

## 청소기모터의 가속수명시험설계

이기화, 윤원영

LG전자, 부산대학교 산업공학과

### Accelerated Life Test Design for Vacuum Cleaner Motors

Kie-Hwa Lee, Won Young Yun

LG Electronics and Pusan National University

#### Abstract

In this paper, an accelerated life test procedure for a vacuum cleaner motor is proposed. We investigate the failure mechanism of the motor and select some accelerating factors and determine the orifice size as a key accelerating factor. Three stress levels of orifice size are tested and the failure data with censored data are analyzed. The modified accelerating test will reduce the test time in design phase by using the accelerating factor.

Keyword : Accelerated life test, Vacuum cleaner motor, Orifice size

## 1. 서론

가정에서 사용되는 가전제품 중 정류자모터를 이용한 청소기는 흡입력을 높임과 동시에 소음을 저감시키는 활동이 중요개선 문제를 형성하고 있다. [LG전자(1998) 참고] 이 청소기에 사용되는 핵심 부품의 하나가 전동기(모터)이다. 모터의 개발에서 고 흡입력과 저소음의 특성이 중요하며, 모터에 사용되는 부품들은 이러한 목적에 맞게 개발이 활발히 이루어지고 있다. 새로운 부품이 적용되면서 모터의 고 흡입력과 저소음을 실현하는 성과를 내고 있는 반면 모터의 수명에 대한 불만족이 종종 나타나고 있고, 이를 개선하는 활동이 전개되면서 수명을 확인하는 수명시험이 여러 차례 이루어지고, 이런 과정에서 모터의 고 흡입력과 저소음 특성을 확인하는 시간보다 수명시험 기간이 상대적으로 오래 걸림에 따라 수명시험 기간의 단축이 점점 필요해지는 상황이다.

청소기의 수명은 크게 모터의 수명에 좌우된다. 따라서 모터의 개발에 있어서 수명평가는

가장 중요한 활동이고 절차이며 모터 개발기간의 가장 큰 부분을 차지한다. 이 기간의 단축을 위해 가속수명시험을 고려할 수 있는데 가속수명시험은 시험비용이나 시험시간을 단축시키기 위하여 실제 사용조건보다 열악한 조건에서 제품의 수명을 단축시키거나 성능을 급속히 저하시키는 다양한 시험방법으로 구성된다. 예를 들면, 온도, 습도, 전압, 압력 또는 이들의 조합 등 사용조건에서의 수준보다 더 열악한 수준으로 변화시켜 수명에 대한 자료를 빨리 얻고, 여기서 관측된 자료로부터 사용조건에서의 수명을 추론한다. 지금까지 청소기 모터의 신뢰도를 향상시키기 위해 Burn-in으로 초기고장을 제거 또는 감소시키는 방법을 주로 찾아내어 적용하고 있으며, 소비자에게서 발생하는 초기고장을 저감시킬 수 있었지만 정상적인 고장(브러쉬 마모)의 개선은 설계나 제조과정의 최적화보다는 가격이 다소 비싸더라도 좋은 품질의 부품을 적용하는 수준에 머물러 있었다. 개발자의 입장에서 보면 이미 품질이 검증된 부품을 이용하여 제품을 설계하는 것이 그 만큼 소비자에게서의 불만이나 수명시험에 대한 부담이 줄기 때문에 새로운 모델을 개발하는데 있어서 신 부품으로의 변경은 기피하는 경향이 있다. 또 제품의 라이프 사이클이 짧아지면서 제품의 개발기간 역시 짧아질 수 밖에 없기 때문에 짧아진 개발 일정을 준수하려는 개발자 입장에서는 더욱 더 그러할 것이다. 따라서 새로운 모델을 개발 하는데 있어서 수명시험 기간의 단축은 절실히 필요하다.

청소기 모터의 가속수명시험은 모터의 회전수를 증가시켜 브러쉬와 커뮤테이터간의 마찰에 의한 정상적인 브러쉬 마모가 빨리 일어나도록 가속인자로 전압을 사용하고 있다. 이는 다른 가속인자보다도 시험장치나 설치면적, 제어의 용이성 등 경제적인 면에서 유리하기 때문이다. [LG전자(1998) 참고] 모터에 인가하는 전압의 수준을 증가시켜 시험기간 동안 일정하게 스트레스를 인가하는 일정형 스트레스 방법을 이용하며 전압 및 온도에 적합한 역거듭제곱모형을 이용한다. [배도선, 전영록(1999), Nelso(1990) 참고] 회전수를 증가시키는 가속인자로 전압을 이용하기 때문에 가속 수준의 선정에 있어서 제한을 받거나, 가속수명시험법을 개발하고도 실제 적용하지 못하는 일이 있다. 이러한 이유는 청소기 모터의 정상적인 브러쉬 마모고장 보다는 전압의 증가에 따라 다른 부품이 영향을 받아(절연물의 손상, 브러쉬의 열화로 인한 깨짐 등) 고장모드가 상이하게 나타나고, 이러한 일로 가속조건에서 불합격이 발생하면 시간이 더 소요되더라도 정상조건으로 재시험을 하는 일이 종종 있기 때문이다. 본 논문에서는 청소기 모터의 개발과정에서 필수적인 수명시험의 기간단축을 위해 가속 수명시험 방법에 대해 알아보고, 적절한 가속 수명 시험 방법을 도출하여 현장에 적용 가능한 가속 시험법을 제시하는데 그 목적이 있다.

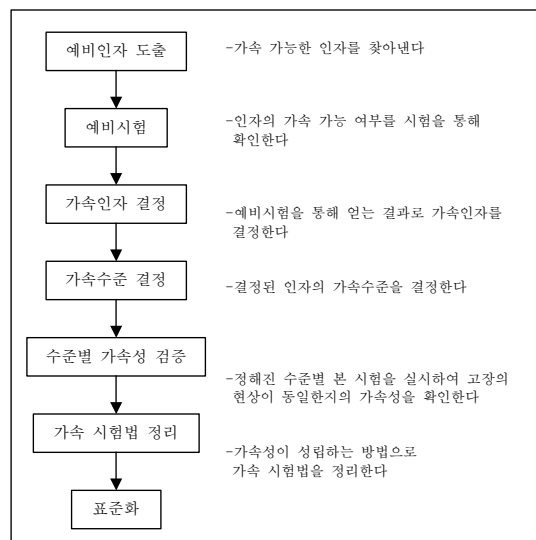
## 2. 청소기 모터 가속 수명시험

청소기 모터의 가속수명시험은 서론에서도 언급하였듯이 모터의 회전수를 증가시켜 브러쉬와 커뮤테이터간의 마찰에 의한 브러쉬 마모가 정상적인 때보다 빨리 일어나도록 하는 방법으로 되어 있으며 회전수를 증가시키는 인자로 전압을 사용하고 있다. 모터에 인가되는 전압의 수준을 증가하여 일정형 스트레스를 가하는 시험으로 가속모형은 역거듭 제곱모형을

이용한다. 회전수를 증가시키는 가속인자로 전압을 이용하기 때문에 가속 수준의 선정에 있어서 제약을 받는다. 그 이유는 청소기 모터의 정상적인 브러쉬 마모고장보다는 전압의 증가에 따라 다른 부품이 영향을 받아 (절연물의 손상, 브러쉬의 열화로 인한 깨짐 등) 고장 모드가 상이하게 나타나기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 모터의 회전수를 증가시키는 가속인자로 전압대신 풍량(Orifice의 경)을 조정하는 방법을 제시하고자 한다.[IEC 60312(1998), BS3999(1982) 참고] 모터에 인가는 전압은 정상적으로 인가하여 다른 부품에 영향을 적게 미치도록 하면서 풍량을 조정하여 회전수를 증기시켜 브러쉬와 커뮤테이터간의 마찰이 많이 일어나도록 하는 것이다. 풍량을 가속인자로 하는 경우에는 사용조건을 풍량을 알아야 하고, 그 때 모터의 회전수를 알아야 하며 회전수의 증가율을 이용하여 적절한 가속수준을 찾아내는 것이 중요하다. 일반적으로 적용 가능한 절차는 <그림 1>과 같이 다음과 같은 절차를 따른다.

예비인자 도출: 가속수명시험의 설계는 먼저 가속 가능성이 있는 인자들을 찾아내는 것이다. 전기적요인, 기계적요인, 환경적 요인을 감안하여 가능한 한 많은 가속인자들을 찾아서 정리한다. 그리고 도출된 예비인자들을 측정가능성, 인가가능성, 모델링가능성을 검토하여 시험인자로 선정한다.

예비시험 및 가속인자 결정: 시험인자로 선정된 인자로 가속 가능 여부를 예비시험을 통해 확인한다. 시험은 모터의 특성항목(입력, 전류, 회전수, 진공도, 풍량, 흡입일률, 효율, 정류상태 등)을 조사하며, 특히 회전수를 증가시킬 수 있는지와 회전수 증가에 따라 모터의 비정상적인 고장 형태가 있는지를 확인한다. 예비시험을 통해 얻은 결과를 분석하여 가속인자를 결정한다.



<그림 1> 가속 시험법 설계 절차

가속수준 결정: 청소기는 사용조건에서 흡입일률이 최대가 되도록 설계되기 때문에 예비시험을 통해 흡입일률과 풍량의 관계를 찾아낼 수 있고, 사용조건에서의 풍량, 회전수, Orifice 경의 크기를 추정할 수 있다. 아래 수식은 풍량, Orifice, 진공도, 흡입일률간의 관계를 나타낸 것이다.

$$Q = \frac{1.9}{1000} \phi^2 \times \frac{60}{1000} \sqrt{H}$$

Q; 풍량  
φ; Orifice  
H; 진공도

$$P = \frac{9.81}{1000} Q \times \frac{1000}{60} H$$

P; 흡입일률

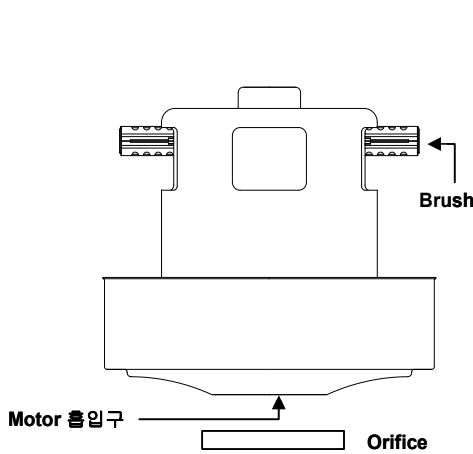
예비시험의 결과로부터 사용조건에서의 회전수를 기준으로 회전수 증가율과 Orifice와 관계를 찾아내고 적절한 가속조건을 결정한다. 이 때 가속조건 결정시 고려해야 할 사항은 타 고장모드가 혼입되지 않도록 하는 것이다. 예비시험 시 Orifice의 수준변화 때 정류 불꽃, 모터 관능소음과 진동, 이상발열 등을 관찰하는 것도 수준 결정시 참고가 될 것이다.

가속계수 산출, 가속수명시험기간 산출 및 표준화: 결정된 가속수준으로 본시험을 실시하고 실시한 결과를 와이블분포나 역거듭 제곱모형 등과 같은 특정 분포나 모형을 이용하여 가속성의 성립 여부를 확인하며, 비정상적인 고장이 나타나는 가속조건은 없는지 확인해야 한다. 그리고 가속성이 성립되면 그 때의 가속수준에 대한 가속계수와 가속수명기간을 산출하고 이를 표준화 한다.

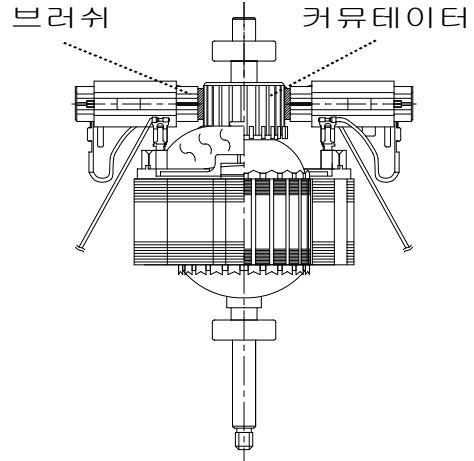
### 3. 사례연구

#### 3.1 기초분석

가정용 청소기에 적용되는 모터의 수명시험 방법은 <그림 2>에서와 같이 모터의 흡입구에 청소기를 사용할 때의 조건을 감안한 풍량 (Orifice경)을 결정하고, 결정된 Orifice를 모터의 흡입구에 부착한 상태에서 정격전압, 정격주파수를 인가하여 14.5분 ON, 0.5분 OFF를 1 사이클로 누적 운전시간이 모터별 요구 시간까지 운전됨을 확인하는 것이다. 청소기 모터의 수명은 브러쉬와 커뮤테이터간의 마찰에 의한 브러쉬 마모로 나타낼 수 있으며, <그림 2, 3>처럼 브러쉬와 커뮤테이터간의 접촉 구조로 되어 있기 때문에 커뮤테이터의 회전이 빨라 질수록 브러쉬의 마모가 빨리 일어난다. 따라서 모터의 회전수가 증가되고 브러쉬의 마모량이 늘어나도록 하는 인자가 곧 가속인자가 됨을 알 수 있다.



< 그림2 > 모터에 Orifice를 부착하는 형태



< 그림 3 > 브러쉬와 커뮤테이터의 접촉 구조

< 표 1 >은 "L"사의 모터의 개발기간 중 수명시험 소요기간의 점유율을 나타내는 표로서 적게는 수명시험 기간이 개발기간의 33.6%를 차지하고 있으며, 많게는 65% 정도를 차지하고 있고 평균적으로 개발기간의 절반정도가 수명시험 시간으로 소요되고 있음을 알 수 있다. 특히 파생 모델일수록 개발기간의 대부분이 수명시험 기간으로 나타나고 있다. 이는 상대적으로 새로 설계되는 모델에 비해 기본모델에서 파생되는 모델이 전체 개발기간이 짧기 때문인 것으로 보인다. 따라서 수명시험 기간을 단축할 수 있는 새로운 시험법이 요구되는 상황이다.

국내 시판용 청소기 제품의 경우 실소비자 조사를 통하여 사용 실태를 파악한 결과 통상적으로 1일 1회 12분 정도를 사용하는 것으로 나타났으며, 이를 근거로 5년간 품질보증을 목표로 하고 있다. 따라서 청소기 모터의 경우 보통 5대의 시료를 시험하게 되는데, 5년간의 품질보증을 위해서는 대략 360시간 동안의 보증시험을 실시해야 하고, 목표시간 동안 이상이 없을 때 합격으로 판정하고 있으며, 브러쉬의 잔류길이를 MTBF(Mean Time Between Failure)를 예측하고 있다. 수출용의 경우는 구매자의 요구사항에 따라 다를 수 있으나 특별히 요구수명을 제시하지 않으면 통상적으로 국내와 같이 적용한다.

현재의 시험방법에 대해 보증 신뢰도를 알아보면 Non-Parametric Test의 Percent Surviving Test에서 신뢰도 하한 값( $RL_1$ )은 아래식과 같이 계산할 수 있다.

$$RL_1 = \frac{1}{1 + \frac{r+1}{N-r} \times F_{1-\alpha, 2r+2, 2N-2r}}$$

N: 총 시료 수  
 r: 고장 시료 수  
 α: 유의수준

< 표 1 > 개발기간중 수명시험소요기간의 점유율(L사)

	개발기간	시료제작	수명시험	수명 점유율
최대 소요일	67일	31일	22.5일	33.6%
최소 소요일	24일	20일	15.5일	64.6%
평균 소요일	38.7일	25.8일	19.6일	50.6%

따라서 목표 360시간에 대하여 시료 5대가 이상이 없을 때의 신뢰수준 90%의 신뢰도 하한 값을 계산하면  $RL_1 = 63.1%$ 가 된다. 또 지수분포라고 가정했을 때 MTBF하한 값( $ML_1$ )과 신뢰도 하한 값( $RL_1$ )은 각각 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$M_{L1} = \frac{T_a}{-\ln(1-CL)} \quad \begin{array}{l} T_a; \text{ 시험시간의 누적 값} \\ t; \text{ 목표시간} \end{array}$$

$$R_{L1} = \text{Exp}(-t/M_{L1}) \quad CL; \text{ 신뢰수준, } (1-\alpha)$$

평균수명을 알아보기 위해 10개월간의 필드 서비스 데이터를 조사하여 정리하여 보았다. 총 출하수량 00,000대, 사용기간(월)별 조사된 고장 수량이 xx대, 유통기간은 파악키 어려워 유통기간 없이 사용된 것으로 간주하였고, 월별 기준 구간데이터로 와이블분포를 따른다고 가정하여 고장 확률지에 타점하여 평균수명(MTTF : Mean Time To Failure)을 예측해 보았다. 결과적으로 MTTF는 10x,xxx시간(xxx월≒xx.x년)이며,  $R(5\text{년}) = xx.x\%$ 로 나타나며 앞에서 언급한 수명시험 조건에서의 보증 신뢰도 63.1%를 상회하는 것으로 나타난다.

### 3.2 예비인자 도출 및 선정

청소기 모터에서의 가속 가능한 예비인자로는 전압, 외부 환경 온도, 외부의 습도, On-Off시간(횟수), 풍량(Orifice경), 저항 등을 꼽을 수 있으며, 예비 인자 중 측정 가능성, 인가 가능성, 모델링 가능성을 타진하고 현재의 시험 여건을 감안한 시험 가능한 인자를 도출 하였고 그 내용을 <표 2>에 정리하였다.

< 표 2 > 예비인자 도출 및 선정

예비인자	측정 가능성	인가 가능성	모델링 가능성	선정여부		
				측 정	인 가	모델링
온 도	외부환경 온도 측정 가능	Chamber 부족으로 온도 인자 조절 불가능	Arrhenius Model 등을 통한 모델링 가능	●	×	●
습 도	주변 습도 측정 가능	Chamber 부족으로 습도 인자 조절 불가능	Eyring Model 등을 통한 모델링 가능	●	×	●
전 압	전원 인가 전압 측정 가능	AVR을 사용한 전압 조절 가능	Inverse Power 등을 통한 모델링 가능	●	●	●
Φ(풍량)	Φ 값에 의한 풍량 환산 가능	Φ 조절에 의해 풍량 인가 조절가능	Inverse Power 등을 통한 모델링 가능	●	●	●
단속시간	ON/OFF 단속 시간 측정 가능	ON/OFF 단속 시간 조절 가능	정량적 모델링 불가능	●	●	×
저 항	공정 Data의 측정 가능	공정 조건으로 인가 불가능	정량적 모델링 불가능	●	×	×

<표 2>에서 온도의 경우는 일반적으로 알려져 있는 아레니우스모형으로 모델링이 가능하며, 측정도 용이한 반면 외부 온도보다는 모터가 회전하면서 나오는 브러쉬와 커뮤테이터 간의 마찰열이 높기 때문에 가속인자로서 선정하지 않았으며, 습도역시 아이링모형으로 모델링이 가능하고 측정도 가능하나 브러쉬가 습도로 인해 정상적인 마모고장보다는 깨어지는 다른 고장이 발생하며 습도를 인가할 수 있는 챔버(chamber)의 사용이 어려워 가속인자로 선정하지 않았다. 단속시간은 측정도 용이하고 인가하기도 쉬운 반면 정량적으로 모델링하기가 곤란하며, 저항 역시 측정은 가능하나 모터의 특성에 맞게 정해지면 변경하기가 어려우며 정량적으로 모델링도 쉽지 않아 단속시간과 저항은 가속인자에서 배제하였다. 전압과 풍량은 측정 및 인가도 용이하며 역거듭제곱모형(Inverse Power model)으로 모델링이 가능하여 본 연구에서는 전압과 풍량을 시험인자로 선정하였다.

### 3.3 가속인자를 이용한 예비시험

#### (1) 전압에 대한 예비시험

전압을 가속 인자로 하여 모터의 전기적 특성을 확인하는 예비시험을 실시하였고, 그 결과 대부분의 특성이 선형관계를 이루고 있으며, 특히 청소기 모터의 특성을 대표하는 회전수와 전압의 변화에 민감한 정류불꽃의 변화를 관찰하여 다음과 같이 분석하였다.

가속하고자 하는 영역(220V~310V)에서 전압이 증가하면 회전수도 증가하는 양의 상관관계를 가지며 전압이 가속인자로서의 가능성이 있음을 확인하였다. 회전수와 전압과의 관계 회귀 식은 결정계수  $R_2$  값이 0.9993(99.93%)으로 회전수는 전압에 의해 잘 표현되고

있음을 알 수 있으며 전압을 증가시켜 회전수를 더 열악한 조건으로 가속할 수 있음을 확인하였다.

전압이 증가하면 정류불꽃도 증가하는 양의 관계를 가지고 있으나 약 300V 이상 가속할 경우 정류불꽃이 급격히 증가하는 양상을 보이며, 이는 정상적인 시험에서의 고장(브러쉬의 마모로 인한 고장)과 상이한 고장현상으로 전압이 증가함에 따른 전류치가 증가하여 브러쉬의 온도가 급격히 상승되어 정상적인 마모의 형태가 아니라 브러쉬의 접촉면이 부서지는 현상이 나타나고 있음을 알 수 있었다. 따라서 전압에 대한 가속은 회전수만 고려하면 가속이 가능하나 정류 불꽃까지 고려하면 적합하지 않다는 결론을 얻었다. 정류불꽃과 전압은 선형 관계이기 보다는 지수비례 형태를 보이고 있다.

## (2) 풍량에 대한 예비시험

풍량을 가속인자로 하기 위해 Orifice경의 수준을 변경하면서 모터의 특성을 확인한 결과, 모터의 입력전류, 풍량은 양의 관계이고 회전수, 진공도는 음의 관계를 보이며 흡입일률과 효율은 비선형 관계를 가지고 있는 것으로 나타났다. 또한 정류불꽃은  $\phi 6.5$ 이상에서 정상적인 형태를 보인 반면  $\phi 6.5$ 이하에서는 비정상적인 형태로 나타나는 것을 확인하였다. 따라서 가속 인자로서 전압 보다는 풍량 즉 Orifice경을 사용하려면  $\phi 6.5$ 이상으로 선정하여야 함을 알 수 있었다.

사용조건의 풍량 추정: 예비시험의 결과로 풍량과 흡입일률의 회귀분석을 통해 사용조건의 풍량을 추정해 보면, 풍량과 흡입일률은 비선형 관계이고 회귀식의  $R_2$  값과  $R_2(adj)$  값으로 보면 4차 비선형 방정식으로 선정함이 적합할 것이나 3차 방정식과 4차 방정식의 차이가 거의 없어 3차 방정식을 풍량과 흡입일률의 회귀방정식으로 선정하였다.

사용조건에서 흡입일률이 최대가 되도록 설계된 점을 감안하여 구해진 회귀식을 미분, 흡입일률이 0 이 되는 풍량을 구해보면 1.81 (m<sup>3</sup> / min)로 나타남을 알 수 있다.

사용조건의Orifice 추정: 예비 시험의 결과로부터 풍량과 Orifice의 회귀식을 추정해 보면 3차 방정식으로 나타낼 수 있는 것으로 분석되었으며 앞에서 구한 사용조건의 풍량 1.81 m<sup>3</sup>/min 에서의 Orifice를 구하면 19.7로 나타남을 알 수 있다.

## 3.4 가속 시험 설계

풍량(Orifice)을 가속 인자로 가속의 수준을 정하기 위해 풍량과 연동되는 모터의 회전수 변화율로 적절한 가속 수준을 산출하여야 한다. Orifice와 회전수의 관계로부터 사용조건의 Orifice와 그 때의 회전수를 기준으로 회전수의 증가율과 Orifice의 관계를 살펴보면 사용조건에서의 Orifice는  $\phi 19.7$ 이고 풍량은 1.81 (m<sup>3</sup>/min) 이며 이때의 회전수는 35,609rpm 이었다. 이를 기준으로 하여 가속 수준을 예비시험시 관찰 및 검토한 내용을



토대로 회전수의 증가율을 세가지 수준으로 결정하였다.

회전수 증가율로 풍량의 가속수준을 찾아 <그림 4>과 같이 가속시험을 설계하였다. 브러쉬의 정상마모를 관찰할 수 있는 영역으로 사용조건에서의 회전수를 기준으로 약19%, 15%, 12%의 가속 수준을 설정하였으며 그 때 Orifice는 7.5, 8.8, 11.1수준으로 나타난다. 수준별 시료는 10대로 하고, 고장이 7개 이상 발생하는 시점까지 시험을 실시하는 계획을 수립하였다.

가속 인자	풍량(m <sup>3</sup> /min)
가속 Level	Level ① : Φ7.5 (=0.341m <sup>3</sup> /min) 42659 rpm
	Level ② : Φ8.8 (=0.463m <sup>3</sup> /min) 41,644 rpm
	Level ③ : Φ11.1 (=0.707m <sup>3</sup> /min) 39885 rpm
	(Field 사용자 조건 : 1.81m <sup>3</sup> /min) 35609 rpm
시험 수	10 EA / Level
고장 기준	동작 不
시험 시간	7개 이상 고장발생시 까지
가속 모델	Inverse Power Model $\tau(Q) = A/Q^\gamma$ ; $\tau$ :수명 $Q$ :가속인자(풍량) $A, \gamma$ :parameter

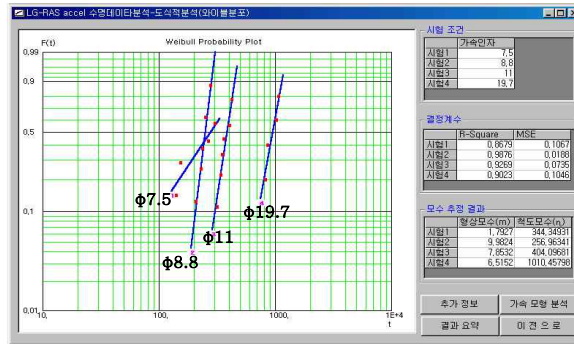
< 그림4 > 가속수명시험 설계

시료를 제작하는 과정에서 잘못된 시료가 발생되어 총 29대의 시료가 제작 되었으며  $\phi$  7.5,  $\phi$ 8.8 두 수준은 시료 10대로,  $\phi$ 11.1수준은 시료 9대로 시험키로 하고 시험을 실시하여 data를 얻었다.

### 3. 5 가속 시험 분석

가속 수준별 시험을 실시하고 그 결과를 가속수명시험분석소프트웨어를 이용하여 분석하였다. data의 형태는 구간 data이고, 수준별 시험을 하면서 고장모드가 상이한 시료는 분석에서 제외하였다. Orifice  $\phi$ 7.5의 경우는 10대의 시료 중 고장모드가 상이한 시료가 3대 나타났으며,  $\phi$ 8.8에서는 고장모드가 상이한 시료가10대중 2대 발생하였고,  $\phi$ 11.1에서는 모두 정상적인 고장모드로 나타났으며 시험 중단된 시료가 2대가 있었다. 사용자 조건인  $\phi$  19.7의 시험자료는 가속시험 시 동일시점에서 시험은 이루어지지 않았으나 기 실시한 시험

자료를 활용하였다. 또한 가속 인자 수는 1인자이며 수명분포의 적합도를 검정하여 가장 적합한 분포로 와이블 분포임도 확인하였다. 가속수준3가지와 사용자수준의 데이터를 와이블 확률지에 타점하여 보면 <그림 5>과 같이 나타난다.



< 그림5 > 와이블 확률지에 수준별 타점한 결과

<그림 5>에서 사용조건인 Orifice φ19.7의 직선과 φ8.8, φ11의 직선은 서로 평행으로 보이는 반면 φ7.5의 기울기는 다르게 타점된 것을 볼 수 있으며 φ7.5는 가속성이 성립하지 않음을 짐작할 수 있다. 가속성의 성립 여부를 유의수준 5%로 확인한 결과 φ7.5수준은 가속성이 성립되지 않음을 알 수 있었고, φ8.8, φ11과 φ19.7 조건인 가속성은 성립함을 알 수 있다. 가장 적합한 분포로 와이블분포가 적합한 것으로 나타나며, 시험조건별 형상모수값을 보면 φ7.5는 1.79271정도로 φ8.8, φ11과 φ19.7의 6.51522 ~ 9.9824에 비해 다르게 나타남을 알 수 있다. φ8.8, φ11, 그리고 사용조건 φ19.7의 데이터를 역거듭제곱모형(역누승모형)으로 분석하면 가속모형의 Parameter값을 확인해 보면  $A = 7.56$ ,  $B = -1.64$  임도 알 수 있다. 예를 들어 φ8.8일때의 특성수명은 역거듭제곱식으로부터  $(8.8) = 7.56 / 8.8 - 1.64 \approx 268$ 로 나타남을 알 수 있다.

### 3.6 가속 시험법 결정

가속성이 성립하는 두 조건 Orifice φ8.8, Orifice φ11에서 가속계수를 구해 보면 Orifice φ8.8에서는 3.75로 나타나고, Orifice φ11에서는 2.6으로 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 Orifice φ8.8에서는 가속효과는 우수하나 타 고장모드의 혼입으로 가속조건을 적용하기에는 φ11에 비해 다소 부적합한 것으로 판단하였다. 그러므로 Orifice φ11에서 360시간의 보증 신뢰도를 구해 보면  $R(360) = 66.8\%$ 이고 출하품의 10%가 고장 나는 시간은 303.4시간으로 나타난다. 또한 구해진 가속계수로 시험기간을 추정하면 사용조건(φ19.7)에서의 시험시간은 대략 360시간(15.5일) 정도가 소요되나 가속성이 성립될 때 Orifice φ11에서의 시험시간을 예측해 보면  $t_2 = t_1 / AF = 360 / 2.6 = 138.5$ 시간(6일) 정도가 소요됨을 알 수 있다.

따라서 신규 시험방법은 시료 수는 5대로 하면서 사용 Orifice φ11로 하고, 운전조건은

14.5분 On, 0.5분 Off로 하며 정격전압, 정격주파수를 인가하여 138.5시간 운전하는 것으로 결정하였다. 또한 5대 모두 고장나지 않을 때 합격으로 판정하도록 하였다.

## 4. 결 론

청소기 모터의 수명시험 기간이 모터의 전체 개발기간에 있어 차지하는 비중이 높은 만큼 새로운 가속시험의 개발은 매우 중요한 일이다. 더욱이 고객의 요구사항에 맞는 새로운 제품의 출시 시기가 기업의 경영 성과를 좌우하는 현실에서 보다 빠르게 품질확보를 이룬다면 그만큼 앞서 갈 수 있는 기회를 잡는 것이다. 본 논문에서는 청소기 모터의 수명 시험 기간을 단축시키기 위해 가속 시험법을 설계하고 분석하는 과정을 사례 연구를 통해 구체적으로 제시하였다. 청소기 모터의 가속 수명 시험법의 설계, 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 모터의 가속 인자로서 전압은 부적합 하다는 사실을 확인하였다.

이는 브러쉬 마모는 모터의 회전수와 관계가 있고 따라서 가장 손쉽게 회전수를 증가시킬 수 있는 인자로 전압이라는 인자를 상정할 수 있으나 전압의 상승은 정상적인 브러쉬의 마모 특성 보다는 타 고장(절연물의 손상, 브러쉬의 깨짐 등)을 유발하기 때문에 전압으로 회전수를 제어하기에는 적합하지 않음을 알 수 있었다.

2) 모터의 가속인자로 풍량(Orifice)이 전압보다 적합하며 정상적인 고장모드 하에서 적절한 가속 Orifice를 찾아내고, 가속성의 성립여부를 확인해 봄으로 보다 체계적으로 가속 시험법을 정립할 수 있는 계기가 되었으며 향후 개발되는 타 모델의 가속시험 설계에도 본 내용대로 실시하면 좀 더 쉽게 접근 할 수 있을 것이라 판단한다.

3) 풍량과 회전수의 관계, 회전수와 Orifice의 관계, 풍량과 Orifice의 관계를 밝혀 봄으로서 청소기 모터의 가속 인자로 풍량, 즉 Orifice를 조정하고자할 때 가속 가능한 Orifice의 수준도 확인할 수 있었으며, 조정 Orifice에서 회전수와 풍량을 예측할 수 있었다. 또한 예비시험을 통해 실제 사용자 수준에서의 Orifice와 회전수를 알 수 있었고 정상조건의 시험에 사용하는 Orifice에 대해서도 근거를 확인할 수 있었다.

4) 가속 시험법을 적용함에 있어 본 사례는 모델 개발 처음부터 가속 시험의 적용이라는 목표를 갖고 내용 공유와 의견 반영 등을 충분히 한 덕분에 현장에 바로 적용할 수 있었고 가속시험을 통해 개발일정의 단축 및 개발품질을 사전에 확보할 수 있었으며, 타 모델에 비해 제품적용 시점을 앞당긴 것도 보이지 않는 큰 효과라 할 수 있겠다.

## 참고문헌

- [1] 배도선, 전영록(1999), 신뢰성 분석, 아르케.
- [2] LG전자(1998), "청소기 사업부 고객 사용실태 조사 보고서". LG 전자.
- [3] IEC 60312(1998), Vacuum Cleaners for Household Use – Methods of Measuring the Performance Third Edition Chapter 4.
- [4] BS 3999(1982), Vacuum Cleaners Methods of Measuring the Performance of Household Electrical Appliances Part 12.
- [5] Nelson, W.(1990), Accelerated Testing : Statistical Models, Test Plans, and Data Analyses, John Wiley & Sons, New York.