

미소드릴링의 한계깊이에 관한 연구

안인석*, 이우영**, 최성주**

The Study on the Experimental Analysis for Limit Depth of Small Diameter Drilling

Ahn In Suk*, Lee Woo Young**, Choi Seong Joo**

*한국기술교육대학교 대학원 기계공학과, **한국기술교육대학교 기계공학부

Abstract

Small diameter drilling which take high precision in cutting work is needed more small hole and high speed working. Especially, small hole deep drilling is one of the most important machining types and its necessity and importance become more and more increasing in the whole field of industry.

This paper shows the limit depths with small diameter drills using experimental analysis. The results are gained by tool dynamometer and Labview system and obtained during small diameter twist drilling system on SM45C steel for different machining conditions. The machine and tools are the CNC machining center and twist drill of diameter 1.5mm. And additionally, tool microscope show the relationship between shapes of chips and breakage shapes of small diameter drills.

Key words : small hole(미소구멍), limit depth (한계깊이), tool dynamometer(공구동력계), small diameter drills(미소드릴)

1. 서론

미소직경의 드릴가공은 정밀기계와 전자기기 부품의 소형·고정밀화가 진행되면서 그 수요가 현저히 증가하고 있다. 그 중에서도 자동차나 항공기 등 우주 산업에서는 보다 정확한 위치에 고도의 정밀도(진원도 및 진직도)와 심공의 구멍을 신속하고 경제적으로 가공하고자 하는 필요성이 점차 증대되고 있는 추세에 있다. 최근 고도로 고성능화된 공작기계와 개선 및 개량된 공구에 의해서 강력화, 고도화 및 고정밀의 능률화된 절삭가공이 여러 산업 분야에 다양하게 요구되어지고 있으며, 특히 보다 경제적인 절삭에 대한 연구의 필요성이 상당한 비중을 차지하고 있다.

오늘날 구멍절삭가공은 기계절삭가공중의 약 30%에서 많게는 40%의 비중을 차지하고 있으며, 주요한 작업중의 하나로서 높은 생산성과 가공품질이 요구되는 가공방법이다. 구멍가공 작업중 특히 가공이 어려운 작업은 심공 드릴링 작업으로서 깊이/드릴직경의 비가 극히 높은(10배 이상) 경우, 칩의 배출, 절삭날부의 윤활, 공구의 진동 등의 문제로 인하여 고도의 기술이 필요하다. 이 경우 절삭부위에 고압력의 절삭유를 공급할 수 있는 공구를 이용하여 가공이 가능하며 그 대표

적인 예가 single-edge, BTA, ejector 드릴 등이 이용되고 있다. 우리나라에서는 항공기 산업, 자동차 산업 등 첨단 산업의 발전으로 인하여 깊은 구멍가공에 대한 연구, 개발 및 활용이 활발하게 이루어지고 있다.

또한 최근에 CNC공작기계는 고성능화, 고정밀화를 이룩하여 주축회전수가 수만rpm까지 이르게 되었다. 이러한 최근의 공작기계의 발전으로 인하여 범용CNC공작기계에서 심공드릴링에 대한 연구가 필요로 하게 되었다. 그러나 범용CNC공작기계를 이용한 고속회전 심공드릴링의 연구는 공작기계의 발전에 따라가지 못하고 있는 상황이다. 이에 본 연구에서는 범용 CNC공작기계를 이용하여 연구를 수행하며 심공드릴링에 대한 최적의 절삭조건을 범용CNC공작기계에서 찾고자 한다. 현재 심공드릴링 방식으로는 single edge드릴, BTA드릴 및 ejector 드릴이 사용되고 있다. 그러나 국내의 경우 범용 공구를 이용한 심공드릴은 연구가 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 범용CNC공작기계 및 표준 트위스트 드릴을 이용하여 심공드릴링을 연구하며 최적의 절삭조건을 도출하고자 한다.

2. 미소 드릴 가공의 절삭기구

2.1 드릴 절삭 기구

미소 드릴 공구로 스트레이트 샹크(straight shank)드릴을 사용한다. 두 개의 절삭날이 이루는 각을 선단각(point angle)이라 하고 표준 드릴에서 118°이고 연한 재료를 가공할 때에는 60~90°, 경한 재료 가공에서 135~150° 정도의 각을 갖는다. 2개의 절삭날은 치즐에지로 연결되고 절삭날 사이의 간격을 웹(web)라 하고 웹이 너무 크면 추력이 증가한다. 절삭날과 치즐에지가 이루는 각을 치즐에지각(chisel edge angle)이라 한다. 히(heel)은 가공면이 드릴 선단과 마찰되지 않게 선단여유각(lip relief angle)을 갖는다. 홈(flute)이 드릴 축방향과 이루는 각을 비틀림각(helix angle)이라 하고 이 각이 커지면 절삭성은 좋으나 날끝이 공작물에 파고 들어갈 염려가 있고 날끝이 약해진다.

Table 1 표준드릴의 드릴선단각

선단각	치즐에지각	선단여유각	비틀림각
118°	125~135°	12~15°	20~30°

2.2 절삭조건

드릴의 절삭 저항은 드릴을 회전시키기 위한 비틀림 모멘트(torque)와 이송방향에 대한 추력(thrust)으로 나눌 수 있다. 절삭 속도는 드릴 날에서 외주(外周)로 갈수록 빨라진다. 드릴 지름을 d(mm), 회전수 n(rpm)이라 하면 드릴 외주의 절삭속도와 회전수는 다음과 같다.

$$V = \frac{\pi dn}{1000} (m/min), \quad n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} (rpm)$$

또한 드릴의 절삭 토크 T(kgf·cm)를 구하는 식은 다음과 같다.

$$T = \frac{D^2 \cdot f \cdot K}{80} (kgf \cdot cm)$$

여기서, f : 이송 (mm/rev)

K : 비절삭 저항 (kgf/mm²)

표준 트위스트 드릴을 사용하는 경우 구조용강의 기준절삭조건을 보면 아래의 Table. 2와 같고, 고속도강 드릴직경 1.5mm인 공구를 사용하는 경우 드릴가공의 절삭조건은 회전수가 3600~7200rpm일 때 이송속도는 약 0.028mm/rev, 분당 이송속도는 대략 101~202mm/min로 알 수 있다.

Table 2 트위스트 드릴의 기준 절삭조건

피삭재		드릴지름 D(mm)			
재질	경도	1	2	3	4
구조용강 SS41	HB175	4800	2400	1600	1200
		~9600	~4800	~3200	~2400
		0.021	0.034	0.063	0.078
탄소강 S50C · SK7	HB225	4800	2400	1600	1200
		~9600	~4800	~3200	~2400
		0.020	0.033	0.063	0.078

(위의 값은 회전수(rpm), 밑의 값은 이송(mm/rev)을 표시함.)

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 시험편 및 공구

공구는 $\phi 1.5\text{mm}$ 고속도강 표준드릴을 사용하였으며, 공작물은 SM45C 기계구조용 강을 사용하였다. 기계구조용 SM45C강은 금형 제작용 및 기계 제작용으로 많이 사용되고 있다. 시험편은 평면도, 수직도 및 표면거칠기를 고려하여 시험편을 제작하였다. 절삭 공구는 드릴의 선단각, 날끝각 및 절삭날 부를 확인하여 양호한 것으로 선별하여 실험을 수행하였다.

3.2 실험장치

본 실험에서는 드릴가공의 한계깊이 및 절삭분력을 측정하기 위하여 Fig.1 과 같은 실험장치를 구성하였다. 사용된 실험장치 및 기기는 CNC머시닝센터, 공구동력계, 증폭기(charge amplifier), A/D 컨버터(converter), 절삭저항의 데이터 저장(data acquisition)을 위한 LabVIEW System 및 공구현미경을 사용하였다. 그리고 정밀 유압 바이스 및 최신의 콜릿척을 사용하여 진직도 및 동심도를 최대한 고려한 실험 장치를 구성하여 실험을 수행하였다. 또한 절삭가공은 환경 친화성 가공 추세에 따라 절삭유를 사용하지 않는 건식 방법으로 수행하였다.

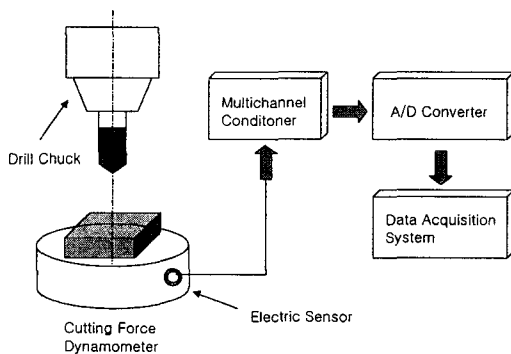


Fig.1 실험장치도

3.3 가공조건 및 실험방법

드릴 가공의 어려운 문제는 드릴 직경에 따라 절삭속도와 이송속도가 다르다는 점이다. 이 값들은 드릴의 재질 및 가공물의 재질에 따라서도

다른 값을 가진다.

미소 드릴링 가공의 한계깊이, 절삭분력 및 드릴의 파손을 알아보기 위하여 회전수 1000 · 3000 · 5000rpm의 각각에 대하여 이송속도 10 · 20 · 40 · 80mm/min의 12단계를 절삭 실험 조건으로 선정하여 반복실험을 하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 한계깊이

각 절삭조건에서 미소드릴링의 한계깊이는 다음의 Table.3 그리고 Fig.2 와 Fig.3 과 같은 결과를 얻었다. 이송속도에 따라 절삭속도가 증가하면 한계깊이가 증가함을 알 수 있고(Fig.2) 절삭속도에 따라 이송속도가 증가하면 한계깊이는 감소함을 알 수 있다.(Fig.3)

특이한 점은 절삭조건 1000rpm, 40mm/min에서 한계깊이가 증가한 점이다. 이는 1000rpm일 때 이송속도가 너무 작으면 드릴날의 마모가 심하게 되면서 가공이 안되고 드릴이 파손되며, 이송속도가 너무 크면 가공이 무리하게 되면서 드릴 공구가 부러지는 경우가 많음을 실험에서 확인 할 수 있었다.

절삭속도 1000rpm에서는 10mm/min에서 20mm/min로 이송속도가 증가할 때 한계깊이가 감소하였으며, 오히려 40mm/min에서 한계깊이가 많이 증가하였고 이송속도 80mm/min에서 아주 많이 한계깊이가 감소하였다. 적정 이송속도가 아니면 한계깊이가 아주 많이 다를 수 있다. 3000rpm일 때에는 이송속도 10mm/min일 때와 20mm/min일 때에는 작은 감소는 있었으나 많은 변화가 없이 한계깊이가 비슷하였다. 그러나 이송속도 40mm/min에서는 많은 감소가 나타났다. 한계깊이 값이 감소한 이유로 중속도의 절삭속도에서 칩의 배출과 절삭 저항 및 마찰에 의한 영향이라 생각된다. 그러나 이송속도 80mm/min에서는 한계깊이가 40mm/min일 때보다는 다소 증가하였다. 이는 기준절삭조건에서 보면 3000rpm일 때 이송속도는 대략 84mm/min로 계산됨을 알 수 있었고 이와 근접한 이송속도인 80mm/min에서 한계깊이가 다소 증가함을 알

수 있었다.

또한, 절삭속도 5000rpm일 때의 이송속도 10mm/min와 20mm/min에서는 한계깊이 값이 비슷하였으며 이송속도가 증가함에 따라 한계깊이가 감소하였다. 이송속도가 증가함에 따라 절삭저항과 칩배출이 원활하지 않음을 알 수 있다. 따라서 고속의 절삭속도에서는 이송속도가 증가함에 따라 절삭저항과 칩배출에 대한 문제가 커짐을 알 수 있었다.

그러므로 위 결과로 본다면 최적의 한계깊이는 3000rpm에서 10mm/min일 때와 20mm/min일 때가 좋고 5000rpm에서도 10mm/min일 때와 20mm/min일 때가 좋게 나왔다.

Table 3 12가지 절삭조건에의 한계깊이

이송속도 회전수	10 mm/min	20 mm/min	40 mm/min	80 mm/min
1000 rpm	10.34	5.31	13.16	2.95
3000 rpm	19.64	18.79	9.90	13.70
5000 rpm	19.85	18.55	13.23	9.58

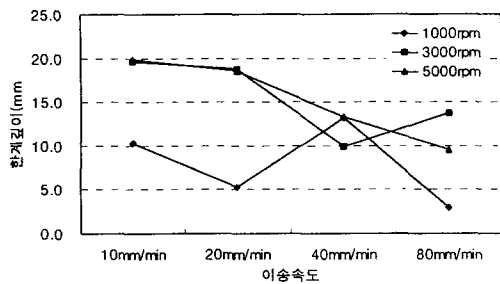


Fig.2 이송속도로 본 한계깊이

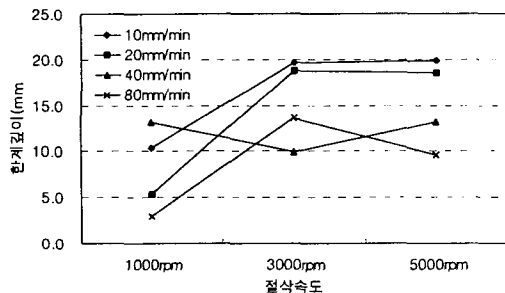


Fig.3 절삭속도로 본 한계깊이

4.2 절삭분력

공구동력계를 이용하여 Fig.4, Fig.5 및 Fig.6과 같이 절삭 분력을 측정하였다. 절삭속도 1000rpm(Fig.4)에서 이송속도가 증가함에 따라 모멘트(Mz)값이 많이 상승함을 알 수 있다. 그러나 절삭력 Fz, Fx,y 값은 드릴링 가공에서 이송속도의 영향이 작게 미친다는 것을 알 수 있다.

절삭속도 3000rpm(Fig.5)에서는 1000rpm일 때와 다른 이송속도 20mm/min일 때 모멘트(Mz)값이 많이 올라감을 알 수 있다. 그리고 절삭력 Fz, Fx,y 의 값이 작지만 절삭속도 1000rpm에서보다는 증가함을 알 수 있다. 특히 이송속도 30mm/min에서는 절삭력 Fz가 많이 증가하였다. 이는 절삭저항이 수직으로 많이 증가함을 알 수 있다.

또한 절삭속도 5000rpm(Fig.6)에서는 모멘트(Mz)가 작은 기울기를 가지면서 증가함을 알 수 있고, 이송속도의 증가에 따라서 절삭력 Fz, Fx,y 가 작지만 다소 증가함을 알 수 있다. 또한 이송속도 20mm/min에서는 절삭력 Fz값이 음수를 가지고 있다.

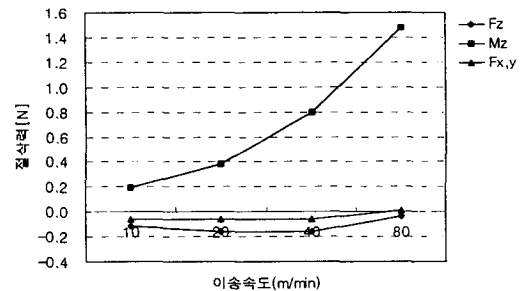


Fig.4 1000RPM일 때 절삭분력

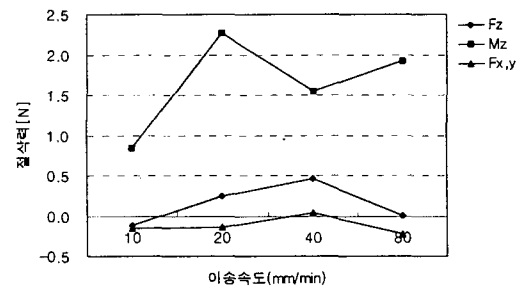


Fig.5 3000RPM일 때 절삭분력

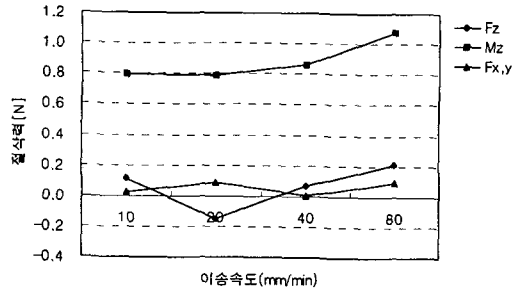


Fig.6 5000RPM일 때 절삭분력

4.3 절삭저항 분석

각각의 절삭속도와 이송속도에 따른 절삭분력 그래프를 얻었다. 그 중에서 특이할 만한 것으로 이송속도 40mm/min일 때의 그래프를 아래와 같이 얻었다.(Fig.7, Fig.8, Fig.9) 절삭속도 1000rpm에서는 모멘트(Mz)가 절삭공구 파손부분에서 갑자기 상승함을 알 수 있다. 또한 절삭 공구가 파손되면서 모멘트(Mz)가 2차 상승이 나왔다. 절삭분력 Fz는 Fx,y 보다 큰 폭을 가지고 그래프가 그려짐을 알 수 있듯이 절삭력이 크게 나왔다.

절삭속도 3000rpm에서도 절삭공구가 파손되는 부분에서 모멘트(Mz)가 갑자기 상승하는 것을 알 수 있고, 그래프가 움직이는 폭이 간헐적으로 매우 크게 일어남을 보이고 있다. 이는 칩의 영향으로 공구가 회전하면서 저항을 받는 것으로 보인다.

절삭속도 5000rpm에서는 모멘트(Mz)가 매우 불안정하게 그래프를 그리고 있으며, 파손되는 부분에서는 갑자기 큰 저항이 걸리지는 않고 일그러지듯이 파손이 일어나고 있다. 이는 회전수가 매우 높기 때문에 파손이 빨리 일어나고 그 후에 공구의 파손 접촉면 마찰로 인하여 이런 현상이 일어나는 것으로 보인다. 이는 아래 사진 Fig.11의 절삭공구 파손 현미경 사진에서 보듯이 마찰열에 의한 겹개 탄 흔적과 마멸 흔적을 볼 수가 있다. 또한 절삭분력 Fx,y 의 그래프 폭 또한 다른 절삭속도에서의 폭보다 더 크게 나타나고 있다. 더 많은 저항이 일어나고 있다는 현상으로 볼 수 있다.

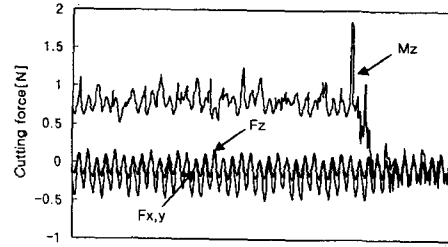


Fig.7 1000RPM, 40m/min일 때 절삭분력

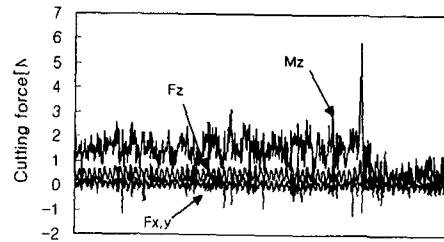


Fig.8 3000RPM, 40m/min일 때 절삭분력

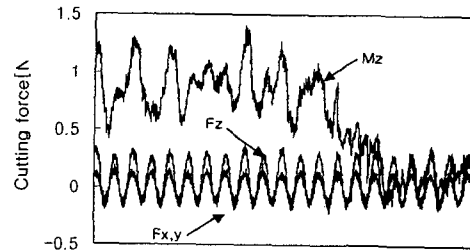


Fig.9 5000RPM, 40m/min일 때 절삭분력

4.4 절삭칩 및 절삭공구 파단

심공드릴링시 칩의 형태는 일반적으로 회전수의 증가에 따라 미세화되는 형상이다. 따라서, 고속회전에서는 칩브레이크등의 기구가 필요하지 않다. 이송속도 40mm/min에서 각각의 절삭속도에 대한 칩을 현미경 사진으로 본 결과이다. 절삭속도가 증가함에 따라서 칩이 더 가늘고 더 작아지고 있다. 그러나 유동형의 칩은 보이지 않고 전단형 내지는 절단형의 칩으로 나오고 있다. 이는 심공가공을 하면서 공구의 선단각이 빨리 마모되고 절삭날부가 많이 마모되기 때문으로 보인다.



Fig.10 칩의 형상 (이송속도 40mm/min에서 왼쪽부터 1000, 3000, 5000RPM일때)

절삭공구의 파단은 여러 모양으로 나타나고 있으나 대표적인 예를 아래 사진 Fig.11에서 보여 주고 있다. 절삭공구가 파단되면서 깨지는 것과 파단이 일어나 짧은 시간 파단면에서 마멸이 일어난 것으로 나누어진다. 또한 파단 각도가 3가지의 경우로 나오고 있다. 사진처럼 공구의 45° 방향으로 파단되는 경우와 직각으로 파단되는 경우 그리고 드릴 경사각처럼 파단되는 경우로 나누어진다. 이는 드릴 날에 작용하는 절삭저항력과 칩의 배출문제로 인한 경향이 다를 수 있다.



Fig.11 드릴의 파단 형상

5. 결론

한계깊이 측면에서 최적의 절삭 조건을 찾다 보면 절삭속도 3000rpm에서 이송속도 20mm/min로 알 수 있다. 또한 절삭분력 측면에서 보면 절삭속도 5000rpm에서 이송속도 10mm/min이나 20mm/min에서 절삭저항이 작은 것을 알 수 있다. 그러므로 절삭저항의 측면에서 본다면 5000rpm에서 20mm/min이 좋으나 공구마모의 측면에서 본다면 3000rpm, 20mm/min일 때가 최적의 절삭조건으로 나온다.

전체적으로 공구마모와 절삭저항을 고려한 최적의 한계깊이를 갖는 절삭조건을 찾았다면 3000rpm에서 10mm/min라고 할 수 있으며, 이 조건에서 최소의 절삭저항과 최대의 한계깊이를 동시에 만족시킬 수 있다.

향후, 본 연구의 결과를 통하여 더욱 깊은 심공가공을 위한 이송 방식의 적용 방법 및 냉각제를 사용한 경우의 한계깊이에 관한 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

1. 이희준의 4인, "기계공작법", 청문각, pp421, 1994
2. 김하룡역, "구멍 가공용 공구의 모든 것", 성안당, pp8-39, 1996
3. 김희남, "미세심공드릴 가공기술", 한국공작기계학회지 제8권 제1호, pp15-20, 1999. 2.
4. 김희술의 2인, "환경친화적 건식 드릴링을 위한 드릴 형상 및 절삭조건", 한국공작기계학회지, 제9권 제2호, pp36-44, 2000
5. 장성규의 3인, "Deep Hole 가공시 공작물의 절삭성에 관한 연구", 한국정밀공학회 '93년도 춘계학술대회 논문집, pp76-80, 1993.
6. 백인환의 2인, "미소경드릴 머신의 성능개선과 미세드릴조건 선정에 관한 연구", '94년도 정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp140-144, 1994