

Linear compressor 토출밸브의 재질에 따른 마멸 특성에 관한 연구

박영도^{*†}, 구수학^{*}, 김정해['], 박진성['], 이재근^{*}

^{*}부산대학교 기계공학부, [']LG전자 DA연구소

A study on wear with discharge valve materials in linear compressor

Young-Do Park^{*†}, Su-Hak Gu^{*}, Jung-Hae Kim['], Jin-Sung Park['], Jae-keun Lee^{*}

^{*}Department of Mechanical Engineering, Pusan University, Pusan 500-700, Korea

[']LG Electronics DA laboratory

ABSTRACT: Recently, research and development of the linear compressor are being active. The reason is that the one has not only higher efficiency than reciprocating type, but also lower noise. But because the discharge valve of linear compressor is operated in high pressure and temperature circumstance, it is important to prevent leakage. In this paper three other plastic reinforced composite materials were used. Those are TPI, PEEK and PEK which were containing other volume and kind of carbon fibers. First, for assessing mechanical properties, we measured the hardness and the heating property of the test specimen by the microvickers hardness tester and the differential scanning calorimeter respectively. Finally, through FALEX tester, we could know the characteristics of the wear proving the results of before-conducted experiments.

Key words: Linear compressor, Plastic reinforced composite, Discharge valve

1. 서론

최근 압축기 시장에서 리니어 압축기 연구, 개발이 활발히 이루어지고 있다. 왕복동식 압축기의 경우, 회전식 모터를 이용하여 회전 운동을 왕복 운동으로 변환함으로써, 압축을 하는 크랭크 방식을 이용하므로 모터에 의한 소음뿐만 아니라 피스톤과 실린더, 샤프트, 슬라이드 그리고 프레임 등에 의한 마찰 손실등이 발생함으로 비교적 낮은 EER을 보인다. 반면 리니어 압축기는 전류에 의해 발생한 자기장을 이용한 모터를 이용하여 운동의 변환 없이 바로 피스톤의 왕복 운동을 일으키므로 모터에 의한 소음이나 마찰부위

의 의한 손실등이 적어 전반적으로 높은 EER을 가진다. 그 일반적인 리니어 압축기의 형상의 Fig. 1(a)와 같다. 또한 냉매의 흡입, 토출 방식에 있어서도 기존의 왕복동식은 흡입과 토출실이 같은 공간으로 이루어지는데 반해, 리니어 압축기는 분리된 공간에서 흡입, 토출이 각각 일어남으로써 압축 효율을 획기적으로 향상시킨다. 그 토출계 형상은 Fig. 1(b)와 같다. 일반적으로 리니어 압축기의 토출 밸브는 그 소음 저감의 목적으로 엔지니어링 플라스틱 재질을 사용하는데, 고온, 고압의 환경에서 지속적으로 피스톤의 상단 표면부와 면접촉을 일으키므로 시간이 경과함에 따라 점차 마멸되어 누설의 문제가 빈번히 발생하여 전반적인 압축기 EER을 상당히 떨어뜨릴 뿐만 아니라 그 마멸이 진전된 만큼 압축기의 신뢰성을 떨어뜨리게 된다. 그러므로 사용되는 엔지니어링 플라스틱 복합소재는 우수한 기계적 특성은 물론 내마멸, 내열성에 대해서도 상당한 고

† Corresponding author

Tel.: +82-51-510-3441; fax: +82-518-2430

E-mail address: ydp@pusan.ac.kr

려가 필요하다. 그러므로 엔지니어링 플라스틱의 기지조직에 Carbon fiber 와 같은 강화제를 넣어

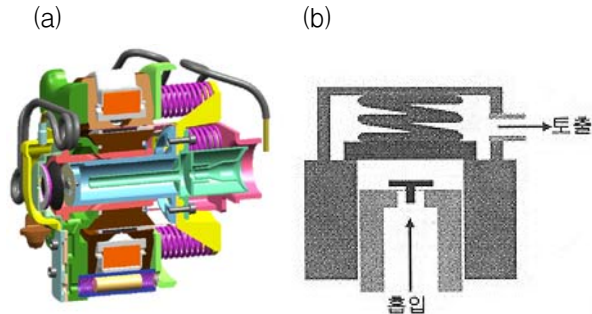


Fig. 1 (a) Shape of linear compressor (b) Mechanism of suction and discharge of linear compressor

더 우수한 특성을 얻기 위한 노력이 계속되고 있다.⁽¹⁻⁸⁾ 그러므로 본 연구에서는 각각 다른 특성을 지닌 기지조직과 Carbon fiber를 첨가한 플라스틱 복합재의 마멸 특성을 비교, 평가하는 것이 주된 목적이라 하겠다. 따라서 마이크로 경도 측정을 통해 기계적 특성을 분석하고, DSC 실험을 통해 각각의 열적 특성을 분석하였다. 그리고 FALEX Tester를 통해 마멸 특성을 비교 분석하였다.

2. 시편제작

2.1 상부시편

Falex Tester의 상부시편은 3종으로 하였는데, TPI, PEEK, PEK의 기지 조직에 Carbon fiber를 첨가하여 사출성형으로 제작하였다. 첨가된 Carbon fiber는 사출 성형되었기 때문에 방향성이 없다. 제시된 각 시편의 특성은 Table 1과 같고, 형상은 Fig. 2(a)와 같다. TPI는 열가소성 Polyimides에 대한 통칭명으로써 이미드 결합 -N(CO₂)-를 가진 내열성 폴리머이고, PEEK는

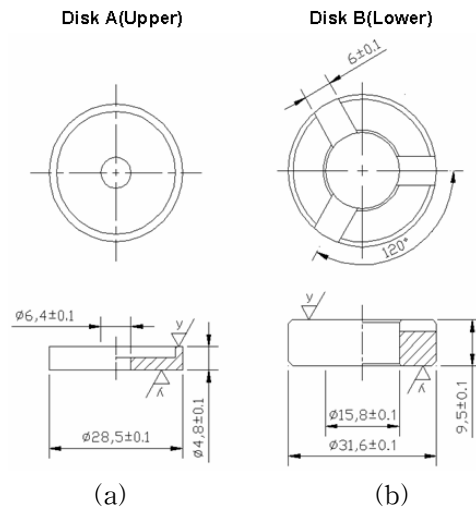


Fig. 2 (a) Shape of upper specimen (b) Shape of lower specimen

Carbon기와 Ether기가 연결된 방향족계 폴리머로 구성된 Ketone계 수지이다. 또한 PEK는 PEEK에서 Ether기가 하나인 구조를 가진다

2.2 하부시편

형상은 Fig. 2(b) 와 같다. 재질은 주철(GC300)으로써 동일한 선삭조건으로 가공되었으며, Ra는 0.27 μ m, Rz는 2.25 μ m였다. .

3. 실험방법 및 결과

3.1 마이크로 경도측정

상부시편을 Sand paper로 연마 후, 알루미나 분말로 1, 0.5, 0.3 μ m까지 정연마하여,, Microvicers Hardness 측정기를 이용하여 하중 10 Gf로 15초간 압입하여 각 시편의 Carbon fiber와 Matrix의 경도를 측정하였다. 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 1 Properties of TPI, PEEK and PEK

No.	Material	Deflection temperature(°C)	Tensile strength(Mpa)	Carbon fiber(vol.%)	Density(g/cm ³)
1	TPI	216	200	30	1.40
2	PEEK	315	200	30	1.43
3	PEK	360	217	30	1.44

Table 2 Result of Microvikers Hardness test

	Carbon fiber	Matrix
TPI	39.8	21.3
PEEK	42.5	22.4
PEK	40.4	30.2

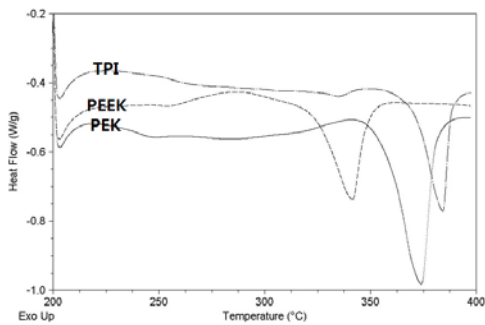


Fig. 3 Result of the differential scanning calorimeter test

3.2 DSC(Differential Scanning Calorimeter)

상부시편의 열적 특성을 알아보기 위하여 DSC를 이용하였다. 특성이 관찰되는 200 °C에서 400 °C까지 분당 10 °C씩 상승시켰으며, 산화 방지를 위해 질소(N₂)를 0.2 bar의 압력으로 연속적으로 주입하였다. 그 결과는 Fig. 3과 같다.

3.3 마멸실험

마멸 실험은 FALEX사의 Friction&Wear Test Machine을 이용하였으며, 그 기본적 구조는

Fig. 4와 같다. 리니어 압축기 구동시 피스톤과 토출밸브가 면접촉을 일으킨다는 점을 고려하여 Thrust washer 방식 (ASTM D3702)을 이용하였다. 상부 회전축에 상부시편을 장착하였으며, 하부 고정축에 하부시편을 장착하였다. 그 실험조건은 Table 3과 같다. 토출밸브는 고온, 고압에 작용하므로 마멸부의 표면온도의 증가가 어느 시점에 이르면 연화되어 마멸이 증가할 것이라 예상되는 바 열적 특성의 우수함을 판단하는 중요하 기준을 주기 위하여 단계적인 하중 상승 조건을 주었다.

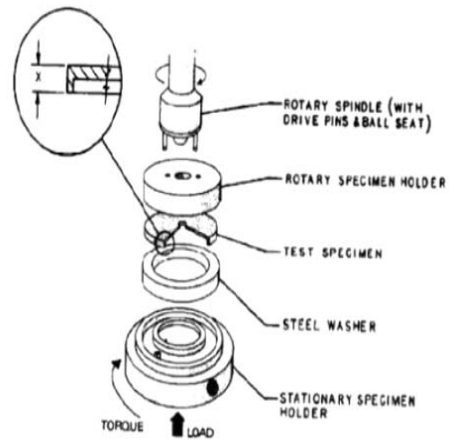
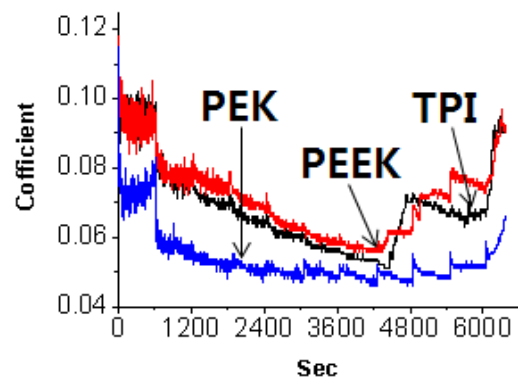


Fig. 4 Test mechanism of the Falex tester

Table 3 Conditions of Falex test

Conditions	
Rpm(rev/min)	1000
Step load(20 lbs/600 s)	Max 220
Ambient temperature(°C)	25
Oil(ml)	80

사용한 오일은 압축기와 동일한 것이었으며, 그 양을 충분히 하여 윤활조건에서 실험을 하였다. 마찰계수는 하부시편이 받고 있는 토크의 크기를 토크 센서를 통해 측정된 후, 실험기에 미리 입력된 연산을 통해 자동적으로 구한 값이며, 온도는 하부시편 측면에 부착되어있는 Thermo couple로써 측정하였다. 측정결과는 Fig. 5와 같다. 그리고, Table 4는 마멸시험 전후의 높이차를 나타낸 결과이다.



(a)

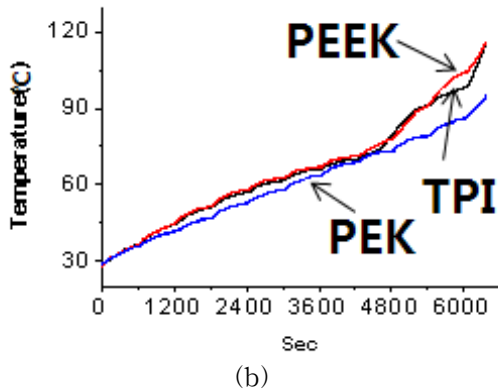


Fig. 5 (a) Friction coefficient during FALEX test (b) Temperature change during FALEX test

Table 4 Height change of upper specimens after FALEX test

	Before(mm)	After(mm)	Difference(mm)
TPI	0.82	0.5	0.32
PEEK	0.86	0.56	0.3
PEK	0.84	0.82	0.02

4. 고찰

먼저, 각 시료의 물성치를 비교해보면 Fig. 3의 DSC의 결과를 살펴보면 TPI, PEK, PEEK 순으로 용융점이 높음을 알 수 있다. 이는 Table 1에 제시한 Deflection 온도와는 다른 결과를 보이고 있다. 이는 PEK, PEEK, TPI 순으로 나타남을 보여준다. 실제 마모시험에서는 변형되는 온도를 나타내는 이 Deflection 온도가 미치는 영향이 크다고 생각한다. 또 미소경도를 측정하였는데 앞의 Deflection 온도와 똑같은 경향을 보인다.

마멸 시험에서는 600 sec 마다 20 lb씩 올려 최대하중을 220 lb로 하고, 나머지 인자들은 고정하여 행하였는데, 초기 길들임은 약 300 sec로 하였다. 마멸 시험에서는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 PEK, PEEK, TPI 순으로 마찰계수가 낮음을 보여준다, 또 약 600 Sec이후부터도 PEK가 상대적으로 낮은 마찰계수 값을 보이는데, 이는 상대적으로 강한 기지조직인 PEK가 탄성변형이 작음에 따라 나타난 결과라 생각된다. 일반적으로 Composite-Polymer와 같은 재질은 동일한 윤활 조건 내에서 마멸은 물체의 기계적 특성뿐만 아

니라 온도 증가에 따른 열적 특성이 크게 영향을 받는다. 즉, 약 4200 sec부근에서 TPI와 PEEK의 마찰계수가 상대적으로 큰 폭 상승함을 알 수 있는데, 이는 오일의 온도 상승에 따른 점성의 감소로 얇아진 오일막에 의해 상대적으로 약한 TPI와 PEEK의 소성변형이 발생한 것으로 판단된다, 에너지의 관점에서 보면 소성변형으로 발생한 열은 급격한 온도 상승을 결과로 가져오고 점점 더 높은 하중에서 더 많은 소성변형이 생기면서 마멸이 상대적으로 높게 나타난다고 할 수 있다.

또한, 온도상승은 기계적 마멸 측면에서 시편에 주어진 힘이 유막을 깨뜨려 시편에 소성변형을 일으킬 정도로 크지 않으므로 Tg(변이온도)이전의 온도 상승은 두 재료 사이의 유막 film의 온도 상승에 기인한다고 생각된다. 하지만 Tg 이후에는 마멸이 급증하는데 이는 부분적으로 연화된 상부시편에 주어진 힘은 상부 시편의 소성변형을 증가시키고 이 때문에 온도가 급격히 상승한다고 생각된다. 온도가 증가하면 낮은 하중에서는 표면 연화 특성이 지배하지만 하중이 커질수록 표면 연화로 발생한 소성변형이 더 많은 영향을 미친다. PEEK와 TPI의 경우 약 4200 sec이후 시점부터 하중이 증가함에 따라 마찰계수의 증가로 마멸량이 급증하는 것을 유추해 볼 수 있다. 화학적으로 더 결합력이 좋고, 기계적, 열적 성질이 우수한 PEK는 4200 sec이후에서도 하중이 증가함에 따라 마찰계수가 크게 증가하지 않는다는 것을 알 수 있다. Table 4에서 보는 바와 같이 실험전후의 높이 차를 비교하였는데, PEK가 훨씬 우수한 성질을 나타내었다.

일반적으로 금속인 경우, 오일의 온도 증가에 따른 점도의 저하에 영향을 많이 받지만, 플라스틱인 경우에는 점도의 변화보다 표면의 온도 증가에 의한 기계적 성질의 변화에 더 많은 영향을 받는다는 일반적인 사실로부터 상대적으로 강한 PEK의 경우, 다른 시편인 TPI와 PEEK에 비해 열적, 기계적 특성이 우수하다고 판단할 수 있다..

5. 결론

본 연구에서는 토출밸브의 복합재료를 선정하기 위해 DSC, 미소경도, 마멸실험등을 행하였는데,

주요 결론은 다음과 같다.

- 1) 일반적으로 복합 플라스틱 인 경우, 마멸에 영향을 미치는 인자는 기지조직이 가장 크다고 할 수 있다.
- 2) Tg이후에 온도에서는 복합 플라스틱의 기지조직의 기계적성질이 급격히 저하되어, 마모양이 급속히 증가됨을 알 수 있다.
- 5) 3종류의 복합 플라스틱 재질에서는 PEK가 가장 우수한 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 LG전자(주)와 부산대학교와 산학협력을 통해 이루어졌으며, 이에 도움을 주신 많은 관계자 여러분의 노고에 감사드립니다.

참고문헌

1. A. Schelling, H. H. Kausch, Friction behaviour of polyetheretherketone under dry reciprocating movement, *Wear*, 151 (1991) 129-142
2. T. C. Ovaert, Counterface topographical effects on the wear of polyetheretherketone and a polyetheretherketone-carbon fiber composite, *Wear*, 150 (1991) 275-287
3. Yanchun Han, Stefan Schmitt and Klaus Friedrich, Microfriction of various phases in a carbon fiber, polytetrafluoroethylene, graphite and polyetheretherketone composite blend as measured by atomic force microscopy, *Tribology International* Vol. 31, No. 12, pp. 715-725, 1998
4. G. Zhang, C. Zhang, P. Nardin, W.-Y. Li, H. Liao, C. Coddet, Effects of sliding velocity and applied load on the tribological mechanism of amorphous poly-ether-ether-ketone (PEEK), *Tribology International* 41 (2008) 79-86
5. B. H. Stuart, Tribological studies of poly(etherether ketone) blends, *Tribology International* Vol. 31, No. 11, pp. 647-651, 1998
6. Sukchoon Kang, A Study of the Friction Characteristics of Plastics on Lubricated Condition, *Journal of KSLE(1992)* Vol. 8, No. 1, pp.48-55
7. Sung-Kuk Ryoo and Kyung-Woong Kim, A Study on Friction and Wear Behavior of Carbon Fiber Reinforced Polyetheretherketone, *Journal of KSME* Vol. 25, No. 6, pp. 930-937, 2001
8. L. Chang, Z. Zhang, H. Zhang, K. Friedrich, Effect of nanoparticles on the tribological behaviour of short carbon fibre reinforced poly(etherimide) composites, *Tribology International* 38 (2005) 966-973