技術論文 한국공작기계기술학회지 제 6 권 제 3 호 1997. 9
Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers

선삭에서 절삭조건에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

신근하*, 이수용**

A Effect of Cutting Resistance by Setting Angle According to the Cutting Condition in Turning

Sin Keun Ha*, Lee Soo Yoing**

Abstract

This study provides the useful actual data instead of the experience data using in industrial fields. Especially, values of each components of cutting force are effective in the rake angle, setting angle and cutting area. Many researches have been made on the work piece materials, kinds of bite materials, rake angle, nose radius and depth of cut, but a few on the bite setting angle. In order to select optimal cutting speed, it was summarized the following results are achieved :

A chieved that an affect of cutting resistance on the setting angle is a little under giving experimental conditions and therefore a worker can be choose the value of it randomly.

1. 서 론

기계공업의 발전은 초기의 순수한 경험적 바탕을 토대로 다양한 발전을 거듭 하였다. 최근에는 공작기계의 고속화, 고정밀도화, 자동화의 요구와 제품의 품질향상 및 생산성의 증대에도 기여해야 하기 때문에, NC, CNC, DNC, FMS, CIM 시스템 개발을 위한 다양한 연구가 활발히 이루어 지고 있는 실정이다. 이러한 자동화 공작기계의 대부분이 컴퓨터와 연계된 자동제어 등의 복합체이므로 적은 충격, 진동, 열 등의 취약성이 항상 존재하기 때문에 미세한 절삭조건의 변화에도 민감하게 반응한다. 따라서 피삭재에 따른 적정공구 선정, 절삭조건의 변화와 관련된 절삭가공기술에 대한 관련이론 해석및 실험적 연구가 끊임없이 이루어 져야 할 과제이다. 절삭가공에 관한 연구로는 Kronenberg의 이론적 해석을 기초로하여, Taylor,[1] Merchant,[2] Kronenberg[3] 등의 공구수명에 관한 실험연구와 Greenhow,[4] Loewen과 Shaw[5] 등이 절삭속도 및 이송의 변화가 절삭에 미치는 영향에

* 아주대학교 기계공학부
** 성남기능대학 생산자동화학과

대하여 연구하였다. 이와같이 이론적 연구는 상당한 수준에 이르렀으나, 실험적 연구는 여기에 미치지 못하고 있는 실정이다. 특히 절삭저항 각 분력들의 크기는 경사각, 설치각, 절삭면적 등의 영향을 받는다. 여기에는 피삭재 재질, 바이트의 종류, 이송, 절삭깊이 등에 관련된 부분에는 다양하게 연구되어 있으나 설치각에 대하여는 연구된 자료가 그리 많지 않고 대부분 현장에서 현장 경험자의 경험치에 의하여 사용되고 있는 실정이다. 따라서 설치각 실험조건으로는 설치각, 절삭속도, 이송, 절삭 깊이를 변화시켜 실험하였다. 설치각이 절삭조건에 따라 절삭저항에 어떠한 영향을 미치는가를 분석, 고찰하여 산업현장에서 사용할 수 있는 설치각 조건을 제안 하고자 한다.

2. 이론적 배경

2-1. 절삭저항

바이트로 가공물을 선삭할 때 공작물은 압축을 받다가 인선과 피삭재의 자유표면을 잇는 면에서전단이 발생하고, 이때 chip은 공구 경사면에서 마찰저항을 받으며 배출된다. 이들 전단저항 및 마찰저항을 합하여 절삭저항 R로 나타낸다. 절삭저항을 3분력으로 나타내면 주분력(Vertical component of cutting force), 배분력(Radial com- ponent of cutting force), 이송분력(Axial component of cutting force)의 3분력으로 구분하며 다음 식으로 나타낸다.

$$R = \sqrt{Fc^2 + Fr^2 + Fa^2}$$

주분력은 선반 주축에 가해지는 회전에 의한 힘으로 주축의 구동력(Fv×V) 및 절삭열에 비례하고, 배분력은 이 힘의 방향으로 운동을 하지 않기 때문에 동력과는 관계가 적다. 이송 분력은 이송기구에 가하는 힘으로 주축에 가하는 추력(Thrust)에 비례한다. 이와같은 3분력 중 주분력이 가장 크고 소요동력은 주분력의 크기에 의하여 결정된다고 볼 수 있다. 그러나 공작기계 및 가공물의 변형에는 각각의 분력들이 영향을 미치게 된다. 각 분력 들은 공구의 경사각, 설치각, 절삭면적 등과 밀접한 관계가 있다. 절삭저항은 절삭면적, 절삭속도, 공구각, 설치각 등의 영향을 받는다는 것이 규명되고 있다.[6~8]

절삭저항은 절삭현상을 파악하는데 대단히 중요하다. 절삭저항은 절삭에 필요한 동력을 결정하는 중요한 자료일뿐만 아니라, 가공재료의 피삭성을 판정하는 기준이 되기도 한다. 그 외에 공구의 기하학적 형상, 절삭깊이, 이송, 절삭속도와 같은 절삭조건의 적부를 판정하는데에도 매우 중요하다.

3. 실험장치 및 방법

3-2. 사용공구

본 실험에 사용한 절삭공구는 강의 고속절삭과 중속절삭 및 고이송에 유리한 경질 피막공구 인서트팁(Insert tip NC30P, TNMG 120404 GM Korloy Co)이며, 그 규격과 치수 형상 및 특징은 Table 1과 같다.

Table 1 Dimension of Cutting Tool

Type	Model	Thick ness	Edge lenght	Clearance angle	Nose radius
NC 30P	TNMG -GM	4.76	16.5	0°	0.4

3-3. 공구홀더

본 실험에 사용한 공구홀더(PTGNR 2020-K 16 Korloy Co)의 규격은 Table 2와 같다.

Table 2 Specification of Tool Holder

형 번	H	W	L	S	h	ℓ
PTGNR 2020-K16	20	20	125	25	20	20

3-4. 사용재료

본 실험에서 사용한 재료는 일반적으로 널리 사용되는 SM15C를 사용하였으며, Table 3은 SM15C의 화학적 성분비를 나타낸다.

Table 3 Chemical Composition of Testing Materials

Material	Chemical composition(Wt.%)				
	C	Si	Mn	P	S
SM15C	0.158	0.150	0.556	0.031	0.037

3-5. 실험장치

본 실험을 위한 실험장치는 Fig. 2와 같으며, 인서트 팁을 고정시킨 공구홀더(PTGNR 2020-K16)를 절삭공구로 공구동력계에 고정시켜 실험하였다. 이때 필요한 절삭속도를 얻기 위하여, 인버터(Inverter Starvert-is3)의 주파수를 변화시켜 필요한 회전수를 선정하였고 압전소자형 공구동력계(Kistler 9257B)에서 측정한 절삭력을 멀티차넬 차지 앰프리파이어(Mult Channel Charge Amplifier; type 5019A)를 통해 A/D 변환기에 의해 디지털 전압신호로 변환시켜 컴퓨터에 저장하였다.

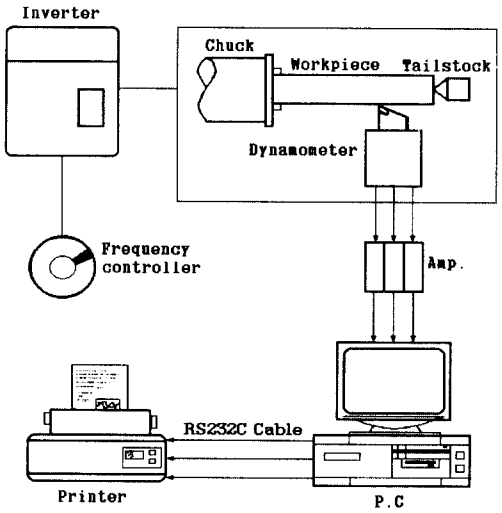

Fig. 1 Experimental Apparatus

3-6. 인버터 사용법

본 논문에서 사용한 선반의 모터 출력이 3.5/5.0HP이므로 선삭시 구동력 부족으로 인한 과부하 현상을 방지하기 위하여 충분한 용량(7.5 HP)의 인버터를 사용하였다. 인버터의 운전방식은 수동운전방식이며, 주파수를 변경시켜 선반의 회전수를 구하였다. 인버터의 분해능은 0.01 Hz로서 범용선반에서 130~1700 rpm의 비교적 정확한 회전수를 Table 4에 의하여 선정 실험하였다.

Table 4 Turn by Variable Frequency of Inverter

RPM / Hz	Inver · RPM	370 rpm	1000 rpm	1600 rpm	RPM / Hz	Inver · RPM	370 rpm	1000 rpm	1600 rpm
21	630	137	371	580	41	1230	268	721	1132
22	660	146	392	624	42	1260	273	747	1164
23	690	153	412	649	43	1290	280	757	1193
24	720	157	422	663	44	1320	287	776	1215
중 간 생 략									
36	1080	234	638	994	56	1680	365	988	1550
37	1110	242	660	1021	57	1710	372	1004	1577
38	1140	259	673	1048	58	1740	378	1022	1605
39	1170	257	697	1080	59	1770	384	1040	1658
40	1200	265	705	1106	60	1800	390	1058	1703

3-7. 실험방법

제작한 시험편을 Fig. 1과 같은 실험 장치에서 선반의 주축에 시험편을 다이얼 인디케이터로 1/100 mm이내로 정확히 고정하고 심압대에 베어링 센터(Bearing Center)로 견고하게 지지하였다. 정확한 회전수를 얻기 위하여 타코메터로 회전수를 확인한 후 정확한 데이터를 얻기 위하여 선반을 5분 이상 공회전 시킨 후 5~6회에 걸쳐 예비실험 후 측정 하였다.

필요한 설치각(Setting angle)을 얻기 위하여 공구동력계를 임의의 각도로 변화시킬 수 있도록 선반의 회전대를 응용하여 지그를 설계하므로서 설치각의 변화를 조정하여 실험하였으며, 실험 절삭조건은 Table 5와 같다. 시험편은 ϕ60에서 ϕ40 mm 까지 약 20 mm 정도 절삭하면서 실험하였다.

Table 5 Cutting conditions for experiment

Setting angle	Cutting speed	Feed	Depth of cut
90°	80	0.2	0.4
80°	120	0.3	0.6
70°	160	0.4	0.8
60°	200	0.5	1.0

4. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 제작사의 추천절삭속도 범위 내에서 일반적으로 사용하는 Table 5에 의한 절삭조건으로 3각 인

서트 팁(Throw away tool tip NC30P TNMG-120404GM)을 사용하여, SM15C를 압전소자형 공구동력계(Kistler 9257B)에서 측정하였다.

설치각에 따른 절삭저항의 변화 Figs. 2~5, 절삭속도에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향 Figs. 6~9, 절삭깊이에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향 Figs. 10~13, 이송에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 Figs. 14~17과 같고, 이것을 분석 고찰한 내용은 다음과 같다.

4-1. 바이트 설치각(Setting Angles)에 따른 절삭저항의 변화

바이트 설치각에 따른 절삭저항의 변화는 Figs. 2~5에서 나타난 바와 같이 설치각이 감소할때, 주분력과 배분력값은 증가하고 이송분력은 감소하는 현상을 나타낸다.

이때 주분력은 절삭 속도 80 m/min와 120 m/min 사이에서 절삭저항값이 큰 차이를 나타내며, 이 구간이 구성인선 임계속도 구간으로 해석된다. 이송분력은 설치각이 감소 함에 따라 절삭저항이 감소하며 이러한 현상은 절삭저항 힘의 합성에서 힘의 균형을 유지하기 위한 현상으로 해석된다. 배분력은 설치각이 감소 할 때 비례적인 상승을 나타낸다.

설치각에 따른 절삭저항값은 Fig. 5와 같이 절삭속도 80~120m/min에서 설치각 60° 를 기준으로 90° 까지 변화율은 16.8% 정도이나, 구성인선 구간을 제외한 120~200m/min 구간에서는 5% 이내의 미소한 영향을 나타내며, 이송분력 10.5%, 배분력 13.7% 정도이나, 가장 크고 중요한 주분력의 경우 구성인선을 감안하면, 5%이내의 미소한 영향을 미치므로 작업자의 필요에 따라 설치각을 선정 해도 좋을것으로 사료된다.

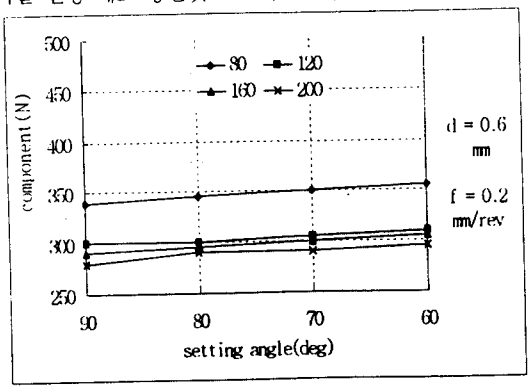

Fig. 2 Variatation in Cutting Resistance Vertical Component by Setting Angle

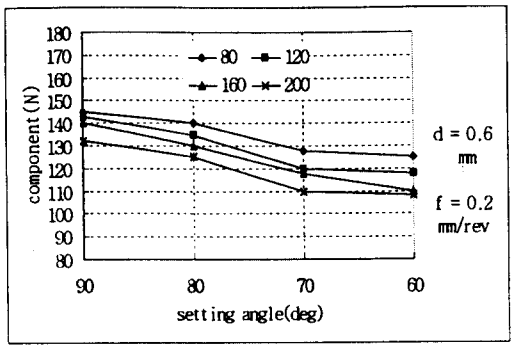

Fig. 3 Variatation in Cutting Resistance Axial Component by Setting Angle

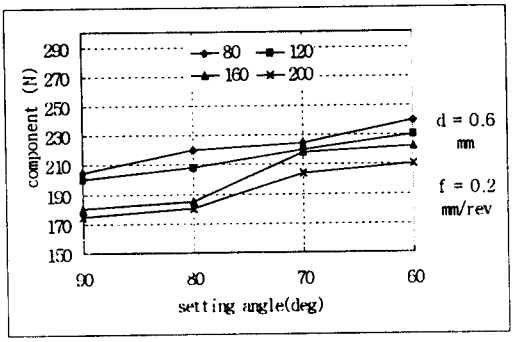

Fig. 4 Variatation in Cutting Resistance Radial Component by Setting Angle

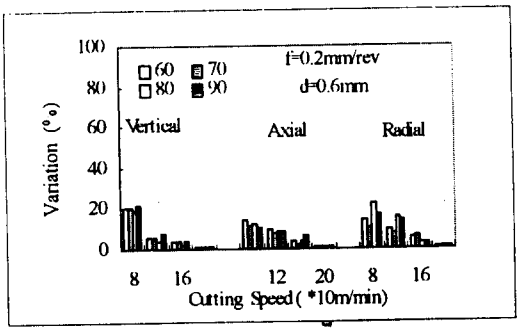

Fig. 5 The Variation rate of each Component force of Resistance Force by Cutting speed in Various Setting angle

4-2. 절삭속도에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

절삭속도에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은

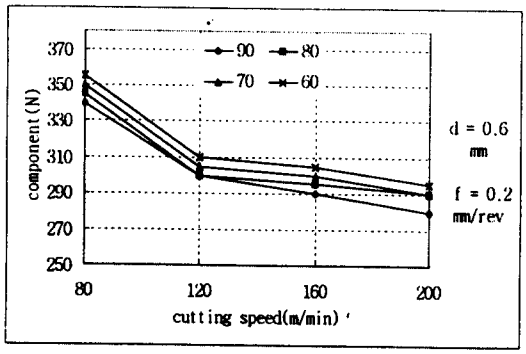

Fig. 6 Effect of Vertical Component on the Cutting Speed Cutting Resistance by Setting Angle

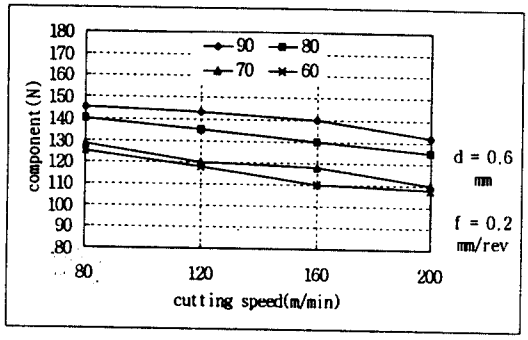

Fig. 7 Effect of Axial Component on the Cutting Speed Cutting Resistance by Setting Angle

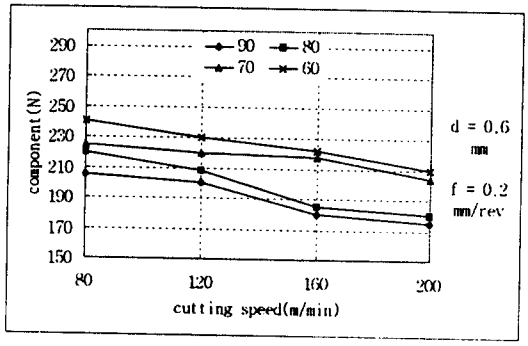

Fig. 8 Effect of Radial Component on the Cutting Speed Cutting Resistance by Setting Angle

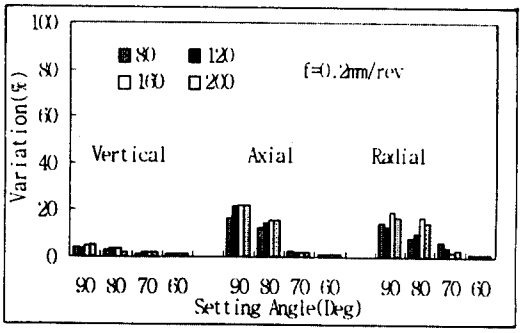

Fig. 9 The Variation rate of each Component force of Resistance force by Setting angle in Various Cutting speed

Figs. 6~9에서 나타난 바와 같이 절삭속도가 증가 할수록 절삭저항 3분력은 모두 감소하며, 절삭저항의 감소 현상은 절삭속도 증가에 따른 마찰열로 인한 가공물의 경도 저하 및 칩의 형성에 따른 소성변형 시간단축으로 인한 절삭력의 크기가 감소하는 현상, 구성인선(B.U.E)의 감소 및 소멸의 영향으로 해석된다. 주분력이 절삭속도 120 m/min에서 설치각에 무관하게 절삭저항이 크게 감소하는 현상으로 미루어 구성인선 임계속도는 설치각에 관계없이 120 m/min에 근사함을 예측할 수 있었다. 이송분력은 절삭속도가 증가함에 따라 감소하며, 설치각이 90° 일 때 절삭저항값이 가장 크고 설치각이 60° 일 때 가장 적다. 이러한 현상은 주분력과, 배분력의 반대 현상으로 절삭저항 합성에서 힘의 균형을 균형을 유지하기 위한 현상으로 해석된다. 절삭 속도에 따라 설치각이 절삭저항이 미치는 영향은 Fig. 9와 같이 설치각 60° 를 기준으로 90° 와 비교할 때의 변화율은 주분력 4.3% 정도, 이송 분력 21.6%정도, 배분력 15.8% 정도이며, 주분력이 가장 안정된 변화율을 나타낸다. 그러나 가장 크고 중요한 주분력의 경우 4.3% 정도의 매우 미소한 영향을 미치므로 설치각이 절삭속도 선정에는 영향을 거의 주지 않는 것으로 해석 되어, 설치각 선정은 작업자가 가공물의 형상, 기타 절삭조건에 따라 설치각을 선정해도 무방 할 것으로 사료 된다.

4-3. 절삭 깊이에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

절삭깊이에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 Figs. 10 ~ 13에서 나타난 바와 같이 절삭깊이가 증가

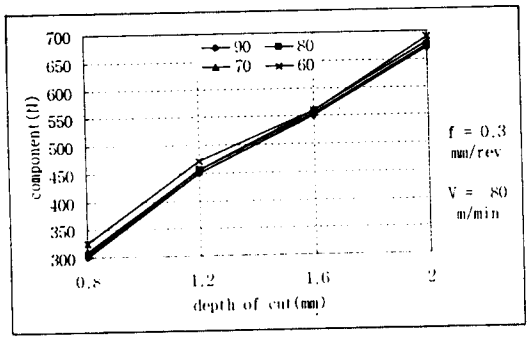

Fig. 10 Effect of Vertical Component on the Depth of Cut Speed Cutting Resistance by Setting Angle

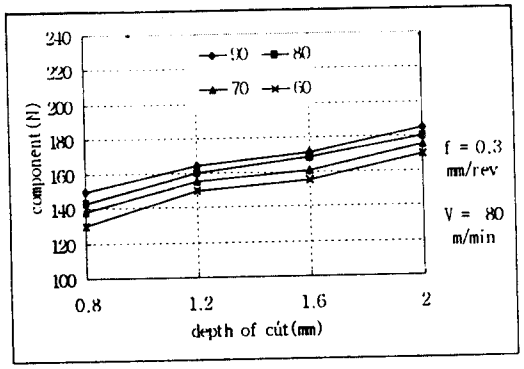

Fig. 11 Effect of Axial Component on the Depth of Cut Speed Cutting Resistance by Setting Angle

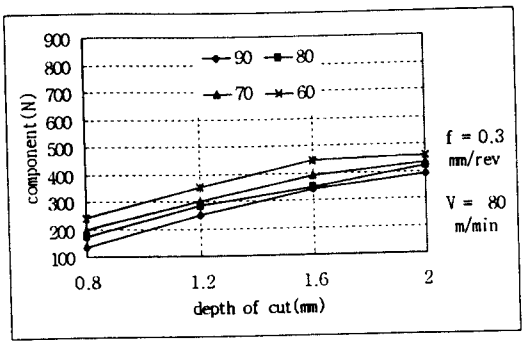

Fig. 12 Effect of Radial Component on the Depth of Cut Speed Cutting Resistance by Setting Angle

하면 절삭저항 3분력 모두 증가한다. 이송분력은 설치각 90° 일 때 절삭저항 값이 가장크고, 60° 일 때 절삭저항 값이 가장 적다. 이것은 4-2의 이송분력과 동일한 현상이다. 절삭깊이에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 Fig. 12와 같이 설치각 60° 를 기준으로 90° 와 비교할 때의 변화율은 주분력 6.4% 정도, 이송분력 15.8% 정도, 배분력 17.7% 정도의 영향을 미치며, 주분력이 가장 안정된 변화율을 이송분력과 배분력은 변화율이 크고 불안정하다. 그러나 가장 크고 중요한 주분력의 경우 6.4% 정도의 미소한 영향을 미치므로 설치각이 절삭깊이 선정에 주는 영향은 매우 미소한 것으로 해석된다.

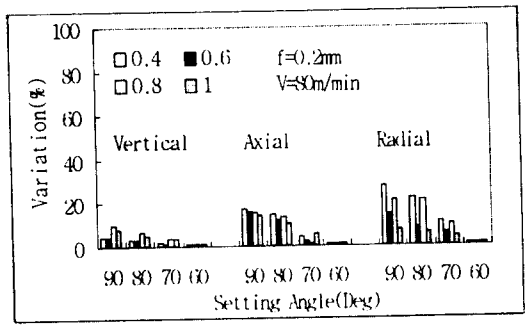

Fig. 13 The Variation rate of each Component force of Resistance force by Setting angle in Various Depth of cut

4-4. 이송에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

이송에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 Figs. 14~17에서 나타난 바와 같이 이송이 증가하면 절삭저항 3분력 모두 증가한다. 이송에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 Fig. 12와 같이 설치각 60° 를 기준으로 90° 와 비교할때의 변화율은 주분력 4.3% 정도, 이송분력 9.5% 정도, 배분력 22.2% 정도의 영향이 미치는 것을 확인 하였다. 그러나 가장 중요한 주분력의 경우 4.3% 정도의 미세한 영향이 미치므로, 바이트 이송량을 선정할 때 설치각을 고려하지 않아도 좋을 것으로 해석된다.

5. 결 론

1) 바이트 설치각에 따른 절삭저항의 변화

설치각에 따른 절삭저항의 변화량은 미소하여 가공물의

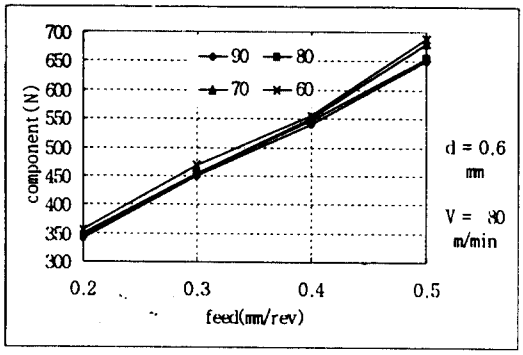

Fig. 14 Effect of Vertical Component on the Feed Speed Cutting Resistance by Setting Angle

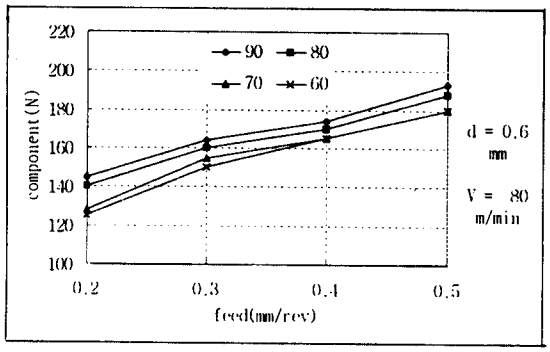

Fig. 15 Effect of Axial Component on the Feed Speed Cutting Resistance by Setting Angle

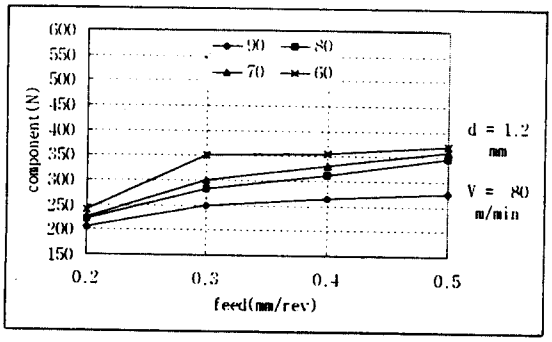

Fig. 16 Effect of Radial Component on the Feed Speed Cutting Resistance by Setting Angle

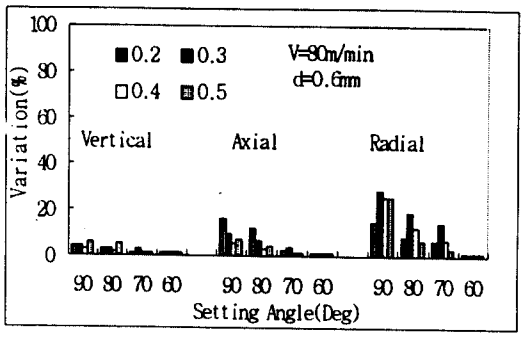

Fig. 17 The Variation rate of each Component force of Resistance force by Setting angle in Various Feed rate

형상, 공구의 형상등 작업자가 필요한 설치각으로 선정 하여도 좋을 것으로 사료된다.

2) 절삭속도에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

구성인선 임계속도는 설치각과 무관하게 120m/min에 근사하며, 주분력의 경우 설치각 60° 를 기준으로 90° 의 변화율을 비교하면 4.3% 정도의 미세한 영향이 미치는 것을 확인하였다.

3) 절삭깊이에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

절삭깊이가 증가하면 절삭저항 3분력은 모두 증가하며, 주분력의 경우 설치각 60° 를 기준 으로 90° 와 비교한 변화율은 6.4% 정도의 미소한 영향이 미치는 것을 확인하였다.

4) 이송에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

이송에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 주분력의 경우 설치각 60° 를 기준으로 90° 를 비교한 변화율은 4.3% 정도의 미소한 영향이 미치는 것을 확인하였다.

참고문헌

1. F. W. Taylor, "On the Art of Cutting Metals", ASME, p. 28, 1907.
2. M. E. Merchant "Mechanics of the Metal cutting Process" , Journal of Applied Physics, Vol. 16, 5, p. 267, 1945.
3. M. Kronenberg, "Machining Science and Appli-

cation", Pergaman Press, pp. 235~ 386. 1966.
4. J. N. Greenhow, "Orthogonal Cutting with Worn Tools", Int. J. Mech. Tool Des. Res., Vol. 9, pp. 1~16. 1969.
5. E. G. Lowen, M. C. Shaw, "On the Ananysis of Cutting Tool Temperature", Trans of ASME, Feb., 1954, p. 217.
6. 서 남섭 : 금속절삭이론, 동명사, pp. 52~89. 1994.
7. 염 영하 : 공작기계의 절삭이론, 동명사, pp. 55~81, pp. 115~134. 1995.
8. 염 영하 : 신편 공작기계, 동명사, pp. 35~38. Sept. 1944, pp. 168~175. 1995