선풍기의 운전 상황별 발열특성 및 전류신호 검출

김두현 · 이흥수^{*}

충북대학교 안전공학과 · *한국화재보험협회 방재시험연구원
(2014. 1 7. 접수 / 2014. 6. 5 채택)

Detection of Current Signal and Thermal Characteristics of Electric Fan Operated in Various Situations

Doo-Hyun Kim · Heung-Su Lee^{†*}

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

^{*}Fire Insurers Laboratories of Korea, Korean Fire Protection Association

(Received January 7, 2014 / Accepted June 5, 2014)

Abstract : Cooling equipment is the frequent occurrence of fire despite the absence of the heating element. National fire statistics in 2013 show that a total of 263 fires occurred in the cooling equipment and the number of electric fan has 145 fire cases. This is accounted for 55.1% of the whole. Electric fan is the electrical appliance that the heat is generated on the winding wire and the iron core. If such characteristic is not controled properly, fire would break out at the electric fan. also there is a gap filled with an insulator between connection terminals of the capacitor in the electric fan. But in case that the gap on the capacitor is covered with some conductive material such as dust, there would be a fire as well caused by electrical heating locally. Although many studies related with those have been conducted, electric fan fire is continuously occurred. In this study, thermal characteristics and current signal in various conditions such as the heat generation of windings including iron cores of the motor and the dielectric breakdown of terminals on the capacitor connected to the motor were detected. In order to measure the maximum temperature, “third level” wind velocity button was pushed and the time selection switch to “continuation” was set. Analyzed data would be available for the fire safety of the electric fan.

Key Words : electric fan, fire, iron cores, windings, capacitor, dielectric breakdown

1. 서론

선풍기는 여름철 더위를 식혀주는 대표적인 냉방기기이다. 이러한 선풍기는 설치와 이동이 용이하여 주거시설뿐만 아니라 산업현장 등 다양한 장소에서 사용되고 있다. 2011년 한국전력거래소의 조사에 의하면 가구당 1.6대 이상의 선풍기를 보유하고 있는 것으로 확인되었으며¹⁾, 그러한 수치는 가전제품군 중에서도 그 사용률이 높다는 것을 보여주고 있는 것이다.

하지만 이러한 선풍기는 전동기를 사용하는 전기제품이기 때문에 권선 및 철심 등에서 필연적으로 열이 발생하게 된다. 이러한 이유로 권선에는 온도퓨즈 등의 안전장치가 설치되어 있으나, 제조상 결함 등으로 인해 안전장치가 권선과 이격되거나, 설치되지 않은 경우에는 권선의 과열로 인해 화재가 발생할 수도 있

다. 특히 구속운전 시에는 회로에 과전류가 흐를 수 있고, 그로인해 층간단락이 발생하여 에나멜의 가연성 혼합기를 착화시키는 점화원으로 작용할 수도 있다. 또한 선풍기 콘텐서의 접속단자 사이에는 일정거리의 간격이 존재하기 때문에 이러한 단자 사이에 도전성 분진 등이 축적되어 국부적인 발열 및 과열로 인해 주위 가연물이 착화될 수도 있다²⁻³⁾.

따라서 본 연구에서는 선풍기 모터의 철심 및 권선의 발열과 모터 콘텐서 접속단자의 절연파괴 등 실제 일어날 수 있는 상황에서의 발열특성 및 전류신호를 검출하고 분석하여 선풍기의 화재위험성을 확인해 보고자 하였다. 분석된 자료를 통해 선풍기의 화재 안전성을 향상시킬 수 있으며, 사진 등의 영상은 화재원인 조사 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

[†] Corresponding Author : Heung-Su Lee, Tel : +82-2-3780-0283, E-mail : hslee@kfpa.or.kr

Fire Insurers Laboratories of Korea, KFPA, 38, Gukjekeumyung-ro, 6-gil, Yeongdeungpo-gu, Seoul 150-885, Korea

2. 화재사례

Fig. 1은 15년 이상 장기간 사용한 선풍기에서 발생한 화재사례이다. 이 선풍기에는 온도퓨즈 등 안전장치가 없는 것이 특징이며, 화재가 발생한 모터 권선에서는 층간단락의 흔적이 남아있었다. 이는 선풍기 작동 중에 권선 및 철심에서 발열하였다는 것을 보여주고 있는 것이다. 발열로 인해 권선의 에나멜이 열분해되었으며, 장시간 지속 사용으로 국부적으로 열화된 권선에서 층간단락이 발생하였다고 볼 수 있다. 층간단락시 발생한 아크(Arc)가 열분해된 에나멜 분해가스의 가연성혼합기를 착화시키며 화재가 발생하였고, 발화지점 주변이 불연재로 마감되어 있어 연소확대를 막을 수 있던 것으로 해석된다. 일반적인 고체가연물의 연소메커니즘을 이해하고 있으면 현장 조사가 가능할 것이다. 고체상태의 에나멜은 그 자체가 연소될 수 없기 때문에 권선의 발열로 인해 에나멜은 유증기와 분해가스를 생성한다. 이렇게 생성된 가연성가스는 권선 주변에 가연성혼합기를 형성하며, 이 때 발생한 층간단락이 점화원으로 작용하여 해당 가연성 가스를 착화시키게 된다^{4)~6)}.

이러한 사례들과 관련된 국내 연구로는 환풍기용 전동기 권선의 층간단락에 의한 화재위험성을 분석하는 연구, 선풍기의 화재 위험성 분석 및 전기안전 대책에 대한 연구와 선풍기 화재위험성분석에 관한 실험연구 등이 있으며, 해외 연구로는 모터 말단권선의 열전달에 대한 분석연구와 모터의 권선온도를 예측하는 연구 등이 있다^{7)~11)}.

3. 실험

선풍기는 무더운 실내·외 환경 속에서 냉풍의 지속적인 발생을 위하여 장시간 작동시켜야 한다. 또한 선

Fig. 1. Fire case of electric fan

Table 1. Experimental condition

No	Experimental condition	Note
1	Third level normal operation	-
2	Stalled motor operation	Three conditions
3	Dielectric breakdown of capacitor terminals ¹²⁾	Graphite 100 mg

풍기는 전기에너지를 통해 날개를 회전시켜 바람을 발생하는 전기기계이기 때문에 장시간 사용하거나 전기적인 이상회로가 발생할 경우에는 발열로 인해 화재가 발생할 수 있는 위험성이 존재한다. 이에 본 연구에서는 실제 생활환경에서 나타날 수 있는 대표적인 상황 3가지를 선정하여 실험을 실시하였다. 각 상황별로 선풍기의 발열특성을 확인하고, 각 상황에서 나타나는 전류신호를 검출하였다.

Table 2와 같이 주어진 상황별로 실험장치를 구성하였으며, 바람세기 버튼의 절연파괴를 제외한 모든 상황은 3단 운전을 기본 값으로 하여 실험을 실시하였다. 각 실험별로 나타난 발열온도 및 전류신호는 검출장치를 통해 기록하였다.

3.1 실험장치

선풍기의 발열특성 및 화재위험성을 확인하기 위한 실험장치들로 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 있으며, 이때의 최대 샘플링 속도는 128개 채널당 50 ms이다. 실험용 선풍기는 35 cm(14 in) 스탠드형 선풍기(55 W, H사, China)를 사용하였다. 선풍기의 정격전압은 220 V이고, 5엽 날개의 3단까지 바람세기 조절이 가능하다. 전류신호 검출장치로는 전류 및 누설전류를 측정하기 위하여 디지털클램프테스터(HIOKI 3282, HIOKI, Japan)를 사용하였다. 전류신호는 측정 및 제어장치 개발을 위한 시스템 디자

Fig. 2. Experimental setup

인 소프트웨어인 LabVIEW(LabVIEW 2008, NI, USA)를 사용하였다. 실험실의 온도는 25℃이며, 상대습도는 50±2%의 무풍상태에서 실험하였다. Fig. 2는 전반적인 실험장치 개략도를 나타내고 있다.

3.2 실험방법 및 결과

3.2.1 3단 정상운전의 실험방법

선풍기가 정상적으로 운전 중일 경우에는 모터부위에서 발열하게 된다. 온도 측정을 위해 열전대를 Fig. 3과 같이 모터부위의 고정자 철심 및 권선에 설치하였으며, 시간에 따른 온도변화를 측정하였다. 최대 발열온도를 측정하기 위하여 바람세기는 ‘3단’으로 고정하였으며, 시간선택 스위치는 ‘연속’으로 설정하고, 회전 스위치는 ‘정지모드’로 실험하였다. 이 때의 전류신호는 LabVIEW를 통하여 전류 및 RMS값(Root Mean Square Value)의 변화 등을 측정하였다.

3.2.2 3단 정상운전의 실험결과

선풍기가 정상적으로 작동할 때의 발열특성 및 전류신호를 검출하여 이를 분석하였다. Fig. 4는 정상운전시의 발열특성을 보여주고 있으며, 권선온도가 철심온

Fig. 3. Installation part of thermocouple

Fig. 4. Temperature of windings and core in normal operation

도보다 약 20℃ 높은 것을 확인할 수 있다. 권선온도와 철심온도는 실험 시작 후 약 40분이 경과된 시점부터 주위온도와 평형을 이뤘으며, 그 때의 권선온도는 약 78℃를 나타내었고, 철심온도는 그 보다 5℃ 가량 낮은 약 73℃를 기록하였다. 이는 권선발열이 철심발열량 보다 크며, 철심은 대기에 노출된 상태로써 주위온도 및 기류에 의한 냉각효과 때문인 것으로 판단된다. 정상운전임에도 불구하고 권선 및 철심의 온도가 70℃를 초과하였다는 것은 인화성 액체를 저장 또는 취급하는 장소에서 선풍기를 장시간 사용할 경우 화재·폭발의 위험이 상존한다는 것을 보여주고 있는 것이라 할 수 있다.

Fig. 5는 정상운전 시의 전류신호를 나타내고 있다. 전류와 RMS값에서 특이사항은 발견되지 않았으며, 3단 정상 운전시 RMS값은 206 mA임을 알 수 있다.

3.2.3 3단 구속운전의 실험방법

선풍기를 구속운전할 경우에는 과부하로 인하여 모터에는 과전류가 흐르게 되며, 그로인해 발열하게 된다. 따라서 온도 측정을 위해 열전대를 모터부위의 고정자 권선에 설치하였으며, 시간에 따른 온도변화를 측정하였다. 최대 발열온도를 측정하기 위하여 바람세기는 ‘3단’으로 고정하였으며, 시간선택 스위치는 ‘연속’으로 설정하고, 회전 스위치는 ‘정지모드’로 실험하였다. 이와 같은 상황에서 회전날개를 구속하여 회전하지 못하도록 하였다. Fig. 6과 같이 선풍기의 모터 권선에는 과열로 인한 장치보호를 위하여 온도퓨즈가 설치되어 있으나, 최악의 상황을 고려하여 온도퓨즈가 미설치된 상황과 온도퓨즈가 권선과 직각으로 이격 설

Fig. 5. Current signal in normal operation

Fig. 6. Setting condition of thermal fuse

치된 상황 등을 변수로 제시하였다¹³⁾. 이때의 전류신호는 LabVIEW를 통하여 측정하였다.

3.2.4 3단 구속운전의 실험결과

3.2.4.1 온도퓨즈가 정상 설치된 경우

이번 실험에서는 선풍기에 전원을 투입하고 그 때 모터 권선 및 철심의 발열특성 및 전류신호를 검출하여 이를 분석하였다. Fig. 7은 온도퓨즈가 정상적으로 설치되었을 때의 발열특성을 보여주고 있다. 여기서 회전날개가 회전할 때에 비하여 권선 및 철심의 온도는 거의 동일한 값으로 상승함을 알 수 있다. 이는 회전날개가 고정되어 있는 상태로써, 기류가 형성되지 않고, 선풍기 헤드의 하우징 내부에서 방열량이 적어 권선과 철심의 온도가 거의 동일한 수준으로 유지되기 때문인 것으로 판단된다. 권선의 온도는 실험 시작 후 약 21분이 경과되고 약 105℃가 되는 시점에서 온도퓨즈가 용단되었으며, 구속운전을 할 경우에는 정상운전 시 보다 발열량이 큼을 알 수 있다. 정상운전 시에 약 80℃까지 도달하는데 약 40분이 소요된 것에 비하여 구속운전 시에는 약 13분만에 그 값에 도달함을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 온도퓨즈가 설치된 선풍기에서 구속운전 시의 전류신호를 나타내고 있다. 특이사항은 발견되지 않았으며, 3단 구속운전 시 전류 값은 223 mA임을 알 수 있다. 이는 구속운전 시에는 정상운전을 할 경우보

Fig. 7. Temperature in normal condition of thermal fuse

Fig. 8. Current signal in normal condition of thermal fuse

다 큰 전류가 흐른다는 것을 의미하며, 그로인해 발열량도 커짐을 알 수 있다. 즉 부하가 커지게 되면 큰 전류가 흐른다는 것을 보여주고 있는 것이다. 이 경우에도 RMS 값의 파형 변화는 없었으며, 약 223 mA의 상태로 유지됨을 확인할 수 있다.

3.2.4.2 온도퓨즈가 권선과 직각으로 이격된 경우

이 실험은 온도퓨즈가 정상적으로 설치된 경우와 동일한 방법으로 실험장치를 설치하고, 동일한 조건에서 발열특성 및 전류신호를 검출하여 이를 분석하였다. Fig. 9에서 확인할 수 있는 바와 같이 이 실험에서도 권선 및 철심의 온도는 동일한 값과 비율로 상승함을 알 수 있다. 약 5분부터 13분 사이의 권선온도 그래프가 하향곡선으로 변하는 이유는 열전대가 권선에서 순간 이격되었기 때문이다. 권선의 온도는 실험 시작 후 약 35분이 경과될 때까지 상승하였으며, 그 때의 최대 온도는 약 130℃를 기록하였다. 즉 권선의 온도가 130℃까지 상승된 후 온도퓨즈가 용단되었으며, 온도퓨즈의 용단특성과 열전대의 측정오차 등을 고려하면 그 온도는 130℃ 이상일 것으로 판단된다. 이 정도의 온도라면 가연성 절연피복의 전선은 용융 및 열분해 과정을 거쳐 충분히 착화될 수 있는 온도이다^{14)~15)}. 따라서 모터 권선에 사용되는 전선은 내열전선 또는 이와 동등 이상의 것으로 설치되어야 하며, 그렇지 않을 경우에는 권선에 인접한 모든 가연성 전선은 내열밴드로 전체 보호되어야 할 것이다. 전류신호는 Fig. 8과 거의 동일하였다.

3.2.4.3 온도퓨즈가 설치되지 않은 경우

Fig. 11은 온도퓨즈가 미설치된 경우의 발열특성을 보여주는 그래프로서, 실험이 시작되고 약 160℃까지는 빠른 속도로 온도가 상승하였으나, 그 이후부터는

Fig. 9. Temperature in separation condition of thermal fuse

Fig. 10. Formation of layer short

완만한 상승곡선을 나타내었다. 약 160°C 까지 상승하는데 소요된 시간은 약 50분 정도이나, 약 160°C 에서 190°C 까지 상승하는데 소요되는 시간이 약 90분 정도 소요된 것을 보면 그 차이를 알 수 있다. 이는 약 160°C 부터는 방열과 발열량의 수준이 비슷하게 유지됨에 따라 완만한 온도 상승률이 이러한 결과를 나타낸 것으로 해석된다. 실험시작 후 약 150분이 경과된 시점의 권선 최대온도는 약 190°C 를 기록하고, 이후부터 감소하기 시작하는데, 그 이유는 Fig. 10과 같이 권선에서 층간단락이 생성되며 전원이 차단되었기 때문이다.

또한, 최대온도에서의 권선과 철심의 온도차이는 약 10°C 를 나타내었다. 이 역시 대기에 노출된 철심의 방열량이 권선보다 크기 때문인 것으로 해석된다. 실제 사용환경에서는 기름때, 먼지, 습기 등에 의해 기계적 · 환경적 열화가 빨리 진행되기 때문에 정상 운전시에도 층간단락에 의해 화재가 발생할 가능성은 존재한다¹⁶⁾. 이번 실험에서의 전류신호 역시 Fig. 8과 큰 차이가 없었다.

Fig. 11. Temperature in no thermal fuse

Fig. 12. Current signal in normal condition of thermal fuse

Fig. 12는 온도퓨즈가 미설치된 경우의 전류신호를 나타내는 파형이다. 전류의 파형변화는 없으나 RMS값은 시간이 경과함에 따라 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 사실은 시간이 경과함에 따라 권선의 온도는 지속적으로 상승하며, 그에 따라 권선의 저항이 증가하여 상대적으로 전류값이 낮아지는 것이라 할 수 있다¹⁷⁾. 이때의 RMS값은 206 mA로서 정상운전 시의 RMS값과 동일한 수치를 기록하였다.

3.2.5 콘덴서 절연파괴의 실험방법

이 실험에서는 콘덴서에 도전성 분진이 축적된 상황을 재현하기 위하여 Fig. 13과 같이 흑연가루 100 mg을 단자 사이에 고루 뿌려 전로가 형성되도록 하였다. 그 때의 온도 측정을 위해 열전대를 단자 사이에 설치하였다. 누설전류에 의한 온도데이터의 노이즈 발생을 방지하기 위하여 열전대는 도전성 분진에서 약 5 mm 이격시켰으며, 그 상태에서 시간에 따른 온도변화를 측정하였다. 바람세기는 3단으로 구속운전 하였으며, 시간선택 스위치는 연속으로 설정하고, 회전 스위치는 정지상태로 실험하였다. 전류신호는 LabVIEW를 통하여 전류 및 RMS값의 변화 등을 측정하였다.

3.2.6 콘덴서 절연파괴의 실험결과

Fig. 14는 콘덴서 단자 간 온도변화를 기록한 그래프이다. 그래프에서는 다양한 변곡점이 존재하는데, 이는 단자 사이에 도전로가 형성될 때와 그렇지 않을 경우의 온도변화가 상당히 급격하기 때문이다. 콘덴서 단자에서 측정된 최대온도는 약 190°C 로서, 온도퓨즈가 설치되지 않은 권선의 최대온도와 유사하였다.

이러한 경우에는 콘덴서 및 그 주위부분에 접촉된 전선이 발열로 인해 착화될 수 있는 위험성이 있다. 약

Fig. 13. Capacitor covered with graphite 100 mg

Fig. 14. Temperature between terminals

13분이 경과된 시점에서 온도가 급격히 감소하는데, 이는 콘덴서의 외함 상부가 탄화되며 생성된 균열과 함께 도전로가 사라졌기 때문이다. 이와 같은 상황은 Fig. 15를 통해 확인할 수 있다. Fig. 15의 a)는 흑연가루 10 mg이 축적된 단자의 모습이며, b)는 실험시작 후

Fig. 15. Pyrolysis of capacitor

Fig. 16. Current signal in dielectric breakdown condition of capacitor

도전로가 형성되어 연기가 발생하는 상황을 보여주고 있다. c)~(e) 과정에서는 도전로가 전기적인 발열에 의해 적열상태가 된 상황이다. 이후부터 콘덴서의 합성수지 외함 등의 절연물은 열분해 및 탄화가 진행되었으며, 이와 동시에 도전로를 중심으로 균열이 발생하기 시작하였다. 도전로에 균열이 발생하며 표면온도는 감소하기 시작하였으며, 실험이 종료된 후에는 g)~h)와 같이 콘덴서 상부에는 흑연 및 절연물 등의 탄화 잔류물이 남아있었다. 콘덴서 주위에 분진 등의 가연물이 축적된 상황이라면 화재로 이어질 수도 있는 상황이다.

이때의 전류신호는 Fig. 16을 통해 확인할 수 있는데, 특이점은 전류값이 약 296 mA로서 구속운전 시보다 약 73 mA가량 더 높다는 것을 확인할 수 있다. 이는 기동 시 필요한 전류를 콘덴서로부터 제공받아야 하는데 콘덴서의 단자가 폐회로를 구성하며, 그 기능을 상실했기 때문이다. 이 경우에는 RMS값이 시간의 경과에 따라 작아짐을 확인할 수 있었으며, 그 이유는 모터 및 콘덴서 발열로 인하여 전체 저항값이 시간의 변화와 함께 상승하였기 때문으로 판단된다. 실험 중 전류의 RMS파형이 순간적으로 크게 변하는 부분을 확인할 수 있는데, 이는 단자 사이에 설치된 열전대를 통하여 누설전류가 흘렀기 때문이다.

4. 고찰

선풍기에서 나타날 수 있는 발열특성 및 전류신호를 파악하고 분석하기 위하여 3가지 상황조건을 설정하고, 각각의 상황에서 온도 및 전류특성을 기록하여 Table 2와 같이 비교 분석하였다. 모든 상황조건에서 전원이 투입될 경우 저항(임피던스)이 높은 부분에서 국부적으로 발열하는 특성을 보였으며, 전류값이 클수록 발열량이 크고 발열속도도 빠르다는 것을 확인할 수 있었다. 구속운전 및 도전성 분진에 의한 전로가 형성되었을 경우에는 기동 시 전류값은 정상 전류값에 비하여 상승하였으나, 장시간 운전 시에는 그 값이 서서히 감소하는 특성을 RMS 파형을 통해 확인할 수 있었다.

Table 2. Thermal characteristics and current signal

Thermal characteristics & current signal Experiment condition & heating part			Thermal characteristics			Current signal			
			M a x temp. (°C)	Time of Reaching max temp. (min)	Time of Reaching 78°C (min)	Current waveform change	RMS waveform change	RMS value (mA)	
Normal operation			Windings	78	40	40	×	×	206
			Core	73	-	-			
Stalled motor operation	Normal	Windings	105	21 (Fusing)	13	×	×	223	
		Core	104	-	-				
	Separation	Windings	130	35 (Fusing)	13	×	×	223	
		Core	130	-	-				
	No fuse	Windings	190	147 (Layer short)	13	×	○	206	
		Core	180	-	-				
Dielectric breakdown condition of capacitor			190	-	-	×	○	296	

본 연구를 통해 선풍기의 주요 발열부위는 모터부의 권선이라는 것을 알 수 있었으며, 사용 환경에 따라 도전성 분진 등이 체류하는 장소 등에서는 각 단자간 절연파괴로 인한 화재발생 가능성도 확인해 볼 수 있었다. 따라서 이와 같은 부위의 전선 등은 고온상태에서도 용융 또는 열분해되지 않는 성능을 갖는 전선을 사용해야 할 것이다. 또한 화재현장의 발화지점으로 판단되는 부분에서 선풍기가 발견되는 경우에는 선풍기 내부의 권선 또는 각 부위 연결전선 등에서 단락흔 등의 생성여부를 파악해야 할 것이며, 만일 전기적인 특이사항이 식별되는 경우에는 선풍기가 발화원인으로 작용하였을 가능성이 매우 높기 때문에 그에 대한 정밀조사를 실시해야 할 것이다. 본 연구를 통해 확인할 수 있는 발열부위를 기초로 해당 부위에 대한 조사를 실시할 수 있으며, 영상사진은 현장상황과 비교할 수 있는 자료로 활용될 수 있을 것이다.

5. 결론

다양한 환경조건에서 선풍기를 운전하고, 여러부위에서 나타나는 발열특성 및 전류신호를 분석하였다. 이와 같은 실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 본 연구에서 선풍기 모터부의 권선온도는 철심보다 약 5°C 높았으며, 구속운전 할 경우에는 정상전류보다 약 17 mA 큰 전류가 흘러 모터 권선에서의 온도는 최대 약 190°C까지 상승하였다. 따라서 선풍기를 장기간 사용하거나, 선풍기 모터 권선이 절연열화된 경우에는 권선의 층간단락으로 인한 화재발생 가능성이 있다.

2) 본 연구에서 선풍기를 구속운전할 경우 초기 온도상승속도는 정상상태에 비하여 약 3배 빠르며, 장시간 구속시 권선의 저항(임피던스)이 증가하여 상대적으로 전류값은 약 7.6% 감소하지만, 모터부의 방열이 용이하지 않고 저항발열로 인하여 온도는 지속적으로 상승한다.

3) 선풍기의 모터부에서 층간단락 등에 의해 착화되는 경우에는 권선에 인접한 전선이 연소확대에 필요한 가연물로 작용할 수 있기 때문에 내열전선 또는 이와 동등 이상의 성능을 가진 것으로 설치하여야 한다.

4) 도전성 분진이 체류하는 장소에 설치된 선풍기에서는 단자 간 절연파괴로 인한 발열 및 그로인한 화재위험이 존재한다.

References

- 1) World Research, "Survey of Household Electric Appliances Penetration Rate and Electric Consumption Characteristics in 2011", Korea power exchange, pp. 3-9, 2011.
- 2) D. H. Paek, "About Electric Fan Making Cool Wind", Electrical Product Safety21, Vol. 200, pp. 47-49, 2010
- 3) S. S. Kim, "The Survey of Fire Hazard of Fan in Manufacturing Industries", The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers society journal, Vol. 27, No. 10, pp. 21-28, 2013
- 4) NFPA 921, "Guide for Fire and Explosion Investigations", NFPA, pp. 20-22. 2011.
- 5) J. Quintiere, "Principles of Fire Behavior", Thomson, pp. 82-84. 2004.
- 6) D. Drysdale, "An Introduction to Fire Dynamics", WILEY, pp. 1~12. 2011.
- 7) H. S. Kim, H. R. Kim, C. S. Choi and J. H. Chung, "The Analysis of the Fire Hazard According to Layer Short-Circuit of Motor Winding for the Fan", Proceeding of Spring Symposium of Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 135-139, 2000.
- 8) D. O. Kim, K. Y. Lee, H. J. Gil, S. B. Bang, Y. S. Kim and Y. S. Chung, "Fire Hazard Analysis and Electrical Safety Measure for a Fan", Proceeding of Summer Symposium of The Korean Institute of Electrical Engineering, pp. 1828-1829, 2013.
- 9) S. H. Hong, "Experimental Study on Fire Risk of Electric Fan", Disaster Prevention Technology, No. 43, pp. 6-13, 2007.
- 10) G. Gilson, S. J. Pickering, D. B. Hann and C. Gerada,

- “Analysis of the End Winding Heat Transfer Variation with Altitude in Electric Motors”, 35th Annual Conference of IEEE, pp. 2545-2550, 2009.
- 11) C. A. Cezário and H. P. Silva, “Electric Motor Winding Temperature Prediction using a Simple Two-resistance Thermal Circuit”, Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines, pp. 1-3, 2008.
 - 12) T. W. Choi, D. S. Song and O. K. Lee, “Analysis to Wave Shape of Tracking occurred into Condenser in Electric Fan”, Journal of Dong-Eui Institute of Technology, pp. 111-118, 2001.
 - 13) D. H. Kim, S. C. Kim, E. S. Kim, C. O. Kim, D. H. Lee, S. I. Lee, J. H. Chung, C. S. Choi, S. H. Kang and S. G. Cho, “Electrical Safety Engineering”, Dong Hwa Ki Sool, pp. 264-319, 2013.
 - 14) V. Babrauskas, “Ignition Handbook”, Fire Science Pub, pp. 237-281, 2003.
 - 15) J. D. DeHaan and D. J. Icove, “Kirk’s Fire Investigation Seventh Edition”, Pearson, pp. 425-437, 2012.
 - 16) C. S. Choi, “Electrical Fire Engineering”, Dong Hwa Ki Sool, pp. 329-331, 2001.
 - 17) R. A. Yereance, T. Kerkhoff, “Electrical Fire Analysis”, Thomas, pp. 272-274, 2010.