

# 결정론적 피치 툴 광학 연마를 위한 TIF기반 물질제거 제어기법 TIF Based Material Removal Control for Deterministic Pitch Tool Polishing

이현수<sup>1,2</sup>, 김석환<sup>1</sup>, 양호순<sup>2</sup>, 이재협<sup>2</sup>, 이인원<sup>2</sup>, 이윤우<sup>2</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 천문우주학과 우주광학연구실, <sup>2</sup>한국표준과학연구원 우주광학연구단  
faniya@galaxy.yonsei.ac.kr

피치(pitch) 툴(tool)을 이용한 광학거울의 연마는 가장 오래된 가공 방법이다. 지금도 숙련된 기술자에 의해 경험에 의한 피치 툴을 이용한 가공이 이루어지고 있다. 따라서 결과의 예측이 어렵고 형상측정 횟수가 증가하여 가공시간이 긴 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 새로운 연마기법이 개발되었고 Precession tooling<sup>(1)</sup>과 Magnetorheological Finishing (MRF)<sup>(2)</sup>등이 있다. Precession tooling은 직경 50-180 mm의 비구면 반사경을 한번에서 세 번의 연마과정을 통해 형상오차 peak-to-valley 150~300 nm까지 가공하였다.<sup>(1)</sup> Magnetorheological Finishing은 직경 10-400 mm의 평면경, 구면경, 비구면경을 형상오차 peak-to-valley 30 nm 이하로 가공하였다.<sup>(2)</sup> 이러한 연마방법들은 TIF(툴 영향 함수, Tool Influence Function)를 이용하여 가공결과를 예측함으로써 반사경의 형상측정 횟수를 줄이고 반사경의 제작시간을 단축하였지만 1미터 이상의 대구경 광학거울의 연마기법으로 적용하기는 어려웠다. 본 연구는 최초로 피치 툴의 TIF를 이용한 대구경 광학 거울의 결정론적 연마기법을 개발하는 것을 목적으로 한다.

TIF simulation은 한국표준과학연구원의 600 mm 연마기를 대상으로 MATLAB을 이용하여 제작하였다. 반사경에 대한 툴의 임의의 점의 상대적 운동은 그림 (1)과 같다. 툴의 회전 속도, 오른쪽 회전축의 반경과 회전속도, 반사경의 회전속도에 따라 툴의 임의의 점의 상대적 운동이 결정된다.

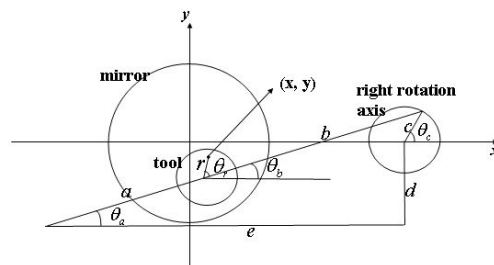


그림 (1) 툴의 임의의 한 점의 좌표

이론적 물질 제거 방정식은 프리스톤 방정식(Preston's equation)<sup>(3)</sup>을 통하여 구하였다. 프리스톤 방정식은 다음과 같다.

$$\Delta z = \kappa \cdot P \cdot V_T \cdot \Delta t \quad (1)$$

식(1)의  $\Delta z$  는 반사경 표면으로부터 제거되는 물질의 깊이,  $\kappa$  는 물질제거율,  $P$  는 연마압력,  $V_T$  는 반사경과 툴의 상대속도의 크기,  $\Delta t$  는 툴이 반사경 위에서 머문 시간이다. 위의 프리스톤 방정식을 이용하여 600mm 연마기의 물질제거 방정식을 구하였다. 물질제거 방정식을 이용한 평면경 가공의 시뮬레이션의 결과는 그림 (2), 그림(3), 그림(4)와 같다.

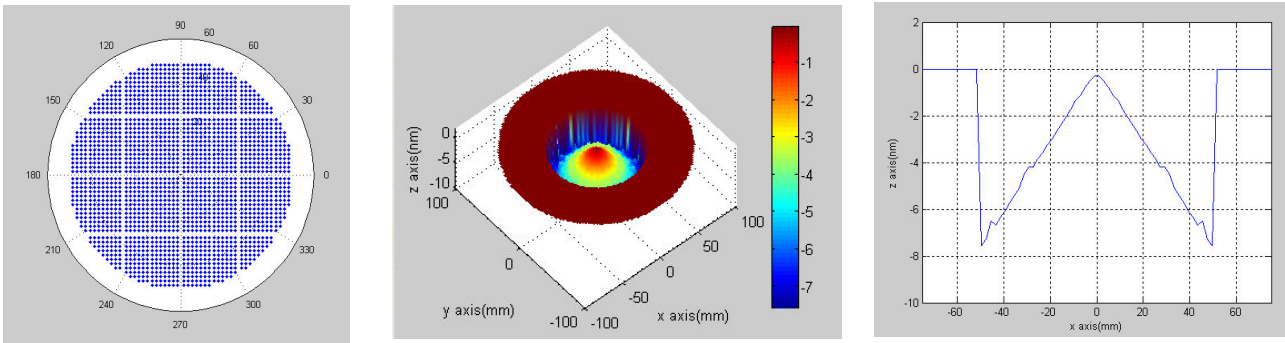


그림 (2) 100 mm pitch tool    그림 (3) TIF 시뮬레이션 결과 (3D view)    그림 (4) TIF의 X축 방향 단면도

그림 (2)는 시뮬레이션에 이용된 100 mm 평면 피치 툴이다. 그림 (3)과 (4)는 물질제거율  $\kappa$  가  $1.0 \times 10^{-6} \text{ mm}/N^{(4)}$  일때 평면경과 오른쪽 회전 축은 고정시키고 피치 툴만 1분간 30 rpm으로 회전 시킨 결과이다.

앞으로의 연구를 통해 물질제거 방정식의 각 변수에 따른 다양한 경우의 시뮬레이션 결과와 실제 연마 후의 측정결과들을 제시하고, 대구경 광학거울의 제작을 위한 피치 툴 연마기법의 효율성을 구할 것이다.

**참고문헌**

1. David D. Walker, "New results from the Precessions polishing process scaled to larger sizes", SPIE vol. 5494, p. 71-80.
2. Aric Shorey, William Kordonski, Mark Tricard, "Magnetorheological Finishing of large and lightweight optics", Advances in Mirror Technology for X-ray, EUV Lithography, Laser, and Other Applications II, SPIE, Optical Science and Technology, Denver, CO, 2-6 August 2004, 1.
3. Dae Wook Kim, Sug-Whan Kim, "Static tool influence function for fabrication simulation of hexagonal mirror segments for extremely large telescopes", optics express vol. 13, No 3, February 2005.
4. Do Hyung Kim, "On the Removal of Material for Polishing Aspheric Optics", PhD thesis, University of London, 66-69.