

스윙암 방식을 이용한 대형 광학부품 연마가공기 개발

김진욱*, 김옥현#

Development of a Swing-Arm Type Polishing Machine for Large Optics

Jin-Wook Kim*, Ock-Hyun Kim#

ABSTRACT

A polishing machine adopting a new unique structural mechanism has been developed, named as a swing-arm type polishing machine. The mechanism is such that the tool path tracks on a spherical surface, of which the diameter is adjusted by setting up the machine mechanism properly. It has a strong benefit especially for polishing axis-symmetric concave mirror surfaces. The swing-arm type polishing machine with 5-axes has been designed in order to polish a concave mirror surface up to diameter of 2 meters. The drawings are made using 3D CAD and strain-stress analysis has been done by finite element method. AC servo-motor has been used to move the swing arm and a operating software has been developed using a LapVIEW tool. Result of the test run was satisfactory which convinces the usefulness of the swing-arm type polishing machine.

Key Words : Swing Arm(스윙암), Polishing(폴리싱), Large optics(대형광학), Axis-symmetric mirror(축대칭 미러), Structural dynamics(구조 동특성), Lenz fabrication(렌즈가공)

1. 서 론

정밀 렌즈, 미러 등 광학부품은 빛을 이용하기 때문에 광선의 파장에 따라 그 형상 정밀도가 최대 수 μm 에 이를 정도로 고정밀도를 요한다. 특히 관련기술이 발전하면서 정밀 광학부품은 점점 더 대형화 되고 있으며 최고수준의 형상 정밀도를 요구한다. 지상 관측용 위성에 탑재되는 대형렌즈, LCD 및 반도체 노광장비에 사용되는 대형 반사경들은 최소직경

300mm에서 최대직경 3500mm에 이르기까지 다양하며 그 수요는 점점 증가하는 추세이다. 이와 같은 대형정밀 광학부품들은 항공우주 등 방위산업에 있어 매우 중요한 위치에 있기 때문에 광학기술을 보유하고 있는 국가들은 기술의 유출을 매우 꺼리고 있는 실정이다. Table 1에 용도에 따른 대형 광학부품들의 가공정밀도를 보이고 있다^[1].

대형 광학부품의 가공 방법에 대한 연구는 주로 최근의 LODTM(Large Optics Diamond Turning Machine) 사용방법과 종래의 래핑가공을 통한 정밀 형상을 얻는 방법으로 나눌 수 있지만 전자의 경우 근본적으로 공구자국(Tool Mark)이 표면에 남아있어 성능을 저하시키는 문제가 있다.^[2]

* 충북대학교 대학원 기계공학과

교신저자 : 충북대학교 기계공학부

E-mail : ohkim@chungbuk.ac.kr

Table 1 Requirements for Some Large Optics

Application	Development Period	Material	Accuracy	Aspheric Departure	Size (mm)
Infrared	1975~1980	Ge, Si	0.5~1.0 μm	~100 μm	300
Laser fusion	1978~1983	BK7, Fused silica	0.05~0.1 μm	~200 μm	800
Head-up displays	1985~1987	Optical glass	~1.0 μm	~1 mm	200
SDI	1985~1992	Fused silica, Be, SiC	Mission dependent	~1 mm	1500
Microolithography	1990~today	Fused silica, Zerodure, ULE, CaF2	5nm rms	1~100 μm	250
NASA	1991~today	Fused silica, Zerodure, ULE, Be	Mission dependent	μm 's ~mm's	1000~

일반적인 연마가공은 재료를 선정하고 다이아몬드 터닝 툴을 사용하여 근사한 곡률반경으로 선삭을 한 후 굽은 입자로 시작하여 점점 고운 입자로 바뀌어가며 연마를 하는 순서로 대형 광학부품을 제작한다.^[3] 다이아몬드 터닝 툴을 사용하여 근사한 곡률반경으로 선삭하는 이유는 중간 단계에 해당하는 연마과정의 가공량을 줄여주기 위함이다. 연마 과정 중 래핑 단계는 수 시간동안 가공을 하여도 가공 깊이가 수 μm 정도이며 폴리싱 단계는 수 nm에 이른다.

이와 같은 정밀대형광학면의 연마가공은 주로 고도의 숙련공의 기능에 의존되어 가공되고 있으므로 생산성이 낮고 기술의 보급이 어렵게 된다. 따라서 생산성 향상과 기술이 보편화를 위해 연마공정의 자동화가 필요하다.

본 연구에서는 특히 축대칭 대형 광학부품을 연마에 적합한 스윙암 방식의 가공기를 설계하고 제작하였으며, 자동화를 위한 컴퓨터 제어를 구현하였다. 이와 같은 연구결과를 통해 새로운 메카니즘의 구조를 갖는 컴퓨터 제어식 대형 광학부품의 폴리싱 머신을 제시하였다.

2. 스윙암 방식 연마가공기 메카니즘

종래의 많은 연마가공기는 Ohshkawa 방식의 가공기이다. Ohshkawa 방식은 사절링크(four bar link)를 구성하고 종동축 링크에 연마공구를 장착하여 공구를 왕복운동시킴으로써 연마공정을 수행한다. 연마공

구는 연마면의 수직방향으로 자유롭게 움직일 수 있도록 연마기에 장착된다. Fig.1에 Ohshkawa 방식의 연마기 사진을 보였다. 이 방식에서는 연마기의 공구 설치점은 평면을 운동하게 되며, 공구는 자중에 의해 연마면을 따라 이동하도록 되어있다.

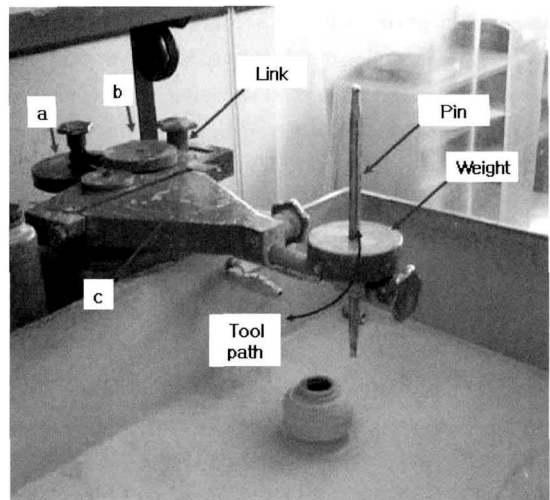


Fig. 1 Photograph of Ohshkawa Type Polishing Machine

Fig. 2는 본 논문에서 제시하는 스윙암 메카니즘을 보이고 있다^[4]. 그림에서 보는 바와 같이 스윙암의 회전축이 가공물(work-piece) 곡면의 곡률반경 중심점 C와 교차하도록 설치한다. 이때 C점과 스윙암 끝단 D점을 잇는 직선은 스윙암의 회전에 따라 스윙암 회전축을 중심축으로 하고 C점을 꼭지점으로 하는 원

뿔면을 이루게 된다. 따라서 원뿔면의 모선인 C점과 D점의 길이는 일정하므로 D점은 C점을 중심으로 하고 직선길이 CD를 반경으로 하는 구면 위를 움직이게 된다.

이와 같이 본 연구에서 제시하는 스윙암 메카니즘에서는 암의 끝점이 원하는 곡률반경의 구면 위를 운동하게 되는 것이 종래의 Ohshkawa 방식과 차별되는 특징이다.

3. 스윙암 방식 연마가공기 설계

Table 2와 같은 사양의 스윙암 방식 연마가공기를 설계하였다. Fig.3은 구조 설계도를 보이고 있으며 Fig.4는 제작된 연마가공기의 사진을 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 개발된 가공기는 스윙암의 회전(S축, 서보모터 구동), 스윙암의 상하 이동(H축, 수동), 공구의 상하 이동(A축, 수동), 스윙암 틸팅(I축, 수동), 회전테이블 회전운동(T축, 모터구동)의 5자유도를 가지며, 그림에는 표시되지 않았으나 공구의 틸팅이 가능하도록 구성되어 있다. 공구의 장착부(A축)에는 코일 스프링을 이용하여 연마압을 조절할 수 있도록 되어있으며, 스윙암의 운동시 충분한 강성을 확보하기 위하여 스윙암 고정을 위한 컬럼을 설치하였다.

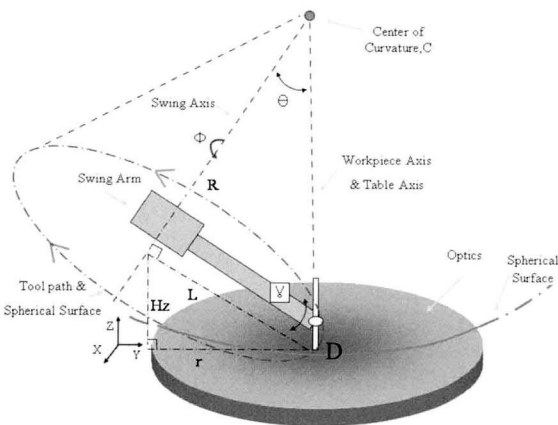


Fig. 2 Mechanism of a Swing-Arm Polishing Machine

스윙암은 경량화를 위하여 AL60계열을 재질을 사

용하였다. Fig. 5에서와 같이 Pro Engineer를 사용하여 자중에 의한 구조해석을 수행하여 자중에 의한 응력, 변형율, 그리고 처짐에 대한 해석을 하였다. 자중에 의한 최대응력은 $4.342 N/mm^2$ 로 해석되었으며, 최대 처짐량은 $261 \mu m$ 으로 해석되었다. 본 논문에서는 보이지 않았으나, 실제의 경우보다 훨씬 큰 2000N의 연마력이 걸린다고 가정했을 때의 구조해석도 수행하였으며 그 결과로부터 개발된 연마기구조물은 충분한 강도를 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 2 Specification of a Developed Lapping Machine Developed

Item	Specification
Size	Length : 2300mm, Width : 1500mm, Height : 2000mm
Capacity	Maximum size of working piece : $\phi 2000mm$
	Minimum Curvature Radius of working piece : Radius 2000mm
Process	Lapping, Polishing
S-axis	Max Speed 66rpm
T-axis	Max Speed 90rpm

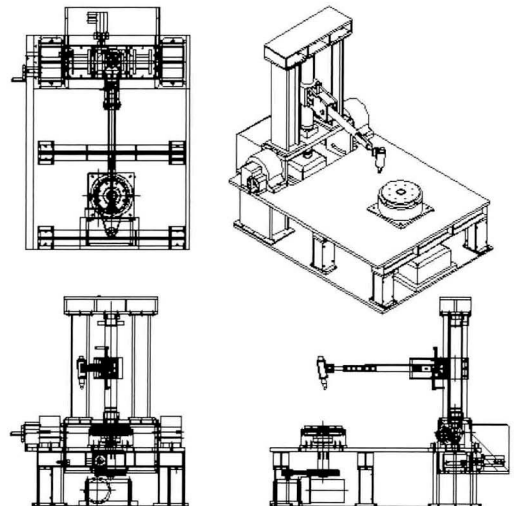


Fig. 3 Overview of a Swing-Arm Polishing Machine

4. 연마가공기의 동력장치

연마가공기에서 동력을 사용하는 부분은 스윙암 부분과 회전 테이블 부분이다. 스윙암 부분은 회전각 및 회전속도를 제어할 수 있도록 AC 서보모터를 사용하였다. 회전 테이블은 회전속도를 일정하게 유지하면 되므로 유도모터를 사용하였다. 컴퓨터에는 모터를 제어하기 위한 모션보드와 D/A보드가 설치되어 있다. 제어 프로그램은 랩뷰를 사용하였다. 모션보드는 각각 서보모터 드라이버와 유도모터 인버터에 명령신호를 인가한다. 서보모터는 드라이버에 의해 구동되며, 유도모터는 인버터에 의해 구동된다. Fig.6에 스윙암 제어모터의 블록선도를 보였다.

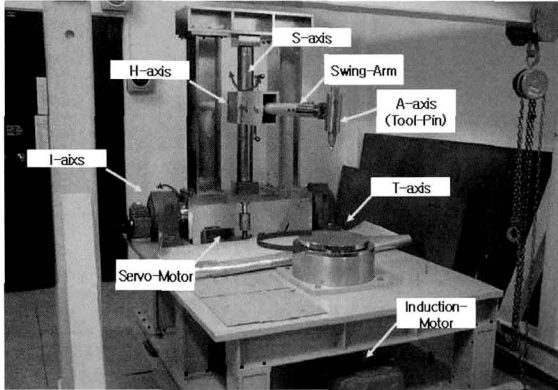


Fig. 4 Photograph of a Developed Polishing Machine

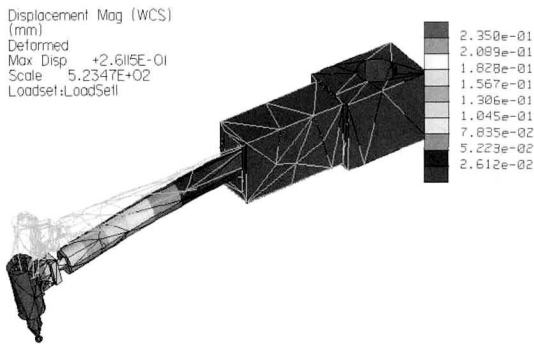


Fig. 5 FEM Analysis of the Swing Arm under gravity

스윙암 제어시스템의 동적 반응 특성을 시험하기 위하여 스윙암에 단일 조화함수(sinusoidal)의 명령을

주고 그 추종성능을 평가하였다. Fig.7에 0.5Hz 명령에 대한 반응을 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 입출력 사이에 시간지연이 거의 없이 동작됨을 확인할 수 있다.

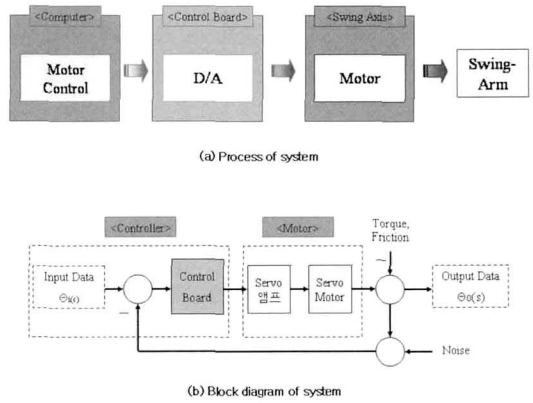


Fig. 6 Block Diagram of the Control System

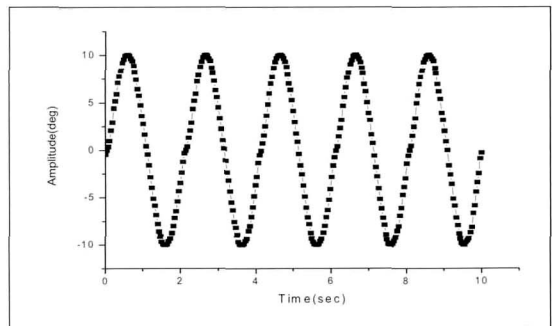
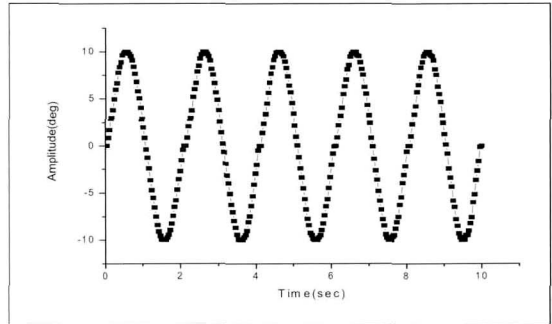


Fig. 7 Control Input and Output of the Swing Arm Control, 0.5 Hz

5. 결 론

본 연구에서는 특히 축대칭 오목거울면의 연마공정에 장점을 갖는 스윙암 방식의 연마가공기를 개발하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 스윙암 축의 기울각(틸팅)을 조정함으로써 대형 오목거울의 곡률반경 구면을 따라 공구를 이동시켜주는 새로운 구조 메카니즘을 갖는 연마가공기를 제시하였다.

2) 5축을 갖는 기계구조물은 3D CAD를 사용하여 설계되었으며 유한요소해석을 통해 개발된 가공기는 충분한 강도를 가짐을 확인하였다.

3) LabVIEW를 이용하여 제어 및 운영 software를 개발하였으며, 성공적으로 동작됨을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2006학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. David Williamson, Robert Kestner and Daniel Bajuk, "Asphere in Microlithography", Fabrication and Testing of Aspheres, Optical Society of America, pp.8-16, 1999
2. 오창진, "광학식 기기상측정과 수정포리싱 시스템에 의한 초정밀 대형 비구면형상 가공", 충북대학교 기계공학과 박사학위논문, 2003
3. H. Suzuki, S. Hara and H. Matsunaga, "Study on Aspherical Surface Polishing Using a Small Rotating Tool", Journal of Jspe, Vol.59, pp.131-136, 1993.
4. 김진욱, "Swing-Arm 방식을 이용한 대형 광학부품 연마가공기 개발", 충북대학교 기계공학과 석사논문, 2006