

DOI <http://dx.doi.org/10.9725/kstle.2016.32.2.50>

## 냉각수 유량에 따른 양면 랩그라인딩 정반의 전열특성

김동균<sup>†</sup> · 김종윤 · 이현섭

동명대학교 기계공학과

### Characteristics of Heat Transfer in DLG Platen According to Flow Rate of Coolant

Dongkyun Kim<sup>†</sup>, Jongyun Kim and Hyunseop Lee

Dept. of Mechanical Engineering, Tongmyong University

(Received January 29, 2016; Revised March 17, 2016; Accepted March 17, 2016)

**Abstract** – Recently, a double-side machining process has been adopted in fabricating a sapphire glass to enhance the manufacturability. Double-side lap grinding (DLG) is one of the emerging processes that can reduce process steps in the fabrication of sapphire glasses. The DLG process uses two-body abrasion with fixed abrasives including pallet. This process is designed to have a low pressure and high rotational speed in order to obtain the required material removal rate. Thus, the temperature is distributed on the DLG platen during the process. This distribution affects the shape of the substrate after the DLG process. The coolant that is supplied into the cooling channel carved in the base platen can help to control the temperature distribution of the DLG platen. This paper presents the results of computational fluid dynamics with regard to the heat transfer in a DLG platen, which can be used for fabricating a sapphire glass. The simulation conditions were 200 rpm of rotational speed, 50°C of frictional temperature on the pallet, and 20°C of coolant temperature. The five cases of the coolant flow rate (20~36 l/min) were simulated with a tetrahedral mesh and prism mesh. The simulation results show that the capacity of the generated cooling system can be used for newly developed DLG machines. Moreover, the simulation results may provide a process parameter influencing the uniformity of the sapphire glass in the DLG process.

**Keywords** – double-side lap grinding (양면 랩그라인딩), sapphire glass (사파이어 글라스), heat transfer (열전달), temperature distribution (온도분포)

#### 1. 서 론

최근 사파이어 글라스(sapphire glass) 기판 가공의 생산력 향상을 위해 단면 가공 공정이 아닌 양면 가공 공정의 채택이 이루어지고 있다. 기판의 DMP(diamond mechanical polishing)와 CMP(chemical mechanical polishing) 단계에서 양면가공을 주로 적용하고 있으나 여전히 공정 효율에 대한 개선이 필요한 실정이다[1, 2]. 이를 극복하기 위하여 사파이어 잉곳(ingot)의 멀티와이

어쏘(multi-wire saw) 공정 이후 고속의 양면 랩그라인딩(double-side lap grinding; DLG) 공정을 적용하여 공정의 수를 단축하고 효율성을 높이는 연구가 진행 중이다. DLG 가공은 초정밀 양면 저압·고속가공으로 고정입자가 포함된 펠릿(pallet)을 이용하기 때문에 공정 중 발생하는 마찰열에 의한 정반 열변형이 기판의 형상 정밀도에 매우 큰 영향을 미치는 공정이다[3-5]. 이에 DLG 가공에서는 가공 중 정반 열변형 최소화를 위하여 정반의 온도를 균일하게 유지할 필요성이 있다. 일반적으로 냉각유로를 정반 내부에 구성하여 가공 중 발생하는 불균일한 정반 온도 분포를 개선하는 방식을 채택하고 있다. Kim 등[6]은 DLG 공정에서 정반의 회

<sup>†</sup>Corresponding author : kimdk@tu.ac.kr  
Tel: +82-51-629-1595, Fax: +82-51-629-1589

전속도, 유량, 냉각수 주입 위치에 따른 정반의 냉각특성에 대하여 연구하였으나, 펠렛의 형상을 고려하지 못하였다.

이에 본 연구에서는 사파이어 글라스의 고속 양면가공을 위한 DLG 장치에서 정반 위 펠렛의 위치를 고려하여 정반 냉각수의 유량에 따른 전열특성에 대해서 고찰하고자 한다.

## 2. 해석모델

### 2-1. 해석모델

실제가공에 적용되는 펠렛 배열(방사형)을 적용한 DLG의 전열특성을 살펴보기 위한 모델은 Fig. 1과 같다.

양면가공을 위한 ‘펠렛’, ‘상부 정반(top platen)’, ‘베이스 정반(base platen)’으로 정의하였다.

실 가공에 적용되는 펠렛은 실제형상과 배치를 동일하게 Fig. 2와 같이 방사형으로 배치 및 배열하였다. 그리고 개별 펠렛에 대해서 등온조건을 정의하여 양면 랩그라인딩의 가공공정에서 발생하는 발열부로 정의하였다.

### 2-2. 냉각유로

개발 장비의 설계를 바탕으로 양면가공 시 발생하는

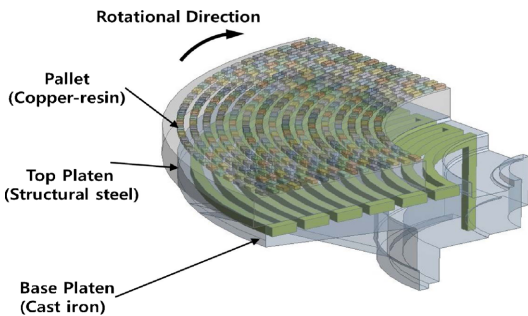


Fig. 1. Schematic geometry for analysis model.

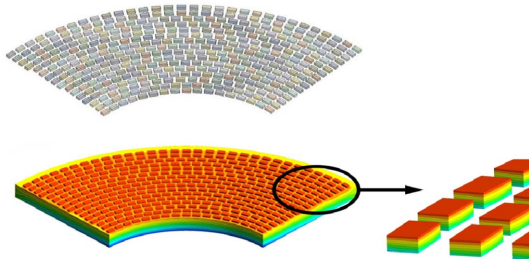


Fig. 2. Geometry of pallet array.

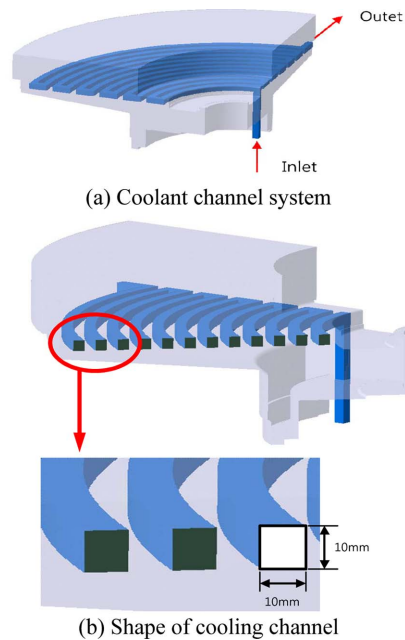


Fig. 3. Geometry of coolant channel.

마찰열에 의한 변형을 최소화하기 위한 냉각유로는 10 mm × 10 mm 크기로 설정하였으며, 형태는 가공의 편의를 위해 정방형으로 정의하였다. 유로 사이의 간격은 냉각유로의 크기와 동일하게 모델링 하였다.

## 3. 수치해석

### 3-1. 수치해석 모델

양면 랩그라인딩 정반의 전열특성을 전산유체역학 (computational fluid dynamics; CFD)를 이용하여 고찰해보고자 한다. 양면 랩그라인딩 정반의 전열특성에 대한 지배방정식을 해석하기 위하여 유한체적법 (finite volume method)[7, 8]을 이용하여 비엇물림격자계 (non-staggered mesh system)에 대한 이산화방정식을 구하였다.

Fig. 4는 수치해석을 위해 정의한 격자계를 나타낸 것이다. 수치해석을 위해 작성한 총격자수는 200만개이며, 사면체격자 (tetrahedral mesh)와 해석의 정밀도향상을 위해 냉각유로 주위와 벽면에서는 프리즘격자 (prism mesh)를 적용하였다. 배열한 전체 펠렛에 대해서도 그림과 같이 격자계를 구성하였다. 해석시간의 단축을 위해 전체 모델을 그림과 같이 1/4모델로 정의하였다.

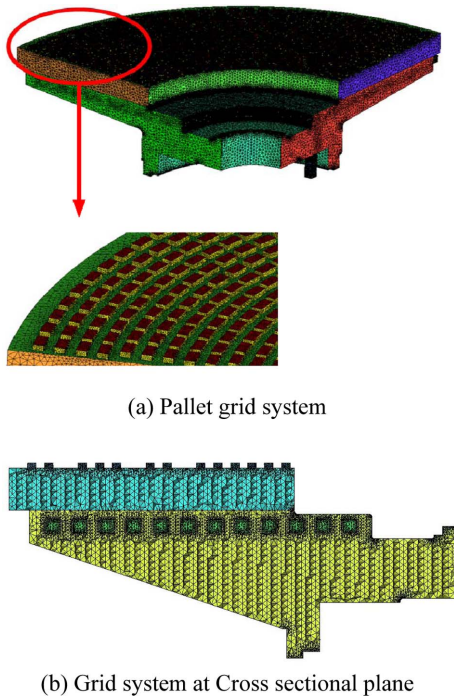


Fig. 4. Grid system for CFD.

3-2. 해석조건

양면 랩그라인딩 냉각시스템에서 냉각수 유량에 대한 전열특성을 고찰하기 위해 정반의 회전수는 가공에서 적용되는 최대 회전수인 200 rpm으로 설정하였다. 그리고 가공이 이루어지는 펠렛에서 가공마찰에 의해 발생하는 마찰온도는 50°C로 설정하였다. 냉각에 사용된 냉각수는 상온(20°C)이다. 해석은 양면가공공정에 적용할 수냉식 냉각시스템인(KOREF社, KR-10030)의 냉각수 유량 범위(25~30 l/min)에서 적절한 유량을 살펴보기 위해 냉각유로의 입구에서의 유량조건은 Table 1과 같이 정의하여 해석조건으로 설정하였다. Case 1은 냉각시스템의 유량범위보다 작으며, Case 5

Table 1. Analysis condition

Flow rate (l/min)	Case Number	Note
20	Case 1	-
25	Case 2	KR-10030
28	Case 3	
30	Case 4	
36	Case 5	-

는 냉각시스템의 유량범위보다 크게 설정하였다. 이를 통해 본 연구에서 고려한 냉각시스템의 유량범위의 적절성을 판단하고자 하였다.

4. 결과 및 고찰

서론에서 언급한 바와 같이 마찰열에 의한 가공 중 정반 열변형 최소화를 위하여 정반의 온도를 전체적으로 균일하게 유지해야 한다. 본 연구에서고려한 냉각시스템의 적정유량의 산정을 위해 양면 랩그라인딩 가공시스템의 주요부분에 대한 온도분포의 고찰을 살펴보고자 하고자 한다.

Fig. 4는 본 연구에서 고려한 양면 랩그라인딩 가공시스템에서 냉각유로에서의 냉각수 온도분포를 나타낸 것이다. 유량에 관계없이 냉각유로의 입구에서의 온도분포는 유사한 결과를 보였다. 냉각유량이 20 l/min인

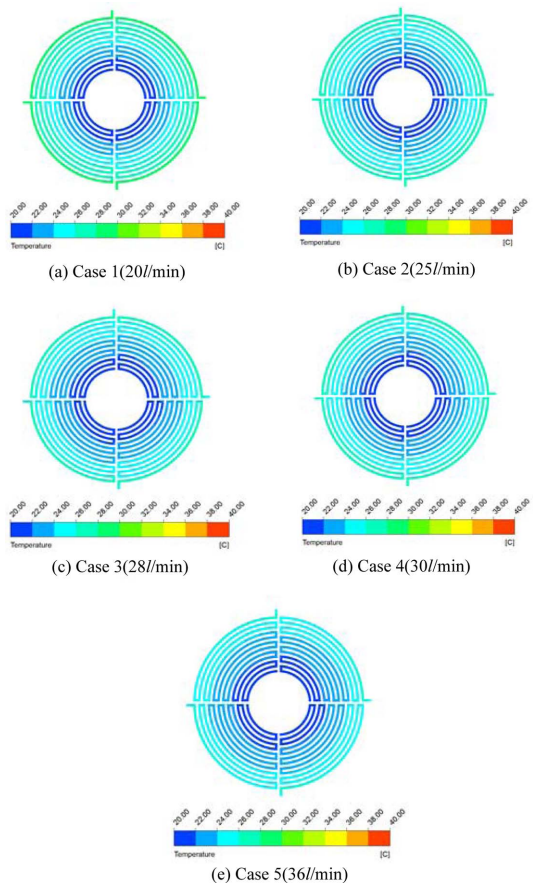


Fig. 5. Temperature distribution of coolant channel.

Case 1에서는 양면랩그라인딩 정반의 가장자리 부근에서의 최대온도가 분포하였으며, 온도는 34°C인 결과를 보였으며, 평균적인 온도분포도 다른 유량범위에 비해서 높게 나타났다. 그러나 정반의 전체를 고르게 냉각하기에는 다소 부족한 유량이라고 판단된다. 냉각유량이 25 l/min인 Case 2에서는 Case 1에 비해서 최대온도가 32°C로 다소 낮게 낮게 분포한 결과가 나타났다. 이러한 경향은 Case 3~5에서도 동일하게 나타났다. 중심부에서의 온도분포는 유량의 증가에 따라 낮아지고 있다. Case 4와 Case 5를 비교해보면 거의 유사한 냉각수에 의한 온도분포를 보이고 있다. 이를 통해 양면 랩그라인딩의 냉각수 유량은 많을수록 냉각에는 도움이 되지만, 유량이 30 l/min이상부터는 거의 동일한 냉각효과를 기대할 수 있을 것이라고 판단된다.

Fig. 6은 펠렛이 설치된 상부 정반에서의 온도분포를 나타낸 것이다. 온도분포에서 알 수 있듯이 냉각유

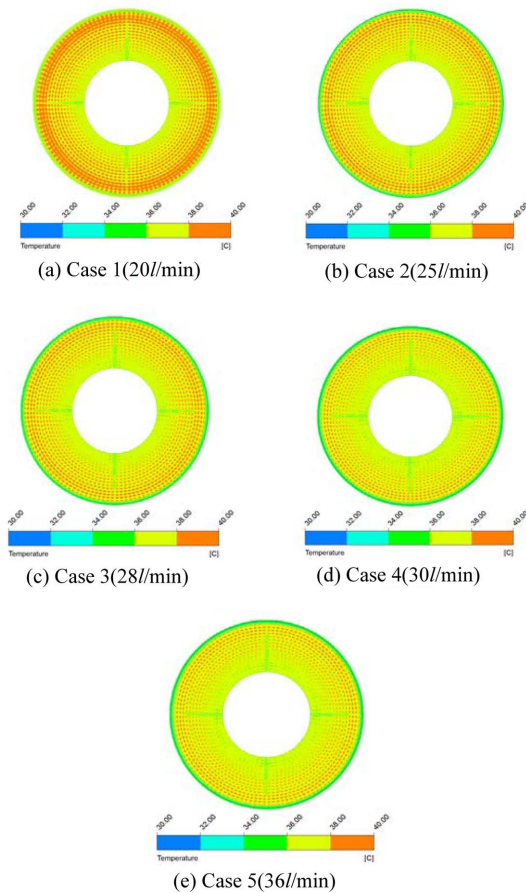


Fig. 6. Temperature distribution on top platen.

로에서의 냉각수 온도분포와 동일하게 Case 1~2에서는 정반의 가장자리 부근에서는 가공에 의한 마찰열이 제대로 냉각되지 못한 온도분포가 나타났다. 유량이 28 l/min인 Case 3에서는 정반의 가장자리의 펠렛 온도분포가 Case 1~2보다는 낮게 분포하고 있으나 전체적으로 고른 냉각효과를 기대하기에는 다소 부족한 유량이라고 생각된다. 본 연구에서 고려한 냉각시스템의 최대유량인 Case 4에서는 가장자리 부근에서의 펠렛 온도가 Case 5와 유사한 온도분포를 나타내고 있다. 이를 통해 Case 4이상의 유량범위 즉, 30 l/min이상의 냉각유량은 본 연구에서 고려한 양면 랩그라인딩 정반의 냉각을 위한 적절한의 유량이라고 판단된다.

Fig. 7은 양면 랩그라인딩 장치의 유량에 따른 전체적인 온도분포를 살펴보기 위해 단면에서의 냉각유량에 따른 온도분포를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 유량의 증가에 따라 펠렛에서 발생하는 마찰열로 가정한 상부의 발열부에 대해서 양면 랩그라인딩 가공장치의 온도분포가 점차적으로 낮아지고 있다. 이는 냉각유로에 의한 냉각수의 순환으로 정반에 대한 적절한 냉각이 이루어진다고 판단된다.

특히 본 연구에서 고려한 냉각시스템의 최대유량 (30 l/min)을 나타내는 Case 4의 온도분포와 유량이 유

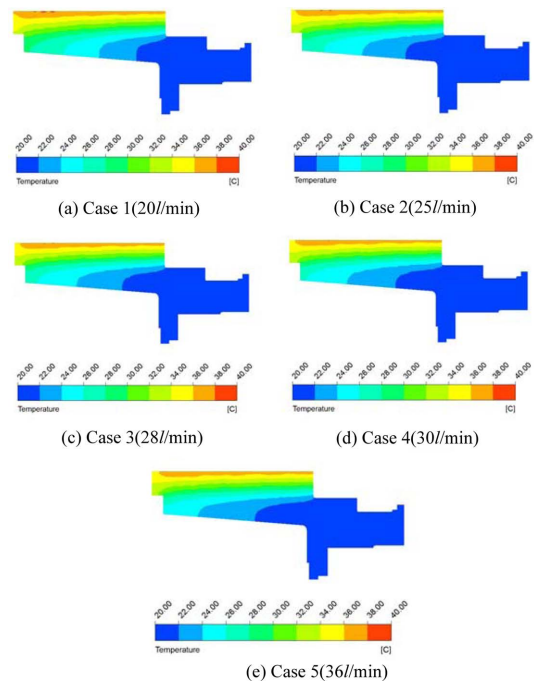


Fig. 7. Cross-sectional temperature distribution.

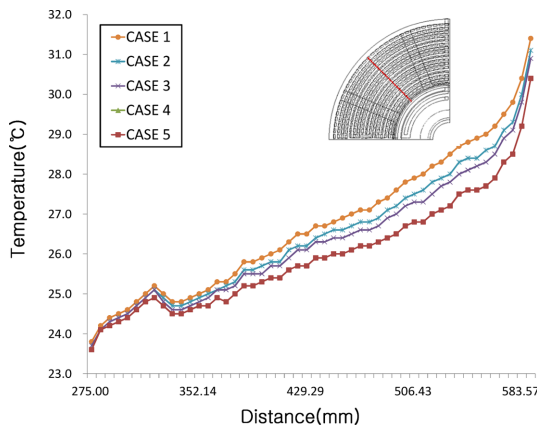


Fig. 8. Radial temperature distribution on base platen.

량 36 l/min인 경우의 Case 5의 온도분포는 차이가 미미한 결과를 보였다. 또한 유량에 대한 단면에서의 평균온도를 계산한 결과, 온도차이가 대략 0.1°C 이므로 따라서 본 연구에서 고려한 냉각유량이 적절한 것으로 생각된다.

Fig. 8은 양면 랩그라인딩의 정량적인 온도분포를 살펴보기 위해 베이스 정반 표면에서의 온도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 본 연구에서 고려한 유량의 범위에서 냉각유로의 입구부근에서는 거의 동일한 온도범위를 나타내고 있다. 그러나 유량의 변화에 따라 정반에서의 온도분포가 다르게 분포하고 있다. 이는 앞에서 살펴본 바와 같이 유량의 증가에 따라 정반에서의 온도분포가 전체적으로 낮게 분포하는 것과 동일한 결과이다. 다만, 정반의 가장자리 위치에서는 앞에서 살펴본 온도분포와 달리 거의 유사한 온도분포를 보인다. 이는 해석결과에 대한 온도데이터를 추출할 때, 데이터 추출범위가 정반의 끝부분까지 고려하였으며, 외기온도로 인한 자연냉각의 결과라고 판단된다. 본 연구에서 고려한 최소유량인 Case 1은 다른 유량에 비해서 온도분포가 높게 나타났으며 대략 1.5°C정도 높은 결과를 보였다. Case 4와 Case 5는 거의 유사한 온도분포를 나타냈으며, 이를 통해 연구대상인 양면 랩그라인딩의 가공공정에서 본 연구에서 고려한 유량의 범위가 정반의 냉각을 위한 적절한 유량임을 알 수가 있다.

DLG 가공에 있어 정반 상부에는 연삭액이 추가적으로 공급되기 때문에 실제 공정에서는 본 해석의 결과보다 정반의 온도 분포는 보다 균일할 것으로 예상된다.

## 5. 결 론

양면 랩그라인딩의 가공공정에서 유량의 변화에 따른 정반의 전열특성에 대해서 수치해석적으로 살펴보았다. 가공공정에 따른 마찰열이 정반에 장착된 팔렛에서 발생한다고 가정 하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 양면 랩그라인딩 가공공정에서 정반의 온도 분포는 냉각수의 유량에 따라 변화하였다.
2. 냉각유로의 입구에서는 유량과 관계없이 유사한 온도분포를 보였으나, 정반의 가장자리 부근에서는 유량에 따른 온도분포가 다르게 나타났으며 유량이 증가할 수록 온도의 분포는 감소하였다.
3. 따라서 양면 랩그라인딩의 정반에서 고른 냉각을 위해서는 적정 유량의 선정이 중요한 변수라 할 수 있다.
4. 본 논문에서 채택한 형상의 냉각유로를 가지는 DLG 장치에서 정반의 고른 냉각을 위한 적정 유량은 30 l/min이라고 판단되며 이를 통해 양면 랩그라인딩 가공공정에서 적절한 냉각시스템의 설계기준이 될 수 있다고 판단된다.

## Acknowledgements

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 연구임(No. 10052882).

## References

- [1] Kim, H., Manivannan, R., Moon, D., Xiong, H., Park, J., "Evaluation of double sided lapping using a fixed abrasive pad for sapphire substrates", *Wear*, Vol. 302, pp. 1340-1344, 2013.
- [2] Yang, W. Y., Sung, I. H., "Study on Within-Wafer Non-uniformity Using Finite Element Method", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 28, No. 1, pp. 7-11, 2012.
- [3] Lee, T. K., Kim, H. J., Jo, H. H., Ryu, H. Y., Jeong, H. D., "Study on the Effect of a Platen Flatness on the Shape of a Wafer in Mechanical Lapping of Sapphire", *Proc. Autumn Conference of KSPE*, pp. 113-114, 2010.
- [4] Deshpande, L. S., Raman, S., Sunanta, O., Agbaraji, C., "Observations in the flat lapping of stainless steel and bronze," *Wear*, No. 265, pp. 105-116, 2008.
- [5] Molenda, J., Barylski, A., "The influence of abra-

- sive machine on temperature during one side lapping,” *J. KONES Power and Trans.*, Vol. 17, No. 2, pp. 357-362, 2001.
- [6] Kim, D. K., Kim, J. Y., Lee, H. S., Lee, S. J., “Characteristics of heat transfer by coolant channel in DLG process,” *Proc. 61<sup>th</sup> Autumn Conference of the KSTLE*, pp. 91-92, 2015.
- [7] ANSYS Fluent User’s Guide, ANSYS, Inc., November, 2013.
- [8] Sobieski, W., “Examples of Using the Finite Volume Method for Modeling Fluid-Solid Systems,” *Techn. Sc.*, No. 13, pp. 256-265, 2010.