

〈논 문〉

## SM45C와 SCM440의 피삭성 검토에 관한 연구

김남훈\* · 이용성\*  
(1996년 8월 13일 접수)

## A Study on the Machinability Characteristic of SM45C and SCM440

Nam Hoon Kim and Yung Sung Lee

**Key Words :** Machinability(절삭성), Nonmetallic Inclusion(비금속 개재물), Cutting Force(절삭력), Chip Breakability(칩 분쇄성), Plowing Force(배분력), Chipping(결손)**Abstract**

In order to clarify the effects of nonmetallic inclusion contents in steels (SM45C & SCM440) on the tool life, cutting experiment was performed under various cutting conditions. Tool life, cutting force, roughness of machined surface and cutting mechanism are examined on these two kinds of steel. The following conclusions were obtained from the analysis. (1) Cutting force of the steels was not affected by chemical component and nonmetallic inclusion. (2) If the rate of amount, Ca/S has a value greater than about 0.2 and addition of less amount of Al, Mn, tool wear of tips decreases in turning. (3) It is also proved that higher contents of nonmetallic inclusion improve roughness of the surface. (4) Less amount of Ca, higher amount of S, Mn and Al improve the chip breakability.

## 1. 서 론

금속재료에 있어서 가장 많이 사용되는 강은 Al, Mg 등의 경금속이나 황동계의 재료에 비해 일반적으로 절삭이 어렵다. 강의 피삭성에 관한 연구의 역사는 길지만 아직까지 피삭성의 본질은 완벽하게 해명되어 있지 않다.<sup>(1~6)</sup> 현재 기계가공기술의 면에서 경제성 및 생산성의 요구에 의해 '피삭성'이 중요한 과제로 되고 있다. 지금까지 강의 피삭성 또는 절삭성(machinability)은 중점적으로 다음과 같이, 4가지로 구분하여 평가하고 있다.

- (1) 절삭공구의 수명
- (2) 절삭공구에 미치는 절삭저항
- (3) 절삭가공면의 거칠기
- (4) Chip처리성

기계가공에 있어서 대부분 절삭공구의 수명에 미치는 피삭재의 영향을 중심으로 하여 최적 절삭 조건을 설정하고 있다.<sup>(7~10)</sup> 그러나 공구마멸은 강의 종류에 따라 다르며, 동일 강종류도 용해로, 탈산제, 열처리조건 등에 따라 다르므로 보편성 있는 평가는 곤란하다. 또한 Chip처리성은 공작기계의 CNC화 및 자동화됨에 따라 중요하게 취급되고 있다. 표면조도<sup>(11)</sup>는 일반 기계가공보다 고능률 가공이나 초정밀가공의 평가수단으로 많이 활용되고 있으며, 절삭저항의 경우는 근래의 공구수명의 이상진단에 사용되고 있다. 각 종의 강에 대한 피삭성은<sup>(12)</sup> 통일적인 가공조건에 의한 절대평가가 중요하다.<sup>(13~15)</sup> 그러므로, 본 연구에서는 기본적으로 SM45C와 SCM440의 피삭재에 폐삭성분을 첨가하여 동일 공작기계·동일 가공조건으로 실험한 후, 피삭성에 영향을 주는 여러가지 절삭인자를 측정하여 피삭성을 검토하기로 한다.

\*회원, 천안공업전문대학 금형과

## 2. 피삭재의 피삭성 평가

### 2.1 적삭저항

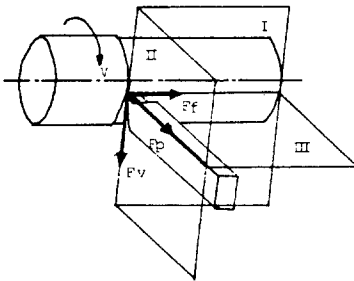
절삭저항의 3분력으로는 주분력 (절삭방향의 분력,  $F_v$ ), 이송분력(이송방향의 분력,  $F_f$ ) 및 그것에 직각방향인 배분력( $F_p$ )으로 나눈다. (Fig. 1)

주분력( $F_v$ )은 주축에 가해지는 회전 Torque로서, 주축의 구동력 및 절삭력 등이 있으며, 이송분력( $F_f$ )은 이송기구에 가해지는 힘으로 및 주축의 Thrust 등과 깊은 관계가 있다. 배분력( $F_p$ )은 동력과 무관하나 공작물이나 공구의 탄성변형과 관계가 있으며 오차의 발생요인이 되기도 한다.

### 2.2 절삭가공면의 조도

다듬질면에는 절삭속도 방향의 조도( $H_v$ )와 직각방향의 조도( $H_f$ )가 있으나 전자는 큰 차이가 없고 절삭속도 직각방향의 조도만 문제되는 경우가 많다. (Fig. 2)

일반적으로 표면조도는 ①공구형태와 이송운동기구에 의해 기하학적으로 구해지는 조도, ②구성인



$F_f$ : Feed component of cutting force  
 $F_p$ : Plowing force  
 $F_v$ : Vertical component of cutting force

Fig. 1 Three components of cutting force

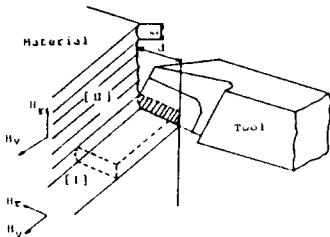


Fig. 2 Effect cutting corner on the surface roughness of turned specimen

선이 생성·탈락에 의한 조도, ③절삭기구 자체의 불안정 요소에 의한 조도, ④절삭날과 공작물의 상대위치에 의한 조도, ⑤절삭날의 손상과 마찰에 의한 조도가 있다.

이상조도  $H_1$ 을 계산하면 다음과 같다.

$$H_1 = f^2 / 8R \quad (1)$$

$f$ : 이송,  $R$ : 공구날끝 반지름

### 2.3 절삭공구의 마멸과 수명

절삭공구의 마멸형태는 복잡하며, 크게 분류하여 기계적인 마멸인 Abrasive 마멸과 충격에 의한 결손(chipping) 및 열·화학적 마멸(용착, 확산, 부식)등으로 나눈다. 공구의 경사면 및 여유면에 생기는 마멸을 경사면 마멸, 여유면 마멸이라 한다. (Fig. 3)

한편 공구수명과 절삭속도를 대수좌표에 표시하였을 때, 선형적으로 비례하게 되며, 이러한 사실을 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$VT^n = C \quad (2)$$

여기서,  $V$ 는 절삭속도  
 $T$ 는 공구수명  
 $n$ 과  $C$ 는 재료상수

현재는 이러한 방정식을 수정하여 다음식을 이용하는 경우가 많다

$$VT^n d^\alpha f^\beta = C \quad (3)$$

여기서,  $d$ 는 절삭깊이  
 $f$ 는 이송  
 $\alpha$ 와  $\beta$ 도 재료상수

### 2.4 Chip처리성

Chip형상은 chip처리와 상당히 밀접한 관계를

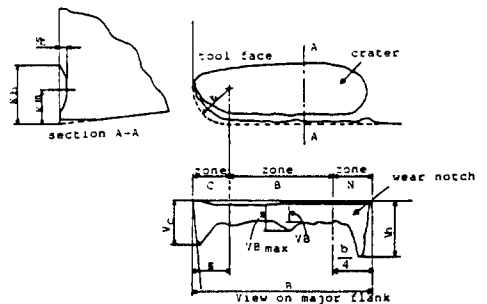


Fig. 3 Some figures of single point-tool wear in turning operations

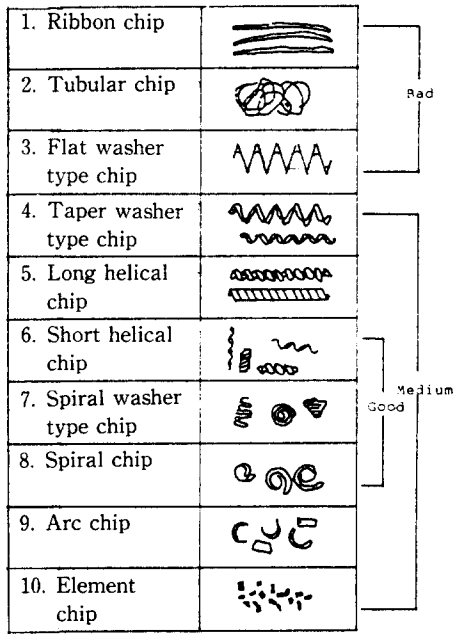


Fig. 4 Various chip forms (by INFOS)

가지고 있으나, 얼마만큼 분쇄되는지를 알기 위해서는 chip 자체 사진을 찍어 표시하는 것이 가장 확실하다. 그러므로 chip형상에 관한 종합적인 표가 필요하며, 현장에서 chip상태를 파악하여 분류하고 이것을 근거로 절삭상태 및 chip처리성을 판단하고, 그 개선책을 마련하고 있다.

### 3. 실험

#### 3.1 실험장치

본 실험에 사용된 기계가공 장비는 선삭시 범용 선반 및 CNC 선반을 사용하였다. 절삭저항을 측정하기 위해 선반용 공구동력계를 이용하였고, 가공면의 거칠기는 표면조도계를 이용하였다. 공구마멸은 공구현미경으로 측정하였다. 또한 실험에 사용한 공구는 선삭시에 코팅된 팁(CNMG 120408)을 사용하였다. 실험에 사용된 피삭재는 Table 1, Table 2와 같은 성분을 가지고 있으며 크기는  $\phi$  120, 길이 500 mm이다.

Table 1 Chemical composition of test materials

SM45C	Chemical composition (Wt. %)							
	C	Si	Mn	S	Cr	Mo	Al	Ca
A	0.44	0.23	0.69	0.022	0.07	0.02	0.032	0.00038
B	0.42	0.27	0.66	0.008	0.10	0.004	0.014	0.00127
C	0.42	0.2	0.67	0.007	0.07	0.004	0.015	0.00147
D	0.44	0.27	0.69	0.013	0.04	0.006	0.023	0.0019
E	0.44	0.23	0.61	0.006	0.00	0.005	0.000	0.00213

Table 2 Chemical composition of test materials

SCM440	Chemical composition (wt. %)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	Al	Ca
F	0.44	0.28	0.67	0.025	0.004	1.07	0.21	0.15	0.22	0.060	0.00024
G	0.40	0.30	0.65	0.016	0.005	1.10	0.22	0.21	0.42	0.017	0.00107
H	0.39	0.15	0.50	0.013	0.007	0.97	0.19	0.19	0.20	0.010	0.00113
I	0.38	0.18	0.62	0.033	0.01	1.03	0.28	0.21	0.22	0.045	0.00117
J	0.38	0.23	0.64	0.019	0.018	0.99	0.17	0.16	0.08	0.000	0.0217

**Table 3** Cutting condition in turning

Working valuation item \ Condition		Cutting speed (m/min)	Feed (mm/rev)	Depth of cut (mm)
Turning	Tool wear	150, 200	0.3, 0.35	2
	Roughness	250, 100, 50	0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3	1, 2, 3
	Chip breakability	250, 100, 50	0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3	1, 1.5, 2, 3
	Cutting resistance	250, 100, 50	0.1, 0.2, 0.3	1, 2

**3.2 실험방법**

피삭성을 검토하기 위해 선삭시의 공구마멸, 표면조도, chip처리성, 절삭저항을 측정하였고, 이 경우 Table 3과 같은 가공조건을 사용하였다.

표면조도는 축침식조도계로 측정하였고 cut-off 값은 0.8 mm, pitch-up의 이송속도 0.03 mm/sec, recorder chart의 이송속도 6 m/min, 증폭기의 배율은 2,000배로 하였으며 선삭의 경우는 120°씩 회전시켜 3회 측정하여 평균값으로 조도값을 정리하였다. 절삭저항은 3차원 strain gage형 공구동력계를 사용하여 절삭조건에 따라 변화하는 양을 측정하였다. 선삭시에는 TSM-T형을 사용하였다. 공구동력계의 strain신호를 amplifier에서 증폭하여 A/D converter를 거쳐 PC에서 출력하였다.

공구마멸 측정은 선삭팁의 경우 micro scope로 측정하였다. 공구마멸은 여유면 마멸폭을 기준으로 측정하였다. chip처리성은 선삭시 절삭속도를 50, 100, 200, 250 m/min으로 고정하고 절삭깊이와 이송을 변화시켜서 절삭한 chip을 수거 한 후에 사진 촬영하였다. EDS 분석기에 의해 SM45C, S45C, SCM440의 성분분석을 하였으며, 주사형 전자현미경 (SEM LSL-DS-130)을 써서 조직상태를 정밀 검사했다.

**4. 실험결과**

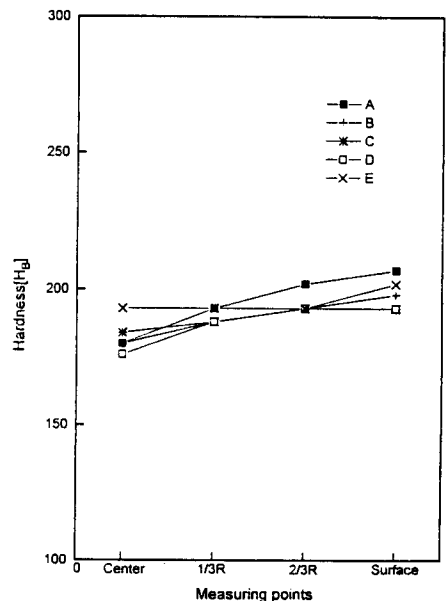
**4.1 재료 정돈 및 비금속 개재물**

피삭재의 경도는 피삭성에 영향을 크게 미치므로, 절삭 실험전에 피삭재의 경도를 측정한다. 경도 측정에는 Brinell 경도시험기를 이용하였으며, 경도 측정부위는 시편의 중심부, 1/3 R부, 2/3 R

부, 표면부를 선택한다.

Fig. 5는 SM45C의 경도이고, Fig. 6은 SCM440의 경도를 표시한다.

중심과 표면부의 경도차는 다소 있으나, 본 실험 대상 부위인 표면부와 2/3R부의 경도차는 크지 않다. 따라서, 이 영역에서의 절삭실험시에 각 피삭재에 대한 경도차가 피삭성에 큰 영향을 미치지 않는다. 강의 피삭성을 고찰하는 경우 강중에 분산되어 있는 개재물, 즉 비금속 개재물(nonmetallic inclusion) 및 금속성 개재물의 역할도 크다. Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9는 주사형 전자현미경 (SEM LSL-DS-130)에 의한 조직사진이며, Fig. 10, Fig. 11,



**Fig. 5** Brinell hardness of the steel (SM45C)

Fig. 12는 EDS 분석결과를 나타낸 것이다.

조직에 따라 재료의 피삭성이 다르므로 Fig. 7에서 검은색은 Ferrite입자이고, 흰색은 Perrite조직

이다. Fig. 8에서 S의 함유량에 따라 달라지며 Grain size가 미세화되는 경향을 볼 수 있다. Fig. 9에서 Pearlite grain size가 100~150 $\mu$ 가 되는 것

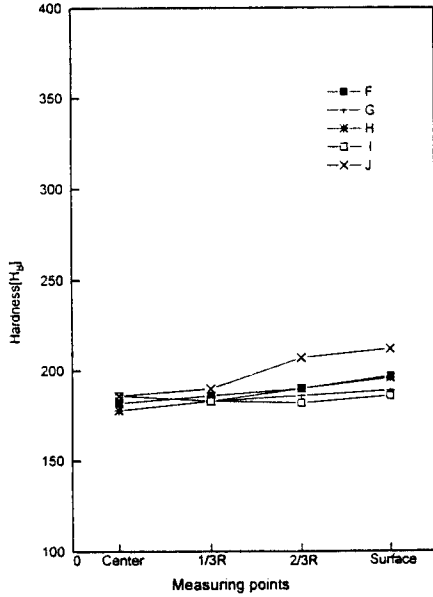


Fig. 6 Brinell hardness of the steel (SCM 440)



Fig. 7 Microstructures of the steel (SM45C)



Fig. 8 Microstructures of the special steel (SM45C +S)

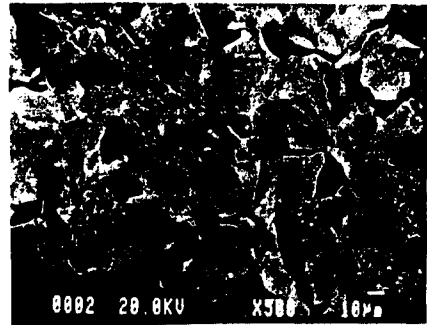


Fig. 9 Microstructures of the special steel (SCM440)

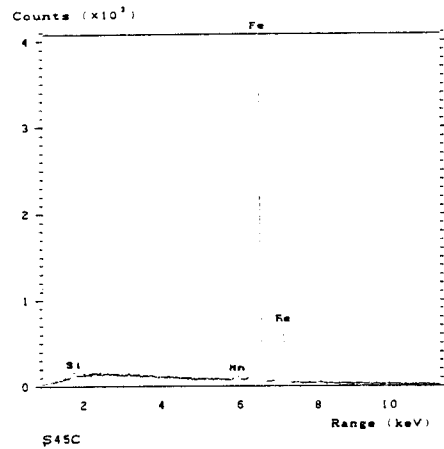


Fig. 10 EDS analysis of the steel (SM45C)

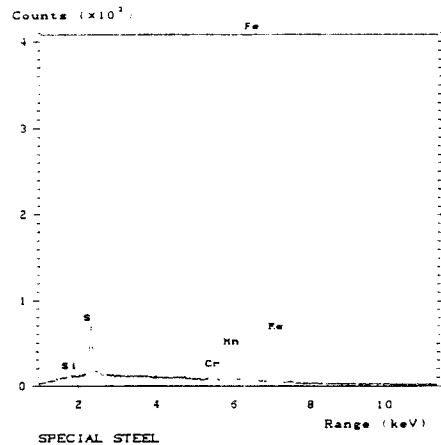


Fig. 11 EDS analysis of the special steel (SM45C+S)

을 알 수 있다. Fig. 10에서 SM45C의 구성성분은 Si, Mn, Fe 등으로 되어 있으나, Fig. 11의 유황이 첨가된 SM45C+S인 경우는  $7 \times 10^3$  counts 정도의 S가 검출되었다. 또한, Fig. 12의 SCM440인 경우에는 특수강인 관계로 Cr, Mo, Mn 등 미량의 특수 원소가 검출되었다.

4.2 공구마멸

선삭의 마멸은 공구 여유면의 마멸을 기준으로

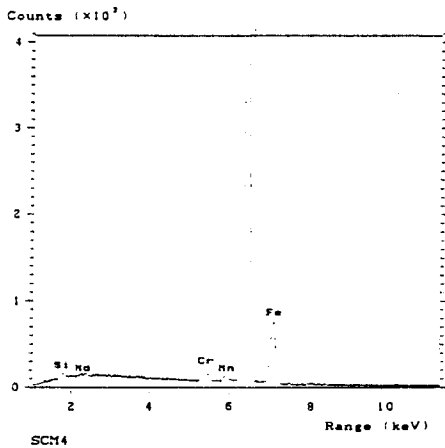


Fig. 14 Variations of tool wear with contents of calcium in turning (SM45C)

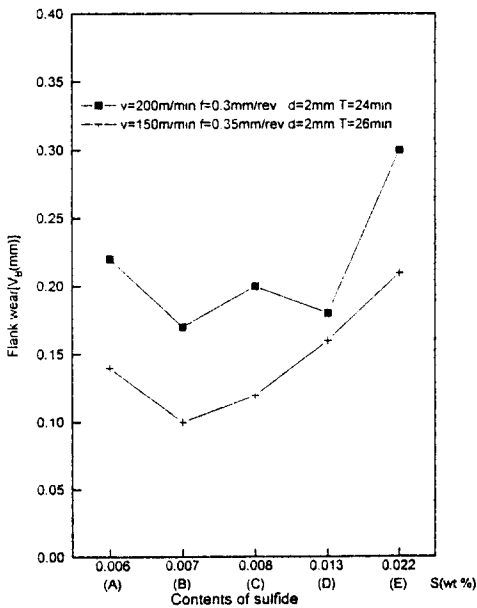


Fig. 13 Variations of tool wear with contents of sulfide in turning (SM45C)

한다. 절삭속도는 200 m/min, 150 m/min으로 하였으며, CNC 선반에서 연속가공 하였다. Fig. 13에서 유황의 함유량이 0.007일때가 flank마멸이 작고 (V=200 mm/min, V=50 mm/min), 유황의 함유량이 0.022이상에서는 공구마멸이 급증하고 있

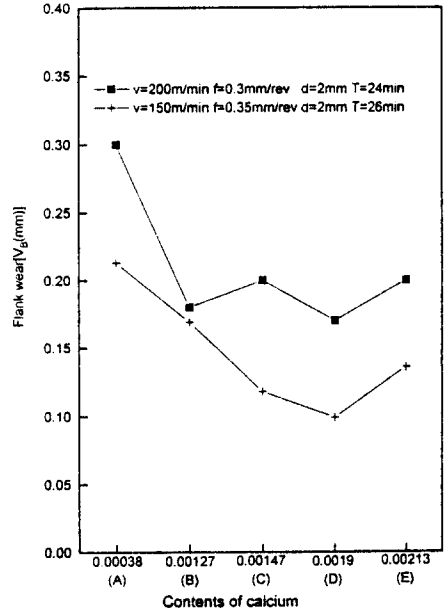


Fig. 12 EDS analysis of the special steel (SCM440)

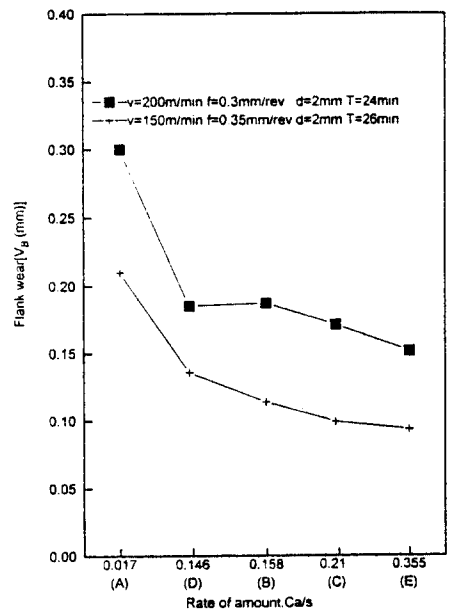


Fig. 15 Variations of tool wear with rate of amount (Ca/S) in turning (SM45C)

다. 또한, S가 첨가되면,  $V=200$  m/min보다  $V=150$  m/min에서 공구수명이 증가하고 있다. 이는 S가 저속에서 효과가 있다고 생각된다. (4) Fig. 14의  $V=150$  m/min에서 Ca 함유량이 0.00147에서

0.0019의 소재가 flank마멸이 가장 작으며  $V=200$  m/min인 경우는 이 범위에서 표면조도가 개선된다.

Fig. 13에 표시한 바와 같이 S의 함유량에 따라

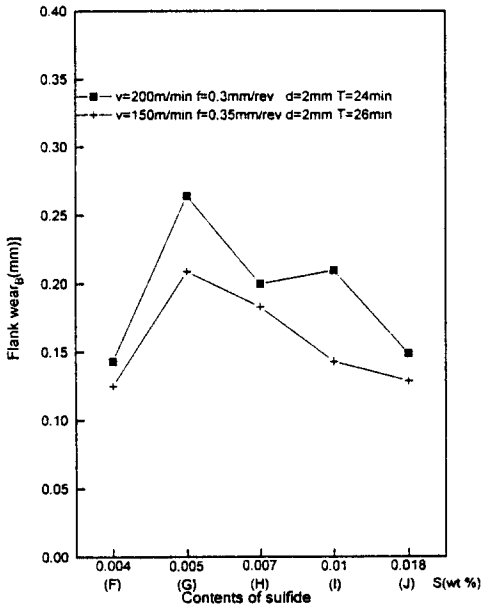


Fig. 16 Variations of tool wear with contents of sulfide in turning (SCM440)

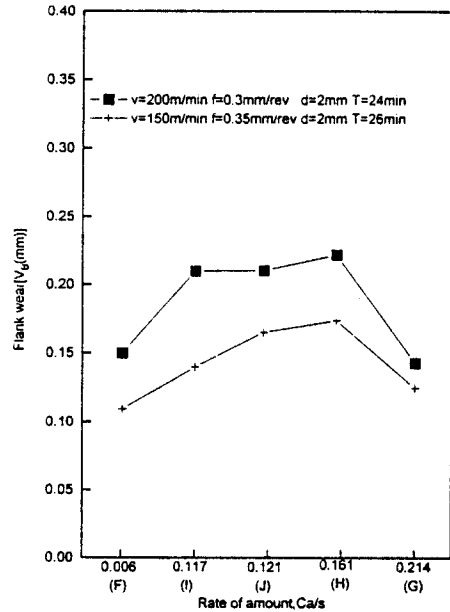


Fig. 18 Variations of tool wear with rate of amount (Ca/S) in turning (SCM440).

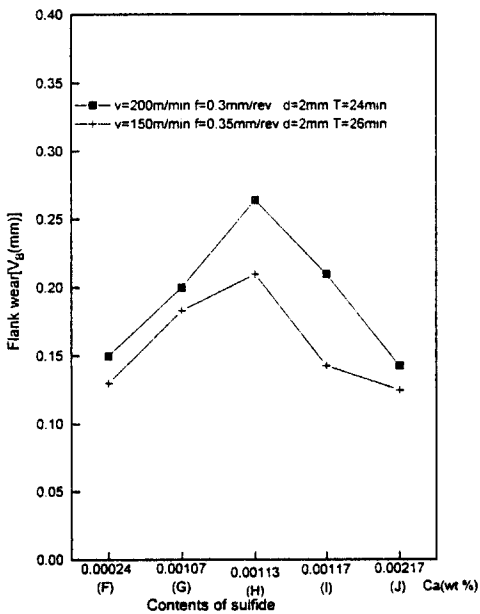


Fig. 17 Variations of tool wear with contents of calcium in turning (SCM440)

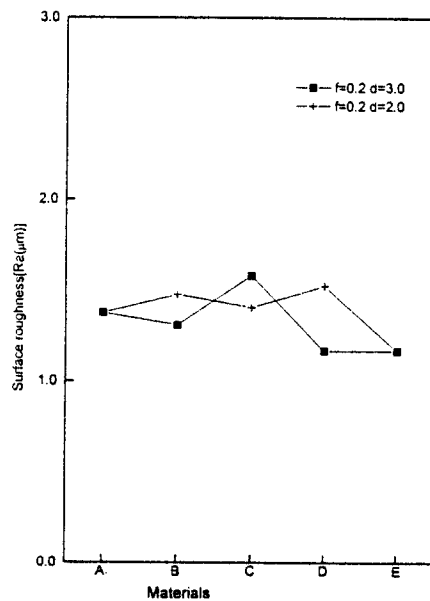


Fig. 19 The surface roughness at cutting speed, 100m/min (SM45C)

대체적으로 증가하며, Fig. 14에 표시한 Ca의 함유량에 따라 감소한다. 그러므로 Ca/s의 비에 따른 공구마멸의 영향을 검토해 본 결과 Fig. 15와 같이 Ca/s비가 클수록 공구마멸이 작게 나타났다. 따라서, 공구마멸을 작게하기 위해서는 선삭가공시 Ca/S비를 약 0.2이상 되도록 관리해야 한다.

Fig. 15에서 Ca/S의 비가 0.146이하에서는 flank 마멸이 크지만 Ca/S의 비가 0.21 이상이 되어야 flank마멸이 감소하게 된다. 이것은, Ca/S의 비가 어느 정도 커야만 flank마멸을 억제하고 이 이유는 Ca-Si으로 탈산해야 Belag가 생성되어 flank마멸을 억제한다고 생각된다.<sup>(7)</sup>

Fig. 16에 표시한 바와 같이 S 함유량에 대한 공구 여유면 마멸을 표시하며, S 함유량이 많은 소재가 공구 여유면 마멸폭이 작은 것을 알 수 있으며, Fig. 17에 SCM440의 Ca 함유량에 대한 공구여유면 마멸을 표시한다. Fig. 16에서 유황의 함유량이 0.01%이상(V=150 m/min인 경우) 첨가해야 flank 마멸이 작고, 모든 경우(V=150 m/min; V=200 m/min)에는 유황의 함유량이 0.018이상 되어야 flank마멸의 감소효과가 나타난다.

Fig. 17에서 Ca의 함유량이 0.00113%에서 flank 마멸이 최고치(V=200 m/min; 0.27)에 도달하며 0.00117~0.00217%에서부터 flank마멸이 감소하고

있다.

S가 소량들어 있는 소재에 Ca 함유량을 높여서 시험하였다. 이 때, Ca 함유량에 대한 공구마멸의 특성을 규명하기란 쉽지 않다. 즉, SCM440의 경우 Ca 함유량 단독으로 공구마멸에 큰 영향을 미

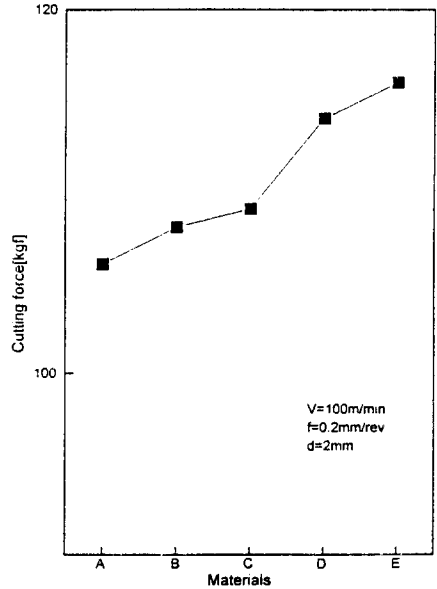


Fig. 21 Relationship between cutting force and materials (SM45C)

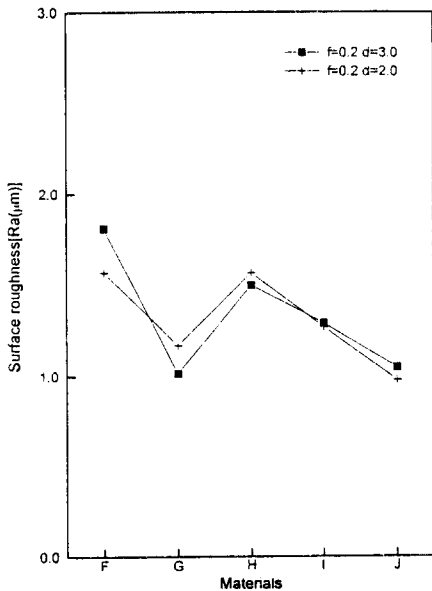


Fig. 20 The surface roughness at cutting speed, 100m/min (SCM440)

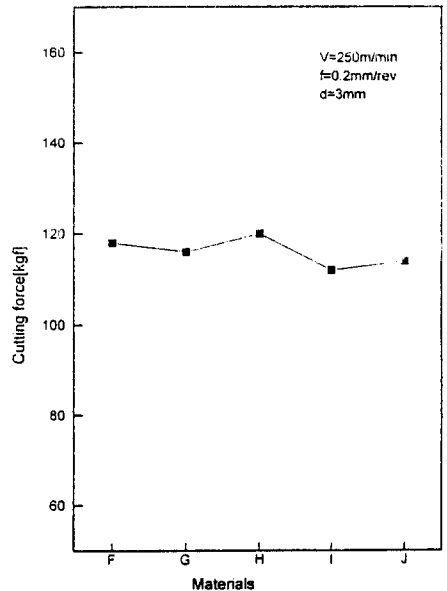


Fig. 22 Relationship between cutting force and materials (SCM440)



치지 못하는 것으로 사료된다. Fig. 18에서는 Ca/S의 비가 어떠한 경우라도 flank마멸이 감소하지 않지만 단지, Ca/S의 비가 0.161부터 감소하는 경향을 나타낸다. SM45C의 경우와는 달리 Ca/S비가 낮은 범위에서도 공구수명이 증가하는 것으로 나타나고 있다. Fig. 18에서는 Ca/S비에 대한 공구여유면 마멸을 표시한다. Ca/S비가 약 0.2인 경우는 SM45C보다 감소비율이 적지만 공구마멸이 다소 감소하는 경향이 있다.

### 4.3 표면조도

SM45C와 SCM440의 화학성분이 표면 조도에 미치는 영향을 Fig. 19에 표시한다.

Fig. 20에서 Ca량이 약 0.001( $V=100$  m/min)에서 표면조도  $1.0 \mu\text{m}$  정도로 가장 작고 또한 Ca량이 0.00217%에서도 낮게 나타났다. 그러나 그 나머지의 경우는 조도가 전반적으로 나쁘고, 최소와 최대조도차이는 약  $0.8 \mu\text{m}$  정도가 된다.

S는 많고 Ca가 작으면 표면조도가 작아지나 어떠한 성분만이 표면조도에 크게 영향을 미치지 못

하며 화학성분 사이의 상호관계에 의해 영향을 받는 것으로 생각된다.

### 4.4 절삭저항

Fig. 21은 SM45C의 절삭저항값을 표시한다. 절삭저항값, 즉 절삭력의 차이는 별로 크지 않다. Fig. 22은 SCM440의 절삭저항값을 표시하며, SM45C에 비해 약간 더 큰 절삭저항값을 나타낸다. 그러나 SM45C보다 절삭저항의 차이가 더 적은 것을 알수 있다.

### 4.5 Chip처리성

Fig. 23은 SM45C의 절삭속도  $100$  m/min인 경우, chip처리성을 표시하고 Fig. 24는 SCM440의 chip처리성을 표시한다. Fig. 23과 Fig. 24는 각각 SM45C와 SCM440의 소재중에서 Ca량이 거의 비슷한 소재들을 골라서 sample로 칩처리성을 비교한 것이다. 화학적 성분에 따른 Chip처리성을 설명하기란 쉽지 않다. 선삭의 경우는 Ca가 적고 S, Mn 및 Al이 다소 많은 강일수록 다른 강보다 chip처리성이 양호한 것으로 나타나고 있다.

## 4. 결 론

SM45C와 SCM440 소재의 피삭성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 절삭저항은 화학성분이나 비금속 개재물에 영향을 받지 않는다.

둘째, 선삭에서 Ca/S비를 약 0.2 이상으로 하고 Al, Mn을 소량 함유하면 공구마멸이 감소하는 경향이 있다.

셋째, 같은 피삭재라도 sulfide가 많으면 표면거칠기가 개선된다.

넷째, Chip처리성은 Ca가 적고 S, Mn 및 Al이 다소 많은 강일수록 다른 강보다 chip처리성이 양호한 것으로 나타나고 있다.

## 참고문헌

- (1) Field, M., 1965, "Practice and Theory in Carbide Milling," *Journal of Engineering for Industry, Trans of ASME*, Vol. 87, No. B-4, pp. 446~452.
- (2) Trent, E. M., 1967, "Cutting Steel and Iron

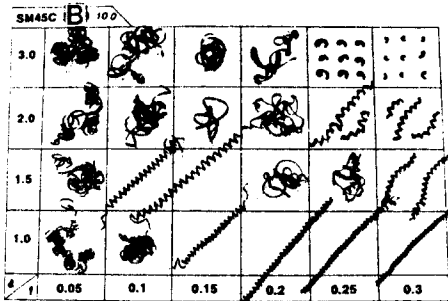


Fig. 23 Chip thickness at cutting speed, SM45C( $V=100$  m/min)

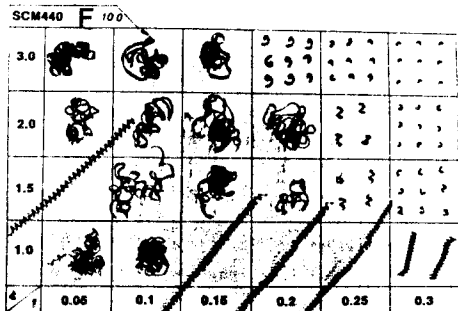


Fig. 24 Chip thickness at cutting speed, SCM440( $V=100$  m/min)

- with Comented Carbide Tools, Part III.”
- (3) Sada. D., “材料의 被削性,” *JSME.*, Vol. 70, No. 577, pp. 3641.
- (4) Araki T. 外 1人, 1967, “軟鋼의 被削性과 快削性 元素에 관한 冶金學的 考察,” *JSME*, Vol. 70, No. 577, pp. 17~24.
- (5) 奥島啓貳, 星鐵太郎, 鳴龍則彦, 1968, “Ca 脫酸鋼切削時의 工具附着物의 舉動,” *精密機械*, 31卷, 5號, pp. 33~37.
- (6) 佐田登志夫, 管下芳雄, 西川勝彦, 奈良修祿, 耳野 亨, 1971, “Ca 脫酸鋼의 被削性,” *鐵と鋼*, 57卷, 3號, pp. 127~138.
- (7) 荒木 秀, 左川龍平, 石 滋宜, 1968, “Ca 脫酸鋼의 非金屬介在物의 同定について,” *鐵と鋼*, 54卷, 3號, pp. 68~71.
- (8) 伊藤哲郎, 高橋徹夫, 本村馬郎, 汕野滯市, 1973, “Ca 脫酸鋼中の 酸化物系介在物融點と 切削溫度의 關係について,” *電氣製鋼*, 44卷, 1號, pp. 29~37.
- (9) 李用成, 平元一之, 左田登志夫, 1978, “定常切削における 切削溫度의 解析と測定,” *精密機械*, 44卷, 12號, pp. 1424~1430.
- (10) 佐佐木敏彦, 中村守文, 竹下秀男, 川上平次郎, 1986, “快削鋼의 被削性に及ぼす 工具材 種의 影響,” *精密機械*, 52卷, 4號, pp. 133~135.
- (11) Araki T. 外 1人, 1971, “鋼의 被削性과 冶金學的 因子,” *鐵と鋼*, Vol. 57, No. 13, pp. 52~72.
- (12) Araki T. 外 1人, 1971, “各種脫酸鋼의 被削性에 關하여,” *鐵と鋼*, Vol. 57, No. 13, pp. 230~23.
- (13) 이용성 外 1人, 1983, “절삭가공에 대한 광탄성 측정해석,” *JSPE*, 秋季大會, PP. 257~258.
- (14) 이용성 外 1人, 1984, “Ca 탈산강의 피삭성에 관한 연구,” *한국정밀기계학회*, Vol. 1, No. 2, pp. 41~46.
- (15) 김남훈 外 4人, 1992, “직교배열법에 의한 Chip처리성 평가,” *대한기계학회 춘계대회논문집*, pp. 193~196.