

디젤엔진용 저널 베어링의 크러시 측정에 관한 연구

배병한 · 김종호*

MAN Energy Solutions(엔지니어) · *한국해양대학교(교수)

A Study on the Crush Measurement of Journal Bearings for Diesel Engines

Byong-Han BAE · Jong-Ho KIM*

MAN Energy Solutions(engineer) · *Korea Maritime and Ocean University(professor)

Abstract

The purpose of this study is to provide useful information on the concept of journal bearings, measurement procedures and judgment guidelines to stakeholders involved in the design, manufacture, inspection and operation of journal bearings for diesel engines. In order to achieve this purpose, the following studies were conducted : Introduction of bearing crush measurement procedure according to quality specification, preparation and consideration of crush measurement diagram of main bearing, measurement and consideration for crush quality inspection of main bearing, and comparison and consideration of the previous two items.

Key words : Journal bearing, Crush, Quality specification, Diesel engine

I. 서론

1. 연구의 배경

오늘날 선박용 디젤엔진에서는 윤활을 목적으로 저널 베어링(Journal bearing)을 주로 사용하고 있다. 예를 들어 S형 디젤엔진에서는 베어링 재료로써 화이트 메탈, 알루미늄합금 등을 사용하고 있다(Juvinall and Marshek, 2000, MAN Diesel & Turbo, 2017).

디젤엔진에서 베어링은 접선방향으로 베어링 하우징(Housing)보다 큰 높이 즉 해당 베어링의 크러시 높이(Crush height)만큼 크게 설계 제작된다. 저널 베어링에서 베어링을 하우징에 장착하고 스티드 볼트를 조이면 일정 크러시만큼 크게 제작된 베어링은 눌러지게 된다. 이때 발생하는 하우징의 보어면을 향한 반경 방향의 압력에 의

해서 베어링은 탄성한계이내의 변형을 하게 된다. 따라서 이 변형량만큼 베어링 하우징과 베어링 간의 상대적인 이동이 억제되고 즉 접촉력이 크게 되므로 운전 중 베어링과 하우징이 서로 걸리는 것을 방지할 수 있게 된다(MAN Diesel & Turbo, 2018).

이와 같이 저널 베어링을 사용하는 디젤엔진에서 베어링 크러시는 핵심적인 품질관리 대상임에도 불구하고 관련 품질 규격 내용의 일부에는 해석상의 애매함이 있으며 일부 현장에서는 관련 절차가 유용하게 제공되지 않는 현실도 있다고 할 수 있다.

또 과거에는 베어링 생산단계에서 품질검사를 목적으로 각 선박의 엔진 1대 기준으로 베어링 종류 별(메인 베어링, 크랭크 핀 베어링)로 각 1조(Set)씩 크러시를 측정하였으나, 최근에는 납품

* Corresponding author : 051-410-4251, kjh@kmou.ac.kr

되는 수량 전부를 측정하는 경우도 있다.

이와 같이 생산단계에서 전수로 크러시를 측정하는 것은 베어링 제작사의 자체의 품질기준이기는 하지만 소요되는 총체적인 경비를 고려해 별도의 방안을 모색하는 것도 필요한 것으로 사료된다.

2. 연구의 목적 및 내용

이상의 관점에서 본 연구에서는 디젤엔진용 저널 베어링의 설계, 제작, 검사, 운전 등에 관계하는 이해당사자에게 베어링 크러시의 개념, 측정 절차, 판정 지침 등에 관한 유용한 정보를 작성하는 데에 그 목적을 두었다.

이 목적을 달성하기 위한 구체적인 연구내용은 품질 규격에 따른 베어링 크러시 측정절차의 소개, 메인 베어링을 디젤엔진에 장착한 상태에서의 크러시 측정선도 작성 및 고찰, 베어링 제작사에서 메인 베어링의 크러시 품질검사를 위한 측정 및 고찰, 상기 메인 베어링의 크러시 측정선도와 품질검사를 위한 측정값의 비교 및 고찰 등으로 구성하였다. 한편 이 목적을 달성하기 위해서는 연구내용이 방해해지는 것과 실제 현장에서의 유용성 등을 고려하여 연구 범위를 일부 조정하였다.

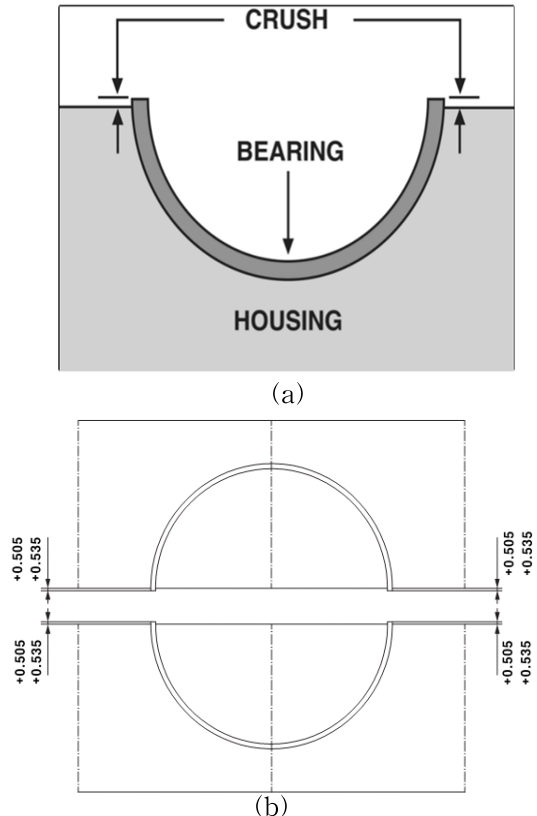
II. 재료 및 방법

1. 베어링 크러시의 정의와 기능

디젤엔진용 저널 베어링에서 베어링의 크러시 높이(Crush height)는 [Fig.1(a)]와 같이 베어링이 접선방향으로 베어링 하우징(Housing)보다 큰 높이로 정의된다(DSPORT, 2015). 통상 디젤엔진은 설계단계에서 일정 값의 크러시 높이(이하에서는 ‘크러시’로 한다)를 규정하게 되고 베어링 제작도면에는 [Fig. 1(b)]와 같이 공차가 부기되어 표기된다(Kim and Cho, 1995).

결국 저널 베어링은 이 크러시에 의해서 베어

링이 베어링 하우징에 잘 접촉하게 되므로 운전 중 베어링이 걸리는 것을 방지할 수 있게 된다 (Bae, 2019).



[Fig. 1] Bearing crush of journal bearings.

2. 베어링 크러시 측정 절차

디젤엔진 M사의 품질 규격에서는 베어링 종류 (Main bearing, cross head bearing, crank pin bearing)별로 디젤엔진의 베드 플레이트(Bed plate) 또는 연접봉(Connecting rod)에 조립하여 해당 베어링의 크러시를 측정하는 절차를 규정하고 있다 (MAN Diesel & Turbo, 2018).

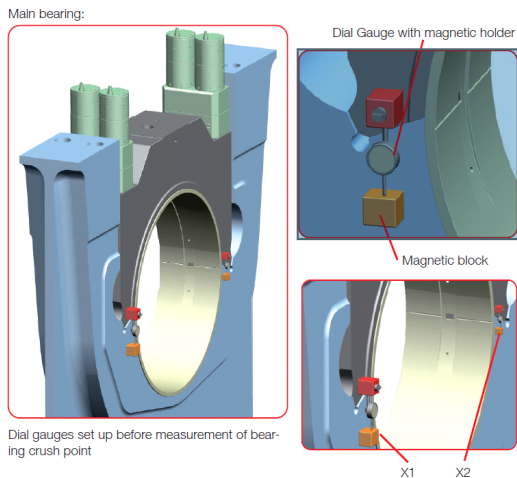
비록 상기 M사의 품질 규격은 크러시를 측정하여야 하는 시기와 대상 등과 관련하여 해석상의 애매함이 있으나 현장에서 쉽게 적용 가능하

도록 잘 기술되어있는 것으로 평가된다.

한편 실제 베어링 제작사는 상기 규정에 관계 없이 생산되는 베어링 전체를 대상으로 크러시를 측정하는 경우가 대부분이다. 이는 제작사 자체의 품질기준이기는 하지만 소요되는 총체적인 경비를 고려해 상기 M사의 품질규격의 요건을 반영하는 것으로만 충분한 품질관리가 될 수 있는 방안을 모색하는 추가의 연구, 검토 등이 필요한 것으로 사료된다.

가. 베어링 크러시 측정 방법

M사의 품질 규격에 규정된 베어링 크러시 측정 방법은 다음과 같다(MAN Diesel & Turbo, 2018).



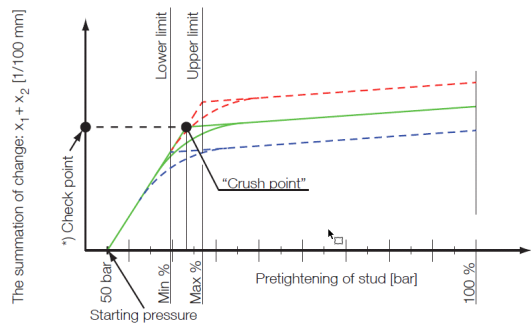
[Fig. 2] Dial gauges set up for main bearing crush measurement.

① 해당 베어링의 설계도면이나 사양서 등에서 측정하고자 하는 각 베어링 종류(Main bearing, cross head bearing, crank pin bearing)별로 규정된 크러시를 먼저 확인한다.

② [Fig. 2]와 같이 각 베어링 종류(Main bearing, cross head bearing, crank pin bearing) 별로 크러시 측정을 위한 다이얼 게이지를 설치한다.

③ 크러시 측정은 [Fig. 3]과 같이 8단계로 순

차적으로 진행하며 크러시 포인트는 그림상의 min%과 max%사이에 위치하여야 하며 이 범위를 벗어나게 되면 불합격으로 간주된다. 여기서 크러시 포인트는 특정 체결압력 구간들의 측정점을 선형화하고 이 직선들의 교점에서 아래쪽으로 수선을 내려서 만나는 체결 압력(Tightening pressure)을 의미한다.



[Fig. 3] A sample sheet of bearing crush measurement.

1단계 : 다이얼 게이지를 [Fig. 2]와 같이 장착한다.

2단계 : 측정 전에 각 부품을 고정하기 위해서 100 bar의 압력으로 베어링과 베어링 캡을 예비 체결(Pre tightening)을 한다.

3단계 : 압력을 제거한다.

4단계 : 50 bar로 체결압력을 올린다.

5단계 : 다이얼 게이지를 '0'으로 맞춘다.

6단계 : 50 bar 간격으로 압력을 단계적으로 올리면서 매 50 bar 마다 다이얼 게이지의 X1, X2를 읽는다.

7단계 : 해당 베어링의 설계도면이나 사양서 등에 명시된 압력까지 압력을 단계적으로 올린다.

8단계 : 상기 [Fig. 3]과 같이 각 압력 단계별로 X1+X2의 합계를 측정지에 기록한다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 메인 베어링(Main bearing)의 크러시 측정선도 작성 및 고찰

본 연구에서는 진술한 M사의 품질 규격에 따라 S형 디젤엔진의 메인 베어링(이하 ‘메인 베어링’이라 한다)의 크러시 측정선도를 [Fig. 4]와 같이 작성하였다. 또 이 측정선도는 M사 등이 메인 베어링을 베드 플레이트(Bed plate)에 조립된 상태에서 측정한 크러시 값을 사용하여 작성하였다.

이 측정선도는 [Fig. 4]에서 알 수 있는 바와 같이 체결압력 50 bar부터 시작하여 최종 체결압력 2,200 bar까지 각 압력단계별로 다이얼 게이지 눈금 X1, X2의 합계 즉 베어링 크러시를 측정하고 이 값들을 선형화한 것이다(Bae BH, 2019), (Bae and Kim, 2018).

상기 M사의 품질 규격에서 크러시 포인트는 측정선도 상의 Lower limit(min%)과 Upper limit(max%) 사이에 위치하는 경우 합격으로 규정하고 있으며 만약 이 범위를 벗어나게 되면 불합격으로 간주된다.

또 메인 베어링의 최종 체결압력은 2,200 bar, 체결압력의 Lower limit(min%)는 19%(즉

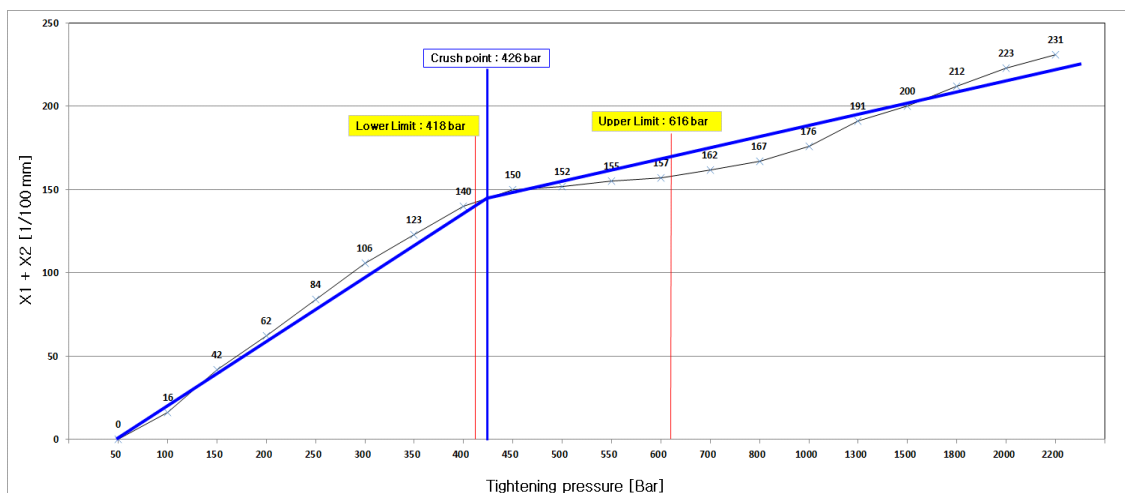
$2,200 \times 0.19 = 418 \text{ bar}$), Upper limit(max%)는 28%($2,200 \times 0.28 = 616 \text{ bar}$)으로 규정되어 있다. 이 측정선도에서 50 ~ 450 bar와 450 ~ 2,200 bar 체결압력 구간들의 측정점을 선형화하고 이 직선들의 교점 즉 크러시 포인트에서 아래쪽으로 수선을 내려서 만나는 체결 압력(Tightening pressure) 426 bar를 구할 수 있다. 상기 크러시 포인트에서의 체결 압력(Tightening pressure) 426 bar는 측정선도 상의 Lower limit(min%)과 Upper limit(max%) 사이에 위치하고 있음을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 작성한 S형 디젤엔진 메인 베어링의 크러시 포인트는 상기 M사의 품질 규격을 적합한 것으로 판정할 수 있다.

또 최종 체결압력 2,200 bar에서 측정된 베어링 크러시($X_1 + X_2$), 231 mm는 베어링의 제작 기준 크러시인 2.02 ~ 2.14 mm를 14 ~ 8 % 초과하는 것을 알 수 있다.

물론 크러시 포인트가 상기 M사의 품질 규격을 적합하므로 베어링 크러시 품질관리 측면에서는 문제가 없다고 할 수 있다.

그러나 베어링 크러시($X_1 + X_2$), 2.31 mm가 베어링의 제작 기준 크러시인 2.02 ~ 2.14 mm를 일정 이상 초과할 때에는 별도의 고려가 필요한



[Fig. 4] Main bearing crush measurement diagram when mounted on the bed plate of diesel engines.

것으로 사료된다. 즉 크러시 측정선도를 작성하는 과정 중에 유압 실린더, 작동유 압력계, 다이얼 게이지 등의 정밀도, 측정 환경 등에 대하여 추가적인 점검이 필요한 것으로 사료된다.

또 상기 초과범위에 대해서는 추가의 조사와 연구를 통하여 다른 원인을 발견하거나 보완될 수 있을 것이다.

2. 메인 베어링(Main bearing)의 크러시 품질 검사를 위한 측정 및 고찰

베어링제작사가 베어링 생산단계에서 품질검사를 위하여 전술한 바와 같이 메인베어링을 베드 플레이트(Bed plate)에 조립된 상태에서 크러시를 측정하고 그 유효성을 판정하는 것은 현실적으로 시행하기 어려운 검사이다.

실제 베어링 제작사에서는 전용의 유압 지그(유압 실린더에 의한 하중 부가, 변위계를 이용한 크러시 측정 및 기록 등)를 사용하여 생산되는 베어링 전체를 대상으로 크러시를 측정하고 베어링 제작도면을 기준으로 판정하고 있다. 이 검사 방법은 베어링 제작사가 생산단계에서 베어링 크러시 품질검사를 위하여 많이 사용되고 있다.

베어링 제작사 H가 상기 메인 베어링의 최종 검사단계에서 유압 지그를 사용하여 [Fig. 1(a)]과 같이 원형 베어링의 반쪽에 각각 34,500 N(총 69,000 N)의 하중을 부가하여 메인 베어링 6개의 크러시를 측정한 것으로 평균 크러시는 1.055 mm이다(<Table 1> 참조).

이 표에서 측정값의 표시는 전술한 크러시 측정선도에서 사용한 X_1 , X_2 기호를 사용하였다. 다만 전술한 ‘가’의 크러시 측정선도에서 X_1 , X_2 는 베드 플레이트(Bed plate)에 조립된 상부 베어링과 하부 베어링을 합한 값이므로 이 표에서 크러시는 원형 베어링의 반쪽에 해당하는 크러시이므로 $X_1/2$, $X_2/2$ 으로 각각 표시하였다.

상기 평균 크러시는 1.055 mm는 S형 디젤엔진 메인 베어링의 제작 기준 크러시인 1.01 ~ 1.07

mm의 범위 내에 포함되므로 이 베어링은 제작기준에 적합한 것으로 판정할 수 있다.

<Table 1> Main bearing crush measurement at ‘H’ bearing shop

$X_1/2$	$X_2/2$	$(X_1 + X_2)/2$
0.53	0.52	1.05
0.53	0.53	1.06
0.53	0.53	1.06
0.53	0.52	1.05
0.53	0.52	1.05
0.53	0.53	1.06
Average		1.055 mm

3. 메인 베어링(Main bearing)의 크러시 측정 선도와 품질검사를 위한 측정값의 비교 및 고찰

상기 ‘1’에서 기술한 바와 같이 메인 베어링을 베드 플레이트(Bed plate)에 조립된 상태(즉 상부 베어링과 하부 베어링이 조립된 상태)에서 최종 체결압력 2,200 bar에서 측정된 베어링 크러시 ($X_1 + X_2$)는 2.31 mm이다.

또 상기 ‘2’에서 기술한 바와 같이 A베어링 제작사가 메인 베어링의 최종 검사단계에서 유압 지그를 사용하여 Figure 1(a)과 같이 원형 베어링의 반쪽에 각각 34,500 N(총 69,000 N)의 하중을 부가하여 측정한 메인 베어링의 평균 크러시 ($(X_1 + X_2)/2$)는 1.055 mm이다. 이 값을 상기 ‘1’ 같이 상부 베어링과 하부 베어링이 조립된 상태의 크러시로 환산하면 2.1 mm(즉 1.055 x 2)가 된다.

여기서 상기 ‘1’과 ‘2’에 기술된 S형 디젤엔진 메인 베어링의 크러시를 서로 비교해보면 약 8% 정도의 차이가 있음을 알 수 있다.

이와 같은 차이는 상기 ‘1’과 ‘2’의 크러시 측정 환경의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 즉 메인 베어링 크러시를 베드 플레이트(Bed plate)에 조립된 상태에서 측정할 때 사용하는 유압 실린더, 유압력계 등의 정밀도, 현장의 측정 분위기

등에 그 원인이 있는 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 연구에서는 디젤엔진용 저널 베어링의 설계, 제작, 검사, 운전 등에서 중요한 품질관리 요소인 베어링 크러시의 개념, 측정 절차, 판정 지침 등에 관한 유용한 정보를 작성하는 데에 그 목적을 두었다.

이 목적을 달성하기 위하여 품질 규격에 따른 베어링 크러시 측정절차의 소개, 메인 베어링의 크러시 측정선도 작성 및 고찰, 메인 베어링의 크러시 품질검사를 위한 측정 및 고찰, 메인 베어링의 크러시 측정선도와 품질검사를 위한 측정값의 비교 및 고찰 등에 관한 연구를 수행하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) S형 디젤엔진의 메인 베어링을 베드 플레이트(Bed plate)에 조립된 상태에서 측정한 크러시 값을 사용하여 관련 규격에 따라 크러시 측정선도를 작성하고, 또 이 선도를 통하여 S형 디젤엔진 메인 베어링의 크러시 포인트는 상기 품질 규격에 적합한 것으로 판정할 수 있다.

또 베어링 크러시($X_1 + X_2$), 2.31 mm가 베어링의 제작 기준 크러시인 2.02 ~ 2.14 mm를 14 ~ 8 % 초과하는 것을 알 수 있다. 물론 크러시 포인트가 품질 규격에 적합하므로 베어링 크러시 품질관리 측면에서는 문제가 없다고 할 수 있다. 그러나 크러시 측정 환경 등을 포함한 추가의 조사와 연구를 통하여 다른 원인을 발견하거나 보완하는 것이 필요하다고 판단된다.

2) S형 디젤엔진 메인 베어링의 생산 현장에서 전용의 유압 지그를 사용하여 측정한 평균 크러시는 1.055 mm는 S형 디젤엔진 메인 베어링의 제작 기준 크러시인 1.01 ~ 1.07 mm의 범위 내에 포함되므로 이 베어링은 제작기준에 합격한 것으로 판정할 수 있다.

3) S형 디젤엔진의 메인 베어링을 베드 플레이

트(Bed plate)에 조립된 상태에서 측정한 크러시 값과 생산 현장에서 전용의 유압 지그를 사용하여 측정한 평균 크러시를 서로 비교해보면 약 8% 정도의 차이가 있음을 알 수 있다. 또 이와 같은 차이는 크러시 측정 환경의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

References

Bae BH and Kim JH(2018). "A study on the Crush Test on sliding Bearing," Proceedings of the 42nd Korean Society of Marine Engineering Fall Conference, 165~166.

Bae BH(2019). A Study on Production and Inspection of Sliding Bearing for Large Marine Diesel Engines, Department of Marine System Engineering Graduate School of Korea Maritime and Ocean University.

DSPORT(2015). The Science Behind Modern Performance Engine Bearings, <https://dsportmag.com/the-tech/the-science-behind-modern-performance-engine-bearings-simple-complexity/2/>.

Juvinal RC and Marshak KM(2000), Fundamentals of Machine Component Design, 3rd edition, John Wiley & Sonc, Inc..

Kim YJ and Cho MJ(1995). A Study on the Developnment of Thin walled Metal Bearing for the Large sized Slow Speed Diesel Engines, Journal of the Korean Society of Marine Engineers, No.4.

MAN Diesel and Turbo(2017). White Metal on Bearing Shells, Quality Specification No. 0742027-9.6, 7~10.

MAN Diesel and Turbo(2018). Assembly_Bearing Crush, Quality Specification No. 1824756-0.10.

-
- Received : 23 April, 2021
 - Revised : 07 May, 2021
 - Accepted : 21 May, 2021