

절삭 가공시 무차원 파라미터에 의한 칩 절단특성 Chip breaking characteristics using non-dimensional parameter in metal cutting

최 원 식*
Won-Sik Choi*

<Abstract>

For an unmanned machining system, the control and disposal of chips is one of the most serious problems at present. In order to perform chip control, feed/land length(F_L) was introduced, and using this parameter, the cutting performance and chip breaking characteristics of groove-type and the land-angle-type chip formers were assessed. The specific cutting energy consumed and the shape of broken chips with its breaking cycle time were evaluated to find out the ranges of F_L value where efficient cutting and effective chip breaking could be achieved. The C type chip was found to be the most preferable from the view point of cutting efficiency.

Key Word : Chip control. Breaking cycle.

Specific cutting energy. Cutting efficiency

1. 서 론

절삭 가공의 자동화 추세로 인하여 절삭시 생성되는 칩의 제어는 매우 중요한 문제로 대두되었다[1~8].

선삭 가공 등 고속 절삭시 연속적으로 생성되는 칩은 공구 및 공작물을 손상시키며 공구나 공작물에 엉켜 절삭 작업을 방해하기 때문에 때때로 절삭 작업을 중단하고 칩을 제거하지 않으면 안된다. 따라서 절삭 작업의 효율성과 원활한 진행을 위해서는 주기적인 칩의 절단을 통하여 상기의 문제점을 해결함과 동시에 칩의

제거를 용이하게 해 주어야 한다.

연속적으로 생성되는 칩은 방해물형 또는 흠형 칩포머에 의해 굴곡된 후 공작물 또는 공구 여유면 등과 간섭하여 절단된다.

최근에는 사용상의 편리함과 절삭 성능을 향상시킬 수 있는 잇점 때문에 선삭용 공구의 기본 형상으로 흠형 및 랜드앵글(land angle)형 칩포머가 성형되어 있는 인서트(insert) 공구가 주로 사용되고 있다.

공구 설계 기술의 발달과 더불어 다양한 형상의 칩포머가 개발되어 칩제어의 범위 및 절삭 성능의 증대가 이루어지고 있으나 이와 같은 개선은 아직도 광범위한 절삭 실험을 통하여

* 정희원, 慶北大學校 工博, 技術士
경일대학교 兼任教授
053-742-1047

* Additional Job Prof. of Kyungil University
Professional Engineer. Ph.D

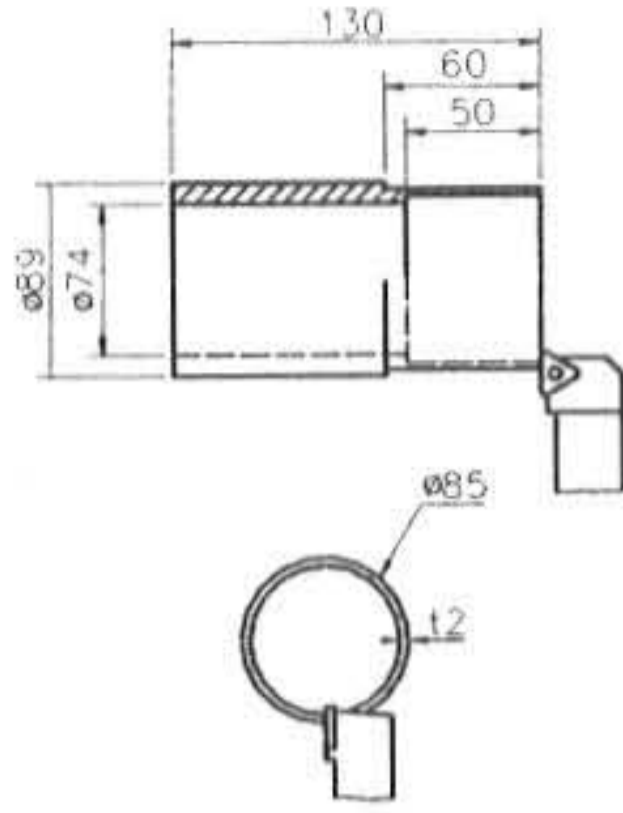


Fig. 1 Cross sectional view of workpiece

이루어지는 비과학적인 시행착오법에 의존하고 있는 실정이다[9].

칩포머를 채택하는 일차적인 목적은 상기한 바와 같이 연속적으로 생성되는 칩을 굴곡 시킴으로서 칩의 절단 및 제거를 용이하게 해주는 것이지만, 이에 못지 않게 중요한 목적은 절삭 성능의 향상을 기하는 것이다. 그러나 칩포머의 절삭 성능 및 칩절단 특성에 대한 평가는 이들 두 인자의 상호관련성이 인정됨에도 불구하고 대부분의 연구에서는 독립적으로 이루어지고 있다.

따라서 효율적인 칩제어를 위해서 우선적으로 해결해야 할 과제로는 칩포머의 형상과 절삭 조건에 따른 절삭 성능 및 칩의 절단 특성에 대한 종합적인 평가 방법을 정립하는 것이다.

본 연구에서는 이와 같은 목적을 달성하기 위한 그 첫번째 시도로서 흠형 및 랜드앵글형 칩포머가 성형되어 있는 인서트 공구에 의한 2차원 절삭 실험을 행하였다.

실험 결과에 대한 해석에서 절삭 조건인 이송(feed)과 공구의 형상 인자인 랜드길이(land length)의 비인 무차원 파라미터, 이송/랜드길이(F_L)를 도입하여 절삭 성능 및 칩의 절단 특성에 대한 종합적인 평가를 시도하였다.

2. 절삭 실험

2-1. 피삭재 및 절삭 공구

실험에 사용한 절삭 시편은 Fig.1에 나타난 바와 같이 외경 89mm, 내경 74mm인 이음매가 없는 탄소 강관(KS, SPPS38)을 사용하였으며,

재질의 균질화를 위해 내외경을 깎아내어 절삭 폭(두께)이 2mm가 되도록 준비하여 절삭실험을 행하였다.

절삭 공구로는 시판되고 있는 대표적인 흠형 공구(G형 공구-ISO TNMG 160408) 및 흠형공구와 같은 랜드길이를 갖는 랜드앵글형 공구(LA형 공구)를 제작하여 사용하였다. Fig.2는 이들 공구의 형상을 나타내고 있다.

2-2. 실험장치 및 실험방법

절삭실험에 사용한 선반의 규격과 절삭조건은 Table 1에 나타난 바와 같다. 각 절삭 조건에서 공구의 측면 절삭날과 후방 경사각을 0°로 하여 2차원 절삭(orthogonal cutting)이 이루어지도록 하였다.

Table 1. Lathe & Cutting Conditions

1. Lathe

RPM : 25 - 1600 (12 steps)

Feed : 0.07 - 0.57 mm/rev

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

Side Rake Angle : -6 deg

Cutting Fluid : none

본실험의 실험장치는 Fig.3과 같으며 절삭 성능의 평가를 위해서 각 절삭 조건에서 주절삭분력(F_p) 및 이송분력(F_q)을 압전형 공구 동력계(Kistler, 9257A)를 사용하여 측정하였다. 공구 동력계에서 측정된 미세한 전압을 전하 증폭기(Kistler, 5807A)에서 증폭하여, A/D 변환기(Data translation, DT3831-G)를 통해 디지털화한 후 마이크로 컴퓨터에서 분석하였다.

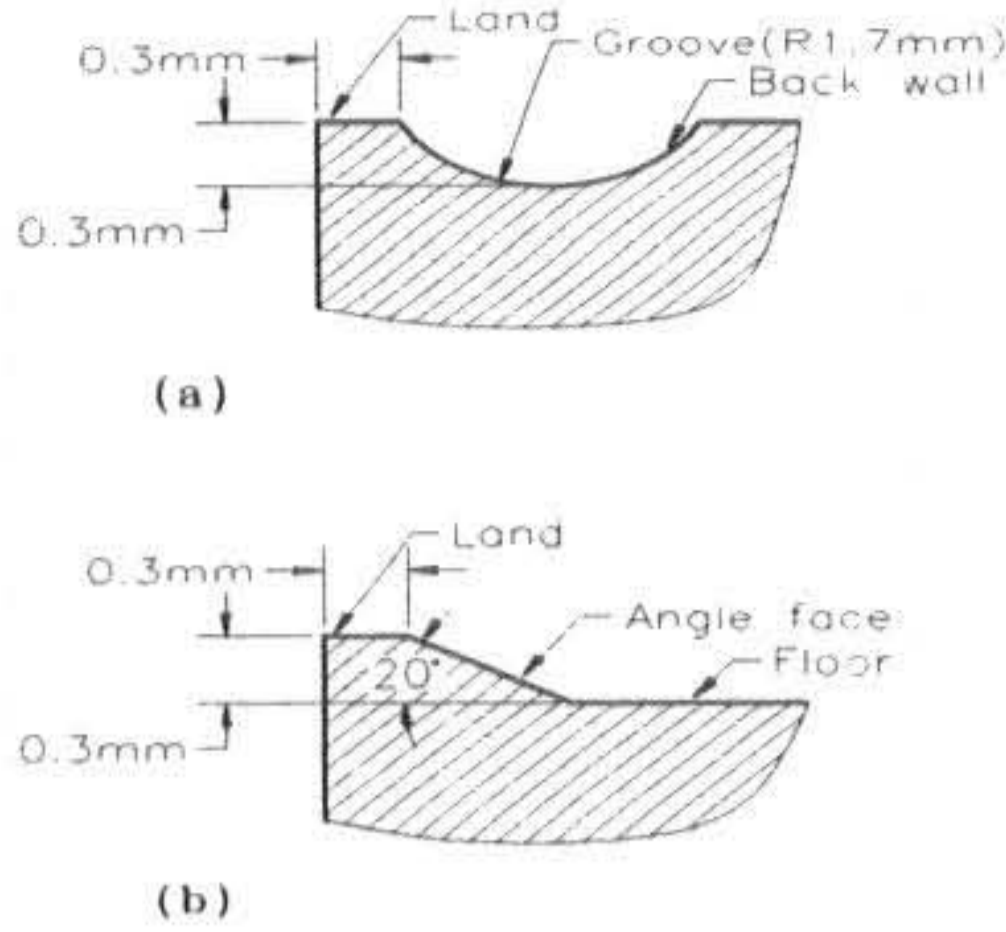


Fig. 2 Sectional view of the inserts
(a) groove type(ISO TNMG160408)
(b) land angle type.

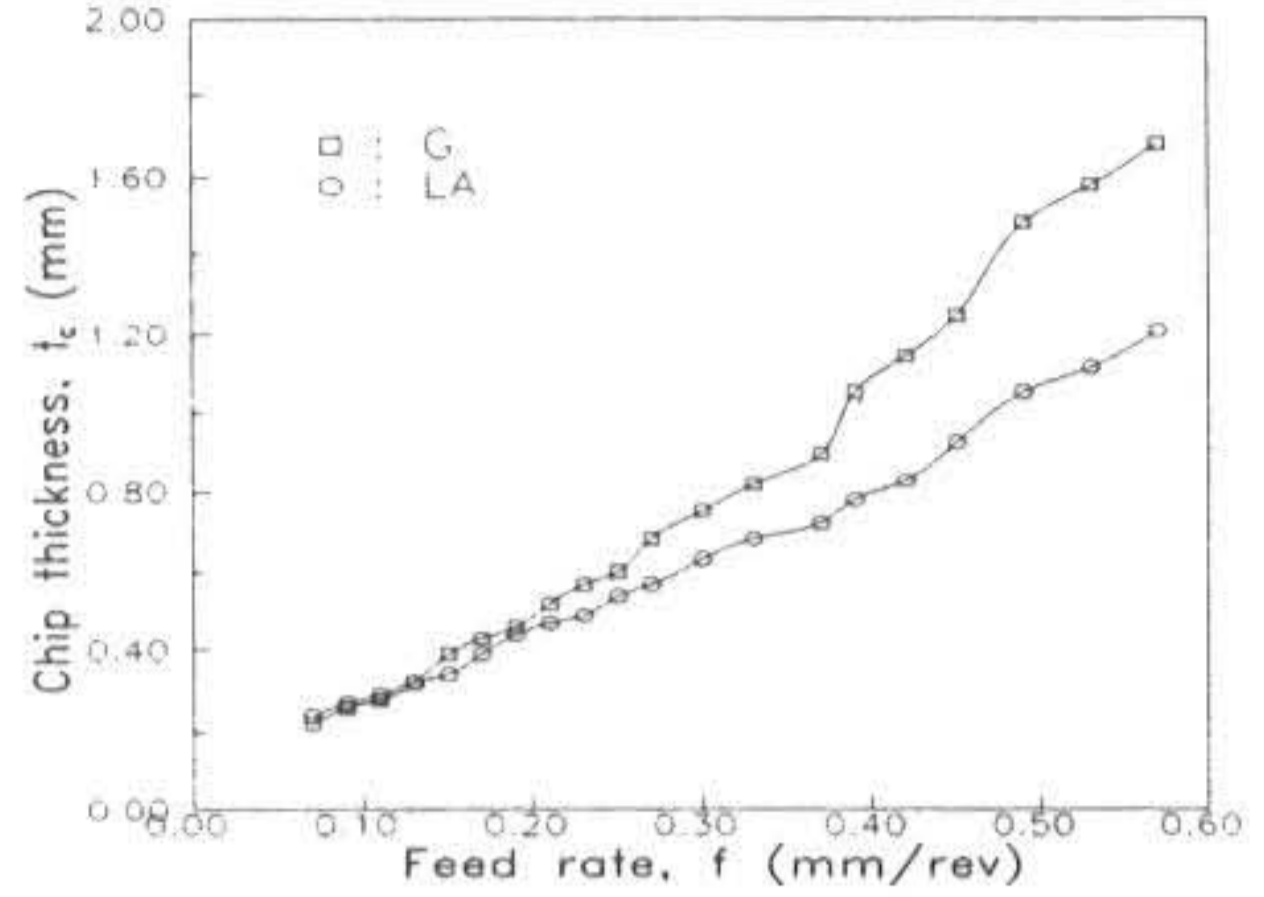


Fig. 4 Chip thickness(t_c) vs. feed rate(f) for groove(G) and land angle(LA) type inserts

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 절삭 특성

Fig. 4는 이송(f)에 따른 칩두께(t_c)의 값을 나타

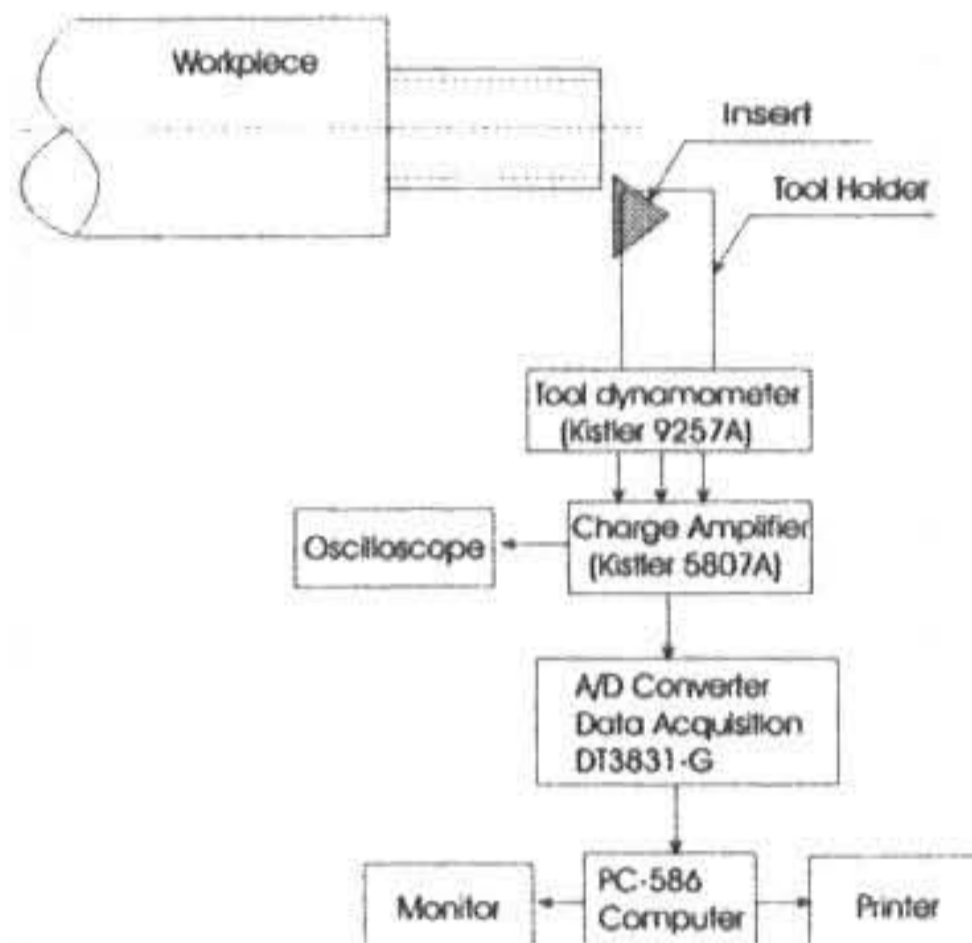


Fig. 3 Experimental setup

낸 것으로 이송이 커짐에 따라 칩두께는 커지고 있으며, 이송이 작은 영역에서는 두공구가 거의 같은 경향을 나타내고 있으나 이송이 커짐에 따라 흠형공구가 랜드앵글형공구에 비해 큰값을 나타내고 있다. Fig. 5는 이송에 따른 주 절삭분력(F_p) 및 이송분력(F_Q)의 변화를 나타낸 것으로 Fig. 4와 같은 경향을 나타내고 있다.

공구 현미경 관찰에 의하면 이송이 0.13mm/rev 이하에서는 흠형 및 랜드앵글형 공구 모두 칩과 공구 사이의 마찰은 절삭날 부근의 랜드부에 집중되고 있어 마찰 특성이 비슷하게 나

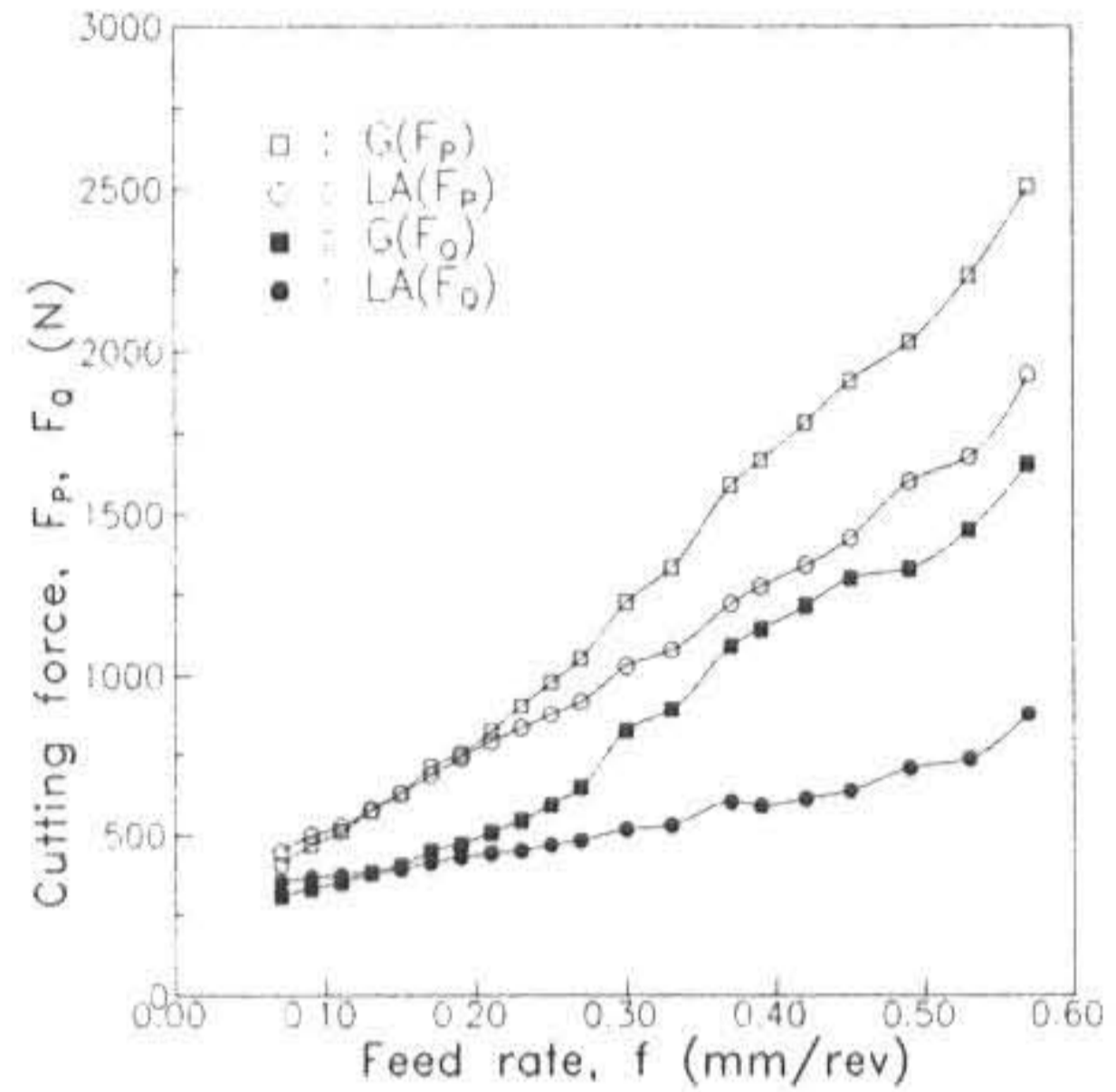


Fig. 5 Cutting forces(F_p , F_Q) vs. feed rate(f) for groove(G) and land angle(LA) type inserts.

타나고 있으나, 이송이 커짐에 따라 마찰부는 랜드부를 지나 확장되며, 흠형의 경우 이송이 0.25mm/rev 이상이 되면 백월(back wall)부에 심한 마찰흔적이 나타나지만, 랜드앵글형의 경우 백월이 존재하지 않기 때문에 심한 마찰 흔적은 나타나지 않는다.

Fig. 6은 이송이 0.13mm/rev 및 0.25mm/rev의 경우 흠형 공구의 칩-공구 사이의 마찰 상태를 나타낸 것으로 0.13mm/rev의 경우 Fig. 6(a)에서 보는 바와같이 칩은 랜드부와 흠의 전반부 및 후반부의 극히 일부와 접촉한 후 배출되지만, 0.25mm/rev의 경우 Fig. 6(b)에서와 같이 흠의

전영역에 걸쳐 접촉이 일어났음을 알 수 있다.

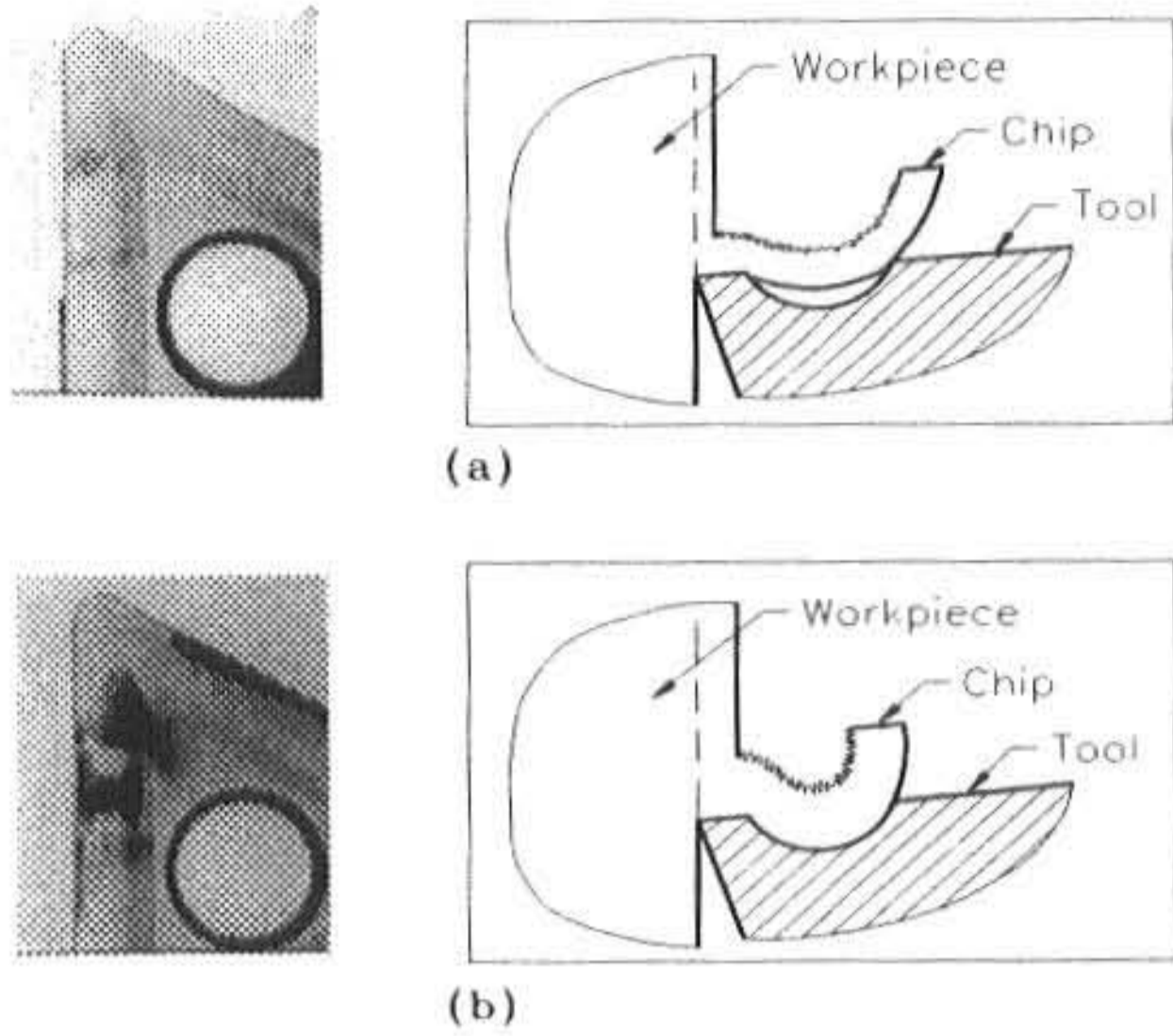


Fig. 6 Photographs showing vestige of chip tool contact of the groove type insert. (feed rate ; (a) 0.13mm/rev, (b) 0.25mm/rev)

3-2. 절삭 성능

절삭 입력 조건에 따른 절삭 성능의 평가를 위해서 가장 일반적으로 채택되는 파라미터는 비절삭 에너지(u)이다[10]. 본 연구에서는 절삭 조건인 이송과 공구의 형상 인자인 랜드길이로 구성된 무차원 파라미터 이송/랜드길이(F_L)를 도입하여 흠형 및 랜드앵글형 공구의 절삭 성능을 평가하였다.

Fig.7는 이송/랜드길이(F_L)에 따른 비절삭 에너지의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와같이 F_L 값이 증가함에 따라 G형 및 LA형 공구 모두 비절삭 에너지의 값은 급격히 감소한다. 이는 두 공구 모두 랜드부가 있으며, 이송이 작은 영역에서 랜드부에 의한 칩-공구 접촉 길이 제한 효과[9]에 기인한 것으로 판단된다.

G형 공구의 경우 비절삭 에너지값은 F_L 이 0.8 정도에서 최저치를 나타낸후 완만하게 증가하고, LA형 공구의 경우는 F_L 이 1.5부근까지 계속적으로 감소하다가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 결과로부터 전술한 칩포머 형상과 관련하여 효율적인 절삭이 이루어지는 절삭 조건의 범위를 결정해 줄 수 있다.

3-3. 칩 절단특성

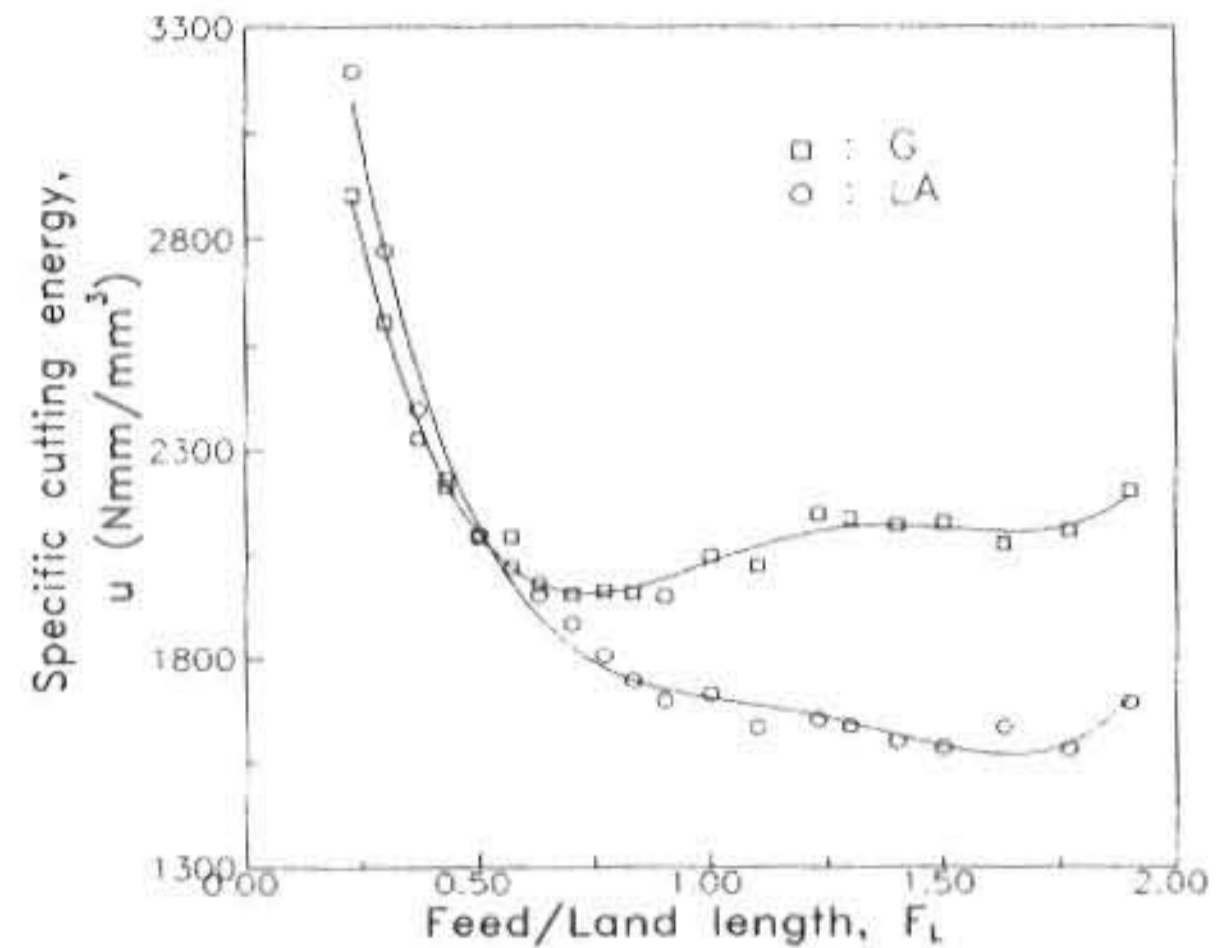


Fig.7 Specific cutting energy(u) vs. feed/land length(F_L) for groove(G) and land angle(LA) type inserts.

Nakayama[11]는 칩의 절단 여부를 결정하는 요소로서 칩두께(t_c), 칩의 굴곡 반경(R_c) 및 공작물 재질을 제시한바 있다. 생성된 칩의 선단이 방해물과 접촉하게 되면 칩에 작용하는 모멘트에 의해 형상이 변하기 때문에 굴곡 반경의 결정이 곤란하며, 아직까지 절단된 칩의 굴곡 반경에 대한 통일된 기준이 마련되어 있지 않다.

Fig.8은 절단된 칩의 형상과 칩절단 주기(chip breaking cycle time)를 F_L 값에 따라 나타낸 것이다. 흠형 공구의 경우 F_L 이 비교적 작은 영역에서는 절단되지 않고 엉킨 형상의 연속형 칩이 배출되다가 F_L 이 0.43에 이르러 절단된 칩이 생성되기 시작한다. F_L 값이 증가함에 따라 칩절단 주기는 급격히 감소하며 F_L 이 1.0보다 큰 영역에서는 F_L 값이 증가해도 칩절단 주기는 거의 일정한 값을 나타낸다. LA형 공구도 G형 공구와 비슷한 경향을 나타내지만 칩절단이 일어나기 시작하는 F_L 값은 0.70이며, 전반적으로 칩절단 주기가 크게 나타난다.

본 실험에서 생성된 칩의 형상 분석으로부터 칩의 형상은 크게 4가지로 분류할 수 있다. Fig.9는 4가지 형상의 전형적인 형태와 이와같은 형상의 칩이 얻어지는 F_L 값의 범위를 나타낸 것이다. 스넬드형(I형) 칩의 경우 칩의 두께가 얇기 때문에 공작물과 접촉하여도 절단이 이루어지지 않으며 계속되는 칩의 생성과 함께

엇킨 형태의 연속형 칩이 배출된다. 6 또는 9字형(II형) 칩의 경우 생성되는 칩의 두께가 비교

0.70-1.77로 보다 넓은 범위에서 적절한 칩의 제어가 일어남을 알 수 있다.

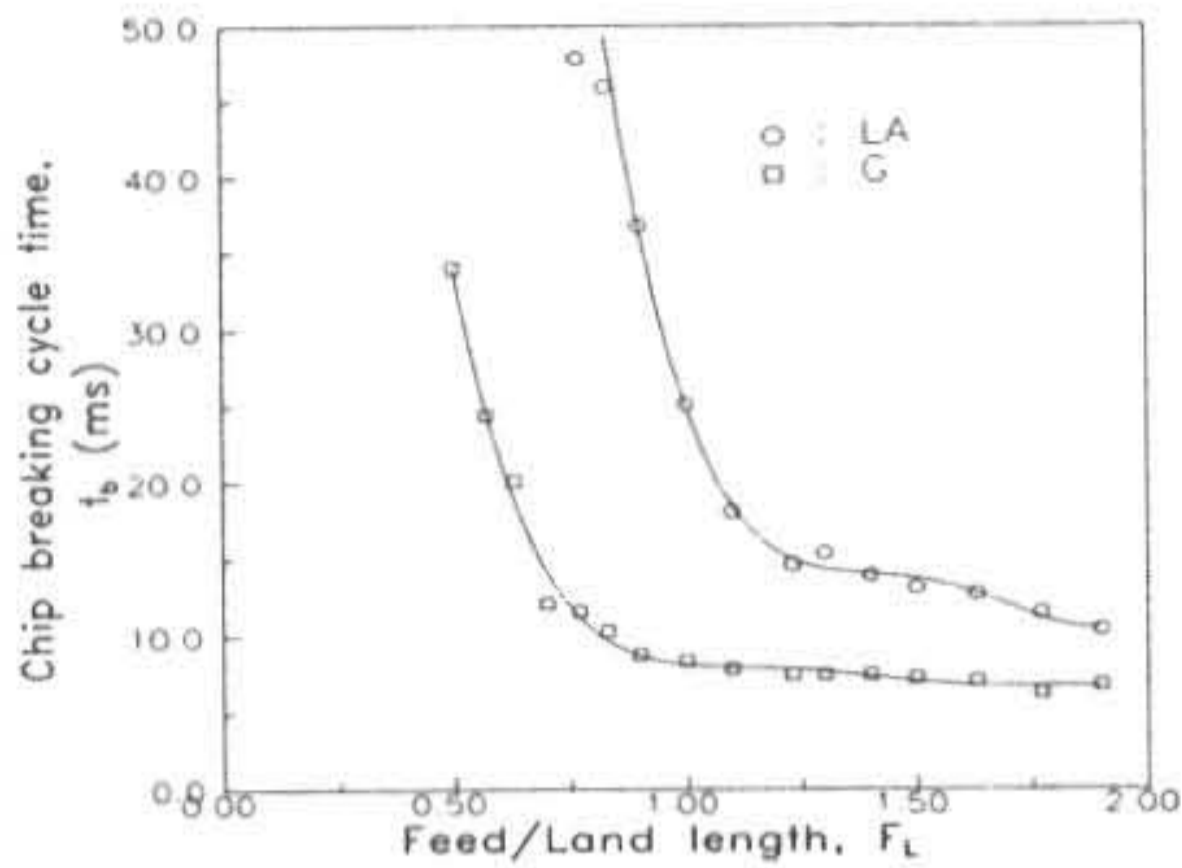


Fig. 8 Chip breaking cycle time(t_b) vs. feed/land length(F_L) for groove(G) and land angle(LA) type

적 얇기 때문에 Fig.10(a)에서 보는 바와같이 칩의 선단이 공작물에 닿는 순간 칩에 작용하는 모멘트값이 칩의 절단을 일으킬만큼 크지 않아 칩의 절단이 지연되고 칩의 선단은 공작물과의 접촉을 벗어나며 모멘트암(Am)의 크기가 특정한 크기에 도달해서 절단이 이루어진다 [12, 13]. 이와같은 형상의 칩이 발생하는 구간에서는 F_L 의 증가와 함께 칩절단 주기는 급격히 감소한다. 칩절단 주기의 급격한 감소와 더불어 C형(III형) 칩이 발생하기 시작하며, 칩의 두께가 비교적 크기 때문에 Fig.10(b)에서 보는 바와같이 칩의 선단이 공작물에 닿는 즉시 절단이 이루어지는 형상이다. 아아크형(IV형) 칩은 칩절단 특성이 C형 칩과 유사하나 칩두께가 매우 크며 굴곡도 심하게 일어나 부분적으로 전단형 칩의 형태로 발생한다. 이러한 형상의 칩이 발생될 때는 Fig.7에서 보는 바와같이 C형 칩보다 비절삭 에너지(u)값이 크게 나타난다.

상기한 4가지 형상의 칩 중 연속형인 스넬드형 칩은 과소 제어(under controlled)된 칩이며, 아아크형 칩은 과잉 제어(over controlled)된 칩으로 구분할 수 있다. 따라서 칩제어의 관점에서 6 또는 9字형 및 C형은 적절한 제어를 받은 칩의 형태로 구분할 수 있다. Fig.7에서 G형 공구의 경우 6 또는 9字형 및 C형 칩을 생성시키는 F_L 값의 범위는 0.40-1.00이며, LA형의 경우는

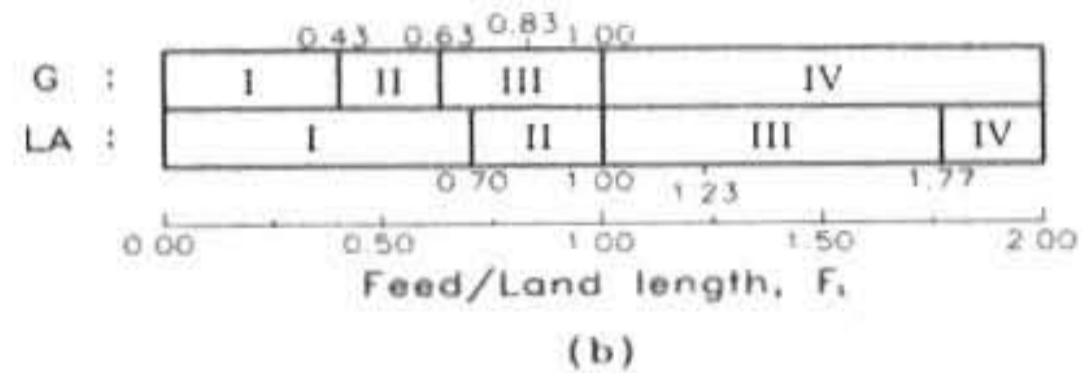
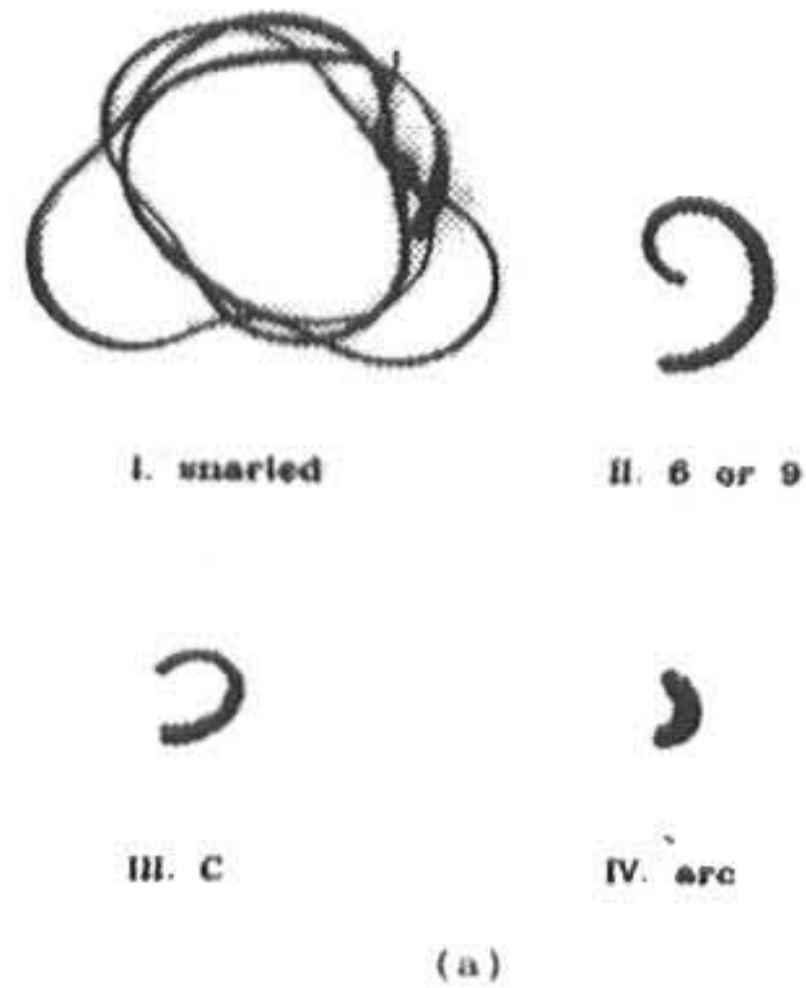


Fig.9 (a) Typical chip types : I. snarled, II. 6 or 9, III. C, IV. arc type chips, (b) Ranges of F_L for the above chip types.

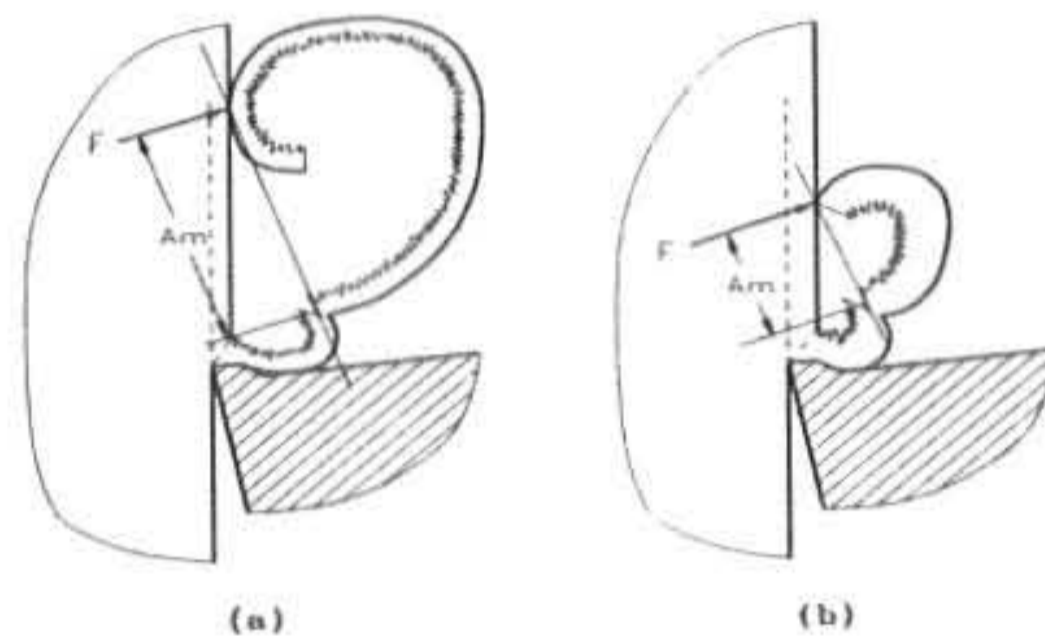


Fig. 10 Chip breaking modes : (a) 6 or 9 type chip, (b) C type chips.

절삭 성능과 칩의 절단 특성을 동시에 고려하면, Fig.5 및 Fig.7에서 보는 바와같이 G형 공구의 비절삭 에너지(u)가 가장 작게 나타나는 F_L 값은 0.8부근으로 이때 생성된 칩은 C형이다. LA형에서 비절삭 에너지(u)가 가장 작게 나타나는 F_L 값은 1.5부근으로 이때 생성된 칩의 형태 역시 C형이다. 즉 G형과 LA형 공구 모두 절삭이 가장 효율적으로 일어나는 영역에서 발생하는 칩의 형상은 C형 칩임을 알 수 있다.

4. 결 론

1. 공구의 절삭 성능과 칩절단 특성의 종합적인 평가를 위한 단일 파라미터로서 절삭 조건과 공구의 형상 인자로 구성된 무차원 파라미터, 이송/랜드길이(F_L)를 도입하였다.
2. 이송/랜드길이(F_L)에 따른 비절삭 에너지와 칩절단 주기 및 칩형상에 대한 고찰을 통하여 효율적인 절삭과 효과적인 칩제어가 일어나는 F_L 값의 범위를 결정할 수 있었다. 특히 칩의 과잉 제어 여부에 대한 한계 설정이 임의적으로 이루어지고 있는 실정에서 이의 평가 기준으로 칩의 형상과 더불어 비절삭 에너지의 크기가 보다 객관적인 기준이 될 수 있다고 판단된다.
3. 절삭 성능 측면에서 볼때 칩포머 형상에 관계없이 C형(Ⅲ형) 칩이 가장 바람직한 형상임을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Kluft, W., Konig, W., Luttermelt, C. A., Nakayama, K., Pekelharing, A. J., "Present knowledge of chip control", *Annals of the CIRP* Vol.28/2, pp.441-455, 1979.
- [2] Rotberg, J., Ber, A., Wertheim, R., "Chip control in cut-off tools", *Annals of the CIRP* Vol.40/1, pp.73-77, 1991.
- [3] Worthington, B., "A Comprehensive Literature Survey of Chip in Turning Process", *Metal cutting machining tools*, Vol. 1. pp.103~116. 1976.
- [4] Jawahir, I. S., "A Survey and Future Predictions for the Use of Chip Breaking in Unmanned Systems", *Int. J. Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 3/4, pp. 87~104., 1988.
- [5] Henriksen, E. K., "Chip Breaking-A Study of Three Dimensional Chip Flow", *ASME*, pp. 53~59., 1953.
- [6] Nakayama, K., "A Study of The Chip Breaker", *Trans. of JSME*, Vol. 5, pp. 142~150., 1962.
- [7] Nakayama, K., Ogawa, M., "Basic Rules on The Form of Chip in Metal Cutting", *Annals of the CIRP*, Vol. 27/1, pp. 17., 1978.
- [8] Shaw, M. C., "Metal Cutting Principles", *Clarendon Press · Oxford*, pp. 241~244., 1984.
- [9] Jawahir, I. S., "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, 1988.
- [10] Jawahir, I. S., Qureshi, N., Arsecularatne, J. A., "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, 1992.
- [11] Nakayama, K., "A study on chip breaker", *Bulletin of JSME*, Vol.5/17, pp.142-150, 1962.
- [12] Cook, N. H, Jhaveri, P., Nayak, N, "The mechanism of chip curl and its importance in metal cutting", *Trans. ASME*, pp.374-380, 1963.
- [13] Jawahir, I. S., "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, 1990

(1999년 6월21일 접수, 1999년 10월18일 채택)