

국내외 지중송전시스템의 과도상태 해석

강지원\*, 장태인, 홍동석, 이동일 정채균, 이종범  
한국전력 전력연구원 원광대

Analysis of transient state between Korea and Japan  
in Underground Transmission Cable Syatem

J.W.Kang\*, T.I.Jang, D.S.Hong, D.I.Lee C.K.Jung, J.B.Lee  
KEPRI Wonkwang University

**Abstract** - This paper analyses the transient phenomena against single line to ground fault and lightning surge between Korea and Japan on underground power cable systems. For analysis, find proper earthing resistance of neutral grounding system adopted in Japan. This paper is expected to contribute the establishment of proper protection methods against transients on underground power cable systems.

1. 서 론

최근 도시의 인구집중현상의 심화에 따른 전력수요의 밀도가 대도시를 중심으로 급격히 높아짐에 따라 도심의 지중송전 필요성이 날이 증대되고 있으며, 인구밀집지역의 가공송전이 가지고 있는 한계 때문에 지중송전계통의 도입이 점차 증대되고 있는데, 이러한 추세는 앞으로 계속 확산될 전망이다[1-2].

한편, 계통에서의 뇌 또는 개폐일펄스 등 이상전압이 내습하는 경우 방식층 및 케이블 접속함의 절연통과 대기 사이에 과도전압이 발생되며 특히, 이상전압 발생점에서 가까운 중단접속함 및 절연접속함에는 매우 큰 과도전압이 발생하여 보호대책으로 절연통보호장치를 설치하여 운영중에 있으나 뇌 썬지 등 이상전압 유입 및 열화 등 절연통보호장치 기능 저하 등의 원인으로 소손사고가 빈번히 발생되고 있으며 이러한 지중설비 고장시 전력공급 중단은 물론 사회적 물의를 야기 시킬 수도 있다.

따라서 본 논문에서는 일본의 154kV 계통에서 채택하고 있는 중성점 접지방식의 적정 접지저항을 선정하여 국내에서 채택하고 있는 직접 접지방식에 대한 1선 지락 고장 및 뇌 썬지 유입의 경우에 대해서 EMTP를 이용한 과도특성 비교, 검토결과에 대해서 다루었다.

2. 본 론

2.1 일본 OF 케이블의 구조 비교

본 절에서는 국내의 154kV 알루미늄피복 유입케이블 방식과 일본의 지중송전규정 JEAC 6021-2000[5]의 내용을 참조로 하여 국내와 일본의 154kV OF 케이블의 구조를 비교하였다. 표 1과 표 2에서처럼 국내와 일본의 케이블 규격은 도체 외경에서의 약간의 차이를 제외하고는 모두 동일함을 알 수 있다.

또한 방식층 및 절연통간 썬지 내전압과 CCPU 설치 상태를 비교한 결과 일본의 경우도 국내와 마찬가지로 154kV 방식층 및 절연통간의 내전압을 50[kV]로 규정하고 있으며, 절연통보호장치 결선도 대기간접지방식, 교락비접지방식, 교락접지방식 등 국내와 동일한 방식으로 설치하여 운용하고 있는 것으로 검토되었다.

표 1. 국내와 일본의 OF 케이블 구조비교 1

항목	관료규격	한 국		일 본	
		1공1조	1공3조	1공1조	1공3조
도체	공칭단면적 [mm <sup>2</sup> ]	600		600	
	형상	중공원형		중공원형	
	외경[mm]	35.6		35.6	
절연체 두께[mm]		12.5		12.5	
중공 유동로	내경[mm]	14.0		14.0	
	금속대두께 [mm]	0.8		0.8	
차폐층 두께[mm]		0.25		2.25	
알루미늄피 두께[mm]		1.9		1.9	
방식층 두께[mm]		4.5	6.0	4.5	-
최대 외경[mm]		90	93	93	-
최대 도체저항[Ω/h, 20[°C]]		0.299		0.299	
최대 정전용량[μ/h, 20[°C]]		0.39		0.39	
최소 절연저항[MΩ·h, 20[°C]]		19,000		19,000	

표 2. 국내와 일본의 OF 케이블 구조비교 2

항목	관료규격	한 국		일 본		한 국	일 본
		1공1조	1공3조	1공1조	1공3조		
도체	공칭단면적 [mm <sup>2</sup> ]	1공1조	1공3조	1공1조	1공3조	1공1조	1공1조
	형상	1,200		1,200		2,000	2,000
	외경[mm]	중공분할 압축원형		중공분할 압축원형		중공분할 압축원형	중공분할 압축원형
절연체 두께[mm]		46.2		45.7		57.9	57.5
중공 유동로	내경[mm]	13.5		13.5		13.5	13.5
	금속대두께 [mm]	14.0		14.0		14.0	14.0
차폐층 두께[mm]		0.8		0.8		0.8	0.8
알루미늄피 두께[mm]		0.25		0.25		0.25	0.25
방식층 두께[mm]		2.2		2.2		2.4	2.4
최대 외경[mm]		4.5	6.0	4.5	-	4.5	4.5
최대 도체저항 [Ω/h, 20[°C]]		103	106 (102)	1.6	-	119	119
최대 정전용량 [μ/h, 20[°C]]		0.0151		0.0151		0.00915	0.00915
최소 절연저항 [MΩ·h, 20[°C]]		0.45		0.45		0.57	0.57
		17,000		17,000		13,000	13,000

2.2 일본 중성점 접지방식의 적정 접지저항 선정

먼저 중성점 접지방식의 사용목적은 건전상의 대지전위 상승 억제 및 송전선로 및 기기의 절연레벨 경감, 낙뢰 및 아크지락 등에 의한 이상전압 억제 및 지락고장시 보호계전기의 확실한 동작을 위해서이다. 또한 소호리액터 방식의 경우에는 1선 지락에 의한 아크가 신속히 소멸되는 특성이 있다.

한편, 국내의 경우 직접 접지방식을 채택하고 있으나 일본의 경우 154kV 계통의 보상리액터 방식은 직렬저항을 보상 삽입하며, 소호리액터 접지방식은 원칙적으로 상시 저항투입방식을 적용하는 것으로 검토되었으며 표 3에 각 접지방식별 장단점을 비교하여 나타내었다.

표 3. 각 접지방식별 특성 비교

항목	비접지	직접접지	고저항접지	소호리액터 접지
지락고장시 건전상의 전위상승	크다	적거나 평상시와 동일	약간 크거나 비접지보다 작다	크다 ( $\sqrt{3}$ 배까지 상승)
지락전류	작다	최대	중간정도 저항값에 의존	최소
보호계전기 동작	곤란함	가장확실	확실	불가능
1선 지락고장시 통신선 유도장해	작다	최대 고속도 차단 시스템 채용	중간정도	최소
과도안정도	크다	최소 고속도 차단 및 재폐로 방식 채용	크다	크다
경제성	높다	최고	중간	최소

한편, 일본에서 적용하고 있는 고저항 중성점 접지방식에서의 적정 접지저항은 1선 지락고장 발생시 고장전류를 100[A] ~ 400[A]까지 억제할 수 있는 값을 채택한다. 따라서 본 연구에서는 고장전류 400[A]를 기준으로 적절한 고저항 중성점 접지저항값을 유추해 보았다. 이를 위해 2종류의 모델을 적용하였으며, 그림 1에서 알 수 있듯이 고장전류를 기준으로 보았을 때 접지저항은 300 ~ 500[Ω]인 것으로 검토되었다.

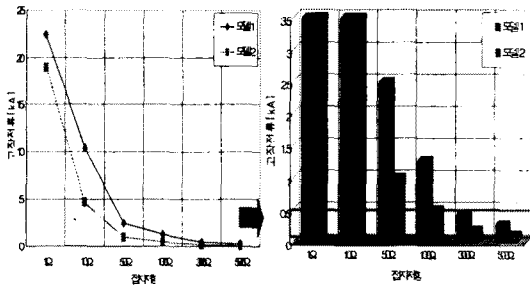


그림 1. 중성점 접지저항에 따른 고장전류 비교

2.3 1선 지락고장시의 과도현상 비교·분석

고저항 중성점 접지방식을 채택하고 있는 일본의 154kV 지중송전계통에서의 1선 지락고장시 과도현상 분석을 위해 그림 2와 같은 모델 계통을 이용하였다. 이 모델계통은 양단 A S/S와 B S/S에서 고저항 접지방식으로 채택하고 있는 것으로 하였다.

1선 지락고장은 선로의 J/B #1과 J/B #4에서 각각 발생하는 것으로 하였고 표 4와 같은 케이스를 설정하여 다양하게 분석하였으며, 절연통보호장치 결선은 국내와 동일한 교락비접지방식과 대지간접지방식을 각각 적용하였다.

그림 3과 그림 4는 그림 2의 검토대상 계통도의 J/B #1에서 지락고장이 발생했을 때 각 케이스별 시스 유기전압과 시스전류를 비교한 그래프이다. 그림에서처럼 국내의 방식인 Case C에 비해 Case A와 Case B에서 현저히 낮은 값을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

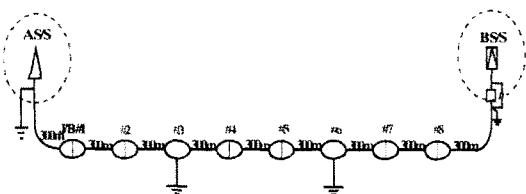
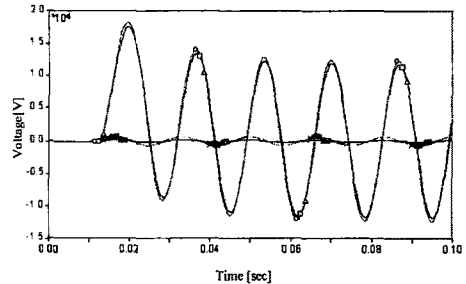


그림 2. 1선 지락고장 검토 모델 계통도

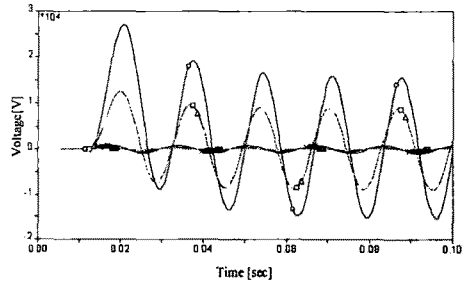
표 4. 검토 케이스 설정

Case A	중성점 접지방식(접지저항 : 100[Ω])
Case B	중성점 접지방식(접지저항 : 330[Ω]) - 고장전류 400[A]
Case C	직접 접지방식(국내방식)



Case A : A ▲, B □, C Case B : A ×, B ●, C ■ Case C : A ○, B □, C △

그림 3. Case별 시스 유기전압(고장지점 : J/B #1)



Case A : A ▲, B □, C Case B : A ×, B ●, C ■ Case C : A ○, B □, C △

그림 4. Case별 시스전류(고장지점 : J/B #1)

그림 5는 그림 2의 계통도에서 J/B #1에서 1선 지락고장시 국내와 일본 계통에서의 에너지 분석결과를 절연통 보호장치 결선방식별로 비교하여 나타내었다. 그림 5에서처럼 국내 계통의 경우 차단기 동작시간 4[cycle]을 고려할 때 에너지는 23,000[kJ]까지 발생하고 1,000[kJ]에 이르는 시간이 1.46[cycle]이며 500 [kJ]에 이르는 시간이 0.5[cycle]인데 반하여 일본 계통에서는 최대 57[kJ] 이하의 에너지가 발생하고 있음을 알 수 있다.

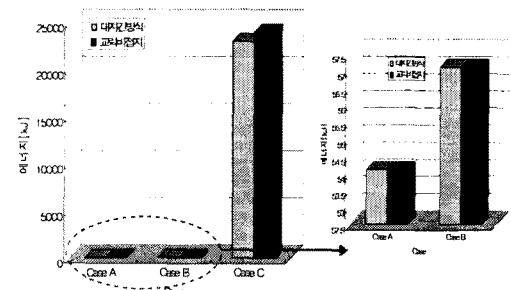


그림 5. 케이스별 고장에너지 분석(고장지점:J/B #1)

또한 그림 6에서처럼 J/B #4에서 1선 지락고장 발생시에도 국내계통의 경우는 4[cycle] 동안에 19,800 [kJ]의 에너지가 발생하는데 반해 일본 계통에서는 48[kJ] 이하의 에너지가 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

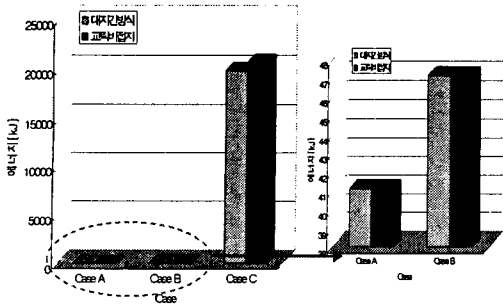


그림 6. 케이스별 고장에너지 분석(고장지점:J/B #4)

**2.4 뇌 썬지 발생시의 과도현상 비교·분석**

고저항 중성점 접지방식을 채택하고 있는 일본의 154kV 지중송전계통에서의 뇌 썬지로 인한 과도현상을 분석하기 위해 그림 7과 같은 계통을 사용하였으며 양단 A S/S와 B S/S에서 고저항 접지방식을 채택하고 있는 것으로 하였다. 또한 뇌격전류 피크치는 100[kA]를 적용하였고, 절연통보호장치 결선방식은 대지간접지방식, 교락비접지방식, 혼합방식을 동일하게 적용하여 검토하였다. 검토 케이스는 표 4에서 제시한 것과 동일하게 적용하였다.

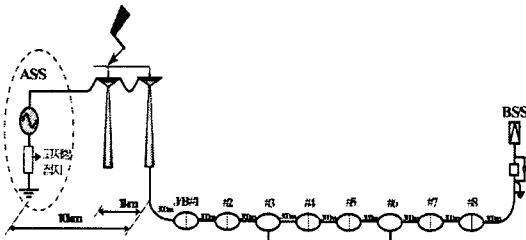


그림 7. 뇌 썬지 검토 모델 계통도

그림 8과 그림 9는 절연통보호장치가 대지간접지방식으로 접속된 계통에서 뇌 썬지 침입시 J/B #1에서 측정 한 시스-대지간 전압과 절연통간 전압을 직접접지방식과 중성점접지방식을 비교하여 나타내었다. 그림에서처럼 급준파 뇌 썬지 침입시에는 시스에서 발생하는 과도현상에 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

또한 그림 10은 절연통보호장치가 교락비접지방식으로 접속된 계통에서 뇌 썬지 침입시 J/B #1에서 측정된 절연통간 전압만을 직접접지방식과 중성점접지방식을 비교하여 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 접지방식에 의한 과전압의 차이가 나타나지 않는 것으로 분석되었다.

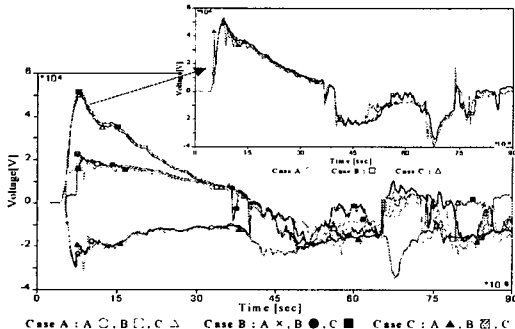


그림 8. J/B #1에서의 시스-대지간 전압(대지간접지방식)

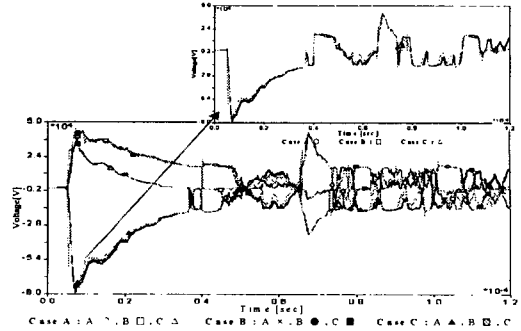


그림 9. J/B #1에서의 절연통간 전압(대지간접지방식)

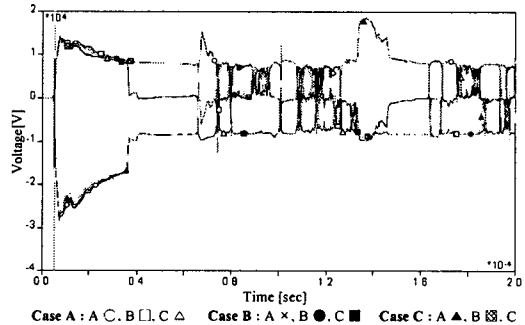


그림 10. J/B #1에서의 절연통간 전압(교락비접지방식)

**3. 결 론**

본 논문에서는 일본의 154kV 계통에서 채택하고 있는 중성점 접지방식의 적정 접지저항을 선정하여 국내에서 채택하고 있는 직접 접지방식에 대한 1선 지락고장 및 뇌 썬지 유입의 경우에 대한 과도특성을 비교, 검토하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 154kV 계통의 경우 일본과 국내에서 사용되고 있는 케이블의 규격은 동일한 것으로 검토되었다.
- 2) 일본 중성점접지방식의 적정 접지저항값을 산정한 결과 300-500[Ω]인 것으로 분석되었다.
- 3) EMTTP를 이용한 과도특성 검토결과 1선 지락고장 시 고장전류의 크기에는 현저한 차이를 보이나 뇌 썬지의 경우에는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 검토되었으나 상세 비교를 위해서는 일본 실제계를 대상으로 한 비교검토가 필요할 것으로 판단된다.

이상의 국내의 지중송전계통에서의 과도전류 비교·검토 결과는 향후 선로 운영에 활용 가능하리라 기대된다.

**[참 고 문 헌]**

- [1] 전력연구원, "지중송전 케이블의 썬지 보호 대책에 관한 연구(최종보고서)", 1993. 6
- [2] 전력연구원, "지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구(최종보고서)", 1998. 1
- [3] IEEE, "IEEE Guide for the Application of Sheath Bonding Methods for Single-conductor Cables and Calculation of induced Voltage and Current in Cable Sheaths, ANSI/IEEE Std. 575-199
- [4] 일본전기학회 기술보고, "케이블계통에서의 썬지현상과 대책". 제 366호(II부), 1991. 4
- [5] 일본전기협회, "지중송전규정 JEAC 6021-2000", 2000