

### 345kV GIL 계통에서 접지방식 및 부하 불평형에 따른 외함 순환전류 검토

장태인, 박홍석, 강지원, 최경규  
한국전력공사 전력연구원

#### Enclosure Circulating Current due to Grounding and Load Unbalance in GIL(Gas Insulated Transmission Lines)

Tae-In Jang, Hung-Sok Park, Ji-Won Kang, Kyung-Kyu Choi  
KEPCO

**Abstract** - 최근 국내에서 345kV GIL(Gas Insulated Transmission Lines) 시스템의 실제용 도입이 검토되고 있다. GIL은 지중화 설치가 가능하지만 일반적인 지중케이블과 달리 도체와 외함이 모두 알루미늄으로 되어 있고, 도체 및 외함의 단면적이 매우 크며, 도체전류의 정격 또한 4000[A]에 육박하여 외함에 유기되는 순환전류 역시 상당할 것으로 사료된다. 또한, 접지방식 또한 일반 케이블 시스템과 다르게 되어 있다. 따라서, 본 논문에서는 GIL 시스템의 다양한 접지방식과 부하 불평형 상태를 가정하여 EMTP/ATP 시뮬레이션을 통하여 GIL 시스템의 외함 순환전류 특성을 파악하고자 한다.

### 1. 서 론

최근 전세계적으로 대용량 가공송전선로의 지중화시 유풍한 대안으로 GIL(Gas Insulated Transmission Lines) 시스템의 적용이 활발히 검토가 되고 있으며, 국내에서도 345kV GIL의 실제용 도입이 검토되고 있다. 이는 GIL 시스템이 전력구 등에 설치되어도 고장시 화재발생 및 확산의 위험성이 없고, 외부로의 자계누출이 적어 전자계 민원 등의 문제에 효율적으로 대처가 가능하기 때문이다.

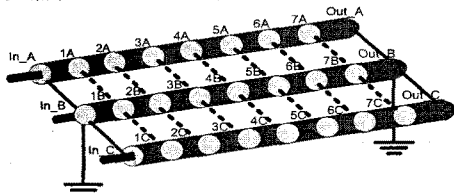
GIL 시스템의 실선로 적용 및 계통연계를 위해서는 다양한 기술사항에 대한 사전 검토가 필요하며, 그 중의 하나가 GIL 외함에 흐르는 순환전류이다. GIL은 일반적인 지중케이블과 달리 도체와 외함이 모두 알루미늄으로 되어 있고, 도체의 단면적이 클 뿐만 아니라 외함 역시 두껍게 제작되며, 도체전류의 정격이 4000[A]에 육박하여 외함에 유기되는 순환전류 역시 상당할 것으로 생각되기 때문이다. 또한, GIL 시스템의 접지는 전제 선로의 외함이 용접방식으로 일체로 연결되기 때문에 대부분 양단 및 중간 몇몇 위치에서 각상의 외함을 함께 도체로 분당한 상태에서 접지로 연결하게 되는 Solid Bonding 방식이 사용되고 있다[1].

한편, 국내에서는 GIL 시스템이 실제용에 적용될 마가 없어서 GIL 시스템에서 채용되는 접지방식 및 이에 따른 순환전류 특성에 대한 검토가 부족한 형편이다. 이에 본 논문에서는 GIL 시스템의 외함에 흐르는 순환전류 특성을 알아보기 위하여 접지방식과 부하 불평형 상태에 따른 외함 순환전류를 EMTP/ATP 시뮬레이션을 통하여 살펴보고자 한다. 이를 위하여 먼저 단상 분리형 삼상 GIL 1회선을 EMTP/ATP 과도해석 프로그램을 사용하여 모델링하고, 다양한 상황을 가정하여 접지방식 및 부하변화에 따른 순환전류 영향을 해석하였다.

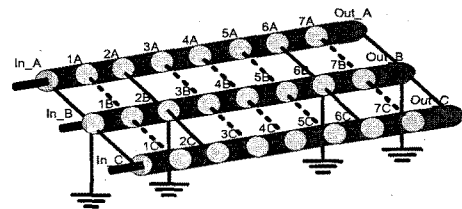
### 2. 본 론

#### 2.1 삼상 GIL의 EMTP 모델링

외함 외경 520mm, 도체외경 180mm의 345kV 상 분리형 삼상 GIL을 EMTP/ATP로 모델링 하였다. 모델링된 GIL은 <그림 1> 및 <그림 2>에서 보는 바와 같이 전체 길이가 800m이며, 외함의 양단과 일정간격의 중간부(본 모델링에서는 100m간격)에서 각 상이 분당되도록 모델링 되었다.



<그림 1> GIL의 모델링(양단 외함 분당 및 접지)

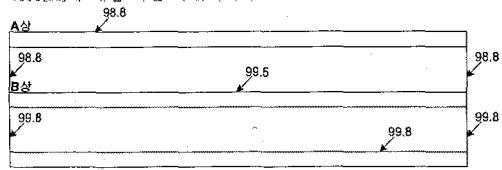


<그림 2> GIL의 모델링(양단 및 중간부 외함 분당 및 접지, 중간부 2개소)

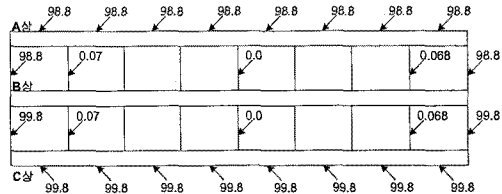
<그림 1>은 양단접지 방식, <그림 2>는 <그림 1>의 양단접지에 중간부 200m와 400m 위치에 접지가 두 개 추가된 것이다. 접지저항은 5[Ohm]과 1[Ohm]으로 설정하였다.

#### 2.2 정상상태 순환전류

<그림 3> 및 <그림 4>는 2.1절에서 모델링한 삼상 GIL중에서 양단 분당 및 접지, 여기에 중간 분당을 추가한 경우에 있어서 외함 순환전류를 각각 나타낸 것이다. 이때 순환전류는 도체전류 4000[A]에 대한 퍼센트(%)비이다.



<그림 3> 양단 분당 및 접지 구조의 GIL 외함전류 분포 [%, 도체전류 : 100%(4000A)]



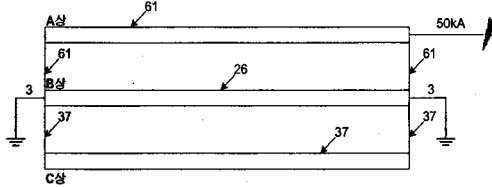
<그림 4> 양단 분당/접지 및 중간 분당 구조의 GIL 외함 전류분포[% , 도체전류 : 100%(4000A)]

한편, GIL 선로 중간에 접지를 추가하였을 경우와 접지저항을 변화시켰을 경우를 모의한 결과는 <그림 3> 및 <그림 4>의 그림에서 보여지고 있는 결과와 매우 흡사하였고, 각각에 대한 결과의 차이는 무시할 정도로 작았다.

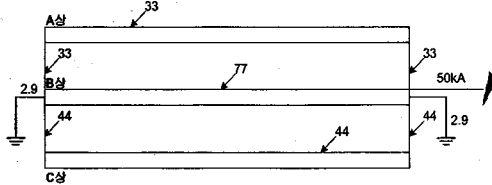
따라서, 삼상 GIL 외함의 분당 및 접지에 있어서 양단의 분당이 외함 순환전류 발생에 큰 영향을 미치며, 중간부의 분당 및 접지저항 등은 그 영향이 미미함을 알 수 있었다. 결과적으로 삼상 GIL의 양단 분당방식이 도체전류와 반대방향의 외함전류를 발생시키고, 이 외함전류에 의한 자계가 도체전류에 의해 발생되는 자계를 90% 이상 저감시키는 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다.

### 2.3 단락상환 순환전류

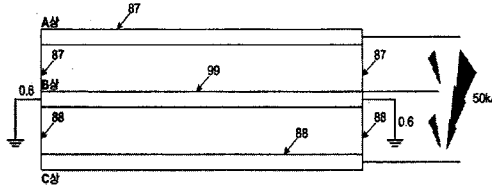
단락시의 순환전류 검토를 위해 양단 접지 및 본딩 방식의 GIL 시스템을 가정하였다. GIL에 연결된 가공선에서의 1상 및 3상 고장이 각각 고려되며 고장 단락전류는 50kA로 설정하였다. 외함 전류분포는 단락고장 전류의 퍼센트로 표시된다.



<그림 5> A상 지락시 외함 순환전류



<그림 6> B상 지락시 외함 순환전류



<그림 7> C상 단락시 외함 순환전류

1상 지락고장은 외함에서 순환전류의 불평형 분포를 유발한다. 고장이 일어난 상의 외함에 단락전류 크기의 60% 이상이 흐르게 되며, 반면에 다른 두 상에는 25~45% 정도의 외함 순환전류가 흐르게 된다. 접지선에 흐르는 전류는 접지점의 저항에 의해 제한된다.

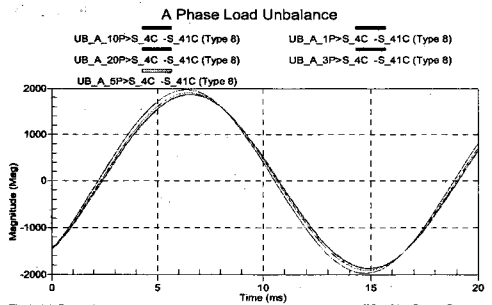
3상 단락고장은 정상 운전상태 조건과 전류의 흐름과 방향이 유사하다. 3상 단락전류는 3상 평형시스템에 의해 표현될 수 있으며, 접지전류의 크기는 무시할 만한 정도이다. 가장 큰 고장전류를 나타내는 3상 고장의 경우에 있어서 외함 순환전류로 인하여 한 상이 타상 및 외부에 미치는 자계의 영향이 상당히 줄어든다.

### 2.4 부하 불평형시 순환전류

부하 불평형시의 순환전류 검토를 위해 1상 및 2상의 부하전류 불평형에 기인한 외함 순환전류 분포를 검토하였다. 검토 GIL 모델은 2.3절과 같으며, 기본 부하전류는 1850A이다.

#### 2.4.1 단상 불평형시 순환전류 분포

A상의 부하를 1850A를 기준으로 20%까지 점차 증가 시켰을 경우에 대한 결과를 <그림 8> 및 <표 1>에 나타내었다.



<그림 8> 1상의 부하불평형에 의한 순환전류

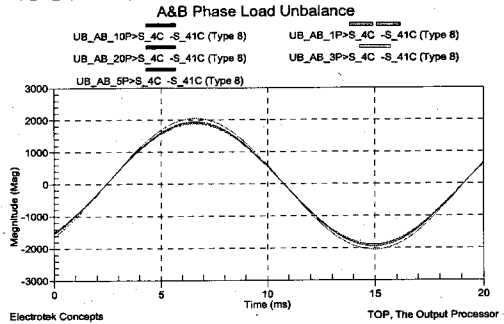
<표 1> 1상 부하불평형에 의한 순환전류 비율(A상 부하 증가)

구분	불평형률(최대 부하전류 대비 각상 외함전류)					
	1%	3%	5%	10%	20%	
순환전류	A상	99.2	98.4	97.5	95.4	91.5
	B상	99.5	97.6	95.7	91.1	82.1
	C상	99.9	98.4	97.5	92.9	85.7
양단접지	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	
본딩A-B	99.1	98.2	97.4	95.2	91.4	
본딩B-C	99.8	98.5	96.7	92.8	85.5	

1상의 부하 불평형시에는 각 상의 외함 순환전류가 부하전류 증가에 따라 증가하는 경향을 보이거나 직선적 비례관계는 아님을 보여 주고 있다.

#### 2.4.2 2상 불평형시 순환전류 분포

A상 및 B상의 부하를 1%에서 20%까지 점차 증가 시켰을 경우에 대한 결과를 <그림 9> 및 <표 2>에 나타내었다.



<그림 9> 2상의 부하 불평형에 의한 순환전류

<표 2> 2상 부하불평형에 의한 순환전류 비율(A 및 B상 부하 증가)

구분	불평형률(최대 부하전류 대비 각상 외함전류)					
	1%	3%	5%	10%	20%	
순환전류	A상	99.5	99.1	98.7	97.7	96.4
	B상	99.9	99.9	99.9	99.5	99
	C상	99.9	99.0	97.8	94.7	89.1
양단접지	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	
본딩A-B	99.4	98.9	98.6	97.6	96.2	
본딩B-C	99.9	98.8	97.6	94.6	89.0	

2상 부하불평형시에는 1상 불평형의 경우와 유사하나 각 상의 외함 순환전류가 상간의 평형을 이루도록 순환하는 경향을 보여 주고 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 GIL시스템의 외함에 흐르는 순환전류의 특성을 살펴보기 위하여 접지방식과 부하 불평형 상태에 따른 외함 순환전류를 EMTP/ATP 시뮬레이션을 통하여 알아보았다.

각 분석을 통하여 정상운전 조건에서 3상 GIL 외함사이의 본딩은 특히 양단본딩 방식이 도체전류와 반대방향의 외함 순환전류의 발생시켜, 이 외함전류에 의한 자계가 도체전류에 의해 발생하는 자계를 상당부분 저감시켜서 외부로의 전자계 노출을 감소시키는 중요한 역할을 함을 알 수 있었다.

또한, 고장시에도 가장 큰 고장전류를 나타내는 3상 고장의 경우에 있어서 외함 순환전류가 한 상이 타상 및 외부에 미치는 자계의 영향을 감소시키도록 작용할 수 있음을 예상할 수 있었다. 부하 불평형시에는 외함 순환전류가 부하전류에 어느 정도 비례하나 3상간에 평형을 이루도록 순환하게 되는 경향이 있음을 알 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] CIGRE Brochure 218, "Gas Insulated Transmission Lines", 2002
- [2] 1차년도 연구진도보고서, "초고압 대용량송전선로(GIL) 설계용 적용을 위한 연구", 한국전력공사, 2008