

선풍기 화재 위험성에 관한 실험연구

공학박사 홍 성 호 / 전기시스템팀 연구원

1. 서론
2. 선풍기 구조 및 원리
3. 화재실험
4. 결론

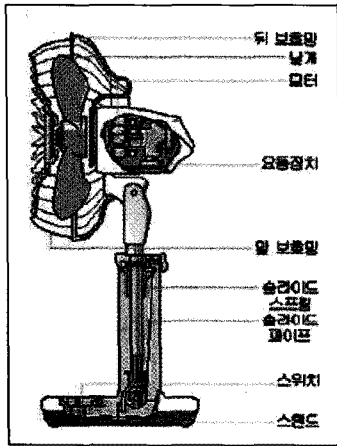
1. 서론

전기는 문명사회의 기초에너지로서 다방면에서 이용되고 있어 일상생활에서 전기의존도는 말할 것도 없거니와 문화생활과 산업활동에 있어 절대적인 기반요건이 되어있다. 이와 같이 없어서는 안 될 전기는 잘못 사용하는 경우와 적절한 관리가 되지 못하면 큰 위험성을 내포하고 있고 이러한 위험성 때문에 전기에너지를 사용하는 작업자의 작은 실수에 의해 치명적인 재해가 발생하기도 한다. 전기로 인한 재해 중에서 전기화재는 수많은 인명피해와 재산상의 피해를 가져다 줄 수 있는 심각한 재해이다. 일반 가정이나 사무실에서 흔히 사용되는 가전제품은 전기에 대한 비전문가가 사용하는 설비이기 관리소홀이나 취급상 부주의 등에 의해 화재가 종종 발생하는 실정이다. 특히, 무더운 여름철에 가정이나 사무실 등에서 많이 사용하는 선풍기는 장시간 사용하는 제품이기 때문에 모터의 과열상태가 장시간 지속될 가능성이 높은 제품이다.

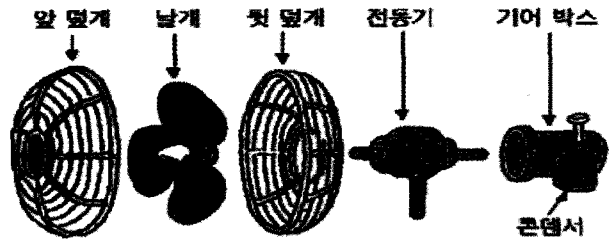
본 연구는 선풍기에서 발생할 수 있는 화재위험성에 대하여 분석하였다. 화재위험성을 분석하기 위하여 정상조건에서 선풍기 자체 발열특성을 분석하는 실험을 수행하였고, 선풍기 모터가 과열될 수 있는 이상조건을 구현하여 실험을 수행하였다.

2. 선풍기 구조 및 원리

선풍기는 회전기구, 타이머, 높이조절기구, 미풍에서 강풍으로 회전속도를 조절하는 스위치 등으로 구성되어 있다. [그림 1]과 [그림 2]는 선풍기 각부의 명칭과 전개도를 나타낸 것이다.



[그림 1] 선풍기 각부의 명칭



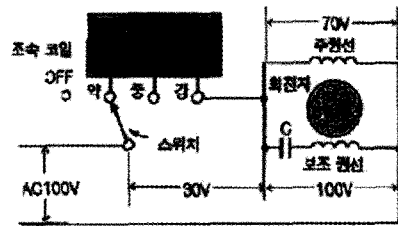
[그림 2] 선풍기 전개도

2.1 작동원리

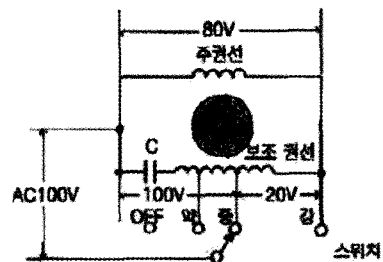
선풍기에는 유도모터가 대부분 사용되고 있으며, 이는 세탁기 모터와 유사한 콘덴서동형 모터로서 콘덴서의 90도 위상차를 이용하여 회전자계를 발생시켜 회전토크를 일으키게 된다. 이러한 회전토크는 모터의 주권선에 가해지는 전압의 크기에 비례하게 된다. 그러므로, 주권선의 전압을 조절하면 모터의 토크가 변하게 되어 선풍기 날개의 회전속도를 조절할 수 있게 되는 것이다. 모터 주권선에 가해지는 전압을 변화시키려면 [그림 3] (a)와 같이 조속코일을 넣어 코일에 탭을 낸 다음 접점을 바꿔줌으로써 모터 주권선에 걸리는 전압을 바꿀 수 있다.

조속코일과 주권선에 전압이 적절히 나누어 걸리게 되어 결과적으로는 주권선의 전압을 원하는 데로 조절할 수 있게 된다. 그러나 선풍기 회로에 조속코일을 추가하게 되면 선풍기의 무게가 증가될 뿐만 아니라 제작비용이 상승하게 되는 문제가 생기게 된다. 회로를 좀더 효율적으로 설계하기 위해 [그림 3] (b)와 같이 조속코일을 추가 장치하지

않고 모터의 보조권선을 이용하여 탭을 낸 다음 사용하는 방법도 있다. 이와 같이 보조권선을 이용하여 회로를 설계하면 특별한 문제가 없을 뿐만 아니라 효율이 더 좋아 근래의 선풍기 제조사 대부분이 방식을 채택하고 있다.



(a) 조속코일 부착

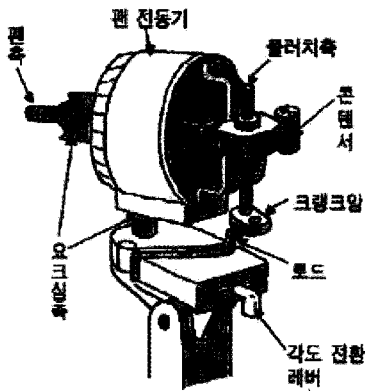


(b) 보조권선 탭 부착

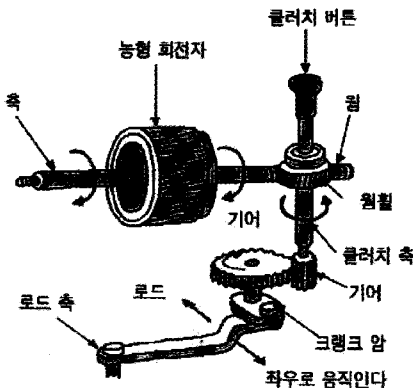
[그림 3] 선풍기 회로도

2.2 방향 회전원리

선풍기의 방향이 자동으로 회전하는 것은 자동차 와이퍼가 움직이는 것과 같은 원리라고 할 수 있다. 선풍기의 방향조절 기구에는 래치 버튼과 각도 전환 레버가 붙어 있다. [그림 4]는 선풍기 덮개를 떼어낸 것을 나타낸 것으로 [그림 4]에서 보는 바와 같이 모터의 회전운동이 기어에 의해 감속되고 크랭크 기구에 의해 좌우 회전운동으로 바뀌게 된다는 것을 알 수 있다. 회전각도는 전환레버에 의해 요크심축과 로드축과의 간격을 조정함으로써 얻어진다. [그림 5]는 방향조절 기구에 대한 것을



[그림 4] 선풍기 덮개를 떼어낸 상태



[그림 5] 방향조절 기구

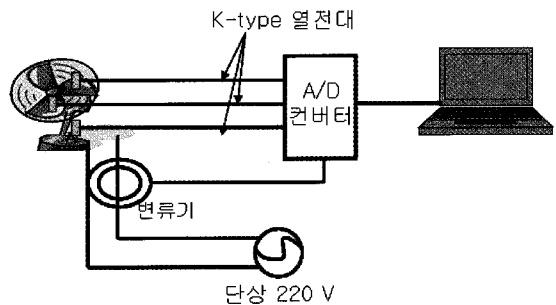
확대한 것으로 모터의 회전축은 웜기어로 되어 있으며, 웜휠에 의해 세로 방향의 회전으로 바꿀 수 있다. 이 과정에서 선풍기 모터의 빠른 회전속도를 기어비를 통해 적당한 속도로 감소시킨다. 다음에는 로드축을 고정시켜 크랭크암을 회전시키면 로드는 좌우운동을 하게 된다.

3. 화재실험

3.1 실험방법

(1) 정상작동 실험

정상작동하는 선풍기 자체의 고유 발열특성을 확인하기 위해 제조사 사양에 따라 선풍기를 정상 상태로 전원을 인가하고 바람세기를 최대로 놓은 상태에서 선풍기 모터 등의 온도를 측정하였다. 온도 측정을 위한 센서는 K-type 열전대이고, 온도 측정부위는 모터 윗면, 철심, 회전모터, 콘덴서, 모터코일 등이다.



[그림 6] 온도 및 소비전류 측정 개략도

선풍기의 발생열량을 분석하기 위하여 소비전류를 측정하였다. [그림 6]은 온도 및 소비전류 측정에 대한 개략도를 나타낸다. 그림에서 보듯이 K-type 열전대로부터 입력되는 신호를 A/D 컨버터

에 받아들여 온도를 측정하고, 변류기를 이용하여 소비전류를 측정하였다. 또한 선풍기가 이상과전압에 정상 작동하는 지에 대한 성능을 평가하기 위하여 KS C IEC 60335-1에서 규정하는 정격입력의 124 %를 인가하여 정격전압이 인가되는 경우와 온도 등을 비교·분석하였다.

(2) 이상상태 작동실험

이상상태 작동실험은 선풍기가 정상상태가 아니고 장기간 사용 등에 따른 선풍기의 고장상태를 재현하는 실험을 나타낸다. 본 연구에서는 선풍기의 모터 고장으로 인하여 화재가 유발되는 상황을 재현하기 위하여 다음과 같이 5가지 경우로 구분하여 실험을 수행하였다.

Case I : 송풍구 막은 상태

Case II : 모터구속상태

Case III : 송풍구 막고, 모터구속상태

Case IV : 송풍구 막고, 모터코일 주위에 먼지를 삽입하고 모터구속상태

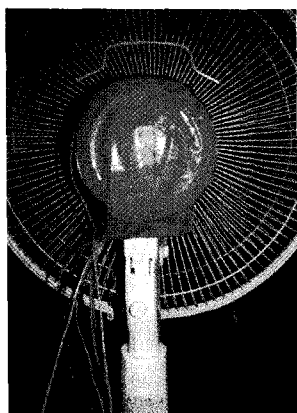
Case V : 층간단락

Case I, III의 송풍구 막은 상태는 선풍기 뒷부분 송풍구를 막은 상태를 나타낸 것이고, Case II, III, IV의 모터구속상태는 선풍기 회전날개를 인위적으로 구속하여 전원이 입력되는 상태에서 모터를 구속한 상태를 나타낸다. Case V의 층간단락은 모터코일의 절연물을 인위적으로 벗긴 다음 모터 코일간 단락을 시킨 것을 나타낸다. [그림 7]~[그림 9]는 송풍구 막은상태, 모터구속상태, 먼지삽입상태를 나타낸 것이다.

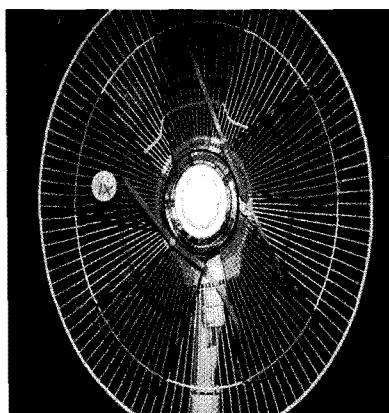
3.2 실험결과 및 분석

(1) 정상 작동실험

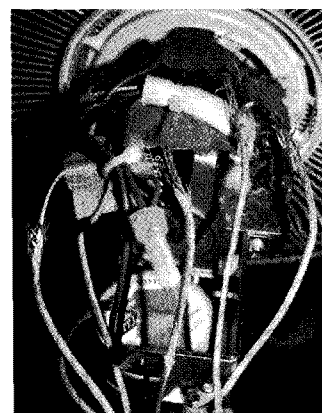
[그림 10]은 정상 작동시 선풍기 각 부위의 온도 분포를 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 온도분포가 가장 높은 부위는 철심으로 나타났다. 선풍기가 정상작동하는 경우에는 최고 온도가 약 51℃로 나타나 화재위험성이 다소 낮은 것으로 나타났다. [그림 11]은 선풍기가 정상 작동하는 경우 소비전류를 나타낸 것으로 소비전류는 약 120 mA로 나타났다.



[그림 7] 송풍구 막은 상태



[그림 8] 모터구속상태

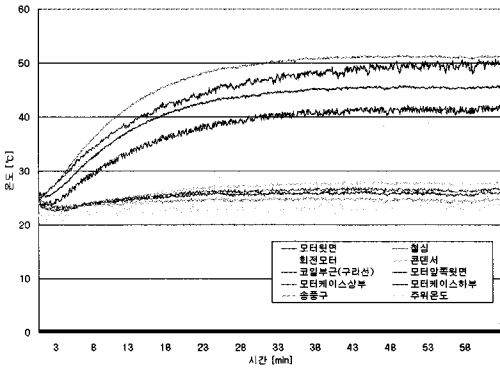


[그림 9] 먼지삽입상태

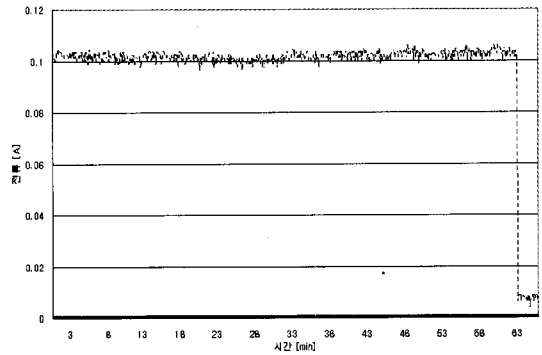
[그림 12]는 정격의 124 % 인가시 선풍기 각 부위의 온도분포를 나타낸 것으로 정상 작동의 경우와 마찬가지로 온도분포가 가장 높은 부위는 철심으로 나타났다. 전체적인 온도분포는 정상 작동의 경우보다 약 5°C정도 높게 나타났지만 화재위험성이 크게 높아지지는 않는 것으로 나타났다. [그림 13]은 정격의 124 % 인가시 소비전류를 나타낸 것으로 정상 작동의 경우보다 약 140 mA정도 더 높게 나타나 이상과전압이 인가된다면 위험성이 높아지는 것을 알 수 있다.

(2) 이상상태 작동실험

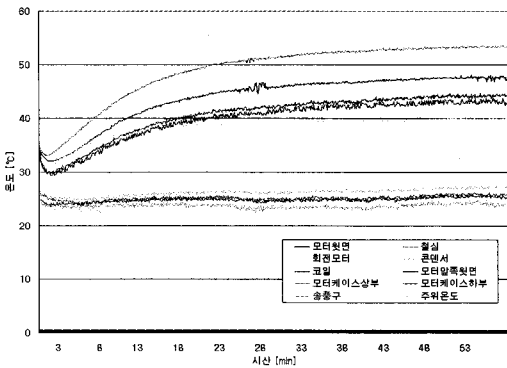
[그림 14]는 송풍구 막은 상태에서 정격전압을 인가했을 때 선풍기 각 부위의 온도분포를 나타낸 것으로 그림에서 보듯이 전체적인 온도분포가 이상과전압이 인가된 경우보다 높게 형성되는 것을 알 수 있다. 이러한 송풍구 막은 상태는 일반 가정에서 선풍기 날개 뒷부분에 수건이나 옷 등을 건조시키기 위하여 걸어 놓는 상황을 재현한 것으로 실험결과에서 알 수 있듯이 선풍기 뒷부분의 송풍구가 막은 경우에는 화재위험성이 높아지는 것을 확



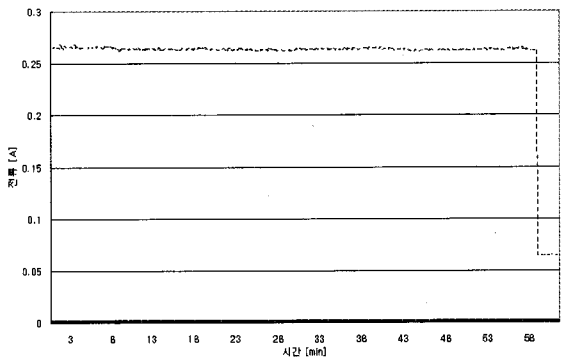
[그림 10] 정상작동시 온도분포



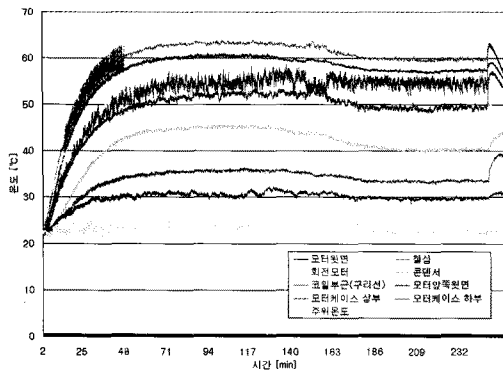
[그림 11] 정상작동시 소비전류



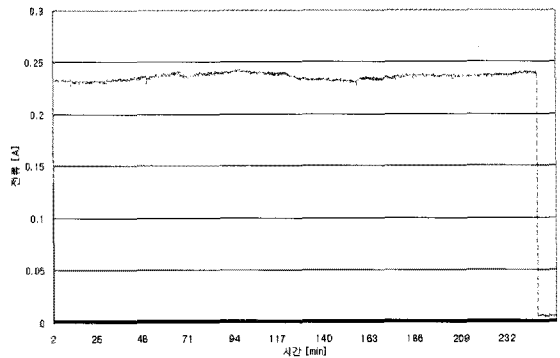
[그림 12] 정격의 124 % 인가시 온도분포



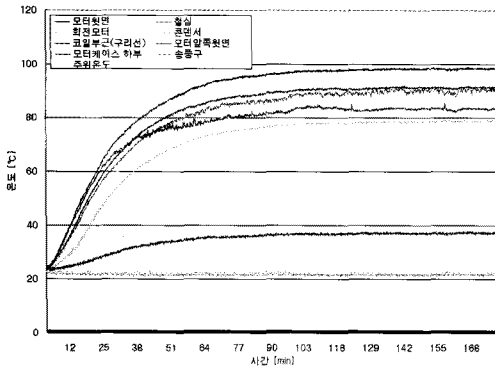
[그림 13] 정격의 124 % 인가시 소비전류



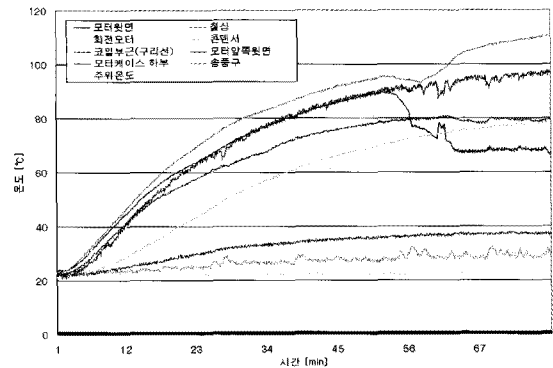
[그림 14] 시간에 따른 온도분포-Case I



[그림 15] 소비전류 - Case I



[그림 16] 시간에 따른 온도분포-Case II



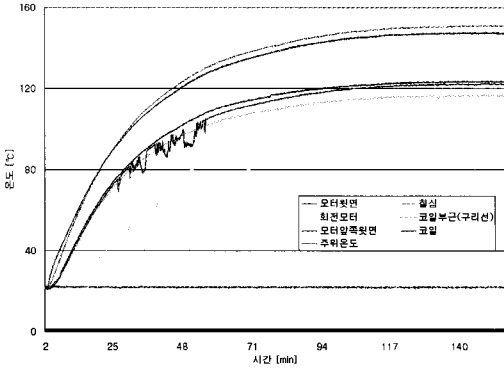
[그림 17] 시간에 따른 온도분포-Case III

인할 수 있다. [그림 15]는 송풍구 막은 경우의 소비전류를 나타낸 것으로 소비전류도 이상과전압이 인가된 경우보다 높게 형성되는 것으로 나타났다.

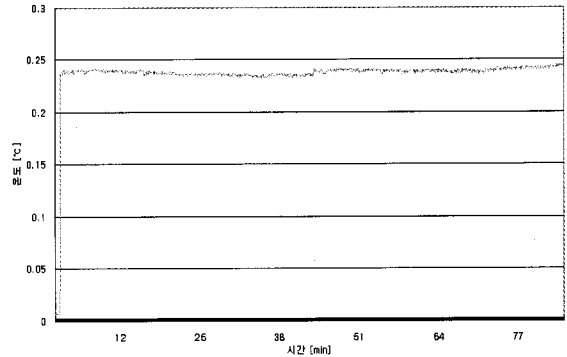
[그림 16]은 모터를 구속한 경우 온도분포를 나타낸 것으로 그림에서 보듯이 모터가 정지한 상태에서 정격전압이 계속 인가되는 경우에는 최고온도가 약 98℃까지 상승하는 것으로 나타나 화재위험성이 매우 높은 것으로 나타났다. [그림 17]은 송풍구를 막은 상태에서 모터를 구속한 경우 시간에 따른 온도분포를 나타낸 것으로 모터를 구속한 경우보다 높은 온도분포를 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 일반 가정에서 선풍기 회전날개 부위에

수건이나 옷 등을 걸어놓고 건조시키다가 회전날개에 걸려서 모터가 정지한 경우 화재위험성이 매우 높다는 것을 실험결과를 통하여 알 수 있다.

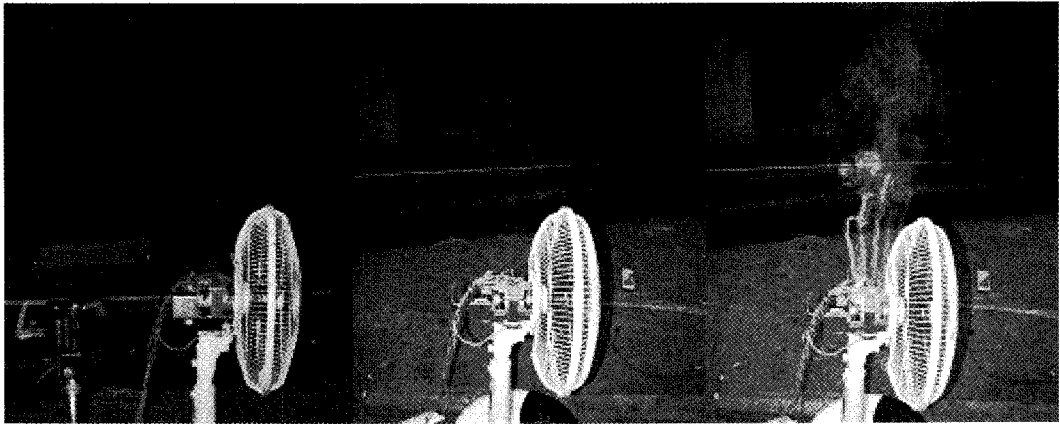
[그림 18]은 모터코일 주위에 먼지를 삽입하고 송풍구를 막은 상태에서 모터를 구속시킨 경우 시간에 따른 온도분포를 나타낸 것으로 화염이 발생하지는 않았지만 그림에서 보듯이 높은 온도분포를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 따라서 오래된 선풍기의 경우 모터코일 주위에 먼지 등이 축적되어 있는 경우 모터가 정지된 상태에서 정격전압이 인가되는 경우에는 화재위험성이 아주 높은 것을 알 수 있다. [그림 19]는 이러한 경우 소비전류를



[그림 18] 시간에 따른 온도분포-Case IV



[그림 19] 소비전류 - Case IV



[그림 20] 시간에 따른 온도분포-Case III

나타낸 것으로 소비전류가 크게 높아지지는 않았지만 [그림 18]에서 볼 수 있듯이 온도분포가 상당히 높다는 것을 알 수 있다.

[그림 20]은 충전단락에 의한 연기발생장면을 나타낸 것으로 그림에서 보듯이 모터코일의 절연을 인위적으로 제거한 다음 전원을 코일에 직접 인가하게 되면 [그림 20]과 같이 실제 화재가 발생하는 것으로 나타나 선풍기를 장기간 사용하는 경우 모터코일의 절연이 열화되어 절연물의 절연성능이 매우 저하된 경우에는 화재발생가능성이 아주 높다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 가전제품 중 일반 가정에서 여름철에 가장 많이 사용되는 선풍기에 대한 화재위험성을 다양한 실험을 통하여 분석하였다. 실험은 선풍기가 정상작동하는 경우와 일반 가정에서 사용하는 중에 통상적으로 발생할 가능성이 있는 위험상황을 모델링하기 위한 이상상태 작동실험을 수행하였다.

정상 작동실험결과 선풍기가 정상 작동하는 경우에는 최고발열온도는 약 51°C로 나타나 화재위

험성이 높지 않은 것으로 나타났고, 정격의 124 % 를 인가한 경우에도 온도분포는 높게 나타나지 않았다.

이상상태 작동실험결과 송풍구가 막힌 경우에는 과전압이 인가되는 경우보다 온도분포가 높게 나타났다으며, 팬이 구속된 경우에는 최고온도가 약 98℃로 나타났고, 선풍기 모터주위에 먼지가 있는 상태에서 팬이 구속된 경우에는 최고온도가 약 150℃이상으로 나타나 화재위험성이 높은 것을 알 수 있었다. 모터코일간 층간단락이 발생하면 선풍기 모터에 연기가 발생하면서 화재발생가능성이 높은 것으로 나타났다. **FILK**

〈참고문헌〉

1. 한국전기제품안전협회, “선풍기(Electric Fan)의 원리”, 전기제품안전21, Vol. 151, pp.60~63, 2006
2. 허맹구, “Motor 및 선풍기 기술동향”, 전자진흥, Vol. 5, No. 11, pp.18~21, 1985
3. 한국전기제품안전진흥회, “선풍기”, 전기제품안전21, Vol. 64, pp.47~55, 1998
4. 안준호, 조관열, “가전제품용 BLDC용 전동기의 설계기술”, 전력전자학회지, Vol. 7, No. 4, pp.13~17, 2002
5. 김혁수, 김형래, 최충석, 정재희, “환풍기용 전동기 권선의 층간단락에 의한 화재위험성 분석”, 한국화재소방학회 춘계학술발표논문집, pp.135~139, 2000

