

전기 헤어드라이기에 대한 화재 시험법에 관한 연구

장인혁¹ · 나현준² · 문은아³ · 이창훈¹ · 임홍우^{1*}

¹한국기계전기전자시험연구원, ²조선대학교, ³조선이공대학교

Fire Testing Methods For The Electric Hair Dryer

In-Hyeok Jang¹ · Hyun-Jun Na² · Eun-A Moon³ · Chang-Hoon Lee¹ · Houg-Woo Lim^{1*}

¹Korea Testing Certification · ²Chosun University · ³Chosun College of science & Technology

Purpose: The purpose of this study is to development the fire evaluating test methods for the Electric hair dryers.

Methods: We was designed FMEA (Failure mode and effects analysis) in order to analyze the fire mechanism on the electric hair dryers and designed evaluating test methods (Durability tests on the environment, Mechanical durability tests) obtained through the two-step QFD (Quality Function Depolyment) and tested.

Conclusion: We verified the evaluating fire test methods on the electric hair dryers through the analysis of the test results and some reproduction test.

Keywords: Hair dryers, Fire, FMEA, QFD, Durability test

1. 서론

최근 가전제품은 현대인들의 생활필수품으로서 사용량과 보급량이 증가하는 추세를 보이고 있다. 또한 가전제품 시장의 확대에 의해 무역개방과 함께 저가형 전기기기들의 수입이 늘어나고 있고, 소방방재청 [1, 2] 자료에 따르면 가전제품의 화재 및 감전 등 안전사고 역시 증가하고 있는 추세이다. 그중 헤어 드라이기는 머리카락을 말리거나 헤어스타일을 변화시키기 위한 도구로서 사용량이 급증하고 있으며, 현대인의 필수품으로 자리 잡고 있다. 이러한 헤어드라이기의 사용량이 증가할수록 안전사고 역시 증가하는 추세이다. 보통 헤어드라이기로 인한 화재 및 감전 사고는 소비자의 사용부주의로 인한 사고도 있지만 보통 불량 제품 또는 장시간 사용으로 인한 열화 제품에 의한

사고가 일반적이다. 이러한 화재의 위험성이 증가한 만큼 제조업체 역시 제조기술 및 품질의 향상을 통해 제조사의 설계 마진, 보호회로 등을 통해 화재 및 감전 사고를 방지하려 노력하고 있지만, 장기간 사용으로 노후화된 제품에 대한 화재 및 감전 사고를 방지하기에는 한계가 있다. 또한 장인혁 외[3]의 연구결과에 따르면 기존의 헤어드라이기에 대한 안전성평가에 대한 다양한 KS 및 KC 등의 안전규정 등이 존재하지만 이는 초기품을 대상으로 한 점검기준이며, 장기적 사용으로 인해 열화 된 제품에 적용하기엔 다소 무리가 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 초기제품에 대한 안전성 평가와 차별화 된 가정 내에서 장기간 사용으로 인해 열화 된 헤어드라이기의 화재 및 감전 고장모드를 제품 초기에 열화를 재현하여 열화로 인한 안전사

* 교신저자 dyamond@ktc.re.kr

2015년 12월 4일 접수; 2016년 1월 20일 수정본 접수; 2016년 1월 28일 게재 확정.



(a) Fire due to dust



(b) Fire caused by high humidity deterioration



(c) Fire due to redemption fans



(d) Fire due to heat accumulation

Fig. 1 Incidents and analysis on the electric hair dryer

고를 초기에 방지할 수 있는 시험법을 제안하였다. 발화요인 분석을 위해 FMEA 분석을 실시하였고, 이를 바탕으로 2단계 QFD를 설계하여 환경내구성 시험과 기계적 내구성 시험을 실시하였다. 그리고 설계된 시험법을 통해 고장메커니즘을 재현하여 시험법의 타당성을 검증하였다.

2. 필드고장 분석

전기 헤어드라이기의 발화에 대한 필드고장을 <Fig. 1>과 같이 분석한 결과 내부 축적된 먼지에 의한 발화, 화장실 등의 습도가 높은 환경조건 내 사용으로 인한 열화진행에 의한 발화, 이물질 등으로 인한 팬 구속으로 인해 순간적으로 과부하가 걸려 발생하는 발화사고, 수건 등으로 환풍구가 막혀 축열로 인한 발화 현상 등을 확인할 수 있었다.

3. 시험법 설계

3.1 메커니즘 분석 및 추정

일반적인 FMEA 분석 결과 주요한 고장의 원인은

주로 이물질에 의한 모터 구속(순간 과전류 및 히터부 온도 급상승), 전원제어 불능(스위치 용융 및 바이메탈 결합) 등으로 발생빈도가 높은 것으로 추정된다. 발생빈도는 낮으나 화재·감전의 위험성이 높은 고장모드는 다이오드 파손(정류작용, 역방향 전류 흐름 제어 불능)세면대 위 수중 낙하로 인한 과전류 돌입 및 인체 감전 등이 발생한다. 따라서, 이러한 위험고장의 원인에 대하여 기존의 FMEA를 다음 <Table 1>과 같이 급중용 외[4]의 연구결과를 참고하여 작성하였다.

3.2 QFD 1단계

<Table 2>는 우선 개선 부분 선정을 위한 QFD 1단계 매트릭스를 나타낸 것이다. QFD 1단계 결과 헤어드라이기의 주 고장부위는 모터, 코일, 바이메탈 등이 높게 추정되었고 주요 고장원인은 단락과 모터부 구속으로 확인되었다.

3.3 QFD 2단계

QFD 2단계에서 1단계에서 결정된 우선적으로 개선해야 할 시스템 부분(또는 부품)의 고장모드/메커니즘을 확인할 수 있는 시험에 대한 객관적인 자료가 필요하다. <Table 3>은 객관적인 자료로는 국내 및 국제 규

격, 학회 및 학위 논문, 유사제품의 필드고장 사례, 선행시험 사례 등을 통하여 2단계에 적용하여, 효과적인 재현 시험 결정하는 매트릭스로 나타낸 것이다.

그리고 이를 바탕으로 하여 다음 <Table 4>와 같이 결정하였다. 그 결과 온도, 습도, 과부하가 주요 고장에 가장 큰 영향을 주는 고장모드로 확인되었다.

Table 1 Electric hair dryer FMEA

No	Unit	Function	Failure Mode	Occurrence frequency	Impact	Criticality	Cause	Detection	RPN	Testing	Measures & Improve
1	Diode	Wind Intensity Modulated	Short	8	Rectifying action, Prevent reverse current flow	6	Thermal electrical overload	3	144	Multi Meter measuring the electrical properties	Part thorough verification unit
			Open	8	Circuit breaker	1	Problems in manufacturing plant	3	24		
2	Hot wire	Heating	Short	8	Peripheral circuits and fire damage	9	Deterioration due to long-term use	5	360	Multi Meter measuring the electrical properties	Improved ferrite core material
			Open	5		7			175		
3	Motor	fan rotation	Increased friction	4	Deterioration and fire risk due to internal foreign infiltration and Increased friction	4	Motor overload due to redemption	4	64	Multi Meter measuring the electrical properties, Visual inspection	Prevent foreign infiltration Fragile wings
			Motor redemption	8		9		8	576		
			Tracking	5		4		Dust accumulation	2		
4	Bimeta	Overheating protection	Insulating carbonized	8	fire due to the Insulating carbonized	9	Leakage current due to the insulating material contamination	8	576	measuring the electrical properties	Use non-combustible material
5	Switch	Power On/Off	Increased surface resistance	8	Increase heat due to Increased surface resistance	8	Increase in surface resistance due to repeated operations	5	320	measuring the electrical properties	Use non-combustible material

Occurrence frequency : Estimating the probability of failure occurrence (The value of between 1-10)

Criticality : The effect on consumers also rated estimated breakdown (The value of between 1-10)

Detection : Find the cause of the failure modes / mechanisms to estimate the corrective action capability (The value of between 1-10)

RPN : Occurrence frequency × Criticality × Detection

Table 2 QFD step 1

Breakdown site Failure Mechanisms Stresses and Performance	Diode		Hot wire		Motor			Bimeta	Switch
	Short	Open	Short	Open	Increased friction	Motor redemption	Tracking	Insulating carbonized	Increased surface resistance
RPN	144	24	380	175	64	576	40	576	320
RPN Scale	0.06	0.01	0.17	0.08	0.03	0.25	0.02	0.25	0.14
Temperature	○	○	◎	◎	◇	◎	◇	◇	◎
Over Voltage	◎	○	◎	○	-	-	-	-	○
Mechanical stress	-	-	◇	◇	◎	◇	◇	◎	◇
Excessive discharge	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ripple current	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AC superposition	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperature changes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Humidity	○	○	◎	○	◇	◇	◇	◇	◇
Vibration	○	○	-	-	-	-	◇	-	-
Shock	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Changes in efficiency	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dielectric strength	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thermal Shock	-	-	◎	◎	○	-	○	-	-
Tension	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Frequency coil	-	-	-	-	-	-	-	-	-
High temperature and high humidity	○	○	◎	◎	○	◎	◇	◇	◎
Mechanical stability	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Shipping	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blow	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Life span	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Over load	◎	◎	○	◎	◎	◇	◇	◎	◎
Dust	-	-	-	-	-	◎	○	◎	-
Score	30	24	49	43	26	30	12	30	32
RPN Score	1.8	0.24	9.31	3.87	7.8	8.4	0.24	8.4	4.48
Effectiveness	5.22%		29.39%		36.66%			18.73%	9.99%

◎ : 9 Score, ○ : 3 Score ◇ : 1 Score, The impact of ◎ indicates that even the very large compared to other impacts.

RPN Scale : RPN/RPN total sum

Score : Failure caused by impact sum

RPN Score : RPN Scale × Score

RPN Effectiveness : Breakdown by region RPN Score sum/The total sum RPN Score × 100

Table 3 QFD step 2

Test Methods Failure Modes/Mechanisms			High temperature	Vibration	High temperature and high humidity	Dust	Overload test	Over-voltage test	Mechanical stress
Part	Failure Mode	RPN Score							
Diode	Short	1.8	○	○	○	-	○	◎	-
	Open	0.24	○	○	-	-	○	○	-
Hot wire	Short	9.31	◎	-	◎	-	○	◎	◎
	Open	3.87	◎	-	◎	-	○	○	◎
Motor	Increased friction	7.8	◇	-	○	-	◎	-	○
	Motor redemption	8.4	◎	-	◎	◎	◇	◇	○
	Tracking	0.24	◇	-	◇	◇	◇	-	◇
Bimeta	Overheating protection	8.4	◎	-	◎	◎	◎	◇	○
Switch	Power On/Off	4.48	◎	-	◎	-	◎	○	◇
Score			325.2	7.02	340.08	151.44	241.32	145.26	197.14
Ranking			2	7	1	5	3	6	4

◎ : 9 Score, ○ : 3 Score ◇ : 1 Score, The impact of ◎ indicates that even the very large compared to other impacts.
Score : RPM Score × Total sum of Effectiveness (◎, ○, ◇)

4. 시험 및 결과

2단계 QFD 결과 전기 헤어드라이기의 화재 및 감전의 주요고장 메커니즘은 주로 고온과 고온고습 등의 주변 환경적 요인과 기계적 요인 등으로 분류할 수 있었다. QFD에서 분석한 환경적 요인들을 뽑아 아래와 같은 내구성 시험을 설계하였고, 이를 실험을 통해 결과를 분석하였다.

4.1 환경내구성 시험

전기 헤어드라이기의 환경내구성 시험을 위해 A(1,050W), B(1,300W) 두 가지 모델을 <Table 4>와 같이 설계하였다. 고온시험은 바이메탈 전원차단 온도인 100℃ 조건에서 1,000시간 방치, 고온고습시험은 부품 열화시험 조건인 85℃ 85% R. H.에서 방치상태로 1,000시간을 수행하였다.

시험결과 A제품의 경우 24시간 만에 고온 및 고온고습시험에서 <Fig. 2>와 같이 외관케이스가 변형되어 팬을 구속하였고, 모델 B의 경우 고온시험 672시간, 고온고습시험 1,000시간 만에 외관케이스가 변형되었다. 외관케이스 변형상태에서 동작 시 이상현상을 확인하기 위하여 전원을 인가하였을 때 팬의 구속

Table 4 Environmental durability test method

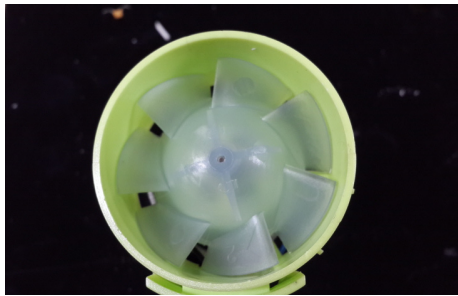
Test Items	Test Methods	Remarks
High temperature life test	(1) Temperature: (100 ± 2) °C (2) Non operating state (3) 1,000 h	Finished
High temperature and high humidity Leaving test	(1) Temperature : (85 ± 2) °C Humidity : (85 ± 5) % R. H (2) Non operating state (3) 1,000 h	Finished

으로 인해 순간적으로 과부하가 걸렸고, 히터부의 과열로 인해 회로 내 보호소자가 작동하여 전원을 차단하였다.

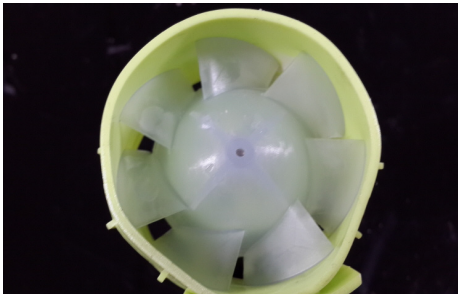
추가적인 재현시험을 위해 구속된 상태의 헤어드라이기에 먼지를 삽입한 후 전원을 인가하였다. 그 결과 <Fig. 3>과 같이 불꽃이 외부로 솟아올랐고, 순식간에 화재가 발생하였다.

4.2 기계적 내구성 시험

기계적 내구성 시험을 위해 헤어드라이기를 <Table 5>와 같이 일반적인 성인 남성의 평균 키보다 높은 1.8m 높이에서 <Fig. 4>와 같이 낙하시험을 수행하였다.



(a) The cooling fan (before test)



(b) The cooling fan (after test)

Fig. 2 High temperature test result

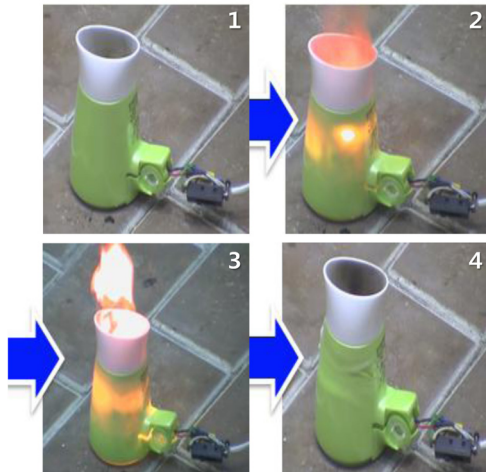


Fig. 3 Power operation test on the product attached dust

Table 5 Drop test methods

Test Items	Test Methods	Remarks
Drop Test	(1) 1.8 m Drop	(1) Check the operation after test
	(2) Non operating state	(2) Check the operation of Bimetal

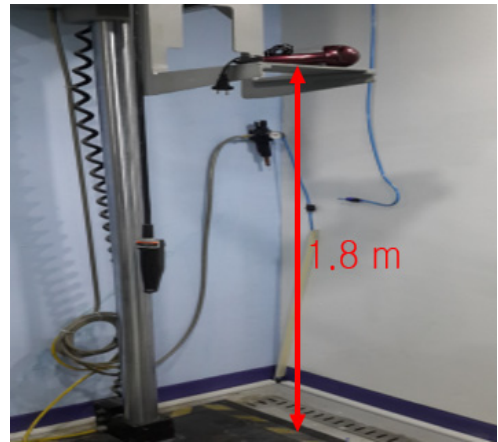
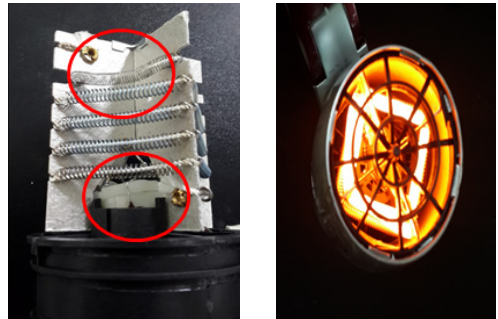


Fig. 4 Drop test



(a) Internal changes (after test)

(b) Checking the operation (after test)

Fig. 5 Drop test results (30 times)

시험결과 30회 낙하 후 내부 모터부의 손상이 발생하였고, <Fig. 5 (a)>와 같이 열선의 휘이 육안으로 관측되었다. 동작상태 확인을 위하여 전원을 인가하였을 때 모터손상으로 인해 <Fig. 5 (b)> 히터부가 붉게 달아오르는 것을 확인하였다.

낙하 시험 40회 후 내부 변화 및 동작 상태를 확인해 본 결과 <Fig. 6 (a)>와 같이 내부열선은 더 휘어져 다른 열선과 단락이 되었고, 전원을 인가하자 <Fig. 6 (b)>와 같이 불꽃과 함께 히터부가 발화하였고, 그로 인해 열선이 <Fig. 6 (c)>와 같이 단선되었다.

4.3 시험법 확정

시험결과를 바탕으로 실제 필드에서 발생할 수 있는 환경내구성과 기계적 내구성을 고려하여 <Table 6>의

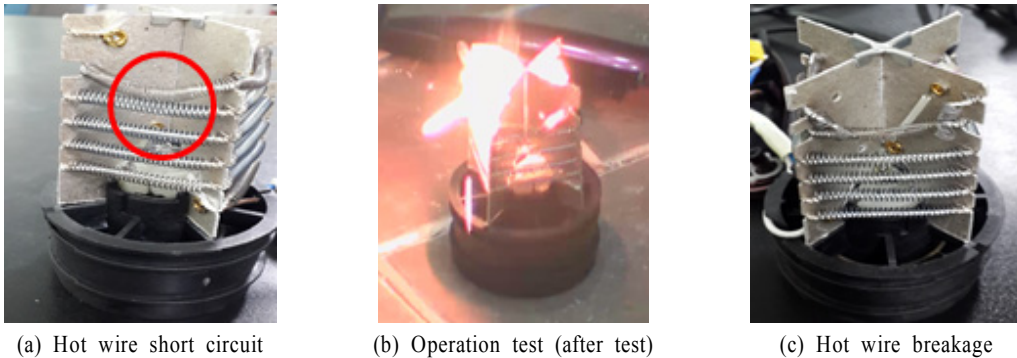


Fig. 6 Drop test results (40 times)

Table 6 Endurance test methods

Division	Test Items	Test Methods	Checking list	Remarks
Environmental durability tests	High temperature test	(1) Temperature : $(100 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ (2) Non operating state (3) 1,000 h	- Exterior modifications - Operation After insert the dust	Finished
	High-temperature & high-humidity test	(1) Temperature : $(85 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ Humidity : $(85 \pm 5) \% \text{ R. H}$ (2) Non operating state (3) 1,000 h	- Operation check After drop test - Rescue - Temperature rise - Dielectric strength - Insulation Resistance	Finished
Mechanical endurance test	Drop Test	(1) 1.8 m Drop (2) Non operating state	- Short-circuit heating wire	Finished

시험방법을 확정하였다. 환경 내구성시험 항목의 고온시험 및 고온고습 시험은 A, B 제품의 고장시점을 고려하여 1,000시간으로 결정하였고, 기계적 내구성 시험 항목의 낙하시험 역시 낙하시험의 40회 시점에서 고장 난 것을 기준으로 설계하였다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 초기품을 대상으로 한 안전 시험법과 다른 가정 내에서 사용 중 노후화된 헤어드라이기의 발화에 대한 위험 고장모드를 제품 초기에 재현할 수 있는 시험법을 제안하였다. 발화요인 분석을 관련문헌조사 및 국내외 시험규격검토, 제품분석, 필드데이터 분석 등을 참고기준으로 메커니즘 분석 및

추정하여 시험법을 설계 및 시험하였다. 환경에 따른 내구성 시험을 위해 A, B 두 가지 모델을 방치상태에서 고온시험(100°C)과 고온고습시험(85°C 85% R. H.)을 수행하였고, 기계적 내구성 시험을 위해 1.8 m의 높이에서 낙하시험을 수행하였다. 그 결과 고온시험과 고온고습시험 모두 열화품의 외형 변형이 발생하였고, 그로인해 헤어드라이기의 팬이 구속되며 순간적으로 과전류가 흘러 발화하였다. 기계적 내구성 시험에서는 약 30회에 내부 열선의 변형이 발생하였고, 약 40회에 열 선간 단락이 발생하여 전원인 가시 발화하였다.

이러한 결과를 바탕으로 헤어드라이기의 환경적 열화 및 기계적 열화 요인의 시험법을 설계하였고 이를 통해 얻어진 결과를 재분석하여 화재 및 감전 메커니즘을 재정립 및 검증하였다. 향후 전기적 시험 (ON/OFF 및 과전압시험)등을 추가하여 가정 내에서

발생할 수 있는 화재 및 감전 사고에 대해 기업체에서 즉각적인 활용이 가능하도록 보안 할 예정이다.

References

- [1] National Emergency Management. (2014). "Analysis of the fire situation in 2014". pp. 1-17.
- [2] National Emergency Management. (2013). "Analysis of the national fire situation of August 2013". pp. 1-16.
- [3] Jang, I. H., Lee, C. H., Lee, Y. J. and Lim, H. W. (2015). "The Infrastructure Case for Reproduction or Analysis of The Mechanism on The Fire of The Electrical Appliances". *Journal of the Applied Reliability*, Vol. 15, No. 1, pp. 60-66.
- [4] Keum, J. Y., Suh, Y. S., Lee, J. K. and Park, J. Y. (2008). "Measurement of a Diagnostic Coverage for a Digital Signal Processor Board Using an FMEDA". *Journal of the Applied Reliability*, Vol. 8, No. 2, pp. 101-111.