

공구의 헬리켈 운동을 이용한 절·연삭 구멍가공 특성

박 규 열*

Drilling Characteristics using the Helical Motion of the Tools

Kyu-Yeol Park*



1. 서 론

절삭공구를 이용하여 구멍형상을 가공하고자 할 경우에는 전용공구로서 드릴(Drill)이 사용되며, 드릴의 회전축 방향으로 공구를 직선 이송시키는 방법이 적용된다. 그러나 이와 같은 형태의 구멍가공 중에는 일반 절삭가공에 비하여 가공기구에 기인한 커다란 추력(Thrust force)이 발생되며 절삭발열의 정체현상 등의 문제로 인하여 구멍가공의 고속화에는 한계가 존재하는 것으로 알려져 있다^[1-5]. 또한 연삭숫돌을 사용하는 세라믹 재료 등과 같은 고강도 재료의 구멍가공 중에는 전술한 가공기구 상의 문제 이외에도 칩의 배출이 곤란하여 숫돌의 눈매움현상>Loading)이 극심하게 발생된다. 이와 같이 구멍가공의

제한적인 가공능률은 정밀부품 및 금형과 같이 다양한 형상가공이 요구되는 제품의 제조 시에 생산능률의 저하요인으로 작용하게 된다.

한편, 구멍가공 중에 발생하는 다양한 문제점을 극복하고 가공능률 및 가공정도의 향상을 도모하기 위하여 많은 연구가 수행되고 있다. 일례로, John S. Agapiou는 절삭구멍가공 중에 드릴의 치끝에지(Chisel edge)를 없애고 공구를 통해 직접 절삭부위를 냉각, 윤활시킬 수 있도록 절삭유의 공급경로를 갖는 새로운 드릴을 설계하였다^[6]. 기존의 드릴형태를 변화시켜 드릴의 가공효과를 증대시키고자 하는 연구가 보고되어 있다^[7]. 또한 드릴이송의 형태를 조절하기 위한 부대장치를 설계하고, 가공시 발생

* 울산대학교 기계공학부

하는 버(Burr)를 줄이기 위한 최적의 조건을 산출하는 등 기존의 드릴형태를 유지하면서 가공방법의 보완이나 부가적인 장치의 활용을 통한 구멍가공 작업의 효율성을 증대시키는 등의 연구 등이 수행되어 왔다^[8,9]. 또한 다이아몬드 슷돌을 사용하는 세라믹 등의 고강도 재료의 연삭구멍가공 분야에서는 가공 중에 초음파 혹은 저주파의 진동을 부가하는 진동중첩 구멍가공법이 개발되어 있다^[10-12]. 그러나 이와 같은 많은 연구개발에도 불구하고 구멍가공에 있어서 전술한 가공기구에 연유한 제반 문제점을 명쾌하게 극복하기에는 한계가 존재한다. 따라서 고능률, 고정도 구멍가공 방법의 개발은 정밀기계 부품 및 금형 등의 생산성 향상은 물론 높은 가공정도의 확보를 통하여 제조업 분야에 있어서의 제품설계 및 생산방식의 융통성 확장에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본문에서는 구멍가공에 있어서의 고능률화와 고정도화를 구현하기 위하여 제안, 개발된 절·연삭 공구의 헬리컬 운동(궤적)을 이용하는 구멍가공법 및 이를 적용한 구멍가공 특성에 관해서 소개한다.

2. 헬리컬 운동을 이용한 구멍가공법

그림 1은 절·연삭공구의 헬리컬 운동을 이용한 구멍가공법의 개요를 나타낸다. 구멍형상의 가공법이라는 관점에서는 드릴 혹은 코어드릴을 사용하는 일반 구멍가공과 동일 하지만 공구의 궤적이 구멍깊이 방향의 일직선 운동이 아닌 x, y, z 삼축의 동시운동으로 구성되는 헬리컬 운동을 이용한다는 차이를 갖는다.

헬리컬 운동을 이용한 구멍가공에 있어서는 공구의 운동이 절삭속도의 발생을 위한 회전운동(Rotational motion)과 헬리컬 궤적의 생성을 위한 공전운동(Revolutional motion)으로 구성된다. 따라서 헬리컬 궤적에 의해서 가공되는 구멍의 반경: R_m 은 공구반경: R_t 과 헬리컬(공전)반경: R_h 에 의하여 하기의 식과 같이 결정된다.

$$R_m = R_t + R_h \quad (\text{단, } R_h \neq 0) \quad (1)$$

따라서 일반 구멍가공에서는 목표로 하는 가공구멍의 직경에 상응하는 각각의 공구가 필요하지만 헬리컬 궤적을 이용할 경우에는 단일공구를 사용하여 R_h 를 변경함으로써 다양한 직경의 구멍가공이 가능하다. 또한 공구직경과 가공구멍 간에 존재하는 간극을 통하여 절삭점에 절삭

유체의 공급이 용이함으로 발생된 절삭열의 발산이 원활한 가공기구 상의 특징을 갖는다. 한편, 헬리컬 궤적에서는 헬리컬(공전)반경: R_h 에 따른 공전방향의 원주거리와 헬리컬 피치: p 에 의해서 단일피치의 깊이를 가공하는데 필요한 공구의 실제

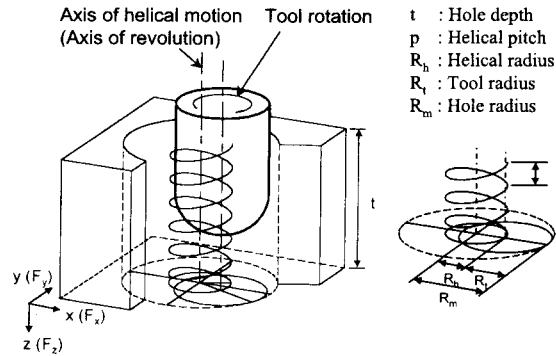


그림 1. 공구의 헬리컬 운동을 이용한 구멍 가공방식의 개요

이송량: S 와 구멍의 깊이방향에 대한 공구의 이송경사각(Helical-feed angle): θ 가 다음의 식(2)로 나타내게 된다.

$$S = \sqrt{(2\pi R_h)^2 + p^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{p}{2\pi R_h}\right) \quad (2)$$

따라서 임의의 깊이: t 를 가공하기 위한 공구의 총이송량: S_{tot} 는 식(3)과 같다.

$$S_{tot} = S \cdot n = \frac{S \cdot t}{p} > t \quad (\text{이때, } n = t/p) \quad (3)$$

3. 헬리컬 운동을 이용한 구멍가공 특성

3. 1 실험장치 및 피삭재

본 문에서 제시되는 실험결과는 국내 화천중공업(HWACHEON HEAVY INDUSTRY Co., Ltd.)사의 머시닝센터(Machining Center; M/C) SIRIUS-2형을 사용하여 얻어진 것이다. 본 M/C는 주축의 최고회전수가

8,000 rpm이며 절삭속도를 높이기 위하여 DAISHOWA SEIKI Co., Ltd.(Japan)의 5배속 증속스핀들을 설치하여 최고회전수를 20,000 rpm으로 확장하였다. 절삭구멍가공용 공구는 $\phi 10$ mm의 직경을 갖는 고속도강(HSS)과 알루미늄(Al) 및 질화 티타늄(TiN)으로 복합코팅된 초경합금재(Al-TiN coated WC) 볼엔드밀을 사용하였다. 또한 연삭구멍가공의 경우에는 $\phi 6$ mm의 코어를 갖는 $\phi 10$ mm의 금속결합재 다이아몬드숫돌(Metallic bond diamond wheel)의 일반형 코어드릴(CIB-D core drill)과 코어드릴

것으로 알려진 탄소섬유강화 플라스틱(Carbon fiber reinforced plastics: CFRP), 고강도 재료로 알려진 지르코니아(ZrO_2)와 초경합금(Cemented carbide: WC)을 사용하였다. 이 중에서 초경합금의 경우에는 일반적으로 연삭구멍가공에 거의 불가능하여 재료의 전기도전성을 이용한 방전가공법이 적용되고 있다.

3. 2 실험결과 및 고찰

[a] 볼엔드밀을 사용한 절삭구멍가공

그림 3은 PMMA를 사용하여 볼엔드밀 공구의 헬리컬 운동을 이용한 구멍가공 중에 발생하는 절삭력의 형태를 나타낸다. 일반 드릴을 사용하는 구멍가공에서는 추력과 토오르크만이 발생하는 반면, 헬리컬 궤적을 이용하는 경우에는 추력에 해당하는 F_z 와 공구의 측면에서 원주방향의 성분에 해당하는 절삭분력 F_x , F_y 가 발생된다. 그리고 평면상에 작용하는 이 두 절삭분력 F_x 와 F_y 는 동일한 크기를 갖는 Sine의 형태로서 상호간에 90° 의 위상차이를 갖게된다. 이 때 F_x 와 F_y 는 공구의 절삭작용에 의해 공구에 작용하는 토오르크에 해당한다. 따라서 헬리컬 궤적을 이용한 구멍가공 중에는 원주방향의 절삭분력과 공구홀더의 지지점으로부터 돌출된 공구의 길이를 모멘트 팔로 하는 공구의 굽힘모멘트(Bending moment)가 작용하게 된다. 또한 일정한 깊이를 갖는 구멍의 가공 중에는 공구의 기하학적 형상에 기인하는 공구와 공작물간의 접촉형태에 변화가 발생한다. 따라서 볼엔드밀 공구의 선단부만이 공작물과 접촉하게 되는 가공초기와 공구의 선단부가 공작물을 관통하기 시작하는 가공 후기로 나누어지게 된다. 이러한 현상에 의해 가공후기에 비하여 가공초기에 상대적으로 낮은 절삭력을 갖게 된다. 이와 같은 절삭력의 추이는 일반 드릴을 사용하는 구멍가공에서도 미소하게나마 존재하는 현상으로서 볼엔드밀 공구의 사용 시에는 볼 부위의 곡률과 가공구멍의 깊이와의 상관관계에 의해서 절삭력의 형태가 크게 좌우된다.

그림 4에는 PMMA와 S15C를 사용하여 이송률의 차이에 따른 절삭력의 변화를 나타낸다. 이송률이 커질수록 공구의 단위 회전당의 제거량의 증가와 더불어 절삭력이 점진적으로 커짐을 알 수 있다. 단, PMMA의 경우에는 추력성분인 F_z 가 원주방향성분인 F_x 보다 큰 값을 갖는 반면에 S15C에서는 상반되는 결과로 나타났다. 이는 주로 소재의 기계적, 열적 특성의 차이와 볼엔드밀의 외주부로 갈수록 실질적인 절삭속도가 높아지게 되는 가공기구

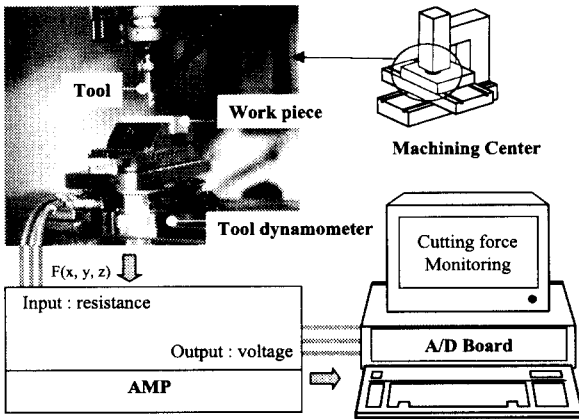


그림 2. 구멍가공용 실험장치의 구성

의 선단부에 볼 엔드밀 형상의 곡률을 성형시킨 볼엔드밀형 코어드릴(CIB-D ball end mill type core drill)의 두 종류를 사용하였다. 일반적으로 CIB-D 숫돌은 주철 분말 중에 다이아몬드 입자를 혼입하여 고온고압 하에서 소결 성형한 것으로 높은 지립보지력과 강도의 특성으로 인하여 세라믹 재료등의 연삭가공에 사용된다. 단, 본문 중에는 세라믹 재료, 초경합금 등의 고강도, 고경도 재료의 연삭구멍가공 중에 발생하는 공구마모 문제를 해결하기 위하여 CIB-D 숫돌을 사용하였다. 구멍가공 실험 중에 발생하는 절삭력의 측정에는 스트레인게이지 타입의 공구동력계(Tool dynamometer)를 사용하였다. 실험장치 및 절삭력 측정의 처리순서는 그림 2와 같다.

절삭구멍가공용 피삭재는 공업재료 중에서 열적, 기계적으로 대조적인 특성을 갖는 열가소성 수지(Thermal plastics)인 PMMA(Poly methyl methacrylate)와 일반 탄소강(S15C)을 선택하여 실험용도에 따라서 사용하였다. 연삭구멍가공에는 절삭가공에서 공구마모가 극심한

에 기인한 것으로서, 특히 열에 취약한 PMMA의 경우에는 절삭발열로 인한 소재의 열화현상이 현저하게 나타난 결과로 생각할 수 있다.

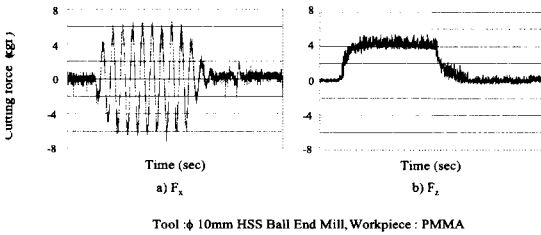


그림 3. 헬리컬 운동에 의한 절삭구멍가공의 절삭력 형태

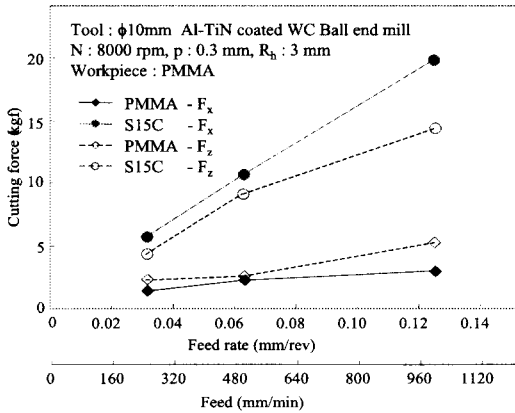


그림 4. 이송률에 따른 절삭력의 변화

그림 5는 PMMA를 사용하여 공구 회전수 및 이송속도의 차이에 따른 절삭력의 변화를 조사한 결과이다. 공구의 회전수가 동일한 조건하에서는 그림 4의 결과와 동일하게 이송속도의 증가와 더불어서 절삭력이 점진적으로 상승하게 된다. 단, 동일한 이송속도의 경우에는 공구 회전수가 높은 조건하에서 절삭력이 감소하였다. 이는 회전수와 이송속도의 상관관계에 의하여 이송률이 변화하며, 이송률이 작은 조건하에서 절삭력이 감소한 결과이다. 또한 동일한 이송속도의 경우, 공구 회전수 16,000rpm에 비하여 8,000rpm의 조건은 이송률이 2배에 상당하며, 이와 같은 조건을 감안할 경우에 동일한 이송률의 조건하에서는 높은 공구 회전수에서 상대적으로 낮은 절삭력이 얻어졌다. 동 결과는 PMMA 대신 S15C를 사용한 그림 6의 실험결과와 일치한다. 이와 같은 사실은 높은 절삭속

도에서 절삭발열에 의한 소재의 항복강도의 저하와 마찰 특성의 향상으로 인하여 절삭력이 감소하는 고속절삭의 효과에 기인하는 것으로 생각할 수 있다. 특히, S15C의 실험결과는 강재료의 열전도능을 고려하면 주로 후술한 마찰특성의 향상이 크게 작용한 것으로 사료된다. 이와 같은 결과로부터, 헬리컬 운동을 이용한 구멍가공에 있어서도 절삭속도의 고속화로 인하여 구멍가공 능력의 향상과 더불어 가공상태의 안정성을 높일 수 있음을 예측할 수 있다.

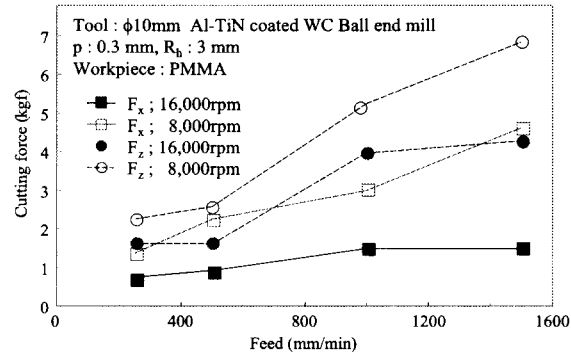


그림 5. 공구회전수에 따른 절삭력의 변화

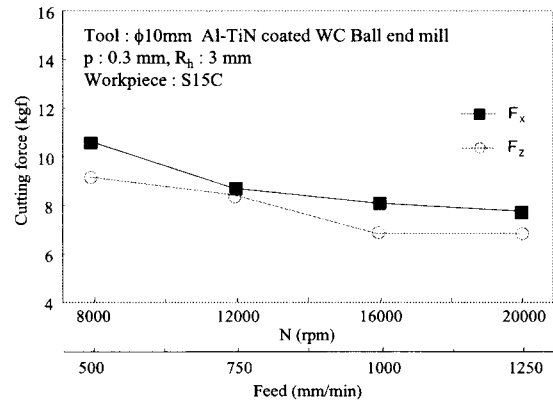


그림 6. 공구회전수 및 이송속도에 따른 절삭력의 변화

헬리컬 궤적의 경우, 헬리컬 피치: p와 헬리컬 반경: R_h 와의 상관관계에 의해서 식 (2)에서 언급한 공구의 이송 경사각이 결정된다. 그림 7은 공구의 이송경사각의 차이에 따른 구멍가공 특성의 차이를 조사한 결과로서, 일정

한 헬리컬 반경의 조건하에서 헬리컬 피치의 변화에 따른 절삭력 F_z 의 변화를 나타낸다. 헬리컬 반경이 상대적으로 작은 0.1mm의 조건하에서, 헬리컬 피치가 큰 영역(공구이송의 경사각이 큰 영역)에서는 절삭력이 급격하게 증가하지만 헬리컬 피치가 점차 적으로 커짐(공구이송의 경사각이 작아짐)에 따라서 절삭력의 상승폭이 완만해지는 것으로 나타났다. 단, 헬리컬 피치에 무관하게 비교적 완만한 공구이송의 경사각을 갖게되는 헬리컬 반경 3mm의 조건하에서는 헬리컬 피치의 증가와 더불어 절삭력이 점진적으로 상승하는 것을 알 수 있다. 한편, 일정한 헬리컬 피치의 조건하에서 헬리컬 반경의 변화에 따른 절삭력의 변화를 조사한 결과, 그림 8에 나타난 바와 같이 헬리컬 반경이 작은 영역(공구이송의 경사각이 큰 영역)에서는 특히 원주방향 성분의 절삭력이 급격히 상승하며 헬리

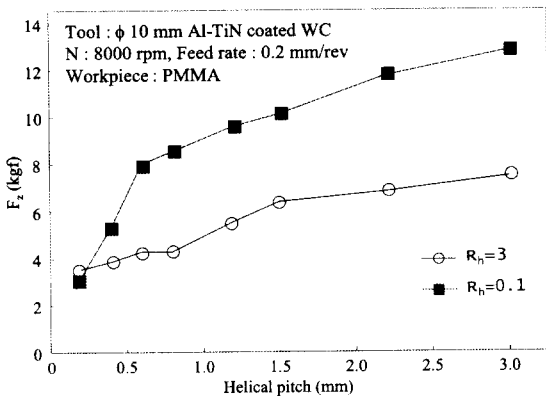


그림 7. 공구 이송경사각에 따른 절삭력의 변화-1

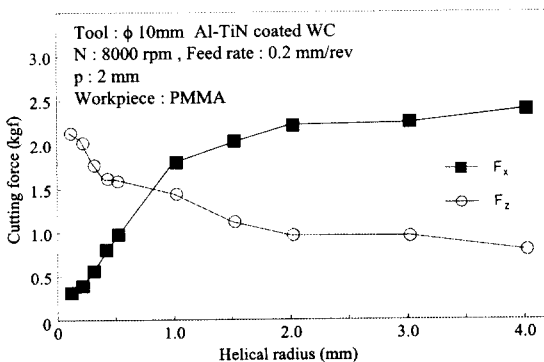


그림 8. 공구 이송경사각의 차이에 따른 절삭력의 변화-2
 궤 반경의 증가와 더불어 완만해지는 것으로 나타났다. 이

두 실험결과에서 시사하는 바와 같이 공구이송의 경사각은 구멍가공 시에 각각의 절삭분력의 크기를 결정하는 중요한 요소로 작용하게 된다. 즉, 공구의 이송경사각이 큰 경우에는 절삭능력이 낮은 공구의 중심부위에서 절삭작용이 이루어지며, 따라서 공구이송 중에 수직방향의 운동성분이 증가함으로써 상대적으로 추력성분이 증대하는 것으로 판단된다. 이와 같은 사실은 그림 9를 통해서 설명될 수 있다.

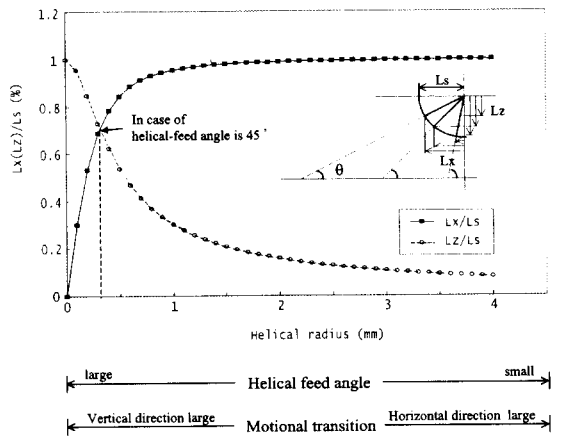


그림 9. 공구의 이송경사각과 운동성분의 관계

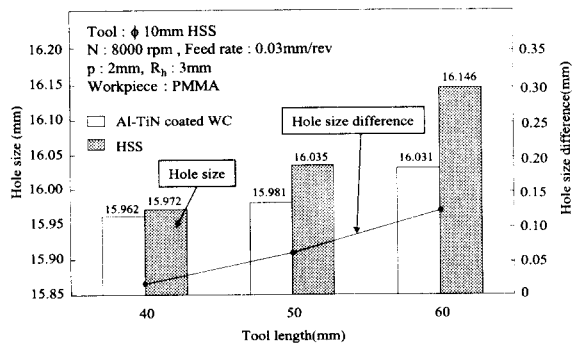
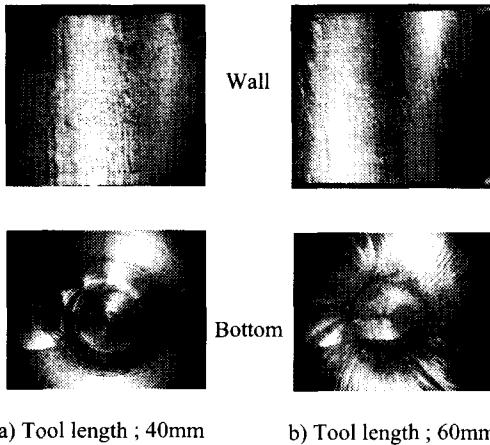


그림 10. 공구돌출길이에 따른 가공경 오차

그림 10에는 서로 다른 재질을 갖는 공구를 사용하여 공구출너로부터 돌출된 공구의 길이의 차이에 따른 가공구멍의 치수오차를 조사한 결과를 나타낸다. 공구의 돌출길이가 짧아지고 공구재질의 강성이 높아질수록 보다 높은 가공정도 즉, 가공구멍 직경의 오차가 작아짐을 알 수

있다. 이와 같은 사실은 헬리컬 궤적을 이용하는 구멍가공의 경우에는 전술한 바와 같이 절삭점에서 공구의 회전중심방향으로 굽힘모멘트 성분의 힘이 작용하는 가공기구에 기인한 결과이다. 따라서 헬리컬 궤적을 이용하는 구멍가공에 있어서는 가공구멍의 치수정도가 공구재질의 강성 및 장착조건에 크게 좌우되는 것으로 판단할 수 있다.



a) Tool length ; 40mm b) Tool length ; 60mm
 Tool : ϕ 10mm Al-TiN coated WC Ball End Mill
 Workpiece : S15C
 p : 0.3mm, R_h : 3mm, N : 8,000rpm, Feed rate : 1,000 mm/min

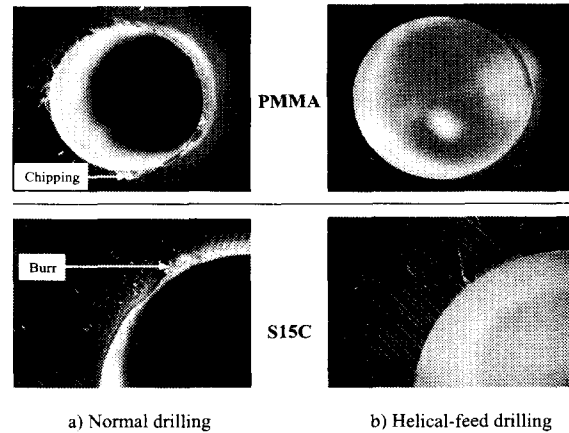
사진 1 공구돌출길이에 따른 구멍가공 특성

공구의 돌출길이가 가공상태에 미치는 영향을 조사하기 위하여 S15C의 구멍가공 중에 공구가 공작물을 관통하기 전에 가공을 중지하고 가공면을 관찰하였다. 사진 1은 WC기재의 볼엔드밀을 사용하여 동일한 가공조건을 적용한 가공결과이다. 동 결과에서 나타난 바와 같이 공구의 돌출길이 60mm의 경우에 40mm에 비하여 가공된 구멍의 벽면과 바닥면에 공구계(Tooling system)의 강성부족에 기인한 진동흔적이 현저하게 발생된다. 이와 같은 결과로부터 공구재질을 포함한 공구계의 강성이 가공구멍의 치수정도는 물론 가공면의 상태에도 지대한 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 사진 2는 구멍가공 방식의 차이에 따른 가공정도의 차이를 가공구멍의 출구측의 상태를 관찰하여 비교한 결과이다. 일반드릴을 사용한 구멍가공에서는 사용된 재질의 차이에 따라서 PMMA의 경우에 칩핑과 S15C의 경우에는 버가 발생되는 반면, 헬리컬 운동을 이용하는 구멍가공에서는 버 및 칩핑이 현저하게 억제되

는 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 11에 도시한 바와 같이 공구가 공작물을 관통하는 지점에서 볼엔드밀의 기하학적 특성에 기인한 수직성분 절삭력의 배분효과가 얻어진 결과로 생각 할 수 있다.

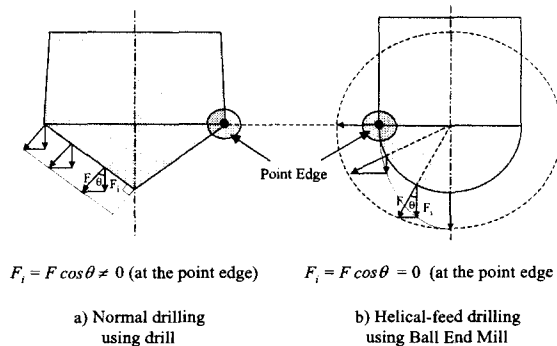
(b) 코어드릴을 사용한 연삭구멍가공
 【탄소섬유 강화 플라스틱의 구멍가공】

사진 3은 WC재의 일반드릴을 사용하여 두께10mm의 CFRP판재의 구멍가공 시에 가공횟수의 증가에 따른 구멍 출구측의 가공상태의 변화를 관찰한 결과, 10회 가공시점에서 증간박리를 동 반한 퍼징현상이 현저하게 발생함을 알 수 있다.



a) Normal drilling b) Helical-feed drilling

사진 2. 구멍가공 방식의 차이에 따른 가공 정도의 차이



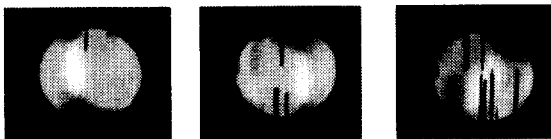
$F_1 = F \cos \theta \neq 0$ (at the point edge) $F_1 = F \cos \theta = 0$ (at the point edge)

a) Normal drilling using drill b) Helical-feed drilling using Ball End Mill

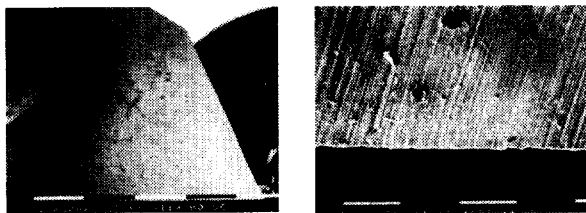
그림 11. 가공방식의 차이와 절삭력의 작용형태

사진 4는 가공 전후의 절삭날 여유면(Flank face)의

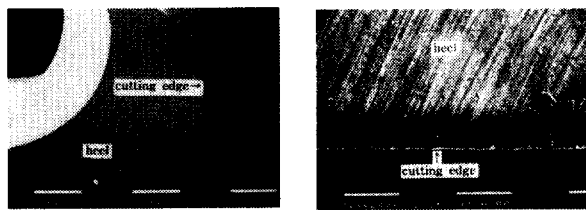
상태를 비교한 결과로서 가공 후에 여유면의 마모가 명료하게 관찰된다. 동 결과는 일반 절삭드릴을 사용한 CFRP의 절삭구멍가공에서는 극심한 공구마모에 기인한 층간박리현상과 퍼징현상의 발생으로 고품질의 가공상태를 얻는 것은 물론 장시간 안정된 가공상태를 유지하는 것이 곤란하다는 사실을 시사한다.



[1회] [5회] [10회]
사진 3. 가공횟수에 따른 가공상태의 변화



a) Before drilling



b) After 10 times drilling (total drilling depth 100mm)

사진 4. CFRP의 구멍가공에 의한 WC-Co 드릴의 마모상태

한편, 다이아몬드 코어드릴(CIB-D 코어드릴)을 사용한 일반 연삭구멍가공 방식에서는 구멍깊이 4mm 전후에서 코어드릴의 눈매움현상>Loading)으로 인하여 정상적인 구멍가공이 불가능하다는 사실을 그림 12의 연삭력 측정결과 및 코어드릴작업면의 관찰결과로부터 알 수 있다. 또한 가공된 구멍의 주위에는 기지재인 에폭시(Epoxy)의 열손상 흔적을 육안으로 관찰할 수 있다. 이와 같은 결과는 코어드릴의 다이아몬드 입자의 마모에 의한 연삭성의 저하보다는 칩의 배출능력의 부족에 기인한 것으로 판

단할 수 있다. 이와 같은 사실은 다이아몬드 코어드릴을 사용한 세라믹 재료 등의 구멍가공에서 문제점으로 지적되는 현상이다^[12]. 반면, 그림 13은 CIB-D 코어드릴의 헬리컬 운동을 이용하여 CFRP 판재두께 10mm의 구멍가공 중에 발생하는 연삭력을 측정한 결과로 얻어진 전술한 수직방향 연삭력의 추이를 고려하면 일정한 가공상태가 유지되고 있다는 사실을 추측할 수 있다. 이는 코어드릴을 사용한 연삭구멍가공에서 헬리컬 궤적을 이용함으로써 칩의 배출성이 향상되며 일부 코어드릴이 표면에 부착한 칩이 피삭재와의 접촉면에서 발생하는 마찰에 의해 제거됨으로서 코어드릴의 눈매움이 방지되는 가공기구가 작용한 결과로 추정된다

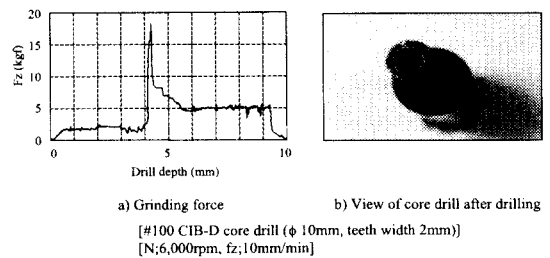


그림 12. CIB-D 코어드릴을 사용한 CFRP의 연삭구멍가공 특성

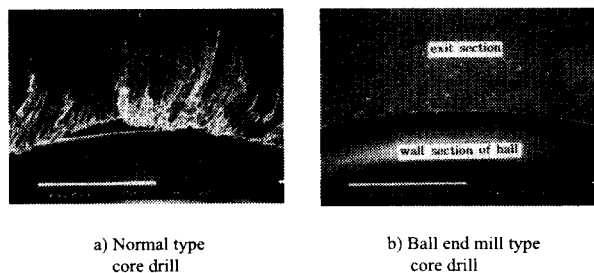


사진 5. 코어드릴의 형상에 따른 가공상태의 차이

사진 5는 CIB-D 코어드릴의 헬리컬 운동을 이용한 CFRP의 구멍가공에서 사용된 코어드릴의 형상에 따른 시편 출구측의 가공상태의 차이를 관찰한 결과이다. 볼엔드밀형의 코어드릴을 사용함으로써 코어드릴과 피삭재와의 접촉형태에 따른 수직방향 분력의 분산효과가 얻어지며 이로 인하여 층간박리 및 퍼징현상이 현격하게 감소하는 고품질 가공이 가능함을 알 수 있다.

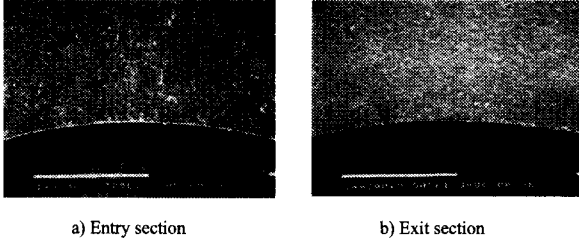
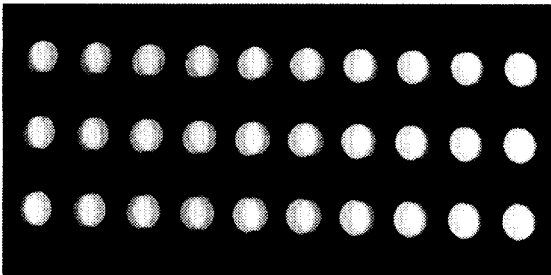


사진 6. 공구회전수 60,000rpm으로 구멍가공된 CFRP의 윤곽형상

사진 6은 #100CIB-D 볼엔드밀형 코어드릴을 사용하여 공구회전수 60,000 rpm, 공구 이송속도 500 mm/min, 헬리컬 피치 0.3mm의 조건을 적용하여 가공된 CFRP의 입·출구측의 상태를 나타낸다. 이 경우 일분간의 가공깊이는 47.5 mm/min 이며, 이와 같이 가공속도의 조건에서도 양호한 가공상태를 얻어짐을 확인할 수 있다. 동 결과에 의하면 볼엔드밀형 코어드릴과 공구의 헬리컬 운동을 이용하면 고속연삭의 조건하에서 높은 가공능률과 동시에 가공부위의 열손상이 방지되어 고능률·고정도의 구멍가공이 가능한 것으로 추정할 수 있다.



[N;6000rpm, p;0.2mm, Rh;0.5mm, Feed;300mm/min]

사진 7. CIB-D 코어드릴의 헬리컬 궤적을 이용한 CFRP의 연삭구멍가공 샘플

사진 7은 공구회전수 6,000rpm의 조건하에서 #100 CIB-D 볼엔드밀형 코어드릴과 헬리컬 운동방식을 적용하여 연속 구멍가공된 CFRP의 샘플을 나타낸다. 이 경우 가공된 구멍의 총 깊이는 300mm로 가공 후에 코어드릴의 마모는 측정할 수 없을 만큼 극히 미비한 것으로 나타났다. 코어드릴의 다이아몬드 입자와 CFRP의 내마모성의

차이를 고려하면 구멍가공 중에 발생하는 코어 드릴의 마모는 무시할 수 있을 것으로 판단된다.

【세라믹, 초경합금의 구멍가공】

그림 14는 #60CIB-D 코어드릴을 사용하여 지르코니아(ZrO_2)의 구멍가공에서 발생하는 수직방향 연삭력의 예를 나타낸다. 구멍가공 속도가 1mm/min로 극히 완만한 가공조건에도 불구하고 가공깊이 약 1.5mm 부근에서 연삭력의 급상승과 동시에 공작물이 파단됨을 알 수 있다. 다이아몬드 코어드릴을 사용한 일반 구멍가공 방식으로는 세라믹 재료의 안정적인 구멍가공이 극히 곤란하다는 사실을 시사하는 결과로 판단된다.

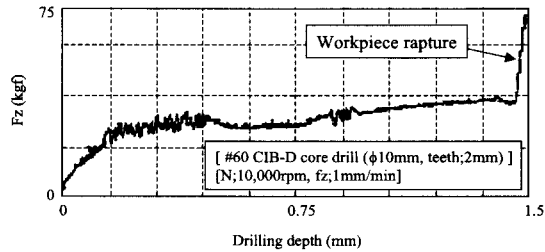


그림 14. CIB-D 코어드릴을 사용한 ZrO_2 의 연삭구멍가공 특성

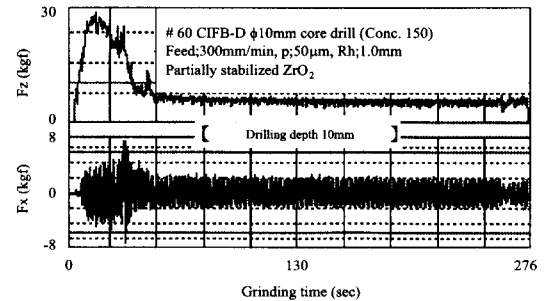
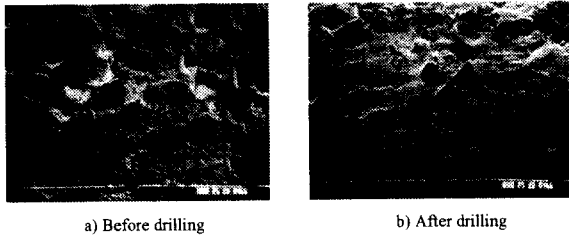


그림 15. CIB-D 코어드릴의 헬리컬 궤적을 이용한 ZrO_2 의 구멍가공 특성

반면, CIB-D 코어드릴의 헬리컬 궤적을 이용하는 구멍가공 방식을 적용한 경우에는 그림 15에 나타난 바와 같이 깊이 9mm의 가공 중에 수직분력이 상시 일정한 값을 유지하는 사실로부터 가공 중에 코어드릴의 연삭성능이 일정하게 유지됨을 확인할 수 있다. 본 결과에 의하면 코어드릴의 헬리컬 궤적을 이용하는 구멍가공 방식의 적

용과 동시에 적절한 가공조건을 설정함으로써 세라믹 재료의 안정된 구멍가공이 가능함을 알 수 있다.



[# 60 CIBF-D ϕ 10mm core drill (Conc. 150)]
[N;10,000rpm, p;50 μ m, Rh;1mm, Feed;300mm/min]

사진 8. ZrO₂의 구멍가공에 따른 코어드릴의 상태변화

사진 8은 구멍가공 전후의 코어드릴의 표면의 상태를 관찰한 결과로서 사용된 코어드릴의 표면에서 입자의 마모 흔적과 일부 본드테일(Bond tail)현상이 나타나 있다. 세라믹 재료의 구멍가공에 공구의 헬리컬 운동의 적용효과로는 칩의 배출성의 향상과 더불어 가공 중에 발생하는 세라믹 칩에 의하여 슯돌표면이 마모되는 일종의 파우더 드레싱(Powder dressing)현상이 발생되는 것으로 추정된다.

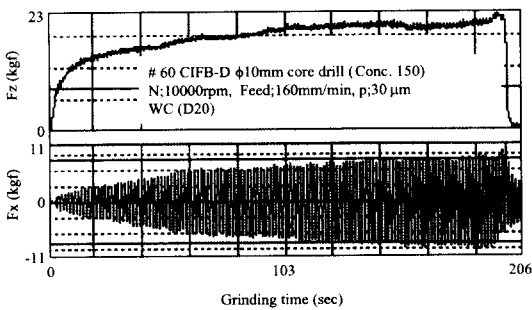


그림 16. CIB-D 코어드릴의 헬리컬 궤적을 이용한 WC의 구멍가공 특성

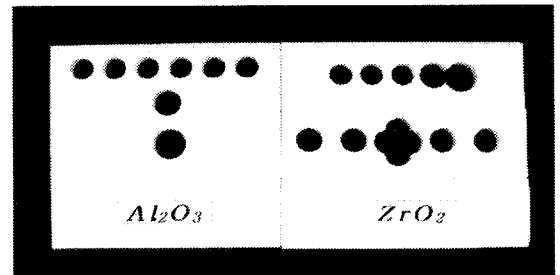
그림 16은 동 방식을 초경합금의 구멍가공에 적용한 결과로서 연삭력의 추이로부터 상기의 ZrO₂의 경우와 동일하게 안정된 구멍가공이 진행된 것으로 판단 할 수 있다. 단, 전기의 ZrO₂의 경우에는 가공속도가 4.5mm/min이며 초경합금은 1.5mm/min이다. 또한 #60CIB-D 코어드릴을 사용한 ZrO₂와 초경합금의 구멍가공에서 연삭비(Grinding ratio)는 약 80에서 100 사이의 값을 갖는 것

으로 확인되었다. ZrO₂를 포함한 각공 세라믹 재료와 초경합금 같은 고강도 재료의 구멍가공에 있어서는 가공능률과 연삭비 및 연삭력이 피삭재료의 기계적 특성과 코어드릴의 기계적, 기하학적 성질에 따라서 많은 차이를 갖는 것으로 추정된다. 즉, 피삭재에 따라서 발생하는 칩의 경도 및 형상이 다르며 이에 따라서 전술한 파우더 드레싱작용의 정도 및 형태가 좌우되는 것으로 추정할 수 있다. 사진 9에는 다이아몬드 코어드릴의 헬리컬 운동을 이용하여 구멍가공된 세라믹재료와 초경합금의 가공샘플을 나타낸다.

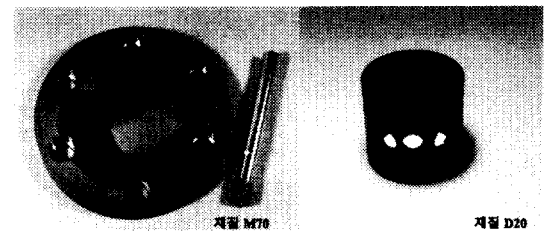
4. 결 론

일련의 결과로부터, 절·연삭 공구의 헬리컬 운동을 이용하는 구멍가공에는 일반 구멍가공과 상이한 가공특성, 가공기구가 존재한다는 사실을 확인할 수 있다. 본 문에서 기술한 내용을 간략하게 정리하면 다음과 같다.

- 1) 절·연삭 공구에 헬리컬 운동을 부가하면 고능률, 고정도의 구멍가공이 가능하다.



a) 세라믹 재료



[N:10,000rpm, P:30 μ m, Rh:1mm, Feed:160mm/min]

b) 초경합금 재료

사진 9. CIB-D 코어드릴의 헬리컬운동을 이용한 구멍가공 샘플

- 2) 헬리컬 운동을 이용한 구멍가공에서는 소재의 특성 및 헬리컬 반경과 헬리컬 피치의 관계에 의하여 결정되는 공구이송의 경사각에 차이에 따라서 절·연삭력성분(수직분력, 원주방향분력)의 구성비에 차이가 존재한다.
- 3) 헬리컬 운동을 이용한 구멍가공에서는 절삭유제의 공급성이 향상되며, 이로 인하여 절삭속도의 고속화가 가능하여 가공상태의 안정화와 더불어 가공능률의 향상을 기대할 수 있다.
- 4) 공구의 헬리컬 궤적을 이용하면 CFRP, 세라믹 재료, 초경합금 등과 같은 난삭성 고강도 재료의 연삭구멍가공이 가능하다.
- 5) 헬리컬 궤적을 이용한 구멍가공에서는 일반 구멍가공 방식에 비하여 구멍 출구측의 치핑 및 버의 발생이 현저하게 감소된다.

참 고 문 헌

- [1] A. B. Chatopadhyay and R. Roy, Modification of Chisel Edge of Small HSS and Carbide Drills for Reducing Thrust, Proc. of 9th MTDR Conf. at India, pp. 138-143, 1980.
- [2] M. C. Shaw and C. J. Oxford Jr, On the Drilling of Metals, Trans. of ASME, Vol. 79, pp. 139-148, 1957.
- [3] C. Rubenstein, The Torque and Thrust Force in Twist Drilling, Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 31/4, pp. 481-504, 1991.
- [4] D. A. Stephenson and J. S. Agapiou, Calculation of Main Cutting Edge Forces and Torque for Drills with Arbitrary Point Geometries, Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 32/4, pp. 521-538, 1992.
- [5] J. S. Agapiou and M. F. DeVries, On the Determination of Thermal Phenomena During Drilling, Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 30/2, pp. 217-226, 1990.
- [6] J. S. Agapiou, Design Characteristics of New Types of Drill and Evaluation of Their Performance Drilling Cast Iron, Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 33/3, pp. 321-341, 1993.
- [7] M. Rahman, K. H. W. Seah and V. C. Venkatesh, Performance Evaluation of Endrills, Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 28/4, pp. 341-349, 1988.
- [8] S. S. Pande and H. P. Relekar, Investigations on Reducing Burr Formation in Drilling, Int. J. of MTDR, Vol. 26/3, pp. 339-348, 1986.
- [9] D. Zhang, X. Feng, L. Wang and D. Chen, Study on the Drill Skidding Motion in Ultrasonic Vibration Microdrilling, Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 34/6, pp. 847-857, 1994.
- [10] 大森 整, 高橋 一郎, 中川 威雄, 積層形壓電素子を利用した砥粒加工用振動テーブル, 1987年度日本精密工學會秋季大會論文集(1987), pp. 365-366.
- [11] 朴 圭烈, 大森 整, 中川 威雄, 窒化ケイ素の穴明け加工に関する研究, 1990年度 日本精密工學會春季大會論文集(1990), pp. 935-936.
- [12] 海野 邦昭, ファインセラミックスの超音波加工, セラミクス, Vol. 21/8, pp. 697-682, 1986.