

진공청소기 모터의 가속시험법 개발

최완수, 박상준, 박상득

요 약

진공청소기 제품의 시장불량을 조사한 결과 모터의 불량률이 전체 불량 중 많은 부분을 차지하고 있으며 조금씩 증가추세를 보이고 있음을 알 수 있었다. 그러므로, 본 연구에서는 진공청소기 모터의 출하 전, 불량품 검출력을 향상시킬 수 있는 가속시험법을 개발하고자 하였다. 또한, 가속시험을 통해 사업부의 신뢰성시험 납기 단축 및 시험비용 절감 뿐아니라 모터에 대한 가속시험 기술력 확보를 목적으로 수행하였다. 가속수명시험 시 스트레스인자는 모터의 브러쉬 마모 가속을 위해 정격보다 높은 전압을 인가하였다. 가속모형으로는 전압스트레스를 인가하는 경우 일반적으로 사용되는 역자승(Inverse Power) 모형을 사용하였다. 가속시험 결과 정격의 120% 전압에서 가속계수 4.3이 얻어졌다. 이는 수출 모델의 경우 현재의 시험시간 42일을 10일로 단축하여 76%의 시험시간이 절감되어 시험 가능 횟수가 4배로 증가되는 결과를 얻었다. 추가적으로 다양한 On/Off 시간 변환 시험을 실시하였으나 현시험법과의 고장 모드(브러쉬 마모로 인한 회전정지) 및 고장유형이 일치하지 않음을 알 수 있었다. 이 결과는 On/Off 시간변환을 통한 가속시험의 경우 주의를 필요로 함을 나타낸다.

1. 서 론

현재 개발 및 출하 전 신뢰성검증 시험의 경우 많은 시간과 비용이 소요된다. 또한, 신뢰성 제품의 개발주기가 점점 짧아짐에 따라 개발제품의 신뢰성을 신속히 평가할 수 있는 방법이 요구되고 있다. 이와 같은 요구를 충족시킬 수 있는 하나의 대안은 가속시험을 수행하는 것이다. 가속시험은 정상사용조건보다 열악한 스트레스조건에서 시험을 수행한 후 얻어진 가속시험 데이터를 통해 정상사용조건에서 제품의 신뢰성을 평가하는 방법이다. 수명과 스트레스 사이의 관계식은 온도 스트레스를 사용하는 경우 흔히 아레니우스(Arrhenius) 관계식이 사용되고, 전압스트레스의 경우 역자승 관계식이 사용된다. 본 청소기 모터 가속시험법 개발 연구는 지난 98년 수행된 것이다. 진공청소기에 대해 1년간의 시장불량데이터를 수집한 후 고장내용을 분석하였다. 분석결과 모터 어셈블리 부분의 고장이 다수를 점유하였으며 점차 증가추세에 있음을 볼 수 있었다. 일반적으로 제품의 잠재적 고장모드 및 고장메커니즘을 파악하는 방법으로 FTA(Fault Tree Analysis)와 FMECA(Failure Mode and Effect Criticality Analysis)를 활용한다. 본 연구에서도 FTA와 FMECA를 활용하여 제품의 고장모드 및 메커니즘을 분석하였다. 일반적으로 가속시험은 시험준비, 시험실시, 결과분석의 순으로 이루어지며, 그림 1은 본 연구에서 접근한 신뢰성시험의 개발절차를 나타내었다.

삼성전자(주) CS경영센터 전문기술그룹

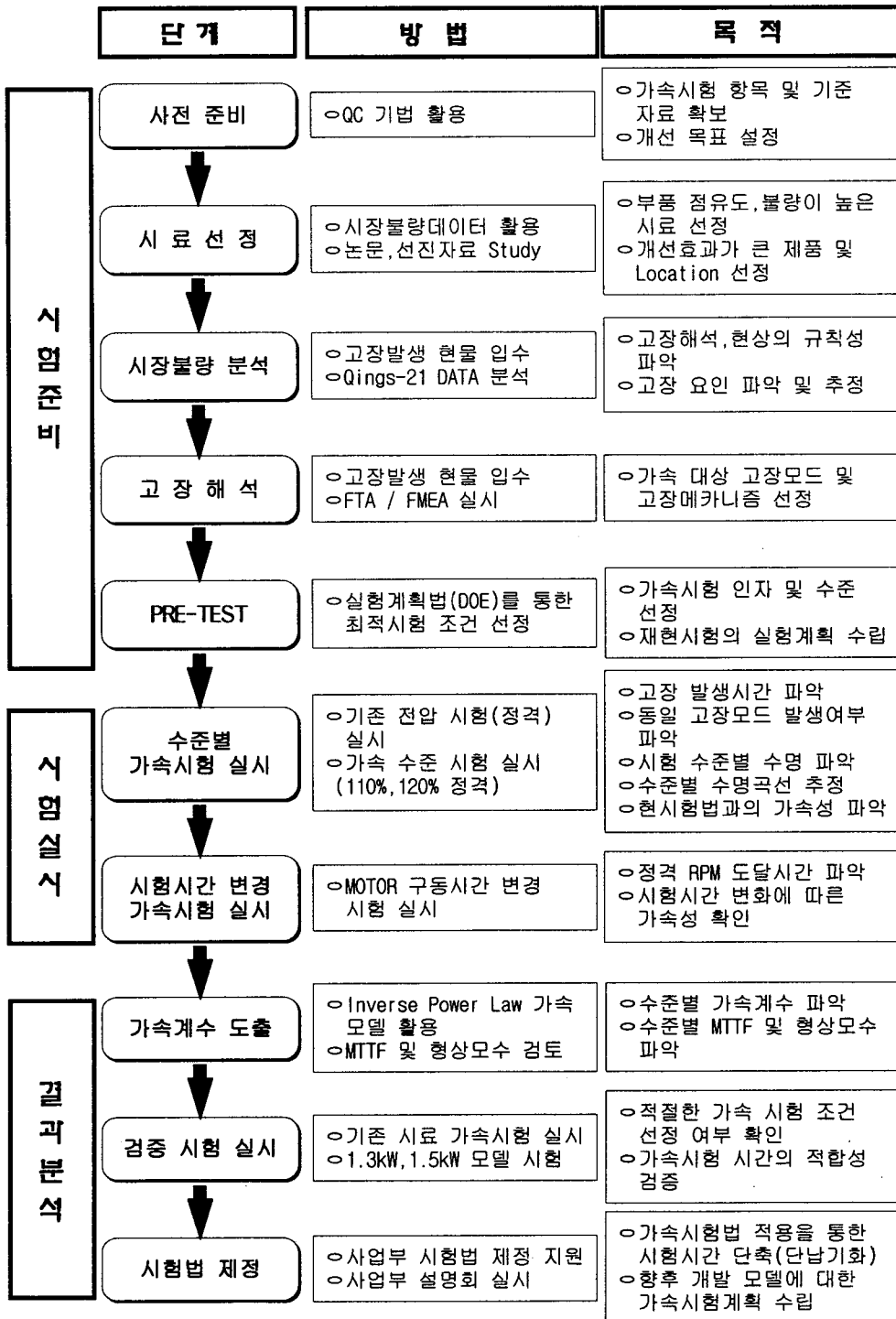


그림 1. 가속 신뢰성시험의 개발절차

2. 시험 준비

2.1 시장불량 데이터 분석

97년 9월부터 98년 8월까지 시장불량 데이터를 분석한 결과 진공청소기의 주요 불량으로 그림 2에서 보이듯이 모터, Hose 그리고 PCB 어셈블리였다. 전체적인 불량률은 감소하고 있으나 모터의 불량률은 97년 9월 대비 47%가 증가했음을 볼 수 있다. 또한 모터 어셈블리는 진공청소기 제품 불량률의 21%를 점유하고 있으며 불량률 2위 항목이다.

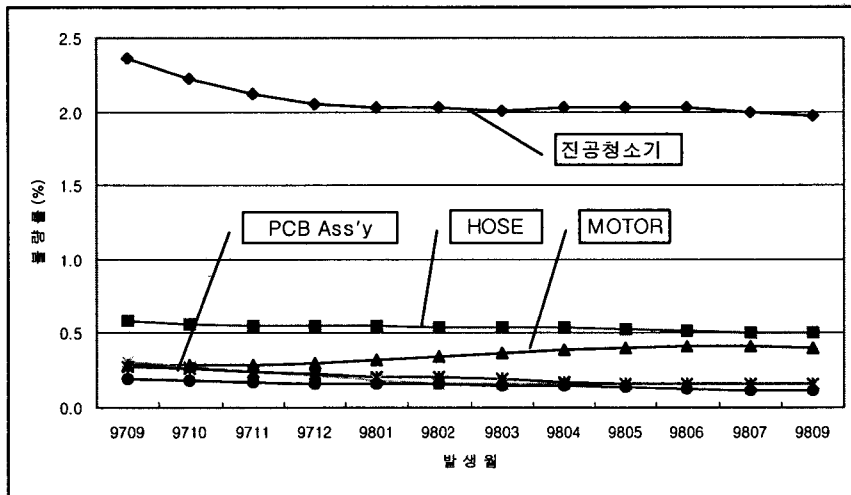


그림 2. 진공청소기(모터) 불량 현황 ('98년 8월 기준)

2.2 고장 분석

지난 1년간의 고장데이터를 분석한 결과 그림 3과 같이 시장불량의 대부분이 전원불량이었으며 모터의 불량이 다음으로 많았다. 모터의 불량현상으로는 회전불량, 소음불량, 냄새의 발생이 다수였다. 대부분의 모터불량 발생시 모터를 교환해 주었다. 보다 정확하고 체계적인 고장

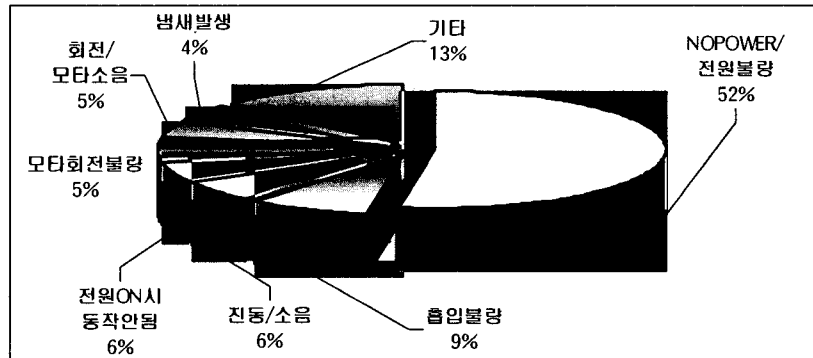


그림 3. 진공청소기 고장 현상

분석을 위해 FTA와 FMECA를 수행 하였다. 그 결과는 그림 4와 그림 5에 나타내었다.

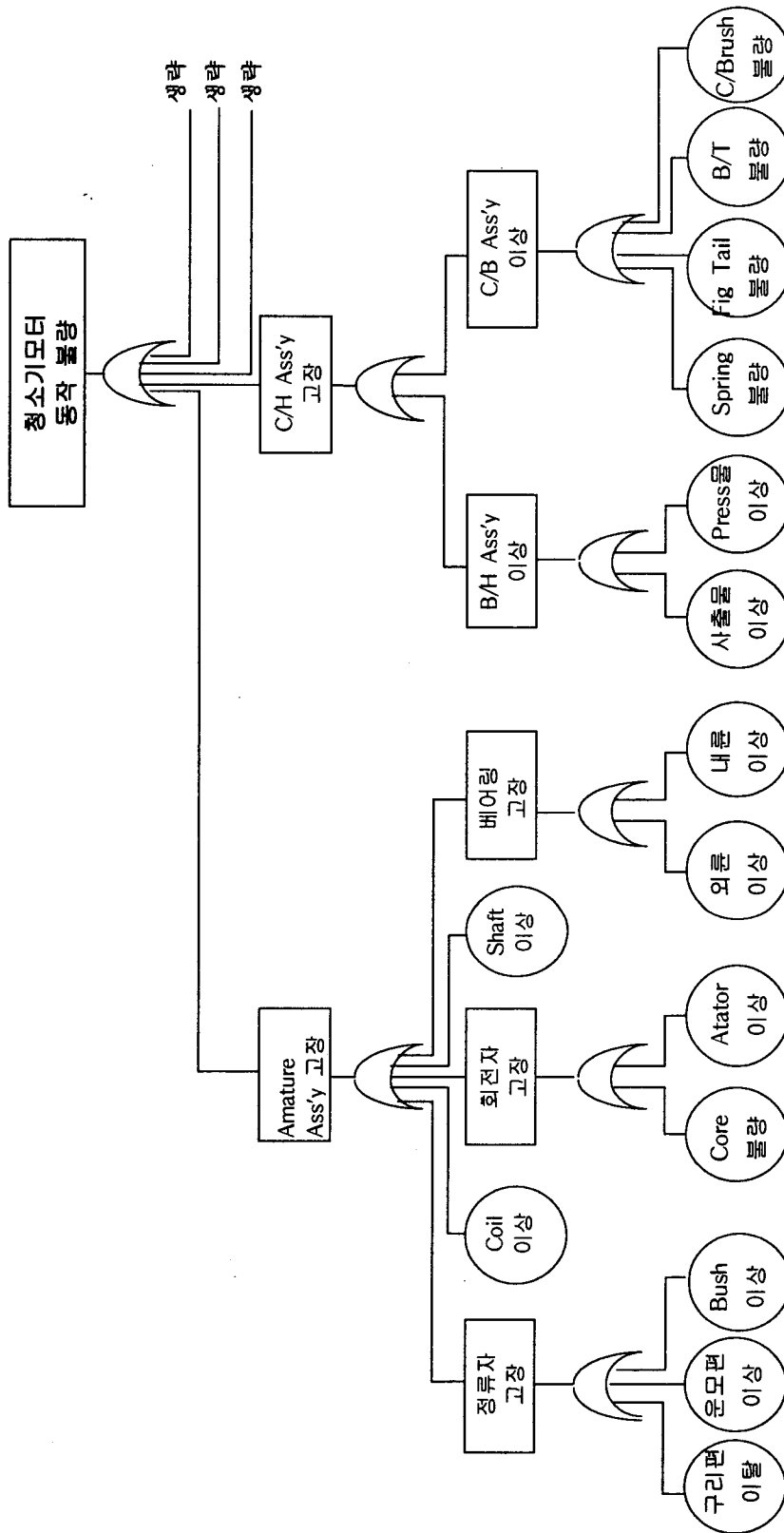


그림 4. 청소기 모터 고장시료 FTA

표 1. 모터 고장 FMECA

NO	부품명	부품 기능	고장유형/ 고장모드	고장원인	고장영향	검출법	치명도분석			비고 (PRN)
							중요도	발생도	치명도	
1	정류자	정류작용	불꽃발생	과부하 발생 진동,부적합,불리한 대기조건	산화피막 손상 COIL단선,쇼트 동작안됨	환경시험 과부하인가시험	5	5	25	A
			타는냄새	계면에서 SPARK 발생 과전압,과전류 인가 탄소기루가 정류자면에 침착	COIL단선,쇼트 동작안됨 화재	과부하인가시험	5	5	25	A
2	BRUSH HOLDER ASS'Y	BRUSH와 HOUSING을 고정하여 정류작용	정류안됨	탄소기루가 HOLDER에 침착	비정상적 마모 정류작용 불량 동작안됨	HOLDER ~ BRUSH GAP 측정	5	4	20	B
3	CARBON BRUSH ASS'Y	정류작용이 잘 되도록 정류자와 접속 마찰	(비정상적) 마모	정류자 진원 이념 SPRING력 강함 접촉부 고온 발열	수명단축	정류자 진원도 측정 SPRING상수 측정	5	5	25	A
			(BRUSH)소손	과부하 발생 진동,부적합,불리한 대기조건(수분침투)	정류작용 불량 동작안됨	과부하인가시험 환경시험	5	5	25	A

FTA와 FMECA 분석결과 주요 고장모드는 회전정지로 나타났고 이의 고장메커니즘은 RPM 상승과 고전압 인가에 따른 발열 반응에 의한 브러쉬 마모로 밝혀졌다

2.3 사전시험(Pre-Test)

모터의 고장을 빨리 유발할 수 있는 스트레스 인자를 찾기 위해 예비시험을 실시 하였다. 예비시험은 전압인자에 대해 정격의 110%와 120% 2수준에서 수행하였다.

표 2. 모터의 예상수명시간

전압조건	시료수	시험시간	평균 브러쉬마모길이(mm)		예상수명시간
			좌	우	
정격	5	181	5.67	5.79	940
110%	1	96	3.35	4.25	768
120%	1	96	5.50	6.10	481

표 2에서 예상수명시간 산출은 "(사용가능길이(29mm)×운전시간)/마모길이"로 산출 되었다. 그리고, 분산분석결과 전압인자의 수준변화는 표 3에서 볼 수 있듯이 유의수준 0.01에서 모터의 브러쉬 마모에 영향을 주는 것으로 파악되었다.

표 3. 분산분석표

변동요인	제공합	자유도	제공평균	F비	P-값	F 기각치
처리	17.1734	2	8.59	24.19	2.21E-6	5.66
잔차	8.166	23	0.36			
계	25.339	25				

3. 시험실시

시험조건별로 5개씩의 시료를 이용하여 14.5분 On / 0.5분 Off 사이클 시험을 실시 하였다. 시험결과 모터회전 정지시간은 표 4와 같이 얻어졌다.

표 4. 모터회전 정지시간 (hour)

조건 No	100% 정격	110% 정격	120% 정격
1	649	392	224
2	696	430	230
3	721	454	253
4	745	550	270
5	850	640	293

그림 5와 같이 고장데이터의 확률지 적합결과 대수정규분포에 가장 잘 적합됨을 볼 수 있었다.

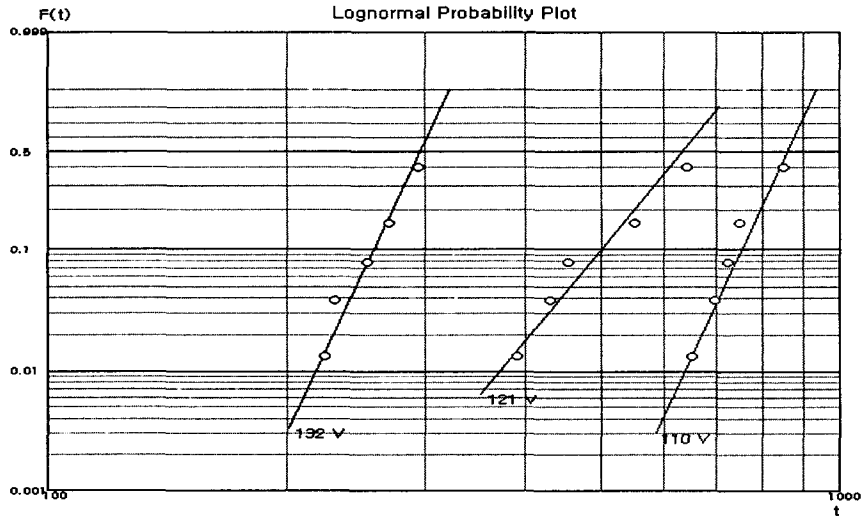


그림 5. 모터 고장시간 대수정규 확률지 적합

가속모형은 전압스트레스의 경우 일반적으로 사용되는 다음과 같은 역자승 모형을 사용하였다.

$$L = a(V)^{-n}$$

단, L 는 명목수명, V 는 전압, 그리고 n 은 가속지수이다. 가속모형 적합결과는 그림 6과 같으며 모수 추정값은 $a = 4.99E14$, $n = 5.78$ 로 얻어졌다.

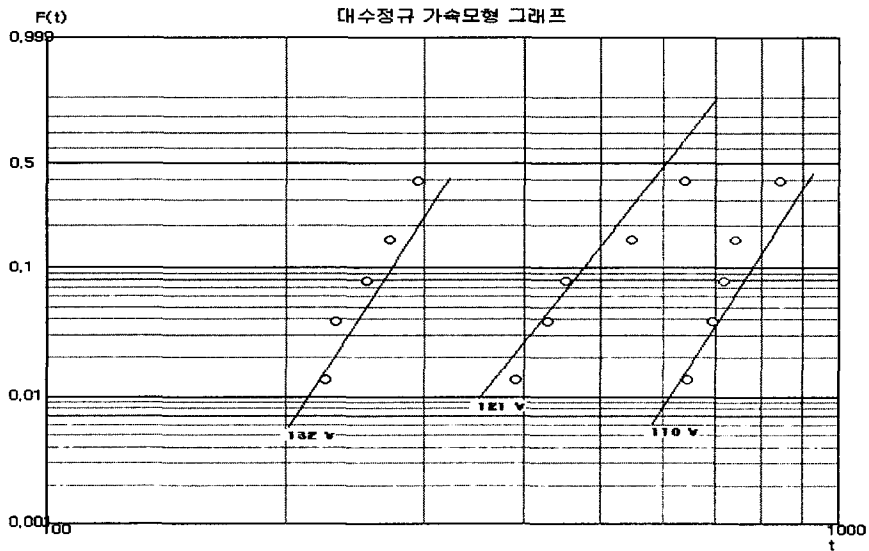


그림 6. 모터 고장시간 가속모형 적합

또한, 가속계수는 다음식을 이용하여 계산되었으며 계산결과는 표 5와 같다.

$$AF = L_2 / L_1 = (V_1 / V_2)^n$$

표 5. 시험조건별 가속계수 및 신뢰구간

조건	95% 신뢰하한	가속계수(AF)	95% 신뢰상한
110% 정격	2.77	3.01	3.25
120% 정격	4.30	4.98	5.68

4. 결 론

98년도 이전까지 진공청소기 모터의 경우, 신뢰성 검증을 위해 정격에서 수출품의 경우 1,000시간, 국판의 경우 500시간 동안 14.5분 On / 0.5분 Off 사이클 시험을 수행하였다. 이와 같은 신뢰성검증시험을 120%정격 가속시험을 통해 수출모델의 경우 230시간(1000/4.3), 국내 판매 모델의 경우 120시간(500/4.3)으로 시험시간을 단축할 수 있었다. 추가적으로 On/Off 시간 변환시험(연속동작, 5초 ON/8초 OFF, 8초 ON/4초 OFF)을 수행해 보았으나 이는 기존의 고장모드(브러쉬 마모로 인한 회전정지)와 일치하지 않는 결과를 보였다. 이는 On/Off 변환을 통한 가속시험을 실시하는 경우 주의를 요한다는 사실을 알 수 있었다. 가속시험결과에 대한 재현시험을 수행한 결과 기존의 검증법과 유사한 검출력을 보여 주었다. 본 연구에서 개발된 가속시험법을 전사적으로 도입하여 사업부의 시험 납기 단축 및 비용 절감을 이룰 수 있었으며 모터에 대한 가속시험 기술력을 확보할 수 있었다.