

# 대면적 롤금형의 프리즘 패턴 가공시 다이아몬드 공구의 마모 특성 Wear Characteristic of Single Crystal Diamond Tools in Prism Pattern Cutting of Cu Roll Mold

\*남성호, #이동윤, 홍상현, 최영재, 이석우

\*S. H. Nam, #D.Y.Lee(dylee@kitech.re.kr), S. H. Hong, Y. J. Choi, S. W. Lee

한국생산기술연구원 e가공공정팀

Key words : Roll mold, Wear characteristic, Single crystal diamond tool, Prism pattern

## 1. 서론

본 논문의 연구 대상인 대면적 롤 금형은 LCD의 확산 필름제작에 사용되며 최근 광학기기의 복합광학 플레이트, X-Ray 형광관, 연료전지 분극판, 태양열 집광관 등의 재료를 성형하기 위한 금형으로도 연구되고 있다. Steel로 제작된 롤금형에 600 $\mu$ m 두께로 구리 도금하여 가공하며, 가공 후 산화방지를 통한 수명향상을 위하여, 무전해 니켈 도금으로 마무리 한다.

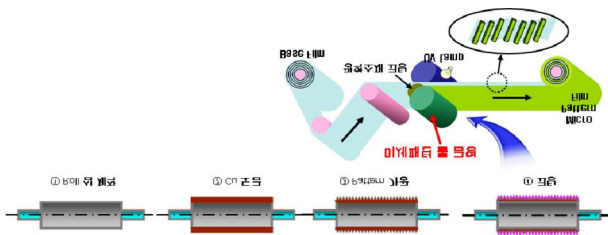


Fig. 1 Roll Mold Process

미세형상 가공기술은 LCD 및 광학기기의 대형화/고성능화, 태양광발전 및 연료전지의 고효율화를 위한 원천기술이며, Fig. 1 에서와 같이 생산 프로세스에서 가장 중요한 위치에 있는 공정 과정이다. 이러한 미세 형상 가공은 평판 가공과 롤금형 가공으로 구분되며, 롤금형은 평판 가공에 비해서 가공이 연속적으로 이루어져 가공 속도가 빠르고, 대면적으로의 적용이 용이하며, 다양한 폭에 대한 적용이 가능하다는 장점이 있다.

대면적 롤금형은 20~30 $\mu$ m 피치의 미세패턴을 0.1~0.5 $\mu$ m 이하의 형상 정밀도, 20nm~40nm R<sub>a</sub>의 표면조도로 전면적에 대해 균일하게 가공이 가능하여야 한다. 프리즘 패턴의 가공 오차는  $\pm 0.2\mu$ m/100mm, 깊이 방향으로는  $\pm 0.1\sim 0.5\mu$ m급의 초정밀 가공이 요구되고 있으며, 실제 이와 같은 수준의 가공이 실현되고 있다. 현재, 요구되는 수준의 가공이 가능한 장비는 일본의 도시바와 미국의 Moore Tools 등 해외 업체 뿐이며, 이를 이용한 광학 필름 시장 역시 3M 사에 의해서 독점 되어 있는 상태이다. 따라서, 고품위·고균일 가공 및 생산성 향상을 위한 초정밀 가공 프로세스의 최적화 등 대면적 미세피치 롤금형 가공의 원천 기술을 확보하여, 해외 의존도를 탈피하여야 한다.

대면적 롤금형 원천기술은 제품의 대면적화/미세피치화에 대응한 고균일·고품위 가공기술 및 절삭메커니즘, 초정밀 공구 기술, 미세 절삭 해석 및 모니터링 기술, 가공 프로세스 최적화 기술 등으로 구성되어 있으며, 본 연구는 이 중 고균일·고품위 가공기술 및 절삭 메커니즘, 그 중에서도 툴의 마모에 대해 초점을 맞추어서 연구한 내용에 대해서 언급할 것이다.

관련 분야의 기존 연구 논문으로는 National University of Singapore의 M. Rahman에 의한 연구가 있다. M. Rahman은 논문에서, 무전해니켈(Electroless Nickel Plate)과 단결정 다이아몬드 공구(Single Crystal Diamond Tool)를 사용하여 Depth of Cut 20 $\mu$ m, 200km 가공 후에 약 4 $\mu$ m 이하의 Flank Wear를 확인할 수 있다고 하였고,<sup>1)</sup> Rake Angle이 0° 일 때<sup>2)</sup>, Rake Face가 (110)면을 갖게 될 때<sup>3)</sup> 마모가 가장 적게 일어난다고 설명 하고 있다. 이와 같은 M. Rahman의 연구는 마모와 관련하여 기초적인 정보를 제공하고 있지만, 본 과제를 통하여 진행하고자 하는 연구와는 공구의 형상과 공작물의 형상의 차이가 있다. T. Freiheit는 논문을 통해 Micro Mechanical cutting은 Macro 영역에서 Micro 영역으로 가공

영역을 넓히기 위한 아이디어이지만, Macro 영역에서의 현상이 Micro 영역으로 완전하게 적용될 수는 없으며, Micro mechanical cutting 영역으로의 확대를 위해서는 절삭이론에 대한 새로운 연구와 실험이 필요하다고 하였다.<sup>4)</sup> Zinan Lu와 Takeshi Yoneyama는 약 200mm 크기의 선반을 제작하여 가공실험을 진행 하였으며, 10 $\mu$ m Pitch의 가공 시 오차가 약 1 $\mu$ m정도가 발생하는 것을 확인하였으며, 이는 Macro 가공할 때에 비해서 오차 범위가 비례적으로 줄어들 것이라는 예상이 틀렸음을 증명하였다.<sup>5)</sup> S. Shimada는 논문을 통해서 구리를 가공하는 단결정 다이아몬드의 산소 농도에 따른 마모에 관해서 연구를 하였고, 산소의 농도가 낮아질수록 다이아몬드의 마모속도가 늦춰진다는 것을 발견하였다.

이러한 논문에서 보아지듯 아직까지 단결정 다이아몬드 공구를 이용한 대면적 Cu 롤금형의 가공 및 툴의 마모에 대해서 구체적으로 연구한 논문은 없으나, 대면적 롤금형의 필요성이 중요시 되고 있고, 또한 프리즘 패턴의 고균일화가 요구되는 지금 다이아몬드 툴의 마모에 대한 연구는 필수적으로 진행되어야 한다.

## 2. 실험 방법

실험은 대면적 롤금형 가공기를 사용하여 Table 1과 같은 조건으로 진행 되었고, 원점 셋팅을 통하여, 장비의 구동 및 가공 오차는 1 $\mu$ m 이내로 제어 되었다. 가공은 황삭 후 50R 다이아몬드 공구로 경면가공을 진행하였으며, 90° 다이아몬드 공구로 3회에 나누어 절삭을 실행하였고, Depth of Cut을 제외한 다른 조건은 3회 모두 동일하게 이루어 졌다.

Table 1 Condition of Experiment

Condition	
Depth of Cut 1	20 $\mu$ m
Depth of Cut 2	8 $\mu$ m
Depth of Cut 3	6 $\mu$ m
Feed	50 $\mu$ m/rev
Cutting Velocity	282.6m/min

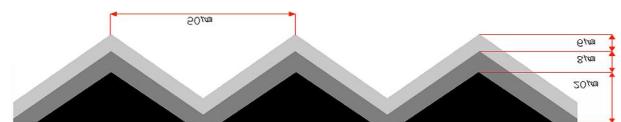


Fig. 2 Pattern Machining Concept

Fig. 3의 롤을 본 가공 실험에서 사용하였고, 롤의 길이는 1500mm, 지름은 300mm 이며, 가공길이는 롤 길이 방향으로 1300mm 총 73.476km가 진행되었다. Roll은 600 $\mu$ m 두께로 균일하게 Cu 도금이 되어 있으며, 90° 단결정 다이아몬드 공구를 사용하였고, Chip에 의한 롤금형의 Scratch 및 Defect 제거를 위해 단결정 다이아몬드 공구 위에서 Chip Suction 장치를 설치하였다. 가공 실험을 진행한 후 단결정 다이아몬드 공구의 마모도를 확인하기 위해서 SEM을 사용하여 가공 전 후의 툴을 비교하였으며, 사용된 SEM은 Hitachi의 S-4300 모델로, 50배~70,000배의 확대가 가능하고, 최소 1.5nm의 분해능을 갖고 있다. SEM을 측정하기 위하여, 초음파 세척기를 이용하여 1분간 단결정 다이아몬드 공구 표면을 클리닝한 후 Ion Sputter를 이용하여 Pt를 증착하였다.



Fig. 3 Single Crystal Diamond Tool & Roll Mold



Fig. 4 SEM (Hitachi S-4300)

### 3. 결과

Fig. 5는 가공을 진행하기 이전에 Reference를 확보하기 위해 측정된 것으로 Sharp한 형상을 갖는 90°의 Rake Face와 두 Flank Face 간의 모서리가 확인된다. Fig. 6는 73.476km의 가공 실험을 진행한 후 SEM을 이용하여 Tool 모서리를 촬영한 사진이다. 분석 결과, 90° 단결정 다이아몬드 공구의 Tip 부분이 0.5 $\mu$ m의 반지름을 갖는 Rounded flank wear가 진행 되었으며, 약 0.1 $\mu$ m 깊이의 Gradual Wear 가 모서리 및 Flank face에 발생되었음을 확인할 수 있었다.

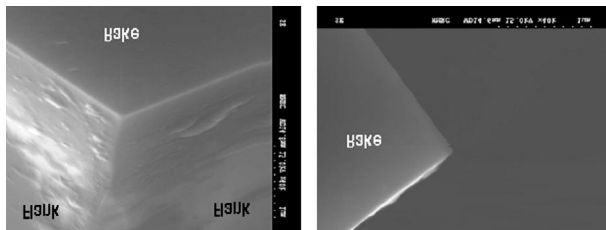


Fig. 5 SEM before Cutting (40,000X)

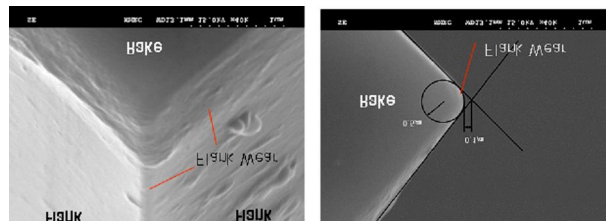


Fig. 6 SEM after 73.476km (40,000X)

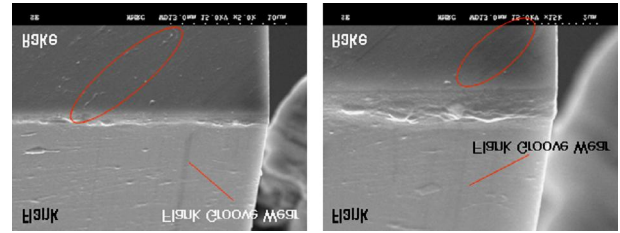


Fig. 7 SEM after 73.476km

Fig. 7에서 Flank face에 Flank groove wear를 볼 수 있는데 M. Rahman에 따르면<sup>3)</sup>, 가공 방향과 동일한 방향으로 발생하는 이러한 마모는, Flank face와 가공물인 롤금형 사이에서 일어나는 대표적인 abrasive wear로 사진에서 볼 수 있는 작은 롤금형의 구리 조각들이 발생시킬 수 있을 것으로 예상된다.

### 4. 결론

단결정 다이아몬드 공구를 이용한 Cu 도금된 롤금형을 73.476km를 가공한 결과, 단결정 다이아몬드 공구의 마모는 광학 특성에 영향을 미치지 않는 정도 인 것으로 확인되었다. 하지만, Rake face에 발생된 가공방향과 수직인 길이 방향을 갖는 Chipping 현상 및 Micro Groove 현상에 대해서 추가적인 분석이 필요하다. 본 논문은 대면적 롤금형의 프리즘 패턴 가공시의 다이아몬드 툴의 마모에 관한 연구를 진행하고 현상을 확인해 보고자 하였으나, 분석된 단결정 다이아몬드 공구의 개수가 부족하여 결론을 이끌어 내기에는 한계가 있다. 이러한 한계점을 극복하기 위해서, 추가적으로 다양한 거리에 따른 다이아몬드 툴의 마모 실험을 진행하여야 한다.

### 참고문헌

1. A.Pramanik, K.S.Neo, M.Rahman, X.P. Li, M. Sawab, Y.Maedab, "Cutting performance of diamond tools during ultra-precision turning of electroless-nickel plated die materials" Journals of Materials Processing Technology, 140, 308-313, 2003.
2. A.Q. Biddut, M. Rhaman, K,S,Neo, K.M. Rezaur Rahman, M. Sawa, Y. Maeda, "Performance of single crystal diamond tools with different rake angles during micro-grooving on electroless nickel plated die materials" Int J Adv Manuf Technol, 33, 891-899, 2007
3. M. Sharif Uddin, K.H.w. Seah, M.Rahman, X.P. Li, K. Liu "Performance of single crystal diamond tools in ductile mode cutting of silicon" Journal of Materials Processing Technology, 185, 24-301 2007
4. J. Chae, S.S. Park, T. Freiheit "Investigation of micro cutting operations" Int J Machine Tools & Manufacture, 46, 313-332, 2006
5. Zinan Lu, Takeshi Yoneyama "Micro cutting in the micro lathe turning system" International Journal of Machine Tools & Manufacture, 39, 1171-1183, 1999
6. S. Shimada, T. Inamura, M. Higuchi, H. Tanaka, N. Ikawa "Suppression of Tool Wear in Diamond Turning of Copper under Reduced Oxygen Atmosphere" CIRP, 49, 1, 21-24, 2000