 있을 때보다 시스-접지간의 대지 거리가 얼마가 되었든 고장점이 대지와 연결되어 있는 상태에서의 정확도가 더 우수했다. 또한 절연과피공의 크기를 달리 하여 머레이루프 시험을 시행한 결과 표 5와 같이 절연과피공이 클수록 케이블 고장저항이 커지고 그에 따라 오차율도 증가함을 확인할 수 있었다.

〈표 4〉 접지상태 및 고장점 대지저항에 따른 Murray Loop Test

시스1 접지	시스2 접지	시스-접지간 대지 거리	시험 차수	시험 결과	오차율(%)
○	×	×(수중 고장)	1	39.4	-21
			2	41.9	-16
○	○	×(수중 고장)	1	45	-10
			2	43	-14
			3	43.5	-13
			4	50.8	2
×	×	×(수중 고장)	1	53.6	7
			2	51.7	3
×	×	○(0m)	1	50.2	0
			2	49.9	0
×	×	○(2.5m)	1	49.7	-1
			2	51.0	2
○	○	○(2.5m)	1	47.2	-6
			2	46.6	-7
○	×	○(2.5m)	1	47.7	-5
			2	50.4	1
			3	48.4	-3
○	○	○(5m)	1	49.9	0
			2	45.9	-8
			3	51.3	3
○	○	○(10m)	1	40.0	0
			2	48.2	-4
○	×	○(10m)	1	49.1	-2
			2	50.0	0
×	×	○(10m)	1	49.9	0
			2	50.9	2

〈표 5〉 파괴공크기에 따른 Murray Loop Test 결과

파괴공 크기	고장저항	시험 차수	위치추정 결과	오차율 (%)
못	0[Ω]	1	50.2	0
		2	49.9	0
7.9mm	3[MΩ]	1	48.2	-4
		2	46.4	-7
12.7mm	10[MΩ]	1	59.2	18
		2	63.3	27
		3	62.1	24

### 3. 결 론

인접선로의 유무, 케이블시스템 시스의 접지상태 그리고 고장시 고장저항에 따른 머레이루프 시험의 정확도를 다양한 실증시험을 통해 살펴본 결과 전자유도에 의해 머레이루프 시험의 정확도가 떨어졌고 고장저항이 크거나 파괴공의 크기가 클수록 오차율이 증가하는 특성을 보였다. 유도에 의한 정확도 저하에 대한 대책으로는 시험선로의 양 끝단 시스를 접지와 분리 후 시험을 시행하고 10여회 이상의 반복 측정 후 평균값을 산출하여야 하고 편차가 심할 경우 머레이루프 시험에 의한 결과를 참고값으로하여 고장점 탐지 정확도를 향상시키기 위해 TDR시험을 추가적으로 실시하는 것이 바람직하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] BAUR, "ETL Cable Fault Location", pp 7~59, 2009
- [2] 한국전력공사, "HVDC 해저케이블 고장점 탐지 시스템 운영기술 개발", pp 123~125, 2009