

## 절삭력에 의한 칩의 형상분류와 칩형상 예측

최원식\*, 윤종호\*\*, 이영문\*\*\*

### The Prediction and Classification of the Chip Formation using Cutting Force

W. S. Choi\*, J. H. Yoon\*\*, Y. M. Lee\*\*\*

#### Abstract

In order to achieve high flexibility in manufacture, chip control is one of the most serious problems at present. The continuous type chip (uncontrolled chip), which interrupts the normal cutting process and damages the operator, tool and workpiece have a higher force ratio, while the controlled chip, which is 6 or 9 type and C type, has the values of the force ratio below 0.6. The chips were classified by 4 types, in chip formation and by described chip history during the cutting process. Finally, the feasibility of utilizing force ratios in chip control will be pointed out while comparing generated force signals during the cutting process.

Keywords : 절삭력(cutting force), 연속형칩(continuous chip), 절단형칩(broken chip), 절삭에너지(specific cutting energy), 삽입공구(insert)

### 1. 서론

최근 공작기계의 성능향상과 절삭공구의 발달로 절삭작업은 더욱 고속 정밀화되고 있으며 무인화 생산을 지향하는 유연생산 시스템(flexible manufacturing system)과 컴퓨터 통합시스템(computer integrated manufacturing system)의 발전과 함께 절삭시스템에서의 효과적인 칩컨

트롤이 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 특히 선삭가공과 같은 연속 절삭 방식에서 고속으로 생성되는 연속형 칩은 공구 및 공작물 표면을 손상시키며 공구나 공작물에 영커 절삭작업을 방해하기 때문에 때때로 절삭작업을 중단하고 제거하지 않으면 안된다. 따라서 절삭작업의 신뢰성과 효율성을 향상시키기 위해서는 주기적인 칩의 절단을 통하여 이러한 문제점을 해결함과 동시에 칩의 제거를

\* 경일대학교 기계공학과  
 \*\* 경일대학교 기계설계학과  
 \*\*\* 경북대학교 기계공학부

용이하게 해주어야 한다. (1-3)

연속적으로 생성되는 칩은 방해물형 또는 홈형 칩포머(chip former)등에 의해 굴곡된 후 공작물 또는 공구 여유면 등과 간섭하여 절단된다.

칩포머를 채택하는 일차적인 목적은 이상과 같이 연속적으로 생성되는 칩을 굴곡시킴으로서 칩의 절단 및 제거를 용이하게 해주는 것이지만, 이에 못지않게 중요한 목적은 절삭성능의 향상을 기하는 것이다.

최근에는 칩의 굴곡작용 외에 사용상의 편리함과 랜드에 의한 칩-공구 접촉제한효과로 절삭성능을 향상시킬 수 있는 잇집 때문에 선삭용 공구의 기본 형상으로 홈형 및 랜드앵글(land angle)형 칩포머가 성형되어 있는 인서트(insert) 공구가 주로 사용되고 있다.

절삭성능 향상을 목적으로 개발된 칩-공구 접촉제한 공구(restricted contact tool)의 절삭특성에 대해서는 1950년대 말부터 많은 실험 및 이론적 연구결과가 제시된 바 있으며, 칩-공구 접촉길이에 대한 미변형 칩두께(undeformed chip thickness)의 비가 클수록 절삭성능이 향상되는 경향을 나타내고 있다. (4-7) 그러나 이들 공구에 의한 절삭시 칩제어 측면에서의 고찰은 거의 행하여지지 않았다.

한편 Jawahir (8)는 칩-공구 접촉제한효과가 칩절단특성에 영향을 미치는 주요 인자임을 강조하였으며, 상업용으로 개발된 여러 형태의 홈형공구에 대한 절삭성능 비교 실험을 통하여 랜드에 의한 칩-공구 접촉제한효과를 적절히 이용할 경우, 보다 효율적인 절삭이 이루어질 수 있을 것이라고 전망하였다.

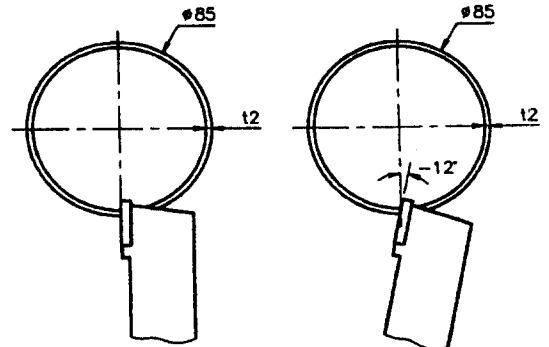
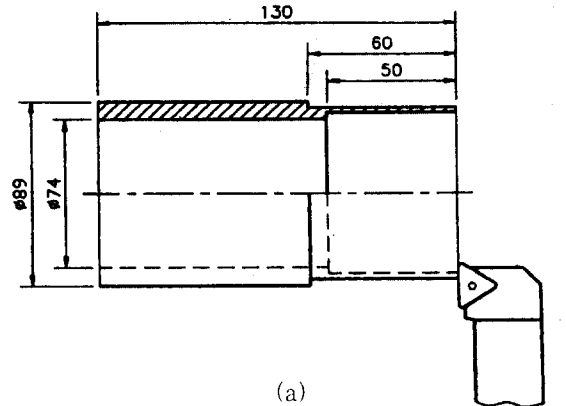
공구 설계기술의 발달과 더불어 다양한 형상의 칩포머가 개발되어 칩제어의 범위 및 절삭성능의 증대가 이루어지고 있으나 이와같은 개선은 아직도 광범위한 절삭실험을 통하여 이루어지는 비과학적인 시행착오법에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 효율적인 칩제어를 위해서 우선적으로 해결해야할 과제로는 칩포머의 형상과 절삭조건에 따른 절삭성능 및 칩의 형상과 절단특성에 대한 종합적인 평가방법을 정립하는 것이다. 생성된 제품에서 칩을 주의 깊게 관찰하면 절삭가공의 잘되고 잘못된 것을 알 수 있지만 이를 토대로 가공하기 전에 미리 칩의 형상을 예측할 수 있는 것이 큰 관심거리로 대두되고 있다.

본 연구에서는 이와 같은 목적을 달성하기 위한 그 첫 번째 시도로서 랜드부의 존재로 칩-공구 접촉제한효과를 기대할 수 있는 홈형 및 랜드앵글형 칩포머가 성형되어 있는 인서트 공구에 관한 절삭 실험을 2차원 실험과 후방

경사각을 12°로한 가장 단순화된 3차원실험을 행하여 칩의 형태를 분류하고 각종 칩의 형태에 따른 절삭인자들과의 상관관계를 해석하고 적절한 칩의 형상을 예측하는 방법을 제시하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

본실험에 사용한 절삭시편은 Fig.1(a)와 같이 외경 89mm, 내경 74mm인 이음매가 없는 탄소강관(KS, SPPS38)을 재료의 균질화를 위해 내외경을 깎아내어 절삭실험을 행하는 절삭폭(두께)이 2mm가 되도록 준비하였고 Fig.1의(b) 와(c)는 공구의 후방경사각을 0°로한 2차원절삭과 후방경사각을 12°로한 가장 단순화시킨 3차원절삭시의 공구의 위치를 나타낸 것이다.



(b) Orthogonal cutting (c) Oblique cutting

Fig.1 Cross Sectional View of Workpiece

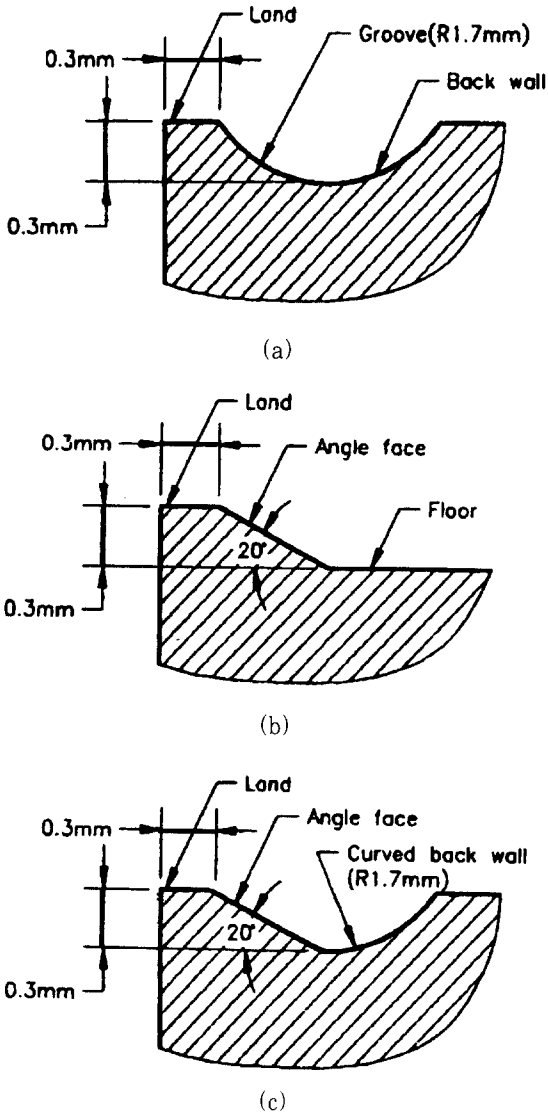


Fig.2 Cross Sectional View of Inserts :  
 (a) G, (b) LAF (c) LAC Insert

절삭공구로는 시판되고 있는 대표적인 홈형 공구(G형 공구) 및 홈형 공구와 같은 랜드길이를 갖는 랜드앵글형 공구(LAF 와 LAC형 공구)를 제작하여 사용하였다. Fig.2 는 이들 공구의 형상을 나타내고 있다.

본 실험에서 사용한 선반의 제원과 절삭조건은 Table 1 과 같이하였다.

공구형상과 절삭조건이 동일하더라도 절삭시 생성되는 칩의 형태는 공구마멸에 의해 변화되기 때문에 절삭실험 전후 공구의 마멸상태를 확인하였으며, 마멸되지 않은 공구에 의해 절삭실험을 하였다.

Table 1. Experimental Conditions

1. Lathe	
Spindle Speed	: 25 - 1600 rpm
Feed Range	: 0.07 - 0.57 mm/rev
Motor Power	: 10 HP
2. Cutting Conditions	
Cutting Speed	: 117 m/min
Feed Rate(20 steps)	: 0.07 0.09 0.11 0.13 0.15 0.17 0.19 0.21 0.23 0.25 0.27 0.30 0.33 0.37 0.39 0.42 0.45 0.49 0.53 0.57 mm/rev
Width of Cut	: 2.0 mm
Side Cutting Edge Angle	: 0 deg
Back Rake Angle	: 0 deg(orthogonal cutting) -12 deg(oblique cutting)
Side Rake Angle	: -6 deg
Cutting Fluid	: none

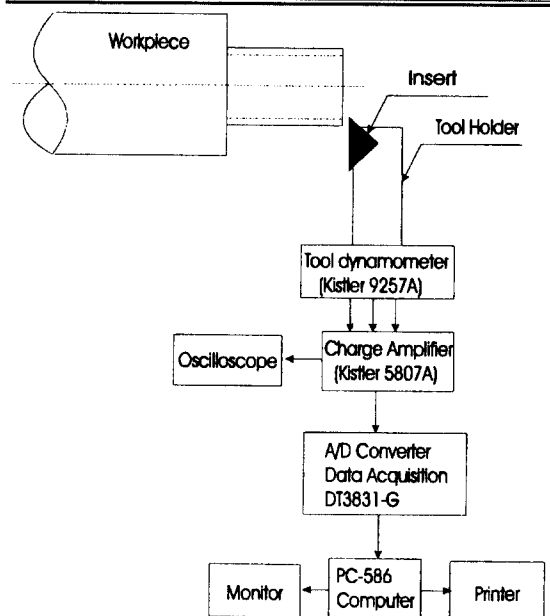


Fig.3 Experimental setup

Fig.3은 실험장치를 나타낸 것인데 절삭성능의 평가와 칩분류를 위해서 각 절삭조건에서 주절삭분력( $F_p$ ) 및 이송분력( $F_Q$ )을 압전형 공구동력계(Kistler, 9257A)를 사용하여 측정하였다. 공구동력계에서 측정된 미세한 전압을 전하증폭기(Kistler, 5807A)에서 증폭하여, A/D 변환기(Data Translation, DT3831-G)를 통해 디지털화한 후 마이크로 컴퓨터에서 분석하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 절삭력

Fig.4와 Fig.5는 이송에 따른 주절삭 분력( $F_y$ )와 이송 분력( $F_z$ )의 변화를 나타낸 것으로 각각 2차원과 3차원에 대한 것이다. 이송이 공구의 형상인자인 랜드길이와 같은 0.30mm/rev보다 작은 영역에서는 세 공구 모두 절삭력의 차이가 거의 없으나 이송이 0.30mm/rev 이상에서는 상당한 차이를 나타내는데 3차원 보다는 2차원에서 더 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수 있다. Fig.4와 같이 2차원일 경우 공구현미경 관찰에 의하면 이송이 0.13mm/rev 이하에서는 G, LAF 및 LAC공구 모두 칩과 공구사이의 마찰은 절삭날 부근의 랜드부에 집중되기 때문에 마찰특성이 비슷하게 나타나고 있다. 이송이 커짐에 따라 마찰부는 랜드부를 지나 확장되며 흡형공구인 G 및 LAC공구의 경우 이송이 0.30mm/rev 이상이 되면 백월(back wall)부에

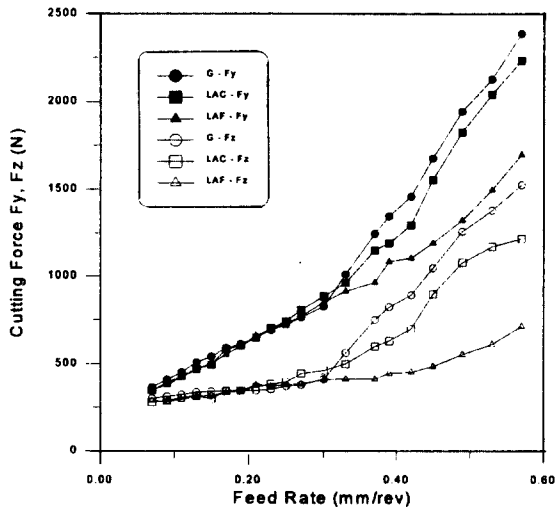


Fig.4 Cutting Force( $F_y$ ,  $F_z$ ) vs. Feed Rate for G, LAC and LAF Inserts in Orthogonal Cutting

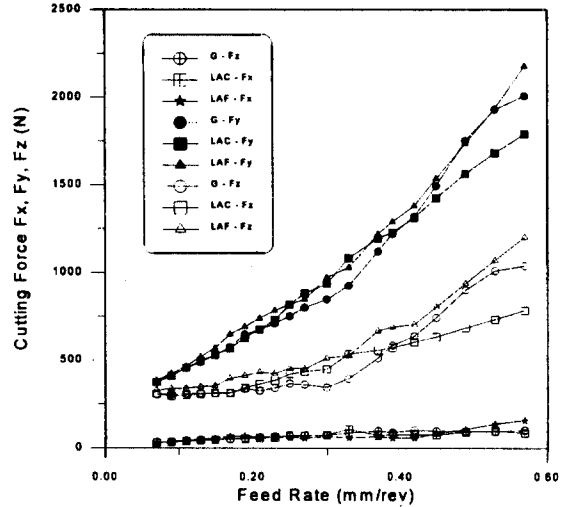


Fig.5 Cutting Force( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) vs. Feed Rate for G, LAC and LAF Inserts in Oblique Cutting

심한 마찰흔적은 나타나지 않는다. 따라서 G 및 LAC 공구의 경우 이송이 0.30mm/rev 이상이 되면 칩과 백월의 심한 마찰 때문에 LAF공구에 비해 절삭력이 커진다고 판단된다. 그러나 Fig.5에서와 같이 3차원 절삭에서는 배분력의 존재로 2차원과는 달리 이송이 0.3mm/rev 이상이 되더라도 절삭력에 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

#### 3.2 비절삭에너지

절삭 입력조건에 따른 절삭성능평가를 위해서 가장 일반적으로 채택되는 파라미터는 비절삭에너지로서 다음과 같이 정의된다.

$$u = \frac{F_y}{fB} \quad (1)$$

여기서  $u$  : 비절삭에너지( $N/mm^2$ )  
 $F_y$  : 주절삭분력(N)  
 $f$  : 이송(mm/rev)  
 $B$  : 절삭폭(mm)

Fig.6과 7은 이송에 따른 비절삭에너지의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 이송이 커짐에 따라 세 공구 모두 비절삭에너지가 급속히 감소하는데 이는 이

송이 작은 영역 즉 0.15mm/rev 이하에서는 이송이 커짐에 따라 칩형상에 관계없이 랜드길이에 대한 미변형 칩두께의 비가 커지는 효과, 즉 랜드부에 대한 칩-공구접촉 제

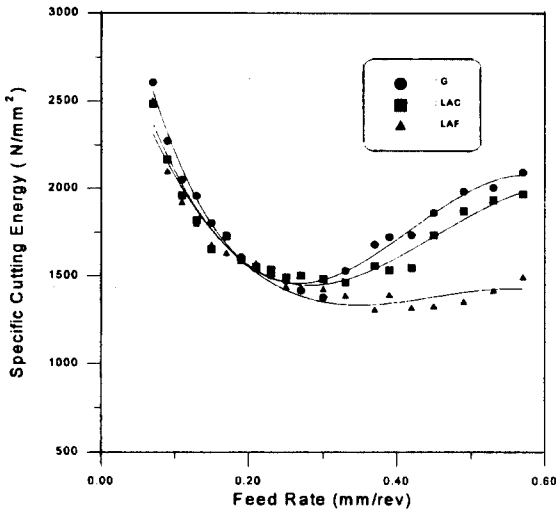


Fig. 6 Specific Cutting Energy vs. Feed Rate for G, LAC and LAF Inserts in Orthogonal Cutting

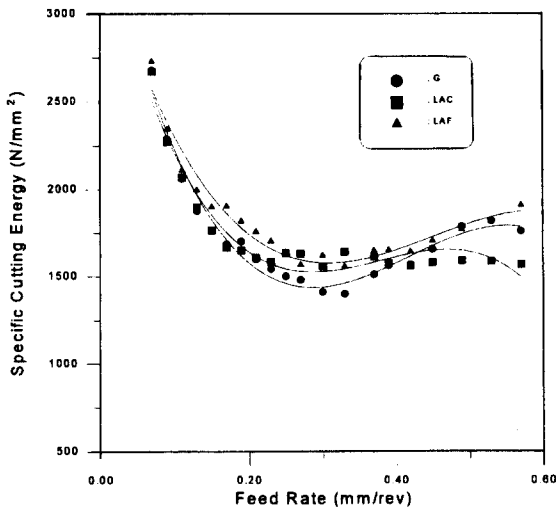


Fig. 7 Specific Cutting Energy vs. Feed Rate for G, LAC and LAF Inserts in Oblique Cutting

한 효과가 급격히 커지기 때문이라고 판단된다. G, LAC 및 LAF 공구에서 이송이 랜드길이에 같은 0.3mm/rev에서 최저값을 나타낸후 증가하는 이유는 랜드부에 의한 칩-공구접촉제한효과가 가장 크게 나타나는 이송값 이후에는 다시 칩과 공구사이의 마찰이 커지기 때문이며 그 크기정도는 칩포머형상에 따라 달라진다. 이러한 실험결과로부터 전술한 칩포머 형상과 관련하여 효율적인 절삭이 이루어지는 절삭조건을 범위를 결정해 줄 수 있다.

### 3.3 칩형성과 분류

실험에 의해 생성된 칩은 Fig.8과 같이 크게 4가지로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 스넬드형, 6 또는 9자형, C자형 그리고 아아크형이라고 명명했다. 스넬드형인 경우 이송이 작은 영역에서 생성되기 때문에 칩의 두께가 얇아서 공작물과 접촉하여도 절단이 이루어지지 않으며 계속되는 칩의 생성과 함께 영킨 형태의 연속형 칩이 배출된다. 6 또는 9자형칩의 경우 생성되는 칩의 두께가 비교적 얇기 때문에 Fig.9의(a)에서 보는 바와 같이 칩의 선단이 공작물에 닿는 순간 칩에 작용하는 굽힘 모멘트( $M$ )의 값이 특정한 크기에 도달하면 절단이 이루어진다.<sup>(10,11)</sup> 이송 커짐에 따라 Fig.9의 (b)와 같이 칩의 두께도 커지며 칩의 선단이 공작물에 닿는 즉시 칩의 절단이 이루어진다. 이때 절단된 칩의 형상은 C자형태를 나타내기 때문에 이러한 형상의 칩을 C형 칩이라고 명명했다. 아아크형 칩은 칩절단 특성이 C형 칩과 유사하나 길이에 비해 이송이 과다하게 큰 조건에서 생성되기 때문에 칩두께가 매우 크고 굴곡도 심하게 일어나며,<sup>(10)</sup> Fig. 9(c)에서 보는 바와같이 부분적으로 전단형 칩의 형태로 생성된다. 칩제어(chip control)관점에서 보면 연속적인 스넬드형은 과소제어(under control)된 칩이고, 아아크형은 과잉제어(over control)된 칩이며 6 또는 9자형칩과 C형칩은 적정제어(good control)된 칩으로 분류 할 수 있다.

Nakayama<sup>(9)</sup>는 칩의 절단 여부를 결정하는 요소로서 칩두께( $t_c$ ), 칩의 굴곡 반경( $R_c$ ) 및 공작물 재질을 제시한 바 있다. 생성된 칩의 선단이 방해물과 접촉하게 되면 칩에 작용하는 모멘트에 의해 형상이 변하기 때문에 굴곡반경의 결정이 곤란하며, 아직까지 절단된 칩의 굴곡반경 및 칩두께에 대한 통일된 기준이 마련되어 있지 않다. Table 2는 2차원절삭시 이송에 따른 칩의 영역을 나타낸 것으로 LAF공구가 G나 LAC 공구에 비해 제어된칩의 영역이 가장 넓은 것으로 나타났다. Fig.10은 이송에 따른 절삭력

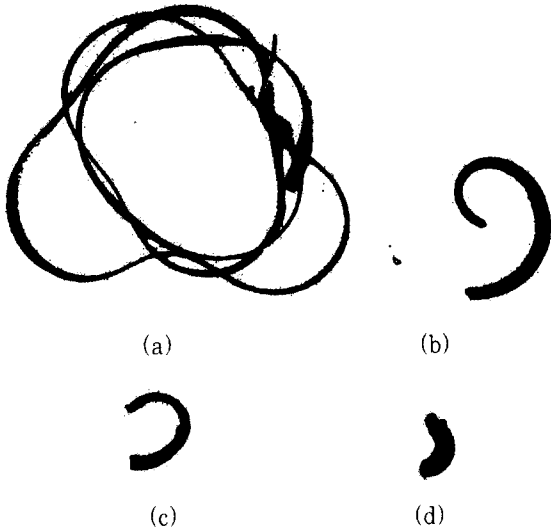


Fig.8 Classification of Typical Types  
 (a) snarled (b) 6 or 9  
 (c) C and (d) Arc Type Chip

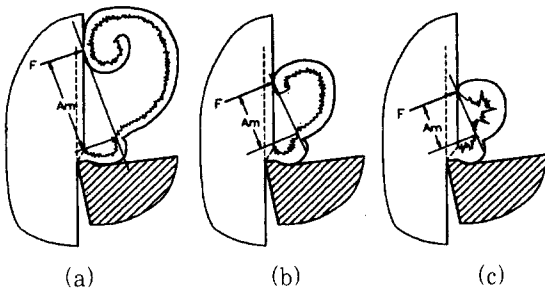


Fig.9 Chip Breaking Modes : (a) 6 or 9 Type,  
 (b) C Type and (c) Arc Type Chip

삭력비를 나타낸 것으로서 이송이 증가함에 따라 절삭력비는 감소하여 그비가 0.6에 가까워지면 적정칩이 발생하고 이송을 계속증가시키면 G공구는 다시 절삭력비가 증가하는 경향을 나타내는데 이것은 비산하는 아아크형태의 칩이 발생하는 것으로 여기서는 과잉제어로 분류하였다. Fig.11은 3차원 절삭에 있어 이송에 대한 절삭력비를 나타냈는데 같은 경향을 보이고 있으며 이것을 비절삭에너지와 함께 검토하면 전공구에 있어 비절삭에너지가 낮은 영역에서 절삭력비도 낮고 적정제어된 칩이 나타나는 것을 알 수 있었다. 그리하여 힘센서(force sensor)를 이용한 칩 컨트롤의 In-Process 감시가 가능함을 알 수 있다.

Table 2. The feedrate range of controlled or uncontrolled chip on G, LAC and LAF inserts

Inserts \ Feedrate	Under controlled	Controlled	Over controlled
G type	0.00-0.15	0.17-0.33	0.37-0.57
LAC type	0.00-0.15	0.17-0.37	0.39-0.57
LAF type	0.00-0.17	0.19-0.57	

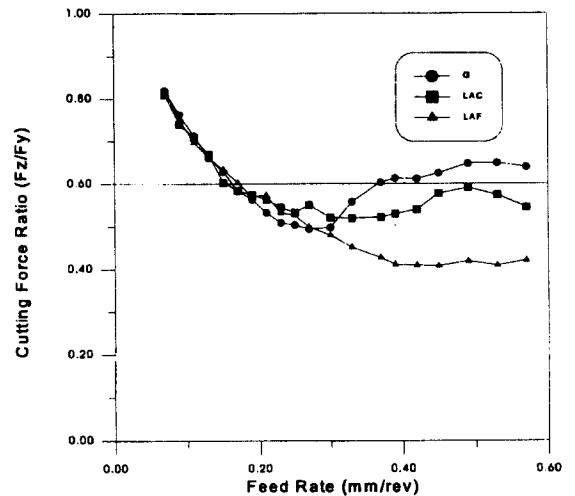


Fig. 10 Cutting Force Ration( $F_z/F_y$ ) vs. Feed Rate for G, LAC and LAF Inserts in Orthogonal Cutting

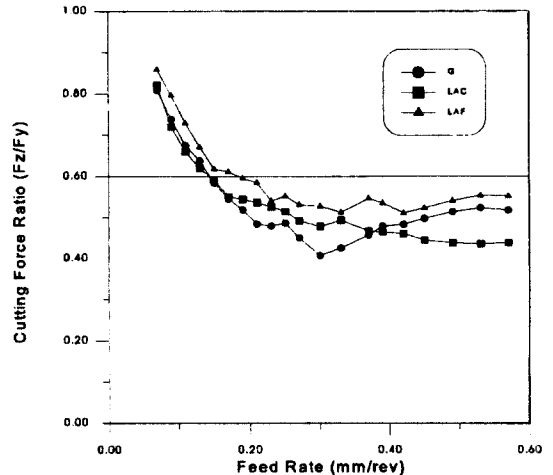


Fig.11 Cutting Force Ration( $F_z/F_y$ ) vs. Feed Rate for G, LAC and LAF Inserts in Oblique Cutting

#### 4. 결론

본 연구에서는 칩형상분류와 칩형상예측을 위한 단면 2차원 및 3차원절삭을 행하여 힘센서로서 감지한 절삭력비를 이용, 칩제어의 In-process 감시방법을 찾고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 칩이 적정제어(good control)가 일어나는 영역은 비절삭에너지가 최저값을 나타내고 있다.
2. 2차원절삭에서 적정제어 영역이 가장 두드러지게 나타난 공구는 LAF이고, 3차원에서도 거의 같은 양상을 보이고 있다.
3. 절삭력비가 0.6이하가 되면 공구형상에 관계없이 적정제어가 일어나고 그이상이면 과소제어 혹은 과잉제어가 일어남을 알 수 있다. 따라서 절삭공정 중 힘센서를 이용한 칩컨트롤의 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. B. Worthington., 1975 "The effect of rake face configuration on the curvature of the chip in metal cutting" Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 15, pp. 223-239
2. Rotberg, J., Ber. A., Wertheim, R., 1991 "Chip control in cut-off tools", Annals of the CIRP Vol. 40/1, pp. 73-77.
3. Chao, B. T., Trigger, K. T., 1959, "Controlled contact cutting tools", J.Eng.Ind. Trans. ASME, Vol. 81, pp. 139-151.
4. Oxley, P. L. B., 1962 "An analysis for orthogonal cutting with restricted tool-chip contact", Int.J.Mech.Sci., Vol. 4, pp. 129-135.
5. Usui, E., Kikuchi, K., Hoshi, K., 1964 "The theory of plasticity applied to machining with

- tools", J. Eng. Ind. Trans. ASME, Vol. 86, pp. 95-104.
6. De Chiffre, L., 1982 "Cutting tools with restricted contact", Int. J. MTDR, Vol. 22/4, pp. 321-332.
7. Jawahir, I. S., 1988 "The tool restricted contact effect as a major influencing factor in the chip breaking: An experimental analysis", Annals of the CIRP, Vol.37/1, pp. 121-126.
8. Jawahir, I. S., Qureshi, N., Arsecularatne, J. A., 1992 "On the interrelationships of some machinability parameters in finish turning with cermet chip forming tool inserts", Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol.32/5, pp. 709-723.
9. Nakayama, K., 1962 "A study on chip breaker", Bulletin of JSME, Vol.5/17, pp. 142-150.
10. Bator, J. S., 1975 "Power reduction through efficient chip control", Cutting Tool Engineering, pp. 4-8.
11. Jawahir, I. S., 1990 "On the controllability of chip breaking cycles and modes of chip breaking in metal cutting", Annals of the CIRP, Vol.39/1, pp. 47-51.
12. Bator, J. S., 1975 "Power reduction through efficient chip control", Cutting Tool Engineering, pp. 4-8.
13. Jawahir, I. S., 1990 "On the controllability of chip breaking cycles and modes of chip breaking in metal cutting", Annals of the CIRP, Vol.39/1, pp. 47-51.
14. Klufft, W., Konig, W., Luttermelt, C. A., Nakayama, 1979 "Present knowledge of chip control", Annals of the CIRP Vol. 28/2, pp. 41-455