

사파이어 성장로 아일랜드 위치 검출을 위한 머신 비전 시스템 개발

Development of Machine Vision System for Detecting Island of Sapphire Ingot Growth Furnace

*김철민¹, #김성렬¹, 허수미¹, 안중환²

*C. M. Kim¹, #S. R. Kim(sungrkim@kitech.re.kr)¹, S. M. Heo¹, J. H. Ahn²

¹한국생산기술연구원, ²부산대학교 기계공학부

Key words : Growth furnace, Island, Vision system, Sapphire ingot, Kyropoulos method

1. 서론

단결정 사파이어는 파손에 대한 저항성, 높은 강도, 넓은 파장범위의 광학적 투과성 등과 같은 장점을 통해, 엔지니어링, 군수/항공, 광학, 의료 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 현재 사파이어 기관을 이용한 LED BLU 사업의 번창에 따라 대량의 사파이어 잉곳이 생산되고 있으며 그 수요는 기하급수적으로 성장하고 있다.

Kyropoulos(KY)법은 사파이어 잉곳을 생산하는 방법 중 하나로, Czochralski법과 유사하지만 회전과 끌어올림이 없이 성장로 내부의 온도를 서서히 낮추면서 단결정을 제조하는 방식으로 대형의 잉곳을 얻을 수 있는 방법이다.

이런 KY법을 이용한 사파이어 성장에 있어 성장로 내부의 관찰의 어려움, 성장로 내의 불균일한 온도분포 등의 많은 요인이 자동화의 걸림돌이 되고 있다. 특히, 공정 초기 시드 크리스탈이 수직으로 된 수냉각봉 끝에 장착되어 용융체에 접촉 후 천천히 상승되는데, 현재 시드 크리스탈이 용융체에 접촉하는 지점(Island)에 대한 결정은 사용자의 육안으로 위치를 판단하고 조작을 하고 있다.

본 논문은 KY법 성장로 시스템의 자동화를 위하여 공정초기 Island 위치를 Vision을 통해 판단할 수 있는 방법과 시스템을 개발한다.

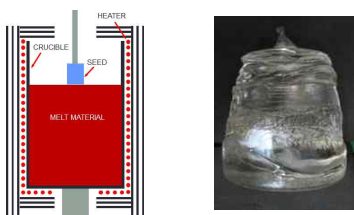


Fig. 1 Kyropoulos method

2. 실험장치 구성 및 방법

사파이어 성장로 island 위치 검출을 위하여 Fig. 2와 같이 실험장치를 구성하였다. 실험장치는 크게 Monitoring system과 Control system으로 구분되며, Monitoring system은 용융체 표면의 흐름을 측정하는 카메라와 표면온도 측정을 위한 온도센서로 구성되고, Control system은 카메라의 손상 방지를 위한 셔터 개폐장치와 제어신호, 온도 신호 전달을 위한 I/O module, 카메라로 획득한 화상분석 및 온도 측정·보상과 셔터 제어를 위한 Main Control PC로 구성된다. 표 1은 구성된 시스템의 사양을 나타낸다.

실험은 성장로 내부 용융체 표면의 화상과 온도

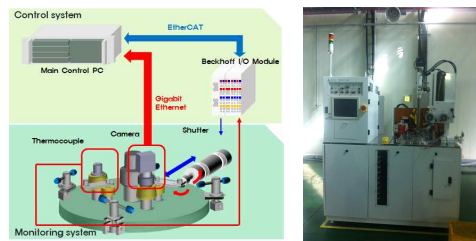


Fig. 2 Experiment setup of growth furnace

Table 1 Specification of machine vision system

System	System component	Specification
Monitoring system	Camera	Gigabit type camera
	Lens	MORITx, 25mm 1:1.4
	Filter	Polarizing-Filter
	Temperature Sensor	Thermocouple & pyrometer
	Shutter	controlled by air cylinder
Control system	I/O terminal	EtherCAT I/O module
	Main control PC	IPC-C5102-0030

를 10초 간격으로 획득하고, 화상처리를 통해 island 위치를 검출하고 실제 관측된 위치와 비교하였다. Island 위치 검출은 획득된 화상에서 관심영역의 설정과 필터를 통해 노이즈성분과 불필요한 데이터성분을 제거하고 중요 정보의 강도를 조절하였다. 그리고 성장로 표면 용융체 흐름에 대한 특이점의 정보를 획득하고 이를 통해 직선 데이터를 뽑아내며, 마지막으로 획득된 직선 데이터를 통해 island 위치를 검출하는 방식을 사용하였다.

3. 실험 결과

성장로 내부 이미지 원신호 분석 시 Line 프로파일의 각 경계값의 변화폭이 작고 화상 전체의 온도 분포에 따라 밝기의 세기가 다르기 때문에 절대적인 Threshold 값을 적용하기에는 무리가 있어 Fig. 3과 같이 측정하고자하는 부분의 Line profile의 데이터를 미분하여 그 기울기가 일정 이상 되는 부분을 뽑아 경계값으로 취하였다. Fig 4에는 측정된 화상의 원본과 island 위치검출을 위하여 알고리즘의 각 단계에 대한 결과값을 나타낸다. 각 특이점으로부터 직선 데이터를 얻기 위하여 hough 변환을 사용하였다. Fig. 5는 직선 데이터를 통해 얻어진 island 위치 결과이다. 각 이미지는 실험 시작 후 100sec와 200sec에 획득된 이미지이다. 직선 데이터를 통해 얻어진 각 직선의 교점을 이용하여 일정 영역에서 가장 많은 교점이 있는 곳을 island로 가정하여 그 위치를 검출하였다. (a)의 경우, 직선 데이터를 통해 검출된 island의 위치는 (259, 334)이며 눈으로 관측된 island의 위치는 (231,347)로 약 30 픽셀의 차이가 있으며, (b)에서 검출된 island 위치는 (269, 323)이며 관측된 island 위치는 (236, 335)로 약 37 픽셀 차이가 난다. 이러한 오차가 발생된 이유는 성장로 내의 화상 획득 시, 실험에 사용된 카메라 필터의 문제와 용융 이미지가 곡선으로 생성되지만 이를 직선화시키면서 발생된 오차이다.

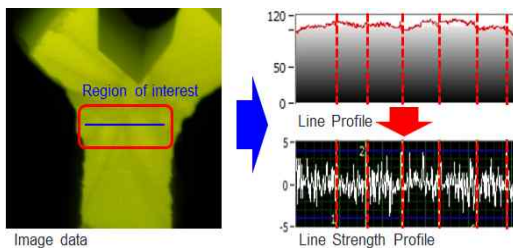


Fig. 3 Edge detection method

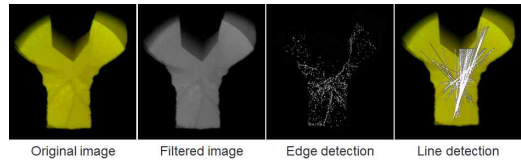
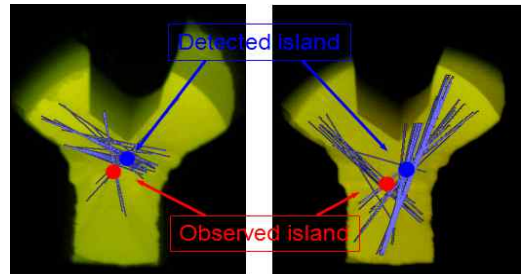


Fig. 4 Image processing method



(a) 100sec(2117°C) (b) 200sec(2132°C)
Fig. 5 Results of image processing

4. 결론

사파이어 성장로 island 위치 검출을 위하여 비전 시스템을 구성하고, 화상처리 알고리즘을 적용하여 사파이어 Auto-seeding의 가능성을 평가하였다.

1. 비전 시스템을 통해 성장로 내부 유동상태를 이미지로 획득하고 화상처리를 통해 island 위치를 검출하였다.
2. 눈으로 관측된 island 위치와 화상 알고리즘으로 검출된 위치와의 오차가 발생하지만 37 픽셀이 내의 위치에 들어감을 확인하였다.
3. 눈으로 관측된 island 위치 역시 화상 알고리즘에 의해 생성된 line의 교점 위에 존재하지만, 관측 당시의 노이즈로 인한 현상으로 island의 결정에 중요도가 낮음을 알 수 있다.

향후, island 위치의 정확한 검출을 위한 카메라 필터의 선정과 실시간 측정을 위한 알고리즘 최적화 등에 대한 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

1. Mark S. Akselrod, Frank J. Bruni, "Modern trends in crystal growth and new applications of sapphire," *Journal of Crystal Growth*, 134-145, 2012.
2. 류진호, 이육진, 이영철, 조형호, 박용호, "사파이어 단결정의 Kyropoulos 성장시 도가니 형상에 따른 유동장 및 결정성장 거동의 CFD 해석," *Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology*, 22, 115-121, 2012.