

제어케이블의 설치기법 개선에 의한 배전자동화용 개폐기의 EMC 성능 향상

(EMC Performance Improvement of Distribution Automation Circuit-Breaker by
Modified Installing Method of Control Cable)

김언석* · 김재철

(Oun - Seok Kim · Jae - Chul Kim)

요 약

본 논문에서는 개폐기의 EMC 성능 개선방안을 연구하였다. 개폐기와 제어함은 멀티 제어 케이블로 연결되었다. 또한 각 장치에는 많은 제어 케이블이 설치되었다. 이들 제어 케이블은 전자부품과 직접 연결된다. 그러므로 제어 케이블은 EMC 성능 향상에 중요한 요소이다. EMC 성능 개선방안으로 제어 케이블과 나란히 병렬접지도체 (Parallel Grounding Conductor, PGC) 설치를 제안하였다. 또한 개폐기 내에 설치된 전압 변성기의 2차 케이블은 차폐 케이블을 사용하고, 차폐의 양단을 접지하는 것을 제안하였다. 개선방안 적용 후 개폐기의 EMC 성능이 향상 되었음을 확인하였다.

Abstract

The goal of this paper is to improve EMC performance of circuit breaker. Circuit breaker and control cubicle are interconnected by multi control cable. Also many control cables are laid on each apparatus. These control cables are directly connected by electronic components. So control cables are very important to improve EMC performance of circuit breaker. This paper suggests installing a ground conductor in parallel(PGC) to control cables. Also this paper suggests using shielding cables as secondary cables of voltage transformer in circuit breakers, and grounding both ends of shielding. After applying suggested methods, we verified EMC performance of circuit breaker is improved.

Key Words : EMC Performance, Circuit breaker, Low voltage surge, Surge immunity

1. 서 론

자동화용 개폐기는 제어장치, 원격 단말 장치

(Feeder Remote Terminal Unit, FRTU) 및 모뎀을 통하여 원격에서 제어 및 감시한다. 이들은 마이크로프로세서를 사용한 컴퓨터 시스템을 사용하고 또한 통신을 위한 모뎀을 사용하고 있다. 전자부품은 서지나 과전압 등 외란(disturbance)에 파괴되거나 오동작하기 쉽다. 이들 전자기기에 대한 파괴 및 오동작 현상을 피하기 위해서는 이들 왜란에 대한 내성(immunity)을 가지도록 설계하여야 한다. 특히 배

* 주저자 : 한국전기연구원 선임기술원
Tel : 031-420-6061, Fax : 031-420-6059
E-mail : oskim@keri.re.kr
접수일자 : 2003년 5월 27일
1차심사 : 2003년 6월 4일
심사완료 : 2003년 9월 4일

전계통은 낙뢰와 같은 서지나 계통 사고에 의한 큰 전류가 빈번히 발생하는 장소이므로 전자기내성을 위한 대책은 매우 중요하다.

전자기기의 전자기적합성(EMC) 개선은 제어 케이블의 차폐 및 접지, 제어 케이블 종류 및 설치 경로 선정, 제어 케이블과 나란히 병렬접지도체(Parallel Grounding Conductor, PGC)의 설치 등 제어 케이블과 밀접한 관련이 있다. 변전소에서 제어 케이블의 개선에 의한 EMC 개선 사례는 많지만[1-6], 배전계통 전자기기에 대한 연구사례는 매우 드물다[7]. 배전자동화용 개폐기는 고압회로와 저압회로가 혼재되어 있고, 원격감시 및 제어를 위한 통신케이블 등이 설치되어 있어 EMC적으로 매우 복잡한 시스템이다. 지금까지 EMC 대책으로는 주로 제어장치에 서지보호소자를 설치하는 등 개별기기 보호 차원이었다. 그러나 근본적인 성능개선을 위해서는 시스템 단위의 EMC 원인분석 및 대책이 필요하다.

본 논문에서는 개폐기와 제어함의 제어 케이블과 나란히 병렬접지도체를 설치하고, 개폐기의 변성기 2차 케이블로 차폐 케이블 사용을 제안하였다. 조합서지 및 Ring과 서지로 실증실험을 실시하였다. 실험결과 제어장치로의 과도전압 전달이 개선 후 크게 감소되어 효과적임을 입증하였다.

2. 개폐기의 전자기장해 메커니즘

2.1 구성요소에 따른 전자기장해

2.1.1 개폐기 본체

개폐기 본체의 절연과피에 의한 섬락현상이나 스위치의 개폐 과전압이 전압 변성기를 통해 전달되거나 본체 외함에 유도된 전압이 2차 제어 케이블에 유기될 수 있다.

2.1.2 전압 및 전류 변성기

전압 변성기는 보통 커패시터 분압방식을 사용한다. 전압검출을 위해 2차 측 한쪽 케이블을 접지하며, 이 접지선이 제어함까지 연결되어 전위차가 발생한다. 전류 변성기는 보통 1000:1의 부싱 관통 타입을 사용한다. 변성기의 2차 케이블이 차폐되지 않

아 전자장해 결합이 발생할 수 있다.

2.1.3 제어장치

제어장치는 제어함 안에 설치되고, 개폐기 본체와 직접 연결되어 구동장치를 ON-OFF하며, 전압 및 전류를 입력 받는다. 제어 케이블을 통하여 본체와 직접 연결되므로 개폐서지 영향을 직접 받는다.

2.1.4 FRTU(Feeder Remote Terminal Unit)

FRTU는 제어장치와 중앙 컴퓨터 시스템과의 매개체 역할을 하며 제어함의 핵심 두뇌에 해당한다. 대부분 DSP 칩과 통신모듈로 구성되어 있고, 통신선은 외부와 연결되므로 EMC 영향이 크다.

2.1.5 제어케이블

개폐기 본체와 제어함 연결은 37핀 멀티 차폐케이블을 사용하며 커넥터를 이용하여 접속한다. 케이블의 차폐는 pigtail 방식으로 커넥터에 연결한다. 차폐에 흐르는 과도 전류에 의해 내부 케이블에 전압을 유기한다.

2.2 전자장해 결합메커니즘

EMC 구성요소는 전자장해 발생원(disturbance source), 전자장해 피해자(victim) 그리고 이들을 연결해 주는 결합 메커니즘(coupling mechanism)이다.

2.2.1 공통 임피던스 결합

어떤 두 회로가 공통 임피던스를 공유할 경우 한 회로의 과도는 공통 임피던스를 통하여 다른 회로로 전달될 수 있다. 이 결합 메커니즘은 두 회로가 공유한 임피던스 정도에 의해 크기가 결정된다. 전압 변성기의 접지케이블이 제어 케이블을 따라 제어함으로 인입된다. 개폐기 본체의 전위가 상승하면 제어함으로 전달된다.

2.2.2 유도(inductive) 또는 자계(magnetic) 결합

어떤 두 회로가 공통자속을 가로지르는 경우 이들 회로는 유도 또는 자계결합 되었다고 한다. 한 회로의 장해는 이 자계 결합에 의해 다른 회로로 전달된다.

제어케이블의 설치기법 개선에 의한 배전자동화용 개폐기의 EMC 성능 향상

개폐기와 제어함을 연결하는 멀티 차폐 케이블에서 차폐 또는 차폐의 중단처리가 불완전할 때 차폐에 흐르는 전류는 내부의 케이블에 유도전압을 일으킨다.

2.2.3 정전(capacitive) 결합

만약 두 회로가 서로 근접하는 부품을 가진 경우 또는 피해 받는 회로가 매우 높은 임피던스를 가진 경우 장해발생 회로와 피해회로 사이의 정전용량에 의해 장해가 전달된다. 이것은 주로 차폐(shielding)와 관련이 있다. 개폐기의 전압 및 전류변성기는 부상에 설치되어 있어 임피던스가 매우 크다. 또한 변성기의 2차 케이블은 차폐되지 않은 것을 사용한다. 개폐기의 과도가 제어 케이블을 통하여 제어함으로 전달된다.

2.2.4 방사(radiation) 결합

만약 장해 발생회로와 피해회로의 크기가 방해 장(field)의 파장에 비해 작으면 결합모드 결과는 방사장해라고 한다. 개폐기 스위치가 ON-OFF 할 때 고주파의 개폐서지가 발생되며 이것이 전압 및 전류 변성기 및 2차 케이블에 결합된다.

2.3 제어케이블 설치의 개선방안

본 논문에서는 제어 케이블의 종류 및 설치와 관련하여 EMC 성능 개선방안으로 두 가지를 제안한다. 첫째, 개폐기와 제어함을 연결하는 제어케이블과 나란히 병렬접지도체(Parallel Grounding Conductor, PGC)를 설치한다. 일반적으로 제어 케이블의 차폐는 양호한 PGC이다. 그러나 전력계통과 같이 사고전류나 낙뢰 서지전류가 큰 열악한 환경에서는 차폐만으로는 충분하지 않다. 큰 사고전류나 서지전류를 분류할 대체 통로를 만들어 주어야 한다. 이것이 바로 PGC이다. PGC 설치장점으로는 (i) 접지 그리드와 제어 케이블의 루프면적을 감소시켜 자체 결합을 줄이고 회로의 서지 임피던스를 줄인다. (ii) 고장이나 직격뢰 경우 매우 큰 고장전류가 케이블 차폐를 통해 흐르는 것을 막는다. (iii) 접지 전위차를 줄여준다. 그러므로 차폐 제어 케이블 바로 근처에 별도의 PGC를 설치 할 수 있도록 본체 및 제어함에 접지단자와 유사한 수단을 추가한다. 둘째, 개폐

기 본체의 전압 및 전류 변성기의 2차 케이블은 차폐 케이블을 사용하고 양단을 모두 접지한다. 변성기의 2차 제어 케이블은 1.25[mm] 정도의 차폐되지 않은 일반전선을 사용하며 본체 바닥에 설치하고 있다. 그러므로 본체 내부의 변성기 제어 케이블로는 차폐 케이블을 사용하여 정전결합 및 방사결합을 줄이고, 차폐양단을 접지하여 유도 또는 자체결합을 줄인다.

3. 실험방법 및 구성

본 논문에서 제안한 개선방안을 입증하기 위하여 두 종류의 실험을 하였다.

3.1 병렬접지도체 설치 전후 비교

이 실험은 PGC를 설치하지 않았을 때와 설치하였을 때 제어함의 제어장치에서 유도전압의 크기를 비교하는 것이다. 유도전압은 제어장치의 전압단자에서 라인과 접지 사이에서 측정하였다. 실제 상황을 고려하여 PCB 단자에서 디지털스코프로 측정하였다. 먼저, PGC가 없는 상태에서 개폐기와 제어함의 케이블 커넥터 근처에 서지전류를 주입하여 제어 케이블 및 케이블 차폐에 서지전류가 흐르게 한다. 그런 다음 PGC를 제어 케이블과 나란히 설치 한 후 실험을 반복한다. PGC는 2[m]이고 5.0[mm]이며 연선으로 구성되었다. PGC는 제어 케이블과 최대한 나란히 설치하였다. 제어 케이블에 큰 전류를 유도하기 위하여 본체 및 제어함은 접지를 하지 않았다. 제어함은 오동작을 확인하기 위하여 동작상태로 하였다. 전체적인 실험 구성도는 그림 1과 같다.

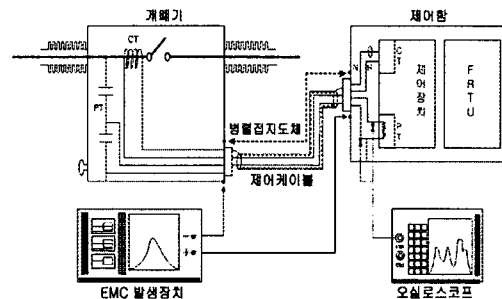


그림 1. 제어 케이블 실험 회로도
Fig. 1. Test diagram for control cable

3.2 변성기용 2차 케이블의 차폐 및 접지 관련 비교

이 실험은 개폐기 본체 내의 전압 변성기 2차 케이블의 차폐 유무 및 차폐의 접지방식에 따른 영향을 비교하는 것이다. 실험방법은 크게 두 가지이다. 일반적으로 제어 케이블은 차폐되어 있지 않고 개폐기 케이스의 바닥에 밀착되어 있다. 만약 케이스에 큰 전류가 흐르는 경우 제어 케이블에 전압이 유도되며 이 과도전압이 제어장치에 유입된다. 첫 번째 실험은 현재의 제품을 대상으로 하였으며 그림 2와 같다. 개폐기의 절연과피는 부싱 근처에서 발생한다고 가정하여 서지전류를 부싱 근처와 개폐기 접지 단자에 인가하였다. 이때 제어장치의 전압단자에서 유도전압을 측정하였다.

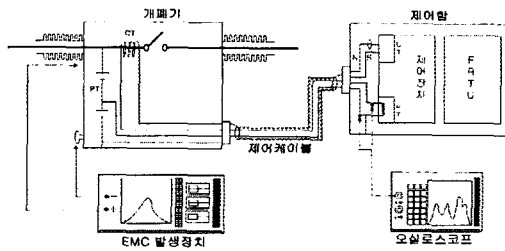


그림 2. 전압 변성기 2차 케이블에 대한 실험 회로도
Fig. 2. Test diagram for voltage transformer secondary cable

두 번째 실험은 전압 변성기 2차 케이블로 차폐 케이블을 사용하는 경우를 모의하였으며 그림 3과 같다. 첫 번째 실험한 개폐기는 완성된 상태이므로 개조하기 어려워 모의실험을 실시하였다. 본체 케이스에 전류가 흐르는 것을 상정하여 3[m]×1.5[m] 크기의 알루미늄 판 위에 차폐 케이블과 비-차폐 케이블을 밀착시켜 올려놓았다. 서지전류는 제어 케이블 근처에서 양쪽 끝에 인가하였다. 차폐 케이블은 1.25[mm]×2C이고 알루미늄과 편조 선으로 이중 차폐되었다. 비-차폐 케이블은 동일구조이나 차폐만 없는 구조이다. 각 케이블 길이는 4[m]이다. 차폐 케이블의 차폐는 양쪽 모두 알루미늄 판에 연결하였다. 공통모드(common mode) 전압은 임의의 도체와 알루미늄 판 사이에서 측정하고, 차동모드(differential mode) 전압은 두 도체 사이에서 측정하였다.

조명 · 전기설비학회논문지 제17권 제5호, 2003년 9월

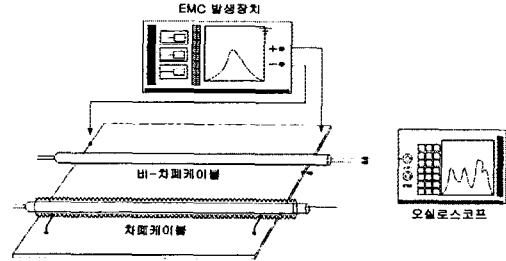


그림 3. 제어 케이블 차폐 여부에 따른 실험 회로도
Fig. 3. Test diagram with and without shielding of control cable

3.3 실험장치 및 피시플 사양

실험에 사용한 서지는 IEC 61000-4-5에 따른 1.2×50[μs]-8×20[μs] 조합서지 파형[그림 4] 및 IEC 61000-4-12에 따른 100[kHz] Ring 파형[그림 5]이다. 서지 발생장치의 출력 임피던스는 2[Ω] 및 12[Ω]을 사용하여 다양한 서지 전류를 얻었다. 이 파형은 낙뢰 전압 및 전류를 모의하여 선택하였다. Ring 파형은 개폐서지를 모의하여 선택하였다. 유도전압 측정은 모두 디지털 스코프 및 전압 프로브를 이용하였다. 출력전류는 서지발생장치의 표시치를 기록하였다. 실험에 사용한 장치들을 표 1에서 정리하였다.

표 1. 실험장치 사양

Table 1. Specification of test equipments

장비 명칭	주요 정격	모델명	제조사
조합파형 발생장치	1.2×50[μs] 20[kV] 8×20[μs] 10[kA]	E501A	KeyTek
Ring파형 발생장치	6[kV] 100[kHz] 12[Ω]	NSG 2050	Schaffner
디지털오실로스코프	4[GHz]	LT374	Lecroy
전압 프로브	500[MHz] 10:1	PP006	Lecroy

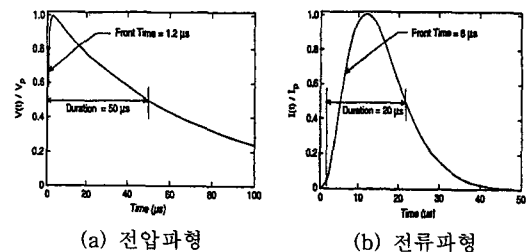


그림 4. 조합서지 파형
Fig. 4. Combination surge waveform

제어케이블의 설치기법 개선에 의한 배전자동화용 개폐기의 EMC 성능 향상

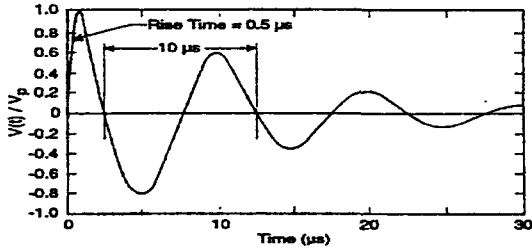


그림 5. 100[kHz] Ring 서지 파형
Fig. 5. 100[kHz] Ring surge waveform

실험에 사용한 개폐기 및 제어함에 대한 사양은 표 2와 같으며 실제 사용 가능한 제품이다. 전체적인 실험장면 사진은 그림 6과 같다.

표 2. 피시험 사양
Table 2. Specifications for equipment under test(EUT)

종 류	정 격	제조사
배전자동화용 개폐기	25.8[kV] 630[A]	(주)진광
제어함	-	아주콘트롤(주)
FRTU	-	아주콘트롤(주)
제어 케이블	37 pin 차폐 케이블	연합전선

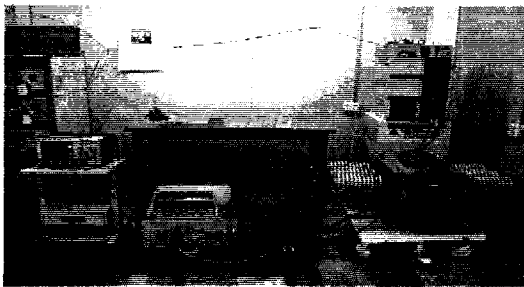


그림 6. 실험장치 사진
Fig. 6. Photograph of experimental setup

4. 실험결과 및 고찰

4.1 병렬접지도체 설치에 의한 개선

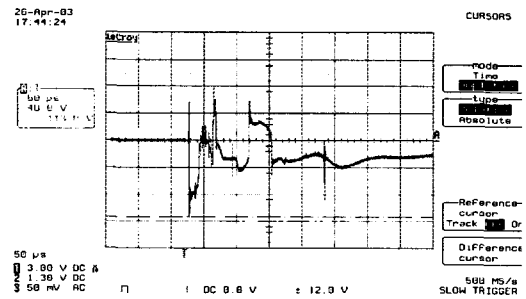
4.1.1 조합 서지

차폐가 커넥터에 연결되지 않은 케이블에 대한 PGC 유무에 따른 조합서지의 제어 케이블 결합결과는 표 3과 같다. 유도전압은 최소 1/2로 줄어들었다.

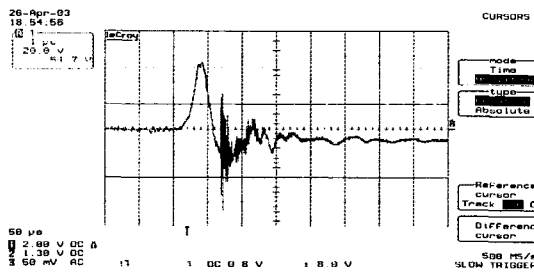
PGC가 있으면 인가전류는 커졌으나 오히려 유도전압은 작아짐에 관심을 가져야 할 것 같다. PGC에서 전류 분담을 많이 하였기 때문이다. 그러므로 차폐를 따라 흐르는 낙뢰전류(직격뢰에 의한)에 견디려면 PGC가 필요함을 알 수 있다. 시험전압 20[kV]에 대한 측정파형은 그림 7과 같다. PGC 설치 전 측정파형이 매우 불규칙하게 변화하는 것을 볼 수 있다. 이는 전류가 커서 여러 가지 물리적인 현상이 동시에 일어나기 때문이라고 판단된다.

표 3. PGC 설치 전후 조합서지 시험결과
Table 3. Test result before and after installation of PGC

인가전압[kV]	출력전류[A]		유도전압[V]	
	No PGC	PGC	No PGC	PGC
1	302	416	8.0	2.83
2	618	844	16.6	6.02
5	1568	2121	44.2	15.9
10	3142	4270	95.7	30.8
15	4724	6398	102.1	47.9
20	6321	8527	113	54.7



(a) PGC 설치 전



(b) PGC 설치 후

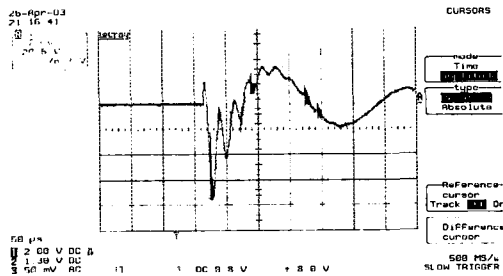
그림 7. PGC 설치 전후 조합서지 측정파형
Fig. 7. Measured waveform before and after installation of PGC

4.1.2 100[kHz] Ring 파형

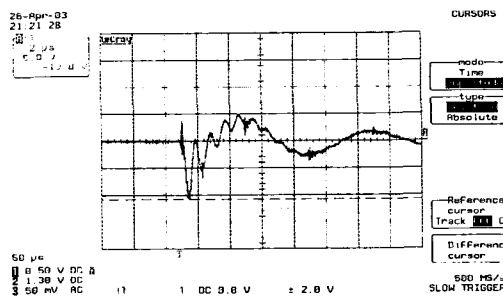
차폐가 커넥터에 연결되지 않은 케이블에 대하여 PGC 유무에 따른 100[kHz] ring 파형의 제어 케이블 결합결과는 표 4와 같다. 유도전압은 PGC 설치 후 최소 1/7로 줄어들었다. PGC의 설치효과는 조합서지 결과보다 크다. 시험전압 6[kV]에 대한 측정파형은 그림 8과 같다. 조합서지 측정파형과는 달리 파형 형상이 동일함을 알 수 있다.

표 4. PGC 설치 전후 Ring파 서지 시험결과
Table 4. Test result before and after installation of PGC

인가전압[kV]	출력전류[A]		유도전압[V]	
	No PGC	PGC	No PGC	PGC
2	73	113	27.6	3.51
4	151	236	54.2	7.11
6	234	363	76.2	10.8



(a) PGC 설치 전



(b) PGC 설치 후

그림 8. PGC 설치 전후 Ring 서지 측정파형
Fig. 8. Measured waveform before and after installation of PGC

차폐 케이블의 차폐 접지방식에 따른 영향을 보기 위하여 개폐기 쪽만 차폐 접지, 제어함 쪽만 차폐 접

지, 양쪽 모두 차폐 접지, 양쪽 모두 차폐 개방에 대해 실험하였다. 실험결과는 표 5와 같다.

표 5. 차폐 접지방식에 따른 Ring 서지 실험결과
Table 5. Test result for shielding method

접지 모드 전압 [kV]	양쪽 모두 차폐 접지	양쪽 모두 차폐 개방	본체 쪽만 차폐 접지	제어함 쪽만 차폐 접지
2	12.3	88.4	94.0	88.4
4	23.9	127.6	129.5	126.0
6	35.1	152.0	177.0	174.0

100[kHz] 대역에서는 양쪽 모두를 차폐하는 것이 어느 한쪽 또는 양쪽 모두를 개방하는 것보다 좋은 것으로 판단된다. 본체 쪽만 접지한 경우 양쪽 모두 접지한 경우보다 7배정도 많이 유도되었다. 만약 어느 한쪽만 접지해야 한다면 제어함 쪽을 접지시키는 것이 좋다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 변전소에서 저압 제어케이블은 제어실에서 접지를 하고 EMC 문제가 발생하면 양쪽을 모두 접지한다[5].

4.2 전압 변성기의 차폐 케이블 및 접지에 의한 개선

4.2.1 조합서지 실험결과

본체의 2차 케이블에 대한 서지조합 파형의 실험 결과는 표 6과 같다. 유도전압은 전압(또는 전류)에 비례함을 알 수 있다. 추가적으로 개폐기의 임의의 지점에 서지를 인가하여도 유사한 크기의 파형이 관찰되었다. 이것은 공통 임피던스 결합이 많은 영향을 미친 것으로 판단한다. 또한 전류와도 비례하는 것으로 보아 제어케이블을 차폐하여 전류에 의한 자체결합을 줄여야 할 것으로 판단된다. 변성기 2차 케이블 결합 시스템은 선형이므로 외삽법에 의해 더 큰 전류에 대한 영향도 예측 가능하다고 판단된다.

표 6. 변성기2차 케이블에 대한 조합서지 실험결과
Table 6. Test result for secondary cable of transformer with combination surge

인가전압[kV]	출력전류[A]	유도전압[V]
2	809	10.5
10	4116	50.1
20	8223	91.6

제어케이블의 설치기법 개선에 의한 배전자동화용 개폐기의 EMC 성능 향상

2차 케이블의 차폐 유무에 따른 유도전압을 측정하기 위하여 모의시험을 실시한 결과는 표 7과 같다. 표 7에서 공통모드에서는 비-차폐 케이블에서 차폐 케이블보다 5 배정도 크게 유도되었음을 알 수 있다. 개폐기에서는 공통모드로 계통전압을 측정하므로 차폐 케이블이 유효함을 알 수 있다. 차동모드 유도전압은 6[kV] 서지를 인가한 경우, 차폐 케이블에서 5.1[V], 비-차폐 케이블에서 6.0[V]로 차폐여부와 관련이 거의 없었다. 케이블의 차폐는 공통모드 대책으로 유효함을 알 수 있다.

표 7. 2차 케이블 종류에 따른 공통모드 실험결과
Table 7. Test result of common mode according to secondary cable

인가전압[kV]	출력전류[A]		유도전압[V]	
	차폐	비-차폐	차폐	비-차폐
2	619	624	1.42	7.81
4	1275	1273	2.43	15.8
6	2004	2012	4.3	24.3

4.2.2 100[kHz] Ring 파형

변성기 2차 제어케이블의 100[kHz] Ring 파형에 대한 실험결과는 표 8과 같다. 유도전압은 조합 서지와 마찬가지로 전압 또는 전류에 비례함을 알 수 있다.

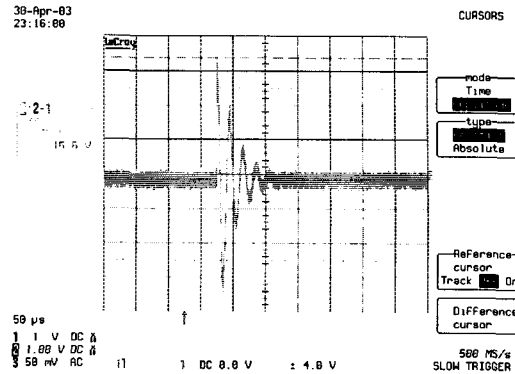
표 8. 변성기2차 케이블에 대한 Ring 서지실험결과
Table 8. Test result for secondary cable of transformer with ring wave

인가전압(kV)	출력전류[A]	유도전압[V]
2	0	16.4
4	4	26.7
6	10	37.9

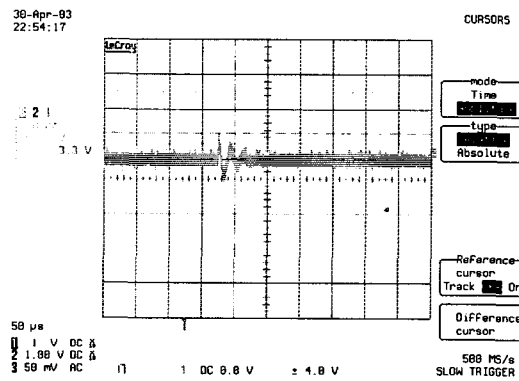
조합서지와 마찬가지로 2차 케이블의 차폐 영향을 GRP 위에서 모의하였으며, 표 9는 공통모드 측정 결과이다. 그림 9는 6[kV] 전압을 인가 한 경우 측정된 파형으로 형상이 유사함을 알 수 있다.

표 9. 2차 케이블 종류에 따른 공통모드 실험결과
Table 9. Test result of common mode according to secondary cable

인가전압[kV]	출력전류[A]		유도전압[V]	
	차폐	비-차폐	차폐	비-차폐
2	105	105	1.06	5.6
4	217	217	2.9	10.4
6	340	339	3.30	15.6



(a) 비-차폐 2차 케이블



(b) 차폐 2차 케이블

그림 9. 2차 케이블의 차폐 여부에 따른 Ring 서지 측정파형

Fig. 9. Measured waveform according to shielding of secondary cable

공통모드 전압은 비-차폐 케이블에서 차폐 케이블에서보다 약 5배 정도 더 크게 유도됨을 알 수 있다. 차동모드 유도전압은 6[kV] 서지를 인가한 경우, 차폐 케이블에서 5.1[V], 비-차폐 케이블에서 5.7[V]로 차폐여부와 관련이 거의 없었다.

5. 결 론

본 논문에서는 병렬접지도체(Parallel Grounding Conductor, PGC) 설치와 제어 케이블 개선에 의한 배전자동화용 개폐기 및 제어함의 EMC 성능 향상방안을 연구하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 제어 케이블의 차폐전류를 줄여 유도결합을 줄이기 위하여 PGC를 케이블과 병렬로 설치하는 것을 제안하였다. 실험결과 유도전압은 조합서지에 대해서는 PGC 설치 후 약 1/2로 감소하였고, Ring 파형에 대해서는 약 1/7로 감소하였다.

(2) 개폐기 본체 내에 설치된 전압 변성기 2차 제어케이블로 일반 제어 케이블을 사용하고 있는 개폐기에 대하여 제어장치에서의 유도전압 크기를 분석하였다. 실험결과 20[kV] 8223[A]의 조합서지 인가 시 약 90[V] 정도가 제어장치에서 측정되었다. 6[kV] 10[A] Ring 파형에 대해서는 약 38[V]가 측정되었다. 실험 분석결과 본체 2차 케이블에서 유도되는 결합모드는 자계결합 및 정전결합으로 판단되었다. 이들 대책으로는 케이블의 차폐 처리가 유효하다고 판단된다.

(3) 개폐기 본체 내 전압 변성기의 2차 케이블의 차폐 유무에 따른 영향을 검토하기 위해 알루미늄판 위에서 모의 분석하였다. 실험결과 조합서지에서 공통모드(common mode) 전압은 차폐 케이블에서 비-차폐 케이블보다 약 1/4배 작게 유도되었다. Ring 파형 서지에서 공통모드는 차폐 케이블에서 비-차폐 케이블보다 약 1/5배 작게 유도되었다. 서지 종류와 관계없이 차동모드(differential mode) 전압은 거의 차이가 없었다.

(4) 변성기 2차 제어 케이블로 차폐 케이블을 사용하는 경우, 본체 쪽만 접지한 경우가 양쪽 모두 접지한 경우보다 7배 정도 크게 유도되었다. 만약 어느 한쪽만 접지해야 한다면 제어함 쪽을 접지시키는 것이 좋다는 것을 알았다.

배전자동화용 개폐기의 EMC 성능 개선방안으로 최초로 이루어진 연구로 제어 케이블 관련 성능 개선에 많은 도움이 되리라 판단된다. 본 연구는 제어함의 제어장치에서 측정된 과도전압을 기준으로 평가하였다. 추후 연구과제로는 측정된 과도전압이 제어장치의 전자회로에 실제 어느 정도 영향을 주는지를 평가하는 것이다. 또한 개폐기 본체에 차폐 제어 케이블을 실제 설치하여 평가할 계획이다.

본 연구는 숭실대학교 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] C. M. Wiggins, et. al., "Transient Electromagnetic Interference in Substations", IEEE Transactions on Power Delivery, VOL. 9, NO. 4, pp. 1869-1884, October 1994.
- [2] A. Strnad and H. Röhler, "Noise Sources And Interference Values in High Voltage Substations", 6th symposium on EMC, Zurich, pp. 289-234, March 1985.
- [3] R. J. Cavazza and C. M. Wiggins, "Reduction of Interference on Substation Low Voltage Wiring", IEEE Transactions on Power Delivery, VOL. 11, NO. 3, pp. 1317-1329, July 1996.
- [4] Kenneth E. Bow, and Donald A. Voltz, "Overall Shield Protects Instrument Cable from the Effects of Lightning", IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 30, NO. 2, pp. 269- 276, March/ April 1994.
- [5] Han Ke, Wei-jen Lee, Senior Member, IEEE, Mo-Shing Chen, Life Fellow, IEEE, Jih-Phong Liu, and Jin Shyr Yang, Member, IEEE, "Grounding Techniques and Induced Surge Voltage on the Control Signal Cables", IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 34, NO. 4, pp. 663-668, July/ August 1998.
- [6] P. C. T. van der Laan, and A. P. J. Van Deursen, "Reliable Protection of Electronics Against Lightning : Some Practical Applications", Vol. 40, No. 4, pp. 513-520, November 1998.
- [7] Oun-Seok Kim, Jae-Chul Kim et al., "Electromagnetic Compatability of Feeder Terminal Unit and Control Cubicle for Distribution Automation Switch", Proceedings of the KIEE Autumn Annual Conference, pp 340-342, 2002.

◇ 저자소개 ◇

김인석 (金彦錫)

1965년 2월 11일생. 1997년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 박사과정 수료. 현재 한국전기연구원 선임기술원.
주 관심분야: EMC, 보호계전기, 저압 서지보호장치

김재철 (金載哲)

1955년 7월 12일생. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대 전기공학과 교수.
주 관심분야: 전기철도 예방진단, 전력품질, 분산형 전원.