

# BTA드릴에 의한 SM55C의 심공가공시 최적절삭조건과 공구수명에 관한 연구

장성규\*, 전언찬\*\*

## A Study on Optimum Cutting Conditions and Tool Life in Deep Hole Drilling for SM55C by BTA Drill

Seong-Gyu Chang\*, Eon-Chan Jeon\*\*

### ABSTRACT

The deep hole drilling has an increasing demands because of its wide range applications and its good productivity. The BTA drills are capable of machining for having a large length to diameter ratio in single pass to higher degree of accuracy and surface finish. It's really necessary that the investigation for the deep hole drilling by the BTA drill because its required quality should be satisfied with single pass. This thesis deal with the experimental results obtained during single tube BTA system machining on SM55C steel for different machining conditions. The results of the investigation on the optimum cutting condition selecting and tool life reveals as follows. (1) The optimum cutting condition was cutting speed,  $V=42$  m/min and feed speed,  $F=90$  mm/min and the tool life was about 10 meters. (2) Surface roughness was  $12\mu\text{m}$  and the roundness was less  $16\mu\text{m}$  using single edge BTA drill in testing cutting condition.

**Key Words** : Optimum Cutting Condition(최적절삭조건), Tool Life(공구수명), Surface Roughness (표면거칠기), Roundness(진원도), BTA drill(BTA드릴)

### 1. 서론

기계가공 중에서 구멍가공이 차지하는 비율은 매우 높으며, 가공기술이 발달함에 따라서 가공 정밀도가 요구되어진다. 그러나 구멍의 직경에 비하여 길이가 길어지면 칩의 배출, 절삭날에 윤활이 어려워지고, 공구의 진동이 발생하기 때문에 일반적인 가공으로는 불가능할 경우가

많다. 따라서 이에 적절한 가공방법은 고압력의 절삭유를 공급할 수 있는 공구를 이용하여 가공하는 것으로서 그 대표적인 방법으로는 스페이드 드릴(Spade Drill), 건드릴(Gun Drill) 및 BTA드릴에 의한 심공가공법이다. 이들 가운데 BTA드릴은 다른 가공 공구에 비하여 우수한 가공능률을 갖고 있다<sup>(1~5)</sup>. 이 공구는 절삭날 외에 안내패드가 있으며, 이것에 의해 절삭 중에 가공된 구멍면

\* 동의공업대학 자동차과  
\*\* 동아대학교 기계공학과

과 접촉함에 따라 절삭날에서의 평행과 자기 안내작용 효과를 얻을 수 있다<sup>6)</sup>. 이러한 BTA드릴에 의한 가공방법은 종래  $\phi 20$ 이상에만 적용하던 것이 최근에는 공구의 개발이 가속화되어  $\phi 14$ 의 작은 구멍에도 적용되고 있다.

그러나 이들 공구의 사용은 적용사례가 적고, 각종 공작물에 대한 적정 절삭조건이 제시되지 않을 뿐만 아니라, 공구의 특성상 버니싱작용에 의한 가공경화가 일어날 수 있으므로 적절한 작업조건이 필요하다. 그리고 특히 강의 심공가공에서는 공구수명 외에 가공구멍의 정밀도, 가공면의 품질이 문제가 되는 경우가 많다<sup>7~8)</sup>.

따라서 본 연구는 Single Tube BTA드릴링 시스템에서 단인BTA드릴(Single Edge BTA Drill)을 사용하여 자동차용 부품의 소재로 많이 사용하고 있는 SM55C를 심공 가공할 때 공작물의 최적절삭 조건의 선정과 공구수명에 대하여 실험을 통하여 분석하고자 하였다.

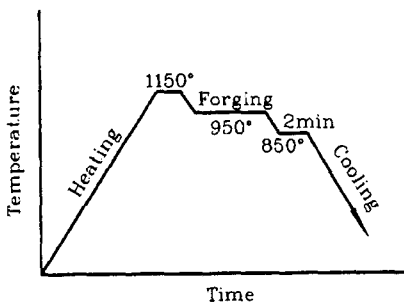
## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 시험편 및 공구

본 실험에서 사용된 시험편은 자동차용 구동장치의 부품으로 사용하는 Sliding Yoke로서 기계구조용 탄소강인 SM55C이며, 그 화학적 성분은 Table 1과 같다. 그리고 시험편은 Fig. 1의 a)와 같이  $1150^{\circ}\text{C}$ 까지 가열하여 약  $950^{\circ}\text{C}$ 에서 단조작업하고 열처리하는 단조 담금질방식으로 약  $850^{\circ}\text{C}$ 이상의 온도에서 단조열과 충격에너지를 이용하여 담금질조에 2분 이상 침적하여 열처리가 이루어

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

C	Si	Mn	P	S
0.56	0.25	0.75	0.025	0.030



a) Working condition

어지도록 관리를 하였다. 그리고 Fig. 1의 b)와 같이 가공성을 향상시키기 위하여  $650^{\circ}\text{C}$ 에서 약 2시간동안 뜨임을 실시하였다. 이때 나타난 시험편의 기계적 성질은 Table 2와 같고 가공길이는 100mm로 하였다.

실험을 위하여 외경 및 단면을 1차 가공하였으며, 사용된 공구는 직경이  $\phi 17.1$ 로서 인서트가 초경 P10계열인 BTA드릴로서 형상은 Fig. 2와 같고, 1개의 절삭날, 안내 및 버니싱 작용을 하는 2개의 안내패드 및 공구본체로 구성되어 있다.

Table 2 Mechanical properties of the workpiece

Yield strength(MPa)	Tensile strength(MPa)	Elongation(%)	Hardness(H <sub>B</sub> )
539	735	10	232

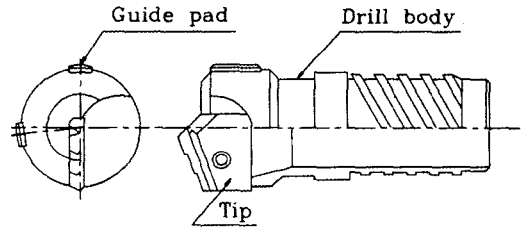
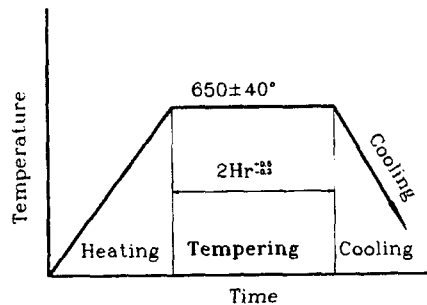


Fig. 2 Shape of the BTA drill

### 2.2 실험장치

본 실험에 사용된 장치는 2-Spindle type의 CNC deep hole drilling M/C (Model: STGA2-450CNC)으로서 가공능력은 최대  $\phi 32$ , 드릴링 깊이 최대



b) Tempering condition

Fig. 1 Heating treatment condition of workpiece

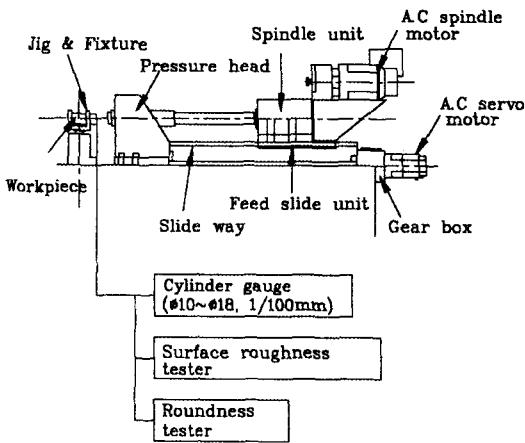


Fig. 3 Schematic diagram of the experimental apparatus

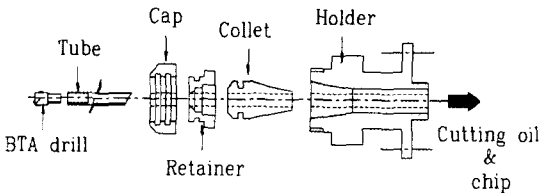


Fig. 4 Tooling system of the BTA drilling

250mm, 스피들의 회전수는 0~4,500rpm까지 변환 가능한 기계이다. Fig. 3은 실험장치의 개략도에 대하여 나타내었다.

그리고 심공가공을 하기 위해 구성한 Tooling System을 Fig. 4에 나타내었으며, 압력 헤드부에 설치되어 있는 가이드 부쉬의 형태는 고정형 부쉬로 초경 P10계열을 사용하였다. 시험편의 내경측정은 1/100mm의 실린더 게이지를 이용하여 변화량을 측정하였고, 표면거칠기는 표면조도계(Rank taylor hobson, Perthometer), 진원도는 진원도 측정기(Feinprof)로 측정하였다.

### 2.3 실험방법

본 실험은 CNC심공가공기 축의 콜렛 홀더에 튜브를 고정시키고, 그 선단에 Fig. 2의 공구를 장착시켰다. 그리고 Fig. 5에서와 같이 절삭유는 압력 헤드를 통하여 공구의 외측에서 공급할 수 있도록 하여 공구와 공작물의 가공이 이루어지는 곳에 냉각과 윤활 작용 후, 공구의 내부로 칩과 함께 배출되는 구조이다. 실험은 공구회전 및 공구 이송방식을 채택하였으며, 축은 1-Feed unit에서

2축이 동시에 가동될 수 있는 구조로 하고, 절삭속도와 이송속도를 변화시키면서 드릴 가공하였다. 이때 가공길이는 100mm로 하였으며, 실험에 사용된 절삭유는 비수용성 황화염화계(KS 2종 13호)로서 심공가공전용 절삭유인 Yushiron cut DS-50N을 사용하였다.

측정방법으로서는 각 시험편의 50mm구간에서 구멍 확대량은 X-Y방향으로 측정된 값을 평균하여 분석하였으며, 표면거칠기 및 진원도는 5m가공 후 측정된 값으로 분석하였다.

### 2.4. 최적절삭조건을 산출하는 방법

최적 절삭조건은 등수명곡선에서 용이하게 구할 수 있지만, 사용자가 사용하는 공구나 공작물에 대하여 발표되지 않은 경우가 많다. 이와 같은 경우 현장에서 적정조건을 간단하게 산출하는 방법<sup>(9)</sup>으로서 Fig. 6에서와 같이 미지의 최적조건을 찾는 방법은 현재 예상되는 조건, 절삭속도  $V = 58 \text{ m/min}$ , 1분마다 구멍 뚫기 이송속도  $F = 108 \text{ mm/min}$ 으로 일정의 가공, 즉 5m 실시하였으며 이때를 조건1로 하였다.

다음 조건은 동일 종류의 새로운 공구로 교환하여 절삭속도  $V = 58 \text{ m/min}$ 으로 그대로 하고 이송속도를 30% 증가시킨  $F = 140 \text{ mm/min}$ 을 조건2로서 이들 마모량을 분석하였다.

조건3은 조건1에서 공구의 마모상태 공작물의 가공상태를 확인하여 절삭속도  $V = 70 \text{ m/min}$ 으로 20% 증가시키고 이송속도는  $F = 108 \text{ mm/min}$ 의 동일 조건으로 가공하여 조건 1 및 2와 비교한다. 이것을 기준으로 하여 조건4를 한다.

조건4는 예측한 기준절삭, 즉 조건1에서 낮은 절삭상태로 변경하여 비교한다. 이때의 절삭속도  $V = 42 \text{ m/min}$ 은 27%, 이송속도  $F = 80 \text{ mm/min}$ 으로 26% 감소시켜 마모량을 측정하여 분석하였다.

조건5는 각 조건에서 얻어진 정보를 기준으로 하여 설정하며 본 연구는 조건4에서의 절삭속도  $V = 42 \text{ m/min}$ 은 동일하게 유지하고, 이송속도  $F = 90 \text{ mm/min}$ 으로 13% 증가시켜 비교 분석하였다. 이와 같이 총 가공길이를 5m을 기준으로한 공작물을 동일 개수 가공하여 공구의 마모량을 비교하고, 각 조건을 변화시키는 것이 바람직한지를 비교 평가하였다. 마모량이 적은 조건을 선정하여 미지의 최적조건에 가깝게 하고, 그리고 가공에 요구되어지는 최소의 품질이 확보되는 범위에서 완전 마모가 일어날 때까지 실험을 실시하여 공구의 수명으로 하였다.

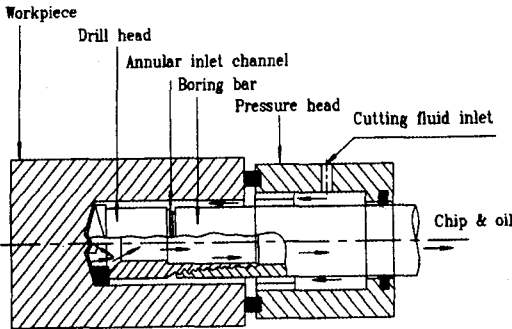


Fig. 5 Principle of the BTA drilling process.

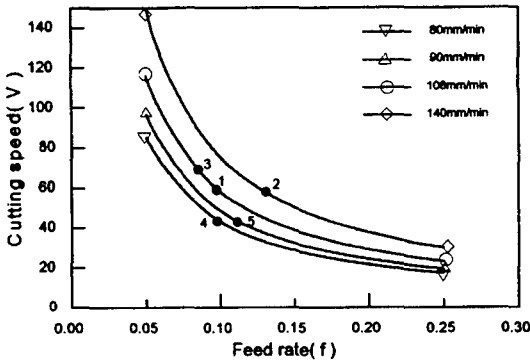


Fig. 6 Method of tool life prediction

### 3. Drill의 수명 산정

수명곡선을 나타내는 기본 식으로서는 Talyor의 공구 수명방정식이 널리 사용되고 있으며 선반, 밀링 탭가공 등에 있어서는 V-T선도를 이용한 많은 연구가 발표되고 있다. 그러나 가공현장에서는 직경, 가공깊이, 공작물 재질 등은 도면에 지시되어 있고, 적절한 절삭속도와 이송속도를 선택하는 것이 필요하다. 따라서 절삭속도와 이송속도의 조합을 변화시켜 절삭시험을 실시하여 요구되는 품질을 최소로 만족할 때까지의 수명을 산정하여 수명곡선을 구한다.

드릴가공에서 수명을 표현하는 방법은 가공 길이로 나타내는 것과 가공시간으로 나타내는 것 등 2가지 방법이 있으며 그 하나가 (1)식과 같다.

$$L = nl \tag{1}$$

L: 드릴 수명길이(mm)

n: 드릴이 수명이 끝날 때까지 가공한 구멍의 수  
l: 가공구멍의 깊이(mm)

그리고 두 번째의 표현방법으로서는 식(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{nl}{Nf} = \frac{\pi Dnl}{1000Vf} \tag{2}$$

T : 드릴수명시간(min)  
N : 주축회수(rpm)  
f : 이송량(mm/rev)  
D : 드릴직경(mm)  
V : 절삭속도(m/min)  
 $\pi$  : 원주율

식(1)에 있어서 드릴의 수명은 드릴이 수명에 도달할 때까지 가공된 구멍깊이의 총합 즉, L mm로 표현하고 식(2)에서는 가공할 수 있는 시간(절삭시간) 즉, T min으로 표현한다. 그리고 어느 경우에 있어서도 구멍의 깊이는 항상 일정하다고 가정하며, 일반적으로 식(1)의 정의를 사용하는 경우가 많지만 식(2)에 의한 정의를 이용하는 경우가 전혀 없지는 않다. 그러나 본 논문에서는 식(1)의 정의에 의하여 드릴수명은 L mm로 표현하는 것으로 한다. 실험조건을 광범위하게 변화시켜 드릴수명시험을 실시할 경우, 드릴수명 L mm로 표현하는 것만으로 구체적인 변화의 양상을 파악하는 것이 곤란하지만, 드릴 수명을 약5,000mm가공하였을 때를 기준으로 하여 절삭속도를 채택하였다.

이상의 실험은 정속이송에 있어서 드릴수명시험에 대한 것이지만 다소 정압이송에서 드릴수명시험을 행하는 경우도 있다. 그러나 본 논문에서는 정속이송에 의한 실험을 실시하도록 하였다.

### 4. 실험결과 및 고찰

BTA드릴 가공에 의한 가공면의 거칠기는 일반적으로 공작물의 재질이 강일 경우에는 9~25S(Rmax)정도이며, 가공정밀도는 공구제작 메이커나 기계의 정밀도에 따라서 다소 차이가 있지만 일반적으로 IT7~8급 정도이며, 대체적으로 리머 등과 같은 2차 가공은 필요하지 않는다<sup>(4)</sup>.

Table 3에서는 각 조건에 따라서 표면거칠기 및 진원도의 측정결과를 나타내었다.

각 조건별로 보면 단인 절삭날을 갖는 BTA드릴에서는 5 m구간에서는 5 $\mu$ m이하의 범위로서 우수한 표면거칠기를 나타내고 있다. 이것은 BTA드릴 작업시 안내 패드의 버니싱(Burnishing)효과에 의한 것으로서 예측된다<sup>(6)</sup>.

Table 3 Surface roughness and roundness for each cutting conditions

Cutting condition	Surface roughness (Rmax)	Roundness
1 V=58m/min F=108mm/min	3.42 $\mu$ m	6.14 $\mu$ m
2 V=58m/min F=140mm/min	5.00 $\mu$ m	7.82 $\mu$ m
3 V=70m/min F=108mm/min	3.38 $\mu$ m	10.38 $\mu$ m
4 V=42m/min F=80mm/min	1.73 $\mu$ m	15.98 $\mu$ m
5 V=42m/min F=90mm/min	3.39 $\mu$ m	12.47 $\mu$ m

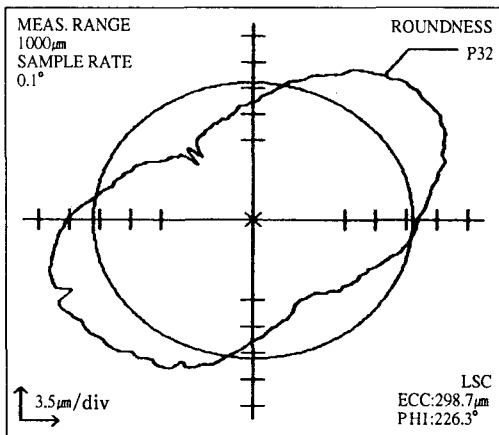


Fig. 7 Type of roundness for V= 42m/min, F= 80mm/min

그리고 진원도는 복합형(Multi tip head with brazed tips)의 드릴에서는 보통 12 $\mu$ m정도의 범위에서 분포되어 있지만<sup>(10)</sup> 단인 절삭날 드릴에서는 16 $\mu$ m이하의 범위로 분포되어 있다. 이것은 드릴의 구조상 드릴 가공시의 절삭력의 분포가 단인 절삭날에 집중되어 있으며, 이것은 힘의 평행법칙에 따라서 제1안내 패드에 집중적으로 힘이 작용하여 일어나는 것으로 생각된다. 진원도

형상은 다각형 형상이 나타나며, BTA드릴 작업에서는 3각형 및 5각형이 주로 나타나고 있지만<sup>(6),(10)</sup> 절삭속도 V= 42 m/min, F= 90 mm/min에서는 Fig. 7과 같은 타원형의 형상이 나타나고 있다.

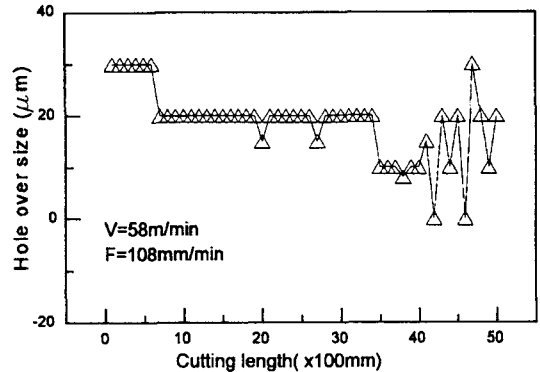


Fig. 8 Hole over size for cutting length(V=58m/min, F=108mm/min)

Fig. 8은 조건1의 절삭속도 V= 58 m/min, 이송속도 F= 108 mm/min일 때의 X-Y방향으로 측정된 결과를 평균한 구멍확대량을 가공길이에 대하여 분포를 나타낸 것으로 이때 초기구간에서 30 $\mu$ m정도로 구멍이 공구직경보다 확대되는 경향으로 나타났으며 점차 20 $\mu$ m으로 3.5 m구간까지 지속되었지만 4m구간 이후부터는 구멍의 직경변화가 다소 일어나고 있음을 볼 수 있다. 이것은 가공이 진행됨에 따라 외측 절삭날에서 심하게 마멸이 일어나므로 발생하는 현상으로서 안내 패드가 공구의 절삭력을 충분히 지탱하지 못하여 일어나는 현상으로 예측된다.

Fig. 9는 조건2의 상태인 절삭속도 V= 58 m/min, 이송속도 F=140 mm/min일 때의 구멍 확대량 분포를 나타내었으며, 이것은 초기구간부터 5m구간까지 50 $\mu$ m의 확대에서부터 -20 $\mu$ m까지 축소되는 현상이 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 절삭속도보다 이송속도가 다소 높을 경우에 일어나는 현상으로서 절삭가공 시 튜브의 과도한 힘을 받아 튜브의 흔들림 커져 공구선단에 영향을 주었기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 10은 조건3의 절삭속도 V= 70 m/min, 이송속도 F= 108 mm/min일 때의 구멍확대량 분포를 나타내었다. 여기서는 초기구간부터 5 m까지 최대 30 $\mu$ m까지 확대되며, 그리고 -10 $\mu$ m축소가 나타나고 있다. 그러나 이 조건에서는 어느 구간에서나 지속적으로 유지되는 구

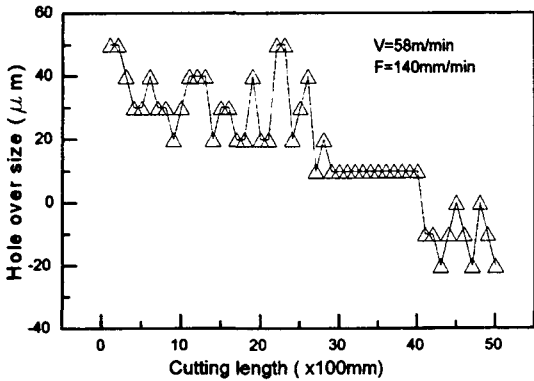


Fig. 9 Hole over size for cutting length(V=58m/min, F=140mm/min)

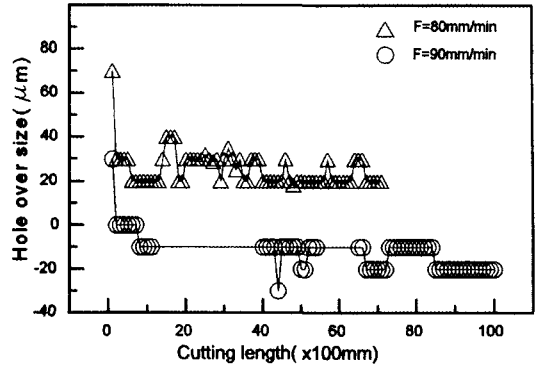


Fig. 11 Hole over size for cutting length(V=42m/min)

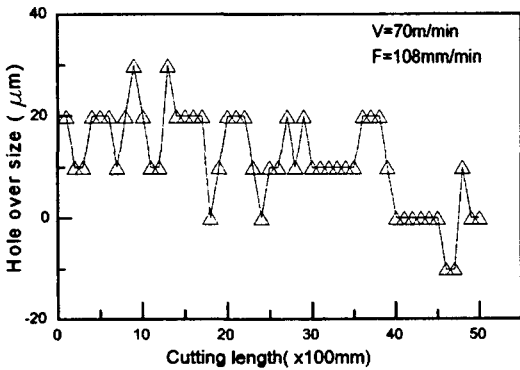


Fig. 10 Hole over size for cutting length(V=70m/min, F=108mm/min)

간이 없이 직경의 변화가 다소 심하게 일어나는 것이 관측되었다. 이러한 현상은 절삭속도가 다소 높을 경우에 일어날 수 있다고 생각된다.

그리고 Fig. 11은 절삭속도 V= 42 m/min의 경우 구멍의 확대량에 대한 분포를 나타내었다. 여기서 초기구간은 30 $\mu$ m정도 확대되어 나타나며, 각 구간별 직경의 변화량도 안정적으로 일어나는 것을 볼 수 있다. 따라서 단인BTA드릴의 안정적인 절삭조건은 V= 42m/min의 범위임을 알 수 있었다. 그리고 각 조건에서 실험한 결과 구멍의 확대 및 축소는 30 $\mu$ m ~ -20 $\mu$ m으로 나타났으며, 복합형의 드릴에서 구멍가공길이의 변화에 따른 내경 변화는 10m구간에서 20 $\mu$ m정도 확대되는 현상과<sup>(11)</sup> 비교하여 보면, 공구의 마모가 극히 빨리 오는 현상을 발견할 수 있었다.

마모형태는 일반 절삭가공과는 다소 차이가 있지만 절삭날의 크레이트 마모, 플랭크면 마모 및 안내 패드마모

Cutting condition	Wear type
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=90mm/min	

Fig. 12 Wear type for each conditions

등의 관점에서 보면 Fig. 12와 같이 절삭속도의 변화에 따라서 플랭크 및 크레이트 마모현상은 여러 가지 형태로 나타났으며, 특히 5m구간 이상에서는 제1안내 패드의 마모가 심하게 나타났다.

절삭속도의 변화에 따른 영향은 크게 변화를 보이지 않지만 이송속도의 변화에 따라 크레이트 마모와 직경을 결정할 수 있는 외측날의 마진부의 마모가 두드러지게 나타

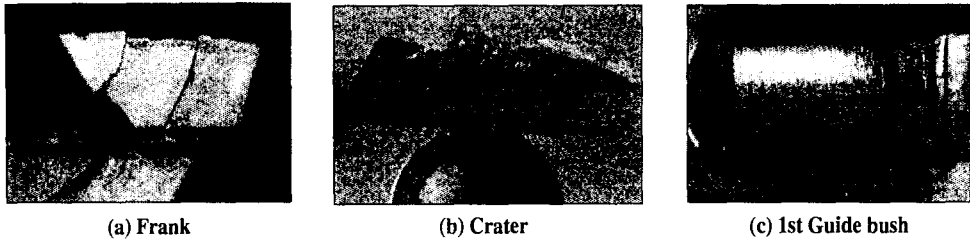


Fig. 13 Photograph of drill wear states

남을 볼 수 있다. 이러한 현상은 절삭가공 시 이송에 따른 스러스트의 증가로 튜브의 휨이 발생하고 이 휨에 의한 진동을 일으켜 마모가 증가되는 것으로 생각된다.

Fig. 13은  $V=42$  m/min,  $F=80$  mm/min에서의 플랭크 및 안내 패드의 마모상태를 나타내었다. 그리고 가공길이 10 m이후부터 공구의 직경이 감소되어, 구멍가공 시 구멍의 직경이 급속히 마모되어 더 이상 가공이 곤란하게 되었다.

### 5. 결 론

이상과 같이 Single Tube BTA 드릴링 시스템에서 공구재종 P10계열의 단인BTA드릴(Single Edge BTA Drill)을 사용하여 심공을 가공할 때 공작물 SM55C의 최적절삭 조건 선정과 공구수명에 대하여 실험을 통하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 절삭조건은 절삭속도  $V=42$ m/min, 이송속도  $F=90$ m/min이 최적조건이었으며, 공구수명은 약10m정도였다.
- 2) 전 절삭조건에서 표면거칠기는  $12\mu\text{m}$ 이하로서 안정적으로 나타났다.
- 3) 전 절삭조건에서 진원도는  $16\mu\text{m}$ 이하로 나타났다.

### 참 고 문 헌

1. 전태욱, 전언찬, 심성보, 장성규, "싱글튜브시스템 BTA공구에 의한 박용부품 소재의 CNC 심공가공특성에 관한 연구," 한국해양공학회지, Vol. 8, No. 1, pp. 131-143, 1994.
2. 장성규, 심성보, 전언찬, 전태욱, "Deep Hole 가공시 공작물의 절삭성에 관한 연구," 한국정밀공학회, '93년도 춘계학술대회논문집, pp. 76-80, 1993.
3. 전태욱, 전언찬, 심성보, 장성규, "싱글튜브시스템

- BTA공구를 사용한 SM55C강의 심공가공 특성에 관한 연구," 동아대학교 한국자원개발연구소 연구논문집, Vol. 18, No. 2, pp. 59-70, 1994.
4. 中村健三外 ; "穴加工ハンドブック," pp. 154-200, 1979.
5. Sakuma, K., Taguchi, K., Katsuki, A., "Study on Deep Hole Boring by BTA System Solid Boring Tool -Behavior of Tool and its Effects on Profile of Machined Hole-," Bulletin of the JSPE, Vol. 44, No. 9, pp. 1111-1116, 1979.
6. Sakuma, K., Taguchi, K., Katsuki, A., "Study on Deep Hole Boring by BTA System Solid Boring Tool -The Effects of Shapes of Guide Pads on Hole Accuracy -," JSPE, Vol. 46, No. 8, pp. 1009-1014, 1980.
7. Sakuma, K., Taguchi, K., Kinjo, S., "Study on Deep Hole Drilling with Solid Boring Tools, -The Effect of Tool Materials on the Cutting Performance-," Bulletin of the JSME, Vol. 21, No. 153, pp. 532-539, 1978.
8. Sakuma, K., Taguchi, K., Katsuki, A., "Axial Deviation of Hole in Drilling(1st Report)-Influence of Misalignments in Drilling System-," JSPE, Vol. 49, No. 10, pp. 1379-1384, 1983.
9. 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.
10. 장성규, 조규재, 전언찬, "BTA드릴에 의한 심공가공 시 가공면 형상에 관한 연구," 동아대학교 생산기술연구소 논문집, 창간호, pp. 57-64, 1996.
11. 유경곤, 장성규, 전언찬, "BTA드릴에 의한 깊은 구멍가공시 가공구멍의 확대량에 관한 연구," 창원기능대학 논문집, Vol. 13, pp. 67~82, 1995.