한국정밀공학회지 제 21 권 제 00 호 (2004 년 0 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 00, April 2004

UP-RIGHT 형 진공청소기 흡입구 커버의 구조해석

유동훈* (전남대 공과대학원), 조규종(전남대 자동차 공학부 교수)

A Study on the Structure Analysis of Up-Right Vacuum Cleaner Suction Nozzle Cover

Donh-Hun Yoo*, Kyu-Jong Jo

ABSTRACT

This investigation is the result of a structural analysis by FEM and test to define the deformation mode of the Up-Right type Vacuum-Cleaner's Nozzle-Cover.

In FEM analysis, 3 different conditions were considered separately, such as (1) Compressive force by Belt tension, (2) Friction heat between Belt and shaft and (3) Compressive force combined with heat. Throughout FEM analysis it was found that the deformation was caused by heat and it was proved through a simulation test with a real product.

Key Words : Up-Right Vacuum Cleaner(진공청소기), Finite Element Analysis(유한 요소 해석), 벨트(Rubber Belt), Heat Expansion(열팽창),

1. 서론

카펫 사용이 일반화 된 미주 지역에서 주로 사용하고 있는 Up-Right type 진공 청소기의 경우 카펫의 먼지를 효율적으로 제거하기 위해서 흡입구 전면에 고속으로 회전하는 솔을 장착하여 카펫을 때리면서 카펫 pile 로부터 분리된 먼지를 흡입하게 된다.

여기에 사용되는 솔은 회전이 원활한 원통형상의 Drum 에 고정되어 있으며 이 Drum 의 일부에 Pulley 를 설치하여 종동축으로 사용하게 되며, 고속으로 회전하는 Motor 의 Shaft 를 구동축으로 하게 된다. 이 때 동력의 전달은 Belt 를 사용하게 되는데 비용적인 측면 및 기타 제반 여건을 고려하여 고무로 만든 평 벨트를 사용하는 것이 일반적이다.

그 밖에도 흡입구를 구성하는 주요 부품으로 제품의 외관을 형성하면서 회전 및 고정 부품들을 고정/지지하는 부품으로 Cover 가 있는데 범용 Engineering Plastic 인 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 수지를 사출 성형하여 제조한 것이다. 대량 생산을 위한 사출 성형 부품의 특성상 Cover 의 경우 가공 부품에 비해 그 정밀도가 낮으며 이는 구동 부품의 부품간 정렬 상태에 영

☞ 접수일: 200x 년 xx 월 xx 일; 게재승인일: 200x 년 xx 월 xx 일
* 저자 1 의 소속
# 교신저자: ()()()대학교 ()()공학과
E-mail spe@kspe.or.kr Tel. (055) 200-3333
** 저자 2 의 소속

향을 주어 벨트의 이탈 및 부분 이탈에 의한 마찰열의 발생 원인이 될 수 있다.

실제로 소비자로부터 회수된 제품의 경우 Cover 의 변형 및 Belt 의 비정상 마모나 파손 등의 현상을 볼 수 있으며, 그 원인으로 앞서서 언급한 사출 부품간의 치수 및 조립 산포에 따른 비정상 정렬 및 벨트 성능 미달에 의한 과도한 발열, 적절하지 못한 cooling 구조 등을 원인으로 생각할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 소비자로부터 회수된 제품의 불량원인을 알아보기 위해 FEM 을 이용해서 강성해석을 상온상태와 고온상태에서 수행하였다. 상온상태에서의 해석은 Belt 의 장력만 작용했을 때의 변형을, 고온상태에서는 ABS 수지가 소성 변태가 생기기 시작하는 80℃ 온도에서의 열변형을, 그리고 belt 장력과 열 하중이 동시에 가해졌을 때의 변형을 각각 살펴 보고, 실험을 통해 유한요소 해석 결과와 비교함으로써 그 신뢰성을 검증하여 향후 제품 설계 기준으로 삼는데 그 목적을 두었다.

2. 유한요소 해석

2.1 형상 및 재질 특성

ABS 수지는 가공성, 내충격성, 강성 등의 뛰어난 실용특성을 갖고 있으며,특히 착색성과 광택이 우수하여 수려한 외관이 요구되는 각종 전기, 전자 및 잡화부품에 널리 사용되고 있으며, 본 연구에 사용된 ABS 수지의 물리적 성질은 Table.1 과 같다.

항목(단위)	물성치	항목(단위)	물성치
인장강도 (Kgf/㎠)	440	경도 (R-Scale)	106
굴곡강도 (Kgf/㎠)	630	비중	1.04
굴곡탄성율 (Kgf/㎠)	22,000	열변형온도 (℃)	85
IZOD 충격강도 (Kgf ㎝/㎝)	32		

Table.1 ABS Material Property(STAREX:HG-0760)

실제 제품의 경우 각 부품의 구동 뿐만 아니라 편의성 및 디자인 사양 등을 구현하기 위해 다수의 부품으로 구성되어 있으나 본 연구에서는 연구 목적상 구동부품 및 구동부품을 지지하고 있는 주요 구조들만 다루고 있으며 각각의 부품 형상 및 배치는 Fig.1 과 같다.

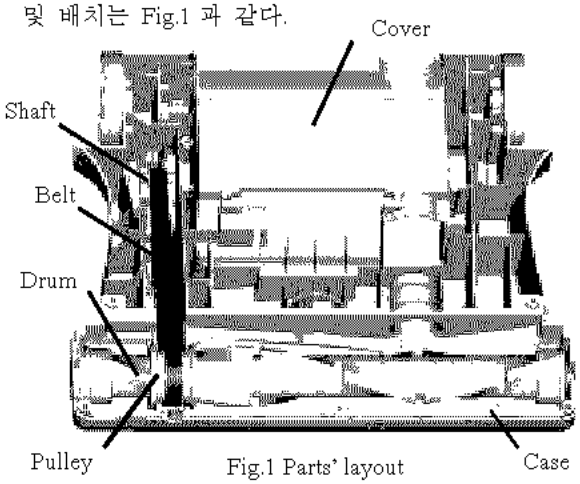

Fig.1 Parts' layout

회전축(shaft)은 SM45C 로 플라스틱에 비해 매우 강하기 때문에 강체로 가정하였으며 제품 장착 상태에서 최대 회전속도는 약 27,000 rpm 이다.

Belt 는 NR(Natural Rubber) 계통으로 총길이 376mm, 두께 3mm, 폭 13.7mm 이며 제품 장착 후 길이는 30% 정도 신장 되며 이때의 장력은 6.8Kgf 이다.

Drum 및 Pulley 는 일체화 되어 있으며 재질은 각각 PP+GF 30%(Polypropylene + Glass Fiber 30%), PPS(Poly Phenylene Sulfide)이며 ABS 부품 대비 기계적 강도가 뛰어 나므로 그 변형에 대해서는 고려하지 않았다.

Drum 의 양단을 지지하면서 전면부 외관을 형성하고 있는 Case 의 경우 PC (Poly Carbonate)를 원료로 사용한 사출성형 부품으로 PC 의 경우 상온상태에서의 인장강도는 670Kg/㎠ 정도로 ABS 의 1.4 배 수준이다.

2.2 3D 모델링

본 연구의 주요 관심 대상인 Cover 및 Drum 의 양단의 지지하는 Case 는 Belt 장력의 영향을 적게 받는 형상 및 모서리 Rounding 등을 일부 생략하였으며 이렇게 해서 만들어진 FEM 모델의 전

체 Node 및 Element 수는 각각 20130 개와 20433 개였다.

2.3 물성 부여

구조해석의 대상이 되는 Cover(ABS)와 Case(PC)는 Elastic / Isotropic 조건을 사용하였으며 Mechanical-Thermal coupling 상태의 해석의 경우 탄성계수, Poisson 비, 항복점등은 모두 Fig.2 와 같이 온도 의존적인 1 차원 함수로 가정하였다.

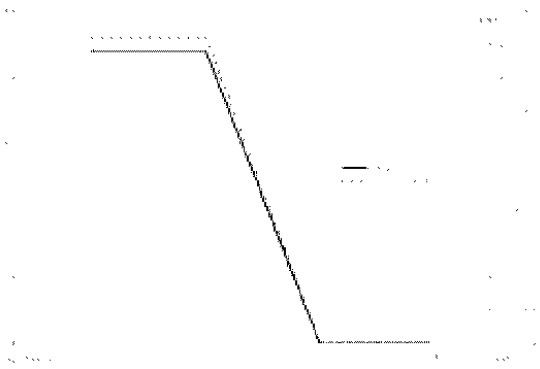

Fig.2 Young's Modulus & Yield Stress per temp.

2.4 경계조건 및 하중 조건

모델의 구속은 전체적인 변형거동에 영향을 미치지 않도록 모터의 벨트로부터 멀리 떨어진 곳을 완전히 구속시켰으며 부품간의 접촉은 Surface to Surface Contact 을 적용하여 최대한 실제에 가깝도록 하였고, 마찰계수는 0.5 를 적용하였다.

또, 열 해석을 위한 경계조건으로 Brush Cover 와 공기와의 접촉면에는 대류 열 전달 조건을 적용하였다.

Belt 의 장력을 해석 모델에 적용하기 위하여 하중조건은 Shaft 와 Pulley 의 중심 축에 서로 마주보는 방향으로 벨트의 장력 만큼의 하중을 가했으며 열 하중 조건은 벨트를 둘러싸고 있는 방의 내부 온도를 균일한 것으로 가정하였다.

2.5 해석 결과와 고찰

2.5.1 Belt 장력에 의한 구조 해석 결과

Belt 의 장력을 축 양단에 가하였을 때 장력의 증가에 따라 축간 거리의 변화는 선형적으로 줄어드는 탄성 변형을 하는 것을 알 수 있었으며 제품과 동일 조건인 6.8Kgf 의 하중에 도달했을 때 그 변화량이 0.77mm 에 달했다. Fig.3 은 변형 전/후의 변위량을 보인 것으로 장력에 의한 Cover 및 Case 의 변형은 Drum 양단 지지부에 집중되는 것을 알 수 있었다(원 표시부).이런 양상은 벨트 주변 내벽에 변형이 집중되어 있는 소비자로부터 회수된 제품의 불량부위와는 확연히 다른 것을 알 수 있었다.

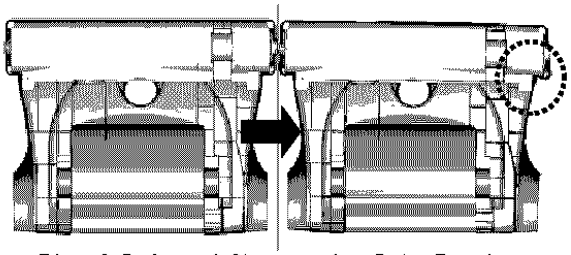

Fig. 3 Deformed Shape under Belt Tension (Scaled view)

2.5.2 열 하중에 의한 구조 해석 결과

Fig.4 는 마찰열에 의한 열변형 해석 결과를 보인 그림으로 Belt room 의 내부 온도를 ABS 의 열변형이 시작되는 온도인 80℃까지 가하여 2000 초 정도가 경과한 후 열 평형 상태에서 제품의 변형된 모습을 보인 것이다. 해석 결과 축간 거리는 Belt 장력만을 하중으로 가했을 때와는 반대로 최대 0.09mm 증가하였는데 이는 열 팽창에 의한 것으로 사료된다.

Fig.4 의 원 안의 형상과 같이 Belt 주변 Rib 의 변형이 심하며 이는 실제로 시장으로부터 입수된 시료의 모습과 매우 흡사하다. 따라서 시장불량의 주요 원인은 Belt 의 slip 에 의한 마찰열임을 쉽게 추정할 수 있었다.

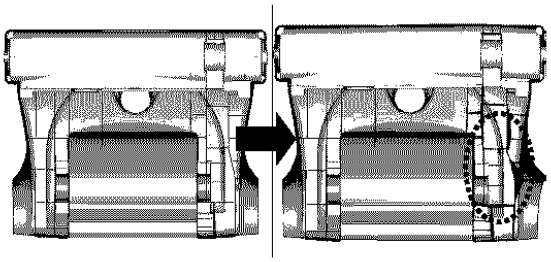

Fig.4 Deformed Shape after Thermal Equilibrium (Scaled view)

2.5.3 장력과 열 하중에 의한 구조해석 결과

Fig.5 는 Belt 의 장력과 마찰열을 모두 고려한 경우의 결과로 열 하중만을 고려한 경우와 비슷한 변형 모드를 보이고 있으며, 축간 거리는 장력에

의한 변위보다 조금 작은 최대 0.6㎜ 정도의 변형을 보였으며, 이는 열팽창에 의한 거리 증가 분에 따른 것으로 사료된다.

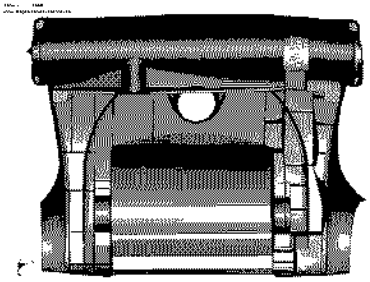

Fig.5 Deformed Shape after Thermal Equilibrium with Belt Tension (Scaled view)

3. 재현 실험

3.1 재현 실험

실제 제품을 이용해 Belt 를 장착하기 전/후 축간거리의 변화량을 측정한 결과 0.5mm 정도 축간거리가 가까워진 것을 확인 할 수 있었다. 구조 해석 결과와 0.27mm 차이를 보였는데 이는 모델링을 수행함에 있어서 생략된 형상 및 부품에 기인하는 것으로 사료된다.

Fig.6 는 Belt room 내부에 Thermo-couple 을 7point 부착하여 실사용 조건보다 가혹한 부하를 Drum 에 부여한 후 내부 온도 변화를 읽은 것으로 약 20% 정도의 slip 이 발생하는 시점에 Belt 의 온도는 120~140℃ 사이이며 이때 Belt room 내부 온도는 ABS 열 변형 온도 이상인 80~100℃ 사이에 분포함을 확인 할 수 있었다.

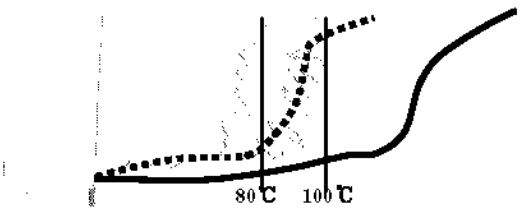

Fig.6 Temp. Distribution in Belt room

그림에서 점선은 Belt room 내부 온도 Trend 를 나타내며 실선은 적외선 온도계로 Belt 표면 온도를 시간대 별로 측정하여 추가한 것이다.

Fig.7 은 온도 상승 시험을 마친 후 실 제품의 변형된 형상을 보인 것으로 열 하중 하에서의 해석 결과와 유사한 변형 모드를 보이고 있다.

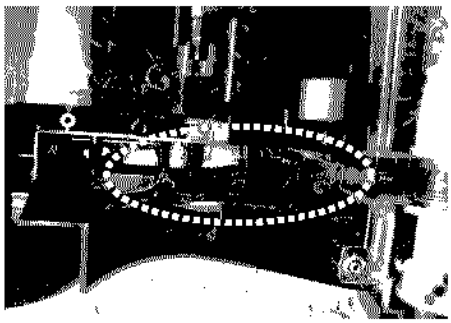

Fig.7 Deformed Shape after Heat-rising Test

4. 결론

Up-Right 형 진공 청소기의 결함 원인을 추적해 보기 위해 유한요소 해석 및 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1.본 연구 대상 청소기의 경우 벨트 장력이 가해졌을 때 베어링 지지부 아래 굴곡부가 구조적으로 가장 취약함을 알 수 있다.

2.열에 의한 Belt room 내부 열변형 형상은 소비자로부터 회수된 제품의 훼손 상태와 유사함으로 보아 마찰열이 변형의 원인임을 알 수 있었다.

3.장력과 열을 동시에 부여한 결과는 열만을 가했을 때의 변형 모드와 거의 유사하여 벨트 장력이 내부 변형에 미치는 효과는 미미한 것으로 추정 된다.

따라서 강도의 보완 보다는 Slip 메커니즘 및 Belt 의 특성, 실사용 중에 나타날 수 있는 변수가 Belt 에 미치는 영향 등에 대한 고찰 및 연구를 통해 내부 온도 상승을 방지할 수 있는 근본적인 개선 대책을 찾고, cooling 구조의 추가 검토로 개선 대책을 마련해야 할 것으로 판단 된다.

참고문헌

1. 한국 플라스틱 정보 센터, “플라스틱 해설과 물성집”
2. LS-DYNA Thermal Analysis User Guide, LSTC