

(論 文)

# 정면밀링커터의 최적설계에 대한 연구(2)

— 공구수명 및 표면조도 중심으로 —

김정현\* · 김희술\*\*

(1993년 4월 30일 접수)

## A Study on Optimal Design of Face Milling Cutter Geometry (Ⅱ)

— With Respect to Tool Life and Surface Roughness —

Jung-hyun Kim and Hee-Sool Kim

**Key Words :** Flank Wear Land(여유면 마모폭), Tool Life(공구수명), Surface Roughness (표면거칠기)

### Abstract

In order to improve the cutting ability of face mill, a model for optimal cutter shape was developed to minimize resultant cutting force by combing cutting force model and optimal technique. Wear test and surface roughness test for optimized and conventional cutter were performed. The new optimized cutter shows longer tool life of 2.29 times than conventional cutter in light cutting condition and 2.52 times in heavy cutting condition. The surface roughness of workpiece by optimized cutter is improved in heavy cutting condition, but deteriorated in light cutting condition in comparison with conventional cutter. The surface profiles of workpiece were analyzed by Fourier transformation. The distribution of cut lay left on workpiece by optimized cutter is more regular than that by the conventional cutter.

### 1. 서 론

절삭가공에서 공구의 수명은 경제적인 측면 및 절삭성에 있어서 중요한 문제이다. 특히 정면밀링 가공은 단속 절삭작용에 의하여 공구 선단에 칩핑(chipping)이 발생하기 쉽고, 이로 인하여 공구수명 및 표면조도에 큰 영향을 준다. 공구수명에 대한 연구는 오래 전부터 많은 연구<sup>(1-4)</sup>들이 이루어져 왔다. 절삭가공의 자동화, 최적화 및 신뢰성을 위해서 공작기계 및 가공 시스템 전반에 걸친 현상태의 인식을 위하여 절삭가공중에 수시로 변화하는 각종 절삭 상태에 대한 인-프로세스(in-

process) 측정의 필요성이 매우 강조되고 있다. 특히 공구의 마모나 파손은 가공상태에 결정적인 영향을 미치므로 이들의 연구들은 날로 증가하고 있는 실정이며, 아울러 가공재료와 공구재료의 개발로 인하여 지속적인 연구가 요망되어지고 있다.

가공물의 표면거칠기는 제품 자체의 성능 및 수명에 큰 영향을 주며, 제품의 질을 판단하는 척도가 되기 때문에 절삭가공에서 중요한 문제로 취급되고 있다. 정밀공업이 발달 되면서 기계요소에 대한 표면거칠기의 정도를 엄격히 규제하여야 할 필요성의 증가로 많은 연구들<sup>(5,6)</sup>이 이루어져 왔고, 계속 연구되고 있는 실정이다.

논문(1)에서 최적 커터들을 사용하여 경(輕)절삭 조건과 중(重)절삭조건에서 절삭실험을 수행하여 절삭력 특성에 대한 연구결과를 보고한 바 있다.

\*정회원 영남대학교 대학원

\*\*정회원, 영남대학교 기계공학과

이들 공구에 대한 공구수명의 특성들을 검토하기 위하여 여유면 마모량(flank wear land)을 측정하여 재래식 커터와 비교 분석하고, SEM(scanning electron micrographs)사진을 촬영하여 여유면 마모의 형상을 관찰하였다. 최적 커터들과 재래식 커터에 의해 절삭된 가공면의 표면조도를 비교하기 위하여 인서트 가공이 마모되지 않은 상태에서 각각 가공하여 표면거칠기 시편으로 제작하였다. 이 시편들에 대한 표면조도를 측정할 때 컴퓨터를 연결하여 측정한 데이터를 컴퓨터에 저장하였다. 이 데이터로부터 시간영역과 주파수영역에서 최적화 공구와 재래식 공구의 표면조도를 비교 분석하였다. 표면거칠기의 형성원인을 규명하기 위하여 本多良辰<sup>(7,8)</sup> 등의 방법에 의하여 표면 형상곡선(surface profile)을 주파수 분석하였다.

## 2. 실험

### 2.1 절삭 시험편 및 커터

본 연구에 사용된 시험편은 정면밀링작업에 널리 사용되고 있는 기계구조용 탄소강(SS41)으로 선택하였으며, 크기는 45×130×80(mm)로 하였다. 기계적 성질은 Table 1과 같고 화학적 성질은 Table 2과 같다. 커터와 인서트의 형상은 Table 3과 같다. 인서트를 커터에 삽입했을 때 공작물과 인서트 간의 여유각(clearance angle)은 재래식 커터에서는 인서트의 여유각 11°인 인서트를 축방향 경사각이 7°인 커터에 삽입하였을 때 4°로 형성되고, 최적 커터에서는 축방향 경사각이 15°이기 때문에 인서트를 커터에 삽입하여 재래식 커터의 여유각과 같게 하려면 여유각이 19°인 인서트가 필요하다.

Table 1 Mechanical properties of workpiece

	Tensile strength (Kg/mm <sup>2</sup> )	Hardness (Hv)	Elongation (%)
SS41	47	129	27

Table 2 Chemical compositions of workpiece

	C	Si	Mn	P	S	Al
SS41	0.17	0.4	0.98	0.08	0.011	0.05

본 연구에서는 인서트 제작의 번거로움과 범용성을 위하여 기존의 인서트(여유각 20°)를 선택하였다.

### 2.2 절삭조건

경(輕) 절삭조건과 중(重) 절삭조건에서 각각 마모 시험을 행하였으며, 절삭조건을 요약하면 아래와 같다.

#### \*경(輕) 절삭조건

주축의 회전속도 : 180 rpm (56.55 m/min)  
 테이블의 이송속도 : 61 mm/min (0.0424 mm /insert)  
 절삭깊이 : 1 mm

Table 3 Tool & Insert geometry

Conventional cutter(1)	M 115 SP 04 R/L-12(Korea Tungsten)
	Lead angle:15°
	Radial rake angle:0°
	Axial rake angle:7°
	Cutter diamer:106(mm)
	Insert diameter:100(mm)
Optimal cutter(2) light cutting	Specially manufactured Lead angle : 45° Radial rake angle : -9° Axial rake angle : 15° Cutter diamer : 128(mm) Insert diameter : 100(mm)
Optimal cutter(3) light cutting	Specially manufactured Lead angle : 45° Radial rake angle : -4° Axial rake angle : 15° Cutter diamer : 128(mm) Insert diameter : 100(mm)
Insert for conventional cutter	SPKN1203ETR(P25)(Korea Tungsten) Thickness : 3.18(mm) Clearance angle : 11° Nose radius : 0.8(mm)
Insert for optimal cutter	SPKN1203ETR(P25)(Korea Tungsten) Thickness : 3.18(mm) Clearance angle : 20° Nose radius : 0.7(mm)

\*중(重) 절삭조건

- 주축의 회전속도 : 370 rpm (116.24 m/min)
- 테이블의 이송속도 : 127 mm/min (0.0429 mm /insert)
- 절삭깊이 : 2.5 mm

2.3 공구마모

공구마모는 정면밀링 가공시 가공조건이나 피삭재 및 절삭공구의 재질에 따라 각기 다른 형상으로 나타나지만, 초경공구를 사용한 일반적인 정삭 가공이나 경제적인 절삭상태에서는 ISO 추천 공구수명 판정기준에 근거하여 여유면 마모를 공구 교환시기와 공구수명 판정기준으로 삼는다.

여유면 마모의 정의는 CIRP의 규격에서는 인서트 절입부의 1/2인 부분에서의 마모폭을 취하고 있고, ISO의 규정에는 인서트의 노즈(nose) 반경부와 절입 경계부의 1/4을 제외한 절입부의 마모 평균 폭으로 정의되어 있으며, 또한 JIS의 규정에서는 비교적 균일한 마모의 경우 그 평균치로 하는 것이 원칙이나, 불균일할 경우 최대의 마모폭을 취하는 등의 각기 다른 차이를 보이고 있다.

본 연구에서는 ISO 규격에 근거하여 공구마모의 측정은 인서트의 노즈(nose)부와 절입 경계부를 제외한 나머지 절입부 마모의 평균 폭(flank wear

land)을  $V_b$ 로 규정하였다. Fig. 1은 ISO와 CIRP의 여유면 마모 규정을 나타내었다.

공구수명의 판정기준으로 삼는 여유면 마모폭의 길이( $V_b$ )는 공구와 공작물 및 가공 정밀도에 따라 다르고 또한 각국의 규격마다 다르지만 ISO 규격에서는  $V_b$ 가 0.3 mm일 때를 공구 교환시기로 규정하고 있으나, 현장에서는 JIS 규격을 근거로 하여 공구 교환시기를 책정하는 경우가 많다. Table 4는 초경공구로 각종 공작물을 절삭할 때 공구의 수명을 규정하는  $V_b$ 의 길이를 나타낸다.

본 연구에서는 가공 정밀도의 요구에 따라 달라지는  $V_b$ 의 값을 선정하기 위하여, Table 4의 값들 중 현장에서 강의 황삭시 많이 사용하는 값들을 고려하여, 특수강과 주강절삭시 사용되는 공구 여유

Table 4 Flank wear land of workpieces<sup>(9)</sup>

Allowable wear land	Applicable field
0.2 mm	Precision light cutting
0.4 mm	Special tool steel
0.7 mm	Cast steel
1~1.25 mm	Rough cutting of castiron

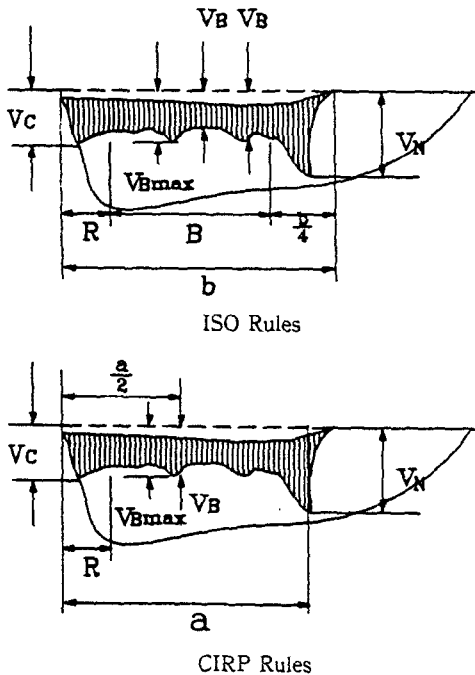


Fig. 1 Criteria of flank wear land (ISO, CIRP)

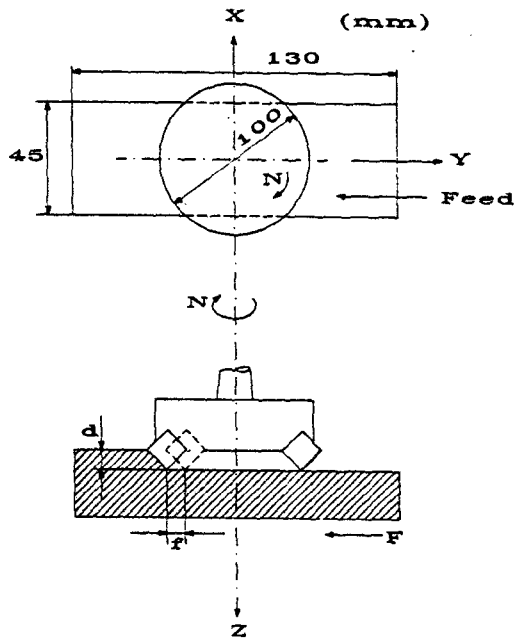


Fig. 2 Cutting configuration

카도폭의 중간 값인  $V_B$ 가 0.6 mm에 도달되었 때 인서트 교환시기로 선정하였다. Fig. 2는 공구마모시험시 공작물의 크기 및 가공형태, 커터의 방향 및 진행방향을 나타낸다. 이 그림에서  $d$  절삭깊이,  $f$ 는 날당 이송량,  $F$ 는 이송방향을 나타낸다. 커터가 Fig. 2와 같은 공작물을 주어진 가공조건으로 한번 절삭한 것을 1 pass라 하고 시편으로 환산하면 경(輕)절삭조건에서는 2분 10초, 중(重)절삭에서는 1분 3초의 시간이 소요된다. 20 pass마다 공구 현미경(tool microscope)으로  $V_B$ 를 측정하였으며,  $V_B$ 가 0.6 mm를 초월할 때까지 계속 절삭하였다. 마모의 형상을 관찰하기 위하여 Fig. 2와 같은 공작물을 60회 pass 후 SEM으로 사진을 촬영하였다.

#### 2.4 표면조도 시험

표면조도 시험에 사용된 시험편은 공구마모시 사하던 시편과 동일하며 사용된 커터 및 절삭조건 동일하다. 표면조도계의 촉침(stylus tip)의 변량에 비례하는 전압을 증폭기(amplifier)에서 증시킨 후 A/D converter를 통하여 마이크로컴퓨터에 저장하였다. 이 때에 0.0005초의 간격으로 24의 데이터가 연속적으로 최대 거칠기( $R_{max}$ )

값을 받아들인다. 표면거칠기의 측정시간은 0.512 초가 걸리고 촉침이 가공면을 지나가는 거리는 1.536 mm이며, 이 거리는 절삭가공시 인서트가 약 36개가 지나간 거리이다.

표면조도계의 작동설정 조건은 tracing속도 3.0 mm/sec, 0.8 mm의 Cut off의 값을 선정하였다. 표면조도계와 컴퓨터를 연결하여 표준 시편으로부터 측정된 출력데이터는 Fig. 7과 같이 표준 시편  $R_{max} \sqrt{6.3 \mu m}$  및  $R_{max} 10.5 \mu m$ 에 대한 디지털 값을 기준으로 하여 측정 시편의 디지털값을 상대적인 값으로 환산하여  $\mu m$  단위로 나타내었다. 표면조도의 형성원인을 규명하기 위하여 마이크로컴퓨터에 저장된 데이터를 FFT(fast fourier transform) 알고리즘을 이용하여 주파수영역으로 변환하여 분석하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 공구마모

Table 5는 커터의 종류 및 가공조건에 따라 Fig. 2와 같은 공작물을 20회 통과(pass)마다 여유면의 마모량을 나타내었다. 가로는 커터의 종류 및 절삭조건에 따른 여유면의 평균 마모량( $V_B$ )을 나타내

Table 5 Flank wear land of inserts according to number of tool pass

No. of pass	Conv. cutter (light)	Opt. cutter(light)	Conv. cutter (heavy)	Opt. cutter(heavy)
20	0.161	0.066	0.125	0.040
40	0.319	0.123	0.218	0.066
60	0.444	0.169	0.319	0.103
80	0.578	0.200	0.428	0.146
100	0.653	0.242	0.551	0.191
120		0.294	0.646	0.208
140		0.344		0.311
160		0.403		0.380
180		0.457		0.423
200		0.519		0.462
220		0.608		0.501
240				0.560
260				0.614

었다. 여유면의 평균 마모량은 8개의 인서트들의 마모량을 각각 측정하여 평균한 값들이다. 세로에는 커터의 통과 수(number of tool pass)를 나타낸다.

Table 5에서 볼 수 있는 것처럼 중(重)절삭조건에서 재래식 커터는 100회의 통과에서  $V_B$ 는 0.653 mm로 공구의 수명이 끝났으나, 최적 커터의  $V_B$ 는 0.242 mm로서 여유면의 마모량에 현격한 차이를 나타낸다. 공구의 통과 수가 220회에서 최적 커터의  $V_B$  0.608 mm로서 공구의 수명이 끝났음을 알 수 있다. 경(輕)절삭조건에서 공구의 통과 수가 120회에서 재래식 커터의  $V_B$ 가 0.646 mm로서 공구의 수명이 끝났으나, 최적 커터의  $V_B$ 는 0.208 mm이다. 커터의 통과 수가 260회에서 최적 커터의  $V_B$ 가 0.614 mm로서 공구의 수명이 끝났음을 나타낸다.

Fig. 3과 Fig. 4는 절삭조건에 따라서 재래식 커터와 최적 커터의 수명을 나타내는 통과 수에 따른 여유면 마모량을 도시한 것이다.

Fig. 3은 중(重)절삭조건으로서 가로축에는 통과

의 수 세로축에는 여유면의 마모량을 커브피팅(curve fitting)하여 나타내었다. 여기서  $V_B$ 가 0.6 mm에 도달할 때까지 통과 수를 보면 재래식 커터가 87회, 최적 커터가 220회로서 최적 커터가 재래식 커터에 비해 공구수명이 2.52배 증가한 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 경(輕)절삭조건으로서 커터의 통과 수와  $V_B$ 의 관계로서  $V_B$ 가 0.6 mm에 도달될 때까지 통과 수는 재래식 커터가 111회 최적 커터가 254회로서 최적 커터가 재래식 커터에 비해 공구 수명이 2.29배 증가한 것을 알 수 있다.

최적 커터의 수명이 현저하게 증가한 이유를 확인하기 위하여 공구의 마모형상을 관찰하였다. Fig. 5는 중(重)절삭조건에서 마모의 형상을 나타내는 것으로서 Fig. 2와 같은 공작물을 60회 통과 후 여유면 마모형태를 SEM으로 촬영한 사진이다. 이 사진에서 재래식 커터의 flank wear land는 0.445 mm이고, 최적 커터는 0.165 mm이다.

Fig. 6은 경(輕)절삭조건에서 마모형태를 촬영한 사진이다. 이 사진에서 재래식 커터의 flank wear

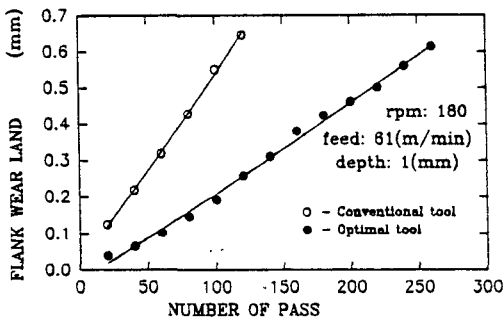


Fig. 3 The relation between flank wear land and number of pass at light cutting condition

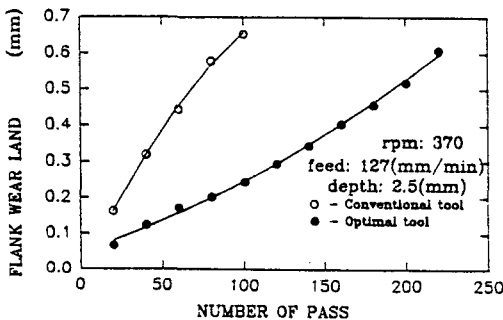
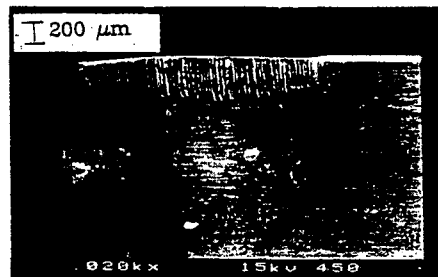
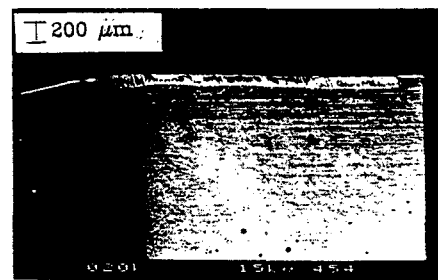


Fig. 4 The relation between flank wear land and number of pass at heavy cutting condition

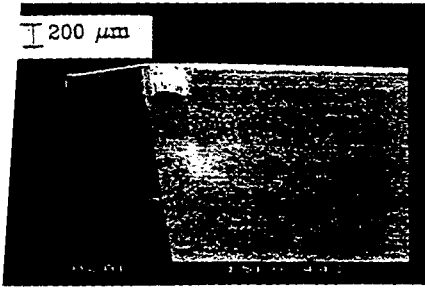


(a) Conventional tool (rpm: 370, feed: 127 m/min, depth: 2.5 mm, no. of pass: 60)

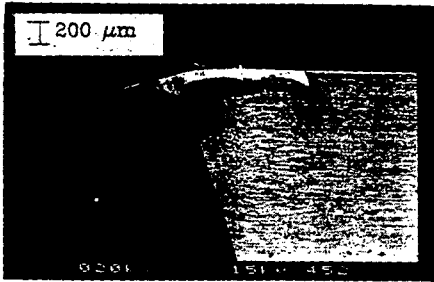


(b) Optimal tool (rpm: 370, feed: 127, depth: 2.5 mm, no. of pass: 60)

Fig. 5 Flank wear land observed under scanning electron microscopy(SEM)



1) Conventional tool(rpm: 180, feed: 61 mm, depth: 1 mm, no. of pass: 60)



(b) Optimal tool(rpm: 180, feed: 61 mm, depth: 1 mm, no. of pass: 60)

3. 6 Flank wear land observed under scanning electron microscopy(SEM)

ind는 0.315 mm이고, 최적 커터는 0.110 mm이다.

Table 6은 커터의 종류 및 절삭조건에 따른 여유면의 마모폭, 마모된 인선의 길이에 대한 측정치와 이론치 및 마모면적을 나타낸다. Table 6에서 마모인선의 길이는 재래식 커터보다 최적 커터가 길었다. 공구 여유면의 마모된 면적을 계산한 결과는 재래식 커터들이 최적 커터들보다 넓었다. 공구의 기하학적인 형상을 고려하여 인서트의 랜드부분을 제외한 절삭깊이에 비례하는 이론적 여유면 인선의 길이를 실측한 마모인선의 길이와 비교하기

위하여 Table 6에 함께 나타내었다.

재래식 커터의 인서트에 극부적인 마모가 진행되거나 최적 커터의 리드각의 증가로 인해 절삭인선이 현저하게 길어짐에 따라 마모인선의 길이가 길게 되어  $V_b$ 는 줄어들어 공구수명이 현저하게 길어진 것으로 생각된다. 마모면적은 여유면 마모폭과 마모인선의 길이로부터 계산한 것으로서 재래식 커터의 마모면적이 최적 커터에 비하여 넓은 것을 볼 수 있다. 마모면적의 감소는 마찰력이 감소되어 절삭력 감소의 원인이 되는 것으로 생각된다. 이러한 결과들은 리드각이 큰 공구에 대한 참고문헌(10)의 결과와 일치한다. 즉 리드각이 큰 공구의 장점은, (1) 동일한 feed에서도 lead angle이 크면 chip 두께가 얇아지고 열분산이 빠르므로 공구수명이 좋다. (2) 절삭중 공구의 초기충격이 감소되므로 tip의 chipping 파손을 방지할 수 있다.

### 3.2 표면조도

Fig. 7은  $R_{max}$  6.3  $\mu\text{m}$ 과  $R_{max}$  10.5  $\mu\text{m}$ 의 표준시편의 거칠기를 나타내었고, Fig. 8은 각각 주파수영역에서 나타낸 것이다. 주파수영역에서 40 Hz, 30 Hz 부근의 큰 피크값은 표준시편의 결(lay; 주로 가공방법에 의해 나타나는 표면의 주된 무늬)<sup>(11)</sup>에 의한 성분으로 생각된다.

Fig. 9는 중(重)절삭조건에서 재래식 커터와 최적 커터로 가공된 시편의 표면거칠기를 나타낸다. 재래식 커터로 가공된 시편의 최대 거칠기( $R_{max}$ )는 10.1  $\mu\text{m}$ 이고, 최적 커터로 가공된 시편의 최대 거칠기( $R_{max}$ )는 7.9  $\mu\text{m}$ 이다. 중(重)절삭조건에서 가공된 시편의 최대 거칠기는 최적 커터가 재래식 커터보다 2.1  $\mu\text{m}$  더 양호하게 나타났다.

Fig. 10은 중(重)절삭조건에서 주파수영역의 표면거칠기를 나타낸다. 주파수영역에서 36 Hz에서 큰 피크값을 나타내는데 이 성분은 절삭가공시 날

Table 6 Local wear length of the inserts according to various cutters

	Wear land	Worn edge length (measured)	Worn edge length (theory)	Worn area
Conventional cutter(light)	0.315 mm	1.065 mm	1.035 mm	0.335 mm <sup>2</sup>
Optimal cutter(light)	0.110 mm	1.650 mm	1.414 mm	0.182 mm <sup>2</sup>
Conventional cutter(heavy)	0.445 mm	2.668 mm	2.588 mm	1.188 mm <sup>2</sup>
Optimal cutter (heavy)	0.165 mm	3.840 mm	3.536 mm	0.634 mm <sup>2</sup>

당 이송량(feed per tooth: 0.0429 mm)과 tracing 속도에 해당하는 주파수이다. 이 주파수 우측에 나타나는 주파수는 정면밀링에서 절삭가공시 절삭력의

변동에 의한 커터 및 공작물의 진동에 의하여 부가적으로 가공면에 나타나는 결(layer)의 주파수 성분으로 생각된다. 큰 피크값 우측의 주파수 성분들을 재래식 커터와 최적 커터로 가공한 가공면의 거칠기를 비교해 보면, 재래식 커터는 여러 개의 주파수로 흩어져 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 가공면의 무늬가 불규칙하다는 것을 의미하고, 최적 커터 쪽은 이런 주파수가 미소하고 주된 무늬의 주파수가 우월하게 나타나므로 표준시편의 주파수 성분들과 근접함을 알 수 있고, 주된 무늬가 다른 무늬들과 간섭없이 규칙적으로 이루어져 있음을 알 수 있다.

Fig. 10에서 36 Hz의 표면조도 성분은 인서트에 의해 발생하는 거칠기로서 재래식 커터에 비하여 최적 커터에 의한 것이 크지만 Fig. 8의 최대 거칠기는 최적 커터에 의한 것이 양호하게 나타났다. 이것은 리드각이 증가됨에 따라 이론적인 표면조도가 최적 커터에 의한 가공면이  $0.32 \mu\text{m}$ 이고 재래식 커터에 의한 가공면이  $0.28 \mu\text{m}$ 으로서 최적 커터에 의한 가공면의 표면조도가 불량하다는 것이

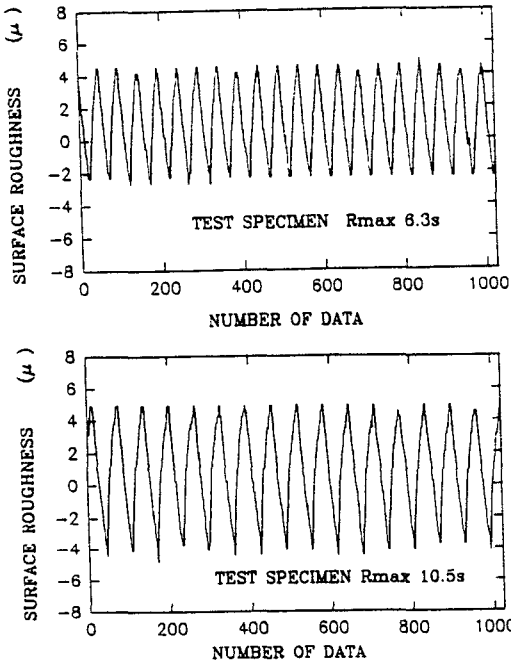


Fig. 7 Surface roughness of standard specimens

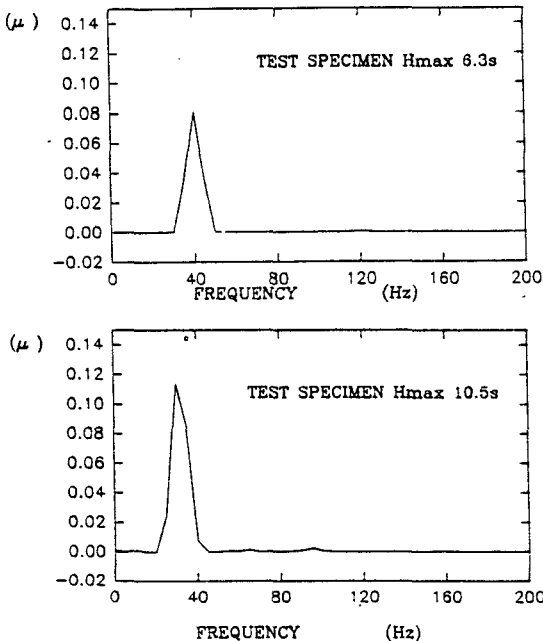
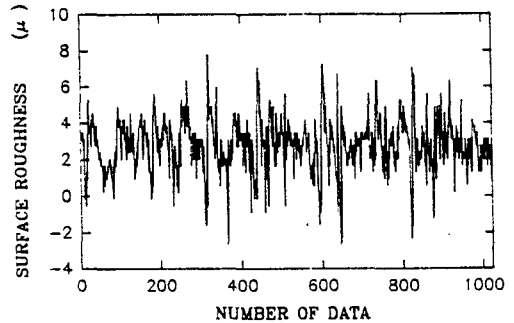
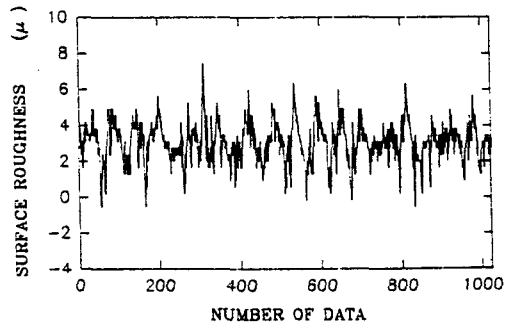


Fig. 8 Surface roughness of standard specimens in frequency domain



(a) Conventional tool



(b) Optimal tool

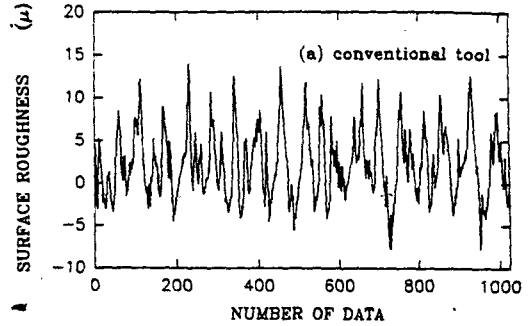
Fig. 9 Surface roughness of workpieces at heavy cutting

최적 커터의 36 Hz 성분의 진폭이 재래식 커터에 비하여 크게 나타남을 보아 확인할 수 있다.

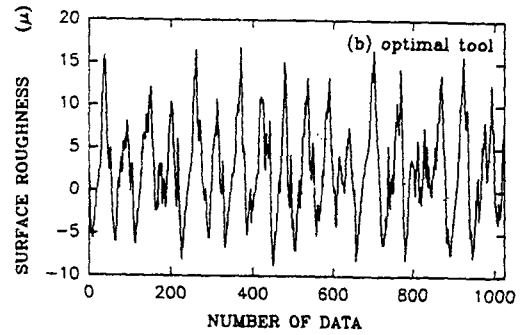
그러나 재래식 커터의 절삭이 불안하여 부가적인 고주파수 성분들이 발생되나 최적 커터에서는 고주파수 성분들이 매우 작은 것을 볼 수 있다. 최적 커터의 리드각이 커짐에 따라 칩폭이 줄어들고 안정된 절삭을 할 수 있게 되어 부가적인 고주파수 성분들이 배제되었으며, 시간영역에서는 이들 모든 주파수 성분들이 중첩되어 Fig. 8과 같은 결과로 나타나기 때문에 최적 커터에 의한 표면조도가 양호하게 나타난 것으로 생각된다.

Fig. 11은 경(輕)절삭조건에서 재래식 커터와 최적화 커터로 가공된 시편의 표면거칠기를 나타낸다. 재래식 커터로 가공된 시편의 최대 거칠기(Rmax)는 22.8  $\mu\text{m}$ 이고, 최적 커터로 가공된 시편의 최대 거칠기(Rmax)는 24.9  $\mu\text{m}$ 이다. 경(輕)절삭조건에서 가공된 시편의 최대 거칠기는 재래식 커터가 최적 커터보다 2.1  $\mu\text{m}$  더 양호하게 나타났

다. Fig. 12는 경(輕)절삭조건에서 주파수영역의 표면거칠기를 나타낸다.

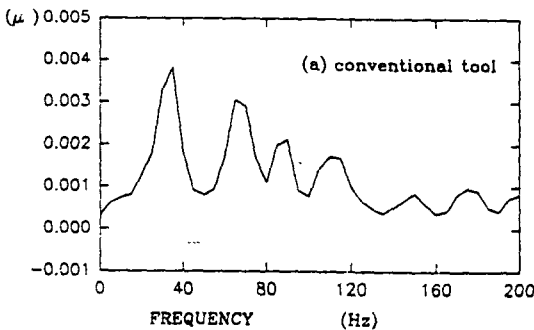


(a) Conventional tool

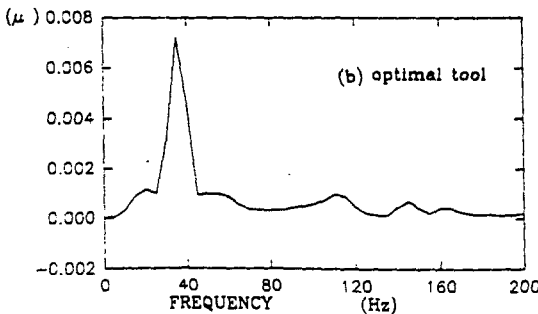


(b) Optimal tool

Fig. 11 Surface roughness of workpieces at light cutting



(a) Conventional tool



(b) Optimal tool

Fig. 10 Surface roughness of workpieces at heavy cutting

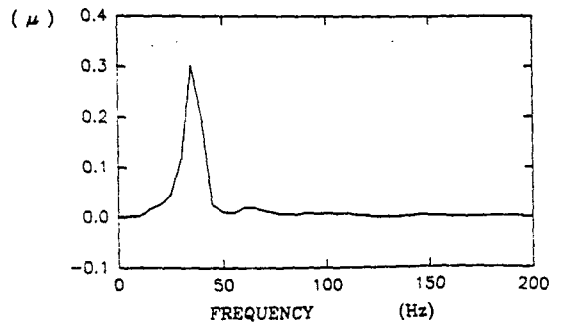
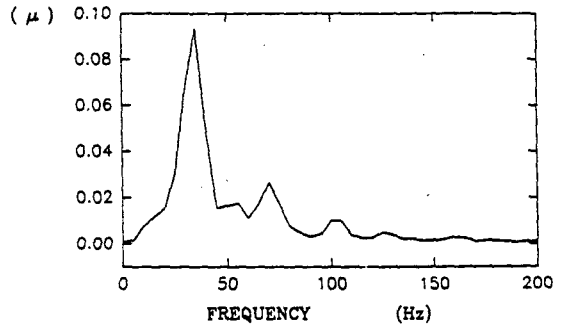


Fig. 12 Surface roughness of workpieces at light cutting



Fig. 12에서 최적 커터로 가공된 가공물의 표면 거칠기가 재래식 커터로 가공된 가공물 표면 거칠기보다 불량한 이유는 중(重)절삭의 경우와 같으며 경(輕)절삭조건에서는 중(重)절삭조건과 달리 전체적인 절삭력의 변동이 적음으로 Fig. 12와 같이 고주파수 성분의 것들은 매우 작은 값을 나타내기 때문에 중(重)절삭에 의한 거칠기가 큰 최적 커터의 표면 조도가 Fig. 11과 같이 불량하게 나타난 것으로 생각된다.

정면밀링가공에서 커터의 각들과 날당 이송(feed per tooth)을 고려한 이론적 표면조도<sup>(9)</sup>는 최적 커터쪽이 재래식 커터쪽에 비하여 불량하게 나타나지만 중(重)절삭조건에서 최적 커터쪽의 표면 조도가 양호한 것은 최적 커터로 가공할 때 절삭력의 변동이 작기 때문에 고주파수 성분들의 발생이 작아서 가공면의 최대 거칠기는 최적 커터가 양호한 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

정면밀링머신에서 절삭력 모델을 개발하여 이 모델로부터 발생되는 절삭력을 최소화시키는 공구를 최적설계하여, 새로이 제안된 커터를 제작하여서 공구마모실험 및 표면거칠기를 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 공구수명은 재래식 커터에 비해 최적 커터쪽이 경(輕)절삭조건에서 2.29배, 중(重)절삭조건에서 2.52배 증가하였다.

(2) 최적 커터로 가공된 면의 최대 표면거칠기( $R_{max}$ )는 중(重)절삭조건에서는 재래식 커터에 비해 개선되었으며, 경(輕)절삭조건에서는 재래식 커터보다 불량하였다.

(3) 표면거칠기의 주파수분석 결과 최적 커터들로 가공한 가공물의 무늬 결(layer)이 재래식 커터로 가공한 가공물의 무늬 결(layer)보다 규칙적이었다.

(4) 표면거칠기의 주파수 변환은 가공물의 절삭상태의 분석에 유용한 자료가 될 뿐 아니라 가공물의 표면거칠기의 원인분석에도 좋은 자료가 될 것

으로 사료된다.

#### 참고문헌

- (1) Rubenstein, C. 1976, "An Analysis of Tool Life Based on Flank-Face Wear." *ASME, Journal of Engineering for Industry*, Feb. pp. 221~232.
- (2) Hsu, T. C., 1969, "A Study of Wear on Cemented-Carbide Cutting Tools," *ASME*, Aug. pp. 652~658.
- (3) Yao, Y. Fang, X. D. Arndt., G.(1), 1991, "On-Line of Groove Wear at the Minor Cutting Edge for Finish Machining," *CIRP*, Vol. 40, 1, pp. 41~44.
- (4) Ber(1) A. and Goldblatt, M. 1989, "The Influence of Temperature Gradient on Cutting Tool's Life," *CIRP*, Vol. 38, 1, pp. 69~73.
- (5) Bjattacharyyam, A., 1970, Faria-gonzalez, R. Inyong Ham, "Regression Analysis for Predicting Surface Finish and its Application in the Determination of Optimum Machining," *ASME, Journal of Engineering for Industry*, Aug. pp. 711~716.
- (6) Nam P. Suh(1) and Nannaji Saka, 1987, "Surface Engineering," *CIRP*, Vol. 36, pp. 403~408.
- (7) 本多良辰, 杉田忠影, 松井 正己, 1984, "研削仕上面粗さの週期性に及ぼすトレツシンク条件の影響," *精密機械*, 50卷 2號, pp. 31~36.
- (8) 車一男 外 2人, 1991, "研削 加工面の表面性狀에 關한 研究," *한국정밀공학회지*, 제8권 제4호, pp. 64~75.
- (9) 廉永夏, 1988, "工作機械의 切削理論," 東明社, p. 168, p. 315.
- (10) 大韓重石, 1992, "超硬工具 세미나誌," pp. 45~47.
- (11) KOREA STANDARDS RESEARCH INSTITUTE, 1984, "Surface Roughness." *KRI-MO-19*, P. 19.