

경년열화에 의한 소형 환풍기의 전기화재에 관한 연구

임종룡[†] · 이성일

한국교통대학교 안전공학과

(2016. 6. 21. 접수 / 2016. 7. 19. 수정 / 2016. 8. 16. 채택)

A Study on Electrical Fire of Small Ventilators due to Aged Degradation

Jong Yong Lim[†] · Sung Ill Lee

Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation

(Received June 21, 2016 / Revised July 19, 2016 / Accepted August 16, 2016)

Abstract : “Always-on” small ventilators are likely to experience thermal decomposition of insulating material due to thermal, electrical, mechanical and environmental influences, and lose insulating properties by the process of oxidation and physiochemical reaction. This increases the risk of electrical fire because of layer short, short circuit, overload and Plastics are usually used to make ventilator and ventilator enclosures since they make less noise and are cheaper. Although more preferred than iron, plastic, a combustible material, has a higher risk of fire. In this study, several experiments were carried out to find out how RCD(Residual Current Protective Device) and Thermal fuses, which are electric motor protection devices, work and what needs to be done to reduce the risk of fire.

Key Words : small ventilator, electrical fire, aged degradation, thermal fuse

1. 서론

소형 환풍기(Small ventilator)는 대형건물, 산업현장, 가정 및 상가건물 등 다양한 환경에서 사용되어지며, 한 공간의 위치한 쪽에서 다른 공간으로 공기를 환기 하거나 흡입 또는 배출하여 공기의 질을 개선하기 위한 전기제품이다. 그러나 소형 환풍기 시설에서 발생하는 주요 화재발생의 특징은 공기의 질을 개선하기 위해 “상시가동”이라는 동작 특성과 장시간 가동에 의한 먼지 퇴적의 축열, 과부하, 단락, 기계적 구속 등으로 전기 화재의 원인을 가지고 있다.

특히나 소형 환풍기는 단상 220 V, 40 W 이하의 낮은 사용부하로써 가정이나 산업현장에서 전기 부하를 분기되는 15 A, 20 A, 30 A 용량의 누전차단기(RCD, Residual Current Protective Device), 또는 과전류 차단기(MCCB, Mold Case Current Breaker)로는 과부하, 단락사고 시에 전원을 차단하지 못하고 보호능력이 떨어지는 전기기기이다.

따라서 팬(fan) 가동의 소음을 적고, 제품 가격을 낮추기 위해 환풍기 외함과 팬 재질은 철 보다 플라스틱

을 사용하므로 가연성 재질인 플라스틱이 화재에 대한 위험성을 더 높게 가지고 있다. 그래서 환풍기의 전기 보호장치로서 사용하고 있는 누전차단기(RCD) 및 온도퓨즈(Thermal fuse) 동작특성과 문제점에 대해 시험을 통해 확인하였다.

그리고 소형 환풍기는 상시 사용 목적으로 열적, 전기적, 기계적, 환경적 요인 등에 의해 절연물의 열분해, 산화, 물리 화학적 반응으로 절연 특성이 열화 되어 층간 단락, 단락, 과부하 사고로 전기화재의 위험노출이 높다. 그래서 환경적 요인의 사용 경과에 따른 열화를 확인하기 위해 장시간 사용되어진 제품과 신규 제품의 전동기 부분을 가지고, KS C 60068-2-67 환경 시험방법(전기전자) 기준을 적용하여 시험을 하였다. 시험을 통해 장시간 사용된 전동기의 전기절연영향과 환경적 요인이 내외부에서 영향이 되는지를 확인하였다.

2. 소형 환풍기의 연구범위

전기화재는 환풍기 시설의 전체 분류에 대한 통계를

[†] Corresponding Author : Jong Yong Lim Tel : +84-10-9962-4311, E-mail : 0987z@hanmail.net

Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation, 50, Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk 27469, Korea

나타내고 있으나, 화장실과 같은 작은 공간에서는 낮은 풍량의 전기용량은 10~20 W를 많이 사용하고, 건물, 사무실, 제조현장 및 여러 분야에서 사용 빈도와 환경이 열악한 장소에서는 많이 사용되는 환풍기 25 W~40 W로 정격용량 26 W와 37 W를 선정하여 상시 가동과 구속 특성을 확인하였다.

또한 선풍기 및 다른 회전기기의 소형 전동기는 전기 화재에 대한 선행연구가 많이 진행되었고, 환풍기의 전동기는 다른 소형 전동기와 비슷한 형태의 전동기를 많이 사용하지만 사용 환경이나 구성에는 차이가 있다¹⁾. 따라서 콘덴서(Condenser)기동 방식은 콘덴서가 또 다른 전기화재 위험성을 가지고 있는 것으로 선행연구에서 원인 분석되었으므로²⁾, 전동기부분에서 층간단락, 단락, 과부하등으로 열화 되어 전기화재가 발생하는 부분의 확인이 필요하였다.

소형 환풍기를 분해하면 Fig. 1과 같이 플라스틱 외함, 팬(FAN) 및 전동기로 나누어지는데, 셰이딩 전동기(Shading Motor)는 철제(Steel) 외함과 고정자(Stator)와 회전자(Rotator)로 구분되어지고, 전기화재의 보호로서 온도퓨즈(Thermal fuse) 150℃는 전원선과 고정자(Stator)권선 사이에 직렬로 연결되어 환풍기용 전동기 26 W와 37 W의 모두 각각 설치되어 있다.



Fig. 1. Ventilator of the shading method.

2.1 환풍기용 전동기의 측정

2.1.1 환풍기용 전동기의 측정회로

소형 환풍기의 상시가동의 특성을 확인하기 위해서 측정 회로도를 Fig. 2와 같이 구성하였으며, 환풍기에는 상용전원 (220 V, 60 Hz)을 인가하고, 산업현장, 가정 및 건물에서 전기 부하를 분기하는데 적용하는 누전차단기 20A 적용하여 사용 환경조건과 동일하게 구성하였다.

전압 측정은 제조사가 미국의 Fluke 177 DMM으로 6000 Count 분해능으로 True-RMS 방식의 오차는 $\pm(1.0\%+3)$ 로 환풍기와 병렬 연결하였고, 전류 측정은

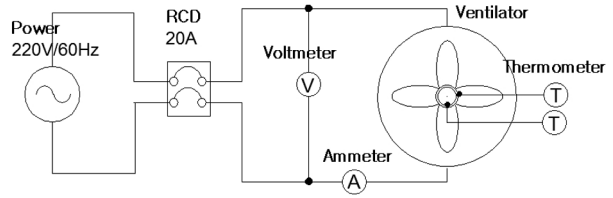


Fig. 2. Measurement circuit.

Fluke 87 DMM으로 0~10,000 mA 측정의 True - RMS 방식의 오차는 $\pm(1.0\%+2)$ 로 환풍기와 직렬 연결하였고, 온도 측정은 제조사가 TES 1300 K형 Thermocouple Single Channer의 $-50^{\circ}\text{C} \sim 1300^{\circ}\text{C}$ 범위에 정확도는 0.3% rdg + 1℃로 사용하고, 전동기 외함과 권선 고정자(Stator)측의 온도 퓨즈 부분에 K형 열전대를 부착하여 측정하였다.

2.1.2 환풍기용 전동기의 측정방법

소형 환풍기의 상시 가동 특성을 측정하기 위해 측정 회로도에 따라 측정 시스템을 Fig. 3과 같이 구성하여 측정하였다.

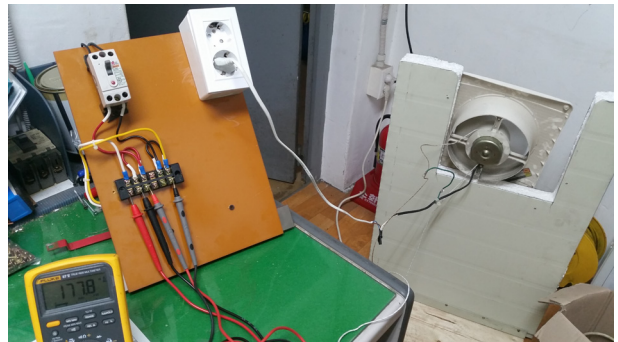


Fig. 3. Measuring system of the ventilator motor.

상시가동의 측정시간은 환풍기가 가동 후 전동기 외함 및 권선의 온도는 약 80분정도 가동 후 일정하게 유지되어서는 것을 확인되어 측정 기준시간을 설정하였고, 상시가동 및 구속 상태에서의 전기보호 장치의 동작과 온도특성을 확인하였다.

2.2 환풍기용 전동기의 열화

Fig. 4와 같이 분진이 발생하는 환경에서 사용된 환풍기으로써 주위 환경에 의해 급속히 열화 되기도 한다. 또한 환풍기는 탁한 공기의 순환으로 상시 가동하여 사람에게 잘 관리되지 않는다. 그래서 장시간 사용이 경과된 환풍기의 열화 특성을 확인하였다. 환경적 요인의 열화를 확인 위해 신규제품과 제조 및 사용경과가 10년 이상 경과된 환풍기를 KS C 60068-2-67 환경

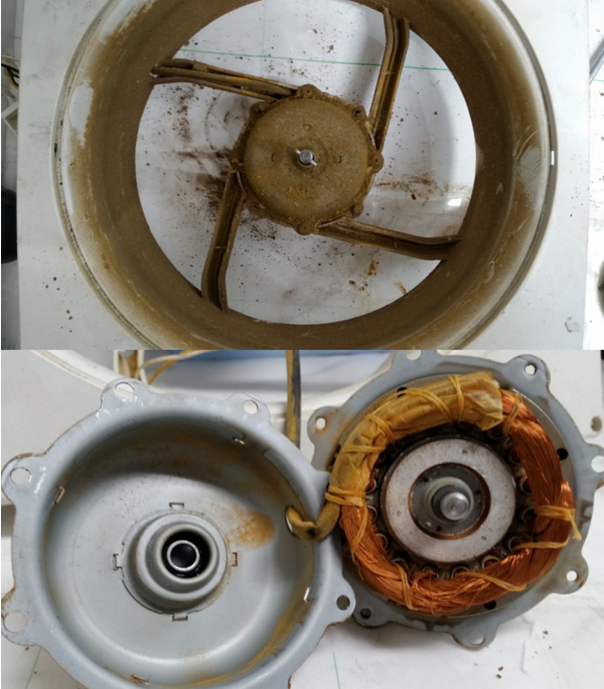


Fig. 4. Motor degradation and covered with dust.

시험방법(전기전자) 기준을 적용하여 시험하였다.

환경 가속도 조건은 온도 85℃, 상대습도 85%, I등급 - 168시간으로 시험을 하였고, 전동기 권선의 절연저항은 제조사 일본의 HIOKI IR 4051-10 절연저항계로 500V DC에 ±4% 오차로 측정하여 시험의 전과 후에 절연저항을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 환풍기의 상시가동

환풍기 26 W는 전압 224 V로 일정하게 인가되고, 기동 시에는 전류 192 mA에서 80분경과 후 전류는 176 mA로 일정하게 유지되었다. 또한 환풍기 36 W는 인가전압 225 V로 일정하고, 기동 시에는 전류 250 mA에서 80분경과 후 전류는 240 mA로 일정하게 유지되었다. 이때 온도특성은 환풍기 26 W는 25℃에 시작하여 80분경과 후 Fig. 5와 같이 전동기외함의 온도는 56.5℃, 권선온도는 71.6℃까지 상승하였고, 환풍기 37 W는 전동기외함의 온도가 39.1℃까지 상승하였다.

상시 가동에서는 전동기의 가동을 정지하였을 때 권선온도는 급격히 낮아지나, 전동기외함의 온도는 약 10℃ 이상 증가되는 현상이 환풍기 26 W, 36 W가 동일하게 나타나게 되었다.

일반적으로 전동기는 자체 발열을 냉각시키기 위해 별도의 FAN을 설치하는데 환풍기는 FAN이 공기 순환

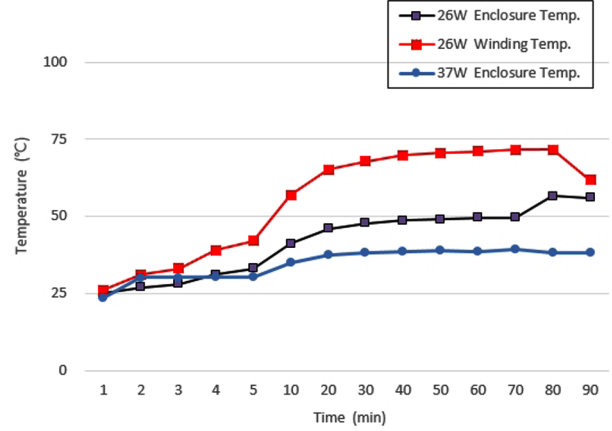


Fig. 5. Using temperature of the 26 W and 37 W ventilator.

하는 역할뿐만 아니라, 전동기 자체의 발열에 대한 방열에 도움을 주는 냉각 역할도 같이 한다는 것으로 분석된다.

3.2 환풍기의 구속시험

환풍기 26 W와 37 W의 기계적·전기적 구속에 의한 전기화재 위험성을 검토하기 위해 구속시험을 진행하였고, 구속방법은 가동 중에 강제 구속하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

환풍기 26 W의 구속시험에 전류는 Fig. 6와 같이 상시가동 185 mA에서 228 mA로 23% 증가되는 과전류가 발생하는 것을 확인하였다.

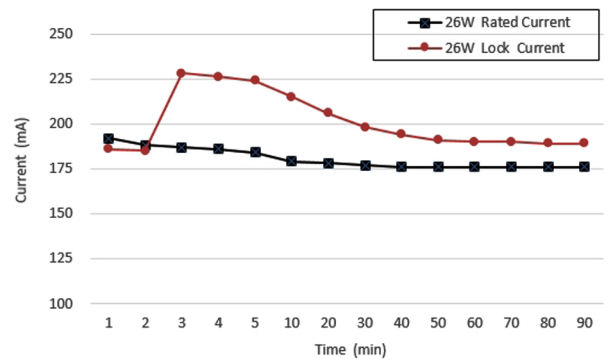


Fig. 6. Current of lock test on 26 W ventilator.

전동기외함의 온도는 Fig. 7와 같이 56℃에서 103℃까지 증가하였고, 내부 권선온도는 72℃에서 141℃까지 증가로 약 2배 이상 증가되는 것을 확인하였다.

환풍기는 상시가동으로 기계적·전기적·환경적 등 여러 가지 원인에 의해 전동기가 기계적 구속이 될 수 있다. 따라서 환풍기에 설치되어 있는 누전차단기(RCD)와 온도퓨즈(Thermal Fuse)가 동작 되어야 하는

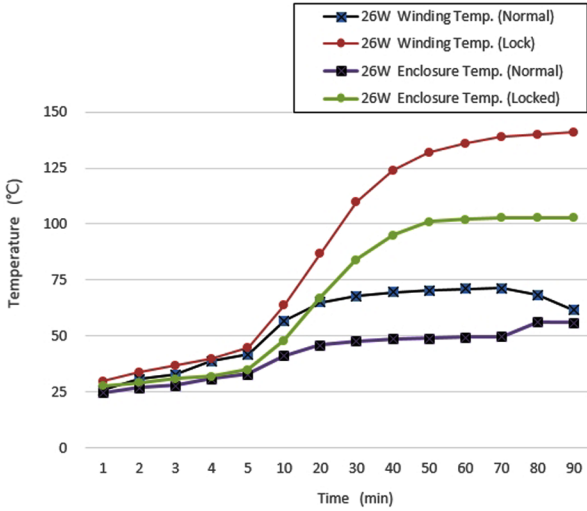


Fig. 7. Temperature of lock test on 26W ventilator.

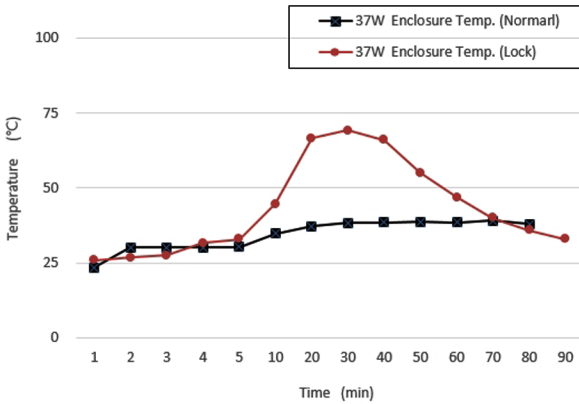


Fig. 8. Temperature of lock test on 37W ventilator.

데 동작하지는 않았다. 전동기에서 발생하는 줄열(I^2R)은 전류의 제곱으로 증가하는데, 전동기의 절연 내열성 등급(E 등급, 120°C)³⁾은 구속시험 30분에는 넘어섰고, 약 40분 후에는 절연타는 냄새가 지속되었고, 약 2시간이상 지속되면서 층간단락으로 이어졌다.

환풍기 37 W에 구속 시험에 전류는 246 mA에서 320 mA로 약 30% 증가되는 과전류가 발생하는 것을 확인하였다. 이때 전동기외함의 온도는 Fig. 8과 같이 정상상태에서 38°C에서 71°C까지 상승하는 것을 확인하였다.

환풍기 37 W의 구속시험에서는 구속 후 27분 만에 전기화재의 보호로 적용된 온도퓨즈(Thermal Fuse) 150°C 동작하여 회로를 차단하였다.

3.3 환풍기의 가동 분석

환풍기 26 W와 37 W에서 전류와 온도를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

구속 상태에서 26 W와 37 W 모두 약 20%이상의 과전류가 발생하였으나, 누전차단기는 동작하지 않았다.

환풍기에서 발생하는 과전류는 누전차단기가 동작하는 과전류보다 매우 낮은 과전류로 누전차단기의 과전류 보호능력을 기대하기는 어렵다. 따라서 누전차단기는 누전에 대한 보호기능 외에는 회로 개폐기능이 더 적합하다고 분석된다.

Table 1과 같이 상시가동과 구속 상태를 비교하면 환풍기 26 W에 비해 37 W는 전류가 35% 높고, 전동기 내부에 설치된 온도퓨즈가 환풍기 37 W는 가동 27분 만에 회로를 차단하여 전기화재를 보호하였다.

Table 1. Current and the temperature properties of the ventilator

		26 W Ventilator	37 W Ventilator
Current	Normal State	176 mA	240 mA
	Look State	189 mA	-
Temp.	Normal State	68.5°C	56.0°C
	Look State	141.0°C	-

그러나 환풍기 26 W는 전동기의 절연 내열성 등급(E등급, 120°C)보다 높은 온도가 구속시험 30분 만에 상승하였으나, 상승 후에는 발열과 방열사이의 온도 상승이 크지 않아서 온도퓨즈의 동작온도 150°C보다는 낮게 유지되고, 절연 내열성등급 온도(E종, 120°C)³⁾보다는 높게 유지 되는 시간이 길어지게 되었다.

그래서 전동기의 전기 절연에 영향을 미치는 온도가 유지되는 현상이 나타났는데, 이 시간이 장시간으로 이어져 전동기의 주요 전기 화재 원인이 되는 층간 단락으로 이어졌다. 이 결과로 환풍기의 전기화재 보호를 위해 온도퓨즈 적용은 전동기 내열성 등급의 적용 온도(E종, 120°C)보다 온도퓨즈 동작온도는 낮아야 한다는 결론을 얻을 수 있다. 이는 환풍기뿐만 아니라 전동기에 적용되는 전기화재 보호용 온도퓨즈는 모두 적용되어야 할 것으로 판단된다.

3.4 환풍기의 환경 열화 특성

환풍기의 환경열화 특성을 확인하기 위해서 KS C IEC60068-2-67 (환경시험방법(전기전자)-안정상태의 내습성) 부품의 가혹도 시험의 온도 85°C, 상대습도 85%, I등급-168시간⁴⁾을 기준으로 환풍기 신규제품과 제조 및 사용이 10년 이상 되어진 전동기 부분을 동일조건에서 진행하였다. 환경시험 후에는 전동기의 절연에 영향을 확인 위해 절연저항 측정기로 전동기를 확인하였다.

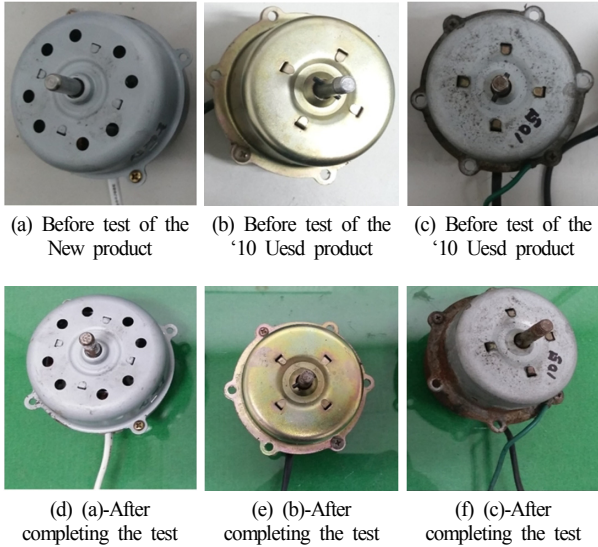


Fig. 9. Accelerated stress test.

Fig. 9와 같이 (a)신규제품으로 J사 환풍기 26 W용량의 전동기부분이고, (b)10년경과는 M사의 제품으로 2003년 제조 후 실내 사무실에서 사용이 10년 이상경과 된 환풍기 26 W 용량의 전동기 부분이다. 또한 (c)10년경과는 (b)와 같이 M사의 제품으로 2003년 제조 후 실외창고에서 사용이 10년 이상경과 된 환풍기 26W 용량의 전동기 부분으로 같은 제조년도이나 사용된 환경이 서로 다르다.

(d)신규제품은 (a)의 시험 후로써 시험전과 후에 동일하게 절연 저항 값이 1,000 MΩ이상을 확인하였고, 외관상의 변화는 없었다. (e)10년경과는 (b)의 시험 후로써 시험 전과 후가 같이 1,000 MΩ이상을 확인하였고, 외관상의 변화도 없었다. (f)10년경과는 (c)의 시험 후로써 절연저항의 변화는 없었고, 외관은 시험 전에 부식이 있었으나 시험 후에는 부식이 더욱 심하게 되었다. 환경 가속도 시험으로서의 장시간 사용된 전동기는 자체의 절연의 영향은 없었으나, 사용 환경에 따라 전동기 외함에서 부식이 크게 달라지는 것을 (e), (f)와 같이 같은 제조사와 사용경과로 확인할 수 있었다. 따라서 시험을 통해 환경적 요인의 열화는 환풍기 사용경과의 영향보다는 사용 환경 장소의 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서 환풍기 시설이 전기화재를 발생하는 주요 특징으로 공기의 질을 개선하기 위해 “상시가동”이라는 동작 특성과 장시간 사용에 의한 먼지 퇴적의 축열, 과부하, 단락, 기계적 구속 등이 있다. 따라서 소형 환풍기의 상시가동과 구속 상태에서의 전류와 온도 및

전기보호 장치의 동작특성을 확인하였고, 장시간 사용으로 인한 환경적 요인의 열화 특성을 확인하였다.

소형 환풍기의 누전차단기와 부적절한 온도의 온도퓨즈 등은 전기화재에 대한 보호가 어려운 상태이며, 사용상의 주의와 함께 적합한 온도설정 기준이 마련되어 온도퓨즈의 전기적 보호가 필요하다. 또한 장시간 사용에 환경적 요인은 환풍기 사용경과의 영향보다는 사용되는 환경적 요인이 열화에 영향에 더 크게 작용되므로 사용상에 주의가 필요하다.

그리고 현재 KS 규격에서의 환풍기의 전동기 부분은 가정용에서 사용되는 전동기의 성능기준⁵⁾으로 선풍기, 냉장고등 각종 소형 전동기와 동일하게 적용되고 있으나, 소형 환풍기 시설은 공기의 질을 개선하기 위해 사용 환경이 매우 다양하고, 상시가동 및 장시간 사용의 동작특성을 가지고 있으므로, 환경적 요인의 영향으로 전동기 권선의 절연저하 및 열적 경과 등의 전기화재의 원인을 나타낼 수 있다.

그래서 플라스틱 외함의 환풍기는 전기화재를 예방하기 위해 별도의 안전장치로써 온도 퓨즈의 사용이 요구된다. 또한 전동기의 내열성에 적합한 온도퓨즈의 동작온도를 기준이 필요하며, 다른 소형 가전기기에 사용되는 전동기에서도 전기화재를 예방하기 위해서는 이에 관한 연구를 지속적으로 할 필요는 있다.

References

- 1) S. -S. Kim, “The Survey of Fire Hazard of Fan in Manufacturing Industries”, Journal of KIIEE, Vol.27, Issue 10, pp.21-29, 2013.
- 2) H. -S. Kim et. al., “The Analysis of the Hazard according to Layer Shot-Circuit of Motor Winding for the Fan”, Annual Conference of KIFI, pp. 135-137, 2000.
- 3) KS C IEC 60085, “Thermal Evaluation and Classification of Electrical Insulation”, KSSN, pp. 6-7, 2008.
- 4) KS C IEC 60068-2-67, “Environmental testing Part2: Tests -test Cy: Damp Heat, Steady State, Accelerated Test Primarily Intended for Components”, KSSN, pp. 5-6, 2002.
- 5) KS C IEC 60335-1, “Household and Similar Electrical Appliances - Safety - Part 1: General Requirements”, KSSN, pp. 25-110, 2013.