

패턴인식 기술에 의한 칩형태 판별

강 종표*, 최 만성**, 송 지복***

Chip type discrimination by pattern recognition technique

Kang Jong-Pyo*, Choi Man-sung**, Song Ji-bok***

ABSTRACT

Adaptive control of machine tool is aimed to change cutting state satisfactorily without aid of a machine operator, if the cutting state is abnormal such as formation of tangled ribbon type chip, built-up edge and generation of chattering and so on.

Among these the recognition of chip type is one of the most important since it has implications relate to :

1. Safety of operator
2. Stoppage of work due to entanglement in tool and workpiece of chip
3. Problem of produced chip control

In this paper the chip type is discriminated by the pattern recognition technique. It is found that the power spectrum of cutting force for each chip type has it's own special pattern.

Linear discriminant function for the recognition of the chip type is obtained by learning process.

The discriminant function can be the basis of adaptive control for the rate of success of recognition by pattern recognition technique is at least higher than 83%.

* : 부산대 대학원

** : 창원 기능대 교수

*** : 부산대 정밀기계과 교수

1. 서 언

절삭가공에 있어서 작업자는 시각과 청각에 의해 절삭중의 음향, 기계의 진동, 제품의 정밀도, Chip의 상태 등을 인지하고 여기에 과거의 경험을 바탕으로 하여 언제나 작업이 양호하고 최적화 되게끔 가공조건을 제어하고 있다.

이는 인간이 갖고 있는 고도의 Pattern인식능력과 학습능력, 그리고 적응능력에 의한 것으로 이와 같은 기능을 기계에 부여, 가공의 자동화를 실현시키려는 경향이 1970년대 이후 강력히 대두¹⁾⁻⁶⁾되고 있다.

따라서 본 연구에서는 생산 System의 무인화 단계에서 가장 기본적으로 처리하여야 할 Chip의 생성형태를 절삭력과 Power Spectrum의 특성을 이용, 선형식별함수의 Weight Vector를 추출, 이를 Computer에 인식케 하고 그 실제 상황에 따라 성공율에 대해 실시간 제어를 위한 기준을 마련토록 하였다.

이 방법은 Chip에 대한 형태판별에 의해 절삭상태를 감시하고 아울러 절삭조건을 변경함으로써 양호한 절삭상태로 제어 하는데 응용될 수 있을 것으로 생각된다.

2. Pattern 인식의 기법

2.1 선형식별함수

Pattern 인식기술은 언어와 문자의 인식, 날씨의 예측, 의학적 진단, 주식시장 예측 등^{7), 8), 9)}에 많이 이용되고 있으나 절삭과정에서는 아직도 초기 단계에 머물고 있는 실정이다.

Pattern 인식은 (1) 현상의 관측 (2) 특징의 추

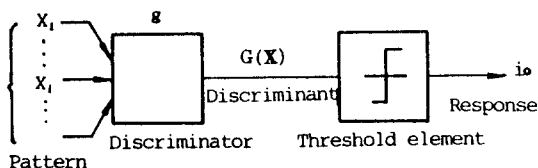


Fig. 1 Basic model for a pattern dichotomizer.

출 (3) 식별의 결정 등에 의해 이루어 지므로 그 기본적인 분류 Model은 Fig. 1과 같이 형성된다.

여기 X_1, X_2, \dots, X_n 은 관측된 현상으로부터 추출된 특징의 Parameter이며 이에 대한 각각의 가중을 $W_1, W_2, \dots, W_n, W_{n+1}$ 이라 할 때 Pattern을 경계면에 의해 선형분류를 행하는 일반적인 식별함수는

$$G(X) = W_1X_1 + W_2X_2 + \dots + W_nX_n + W_{n+1} \quad (1)$$

와 같이 되며 이를 Pattern Vector $\vec{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n, 1)$, 가중 Vector $\vec{W} = (W_1, W_2, \dots, W_n, W_{n+1})$ 로 표시하면

$$G(X) = \vec{W}^T \vec{X} \dots\dots\dots (2)$$

이 된다.

2.2 Pattern 분류에 따른 Algorithm 구성

Fig. 2의 (a)는 2개의 Pattern을, (b)는 3개의 Pattern 집단을 선형적으로 구분한 것이다.

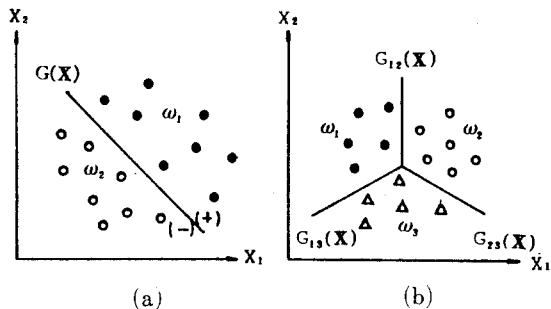


Fig. 2 A simple discriminant function for two and three pattern classes.

이때 (a)인 경우의 분류 모델은 Fig. 3과 같으며

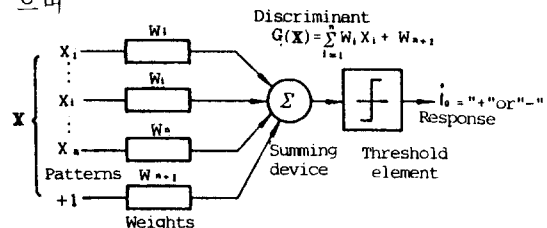


Fig. 3 Basic model for two pattern classifier.

여기 $\vec{X} \in \omega_1$ 이고 $G(X) > 0$ 이면 $i = +$ 가 되고 $\vec{X} \in \omega_2$ 이고 $G(X) < 0$ 이면 $i = -$ 가 되므로

선형식별함수를 구성하는 가중 Vector \vec{W} 는 절삭상태로 부터 얻은 몇개의 Pattern Vector 를 Training Vector로 하여 축차 수정법 (error corection training method)에 의해 구할 수 있으며 이를 위한 Algorithm의 구성은 Fig. 4와 같다.

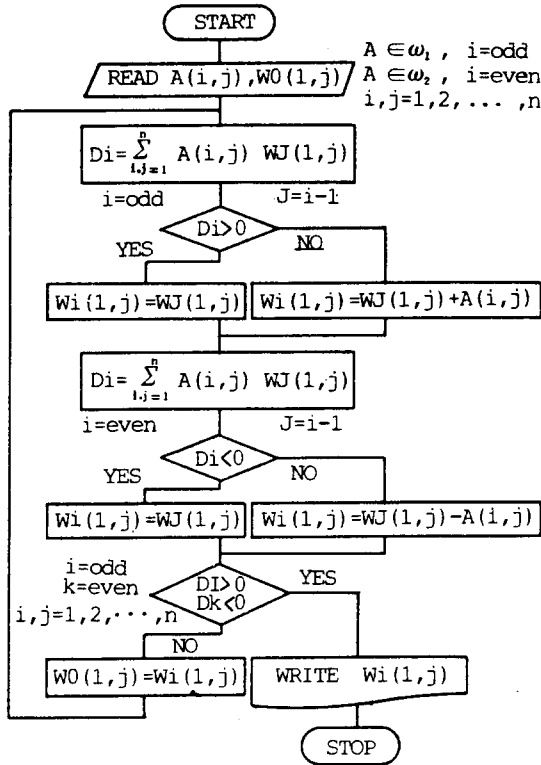


Fig. 4 Logic of two pattern classes discriminant.

또한 (b)인 경우 식별함수의 일반적형태는

$$\begin{aligned}
 G_1(\vec{X}) &= \sum_{i=1}^n W_{1i} \times_i + W_{1.n+1} \\
 G_2(\vec{X}) &= \sum_{i=1}^n W_{2i} \times_i + W_{2.n+1} \\
 \vdots & \\
 G_R(\vec{X}) &= \sum_{i=1}^n W_{Ri} \times_i + W_{R.n+1}
 \end{aligned}$$

가 되며 이를 위한 분류 model이 Fig. 5이다.

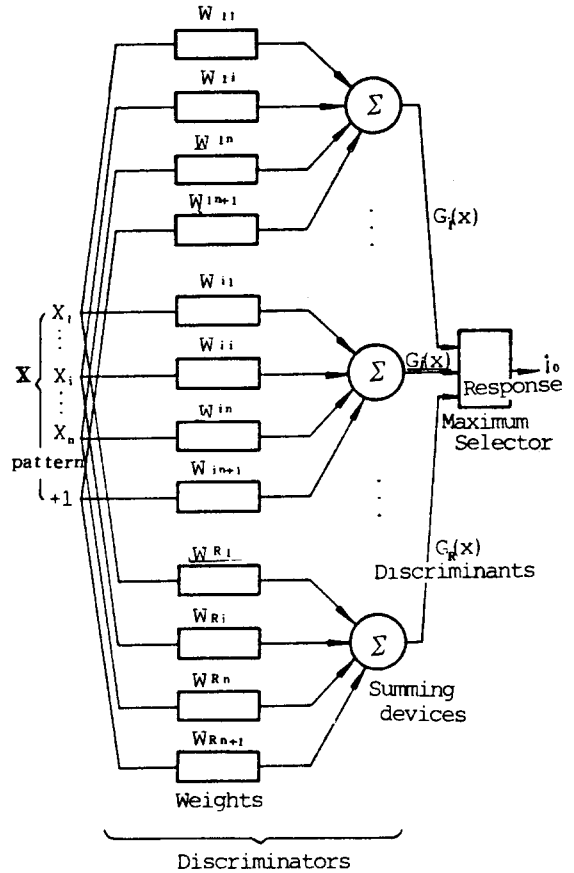


Fig. 5 Basic model for multicategory pattern classifier.

이때 \vec{X} 가 ω_i 에 속하면 $G_i(X)$ 와 $G_j(X)$ 는 $j = 1, 2, \dots, R, i \neq j$ 인 모든 경우에 대해 $G_i(X) > G_j(X)$ 가 되므로 ω_i 와 ω_j 에 대한 가중 Vector W_i, W_j 는

$$\begin{aligned}
 G_{ij}(\vec{X}) &= G_i(\vec{X}) - G_j(\vec{X}) \\
 &= (\vec{W}_i - \vec{W}_j) \cdot \vec{X} \\
 &= \vec{W}_{ij} \cdot \vec{X}
 \end{aligned}$$

가 된다.

따라서 임의의 가중 Vector는 이미 알고 있는 Pattern 집단에서 선정된 Training Pattern에 의해 구해지며 이때 이용될 Algorithm은 Fig. 6과 같다.

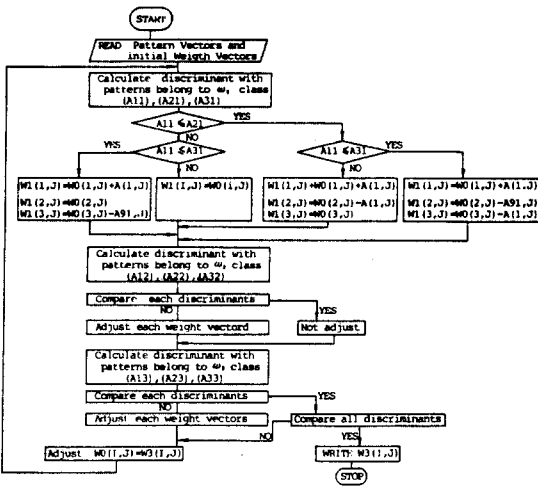


Fig. 6 Logic of three pattern classification.

3. 실험 방법 및 조건

Fig. 7은 절삭실험장치의 개략도를 표시한 것이다.

절삭속도와 이송량은 각각 독립적으로 무단변속 할 수 있게 범용 선반을 DC Motor 구동 System으로 개조하여

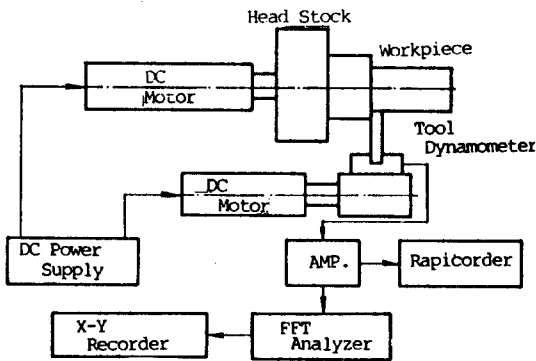


Fig. 7 Block diagram of experimental equipments.

Table. 1에 표시된 조건에 따라 실험을 행하였으며 Chip의 형태가 변화 하는 경계영역 부위에서는 Training Pattern 선정을 위해 이송속도를 세분화하고 이에 따른 Power Spectrum을 FF

Table. 1 Experimental condition and Tool properties.

Cutting Speed (m/min)	50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 150, 180, 210, 240, 270
Feed Rate (mm / rev)	0.04 ~ 0.27 (+0.04)
Depth of cut (mm)	1.0, 1.5, 2.0
Cutting Fluid	No Use
Tool (T.A.Holder)	PSBNR 2020 K12
(T.A.Tip)	SNMG 120408C P20
Rake Angle	-6°
Nose Radius	0.8(mm)
Cutting Edge Angle	75°
Cutting Edge Inclination	-6°

T Analyzer에 의해 분석하였다. 이때 사용된 시편과 그 화학적 성분은 Table. 2와 같다.

Table. 2 Dimension and Chemical composition of Workpiece

Workpiece Dimension : 85 × 250 (mm)				
Chemical Composition (W+%)				
C	Si	Mn	P	S
0.42 ~ 0.48	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.90	0.030 <	0.030 <

4. 실험결과 및 고찰

4.1 Chip의 형태에 따른 Power Spectrum 생산 현장에서는 Chip의 처리 문제와 관련하여 Chip의 형태도 절삭조건을 결정하는데 중요한 인자로 작용되므로 그 특징을 추출키 위해 축선 방향으로 선삭실험을 행하였다. 이때 생성된 Chip은 (1) 길고 연속적인 것 (Tangled ribbon type) 과 (2) 코일형 (Coiled type) 그리고 (3) 짧게 파단되는 것 (Broken type) 등으로 대별할 수 있었으며 그 형태 변화는 절삭속도와 절입량에 비해 이송속도에 민감한 영향을 받았다.

Fig. 8, 9, 10은 절입량을 2mm, 절삭속도 70mm/min으로 하였을 때 이송량의 변화에 따라 Chip의 형태와 Power Spectrum의 관계를 정성적으로 표시한 것으로 이송속도가 증가하면 Chip의 유출각이 증가되고 형성되는 Chip의 곡률반경이 감소하기 때문에 Chip은 길고 연속적인 것으로 부터 점차 짧게 파단되는 형태로 변화하였다.

이에 따라 Power Spectrum의 분포영역은 보다 높은 주파수범위로 확대되고 그 발생빈도가 주기성을 가지면서 Total Power가 증가되고 있음을 알 수 있다.

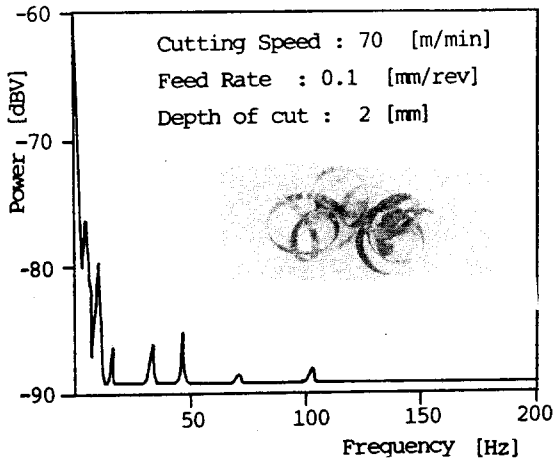


Fig. 8 Power Spectrum of Tangled Ribbon-type Chip

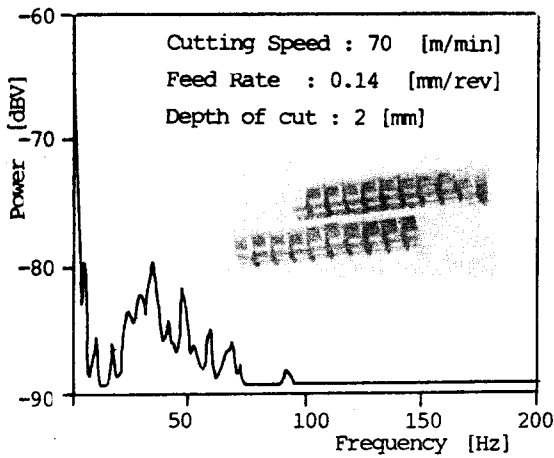


Fig. 9 Power Spectrum of Coiled-type Chip

이와 같은 현상은 Fig. 11에서와 같이 모든 절삭조건에서 유사한 결과를 나타내었으며 특히 이송량과 절삭깊이의 증가에 따라 절삭속도가 감

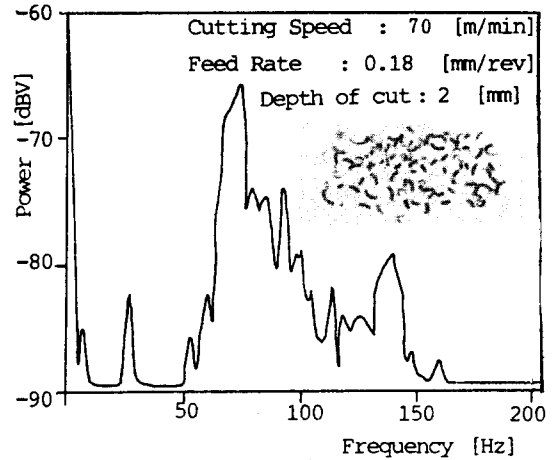


Fig. 10 Power Spectrum of Broken-type Chip

소될 경우 코일형 Chip의 발생 영역이 좁아지고 반면 규칙적으로 파단되는 Chip이 많아지면서 Power의 총량이 급격히 증가되었다.

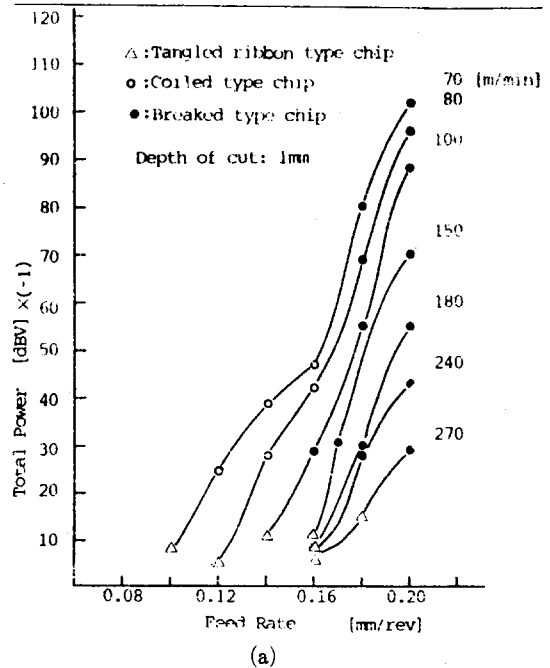
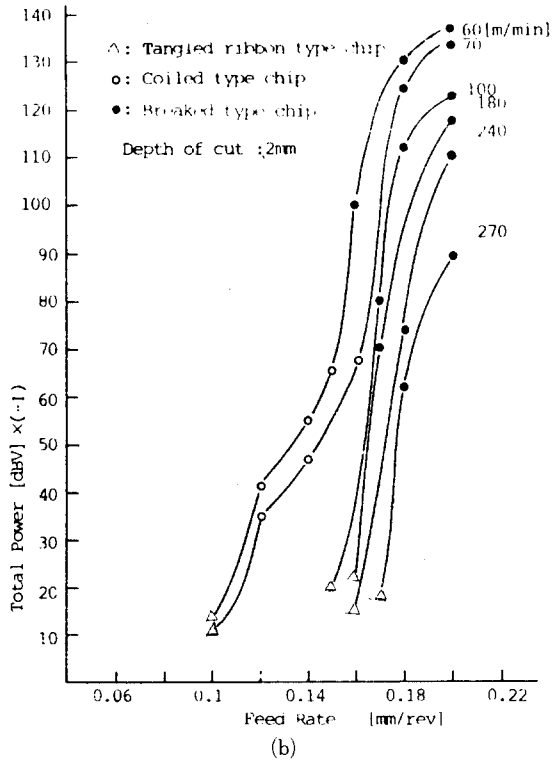


Fig. 11 Relation between Total Power and Feed Rate



4.2 절삭상태의 인식과 그 평가

이상의 실험결과를 고찰, 어느경우의 절삭조건에서도 Total Power, Power의 집중상태, 주파수 등이 각 절삭상태에서 고유한 특징을 나타내고 있으므로

- 1) Power Spectrum의 Power의 총량
- 2) Power가 집중되어 있는 부분의 주파수

3) 이송량 및 절삭속도

에 의해 Pattern Vector를 만들고 이에 따라 실험관측 결과로부터 Training Pattern을 선정, 식별함수를 구성하였다. 즉 Chip의 형태를 식별키위해 절삭깊이 1mm에 대해서 학습과정에 사용되는 Training Pattern을 각 Class(Tangled ribbon type, Coiled type, Broken type)에서 11개씩 선정, 축차 수정법(11709회 수정)에 의해 가중 Vector를 구하여 다음과 같은 식별함수를 유도하였다.

$$G_{12}(X) = -25245.5X_1 - 21.264X_2 + 5824$$

$$G_{23}(X) = 33821.2X_1 - 6.521X_2 - 4656 \quad (3)$$

$$G_{13}(X) = 8575.7X_1 - 27.780X_2 + 1168$$

식 (3)에 의해 각 Class에서 60개씩의 Test용 가공조건을 새로이 선정하여 인식한 결과 Fig. 12에서 볼 수 있듯이 식별함수의 3중점을 중심으로 Tangled ribbon type(ω_1 class)에 대해서는 13개의 Coiled type(ω_2 class), Broken type(ω_3 class) 칩이 생성되어 78%, ω_2 class와 ω_3 class에 대해서는 각각 11개와 10개의 다른 class의 칩이 생성되어 81%와 90%의 정답률이 얻어졌으므로, 전체적인 식별정도는 평균 83%를 보여주었으며 그림에서 알 수 있듯이 $G_{ij}(\vec{X}) = 0$ (for all $j \neq i$)에 접근하는 점에서의 재현성은 그精度가 매우 떨어지고 있으나 그외의 점에 대해서는 양호한 인식을 할 수 있었으므로, 총체적

Table. 3 Linear discriminant function and Recognition Rate

Depth of Cut (mm)	Linear Dis. Function	Weight Vectors			No. of Pattern	No. of Repeat	Recognition Rate
		W_1	W_2	W_3			
1.5	$G_{12}(X)$	-31110.7	-35,562	76	33	16831	84%
	$G_{23}(X)$	46425.2	-11,689	-6971			
	$G_{13}(X)$	15314.5	-47,251	1635			
2	$G_{12}(X)$	-11855.5	-16,365	2915	33	5134	74%
	$G_{23}(X)$	19484.8	-4,072	-2505			
	$G_{13}(X)$	729.3	20,437	410			

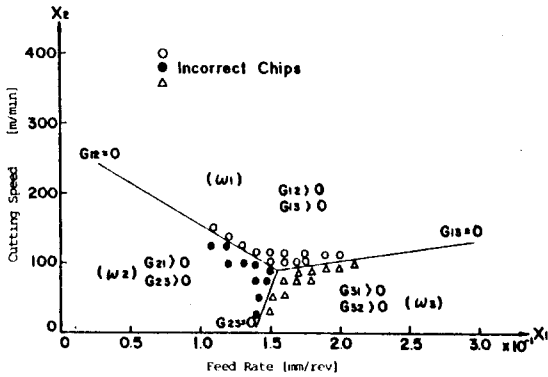


Fig. 12 Incorrect Chips by Pattern Vector.

인 칩 제어 기준을 마련하는데는 합리적이라 생각된다.

Table 3.은 선삭시험에서 분류된 각 class 의 특징으로부터 얻은 11개씩의 Training Pattern 에 의해 구해진 가중 Vector와 그 인식율을 표시한 것으로 절삭깊이가 2m일 때 인식률과 반복 회수가 낮은 것은 Training Pattern을 Fig. 13 에서와 같이 Chip의 형태가 변화하는 영역으로부터 약간 떨어진 곳에서 선정하면 식별함수가 유동적으로 변화할 수 있기 때문으로 여겨진다.

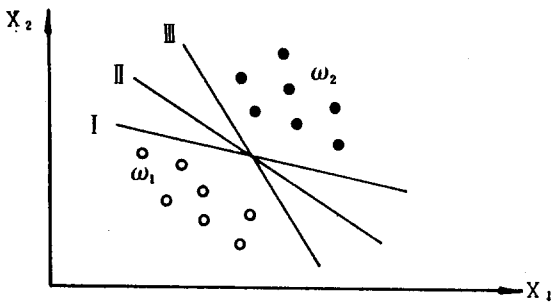


Fig. 13 Selection of training pattern.

5. 결 론

1) 절삭시 생성되는 Chip의 형태와 관련된 Power Spectrum은 뚜렷한 特徴을 갖고 있었으며,

2) 이를 이용, 線型식별함수를 構築하여 그 인식률을 실험결과와 비교, 83% 이상의 성공률을 얻었다.

따라서 Chip의 形態에 따른 Pattern 인식기 법은 실시간제어에 의해 언제나 양호한 절삭상태로 유도될 수 있는 것으로 생각된다.

《 参 考 文 献 》



- 1) Y. Z. Zhang, Z. F. Liu, etc, "Recognition of the Cutting States for the Difficult-to-cut Material Application of the Pattern Recognition Technique," Annals of the CIRP, Vol. 31/1, (1982).
- 2) 樋口成宏, 失野章成, "パターン認識手法の適用による被削性データベースの構築," 日機械學會誌, Vol. 50, No. 8, PP. 1255~1260 (1984).
- 3) 徐南燮, "金屬切削理論," 東明社, PP. 36~39, (1985)
- 4) 松島克守, 河野英, 佐田登志夫, "パターン認識技術による切削状態の認識," 日機械學會誌, Vol. 42, No. 2, 2, PP. 22~27 (1976).
- 5) M. Wang, J. Y. Zhu, Y. Z. Zhang, "Fuzzy Pattern Recognition of the Metal Cutting States", Annals of the CIRP, Vol. 34/1, PP. 133~136 (1985).
- 6) K. Matsushima, T. Sata, "On-line Control of the Cutting State by the Pattern Recognition Technique," Annals of the CIRP, Vol. 23/1, PP. 151~152 (1974).
- 7) T. Sate, K. matsushima, T. Nagakure, E. Kono, "Learning and Recognition of the Spectrum Analysis," Annals of the CIRP, Vol. 22/1, PP. 41~42 (1973).
- 8) J. T. Tou, R. C. Gonzalez, "Pattern Recognition Principles," Addison-Wesley Publishing Co., (1974)
- 9) N. J. Nilsson, "Learning machine," McGraw-Hill, New York, (1965).