

## 대형 저속 디젤 엔진용 실린더 라이너 내면 마모량 자동 측정 장치 개발

김장규\* · 이민철†

(원고접수일 : 2008년 7월 1일, 원고수정일 : 2008년 8월 21일, 심사완료일 : 2008년 8월 21일)

### Development of Automatic Measuring Device for Cylinder Liner Wear Amount in Large Two Stroke Diesel Engine

Jang-Kyu Kim\* · Min Cheol Lee†

**Abstract** : This paper describes a development of automatic measuring device for cylinder liner wear amount. An operator should regularly measure the wear amount of the cylinder liner to prevent the wear amount of the cylinder liner from exceeding the maximum limit specific to the engine type. In previous methods, an operator entered the inside of the cylinder liner on a ladder and measured the amount of wear using a inside micrometer. Such method is unpleasant in severe environments and full of hazards. In addition, in order to enter the cylinder, the piston head had to be detached, requiring much time and money. In order to solve these problems, a new measuring device that consists of two measuring units and a special install jig is developed. The measuring units are installed through the scavenging air port by the install jig and measures the wear amount during 1 revolution of crankshaft, so detaching of the cylinder head and entering inside the cylinder liner are not required.

**Key words** : Cylinder liner(실린더 라이너), Piston ring(피스톤 링), Wear amount(마모량), Measuring device(측정장치)

#### 1. 서 론

일반적으로 저속 디젤엔진은 선박, 발전기 등에 사용되는 대형엔진으로 사용될 수 있고, 이러한 대형엔진은 엔진의 폭발력을 실린더 라이너의 내측의 피스톤(piston)이 커넥팅 로드(connecting rod)를 거쳐 크랭크 샤프트(crankshaft)의 회전력으로

전달하는 원리에 의해 구동된다. 이러한 과정에서 피스톤 링(piston ring)과 실린더 라이너(cylinder liner) 간의 상대 운동에 의해 실린더 라이너 내면이 지속적으로 마모되며, 마모량을 주기적으로 측정하여 최대 마모량 사양 내에서 엔진을 기동시켜야 한다.

기존에는 실린더 라이너의 내면 마모량을 계측하

† 교신저자(부산대학교 기계공학부, E-mail:mcllee@pusan.ac.kr, Tel:051)510-2439)

\* 두산엔진 기술연구소

기 위하여 실린더 커버를 탈착한 후 작업자가 사다리를 이용하여 실린더 라이너 내측으로 들어가서 특정한 지점에서 아날로그 내경계측 게이지로 작업을 수행하였다. Fig. 1은 기존 측정작업을 나타낸다.

기존의 내경계측 게이지를 사용한 계측을 수행할 때, 계측하는 자세 및 작업자의 숙련도에 따라 오차가 발생할 수 있으며, 사다리를 이용한 고소작업으로 안전상의 문제를 유발 시킬 수 있다. 다른 한편으로 실린더 라이너의 내면 마모량을 계측할 때마다 피스톤 헤드(piston head)를 분해하고 재조립해야 하므로 번거롭고 많은 노동력이 소요된다. 마지막으로 실린더 라이너 내면의 마모량 계측 결과 값을 정보로 활용하기 위해서는 데이터의 면밀한 분석이 요구되며, 기존의 방식으로는 작업 여건상 수작업으로 특정 포인트(15 점)만을 측정하여 컴퓨터에 수기로 입력해야하는 불편함이 있다. 본 논문에서는 상기 문제점들을 해결할 수 있는 세계 최초의 실린더 라이너 자동 측정 시스템을 개발하고자 한다. 측정 시스템의 기본 개념은 2조의 측정장치를 실린더 라이너의 소기포트(scavenging air port)를 통하여 피스톤 헤드 상면 양 끝단에 마그네틱 지그를 이용하여 장착한 후 터닝 기어(turning gear)로 엔진을 1회전시켜 측정작업을 수행하는 것이며, 이를 통하여 실린더 커버 탈착 없이 측정이 가능한 측정을 수행할 수 있다. 또한 측정장치 내부의 정밀 변위측정 센서를 통하여 고정도 측정이 가능하며, 측정된 데이터를 USB 통신포트를 이용하여 간단히 분석 PC로 전달할 수 있다.

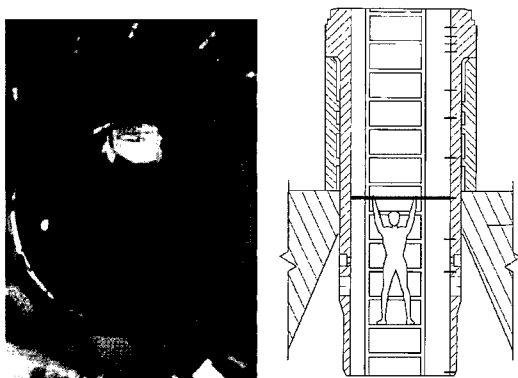


Fig. 1 Conventional method

## 2. 장치의 구성

### 2.1 측정 원리

Fig. 2는 제안된 측정 장치의 측정 원리를 나타낸다. 측정 장치는 두 개의 측정 유닛으로 구성되며, 각각의 측정 유닛은 수평 변위의 변화를 측정할 수 있는 센서가 내장되어 있으며, 틱이 수평 이동할 시 내부의 센서에 의해 이동 거리가 감지된다. 실린더 라이너의 마모량( $L_{wear}$ )은 비마모 구간 내의 내경( $L_1$ )과 마모구간의 내경 ( $L_2$ )의 차에 의해 측정되며 다음 식과 같다.

$$L_{wear} = L_1 - L_2 \tag{1}$$

식 (1)에 측정된 거리 데이터( $M_{R\#}, M_{L\#}$ )와 측정 유닛 간의 거리데이터( $Dist$ )를 대입하여 정리하면

$$\begin{aligned} L_{wear} &= (M_{R1} + Dist + M_{L1}) \\ &\quad - (M_{R2} + Dist + M_{L2}) \\ &= M_{R1} + M_{L1} - M_{R2} - M_{R2} \end{aligned} \tag{2}$$

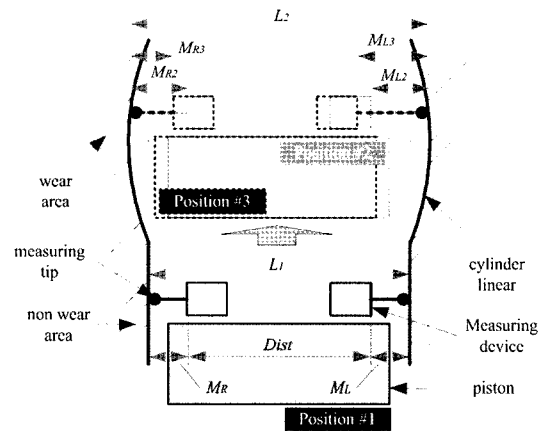


Fig. 2 Principle of measuring

식 (2)와 같으며, 결론적으로 실린더 라이너의 마모량은 측정 유닛의 측정 값의 차에 의해 도출된다. Fig. 2에서 피스톤이 2번 위치에 있을 때와 3번 위치에 있을 때의 각각의 측정 유닛에 의해 측정된 값의 합이 동일하므로, 측정 유닛을 피스톤 상면에 지름방향으로 2조 장착함으로써 피스톤의 수평방향 좌

- 우 움직임에 의한 오차를 제거할 수 있다.

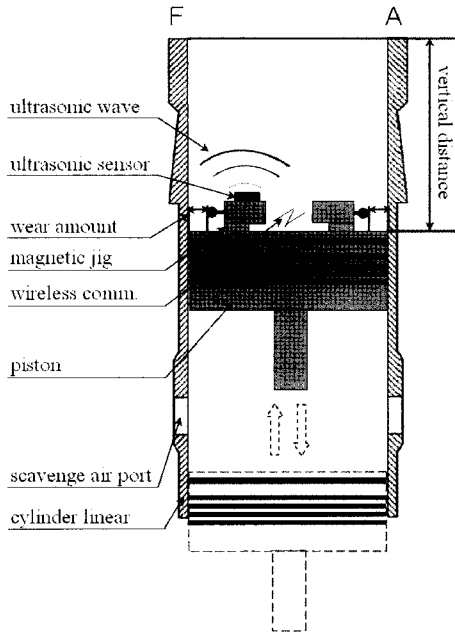


Fig. 3 Schematic diagram of measurement device

Fig. 3은 측정 유닛의 장착 개념도를 나타낸다. 측정장치는 소기포트(scavenge air port)를 통하여 피스톤 상면의 양 끝단에 지름방향으로 마그네틱 지그(magnetic jig)에 의해 각각 부착되며, 측정 유닛 팁의 좌우방향 변화량을 감지하여 마모량을 측정하게 된다. 두 측정 유닛은 무선통신에 의해 데이터를 교환할 수 있으며, 주 측정 유닛과 부 측정 유닛으로 구분된다. 주 측정 유닛은 측정 시 피스톤의 수직위치를 검출하기 위하여 초음파 센서를 내장하고 있다. 소기포트 위치에서 실린더 라이너 내면은 마모되지 않으므로 최초 장착 시의 마모량은 '0'이 되며, 터닝 기어를 통해 피스톤을 상면으로 이동시키며 수평 변위 값을 주기적으로 측정함을 통하여 마모량을 측정한다.

2.2 측정 유닛 기구부

주 측정 유닛은 팁 변위측정, 부 측정 유닛과의 무선통신, 초음파 센서를 이용한 수직 위치측정 그리고 외부 데이터 전송을 위한 USB 통신 기능을 수행하며, 그 구조는 Fig. 3과 같다. 부 측정 유닛

은 전체적 외관은 주 측정 유닛과 동일하며, 팁 변위측정과 주 측정 유닛 간의 통신 기능만 수행한다. 피스톤에 측정 유닛을 부착하기 위한 마그네틱 지그의 하면은 피스톤 상부 형상과 동일하게 설계되어 부착 시 오차를 최소화 하였다.

2.3 측정 유닛 장착용 지그

소기포트를 통하여 측정 유닛을 피스톤 상부에 장착하기 위해서 특수한 장착 지그가 요구된다. Fig. 4는 본 연구를 통해 설계한 장착 지그를 나타낸다. 우측의 버튼을 누를 시 장착 레버가 Fig. 4(a)와 같이 벌어지며, 버튼의 누름을 해제할 시 Fig. 4(b)와 같이 오므려들게 된다. 따라서, 버튼을 누른 상태에서 측정장치 하부의 홈으로 장착 레버를 삽입시키면 Fig. 4(c)와 같이 측정장치와 장착용 지그가 결합된다. 이러한 상태에서 소기포트를 통해 측정 유닛을 피스톤의 측정위치에 부착한 후 버튼의 누름을 해제시켜 장착 레버를 오므린 상태에서 장착용 지그를 빼 낼 수 있다.

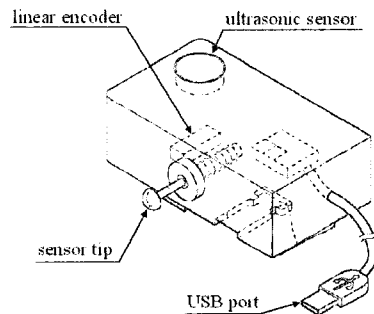


Fig. 4 Block diagram of measuring unit

2.4 센서신호처리 및 측정부

Fig. 6은 측정 유닛의 센서신호처리 보드의 구성을 나타낸다. MCU는 리니어 엔코더 신호 입력을 위해 계수기가 내장된 Microchip사의 PIC18F4320을 사용하였다. 팁의 변위값은 측정 유닛 내부의 리니어 엔코더에 의해 감지되어 MCU 내부 카운터를 통하여 디지털 값으로 변환된다. 보드 내부의 EEPROM은 매 주기마다 측정된 데이터를 저장하는 역할을 하며, 측정 완료 후

USB port를 통하여 PC의 데이터 관리 프로그램으로 전송된다. 측정지점을 감지하기 위한 초음파 센서는 앰프가 내장된 타입을 사용하였으며, RS232통신을 통하여 MCU로 데이터를 전달한다. 주/부 측정 유닛 간의 데이터 통신은 Zigbee 무선 통신 모듈의 의해 이루어진다.

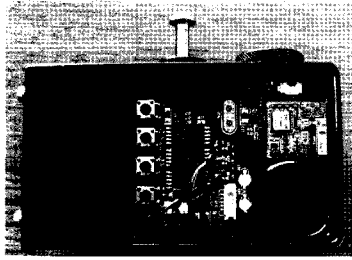


Fig. 5 Picture of measuring unit

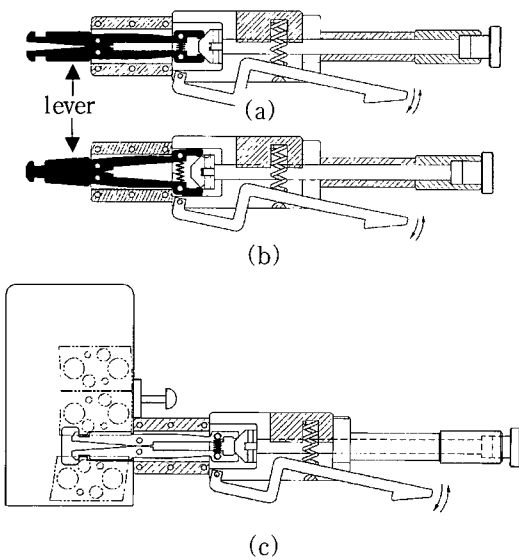


Fig. 6 Install jig

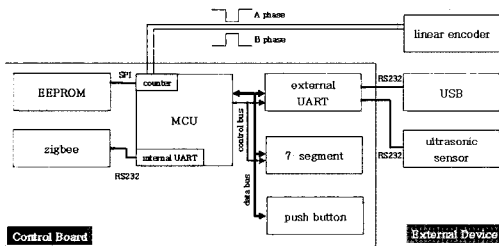


Fig. 7 Block of control board

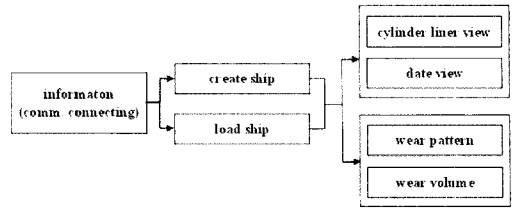


Fig. 8 Program sequence

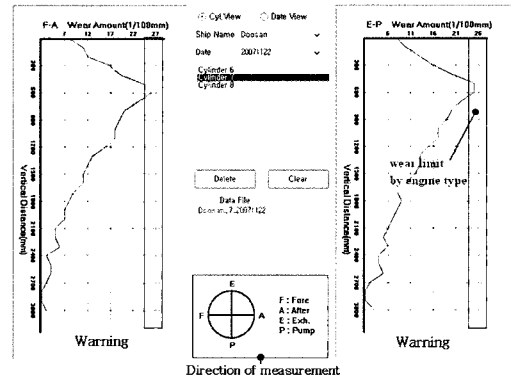


Fig. 9 Screen of wear amount analysis by cylinder

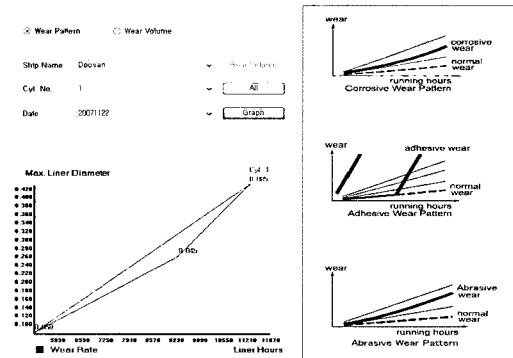


Fig. 10 Screen of wear amount/rate by time

### 3. 마모량 분석 프로그램

#### 3.1 프로그램의 구성

마모량 분석을 위한 프로그램은 크게 실린더별 마모량 표시 그래프 기능과 측정 시간별 마모량/마모율 분석 기능으로 구성된다. Fig. 9는 마모량 표시기능 화면을 나타내며, Fig. 10은 시간별 마모량/마모율 분석 화면을 나타낸다. 실린더 라이너 내면 마모량은 엔진의 fore-after방향과 이에 수직

이 되는 exh.-pump방향에 대해 각각 측정하게 된다. 마모량 분석 그래프의 세로축은 실린더 라이너 상면과의 거리(mm)를 나타내며, 가로축은 마모량(1/100mm)를 나타낸다. 시간에 따른 마모량의 변화 패턴을 통하여 부식(corrosive), 응착(adhesive), 연삭(abrasive)마모를 추정할 수 있다. Fig. 9의 오른쪽 그래프는 시간에 따른 마모량 패턴과 이상마모의 종류를 표시한다.

3.2 측정 데이터 양식

마모량의 데이터 관리를 위한 프로그램 자료 구조는 Fig. 11과 같다. 데이터의 최상위 분류 기준은 측정일이며, 2번째 레이어의 데이터는 측정 정보데이터와 실 측정결과 데이터로 구분된다. 측정 정보는 다시 운항정보(선박명, 엔진종류, 엔진 운전시간 등으로 구성)와 실린더 라이너의 상태정보(라이너 사용 시간, 라이너 온도, 라이너 냉각 방식 등으로 구성)로 나뉜다. 실 측정 데이터는 실린더별로 저장된다.

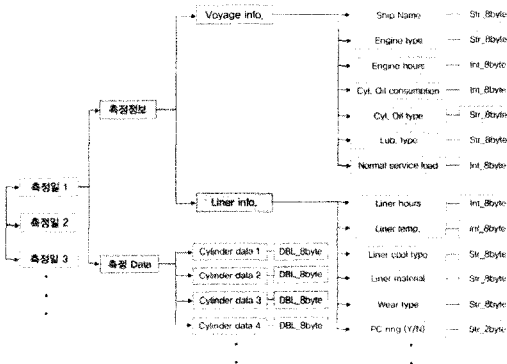


Fig. 11 Data structure of analysis program

4. 성능평가 및 엔진 장착 실험

4.1 변위센서 정밀도 평가

기존의 측정장치인 내경계측 게이지의 정밀도는 1/100mm로써 이는 본 논문에서 개발된 측정 장치의 정밀도 사양이 된다. 정밀도 평가는 Mitutoyo사의 디지털 하이트 게이지에 의해 수행되었으며, 테스트 장비의 사양은 table 1과 같다. Fig.

12는 정밀도 평가 시스템 사진을 나타낸다. 측정 유닛의 팁이 위쪽 방향으로 향하게 한 후 하이트 게이지를 이용하여 팁 끝단의 높이가 변경될 때, 하이트 게이지의 측정값과 측정 유닛의 측정값을 비교하여 평가한다. 평가는 Fig. 12와 같이 하이트 게이지를 이용하여 센서 팁을 5mm 압축을 시킨 후 하이트 게이지와 측정 유닛을 영점 세팅 한 다음 하이트 게이지의 높이를 0.05mm, 0.1mm, 0.15mm, 0.2mm, 0.5mm, 1.0mm, 2.0mm의 순으로 올려가는 순서로 측정을 수행한다. Fig. 13은 측정결과를 나타내며, 2.0mm일 때, 2/100mm 오차가 발생하고 나머지 위치에서는 오차가 없음을 알 수 있다. 실제로 실린더 라이너 내면의 마모량을 측정 시 1.5mm 이내에서 측정되므로 측정 유닛의 정밀도가 충분이 정확함을 알 수 있다.

Table 1 Specification of test equipment

item	specification
range	0 ~ 300 mm
resolution	1/100 mm
accuracy	2/100 mm

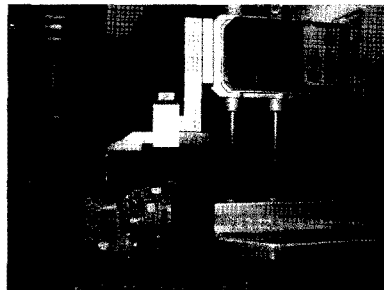


Fig. 12 Accuracy test - zero setting

Table 2 Result of accuracy test

Digital height gage (mm)	Developed device (mm)
0	0
0.05	0.05
0.1	0.1
0.15	0.15
0.2	0.2
0.5	0.5
1.0	1.0
2.0	1.98

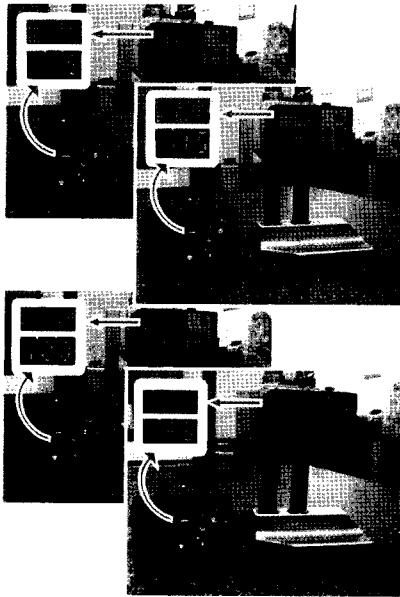


Fig. 13 Picture of accuracy test

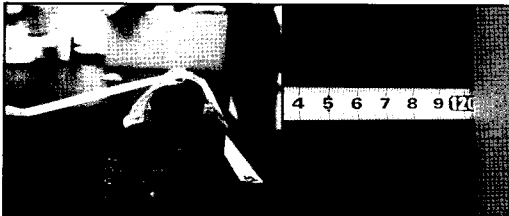


Fig. 14 Test of ultrasonic sensor

#### 4.2 초음파 센서 성능 평가

초음파 센서의 거리검출 성능평가는 피측정물을 초음파 센서와 40cm에서 300cm까지 20cm 간격으로 거리를 띄워가며 각각의 지점에서 7-segment의 측정값을 확인함으로써 이루어졌다. Fig. 14는 평가 사진을 나타내며, 전 영역에서 오차가  $\pm 0.5$  cm로써 수작업에 의한 수직 위치 오차가  $\pm 1$  cm 이상임을 감안했을 시 실린더 라이너의 마모량 계측을 위해 충분한 정밀도를 가짐을 알 수 있다.

#### 4.3 엔진 장착 실험

장착 시험 대상 엔진의 실린더 수는 8개이고 실린더 라이너의 내경은 80cm이다. Fig. 15와 같이

장착용 지그를 이용하여 소기포트를 통하여 측정장치를 장착하게 된다. Fig. 16(a)는 소기포트를 통해 장착된 측정장치를 나타내며, Fig. 16(b)는 라이너 상부에서 지름 방향으로 장착된 측정 유닛을 나타낸다. Fig. 17(a)는 주 측정 유닛에 저장된 초음파 센서의 거리 데이터와 탑의 변위데이터를 나타낸다. 초음파 센서의 최소 측정가능 거리가 30cm이므로 결과 그래프에서 하단부의 절단면을 확인할 수 있다. 탑의 변위데이터는 약  $\pm 10/100$ mm 변화하며, 이는 피스톤이 실린더 라이너 내부에서 10/100mm 정도 수평 운동함을 의미한다. 측정시간 상 175~220초 부위에서 데이터가 약 2mm 가량 증가하는 것은 피스톤 헤드의 내경이 실린더 라이너의 내경보다 약 2mm 작기 때문이다. 또한 175초와 220초에서 측정데이터가 약 -0.5mm 낮아지는 것은 실린더 라이너와 피스톤 헤드 사이의 클리닝 링(cleaning ring)이 1mm 가량 돌출되었기 때문이다. Fig. 17(b)는 주 측정장치와 부 측정장치의 변위값 변화량을 나타내며, 서로 대칭되어 나타남을 알 수 있다. 식 (2)에 의거하여 피스톤의 상부로 움직이면서 발생하는 마모량은 주 측정 유닛과 부 측정 유닛 측정값의 합과 같다. 초기 측정값들의 합을 영점으로 설정 시 오차는 실제 마모량은 Fig. 17(c)와 같이 실린더 라이너의 최상면을 제외한 전 영역에서 마모량이 '0'임을 알 수 있다. 본 측정이 엔진 조립 후 바로 이루어진 바, 현장 실험 결과가 마모량 '0'로 측정되었으므로 본 측정 시스템이 측정 신뢰성을 확보하였음을 알 수 있다.

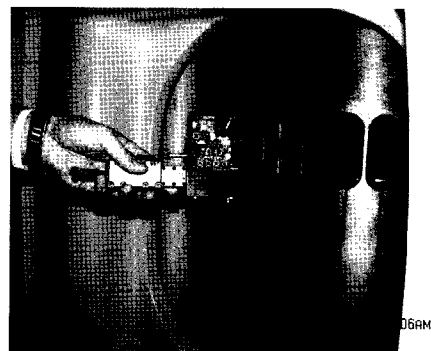
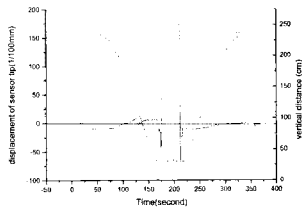


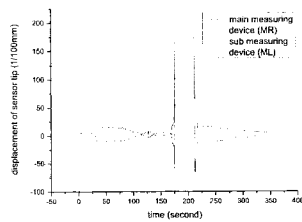
Fig. 15 Picture of installing measuring unit



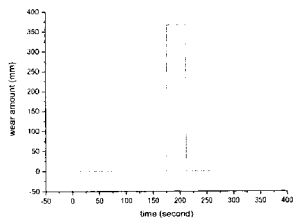
Fig. 16 Measuring unit after installed



(a)



(b)



(c)

Fig. 17 Graph of result data

## 5. 결 론

본 논문에서는 기존의 실린더 라이너 측정의 문제점인 안전, 정밀도 및 작업 효율성을 획기적으로 혁신하기 위해 소기포트를 통한 측정장치 설치 및 측정 개념을 창안하였으며, 이를 구현하기 위한 기구부 설계와 전자보드 설계를 통하여 시제품을 제작한 후 실험실과 현장에서의 성능평가를 완료함으로써 그 성능을 입증하였다. 본 논문의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 개발된 측정 시스템을 통하여 실린더 라이너 마모량 측정 시 작업자가 실린더 내부에서 작업할 필요가 없으며, 또한 실린더 커버의 탈착이 불필요함.

2) 기능 검증 및 현장 적용 검증을 통하여 본 개발품의 신뢰성을 확보하였음.

3) 따라서, 본 개발품을 통하여 향후 실린더 라이너 마모량 측정작업의 시간 단축 및 안정성이 확보될 것으로 기대됨.

향후 마모패턴에 따른 실린더 라이너의 이상 유무를 판단할 수 있는 알고리즘의 개발을 추가하여 마모량 분석 프로그램의 고도화를 추진코져 한다.

## 참고문헌

- [1] Albarbar A, Gu F, Ball A and Starr A, "Internal Combustion Engine Lubrication Oil Condition Monitoring Based On Vibro-Acoustic Measurements," *Insight*, Vol.49, pp.715-128, 2007.
- [2] 안용희, 김대영, 박득진, 김세락, "저속 2행정 디젤엔진의 윤활 및 마모 모니터링 기술 적용 연구," 한국마린엔지니어링학회 2006년도 전기 학술대회논문집, pp.37-38, 2006.
- [3] 전상명, "피스톤 링 팩 및 실린더 보아 마모와 오일소모를 고려한 엔진 내구수명 연구," *Journal of the KSTLE*, Vol.22, No.3, pp.155-163, 2006.
- [4] Ting L L, "Lubricated Piston Rings and Cylinder Wear," *Wear Control Hand Book*, Edited by M B Peterson and W O Winer, ASME, NY, pp. 609-665, 1980.
- [5] 오정원, "CCS-C 실전가이드," 컴파일 테크놀로지(주), pp. 130~470, 2003.
- [6] Barnett, Richard, O'Cull, Larry, Cox, Sarah "Embedded C Programming and the Microchip PIC," Thomson Learning, pp. 55-94, 2003.

## 저 자 소 개



### 김장규(金章圭)

1998년 부산대 기계공학과(공학사),  
2000년 부산대 지능기계공학과(석사),  
2002년 동대학원 박사 수료. 2002년~  
현재 두산엔진 기술연구소 선임연구원.  
관심분야 : 로보틱스, 계측제어, 지능제어.



### 이민철(李珉喆)

1983년 부산대 기계공학과(공학사),  
1988년 일본 쓰쿠바대 대학원 (공학석사),  
1991년 동 대학 물리공학연구과 (공학박사),  
2000~2001년 미국 NCSU 방문연구,  
1991년~현재 부산대학교 기계공학부 교수.  
관심분야 : 로봇 제어.