

〈論 文〉

밀링용 칩 브레이커 인서트의 절삭력 예측

김국원* · 이우영** · 신호철***

(1992년 12월 8일 접수)

Prediction of Cutting Forces for the Chip Breaker Insert in Milling

Kug Weon Kim, Woo Young Lee and Hyo-Chol Sin

Key Words : Chip Breaker Insert in Milling(밀링용 칩 브레이커 인서트), Shear Plane Model(전단면 모델), Groove Type Chip Breaker(홈형 칩 브레이커), Double Rake Insert(이중 경사각 인서트)

Abstract

In this paper, the effects of chip breaker configuration on cutting forces for various cutting conditions are investigated and a method for predicting cutting forces effectively for chip breaker insert in milling is described. Based on the shear plane model and the relevant equations already existing for the relation among the parameters, the method makes use of the analytic geometric approach considering the configuration of cutting tool by a 3-dimensional coordinate transformation matrix. The groove type chip breaker insert is modeled to be a double rake insert, represented by the first radial rake angle, the second radial rake angle and the length of land, and the program analyzing the cutting forces is developed. The program capability is verified by comparing the results with the experimental ones for a single cutter; and in case of primary cutting forces, the results of simulations and experiments agree very well showing 2%~16.7% difference within the feed rate range investigated.

1. 서 론

선삭가공에서는 대부분의 작업이 피삭재가 회전하면서 연속절삭이 이루어지고, 가공시 배출되는 칩의 형태도 연속적인 경우가 많다. 이러한 선삭 작업에서는 절삭공구와 칩의 접촉부위에 많은 열이 발생하여 공구의 열적마모 및 마찰마모가 심하게 진행되며 칩이 공구와 피삭재 주위에 얽혀서 함께

회전함에 따라 작업자의 안전 및 생산성에 많은 문제가 발생하므로 선삭용 칩 브레이커의 주요 기능은 칩의 형상 및 유출방향을 적절히 조절하는 것이다. 이러한 선삭용 칩 브레이커 인서트의 경우 대부분 홈형(groove type) 칩 브레이커 형상을 지니는데 이에 대해 국내의에서 칩 유출 형상, 칩 브레이커 형상, 공구마모 등의 여러 방면으로 많은 연구가 있었다.^(1~5) Worthington⁽¹⁾ 등은 실험을 통해 홈의 형상, 칩 두께 그리고 칩 곡률 반경과의 간단한 관계식을 제시하였고, Nakayama⁽²⁾ 등은 절입깊이(depth of cut) 방향으로 곡률을 부여하는 칩 브레이커 형상을 제안하였다. Redford⁽³⁾는 홈

*서울대학교 기계설계학과 대학원

**정회원, 한국기술교육대학 생산기계공학과

***정회원, 서울대학교 기계설계학과

형 칩 브레이커의 형상에 따른 플랭크 마모에 대해 연구하였고, 이우영⁽⁴⁾ 등은 3차원 칩 브레이커의 제작방법과 칩파괴 판별 조건을 제시하였다. Jawahir⁽⁵⁾은 칩과 공구의 접촉길이와 홈 형상의 적절한 조절을 통해 효율적인 칩 처리가 가능함을 보였다.

그러나 선삭에 비해 복잡하고 가혹한 절삭 메카니즘을 가진 밀링용 인서트의 경우, 국내에서는 아직 칩 브레이커에 대한 연구의 보고가 별로 없으나, 미국 및 유럽의 SECO, SANDVIK, ISCAR 등 선진공구 회사에서는 2~3년 전부터 독특한 형상을 지닌 밀링용 칩 브레이커 인서트를 개발하여 시판하고 있는 상황이며 계속적으로 새로운 형상의 칩 브레이커를 개발할 것이라 전망된다. 이에 국내에서도 밀링용 칩 브레이커 인서트 형상설계에 대한 연구가 절실히 요청되고 있다. 밀링가공은 선삭가공과는 달리 단속절삭이 이루어지므로 절삭시 대부분의 칩이 적절하게 끊어져 칩 처리가 용이하며 따라서 밀링용 칩 브레이커의 주요 역할은 칩 유동의 조절보다는 단속절삭시 발생하는 절삭 저항을 감소시켜 공구수명을 향상시키고 피삭재 표면조도를 개선시키는데 있다. 선삭용 칩브레이커의 경우 대부분 칩 조절의 관점에서 집중적으로 연구되고 있으나 밀링용 칩 브레이커에 대해서는 칩 브레이커 형상이 절삭조건에 따라 절삭저항에 미치는 영향을 고찰, 규명하고 이를 바탕으로 공구가 받는 절삭력을 정확히 예측하는 연구가 더욱 필요하다.

현재까지 칩 브레이커 형상이 절삭저항에 미치는 영향에 대해 기술한 대부분의 논문⁽⁶⁻⁸⁾에서는 많은 절삭실험을 통하여 형상별 절삭저항에 미치는 영향을 비교 분석한 내용이며 이를 수식적으로 해석하여 절삭력을 예측하는 문제에 대해 언급된 자료는 전무한 실정이다. 따라서 아직까지는 새로운 형상의 칩 브레이커를 개발할 때마다 여러가지 절삭조건 하에서 많은 실험분석이 뒤따라야 하므로 시간과 비용이 많이 드는 어려움이 있다.

본 연구에서는 밀링용 칩 브레이커 인서트 중에서 그 기하학적 형상이 비교적 간단한 홈형 칩 브레이커 인서트에 대해 인서트 형상이 절삭저항에 미치는 영향을 고려하고, 기본적으로 전단면 모델에 바탕을 둔 2차원 절삭모델 및 관계식들과 공구의 기하학적 형상이 고려된 3차원 절삭력 모델을 사용하여 밀링용 칩 브레이커 인서트의 절삭력을 유효하게 예측하고자 한다.

2. 절삭력 예측 모델

2.1 절삭력 모델링

절삭가공 현상에 대하여 지금까지 많은 연구가 있어 왔으나 절삭현상의 복잡성(주로 피삭재의 대변형 및 온도 상승) 때문에 아직 일반적인 예측 모델은 완성되지 못하고 여러 다양한 절삭 모델로 해석적 또는 실험적 방법으로 계속 연구되고 있다. 이중 전단면(shear plane) 모델은 소성변형이 전단면에서만 발생한다고 가정하여 절삭현상을 상당히 단순화시킨 것으로, 전단면에서는 변형률 속도구배가 무한대가 되고 그밖의 다른 곳에서는 전혀 변형이 없는 비 합리성에도 불구하고 1940년대 초 Merchant⁽⁹⁾에 의해 제시된 이후, 현재까지 절삭력 해석에 가장 많이 이용되고 있다. 그 주된 연구 내용은 전단각, 피삭재의 전단응력, 마찰각 등을 예측하는 것이며 특히 전단각에 대해서는 많은 연구가 이루어져 실험적 결과와 함께 유용한 수식이 많이 나와 있다.⁽¹⁰⁻¹²⁾

한편 절삭 메카니즘이 비교적 복잡한 밀링절삭에 있어서는 전단각, 전단응력, 마찰각 등의 지식을 필요로 하는 전단면 모델보다는, 간단히 실험적으로 접근하는 실험 모델링 방법이 잘 발달되어 있다. Matellotti⁽¹³⁾는 변형을 일으키기전의 칩의 두께와 주절삭력 사이에 비례관계가 성립하며 이 비례상수를 비절삭저항(specific cutting pressure)이라 일컬었는데 이후 이 비례상수를 유효하게 모델링하는 연구가 많이 행해졌다.⁽¹⁴⁻¹⁵⁾ 그러나 이 방법은 비례상수를 결정하는데 있어 예비실험을 통한 평균값을 사용할 수 밖에 없으므로 그 예측의 정확성에 한계가 있으며 새로 개발되는 공구와 같이 공구 형상의 미소한 변화에 따른 절삭저항의 영향을 고려하기에는 많은 어려움이 있다. 또한 한가지 피삭재에 대해서도 선삭과 밀링에서 각각 실험을 반복 수행해야 한다는 번거로움이 있다.

1989년 이우영 등⁽¹⁶⁾은 3차원 절삭력 예측 모델을 제시하였는데, 기본적으로 전단면 모델을 이용하였고 행렬 변환에 의해 공구의 형상 파라미터들을 고려함으로써 이전의 모델보다 훨씬 효과적이고 다양하게 사용할 수 있음을 확인하였다. 이 모델은 인서트 상면에 형상변화를 갖는 칩 브레이커 인서트의 절삭력 예측에 효과적으로 이용될 수 있다.

2.2 칩 브레이커형상을 고려한 절삭력 예측 모델

칩 브레이커가 절삭저항에 미치는 영향을 연구한 대부분의 논문에서는 여러 종류의 칩 브레이커 인서트에 대해 실험을 통한 절삭성능 및 형상별 절삭저항에 미치는 요인을 비교 분석할 뿐 구체적으로 칩 브레이커 형상과 절삭저항간의 관계를 수식적으로 제시한 내용은 찾아 볼 수 없다. 다만 1976년 Nakayama⁽⁶⁾ 등의 논문에서 실험을 통하여 홈형 칩 브레이커가 절삭저항에 미치는 영향을 구체적으로 연구한 내용이 보인다. 그는 여기서 여러가지 피삭재에 대해 절삭조건에 따른 진단각 등을 구하는 유용한 수식들을 제시하였을 뿐 아니라 Fig.1 과 같은 홈형 칩 브레이커 인서트는 절삭되는 칩의 두께에 따라 절삭에 관여하는 반경방향 경사각이 α_{r1} 에서 α_{r2} 변하게 됨을 실험을 통해서 보였다.

본 연구에서는 Nakayama 등의 실험을 바탕으로 홈형 칩 브레이커 인서트를 반경방향 경사각이 2개인 이중 경사각 인서트(double rake insert)로 모델링하고, 홈형 칩 브레이커의 형상을 제2반경방향 경사각과 랜드의 길이로써 규정하였다. 따라서 공구의 기하학적 형상을 결정짓는 인자로 어프로우치각, 축방향 경사각, 제1반경방향 경사각⁽¹⁶⁾ 이외에도 제2반경방향 경사각과 랜드의 길이가 고려된다. 밀링가공시 커터의 회전과 이송의 동시 운동에 의하여 칩의 두께는 연속적으로 변하게 되므로 먼

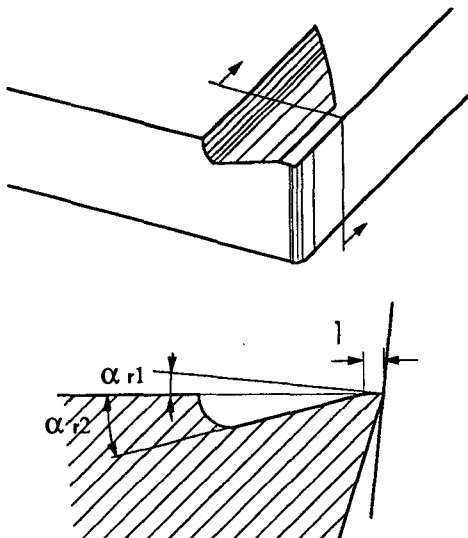


Fig. 1 Ground groove type chip breaker

저 매 순간 칩 두께를 계산하여 칩 두께와 랜드길이의 비가 0.5⁽⁶⁾를 초과하는 순간부터 인서트의 반경방향 경사각은 제1반경방향 경사각에서 제2반경방향 경사각으로 바뀌게 된다.

커터의 궤적을 고려한, 변형을 일으키기 전의 칩 두께는 다음과 같이 표시된다. (Fig.2 참조)

$$h(\theta) = R + f_i \sin \theta - (R^2 - f_i^2 \cos^2 \theta)^{1/2} = f_i \sin \theta \tag{1}$$

여기서 R : 커터의 반경

f_i : 커터 1회전당 이송량(mm/rev)

θ : 커터의 회전위치

반경방향 경사각은 칩 두께와 랜드의 길이 비에 따라 결정된다.

$$\alpha_r = \begin{cases} \alpha_{r1} & (h/l < 0.5) \\ \alpha_{r2} & (h/l \geq 0.5) \end{cases} \tag{2}$$

커터의 회전과 이송에 의해 칩 두께와 이에 따른 반경방향 경사각이 결정되면 다음의 수식에 의해 유효 경사각을 계산할 수 있다.

$$\sin \alpha_e = \sin \eta_c \sin i + \cos \eta_c \cos i \sin \alpha_n \tag{3}$$

여기서 칩유출각 η_c 는 Stabler 가정($\eta_c = i$)을 따르기로 한다.⁽¹⁰⁾ 수직 경사각 역시 공구의 기하학적 형상 관계로 부터

$$\tan \alpha_n = \cos i (\tan \alpha_r \cos \alpha_n + \tan \alpha_x \sin \alpha_n) \tag{4}$$

가 된다.

한편, Fig. 3에서와 같이 $r-s$ 좌표계와 $r'-s'$ 좌표계는 유효경사각 α_e 만큼의 좌표회전에 의해 등

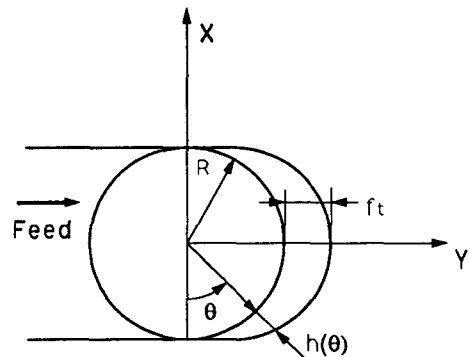


Fig. 2 Chip thickness in milling

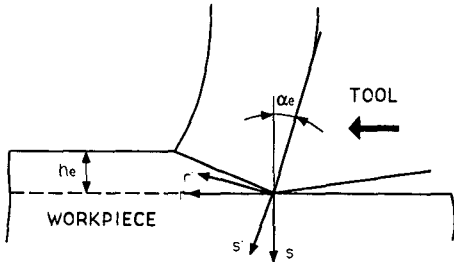


Fig. 3 Cross section of cutting tool on plane r'-s' and r-s

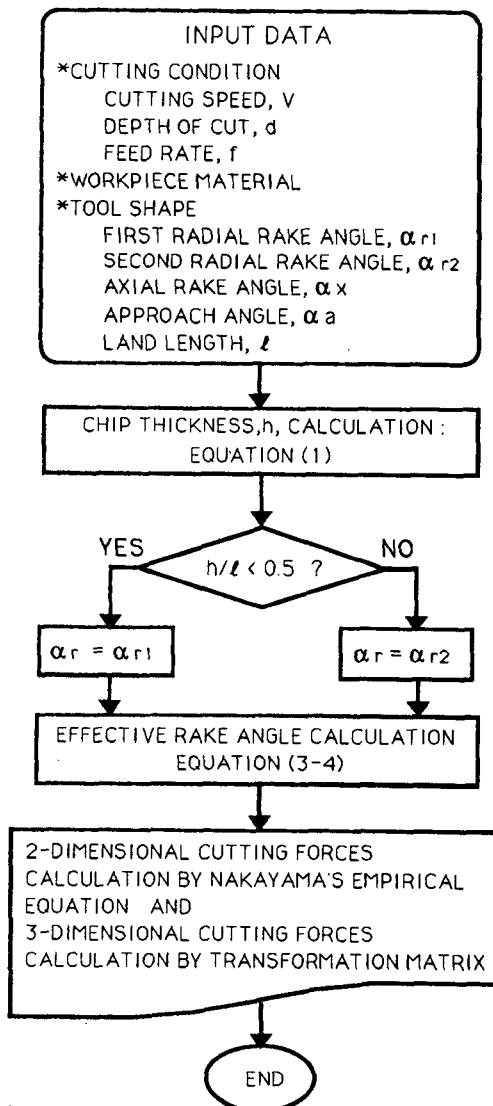


Fig. 4 Flow chart for computing the 3-dimensional cutting forces in groove type chip breaker insert

일하게 되고 F_r, F_s 는 2차원 절삭력으로 볼 수 있으므로

$$\begin{bmatrix} F_r' \\ F_s' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_e & -\sin \alpha_e \\ \sin \alpha_e & \cos \alpha_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_r \\ F_s \end{bmatrix} \quad (5)$$

로 된다. F_r, F_s 는 2차원 절삭력으로 전단면 모델로부터 계산되는데 전단각, 전단응력, 마찰각 등의 파라메타들은 Nakayama 등이 제시한 수식⁽⁶⁾을 따르기로 한다. F_r, F_s 를 xyz -좌표계의 성분으로 분해하면 $F = F_r n_r + F_s n_s$ 로부터

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} F_r \\ F_s \end{bmatrix} \quad (6)$$

이고 여기서 변환행렬 $[T]$ 는 공구의 기하학적 형상과 칩 유출각의 가정으로부터 계산된다.⁽¹⁶⁾

이상의 수식으로부터 임의의 형상각 $\alpha_a, \alpha_x, \alpha_r1, \alpha_r2$ 와 랜드의 길이 l 을 지나는 밀링용 칩 브레이커 인서트의 순간 절삭력을 구할 수 있다. Fig. 4는 앞서 기술한 내용에 대한 전산해석 흐름도를 나타낸 것이다.

3. 실험 및 이론치와의 비교

본 연구에서는 해석 모델로서 선진 공구회사(미국 S사)에서 현재 시판중인 밀링용 칩 브레이커

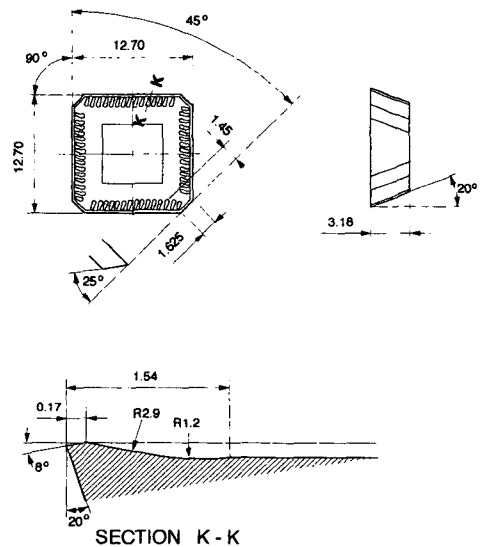


Fig. 5 SEKR-M10 insert

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of workpiece

Components (%)	C	Si	Mn
		0.16~0.25	0.15~0.35
Tensile strength	41~44 kg/mm ² (401.8~431.2 MN/mm ²)		
Elongation	28~29 (%)		
Yield strength	25~26 kg/mm ² (245.0~254.8 MN/mm ²)		

Table 2 Cutting conditions for experiments

Test No.	BODY	INSERT	V (rpm)	d (mm)	f (mm/min)
1	AE4100	SECN (non C/B)	320	2	32
2					48
3					64
4		SEKR-M10	320	2	32
5					48
6					64

V : cutting speed
 d : depth of cut
 f : feed rate

인서트, SEKR1203AFTR-M10(이하 SEKR-M10)을 선정하여 칩 브레이커 형상이 절삭력에 미치는 영향을 고찰해 보았다. 실험에 사용된 인서트는 SEKR-M10과 국내 공구회사에서 제작된 칩 브레이커 없는 SECN1203AFTN(이하 SECN(non C/B)) 인서트이다. SEKR-M10의 세부형상은 Fig. 5에 나타나 있는데, 제 2 반경방향 경사각 14°, 랜드의 길이 0.17 mm 인 홈형 칩 브레이커를 가지며 각 절삭날에 절삭면과 76° 기울어진 15개의 작은 홈이 빗살무늬 모양으로 형성되어 있다.

3.1 실험장치의 구성

사용한 실험장치는 다음과 같다.

Milling machine : HITACHI numerical control milling machine(VA-40)

Dynamometer : KIESTLER AST 1207(밀링용, strain gauge type)

Amplifier : KYOWA DPM-310B(strain gauge type)

Oscilloscope : T912(TEKTRONIX)

A/D converter : Lab-master

Datacorder : KYOWA RTP-501AL(max. freq. 2.5 kHz)

micro-computer : IBM-PC 386

실험에 사용된 피삭재는 SM20C이며, 그 화학적 성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

3.2 실험조건

밀링용 칩 브레이커 인서트인 SEKR-M10과 칩 브레이커 없는 SECN(non C/B) 두 인서트에 대해 fly cutting 절삭력 측정 실험을 하고 각각의 절삭

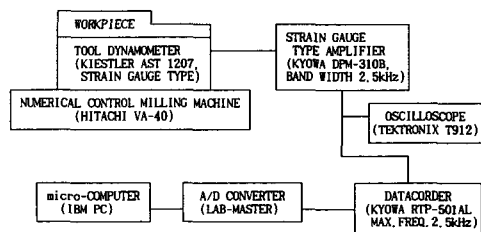
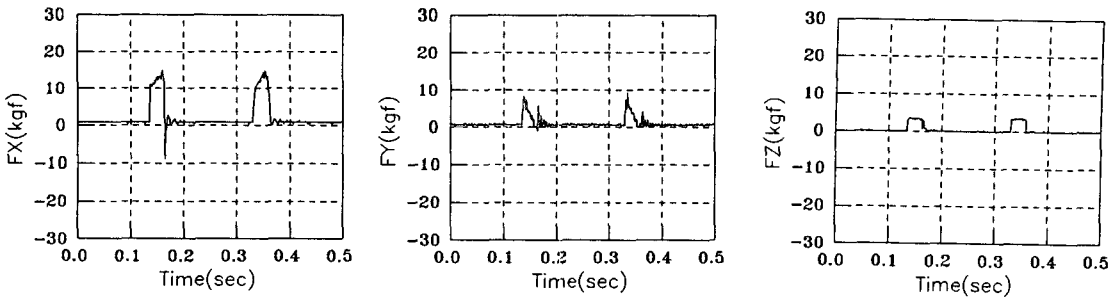
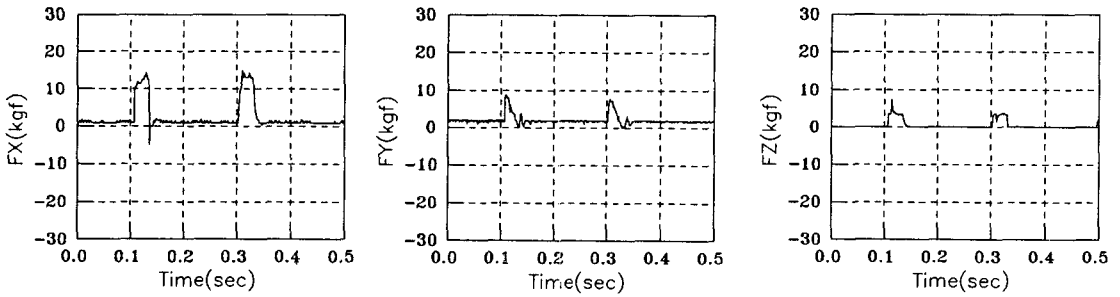


Fig. 6 Milling force data acquisition set up

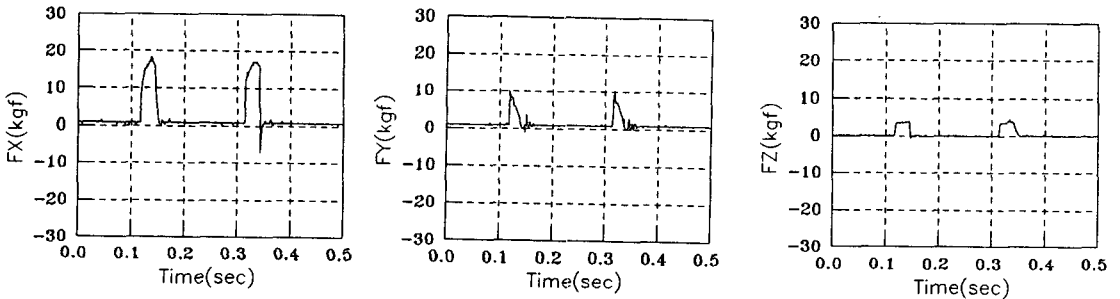


(a) SECN(non C/B)

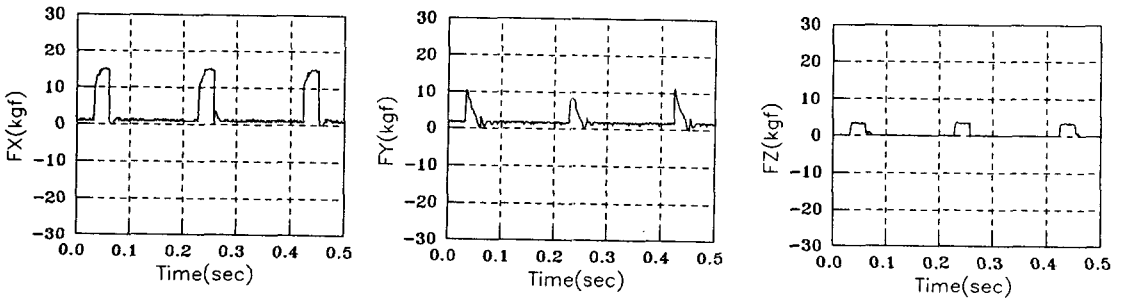


(b) SEKR-M10(V=320 rpm, d=2 mm, f= 32 mm/min)

Fig. 7 Measured cutting forces



(a) SECN(non C/B)



(b) SEKR-M10(V=320 rpm, d=2 mm, f= 48 mm/min)

Fig. 8 Measured cutting forces

력을 비교하였다. 사용된 CUTTER BODY는 KORLOY사의 AE4100(지름 100 mm)이며 어프로우치각 45°, 축방향 경사각 20°, 반경방향 경사각 -3°를 가진다.

실험의 절삭조건은 Table 2와 같다.

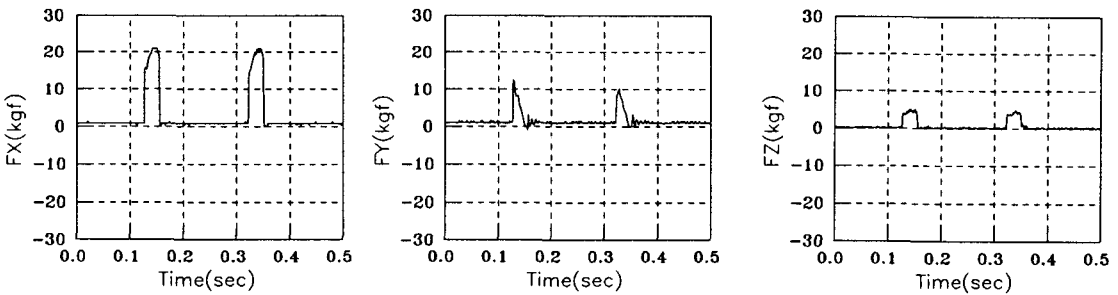
3.3 실험방법

밀링용 인서트의 절삭력을 얻기 위하여 Fig. 6

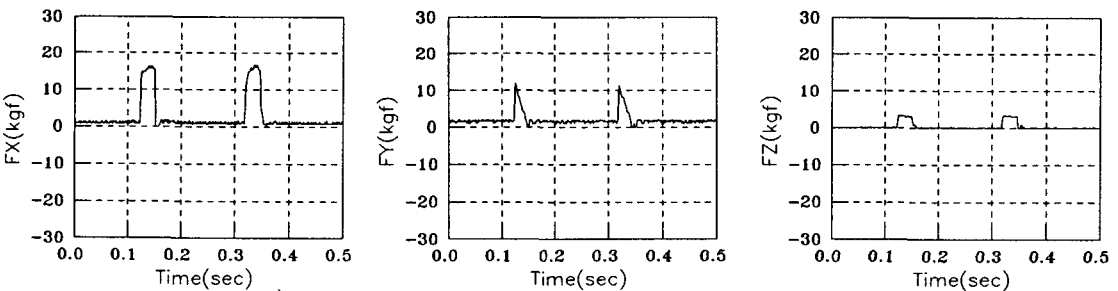
과 같은 장치에서 실험하였다. 먼저 공구 동력계에서 측정된 절삭력은 스트레인게이지 타입 앰프(strain gauge type amp.)를 통하여 증폭되고 앰프 내부의 로우패스 필터(low pass filter, band width 2.5 kHz)를 통하게 된다. 이 신호를 데이터코더(datacoder)를 통해 저장하였다가 다시 아날로그/디지털 변환기(A/D converter)를 거쳐 컴퓨터에서 처리한다.

Table 3 Comparison of force components for SEKR-M10 and SECN (non C/B)

Cutting force	INSERT	feed rate(mm/min)			Max. decrease (%)
		32	48	64	
FX	SECN (non C/B)	12.5	16.3	19.8	17.7
	SEKR-M10	12.3	14.6	16.3	
FY	SECN (non C/B)	6.8	7.3	8.3	-5.7
	SEKR-M10	6.0	7.5	8.8	
FZ	SECN (non C/B)	3.5	3.8	5.0	28.0
	SEKR-M10	3.6	3.6	3.6	



(a) SECN(non C/B)



(b) SEKR-M10(V=320 rpm, d=2 mm, f=64 mm/min)

Fig. 9 Measured cutting forces

저장시, 오실로스코프(oscilloscope)를 통하여 온 라인(on-line) 상태에서 절삭력을 관찰할 수 있게 하였다.

3.4 실험결과 및 이론치와의 비교

Fig. 7은 절삭속도 320 rpm, 절입깊이 2 mm, 이송량 32 mm/min의 절삭조건에서 데이터코더에 저장된 SECN(non C/B)과 SEKR-M10의 절삭력 파

형을 나타내는데, 이 경우 주분력, 이송분력, 배분력 모두 두 인서트간에 거의 비슷한 분포를 이루고 있다. 이는 SEKR-M10의 랜드길이가 0.17 mm 이므로 절삭속도 320 rpm, 이송량 32 mm/min 에서는 밀링커터의 1 회전당 칩의 최대두께가 0.1 mm 가 되어 절삭시 대부분의 칩 두께가 랜드길이의 0.5배를 초과하지 못함으로 해서 홈형 칩 브레이커의 효과가 거의 나타나지 않기 때문이다. 이송량 48 mm/min 과 64 mm/min에서 측정된 절삭력 파형을 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었는데, 밀링커터의 1 회전당 칩의 최대두께가 각각 0.15 mm, 0.2 mm 가 되므로 홈형 칩 브레이커의 영향으로 SEKR-M10의 절삭저항이 SECN(non C/B)에 비해 작게 나타나게 된다. Table 3과 Fig. 10은 이송의 변화에 따른 주분력, 이송분력, 배분력의 최대치를 보이고 있으며, 이송이 증가할수록 절삭저항의 차이가 더욱 커짐을 알 수 있다. 주분력 최대치의 경우 이송량 32 mm/min일 때는 SEKR-M10의 절삭저항이 SECN(non C/B)에 비해 1.6% 작으나, 이송량 64 mm/min일 때는 17.7%의 차이를 보이고 있고 주분력에 비해 현저히 작은 값을 보이는 배분력에 있어서도 이송량 64 mm/min인 경우 28% 차이를 나타낸다. 이러한 현상은 이송이 증가할수록 절삭되는 칩의 두께가 커지고, 따라서 유효경사각의 변화가 더욱 빨리 이루어지기 때문이라 생각된다.

칩 브레이커를 고려한 절삭력 예측모델로써 밀링용 칩 브레이커의 인서트의 절삭력을 계산하는 프로그램을 작성하여 실험과 같은 절삭조건으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 절삭속도 320 rpm, 절입깊이 2 mm, 이송량 32 mm/min, 48 mm/min, 64 mm/min의 절삭조건에서 예측되는 SEKR-M10의 절삭력 파형과 실험치를 각각 Fig. 11~Fig. 13에서 비교하여 나타내었으며, 같은 절삭조건하에서 실험으로 측정된 절삭력파형과 유사한 분포를 이루며 특히 주분력의 경우 그 주기와 최대치가 잘 일치함을 알 수 있다. Fig.14는 주분력에 대한 시뮬레이션 결과와 실험치를 실시간(real time) 0.1 sec에서 비교한 것인데, 홈형 칩 브레이커의 효과가 나타나는 이송량 48 mm/min, 64 mm/min인 경우에도 실험치와 유사한 파형을 이루고 있다. Fig. 15는 각 이송단계에서 주분력의 최대치에 대한 실험치와 계산치를 비교한 것이다. 이송량 32 mm/min와 48 mm/min에서는 시뮬레이션 결과가 비교적 실험값을 잘 추적하고 있으며, 이송에 따른 절

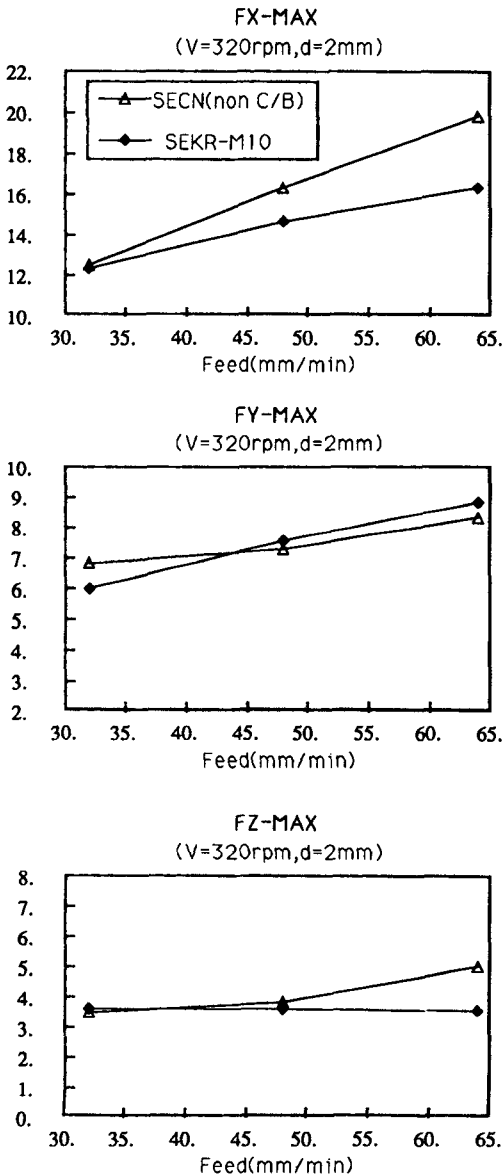


Fig. 10 Comparison of cutting forces for SECN(non C/B) and SEKR-M10

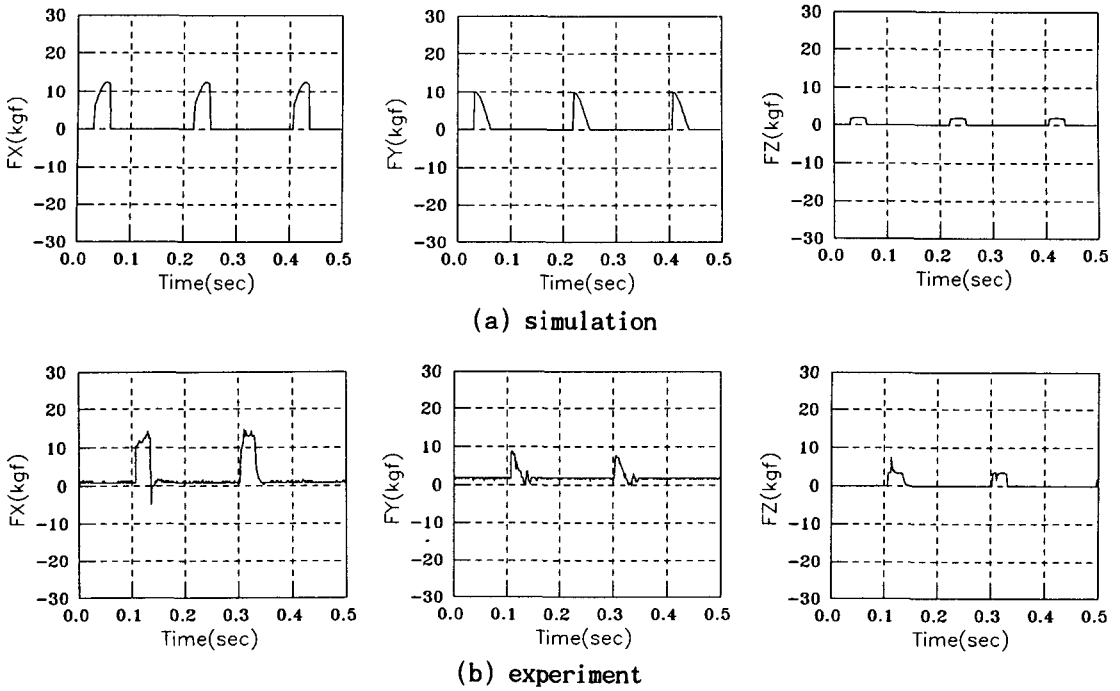


Fig. 11 Simulated and measured cutting forces for SEKR-M10 insert($V=320$ rpm, $d=2$ mm, $f=32$ mm/min)

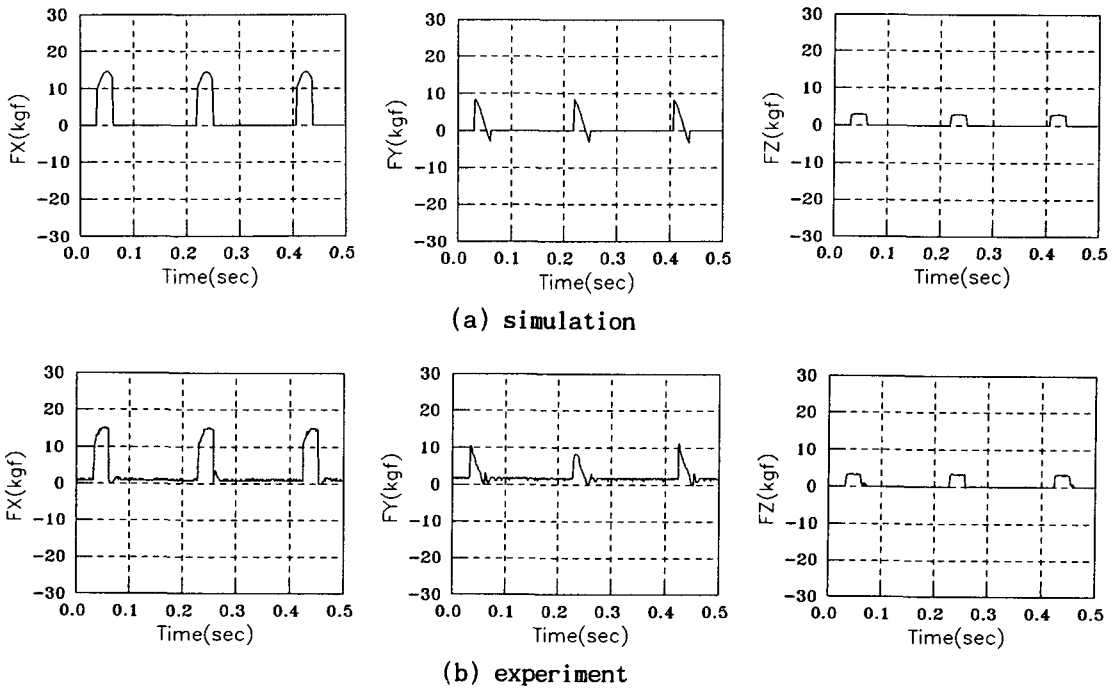


Fig. 12 Simulated and measured cutting forces for SEKR-M10 insert($V=320$ rpm, $d=2$ mm, $f=48$ mm/min)

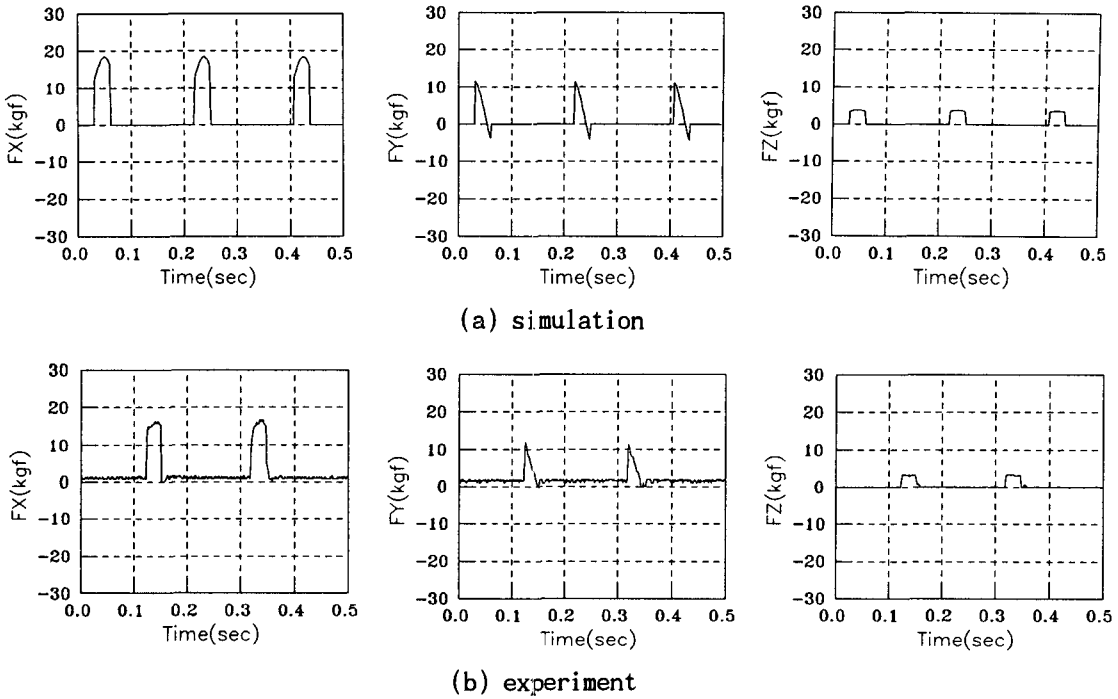


Fig. 13 Simulated and measured cutting forces for SEKR-M10 insert($V=320$ rpm, $d=2$ mm, $f=64$ mm/min)

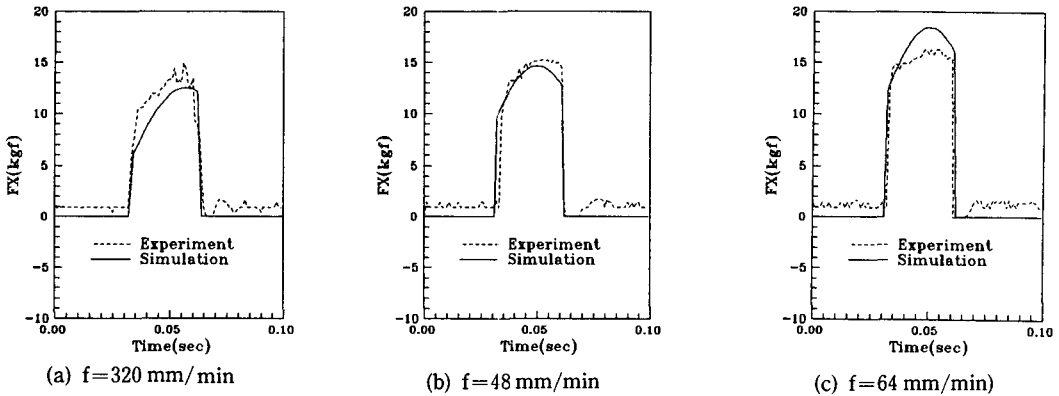


Fig. 14 Comparison of simulated and measured cutting forces for SEKR-M10

삭력의 변화를 유사하게 나타내고 있다. 그러나 이송량 64 mm/min에서는 계산치와 실험치가 비교적 큰 차이를 보이고 있다. 이는 SEKR-M10의 절삭날에 형성되어 있는 빗살무늬의 작은 홈들에 의한 영향이라 생각된다. 이 작은 홈들은 SEKR-M10의 칩 유출 각도와 일치하는 76°각도로 절삭면에 기울어져 있으므로, 칩의 유동을 원활하게 하여 절삭중 발생하는 절삭열을 발산시키는 역할을 할 것

이라 예측된다. 이러한 이유로 절삭되는 칩 두께가 비교적 작은 이송량에서는 빗살무늬의 작은 홈들이 절삭현상에 미치는 영향이 거의 없게 되며 SEKR-M10은 빗살무늬 없는 홈형 칩 브레이커 인서트와 같은 절삭성능을 보이게 되나, 이송이 증가되면 작은 홈들의 효과가 커지므로 SEKR-M10 인서트는 보통의 홈형 칩 브레이커 인서트와 다른 절삭 성능을 나타내게 되어 계산치와 실험치가 더 큰

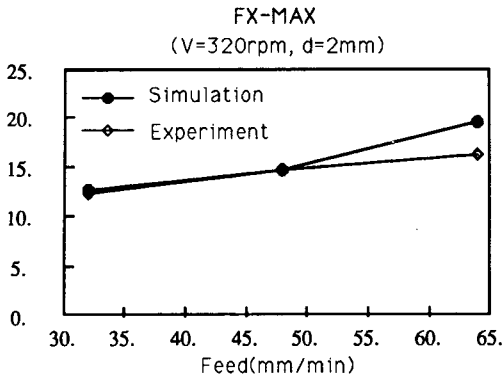


Fig. 15 Simulated and measured cutting forces with feeds for SEKR-M10

차이를 보이게 된다. 절삭시, 공구와 피삭재의 마찰에 의해 발생하는 절삭열은 절삭현상을 규명하는데 무시할 수 없는 중요한 요소이므로 절삭력의 정확한 예측을 위해서는 앞으로 이에 대한 많은 연구가 요망된다.

4. 결 론

본 연구로부터 다음의 결론을 얻을 수 있다.

(1) 밀링용 칩 브레이커 인서트와 칩 브레이커가 없는 인서트에 대해 절삭력 측정실험을 하여 절삭력을 비교하였으며 그 결과, 칩 브레이커를 가진 인서트의 절삭저항이 칩 브레이커 없는 인서트에 비해 이송범위에 따라 1.6%~17.7% 정도 작게 나타났다고 이송이 증가할수록 칩 브레이커의 효과는 더욱 뚜렷이 나타났다. 따라서 가혹한 절삭조건에서 사용되는 밀링용 인서트의 경우 절삭조건 범위에 따른 인서트의 형상을 효과적으로 설계하면 절삭저항을 현저히 감소시킬 수 있다.

(2) 칩 브레이커의 대표적인 형상인 홈형 칩 브레이커 인서트에 대해, 공구의 기하학적 형상인자로 어프로우치각, 축방향 경사각, 제1반경방향 경사각 및 제2반경방향 경사각과 랜드길이를 고려하고 전단면 모델이론에 바탕을 둔 절삭력 예측방법을 제시하여 프로그램을 작성하였고 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 실험결과를 비교하였다. 같은 절삭조건하에서 실험으로 측정된 절삭력 파형은 그 주기와 최대치가 예상치와 유사한 분포를 이루며 잘 일치하고, 주분력 최대치의 경우 이송범위에 따라 2%~16.7% 미만의 오차를 나타내었다.

참고문헌

- (1) Worthington, B. and Redford, A. H., 1973, "Chip Curl and the Action of the Groove Type Chip Former," *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 13, pp. 257~270.
- (2) Redford, A. H., 1980, "The Effect on Cutting Tool Wear of Various Types of Chip Control Device," *Annals of the CIRP*, Vol. 29, pp. 67~71.
- (3) Nakayama, K., Arai, M., and Kondo, T., 1981, "Cutting Tool with Curved Rake Face-A Means for Breaking Thin Chips," *Annals of the CIRP*, Vol. 30, pp. 5~8.
- (4) 이우영, 신효철, 1987, "이단 홈형칩브레이커의 메카니즘," *대한기계학회논문집*, 제11권, 제6호, pp. 1005~1013.
- (5) Jawahir, I. S., 1990, "On the Controllability of Chip Breaking Cycles and Modes of Chip Breaking in Metal Machining," *Annals of the CIRP*, Vol. 39, pp. 47~51.
- (6) Nakayama, K., and Arai, M., 1976, "On the Storage of Data on Metal Cutting Forces," *Annals of the CIRP*, Vol. 25, pp. 13~18.
- (7) 이상욱, 이주완, 1986, "초경재료의 칩 브레이커 형상에 따른 절삭특성," *대한금속학회지*, 제24권, 제6호, pp. 734~742.
- (8) Hasegawa, Y., Hanasaki, S., Fujiwara, J. and Wada, T., 1988, "Study on Chip Breaker-Performance of a New Chip Breaker in Dry Turning-," *JSPE*, pp. 1975~1980.
- (9) Merchant, M. E., 1944, "Basic Mechanics of the Metal Cutting Process," *J. of App. Mech.*, *Trans. ASME*, Vol. 11, pp. 168~175.
- (10) Stabler, G. V., 1951, "Geometry of Cutting Tools," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, London, Vol. 165, pp. 14~26.
- (11) Colwel, L. V., 1954, "Predicting the Angle of Chip Flow for Single Point Cutting Tools," *Trans. ASME*, Vol. 76, pp. 199~204.
- (12) Wright, P. K., 1982, "Predicting the Shear Plane Angle in Machining from Workmaterial Strain-Hardening Characteristics," *J. of Eng. for*

- Ind., Vol. 104, pp. 285~292.
- (13) Matellotti, M. E., 1941, "An Analysis of the Milling Process," J. of App. Mech., Trar.s. ASME, Vol. 63, p. 667.
- (14) Kline, W. A., Devor, R. E., and Lindberg, J. R., 1982, "The Prediction of Cutting Forces in End Milling with Application to Cornering Cuts," Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 22, pp. 7~22.
- (15) Fu, H. J., and Devor, R. E., 1984, "A Mechanistic Model for the Prediction of the Force System in Face Milling Operation," J. Eng. Ind., Trans, ASME, Vol. 106, p. 81.
- (16) 이우영, 신호철, 1989, "전단유동응력에 의한 정면밀링의 절삭력 해석," 대한기계학회논문집, 제13권, 제6호, pp. 1170~1182.