

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 해석

및 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 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.

* 아주 대학교 기계 및 산업공학부

** 성남기능대학 생산자동화 학과

실험조건으로는 설치각, 절삭속도, 이송, 절삭 깊이를 변화시켜 실험하였다. 설치각이 절삭조건에 따라 절삭저항에 어떠한 영향을 미치는가를 분석, 고찰하여 산업현장에서 사용할 수 있는 설치각 조건을 제시 하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 실험기기

본 실험에서 사용한 실험기기의 제원을 정리 하여 표시하면 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of experiment equipment

No	Name	Description and specification
1	Lathe	1st class : DA-18 대우 Co. swing×Lengh between center 400×750 spindle speed : 45~1600
2	Tool Dynamo meter	Type : 9257B Vertical component of cutting Force : 1000(N) Radial component of cutting Force : 500(N) Axial component of cutting Force : 500(N) Product : KISTLER Switzerland Co.,Ltd
3	Charge Amplifier	Type : 5019A 110V or 220V 60 Hz 8 Channel Product : KISTLER Switzerland Co.,Ltd
4	Computer	Type : Spc 7600P Product : 삼성 Co.,Ltd
5	Inverter	Type : Starvert-Is3 0~400 Hz Product : LG Co.,Ltd

2-2. 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 2와 같다.

Table 2 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

2-3. 공구홀더

본 실험에 사용한 공구홀더(PTG NR 2020-K 16 Korloy Co)의 규격은 Table 3과 같다.

Table 3 Specification of Tool Holder

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

2-4. 사용재료

본 실험에서 사용한 재료는 일반적으로 널리 사용되는 SM15C를 사용하였으며, Table 4는 SM15C의 화학적 성분비를 Fig. 1은 시험편의 형상을 나타낸다.

Table 4 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

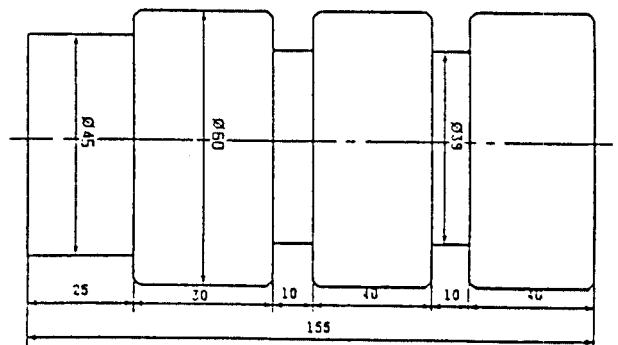


Fig. 1 Specimen Dimension

2-5. 실험장치

본 실험을 위한 실험장치는 Fig. 2와 같으며, 인서트 텃을 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 측정된 절삭력을 멀티채널 차지 앰프라이어(Mult Channel Charge Amplifier; type 5019A)를 통해 A/D 변환기에 의해 디지털 전압신호로 변환시켜 컴퓨터에 저장하였다.

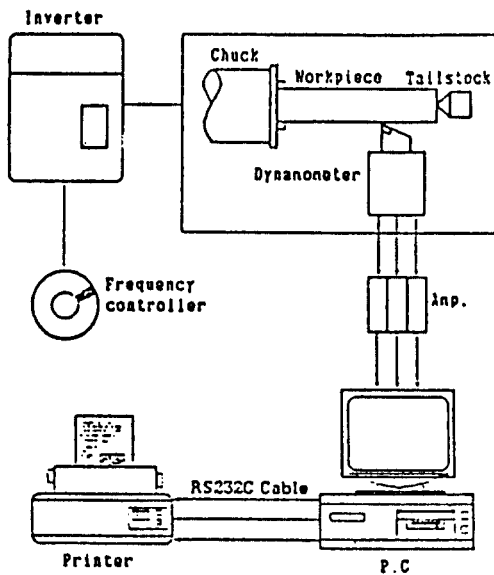


Fig. 2 Experimental Apparatus

2-6. 인버터 사용법

본 논문에서 사용한 선반의 모터 출력이 3.5/5.0 HP이므로 선삭시 구동력 부족으로 인한 과부하 현상을 방지하기 위하여 충분한 용량(7.5 HP)의 인버터를 사용하였다. 인버터의 운전방식은 수동 운전방식이며, 주파수를 변경시켜 선반의 회전수를 구하였다. 인버터의 분해능은 0.01 Hz로서 범용선반에서 130~1700 rpm의 비교적 정확한 회전수를 Table 5에 의하여 선정 실험하였다.

Table 5 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

2-7. 실험방법

제작한 시험편을 Fig. 2와 같은 실험 장치에서 선반의 주축에 시험편을 다이얼 인디케이터로 1/100 mm 이내로 정확히 고정하고 심압대에 베어링 센터(Bearing Center)로 견고하게 지지하였다. 정확한 회전수를 얻기 위하여 타코미터로 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 설계하므로써 설치각의 변화를 조정하여 실험하였으며, 실험 절삭조건은 Table 6과 같다. 시험편은 $\phi 60$ 에서 $\phi 40$ mm 까지 약 20 mm 정도 절삭하면서 실험 하였다.

Table 6 Cutting conditions for Experiment

Setting angle	Cutting speed	Feed	Depth of cut
90°	80	0.2	0.6
80°			
70°			
60°			

3. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 제작사의 추천절삭속도 범위 내에서 일반적으로 사용하는 Table 6에 의한 절삭조건으로 3각 인서트 팁(Throw away tool tip NC30P TNMG-120404GM)을 사용하여, SM15C를 압전소자형 공구동력계(Kistler 9257B)에서 측정된 절삭력은 Table 7~10과 같다.

설치각에 따른 절삭저항의 변화 Fig. 3~5, 절삭 속도에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향 Fig. 6~8, 절삭깊이에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향 Fig. 9~11, 이송에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 Fig. 12~14와 같고, 이것을 분석 고찰한 내용은 다음과 같다.

Table 7 Data of Cutting Force(90°)

setting angle 90°													
Cutting speed	80 m/min			120 m/min			160 m/min			200 m/min			
	cutting component			cutting component			cutting component			cutting component			
	F _V	F _F	F _R	F _V	F _F	F _R	F _V	F _F	F _R	F _V	F _F	F _R	
0.2 mm / rev	0.4	235	135	130	230	130	115	220	120	113	205	115	110
	0.6	340	145	205	300	143	200	290	140	180	280	132	175
	0.8	375	148	270	370	145	265	360	143	260	330	138	240
0.3 mm / rev	1.0	480	160	338	450	154	325	435	149	315	430	141	260
	0.4	300	150	135	275	145	120	265	140	120	250	134	110
	0.6	450	164	250	410	158	241	380	153	230	370	145	210
0.4 mm / rev	0.8	550	171	340	540	167	319	520	159	310	515	155	265
	1.0	670	185	390	635	181	370	620	180	360	600	176	340
	0.4	355	168	138	350	160	120	350	158	120	325	153	118
0.5 mm / rev	0.6	540	174	265	530	168	244	470	164	230	465	157	224
	0.8	690	184	355	645	172	340	630	167	340	610	162	280
	1.0	850	198	460	820	186	430	748	180	410	740	177	380
0.5 mm / rev	0.4	440	180	140	410	174	125	400	169	125	400	160	119
	0.6	650	193	275	635	187	270	575	180	241	570	170	225
	0.8	850	230	420	820	220	410	750	215	350	740	209	345
1.0	1070	255	520	990	245	490	930	233	480	843	228	460	

Table 8 Data of cutting force (80°)

setting angle 80°													
Cutting speed	80 m/min			120 m/min			160 m/min			200 m/min			
	cutting component			cutting component			cutting component			cutting component			
	F _V	F _F	F _R	F _V	F _F	F _R	F _V	F _F	F _R	F _V	F _F	F _R	
0.2 mm / rev	0.4	238	132	140	231	130	140	220	118	135	210	110	130
	0.6	345	140	220	300	135	208	295	130	185	290	125	180
	0.8	388	145	270	385	140	270	380	138	267	340	134	259
0.3 mm / rev	1.0	494	155	343	480	151	335	440	145	319	440	140	305
	0.4	305	143	173	290	139	164	270	134	145	265	130	140
	0.6	455	160	283	420	154	274	395	147	266	380	143	235
0.4 mm / rev	0.8	555	168	348	545	160	341	530	155	330	520	150	280
	1.0	675	180	420	640	175	390	630	170	385	620	165	360
	0.4	370	163	174	355	155	170	355	150	160	330	146	150
0.5 mm / rev	0.6	545	170	310	540	167	285	480	160	280	470	155	265
	0.8	695	180	420	645	170	383	640	165	370	620	160	348
	1.0	860	195	520	838	180	470	750	180	415	745	175	410
0.5 mm / rev	0.4	453	175	213	420	170	194	420	168	185	410	160	180
	0.6	655	188	345	635	185	320	585	180	310	580	165	305
	0.8	868	220	470	830	215	415	760	210	388	755	206	380
1.0	1110	245	640	1000	240	520	940	230	500	848	225	480	

Table 9 Data of cutting force (70°)

setting angle 70°													
Cutting speed	80 m/min			120 m/min			160 m/min			200 m/min			
	cutting component			cutting component			cutting component			cutting component			
	F _V	F _F	F _R	F _V	F _F	F _R	F _V	F _F	F _R	F _V	F _F	F _R	
0.2 mm / rev	0.4	240	120	160	235	115	160	230	110	153	220	108	145
	0.6	350	128	225	305	120	220	300	118	218	290	110	204
	0.8	390	130	309	390	123	300	380	120	293	350	118	285
0.3 mm / rev	1.0	500	148	350	490	130	340	450	125	320	440	123	320
	0.4	310	138	200	290	125	185	280	120	180	270	116	170
	0.6	455	155	300	430	140	285	400	135	279	395	130	270
0.4 mm / rev	0.8	560	161	390	550	150	365	540	140	340	520	135	330
	1.0	680	175	430	640	165	420	630	150	410	630	145	400
	0.4	380	157	215	360	143	200	360	136	196	340	131	190
0.5 mm / rev	0.6	550	165	330	540	160	310	485	153	290	480	148	270
	0.8	700	175	430	650	164	400	640	160	370	630	155	360
	1.0	870	190	530	840	176	495	760	174	420	760	170	420
0.5 mm / rev	0.4	455	169	230	440	167	224	430	160	196	420	153	190
	0.6	680	180	360	640	180	350	610	175	340	605	160	330
	0.8	870	215	480	840	210	420	770	205	420	760	200	400
1.0	1120	238	643	1020	230	520	950	220	500	900	210	480	

Table 10 Data of Cutting Force(60°)

setting angle 60°													
Cutting speed	80 m/min			120 m/min			160 m/min			200 m/min			
Component	cutting component			cutting component			cutting component			cutting component			
depth	F _V	F _F	F _R	F _V	F _F	F _R	F _V	F _F	F _R	F _V	F _F	F _R	
feed of cut													
0.2 mm / rev	0.4	245	115	180	240	110	175	238	105	158	230	101	150
	0.6	355	125	240	310	118	230	305	110	222	295	108	210
	0.8	415	128	342	400	120	334	390	118	300	360	115	290
	1.0	520	140	365	495	128	352	460	120	347	450	118	335
0.3 mm / rev	0.4	325	130	239	300	120	222	285	112	204	280	109	200
	0.6	470	150	350	440	140	290	420	134	287	411	130	270
	0.8	560	155	445	550	150	371	540	140	346	525	135	340
	1.0	690	170	456	660	160	428	648	150	423	641	140	410
0.4 mm / rev	0.4	390	155	240	371	140	228	365	135	215	355	130	207
	0.6	555	165	355	545	160	319	490	152	298	491	146	283
	0.8	705	170	446	660	163	405	648	160	383	630	152	380
	1.0	880	188	540	850	176	511	770	172	430	765	168	426
0.5 mm / rev	0.4	460	168	248	445	165	235	435	153	230	430	147	226
	0.6	690	180	370	650	176	359	620	170	345	609	158	335
	0.8	880	210	485	850	207	440	800	205	430	780	190	400
	1.0	1130	230	644	1030	220	540	980	209	530	965	200	495

3-1. 바이트 설치각(Setting Angles)에

따른 절삭저항의 변화

바이트 설치각에 따른 절삭저항의 변화는 Fig. 3~5에서 나타난 바와 같이 설치각이 감소할때, 주분력과 배분력값은 증가하고 이송분력은 감소하는 현상을 나타낸다. 이때 주분력은 설치각이 감소함에 따라 비례적인 증가현상과 함께 절삭속도 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 미소하여, 작업자의 필요에 따라 설치각을 선정해도 좋을것으로 사료된다.

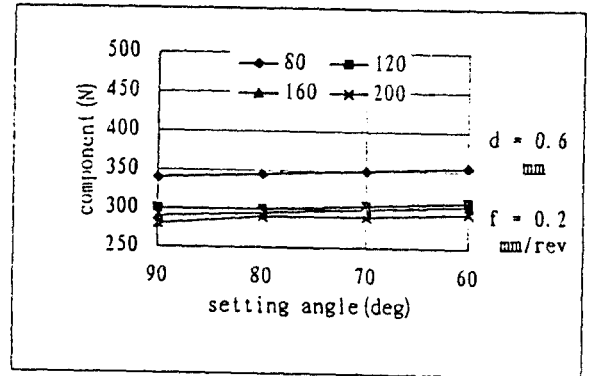


Fig. 3 Variation in Cutting Resistance Vertical Component by Setting Angle

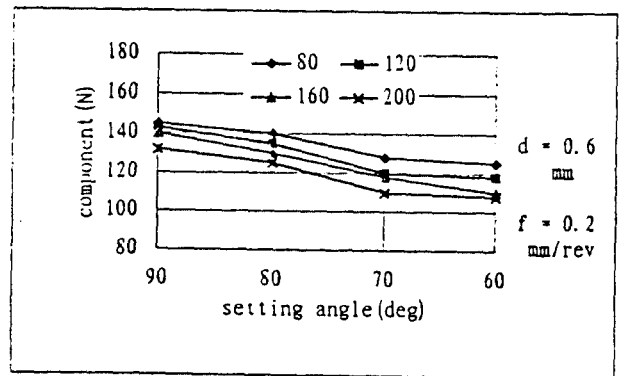


Fig. 4 Variation in Cutting Resistance Axial Component by Setting Angle

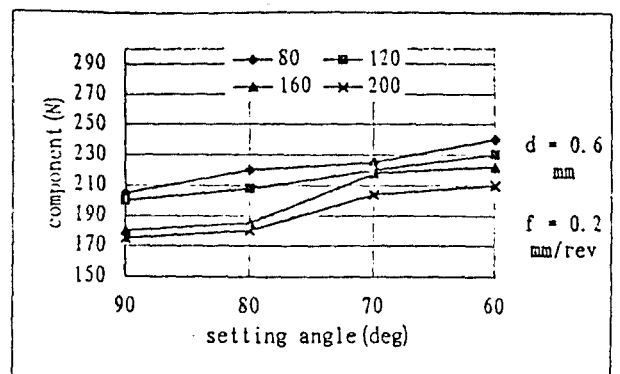


Fig. 5 Variation in Cutting Resistance Radial Component by Setting Angle

3-2. 절삭속도에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

절삭속도에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 Fig. 6~8에서 나타난 바와 같이 절삭속도가 증가 할수록 절삭저항 3분력은 모두 감소하는 현상을 나타 낸다. 절삭저항의 감소 현상은 절삭속도 증가에 따른 마찰열로 인한 가공물의 경도저하 및 칩의 형성에 따른 소성변형 시간 단축으로 인한 절삭력의 크기가 감소 하는 현상, 구성인선(B. U. E)의 감소 및 소멸의 영향으로 해석된다. 주분력은 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 0° 일 때 절삭저항값이 가장 크고 설치각이 60° 일 때 가장 적은 값을 나타 내며, 이러한 현상은 주분력과, 배분력의 정반대 현상으로 절삭저항의 힘의 합성에서 힘의 균형을 유지하기 위한 현상으로 해석된다.

그러나 절삭속도에서 절삭저항이 미치는 영향은 매우 미소하여 설치각이 절삭속도 선정에는 많은 영향을 주지 않는 것으로 해석된다.

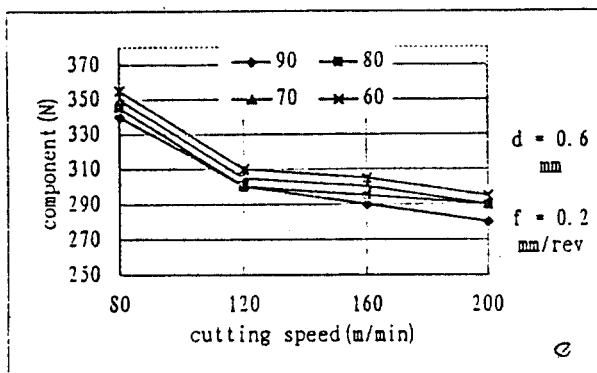


Fig. 6 Effect of Vertical Component on the Cutting Speed Cutting Resistance by Setting Angle

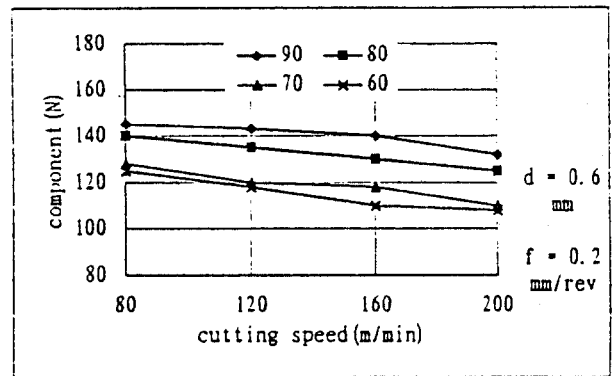


Fig. 7 Effect of Axial Component on the Cutting Speed Cutting Resistance by Setting Angle

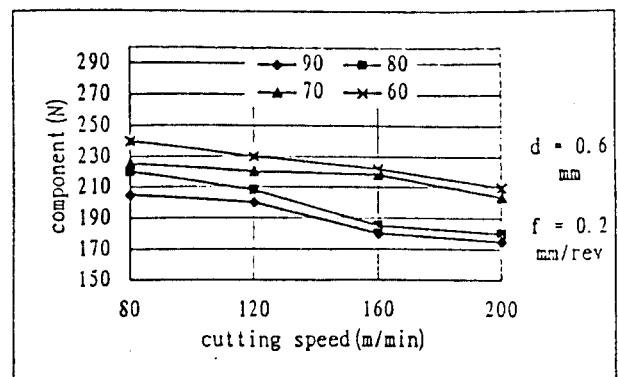


Fig. 8 Effect of Radial Component on the Cutting Speed Cutting Resistance by Setting Angle

3-3. 절삭 깊이에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

절삭깊이에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 Fig. 9 ~ Fig. 11에서 나타난 바와 같이 절삭깊이가 증가하면 절삭저항 3분력 모두 증가한다. 주분력은 $F_c = K_s \times A^{(9)}$ 식과 잘 일치하는 것으로 해석된다. 이송분력은 설치각 0° 일 때 절삭저항값이 가장크고, 설치각 60° 일 때 절삭저항값이 가장적다. 이것은 4-2의 이송분력과 동일한 현상이다. 절삭깊이에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 주분력 < 이송분력 < 배분력 순이나, 그 영향은 미소 하다.

3-4. 이송에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

이송에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 Fig. 12 ~ Fig. 14에서 나타난 바와 같이 이송이 증가하면 절삭저항 3분력 모두 증가한다. 이송에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 주분력 < 이송분력 < 배분력 순이며, 그 영향은 미소한 하다.

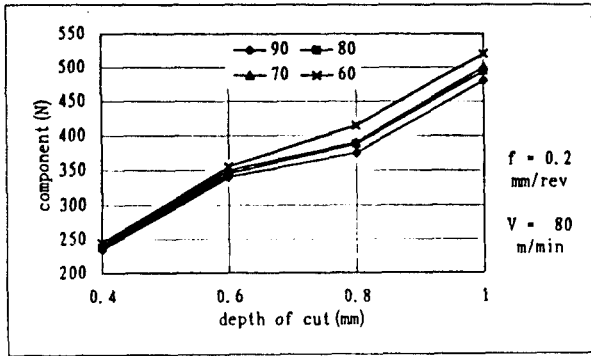


Fig. 9 Effect of Vertical Component on the Depth of Cut Speed Cutting Resistance by Setting Angle

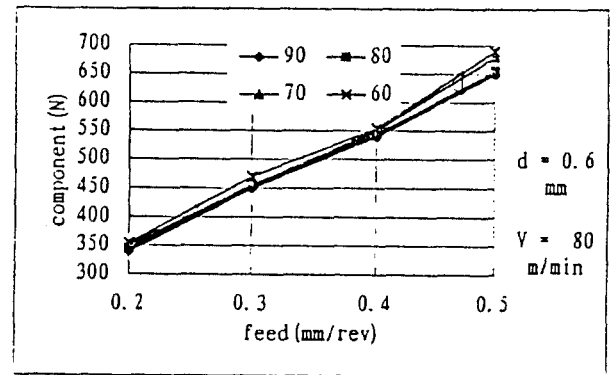


Fig. 12 Effect of Vertical Component on the Feed Speed Cutting Resistance by Setting Angle

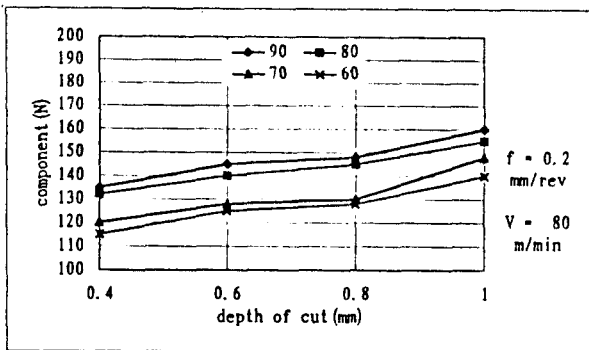


Fig. 10 Effect of Axial Component on the Depth of Cut Speed Cutting Resistance by Setting Angle

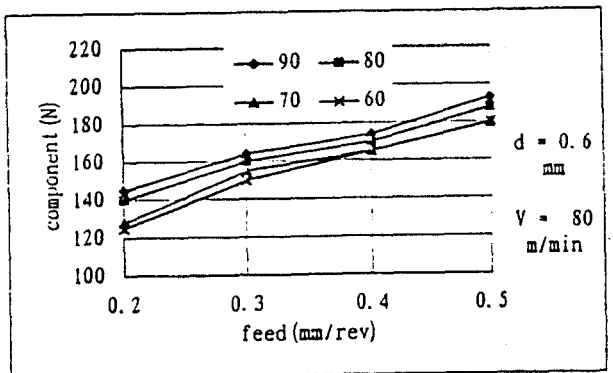


Fig. 13 Effect of Axial Component on the Feed Speed Cutting Resistance by Setting Angle

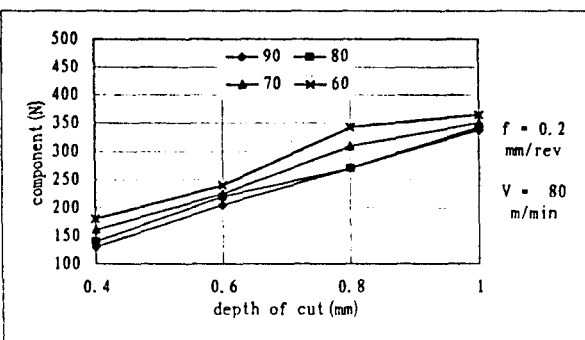


Fig. 11 Effect of Radial Component on the Depth of Cut Speed Cutting Resistance by Setting Angle

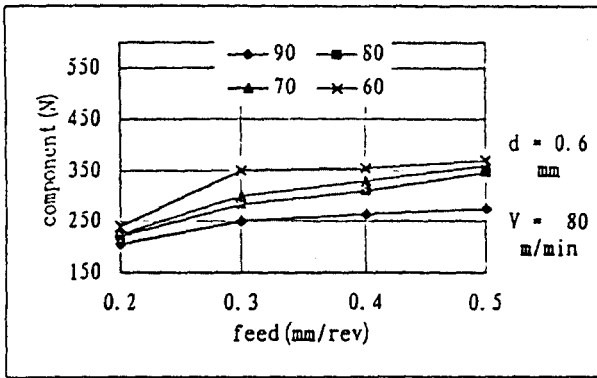


Fig. 14 Effect of Radial Component on the Feed Speed Cutting Resistance by Setting Angle

4. 결론

1) 바이트 설치각에 따른 절삭저항의 변화

설치각에 따른 절삭저항의 변화량은 미소하여 가공물의 형상등 작업자가 필요한 설치각으로 선정 하여도 좋을 것으로 사료된다.

2) 절삭속도에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

구성인선 임계속도는 설치각과 무관하게 120 m/min이며, 이송분력의 크기는 설치각에 따라 주분력과 배분력의 역순으로 나타난다.

3) 절삭깊이에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

절삭깊이가 증가하면 절삭저항 3분력은 모두 증가하며, 설치각의 영향은 주분력 < 이송분력 < 배분력 순이며, 그 영향은 미소한 것으로 해석된다.

4) 이송에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향

이송에 따라 설치각이 절삭저항에 미치는 영향은 주분력 < 이송분력 < 배분력 순이며, 영향은 미소 하다.

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 Application", 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 Anagnosis of Cutting Tool Temperature", Trans of ASME, Feb., 1954, p. 217.
6. 서 남섭 : 금속절삭이론, 동명사, pp. 52~89. 1994.
7. 엮 영하 : 공작기계의 절삭이론, 동명사, pp. 55~81, pp. 115~134. 1995.
8. 엮 영하 : 신편 공작기계, 동명사, pp. 35~38. Sept. 1944, pp. 168~175. 1995
9. 서 남섭 : 신판 기계공작법 ,동명사 pp. 659~661. 1996.