

냉동창고 화재 사례를 기반으로 하는 NFPA 921 CODE에 의한 과학적 화재조사 연구

박경진¹, 이영기², 차성식¹, 정도영¹, 김장오^{*}
¹인제대학교 재난관리학과, ²경상남도소방본부 양산소방서

Scientific fire investigation by NFPA 921 CODE based on frozen warehouse fire case

Kyong-Jin Park¹, Yong-KI Lee², Sung-Sig Cha¹, Dong-Young Jung¹, Jang-Oh Kim^{*}

¹Department of Emergency Management, Inje University
²Yangsan Fire Station, Gyeongsangnam-do fire department

요약 본 연구에서는 2017년 20건의 화재가 발생한 냉동창고 화재사례중 발화원인의 판정에 다수의 의견이 존재하였던 사례에 대해 연구하였다. 연구 방법론은 NFPA 921 CODE에서 규정하고 있는 과학적 화재조사 방법이다. 과학적 화재조사 방법은 가설설정을 통한 논리적 추론에 의한 화재조사 방법으로 발화원인 판단에 오류를 최소화 시킨다. 반면에 비과학적 화재조사 방법은 발화원인의 판단에 주관적 추측, 추론적 판단 등의 비합리적 요소의 개입으로 많은 오류를 발생시킨다. 이는 결국 인적, 물적 책임의 문제 및 학문적 퇴보를 가져온다. 특히 목격된 화재(Sighted fire)에 비해 목격되지 않는 화재(Fire not seen)의 경우 원인조사에 있어서 더 많은 발화원인 의 오류를 만든다. 본 연구에서는 2017년 **시 **마트에서 발생한 냉동창고 정온전선의 화재사례에 대해 화재조사 보고서의 검토, 현장조사를 바탕으로한 가설A 와 가설B의 설정하였다. 설정된 가설은 NFPA 921 code 규정하고 있는 연역적 검정 방법중 실험으로 검정하였다. 이러한 분석방법은 향후 목격되지 않는 화재(Fire not seen) 및 원인 불명 화재의 발화원인 판단에 NEW Paradigm의 구축 할 것이다. 또한 본 연구의 실험 자료는 냉동창고 제조사 및 운영사에 통보, 화재 예방을 위한 기초 자료로 활용 될 것이다.

Abstract In this study, we investigated the cases where there were many opinions in the judgment of the cause of ignition in the case of 20 cases of frozen warehouse fire that occurred in 2017. The research methodology is the scientific fire survey method prescribed by the NFPA 921 CODE. Scientific fire investigation method is fire investigation method by logical reasoning through hypothesis setting, minimizing errors in judgment of ignition source. On the other hand, unscientific fire investigation methods cause many errors by the intervention of irrational factors such as subjective estimation, reasoning judgment, etc. This eventually leads to the problem of human and material responsibility and academic deterioration. In particular, fire not seen as compared to sighted fire makes more errors in ignition sources in the cause investigation. In this study, we set the hypothesis A and hypothesis B based on the review of the fire investigation report and the field survey on the fire case of the cold storage warehouse front line that occurred at ** city ** Mart in 2017. The set hypothesis was tested by the NFPA 921 code. This analytical method will be constructed by NEW Paradigm as a source of fire that is not seen in the future and a source of ignorant fire. In addition, the experimental data of this study will be used to inform the manufacturer and operator of the refrigeration warehouse and serve as basic data for fire prevention.

Keywords : NFPA 921 code, Scientific fire investigation, Trekking phenomenon, Frozen Warehouse, Constant-temperature front

^{*}Corresponding Author : Jang-Oh Kim(Inje Univ.)

Tel: +82-10-4845-7466 email: isotope@inje.ac.kr

Received May 2, 2018

Revised (1st June 5, 2018, 2nd June 21, 2018, 3rd July 5, 2018)

Accepted August 3, 2018

Published August 31, 2018

1. 서론

화재는 크게 목격된 화재(Sighted fire)와 목격되지 않은 화재(Fire not seen)로 구분할 수 있다. 목격된 화재는 CCTV의 관찰, 직·간접 목격자의 진술로 발화지점을 명확히 판정 할 수 있다. 또한 발화원인의 규명에 있어서도 특별한 이견이 존재하지 않는다. 반면에 목격되지 않은 화재는 소화작업, 인명구조, 안전조치 등의 단계에서 파괴 이동되어 증거자료의 많은 부분이 소실, 원형 변경이 되어 화재원인 규명에 많은 어려움이 있다.

국가화재정보시스템 화재통계자료[1]에 의하면 2017년 전체 화재건수는 총 44,178건으로 발화원인별 화재 원인 분석결과 전기적 요인에 의한 화재가 9,256건으로 부주에 의한 화재 23,425건 다음으로 가장 많이 발생하고 있는 것으로 나타났다.

전기적 요인의 세부적인 화재원인은 절연열화에 의한 단락 2,358건, 미확인단락 2,457건, 접촉불량에 의한 단락 994건 과부하 및 과전류 870건 트래킹에 의한 단락 894건, 압착 손상에 의한 단락 580건, 기타 전기적요인 512건, 누전 지락 317건, 반단선 183건, 중간 단락 91건으로 발생되었다.

이러한 전기화재는 목격되지 않은 화재 중 많은 비중을 차지한다. 전기는 재실자의 수면 혹은 외출 중에도 24시간 공급되므로 적절하지 못한 전기 설비의 관리는 화재위험성이 매우 높다. 또한 다수의 인명피해를 가져오는 전기 화재의 많은 부분은 가정보다는 대형마트 및 산업시설등에서 발생한다. 이러한 산업의 전기설비는 고객의 편리성 및 영업 공간의 효율성을 위해 인적의 왕래가 드문 곳에 설치되기 때문이다.

본 연구에서는 2017년 20건의 화재가 발생한 냉동창고 화재사례중 발화원의 판정에 조사관의 각기 다른 주장이 존재하였던 사례에 대해 연구하였다. 이러한 결론의 불일치는 시간의 부족, 인원의 부족, 비과학적인 화재조사등에 기인한 것이다.

이에 본 연구에서는 일선소방서에서의 비과학적, 개별적 화재조사 방법에 통일성, 규범성을 기하고자 오랫동안 미국에서 규범으로 존재하는 NFPA (National Fire Protection Association) 921 CODE [2] 에 의한 과학적 화재조사 기법을 도입하였다. 이러한 가설설정을 통한 논리적 추론에 의한 화재조사는 발화원인 규명에 있어서 과학성 [3], 객관성, 신뢰성을 부여함은 물론 화재원인

의 규명에 오류 [4~5] 를 최소화 할 것이다.

2. 이론적 배경

1. 과학적 화재조사 방법

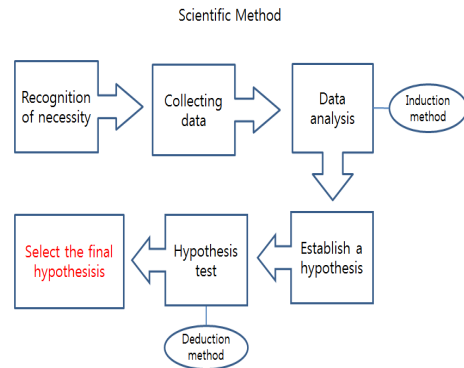


Fig. 1. Scientific radiation monitoring flow.

본 연구에서는 도식 Fig. 1.의 NFPA 921 CODE에 의한 과학적 화재조사 방법에 의해 냉동창고 화재사례의 발화원인을 분석하였다. 과학적 화재조사의 첫 번째 단계는 유사사건의 재발 방지를 위한 화재원인과 발화지점 판단의 필요성의 인식이다. 특히 목격되지 않은 화재의 경우 필요성은 증대된다. 두 번째 단계는 현장검증, 화재조사의 재검토, 관계자 인터뷰, 화재재현 실험을 통한 문제의 해결을 위한 방법론적인 정의를 내리는 단계이다. 세 번째 단계는 과제해결을 위한 자료의 수집단계다. 네 번째 단계는 귀납적 데이터 분석의 단계로 화재조사자의 교육, 경험, 지식을 바탕으로 한 분석으로 주관적, 추론적 판단은 배제되어야 한다. 자료의 분석이 끝나면 다섯 번째, 발화원인 및 발화지점에 대한 가설을 설정한다. 여섯 번째 연역적 방법에 의한 가설검정의 단계로 실험이나, 인지력에 의해 채택된 가설은 최종가설로 채택되며 만약 최종 채택된 가설이 없는 경우 화재 원인은 미상으로 처리된다.

2. 냉동창고의 냉동원리

냉동창고는 대형 마트, 공장등에서 0°C 이하에서 식료품을 보관하는 창고다. 냉동창고의 구조는 Fig. 2.와 같다.

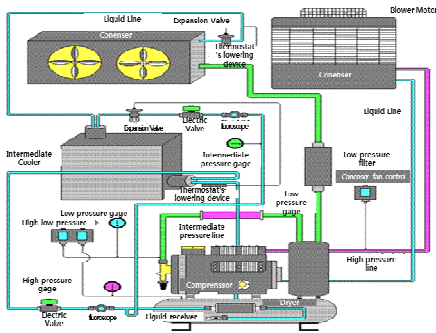


Fig. 2. Structure of freezing warehouse.

Fig. 3은 냉동창고의 냉동원리로 압축기에서 고압의 기체로 보내진 냉매가 응축기를 거쳐 모세관을 지나는 동안 속도에너지의 상승과 압력에너지의 저하로 기체가 된다. 이때 상변화를 하면서 냉동창고 내부온도는 저온이 되며, 압축-응축-액화-증발의 주기를 반복한다.

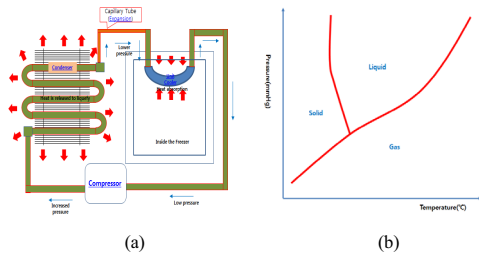


Fig. 3. (a) The principle of freezing of a frozen warehouse Figure title and (b) Three phases of refrigerant.

냉동창고의 내부가 저온으로 유지되는 동안 증발기, Fig. 4. (a)의 냉매관에는 성에가 생기게 되고, 성에는 증발기의 히터에 의해 녹아 배수관을 통해 배출된다. 이때 배수관에는 겨울철 낮은 온도로 인한 동결을 방지하기 정온전선이 Fig. 4. (b)와 같이 설치된다.

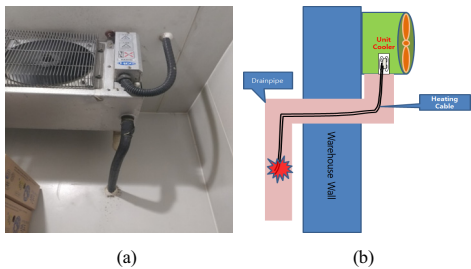


Fig. 4. (a) Frozen storage installation picture and (b) Structure diagram of evaporator, drain pipe, heating cable.

3. 정온전선의 구조 및 원리

Fig. 5.는 정온전선의 구조 및 원리(6)이다. 정온전선은 자체온도조절 기능(Self temperature control function)을 가진다. 자체온도조절 기능은 배관내의 온도가 상승하면 케이블의 저항값이 감소되어 저온을 유지하고 온도가 하강하면 저항값이 상승하여 고온을 유지하는 기능이다.

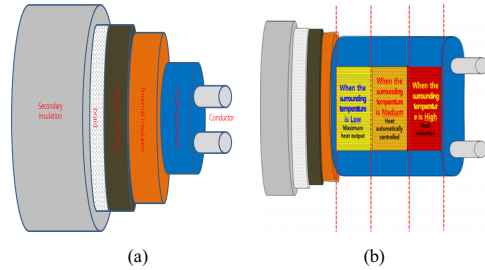


Fig. 5. (a) Structure of heating cable and (b) Self temperature control function of heating cable.

정온전선은 자체온도조절 기능과 더불어 연성이 뛰어나 설치가 간편하여 산업현장에서 널리 사용된다. 이러한 정온전선은 설치 장소에 따라 Table 1. 과 같이 65도 110도 120도의 제품으로 구분된다.

Table 1. Product type of constant-temperature wire.

Maximum holding temperature	Maximum use		Initial current		Max available	
	Exposure temperature	110Vac	110Vac	220Vac	110Vac	220Vac
10KHL 1.2	65°C(150°F)	85°C(185°F)	0.406	Prevent freezing of piping and maintain temperature below 25 °C	85	
16KHL 1.2		0.9	64			
24KHL 1.2		POWER OFF	58			
30KHL 1.2		2.8	50			
16KHH 1.2	110°C(230°F)	135°C(275°F)	0.5	Prevent freezing of piping and maintain temperature below 55 °C	72	
24KHH 1.2		0.675	64			
30KHH 1.2		0.995	50			
50KHH 1.2		1.4	46			
16KHS 1.2	120°C(248°F)	200°C(275°F)	0.19	Prevent freezing of piping and maintain temperature below 120 °C	113	
30KHS 1.2		0.37	91			
40KHS 1.2		0.61	61			
55KHS 1.2		0.89	46			
10KHP 2	65°C(150°F)	135°C(275°F)	-	Prevent freezing of piping	92	
16KHP 2		POWER OFF	62			

3. 화재사례 및 조사방법

1. 화재사례

2017년 **시 **마트 냉동창고에서 화재가 발생했다. 소비자가 도착 전 화재로 인한 자탐설비가 작동되었으며 스프링클러설비에 의해 화재는 초기 진화되었으나 내부 관계자는 검은 연기와 유독가스로 인하여 발화지점을 바

로 찾을 수 없어 119에 신고하였다. 현장에 도착한 진압대는 연소지점을 발견, 화재를 완진하였다.

2. 과학적 화재조사방법

2.1 필요성 인식

도착한 소방대는 Fig. 6.과 같이 냉동창고 설치장소 부근의 증발기 배수관, 김중류 제품 12박스, 벽체 및 팔레트의 탄화흔을 확인하였다. 그리고 냉동창고의 설치 위치가 관계자의 왕래가 거의 없는 매장 뒤 하역장에 설치되어 화재 발생초기 목격자는 없었다. 또한 탄화흔, 연소패턴, 소취물질품 만으로는 정확한 발화원인의 판단이 불가능 하였다. 이에 과학적 화재조사방법(NFPA 921 CODE)에 의한 분석의 필요성이 제기되었다.

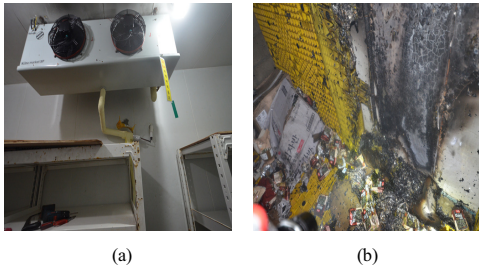


Fig. 6. (a) Evaporator at fire scene and (b) Burning of the pallet.

2.2 문제의 정의

화재조사보고서의 검토, CCTV분석, 연소패턴분석, 정온전선화재실험 관계자의 진술 등으로 문제를 정의 한다.

2.3 데이터 수집

화재조사보고서 및 화재현장의 사진 97장의 사진을 수집하였다. 또한 CCTV 자료, 마트 관계자, 냉동창고 설치자의 진술 및 냉동창고 내부 성에를 확보하였다. 그리고 인근 마트의 냉동창고 정온전선의 설치 실태를 조사하였다. 정온전선이 배수관 내부에 설치되는 관계로 많은 사례를 조사할 수는 없었으나 Fig. 7.과 같이 인근 대형마트의 조사결과는 설치업자가 임의로 절연테이핑 마감처리 2개소, 마감처리 된 기성품을 사용한 곳 3개소로 조사되었다.

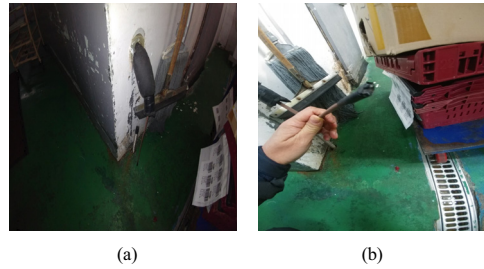


Fig. 7. (a) Heating cable installation example 1 and (b) Heating cable installation example 2.

2.4 데이터 분석

Fig. 8.은 CCTV 분석결과로 내부출입자는 없다. 방화에 의한 화재 가능성은 기각한다.

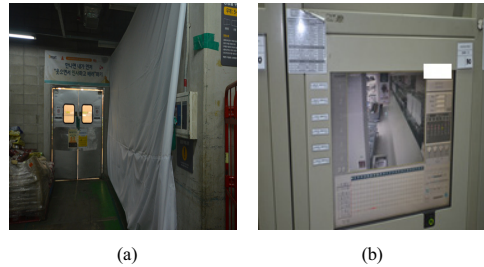


Fig. 8. (a) Frozen storage entrance and (b) CCTV observation.

냉동창고 주변에 다른 기기설비가 존재하지 않았다. 그래서 외부 기계적 요인에 의한 화재 가능성은 기각한다. 한편 Fig. 9. (a)의 팔레트 연소 흔과 Fig. 9. (b)의 냉동창고 벽의 V형 패턴이 식별되었다. 그래서 팔레트에서 발생한 화재가 상부로 연소 확대 되었을 가능성을 인 용한다.

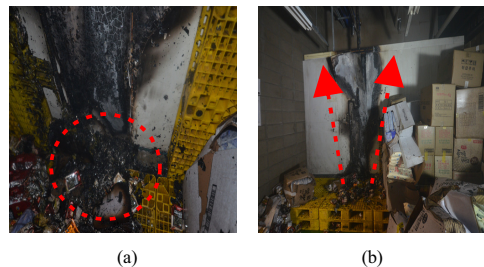


Fig. 9. (a) Burning of the pallet and (b) V-shaped pattern of frozen storage wall.

정온전선의 말단에서 Fig. 10. (a)의 15cm의 탄화 흔과 Fig. 10. (b)의 용융 흔 이 식별되었다.

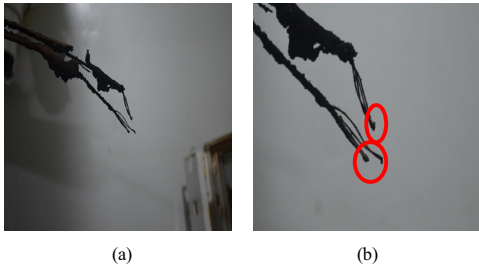


Fig. 10. (a) 15cm Carbonization and (b) Melting wire at the end of a constant-temperature wire.

마트 관계자의 진술에 의하면, 설치된 지 10년이 된 냉동창고로 정온전선의 마감을 설치업자가 직접 테이핑 처리 하였고, 마감 처리 부분이 노후 되어 늘 불안 했다고 진술하였다.

2.5 귀납적 방법에 의한 가설 설정

설정 가설은 Table 2.와 같다. 최초 발화원인이 정온전선이 아님을 주장하는 가설A의 근거는 벽면의 V형 패턴과 Fig. 11.의 누전차단기의 미작동이다. 또한 최초 발화원인이 정온전선이라 주장하는 가설B의 근거는 냉동창고 용출수에 의한 정온전선 마감부의 트레킹현상으로 전기전도도 측정결과 Fig. 12.와 같이 최대 438us 최소 72.1us로 측정되었다.

Table 2. Setting a hypothesis.

division	Setting the hypothesis	Evidence
Hypothesis A	The first firing point is on the pallet.	1. V-shaped pattern on the wall 2. Frozen storage breaker not working
Hypothesis B	The first bidding point is the constant-temperature front.	1. Treating of a constant-temperature wire 2. The circuit breaker does not automatically change the value of the microcurrent.

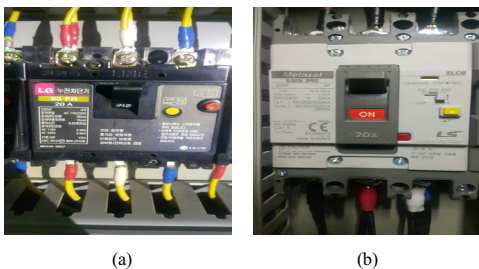


Fig. 11. (a) Main circuit breaker not working and (b) The auxiliary circuit breaker does not work.

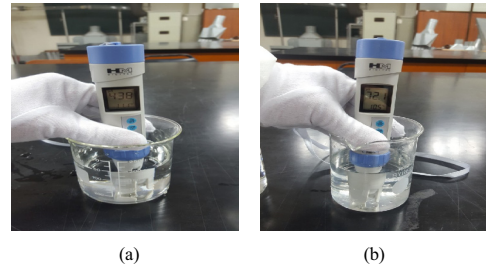


Fig. 12. (a) Conductivity measurement results 1 and (b) Conductivity measurement results 2.

2.6 연역적 방법에 의한 가설검정

가설의 검정을 위해 NFPA 921 CODE에서 규정하고 있는 연역적인 방법 중 실험으로 검정하였다.

가설 A의 실험방법은 Fig. 13.과 같이 화재 현장과 동일한 모형속의 구획된 실내의 팔레트 바닥 위에 김은 넣은 6개의 상자에 대한 연소 실험을 진행한다. 화재 진화 온도는 현장의 습식SP헤드(헤드 표시온도 79℃ 미만)와 작업장의 평상시 최고주위 온도 31℃를 근거로 산출한 헤드의 작동온도 61.3℃(Ta=0.9Tm-27.3℃)중 높은 온도인 78℃를 실험의 중기로 설정하였다. 또한 5℃의 물에서 0점 조정을 한 열전대를 a점 반자, b점 배수관 상단, c점 배수관 하단에 설치, 연소 후 Ceiling zet flow에 의해 반자의 온도가 78℃에 도달한 순간 화재를 일순간에 소화, 온도 변화를 Data log에 기록하였다.

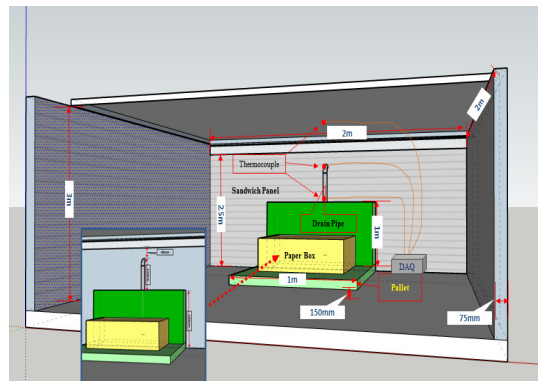


Fig. 13. Combustion testing.

가설 B의 실험방법은 Fig. 14.와 같이 벽면에 설치한 정온전선에 사이즈 H210mm, 용량 10ml, 눈금 0.1ml LK LAB스포이드로 5ml의 커피를 떨어뜨려 인위적 트레킹 현상을 유발한 후 차단기의 작동여부를 확인한다. 트레킹현상 후 화재의 관찰을 위해 먼지 0.05g을 정온전

선의 양끝 단에 삽입, 화재현장과 동일한 테이핑 마감 처리를 한다.

정온전선은 화재현장과 동일한 제품으로 정격전압 AC220V, 소비전력 20W/m, 최대허용온도 65℃인 모델명 MIRAE 15-2를 사용하였다. 전류 변화량의 측정을 위한 클램프메타는 모델명DT-9809 누설전류계를 사용하였다.

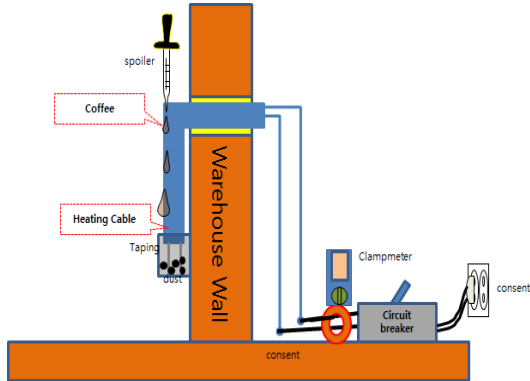


Fig. 14. Rehearsal experiment concept.

4. 실험결과

가설 A. 팔레트 위에서의 짐을 포장한 6박스의 연소 실험 결과 S/P헤드 작동 시점의 화염의 높이는 Fig. 15.와 같이 1.73m였으며, 열방출률은 NFPA 921 CODE에 의한 계산공식($Ht=0.174(KQ)^{2/5}$)에 의해 155.85Kw임을 확인 할 수 있었다.

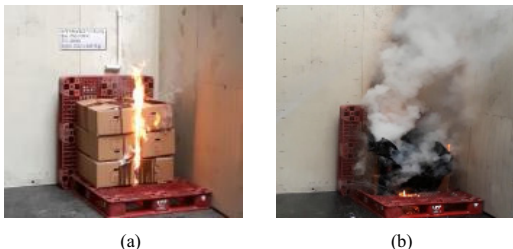


Fig. 15. (a) Combustion started (b) Fire Evolution.

배수관의 탄화흔을 Fig. 16.(a)와 같이 관찰할 수 있으며, 정온전선의 탄화 및 용융흔은 Fig. 16.(b)와 같이 발견할 수 없었으며, 온도변화 그래프는 Fig. 17.과 같다.

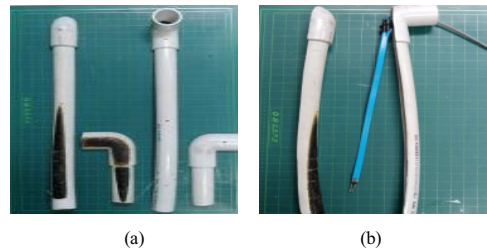


Fig. 16. (a) Marks from a drain pipe (b) Drainage and Positive Wire after Combustion Testing.

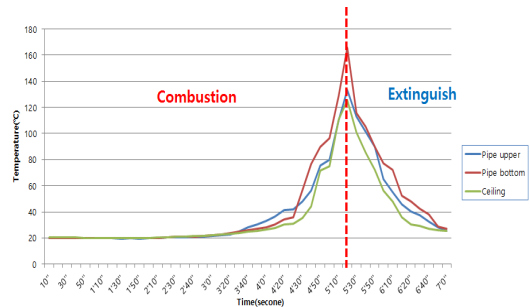


Fig. 17. Temperature change graph.

가설 B. 1일차에서 5일차의 실험으로 인위적인 트레킹 현상을 Fig. 18와 같이 관찰할 수 있었다. 트레킹 현상은 정온전선의 간격이 좁을수록, 전기전도가 높은 성분을 포함한 수분일수록, 먼지 등 이물질이 많을수록 쉽게 발생함을 확인할 수 있었다.

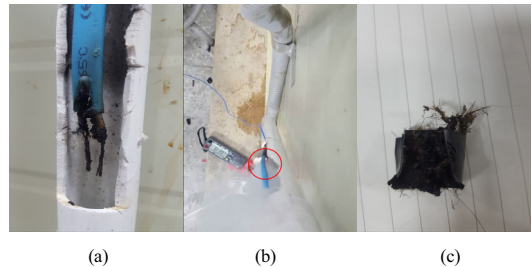


Fig. 18. (a) Combustion of dust and (b) Carbonated heating cable and (c) Carbonated dust.

6일차에서 10일차의 인위적 트레킹현상으로 인한 횡수 20회 시간10초, 동안의 전류의 변화폭은 Fig. 19. (a)와 같이 최대값, 3회차 0.380mA, 최소값, 18회차 0.105mA이다. 20회의 실험 결과 Fig. 15. (b)와 같이 누전차단기는 작동하지 않았다.

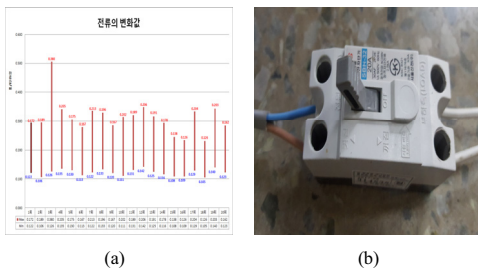


Fig. 19. (a) Current change graph and (b) The circuit breaker does not work.

5. 결론

본 연구에서는 2017년 발생한 **마트의 냉동창고 화재 사례를 NFPA 921 CODE의 과학적 조사방법으로 분석하였다. 분석 결과 발화원인으로 파레트에서 화재가 시작되었다는 가설A와 정온전선의 트레킹현상으로 화재가 시작되었다는 가설B를 설정하였다. 가설은 NFPA 921 CODE에서 규정하고 있는 연역적 방법 중 실험에 의한 방법으로 검정하였다. 실험결과와는 다음과 같다.

첫째. 화재 현장의 S/P헤드의 최초 작동 온도는 최대 78℃ 이다. 이때의 열방출률은 155.85Kw로 측정되었다. 최대 열방출률에서의 배수관의 일부 부분은 용융되었으나 정온전선에는 아무런 용융 및 탄화흔을 발견할 수 없었다.

둘째. 횡수 20회 시간10초, 동안의 트레킹현상 실험 결과 전류의 최대 변화폭은 3회차 Max 0.380mA, Min 0.126mA, 변화폭 0.254mA로 측정되었다. 반면에 전류의 최소 변화폭은 16회차 Max 0.126mA, Min 0.109mA, 변화폭 0.017mA로 측정되었다. 20회 실험결과 평균 전류의 변화폭은 0.067mA로 측정되었다.

셋째. 최대 열방출률에서 정온전선의 용융,탄화흔이 발견되지 않은점, 20회 동안의 인위적 트레킹 실험 결과 누전차단기가 작동하지 않은점을 근거로 파레트가 최초 발화지점이라고 주장한 가설 A를 기각하고 정온전선의 트레킹현상으로 용융물이 배수관에 착화, 파레트로 전이되면서 V형 패턴의 화재가 발생하였다는 가설B의 의견을 인용한다.

References

- [1] "National Fire Information Center E-Fire Statistics", 2017.
- [2] NFPA, "NFPA921 Guide for Fire and Explosion Investigations 2014 Edition", pp.11~19, 2014
- [3] National Fire Agency, Fire Tactics, Vol.1, pp.235, 2016.
- [4] Eui Pyeong Lee, A Study on Measures to Minimize Errors in the Judgment of Fire Causes, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.13, No.3, pp.139~146, 2012.
DOI: <https://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.3.139>
- [5] Eui Pyeong Lee, Cause Analysis of Errors in the Judgment of Fire Causes, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.13, No.2, pp.209~216, 2013.
DOI: <https://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.2.209>
- [6] Se-hong Min-Byeong-jun Song, A Study on Ignition and Fire Risks of Electric Heat Wire, Journal of the Korea safety management & science, Vol.17, No.4, pp.115, 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.12812/ksms.2015.17.4.113>
- [7] Automation parts, A Satisfactory Partner of Factory Automation, Future Development Front Materials, 2009, <http://blog.naver.com/msj3692/70073573333>, 2017.01.28.

박 경 진(Kyong-Jin Park)

[정회원]



- 2016년 8월 : 부경대학교 소방공학과 (공학석사)
- 2018년 6월 : 인제대학교 재난관리학과 (박사수료)
- 2001년 1월 ~ 2018년 6월 : 경남 소방본부 창녕소방서 팀장

<관심분야>
지진, 화재

이 영 기(Yong-KI Lee)

[정회원]



- 2005년 1월 ~ 2018년 6월 : 경남 소방본부 양산소방서 화재조사관

<관심분야>
화재

차 성 식(Sung-Sig Cha)

[정회원]



- 2007년 3월 : 영산대학교 법률행정학과 (석사)
- 2012년 2월 : 인제대학교 재난관리학과 (박사수료)
- 1984년 10월 ~ 현재 : 부산소방안전본부 부산진소방서 구조구급과장

<관심분야>
재난관리

정 도 영(Dong-Young Jung)

[정회원]



- 2015년 2월 : 인제대학교 재난관리학과 (이학석사)
- 2017년 2월 : 인제대학교 재난관리학과 (박사수료)
- 2010년 4월 ~ 2018년 6월 : 동남권원자력의학원 방사선중양학과

<관심분야>
방사선

김 장 오(Jang-Oh Kim)

[정회원]



- 2016년 8월 : 인제대학교 재난관리학과 (이학석사)
- 2018년 6월 : 인제대학교 재난관리학과 (박사수료)
- 2014년 9월 ~ 2016년 9월 : 인제대학교 방사선안전관리실 조교
- 2016년 9월 ~ 2018년 6월 : 인제대학교 원자력응용공학부

<관심분야>
방사선, 재난관리