

FEM Carrier용 PP-LFT 소재의 응력비 변화에 따른 피로 거동

문종신*
*LG 전자

Fatigue Behavior of PP-LFT used in FEM Carrier with Variation of Stress Ratio

Jong-Sin Moon*
*LG Electronics

요약 지금까지 자동차 소재의 경량화 및 연소가스의 저감은 부품의 플라스틱화를 통하여 많은 진전이 있었다. 장섬유 보강 폴리프로필렌 소재가 적용된 프론트 엔드 모듈 캐리어는 플라스틱 구조부품 중에서 가장 성공적인 사례이다. 하지만, 장기 신뢰성 측면에서 볼 때, 자동차용 플라스틱 소재에 대한 피로거동 및 진동내구에 대한 더 많은 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 프론트 엔드 모듈 캐리어의 피로설계 및 해석의 기초가 되는 폴리프로필렌 장섬유 소재에 대한 내구성을 분석하였다. 피로수명과 응력진폭 또는 평균응력 간의 상관관계를 평가하기 위하여 다양한 응력비에서 피로실험을 수행하였다. 일정 응력진폭에서 응력비를 변화시킨 결과는 최대하중을 고정시킨 결과보다 피로수명의 변화가 응력비 증가에 따라 2~6% 크게 나타났다. 또한 주사전자 현미경을 통하여 장섬유 보강 폴리프로필렌 소재에 대한 피로균열의 발생, 전파의 파괴기구를 확인하였다.

Abstract Plastics have brought a significant progress in reducing the weight of automotive parts and improving gas emissions by replacing steel parts. The front end module (FEM) carrier, which was made from long glass fiber reinforced polypropylene (PP-LFT), is one of the most successful examples. On the other hand, more research on the fatigue behavior and vibration durability of automotive plastic parts will be needed to improve the long-term reliability. This paper analyzed the durability of the PP-LFT, which is fundamental to fatigue design and analysis of FEM carrier. Various fatigue tests were conducted at different stress ratios to evaluate the relationship between the fatigue life and stress amplitude or mean stress level. In the case of a fixed stress amplitude, the change in fatigue life with the stress ratio was 2~6% larger than the case of fixed maximum stress. Furthermore, this study observed the mechanism of initiation and propagation of the fatigue cracks in PP-LFT by scanning electron microscopy.

Key Words : Front end module carrier, long glass fiber reinforced polypropylene, fatigue behavior, stress ratio, fatigue crack

1. 서론

자동차산업은 점점 전자화, 고급화 되고 있으며, 안전성 등에 대한 소비자들의 요구가 다양해짐에 따라 부대장비가 늘어나 자동차 중량은 계속 증가하는 추세이다.

반면에 세계적으로 환경오염 문제가 대두되면서 기업별 평균연비 및 자동차 CO₂ 배출가스 규제강화에 대비한 연비개선이 절실하게 요구되고 있는 실정이다.

연비 향상을 위한 방법으로는 엔진 효율 향상, 공기저항을 최소화한 차체 디자인 및 소재의 경량화 등이 있다.

*Corresponding Author : Jong-Sin Moon(LG Electronics)

Tel: +82-32-723-0732 email: jongsin.moon@lge.com

Received July, 28, 2014

Revised August 11, 2014

Accepted January, 8, 2015

특히 자동차 소재의 경량화는 엔진 효율의 향상으로 인한 연비 향상뿐만 아니라 배출가스의 감소를 통한 환경 오염 방지 및 연료절감에 가장 효과적인 방법으로 인식되고 있다.

자동차 소재의 경량화는 부품의 플라스틱화를 통하여 많은 진전을 이루어 왔으며, 점차 구조적인 부품으로 확대가 이루어지고 있다. 이 중에서 프론트 엔드 모듈 캐리어(front end module carrier, FEM Carrier)의 플라스틱화는 모듈화뿐만 아니라 구조부품에 대한 플라스틱 소재의 구조적 분담율에 기여하는 부품으로 상당한 개발 진전 및 성과를 얻었다고 평가할 수 있다.

하이브리드(Steel+PA6,6) 타입 외에 전체 플라스틱 FEM Carrier에는 장섬유 보강 폴리프로필렌(long glass fiber reinforced thermoplastic Polypropylene, 이하 PP-LFT)의 적용이 주를 이루고 있다.

FEM Carrier의 일부 또는 전체 플라스틱화는 이미 선진 자동차 회사들의 개발 사례를 통해 쉽게 찾을 수 있다 [1-3]. 이제는 국내에서도 국산 소재의 육성 완료와 부품의 선행 및 양산 개발 사례가 축적되기 시작하여 개발 역량의 확보 단계에 접어들어 시점이다. 하지만 실제 사용 환경에 대한 장기 신뢰성 측면에서 볼 때, 소재 및 부품의 특성 중 선행 검토되어야 하는 피로거동 및 진동 내구 등에 대한 연구 및 적용은 아직까지 부족한 실정이다.

시간적, 경제적으로 많은 비용이 수반되는 부품의 장기 내구성에 대한 검토는 제품 품질의 향상을 위하여 필수적이며, 이를 해결하기 위한 해석적 기법의 도입 또한 필연적이다. 그러나 해석의 정확도를 향상시키기 위해서는 피로거동과 같은 소재의 장기 내구물성 데이터의 정확성이 전제되어야 한다. 점차 플라스틱 부품에 대한 구조측면의 분담 요구와 적용비율이 증가하는 차원에서 소재의 피로특성에 대한 검토 및 이의 설계반영에 대한 필요성은 더욱 증대될 것이다.

유리섬유 보강 소재에 대한 연구는 주로 단섬유 보강 소재에 집중되어 기계 및 장기 내구 물성 등 다양한 연구가 진행되어 왔다[4-6]. 반면 장섬유 보강 소재의 경우, 다양한 평가[7-12]가 이루어지고 있으나, 피로거동에 대한 연구는 단섬유와 비교하여 상대적으로 연구보고가 부족한 편이다.

본 연구에서는 FEM Carrier와 같은 플라스틱 구조부품의 피로설계 및 내구해석의 정확성을 높이는데 필수적으로 수반되어야 하는 적용소재의 피로거동에 대하여 평

가하였다. 여러 응력비에서 PP-LFT 소재에 대한 응력-피로수명 선도를 생성하고, 피로강도의 변화에 대하여 고찰하였다. 또한 장섬유 보강 소재에서 피로균열의 발생 및 파괴기구를 파악하고자 파단면 분석을 수행하였다.

2. 실험

2.1 재료 및 시험편

본 연구에 사용된 재료는 자동차용 구조부품인 FEM Carrier에 적용되고 있는 장섬유 보강 폴리프로필렌(PP-LFT)으로 유리섬유 함유량은 40%이며, 기본적인 기계물성은 Table 1과 같다.

[Table 1] Mechanical properties of PP-LFT

Tensile strength	Tensile Elongation	Flexural strength	Flexural modulus	Izod impact
MPa	%	MPa	MPa	J/m
125	2.4	145	6380	137

기본 인장 및 피로시험에 사용된 시험편은 ASTM D638에서 규정하는 인장시험편이며, 하중 작용 시 미끄러짐을 방지하기 위하여 본 실험에서는 시험편에 장착하는 그립부의 길이를 증가시킨 시험편을 사용하였다. 평가 시험편은 사출성형공정 중 발생하는 유리섬유의 파쇄(breakage)를 최소화시키기 위하여 게이트의 크기를 증가시킨 장섬유 보강 소재 전용 금형과 직경 30 mm의 전용 스크루를 사용하고, 최대 사출압력 2020 bar, 최대행정은 400 mm의 Battenfeld사 75톤 사출기를 사용하여 제작되었다.

2.2 실험방법

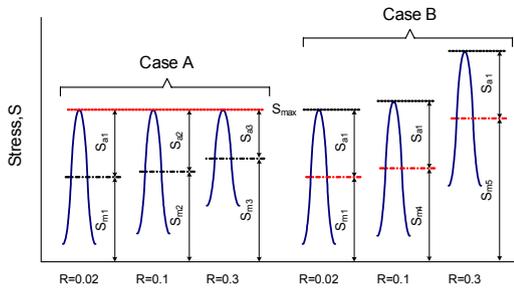
2.2.1 기본 물성시험

기본 물성시험은 ASTM에 의거하여 인장시험은 D638, 굴곡시험은 D790, Izod 충격시험은 D256에 따라 수행하였다.

2.2.2 피로시험

피로시험에 사용된 시험기는 전기유압식 인장-압축 피로시험기인 Instron 8872이다. 피로시험 조건은 상온에서 인장-인장형태의 정현파형으로 피로하중을 부하하였

으며, 하중 반복 주파수는 5 Hz로 플라스틱 소재의 열적 파손(thermal failure)에 의한 파단이 발생하지 않도록 설정하였다.



[Fig. 1] Fatigue test condition for different stress ratios (S_{max} : maximum stress, S_m : mean stress, S_a : stress amplitude)

응력비(stress ratio, R) 변화에 의한 피로수명의 변화를 고찰하기 위하여 R은 편진에 가까운 0.02를 기준으로 0.1, 0.3의 3 가지 조건으로 설정하여 일정 크기진폭의 응력-수명 선도(stress-life curve, S-N curve)를 얻었다. R은 Fig. 1의 Case A, B와 같은 방법으로 조절되었으며, Case A는 일정진폭 피로하중의 최대하중(S_{max})을 고정하고, 최소하중(S_{min})을 변화시키면서 R을 조절하였다. 이 경우, 응력진폭(stress amplitude, S_a) 및 평균응력(mean stress, S_m)은 R의 변화에 따라 $S_{a1} \sim S_{a3}$ 와 $S_{m1} \sim S_{m3}$ 와 같이 모두 변하며, R의 증가에 따라 S_a 는 감소하고, S_m 은 증가하는 조건이 된다. Case B는 S_a 를 일정하게 고정하고 S_m 을 변화시켜 R을 조절하였으며, 이 경우 R의 증가는 S_m 이 증가($S_{m1} < S_{m2} < S_{m3}$)하는 조건이 된다. 또한 각 응력수준은 파손 하중반복수(cycles to failure, N)가 $3 \times 10^3 \sim 2 \times 10^6$ cycles의 피로수명을 갖는 범위로 구성하였다.

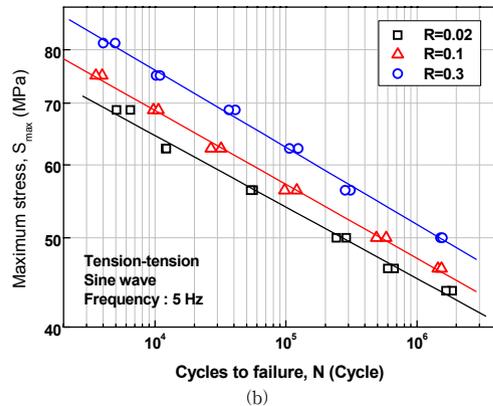
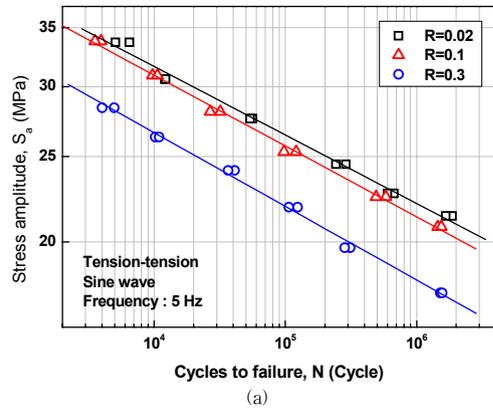
2.2.3 파단면 분석

장섬유 보강 소재에 피로하중이 작용하는 경우 피로 균열의 발생 및 피로파단에 이르는 파괴 기구(fracture mechanism)를 파악하고자 주사전자 현미경(scanning electron microscopy, SEM, Hitachi S-3500N)을 이용하여 피로파단면을 관찰하였다. 피로하중에 의한 파단면의 특징은 단일(monotonic) 인장하중에 의한 정적 파단면과 반복하중에 의한 피로파단면의 형태를 비교함으로써 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 최대하중 고정에 따른 응력비 변화

본 절에서는 Case A의 조건에 따라 S_{max} 를 고정하고, S_{min} 을 변화시키는 방법으로 R을 조절하여 얻은 S-N 선도를 이용하여 피로거동의 변화에 대하여 고찰하였다. 이 경우는 R의 증가에 따라 S_a 는 감소하고, S_m 은 증가하는 조건이다.



[Fig. 2] S-N curves for (a) S_a , (b) S_{max} in Case A

[Table 2] Fatigue constants of PP-LFT at different stress ratio of Case A

Plot	S_a -N		S_{max} -N	
	S_{f1}	b_1	S_{f2}	b_2
0.02	64.7	-0.0778	131.9	-0.0776
0.1	64.8	-0.0804	143.8	-0.0802
0.3	57.5	-0.0836	164.2	-0.0837

Case A의 R 변화조건에 따라 얻은 S-N 선도는 Fig. 2와 같이 (a)의 S_a -N 선도과 (b)의 S_{max} -N 선도로 구분

하여 나타내었다. R이 -1이 아닌 경우, S-N 선도는 응력기준을 S_a 나 S_{max} 로 구분함에 따라 R 변화에 따른 선도의 변화 경향이 반대로 표시되어 나타나므로 응력기준의 변화에 따른 평가가 모두 필요하다. 본 연구에서는 Fig. 2의 S-N 선도를 Basquin 관계식을 사용하여 아래와 같이 표현하였다.

$$S_a = S_{f1}(N)^{b1} \quad (1)$$

$$S_{max} = S_{f2}(N)^{b2} \quad (2)$$

여기서 b_1 과 b_2 는 피로강도지수이고, S_{f1} 과 S_{f2} 는 피로강도계수이다. R 변화에 따라 산출한 피로강도의 지수와 계수는 Table 2에 나타낸 것과 같다.

R의 증가에 따라 각 응력수준에서 피로수명의 변화는 일정한 변화율을 보여 각 S-N 선도들은 평행하게 나타나고 있다. Case A의 경우, R이 증가함에 따라 S_a 는 감소하는 반면 S_m 은 증가하게 되므로 Table 2에서 피로강도계수는 R 증가에 따라 응력기준이 S_a 일 때는 감소하나, 응력기준이 S_{max} 일 때는 증가하는 반대의 양상으로 나타나고 있다. 피로강도지수는 R 증가에 따라 약간의 증가 경향을 보이나, R 조건 별로 유사한 수준으로 나타나고 있다.

본 절에서는 PP-LFT의 피로거동을 평가하기 위하여 S_{max} 를 고정하고, S_{min} 을 변화시킨 여러 R 조건에서 얻은 S-N 선도로부터 피로강도 계수 및 지수의 변화를 고찰하여 R 변화에 따른 응력수준과 피로수명의 관계 및 그 변화에 대하여 확인하였다.

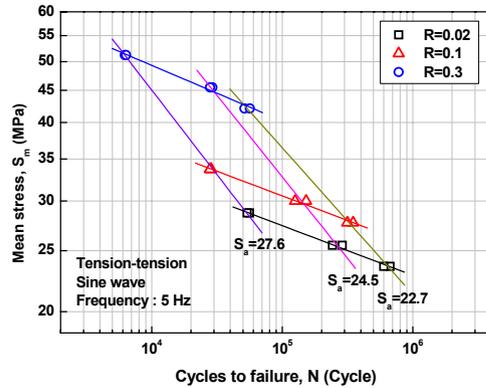
3.2 응력진폭 고정에 따른 응력비 변화

본 절에서는 Case B의 조건과 같이 N이 S_m 의 변화에 의한 영향만 받도록 S_a 를 고정하고, S_m 의 변화로 R을 조절하여 얻은 S_m -N 선도에 대하여 고찰하였다.

피로시험 결과는 Fig. 3과 같이 S_m -N 선도로 나타내었으며, 피로강도의 지수와 계수는 Table 3과 같다. 선도 위의 직선은 R 및 S_a 조건 별로 나타낸 선형 추세선이다. 동일한 S_a 수준에서 피로수명은 R 증가 시 S_m 수준의 증가로 인하여 두드러진 감소를 보이고 있다. 동일한 R 조건에서 S_a 수준의 변화에 따른 S_m -N 선도의 변화는 Fig. 2의 S_a (S_{max})-N 선도와 같이 유사한 형태를 나타내고 있다.

Case 별로 응력기준에 따라 산출한 피로강도의 계수

및 지수 비교하면, Case B의 경우가 R 증가에 따라 Case A 보다 2~6% 정도 높게 나타나며, 이는 피로수명이 R 변화에 의한 영향을 더 크게 받음을 확인시켜 주는 것이다.



[Fig. 3] S-N curves for S_m in Case B

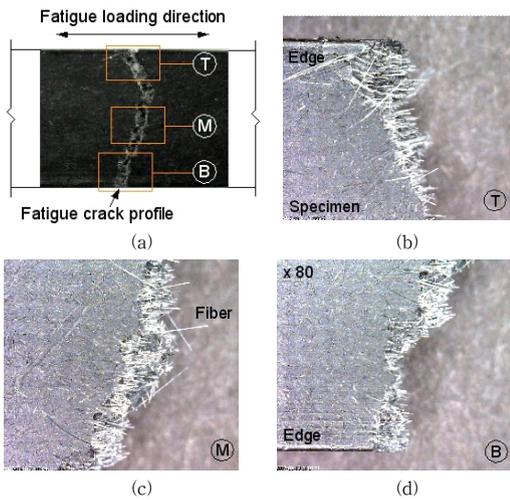
[Table 3] Fatigue constants of PP-LFT at different stress ratio of Case B

Plot	S_m -N		S_{max} -N	
	S_B	b_3	S_H	b_4
0.02	68.2	-0.0886	133.8	-0.0792
0.1	65.4	-0.0785	154.0	-0.0872
0.3	111.5	-0.0792	171.7	-0.0886

3.3 피로균열의 발생 및 파괴기구

본 절에서는 장섬유 보강 소재에 대한 피로균열의 발생, 전파의 파괴기구를 파악하고자 시험편의 파단형태에 대하여 고찰하였다. 복합재료의 경우 파괴양상은 보강재와 기재(matrix)의 파괴특성에 따라 변하며, 파면과 파괴경로도 섬유-기재 경계면의 성질 및 분위기, 온도에 대한 경계면의 의존성에 따라 변하므로 본 실험소재에 대해서도 파괴형태에 대한 검토가 필요하다.

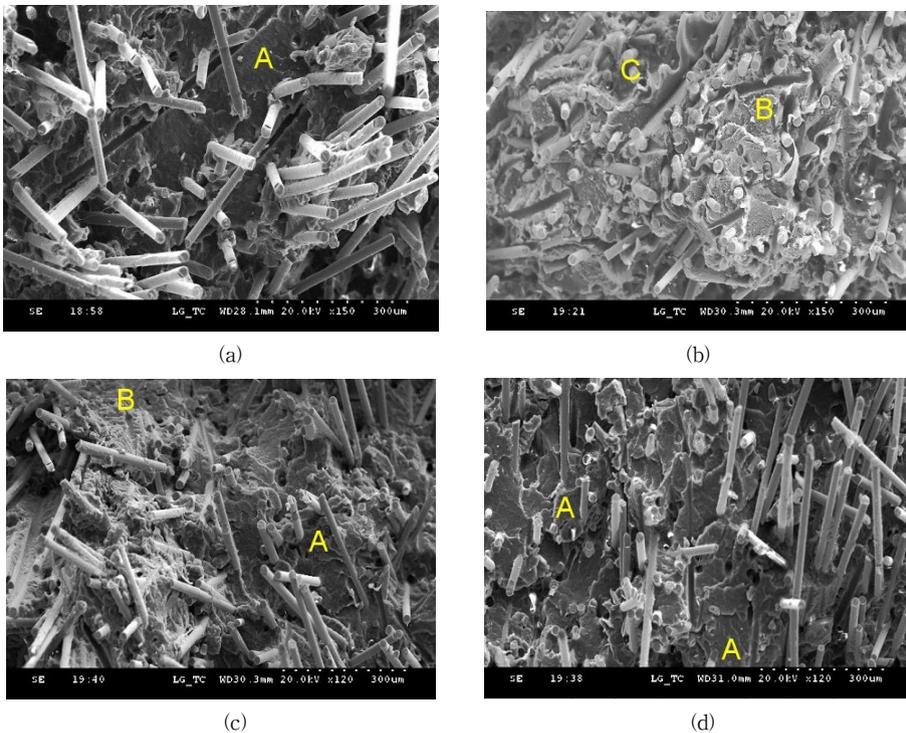
유리섬유나 무기물 필러(mineral filler)가 보강되지 않은 경우 플라스틱 소재의 피로균열은 표면이나 내부의 기공으로부터 발생, 전파하며, 파단 완료 시 거칠기가 일정한 파단면을 가지게 된다. 또한 피로 파단면에서 균열의 발생, 전파 및 최종 파단영역에 대한 구분이 용이하다. 그러나 유리섬유가 보강된 소재의 피로파단면은 작용하중에 수직한 규칙적인 균열운곽과 파단면이 나타나지 않기 때문에 피로균열에 의한 파괴과정 및 영역의 구분이 쉽지 않다.



[Fig. 4] Images of fatigue fractured specimen(R=0.02, Sa=27.6 MPa) : (a) fatigue crack profile along the specimen width, (b) fatigue crack initiation region, (c) fatigue crack propagation region, (d) final fractured region

본 실험 소재의 피로균열은 Fig. 4 (a)와 같이 불규칙적인 균열유평선을 가진다. 균열의 발생은 응력집중부가 되는 유리섬유의 각 끝단 및 기재와의 경계면에서 발생하게 되므로 시험편의 여러 영역에서 시작되기 때문에 파단면은 불규칙하게 나타난다. Fig. 4의 (b)~(d)는 각각 피로균열이 발생, 전파, 최종 파단된 영역을 구분하여 디지털 현미경으로 시험편의 표면을 촬영한 것이다. 유리섬유 함량이 40%인 PP-LFT 소재의 파단면에는 다량의 유리섬유가 피로하중에 의하여 분리(pull-out), 노출되어 나타나고 있다.

본 연구에서는 불규칙한 파면으로부터 피로균열의 발생 및 최종파단 영역을 구분하고자 SEM 촬영을 하였으며, 관찰된 파단면은 Fig. 5에 나타난 것과 같다. 피로파괴 과정에 의하여 노출된 다량의 유리섬유 사이로 보이는 PP 기재영역을 찾아 파단면의 파단형태와 유리섬유의 분리양상분리양상을 검토함으로써 PP-LFT 소재에 대한 파단양상을 평가하는 것이 가능하였다. 단일인장하중에 의한 파단면과 피로파단면을 비교하여 유사한 파면



[Fig. 5] SEM micrographs of fracture surface for PP-LFT : (a) fractured by monotonic tensile load (b) fatigue crack initiation region (c) fatigue crack initiation and propagation region (d) final fractured region S-N curves for S_m in Case B

형태를 보이는 영역을 최종파단영역으로, 차이를 보이는 영역을 발생영역으로 판단하여 각 영역에 대한 파단면의 특징을 고찰하였다.

Fig. 5 (a)는 단일인장하중에 의한 파단면이며, (b)~(d)는 인장-인장 피로하중에 의한 파단면을 양끝단 근처와 중앙의 세 영역으로 구분하여 촬영한 이미지이다. (a)의 PP 기재면에서는 표시한 A와 같이 수지면이 층 별로 분리되면서 형성된 파단면이 관찰되고, 섬유와 기재의 경계면에서는 변형을 수반하지 않고 큰 하중에 의한 불안정한 파괴가 일어났음을 확인할 수 있다. 반면 (b)에서는 B, C와 같이 섬유-기재 경계면 또는 기재에서 소재가 흐른 듯하거나 끌려 올라온 듯한 형태의 파단면을 관찰할 수 있다. 이는 유리섬유의 끝단에서 국부적인 응력집중에 기인하는 미소 크레이징(micro crazing)과 국부변형에 의하여 나타나는 것이다. (d)는 (b)와 반대의 영역을 촬영한 이미지로 (a)의 단일인장하중에 의한 파단면과 유사하게 단시간의 불안정한 파괴에 의하여 분리된 A와 같은 파면을 찾을 수 있다. (c)는 (b)와 (d)의 중간 영역으로 각 영역의 특징이 혼합된 파면을 볼 수 있다. 상기의 SEM 이미지를 분석한 결과, (b)의 영역이 피로균열의 발생영역에 해당되며, (d)의 영역이 최종 파단된 영역으로 구분할 수 있다.

본 절에서는 피로파단면을 촬영한 SEM 이미지를 이용하여 피로균열의 발생 및 최종파단 영역에서 나타나는 파면의 특징을 확인할 수 있었으며, 이를 통하여 장섬유 보강 소재의 피로파괴 과정 및 기구에 대하여 파악할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 FEM Carrier-용으로 적용되는 장섬유 보강 폴리프로필렌(PP-LFT)에 대하여 여러 응력비에서 얻은 응력-수명(S-N) 선도로부터 산출한 피로 강도 계수 및 지수를 이용하여 응력비 변화에 따른 응력 수준과 피로수명의 관계를 파악하였다. 동일한 응력진폭으로 평균응력을 변화시킨 응력비 변화의 결과는 최대하중을 고정시킨 결과보다 피로수명의 변화가 응력비 증가에 따라 2~6% 정도 크게 나타났다.

그리고 장섬유 보강 소재의 피로파괴 과정 및 기구에 대하여 파악하고자 SEM 이미지를 이용한 파단면의 분

석을 수행하여, 피로균열의 발생 및 최종파단 영역에 대한 파단면의 특징을 확인하였다.

References

- [1] Pádraig Naughton, Jan Röttger and Bill Bowser, "A New Approach to Hybrid Front-End Systems," SAE 2002-01-1229, 2002.
- [2] Takahiro Tochioka, Chikashi Kawamoto, Masanori Ogawa and Kenichiro Sugimoto, "Development of Module Carriers by Injection Molding with Long Glass-Fiber Reinforced Polypropylene," SAE 2003-01-0791, 2003.
- [3] Engelbert Meurer, "Plastic/Metal Hybrid Technology in Automotive Front Ends," SAE 1999-01-3243, 1999.
- [4] V. Bellenger, A. Tcharkhtchi, and Ph. Castaing, "Thermal and Mechanical Fatigue of a PA66/Glass Fibers Composite Material," International Journal of Fatigue, Vol. 28, pp. 1348-1352, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2006.02.031>
- [5] K. Noda, A. Takahara, T. Kajiyama, "Fatigue failure mechanisms of short glass-fiber reinforced nylon 66 based on nonlinear dynamic viscoelastic measurement," Polymer, Vol. 42, pp. 5803-5811, 2001.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00897-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00897-1)
- [6] P. K. Mallick, Yuanxin Zhou, "Effect of mean stress on the stress-controlled fatigue of a short E-glass fiber reinforced polyamide-6,6," International Journal of Fatigue, Vol. 26, pp. 941-946, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2004.02.003>
- [7] Ho-Young You, Sihwan Park, "Warping analysis of a Door Carrier Plate in the injection molding Considering the characteristics of LFT," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 14, pp. 3625-3630, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.8.3625>
- [8] T. P. Skourlis, K. Pochiraju, C. Chassapis and S. Manoochchri, "Structure-modulus relationships for injection-molded long fiber-reinforced polyphthalamides," Composites Part B, Vol. 29B, pp. 309-320, 1998.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1359-8368\(97\)00011-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1359-8368(97)00011-5)
- [9] S. D. Bartus, U. K. Vaidya, "Performance of long fiber reinforced thermoplastics subjected to transverse intermediate velocity blunt object impact," Composite Structure, Vol. 67, pp. 263-277, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2004.07.023>
- [10] Seung-Hyun Lim, Kang-II Jeon, Young-Gon Son,

Dong-Hak Kim, "Estimation of viscosity of by comparing the simulated pressure profile from CAE analysis with the Long Fiber Thermoplastic(LFT) measuring cavity pressure," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 12, pp. 1982-1987, 2011.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.4.1982>

[11] B. He, H. Liu, J. Leng, B. Yang, X. Chen, J. Fu, Q. Fu, "Mechanical properties of long glass fiber-reinforced polypropylene composites and their influence factors," Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 30, pp. 222-228, 2011.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0731684410391513>

[12] B. Yang, J. Leng, B. He, H. Liu, Y. Zhang, Z. Duan, "Influence of fiber length and compatibilizer on mechanical properties of long glass fiber reinforced polyamide 6,6," Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 31, pp. 263-277, 2012.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0731684412454199>

문 중 신(Jong-Sin Moon)

[정회원]



- 1990년 2월 : 서울대학교 기계설계과 (공학사)
- 1992년 2월 : 서울대학교 공과대학원 기계설계학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 공과대학원 기계설계학과 (공학박사)
- 2002년 5월 ~ 2014년 2월 : LG화학 부장

- 2014년 2월 ~ 현재 : LG전자 수석연구원

<관심분야>

사출성형, 컴퓨터응용설계