

이 논문은 1987년도 한국과학재단 기초연구비에 의하여 연구되었음.

드릴가공시 절삭저항이 갖는 정보와 그 응용에 관한 연구
전 언찬*, 이 동주**, 남궁 석**

Information of Cutting Force in Drilling and Its Application

E. C. Jeon,* D. J. Lee,** S. Namgung**

ABSTRACT

There are many methods in measuring the signal of cutting, but by measuring the multi-signal, we can pick up the wear and chipping of the tool more accurately.

Hence, the present study is concerned with analysing the dynamic component as well as the static component measured by the tool dynamometer, finding out which signal is involved in each component, comparing the capability of the cemented carbide drill and the HSS drill, and discussing the chipping of the cemented carbide drill. In addition, discussion is made about the characteristics of the frequency of the torque and thrust in connection with the dynamic component.

1. 서 론

기계가공의 약 25%를 차지하고 있는 드릴작업은 보어링, 리이밍, 태핑 등 제 2,3차적인 후가공을 수반하는 경우가 많기 때문에 구멍의 위치결정, 공구의 교환, 공구길이의 조정, 절삭조

건의 변경, 공작물의 교환 등 순 절삭시간 이외에 수반되는 시간이 큰 비율을 차지하고 있다. 따라서 드릴 가공의 능률화 및 고속화는 단지 드릴가공 시간의 단축 뿐만 아니라 상기의 전반에 걸쳐 이루어져야 한다.

기계가공의 자동화에 수반하여 공구의 마멸이

* : 동아대학교 기계공학과

** : 충남대학교 기계공학과

나 결손을 예측, 검출하기 위하여 여러가지 방법이 제안되고 또한 실용화를 목표로 연구가 진행되고 있다.¹⁾²⁾ 그것들을 검출하는 물리량으로는 힘, 음, 광 등이 있으며, 최근에는 초음파 신호의 이용이 증가되고 있으나³⁾⁴⁾ 공구의 마멸이나 결손을 보다 정확하게 검출, 예측하기 위해서는 복수의 신호를 이용하는 것이 좋다고 생각된다.

힘, 즉 절삭저항은 연구의 대상으로는 많이 다루었지만 적당한 검출기기가 없었기 때문에 기계가공에 적용시켜 실용화한 예는 드물다. 그러나 최근 토오크계 내장형 콜렛 척 호울더 (Collet Chuck Holder)가 개발되어서⁵⁾ 절삭상태를 측정하고 예측하기 위한 신호로서 절삭저항의 이용이 증가될 것으로 판단된다.

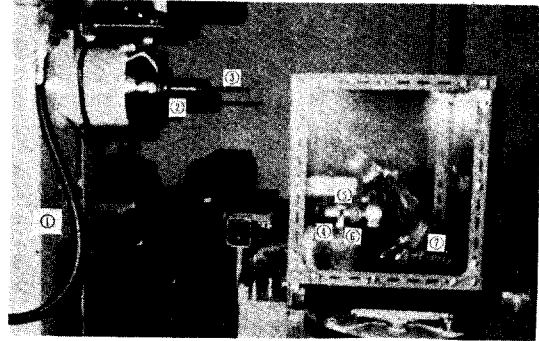
지금까지의 대부분의 연구는 절삭저항의 정적성분을 주대상으로 하였으며⁶⁾ 보다 많은 정보를 내포하고 있을 것으로 생각되는 동적성분에 관한 연구는 그 결과가 별로 많지 않기 때문에⁷⁾⁸⁾ 이에 관한 연구의 필요성이 한층 고조되었다고 생각된다. 더우기 초경드릴에 관한 연구는 아직 그 수가 많지 않다. 그래서 이와같은 문제에 관하여 좀 더 구체적이고 상세한 연구가 필요하다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 CNC 머시닝센터를 이용하여 드릴가공시 발생하는 절삭저항을 주파수 응답성이 우수한 압전형 공구동력계로 검출하여 정적 및 동적성분을 상세하게 분석하여 어떠한 신호가 각각의 성분에 포함되어 있는가를 밝히고, 초경드릴에 의한 절삭성능을 고속도강 드릴의 절삭저항과 비교하여 검토하고자 하며 초경드릴의 칩핑에 대해서도 연구하고자 한다. 또한 토오크와 트러스트의 주파수 특성도 동적성분과 관련시켜서 검토하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치를 Fig. 1에 나타내었다. 사용한 공작기계는 강성이 매우 높으며



- ① Machining center
- ② Drill holder
- ③ Drill
- ④ Workpiece
- ⑤ Drill chuck
- ⑥ Tool dynamometer
- ⑦ Angle block
- ⑧ Pallet

Fig. 1 Photograph of experimental apparatus
공구 자동교환장치가 부착된 머시닝 센터 (Toshiba 기계, BMC-5B형)이며, 드릴은 머시닝 센터의 주축에 부착된 드릴 호울더 (Mizoguchi의 BT50형)를 사용하여 고정하였다. 또한 팔레트 위에 앵글 블록을 볼트로서 체결하고 그 전면에 공구 동력계와 드릴 척을 순차적으로 부착시키고 시험편을 고정시켰다.

드릴가공시 나타나는 절삭저항의 정적성분은 공구동력계로 검출하여 차-지 앰프라이어를 통과시킨 뒤 펜 레코더에 의하여 기록하였다. 한편 차-지 앰프라이어를 통과시켜 증폭시킨 신호를 일단 데이터 레코더에 수록한 다음 디지털 메모리스코프를 사용하여 동적성분의 크기 및 형상을 분석하였고 FFT 언벨라이저를 이용하여 주파수를 분석하였으며 그 개략도를 Fig. 2에 나타내었다.

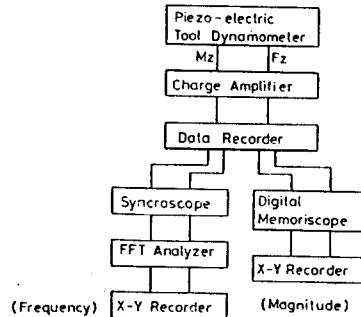
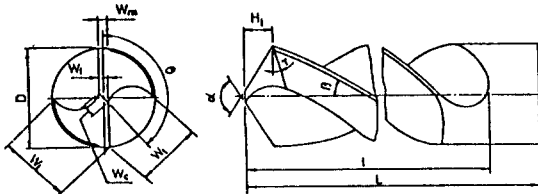


Fig. 2 Measuring system for dynamic components and frequency.

2.2 시험편 및 공구

실험 재료는 시판 기계구조용 탄소강(SM 45 C), 황동(BsBM) 및 주철(FC 20) 등 세종류의 환봉을 사용하였으며, 시험편을 칩에 고정시켰을 때의 편심을 제거하기 위하여 $\phi 62\text{mm} \times 1\text{m}$ 환봉을 가공하여 $\phi 60\text{mm} \times 40\text{mm}$ 의 시험편으로 제작하였다.

실험에 사용한 드릴은 4 종류의 고속도강 드릴과 1 종류의 초경드릴이며, 전부 직경 10mm의 스트레이트 샹크 드릴로서 인선 형상 및 치수는 Fig. 3 및 Table 1에 나타낸 바와 같다. 드릴은



- α : point angle
- β : twist angle
- γ : relief angle
- θ : chisel edge angle
- D : diameter
- W_f : flute width
- W_l : land width
- W_2 : web thickness
- W_c : chisel edge length
- W_m : margin width
- L : over all length
- l : flute length
- H_l : lip height

Fig. 3 Shape and dimension of drill

Table 1. Materials, angles and dimensions of drill used in experiment

Drill	Material	α	β	γ	θ
A	SKH9	118°	32°	12°	130°
B	SKH9	135°	38°	10°	130°
C	SKH9	118°	32°	12°	130°
D	SKH9	118°	30°	12°	130°
E	K 20	118°	32°	12°	130°

(a) Materials, angles and dimensions of drill used in experiment

Drill	D	L	l	W_l	W_c	W_m	H_l	W_l/W_m
A	10	130	95	1.54	2.0	1.0	3.0	1.24
B	10	130	95	0.69	0.9	1.0	2.1	1.95
C	10	118	58	1.54	2.0	1.0	3.0	1.24
D	10	89	43	1.54	2.0	1.0	3.0	1.24
E	10	90	55	1.38	1.8	1.0	3.0	1.42

(b) Dimensions of drill(mm)

Table 1에 표시한 바와 같이 길이, 선단각 및 비틀림각이 조금씩 다른 것을 선정하여 사용하였으며, 특히 드릴 B는 XS형의 시닝이 되어있다.

2.3 실험조건 및 실험방법

제작된 시험편에 직경 10mm의 드릴로서 비관통 구멍가공하였으며, 시험편의 효율적인 이용과 실험시간의 단축을 위하여 하나의 시험편에 8개의 구멍을 순차적으로 뚫었다. 구멍의 깊이는 드릴 직경의 3배인 30mm로 일정하게 하였으며 드릴을 콜레트 호울더에 체결시킬 때의 체결력은 본 실험을 하는 범위 안에서는 드릴이 모두 정확하게 이송이 되도록 충분한 힘으로 체결시켰다.

절삭 속도는 고속도강 드릴에서는 10~45m/min, 초경 드릴에서는 40~75m/min 사이를 5m/min씩 변화시키고, 이송은 양쪽 모두 0.1~0.45mm/rev 사이를 0.05mm/rev씩 변화시켰다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 절삭저항의 정적성분

절삭저항은 공작물의 재질에 따라서 큰 차이가 나타남은 주지의 사실이지만, 구멍의 깊이에 대한 변화의 모양도 크게 다른 것이 특징적이다. 즉, 주철의 경우, 토오크와 트러스트 양쪽이 거의 일정한 값을 나타내고 있으며, 탄소강에서는 거의 직선적으로 증가한다. 또한 황동은 토오크, 트러스트 양쪽 모두 절삭 초기 및 중기까지는 탄소강과 거의 비슷한 모양을 나타내지만, 드릴링 종료 전에 그 값이 급격히 증가하여 초기단계의 2배 이상의 값을 나타낸다. 이와같이 가공구멍의 깊이에 따라서 토오크 및 트러스트의 정적성분에 큰 변화가 나타난다고 하는 흥미있는 현상은 공구와 공작물의 마찰에 의하여 생기는 마찰열의 영향이 크게 작용한 것으로 생각된다.

Fig. 4는 4 종류의 고속도강 드릴로서 황동을

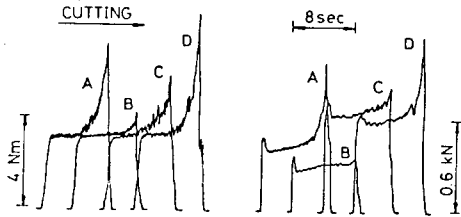


Fig. 4 Comparison of cutting force for 4 HSS drill (dry)

건식절삭하였을 때 펜 레코더 상에 나타난 토크와 트러스트이며 건식절삭이기 때문에 가공깊이가 깊어짐에 따라서 토크와 트러스트가 급격하게 증가하였다. 그런데 급격하게 증가하기 이전의 값을 비교해 보면 토크는 드릴의 형상에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내고 있으나 트러스트의 경우는 그 차가 매우 크다. 특히 드릴 B는 값이 매우 작는데 이것은 Table 1에서와 같이 홈(flute)이 차지하는 비율(W_f/W_m)이 크기 때문에 이와 같은 결과가 나왔다고 생각된다. 이것으로 미루어 봐서 칩의 배출성은 토크보다 트러스트에 더 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

한편, A드릴로서 3 종류의 피삭재를 이송을 변화시키면서 드릴가공 하였을 때 토크와 트러스트의 정적성분의 변화관계를 Fig. 5에 나타내었다. 탄소강과 주철은 이송의 증가와 함께

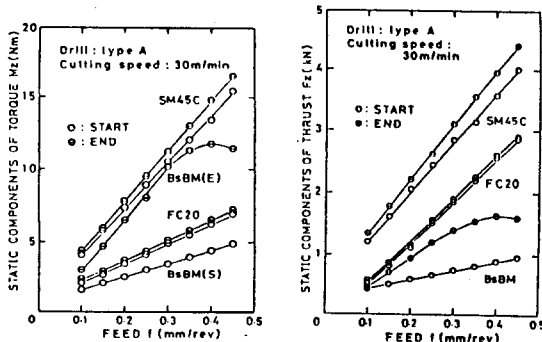


Fig. 5 Relation between feed and static components of torque and thrust

토크, 트러스트 모두 직선적인 증가경향을 보이고 있지만 황동은 초기값과 후기값의 차가 매우 크며 토크의 경우는 후기값이 2배 이상 되

는 것도 있다. 또한 이송이 0.4mm/rev에서 극대치를 나타내며 그 이상에서는 오히려 절삭저항이 감소하는 현상을 나타내고 있다. 이와 같이 황동은 절삭의 진행과 더불어 절삭저항의 변화가 매우 크기 때문에 절삭유를 공급하면서 가공하거나 단계이송을 이용하여 가공하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

3.2 절삭저항의 동적성분과 기계계의 진동
드릴가공시 절삭현상에 바탕을 둔 고유의 진동 즉, 칩 생성에 기인한 진동,¹⁰ 채터진동¹¹ 및 라이플 마크(rifle mark)의 생성¹²과 같은 비주기적인 진동이 발생하고 이것에 의하여 기계계가 진동하는 것이라고 생각되기 때문에 절삭저항의 동적성분을 분석하기 전에 공작물-공구-기계계의 진동특성에 대하여 검토하였다.

Fig. 6은 공구 동력계의 주파수 응답을 측정하는 장치이다. 햄머로서 시험편의 중앙을 주축의

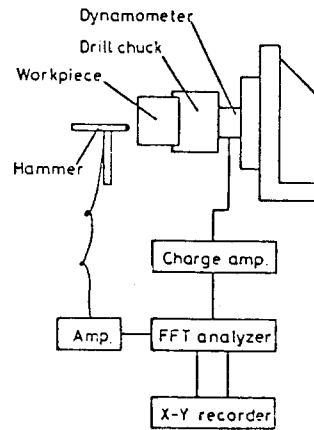


Fig. 6 Measurement of frequency response of tool dynamometer

축방향으로 충격가진시켜 그때 공구동력계에서 발생된 신호를 차-지 앰프라이어를 통하여 FFT 어널라이저에서 주파수 분석을 하고 X-Y 레코더에 기록하였다. 이상은 트러스트의 측정방법이고 토크는 드릴 척에서 공작물을 제거시키고 드릴 척의 죠오(jaw)를 드릴 척의 원주방향으로 타격하여 측정하고 이 결과를 Fig. 7에 표시하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이

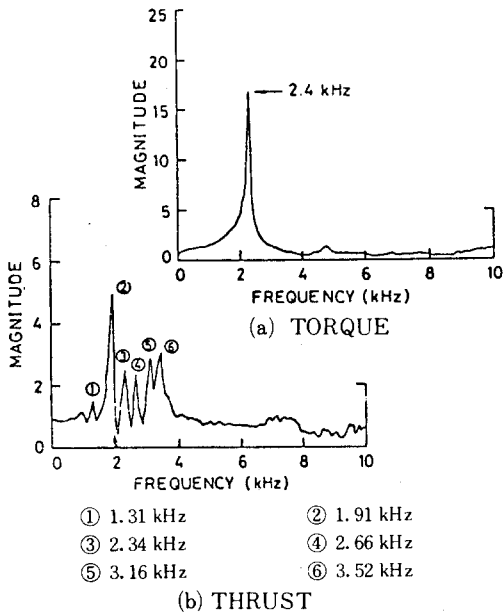


Fig. 7 Frequency response of tool dynamometer

토오크에는 겨우 하나의 공진점이 존재하지만, 트러스트에는 많은 공진점이 존재한다. 이와같은 토오크 방향의 공진점은 공작물-척-공구동력계의 고유진동이라고 생각된다.

한편, 트러스트의 경우는 8kHz까지는 트러스트의 크기가 1N 정도의 평탄한 응답을 보이며 그 외에 몇개의 공진점이 존재하고 있음을 알 수 있으나 토오크와 같은 공작물-척-공구동력계와 같은 특징적인 진동 모드(mode)는 나타나지 않았다. 이와 같이 트러스트 방향에는 몇개의 공진점이 나타났는데 이러한 현상이 어떠한 원인에 의하여 일어난 것인가를 알기 위하여 Fig. 8과 같은 실험장치를 이용하여 공진점에 대한 진동 모드를 분석하였다. 즉, 시험편의 중앙에 가속도계를 부착시키고 햄머로 시험편의 중앙을 충격가진 시켰을 때 공구 동력계에 나타난 응답을 FFT 어널라이저로 분석하였다. 충격가진 시킨 곳은 시험편을 포함한 앵글 블록(angle block)을 Fig. 8(b)와 같이 적당한 간격으로 균등분할하여 실시하였으며 충격가진시킨 순서는 Fig. 8(b)의 번호순이다. 이와같이 하여

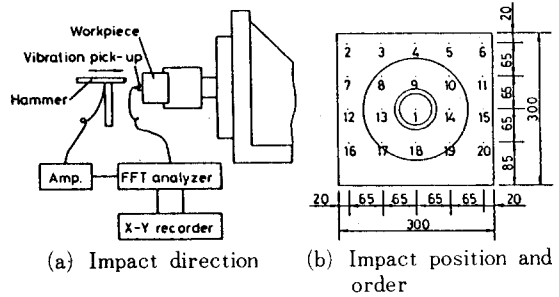


Fig. 8 Measurement of vibration mode of experimental apparatus(thrust direction)

Fig. 7(b)에 나타난 6개의 주파수에 대한 진동 모드를 측정된 것이 Fig. 9(a)~(e)이다. 주파수의 변동이 가장 큰 1910Hz에서는 Fig. 9(b)와 같이 앵글 블록의 상단과 중앙부분이 반대형상을 하고 있으며, 2340Hz 및 2660Hz의 경우도 진동 모드의 변화가 크다. 여기에 나타난 모드형은 대부분 공구동력계만이 아니고 앵글 블록과 알루미늄판의 가장자리의 굽힘에 의한 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 여기에

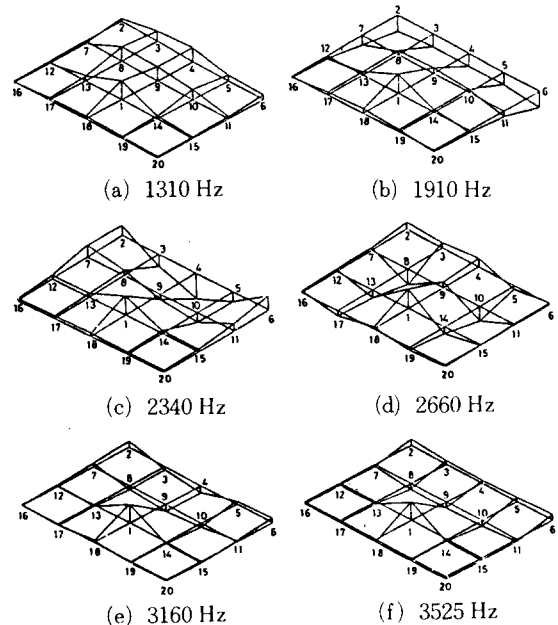


Fig. 9 Vibration mode of experimental apparatus(thrust direction)

나타난 주파수 성분의 대부분은 공작물-척-기계계의 고유 진동 모드에 의한 것이라고 생각된다.

한편, 낮은 주파수영역에서의 특성을 알기 위하여 HSS A 드릴로서 황동을 전삭절삭하여 200 Hz까지의 범위에서 주파수 분석을 하였으며, 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 이때의 회전수는 955rpm이며 이 회전수로 부터 주파수를 계산하면 $955/60=16\text{Hz}$ 가 되며 Fig. 10의 토오크의 극대치와 비교하면 매우 잘 일치되고 있음을 알

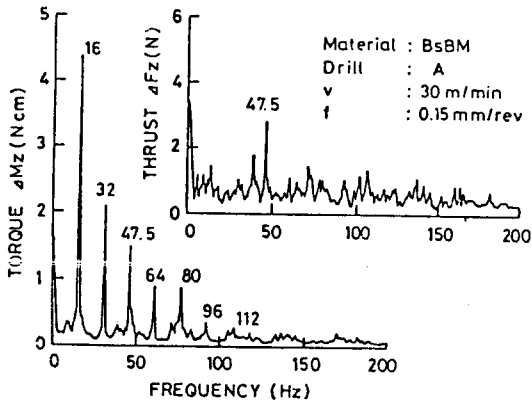


Fig. 10 Amplitude spectrum of dynamic components to 200 Hz

수 있다. 또한 16Hz를 최대로 하여 16의 정수배인 16, 32, 47.5, 64, 80, 96, 112Hz의 순으로 극대치가 존재하고 있으며, 그 크기는 16Hz일 때가 제일 크고, 주파수가 증가할수록 순차적으로 작아지고 있음을 알 수 있다.

따라서 토오크의 경우 회전수에서 계산한 주파수와 그 정수배의 성분이 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 트러스트에는 겨우 회전수의 약 3배의 주파수 성분이 나타날 뿐이다. 이와 같이 토오크에 나타난 주파수 성분은 스파이럴마크(spiral mark)의 생성에 의한 것임을 확인할 수 있었다.

Fig. 11은 3 종류의 피삭재에 대한 동적성분의 값을 나타낸 것으로서 절삭속도의 증가에 따라서 탄소강과 주철은 완만한 경사도의 직선 또는 직선에 가까운 곡선의 증가경향을 보이고 있음

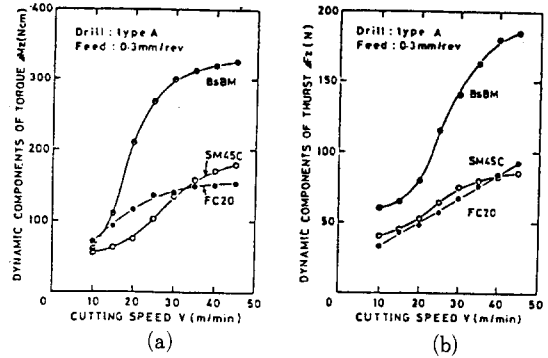


Fig. 11 Relation between dynamic components of torque and thrust vs. cutting speed

에 반해서 황동은 토오크와 트러스트 모두 절삭속도가 15~20m/min의 범위를 넘어서면 급격한 증가경향을 보이고 있다. 이것은 칩의 생성기구에 기인한 결과라고 생각된다. 실제 가공시 생성된 칩의 균열을 관찰해보면 그 주기가 매우 짧을 뿐만 아니라 균열의 크기도 매우 크다. 이것은 단위시간당 균열의 회수가 많을 뿐만 아니라 그때 생긴 균열이 발전하여 절단되면서 공구와 가공구멍 내벽과의 사이에서 심한 마찰을 일으키기 때문에 생긴 것이라고 생각된다. 한편, 절삭속도가 증가함에 따라서 동적성분이 증가하는 것은 단위시간당 마찰회수가 증가하기 때문이라고 생각된다.

3.3 초경드릴에 의한 절삭저항의 변화

강을 가공함에 있어서 지금까지는 고속도강 드릴이 많이 사용되었지만 가공의 고속화에 부응하고 가공의 정밀도를 높이기 위해서는 절삭속도와 이송을 좀 더 크게 할 필요성이 있다고 생각된다. 따라서 본 논문에서는 초경드릴의 경우 절삭속도를 40~75m/min으로 하였으며 가공의 고속화 측면에서 고속도강 드릴의 절삭속도와 일치시키지는 않았다. 그러나 이송은 본 실험조건(0.1~0.45mm/rev)이 매우 폭넓고 또한 크다고 생각되어 양쪽 모두 같은 조건으로 실험을 하였다. 따라서 절삭속도가 같은 경우의 고속도강 드릴과 초경드릴의 절삭저항을 비교할

수는 없지만 상대적인 비교도 가공의 기준을 정하는 데는 도움이 된다고 생각한다.

이송의 변화에 따른 절삭저항의 변화를 Fig. 12에 나타내었으며, 고속도강 드릴과 비교하기 위하여 초경드릴의 형상과 가장 유사하다고 생각되는 D 드릴의 값을 함께 나타내었다. 초경드릴의 절삭속도는 50m/min이고 고속도강 드릴의

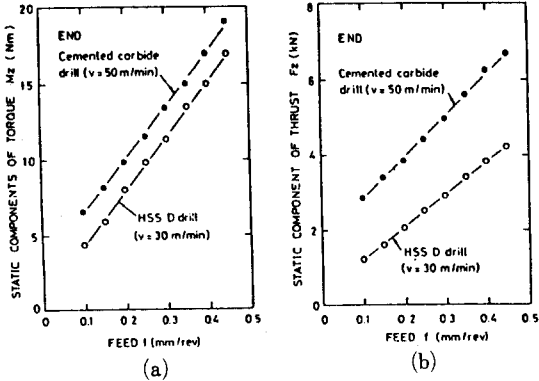


Fig. 12 Comparison of cutting force for cemented carbide drill and HSS drill vs. feed

절삭속도는 30m/min이며 절삭속도의 차이가 있기 때문에 꼭 같은 조건은 아니지만 토크, 트러스트 양쪽 모두 이송이 증가할수록 증가하였으며 그 경향은 비슷하게 나타났다. Fig. 12(a)에서와 같이 토크의 경우는 초경드릴의 값이 고속도강 드릴의 값보다 2Nm 정도 크게 나타났으며 이송이 변화하여도 그 값의 차이는 비슷하게 나타났다. 또한 Fig. 12(b)의 그림을 보면 초경드릴의 트러스트가 고속도강 드릴의 그것보다 1.8~2.2kN 정도 크게 나타났다. 이와 같이 초경드릴의 절삭력이 크게 나타나는 것은 다음과 같은 이유라고 생각한다. 즉, 높은 열을 받은 칩이 아주 짧게 절단되어서 배출되는 동안 가공구멍의 내벽과 드릴의 몸체 사이에 끼어서 벽면으로 부터 강한 구속을 받기 때문에 칩을 배출시키기 위해서는 보다 많은 에너지가 필요한 때문이라고 생각되며, 이와같은 결과는 Hosoi의 실험결과¹³⁾와도 잘 일치하고 있다.

그런데 본 논문에는 가공구멍의 확대량이라던

가 표면조도의 측정결과를 그림으로는 나타내지 않았지만, 가공 후 내벽을 관찰해 보면 초경드릴로서 가공한 구멍의 표면조도가 훨씬 양호하며 구멍의 정밀도도 우수하였다. 이것은 초경드릴의 강성이 우수할 뿐만 아니라 드릴본체 및 절삭날의 제작정밀도가 높고, 립 하이트(lip height)의 차가 적으므로 절삭상태가 안정되어서 드릴의 진동이 적고 보행현상이 일어나기 어렵기 때문이라고 생각된다.

Fig. 13은 초경드릴로서 탄소강을 절삭속도 70 m/min, 이송 0.3mm/rev로 드릴링 하였을 때 디

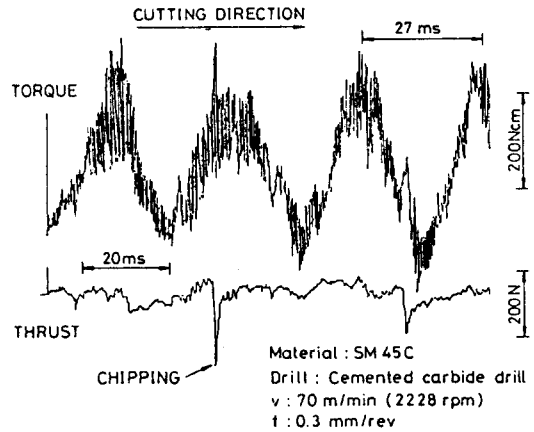


Fig. 13 Chipping of cemented carbide drill

지탈 메모리스코프에 나타난 토크와 트러스트 가운데 그 변화가 크게 일어난 부분을 나타낸 것이다. 토크는 주기가 일정한 정현파의 현상을 나타내고 있으며 절삭의 진행과 더불어 규칙적인 파형을 형성하고 있다. 그러나 트러스트의 경우는 절삭의 진행과 더불어 불규칙적인 형상과 크기로 변화한다. 그러다가 어느 순간 갑자기 매우 큰 모양의 변화를 일으킨다. 그림을 자세히 보면 트러스트의 모양이 크게 변화한 곳에서는 토크도 조금 변화하였음을 알 수 있다. 이것은 바로 칩핑이 일어났음을 의미하며 본 실험에서는 토크 보다는 트러스트의 변화가 매우 크게 일어났다. 토크 보다는 트러스트의 변화가 더 크게 일어난 것으로 미루어 볼 때 드릴의 외주 코너 보다는 웨브에 가까운 절삭날과 여유면에 칩핑이 일어난 것으로 판단된다.

Iwata 등은⁵⁾ 초경바이트로 선삭할 때 발생하는 절삭저항을 AE신호로 검출하였으며, 공구의 결손이나 칩핑이 발생하면 거기에 대응하여 높은 레벨의 AE 신호가 검출됨을 확인하였다. Fig. 14의 사진은 Fig. 13의 칩핑이 일어났을 때의 초경드릴을 나타낸 것으로서 드릴의 외주 코너



Fig. 14 Photograph of chipping

부는 결손이나 마모의 흔적이 보이지 않지만 웨브에 가까운 인선에서부터 넓은 여유면에 걸쳐서 칩핑이 일어났음을 알 수 있으며, 고속도강 드릴의 마모기구와는 전혀 다른 양상을 나타내고 있다.

4. 결 론

강성이 매우 높고 공구 자동 교환장치가 부착된 CNC머시닝 센터를 이용하여 드릴가공을 하

였으며 그때 발생된 절삭저항을 주파수 응답성이 우수한 압전형 공구동력계로 검출하여 토오크와 트러스트의 정적 및 동적성분을 상세하게 분석하였다. 한편 초경드릴에 의한 절삭성능을 고속도강 드릴의 절삭저항과 비교하였으며 토오크와 트러스트의 주파수 특성도 동적성분과 관련시켜 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 구멍깊이에 따른 황동의 절삭저항은 탄소강, 주철과는 다른 양상을 나타낸다.
- 2) 절삭저항의 동적성분은 매우 풍부한 정보를 가지고 있으며, 토오크가 트러스트보다 많은 정보를 포함하고 있다.
- 3) 초경드릴의 토오크와 트러스트는 고속도강 드릴의 그것보다 매우 크다. 그러나 가공구멍의 정밀도는 초경드릴의 경우가 양호하다.

《 参 考 文 献 》



- 1) 菅野 健, 竹内喜大松, 安井武司, 金井實徳: ITV利用によるドリル刃先摩耗の自動測定(外周corner 摩耗幅の測定精度), 日本機械學會 論文集(C編), vol. 44, No. 385(1978) PP. 3260~3272.
- 2) Y. Kasimura; Study Detection of Drill Wear and Breakage(1st Report) - Development of Monitoring system -, Journal of the JSPE, vol. 50, No. 6(1984) PP. 939~943.
- 3) 伊東 諠編; 最近の工作機械技術, マシニスト出版(1981) PP. 102~111.
- 4) Y. Kakino, L. D. Chung, M. Kobayashi; In Process Detection of Tool Breakage by Making Use of Acoustic Emission, Journal of the JSPE, vol. 46, No. 3(1980) PP. 344~349.
- 5) K. Iwata, T. Moriwaki; Detection of Cutting Tool Damage by Acoustic Emission Signal, Trans. of the JSME, vol. 46, No. 7(1980) PP.

- 875~880.
- 6) Y. Hatamura ; Development of a Tool Holder Type Torque Sensor, Proc. 5th Int. conf. Prod. Eng., (1985) P. 124.
 - 7) K. Subramanian, N. H. Cook ; Sensing of Drill Wear and Prediction of Drill Life, Trans. of the ASME, J. of Engineering for Industry, vol. 99 (1977) PP. 295~301.
 - 8) E. C. Jeon, S. Namgung, M. Tsutsumi, Y. Ito ; Information Included Under Cutting Forces in Drilling and Its Applications, Trans. of the JSME, vol. 53, No. 492 (1987) PP. 1891~1897.
 - 9) 남궁 석 ; Random Exciting에 의한 드릴링머시인의 동적성능시험에 관한 연구, 전북대학교 학위논문 (1983).
 - 10) 星 鐵太良 ; 機械加工びびり現象-解析と對策, 工業調査會 (1977). PP. 95~103.
 - 11) S. A. Tobias ; Machine Tool Vibration, London (1965) P. 181.
 - 12) M. Tueda, Y. Hasegawa, H. Kimura ; On Walking Phenomeno of Drill, Trans. of the JSME, vol. 27, No. 178 (1961) PP. 816~825.
 - 13) T. Hosoi, R. Hosoi, K. Asano, O. Horiuchi, Y. Hasegawa ; Drilling Capability of a New Carbide - tipped Twist Drill with Special Edge Shape, Journal of the JSPE, vol. 47, No. 8 (1981) PP. 975~980.