

HDD용 Glass Disk의 ELID 연삭 성능 평가

김경년*, 김영태**, 박철우***, 이용철****, 大森整*, 이상조**

Reserarch for Possibility of ELID Grinding of Hard Disk Glass

Gyung Nyun Kim*, Young Tae Kim**, Cheol Woo Park***, Yong Chul Lee****,
Ohmori Hitoshi*, Sang Jo Lee**

ABSTRACT

In this paper, machining characteristics of glass for HDD media are researched. Nowadays HDD media are used globally as a data storage device. In generally, it is machined by the lapping. But the lapping process time is long and the productivity is low. In this reason, I examined the possibility of ELID grinding of glass for HDD media. If the machining process of HDD media can be changed to ELID grinding, a product cost will be largely saved. The machines used in this experiment were a special rotary type grinder and a normal rotary grinder. The one has an air bearing spindle, the other has not. Experimental results show the possibility of highly efficient grinding and mirror surface can be achieved by the ELID grinding.

Key Words : HDD Disk Glass, ELID Grinding(ELID 연삭), Surface Roughness(표면거칠기)

1. 서 론

오늘날 정보사회는 컴퓨터 기술의 발달과 함께 정보저장기기의 발달로 그 변화속도가 나날이 빨라지고 있는 추세이다. 현재 정보저장 기기로 가장 많이 쓰이고 있는 것은 하드디스크이다. 하드 디스크의 미디어로는 여러 가지 종류가 사용되고 있다. 이것은 나라마다 약간은 다른데 현재 일본에서는 하드디스크용 미디어로 강화 유리가 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 현재 정보저장기기 매체로 일본에서 가장 일반화 되어 있는 하드디스크에 들어가는 강화유리의 ELID 가공 특성에 대해 살펴보았다. 일반적으로 현재까지 하드디스크는 랩핑에 의해 가공이 되어졌다. 그러나 랩핑은 가공시간이 길며 또한 가공공정 자체가 여러 개의 공정으로 나뉘어져 있

다. 뿐만 아니라 랩핑에 사용되는 슬러리는 환경을 오염시키며 공정 자체를 적절하게 제어하기 힘든 단점이 있다. 그러나 슬러리 대신에 고정 연마재를 가진 연삭과 같은 공정을 통해서 랩핑과 같은 표면 정밀도를 얻을 수 있으면 가공 공정을 제어할 수 있게 되며 환경오염을 줄일 수 있게 된다. 현재 이러한 연삭 방법으로 초정밀 가공을 이룰 수 있는 ELID 연삭을 하드 디스크용 유리 가공에 적용시켜 보았다. 만약 본 연구를 통해 랩핑 대신에 ELID 연삭을 이용하여 동일한 고품질의 가공면을 획득할 수 있으면 가공시간과 공정을 단축하므로 해서 생산성 향상을 크게 도모할 수 있게 될 것이다.^{1,2)}

ELID(Electrolytic In-Process Dressing)란 전해 in-process 드레싱의 약자로 CBN 또는 다이아몬드와 같은 초경질 입자를 갖는 스톨을 일반적인 방법이

* 거제대학 기계과, 일본이화학연구소
** 연세대학교 기계공학과
*** 한국산업대학
**** 연암공업대학

아닌 전해방식으로 드레싱하는 기법이다. 또한 일반적인 연삭 드레싱은 가공 전에 한번 하면 끝나는데 반해 in-process 전해 드레싱은 가공 중에도 온라인으로 드레싱을 행하며 연삭을 행할 수 있다는 놀라운 장점이 있다. 결국 ELID 연삭법은 메탈본드 스톨에 in-process 전해 드레싱을 복합한 고성능·고정도 연삭법이다.^{3,4)}

이 방법은 메탈본드 스톨의 본드재를 전해함으로써 형성되는 수산화물, 또는 산화물 등의 부도체 피막을 형성한다. 이것이 가공 중에 적당히 박리·재생되어 가공능률에 대응한 두께로 유지됨으로써 과도한 전해가 억제된다. 특히, 전류의 조절에 의하여 초벌가공에서부터 다듬질 가공에 이르기까지 효과적인 스톨입자의 돌출을 유지할 수 있다. 또 메탈본드 스톨은 기계적 강도가 높고 마모에 강하기

때문에 경면 및 높은 형상정도를 달성할 수 있다. 이러한 원리를 이용해서 여러 종류의 재질·형상의 가공이 가능하다. Fig. 1은 ELID 부도체 피막의 생성 및 탈락 사이클을 보여주고 있다.

실험을 통해 HDD용 유리의 ELID 연삭에 의한 황삭특성 및 정삭 가능성에 대해 살펴보았다. 정삭 가능성은 수평형 로타리 평면연삭기를 이용하여 시편을 1nm 표면 거칠기(Ra)를 이룰 수 있는지에 대한 가공특성에 대해 실험하였다. 이 실험을 통해 3-4 단계에 걸친 래핑 공정을 ELID 연삭으로 바꿀 수 있는지에 대한 가능성을 타진해 보았다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험에 사용된 장치는 ELID 시스템을 장착한 수평형 로타리 평면 연삭기가 사용되었다. 하나는 스톨 및 공작물 스핀들에 에어베어링을 장착한 HSG-10A2와 다른 하나는 일반적인 수평형 로타리 평면 연삭기로 유압식 기계가 사용되었다. 두 기계 모두 이송축의 이송정밀도는 0.1 μ m이며 전극은 스톨 작업면에 일정면적에 대응할 수 있도록 제작된 동전극이 사용되었다. 사용된 스톨 및 두 기계의 사양은 Table 1에 나와 있다.

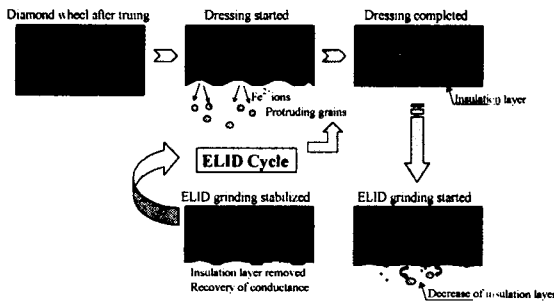


Fig. 1 Illustration of ELID cycle

Table 1 The specifications of machines and grinding wheels used in the experiment

HSG-10A2		Normal rotary grinder	
Grinding wheels	Workpieces	Grinding wheels	Workpieces
SD200N100M-cast iron	Glass made by OHARA Glass made be Hoya	SD2000M100 - cast iron DB6000M100 -cast iron+CBN SD8000M100 - cast iron	Glass made by OHARA Glass made be Hoya
SD270N100M-cobalt			
SD325N100M-bronze			
SD325N100M-cobalt			
SD325N75M-cast iron			
SD400N100M-cast iron			
SD600N100M-bronze			
SD800N100M-bronze			
SD1200J100FX3-cast iron			
ELID Power	ELID Power Supply(Shinto, EPD-10A)		
Lubricant fluid	CEM (Noritake)		
Measurement device	Surftest-701(Mitutoyo)		

Table 2 The conditions of grinding and electrical dressing

The conditions of grinding	Machines		HSG-10A2	Normal rotary grinder
	Spindle speed		2500(1500)~3600 rpm	870~1190 rpm
	Speed of workpiece		300,400 rpm	150m/min
	Time of spark out		30 s	Third back and forth
	Feed	first feed	2~1600 $\mu\text{m}/\text{min}$	120m/min
second feed		2~1600 $\mu\text{m}/\text{min}$		
The conditions of dressing	Loadless Voltage		60 V	90 V
	Peak current		10 A	20 A
	Waveform		Square wave	Square wave
	On-Off time		2/2 μs	2/2(4/4) μs

2.2 실험방법

본 연구에 사용한 시편은 외경 66· 내경19mm 의 HDD용 유리 디스크이다. 재질 상 두가지 타입 의 시편이 사용되었다. HSG-10A2에 사용된 슯돌은 집중도 100· 75로 보통 결합도의 컵형 다이아몬드 슯돌을 사용하였으며, 본드재는 주철, 코발트, 청동 이다. 슯돌의 직경은 143mm, 폭은 3mm이다. 실험 에 사용된 조건은 Table 2에 나타나 있다.

실험에 앞서 사용된 각 슯돌들은 청동 본드재 SD325 슯돌로 트루잉을 하였다. 또한 연삭 실험 개 시전에 20-30분 정도의 전해 드레싱에 의하여 초기 날세우기를 하였다. 드레싱 동안에 전압· 전류의 변화에 대한 한 예를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 3은 SD6000M100 슯돌을 90V, 20A의 최대값을 잡아 준 상태에서 드레싱을 행하였을 때의 경우이다. 전류 안정값이 5A로 매우 높은 값을 가짐을 볼 수 있다.

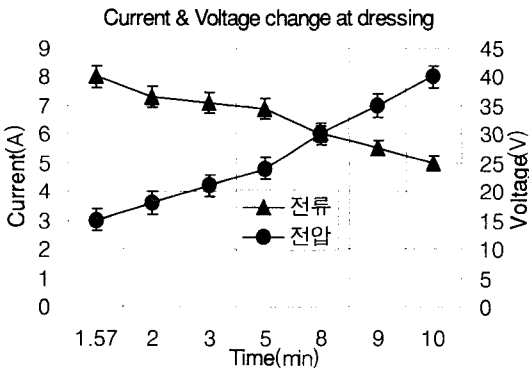


Fig. 2 A typical Nonlinear electrolyzing phenomenon in ELID process

이는 실험에서 전압, 전류값을 크게 잡아준 것

과 슯돌 자체의 결합도와 특성에 기인한 영향으로 보여진다. 실제로 절삭을 실행할 때 전류값은 약 4A정도의 값에서 시작되었다.

연삭액은 슯돌의 회전방향에 따라 슯돌과 전극 사이의 틈 사이로 흐르게 된다. 이 연삭액에 의하여 동전극과 슯돌 사이에서 전해가 이루어지게 되며 슯돌 날의 용출이 일어나게 된다. 총연삭량은 가공면 상태에 따라서 20~200 μm 범위 내에서 결정되었다. 본 실험에 적용된 연삭 및 전해조건은 Table 2에 요약하였다. 연삭된 면은 Mitutoyo의 표면 거칠기 측정기를 이용하여 측정하였으며, 가공면 결합의 유무도 확인하였다. 그림. 3에서는 실험 장치와 ELID 시스템의 개략도를 보여주고 있다.

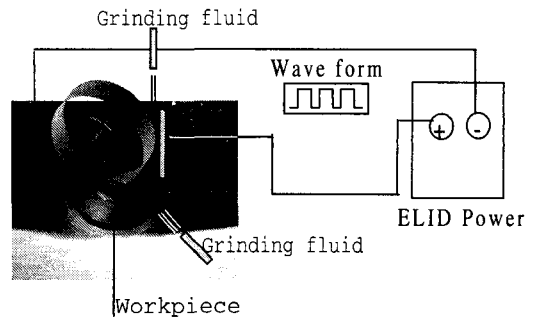


Fig. 3 The schematic of ELID grinding system

3. 실험결과 및 고찰

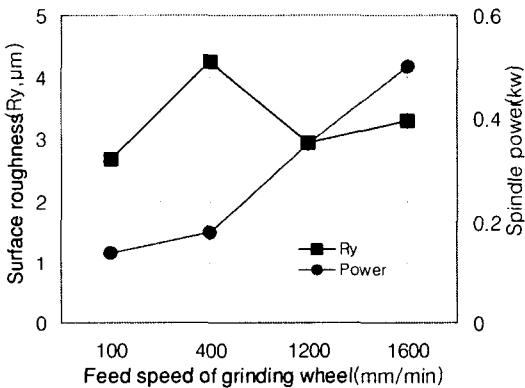
3.1 에어 스피들이 장착된 연삭기 실험

Fig. 4는 SD325N100M 청동 본드 슯돌을 이용하여 화학강화 유리와 결정강화 유리를 각각 200 μm , 50 μm 씩 연삭 하였을 때에 표면 거칠기 및 주축 부

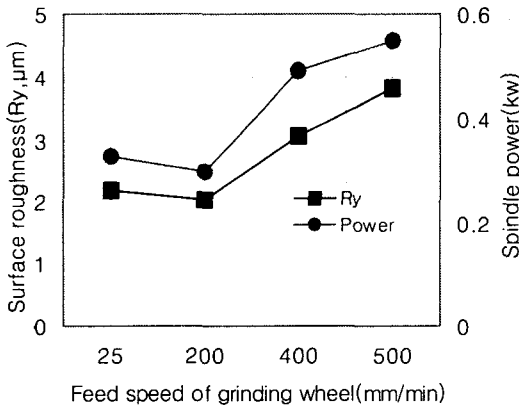
하전력의 경향을 보여주고 있다. 이때 슷돌 및 공작물의 회전수를 각각 3600/300rpm으로 하였다. 화학 강화 유리의 경우 각 조건에서 연삭은 가능하였지만 표면 거칠기 및 주축부하전력의 변화구배가 컸다.

Fig. 4(a)를 보면 주축부하전력은 이송증가에 따라 거의 직선적으로 증가하고 있으나 표면 거칠기는 400 $\mu\text{m}/\text{min}$ 에서 심한 변화를 보이고 있다. 그러나 평균 실전류는 0.8A 정도로 안정되어 있었다. 또한 표면 거칠기의 경우에 주축부하전력과 상관없이 안정화되어 있는 것을 볼 수 있다. 반면에 Fig. 4(b)를 보면 슷돌의 이송증가에 따라 주축부하전력이 증가하고 동시에 표면 거칠기도 증가하고 있으나 Fig. 4(a)에 비하여 연삭 가능한 이송량은 현저히 감소하였다. 이송 550 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이상에서는 연삭면이 극도로

나빠졌을 뿐만 아니라 주축부하전력 증가로 인하여 가공이 불가능하였다. 화학강화 유리의 경우 이송에 따라 지속적인 주축부하전력의 증가를 보이는 것은 소성적 가공현상 또는 슷돌 입자의 일시적 파손에 의한 취성적 가공의 결과라 판단된다. 결정화 유리의 경우에 이송증가에 따라서 표면 거칠기와 주축부하전력의 현상이 일치하는 이유는 아마도 이송증가에 따라 높은 취성의 결정화 유리를 가공할 때 슷돌 입자의 마모율이 높아지게 되고 이로 인해 전해 부도체 파막의 결손으로 인한 가공의 불

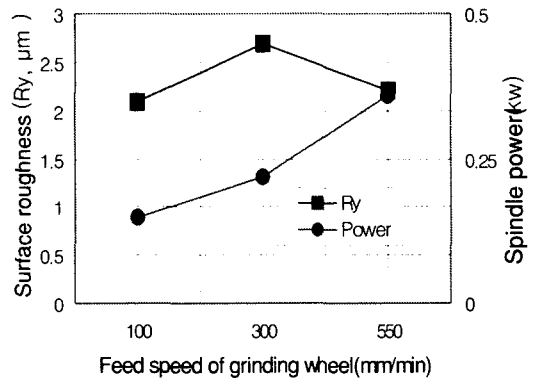


(a) Case of glass made by HOYA

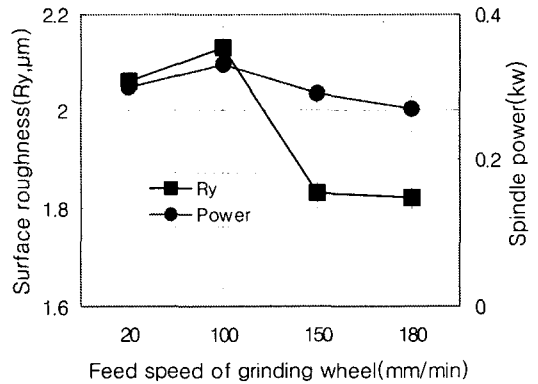


(b) Case of glass made by OHARA

Fig. 4 The effect of speed of wheel in BB-SD325



(a) Case of glass made by HOYA



(b) Case of glass made by OHARA

Fig. 5 The effect of speed of wheel in BB-SD600

안정성에 기인한다.

Fig. 5는 슷돌 및 공작물 회전수를 3600/300rpm, SD600N100 청동 본드 슷돌을 사용하여 가공을 행하였을 때의 결과를 보여준다. Fig. 5(a)는 화학강화 유리를 100 μm 연삭 하였을 경우의 최대 표면 거칠

기 및 연삭 축에 걸리는 부하전력의 변화를 나타낸 그림이다. 초벌 연삭에서의 고능률 연삭의 가능성 여부를 확인한 결과로 500 $\mu\text{m}/\text{min}$ 의 가혹한 조건에서도 연삭은 가능하였으나 주축부하전력은 급속히 증가하였다. 한편 이송 300 $\mu\text{m}/\text{min}$ 에 비하여 550 $\mu\text{m}/\text{min}$ 에서 최대 표면 거칠기가 줄어들고 있는 것은 평균 실전류가 1A정도에서 안정되어 있는 것으로 보아 다이아몬드 마모량과 용출량의 불균형은 아닌 것으로 판단되며 연삭 작용 이외에 약간의 압축력이 작용된 것으로 생각된다. Fig. 5(b)는 총연삭량 50 μm 를 연삭한 경우의 표면 거칠기와 주축부하전력의 변화를 보여준다. 이송증가에 대하여 중심선 평균 거칠기는 0.27~0.33 μm 로 안정된 거칠기를 나타내고 있으며, 강화 유리에 비하여 연삭 가능한 이송은 현저히 감소하였다. 이송 180 $\mu\text{m}/\text{min}$ 에서는 연삭면 상태가 좋지 않음을 관찰하였다.

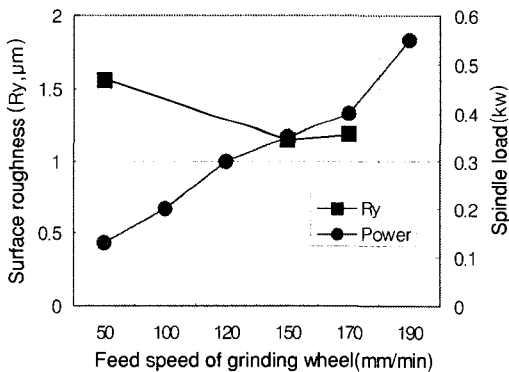


Fig. 6 The effect of speed of wheel in BB-SD600

Fig. 6은 SD800N100M 청동 본드 슷들로 총연삭량 100 μm 를 연삭한 결과이다. 같은 청동 본드제이지만 #800에서는 200 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이상의 이송은 축하증가로 인하여 가공이 불가능하였다. 주축부하전력은 이송증가에 대하여 거의 직선적으로 증가하였으나 표면 거칠기는 150 $\mu\text{m}/\text{min}$ 까지는 오히려 감소하고 있다. 평균 실전류가 1A에서는 안정되어 있었으므로 연삭이 진행됨에 따라서 슷돌면의 균일화에 의해서 다소 이송이 증가하여도 표면 거칠기는 양호하게 되는 것으로 판단된다.

화학강화 유리의 경우 슷돌 입자가 낮을수록 연삭 가능한 이송량은 현저하게 증가하고 있었으나, 그 이송량 증가에 따른 중심선 평균 거칠기는 큰 차이를 나타내지 않고 안정된 고능률 연삭이 가능

하였다. 그러나 1600 $\mu\text{m}/\text{min}$ 에서는 가공면 표면에 방사선의 심한 가공흔적이 남는 결함을 나타내었다. 한편 결정화 유리의 경우 같은 이송에서 공작물 회전수를 300rpm으로 하고 슷돌의 회전수를 2500 rpm에서 3600rpm까지 변화시키면서 실험한 결과 표면 거칠기는 거의 변화하지 않음을 관찰하였다. 결론적으로 유리의 가공 특성은 주로 이송에 의해 영향을 받음을 알 수 있다.

#200, #325의 주철본드의 경우에 슷돌의 회전수 1500~3600rpm, 공작물 회전수 200~400rpm, 이송 5~20 $\mu\text{m}/\text{min}$ 로 변화시키면서 결정화 유리를 연삭하였으나 어떤 조건에서도 연삭은 불가능하였다. #400의 경우에는 슷돌 회전수 3600rpm, 공작물 회전수 300~400rpm, 이송 10-20 $\mu\text{m}/\text{min}$ 로 연삭하였을 경우 특정조건에서는 주철 이외의 본드재의 슷돌에 비하여 현저한 표면 거칠기 개선이 되었지만 대부분 조건에서는 연삭면 상태가 좋지 않았다. #1200 주철재 본드 슷돌에서 이송 10 $\mu\text{m}/\text{min}$ 이하에서는 결정화 유리의 연삭이 가능하였으며 표면 거칠기는 25nm정도를 나타내었다. 주철 본드재 슷돌이 거친 연삭은 불가능하였지만 중연삭이 가능하였다. 한편 #325의 코발트 본드재 슷돌을 사용하여 결정화 유리를 연삭한 결과 대체로 연삭면 위에 많은 연삭 흔적을 남기거나 면의 상태가 좋지 않았다. 또한 거친 연삭에서 가장 좋은 결과를 나타내었던 청동 본드재의 슷돌이 #1200에서는 그 어떤 조건에서도 가공이 되지 않았으며, 슷돌의 용출 현상만 반복되었다.

3.2 수평형 로타리 평면연삭반 실험

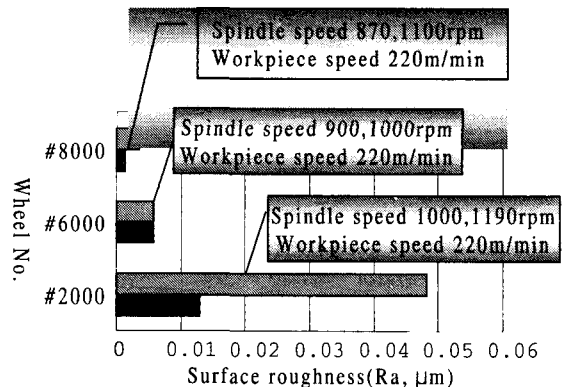


Fig. 7 A change of surface roughness(Ra) in fine ELID grinding

아래 Fig. 7은 유리를 각각 #2000, #6000, #8000 숫돌로 주어진 연삭 조건에서 가공하였을 때 나온 표면 거칠기 값들을 보여주고 있다. 앞의 실험에서 유리의 가공이 이송속도에 민감하게 영향을 받고 주속에는 별 변화가 없다는 결론을 내릴 수 있었다. 이러한 현상은 주철재 본드가 청동이나 코발트에 비하여 강하기 때문에 가공 중 피삭재가 숫돌의 부도체 피막을 제거하여 새로운 지립을 형성하지 못하고 부도체 피막이 평활화 되어 미끄럼 현상만 발생하기 때문으로 생각된다. 그림에서 표면 거칠기 값의 변화를 통해 연삭 숫돌의 입도에 따른 영향을 명확히 확인할 수 있다.

ELID 연삭을 행할 때 #8000에서 처음에는 드레싱 조건을 최대 전압 10A, 최대 전류 90V 상태에서 행하였다. 이 때 드레싱 스핀들 속도는 300rpm이었다. 전류값은 약 4A에서 수렴하였다.(Fig. 2 참조) 그리고 주속을 1100rpm, 이송속도를 220m/min으로 놓고 실제 ELID 연삭을 행할 때에도 초기에 전류값은 이 값에서 안정화되었다. 그러나 연삭이 진행되면서 너무나 과도한 숫돌 용출현상이 발생하였다. 또 표면에 밀린 자극현상이 발생하였다. 이것은 이 조건에서 연삭 숫돌이 과도하게 용출되므로 표면 거칠기가 안 좋아지는 것이라 생각되었으므로 다시 동일한 조건에서 최대 전압을 70V, 최대 전류를 10A로 바꾸어 드레싱을 다시 행한 후 연삭 실험

을 행하였다. 이때 전류값은 2.5A의 안정된 상태에서 ELID 연삭이 행하여졌으며 표면 거칠기 값이 24nm에서 14nm로 훨씬 좋아졌다. 이상에서 동일한 연삭 조건이라 할지라도 최대전압에 따라서, 즉 들어가는 에너지의 크기에 따라서 표면 거칠기가 크게 좌우됨을 확인할 수 있었다.

그림. 8은 연삭전 유리의 표면 사진 및 연삭후의 표면 사진을 보여주고 있다. 표면은 광학현미경을 통해 관찰하였으며 사진 배율은 1000배이다.

결정화 유리의 경우에 표면조도가 1nm-5nm사이의 값을 나타내었고 화학강화 유리의 경우에는 3nm-7nm정도 되는 결과를 나타내었다. 실제로 하드디스크 미디어에서 요구되는 표면 거칠기는 수 nm로 어느 정도 만족스러운 결과라고 볼 수 있다. 그러나 현재 일본 제조업체에서 요구하는 표면 거칠기는 1nm정도의 균일한 면인 것을 감안할 때 좀더 연구가 필요함을 알 수 있다. 현재의 로타리 방식으로 얻을 수 있는 표면 거칠기의 한계가 있으므로 랩핑 타입의 ELID 연삭을 통해 좀더 실험을 행할 필요가 있다.

결정화 유리의 경우에 경도가 높고 취성이 강하므로 화학강화 유리에 비해 표면 거칠기가 양호하다. 그러나 미디어 중심부에서 심한 스크래치 현상이 발생하였는데 이는 로타리 연삭반의 특성상 중

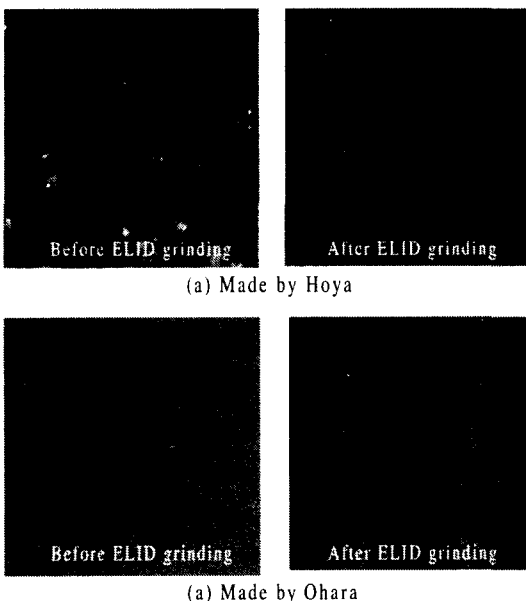


Fig. 8 the picture of workpiece's surfaces

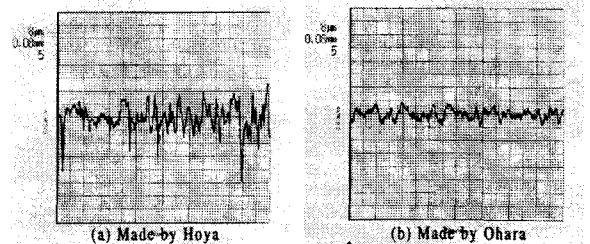


Fig. 9 Surface roughness profiles of workpiece

심부에서 낮아질 수 밖에 없는 속도의 영향인 것으로 생각되며 다이아몬드 입자가 떨어져 나가면서 긁힌 현상으로 생각된다. 반면에 화학강화 유리는 표면에 스크래치는 거의 생기지 않았지만 군데 군데 약간의 흠이 파이는 현상이 있었다. 이는 재질상의 차이에서 발생하는 결과로 보인다.

Fig. 9는 가공된 미디어의 표면 거칠기 선도를 보여주고 있다. 결정화 유리의 경우에 부드럽고 완만한 표면 거칠기를 나타내 주고 있다. 그러나 화학강화 유리는 거칠기 선도가 가파르고 뾰족하며

표면 깊숙이로 흠이 생겨난 현상을 볼 수 있었다. 이는 경도에 따른 연삭의 살돌음 현상에 기인하며 흠의 경우에 인덴터와 같은 다이아몬드 그래인이 가공을 행할 때 생겨나는 소성변형에 기인한다고 생각된다. 즉 결정화 유리가 화학강화 유리보다 치밀하고 단단한 재질임을 알 수 있다.

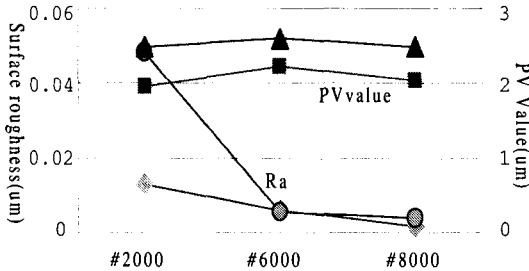


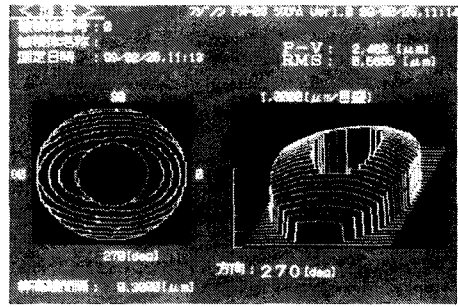
Fig. 10 PV values in each wheel

Fig. 10에서 보면 표면 거칠기 값과 PV값의 변화를 같이 비교하여 보여주고 있다. 앞에서 살펴본 대로 표면 거칠기 값은 숫들의 그래인 크기가 작아지면 작아질수록 좋아지지만 PV값은 숫들의 그래인 크기에 무관한 것을 알 수 있다. 이 값은 기계적 특성에만 의존하는 값이다.

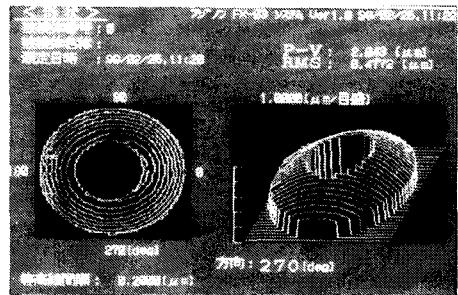
Fig. 11은 연삭된 미디어 유리의 PV값을 사진으로 보여주고 있다. 삼차원으로 표면의 모양을 살펴볼 때 결정화 및 화학강화 유리 모두 가운데 부분이 볼록한 언덕 모양의 형상을 이루고 있음을 볼 수 있다. 이는 로타리 연삭기에서 공작물이 놓인 테이블의 속도는 일정하지만 이송방향에 따라서 연삭시 변화되는 선속도에 의해 발생하게 된다. 즉 가운데 부분에서 연삭의 선속도가 매우 낮아지게 되므로 가공이 원활하게 이루어지지 않으므로 언덕 모양의 형상을 이루게 된다. 이러한 문제는 미디어의 평탄화에 아주 나쁜 영향을 끼치므로 기계적인 특성을 바꾸어 주므로 이와 같은 문제를 해결해야 된다고 본다.

4. 결론

본 연구는 HDD용 유리 디스크의 ELID 연삭 특성을 규명한 것이다. 현재 이 재료는 적용초기의 단계이므로 여러 연삭 조건을 변화시켜 실험을 행하였으며, 연삭 숫들의 종류, 숫들의 이송, 재료의 피삭성, 숫들 본드재를 중심으로 ELID 연삭 실험을 행하였다. 실험 결과 청동 본드재의 숫들에 의한



(a) Made by Hoya



(b) Made by Ohara

Fig. 11 The photograph of PV value of workpiece's surfaces

유리의 ELID 연삭이 가능하였다. 또한 이 숫들의 경우에 화학강화 유리가 결정화 유리에 비해 고능률 연삭이 가능하였다. #1200이상인 경우 청동본드재의 적용이 불가하였으며 SD8000숫들에서 경면의 유리 가공을 달성하였다. 결국 하드 디스크용 유리의 ELID 연삭에서는 에어 베어링을 장착한 고정밀 연삭기의 성능이 가공 정도에 큰 영향을 미치지 않았다. 뿐만 아니라 정압 방식의 로타리 연삭기보다 정속방식의 로타리 연삭기에 의한 가공이 더욱 효율적이고 표면 정도가 더 좋았다. 그러나 랩핑 결과와 비교해 볼 때 아직은 랩핑에 의한 가공 정밀도에 이르기에는 무리가 있었다. 랩핑 방식에 의한 공작물 표면 거칠기가 1nm라고 할 때 본 연구에서 적용해 본 로타리형 연삭기에는 표면 거칠기 분포가 3nm~7nm 정도였다. 따라서 현재까지는 HDD용 유리의 가공에 로타리형 연삭기를 사용하여 ELID 연삭을 적용하기에는 무리가 있다. 위에서 두가지 형태의 가공을 적용하여 보았지만 아직까지 적용되지 않은 랩핑방식의 ELID 연삭이 남아 있다. 지금까지는 기존의 랩핑보다 표면 거칠기도 현저히 나아지지 않았고 평탄도 측면에서도 더 좋은 면이 없

다는 문제점이 있지만 향후 랩핑 타입의 ELID 연삭을 적용하므로 표면 거칠기도 1nm를 달성하면서 형상정밀도를 좀더 높이는 연구를 통해 이 문제를 해결할 수 있으리라 본다. 참고적으로 현재 연구중인 랩핑 타입의 ELID 연삭은 가공정도는 1nm가 나오지만 평탄도 측면의 문제가 남아 있는 실정이다.

앞에서도 언급된 대로 랩핑은 슬러리 문제로 인해 환경문제와 생산 공정이 여러 단계라는 문제가 있다. 그러나 ELID 연삭은 연삭액을 사용하므로 오염이 적으며 공정을 단 한 공정에서 끝마칠 수 있으므로 향후 랩핑 타입의 ELID 연삭을 이용한 하드 디스크용 유리 가공에 대한 연구가 반드시 이루어질 필요가 있다. 조만 간에 연구를 통해 ELID 연삭에 의한 하드 디스크용 유리의 가공이 랩핑 가공을 대체할 수 있다는 결과를 얻을 수 있으리라 본다.

참고문헌

1. 大森整外4人, "圓筒ガラスレンズのELID鏡面研削," ELID研削研究會報, Vol. 21, pp. 217-218, 1998.
2. 大森整外 3人, "ガラス材料のELID研削特性," ELID研削研究會報, Vol.21, pp.223-224, 1998.
3. 大森整, " 전해인프로세스드레싱에における非線型性を利用した高精度・高能率研削," ELID研削研究會報, Vol. 20, pp. 100-124, 1997.
4. 大森整, "ELID研削のメカニズムと構成要素," ELID研削研究會報, Vol. 19, pp. 81-90, 1996.