

합성수지 프레임을 이용한
팬코일 유니트 모터 개발

이 선 휘
한국기계연구소

THE DEVELOPMENT OF FAN COIL UNIT
MOTOR WITH PLASTIC FRAME

LEE SUN HWI
KOREA INSTITUTE OF MACHINERY AND METALS

Abstracts

The metals has been used to the electric motor frame and brackets. The purpose of this project is to substitute engineering plastic motor frame for metal because of the demand fo small size and enviromental reliability. As a result of considering of mechanical strength, heat and injection characteristic of engineering plastics. PBT GF 30 has been selected as the material of electric motor frame including brackets. Design of the frame has been carried out on enough consideration of mechanical strength, heat-resisting and endurance. For the prevention of lower efficiency, the length of airgap between stator and rotor is reduced and for the reduction of vibration, slot combination is changed and the length of stator is increased.

1. 서 론

최근 제품의 경량화, 소형화와 더불어 높은 안정성과 신뢰성이 요구되고 있으며 종래에 사용되었던 철판이나 알루미늄, 아연도금 금속제품의 대체 재료로서 플라스틱이 이용되고 있다. 특히 새로운 플라스틱의 연구개발로 기계적 특성과 내열성을 크게 향상시킨 엔지니어링 플라스틱(이하 엔플라스타)의 출현으로 내구성, 내환경성 및 절연성등이 요구되는 기계부품이나 전기부품, 정밀기기 하우징등의 공업재료로 널리 응용되게 되었다.

본 연구에서는 현재까지 금속제품만 사용하여 오던 전동기 프레임용 엔지니어링 플라스틱으로 대체함으로써

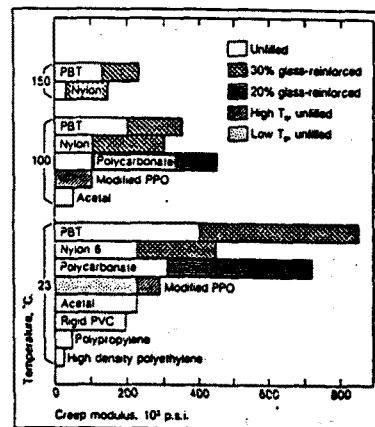
변화하는 전동기의 전기적 특성, 열 특성 및 제품의 양산화를 고려한 설계를 하였다.

2. 본 론

1) 재료 선정

엔플라는 종류가 많고 유리섬유, 탄소섬유의 강화 재료 보강하여 내열성과 강도를 개선시킨 정도에 따라 여러등급이 있으나 본 연구에서는 기계적특성, 열특성, 전기적특성 및 내화학성등을 고려하여 PBT 가 적합한 엔플라임을 알수 있었으며 전동기 프레임과 같은 고온, 계속적인 반복응력이 있는 경우에는 치수 안정성과 내환경성, 우수한 절연내력을 갖는 GF 30 의 PBT 가 가장 적합하다. 그러나 이러한 우수한 특성을 갖는 PBT 를 전동기 프레임용으로 이용하였을 경우 알루미늄 아연과 같은 비철금속에 비교해 어느정도 안정성이 있는가를 검토해 볼 필요가 있다. PBT 는 비철금속에 비해 특히 기계적 강도와 열적 안정성이 크게 떨어지

표 1. 온도에 대한 크리프 파괴 강도



고 있다. 따라서 전동기에서 발생하는 진동하중과 그에 따른 기계적 응력 (Mechanical Stress) 과 열적 응력 (Thermal stress) 을 계산하고 PBT 의 온도 에 따른 강도 특성을 비교 검토함으로써 안전 여부를 확인하였다. 표 1. 은 각종 엔블라의 온도에 대한 크립 파괴강도를 나타내고 있다.

2) 전동기 설계

Fan Coil unit 가 실내에서 사용되기 때문에 저진동 저소음의 전동기를 요구하고 있다. 이를 고려한

전동기 설계는 다음과 같다.

- (1) 통풍소음의 경우 회전속도를 줄이고 공기의 간섭을 최소화시킴으로 저하 시킬수 있다. 따라서

Fan Coil unit 구조내에서 공기의 흐름을 원활 하게 해주기 위해 고정자 외경을 20% 축소시켰고 회전자의 2차저항을 증가시켜 정격회전속도 920 rpm 에서 800 rpm 정도로 감소 시켰다.

- (2) 고정자 적층을 50% 증가시킴으로써 공극자속밀도를 현저하게 낮출수 있었다. 이것은 2f 진동을 감소시키기 위한 것이다. 또, 회전자의 슬롯을 조정해서 고유전동수와 의 일치 를 피하였다.

- (3) 고정자적층의 증가에 따라서 고정자 외면의 방열 면적을 증가시킴으로써 플라스틱 프레임의 방열을 돕고 회전자에 Vane 을 설치함으로써 통풍을 양호하게 하였다.

- (4) 공극의 길이를 줄여서 단의 출력당 암페어편을 낮추도록 유도하여 저속운전으로 인한 효율저하를 보상하였다.

표 2. 설계주안점의 비교

내 용	구 모델	신 모델	비 고	
고정자 m/m	외 경	120	94	22% 축소
	내 경	68	51	
고정자 적층(m/m)	20	30	50% 증가	
슬롯수	고정자	24	24	
	회전자	33	34	
공 극 (m/m)	0.4	0.3		
공극자속밀도(G)	4560	3440		

3) 전동기 프레임 설계

- (1) 고정자와 회전자간의 자기 흡인력

그림 1과 같이 공극부 원주상의 위치를 θ 로하고 미소부분 $d\theta$ 에 작용하는 자기흡인력 $F\theta$ 는 다음 식으로 나타낸다.

$$F\theta = \frac{PrLi}{2\mu_0} B\theta^2 d\theta \dots\dots\dots (1)$$

그리고 $B\theta = Bm \sin(P\theta - wt)$ 이므로

$$F\theta = \frac{PrLi}{2\mu_0} Bm^2 \sin^2(P\theta - wt) d\theta$$

$$= \frac{PrLi}{4\mu_0} Bm^2 \{1 - \cos(2P\theta - 2wt)\} d\theta \dots\dots\dots (2)$$

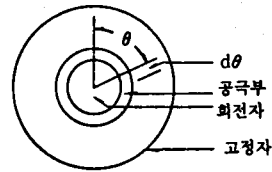


그림 1. 공극부

여기서 $B\theta$: θ 에서의 자속밀도

P:극수

r:극간격

Li:철심길이

μ_0 :공기의 투자율 $4\pi \times 10^{-7}$

가 된다. 이때 고정자와 회전자의 편심량이 ϵ 일 경우 공극길이 δ' 는

$$\delta' = \delta_0 + \epsilon \cos\theta$$

$$= \delta_0 \left\{ 1 + \frac{\epsilon}{\delta_0} \cos\theta \right\} \dots\dots\dots (3)$$

δ_0 :평균공극길이

따라서

$$B\theta = \frac{Bm \sin(P\theta - wt)}{1 + \frac{\epsilon}{\delta_0} \cos\theta}$$

$$= \{ Bm \sin(P\theta - wt) \} \left(1 - \frac{\epsilon}{\delta_0} \cos\theta \right) \dots\dots\dots (4)$$

그러므로

$$F\theta = \frac{PrLi}{4\pi\mu_0} Bm^2 \int_0^\epsilon \left\{ -2\cos\theta + \cos \{ (2P-1)\theta - 2wt \} + \cos \{ (2P-1)\theta - 2wt \} \right\} d\theta \dots\dots\dots (5)$$

가 된다. 이식에 의해 전동기 프레임에 가해지는 힘은

$$Fm = \frac{F}{\pi \cdot D_i \cdot L} \approx 6 \times 10^{-4} [kg \cdot f / cm]$$

이 된다.

- (2) 프레임의 응력계산

전동기 프레임의 형상을 Circular Cylindrical Shell 로 가정하고 해석하였다. 축과 원주방향의 일반식은 다음과 같다.

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} \left[-\frac{P+P_{T\alpha}}{K} + \frac{M+M_T}{D} Z - \alpha(1+\nu)\Delta T \right] \dots\dots(6)$$

$$\sigma_\theta = \frac{E}{1-\nu^2} \left[-\frac{P\varphi+P_{T\varphi}}{K} + \nu \frac{M+M_T}{D} Z - \alpha(1+\nu)\Delta T \right] \dots\dots(7)$$

여기서 σ_x :축방향 응력 (axial stress)

σ_θ :원주방향 응력 (circumferential stress)

이 식을 이용하여 유한 요소법으로 응력해석을 하였다. 그림 2는 응력분포도이고 그림3은 변위도이다.

표 3. LUPOX GP - 2306 F의 고온에서의 인장시험결과

온도 (°C)	강장강도 (kg/cm ²)
23	1350
50	935
80	725
100	670
120	590

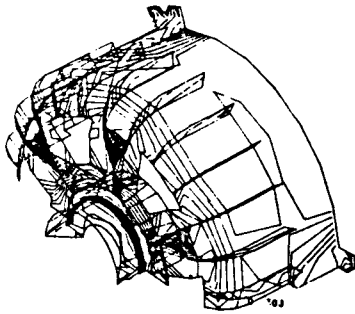


그림 2. 응력분포도

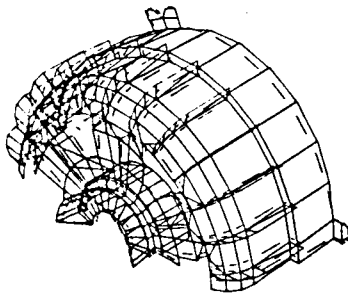


그림 3. 변위도

결과를 검토해 보면 압력이 매우 적으므로 Mechanical Stress는 거의 무시할 정도이며 대부분 Thermal Stress가 모델 전체에 나타나고 있다. Stress가 비교적 많이 나타나는 부위는 볼트 체결 부위와 메어링 하우징 부위이며 최대의 Stress가 걸리는 곳은 브릿지켓트와 메어링 하우징의 외곽부위가 맞닿는 곳으로 115°C에서 그림 4와 같이 3.3 - 3.7 [kgf/mm²]이 되고 있다. 본 연구에서는 30% 유리섬유로 강화된 PBT를 사용하였으므로 표 3에서 보는바와 같이 115°C에서 6.2 [kgf/mm²]가 되어 이 하중에서 충분한 견딜수 있다.

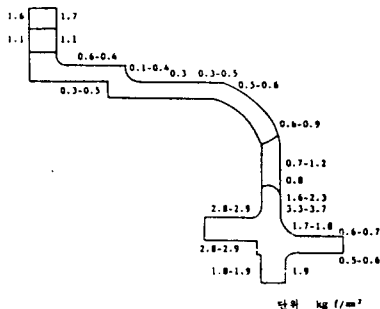


그림 4. 115°C에서 응력분포도

(3) 프레임 설계

앞에서 해석한 결과를 토대로 하여 프레임 설계를 하였으며 설계특성은 다음과 같다.

- 1 응력이 고른 본포가 되도록 하였으며 전동기 특성상 응력이 높게 나타나는 곳은 Rib을 보강하여 충분한 강도유지를 위한 설계를 하였다.
- 2 브릿지켓트와 프레임은 일체 성형이 되도록 하여 강성을 보강하고 조립공수의 절감을 유도하였다.
- 3 냉각 효과를 위해 공기의 간섭을 줄이고 흐름이 원활하도록 프레임 Rib을 설계 하였다.
- 4 베어링하우징의 강도유지와 치수안정을 위해 수지의 흐름과 유리섬유의 배열을 고려한 설계를 하였다.

3) 성능평가

(1) 전동기 성능평가

1 진동

진동측정은 전동기를 Fan Coil Unit에 부착한 경우와 무부하 운전상태에서 측정하였다. 표4는 개발전의 제품과 PBT 프레임 전동기의 진동진폭을 비교한 것이다.

표 4. PBT 프레임 전동기와 개발전전동기의 진동진폭비교

전동기	PBT프레임 전동기		개발전전동기	
	반경방향	속방향	반경방향	속방향
무부하운전	0.8μ	3.2μ	2.6μ	9.5μ
Fan Coil Unit 부착	4.5μ	7μ	18μ	26μ

표4에서 보는바와 같이 PBT 프레임 전동기가 현저한 진동감소를 볼수 있다. 이의 원인에 대해 주파수분석을 한 결과 회전진동 및 2f (120Hz)진동이 크게 감소한 것으로 나타났다. 이것은 자기흡인력을 감소시킴으로써 2f진동을 중점적으로 감소시킨 결과이다. 그림5은 PBT 전동기와 개발전 전동기의 진동주파수 분석결과를 보여주고 있다.

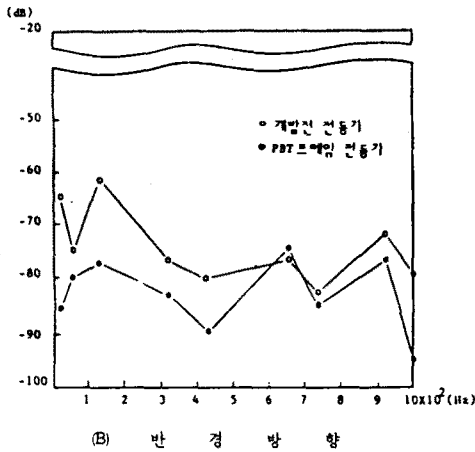
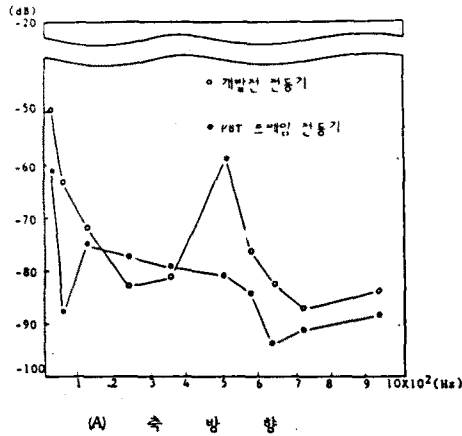


그림5. PBT 프레임 전동기와 개방전 전동기의 진동주파수 분석결과(무부하운전)

(2) 전기 일반특성

PBT 프레임 전동기와 철판프레임 전동기를 무부하상태에서 운전가동한 결과를 표5에 비교하였다. 표에서 보는바와 같이 PBT 프레임 전동기의 설계치와 제품의 실측특성은 거의 일치하는 것을 볼수 있으며 철판프레임에 비하여 효율 및 역률은 다소 떨어졌으나 Fan

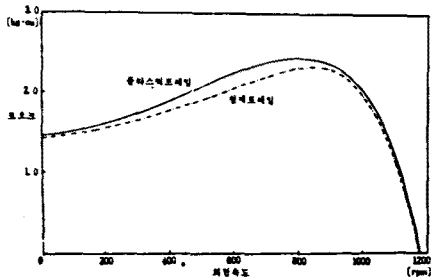


그림6. 속도 토크 특성비교

표5 특성 비교

항 목	시 료	플라ستيك프레임		철판 프레임 실형치
		설계치	실형치	
정 격 전 압 (V)	220	220	220	220
	무부하 전 류(A)	-	0.14	0.16
무부하 손 일(W)	-	36.0	40.7	
정 격 전 류 (A)	0.28	0.29	0.26	
정 격 소비전력 (W)	62.5	60.3	55.6	
정 격 토크 (kg·cm)	2.29	2.35	2.23	
정 격 회전 수 (rpm)	800	766	920	
효 율 (%)	30	31	38	
역 율 (%)	90	93	96	
출 력 (W)	18.8	18.5	21.1	
기 동 토크(kg·cm)	-	1.41	1.35	
	전 류(A)	-	0.34	0.31
정 동 토크(kg·cm)	-	2.47	2.29	
	전 류(A)	-	0.26	0.26
절 연 절연저항(MΩ)	-	400이상	400이상	
성 능	1500VAC 내전압	-	견 담	견 담

Coil Unit 전동기가 갖고 있는 속도, 토크특성을 보완하였고 정격토크, 정동토크 및 기동토크가 높아졌다.

그림 6은 PBT 프레임 전동기와 철판프레임 전동기의 속도, 토크 특성이다.

2) 프레임 성능평가

(1) 프레임 강도

앞에서 설계한 프레임형상에 따라 제작된 제품을 이용하여 강도평가를 하였다. PBT프레임을 사용한 전동기를 무부하운전한 경우 가장 높은 온도를 나타내는 곳은 프레임 중앙부위로서 80°C이며 응력이 가장 많이 걸리는 부위인 브라켓트와 베어링하우징의 외곽부위가 맞닿는 곳은 65°C 가 된다. 이 부위의 응력을 보면 1.64 kgf/mm²이고 PBT의 경우 9.85 kgf/mm²에 비하여 약 1/6의 응력이 되어 충분히 견딜수 있다. 또 FAN Coil Unit에 부착하여 측정한 결과 최고온도는 역시 프레임 중앙으로 약 50°C 이며 가장 응력을 받고있는 부위는 40°C 가 되어 본 연구결과에 의해 제작된 PBT 프레임 전동기는 열응력에 충분히 견딜수 있으며 높은 신뢰성을 갖고 안정된 운전을 할수있다. (그림7,8 참조)

(2) 사 출 성 형

PBT 프레임의 주요 부위를 전자현미경으로 관찰하여 유리섬유의 배향상태를 분석한 결과 양호한 상태임을 확인하였다. 그림9(A)(B)는 베어링하우징과 고정자 내경이 삽입되는 부위로서 (A)의 경우 유리섬유가

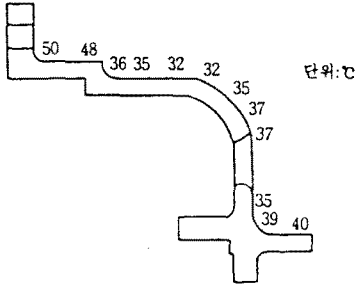


그림 7. Fan Coil Unit부착시 PBT프레임 전동기 각 부위의 온도분포

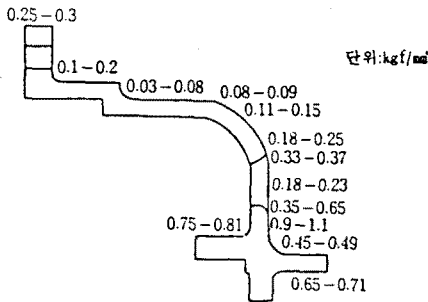
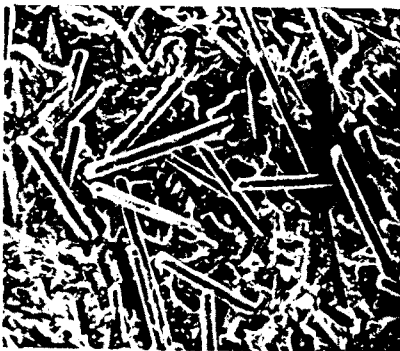


그림 8. 50°C에서 응력분포도

x, y, z의 각 방향으로 균일하게 분포되어 있음을 보여 주고 있다. (B)의 경우는 Gate와 거머가 멀고 내경부위에 대칭되는 돌출부가 없으므로 유리섬유가 흐름 방향으로 배향되어 있어 수직방향(전동기의 원주방향)의 수축율이 흐름방향(전동기의 축방향)의 수축율 보다 크게 나타났다.

(3) 환경 시험

완성품인 PBT 프레임 30개와 PBT 프레임 전동기 10대를 시료로 하여 다음의 평가를 하였다.



(A) 베어링 하우스 부위



(B) 고정자가 삽입되는 내경부위

그림 9. 프레임 각 부위의 유리섬유 배향분포

열 충격시험은 80°C에서 -30°C까지 변화를 주었고 1사이클당 4시간씩 120사이클을 실시하였으며 이때의 외관검사, 베어링하우징의 치수변화, 3000v 임펄스시험, 2000v 내압시험등을 하였다. 또 전동기가 장시간 사용시 그 성능을 유지하느냐를 확인하기 위하여 IEEE 117에 근거를 두고 열충격시험전 전동기를 온도 50°C 습도 95%에서 240시간 습열시험을 하였다. 그결과 PBT 프레임의 경우 외관 및 치수변화는 거의 찾아볼 수 없었으며, 전동기의 경우 한대의 불량도 없이 안정된 운전을 할 수 있었다.

3. 결 론

- 1) 샘플마의 각 특성을 비교 분석하고 철판 및 알루미늄 다이캐스팅 제품과 대체 하였을 경우 안전여부에 대해 기존 전동기를 근거로 검토한 결과 PBT GF30을 전동기의 프레임용으로 선정하고 Fan Coil Unit전동기의 특성에 맞는 특이, 저진동, 저소음을 위한 설계를 하였다.
- 2) 전동기 설계 데이터와 재료의 기계적, 열적특성을 기초로하여 응력분포를 계산하여 안전율을 고려한 프레임 치수를 결정하고 치수안정성, 수축율, 유리섬유의 배향성등을 고려하여 형상설계를 하였다. 이 설계에 의한 제품으로 전동기를 제작하여 시험 분석한 결과 높은 안정성이 확인 되었다.

참 고 문 헌

- 1) 甲田廣行 他;材料大事典.(株)産業調査會 1984.
- 2) J.L.O'Toole;Modern Plastics Encyclopedia. 1984~1985.

- 3) 化学工業日報社;エンゾニセリンダプラスチック.
1985
- 4) 高分子學會;高分子データハンドブック. 培風館, 1986.
- 5) 末野 他;"誘導電動機の振動と騒音" 三菱電機技報, Vol. 32, No.11, 1958
- 6) R.S.Gürgis et al;"Method for accurate determination of resonant frequencies and vibration of stators of electrical machines" IEEE proc.-Vol.128, pt B,No.1, 1981.
- 7) Tohn H. Kuhlmann; Design of Electrical Apparatus John Wiley & Sons Inc., 1950
- 8) 高橋幸人; 電氣機設計 共立全書 120, 1963
- 9) C.G.Veinott; Theory and design of small induction motors McGraw-Hill Book Co., Inc. 1959
- 10) 野口昌介; 現場の電動機技術 オーム社
- 11) Walterd. Pilkey, Pin Yu Chang; Modern Formulas for Statics and Dynamics. McGraw-Hill.
- 12) (주)릭카; Engineering Plastic Catalogue. 1985
- 13) 村上宗雄; 精密安定射出成形の基礎と實際
- 14) 廣惠章利; プラスチック物性入門, 日刊工業 新聞社