

BTA공구에 의한 드릴가공시 최적절삭조건과 공구수명에 관한 연구

장 성규 (주)한국에이비시스템)
이 충일 (동아대 산업대학원)
전 언찬 · 안 찬우 · 김 현수 (동아대)

1. 서론

가공품 중에서 구멍가공이 차지하는 비율은 매우 높으며 또한 가공정밀도가 요구되어진다. 그러나 구멍의 직경에 비하여 길이가 길어지면 칩의 배출, 절삭날부의 윤환이 어려워지고, 공구의 진동분체가 있기 때문에 일반적인 가공으로는 불가능할 경우가 많다. 따라서 이에 적절한 가공방법은 고압력의 절삭유를 공급할 수 있는 공구를 이용하여 가공할 수 있으며, 그 대표적인 방법으로는 Spade Drill, Gun Drill, 및 BTA Drill에 의한 깊은구멍가공법이다. 이들 가운데 BTA Drill은 다른 가공공구에 비하여 우수한 가공능율을 갖고 있다¹⁻⁵⁾. BTA 드릴에 의한 가공방법에서 종래 $\phi 20$ 이상에만 적용하던것이 최근에는 $\phi 14$ 의 작은구멍에 적용하는 공구의 개발이 가속화되고 있다. 그러나 이들 공구의 사용은 적용사례가 적고, 각종 공작물에 대한 적정 절삭조건 제시되지 않을 뿐만 아니라, 공구의 특성상 버니싱작용에 의한 가공경화가 되는 수가 있으므로 적절한 작업조건이 필요하다. 또한 위험성이 따르는 혁신적인 공구를 제품의 제조 코스트를 저하시키기 위해 노력하는 현장에 적용을 기피한다는 문제를 갖고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 Single Tube BTA 드릴링 시스템에서 Single Edge BTA Drill을 사용하여 깊은구멍을 가공할 때 공작물 SM55C의 최적절삭 조건의 선정과 공구수명에 대하여 실험을 통하여 분석하고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 시험편 및 공구

본 실험에서 사용된 시험편은 기계구조용 탄소강이며 열간단조 처리한 SM55C로서 그 화학적 성분은 Table 1과 같다. 그리고 시험편의 열처리는 단조 작업후 약 850°C 정도로 Oil quenching하고, 620°C에서 2시간 동안 Tempering하였다. 이때 나타난 시험편의 기계적 성질은 Table 2와 같다.

실험에 사용된 시험편은 $\phi 31 \times 100$ mm의 환봉이며 실험을 위하여 외경 및 단면을 1차 가공하였다. 사용

된 공구는 $\phi 17.1$ 로서 인서트타 초경 P10계열의 BTA 드릴 (Single tip head with brazed tip)로서 형상은 Fig. 1과 같고, 1개의 절삭날과 안내 및 버니싱작용을 하는 안내 패드 및 공구본체로 구성되어 있다.

Table 1. Chemical compositions of the Workpiece (wt. %)

Material	C	Si	Mn	P	S
SM55C	0.55	0.25	0.75	0.025	0.030

Table 2 Mechanical properties of the workpiece

Material	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (H _B)
SM55C	539	735	10	232

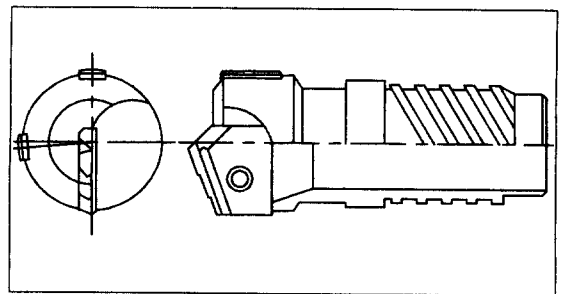


Fig. 1 Shape of the BTA drill

2.2 실험장치

본 실험에 사용된 장치는 2-Spindle type의 CNC deep hole drilling M/C (Model: STGA2-450CNC, Shin il machine Co., Ltd)으로서 가공능력은 Max. $\phi 32$, 드릴링 길이 Max. 250mm, Spindle의 회전수는 0 ~ 4,500rpm까지 변환가능한 기계이다. Fig. 2는 실험장치의 개략도에 대하여 나타내었다. 그리고 심공가공을

하기위해 구성된 Tooling 시스템을 Fig. 3에 나타내었으며, 압력헤드부에 설치되어 있는 가이드 부쉬의 형태는 고정형 부쉬를 사용하였다. 시험편의 내경측정은 1/100mm의 실린더게이지를 이용하여 변화량을 측정하였고, 표면거칠기는 Surface roughness tester(Taylor-Hobson: Form Talysur), 진원도는 Roundness tester (Mitutoyo: RA-2, Feinprof: Formmeter F3P)로 측정하였다.

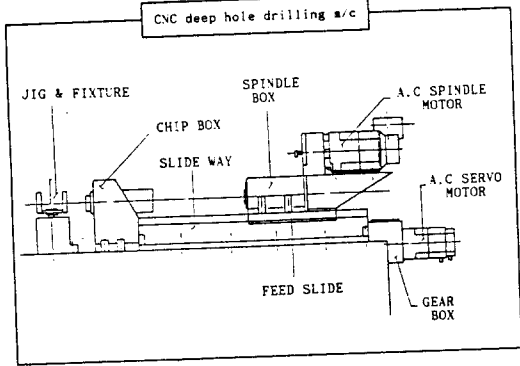


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental apparatus

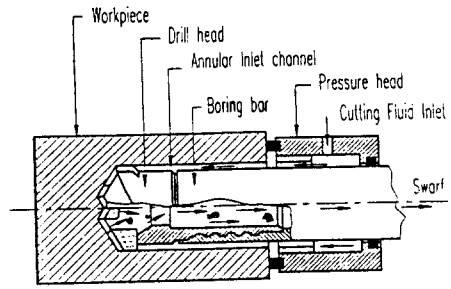


Fig. 4 Principle of the BTA drilling process.

2.3.1. 최적절삭조건을 산출하는 방법

최적 절삭조건은 등수명곡선에서 용이하게 구할수 있지만 User가 사용하는 공구나 공작물에 대하여 발표되지 않은 경우가 많다. 그와 같은 경우 현장에서 적정조건을 간단하게 산출하는 방법⁶⁾은 Fig. 5에서와 같이 미지의 최적조건을 찾는 방법은 현재 예상되는 조건 $V=58\text{m/min}$ $F=108\text{mm/min}$ (조건1)으로 일정한 가공 즉, 5m 실시하였다. 다음 동일 종류의 새로운 공구로 교환하여 절삭속도를 그대로하고 이송속도를 30%증가한 $F=140\text{mm/min}$ (조건2)로 앞의 조건과 같이 동일 개수를 가공하여 공구의 마모량을 비교하여 어느쪽으로 조건을 움직여가는 것이 바람직한지 비교 평가한다. 이들 마모량을 분석하여 조건1에서 절삭속도를 20%증가시키고 이송속도는 동일 조건으로(조건3) 가공하여 비교한다. 다음에는 조건1에서 절삭속도를 27%, 이송속도를 26% 감소(조건4)시켜 마모량을 본다. 이때 개선되었는지 확인후 조건4의 동일 절삭속도로 이송속도를 13%증가(조건5)시켜 비교 분석한다. 이와 같이 조건을 변경하여 가면서 마모량이 적은 조건을 선정하여 미지의 최적조건에 가까워지고 그리고 완전 마모가 일어날때까지 실험을 하였다.

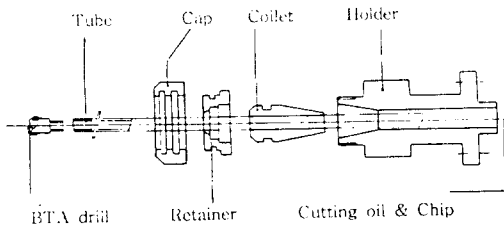


Fig. 3 Tooling system for the BTA drilling machine

2.3 실험방법

본 실험은 CNC deep hole m/c축의 Collet holder에 튜-브를 고정시키고, 그선단에 공구를 장치시켰다. 그리고 Fig. 4의 BTA 구성도에서와 같이 절삭유는 압력헤드를 통하여 공구의 외측에서 공급할 수 있도록 하였으며, 공구의 내부로 칩이 배출되도록 하였다. 실험은 공구회전 및 공구이송방식을 채택하였으며, 축은 1-Feed unit에서 2축이 동시에 가동될 수 있는 구조로 하고 절삭속도와이송속도를 변화시키면서 드릴가공하였다. 이때 가공길이는 100mm로 하였으며, 실험에 사용된 절삭유는 비수용성 황화염화계(KS 2종 13호)로서 심공가공전용절삭유인 Yushiron cut DS-50N을 사용하였다.

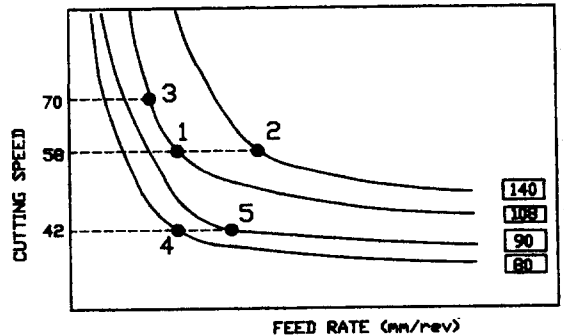


Fig. 5 Method for Tool life prediction

3.2. Drill수명 산정

Drill수명을 표현하는 방법에는 2가지 방법이 있다. 그것번째 (1)식과 같이

$$L = Q \ell \quad \text{-----}(1)$$

L : Drill의 수명(mm)

Q : Drill이 수명이 끝날때까지 가공한 구멍의 수

ℓ : 가공구멍의 깊이(mm)

표현하고 두번째의 표현방법으로서는 식(2)와 같이

$$T = \frac{Q \ell}{N f} \quad \text{-----}(2)$$

$$= \frac{\pi D Q \ell}{1000 V f}$$

T : Drill수명(min)

N : 주축회전속도(rpm)

f : 이송속도(mm/rev)

D : Drill직경(mm)

V : 절삭속도(m/min)

π : 원주율

로 표현할 수 있다.

즉, 식(1)에 있어서 Drill수명은 Drill이 수명에 도달할때까지 가공된 구멍깊이의 총합, L mm로 표현하고, 식(2)에 있으서는 가공할수 있는 시간(절삭시간), Tmin으로 표현한다. 그리고 어느 경우에 있어서도 구멍의 깊이는 항상 일정하다는 조건이며 일반적으로 식(1)의 경우와 같이 이정의를 사용하는 경우가 많지만 식(2)에 의한 정의를 이용하는 경우가 전혀 없지는 않다. 그러나 본 논문에서는 식(1)의 정의에 의하여 Drill수명은 Lmm으로 표현하는 것으로 한다. 실험조건을 광범위하게 변화시켜 Drill수명실험을 행하는경우는 Drill수명 Lmm로 모두를 표현하는 것으로서는 구체적인 변화의 양상을 파악하는 것이 곤란하다. 그런데 많은경우에 Drill수명을 대표하는 5,000mm수명 절삭속도를 채택하는 것으로 하였다.

이상의 모든 실험은 정속이송에 있어서 Drill수명실험에 대한것이지만 다소 정압이송에서 Drill수명실험을 행하는 경우도 있다. 그러나 본논문에서는 정속이송에 의한 실험을 실시하도록 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

BTA드릴 가공면의 거칠기는 일반적으로 강일경우에는 9~25S(Rmax)정도이며 가공정밀도는 공구제작 메이커나 기계의 가공정밀도에 따라서 다소 차이가 있지만 통상 IT7~8급정도이며 대체적으로 리이머등과 같은 2차가공은 필요하지 않는다⁷⁾.

Table 3에서는 각조건에 따라서 표면거칠기 및 진원도의 측정결과를 나타내었다.

표면거칠기는 각조건별로 보면 단일 절삭날을 갖는 BTA드릴에서는 5mm구간에서는 5 μ m이하의 범위로서 우수한 표면 거칠기를 나타내고 있다. 이것은 BTA드릴 작업시 안내 패드의 Burnishing효과 작용에 의한것

으로서 예측된다.

Table 3 Surface roughness and roundness for cutting condition

Conditon	Surface roughness(Rmax)	Roundness
V= 58m/min F= 108mm/min	3.42 μ m	6.14 μ m
V= 58m/min F= 140mm/min	5.00 μ m	7.82 μ m
V= 70m/min F= 108mm/min	3.38 μ m	10.38 μ m
V= 42m/min F= 80mm/min	1.73 μ m	15.98 μ m
V= 42m/min F= 90mm/min	3.39 μ m	12.47 μ m

그리고 진원도는 복합형(Multi tip head with brazed tips)의 드릴에서는 보통12 μ m정도의 범위에서 분포되어 있지만⁷⁾ 단일 절삭날드릴에서는 16 μ m이하의 범위로 분포되어 있다. 이것은 드릴의 구조상 드릴가공시의 절삭력의 분포가 단일절삭날에 집중되어 있으며 이것은 힘의 평행법칙에 따라서 1제 안내 패드에 집중적으로 힘이 작용하여 일어나는 것으로 생각되어진다. 진원도 형상은 다각형형상이 나타나며 BTA드릴 작업에서는 3각형 및 5각형이 주로 나타나고 있지만⁷⁾ 절삭속도 V=42m, F=90mm/min에서는 Fig. 6과 같이 타원형의 형상이 나타나고 있다.

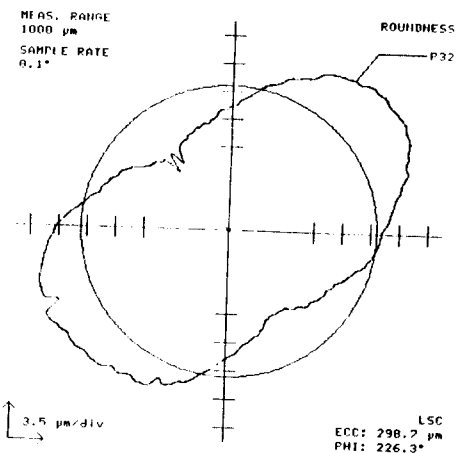


Fig. 6 Type of roundness for V=42m/min, F 80mm/min

Fig. 7은 절삭속도 V=42m/min의 경우 구멍의 확대량에 대한 분포를 나타내었다. 여기서 초기는 30 μ m 정도 확대되어 나타나며 가장 안정적인 조건은 V=42m/min의 범위임을 알 수 있었다. 그리고 각조건에서 실험한 결과 구멍의 확대 및 축소는 30 μ m~20 μ m로 나타났으며, 복합형(Multi tip head with

brazed tips)의 드릴에서 구멍가공길이의 변화에 따른 내경 변화는 10m구간에서 20 μ m정도 확대되는 현상과⁸⁾ 비교하여 보면, 공구의 마모가 극히 빨리오는 현상을 발견할수 있었다. 마모형태는 일반 절삭가공과는 다소 차이가 있지만 절삭날의 Crater마모, Flank면 마모 및 안내 패드마모 등의 관점에서 보면 Fig. 8과 절삭속도의 변화에 따라서 Frank 및 Crater마모현상은 여러 가지 형태로 나타났으며, 특히 5m구간이상 가공에서 제1안내 패드가 극히 마모가 심하게 되었다. Fig. 9는 V 42m/min, F=80mm/min에서의 Flank 및 안내 패드의 마모상태를 나타내었다. 그리고 가공길이 10m 이후부터 공구의 직경이 감소되어 구멍가공시 구멍의 직경이 급속히 마모되어 더 이상 가공이 곤란하게 되었다.

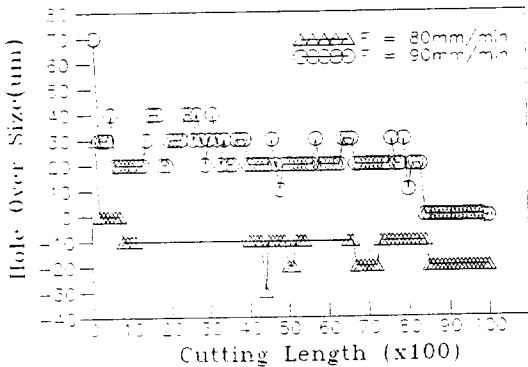


Fig. 7 Hole over size for cutting length(V: 42m/min)

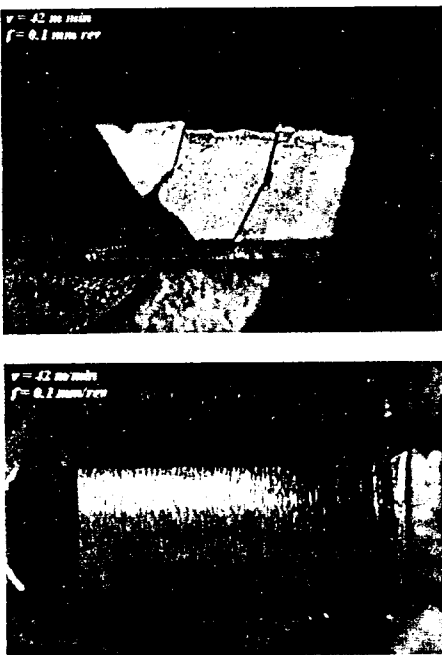


Fig. 9 Photograph of wear states

Cutting Condition	Schematic for Wear
V=58m/min F=108mm/min	
V=58m/min F=140mm/min	
V=70m/min F=108mm/min	
V=42m/min F=80mm/min	
V=42m/min F=90m/min	

Fig. 8 Cutting Edge wear for each conditon

5. 결과

이상과 같이 Single Tube BTA 드릴링 시스템에서 공구재중 P10계열의 Single Edge BTA Drill을 사용하여 깊은구멍을 가공할 때 공작물 SM55C의 최적절삭조건 선정과 공구수명에 대하여 실험을 통하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 절삭조건은 절삭속도 V 42m/min, 이송속도 F 90mm/min가 최적의 조건임을 알 수 있었으며 공구수명은 약10m정도였다..
- (2) 표면기질기는 12 μ m, 진원도는 16 μ m정도 이하로 나타났었다.

참고문헌

1. 전 태욱 · 전인찬 · 심정보 · 장성규, "싱글튜브시스템 BTA공구에 의한 박용부품 소재의 CNC심량가공

- 특성에 관한 연구”. 한국해양공학회지, Vol. 8 No.1 pp. 131~143, (1994)
2. 장 성규 · 심성보 · 전연찬 · 전태욱, “Deep Hole 가공시 공작물의 질삭성에 관한 연구”. 한국정밀공학회 '93년도 춘계학술대회논문집, pp. 76~80, (1993)
 3. 전 태욱 · 전연찬 · 심성보 · 장성규, “싱글튜브시스템 BTA공구를 사용한 SM55C강의 심공가공특성에 관한 연구”, 동아대학교 한국자원개발연구소 연구논문집, Vol. 18, No. 2, pp. 59~70, (1994)
 4. 中村健三의 ; “穴加工 ハンドブック”, pp. 154~200, (1979)
 5. Sakuma,K., Taguchi,K., Katsuki,A; “ Syudy on Deep Hole Boring by BTA System Solid Boring tool -Bahavior of Tool and its Effects on Profile of Machined Hole -”, Bulletin of the JSPE, Vol. 44, No. 9, pp. 1111~1116, (1979)
 6. 大橋誠司; “ドリル加工における適性條件”, 機械技術, Vol. 42, No. 13, pp. 53~57, 1994
 7. 장성규 · 조규제 · 전연찬; “BTA드릴에 의한 심공가공시 가공면 형상에 관한 연구”, 동아대학교 생산기술연구소, 장간호, pp. 57~64, 1996
 8. 유경곤 · 장성규 · 전연찬; “BTA드릴에 의한 깊은 구멍가공시 가공구멍의 확대량에 관한 연구”, 창원기능대학논문집, Vol. 13, pp. 67~82, 1995