

# Rotary bar 절삭공구 개발 및 성능 평가에 대한 연구

서정환\*, 양해정<sup>+</sup>, 김 광<sup>++</sup>

(Manuscript received: Sep, 15, 2012 / Revised: Nov, 19, 2012 / Accepted: Dec, 10, 2012)

## The Research on Development and Performance of the Rotary bar Cutting tool

Jeong-Hwan Seo\*, Hae-Jeong Yang<sup>+</sup>, Kwang Kim<sup>++</sup>

### Abstract

Rotary bar was cutting tool being in use for deburring scale after welding metal and for eliminating sharp edges. It was necessary to develop exclusive 6-axis machine being possible to process machining continuously for making an cutting edge of rotary bar and to revise easily machining program. This study aimed at the structural analysis of strength according to the configuration of new made 6-axis machine and at the machining accuracy and durability of rotary bar. As a result of test, the runout of new rotary bar manufactured out of 6-axis machine was decreased from 0.385 mm to 0.027mm extensively than old one. And good cutting ability and durability was obtained equal quality compared with imported products.

**Key Words :** Rotary bar(로터리 바), Brazing(브레이징), Sintering(소결), Runout(원주 흔들림), T.I.R(전 흔들림), Chipping(미소파괴)

## 1. 서론

로터리 바(Rotary bar)는 핸드밀러에 장착하여 용접 후 생긴 scale, 금속 표면의 날카로운 모서리, burr나 fin을 제거하는데 사용하는 절삭공구이다. 기존의 연마석을 이용하여 작업할 경우에는 좁고 특수한 형태의 부위에 대한 가공이 어렵고, 분진에 의한 작업자의 호흡기 질환 유발과 작업환경불량, 기계마멸 촉진, 방진 마스크 착용에 의한 불편이 따른다. 따라서, 현재에는 주로, 용접작업이 많은 조선분야를 비롯하여 많은 제조업체에서 로터리바라는 절삭공구를 널리 사용하고 있다.

로터리 바의 제조공정은 초경합금 분말 재료의 혼합→로터리 바 헤더부위 압착성형→소결 열처리→로터리 바 헤더와 생크의 브레이징 접합→로터리 바 헤더 날 성형 기계가공→후처

리 등으로 제조된다. 이중 기계가공 공정에서 공구의 날을 형성하기 위하여 값비싼 공구 연삭기를 이용하여 다이아몬드 연삭숫돌로 공구 날을 성형 가공한다.

기존의 5축 공구 연삭기<sup>(1)</sup>를 사용할 경우, Fig. 2와 같이 형상이 복잡한 SF형 로터리 바의 경우에는 공구 헤더 끝 부분과 몸통을 한 번에 가공하지 못해 헤더와 몸통을 따로 분리 가공할 뿐만 아니라, 절삭에 따라서 연삭 휠 마모를 보정하는데 가공 프로그램을 수정해야 하는 어려움이 발생한다.

이와 같은 기계 가공 공정은 일반 고가의 범용 공작기계의 사용과 낮은 생산성으로 인해 가공 공정의 생산원가가 전체 생산 원가의 50~60%를 차지할 정도로 제조 원가 상승의 주요 원인이 되고 있으며, 복잡한 공구의 생산에는 공정의 복잡화로 인해 생산 제품의 정밀도 저하와 제품의 불균일을 초래하고 있다.

\* 한국산업기술대학교 기계설계공학과

+ 교신저자, 한국산업기술대학교 기계설계공학과

주소: 경기도 시흥시 정왕동 2121

++ 한국산업기술대학교 기계설계공학과

✉ Corresponding Author E-mail: yhj@kpu.ac.kr

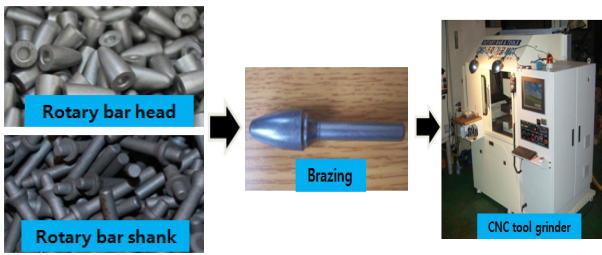


Fig. 1 Manufacturing process of the Rotary bar

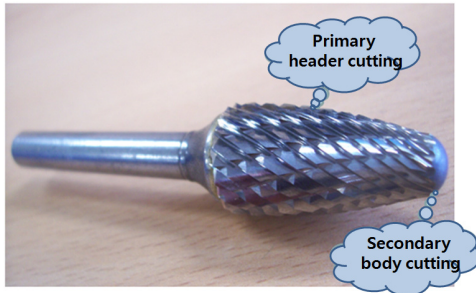


Fig. 2 Rotary bar machining process

본 연구에서는 생산원가를 절감하기 위해서 로터리 바를 생산하기 위해서 사용되는 기존의 값비싼 공구 연삭기를 대체하여 가격이 저렴하고 생산성이 좋은 6축 전용 공구연삭기를 직접 개발하고, 제작된 장비를 이용하여 로터리 바 공구를 가공하였다. 본 논문에서 제시한(개발한) 공구와 기존 5축 장비에서 사용되는 제품대비 정밀도 및 생산성에 관하여, 동종 수입 제품 대비 절삭성과 내구성을 비교 평가하고자 한다.

## 2. CNC 6축 공구 연삭기 개발

### 2.1 공구 연삭기 설계제원

로터리 바 전용가공 CNC 공구 연삭기는 6축 가공기로 기계 본체와 컨트롤러로 구성된다.

기존의 5축 가공기에서는 Fig. 2에서와 같이 공구헤더 머리와 몸통에 날이 새겨져 있는 SF형과 같은 로터리 바는 머리와 몸통을 별도로 작업해야할 뿐만 아니라, 다이아몬드 휠의 마모에 대한 공구 위치의 보정이 어려워 정밀하고 균일한 제품의 생산이 어려웠다. 따라서, 개발된 6축 전용 장비는 Fig. 3에서와 같이 기존의 5축 장비에 B-AXIS를 추가하여 기존 제품의 단점을 제거하고 단 1번의 가공공정으로 인해 생산성을 증대시키고, 가공 제품의 정밀도와 균일성을 크게 향상시켰다.

ANSYS 프로그램을 이용하여 주요 부재인 휠(wheel) 축 및 Z-AXIS에 기존의 5축 장비를 참고하여 4 kW, 10,000rpm의 모터를 선정하고 강성 해석결과를 토대로 Fig. 1과 같이 CNC tool grinder 장비를 제작하였으며, 각 축의 설계 제원은 Fig. 4와 같다.

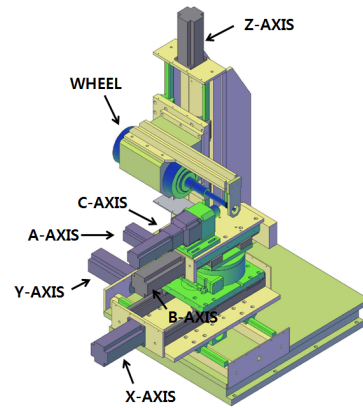
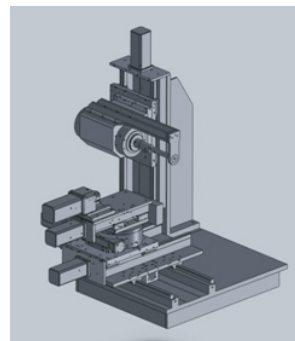


Fig. 3 6-AXIS configuration



- X-AXIS : 180mm
- Y-AXIS : 180mm
- Z-AXIS : 190mm
- A-AXIS : 150°
- B-AXIS : 120mm,
- C-AXIS : 360° rotation

Fig. 4 3D modeling

### 2.2 연삭시스템 구조해석

주요 부품인 휠(wheel) 축에서 사용 재료는 SCM440으로써 Rankine의 최대주응력설<sup>(2)</sup>을 기준으로 파손 여부를 판단하였다. SCM440의 허용 응력이 1,515MPa이나 해석결과 공구 고정축부는 최대 113.2MPa, 공작물 고정부는 최대 34.75MPa로 충분한 강도를 가짐을 확인하였다. Fig. 5는 공작물 고정축에 대한 강도해석<sup>(3)</sup>이며, Fig. 6은 전체 구조물에 대한 강성해석 결과로 최대 변형량이 9μm 이내로 안전함을 확인하였다.

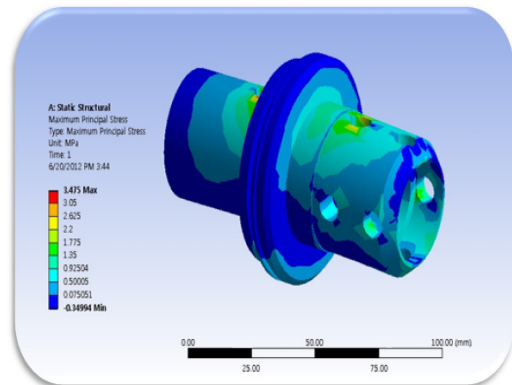


Fig. 5 Maximum principle stress of C-AXIS

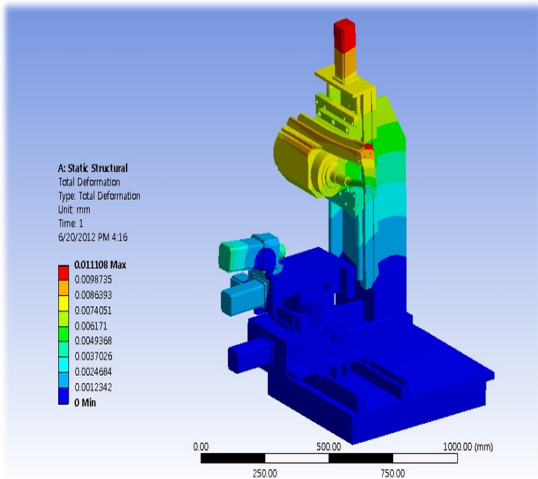


Fig. 6 Deformation of the entire structure

### 2.3 공구연삭기의 정밀도 측정시험

개발된 6축 CNC 공구 연삭기의 위치 정밀도를 측정하기 위하여 Table 1의 조건으로 원점에서 18, 40, 58, 81, 100mm 5단계를 3회 반복 이동하면서 장비의 정밀도를 측정하였다. KS B ISO 230-2<sup>(4)</sup>에서는 공작기계의 위치제어정밀도는 식 (1)~(4)와 같이 정의되어 있다. 이에따라 실제 측정 결과 Fig. 7과 같이 전체 이동길이 100mm에 대한 누적 오차가 25 $\mu$ m으로 공구의 절삭 깊이 0.95mm당 오차로 환산하면 0.24 $\mu$ m의 크기 정도이다.

$$\text{위치편차 } X_{ij} = P_{ij} - P_i \quad (1)$$

여기서,  $P_{ij}$  : 실제위치,  $P_i$  : 목표위치

또한, 위치제어 반복 정밀도는 평균 한쪽방향 위치결정 편차 값은 0.89 $\mu$ m, 1.029 $\mu$ m를 나타내었으며 이 위치에서 평균 양쪽 방향 위치결정 편차 값은 0.96 $\mu$ m를 나타내었다.

$$\overline{X_j} \uparrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \uparrow \quad (2)$$

$$\overline{X_j} \downarrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \downarrow \quad (3)$$

Table 1 Measurement conditions

Measuring equipment	Laser interferometer (RENISHAW/ML 10)
Measured temprature	33~35 $^{\circ}$ C
Test method	KS B ISO 230-1, 2

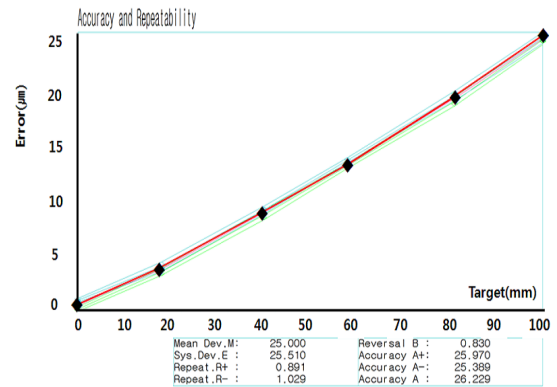


Fig. 7 Certificate of analysis

$$\overline{X_j} = \frac{\overline{X_j} \uparrow + \overline{X_j} \downarrow}{2} \quad (4)$$

공작기계는 백래쉬(backlash)가 존재하는데 개발된 공구연삭기의 실험측정결과 전진과 후진 시 최대 이동거리 100mm에 대하여 0.83 $\mu$ m의 크기로 측정되었다.

## 3. 로터리 바 절삭공구의 시험 및 고찰

### 3.1 로터리 바 절삭공구의 흔들림 측정 결과 값 비교

Table 2 에서는 기존의 5축 공작기계에서 가공된 제품, 신규로 6축 CNC 공구 연삭기에서 가공된 개발 제품(A), 수입하여 사용되고 있는 수입품(B)와 수입품(C) 등 각각의 제품 3개에 대한 흔들림 측정 결과를 나타내었다.

측정 방법은 공구의 생크 부위를 V-BLOCK위에 올려놓고 360 $^{\circ}$  회전하면서 동일한 지점의 공구 몸통부위에 인디케이터의 전윤직입(TIR : Total Indicator Reading)을 측정한 것이다.

측정결과 6축 가공 제품은 5축 가공 제품에 비하여 흔들림(runout)값이 평균 0.385mm에서 0.027mm 값으로 개선되었으며 수입제품(A)의 0.034mm, 수입제품(B)의 0.036mm와 비교해도 제품의 정밀도에 손색이 없다.

이는 생산 공정이 5축 가공에서는 프로그램 셋팅→소재장착→헤더부 1차 가공→소재탈착→프로그램 변경→몸통부 2차 가공→탈착과 같이 복잡한 공정을 거치게 되며 가공 연삭 휠의 마모시 보정을 위해 프로그램을 다시 수정함으로써 작업의 번거로움과 많은 시간낭비가 초래되었다. 개발된 6축 가공기로 가공시에는 프로그램 셋팅→소재장착→헤더 및 몸통부 동시 가공→탈착의 단축공정으로 인한 손실시간(Loss time)을 줄여 개당 생산량이 기존 4EA/hour에서 6EA/hour로 약 50% 향상이 되었다.

또한, 제품의 산포와 표준편차로 알 수 있는 바와 같이 제품의 균질성이 좋아졌으며<sup>(5)</sup>, 사용 후 폐기되는 공구를 재활용하

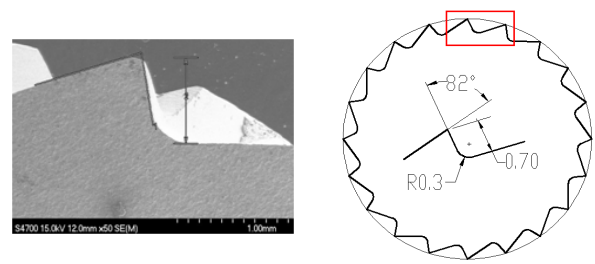
**Table 2** The measurement of the runout for various test samples

Item	No	measured value(mm)	Production rate
		T.I.R	
5-Axis machining product	mean	0.385000	6EA/hour
	dispersion	0.012762	
	standard deviation	0.11297	
6-Axis machining product(A)	mean	0.027000	4EA/hour
	dispersion	0.000016	
	standard deviation	0.004000	
Imported product(B)	mean	0.034333	-
	dispersion	0.009292	
	standard deviation	0.000086	
Imported product(C)	mean	0.036000	
	dispersion	0.000016	
	standard deviation	0.004000	

기 위해 공구 헤더 및 몸통의 외부 날을 제거하고 날을 재 생성하는 용도에서 사용할 수 있다.

**3.2 로터리 바 절삭공구의 날 형상 측정 비교**

로터리 바 절삭공구의 날 형상이 절삭에 큰 영향을 미친다. 공구의 날 형상의 크기와 모양은 Fig. 8에서 Fig. 10에 걸쳐 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 국산화 한 절삭공구는 수입품에 비하여 날의 각이 약 71°로 수입품의 87°, 82°에 비하여 예리하게 설계 되었다. 또한, 칩의 배출이 용이하도록 날



**Fig. 10** Edge shape of the imported product(C)

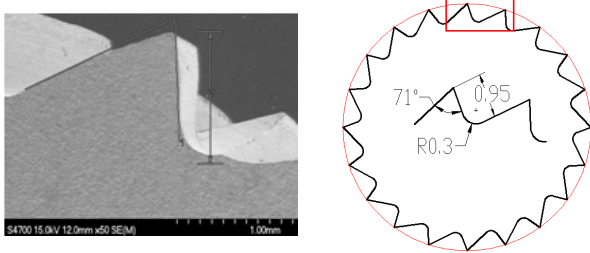
의 깊이가 0.95mm로 수입품의 0.6mm, 0.7mm보다 크게 되어 있다.

**3.3 로터리 바 절삭공구 절삭성 시험**

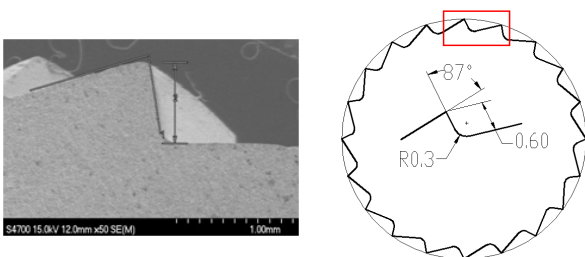
로터리 바 절삭공구의 절삭성 시험<sup>(6)</sup>과 내구성 비교를 위해 Fig. 11에서와 같이 6축 CNC 공구 연삭기에서 가공된 개발 제품(A), 수입하여 사용되고 있는 수입품(B)과 수입품(C) 등 각각의 제품에 대하여 3개의 시험 샘플을 준비하였다.

준비된 시험 샘플은 Fig. 12와 같이 개발된 시험 장비에 시료를 1개씩 장착하고 두께 19mm의 SS440 판재를 로터리 바 공구를 회전하여 이송속도 200mm/min, 절삭 깊이 0.05mm의 조건으로 1시간, 2시간, 3시간 절삭을 하여 마모의 특성을 파악하였다<sup>(7)</sup>.

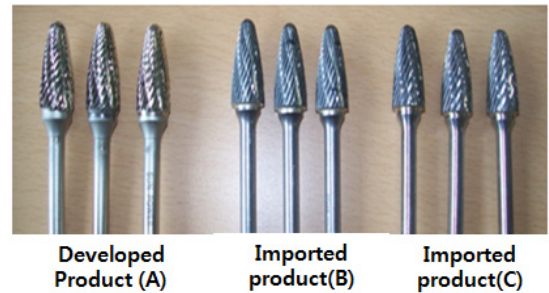
Fig. 13은 Fig. 11의 시료를 절삭 시험 후 날의 형상을 측정



**Fig. 8** Edge shape of the developed product(A)



**Fig. 9** Edge shape of the imported product(B)



**Fig. 11** Test samples



**Fig. 12** Cutting test equipment

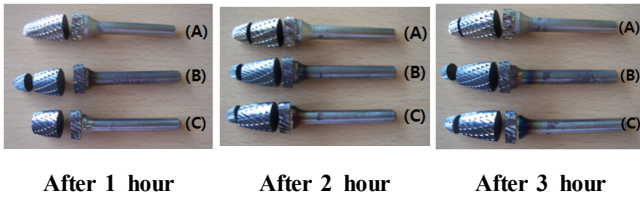


Fig. 13 Discoloration of cutting tool according to cutting time

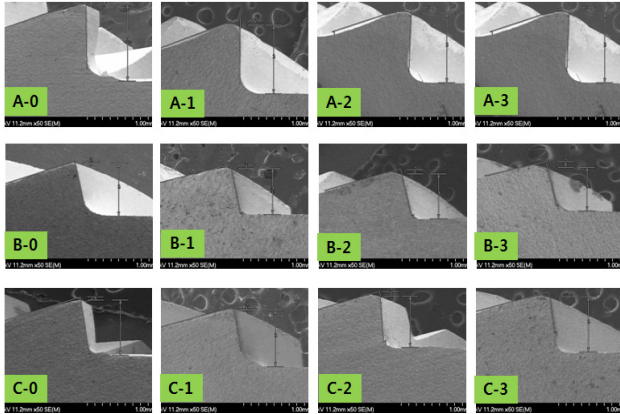


Fig. 14 Wear phenomena of the Rotary bar

하기 위해 날을 절단한 모양이다. 절삭시험 1시간이 경과된 상태에서 (B) 제품이, 2시간 경과시에 (C) 제품이 각각 목(Neck) 부위에 변색이 발생하였으나, 개발 제품(A)는 3시간의 경과에도 변색이 발생하지 않았다. 이는 절삭 과정에서 절삭 저항이 적어 작업자의 노동강도 개선과 함께 열의 발생이 최소화되고, 날의 높이가 커서 원활한 칩의 배출에 유리한 구조이다.

Fig. 14는 개발품과 수입품 각각에 대하여 시험 전(A-0, B-0, C-0), 1시간 시험 후(A-1, B-1, C-1), 2시간 시험 후(A-2, B-2, C-2), 3시간 시험 후(A-3, B-3, C-3)에 대표적인 날의 마멸 현상을 촬영한 것이다.

### 3.4 로터리 바 절삭공구 내마모성 비교

절삭 시험 결과를 바탕으로 절삭시간의 경과에 따른 공구의 내 마모성을 비교하였다. 하나의 절삭공구에 보통 절삭날이 20개 형성되어 있고 절삭날의 크기가 매우 작고, 각각의 절삭날에 대한 마모량이 달라서 날 하나에 대한 정량적 비교는 어렵다. 따라서 전체적인 공구의 마모 특성을 비교하기 위해 전자저울을 이용하여 각 시간별로 시험한 공구의 질량 감소량을 구하여 마모량을 측정하였다.

Table 3에서는 시간별 측정된 질량값과 마모량, 이를 토대로 마모량에 대한 추세 경향이 Fig. 15에 도시되어 있다.

절삭성시험결과, 개발품은 날의 각이 예리하여 초기에는 날의 마모가 크게 되지만 2시간 경과 후에는 시간당 마모량이 수입품과 대등한 임계 구간이 되며, 2시간 이후에는 오히려 마모

Table 3 Weight reduction of the Rotary bars

Item	Before the test (g)	After the test(times)		
		1Hour weight (reduction)	2Hours weight (reduction)	3Hours weight (reduction)
(A)	39.5385	39.5278 (0.0107)	39.5183 (0.0095)	39.5090 (0.0093)
(B)	38.5585	38.5547 (0.0038)	38.5460 (0.0087)	38.5334 (0.0126)
(C)	38.0850	38.0826 (0.0024)	38.0744 (0.0082)	38.0638 (0.0106)

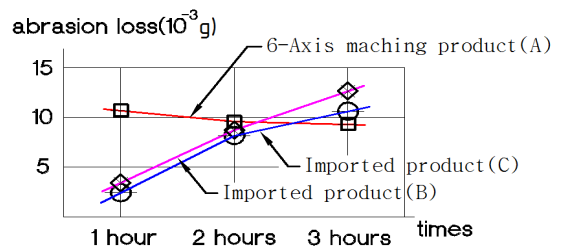


Fig. 15 Mass reduction of cutting time

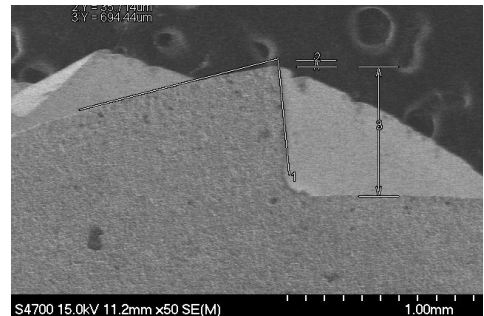


Fig. 16 Chipping of the cutting edge

량이 적어 수입품에 비해 내구성이 좋은 것으로 나타났다. 이는 절삭공구 현장 시험결과에서도 연속사용수명이 우수하다는 평가와 일치한다.

수입품(B)와 (C)가 시간의 경과와 더불어 중량 감소량이 다소 커지는 하나의 이유는 Fig. 16에서 일부 나타난 바와 같이 미소파괴(chipping)로 기인한 것으로 보인다. Fig. 16은 수입품(B)의 시료중 2시간 절삭시험 후의 날중 하나를 촬영한 모양이다.

### 3.5 로터리 바 절삭공구 현장시험

로터리 바 공구는 작업자의 수작업에 사용되는 공구로 작업자의 신체적 특성, 공작물의 재질 및 작업의 종류에 따라 선호도가 달라진다. 주로 조선소에서 많이 사용되는 공구를 고려하여 조선과 관련된 제품을 생산하고 있는 K업체의 조립부서에 20개의 샘플을 제공하여 2011.05.16~06.08(1차), 07.08~

07.19(2차), 08.04~08.17(3차) 현장 테스트를 실시하였다. 현장 시험결과를 종합한 결과보고서<sup>(8)</sup>에 따르면 수입품에 비하여 절삭성이 양호하고 수명이 긴 것으로 평가되었다.

#### 4. 결론

- (1) 전용 6축 가공기를 개발하여 SF 형 로터리 바와 같이 복잡한 모양의 제품을 공구 헤더 끝 부분과 몸통을 한번의 공정으로 가공함으로써 기존의 5축 가공기에 비해 약 50%의 생산성 향상이 기대된다.
- (2) 6축 가공기로 가공된 로터리 바의 흔들림 정밀도는 기존 5축 장비에서 가공된 로터리 바에 비하여 원주 흔들림이 평균 0.385mm에서 0.027mm로 감소하였으며, 이는 해외 수입품에 비해서도 동등이상의 성능을 나타내었을 뿐만 아니라 제품의 균질성도 크게 향상되었다.
- (3) 6축 가공기에서 가공하여 개발된 로터리 바 공구는 현장시험결과 날이 예리하여 절삭성이 좋으면서도, 시간의 경과에 따라 날의 미소파괴가 적어 공구의 사용수명에서도 수입품에 비해 우수한 품질임을 입증하였다.

#### References

- (1) Seo, J. H., 2011, "Development of 5-axis CNC Automatic Tool Grinder for Rotary Bar Cutting Tool Dedicated Production Machine," *Report of Small and Medium Business Administration.*, pp. 26~38.
- (2) Han, M. S., and CHO, J. U., 2012, "Structural Analysis of Engine Mounting Bracket," *Journal of the KSMTE*, Vol. 21, No. 4, pp. 525~531.
- (3) Lee, K. I., and Yang, S. H., 2012, "Performance Evaluation of Radial Error of a Rotary Table at Five-axis Machine Tool," *Journal of the KSMTE*, Vol. 21, No. 2, pp. 208~213.
- (4) KS, 2001, *Determination of Accuracy and Repeatability of Positioning Numerically Controlled Axes*, KS B ISO 230-2 : 2007, Korea Standard
- (5) Choi, J. P., Min, B. K., and Lee, S. J., 2003, "Machining Accuracy Improvement by On Machine Part Measurement and Error Compensation," *Journal of the KSPE*, Vol. 20, No. 12, pp. 34~41.
- (6) Lee, E. S., Won, J. K., Shin, T. H., and Kim, S. H., 2012, "Investigation of Machining Characteristics for Electrochemical Micro-deburring of the AZ31 Lightweight Magnesium Alloy," *International Journal of the KSPE*, Vol. 13, No. 3, pp. 339~345.
- (7) Ilaiyavel, S., and Venkatesan, A., 2012, "Experimental Investigation of Wear Characteristics on Manganese Phosphate Coated AISI D2 Steel," *International Journal of the KSPE*, Vol. 13, No. 4, pp. 581~586.
- (8) Rotary Bar Test Report(3rd), 2001, *Report of Field Test*, Kyeong Ho Co. Ltd.