

선삭가공에 있어서 절삭저항의 신호처리와  
그 응용에 관한 연구 (I)

- 절삭저항의 신호처리에 의한 Chip Form 감지 -

김 도영\*, 남 궁석\*\*

A Study on the Signal Process of Cutting Forces  
in Turning Process and it's Application ( I )

- Chip Form monitoring through the Signal Process  
using Cutting Forces -

Do-Young Kim,\* Suk Namgung\*\*

-Abstract-

A new analytical method is proposed to monitor the chip form of cutting forces applying the technique of signal process. Cutting experiments are carried out under various cutting conditions and cutting forces are measured in-processing through Tool Dynamometer.

In this report, auto-correlation functions, frequency characteristics of dynamic force, high frequency distribution and Peak/RMS values are calculated from the measured cutting forces, and the concept of method is also discussed. The experimental results show that six types of the form of chips are possible to classify from the signal of cutting forces not related to cutting conditions

\* 국방과학연구소

\*\* 충남대학교 교수

## 1. 서 론

최근 공작기계의 자동화, 수치제어화가 되어감에 따라 절삭가공시 생성되는 Chip을 용이하게 처리할 수 있는 방법을 강구하게 되었다. 특히 Untended Manufacturing에서, 가공기계는 작업자의 간섭없이 장시간동안 운전되어야 하는 상황이므로 비절단 긴 연속 Chip인 경우는 공구와 피삭재에 감겨서, 가공제품의 표면에 손상을 입히고 공구교환에 방해를 주게 된다. 따라서 Chip이 생성되는 과정에서 Chip의 Form을 감지하는 것은 매우 중요하다. Chip처리에 대한 연구는 Henriksen부터 지금까지 많은 보고가 있고, 또한 Chip형상 탐지에 관여하는 절삭저항의 Spectrum분석(8,9) 등을 이용한 기법들이 제안되고 있다.

절삭가공시 얻어지는 절삭저항은 공구수명, 표면조도, 생성되는 Chip의 Form 등에 관한 여러 가지 정보를 내포하고 있으므로(11), 본 연구에서는 이 절삭저항의 정보를 신호처리 기법을 이용하여 Chip의 Form을 감지할 수 있는 관계를 밝히고, 알고리즘화할 수 있는 Chip Form자료를 산출하여 그 식별방법을 도출하고 검토하였다.

## 2. 실험장치 및 신호분석 방법

### 2.1 실험장치

실험은 그림 1과 같이 수행하였고, 사용한 피

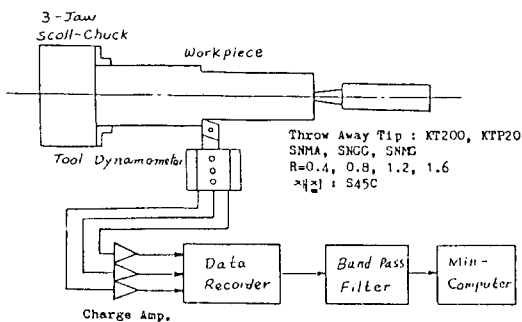


Fig. 1 Experimental Devices and Measurement Diagram

삭재는 직경 64mm, 길이 200mm의 탄소강(S45C)이고 Three-Jaw Chuck에 파지길이 35mm에 200 kg.f의 Chucking Force로 일정하게 고정하였다. 실험전 1mm깊이로 절삭가공하여 피삭재의 편심을 제거하고 본 실험을 수행하였다.

공구는 Throw Away Tip(초경합금 KT200, KT P20)을 사용하고 공구의 들출길이는 35mm를 유지하였다. 절삭저항을 In-Process중에 얻기 위해 압전형 Sensor인 Tool Dynamometer를 선반의 공구대 대신 설치하여 측정하였다.

### 2.2 신호 분석방법

선삭가공 중에 절삭저항(력)의 동적성분은 Charge Amplifier의 출력에 전압을 발생시키고, 신호해석을 위해서 이 전압(신호)을 Mag. Tape Recorder에 1:1로 가공중에 기록하였다.

그림 2의 S63000A DVCS는 Computer Aided Vibration Control System으로 Control과 Signal Analysis의 기능을 가지고 있다.

이 기능을 수행하기 위하여 Ranging Amplifier, Anti-Aliasing Filter 및 A/D Converter의 Hardware와 Data Acquisition, one/two Channel Analysis 및 Diagnostic Test 등의 Software Package로 구성되었다.

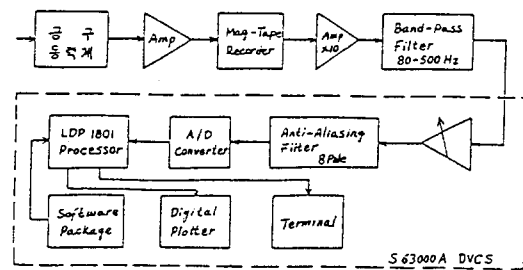


Fig. 2 Signal Analysis Diagram

본 연구에서 사용된 Software Package 및 그 Data Base의 설명은 다음과 같다.

#### 1) 주파수영역 해석 :

Data Acquisition 시 Sampling Index는 2.56이며 Band폭으로 500Hz를 사용하였다. 자료획득 시간은 12초로 하였으며 획득된 Data를 Disk에 수록

하여 신호해석시 사용하였다. 신호해석시 Average 방법은 Continuous Summation을 택하였고 Line수는 400개를 사용하여 주로 Fourier Spectrum을 분석했다.

분석된 Spectrum은 Digital Plotter를 통해 Log Scale로 기록하였다.

2) 시간영역 해석 :

Mag. Tape Recorder에 기록된 신호를 재생하여 10배로 증폭시키고, Band Pass Filter의 대역폭을 80-500Hz로하여 Ranging Amplifier의 증폭을 +24dB/+12dB로 설정하였다. Anti-Aliasing Filter는 By Pass시키고 6.4KHz의 Sampling Frequency로 하여 약 80msec 동안의 신호를 Real Time에 대해 기록하고, 이때의 RMS 값과 Peak 값을 Display하였다.

Band Pass Filter의 대역폭을 300-500Hz로 설정하여 위의 방법을 반복하였다.

분석에 사용된 Filter의 특성은 그림 3과 같다.

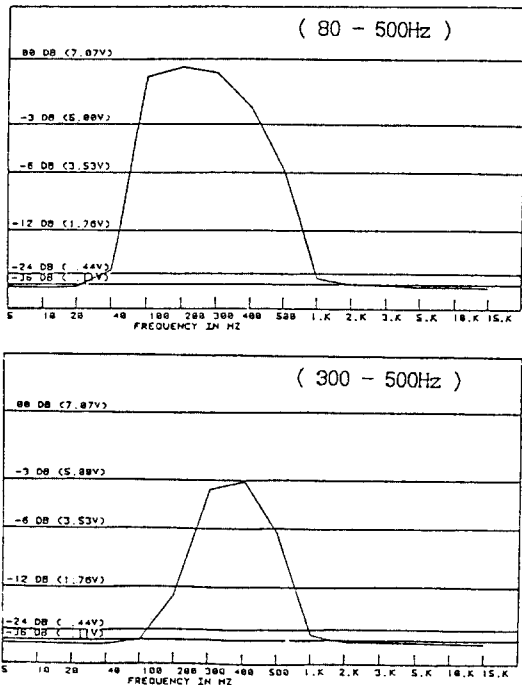


Fig. 3 Frequency Characteristics of Band Pass Filter

3. 실험결과 및 고찰

3.1 동적성분의 일반적인 특성

측정한 절삭저항의 동적특성은 Autocorrelation을 구하여 검토한 결과 Deterministic Wave Form이 아닌 Random 신호임이 확인되었다(그림 4).

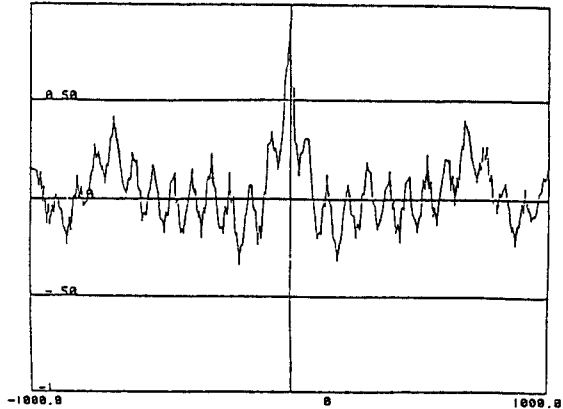


Fig. 4 Autocorrelation of Dynamic Signal Component. (SNMA, R=1.6mm, S=0.42mm/rev, V=148m/min, t=0.5mm)

또한 80-500Hz의 Band Pass Filter의 사용하였을 때 평균값은  $\sigma$ 이며( $\sigma$ 는 RMS값과 동일) 이때의 최대값이  $3\sigma$  이상인 경우가 1% 이상 관찰된 것으로 보아 이 신호는 정규 분포가 아님을 확인할 수 있었다.

주파수 영역에서의 동적성분은 저속가공(19.8m/min)인 경우 저주파 대역에서 신호의 Fluctuation 현상은 있으나 Spectrum의 크기가 약 -12db/oct로 급격히 감소하는 현상을 나타냈다(그림 5).

또한 고속 가공 (148m/min)인 경우 저주파대역에서 Spectrum의 크기는 저속가공때와 비교하여 현저하게 작음을 알수 있다(그림 6).

고속가공시 이송률이 증가할수록 Broad Band에서의 Spectrum의 크기는 증가하며, 이때 주분력( $F_p(f)$ ), 이송분력( $F_f(f)$ ) 및 배분력( $F_t(f)$ )간의 전달함수(예로  $F_t(f)/F_p(f)$ )를 구해본 결과 주파수특성은 일정하지 않았다(그림 7).

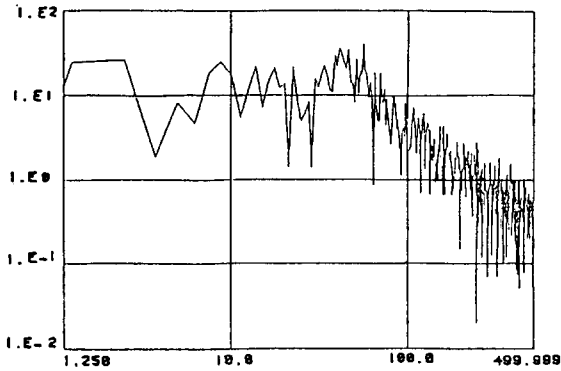


Fig. 5 Spectrum at Low Cutting Speed.  
(SNMA, R=0.8mm, S=0.42mm/rev,  
V = 19.8m/min, t=0.5mm)

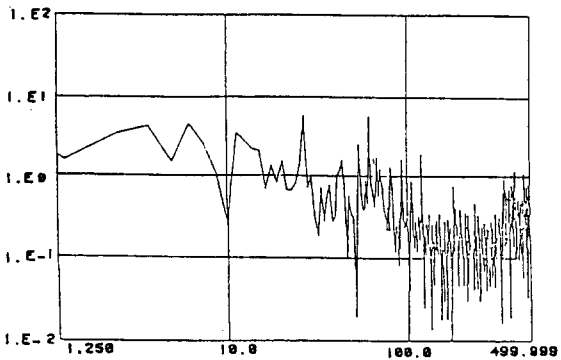


Fig. 6 Spectrum at High Cutting Speed.  
(SNMA, R=0.8mm, S=0.42mm/rev,  
V = 148m/min, t = 0.5mm)

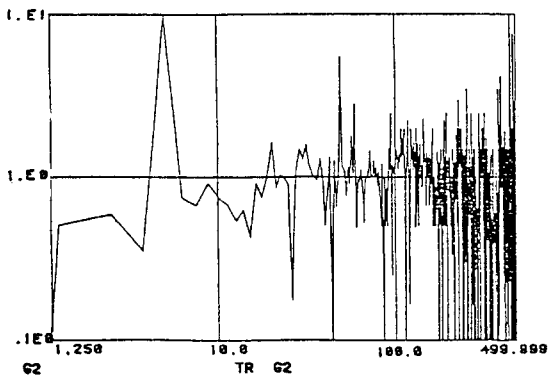


Fig. 7 Frequency Characteristic of Transfer Function (Ft(f)/Fp(f))

3.2 Chip Form에 대한 동적성분의 주파수특성 절삭속도, 이송률, 및 공구등의 조건을 변화시켜서 가공하여 그림 8과 같은 9개 종류의 Chip 을 얻었다.

Ribbon Chips : RC	Tangled Chips : TC	Corkscrew Chips : CC	Helical Chips : HC	Long Tubular Chips : LTC	Short Tubular Chips : STC	Spiral Chips : SC	Long Comma Chips : LCC	Short Comma Chips : SCC

Fig. 8 Chip form classification

그림 9에서와 같이 9개종류의 Chip Form별 절삭저항의 주파수 특성을 분석하면 전체적인 경향은 인식이 가능하나 각각의 Chip Form 식별을 위한 구체적인 규정이 어려웠다.

그러나 80-500Hz 대역의 Spectrum에서 300-500Hz 대역의 Spectrum이 차지하는 비율과 Chip Form간의 상호관계를 발견할 수 있었다.

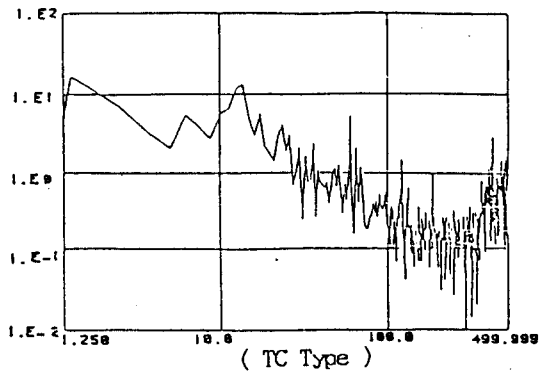
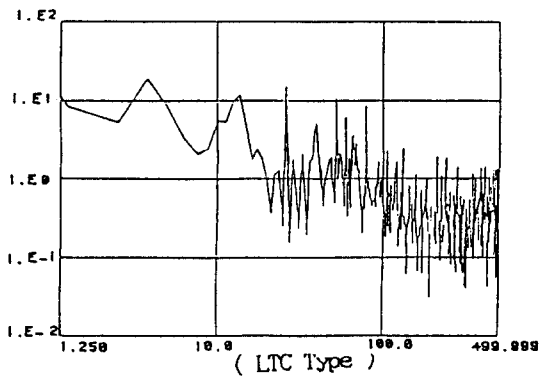
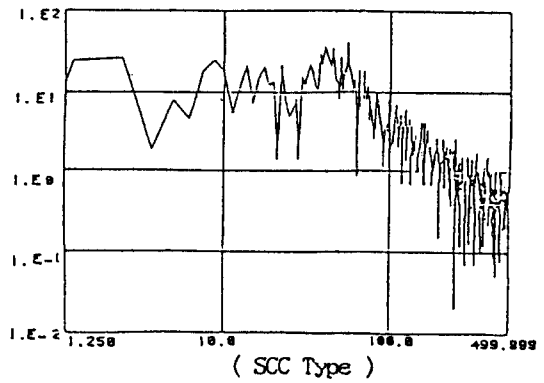
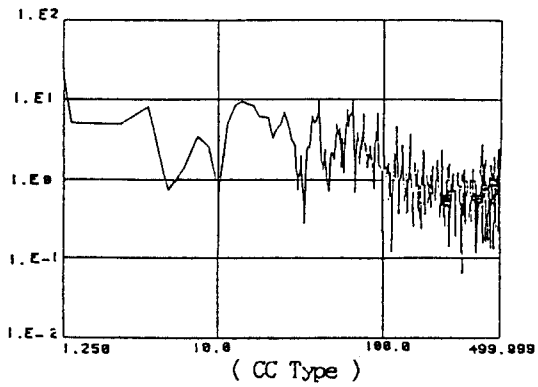
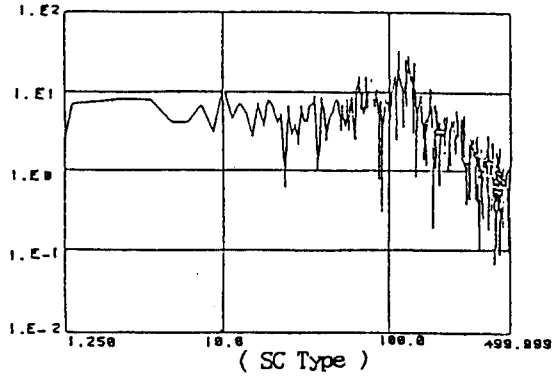
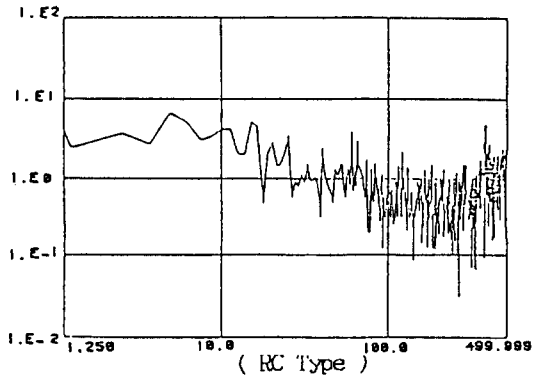
즉 Chip Form을 자세히 관찰하면 Microscopic(미시적)한 변화와 Macroscopic(거시적, 80-300Hz)한 변화로 구분할 수 있고, 이때 미시적(300-500Hz) 변화의 절삭저항의 크기와 전체적(80-500Hz) 변화의 절삭저항의 크기와의 비율을 구하면 그 단위가 소거되므로, Chip Form을 구별하는 기준으로 사용이 가능하다.

### 3.3 Chip Form별 동적성분의 파형분석

Chip Form에 대한 주파수특성을 기초로하여 80-500Hz의 Band Pass Filter를 사용한 동적 성분의 파형을 그림 10에 나타내었다.

6.4KHZ의 Sampling Frequency로 80msec 동안의 파형을 보이고 있으며, RMS 값과 Peak값을 계산하여 표시하였다.

Chip Form별 동적성분의 파형을 검토해 보면, 연속형 2개의 Chip(Ribbon 및 Tangled Type)과 파단형 3개의 Chip(Spiral, Long Comma 및 Short Comma Type)들은 고주파성분의 비율로 구분될 수 있지만, Corkscrew(CC), Helical(HC),



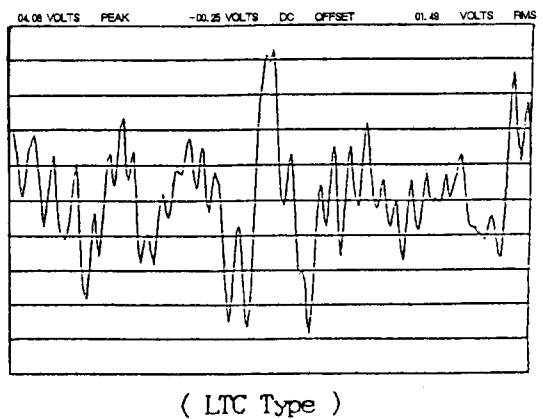
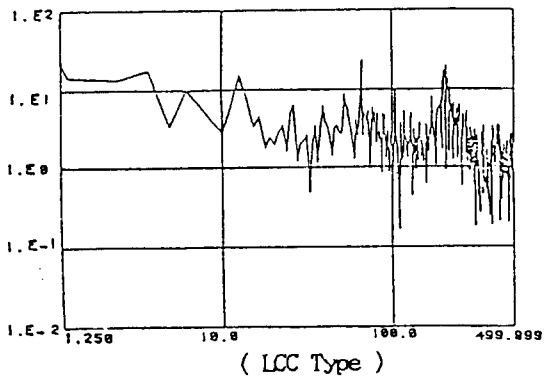
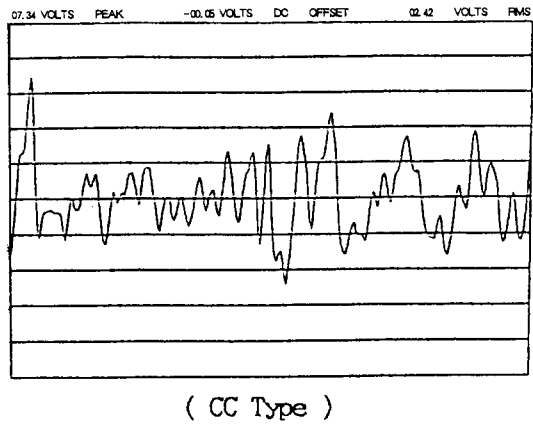
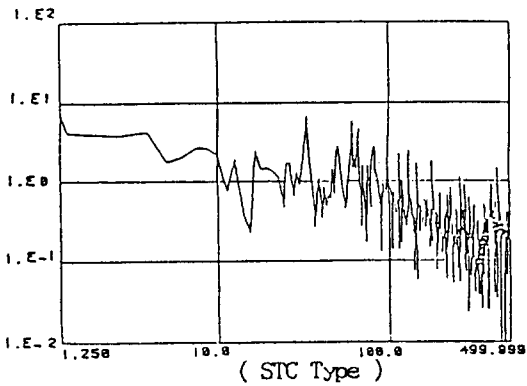
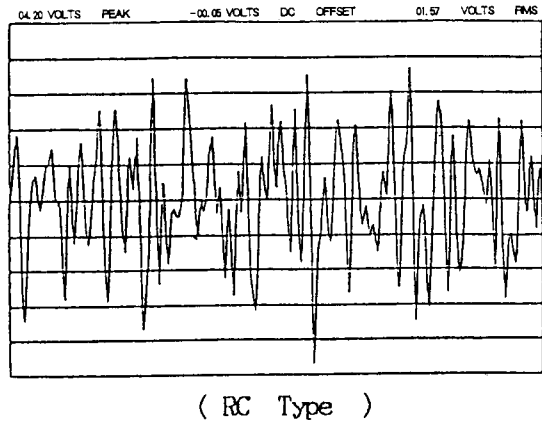
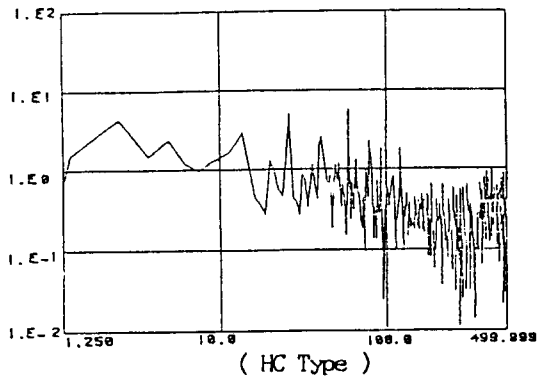
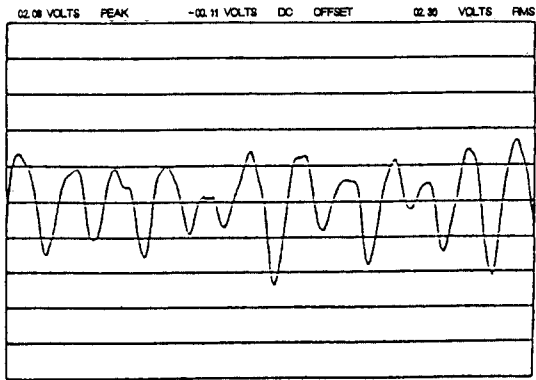
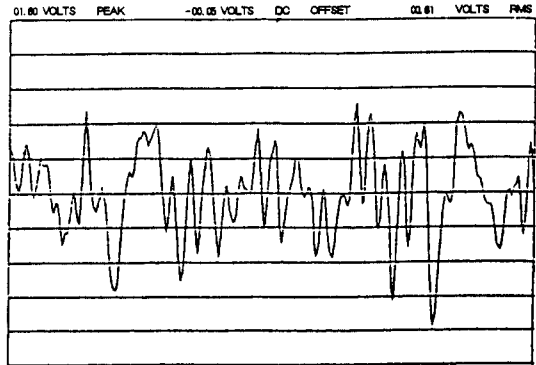


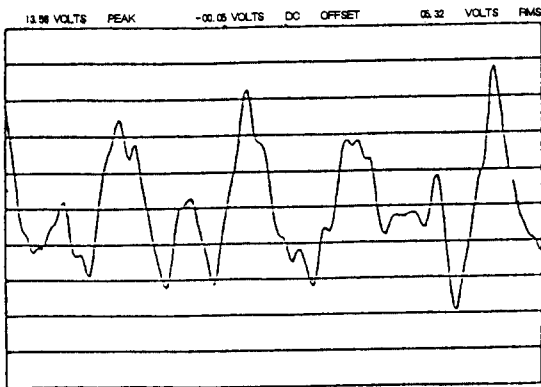
Fig.9 Frequency Characteristics of Chip Forms with respect to Various Cutting Conditions



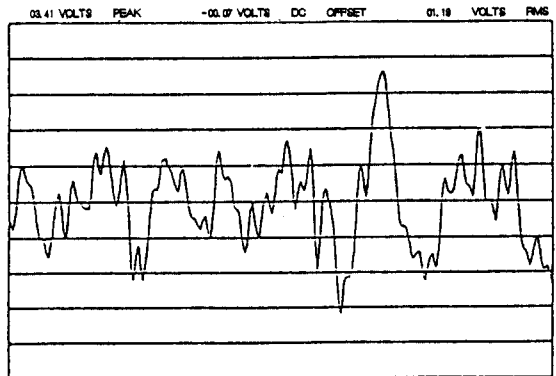
( SC Type )



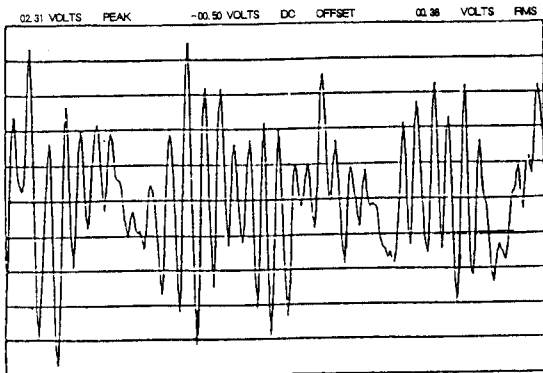
( HC Type )



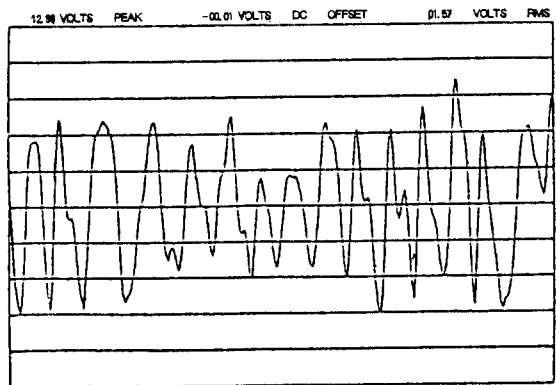
( SCC Type )



( STC Type )



( TC Type )



( LCC Type )

Fig.10. Dynamic Wave Forms of Chip Forms within 80-500Hz with respect to Various Cutting Conditions

Long Tublar(LTC) 및 Short Tublar Chip(STC) 등은 이 방법으로 구분이 불가능하다.

3.4 Chip Form에 따른 고주파성분의 분포

Chip Form에 대한 주파수 특성과 파형을 기초로하여 80-500Hz 대역의 RMS 값(A)과 Peak 값(Ap) 그리고 300-500Hz 대역의 RMS 값(B)과 Peak 값(Bp)을 신호처리하여 Chip Form별로 얻은 결과를 표1에 표시하였으며 아래와 같이 분석하였다.

1) Ribbon Chip(RC)이 생성될 때 고주파성분의 비율( $\gamma$ )이 82%로 가장크며, 이 결과는 3.2항의 주파수영역 해석과 3.3항의 파형 관찰에서 예측된 바와 같다.

2) Short Comma Chip(SCC)이 생성될 때 고주파 성분비가 17%로 가장 작으며, SCC Chip은 파단시 피삭재를 강타하는 충격으로  $\alpha=4.7$ 로 매우 크며 이것은 외란(Distortion)으로 판단된다.

3) Tangled Chip(TC) 생성시 고주파 성분 비율은 56-63%로 나타났다. 이 비율이 RC Chip보다는 작으며  $\alpha < 3.0$ 이고, 5개중 4개가  $\beta < 3.0$ 으로 나타났다.

4) CC, HC, LTC, STC 및 LCC Chip인 경우  $\gamma=36-54\%$ 로 고주파성분의 비율이 비슷하여 이 비율로 각각의 Chip을 구분하기는 어려우나, 그중 LCC Chip은  $\alpha=2.2$ ,  $\beta=2.1$ 로 다른 Chip에 비하여 가장 작기때문에 구별이 가능하다.

파단 Chip인데도 불구하고  $\alpha$ ,  $\beta$ 의 값이 작은 것은 Chip이 파단시 파단주파수 성분이 지배적이기 때문이며,  $\gamma=43\%$ 로 높은 것은 파단주파수가 약간 높기 때문으로 판단된다.

또한 STC Chip인 경우 다른 Chip과 달리  $\alpha \geq 3.0$ ,  $\beta \geq 3.0$ 의 경우가 많은 반면 다른 Chip들은 대부분  $\alpha < 3.0$  또는  $\beta < 3.0$ 이므로 구별의 가능성이 크다.

Table1. Chip Form Data

Chip Form	절삭조건					A(Vrms) (80-500Hz)	B(Vrms) (300-500Hz)	$\gamma$ (%) (B/A)	Peak(Vp) (Bp) (300-500Hz)	$\alpha$ (Bp/B)	Peak(Vp) (Ap) (80-500Hz)	$\beta$ (Ap/A)
	속도 (rpm)	피삭재 직경(mm)	이송량 (mm/rev)	공구	길이 (mm)							
RC	465	63	0.42	SNMA432	0.5	1.57	1.23	82	3.76	2.9	4.20	2.7
TC	750	63	0.21	"	0.25	0.38	0.24	63	0.63	2.6	0.97	2.6
"	"	"	0.42	"	0.25	0.7	0.43	61	1.11	2.6	2.45	3.5
"	"	"	0.36	SNMA433	0.5	0.63	0.35	56	0.94	2.7	1.71	2.7
"	"	"	0.42	SNMA434	"	0.91	0.55	60	1.42	2.6	2.64	2.9
"	"	"	0.36	"	"	0.86	0.49	57	1.39	2.8	2.31	2.7
CC	585	58	0.42	SNMA433	1.0	2.54	1.35	53	3.41	2.5	6.61	2.6
"	750	63	0.32	"	0.5	1.29	0.64	50	1.82	2.8	3.31	2.6
"	"	"	0.42	"	"	0.82	0.44	54	1.15	2.6	2.36	2.9
"	"	"	0.50	"	"	1.15	0.62	54	1.74	2.8	3.09	2.7
"	"	58	0.42	"	1.0	2.42	1.09	45	3.21	2.9	7.34	3.0
HC	750	63	0.32	SNMA432	0.25	0.61	0.23	46	0.76	2.7	1.60	2.6
"	"	"	0.50	"	0.5	0.71	0.37	52	0.93	2.5	2.17	3.1
"	930	58	0.32	SNMG432	"	1.16	0.42	36	1.2	2.9	2.47	2.1
LTC	750	58	0.50	SNMG431	"	1.49	0.63	42	1.80	2.9	4.08	2.7
"	"	63	0.21	SNMA432	0.25	0.66	0.26	39	0.73	2.8	1.68	2.5
STC	930	58	0.42	SNMG432	0.5	1.19	0.43	36	1.27	3.0	3.41	2.9
"	"	"	0.36	"	"	1.80	0.82	46	2.96	3.6	6.21	3.45
"	"	"	0.50	"	"	1.40	0.56	40	1.61	2.9	3.87	2.7
"	750	"	0.42	SNMG431	"	1.23	0.55	43	1.63	3.0	3.39	2.6
"	"	"	0.36	"	"	1.29	0.56	43	1.56	2.8	3.89	3.0
"	"	63	0.42	SNMA432	0.25	0.79	0.38	49	0.96	2.5	2.52	2.8
"	"	58	0.25	SNMG431	0.5	0.85	0.35	41	1.11	3.2	2.36	3.2
"	"	"	0.32	"	"	1.09	0.52	48	1.47	2.8	2.73	2.5
"	"	"	0.21	SNMG432	"	0.70	0.33	47	1.0	3.0	1.68	2.4
"	"	"	0.42	"	"	1.33	0.52	39	1.83	3.5	3.04	2.3
SC	185	63	0.42	SNMA432	"	9.2	2.34	25	7.04	3.0	2.06	2.3
"	585	57	0.21	SNMG432	1.0	1.02	0.36	35	1.43	4.0	2.90	2.8
LCC	750	58	0.50	"	"	6.23	2.74	43	6.02	2.2	12.96	2.1
SCC	100	63	0.42	SNMA432	0.5	5.32	0.93	17	4.34	4.7	13.56	2.5



5) Spiral Chip(SC)이 생성될 때 고주파성분 비율은 25-35%이며  $\alpha > 3.0$ 으로 나타났다.

3.5 동적성분의 고주파 분포에 의한 Chip Form 감지 방법

앞절의 실험결과를 기초로하여 절삭저항의 동적성분만을 가지고 탄소강(S45C)을 가공할 때 절삭조건과는 독립적으로 Chip Form을 감지하는 방법에 대하여 종합적으로 해석하면 다음과 같다.

1) 표 1의 고주파 성분 비율( $r$ )에 의하여 9종류의 Chip중에서 5 종류의 Chip Form은 구분이 가능하다.

이중에서 CC, HC, LTC, STC 및 LCC Chip 들은 한 Group을 이루고 있는데, 그중 LCC Chip의 경우  $\alpha < 2.5$ 와  $\beta < 2.5$ 를 적용하면 이때 CC, HC, LTC, 및 STC Group과 LCC Chip의 구분이 가능하다.

또한 CC, HC, LTC, 및 STC Chip들이 다시 한 Group을 이루는데 STC Chip은 CC, HC 및 LTC Chip에 비하여 비교적  $\alpha \geq 3.0$  또는  $\beta > 3.0$ 인 경향을 나타내고 있으므로 이 기준을 첨가하면 다시 STC Chip과 CC, HC 및 LTC Chip과의 구분 가능성이 높다.

Table2. Method for distinguishing Chip Form (6 parts)

구분 Chip Form	고주파 성분의 비율( $r$ )	$\alpha$ 및 $\beta$
R C	$r > 70\%$	don't care
T C	$55\% < r \leq 70\%$	"
C C, H C, L T C, S T C	$35\% < r \leq 55\%$	$(\alpha > 2.5) \vee (\beta > 2.5)$
S C	$25\% < r \leq 35\%$	don't care
L C C	$35\% < r \leq 55\%$	$(\alpha \leq 2.5) \wedge (\beta \leq 2.5)$
S C C	$r \leq 25\%$	don't care

2) 이상의 내용을 종합하면 표 2 및 표 3으로 집약이 되고, 이 자료들을 Computer에 이용할 경우 그 Algorithm을 매우 간단하게 할 수 있다.

본 연구에서는 실제 가공실험으로 절삭저항을 획득하고 신호분석을 통해  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $r$ 의 값을 구해서 9개 종류의 Chip Form중에 우선 6개 종류의

Chip Form을 감지할 수 있는 Algorithm을 구성하였다.

Table3. Method for distinguishing Chip Forms (7 parts)

구분 Chip Form	고주파 성분의 비율( $r$ )	$\alpha$ 및 $\beta$
R C	$r > 70\%$	don't care
T C	$55\% < r \leq 70\%$	"
C C, H C, L T C	$35\% < r \leq 55\%$	$(2.5 < \alpha < 3.0) \vee (2.5 < \beta < 3.0)$
S T C	$35\% < r \leq 55\%$	$(\alpha \geq 3.0) \vee (\beta \geq 3.0)$
S C	$25\% < r \leq 35\%$	don't care
L C C	$35\% < r \leq 55\%$	$(\alpha \leq 2.5) \wedge (\beta \leq 2.5)$
S C C	$r \leq 25\%$	don't care

앞으로는 아직 분류하지 못한 3-4종류의 Chip Form을 감지할 수 있는 보완 실험을 중점적으로 수행하고 위 과정을 10-20회 정도 반복하여 신뢰성 있는 Chip Monitoring System을 연구하고자 한다.

4. 결 론

절삭저항의 동적성분으로부터 절삭조건과는 독립적으로 Chip Form을 감지하기 위한 Chip Monitoring System의 개발을 목표로 하고, 본 연구에서는 비교적 광범위한 절삭조건으로 절삭 가공 실험을 실시한 후 주파수 해석 및 Band Pass Filter를 통한 파형 관찰과 동적성분의 고주파분포를 조사하였으며, 또한 이들의 결과를 종합하여 Chip Form 감지 방법에 관하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 절삭저항의 동적성분을 500Hz 대역폭에서 주파수 분석을 한 결과, 저속가공인 경우 (19.8-37 m/min)의 Spectrum 크기가 고속가공인 경우 (92-169m/min)의 Spectrum 크기보다 저주파대역에서 매우 크다.

그리고 저속 가공시에는 그 Spectrum이 일정 주파수 이상에서 일정한 기울기를 가지고 감소하는 경향을 보였다.

2) 고주파 성분의 분포와 Peak/RMS 값의 비율을 구하여 검토한 결과 절삭조건과는 독립적으로 6-7 종류의 Chip Form 분류가 가능하며 그 식별 방법을 제시하였다.

6종류의 Chip Form 구분 방법은 표 2에, 7종류의 Chip Form 구분 방법은 표 3과 같이 설정하였다.

### 參 考 文 獻

- 1) M. Shiraishi, "Scope of In-Process Measurement, Monitoring and Control Technique in Machining Process", Precision Engineering, Vol. 10, No. 4, pp 179-189, 1988
- 2) M. Kronenberg, Machining Science and Application, Pergamon Press, 1966, pp 99-200, pp 209-314
- 3) 최만용, 기계 가공에서의 최신 Sensing 기술, DIME TEK('89) : 가공측정 자동화 기술 Symposium, 1989, pp89-91, pp 23-25
- 4) 최만용, 가공중의 실시간 측정 기술, DIMET EK('89) : 가공측정 자동화 기술 Symposium, 1989, pp 122-125
- 5) 양민양, 절삭 일반 이론, 절삭가공기술 및 Tool 선정 Symposium, 1989, pp 1-38
- 6) 伊東諠外, 最近の 工作機械技術, まっによと出版, 1980, pp. 86-90
- 7) E. K. Henriksen, Trans. ASME, 73(4), 1951 Tool Engineer, March, 103, 1955
- 8) R. Druminski, "Automatisches Erkennen von Gebrochenen und Ungebrochenen Spanformen Beim Drehen", Industrie Anzeiger, 101, Jg, Nr 59, V25.7, 1979
- 9) 松島克守 外, "パタソ認識技術による切削状態の認識"精密機械, 42.2, pp 88, 1976
- 10) K. W. Yee, D. S. Blomquist, and D. A. Dornfeld et al, "An AE Chip Form Monitor for Single Point Turning", MTDR Conf., 305, 1986
- 11) 頼光哲外, "切削抵抗の 動的成分による 工具摩耗 検出", 精密機械, 50.7, p1117, 1984