



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학위논문

듀얼액션 광택기 운동 특성 성능개선을 위한  
고내식성 마그네슘 합금(Mg-6Al-0.1Sc)  
백킹플레이트 적용

Application of high corrosion resistance magnesium alloy  
(Mg-6Al-0.1Sc) backing plate to improve performance  
of dual polisher motion characteristics

울산대학교 산업대학원  
자동차선박기술전공  
정 우 현

듀얼액션 광택기 운동 특성 성능개선을 위한  
고내식성 마그네슘 합금(Mg-6Al-0.1Sc)  
백킹플레이트 적용

지도교수 주석재

이 논문을 공학석사학위 논문으로 제출함

2021년 6월

울산대학교 산업대학원  
자동차선박기술전공  
정우현

정우현의 공학석사학위 논문을 인준함

심 사 위 원 장 정 구 현

심 사 위 원 천 두 만

심 사 위 원 주 석 재



울산대학교 산업대학원

2021년 6월

## 감사의 글

논문을 쓰는 과정에서 걱정과 두려움이 앞서 있던 저에게 진심 어린 응원과 조언, 도움을 주신 모든 분께 인사를 드리고자 합니다.

이 논문이 완성되기까지 바쁘신 와중에도 좋은 논문을 쓸 수 있도록 세심하게 지도해 주시고 배려해 주신 주석재 교수님, 부족한 부분을 보완하도록 소중한 의견을 주신 심사위원장님 정구현 교수님, 천두만 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

무사히 졸업할 수 있도록 도움을 주신 울산과학기술원 연구지원본부의 신태주 교수님, 김철수 팀장님, 권강욱 실장님, 김진식 선생님, 정홍찬 선생님에게 감사드리며 실험에 도움을 주신 박형욱 교수님, 박성수 교수님, 김동찬 님, 박현민 님, 70 디테일의 안진우 사장님에게 감사드립니다.

제가 힘들어할 때 포기하지 않도록 조언해 주시고 응원해 주신 유재웅 사장님, 강중구 님, 강동완 님, 김병권 님, 강구혁 박사님, 옆에서 끝까지 도와준 고마운 은인 이승운 님께 진심으로 감사드립니다.

마지막으로 항상 화목한 가정을 지키는 나의 사랑하는 아버지 정중호 님, 낳아 주신 어머니 김충숙 님, 키워주신 이영순 님, 동생인 나를 인생 선배로서 조언해 주고 이끌어주는 형, 정진영 님에게 감사드리며 도와주신 모든 분이 있었기에 이 논문이 나올 수 있었습니다. 다시 한번 감사의 인사를 드립니다. 모두 건강하고 행복하시길 바랍니다.

## 국문요약

# 듀얼액션 광택기 운동 특성 성능개선을 위한 고내식성 마그네슘 합금 (Mg-6Al-0.1Sc) 백킹플레이트 적용

정 우 현

울산대학교 산업대학원

자동차선박기술전공

광택 작업은 치기공(齒技工), 기계산업, 광택업, 목공업 등에 중요한 부분을 차지하는 작업이다. 그중에서 차량용 듀얼액션 광택기의 백킹플레이트에 대하여 중점적으로 다룬다. 듀얼액션 광택기는 편심회전으로 인하여 싱글액션 광택기에 비해 큰 진동이 발생한다. 발생하는 진동은 백킹플레이트의 중량과, 부피 그리고 편심 사이의 거리에 따라 정해진다.

폴리우레탄과 알루미늄 재질의 백킹플레이트는 현재 산업에서 자주 이용된다. 폴리우레탄 백킹플레이트는 진동이 적은 반면 시간당 광택 면의 면적이 좁아 작업 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 알루미늄 백킹플레이트의 경우 시간당 광택 면의 면적이 넓어 작업 시간이 빠르다. 하지만 높은 진동으로 인해 작업자의 피로도에 영향을 준다. 크고 반복되는 진동은 진동 증후군을 야기할 뿐만 아니라 작업 관련 근골격계 장애의 발생을 증가시킨다.

본 논문에서는 작업의 효율은 저하시키지 않으면서 진동의 발생은 줄이기 위해 고내식 마그네슘 합금을 사용하였다. 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트를 사용한 결과

폴리우레탄에 비해 작업 효율은 증가하였으며, 알루미늄에 비해 진동의 세기는 줄어들었다.

이와 더불어 발생하는 마찰열 또한 감소시켰다. 마찰열의 감소는 장비의 내구성 향상과 도장면에 손상을 최소화하는 데 도움을 준다. 형상과 부피가 동일한 알루미늄 백킹플레이트와 고내식 마그네슘 백킹플레이트의 진동 세기를 비교해 보았을 때, 고내식 마그네슘 백킹플레이트의 진동 세기가 알루미늄 백킹플레이트의 진동 세기보다 약 30% 감소하였다.

마그네슘 합금은 내식성 문제로 인해 사용되지 못하고 있으나, 최근 고내식 마그네슘 합금이 개발됨에 따라, 듀얼액션 광택기의 백킹플레이트로 사용될 수 있게 되었다. 본 연구는 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트가 작업자의 피로도를 줄이면서 작업 효율은 유지할 수 있음을 확인하였다.

# 목차

1. 서론.....	1
2. 본론.....	10
2.1 이론적 배경 .....	10
2.1.1 물리적 특성 .....	10
2.1.2 관성 모멘트 .....	13
2.1.3 마찰열.....	19
2.1.4 광택 .....	21
2.2 마그네슘 합금.....	23
2.3 실험 장치 및 방법.....	27
2.3.1 백킹플레이트.....	29
2.3.2 연마작업을 통한 표면거칠기 측정 .....	31
2.3.3 연마 작업 후 광택계를 통한 표면의 광택도 측정 .....	32
2.3.4 열화상카메라 및 온도센서를 이용한 마찰 온도 측정.....	33
2.3.5 가속도 센서를 이용한 광택기의 진동 측정 .....	36
2.3.6 공구동력계를 통한 작업 시편의 표면에 가해지는 힘 측정.....	37
3. 실험 결과 및 분석.....	38
4. 결론.....	50
참고 문헌.....	53



[표 차례]

<표 1> 백킹플레이트 재질에 따른 각운동량의 변화.....	12
<표 2> 듀얼액션 광택기 모델링에 사용된 질량 정보.....	13
<표 3> 재질별 백킹플레이트의 회전속도.....	21
<표 4> 마그네슘 합금의 제조 <sup>17</sup> .....	24
<표 5> 부식 속도 평가 <sup>17</sup> .....	25
<표 6> 실험에 사용된 듀얼액션광택기의 스펙 .....	28
<표 7> CNC가공기 스펙 .....	31
<표 8> 열화상카메라 스펙, NEC사의 Themo Tracer-H2640. ....	34
<표 9> 디지털 씨머커플 측정기 스펙 (TES-1300).....	35

[그림 차례]

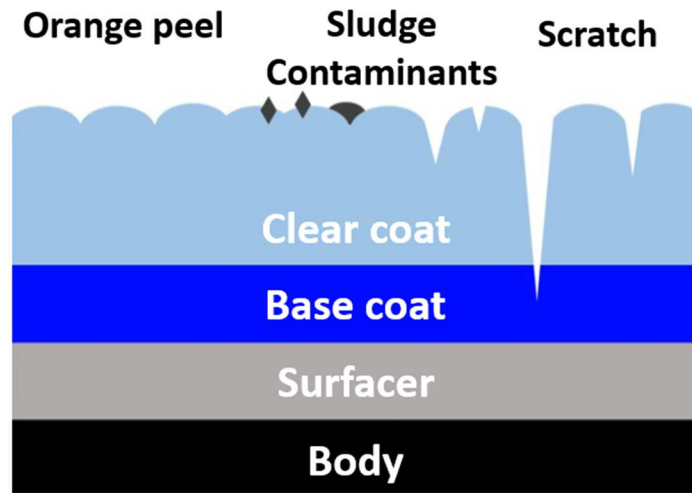
[Figure 1] 차량 표면의 구조.....	2
[Figure 2] 연도별 'Polishing' 관련 출판 논문 수.....	2
[Figure 3] 연도별 자동차 등록대수 <sup>10</sup> .....	3
[Figure 4] 연도별 '세차료'에 관한 소비자물가지수 <sup>11</sup> .....	3
[Figure 5] 차량용 광택기의 구조.....	6
[Figure 6] 좌측부터 싱글, 기어 그리고 듀얼액션 광택기.....	6
[Figure 7] 기어의 구조.....	7
[Figure 8] a) 듀얼액션광택기 백킹플레이트의 움직임, b) 편심회전으로 인한 진동.....	8
[Figure 9] 광택기의 종류와 장단점, 이미지.....	8
[Figure 10] 듀얼광택기의 각운동량.....	11
[Figure 11] 관성모멘트 텐서.....	16
[Figure 12] 텐서 계산을 위한 듀얼액션 광택기 3D모델링.....	17
[Figure 13] 듀얼액션 광택기 3D모델링 분해도.....	17
[Figure 14] 질량에 따라 계산된 Lxz모멘트 물리량.....	18
[Figure 15] 무게추 가변 백킹 플레이트 헤드 <sup>16</sup> .....	18
[Figure 16] 마찰열의 발생.....	19
[Figure 17] 부식 속도 평가.....	26
[Figure 18] 100시간 작업 후의 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트 사진.....	26
[Figure 19] 표면거칠기 측정을 위한 실험 세팅.....	27

[Figure 20] 실험에 사용된 듀얼액션 광택기의 움직임 .....	28
[Figure 21] 재질별 백킹플레이트 이미지, a) 폴리우레탄 (29.7g), b) 알루미늄 (92.8g), c) 고내식 마그네슘 합금 (63.3g) 백킹플레이트 .....	29
[Figure 22] CNC 가공기 사진 .....	30
[Figure 23] 표면거칠기 측정장비 (Mitutoyo - SV-C3100) .....	32
[Figure 24] Amittari사의 'AG-106B gloss meter'를 이용한 황동 시편의 광택도 측정 .....	33
[Figure 25] 열화상카메라NEC (Themo Tracer-H2640) .....	34
[Figure 26] 디지털 씨머커플장비 (TES-1300) .....	35
[Figure 27] 가속도센서를 이용한 듀얼액션광택기의 진동 측정 .....	36
[Figure 28] 공구동력계 (MiniDyn - Type 9256C) 를 이용한 작업 표면의 토크 측정 .....	37
[Figure 29] a) -c), 열화상카메라를 이용한 마찰온도측정, a) 폴리우레탄 b) 알루미늄, c) 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트를 사용할 때의 마찰에 의한 열화상 이미지, d) 디지털 씨머커플 측정기를 사용해서 측정한 작업 표면의 작동 시간 경과에 따른 온도변화, 작업 표면으로 SUS 0.5T 판재를 사용하였다. ....	39
[Figure 30] 가속도센서를 이용한 주파수 및 진동 세기 a) 폴리우레탄 b) 알루미늄, c) 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트를 사용할 때의 주파수 및 진동 세기 측정 그래프 .....	42
[Figure 31] 백킹플레이트로 작업할 때 작업 표면에 가해지는 힘 .....	44
[Figure 32] 7초 동안 광택 작업을 진행 한 후의 시편 사진 a) 폴리우레탄, b) 알루미늄, c) 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트 .....	46
[Figure 33] a) 연마 시간에 따른 광택도 변화, b) 연마 시간에 따른 표면 거칠기 변화 .....	48

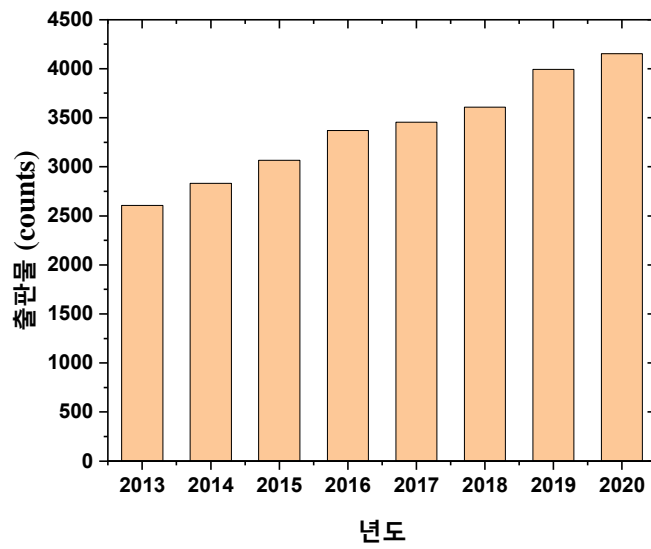
## 1. 서론

광택 작업은 치기공(齒技工)<sup>1-3</sup>, 기계산업<sup>4-6</sup>, 광택업, 목공업<sup>7-9</sup> 등에 중요한 부분을 차지하는 작업이다. 광택 작업은 공작물 표면에 윤을 내는 연마 작업을 말한다. 다양한 거칠기의 스펀지나 용으로 제작된 패드를 광택기의 백킹플레이트에 부착하여 연마한다. [Figure 1]는 차량 표면의 구조이다. 차량의 표면은 차체 판넬, 프라이머층, 베이스코트 그리고 클리어코트층 순으로 구성되어 있다. 클리어코트 층은 시간이 지남에 따라, 화학적·물리적 작용에 의해 손상된다. 클리어코트 층의 손상은 자동차의 광택을 저하시킨다. 이를 복구시키기 위해 광택 작업이 이루어진다. 광택 작업은 손상된 클리어코트 층을 연마하여 광택을 만들어준다.

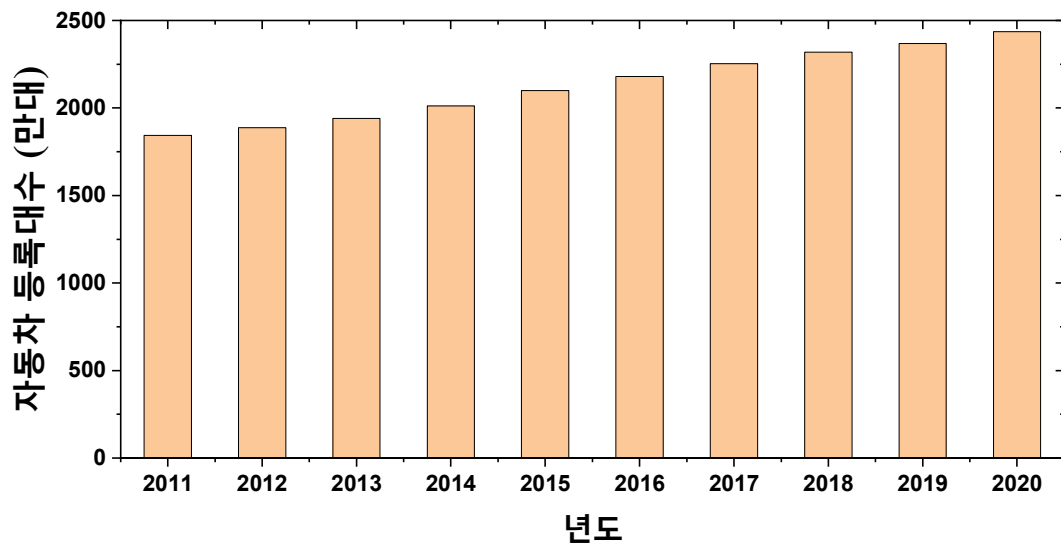
[Figure 2]은 2013년부터 최근까지의 ‘Polishing’ 과 관련된 논문 수이다. 2013년도에 2,500여 편이던 출판 논문 수는 점차 증가하여 최근 4,100여 편에 달한다. 국내 자동차 수요는 1가구 2~3차량 보유가 보편화되고 1인 가구의 상승세로 19년 기준 자동차 1대당 인구수 2.19명 1000명당 자동차 보유 대수 456.6대로 꾸준한 상승세를 보이고 있다. [Figure 3]는 연도별 자동차 등록대수이다. 이에 따라 차량의 관리 또한 중요한 관심사로 주목받고 있으며 자동차는 단순한 이동 수단을 넘어 개인의 개성을 나타내는 것이기도 하다. 소비자 동향은 자신의 자동차가 더욱 오랜 기간 좋은 상태를 유지하는 것을 원하고 있다. [Figure 4]는 통계청의 소비 분류를 통한 세차료의 소비자물가지수가 꾸준히 상승하는 것을 보여준다. 차량용 광택기는 세차장 및 차량 디테일링샵에서 차량에 광택을 내기 위해 사용된다.



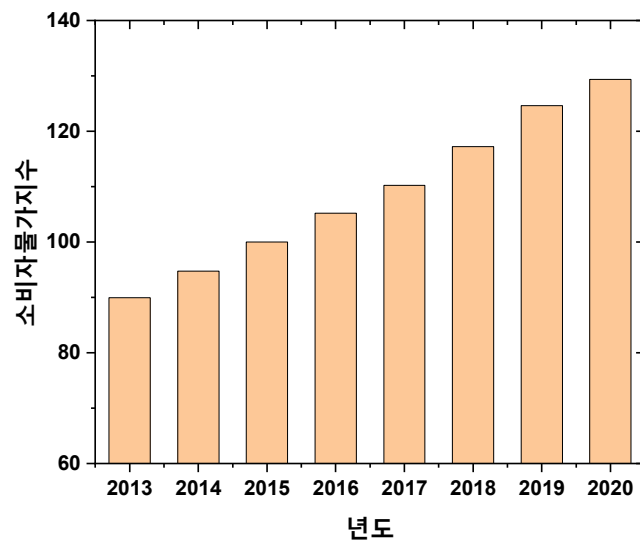
[Figure 1] 차량 표면의 구조



[Figure 2] 연도별 'Polishing' 관련 출판 논문 수



[Figure 3] 연도별 자동차 등록대수<sup>10</sup>



[Figure 4] 연도별 '세차료'에 관한 소비자물가지수<sup>11</sup>

본 논문에서는 차량용 광택기의 백킹플레이트에 대하여 연구하였다. [Figure 5]는 차량용 광택기의 구조도이다. 광택기 본체에 백킹플레이트가 장착된다. 그리고 백킹플레이트에 벨크로 부분에 패드를 부착하여 사용한다. 광택기의 선정은 차량의 곡면의 형상에 따라 적절한 크기의 패드를 부착할 수 있도록 해야 한다. 구동 모터의 회전속도는 작업자의 숙련도에 따라 정해진다. 높은 rpm 을 사용할수록 작업 속도는 빨라지나, 도장면에 쉽게 손상이 가해지므로 높은 숙련도를 요한다.

차량용 광택기의 종류는 크게 세 가지로 싱글액션, 듀얼액션과 기어액션 광택기가 있다. [Figure 6]는 광택기의 종류별 백킹플레이트 움직임을 나타내는 그림이다. [Figure 6]에서 파란색으로 표시된 부분에 백킹플레이트가 장착된다.

싱글액션 광택기는 구동모터에 백킹플레이트가 직접적으로 연결되어 회전하는 방식으로 패드의 지름과 동일한 회전을 한다. 싱글 광택기는 백킹플레이트와 직접 연결되어 높은 토크로 인해 빠른 속도로 작업이 가능하나, 싱글 광택기는 강한 연마력을 갖고 때문에 높은 숙련도를 필요로 한다.

듀얼액션 광택기는 구동모터의 중심과 백킹플레이트의 중심 사이에 거리가 있고, 백킹플레이트 중심에 베어링이 부착되어 있어 원심력에 의한 자전을 한다. 편심회전을 하기 때문에 넓은 면적에 광택 작업하기 용이하다. 또한 백킹플레이트가 원심력에 의해 자전함으로 도장면의 손상을 최소화할 수 있다.

기어액션 광택기는 듀얼액션 광택기와 흡사한 구동원리이다. 듀얼액션 광택기와 다른 점은 구동모터와 백킹플레이트가 기어로 연결되어 있어 백킹플레이트가 자전하지 않고 강제 회전하는 방식이다. 기어액션 광택기는 구동모터의 중심과 백킹플레이트의 중심 사이의 거리로 인해 회전 시 넓은 범위를 작업할 수 있으나, 기어 형상으로 인한 내구성 및 소음, 진동이 심하여 작업에 불편한 부분이 있다.

듀얼액션 광택기는 기어액션 광택기와 마찬가지로 구동모터의 중심과 백킹플레이트의 중심 사이의 거리로 인해 넓은 범위를 작업할 수 있는 장점이 있다. 듀얼액션 광택기와 기어액션 광택기의 차이점은 듀얼액션 광택기의 경우 백킹플레이트가 원심력에 의해 회전하여 보다 도장면의 손상이 적어 초보자도 쉽게 작업이 가능하다는 점이다. 기어액션 광택기는 기어에 의해 회전하기 때문에 베어링에 의해 회전하는 듀얼액션 광택기에는 없는 기어 소음 및 진동이 발생한다. 고속으로 회전하는 광택기는

기어회전시 습한 작업환경으로 인한 적절한 윤활 부족으로 인해 빠른 마모도 발생된다. 기어의 마모에 의해 백래시가 증가하고, 이에 따라 진동과 소음은 오래 사용할수록 증가한다.

[Figure 7]은 기어의 구조이다. 백래시는 맞물림 움직임에서 여유 공차 및 사용 마찰 마모로 생기는 여유 공간이다. [Figure 8]의 a)는 듀얼액션 광택기 백킹플레이트의 움직임이다. 그림 중심의 가운데의 노란 점은 구동모터의 중심이다. 빨간 점으로 표시한 부분은 백킹플레이트의 중심이다. 구동 모터의 중심과 백킹플레이트의 중심에는 편심거리가 있다. 구동모터가 회전하면 원심력에 의해 백킹플레이트가 회전한다. [Figure 8]의 b)는 편심회전으로 인한 진동을 나타낸 그림이다. 편심 회전을 하게 되면 백킹플레이트의 무게중심이 빠르게 이동하며, 그로 인한 진동이 발생한다. [Figure 9]는 광택기의 종류, 장단점과 이미지이다. 듀얼액션 광택기는 현업에서 가장 많이 사용되는 장비이다.

차량 광택 작업은 최대한 누르는 힘을 주지 않고 광택기의 자중만으로 진행되는 것이 중요하다. [Figure 1]에서 볼 수 있듯이 베이스코트의 손상을 주지 않고, 클리어코트만을 연마하여야 한다. 누르는 힘을 가할 경우 클리어코트의 아래 레이어에 치명적인 손상을 입히기 때문이다. 본 논문에서는 듀얼액션 광택기의 백킹플레이트에 대하여 중점적으로 다룬다.

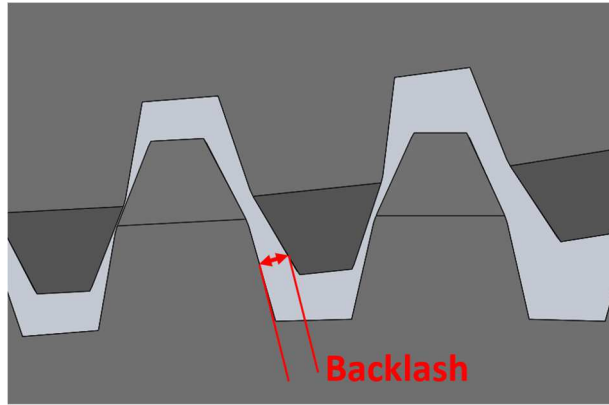




[Figure 5] 차량용 광택기의 구조

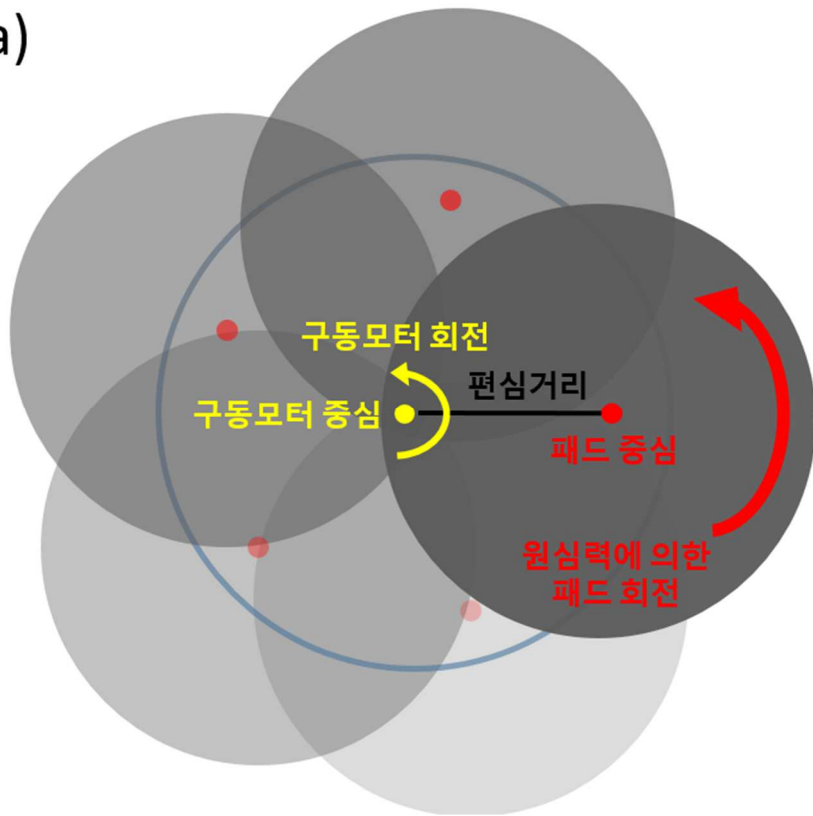


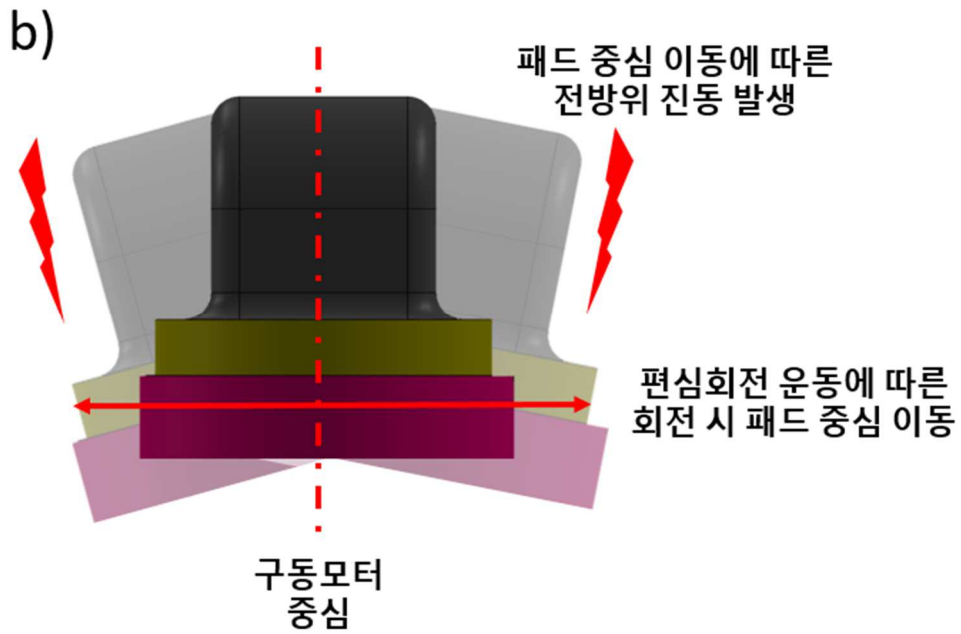
[Figure 6] 좌측부터 싱글, 기어 그리고 듀얼액션 광택기



[Figure 7] 기어의 구조

a)





[Figure 8] a) 듀얼액션광택기 백킹플레이트의 움직임, b) 편심회전으로 인한 진동



[Figure 9] 광택기의 종류와 장단점, 이미지

듀얼액션 광택기에 사용되는 백킹플레이트의 주요 재질은 폴리우레탄, 알루미늄 그리고 아세탈이다. 폴리우레탄과 아세탈 재질의 백킹플레이트는 가볍고 제작비용이 저렴하다는 장점이 있으나, 내구성의 문제, 마찰에 의한 발열이 낮은 열전도로 인해 열이 발산되지 못하여 작업시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해 알루미늄 백킹플레이트가 개발되었다. 알루미늄 백킹플레이트는 수지류 백킹플레이트보다 무겁기 때문에, 높은 원심력으로 큰 토크가 발생한다. 그리고 수지류보다 열전도성 또한 높아서 비교적 발열 문제로부터 자유롭다. 하지만 편심회전으로 인하여 생기는 진동은 백킹플레이트의 중량과, 부피 그리고 편심거리에 따라 토크는 강해지지만 작업자가 제어하기 어려운 진동이 발생한다는 단점이 있다.

진동은 진동 증후군을 야기할 뿐만 아니라 작업 관련 근골격계 장애의 발생을 증가시킨다.<sup>12,13</sup> 진동의 세기와 방향은 작업자의 작업 자세에 따라 근육과 뼈에 영향을 준다. 강한 진동은 근육의 긴장을 유발한다. 심한 근육의 긴장은 작업자가 공구를 잡는 힘을 강하게 한다. 공구를 잡는 강한 힘은 축각의 둔화를 유발한다. 또한 작업자가 공구를 강하게 잡았을 경우 근육과 뼈로 전달되는 진동은 커지게 된다. 강한 진동에 반복적으로 노출된 작업자는 상지 근육장애 발생률이 다섯 배 증가한다.<sup>14</sup> 진동의 주파수에 따라 관절 장애 유발 확률이 변화하는데, 주로 낮은 주파수 영역에 노출될수록 관절 질환의 발생률이 높아진다. 30Hz 이하의 진동은 상지에, 30~60Hz의 진동은 손목과 팔꿈치에, 60Hz 이상의 진동은 주로 손으로 전달된다. 골격계 질환도 주파수가 낮아질수록 발생률이 증가한다. 또한 50Hz 근처의 진동은 혈관계, 신경계 질환을 유발한다.<sup>15</sup> 이에 대한 의학적 연구가 활발히 진행되고 있으며, 작업자들의 작업 피로도를 낮추기 위한 노력들이 곳곳에서 이루어지고 있다.

광택기의 진동을 조절하기 위한 첫 번째 방법은 가벼운 폴리우레탄과 같은 소재를 이용하여 형상을 바꾸거나 금속을 추가하여 무게를 적당히 올리는 것이다. 금속 백킹플레이트가 반영구적으로 사용될 수 있는 반면, 폴리우레탄은 내구도가 낮아 반영구적인 사용이 불가능하다. 또한 폴리우레탄 같은 플라스틱의 경우 친환경적이지 못한 소재이다. 두 번째 방법은 무게추의 밸런스를 맞추는 것이다. 무게추를 적당히 무겁게 하여 진동을 줄이는 것이다. 이에 관한 부분은 '2.1.2의 관성텐서'에 대해서 자세히 다룬다. 마지막 방법은 친환경적인 경량화 소재를 사용하는 것이다. 주기율표 상에서 알루미늄 보다 가벼운 소재인 마그네슘을 사용하는 것이다. 마그네슘은 친환경 소재 일 뿐만 아니라 현재

상용 금속 가운데 가장 가벼운 소재이다. 철보다 4배 가볍지만, 비강도는 6배 이상 높다. 동시에 성형이 쉽고, 진동에 잘 견딘다.

본 논문에서는 마그네슘합금 백킹플레이트를 제작하여 듀얼액션 광택기의 운동 특성을 개선하여 진동의 세기를 감소시켰다. 마그네슘 합금의 밀도는  $1.7\text{g/cm}^3$ 으로  $2.7\text{g/cm}^3$ 인 알루미늄에 비해 약 37% 가볍다. 따라서 알루미늄 백킹플레이트에 비해 가벼운 마그네슘 합금 백킹플레이트를 적용하여 수지류 백킹플레이트보다 높은 작업 효율은 유지하면서 진동을 감소시킬 수 있다. 그간 마그네슘 합금은 내식성의 문제로 알루미늄을 대체하는 경량화 소재로 사용되지 못하였다. 이의 대한 연구는 활발히 진행 중이며 최근 울산과학기술원 신소재공학부에서 고내식 마그네슘 합금에 대한 조성법을 개발하여, 본 연구의 진행을 위해 소재를 공급받아 연구를 진행하였다. 고내식 마그네슘 합금은 강한 내식성으로 인해 습식 작업환경에서 사용 가능하다.

## 2. 본론

### 2.1 이론적 배경

#### 2.1.1 물리적 특성

각 운동량의 수학적 정의는 다음과 같다.

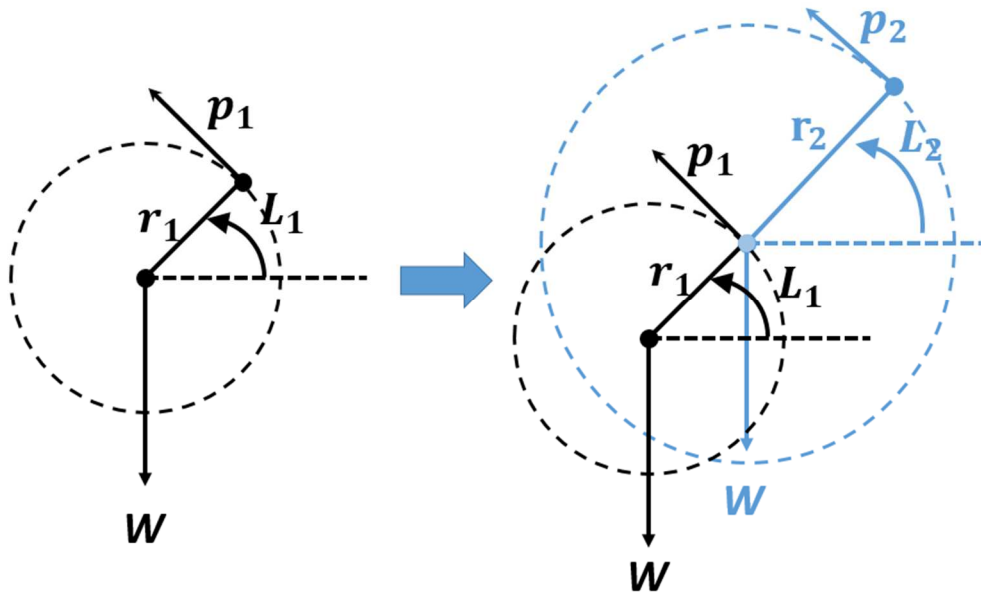
$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = \mathbf{r} \times m\mathbf{v} \quad \text{수식 1}$$

여기서  $L$ 은 입자의 각운동량,  $r$ 은 원점에서부터 입자까지의 위치벡터 그리고  $p$ 는 입자의 선운동량이다. 선운동량  $p$ 는 입자의 무게  $m$ 과 입자의 속도  $v$ 의 곱으로 나타낼 수 있다. 두 개 이상의 원운동이 합쳐질 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{L} = \sum_i \mathbf{r}_i \times \mathbf{p}_i \quad \text{수식 2}$$

듀얼액션 광택기의 경우 [Figure 10]와 같이 두 개의 원운동이 존재한다. 검은색의 원은 구동모터의 회전운동을 표시한 것이다. 파란색의 원은 백킹플레이트와 패드의 회전운동을 나타낸 것이다. 검은색 점은 구동모터의 중심이다. 파란색 점은 백킹플레이트와 패드의 중심이다. 여기서  $L_1$ 은 모터에 의한 편심운동에 의한 각운동량이고,  $L_2$ 는 원심력에

의해 패드가 자전하는 각운동량이다.



[Figure 10] 듀얼광택기의 각운동량

위의 식 2로부터 다음 식을 유도할 수 있다.

$$\mathbf{L} = \mathbf{r}_1 \mathbf{p}_1 + \mathbf{r}_2 \mathbf{p}_2 = \mathbf{r}_1 m \mathbf{v}_1 + \mathbf{r}_2 m \mathbf{v}_2 \quad \text{수식 3}$$

여기서  $r_1$  (편심거리)은 6mm 그리고  $r_2$  (패드의 반지름)는 40mm 이다. 질량  $m$  은 백킹플레이트, 패드 그리고 고정볼트 무게의 합이다. 두 각운동에 있어서 질량은 동일하다.  $W$  은 차량 표면에 가해지는 하중이다. 이에 대해서는 2.1.3 마찰열 부분에서 자세히 다루도록 한다.  $W$  를 5N 으로 가정하고 각 백킹플레이트 재질별 각운동량을 계산해 보았다. 총 각운동량은 마그네슘을 사용하였을 때 가장 컸다.  $W$  가 동일할 경우, 마그네슘을 사용하였을 때 가장 각운동량이 높았다. 따라서 마그네슘 백킹플레이트를 사용할 경우 가장 광택량이 높을 것으로 기대된다.

<표 1> 백킹플레이트 재질에 따른 각운동량의 변화

백킹플레이트 재질	폴리우레탄	알루미늄	마그네슘
$r_1$ (mm)	6		
$r_2$ (mm)	40		
m (g)	42	105.1	75.6
$v_1$ (m/s)	2.98		
$v_2$ (m/s)	3.54	1.36	3.14
$L_1$ ( $\text{g} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ )	0.75	1.88	1.35
$L_2$ ( $\text{g} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ )	5.95	5.72	9.50
L ( $\text{g} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ )	6.70	7.60	10.85

### 2.1.2 관성 모멘트

회전운동하는 물체는 자신의 운동을 유지하려고 한다. 이를 유지하려는 정도를 물리량으로 나타낸 것이 관성 모멘트이다. 관성 모멘트 텐서는 관성운동을 표현하는 방법 중 하나이다. 관성 모멘트 텐서는 복잡한 회전에 대한 물리량 사이의 관계를 기술할 수 있다. 같은 물체일지라 하더라도 회전축이 달라지면 모멘트 텐서의 값이 바뀌게 된다.

[Figure 11]은 관성 모멘트 텐서 행렬의 각 인자를 그림으로 나타낸 것이다.  $M_{xy}$ 는  $y$ 를 축으로 하는  $x$ 축 방향으로의 관성 모멘트이다. 그림의 1, 2, 3 축은  $x, y, z$  축으로 표현될 수 있다.

[Figure 12]는 관성 모멘트 텐서 계산을 위한 듀얼액션 광택기의 3D 이미지가이다. [Figure 13]은 듀얼액션 광택기의 3D 모델링 분해도 이다. 구동축, 무게추, 베어링 그리고 백킹플레이트 홀더와 같은 부품들을 모델링 하였다. 듀얼액션 광택기를 구성하는 각 부품의 무게는 <표 2>과 같다.

**<표 2> 듀얼액션 광택기 모델링에 사용된 질량 정보**

부품명	질량 (g)
구동축	119.95
무게추	18.45
베어링	29.47
백킹플레이트홀더	12.31

무게추는 광택기의 구동축에 붙어있고, 백킹플레이트는 편심 축에 붙어있다.  $L_{xy}$ 와  $L_{yx}$ ,  $L_{xz}$ 와  $L_{zx}$ , 그리고  $L_{yz}$ 과  $L_{zy}$ 의 값은 관성 주축의 중심 기준으로 대칭이므로 같다. 그 이후 무게가 증가할수록  $L_{xz}$  텐서는 증가하였다. Z축을 구동모터의 중심축으로 설정하였고 무게추와 백킹플레이트 관련 부품들은 X선상에 있다. 무게추는 모델링상에서 -X축에 있고 질량은 +X축에 위치한다. 여기서 질량은 백



킹플레이트, 패드, 그리고 고정 나사의 무게의 합이다. 그러므로  $L_{xz}$ 의 값을 관찰하였다.

[Figure 14]는 질량에 따라 계산된  $L_{xz}$ 모멘트 물리량이다. 백킹플레이트의 질량을 조절하면서  $L_{xz}(L_{xz}, L_{zx})$  텐서의 변화를 관찰하였다. 질량이 0일 때는 무게추만 있을 때이다. 때문에 힘의 균형이 맞지 않는다. 폴리우레탄 백킹플레이트를 사용할 때  $L_{xz}$ 모멘트 값이 0에 가까워진다. 이는 무게추가 폴리우레탄 백킹플레이트의 무게에 맞게 설계되었음을 보여준다. 마그네슘 백킹플레이트를 사용하였을 때  $L_{xz}$ 모멘트의 값은 약  $2300\text{g}\cdot\text{mm}^2$ 이고, 알루미늄 백킹플레이트를 사용하였을 때는 약  $6300\text{g}\cdot\text{mm}^2$ 이다.

알루미늄 백킹플레이트를 사용할 때, 무게추의 무게 증가에 따라 텐서의 값은 0에 가까워진다. 그러나 듀얼액션 광택기의 하우징에 따른 공간적 제약 및 백킹플레이트의 부피, 무게에 따른 정교한 무게추 조정이 쉽지 않다. 백킹플레이트의 부피와 무게가 모두 동일하지 않고 패드의 부피와 무게 또한 미세하게 다르므로 텐서의 값을 0으로 정확히 맞추는 것은 실질적으로 어렵다. 위에서 설명한 텐서의 값은 구동 모터의 무게중심과 패드가 부착된 백킹플레이트의 무게중심과의 거리는 텐서의 값에 큰 영향을 준다. 패드는 사용자의 목적에 따라 다양한 형상과 재질의 패드가 사용된다. 사용하는 패드가 변할 때마다 패드가 부착된 백킹플레이트의 무게중심의 위치가 변하게 된다.

적당한 진동이 어느 정도인가에 대해서는 작업자 개인에 따라 의견 차이가 있다. 이상적인 듀얼액션 광택기는 무게추가 가변 가능하여 진동의 정도를 조절할 수 있는 것이다. 현재 개발되어 있는 무게추 가변 듀얼액션 광택기가 있는데, 무게추의 위치를 조절하여 진동의 세기를 조절할 수 있다. 하지만 일반적인 볼트로 는 정밀한 조절이 쉽지 않다.

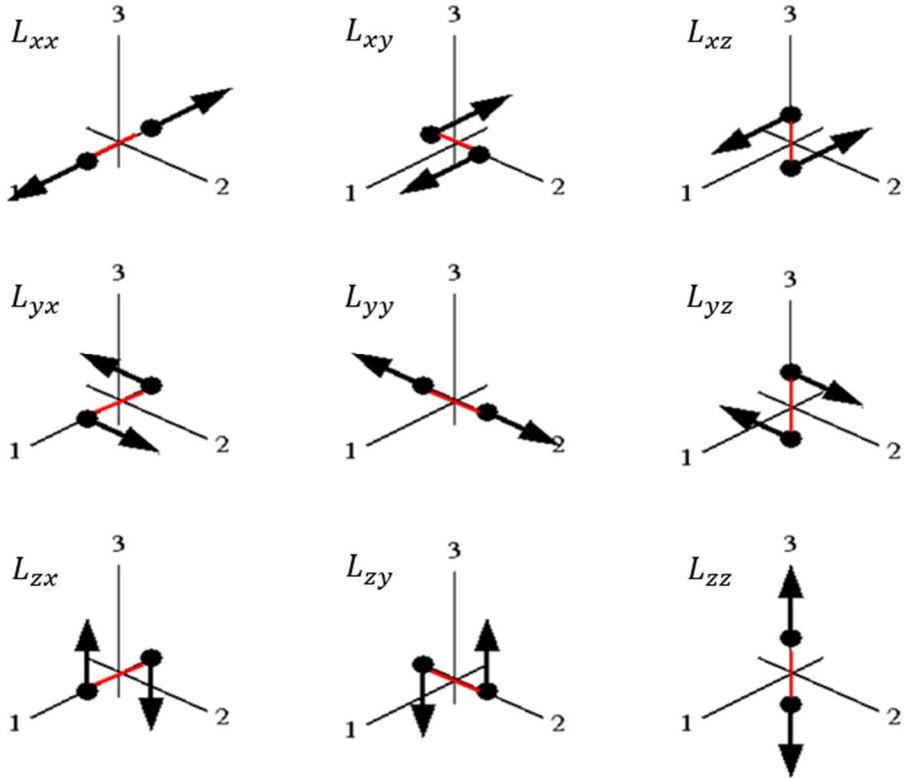
[Figure 15]는 디자인 특허 등록된 무게추 가변 듀얼액션 광택기 헤드이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 헤드의 조절할 수 있는 범위가 늘어나면 헤드의 크기가 따라서 늘어나게 된다. 헤드가 커지게 되면 광택기의 무게가 증가하고 이에 따라

작업자가 부담해야하는 무게도 증가한다. 따라서 알루미늄부터 폴리우레탄 백킹 플레이트의 관성 모멘트를 조절할 수 있는 범위의 광택기 헤드를 만들기는 사실상 불가능하다.

폴리우레탄을 무겁게 만들어서 사용할 경우 진동의 양을 늘릴 수는 있으나, 낮은 열전도율로 인해 중첩되는 열의 양이 많아진다. 때문에 기존에도 내구도가 낮았던 폴리우레탄의 내구도가 더 악화된다.

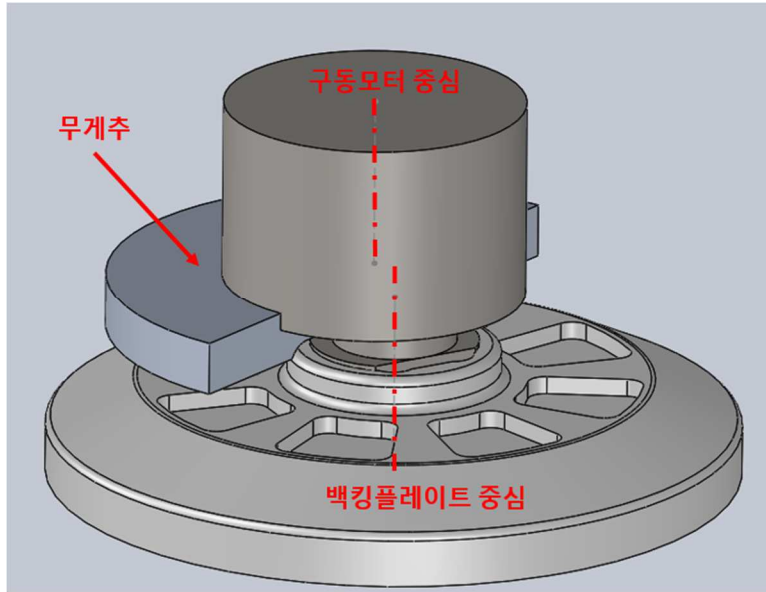
알루미늄의 경우 경량화가 너무 심하게 이루어질 경우 알루미늄의 내구도가 낮아진다. 이를 특수한 제조공법으로 제작하게 되면 강도를 유지하면서 경량화는 가능하지만 제조공법에 따른 비용이 많이 증가하게 된다. 그래서 마그네슘 합금을 사용하면 동일한 형상으로 제작이 가능하며 구조적 강도는 유지할 수 있다.

# Moment Tensor

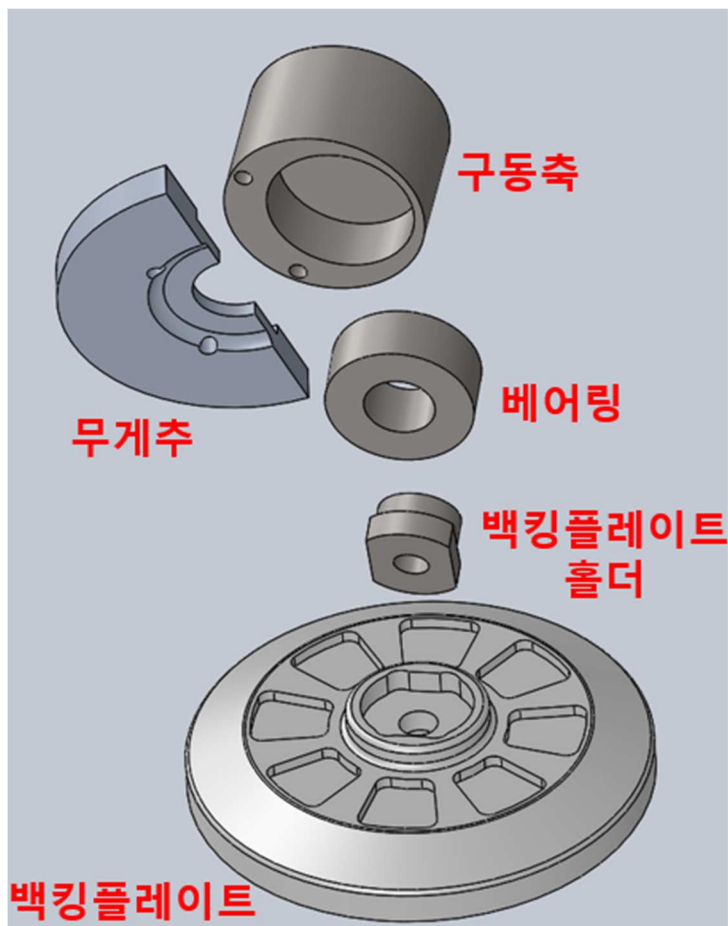


$$\begin{bmatrix} L_{xx} & L_{xy} & L_{xz} \\ L_{yx} & L_{yy} & L_{yz} \\ L_{zx} & L_{zy} & L_{zz} \end{bmatrix}$$

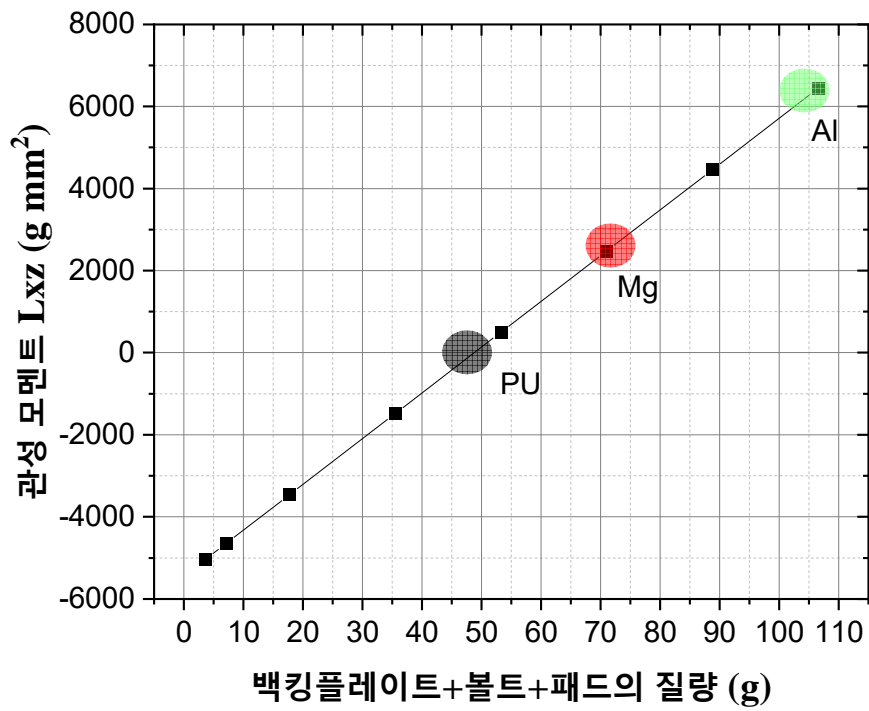
[Figure 11] 관성모멘트 텐서



[Figure 12] 텐서 계산을 위한 듀얼액션 광택기 3D모델링



[Figure 13] 듀얼액션 광택기 3D모델링 분해도



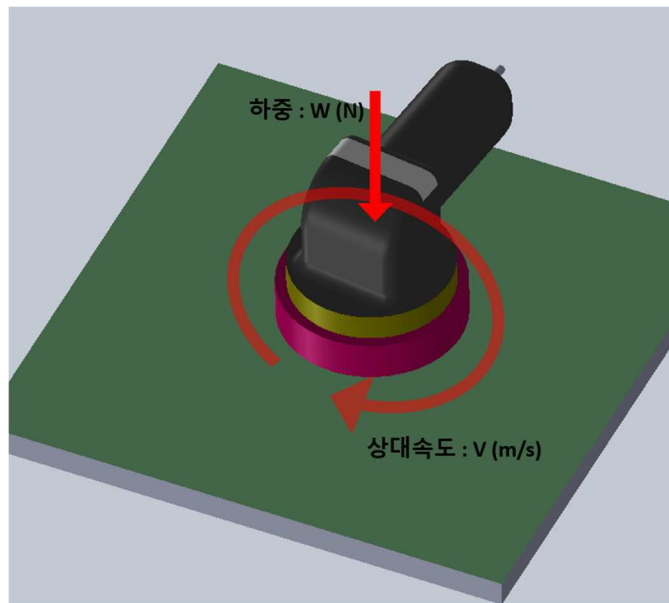
[Figure 14] 질량에 따라 계산된 Lxz모멘트 물리량



[Figure 15] 무게추 가변 백킹 플레이트 헤드<sup>16</sup>

### 2.1.3 마찰열

마찰력은 물질이 다른 물질에 맞닿은 채 미끄러져 움직이거나 움직이려 할 때, 이를 방해하는 힘이다. 항상 물질을 움직이게 만드는 힘과 반대 방향이며, 물질이 움직이는 평면과 평행한 방향으로 작용한다. 물질이 다른 물질의 표면 위를 미끄러져 갈 때 마찰력에 의해서 물질이 가진 운동 에너지가 열로 변환된다. 마찰력에 의해 물질의 표면은 마모된다. 마찰열은 아래 수식 4와 같이 나타낼 수 있다.



[Figure 16] 마찰열의 발생

$$Q = \mu Wv/J$$

수식 4

여기서  $\mu$ 는 동적마찰계수,  $W$ 는 하중,  $v$ 는 상대속도 그리고  $J$ 는 열의 일당량이다. 본 실험에서는 동일한 시편과 동일한 패드, 연마제를 사용하였으므로 마찰계수는 동일한 상수이다. 여기서 가해지는 하중은 광택기의 자중이다. 광택기의 무게는 백킹플레이트를 제외하고 동일하다. 듀얼폴리서의 무게는 <표 6>에 수록된 것과 같이 2.3kg이다. 여기서 패드의 무게는 수 그램으로 전체 무게의 비해 무시할 수 있을 정도로 가볍다. 백킹플레이트의 무게는 [Figure 21] 과같이 폴리우레탄; 29.7g, 알루미늄; 92.8g, 고내식 마그네슘 합금; 63.3g이다. 따라서 광택작업에서 발생한 열량은 상대속도와 하중에 비례한다. 여기서 상대속도는 편심운동하는 각속도1( $\omega_1$ )과 원심력에 의한 원운동 각속도2( $\omega_2$ )의

합이다. 각속도1은 4750rpm으로 일정하다. 각속도 2는 백킹플레이트의 질량에 관한 함수이다. 각운동2의 각운동에너지는 수식 5와 같이 나타낼 수 있다.

$$K_R = \frac{1}{2}(\sum m_i v_i^2) \omega_1^2 \quad \text{수식 5}$$

여기서  $m_i$ 는 백킹플레이트의 질량,  $v_i$ 는 백킹플레이트의 회전 속도이다. 각운동에너지  $K_R$ 은 모두 같은 편심원운동에 의해 발생한 원심력에 의해 발생하므로 그 에너지의 양은 같다. 예를 들어 중량은 속도의 제곱에 반비례한다. 따라서 중량이 높을수록 각속도2는 낮아지지만, 열 발생량은 증가한다. 다시 정리하면, Q는 질량에 정비례하고  $v$ 는  $\omega_1$ 과  $\omega_2$ 의 합이다. 여기서  $\omega_1$ 은 4750rpm으로 일정하다.

### 2.1.4 광택

다음은 마찰력에 관한 식이다.

$$F_k = \mu N = \mu mg \quad \text{수식 6}$$

여기서  $F_k$ 는 마찰력,  $\mu$ 는 동적마찰계수 그리고  $N$ 는 수직항력이다. 위에서 설명하였듯이 동적마찰계수는 연마제와 패드에 의해 결정되므로 동일하다. 수직 항력은 광택기 전체의 무게와 중력가속도의 곱이다. 본 실험에서 사용된 것들은 폴리우레탄, 알루미늄 그리고 마그네슘 백킹플레이트다. 광택량은 광택기가 한 일에 비례한다. 일은 마찰력과 이동거리의 곱이다. 마찰력은 단순히 알루미늄(92.8 g)이 가장 높고, 폴리우레탄(29.7g) 으로 가장 낮고 마그네슘 (63.3g)이 그 가운데 값이다. 알루미늄의 마찰력을 1이라고 가정했을 때, 폴리우레탄 0.32 그리고 마그네슘 0.68이다. 여기서 패드가 움직인 거리를 곱해주면 일의 량이 된다. 패드의 이동거리는 편심운동하는 선속도( $v_1$ , 4750rpm)과 원심력에 의한 원운동의 선속도( $v_2$ ) 의 합에 시간(t)을 곱한 값이다. 본 논문에서는 선속도( $v_2$ ) 를 알아보기 위해 타코미터를 사용하여 rpm을 측정하였다.

<표 3> 재질별 백킹플레이트의 회전속도

백킹플레이트 재질	회전속도 - 하중 5N (rpm - m/s)	회전속도 - 공회전 (rpm - m/s)
PU	845 - 3.54	4500 - 18.85
Al	325 - 1.36	4100 - 17.17
Mg	750 - 3.14	4235 - 17.74

<표 3>은 재질별 백킹플레이트의 회전속도이다.  $v_1$ 의 선속도를 계산하면 다음과 같다.

$$v_1 = \omega_1 \times r_1 = \frac{2\pi r_1}{T} \quad \text{수식 7}$$

여기서  $r_1$ 은 편심회전의 거리의 반지름 6mm이다.  $r_2$ 는 패드의 반지름 40mm이다. 계산된 선속도1의 값은 2.95m/s이다. 5N의 하중 조건에서 백킹플레이트 재질에 따른 패드의 선속도2은 다음과 같다. 폴리우레탄 3.54m/s, 알루미늄 1.36m/s 그리고 마그네슘 3.14m/s이다. 선속도1과 선속도2를 합한 값은 폴리우레탄 6.49m/s 알루미늄 4.31m/s 마그네슘 6.09m/s이다. 모두 5N의 하중 조건에서 측정된 속도 이므로 마찰력은 모두



동일하게 볼 수 있다. 마찰 계수의 값을 1로 보았을 때, 일의 양은 다음과 같다. 폴리에탄 32.45N·m/s, 알루미늄 21.55N·m/s 그리고 마그네슘 30.45N·m/s이다. 여기까지의 설명은 진동에 대한 고려를 하지 않은 것이다. 듀얼액션 광택기는 편심운동을 하기 때문에 무게중심이 빠르게 이동한다. 무게중심의 이동은 관성을 발생시킨다. 발생된 관성은 진동으로 이어진다. 이 진동은 결국 백킹플레이트의 무게에 비례한다. 진동의 세기에 따라 작업 면적의 크기가 바뀌게 된다. 본 논문에서는 이를 실험을 통해 작업 면적, 진동의 세기 등을 관찰했다.

## 2.2 마그네슘 합금

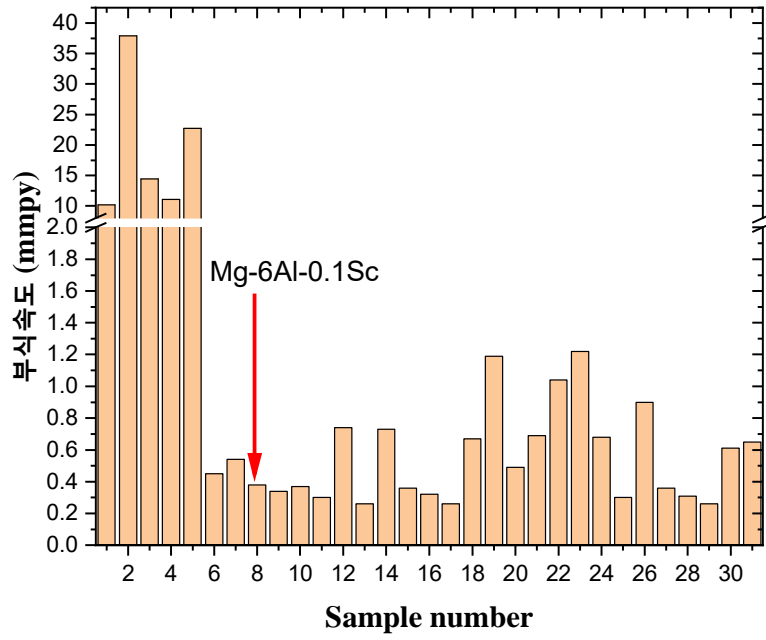
마그네슘은 주기율표 상에서 알칼리금속을 제외한 금속중에서 유일하게 알루미늄보다 가벼운 소재이다. 알루미늄 6601A의 NaCl에 대한 내식성은 0.21 mmpy이다. 폴리우레탄의 경우 내식성은 매우 높으나, 친환경적이지 못한 소재이다. 따라서 마그네슘의 내식성을 높여 적당한 무게의 백킹플레이트를 만들어야 할 필요가 있다. 고내식 마그네슘 합금에 대한 정보는 특허에 자세히 수록되어 있다.<sup>17</sup> 본 논문에서는 Table 1.의 13의 Mg-6Al-0.1Sc을 사용하였다. 이 소재는 마그네슘에 스칸디늄을 도핑 한 소재이다. 이에 대한 내식성은 Table 2. 에 나와 있다. 비교예 1-5는 스칸디늄이 도핑 되지않은 마그네슘·알루미늄 합금이다. 이 합금들의 부식 속도는 10.19mmpy 부터 37.91mmpy이다. 마그네슘·알루미늄에 스칸디늄을 도핑 한 경우 스칸디늄을 도핑하지 않은 합금에 비해 내식성이 월등히 향상되었다. 본 논문에서 사용된의 Mg-6Al-0.1Sc경우 (실시예 3) 0.38mmpy의 부식속도를 갖고 있다. 이는 스칸디늄을 도핑 하지 않은 비교예에 비해 현저히 낮은 수치이다. [Figure 18]은 100시간 작업 후의 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트 사진이다. 100 시간의 작업 이후에도 내구도에 문제가 없음을 보여준다.

<표 4> 마그네슘 합금의 제조<sup>17</sup>

		합금명	성분 (중량%)					
			Al	Sc	Zn	Mn	Ca	Mg
1	비교예 1	Mg-3Al	3	-	-	-	-	bal.
2	비교예 2	Mg-6Al	6	-	-	-	-	bal.
3	비교예 3	Mg-6Al-1Zn	6	-	1.0	-	-	bal.
4	비교예 4	Mg-3Al-5Zn	3	-	5.0	-	-	bal.
5	비교예 5	Mg-6Al-1Zn-0.25Ca	6	-	1.0	-	0.25	bal.
6	실시예 1	Mg-1Al-0.1Sc	1	0.1	-	-	-	bal.
7	실시예 2	Mg-3Al-0.01Sc	3	0.01	-	-	-	bal.
8	실시예 3	Mg-3Al-0.02Sc	3	0.02	-	-	-	bal.
9	실시예 4	Mg-3Al-0.05Sc	3	0.05	-	-	-	bal.
10	실시예 5	Mg-3Al-0.1Sc	3	0.1	-	-	-	bal.
11	실시예 6	Mg-3Al-0.3Sc	3	0.3	-	-	-	bal.
12	실시예 7	Mg-6Al-0.02Sc	6	0.02	-	-	-	bal.
<b>13</b>	<b>실시예 8</b>	<b>Mg-6Al-0.1Sc</b>	<b>6</b>	<b>0.1</b>	-	-	-	<b>bal.</b>
14	실시예 9	Mg-1Al-1Zn-0.1Sc	1	0.1	1.0	-	-	bal.
15	실시예 10	Mg-3Al-1Zn-0.1Sc	3	0.1	1.0	-	-	bal.
16	실시예 11	Mg-6Al1Zn-0.1Sc	6	0.1	1.0	-	-	bal.
17	실시예 12	Mg-6Al-1Zn-0.3Sc	6	0.3	1.0	-	-	bal.
18	실시예 13	Mg-3Al-5Zn-0.1Sc	3	0.1	5.0	-	-	bal.
19	실시예 14	Mg-1Al-1Zn-0.3Mn-0.1Sc	1	0.1	1.0	0.3	-	bal.
20	실시예 15	Mg-3Al-1Zn-0.05Mn-0.1Sc	3	0.1	1.0	0.05	-	bal.
21	실시예 16	Mg-3Al-1Zn-0.1Mn-0.1Sc	3	0.1	1.0	0.1	-	bal.
22	실시예 17	Mg-3Al-1Zn-0.3Mn-0.1Sc	3	0.1	1.0	0.3	-	bal.
23	실시예 18	Mg-3Al-1Zn-1.0Mn-0.1Sc	3	0.1	1.0	1	-	bal.
24	실시예 19	Mg-6Al-1Zn-0.3Mn-0.1Sc	6	0.1	1.0	0.3	-	bal.
25	실시예 20	Mg-9Al-1Zn-0.3Mn-0.1Sc	9	0.1	1.0	0.3	-	bal.
26	실시예 21	Mg-0.3Al-0.5Ca-0.1Sc	0.3	0.1	-	-	0.5	bal.
27	실시예 22	Mg-0.3Al-0.5Ca-0.3Sc	0.3	0.3	-	-	0.5	bal.
28	실시예 23	Mg-0.3Al-0.5Zn-0.5Ca-0.3Sc	0.3	0.3	0.5	-	0.5	bal.
29	실시예 24	Mg-6Al-1Zn-0.25Ca-0.1Sc	6	0.1	1.0	-	0.25	bal.
30	실시예 25	Mg-6Al-1Zn-0.3Mn-0.25Ca-0.1Sc	6	0.1	1.0	0.3	0.25	bal.
31	실시예 26	Mg-6Al-1Zn-0.3Mn-1.0Ca-0.1Sc	6	0.1	1.0	0.3	1	bal.

<표 5> 부식 속도 평가<sup>17</sup>

		부식속도 (mmpy)			부식속도 (mmpy)
1	비교예 1	10.19	17	실시예 12	0.26
2	비교예 2	37.91	18	실시예 13	0.67
3	비교예 3	14.43	19	실시예 14	1.19
4	비교예 4	11.07	20	실시예 15	0.49
5	비교예 5	22.72	21	실시예 16	0.69
6	실시예 1	0.45	22	실시예 17	1.04
7	실시예 2	0.54	23	실시예 18	1.22
<b>8</b>	<b>실시예 3</b>	<b>0.38</b>	24	실시예 19	0.68
9	실시예 4	0.34	25	실시예 20	0.3
10	실시예 5	0.37	26	실시예 21	0.9
11	실시예 6	0.3	27	실시예 22	0.36
12	실시예 7	0.74	28	실시예 23	0.31
13	실시예 8	0.26	29	실시예 24	0.26
14	실시예 9	0.73	30	실시예 25	0.61
15	실시예 10	0.36	31	실시예 26	0.65
16	실시예 11	0.32			



[Figure 17] 부식 속도 평가



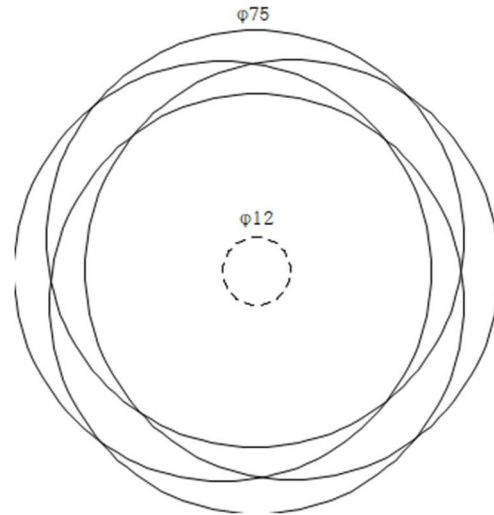
[Figure 18] 100시간 작업 후의 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트 사진

### 2.3 실험 장치 및 방법

듀얼광택기는 ‘루페스사의 빅풋 3인치 광택기’ 를 사용하였다. Table 3.은 실험에 사용된 듀얼광택기의 상세 스펙이다. 광택기의 손잡이 부분을 단단히 고정 한 후 장비 스펙의 최저 에서 최고 rpm 중간 값인 4750rpm을 실험 기준으로 하였다. 패드는 광택 중간단계용인 ‘3인치 루페스 폼패드 (듀얼액션용) 그린#2500 샌딩마크수준용’ 을 사용하였다. 연마제는 ‘루페스 퀴즈 글로스 미디움 그린#2500용’ 을 사용하였다. 광택기 작동 후 목표 rpm에 도달하였을 때 실험 시편을 5 N의 압력으로 연마 작업을 하였다. 시편의 변화를 연마 시간에 따라 관찰하였다. [Figure 19]은 표면거칠기 측정을 위한 실험 세팅이다.



[Figure 19] 표면거칠기 측정을 위한 실험 세팅

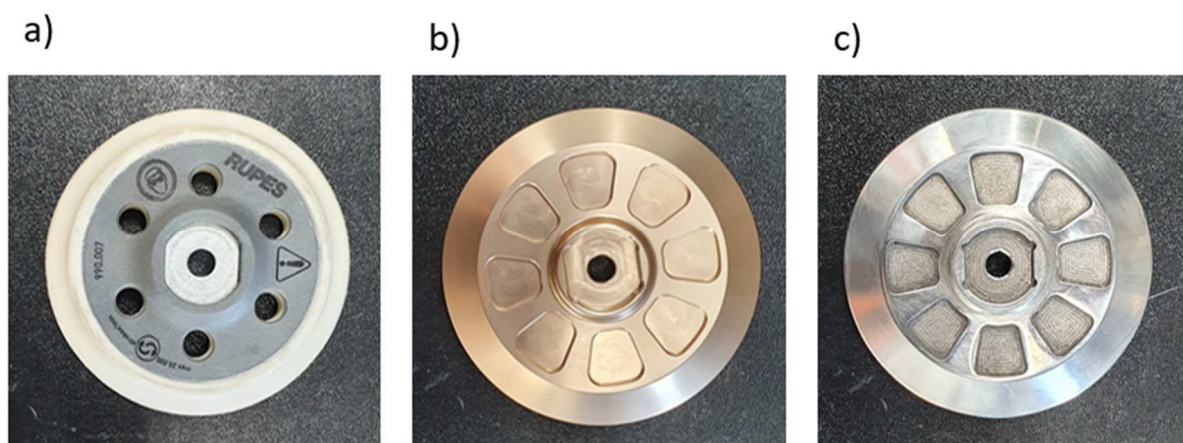


[Figure 20] 실험에 사용된 듀얼액션 광택기의 움직임

<표 6> 실험에 사용된 듀얼액션광택기의 스펙

∅backing plate	75 mm - 3inch
∅orbit (편심회전지름)	12 mm - 1/2inch
Power	400 Watt
R.P.M.	4000-5500
Weight	2.3 kg - 5.07lbs
Backing plate thread	M6

[Figure 21]은 재질별 백킹플레이트의 사진이다. a)는 폴리우레탄 b)는 알루미늄 그리고 c) 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트다. 세 개의 백킹플레이트는 지름(75mm)과 높이(15mm)가 같다. [Figure 21]에서 볼 수 있듯이 알루미늄과 마그네슘의 형상은 같고, 폴리우레탄 백킹플레이트의 형상은 다르다. 폴리우레탄 백킹플레이트는 RUPES 사의 ‘LHR75E(듀얼용)’ 제품을 사용하였다. 알루미늄 백킹플레이트는 BALANCE9 사의 ‘3인치 골드알루미늄’ 제품을 사용하였다. 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트는 알루미늄 백킹플레이트와 동일하게 모델링 하여 제작하였다. 재질별 백킹플레이트의 중량은 폴리우레탄 백킹플레이트; 29.7g, 알루미늄 백킹플레이트; 92.8g 그리고 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트는 63.3g 이다.



[Figure 21] 재질별 백킹플레이트 이미지, a) 폴리우레탄 (29.7g), b) 알루미늄 (92.8g), c) 고내식 마그네슘 합금 (63.3g) 백킹플레이트

### 2.3.1 백킹플레이트

[Figure 21]을 보면 폴리우레탄 백킹플레이트는 여섯 개의 타공이 되어있다. 알루미늄 백킹플레이트는 패턴 가공이 되어있다. 폴리우레탄 백킹플레이트의 경우 무게가 가볍기 때문에 진동에 의해 발생하는 문제로부터 자유롭다. 하지만 열전도도가 낮아 발열에 대한 문제를 갖고 있다. 타공을 할 경우 공기와의 접촉 면적이 늘어나고, 그에 따라 열의 발산이 용이해진다. 타공은 열의 발산을 돕지만, 고온으로 인해 벨크로가 녹을 경우 홀 안으로 접착제가 유입될 수 있다. 알루미늄 백킹플레이트의 경우 반대로 열전도도가 높



아 열에 대한 문제로부터는 비교적 자유롭지만, 무게가 무겁기 때문에 진동에 대한 문제를 갖고 있다. 따라서 패턴 가공을 통해 무게를 최대한 줄여주는 것이 일반적이다. 따라서 알루미늄 백킹플레이트의 경량화는 백킹플레이트의 충분한 강도 내에서 최대한 이루어진다. 마그네슘 백킹플레이트의 경우 높은 열전도도로 열에 대한 문제로부터 자유롭기 때문에 알루미늄과 비슷한 특성을 갖는다. 따라서 마그네슘 백킹플레이트는 알루미늄 백킹플레이트와 동일한 형상으로 제작되었다. 이는 형상에 따른 요소를 배제하기 위함이기도 하다.

사용 장비는 아래 <표 7>을 사용하였다. ‘Solid works’ 와 Power Mill로 cad/cam 작업을 하였고, 가공 조건은 ‘SECO’ 사의 HSS Mill  $\varnothing 6, 2$  그리고 7000 - 9000rpm, 300 - 700feed로 가공하였다. [Figure 22]은 CNC 가공기 사진이다.



[Figure 22] CNC 가공기 사진

<표 7> CNC가공기 스펙

장비명 / 제조사 / 제조국	CNC 3-Axis Machining Center / Hermle / Germany
Table	1,000 x 560mm
max. load capacity	700Kg
traverse X-Y-Z	700 x 550 x 500mm
linear rapid traverse X-Y-Z	30m/min
Main spindle speed	15,000rpm
magazine pockets	24pockets
max. tool length	300mm
max. tool diamete	Φ 80mm

### 2.3.2 연마작업을 통한 표면거칠기 측정

백킹플레이트의 재질에 따라 실험을 하였을 때 시편의 표면거칠기의 변화를 측정하여 연마량과 광택도의 상관관계를 확인하고자 하였다. 실험 시편은 황동판을 사용하였다. 그 이유는 실험목적이 광택기의 진동 및 발열 감소이므로 표면 거칠기는 육안으로 작업 부위 확인이 쉬워야 하고, 표면거칠기가 균일해야하기 때문이다. 시편의 표면거칠기 균일화를 위해 블라스트 작업을 하였다. 블라스트 작업 이후 황동 시편의 평균 표면거칠기는 0.75um 이다. 표면거칠기 측정 장비는 Mitutoyo사의 'SV-C3100' 을 사용하였다. [Figure 22]은 접촉식 표면거칠기 측정 장비다.



[Figure 23] 표면거칠기 측정장비 (Mitutoyo - SV-C3100)

### 2.3.3 연마 작업 후 광택계를 통한 표면의 광택도 측정

광택은 물체 표면의 반사에 의해 다른 물체의 상이 표면에 겹쳐져 보이는 현상을 말하는 것이다. 광택을 측정하기 위한 장치는 광택계이다. 물체에 따라 금속광택, 유리광택 등이 있고, GU는 그 반사 특성을 나타내는 공업량이다. 광택도는 표면에 빛을 입사하여 정반사하는 반사각의 빛을 적당 수광기로 측정하는 것이다. 이 장치는 GU가 100 인 블랙 글라스를 사용한 기준 측정을 기반으로 한다. [Figure 24]은 광택측정계를 사용하여 시편의 광택도를 측정하는 사진이다. 실험 시편을 Amittari사의 ‘AG-106B gloss meter’ 로 측정하였다. 가장 광택도가 높다고 판단되는 영역 중에 임의의 포인트를 골라 8포인트씩 측정하였다. 블라스트 작업 이후 황동 시편의 평균 광택도는 21.46GU이다.



[Figure 24] Amittari사의 'AG-106B gloss meter' 를 이용한 황동 시편의 광택도 측정

#### 2.3.4 열화상카메라 및 온도센서를 이용한 마찰 온도 측정

[Figure 26]은 열화상카메라, [Figure 26]는 디지털 써머커플(thermocouple) 장비 사진이다. 광택 작업 시 마찰열이 발생한다. 마찰열의 발생과 분포를 분석하기 위하여 열화상카메라를 이용하여 작업 5분이 지났을 때 각각의 백킹플레이트에 따른 온도변화를 측정하였다. 시편에 가해지는 열을 측정하기 위하여 써머커플센서를 시편 바닥에 부착하였다. 높은 온도의 작업 마찰열은 백킹플레이트와 연마 패드의 내구도를 저하시킨다. 시편에 높은 온도가 가해질 경우 도장면의 손상을 야기한다. 이 실험에서는 그 정도를 측정하여 각 백킹플레이트에 따라 장비 및 도장면에 온도를 분석하였다. 실험은 상온에서 진행되었다.



[Figure 25] 열화상카메라NEC (Themo Tracer-H2640)

<표 8> 열화상카메라 스펙, NEC사의 Themo Tracer-H2640.

Parameter	Specification
Temperature Range	-40 to 500℃
Spectral range	8-13 μm
Emissivity	0.1-1.00
Basic accuracy	±2% or ±2℃
A/D Resolution	14bits
Response time	150ms
Detector	Microbolometer
Focusing range	30cm to infinity



[Figure 26] 디지털 써머커플장비 (TES-1300)

<표 9> 디지털 써머커플 측정기 스펙 (TES-1300)

모델명	TES-1300
측정범위	-50℃~1300℃ (-58°F~1999°F)
분해능0.1℃	-50℃~199.9℃ 오차범위 ±(0.3% rdg+1℃)
분해능 1℃	50℃~1000℃ 오차범위 ±(0.5% rdg+1℃)
분해능 1℃	1000℃~1300℃ 오차범위 ±(0.75% rdg+1℃)
사이즈	135L x 72W x 31H(mm)
Input & Type	1채널 K Type

### 2.3.5 가속도 센서를 이용한 광택기의 진동 측정

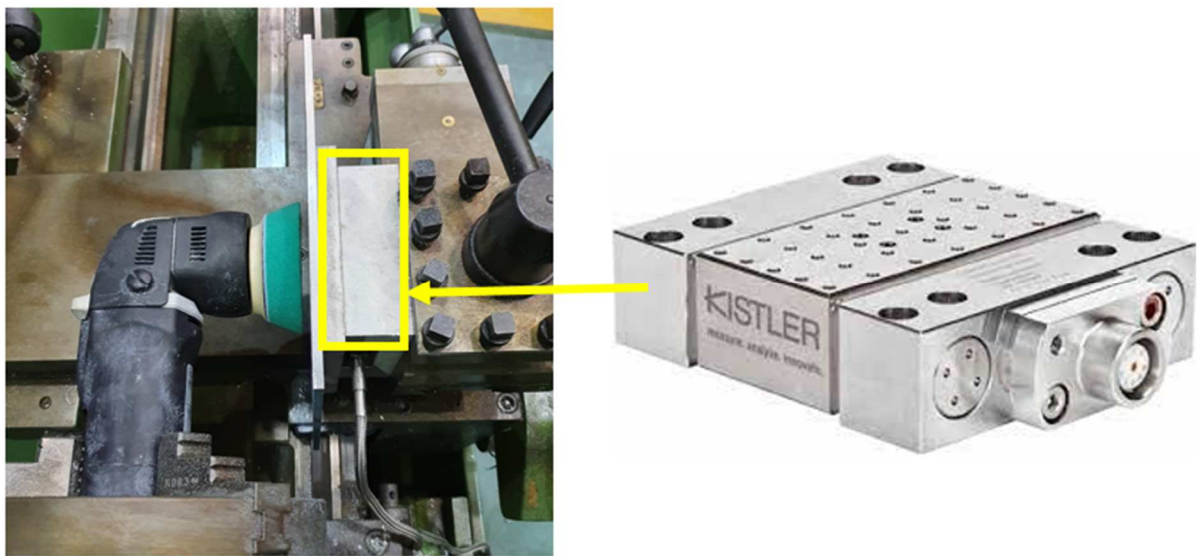
듀얼액션 광택기의 진동은 백킹플레이트의 편심회전으로 인하여 발생한다. 백킹플레이트의 재질에 따른 중량 값은 편심회전에 중요한 요소이다. 편심회전으로 생긴 원심력으로 패드는 자전하고 백킹플레이트에 중량에 발생하는 진동이 다르다. 원심력과 진동의 관계를 알아보기 위해 가속도센서 PCB PIEZOTRONICS사의 '352A21'를 이용하여 백킹플레이트의 재질에 따른 진동 값의 변화를 측정하였다. [Figure 27]은 가속도센서를 사용하여 광택기의 진동을 측정하는 사진이다. 가속도 센서는 그림과 같이 광택기의 헤드 부분에 부착하여 측정하였다.



[Figure 27] 가속도센서를 이용한 듀얼액션광택기의 진동 측정

### 2.3.6 공구동력계를 통한 작업 시편의 표면에 가해지는 힘 측정

광택 작업 시 듀얼 액션 광택기의 진동은 백킹플레이트로 인하여 발생한다. 백킹플레이트의 무게에 따라 다른 진동은 폴리싱작업에 중요한 영향을 준다. 광택기의 진동이 작업 표면에 전달되는 힘을 관찰하기 위해 공구동력계는 KISTLER사의 'MiniDyn Type 9256C' 를 사용하였다. 광택기의 연마 조건은 하중 500g, rpm4750 그리고 연마 패드는 폼 패드 그린을 사용하였다. [Figure 28]은 공구동력계를 이용한 작업 표면의 토크를 측정하는 사진이다.



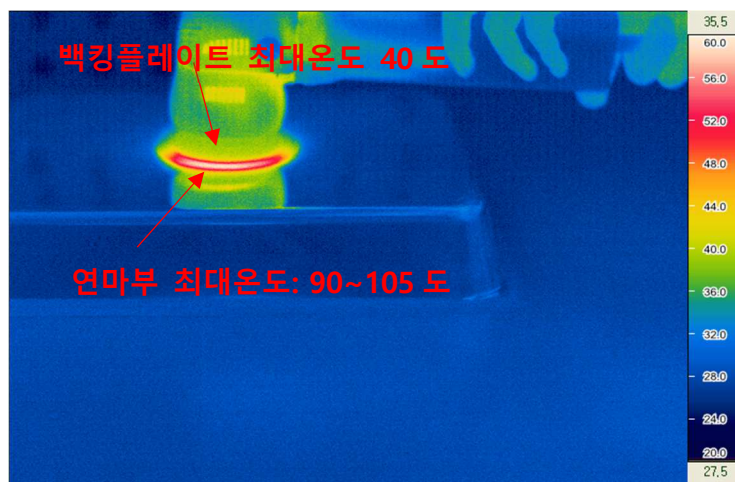
[Figure 28] 공구동력계 (MiniDyn - Type 9256C) 를 이용한 작업 표면의 토크 측정



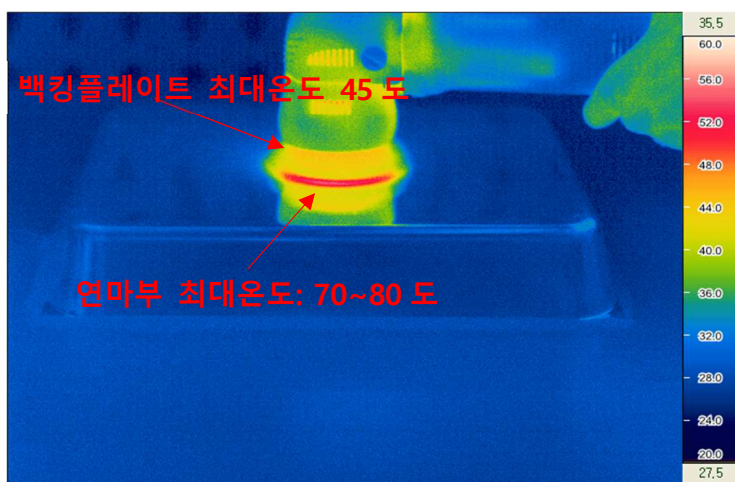
### 3. 실험 결과 및 분석

백킹플레이트를 평가하는 요소는 내구성, 작업자의 피로도 그리고 작업효율이다. 백킹플레이트의 내구성을 저하시키는 중요한 요인은 연마 시 발생하는 마찰열이다. 높은 작업 온도는 도장면의 손상과 백킹플레이트의 접촉 부분 및 백킹플레이트 자체의 손상을 야기한다. 따라서 연마에 의해 발생된 발열 온도를 빠르게 낮춰주는 것이 중요하다. 백킹플레이트의 냉각 속도는 재질의 열전도율과 밀접한 관련이 있다.

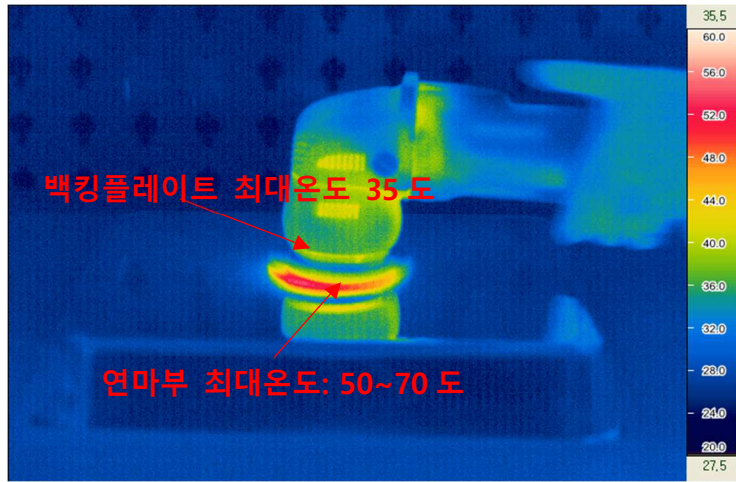
a)



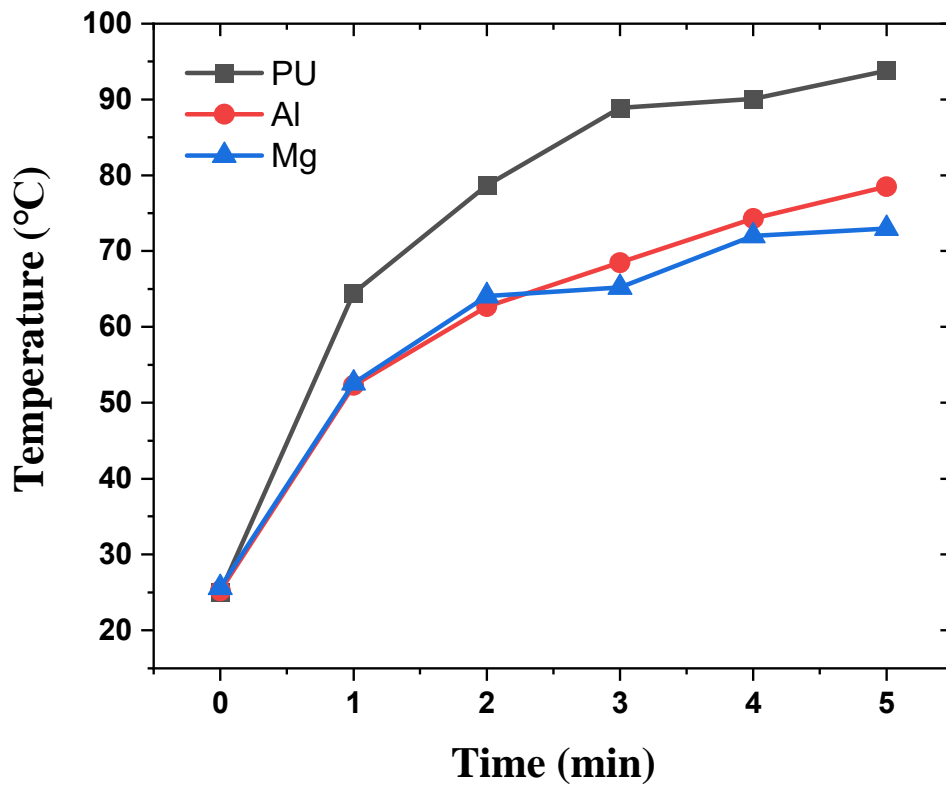
b)



c)



d)



[Figure 29] a) -c), 열화상카메라를 이용한 마찰온도측정, a) 폴리우레탄 b) 알루미늄, c) 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트를 사용할 때의 마찰에 의한 열화상 이미지, d) 디지털 써머커플 측정기를 사용해서 측정한 작업 표면의 작동 시간 경과에 따른 온도변화, 작업 표면으로 SUS 0.5T 판재를 사용하였다.

[Figure 29]은 열전도도가 미치는 영향에 따른 실제 작업 시 발생하는 마찰열을 알아보기 위해 열화상카메라를 사용하여 작업 온도를 측정하였다. 광택기의 rpm은 4750으로 동일하고, 작업 표면에 가해지는 하중은 광택기 자중으로 같다. 연마 패드는 모두 동일한 폼 패드 그린을 사용하였다. 모든 조건에서 연마제는 사용하지 않았다. 사진은 연마 시작 후 5분이 경과하였을 때 촬영한 사진이다. [Figure 29]의 a)는 폴리우레탄 백킹플레이트의 마찰열을 측정한 사진이다. 5분이 경과하였을 때, 폴리우레탄 백킹플레이트의 최대 온도는 40℃ 그리고 연마부 최대 온도 90~105℃였다. [Figure 29]의 b)는 폴리우레탄 백킹플레이트의 마찰열을 측정한 사진이다. 알루미늄 백킹플레이트의 최대 온도는 45℃ 그리고 연마부 최대 온도 70~80℃였다. [Figure 29-c)는 폴리우레탄 백킹플레이트의 마찰열을 측정한 사진이다.

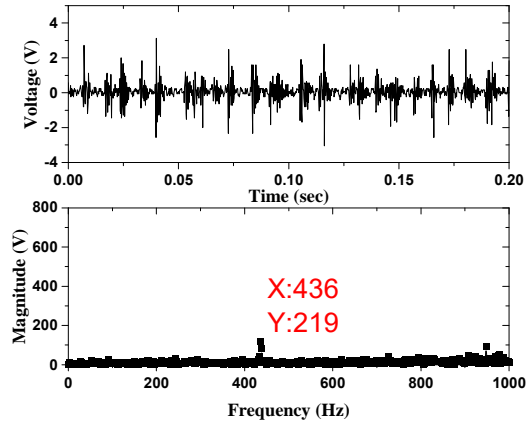
알루미늄 백킹플레이트의 최대 온도는 35℃ 그리고 연마부 최대 온도 50~70℃였다. 결과적으로 수지류 백킹플레이트 보다 알루미늄과 마그네슘 합금 재질의 백킹플레이트가 온도가 약 20℃ 이상 낮았으며, 그중 마그네슘 합금 재질의 백킹플레이트가 50~70℃로 가장 낮았다. 백킹플레이트의 온도는 마그네슘 합금 최저 35℃에서 알루미늄 45℃로 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 실제 차량의 광택 작업을 하기에 최소 수 시간 이상 작동하며, 이는 연마부에서 발생하는 최대 온도가 백킹플레이트에 전달되며 결과적으로 백킹플레이트의 온도가 연마부의 온도와 비슷한 수준까지 상승한다. 백킹플레이트의 높은 온도에 의해 녹는점이 낮은 벨크로 부위가 손상된다.

[Figure 29]의 d)는 연마 시간에 따른 작업 표면의 온도 상승 속도를 보여준다. 폴리우레탄 백킹플레이트의 작업 표면의 온도는 약 100℃에 가깝게 상승했다. 알루미늄 백킹플레이트의 작업 표면 온도는 약 80℃에 근사한 온도로 상승하였다. 마그네슘 합금 백킹플레이트는 알루미늄 백킹플레이트의 작업 표면 보다 근소하게 낮은 온도를 나타냈다. 결론적으로 근소한 차이지만 마그네슘 합금 백킹플레이트의 작업 표면의 온도가 가장 낮았으며 폴리우레탄 백킹플레이트의 작업 표면 온도가 가장 높게 측정되었다. 측정된 온도 결과는 마찰열에서 발산한 열에너지는 뺀 결과이다.

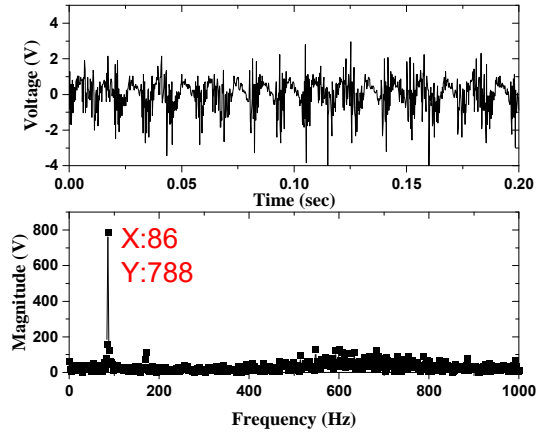
마그네슘 합금의 열전도율은 51W/mK 이고 알루미늄 합금의 열전도율은 96.2W/mK 이다. 열의 발산은 알루미늄의 경우 약 두 배 높지만, 발생하는 마찰열의 양 또한 약 두 배 높을 것으로 추측할 수 있다. 반면 폴리우레탄 백킹플레이트의 경우에는 열전도율이 0.025W/mK 으로 매우 낮다. 따라서 마찰열이 높더라도 열의 발산이

효율적이지 못하다. 결과적으로 마그네슘 합금 백킹플레이트가 마찰열로 인한 내구성이 높다고 평가할 수 있다.

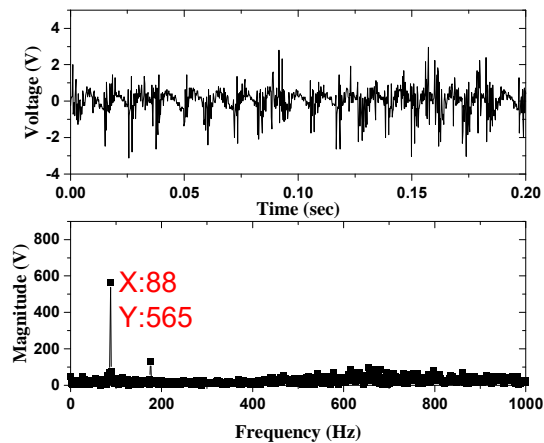
a)



b)



c)

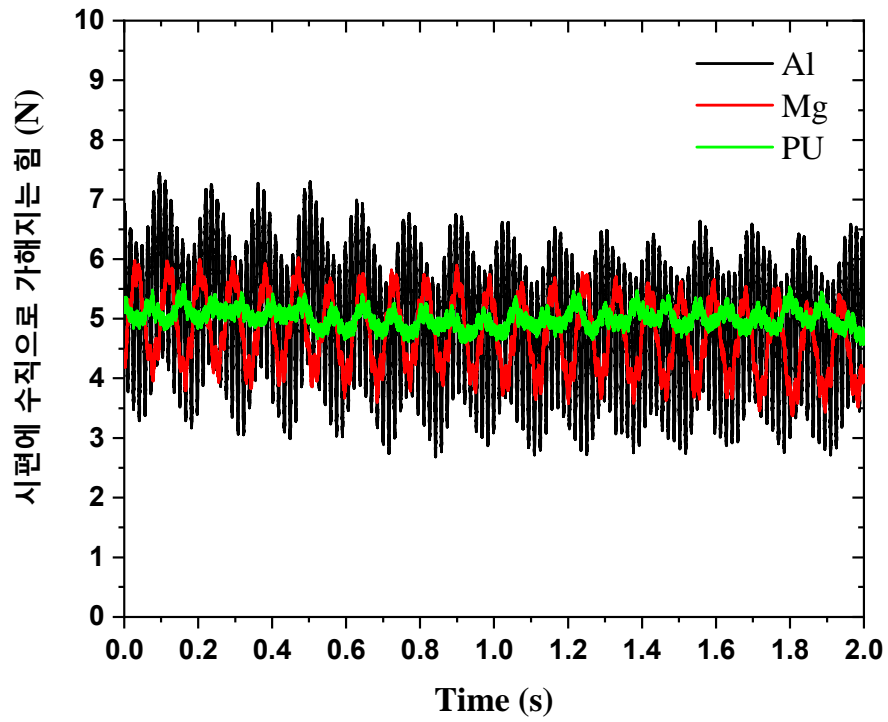


[Figure 30] 가속도센서를 이용한 주파수 및 진동 세기 a) 폴리우레탄 b) 알루미늄, c) 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트를 사용할 때의 주파수 및 진동 세기 측정 그래프

광택기의 진동은 작업자의 피로도와 밀접한 연관이 있다. 앞서 서론에서 서술한 것과 같이 낮은 주파수의 진동은 근골격계의 질환을 유발한다. [Figure 27]과 같이 바이스에 광택기를 고정하고 가속도센서를 구동모터 중심부에 부착 후 오실로스코프를 이용하여 데이터를 수집하였다. [Figure 21]의 백킹플레이트를 사용하였고 그 이외의 모든 조건은 동일하다. 구동 모터의 rpm은 4750이다. [Figure 30]의 그래프는 백킹플레이트의 재질에 따른 진동을 측정된 것이다. [Figure 30]의 a)는 폴리우레탄 백킹플레이트의 진동을 측정된 것이다. 가장 높은 진폭의 진동이 측정된 주파수는 436Hz의 주파수이며 세기는 약 219V이다. [Figure 30]의 b)는 알루미늄 백킹플레이트의 진동을 측정된 것이다. 가장 높은 진폭의 진동이 측정된 주파수는 86Hz이며 세기는 788V로 측정되었다. [Figure 30]의 c)는 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트의 진동을 측정된 것이다. 가장 높은 진폭의 진동이 측정된 주파수는 88Hz이고 세기는 565V이다.

폴리우레탄 백킹플레이트의 진동이 가장 높은 주파수와 낮은 세기를 갖고 있다. 알루미늄 백킹플레이트는 가장 낮은 주파수와 가장 높은 세기를 갖고 있다. 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트는 알루미늄 백킹플레이트와 유사하다. 이 결과에서 주파수는 백킹플레이트의 형상과 부피에 따라 정해지는 것으로 보인다. [Figure 19]에서 알루미늄 백킹플레이트와 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트의 형상과 부피가 동일한 것을 알 수 있다. 실제 주파수는 알루미늄 백킹플레이트; 86, 172Hz 그리고 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트; 88, 176Hz로 매우 유사하다. 주파수의 세기는 중량에 따라 결정된다. 폴리우레탄 백킹플레이트는 29.7g으로 알루미늄 백킹플레이트 대비 약 68%, 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트 대비 약 53% 가볍다.

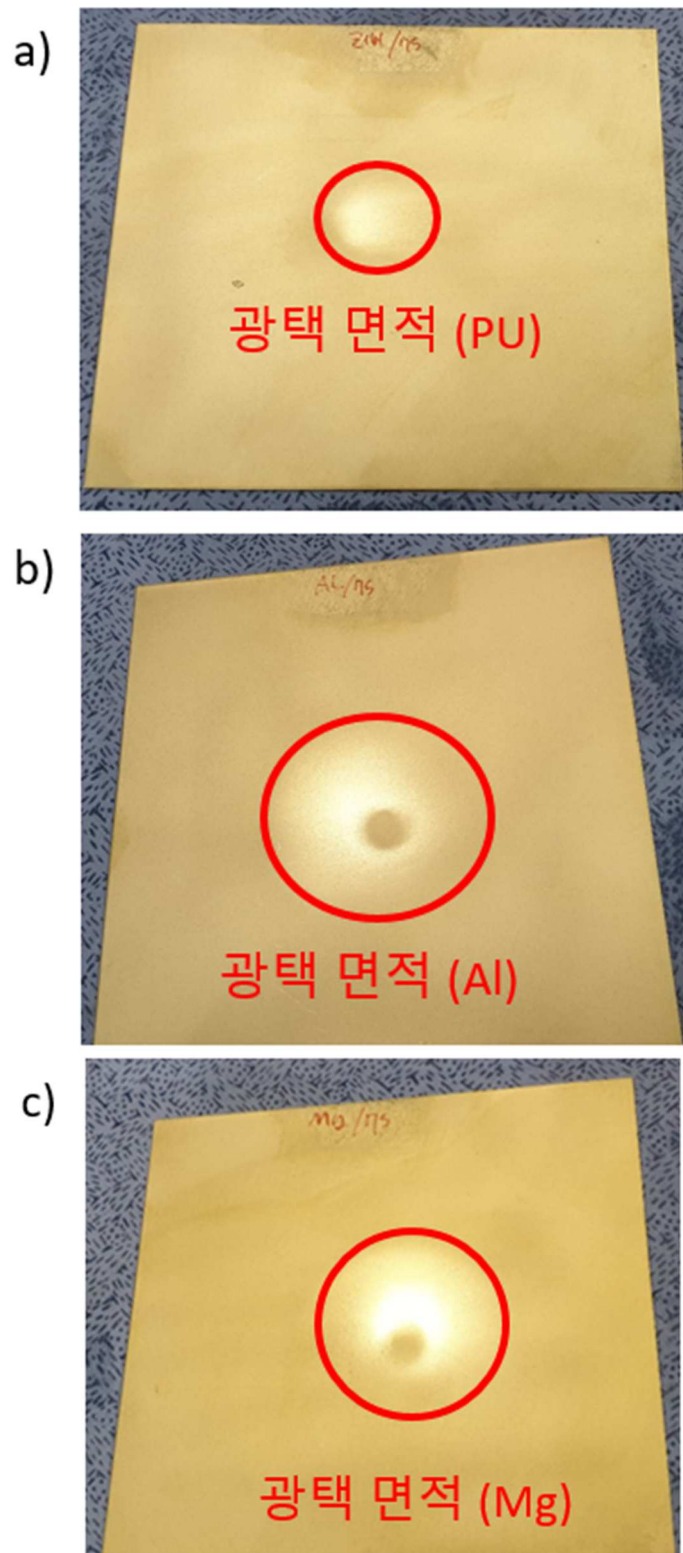
따라서 주파수의 세기는 폴리우레탄 219V, 알루미늄 788V로 알루미늄 대비 약 85%, 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트 565V 대비 약 80%로 가장 낮게 측정되었다. 폴리우레탄 백킹플레이트는 월등히 중량이 낮아 가장 적은 진동 세기를 보여주었으나, 형상과 부피가 동일한 알루미늄 백킹플레이트와 고내식 마그네슘 백킹플레이트의 진동 세기를 비교해 보았을 때, 고내식 마그네슘 백킹플레이트의 진동 세기 565V가 알루미늄 백킹플레이트의 진동 세기 788V보다 약 30% 감소하였다. 재질의 중량에 따라 진동의 세가 비례함을 확인할 수 있었다.



[Figure 31] 백킹플레이트로 작업할 때 작업 표면에 가해지는 힘

[Figure 31]은 각 재질별 백킹플레이트로 작업할 때 표면에 가해지는 힘을 측정한 그래프이다. [Figure 28]과 같이 하중은 가해지지 않고, 시편에 가해지는 힘은 5N으로 모두 동일하다. 진폭의 경우 폴리우레탄이 1N 미만으로 가장 작았다. 알루미늄 백킹플레이트는 약 4N의 진폭을 갖고 있다. 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트는 약 2N의 진폭을 갖고 있다. 작업자는 알루미늄 백킹플레이트를 사용할 때 강한 힘을 가하며 사용해야 하고, 느끼는 진동은 폴리우레탄 백킹플레이트를 기준으로 봤을 때 알루미늄에서 4배, 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트에서 2배이다. 작업자가 받는 피로도는 이에 비례할 것이다. 작업자의 진동으로 인한 피로도는 작업 시간과 주파수와 진동의 세기에 따라 증가한다. 폴리우레탄 백킹플레이트가 가장 높은 주파수와 낮은 진동 세기로 작업자의 단위 시간당 피로도는 가장 낮다.

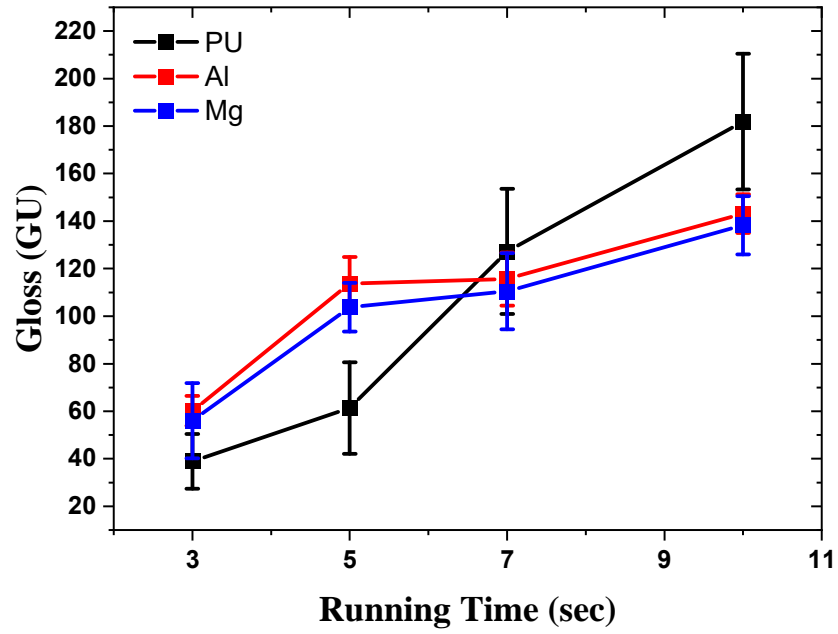




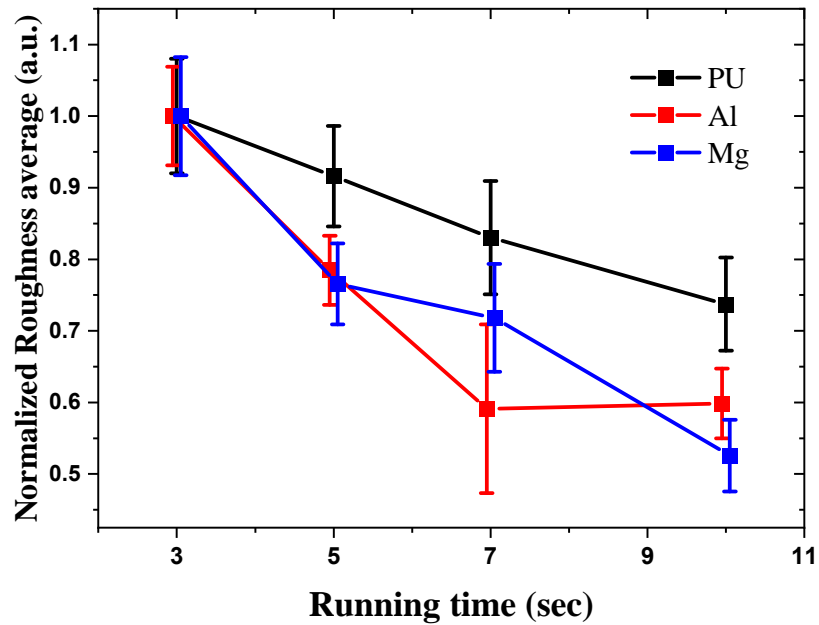
[Figure 32] 7초 동안 광택 작업을 진행 한 후의 시편 사진 a) 폴리우레탄, b) 알루미늄, c) 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트

작업자에게 누적되는 총 피로도는 단위 시간당 피로도에 작업시간을 곱한 값이다. 작업시간은 광택기가 같은 시간 동안 얼마나 넓은 면적을 작업할 수 있는가와 관련이 있다. [Figure 32]은 7초 동안에 광택 작업을 진행한 후의 시편 사진이다[Figure 32]의 a), b), c)는 각각 폴리우레탄, 알루미늄, 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트로 작업한 사진이다. 폴리우레탄 백킹플레이트로 작업한 시편은 알루미늄과 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트로 작업한 시편과 광택이 나타나는 면적이 매우 작다. 알루미늄, 고내식 마그네슘 백킹플레이트로 작업한 시편은 비슷한 광택 면적을 보였다. 따라서 작업시간은 알루미늄과 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트의 경우 비슷할 것으로 예상할 수 있다. 이에 비해 폴리우레탄 백킹플레이트는 시간당 광택 면적이 작으므로 작업 시간이 오래 걸릴 것을 예상할 수 있다. 따라서, 작업자에게 누적되는 총 피로도는 폴리우레탄 백킹플레이트로 작업했을 때가 절대적으로 낮다고 판단할 수 없다.

a)



b)



[Figure 33] a) 연마 시간에 따른 광택도 변화, b) 연마 시간에 따른 표면 거칠기 변화

또한 광택의 질을 평가하기 위해 Gloss meter를 사용해서 작업 시간에 따른 광택도 변화를 측정하였다. [Figure 33]의 a)는 작업 시간에 따른 광택도 변화를 나타낸 그래프이다. 그리고 b)는 이에 따른 표면거칠기의 변화를 나타낸 그래프이다.

표면거칠기의 값이 같다고 해서 광택량이 같지는 않다.<sup>18</sup> 거칠기의 값이 곧 광택량의 값이 될 수는 없지만, 거칠기의 값이 줄어드는 양에 따라서 광택량이 증가한다. 따라서 [Figure 33]의 b)에서 첫 값을 1으로 정규화된 값을 사용하였다.

광택 작업 시간이 5초 일 때 알루미늄과 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트는 비슷한 Gloss를 보인다. 반면 폴리우레탄 백킹플레이트는 이보다 약 60GU 낮은 값을 보인다. [Figure 33]의 b)에서 초기 표면거칠기의 변화량을 보면 무게가 제일 무거운 알루미늄 백킹플레이트가 가장 큰 폭의 표면 거칠기 변화를 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 초반에 표면 연마력이 높은 백킹플레이트로 작업한 시편의 Gloss가 빠르게 증가한다. 이후 7초에서부터 폴리우레탄 백킹플레이트로 작업한 시편의 Gloss가 높아진다. 마찰 부하는 면적을 계속해서 연마하면 표면거칠기에 따라 부하는 점점 작아진다.

표면거칠기의 경우 무게에 반비례하는 모습을 보여주는데, 알루미늄의 경우 7초에서 기울기가 0에 가까워지는 반면 폴리우레탄과 마그네슘의 경우 10초 까지는 기울기가 감소하지 않는다. 알루미늄은 빠르게 연마하여 거칠게 연마되는 반면, 폴리우레탄의 경우 느리게 연마하여 포화되는 지점에 이르지 않아 꾸준히 감소하는 경향을 보여주었다.

Gloss 값과 표면거칠기는 다소 다른 경향을 보였다. [Figure 1231]에서 보듯이 소재에 따라 광택이 난 부분의 경향에서 차이를 보이는데, 폴리우레탄의 경우 좁은 작업 면적을 갖고있고, 알루미늄의 경우 넓은 작업 면적을 보였다. 작업 면적 내의 연마량은 좁은 면적에 집중된 하중을 가한 폴리우레탄에서 더 높은 경향을 보였다. Gloss값은 연마량이 높은 폴리우레탄에서 더 높은 값을 보이는 반면 표면거칠기의 경우 작업 면적이 넓은 알루미늄에서 더 높은 값을 보였다.

이는 Gloss값은 전체 면적 대비 반사되는 빛의 양을 측정하여 광택 면적에도 영향을 받아 표면거칠기가 포화된 이후에도 증가하는 모습을 보였다.

추가적으로 실제 마그네슘 고내식 백킹플레이트의 사용에 대한 피드백을 얻었다. 광택 업체의 피드백에 따르면 폴리우레탄으로 작업했을 때 6시간 정도 시간이 소요되었으나, 마그네슘 백킹플레이트를 사용했을 경우 4시간 정도로 작업시간이 감소하였다.

알루미늄에 비해서는 작업 시간이 비슷하였으나, 사용 피로도가 줄어들었음을 느꼈다고 다수가 답변하였다. 피드백은 10개 업체로부터 제공받았으며, 이 중에 8개 업체에서는 마그네슘 백킹플레이트의 가격이 알루미늄과 비슷하거나 저렴할 경우 사용할 의사가 있음을 밝혔고, 나머지 두개 업체에서는 알루미늄 백킹플레이트 또는 폴리우레탄 백킹플레이트를 사용할 것이라고 대답했다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 듀얼액션 광택기의 발열과 진동에 대해 다루었다. 듀얼액션 광택기는 싱글액션 광택기보다 도장면에 대한 손상이 적지만 진동은 크다. 싱글액션 광택기의 경우 구동모터의 힘이 백킹플레이트로 직접 전달되기 때문이다. 반면 듀얼액션 광택기는 백킹플레이트가 원심력에 의해 회전하므로 힘이 간접적으로 전달된다. 기어액션 광택기는 백래시에 의해 듀얼액션 광택기 보다 큰 소음과 진동이 발생한다.

작업효율은 시간당 광택을 낼 수 있는 면적을 말한다. 패드의 크기와 구동 모터의 회전속도가 동일할 때, 각 백킹플레이트별 작업 효율의 경우 폴리우레탄 대비 알루미늄과 마그네슘이 2 배 이상의 작업효율을 보여주었다.

표면거칠기와 광택도의 경우 광택작업 초반에 무게가 큰 알루미늄과 마그네슘이 광택도가 빠르게 증가하였으나 10 초의 작업시간 경과 이후 광택도는 폴리우레탄 백킹플레이트를 사용하였을 때 가장 높았다. 표면거칠기의 경우 거칠기가 낮아질수록 광택도는 높아지는 경향을 갖는다. 알루미늄의 경우 강한 진동으로 인해 초반에 빠른 거칠기 감소 추세를 보여주었으나 마그네슘과 폴리우레탄의 경우 꾸준히 거칠기가 감소했고, 폴리우레탄이 10 초 작업 이후 광택도가 가장 높았다.

열에 대한 분석은 열화상 카메라를 통하여 광택기 장비의 온도에 대해 측정하고 시편의 온도를 시간에 따라 측정하였다. 백킹플레이트의 온도는 폴리우레탄 40℃, 알루미늄 45℃ 그리고 마그네슘 35℃로 마그네슘 백킹플레이트를 사용하였을 때 알루미늄 대비 22.2%, 폴리우레탄 대비 12.5% 낮은 온도를 보여주어 마그네슘 백킹플레이트를 사용하였을 때 가장 낮았다. 이는 마그네슘 백킹플레이트를 사용하였을 경우 광택기 내부에 가장 낮은 열 손상을 준다는 것을 나타낸다.

연마부의 온도는 각각 폴리우레탄 95℃, 알루미늄 75℃ 그리고 마그네슘 60℃였다. 이는 각각 작업 시작 후 5 분이 지났을 때이다. 이에 따른 시편의 온도는 폴리우레탄 93.8℃, 알루미늄 78.5℃ 그리고 마그네슘 73℃였다. 마그네슘을 사용할 때 시편의 온도가 알루미늄에 비해 7%, 폴리우레탄에 비해 22.2% 낮았다. 이는 열에 의한 도장면의 손상을 마그네슘 백킹플레이트 사용으로 줄일 수 있다는 것을 의미한다.

공구동력계를 이용하여 표면에 가해지는 힘을 측정하였다. 진폭의 경우 폴리우레탄이 1N 미만으로 가장 작았다. 알루미늄 백킹플레이트는 약 4N의 진폭을 갖고 있다. 고내식 마그네슘 합금 백킹플레이트는 약 2N의 진폭을 갖고 있다. 시편에 가해지는 힘의 진폭은 곧 사용자가 느끼는 힘과 직접적으로 연관된다. 마그네슘의 경우 알루미늄에 비해 50% 감소한 진폭을 보였다.

가속도센서를 사용하여 진동에 대해 연구하였다. 진동은 진동의 주파수와 그 세기가 사용자의 피로도와 직접적인 연관을 가진다. 폴리우레탄의 경우 436Hz 에서 219V 의 세기를 가졌다. 알루미늄의 경우 86Hz 에서 788V 의 세기를 가졌다. 마그네슘의 경우 88Hz 에서 565V 의 세기를 가졌다. 측정된 진동과 세기는 광택기의 헤드 부분에 부착된 가속도 센서로 측정된 값이다. 따라서 이 진동은 사용자가 직접적으로 전달받는 진동이다. 마그네슘 백킹플레이트를 사용할 경우 알루미늄 백킹플레이트에 비해 2 Hz 높은 주파수와 223V (약 30%) 낮은 진동의 세기를 보여주었다. 이는 폴리우레탄에 비하면 큰 진동과 낮은 주파수이지만, 작업효율이 비슷한 알루미늄과 비교해봤을 경우 의미 있는 감소이다.

결론적으로, 마그네슘 합금 백킹플레이트는 작업효율에서 알루미늄과 비슷하고 폴리우레탄 대비 2 배이상의 작업효율을 보였으며, 낮은 진동으로 인한 표면거칠기와 광택도에 장점이 있고, 열을 분산시키는 효율이 좋아 광택기의 내구성을 증가시키는 결과를 보여주어서 폴리우레탄 백킹플레이트 보다 높은 작업효율을 유지하면서, 알루미늄 백킹플레이트 보다 사용자의 피로도를 줄여줄 것으로 기대된다.

또한 환경적인 측면에서도, 폴리우레탄은 친환경적이지 못한 소재이며 약한 내구도로 반영구적으로 사용하지 못하는 반면, 마그네슘은 반영구적으로 사용할 수 있으며 소재 자체도 친환경적인 장점이 있다.

## 참고 문헌

1. Sarikaya, I. & Güler, A. U. Effects of different polishing techniques on the surface roughness of dental porcelains. **18**, 10–16 (2010).
2. Thompson, C. G. A. & Runyan, C. D. A. porcelain. **92**, 3–5.
3. Janiszewska–olszowska, J., Drozdziak, A., Tandecka, K. & Grocholewicz, K. Effect of air–polishing on surface roughness of composite dental restorative material – comparison of three different air–polishing powders. 1–7 (2020).
4. Huai, W., Shi, Y., Tang, H. & Lin, X. An adaptive flexible polishing path programming method of the blisk blade using elastic grinding tools †. **33**, 3487–3495 (2019).
5. Ludovichetti, F. S. & Trindade, Z. Effect of grinding and polishing on the roughness and fracture resistance of cemented CAD–CAM monolithic materials submitted to mechanical aging. *J. Prosthet. Dent.* **121**, 866.e1–866.e8.
6. Ibrahim, H. K., Abdulhamid, A. S., Popoola, Y. L. O. & Adeyi, A. M. Development of Abrasive Sandpaper Grains from Agro–Waste Material for Polishing of Wood Surface. **2**, 48–60 (2019).
7. Kristanto, A. & Saputra, A. Redesign of Squared–Profile Wood Sanding Machine for Work–Position and Productivity Improvement ( Case study on Abu Production Handycraft , Pleret , Bantul , Yogyakarta ). **6**, 388–395 (2019).
8. Force, S., Consumption, P. & Panels, S. W. com Analysis of Sanding Parameters, Sanding Force, Normal Force, Power Consumption, and Surface Roughness in Sanding Wood–Based Panels. **9**, 7494–7503 (2014).
9. Lin, H. Haptic Based Robot Teaching Method for Wooden Furniture Polishing.
10. 나라지표.



[https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=1257](https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1257).

11. **나라지표.**  
[https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1J17001&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=P2\\_6&scrId=&seqNo=&lang\\_mode=ko&obj\\_var\\_id=&itm\\_id=&conn\\_path=E1](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1J17001&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=P2_6&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=E1).
12. Gauthier, F., G elinas, D. & Marcotte, P. Computers & Industrial Engineering  
Vibration of portable orbital sanders and its impact on the development of  
work-related musculoskeletal disorders in the furniture industry. *Comput.  
Ind. Eng.* **62**, 762–769 (2012).
13. Dong, R. G. *et al.* Review and evaluation of hand–arm coordinate systems for  
measuring vibration exposure, biodynamic responses, and hand forces. *Saf.  
Health Work* **6**, 159–173 (2015).
14. Malchaire, J., Piette, A. & Cock, N. Associations between hand–wrist  
musculoskeletal and sensorineural complaints and biomechanical and  
vibration work constraints. *Ann. Occup. Hyg.* **45**, 479–491 (2001).
15. Aveiro, U. De. João Carlos Costa Vieira Estudo do Comportamento Din mico  
de Pratos de Lixagem. (Universidade de Aveiro, 2017).
16. 박윤증. 자동차 광택기용 편심연마헤드. vols 30–2016–00 1–6 (2016).
17. 박성수 .백수민. 김범철. 마그네슘 합금 및 이의 제조방법. vols 10–1644330 1–  
16 (2016).
18. Methven, T. S. & J, C. M. Problems of Perceiving Gloss on Complex Surfaces.  
*Predict. Perceptions Proc. 3rd Int. Conf. Appear.* 43–47 (2012).

Abstract

# Application of high corrosion resistance magnesium alloy (Mg–6Al–0.1Sc) backing plate to improve performance of dual polisher motion characteristics

WooHyun Jung

Graduate School of e–Vehicle Technology

University of Ulsan

Ulsan, Korea

Polishing is a work that occupies an important part of the dental clinic, the machinery industry, the polishing industry, and the woodworking industry. Among them, here focuses on the backing plate of the dual–action polisher for vehicles. Dual–action polishers generate greater vibration than single–action polishers due to eccentric rotation. The vibrations generated depend on the weight of the backing plate, the volume, and the distance between the eccentricity.

Polyurethane and aluminum backing plates are now frequently used in industry. Polyurethane backing plate has a disadvantage in that it takes a long time to work because the area of the polished surface per hour is narrow while vibration is low. In the case of aluminum backing plate, the work time is fast due to the large area of the polished surface per hour. However, the high vibration affects the fatigue of the worker. Large and repetitive vibrations not only cause vibration syndrome, but also increase the incidence of work–related musculoskeletal disorders.

In this paper, a high corrosion resistant magnesium alloy was used to reduce the occurrence of vibration while not reducing the work efficiency. As a result of using the high corrosion resistant magnesium alloy backing plate, the intensity of vibration was reduced without reducing the work efficiency.

In addition, the frictional heat generation was also reduced. Reduction of frictional heat helps improve equipment durability and minimizes damage to the painted surface. When comparing the vibration intensity of the aluminum backing plate and the high corrosion resistant magnesium backing plate –having the same shape and volume– the vibration intensity of the high corrosion resistant magnesium backing plate was reduced by about 30% compared to that of the aluminum backing plate.

Magnesium alloys have not been used due to corrosion problems, but as high corrosion resistance magnesium alloys have recently been developed, they can be used as a backing plate for a dual–action polisher. This study confirmed that the high corrosion resistant magnesium alloy backing plate can reduce worker fatigue while maintaining work efficiency.