



## 프리즘시트 성형을 위한 초정밀 대면적 롤금형 가공기술 현황

디스플레이 산업은 우리나라의 대표적인 주력산업으로서 일본, 대만 등의 경쟁국들을 압도하고 있으며, 특히 LCD 분야는 우리나라가 최근의 대형화 및 고급화 경향을 선도하고 있다. LCD의 핵심 모듈인 BLU(Back Light Unit)에 사용되는 프리즘시트를 생산하기 위해 대면적 롤금형이 가장 많이 사용되고 있으며, 향후 도광판, 확산판 등으로 그 응용처가 확산될 것으로 기대되고 있다.

### 1. 대면적 롤금형을 이용한 미세패턴 성형

미세패턴 형상을 가지는 부품을 이용하여 제작되는 디스플레이 제품의 대면적화에 대응하고 부품의 생산성 향상을 위하여 대면적 롤금형을 이용한 연속성형 공정에 대한 관심이 높아지고 있다.

그림 1은 평판금형과 롤금형을 이용하여 미세패턴 부품을 제조하는 공정을 보여주고 있다. 평판금형의 경우는 일반적인 사출성형 방법과 유사하나, 롤금형의 경우는 미세패턴이 가공되어 있는 롤금형을 회전시키면서 광학수지를 얇은 필름(PET)과 함께 롤금형에 투입함과 동시에 자외선램프로 광학수지를 응고시키면 필름 위에 응고된 패턴이 전사되게 된다. 평판금형과 비교할 때 롤금형의 경우는 연속성형이 가능하다는 장점이 있으며, 금형가공단계에서도 선반공정을 이용하여 300m/min 이상의 빠른 가공속도로 연속가공이 가능하기 때문에 직선이송 기반의 단속가공을 해야 하는 평판금형에 비하여

금형가공 시간을 획기적으로 줄일 수 있다.<sup>1)</sup> 반면, 성형되는 부품의 형태가 필름형태로 국한되는 단점과 함께 광학부품의 사양을 만족시키기 위하여 2m급의 대면적 롤금형을 안정적으로 회전시키면서 다이아몬드공구와 롤금형간의 상대 위치를 정밀하게 제어할 수 있는 고가의 초정밀 선반장비를 필요로 한다. 또한, 이러한 장비를 활용하여 고객사가 원하는 미세패턴 형상을 품질과 생산성을 고려하여 빠른 시간에 납품하기 위한 가공공정 기술이 반드시 필요하다.

디스플레이 산업은 우리나라의 대표적인 주력산업으로서 일본, 대만 등의 경쟁국들을 압도하고 있으며, 특히 LCD 분야는 우리나라가 최근의 대형화 및 고급화 경향을 선도하고 있다. LCD의 핵심 모듈인 BLU(Back Light Unit)에 사용되는 프리즘시트를 생산하기 위해 상기의 대면적 롤금형이 가장 많이 사용되고 있으며, 향후 도광판, 확산판 등으로 그 응용처가 확산될 것으로 기대되고 있다.

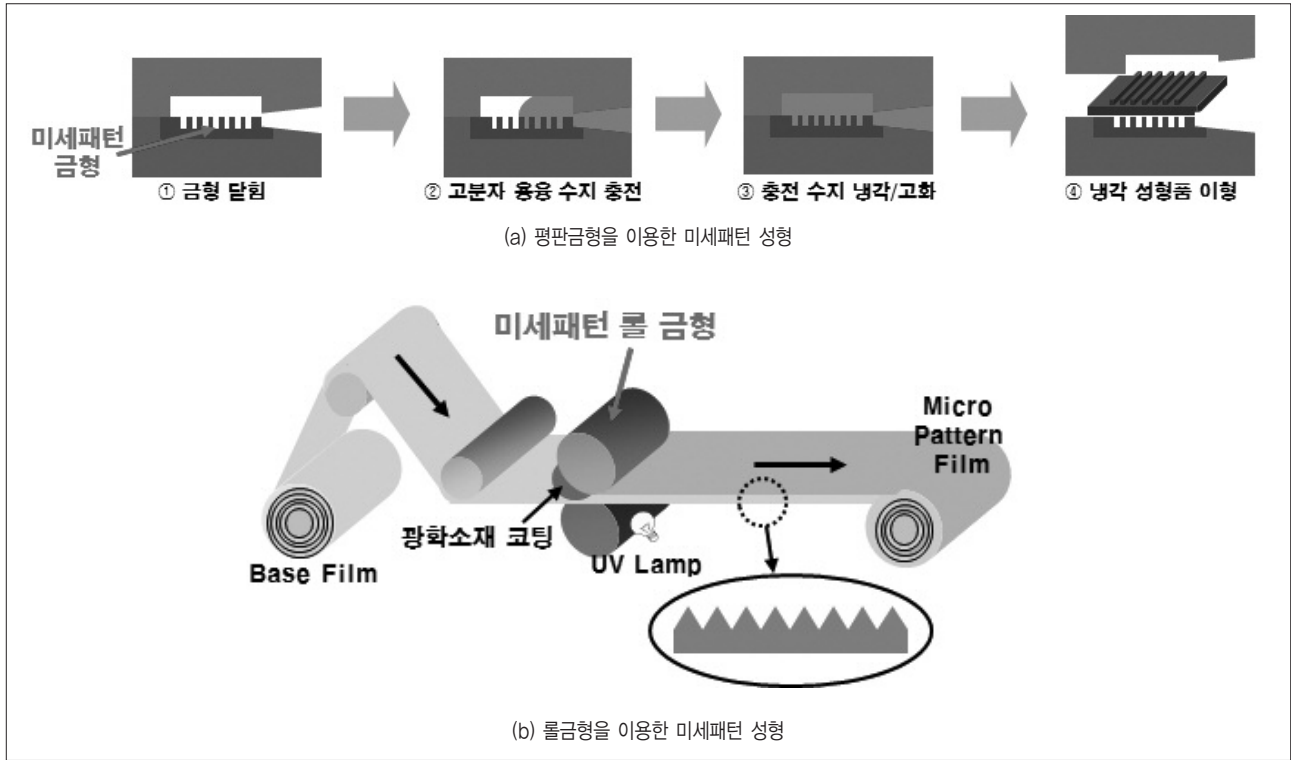


그림 1. 대면적 미세패턴 성형기술

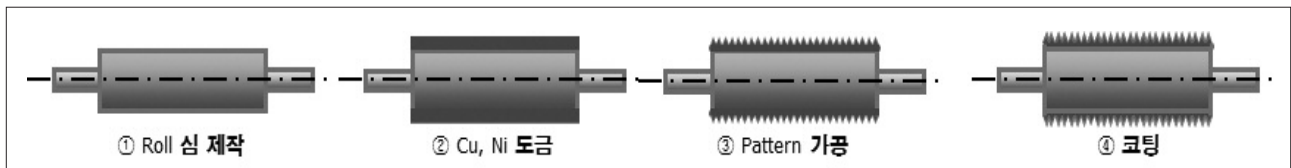


그림 2. 대면적 롤금형 제작과정

## 2. 대면적 롤금형 가공공정 기술개발 동향

과거 프리즘시트는 해외로부터 전량 수입에 의존하여 왔으며, LCD 기판유리가 7세대에서 8세대로 넘어가던 2007년경부터 국내의 중소기업들이 프리즘시트 양산시장에 진입하기 시작하였다. 그러나 당시 프리즘시트 양산용 롤금형 가공을 위한 장비 및 가공기술이 충분히 확보되지 않은 상황이었기 때문에 롤금형을 해외에서 수입하면서 양산 공정을 안정화하는 수준에 불과하였다. 또한, 2007년 즈음하여 LCD 사업은 크기 경쟁뿐만 아니라 고휘도 및 고해상도 등의 고품질화가 진척되었으며, 이러한 시장 환경은 LCD의 주요 모듈인 BLU의 대면적

화 및 BLU용 광학부품들의 미세피치화를 유도하였다. 대면적화 요구에 대응하기 위하여 롤금형의 길이는 2m를 넘어서게 되었으며, 기존 50 $\mu$ m 수준의 미세패턴 피치크기도 20 $\mu$ m이하로 요구되었다. 특히 회피 및 신제품 대응을 위한 새로운 형상의 패턴 가공에 대한 요구 증대로 FTS(Fast Tool Servo)를 이용한 복합패턴 가공기술과 예각 및 고세장비 형상의 미세패턴 가공기술에 대한 요구 또한 확대되었다.

그림 2는 일반적인 대면적 롤금형의 제작공정을 간략하게 부여주고 있다. 코아롤(Core Roll)이라고 불리는 2m급의 드럼형태의 원소재를 구리나 니켈로 도금한 후 다이아몬드공구를 이용하여 초정밀 대형 선반에서 미세패

턴을 가공하며, 동도금한 롤금형의 산화방지를 통한 수명 향상을 위하여 크롬이나 니켈로 코팅하기도 한다. 대면적 롤금형은 광학부품의 양산에 이용되기 때문에, 고균일 가공이 무엇보다 중요하다. 사람의 눈은  $0.2\mu\text{m}$  수준의 작은 형상 오차에 의해 유발되는 미세한 밝기 차이를 감지할 수 있다고 알려져 있기 때문에, 전체 가공면적에서의 균일도가 대면적 롤금형 품질의 가장 중요한 품질이다. 대면적에서의 고균일 가공을 위해서는 롤금형 가공을 위한 공작기계의 정밀도가 우선되어야 하나, 가공 중 발생하는 다양한 현상들에 대한 이해를 바탕으로 엄격한 공정관리가 뒷받침되어야 한다. 대면적 롤금형은 넓은 면적에 대해서 최소 4~5시간에서 2~3주에 이르는 시간 동안 가공을 해야 하기 때문에, 외기의 온도 변화에 영향을 받지 않도록 항온유지가 반드시 필요하며, 주변 진동이 가공에 영향을 주지 않도록 하기 위한 방진 대책이 마련되어야 한다. 이러한 환경적인 고려사항 외에 가공 중에 발생하는 버(Burr)와 미세패턴의 변형(Deformation), 공구의 마모에 의한 형상의 왜곡을 미리 예측하고 이를 회피하면서도 생산성 저하를 피할 수 있는 최적의 절삭조건을 선정하기 위한 공정기술이 필요하다. 대면적 롤금형의 가공에는 고가의 장비 및 환경 유지비용, 코아를 제작비용과 다이아몬드공구 등이 필요한 반면, 롤금형의 품질은 가공이 완료된 이후 작업자의 육안에 의해서 검사가 이루어질 수밖에 없기 때문에, 장시간의 가공 이후에 가공 불량ى 발견되는 경우의 실패 비용이 상대적으로 크다. 이러한 실패비용을 줄이기 위해서는 가공 현상을 실시간으로 모니터링하면서 가공 불량이 발생하는 경우 작업자에게 알려줄 수 있는 실시간 모니터링 시스템의 필요성이 현장을 중심으로 대두되고 있다.

### 3. 대면적 롤금형의 동/정적 밸런싱

대면적 롤금형의 균일한 가공을 위해서는 회전하고 있는 피삭재(롤금형)와 고정되어 있는 다이아몬드공구간의 거리가 전 가공영역에서 일정하게 유지되어야 한다. 이 거리가 일정하게 유지되지 않을 경우 가공 깊이의 차이가 발생하게 되며, 결과적으로 미세패턴의 산간거리(피치,

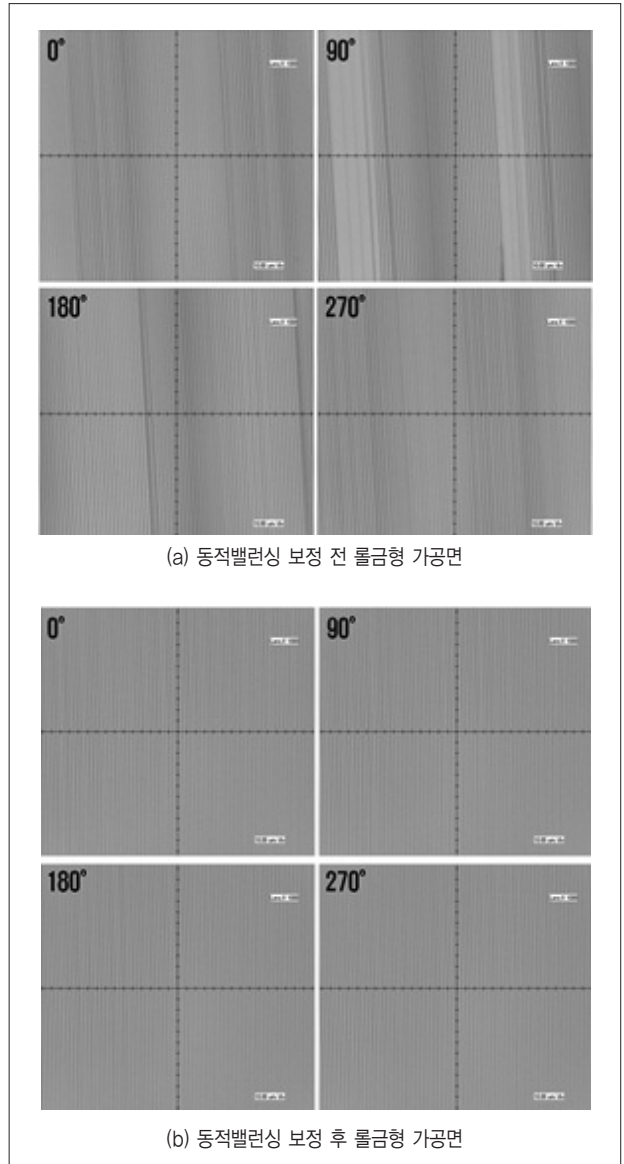


그림 3. 대면적 롤금형의 정/동적 밸런싱의 중요성

pitch)의 변화를 유발하게 되어 가공불량의 원인이 된다. 피삭재와 절삭공구간의 거리가 일정하게 유지되기 위해서는 장비의 관점에서는 공구대가 이송하는 Z축과 피삭재가 회전하는 C축의 평행도와 Z축 이송계의 진직도가 확보되어야 하며, C축의 회전정밀도의 확보 또한 반드시 필요하다. 공정의 관점에서 살펴보면 피삭재를 장착할 때 주의가 필요한데, 우선 C축의 회전중심과 롤금형의 회전중심을 일치시키기 위한 정렬(alignment) 작업이 필요하다. 상기의 준비 작업 이후 가공이 이루어

지는 중에도 피삭재와 공구간의 거리를 변화시키는 요인으로서 롤금형의 질량불평형에 의해서 발생하는 회전 진동을 고려해야 한다. 대면적 롤금형의 경우 가공해야 하는 영역이 2m에 달하고 무게가 300kg 이상의 대형 공작물인데 반해, 가공되는 형상의 크기는 50 $\mu$ m 이하이기 때문에 질량불평형에 의해서 야기되는 진동이 가공의 균일도를 저하시키는 것이 확인되었다.<sup>[2]</sup> 대면적 롤금형 가공기술이 국내에 도입되던 2007년 후반에는 질량불평형을 고려할 때 회전을 고려하지 않은 정적밸런스만 보정하였으며, 정밀하게 제작된 대면적 롤금형의 경우 ISO의 동적밸런스 규격이 G2.5 수준으로 측정되었다. 반면, 동적밸런스 규격을 G0.4 수준으로 보정한 결과 회전 진동량이 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 가공 실험 결과에서도 동적 밸런싱을 수행하지 않은 롤금형은 회전에 의한 진동에 의하여 공구와 피삭재간의 거리가 변하게 되어 일부 구간에서는 가공이 이루어지지 않은 부분을 발견할 수 있었으나, 동적밸런싱을 수행한 롤금형을 가공했을 경우, 원주 방향을 따라 모든 위치에서 균일하게 가공이 이루어지는 것을 그림 3과 같이 확인할 수 있었다.

#### 4. 대면적 복합 미세패턴 가공기술

최근들어 미세패턴의 피치가 미세화되고 복합화됨에 따라 예각패턴 가공의 필요성이 증대되고 있다. 또한, LED BLU 등의 광학 필름을 위한 교차미세패턴의 필요성도 증대되어 가고 있다. 예각패턴이나 교차미세패턴을 가공할 경우에는 버의 발생과 형상 변화를 억제하기 위한 공정기술이 필요하다. 예각패턴의 경우에는 이전에 가공된 패턴의 바로 옆에 새롭게 패턴이 형성되면서, 가공 중 발생하는 절삭력에 의해서 직전의 패턴에 영구 변형이 발생하는 현상이 발견되었으며, 이러한 현상을 제거하기 위해서 반복 가공을 수행하여 60° 이내의 형상을 가지고 있는 예각패턴을 그림 4와 같이 가공할 수 있었다. 교차미세패턴의 경우에는 기존에 가공되어 있는 패턴에 수직으로 가공할 경우 주기적인 단속 절삭이 발생하게 되는데 단속 절삭이 끝나는 탈출부에서 가공된 패

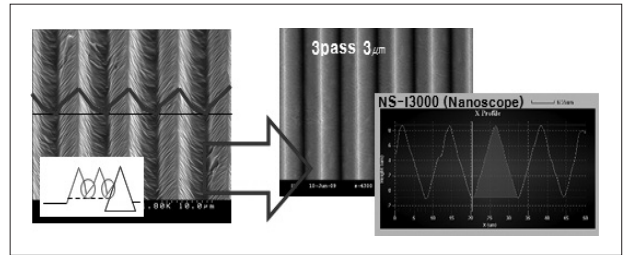


그림 4. 예각 미세패턴 (60도)

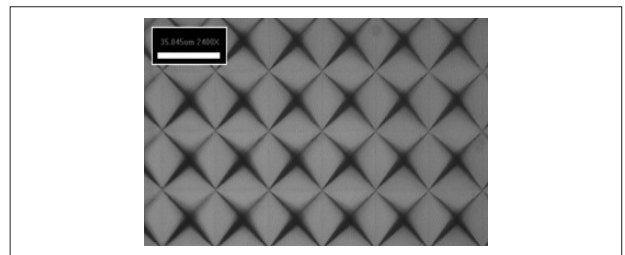


그림 5. 교차 미세패턴 (피라미드)

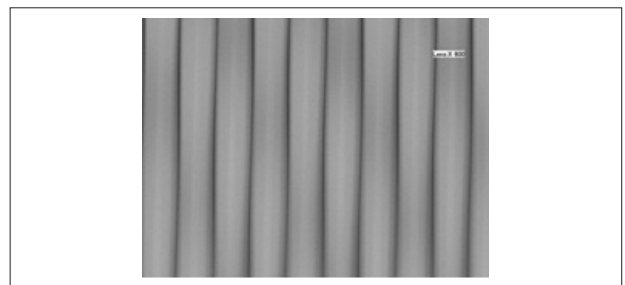


그림 6. 랜덤 미세패턴 (FTS 가공)

턴이 뜯기는 현상을 발견할 수 있었으며, 이러한 현상의 원인이 가공속도의 차이에서 기인한다는 것이 확인됨에 따라, 적절한 절삭속도 선정을 통하여 이러한 가공 불량을 줄일 수 있는 공정기술을 그림 5에서와 같이 확보할 수 있었다.

LCD 제품에는 반복적인 미세패턴이 여러 겹 겹쳐져서 사용되는데 이로 인하여 Wet-out 현상이나 모아레 (Moire) 현상에 의해서 광학특성이 저하되기도 하며, 이러한 문제 해결을 위하여 미세패턴의 반복성에 변화를 주기 위한 가공기술이 필요하게 되었다. FTS(Fast Tool Servo)를 이용하여 주기 및 진폭 조건을 변화시키면서 미세패턴을 가공하면 가공깊이 피치가 일정하지 않은 복합 랜덤(Random) 패턴을 구현할 수 있다. FTS의 반복 주기는 랜덤패턴 대면적 롤금형의 가공생산성을 결정하

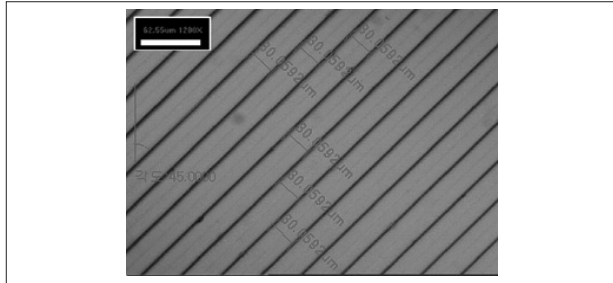


그림 7. 사선 프리즘 미세패턴

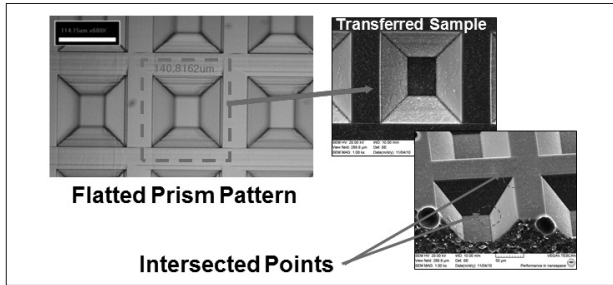


그림 8. 평평한 상부를 갖는 피라미드 미세패턴

는 중요한 요소로서, 현재는 20kHz 급의 FTS가 현장에 적용되어 사용되고 있으며, 그림 6은 이 장비로 가공된 랜덤패턴의 형상을 보여주고 있다. 이외에도 사용자의 요구에 대응하기 위한 미세패턴으로서 성형된 프리즘패턴의 수율 향상을 위한 사선 프리즘 패턴과 상부가 평평하게 남겨져 있는 피라미드 패턴 등의 다양한 형상을 갖는 미세패턴들이 대면적 롤공형에 가공되어 현장에서 사용되고 있다. <그림 7, 8>

### 참고문헌

- [1]. Lee, D. Y., Hong, S. H., Kang, H. C., Choi, H. Z. and Lee, S. W., "Wear of Single Crystal Diamond(SCD) Tools in Ultra Precision Turning of Electro-Nickel Plated Drum," J. of the KSME(A), Vol. 33, No. 7, pp. 621-628, 2009.
- [2]. Lee, D. Y., Hong, S. H., Song, K. H., Kang, E. G. and Lee, S. W., "Improving Dimensional Accuracy of Micropatterns by Compensating Dynamic Balance of a Roll Mold," J. of the KSME(A), Vol. 35, No. 1, pp. 33-37, 2011.



#### 이석우

1991년 한국생산기술연구원에 입원하여, 2001년 부산대학교에서 기계공학으로 박사학위를 취득하였고, 미세가공 등의 생산시스템 및 기업 간 협업 분야의 연구를 수행하고 있다. 현재는 한국생산기술연구원 충청권지역본부의 본부장이다.



#### 이동윤

2005년 KAIST에서 기계공학으로 박사학위를 취득하였고, 삼성코닝정밀유리에서 근무하였으며, 현재는 한국생산기술연구원의 선임연구원으로 대면적 미세가공공정 기술 분야의 연구를 담당하고 있다.

## 『광학세계』 원고 모집 안내

한국광학기기협회에서 발간하는 '광학세계'의 원고를 모집하고 있습니다. 관심 있는 업체, 학계, 연구계 및 개인 구독자 여러분의 많은 참여를 부탁드립니다.

1. 원고 내용 : 연구논문, 회사소개, 제품소개, 국내·외 기술동향, 이달의 독자, 칼럼 등
2. 원고 분량 : 제한 없음
3. 원고 마감 : 수시 접수중

\* 기사로 활용할만한 좋은 소재를 알고계신 경우 연락주시면 직접 방문하여 취재하겠습니다.

- 연락처 : 한국광학기기협회 '광학세계' 편집부
- TEL : 02-3481-8931 • FAX : 02-3481-8669 • E-Mail : pjy@koia.or.kr