

차량용 시트 리클라이너 기어의 동적 해석

김성육*, 이정빈*, 김기선**.#

*공주대학교 일반대학원 기계공학과, **공주대학교 기계자동차공학부

A Study on the Dynamic Analysis of Recliner Gear for Vehicle Power Seats

Sung-Yuk Kim*, Jung-Bin Lee*, Key-Sun Kim**.#

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

**Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University.

(Received 5 September 2017; received in revised form 27 September 2017; accepted 21 October 2017)

ABSTRACT

This study analyzed the load change of the gear generated by the operation of the vehicle recliner through Finite Element Analysis. The basic model of the recliner used was a commercial product, and the effect of the seat frame was excluded. The load conditions applied to the recliner were set considering gravity, the mass of the seat's back frame, and the weight of a person. The operating mode was set to move the seat back from the vertical to the reclined position. As a result, it was found that the tooth bending amount of the gear rim and wheel increased from the cam rotation angle of 450 degrees, and a change in the contact ratio occurred. Furthermore, excessive torque fluctuations occurred in the ranges of 390 to 450 and 750 to 710 degrees. It was found that this occurred in the region of about 30 degrees before and after the point where the x-axis direction load is larger than the y-direction load. From this torque fluctuation it was determined to likely to cause chattering noise.

Key Words : Power Seat(파워 시트), Recliner(리클라이너), Gear(기어), Contact Ratio(몰림률), Dynamics(동역학)

1. 서 론

최근 자동차용 시트는 탑승자의 안전은 물론 다양한 편의 기능을 제공하는 파워시트가 점차 보편화되고 있다^[1]. 파워시트의 편의 기능은 대부분 전동을 이용한 구동 메커니즘을 가지며, 시트 어저스터(Seat adjuster), 리클라이너(Recliner), 틸트(Tilt), 헤드레스트(Headrest), 럼버 서포트(Lumbar support) 등과 같이 좌석의 위치와 자세를 조절해주는 기능을

수행하게 된다. 그러나 이와 같은 다양한 구동 메커니즘으로 인해 과거 매뉴얼 시트에서 발생하지 않았던 작동 소음과 진동에 대한 필드 클레임이 매년 증가하는 추세이다^[2]. 이를 개선하기 위해, 초기 설계 단계에서부터 CAE(Computer-Aided Engineering)를 적극 활용하여 시트의 구조와 구동 메커니즘에 대한 정적 및 동적 시스템 분석을 수행하고 있다^[3]. 리클라이너는 시트의 백 프레임 각도를 조절하는 핵심 부품이며, 일반적으로 DC 모터, 기어 휠(Gear wheel), 기어 림(Gear rim), 캠(Cam), 로드(Rod), 웻지(Wedge), 드라이 부시(Dry bush), 스프링(Spring), 커버(Cover), 하우징(housing)과 같은 부품으로

Corresponding Author : keysun@kongju.ac.kr

Tel: +82-41-521-9272

구성된다. 리클라이너의 작동 소음은 주로 300~800 Hz의 주파수 영역에서 발생하며, 대부분의 소음은 모터, 기어, 마찰, 그리고 채터링(Chattering)이다^[4]. 그 중에서 모터는 가장 큰 소음을 발생시키는 부품이며, 이는 모터에 가해지는 부하량의 변동으로부터 야기된다. 이러한 부하량의 변동은 기어 휠과 림의 편심 회전으로부터 발생하는 토크의 변동이 주요 원인이다. 이로 인해 이상 진동이 발생할 경우 채터링 소음까지 유발하게 된다. 따라서 본 연구에서는 차량용 파워 리클라이너 기어에 대한 동적 해석을 실시하여 주기적인 하중 변화 및 불안정한 하중 변화에 대한 분석을 실시하였다. 우선 해석에 사용된 리클라이너의 기본 모델은 상용품을 적용하였으며, 시트 쿠션 프레임에 대한 영향은 제외하였다. 그리고 리클라이너에 가해지는 부하는 중력, 시트 백 프레임 질량, 그리고 사람의 무게를 고려하였다. 작동 모드는 시트 백이 수직인 상태에서 뒤로 젖혀지는 움직임으로 설정하였다. 이를 통해 차량용 시트 리클라이너의 작동 시 발생하는 저주파 소음과 불안정한 소음의 원인을 파악하였다.

2. 본 론

2.1 리클라이너의 구동 메커니즘

Fig. 1과 같이 차량용 파워 리클라이너는 캠, 웨지, 드라이 부쉬, 기어 휠, 기어 림, 그 외에 이들을 감싸고 있는 커버와 하우징, 마지막으로 모터의 동력을 전달하는 로드로 구성된다. 캠은 기어 림의 중심부에 위치한 버(burr)의 동심원상에 결합되어 있으며 드라이 부쉬는 기어 휠 중심부에 결합되어 있다. 기어 림과 기어 휠은 기어 잇수가 각각 37개, 36개이며, 기어 림은 시트 쿠션 플레이트에 고정된다. 기어 휠은 시트 백 프레임에 고정되어 있으며 기어 림의 내부에서 편심으로 회전 운동을 하게 된다. 기어 휠의 회전을 위한 동력은 DC 모터로부터 발생하며, 이 회전력은 로드를 통해 캠에 전달되어 캠과 접촉된 웨지가 부쉬의 내부 표면을 따라서 회전을 하게 된다. 즉, 웨지가 기어 림과 휠 사이에 공간을 확보함으로써 기어 휠이 편심운동을 하고, 이와 결합된 백 프레임이 상하로 움직이게 된다.

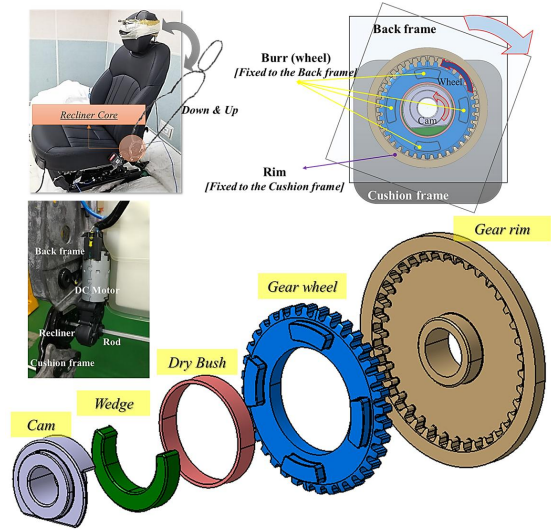


Fig. 1 Components of recliner

실제 파워 시트에서 리클라이너의 DC 모터 회전속도는 약 20rpm, 캠의 1 회전 당 시트 백 프레임이 움직이는 각도는 약 10°이며, 본 연구에서는 시트 백 프레임이 수직상태에서 30°만큼 뒤로 젖혀지는 조건을 적용하였다.

2.2 해석 방법

리클라이너의 작동 해석을 위하여 실제 리클라이너 모델을 3D로 설계하였으며, 상용 프로그램인 Ansys 14.0을 사용하여 동적 해석을 수행하였다. 우선 하중 조건은 Fig. 2와 같이 리클라이너의 상단 200mm지점에 100N의 하중을 적용하였으며, 전체 모델에 중력 조건을 부여하였다. 이는 실제 시트의 백 프레임 무게가 일반적으로 약 70~100N, 사람이 착좌 시 시트 백에 가해지는 하중을 약 100N이라고 가정할 경우, 좌우에 한 개씩 장착되는 리클라이너는 각각 약 100N의 하중 조건을 갖기 때문에 이를 근거로 하중 조건을 적용하였다^[5]. 그리고 하중 위치는 리클라이너 작동 시험에서 백 프레임에 하중 조건을 주는 위치를 고려하여 적용한 것이다. 구속조건은 기어 림의 경우 완전 고정이며, 캠은 기어 림의 중심축인 z축 방향으로의 회전을 제외한

나머지 자유도를 구속하였다. 캠의 회전 속도는 20rpm을 적용하였으며, 기어 휠의 총 회전 각도가 1,080°까지 회전하도록 설정하였다. 즉, 시트 백 프레임이 수직 상태에서 30° 하강하는 조건을 구현하였다. 접촉 조건은 Penalty method를 이용하였으며 Coulomb 마찰계수 0.15를 적용하였다^[6].

해석에 사용된 요소는 Fig. 3과 같이 Hex/tetra solid 3D 요소를 사용하였으며, 특히 관심 영역인 기어 림과 기어 휠의 치형 접촉 부분은 신뢰도가 높은 결과를 얻을 수 있을 만큼 충분한 양의 요소망을 생성하였다. 각각의 부품에 대한 절점과 요소수는 Table 1에 나타내었다. 재료 물성은 기어 림과 기어 휠에 SCM415, 나머지는 모두 일반 구조용 강을 적용하였으며 Table 2에 작성하였다.

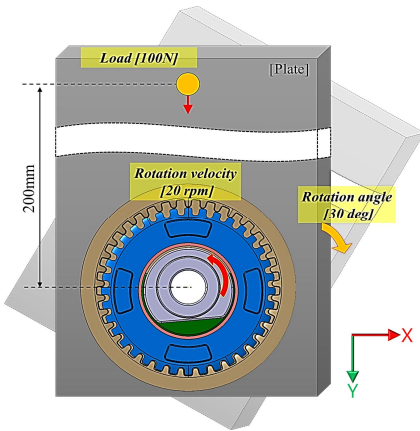


Fig. 2 Boundary condition

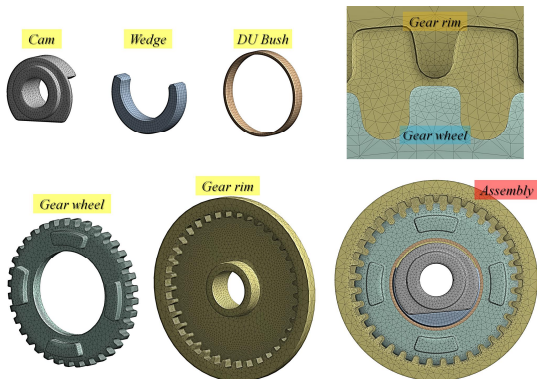


Fig. 3 Finite element model of recliner

Table 1 Number of nodes and elements

Parts	Nodes	Elements
Gear rim	93,719	482,719
Gear wheel	74,697	361,506
Cam	6,058	25,906
Bush	1,140	490
Wedge	2,192	1,554

Table 2 Mechanical properties

Property	Unit	SCM415	Structural steel
Young's modulus	GPa	220	200
Density	kg/m ³	7,850	7,850
Poisson's ratio	-	0.3	0.3
Tensile yield strength	MPa	920	250
Tensile ultimate strength	MPa	1,020	460

2.3 해석 결과 및 고찰

우선 Fig. 4의 토크 그래프를 보면, 0°에서 180°까지의 회전영역에서는 초기 접촉 및 충격에 의한 과도응답이 발생하는 영역으로 파악되었으며, 그 이후부터는 사인과 형태의 안정화된 영역이 나타남을 알 수 있었다. 다음으로 캠은 z축을 기준으로 회전하기 때문에 대부분의 토크는 z축에서 발생하였으며, x축과 y축의 토크는 0에 가까운 것으로 확인되었다. 그러나 저주파 형태의 토크 변동과 390°~450°, 750°~810°영역에서 발생하는 과도한 토크 변동의 원인을 파악하기 위해서는 캠에 작용하는 x, y, z축 방향의 하중에 대한 분석이 필요할 것으로 판단되었다. 따라서 Fig. 5의 그래프를 통해 캠에서 발생하는 각각의 축 방향 하중에 대한 전반적인 분석을 실시하였다. Fig. 5의 하중 그래프를 보면, x축과 y축의 하중이 약 90°의 위상차를 가진 사인과 형태의 변동이 일어남을 알 수 있었다. 그 중 x축 방향의 하중에서 약 450°와 810°의 (+)하중 진폭이 감소하는 경향을 보였으며, 반대로 (-)하중에 해당하는 약 270°, 630°, 990° 부근의 진폭은 점차 증가하는 것으로 나타났다. 450°와 810°의 경우, Fig. 6과 같이 기어 휠이 상승하는 움직임으로, 캠이 웁지를 x축의 (+)방향으로 밀어주는 힘이 작용하는 것으로 파악되었다. 그리고 기어의 물림은 0°~450°까지는 총 4쌍의 치형에 발생하였으며, 그

이후부터는 대부분 2쌍의 치형에서만 물림이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 시트 백 프레임이 하강할수록 초기 물림이 발생하는 2쌍의 치형에서 응력 집중이 점차 증가하게 되고, 이로 인해 치형 굽힘량 또한 증가한 것이 원인으로 파악되었다. 따라서 시트 프레임의 하중과 중력, 그리고 기어 휠의 상승 방향 회전으로 인한 x축의 (+)하중 상쇄 효과와 기어 물림률 감소가 x축의 (+)방향 하중을 감소시키는 원인으로 파악되었다. 이와는 반대로 x축의 (-)하중에 해당하는 270°, 630°, 990°는 기어 휠이 하강하는 움직임이며 시트 백 프레임의 작용 하중, 중력, 그리고 캠의 회전력 방향이 모두 일치함으로써 점차 증가하는 경향을 보이는 것으로 분석되었다. y축 방향의 하중 또한 마찬가지로 x축에서 분석한 것과 동일한 원리이며, 방향만 다르게 나타나는 것으로 판단되었다.

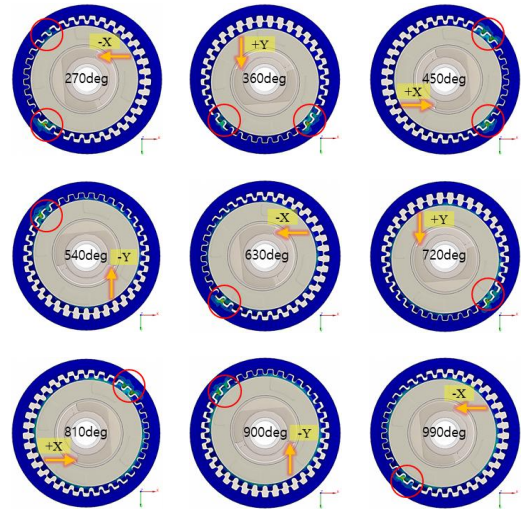


Fig. 6 Change in contact ratio from 270° to 990°

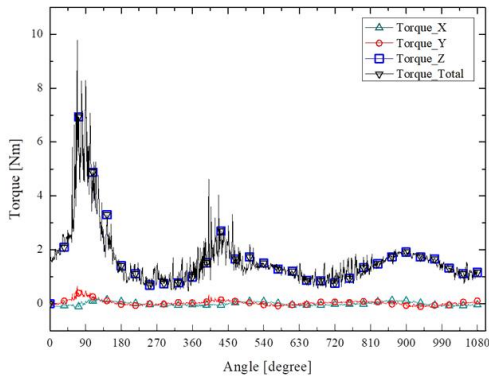


Fig. 4 Torque at the cam

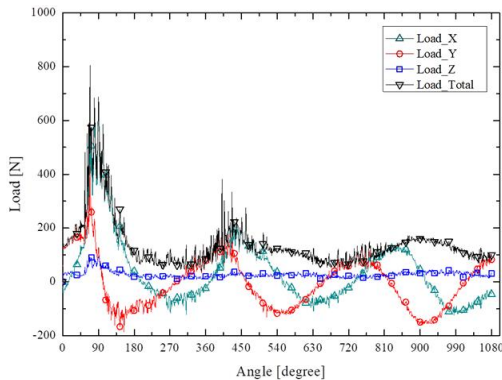
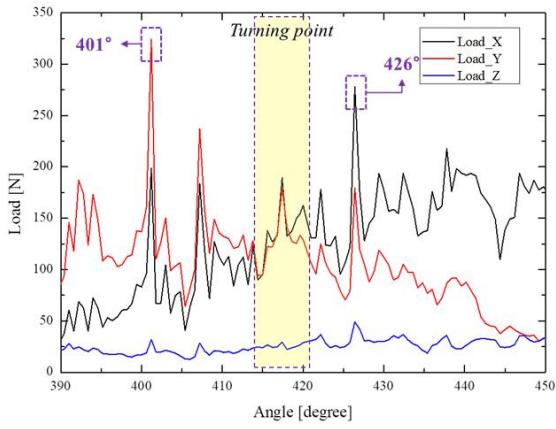
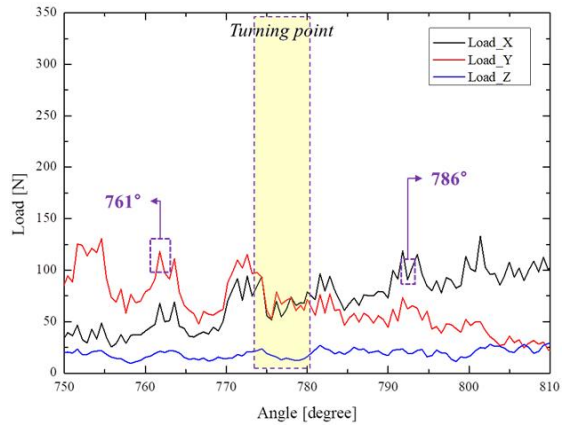


Fig. 5 Load at the cam

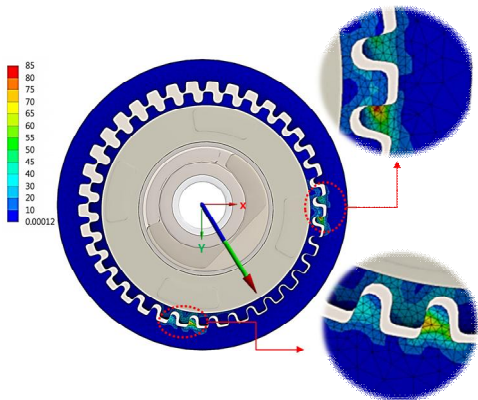
마지막으로 390°~450°영역과 750°~810°영역에서 정상 상태 구간임에도 불구하고 비교적 과도한 하중 변동이 발생하는 것으로 파악되었다. 두 영역은 Fig. 7과 같이 공통적으로 0°를 기준으로 약 30°~90°의 회전 구간임을 알 수 있었다. 이 영역은 기어 휠이 하단부에서 상단부로 이동하는 위치이며, 또한 x축 하중과 y축 하중의 위상차로 인해 서로 교차되는 영역(Turning point)을 포함하는 것으로 파악되었다. 즉, 기어 휠이 상승하는 움직임에서 x축의 하중이 y축의 하중보다 증가하는 구간을 기점으로 전후 약 30° 영역에서 과도한 하중 변동이 발생하는 것으로 파악되었으며, 이와 같은 현상은 Fig. 4의 토크 그래프에서도 동일한 변동이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 결론적으로, 캠의 회전 각도에 따른 전체 토크의 변동은 기어 휠의 편심으로 인해 발생하는 x축과 y축의 부하 변동으로부터 야기되며, 이로 인해 Fig. 8과 같이 실제 작동 소음 중 모터 하모닉 성분에서 저주파 변동 소음이 함께 나타나는 것으로 판단되었다⁷⁾. 또한 부분적으로 발생하는 과도한 토크 변동은 불안정한 진동을 유발할 가능성이 있으며, 이와 같은 불안정 진동이 실제 리클라이너 작동에서 발생할 경우, 채터링 소음으로 이어질 가능성이 매우 클 것으로 판단되었다.



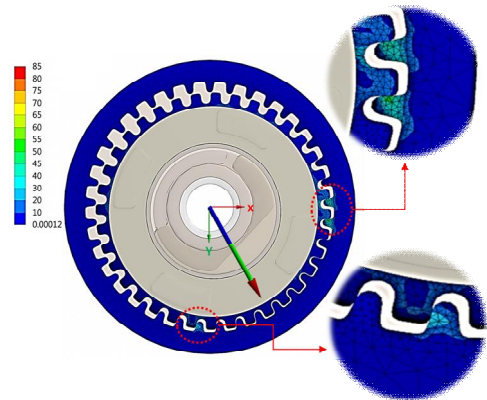
(a) Load data from 390° to 450°



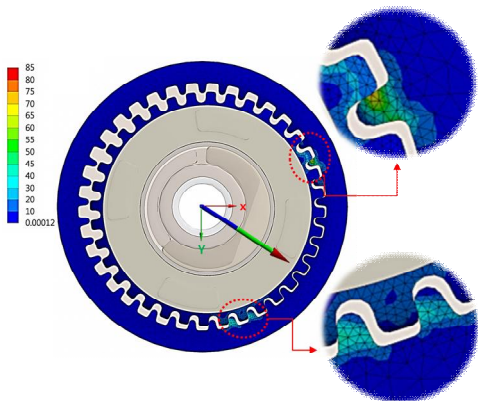
(b) Load data from 750° to 810°



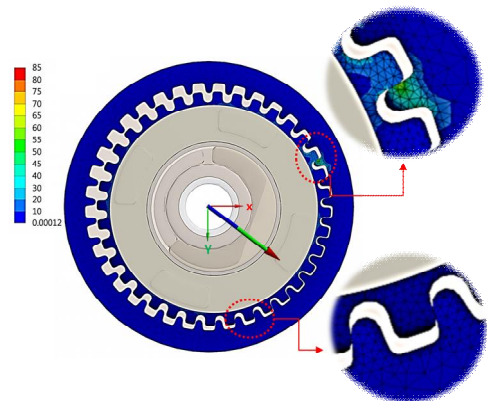
(c) Equivalent stress and load vector at 401°(41°)



(d) Equivalent stress and load vector at 761°(41°)



(e) Equivalent stress and load vector at 426°(66°)



(f) Equivalent stress and load vector at 786°(66°)

Fig. 7 Load graph and gear stress distribution for analysis of partially occurring excessive load change

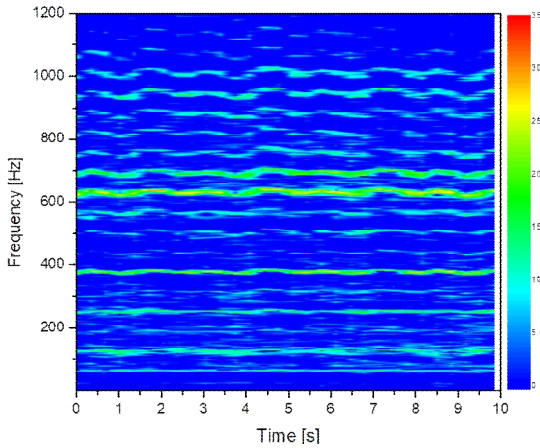


Fig. 8 Operating noise on the recliner

3. 결 론

본 연구는 차량용 파워 리클라이너의 작동 시 발생하는 기어의 부하량 변화에 대한 동적 해석을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 실제 리클라이너에서 발생하는 DC 모터의 하모닉 성분에서는 사인파와 같은 저주파성 소음이 발생한다. 이는 캠에 작용하는 토크가 기어 휠의 편심 운동으로 인해 x, y축 방향의 하중 변동을 야기하고, 또한 시트 백 프레임이 리클라이너를 기준으로 캔틸레버 빔 형태의 굽힘 작용을 받음으로써 전체 토크가 약 450° 주기의 저주파 변동을 일으키는 것이 주 원인으로 판단되었다.
2. 부분적으로 발생하는 캠의 과도한 토크 변동은 불안정한 진동을 유발할 가능성이 있으며, 이로 인해 채터링 소음이 발생할 경우 주기적인 소음 증폭이 발생할 것으로 판단되었다.
3. 리클라이너 메커니즘에 대한 추가적인 연구로 작동 방향과 시트 백 프레임의 작동 각도에 대한 분석, 기어 휠과 림의 치형 변화에 따른 물림률 변화를 분석할 필요가 있으며, 또한 리클라이너의 채터링 소음 판별을 위한 데이터 취득 및 분석 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

“본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지역산업거점기관지원사업(과제번호 R0003576) 으로 수행된 연구결과입니다.”

REFERENCES

1. Kim, S. Y., Jeon, O. H. and Kim, K. S., “A Study on the Abnormal Noise Characteristics for Moving Device of Automotive Power Seat,” International Information Institute(Tokyo), Vol. 20, No. 5(B), pp. 3667-3674, 2017.
2. Kim, S. Y., Jeon, O. H. and Kim, K. S., “A Study on the Experimental Analysis of Noise from Vehicle Power Seat Slide Rail,” International Journal of Control and Automation, Vol. 9, No. 3, pp. 133-142, 2016.
3. Lee, D. J., Park, C. S., Lee, K. T., Kim, S. B and Kim, H. Y., “Evaluation of Static/Dynamic Structural Strength for Automotive Round Recliner,” Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 13, No. 1, pp. 140-146, 2005.
4. Kim, J. M., “Design Study of an Automotive Seat Recliner,” Doctor of Philosophy, Inha University, Republic of Korea, 2016.
5. Worldwide Engineering Standard, “Laboratory Evaluation of Power Seat Sounds” General Motors Worldwide, pp. 1-3, 2011.
6. Choi, J. H., “Experimental and Finite Element Approach for the Design of a High Stiffness Round Recliner,” Master, Kangwon National University, Republic of Korea, 2006.
7. Kim, K. S., Park, B. H., Seo, K. S., “Analysis of Noise/Vibration and Visualization by Driving Parts of Power Seat for Vehicle,” Regional Innovation Center Project Final Report, Ministry of Trade, Industry & Energy, pp. 1-10, 2014.