

공학석사 학위청구논문

대형 선박용 실린더 라이너 호닝가공법 개발
The Development of Honing for Cylinder
Liners of Low Speed Engine

지도교수 정 재 현

2005년 8월

한국해양대학교 대학원

기계공학과

김 종 순

本 論文을 金鍾舜의 工學碩士 學位論文으로 認准함

委 員 長 工學博士 朴權夏 ㉠

委 員 工學博士 李英浩 ㉠

委 員 工學博士 鄭在鉉 ㉠

2005 年 8 月

韓國海洋大學校 大學院

機械工學科

金鍾舜

목 차

Abstract

표목차

그림목차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 필요성 및 배경	1
1.2 연구 목표 및 내용	5
제 2 장 라이너 소재의 성분분석 및 조직관찰	6
2.1 라이너 소재의 성분분석	6
2.2 라이너 소재의 조직관찰	7
제 3 장 지식 슷돌에 의한 호닝	9
3.1 목 적	9
3.2 실험 장치 및 방법	9
3.3 호닝가공량에 따른 표면상태 변화	10
3.4 호닝속도에 따른 표면상태 변화	11
3.5 호닝가공 표면 및 깊이방향 변화	12
3.6 Re-honing면의 표면상태 변화	14
제 4 장 CBN 슷돌에 의한 호닝 가공	15
4.1 목 적	15
4.2 실험 방법	15
4.3 지식에 의한 가공	16
4.4 CBN가공 실험	19
제 5 장 oil groove 가공장치 개발	22
5.1 연구 목표	22
5.2 oil groove 가공공정	22
5.3 CNC oil groove 가공장치 설계 제작	25
5.4 성능 시험	28
제 6 장 결 론	32
참고문헌	34
부 록	35

The Development of Honing for Cylinder Liners of Low Speed Engine

Jong-Soon Kim

Department of Mechanical Engineering
Graduate School, Korea Maritime University

Abstract

The cylinder liners used in low speed engine are very important components. In general, the cylinder liners are machined by honing process. But, that process is not developed efficiently, so it is necessary to establish new machining process for cylinder liners of low speed engine.

In this paper, quantitative analytical accurate honing processing condition should be established and standardized about the currently adopted cylinders of low speed engine. Also it could be materialized by developing exclusive honing stone and automating oil groove processing machinery.

Furthermore, the information for machining process is acquired through analysis of component and observation of structure about liner's material. The way of GC honing stone machining process which have been used up to now is analyzed and then CBN honing stone machining process analyzed. Especially, CBN honing stone is tested in the middle of manufacturing for the first time.

Finally, the objective of this study is automation to innovate oil grooving processing by CNC equipment instead of the processing by hand. The performance test about invented CNC equipment for oil groove manufacturing is studied. Oil groove manufacturing has been done by hand so far. But people avoid the job due to lots of dust in the middle of processing. New concept of CNC manufacturing equipment is designed and made. The study proved the efficiency through the performance test.

♠ 표 목차

- 표 1 라이너 소재 요구 성분
- 표 2 라이너 소재 성분 분석 결과
- 표 3 지식 호닝 가공 조건 및 결과
- 표 4 CBN #60 슷돌과 지식 #60의 가공조건 및 결과
- 표 5 CBN #170 슷돌과 지식 #120의 가공조건 및 결과
- 표 6 CBN #800 슷돌과 지식 #600의 가공조건 및 결과
- 표 7 Oil groove 가공기 주요 사양
- 표 8 평가 항목
- 표 9 생산성 평가

♠ 그림 목차

- 그림 1 선박엔진에서의 라이너 사용 예
- 그림 2 선박용 실린더 라이너의 가공 방식 비교
- 그림 3 라이너 가공 공정
- 그림 4 K사 조직(x100)
- 그림 5 H사 조직(x100)
- 그림 6 K사 조직(x50)
- 그림 7 H사 조직(x50)
- 그림 8 호닝 Head
- 그림 9 #120, 0.01mm
- 그림 10 #600, 0.01mm
- 그림 11 #120, 0.03mm
- 그림 12 #600, 0.03mm
- 그림 13 #120, 32m/min
- 그림 14 #600, 32m/min
- 그림 15 #120, 38m/min
- 그림 16 #600, 38m/min
- 그림 17 #120, Honing
- 그림 18 #600, Honing
- 그림 19 #800, Re-honing

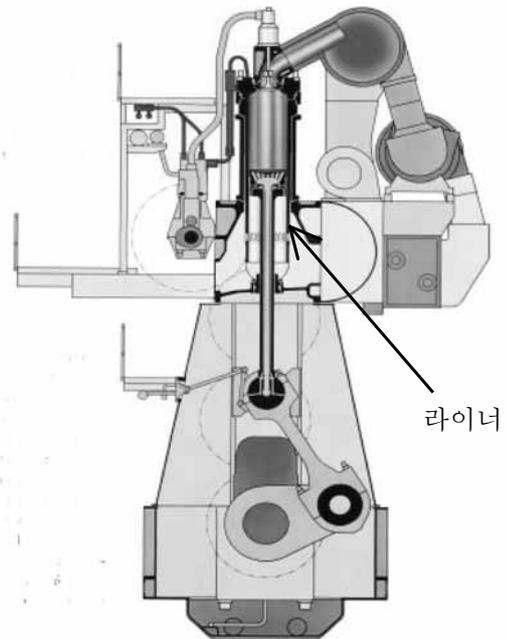
- 그림 20 #600, depth 0.005mm
- 그림 21 #600, depth 0.01mm
- 그림 22 #600, 가공량 0.02mm
- 그림 23 #600, 가공량 0.03mm
- 그림 24 실험 제작한 각종 CBN 슷돌
- 그림 25 CBN #60 슷돌의 확대 사진
- 그림 26 CBN #170 슷돌의 확대 사진
- 그림 27 #60 지석을 이용한 호닝 가공면
- 그림 28 #120 지석을 이용한 호닝 가공면
- 그림 29 #600 지석을 이용한 호닝 가공면
- 그림 30 CBN #60 슷돌을 이용한 호닝 가공면
- 그림 31 CBN #800 슷돌을 이용한 호닝 가공면
- 그림 32 종전의 수가공된 oil groove
- 그림 33 oil groove 형상
- 그림 34 인간에 의한 oil groove 수작업 광경
- 그림 35 oil groove 가공기 개념도
- 그림 36 oil groove 가공기 전경
- 그림 37 5축 CNC 컨트롤러
- 그림 38 oil groove 가공용 ball end mill
- 그림 39 oil groove 가공용 wheel cutter
- 그림 40 가공된 groove 형상-1
- 그림 41 가공된 groove 형상-2
- 그림 42 가공된 groove 형상-3
- 그림 43 가공된 groove 형상-4

제 1 장 서 론

1.1 연구 필요성 및 배경

대형 선박 엔진에 사용되는 실린더 라이너는 엔진 성능 및 선박 안전에 중요한 역할을 담당하는 핵심 부품이다. 그러나, 라이너 가공에 대한 정량적인 평가자료 부족으로 인한 생산 공정의 자동화가 미흡하여 라이너 제작에 대한 국제적인 신뢰성이 취약하였던 것이 사실이다.

또한, 세계 선박 엔진은 컨테이너의 고속 수송과 대량 수송을 위하여 대형화가 급속히 진행되고 있다. 선박용 엔진으로 10만 마력은 물론 그 이상의 엔진을 개발할 계획으로 있다. 그러나, 이와 같은 초대형 실린더 라이너를 기존의 재질 및 가공법으로 제작하는 것은 한계에 도달될 것으로 생각되며[1], 초기 길들이기 단축 목적의 제작법 또는 소재의 성질을 손상시키지 않는 가공법등의 개발이 절실하다.



이에 따른 새로운 라이너 가공법 확립의 요구는 다음과 같다. 그림 1 선박엔진에서의 라이너 사용 예

① 실린더라이너의 정량적 가공법 확립 필요

현재, 세계의 선박용 대형 엔진 제품은 Wartsila와 MAN B&W로 거의 양분된 상태로 생산되고 있다. 우리나라도 두 종류로 양분되어 연간 200여대 이상을 생산하고 있다.

선박 엔진은 각각 자사의 엔진 부품 공정 고집을 수립하여 라이선스 제작 업체에 전달하여 기준을 맞추도록 요구하고 있다. 따라서, Wartsila 엔진과

MAN B&W엔진의 대형 선박용 실린더라이너 가공 방식에 차이점이 존재하고 있다. 그림 1은 양사의 실린더 라이너 가공상의 주요 차이점을 보인 것이다.

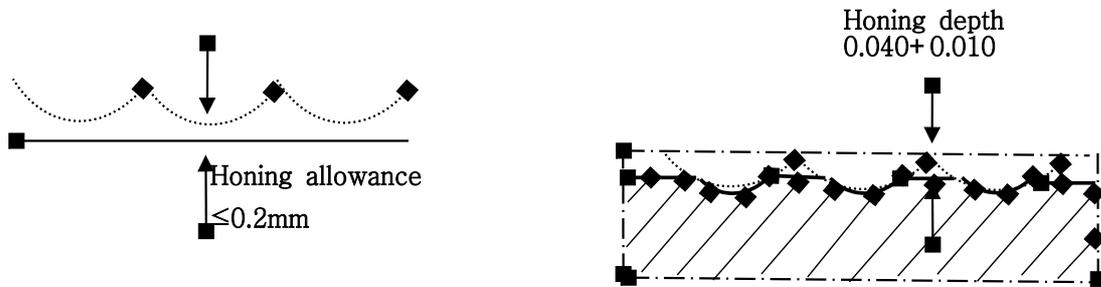


그림 2 선박용 실린더라이너의 가공 방식 비교

그림에서 알 수 있는바와 같이 Wartsila사는 선삭 가공 흔적을 남김없이 가공하는 방식이고, MAN B&W사는 선삭의 가공 흔적을 남기고 가공하도록 권장하고 있다. 양사는 자사의 관례에 따라 가공 공정을 정하고 있으나 정량적인 라이너 가공법 및 데이터의 부족으로 가공법의 통합이 이루어지지 않고 있다. 따라서, 실린더 라이너의 정량적 가공법 확립으로 두 메이커의 가공법 통합화를 위한 가공법 개발이 시급하다. 이것은 곧 실린더 라이너 제작업체의 생산성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

② 고출력 엔진용 라이너 개발 요구 증대(980Φ 등장)

세계 선박 엔진은 컨테이너의 고속 수송과 대량 수송을 위하여 대형화가 급속히 진행되고 있다. 선박용 엔진으로 10만 마력은 물론 그 이상의 엔진을 개발할 계획으로 있다. 따라서, MEP 16bar 이상의 대마력 및 고출력 엔진용 라이너의 수요가 증대될 것으로 예상된다.

그러나, 이와 같은 초대형 실린더 라이너를 기존의 재질 및 가공법으로 제작하는 것은 한계에 도달될 것으로 생각되며, 초기 길들이기 단축목적의 제작법 또는 소재의 성질을 손상시키지 않는 가공법등의 개발이 절실하다. 왜냐하면, MEP가 높은 엔진의 경우 조그만 라이너가공 손상에도 실린더 라이너와 피스톤링 간의 이상 과다 마모(Heavy scuffing)가 발생하기 쉽기 때문이다.

③ 다품종 소량생산에 대응할 수 있는 유연(flexible)시스템 필요

라이너 가공 생산성 및 신뢰성 향상을 위해서는 가공 공정의 자동화가 필요하다. 현재 부분적으로 자동화가 이루어지고 있으나 가공 기계별 자동화 수준이 대부분이다. 이러한 라이너 가공 공정을 하나의 시스템으로 통합하여 구성할 필요가 있다. 또한, 선박용 대형 라이너는 크기와 모양이 다양(500-1000Φ)하여 가공 공정이 다양하다. 따라서, 라이너의 다품종 소량 생산의 요구에 부응할 수 있는 유연 생산 시스템의 확립이 절실하다.

④ oil groove 가공의 자동화

현재 oil groove 가공은 인간의 수작업에 의존하고 있는 실정으로 기피 업종으로 분류되고 있다. 따라서, 기계에 의한 자동화가 시급한 실정이다.

한편, 해외에서는 일본과 유럽의 기술이 세계적인 수준으로 세계 시장 점유율도 양분하고 있는 상황이다. 특히, 일본의 회사인 토아 코오키는 우리나라 생산량의 10배정도를 공급 가능한 시설과 기술을 보유하고 있으며, 라이너 주물 제작에서 가공에 이르기까지 모든 작업을 자사에서 수행하고 있어 기술력 및 국제 경쟁력이 뛰어나다고 생각된다.

지금까지 대형 선박용 실린더 라이너는 기존의 GC계통의 호닝 스톨에 의한 가공에 의존해 왔으나[2~4], 스톨의 수명이 짧아 가공비용이 과대하여 호닝 특성이 우수한 CBN스톨을 개발하여 적용할 필요가 있으며[5~7], 라이너 주물 재료의 성분 및 조직에 따른 가공 조건 도출이 시급하며[8~10], oil groove 가공의 자동화가 시급한 과제이다[11,12]. 따라서, 본 연구에서는 상기의 과제를 해결하고자 연구하였다.

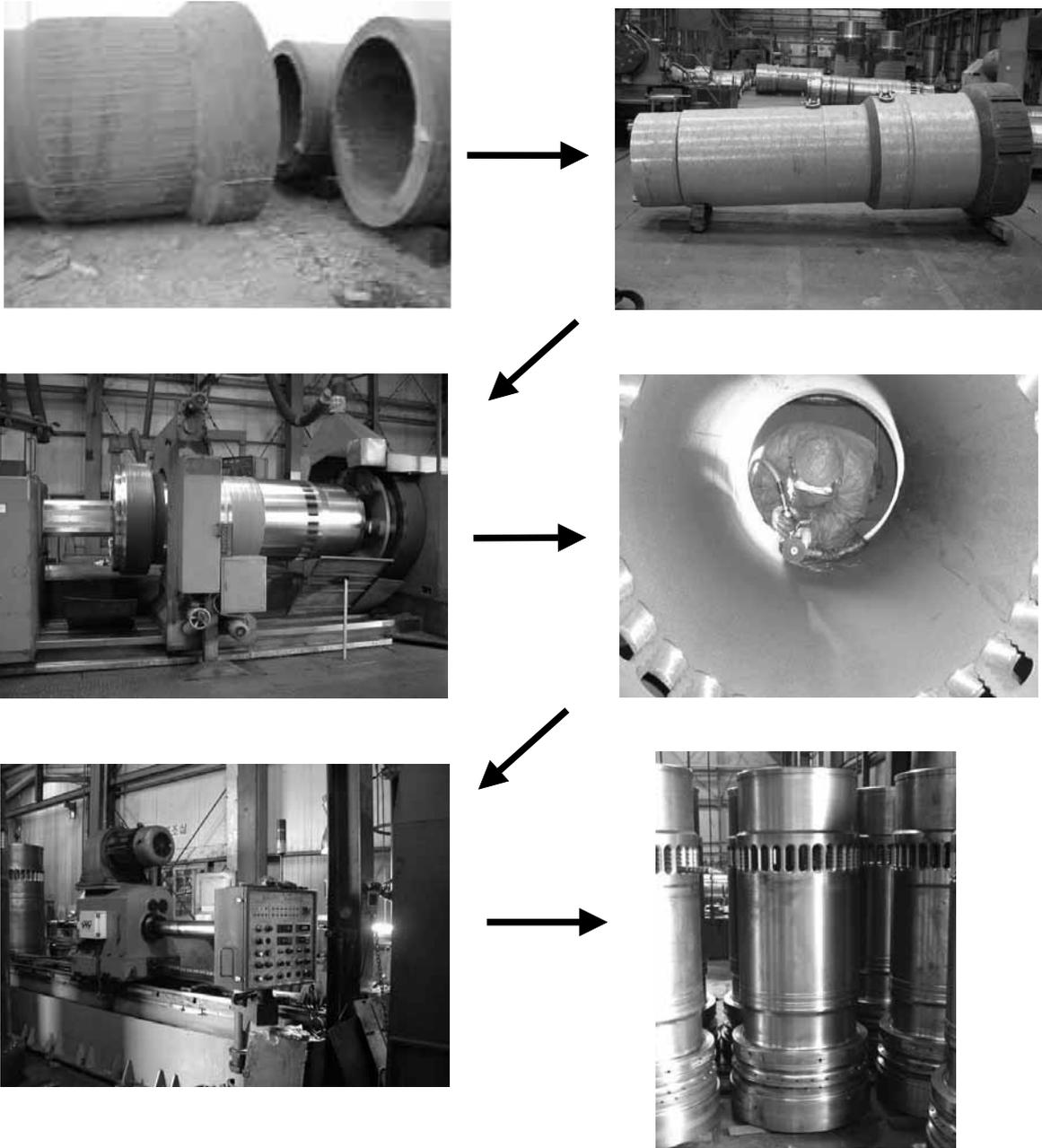


그림 3 라이너 가공공정

그림 3은 라이너 가공 공정을 보인 것이다. 주물 공장에서 제작된 라이너 소재를 선박을 이용하여 황삭 가공한다. 이어서 정삭가공 및 소기 port를 절삭가공한다. 그 다음에 실린더 oil groove를 가공한 후 호닝공정을 거쳐 최종 마무리 가공을 마친다.

1.2 연구 목표 및 내용

1.2.1 연구 목표

현재 대형 선박엔진에 채용되고 있는 실린더 라이너의 정량적 정밀호닝가공조건을 확립하여 표준화하고 전용 슷돌을 개발하며, Oil Groove자동 가공장치를 개발하여 지금까지 인간의 수작업으로 이루어지던 가공 공정을 CNC기계를 활용한 자동화를 도모함으로써 라이너 가공 공정의 기술 혁신을 이룩하는데 있다.

1.2.2 연구 내용

상기의 목표를 달성하기 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다.

제 2장에서는 라이너 소재의 성분분석 및 조직 관찰을 통하여 가공에 필요한 정보를 획득하고, 제3장에서는 지식 슷돌을 사용한 종래의 호닝가공 공정을 분석하였으며, 제4장에서는 CBN스�돌을 사용한 호닝 가공공정을 분석하였다. 특히 이 장에서는 처음으로 호닝가공에 CBN스�돌을 사용함으로써 호닝 특성을 실험하였으며, 호닝가공에의 CBN스�돌 적용 가능성을 연구 하였다. 제5장에서는 oil groove 가공용 CNC장치를 개발하여 이의 성능을 실험하였다. 지금까지 oil groove 가공은 인간의 수작업에 의해 가공이 이루어져 왔는데 다량의 분진이 발생하여 기피 대상 공정으로 되어 있어 애로 사항이었다. 본 연구에서 새로운 개념의 CNC가공 장치를 설계 제작하였으며, 이의 성능 실험을 통하여 그 유용성을 입증하였다.

제 2 장 라이너 소재의 성분분석 및 조직관찰

2.1 라이너 소재의 성분분석

2.1.1 요구 성분 규격

일반적으로 선박용 라이너는 엔진 제작업체가 라이너 소재의 성분에 대한 규격을 정한 후 이에 맞출 것을 요구하고 있다. 아래 표는 라이너 소재의 요구 성분 표를 보인 것이다.

표 1 라이너 소재 요구 성분

(%)	C	Si	Mn	P	S	B	Cu	V
Min.	3.0			0.2		0.02	1.0	
Nominal	3.2	1.1	0.8	0.3		0.03	1.3	
Max.				0.4	0.10	0.04	1.5	0.22

2.1.2 기계적 성질

-인장 강도 : min. 245 N/mm²

-Elongation : min. 0.3 %

-Brinell Hardness : 180-230

2.1.3 성분 분석 결과

실험은 현재 우리나라에서 사용되고 있는 H사와 K사의 라이너 소재를 대상으로 분석하였다. 어느 경우나 메이커의 요구 사양을 만족하고 있었으며, 양사의 성분상의 차이는 크지 않음을 알 수 있었다. 다만, Si의 경우 K사가 H사에 비해 약간 많음을 알 수 있었다.

표 2 라이너 소재 성분 분석 결과

시험항목	단위	소재 종류		시험방법	적합여부
		H사	K사		
C	%	3.18	3.00	KS D 1804:2003(CS)	적합
Si	%	1.19	1.83	KS D 1801:2003	적합
Mn	%	0.69	0.61	KS D 1801:2003(ICP)	적합
P	%	0.17	0.11	KS D 1801:2003(ICP)	적합
S	%	0.053	0.022	KS D 1803:2003(CS)	적합
Cu	%	1.40	1.07	KS D 1801:2003(ICP)	적합
V	%	0.11	0.16	KS D 1801:2003(ICP)	적합

2.2 라이너 소재의 조직 관찰

라이너 소재의 조직 관찰은 국내 양대 주물 업체인 H사와 K사의 것을 시료로 채택하였다. 그림 4와 그림 5는 에칭을 한 조직사진으로 H사의 소재가 시멘타이트 조직인 hard-phase가 많이 나타남을 알 수 있다. 반면, K사의 소재는 층상 퍼얼라이트조직이 뚜렷이 보이고 있음 알 수 있다. 따라서, 상기의 특징이 라이너 호닝 가공에 어떠한 영향을 미치는가를 규명하는 것이 필요할 것이다.



그림 4 K사 조직(x100)

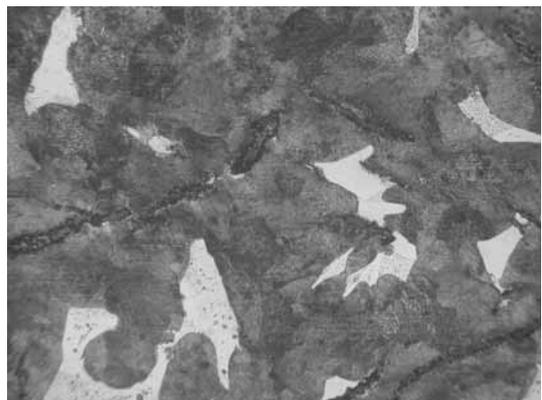


그림 5 H사 조직(x100)

그림 6과 그림 7은 에칭을 하지 않은 것을 보인 것이다. 양사의 소재에서 그림 6의 H사의 경우는 흑연이 전면에서 균일하게 분포되어 있으며 형상 또한 적으나, 그림 7의 K사의 경우는 흑연의 분포가 불균일하며 형상 또한 크게 나타나고 있다. 따라서, 흑연의 분포 상태와 형상의 대소에 따른 가공 성능 및 라이너 성능에 어떠한 영향을 미치는가를 규명하는 것이 향후 과제라 하겠다.

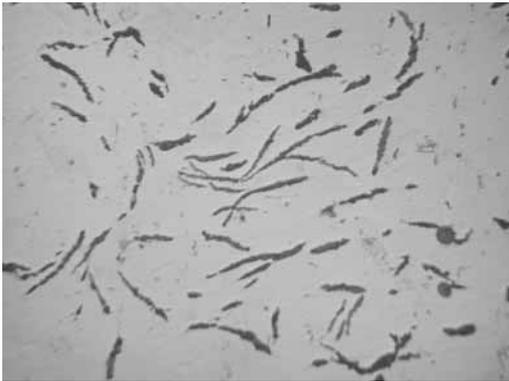


그림 6 H사 조직(x50)

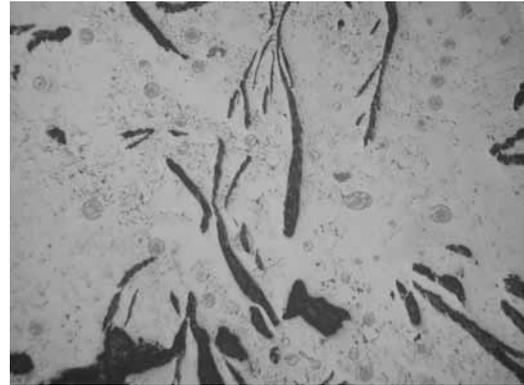


그림 7 K사 조직(x50)

제 3 장 지식 슷돌에 의한 호닝

3.1 목 적

종래의 가공 방식에 따른 호닝 표면의 상태 변화를 관찰하여 hard-phase의 상태를 분석함으로써 가공 슷돌의 호닝 특성을 파악하여 최적 가공 조건을 도출하기 위한 기초 실험을 수행하였다.

3.2 실험 장치 및 방법

3.2.1 실험 조건

- 현재 가공하고 있는 라이너를 대상으로 선정
- 전 가공면 : 선반에 의한 선삭 가공 면
- 가공스틀 입자 : GC계 #120, #600
- 호닝 속도 : 32m/min, 38m/min
- 호닝 가공량 : $\Phi 0.01\text{mm}$, $\Phi 0.03\text{-}0.04\text{mm}$

3.2.2 실험 장치

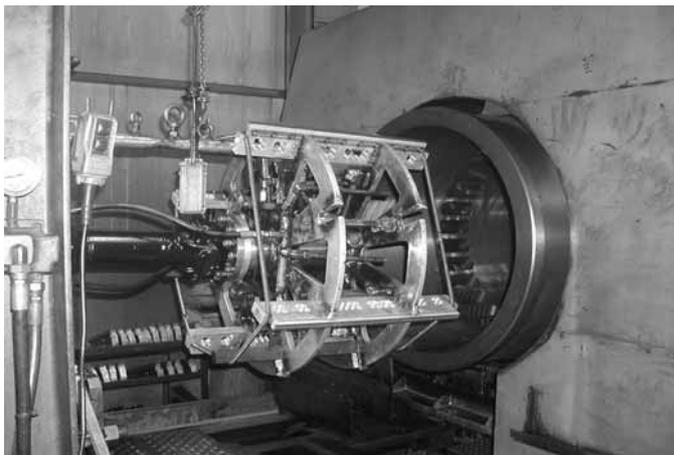


그림 8 호닝 Head

그림 8은 호닝용 head를 보인 것이다. 모두 8개의 호닝 슷돌을 장착하여 가공을 수행하였다.

3.3 호닝 가공량에 따른 표면 상태 변화

3.3.1 $\Phi 0.01\text{mm}$ 이하의 호닝 가공량의 경우

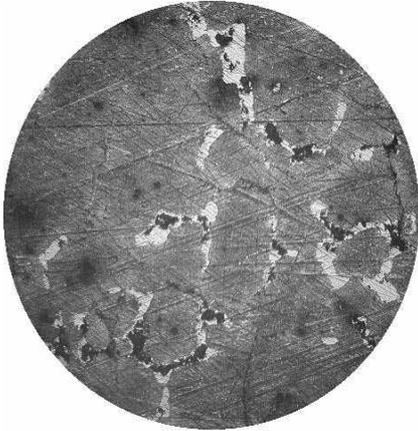


그림 9 #120, 0.01mm

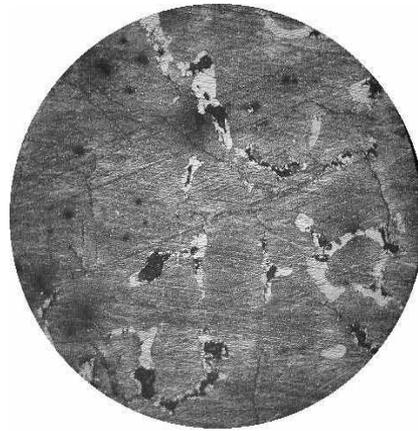


그림 10 #600, 0.01mm

그림 9와 그림10은 #120과 #600 슷돌로 호닝했을 때의 조직 사진이다. #600 슷돌로 호닝 가공했을 때 hard-phase의 형상이 약간 개선되었으나, #120의 슷돌로 가공한 경우는 hard-phase의 damage가 여전히 남아 있음을 알 수 있다. 즉, #120 슷돌 작업 후의 hard-phase 상태와 별 차이가 없음을 알 수 있다.

3.3.2 $\Phi 0.03\text{--}0.04\text{mm}$ 이하의 호닝 가공량의 경우

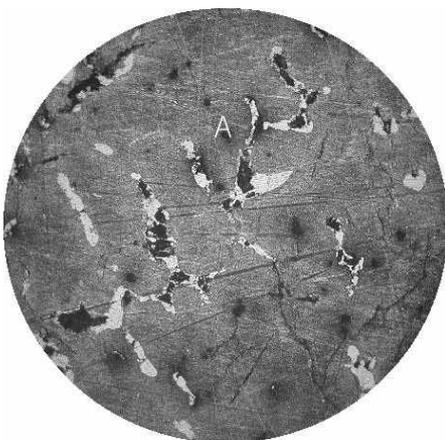


그림 11 #120, 0.03mm

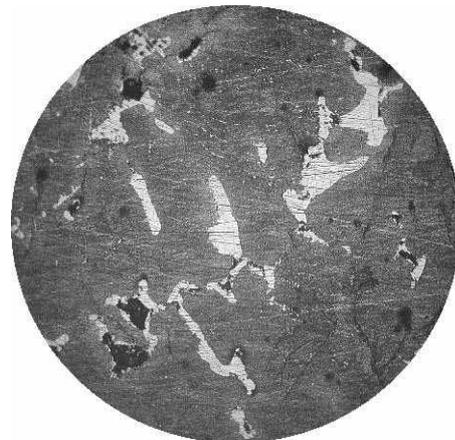


그림 12 #600, 0.03mm

그림 11과 그림12는 가공량을 0.03-0.04mm로 증가 시켰을 때의 조직 사진이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 hard-phase의 damage가 거의 없어지고, A부가 완전히 clear된 상태로 변해 있음을 알 수 있다. 따라서, #600으로 가공할 경우 호닝량은 0.3mm 이상이 바람직하다고 생각된다.

3.4 호닝 속도에 따른 표면 상태 변화

그림 13,14,15,16은 호닝 속도에 따른 표면 조직의 변화를 보인 것이다. 그림 13과 그림 14에서 알 수 있는 바와 같이 #120과 #600의 슛돌로 호닝 속도 32m/min로 가공했을 경우, hard-phase의 damage 크기가 일부 줄어드는 것을 볼수 있으나, 그 차이는 아주 극소함을 알 수 있다.

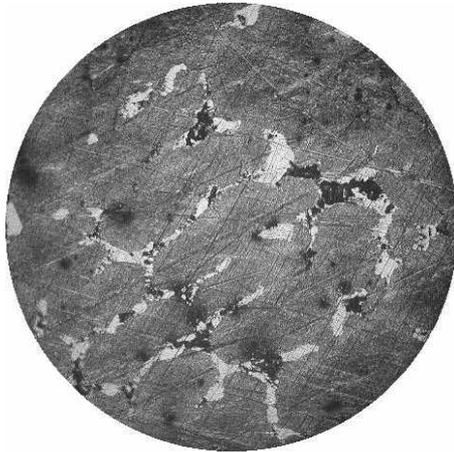


그림 13 #120,32m/min

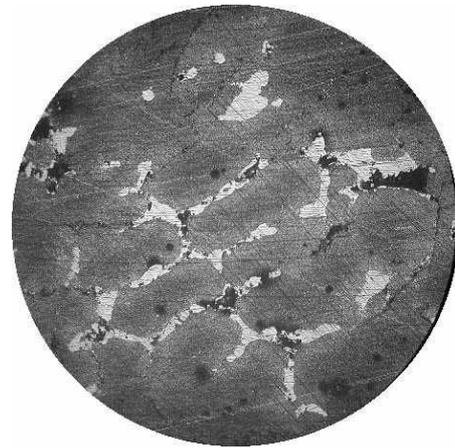


그림 14 #600,32m/min

그림 15와 그림 16은 호닝 속도를 38m/min으로 하였을 경우의 표면 상태를 보인 것이다. 그림 15에서와 같이 호닝 속도를 38m/min로 하였을 경우, K부의 damage는 아직 남아 있으나, 50% 정도의 hard-phase의 개선이 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서, 호닝 속도는 38-40m/min 정도가 바람직함을 알 수 있다.

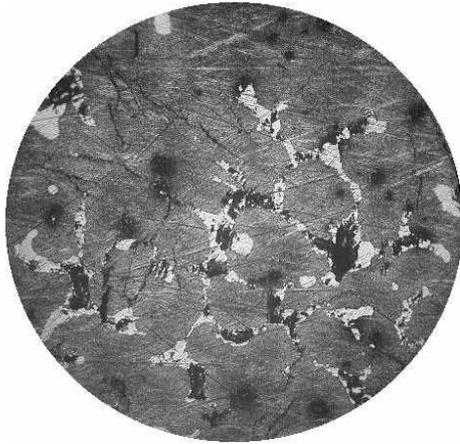


그림 15 #120,38m/min

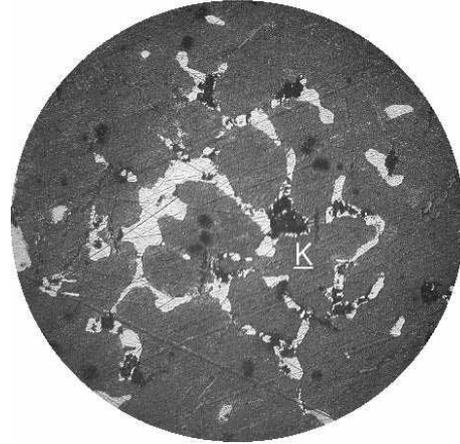


그림 16 #600,38m/min

3.5 호닝 가공 표면 및 깊이 방향의 변화

그림 17은 #120, 그림 18은 #600으로 호닝한 표면이고, 그림 19는 #600으로 재 호닝한 표면이며, 그림 20과 그림 21은 깊이 방향으로 각각 0.005mm, 0.01mm 지점의 사진이다.

그림 19의 재 호닝면에서 P지점과 같은 손상 부분이 남아 있으나 전반적으로 표면 상태가 개선되어 있음을 알 수 있다.

그림 20의 경우 표면과 큰 차이는 없으나 damage는 다소 줄어들음을 알 수 있으며, 그림 21의 경우 경미한 damage X,Z가 미세하게 잔존함을 알 수 있다.

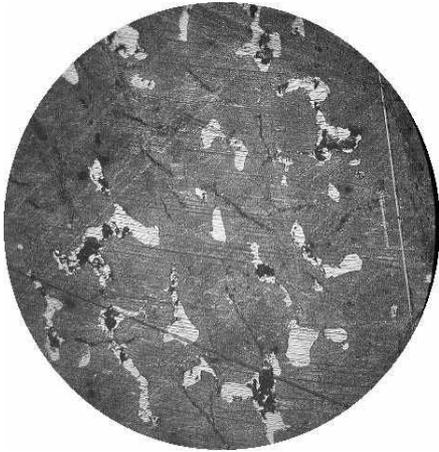


그림 17 #120,honing

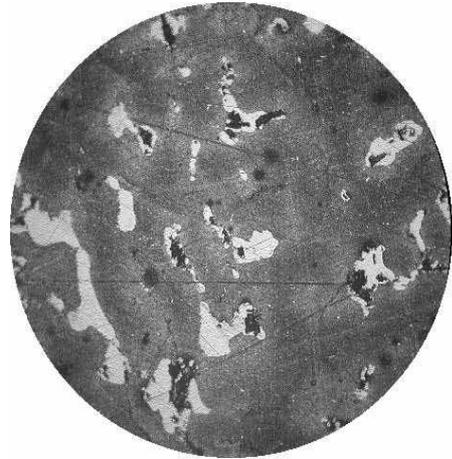


그림 18 #600,honing

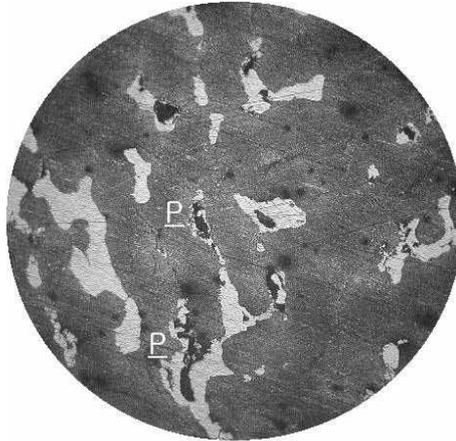


그림 19 #600,Re-honing

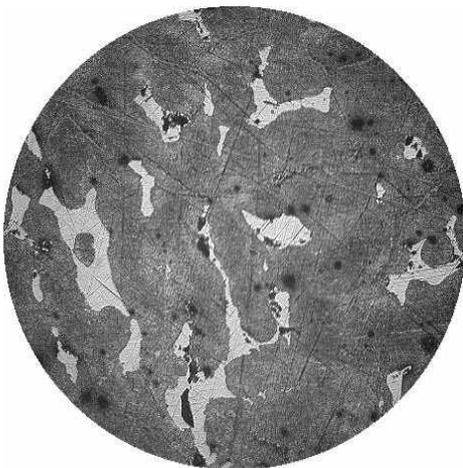


그림 20 #600,depth 0.005mm

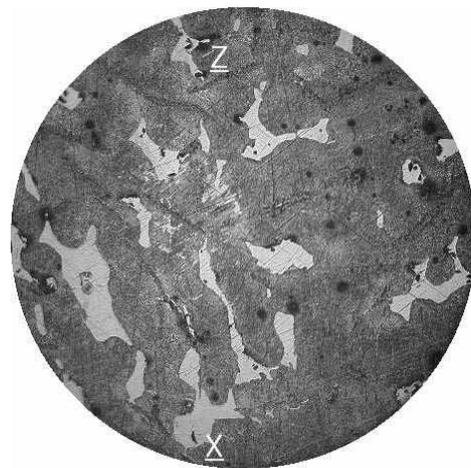


그림 21 #600,depth 0.01mm

3.6 Re-honing면의 표면상태 변화

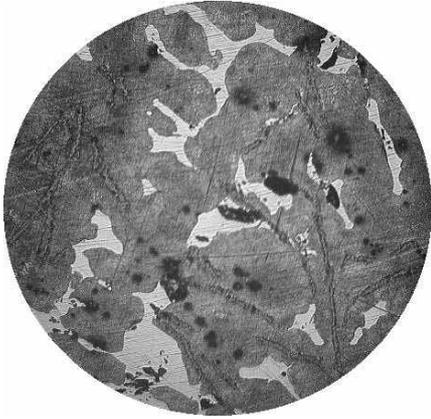


그림 22 #600, 가공량
 Φ 0.02mm

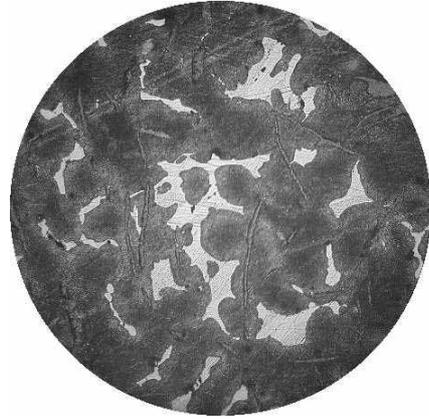


그림 23 #600,가공량
 Φ 0.03mm

그림 22와 그림 23은 #600으로 각각 가공량 Φ 0.02mm, Φ 0.03mm 만큼 re-honing한 경우를 보인 것이다. 그림 22는 재 호닝전과 큰 차이가 없었으나, 그림 23의 경우는 hard-pPhase 상태가 60% 정도로 향상됨을 알 수 있었다.

제 4 장 CBN 슷돌에 의한 호닝 가공

4.1 목 적

라이너의 호닝 가공 성능 향상 및 가공 시간을 단축하기 위하여 CBN 연삭 슷돌을 제작하여 가공 실험을 수행하였으며 가공 시간, 가공량 및 가공 비용 등을 종래의 지식과 비교하여 분석하였다.

4.2 실험 방법

4.2.1. CBN 슷돌 제작

종래의 지식 슷돌을 대체하기 위하여 CBN 슷돌을 제작하였다. 입도는 #/60, #80, #170, #325, #500, #600, #800으로 하였으며, 집중도 100, 결합도는 '중'으로, 본드는 metal bond로 하였다. 막대형 CBN 슷돌을 기존의 호닝 헤드에 장착하여 가공 실험을 하였다.

가공 실험은 종래의 지식과 CBN 슷돌에 의해 수행한 후 결과를 비교 검토하였다.

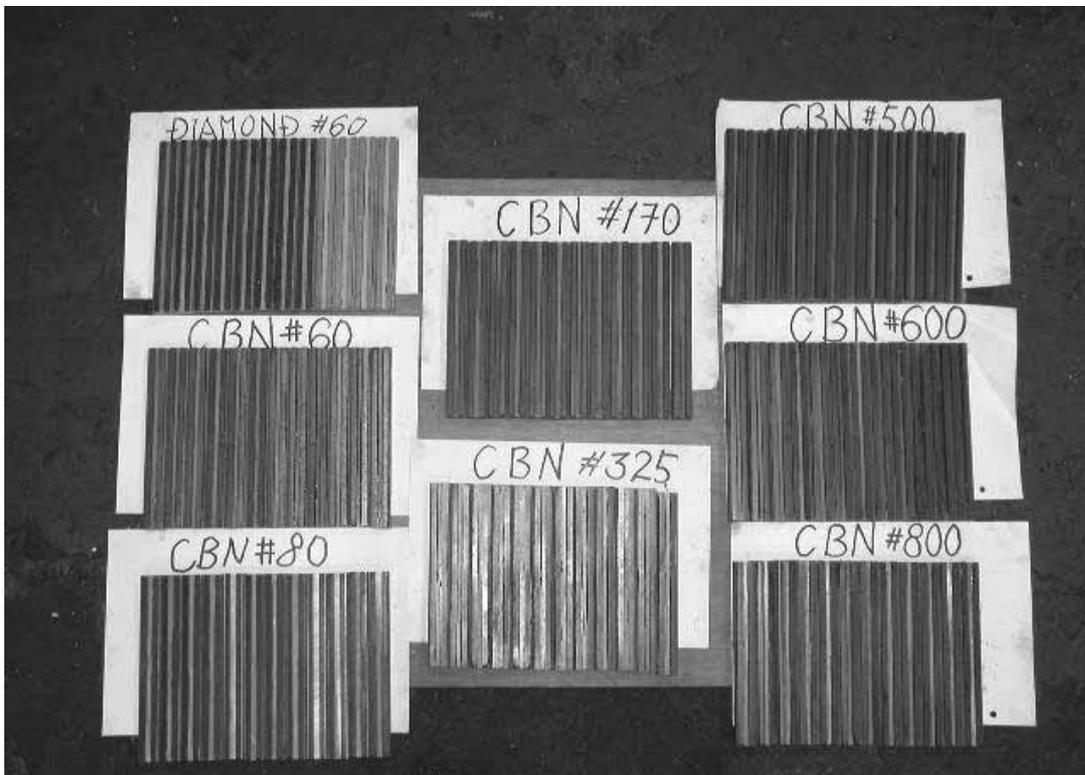


그림 24 실험 제작한 각종 CBN 슷돌

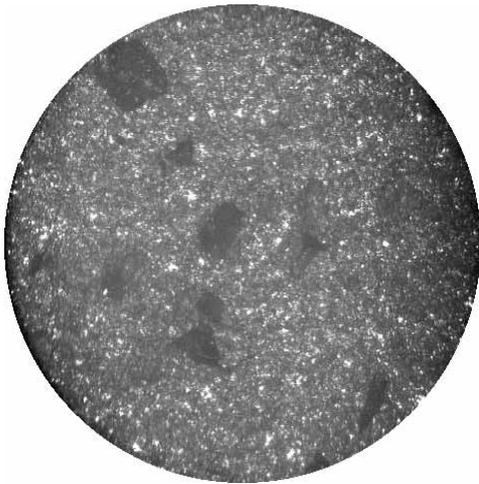


그림 25 CBN #60 슷들의 확대 사진 (X 75)

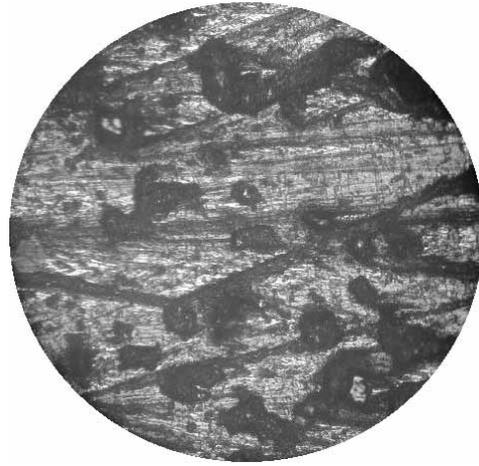


그림 26 CBN #170 슷들의 확대 사진 (X 75)

그림 24는 실험 제작한 각종 CBN 슷들을 보인 것이며, 그림 25와 26은 CBN 슷들을 확대하여 촬영한 것이다.

4.3 지식에 의한 가공

표 3은 종래의 지식을 사용하였을 때의 가공 조건 및 결과를 보인 것이다. 슷들은 #60, #120, #600의 3 종류를 사용하였으며, 가공 깊이는 각각 0.15, 0.05, 0.03mm로 하여 총 0.23mm를 가공하는 것으로 하였다. 가공 헤드의 회전수는 13rpm, Feed는 10.5m/min으로 모든 실험에서 동일하게 하였으며, 가공력은 25~50kg/cm²로 변화를 주었다.

표 3 지식 호닝 가공 조건 및 결과

	가공깊이 radius.mm	가공력 kg/cm ²	가공시간 min	분당가공량 μm/min	가공비용 won
#60	0.15	35~40	180	0.8	75,000
#120	0.05	40~50	210	0.24	60,000
#600	0.03	25~45	180	0.17	21,900
합계	0.23				156,900

표 3에 보인 바와 같이 각각의 가공 깊이를 가공하는데 걸린 시간은 180~210분이었으며, 분당 가공량은 입도가 클수록 적어 단위 시간당 가공 비용이 많이 소요됨을 알 수 있다. 실험에서 총 가공 비용은 156,900원이 소요됨을 알 수 있었다.

4.3.1. 지석 #60의 경우

그림 27은 종래에 사용해 왔던 #60 지석을 이용하여 호닝 가공한 면을 보인 것이다. 입도가 큰 관계로 스크래치가 굵게 나타나고 있으며 hard-phase의 손상도 확인되고 있다.

표면 조도는 Ra 2.68-3.47 μm (R_{max} 20.0-41.1 μm)로 아직 완성 가공면에 이르지 못했음을 알 수 있다.

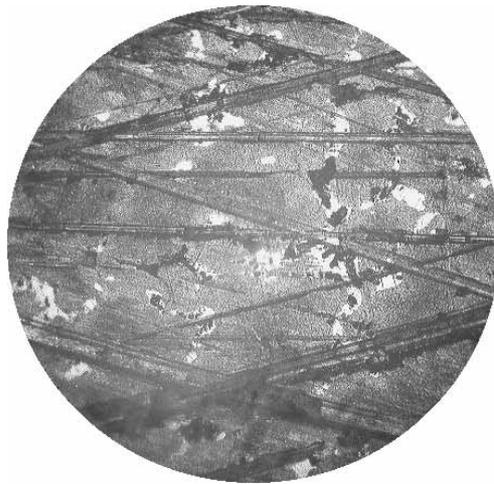


그림 27 #60 지석을 이용한 호닝
가공면(X 100)

4.3.2 지석 #120의 경우

그림 28은 종래에 사용해 왔던 #120 지석을 이용하여 호닝 가공한 면을 보인 것이다. 스크래치가 #60의 경우보다는 가늘게 나타나고 있으며 hard-phase의 개선도는 향상되었음을 알 수 있다.

표면 조도는 Ra 0.30~0.51 μm (R_{max} 2.6~7.7 μm)로 표면 조도의 크기로만 보면 완성 가공면에 도달했음을 알 수 있다.

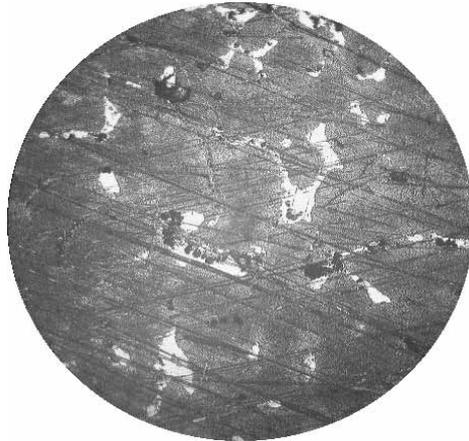


그림 28 #120 지석을 이용한 호닝 가공면(X 100)

4.3.3 지석 #600의 경우

그림 29는 종래에 사용해 왔던 #600 지석을 이용하여 호닝 가공한 면을 보인 것이다. 스크래치가 약간 나타나고 있으나, hard-phase의 개선이 보다 향상되었음을 알 수 있다. 표면 조도는 Ra 0.14~0.18 μm (R_{max} 1.5~2.3 μm)로 완성 가공면에 도달했음을 알 수 있다.

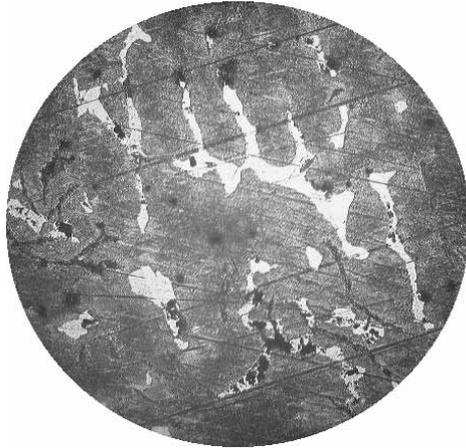


그림 29 #600 지석을 이용한 호닝 가공면(X 100)

4.4 CBN 가공 실험

제작한 CBN 슷돌의 가공 성능을 확인하기 위하여 CBN #60, #170, #600의 3종류 슷돌에 대하여 가공 실험을 수행하였다. 가공 헤드의 회전수는 13rpm, feed는 10.5m/min으로 각 실험에서 동일하게 하였으며, 가공력은 35~40kg/cm²로 하였다.

4.4.1 CBN #60의 경우

표 4는 CBN #60 슷돌과 지석 #60의 가공 조건 및 결과를 보인 것이다. 가공 깊이는 두 경우 동일하게 0.15mm로 하였다. 가공량은 CBN의 경우가 1.1 μ m/min로 지석의 경우보다 우수하였으며, 가공 비용은 CBN의 경우 43,000원 지석의 경우가 75,000원으로 CBN의 경우가 지석의 57%로 되어 가공 비용의 경감에 기여할 것으로 생각된다.

표 4 CBN #60 슷돌과 지석 #60의 가공 조건 및 결과

	가공깊이 radius,mm	가공력 kg/cm ²	가공시간 min	분당가공량 μ m/min	가공비용 won
CBN#60	0.15	35~40	140	1.1	43,000
지석 #60	0.15	35~40	180	0.8	75,000
					57%

그림 30은 CBN #60 슷돌을 이용한 호닝 가공면을 보인 것이다. 지석의 경우와 마찬가지로 입도가 큰 관계로 스크래치가 굵게 나타나고 있으며 hard-phase의 손상도 확인되고 있다.

표면 조도는 Ra 1.39~1.76 $\mu\text{m}/\mu\text{m}$ (R_{max} 12.0~13.6 μm)로 아직 완성 가공면에 이르지 못했음을 알 수 있다. CBN #60로 가공한 후의 perfect depth는 0.05~0.06mm임을 알 수 있었다.



그림 30 CBN #60 슷돌을 이용한 호닝 가공면(X 100)

4.4.2 CBN #170의 경우

표 5은 CBN #170 슷돌과 지석 #120의 가공 조건 및 결과를 보인 것이다. 가공 깊이 0.05mm, 가공력 35~40 kg/cm^2 으로 하였다. 가공 시간은 CBN의 경우

표 5 CBN #170 슷돌과 지석 #120의 가공 조건 및 결과

	가공깊이 radius.mm	가공력 kg/cm ²	가공시간 min	분당가공량 $\mu\text{m}/\text{min}$	가공비용 won
CBN#170	0.05	35-40	124	0.4	33,200
지석 #120	0.05	35-40	210	0.24	60,000
					55%

우가 124분, 지석의 경우가 210분으로 CBN의 경우가 현저히 가공 시간이 단축되었으며, 가공 비용은 CBN의 경우 33,200원 지석의 경우 60,000원으로 CBN의 경우가 지석에 비해 55%의 비용 절감이 예상됨을 알 수 있다. 또한, CBN #170로 가공한 후의 perfect depth는 0.03mm임을 알 수 있었다.

4.4.3 CBN #800의 경우

표 6은 CBN #800 슷돌과 지석 #600의 가공 조건 및 결과를 보인 것이다. 가공 깊이 0.03mm로 하였다. 가공 시간은 CBN의 경우가 117분, 지석의 경우가 180분으로 CBN의 경우가 가공 시간은 단축되었으나, 가공 비용은 CBN의 경우 20,800원 지석의 경우 21,900원으로 거의 같아 비용 절감에는 큰 도움이 없음 알 수 있다.

표 6 CBN #800 슷돌과 지석 #600의 가공 조건 및 결과

	가공깊이 radius.mm	가공력 kg/cm ²	가공시간, min	분당가공량, μm/min	가공비용, won
CBN#800	0.03	35~40	117	0.25	20,800
지석 #600	0.03	35~40	180	0.14	21,900
					95%

그림31은 CBN #800 슷돌을 이용한 호닝 가공면을 보인 것이다. 지석의 경우와 마찬가지로 약간의 스크래치가 나타나고 있으나, hard-phase의 개선이 확인되고 있다.

표면 조도는 Ra 0.08-0.15μm (R_{max} 0.7~1.7μm)로 완성 가공면에 도달되었음을 알 수 있다.

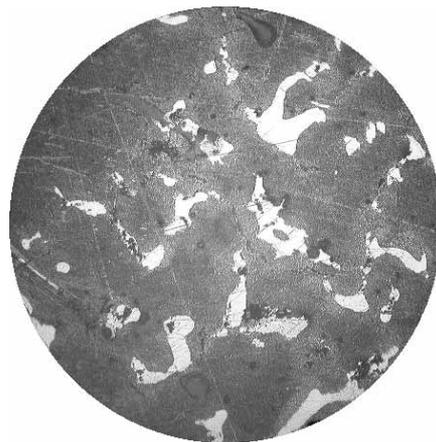


그림 31 CBN #800 슷돌을 이용한 호닝 가공면(X 100)

제 5 장 Oil groove 가공장치 개발

5.1 연구 목표

현재 수작업으로 가공하는 oil groove 가공공정을 기계화(CNC제어)함으로써 제품의 품질 및 성능의 안정성을 확보하고, 정량적인 oil groove 가공법 확립하는데 있으며, 인간의 기피 작업을 기계로 대체함으로써 산업 연수생에 의존하던 인력난을 해소하며, 라이너 가공의 생산성을 향상시키는데 있다.

5.2 oil groove 가공 공정

대형 선박용 실린더 라이너는 주물로 된 소재를 선반으로 외경 및 내경을 황삭 가공한 후, 선반으로 내경 및 외경을 정삭한 다음 드릴로 소기용 air port를 가공한다. 이어서 oil groove를 가공하며, 호닝으로 내면을 마무리 가공한 후 출하하는 공정으로 구성되어 있다.

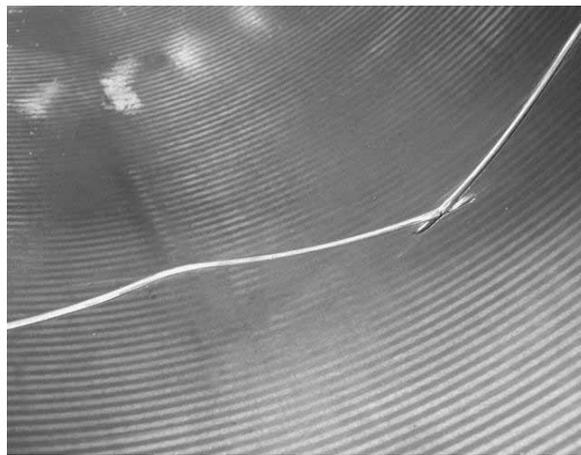


그림 32 종전의 수가공된 oil groove

2) 단품 중량이 2톤~10톤까지 나가는 중량품인 실린더 라이너는 선박용 대형 디젤기관의 연소실을 구성하고 피스톤의 왕복운동으로 인한 내마모성과 내열성이 탁월해야 한다. 따라서, 실린더 라이너의 내면에 외부에서 강제로 윤활유를 주입해서 골고루 분포되게 oil groove를 가공하고 또한 air port의 내면은 piston ring이 스쳐 지나는데 무리가 없도록 그림 32와 같이 가공한다.

3) 실린더라이너의 air port의 사상 작업 및 실린더 oil groove가공작업은 형상이 복잡하여 기계에 의한 자동화가 어려운 가공이다. 따라서, hand air grinder에 의한 숙련공의 수작업으로 이루어지고 있어 자동화가 시급하다.

실린더 라이너는 회주철로서 수작업시 탄소 및 미세 철가루의 분진이 다량 발생하는 3D산업으로서 국내작업자는 작업을 기피하여 산업연수생을 고용하고 있어 인력난 해소가 시급하며, 사람의 손에 의존한 공정으로 인하여 불량률 상승으로 가격 경쟁력이 약하며, 불량으로 인한 구매자 및 선급검사의 claim이 빈번히 발생하는 문제점이 있다.

따라서, 본 장에서는 oil groove 가공 공정의 자동화(CNC제어)를 이룩함으로써 제품의 안정성과 품질의 향상을 기하고 기업의 인력난 해소를 도모하는데 그 목적이 있다.

그림 33은 oil groove의 형상을 보인 것이고, 그림 34는 인간의 수 작업에 의한 oil groove 가공 과정을 보인 것이다.

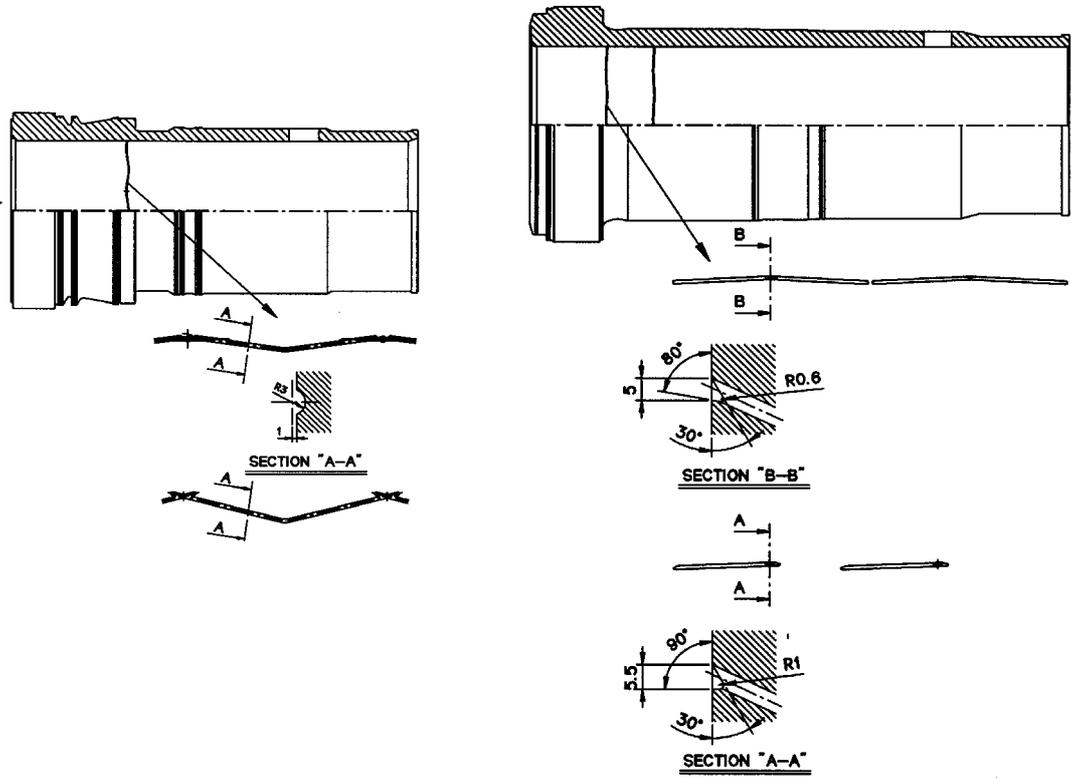


그림 33 oil groove 형상

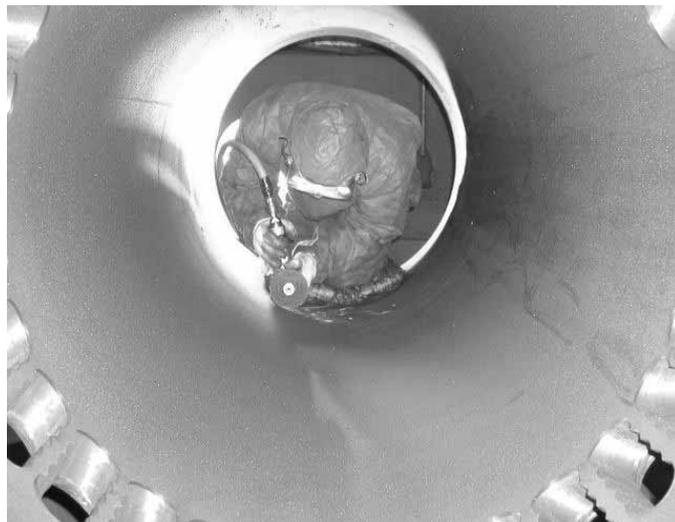


그림 34 인간에 의한 oil groove 수작업 광경

5.3 CNC oil groove 가공기 설계 제작

5.3.1. 각 구성품의 주요 사양

표 7은 oil groove 가공기의 주요 사양을 보인 것이다. 로터리 테이블을 장착하여 중량 최대 10톤까지 가공할 수 있으며, universal spindle을 장착하여 oil groove의 경사 홈 가공에 대응하게 하였다. 또한 컨트롤은 CNC 5축제어를 가능하게 하여 복잡한 형상의 모든 가공에 적용할 수 있게 설계하였다.

표 7 oil groove 가공기 주요 사양

주요 부품	사 양
Rotary Table	-중량: 10톤까지 지지 가능 -직경: 최대 $\varnothing 1,400\text{mm}$ 장착 가능 -분할각도: 1/100, 360도 회전가능
주축회전수	-Max. 1000 rpm 이하
이송속도	-Max. 2000 mm/min
Column	-Spindle Unit를 이송 및 가공제어 가능
Universal Spindle	-180° 굴절 가능
CNC Controller	-5축 제어(동시 3축 가공)
3축 이송거리	x축 : 300mm, y축 : 360mm, Z축 : 3650mm

5.3.2 설계 제작

그림 35는 oil groove 가공기의 각축의 작동 개념을 보인 것이다. 그림에 서와 같이 로봇의 암과 같은 공구 지지대를 제작하여 실린더 라이너의 내면에 접근하기 쉽게 제작하였으며, 기본적인 동작은 xyz의 3축으로 구동하며 로터리 테이블을 추가로 부착하여 실린더 라이너의 회전각을 제어 할수 있게 하였다.

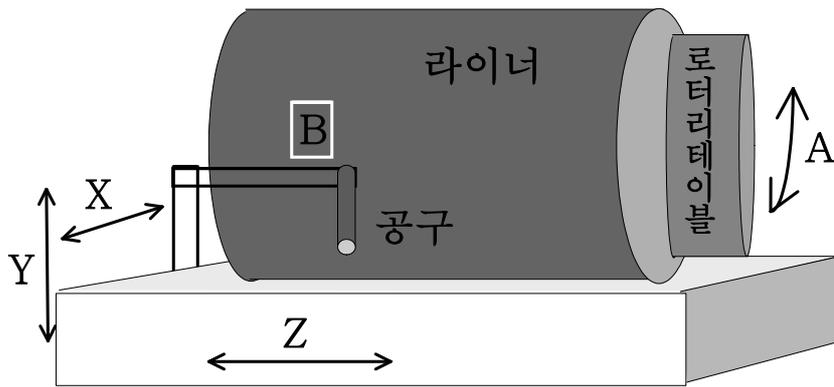


그림 35 oil groove 가공기 작동 개념도

그림 36은 완성 가공기의 전경이며, 그림 37은 CNC제어장치를 보인 것이다.

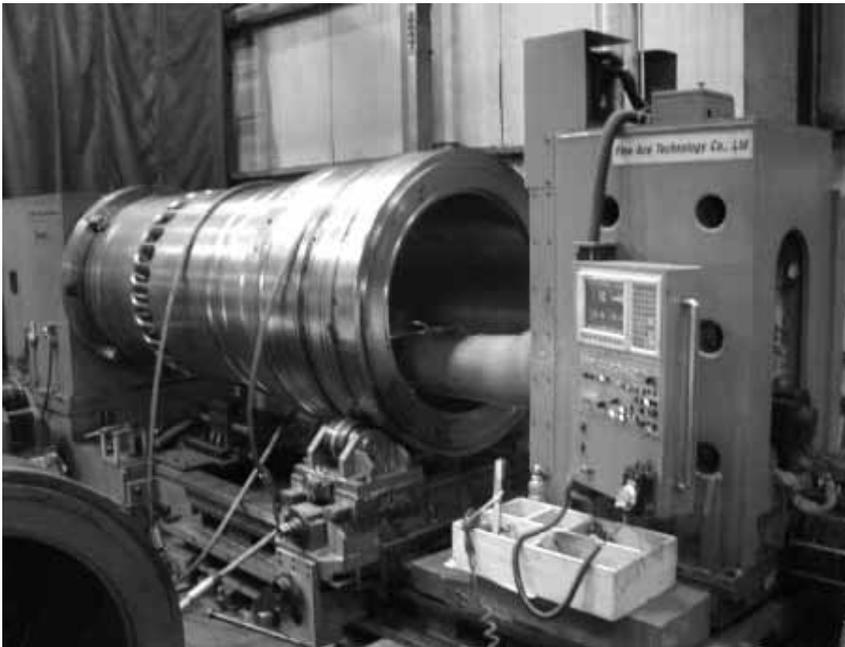


그림 36 oil groove 가공기 전경

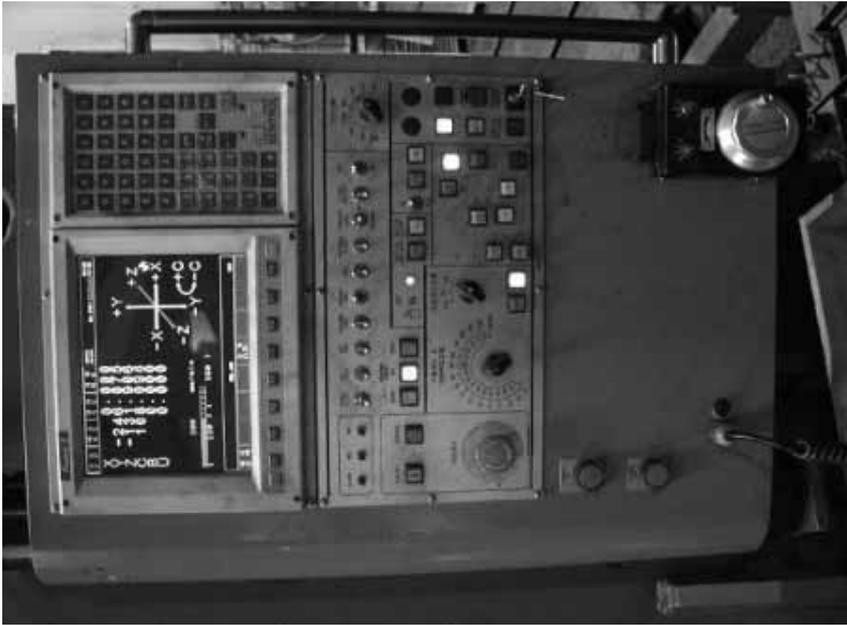


그림 37 5축 CNC 컨트롤러



그림 38 oil groove 가공용 ball end mill

그림 38은 MAN B&W용 라이너 가공용 볼 엔드밀로 공구 직경 $\varnothing 6$, 초경 합금으로 제작하였다.



그림 39 oil groove 가공용 wheel cutter

그림 39는 바칠라용 라이너 가공용 초경 Wheel 커터로서 공구 직경 \varnothing 160mm, 공구 형상은 초경 insert cutter(날수 : 10개)로 제작하였다.

5.4 성능 시험

설계 제작한 oil groove 가공기의 성능 시험을 통하여 그 유용성을 입증하고자 한다.

5.4.1 groove 가공 결과

① MAN B&W용 라이너의 end mill 가공시 가공 조건

- 공구 직경 : \varnothing 6
- 공구 재료 및 형상 : 초경합금 볼 엔드 밀
- 주축회전수 : 800 rpm
- 홈 깊이 : 2 mm
- 이송속도 : 40mm/min
- 홈폭 : 5.6mm

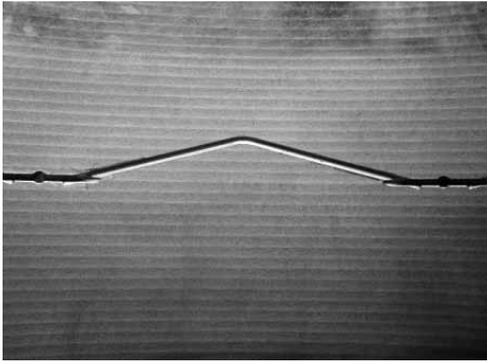


그림 40 가공된 groove 형상-1

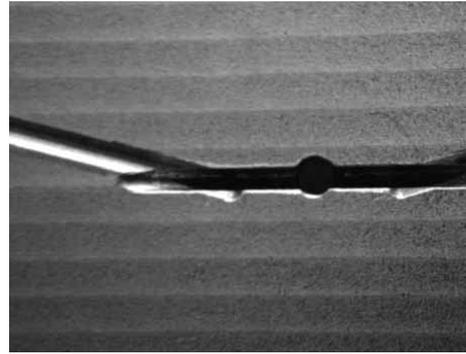


그림 41 가공된 groove 형상-2

그림 40과 그림 41은 개발 가공기에 $\varnothing 6$ 초경 볼 엔드 밀을 장착하여 가공한 oil groove의 형상을 보인 것이다. 기존의 수 작업에 의해 가공한 groove 형상보다 정밀하고 일정한 형상을 얻을 수 있었다. 인간의 수작업에 의해 가공 할 때는 일정한 형상의 정밀도를 얻기 어려웠으나, 본 연구에 의해 개발 된 가공기에 의해 가공된 groove의 형상은 정밀도가 뛰어 남을 알 수 있었다.

② 바칠라용 라이너의 Wheel cutter 가공시 가공 조건

- 공구 직경 : $\varnothing 160\text{mm}$
- 공구 형상 : 초경 insert cutter
- 주축회전수 : 250rpm
- 홈 깊이 : 2.7mm
- 이송속도 : 25mm/min
- 홈 폭 : 5mm

그림 42와 그림 43은 본 연구에서 개발한 휠커터를 groove 가공기에 장착하여 가공한 groove 형상을 보인 것이다. 휠커터의 직경은 $\varnothing 160\text{mm}$ 이며 인서트 팁을 사용하였다. 이 가공의 경우 oil groove의 형상이 특이하여 CNC 제어에 의한 형상 정밀도 획득이 가능하였다.

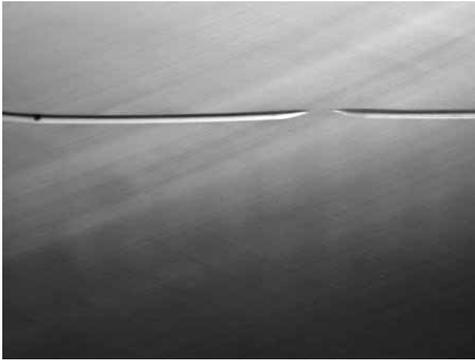


그림 42 가공된 groove 형상-3

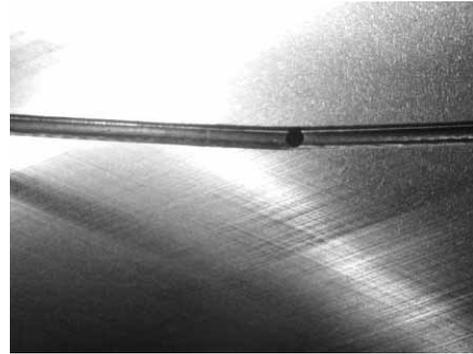


그림 43 가공된 groove 형상-4

5.4.2 주요평가 항목 평가 결과

표 8은 제작한 oil groove 가공기의 성능을 평가하기 위한 주요 평가 항목을 보인 것이다. 주로 oil groove의 형상 및 형상 오차, 표면거칠기, 각 축의 feeding 오차를 평가하였다.

표 8 평가 항목

평가항목 (주요성능Spec)	단위	개발결과
groove 폭	mm	±0.3
groove 형상오차	도면형상	CNC프로그램에 의한 형상 창성
rotary table 분할각	각도	1/100
표면거칠기	μm	10이하
spindle회전속도	rpm	max.1000
각 축의 feeding 오차	mm	1/1000

5.4.3 생산성 평가

종전의 인간의 수작업에 의한 가공에 비해 100%의 생산성 향상을 이룩하였으며, 기능인의 가공에 좌우되던 가공공정이 기계화됨으로써 안정적인 생산 활동이 보장되게 되었다.

표 9 생산성 평가

	개 선 전	개 선 후
생산성 향상	4EA/일	8EA/일
품질 향상	개략적 모양, 치수가공	CNC 프로그램에 따른 정확한 모양과 치수가공으로 품질향상
인력 절감	현 2명	2명의 대체효과(생산성으로는 4명효과)

제 5 장 결 론

대형 선박용 실린더 라이너를 가공하는데 있어서의 문제점은 정량적인 가공 데이터 확보 및 가공 시간 또는 비용의 절감에 의한 생산성 향상이었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 기초 실험을 통하여 기존의 라이너 가공법에 의한 가공데이터를 확보하였으며, 신소재인 CBN 메탈본드 슷들을 개발하여 라이너 호닝 가공에 있어서의 새로운 공정을 제안하여 그 유용성을 입증하고자 하였다. 또한, oil groove 가공용 CNC가공 장치를 개발하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

1)#600 지석으로 마무리 호닝 가공할 때의 절삭량은 0.04mm 이상이어야 양호한 hard-phase를 얻을 수 있었다.

2)호닝 속도는 35-40m/min일때 hard-phase의 손상이 적었다.

3)hard-phase의 향상을 위한 re-honing은 0.03mm 이상해야 얻어진다.

4)#600 슷들로 호닝한 후의 표면 조도는 평균 Ra 0.11~Ra 0.14 μm (R_{max} : 1.0~1.6 μm)정도로 가공 기준을 만족하였으며, spindle 속도 및 feed 에는 크게 영향을 받지 않는다.

5) CBN #60/80의 황삭 가공용 호닝 슷들을 사용한 결과 분당 가공량이 약 1.1 $\mu\text{m}/\text{min}$ 로 종래의 지석 슷들에 비해 크게 향상되었으며, 가공 비용 측면에서는 57%정도의 절약 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대 된다. 또한, CBN #60으로 가공한 후의 perfect depth는 0.05~0.06mm 임을 알 수 있다.

6) CBN #170 등 중간 단계 호닝용 슷들을 사용하여 0.05mm를 가공한 결과 분당 가공량은 0.4 $\mu\text{m}/\text{min}$ 로 #120 지석을 사용한 가공에 비해 우수하였으며 가공 비용도 지석의 경우에 비해 55%로 낮아 라이너 호닝에 있어 가공 비용과 시간을 절약할 수 있음을 알 수 있었다.

또한, CBN #170으로 가공한 후의 perfect depth는 0.03mm 로 지석의 경우와 거의 같게 나타남을 알 수 있었다.

7) 초경 입자인 CBN을 이용한 새로운 라이너 호닝 공정을 제안하고자 한다.

기존 공정 : 지석 #60 ⇒⇒ 지석 #120 ⇒⇒ 지석 #600

제안 공정 1 : CBN #60/80 ⇒⇒ CBN#170/325 ⇒⇒ 지석 #600

제안 공정 2 : CBN #60/80 ⇒⇒ 지석#120 ⇒⇒ 지석 #600

8) oil groove 가공용 CNC 공작기계를 제작하여 그 가공 성능을 확인하였으며, oil groove 가공의 자동화를 달성하였다..

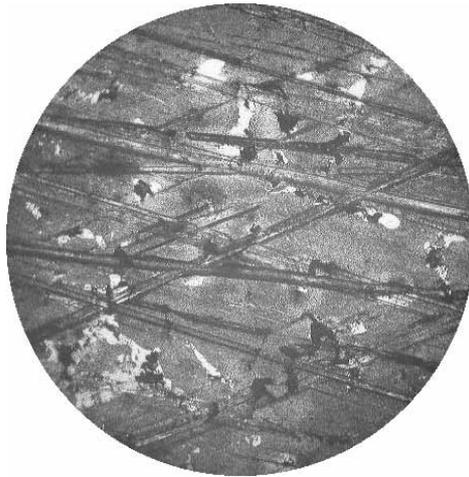
참고문헌

- 1."最近の船舶ディーゼル機關のシリンダー注油に關する諸問題", 橋本高明, J. of the M.E.S.J., Vol.30 No2., pp160, 1995. 2
2. Usuiieiji, 切削研削加工(下), 共立出版
3. 유송민외, 생산제조공학, 1998, 사이텍미디어
4. 이종찬외, 기계공작법, 2001, 문운당
5. 崎川範行, だいやもんど, 共立出版
6. 이종찬역, 초연마재를 이용한 연삭절삭가공, 1998, 문운당
7. S.Karr/E. Ratterman저, 연삭절삭가공, 1998, 문운당
8. 김수영외, 주철공학, 1992, 보성문화사
9. Nishizawa외, 금속조직사진집, 1981, 일본금속학회
10. Tanaka외, 入門金屬材料と組織, 1981, 大河出版
11. 日本機械學會, CAEとCAM, 1988, 技報堂出版
12. 佐藤敏一, 特殊加工, 1980, 養賢堂

부 록 : 각종 호닝 공정에 의한 가공 표면의 예

RT84-#533 HONING STONE TEST(CBN#60)

Surface Roughness : Ra $1.24\mu\text{m} \sim 1.30\mu\text{m}$. Rmax $9.9\mu\text{m} \sim 13.3\mu\text{m}$
TOP~100mm. ONLY Surface polishing, Honing cutting depth : Radius= 0.11mm
After Honing perfect depth : R 0.07mm Honing pressure : 40~ 50kg/cm²



RT84-#533 HONING STONE TEST(CBN#600)

Previous Machining : CBN #60
Surface Roughness : Ra $0.09\mu\text{m} \sim 0.25\mu\text{m}$. Rmax $1.3\mu\text{m} \sim 9.9\mu\text{m}$
TOP~100mm. ONLY Surface polishing
Honing cutting depth : Radius= 0.065mm
After Honing perfect depth : R 0.02mm Honing pressure : 40~ 50kg/cm²



RT84-#533 HONING STONE TEST(CBN#600)

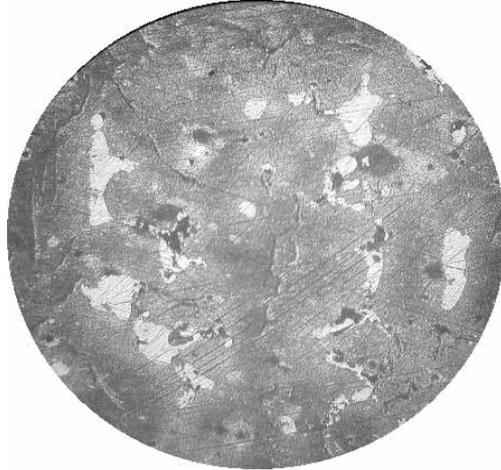
Previous Machining : CBN #600

TOP~100mm. ONLY Surface polishing

Surface Roughness : Ra $0.08\mu\text{m} \sim 0.15\mu\text{m}$. Rmax $1.3\mu\text{m} \sim 4.7\mu\text{m}$

Honing cutting depth : Radius= 0.005mm

After Honing perfect depth : R 0.02mm , Honing pressure : $40 \sim 50\text{kg}/\text{cm}^2$



RT84-#535 HONING STONE TEST(Diamond#60)

Honing cutting depth : Radius= 0.14mm

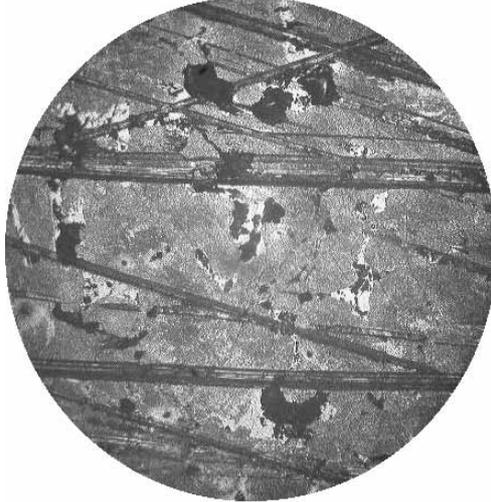
Surface Roughness : Ra $6.49\mu\text{m} \sim 8.49\mu\text{m}$. Rmax $38.4\mu\text{m} \sim 46.7\mu\text{m}$

Honing pressure: $40 \sim 50\text{kg}/\text{cm}^2$, After Honing perfect depth : R 0.10mm



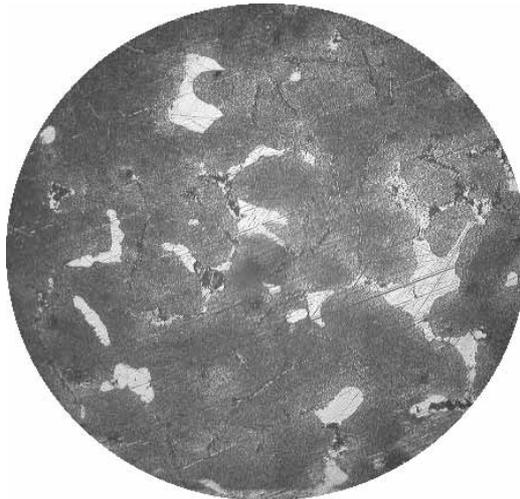
RT84C-#575 HONING STONE TEST(CBN#60)

Surface Roughness : Ra $1.62\mu\text{m} \sim 1.89\mu\text{m}$. Rmax $11.3\mu\text{m} \sim 13.8\mu\text{m}$
1. TOP~100mm. ONLY Surface polishing
Honing cutting depth : Radius= 0.10mm,Honing pressure : 40~ 50kg/cm²
After Honing perfect depth : R 0.075mm



RT84C-#575 HONING STONE TEST(CBN#600)

Previous Machining : CBN #60
Surface Roughness : Ra $0.09\mu\text{m} \sim 0.39\mu\text{m}$. Rmax $0.9\mu\text{m} \sim 4.0\mu\text{m}$
TOP~100mm. ONLY Surface polishing
Honing cutting depth : Radius= 0.06mm,Honing pressure : 40~ 50kg/cm²
After Honing perfect depth : R 0.02mm



RT84C-#575 HONING STONE TEST(CBN#600)

Previous Machining : CBN #600

TOP~100mm. ONLY Surface polishing

Honing cutting depth : Radius= 0.01mm

Surface Roughness : Ra 0.10 μ m. Rmax 2.6 μ m

After Honing perfect depth : R 0.015mm, Honing pressure : 40~ 50kg/cm²



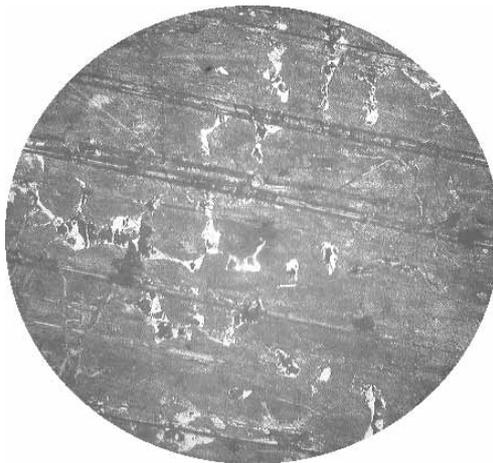
RT96C-#0914 HONING STONE TEST(CBN#60)

Honing cutting depth : Radius= 0.09mm

Surface Roughness : Ra 1.29 μ m ~ 1.72 μ m. Rmax 10.0 μ m~ 18.4 μ m

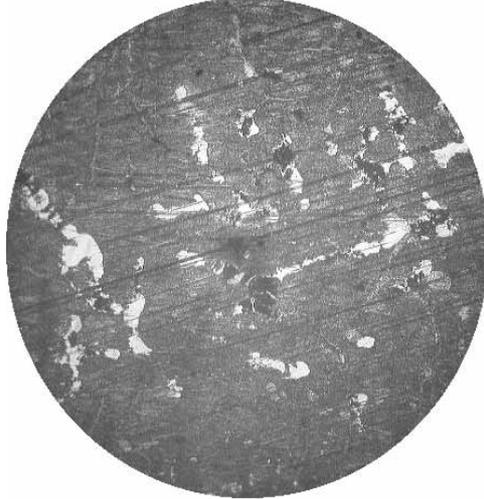
TOP~100mm. ONLY Surface polishing

Honing pressure : 40~ 50kg/cm², After Honing perfect depth : R 0.06mm



RT96C-#0914 HONING STONE TEST(CBN#325)

Previous Machining : CBN #60
TOP~100mm. ONLY Surface polishing,Honing cutting depth : Radius=
0.05mm,
Surface Roughness : Ra $0.30\mu\text{m} \sim 0.38\mu\text{m}$. Rmax $2.4\mu\text{m} \sim 4.2\mu\text{m}$
Honing pressure : $40 \sim 50\text{kg}/\text{cm}^2$, After Honing perfect depth : R 0.025mm



RT96C-#0914 HONING STONE TEST(CBN#600)

Previous Machining : CBN #325
TOP~100mm. ONLY Surface polishing
Honing cutting depth : Radius= 0.02mm
Surface Roughness : Ra $0.09\mu\text{m} \sim 0.15\mu\text{m}$. Rmax $0.8\mu\text{m} \sim 6.1\mu\text{m}$
After Honing perfect depth : R 0.02mm Honing pressure : $40 \sim 50\text{kg}/\text{cm}^2$

