

# EMTP/ATPDraw를 이용한 가스절연송전선로(GIL)의 과전압 분석

논 문
60-5-15

## An Analysis on the Overvoltage in Gas Insulated Transmission Lines with EMTP/ATPDraw

박 흥 석\* · 한 상 옥†  
(Hung-Sok Park · Sang-Ok Han)

**Abstract** - Nowadays, it is becoming difficult to secure a transmission line route when a new transmission line is constructed due to social environment and resident complaints. As existing urban areas are expanded and new cities are constructed, the necessity of high-capacity underground power transmission has been increasing because of load concentration in downtown areas. In North America, Europe and Japan, the research has been carried out for 2<sup>nd</sup> generation gas insulated transmission lines(GIL) which is more environmentally friendly and economical compared to previous GILs. The new GILs have been applied to real power systems from early 2000s. In South Korea, GIL is being considered as a possible solution for replacing 345kV high-capacity overhead transmission lines with underground transmission ones, so KEPCO is planning to develop and apply a new 362kV rated GIL underground transmission lines instead of overhead transmission lines. In this paper, the overvoltage generated at the combined transmission line adapting GIL was reviewed using EMTP.

**Key Words** : GIL(Gas Insulated Transmission Line), EMTP(Electro Margnetic Transient Program), Lightning arrester lightning overvoltage, Switching overvoltage, TACS(Transient Analysis of Control Systems)

### 1. 서 론

현재까지 송전선로 및 중전기기를 포함한 전력산업 분야의 기술개발에 대한 정부차원의 지원은 반도체, 조선, 자동차, 통신, 생명과학 등 타 분야에 비해 다소 미흡했던 것이 사실이다. 그러나 얼마 전 발생한 북미지역 및 이탈리아의 대규모 정전사태, 영국 런던의 장시간 정전사태 등으로 인해 정부에서 전력산업을 바라보는 시각에 상당한 변화가 감지되고 있으며 또한 전력산업의 구조개편, IT산업의 발전, 그리고 디지털 경제사회가 도래함에 따른 고품질 전기수요에 대한 욕구증가 등으로 인해 정부차원의 관심이 크게 증가되었다. 이에 따라 경제사회의 발전에 부합하는 전력산업분야의 발전을 위해 전력 IT, 신개념 송전선로 도입, 전력품질 향상을 위한 정부차원의 지원이 이루어지고 있다[1].

이와 더불어 국내에서는 대도시 확장에 따른 기존 대용량 가공송전 선로 경과지에 들어서는 신규 택지개발 지구의 빈발, 대도시 및 민원발생 개소 적용을 위한 친환경 지중송전 선로의 건설 필요성 등으로 대용량 신개념 송전선로의 개발이 절실히 요구되고 있다. 대용량 가공송전선로의 지중화 방안으로 전압레벨 154kV 이하의 가공송전선로는 기존 개발된 지중케이블을 일대일로 대응시켜 지중화가 가능하나, 345kV 이상의 가공선로는 기술성, 시공성, 유지보수 등에서

불리한 측면이 있어 345kV급 이상의 대용량 가공송전선로를 일대일로 지중화 가능한 가스절연송전선로(Gas Insulated Transmission Lines, 이하 "GIL")가 유력한 방안으로 검토되고 있다[2].

대용량 전력수요에 대응할 수 있는 전력수송 수단으로서 현재 개발되고 있는 대표적인 신기술로는 초전도 전력케이블이 있으나 초전도체의 특성향상 속도 및 경제성 확보 시기가 예상보다 늦어지고 있다. 특히 냉각설비를 포함한 전체 시스템의 경제성 확보 과정에는 더 많은 기간이 소요될 것으로 예측되어 현실적으로 수년 내에 계통병입 운전의 가능성은 쉽지 않을 것으로 평가되고 있다. 초전도케이블과는 달리 GIL은 가공선로 방식이 부적합한 지역에 있어서 기존 절연체 케이블 시스템의 대체 용도로서 사용될 수 있으며, 동시에 높은 계통안전성을 확보할 수 있는 신개념의 대용량 송전시스템이다. 선진국에서는 20~30년 전에 개발이 시작되어, 일부이기는 하지만 계통운영 실적이 최대 30여년에 달하는 등 현재의 친환경적 대용량 전력수송 수요에 즉각적이고 능동적으로 대처할 수 있는 설비이다. GIL은 국내·외에서 현재까지 사용빈도가 높지는 않지만, 종래의 지중송전선로의 가장 큰 문제점으로 지적되었던 낮은 송전용량과 관련해 대용량 송전이 가능하다는 장점이 있어 차세대 지중송전선로로 각광받고 있다. 또한 GIL은 시스템의 외함 순환전류를 적절하게 유지하도록 설계할 경우 고전압, 대용량 송전선로임에도 불구하고 외부로 유출되는 전자기장이 기존 가공이나 지중선로에 비하여 상대적으로 매우 적기 때문에 전자계에 민감한 현재 및 미래의 사회 환경에 더욱 적합하다고 할 수 있다[1][3].

\* 정 회 원 : 한전 전력연구원 연구원

† 교신저자, 시니어회원 : 충남대 전기공학과 교수 · 공박

E-mail : sohan@cnu.ac.kr

접수일자 : 2011년 3월 15일

최종완료 : 2011년 4월 4일

국내에서도 이와 같은 GIL의 실계통 도입을 위해 345kV 급 대용량 GIL의 개발 및 적용을 위한 연구가 수행되고 있으며, 그 중의 하나가 가공송전선로 사이의 일부구간을 GIL로 지중화 대체할 경우 발생할 수 있는 과전압의 분석이다. 가공선로의 일부구간을 GIL로 대체하는데 있어서 우선 분석되어야 할 부분이 뇌격에 의한 과전압이다. GIL-가공송전선로 연계시 뇌찌지 유입 상황에서 특성임피던스 차이로 인하여 가공선로와 연결된 GIL 말단부에서 진행파 반사의 영향이 증폭되어 큰 과전압이 발생할 수 있다[4]. 한편 개폐체의 경우, 변전소 단이 원거리 일 경우 변전소 내부에서의 차단기나 단로기 동작으로 인해 발생하는 개폐체가 GIL에 미치는 영향은 제한적이지만, 현재 GIL 적용을 검토하고 있는 345kV 가공선로 구간에서 변전소 단까지의 거리가 불과 3km가 되지 않아 개폐로 인한 과전압도 분석할 필요가 있다[5].

따라서 본 논문에서는 국내에서 개발하고 있는 345kV 급 GIL의 실계통 병입을 가정하여 GIL-가공송전선로 연계시 발생할 수 있는 과전압의 영향을 EMTP(Electro Magnetic Transient Program)를 이용하여 분석하였으며, 그 결과를 GIL의 실계통 적용시 적극 활용하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 국산개발 GIL의 설계규격

GIL은 도체 및 외함 모두 고전도성 알루미늄으로 제작되며, 국산개발 GIL의 외함 외경은 520 mm, 도체의경은 180 mm이다. 표 1은 국내개발 GIL의 설계규격이다[6].

표 1 국내개발 GIL 설계규격

Table 1 GIL specification developed in domestic

구분	주요 사양
정격전압	<ul style="list-style-type: none"> <li>공칭전압 : 345 kV, 60 Hz</li> <li>정격전압 : 362 kV, 60 Hz</li> </ul>
정격전류	<ul style="list-style-type: none"> <li>연속정격 : 4000 A 표준</li> <li>단시간정격 : 63 kA, 1.7 s (최대과고치는 정격 단시간 정격의 2.6배)</li> </ul>
온도상승	<ul style="list-style-type: none"> <li>전력구내 설치 시 외함 최대온도 : 70 °C 이하</li> <li>옥외 설치시 : 80 °C 이하</li> <li>GIL 각부의 온도상승 : IEC61640, IEC60694 참조</li> </ul>
구조	<ul style="list-style-type: none"> <li>곡률반경 400 m미만 개소 곡선유니트 사용</li> <li>보조회로 : 충전부와 대지간에 상용주파 2,000 V/1 min</li> <li>외함 : 362 kV, 최대 520 mm</li> </ul>
절연강도	<ul style="list-style-type: none"> <li>정격전압 : 362 kV, rms</li> <li>상용주파내전압 : 450 kV, 실효치</li> <li>뇌충격내전압 : 1,175 kV, 1.2 × 50 μs, 파고치</li> <li>개폐충격내전압 : 950 kV, 250 × 2500 μs, 파고치</li> </ul>

### 2.2 GIL 및 가공선로 모델링

#### 2.2.1 GIL 적용 혼합송전선로 개요 및 모델링

본 논문에서는 GIL의 실계통 적용을 가정하여 345 kV 송전선로 전구간을 모의하였으며, 345 kV 4 Bundle 2회선 가

공선로 중간 일부구간을 GIL로 대체 연결한 경우에 대하여 뇌 과전압과 차단기 개폐에 의한 과전압을 분석하였다.

가공송전선로는 총 공장 35.865 km, 상도체 ACSR 480 mm<sup>2</sup> 4 Bundle 2 Circuits로 구성되며 가공지선은 ACSR 120 mm<sup>2</sup> 2 Circuits로 모의하였다. 그림 1은 GIL이 적용된 혼합송전선로의 구성을 보여주고 있다. 여기서 P1 ~ P6는 GIL구간의 과전압 측정포인트이며, L1은 가공송전선로의 과전압 측정포인트이다. A 변전소와 B 변전소 사이 345kV 송전선로의 일부구간(약 860 m)에 GIL 병입을 가정하고, 실계통 조건과의 일치성을 위해 변전소 인입단과 케이블헤드 철탑(C/H : Cable Head)에 피뢰기 설치를 가정하였다. 그림 2는 345 kV 실계통에 적용하고 있는 피뢰기의 V-I 특성과 특성곡선을 보여주고 있다.

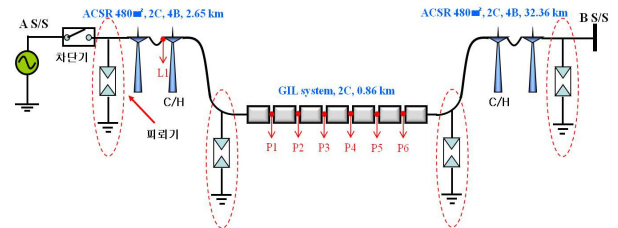


그림 1 GIL-가공 혼합송전선로 개요도

Fig. 1 Outline drawing of the GIL-OHL combined T/L

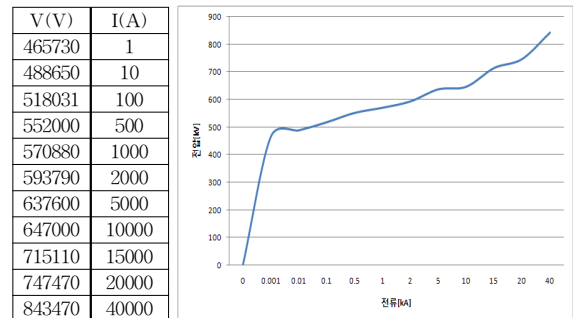


그림 2 345kV 피뢰기 V-I 특성

Fig. 2 V-I property of 345 kV lightning arrester

또한 실계통 조건과의 일치성을 위해 양단의 변전소 모선에서의 PSS/E 데이터(영상분과 정상분 임피던스)를 이용하여 표 2와 같이 전원임피던스를 계산하여 시뮬레이션에 적용하였다.

표 2 시뮬레이션에 사용된 Source Impedance

Table 2 Source impedance used in simulation

구분	위상각	정상분(Ω)	영상분(Ω)
A 변전소	0°	0.8504 + j16.878	3.0906 + j20.438
B 변전소	15°	1.9673 + j16.816	0.9372 + j15.845

#### 2.2.2 GIL 모델링 방법

EMTP에서 ATPDraw를 이용한 GIL을 모의방법으로는 기존의 지중송전케이블을 모의하는 Single Core Cable을 이

용한 방법과 GIS의 모의에 사용되는 Enclosing Pipe를 이용하는 방법이 있다. Single Core Cable을 이용한 모델링 방법은 일반적으로 GIL의 도체는 케이블의 도체로, GIL 외함은 케이블의 시스(Sheath)로 구현하여 단상 분리형의 3상 GIL을 동시에 모의할 수 있다.

다른 하나의 방법은 Enclosing Pipe를 이용하여 전력구와 GIL을 동시에 모의하는 방법이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 전력구의 단면이 모두 Enclosing Pipe 내부에 위치하도록 배치하고 GIL의 외함과 도체를 설계사양을 반영하여 각각의 매질 특성을 넣어 도체와 시스로 모의하였다.

본 논문에서는 실제통과 최대한 동일한 조건의 모의가 가능하도록 전력구를 대지와 연결된 무한접지체로 모의하는 두 번째 방법으로 GIL에서의 과전압을 분석하였다[7].

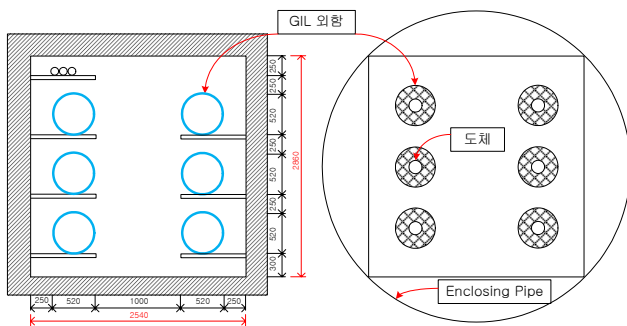


그림 3 GIL 전력구 및 2회선 모델링 단면도  
Fig. 3 Sectional view of tunnel and GIL 2-circuits modeling

2.2.3 철탁모델

철탁을 모의하는 방법으로는 4단 철탁모델과 리더법 등의 방법이 있으나, 현장 실측데이터를 바탕으로 계산되고, 뇌사 고율 계산 시뮬레이션으로 검증된 일본 전력중앙연구소에서 제안한 4단 송전철탁 모델을 사용하였다. 이 모델은 아킹흔간의 전압이 실측치와 일치되는 것이 장점이며 그 작성방법 및 기본회로는 아래 그림 4와 같다[8-9].

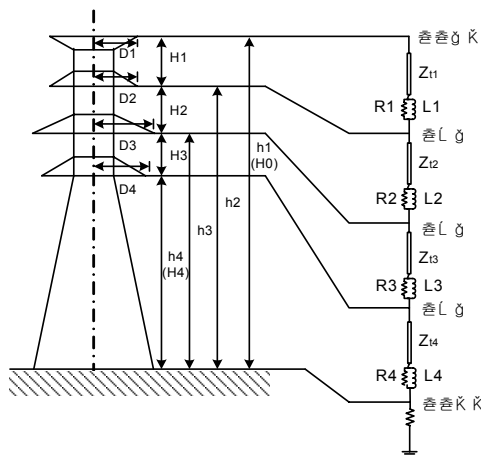


그림 4 4단 송전철탁 모델  
Fig. 4 Four section power transmission tower model

그림 4는 345 kV급 철탁으로 탑꼭대기까지의 높이는 52 m이고 탑각저항은 20 Ω이다. 4단 철탁 모델에 사용된 세부적인 값으로, 철탁의 높이 H1, H2, H3, H4는 각각 4.0, 8.8, 8.5과 30.7 m이고, 등가저항 R1, R2, R3, R4는 9.22, 20.29, 19.60, 33.48 Ω이고, 등가인덕턴스 L1, L2, L3, L4는 3.2, 7.0, 6.8과 11.6 μH이다. 철탁의 서지임피던스( $Z_{11}=Z_{22}=Z_{33}$ )는 220 Ω이고,  $Z_{44}$ 는 150 Ω이다.

2.2.4 역섬락(Back Flashover) 모의

뇌 서지를 모의하는 방법으로는 뇌격과 동시에 아킹흔을 단락하여 모의하는 단락법과, 아크의 방전특성을 인덕턴스와 시간제어 스위치를 모의하는 리더법이 있다. 아킹흔 사이의 역섬락 모의시 단락법에 의한 경우가 리더법에 의한 경우보다 발생과전압이 가혹한 점이 있어 리더법이 주로 사용된다. 하지만 본 논문에서는 ATPDraw(Alternative Transient Program Draw)에서 아킹흔간 섬락으로 인한 역섬락을 모의하기 위해 EMTP의 제어소자인 TACS (Transient Analysis of Control Systems)기능을 이용하였다. TACS를 사용하는 경우 선형소자와 비선형 소자 사이에서 발생하는 현상을 동시에 모의할 수 있다[9-10].

그림 5에 아킹흔과 TACS의 동작 흐름을 표시하였다. 그림 6은 ATPDraw에서 표현한 4단 철탁모델과 TACS를 모의한 아킹흔 모델링을 보여주고 있다.

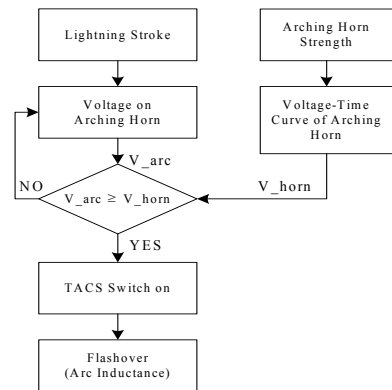


그림 5 아킹흔과 TACS의 동작 흐름도  
Fig. 5 Flow chart of arching horn and TACS

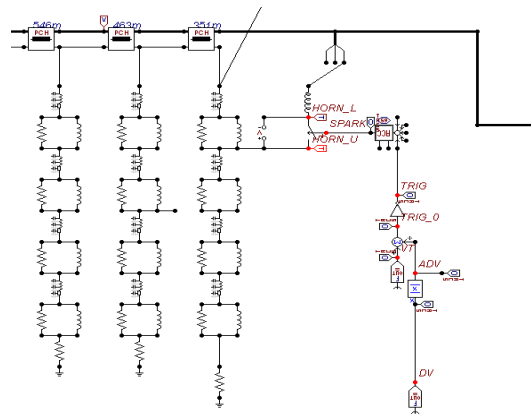


그림 6 TACS를 이용한 역섬락 모의  
Fig. 6 Back flashover modeling using TACS

2.2.5 뇌 서지(Lightning Surge) 분석방법

뇌서지에 의한 과전압을 확인하기 위하여 차폐실패와 가공지선이나 철탑에 직접 뇌격을 받는 직격뢰, 그리고 아크혼간의 역섬락으로 구분하여 모의하였다. 아래의 표 3은 뇌격전류에 따른 파두장으로 본 분석에서 뇌격 모의시 사용되었다.

표 3 뇌격전류에 따른 파두장

Table 3 Frontwave of lightning current

뇌격전류(kA)	20	30	50	100	120	150
파두시간(μs)	1.2	1.2	1.2	2	2	2

2.2.6 개폐서지(Switching Surge) 분석

가공선로의 일부구간을 GIL로 대체하는 데 있어서, 변전소측이 원거리일 경우에는 변전소 내부의 차단기나 단로기 등 개폐 서지에 의한 과전압의 영향은 감소효과로 인하여 그다지 크지 않지만, 변전소 측과의 거리가 짧을 경우 차단기 동작에 의한 개폐서지의 영향을 무시할 수 없다. 따라서 GIL 시스템이 가공송전선로와 연계된 경우 근접한 변전소단에서 개폐를 가정하였을 때, GIL 시스템과 가공송전선로에서 발생할 수 있는 개폐과전압에 대하여 분석하였다

본 논문에서 사용된 Monte Carlo 기법은 선로나 변전소 등에 침입하는 개폐 과전압과 뇌 과전압 등의 해석시 확률분포를 적용하여 계산하는 기법이다. 일반적으로 개폐 과전압의 크기는 차단기가 투입 혹은 재투입되는 시점의 교류전압의 위상에 따라 변화한다. 그러므로 각상의 차단기가 투입되는 시점의 위상별로 투입서지를 분석하기 위해서는 0도에서 360도 사이의 Random Number를 선택하고, 정상분포 또는 균일분포 등의 통계적인 확률분포를 이용해 표준편차(σ)에 따라 무작위로 투입시간을 반복하여 개폐 과전압을 계산하여야 한다[5].

본 논문에서는 연속적인 투입위상의 변화에 따른 확률적 투입 과전압을 해석하기 위해 통계스위치를 이용하였다. 통계스위치의 투입시간은 무작위로 변화시켰으며, 차단기의 평균 투입시간은 0.05 s, 표준편차를 2 ms로 설정하고 투입시간 분포에 따라 100회의 반복계산을 하였다.

2.3 GIL 적용 혼합송전선로 과전압 분석

2.3.1 차폐실패(Shield Failure)에 의한 과전압 분석

가공송전선로에는 뇌격을 확실하게 흡인해서 뇌격전류를 안전하게 대지로 방류함으로써 상도체의 직격뢰의 침입을 방지하기 위하여 가공지선을 설치하고 있다. 하지만 이 경우에도 흡인 공간이론에 따르면 수 kA 정도의 뇌격은 차폐실패로 인하여 상도체에 직접 침입할 수 있다. 본 분석에서는 A상 상도체에 뇌격전류 20, 30, 50 kA, 파두×파미장을 1.2×50 μs의 뇌격이 침입하였을 때 GIL 및 가공선로에서의 과전압을 분석하였다.

그 결과 표 4와 그림 7과 같이 345 kV 계통의 BIL값인 1175 kV를 초과하지 않았으나, GIL의 경우 매질이 서로 다른 이유로 진행파의 투반사 영향으로 뇌임펄스 전압이 중첩

되는 시점(그림 7의 ‘O’ 표시)에서 다소 높은 과전압을 보였다.

표 4 차폐실패시 GIL 시스템의 뇌 과전압

Table 4 Lightning overvoltage at shield failure

과전압 kV	뇌격전류 kA	가공송전선로		뇌격위치	측정 지점					
		L2	L1		GIL 시스템					
		P1	P2		P3	P4	P5	P6		
20	665	671	846	846	847	847	848	849	849	
30	735	743	898	899	902	905	906	911	911	
50	815	827	1008	1003	1001	1008	1014	1003	1003	

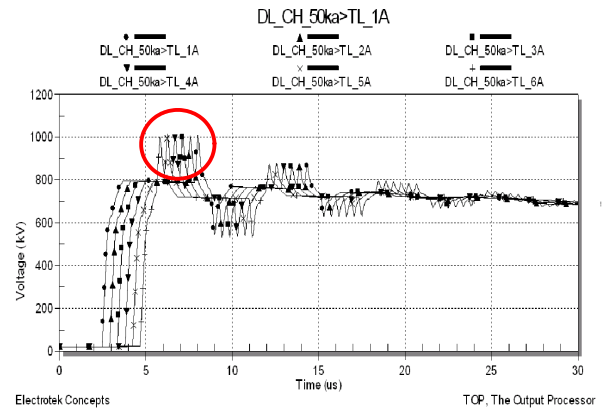


그림 7 50kA 뇌격의 차폐실패시 GIL의 과전압

Fig. 7 Lightning overvoltage for GIL at shield failure

2.3.2 직격뢰(가공지선 뇌격)에 의한 과전압 분석

직격뢰의 또 다른 종류로 가공지선에 뇌격을 받는 경우를 모의하였다. 일반적으로 케이블헤드(C/H : Cable Head)는 메쉬(Mesh) 집지로 탐각저항이 1 Ω이하로 규정되어 있어, 대부분의 뇌격 전류가 대지로 귀환되는 경향을 보이고 있으나, 뇌격과 동시에 상도체에도 영향을 주고 있다. EMTP를 이용한 뇌격 모의시 뇌격전류의 크기가 클수록 파두×파미장을 2×70 μs까지 사용하고 있어, 본 논문에서도 100, 120, 150 kA의 뇌격전류 모의시, 파두×파미장을 2×70 μs의 뇌격으로 모의하였다. 120 kA의 뇌격에서도 GIL 시스템에서는 BIL을 초과하는 과전압의 경향은 보이지 않았다. 하지만 150 kA의 뇌격에서는 BIL을 초과하는 과전압 현상이 발생하였다. 그림 8에서 보는 바와 같이 GIL의 말단부에서 반사파의 영향으로 약 7 μs(그림 8의 ‘O’ 표시)에서 뇌임펄스 전압과 투반사 과전압의 중첩현상을 확인하였다.

표 5 가공지선 뇌격(직격뢰)시 GIL 시스템의 과전압

Table 5 Overvoltage at direct lightning stroke to ground wire

과전압 kV	뇌격전류 kA	가공송전선로		뇌격위치	측정 지점					
		L2	L1		GIL 시스템					
		P1	P2		P3	P4	P5	P6		
100	496	729	431	569	648	709	809	896	896	
120	482	748	581	739	779	860	976	1036	1036	
150	490	777	783	970	994	1094	1241	1213	1213	

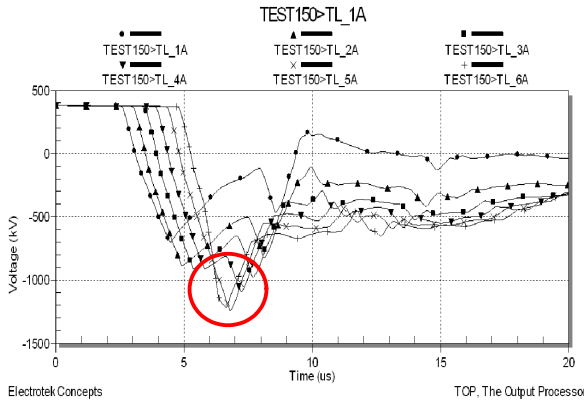


그림 8 GIL 말단부 반사파에 의한 GIL 시스템 과전압  
Fig. 8 Overvoltage due to reflection at the end of GIL

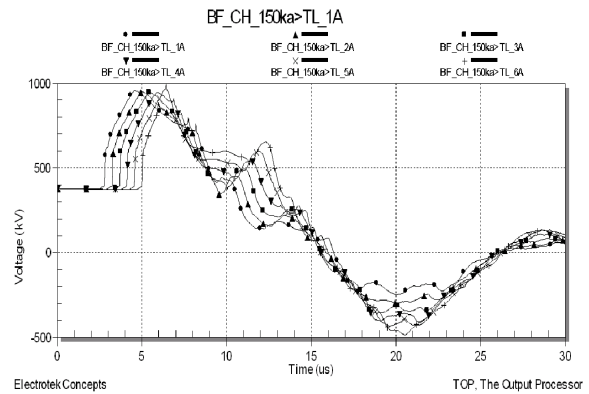


그림 10 케이블헤드에서 역섬락 발생시 과전압  
Fig. 10 Overvoltage of GIL on C/H at back flashover

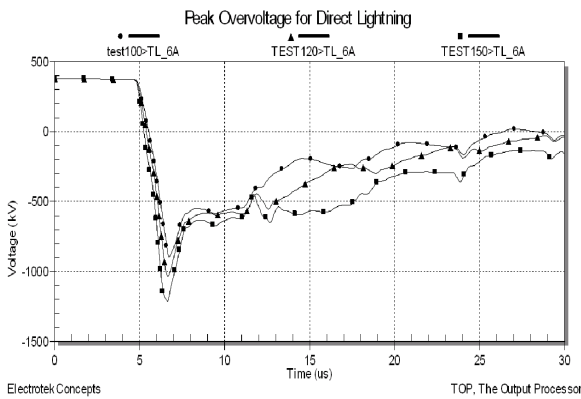


그림 9 직격뢰시 GIL의 최대 과전압  
Fig. 9 Peak overvoltage at direct lightning to ground wire

### 2.3.3 역섬락에 의한 과전압 분석

케이블헤드 철탑(C/H)에 100, 120, 150 kA의 뇌격이 침입하여, 아킹혼(Arcing Horn) 사이로 섬락이 발생하여 A 상도체에 영향을 주는 경우를 모의하였다. 그 결과 표 6과 그림 10에서와 같이 150 kA까지의 역섬락 모의에서 BIL을 초과하는 과전압은 없었지만, 역섬락의 영향을 직접 받는 케이블헤드 철탑의 A상 상도체에서 1016 kV로 BIL에 가장 근접하는 과전압이 발생하였다. 이는 C/H에 설치된 피뢰기의 영향으로 GIL 선로측 보다는 가공송전선로측으로 뇌격전류가 인가된 것으로 보인다.

표 6 역섬락 발생시 GIL 시스템의 과전압

Table 6 Overvoltage of GIL at back flashover

과전압 kV	뇌격 전류 kA		측정 지점						
	가공 송전선로		GIL 시스템						
	L2	L1	뇌격 위치	P1	P2	P3	P4	P5	P6
100	722	833		781	775	772	772	785	795
120	743	915		861	855	852	852	899	844
150	805	1016	956	948	945	945	998	885	

### 2.3.4 GIL-가공 혼합선로 개폐과전압 분석

정상상태에서 대상선로의 개방 및 투입시의 서지현상을 모의한 결과, 일반적으로 지중송전계통에서 사용되는 OF나 XLPE 케이블의 경우 차단기 개방시 케이블에 충전전하로 전압이 일정수준으로 유지되는 현상을 보이지만, 모의한 GIL 시스템의 경우 충전된 전하가 바로 방전되는 현상을 보이고 있으며, GIL 전 구간에서 1.94 ~ 1.95 P.U의 과전압이 발생하였다.

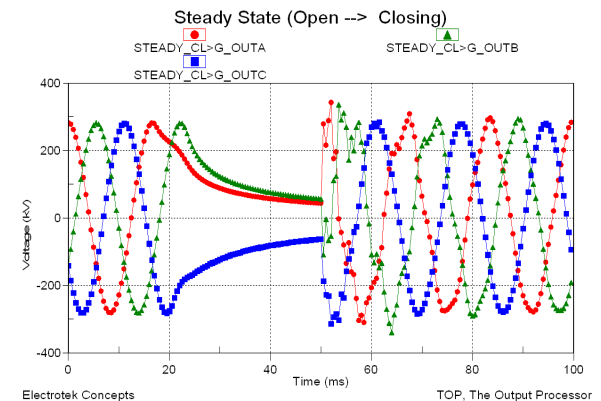


그림 11 정상상태 개폐과전압 (0.016 s 개방, 0.050 s 투입)  
Fig. 11 Switching overvoltage at the steady state(0.016 s open, 0.050 s close)

그림 11은 정상상태에서 개방 및 투입시 과전압을 보여주고 있다. 개방은 3상 시간제어 스위치를 사용하여 1 cycle인 0.016 s에서 개방하였고, 투입은 통게스위치를 사용하여 0.050 s에서 투입되도록 하였다. 가장 가혹한 조건으로 모의하기 위하여 차단기가 동작하는 변전소 인근 가공송전선로에서 지락고장이 발생하는 것으로 모의하였고, 고장이 차단되고 재투입되는 시점에서의 과전압을 분석하였다. 지락고장은 고저항 50, 30, 10 옴의 세 가지 경우에 대하여 모의하였으며, 표 7과 그림 12는 지락고장 발생시 지락저항에 따른 개폐과전압을 GIL 인입부로부터 길이에 따른 각 구간에서의 표준편차  $\pm 2\sigma$  범위내의  $V_{mean}$  값으로 나타내고 있다.

표 7 과도상태에서의 개폐과전압

Table 7 Switching overvoltage at the transient state

구분	지락고장시 50 Ω	지락고장시 30 Ω	지락고장시 10 Ω
GIL 130 m	1.91	1.90	1.89
GIL 250 m	1.90	1.91	1.89
GIL 370 m	1.91	1.91	1.89
GIL 490 m	1.91	1.91	1.90
GIL 610 m	1.91	1.91	1.90
GIL 730 m	1.92	1.91	1.90
GIL 860 m	1.92	1.92	1.90

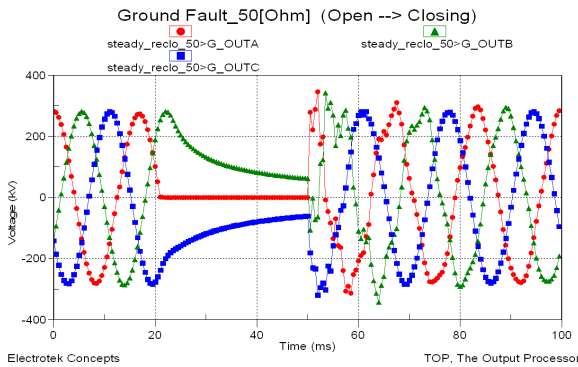


그림 12 지락고장시(지락저항 50 Ω) 개폐과전압  
Fig. 12 Switching overvoltage at ground fault

### 3. 결 론

본 논문에서 뇌과전압을 차폐실패, 직격뢰와 역섬락의 세 가지로 구분하여 분석한 결과, 차폐실패와 역섬락의 경우 345 kV급 GIL의 기준충격절연강도(BIL)인 1175 kV를 초과하지 않았으나, 가공지선에 뇌격이 침입하는 직격뢰의 경우 150 kA의 뇌격을 인가하였을 때 뇌서지 진행파의 중첩으로 BIL을 초과하는 과전압이 발생함을 확인할 수 있었다. 이는 향후 GIL의 계통 병입을 고려할 때 해당 송전선로 구간의 뇌격밀도와 그 크기 등을 고려해야하며, 파괴기의 선정에서도 면밀한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

실계통에 GIL 적용시 차단기 개폐에 따른 정상상태 개폐와 가공송전선로에서 지락고장 발생시 개방 및 투입을 모의한 결과, 정상상태에서의 개폐과전압은 GIL 전 구간에서 1.94 ~ 1.95 P.U으로 분석되었고, 지락저항 50, 30, 10 Ω의 세 가지 경우에 발생한 지락고장시에는 전구간에서 1.89 ~ 1.92 P.U의 과전압이 발생하였다. 국내 345 kV 계통의 개폐과전압 배수는 2.5 P.U로 규정하고 있어서, 분석된 모든 개폐과전압은 이를 만족하고 있는 것으로 나타났다. 이는 일반적인 송전급 케이블 절연체의 비유전율보다 가스절연방식인 GIL 시스템의 특징으로 차단기 개방시 충전전류 ( $I_C = 2\pi f C U_0 \times 10^{-3} A/km$ )가 바로 방전되어 과전압의 영향이 적은 것으로 사료된다.

이상의 결과들과 더불어 접지방식과 순환전류에 대한 전기적 특성 검토가 이루어진다면, 전력수요 집중 현상과 가공송전선로 증설의 어려움을 해결할 수 있는 방안으로 GIL의 실계통에 적용시 충분한 활용가치가 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사 전력연구원 기술동향 2008.09
- [2] CIGRE Brochure 218, "Gas Insulated Transmission Line", 2002
- [3] H.Koch, G.Schoeffner, "Gas-Insulated Transmission Line(GIL) : An Overview", No 211, December 2003, ELECTRA
- [4] 정채균, "가스절연송전선로의 서지특성 분석에 관한 연구", 2009년 대한전기학회 하계학술대회 논문집
- [5] 정채균, "345kV 혼합송전선로에서 재폐로가 절연설계에 미치는 영향", 2010년 5월, 대한전기학회 논문집
- [6] LS전선, "345kV 가스절연송전선로 및 감시시스템 개발" 1단계 세부보고서, 2009.07
- [7] Akihiro Ametani, "Distributed Parameter Circuit Theory", Tokyo, Japan, 1990
- [8] 한국전력공사 중앙교육원, "써지해석반", 2002
- [9] 심응보, "The lightning Current Parameters that Impact on the Surge Analysis of the EHV Gas Insulated Substation by EMTP", 2005. 01, 대한전기학회 영문논문집
- [10] J.S. Kwak, "Application of Arrester to Double Circuit Transmission Line to Enhance lightning Performance and Introduction about the Obtained lightning Waveforms by Monitoring Systems", 2006 ILDC/ILMC Conference, 2006.04

### 저 자 소 개



#### 박 흥 석 (朴 興 錫)

1977년 11월 8일생, 2003년 충남대 공대 전기공학과 졸업, 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2008년 동 대학원 전기공학과 박사 수료, 2004년~현재 전력연구원 송배전연구소 연구원  
Tel : 042-865-5926  
E-mail : parkhs@kepri.re.kr



#### 한 상 옥 (韓 相 玉)

1974년 충남대학교 공업교육과(전기)졸업. 1986년 인하대학교 전기공학과 졸업(공박). 1985년 독일 하노버대 객원교수. 1989년 일본 나고야대 객원교수. 현재 충남대학교 전기공학과 교수  
Tel : 042-821-5655,  
E-mail : sohan@cnu.ac.kr