

154 KV 系 直接接地時の 絶縁協調

(Study on Insulation Coordination of 154 KV Solidly Grounded System)

辛 大 承*
(Dae seung Shin)

[Abstract]

Limitation to Peterson coil grounded operation of 154 KV system began to develop with the growth of system as to voltage and system cost.

Therefore, 154 KV system is going to be grounded solidly from November this year.

This study shows the insulation coordination of solidly grounded system, such as the selection of a suitable lightning arrester, determination of transmission line insulation and Basic Insulation Level of station equipment.

緒 論

1. 基本方針
2. 異常電壓
3. 154 KV 直接接地時の 機器絶縁
4. 結 言

緒 論

電力需要의 急激한增加에 對處하여 154 KV 電力系統이 擴張됨에 따라 從來의 中性點 P.C 接地方式으로는 線路抵抗碍子の Leakage conductance 增加等으로 一線地絡時の 消弧에 難點이있어 安定하고 經濟的 系統을 構成한다는 見地에서 154 KV 系直接接地方式採用이 不可避하게 되어 今年 11 月 釜山第 3 號機 稼動과 때를같이 하여 實施키되었다. 이에 隨伴하여 惹起되는 隣近通信線에 對한誘導障害問題는 韓電과 通信關係部署의 近間數年에 걸친 共同調査實測으로 그 防止策이 解消되었으며, 直接接地時の 機器絶縁協調, 即變壓器 B.I.L., 懸垂碍子連의 碍子數, 避雷器의 任樣決定等에 對해 여기에 言及해보고 저한다.

1. 基本方針

外部異常電壓에 對해서 絶對로 閃絡하지 않도록 機器絶縁을 確保하는 것은 不可能하며 또 非經濟的이므로 外雷에 對해서는 直擊雷을 받지 않도록 發變電所附近에는 有効한 架空地線을 設置하고 또 逆閃絡을 防止하기 위해서 鐵塔接地抵抗을 低減시키는 등 外雷에 對해서는 完全한 遮蔽를 하며 內雷 即 開閉 surge, 故障時の 持續

* 正會員：韓電電氣試驗所第1研究室 主務

性 및 過渡異常電壓에 對해서는 機器絶縁, 線路絶縁이 充分히 견디도록 充分한 安全性을 考慮하는 方針을 쓴다.

送電系統에 發生하는 異常電壓의 크기 및 頻度에 對한 充分한 Data 가 우리나라에는 아직 없으므로 우리의 비슷한 送電方式의 日本의 Data 를 參考로하여 154 KV 機器의 絶縁을 決定해 본다.

2. 異常電壓

2.1. 外部異常電壓

2.1.1 誘導雷에 依한 異常電壓

波形이 緩慢하고 波頭時間은 10 μ s 以上 波尾時間 50 ~ 100 μ s 程度이고 波高值도 約 10 程度이고 200 KV 를 넘는 것은 드물고 最高 500 KV 程度이므로 100 KV 以上의 線路에서는 特別한 考慮가 必要없다.

2.1.2 直擊雷에 依한 異常電壓

波題長 2~3 μ s 부터 數 μ s 이며 波高值 5,000 KV, 波頭坡度 4,000 KV/ μ s 가 實測된 例도 있다. 雷值擊에 依해 鐵塔에 흐르는 電流는 大部分 60 KA 以下이며 100 KA 를 넘는것은 거의 없다.

2.2. 內部異常電壓

2.2.1 持續性異常電壓

發電機의 自己勵磁現象 Ferranti-Effect, P.C 系의 一線斷線 또는 一線地絡, 二線地絡時の 健全相異常電壓等의 基本周波異常電壓과 Damper Winding 이 없는 凸極形水車發電機의 無負荷回路에서 不平衡短絡故障에 생기는 高調波異常電壓을 들수있다.

2.2.2. 過渡異常電壓

開閉 surge, 一線地絡時의 健全相의 過渡振動, 또는 間歇 Arc 接地에 의한 異常電壓을 들수 있다.

할것.

(vi) 反復動作이나 長時間使用에 의한 構造上, 性能上의 劣化를 招來해서는 안된다. 우선 L.A 定格電壓을

第1表 系統에 發生하는 異常電壓의 크기

系統 異常電壓	有效接地系統		抵抗 Reactor 接地系統		非 接 地 系		備 考
	開閉 surge	故障 surge	開閉 surge	故障 surge	開閉 surge	故障 surge	
異常電壓의 對地最大電壓에 對한倍數	2.8	1.3	3.3	1.82	4.0	1.82	A
Ferranti 効果의 影響	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	B
開閉 surge의 Impulse에 對한係數	1.10	—	1.10	—	1.10	—	C
開 閉 surge의 波 高 率	1.414	—	1.414	—	1.414	—	D
系統에 發生하는 異常電壓의 倍數	4.57	1,365	5.39	1.91	6.53	1.91	A×B×C×D
備 考	開閉 surge 는 過渡異常電壓이고 Impulse 耐壓倍數이며 故障 surge 은 持續性異常電壓이고 A.C 耐壓倍數이다.						

送電線의 絕緣設計에서 日本서 推獎되는 값은 第1表와 같다.

現 154 KV P.C 系의 線路碼子數에서 逆算해보면 開閉 surge 는 約 5.5 倍, 故障 surge 는 約 1.9 倍이므로 第1表의 값과 비슷하며 第1表의 값은 우리系統에도 妥當함을 알수있다.

3. 154 KV 直接接地의 機器絕緣

3.1 避雷器의 選定

避雷器가 具備해야할 性能은

- (i) 放電時의 制限電壓이 機器絕緣 Level 보다 充分히 낮을것.
- (ii) 雷 surge 時의 衝擊放電開始電壓이 機器의 衝擊絕緣 Level 보다 充分히 낮을 것

選定한다.

系統電壓……154 KV

回路最高電壓……154×1.05=161KV

故障時異常電壓……持續性異常電壓은 1,365 倍이므로 L.A 의 裕度를 10%로보아 $161 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times 1,365 \times 1.1 = 139.7 \text{ KV}$

L.A 의 商用周波許容端子電壓(定格電壓)은 JEC 規格 L.A 는 140 KV, NEMA 規格 L.A 는 144 KV 가 해당 된다.

3.2 變壓器 BIL 의 決定

140 KV, 또는 144 KV L.A 를 쓰면 變壓器 BIL 은 550 KV, 또는 650 KV 가 된다.

發變電所에 到達하는 雷擊의 衝擊電壓은 線路碼子의

第2表 發變電所用避雷器規格(JEC)

L.A 定格電壓 (KV)	商用周波放電開始電壓 (KV)	衝擊放電開始電壓 (KV)				制 限 電 壓 (KV)				衝擊耐電壓 BIL (KV)	緩頭波衝擊放電開始電壓 (KV)	備 考
		10,000A.L.A		5,000A.L.A		10,000A.L.A		5,000A.L.A				
		100%	0.5μs	100%	0.5μs	10 KA	5 KA	5 KA	2.5KA			
140	210	445	512	445	512	469	427	469	427	550	401	154KV
154	231	490	564	—	—	516	469	—	—	650	441	直接接地時
168	252	535	615	—	—	563	512	—	—	650	481	
196	294	623	717	—	—	656	597	—	—	750	561	現P.C系

(iii) 開閉 surge 發生時의 中間周波放電開始電壓이 機器의 開閉 surge 絕緣 Level 보다 充分히 낮을 것.

(iv) 定格電壓의 1.5 倍以下의 商用周波異常電壓이 印加되어도 放電해서는 안된다.

(V) 衝擊大電流放電耐量 및 小電流長時間放電耐量이

Flashover 電壓以下이므로 154 KV L.A 에서는 放電電流 約 2500 A 程度이나 安全性을 考慮하여 放電電流 10,000 A 를 適用한다.

3.2.1. 制限電壓

B.I.L.은 機器의 衝擊電壓強度保證值이나 몇번이던지

第3表 Performance Characteristics of Valve type L.A.(NEMA)

Rated Voltage (KV)	Impulse spark over Voltage			Discharge Voltage on 10×20μs current wave (KV crest)					
	Rate of Rise KV/μsec	KV crest		5,000A		10,000A		20,000A	
		Avg	Max	Avg	Max	Avg	Max	Avg	Max
Statin type									
108	900	314	360	258	285	286	316	315	355
120	1,000	349	390	289	320	317	350	353	390
144	1,200	411	460	339	375	369	408	406	440
168	1,400	475	540	398	450	435	490	478	530

第4表 絶縁階級과 絶縁強度(JEC)

絶縁階級(號)	衝擊試驗電壓(KV)		交流試驗電壓(KV)	備考
	全波	截斷波		
60	350	400	140	
100	550	630	230	
120	650	750	275	
140	750	870	325	

第5表 Standard Impulse Test for Transformer (NEMA)

Insulation Class (KVrms)	Chopped Wave		BIL Full wave	Remarks
	KV Crest	time to flashover		
69	400	3.0μs	350	
115	630	"	550	
138	750	3.0μs	650	
161	865	"	750	

이 값의 電壓에 機器가견된다는 것은 아니며, Montsinger 氏의 實驗結果에 依하면 避雷器保度 Level 은 BIL 보다 20% 의 裕度를 갖는 것이 必要한 것으로 되어 있고 耐雷設計에서 一般으로 認定되고 있다.

系統 BIL 을 550 KV 로 選定하려고 할경우에 對해서 檢討한다. 避雷器를 되도록 變壓器가까히 設置해서 離隔距離를 10 m 로 잡아 이거리에서의 反射上昇率로 10 % 를 보아 주고 變壓器와의 協調에 必要한 裕度 20% 를 加算하면, 避雷器의 放電電流 10,000 A 에서의 制限電壓 V_R 은

$$V_R = \frac{550 \times 0.8}{1.1} = 400 \text{ KV}$$

이어야 한다. JEC 規格의 140 KV 避雷器는 放電電流 10,000 A 때 制限電壓이 469 KV 이므로 協調안된다. 그러나 NEMA 規格의 144 KV 避雷器는 10,000 A 制限電壓이 Max 408 KV 이므로 L.A 를 變壓器마로 가까히 設置하여 反射上昇率을 8% 로 抑制하면 $V_R = \frac{550 \times 0.8}{1.08}$

= 408 KV 로서 BIL 550 KV 도 選定可能하다. JEC 規格의 避雷器면 $\frac{650 \times 0.8}{1.1} = 472 > 469 \text{ KV}$ 이므로 BIL 650 KV 면 協調된다.

3.2.2. 衝擊放電開始電壓

JEC 規格의 140 KV 避雷器衝擊放電電壓은 445 KV (10,000 A 制限電壓×0.95)이며 商用周波電源에 衝擊電壓이 重疊될 때는 放電電壓이 衝擊電壓單獨인 때보다 15 ~ 20% 높아지는 것이 最近알려져 이경우 衝擊放電開始電壓은 $445 \times (1.15 \sim 1.20) = 513 \sim 535 \text{ KV}$ 이므로 BIL 550 KV 에 對해서는 裕度 7~3% 로서 必要한 裕度 20% 에 未達이므로, 協調안된다. 650 KV BIL 에 對해서는 裕度 18~21% 로서 充分하다.

NEMA 規格 144 KV 避雷器는 衝擊放電電壓이 Max 460 KV 인데 이것은 波頭部分에서의 放電電壓이며 100 % 放電電壓은 規定하고 있지 않으므로 協調되는지 與否을 檢討할 수 없다.

3.2.3 緩頭波放電電壓

BIL 에 건디는 機器는 그 BIL 의 85% 値를 開閉 surge 耐壓値로 한다는 것이 一般的으로 認定되고 있고 다시 또 避雷器의 開閉 surge 에 對한 保護 Level 과 機器開閉 surge 耐壓値와의 裕度를 約 15% 로 한다는 것도 統一된 見解이다. 低減 BIL 을 쓴 때는 三相再閉路 遮斷器의 再點弧現象으로 發生하는 緩頭波 surge 電壓이 問題된다.

避雷器의 緩頭波放電電壓은 BIL 550 KV 에서는 $550 \times 0.85 \times 0.85 = 397 \text{ KV}$, BIL 650 KV 에서는 $650 \times 0.85 \times 0.85 = 470 \text{ KV}$ 以下일 것이 要求된다. JEC 規格 140 KV 避雷器의 緩頭波放電電壓은 401 KV 이므로 BIL 550KV 에서는 裕度가 조금도 자라고 BIL 650 KV 에서는 安全하다.

避雷器特性에 따라서 BIL 550 KV 를 選定할 수 있으므로 各경우에 必要한 避雷器仕樣을 決定하면 第6表와 같다.

JEC 規格의 140 KV 避雷器나 NEMA 規格의 144 KV 避雷器는 系統 BIL 550 KV 에서 必要한 仕樣을 全部다

第6表 BIL 550 또는 650 KV 인퍼의 必要한 L.A 仕様

系 統 BIL	L.A의 定格電壓	放電開始電壓		制限電壓 10,000A	備 考
		衝擊電壓	緩 頭 波		
(peak) KV 550	(eff) KV 140	(peak) KV 367以下	1000μs KV 397以下	(peak) KV 400以下	
KV 650	KV 140	KV 433以下	KV 470以下	KV 472以下	

上記方法으로 154 KV 直接接地時의 碍子數를 定하면
線路最高電壓 154×1.05=161 KV

對地電壓 $\frac{161}{\sqrt{3}}=93$ KV

surge 種別 開閉 surge 故障 surge

異常電壓의 크기 4.57 倍 1,365 倍

必要한 碍子絶緣 93×4.57=425 KV 93×1,365=127 KV

第7表 Hitadri ODBC-110 形制弧避雷器 特性表

定格電壓 (KV eff)	被保度機 器의 BIL (KV) peak	放電開始電壓(KV) peak			制 限 電 壓 (KV) peak		被保度機器 의 緩頭波 surge에 對 한耐壓 BIL ×0.85(KV) peak	10,000A制 限電壓의 BIL對한裕 度(%)	緩頭波放 電電壓의 BIL×0.85 에對한 裕度(%)	備 考
		衝擊波電壓 0.5μs	100%	緩 頭 波 surge電壓 1,000μs	5,000A	10,000A				
※ 140	550	395	305	395	348	400	467	27.2	15.4	
154	650	430	330	435	383	440	552	32.3	21.3	

具備하고 있지는 못하므로 規格대로의 避雷器를 使用할
경우에는 系統 BIL을 650 KV로 選定해야할 것이다.

그러나 BIL 550 KV에 必要한 避雷器仕様을 滿足시
키는 製品을 適用하면 BIL 550 KV도 採用可能할 것이
다. BIL 550 KV에 必要한 仕様을 滿足시키는 避雷器

碍子의 組合絶緣低下係數 1.6 1.69

碍子의 所要 絶緣強度 1.6×425=680 KV 1.69×127=215 KV

所要碍子數 7個 (250 mm 懸垂碍子)50%門絡 695KV
注水 295 KV

第8表 碍子의 總合絶緣低下係數

絶 緣 低 下 係 數	開 閉 Surge		故障 Surge	備 考
	Arc Horn 付	Arc Horn 無		
50%閃 絡 電 壓 斗 耐 壓 의 比 標 高 에 따 른 閃 絡 電 壓 의 低 下 係 數	1.10	1.10	1.10	A
Arc Horn 에 依 한 絶 緣 低 下 係 數	1.10	1.10	1.10	B
鐵 塔 에 取 付 時 의 絶 緣 低 下 係 數	1.15	—	—	C
污 援 에 依 한 絶 緣 低 下 係 數	1.15	1.15	—	D
汚 援 에 依 한 絶 緣 低 下 係 數 (안개)	—	1.10	1.40	E
總 合 絶 緣 低 下 係 數 閃	1.60	1.53	1,692	A×B×C×D×E

(注) 50% 絡電壓의 比한 絶緣에 閃絡하지 않는 電壓의 裕度임.

로는 例컨데 Hitachi의 ODBC-110 形制弧避雷器를 들
수 있다.

3.3. 送電線碍子數의 決定

開閉 surge 및 故障 surge에 對해 第1表의 異常電壓
倍數를 適用하여 碍子가 견디어야할 絶緣電壓을 우선求
한다. 但 碍子濕潤時의 絶緣強度는 持續性異常電壓인
故障 surge로, Impulse 絶緣強度는 過度異常電壓인 開閉
surge로 對應시켜 check 한다. 다음에 第8表의 碍子의
總合絶緣低下係數를 곱하여 碍子連의 所要絶緣強度를
算出하여 이에 對한 所要碍子個數를 求하고 不良碍子
1 個를 加算한다.

不良碍子 1 個加算 8 個

위碍子의 絶緣強度 50% 閃絡 注水閃絡
780 KV 335 KV

絶緣裕度 1.15 1.56

(但 碍子絶緣強度는 開閉 surge에 對해서는 50% 閃
絡衝擊電壓을, 故障 surge에 對해서는 商用周波注水閃
絡電壓을 잡았음)

所要碍子數는 8 個가 된다.

3.4. 其他機器

其他機器의 衝擊電壓에 對한 絶緣耐力은 다음 方針으
로 決定한다.

第9表 250 mm 碍子速의 Flashover 電壓

碍子 個數	乾燥 over 電壓 (KV)	注水 Flash over 電壓 (KV)	50% 衝擊 Flash over 電壓(KV)
5	325	215	525
6	380	255	610
7	435	295	695
8	485	335	780
9	540	375	860
10	590	415	945
11	640	455	1,025
12	690	490	1,105

- (1) 變壓器와 P.T 의 衝擊絶緣耐力은 B.I.L 值를 그대로 쓴다.
 (2) C.T 는 交流의 試驗電壓值도 높으므로 衝擊絶緣耐力을 B.I.L 의 110%로 한다.

第10表 絶緣 協 助 表

區 分	154 KV 直 接 接 地 系		備 考 (154KV P.C 系)
	BIL 550 KV	BIL 650 KV	
絶緣階級 B. I. L	100號 550	120號 650	140號 750
發變電所用 避雷器	367KV以下 10,000A에서 400以下	433KV以下 10,000A에서 472以下	623KV 10,000A에서 656KV
懸垂碍子	8 780KV	8 780KV	10 920KV
屋外用支持碍子	605KV	715KV	825KV
Bushing 類	605KV	715KV	825KV
遮斷器	550KV 605KV	650KV 715KV	750KV 825KV
P. T.	550KV	650KV	750KV
C. T	605KV	715KV	825KV
變壓器	550KV 630KV	650KV 750KV	750KV 870KV
結合 Condenser	全波	650KV	900KV

(3) 遮斷器 斷路器 등의 支持碍子 는 降雨中에도 적어도 B.I.L 과 같은 絶緣耐力을 갖지 않으면 안된다. 따라서 B.I.L 과 같은 값으로 注水試驗을 行하는 것이 좋으나 實施上 困難하므로 乾燥狀態에서 B.I.L 의 110%로 한

다.

- (4) Bushing 類도 마찬가지로 B.I.L 의 110%로 한다.
 (5) 保護裝置가 없는 場所에서는 特別히 必要하면 1階級위의 絶緣을 가진 機器를 쓴다. 以上の 方針으로 機器絶緣을 決定하면 系統 BIL 을 550 KV 로 할 경우에는 P.T. 및 遮斷器는 B.I.L 550 KV, C.T. 支持碍子, Bushing 類는 550×1.1=605 KV 이다.
 系統 B.I.L 을 650 KV 로 하면 P.T. 遮斷器는 650 KV C.T 支持碍子, Bushing 類는 650×1.1=715 KV 이다.
 以上の 것으로 絶緣協調表를 만들면 아래 表와 같다.

4. 結 言

以上論한바와같이 154 KV 系直接接地時, 適當한 避雷器를 選定하면 系統 B.I.L 을 650 KV 또는 550 KV 로 할 수 있음을 알수있다.

그러나 韓電으로서는 처음試圖이므로 裕度를 充分히 잡아, 安全을 期하는 것이 좋을 것이며 B.I.L 650KV 를 우선採用하고 實績을 본후에 B.I.L 550 KV 로 移行하는 것이 좋다고 생각한다.