

旋削加工에 있어서 切削抵抗의 信號處理와  
그 應用에 關한 研究(Ⅱ)  
- 切削抵抗에 依한 Chip form의 自動識別 -

김 도영\*, 윤 을재\*, 남궁 석\*\*

**A Study on the Signal Process of Cutting Forces in Turning  
and its Application (2nd Report)**

- Automatic Monitor of Chip Forms using Cutting Forces -

Do-Young Kim, Eul-Jae Yoon, Suk Namgung

ABSTRACT

In automatic metal cuttings, the chip control is one of the serious problems. So the automatic detection of chip forms is essential to the chip control in automatic metal cuttings.

Cutting experiments were carried out under the variety of cutting conditions (cutting speed, feed, depth of cut and tool geometry) and with workpiece made of steel (S45C), and cutting forces were measured in-processing by using a piezoelectric type Tool Dynamometer.

In this report, the frequency analysis of dynamic components, the upper frequency distributions, the ratio of RMS values, the numbers of null point and the probability density were calculated from the dynamic components of cutting forces filtered through various band pass filters.

Experimental results showed that computer chip form monitoring system based on the cutting forces was designed and simulated and that 6 types of chip forms could be detected while in-process machining.

\* : 국방과학연구소

\*\* : 충남대학교

### 1. 序論

最近 여러 專門 分野의 빠른 技術 發展은 加工 分野에서도 工作機械의 自動化와 工具材料의 技術 向上으로 切削加工은 必然的으로 高速化, 精密化 및 産業用 Robot 등을 利用한 無人化 方向으로 發展하게 되었다.

金屬加工에 있어서 에너지의 95%以上이 Chip의 除去에 쓰여지므로 切削加工이란 "Chip 除去過程"이라 할 수 있고,<sup>(5)</sup> 또한 이와같은 Chip의 生成 (Formation)에는 重要한 意味가 있으며, 加工 分野에 관한 研究對象이 되는 表面粗度, 工具壽命 및 切削力(抵抗)등의 情報등이 Chip Geometry와 密接한 連關이 있으므로 "Chip의 形狀"은 Chip의 處理性에 直接的인 影響을 미치는 重要한 要素가 되고 있다.<sup>(8), (9)</sup>

따라서 本 研究에서는 機械加工의 主류를 차지하는 旋削加工에 있어서 Chip 處理에 重要한 要素인 "Chip의 形狀(Form)"을 自動的으로 識別하기 爲하여 切削力의 信號處理 技法을 研究하였다.<sup>(11), (12)</sup>

이와 關連된 研究로는 日本에서의 "Chip 處理狀態의 認識과 制御"<sup>(1)</sup>, 美國의 "Acoustic Emission을 利用한 Chip 形狀 Monitoring"<sup>(2), (6), (7)</sup> 등이 있으나 前者의 境遇는 移送와 切削速度의 加工 條件뿐이고 後者는 Cutting Parameter로 3個의 材料를 使用하는 극히 限定된 切削條件을 應用하는데 반하여 本 研究에서는 移送, 切削깊이, 切削速度 및 工具形狀등의 여러가지 切削條件에 대한 Chip의 形狀 變化와 切削力과의 關係를 밝히고, 資料의 Algorithm 構成과 Software를 作成하여 實際的인 切削加工 In-Process의 On-Line Computer 條件에서 Chip 形狀의 自動的인 識別 可能性을 研究하였다.

### 2. 實驗條件 및 方法

Chip의 形成過程을 자세히 살펴보면 그림1과 같이 많은 因子들의 相互作用으로 多樣한 Chip 形狀이 만들어지기 때문에 미리 Chip 生成機構를 豫測

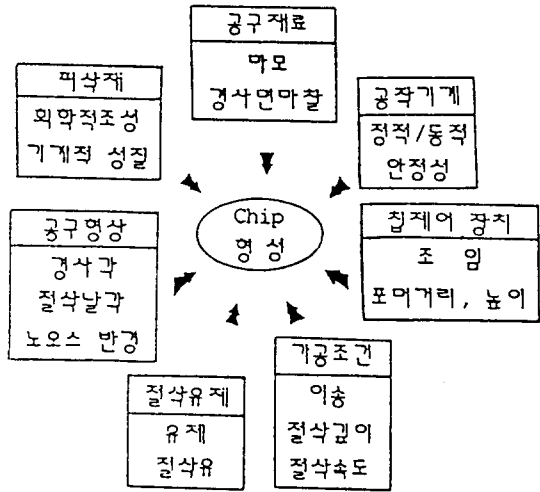


Fig. 1 Influences on the Types of Chip Formation

하기는 매우 어렵다.<sup>(4)</sup>

따라서 一定한 被削材에 切削速度, 移送, 切削깊이 및 工具등을 變化시킨 切削條件하에서 實際的인 切削加工을 통하여 Chip 形狀을 얻었다.

#### 2.1 實驗條件

實驗은 그림 2와 같이 遂行하였고, 使用한 被削材는 直徑65mm, 길이 200mm의 炭素鋼(S45C)이고 Three-Jaw Chuck에 把持길이 35mm에 200kg. f의 Chucking Force로 一定하게 固定하였다. 實驗前 1mm 깊이로 切削加工하여 被削材의 偏心을 除去하고 本 實驗을 遂行하였다.

工具는 Throw-Away Tip(초경합금 KTP 20)을 使用하고 工具의 돌출길이는 35mm를 維持하였다.

切削力(抵抗)을 In-Process 중에 얻기 爲하여 Piezo-electric Sensor인 Tool Dynamometer를 旋盤의 工具臺代身 設置하여 測定하였다.

切削條件으로는 被削材를 炭素鋼(S45C)으로 固定하고 切削速度, 移送, 切削깊이 및 工具등을 變化시켜 가면서 切削加工을 遂行하여 얻은 Chip 形狀의 分類는 西獨 切削情報 Center(INFOS)의

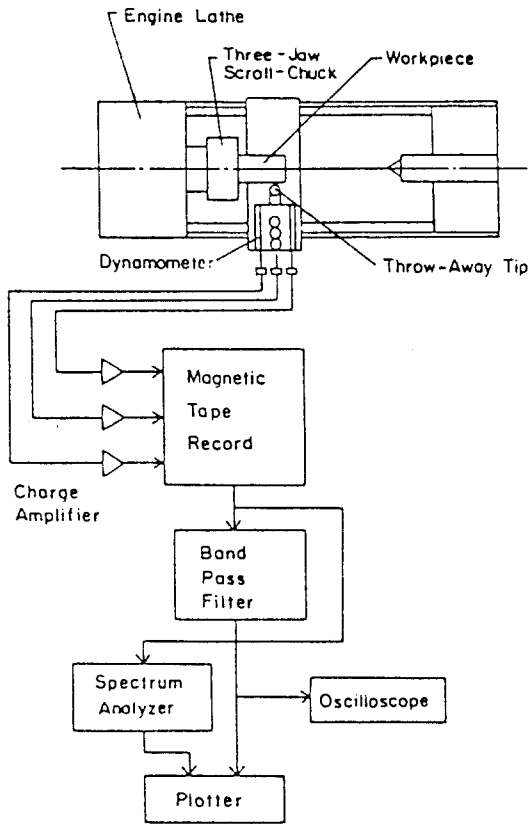


Fig. 2 Experimental Set Up

Data에 따른 分類法을 適用하여 그림 3과 같이 表示하였고, <sup>(4)</sup>(<sup>10</sup>) 切削條件에 따른 Chip 形狀은 表 1과 같다.

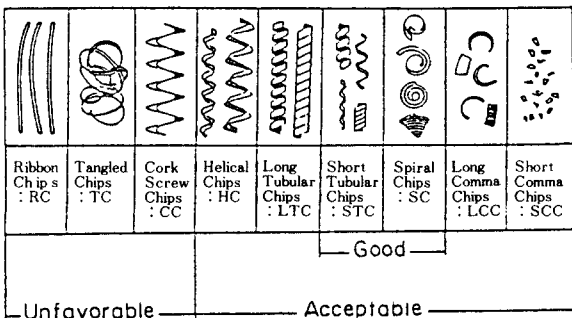


Fig. 3 Chip Form Classification by INFOS

2. 2 實驗方法

本 實驗에서 切削抵抗의 動的成分에 對한 測定과 分析을 하기 爲한 系統도는 그림 4와 같다.

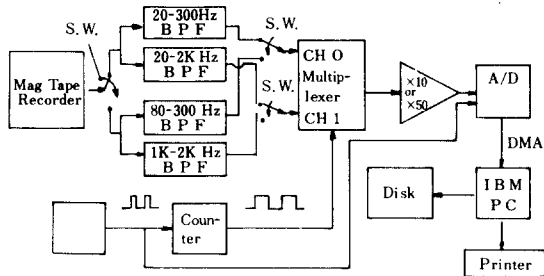


Fig. 4 Schematic Diagram of Analysis System

Table. 1 Chip forms to cutting conditions

Chip Form	절삭조건			
	공구	절삭속도 (rpm)	이송 (mm/rev)	절삭깊이 (mm)
RC	SNMG432	485	0.42	0.5
	-	505		
TC	SNMG434	750	0.25	0.5
	-	-	0.32	-
	-	-	0.36	-
	-	-	0.42	-
	SNMG433	-	0.50	-
CC	-	-	0.25	-
	-	-	0.36	-
	SNM433	750	0.32	0.5
	-	-	0.42	-
	-	-	0.50	-
HC	-	-	0.60	-
	-	-	0.42	1.0
	SNMG432	930	0.25	0.5
	-	-	0.32	-
	-	-	0.32	-
LTC	SNMG431	750	0.50	0.5
STC	SNMG431	750	0.25	0.5
	-	-	0.32	-
	-	-	0.36	-
	-	-	0.42	-
	SNMG432	930	0.36	0.5
	-	-	0.42	-
	-	-	0.50	-
SNMG432	750	0.21	0.5	
SC	-	-	0.42	-
	-	-	0.21	-
	SNMG432	185	0.42	0.5
LCC	SNMG432	585	0.21	1.0
	SNMG432	750	0.50	1.0
SCC	SNMG432	100	0.42	0.5

切削加工 중 Magnetic Tape Recorder에 切削力(主分力, 背分力, 移送(橫)分力)의 信號를 記

録하였으며 그 중 主分力(Principal Cutting Force)의 信號를 2種類의 Band Pass Filter에 連結하고, 同時에 2개의 채널의 資料를 獲得하기 爲하여 그 出力들을 다시 Multiplexer의 채널 0(CH 0)와 채널1(CH1)에 連結하였다.

切削加工 중에 얻은 Chip들의 形狀, Sampling Frequency 및 Data 分析에 걸리는 時間을 고려하여 Band Pass Filter의 帶域幅을 20Hz-2KHz로 하였고, Chip의 破斷周波數와 Chip들의 形狀을 고려하여 20Hz-300Hz 帶域幅의 Band Pass Filter를 선정하였으며, 本 實驗에 使用된 Band Pass Filter의 特性은 그림 5와 같다.

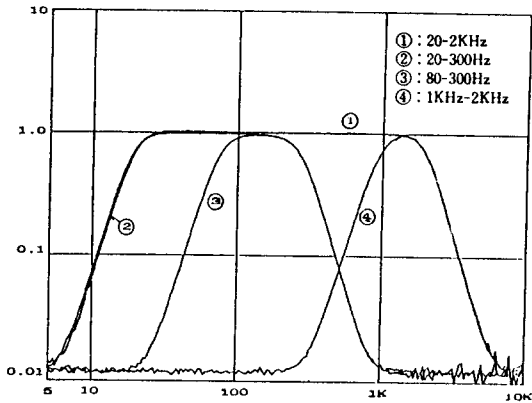


Fig. 5 Frequency Characteristics of Band Pass Filters

Multiplexer의 CH 0와 CH 1의 信號를 交代로 선택하기 爲하여 Binary Counter를 設計 및 製作 하였으며, 各 채널을 6.4 KHz로 Sampling하기 爲하여 12.8 KHz Clock Pulse를 使用하였다.

Multiplexer의 出力을 50배 増幅(信號가 Clip된 境遇는 10배 増幅) 시키고 Maximum Data Transfer Rate를 爲하여 Direct Memory Access 方式으로 資料를 얻었다. CH0와 CH1의 信號에 각각 400개의 資料를 同時에 獲得하였으므로 62.5msec 동안 資料가 얻어진다.

CH 0의 RMS 값(20Hz-300Hz의 RMS 값)과 CH 1의 RMS 값(20Hz-2KHz의 RMS 값)의 比率의 Parameter를  $\gamma_1$ 으로 놓으면,  $\gamma_1$ 은 아래와 같이

定義되고,  $\gamma_1$ 의 값을 구하여 記錄한 후 다시 資料를 얻어 反復시켰으며 本 實驗의 終了時에는 key Board의 Function Key F1을 Interrupt로 使用하였다.

(1)  $V_1 \text{ rms} \geq V_2 \text{ rms}$  일때

$$\gamma_1 = 100 \times V_2 \text{ rms} / V_1 \text{ rms}$$

(2)  $V_1 \text{ rms} < V_2 \text{ rms}$  일때

$$\gamma_1 = 100 \times V_1 \text{ rms} / V_2 \text{ rms}$$

여기서  $V(N)$  : 얻어진 資料의 數列 ( $M=1,800$ )

$$V_1(N) = V(2N-1)$$

$$V_2(N) = V(2N)$$

$$V_1 \text{ rms} = \left[ \frac{1}{400} \sum_{K=1}^{400} \{V_1(K)\}^2 \right]^{1/2}$$

$$V_2 \text{ rms} = \left[ \frac{1}{400} \sum_{K=1}^{400} \{V_2(K)\}^2 \right]^{1/2}$$

이 過程을 32種類의 實驗條件에 대하여 反復 遂行하였으며, 그 結果는 그림 6과 같다. 그림 6에서

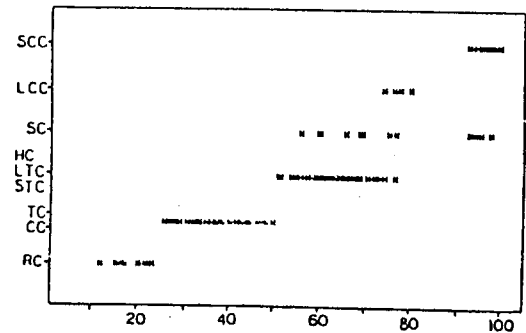


Fig. 6 Relationship between Parameter  $\gamma_1$  and Chip Forms Cut

$\gamma_1 > 85\%$ 인 境遇, 20Hz-300Hz의 Band Pass Filter를 통한 切削抵抗의 動的成分이 0인 境遇의 數(Null Point 個數)를 Parameter NP로 놓으면, NP는 아래와 같이 定義되고 NP를 Count하여 記錄한 후 다시 資料를 얻어 反復시켰으며 그 結果는 그림 7과 같다.

(1)  $V_1 \text{ rms} \leq V_2 \text{ rms}$  일때

$$NP = V_1(I) \cdot V_1(I+1) < 0 \text{ 을 滿足하는}$$

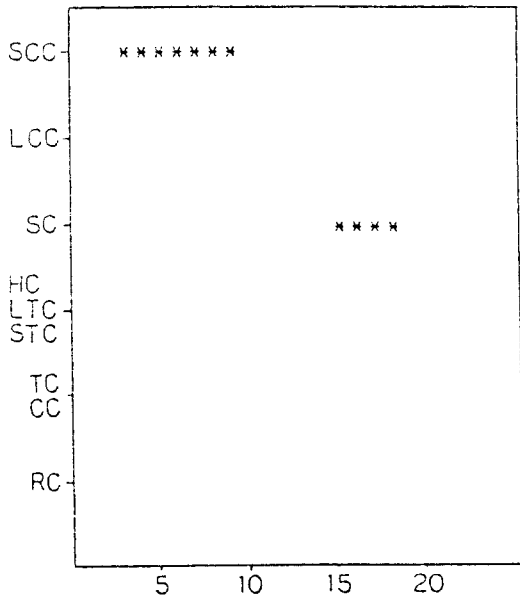


Fig. 7 Relationship between Parameter NP and Chip Forms Cut

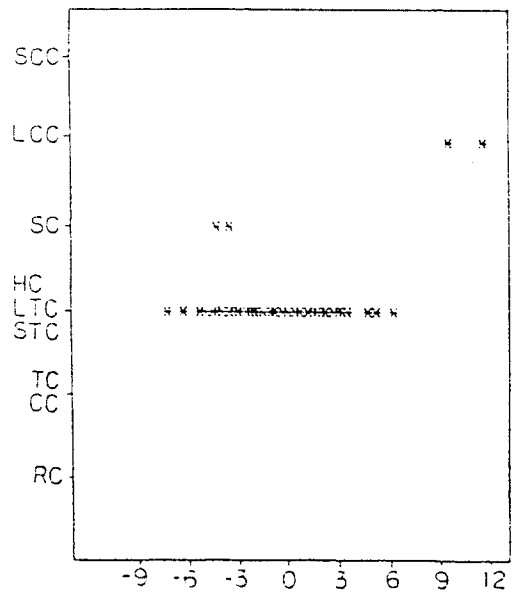


Fig. 8 Relationship between Parameter Sigma2 and Chip Forms Cut

I의 個數와  $V1(I) = 0$ 를 除外한  $V1(I) \cdot V1(I+1) = 0$ 을 滿足하는 I의 個數의 合  
 (2)  $V1 \text{ rms} > V2 \text{ rms}$  일때  
 NP는  $V2(I) \cdot V2(I+1) < 0$ 을 滿足 하는  
 I의 個數와  $V2(I) = 0$ 를 除外한  $V2(I) \cdot V2(I+1) = 0$ 을 滿足하는 I의 個數의 合  
 예를들어 20Hz - 300Hz의 純粹 正弦波인 境遇에  $NP \cdot \frac{1000}{62.5}$ 는 그 周波數의 2倍임을 쉽게 알 수 있다.

그림 6에서  $50\% < \gamma_1 \leq 85\%$ 의 區間에는 Long Comma Chip (LCC), Spiral Chip (SC), Helical Chip (HC), Long Tubular Chip(LTC), 및 Short Tubular Chip (STC) 形狀의 5개 Chip이 存在하는데 이 境遇에는 Band Pass Filter의 帶域幅을 80Hz - 300Hz, 1KHz - 2KHz로 바꾸고, 같은 方法으로 Data를 獲得하여 Parameter Sigma2와  $\gamma_2$ 를 아래와 같이 定義하고<sup>(9)</sup> 反復 遂行하여 記錄한 結果는 그림 8과 그림 9이다.

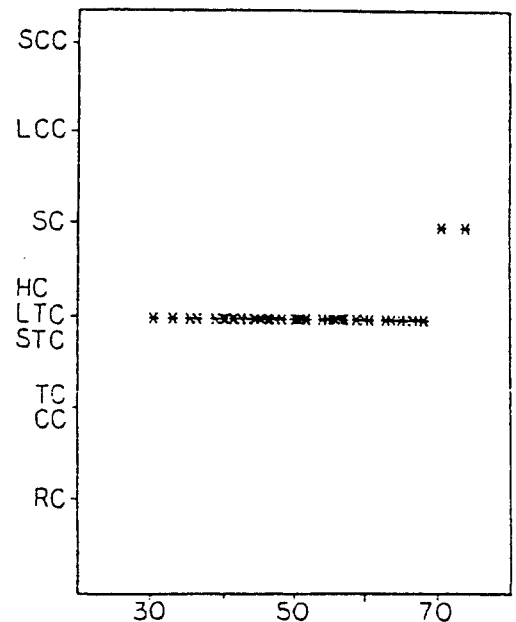


Fig. 9 Relationship between Parameter  $\gamma_2$  and Chip Forms Cut

(1)  $V1_{rms} \geq V2_{rms}$  일때

$$\text{Sigma } 2 = 100 \times \text{확률} (V1_{rms} < |V1| \leq 1.5 V1_{rms}) - 18.3$$

$$\gamma_2 = 100 \times \frac{V2_{rms}}{V1_{rms}}$$

(2)  $V1_{rms} < V2_{rms}$  일때

$$\text{Sigma } 2 = 100 \times \text{확률} (V2_{rms} < |V2(I)| \leq 1.5 V2_{rms}) - 18.3$$

$$\gamma_2 = 100 \times \frac{V1_{rms}}{V2_{rms}}$$

예를들어 80Hz-300Hz의 純粹正弦波인 境遇에

100x 확률 ( $V1_{rms} < |V1(I)| < 1.5 V1_{rms}$ )의 값은 50%이고 正規分布(Normal Distribution)를 이룰 때는 18.3%이므로 Sigma2는 31.7%임을 알 수 있다. 또한 Parameter  $\gamma_2$ 는 CH 0의 RMS 값과 CH 1의 RMS 값의 比率을 나타내는데, Band Pass Filter의 帶域幅은  $\gamma_1$ 을 구할때와는 相異하다.

以上の 實驗結果를 土臺로 Chip 形狀을 識別하기 爲하여 Quick Basic 4.0으로 作成한 프로그램의 順序圖는 그림 10이며, Execution File을 만들어 32種類의 實驗條件에 대하여 Simulation을 實施하였고 그 結果는 表 2와 같다.

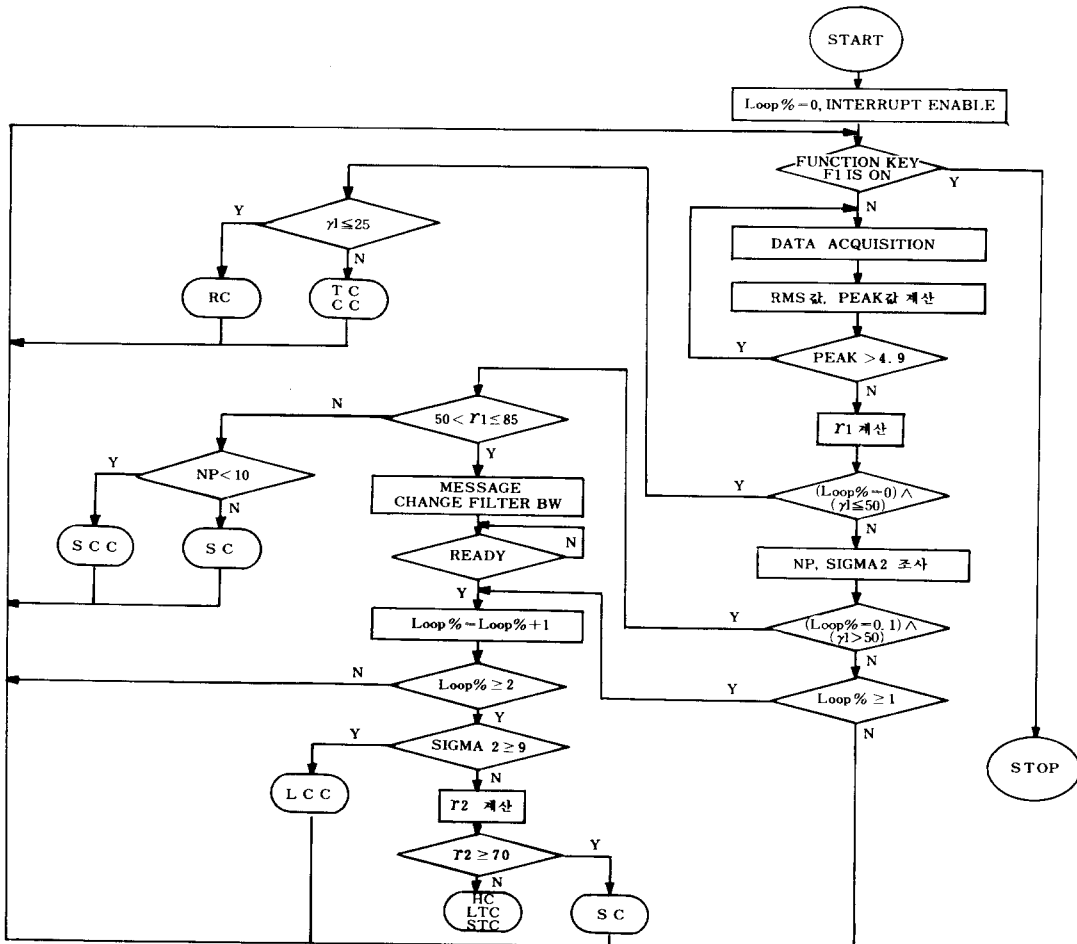


Fig. 10 Flow Chart of the Program

Table 2 An Example of Simulated Results

```

*****
CUTTING SPEED (RPM)    185
FEED (MM/REV.)         0.42
TOOL TYPE               SNMA432
DEPTH OF CUT(MM)       0.5
*****

14:10:01                V2RMS = .7018942          14:10:19                V2RMS = .7568802
VIRMS = .7552799        V2PEAK = 1.641235        VIRMS = .8172198        V2PEAK = 1.71936
VIPEAK = 1.71936        VIPEAK = 2.03186        GAMMA1 = 92.61649       GAMMA1 = 92.61649
GAMMA1 = 92.93167       GAMMA1 = 92.61649       NUMBER OF NULL POINT = 15
NUMBER OF NULL POINT = 18
*** SPIRAL CHIP ***    *** SPIRAL CHIP ***

14:10:07                V2RMS = .6793177          14:10:26                V2RMS = .7050515
VIRMS = .7354529        V2PEAK = 1.56311        VIRMS = .7520022        V2PEAK = 1.56311
VIPEAK = 1.953735        VIPEAK = 1.797485       GAMMA1 = 93.75658       GAMMA1 = 93.75658
GAMMA1 = 92.36726       GAMMA1 = 93.75658       NUMBER OF NULL POINT = 17
NUMBER OF NULL POINT = 16
*** SPIRAL CHIP ***    *** SPIRAL CHIP ***

14:10:13                V2RMS = .7766462          14:10:32                V2RMS = .9733896
VIRMS = .8230329        V2PEAK = 1.71936        VIRMS = 1.033164        V2PEAK = 2.109985
VIPEAK = 2.03186        VIPEAK = 2.422485       GAMMA1 = 94.21442       GAMMA1 = 94.21442
GAMMA1 = 94.36391       GAMMA1 = 94.21442       NUMBER OF NULL POINT = 16
NUMBER OF NULL POINT = 15
*** SPIRAL CHIP ***    *** SPIRAL CHIP ***
    
```

### 3. 實驗結果 및 考察

炭素鋼(S45C)을 實驗의 被削材로 하고 切削條件 中에는 切削速度, 移送, 切削깊이 및 工具등을 變化시켜 加工하여 그림 3과 같은 9種類의 Chip과 切削抵抗을 얻었다.

切削條件을 4개의 獨立變數로 하여 實驗을 한 結果, Chip 形狀과 좋은 相關關係를 이루는 4개의 Parameter를 切削抵抗의 動的成分으로 부터 얻을 수 있다면 Chip의 形狀識別은 可能할 수 있게 된다. 따라서 切削加工중 切削條件을 獨立變數 4개로 하여 任意로 變化시키면서 얻은 切削抵抗 信號의 動的成分으로 부터 Good Correlation을 이루는 Parameter 4개를 찾아 Chip 形狀을 識別하는데 本 研究에 중점을 두었다.

그리고 切削깊이가 0.25mm (SNMA 432, 切削速度 750rpm 및 移送 0.21과 0.32mm/rev. 등)의 切削條件인 境遇는 Idle 시의 動的成分을 Noise로

볼때 S/N 比가 너무 작아서 Poor Correlation을 이루게 됨으로 本 研究에서는 除外하였다.<sup>(3)</sup>

Chip 形狀을 자세히 觀察하면 微視的(Microscopic)인 變化를 發見할 수 있으며, 切削抵抗의 動的成分에서도 이 變化에 對應하는 高周波成分을 觀察할 수 있으므로 2개의 Band Pass Filter의 帶域幅을 適切하게 선택하여 切削抵抗의 比率를 調査하고 Chip 形狀과의 關係를 檢討하였다.

Band Pass Filter의 帶域幅을 20Hz-2KHz와 20Hz-300Hz로 설정하여 얻은 切削抵抗 比率의 Parameter를 r1으로하고, 80Hz-300Hz와 1KHz-2KHz로 설정하여 얻은 Parameter를 r2로 定義하였다.

그림 6은 32개의 切削條件으로부터 얻은 r1과 Chip 形狀과의 關係를 나타내고 있다.

(1)r1≤50%인 境遇는 Ribbon Chip(RC)과 2개의 Tangled Chip (TC) 및 Cork Screw Chip (CC) 群으로 區分이 可能한 函數關係를 보여주고

있다.

(2)  $r_1 > 50\%$  인 境遇에는  $r_1$ 과 Chip 形狀들이 函數關係를 이루지 못하므로  $r_1$ 의 Parameter만 가지고는 Chip 形狀을 識別할 수가 없게 된다.

(3)  $r_1 > 85\%$ 인 境遇 Spiral Chip (SC)과 Short Comma Chip (SCC)이 서로 重復되고 있는데, 그림 11을 觀察하면 SCC Chip이 發生할 때의 波形과 SC Chip이 發生할 때의 波形은 肉眼識別이 可能할 정도로 서로 相異하다. 그 相異한 特徵을 나타내고 있는 Parameter가 앞절에서 定義한 Null Point (NP)이고 이 NP와 Chip 形狀간의 關係를 그림 7에 나타냈다.

Spiral Chip (SC), Helical Chip (HC), Long Tubular Chip (LTC) 및 Short Tubular Chip (STC) 등 5種類의 Chip들이 存在하고 있는데, 그림 12를 보면 LCC Chip의 發生시의 波形이 다른 4種類의 Chip이 發生할 때의 波形과 肉眼識別이 可能할 정도의 差異를 發見할 수 있다. 즉 LCC Chip은 다른 4種類의 Chip 波形에 비하여 正弦波에 가장 가깝다는 것을 알 수 있다. 따라서 앞에서 定義한 Parameter Sigma2를 使用하여 LCC Chip을 區分할 수 있다. 즉  $50\% < r_1 \leq 85\%$ 인 境遇의 Sigma2를 구해서 Chip 形狀과 Sigma2와의 關係를 表示한 것이 그림 8이다.

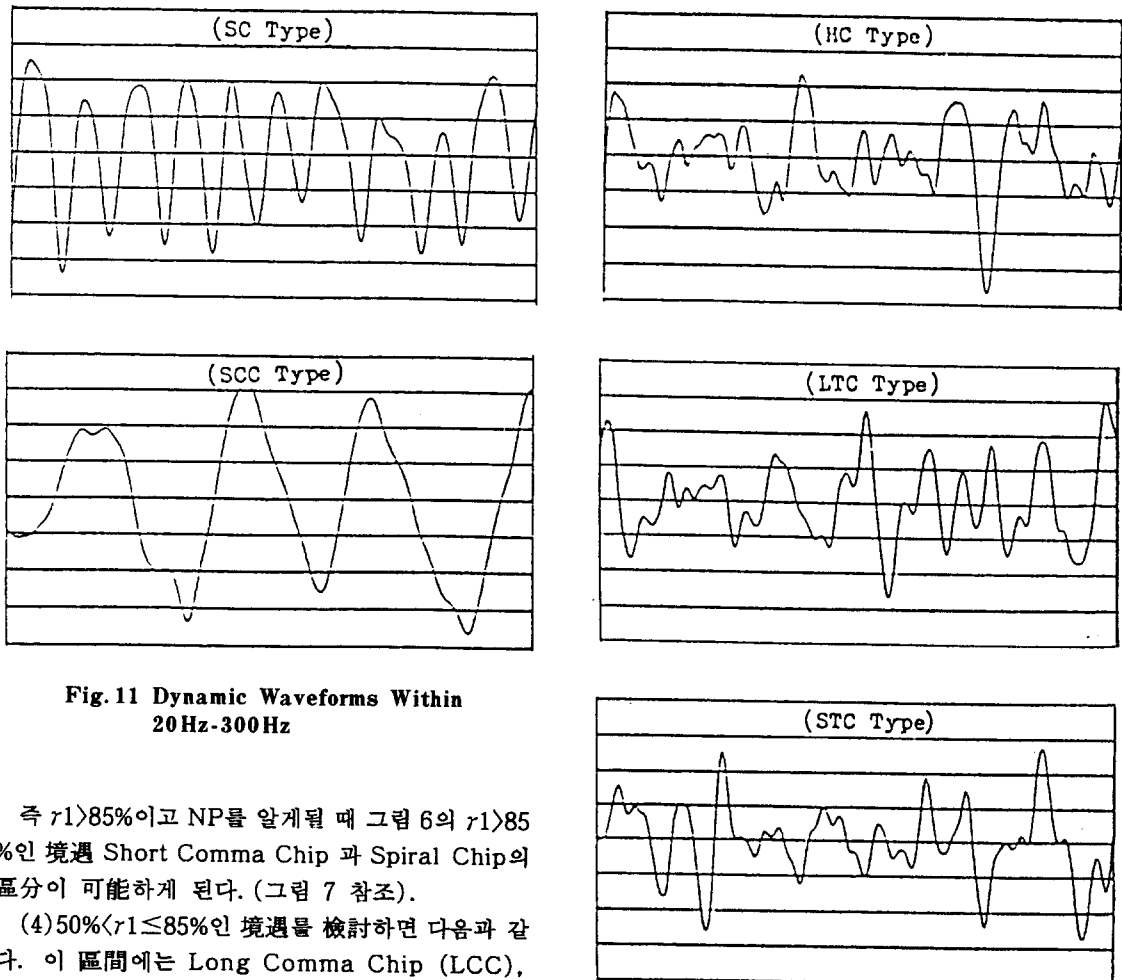


Fig. 11 Dynamic Waveforms Within 20Hz-300Hz

즉  $r_1 > 85\%$ 이고 NP를 알게될 때 그림 6의  $r_1 > 85\%$ 인 境遇 Short Comma Chip 과 Spiral Chip의 區分이 可能하게 된다. (그림 7 참조).

(4)  $50\% < r_1 \leq 85\%$ 인 境遇를 檢討하면 다음과 같다. 이 區間에는 Long Comma Chip (LCC),



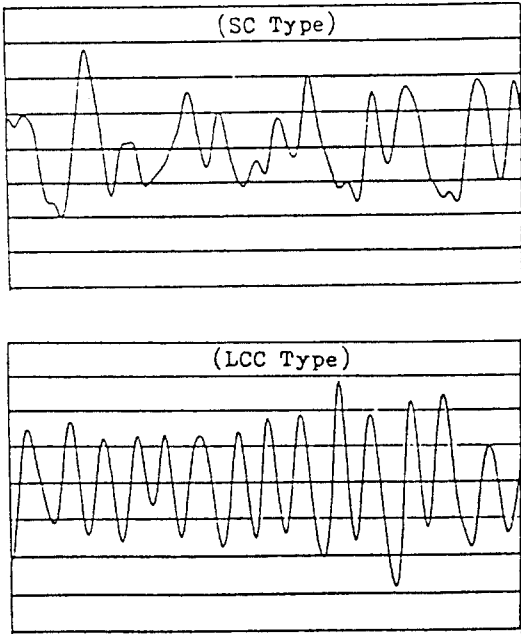


Fig. 12 Dynamic Waveforms Within 80Hz-300Hz

(5) 50% <math>r\_1 \le 85\%</math>인 境遇에서 LCC Chip을 除外한 Spiral Chip, Helical/ Long Tubular/ Short Tubular Chip 등의 4개 Chip의 識別은  $r_1$ ,  $\sigma_2$ 와  $r_2$  등의 關係로부터 Spiral Chip을 區分 識別할 수 있다. (그림 9 참조)

#### 4. 結論

被削材를 S45C 炭素鋼으로 하고 切削條件 중에서 切削速度, 移送, 切削깊이와 工具를 變化시켜 切削加工 實驗을 하여 9種類의 Chip과 切削抵抗을 얻은 다음, 周波數 分析和 各種 Band Pass Filter를 통한 波形分析和 切削抵抗의 比率를 調査하고 Chip 形狀과의 關係를 鼎立하여 프로그램을 作成한 후 On-Line Computer로 Chip 形狀을 自動적으로 識別을 하기 爲한 研究로부터 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) Chip 形狀으로부터 觀察되는 微視的인 變化和 對應하는 變化가 切削抵抗의 高周波 成分에 存

在함을 確認하고 Band Pass Filter를 통하여 얻은 切削抵抗의 比率는 Chip 形狀을 區別하는데 좋은 相關關係가 있다.

(2) 低周波 Band Pass Filter를 통한 切削抵抗의 動的成分이 0인 點의 個數(NP)는 Chip 形狀을 區別하는 Parameter로 適用이 可能하다.

(3) 切削抵抗의 確率密度(Probability Density)는 Chip 形狀을 識別하는데 適用 可能한 Parameter이다.

(4) 上記한 結果를 土臺로하여 On-Line Computer로 Simulation을 實施한 結果, 切削抵抗의 信號로부터 6種類의 Chip 形狀을 自動적으로 識別할 수 있었고, Computer에 Co-Processor를 追加하면 보다 빠른 時間內에 Chip 形狀의 識別이 可能하므로 實際的인 切削加工의 In-Process에 Chip Monitoring System으로 使用 可能性이 높을 것으로 判斷된다.

### 參 考 文 獻

- (1) Heiichi Hirota, Noboru Shinozaki and Toshiaki Narita, "Recognition of Chip Treatment States and Control (A Method of Recognition and Examples of Adaptive Control on Feed)," JSPE-54-04, 1988
- (2) K. W. Yee, D. S. Blomquist, D. A. Dornfeld and C. S. Pan, "An Acoustic Emission Chip Form Monitor for Single-Point Turning," MTDR Conf. 305, 1986
- (3) Taub and Schilling, Principles of Communication Systems, McGraw-Hill, 1971, pp 61
- (4) W. Klufft, W. Konig, C. A. van Luttervelt, K. Nakayama, and

- A. J. Pekelharing, "Present Knowledge of Chip Control," Annals of the CIRP, vol. 28/2/1979
- (5) k. Nakayama and M. Ogawa, "Basic Rules on the Form of Chip in Metal Cutting," Annals of the CIRP, vol. 27/1/1978
- (6) David A. Dornfeld and Ming-Shong Lan, "Chip Form Detection using Acoustic Emission," 11th NAMRC, 1983
- (7) David A. Dornfeld, "The Role of Acoustic Emission in Manufacturing Process Monitoring," 13th NAMRC, University of Calif. Berkeley, 1985
- (8) Guang-Jer Lay, Yoshio Saito and Yoshimi Ito, "A Study on the Dynamic Component of Cutting Forces (Effects of Cutting Conditions and Work Materials)" JSPE-47-11, 1981
- (9) Gaung-Jer Lay, Yoshio Saito and Yoshimi Ito, "A Study on the Dynamic Component of Cutting Forces (Effects of Tool Geometry)," JSPE-49-05, 1983
- (10) 中山一雄, "칩 形狀의 分類에 關하여," JSPE-42-02, 1976
- (11) M. Shiraishi, "Scope of In-Process Measurement, Monitoring and Control Technique in Machining Process," Precision Eng., vol. 10, No. 4, pp 179-189, 1988
- (12) M. kronenberg, Machining Science and Application, Pergamon Press, 1966, pp 209-314
- (13) 이상준, 최만성, 송지복, "切削力을 利用한 칩형태의 예측에 관한 研究," 한국정밀공학회지, 제5권, 1호, 1988