

부산항 골드웨이 보세창고의 화재원인 분석

조영진, 문병선, 서영일, 박종진, 박종찬, 김윤희
국립과학수사연구소남부분소

Analysis on the Fire Cause of Goldway's Warehouse in Busan Harbor

Young-Jin Cho, Byung-Sun Moon, Young-Il Seo, Jong-Jin Park,
Jong-Chan Park, Yun-Hoi Kim
Southern District Office, National Institute of Scientific Investigation

1. 서론

부산항 5부두내 (주)골드웨이 보세창고 화재는 2002년 11월 03일 06:40경 보세창고와 노무반 컨테이너 사이의 세면장 주변에서 최초 연기가 발생하는 것이 목격된 화재이며, 관할 경찰서로부터 당소에 화재현장조사를 요청하는 의뢰서가 접수되어 현장조사를 실시하였고, 현장조사를 토대로 세면장 내의 플라스틱 물통 안에 설치되어 있던 온수용 시즈히터가 과열되면서 발생한 화재로 결론지어 경찰서에 감정서를 보냈었다. 최근 동 건 화재의 화재원인과 관련하여 한국화재소방학회 하계학술논문발표회에서 1편의 논문¹⁾이 발표 되었는데, 당소의 견해와 많은 부분 차이가 있어 본 논문을 발표하게 되었다.

화재원인 조사에 있어서 가장 중요한 것은 물적 증거를 확보하는 것이며, 확실한 물적 증거 없이 관계자 진술, 수열정도, 건물의 도괴상태 등에 의존하는 조사방법은 매우 위험하고 오관할 수 있는 가능성이 높다.^{2) 4)} 특히, 저압의 전기시설물과 관련된 화재조사에서 차단기, 전기배선, 말단 부하기기 등에 대한 화재와 관련된 전기적인 특성의 이해 없이 전기배선 상에서 아크에 의한 용융흔을 찾는 육안검사 만으로 전기화재 가능성에 대해서 논하는 것은 부적절하며 지양되어야 한다.^{5),6)}

2. 현장조사

화재현장은 그림 1과 같이 보세창고 및 컨테이너가 위치해 있고, 천막을 덮어 만든 두 건물 사이의 세면장 안에는 노무자들이 물을 데워 쓰기 위한 용도의 플라스틱 물통과 시즈히터가 설치되어 있었다. 시즈히터의 플러그는 보세창고 중간 외벽에 설치된 분전반을 통해 창고 내벽 상단부를 지나 세면장으로 배선된 전선의 콘센트에 꽂아 사용하고 있었으며, 시즈히터의 전원코드에서 단락흔이 발견되었고 그림 2와 같이 시즈히터 발열부의 금속시즈 대부분이 아크로 인해 용융되어 있었다.

동 화재 이전까지 당소에 축적되어 있던 시즈히터 관련 화재 사례 및 연구자료를 통해 볼 때 화재원인은 '플라스틱 물통 안의 물이 줄면서 시즈히터 발열부 노출 → 발열부 과열 및 아크 용융에 의한 물통의 착화 → 화염에 의한 시즈히터 전원코드 단락'으로 이어지는 메커니즘에 의해 발생한 화재가 명확하고, 플라스틱 물통 안이나 물통 외부에서 방화를 한다 하더라도 나타날 수 없는 흔적이며, 동 시즈히터가 설치되어 있던 세면장을

연소의 중심으로 하여 좌측의 보세창고와 우측의 컨테이너 쪽으로 연소확대된 형상이 뚜렷하게 나타났기 때문에 보세창고 내부 및 컨테이너 내부에 대한 조사를 하지 않고 여기서 화재현장조사를 마쳐도 무방한 상태였다. 그러나, 화재에 의한 피해 규모가 매우 컸고 마스크의 이목이 집중된 화재였기 때문에 보세창고와 컨테이너 내부에 대한 조사를 하고 나서 현장조사를 마쳤다.

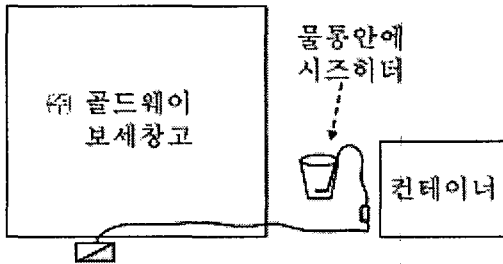


그림 1. 화재현장 및 전기배선 개략도

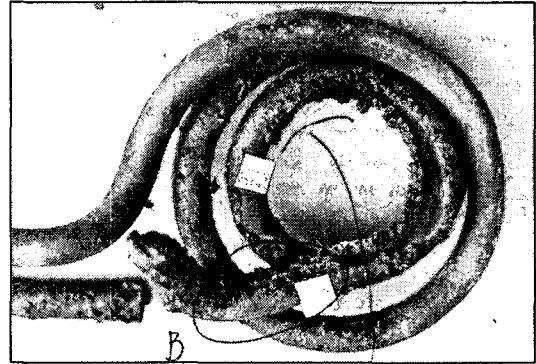


그림 2. 시즈히터 발열부 용융흔

3. 실험방법 및 결과

3.1 실험방법

화재현장에서 발견된 안전장치 없는 시즈히터와 유사한 종류인 그림 3과 같은 시즈히터(220[V], 3[kW])를 물속이 아닌 공기 중에 노출시킨 상태에서 전원을 인가하여 시즈히터의 발열부를 강제로 과열시켰으며 실험을 하는 동안 캠코더를 이용해 발열부를 촬영하였고 동시에 디지털코더를 이용해 시즈히터가 소비하는 전류를 측정 하였다. 또한, 시즈히터 전원측에는 정격전류 30[A]인 과부하검용 누전차단기와 배선용차단기를 직렬로 연결하여 트립 여부를 확인하였다.

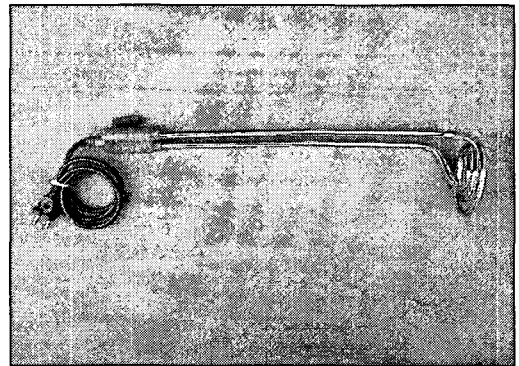


그림 3. 실험에 사용한 시즈히터 샘플

3.2 실험결과

3.2.1 시료1

시즈히터의 발열부가 적열된 상태로 지속되다가 금속 시즈의 한지점에서 아크가 발생하면서 시즈가 과열(그림 4의 1번)되었고 이후 과열된 부위를 중심으로 하여 한쪽 방향으로 지속적인 아크를 발생시키면서 마치 아크용접기로 용접할 때와 비슷하게 시즈를 용융시켰다. 발열부에서 아크의 발생은 전열선 끝단까지 계속되었으며 그림 4는 시즈히터가 적열되어 과열되는 순간부터 발열이 종료될 때까지의 과정을 캠코더로 촬영한 후 단계마다 한부분의 이미지를 캡처한 것이다.

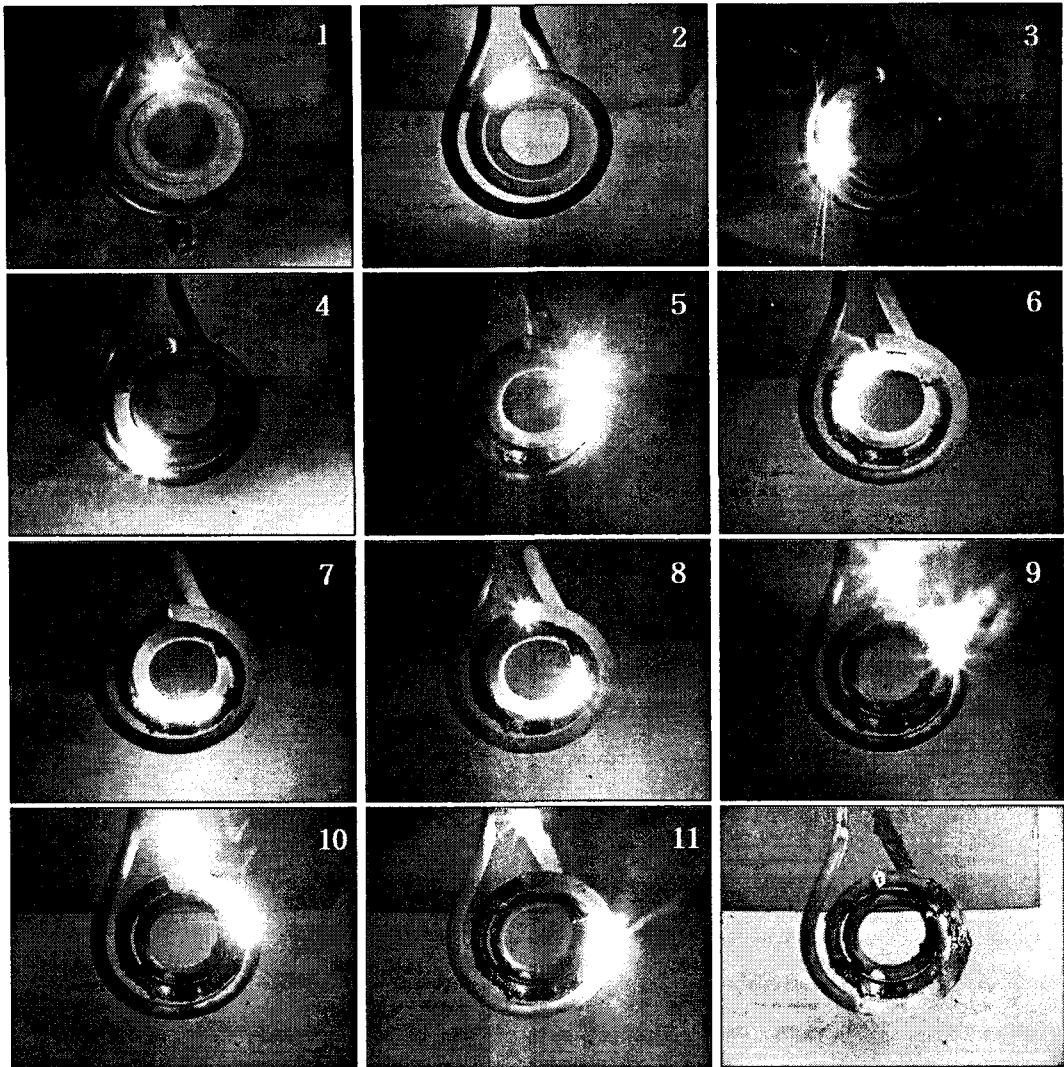


그림 4. 시료1의 실험 동안 시즈히터 발열부에서 발생하는 아크를 포착

그림 5는 시료1에 사용한 시즈히터 발열부의 발열이 종료된 후의 모습으로 화재현장에서 발견된 그림 2의 시즈히터 발열부와 유사하게 금속시즈가 용융되고 파열되어 있음을 알 수 있다. 따라서, 그림 4를 통해 화재 당시 세면장의 플라스틱 물통 안에 설치되어 있었던 시즈히터의 발열부에서 화재직전 어떠한 상황이 전개되고 있었는지 충분히 상상할 수 있을 것으로 생각된다.

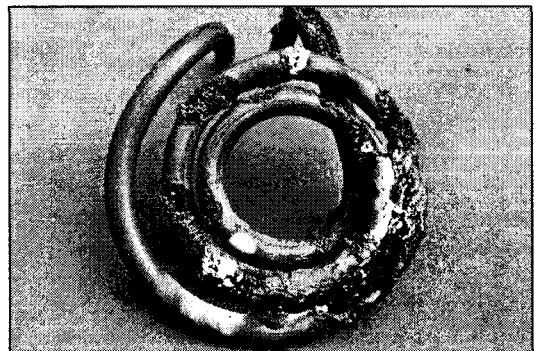


그림 5. 시료1의 시즈히터 발열부 용융흔

실험 과정에서 시즈히터가 소비하는 전류를 측정하는 파형은 그림 6과 같다. 발열부가 적열된 이후 최초 파열된 시점 이전까지의 전류 실효값은 약 11.5[A]이며 최초 파열 이후 발열이 종료될 때까지의 전류 실효값은 약 10.8[A]이다. 시즈의 파열 이후 아크는 불규칙하게 지속적으로 발생했음을 알 수 있고, 아크에 의한 전류의 피크값은 파열 이후 초기 상태에서는 파열이 없는 적열 상태의 피크값(약 16.3[A])보다 작지만 어느 시점을 지난 이후에는 아크에 의한 전류의 피크값이 16.3[A]를 초과함을 알 수 있다. 그러나, 실험과정 동안 정격전류 30[A]인 과부하검용 누전차단기 및 배선용차단기는 트립되지 않았다.

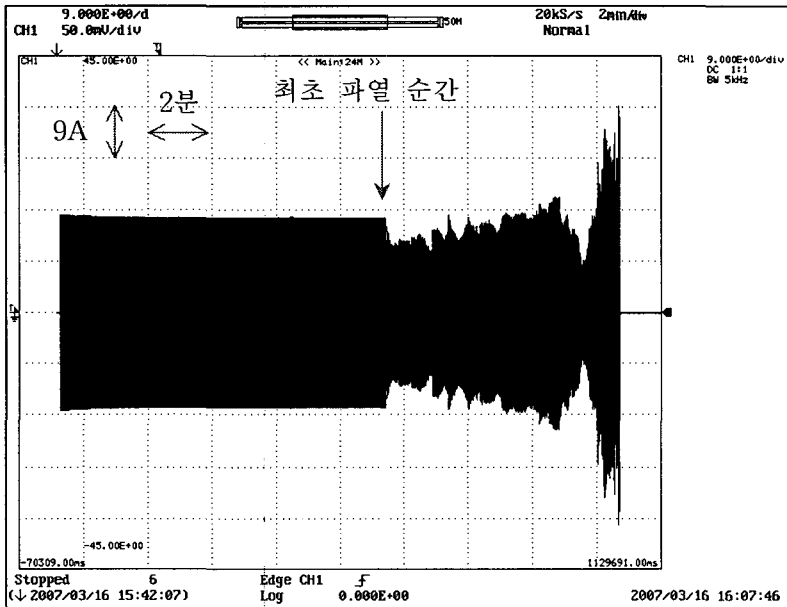


그림 6. 시료1의 전류 파형

3.2.2 시료2

시료1과 같이 발열부가 적열된 상태로 지속되다가 금속 시즈의 한지점에서 아크를 발생하며 시즈가 파열(그림 7의 1번)되었고 이후 파열된 부위를 중심으로 하여 양쪽 방향으로 지속적인 아크가 발생하면서 시즈를 용융시켰다. 발열부에서 아크의 발생은 시료1과는 달리 최초 파열 부위에서 양쪽으로 수[cm] 정도 진행된 후 종료되었다.

시료2의 실험 과정에서 시즈히터가 소비하는 전류를 측정하는 파형은 그림 8의 '상(上)'과 같다. 시료1과는 달리 최초 파열 이후 아크가 1분정도 지속된 후 종료되었으며, 파열 이후 발생한 불연속적인 아크 전류의 피크값은 아크가 발생하기 이전의 피크값보다 매우 작음을 알 수 있다.

그림 8의 '하(下)'는 최초 파열이 발생하고 난 직후 아크가 발생하는 시점의 전류 파형을 캡처한 것이다. 직렬 아크(series arc) 발생시 나타나는 전류 파형의 특징⁷⁾⁻⁹⁾처럼 실효값 및 피크값이 아크가 발생하지 않는 파열 이전의 값보다 작고, 전류 영점 부근에서 숄더(shoulder)가 발생하는 등의 특징이 나타남을 알 수 있다.

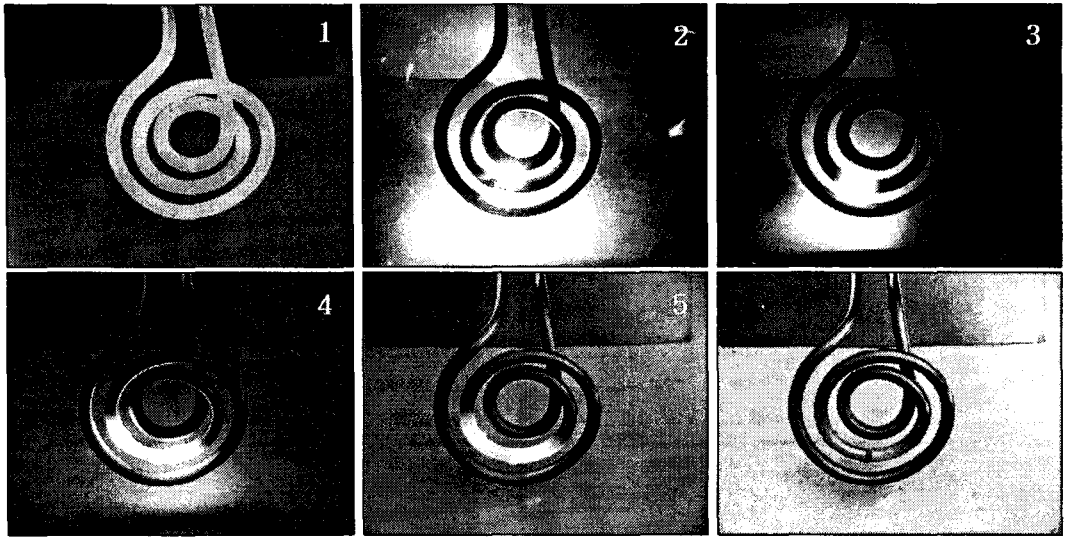


그림 7. 시료2의 실험 동안 시즈히터 발열부에서 발생하는 아크를 포착

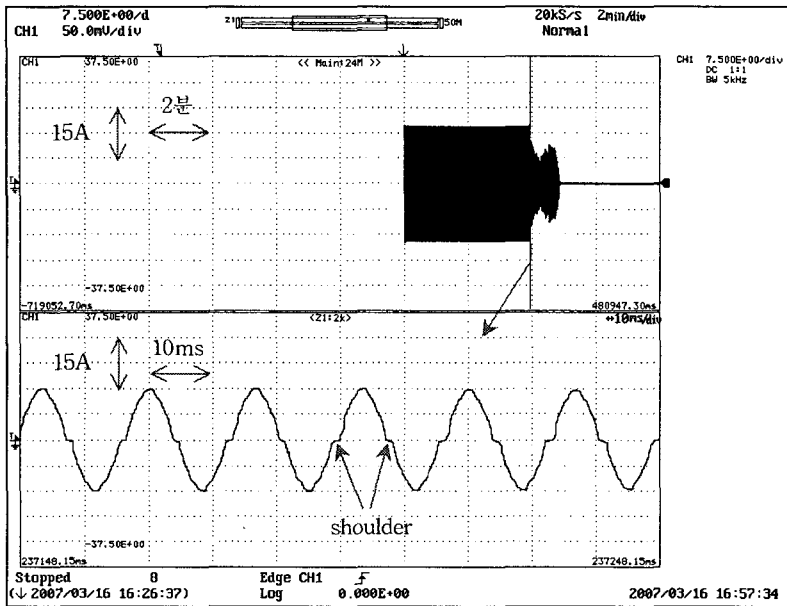


그림 8. 시료2의 전류 파형

4. 고찰

안전장치 없는 시즈히터의 발열부 과열에 의한 화재가 빈번하게 발생하고 있지만 발열부가 과열된다고 하여 동 건의 화재와 같이 매번 발열부가 아크로 인해 과열 및 용융되는 것은 아니다. 시즈히터의 발열부가 공기중에 노출되어 적열된 상태로 지속되면 취약한 부위에서 금속 시즈의 파열이 발생하면서 내부의 전열선이 단선될 수 있다. 전열선이 단선된 상태로 더 이상 전류가 흐르지 않고 종료되는 경우도 있지만, 골드웨이 보세창고 화재 사례 및 본 논문의 실험처럼 금속 시즈가 파열되고 전열선이 단선된 이

후 파열 부위의 금속 시즈와 단선된 전열선이 고저항으로 접촉되어 발열하거나 또는 직렬아크가 발생하면서 단선된 전열선과 금속 시즈를 통해 전류의 통로가 형성되어 금속 시즈 표면을 따라 용융이 진행하게 된다. 금속 시즈의 파열 초기에 흐르는 전류의 크기는 대부분의 전열선이 그대로 남아있고 직렬아크에 의한 전압강하가 발생하기 때문에 파열 이전의 적열 상태보다 전류의 실효치가 작으며, 이후 아크가 지속되어 금속 시즈의 용융이 진행되면 전열선의 길이도 점점 줄어들기 때문에 어느 시점 이후에는 전류의 피크값이 파열이전의 피크값보다 커지게 된다. 그러나, 최초 금속 시즈가 파열된 이후 발열부의 중단까지 아크가 지속되어 발열이 종료될 때 까지의 시간이 약 10분을 넘지 않으며, 불연속적으로 발생하는 아크의 특성 때문에 일부 아크 구간의 피크값이 크다 해도 아크가 발생한 전 구간의 전류를 실효치로 환산하면 파열 이전 적열상태의 전류 실효치보다도 작기 때문에 정격전류 30[A]인 과전류차단기는 트립될 수 없다. 이는 본 논문의 실험 과정에서도 확인되었으며, 골드웨이 보세창고 화재의 세면장에 설치되어 있던 시즈 히터의 전원코드에서 단락흔이 발생했음을 통해서도 확인할 수 있었다.

5. 결론

현장조사, 실험 및 고찰을 통해 부산항 골드웨이 보세창고의 화재에 대해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 세면장내 플라스틱 물통안에 설치되어 있던 시즈히터의 발열부가 물위로 노출되면서 파열 및 파열되었고 이후 지속적으로 아크가 발생하면서 금속 시즈 표면을 따라 용융이 진행되었으며, 이 과정에서 플라스틱 물통이 착화되어 화재로 발전하였다.
2. 이후 세면장이 화염에 휩싸이면서 인접한 골드웨이 보세창고와 컨테이너로 연소확대되었고, 탈 수 있는 가연물이 많이 적재되어 있던 골드웨이 보세창고에 가장 큰 피해를 남겼다.

참고문헌

1. 김영철, 이수경, 강계명, 정기신, 고택수, “부산항 골드웨이 보세창고 화재원인 추론”, 한국화재소방학회 하계학술논문발표회 논문집, pp. 192-196(2004).
2. 국립과학수사연구소 화재연구팀, 화재수사 길라잡이, 경찰청·국립과학수사연구소(2004).
3. John D. DeHaan, Kirk's Fire Investigation, 6th Edition, Prentice Hall(2006).
4. National Fire Protection Association, NFPA 921- Guide for Fire and Explosion Investigations 2004 Edition.
5. 東京防災指導協會, 新火災調査教本 第3巻 電氣火災編, 監修 東京消防廳(1999).
6. A. A. Hattangadi, Electrical Fires and Failures, Mcgraw-Hill(1999).
7. Underwriters Laboratories Inc., UL 1699 - Standard for Arc Fault Circuit Interrupters(2006).
8. G. D. Gregory and G. Scott, “The Arc-Fault Circuit Interrupter: An Emerging Product”, IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. 34, pp. 928-933(1998).
9. Douglas A. Lee, Andrew M. Trotta, William H. King, Jr, “New Technology for Preventing Residential Electrical Fires: Arc-Fault Circuit Interrupters(AFCIs)”, Fire Technology, Vol. 36, No. 3, pp. 145-162(2000).