

○○ 펌프장 전동기 제어반 사고사례

자료제공/기술연구팀

* 협회 기술연구팀에서 실시한 ○○펌프장 전동기 제어반 사고조사 내용을 게재하오니 회원 여러분의 전기설비에 대한 안전관리업무에 참고하시기 바랍니다.

- 전기설비의 사고에 대한 경험과 사례 또는 해결하지 못한 사고 사례가 있으신 회원께서는 언제든지 협회 교육훈련팀으로 그 내용을 보내주시면 채택하여 익명설비로 게재 또는 해결방안을 수립하여 보내드리겠으니 많은 성원과 참여 바랍니다.

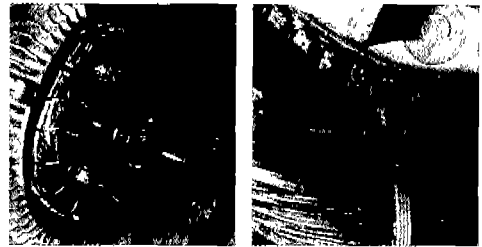
1. 현황

가. 사고상황

- 1) 가압펌프장의 가압펌프는 7월 18일부터 시설되어 사용 중 이었음
- 2) 8월 7일 저녁(오후 10시경)부터 급수장의 물 보충을 위해 펌프를 가동
- 3) 8월 8일 새벽 3시 30분 경 수영장의 물이 적절히 채워진 것을 확인하고 펌프정지를 위해 근무자가 원방 제어반을 조작하려 하였으나 이미 꺼져있는 상태로 발견
- 4) 근무자는 별다른 이상의 징후가 없는 것으로 판단하고 작업일시 종료
- 5) 동일 새벽 5시 40분 경 급수장의 물을 마저 채우려고 시도하였으나 동작불능 상태임을 발견
- 6) 본사 기술팀과 관리사무실 등 기술관련 담당자에게 연락을 취하던 중 감리팀으로부터 주 차단기상태 확인에 관한 기술 지도를 받고 펌프실로 근무자 이동
- 7) 지하펌프실의 개구부를 열자 연소가스가 충전 되어 있음을 확인함
- 8) 지하펌프실내 판넬을 열고 판넬 내부가

전소되어 있음을 발견함

- 9) 전동기를 분해한 결과 1상 코일 소손을 발견



〈전동기 소손상태-1상 증간단락임〉

나. 운전조작상황

- 1) 펌프는 제설기용으로 납품되어 제작된 기기이지만 하절기 또는 춘추절에는 잔디 썰매용 급수로 사용중임
- 2) 통상적으로 밸브 제어에 의한 운전이 주된 운전 형태로서 펌프 가동 후 현장에서 사용량 만큼의 밸브조작
- 3) 펌프용 전동기는 120마력(90kW), 기동방식은 Y-Δ 기동방식으로서 사용전압 380V/3상4선식 공급으로 사용 중
- 4) 기상청 기후 정보결과 당시의 ○○시의

기후 Data

(단위 : °C, mm)

일자	평균기온	최고기온	최저기온	강우량
99년 8월 7일	28.6	34.1	23.1	해당없음
99년 8월 8일	28.6	33.8	23.1	6.9

※ 기상청 일기 데이터베이스 기준임

다. 사고현장상황

1) 피해상황

가) 펌프용 전동기 1대 소손 : 내부 코일 1상 층간 소손

나) 제어 판넬 외관상태 : 정상(4면 동일)

다) 제어 판넬 내부 : 전소(4면 동일)

(1) 가압 펌프장#1 P/N

(가) 전원측 주차단기와 전원공급 Box (하부)를 제외한 모든 부품의 소손 및 훼손

(나) 전선 및 접점의 아크 발생에 따른 증발과 소착, 용착으로 배면 P/N 과 Door에 금속성분 증착, 탄소성분 증착

(다) 전동기용 차단기 2개소 Trip동작 상태

(라) 주변 각종 도체의 용단 : 특히 주 M/S의 1차측 주변이 심함

(2) 가압 펌프장#2 P/N : 전소

(가) 전동기용 차단기 1개소 Trip (#1 P/N방면으로서 좌측 첫번째 차단기)

(나) 주변의 탄소증기성분에 의해 위로 부터 2/3부위 까지 탄소 증착-상부가 더 심함

(다) 도선상태 양호

(3) 가압 펌프장#3 P/N : 전소

(가) 차단기 Trip 없음

(나) 주변의 탄소증기성분에 의해 위로

부터 3/5부위 까지 탄소 증착-상부가 더 심함

(다) 도선상태 양호

(4) 콘덴서반 P/N : 전소

(가) 주변의 탄소증기성분에 의한 상단 1/2 부위까지 탄소 증착-상부일수록 심함

2. 기술검토사항

상기와 같은 상황에 대하여 사고 조사 후 검토된 기술의견은 아래와 같다.

가. P/N 제작관련 기술사항

1) Part List : 제작시방서 자료 참조

2) Panel별 발화 예상지점

가) 탄소성분의 소착 진행정도 파악 결과

가압 펌프장#1 P/N > 가압 펌프장#2 > 가압 펌프장#3 > 콘덴서반

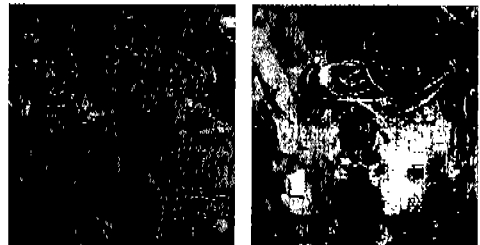
의 순서로 소착 되어 가압 펌프장#1 P/N에서 최초폭발(차단기폭발)이 진행되었음을 알 수 있다.

나) P/N내부의 전선 용단부위 정도파악

가압 펌프장#1 P/N > 가압 펌프장#2 > 가압 펌프장#3 > 콘덴서반

의 순서로 용단 되어 가압 펌프장#1 P/N에서 최고열이 진행되었음을 알 수 있다.

다) P/N내부의 금속성분 용착, 증착의 정도



〈M/S의 상태-좌측 : PUMP #1, 우측 : PUMP #2〉

가압펌프장 #1 P/N에서만 발견되어 가압펌프장 #1 P/N에서 최고아크가 진행되었음을 알 수 있다.

라) P/N내부의 차단기 트립상태 정도

가압 펌프장 #1 P/N 2개소

가압 펌프장 #2 P/N 1개소

가압 펌프장 #3 P/N 없음

콘덴서반 P/N 없음

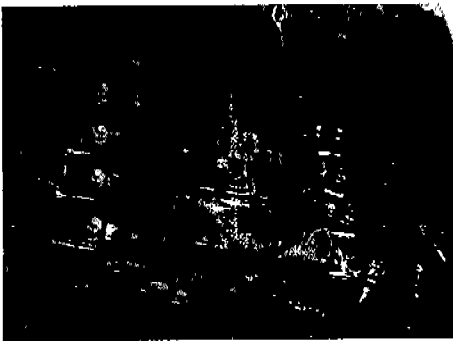
의 순서로 차단기가 Trip되어 가압 펌프장 #1 P/N에서부터 단락이 진행되었음을 알 수 있다.

〈잠정결론 1〉 상기의 상황을 종합해 볼 때 발화의 최초 지점은 가압 펌프장 #1 P/N임을 판단할 수 있다.

3) Panel 내부에서의 발화지점

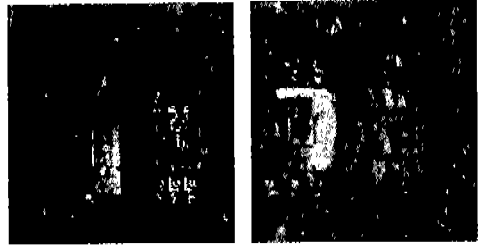
가압 펌프장 #1 Panel의 내부에서 발화지점을 추정한 결과는 다음과 같다.

가) 주차단기(ABS604/600AT)는 핸들상태가 정상이며 외관상태도 극히 정상이므로 원인제공자의 역할이 아님을 알 수 있다.



〈주차단기 상태〉

나) 펌프용 차단기(PUMP #1, PUMP #2)는 그 2차측 전선이 용단되고 핸들은 Trip상태이므로 단락전류의 차단동작이 실현되었음을 알 수 있으나 외관이 정상이고 2차측 단자도 정상이므로 원인제공자가 아님을 알 수 있다.



〈PUMP용 주차단기 - 좌 : PUMP #1, 우 : PUMP #2〉

다) PUMP #1용 M/S는 그 1차측 도입선이 심하게 용단 되었으나 아크런너박스를 전개한 상태에서 그 내부는 정상상태로 발견되어 외부로부터 아크의 침습을 받았음을 알 수 있다.



〈M/S의 접점과 아크런너박스 - PUMP #1용〉

라) PUMP #2용 M/S는 그 1차측 도입선이 심하게 용단 되어 있었으며 아크런너박스를 전개한 결과 1차측 M/S에서 R/S/T단자 중 R측 단자가 심하게 부식되었음을 발견하였다.



〈M/S의 접점과 아크런너박스 - PUMP #2용〉

마) 특히 동위치의 접점은 사고 이전부터 산성 수액에 의한 산성부식(적색부식)과 염기성수액에 의한 염기성부식(결정석출)현상이 동시에 발견되어 주변의

응결수나 침투수에 의해 부식이 진행되고 있었음을 알 수 있다.



〈PUMP#2용 M/S 4층 R/S/T단자 중 R측 단자가〉

바) 또한 동 위치는 부식에 따른 부차적 결과로 발생하는 발열로 인하여 접점 온도상승에 의한 산화부식(흑화 현상)의 초기단계적 색상을 띠고 있어 사고시점 근래에 비교적 빠른 부식이 진행되고 있었음을 알 수 있다.

사) P/N Door측에 도체 용융 증착에 따른 금속 증착이 발견되었는 바, 이 부분의 증착 강도는 위에서 열거한 PUMP #2용 M/S의 위치에 집결 되어있어 이 부분에서 강열한 아크 현상이 있었음을 증명하고 있다.



〈P/N Door측의 도체 용융 증착에 따른 금속 증착〉

〈잠정결론 2〉 상기의 상황을 종합해 볼 때 발화의 최초지점은 PUMP #2의 4층 M/S이며 주변의 침투수에 의한 접점부식이 정점에 달한 상태에서 발생한 아크가 주변공기를 이온화 시켜 발생한 상간 단락(트래킹 현상)임을 판단할 수 있다.

나. 다른 원인으로 사고가 발생 될 가능성 고찰

1) 주변의 현황 : 제어 P/N 이외의 소손 기기가 없으므로 가능성은 전무함

2) PUMP의 층간 단락 : PUMP의 층간 단락이 선 진행된 후 사고로 이어졌을 가능성을 고려하면 다음과 같다.

가) 층간 단락이 먼저 진행된 후 M/S의 접점과열 부식이 원인이 되어 사고가 발생되기 위해서는 해당 M/S의 층간 단락 된 회로와 연결된 M/S의 접점은 1차측과 2차측이 거의 같은 정도로 열화 부식(흑화 현상)이 진행 되어있어야 하나 현장에서 발견된 상태는 1차측만 부식되어 원인이 되지 못함을 알 수 있다.

나) 층간 단락이 먼저 진행된 후 사고가 발생되었다면 접점부위에서 발견되는 산성, 염기성 부식은 일어날 수 없으며, 또한 층간 단락은 2개상(예 R상-S상, 또는 S상-T상)에 영향을 주어 2개상에서 이상징후가 발견된다. 따라서 층간 단락이 선 진행된 것으로 보기는 어렵다.

3) PUMP의 과부하운전

가) PUMP 과부하 보호회로

(1) 전동기 용량 : 90kW 125HP(166.5A)

(2) 전동기 보호회로 : MCCB 203AF/225AT, EOCR SS-05/(CT 200 : 5)

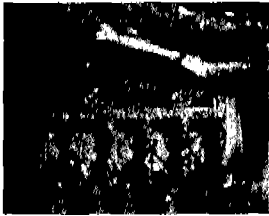
(3) 보호장치 설정치 확인 결과 : D-Time = 약 17sec, Load = 7A, O Time = 약 6sec

(4) 기본조건 : 전동기 보호장치는 현재 사용 된 전동기의 정격전류에 대하여 80 ~100%로 설정되어 사용하며, 기동시 과전류는 기동시간만큼의 지연동작을 위해 D-Time으로 적절히 설정되어야 한다.

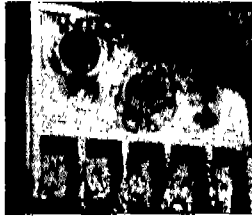
(5) 적정성 판정 : 전동기의 적정운전을 위해 설정 될 Load값은 4.15A임에 불구하고 현재 설정값인 7A는 280A의



〈EOCR 주변〉



〈PUMP #1용 EOCR〉



〈PUMP #2용 EOCR〉

부하를 허용하고 있어 과부하상태로 사용시 전동기의 소손 사고로 이어져 여타의 사고로 확산될 개연성이 있음
 (6) 이 설정값은 MCCB의 차단능력 225A보다 큰 값으로 결국 EOCR은 정상 Trip기능을 상실한 상태임

나) PUMP 과부하 운전에 의한 사고가 발생 검토: PUMP운전이 과부하 운전 되었을 경우 이를 차단하지 않으면(현재시설 상태는 68%의 과부하 까지는 차단할 능력이 없음) 전동기의 전 코일이 소손 되어 전동기의 소손이 선행되므로 전동기가 전소된 상태로 발견된다.

접점도 동시에 과열이 되는데 이 때는 3상이 동시에 과열되므로 M/S의 3개상 접점이 모두 과열(혹화 현상)이 발견되게 된다. 따라서 1상을 제외한 다른 상이 정상임을 고려할 때 과부하 차단능력과 관계없이 본 사고는 과부하 운전 에 따른 사고가 아님을 알 수 있다.

4) 우수침입에 의한 사고의 가능성

가) 사고당시 8월 3일까지 강우가 극심하

였으나 사고당일은 청명한 날씨였다.

나) 우수침습에 의한 사고는 침습시 즉각 발생하는 사고이므로 이에 대한 개연성은 없다.

다) 또한 P/N내부로의 우수침습에 따른 흔적이 없다.

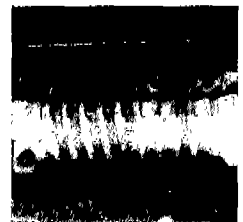
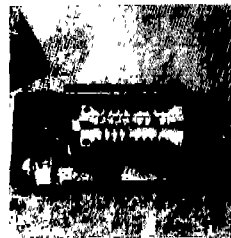
5) 결로에 의한 사고의 가능성

가) P/N이 설치된 장소는 습도가 매우 높아 항상 이에 따른 결로가 사고 이후에도 P/N내부에 계속적으로 생기고 있다.

나) 결로는 그 특성상 발생위치의 특징이 없이 발생되므로 사고당시에도 내부에 결로는 상당하였을 것으로 판단된다.

다) 특히 사고 전후로 발생한 펌프실의 침수와 관련하여 결로가 심하였을 것으로 판단된다.

라) P/N내부에는 결로를 방지할 결로방지 히터가 설치되어 있는 바 히터는 단선 된 채 발견되어 정상동작을 하지 않았음을 알 수 있으며 만일 사고당시 결로방지 히터가 정상이었다 하더라도 작동용 온도센서는 20℃에 설정되어 당시 기온을 기준 할 때 동작조건이 되지 않았음을 알 수 있다.

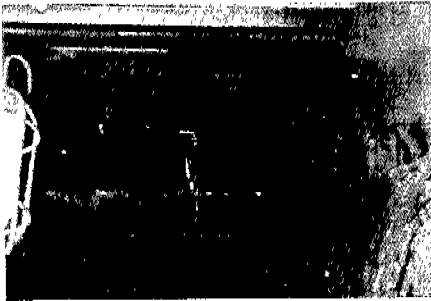


〈P/N 내부의 결로방지 히터〉

마) 건물측에서 결로 된 응결수는 결로당시는 중성이지만 시멘트 등에 포함된 Ca⁺, K⁺ 등과 반응하여 알칼리계 수질로 변하게 되고 이 수질이 금속류와 만나면 그 표면에 결정석출이 이루어 진

다(예 : 석회동굴의 종유석).

바) <잠정결론 2>에 제시된 PUMP #2용 M/S의 R상측 연직 상부방향에 판넬용 형광등이 설치되어 있으며, 형광등 소켓이 녹지 않았을 경우의 위치와 일치됨을 발견하였다.



<P/N 상부의 형광등 소켓>

다. 배기팬이 시설되어 있음에도 불구하고 일상적으로 배기팬이 가동하지 않아 (시공자측 의견) 가습된 공기의 체류로 인하여 결로현상이 더욱 가습되었을 개연성이 큼

<잠정결론 3> 지하실 내부습기에 의해 결로된 P/N외부 또는 P/N의 응결수가 P/N내부의 천정부에서 형광등 소켓부위로 모여 낙수될 때 그 하부에 있던 PUMP #2의 1측 M/S중 R상측에 떨어져 이에 의한 부식의 진행으로 점점부식이 발생되었음을 판단할 수 있다.

3. 결론

본 사고의 사고상황을 면밀히 검토한 바 아래와 같이 그 발생 경위를 추정한다.

- 지하에 시설된 제어 판넬과 주변은 습기가 많아 항시 결로가 발생하던 중 결로방지 히터의 동작도 멈추어 있어서 판넬 내부까지 결로가 발생하였다

발생된 결로는 그 입경이 커짐에 따라 낙수 되거나 주변의 낮은 장소로 이동하게 되는데 천정에서 낙수져서 P/N의 상부로 모인 응결수의 일부와 P/N내부의 천정에서 결로된 응결수의 일부가 P/N내부의 형광등 소켓으로 모여 2차 낙수가 된다.

낙수진 응결수는 PUMP #2 M/S의 R상측에 집중적으로 떨어져서 해당부위의 접점을 부식하게 되므로 이로 인해 점점접촉 불량으로 발열을 일으키고 이 발열은 케이스(탄소중합체)를 열화 시켜 트래킹 현상(탄화 현상된 표면에 전류가 흐르는 현상)을 유발한다. 일단 트래킹 현상이 발생하기 시작하면 그때 발생하는 이온화 공기와 가중되는 발열로 M/S의 절연파괴는 가속이 붙게 되며 이 모든 조건이 선간 단락의 조건에 이를 때 강열한 아크와 함께 M/S의 표면이 폭발하며 주변의 다른 M/S 또는 MCCB를 탄화 시켜 2, 3차의 트래킹 도미노가 발생되고 순간 전소에 이르는 상태가 된 것으로 판단된다.

4. 향후대책

가. 결로방지 히터 설치 및 관리

결로의 특성은 같은 공간에서 0.1℃만 높아도 그 부위에는 발생 되지 않는 특징이 있어 결로방지 히터를 이용하게 된다.

일반적으로는 온도에 의해 동작되도록 제작되나 당 펌프실은 습도조건이 악조건이므로 일정습도 이상에서도 동작이 되도록 습도센서와 병행조건으로 사용하기를 권장한다.

아울러 히터가 끊어졌을 경우 이를 경보하는 장치도 부가하면 한결 안전하게 사용할 수 있다.



나. 형광등 취부 위치 조정

P/N의 Door와 근접하는 위치에 시설하여 결로에 의한 낙수가 계전용 부품에 떨어지지 않도록 시설한다.

다. 전선 인입구 조정

배관을 통하여 우수가 침입 할 경우 판넬 내부로 침습할 위험이 크므로 배관과 P/N 사이를 U로 처리하는 장치가 필요하다.

라. 환기구의 시설

배기팬은 시설되어 있으나 환기구가 시설되어 있지 않아 적절한 환기가 이루어지지 않을 것으로 예상되며, 아울러 배기팬의 효율도 나쁠 것으로 판단되고 있다. 따라서 환기구 설치로 환기효율을 높이면 습도조건이 상당히 개선될 것으로 판단된다.

마. 과부하 보호장치의 선정

본 사고는 과부하에 의한 사고가 아니라 하더라도 과부하가 발생되었을 경우 사고로 전이되었을 개연성이 매우 크다.

EOCR 등을 설치 그 자체로만 신뢰되는 것이 아니라 신중한 Setting이 안전을 보증하는 것이다.

CT비와 전동기의 정격전류를 환산하여 정격전류 이하에서 동작되도록 설정하고 기동시 과부하전류는 D-Time으로 기동 시간보다 다소 길게 설정하여 사용한다.

이는 기동실패로 인한 보호도 중요하기 때문이다.

바. 차단기 및 개폐기의 선정

차단기 및 개폐기의 선정은 안전을 위해 매우 중요한 요소이므로 신뢰도와 안전 검증을 통하여 선정하여야 한다. 현장은 본래의 취지와는 달리 잦은 기동 정지를 행하는 동작이 요구되는 상황으로 판단되며 이러한 악 조건의 경우 50만회 보증조건 선정이 필요하다.

5. 다른 의견에 대한 검토

가. 시공자측 의견

1) 회전부와 고정부의 고착으로 사고 발생될 가능성 : 회전부와 고정부가 고착될 경우 이는 단락회로 구성조건으로서 정격전류 기준 10~15배의 전류가 흐르게 된다.

전동기의 정격전류가 166A이며 이 경우 1600~2500A 정도의 전류가 흐르며 이 경우 ○○사의 ABS Type의 차단기는 10배의 전류에 대해 0.7~0.2sec에서 동작 되므로(○○측 기술자료 참조) 차단기 트립이 선행되어 전동기의 2차적 소손에 이르는 열 상승 시간이 부족하게 되어 전동기는 보호된다.

차단기 ABS Type은 5kA 이상의 차단 능력이 있으므로 이 경우 견디게 되지만 여타의 사유로 인해 더 큰 전류가 흐르거나 차단기의 Trip동작이 원활하지 않았을 경우 M/S의 점점 고착이 발생되는 바 이 경우는 점점의 훼손정도가 심해지

구 분	주 차단기	Δ MS, Y-MS	S-MS	CT비	EOCR설정
현재 상태	203AF/225AT	CH-30N	CH-15N	200 : 5	7A
표준 조건 (10만회보증)	203AF/225AT	CH-30N	CH-20NS	200 : 5	4~4.15A
가혹 조건 (50만회보증)	250AF/225AT	CH-30NS	CH-20NS	200 : 5	4~4.15A

고 R.S.T 전체 상에 걸쳐 같은 강도의 손괴가 수반된다. 따라서 동 사고의 경우 개연성이 없다 하겠다.

2) 기계설비운전 미흡에 관한 견 : 전동기는 특성상 정격전류 이하에서 소손 될 수 없으며(기계적 파손은 별개의 문제임) 각종 기계적 트러블에 의해 과부하 상태에 이르면 전류증가에 의해 정격전류이상의 전류가 흐름에 따른 열 축적이 소손의 근본 원인인 것이다. 규정 이상의 과부하 운전이 되면 과부하 보호장치의 동작으로 전동기의 동작이 멈추도록 설계되었다면 적어도 과부하에 의한 전동기의 소손은 발생할 수 없다.

당 설비는 과부하 보호장치를 시설하였으나 그 설정이 과대값으로 설정되어 과부하 보호장치의 능력을 상실한 상태이므로 설령 과부하가 발생하여도 전동기 보호의 능력이 없으므로 소손에 이르는 상태를 유지하고 있다(동 기기의 시공사는 다른 장소의 납품 설치된 기기에 대해서도 정격전류 보호계전 EOCR 설정관계를 재확인 하기 바람).

또한, 차단기 트립상태 또는 과부하 상태에서 무리하게 사용하였다고 하나 모든 제어반의 설계치침은 과부하 또는 트립 상태에서 전동기의 재시동이 가능하지 않도록 시설하는 것이 기본 기술기준이며 사고기기도 이 기준에 적합할 것으로 전제하면 개연성이 없을 것으로 판단된다.

3) 조기수습 미흡에 관한 견 : 동 사고는 원인이 무엇이든 트래킹 현상에 의한 탄화진행과 강열한 아크에 의한 주변의 2, 3차 탄화 및 2, 3차 트래킹 전이 등으로 발생되어지는 순간적이면서 광범위한 영역확대특성을 가지는 사고이므로 조기수습 자체가 불가능한 사례이다.

- 트래킹 현상이란 : 탄소 화합물중 결

정 구조로서 도전성을 유지하는 탄소성물질이 전류를 통할 때 강열한 열과 아크를 수반하며 아울러 주위의 공기를 이온화 시킴에 따라 도체가 된 공기가 주변으로 전류의 흐름을 확대시켜 연쇄반응에 따른 열화의 급속진행 현상을 말함. 일반적으로 차단기와 마그네트 스위치 등은 탄소 비결정구조로서 부도체의 성격을 가지고 있지만 열을 받으면 결정화되어 도체로 변화되는데 점점의 강한 아크에 의해 순간적으로 결정화 되기도 하여 이때 상간 단락이 일어난다.

나. 운영자측 의견

1) “제어반의 소손이 전동기에 의한 사고 가능성” 중 EOCR에 관한 의견

- EOCR 신뢰성이라 함은 그 장치 자체의 신뢰성이며 설치조건에 따라 신뢰성은 다시 평가되는 것이다. 잘못된 설정은 오히려 사고를 확대시키는 원인이 되므로 EOCR을 시설하였다는 이유만으로 신뢰를 갖는 것은 매우 위험한 발상이다. 다만 잘못된 설정이 관련된 본 사고와의 개연성은 없다고 판단된다.

2) 밸브조절에 관한 의견

- 출력밸브의 조절은 일반적인 유량제어 요소로서 많은 현장에서 활용되고 있으며 출력밸브의 조절각에 따라 폐로에 가까울수록 전류는 감소하는 특징을 가지고 있다. 다만 최소 개도의 부근에서 갑자기 전류가 상승되기도 하나 전동기의 정격전류 이상으로 올라가지는 않는다(단, 원심펌프의 경우임).

이 경우 문제되는 것은 전동기가 아니라 펌프의 기계적 구조상 내압이 문제가 되며 기계적 파손이 우려되는 상황이고 아울러 전동기가 소손 되지는 않는다(왕복식의 경우는 전동기의 소손에 이를 수도 있다).