

열린 홀을 가진 2사이클 엔진실린더의 호닝가공시 호닝의 정밀도에 미치는 혼스톤의 영향

한규택*, 장명진**

Effect of Hone Stone on Accuracy of Honing in 2-Cycle Engine Cylinder having Open Hole

Kyu-Taek Han*, Myung-Jin Chang**

Abstract

Grinding technology in modern industry society is focusing on research and development for grinding stone and machining parts for the purpose of high accuracy and high efficiency of products.

But, in order to equip the high technology and high accuracy of micro stone which is one of grinding stone, a continuous effort on R & D is required.

In this study, the honing processing work of 2 cycle engine cylinder for motorcycle which has an open hole is carried out so as to investigate the boring and hone stone effects on accuracy of honing.

As the experimental result of this study, we could conclude that it is possible to secure good conditions of honing by controlling and keeping appropriate cycle-time in the stage of boring for the prior step of honing.

Key Words : Hone Stone(혼스톤), Honing(호닝), Engine Cylinder(엔진실린더), Boring(보링), Grinding(연삭)

1. 서론

소형 실린더를 사용하고 있는 이륜차공업은 외국에서 부품을 들여와 독점 생산이 시작된 지 30년이 지난 지금에도 거의 외국 메이커의 기술에 의존하여 모델을 개발하거나 생산중인 모델을 도입하여 외관이나 품질 면에서 커다란 변경도 없이 국산화 개발을 하고 있으며, 엔진부품

중에 일부는 아직도 외국에서 도입하고, 그 외에는 국내의 수평 계열화된 협력업체에서 부품을 국산화하여 조립생산을 하고 있는 실정이다.

특히, 2사이클 실린더는 작은 홀에서 고출력을 내기 때문에 높은 진원도 및 원통도 관리가 필요한데다가 실린더 슬리브(sleeve)에 옆구멍이 있는 형상이므로 가공성이 나빠서 외국의 기술적 의존도가 크다.

* 부경대학교 기계공학부
** 부경대학교 대학원

이러한 현상을 개선하기 위해서는 독자적인 2사이클 실린더 가공기술이 필요하며, 특히 실린더 가공에 핵심적이고 중요한 역할을 하는 혼스톤(hone stone)의 개발은 시급히 해결해야 할 과제이다.

호닝기술은 연삭기나 랩핑 등 기타의 공작기계 중에서 가장 역사가 짧아 1906년경에 저상반이라고 불리는 구멍 내경을 연삭가공 후에 표면조도를 높이는 것을 주목적으로 하여 개발되었고, 혼스톤의 확장기구는 현재와 같은 유압, 공압 혹은 기계확장과 다른 스프링의 힘에 의해 혼스톤을 확장시키는 것이 아니고 수동으로 확장하기 때문에 절삭개념이 아니고 연삭개념의 기구였다.

1924년경에 와서 미국의 Bames Drill사가 Ford자동차 회사와의 협동개발에 의해 현재와 같은 유압확장에 의한 강제확장의 본격적인 호닝 기술을 개발하였다.⁽¹⁾

또 자동 정치수 기구(auto sizing system)의 개발과 함께 호닝 기술은 급속히 발달하여 연삭 보다 빠르고 더욱 고정도의 가공이 가능하게 되었고 현재는 연삭가공을 대체해 가고 있다.

한편, 최근의 호닝가공은 내면만이 아니라 외경, 외구면, 내구면, 테이퍼구멍, 평면 등 여러가지형상을 가공할 수 있고⁽²⁾, 또한 머시닝센터를 이용한 호닝가공과⁽³⁾ 냉각효과를 극대화시키고 내마모성을 증가시키기 위해 알루미늄 일체형 실린더에 피스톤이 왕복하는 내경쪽만 도금 처리한 고정도 부분을 호닝하기 위해 최소 호닝여유 관리 등의 관한 연구⁽⁴⁾ 등이 보고되고 있다.

또한, 모터사이클용 엔진은 3,000~12,000 rpm 정도에 고출력을 내므로 피스톤과 실린더는 원활한 윤활작용과 고정도의 진원도 및 원통도를 가져야 한다. 그래서 최근에는 호닝 뿐만 아니라 실린더의 재료와 윤활 및 혼스톤에 관한 연구 등도 보고되고 있다.⁽⁵⁻¹¹⁾

특히, 호닝가공에 중요한 역할을 하는 혼스톤은 고정밀도와 능률에 영향을 미치므로 기계가공분야에서 끊임없는 연구와 개발이 필요하다.

본 연구는 열린 홀(hole)을 가진 이륜 자동차용 2사이클 엔진 실린더의 호닝 가공에 있어서 전단계 가공인 사상보링이 호닝에 미치는 영향 및 혼스톤이 호닝의 정밀도에 미치는 영향을 규명하여 호닝용 스톤을 개발하는 것을 목표로 하였다. 연구방법은 확장압력, 클램핑 여유, 왕복속도, 회전속도 등의 설비의 가공조건 및 호닝의 가공여유관리 등을 조사한 후 기존의 수입된 혼스톤과 개발하고자 하는 혼스톤을 사용하여 호닝 실험을 실시하고 그 결과를 분석고찰 하는 것을 연구목적으로 한다.

2. 이 론

2.1 모터사이클용 엔진의 구조

실린더에는 상부에 실린더 헤드를 취부하고 하부는 크랭크 케이스(case)에 취부되며, 그 내부를 피스톤이 상하운동하고, 피스톤과 실린더 헤드와 함께 연소실을 형성하고 있다.

그리고 발생한 고열을 실린더라이너를 통해 외측에 설치되어 있는 냉각 핀으로 방산 하는 일을 한다. 또한, 실린더는 출력에 중요한 영향을 주는 흡입흡과 배기흡을 갖추고 있다. 이것은 혼합가스를 흡입하고 연소가스를 배출하는 역할을 한다.(Fig.1)

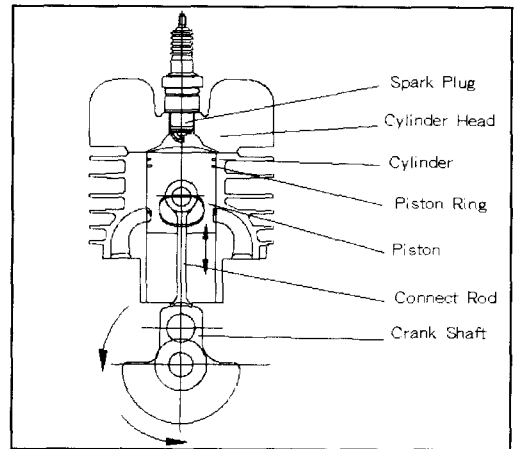


Fig. 1 Structure of 2 cycle engine

2.2 호닝운동 및 혼헤드의 구조

호닝은 혼 헤드라는 툴(tool)의 주위에 여러개의 혼스톤을 혼스톤대위에 접촉 또는 클램프에 의해 장착시킨다.

이 혼스톤은 유압, 공압 또는 기계기구에 의해 혼 헤드의 확장로드(rod)를 밀어 로드와 연결되어 있는 확장 콘에 의해 밀려 확장한다.

동시에 혼 헤드는 회전과 왕복운동을 행한다. 이것에 의해 절삭 표면은 호닝의 독특한 크로스 해치(cross hatch)모양으로 된다.

혼스톤은 혼(hone)의 중심에서 일정한 힘으로 서서히 밀어 붙어져 전표면을 절삭해 간다. 즉, 가공순서는 먼저 가공물 클램프한 다음 주축 슬라이더가 하강하고 스트로크의 초기저압확장이 이루어지면 고압확장, 정치수 1단계

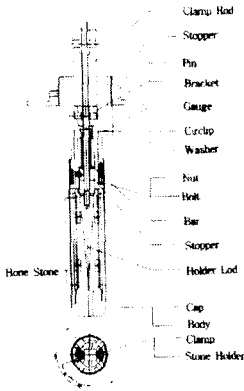


Fig. 2 Structure of hone head

작동, 저압확장 후 최종 정치수 2단계 완료후 복귀하는 장치로 구성되어 있다.

한편, 호닝에서는 혼스톤이 면접촉으로 가공하기 때문에 혼 헤드 또는 가공물의 어느 것인가를 부동(floating)의 상태로 가공할 필요가 있다.

통상 입형에서는 혼 헤드를 유니버설 타입으로 하고 가공물 장착기구를 고정으로 하는 방법을, 횡형에서는 혼 헤드를 고정형으로 하고 가공물을 부동으로 하는 방법이 행해지고 있지만 입형호닝에서도 작은 물건을 고정형의 혼 헤드를 사용하고 가공물 장착기구를 부동형으로 하는 방법도 많이 행해지고 있다.

2.3 자동 정치수 기구(auto-sizing system)

자동 정치수 방식에는 게이지바 방식, 링 게이지 방식, 플러그 게이지 방식, 확장 게이지 방식, 에어 마이크로미터 방식 그리고 타이머 방식 등 여러가지 방식이 있지만 이번 실험에서는 플러그 게이지 방식을 적용한다.

플러그 게이지 방식은 내경 80mm정도 이하의 가공에 많이 사용되는 방식이며 가공구멍에 플러그 게이지가 들어가면 정치수 플랜지와 전기접점이 접촉하여 정치수 완료 신호가 나오는 방식으로써 기계측에는 8V정도의 약전류를 흘리고 전기접점측에는 기계와 절연으로 하여 가공구멍에 플러그 게이지가 1~3 mm정도 들어가면 정치수 플랜지가 전기 접점에 접촉하여 정치수 완료의 신호가 흐르는 구조로 되어 있다.

이 장치는 가공중의 공작물치수를 전기 마이크로 미터를 써서 측정하여 그 결과를 미터지시 및 미리 설정된 위

치에서 신호를 발생시킨다.

2.4 실린더 확장방식

혼스톤의 확장방법에는 수동확장에서 자동확장까지 여러가지 방법이 있고 각각 특징이 있다. 어느 방법이 가장 좋으냐는 가공물의 형상에 따라 선정하는 것이 가장 바람직하나 여기서는 기계 한정에 따라 유압실린더 확장방식을 적용한다.

유압실린더로 혼스톤을 확장시키는 방법은 가장 일반적으로 사용되어 행해지는 방법이다. 이 방식으로는 실린더 피스톤에 의해 혼스톤의 확장 추종성을 좋게함과 함께 가공압력을 일정하게 유지할 수가 있다. 또, 혼스톤은 가공물 벽면까지 급속하게 확장하여 그 후 절삭력에 비례하여 일정압력으로 가공시키기 때문에 절삭에 압력변동이 없어 기계확장과 같은 시간적 낭비가 없이 안정된 가공이 가능하다. 또 기구적으로 구조가 간단하여 가격이 저렴한 것도 이점이다.

유압확장 방식은 대형기와 같은 고압확장을 하는 경우에 공압 확장 방식은 소경의 가공물에서 저압확장으로 가공하는 경우에 적합하다.

2.5 호닝유형별 정도불량 비율분석

실린더 호닝가공의 불량률 수를 조사해보면 2사이클이 4사이클 보다 불량률이 높으며, 특히 2사이클 중에도 혼합형은 열박음하여 호닝작업을 하는데 이것이 가장 불량률이 높게 나타난다.

2.6 호닝가공에 영향을 미치는 인자들

호닝가공에 영향을 미치는 주요인자들을 정리하면 아래와 같다.

(1) 혼 헤드와 혼스톤 치수

혼 헤드의 설계, 특히 혼스톤 치수의 선정에는 다음의 다섯가지를 고려하여 결정한다.

- 1) 혼스톤의 안정성
- 2) 슬러지의 배출성
- 3) 혼스톤의 절삭성
- 4) 면조도
- 5) 혼스톤대의 외압에 대한 강도
- (2) 스트로크 길이와 혼스톤길이의 설정
- (3) 속도에 따른 호닝 압력(확장 압력) 분석
- (4) 호닝속도(회전속도)
- (5) 왕복 속도에 따른 스크래치(scratch)
- (6) 호닝 전단계 가공과 공작물의 가공여유

- (7) 공작물 클램핑 방식
- (8) 호닝유 역할

3. 실험

3.1 최적 클램핑 여유 실험

본 실험은 제품을 고정구에 정위치시키고 나서 클램프 했을때 제품과 클램프기구사이의 간격을 변화시키면서 실험하여 호닝정밀도 차이 비교를 실시한다.

3.2 호닝속도에 따른 정밀도변화 실험

일반적으로 호닝속도(회전속도)가 높으면 혼스톤의 마모량이 증가한다. 본 실험은 호닝속도의 변화가 조도에 어떤 영향을 미치는 가를 조사한다. 즉 동일한 조건에서 호닝속도만 변화시키면서 가공했을 때 호닝정밀도의 변화를 비교한다.

3.3 실린더 유형별 전단계가공과 호닝정밀도 실험

본 실험은 호닝 전가공상태와 호닝 가공완료상태를 비교하여 전 가공상태가 호닝가공에 영향을 미치는 요소를 조사하고 호닝 정밀도 유지관리를 위해 전 단계 가공정도를 파악한다. 먼저 소재의 경도, 조직 및 형상을 확인하고 전 단계 가공상태를 검사한 후 2사이클 실린더와 4사이클 실린더의 호닝 가공정밀도를 비교실험한다.

가공물 형상은 관통 홀(hole), 막힌 홀, 틈이 있는 막힌 홀, 단이 있는 홀, 옆구멍이나 홈구멍이 있는 홀 등이 있는데 본 연구에서는 옆구멍, 홈구멍이 있는 사양만 분석한다.

가공물 경우의 혼스톤은 셀형의 혼스톤을 사용하는 것이 보통이다. 혼스톤 폭은 적어도 홈폭의 2배정도 이상이 바람직하다.

그러나 혼스톤을 무조건 크게 하면 슬러그(slug) 배출성이 떨어 뜨린다. 슬러그의 배출성은 호닝 가공에 있어서 대단히 중요한 것으로서 슬러그가 혼스톤표면에서 신속

히 배출되지 않으면 눈막힘 또는 슬러그에 의한 흠발생의 원인이 된다. 슬러그의 배출성은 혼스톤폭이 넓을수록 나빠지며 좁을수록 좋게된다.

따라서 슬러그의 배출성에서 혼스톤은 좁을수록 좋은 것으로 되지만 반대로 혼스톤의 표면적이 적게 되기 때문에 혼스톤의 마모가 빠르게 되면 변조도도 나빠게 된다. Fig. 3은 가공물형상을 펼친 그림이다.

3.4 개발품과 기존 혼스톤의 비교실험

본 연구는 개발한 혼스톤과 수입한 기존의 혼스톤을 테스트하기 위해 전단계 가공의 여유를 여러가지 형태로 주어 호닝가공 후 정밀도차이가 심한지 여부를 비교 실험한다.

3.4.1 가공물 내경 측정

진원도 측정을 하기전에 가공물의 내경을 검사하는데, 측정은 마스터 링(master ring)으로 실린더 게이지(cylinder gauge)를 수시로 세팅하는 방법으로 실시된다.

3.4.2 진원도 및 조도 측정

진원도 측정기(모델명: Roncorder EC3200;일본(COSAKA))에서 먼저 마스터로 세팅을 하고 검사지름과 길이를 입력하면 자동으로 진원도, 원통도 및 직각도까지 측정이 되며, 이 장비는 마이크로 단위까지 세밀히 측정할 수 있다.

또한 조도측정기(모델명: Talysuff 5-60;영국(TAYLOR HOBSON))를 이용하여 사상보링 및 호닝가공 후 조도검사를 실시하는데, 마이크로 단위까지 측정이 가능하다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 가공기준 및 공작물 클램핑여유의 비교

4.1.1 가공기준

Table 1은 2사이클과 4사이클의 가공기준을 표시한 것이다.

Table1과 Fig. 4를 보면 4사이클보다 슬라이브 외경을 기준으로 하는 2사이클이 치수의 공차누적이 적음을 알 수 있다.

4.1.2 클램핑여유에 따른 제품가공부의 정밀도 차이의 분석

일반적으로 기계가공 작업시 공작물이 유동을 하면 정도관련 쪽으로 나빠지지만, Table 2와 같이 호닝작업시는

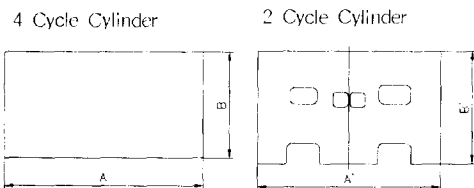


Fig. 3 Development drawing of products

Table 1 Comparison of machining datum in 2 cycle and 4 cycle

	2 Cycle		4 Cycle	
	Name	dim.	Name	dim.
Machining datum	Skirt outer dia.	IT tolerance h7	Hole distance	0.03mm
	parallelism	0.03mm	parallelism	0.03mm

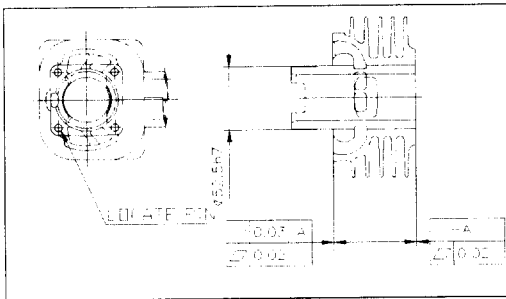


Fig. 4 Machine datum of 2 cycle cylinder.

Table 3 Variation of accuracy as rotation velocity (2cycle)

Velocity (rpm)	Cutting Allowance (mm)	Circularity (μm)			Circularity (μm)		Circularity (μm)	
		A	M	B	X axis	Y axis	X axis	Y axis
150	0.02	2.9	2.8	2.9	4.2	2.7	8.7	6.6
	0.03	3.7	2.6	2.9	5.0	3.2	6.9	4.7
	0.05	2.2	2.0	1.7	4.9	1.8	16.5	15.5
225	0.02	2.1	1.3	1.3	3.3	1.7	11.0	12.1
	0.03	1.9	2.1	1.8	4.0	1.3	7.1	7.2
	0.05	1.7	1.2	1.3	3.2	1.6	8.5	9.4
300	0.02	2.3	1.7	1.8	3.6	3.4	5.8	3.2
	0.03	2.0	2.0	2.2	3.5	4.0	8.0	6.5
	0.05	1.8	1.5	2.0	2.8	3.9	8.1	8.0

이고 있다. 이것은 진원도나 원통도를 향상시키는 최적의 호닝속도가 존재함을 나타낸다. 즉, 고정밀도의 가공을 위해서는 최적의 호닝속도를 찾아내어 가공해야만 함을 알 수 있다.

4.3 호닝전 전단계가공시의 정밀도와 호닝후의 정밀도의 비교

호닝가공은 절삭가공이지만 크기치수를 변경시키는 작업이 아니라 형상공차를 높이는 작업이므로 전단계가공인 정밀보링에서 치수공차를 유지시켜야만 안정된 호닝 작업이 된다.

Fig. 5와 Fig. 6을 보면 호닝후의 진원도나 원통도는 전단계가공시와 비슷한 경향을 나타내며 형상공차가 개선되었다.

한편, 호닝후의 직각도는 Fig. 7과 같이 전단계가공과는 약간 다른 경향을 나타내며 형상공차가 개선되었다.

Table 2 Variation of accuracy as clamping allowance (unit: μm)

Clamping allowance	Circularity	Cylindricity	Squareness
0	5.6	7.7	24.5
15	2.5	2.8	10.7
30	1.0	1.8	6.8
45	1.8	3.8	22
60	4.2	5.0	18

0.03mm의 클램핑 여유시 가공정도가 가장 좋은 것을 나타내고 있다

4.2 호닝속도에 따른 정밀도의 변화 비교

Table 3은 호닝속도를 3가지로 하여 가공했을때 정밀도의 변화가 어떻게 되는지를 비교분석하여 표시한 것이다.

여기에서 보면 150rpm에서는 3 μm 정도를 나타내지만 225rpm에서는 2 μm 미만의 고정밀도를 보여주고 있다. 그러나 300rpm에서는 정밀도가 다시 떨어지는 경향을 보

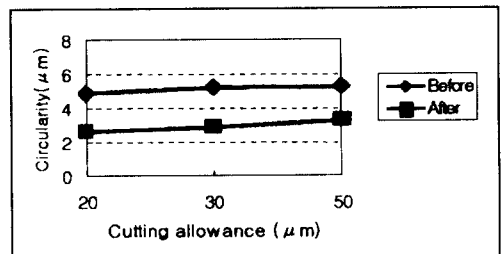


Fig. 5 Comparison of circularity before and after honing (2 cycle)

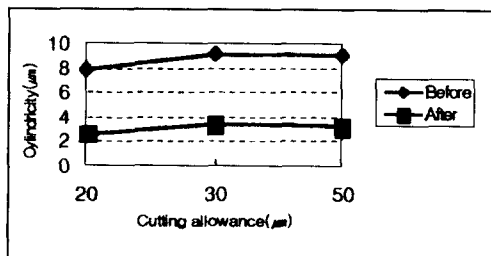


Fig. 6 Comparison of cylindricity before and after honing (2 cycle)

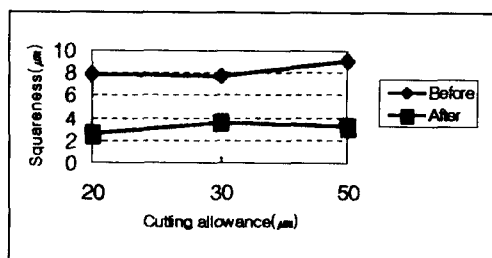


Fig. 7 Comparison of squareness before and after honing (2 cycle)

4.4 호닝의 혼스톤 종류에 따른 가공시간차이 비교

아래의 Table 4는 혼스톤의 종류와 가공량에 따른 가공 시간의 차이를 나타내고 있다.

4.5 호닝의 스톤에 따른 정밀도의 변화 비교

혼스톤의 선택은 호닝가공에서 가장 주의를 기울여야 하는 것중의 하나다.

혼스톤은 크게 2가지 가공요소가 가공의 정밀도에 영향을 미친다. 첫번째는 혼스톤의 형상이다.

Fig. 8은 개발전과 개발후의 형상을 비교한 것이다. 호닝가공은 혼스톤의 전 표면적에 접촉하여 가공하는 것이 가장 효과적이기 때문에, 가공물의 반경과 혼스톤의 반경이 동일하게 적용되는 개발후의 형상이 정밀도의 향상면에서 유리하다.

두 번째는 혼스톤의 입도 및 결합재 등 재질에 관한 부분이다.

호닝의 혼스톤의 입도로서는 주로 인조의 산화 알루미늄(아란덤 A저립) 및 탄화규소(카보란덤 C저립)가 사용되며 일반 강류의 호닝에는 아란덤 혼스톤이, 주철에는 카보

Table 4 Comparison of machining time

Cutting allowance (mm)	Machining time(sec)			
	GC320 JB(S)	GC240 (J)	GC240 J(S)	GC180 J(S)
0.02	57	48	54	22
0.03	79	68	77	35
0.04	131	81	99	47
0.05	183	127	150	68

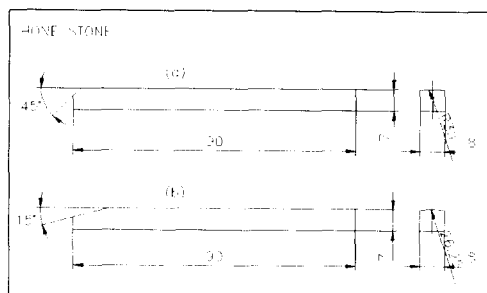


Fig. 8 Profile of hone stone before (a) and after (b) development

란덤 혼스톤이 사용된다.

이들 중 순도가 높은 것이 백색 카보란덤(WA저립) 및 녹색 카보란덤(GC저립)인데, 혼스톤의 순도가 높을수록 조도는 향상되나 가공력은 약하다. 결합재는 비트리콤파이드 결합재가 주로 쓰이며 거의 모든 가공에 응용된다.

이외에 레지노이드 결합재도 쓰여지지만 이것은 다듬질 면에는 매끈하게 되지만 다듬질량이 적으므로 다듬질 호닝이나 특수한 가공일때만 사용된다.

본 연구에서는 아래의 4가지 경우의 슷돌사양을 가지고 실험하였다.

- ① GC 320JB(S)사양(일본)
- ② GC 240J사양(연지사;한국)
- ③ GC 240J(S)사양(연지사;한국)
- ④ GC 180J(S)사양(연지사;한국)

4.6 개발품과 기존품과의 비교분석

기준에 사용중인 혼스톤은 가공량이 증대했을 때 Fig. 9 및 Fig. 10과 같이 대체적으로 진원도나 원통도가 떨어지는 경향이 발생하였으나 개발된 혼스톤은 거의 동일한 정밀도를 유지하였다.

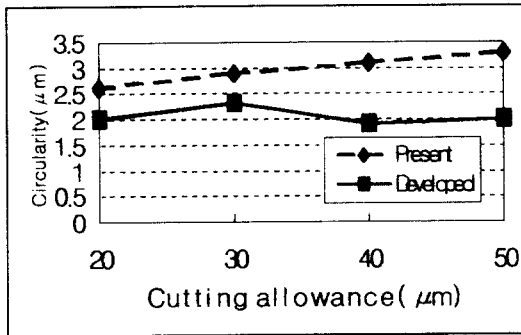


Fig. 9 Comparison of circularity

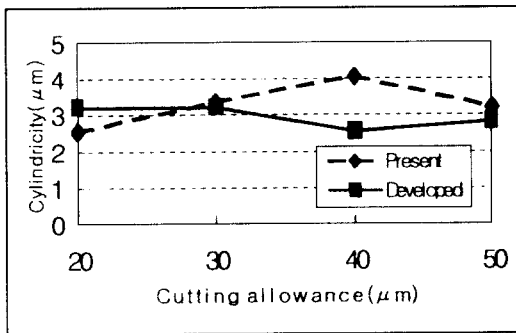


Fig. 10 Comparison of cylindricity

5. 결 론

본 연구는 열린 홀(hole)을 가진 이륜 자동차용 2 사이클 엔진실린더의 호닝 가공에 대해서 전단계 가공인 정밀 보링과 혼스톤이 호닝의 정밀도에 미치는 영향을 규명하기 위하여, 먼저 가공 구성요소 및 호닝의 가공여유관리 그리고 설비의 가공조건 등을 조사한 후, 동일한 가공조건에서 수입한 기존의 혼스톤과 개발한 혼스톤을 사용하여 호닝가공실험을 실시하고 그 실험결과를 분석한 결과 다음의 결론을 얻게 되었다.

- (1) 호닝의 회전속도와 가공여유에 따라서 가공정밀도가 변화하므로, 고정밀도를 얻기 위해서는 최적의 호닝 속도와 가공여유 값을 찾아내어 가공하는 것이 바람직하며, 본 연구와 같은 2사이클 엔진실린더의 경우는 225rpm부근에서 가공하는 것이 추천된다.

- (2) 호닝가공의 정밀도에 영향을 주는 인자 중 스톤의 입도가 높을수록 조도는 향상되나 가공력이 약하여 원통도가 떨어진다. 그러나 너무 낮으면 조도가 떨어져 진원도 관리가 곤란하므로 적절한 재질의 혼스톤 선택이 필요하다.
- (3) 혼스톤의 형상은 가공물의 반경, 가공물의 재질 및 크기에 따라 변경되는데 가공물의 반경과 혼스톤의 반경이 동일하도록 하는 것이 정밀도 향상에 유리하다.
- (4) 전반적인 호닝 가공조건과 실험적 데이터를 기초로 하여 향후 막힌 홀의 호닝 가공에도 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) Charles Wick, "Tool and Manufacturing Engineers Handbook" pp. 104~111, 1984.
- (2) 기계공학 편람 "기계공작", pp. 135~136, 1991.
- (3) Heisaburo Nakagawa, Toshiki Hirogaki, "Study on Honing using a Machining Center(1st Report)", pp. 125~132, 1997.
- (4) Rosen BG, Ohlsson.R, "Nano Technology of Cylinder Wear", 1994.
- (5) Technical Manual, "이륜정비사 교재", 효성기계공업(주), p. 19, 1996.
- (6) Technical Manual, "기술관리 보고서", 효성기계공업(주), 1996.
- (7) 권오관 외 "엔진 마모 및 윤활 최적화를 통한 엔진 요소 효율향상 기술개발", 한국과학기술원 연구보고서(N309-3035-2), 1995.
- (8) L.L. Ting, J.E. Mayer, "Piston Ring Lubrication & Cylinder Bore Wear Analysis, Part2 Theory Verification", ASME Journal of Lubrication Technology, pp. 305~314, 1974.
- (9) Technical Manual, "Yeonjisa Abrasive Stone", Yeonjisa, 1995.
- (10) T.S.Eyre, K.K.Dutta, F.A.David, "Characterization and Simulation of Wear Occurring in the Cylinder Bore of the Internal Combustion Engine", Tribology International, Vol.23, No.1, pp. 11~16, 1990.
- (11) 김성청 외 "엔드밀에 의한 원통가공시 절삭조건에 따른 진원도의 실험적 연구", 한국공작기계학회지, 제8권, 제4호, pp. 52~60, 1999.