

## 다면드릴의 개발 및 성능평가에 관한 연구

손황진\*, 양순철\*, 황종대\*, 정윤교#

### A Study on the Development of Multi Facet Drills and Evaluation of Performance

Hwang-Jin Son\*, Soon-Chul Yang\*, Jong-Dae Hwang\*, Yoon-Gyo Jung#

(Received 24 March 2009; received in revised form 26 May 2009; accepted 22 June 2009)

#### ABSTRACT

Drilling operation is such an important machining process, which has been widely applied to the industry, occupied over 30% of whole industry. However, there are many aspects of drilling process should be improved, such as increases of thrust force, surface roughness, and roundness, *ect.* In this study, we are aiming to reduce the thrust force, surface roughness, and roundness in drilling process. For this purpose, multi facet drills (MFD) of three types that are modified from standard drill (STD) are developed. The first type is multi stair drill (MSD) with shape of stair on relief plane. The second type is rough facet drill (RFD) with shape of round on relief plane. The third type is rough flute drill (RFLD) with shape of round on flute plane. For three types of MFD, we were carried out performance evaluation from the perspective of thrust force, surface roughness and roundness of machined hole. From obtained result, we could confirmed that performance of rough flute drill (RFLD) type is most excellent.

**Key Words** : Drilling Operation(구멍가공), Multi Facet Drill(다면드릴), Surface Roughness(표면거칠기), Roundness(진원도), Thrust Force(추력)

#### 1. 서 론

산업의 급속한 발전으로 공작기계의 제작 기술 또한 향상되어 최근에는 고속화 고정밀화된 5축 공작기계가 널리 사용되고 있다. 이를 활용한 5축 가공기술도 보편화 되면서 정밀도와 경제성이 높은 공구의 개발이 필요하게 되었다. 그중에서도 드릴가공은 절삭 가공공정 중에서 30%를 차지하는 가장 중요하고 복잡한 작업 중

의 하나이다.<sup>[1]</sup> 특히 우주항공, 자동차, 반도체, 의료기기 등의 고정밀도를 요구하는 산업분야에서는 정밀도와 경제성이 향상된 새로운 개념의 드릴 개발이 요구되고 있다. 따라서 드릴의 성능을 향상시키기 위하여 드릴 포인트의 형상을 변형한 연구가 활발하게 이루어져 왔다. 그 예로 국외 연구동향에 따르면 드릴가공 시 절삭에 영향을 미치는 여러 인자들 중 플랭크 면 형상에 따른 드릴 성능의 예측<sup>[2]</sup>과 드릴가공의 절삭력을 수학적으로 예측한 연구<sup>[3-4]</sup> 및 치즐 포인트(Chisel point)에 계단형단을 적용하여 성능이 개선되어진 다면드릴(Multi facet drill)이 Wu, Shen에 의해 제안되었고, 그 후 다면드릴의 추력(Thrust force) 및 토크(Torque)를 예상하여 수학적 모델을 확립시킨 논문들이 발표되었

\* 창원대학교 대학원 기계공학과

\* (주)윈트

\* 창원대학교 대학원 기계공학과

# 교신저자 : 창원대학교 기계공학과

E-mail : ygjung@changwon.ac.kr

다.<sup>[5-8]</sup> 또한 새로운 개념의 수학적 모델을 제시한 논문도 발표되었다.<sup>[9-10]</sup> 그리고 국내에서도 다면드릴의 수학적 모델에 대한 연구사례도 있지만<sup>[11]</sup> 실용화를 위한 실험적 연구는 희소한 것이 현실이다.

따라서 본 연구에서는 3가지 타입의 다면드릴을 제안하고 제안되어진 다면드릴을 설계 제작한 후 제작되어진 다면드릴을 대상으로 드릴링시의 추력, 가공되어진 홀의 표면거칠기, 진원도 및 발생된 칩의 형상을 비교분석하여 우수한 가공성능을 가지는 다면드릴의 형상을 선정하였다.

## 2. 다면드릴의 제안 및 제작

가공현장에서 일반적으로 사용되는 표준형 드릴(Standard drill, 이하 STD)은 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 치즐 포인트(Chisel point)의 형상이 직선인 SP-TYPE과 치즐 포인트가 S형상을 가지는 SE-TYPE으로 분류되어진다. 본 연구에서는 이러한 2가지 타입의 표준형 드릴 각각의 릴리프 면(Relief plane)에 일정한 간격의 계단 형상을 생성시킨 다면드릴(Multi stair drill, 이하 MSD)과 릴리프 면에 일정한 간격의 곡면 형상을 생성시킨 다면드릴(Rough facet drill, 이하 RFD) 및 플루트 면(Flute plane)에 길이 방향으로 라운드 형상을 생성시킨 다면드릴(Rough flute drill, 이하 RFLD)을 제안하였다. MSD 다면드릴은 유동형 칩을 전단형 칩으로 변환시킬 수 있는 특징이 있고, RFD 다면드릴은 곡면의 형상을 따라 전단형 칩을 발생시켜 원활한 칩의 배출로 인한 절삭저항의 감소 효과가 기대 되어 진다. 마지막으로 RFLD 다면드릴은 플루트에 생성 되어진 곡면으로 인하여 칩과 공구의 접촉면의 증대로 칩의 배출을 용이하게 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 STD 드릴의 2가지 형태를 포함한 8종류의 드릴을 대상으로 성능평가를 수행하였으며, Fig. 2에는 STD 드릴과 본 연구에서 제안되어진 6종류의 다면드릴의 모델링 사진을 나타내고 있다.

다면드릴의 제작을 위해서는 다이아몬드 휠, 다면드릴을 모델링하고 제작 시뮬레이션을 통하여 제작과정을 검증한 후 실제의 제작에 착수하였고, 다이아몬드 휠의 형상은 반드시 다면드릴의 형상과 일치하도록 한다. Fig. 3은 다면드릴의 제작시뮬레이션(Fig. 3(a))과 실제 제작과정(Fig. 3(b))을 나타내고 있으며 Fig. 4에서는 제안되어진 다면드릴의 실제가공 되어진 모습을 보여주고 있다.

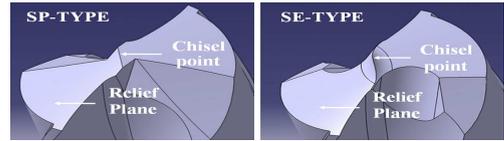
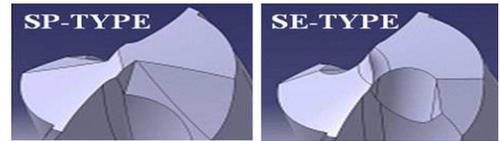


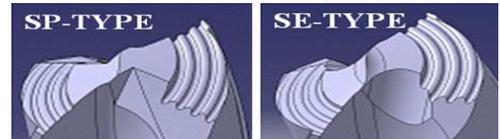
Fig. 1 The shape of chisel point



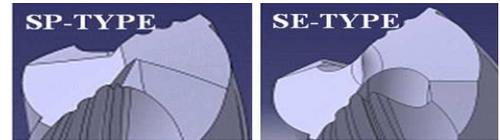
a) Standard drill (STD)



b) Multi stair drill (MSD)

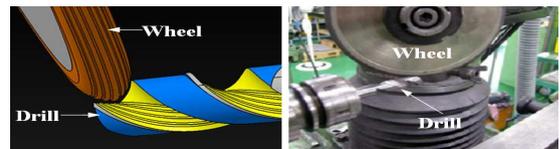


c) Rough facet drill (RFD)



d) Rough flute drill (RFLD)

Fig. 2 Modeling of proposed three types drill



(a) Manufacturing simulation (b) Manufacturing process

Fig. 3 Manufacturing process of rough flute drill

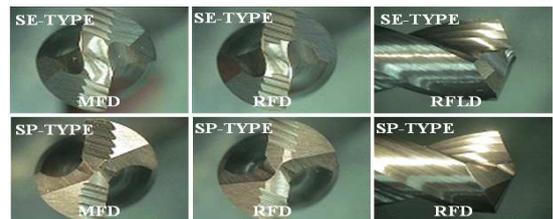


Fig. 4 Photographs of manufactured multi facet drills

### 3. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 (주)화천의 3축 MCT(Sirius-2)를 이용하여 다면드릴의 절삭실험을 수행 하였으며 절삭저항은 KISTLER사의 압전 소자형 공구동력계(9257B)에서 발생 되어진 신호를 차지 앰프(Charge amplifier)에서 증폭 시 킨 후 분해능력 12비트의 A/D변환기를 통하여 디지털(Digital)화 한 후 추력을 측정하였다. 가공되어진 홀의 내면은 Kosaka사의 축침식 표면조도계(SEF3500K)를 이용하여 표면거칠기를 측정하였다. 홀의 진원도는 Brown & sharp사의 3차원측정기(Global152210)를 이용하여 한 홀 당 10 points의 Data를 측정하여 진원도 값을 구하였다. 실험장치의 개략적인 흐름도는 Fig. 5에 나타냈다.

다면드릴의 성능평가를 위한 피삭재는 일반적인 열처리하지 않은 STD11을 사용하였고 공구의 재료는 초경합금을 사용하였다. 절삭속도(V)는 1000rpm(이하 저속 절삭)과 3000rpm(이하 고속절삭)으로 나누어 실험을 수행하였고, 이송(V<sub>f</sub>)을 80 $\mu$ m로 일정하게 유지하기 위하여 저속절삭에서는 80mm/min, 고속절삭에서는 240mm/min으로 설정하였다. 그리고 절삭깊이(d<sub>h</sub>)는 20mm로 설정하였으며, 실험조건은 Table 1에서 나타냈다.

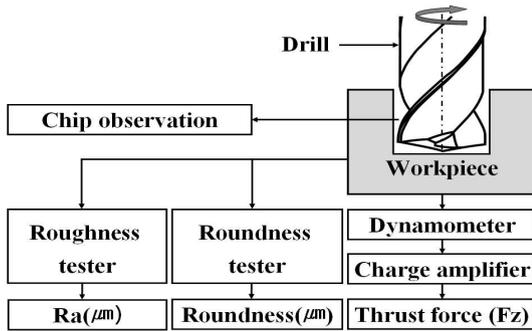


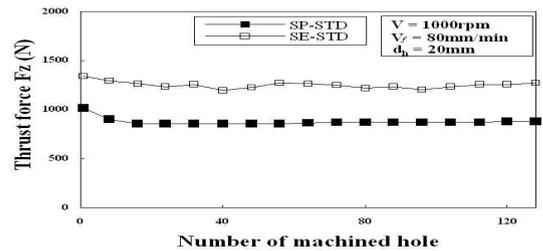
Fig. 5 Experimental set-up

Table 1 Experimental conditions

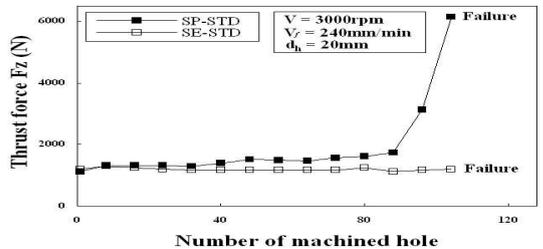
Items	Conditions
Workpiece	STD11 (Non heat treatment)
Drill material	Sintered carbide
Drill diameter (mm)	10
Cutting speed (rpm)	1,000 / 3,000
Cutting depth (mm)	20
Feed velocity (mm/min)	80, 240
Coolant	Wet

### 4. 치즐포인트 형상에 따른 절삭특성평가

본 연구에서는 실험의 신뢰성을 확보하기 위하여 STD드릴의 SP타입과 SE타입에 대하여 절삭특성을 비교 평가하였다. Fig. 6의 (a) 및 (b)는 각각 저속 및 고속절삭조건에서 가공구멍수의 증가에 따른 드릴링추력의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 저속절삭의 경우 120구멍 이상의 가공을 수행하여도 양 타입 모두 안정적인 가공상태를 보이고 있으며, 드릴링추력값의 관점에서는 SP타입이 SE타입에 비하여 낮게 나타남을 알 수 있다. 그러나 고속절삭에서는 SP타입이 가공구멍수 90개를 넘지 못하고 파손에 이르는 반면 SE타입은 120개 이상의 가공구멍수에도 안정적으로 가공이 가능함을 보여주고 있다. 이러한 결과는 치즐포인트의 형상이 직선인 SP타입은 저속가공에 적합하며, 치즐포인트형상이 S자 형태인 SE타입은 셀프센터링(Self centering)기능이 있어 공구흔들림이 적다는 이유로 고속 절삭에 유리하다는 기존의 연구결과를 뒷받침 한다고 할 수 있다. 이러한 결과로부터, 본 연구에서 도출한 실험결과들은 신뢰성을 가진다고 할 수 있다.



(a) V=1,000rpm



(b) V=3,000rpm

Fig. 6 Comparison of machinability by multi facet drill of SP and SE type

### 5. 다면드릴 성능평가

본 장의 목적은 제안되어진 각종형태의 다면드릴의 성능을 비교 평가하여, 실용 가능한 다면드릴의 형태를 실제현장에 제시하고자 하는 것이다. Fig. 7의 (a) 및 (b)는 각각 저속절삭에서 치출포인트의 형상이 SP타입과 SE타입의 MSD드릴, RFD드릴 및 RFLD드릴에 대하여 가공구멍수의 증가에 따른 드릴링시 추력의 변화를 보여주고 있다. 비교를 위하여 STD드릴에 대한 결과도 동시에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이, SP타입의 경우는 다른 형태의 다면드릴에 비하여 STD드릴과 RFLD드릴이, SE타입의 경우는 RFLD드릴이 가장 낮은 드릴링 추력값을 보여주고 있음을 알 수 있다. 이는 MSD드릴 및 RFD드릴의 릴리프 면에 다면을 형성시켰기 때문에 절삭시 칩의 배출을 방해하는 반면, RFLD드릴의 경우는 플루트 면에 다면이 형성되었기 때문에 칩의 배출을 원활하게 한 결과로 사료된다. 칩의 원활한 배출은 당연히 가공구멍의 진원도와 가공구멍내면의 표면거칠기에 영향을 미친다. Fig. 8 및 Fig. 9는 각각 가공구멍의 증가에 따른 가공구멍의 진원도와 표면거칠기의 변화를 나타내고 있다. 예상과 달리 진원도 및 표면거칠기의 측정값을 비교한 결과 데이터의 산포가 불규칙하여 특정한 다면드릴이 우수하다고 판단하기는 어려웠다.

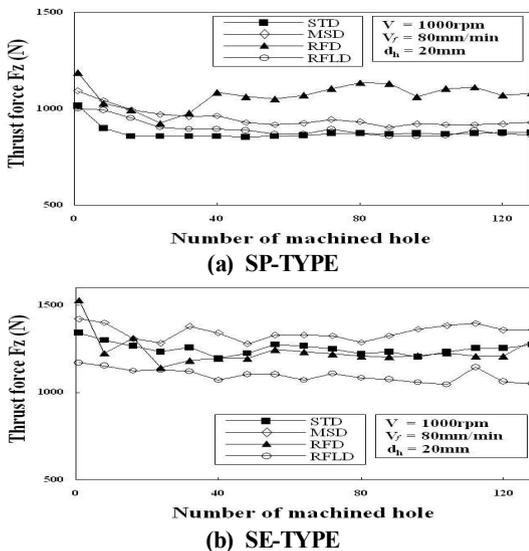


Fig. 7 Comparison of thrust force among proposed multi facet drills at  $V=1000\text{rpm}$

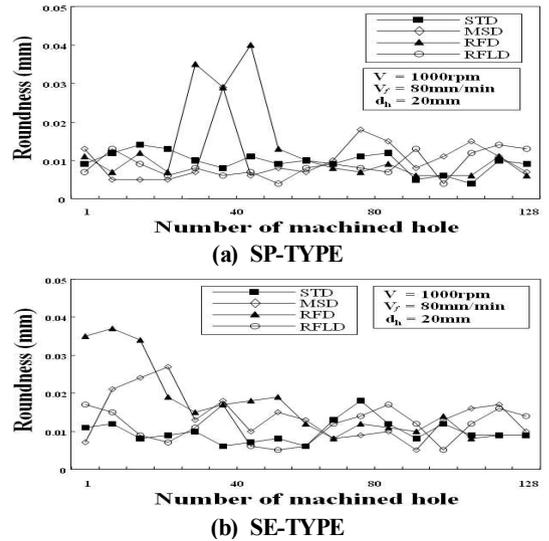


Fig. 8 Comparison of roundness among proposed multi facet drills at  $V=1000\text{rpm}$

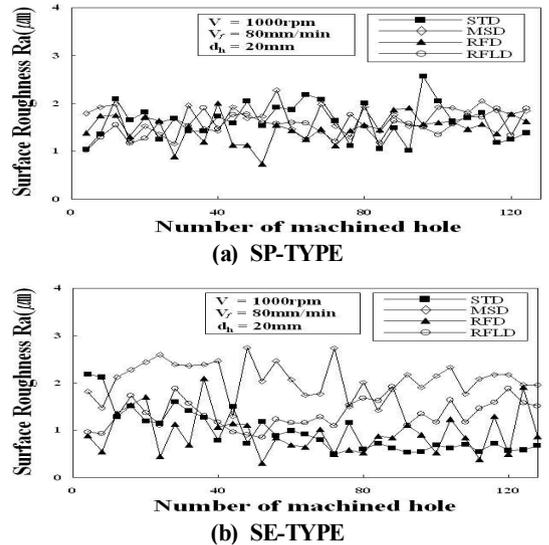


Fig. 9 Comparison of surface roughness among proposed multi facet drills at  $V=1000\text{rpm}$

Fig. 10의 (a) 및 (b)는 각각 저속절삭에서와 같은 조건으로 고속절삭에서 치출포인트의 형상이 SP타입과 SE타입인 경우, STD드릴과 다면드릴들에 대하여 가공구멍수의 증가에 따른 드릴링추력의 변화를 보여주고 있다. SP타입의 경우, MSD드릴은 릴리프 면에 계단상

의 다면이 형성되어 있기 때문에 고속에서 가공구멍 수의 증가에 따라 격심한 마모가 진행되어 드릴링추력이 급증하여 60개의 가공구멍을 넘기지 못하고 파손에 도달해서 오히려 STD드릴보다 성능이 악화되어 짐을 보여준다. 반면, RFLD 드릴은 드릴링시 추력의 감소와 더불어 가장 긴 수명을 보여줌을 알 수 있다. SE타입의 경우는 MSD 및 RFD 드릴 모두가 고속가공에 기인하여 90개의 가공구멍을 넘기지 못하고 파손에 이르는 반면, RFLD드릴은 고속에 적합한 치즐포인트 형상과 플루트면의 다면에 의한 영향으로 칩의 원활한 배출이 이루어져 120개의 구멍가공에도 안정적 가공이 이루어짐을 알 수 있다. Fig. 11 및 Fig. 12에서 보여주는 바와 같이, 고속가공에서 진원도 및 표면거칠기의 변화를 비교해 보면, MSD 및 RFD드릴에서 가공구멍수의 증가에 따른 마모의 진행이 격심함을 간접적으로 보여주고 있고, RFLD드릴에서는 안정적인 가공상태를 확인할 수 있다.

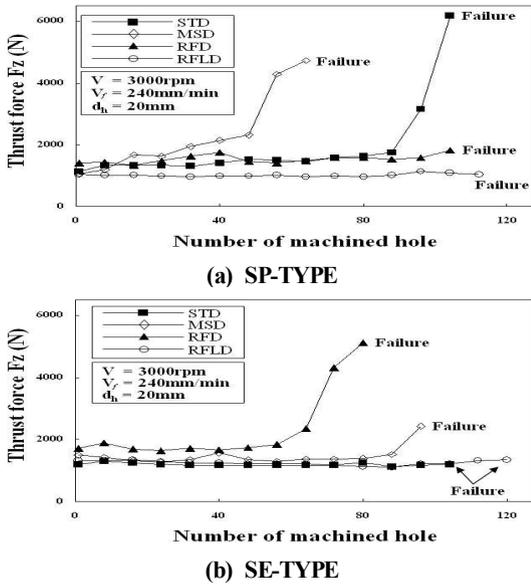


Fig. 10 Comparison of thrust force among proposed multi facet drills at V=3000rpm

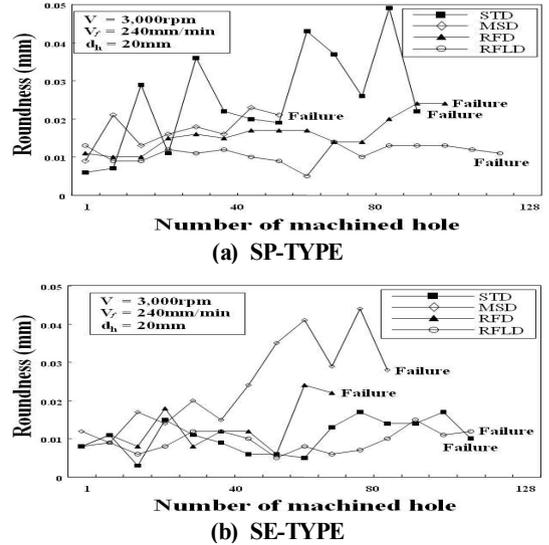


Fig. 11 Comparison of roundness among proposed multi facet drills at V=3000rpm

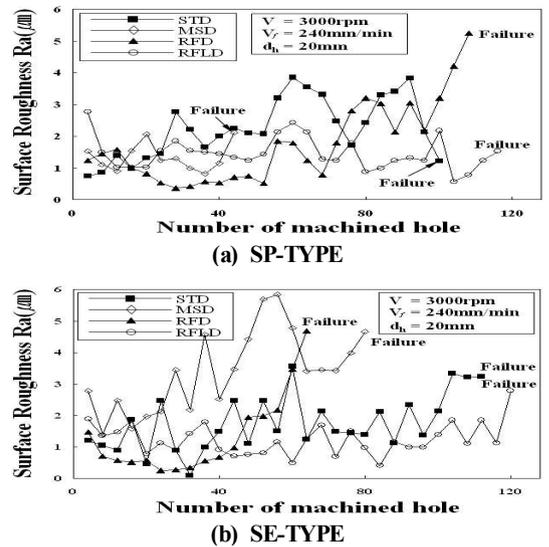


Fig. 12 Comparison of surface roughness among proposed multi facet drills at V=3000rpm

마지막으로 절삭 시 발생하는 칩의 형태를 일정 가공 홀에 따라 촬영한 사진이 Fig. 13이다. 일반적인 STD은 대체적으로 유동형 칩(Flow type chip)이 발생을 하였고 각 타입의 MSD와 RFD은 릴리프 면의 형상에

따라 칩의 형태가 전단형 칩(Shear type chip)을 배출하였지만 가공 홀 횟수에 따른 칩의 형태를 비취 보면, 그 형태가 일정하지 않다는 것을 알 수 있다. 하지만 RFLD은 두 타입 모두 가공 홀의 횟수에 따라 일정한 형태의 칩을 배출하는 것으로 보아 다면드릴은 릴리프면을 개선시킨 공구보다는 플루트 면을 개선시킨 공구가 칩의 배출이 원활히 일어나는 것으로 확인 할 수 있다. 이상의 결과를 종합해 보면 제작비용의 문제를 제외하면 플루트 면에 다면을 형성시킨 RFLD드릴이 기존의 STD드릴 뿐만 아니라 MSD드릴 및 RFD드릴에 비하여 우수한 성능을 가진다고 할 수 있다.

Type of chisel point	Number of machine hole		
	1	64	104
SP-STD			
SP-MSD			Failure
SP-RFD			
SP-RFLD			
SE-STD			
SE-MSD			
SE-RFD			
SE-RFLD			

Fig. 13 Observation of chip formation for different types of chisel point as increased number of hole

### 6. 다면수에 따른 성능평가

이상 실험의 결과로부터, RFLD드릴이 가장 우수한 성능을 나타냄을 확인하였으나, 플루트 면에 몇 개의 다면을 형성해야 하는가에 대한 연구가 필요하다고 본다. 이러한 연구를 수행하기 위해서는 드릴의 직경과 최적다면수와의 상관관계에 대한 고찰이 필요하지만, 본 연구에서는 RFLD드릴의 SE타입을 가지는 직경 10mm의 드릴직경을 고정시키고 이 드릴의 릴리프 면

에 3종류의 다면수를 형성시켰다. 다면의 수를 많이 하면 실험의 신뢰성을 높일 수 있으나 다면이 많은 드릴은 제작에 어려움이 따르므로, 본 연구에서는 다면의 수를 1개(SE-RFLD1), 2개(SE-RFLD2) 및 3개(SE-RFLD3)를 형성시킨 드릴을 제작하여 성능평가를 수행하였다. Fig. 14는 성능평가의 결과를 보여주고 있다. 다면의 수가 1개 및 2개의 드릴인 경우는 다면이 가지는 효과를 충분히 발휘하지 못하고 80개의 가공구멍부근에서 가공불능이 되어버려, 본 실험의 드릴직경에서는 3개의 다면을 형성시킨 드릴이 가장 우수한 성능을 보여주는 것이 확인되었다. 이는 3개의 다면을 형성한 드릴이 1개 또는 2개의 다면을 가진 드릴보다 칩의 배출이 원활하였다. 그 이유로는 1개 또는 2개의 다면드릴을 사용하여 절삭실험을 한 결과 공구에 칩의 엉킴이 빈번하게 일어났으나 3개의 다면을 형성한 드릴에서는 이러한 현상이 발생되지 않았고 전단형 칩이 발생되었다.

또한, 다면의 수에 따른 성능평가를 진원도 및 표면 거칠기의 관점에서 나타낸 그림이 각각 Fig. 15 및 Fig. 16이다. 진원도 및 표면거칠기 어느 것이나 3개의 다면을 가진 RFLD드릴이 가장 안정적결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

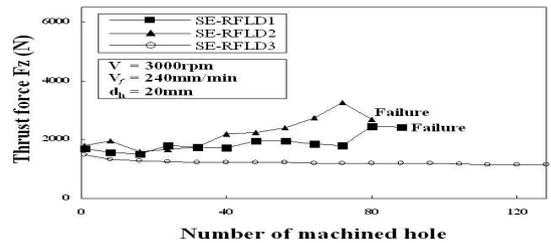


Fig. 14 Comparison of thrust force of according to variation of plane number on relief plane

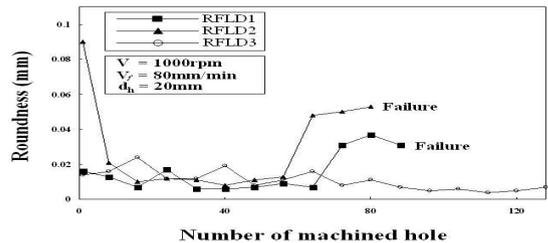


Fig. 15 Comparison of roundness of according to variation of plane number on relief plane

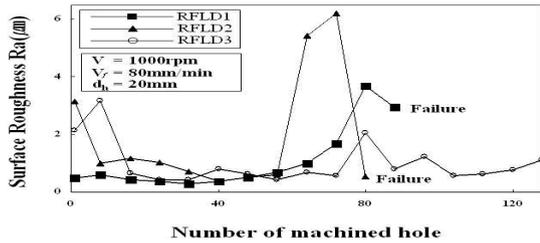


Fig. 16 Comparison of surface roughness of according to variation of plane number on relief plane

## 7. 결론

본 연구에서는 드릴의 릴리프 면과 플루트 면에 다면을 형성시킨 다면드릴을 제안하고 제안되어진 다면드릴을 대상으로 드릴링추력, 가공구멍의 진원도 및 표면조도의 관점에서 성능평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

1. 치즐포인트 형상에 따른 절삭특성평가의 결과로부터, SP타입은 저속절삭에서, SE타입은 고속절삭에 유리하다는 실험결과는 기존의 연구결과와 일치하여 본 실험의 결과가 신뢰성이 있음을 확인 하였다.
2. 드릴의 플루트 면에 다면을 형성시킨 RFLD드릴이 저속 및 고속에서 다른 다면드릴에 비하여 가장 우수한 성능을 보여줌을 확인 하였다.
3. 본 실험에서 사용한 10mm 직경의 RFLD드릴의 경우는, 다면의 수가 3개인 경우가 가장 성능이 우수함이 확인되었다

## 후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신(RTI04-01-03) 지원과 창원대학교 교내공모과제에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 전언찬, "초경 Step Drill의 절삭성에 관한 연구

" 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집 pp. 1063-1067, 1997.

2. Fugelso, M. A., "Cylindrical Flank Twist Drill Points," ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol. 105, pp. 183-186, 1983.
3. Williams, R. A., "A Study of the Drilling Process," ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol. 96, pp. 1207-1215, 1974.
4. Anish Paul, Shiv G. Kapoor, "Chisel edge and cutting lip shape optimization for improved twist drill point design" International Journal of Machine Tools Vol. 45, pp. 421-431, 2005.
5. Selvam, S.V.M., and Sujatha, C., "Twist Drill Deformation and Optimum Drill Geometry," Comp. Struct., Vol. 57, pp. 903-914. 1995.
6. Wu, S.M., and Shen, J.M., "Mathematical Model for Multifacet Drills," ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol. 105, pp. 173-181, 1983.
7. Huang, H.T., and Weng, C.I., "Prediction of Thrust and Torque for Multifacet Drills (MFD)," ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol. 116, pp. 1-7, 1994.
8. Huang, H.T., and Weng, C.I., "Analysis of Clearance and Rake Angles Along Cutting Edge for Multifacet Drills (MFD)," ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol. 116, 8-15, 1994.
9. Yan, B.H., and Wang, G.C., "A New Mathematical Model for Multifacet Drills Derived by Using Angle-solid Model," International Journal of Machine Tools & Manufacture Vol. 41 pp.103-132, 2001.
10. Chen, W.C., and Wang, G.C., "Design Optimization of a Split-point Drill by force Analysis," Journal of Materials Processing Technology Vol.58, pp. 314-322, 1996.
11. 이상조, "다면드릴의 성능 해석과 최적화" 대한기계학회논문집 제14권, pp. 1523-1532, 1990.