

# 주발전기 차단기(GCB) 적용

전 병 련

Consulting Engr., Bechtel Corp.

## 1. 일반소개

발전기 차단기는 발전소 운전중 터빈 및 발전기의 기계적 또는 전기적 불시사고시에 전력계통으로부터 신속히 격리시키는 것이 주역할이며, 발전소 시동시 발전기를 송전계통에 동기(Synchronizing) 투입하는 일을 한다. 그러므로 그 차단기가 발전기 모선에 설치되건 또는 주변압기 고압측에 설치되건간에 그 역할을 수행함에 있어서는 별로 다를바 없다. 원래, 발전기 용량이 적었을 때는 발전기 차단기가 발전기 모선에 설치되어 있었으므로 그 차단기를 열고 시동용 소내 소요전력을 주변압기(Main Step-up Transformer)를 거쳐 역수전(Back-feed)할 수 있었으나, 발전기가 대용량화 됨에 따라 차단기가 큰 부하전류 및 차단기 용량을 감당할 수 없어 주변압기의 고압측으로 옮겨감으로써 발전기 시동시에 역수전이 불가능하게 되어 소외전력을 소내보조기기에 공급할 수 있는 기동용변압기가 별도로 필요하게 되었다.

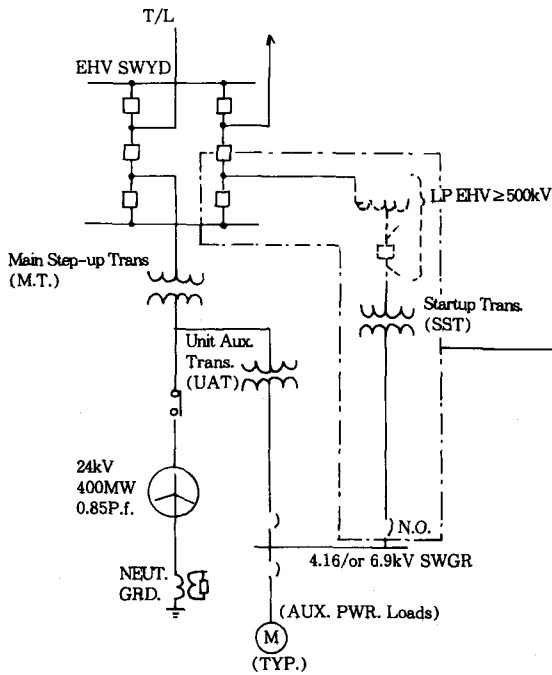
그러나 1960년 초기에 발전기 대용량 차단기(BBC 및 Alsthom 제작)가 소개되어 경제적 및 기술적(운전) 이득이 입증된 대용량 수화력 또는 일부 원자력 발전소에 설치되고 있다. 근래에는 차단기 제작기술도 많이 향상되었으며 대용량 단락시험도 275kA(대칭) 및 340kA(비대칭)까지 가능하며, 온도상승 시험도 ANSI 및 IEC 표준에 적격하다고 한다. 신뢰도(Reliability)도 연 50회 개폐 기준하에 연 0.99 이상의 신뢰도를 주장하고 있다.

## 2. 목적

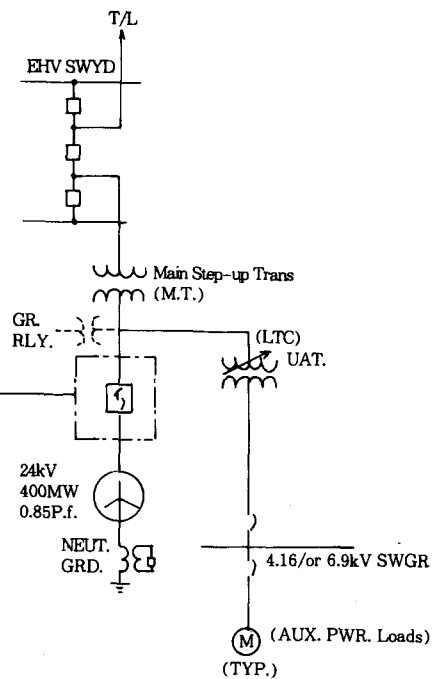
대용량 발전기의 차단기를 적용함으로써 재래식(주변압기 고압측 차단기)에 비교해 그 경제적 및 운전상의 기술적 이점을 일반 화력발전소를 대상으로 일차적으로 검토하고, 원자력발전소에 있어서 관련된 안전규정과 결부시켜 그 타당성을 검토함이 주목적이다. 그리고 미국 NRC의 관련규정과 일부유럽 원자력발전소에서 실행되고 있는 소외송전선 계통으로부터 소내 안전급 배전계통에 전력공급을 위한 소위 "우선전력공급(Preferred Power Supply)" 방식의 차이점을 비교검토하고 발전기 차단기(또는 격리스위치)를 이용하여 실제적으로 안전운전에 지장없이 경제적으로 타당한 우선전력공급(PPS) 계통을 제시코자 함이 2차적 목적이다.

## 3. 일반 화력발전소에서의 발전기 차단기 적용

앞에서 소개한 바와 같이 발전기 차단기가 설치되지 않을 때, 터빈 및 발전기 기동에 소요되는 소내용 전력공급을 위해 그림 1과 같이 기동용 변압기를 사용하여 소외 변전소로부터 소내 배전계통까지 따로 병렬연결되어야 한다. 그림 2와 같이 발전기 차단기를 발전기 모선에 설치하면 발전기 시동시에 필요한 소내보조기기용 전력수급을 소외 변전소로부터 주변압기를 거쳐 역수전할 수 있게 되어, 기동변압기 계통의 기기가 필요없게 된다. 그 결과 운전중 터빈/발전기의 불시사고로 인한



<그림 1> Single Line Diagram for Fossil Power Plant Conventional (with Disc. Link)



<그림 2> Single Line Diagram for Fossil Power Plant With 24kV Gen. Breaker

기계 및 전기계전기 작동시에 발전기 차단기를 즉시 열어줌으로써 소내전력의 전원은 계속 유지될 수 있으므로 발전소 운전에 있어서 표 1과 같은 기술적 이점이 있으며 또한 단점이 따른다.

경제적 특성은 그림 1 및 2에 나타낸 바와 같이 기동용변압기, 변전설비 및 차단기 등을 제거함으로써 절약되는 비용과 발전기 차단기 및 부수설비 비용의 차이에 따라서 결정되며, 발전기의 용량, 기동변압기 1차측 전압 그리고 발전소 입지조건 여하에 따라 달라지나 다음 표 2는 일반적인 경우를 표본으로 그 설비 비용을 비교한 것이다.

표 2에서 보여주는 바와 같이 대용량(800~1200MW) 발전기의 경우 기동변압기 1차측 전압이 345kV 이하에서는 경제성이 없으며 변전소 전압이 높아져 이중변전설비가 필요한 500kV 또는 765kV의 경우는 약 6억원의 경비가 절감되며, 500MW 이하의 발전소에서도 기동변압기 1차측 전압이 500kV 이상일 때 약 5억5천만원의 경비 절감이 가능함을 보여준다.

#### 4. 원자력발전소(LWR)에서 발전기 차단기 적용

##### 가. 우선전력공급 요건과 발전기 차단기 설치

원자력 발전소에서는 원자로의 안전운전 때문에 3절에서 기술한 화력발전소와는 달라서 발전기 차단기를 설치해도 기동변압기 시설을 모두 제거할 수는 없다.

미국 NRC의 10CFR50 일반설계기준(GDG-17)에 의하면 “소의 송전 계통으로부터 물리적으로 독립된 2개의 선로로 소내배전 계통에 소요전력을 공급할 수 있도록 설계되어야 하며 그리고 어떤 가상적 사고나 환경조건에서도 동시실패가 최소화 되도록 하여야 한다”고 규제하고 있다.

위의 규제조건을 만족시키기 위해서는 발전기 차단기가 없는 재래식 계통은 그림 3B 또는 4B와 같이 항상 2개의 우선전력공급(Preferred

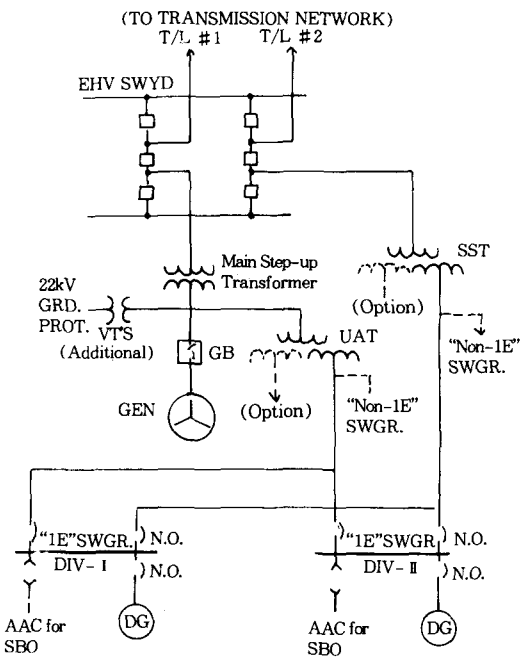
<표 1> 발전기 차단기 설치의 장·단점

장 점	단 점
1. 주변압기 및 소내 보조변압기 1차측(발전기 모선측) 단락사고시에 발전기 차단기를 즉시 차단시킴으로써 재래식에서 제자기의 차단(4IE)만으로 6~8초간 지속되는 단락 고장전류를 4~5사이클(C/S) 이내에 제거하며 해당변압기의 열적응력을 완화시킨다.	1. 발전기 차단기를 열고 주변압기를 거쳐 소내용 전력을 수전할 때 (㉠) 주변압기 및 보조변압기의 Delta 권선측 접지 보호를 위해 추가 VT'S 및 계전기가 필요하다. (㉡) 역수전시 주변압기 및 보조변압기의 전압강하 보상을 위해 소내용 보조변압기 1차측 권선에 자동LTC가 소요된다.
2. 발전기 동기(Synchronizing) 및 발전기 트립(Trip) 후에 소내 전력공급을 위한 기동변압기와 소내 보조변압기측 전원 사이에 신속전환(Fast-transfer)이 필요하지 않기 때문에 운전조작이 간편하며 편리하다.	2. 기동변압기 제거로 인해 소내용 전력공급은 소내용 보조변압기(Unit Aux.trans.)로서만 가능하므로 소내용 보조변압기에 고장이 생겼을 때 대체 변압기가 없어짐으로써 발전소를 오랫동안 운휴할 수밖에 없다(수화력발전소에 한함). 그러므로 예비용 UAT 설치가 고려되어야 한다.
3. 위항에서 언급한 전력계통전화(Power Transfer)때 일어날 수 있는 대형 유도전동기의 잔류 전류(Residual Current)로 인한 기계적 충격(Mechanical Shock)을 피할 수 있다.	3. 차단기 보수유지 점검이 필요하다. 공급자 보수유지 지침서에 의하면 매 2년(또는 2000회 동작)에 점검이 필요하고 매 6년(또는 3000회 동작)에 분해검사(Overhaul)가 소요된다고 한다.

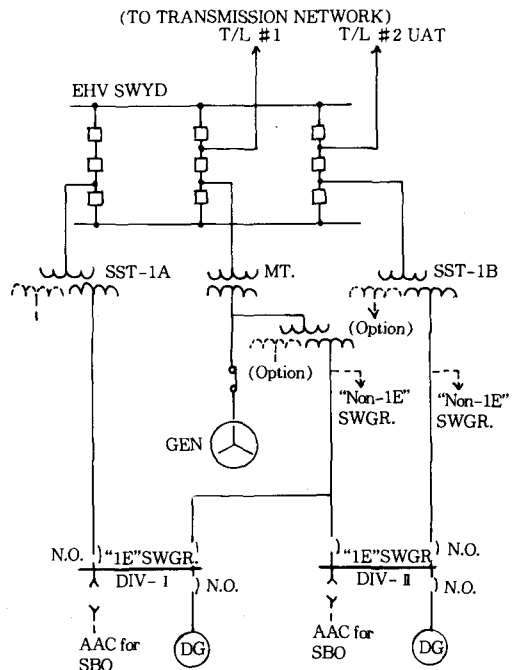
<표 2> 기동변압기 설비와 발전기 차단기 설치비 비교

기동용 설비		(단위: 천원)		발전기 차단기 설치			(단위: 천원)	
기기 및 자재		345kV	500kV	기기 및 자재	400~500MW	800~1200MW		
<b>1. 특고압 개폐소 설비:</b>				<b>1. 차단기</b>				
a. -Hybrid GIS 및 가공철구 (1 1/2 Brkr 배열)	1식	420,000	420,000	a. 24kV 22kA 150kA S.C.RMS	1,300,000			
-500kV Auto-Trans. 설비		(불요)	700,000					
*b. 완전 GIS(1 1/2 Brkr)	1식	(700,000)		b. 24kV, 34kA, 200kA S.C.SYM (Load Break Switch, 24kV, 34kA, S.C. 차단불능)			1,445,000	(1,230,000)
3 Brkrs-1 Bay : 14억원								
<b>2. 기동용변압기 30/또는 50MVA</b>	1식	540,000/754,000	540,000/754,000	<b>2. (Iso-ph 접속, 압축공기 및 냉각 파이핑)</b>	10,000	12,000		
<b>3. L.A.</b>	1식	44,000	60,000	<b>3. 추가 22kV VT's 및 접지계전기</b>	30,000	30,000		
<b>4. 계전기 및 제어반</b>	1식	12,000	15,000	<b>4. 추가 UAT의 LTC 설비</b>	70,000	93,000		
<b>5. 고압차단기 및 계기</b>				<b>5. 기타 설치비</b>	35,000	35,000		
a. 13.8kV, 2000A 750MVA	1식	26,000	26,000					
b. 4.16kV, 3000A 350MVA	1식	24,000	24,000					
<b>6. 특고압 가선비(약 250m공장)</b>								
a. 가공선로(7억원/km, 철구 구조물 포함)	1식	200,000	200,000					
*b. OF 케이블(1/C 16만원/m × 3×250m 및 단말처리) 설치비	1식	(300,000)	-					
(지중관로, 30만원/m)	1식	(75,000)						
<b>7. 고압케이블 및 설치비</b>	1식							
Non-Seg Bus/케이블								
a. 13.8kV-2000A		15,000	15,000					
b. 4.16kV-3000A		12,000	12,000					
<b>8. 기초공사 및 기타</b>		80,000	80,000					
(800~1200MW)		1,587,000	2,306,000	<b>합 계</b>	-	1,630,000		
또는 (400~500MW)		1,373,000	2,092,000		1,445,000			

주) GIS 및 OF 케이블 시설 특수경우 : 4억7500만원 추가됨.



<그림 3A> Single Line Diagram for Nuclear Power Plant With 24kV Generator Breaker



<그림 3B> Single Line Diagram for Nuclear Power Plant Without 24kV Gen. Breaker

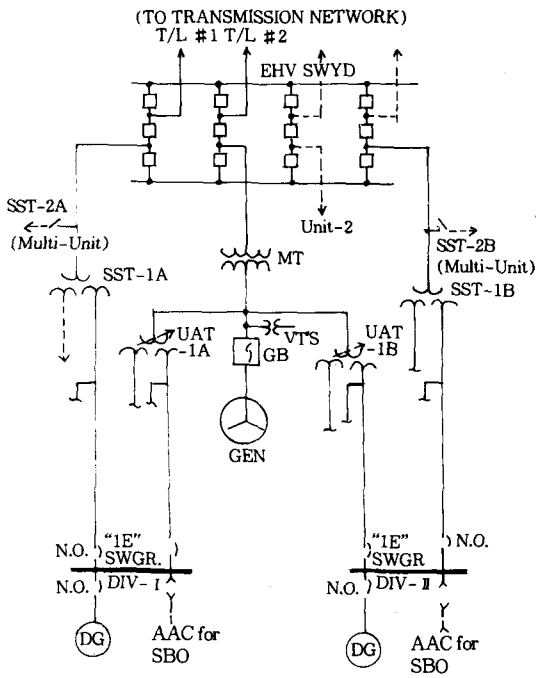
Power Supply, PPS)을 위해 소내 대가변압기 (SST-1A 및 SST-1B)가 필요하며 발전기 차단기를 설치하여도 그림 3A와 같이 2개의 소내 대가변압기 중에 1개는 없앨 수가 없다.

그러므로 발전기 차단기와 SST 1개(그림 3A 참조)를 사용하여 2개의 독립된 PPS를 구성하는 경우는 그림 3B와 비교할 때 소내 대가변압기 한대는 절감할 수 있으나 발전기 차단기가 변전설비에 비해 고가이므로 그 경제성의 이득은 없다.

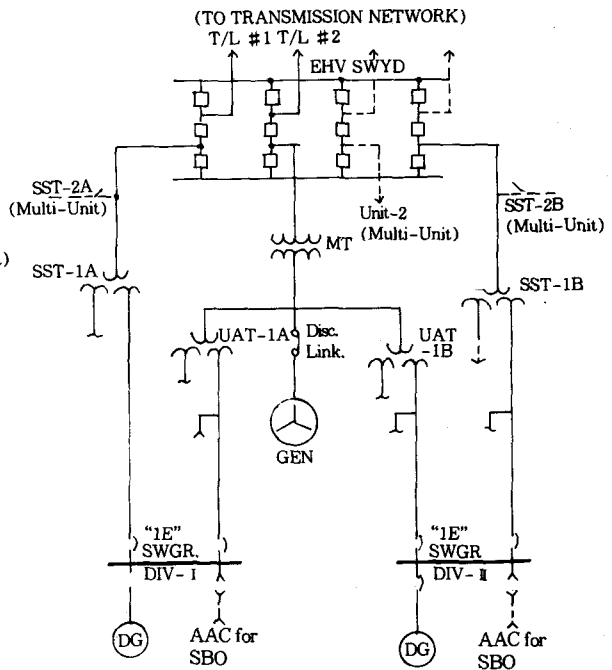
그리고 대용량급(1000~1200MW) 발전소에서 단일 소내용 대가변압기(SST) 및 소내용 보조변압기(UAT)를 설치하면 소내고압(4.16kV, 6.9 또는 13.8kV)모선에 단락사고가 생겼을 때 동일 변압기 2차 권선(Winding)에 연결된 모든 유도전동기가 함께 고장전류의 원천이 되어 고압차단기의 차단용량이 증가하여 비경제적인 결과를 초래하므로 그림 4A와 같이 소내용 전동기 부하를 나누어 다른 변압기에 걸리도록 두 개로 분할함이 보통이며 또한 변압기 고장 사고시에 잠정적 배선변경으로 발전소의 장기 운휴에서 오는 발전손해를 피할

수 있다. 그림 4A의 이중소내용 대가변압기(SST-1A 및 SST-1B)를 사용하는 경우는, 발전기 차단기가 없을 때(그림 4B 참조)와 거의 유사한 변압기 설비가 소요되므로, 표 1에 열거한 기술적 이점은 있으나 발전기 차단기 설치비(약 15억원/기당)는 추가되는 결과를 가져온다(표 4의 (B)와 (C)비교). 다른 한편으로 원자력발전소에서도 화력발전소에서의와 같이 발전기 차단기 설치로 기동변압기 계통을 완전히 제거하는 방법도 있다.

그림 5에 보여주는 것은 미국 Duke Power Co.에서 Mcguire 원자력발전소(2-1180MWe) 및 Catawba 원자력발전소(2-1180MWe)에서 소내전력 계통을 표시한 단선도인데, 각 발전기에 두 개의 GB를 사용하여 분리된 상분리 모선(Iso-Phase Buses)으로 두 개의 1/2 용량급(각 750MVA) 주 변압기(MT)를 특고압 개폐소(switchyard)에 연결한 대표적인 예이다. 소내 전력공급용으로 두 개의 중복된(redundant) 변압기(UAT's, 각 100 MVA, 24.8~6.9kV)를 설치하여 NRC의 GDC-17 규제요건인 LOCA후 수초 이내에 소의 전력공



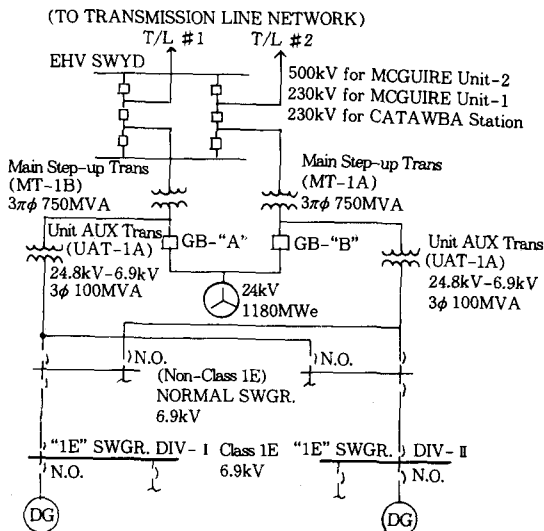
<그림 4A> 1 With Gen. Breaker-Multi-Unit Nuclear Power Plant(PWR)



<그림 4B> Without Gen. Brkr.-Multi-Unit Nuclear Power Plant(PWR)

급이 특고압 개폐소(Switchyard)로부터 가능하다. 그러나 두 개의 차단기(GB)와 중복된 소내용 보

조변압기(2-UAT) 때문에 표 3 과 같이 큰 경제적 이점이 없다. 2개의 발전기 차단기 설비가 재래식에 비해 345kV급 이하에서는 비경제적인 결과를 보여준다.

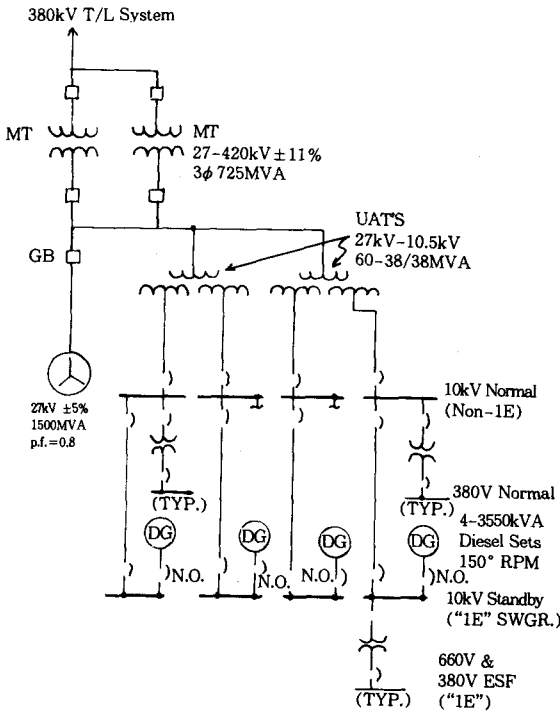


<그림 5> With Two(2) Gen Brkr.'s-Large Nucl. Power Station Mcguire and Catawba Nuc1. P. Stations-Duke Power Co. (USA)

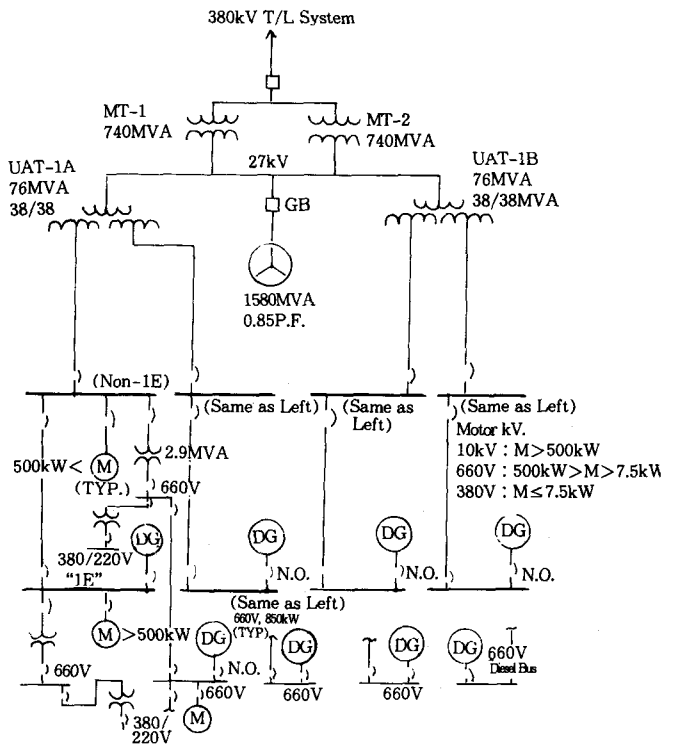
그림 6 은 독일 Biblis 원자력발전소(27kV, 1200MW)의 단선도(Single Line Diagram)인데 27kV 차단기가 3개나 표시되었고 소내용 보조변

<표 3>

(1) 발전기 2개의 차단기 설치때	
1. 2개 GB 및 부설설비(표 2 참조)	: 3,260,000,000
2. 중복된 소내 보조변압기 1개 (24-6.9kV, 100MVA)	: 530,000,000
3. 분리된 주변압기 및 Iso-Ph.Bus(추가분)	: 20,000,000
합 계(원)	: 3,810,000,000
(2) 기동용 변압기 및 계통설비	
345kV	500kV
1. 기동변압기 계통(2×50MVA)	
2×15억8700만원(표 2)	2×23억6백만원(표 2)
3,171,000,000원	4,612,000,000원



<그림 6> Gen. Breaker Application at BIBLIS Nucl. Power Plant-Germany



<그림 7> KWU Standardized Concept for 1300 MWe PWR Unit W/GB

압기(UAT) 용량이 중복(Redundant)되지 않은 것이 그림 5와 다르며 1/2 용량의 2개 주변압기를 사용한 것은 Duke Power회사의 것과 같은 설계원칙이다. 그림 7에 표시한 독일 KWU사의 기준설계도에 의하면 그림 6의 단선도에서 27kV급 차단기를 두 개 사용한 설계이지만, 두 개의 독립된 우선 전력공급(PPS)을 소외 송전전력계통으로부터 소내 비상배전계통까지 공급하여야 하는 미국의 기본설계(GDC-17) 요건에는 맞지 않는다.

#### 나. 발전기 차단기를 사용할 때 최소설비 설계

미국 NRC의 GDC-17 설계기준을 만족시키면서 발전기 차단기를 사용할 때 가장 경제적인 소내 계통설계는 그림 8과 같이 제안하고자 한다. 그림에서 보여주는 바와 같이 발전기 차단기(GB)를 열고 소내 보조변압기(UAT-1A 및 1B)를 기

<표 4> 설비비 비교

(A) 간소화한 GB 설치	(B) GB와 SST 2대를 설치할 때 (345kV SWYD)	(C) GB가 없을 때 (345kV SWYD)
1. (GB) 1,630,000,000 (LBS : 1,402,000,000)	1,630,000,000	
2. 표 2에서 SST 설비 1,587,000,000 - 3/5(754,000,000) = 1,134,600,000	2 × 1,587,000,000 (* GIS 및 OF케이블의 경우 : 2 × 2,062,000,000)	2 × 1,587,000,000 (* GIS 및 OF케이블 설치 : 2 × 2,062,000,000)
합 계 : 2,764,600,000원 (LBS 설치시 : 2,549,600,000)	4,804,000,000원 (* 5,754,000,000)	3,174,000,000원 (* 4,124,000,000)

<표 5> 설비비 비교

격리스위치 설치비(Fig-9 참조)	재래식(Iso. SW가 없을 때)
1. 격리스위치(Isolator) 24kV, 34kA * : 300,000,000	(1) 소내 대기변압기 2대 및 345kV, 13.8kV & 4.16kV 설비 (표 4C 참조)
2. 부수설비 : 8,000,000	
3. 기타설치비 : 25,000,000	
4. 추가 VT's 및 LTC설비 : 123,000,000	
5. 소내 대기변압기 1대 및 부설설비(표 2) : 1,587,000,000	
6. 소내 대기변압기 용량 증가 12% : 40,000,000	
합 계(원) : 2,083,000,000	3,174,000,000

동 변압기로 사용할 수 있는 장점을 이용함으로써 소내대기 변압기(SST)는 원자력 규제에 정한 제 2의 우선전력공급(PPS)용으로만 사용(Multi-unit 동시사용)할 수 있도록 그 용량을 2/5로 절감했다. 그리고 소내 보조변압기(UAT)를 83.3 MVA/FOA 용량으로 한 것은 두대 중 한대가 유고시 필수적인 소내 전력을 감당하여 발전소 운전 을 지속할 수 있도록 고려함이었다.

재래식(G.B.가 없는)과 그 설치 비용을 표 2를 참고로 비교하면 표 4와 같다.

표 4에서 (A), (B), (C) 설비 비용을 비교하면 (A)가 가장 경제적이며 GB 설치시 기술적 이점을 갖는다. (A)의 경우가 (B)보다 약 20억원이 절약된다. 그리고 (B), (C)의 경우 발전기 차단기를 설치하면 16억원의 경비가 추가된 것을 보여준다. 발전기 차단기(GB) 대신 부하차단기(LBS : Alsthom Type PG2C)를 사용할 때 GB보다 약 15% 절약되나 단락차단 능력이 없으므로 큰 이점이 없다. 그러나 차단기 때보다 약 2억원이 절감되며, 격리 스위치(Isolate Swith, BBC Type DRT 또는 Alsthom의 Type-SG 원방조작 가능)를 사용할 때는 그 비용이 약 1/5로 감소되므로 표 5와 같이 설치비가 11억원이 절약되나 부하차단 및 동기운전 투입이 불가능하므로 기동시에는 전부하 용량의 기동변압기를 사용하여야 하고 발전기 계통에 동기화(Synchronizing)할 때는 주변압기 특고압측(345kV) 차단기를 이용해야 한다는 점에서는 재래식과 유사하다. 기동변압기(SST)는 NON-1E 전부하를 감당하도록 다중기(Multi-unit) 발전소

에서 그림 4A 및 4B와 같이 기동변압기(SST-1A 및 1B)를 공용으로 사용해도 동시 기동은 없으므로 13.8kV 비안전 권선용량은 1기일 때와 마찬가지로 증가됨이 없으므로, Unit 별로 SST 한대를 절약하는 결과를 가져온다.

## 5. 우선 전력공급(PPS)기준의 적용

### 가. 미국과 독일의 시행차이점

앞에서 언급한 바와 같이 미국과 독일은 우선 전력공급(PPS)의 원칙인 “두 개 이상의 우선 전력공급이 소의 변전소(Switchyard)에서부터 연결되어야 한다”는 것은 같은 설계 개념이다. 그러나 독일에서는 미국과 같이 엄격히 독립된 두 개의 PPS를 규제하지 않았으며, 물리적으로 독립된 두 회선 이상의 송전선로(Transmission Lines)가 송전계통(Transmission Grid)에 연결되어야 한다는 것에는 경제적으로 타당성이 없다는 주장이다. 독일 설계자측에서 본 미국의 NRC 규정은 우선 전력공급을 위한 소외 전력(Offsite Power)에 크게 의존하고 있으며, 독일은 비상전력공급(Standby Emergency Power Supply)을 위한 디젤발전기에 더 의존한다고 평가된다. 실제 경험에 의하면 두 개의 송전선이 있어도, 같은 전압의 선로가 동일 지역을 통과할 때 설계기준사건(Design Basis Events : 폭설, 태풍, 홍수, 벼락, 지진 그리고 전기적 계통사고로 순간적 전압강하 및 주파수강하 등)이 생겼을 동시실패(Common Causes Failure)의 가능성은 비상 디젤발전기보다 훨씬 높은 것은

사실이다. 그러므로 독일의 경우에 고압 디젤발전기 이외에 저압 디젤발전기를 추가로 각 예비(Re-dundant) 개폐장치(Switchgear) 모선(Bus)에 설치된 것은 신뢰성이 높기 평가될 만하다.

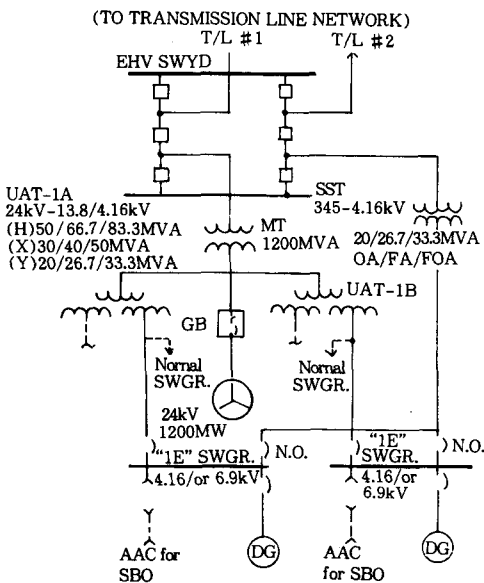
#### 나. 미국 NRC의 규정과 관련 IEEE 표준서

(1) 미국 NRC의 GDC-17은 위의 두 송전선로가 연결되는 공용 개폐소(Common Switchyard)를 허락한다는 점이다. 그렇다면 외부 송전선인 한 개이건 둘이건 그 Switchyard의 모선 또는 개폐기 등 전기적사고(단락 또는 접지)로 인해 두 개의 PPS를 동시에 실패하는 경우는 얼마든지 있을 수 있다.

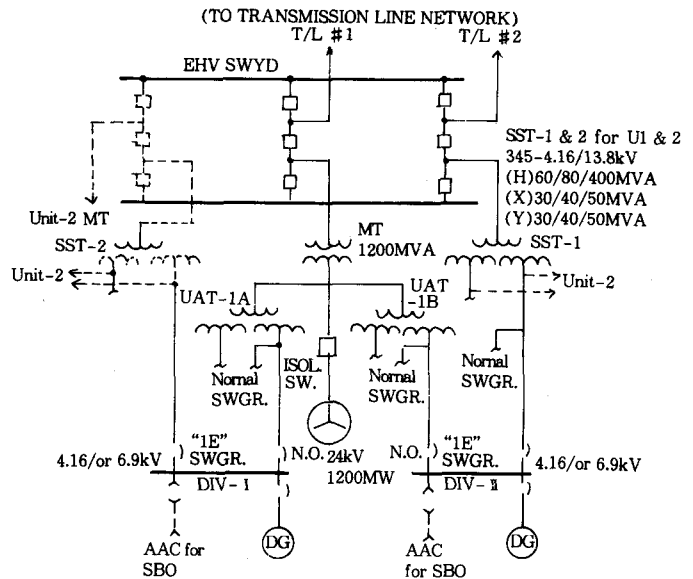
(2) 그리고 동 설계기준서는 언급하기를 “둘 중에 그 한 개는 LOCA(냉각 상실사고)후 원자로심냉각, 격납고 완전(Containment Integrity) 및 다른 긴요한 안전기능을 확보할 수 있도록 수 초 이내에 이용할 수 있도록 하여야 한다”라고 되어 있다. 즉 둘 중에 한 개의 PPS가 LOCA후 수 초 이내에 연결되는 것이 기본요건이다. 왜냐하면 둘

중에 한 개가 일정시간(72시간) 이내에 복구가 안되면 R.G.1.93의 운전제한 조건(LCO)에 따라 제한운전에 들어가면 될 것이다.

(3) IEEE 표준 308-1971에서 PPS의 유용(Availability)에 관해 말하기를 “만일 한 개의 회로가 송전계통(Transmission Network)에서 평상시 이용 가능하면, 다른 하나는 8시간 이내에 교체할 수 있도록 설계되어야 한다”고 되어 있었으나 NRC 규제와 불일치성 때문에 논란을 거듭하여 그후 IEEE 표준 308의 해당 구절은 두 번 이상 변경되어 IEEE 308-1978 개정에서는 “만일 한 개의 회로가 송전선 계통으로부터 평시에 가능하면 또 다른 하나는 송전계통에서 연결될 수 있도록 해야 한다. 그리고 평시에 이용되던 그 회로는 LOCA후 수 초 이내에 이용되도록 설계되어야 한다”로 NRC의 R.G.1.32에 준하여 GDC-17 내용에 일치시켰었으며, 현행 IEEE 308-1991 개정판에는 위의 논란 사항의 구절을 모두 삭제하고 PPS에 관한 것은 IEEE 표준 765-1983을 참조하도록 명시되었다. 위에서 본 미국과 독일의 경우 그리고 미국 NRC 규정과 IEEE 표준서의 불일치



<그림 8> Proposed Optimum Design for Large PWR Unit With Gen. Brkr.—Standby Service Transformer supplies the ESF power only



<그림 9> Proposed Optimum Design for Large PWR Multi-Unit Station With 24kV Isolating Switch(No-Load) instead Gen. Brkr.



성 및 개정 연혁에서 찾아본 우선 전력공급(PPS)의 적용은 실제적으로 한 개의 PPS회선이 보통은 전시 필요하며, 미국은 대치용을 별도 LOCA시 준비되도록 설계하게 되었음이 특이한 점이다. 한국원전발전소는 같은 발전소 부지(Plant Site)에 여러 대의 발전기가 설치된 소위 다중기(Multi-unit)이므로 필연적으로 두 개 이상의 송전선로가 전력공급상 설계되었으므로, 독일이나 다른 나라의 경우처럼 두 개 이상의 송전선로 확보에는 문제점이 없다. 다만, 그 두 개의 PPS를 항상 개폐소(Switchyard)로부터 소내 배전계통에 연결되도록 설계하여야 하는 것은 건설비에 크게 그 영향을 미친다. 필자의 의견으로서는 GDC-17의 요건대로 하나의 PPS가 LOCA후 즉시(수 초 이내) 이용되도록 하면 되고 다른 대치용(Alternate) PPS는 안전유지면에서 허용될 수 있는 시간 이내에 연결되도록 설계하면 실제안전유지에 적절하다고 믿는다. 그림 9에서 보여주는 것과 같이 원방조작(Remotc Control)이 가능한 발전기 모선의 격리스위치(Isolating SW.)를 사용한다면 우선전력공급(PPS) 설계표준서 IEEE-765의 그림 2와 IEEE-308의 안전급 전력공급 기준에도 만족할 수 있다.

#### 다. 소외전력공급(Offsite Power Supply)에 관한 US NRC-GDC 17의 한국에서의 그 적응성(Adaptability)

한국에서 2회선 특고압 345kV 송전선로가 동일 첩탑에 가설된 경우를 동시 실패율이 크다고 하여 1회선의 송전선로로 취급하여 별도 2회선 송전선로를 확보함으로써 GDC-17에서 필요한 독립된 2회선을 넘어선 사실상 4회선이 설치되어 있는 실정이다. 그리고 운전중 한 송전선로(2회선)가 실패했을 때, 한개의 송전선로만이 계통에 연결되었다고 취급하여(실은 다른 2회선이 전력공급가능), NRC R.G.1.93의 운전 제한조건(LCO)에 따라 72시간 이내에 사고 송전선이 복구되지 않을 때 다

중기(Multi-unit) 발전소에서 모든 발전기(2기 또는 4기)를 정지(36시간 이내 Cold-shutdown상태)하여야 하는 심히 불리한 적용을 하는 것도 한국의 원전 설계회사와 원전인허가 관계당국이 깊이 검토하여 완화시킴이 바람직하다. 물론 미국의 원전은 거의 모두가 500kV 특고압(2회선 가설이 불가능한 단회선) 송전계통에 따로 2개 이상이 연결되어 있으므로(원전 Switchyard에서 2회선 시설을 동일 첩탑에 가설하는 단일 송전선의 경우는 거의 없으므로) 그에 관한 GDC-17 적용의 관례를 찾을 수가 없었다.

2회선 송전선로를 하나의 송전선로로 간주한다고 해도 4개 이상의 발전기가 동일구내 개폐소 모선에 연결되어 있으므로 수십 km 떨어진 변전소에서 끌어오는 독립된 또 하나의 장거리 송전선보다 훨씬 더 PPS 전력공급 신뢰도가 크다. 미국은 4기(Unit) 이상의 다중기(Multi-unit) 원전이 없으므로 NRC 규정에 아직 다중기 개폐소(Multi-Unit Switchyard)에 대한 PPS 특전이 정해지지 않았으나 4개 이상의 발전기가 연결된 개폐소(Switchyard)는 송전계통(Transmission Network)과 동등하게 취급받는 것이 합리적이라고 믿는다. 독일에서는 단일 송전선이 허용된 것을 감안하면, 경제적으로 훨씬 취약한 한국에서 미국의 설계기준(GDC-17)을 보수적으로 해석 적용함은 막대한 경제적 부담을 안겨주는 일일 것이다. 그리고 미국 현행 NRC 규정과 원전설계 기준은 1976 이래 미국TMI 원전사고와 소련의 원전사고로 미국내 및 국제적 반원자력 여론과 정치적 영향으로 어떤 규제 부분은 필요 이상으로 엄격하게 강화되어 그 수용이 곤란하여 미국 원자력발전소 건설사업에 치명적 타격을 준 것은 모든 원자력기술자는 알고 있는 바다. 1979년 이후 미국내에서 단 한 대의 원자력발전기도 발주된 것이 없었으며 건설기회 또는 건설중인 65개의 원전이 폐기되고 말았다.

대부분의 NRC 규정은 1980년 이전에 개정된 것이고, 미국 원자력 운전회사들은 근 30년의 실제경험을 토대로 그 안전설계 표준을 완화하고자

IEEE 표준 위원회를 거쳐 그 개정을 추진하고 있는 추세이며, NRC는 현재 인력부족으로 그리고 신규 건설이 미국내에 없으므로 '80년대 이후는 그 개정에 손이 미치지 못한 것으로 알고 있다.

한편 미국에서는 원자로 냉각 방법이 간단하고 보다 안전하고 경제적인 표준형(Modular Type) 경수로(GE의 SBWR 및 W의 AP-600)를 개발하고 있으며, 미국 정부(DOE)의 지원하에 제작자와 BECHTEL사와 같이 이미 7년 이상 설계개발해 오고 있다. 그 단위 용량은 기존 경수로 용량의 약 절반인 400~600MW로 적어질 것이며, 공기도 5년 이내(기존 10~12년) 그리고 건설단가도 \$3000/kW 이상 소요되던 것이 \$1500/kW 정도로 절감될 것으로 기대하고 있다.

한국처럼 기존 경수로형 발전소를 지체없이 계속 설계 건설하여야 하는 나라에서 제때에 갱신되지(Update) 않은 미국의 NRC 규정을 거의 아무런 평가없이 그대로 적용함은 실제 안전유지 이상인 비경제적 설계, 건설 및 운전이 될 것이므로 원전설계회사와 정부인허가 당국이 자체의 축적된 경험을 바탕으로 우리실정에 가장 알맞도록 깊은 검토 연구와 적극적인 개선책이 수반되어야 할 것을 촉구한다.

## 6. 결론 및 제언

위에서 언급한대로 발전기 차단기를 사용하는 것은 표 1에 기재한 기술적 장점이 있으나 발전소 옥외변전소 또는 개폐소(Switchyard)전압이 500 kV 또는 765kV 이상되어야 일반화력발전소에서 그 경제적 이점이 있다. 원자력발전소에서는 미국 NRC의 설계기준(GDC-17)을 충족시키려면 발전기 차단기(GB)를 설치하면 표 4의 (B)와 (C)에서 보여주는 바와 같이 345kV급 특고압에서는 발전기당 약 16억원의 설비비가 추가되며 장차 발전소 특고압 개폐소(Switchyard)가 765kV로 승압이 되면 발전기 차단기 설치가 그 경제적 타당성을 보여줄 것이다. 그리고 차단기 대신 격리용

스위치(BBC Type DRT 또는 Alsthom Type SG)를 사용하면 차단기의 기술적 일부 특징은 없거나 경제적으로는 큰 이점이 있다(표 5 참조).

그리고 미국 NRC의 엄격한 소외전력공급 설계 기준과 유럽 일부 국가의 전력공급(PPS) 원칙을 비교 검토함으로써 우리는 한국실정에 알맞도록 설계회사와 정부의 원전인허가 당국이 보다 실용적으로 최적 건설 및 설계가 될 수 있도록 미국의 원전규제조건 및 그 해석을 안전성을 해치지 않는 범위에서 보다 합리적이고 적응성 있게 완화 적용할 것을 기대한다.

### 참고문헌

1. GEC Alsthom FD 5-2-1/A : PKG-PG-SG Compressed air and air Cooled Generator Switchgear for Power Plants.
2. CIGRE 13-204 : Life Management for Generator Circuit-Breakers by Messrs. D. Braun & A. Guerig.
3. IEEE Paper A 76 020-8 : Generator Breaker Considerations at The Macguire and Catawba Nuclear Stations, by Mr. R.A. Pace, Duke Power Co.
4. IEEE Paper PG 75 652-8 : Standby and Emergency Power Supply of German Nuclear Power Plants by Mr. Alexander Borst, Kraftwerk Union AG Germany.
5. US NRC 10CFR50 Appendix A, General Design Criterion 17-Electric Power System.
6. US NRC RG 1.32 : Criteria for Safety-Related Electric Power for Nuclear Power Plants.
7. US NRC RG 1.93 : Availability of Electric Power Sources.
8. US NRC NUREG-0800 8.2 : Offsite Power System.
9. IEEE Standard 308 : Criteria for Class 1E Power System for Nuclear Power Generating Stations.
10. IEEE Standard 765 : Preferred Power Supply for Nuclear Power Generating Stations.