

# EMTP를 이용한 362kV Gas VT의 철공진제거를 위한 가포화리액터의 파라미터 선정

論 文
50C - 4 - 7

## Parameter Selection of the Saturable Reactor for Removing Ferroresonance of 362kV Gas VT Using EMTP

崔 再 九\* · 金 益 秀\*\* · 朴 景 遠\*\*\* · 宋 禧 錫§  
(Jae-Gu Choi · Ik-Soo Kim · Kyoung-Won Park · Hee-Suk Song)

**Abstract** - Recently, the construction of gas insulated substation(GIS)s has been increased in Korea. But, the whole quantity of the VTs which were used in GIS has been imported. Under the circumstance that SF<sub>6</sub> gas power apparatus are being developed up to 800kV rating in Korea, the development of EHV SF<sub>6</sub> gas VT is essential for localizing the power apparatus. As for EHV VT, destructive ferroresonance can be generated due to the combination of capacitances between poles of circuit breaker, ground capacitance of bus and nonlinear excitation property of VT core. But the theoretical analysis about ferroresonance has not been fully achieved in Korea. Therefore, in this paper the authors would like to contribute for localizing EHV SF<sub>6</sub> gas VT by developing the diagram of ferroresonance zone according to the parameters of the circuit and the saturable reactor.

**Key Words** : VT, ferroresonance, EMTP, saturable reactor

### 1. 서 론

국내에서도 초고압 GIS(Gas Insulated Substation)의 건설이 증가되고 있는 추세이며, 가스절연 VT(Voltage Transformer)는 고신뢰성, 소규모 및 GIS와의 절연방식의 통일에 의한 보수의 간편함으로 인하여, 최근에는 GIS용 계기용 변압기의 주류로 되고 있다 [1]. 그러나, 여기에 사용되는 초고압급 SF<sub>6</sub> 가스절연 VT는 전량 수입되고 있는 실정으로 SF<sub>6</sub> 가스전력기기가 국내에서도 800kV까지 개발되고 있는 상황에서 초고압기기가 국산화되도록 초고압 VT의 개발의 필요성이 절실히 대두되고 있다.

초고압 SF<sub>6</sub> 가스 절연 VT에 있어서, 접속되는 차단기에 극간정전용량이 존재하는 경우에는 이것과 모선의 대지 정전용량 및 VT의 여자특성의 비선형성에 의하여 철공진이 발생한다[2]. 철공진은 계기용 변성기에 매우 높은 상용주파수의 과도전압을 발생시키며 결국 절연파괴를 초래한다. 이와 같이 초고압 VT를 개발하기 위해서는 철공진에 대한 대책이 선행되어야 하나, 아직 여기에 대한 이론적인 고찰이 충분히 이루어지고 있지 않은 실정이다.

VT의 철공진에 대한 대책으로는 VT의 철심의 자속밀도를 낮추기 위해 단면적이 큰 철심을 사용하는 방법, VT의 2차측에 저항을 상시 접속하는 방법, 차단기의 동작에 의해 저항을 VT의 2차측에 착탈하는 방법[3] 그리고 가포화리액

터를 VT의 2차측에 취부하는 방법[4, 5] 등이 있다. 그러나, 큰 철심의 경우는 VT 부피의 증가 및 경제성, 저항의 상시 접속의 경우는 저항의 상시 접속으로 인한 VT의 비오차에 주는 영향 및 발열, 그리고 저항착탈의 경우는 보조계전방식의 추가필요 등의 문제점을 가지고 있다. 그래서 현재의 VT에서는 대부분, 가포화 reactor와 저항으로 되는 억제부담에 의한 방법이 채택되고 있다.

본 논문에서는 우선 VT의 비선형 인덕턴스와 개방 차단기의 정전용량에 기인하는 철공진의 발생원리를 살펴보고, EMTP해석을 통하여 실제변전소내에서 철공진의 발생이 가능함을 확인한 다음, 마지막으로 선로 및 가포화리액터의 파라미터에 따른 철공진 발생영역을 작성하여 초고압 VT의 국산화에 이바지하고자 한다.

### 2. 이론적 배경

#### 2.1 철공진의 발생원리

그림 1은 철공진의 발생원리를 설명하기 위한 충전전하를 가지는 캐패시터와 자화곡선을 가지는 인덕터로 구성된 단상 직렬 RLC 회로이며, 그림 2는 그림 1에서 스위치가 닫혀진 후 전압, 자속 그리고 전류를 시간의 함수로써 나타내고 있다[6]. 이 때, 전압과 자속의 관계적인 패러데이 법칙은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\psi = N\phi = \int e_L dt \quad (1)$$

\* 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 產 業 協 力 部 研 究 員  
 \*\* 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 產 業 協 力 部 責 任 研 究 員 · 工 博  
 \*\*\* 正 會 員 : (株) 曉 星 重 工 業 研 究 所 電 力 팀 研 究 員  
 § 正 會 員 : (株) 曉 星 重 工 業 研 究 所 電 力 팀 部 長  
 接 受 日 字 : 2000年 11月 7日  
 最 終 完 了 : 2001年 3月 7日

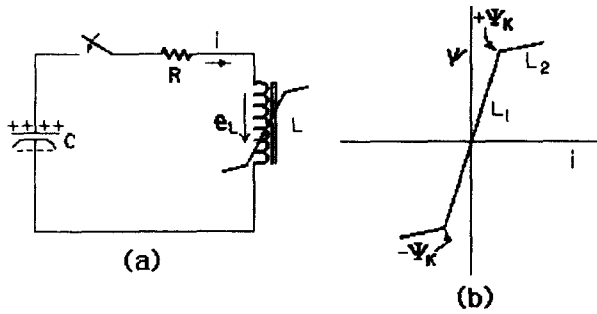


그림 1 철공진 발생회로와 인덕터의 자속-전류특성  
 Fig. 1 Ferroresonance circuit and flux - current characteristics of inductor

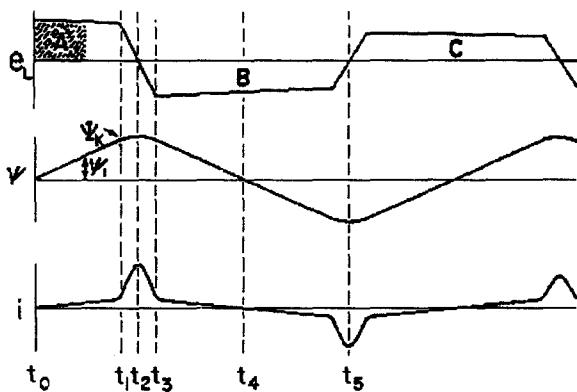
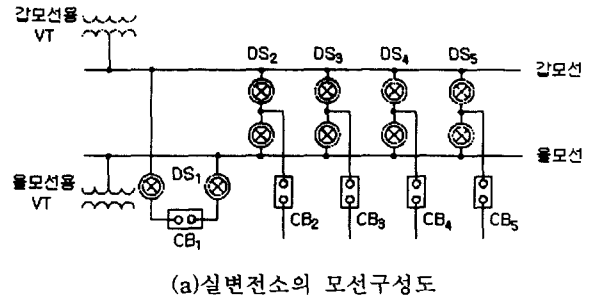
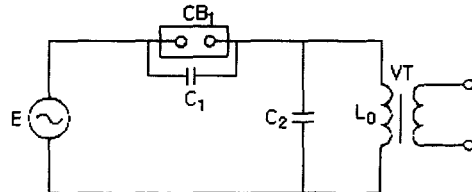


그림 2 철공진에서 전압, 자속 그리고 전류의 관계  
 Fig. 2 Relationship among voltage, flux and current in ferroresonance

여기서  $e_L$ 은 인덕터 양단의 전압,  $\Phi$ 는 인덕터 철심의 자속,  $N$ 은 권수 그리고  $t$ 는 시간이다. (1)식으로부터 알 수 있는 것처럼 자속의 크기는 전압의 크기뿐만 아니라 전압이 인가된 시간에 의존한다. 그림 2에서 자속  $\Psi$ 는 전압곡선 아래의 빗금친 면적  $A$ 와 같다. 자속이 자화곡선의 임계치까지 성장하면 변압기 철심은 포화되고, 인덕턴스는 매우 낮은 값  $L_2$ 로 떨어진다. 그 결과 매우 큰 전류펄스가 흐르고 캐패시터의 전기장에 축적된 에너지는 변압기의 자계로 변환된다. 시간  $t_2$ 에서 전압은 0으로 떨어지고 전류는 최고치로 되며, 그 때 자속은 감소하기 시작하고 시간  $t_3$ 에서 캐패시터는 반대극성으로 충전된다. 그 때 자속은 자화곡선의 임계치아래로 떨어지고 부전압의 영향하에서 자속은 반대방향으로 증가하기 시작한다. 결국 변압기의 철심은 반대방향으로 포화되고 전류펄스가 흐르고 전압은 다시 반대극성으로 된다. 전압의 크기는 반전할 때마다 줄어드는데 그것은 포화 동안에  $I^2R$ 이 발생하기 때문이다. 이 전류는 전류펄스 이외의 나머지 부분에서는 매우 작는데 그것은 철심의 높은 임피던스에 기인한다. 예를 들어 525/241.5kV의 단권변압기는 초기 기울기는 4000H이며, 포화시의 기울기는 0.172H이며 그 비는 23,000대 1이다.



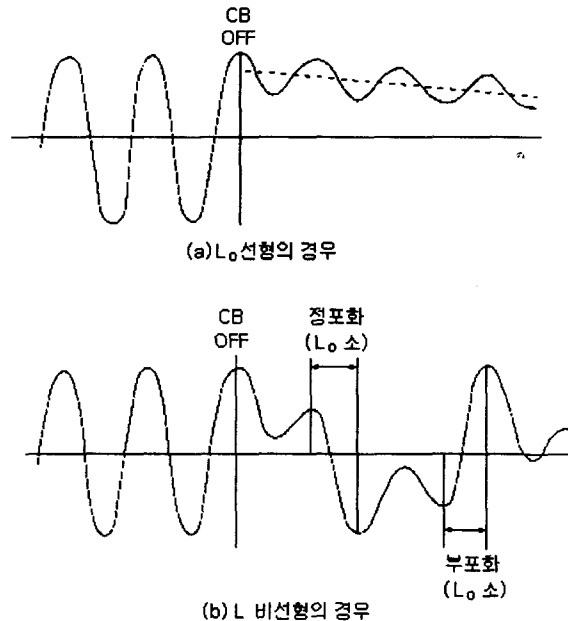
(a)실변전소의 모선구성도



E : 전원전압, CB1 : 차단기, C1 : 극간정전용량, C2 : 모선의 대지간정전용량, L0 : VT의 여자인덕턴스  
 (b) 철공진의 등가회로

그림 3 실변전소의 철공진 등가회로

Fig. 3 Equivalent circuit of ferroresonance in a substation



(a)  $L_0$  선형의 경우

(b)  $L$  비선형의 경우

그림 4 VT의 단자전압파형

Fig. 4 Voltage waveform between VT terminals

결국 공진은 회로의 손실에 기인하여 없어지게 된다. 철공진이 지속되기 위해서는 이들 손실이 외부로부터 전원을 공급받아야 한다. 그림 2에서 면적 B와 면적 C는 같다. 전압의 크기는 감소하는 반면, 파형의 주기는 증가한다. 교류 전압이 회로에 결합되면 위와 같은 진동주파수의 감소로 말미암아 회로는 인가전압의 기본파주파수 또는 그것의 하부 고조파로 된다.

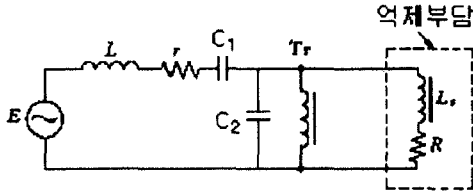


그림 5 VT에 접속된 억제부담  
Fig. 5 Suppression burden connected to VT

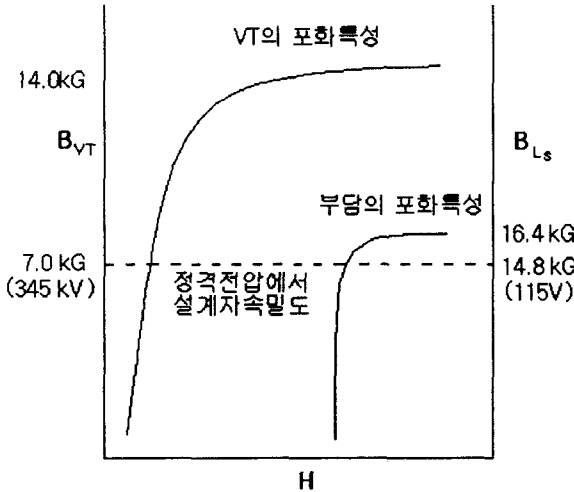


그림 6 VT와 부담의 설계자속밀도  
Fig. 6 Specified flux density of VT and burden

2.2 실변전소내 철공진현상의 발생

차단기의 극간에는 차단특성을 개선하기 위하여 콘덴서가 설치되어 있으며[7], 이 극간정전용량과 모선의 대지간정전용량 및 권선형 VT사이에서 철공진이 발생할 가능성이 있다. 그림 3 (a)에 보이는 모선구성을 예로, 실변전소에서의 철공진발생의 원리는 다음과 같다. 갑모선을 정지하기 위하여, DS<sub>2</sub> ~ DS<sub>5</sub>를 OFF하고, 마지막으로 CB<sub>1</sub>을 OFF하면 그림 3(b)의 등가회로가 형성된다. 차단기의 차단시, C<sub>2</sub>는 전압과고치에서 충전되며, 갑모선용 VT에는 이 직류분과  $E \cdot C_1 / (C_1 + C_2)$ 의 교류분이 중첩하여 인가된다. 갑모선용 VT의 여자인덕턴스 L<sub>0</sub>가 선형이면 VT의 단자전압은 그림 4(a)에 보이는 것과 같이 직류분이 서서히 감쇄하는 파형으로 되지만, 실제의 L<sub>0</sub>는 비선형이기 때문에 철심의 자기포화에 의해 단자전압은 그림 4(b)에 보이는 진동파형이 된다. 이 진동파형은 어떤 조건이 성립되면 지속하게 된다.

2.3 가포화리액터에 의한 철공진의 제거

앞에서도 언급했듯이, 대부분의 VT는 가포화 reactor와 저항으로 되는 억제부담에 의한 방법을 채택하고 있다. 억제부담은 그림 5에 나타낸 것과 같이 저항 R과 가포화 reactor L<sub>s</sub>의 직렬 접속으로 구성되어 있다.

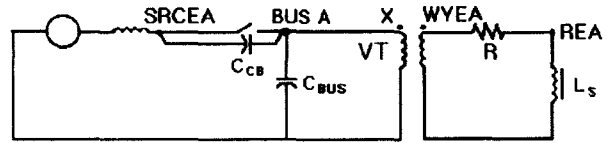


그림 7 가포화리액터를 이용한 철공진 모의회로  
Fig. 7 Simulation circuit of ferroresonance using a saturable reactor

표 1 VT에 대한 EMTP Saturation Routine 계산결과  
Table 1 Results of EMTP Saturation Routine on VT

대지간전압 (V <sub>rms</sub> )	Peak flux (V·s)	자화전류 (A <sub>rms</sub> )	EMTP 모델 (A <sub>sat</sub> )
199	746.5123	0.0014	0.0019
300	1125.2926	0.0085	0.0154
400	1500.4837	0.0360	0.0664
450	1650.0662	0.0820	0.1764
500	1875.6121	2.5000	6.3001

가포화 reactor의 자속 밀도는 그림 6과 같이 정격전압에서 VT에 비하여 충분히 높게 설계되어 있다. VT가 포화되어 철공진이 발생하는 조건이 되기전에 이것보다 훨씬 포화가 현저한 가포화 reactor의 분로로 전류가 흘러가고, 저항 R에서 그 energy가 소비되어, 철공진의 발생이 억제된다. 차단기의 정전용량 C<sub>1</sub>의 정격주파수에 있어서 2차측환산 등가reactance를 X<sub>c1</sub>라고 하면, 저항 R을 대략 (2)식과 같이 선정하면 철공진을 억제할 수 있다[8]. 단, 너무 낮은 저항은 과전류를 발생시키기 때문에 주의해야 한다.

$$R < X_{c1} \cdot \frac{VT \text{ 포화전압}}{VT \text{ 정격전압}} \quad (2)$$

여기서,  $X_{c1} = 1 / (2\pi f \cdot C_1 \cdot (1732)^2)$

3. 철공진 해석을 위한 EMTP모델링

가포화리액터를 이용한 모의해석에는 그림 7과 같은 회로가 사용되었다. 그림 7의 회로에서 EMTP해석상 가장 중요한 부분은 VT와 가포화리액터에 대한 비선형 모델링이다. 먼저, VT에 대해서는 EMTP 포화형변압기모델이 사용되었다. VT의 포화형변압기모델에 사용된 VT의 포화특성은 여자시험에서 얻은 전압-전류특성에서 EMTP의 Saturation Routine을 사용하여 표 1과 같이 자속-전류특성으로 구하였다. VT의 자속-전류특성곡선은 그림 8과 같다.

가포화리액터는 EMTP Type-98 Pseudo-Nonlinear Reactor L(i)를 사용하여 모의하였다. 가포화리액터의 포화특성은 실제로 제작된 가포화리액터로부터 그림 9와 같이 여자시험을 수행하여 구하였으며, 여자시험결과는 EMTP에 사용될 수 있도록 표 2와 같이 전압-전류특성을 자속-전류특성으로 변환하였다. 그림 7의 회로에 대한 철공진의 발생

유무는 주어진 회로조건에서 차단기의 정전용량  $C_{CB}$ 와 모선의 대지용량  $C_{BUS}$ 값을 바꾸어 가면서 각각에 대한 EMTP 해석을 수행하여 결정되었다.

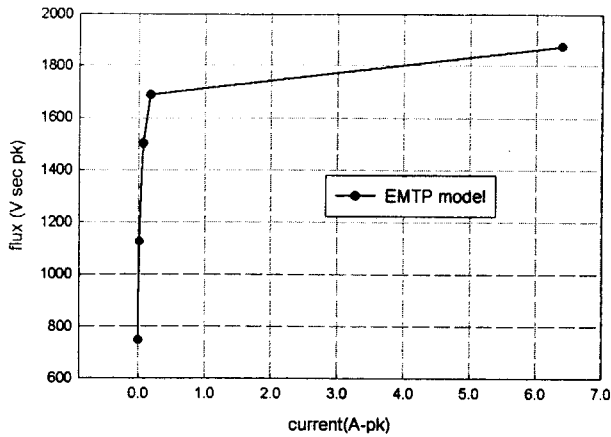


그림 8 362kV VT의 자속-전류특성곡선  
Fig. 8 Flux - current characteristics of 362kV VT

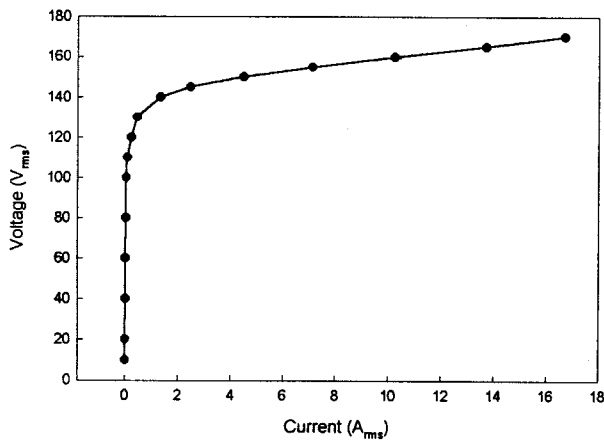


그림 9 가포화리액터의 포화특성  
Fig. 9 Saturation characteristics of the saturable reactor

표 2 가포화리액터에 대한 Saturation Routine 계산결과  
Table 2 Results of EMTP Saturation Routine on saturable reactor

대지간전압 ( $V_{rms}$ )	peak flux ( $V \cdot s$ )	자화전류 ( $A_{rms}$ )	EMTP 모델 ( $A_{pk}$ )
120.0	0.4501	0.25	0.3533
130.0	0.4876	0.46	1.0320
140.0	0.5252	1.35	3.3644
145.0	0.5439	2.48	6.6712
150.0	0.5627	4.5	12.0484
155.0	0.5814	7.1	18.0134

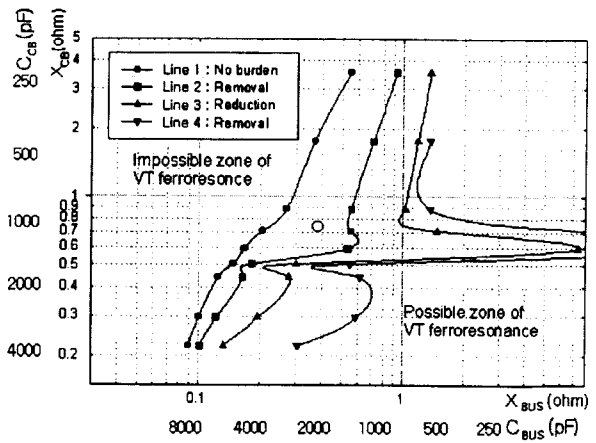
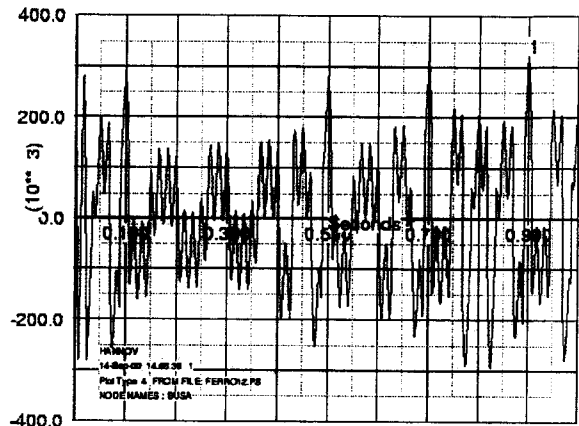
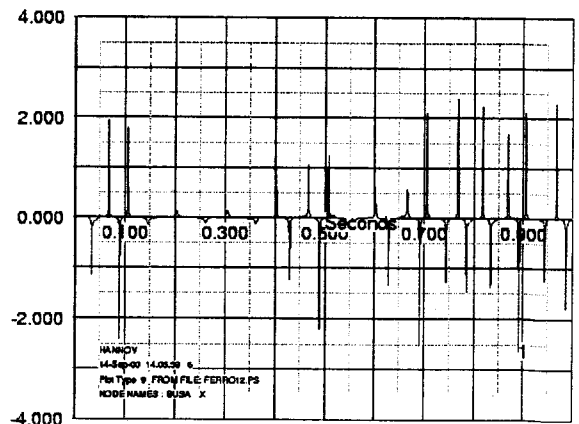


그림 10 0.8Ω 부담사용시 철공진 발생영역  
Fig. 10 Ferroresonance zone with 0.8Ω burden

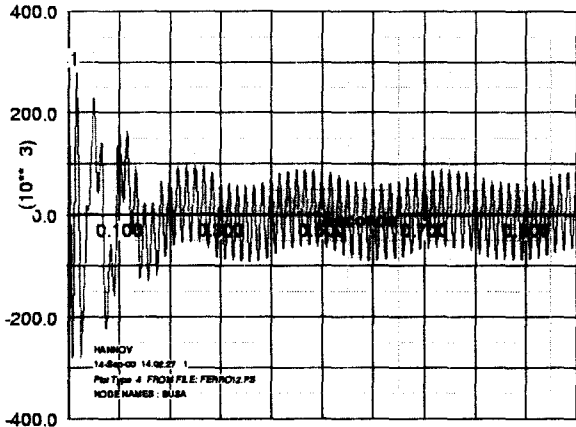


(a) 1차측 전압파형

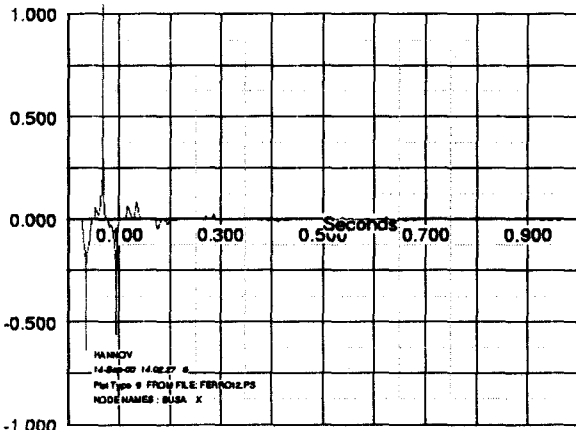


(b) 1차측 전류파형

그림 11 제거영역에서 부담취부전 철공진 발생시의 1차측 전압 및 전류파형 ( $C_{CB} = 2,000\text{pF}$ ,  $C_{BUS} = 5,500\text{pF}$ ,  $R_B$ (부담저항) = 무한대)  
Fig. 11 Voltage and current waveform of VT primary without burden in removal zone



(a) 1차측 전압파형

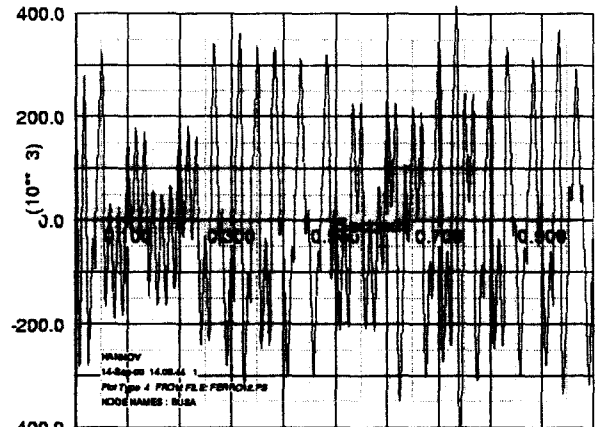


(b) 1차측 전류파형

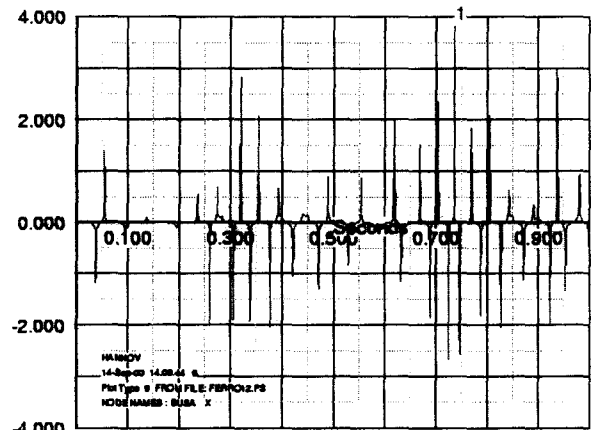
그림 12 제거영역에서 부담취부후 철공진 제거시의 1차측 전압 및 전류파형

( $C_{CB} = 2,000\text{pF}$ ,  $C_{BUS} = 5,500\text{pF}$ ,  $R_B(\text{부담저항}) = 0.8\Omega$ )

Fig. 12 Voltage and current waveform of VT primary with  $0.8\Omega$  burden in removal zone



(a) 1차측 전압파형



(b) 2차측 전류파형

그림 13 감소영역에서 부담 취부전 철공진 발생시의 1차측 전압 및 전류파형

( $C_{CB} = 2,000\text{pF}$ ,  $C_{BUS} = 3,300\text{pF}$ ,  $R_B(\text{부담저항}) = \text{무한대}$ )

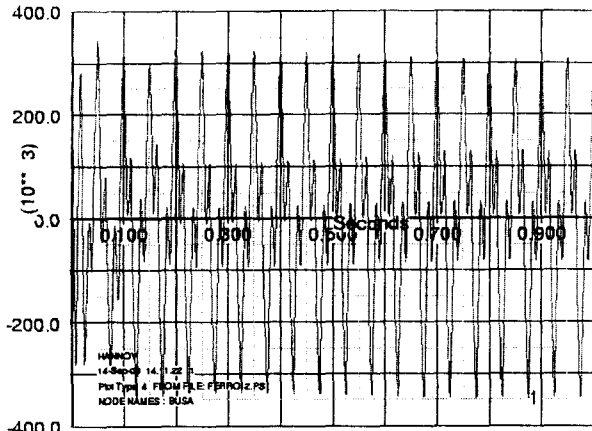
Fig. 13 Voltage and current waveform of VT primary without burden in reduction zone

#### 4. EMTP 해석결과 및 고찰

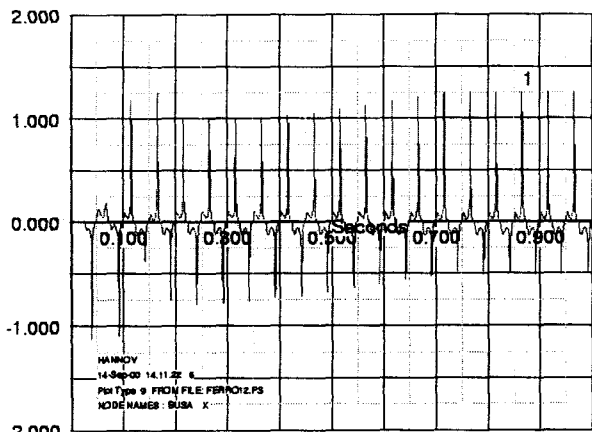
그림 10은 부담을 사용하지 않은 경우(1번 실선의 우측만 철공진 발생)와 억제부담으로서 가포하리액터와 그 권선저항인  $0.8\Omega$ 를 사용한 경우 철공진이 제거된 영역(1번과 2번 실선 사이와 3번과 4번실선 사이, 제거영역)과 철공진이 감소된 영역(2번과 3번실선 사이, 감소영역)을 나타내고 있다. 여기서, 가로축은 모선의 대지용량과 그에 해당하는 2차측환산 등가임피던스, 세로축은 차단기의 정전용량과 그에 해당하는 2차측환산 등가임피던스로 각각 주어져 있다.

그림에서 1번실선은 그림 7의 회로에서 VT의 2차측을 개방한 경우, 즉 부담을 사용하지 않은 경우를 모의해석한 결과로서, 실선의 우측은 철공진이 발생할 수 있는 영역이고, 좌측은 철공진이 발생하지 않는 영역이다. 즉, 차단기의 정전용량  $C_{CB}$ 와 모선의 대지용량  $C_{BUS}$ 의 조합이 실선의 좌측 영역에 위치한다면 부담을 사용하지 않아도 철공진의 발생 우려는 없게 된다.

한편, 차단기의 정전용량과 버스의 대지용량의 조합이 제거영역에 존재하면 억제부담의 효과로 인하여 철공진의 제거가 추가로 가능하게 된다(그림 11과 그림 12 참조). 감소영역에 대해서는 부담을 사용해도 철공진을 완전히 제거하지는 못하지만 어느 정도 감소가 가능한 경우이다(그림 13과 그림 14 참조). 결과적으로 억제부담을 사용함으로써 철공진의 발생가능영역이 많이 줄어든 것을 알 수 있다. 차단기의 정전용량에 대해서 발생가능영역이 가장 많이 줄어든 부분은 차단기의 정전용량의 2차측환산 등가임피던스가 부담의 저항값( $0.8\Omega$ )보다 조금 아래( $0.66\Omega$ )에 위치하는 것을 볼 수 있다. 이것은 부담저항의 임계치를 규정하는 (2)식에서 그 근거를 찾을 수 있다.  $0.8\Omega$ 의 저항값을 가지는 부담을 사용할 경우, 그림 9에서 부담의 포화가  $1.22\mu\text{V}$ 에서 발생한다고 하면, (2)식을 이용하면 차단기의 2차측환산 등가임피던스는  $0.66\Omega$ 와 일치하게 되며, 결국 약  $1,340\text{pF}$ 에 해당하기 때문이다.



(a) 1차측 전압파형



(b) 1차측 전류파형

그림 14 감쇠영역에서 부담 취부후 철공진 감소시의 1차측 전압 및 전류파형

( $C_{CB} = 2,000\text{pF}$ ,  $C_{BUS} = 3,300\text{pF}$ ,  $R_B(\text{부담저항}) = 0.8\Omega$ )

Fig. 14 Voltage and current waveform of VT primary with  $0.8\Omega$  burden in reduction zone

그림 15는 억제부담의 저항을 그림 10의 저항의 2배인  $1.6\Omega$ 을 사용하여 해석한 결과로서, 그림 10과 비교할 때 세로축  $1.6\Omega$ 부분에서의 철공진 제거효과는 지속되는 반면,  $0.6\Omega \sim 0.9\Omega$ 부분에서의 철공진 제거효과는 크게 줄어든 것을 알 수 있다. 즉, 부담저항값  $1.6\Omega$ 에 상응하는 차단기의 2차측환산 등가임피던스는 (2)식으로부터 약  $1.3\Omega$ 으로 되며, 결국  $1.6\Omega$  부담의 효과는 차단기의 정전용량이 약  $680\text{pF}$ 이하일 때 존재하게 된다. 이와 같은 결과로부터 선로파라미터에 따른 가장 효율적인 가포화리액터 저항값의 선정이 가능하게 되었다고 사료된다.

그림 10의 차단기의 정전용량과 버스의 대지정전용량에 대한 철공진의 발생영역도를 이용하여 실변전소에서 억제부담의 효과를 확인해 보면 다음과 같다. 그림 16은 전형적인 변전소의 모선구성도로서 A상에서 차단기 00CB의 정전용량은  $1,015\text{pF}$ 이며, B버스의 대지용량은  $353.7\text{pF}$ , F버스의 대지용량은  $1,636.3\text{pF}$ 이다. 1번, 2번 그리고 3번 DS가 투입상태이고, 4번과 5번 DS 그리고 00CB 차단기가 개방상태일 때,

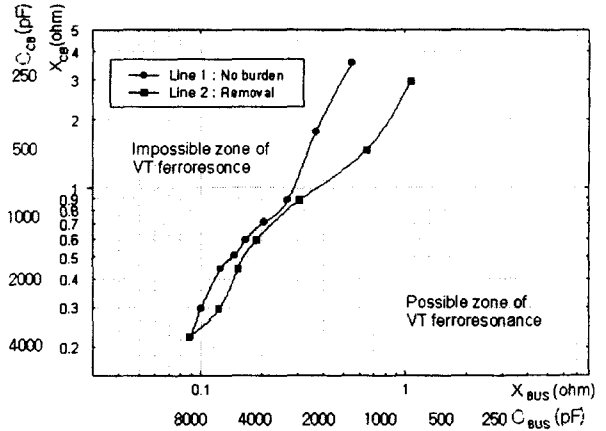


그림 15  $1.6\Omega$  부담사용시 철공진 발생영역  
Fig. 15 Ferroresonance zone with  $1.6\Omega$  burden

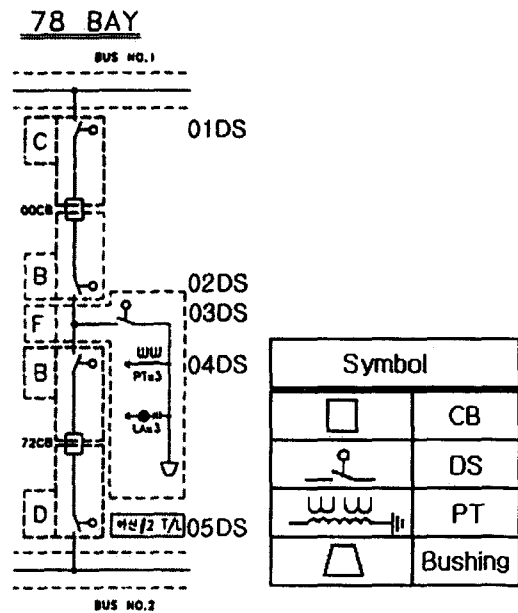


그림 16 변전소의 전형적인 모선구성도  
Fig. 16 Typical bus scheme of substation

철공진이 발생할 가능성이 존재하게 된다. 그림 10에서 y축  $1,015\text{pF}$ , x축  $1,990\text{pF}$ 에 해당하는 점이 ○표이다. 이 곳은 억제부담을 사용하지 않은 경우 철공진 발생영역에 존재하나, 억제부담을 사용함으로써 철공진 발생영역을 벗어나게 됨을 알 수 있다.

### 5. 결 론

초고압 VT의 국산화에 필수적인, VT와 개방된 차단기의 정전용량에 기인하는 철공진에 대한 대책을 마련하기 위하여 EMTP모의해석을 통하여 선로파라미터 및 가포화리액터의 저항값에 따른 철공진 발생영역도를 도출하였다. 모의해

석에는 실사용중인 VT와 가포화리액터의 여자시험데이터로부터 비선형 자화특성을 유도하여 VT와 가포화리액터를 각각 모델링하여 사용하였다. 모의해석결과, 철공진의 발생은 선로 파라미터에 따라 부담을 사용함으로써 제거 또는 감소가 가능하였다. 특히, 철공진의 발생 및 억제에 미치는 가포화리액터 저항값의 차이에 관한 이론적인 고찰을 수행함으로써 현장의 선로파라미터에 따른 가장 효율적인 가포화리액터 저항값의 선정이 가능하게 되었다. 도출한 모의해석결과는 실제의 차단기와 VT를 사용한 철공진발생 및 억제에 관한 실증시험을 거쳐 그 결과와 비교·검토될 때 더욱 유용한 연구자료가 되리라고 사료된다.

참고 문헌

- [1] “高電壓計測の技術基準と認證制度”, 電氣學會 技術報告 (II) 645号
- [2] Kerstin Kunde, Lutz Niedung and Alois Umlauf, “Damping ferroresonance in transmission networks”, Elektron, Vol. 13, Iss. 11, pp. 37-40, 1997
- [3] EMTP Primer, EPRI, 1985, Sec. 9
- [4] Haefely Trench MWB GmbH, “Damping ferroresonance in transmission networks”, Power Technology International
- [5] T. Oyabu, and A. Nakahashi, “가스絶緣計器用變壓器의 適用と取扱” 日新電機技報 Vol. 30, No. 4, 1985.
- [6] E. J. Dolan, et. al, “Ferroresonance in a transformer switched with an EHV Line”, IEEE Summer Meeting 1971, pp. 1273 - 1280.
- [7] C. X. Wang, C. J. Jones, B. F. Hampton, and B. M. Pryor, “The Use of Novel Monitoring Techniques To Investigate the Distribution, Behaviour and Effect of Trapped Charges in GIS”, CIGRE, 15-105, 1994
- [8] 최재구, 김익수, 박경원, 송희석, “GIS용 가스절연 VT의 철공진제거에 관한 연구”, 합동춘계학술대회논문집, pp. 159 - 162, 2000

감사의 글.

본 연구는 공업기반기술개발사업의 연구비지원(과제명 : 초고압급 SF<sub>6</sub> GAS Voltage Transformer 개발)에 의해 수행되었습니다.

저 자 소 개



**최 재 구 (崔 再 九)**  
 1969년 3월 16일 생. 1994년 경북대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 산업협력부 시험기술연구실 연구원.  
 Tel : 055-280-1534, Fax : 055-280-1167  
 E-mail : jgchoi@keri.re.kr



**박 경 원 (朴 景 遠)**  
 1970년 12월 9일 생. 1996년 경남대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주) 효성 중공업연구소 창원분소 전력팀 연구원  
 Tel : 055-268-9913, Fax : 055-268-9926  
 E-mail : ppilily@hyosung.co.kr



**김 익 수 (金 益 秀)**  
 1957년 8월 20일생. 1981년 부산대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 한국전기연구원 시험기술연구실장. 책임연구원  
 Tel : 055-280-1530, Fax : 055-280-1167  
 E-mail : isk133@keri.re.kr



**송 희 석 (宋 禧 錫)**  
 1951년 5월 15일 생. 1974년 한양대 전기공학과 졸업. 1992년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주) 효성 중공업연구소 창원분소 전력팀 부장. 책임연구원  
 Tel : 055-268-9911, Fax : 055-268-9926  
 E-mail : goodsong@pop3.hyosung.com