

## 지중송전 및 배전계통의 공통접지에 따른 과도상태 영향 분석

임광식\* , 이종범  
원광대학교

### Analysis of Effect on the Transient State According to Common Grounding between Underground Transmission Systems and Distribution Systems

Kwang-Sik Lim\* , Jong-Beom Lee  
Wonkwang University

**Abstract** - This paper analyses the transient state of underground distribution system against single line to ground fault in underground transmission systems, when underground transmission systems and distribution systems are made of common grounding. Underground transmission systems and distribution systems are modeled by EMTP/ATPDraw. Simulation is carried out considering variation of parameters such as value of common grounding, balance load and unbalance load.

#### 1. 서 론

우리나라는 급속한 산업화로 인한 인구집중화 현상에 따라 대도시를 중심으로 전력수요가 나날이 증가하고 있다. 이러한 시점에서 환경 문제 및 부지확보의 문제 등 가공송배전계통이 가지고 있는 한계 때문에 점차 지중계통의 도입이 증가하고 있다. 이러한 추세는 앞으로 계속될 것으로 전망되며 이에 따른 지중송배전계통의 중요성 또한 커질 것으로 예상된다[1-2].

지중계통은 건설 초기 자본이 크고, 설치 및 유지보수가 어려우며, 송전용량이 가공선로와 비교하여 현저히 낮은 단점을 가지고 있는 반면에 너서지와 같은 외부 과도 요인에 의한 피해가 적으며 도시환경과 미관을 조화롭게 이룰 수 있는 장점이 있다. 지중송배전계통은 주로 지하 전력구 및 관로 등의 방식을 사용하여 포설되며, 일반적으로 사고의 발생 빈도는 낮으나 사고 발생시 그 파급효과는 가공에 비해 크게 나타나고 있다. 따라서 지중송배전계통에서 발생하는 각종 과도현상을 연구하고 고려하여 적절한 보호대책을 세우는 것은 매우 중요하다. 그러나 국내에서는 지중송배전계통의 과도현상, 각종 불평형 요소 및 접지체계 등에 관한 체계적이고 다양한 기술적 분석이 아직은 미약한 실정이다[2-3].

따라서 본 논문은 지중송전과 배전 각각 1회선을 EMTP/ATPDraw를 사용하여 모델링하여 전력구내에 공통접지 되어있는 지중송배전계통에서 발생할 수 있는 지중송전의 1선 지락고장에 대한 지중배전계통의 과도현상을 해석 하였다. 고장전류 유입시 평형부하와 불평부하를 모델링하여 각각의 부하에 따른 지중배전계통의 영향을 분석하였으며, 전력구 내에서 공통접지 된 경우 지중송전과 지중배전의 접지의 현행기준이 서로 다르므로 공통접지의 크기를 변화시켜가며 분석함으로써 계통의 보호 방안 및 접지 체계구축에 도움이 되도록 하였다.

#### 2. 본 론

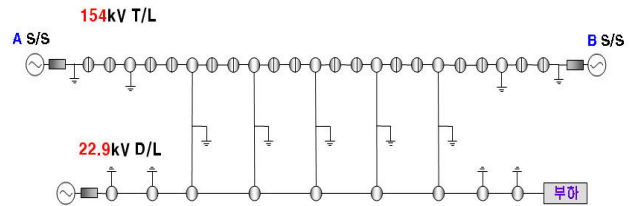
##### 2.1 모델링

본 논문은 국내에서 운용중인 지중송배전계통의 실제 계통의 데이터를 가지고 EMTP/ATPDraw를 이용하여 모델링 하였으며, 지락사고는 그림 3에서 보이는 것과 같이 A S/S에서 1[km] 떨어진 지점에 90°고장을 설정하였다.

##### 2.1.1 선로

지중송전계통은 154[kV] 2000[mm] XLPE 케이블을 전력구식 삼각배열의 포설방식을 적용하여 모의하였으며, 각각의 접속함 간의 거리는 100[m]로 일정하게 설정하여 선로의 총 길이 2.4[km]를 모델링 하였다. 지중배전계통은 CNCV-W 325[mm] 케이블 역시 전력구식 삼각배열을 적용하여 각각 1회선을 그림 1과 같이 모델링 하였다.

각각의 케이블 배치는 국내 송배전 검용 전력구내 케이블 표준배치에 의거하여 그림 2와 같이 배치하였으며, 대지저항율을 100[Ω·m]으로 가정하고 EMTP /ATPDraw의 선로정수 계산 프로그램인 ATP-LCC를 이용하여 선로정수를 산출하였다[4].



<그림 1> 지중송배전계통도

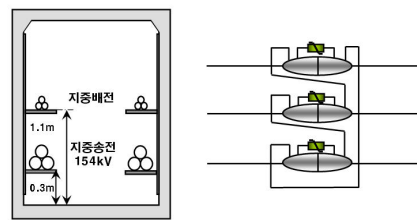
##### 2.1.2 절연통보호장치 및 접지

EMTP/ATPDraw의 비선형 소자를 사용하여 ZnO성분으로 제조된 절연통보호장치를 모델링하였다. 절연통보호장치 결선방식은 그림 2와 같이 교락비접지방식을 적용하였다. 접지는 독립접지와 공통접지부분으로 나누어진다. 독립접지에서 지중송전계통 구간의 말단 부분 접지저항은 변전소 매쉬에 접지됨으로 1[Ω], 중간접속부는 10[Ω]로 각각 설정하였다. 또한 지중배전계통 구간은 식 (1)과 같이 ES-3500에서 규정하고 있는 22.9[kV] 3상4선식 다중접지방식 계산 식에 의해 산출하였다[5-6]. 그리고 공통접지는 지중송배전계통의 접지 현행기준이 서로 상이하므로 1[Ω], 5[Ω], 10[Ω], 15[Ω], 20[Ω] 임의의 값을 설정하였다.

$$R = 1.2 \left( \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}} \right) \quad (1)$$

여기서 R = 합성저항[Ω]

r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub>, ..., r<sub>n</sub> = 매 접지의 단위접지저항[Ω]



<그림 2> 송배전 검용 전력구 및 교락비접지방식

본 논문에서 사용된 지중송·배전계통의 전원임피던스와 배전계통의 부하임피던스는 표 1과 표 2로 나타낸다.

<표 1> 지중송·배전계통 전원임피던스

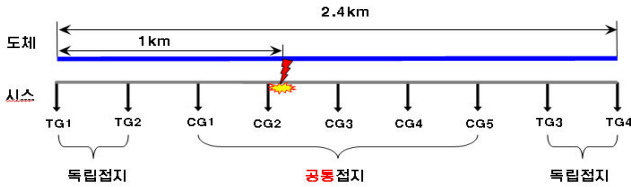
전원임피던스	영상분[Ω]	정상분[Ω]
지중송전계통	0.8128+j8.1292	0.3556+j3.5564
지중배전계통	0.0247+j1.336	0.072+j0.757

<표 2> 지중배전계통 부하 임피던스

	평형부하[Ω]	불평형부하[Ω]
A상	100.95+j11.36	50.95+j22.36
B상	100.95+j11.36	47.95+j12.36
C상	100.95+j11.36	21.95+j22.36

2.2 시뮬레이션 및 고장전류특징

그림 3은 고장전류 분포 측정을 위한 도식도이며, 각각의 공동접지의 크기에 따른 고장전류 분포는 표 3과 같다. TG1, TG4는 말단부분, TG2, TG3은 중간접속부에 유입되는 고장전류를 나타내고 CG1~CG5는 공동접지에 유입되는 고장전류를 나타내고 있다.



<그림 3> 고장전류의 분포 측정을 위한 형태

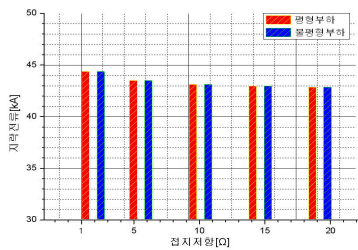
<표 3> 공동접지 크기에 따른 고장전류분포 단위 : [kA]

	TG1	TG2	CG1	CG2	CG3	CG4	CG5	TG3	TG4
1[Ω]	8.542	0.6418	5.166	5.013	4.982	5.011	5.161	0.6404	8.514
5[Ω]	12.117	1.147	2.2237	2.2136	2.2103	2.2128	2.2223	1.1429	12.107
10[Ω]	13.589	1.3202	1.2966	1.2941	1.2928	1.2937	1.2959	1.2187	13.589
15[Ω]	14.239	1.3917	0.9141	0.9127	0.9118	0.9125	0.9135	1.3902	14.24
20[Ω]	14.595	1.4306	0.7056	0.7047	0.7041	0.7045	0.7051	1.4291	14.596

2.3 모델해석

2.3.1 공동접지의 크기변화에 따른 고장전류분석

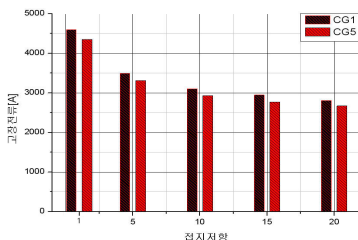
지락고장발생시 공동접지 저항의 크기에 따른 고장전류 특성을 분석하기 위해 접지저항의 크기를 각각 1[Ω], 5[Ω], 10[Ω], 15[Ω], 20[Ω]로 변화하였으며, 접지저항에 따른 고장전류의 크기는 그림 4와 같다. 그림에서처럼 지락전류는 접지저항에 따라 44[kA] ~ 43[kA]로 공동접지 저항의 크기나 부하의 평형조건에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 그러나 40[kA]이상의 과도전류가 공동접지선을 통해 배전계통으로 유입되면 케이블의 안정도와 절연에 영향을 미칠 것으로 판단된다.



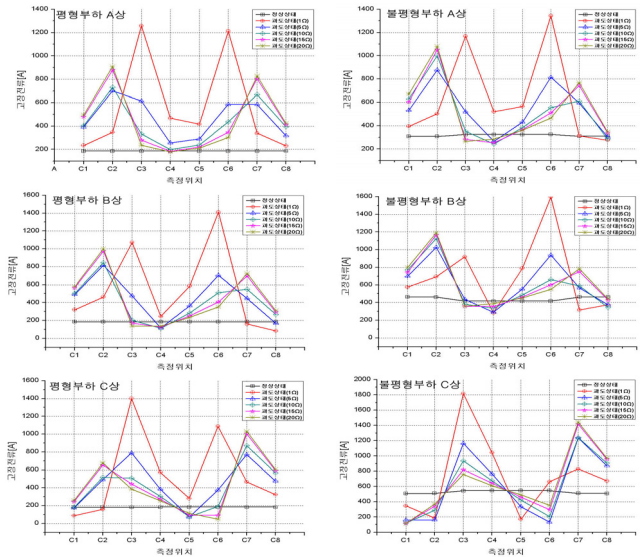
<그림 4> 공동접지 크기에 따른 고장전류의 크기

2.3.2 지중배전 중성선의 전류분석

그림 5는 공동접지를 통하여 배전계통에 유입되는 고장전류를 접지저항의 크기에 따라 나타낸 그래프이다. 고장전류는 송전케이블의 시스템을 통해 공동접지점에서 배전케이블 중성선으로 유입되며, 최대 유입전류는 접지저항 1[Ω]에서 4.5[kA]를 보였다. 또한 송전 케이블 변전소 양단의 메쉬 접지의 영향으로 유입전류의 분포는 CG1과 CG5에 집중되는 것을 알 수 있었다.



<그림 5> 배전선으로 유입되는 전류



<그림 6> 부하에 따른 상별 중성선에 흐르는 전류

그림 6은 송전케이블에서 발생한 고장으로 인해 배전케이블 중성선으로 유입되는 고장전류를 분석한 그래프이다. 그림에서처럼 모든 구간에서 정상상태 보다 높은 중성선 전류 값을 보였으며, 특히 CG1과 CG5로 유입되는 전류의 영향으로 C2와 C3사이, C6과 C7사이에서는 정상상태 전류보다 최대 7배 이상의 높은 전류를 보였다. 또한 부하의 상태에 따라 불평형계통에서는 과도전류가 한쪽으로 편중되는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 지락고장에 의한 과도현상은 뇌 서지에 비해 크기는 작으나 차단기에 의해 계통이 분리될 때까지 고장이 지속되므로 예전지가 상승하는 등 계통에 미치는 영향이 크게 나타난다. 송전케이블 고장으로 인해 과도전류가 배전케이블로 유입되는 경우에서도 중성선에 최대 7배에 전류가 유입됨으로써 배전 케이블 및 관련 전력설비의 수명과 절연상태, 전력 손실에 심각한 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한 반대로 배전케이블 고장으로 인해 송전계통에 미치는 영향도 클 것으로 예상되므로 상호 영향을 최소화하기 위해 공동접지를 분리해서 독립적으로 운영하는 것이 합리적이라고 사료된다.

3. 결 론

본 논문은 지중송배전이 공동접지된 경우 지중송전에서 지락사고 발생시 지중배전에서의 영향을 부하 및 공동접지의 크기에 따라 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 부하의 상태나 공동접지 저항의 크기는 지락전류 크기에 큰 영향을 미치지 않으나 40[kA]이상의 높은 과도전류는 배전계통의 안정도와 절연에 영향을 미칠 수 있다.
2. 배전계통으로 유입되는 전류는 송전계통 변전소 양단의 메쉬접지 영향으로 CG1과 CG5에 집중된다.
3. 배전계통으로 유입되는 과도전류로 인해 중성선의 전류는 최대 7배까지 상승하며 이는 배전케이블의 수명이나 절연상태, 전력손실에 영향을 줄 것으로 판단되며, 접지방식을 독립적으로 운영하는 것이 합리적이라고 사료된다.

본 논문에서는 향후 송전과 배전 케이블의 절연설계 기준을 고려하여 구체적인 영향 평가와, 지중 송전과 배전계통 또는 지중송전계통간, 지중배전계통 상호간에 운용하고 있는 공동접지 시스템에서의 과도영향을 더욱 다양한 고장조건을 고려하여 분석할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 기술연구원 “ 지중송전 케이블의 써어지 보호대책에 관한 연구(최종보고서)”, 1993.6
- [2] 전력연구원, “지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구(최종보고서)”, 1998.1
- [3] 전력연구원, “송전용량 증대를 위한 열방산회로 개선에 관한 연구(최종보고서)”, 2003.3
- [4] 한국전력공사 중앙교육원 “지중실무 I, II”, 2000.5
- [5] KEPCO, □설계기준 - 3500(접지공사)□, 1999
- [6] KEPCO, □설계기준 - 5001(총칭)□, 1998