

선박용 수냉식 디젤엔진의 개발 및 성능평가

심한섭^{*,#}, 전종오^{**}

^{*}경남과학기술대학교, ^{**}대동마린테크

A Design for Water Cooling of a Marine Diesel Engine with Verification of Improvement

Hansub Sim^{*,#}, Jongoh Jun^{**}

^{*}Kyeongnam National University of Science and Technology, ^{**}Deadong Marine Tech.
(Received 27 July 2016; received in revised form 20 August 2016; accepted 25 September 2016)

ABSTRACT

This paper presents a study of heat dissipation away from the fuel combustion of a marine diesel engine. These engines are operated for long periods under high load conditions: so cooling systems are necessary for radiation and control of the high temperature levels. In the study, each component of the water cooling system was developed to achieve improvements in cooling and safety. Heat transfer considerations and arrangement design for the components were important and an intercooler and exhaust manifold incorporated. An optimization of the cooling water's flow path was achieved subject to the need for convenient maintenance. The 750Ps marine diesel engine was used for performance testing of the cooling system. The test results showed adequate cooling performance improvement.

Key Words : Marine Diesel Engine(선박디젤엔진), Cooling System(냉각장치), Cooling Performance(냉각성능)

1. 서 론

소형어선, 레저선박 등에 사용되는 선박용 디젤 엔진은 고부하 조건에서 장시간 운항되고 있으며, 이에 따라 연료연소에 의한 다량의 연소열이 발생된다. 이 연소열은 디젤엔진의 동력원이기도 하지만 연소에 의한 고온 열을 적절히 방출·제어하지 못할 경우에 과도한 온도상승으로 인하여 디젤엔진의 원활한 운전이 어렵고, 배출가스를 증가시키는 원인이 되기도 한다.^[1] 또한 선박엔진의 과열은 매우 좁은 기관실 공간에서 화재의 위험성에 노출

된다. 이에 따라 선박엔진에 대한 안전기준과 배출가스 규제가 시행되고 있다.^[2~4] 따라서 선박 디젤엔진에서 발생하는 고온 연소열을 효과적으로 방출·제어할 수 있는 냉각장치의 설계와 개발이 필요하다.^[5~7]

이 연구에서는 선박디젤엔진에서 발생하는 연소열을 효과적으로 방출·제어하기 수냉식 냉각장치를 설계하였다.^[8~9] 열교환기와 인터쿨러는 바닷물(해수)을 이용하여 냉각시키며, 바닷물은 해수펌프를 이용하여 공급된다. 고온 배기가스가 배출되는 배기관은 엔진냉각수를 이용하여 냉각시키도록 설계하였다. 또한, 냉각효율을 높일 수 있도록 각각의 냉각장치를 배치를 고려하여 설계하였고, 실제 디젤엔진에 적용하여 성능을 평가하였다.

Corresponding Author : hansub@gntech.ac.kr
Tel: +82-55-751-3644, Fax: +82-55-751-3649

2. 냉각장치 구성품의 개발내용

선박용 추진기관인 750마력급 디젤엔진에 사용되는 냉각장치를 개발하기 위하여 Fig. 1과 같이 냉각장치로 설계-개발하였다. Table 1은 선박디젤엔진의 주요 특성을 나타낸 것이다.

열교환기는 저온 바닷물을 이용하여 엔진냉각수의 고온 연소열을 방출·제어한다. 온도가 낮아진 엔진냉각수는 순환펌프에 의하여 다시 엔진본체를 순환하면서 엔진을 냉각시킨다. 바닷물은 해수펌프를 이용하여 선박의 하부에서 공급된다.

인터쿨러는 터보차저를 통과하면서 압축된 고온 공기를 바닷물을 이용하여 냉각시킨다. 공기 온도가 상승하면 밀도감소로 인하여 엔진으로 유입되는 공기량이 감소하여 엔진출력이 감소한다. 따라

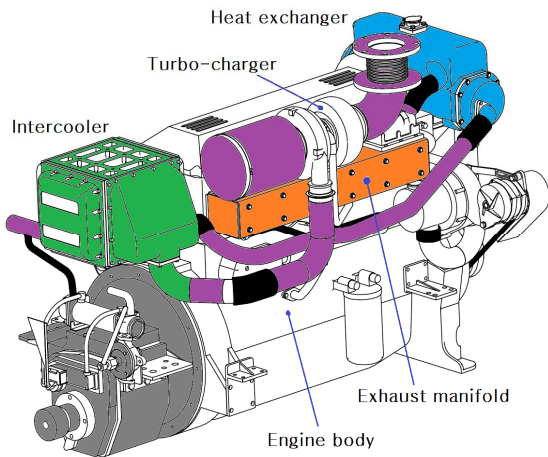


Fig. 1 A 750Ps marine diesel engine

Table 1 Specifications of a marine diesel engine

Systems	Specifications
Engine type	Inline 6-cylinder
Bore * stroke	137 * 171 mm
Displacement	15.1 liter
Rated power/rpm	750 Ps /2,200 rpm
Inspiration	Turbocharger-intercooler(TCI)
Fuel injection	Unit injector, ECM control
Speed control	Electronic control module(ECM)
Dimensions	1,520 * 810 * 1,290 mm

서 흡입공기량을 증대시켜 출력을 향상시키기 위해서는 고온공기를 냉각시킬 필요가 있다.

배기관은 수냉식으로 설계하였고 배기매니폴드 외부에 엔진냉각수가 접촉하도록 되어있다. 따라서 배기관의 외부온도를 엔진냉각수의 온도보다 낮게 유지시킬 수 있다. 연소 후에 배출되는 배기가스는 매우 높은 온도까지 상승하므로 배기관의 냉각은 선박 엔진실의 안전성 확보에 필요하다.

또한, 냉각장치를 구성하는 각각의 주요부품을 배치설계하는 과정에서는 냉각성능, 냉각수의 통과경로, 정비의 편의성 등을 고려하여야 한다.

3. 주요부품 설계

3.1 열교환기

선박디젤엔진은 대부분 고부하 조건에서 운전되므로 다량의 연소열을 효과적으로 방출하기 위하여 바닷물을 이용하는 수냉식 열교환기로 설계하였다. 열교환기는 냉각성능뿐만 아니라 바닷물을 사용하므로 이에 대한 부식성도 고려하여 충분한 냉각효과와 내구성을 유지할 수 있도록 설계할 필요가 있다. 또한 냉각효과를 높이기 위하여 엔진 냉각수와 바닷물은 서로 반대방향으로 흐르도록 대향류 방식을 선택하였다. 목표성능은 최대부하에서 열교환기 출구의 온도를 80℃ 이하로 유지하도록 설계하였다. 다음 Fig. 2는 열교환기의 구조와 냉각수의 흐름을 보여주고 있다. Fig. 3은 열교환기를 통과하는 엔진 냉각수의 온도변화를 측정 한 값이다. 바닷물이 고온(35℃)일 때 열교환기 출구에서 냉각수의 온도는 73℃를 나타내었다.

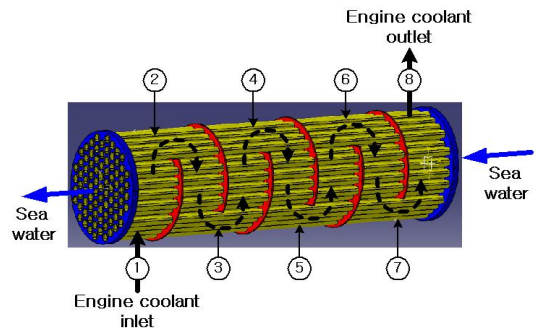


Fig. 2 Heat exchange and flow

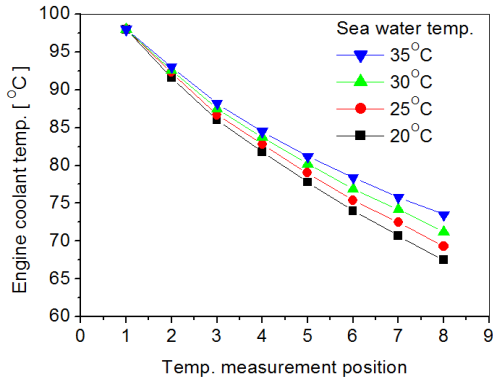


Fig. 3 Coolant temp. in the heat exchanger

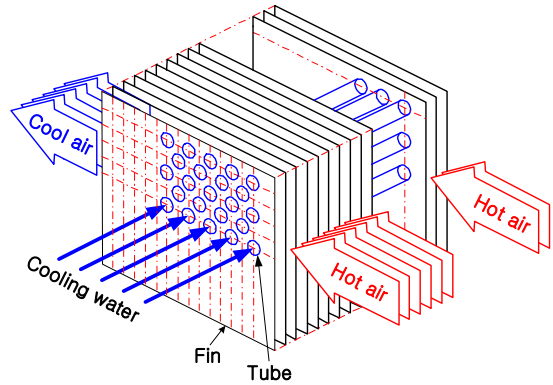


Fig. 4 Inside structure of the intercooler

3.2 인터쿨러

선박디젤엔진 내부로 유입되는 공기는 터보차저에 의하여 압축되면서 온도가 상승한다. 이에 따라 공기밀도와 흡입공기량 낮아져서 엔진출력이 감소하며, 연소온도가 높아져서 NOx의 배출량이 증가하는 원인이 되기도 한다. 따라서 고온으로 압축된 흡입공기는 냉각시킬 필요가 있으며, 엔진으로 유입되는 공기를 바닷물을 이용하는 구조로 설계할 필요가 있다. 수냉식 인터쿨러의 설계에서 중점사항은 다음과 같다. 인터쿨러의 냉각성능은 최대부하에서 출구의 공기 온도를 60°C 이하로 되도록 냉각되는 설계하였으며, 바닷물 및 바다 공기에 의한 부식방지를 위하여 내식성이 우수한 구리 또는 구리합금 재료를 사용할 필요가 있다.

다음의 Fig. 4는 인터쿨러의 내부구조이다. 고온-압축공기의 냉각을 위한 냉각수는 바닷물을 사용하며, 바닷물은 해수펌프로부터 공급된다. 냉각수 튜브(황동관)에는 냉각핀(구리판)이 층층이 끼워져 있으며, 공기의 고온 열을 흡수한다. 엔진으로 유입되는 고온-압축공기는 냉각핀 사이를 흐르면서 차가운 냉각핀에 접촉되고 온도가 내려간다.

Fig. 5는 냉각수(바닷물)의 출구의 위치가 하부(L-L), 상부(L-H)일 경우에 인터쿨러의 냉각성능을 확인하는 시험방법을 나타낸 것이다. 선박디젤엔진의 부하조건은 터보차저에 의한 압축공기의 온도가 최대 상승하는 100% 출력조건으로 설정하고 실험하였다.

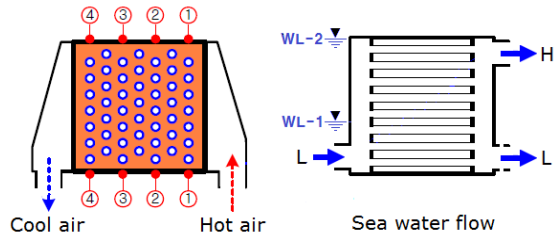


Fig. 5 Temp. measurement and sea water flow in the intercooler

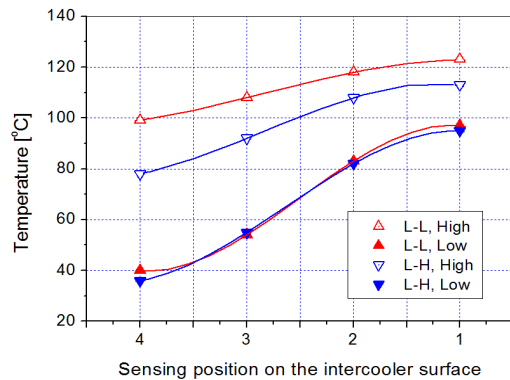


Fig. 6 Temp. distribution on the intercooler

Fig. 6은 바닷물의 출구 위치를 변경전(하부)과 상부로 변경 후에 인터쿨러 상부와 하부의 표면온도 차이를 측정된 것이다. 인터쿨러의 상부온도는 해수출구가 상부에 있는 경우에 -10°C(① 공기입구) ~ -21°C(② 공기출구)로 낮아졌다. 인터쿨러

하부의 온도 차이는 변화가 거의 없다. 이것은 해수 출구가 L-H인 경우에 상부 냉각튜브에도 냉각수 통과하고 있기 때문이다(WL-2). 이와 반대로 L-L에서 위쪽 냉각튜브는 바닷물이 없으므로(WL-1) 충분한 냉각효과를 얻기가 어렵다. 따라서 냉각수의 출구를 상부로 배치(L-H)하여야 우수한 냉각효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

3.3 수냉식 배기관

선박디젤엔진에서 배출되는 배기가스의 온도는 약 500~600℃ 정도까지도 상승한다. 따라서 배기가스가 직접 접촉되는 배기관도 높은 온도로 상승한다. 그러므로 고온의 공랭식 배기관을 수냉식으로 설계할 필요가 있다. 냉각유체는 엔진냉각수를 순환시킨다. Fig. 8은 선박디젤엔진용으로 제작된 수냉식 배기관의 구조를 보여주고 있다. 배기관의 외부에 냉각수가 접촉할 수 있도록 냉각수 유동 통로를 만들고, 그 내부에 냉각수를 흐르게 한다. 따라서 수냉식 배기관의 외부 온도는 냉각수 온도와 비슷한 온도를 유지할 수 있다.

3.5 냉각장치의 배치설계

열교환기와 인터쿨러는 바닷물을 이용하는 수냉식 냉각장치이다. Fig.9에서 A의 경우와 같이 해수펌프에서 공급되는 바닷물은 열교환기-인터쿨러 순서로 통과할 수도 있고, 반대로 B의 경우와 같이 인터쿨러를 먼저 통과한 후에 열교환기를 통과할 수도 있다. 따라서 바닷물이 먼저 통과하는 냉각장치는 냉각효과가 크지만 바닷물이 나중에 통과하는 냉각장치의 성능은 낮아진다. 이러한 원인은 두 번째로 통과하는 냉각장치에는 처음에 냉각장치를 통과하면서 온도가 높아진 바닷물이 작용하기 때문이다. 따라서 바닷물이 통과하는 냉각장치의 우선순위 결정은 냉각성능의 중요성을 고려하여 결정하며, 다른 부품과의 연관성도 고려해야 된다. 또한, 바닷물의 통과 순서에 따라 배관을 적절하게 연결하여야 된다. 냉각장치의 구성품의 배치설계에서는 냉각성능을 고려한 각 부품을 배치하고, 배관 길이의 최소화하여야 한다. 또한 각 부품의 정비의 수월성도 고려하여야 된다.

4. 실험 및 성능평가

Fig. 8은 선박디젤엔진에 필요한 냉각장치를 개발하고 성능평가를 위한 시험장치의 사진이다. 각각의 부하조건에 따라 선박디젤엔진에서 발생하는

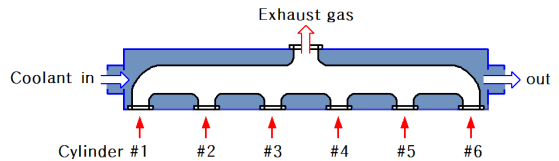


Fig. 7 Exhaust manifold by water cooling



Fig. 8 Photo. of an experimental setup

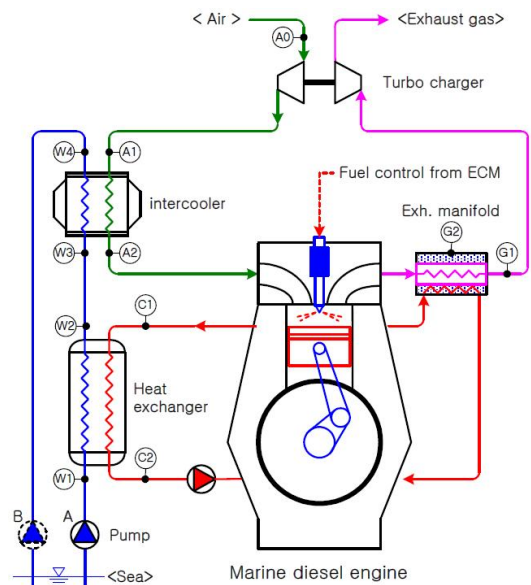


Fig. 9 Temp. measurement position on the engine

연소열이 다르므로, 부하조건 설정을 위하여 동력계(DT-3000, Go Power Systems)를 연결하였다.

Fig. 9는 각종 냉각장치의 구성품과 공기 및 배기가스, 엔진냉각수, 바닷물의 흐름을 나타내고 있다. 바닷물은 열교환기-인터쿨러의 순서로 통과하도록 냉각장치를 배치하였다. 냉각장치 입구와 출구의 온도변화를 측정하기 위한 온도센서는 써모커플(K)을 설치하였다.

5. 실험결과

Fig.10은 선박디젤엔진에서 부하가 변동될 때 엔진냉각수의 온도변화를 나타낸 그래프이다. 바닷물 온도(W1=23℃)와 100% 부하(750ps) 조건에서도 엔진냉각수 온도가 열교환기를 통과하면서 82℃(C1-열교환기 입구)에서 73℃(C2-열교환기 출구)로 감소하였다. 열교환기 내부에서 엔진냉각수의 입구와 출구의 온도차(ΔT)는 5~9℃로 나타났다. 이 결과로부터, 바닷물을 이용한 수냉식 열교환기의 냉각성능이 충분하며, 엔진 냉각수의 온도를 적정하게 제어할 수 있음을 확인하였다.

Fig. 11은 선박디젤엔진에서 부하가 변동될 때 인터쿨러를 통과하는 공기의 온도변화를 나타낸 그래프이다. 대기온도가 높고(대기온도 A0=22~29℃), 100% 부하조건에서 터보차저에 의하여 공기의 온도는 29℃(A0)에서 202℃(A1-인터쿨러 입구)로 상승하였으며, 인터쿨러의 냉각효과에 의하여 출구에서의 공기온도는 58℃(A2)로 감소하였다. 인터쿨러의 공기입구와 출구의 온도차(ΔT)는 141℃로 나타났다.(100% 부하조건) 이 결과로부터, 바닷물을 이용한 수냉식 인터쿨러의 냉각성능이 충분히 효과가 있으며, 엔진으로 유입되는 공기의 온도를 적정하게 제어할 수 있음을 확인하였다.

Fig. 12는 선박디젤엔진에서 부하가 변동될 때 수냉식 배기관의 온도변화를 나타낸 그래프이다. 엔진 냉각수온도가 높은 100% 부하조건에서 배기가스 온도(G1)는 445℃이었으나, 엔진 냉각수(온도 C1=82℃)의 냉각효과에 의하여 배기관의 외부 온도(G2)는 87℃로 감소하였다. 따라서, 수냉식 배기관의 냉각효과가 우수한 것을 확인하였다.

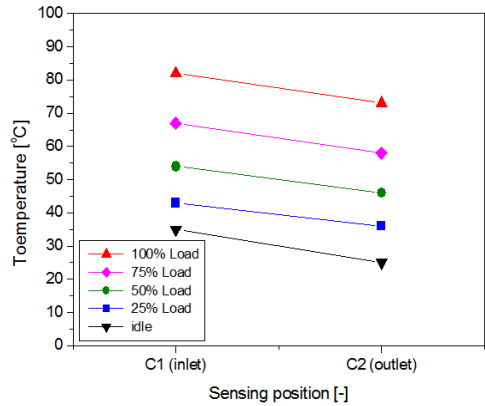


Fig. 10 Temp. of the coolant (C1, C2)

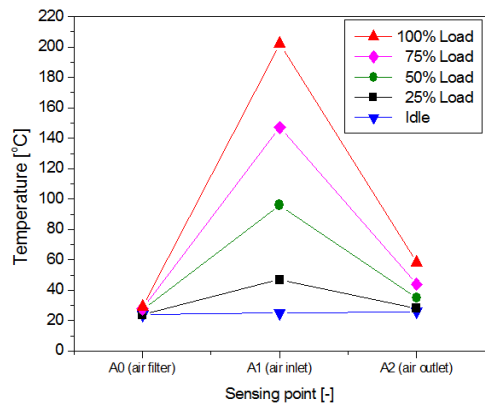


Fig. 11 Inlet air temperature (A0, A1, A2)

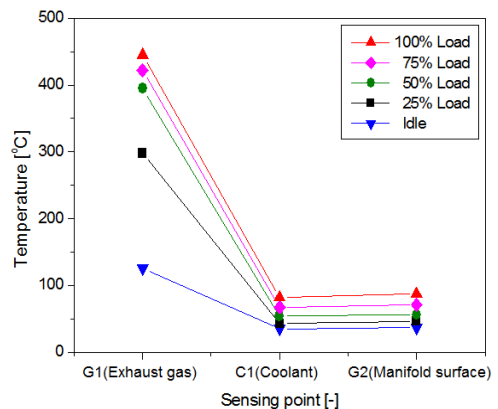


Fig. 12 Temp. on the exhaust manifold

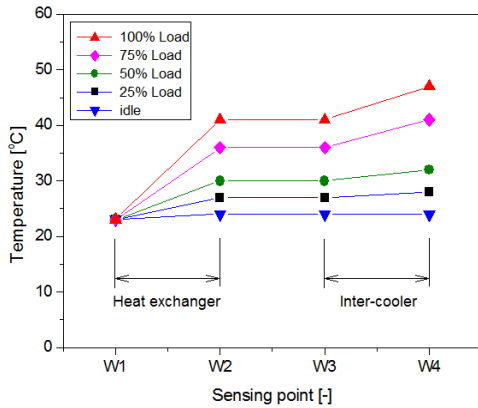


Fig. 13 Sea water temp. in the cooling system

Fig. 13은 선박디젤엔진에서 열교환기와 인터쿨러를 통과하는 바닷물의 온도변화를 측정하는 것이다. 고부하 조건(100%)에서 바닷물 온도(W1)는 23°C에서 열교환기를 통과한 후에는 41°C, 다시 인터쿨러를 통과한 후에는 47°C로 상승하였다. 냉각장치에서 바닷물의 최초 온도(W1)와 최종 온도(W4) 온도차(ΔT)는 18°C로 나타났다. 따라서 수냉식 냉각장치의 냉각성능이 충분히 효과가 있음을 확인하였다.

4. 결론

이 연구에서는 고부하 조건에서 사용되는 선박디젤엔진의 수냉식 냉각장치에 대한 설계와 평가를 수행하였다.

냉각장치를 구성하는 열교환기, 인터쿨러, 배기관은 냉각성능 향상과 안전성을 위하여 바닷물 또는 엔진냉각수를 이용하는 수냉식 냉각장치로 개발하였다. 또한 냉각수의 통과순서에 따라 냉각성능의 차이가 발생하므로 통과경로와 정비 편의성을 고려하여 바닷물이 열교환기-인터쿨러 순서로 통과하도록 각 구성품을 최적화하여 배치하였다.

수냉식 냉각장치의 종합적인 성능평가를 위하여 각각의 구성품을 선박디젤엔진에 적용하였다. 또한, 냉각장치의 성능평가를 위한 성능시험에서는 이 연구에서 설계-개발된 수냉식 냉각장치의 냉각성능이 적절하다는 것을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2015년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

REFERENCES

1. J. B. Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamentals", pp. 567-667, 1988.
2. Ministry of Oceans and Fisheries, "Marine engine standard", Korea, 2013.
3. Ministry of Oceans and Fisheries, "A Provisional Test Standard for NOx Exhaust Control of Marine Diesel Engine", Korea, 2013.
4. Sim, H. S., "A Study on NOx Reduction for a Small Marine Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers., Vol. 10, No. 5, pp. 79-84, 2011.
5. Yang, Y. J., Sim, H. S., "Study on Simulation of Water Cooling Heat Exchanger for Small Marine Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 6, pp. 201-207, 2012.
6. Jang, B. H., Kim, S. P., Lee, K. H., "A Numerical Analysis for the Performance Improvement of a Channel Heat Exchanger", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 2, pp. 159-164, 2012.
7. Sim, H. S., "A Study for Development of a Marine Diesel Engine from a 500Ps Commercial Vehicle Diesel Engine", A Numerical Analysis for the Performance Improvement of a Channel Heat Exchangers, Vol. 12, No. 6, pp. 125-131, 2013.
8. Sim, H. S., Jun, J. O., Jang, J. M., Jung, I. S., Jung, D. H., "A Cooling System Design of a 750Ps Marine Diesel Engine", p. 103, Proceedings of the Spring Conference, Korean Soc. Manuf. Process Eng., 2015.
9. Sim, H. S., "Experimental Study on Cooling Performance of an Water Cooled Intercooler", p. 95, Proceedings of the Autumn Conference, Korean Soc. Manuf. Process Eng., 2015.