지식경제부	보도자료	함께하는 공정사회! 더 큰 희망 대한민국 http://www.mke.go.kr
2012년 4월 26일(목) 조간부터 보도하여 주시기 바랍니다.		
·지식경제부 전력산업과 최형기 과장(2110-4897), 김헌태 사무관(2110-4901)		

정전대비…특별관리 변전소 84곳 지정·운영

- 울산산단 정전사고 재발방지 대책 -

- 4월 25일 11:00, 정부합동 조사단 발표 -

□ 지식경제부는 4월25일 11:00시에 작년 12월 6일 발생한 울산 용연 변전소 정전사고와 관련하여 정부합동조사단의 조사결과를 발표

□ 한전이 용연변전소 가스절연개폐기(GIS*) 증설공사(발주 : 한전, 시공 : 흥산전기)를 마치고 준공시험을 실시하고 있던 중에 단로기(스위치의 일종)의 절연부품(이하, 스페이서)에서 절연이 파괴되어 동 정전 사고가 발생하였음

* 가스절연개폐기(Gas Insulated Switchgear) : 고압의 전기를 차단하는 장치로 스위치기어 내부에 전기절연 성능이 우수한 SF_6 가스를 주입하고 밀봉한 설비

○ 스페이서*의 절연파괴로 변전소 내부에 고장전류(지락전류)가 흘렀으며, 이 순간 차단기가 동작하여 변전소 전체가 정전되었음

* 스페이서 : 가스관의 내부도체를 기계적으로 지지하고, 가스관의 일정구간을 막는 절연칸막이 기능을 하는 절연부품임(유사제품 : 애자)

□ 정부합동조사단은 정전사고를 낸 스페이서 표면의 절연파괴 원인에 대해 다음과 같이 설명함

○ 스페이서가 1999년부터 2회에 걸쳐 재사용되면서 ▲경년열화 진행, 철거·보관·시공 등의 과정에서 ▲수분이 스페이서에 부착(흡습), 증설 시공과정에서 가스절연개폐설비(단로기) 안으로 ▲수㎜ 또는 작은 금속 이물질이 유입되었을 것으로 보고 있으며,

○ 이로 인해 금속 이물질에 의한 부분방전이 시작되었고, 이 부분방전이 취약한 스페이서 표면(경년열화, 수분부착)의 절연저항 저하를 가속시켜 절연파괴가 일어났을 가능성이 매우 높다고 설명함

○ 또한, 금속 이물질이 유입되지 않았더라고 스페이서의 경년열화 및 수분부착(흡습) 조건 만으로도 스페이서 표면의 절연파괴는 추후 일어날 수 있다고 설명함

※ 조사단, 정전원인 분석 내용

구 분	정전원인 분석 내용
1.작은 금속 이물질 유입	– 연면방전이 시작되었으나, 이것만으로 절연파괴를 일으킬 정도는 아님 – 단지 부분방전(코로나 방전) 상태로만 존재할 가능성이 높음
2.스페이서 열화	– 1999년부터 2회에 걸쳐 재사용되면서 철거 → 보관 → 위치변경 설치를 반복하면서 기계적, 전기적 경년열화 진행 가능 – 절연부품이 열화될 경우 절연파괴 진행
3.스페이서 수분 부착	– 스페이서 철거, 보관, 再시공 과정에서 수분 부착 가능 – 수분부착 시 스페이서가 견디는 전압보다 낮은 전압에서도 절연파괴 진행

□ 스페이서를 1999년 8월부터 2회 '재사용'하였고, 증설 시험절차를 제대로 이행하지 않은 점(부분방전 시험 생략) 등이 동 조사과정에서 사고를 유발한 문제점으로 드러났음

□ 조사단은 변전소內 고장이 울산산단 입주 기업 등 외부로 파급된 점도 하나의 문제점으로 인식하였음

○ 변전소 내부 시설변경 건설구간에 모선구분 차단기가 설치되지 않아 건설구간으로부터 발생한 고장이 전체 변전소로 확대된 점

○ 오로지 1개 변전소로부터 1개 회선 또는 T분기*로 전력을 공급받는 수용가의 경우 계통고장 시 수용가 정전을 막을 수 없는 계통망의 문제

* T분기 : 1개 회선에 2개 또는 그 이상의 수용가가 연결됨

○ 용연변전소에 중요 수용가(사업장)가 집중된 전력공급 방식의 문제

□ 지경부는 이와 같은 정전원인과 고장유발 문제점을 바탕으로 조사단과 함께 "유사사고 재발방지 대책'을 마련(첨부)하고, 추진과제 19개를 한전에 통보하여 이행토록 조치할 계획이며, 관련자에 대해서는 문책토록 하겠다고 밝혔음

※ 재발방지 대책 추진과제

분 야	추진과제(19개 과제)
1.절연부품 사용	스페이서 등 중요 절연부품 재사용금지 규정 마련 등 2개 과제
2.건설절차	증설 절차서 및 자재보관 매뉴얼 제정 등 6개 과제
3.특별관리 변전소	특별관리 변전소 84곳 지정·운영, 점검주기 단축 등 6개 과제
4.전력계통 보강	변전소 및 송전선로 신설 등 4개 과제
5.작업 상황 공지	변전소 작업 상황을 수용가에 사전 통보 등 1개 과제

○ 지경부는 이 대책을 통해 75만6천볼트 변전소 4곳과, 원전 및 대규모 화력발전소와 연결된 변전소 및 개폐소 28곳, 산업단지에 전기를 공급하는 15만4천볼트급 변전소 52곳 등 총 84곳을 지정하여 지속적으로 특별관리키로 하였음

□ 한편, 한전은 2011년 12월 6일 정전사고 직전에 울산 용연변전소에서 울산산업단지 등 이 일대 446호에 전기(514.8㎿)를 정상적으로 공급하고 있었으며,

○ 용연변전소 안에서 154㎸ 전선로측 GIS설비(단로기 및 차단기)를 증설한 후 준공시험을 실시하던 중에 오후 1시59분에 사고가 났음

□ 이 사고로 울산산단 입주기업 등 이 일대 457개 사업장(446호)에 전기공급이 중단되었으며,

○ 울산산업단지는 입주사업장 785곳 중 22%인 173곳(162호)이 정전되었고, 그 외의 지역에서는 284곳(호)이 정전됨

○ 산단공과 한전이 자체 조사한 결과 동 사고로 피해를 입은 기업은 SK에너지 등 모두 20곳이며, 그 피해액은 332억원으로 집계된 바 있음

첨 부

울산산단 정전사고 원인조사 결과 및 재발방지 대책

2012. 4.

에너지산업국

전력산업과

Ⅰ 정부합동 정전원인조사단 구성・운영

□ 조사단 구성

○ 정전사고의 원인을 정밀 조사・분석하고, 재발방지 대책을 도출하기 위해 정부합동조사단을 구성하여 2011년 12월 7일부터 활동 착수

정부합동 정전원인조사단

구 분	이름 및 소속
단 장	김재철 숭실대학교 교수
단 원	민석원 교수(순천향대), 이우영 팀장(전기硏), 류형기 실장(전기硏), 故김광화 박사(전기硏), 김종혁 센터장(화학硏), 안병관 부장(전기안전공사) 양정재 팀장 및 변성현 차장(전력거래소)
간 사	김헌태 사무관(지경부 전력산업과)

※ 지경부 철강화학산업과 및 석유산업과 담당관은 해당기업의 정전피해 동향 파악

□ 조사내용

○ '11.12.7일부터 사고현장(울산 용연변전소) 조사(3일간), 현장 증거물에 대한 전문기관 시험분석을 실시하는 한편,

- 조사단원간 심층 원인분석 회의(11회)를 실시하고, 조사단 분석에 대한 관련기관의 의견수렴 절차를 진행하는 등 객관성 확보에 노력

정부 합조단 조사내용

구 분	일 정	조사내용
현장조사	'11.12.7~8, 12.13	증거물, 시공절차, 자재구매·감독 등에 관한 문서 습득
시험분석	'11.12.7~12.13	전기연구원(非파괴검사), 한국화학연구원(성분분석)
심층분석 회의	'11.12.9~'12.1.31 (11회)	정전발생 시작점, 시공과정의 문제, 시험결과 분석 재발방지 대책 강구 등
관련기관 의견수렴	'11.12.19~2.6(6회)	정전원인 중간 조사내용에 대한 해당기관의 의견을 수렴 * 참석기관 : 한전, 제작사(효성), 시공사(흥산전기, 中企業)
결과도출 회 의	'12.2.6	정전원인 및 대책 보고서에 대한 소명회의 * 참석기관 : 한전, 제작사(효성), 시공사(흥산전기)
서 면 의견수렴	'12.2.6~4.13	조사단의 최종 보고서에 대한 해당기관 입장 제출 및 검토, 세부 재발방지 대책 마련

Ⅱ 정전사고 원인 분석

1 정전사고 前後 상황

1 정전사고前 상황

○ 울산화력발전소가 공급하는 용연변전소 내의 154㎸ 전선로측 GIS* 개폐시설(단로기) 증설작업 및 시험 완료 후, 無부하 가압 중이였음

* 가스절연개폐기(Gas Insulated Switchgear) : 고압의 전기를 차단하는 장치로 스위치기어 내부에 전기절연 성능이 우수한 SF_6 가스를 주입하고 밀봉한 설비

- 증설시공을 위해 변전소內 2개 모선 중 1개 모선을 휴전하고 1개 모선만으로 울산산단 등 이 일대에 전력(514.8㎿)을 공급중인 상태이었음

※ 평상시에는 전원공급 신뢰성을 위해 2개 모선으로 운영

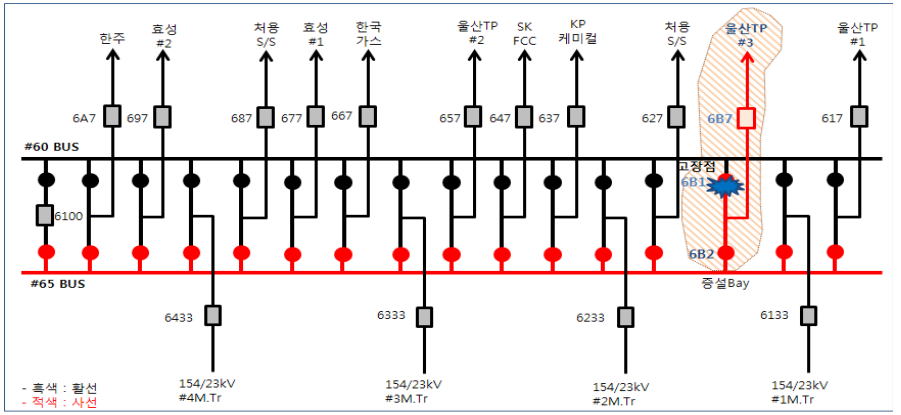
2 정전사고 발생

○ '11.12.6 13:59경, 증설작업 중인 개폐시설(단로기)과 모선이 연결 접속된 스페이서*에 절연이 파괴되어 지락(누전)이 최초 발생

* 스페이서 : 가스관의 내부도체를 기계적으로 지지하고, 가스관의 일정구간을 막는 절연칸막이

○ 모선보호 계전기가 설비보호 및 고장확대를 방지하기 위해 0.058초만에 변전소 전체의 전기를 차단시킴으로서 본 사고가 발생

용연변전소 내부 단선도



3 정전사고 발생後 조치 사항

① 용연변전소 내부 모선 복구

- 사고발생 직후, 휴전 중인 모선(#65BUS)측 접지를 제거하는 조치를 취하는 등 인근 변전소로부터 전기를 공급받기 위한 준비를 완료

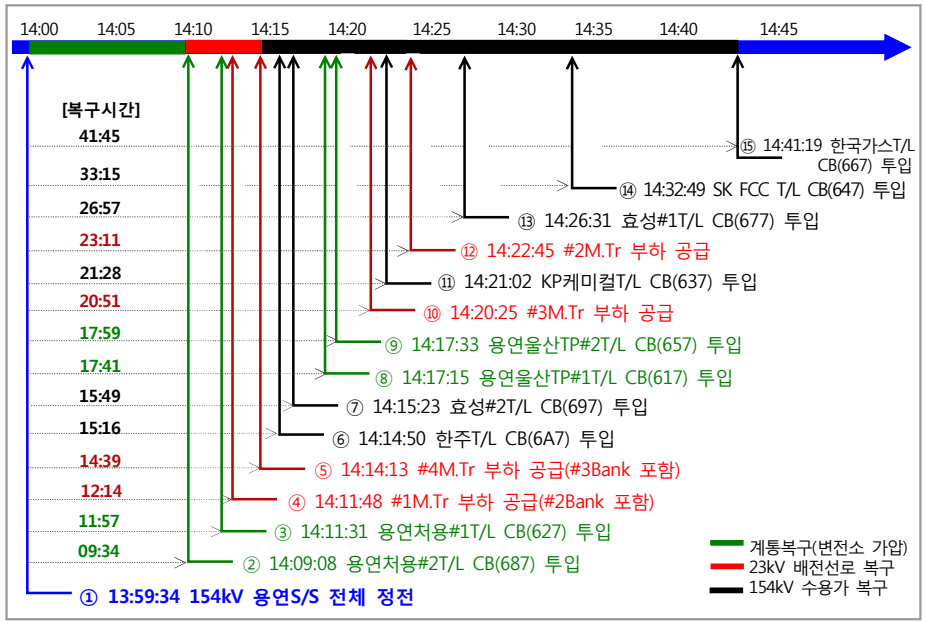
- 인근 처용변전소와 용연변전소간 선로를 연결(차단기 투입)하여 사고발생 후 9분34초 만에 동 변전소에 전기가 공급됨

② 수용가 공급선로 복구

- 이후 수용가 측의 전기설비 이상有無를 확인한 후 변전소 모선을 통해 사고발생 후 12~41분 만에 수용가 측에 전기를 공급

※ 154kV전용선로 : 15~41분만에 복구
※ 22.9kV선로 : 12~14분만에 복구

용연변전소 고장복구 타임 차트



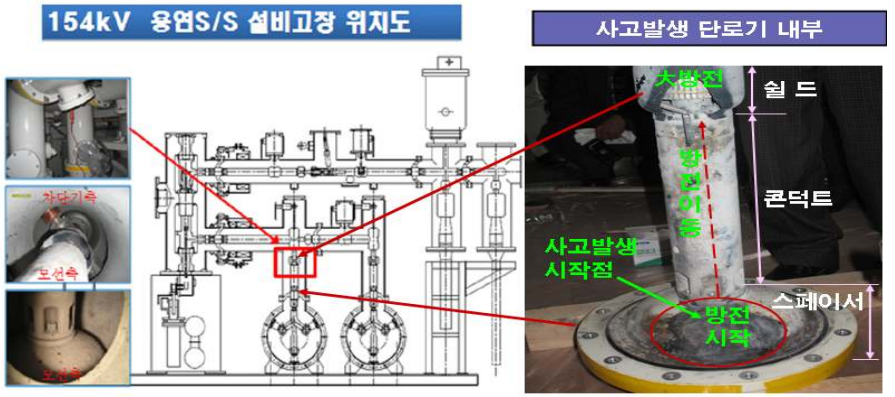
3 정전원인 분석

1 사고발생 과정

○ 스페이서 표면에서 부분방전이 최초 시작, 이 방전이 일정기간 지속되면서 스페이서의 절연성능을 약화시킴

○ 스페이서 표면에서 시작된 부분방전은 절연약화가 절정에 달한 시점에서 큰 전류로 확대되었고 이어 콘덕트 상부 말단인 쉴드*쪽으로 이동한 후 大방전과 함께 차단기가 동작하여 변전소 전체가 정전됨

* 쉴드 : 단로기(개폐기) 내부도체 부품으로서 고정자와 가동자의 전기적 접속점임



2 고장발생 원인 분석

① 금속 이물질 유입에 의한 가능성

- 단로기 하부측 스페이서의 연면방전은 금속 이물질에 의해 부분방전이 시작되었으나, 동 이물질만으로 사고발생 가능성이 낮음

- 이는 논문보고* 자료에 따르면 금속이물이 스페이서에 부착되어 내부 도체와 4㎜~10㎜이내의 거리일 때 절연파괴전압은 100kV~250kV임

* 논문 : IEEE Trans. EI, Vol. 24, No 6, pp 1071-1076

- 그러나, 용연변전소에 가해진 상전압은 92.43kV에 불과하였기 때문에 절연파괴 보다는 부분방전(코로나 방전) 상태로만 존재할 가능성이 높음

② 스페이서 수분부착(흡습)에 의한 가능성

- 수분이 스페이서에 부착될 경우 스페이서 표면저항이 저하되어 상기 절연파괴 전압(100kV~250kV)보다 낮은 전압에서도 절연파괴가 일어날 수 있음
- 문제의 스페이서는 철거, 보관, 再시공 과정에서 수분이 부착되었을 것으로 추정
- 이 부분방전에 의해 실리카(SiO_2)와 수분(H_2O)이 반응할 경우 상호 연쇄반응을 일으켜 절연저항이 낮아진 것으로 해석됨

③ 스페이서 표면 손상 및 경년 열화에 의한 가능성

○ 동 스페이서는 1999년부터 2회에 걸쳐 재사용되면서 철거 → 보관 → 설치가 반복되어 전기적, 기계적 경년열화 진행 가능

※ 경년열화 판단 근거 : 스페이서에 가해진 하중의 방향이 횡축('99년, '08년), 종축(최근)으로 변경되었고, 再시공과정에서 공기 노출 3회, 한전자체 보관 2회

○ 이 조건에서 상기의 이물질, 스페이서 수분부착(흡습) 등 상기 조건이 중첩되면 단시간에 연면방전으로 진행될 가능성이 높음

7 고장원인 분석 결론

○ 스페이서 방전 흔적(tracking)이 사진과 같이 주 트랙킹(main tracking)과 부 트랙킹(sub tracking) 등의 여러 줄기로 형성

○ 스페이서 재활용과 설치상태 변경(수직 스페이서를 수평 스페이서로 활용) 등으로 스페이서에 전기적, 기계적 열화 또는 흡습환경을 제공함

○ 증설 GIS 단로기 내에 금속이물의 부분방전시작과 취약한 스페이서 표면 절연상태의 저하로 인하여 스페이서에서 연면방전이 발생한 것이 사고의 주요 원인일 가능성이 매우 높음

4 정전사고 유발 요인과 문제점

□ 정전사고 유발 요인

◈ 본 고장은 실제 부하를 가하지 않은 상태에서 증설 준공시험 중에 발생하였고, 낙뢰 등 외부로부터 고장을 유발할 요인이 유입되지 않았던 점을 고려해 볼 때

◈ 동 사고를 일으킨 요인은 스페이서 재사용, 시공과정 및 절차상의 문제점이 있었기 때문으로 분석하고 다음과 같이 유발요인을 제시

① 작은 이물질, 흡습상태를 육안으로 확인하기 어려운 특성이 있었으나, 시공前 육안 검사와 화질이 낮은 내시경으로 이를 검사한 문제

② 시공 후 상용주파 내전압 시험과 부분방전 시험을 실시하지 않아 사전에 이물질, 절연물의 열화와 손상 등을 파악하지 못한 시험 절차상의 문제

③ 문제의 스페이서는 1999년 8월부터 약 12년동안 2회에 걸쳐 철거와 보관, 시공을 반복하면서 보관규정과 사전 시험 없이 스페이서를 재활용한 문제

④ 기기 제작사의 시공 감독자(Supervisor)의 역할이 기술지도 수준 정도로 명확하지 않아 책임범위에 대한 구체성이 부족한 문제

□ 수용가 정전 확대 유발요인

① 시공구간을 분리할 수 있는 모선 구분차단기 미설치 문제

② 변전소로부터 수용가에 공급하는 전력계통이 단일 변전소에서만 1개 회선 또는 T분기로 구성된 취약한 계통망의 문제

③ 한곳의 변전소에 중요 부하가 집중된 전력공급 방식의 문제

④ 증설과정은 단일 모선으로 운전해야하는 불가피성을 수용가에 사전 통지함으로써 수용가로 하여금 정전 시 대비토록 알리는 문제

Ⅲ 유사고장 재발방지 대책

1 전력계통 신뢰도에 영향을 주는 부품 재활용 금지

○ 스페이서 등 중요 절연부품은 재활용을 금지, 다만 재사용이 불가피한 일반 절연부품의 경우 사용前後 절연 성능확인 실시

- 관련규정*을 개정하여 재사용 금지 및 가능 절연부품을 분류하고, 재사용 가능 부품에 대해서는 절연 성능시험 절차와 재사용기간 등의 기준을 마련 * 관련규정 : 한전의 송·변전 건설절차서

2 품질관리 절차 개선

① GIS 증설작업 시 부분방전 시험절차 개선

○ 시공 Bay별 일괄 측정방식에서 구획별 개별 측정방식으로 변경하여 구획별 문제점을 신속히 발견할 수 있는 시험체계로 개선

※ 예시 : 용연변전소 증설 개폐기(단로기) GIS구역을 대상으로 시험실시

② 상용주파내전압 시험강구

○ 한전이 현장여건을 고려하되 내전압 크기 및 시간조정 등을 통해 시험 가능한 방안을 강구

- 특히, 상용내전압 시험 또는 無부하 가압시험의 전원은 전력계통과 전기적으로 분리·시행하여 시험 중 정전사고를 방지

③ GIS 자재보관 매뉴얼 제정 및 조립환경 개선

○ GIS자재 구매 또는 GIS해체 후 기자재 보관 시 온·습도 유지기준, 보관함 규격 등 관련기준을 정하여 “자재 보관 매뉴얼”을 제정

○ GIS자재 조립 시 이물질 유입 방지를 위한 “내부환경 관리기준” 이행 절차 마련

④ 슈퍼바이저(Supervisor)의 역할과 책임을 구체적으로 부여

○ 한전이 제작사와 구매계약 체결 시 제작사가 파견하는 슈퍼바이저의 역할과 책임의 범위를 구체적으로 정하여 부여

- 특히, 슈퍼바이저 책무를 기술지원만으로 한정하거나, 기술지원 뿐만 아니라 시공감독까지 그 책무 범위를 명확히 구분

⑤ 변경공사 시 공사계획 신고 실시

○ 국가산업단지 등 154㎸ 변전소의 경우 변경공사 시 공사계획 신고제도 도입을 통한 사용전 검사 실시(전기안전공사)

- 전기사업법 시행규칙 별표5* 개정을 통해 “전기사업용 전기설비의 공사계획 신고대상”에 동 설비를 신설

* 별표 5 : 전기사업용 전기설비 공사계획의 인가 및 신고의 대상(규칙 제28조 제1항)

⑥ 송·변전 변경(증설) 건설절차서 제정

○ 운영 중인 “송·변전 건설 절차서”와는 별도로 전기설비의 변경 특성을 고려하여 현실적인 변경(증설) 절차서를 마련

- 특히, 최근 5년간 발생된 유사사고 재발 방지대책을 반영

3 특별관리 변전소 지정·운영

① 특별관리 추진 방향

- 정전 또는 고장파급 시 전력계통 불안정, 환경오염 및 경제적 손실 등 사회적 파장이 큰 중요 변전소의 사고를 예방하기 위해 이를 대상으로 특별관리를 시행

② 특별관리 변전소 지정 : 84곳

- 765kV 변전소 : 新서산, 新안성, 新가평, 新태백 등 4곳
- 원전 및 대단위 유연탄발전소 연계 변전소 및 개폐소 : 28곳
- 154kV 전용선로 4회선 이상인 산업단지내 변전소 : 52곳

※ 전력계통 신뢰도 고시에 동 지정 기준 및 대상을 명시하여 개정

③ 특별관리 내용

○ 신설 변전소 모선구분 차단기 설치기준 확대

- 산업단지內 입주기업에 공급하는 154㎸ 전용선로가 3회선을 초과할 경우 변전소에 모선구분 차단기를 설치하여 증설시공의 안전성을 강화
- 한전의 변전설계기준의 모선구분방식 및 상배치기준을 개정

※ (현재) 송전선로 12회선 초과 시
※ (개선) 송전선로 12회선 또는 수용가 전용선로 4회선 이상 시

○ 무인 운영변소는 전력예비력 부족 및 기상악화 시 유인근무 체제로 전환

※ 한전의 '변전소 운전기준' 개정

○ 변전소, 송전철탑 등 전력설비별 관리책임제 운영하고, 변전설비 진단 주기 단축(3개월 → 2개월) 등을 실시

○ 변경공사 시 전기안전공사의 사용前 도입·실시 * 전기사업법 시행규칙 개정

○ 정전피해 최소화를 위한 수용가 자체 선로를 개선토록 유도

※ 수용가 자체 154kV이상 선로를 i)1회선에서 다중회선으로, ii)T분기 선로에서 전용선로로 개선되도록 수용가 측과 협의 추진

○ 매년 상·하반기별 운영현황 및 관리 실태 등 제반사항을 전기위원회에 보고

④ 특별관리 대상 변전소 일제 정밀점검 실시

○ 특별관리 대상 변전소에서의 유사사고를 예방하기 위해 정밀점검 일제 실시

- 점검일정 : '12.3월~5월
- 점검반 구성 : 한전 지방 전력소(53개)에 각각 점검반을 편성하고,
  ※ 반장 : 전력소장
- 점검내용 : 동 사고의 원인유발 문제점과 재발방지 대책 중심

4 울산산업단지 전력공급 계통망 보강

① 용연변전소 부하 분산 추진

○ 용연변전소 부근에 154kV 변전소를 신설('15.4월)

○ 용연변전소와 울산화력발전소간 연결된 154kV 송전선로 1회선을 증설('12.6월)

② 울산산단 전력계통 보강 추진

○ 345kV 동울산 변전소 건설('13.12월)

○ 345kV 신울산과 신온산간 송전선로 2회선을 건설('13.6월)

5 모선 휴전작업 시 수용가와 사전 통보 체계 구축

○ 변전소 모선 휴전작업 시 수용가 사전 통보 의무화

※ 전력시장운영규칙 개정(휴전작업)

참고 특별관리 대상 변전소

대상	변 전 소	수 (중복 제외)
765kV 변전소	신서산, 신안성, 신가평, 신태백	4
국가산업단지 연계 변전소 (154kV 전용선로 4회선 이상인 산업단지)	여수공단 : 여수T/P, 여천, 용성, 호남T/P, 화치 울산·온산공단 : 신울산, 매암, 방어진, 용연, 울산, 울산T/P, 처용, 신온산, 온산 구미공단 : 구미, 금전, 남인동, 인동, 광평, 남구미, 산동 대산공단 : 당진, 대산, 서산, 성연, 송악 아산공단 : 서천안, 신당진, 신탕정, 온양, 인주, 탕정 군산공단 : 군공, 군장, 내초, 동군산, 소룡, 장항 포항공단 : 신포항, 영일, 포항 창원공단 : 삼정, 신김해, 안민, 완암, 월림, 진해, 창공 청주공단 : 봉명, 서청주, 북청주, 오창	52
원자력발전소 및 연계 변전소	영광원자력 : 영광1,2,3N/P, 신남원, 신김제, 신광주 울진원자력 : 울진1,2,3N/P, 동해, 신태백, 신영주 고리원자력 : 고리N/P, 신울산, 울주, 신양산 월성원자력 : 월성N/P, 신포항, 울주, 신울산	변전소 : 7 발전소 : 8
대용량 화력발전소 및 연계변전소	하동화력 : 화동T/P, 광양, 의령 당진화력 : 당진T/P, 신서산 보령화력 : 보령T/P, 아산, 청양 태안화력 : 태안T/P, 신서산, 신당진 영흥화력 : 영흥T/P, 신시흥 삼천포화력 : 삼천포T/P, 신마산, 고령, 신김해	변전소 : 13
합 계		84

※ 자료 : 한전제공