

H종합화학공장 전력계통 신뢰도 증진검토

■ 윤갑구 / 에이스 기술단
 ■ 이정로 / H종합화학(주)

1. 서론

H종합화학공장의 증설에 수반하여 기존 및 증설에 대한 전력계통 신뢰도의 검토가 필요하게 되었다.

검토항목은 조류계산에 의하여 전압분포의 적정성과 과부하 여부 및 역률유지에 대하여 검토하고, 고장계산에 의하여 차단용량과 보호계전기 협조를 검토하였으며, 안정도 계산과 동적 시뮬레이션에 의하여 공장내 중요부하를 자가발전기로 안정 운전할 수 있는 방안을 검토하였다.

검토결과 일부 기기의 과부하 해소, 보호계전기 협조강화, 상용전원 정전 또는 발전기 정지시 안정

운전 등을 도모할 수 있도록 로직 개선과 변압기 용량 변경, 보호계전기 재정정 대안을 제시하였다.

이로 인하여 전기설비 고장시 정전을 최소화하고 파급사고를 방지하며, 수배전 및 발전설비의 신뢰도를 증진할 수 있게 되었다.

2. H종합화학공장의 전력계통

(1) H종합화학공장의 전력계통 및 설비현황

H종합화학공장의 전력계통은 그림 1과 같이 상용전력계통인 한전 Y변전소로부터 154kV 송전선(TACSR 300mm², 505m)에 의하여 수전하고 있다.

제1공장은 주변압기 100MVA 2대와 28MVA 1대 및 45MVA 1대에 의하여 부하를 공급하고 있다.

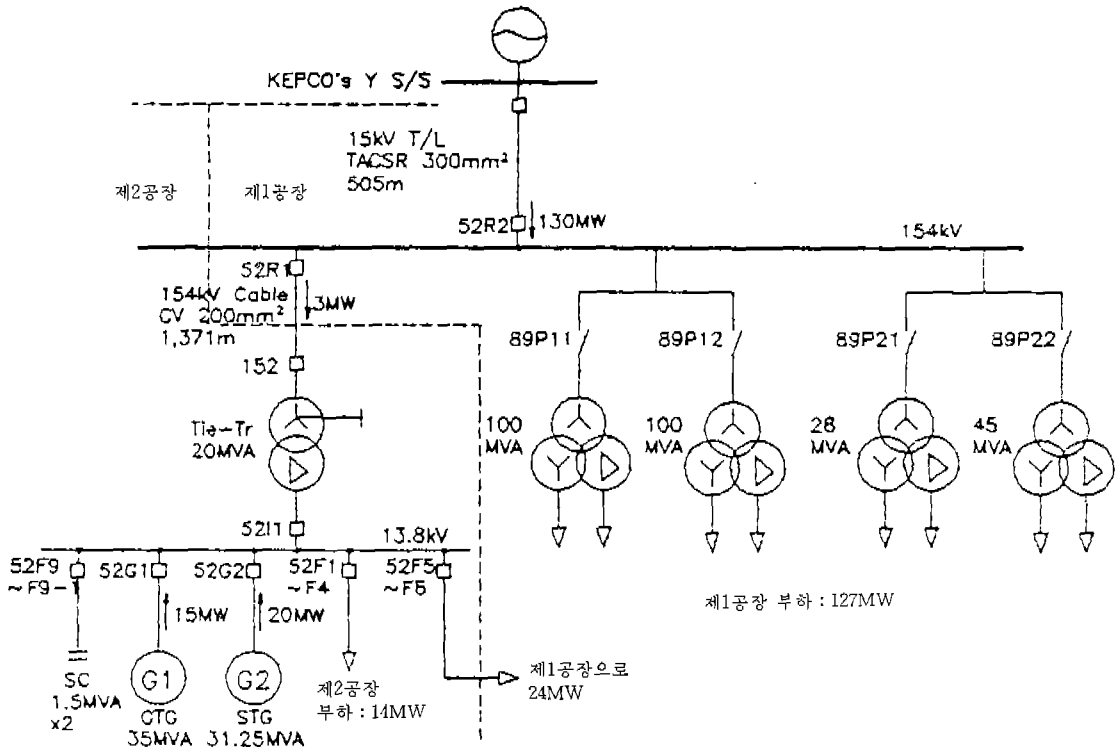
제2공장은 제1공장에서 154kV케이블(CV 200mm², 1,371m)을 통하여 연계변압기(Tie-Tr: TRE991, 20MVA)와 자가발전기(제1호 :GTG 35MVA, 역률 0.85, 제2호 :STG 31.25MVA, 역률 0.8)에 의하여 부하를 공급하고 있다.

(2) H종합화학공장의 부하현황

H종합화학공장의 부하는 표 1과 같이 1993. 10.

〈표 1〉 H종합화학공장의 부하현황 (단위 :MW)

구분	평시부하	최대부하
한전 수전	97	130
- 제1공장 부하	93	127
- 제2공장으로 (연계변압기 통과)	4	3
제2공장 발전기출력 (#1: 15, #2: 17)	32	35 (#1: 15, #2: 20)
- 제2공장 부하	12	14
- 제1공장으로	24	24
합계	130	165



〈그림 1〉 H중합화학공장 전력계통과 최대부하 분포도

20 오전 10시를 기준으로 한 평시부하(130MW)와 공장 운영부서에서 상정한 최대부하(165MW)를 검토대상으로 한다.

최대부하분포는 그림 1과 같다.

3. 부하조류 검토

(1) 계통구성조건에 따른 부하조류

한전 수전과 자가발전기 운전 및 역률개선용 전력콘덴서 운전조건에 따른 부하조류 검토결과를 표 2와 같다.

(2) 조류개선 대책

- ① 조건 1은 자가발전기를 모두 정지시킨 경우로 연계변압기가 과부하되므로 제2공장에서 제1공장으로 공급하는 부하(IM 19MW)를 제한해야 한다.

- ② 조건 2~3은 자가발전기를 1대만 운전하는 경우로 자가발전기 출력을 높이거나 연계변압기 냉각 팬을 가동시켜서 자연냉각(OA) 용량에서 강제냉각(FA)용량(25/30MVA)으로 증가시키거나 부하제한을 해야한다.
- ③ 조건 4는 정상운전상태가 된다. 조건 4-1과 4-2는 역률개선용 전력콘덴서를 각각 1500kVA와 3000kVA로 운전할 때이다. 이때 수전역률은 각각 0.5%와 1.1%가 개선되고, 손실전력은 5kW와 10kW가 절감된다. 아울러 13.8kV 모선전압은 0.7%와 1.35%가 개선된다. 그림 2는 조건 4-1의 조류도이다.
- ④ 조건 5~7의 경우는 현재 제2공장에서 13.8kV로 공급중인 제1공장 선로 52F5(IM, R-5, 19MW)와 52F6(VCM, 5MW)을 개방하고, 연계변압기(TRE-991, 20MVA)로 역류시켜 154kV를 공급할 때이다. 따라서 현재 차단기 52I1을 동작시키는 역전력계전기



〈표 2〉 계통구성 조건 및 조류계산 결과

조건 No.	한전 수전		연계변압기			발전기 운전		손실 전력 (kW)
	MW	역률 (%)	용량 (MVA)	부하 (MW)	부담률 (%)	GTG (MW)	STG (MW)	
1	130	87.8	20	수전 36	236	—	—	951
2	113	89.6	20	수전 19	125	—	17	518
3	114	90.6	20	수전 20	121	15	—	505
4	97	91.4	20	수전 3.7	24	15	17	318
4-1 ¹⁾	97	92.0	20	수전 3.7	20	15	17	313
4-2 ²⁾	97	92.5	20	수전 3.7	18	15	17	308
5	112	91.1	20	역송 5.3	26	—	17	244
6	114	92.0	20	역송 4.1	24	15	—	240
7	97	91.9	45	역송 21	50	15	17	236
8	—	—	45	—	—	—	14	—
9	—	—	45	—	—	—	14	—
10	—	—	45	—	—	10	4	—

주 : 1. 역률개선용 전력 콘덴서 1500kVA 운전시
 2. 역률개선용 전력 콘덴서 3000kVA 운전시

(32P)의 정정치는 연계변압기 용량을 고려하여 18MW(20MVA, 역률 0.9) 이상에서 정보를 발생토록 한다. 특히, 조건 7의 경우는 자가발전기 2대를 정상으로 운전한 경우로서 연계변압기의 용량을 45MW 정도로 증가시킬 필요가 있다.

- ⑤ 조건 8~9의 경우는 한전계통과 분리되었을 때이다. 이 때는 자가발전기로 제2공장 부하만이라도 공급할 수 있도록 차단기 52R1을 개방해서 제1공장 부하를 자가발전기와 분리시킨다.

4. 단락용량 검토

(1) 기기 및 선로 임피던스

한전 H/S/S 전원측 등가 임피던스와 Y공장 기기 및 선로 임피던스는 그림 3과 같다.

〈표 3〉 주요 모선 삼상단락 고장전류표

()내는 연계변압기를 45MVA로 증가시

고장위치	3~5[Hz]		30[Hz]		
	모선명	3상단락 전력(MVA)	대칭단락 전류(kA)	3상단락 전력(MVA)	대칭단락 전류(kA)
2	154kVA 모선	5581.53 (5647.89)	20.925 (21.174)	5471.34 (5473.25)	20.512 (20.519)
3	13.8kVA 모선	558.67 (814.56)	23.373 (34.079)	256.52 (512.44)	10.732 (21.439)
43	4.16kVA 모선	146.92 (160.14)	20.390 (22.225)	112.16 (143.50)	15.567 (19.916)
66	발전기 모선	551.76 (794.88)	23.084 (33.255)	253.77 (500.85)	10.617 (20.954)

(2) 단락용량과 차단전력

고장검토 프로그램(ACEFAULT)에 의해 계산한 삼상단락과 고장전류 계산결과는 표 3과 같다.

- ① 154kV 모선의 고장전력은 20.9kA이고 앞으로 연계변압기를 45MVA로 교체했을 때 21.2kA가 되나 현재 차단기의 차단용량은 31.5kA이므로 문제 없다.
- ② 13.8kV 모선의 고장전력은 23.4kA이고
- ③ 4.16kV 계통의 고장전력 분포는 6~20kA이고 연계변압기를 교체했을 때는 7.5~22.2kA가 되나 현재 차단기의 용량은 40kA이므로 설계허용 범위내에 있다.

5. 보호계전기 협조검토

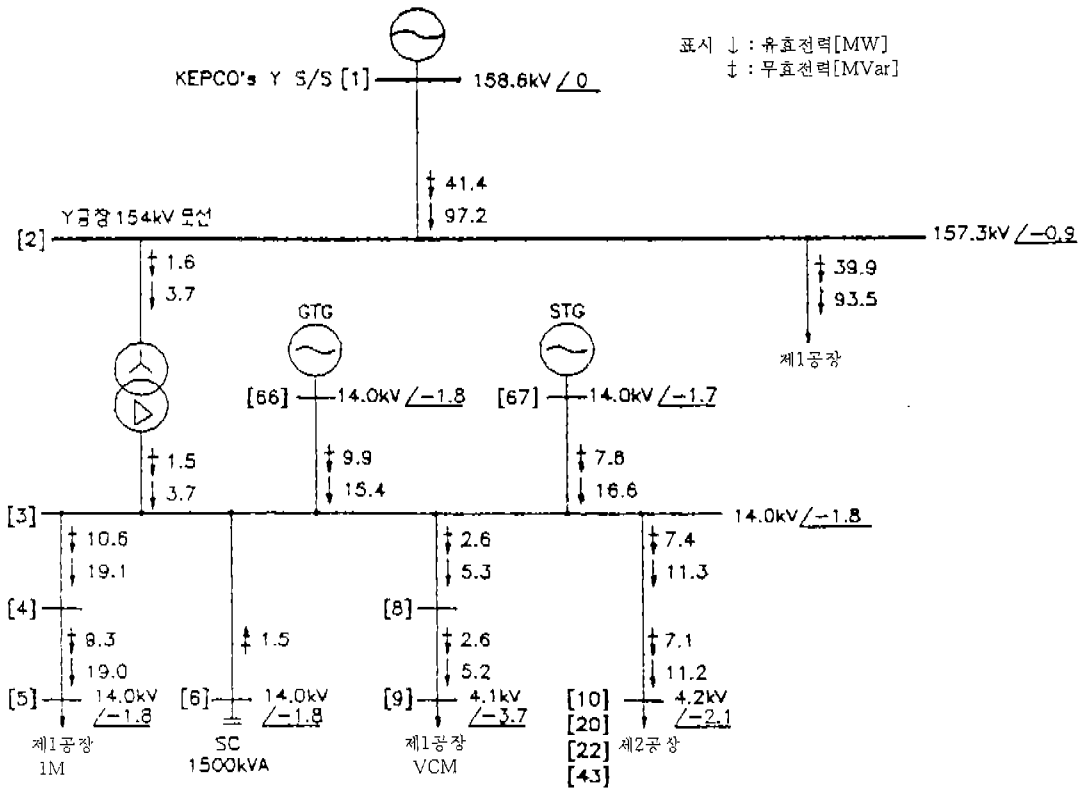
(1) 연계선로 보호계전방식

일반적으로 자가발전기를 상시 병렬운전하는 연계선로 보호계전방식의 직류(DC)시퀀스 로직은 그림 4와 같다.

(2) 표시선(Pilot-wire)계전기

① 계전방식

Y공장내 154kV케이블 보호를 위해 표시선 계전방식으로 단락방향과전류계전기(67S)와 지락과전류계전기(67G)를 적용하였다. 아울러 오동작을 방지하기 위하여 감시용(Supervision)과전류계전기(50S)와 지락과전류계전기(50G)를 부설하고 있다.



<그림 2> 조건 4-1의 조류도

② 후비보호기능

보호구간내의 고장은 가급적 신속하게 제거 하도록 하고 보호구간 외의 고장에 대하여는 전위보호계전기와 적어도 0.3sec 이상 시간차이를 두어 협조를 도모토록 한다. 따라서 67S와 67G의 탭(0.5~4A)을 최대 탭 근처로 하고, 한시 레버(Time Lever)는 적어도 1.5 이상으로 정정하는 것이 바람직하다.

(3) 비율차동계전기

① 모선 보호

154kV 모선과 13.8kV 모선에 각각 비율차동계전기(87B)를 적용하였다.

② 발전기 보호

자가 발전기별로 비율차동계전기(87G)를 적용하였다.

③ 변압기 보호

연계변압기와 주요 변압기별로 비율차동계전기(87T)를 적용하였다.

(4) 과전류계전기

① 계전방식

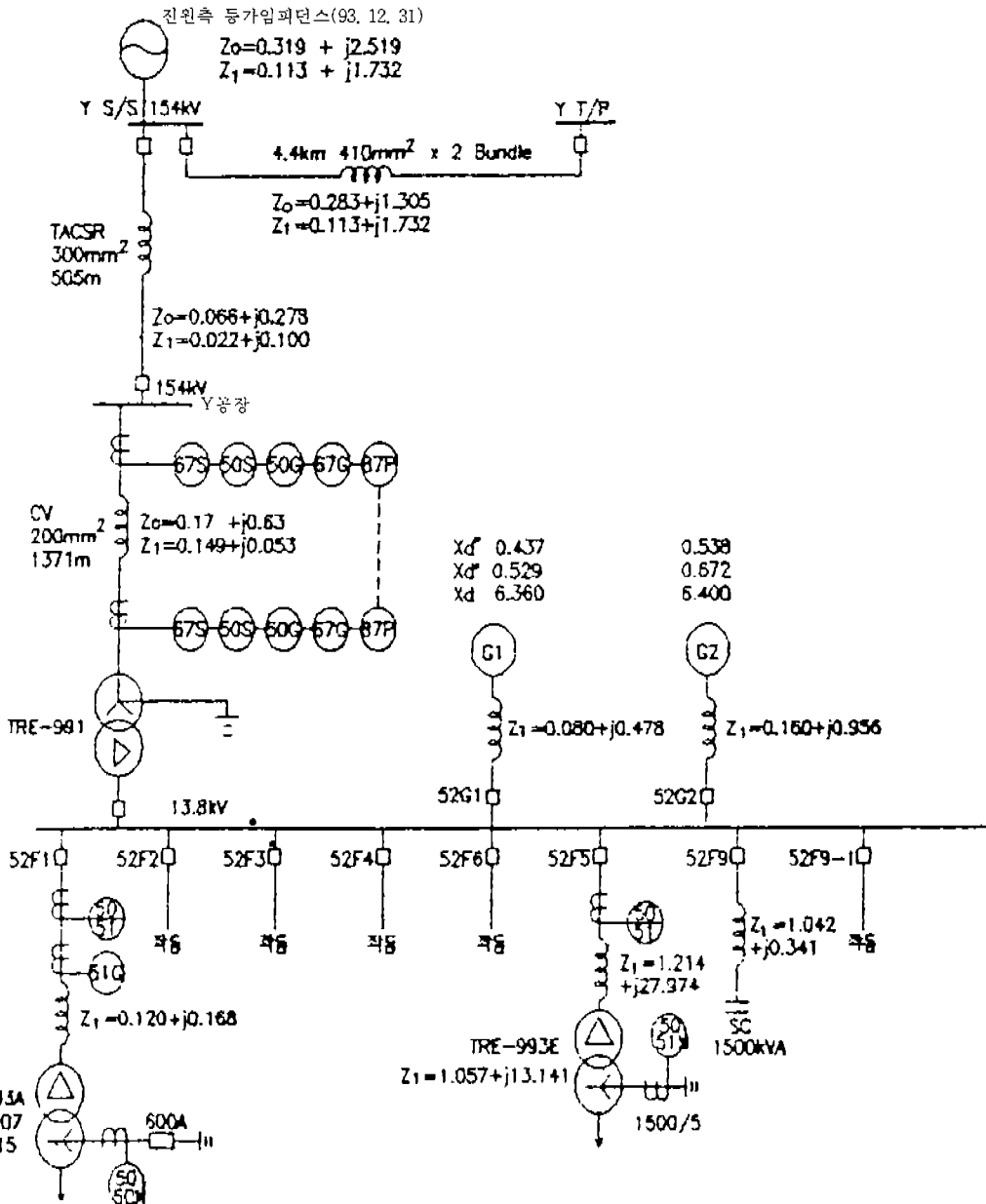
선로별 기기별로 과전류계전기 순시요소(50)와 한시요소(51)를 적용하였다.

② 과전류계전기 순시요소(50)

13.8/4.16kV 변압기의 4.16kV측 주차단기 순시요소는 선로의 순시요소와 시간협조가 곤란하므로 정정치를 최대 고장전류 이상으로 높여서 사실상 동작되지 않도록 한다.

③ 과전류계전기 한시요소(51)

보호할 구간내의 고장전류에 대하여 전위보호와 후비보호간에 0.3sec 이상 시간차이가 있



〈그림 3〉 전원 등가 임피던스 및 기기와 선로 임피던스(100MVA 기준 %)

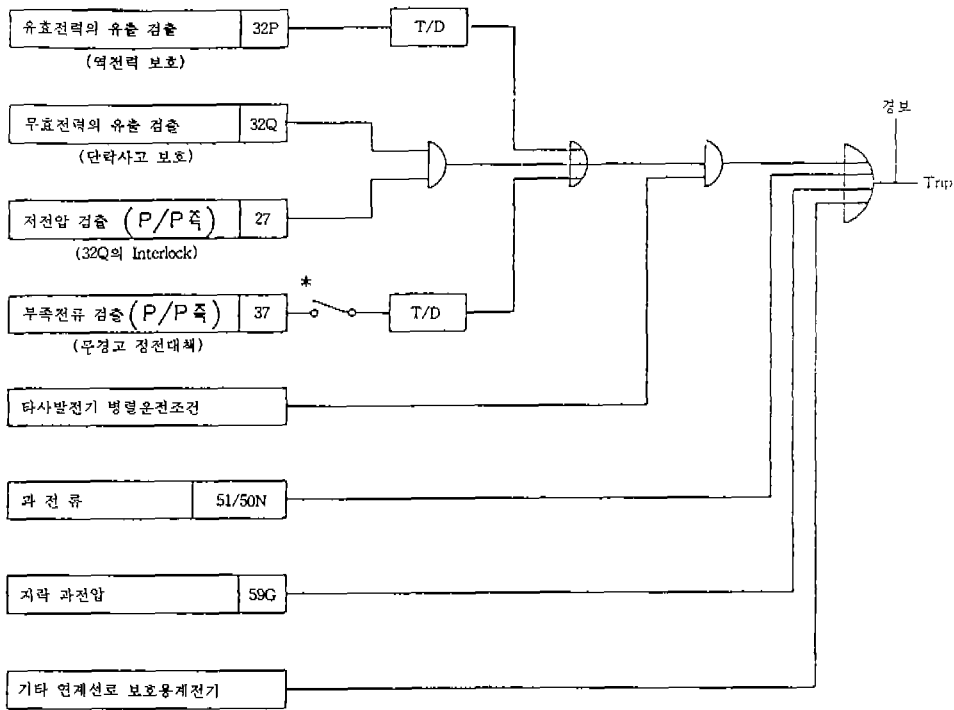
으므로 시간협조가 원활하다.

(5) 지락보호계전기

① 13.8kV 계통 지락보호

13.8kV 계통은 변압기 중성점이 모두 비접지

이므로 별도의 접지면압기(GTR : 13.8kV/480V /3,500kVA)와 전류제한저항(CLR : 480V, 0.4Ω, 1min)을 설치하여 지락고장시 접지(영상)전류를 발생시키고 선로마다 이 전류에 동작하는 지락과전류계전기(51G)를 적용하고 있다.



* 필요하면 설치

〈그림 4〉 연계선로 보호계전방식의 직류(DC) 시퀀스 로직

지락후비보호로 13.8kV 모선에 접지변압기 (GPT ; 14.4kV/√3/120V/√3/190V/√3, 200MVA)를 설치하여 접지전압을 검출하고 지락과전압계전기(64G)를 동작시킨다.

② 14.4kV 계통 지락보호

변압기 중성점을 직접 접지하고 여기에 지락과전류계전기(50/51N)를 설치하여 지락보호를 하고 있다.

③ 4.16kV 계통 지락보호

중성점 접지저항(NGR ; 600A, 30sec)으로 접지하고 지락과전류계전기(변압기 중성선 ; 50/51N, 중간선로 51G, 말단선로 50G)를 적용하고 있다.

(6) 역전력 보호

① 유효전력 방향계전기

현재 제2공장 자가발전기 출력이 연계변압기를 통하여 역류하거나, 상용전원측으로 역송되는 것을 방지하기 위하여 유효전력 방향계

전기(32P)를 적용하고 있다. 역송문제 검토와 동적모의 결과 로직 개선이 요망된다(6항과 7항 참조).

② 무효전력 방향계전기

상용전원 계통고장시 자가발전기로부터 지상분 무효전력이 역송되므로 무효전력방향계전기(32Q)를 적용하고 있다. Y공장 역률이 진상으로 되면 32Q가 오동작할 우려가 있으므로 저전압계전기(27)를 조합하여 사용한다.

6. 역송검토와 동적모의

(1) 역송검토

① 현재 제2공장(NCC)의 자가발전기에서 연계변압기(TR.E-991)를 통하여 154kV로 제1공장에 전력을 역송하게 되면 역전력계전기의 동작으로 52I1 차단기가 차단된다. 따라서 제2공장내에서 급격한 부하감소



(예 : R-5 부하공급 중단)가 될 때에는 계통분리가 되어 혼란이 야기되므로 역전력 계전기 32P는 분리하고 154kV 한전 수전측 CT회로에 연결하는 것이 타당하다.

- ② 한전 수전측 CT에 연결된 이 32P 보호계전기의 트립회로는 일반적으로 수전차단기(52R2)에 연결하게 되어 있으나 여기서는 제1공장과 제2공장간의 차단기(52R2)에 연결하게 되어 있으나 여기서는 제1공장과 제2공장간의 차단기(52R1)에 연결하여 역전력이 한전측에 송출될 때에는 제1공장과 제2공장간을 서로 분리하여 제1공장은 한전에서 제2공장은 자가발전기에서 전원확보가 가능하도록 하는 것이 안정된 공장운영을 기할 수 있게 된다.

따라서 연계변압기 차단기 52R1이 차단되는 조건으로서는 변압기용량을 초과하고 저주파수 계전기(58.8Hz)가 동작될 때 개방토록 할 것을 권고한다.

154kV 한전 수전측에 새로 설치될 32P 계전기는 한전으로부터 정정치를 받아서 운용하면 된다.

(2) 동적모의

- ① Y공장의 전력설비는 제1공장과 제2공장으로 구분되며 특히 제2공장에는 발전기 2대가 설치되어 있어 한전 수전측 고장시에는 가급적 제2공장의 단독 부하운전이 요구되고 있다.
- ② 현재 공장의 부하규모는 165MW인데 반하여 발전기 상시출력은 35MW 정도이므로 한전측 정전시에는 발전기 단독공급되어야 하므로 한전측 수전계통 사고시에는 무엇보다 먼저 제1공장과 제2공장간의 154kV 차단기(52R1)가 즉시 개방되도록 해야 한다.
- ③ 이에 대한 동적모의 해석을 한 결과 계통 사고로 한전측 수전 차단기(52R2)가 개방될 때에는 동시에 52R1도 개방되어야 NCC 공장의 발전기가 단독운전이 가능하므로 이와 같은 로직회로를 구성해야 할 것이다.

- ④ 또한 현재 NCC공장내에 적용되고 있는 부하 차단 프로그램(Load Shedding Program)은 GTG가 단독으로 운전중 제2공장측 수전차단기(52I1)가 개방되면 주파수가 57.0Hz 이하로 저하되므로 1차 부하차단(R-5, 19MW) 외에 2차로 부하차단을 해야 하며, 2차 부하차단은 58.4Hz에서 0.1sec 이내에 5MW(예 : VCB)가 실행되어야 정전을 방지할 수 있고 주파수가 정상적으로 회복되는 것으로 분석되었다.
이에 대한 추가 로직 개선이 이루어져야 한다.

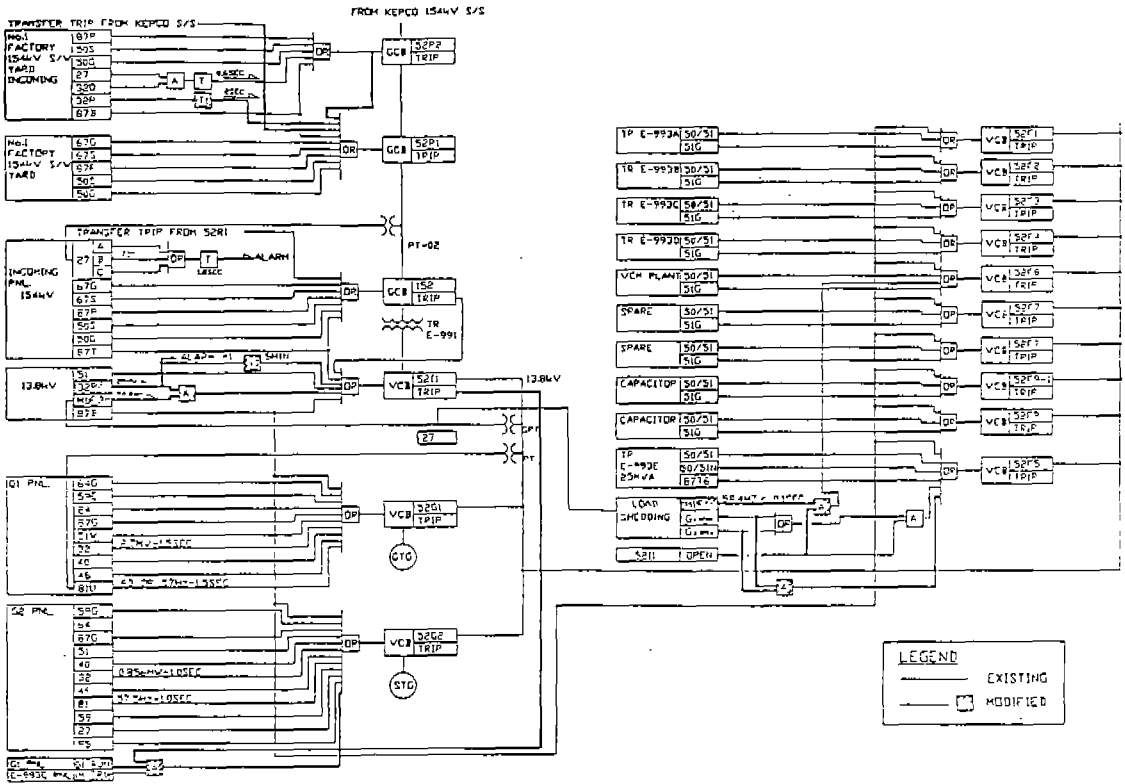
7. 결 론

(1) 로직 개선

- ① 역전력 계전기 32P의 위치는 수전측 차단기(52R2)로 옮기고, 제2공장 연계변압기 154kV측 차단기(52R1)와 동시에 트립시키도록 한다.
- ② 제2공장 154kV 모선 저전압 계전기를 경보용을 사용한다.
- ③ 제2공장 연계변압기 13.8kV측 차단기(52I1)의 트립은 32P와 저주파 수계전기를 함께 동작조건으로 하고, 32P 단독동작시 경보를 발하도록 한다.
- ④ 제2공장 부하차단 프로그램은 자가발전기의 1대만 운전중 연계변압기 13.8kV측 차단기(52I1)가 차단되면 IM부하(차단기 52F5)를 차단하고, 주파수가 58.4Hz 이하로 저하되어 0.1초 이상 지속되면 VCM부하(차단기 52F6)를 차단토록 한다.
- ⑤ 제2공장이 계통분리 운전되고 IM부하가 트립되면 S/T을 트립시키도록 한다. 다만 S/T을 정주파수운전(ISOCHRONOUS)을 변경하면 G/T과 병렬운전도 가능하다.

(2) 로직 개선후의 효과

- ① '94. 6. 26 낙뢰로 인한 154kV T/L 트립 예방.
- ② '95. 5. 9 여천변전소(한전) 사고에 의한 154kV



〈그림 6〉 종합 로직 개선도

T/L 트립 예방.

③ 역송에 의한 전력요금 절감('94. 7부터 '95. 6
까지 연간 약 11억6천만원)

(3) 향후 검토과제 제안

이 사업의 분석범위는 주로 설비의 안전운전에
대한 것이었으나 한전에서 평균 120MW 정도의
전력을 수신하고 있으며 월간 30~35억원의 전력
요금을 지불하고 있는 본 공장으로서 전력손실

감소와 역률개선 및 최대수요 전력관리를 통하여
전력비의 절감을 기하는 것이 중요한 일이 되겠으
며 또한 국가적인 에너지 절약차원에서 권장되어
야 할 사항이므로 향후 검토과제로 제안하는 바이다.

특히 우리실정에 적합한 요금계산용 전력량계와
퍼스널 컴퓨터(PC)를 이용한 수요관리(DSM :
Demand Side Management) 시스템의 개발보급이
필요하다고 생각한다.

'95 제30회 「잡지의 날」 기념표어

잡지읽는 생활속에 밝아오는 정보사회