

다중비교를 이용한 선삭가공시 절삭유량에 따른 온도변화분석

박태준*, 양승한**, 이영문**, 김희솔***

Temperature Analysis of Each Coolant Level by a Multiple Comparison in Turning Process

Tae-Joon Park*, Seung-Han Yang**, Young-Moon Lee** and Hee-Sool Kim***

ABSTRACT

In this paper, a multiple comparison was proposed to minimize the amount of coolant. And new coolant level, called "low level", was suggested to show usefulness of multiple comparison for experiments. The amount of this level is about 1/4 of conventional coolant amount - called "high level", and dry cutting is called "none level". Using these coolant levels, the cutting temperatures of each coolant level in turning process were analyzed by analysis of variance(ANOVA)-test and a multiple comparison. As the result of ANOVA-test, we have just known that the average of temperature of each coolant level is not equal. However by Tukey's HSD, one of multiple comparison, it was analyzed that the average of temperature of low level is similar to that of high level and different from that of none level.

Key Words : Multiple comparison(다중비교), Coolant(절삭유), Cutting temperature(절삭온도), ANOVA-test(Analysis of variance, 분산분석), Tukey's Honestly Significant Difference Method (Tukey의 HSD 법)

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. 이중 생산시 발생하는 환경오염물질에는 폐공구, 절삭유, 칩등이 있다. 특히 절삭가공중에서 환경에 가장 심각한 영향을 주는 것은 절삭유이다¹⁾.

절삭유의 사용은 사실 경제적인 측면에서도 매우 바람직하지 못하며, 그 예로서 독일에서 수행한 한 연구보고서에 의하면 절삭유의 구매와 유지보수비용은 전체 생산원가의 7.5%와 17%에 각각 이르는데 반하여 공구의 비용은 4%에 불과하다¹⁾. 또한 절삭유는 사용한 후의 처리가 매우 어려운 폐기물중의 하나이다. 즉 절삭유를 일정기간 사용하면 부패 또는 절삭시 발생하는 피삭재가루 및 공구가루와의 화학작용, 윤활유 등의 혼재 등에 의해 사용이 불가능하다. 그래서, 결국은 폐기

접수 2001년 7월 20일
* 경북대학교 대학원 기계공학과
** 경북대학교 기계공학부
*** 영남대학교 기계공학부

하여야 하기 때문에 자연환경을 오염시키는 주요한 원인이 된다. 이러한 이유로 유럽에서는 법률을 제정하여 강제적으로 절삭유 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 된다²⁾.

이러한 이유때문에 최근에는 절삭유를 사용하지 않는 건식 절삭(dry cutting)이나 절삭유 대신 공기(air)등을 사용하는 기술들이 연구되고 있다³⁾. 하지만 이미 알려진 바와 같이 절삭유는 절삭과정중에 발생하는 열을 냉각시켜 공구와 공작물의 온도를 저하시키고, 이러한 효과에 의해 가공된 공작물의 내부 잔류응력을 줄이고, 치수정밀도를 확보할 수 있게 해준다⁴⁾. 하지만 건식절삭의 경우 열을 냉각시키는 방법이 없기 때문에 고온의 열이 발생하는 난삭재 가공등에서는 적용하기 힘든 기술이다. 또한 절삭유 대신 공기등을 사용하는 기술들은 새로운 장비구입과 교체등의 막대한 자본이 든다.

따라서 본 연구에서는 절삭유의 사용량을 줄이는 방법으로서 다중비교법을 이용하였다. 이는 현재의 장비를 사용하면서 절삭유의 사용량을 변화시켜 현재와 비슷한 냉각효과가 나타나게 함으로써 경제적 측면과 환경적 측면을 함께 고려한 방안이다. 또한 이 방법의 유용성을 보이기 위해 여러 단계의 절삭유량에 따른 절삭온도를 비교·분석하였다.

2. 다중비교

분산분석을 통해서 얻어지는 결론은 모든 평균이 같거나 적어도 하나의 모평균은 다른 평균들과 다르다는 것 중의 하나이다. 하지만 평균들간의 차이의 대소관계에 관심이 있을 경우 분산분석만으로는 알 수가 없다. 이럴 때 사용되는 통계적 방법이 다중비교법(multiple comparison methods)이다⁵⁾.

다시 말해서, 절삭유를 3 단계(즉 none, low, high)로 나누어서 절삭온도의 평균을 비교할 경우 귀무가설 H_0 는 다음과 같다.

$$H_0 : T_{none} = T_{low} = T_{high}$$

여기서 T_{none} 는 none 단계에서의 절삭온도의 평균, T_{low} 는 low 단계에서의 절삭온도의 평균, T_{high} 는 high 단계에서의 절삭온도의 평균이다.

만약 분산분석만을 행할 경우 귀무가설이 기각되면 3 단계의 평균들이 같지 않음만을 알 수 있다. 즉 T_{none} 과 T_{low} 가 같고, T_{low} 와 T_{high} 가 다른지, 또는 T_{none} 과 T_{low} 가 다르고, T_{low} 와 T_{high} 가 같은지 또는 T_{none} , T_{low} , T_{high} 가 모두 다른지는 알 수 없다. 이럴 경우에 다중비교를 사용하면 평균들간의 차이를 알 수 있다. 특히 본 연구에서 사용된 Tukey 의 HSD(Honestly Significant Difference) 법은 실험별 오류율을 적용한 다중비교법으로 두 평균차의 절대치가 HSD 보다 크면 두 처리는 차이가 있으며, HSD 보다 작으면 두 처리는 차이가 없음을 알 수 있다.

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

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. S^2 는 자유도 v 를 갖는 오차평균제곱(mean square of error)이고 동일한 반복수를 n 이라 한다.

3. 실험

3.1 실험조건

다중비교를 이용한 선삭가공시 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.

실험조건은 먼저 절삭유량을 표 1 에 나타낸 바와 같이 3 단계로 나누었다. 1 단계는 건식을 나타내는 none, 2 단계는 본 연구에서 제시하는 절삭

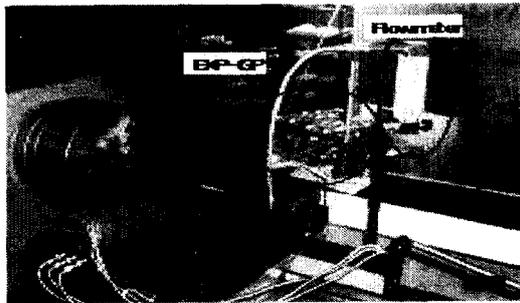
유량인 0.5l/min 을 나타내는 low, 그리고 마지막 3 단계는 현재의 절삭유량인 2.0l/min 을 나타내는 high 이다. 그리고 절삭 3 인자(절삭속도, 이송, 절삭깊이) 또한 표 1 에 나타낸 바와 같이 3 가지 수준으로 하였다. 따라서 총 실험횟수는 3⁴=81 회가 되었다. 또한 실험에 의한 오차를 줄이기 위해 임의의 순서로 실험을 행하였다.

표 2 에는 실험에 사용된 범용선반의 사양을 나타낸 것이다.

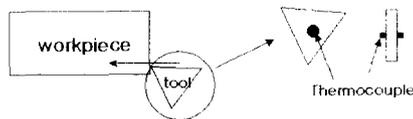
절삭유의 양을 조절하기 위해 Fig. 1 과 같이 유량계를 절삭유관에 설치하였다. 절삭유는 내경 7.0mm 인 평노즐에 의해 공급하였으며, 노즐은 인서트로부터 수직거리 50mm 인 위치에 설치하였다. 절삭시 발생하는 열을 측정하기 위해 공구의 중앙상하 두 곳에 K-타입 열전대를 설치하였다. 열전대를 통해 발생하는 전압을 신호조절기를 통해 증폭시키며 증폭된 전압은 A/D 변환을 통해 PC 에 저장된다. 저장된 전압값은 이에 상응하는 온도값으로 변환된다.

Table 1 Cutting conditions

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



(a) Schematic diagram for cutting temperature



(b) Thermocouple positions in the insert

Fig. 1 Schematic diagrams for experiment

Table 2 Lathe specification

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

3.2 실험결과

절삭과정중에 발생하는 열을 측정하여 다음과 같이 ΔT 를 구하였다.

$$\Delta T = T_5 - T_0 \quad (2)$$

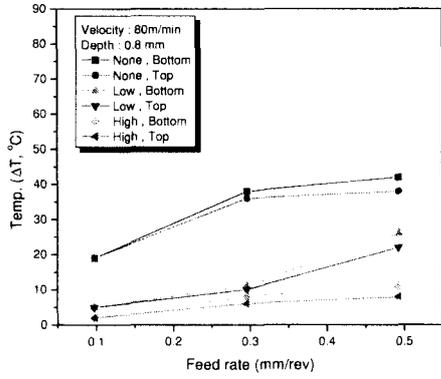
여기서 T₅ 는 절삭후 5 초뒤의 온도, T₀ 는 절삭 시작시의 온도이다.

Fig. 2 ~ 4 는 각각의 절삭조건하에서의 ΔT 를 구한 값을 그린 그래프이다. 그림에 나타낸 바와 같이 절삭유가 none 인 단계가 low 나 high 인 단계에 비해 현저히 높은 온도를 나타내고 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 대기온도에 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 온도 차이가 크지 않다.

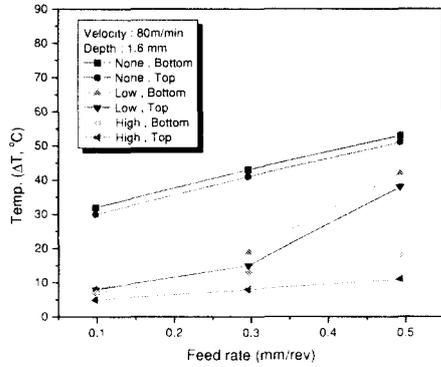
3.3 결과 분석

상기에 서술한 바와 같이 실험결과를 통해 각 단계간의 온도평균의 차이가 있음을 알 수 있었다 이를 좀더 통계적인 방법을 이용하여 분석하면 표 3 과 같다. 표 3 는 실험결과(즉 ΔT)를 이용하여 분산분석을 행한 결과이다. 표 3 에 나타낸 바와 같이 α<0.001 인 유의수준으로 모든 속도에서 절삭유 단계간의 온도가 같지 않음을, 즉 차이가 있음을 알 수 있다. 하지만 이러한 분산분석만으로는 절삭유 단계간의 차이가 있음을 알 수 있을 뿐 정확히 어느어느 단계가 차이가 있는지는 알 수 없다. 즉 Fig. 2 ~ 4 의 그래프에 나타낸 바와 같이 각 단계간의 온도평균의 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 없는지

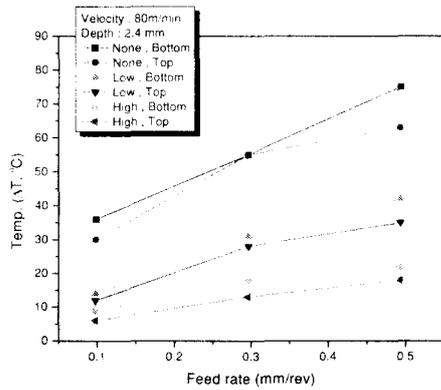
를 정확하게 알기 위해서 다중비교법 중의 하나인 Tukey 의 HSD 법을 행하였다.



(a) DOC = 0.8mm

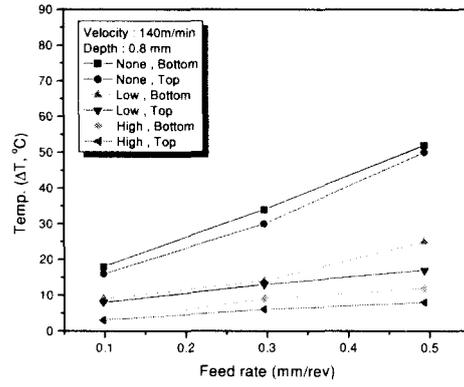


(b) DOC = 1.6mm

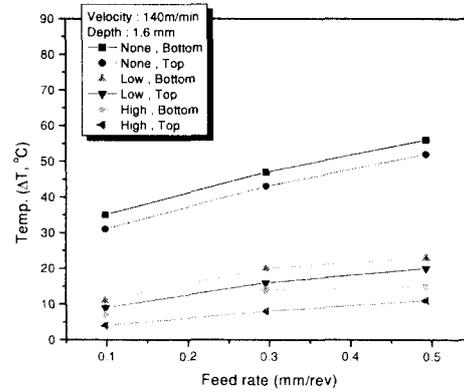


(c) DOC = 2.4mm

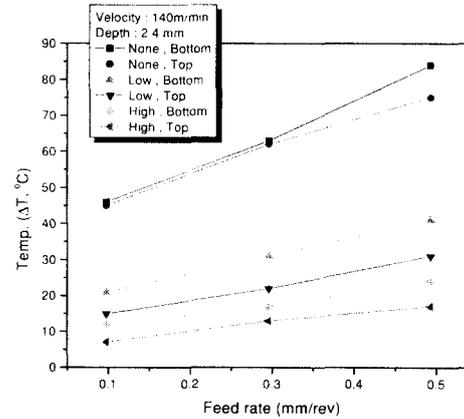
Fig.2 Temperature(ΔT) graph at 80m/min



(a) DOC = 0.8mm

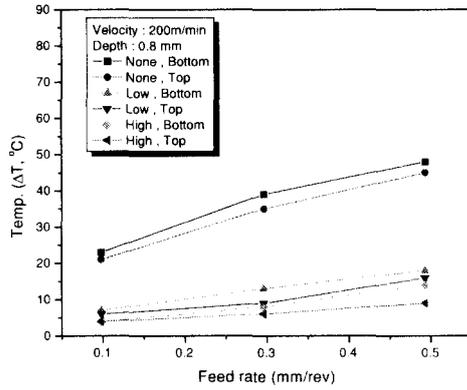


(b) DOC = 1.6mm

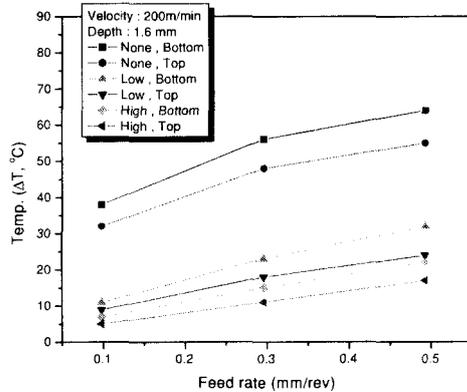


(c) DOC = 2.4mm

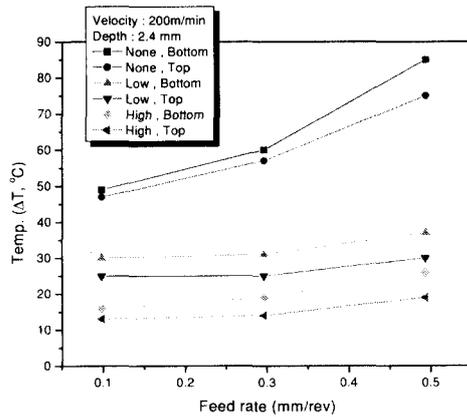
Fig. 3 Temperature(ΔT) graph at 140m/min



(a) DOC = 0.8mm



(b) DOC = 1.6mm



(c) DOC = 2.4mm

Fig. 4 Temperature(ΔT) graph at 200m/min

Table 3 ANOVA of a coolant at each velocity

(a)Temperature at top of the insert at 80m/min

	dof	SS	MS	F	Pr>F
Coolant	2	4070.85	1353.93	19.55	<0.0001
Error	24	2889.78	120.41		
Total	26	7897.63			

(b)Temperature at bottom of the insert at 80m/min

	dof	SS	MS	F	Pr>F
Coolant	2	4716.67	2350.33	14.38	<0.0001
Error	24	3936.00	164.00		
Total	26	8652.67			

(c)Temperature at top of the insert at 140m/min

	dof	SS	MS	F	Pr>F
Coolant	2	6533.85	3266.93	25.43	<0.0001
Error	24	3082.67	128.44		
Total	26	9616.52			

(d)Temperature at bottom of the insert at 140m/min

	dof	SS	MS	F	Pr>F
Coolant	2	6222.52	3111.26	18.79	<0.0001
Error	24	3974.22	165.59		
Total	26	10196.7			

(e)Temperature at top of the insert at 200m/min

	Dof	SS	MS	F	Pr>F
Coolant	2	6244.22	3122.11	26.71	<0.0001
Error	24	2805.78	116.91		
Total	26	9050.00			

(f)Temperature at top of the insert at 200m/min

	Dof	SS	MS	F	Pr>F
Coolant	2	6748.22	3374.11	20.91	<0.0001
Error	24	3872.44	161.35		
Total	26	10620.7			

Table 4 Tukey's HSD method($\alpha=0.05$) of coolant at each velocity

(a) Temperature at 80m/min

Top			Bottom		
Tukey Grouping	Mean	Level	Tukey Grouping	Mean	Level
A	40.33	None	A	43.67	None
B	19.22	Low	B	22.00	Low
B	8.56	High	B	12.00	High

(b) Temperature at 140m/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

(c) Temperature at 200m/min

Top			Bottom		
Tukey Grouping	Mean	Level	Tukey Grouping	Mean	Level
A	46.11	None	A	51.33	None
B	18.00	Low	B	22.44	Low
B	10.89	High	B	14.56	High

표 4 는 $\alpha=0.05$ 인 유의수준하에서 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 절삭온도값의 차이가 없다는 것이다. 즉 현재 사용되는 절삭유량의 1/4 로 줄였음에도 불구하고 현재의 냉각효과와 같은 수준의 냉각이 일어난다.

4. 결론

본 연구에서는 위와 같은 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 절삭유량을 최소화하는 방안으로서 다중비

교법을 제시하였다.

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

(3) 각 단계별 온도평균의 차이를 좀 더 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 있으며, high 단계와도 차이가 있으나, low 단계와 high 단계는 차이가 없다.

(4) 현재의 절삭유량을 1/4 로 줄였음에도 불구하고 같은 수준의 냉각효과가 있었다. 따라서 절삭유량을 1/4 로 줄임으로써 경제적인 이점은 물론이고, 환경오염을 줄일 수 있으며, 대기중으로 분해되는 절삭유량이 줄어들어 인체에 대한 유해성을 줄일 수 있다.

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. Y. Hochberg and A.C. Tamhane, "Multiple Comparison Procedures," John Wiley and Sons Inc, New York, U.S.A, 1987.