

냉장고의 부위별 발열특성 및 화재위험성

이 홍수/선임연구원

Thermal Characteristics and Fire Risk of Refrigerator Caused by Various Conditions

1. 머리말

냉장고(冷藏庫, Refrigerator)는 식품이나 약품 등을 차게하거나 부패하지 않도록 저온에서 보관하여 부패, 변질을 방지하는 장치로 정의된다. 오늘날에는 과학기술의 발달로 전기냉장고가 주거시설 및 음식점 등에 널리 보급되어 사용되고 있으며, 그 보급량은 매년 증가하고 있다. 이는 냉장고의 편리함과 실용성이 대중의 욕구를 충분히 만족시켜 주었기 때문이라 할 수 있다¹⁾.

하지만 냉장고는 전기에너지를 동력원으로 사용하는 가전제품이기 때문에 여러부위에서 발열할 수 있으며, 특정 부위가 결함 또는 환경적 요인에 의해 과열될 경우에는 화재로 이어질 수 있는 위험성이 존재한다²⁾.

따라서 실험을 통해 가정에서 일반적으로 사용하는 냉장고의 사용조건, 제품고장 등에 따른 상황적 변수를 제공하여 냉장고의 각 부위별 발열특성 및 화재위험성을 도출하였다. 도출된 자료는 냉장고의 화재 안전성을 향상시킬 수 있는 자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 냉장고의 발화위험성

2.1 화재사례

Fig. 1은 냉장고의 PTC 서미스터(Positive Temperature Coefficient thermistor) 및 과부하 릴레이(Overload relay)가 연소되는 상황을 보여주고 있다. 이는 실제 냉장고 작동 중에 압축기 전원 접속부에서 착화되는 상황을 촬영한 것이며, 이러한 상황 등으로 보아 접속부의 접

촉불량 또는 과부하 릴레이 전열선의 과열 등이 원인이 되어 화재가 발생한 것으로 보인다.

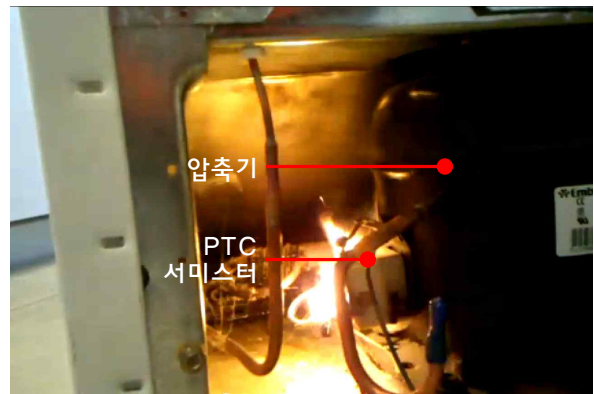


Fig. 1. 냉장고 압축기 전원 접속부 화재

2.2 부위별 발화위험성

2.2.1 PTC 서미스터

냉장고에는 압축기의 전동기로 전원을 공급하는 PTC 서미스터의 접속부가 존재한다. 이러한 접속부는 진동 및 외부 충격 등에 의해 접촉불량이 발생할 수 있다. 접촉이 불량한 개소에서 지속적으로 장기간 발열하게 되면 주위 전선 등의 가연물이 착화될 수 있다.

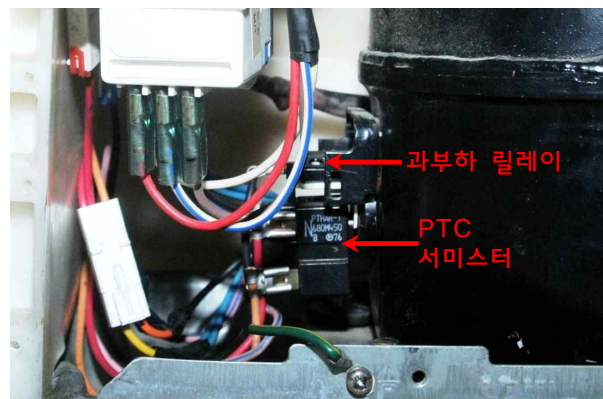


Fig. 2. PTC 서미스터 및 과부하 릴레이

2.2.2 과부하 릴레이

과부하 릴레이는 냉장고 회로의 과전류를 차단하는 역할을 한다. 냉장고에 과전류가 흐를 경우 전열선이 발열하여 인접한 바이메탈을 작동시키고, 동시에 접점을 개방하여 전류의 흐름을 차단하게 된다. 하지만 접점이 용착되어 있다면 바이메탈이 작동할 경우라도 회로는 개방되지 않는다. 이 경우 전열선 과열로 인해 주위 가연물이 착화될 수 있다.

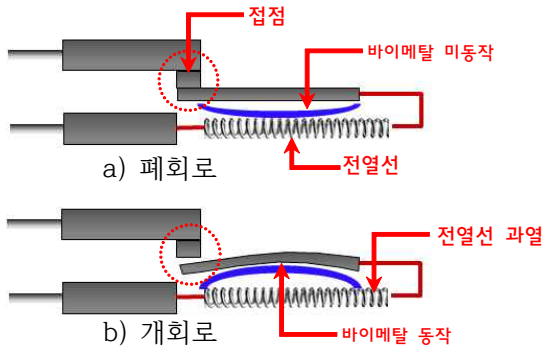
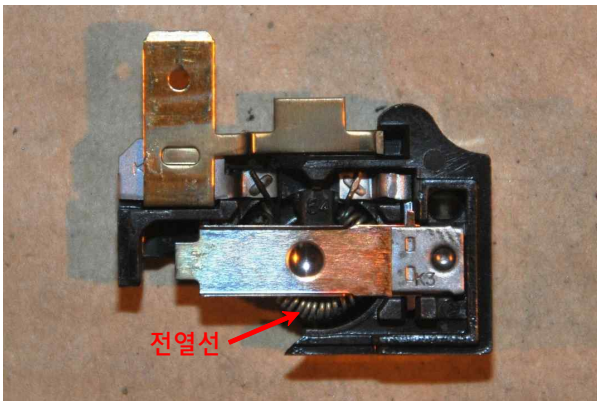
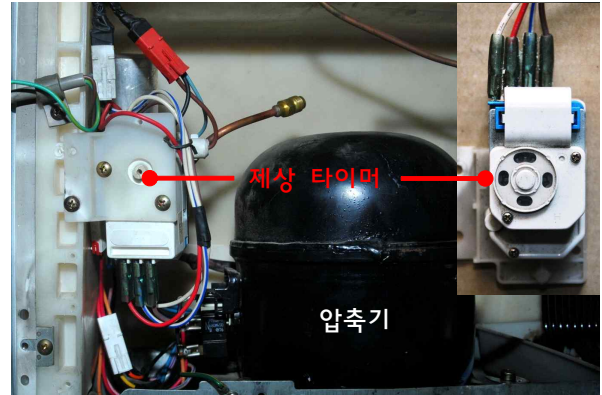


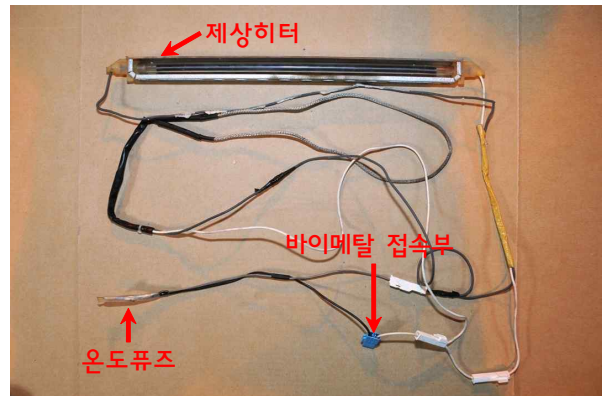
Fig. 3. 과부하 릴레이의 구조 및 원리

2.2.3 제상타이머 및 제상히터

냉동실에는 제상히터가 설치되어 있다. 제상히터는 타이머에 의해 작동하며³⁾, 타이머의 고장 또는 접점의 용착 등 고장이 발생할 경우에는 제상히터의 발열은 계속될 것이다. 물론, 바이메탈 및 온도퓨즈가 설치되어 화재로 이어질 가능성은 경미하지만, 중고제품에는 안전장치가 설치되지 않은 경우도 있기 때문에 화재위험은 상존한다.



a) 제상 타이머



b) 제상히터와 안전장치

Fig. 4. 제상 타이머 및 제상히터

3. 실험조건

3.1 실험조건

냉장고는 물질의 상태변화에 따라 주위온도가 냉각되는 원리를 응용한 전기장치로서, 냉매가스를 강제로 액화 및 기화시키기 위한 시스템이 갖추어져 있다. 대표적인 시스템 구성요소로써 압축기, 응축기, 팽창장치, 증발기 등이 설치되어 있으며, 이러한 장치들의 순차적이고 계속적인 동작에 의해 냉장고의 냉각기능을 수행하게 된다⁴⁾. 하지만 이와 같은 장치들은 모두 전기에너지를 이용하고 있기 때문에 발열할 수 있는 잠재위험이 존재한다. 이에 본 연구에서는 앞서 기술한 냉장고의 발화위험성을 비롯하여 Table 1과 같은 다양한 상황을 선정하여 발열특성 및 화재위험성을 확인하고자 하였다.

Table 1. 실험조건

번호	실험 상황	비고
1	정상운전	발열특성 확인
2	냉매제거 운전	발열특성 확인
3	PTC 서미스터 접촉불량	인위적인 진동부여 발열특성 확인
4	제상히터의 안전장치 제거	온도퓨즈 및 바이메탈 제거 발열특성 확인

3.2 실험장치

온도를 측정하고 기록하는 장비는 직경 0.65 mm의 K-Type 열전대(KS C 1602)와 PC Recorder(MSR128, MSYSTEM, Japan)를 사용하였다. MSP128의 최대 샘플링 속도는 8개 채널당 50 ms이며, 최대128개 채널을 동시에 감시할 수 있다. 실험용 냉장고는 304 l 용량의 것(220V, D사, S사, Korea)을 사용하였으며, 전동기의 소비 전력은 135 W이고, 전열장치의 소비전력은 148 W이다. 냉장고의 크기는 667 mm(W)×1 677 mm(H)×625 mm(D)이다. 실험실의 온도는 18 °C이며, 상대습도는 50±2 %의 무풍상태에서 실험하였다. Fig. 5은 전반적인 실험장치 개략도를 나타내고 있다.



Fig. 5. 실험장치 개략도

4. 실험방법 및 결과

4.1 정상운전 시 기본특성

4.1.1 실험방법

냉장고는 정상적으로 작동할 경우에도 압축기, PTC 서미스터, 제상히터, 전동기 등에서 발열하게 된다. 따라서 각 발열부위의 온도를 측정하기 위하여 K-TYPE 열전대(0.65 mm)를 Fig. 6과 같이 압축기 및 주위 전기부품에 설치하였으며, 시간에 따른 온도변화를 측정하였다. 정상운전 시에는 압축기를 비롯한 냉장고의 냉동기능을 위한 장치들만 동작하였기 때문에 제상히터에 대한 온도측정은 실시하지 않았다.



Fig. 6. 열전대 설치부위

4.1.2 실험결과

냉장고가 정상적으로 작동할 경우의 발열특성을 확인하기 위하여 50분 동안 각 부속장치의 온도변화를 측정하였다. Fig. 7에서 확인할 수 있는 바와 같이 냉장고가 정상 작동하는 경우에는 PTC 서미스터, 즉 압축기의 전원접속부의 온도가 가장 높았다. 이는 PTC 서미스터와 함께 접속하는 과부하 릴레이의 전열선 영향을 받은 것으로 판단된다. 뒤를 이어 압축기, 고압측 냉매관, 저압측 냉매관, 전동기(응축기 냉각용 소형모터)의 순서로 온도가 높았다. PTC 서미스터의 최대 발열온도는 약 53 °C까지 상승하였으며 그 시간은 50여분이 소요되었다. 이를 통해 대부분의 가정용 냉장고는 정상적인 작동 상황일 경우에도 기본적으로 PTC 서미스터 부위에서 50 °C는 초과하는 것을 알 수 있으며, 인화성액체를 저장하거나 취급하는 장소에 냉장고가 설치되어 있는 경우에는 화재위험이 높다는 것을 알 수 있다.

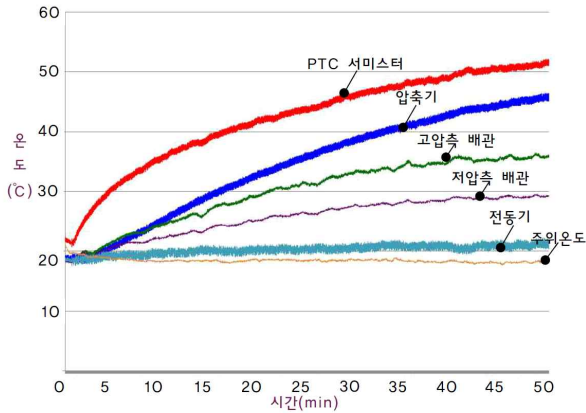


Fig. 7. 정상운전 시 발열특성

4.2 냉매제거 운전

4.2.1 실험방법

냉매가 부족한 상태에서 냉장고의 발열특성을 확인하기 위해 본 연구를 실시하였다. 실험 방법은 4.1.1의 경우와 동일하다.

4.2.2 실험결과

냉장고의 냉매를 모두 제거한 상태에서 실험 하였으며, 그 때의 발열특성은 Fig. 8와 같다. 주목할 점은 냉장고에 냉매가 없는 경우에는 냉매가 정상적으로 충전되어 있는 경우에 비하여 PTC 서미스터 및 압축기 등의 온도가 급격하게 상승하는 패턴을 그린다는 점이다. 정상운전의 경우 PTC 서미스터의 온도가 50 °C까지 상승하는데 약 42분이 소요된 반면 냉매가 제거된 상태에서는 약 5분만에 50 °C에 도달하였다.

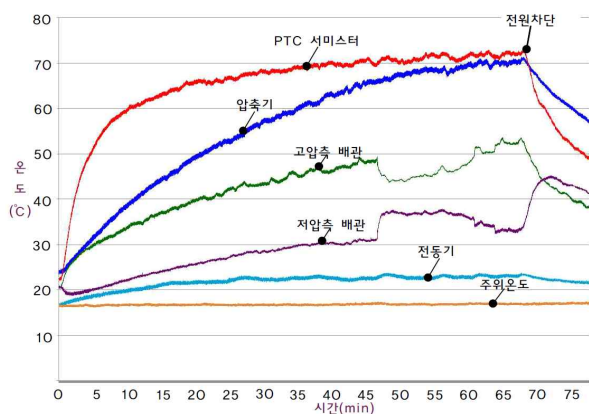


Fig. 8. 냉매제거 시 발열특성

실험을 통해 냉장고에 냉매가 부족하거나 없는 상태로 장기간 운전할 경우에는 특정부위가 과열될 수도 있다는 것을 확인할 수 있었으며, 과열된 부위에 특정 가연물이 존재할 경우에는 그로인한 발화위험도 배제할 수는 없을 것이다.

4.3 PTC 서미스터 접촉불량

4.3.1 실험방법

압축기의 PTC 서미스터의 접속부는 항상 압축기 모터에 의한 진동이 가해지며, 그 상태에서 반복적이며 주기적으로 전류가 흐르게 된다. 본 연구에서는 수년간 사용된 냉장고 등에서 진동 또는 외부 충격 등에 의해 접촉불량 개소가 발생하는 상황을 재현하고자 하였다. 접촉불량 상황을 극대화하기 위하여 PTC 서미스터 접속부에 인위적으로 불규칙한 진동을 가하였으며, 그 때 해당부위에서 나타나는 발열특성을 확인하였다.

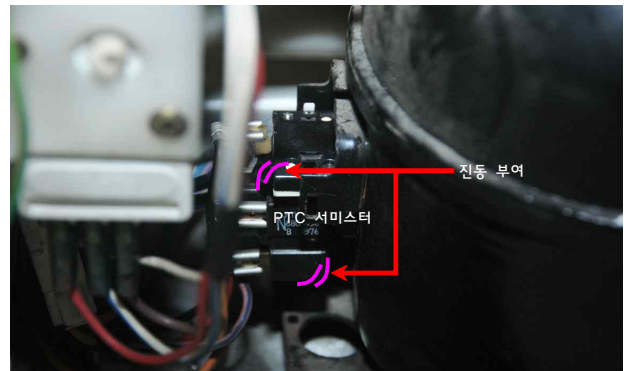


Fig. 9. PTC 서미스터의 접촉불량

4.3.2 실험결과

냉장고에서 제상히터를 제외하고 가장 발열이 심한 곳은 PTC 서미스터(과부하 릴레이 포함)라는 사실은 정상운전 실험을 통해 알 수 있었으며, 실제 해당 부위 과열로 인해 화재가 발생하는 상황도 사례를 통해 확인할 수 있었다. PTC 서미스터 접속부에 인위적인 진동을 가하여 실험을 실시한 결과 Fig. 10과 같은 발열특성을 나타내었다. 여기서 주목할 점은 냉장고가

정상운전할 경우보다 접촉불량이 발생한 상황에서 PTC 서미스터의 온도는 더 빨리 상승하였다는 것이다. 정상운전 시에는 50 ℃까지 상승하는데 40~50분 정도가 소요된 반면, 진동이 동반된 접촉불량의 경우에는 약 15분만에 50 ℃를 초과하였다. 진동모터 등의 기계장치에 의해 장기적인 진동이 PTC 서미스터 접촉부에 가해졌다면 과열로 인해 화재가 발생할 수도 있었을 것이다.

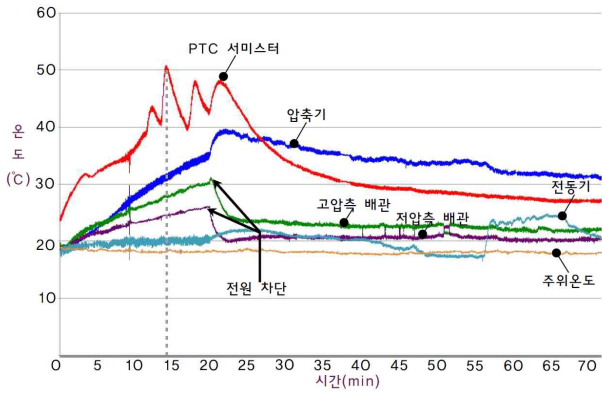
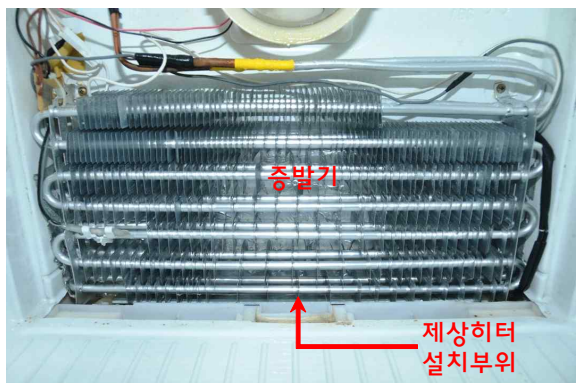


Fig. 10. PTC 서미스터의 접촉불량 시 발열특성

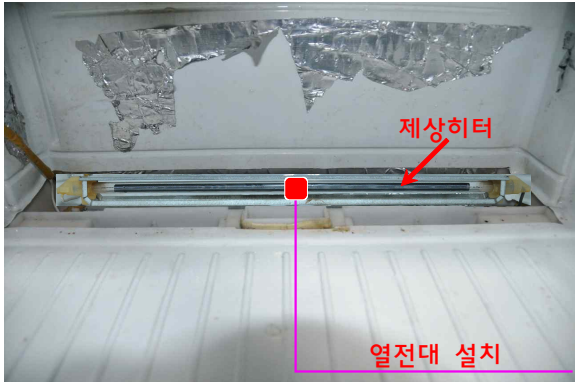
4.4 제상히터의 안전장치 제거

4.4.1 실험방법

제상히터는 타이머에 의해 자동으로 전원공급이 제어되며, 제상히터가 작동하여 과열되는 것을 방지하기 위하여 냉동실에는 바이메탈 서모스탯 및 온도퓨즈가 페일세이프(Fail safe) 구조로 설치되어 있다.



a) 증발기 및 제상히터 설치부위



b) 열전대 설치부위(증발기를 제거한 상태)

Fig. 11. 제상히터의 열전대 설치부위

본 연구에서는 제상히터를 작동시키는 타이머의 접점을 인위적으로 조작하여 제상히터를 작동시켰으며, 동시에 안전장치의 결함이 발생하는 등 최악의 상황을 설정하기 위해 냉동실의 모든 안전장치는 제거하였다. 온도측정을 위하여 제상히터는 최대 발열지점인 히터 중앙부분에 열전대를 설치하였다.

4.4.2 실험결과

냉장고에서 제상히터가 작동할 경우에는 Fig. 12과 같이 히터의 온도가 급격하게 상승하여 약 600 ℃까지 상승함을 확인할 수 있었다. 냉장고의 종류 및 사용된 히터에 따라 다르겠지만 측정된 온도는 냉동실 내부의 플라스틱 가연물을 충분히 연소시킬 수 있는 발열량이다. Fig. 12에서 확인할 수 있는 바와 같이 제상히터는 순간적으로 약 600 ℃까지 상승하고 이후 약 400 ℃ 수준으로 온도가 유지되었으며, 제상히터의 작동과 동시에 압축기 및 그 밖의 장치류의 온도는 감소하였다. 만일 냉동실에 종이류, 인화성 액체류 등이 보관된 상태에서 제상히터가 작동되고, 그 온도제어를 실패할 경우에는 보통의 경우보다 더 쉽게 화재로 이어질 수 있을 것이다.

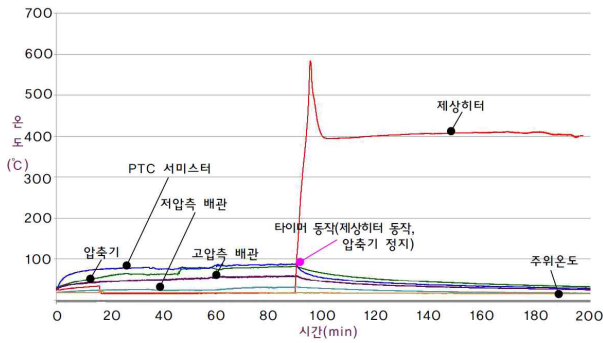


Fig. 12. 제상히터 동작 시 발열특성

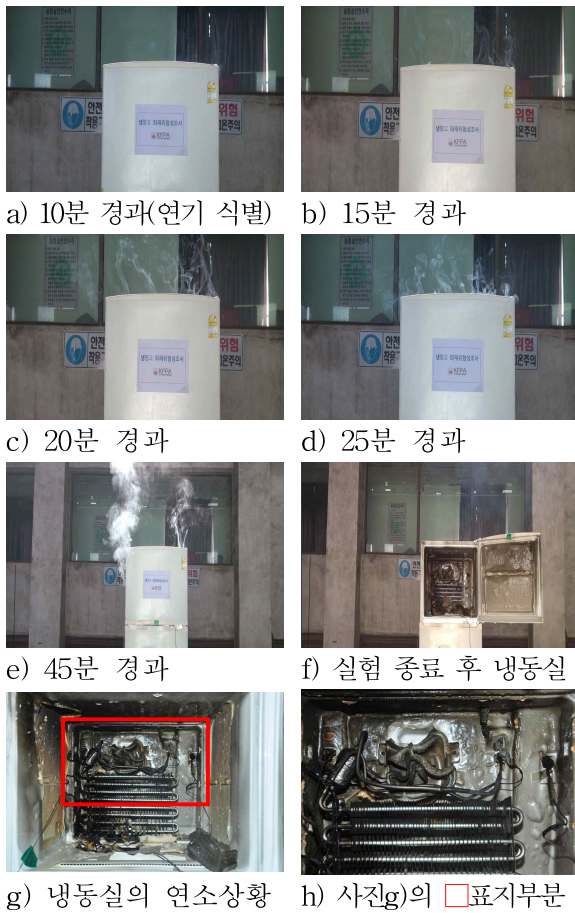


Fig. 13. 제상히터 작동 후 경과시간에 따른 상황

4.5 고찰

냉장고에서 나타날 수 있는 발열특성을 파악하고 분석하기 위하여 4가지 상황조건을 설정하고, 각각의 상황에서 온도를 측정하고 기록하여 Table 2와 같이 비교 분석하였다. 제상히터

를 제외한 모든 상황조건에서 전원이 투입될 경우 PTC 서미스터 부분에서 가장 높은 온도로 발열하는 특성을 보였으며, 냉매가 부족할 경우에는 국부적인 과열로 이어질 수 있다는 것도 확인할 수 있었다. PTC 서미스터에서 접촉불량이 발생할 경우에는 정상적인 경우보다 온도상승 속도가 더 빠르다는 것을 확인하였고, 장기간 그러한 상황이 지속될 경우에는 주위 가연물의 착화 가능성을 예측할 수 있었다. 마지막으로 제상히터의 온도제어를 실패할 경우에는 곧바로 화재로 이어질 수 있다는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

Table 2. 실험조건에 따른 발열특성

발열특성		발 열 특 성		
		최대 온도 (°C)	최대 온도 도달 시간 (min)	50°C 도달 시간 (min)
실험조건 및 발열부				
정상 운전	PTC 서미스터	52	50	42
냉매 제거	PTC 서미스터	72	50	5
	PTC 서미스터 접촉불량	51 (단기간 접촉불량 유도)	15	15
	제상히터 작동 (안전장치 제거)	600	5	0.5

5. 결론

다양한 상황조건에서 냉장고를 작동시키고, 여러부위에서 나타나는 발열특성을 분석하였다. 이와 같은 실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 가. 냉장고의 단열재로 사용되는 폴리우레탄 폼 심재는 난연성 재료 또는 이와 동등 이상의 재료로 충전하여 화재 또는 연소 확대 위험을 감소시켜야 한다.
- 나. 냉장고가 정상적으로 작동할 때 가장 발열량이 큰 부위는 PTC 서미스터(과부하 릴레이 포함) 부분이다.
- 다. 냉장고에 냉매가 부족할 경우에는 정상적으로 충전되어 있는 경우에 비하여 PTC 서미스터 및 압축기 등에서 온도가 더 빨리 상승하는 특성이 있다.
- 라. PTC 서미스터에서 접촉불량이 발생할 경우에는 정상적인 경우에 비하여 해당 부위에서 온도가 급격히 상승하는 특성이 있으며, 접촉불량이 장기화 될 경우에는 과열로 인해 주위 가연물이 착화될 수 있다.
- 마. 제상히터를 제어하는 타이머와 안전장치가 고장날 경우에는 과열로 인하여 냉동실의 가연물이 착화될 수 있다.

참고문헌

1. (주)월드리서치, “2011년 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사”, 한국전력거래소, pp.3~10, 2011.
2. 소방방재청 국가화재정보센터,
<http://www.nfds.go.kr/fr_fact_0301.jsf>(17. Jan. 2013)
3. 조병욱, “냉동기술공학”, 씨마스, pp.116~117, 2010.
4. 이종수 외, “실무중심의 냉동공학”, 포인트, p.167~206, 2001.