

선삭가공에 있어서 절삭저항의 동적성분에 관한 연구〔I〕

－ 동적성분에 의한 Chip배출상태의 인식－

정의식*, 남궁석*

A Study on the Dynamic Component of Cutting Force in Turning〔I〕

－ Recognition of Chip Flow by the Dynamic Cutting Force Component－

Eui-Sik, Chung, Suk, Namgung

ABSTRACT

The on-line detection of the chip flow is one of the most important technologies in completely automatic operation of machine tool, such as FMS and Unmanned Factories. This problem has been studied by many researchers, however, it is not solved as yet.

For the recognition of chip flow in this study, the dynamic cutting force components due to the chip breaking were measured by dynamometer of piezo-electric type, and the frequency components of cutting force were also analyzed. From the measured results, the effect of cutting conditions and tool geometry on the dynamic cutting force component and chip formation were investigated in addition to the relationships between frequency of chip breaking (f_B) and side serrated crack (f_C) of chip. As a result, the following conclusions were obtained.

- 1) The chip formations have a large effect on the dynamic cutting force components. When chip breaking takes place, the dynamic cutting force component greatly increases, and the periodic components appear, which correspond to maximum peak-frequency.
- 2) The crater wear of tool has a good effect on the chip control causing the chip to be formed as upward-curl shape. In this case, the dynamic cutting force component greatly increases also.
- 3) f_B and f_C of chip are closely correlated, and f_C of chips has a large effect on the change of the situation of chip flow and dynamic cutting force component.
- 4) Under wide cutting conditions, the limit value (1.0 kgf) of dynamic cutting force component exists between the broken and continuous chips. Accordingly, this value is suitable for recognition of chip flow in on-line control of the cutting process.

* 대전공업대학 기계설계과

** 충남대학교 공과대학 기계공학과

1. 서 론

절삭속도가 수십 m/min 의 고속도강 공구(HSS)의 시대에서는 chip의 처리성 따위는 별로 문제시 되지 않았으나, 1950년대에 들어서 초경공구가 많이 이용되어지고, 고능률의 절삭가공과 절삭가공의 부인화가 이루어짐에 따라 Chip 처리는 기계가공 공장에서 매우 중요하고 동시에 어려운 문제로 되었다. 특히, 최근 화재를 불러일으키고 있는 FMS에서, 현재는 주철과 같은 불연속 chip을 배출하는 재료나 milling과 같은 단속절삭을 주 가공대상으로 하고 있으나[1], 이를 강과같은 원성재료의 연속절삭에 적용시키기 위해서는 우선적으로 chip 처리문제를 해결할 필요가 있다.

이러한 이유때문에, 피삭재에 알맞는 chip-breaker나 최적의 절삭조건을 선정하여 chip 처리가 용이한 chip으로 절단이 되도록하기 위한 연구가 그동안 많이 이루어져 왔으며 [2]-[5], 최근에는 무인화를 하는데 있어서 chip의 배출상태를 절삭가공중에 감시하기위해 인간의 감지 감각기능에 대응하는 감시장치의 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[6] - [10].

따라서, 본 연구에서는 각 절삭조건에서 배출된 chip을 INFOS(서독 절삭정보센터)의 분류방법에 따라 형상분류를 행하고, 이들의 절삭상태를 on-line으로 감시하기 위한 방안을 제시하기 위하여 압전형 공구동력계를 이용하여 절삭저항을 측정하고, 그때의 동적성분을 주파수분석하여, 동적성분에 포함되어있는 각 영향인자 가운데 chip 생성주파수와 관련된 주파수영역의 동적성분과 chip형상과의 관계를 비교 검토하였으며, 이들이 chip의 배출상태와 어떠한 밀접한 관계를 가지고 있는가를 조사하여 절삭 가공중에 chip 배출상태의 인식 가능성에 대하여 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig.1은 본실험에 사용한 실험장치 및 측정 system의 개략도이다. 실험에서 피삭재는 직경

61mm, 길이 180mm 환봉(SM45 C재)을 사용하고, 이를 3-jaw chuck에(chuck부의 길이: 35mm) 매시편마다 chucking force(200kgf/jaw)를 일정하게하여 고정 설치하였으며 피삭재를 설치하였을때 편심을 제거하기 위하여 실험전에 1mm를 절삭가공하여 실험을 행하였다. 공구는 매실험마다 새로운 throw-away tip(재종: KT200(A1₂O₃), K10)을 사용하고, 공구의 돌출길이(35mm)를 일정하게 하였다.

한편, 절삭저항은 선반의 공구대대신에 고정 설치한 압전형 공구동력계로서 측정하였다. 이 동력계에서 검출된 신호는 Fig.1에 나타낸바와 같이, 증폭기를 통하여 data recorder에 수록한후, oscilloscope, pen-recorder, 그리고 frequency spectrum analyzer로부터 절삭저항의 정적·동적성분과 주파수성분을 측정하였다.

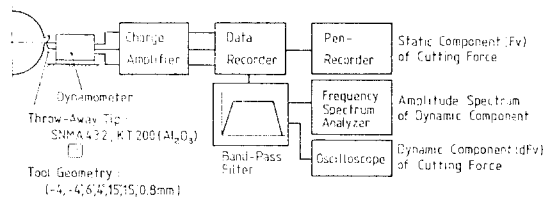


Fig. 1 Experimental set-up and measuring system

이상과같은 실험장치를 이용하여 선삭실험을 행하고, 절삭저항의 동적성분은 Fig.2(a)(b)와같이 측정된다. 그림은 data recorder에 수록된 동적성분을 차단주파수 80-10000 Hz와 80-500Hz의 band-pass filter로서 신호처리를 하고 이를 oscilloscope 상에 출력한것으로서, 이들 두성분의 최대진폭을 각각 dFv10, dFv 0.5로 나타내었으며, 본연구에서는 이들 두성분가운데 절삭가공시 chip과단에 기인하는 주파수성분이라 판단되는 영역의 동적성분(dFv 0.5)을 대상으로하여 실험결과의 분석자료로서 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

앞에서 기술한 바와같은 방법으로서, 공구형상

및 절삭조건변화, 그리고 공구마멸에 따른 chip배출상태와 동적성분과의 관계를 검토하고, chip생성에 기인하는 chip파단주파수(fb)와 측치상의 균열생성주파수(fc)와의 관계를 조사하였으며, 이들의 결과를 종합하여 동적성분을 이용한 chip배출상태의 인식 가능성에 대하여 검토하였다. 실험에서, 절삭저항은 3분력을 동시에 측정하였으나, 이들은 모두 동일한 경향을 나타내므로, 여기에서는 주로 주분력방향의 절삭저항을 대상으로 검토하였다.

3.1 동적성분의 일반적 거동

Fig.2 (a)(b)는 초경모재에 산화알루미늄(Al_2O_3)층을 coating한 chipbreaker가 없는 throw-away tip(SNMA 432, KT200:대한중석)을 이용하여 절삭하였을 때 측정된 동적성분과 주파수분석 결과의 예를, 생성된 칩과 함께 나타낸 것이다. 그림은 chip의 파단이 비교적 일정하게 이루어지고 있는 정상절삭상태에서의 실험결과로서, 이와같은 동적성분은 측치상 균열의 파단된 chip이 생성될 때 관찰되었다. 여기서 측치상 균열(side serrated crack)이라 함은, chip의 측면형상이 톱니상으로 되고 있는 것을 의미한다(Fig. 9).

Fig.2 (a)는 차단주파수를 80-10000 Hz로 하였을 때의 주파수분석 결과이다. 그림에서(A)와 (B)는 각각 chip의 파단주기와 측치상 균열의 생성주기에 대응하는 것으로서, (B)는 파단된 chip의 길이와 균열간격을 측정하고, 이를 Fig. 9의 식에 대입하여 chip 균열생성주파수(fc)를 계산한 결과와 매우 일치하고 있음이 확인되었다. 한편, chip의 파단주기(B)에 대하여는 다음절(3.2절)에서 기술하기로 한다. 또한, (C)와 (D)는 공구지지부와 동력계의 각부에 가속도계를 설치하여 절삭중의 진동상태를 측정하고, 공작기계-공구-공작물계의 각부에 충격하중을 가하여 그때의 진동상태를 가속도계에서 측정 한 결과, 이들은 공구동력계(C) 및 공구(D)의 고유진동수에 관련된 주파수임이 확인되었다.

이와같이 절삭저항의 동적성분(80-10000 Hz

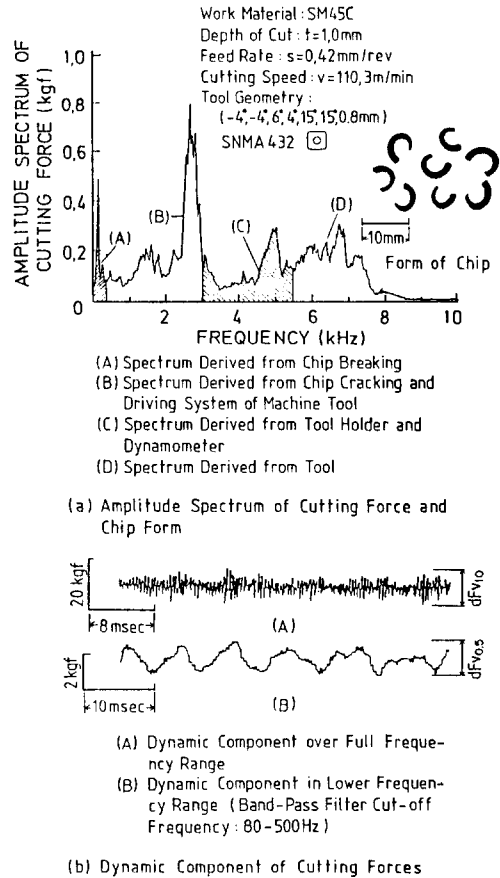


Fig. 2 Example of measured component of cutting force

까지)에는, 공작기계를 구성하고있는 각계의 고유진동수와 절삭과정에서 발생하는 chip생성 및 그밖의 절삭기구에 의한 서로 독립된 주파수 성분들을 포함하고 있으며, 이들은 중첩된 하나의 random한 성질을 갖는 파형으로 되고, 그때의 최대진폭(Fig.2 (b)의 dFv10)은 각 주파수성분에 대응하는 진폭들의 대수화로서 나타나고있음을 의미한다. 즉, 절삭저항의 동적성분에 포함되어있는 각종 영향인자를, 주파수분석 결과에의해 각성분의 주파수영역을 결정하고, 측정된 동적성분(80 - 10000 Hz)을 그에 대응하는 차단주파수로서 bandpass filter를 이용하여 차단시킨 다음 얻어진 각 출력파형의 최대진폭

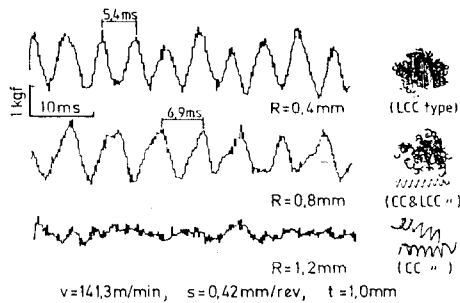
(Fig. 2 (b)의 $dFv0.5$)을 영향인자로서 간주할 수 있다. 따라서, 이들 영향인자에 관련된 동적성분의 거동을 관찰함으로써 각종 절삭상태의 인식이 가능할 것으로 판단된다.

3.2 chip 형상에 따른 동적성분 및 주파수 특성의 변화

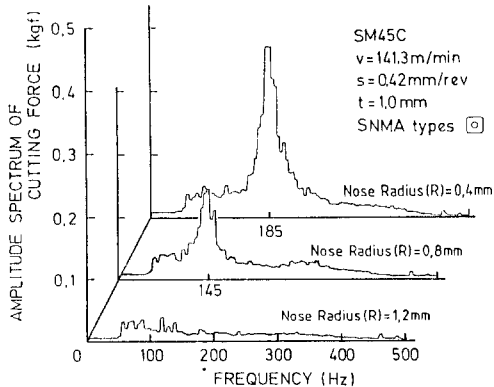
chip 형상에 따른 절삭저항의 동적성분 및 주파수특성의 변화와, 이들의 상호관련성을 조사하기 위하여, 동일 절삭조건에서 공구형상을 변화시켰을때의 실험결과를 Fig.3(a) (b)와 Fig.4(a) (b)에 나타내었다. 여기서, chip의 형상분류는, INFOS (서독 절삭정보센터)의 분

류방법 (Fig. 11)을 이용하고, 각 chip의 명칭을 편의상 약자로 그림에 나타내었으며, 절삭가공중에 chip의 배출상태는 수시로 그 형태가 변화하나, 그들가운데 지배적으로 가장 많이 생성된 chip의 형태를 택하였다.

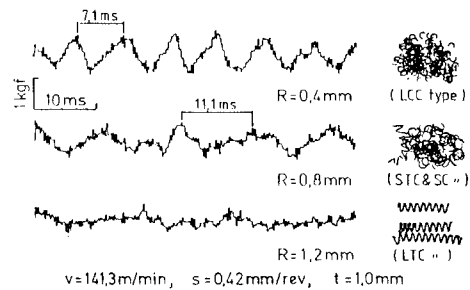
Fig.3(a) (b)는, chipbreaker가 없는 (S NMA type) 경우로서, 공구의 곡률반경에 따른 동적성분의 변화 및 chip의 형상 (Fig. (a))과 이들 동적성분을 주파수분석한 결과이다. (Fig.(b)). 그림에서 볼수있는 바와 같이, 공구의 곡률반경이 작을수록 chip은, co-rkscrew (; CC) type의 연속형에서 chip 처리성이 비교적 양호한 [4] long comma (; L



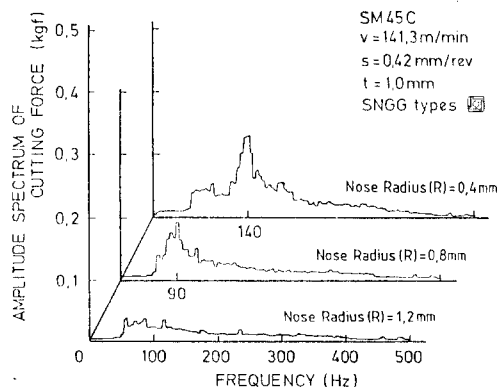
(a) Dynamic Components of Cutting Forces and Forms of Chips when varying the Nose Radius



(b) Amplitude Spectrums of Cutting Forces



(a) Dynamic Components of Cutting Forces and Forms of Chips when varying the Nose Radius



(b) Amplitude Spectrums of Cutting Forces

Fig. 3 Dynamic component of cutting forces and its spectrum for SNMA type (Nose radius $R=0.4, 0.8, 1.2\text{ mm}$)

Fig. 4 Dynamic component of cutting forces and its spectrum for SNGG type (Nose radius $R=0.4, 0.8, 1.2\text{ mm}$)

CC) type 의 파단된 형태로 생성되며, chip 이 연속형으로 배출될때에는, 동적성분과 peak 주파수의 최대진폭은 커다란 변화를 나타내지 않으며, 동적성분의 파형에서 주기성이 관찰되지 않았다. 그러나, 공구의 곡률반경이 작을수록 즉 파단된 chip 이 배출될 경우, 이들의 변화는 매우크게 증대하며, peak 주파수의 대역도 증가하고 있다. 또한, 이때의 동적성분은 주기성을 갖으며, 각 주기들은 주파수분석의 최대peak 값과 매우 일치하고 있어서 이들은 chip 이 파단될때 발생하는 chip 파단주파수 임을 명백히 알 수 있다.

한편, Fig. 4 (a) (b)는, chipbreaker 가 있는 (SNGG type) 경우로서, 이들의 거동특성은 앞의 경우와 마찬가지로 나타나고 있으나, 동적성분과 주파수의 최대peak 값 및 주파수대역은 감소하고 있으며, 이때 생성된 chip 은 공구의 곡률반경이 큰 경우에도, 비교적 chip처리성이 양호한 [4] tubular type (LTC 혹은 S TC)으로 배출되었다.

이와같이 chip의 배출형상은 동적성분과 peak 주파수의 변화에 커다란 영향을 미치고 있으며, 이들은 상호 밀접한 관계를 가지고 있어서, 절삭저항의 동적성분 ($dF_v 0.5$)의 거동을 감시함으로써, Chip배출상태를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 절삭조건 및 공구형상이 chip배출상태와 동적성분에 미치는 영향

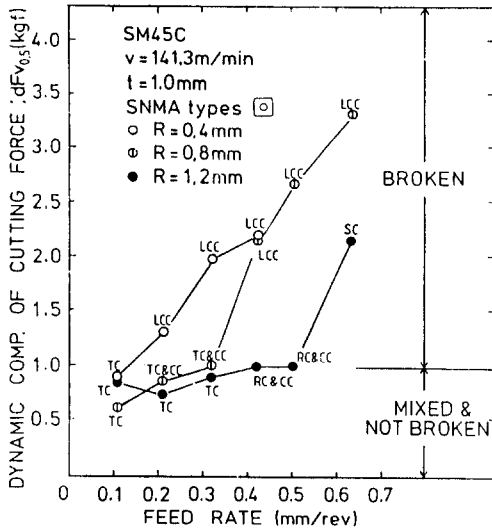
여기에서는, 각 절삭조건과 공구의 형상을 변화시켜 절삭실험을 하였을때 생성된 chip의 형상을 서독 INFOS의 분류방법에 의해 분류하고, 이를 chip처리성의 관점에서 검토함과 동시에, 동적성분의 거동특성을 살피고, 이들 각 절삭조건이 절삭저항의 동적성분에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

3.3.1 이송량 및 공구곡률반경의 영향

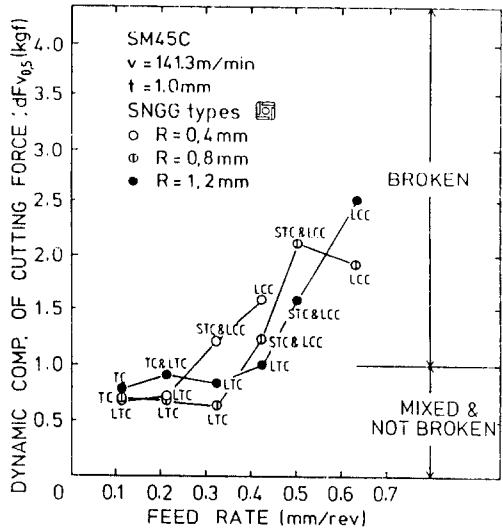
Fig. 5 (a) (b)는 chipbreaker의 유·무 즉 SNGG와 SNMA type의 두 공구에 대하여 곡률반경과 이송량을 변화시켰을때, 동적성분과 chip배출형상의 변화를 나타낸다. 그림에서

각 곡률반경에 대하여 두 공구모두 이송량이 증대함에 따라, chip은 tangled (; TC) type에서 long comma (; LCC) type의 chip처리성이 양호한 파단된 상태로 배출되고 있으며, 곡률반경이 작을수록 그 영역은 확대되고 있음을 알 수 있다. 또한, chipbreaker가 없는 경우 (Fig. (a))는, 있는 경우 (Fig. (b))에 비하여 chip처리성이 불량한 [4] tangled (; TC) 혹은 ribbon (; RC) type의 연속chip이 많이 생성되고 있으며, 이때 chip의 자유표면에는, 이송량이 증대함에 따라 심한 축치상의 균열이 발생되고 있으나, chipbreaker가 있는 경우에는, 균열이 없는 비교적 표면이 매끄럽고 두께가 얇은 chip으로 생성되고있음이 관찰되었다. 또한, 본 실험조건에 얻은 chip을 이들 두 공구형상에 대하여 chip처리성의 관점에서 정성적인 방법으로 비교한 결과, chipbreaker가 있는 경우가 약 1.5 배정도, chip처리성이 양호한 chip으로 생성되고 있음이 확인되었다.

한편, 동적성분의 변화는, 이송량이 증대함에 따라 두 공구모두, 공구의 곡률반경에 관계없이 증가하고 있으며, 그 증가의 정도는 SNGG type에 비하여 SNMA type이 크게 나타나고 있다. 이러한 원인은, chip의 생성기구, 즉 chip 자유표면의 측면에 걸쳐 생성된 균열발생의 원인때문으로 생각되며, 또한, SNGG type의 경우, 공구의 전단면에 형성된 groove가 chip의 배출상태를 원활하게하고, 공구에 전단각을 형성시켜 절삭저항의 정적·동적성분을 감소시키는 것으로도 생각된다. 또한, 공구의 곡률반경이 작을수록, 동적성분이 증대하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 Fig. 3,4에서도 볼 수 있는 바와같이, 동일절삭조건에서 곡률반경이 작을수록 curl의 곡률반경이 작은 chip이 생성되고 있으며, 이와같은 형상을 갖는 chip의 배출상태는, 동일 절삭거리에 대하여 단위시간당 chip의 파단회수를 증가시키며, chip이 파단될때 공구와의 심한 간섭현상, 즉 파단된 chip이 단위시간당 공구를 강타하는 회수가 증대되기 때문으로 생각된다.



(a)



(b)

Fig. 5 Effects of feed rate and nose radius on the dynamic component of cutting forces

3.3.2 절삭속도 및 절삭깊이의 영향

Fig.6 과 7 은, 두 이송량에 대하여 절삭속도와 절삭깊이의 변화시켰을때의 실험결과이다.

Fig. 6 에서, 절삭속도가 증가함에 따라 두 이송량에 대한 동적성분은 모두 감소하는 경향을 나타내며, 동일 절삭속도에서 이송량이 큰 경우 (0.42 mm/rev) 가 크고, 이때 chip 은 모든 절삭속도에서 파단이 되나, 이송량 0.21 mm/rev 에서는, 동적성분이 크고 chip 이 파단되는 저속인 경우 (예를들면, 30.2, 60.3, 87.6 m/min) 를 제외한 그 이상의 절삭속도에서는 chip 처리성이 불량한 tangled (; TC) type 의 연속형 chip 이 생성되며, 이때 동적성분의 값은 작게 나타나고 있음을 알수있다.

한편, Fig. 7 은 절삭깊이의 변화에 따른 결과로서, 절삭깊이가 증대함에 따라 동적성분이 증대하는 것을 제외하고는 두 이송량에 대한 변화는 앞의 경우와 동일한 경향을 나타내며, 이때 chip 의 생성상태는 절삭깊이가 작은 0.25 와 0.5 mm 부근에서 비교적 chip 처리성이 적합한 helical (; HC) type 의 길이가 짧은 연

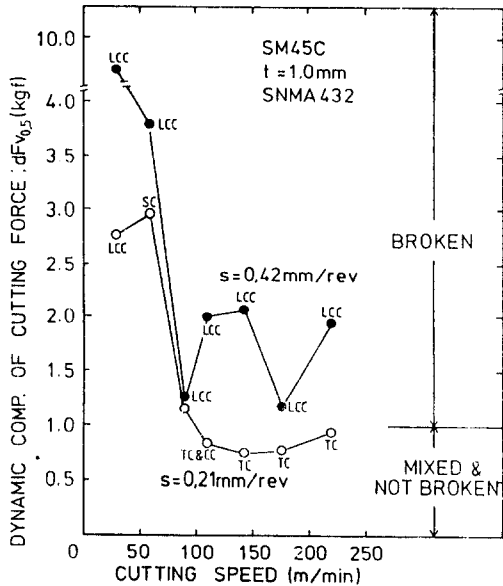


Fig. 6 Effect of cutting speed on the dynamic component of cutting forces

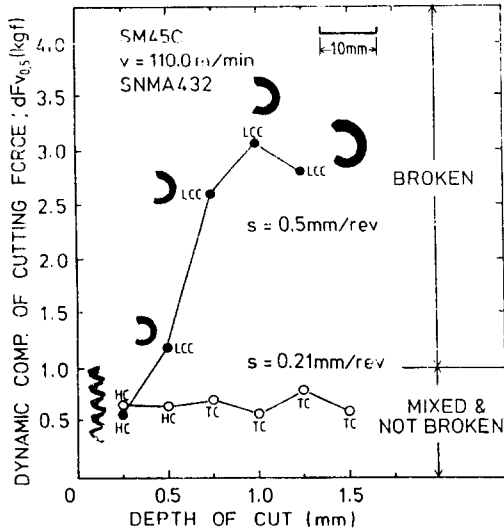


Fig. 7 Effect of depth of cut on the dynamic component of cutting forces

속형 chip으로 생성되고 있음을 알수있다. 또한, 절삭깊이가 증대함에 따라 동적성분이 증대하고, chip의 curl 반경이 커지고 있는데, 이러한 원인은, 절삭깊이가 증가하면 절삭폭이 증대하고, 따라서 절삭면적이 증대되어 동적성분이 크게 증가하며, chip의 유출각이 작아지기 때문으로 [11] 생각된다.

3.3.3 공구마멸의 영향

Fig. 8은 공구의 마멸에 따른 동적성분의 변화와 chip 파단과의 관계를 나타낸다. 여기서, 공구는 K10 재종을 사용하였으며, 공구의 마멸은 chip의 배출상태와 가장 밀접한 관계가 있는 crater 마멸(KT)을 고려하였다. 그림에서 두 이송량에 대하여 공구의 마멸이 진행됨에 따라 동적성분이 증대하고 있으며, 동일 절삭시간에 대하여 이송량이 클때가 크나, 공구의 마멸진행은 반대의 경향을 나타내고 있다. 또한, 절삭초기에는 마멸이 급속히 증대하나, 시간이 경과함에 따라 일정한 상태로 되며, 그 시기는 이송량이 큰 경우가 빠르것을 알수있다.

또한, 이송량 0.42 mm/rev에서 chip의 배출상태는, 절삭초기에는 측치상의 균열이 발생하는 ribbon (; RC) type의 연속형으로 배출되나, 공구의 마멸이 진행됨에 따라 tangled (; TC) 혹은 corkscrew (; CC) type으로 생성되며, KT의 증가가 거의없는 절삭시간 440초 이후부터는, 그림에 나타난 바와같은 상향 curl의 파단chip이 생성되고, 이때 동적성분은 급격히 증가하고 있음을 알수있다.

한편, 이송량 0.21 mm/rev에서는 절삭시간 150초 이후부터는, KT의 마멸정도가 앞의 경우에 비하여 큼에도 불구하고, chip의 파단시기가 늦어지고 동적성분이 작게 나타나고있으며, 이때 chip은 거의 전 절삭시간에 걸쳐서 측치상의 균열이 발생되지 않는 표면이 매끄러운 연속형으로 생성되고 있음이 관찰되었다. 또한, 이때에도 chip이 파단될 경우, 동적성분은 급격히 증가하며 상향 curl의 chip이 배출되었다.

이와같이, 공구의 crater 마멸은 chip의 배출상태를 원활하게 하고, chipbreaker의 역

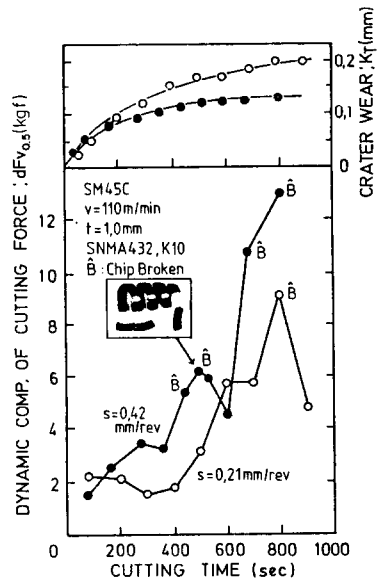


Fig. 8 Effect of tool wear on the dynamic component of cutting forces

할을 하게되어 chip 처리가 비교적 쉬운 상향 curl 의 short comma(; SCC) 혹은 short tubular (; STC) type 의 파단 chip 을 생성시키며, 이때 절삭저항의 동적성분은 급격히 증대하고 있음을 알 수 있다.

3.4 chip 파단주파수 (f_B) 와 측치상의 균열생성주파수 (f_C) 와의 관계

앞절에서 알 수 있는 바와같이, chip 의 자유 표면에 측치상의 균열이 발생하면 chip 의 배출 형태가 변화하고, 절삭저항의 동적성분은 크게 증가한다. 따라서, chip 파단시에 일어나는 절삭저항의 주기적인 변동성분, 즉 chip 파단주파수 (f_B) 와 측치상의 균열생성주파수 (f_C) 와의 대응관계를 조사하였다.

Fig. 9 는 chip 의 파단이 비교적 일정하게 이루어지고 있는 정상절삭상태에서의 f_B 와 f_C 와의 관계를 나타낸 것으로서, 각 절삭조건들에 대하여 조사한 것이다. 그림에서, 절삭속도가 증가함에 따라 f_B 와 f_C 의 주파수대역은 비례적으로 증가하고 있으며, 이 경우에 chip 의 배출 형상은 long comma (; LCC) type 의 파단형 chip 이 지배적이나, 속도가 증가함에 따라 corkscrew (; CC) type 의 연속 chip 이 간헐적으로 생성되었다. 또한, 이송량이 증대함에 따라 이들의 주파수는 낮은 대역으로 이동하며, f_B 에 비하여 f_C 의 변화 폭이 더욱 큼을 알수있다. 이때 chip 은 이송량 0.32 mm/rev 이하로되면 연속형으로 배출되며, 0.21 mm/rev 미만에서는 측치상의 균열발생을 관찰할수가 없었다. 한편, 절삭깊이의 변화에 대하여, 두 주파수대역은 커다란 변화를 나타내지 않고있으며, 이들은 각각 100 Hz 와 2000 Hz 부근에서 존재하고 있음을 알수있다. 이와같은 f_B 와 f_C 의 변화는 주파수 분석 결과에서도 직접 확인되었다. Fig. 10 (a) (b)는 절삭속도와 절삭깊이를 변화시켰을때의 결과로서, f_B 와 f_C 의 peak 주파수 부근의 대역을 각각 (■), (▨)로 표시하였다. 두 주파수 분석 결과에서 알수있는 바와같이, f_B 와 f_C 의 변화는, 속도가 증가함에 따라 (Fig. (a)) 높은 주파수대역으로 이동하고 있으며, 절삭깊이의

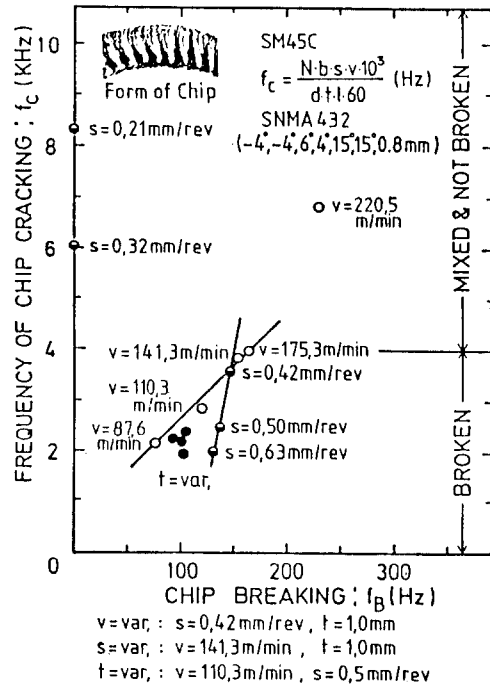


Fig. 9 Relationships between frequency of chip breaking (f_B) and chip cracking (f_C)

변화 (Fig. (b))에 대하여는 커다란 변화를 볼수가 없다.

이와같이, chip 은 측치상의 균열생성주파수가 낮은 대역에서 파단되고 있으며, 본 실험의 조건에서 chip 이 파단될 경우 f_B 와 f_C 는 200 Hz 와 4000 Hz 이내의 범위에서 존재하고 있음을 알수있다. 또한, 이들은 절삭속도가 저속이고, 이송량이 클수록 낮은 주파수대역으로 이동하고 있는데, 이러한 경향은 chip 처리성의 관점에서 본, 절삭조건의 선정기준을 뒷바침하고 있으며, 특히 f_C 가 낮은 주파수대역으로 이동한다는것은 chip 의 균열 pitch 간격이 커짐을 의미하며, 이러한 원인때문에 chip 은 파단이고, 동적성분은 크게 증대하는 것으로 생각된다. 따라서, 측치상의 균열생성주파수 (f_C) 는 chip 의 배출형상 및 파단주파수 (f_B) 와 매우 밀접한 관계를 가지고 있으며, 이들의 주파수성분을 감시함으로써 chip 의 배출상태를 인식할수 있을 것으로도 판단된다.

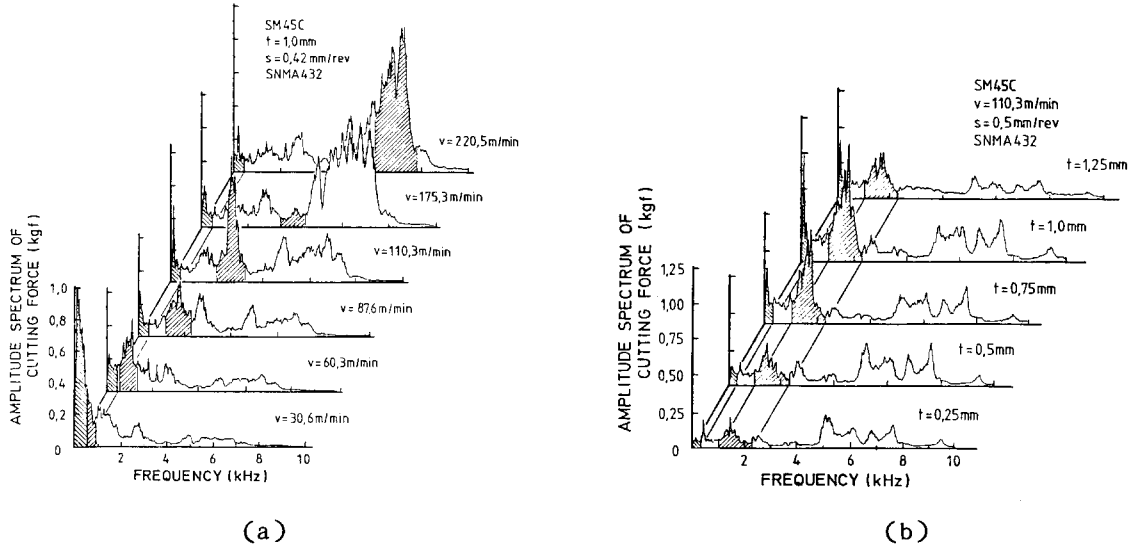


Fig.10 Effect of cutting speed (a) and depth of cut (b) on the frequency component of cutting force

3.5 동적성분에 의한 chip 배출상태의 인식 가능성

앞의 실험결과들을 토대로하여 chip 형상과 동적성분 ($dF_v/0.5$) 과의 관계를 나타내고, 이로부터 chip 배출상태의 인식 가능성에 대하여 종합적으로 검토하였다. Fig. 11은 그 결과로서, 비교적 광범위한 절삭조건과 공구의 곡률반경 변화에 따른 동적성분의 변화를 SNGG와 SNMA type의 두 공구에 대하여 나타낸 것이다.

그림에서, chip의 형상변화는 절삭저항의 동적성분을 변화시키고 있으며, 연속형에서 과단형으로 변화함에 따라 동적성분은 크게 증대하고, SNGG에 비하여 SNMA type의 공구가 그 변화의 폭이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한, 비교적 chip 처리성이 양호한 tubular type (예를 들면, LTC 혹은 STC)의 chip은 SNGG type의 공구에서만 생성되고 있으며, 이는 앞절 (3.3.1절)에서 설명한 바와같이 chip-breaker의 영향 때문으로 생각된다. 이와같은 chip의 형상변화는, 실제 절삭과정에서 각 절삭조건 및 공구의 형상, 그리고 동일 절삭조건에

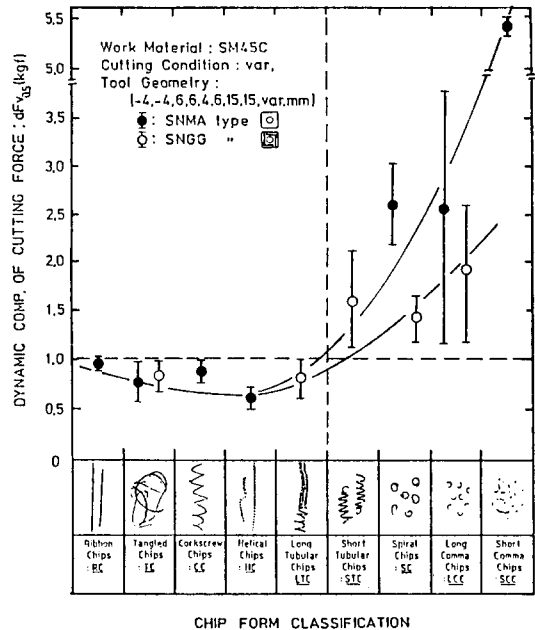


Fig.11 Relationships between the chip form and dynamic component of cutting force

서도 수시로 변화하고 있으나, 여기에서는 chip 처리성의 관점에서 불량한 경우와 양호한 경우에 대하여 각각 연속형과 파단형으로 대별하고, 이를 chip 배출상태의 감시대상 영역으로 고려할 때, 절삭저항의 동적성분은 1.0 kgf 를 경계로 하여, 연속형 chip 인 경우 $\leq 1.0 \text{ kgf}$, 파단형 chip 인 경우 $\geq 1.0 \text{ kgf}$ 으로 동적성분의 영역이 구분되며, 이와같은 동적성분의 경계 값으로부터 chip 처리성이 양호한 chip의 배출상태를 인식할 수 있을것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는, 절삭저항의 동적성분에 포함되어있는 각종 영향인자들 가운데, chip의 파단에 기인하는 주파수성분의 동적성분을 대상으로, 각 절삭조건들이 절삭저항의 동적성분과 chip 배출상태에 미치는 영향을 실험적으로 조사함과 동시에, chip 파단주파수(f_B)와 측치상의 균열생성주파수(f_C)와의 대응관계를 검토하였으며, 또한, 이들의 결과를 종합하여 동적성분을 이용한 chip 배출상태의 인식 가능성에 대하여 검토한 결과, 다음과같은 결론을 얻었다.

1) 높은 이송량과 낮은 절삭속도, 그리고 절삭깊이와 공구의 곡률반경이 작은 절삭조건에서 chip 처리성이 양호한 chip이 생성되며, chipbreaker의 효과를 확인할 수 있었다.

2) chip의 배출형상은 절삭저항의 동적성분 변화에 커다란 영향을 미치며, chip이 파단될 때 동적성분은 크게 증대함과 동시에 주기적인 성분이 나타나고, 그 주기는 주파수분석의 최대 peak 값과 일치한다.

3) 공구의 crater 마멸은 chip 처리성의 관점에서는 좋은 영향을 미치며, crater 마멸에 의해 chip이 파단될 경우 상향 curl의 chip이 생성되고, 이때에도 동적성분은 크게 증대한다.

4) chip 파단주파수(f_B)와 측치상의 균열생성주파수(f_C) 사이에는 상호 밀접한 관계가 있으며, 측치상의 균열발생은 chip의 배출상태와 절삭저항의 동적성분 변화에 커다란 영향을 미친다.

5) 광범위한 절삭조건에 대하여, 파단 chip

과 연속형 chip 사이에 동적성분의 경계 값 (1.0 kgf)이 존재하며, 이로부터 chip 배출상태의 on-line 감시가 가능할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

1. 伊東謙, 岩田一明, “フシキミブル 生産システム”, 日刊工業新聞社, 昭和 59.
2. Worthington, B. and Redford, A.H., “Chip curl and the action of the groove type chip former”, Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 13, PP.257-270, 1973
3. Worthington, B., “A comprehensive literature survey of chip control in the turning process”, Proc. of 17 th Int. MTDR Conf., PP. 103-116, 1976
4. Klufft, W., Konig, W., van Luttervelt, C.A., Nakayama, K., Pekelharing, A. J., “Present knowledge of chip control”, Annals of the CIRP Vol. 28/2, PP. 441-455, 1979
5. Nakamura, S., “Chip control in turning”, 11 th NAMRC, PP. 61-72, 1983
6. Super, G, et al., “Automatisches erkennen von gebrochenen und ungebrochenen spanformen beim drehen”, Industrie Anzeiger Vol. 101 Jg. Nr. 59 v. 25. 7., PP. 26-27, 1979
7. Dornfeld, D.A. and Lan, M. S., “Chip formation using acoustic emission”, 11th NAMRC, PP. 386-389, 1983
8. Uehara, K., “Identification of chip formation mechanism through acoustic emission measurements”, Annals of the CIRP Vol. 33/1, PP. 71-74, 1984
9. Kloor, P., Svenningsson, I. and Wernersson A., “Coherent SODAR for automatic monitoring of the chip breaking process in turning”, Annals of the CIRP Vol. 34/1, PP. 91-94, 1985
10. Yee, K.W., Blomquist, D.S., Dornfeld, D. S., Dornfeld, D. A., Pan, C.S., “An acoustic emission chip-form monitor for single-point turning”, Proc. of 26th Int. MTDR Conf. Manchester, PP. 305-312, 1986
11. Han, R.S., “Some observation on chip curl in the metal-cutting process under orthogonal cutting condition”, Trans. ASME, 75, P.581, 1953