

## 절삭력을 이용한 칩형태의 예측에 관한 연구

이상준\*, 최만성\*\*, 송지복\*\*\*

### A Study on the Prediction of the Form of Chips using Cutting Forces

Lee Sang-Jun , Choi Man-Sung , Song Ji-Bok

#### ABSTRACT

The chip control problem is one of the important subjects to be studied in the metal cutting process. Especially, an important practical problem concerns the form of chips produced in machining since this has important implications relative to:

1. Personal safety.
2. Possible damage to equipment and product.
3. Handling and disposal of swarf after machining.
4. Cutting forces, temperatures, and tool life.

However, a dependable way to predict the form of chips in a wide range of cutting conditions has not been established satisfactorily.

In this paper, the relationships between the form of chips and the ratios of cutting forces were studied experimentally.

According to what the experiments have been carried out in the turning process the main results can be summarized as follows:

1. By use of the multiple linear regression model, empirical formulas which are suitable to wide ranges of cutting conditions with accuracy were obtained satisfactorily.
2. The correlations between the form of chips based upon the classification by Henriksen and the ratios of cutting forces, namely (feeding force/thrust force), (principal force/feeding force) were determined.
3. Using above results, the algorithms which predict the form of chips were constituted. With these algorithms, the form of chips in a wide range of cutting conditions can be predicted.

---

\* 대전기계창  
 \*\* 부산대학교 기계공학과 박사과정  
 \*\*\* 부산대학교 정밀기계과 교수

## 1. 서 언

오늘날에 있어서 공작기계의 자동화(NC, CNC, DNC), 나아가서는 유연화 생산시스템(FMS)과 공장 자동화(FA)의 개발추세에 따라 절삭가공은 필연적으로 고속화, 정밀화, 무인화 방향으로 발전하게 되었다.

이에따라 연속적으로 생산되는 Chip의 처리가 절삭가공에서 해결되어야 할 중용한 과제 중의 하나로 대두되었으며 이의 효과적인 방법으로 공구 Masker와 연구자(1-7)에 의해 여러가지 Chip Breaker가 제시되었으나 결정적인 것은 아직 출현되지 않고 있는 실정이다.

그 원인은 피삭재와 공구의 제원, 그리고 절삭조건에 따라 Chip의 유출상태가 달라지기 때문이다. 특히 Chip의 형상중에서 문제가 되는 것은 불규칙한 유동형 Chip이 배출되는 경우이므로 본 연구에서는 Usui 등이 이용한 절삭자료처리방법(8-9)에 의해 선삭에서 얻은 Chip의 형태와 절삭력과의 제 관계를 밝히고 그 결과를 알고 리듬화하여 PC에 저장, 임의의 실험조건에서 생성될 Chip 형태의 예측과 그 재현성에 관해 검토하였다.

## 2. 절삭저항과 Chip의 형태

### 2.1 실험

Chip형성에 영향을 미치는 인자는 Fig.1과 같다.

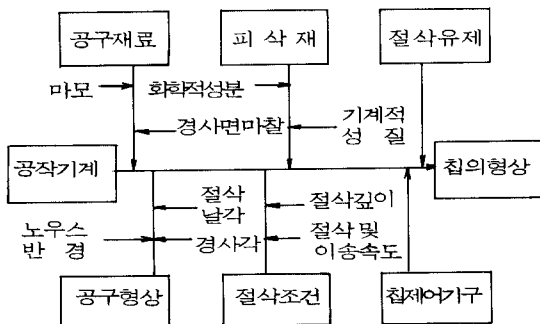


Fig. 1 Factors influencing on chip formation

이와같이 복잡다기한 과정을 거쳐 Chip이 형성되기 때문에 현재로서는 실제적인 절삭실험없이 Chip의 생성기구를 예측한다는 것은 거의 불가능한 일이므로 본 보에서는 범용선반의 주축과 이송축을 DC Driver System으로 개조, 그 각 각을 독립적으로 변화시키면서 Table 1과 같은 조건하에서 기계구조용 탄소강(KS D 3752)을 피삭재로 하여 절삭실험을 행하였으며 이때 사용한 실험장치의 개략도는 Fig. 2와 같다.

Table. 1 Cutting conditions and tool Geometries in experiment

Tool Properties	Tool (T, AHolder) (T, A, Tip)	PSBNR 2020 K12 SNMG 12408 C P20
	Back Rake Angle	6°
	Nose Radius	0.8 (mm)
	Side Cutting Edge Angle	75°
	Side Rake Angle	- 6°
Cutting Conditions	Cutting Speed	50, 80, 110, 160, 220, 270 (m/min)
	Feed Rate	0.03, 0.06, 0.09, 0.12, 0.15, 0.20, 0.27 (mm/rev)
	Depth of Cut	1.0 (mm)
	Cutting Fluid	No use

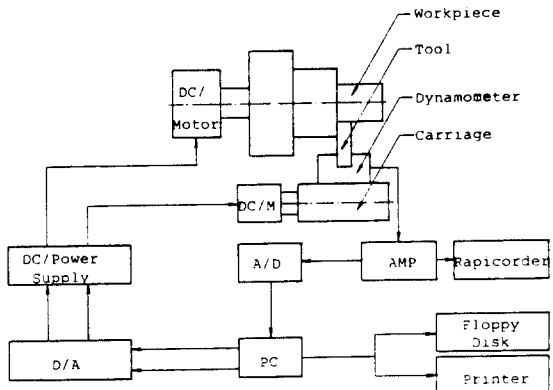


Fig. 2 Schematic diagram of Experimental apparatus

2.1.1 절삭저항

공구마모, Chip의 형태, 표면거칠기 등에 많은 영향을 미치는 절삭력은 절삭온도와 더불어 절삭상태를 알 수 있는 가장 좋은 파라미터이다.

Fig.3,4,5는 절삭속도와 이송속도에 따른 주분력과 이송분력 그리고 배분력의 변화를 표시한 것이다.

실험에서 나타난 절삭저항의 각분력은 절삭속

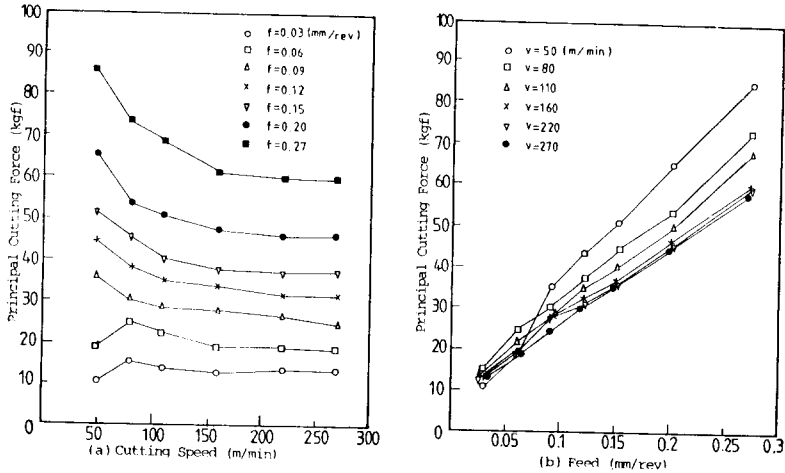


Fig. 3 Principal Cutting Force

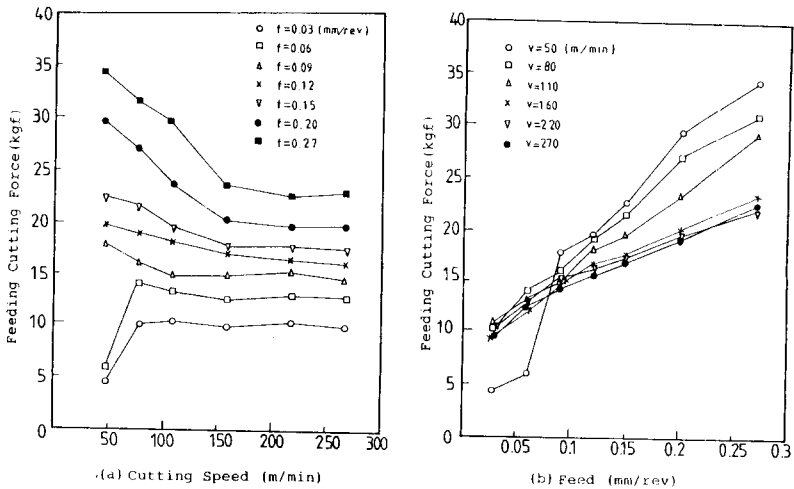


Fig. 4 Feeding Cutting Force

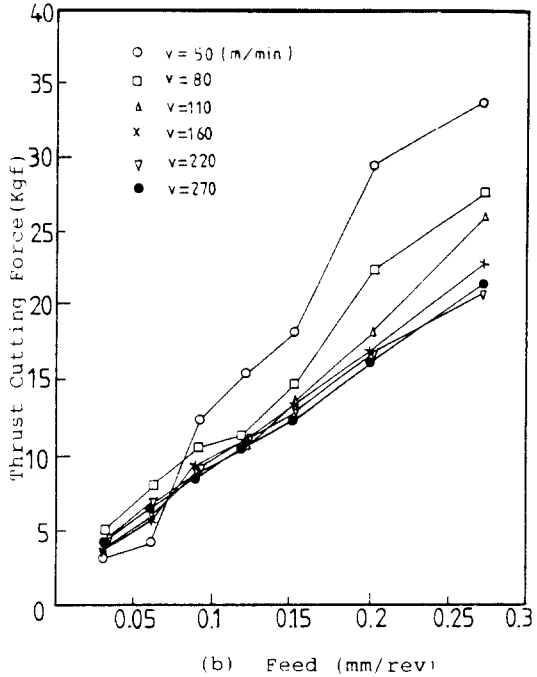
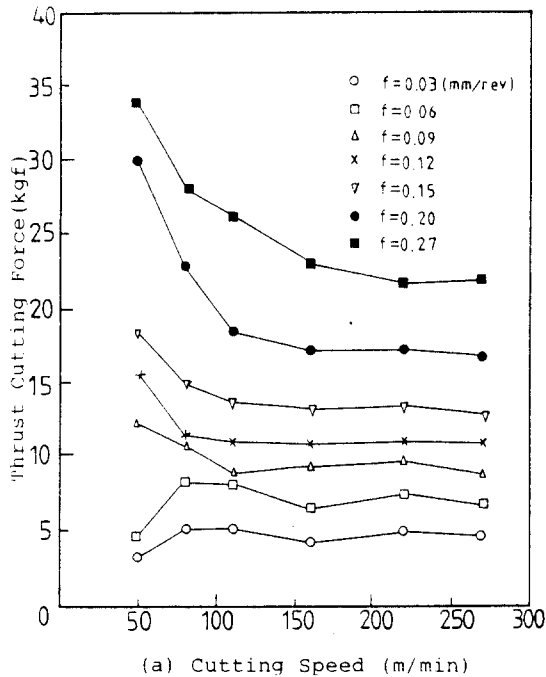


Fig. 5 Thrust Cutting Force

도가 증가하면 급격히 감소하여 점차적으로 일정치에 접근하고 있으나 예외적인 경우로써 속도가 아주 낮을경우 저항은 급격히 증가하다 점차적으로 감소하는 경향을 나타내고 있음은 Built Up Edge의 발생에 따른 결과로 여겨진다. 한편 이에 반하여 이송속도가 증가함에 따라 저항의 크기는 거의 직선적으로 변화하고 있으므로 절삭 저항은 절삭속도와 이송속도에 대해 각각 음(-)과 양(+)의 상관관계를 갖게 됨을 알 수 있다.

2.1.2 Chip의 형태

절삭가공에서 절삭 Energy의 대부분은 Chip을 만들기 위해 사용되어지고, 이때 생성된 Chip을 귀찮은 존재로 되지 않게 배출하는 일은 능률적인 절삭가공을 유지하기 위하여 절대 필요한 것이다.

Table 2는 본 실험에서 얻어진 각 형태의 Chip을 Henriksen의 분류원칙에 따라 표시한 것이며 Chip 처리의 양부에 따라 "Useable"과 "Preferred"로 그선택의 범위를 설정하였다.

Table 2 Chip Classification by Henriksen

Type of chip by Henriksen	Form of chips obtained through Experiment	Remarks
STRAIGHT CHIPS		} Preferred Range } Useable Range
SNARLING CHIPS		
INFINITE HELICES (Cork screw pattern)		
REGULAR INTERMITTENTS (each piece more than one turn)		
FULL TURNS		
HALF TURNS		
FRAGMENTS & SPLINTERS		

2.2 절삭력비와 Chip 형태와의 관계

Fig. 6은 절삭가공 중 절삭조건이 Chip생성에 미치는 영향도를 표시한 것이다. 즉 이송속도

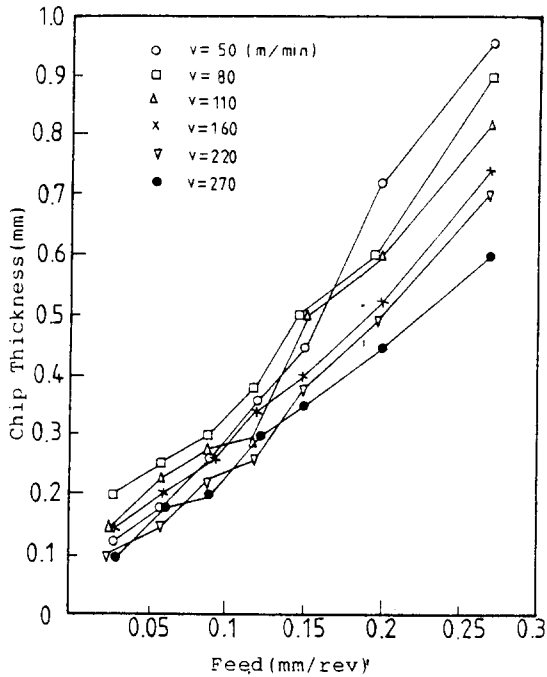


Fig. 6 Chip Thickness

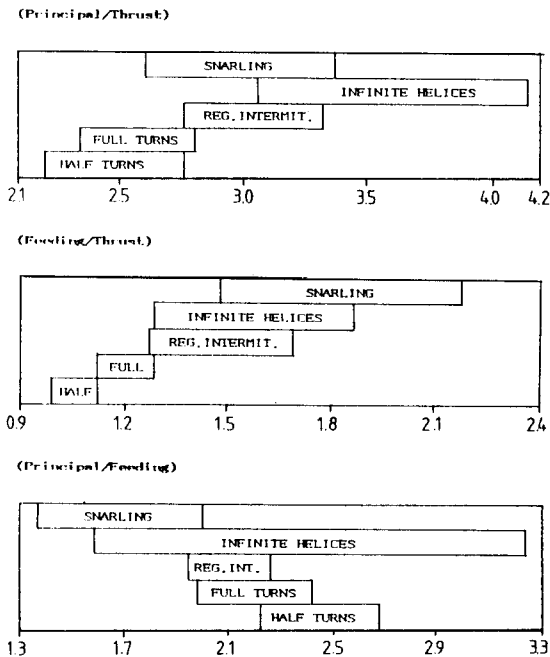


Fig. 7 Relationships between Cutting Force Ratios and the Form of Chips

가 증가하고 절삭속도가 감소함에 따라 Chip의 두께는 점차 증가하여 Straight Chip에서 Full Turn Chip으로 그 형상이 변화하고 있음을 관찰할 수 있다.

이는 절삭저항의 변화에 따라 생성되는 Chip이 그 형태를 달리하고 있음을 시사하는 것으로 이들의 관계를 종합 판단키 위해 각 절삭력 비에 따른 Chip의 형태를 표시하면 Fig.7과 같다.

Fig. 7에서 가장 좁은 절삭력비 영역에서 Chip의 형태가 구분되는 것은 Feeding/Thrust의 경우이나 Infinite Helices가 이들의 상관관계를 맺는데 장애가 되고 있음을 알 수 있다.

이는 본 절삭실험의 결과 저속과 이송량이 적은 범위 ( $V=100\text{ m/min}$ ,  $f=0.07\text{ mm/rev}$  이하)에서 치수효과로 인한 절삭에너지의 공급이 커져 이와같은 Chip의 형태변화가 온것으로 생각된다.

### 3. Chip의 형태예측과 실험결과와의 비교

#### 3.1 절삭력의 수학적 모델과 그 기대치

앞절의 실험결과 어떤 소재를 가공할 때 절삭저항을 도출함에 따라 Chip의 형태, 절삭속도등을 예측할 수 있으므로 이에따라 절삭조건을 설정이 가능해진다.

지금 절삭속도와 이송속도를 독립변수로 절삭분력을 종속변수로 한 일반화 된 관계식을 만들기 위해 다음과 같은 수학적 모델 (중선형 회귀모형 - Multiple linear regression model)을 설정하였다.

$$F_i = aV^b f^c \dots\dots\dots (1)$$

$$\ln F_i = b \ln a + b \ln V + c \ln f \dots\dots\dots (2)$$

$$F_i' = a' + bV' + cf' \dots\dots\dots (3)$$

식(3)의 각 계수를 구하기 위해서 Table 1과 같은 절삭조건하에서 실험한 결과(Fig.3,4,5) 절삭력은 절삭속도와 이송속도에 대해 각각 음(-)과 양(+의 상관관계를 갖고 있으므로 이들 각각의 절삭조건에 따라 회귀분석하면 계수

a, b, c 와 모표준 편차  $\sigma_i$  를 추정하는 추정치 (estimate)  $S_i$  는 Table 3 과 같이 구해진다.

**Table. 3 Factor of regression due to Ex. Data**

Factor	a	b	c	si
Princinal force	338.0859	- 0.1418	0.7366	0.53
Feeding force	67.1816	- 0.0460	0.5332	0.42
Thrust force	127.0270	- 0.1250	0.8086	0.59

이는 미래 실험치의 약 68.3%가 주분력의 경우  $F_v \pm 0.53$  (Kgf), 이송분력의 경우  $F_f \pm 0.42$ (Kgf), 배분력의 경우  $F_p \pm 0.59$ (Kgf)의 영역내에서, 또한 약 95.4%가 주분력의 경우  $F_v \pm 1.06$ (Kgf), 이송분력의 경우  $F_f \pm 0.84$  (Kgf), 배분력의 경우  $F_p \pm 1.18$ (Kgf) 의 영역안에서 얻어질 것이며 이 회귀분석에서 오차가 큰 부분은 그래프상에서 특이한 경향을 가지는 절삭속도와 이송속도가 모두 낮은 범위에서 발생하였다. 또한 회귀분석에 의해 얻어진 절삭력을 플롯팅시키면 이 구역에서 실험치와 반대로 절삭속도가 증가함에 따라 절삭력은 감소하다가 점차적으로 일정하게 된다. 따라서 이 점들을 회귀분석의 데이터에서 제외하면 좀 더 정도 높은 예측을 할 수 있을 것이나 본 연구에서는 이점들도 포함된 일반적인 식을 택하였다.

**3.2 Chip 형태 예측을 위한 알고리즘의 구성**

입의의 절삭조건에서 절삭분력은 회귀분석에서 얻은 식으로부터 구할 수 있으나 Fig.7 에서와 같이 절삭력 비가 같은 경우 3 가지 종류의 Chip 이 발생하는 곳도 있으므로 두절삭력 비를 적절히 이용, Chip 의 형태를 예측하기 위해 다음과 같은 제한조건을 설정하여 Fig. 8,9 와 같은 알고리즘을 구성하였다. (Fig.8은 처리성이 나쁜 SNARLING CHIP이 비교적 명확하게 구분되어 가는 FORWARD CLASSIFICATION 이

고 Fig.9는 반대로 처리성이 좋은 HALF TURN ~ FULL TURN CHIP이 비교적 명확하게 구분되어 가는 BACKWARD CLASSIFICATION 이다).

1)  $V=100(m/min)$  및  $f=0.07(mm/rev)$  이하의 절삭조건 영역에서는 Chip 을 Infinite Hellices 로 간주하였다.

2) 두가지 형태의 Chip 이 겹치는 영역에는 (이송분력/배분력) 과 (주분력/이송분력)모두 두가 들어가는 경우에만, 두가지 형태의 Chip이 공존하는 천이영역 (Transient Range)으로 설정하였다.

3) 본 실험 이외의 영역, 즉 Infra-Half Turn 및 Supra-Snarling 은 각각 Frag - ments 및 Straight 로 가정하였다.

**3.3 실험결과와의 비교**

Fig.8,9 의 Flow Chart 에 따라 Basic 으로 Programming 하여 절삭속도 V와 이송속도 f를 입력으로 하여 Chip의 형태를 예측키 위해 앞의 절삭실험에서 사용하지 않은 V와 f의 조건을 4 종류의 이송속도에 따라 그룹으로 나누어 한 그룹당 30번의 실험을 수행, 이때 생성된 Chip 과 예측한 Chip의 형태와를 비교한 것이 Table 4 이다. 그 결과 성공률이 아주 높으므로 이러한 Chip의 형태예측 알고리즘은 넓은범위의 절삭조건에서 아주 유용하게 이용할 수 있을 것이다.

**4. 결 론**

절삭력의 변화에 가장 영향이 큰 절삭속도와 이송속도를 변화시키면서 절삭력을 측정하고 이때 발생하는 Chip의 형태를 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 절삭속도와 이송속도를 독립변수로하고 각 절삭력  $F_i$  를 종속변수로 하는 중선형 회귀모형 (multiple linear regression model)을 가정하여 넓은 범위의 절삭조건에서 만족할 수 있

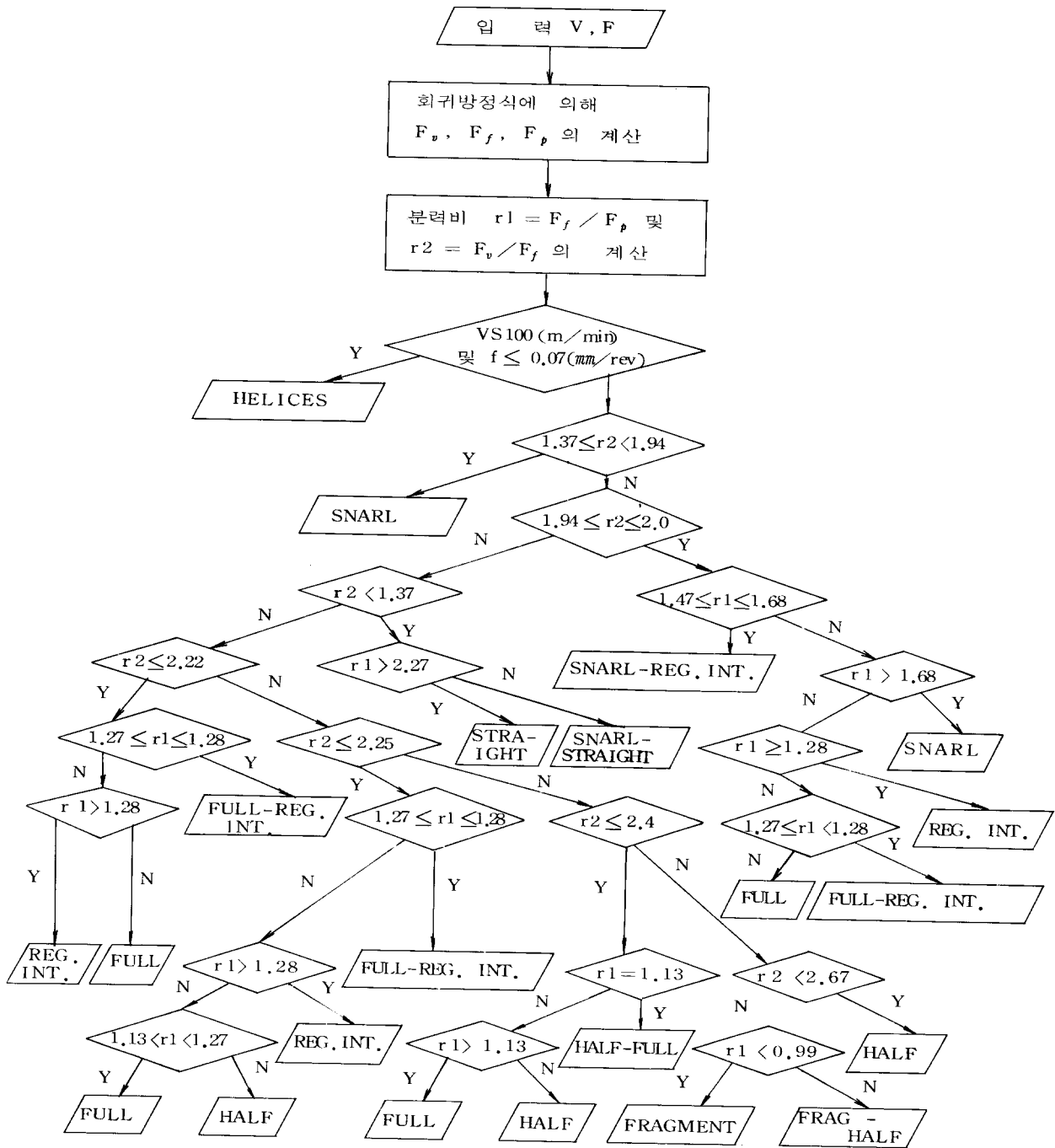


Fig. 8 Prediction Algorithm of the Form of Chips  
(FORWARD CLASSIFICATION)





**Table. 4 Comparison between the Prediction of the Form of Chips and Experimental Results**

No.	f	V	FORWARD	BACKWARD	EXPERIMENTS
1	0.1	65	REG. INTERMIT.	REG. INTERMIT.	87 (%)
2		95	//	//	
3		130	//	//	
4		190	SNARLING	SNARLING	
5		245	//	//	
6		290	//	//	
7	0.18	65	FULL TURNS	FULL TURNS	93 (%)
8		95	//	//	
9		130	//	//	
10		190	REG. INTERMIT.	REG. INTERMIT.	
11		245	//	//	
12		290	//	//	
13	0.23	65	HALF TURNS	HALF TURNS	93 (%) [96 (%)]
14		95	//	FULL TURNS	
15		130	FULL TURNS	//	
16		190	//	//	
17		245	//	//	
18		290	//	//	
19	0.3	65	HALF TURNS	HALF TURNS	83 (%)
20		95	//	//	
21		130	//	//	
22		190	//	//	
23		245	FULL TURNS	FULL TURNS	
24		290	//	//	

where, [ ] : BACKWARD CLASSIFICATION

는 실험식을 얻었다.

2) Henriksen 의 방법에 따라 얻어지는 Chip 형태와 이때 발생된 절삭력비와는 일정한 상관관계가 있음을 증명하였다.

3) 1) 과 2) 의 결과에 따라 Chip 의 형태를 예측하는 알고리즘을 구성하여 임의의 절삭조건을 입력시켜 Chip 의 형태예측과 실제 발생하는 Chip 의 형태와 비교하였을때 83% 이상 일치 하였다.

#### [참 고 문 헌]

1) Spanns, C., A systematic approach to three dimensional chip curl, chip break-

ing and chip control, SME paper Nr. 70-241

2) W. Kluft, W. Konig, "Present Knowledge of Chip control", Annals of the CIRP, Vol. 28/2, pp. 441~455 (1979)

3) B. Worthington, A.H. Redford, "Chip Curl and the Action of the Groover Type Chip Former", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 13, pp. 257 ~ 270 (1973)

4) B. Worthington, M.H. Rahman "Predicting Breaking with Groove Type Breakers", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 19, pp. 121~132 (1979)

5) B. Worthington, "A Comprehensive Li-

- terature Survey of Chip Control in the Turning Process", Metal Cutting Machine Tool, Vol.1, Manchester, pp. 103~116 (1976).
- 6) E.J.A.Armarego, "Metal Cutting Analysis for Turning Operations", Int.J. Mach. Tool Des.Res, Vol.10, pp. 361~379 (1970).
- 7) K.Nakayama,M.Ogawa, "Basic Rules on the Form of Chip in Metal Cutting", Annals of the CIRP, Vol.27/1, pp. 17~21 (1978).
- 8) E.Usui, A.Hirota, "Analytical Prediction of Three Dimensional Cutting Process. Part 1, Part 2", Transactions of the ASME., J. of Engr. for Industry, Vol.100, pp. 222~235 (1978).
- 9) Nakayama,K.Avai,M.,On the storage of data on matal cutting forces, Annals of the CIRP, Vol.25/1, pp.13(1976).