

호닝 가공에 사용되는 다이아몬드 공구의 성능평가에 관한 연구

김민주*, 이승수*, 전언찬**

A Study on the Performance Evaluation of the Diamond Tool in Honing

Min-Ju Kim*, Seung Soo Lee*, Eon-Chan Jeon**

Abstract

This study is to evaluate the tool performance in honing using diamond reamer and present grounds whether the localized products are sufficiently competitive comparing with the existing imported ones. The heads of the tool performance evaluation are roundness, roughness, tool life of the workpiece and so on. When evaluating the tool performance, cutting process is divided by three areas which are rough, semi-finish and finish cut. Honing improves the accuracy such as boring and reaming after manufacturing the inside diameter, and finishing directly by honing is a recent trend. This honing is used greatly in hard cutting materials like cemented carbides and it is the CBN and diamond that is used in hard cutting materials. Both of them are expensive and most of them are imported.

Key Words : Tool Performance(공구성능), Rough Cut(황삭), Finish Cut(정삭-사상)

1. 서론

구멍가공시 내면 가공정도를 향상시키는 전 작업공정으로
로서 공작기계를 사용한 보링은 절삭공구에 의한 미세한
흠집과 진원도, 표면 거칠기, 그리고 재료의 소성변형 등의
결함을 발생시킨다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여
다음 공정으로 호닝(Honing)을 추가하여 표면 거칠기 및

진원도 등의 향상을 꾀하고 있다. 최근 절삭가공의 추세는
높은 압력으로 다듬질 양이 많은 공작을 한 후 연삭을 하지
않고 보링, 리밍과 같은 전가공에서 곧바로 호닝으로 정밀
다듬질을 실시하는 방법이 성행하고 있다. 이와 같은 호닝
은 미국의 Micromatic Hone사에서 개발한 것으로 Micro
Honing 또는 Positive Honing이라고 부른다. 또한 호닝의
보급과 더불어 대량 생산이 가능하게 되었는데, 이는 다축

* 동아대학교 대학원 기계공학과
(김민주 kmjshj@hanmail.net)

** 동아대학교 기계·산업시스템공학부

호닝머신 혹은 자동 호닝머신의 실용화에 기인한다. 그리고 소량 다품종의 복잡한 제품 형상 및 가공 제거량이 많은 부품에서는 가공능률이 높은 단인 공구에 의한 절삭 가공이 행해진다. 절삭가공용 공구의 재질은 일반적으로 피절삭재보다 3~4배 높은 경도가 필요하기 때문에 초경합금을 절삭할 수 있는 공구 재종은 다이아몬드 혹은 CBN 공구 외에는 존재하지 않는다.⁽¹⁻⁷⁾

초경합금 절삭시 많이 사용되는 다이아몬드 공구⁽⁸⁾는 고온에 탄화되어 내마멸성이 급격히 떨어지는 특성을 가지고 있지만 다이아몬드만큼의 절삭성을 발휘하는 공구재질이 존재하지 않는다. 이러한 다이아몬드공구를 황삭, 중삭 및 사상과 같은 가공단계에서 유효하게 사용하기 위해서는 최적절삭조건 선정이 매우 중요하다.⁽⁹⁻¹⁰⁾ 특히 유압밸브의 제작에는 나단구멍 가공이 많기 때문에 공구의 성능을 유지하면서 제품의 진원도 및 표면거칠기를 충족하는 것이 호닝가공에서 가장 중요한 부분이다. 그리고 산업 현장에서는 비싼 단가 때문에 수입공구를 국산화하려는 움직임이 활발하다. 하지만 이들의 성능을 테스트할 기술력과 연구인력부족으로 정확한 성능테스트가 이루어지고 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 국산 다이아몬드 공구를 이용하여 호닝한 제품의 진원도, 표면거칠기 및 공구수명을 측정하고 이들을 동일한 조건에서 일체 다이아몬드 공구로 가공하여 측정된 결과와 비교하여 국산 다이아몬드 공구가 어느 정도의 성능을 발휘하는지 연구하고자 한다.

2. 호닝에서의 가공 및 다듬질여유

2.1 호닝에서 전가공과 가공여유

호닝에서의 전가공은 보링이나 드릴링, 리밍 가공 후 행해지는 것이 보통이지만 인발이나 주조상태 그대로 가공하는 것도 최근의 경향이다. 호닝은 가공물의 내경 또는 외경 가공에 이용되기 때문에 동심도나 직각도의 수정이 불가하다. 따라서 동심도나 직각도와 같은 정도를 요하는 경우는 전가공에서 마무리지을 필요가 있다. 호닝 가공 여유는 전가공에 있어서의 표면 거칠기, 진원도 및 원통도에 의해 결정된다. 따라서 보다 고정도를 얻기 위해서는 전가공에서의 정도를 높이는 것이 필요하며 전가공 정도가 나쁘면 보다 많은 가공 여유가 필요하게 되어 지식의 소모가 빠르고 또 가공시간이 길게 된다. 일반적으로 대량 생산시에 적용하는 가공여유는 0.02~0.05mm이지만 전가공의 경우, 특히 돌출량이 많을수록 가공여유를 증가시킬 필요가 있다.

2.2 호닝 가공시 다듬질 여유

호닝가공에서의 최소 다듬질여유는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$A = 2H + R + T + A + S \quad (1)$$

여기서, H 는 전가공 표면거칠기, R 는 전가공 진원도, T 는 전가공 원통도, A 는 전가공에서의 구멍의 휨, S 는 전가공 치수오차를 나타낸다.

일반적으로 다듬질 여유는 전가공 및 호닝의 경제성을 감안하여 Table 1과 같이 가공물의 구멍 직경에 따라 결정하는 것이 바람직하다.

호닝의 전가공 조도는 다듬질 양이 정해져 있을 때에는 반드시 매끈할수록 유리하다고는 할 수 없다. Fig. 1과 같이 전가공 조도가 거친 편이 매끈한 편보다 실제 다듬질 양이 적어 경제적이다.

Table 1 Cutting allowance of workpiece in honing

Hole diameter(mm)	Cutting allowance	
	Cast-Iron(mm)	Steel(mm)
25 ~ 150	0.02 ~ 0.10	0.008 ~ 0.04
150 ~ 300	0.08 ~ 0.16	0.03 ~ 0.05
300 ~ 500	0.13 ~ 0.20	0.04 ~ 0.06

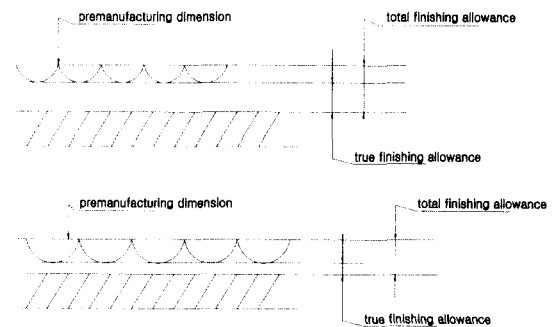


Fig. 1 Roughness and cutting allowance

3. 표면 거칠기 표시법

표면 거칠기의 중요한 변수는 표면형상의 높이 방향과 관계있는 변수, 표면 형상, 길이방향과 관계 있는 변수 및 높이 방향과 길이 방향 복합 변수가 있다. 표면 거칠기 표시방법은 KSB0161에 규정되어 있는 최대높이 거칠기(R_{max}), 10점 평균 거칠기(R_z) 및 중심선 평균 거칠기(R_a) 등이 있는데, 본 연구에서는 중심선 평균 거칠기인 R_a 를 사용하였다.

4. 실험장치 및 실험방법

4.1 실험장치

Fig. 2는 본 실험에 사용한 드릴링 머신(우창기계, DVA560)과 가공된 제품의 치수를 측정하는 마포스 게이지를 나타낸 것이다. 제품의 정확한 측정을 위하여 리머작업과 브러시(Brush)작업을 통하여 버(Burr)를 제거한 후 표면조도계

(Mitutoyo, SV414)를 이용하여 표면 거칠기를 측정하였고, 진원도측정기(Mitutoyo, RA 122)를 이용하여 진원도를 측정하였다. 진원도와 표면거칠기 측정기를 Fig. 3에 나타내었다.

4.2 공구 및 실험 재료

본 실험에 사용한 다이아몬드 공구의 형상을 Fig. 4에 나타내었다. 본 연구에 사용된 다이아몬드 리머는 일제 나찌 제품과 국산 신한다이아몬드 제품을 사용하였고, 두 제품 모두 동일 사이즈를 가진다. 두 제품 공히 직경 ϕ 11, 외경 치수 ϕ 13, Back Taper 0~0.005/100 μ m이고, 공구재질은 CBN이다.

측정대상이 되는 공작물을 Fig. 5에 나타내었으며 FC25의 주물을 사용하였다. 현재 중장비 안에 장착되는 유압밸브의 몸체를 머시닝 센터로 가공한 후 중압세척을 거쳐 인산염 피막 처리 후 호닝가공을 하였다.

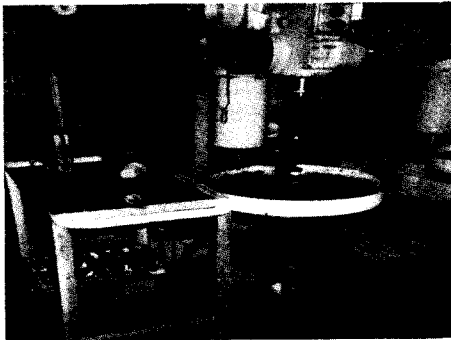


Fig. 2 Honing machine and mapos gauge

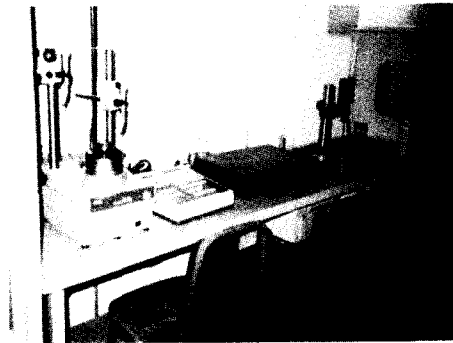


Fig. 3 Circularity and surface roughness measuring device

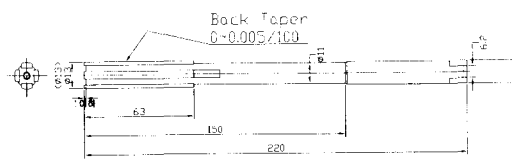


Fig. 4 Shape and dimensions of diamond reamer

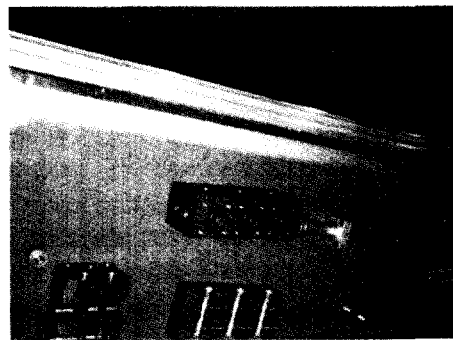


Fig. 5 The shape of material(hydraulic valve)

4.3 실험방법

본 실험에서는 공작물인 유압밸브 몸체를 가공할 때 최적 회전수를 찾기 위하여 다음과 같이 실험하였다. 현장에서 황삭, 중삭 및 사상공정에 적용하는 rpm을 적용하여 각 영역에서 최적절삭조건을 찾고자 한다. 이를 위해 황삭은 110~170rpm, 중삭은 240~290rpm, 그리고 사상은 370~430rpm 영역에서 회전수를 10rpm씩 증가시켰고, 이송과 가공깊이는 각각 0.2mm/rev 및 63mm로 일정하게 유지하였다. 여기서 가공깊이를 63mm로 한 것은 공작물의 형상 때문이다. 그리고 관통 구멍가공을 하였으며, 절삭유는 범우화학의 G10을 사용하였다.

또한 제품의 가공 특성상 황삭, 중삭 및 사상 3개의 공정으로 나누어 치수, 진원도 및 표면거칠기를 5회 반복 측정하였다. 그리고 그 평균을 구하여 데이터로 활용하였다. 그리고 치수, 진원도 및 표면거칠기의 보정을 위해 리밍 작업 후 내경 버를 제거하였다. 버 제거작업에는 일제 UNIT 나이론 브러시를 사용하였으며 그 후 공기로 내면을 깨끗이 한 후 측정을 하였다.

본 실험의 가공 공정을 Fig. 6에 나타내었다.

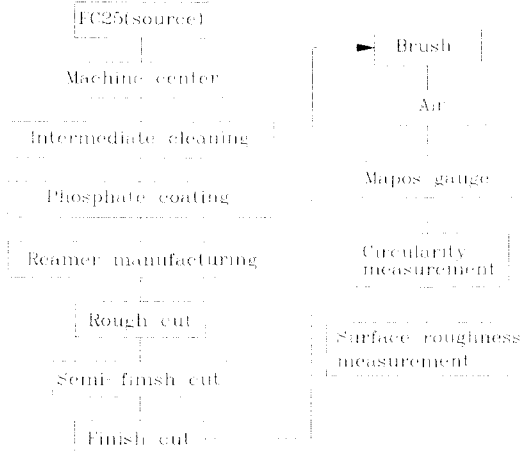


Fig. 6 Working and measurement process of material

5. 실험결과 및 고찰

5.1 최적절삭조건

Fig. 7은 황삭, 중삭 및 사상 영역에서 10rpm씩 회전수를 증가시켰을 때 각각의 진원도와 표면거칠기를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 황삭 영역에서는 140rpm 부근에서 진원도와 표면거칠기가 정밀하게 나타남으로 최적조건임을 알 수 있고, 중삭 영역에서는 270rpm 부근이 최적조건임을 알 수 있다. 그리고 사상 영역에서는 400rpm 부근에서 최적조건임을 알 수 있다.

위에서 구해진 최적절삭조건으로 호닝가공하여 공구의 성능평가를 수행하였다.

5.2 진원도

Fig. 8은 호닝 가공된 구멍의 진원도를 나타낸 것으로 국산 다이아몬드 공구를 사용하여 황삭 작업한 경우를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 0.8 μm의 진원도를 나타내고 있는데 이는 Fig. 9의 일제 다이아몬드 리머로 작업한 경우보다 0.3 μm이 큰 것으로 정밀도가 일제에 비해 떨어진다. 그러나 황삭 공정 자체가 높은 정밀도를 요구하지 않기 때문에 큰 의미는 없다고 생각된다.

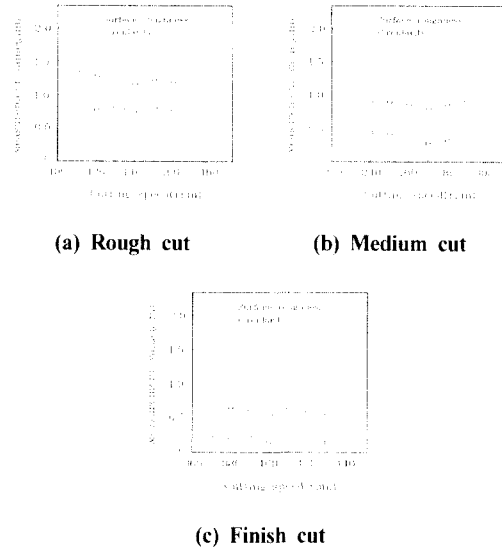


Fig. 7 Surface roughness and circularity of cutting speed (rpm)

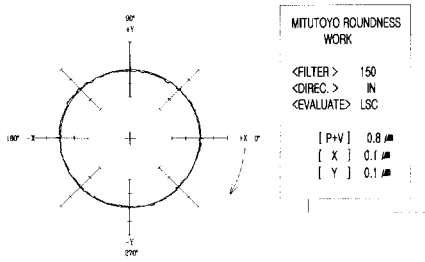


Fig. 8 Circularity(rough cutting-Korea)

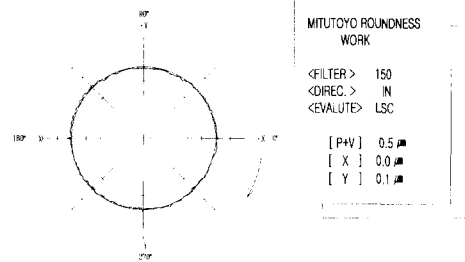


Fig. 9 Circularity(rough cutting-Japan)

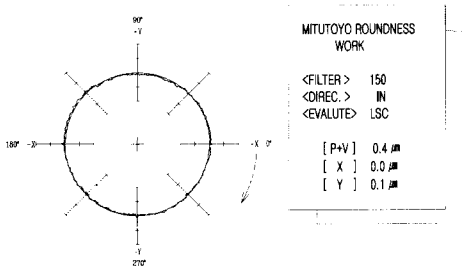


Fig. 10 Circularity(semi-finish cutting-Korea)

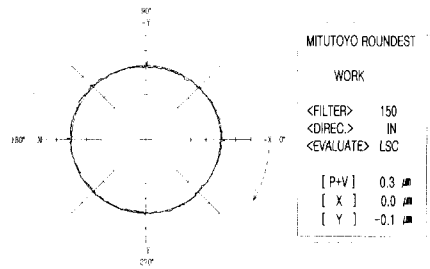


Fig. 11 Circularity(semi-finish cutting-Japan)

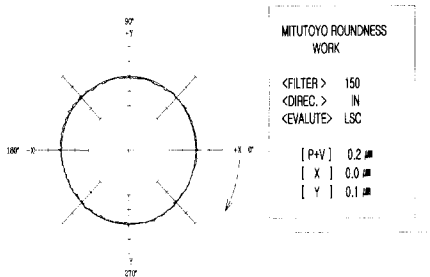


Fig. 12 Circularity(finish cutting - Korea)

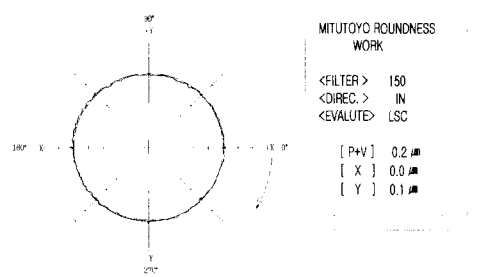


Fig. 13 Circularity(finish cutting - Japan)

중삭영역에서 진원도를 측정된 것을 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 중삭에서도 역시 국산 다이아몬드 공구를 사용한 경우가 일산을 사용한 경우보다 0.1 μm 크게 나타남을 알 수 있다.

황삭, 중삭에서는 국산 다이아몬드 공구를 이용한 가공이 일산 다이아몬드 공구를 이용한 가공보다 정밀도가 약간 떨어짐을 알 수 있다.

그러나 호닝 가공의 세 단계중 가장 중요한 사상공정에서 진원도의 차이가 거의 없음을 Fig. 12와 Fig. 13에서 볼 수 있다. 즉, 국산 공구와 일제 공구 모두 진원도가 0.2 μm로 나타났다.

이상의 결과로부터 최적절삭조건에서 국산 다이아몬드 공구를 이용한 호닝가공이 일산 다이아몬드 공구를 이용한 호닝가공에 비하여 정밀도가 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

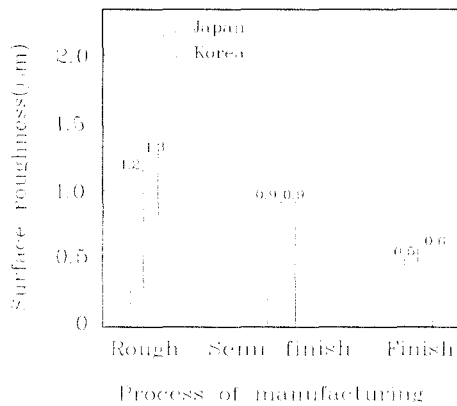


Fig. 14 Comparison of surface roughness in honing

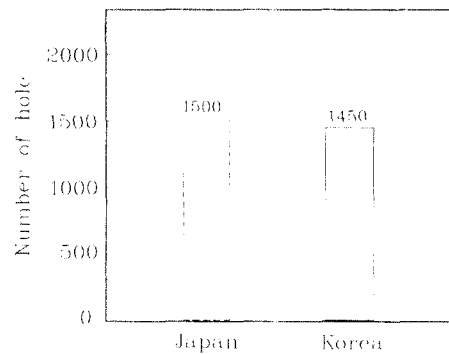


Fig. 15 Comparison of tool life in honing

5.3 표면거칠기

진원도와 함께 구멍 가공시 중요한 성능평가 요소인 구멍 내의 표면거칠기를 Fig. 14에 나타내었다. 그림에서 황삭과 사상시에는 일산 다이아몬드 공구를 사용한 경우가 국산 다이아몬드 공구를 사용한 경우보다 0.1 μm 정도 정밀하며, 중삭시에는 대등한 표면거칠기를 가지는 것을 볼 수 있다.

진원도에서의 경우와 마찬가지로 표면거칠기 또한 국산이 일산에 비해 대등한 성능을 지녔음을 알 수 있다.

진원도 및 표면거칠기를 조사함으로써 표준화된 일산 다이아몬드 공구의 성능에 국산 다이아몬드 공구가 근접함을 알 수 있다.

5.4 공구수명

진원도 및 조도와 함께 중요한 성능 평가 요소인 공구수명을 Fig. 15에 나타내었다. 국산과 일제의 수명 비교에서는 가공깊이 63mm인 공작물을 1500개 가공할 때 국산이 일제 리머에 비해 약 50 hole 정도 수명이 작게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 공구수명의 차이가 약 3.34%로 국산화시켰을 때 발생하는 가격 경쟁력에 비해 미미한 실정이다. 이상의 결과를 종합하면 국산 다이아몬드 공구의 성능이 표준으로 제시된 일산 다이아몬드 공구의 성능에 버금가는 것을 알 수 있으며, 성능대비 가격을 고려하면 국산 다이아몬드 공구가 상당히 우수함을 알 수 있다.

6. 결론

호닝가공에서 국산 다이아몬드 공구와 일산을 사용하여 표면거칠기, 진원도 및 공구수명을 비교한 결과 다음과 같

은 결론을 얻었다.

- (1) 다이아몬드 공구를 이용한 호닝가공의 최적절삭조건은 황삭시 140rpm, 중삭시 270rpm, 사상시 400rpm이다.
- (2) 진원도에서 사상공정으로 길수록 국산 다이아몬드 공구가 일산 다이아몬드 공구와 동일수준으로 근접하며, 표면거칠기 또한 근사한 값을 가짐을 알 수 있었다.
- (3) 국산 다이아몬드 공구의 수명을 일산과 비교해 보았을 때, 그 값이 표준으로 제시된 일산과 큰 차이가 없었으며, 성능대비 가격을 살펴보았을 때 국산이 매우 우수하였다.

참고 문헌

- (1) Flores, Gerhard, "Diamond and CBN Honing Technology", Technical Paper, Society of Manufacturing Engineering, 1998.
- (2) Anon, "Making the Best Use of Diamond Abrasive Technology", Public Works, Vol. 127, No. 10, pp. 46 ~ 47, 1999.
- (3) Ryzhox, Yu. E., "Forming Antifriction Properties of Friction Pairs in the Process of Diamond Honing with Active Lubricant Coolants", Trenie i Iznos, Vol. 18, No. 3, pp. 411 ~ 414, 1997.
- (4) Barabolya, A. V., Strizhakov, V. L., Chepovetskij, Kiev, Ukr, I. Kh., Chalyj, V. T., "On Decreasing the Depth of Deformed Layer in Diamond Honing",

- Svekhtverdye Materialy, No. 5, pp. 50~55, 1992.
- (5) S. I. Heo, "A Study on the Internal Grinding of Tungsten Carbide Materials to Improve the Machining Performance", Journal of KSPE, Vol. 13, No. 6, pp. 52~58, 1996.
 - (6) Takuya Semba, Hirokazu Fujiyama, Hisayoshi Sato, "Development of Resin Bonded Diamond Wheels With Improved Wear Resistance Using Surface Modified Fine Grains Treated by Radio-Frequency Magnetron Sputtering", Annals of the CIRP, Vol. 47, No. 1, pp. 271~274, 1998.
 - (7) Y. Namba, M. Shiokawa, J. Yu, "Surface Roughness Generation Mechanism of Ultraprecision Grinding of Optical Materials with a Cup-typed Resinoid-bonded Diamond Wheel", Annals of CIRP, Vol. 46, No. 1, pp. 253~256, 1997.
 - (8) K. K. Jang, Kenjiro Uegami, Kentaro Tamamura, "The Lapping Characteristics of Single Crystal Diamond (1st Report) Lapping Anisotropy of the Crystal Planes", Journal of KSPE, Vol. 10, No. 1, pp. 147~152, 1993.
 - (9) 徐南燮, "機械工作法", 동명사, pp. 670~677, 1987.
 - (10) 한규택, 장명진, "열린 홀을 가진 2사이클 엔진실린더의 호닝가공시 호닝의 정밀도에 미치는 혼스톤의 영향", 한국공작기계학회 논문집, Vol. 9, No. 3, pp. 143~149, 2000.