

## 공사현장의 안전확보는 표준작업에 의한 시공관리이다

Secure Safety for the Scene of Construction Work is  
Standard Working Depend on Execution Management

조 병 문

한전 안전관리처 부처장

산업재해를 심리학 측면에서는 인간의 소질적(素質的) 요인을 가장 큰 요인으로 주장하는 학자들이 있다고 한다. 좀 심하게 표현하면 “사고 뭉치”가 따로 있다는 말이 되겠다.

즉, 시각기능의 장애가 있거나 도전적(挑戰的) 성격의 소유자 등으로 분류되는 유형을 말한다.

그러나 각종 재해를 조사분석해 보면 환경적 요인이 더 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 나타나고 있으며 재해의 예방적인 측면에서도 심리 또는 신체적인 결함으로 재해요인이 발생하는 경우에는 교정하는 데 한계가 있으나 환경적인 문제점을 개선하는 데는 가능성이 높기 때문에 전자의 주장에는 쉽게 공감할 수 없다.

그러한 실례를 좀 더 구체적으로 설명하기 위하여 다음 사고사례를 소개하기로 한다.

### 〈사고 일반사항〉

1. 일 시 : '88. 9. 8 (목) 09:24경 (맑음)
2. 장 소 : 154kV ○○S/S 22.9kV-y

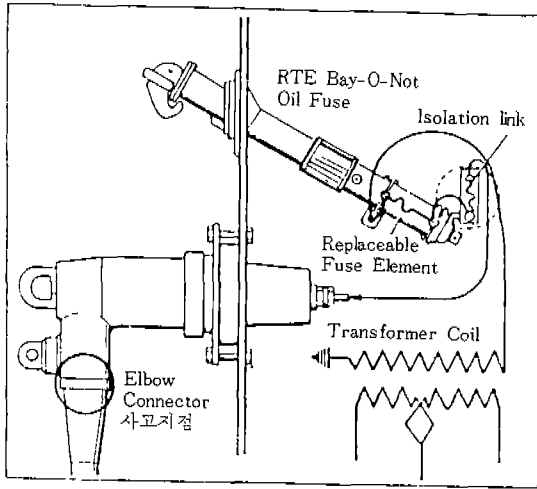
○○D/L ○○# 3 Pad. Tr

3. 재해자 : 설계원 1명, 전기원 1명

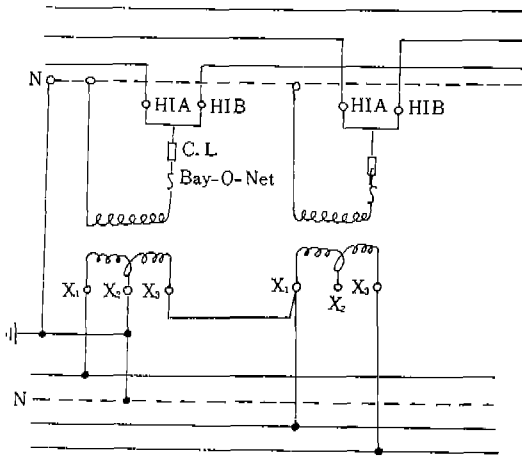
### 〈사고경위〉

사고 당일 지중화 지역인 현장에 이튿날 휴전 작업을 대비, 사전에 작업여건을 알아 보려고 설계원과 보수요원 2명이 도착하여 작업계획을 검토중, 지중변압기 교체장소의 기설 지중 Pad. Tr 외피가 울퉁불퉁하게 변형이 된 것을 발견하고 열이 발생하는 지 손으로 만져본 후 가볍게 미는 순간 “쾅”하는 굉음과 함께 아크가 발생하자 앉은 자세로 들여다 보던 재해자 2명은 급히 피하려고 했지만 재차 아크가 발생, 주변이 불바다로 변해 재해자들의 옷에 옮겨 붙으면서 수라장으로 변하고 말았다.

다행히 사고장소로부터 좀 떨어져 있던 동료에 의해서 재해자들의 옷에 붙은 불을 끌 수 있었기 때문에 생명에는 지장이 없는 화상사고로 그쳤지만 당시 재해자들은 전혀 예기치 못한 사



〈그림 1〉 22.9kV 일단접지 지상설치 변압기



〈그림 2〉 일단접지 변압기의 역V 결선도

고의 발생으로 충격이 이만 저만이 아니었다.

그림 1의 부싱 엘보 (Load Break Elbow Connector) 압축단자 하단 30mm 부근에 동선(19/2.0) 부분이 절단기로 자른 것처럼 단선되어 있었고 이것이 탈락되면서 아크가 발생됨과 동시에 지락으로 인하여 감전 화상을 당한 것으로 그림 2의 변압기 내부 결선도 상에서 보면 H1B 부싱이 문제의 사고발생 지점이였다.

### 〈사고 원인 분석〉

사고의 이해를 돕기 위해서 우선 관련 기기의 제원과 공사내역을 살펴 보기로 하자.

#### 1. 엘 보

가. Type : Load Break K 154LR

나. 제작소 : Elastimold (미국)

다. 제작년도 : 1987년

#### 2. 케이블

가. Type : 25kV CN-CV (동심 중성선 전력 케이블)

나. 제작소 : 대한전선

다. 제작년도 : 1987년

#### 3. 지중화 공사개요 (사고관련 시설물)

가. 공사기간 : '87. 1 ~ '87. 12

나. 도로공장 : 2.4km

다. Pad. Tr : 19대

라. Pad. SW : 8대

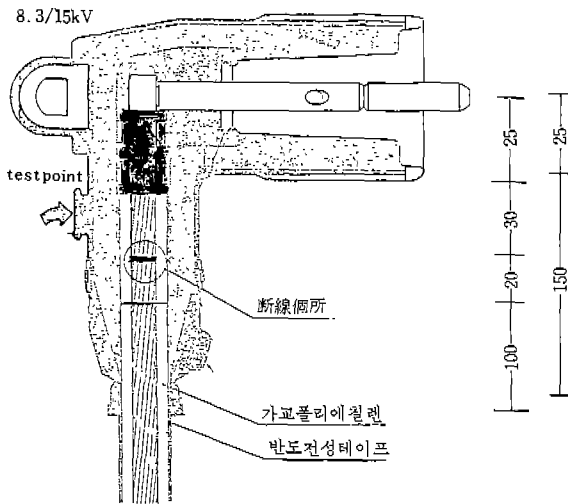
마. 관로공사 : 2.36km

위와 같이 공사규모가 비교적 큰 공사였으며 시공회사 또한 일반전기공사업체가 아닌 우리나라에서 손꼽히는 대형회사에서 시공한 설비였기 때문에 사고조사 방향이 전선 (Cable)의 재질 쪽으로 갈 수밖에 없었다.

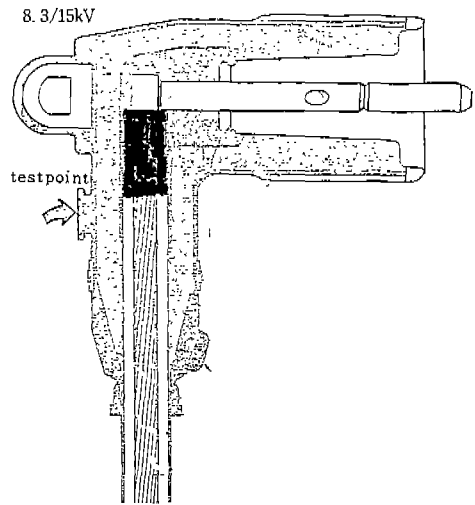
또한 그림 3·4에서 보는 바와 같이 재질의 변형상태가 재질쪽의 결함에 더욱 심증이 가도록 되어 있다.

첫째, 압축 슬리브 끝부분에서 절연체 (가교 폴리에틸렌)가 케이블의 부하측으로 50mm 정도 밀려 내려간 점과 연동선이 소둔 (燒鈍 : Surge 나 Stress 등으로 서서히 열을 받아서 끊어지는 현상)으로 단선 직전인 것을 인위적으로 힘을 가하자 완전히 단선된 것으로 추정이 되고, 둘째, 케이블 비닐 시스 (외피) 안쪽의 중성선 (1.2mm × 8조)이 불균형 응력을 받아 밀려 나서 뭉쳐진 상태 등이라 하겠다 (사진 A).

따라서 우선 정상적 시공이냐 아니면 비정상



〈그림 3〉 事故 엘보 内部의 絶緣体



〈그림 4〉 正常施工 엘보 内部



〈사진 A〉 사고 케이블(시스가 울퉁불퉁하고 중성선교임 및 단선)

적 시공이나 하는 점에서 조사방향을 설정하기로 했다.

〈시공방법에 따른 재질검사 검토〉

1. 정상 시공시

가. 도체 심선의 종단에 열을 가했을 때 절연체의 수축현상이 어느 정도인가?

나. 케이블 포설상태에서 수직으로 기계적인 외력을 계속 가할 경우 절연체가 안쪽으로 밀려

가는 지의 여부

다. 가교 폴리에틸렌 외층에 있는 중성선이 고장전류(22.9kV 다중접지방식)에 의하여 변형되어 시스 내부에서 뭉치는 현상이 있는 지의 여부

2. 비정상 시공시

가. 접속재(엘보) 내부에서 가교 폴리에틸렌을 50mm 이상 제거한 상태로 대지전압을 가했을 때 6개월 이상 계속 공급이 가능한 지의 여부

나. 접속재 내부에서 전기적 Stress가 발생된다면 계속된 Stress가 도체를 단선시킬 수 있는 지의 여부

다. 전(前) 2개항의 조건으로 중성선이 변형되어 뭉칠 수 있는 지의 여부

라. 도체(심선)나 절연체에 불순물로 인하여 절연 파괴가 선행되면서 단선이 될 수 있는 지의 여부

상기와 같이 검사방법에 대한 조건을 설정하고 전문기관에 의뢰키로 했으나 시원스럽게 해결해 줄 수 있는 여건이 되어 있지 않다는 사실을 알게 되었다.

〈원인규명을 위한 관계자 회의 개최〉

1. 1차 회의

가. 일시 : '88. 11. 1 (11:00~16:00)

나. 장소 : 현지 사업소 회의실

다. 참석자

- 1) 회사측 : 관련 4개부서 12명
- 2) 업체측 (제작사, 시공업체) : 3명

라. 내 용

- 1) 자재 검사, 시험방법 및 과거 사고사례 토의
- 2) 현장에서 고장 케이블 시료 절단 입회 및 확인

2. 2차회의

가. 일시 : '88. 11. 15 (14:00~16:00)

나. 장소 : 본사 회의실

다. 참석자

1) 관련부서 : 3명

2) 제작사 : 3명

라. 내용 : 표준규격에 의한 구조 및 재질검사, 과도인장력 현장시험 실시에 합의

이렇게 비공식 또는 공식모임을 갖는 등 복잡한 과정을 통하여 얻어진 결론은 자재의 시험검사 과정보다는 공사시공 쪽으로 의심이 가기 시작했고, 그러던 중 과도 인장시험 결과에 의하여 모든 문제점이 해결되게 되었다.

〈과도 인장시험 실시〉

과도 인장시험은 케이블 제작회사에서 시행하고 결과를 제출토록 한 결과 지중 케이블을 포설시 풀링을 할 수 있는 허용 인장력을 가한 경우는 아무런 변형이 없었지만 초과 인장력을 가한 경우 사고현장의 케이블과 똑같은 현상이 날 수 있다는 사실을 알게 되었다.

즉, 1차 회의시 사고 다음날 신품으로 다시

海 外 科 學

宇 宙 研 究

영국 동부 케임브리지 로드스 브리지에 있는 맨체스터 대학의 직경 32m 자리 새로운 전파망원경이 사진에 보인다. 지금 접시의 중심 안에서 건설 엔지니어들이 야간작업을 하고 있다. 망원경의 정밀도를 0.1mm 이내로 하기 위해 일몰 후 접시가 일정한 온도로 냉각된 후에 대부분의 건설작업이 이루어진다.

이 접시는 강철골조 위에 개별로 쌓아올려진 알루미늄판으로 건설되었으며, 이것들이 모여 세계에서 가장 강력한 망원 네트워크의 일부가 될 것으로 여겨진다. 이 망원경을 사용하면 천문학자들은, 별을 편으로 구멍을 낸 것같이 작게 보지 않고, 최초로 구체(球體)로 볼 수 있게 된다. 이것은 프로젝트 메를린, 즉 British Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network 로 알려진 것으로, 영국 전역에 위치한 7곳의 관측소 중 마지막 것인데, 이 관측소들은 225 km 폭의 단일망원경처럼 작동한다.

이 망원경은 영국과 유러피안 베리 롱 베이스 인터페로메트리 시스템과 연결되어 천문학자들이 원거리 은하계의 중심과 블랙홀까지 깊이를 관찰할 수 있도록 해 줄 것이다. 메를린 계획의 첫번째 임무 중 하나는, 650광년 떨어진 곳에 있는 거대한 적색별 베텔게우스(Betelgeuse)에 대한 연구이다.



접속한 케이블과 부상 엘보를 해체하고 절단한 결과 똑같은 현상(절연체가 밀려 들어가는)을 발견할 수 있었는데, 이것은 과도 인장시험 결과에서도 증명되었다.

〈시험결과 요약〉

1. 시험조건

- 가. 전선종류 : 60mm<sup>2</sup> CN-CV Cable
- 나. 인장력 : 7 kg/mm<sup>2</sup>
- 다. 유효길이 : 5 m
- 라. 관찰시간 : 인장력 제거후 18시간

2. 인장력별 변형형태

- 가. 허용 인장력 : 60mm<sup>2</sup> × 7 kg/mm<sup>2</sup> = 420kg

- 변형없음

- 나. 과도인장력 (약 2배) : 840kg (3조 풀링시 허용인장력)

- 절연체 수축 (1.8mm)

- 다. 과도인장 (약 4 배) : 1500kg

1) 외관은 양호하나 케이블 외장문자가 뒤 틀림

2) 중성선의 배열이 흐트러짐

3) 절연체 수축 (50mm)

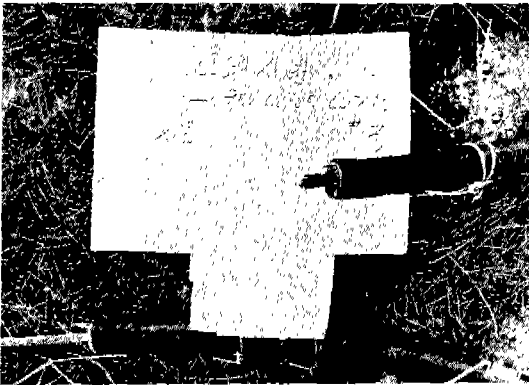
- 라. 과도인장력 (약 5 배) : 2200kg

1) 시스 외관이 울퉁불퉁하게 변형됨

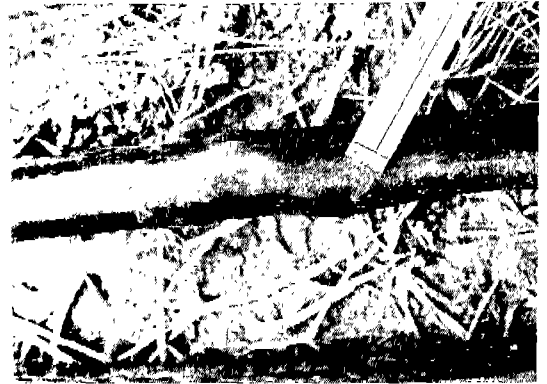
2) 중성선 뒤틀림

3) 절연체 수축 (480mm)

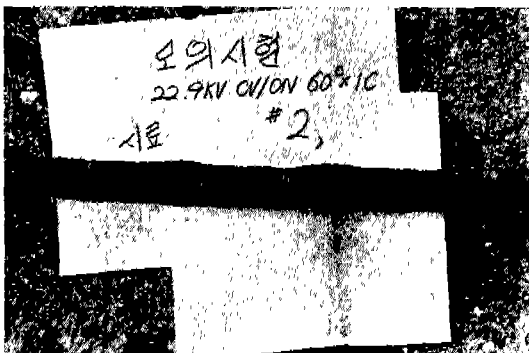
(사진 B~E 참조)



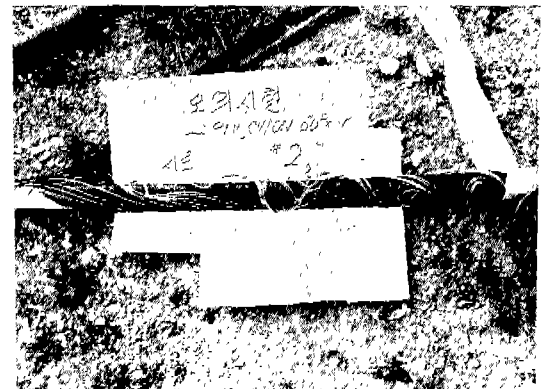
〈사진 B〉 모의시험 (절연체수축)



〈사진 D〉 모의시험 (근접촬영)



〈사진 C〉 모의시험 (시스 표면 울퉁불퉁함)



〈사진 E〉 모의시험 (중성선 꼬임)

〈사고의 원인〉

결론은 공사관리의 잘못이 사고의 원인이었던 것이다.

1. 지중 케이블을 포설시 장력계가 설치된 엔진 브력을 사용해야 함은 두말할 필요조차 없는데도 우리나라 우수 건설업체의 현장에서는 장력제도 없는 포크레인 (3ton)을 이용하여 과도하게 잡아 당겼고,

2. PE관로의 적정 내경 산정시 재밍(Jamming) 현상을 감안해서 설계에 적용하여야 하는데도 관례적으로 100mm관을 설계하여 풀링시 무리한 장력이 가해질 수밖에 없었으며 이 경우 PE 관로의 내경은 Jamming Ratio를 감안한  $D=2.16 \times 39 + 30 \leq 115\%$ 가 되어 이에 알맞은 규격의 PE 관을 적용하여야만 했을 것이다.

※ 참 조

〈재밍 레이쇼(Jamming Ratio)〉

관로식 포설의 경우, 케이블 포설용 관로의 내경을 결정하는데 필요한 계산식으로, Jamming 이 발생할 때의 관 내경과 케이블의 외경과의 비(比)를 말한다.

가. 1공(孔)3조(條) 포설시

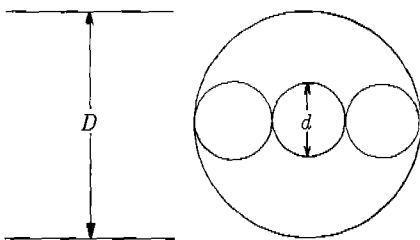
$$1.3d + 30\text{mm} \leq D \leq 2.85d$$

또는  $D \leq 3.15d$

$D$  : 관내경 (mm)

$d$  : 케이블의 최대 외경 (mm)

여기서 2.16d는 케이블 3조의 외접원이며 1공 3조 포설방식에서 Jamming Ratio는 일반적으로 2.85d~3.15d 정도가 위험범위이며, 끌어당기는 도중 케이블 배열을 유지하기 위하여는



2.  $1.6d + 30\text{mm} \leq D \leq 2.85d$ 를 선정하는 것이 좋다.

나. 맨홀과 맨홀 간의 길이가 직선인 경우 200m를 넘지 않도록 되어 있는 데도 경간이 227m이었고 곡선 개소에 핸드홀을 설치하지 않았기 때문에 과도 인장력이 가해질 수 있는 요인이 가중된 점이며,

다. PE관로의 내경은 Jamming Ratio를 감안하지 않더라도 수년전에 이미 100%관은 통신용으로만 사용토록 했는데도 현장에서는 계속 사용하고 있는 사실은 설계원 교육이나 공사 시공에 따른 공사 시방서의 표준화가 미흡했다고 단정할 수 있을 것이다.

〈사고의 교훈〉

요즈음은 도시 과밀화의 급속화로 시공비가 쌀 가공선도 더 이상 설자리가 없어졌으며 지중화의 필요성이 상대적으로 절실하게 되었다.

그러나 지중화는 시공비가 비쌀 뿐만 아니라 시공시 문제점으로 교통장애, 숙련기술의 확보, 대관업무의 비능률적 요인 등이 추진에 어려움을 주게 된다.

그래서 지중화는 도시환경의 조화가 그 첫번째 요건이고 공급 신뢰도 향상이 반드시 확보되도록 강조되고 있는 것이다. 지중공사의 필수적 장비마저도 확보하지 않고 공사를 시공토록 한 실무자의 무책임과 업체의 무감각한 병폐야말로 또 다른 재해요인이 될 수 있다고 생각하지 않을 수 없다.

이웃나라 미국에서는 트리플 항법사의 지원으로 인공위성을 이용한 자동차 항법장치도 개발한다는 뉴스를 접하면서 우리나라의 중공업 분야에서 기술개발을 주도해 온 업체의 수준이 이 정도라면 과연 기술수준이 고르게 향상되고 있다고 주장할 수 있겠는가 하는 우려를 낳게 한다.

사람의 파오는 기계화로 보완될 수 밖에 없다는 인간과 기계의 상관관계가 오늘날 기계문명을 창출해 냈다고 한다. 설비의 안전화와 공사현장의 표준작업만이 인간존중의 바탕임을 명심해야 할 것이다.