

3단 스피드 선풍기 모터의 정상 및 고정 운전에 대한 전압, 전류 및 온도 신호 분석

김윤복[†] · 김두현*

한국폴리텍대학 청주캠퍼스 전기에너지과, *충북대학교 안전공학과

Analysis on the Voltage, Current and Temperature Signals for Free and Locked Operation of Three Speed Electric Fan

Yoon Bok Kim[†] · Doo Hyun Kim*

The Dept. of Electrical Energy Cheongju Korea Polytechnic College Campus.

*Dept. of Safety Engineering, Chungbuk National Univ.

(Received February 28, 2014; Revised June 3, 2014; Accepted June 13, 2014)

요 약

본 논문은 선풍기 모터의 회전을 정상 및 고정상태로 구분하여 주권선에서의 전압 및 전류, 모터 전체의 온도특성을 분석하여 전기화재 위험성을 제시하는 것을 목표로 하고 있다. 전압과 전류 신호에 대하여, 전압의 경우 정상상태와 고정상태에 대하여 큰 차이점은 없었으며, 전류의 경우는 비정상상태(최대 203 mA)보다 정상상태(최대 309 mA)가 상당히 높았다. 온도신호의 경우, 모터 전반에 있어서 온도 분포도가 다르게 나타났으며, 정상상태의 경우는 4 °C, 고정상태는 18 °C 차를 보였다. 특히 대부분의 선풍기의 전기배선이 모터의 고정자철심에 부착되어 있었으며 해당전선의 허용온도가 60 °C를 감안했을 때에 절연열화가 가속될 수 있다. 또한 본 데이터는 선풍기 안전장치개발의 기초자료나 전기화재에 대한 조사 자료로 활용할 수 있다.

ABSTRACT

This paper is aimed to find electrical fire danger for analyzing the characteristics of temperature, current and voltage signals for motor on electric fan. In order to attain this purpose, detected were the temperature, current and voltage signals on electric wire with free (normal state) and locked (abnormal state) motor. For voltage and current signals, voltage signal is no big difference with normal and abnormal states and current signal is higher in abnormal state (highest 309 mA) than the normal state (highest 203 mA). In the case of Temperature signal, the temperature distribution of the motor as a whole is different. It is difference in the case of the normal state 4 °C and the abnormal state 18 °C. In particular, most of the electric wiring to the motor of the fan is attached to the fixture of motor back. Considering at allowable temperature (60 °C) of the electric wire could be accelerated to insulation deterioration. The results of this study will be effectively used in analyzing for electric fire and developing the preventive devices of electric fan.

Keywords : Electrical fire, Electric fan, Temperature, Current and voltage signals, Insulation deterioration

1. 서 론

2012년 소방방재청 화재현황 통계자료에 의하면, 계절 용 기기 중에서 전기적 요인으로 발생한 화재가 총 862건으로 나타났으며, 특히 전기장판/담요/방석류가 160건, 가정용 보일러가 108건, 선풍기가 92건으로 나타났다⁽¹⁾. 선풍기 화재는 2009년 116건, 2010년 139건, 2011년 101건으로 매년 100건 전후의 건수를 차지하고 있으며 단일 품목으로서 전기화재가 높은 이유는, 하절기의 긴 혹서현상

으로 인한 모든 연령층의 장시간 사용과 안전 불감증의 의식부족, 점검관리 소홀 등의 원인이 있다. 일본의 신화재 조사교본에 의하면 모터코일의 층간단락, 콘덴서의 절연열화, 기구 내 배선의 반단선 등의 원인을 포함하고 있다⁽²⁾. 선풍기화재의 대부분은 모터 내부에서 회전력을 유지하는 기계적 결함과 장시간 사용으로 인한 과열로 내부에 쌓인 먼지 또는 모터와 연결된 해당전선의 열화가 되어 발생하는 것이 대부분이다^(3,4). 소방방재청 자료에 의하면, 화재의 발생시간이 주로 오후 1시에서 오후 3시에 가장 많이

[†]Corresponding Author, E-Mail: kyf@kopo.ac.kr
TEL: +82-43-279-7417, FAX: +82-43-272-2098

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2014.28.3.087>

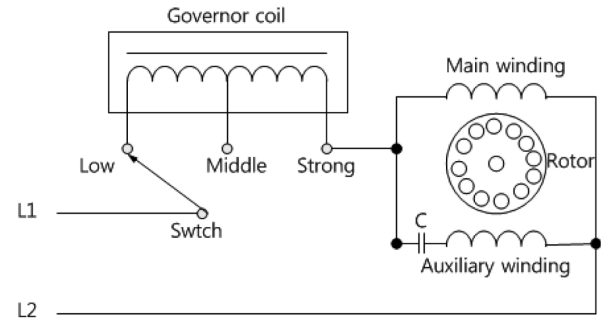
발생하며 장시간 사용과 선풍기의 기계적인 결합 등의 문제도 제기되고 있으며, 이러한 연구에도 불구하고 선풍기에 대한 구체적인 안전장치나 개선안이 미비한 실정이다. 국내에서는 선풍기의 전기화재 징후에 대하여 모터구속 상태에서의 주위 온도특성과 전원에 대한 전압과 전류 실효값(RMS) 특성을 분석하였다^(5,6). 대부분의 선풍기는 콘덴서 전동기로 모터부분의 열적 특성에 주안점을 두고 있으며, 이런 모터 부분의 열적 특성이 가장 중요한 변수이며, 다음으로 속도 변환시의 전압과 전류에 대한 신호도 중요한 변수로 판단된다. 대부분의 연구가 전원부에서의 전압 및 전류 신호를 분석하고 있으나 이는 정상상태와 큰 차이가 없으며, 1단에서 3단 변환시 주 권선에서 전압 및 전류 신호를 분석해야 정확한 신호변화를 측정할 수 있으며, 또한 모터권선의 전체 부분에 대하여 실시간으로 온도 측정을 필요로 하였다.

따라서, 본 연구에서는 정상상태와 모터 구속상태로 구분하였으며, 각각에 대하여 전압 및 전류신호를 주 권선에서 측정하였고 또한, 권선 전체의 열적 특성을 도출하기 위하여 실시간 저장이 가능한 시스템을 이용하여 시간에 따른 권선 전체의 온도 분포를 측정하였으며 그 데이터를 도출하였다. 본 데이터의 경우는 선풍기의 화재 조사나 선풍기 화재 방지용 감지기 개발의 기초 자료로 활용가능하다.

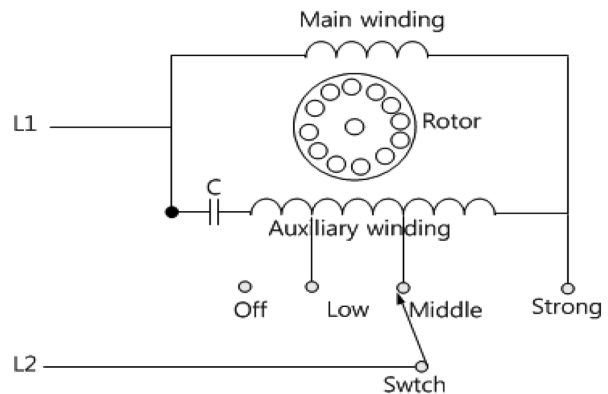
2. 선풍기의 화재징후

2.1 선풍기의 작동 원리

선풍기는 회전기구, 타이머, 높이조절기구, 1단에서 3단으로 회전속도를 조절하는 스위치 등으로 구성되어 있다. 선풍기에는 유도모터가 대부분 사용되고 있으며, 이는 콘덴서 기동형 모터로서 콘덴서의 90° 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 된다. 모터 주 권선에 가해지는 전압을 변화시키려면 Figure 1(a)와 같이 조속코일을 넣어 코일에 탭을 낸 다음 접점을 바꿔줌으로써 모터 주 권선에 걸리는 전압을 바꿀 수 있다^(2,4). 조속코일과 주 권선에 전압이 적절히 나누어 걸리게 되어 결과적으로는 주권선의 전압을 원하는대로 조절할 수 있게 된다^(2,4). 그러나 선풍기 회로에 조속코일을 추가하게 되면 선풍기의 무게가 증가될 뿐만 아니라 제작비용이 상승하게 되는 문제가 생기게 된다. 회로를 좀더 효율적으로 설계하기 위해 Figure 1(b)와 같이 조속코일을 추가 장치하지 않고 모터의 보조권선을 이용하여 탭을 낸 다음 사용하는 방법도 있다^(2,4). 이와 같이 보조권선을 이용하여 회로를 설계하면 특별한 문제가 없을 뿐만 아니라 효율이 더 좋아 최근의 선풍기 제조사 대부분 이 방식을 채택하고 있다^(2,4). 본 연구에서도 보조권선 회로로



(a) Type of governor coil



(b) Type of auxiliary winding

Figure 1. Type of single voltage capacitor-run motor of three speed.

설계된 선풍기를 이용하였다.

2.2 선풍기의 화재 징후

선풍기화재의 대부분은 모터 내부에서 회전력을 유지하는 기계적 결합과 장시간 사용으로 인한 과열로 내부에 쌓인 먼지 또는 모터와 연결된 해당전선의 열화가 되어 발생하는 것이 대부분이다. 회전력의 고정은 기기자체의 기계적 결합이 대부분이며, 다음으로 코일 꼬임으로 인한 접속 불량, 절연튜브 및 절연지의 삽입 불량, 콘덴서 접속에 따른 철심과의 혼촉 등이다. 이런 원인들로 인하여 코일의 층간단락을 일으켜 화재를 발생시킨다. 또한 정상운전 상태임에도 노후 및 히팅튜브 설치 불량으로 인한 전선(VCTFK⁷⁾의 열화가속 등으로 화재를 일으킨다.

3. 선풍기 정상 및 이상신호 측정실험

3.1 실험방법

실험의 목적은 전압, 전류 및 온도 신호의 특성을 도출하는 것으로 정상상태로 날개를 정작한 것과 미(未)정작한 것, 날개를 고정된 고정상태, 3가지로 구분하여 실험하였다. 선풍기는 전기안전용품안전기준 요구사항에 맞게 정상상태에서의 전압, 전류 및 온도값을 테스트를 받고 있으며, 정상상태에서의 제품마다 온도차를 보이고 있는데

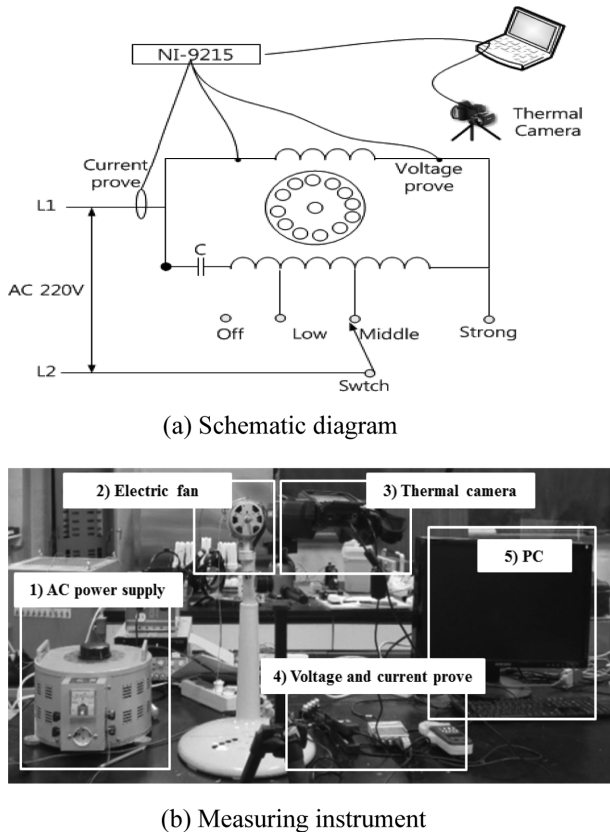


Figure 2. Experiment setups for temperature, voltage and current of electric fan.

보통 $\pm 9^\circ\text{C}$ 의 차가 나타나며^(6,8) 정상실험에서 도출하고자 하는 신호 특성에 대해 문제가 없는 것으로 판단하여 보조권선에 탭을 낸 선풍기로 H사의 58 W 4대를 선택하였다.

전압 실험 방법은 주권선의 전압 프로브를 설치하고 정상상태와 구속상태에서 1~3단 스피드로 변환하였고 전압의 크기를 분석하였다. 전류 실험 방법은 정상상태의 전류를 먼저 측정하고 모터 구속시의 전류를 측정하여 전류값의 변화를 측정하였다. 온도 실험방법은 주권선과의 거리는 0.5 m의 이격거리를 두고 실시간 저장이 가능한 열화상 카메라로 측정하였다. 데이터의 신뢰성을 위하여 메이커가 다른 열화상 카메라를 추가로 정착하여 10 min 간격으로 온도를 측정하였다. 정상상태와 이상상태 모두 30 min으로 측정하였으며 모터 권선(주권선 + 보조권선) 모두를 실시간으로 측정하였다. 전체 측정을 통하여 권선의 최고 온도와 최저온도를 각각 측정하여 구속시에 온도집중 지역을 찾고자 하였다. Figure 2(a)는 전압, 전류 및 온도를 측정하기 위한 개략도를 나타내었고, Figure 2(b)는 실제 실험 장치를 나타내었다.

3.2 실험장치

전원부는 Figure 2(b)의 1)은 정격용량 5 KVA의 전원발

생기를 이용하여 상용전원인 220 V로 유지하도록 하였다. Figure 2(b)의 2)에서 사용된 선풍기는 국내의 H사의 58 W 선풍기를 이용하였다. Figure 2(b)의 3)은 FLIR 4시리즈로 $-40\sim 1,000^\circ\text{C}$ 까지 온도 분석이 가능하며, 동영상과 실시간 저장이 가능한 열화상카메라이다. Figure 2(b)의 4)는 전압 및 전류의 실효값을 측정하기 위하여 전압은 테트로닉스사의 전압프로브(P6119PB), 전류는 테트로닉스사의 A622 AC/DC 전류프로브로 하였고, 이들 전압 및 전류 프로브에서 들어오는 신호를 수집하는 장치는 같은 회사의 NI-9215를 이용하였다. NI-9215는 4채널로 구성되어 있으며 4채널에 입력되는 신호를 동시에 분석하여 이를 PC로 전달하게 된다. 전압 및 전류에 대한 모니터링 소프트웨어는 LabVIEW의 SignalExpress를 이용하였다. Figure 2(b)의 5)는 PC로 전압 및 전류의 SignalExpress와 온도의 FLIR R&D 소프트웨어를 설치하여 저장할 수 있도록 하였으며, Figure 2(b)는 전압, 전류 및 온도 측정장치를 나타내었다.

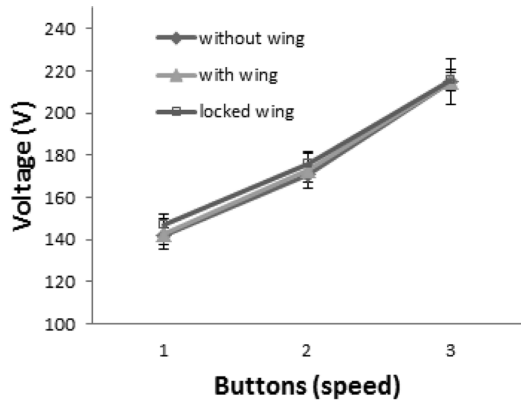
4. 실험결과 및 분석

실험결과에 대하여 전압, 전류에 대한 실효값과 온도 특성을 각각 비교 분석하였다.

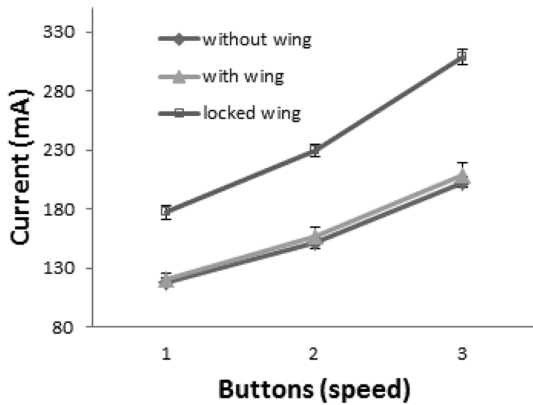
4.1 전압 및 전류 특성

전압은 주권선에서의 전압 특성을 분석하였다. 대부분의 연구가 전원부의 전압 특성을 나타낸 것^(5,6)으로 정상상태(날개 정착 및 미정착)와 이상상태에서의 전압의 변화가 거의 없는 것으로 나타나 있다. 그러나 주권선에서는 1~3단 스피드에 대하여 각각의 전압값이 다르게 나타났으며, 1단 스피드에서는 구속상태가 정상상태보다 7 V 높게 나타났고, 2단 스피드에서는 5 V 정도로, 3단 스피드에서는 전압의 차이가 거의 보이지 않았다. Figure 3(a)는 정상상태 및 구속상태에서의 전압 특성을 나타내었다.

전류의 경우는 정상상태에서 날개 정착시에 5~8 mA가 높게 나타났으며, 정상상태와 구속상태에서는 확연한 차를 보였다. 1단 스피드에서는 정상상태에서 평균 118 mA가 나타났으며, 구속상태에서는 평균 177 mA가 59 mA의 차를 보였다. 2단 스피드의 경우는 정상상태에서는 평균 151 mA이며, 구속시에는 230 mA로 79 mA의 차이가, 3단의 경우는 정상일 때 203 mA, 구속상태에서는 309 mA로 106 mA의 차이가 나타났다. Figure 3(b)는 전류값을 나타낸 것으로 전류신호에 대해서는 정상과 확연히 구분되었다. 선풍기에 대한 전압 및 전류에 대한 신호적인 관점에서 전압의 경우는 정상과 구속상태에서의 확연한 차이를 보이고 있지 않아 이를 감지하기는 매우 어려울 것으로 판단된다. 그러나 전류 신호에서는 1~3단 스피드에서 정상과 확연히 구분되는 신호로 전압보다는 전류신호에 대한 안전장치개발이 이루어져야 하겠다.



(a) Voltage RMS(V)



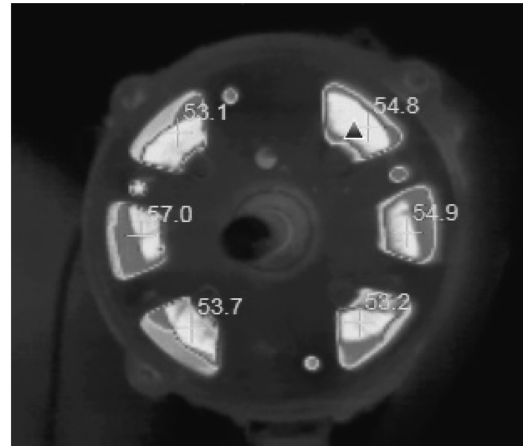
(b) Current RMS(mA)

Figure 3. Voltage and current RMS values for three speed at without and with wing, and locked wing.

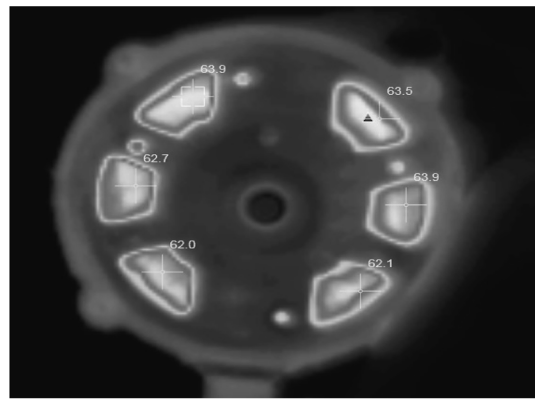
4.2 온도 특성

대부분의 선풍기는 주권선 말단에 온도센서를 부착하고 있으며 권선의 온도가 140~150 °C 사이에 퓨징되는 것이 일반적이다. 주권선의 온도 특성은 전체적으로 다르게 분포되어 나타났다. 따라서 온도센서가 어디에 부착하는지에 따라 반응속도가 결정되며 Figure 4의 경우 3단 스피드에서 6개 지점의 열적특성을 분석하였다. Figure 4(a)와 (b)는 정상상태로 a)는 날개를 정착했을 때로 가장 높은 온도는 57.0 °C, 가장 낮은 지점은 53.1 °C로 약 4 °C의 차를 보였고 (b)는 날개를 미정착한 상태로 가장 높은 곳은 63.9 °C, 가장 낮은 지점은 61.0 °C로 나타났다. 날개의 정착시에 기류의 순환으로 인하여 10 °C가 낮게 나타났다. Figure 4(c)의 구속상태에도 가장 높은 온도가 149 °C였고, 가장 낮은 지점은 131 °C로 약 18 °C의 차이를 보였다. 100 °C의 도달시간은 구속상태에서는 약 9 min으로 나타났다.

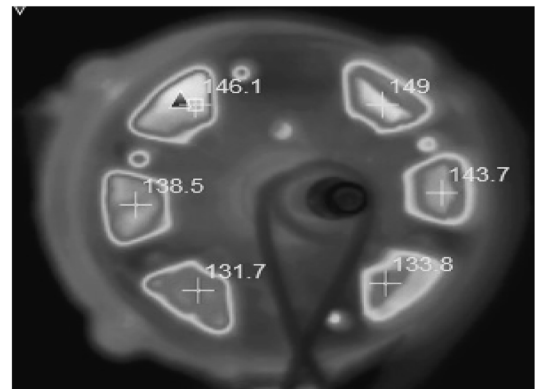
Figure 5는 선풍기의 모터 주위의 히팅튜브가 없을 경우 VCTFK 전선은 선풍기가 모터의 표면과 붙어 있었으며 VCTFK 전선의 절연체 허용온도는 60 °C⁽⁷⁾이다. 정상상태에서 Figure 5(a)는 날개 정착시에는 해당 온도에 접근하



(a) with wing



(b) without wing



(c) locked wing

Figure 4. Thermal characteristic of motor coil for 6 points at without and with wing, and locked wing.

지 않으나, Figure 5(b)는 날개 미정착시에는 30 min 후에 허용온도를 초과하였고 실제 지속적으로 절연체에 해당온도가 가해지면 절연열화가 가속될 것으로 판단된다. Figure 5(c)는 모터 구속 상태로 3 min 안에 이미 허용온도를 초과했고, 급속도로 온도가 상승하는 양상을 보이며, 먼지나 기타 가연성 물질이 있을시에는 화재사고로 진전될 것으로 판단된다. Figure 5는 3단 스피드에서의 정상 및 구속 상태에서의 열적 특성을 나타내었다.

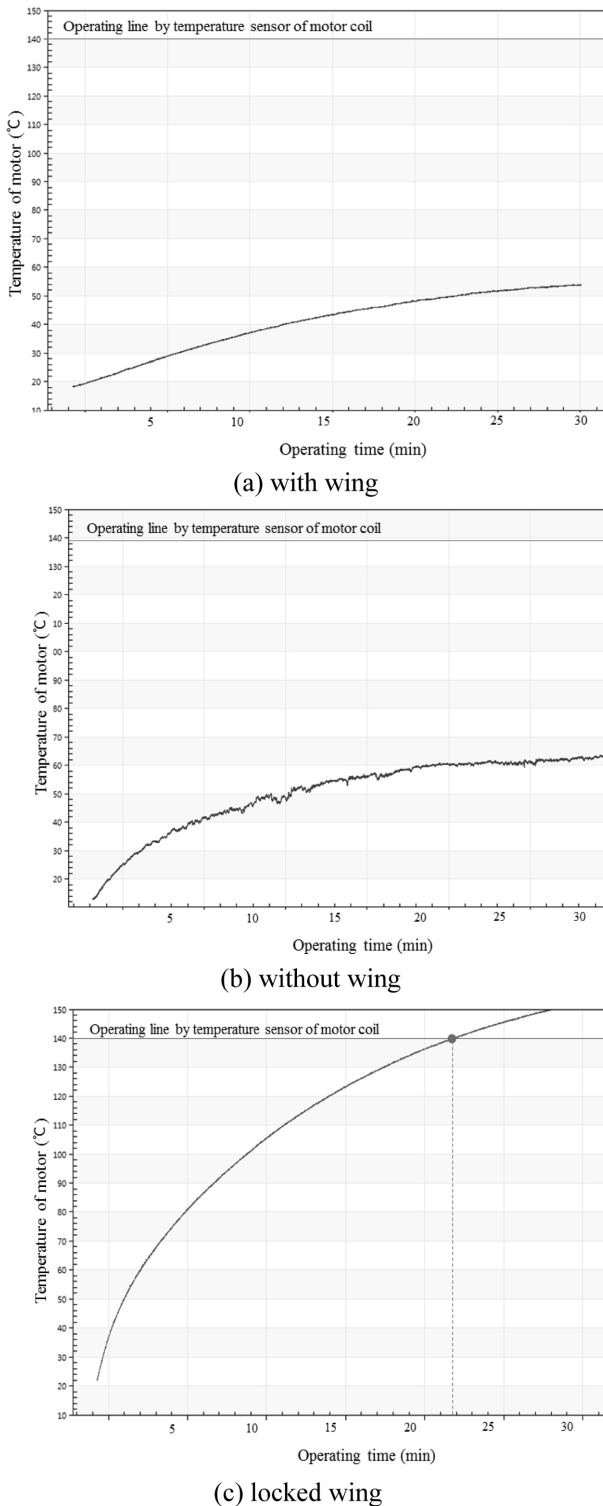


Figure 5. Thermal characteristic of motor coil for operation time at without and with wing, and locked wing.

4. 결 론

선풍기 모터의 회전을 정상(날개 정착 및 미정착) 및 고정상태로 구분하여 주권선에서의 전압 및 전류, 모터 전체의 온도특성을 분석하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전압과 전류 신호에 대하여, 전압의 경우 정상상태와 고정상태에 대하여 큰 차이점은 없었으며, 전류의 경우는 정상상태와 확연히 구별되는 전류값이 나타났다. 선풍기에 대한 안전장치 개발 시에 전압보다는 전류신호를 적용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

2) 온도의 경우 정상상태의 모터 전반에 있어서 온도분포가 각각 다르게 나타났으며, 약 4°C의 차를 보였고, 날개를 정착했을 때 가장 높은 온도는 57.0°C, 날개를 미정착한 상태로 가장 높은 온도는 63.9°C로 날개의 정착시 기류의 순환으로 인하여 10°C 낮게 나타났다. 고정상태의 경우는 모터 전반에 있어서 온도 분포도가 각각 다르게 나타났으며 같은 시간대에 가장 높은 온도가 149°C였고, 가장 낮은 온도는 131°C로 약 18°C의 차이를 보였다. 100°C의 도달시간은 구속상태에서 약 9분으로 나타났고, 그 주위에 먼지나 가연물로 인하여 화재를 일으킬 수 있으며, 전선의 피복과 연결되면 절연열화가 가속될 것으로 판단된다.

References

1. National Fire Data System, “<http://www.nfds.go.kr/>”, (2014).
2. Tokyo Fire Department, “New Fire Investigation Handbook”, pp. 148-153 (2004).
3. SEGYE.com, “Motel fire by internal defects of fans manufacturers pay your insurance 60%” (2014).
4. 119New, ‘Caution’ of fan fire in Summer, 2013.
5. 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”, Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference, pp. 135-139 (2000).
6. S. H. Hong, S. H. Lee, S. T. Park, H. J. Yu and W. J. Jeon, “A Experiment Study on the Electrical Fire Hazards Analysis of Electric Fan”, Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference, pp. 344-349 (2007).
7. Korean Industrial Standard, “KSC 3304” (2006).
8. Korean Industrial Standard, K60335-2-80, K60335-1(4.1) (2004).