

미세 패턴 롤 금형 가공시스템의 온도변화가 가공정밀도에 미치는 영향 연구

제태진[#]· 박상천²· 이강원¹· 노진석¹· 최두선¹· 황경현¹

Influence upon Machining Accuracy of Micro-Pattern Roll Mold Processed by Temperature Variation

T. J. Je, S. C. Park, K. W. Lee, J. S. Noh, D. S. Choi, K. H. Whang

(Received February 18, 2009)

Abstract

Temperature variation happens in micro prism roll mold processing system during machining the prism pattern roll mold using manufacturing optical films of LCD (liquid crystal display). This temperature variation induces pitch errors of the prism patterns. The temperature variation displaces the positions of the diamond cutting tool on the roll which was coated by the copper. In order to prevent the pitch errors, the stabilizing the temperature of machining environment is needed. Therefore, the researching on the temperature variation of the ultra-precision roll mold processing system on the machining of micro prism roll mold is needed. In this paper, the temperature variation of micro prism roll mold processing system is researched, the influence is analyzed, and the study for reducing the pitch errors carried out.

Key Words : Temperature Variation, Ultra-precision Roll Mold Processing System, Micro-Prism Pattern, Diamond Cutting Tool, Coated Roll Mold by Copper

1. 서론

LCD(Liquid Crystal Display)의 BLU(Back Light Units)에는 광 효율향상을 위해 미세 프리즘 패턴 필름이 사용되고 있다. 이러한 광학 필름은 미세 패턴을 가지는 금형을 가공하여 성형공정을 통하여 제조된다[1]. 미세 프리즘 패턴 금형을 제작하는 데에는 기존에는 셰이핑(shaping)이나 플래닝(planning) 방법이 많이 사용되어 왔다[2]. 그러나 최근 디스플레이 장치의 대면적화와 더불어 대면적 필름을 성형할 수 있는 대면적 미세 패턴 롤 금형의 제조기술이 핵심기술로 부각되고 있다[3].

이러한 미세패턴 롤 금형을 초정밀로 가공하기 위해서는 가공시스템, 공구, 피삭재, 가공조건 등

여러 가지 중요한 기술적 문제를 해결하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 초정밀 미세 프리즘 패턴 롤 가공시스템의 초기 구동시 주축 온도 변화가 미세 프리즘 패턴의 가공시에 피치 에러를 유발하는 것을 확인하고 이의 개선을 위한 분석연구를 수행하고 그 대책을 수립하고자 하였다.

2. 스펀들 온도변화 측정실험

Fig. 1은 유정압 스펀들을 가진 초정밀 롤 가공 선삭 시스템에서 주축 스펀들의 온도변화에 따른 영향을 분석하기 위한 실험장치의 구성도이다. 본 시스템은 고정된 주축 스펀들과 롤 길이에 맞게 조정되는 증동 스펀들로 구성되어 있다. 주축 스

1. 한국기계연구원(KIMM)

2. 과학기술연합대학원대학교(UST)

교신저자 : 한국기계연구원(KIMM), jtj@kimm.re.kr

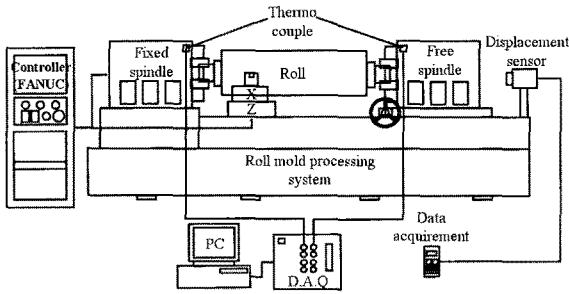


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set up

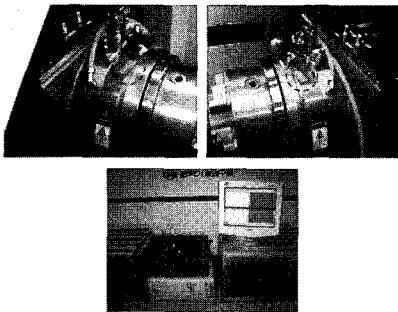


Fig. 2 Thermo couple and D.A.Q

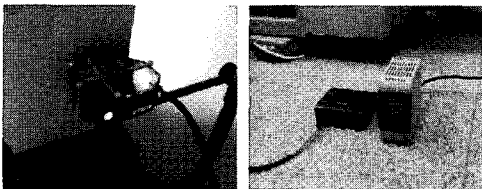


Fig. 3 Displacement sensor and data acquirment

핀들의 온도 변화를 분석하기 위해 주축 스피들 및 중동 스피들에 열전대 센서를 장착하였다. 열전대 센서 측정을 통하여 얻어지는 온도 변화는 데이터 수집장치(D.A.Q)장치와 PC로 분석된다. 또 스피들의 온도에 따른 변위가 미세 패턴의 가공 위치에 어느 정도 영향을 미치는지를 분석하기 위하여 레이저 변위 센서가 설치되었다.

Fig. 2는 가공시스템의 열 변화를 측정하기 위해 고정된 스피들과 고정이 되어있지 않는 스피들에 장착된 열전대의 위치를 나타낸다. 2쌍의 열전대를 통하여 0.001°의 온도 변화를 각각 측정하고 D.A.Q와 PC를 통하여 측정된 온도 값을 0.1초 단위로 저장한다. Fig. 3은 레이저 미소 변위 측정기와 데이터 수집기의 사진이다. 본 장비를 레이저를 이용하여 0.1μm의 미소변위를 측정할 수 있다.

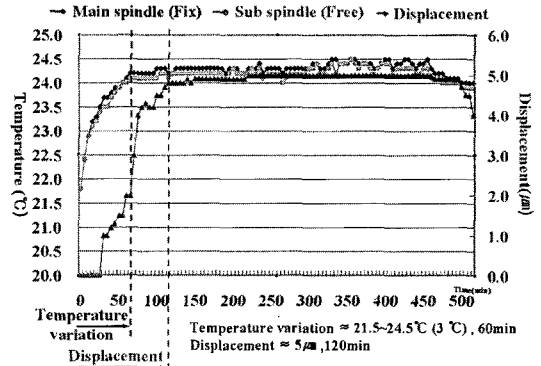


Fig. 4 Temperature variation and displacement of spindle

Fig. 4는 초정밀 가공시스템의 주축 스피들의 온도 변화와 고정하지 않은 중동 축 스피들의 변위량을 5분 단위로 측정하여 그래프로 나타낸 것이다. 스피들의 온도는 초기 21.8°C에서 약 1시간 정도 경과 후 최대 24.4°C까지 상승하였고, 그 이후에는 안정화되는 것을 볼 수 있다. 이때 고정되지 않은 중동 스피들의 변위량은 대략 5μm 정도이다. 따라서 1°C의 온도상승으로 대략 1.7μm의 열변위가 발생하였다. 이러한 열변위량은 주축의 열 변형 온도변화와 동일한 변화 경향을 보이고 있다. 따라서 이 변위량은 스피들의 온도 변화와 관련이 있으며, 이것은 스피들속의 유정압 베어링 축이 열에 의해 팽창한 것으로 볼 수 있다. 이러한 주축의 열변위량이 미세 패턴의 가공에 미치는 영향을 조사하였다.

3. 미세패턴 가공실험

3.1 가공실험장치

Fig. 5에 본 연구에서 사용된 미세 프리즘 패턴을 금형 가공시스템의 실제 모습을 나타내었다. 본 시스템은 유정압 스피들이 채용된 초정밀 선반가공 시스템으로서 스피들 축은 최대 중량 350kgf의 롤을 500rpm으로 회전 시킬 수 있다. 리니어 모터에 의해 구동되는 X, Z 축은 0.01μm의 정밀도를 가지고 있으며, 공구 절입 방향인 X축의 최대 이송거리는 200mm이고, 롤 가공 길이 방향인 Z축은 최대 1,600mm의 이송거리를 가지고 있다. X, Z 축의 이송속도는 최소 0.01mm/min에서 최대 3,000mm/min으로서 정밀 미세 절삭이송과 급속이송에 대응할 수 있게 광범위한 이송범위를

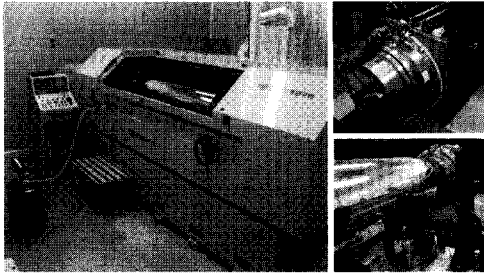


Fig. 5 Ultra-precision roll mold machining system

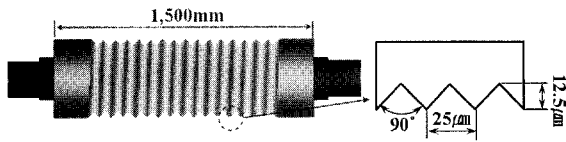


Fig. 6 Size of roll mold & prism pattern

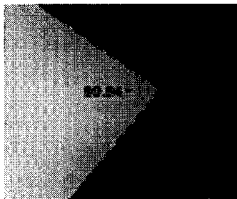


Fig. 7 Diamond tool with 90°

가지고 있다. 본 시스템에 장착할 수 있는 최대 롤 사이즈는 직경 400mm, 길이 2,000mm 이다.

3.2 롤 금형 및 공구

Fig. 6은 실험에 사용된 롤 금형의 개략적인 형상과 가공실험에 적용된 패턴의 모습을 보여준다. 롤 드럼부의 길이는 1,500mm이고 롤 표면은 700µm 두께로 동 도금되어 있다. 가공 할 미세 패턴의 형상은 피치 25µm, 깊이 12.5µm, 형상각 90°인 미세 프리즘 패턴이다. Fig. 7은 이러한 미세 프리즘 패턴 가공을 위해 형상 각 90°로 제작된 단결정 천연 다이아몬드 공구의 모습을 보여준다.

3.3 가공방법 및 조건

표면이 동 도금되어 입고된 롤 금형은 등근날(R) 공구를 이용하여 경면상태의 표면으로 초기 가공하여 준비되고, 이 표면에 미세 패턴을 가공하게 된다. Fig. 8은 프리즘 패턴의 가공방법을 보여주며, Table 1은 그 가공조건을 나타낸 것이다. 롤은 300rpm으로 회전시키며 X축으로 절입량을

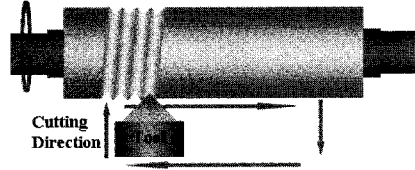


Fig. 8 Machining method of prism pattern

Table 1 Cutting conditions of prism pattern mold

RPM	Pitch	Cutting length	Cutting depth		
300	25µm	1,200mm	7µm	5µm	3µm

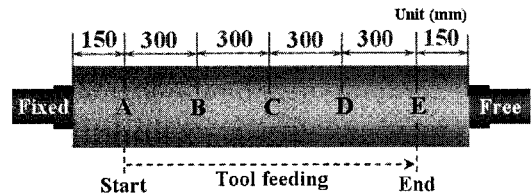


Fig. 9 Division of observation area in machined roll

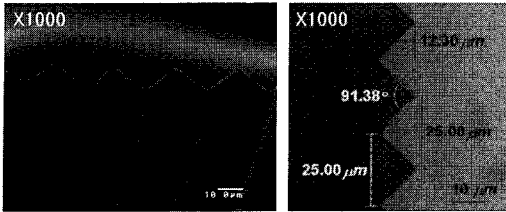
결정하고, 공구를 Z축으로 이송하며 나선형의 미세 프리즘 패턴을 가공한다. 패턴부의 가공 길이는 1,200mm이며, 피치 25µm의 패턴을 7µm, 5µm, 3µm으로 나누어 3회에 걸쳐 총 15µm를 가공한다.

3.4 미세패턴 측정

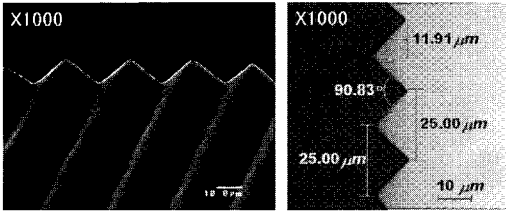
실험을 통해 가공된 롤의 패턴은 Fig. 9와 같이 영역을 나누어 측정되었다. 롤의 좌측은 주축 스피들에 의해 고정되어 있었으며 롤의 우측은 중동 스피들에 장착되고 자유단으로 움직일 수 있게 되어 있었다. A영역은 가공 시작 부분이고 B는 A에서 300mm 떨어진 곳, C는 600mm, D는 900mm, E는 1,200mm 떨어져 가공이 끝나는 부분으로 각 영역에서의 가공된 패턴이 측정 및 분석되었다.

4. 결과 및 고찰

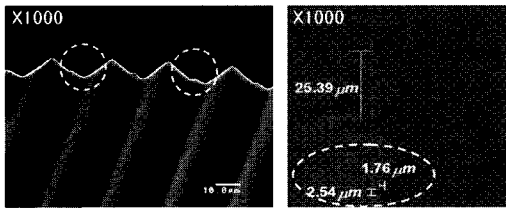
Fig. 10은 가공된 롤 표면의 미세 프리즘 패턴을 실리콘으로 복제하여 SEM과 현미경으로 촬영한 것이다. Fig. 10(a)와 Fig. 10(b)에서는 패턴이 정상적으로 가공된 것과 같이 보이며 피치 오차가 나타나지 않고 있다. 그러나 Fig. 10(b)의 SEM 표면 사진에서 보면 가공면이 Fig. 10(a) 보다 매끄럽지 못함을 관찰할 수 있다. Fig. 10(c), Fig. 10(d), Fig. 10(e)에서는 미세한 이중 산이 관찰 되었다. 또한 Fig. 10(c)에서의 미세 이중 산의 피치가 2.54µm,



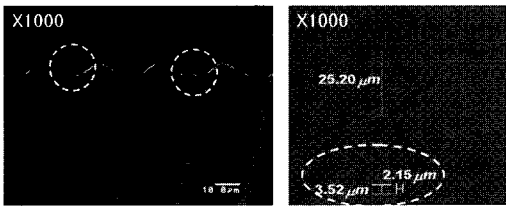
(a) Feature of machined surface at A



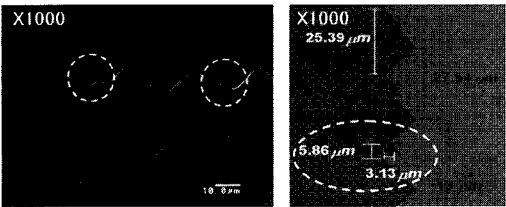
(b) Feature of machined surface at B



(c) Feature of machined surface at C



(d) Feature of machined surface at D



(e) Feature of machined surface at E

Fig.10 Feature examination of machined surface

Fig. 10(d)에서는 $3.52\mu\text{m}$, Fig. 10(e)에서는 $5.86\mu\text{m}$ 로 점차 증가하여 이중 산이 더욱 심각하게 발생함을 보여주고 있다. 이러한 결과는 Fig. 4의 열변형량과 거의 일치하며, 가공 패턴의 측정 값은 이보다 약간 크게 측정되었다. 따라서 피치오차의 주요 원인은 온도 상승에 따른 열팽창의 영향이다.

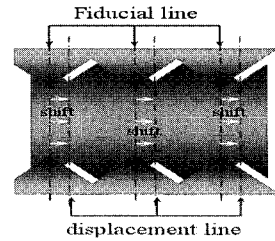


Fig.11 Cause of pitch error(double peak)

Fig. 11은 이중 산과 같은 피치 에러가 발생하게 되는 원인을 간략하게 보여주고 있다. 가공 시작점을 기준으로, 가공 시간이 경과하면서 주축 스피들부의 온도가 증가하고 열 팽창됨으로써 물에 연결된 중동 스피들이 후퇴되고 그로 인해 물이 후퇴하면서 공구의 가공위치가 바뀌고 있다. 그 결과 물의 끝단은 중동축의 변위량 만큼의 피치 오차를 가지며 미세한 이중 산을 가진 패턴이 가공되었음을 알 수 있다. 이와 같은 주축 스피들의 열변형에 의한 피치에러 문제를 방지하기 위해서는 Fig. 4의 측정 결과에서 보듯이 약 2시간 정도의 예비 가동시간이 필요함을 알 수 있다.

5. 결론

- (1) 미세 패턴 롤 금형가공에서 피치오차를 발생하는 주원인은 주축 spindle의 온도 상승으로 사료된다.
- (2) 주축 스피들의 온도는 가동 후 2 시간이 지나야 안정화 되었다.
- (3) 미세패턴 가공실험에서 Spindle의 온도가 1°C 상승함에 따라 대략 $1.9\mu\text{m}$ 정도의 물의 위치 변화가 발생하였다.
- (4) 미세패턴 가공실험 결과 주축 스피들에서 가까운 곳이 상대적으로 멀리 떨어진 곳의 가공면 보다 이중 산 발생이 적었다.
- (5) 미세 패턴 롤 금형의 가공정밀도를 높이기 위해서는 가공시스템의 열원을 분석하고 그에 대한 대응책으로 약 2 시간 정도의 예비 가동시간이 필요함을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] Soon Wook Kim, et al., 2007, Micropatterns of W-Cu Composites Fabricated by Metal Powder Injection Molding, Metals and materials international,

Vol.13, No.5, pp. 391~395.

- [2] S. M. Hong, T. J. Je, et al., 2005, Studies of Prismless Type Light Guide Panel Mold Machining using Diamond Tool, Proceedings of the KSPE 2005 Fall Annual Meeting, pp. 1597~1600.

- [3] S. C. Park, T. J. Je, et al., 2008, A Study on Micro Prism Pattern Roll Mold Processing using Cutting Method of Multiple Screw Thread, Proceeding of the KSPE 2008 Spring Annual Meeting, pp. 853~854.