

고정입자패드를 이용한 광학 유리 폴리싱에 관한 연구

최재영*(부산대 대학원 정밀정형), 김호윤(UC Berkeley), 박재훈(Rodel-Nitta), 정해도(부산대)

A Study on optical glass polishing using Fixed Abrasive Pad

J. Y. Choi(ERC, PNU), H. Y. Kim(UC Berkeley), J. H. Park (Rodel-Nitta), H. D. Jeong(Mech. Dept. PNU)

ABSTRACT

Polishing Processes are widely used in the glass, optical, die and semiconductor industry and are conventionally carried out using abrasive slurry and a polishing pad. But abrasive slurry process has a weak point that is high cost of handling of used slurry and hard controllability of slurry. Recently, some researches have attempted to solve these problems and one method is the development of a fixed abrasive pad. FAP has a couple of advantages including clean environment, lower CoC, easy controllability and higher form accuracy. But FAP also has a weak point that is need of dressing because of glazing and loading. The paper introduces the basic concept and fabrication technique of FAP using hydrophilic polymers with swelling characteristics in water and explains the self-conditioning phenomenon. Experimental results demonstrate to achieve nano surface roughness of soda lime glass for optical application.

Key Words : Polishing process (연마 공정), Glass (유리), Fixed Abrasive Pad (고정입자패드), Swelling(팽창), hydrophilic polymer (친수성 고분자)

1. 서론

패드는 폴리싱 가공을 하기 위해서는 반드시 필요한 요소 중에 하나다. 이러한 패드의 역할은 공작물을 제거하기 위한 입자가 현탁 되어진 슬러리의 균일한 분배와 공급을 하는 것이다. 일반적으로 더 나은 공작물의 표면을 얻기 위해서는 이러한 슬러리와 패드의 조합을 최적화 시켜야 한다.

현재 가공되어지는 첨단 제품의 최종 마무리 가공에는 자유 입자를 이용한 폴리싱 가공이 사용되고 있다. 이는 연질의 폴리싱 패드의 압력 완충작용에 의해 스크래치가 잘 발생하지 않으며 또한 대구경화가 가능하며 한결 같은 가공 결과물을 쉽게 얻을 수 있는 장점을 지녔기 때문이다. 하지만 이러한 연질 패드 사용에 의한 공작물의 형상 정밀도 저하, 가공 자동화의 어려움, 슬러리의 불균일한 분포, 슬러리 취급의 어려움과 사용되어진 페슬러리 처리 비용 및 환경 오염 문제들로 현재 이를 개선하기 위해 많은 부분에서 고정 입자 패드 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

고정 입자 패드로 가공 시 가공 자동화가 용이하

며 페슬러리에 의한 환경 오염 및 이를 처리하는 비용이 발생하지 않는다는 장점을 지니고 있으나 가공이 진행이 됨에 따라 패드 표면에 눈때움이나 날무덤 현상이 발생하여 이를 보정하기 위한 드레싱 작업이 필요하다. 또한 경질의 결합제 사용에 의한 공작물의 표면에 스크래치를 발생 시키는 단점을 지니고 있다. 이에 본 논문에서는 결합제를 친수성 고분자를 사용하여 고분자의 스웰링 현상을 이용하여 드레싱이나 컨디셔닝 작업이 필요 없는 고정 입자 패드를 제작하였다. 스웰링 현상이란 친수성 고분자가 물과 접촉하면 물을 흡수하여 고분자 체인이 풀어지는 현상으로써 이러한 고분자 체인이 풀어짐에 따라 연마 입자를 잡고 있는 결합력이 감소하여 공작물과 패드의 마찰시 어느 임계 이상이 되면 떨어지게 되므로 가공 시 드레싱이나 컨디셔닝 작업이 필요하지 않게 된다.

또한 결합제로 고분자를 사용하였기 때문에 결합제에 의한 미소 스크래치 발생을 억제하여 빠르게 가공물의 표면을 나노미터 수준으로 가공할 수 있게 되었다. 이렇게 제작 되어진 고정 입자 패드를 사용하여 현재 LCD 모니터에 사용되어지는 Soda lime

glass를 표면이 Ra 5nm 되게 가공하였다.

2. 고정입자패드

2.1 고분자의 팽창 메커니즘³⁾

수용성 및 친수성 폴리머의 팽창 메커니즘은 친수성기로 설명할 수 있다. 친수성기는 주위의 수분을 흡착하는 특성을 가지고 있다. 일반적으로 친수성기는 hydroxyl group(-OH), carbonyl group(-CO), carboxyl group(-COOH) 등이 있으며, 이러한 친수성기가 물과 접촉하면 물분자는 폴리머 내로 침투하여 기 주위로 모이게 되며, 폴리머 구조는 팽창하게 된다. 물의 침투와 흡수가 어느 이상이 되면 폴리머 구조는 점점 더 팽창하여 폴리머는 하나씩 분리되어지는 것을 수용성(Soluble) 폴리머라고 한다. 한편, 폴리머 구조가 분리되지는 않고 팽창 특성을 가지는 것을 친수성(Hydrophilic) 폴리머라고 한다.

수용성 및 친수성 폴리머로 구성된 연마입자가 물과 접촉하면 친수성 폴리머는 팽창함과 동시에 수용성 폴리머는 분해되게 된다. 이러한 과정을 거치면서 연마패드는 자체적으로 컨디셔닝이 되면서 연마시 날무덤 및 눈매음 현상을 발생시키지 않는다. Fig.1은 친수성 폴리머의 팽창 메커니즘을 나타낸다.

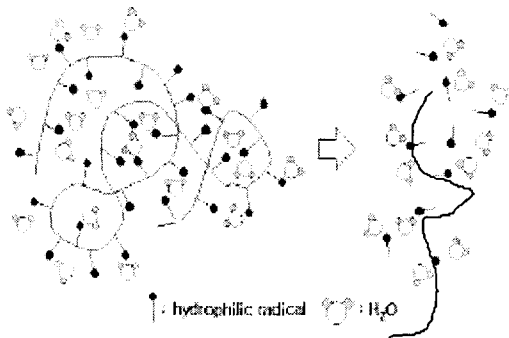


Fig.1 Schematic of swelling phenomenon

2.2 고정입자패드의 제작방법

친수성 바인더를 이용한 고정입자패드의 제조 과정을 Fig. 2에 나타내었다. 연마입자는 Rouge ($Fe_2O_3 + CeO_2$)를 사용하였으며, 사용되어진 친수성 폴리머 바인더는 polyethylene glycol(PEG), polyethylene glycol monomethacrylate (PEGMA), tri methylopropane trimethacrylate(TMPTA) 등이 있다. 그리고 유리 연마용 패드이므로 높은 가압력에 견딜 수 있는 내구성을 가질 수 있게 urethane를 첨가 하였다.

제조과정을 순서대로 살펴보면, 먼저 3종의 바인더와 urethane을 고르게 혼합한 다음, 연마입자를 혼합 바인더에 충분히 분산시킨 후, UV 경화를 위한 광개시제를 혼합한다. polycarbonate 필름위에 혼합제를 프린팅한 후, UV램프를 이용하여 광경화 반응에 의해 경화된다.

이때, 적절한 시간과 광량을 조절하여야만 충분한 경화와 필름의 변형을 방지 할 수 있다.

공정의 조건 및 장치를 세부적으로 보면 입자와 바인더와의 혼합을 위하여 stirrer를 이용하였으며, 폴리우레탄 패드상에 연마입자층 형성을 위하여 프린터 스크린을 사용하였다. 바인더 경화 방법은 크게 열경화와 광경화로 나눌 수 있으며, 본 연구에서는 자외선을 이용한 광경화법을 적용하였다. 이외에도, 입자와 바인더의 혼합과 분산, 인쇄 공정 시 점도의 확보, 경화 시 UV조사량이 중요한 요소로 나타났다.

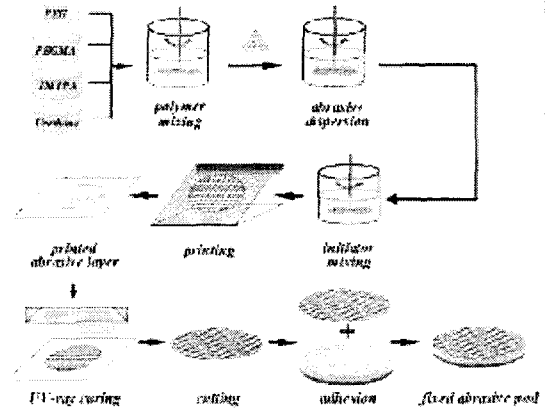


Fig.2 The manufacturing sequence of an fixed abrasive pad

3. 실험 및 고찰

3.1 실험 장치

제작 되어진 고정입자 패드를 이용하여 실제 glass 재료를 연마하였다. Fig.3은 실험에 사용되어진 실험장치를 나타내었다.

본 논문의 실험조건은 Table 1과 같다. 연마패드는 glass 연마용으로 직접 제작되어진 고정입자 패드로서 연마기의 테이블 위에 부착하여 사용하였다. 공작물은 LCD 모니터 재료로 널리 쓰이고 있는 Soda lime glass를 사용하였다. 초기 공작물의 표면을 균일하게 연기 위해 ELID 연삭법을 사용하여 표면을 $0.09 \mu m$ 가공하였다. 연마패드는 Rouge ($Fe_2O_3 + CeO_2$)입자를 사용하였으며 평균값이 2

μm 인 입경을 사용하였다. 공작물의 가공은 압력 변화에 따른 표면거칠기 값의 변화와 재료의 제거량을 조사하였으며 Taylor-Hobson사의 stylus를 사용하여 가공되어진 표면을 측정하였고 또한 SEM을 사용하여 가공되어진 공작물의 표면을 관찰하였으며 또한 가공되어진 패드 표면을 관찰하여 자체 컨디셔닝 효과를 조사하였다.

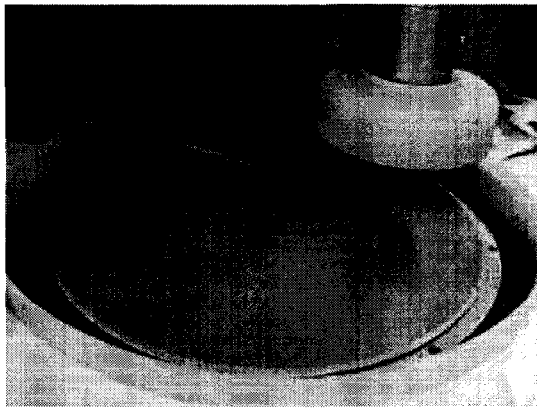


Fig.3 Experimental setup

Table 1 Experimental condition

Polishing machine	Poli-400 (G&P technology)
Head Speed	100 rpm
Table Speed	100 rpm
Pressure	0.5, 1, 2.5 3 kg/cm ²
Abrasive	Rouge (Fe ₂ O ₃ + CeO ₂)
Work piece	soda lime glass
Initial condition	0.09μm (ELID grinding method)
Fluid	Water

3.2 실험 결과

3.2.1 고정입자 패드의 연마특성

Fig.4는 압력에 따른 시간이 지남에 따라 표면 거칠기 값의 변화를 나타내었다. 그림에서 보듯이 압력이 높을수록 표면 거칠기 값의 감소되는 경향은 증가한다. 이는 초기에 폴리머 결합체에 묻혀 있던 연마 입자들이 어느 임계 이상의 압력을 받아 돌출하기 때문에 이에 따라 연마 입자와 공작물과의 맞은 마찰에 의해 가공물의 표면이 빠르게 마무리되어짐을 나타낸다 이는 Fig.5에서 나타내어지는 압력에

따른 재료 제거량을 보아도 알수 있다. 그림에서 보듯이 재료 제거량은 압력에 따라 그 제거량이 증가함을 나타 내고 있다.

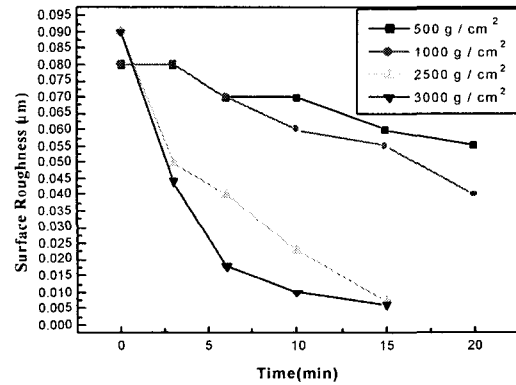


Fig.4 Relationship between pressure and surface roughness

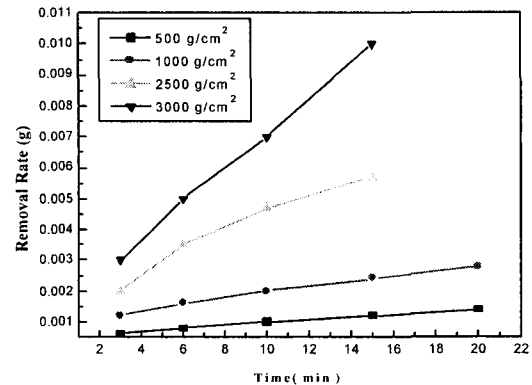


Fig.5 Relationship between pressure and removal rate

3.2.2 고정입자 패드를 이용한 가공 결과

Fig.6은 ELID 연삭법을 이용하여 가공한 공작물의 표면 사진과 FAP를 사용하여 가공한 표면과 입자를 슬러리로 만들어 가공한 결과의 SEM 사진을 나타내었다.

그림에서 보듯이 연삭 되어진 초기 면에서는 취성 모드 가공에 의한 많은 크랙들이 공작물 표면이 나타남을 확인 할 수 있었다. 하지만 FAP를 이용하여 폴리싱 한 가공면과 슬러리로 가공한 공작물의 표면 사진에서는 이러한 것을 발견 할 수가 없었다. 이는 FAP를 사용한 폴리싱 가공법이 유효 할을 보여 준다. 또한 Fig.7에는 가공하기전의 패드의 표면과 가공한 후의 패드 표면의 SEM 사진을 나타 내었다. 그림에서 보듯이 초기면에는 입자들이 폴리머 결합체에 묻혀 있으나 가공이 진행됨에 따라 고분자 결합체들이 물을 흡수하여 스웰링 현상이 발생 평항함에 따라 결합력이 약한 부분은 공작물과의 마찰

에 의해 떨어져 나감을 알수 있다. 그러므로 이러한 현상으로 제작되어진 FAP는 드레싱 작업이 필요 없이 한결 같은 가공을 얻을 수 있는 장점이 있다.

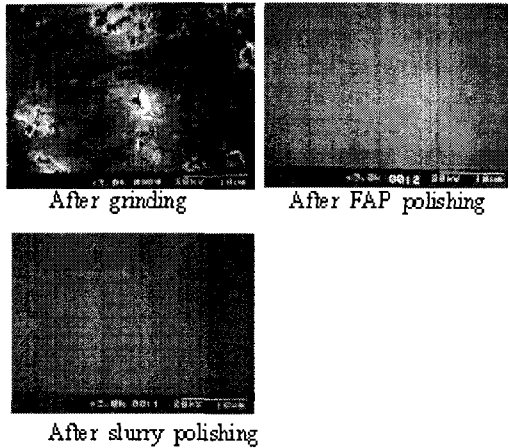


Fig.6 SEM photos of workpiece

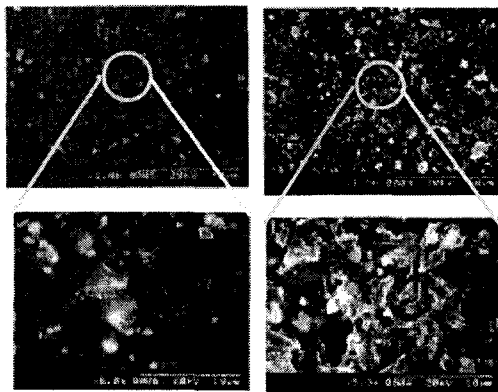


Fig.7 SEM photos of pad surface

4. 결론

본 논문에서는 LCD 모니터에 사용되어지는 Soda lime glass의 초정밀 경면 연마를 위하여 폴리머의 팽창이라는 현상을 이용하여 연마 시 패드에 자체 컨디셔닝 개념을 도입한 고정입자패드를 개발하여 그 특성을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 친수성을 가진 폴리머인 PE300, TMTPA, PEGMA를 이용하여 고정입자패드를 제작하였다.

(2) 제작되어진 입자 함침패드는 자체 컨디셔닝이 가능하여 금형 연마시 날무덤이나 눈메움 현상이 발생하지 않았다

(3) 제작 되어진 Rouge 입자 함침 패드를 glass 가공에 적용하여 연삭 마크를 완전히 제거하고 glass

표면을 Ra 5nm 의 나노영역까지 실현하여, 제작되어진 고정입자패드가 glass와 같은 공작물에도 사용될 수 있음을 보여 주었다.

(4) 기존의 slurry가 아닌 물만으로도 연마가 가능하다.

참고문헌

1. Jeong H.D., Ohmoni H. Doy T.K., Nakagawa T., "Integrated planarization Technique with Consistency in Abrasive Machining for Advanced Semiconductor Chip Fabrication" Journal of the CIRP, Vol.45 pp.311-314,1996.
2. Katrina M, Mike R., "Defect Evaluation for Fixed abrasive CMP" CMP-MIC conference pp.337-340, 2000.
3. 김호윤, 박재홍, 정해도, 서현덕, 남철우, 이상익, "층간 절연막 화학기계연마에서 입자코팅패드에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 제 18권, 제11호, pp 168~173, 2001년