

## 선삭가공에서 절삭저항과 표면거칠기에 미치는 영향에 관한 연구

신근하\*, 이건준\*\*

### A Study on the Effects of Cutting Resistance and Surface Roughness in Turning

Shin Keun Ha\* , Lee Gun Joon\*\*

#### Abstract

The purpose of this study was to determine the effects of various cutting conditions on the cutting resistance and surface roughness of material in turning operation using a carbide tool. The workpiece materials were the carbon steel SM20C and SM45C. The results of this study are summarized as follows:

The cutting force decreases as the feeding amount and cutting depth decrease and the cutting speed increases. In order to obtain a proper surface roughness to each material, it is desirable to set the feeding amount as 0.059mm/rev, the cutting depth as 0.4mm and the cutting speed as 270m/min for SM20C, while setting the feeding as 0.059mm/rev, the cutting depth as 0.6mm and the cutting speed as 270m/min for SM45C.

## 1. 서 론

산업발달과 더불어 기계공업 제품의 품질향상과 경제적인 가공을 위한 요구가 높아지면서 생산성 향상을 위하여 절삭가공 공정이 차지하는 비중은 날로 증가하고 있으며 공작기계에 의한 절삭가공은 제작할 부품의 모양, 구비할 기계적 강도 및 생산수량에 따라 적당한 재료와 가공법을 선정하고 가장 경제적인 생산을 하는 것은 매우 중요한 과제라 할 수 있다.

선삭가공시 단위 시간당의 Chip 제거량에 영향을 미치는 절삭조건에서는 공구재료와 공구형상, 절삭저항<sup>1,2)</sup> 절삭속도, 이송, 때로는 절삭유

재의 유무등이 공구수명, 공작물의 형상치수, 가공면의 거칠기 뿐만 아니라 절삭동력<sup>3)</sup> 등에도 많은 영향을 미치게 한다.

이와 같은 영향으로 徳丸芳男<sup>4)</sup>은 절삭속도와 이송 관계는 고속절삭에서 이송을 적게 주면 정밀도가 높은 다듬질을 얻을 수 있다고 제시하였고, GREENHAW, RUBENSTEIN<sup>5)</sup> 등은 절삭속도와 이송변화가 표면거칠기 및 절삭력에 미치는 영향에 대하여 발표하였다.

이상의 영향에서 선삭가공시 절삭능률을 높이기 위한 수단으로서 절삭속도를 높일 필요가 있으나 공구수명이 이것을 제한하고 있으므로 절삭조건 변화에 따른 최적절삭조건 선정

\* 아주대학교 기계공학부

\*\* 성남기능대학 금형기술학과

합리적으로 결정하는데 필요한 정보를 얻는데는 한계가 있다.

그러므로 본 연구에서는 기계구조용탄소강 SM20C와 SM45C의 가공재를 피복초경합금공구 Insert KT250으로 선정된 절삭속도, 이송량 및 절삭깊이로 선삭가공을 실시할 때 절삭저항과 표면거칠기에 대한 상호 특성 변화와 최적절삭조건을 구명 함으로서 산업현장에서 활용할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2-1. 절삭공구 및 시편

#### 2-1-1. 실험 재료

본 실험에 사용된 시험편 재료는 기계구조용 탄소강 중에 SM20C와 SM45C를 선정하였으며, 재료의 화학적 조성 성분비와 기계적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical composition of test materials

Composition Metal	C	Mn	Si	P	S
SM 20 C	0.19	0.53	0.26	0.024	0.025
SM 45 C	0.45	0.64	0.18	0.021	0.03

#### 2-1-2. 시험편 가공

본 실험을 위하여 직경 50mm, 길이 155mm인 SM20C 및 SM45C 강재의 환봉을 선반의 주축에 Dial Indicator로 Center를 찾아 고정하여 Center Drilling한 후 Tail Stock Center로 지지하면서 Fig. 1과 같은 형상의 치수로 각 재료별로 16개씩 가공하였다.

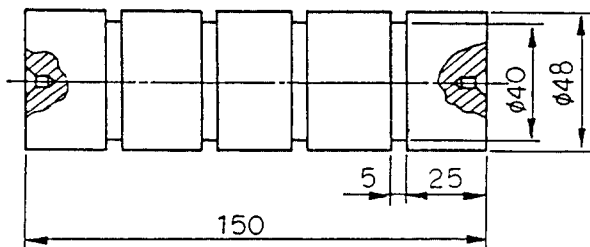


Fig. 1 Specimen dimensions

### 2-1-3. 절삭공구 및 공구 holder

본 실험에서 사용된 절삭공구는 피복초경합금공구 Insert KT250 (CNMG 120404 KA, Korea Tungsten Mining Co., Ltd)을 선정하였으며 그 규격은 Table 2와 같으며 Tool holder는 PCLNR 2020 K12 (Korea Tungsten Mining Co., Ltd)로써 제원은 Table 3과 같다.

Table 2 Specification of tip

Tip shape	d	t	Nose radius	C/B Type
Diamond 80°	12.7mm	4.76mm	0.4mm	양면사용 KA

Table 3 Specification of tool holder

Type	Clamping System	Insert Shape	Entering Angle	Clearance Angle	Version
PCLNR 2020 K12	Hole Clamping	Diamond 80°	95°	0°	Right

### 2-2. 실험기기 및 장치

#### 2-2-1. 실험 기기

본 실험에서 사용된 주요 실험기기의 제원을 정리하여 표시하면 Table 4와 같다.

Table 4 Specification of experimental equipments

No	Name	Description of specification
1	Lathe	<ul style="list-style-type: none"> <li>Model : TIPL-4</li> <li>Swing : 400</li> <li>Spindle speed : 45 - 1800 (12step)</li> <li>Feed rate : 0.059 - 0.627 (32step)</li> <li>Product : Seail Co.</li> </ul>
2	Tool Dynamometer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type : 92578B</li> <li>Vertical component : 10000 N</li> <li>Radial component : 5000 N</li> <li>Axial component : 5000 N</li> <li>Product : Kistler Co.</li> </ul>
3	Charge Amplifier	<ul style="list-style-type: none"> <li>Type : 5019A 140, 35VA</li> <li>Product : Kistler Co.</li> </ul>
4	Surface Roughness Tester	<ul style="list-style-type: none"> <li>Detector : No. 178-350</li> <li>Driving/display unit : No. 178-207</li> <li>Range : 0.5 μm - 250 μm</li> <li>Product : Mitutoyo Co.</li> </ul>

## 2-2-2. 실험 장치

본 실험을 위하여 설치한 실험장치는 Fig. 2와 같으며 세부 규격은 Table 4와 같다.

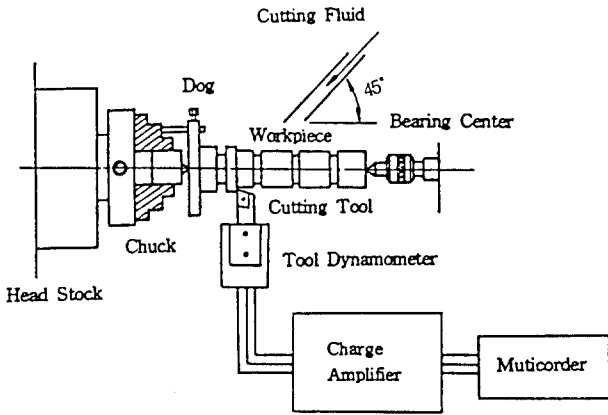


Fig. 2 Schematic diagram of experimental equipments

## 2-3. 실험 방법

Fig. 2와 같은 실험장치에 절삭공구를 공구 Holder에 삽입하여 Tool Dynamometer의 공구대에 고정시키고 제작한 시험편에 Dog를 끼우고 고정하여 선반 주축 Center와 심압대 Center 사이에 설치한 다음, 절삭유를 45° 방향에서 분사하고 있는 상태에서 제작사에서 추천한 Table 5와 같은 절삭조건으로 절삭실험을 실시할 때 Tool Dynamometer에서 Charge Amplifier를 통하여 Muticorder에 절삭의 3분력인 주분력, 배분력 및 이송분력을 출력하도록 하였으며 이때 각각의 분력 단위는 N으로 나타나게 하였다.

그리고 절삭실험을 실시한 시험편의 가공면을 깨끗이 닦아 Surface Roughness Tester로 표면 거칠기를 120° 위상으로 3번 측정후 평균치를 기록하였다.

Table 5 Cutting conditions for the experiment

Feed rate (mm/rev)	Depth of cut (mm)	Cutting speed (m/min)
0.059	0.4	80
0.104	0.6	130
0.139	0.8	180
0.185	1.0	270

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2와 같은 실험장치로 Fig. 1과 같은 형상 치수로 제작한 SM20C와 SM45C 2종 강재의 시험편을 Insert KT250 공구로 Table 5와 같이 선정한 절삭조건을 적용시켜 절삭가공을 실시하여 절삭의 3분력인 주분력, 배분력 및 이송분력의 결과를 도시하면 Fig. 3~7과 같다. 또한 시험편의 표면을 깨끗하게 세척하여 표면거칠기를 Surface Roughness Tester로 120° 위상으로 3번 측정하고 이를 평균한 값을 정리하여 도시하면 Fig. 8~16과 같은 결과를 얻게되었다.

### 3-1. 절삭속도에 의한 절삭력 변화

Fig. 3~7은 Table 5와 같은 절삭조건으로 선삭가공을 실시하였을 때 조건에 따른 절삭저항 측정값과 절삭속도의 변화에 따른 주분력, 배분력, 이송분력의 변화 관계를 도시한 그림이다.

그림에서 알 수 있듯이 절삭저항은 절삭속도를 저속으로 선정하고 이송량과 절삭깊이를 크게 선정할 수록 증가하는 폭이 크게 형성되어 있으나 이송량과 절삭깊이를 일정하게 하고 점차적으로 절삭속도를 증가시키면 절삭저항은 감소하는데 이는 절삭유 공급으로 인한 윤활작용과 공구의 윗면과 Chip사이의 마찰계수 감소 및 고속 절삭시 공작물이 고열에 의하여 연화 등으로 인한 것으로 해석이 되며 3분력의 크기는 그림과 같이 주분력이 가장 크고 일반적으로 다음은 이송분력, 그리고 배분력의 순서로 형성되어 있다.

SM20C에서는 절삭깊이 0.4mm, 이송량 0.059mm/rev 이상에서 절삭속도에 무관하게 이송분력보다 배분력이 크게 나타나며 SM45C에서는 절삭깊이 0.4mm, 이송량 0.139mm/rev 이상을 선정하고 절삭속도 80m/min 이상을 선정하였을 때 이송분력보다 배분력이 크게 형성되어 나타남을 알 수 있다.

그리고 절삭저항은 두 재료 모두 절삭깊이 1mm, 이송량 0.185mm/rev 및 절삭속도 80m/min를 선정하여 절삭가공을 실시할 때 가장 크게 나타나며 또한 절삭깊이 0.4mm 이송량 0.059mm/rev 및 절삭속도 270m/min에서 주분력, 배분력, 이송분력 모두 가장 작게 나타내고 있다.

이상에서 고찰할 때 선삭가공시 단위 시간당 질삭능률이나 효율적인 질삭동력을 고려한다면 두 재료 모두 이송량과 질삭깊이를 작게 선정하고 질삭속도는 크게 선정하는 것이 바람직 하다고 본다.

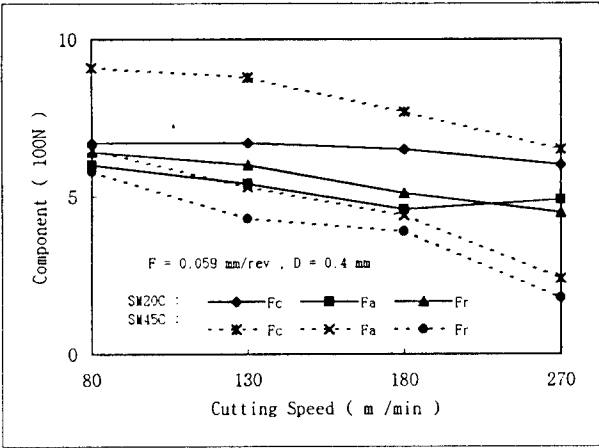


Fig. 3 Variation of cutting component with cutting speed

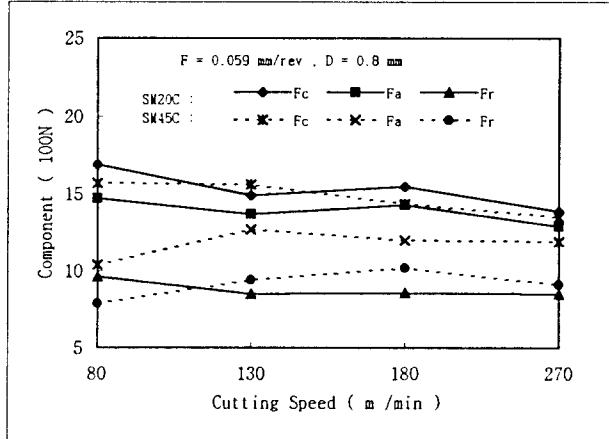


Fig. 4 Variation of cutting component with cutting speed

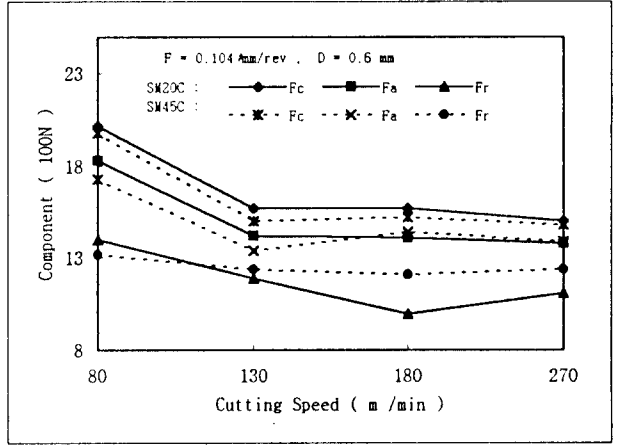


Fig. 5 Variation of cutting component with cutting speed

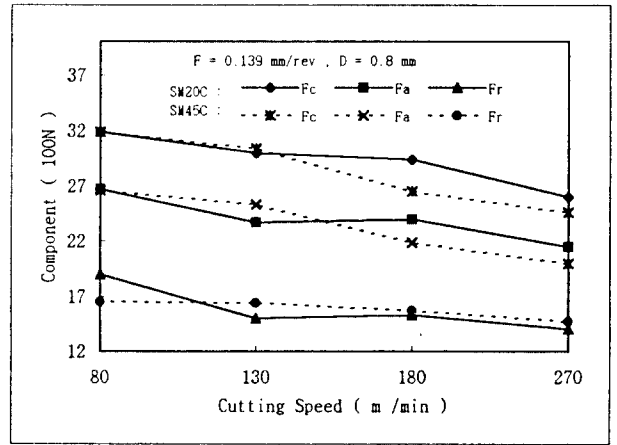


Fig. 6 Variation of cutting component with cutting speed

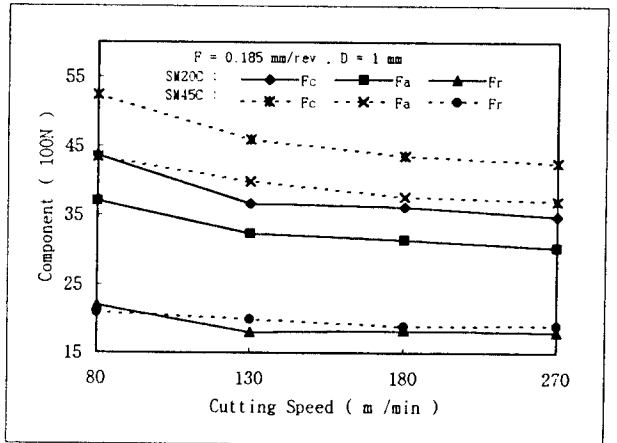


Fig. 7 Variation of cutting component with cutting speed

### 3-2. 절삭속도에 의한 표면거칠기 변화

Fig. 8~10은 선삭가공을 실시하였을 때 조건에 따른 표면거칠기를 구하고 이것을 정리하여 절삭속도의 변화에 따른 표면거칠기의 변화 관계를 도시한 그림이다.

일반적으로 절삭속도를 증가 시킬수록 표면거칠기 변화 양상은 양호한 표면거칠기를 나타내고 있으나 절삭깊이와 이송량을 작게 선정하고 절삭속도를 저속에서 고속으로 증가 시키면 저속에서 가장 거칠고 절삭속도 130m/min까지 거칠기가 수직하강 곡선을 그리다가 점차적으로 수평 및 적게 감소하는 경향을 나타내고 이송량 0.139mm/rev 이상에서 표면거칠기는 감소하는 경향이 완만하게 형성된다.

그러나 절삭깊이를 0.4mm, 이송량은 0.059mm/rev, 절삭속도를 270m/min로 선정하여 절삭할 때 표면거칠기가 가장 양호하게 나타난다. SM20C에서는 절삭깊이는 작게 선정하고 이송량 0.104mm/rev에서 절삭속도 80m/min을 선정하였을 때 가장 불량해지며 절삭속도가 증가할수록 감소 또는 완만하게 유지함을 알 수 있다. 이는 고속절삭으로 인한 구성인선이 점차 소멸되는 동시에 절삭유 공급에 따라 냉각 및 윤활작용으로 Chip의 간섭을 방지해준 것으로 해석된다.

그리고 SM45C에서는 절삭깊이 0.4mm에서 이송량 0.059mm/rev 이상을 선정하고 절삭속도 80m/min로 가공할 때 표면거칠기가 매우 불량하게 나타나며 절삭속도가 증가할수록 감소 또는 완만하게 곡선을 유지하며 이송량은 0.059mm/rev, 절삭깊이를 0.6mm로 하여 절삭속도 270m/min로 선정하였을 때 가장 양호한 표면거칠기를 나타내며 SM20C에서는 절삭깊이 0.4mm, 이송량 0.059mm/rev, 절삭속도 270m/min를 선정하여 절삭할 때 가장 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있다.

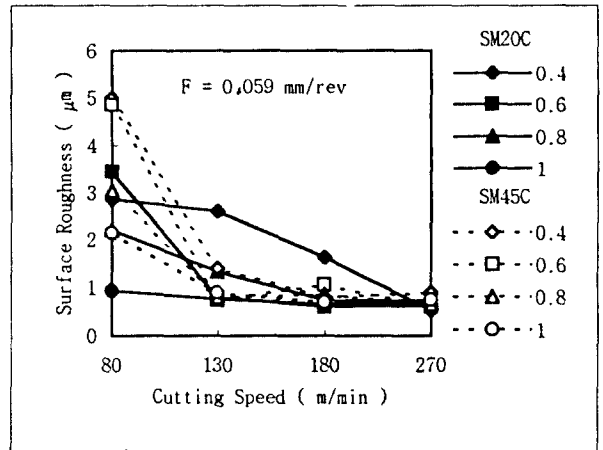


Fig. 8 Variation of surface roughness between feedrate and cutting speed

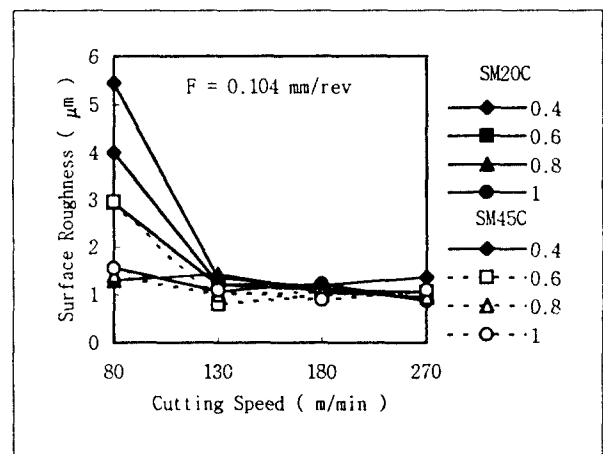


Fig. 9 Variation of surface roughness between feedrate and cutting speed

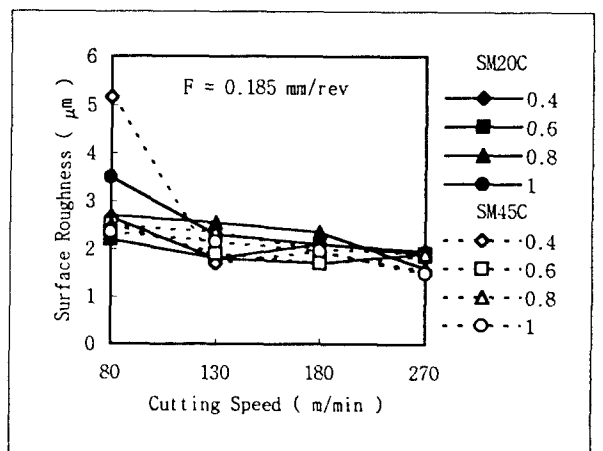


Fig. 10 Variation of surface roughness between feedrate and cutting speed

### 3-3. 이송량에 의한 표면거칠기 변화

Fig. 11~13은 이송량 변화에 따른 표면거칠기의 변화 관계를 도시한 그림이다.

그림에서 알 수 있듯이 두 재료 모두 이송량을 증가 시키면 표면거칠기 변화 양상은 불량해지는 경향의 공통성을 나타내고 있으나 절삭깊이와 이송량을 작게 선정하고 절삭속도를 크게 선정할 때 표면거칠기 곡선이 가장 양호한 상태를 유지하며 SM20C에서는 절삭속도가 저속인 상태에서 절삭깊이를 작게 선정하여 이송량 0.059mm/rev에서 표면거칠기가 가장 불량하게 나타나다가 이송량 0.104mm/rev와 이송량 0.139mm/rev에서 불규칙하게 곡선을 그리고 절삭속도 130m/min 이상에서는 이송량 증가와 더불어 점차 완만하게 상승 곡선을 나타내며 SM45C에서는 이송량 증가에 관계 없이 절삭깊이 0.4mm에서 저속으로 가공할 때 가장 거칠게 나타나는 경향이 있으며 두 재료 모두 이송량과 절삭깊이 증가에 따라 표면거칠기 변화가 완만하게 상승하는 것은 Chip의 간섭 원인으로 해석된다.

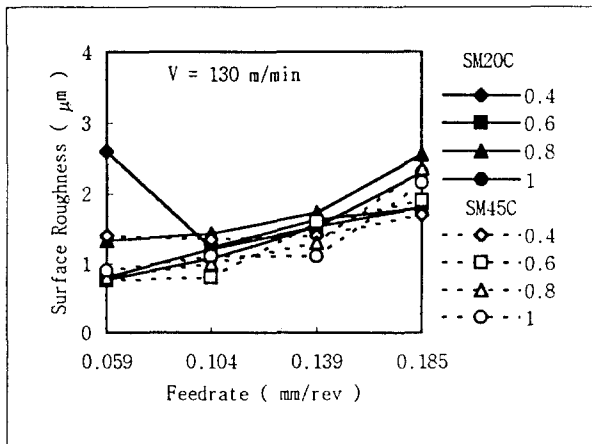


Fig. 11 Variation of surface roughness between cutting speed and feedrate

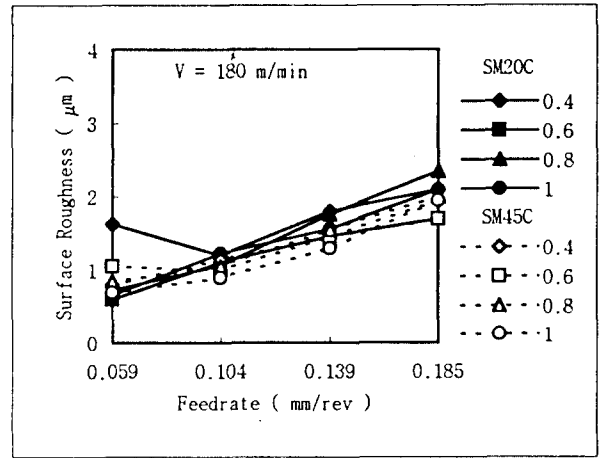


Fig. 12 Variation of surface roughness between cutting speed and feedrate

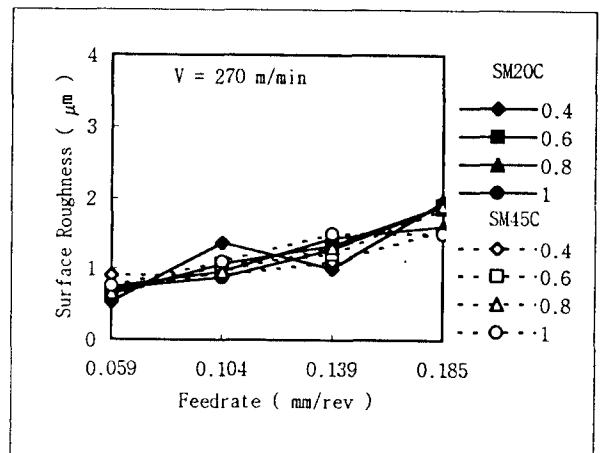


Fig. 13 Variation of surface roughness between cutting speed and feedrate

### 3-4. 절삭깊이에 의한 표면거칠기 변화

Fig. 14~16은 절삭깊이의 변화에 따른 표면거칠기 변화 관계를 도시한 그림이다.

그림에서 알 수 있듯이 절삭깊이를 증가 시키면 표면거칠기 곡선은 변화폭이 적음을 알 수 있으며 SM20C와 SM45C 모두 절삭속도를 저속으로 절삭깊이와 이송량을 작게 선정하여 적용 시키면 표면거칠기가 불량해지는 경향이 있으나 절삭속도 증가와 이송량 감소에 따라 표면거칠기가 양호하게 나타나고 있다.

그리고 SM20C에서는 절삭속도가 80m/min, 절

삭깊이가 일정한 상태에서 이송량이 증가할 수록 표면거칠기는 양호한 곡선을 그리며 절삭깊이를 증가 시키고 이송량을 적게 적용 시키면 양호한 표면거칠기 곡선이 나타나고 SM45C에서는 절삭속도 130m/min로 선정하였을때는 절삭깊이가 증가와 더불어 이송량에 따라 거칠기 곡선이 상반되는 양상을 나타내나 절삭속도 180m/min이상에서는 절삭깊이가 증가에 따라 거칠기 곡선이 완만하게 나타나는 경향을 보인다.

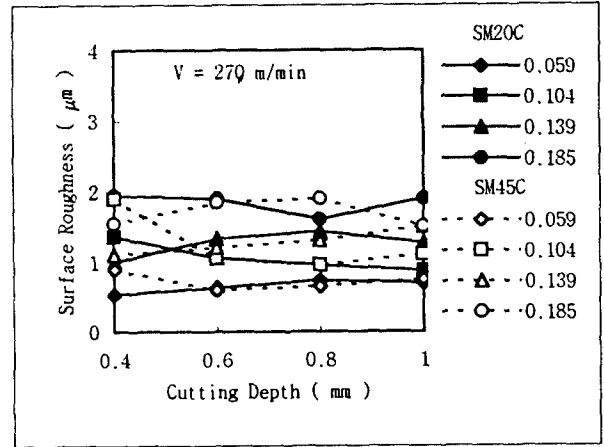


Fig. 16 Variation of surface roughness between cutting speed and depth of cut

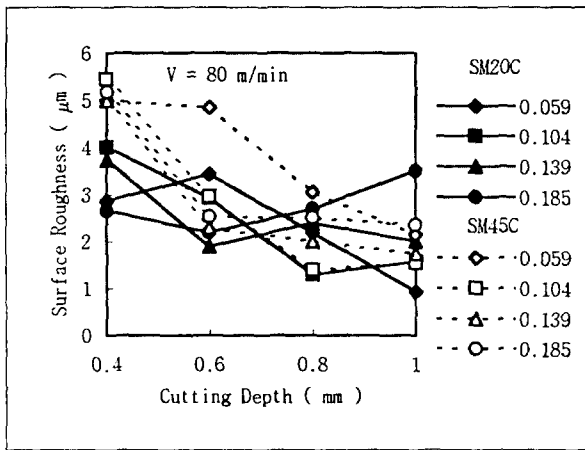


Fig. 14 Variation of surface roughness between cutting speed and depth of cut

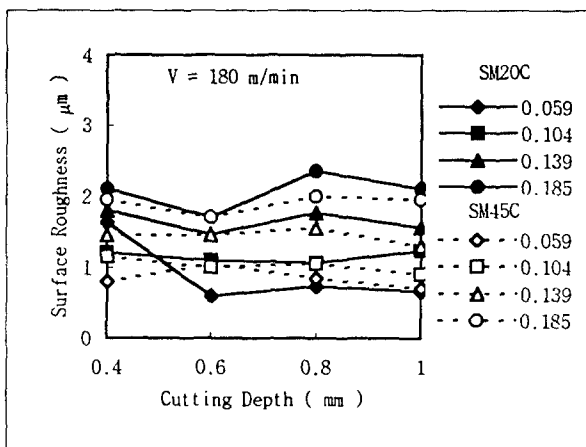


Fig. 15 Variation of surface roughness between cutting speed and depth of cut

#### 4. 결 론

이상과 같이 피복초경합금공구로 기계구조용탄소강 SM20C와 SM45C를 선정한 절삭조건에 의하여 선삭실험을 실시할 때 공구에 작용하는 절삭의 3분력을 공구동력계로 측정하고, 가공된 시편의 가공면을 Surface Roughness Tester로 측정하여 그 결과를 분석, 고찰하여 각 절삭조건에 따른 절삭저항과 가공면의 표면거칠기에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 절삭분력은 이송량과 절삭깊이를 작게 선정할 수록 작아지고 절삭속도 증가에 따라 감소하는 경향을 갖는다.
2. 전반적으로 주분력이 가장크고 이송분력, 배분력순서로 형성되어 있으나 절삭깊이 0.4mm, 절삭속도 80m/min이상에서 재료별로 SM20C에서는 이송량 0.059mm/rev이상, SM45C에서는 0.139mm/rev이상에서 이송분력보다 배분력이 크게 형성 되는 것을 확인하였다.
3. 각 재료별로 양호한 표면거칠기를 얻으려면 SM20C에서는 이송량을 0.059mm/rev, 절삭깊이는 0.4mm, 절삭속도를 270m/min로 선정하고, SM45C에서는 이송량은 0.059mm/rev, 절삭깊이는 0.6mm, 절삭속도를 270m/min로 선정하는 것이 바람직하다.

## 참고문헌

1. J. F. Sarnicola外 1名, "Effect of surface slope on machining force during wave removing", Trans A.S.M.E., pp.1202-1206, 1974.
2. 白井英治外 1名, "接觸面積拘束工具의 切削成의 研究", 精密機械 30卷 3號, pp.280-281, 1964.
3. 竹山秀彦, "切削標準設定に關する研究", Journal of the J.S.M.E. Vol.66, No 532, pp.638-648, 1963.
4. 徳丸芳男, "切削加工(下)", 市ヶ谷出版社, pp.70-74, 1976.
5. J. N. Greenhaw外 1名, "The dependence of cutting force on feed and speed in orthogonal cutting with worn tools", Int. J. Mech. Tool des. Res. Vol.9, pp.4-16, 1969.
6. 金永振, 金弘在, "精密工作法", 大光書林, 1983, P56-P70,
7. 廉永夏, "新編機械工作法", 東明社, 1988, P338-P348,