

다중비교를 이용한 선삭가공시 절삭유량에 따른 온도변화분석

박태준*(경북대 대학원 기계공학부), 양승한(경북대 기계공학부)
이영문(경북대 기계공학부), 김희술(영남대 기계공학부)

Temperature analysis of each coolant level in turning by a multiple comparison

Tae- Joon Park(Graduate School, Kyungpook National Univ.), Seung- Han Yang,
Young-Moon Lee(Kyungpook National Univ.), Hee-Sool Kim(Yeungnam Univ.)

ABSTRACT

The object of this paper is to find out a coolant level, which is economic and similar to the conventional level, high level, in cutting temperature. For this, new coolant level, called a low level, was proposed, which is about 1/4 of conventional level. And the cutting temperature of each coolant level in turning was analyzed using statistical methods. Firstly, it was analyzed that the temperature mean of each coolant level is not equal by ANOVA-test. Secondly by Tukey's HSD, one of multiple comparisons, it was analyzed that the temperature mean of low level is similar to that of high level and different from that of none level.

Key Words : Multiple comparison(다중비교), Coolant(절삭유), Turning(선삭), Cutting temperature(절삭온도), ANOVA-test(분산분석)

1. 서론

국내외적으로 환경규제법안이 마련되고, 소비자들의 환경친화적 제품(green product)에 대한 욕구가 증대되고 있는 시점에서 제조업에서의 환경친화적 설계와 생산기술의 개발은 매우 중요한 문제 중의 하나로 대두되고 있다. 그 중에서도 설계에 의한 환경오염보다는 생산시 발생하는 물질에 의한 환경오염이 더 심각한 현실이다 특히 절삭가공중에서 환경에 가장 심각한 영향을 주는 것은 절삭유이다^[1].

절삭유의 사용은 사실 경제적인 측면에서도 매우 바람직하지 못하며, 그 예로서 독일에서 수행한 연구보고서에 의하면 절삭유의 구매와 유지보수 비용은 전체 생산원가의 7.5%와 17%에 각각 이르는 데 반하여 공구의 비용은 4%에 불과하다^[1]. 또한 절삭유는 사용한 후의 처리가 매우 어려운 폐기물 중의 하나이다. 즉 절삭유는 일정기간을 사용하면

부패 또는 결삭시 발생하는 피삭재가루 및 공구가 루와의 화학작용, 윤활유 등의 혼재 등에 의해 사용이 불가능하다 그래서, 결국은 폐기하여야 하기 때문에 자연환경을 오염시키는 주요한 원인이 된다. 이러한 의미에서 유럽지역에서는 강제적인 환경법률의 제정과 맞물려 점차 절삭유의 사용을 줄이고 있다.

그러나 이러한 경제적, 법률적 문제보다 더욱 심각한 것은 절삭유 사용중에 발생하는 인체에 대한 유해성문제이다. 즉 절삭과정에서 절삭유는 공기중에 분무하게 되어 공장의 환경을 더럽힘과 동시에 작업자의 건강을 해치게 된다. 직접적으로는 작업자의 눈을 자극하고, 피부병을 유발하게 되며, 간접적으로는 구토, 위통, 호흡기 질환을 일으키기 때문에 인체에 매우 유해함을 알 수 있다^[2].

이러한 이유때문에 최근에는 절삭유를 사용하지 않는 건식 절삭(dry cutting)이나 절삭유 대신 공기(air)등을 사용하는 기술들이 연구되고 있다^[4,5,6]. 하

지만 이미 알려진 바와 같이 절삭유는 절삭과정중 에 발생하는 열을 냉각시켜 공구와 공작물의 온도를 저하시키고, 이러한 효과에 의해 가공된 공작물의 내부 잔류응력을 줄이고, 치수정밀도를 확보할 수 있게 해준다^[1]. 하지만 전식절삭의 경우 열을 냉각시키는 방법이 없기 때문에 고온의 열이 발생하는 고속에서는 적용하기 힘든 기술이다. 또한 절삭유 대신 공기등을 사용하는 기술들은 새로운 장비구입과 교체등의 막대한 자본이 든다.

따라서 본 연구에서는 현재의 장비를 사용하면 서, 절삭유의 사용량을 줄여도 현재와 비슷한 냉각 효과가 나타나게 함으로써 경제적 측면과 환경적 측면을 함께 고려하는 방안으로서 절삭유 사용량을 최소화하는 방법을 제시하였다. 이를 위해 다중비교법을 이용하여 여러 단계의 절삭유량에 따른 절삭온도를 비교·분석하였다.

2. 다중비교

2.1 다중비교

여러 집단이나 차이들의 모평균을 비교하기 위하여 사용되는 방법이나 분산분석으로 얻어지는 결론은 모든 평균들이 같거나 적어도 하나의 모평균이 다른 평균들과 다르다는 것중의 하나이다. 그러나 일반적으로 실험자는 모평균사이에 내재하는 관계에 대하여 더 많은 흥미를 가지고 있다. 즉, 처리들이 집단들의 모평균사이에 내재하는 차이의 대소 관계에 보다 많은 관심이 있는 것이다. 이러한 결과를 얻기 위해 사용되는 통계적 방법들이 다중비교법(multiple comparison methods)이다^[7].

다시 말해서, k 개의 모평균이 모두 같다는 귀무가설 $H_0: \mu_1 = \dots = \mu_k$ 가 기각되었을 때, 어느 평균들이 심각하게 다르며, 어느 평균들이 같은지를 알고 싶은 경우가 있다. 예를 들어 k 가 3 인 경우 H_0 가 기각될 때, m_1, m_2, m_3 가 서로 심각하게 다른지, 또는 m_1 과 m_2 가 서로 심각하게 다르고, m_2 과 m_3 가 같은지, 또는 m_1 과 m_2 가 서로 심각하게 다르고, m_1 과 m_3 가 같은지 등을 알고 싶다고 하자. 이와 같이 여러 처리효과를 동시에 다루는 방법을 연구하는 분야가 다중비교이다. 즉, 분산분석에서 귀무가설이 기각될 때, 처리평균들이 같지 않음을 알 수는 있지만, 명확한 차이는 알 수가 없을 때 처리평균들 사이의 비교를 하는 데 유용하게 사용되고 있다. 다중 비교의 이론은 일반 검정법보다 복잡하며, 여러 가지 다른 조건하에서 많은 방법들이 개발되었 다.

2.2. Tukey's HSD Method

다중비교방법에는 Fisher's LSD, Newman-Keuls

test, Tukey's HSD, Scheffé's method, Duncan's Method 등이 있다. 이 중에서 실험별 오류율을 적용하는 Tukey의 HSD 법(honestly significant difference method)은 원래 반복수가 동일하다는 가정하에서 고안되었다. 이 절차는 처리평균들의 모든 쌍을 검정하는데 상수의 척도를 사용하는 것과 같은 간편성이 있다. S^2 는 자유도 v 를 갖는 오차평균제곱(mean square of error)이고 동일한 반복수를 n 이라고 하자 이 때 HSD는 다음과 같이 주어진다.

$$HSD = W_i = q(\alpha; t, v) \sqrt{\frac{S^2}{n}} \quad (1)$$

여기서 $q(\alpha; t, v)$ 는 자유도 v 를 갖는 t 개의 평균의 스튜던트화된 범위(studentized range)의 분포에서의 $100(1-\alpha)$ 백분위수($100\alpha\%$ 지점)이다 그래서 만약 두 평균차의 절대치가 HSD 보다 크면 두 처리는 차이가 있다고 말할 수 있다

3. 실험

3.1 실험조건

다중비교를 이용한 전삭가공시 절삭유량에 따른 온도 변화를 분석하기 위해 다음과 같은 실험을 행하였다.

절삭실험은 범용선반(국내, 광주남선선반㈜)을 이용하였으며, 절삭공구로는 TPMR160408 인서트를 사용하였으며, 공구홀더로는 CTGPR2525M16 를 사용하였다. 피삭재로는 기계구조용 탄소강인 SM45C 를 사용하였다.

Table 1 Lathe's specification

Spindle speed	17~1200rpm(12steps)
Feed rate	0.049~1.381mm/rev(40steps)
Power	10HP

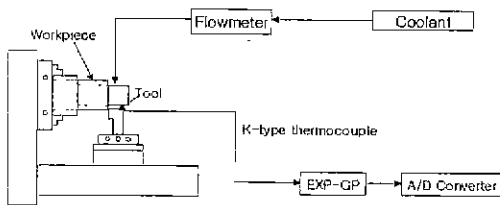
Table 2 Cutting conditions

Cutting parameter	1	2	3
Coolant	none	low	high
Cutting speed, V (m/min)	80	140	200
Feed rate, F (mm/rev)	0.098	0.296	0.493
Depth of cut, D(mm)	0.8	1.6	2.4

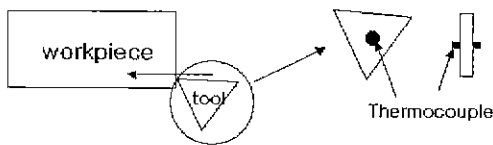
실험조건은 먼저 절삭유량을 표 2 에 나타낸 바와 같이 3 단계로 나누었다. 1 단계는 전식을 나타내는 none, 2 단계는 본 연구에서 제시하는 절삭유량인 0.5l/min 을 나타내는 low, 그리고 마지막 3 단계는 현재의 절삭유량인 2.0l/min 을 나타내는 high 이

다. 그리고 절삭 3 인자(절삭속도, 이송, 절삭깊이) 또한 표 3 에 나타난 바와 같이 3 가지 수준으로 하였다 따라서 총 실험횟수는 $3^3=81$ 회가 되었다. 또한 실험에 의한 오차를 줄이기 위해 임의의 순서로 실험을 행하였다

그리고, 절삭유의 양을 조절하기 위해 그림 1 과 같이 유량계를 절삭유관에 설치하였으며, 절삭시 발생하는 열을 측정하기 위해 공구의 중앙 상하 두 곳에 K-타입 열전대를 설치하였다. 열전대를 통해 발생하는 전압을 signal conditioner를 통해 증폭시키며 증폭된 전압은 A/D 변환을 통해 PC 에 저장된다. 저장된 전압값은 이에 상응하는 온도값으로 변환된다



(a) Schematic diagram for cutting temperature



(b) Thermocouple positions in the insert

Fig 1 Schematic diagrams for experiment

3.2 실험결과

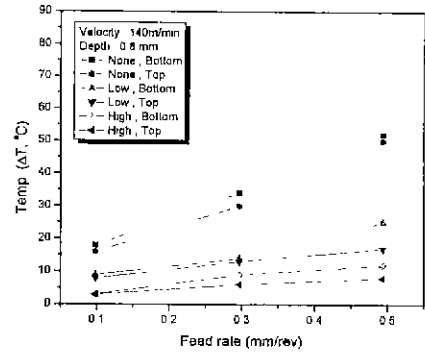
절삭과정중에 발생하는 열을 측정하여 다음과 같이 ΔT 를 구하였다.

$$\Delta T = T_3 - T_0 \quad (2)$$

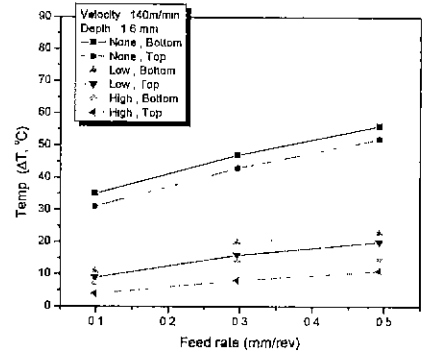
여기서 T_3 는 절삭후 5 초뒤의 온도, T_0 는 절삭시작시의 온도이다.

그림 2 는 절삭속도가 140m/min 인 경우의 ΔT 를 구한 값을 그린 그래프이다. 그림에 나타난 바와 같이 절삭유가 none 인 단계가 low 나 high 인 단계에 비해 현저히 높은 온도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 절삭유에 의한 냉각작용이 없으므로 절삭시 발생하는 열이 공구에 그대로 전달되기 때문이다. 그리고 공구의 상부온도가 하부온도보다 낮은 것을 알 수 있는데 이는 공구상부의 경우 대가온도에 의한 대류작용으로 냉각이 일어나며, 공구하부는 공구홀더에 의해 밀폐되므로 대류작용이 발생하지 않기 때문이다. 또한 절삭유량이 0.5l/min

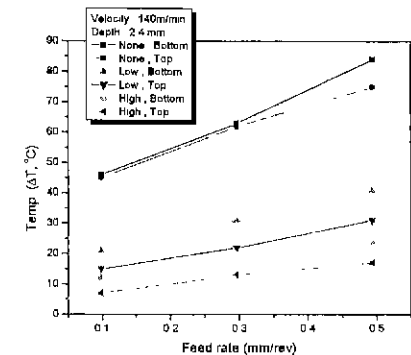
인 low 단계는 절삭유량이 2.0l/min 인 high 단계와의 온도차이가 크지 않음을 알 수 있다.



(a) DOC = 0.8mm



(b) DOC = 1.6mm



(c) DOC = 2.4mm

Fig. 2 Temperature(ΔT) graph at 140m/min

3.3 결과 분석

그림 2 에 나타난 바와 같이 각 단계간의 온도평

온도의 차이가 있음을 알 수 있으나, low 단계와 high 인 단계의 온도는 유사한지의 여부는 알 수 없다. 따라서 본 연구에서는 어느 단계가 차이가 있으며, 어느 단계가 차이가 없는지를 알기 위해서 다중비교법 중의 하나인 Tukey 의 HSD 법을 행하였다.

Table 4 Tukey's HSD method($\alpha=0.05$) of coolant at $v=140\text{m/min}$

Top			Bottom		
Tukey Grouping	Mean	Level	Tukey Grouping	Mean	Level
A	44.89	None	A	48.33	None
B	16.78	Low	B	21.67	Low
B	8.56	High	B	12.56	High

표 4 는 $\alpha=0.05$ 의 확률하에서 Tukey 의 HSD 법을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 표 4 에 나타낸 바와 같이 모든 절삭속도에서 none 은 A Group 으로, low 와 high 는 B Group 으로 나타남을 알 수 있다. 이는 none 인 경우는 low 와 high 인 경우와 절삭온도값에서 차이가 있으며, low 와 high 인 경우는 절삭온도값이 차이가 없음을 나타내는 것이다. 즉 현재의 절삭유량을 1/4 로 줄였음에도 불구하고 현재의 냉각효과와 같은 수준의 냉각이 일어남을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 다중비교를 이용하여 선삭가공시 절삭유량에 따른 온도변화를 분석하였다.

(1) 각 절삭유 단계별 온도의 평균을 분산분석법(ANOVA-test)을 통해 분석해 본 결과 각 절삭유 단계간의 온도평균에 차이가 있음을 알 수 있었다.

(2) 각 단계별 온도평균의 차이를 좀더 자세히 알기 위해 다중비교법의 하나인 Tukey 의 HSD 법을 행한 결과 none 단계가 A Group 으로, low 단계와 high 단계가 B Group 으로 나타났다 즉 none 인 단계는 low 단계와 차이가 나며, high 단계와도 차이가 나며, low 단계와 high 단계는 차이가 없음을 나타낸다

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(1999-2-304-003-3)지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자

여러분께 감사드립니다..

참고문헌

- 1 R. B. Aronson, "Why Dry Machining," Manufacturing Engineering, Vol. 114, pp.33-36, 1994
- 2 G. Byrne, and E. Scholta. "Environmentally Clean Machining Process – a Strategic Approach," Annals of the CIRP, Vol. 42, No. 1, pp.471-474, 1993.
- 3 G. Boothroyd, "Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools," McGraw-Hill, pp.125-129, 1975
- 4 K. Tönshoff, B. Karpuschewski, A. Mohlfeld, T. Leyendecker, G. Erkens, H. G. Fuß and R. Wenke. "Performance of Oxygen-rich TiALON coatings in Dry Cutting applications," Surface & Coatings Technology, V.108-109, N.1-3, 535-542, 1998.
- 5 H. Lahres and G. Jörgensen, "Properties and Dry Cutting Performance of Diamond-Coated Tools." Surface & Coatings Technology, V.96, N.2-3, pp198-204, 1997
- 6 M. Yokogawa and K. Yokogawa, "Study on Air Jet Cooling Grinding Technology without Using Grinding Fluid for Anti-Pollution Meausie," Proceedings of International Manufacturing Engineering Conference, 1996.
- 7 Y. Hochberg and A.C. Tamhane, "Multiple Comparison Procedures." John Wiley and Sons Inc, New York, U.S.A, 1987.