

자동차용 파킹 락 기어의 내구시험과 시험 지그 개발

문현식¹, 박성영^{2*}

¹공주대학교 일반대학원 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

Durability Test and Test Jig Development of an Automotive Parking Lock Gear

Hyun-Sik Mun¹, Sung-Young Park^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University

²Div. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요 약 일반적으로 변속기 전체에 대한 내구시험을 통하여 파킹 락 기어의 내구성을 평가한다. 파킹 락 기어 부품 하나의 내구시험에 대한 시험 기준은 부재한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 파킹 락 기어의 내구시험 기준을 자체적으로 설정하여, 내구 성능시험을 수행하였다. 파킹 락 기어의 항복응력을 구하기 위해 정적 파단 시험을 수행하였고, 항복응력의 60%를 내구 시험 조건으로 설정하였다. 설정된 시험조건으로 100만회의 반복내구 성능시험을 수행하였다. 또한, 내구 성능시험을 수행하기 위하여, 전용 지그를 제작하였다. 제작된 지그가 정적 파단시험에서 파손되어, 파손된 지그에 대한 유한요소해석을 수행하고 설계를 변경하였다. 수정한 지그를 제작하여 자체적으로 설정한 시험기준으로 내구 성능시험을 수행한 결과, 파킹 락 기어는 본 조건에 충족하였다. 본 연구에서 수행된 시험과 해석을 통하여 파킹 락 기어의 성능 및 내구 한계에 대한 기초 데이터를 확보하였고, 이러한 기초 데이터는 파킹 락 기어의 설계와 개발에 중요한 기초 자료로 활용될 것으로 사료된다.

Abstract Generally, the durability of the parking lock gear is evaluated through an endurance test for the entire transmission but no test standard exists for the durability test of one part of a parking lock gear. Therefore, in this study, the durability test standards of the parking lock gear were determined autonomously, and the durability performance test was conducted. A static fracture test was carried out to determine the yield strength of the parking lock gear, and a durability test condition was set to 60 % of the yield strength. The durability test of 1,000,000 times was conducted under the given conditions using a dedicated test jig manufactured for the test. Because the jig fractured during the static fracture test, finite element analysis for the jig was carried out and the jig was re-designed. The modified jig was manufactured and the durability test was carried out based on the test standard of autonomously. The basic data on the performance and endurance limit of the parking lock gear were obtained using these tests and analyses, and the basic data will be used as fundamental materials for the design and the development of the parking lock gear.

Keywords : Durability test, Finite element analysis, Lock pawl, Parking lock gear, Yield strength

1. 서론

21세기에 들어서면서 자동차 산업을 중심으로 기술과 기계부품들이 고기능화 되고 복잡해지는 추세로 발전되고 있다. 자동차부품의 중요 생산공정인 단조 성형에서도, 강도를 향상시키고 가공량을 최소화하기 위하여 열

간 단조와 냉간 단조 공정이 발달되어지고 있다. 뿐만 아니라, 자동차 산업에서는 내구성과 고강도 뿐 아니라 고정밀 부품을 요구하고 있다. 그러나 이러한 고정밀 제품은 직접 제품을 가공하여 생산하기는 매우 어렵기 때문에, 경쟁력 확보를 위하여 최근에는 일체화 성형 기법이 주목받고 있다[1,2].

*Corresponding Author : Sung-Young Park(Kongju Univ.)

Tel: +82-41-521-9275 email: sungyoung@kongju.ac.kr

Received March 20, 2018

Revised April 30, 2018

Accepted June 1, 2018

Published June 30, 2018

자동차 내구 수명에 대한 소비자의 요구 증대로 인하여, 자동차 파워트레인 핵심 부품의 내구성과 안정성에 대한 개발요구가 증대되고 있다. 따라서 차량 내구 성능 평가는 절대적으로 필요한 사항이 되고 있다. 차량에는 다양한 진동과 응력이 작용하기 때문에, 이에 대한 피로 수명을 예측하는 기술이 반드시 필요하다. 자동차 부품의 내구 성능 평가 방법으로는 해석적 평가방법과 시험적 평가방법이 있다. 시험적 방법으로는 대상 부품을 차량에 직접 장착하여 내구 시험로에서 내구성능을 평가하는 방법과 내구시험기를 이용하여 가속 내구시험을 수행하는 방법이 있다. 해석적 평가 방법은 자동차 부품에 작용하는 하중과 물성치를 바탕으로 피로해석을 수행하는 방법이다[3-6].

자동차 부품의 내구성에 대한 연구는 제품의 설계 단계에서부터 고려되며 이 때 각 부품에 대한 내구성 평가도 중요하다. 자동차 부품들의 구조적인 내구성 평가 시 사용되는 주요 시험항목 중 하나가 내구 시험이다. 내구 시험은 자동차의 개발 단계에서 실차에 장착하기 전에 부품의 구조적인 안정성을 평가 할 수 있는 방법중의 하나로서 필수적인 항목이며, 내구 시험을 통하여 부품의 항복 강도, 피로 수명 등을 평가 할 수 있다. 내구 시험을 안정적으로 수행하기 위해서는 부품을 실차와 동일한 조건으로 시험기에 고정 할 수 있는 Jig가 필요하다[7].

본 연구에서 사용된 파킹 락 기어는 자동 변속기 차량의 주차 시 변속기 출력축을 고정하는 기어이다. Fig. 1은 파킹 락 기어의 부품명칭과 파킹 락 기어 시제품을 보여주고 있다. 주차 시 변속 레버를 P 레인지로 이동하면, 링크 기구에 의해 파킹 락 폴이 파킹 락 기어에 물려 출력축이 고정된다.

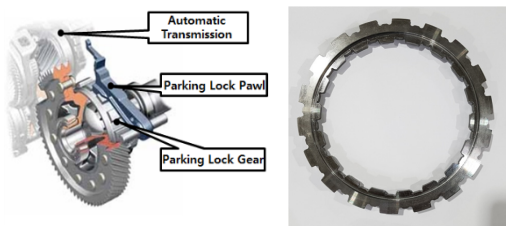


Fig. 1. Parking lock gear structure

일반적으로 변속기 전체에 대한 내구성 시험은 시험 표준이 존재하지만, 파킹 락 기어의 내구성 시험에 대한 표준은 부재하다[8]. 따라서 본 연구에서는 파킹 락 기어의 시험 지그를 제작하고, 자체적인 시험 기준을 설정하여 내구시험을 수행하고자 하였다.

2. 정적 파단 시험

2.1 시험방법 및 지그제작

내구성 시험에 필요한 지그의 설계는 상용 소프트웨어인 CATIA를 이용하였다. Fig. 2는 설계된 지그의 구성을 보여주고 있다. 지그는 시험기 장착용 플랜지와 파킹 락 기어 고정용 부품으로 구성되어 있다. 시험기의 액추에이터와 토크 셀 측의 플랜지, 파킹 락 기어의 내측 치형 고정부품 및 락킹 폴의 외부 치형부를 설계 및 제작하였다. 지그 소재는 기어와 유사물성인 SKH-55 소재로 제작하였다.

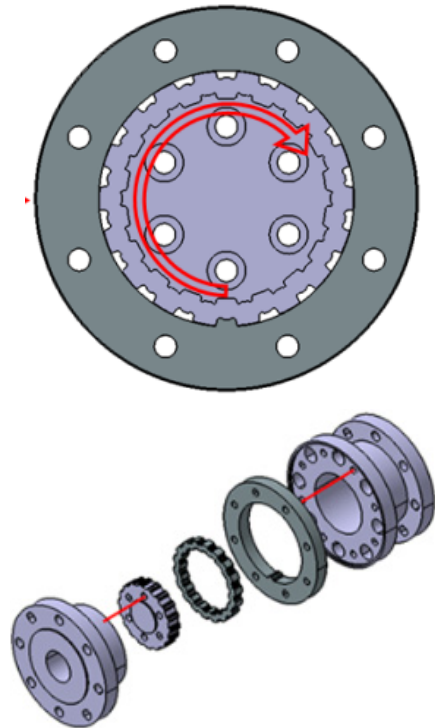


Fig. 2. Durability test jig

Fig. 3은 제작된 지그와 토션 바 비틀림 시험기에 장착된 지그를 보여주고 있다. 본 연구에서 사용된 내구성 시험기는 인증기관의 토션 바 비틀림 시험기이다. 시험기는 유압을 이용한 액추에이터와 비틀림에 의해서 발생하는 토크를 측정하기 위한 토크 셀로 구성된다. 시험기의 최대 동적토크는 11000 N·m이며, 동적/정적 회전각은 90/100 deg 이상 가능하다.

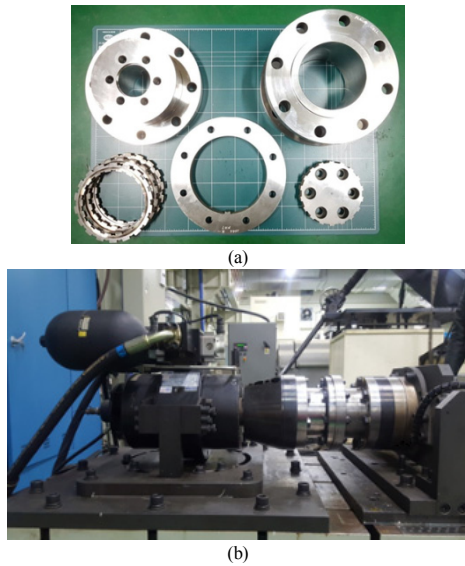


Fig. 3. Torsion bar torque tester
(a) Manufactured jig (b) Tester with assembled jig

2.2 정적 파단 시험

Fig. 4는 정적 파단 시험 결과를 나타낸 것이다. 시험 결과 6,272 N·m에서 지그의 락 폴에서 파단이 발생하였다. 그래프의 형상이 직선에서 곡선으로 변하는 구간에서 소성이 일어남을 알 수 있고, 1,000 N·m을 항복점이 라고 판단하였다.

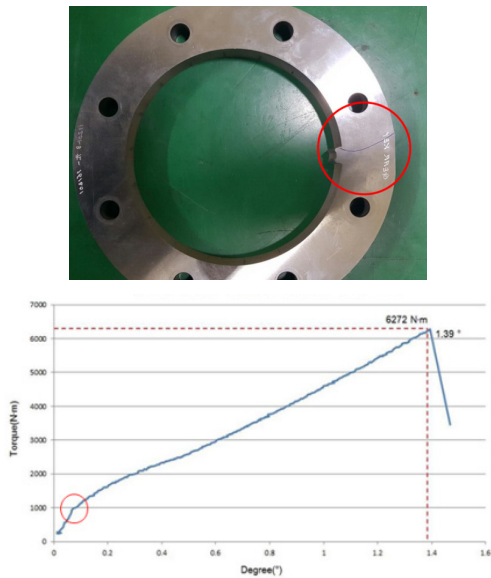


Fig. 4. Static fracture test result

3. 유한요소해석

3.1 설계 변경 및 해석 조건

정적 파단 시험결과 파킹 락 기어가 아닌 시험 지그의 파단이 일어남에 따라, 설비 최대 하중의 조건에서 피로 시험이 불가능함을 판단하였다. 파손된 지그의 설계 변경을 위하여 유한요소해석을 진행하고, 지그 파단의 원인을 분석하였다. 분석 결과, 파킹 락 기어의 모서리 반지름은 1 mm와 2 mm임에 비하여 락 폴 하부의 반지름은 0.1 mm로, Fig. 5에서 락 폴 하부에 응력이 집중되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 3가지 해석 모델을 설계하였다(see Fig. 6). R0.1, R0.8, 그리고 R2.5 모델은 각각 락 폴 하부의 곡률 반경이 0.1mm, 0.8mm, 2.5mm를 의미한다.

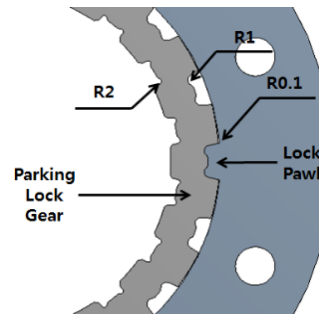


Fig. 5. Radius of curvature

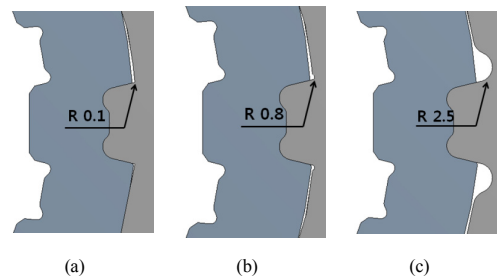


Fig. 6. Simulation models
(a) R0.1 model, (b) R0.8 model, (c) R2.5 model

락 폴 지그의 강도 확인을 위하여 유한요소해석을 진행하였다. 해석은 상용 소프트웨어인 ANSYS를 사용하였고, 해석 전처리 조건은 6면체 요소를 주었고, 기본 크기는 2 mm로 설정하였으나 모서리부분은 정확한 해석

을 위해 0.03 mm로 설정하였다. 총 계산 격자수는 52만 개이다. 해석조건으로는 기어의 내부를 고정시키고, 토크 값은 정적 파단 시험에서 지그의 파단이 일어났던 6,272 N·m를 부여하였으며, 시험 지그는 평면 수직 방향으로만 고정하였다. 소재의 물성은 SM38c를 적용하였다. Fig. 7은 해석용 격자와 해석 전처리 조건을 보여주고 있다.

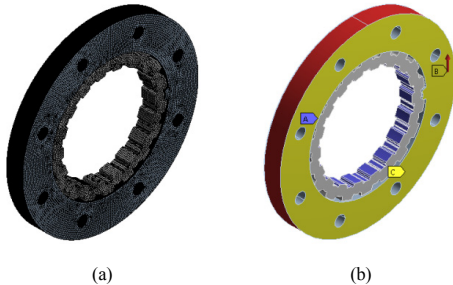


Fig. 7. Analysis preprocessing
(a)Computational mesh (b)Boundary condition

3.2 해석 결과

해석 결과 최고 등가응력은 4,731 MPa로, 지그와 기어 간의 선 접촉으로 인해 비현실적인 과도 응력이 발생하고, 취성파괴 양상을 보이므로 관찰 응력을 등가응력이 아닌 1차 주응력으로 관찰하였다. 해석결과는 락 폴의 하부(기어와 락 폴의 접촉부분 하부), 파킹 락 기어와 락 폴의 접촉부분, 파킹 락 기어의 모서리부분 세 영역을 중점적으로 관찰하였다.

Fig. 8은 해석된 3가지 모델의 1차 주응력 결과를 보여주고 있다. Fig. 8 (a)는 초기모델(R0.1)의 1차 주응력 분포를 보여주고 있다. 1차 주응력으로 관찰한 결과 최대 인장응력이 파킹 락 기어의 모서리 부분이 아닌 락 폴 하부에서 발생하였다. 락 폴의 응력분포는 접촉부분 하부에서 평균 2,300 ~ 2,400 MPa의 분포를 나타내며 파킹 락 기어와 락 폴의 접촉부분에서 1,500 MPa, 파킹 락 기어의 모서리부분은 1,600 MPa의 응력이 평균적으로 나타났다. 해석결과 최대 인장응력이 락 폴 하부에서 발생하였다. 락 폴의 하부에서 응력이 가장 높게 나타남으로, R0.1 모델은 지그의 파단이 일어난다고 판단하였다.

Fig. 8 (b)는 R0.8 모델의 1차 주응력 분포를 보여주고 있다. R0.8 모델 또한 초기모델과 동일하게 최대 인장응력이 파킹 락 기어의 모서리부분이 아닌 락 폴의 하부에서 발생하였다. 응력분포를 살펴보면, 파킹 락 기어와 락 폴의 접촉부분 하부에서의 평균적인 응력분포는

2,100 MPa, 파킹 락 기어와 락 폴의 접촉부분은 1,500 MPa의 분포를 보이며, 파킹 락 기어의 모서리부분의 응력은 평균 1,600 MPa로 나타났다. 응력분포 특성을 분석한 결과, 락 폴의 하부에서 응력이 가장 높게 나타남으로, R0.8 모델 역시 지그의 파단이 일어난다고 판단하였다.

Fig. 8 (c)는 R2.5 모델의 1차 주응력 분포를 나타낸 것이다. R2.5 모델에서는, 앞 두 모델과 다른 응력분포 양상을 보였다. 기존 두 모델의 응력분포는 최대 인장응력이 파킹 락 기어의 모서리부분이 아닌 파킹 락 기어와 락 폴의 접촉부분 하부에서 발생했던 반면에, R2.5 모델에서는 최대 인장응력이 파킹 락 기어의 모서리부분에서 발생하였다. 전체적인 응력분포를 살펴보면 파킹 락 기어와 락 폴의 접촉부분의 하부에서는 1,100 MPa, 파킹 락 기어와 락 폴의 접촉부분에서는 1,000 MPa의 응력이 평균적으로 나타났고, 파킹 락 기어 모서리부분에서는 1,700 MPa의 응력이 평균적으로 나타났다. 따라서 R2.5 모델에서는 파킹 락 기어의 파단이 이뤄진다고 판단하였다.

Table 1은 각 모델별 평균 응력분포도를 보여주고 있다. 해석 결과를 반영하여, 락 폴 하부의 곡률반경을 2.5 mm로 설계 변경하고 제작하였다.

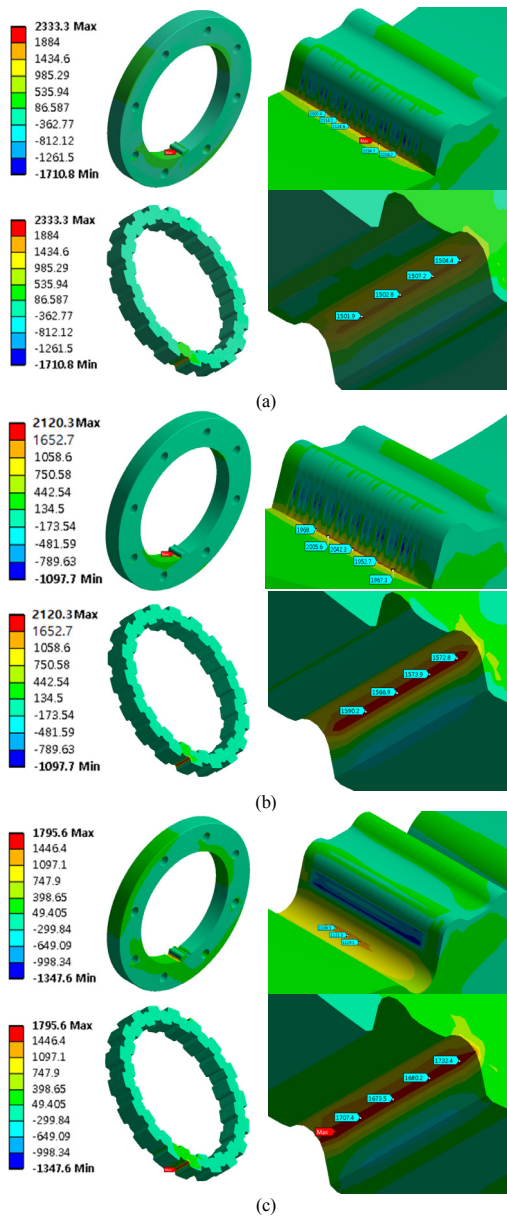


Fig. 8. Computational results (Maximum principal stress) (a)R0.1 model (b)R0.8 model (c)R2.5 model

Table 1. Mean stress distribution (Unit : MPa)

Location	R0.1 model	R0.8 model	R2.5 model
Lower edge of the lock pawl	2,400	2,100	1,000
Gear tooth contact location of the lock pawl	1,500	1,500	1,100
Lower edge of the gear tooth	1,600	1,600	1,700

4. 내구성 시험

4.1 시험조건

파킹 락 기어 항복응력의 60%인 600 N·m을 기준으로, 시험조건은 3 Hz 정현파, 550 ~ 600 N·m, 1,000,000 회 반복을 설정하였다. Fig. 9는 체결이 완료된 내구성 평가용 지그를 보여주고 있다.

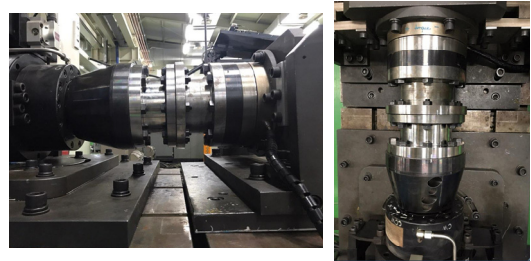


Fig. 9. Parking lock gear durability test

4.2 시험결과

Fig. 10은 내구성 시험 전/후의 파킹 락 기어 사진을 보여주고 있다. 시험 후에도 파손 및 균열은 발견되지 않았다.

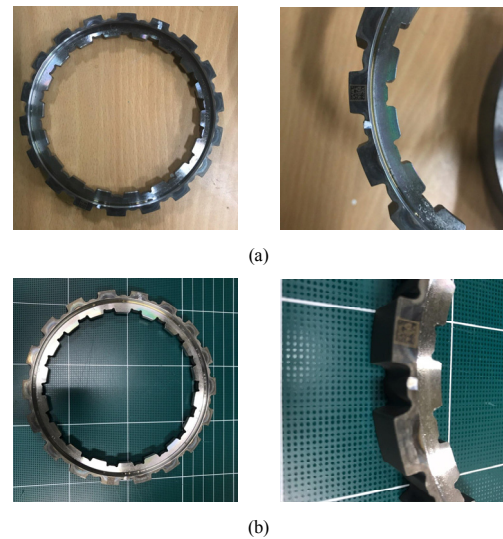


Fig. 10. Parking lock gear (a)Before (b)After

5. 결론

본 연구에서는 일체형 파킹 락 기어 개발에 따른 제품의 내구성을 확인하기 위해 해석 및 시험을 진행하였다. 해석 및 시험을 통한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 파킹 락 기어의 내구성 시험을 위한 지그를 설계 및 제작하였으며, 파킹 락 기어의 항복응력을 구하기 위하여 정적 파단 시험을 진행하였다. 정적파단 시험결과, 6,272 N·m의 토크에서 시험지그가 파손되었다. 약 1,000 N·m의 토크에서 기어의 소성이 일어남을 확인하였고, 기어의 항복점이라 판단하였다.
2. 유한요소해석을 통하여, 시험지그의 파단 원인을 분석하였다. 분석결과를 기준으로 지그의 설계를 변경하고, 개선된 지그를 제작하였다.
3. 개선된 지그를 적용하여, 1,000,000회 내구성 시험을 수행하였다. 내구성 시험은 600 N·m, 3 Hz 정현파, 1,000,000회 작동으로 수행하였으며, 그 결과 파킹 락 기어는 내구시험을 충족하였다.

본 시험을 통하여 파킹 락 기어의 성능 및 내구 한계에 대한 기초 데이터를 확보하였고, 이러한 데이터는 파킹 락 기어의 설계와 신규 개발에 중요한 기초자료로 활용될 것으로 사료된다.

References

- [1] D. J. Kim, "Optimization of Parking and Driven Gear using Combined Forging Process Design using Taguchi Method," Kongju National University, 2006.
- [2] W. H. Ju, K. P. Wen, K. H. Choi, H. S. Moon, S. Y. Park, "Complex Forging Processes Development of Parking Gear," *KSAE Spring Conference*, pp. 446-448, 2016.
- [3] G. H. Kim, W. J. Kang, D. S. Kim, W. H. Ko, J. Y. Lim, "The Effect of the Flexible Bodies in the Analysis of Virtual Testing Laboratory," *KSAE Fall Conference*, pp. 921-925, 2005.
- [4] B. K. Cho, J. H. Ha, "Analysis of Durability of Vehicle Chassis Part in Virtual Test Lab.," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, vol. 37, pp. 747-752, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2013.37.6.747>
- [5] M. S. Kim, D. W. Park, S. J. Park, W. S. Yoo, "Durability Analysis Techniques of Vehicle Components," *KSAE Spring Conference*, pp. 816-821, 2004.
- [6] H. Y. Ko, G. J. Choi, "Durability Performance Evaluation of an Aluminum Knuckle using Virtual Testing Method," *Transactions of KSAE*, vol. 18, no. 1, pp. 44-50, 2010.
- [7] H. J. Park, D. M. Park, D. S. Kim, C. H. Shon, "Estimate Structure Safety about Jig for Vibration Endurance Test of Intake Manifold Using Finite Element Method," *KSAE Fall Conference*, pp. 1036-1040, 2004.
- [8] H. S. Moon, W. H. Ju, S. Y. Park, "Structural Analysis for Durability Test of Parking Gear," *KSAE Spring Conference*, pp. 476-478, 2017.

문 현 식(Hyun-Sik Mun)

[준회원]



- 2018년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 (공학사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 석사과정

<관심분야>

열유체 해석, 내연기관 성능개발

박 성 영(Sung-Young Park)

[정회원]



- 1993년 2월 : 충남대학교 기계공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 충남대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2002년 5월 : Texas A&M Univ. 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부, 정교수

<관심분야>

열유체 해석, 내연기관 성능개발