

MR Polishing을 이용한 커버글라스의 굽힘강도 향상에 관한 연구

이정우¹ · 김지훈¹ · 임동욱¹ · 하석재[†]

인하대학교 기계공학과¹ · 동서울대학교 기계자동차공학과[†]

A study of minimizing edge chipping of coverglass using MR Polishing

Jeong-woo Lee¹ · Ji-Hun Kim¹ · Dong-Wook Lim · Seok-Jae Ha[†]

Department of Mechanical Engineering, Inha University¹

Department of Mechanical & Automotive Engineering, Dong Seoul University[†]

(Received March 21, 2022 / Revised March 29, 2022 / Accepted March 31, 2022)

Abstract: Coverglass of electronic equipments is thinner and slimmer, so the glass must have good bending strength. In these days, the polishing edge of glass is used by solid tool like grinding wheel. But solid tool leave micro crack or edge chipping in edge of glass. MR polishing is an optimal method by polishing edge of glass. MR polishing is used MR fluid that is a liquid tool. MR polishing doesn't leave tool path or residual stress, micro crack and edge chipping unlike grinding wheel polishing. In this paper, the results of grinding and MR polishing were compared and analyzed to improve bending strength by minimizing edge chipping of cover glass. It was derived that the depth and size of cracks have a significant influence on the bending strength of the glass edge. The edges of the glass using MR grinding were analyzed to have a better surface and higher bending strength than the glass using abrasive wheel grinding. It was confirmed that MR polishing had an effect on strength improvement by effectively removing cracks in the specimen.

Key Words: MR polishing, Glass edge, Bending strength

1. 서 론

커버글라스(Cover glass)는 전자기기의 디스플레이 패널과 터치 모듈을 보호하는 역할을 하며 최근 스마트폰과 태블릿 PC같은 전자기기의 경량화, 슬림화와 zero bezel 등의 요구가 증대됨에 따라 glass slimming 공정이 대두되고 있다. 이에 따라 커버글라스 두께의 감소와 대면적화로 인해 커버글라스의 강도의 향상이 필연적이다. 현재 커버글라스와 터치 패널에서 주로 사용되는 것은 소다라임(sodalime glass), 알루미늄노실리카(aluminosilicate glass), 리튬 알루미늄노실리카 유리(lithium aluminosilicate glass) 등이 있다.

일반적인 커버글라스의 제조 공정은 물리적 가공(절삭, 연마, 홀), 화학 강화, 베젤 인쇄, 그리고 기능성 코팅(functional coating)등 총 4단계로 구분되어

진다. 공정 순서는 화학강화 전에 절삭, 연마, 홀 드릴 등 물리적인 가공을 진행하여 커버글라스의 모양을 완성하고, 화학 강화 후 베젤 인쇄나 각종 표면 코팅 등을 진행한다.

글라스 가공 중 폴리싱은 글라스 표면에 요철 및 흠집 등을 제거하고 매끄러운 표면을 얻기 위한 공정으로 폴리싱 공정 후 외부 충격을 분산시킬 수 있어 글라스 강도 평가와 밀접한 연관성이 있다. 글라스 폴리싱은 빛 투과율을 높이고 반사율을 낮출 수 있는 부수적인 효과를 얻을 수 있고 플로트 방식으로 생산된 글라스의 주석편을 제거하는 역할도 수행할 수 있다.

커버글라스의 라운딩 및 챔퍼 가공은 두께 방향으로 각진 edge 부분을 원형 및 사선형으로 가공하는 작업을 의미하며, 이러한 공정의 중요성은 각진 edge 부분에 하중이 집중되어 글라스 기판의 파손율이 높아지기 때문이다. 커버글라스 가공분야의 문제점은 글라스 가공 중 발생하는 장비의 진동에 의해 절단면에 수직인 방향으로 응력이 발생되어 가

1. 인하대학교 기계공학과

† 교신저자: 동서울대학교 기계자동차공학과

E-mail: sjha1103@du.ac.kr

공표면에 결함(scratch, chipping, notch, crack)이 발생되며 이로 인한 불량과 글라스의 강도를 저하시키는 원인이 된다. 커버글라스의 edge 부 및 표면부는 굴곡이나 흠집(scratch)없이 매끄러워야 충격을 균일하게 흡수하면서 힘을 분산시킬 수 있으며, 이러한 공정으로 그라인딩(grinding)과 폴리싱(polishing)공정은 화학강화 처리 못지않은 중요한 공정이다.

현재 커버글라스 가공에 적용하고 있는 wheel을 이용한 연삭 방식은 글라스 기판의 강도 저하를 야기시키는 많은 수의 micro-crack 및 chipping이 발생하며, 기계적인 마찰에 의해 미세한 글라스 particle들이 생기게 되어 후 공정에 치명적인 문제를 유발시킬 수 있다. Fig.1과 Fig.2는 wheel을 이용한 연삭 방식의 커버글라스 연마 개념도 및 시스템 사진을 나타낸다. wheel을 이용한 연삭방식의 커버글라스 연마는 기계적인 마찰과 고체 공구에 의해 micro 단위의 crack 및 chipping이 edge에 발생하여 작은 충격에도 파괴가 일어난다¹⁾.

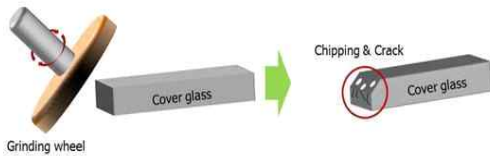


Fig. 1 The schematic diagram of wheel type grinding



Fig. 2 The system of wheel type grinding

커버글라스 edge 가공을 위한 다양한 공정 기술들이 개발되고 있으며, 그 중 laser를 사용한 글라스 가공에 대한 연구 및 기술개발이 이루어지고 있으나 laser를 이용한 커버글라스 가공에서는 laser에 의한 국부적인 가열에 의해 가열되는 부분과 가열되지 않는 부분의 온도차이가 증가해 글라스 내부 열응력이 발생하게 되어 글라스 기판이 파단에 의해 깨어지는 문제점이 대두되고 있다.

커버글라스 일체형 터치 패널에 대한 글라스 가공에서 기존 wheel 및 laser 방식이 아닌 새로운 개념의 그라인딩 및 폴리싱 시스템이 필요한 상황이다.

이에 따라 본 논문에서는 커버글라스 일체형 터치 패널에 대한 글라스 가공에 MR Fluid를 이용한 연마방법을 적용하였다. MR Polishing은 유체를 이용한 연마가공이기 때문에 고체 공구에 의해 발생되는 crack 및 chipping을 최소화할 수 있다^{2,3)}.

본 논문에서는 커버글라스의 edge chipping을 최소화하여 굽힘강도를 향상시키기 위해 그라인딩과 MR polishing에 따른 결과를 비교, 분석하였다.

2. 본 론

2.1. MR fluid

MR fluid는 기름이나 물과 같은 수용액에 CI particle과 같은 자기장에 민감한 미세크기의 자성물질이 혼합된 현탁액으로 자기장이 부과되면 유동특성이 실시간으로 제어되는 스마트 재료 중의 하나이다⁴⁾. MR fluid에 자기장을 인가시키면 Fig. 3과 같이 자성 입자들이 체인구조를 형성하게 되어 점성을 띄는 액체로 변하게 된다^{5,6)}.

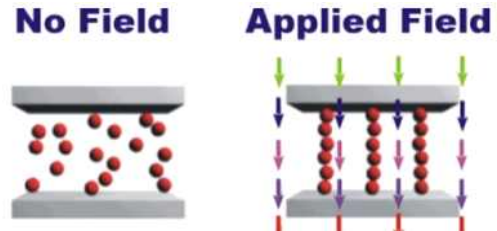


Fig. 3 The schematic diagram of MR fluid

2.2. MR Polishing 공정 및 시스템

Fig. 4와 Fig. 5는 본 연구의 실험장치 구성도와 개략도로써 X, Y, Z의 이송축으로 구성되어있다. 이송부 X, Y축 stage는 200mm의 이송거리를 가지며 0.01/pulse의 resolution을 가지고 Z축 stage는 50mm의 이송거리를 가지며 0.01/pulse의 resolution을 가진다⁷⁾. 자기장을 인가하면 MR fluid가 Wheel에 부착되어 일정속도로 회전하고 연마슬러리가 공급되어 연마가공이 이루어진다⁸⁾. MR fluid를 이용한 연마공정에 적용되는 표준 슬러리는 자성입자, 연마입자, 그리고 운반 유체인 DI-water로 구성되어 있으며, 소량의 분산안정제가 첨가된다. 미세연마공정에서 재료 제거율을 높이기 위한 MR fluid는 cerium oxide, diamond powder, Al₂O₃ 입자 같은 비자성 연마재를 포함한다. 또한 분산 안정제로서 글리세린(glycerine)

을 사용하는데 이는 MR fluid의 점성을 증가시키고 연마 입자들과 자성 입자의 혼합을 조절하는데 도움을 주지만 과도한 첨가는 가공 표면의 연화를 방해한다. 따라서 슬러리 함유량을 적당히 조절하면 다양한 종류의 재료를 효과적인 재료제거율로 연마할 수 있다. 연마 공정을 수행하기 위한 MR fluid는 Table 1과 같이 DI water base의 MR fluid를 이용하였다. 이는 glass의 수화작용에 의한 연마 가공의 용이성 때문이다.

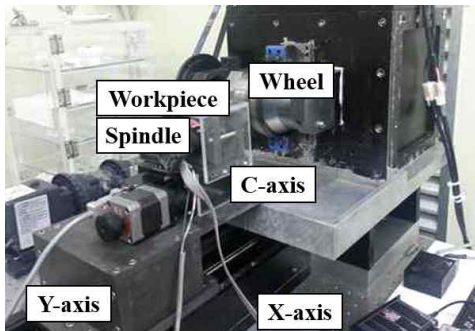


Fig. 4 An experimental set-up for MR polishing

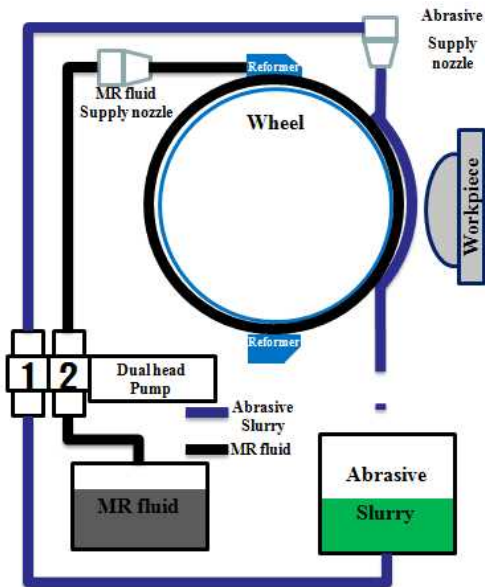


Fig. 5 Schematic diagram of MR polishing system

Table 1 Composition of MR fluid

CI powder	30.0wt.%
DI water	67.7wt.%
Na ₂ CO ₃	0.3wt.%
Glycerin	2.0wt.%

2.2. 연마 실험

실험 조건은 Table 2와 같이 가공하지 않은 원 시편, grinding wheel을 이용하여 가공한 시편, MR polishing을 이용하여 가공한 시편 3가지로 실험을 하였다. 실험에서 사용된 시편의 재질은 sodalime glass이며 크기는 40*20*1.1mm로 동일하게 하였다.

Grinding wheel로 가공 시 현재 가공하는 조건인 #1200의 wheel로 glass의 edge 부분을 5분 동안 가공하였다. MR polishing을 이용하여 가공 시 Table 2와 같은 조건으로 glass의 edge를 가공하였다. 이 조건은 사진 평면연마 실험 시 sodalime glass 재질에서도 출한 가공 조건으로 edge부분 가공에서도 같은 조건으로 실험하였다.

MR polishing 가공 시 시편의 이송방향을 Fig. 6와 같이 z방향으로 설정하였다. 이는 -z 방향으로 이송 시 wheel의 회전 방향과 glass의 이송 방향이 순간적으로 같아져 상대속도에 의해 연마력이 상쇄되기 때문에 가공이 제대로 일어나지 않는다.

Fig. 7은 각각 시편의 연마 후 표면거칠기를 나타낸다. 측정은 글라스 edge의 표면을 비접촉 표면 측정기(Zygo, Newview 7300)를 이용하여 표면 거칠기를 측정하였다.

Fig. 8은 각각의 시편을 가공 후 공구현미경으로 sodalime glass의 edge부분을 찍은 사진이다. 원 시편의 경우 표면에 crack이 존재하는 것으로 나타났다. 이를 grinding wheel을 이용하여 가공 후에는 crack은 감소한 것으로 보이지만 표면의 상태가 좋지 않았다. MR polishing으로 가공한 결과, 표면이 매끄럽게 가공되었다. 또한 crack이 완전하게 없어진 것은 아니지만 원 시편보다 확연히 줄어든 것을 볼 수 있었다.

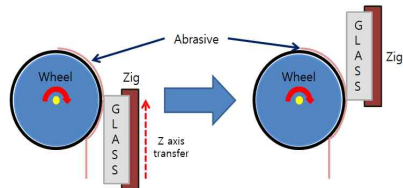
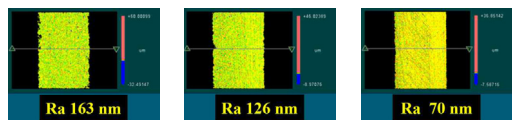
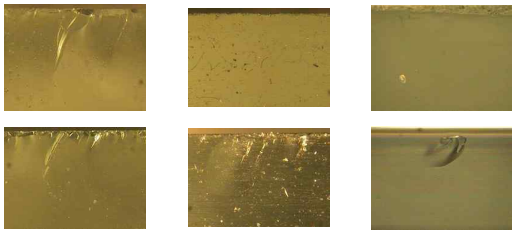


Fig. 6 Algorithm of z-axis movement



(a) Raw glass (b) Grinding wheel (c) MR polishing

Fig. 7 Surface roughness of glass edge after each polishing



(a) Raw glass (b) Grinding wheel (c) MR polishing

Fig. 8 Images of glass edge after each polishing

Table 2 Experimental Condition of MR polishing

Variable	Condition
Wheel speed	500rpm
Feed rate	1.33mm/min
Magnetic field intensity	238.8kA/m
Gap size	0.8mm

2.3. 굽힘강도 테스트

가공 후 glass edge의 표면에 따라 강도의 변화를 알아보기 위하여 각각의 시편들의 굽힘 강도를 측정하였다. 3점 굽힘강도 시험은 하중을 가하는 부분에서 모멘트가 최대로 발생하고 양쪽 지지대에서는 굽힘모멘트가 0이 되는 형태이기 때문에 파단이 매우 불균일하다. 따라서 본 논문에서는 굽힘강도는 4점 굽힘 강도 시험을 수행하였다. 4점 굽힘강도 시험은 양쪽 지지대 사이의 모멘트가 일정하여 시편의 크랙 등 가장 취약한 부분이 파단 되므로 보다 정확한 강도 시험이 가능하다.

굽힘 강도를 측정하기 위하여 Fig. 9과 같이 zig의 크기를 설정하였다. zig에 사용되는 평행봉의 지름은 5mm이상, glass의 길이와 평행봉의 지름의 비는 8:1이상이어야 한다. 굽힘 강도를 측정하기 위하여 일정한 속도로 압축하여 시편이 파괴 시 힘을 측정할 수 있는 인장시험기(Instron 5569)를 사용하였다⁹⁾.

측정 결과 Fig. 10와 같이 MR polishing, grinding wheel 가공, 가공 전 순으로 굽힘 강도가 낮아졌다. 또한 동일한 가공의 시편들의 평균 굽힘 강도를 계산하여 그래프로 나타낸 결과 가공을 할수록 굽힘 강도의 편차가 크게 나타나게 되었다.

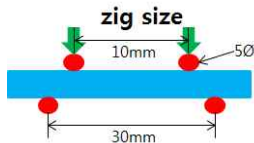
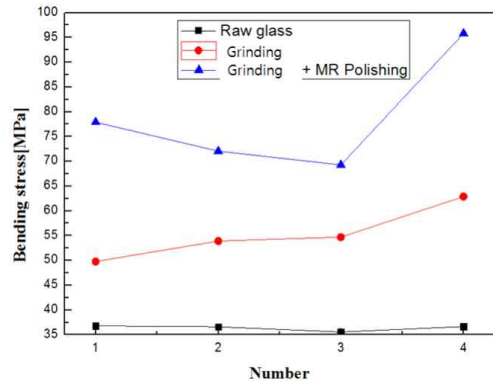
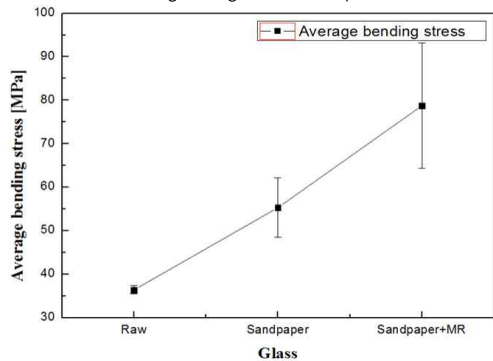


Fig. 9 Design of zig for measuring bending strength



(A) Bending strength of each specimens



(B) Average bending strength of specimens

Fig. 10 Graphs of bending strength

3. 결론

MR polishing을 이용하여 가공한 시편의 굽힘 강도가 가공 전 시편보다 약 2.5배, grinding wheel polishing 시편보다 1.5배 높아지는 경향을 보였다. 또한 가공할수록 시편의 굽힘 강도의 편차가 큰 것은 잔류하는 crack의 크기가 달라 가공 후에도 완전한 가공이 이루어지지 않은 곳에서 집중하중이 발생하게 된 것이 이유로 보인다. crack의 깊이 및 크기가 glass edge의 굽힘 강도에 큰 영향을 주는 것으로 도출되었다. 또한 MR polishing이 시편의 crack을 효과적으로 제거하여 강도향상에 영향을 미치는 것을 확인하였다.

4. 향후 계획

본 실험에서의 가공 조건은 sodalime glass의 평면 가공시의 실험 조건으로 edge 가공에 대한 실험 조건을 도출하기 위하여 해석 및 변수의 변화에 대한

연구가 수행되어야 한다. 또한 커버글라스의 edge부분의 형상을 round 또는 사선 형으로 가공하기 위하여 현재 블록한 모양의 wheel을 오목한 모양의 wheel로 변경하여 자기장 해석 및 wheel을 제작하여 커버글라스를 가공한 뒤 굽힘 강도를 테스트해 보아야 한다.

참고문헌

- 1) Marc Vandebroek, Jan Belis, Christian Louter, Gustaaf Van Tendeloo, "Experimental validation of edge strength model for glass with polished and cut edge finishing", Engineering Fracture Mechanics 96, pp. 480-489, 2012.
- 2) J. H. Chung, et al. "A Study on the Optimization of MR Fluid Polishing Conditions for Cover Glass Edge", Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering Vol 11, No. 2, pp. 42-45, 2017.
- 3) H. S. Lee, M. J. Kim, H. B. Koo, Y. H.wang, H. J. Kim, J. and H. Kim, "Ductile Regime Parallel Grinding of BK7," Proc. KSMTE, 419-420, 2011.
- 4) Koyama K., "Rheological Synergistic Effects of Electric and Magnetic Fields on Iron Particle Suspensions", International Journal of Modern Physics B, Vol.10, pp. 3067-3072, 1996.
- 5) B. C. Shin, et al. "A Study on The Ultra-precision Polishing Method of Co-Cr-Mo alloy Using MR Fluid Polishing", Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol 11, No. 3, pp. 8-12, 2017.
- 6) B. C. Shin, et al. "A study on material removal characteristics of MR fluid jet polishing system through flow analysis", Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol 13, No. 3, pp. 12-18, 2019.
- 7) D. W. Kim, "Development of a ultra polishing system using magnetorheological fluids and its effect on material removal mechanism", Inha University, Republic of Korea, 2007.
- 8) Shin, Y. J, Kim, D. W, Lee, E, S, Kim, K. W, "The Development of Polishing System a Magnetorheological Fluids", J. KSPE, Vol. 21, No. 7, pp. 46~52, 2004.
- 9) ASTM Standard C-158, West Conshohocken, Pa.

저자 소개

이 정 우(Jung woo Lee)

[정회원]



- 2020년 2월: 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2020년 3월~현재: 인하대학교 기계공학과 대학원 박사과정

< 관심분야 >
사출성형 및 금형, 유동해석

김 지 훈(Ji-Hun Kim)

[학생회원]



- 2018년 3월~현재: 인하대학교 기계공학과 (통합과정)

< 관심분야 >
금형 및 성형 해석

임 동 욱(Dong-Wook Lim)

[학생회원]



- 2019년 2월: 인하대학교 기계공학과 (석사)
- 2019년 3월~현재: 인하대학교 기계공학과 (박사과정)

< 관심분야 >
금형 및 성형 해석

하 석 재(Seok-Jae Ha)

[정회원]



- 2010년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (석사)
- 2015년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (박사)
- 2021년 3월~현재 : 동서대학교 기계자동차공학과 교수

< 관심분야 >
가공, 제어, 자동차공학