

# 경사진 출구면에서 드릴 버 형성에 관한 실험적 고찰

김병권\*, 고성림#

## Experiment Analysis of the Burr Formation on the Inclined Exit Surface in Drilling

Byung Kwon Kim\* and Sung Lim Ko#

### ABSTRACT

An Experiment was carried out to find the scheme for minimization of burr formation on inclined exit surface in drilling. Several drills with different geometry are used for drilling the workpiece with inclined exit surface. Step drills are specified with step angle and step size. The influence of the inclination angle of exit surface on burr formation was observed, which enables to analyze the burr formation mechanism on inclined exit surface. Along the edge on the inclined exit surface, burrs are formed by the bending deflection to feed direction and also burrs are formed in exit direction of cutting edge. To minimize the burr formed in feed direction, the corner angle which is formed by the inclination angle and step angle must be large enough not to be bent to burr. By decreasing step angle of drill and decreasing the distance between two axes of two holes, burr formation at the intersecting holes can be minimized.

Burr formation mechanisms are analyzed according to the drill geometries and cutting conditions. Several schemes for burr minimization on inclined exit surface were proposed.

**Key Words** : Burr(버), deburring(디버링), Inclined exit surface(경사진 출구면), Step drill(스텝드릴), Intersecting hole(교차구멍), Burr Minimization(버 최소화)

### 1. 서론

버(Burr)는 절삭가공 시 소성변형에 의해서 생기는 불필요한 부분으로서 제품의 수명을 단축시키고 작업자에게 상해를 입힐 수 있다. 디버링 공정과 모서리 마무리는 제품의 원가에도 많은 영향을 미친다.<sup>1</sup> 드릴링 공정은 산업 전 분야에 걸쳐 사용되는 공정인데 특히 유압 부품, 엔진 블록과

같은 부품을 제작할 때에는 교차하는 구멍의 가공이 많다. 이 곳에 생기는 버는 접근하기 힘들어 제거하기 어려울 뿐만 아니라 제품의 수명과 성능에도 좋지 않은 영향을 미친다. 게다가 디버링 공정을 수행하는데 소요되는 시간은 버의 높이와 두께의 크기에 비례하기 때문에 디버링양을 작게 한다면 디버링 공정시간과 비용을 줄일 수 있다.<sup>2</sup>

교차된 구멍의 가공시 출구경사각은 구멍의

접수일: 2006년 1월 7일; 게재승인일: 2006년 8월 18일

\* 건국대학교 대학원 기계설계학과

# 교신저자: 건국대학교 기계설계학과 CAESIT

(Center for Advanced e-system Integration Technology)

E-mail silko@konkuk.ac.kr Tel. (02)450-3465

둘레에 따라 변하기 때문에 지금까지 연구되었던 출구경사각이 변하지 않는 경우의 최소화 방법이 그대로 적용되기 어렵다. Stein<sup>3</sup> 은 다양한 포인트 각을 가진 드릴을 사용하여 교차된 구멍 내에서의 버형성과 피드와 절삭속도의 영향을 알아보았다. Kim<sup>4</sup> 은 건 드릴과 일반드릴을 사용하여 교차된 구멍에서의 버의 형태를 비교하는 실험을 수행하였고 Min<sup>5</sup> 는 교차된 구멍에서 드릴버 형성 영역에 관한 연구를 수행하였다.

본 실험에서는 교차하는 구멍의 버를 최소화하기 위한 선행 실험으로써 가공을 단순화 하여 피삭재의 출구면에 경사가 있는 시편을 제작하여 다양한 드릴을 사용하여 버 형성을 관찰하였다. 출구면 경사각이 0°인 경우에 버 형성의 최소화를 위하여 개발된 강력드릴<sup>6</sup> 과 스텝드릴이 사용되었다. 스텝 드릴의 경우, 형상의 변화에 대한 영향을 파악하기 위하여 다양한 형상을 적용하였다.<sup>7</sup>

## 2. 경사진 출구면의 버형성 실험

### 2.1 드릴과 시편의 형상 및 특징

드릴의 형상, 가공조건, 피삭재의 재질에 의해서 버 형성의 형태가 달라지게 된다. 그뿐만 아니라 피삭재의 형상에 의해서도 버 형성 원리가 달라지게 되는데 이번 실험에서는 드릴이 관통하는 출구부에 경사가 있는 시편을 제작하여 드릴의 형상과 가공조건에 따른 경사진 출구부에서의 버형성을 관찰하였다. 시편의 입구부는 0°로 가공하고 출구부의 경사각은 0°, 15°, 30°, 45°로 제작하였다.

Table 1 Specifications of Drill Geometry

Drill Geom.	Carbide Drill			
	SHD	SD(Step drill)		
		36040	36075	36100
$\Theta_1$ (Pt. Ang.)	140	118	116	113
$\Theta_2$ (Step Ang.)	.	40°	75°	100°
$D_1$ (mm)	3	3	3	3
$D_2$ (mm)	.	2.6	2.6	2.6
L (mm)	.	2	2	2

본 실험에 사용된 드릴은 초경 드릴로서 일반 드릴보다 성능이 우수한 강력드릴(SHD)과 드릴 선단부에 의한 1 차 절삭후 스텝부의 2 차 절삭에 의해 미절삭부의 영역을 줄여서 굽힘에 의한 버를 줄이는 스텝드릴이 있다.<sup>2</sup> 스텝드릴의 스텝지름이 2.6 이고 스텝각이 40°, 75°, 100°인 드릴을 사용하여 스텝지름과 스텝각에 의한 출구 버의 관계를 알아보고자 하였다. 실험에 사용된 드릴의 형상별 특징을 Table 1 에 나타내었다. SHD 드릴의 선단각은 140°로서 일반드릴의 118°보다 크며 스텝드릴의 선단각은 113°~118°사이에서 분포한다.

스텝드릴의 경우 상용드릴에 비해 형상이 복잡하여 지칭하기에 불편한 점이 있기 때문에 구분을 용이하게 하기 위해서 약어로 표시하였다. 스텝드릴은 SD 로 시작하며  $D_1$  3mm,  $D_2$  가 2.6mm,  $\Theta_2$  가 40°인 경우 SD36040 으로 나타내었다. 각 드릴의 세부형상은 Fig. 1 에 나타나있다.

### 2.2 버형성 실험 및 관찰

실험에 사용된 피삭재 물성치와 절삭조건은 Table 2 에 나타내었다. 드릴가공은 머시닝 센터(Hyundai SPT18S)에서 실시하였으며 피삭재는 산업분야에서 많이 사용되는 SM45C, A6061, SS400 을 사용하였다. 동일 절삭속도에 이송속도를 5 단계로 증가시켰고 절삭유는 사용하지 않았으며 각 규격당 동일 가공조건으로 구멍을 2 개씩 가공하였다. 절삭깊이는 일정한 비율을 적용하여 동일 조건을 유지하였다. 드릴링 후 형성된 버의 높이는 하이트 게이지를 이용하여 버가 활발하게 생성된 부분을 3 번 측정한 평균높이로 구하였다.

실험에 사용된 시편의 형상이 Fig. 2(a)에 나타나 있다. 이번 실험에 사용된 모든 드릴의 가공 중에 발생한 버는 Fig. 2(b)와 같이 구멍의 둘레 A

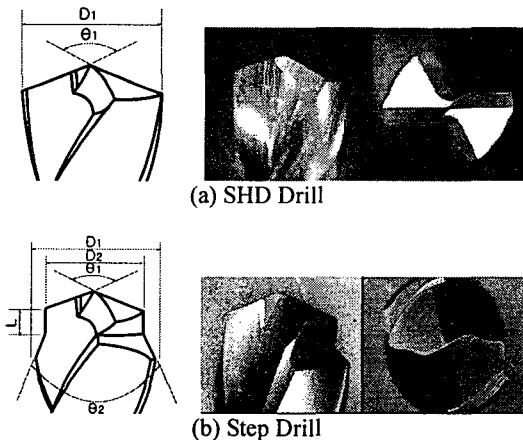
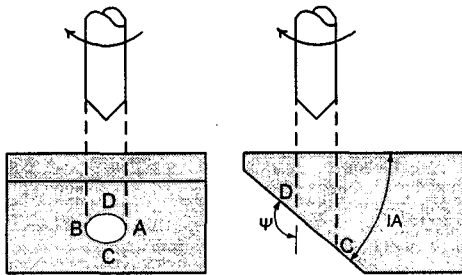


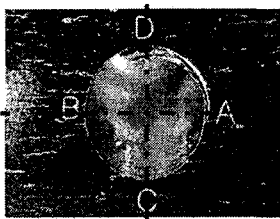
Fig. 1 Configuration of Drill

Table 2 Workpiece material property and cutting conditions

Drill	Material	Yield Stress (kg/mm <sup>2</sup> )	Inclination Angle (IA)	Cutting speed (m/min)	Feed (mm/min)	Coolant
SHD StepDrill	AL6061	28.1	0	23.5	50	Dry
	SS400	31.5	15		100	
			30		150	
			45		200	
SM45C	40.1		250			



(a) Drilling process



(b) Burr position

Fig. 2 Schematic Illustration of Drilling Process

와 D에 걸쳐 0.2mm ~ 1.2mm의 정도의 버가 편중 발생하며 그 외의 부분에서 버는 0.1mm 이하의 미소버가 생성되었다. AD에 걸쳐 발생한 버는 드릴 날부의 회전방향 및 속도, 이송속도 그리고 출구면의 경사각 등 여러 요소와의 관계에 의해서 생성되는 것으로 여겨진다. Fig. 2(b)에서 AD 영역 외의 영역에서는 매우 작은 버가 발생하였는데 이것은 출구각( $\psi$ )이 90° 이하인 A-C-B 영역과 드릴 회전시 인선의 진입부에 해당하는 C-B-D 영역에서는 미소한 버가 발생함을 알 수 있다. 이에 반하여 D-A 영역은 출구각이 90° 이상이고 또한 드릴 회전

시 인선의 출구부에 해당하기 때문에 큰 버가 발생한다고 여겨진다. 이것은 드릴 이송방향의 출구각이 큰 경우와 드릴 인선의 회전방향 출구부에서 주로 버가 발생하기 때문이다. 이에 대한 부분적인 연구가 Min<sup>5</sup>에 의해 이루어졌다.

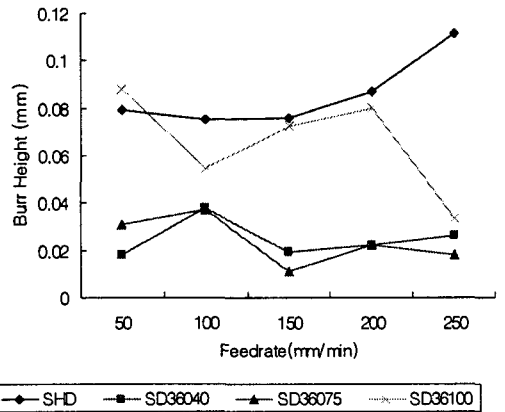


Fig. 3 Variation of burr height according to drill geometry and feedrate in SM45C with 0 inclination angle of exit surface

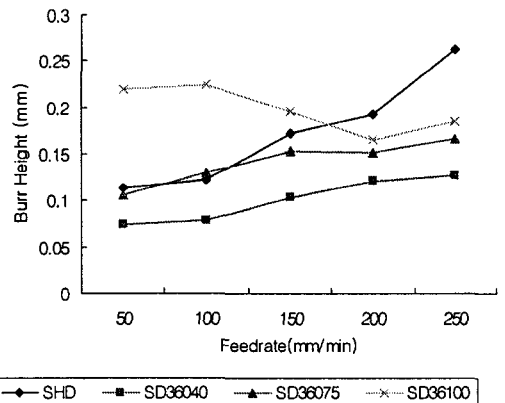


Fig. 4 Variation of burr height according to drill geometry and feedrate in SM45C with 15 inclination angle of exit surface

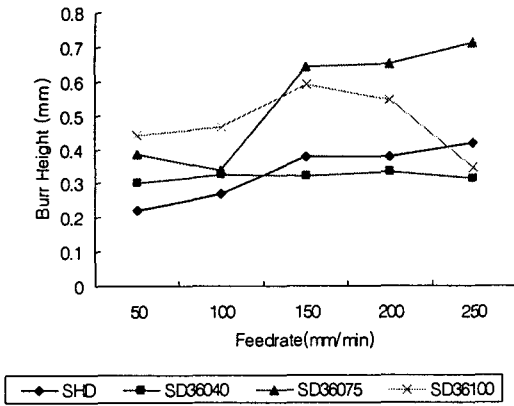


Fig. 5 Variation of burr height according to drill geometry and feederate in SM45C with 30 inclination angle of exit surface

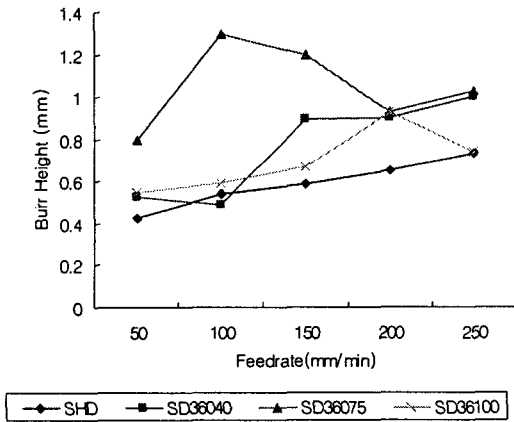


Fig. 6 Variation of burr height according to drill geometry and feederate in SM45C with 45 inclination angle of exit surface

Fig. 3~6까지는 SM45C에 대해 각 드릴에 의해 생성된 버를 하이트 게이지를 이용하여 측정 한 후, 각 드릴의 형상별로 분류하여 이송속도의 변화에 따라 형성된 버의 높이를 그래프로 나타낸 것이다. 여기에 나타난 버의 높이는 A-D 영역에서 발생된 버의 평균값을 나타내고 있다. Fig.3에서 보듯이 출구면 경사각(IA, Inclination Angle)이 0° 일 때 SHD 드릴에 비해 스텝드릴이 작은 버를 형성하였다.

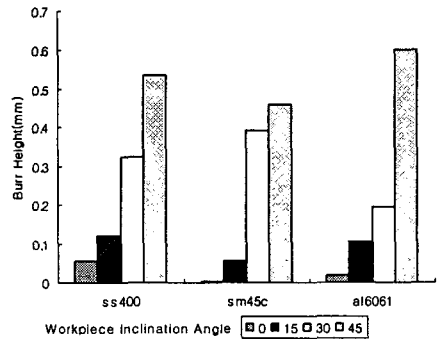


Fig. 7 Variation of burr formation according to the inclination angle of exit surface in different materials with SHD (F=50mm/min)

특히 스텝각 40°, 75°인 경우 0.04mm 이하의 작은 버가 형성되었다. 여기에서 SHD 드릴의 출구면 경사각이 0° 일 때의 작은 버가 형성되어 있음을 검증해 볼 수 있었다. 그러나 Fig. 4에서 보는 바와 같이 출구면 경사각이 15°일 때, 스텝각이 40°, 75°인 스텝드릴(SD36040, SD36075)만이 SHD 드릴보다 작은 버를 형성하고 있다. 대부분의 경우 0.1mm 보다 큰 버를 형성하고 있다. 출구경사각이 30°인 경우(Fig. 5)에는 40° 스텝드릴의 경우만 SHD 드릴과 비슷한 성능을 나타내고 나머지 경우는 더 큰 버를 형성함을 알 수 있다. 45° 출구 경사각에서는 모든 드릴에서 0.4mm 이상의 높은 버가 형성됨을 알 수 있다(Fig. 6). 특히 스텝각 100°인 드릴(SD36100)은 출구 경사각이 30°이하일 때 산발적인 버를 형성했음에 반해 출구 경사각이 45°가 되면 낮은 이송속도에서 안정적인 성능을 내고 있는 것도 알 수 있다. Fig. 4의 결과를 보면 Fig. 3일 때에 비해서 버의 높이가 약 2 배 정도 증가하였음을 확인할 수 있고 다른 그림에서도 역시 출구 경사각이 증가함에 따라 버 높이가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 출구 경사각이 커질수록 드릴 이송방향 출구부의 미절삭부의 강성이 작아지기 때문에 밀림에 의해 큰 버가 생성된다.

SHD 드릴로 가공하였을 때 출구 경사각과 피삭재의 변화에 관한 버 형성 결과가 Fig. 7에 나타나 있다. 동일 이송속도에서 출구 경사각이 증가하면 버의 높이 역시 지수적으로 커지는 결과를 볼 수 있는데 이는 출구면의 경사각이 클수록 드릴

의 이송에 대한 굽힘 강성이 작기 때문에 발생된다. 대부분의 재료에서 출구경사각이 증가함에 따라 버의 높이가 지수적으로 증가함을 알 수 있다. 그러므로 교차구멍 가공시 각 구멍축간 거리가 클수록 출구면 경사각이 급격하게 커지기 때문에 매우 큰 버가 발생함을 알 수 있다. 그러므로 버 형성을 최소화 하기 위해서는 교차 구멍의 중심 축의 거리가 작고 각 축의 교차각을 가급적 90° 가깝게 해야 함을 알 수 있다.

2.3 경사진 출구면의 버형성 관찰 및 분석

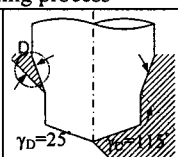

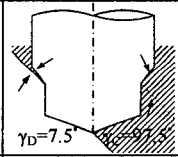
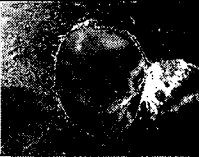
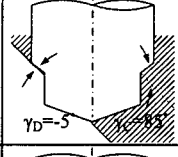
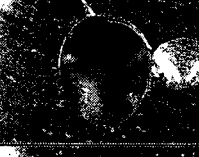
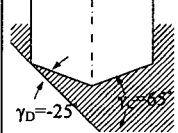

Drilling process		Burr formation
(a) SA=40°		
(b) SA=75°		
(c) SA=100°		
(d) PA=140°		

Fig. 8 Schematic illustration of drilling process (IA=45°)

경사진 출구면에 생기는 버는 두가지 기구에 의해서 형성된다. 전자는 드릴의 이송에 의해 밀려서 생기는 이송방향의 밀림 버이고 후자는 드릴 회전 시 인선의 출구부에 생성되는 출구 버이다. 출구경사각이 45°일 경우에 드릴이 구멍을 관통하기 직전의 Fig. 2의 위치 D에서의 상황을 보면 Fig. 8과 같다. Fig. 8(d)에서 SHD 드릴은 선단각이 140°로 크기 때문에 선단부의 바깥 날이 드릴 선단부보다 먼저 가공함으로 인한 노치현상으로 생기는 버인데 반해 스텝드릴의 경우에는 스텝각이

100°일 경우에만 SHD 드릴과 같이 노치에 의해 버 형성이 되며 나머지 스텝드릴에서는 밀림에 의한 버가 형성됨을 알 수 있다. Fig. 8(c,d)와 같은 방식의 절삭에 비해 직관적으로 볼 때 Fig. 8(b)와 같이  $\gamma_D > 0^\circ$ 일 때는 이송방향의 밀림과 미절삭부의 충분하지 못한 강성으로 인해서 굽힘 변형에 의한 큰 버가 생성될 것임을 알 수 있다. 여기서 출구면 경사각과 드릴 선단부나 스텝부에서 미절삭부의 강성을 알아보기 위하여 Fig. 8에 나타난 코너각( $\gamma$ )을 도입하였고, 이 값은 드릴 스텝각과 출구경사각을 이용하여 식(1)과 같이 정의 하였다.

$$\gamma_{D,C} = (90 - \theta/2) \mp IA \quad (1)$$

이 값은 출구 경사면을 0°로 가정했을 때, 미절삭부의 강성을 나타내기 위한 각도와 유사한 물리적인 의미를 갖는다. 출구 경사면에서 작은 버를 얻기 위해서 Fig. 8(a)와 (b)와 같이  $\gamma_D$ 의 값이 큰 양의 값으로 하여 강성을 증가시키거나 Fig.8(d)와 같이 음의 값이 되도록 하여 노치에 의한 작은 버가 생기게 하는 것이 바람직하다. 또한 사전 연구의 결과로서  $\gamma > 40^\circ$ 인 경우에 작은 버를 생성함을 알 수 있다. 그러나 Fig. 8(c)와 같이 -5°와 같은 작은 음수의 경우에는 남은 부분이 바깥 날에 의한 출구부 노치 가공시 밀림에 의한 변형이 발생하기 쉬워서 균일한 버를 기대하기 어렵고 얇은 불규칙한 버가 발생할 것이다. 위치 C에서의  $\gamma$  값은 대부분  $\gamma > 50^\circ$  이상이고 출구각( $\psi$ )이 90°보다 작기 때문에 매우 작은 버의 발생이 예상된다. SHD 드릴은 모든 시편에서  $\gamma_D$  값이 5°이하인데 스텝드릴은 스텝각이 100°이고 출구경사각이 45°일 경우를 제외하고  $\gamma_D < 0^\circ$ 인 경우가 없다. 각각의 출구부 C와 D에서 경사면에 대하여 코너각( $\gamma$ )을 구한 결과가 Table 3에 나타나 있다.

출구 경사면이 45° 일 때 스텝각이 40° 인 드릴의 코너각은 단지 25°이며 대부분의 경우에서 Fig. 9에서 보는 바와 같이 큰 버가 형성되었다. 출구경사각이 클수록 Table 3에서 코너각이 작아져서 밀림 버는 최소화하기 어렵다는 것 알 수 있다. 이 전연구의 결과에 따르면 코너각이 40°보다 크면 (스텝각이 40°인 드릴로) 출구경사각이 0°인 평면을 가공 시 미절삭 부위의 강성이 증가하기 때문에 매우 작은 버가 형성된다. 그러나 Fig. 9를 보면 출구 경사각이 45°와 같이 큰 경

Table 3 Corner angles at point C and D

Drill (angle)	Corner angle at D				Corner angle at C			
	$\gamma_D$				$\gamma_C$			
	Inclination angle(IA)							
	0°	15°	30°	45°	0°	15°	30°	45°
SD(20°)	80	65	50	35	80	95	110	125
SD(40°)	70	55	40	25	70	85	100	115
SD(75°)	52.5	37.5	22.5	7.5	52.5	67.5	82.5	97.5
SD(100°)	40	25	10	-5	40	55	70	85
SHD(140°)	20	5	-10	-25	20	35	50	65

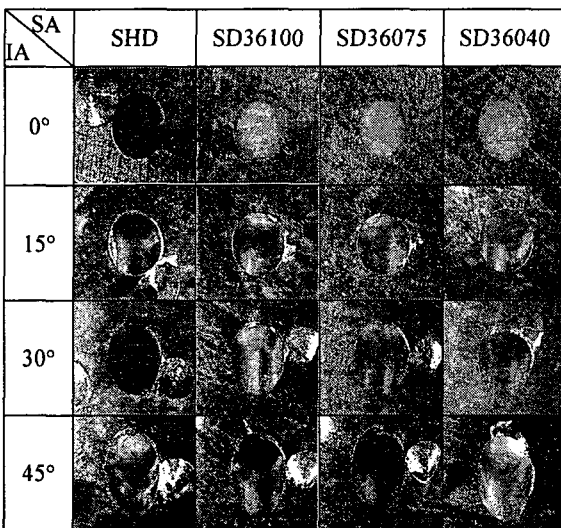


Fig. 9 Burr formation according to various IA and SA by SHD and SD in SM45C

우에 스텝각이 40°인 드릴을 사용하여도 코너각이 25°로 작기 때문에 미절삭부의 강성이 작아서 큰 버가 형성된다. 가장 극단적인 경우인, 스텝각이 20°인 경우로 45° 출구경사면에서 코너각이 35°가 됨으로서 역시 큰 버가 발생한다.

따라서 출구경사각이 큰 경우에 기존의 스텝드릴을 이용해 미절삭부의 강성을 높이는 방법으로 버형성을 최소화 하는 방법은 쉽지 않다는 것을 알 수 있다. 그러나 코너각이 음수 일 때는 바깥날에 의한 절삭으로 인해 노치가공으로 상대적으로 작은 버를 형성한다. Fig. 9에서 구멍의 오른쪽 반원(Fig. 2의 CAD)은 드릴 인선이 회전시 시편 안에서 밖으로 나가기 때문에 출구부에 해당되며, 왼

쪽 반원(CBD)은 드릴날이 시편 안으로 들어가면서 절삭을 실시한다. 그러므로 Fig. 2에서 이송방향 밀림버 형성(BDA)과 회전방향 출구버(CAD)가 중첩되어 발생하는 AD 영역에서 대부분의 버가 형성됨을 알 수 있다. 코너각은 C-A-D를 따라 감소하는데 이것은 D 부분에서 최대 이송방향 밀림버가 생긴다는 것을 의미한다. 출구 버는 피삭재 출구면에 경사가 있을 때 생기며 이것의 형성영역은  $\text{Min}^5$ 에 의해 계산되었다. 그러나 드릴 형상에 변화를 주어 경사면에서의 버를 최소화하는 방법은 쉽지 않다. 최종적인 버는 이송방향의 밀림버와 회전방향 출구버가 복합적으로 형성되기 때문이다. 이곳의 버 최소화를 위해 가능한 방법은 이송방향의 버를 줄이기 위해 Fig. 8의 D부분의 강성을 증가시켜 밀림 버를 줄이는 것이다. 스텝각 40°일 때 보다 미절삭부의 강성을 높이기 위해서 스텝각이 20°인 스텝드릴이 제작되었다. 이 드릴은 출구 경사면이 45°일 때  $\gamma_D$ 는 35°가 된다. 이것은 버를 제거 시키는 데는 충분하지 못하지만 다른 드릴에 비해 버를 좀더 최소화 할 수 있다. 그러나 이러한 드릴은 제작상의 어려움이 존재하고 일반적 용도로 사용하는 데에는 공구수명의 문제도 있을 것이다.

### 3. 경사면에서의 버 최소화

경사진 출구부에서 버형성 기구의 이해와 버형성 최소화 방법을 알아보기 위해 형상이 다른 드릴로 실험을 하였다. 출구부가 경사진 피삭재는 드릴이 관통하기 전에 출구면의 미절삭 부위의 강성이 약하기 때문에 출구가 평면일때에 비해 큰 버가 형성된다. 출구가 경사진 면일 경우에 있어서는 드릴 선단각과 피삭재 경사각과의 관계를 나타내는 코너각( $\gamma$ )가 버의 형태를 결정짓는 주요한 요인이 된다. Fig. 2의 AD에서 가장 큰 버가 형성되며, 이곳에서의 버형성을 최소화하기 위하여 첫째는 미절삭부의 강성을 증가시키기 위하여  $\gamma_D > 40^\circ$ 를 유지함으로써 가능하다. 이 경우에 있어서 효율적인 방법은 스텝각이 40°이하인 드릴을 사용하는 것이다. 두번째로는  $\gamma < 0^\circ$ 를 유지함으로써 출구 경사면에서 노치가공을 유도하여 버형성 최소화를 이룰 수 있다. 그러나 이와 같은 현상은 출구경사가 큰 경우에서만 일어날 수 있다 실제 교차하는 구멍의 가공에서 출구 경사각이 연

속적으로 변하는 것을 고려하면  $\gamma < 0^\circ$  를 유지시키는 것은 쉬운 일이 아니다. 그러나 출구 경사면이 대체로 일정하다면 이 방법이 버 최소화 방법으로 쓰일 수 있을 것이다. 선단각이  $140^\circ$  인 SHD 드릴이 출구경사각이 높아짐에 따라 상대적으로 작은 버 형성을 한 것은 큰 선단각에 기인한다. 출구 경사각이  $30^\circ$  인 경우가  $45^\circ$  인 경우에 비해 훨씬 작은 버를 형성하는 것을 Fig. 5, 6 에서 알 수 있다. 따라서 교차 구멍 가공에서 두 구멍의 축을 가깝게 하는 것은 출구경사각을 줄이게 되어 버를 최소화하는데 효과적인 방법이 된다.

#### 4. 결론

(1) 경사진 출구면에서 버 형성 기구의 이해와 버 형성 최소화 방법을 알아보기 위해 SHD 드릴과 스텝드릴이 사용되었다.  $45^\circ$ 와 같은 높은 출구 경사면일 경우에 대부분의 드릴이 높은 버를 형성한다. 출구 경사각이  $30^\circ$ 보다 작을 때는 스텝각이  $40^\circ$ ,  $75^\circ$  인 스텝드릴이 SHD 드릴보다 작은 버를 형성한다.

(2) 경사진 출구면에서의 버형성 기구로서 이송방향 밀립버와 회전방향 출구버의 2 가지 종류의 버형성 기구가 관찰되었다. 이송방향의 밀립버의 형성은 드릴 이송방향 출구부에서 미절삭날의 강성의 크기를 나타내는 코너각이  $\gamma_D > 40^\circ$  인 경우에 버 형성이 억제되었다. 또한 드릴 회전 시 모든 출구부를 따라서 출구버가 형성된다. 이 같은 특성으로 인하여 경사각이  $45^\circ$ 인 경우에는 드릴 형상 변화에 의해서 버형성 최소화를 기대하기가 어렵다.

(3) 경사진 출구면에서의 버 형성을 최소화 하기 위해서는 스텝드릴의 스텝각을 줄임으로서 버 형성을 어느 정도는 감소시킬 수 있으나 최소화는 어렵다. 교차구멍에서는 가급적 교차구멍의 각 축간 거리를 최소화하면 출구면 경사각이 감소된다. 그 결과 버 형성을 최소화 할 수 있게 된다.

#### 후 기

이 실험은 과학기술부의 2001 국가지정연구실(NRL) 지정사업으로 수행되었음

#### 참고문헌

1. Gillespie, L. K., "Deburring Precision Miniature Parts," Precision Engineering, Vol. 1, No. 4, pp. 189-198, 1979.
2. Ko, S. L. and Dornfeld, D., "A Study on Burr Formation Mechanism," Trans. of ASME, J. of Eng. For Materials and Technology, Vol. 113, pp. 75-87, 1991.
3. Stein, J. and Dornfeld, D., "Influence of Workpiece Exit Angle on Burr Formation in Drilling Intersecting Holes," Trans. North American Manufacturing Research Institute, SME, Vol. 24, pp. 39-43, 1996.
4. Kim, J., Dornfeld, D. A. and Furness, R., "Experimental Study of Burr Formation in Drilling of Intersecting Holes With Gun Drill and Twist Drills," Technical Papers of NAMRI/SME, pp. 39-44, 1999.
5. Min, S. K., Dornfeld, D. A. and Nakao, Y., "Influence of Exit Surface Angle on Drilling Burr Formation," J. Manufacturing Science and Engineering, Vol. 125, No. 4, pp. 637-644, 2003.
6. Ko, S. L., Jeon, K. B. and Lee, J. K., "Analysis on Burr Formation in Drilling with New Concept Drill," KSPE, Vol. 17, No. 3, pp. 114-121, 2000.
7. Ko, S. L. and Chang, J. E., "Development of Drill Geometry for Burr Minimization in Drilling," Annals of the CIRP., Vol. 52, No.1, pp. 45-48, 2003.