

연삭가공에서 이동열원에 의한 온도 분포

곽태경*(부경대 대학원 기계공학과), 하만경, 구 양, 곽재섭(부경대 기계공학과)

A Moving Heat Source Caused by Temperature Distribution in Grinding Process

T. K. Kwak(Mech. Eng. Dept. PKNU), M. K. Ha, Y. Koo, J. S. Kwak(Prof. Mech. Eng. Dept., PKNU)

ABSTRACT

The heat generated during surface grinding process can lead to elevate a grinding temperature, which cause the thermal damage to the workpiece material. Because of this reason, it is important to be able to predict the temperature which is occurred during grinding. The process parameters, therefore, should be adjusted properly to yield the acceptable workpiece temperature. In this study, we conducted an experimentation to obtain and also to analyze the temperature distribution of the workpiece with accordance in varying the grinding condition. For measuring the workpiece temperature, thermocouples of the CA type were inserted into the predetermined locations of the workpiece.

Key Words : Surface grinding (평면연삭), Thermocouple (열전대), Temperature distribution (온도분포)

1. 서론

연삭가공은 마무리가공과 치수정밀도에서 표면가공에 폭넓게 사용되어지고 있다. 연삭가공에서는 다수의 연삭입자가 미세한 칩으로 절삭할 부분을 분할해서 제거하며, 음의 상면경사각을 가질 뿐 아니라 여유면은 다멸된 평탄면으로 공작물과 접촉하여 마찰하게 되고, 과도절삭과정을 거치기 때문에 비연삭저항은 절삭의 경우의 비절삭저항의 10~50배 이상의 큰 값이다. 또한 연삭숫돌의 원주속도는 일반의 절삭공구의 절삭속도의 10~100배의 고속이다. 따라서 단위체적제거에 발생하는 연삭열은 절삭에 비하면 월등하게 많다. 이로 인하여 연삭온도는 상승한다. 연삭가공동안 높은 온도는 표면과 휠 그리고 가공물 사이에서 발생되어지고 공작물의 표면성질에 좋지 않은 영향을 줄 뿐만 아니라, 잔류응력을 유발하는 원인이 된다. 게다가, 공작물 내에서의 온도 구배로 인해 열팽창 및 수축이 달라지므로 뒤틀림이 일어난다. 발생열의 일부가 공작물로 전도되면 공작물은 팽창하여 치수정확도를 맞추기가 힘들어진다⁽¹⁾⁽²⁾. 따라서 연삭발생열과 연삭온도가 문제가 되므로 열의 발생을 완전히 방지할 수는 없으나, 연삭열의 발생기구 및 그것에 미치는 가공조건의 영향을

해명함으로써 실제의 연삭가공에서 연삭열을 적게하는 방법이 필요하다. 그러한 필요에 의해 많은 이론적 및 실험적인 연구가 이루어지고 있다.

많은 연구자들이 이동열원에 대해 온도와 응력에 대한 해석적 모델을 제시하였다. DesRuisseaux⁽³⁾는 연삭 가공중 공급되는 연삭액에 의한 대류 열전달을 고려하여 온도분포를 중첩하여 Bessel 함수를 이용하여 온도분포를 제시하였다. Baber⁽⁴⁾, Bryant⁽⁵⁾는 탄성체에서 이동열원을 biharmonic 함수로 모델링하여 단열 조건에서 온도분포와 응력상태를 해석적으로 제시하였다. Paradipta⁽⁶⁾는 Baber와 Bryant의 모델을 발전시켜 연삭액에 의한 대류조건을 포함시켜 온도분포와 응력상태에 관한 해를 구하였다.

이러한 열발생은 연삭 가공변수와 공작물의 복잡한 상호관계 때문에 정확한 예측이 힘들고, 고속으로 회전하는 숫돌과 공작물의 접촉점의 연삭열 측정이 난해하다. 따라서 본 연구에서는 이동열원에 의한 온도 분포를 해석하기 위한 단계에 앞서 연삭가공시 발생하는 열을 실험적인 방법으로 구하였고, 그 파라메타들을 비교·분석하였다

2. 실험조건 및 방법

연삭가공 동안의 온도분포를 측정하기 위한 실험으로 다양한 조건에서의 온도를 측정하였다. 연삭조건은 Table 1에 나타내었다. 평면연삭기로 수행하였으며 건식과 습식 및 상향, 하향으로 가공을 하면서 변화조건으로 절입깊이를 10~40 μm 까지 변화를 주었다. 또한 테이블의 이송속도를 2~5m/min으로 변화하면서 가공하였고, 슷들의 회전속도는 1800rpm으로 고정했다.

Table 1 Experimental conditions

Grinding machine	Horizontal spindle surface grinder
Wheel	WA100LmV
Fluids	Shell lubricant (soluble type, 10:1)
Conditions	Wheel speed : 1,800rpm
	Table speed : 2~5m/min
	Depth of cut(t) : 10,20,30,40 μm
	Up & Down, Plunge, Dry & Wet
Thermocouple	K-type (0.65mm)
Oscilloscope	Textronix DPO TDS3014
Dressing conditions	Dressing stick : Single point diamond
	Depth of cut : 10~30 μm

공작물 표면에서 온도 측정은 일반적으로 사용되는 열전대 삽입법을 이용했다. 먼저 공작물에 3mm의 드릴구멍을 뚫어서 열전대를 삽입하고 열전대와 공작물과의 접촉점을 용접하였다. 여기서 열전대는 K-type(크롬-알루미늄) 열전대로 상용온도 -165 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1260 $^{\circ}\text{C}$ 를 가지는 것을 선택했으며 내부에 테프론으로 피복되어 절연되도록 하였다.

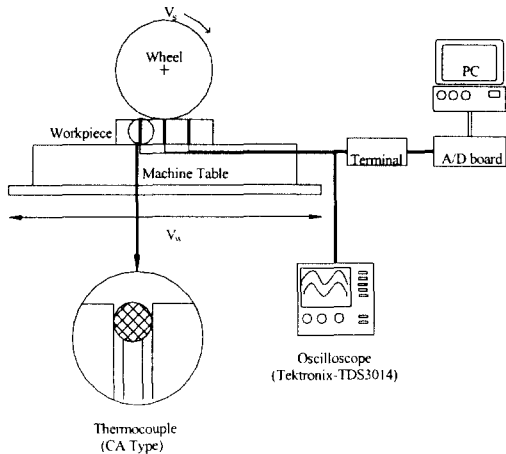


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

또한 가공물에는 3개의 구멍을 가공물의 중심에서 30mm 떨어진 곳에 가공하여 각각 1개씩의 열전대를 삽입하였다.

실험장치의 구성은 Fig. 1에서 보인 것처럼 열전대에서 발생된 데이터는 16 bits A/D 변환기를 통하여 디지털화시킨 후 PC에 저장되고 분석되었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 연삭점에 따른 연삭온도

스틀이 가공물 표면을 통과할 때의 온도는 다양한 조건에 의해서 변화된다. 또한 공작물 외부표면의 온도는 공작물이 베드에 물려져 있는 면의 온도보다 상대적으로 매우 크고, 공작물 바닥면의 온도 변화가 미미하기 때문에 공작물의 온도구배와 동일한 개념으로 볼 수 있다. 연삭가공시 공작물 표면과 바닥면의 온도구배로 인해 공작물에 급형변형이 작용하게 되므로 공작물 표면온도는 결국 온도구배에 의해 발생하는 열변형의 직접적인 관계가 있다.

공작물에 삽입한 3개의 열전대에 연삭가공이 진행됨에 따라 측정된 온도는 열원, 즉 연삭스틀의 위치가 열전대가 삽입된 위치에 가까워지면 온도가 상승하고, 열원이 멀어지면 온도가 하강한다.

Fig. 2는 3개의 열전대에서 나온 데이터를 한 그래프에서 나타내었다. 가공이 시작됨에 따라 공작물 표면의 온도는 상승하기 시작해서 1CH를 통과하는 순간 측정치의 최고점에 올랐다가 2CH, 3CH일 때 가공물에서 최고 온도를 나타낸다. 각각의 열전대에서 가공이 시작되고 난 후 누적된 온도에 의해 1CH에서보다 3CH에서 더 높은 온도를 보인다. Fig. 2는 1CH에서 2CH로 진행하는 동안 누적된 온도는 3 $^{\circ}\text{C}$ 정도 누적되었고 2CH에서 3CH로 진행하는 동안 10 $^{\circ}\text{C}$ 정도의 누적이 되었다.

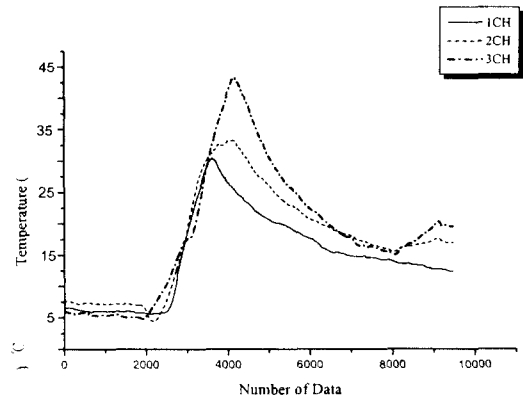
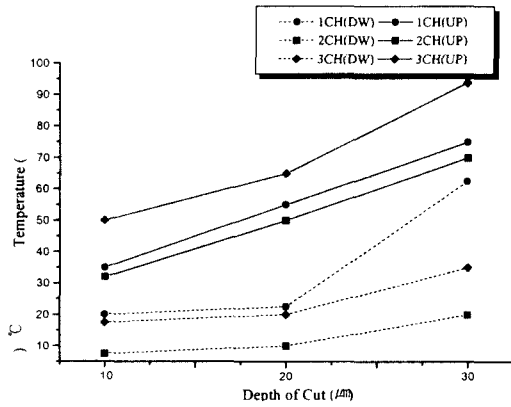
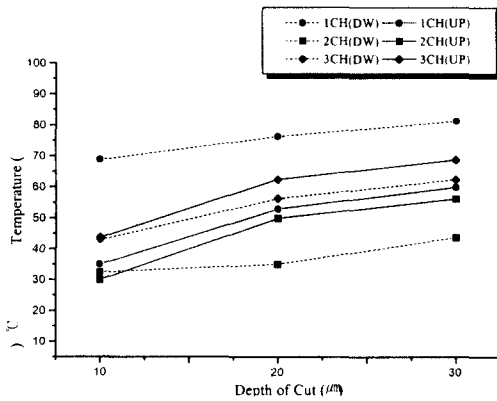


Fig. 2 Experimental results of temperature on the surface of workpiece

3.2 건식연삭에 의한 연삭온도



(a) Feedrate 2(m/min)



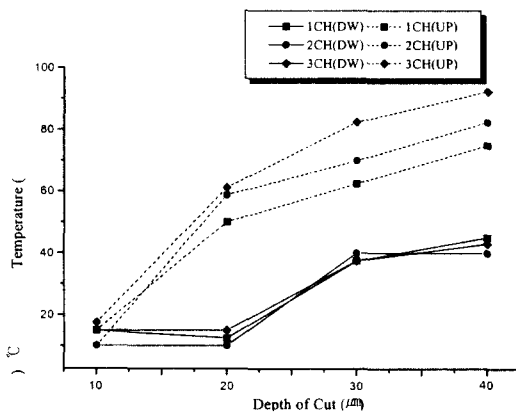
(b) Feedrate 5(m/min)

Fig. 3 Variation of temperature in accordance with depth of cut (Dry grinding)

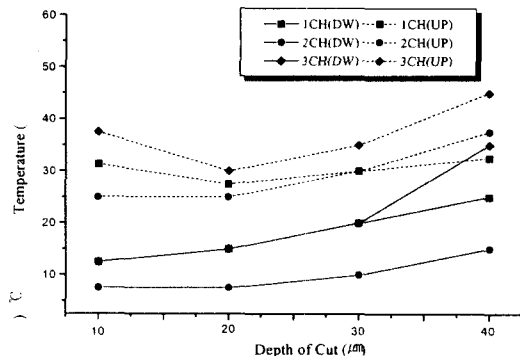
건식 연삭에서 이송량 변화에 따른 각 채널의 온도 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 이송량이 2m/min일 때 상향 연삭이 하향 연삭보다 3배정도 높은 온도를 나타내었고, 5m/min일 때 또한 각각의 채널을 비교해볼 때 대체로 상향 연삭이 하향 연삭보다 높은 온도를 나타내었다. 이는 상향 연삭시 절삭력이 하향 연삭시 절삭력보다 높다는 것을 고려하여 볼 때 상향 연삭이 하향 연삭보다 높은 절삭율을 보이기 때문에 높은 온도가 발생하는 것으로 사료되어진다. 또한 이송속도가 빠를수록 절삭력이 감소하므로 연삭열 또한 감소하는 것으로 사료되어진다.

3.3 습식연삭에 의한 연삭온도

Fig. 4(a), (b)는 습식 일 때 2m/min 과 5m/min의 연삭 온도 변화를 나타낸 것이다. 절입깊이가 20μm 이상일 때 상향 연삭은 하향 연삭에 비해 3배정도의 높은 온도를 나타내고 있다. 이는 절입깊이가 증가할수록 스톱돌과 가공물의 접촉면에 도달하는 냉각 유제의 양이 적기 때문인 것으로 사료되어진다. 또한, 이송량 변화에 대해서는 5m/min일 때가 2m/min일 때보다 더 낮은 온도를 나타내는데 이는 열원이 가공물을 통과하는 속도가 빨라서 가공물에 누적되는 온도가 상대적으로 적기 때문인 것으로 사료되어진다. 이상에서 연삭가공 동안 냉각유제의 공급이 스톱돌 회전방향으로 공급되었다는 것을 고려해 볼 때 절삭유제의 사용 또한 연삭열에 큰 영향을 줄 수 있었다.



(a) Feedrate 2(m/min)



(b) Feedrate 5(m/min)

Fig. 4 Variation of temperature in accordance with depth of cut (Wet grinding)

3.4 연삭조건에 의한 연삭온도

Fig. 5, 6은 가공횟수에 따른 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 가공횟수에 따른 온도 변화량에서 절입 깊이가 $10\mu\text{m}$ 일 때 $5\mu\text{m}$ 에 비해서 2배이상의 높은 온도가 발생했고, 가공횟수가 증가할수록 가공물의 2CH에서의 온도 증가율은 감소함을 알 수 있는데 이는 가공물의 열변형에 의한 것으로 사료되어지고, 가공시작점 근처의 열전대에서 가장 높은 온도를 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 6에서는 가공횟수 증가에 따른 건식 연삭과 습식 연삭의 온도차이는 6배 이상임을 알 수 있었고, 습식 연삭은 가공횟수의 증가에 따른 온도변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이는 냉각유체의 냉각작용에 의한 것으로 사료되어진다.

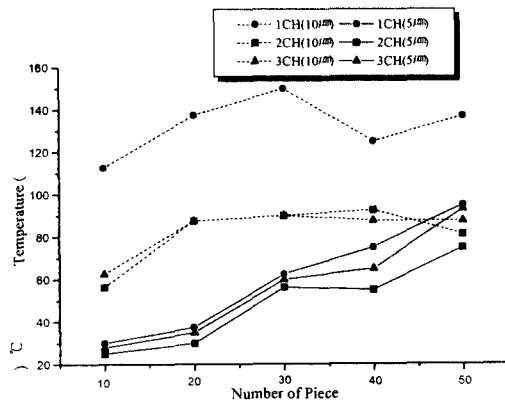


Fig. 5 Experimental results between number of piece and temperature on varying to depth of cut

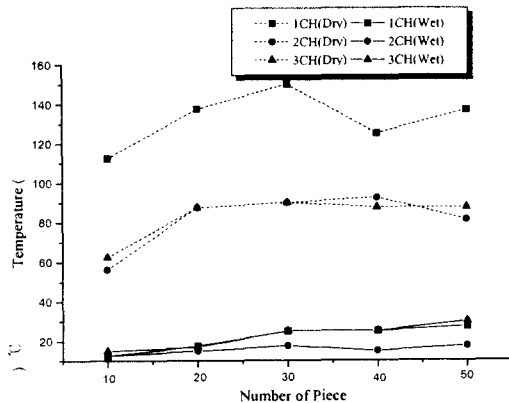


Fig. 6 Temperature difference between dry and wet grinding

4. 결론

본 연구에서는 연삭가공시 발생하는 열을 실험적인 방법으로 구하였고, 그 파라메타들을 비교·분석하였다. 이상의 실험데이터 분석을 통하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 건식 연삭에서 이송량이 $2\text{m}/\text{min}$ 일 때 상향 연삭이 하향 연삭보다 3배정도 높은 온도를 나타내었고, $5\text{m}/\text{min}$ 일 때 또한 각각의 채널을 비교해볼 때 대체로 상향 연삭이 하향 연삭보다 높은 온도를 나타내었다.
2. 습식 연삭시 절입깊이가 $20\mu\text{m}$ 이상일 때 상향 연삭은 하향 연삭에 비해 3배정도의 높은 온도를 나타내고 있고, 이송량 변화에 대해서는 $5\text{m}/\text{min}$ 일 때가 $2\text{m}/\text{min}$ 일 때보다 더 낮은 온도를 나타내었다.
3. 가공횟수에 따른 온도 변화량에서 절입 깊이가 $10\mu\text{m}$ 일 때 $5\mu\text{m}$ 에 비해서 2배이상의 높은 온도가 발생했고, 건식 연삭과 습식 연삭의 온도차이는 6배 이상임을 알 수 있었고, 습식 연삭은 가공횟수의 증가에 따른 온도변화가 거의 없음을 알 수 있다.

참고문헌

1. W. B. Rowe, "Thermal Analysis of High Efficiency Deep Grinding," *Machine Tools & Manufacture*, Vol. 41, pp. 1-19, 2001.
2. C. Guo, S. Malkin, "Analysis of Transient Temperatures in Grinding," *ASME Journal of Engineering for Industry*, Vol. 117, pp. 571-577, 1995.
3. DesRuisseaux, N. R. and Zerkle, R. D., "Temperature in Semi-Infinite and Cylindrical Bodies Subjected to Moving Heat Sources and Surface Cooling," *ASME J. of Heat Transfer*, Vol. 92, pp. 1456-464, 1970.
4. Barber, J. R., "Thermoelastic Displacement and Stress Due to a Heat Sources Moving Over the Surface of Half Plane," *ASME J. of Applied Mechanics* Vol. 51, pp. 636-640, 1984.
5. Bryant, M.D., "Thermoelastic Solution for Thermal Distribution Moving Over Half Space Surface and Application to the Moving Heat Source," *ASME J. of Applied Mechanics* Vol. 55, pp. 87-92, 1988.
6. Paradipta N. M., "Simulation of Surface Grinding," Ph. D. Dissertation Purdue Univ., 1995.