

윤활제 특성에 따른 시트 리클라이너 부품의 마찰 및 마모 특성

홍석준¹ · 이광희² · 임현우³ · 김재웅⁴ · 이철희^{5*}

¹인하대학교 대학원 건설기계공학과 석사과정생

²인하대학교 대학원 기계공학과 박사과정생

³현대트랜시스(주) 시트구조설계팀 책임연구원

⁴현대트랜시스(주) 시트구조설계팀 연구원

⁵인하대학교 대학원 기계공학과 정교수

The Friction and Wear Characteristics of the Seat Recliner Parts Based on Lubricant Characteristics

Seok-June Hong¹, Kwang-Hee Lee², Hyun-Woo Lim³, Jae-Woong Kim⁴ and Chul-Hee Lee^{5*}

¹Master. Student, Graduate School, Department of Construction Machinery Engineering, Inha University

²Ph.D. Student, Graduate School, Department of Mechanical Engineering, Inha University

³Senior Engineer, Seat Structure Design Team, Hyundai Transys Inc

⁴Engineer, Seat Structure Design Team, Hyundai Transys Inc

⁵Professor, Department of Mechanical Engineering, Inha University

(Received April 10, 2019; Revised May 31, 2019; Accepted June 8, 2019)

Abstract – The driver seat of an automobile is in direct contact with the driver and provides the driver with a safe and comfortable ride. The seat consists of a frame, a rail, and many recliners. In recent years, strength and operating force measurement testing of the recliner have become vital for designing car seats. However, performance evaluation requires expensive testing equipment, numerous seat products, and considerable time. Therefore, the trend is to reduce experimentation through interpretation. This study examines the lubrication of solid lubricant for automotive seat recliners and confirms the friction and wear performance. In this study, the lubrication behavior of solid lubricants for car seat recliners is investigated to ascertain the friction and wear performance and to provide accurate values for the strength analysis. The friction material consists of a pin and a plate made from steel, which is widely used in recliners. The friction and wear under lubrication conditions are measured by a reciprocating friction wear tester. The friction coefficient is obtained according to the load and speed. Based on the obtained results, it is possible to achieve a reduction in the error of the test value and the analysis by providing the friction coefficient and wear of the lubricant. The results can be applied to the analysis of automobile seat design.

Keywords – car seats(자동차 시트), recliner(리클라이너), wear(마모), sliding friction(미끄럼 마찰), friction coefficient(마찰 계수)

Nomenclature

A : Radius of contact area (mm)

F : Normal load (N)

P : Hertzian contact pressure (GPa)

Ra : Roughness average (μm)

*Corresponding author: chulhee@inha.ac.kr
Tel: +82-32-860-7311, Fax: +82-32-873-7311
<http://orcid.org/0000-0003-1095-3713>

© 2019, Korean Tribology Society

1. 서 론

최근 자동차의 시트는 단순한 좌석의 기능을 넘어 안

정성과 안락한 승차감을 제공하는 것뿐만 아니라 NVH (Noise vibration and harshness)의 성능에 대한 요구가 크게 높아지고 있다. 따라서 제품의 수명 및 신뢰성에측에 대한 요구 또한 높아지고 있다. 차량용 시트는 크게 쿠션부와 철제 구조물로 구성되며, 그 중 철제 구조물은 소음저감에 가장 큰 부분을 차지한다. 철제 구조물은 프레임, 레일, 리클라이너, 펌핑디바이스, 등의 제품들로 구성된다[1]. 그 중 리클라이너는 시트 등받이 각도를 조절하는 기능을 하며, 세부 구조는 Fig. 1과 같다. 각도 조절을 위해 락캠(Lock cam)이 회전하며 기어와 맞물려 고정되어 있던 락기어(Lock gear)를 해제하고 맞물려 있던 모바일 플랜지(Mobile flange)를 움직이게 하여 등받이 각도를 조절한다. 기본적인 작동 메커니즘은 부품 사이의 마찰력을 이용하며 마모 특성을 개선하기 위해 윤활 조건에서 대부분 작동하고 있다.

부품 사이의 마찰력은 마찰계수와 밀접한 관계가 있으므로 정확한 마찰계수를 고려하여 부품을 설계하는 것이 무엇보다 중요하다. 작동 환경을 고려하여 다양한 재질 및 윤활제가 사용되고 있으므로 각 부품 사이의 접촉 조건에서 정확한 마찰계수를 확보하여 설계 단계에서 활용하는 것이 필요하다. 또한, 운전자 및 시트 전체의 거동을 해석하는 경우 마찰계수 차이에 의해 상이한 거동이 나타날 수 있다[2]. 정확한 마찰계수가 해석 조건에 적용될 경우 전체적인 거동을 예측함에서 정확도가 향상될 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 자동차 시트 부품 중 하나인 리클라이너 부품의 재질 및 윤활 조건에 따른 마찰계수를 실험을 통해 확보하는 것을 목적으로 한다. 또한, 마모 실험을 통해 윤활 조건에서 리클라이너 부품이 마모에 대한 내구성을 확보할 수 있는지를 확인하였다.

리클라이너의 사용 시 장기간 윤활에 따른 마찰 및 마모 특성을 이해하기 위해 시험조건을 베어링의 안전 수명에 맞춰 조건을 선정하였다.

2. 연구방법 및 내용

2-1. 시편 준비

Fig. 2는 본 실험에서 사용된 핀(Pin)과 플레이트(Plate)로 재질은 자동차 시트의 리클라이너에서 많이 사용되는 재질인 보론강 종류의 두 시편을 사용하였다. Table 1은 시편에 대한 데이터를 표로 나타냈다. 실제 부품의 접촉조건을 고려하여 핀과 플레이트의 접촉압력이 항복 강도를 넘지 않도록 계산하여 마모가 생기지 않도록 제작하였다. 플레이트는 표면의 거칠기에 의한 영향을 최소화하기 위해 평균 조도를 측정하여 표면 거칠기가 큰 차이가 없는 시편을 사용하였다.

2-2. 실험 장비

Fig. 3와 같이 직선 왕복 마찰 시험기 (Reciprocating Friction Wear Tester)로 시험을 진행하였으며, 실험기는 R&B사의 108-RF모델로 모터가 작동되면서 크랭크축의 연동을 통해 핀이 플레이트 위에서 왕복 마찰운동을 하게 된다. 마찰특성을 평가하기 위해 구동축에 하중센서 (Load sensor)를 구성하여 시편이 왕복 마찰 운동함에 따라 발생하는 힘을 측정하여 마찰력으로 사용하였으며 시편 위에 하중을 장착하였고 하중과 마찰력을 이용하여 마찰계수를 측정하였다.

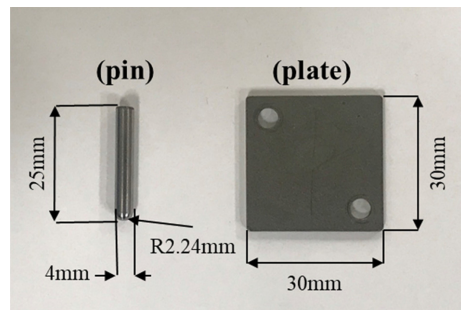


Fig. 2. Test specimen of pin and plate.

Table 1. Material properties of specimen

Properties	Plate	Pin
Material	Boron steel A	Boron steel B
Elastic modulus (E)	200 GPa	200 GPa
Poisson's ratio (ν)	0.3	0.3
Radius of curvature (r)	-	2.24 mm
Tensile strength	1.56 GPa	2.00 GPa
Hardness (kgf/mm^2)	914	875

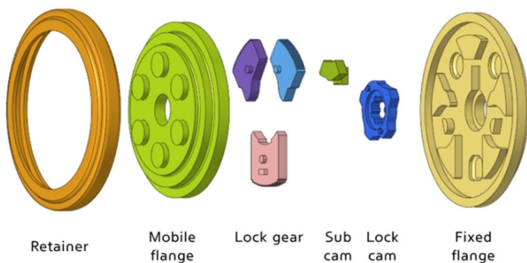


Fig. 1. Assembly of seat recliner.

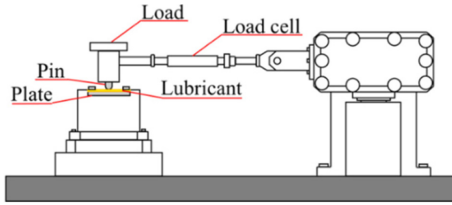


Fig. 3. Schematic diagram of experimental equipment.

시험 전 시편의 표면 조도와 시험이 완료된 후 윤활제에 따른 마모특성을 평가하기 위해 비접촉 표면형상 측정기(3D optical profiler)를 이용하여 표면조도 및 마모 양을 측정하여 관찰하였다.

2.3 실험 조건

마찰 실험에서 윤활 조건은 실제 리클라이너에서 사용되는 고체 윤활제를 이용하였으며, Table 2와 같다. 증주제(Thickener)는 그리스의 유동특성을 나타내는 매우 중요한 성분으로 Lithium증주제는 금속과 지방산을 반응시켜 결합된 비누기 구조를 가졌으며 내열성, 윤활성 등 전반적으로 균형 잡힌 물성을 지녀 증주제의 대부분을 차지하고 있다. Urea 증주제는 그 자체를 증주제로 사용하는 비비누기이며 윤활성, 내열성이 우수하여 장기 내구성이 요구되는 분야에 사용된다. 기유(Base oil)는 고체 윤활제의 80%~90%를 차지하는 윤활의 주체로 Mineral oil은 넓은 온도 범위에서 점도 변화가 적고 Synthetic oil은 낮은 유동성과 내산화성이 우수하며 그리스의 용도는 증주제의 종류에 따라 성질이 결정되며, 기유의 종류, 첨가제의 첨가 유무, 제조 조건에 따라 특성이 다르게 나타난다.

마찰 실험에서 실험 조건은 Table 3과 같다. 핀을 플레이트 표면에 접촉하게 시킨 후 접촉압력에 의해 마모가 일어나지 않도록 하중(Normal load)을 선정하여 1.96N과 4.12N의 힘을 가하였다. 왕복 마찰거리는 10 mm로 왕복 주파수는 0.1 Hz, 0.5 Hz, 1 Hz의 조건에 따라 10분간 시험하여 마찰 안정화 구간에서 마찰계수의 변화를 측정 및 분석하였다.

특히 윤활제에 따른 마모시험에서는 1.96N의 한가지

Table 2. Comparison of properties on each lubricant

	Type A	Type B	Type C	Type D
Thickener	Urea	Lithium	Lithium	Lithium
Base oil	Synthetic	Mineral	Mineral	Synthetic
Density (kg/liter)	0.87	0.74	1.18	1.05

Table 3. Experimental conditions

Normal load (F)	1.96 N, 4.12 N
Hertzian contact pressure (P)	0.97 GPa, 1.24 GPa
Radius of contact area (a)	1.12 mm
Frequency	0.1, 0.5, 1, 10 Hz
Duration time (friction/wear)	10 m/7Hr
Wear test cycle	10 ⁷

하중 조건으로 베어링의 유효수명인 10⁷사이클의 조건을 유효수명을 선정하였다 [3,4]. 마모를 측정하기 위해 왕복주파수 10 Hz의 속도조건으로 7시간 왕복 마찰 운동을 진행하여 윤활 조건에 따라 표면에 생기는 마모트랙을 관찰하고 비교 분석하였다[5-7]. 또한, 실험 시 받는 영향에 따른 오차를 줄이기 위해 각 윤활 조건에 대해 실험 순서를 랜덤하게 정하여 3회 반복실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 윤활제에 따른 마찰 특성

윤활제의 종류에 따라 마찰 특성을 비교하기 위해 비윤활 조건 및 네 종류의 윤활제를 동일하게 시편에 도포한 후 왕복 마찰 시험을 수행하였다.

Fig. 4는 마찰시험의 대표적인 결과를 보여주기 위해 1.96N의 하중에서 1 Hz로 시험 시의 원본 마찰계수 데이터를 그래프로 나타냈다. 시험은 왕복 마찰시험기로 시험하였으며, 왕복운동 시 끝점에서 속도가 0이고 중간 지점에서 최대 속도가 나타나므로 이때의 마찰력을 마찰계수 계산에 사용하였다.

Table 4는 하중 및 속도에 따른 마찰계수를 나타냈다. Table 4에서 보는 것과 같이 Urea 증주제를 사용한 Type A는 Synthetic oil을 사용하였지만, 마찰계수가 0.15에서 0.16사이로 가장 크게 결과 값이 나타났다. Lithium증주제에 Synthetic oil을 사용한 Type D의 마찰계수가 0.12에서 0.11로 Lithium 증주제와 Mineral oil을 사용한 Type B와 Type C보다 마찰계수가 작게 측정되었다. 하지만 같은 Synthetic oil을 기유로 사용한 Type A가 Type B와 Type C보다 마찰계수가 크므로 고체 윤활제의 성질을 결정하는 증주제가 마찰의 영향을 더 주는 것으로 사료된다. 각 윤활제의 마찰계수를 살펴보면 단위면적당 압력이 높지 않고, 유막이 형성되어 표면들이 간헐적으로 접촉하는 혼합 윤활 상태로 약간의 무게의 변화나 속도의 변화에도 마찰계수의 값이 유사하게 나타났다. 따라서 윤활상태에서 마찰계수는 속도 및 낮은 압력의 차이에 대해 크게 영향을 받지 않는다는 것으로 추측된다.

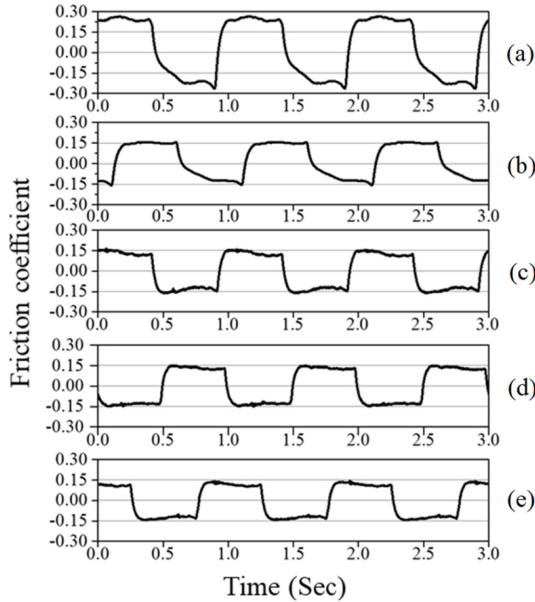


Fig. 4. Friction coefficient according to lubrication condition under load of 1.96N, oscillating frequency of 1Hz; (a) Non-lubrication, (b) Type A, (c) Type B, (d) Type C, (e) Type D.

Table 4. Result of friction coefficient data according to load and speed

Lubricant	Load (N)	Speed		
		0.1Hz	0.5Hz	1Hz
Non-lubricant	1.96	0.32	0.22	0.25
	4.12	0.30	0.22	0.20
Type A	1.96	0.16	0.15	0.15
	4.12	0.16	0.15	0.15
Type B	1.96	0.13	0.14	0.14
	4.12	0.12	0.13	0.13
Type C	1.96	0.12	0.13	0.12
	4.12	0.12	0.13	0.12
Type D	1.96	0.12	0.12	0.12
	4.12	0.11	0.11	0.12

3-2 윤활제에 따른 마모 특성

시편에 사용된 윤활제의 마모특성을 비교하기 위해 10⁷ 사이클로 진행하였으며 오차를 줄이기 위해 3회 반복 시행하였다. 실험 후 정확한 결과 값을 위해 비접촉 표면 형상 측정기를 통해 마모 깊이를 측정하여 비교분석을 하였다. Fig. 5는 시편의 Surface profile을 나타낸 데이

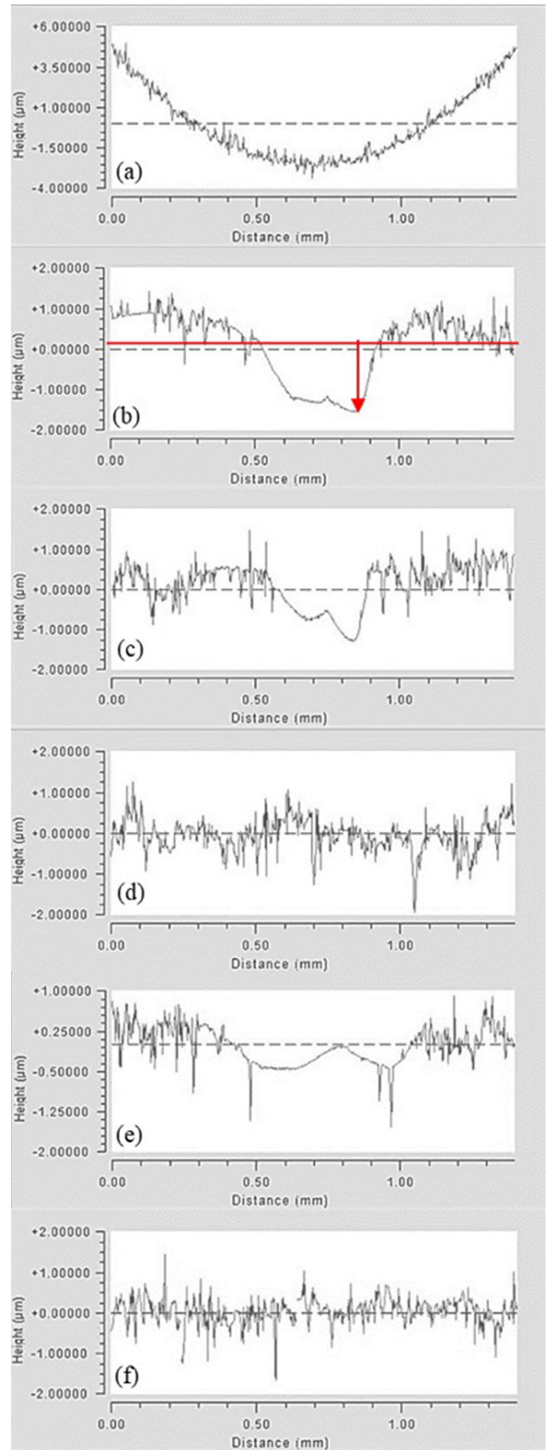


Fig. 5. Surface profile of test; (a) Non-lubrication, (b) Type A, (c) Type B, (d) Type C, (e) Type D, (f)Before test.

터이며, Fig. 6는 마모 깊이를 도식화한 그래프이며, 대표적으로 Fig. 5(b)에서 제시하듯 Surface profile에서 마모가 일어나지 않은 면의 평균에서 마모가 가장 크게 일어난 곳을 측정하였다. 윤활 조건에서는 표면측정 결과 윤활제에 따라 서로 상이한 마모 깊이를 보였다. 마찰특성에서 마찰계수 값과 비슷한 순서로 마모 양이 관찰되었으나 비슷했던 마찰계수에 비해 마모 깊이는 큰 차이를 보였다. 또한, 마찰계수가 더 적었던 Synthetic oil을 사용한 Type D의 윤활제보다 Mineral oil을 사용한 Type C의 윤활제가 내구성이 더 뛰어나 마모 양이 더 적게 나타난 것으로 사료된다.

Fig. 7에 나타난 바와 같이 전체적인 마모를 알아보기 위해서 측정한 Ra값을 측정하였으며, Fig. 8(a)에서 제시하듯 마모흔적의 양끝과 가운데 부분을 측정하였으며, 그 중 평균값을 표시하였다. 또한 마모 깊이 및 마찰계수 값과 비슷한 순서로 나타났다. 시험 전 시편의 Ra 값은 0.27 μm 이며, 마모 깊이와 마찬가지로 윤활 조건 중 예선 Type A가 0.68 μm 로 가장 높았다. 하지만 Type C 윤활제의 Ra값이 0.29 μm 로 Type D윤활제의 Ra값보다 낮게 나타났다. 또한, Type D의 편차가 0.37 μm 에서 0.27 μm 로 편차가 다른 조건들에 비해 크게 나타났다.

전체적인 시험 결과 Urea 계열 증주제를 사용한 고체 윤활제를 사용한 경우 상대적으로 마찰계수가 높았으며, 마찰 특성에서는 Lithium 계열 증주제를 사용한 고체 윤활제 중 합성유를 사용한 윤활제인 Type D가 더 좋았으나 마모특성에서 Mineral oil을 사용한 Type C가 마모에서 더 적게 나타났다. 따라서 기유와 증주제에 따라 상호작용 효과를 보이는 것이라 할 수 있으며, 이러한 결

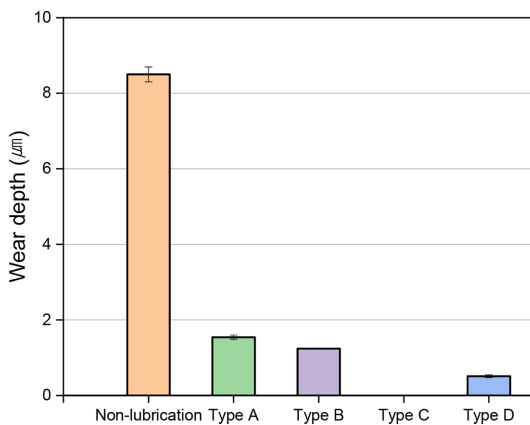


Fig. 6. Wear depth data according to lubrication conditions.

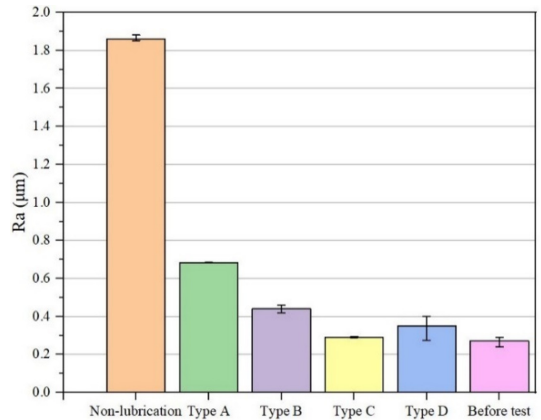


Fig. 7. Ra results according to lubrication conditions.

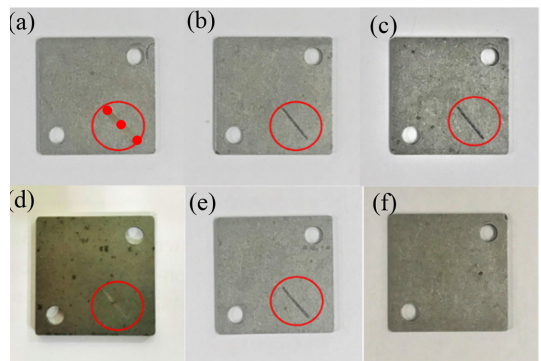


Fig. 8. Wear scars of plate specimen; (a) Non-lubrication, (b) Type A, (c) Type B, (d) Type C, (e) Type D, (f) Before test.

과는 Lithium 증주제를 이용한 Mineral oil 기반의 윤활제인 Type C를 사용하는 것이 효과적인 것으로 추측된다.

3-3. 표면 분석

시험 후의 윤활제에 따른 마모 특성을 확인하기 위해 시험 후 표면을 분석하였다. 현미경으로 표면을 측정하기 전 모든 시편은 초음파 세척기를 통하여 표면의 이물질들을 최소화하였다. Fig. 8는 마모시험이 끝난 후 시편의 사진이다. 나타난 바와 같이 시편을 육안으로 관찰하였다. 비 윤활 조건인 Fig. 8(a)시편에서 마모의 폭이 가장 크게 나타났으며 깊이 또한 가장 깊게 나타났다. 윤활 조건의 시편에서 Fig. 8(d)인 Type C 윤활제를 사용하여 마모 시험을 한 시편에서 가장 마모의 흔적이 적게 관찰되었다.

Fig. 9는 왕복 마찰 시험 후 현미경을 이용하여 시편

표면의 마모흔적을 찍은 사진이며 비 윤활 조건인 Fig. 9(a)는 마모 트랙의 폭이 매우 넓게 측정되었다. 윤활 조건은 비슷한 두께를 가졌고 그중 Type C의 윤활제에서 표면 측정을 한 결과 마모의 흔적만 관찰되었다.

Fig. 10은 표면을 3D 이미지로 측정한 사진이다. 깊이가 잘 보이지 않았던 현미경 사진과 비교하면 깊이에 대한 정보를 쉽게 알 수 있었으며, 표면에 대한 이미지를 관찰한 결과 비 윤활 조건인 Fig. 10(a)는 깊이 8.6 μm로 두께와 깊이 모두 크게 측정되었으며, 두께가 좀더 크게 측정된 Fig.10(e)는 마모 깊이가 0.52 μm로 매우 얇게 측정되었으며, 윤활 조건 중에서 마찰계수가 가장 컸던 Fig. 10(b)는 1.53 μm로 윤활조건 중에선 마모 깊이가 가장 크게 측정되었다. 하지만 Fig. 10(d)에선 현미경

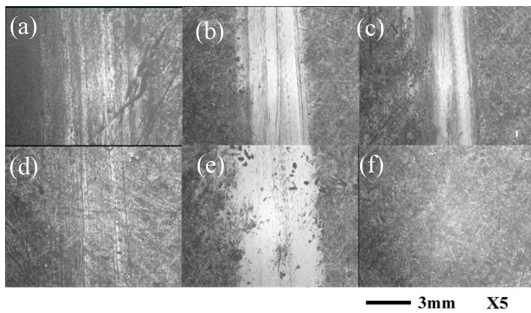


Fig. 9. Microscopic images of wear marks on plate surfaces; (a) Non-lubrication: (b) Type A, (c) Type B, (d) Type C, (e) Type D, (f) Before test.

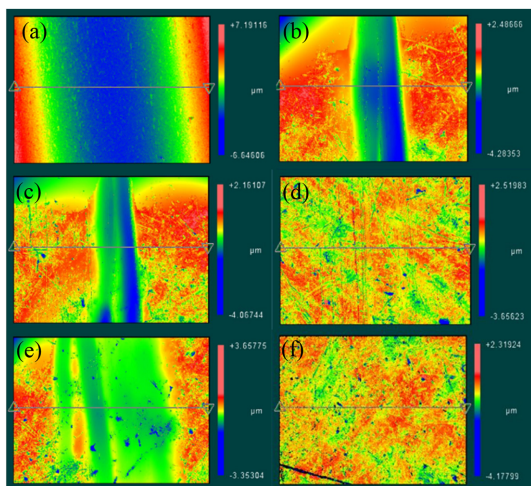


Fig. 10. 3d surface images of plate wear scar; (a) Non-lubrication: (b) Type A, (c) Type B, (d) Type C, (e) Type D, (f) Before test.

사진과는 다르게 마찰의 흔적 또한 측정하지 못했다

마모 시험 시 그리스의 내구성 저하로 시편에 마모가 생겼으며, 핀의 마모로 인해 마모트랙의 폭이 Contact area 보다 커진 것을 볼 수 있다. 이러한 표면의 사진은 마모의 깊이와 폭이 비례하여 커지는 것 같아 보이나 Fig. 10(e)에서 마모트랙의 폭은 넓으나 마모 깊이가 낮은 것으로 보아 초기 마모의 영향이 있는 것으로 사료 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 리클라이너에 들어가는 윤활제에 따른 마찰 및 마모 특성을 제품과 같은 재질 시편의 왕복 마찰 시험을 통해 첨가제 및 속도, 하중에 따른 상관관계를 분석하였다.

1. 윤활제를 사용하여 다양한 속도 (0.1 Hz, 0.5 Hz, 1 Hz)로 10분동안 마찰시험을 한 결과 Urea계열 증주제를 사용한 Type A가 윤활조건에서 마찰계수가 가장 크게 나타났다. 또한 속도와 하중에 따른 마찰계수의 차이가 나타나지 않았다.

2. 고체 윤활제의 피로 특성을 고려하여 베어링의 유효 수명인 10⁷사이클 동안 마찰 시험한 후 표면 측정 결과 마찰특성과 비슷한 순서를 보였고 가장 마찰계수가 좋았던 Type D의 윤활제보다 Type C 윤활제가 마모 깊이 및 Ra값으로 도출된 마모 양으로 가장 우수한 마모 특성을 나타냈다.

3. 마찰특성인 마찰계수는 Urea계열 증주제를 사용한 Type A가 Lithium계열 증주제를 사용한 다른 윤활제보다 높게 나타났으며 합성유를 사용한 Type D에서 마찰계수가 가장 적게 나타났다. 하지만 마모성능에서 Mineral oil을 사용한 Type C가 마모 양이 제일 적게 나왔다. 종합적으로 분석하였을 때 내구성이 뛰어난 Type C가 더 좋은 윤활제로 사용될 수 있다.

또한 자동차 시트의 설계 시 리클라이너의 작동력 시뮬레이션 해석에서 부품의 마찰계수를 사용하여 좀더 해석 값과 실험 값의 차이가 감소될 것으로 예상된다.

Acknowledgements

이 성과는 2019년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 건설기계 R&D전문인력양성사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Lee, S. H., Choi, H. S., Chang, M. J., Kim, D. S., Bae, J. H., Ko, D. C. and Kim, B. M., "Reduction of the Roll-Over of the Sector Tooth for Achieving Improved Recliner Locking Performance", *Transactions of KSME*, Vol. 34, No. 11, pp. 1555-1784, 2010.
- [2] Kim, J. M., Lee, K. T., Kim, H. Y., "Numerical Modeling to Evaluate Rear Crashworthiness for Round Recliner of Automotive Seats", *Transactions of KSAE*, Vol. 17, No. 1, pp.64-71, 2009.
- [3] Cann, P., Doner, J., Webster, M., and Wikstrom, V., "Grease Degradation in Rolling Element Bearings," *Tribol. Trans.*, Vol. 44, No. 3, pp. 399-404, 2001.
- [4] Cann, P. M., "Grease Degradation in a Bearing Simulation Device," *Tribol. Int.*, Vol. 39, No. 12, pp. 1698-1706, 2006.
- [5] Lee, T. W., Kim, T. H., "Finite Element Analysis of Pivot Stiffness for Tilting Pad Bearings and Comparison to Hertzian Contact Model Calculations", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol.30, No.4, pp.205-211, 2014.<https://doi.org/10.9725/kstle.2014.30.4.205>
- [6] Park, J. M., Kim, S.S., "The analysis for surface hardening by repeated sliding contact", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol.13, No.4, pp.71- 78, 1997. <https://doi.org/10.9725/kstle.1997.13.4.071>
- [7] Geng, X., Zhang, Z., Barthel, E., Dalmas, D., "Mechanical stability under sliding contact of thin silver film embedded in brittle multilayer", *Wear*, Vol. 276-277, pp.111-120, 2012.