

알루미늄 버터플라이밸브의 표면 결로방지에 관한 연구

곽경민^{*,#}, 이종형^{*}, 조경철^{**}, 이은하^{**}

^{*}(주)대정밸브, ^{**}한국섬유기계융합연구원

A Study of Anti-Condensation on the Surface for Aluminum Butterfly Valves

Kyung-Min Kwak^{*,#}, Joong-Hyoung Lee^{*}, Kyung-Chul Cho^{**}, Eun-Ha Lee^{**}

^{*}Daejung Valve CO., LTD., ^{**}Korea Textile Machinery Convergence Research Institute

(Received 11 January 2021; received in revised form 05 February 2021; accepted 08 February 2021)

ABSTRACT

The objective of this study is to prevent or decrease condensation on the surface of aluminum butterfly valves used in high humidity air conditions. We proposed a new valve with an anti-condensation device, a heat resistance medium, instead of a conventional valve. We, then, compared the surface temperature distribution between the proposed and conventional valves using experimental and analytical methods. The size of the evaluated valve is 100A and fluid conditions are 35°C/RH 75% in the air outside the valve and 5°C in the cooling water inside the valve. The experimental results show that the surface temperature of the proposed valve is 23~42% higher than that of a conventional valve, thereby exhibiting an anti-condensation effect. As a result, we observed the complete prevention of condensation on a gear box mounted to the proposed valve, showing surface temperature distribution above the dew point temperature of air. The analytical results are in agreement with the trends in experimental results.

Key Words : Aluminum Butterfly Valve(알루미늄 버터플라이밸브), Anti-Condensation(결로방지), Heat Resistance Medium(열저항매체), Surface Temperature Distribution(표면온도분포)

1. 서 론

알루미늄 버터플라이밸브는 다른 밸브에 비해 경량화, 가격 경쟁력 및 내식성이 우수하여 특장차, 공조분야, 반도체 공정 등 다양한 산업분야에 많이 사용되고 있다. 그 구성 요소 부품으로는 알루미늄 재질(ADC12)인 바디, Stainless Steel 재질인 디스크

와 축, 고무시트 및 패킹 등으로 구성되면서 축에 연결된 디스크의 회전에 의하여 밸브 개폐가 이루어지며, 그 구조는 Fig. 1에 자세히 나타내었다.

이때 밸브 내부에 차가운 유체가 흐르고 밸브 외부에는 고온 다습한 공기에 노출되는 환경에서는 열전달로 인해 밸브 표면온도가 외기의 이슬점 온도 이하가 되면 그 표면에서는 결로(Condensation) 생성 조건이 발생하게 된다. 밸브 표면에서 결로가 발생하면 재료의 부식 가속, 전기/전자장치 고장 및 수분에 취약한 주변 설비의 손상 등을 야기할 수

Corresponding Author : kmkwak@djvalves.com

Tel: +82-53-592-5530, Fax: +82-53-592-5531

있다.

현재 알루미늄 버티플라이밸브의 표면 결로와 관련된 연구는 일부 해외업체에서만 수행하는 실정이며, 기술자료는 기술보호 등의 이유로 공개하지 않고 있다. 특히 일본의 메이저급 밸브 제조사들은 결로 발생의 방지 또는 억제를 위하여 밸브의 결로가 발생하는 부위에는 알루미늄에 비해 열전도도가 상대적으로 작은 스테인레스 강 또는 고가의 이중재질로 대체하고 알루미늄과의 용접 등으로 결합시키는 방식을 사용하고 있다. 그러나 이 방식은 제품가격의 상승 및 생산성 등에 불리한 구조로서, 이와 관련된 개선 연구의 필요성이 요구되고 있다. 따라서 본 논문의 결과는 밸브의 결로방지 기술에 대한 소개의 의미와 함께 설계 자료로서의 유익한 기초자료가 될 것으로 판단된다.

밸브 표면에 결로가 방지되기 위해서는 밸브의 표면 온도가 유체의 이슬점 온도 이상이 되어야 하며, 이에 본 연구에서는 현재 사용되는 밸브보다 표면 온도를 증가시킬 수 방안을 제시하고자 한다. 표면 온도를 증가시키기 위해서는 전기적인 가열 등 여러 방법이 가능하지만, 본 연구에서는 밸브 표면의 전도 열전달을 감소시킬 수 있는 방안을 소개하며, 시험 및 수치해석으로 표면의 온도분포를 평가하여 그 효과성에 대해 검증하였다.

2. 표면 결로방지 제안

기존의 밸브는 Fig. 2(a)와 같이, 알루미늄 재질인 밸브 바디는 유체가 통과하는 바디부와 축이 설치되는 축부가 일체형으로 구성된 구조이다. 이 경우 고온 다습한 외기에 노출되는 축부는 밸브 내부에 흐르는 차가운 유체와의 열전달로 인해 온도구배가 필연적으로 발생하게 되며 어느 지점의 표면온도가 외기의 이슬점 온도 이하가 되면 그 표면에서는 결로가 발생하게 된다. 즉 기존의 밸브는 전도 열전달을 제어할 수 있는 별도의 장치 및 기능이 없으며 사용된 밸브의 재질에 의해서만 온도분포가 결정된다.

이에 반해 본 연구에서 제안하는 구조는 Fig. 2(b)와 같이, 밸브 바디부와 축부가 서로 분리되고 그 사이에 바디의 축부 재질보다 열전도도가 아주

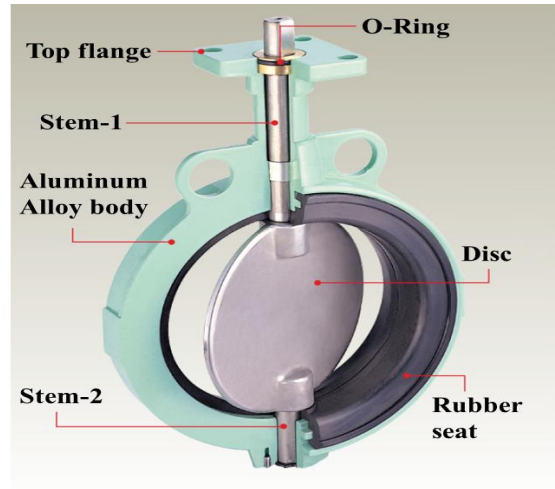
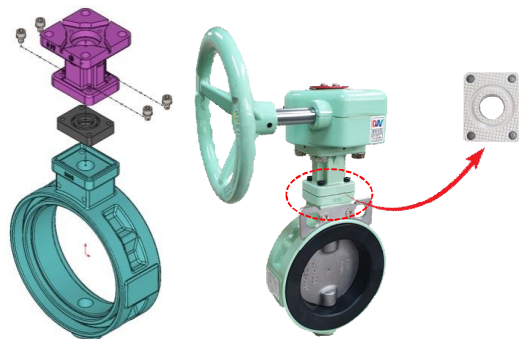


Fig. 1 The structure of aluminum butterfly valve



(a) Conventional valve



(b) Proposed valve

Fig. 2 The picture of Aluminum butterfly valve

작은 플라스틱 재질인 열저항 매체를 적용하는 것이다. 이때 열저항 매체는 내부 유체의 내압을 보강하기 위하여 바디부와 축부에 의해 보호되고 있다. 축부에서의 전도 열전달은 재질의 열전도도와 함께 열전달 면적에 전적으로 의존되기 때문에 열전달 면적을 최소화하기 위하여 열저항 매체는 요철 구조로 가공하여 적용되었다^[1].

본 제안의 장점은 제품의 상승비용이 크게 발생하지 않고도 축부에서 바디부로의 열전달을 감소시켜서 밸브 축부의 표면 온도를 증가시키는 것이며, 이로부터 밸브 표면의 결로를 방지 또는 억제시키는 효과를 기대할 수 있다.

3. 시험 및 수치해석 조건

기존의 밸브와 함께 본 연구에서 제안하는 밸브의 축부위 표면 온도분포는 시험과 수치해석 방법으로 각각 평가하여 비교하였다. 평가대상의 밸브 사이즈는 100A이며, 압력등급은 KS 10K이다.

3.1 시험조건 및 시험방법

본 연구에서 제안하는 밸브에 사용된 열저항 매체인 플라스틱 재질은 Acetal, Peek(Polyether Ether Ketone), PPS(Polyphenylene Sulfide)으로 각각 선정하였다. 유체조건으로 밸브 내부로 흐르는 냉각수의 온도는 5℃이며, 외부 공기의 온도 및 상대습도는 각각 34℃ 및 75%(이슬점 온도는 28.9℃에 해당)로 유지하였다. 이 조건은 일본 Tomoe 밸브 업체에서 평가한 유체 기준과 동일하다. 현재 밸브 결로 평가를 위한 유체 조건을 명시한 국내 규격은 없는 실정이며, 추후 이에 대한 기준 확립은 필요할 것으로 판단된다.

기존 및 제안밸브의 축부위 표면온도는 NetDaq Data Logger 및 T형 열전대를 사용하여 밸브 상단 탭 플랜지(Top Flange)로부터 아래로 5mm, 30mm, 50mm 3지점에서 각각 2개씩 측정하였고, 제안 밸브의 경우 50mm 바로 아래에는 플라스틱 열저항 매체가 설치되어 있다. 한편, 밸브 구동기인 기어박스의 표면온도를 평가하기 위하여 밸브의 축 부위 표면온도 측정과 같은 방법으로 기어박스의 상단, 상단 아래인 40mm와 밸브 탭 플랜지인 60mm 지점

에서 표면온도를 측정하였다. 이상의 위치별 표면 온도의 측정지점은 Fig. 3에 나타내었다.

시험장치는 시험 외기 조건을 유지할 수 있는 항온/항습 챔버를 활용하여 챔버 내부에 밸브를 설치하고, 냉각기를 사용하여 밸브 내부 유체 온도 조건을 정상상태 유지하며 데이터를 취득하였다^[2]. 표면 온도측정 및 시험장치는 Fig. 4에 나타내었다.

3.2 해석조건 및 해석방법

밸브의 온도 분포를 확인하기 위해서 열전달 해석을 수행하였으며, 상용 프로그램인 Ansys를 이용하였다. Thermal Condition의 조건은 정상상태의 열해석(Steady-State Thermal)으로 설정하였다. 격자의 구성은 Tetrahedron Type의 격자를 사용하여 1.5mm Size로 Ansys Meshing 프로그램을 통해 구성하였으며, 해석에 사용된 Node수는 약 270만개이다. 경계조건으로 분리된 밸브가 열전달 매체와 접하는 부분과 볼트 체결되는 부분은 Bonded로 설정하여 완전히 붙어 있는 것으로 지정하였다.

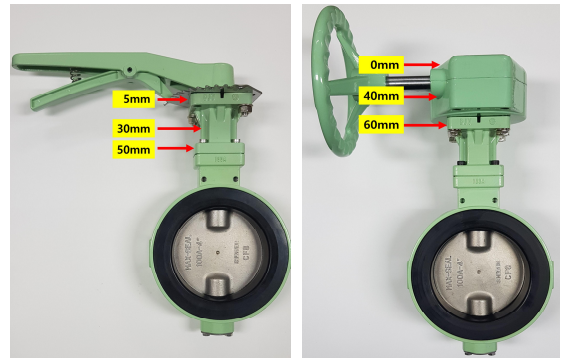


Fig. 3 Measured surface temp. of valve and gear box



Fig. 4 Measured surface temp. and test equipment

또한 벨브 내·외부환경에 대한 경계조건으로 벨브 외부표면은 공기의 자연 대류 열전달계수인 $10\text{W/m}^2\text{k}^{[3,4]}$ 로 설정 하였으며, 벨브 내부의 유체와 접하는 시트부위는 5°C 의 온도를 설정하였다.

Table 1은 소재의 물성치이며, 벨브 바디와 시트 소재는 ADC 12와 EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer)이며, 플라스틱 열저항 매체는 소재에 따라 열전도 계수를 변경하여 기존 및 제안 벨브 위치별 표면 온도분포를 계산하였다^[5].

4. 결과 및 고찰

4.1 시험결과

Fig. 5는 동일한 유체조건에서 기존 벨브와 Acetal 열저항 매체가 적용된 제안 벨브의 축부 위치별 표면의 온도분포를 나타내었다. 기존 벨브와 제안 벨브 모두 표면온도 분포는 벨브 탑 플랜지로부터 바디 방향으로 점차 감소하는 경향을 보이고 있다.

본 연구에서 설정된 외부조건에서는 벨브의 표면 온도가 이슬점 온도인 28.9°C 이하가 되면 벨브 표면에 결로가 발생하게 된다. 기존 벨브에서의 축부 표면 온도는 약 20°C 미만으로서 전체적으로 결로가 발생하는 것으로 나타났다.

이에 반해 개선 벨브의 표면온도 역시 이슬점 온도 이하로서 결로가 생기는 조건이지만 결로의 양은 상대적으로 기존 벨브보다 작아지는 조건임을 알 수 있다.

제안 벨브의 축부 표면온도는 기존 벨브에 비해 약 23~42% 더 높게 나타나며, 이것은 플라스틱 열저항 매체로 인해 결로방지의 효과가 있음을 의미하게 된다.

Fig. 6은 Fig 5의 시험 수행이 완료된 직후 기존 벨브와 제안 벨브의 축부의 표면 사진을 나타내었다. 기존 벨브에서는 축부의 전체에서 결로가 생성되었으나, 제안 벨브에서는 축부 일부에서 간헐적으로 결로가 발생하며 그 양이 기존 벨브에 비해 상당히 작음을 육안으로 확인되었다.

또한 제안 벨브는 기존 벨브에 비해 내압성을 보강하기 위하여 축부의 두께를 더 두껍게 적용한 구조이며, 이로 인해 열전달량 자체는 더 증가하게

되지만 사용된 재질 및 유체조건이 서로 동일하면 축부의 두께에 상관없이 표면의 위치별 온도구배는 같아지게 된다. 즉 제안 벨브에서 결로가 상대적으로 작게 나타난 것은 플라스틱 열저항 매체의 영향인 것으로 설명할 수 있다.

Table 1 Thermal conductivity of materials

	ADC12	EPDM	Acetal	Peek	PPS
Thermal Conductivity (W/m·k)	96	0.04	0.23	0.26	0.29

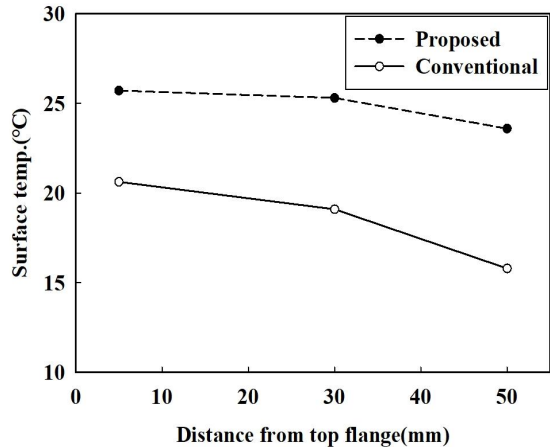


Fig. 5 Experimental surface temp. for conventional and proposed valve



(a) Conventional valve (b) Proposed valve

Fig. 6 Condensation visualization for conventional and proposed valve

Fig. 7은 제안 밸브에 대해서 열저항 매체 재질에 따른 축부의 표면온도 분포를 비교하여 나타내었다. 열저항 매체 재질은 각각 Acetal, Peek, PPS로 구분되며, 3종의 밸브 표면온도의 차이는 약 1°C 이내에서 거의 서로 유사함을 보여주며 본 연구에서 사용된 재질에 따른 온도분포 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

이것은 3종의 열저항 매체가 구조적으로 동일한 형상이며, 열전도도가 서로 유사하기 때문인 것으로 판단된다.

일반적으로 밸브를 작동시킬 때 기어식, 공압식 액추에이터, 전동식 액추에이터 등의 밸브 구동기가 장착되며, 이때 밸브 구동기의 표면에서 결로가 발생하면 구동기의 내부 부품에 영향을 주어 작동 불량에 직접적인 영향을 미치기 때문에 밸브 구동기 역시 결로를 방지해야 할 중요한 대상이다. Fig. 8은 기존 밸브와 Acetal 열저항 매체가 적용된 제안 밸브의 상단에 위치한 밸브 구동기인 기어박스의 위치별 표면 온도분포를 나타내었다.

기존 밸브에 설치된 기어박스는 상단과 측면(상단 아래인 40mm 지점) 모두에서 이슬점 온도인 28.9°C 이하로서 결로가 발생하지만, 제안 밸브에 설치된 기어박스는 밸브 탑 플랜지를 제외하고 기어박스 자체에서는 최소 32°C로 나타내기 때문에 결로가 발생하지 않고 있다.

4.2 수치해석 결과

Fig. 9는 기존 밸브와 Acetal 열저항 매체가 적용된 제안 밸브의 축부에서의 수치해석적 온도분포 결과를 나타내었다. 기존 밸브와 제안 밸브의 표면 온도는 탑 플랜지로부터 바디 방향으로 점차 감소하는 경향을 보이고 있다.

Table 2의 결과와 같이 기존 밸브에서는 축부에서의 위치별로 표면온도의 차이가 크게 발생하면서 축 하부지점에서는 약 16°C이며, 제안 밸브의 축 하부지점에서는 26.6°C를 나타내었다. 같은 방법으로 Peek 및 PPS 열저항 매체가 적용된 제안 밸브에서 해석한 결과, 축 하부지점에서는 온도는 각각 26.5°C 및 26.5°C로 거의 유사하게 나타났다. 이상의 해석 결과는 실험에서 나타난 안정적인 경향과 거의 유사하다.

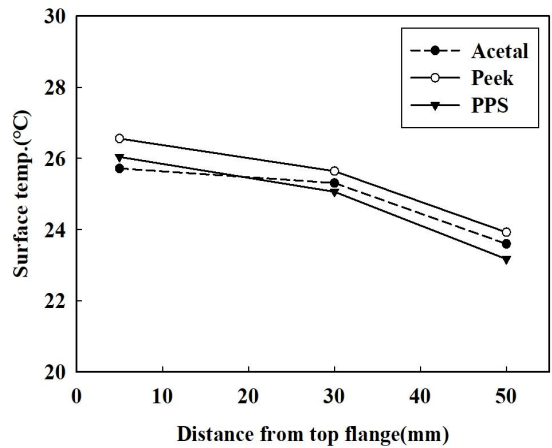


Fig. 7 Experimental surface temp. for heat resistance medium

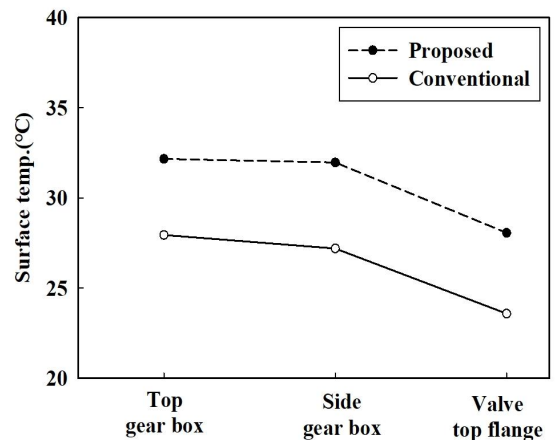
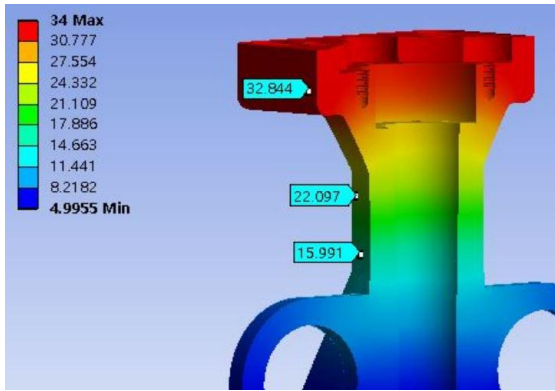


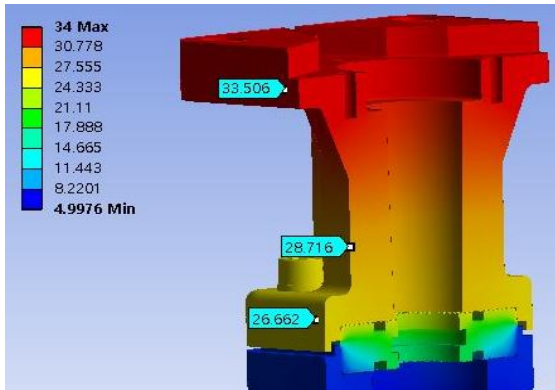
Fig. 8 Experimental surface temp. for gear box mounted to conventional and proposed valve

Table 2 Result of analysis temperature data

Distance	Conventional valve	Proposed valve		
		Acetal	Peek	PPS
5mm	32.8°C	33.5°C	33.5°C	33.4°C
30mm	22.1°C	28.7°C	28.6°C	28.5°C
50mm	15.9°C	26.6°C	26.5°C	26.5°C



(a) Conventional valve



(b) Proposed valve

Fig. 9 Analytical surface temp. for conventional and proposed valve

Fig. 10은 Acetal 열저항 매체가 적용된 개선 밸브에 대하여 시험과 수치해석으로 수행된 축부의 위치별 표면온도 분포를 서로 비교하여 나타내었다.

수치해석에 의한 축부의 결과는 시험결과에 비해 경향은 거의 유사하지만, 온도는 약 3~8°C 정도 높게 나타나고 있다. 이는 수치해석의 경우 결로가 발생하면서 나타나는 축부의 응축 막(Condensation Film)의 영향을 고려하지 않고 단순히 건구온도 열 전달로만 계산하여 그 차이가 발생한 것으로 판단된다^[6,7]. 응축 막의 열저항 영향을 고려하면 수치해석에 의한 표면온도는 현재보다 더 감소될 것으로 사료되며, 이에 대한 추가의 연구가 필요하다.

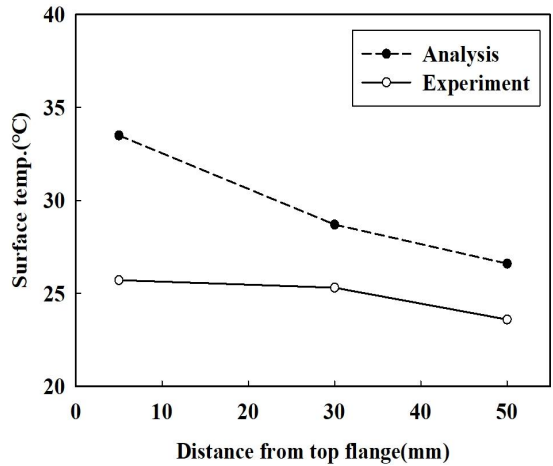


Fig. 10 Surface temp. for experiment and analysis

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 버터플라이밸브에 표면 결로 방지를 위하여 기존의 일체형 바디 대신에 바디부와 축부를 분리시키고 그 사이에 열저항 매체인 플라스틱을 적용하여 시험과 수치해석으로 밸브의 축부 온도분포를 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시험과 수치해석에서 제안 밸브의 축부 온도분포는 기존 밸브에 비해 더 높은 것으로 나타났으며, 실제 표면의 결로 감소를 육안으로도 확인하였다. 이로부터 개선 밸브에서 결로의 방지 또는 억제를 효과적으로 제어 가능성이 검증되었다.
2. 본 연구에 사용된 플라스틱 열저항 매체인 Acetal, Peek, PPS는 축부 온도분포에 미치는 영향은 거의 유사하게 나타났다.
3. 주어진 유체조건에서 기어박스의 온도분포는 기존 밸브에 설치되는 경우 표면 전체에서 이슬점 온도 이하로 측정이 되어 결로가 발생하는 조건이며, 반면에 제안 밸브에 설치되는 경우 표면 전체에서 이슬점 온도 이상으로 측정이 되어 결로방지가 되는 조건인 것으로 나타났다.

후 기

“이 논문은 2019년도 중소기업기술개발사업(구매조건부 신제품개발사업, 과제번호 S2781136) 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

Smooth Horizontal Laboratory Tubes," Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 29, No. 5, pp. 231~238, 2017.

REFERENCES

1. Seok, H. T., Jung, J. N. and Song, S. Y., "A Study on the evaluation of the heat transmission performance and improvement of thermal insulation of stone finished curtain wall system, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 23, No. 4, pp. 209-216, 2007.
2. Hwang, I. S., Lee, Y. L., "A Study on Performance Test and Fabrication of Vacuum Glazing with Numerical Analysis., Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 303-309, 2013.
3. Moon, C. H., "Heat Dissipation Analysis of High-Power, Multi-Chip LED Bulbs," Korean Journal of Metal Materials, Vol. 56, No. 3, pp. 227-234, 2018.
4. Cho, J. U. Han, M. S., "Thermal Analysis According to Material of Manifold," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 8, No. 3, pp. 33-37, 2009.
5. Baek, N. G., Lee, J. Y., "A Numerical Study on Thermal Analysis of Fuel Shut-off Valve," Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 108~114, 2012.
6. Kim, S. J., Je, J. H. and Kim, M. H., "3D Numerical Study of Horizontal Falling Film Evaporator in Multi Effect Distillation (MED) Plant," Korean Society of Mechanical Engineers B, Vol. 37, No. 5, pp. 513~522, 2013.
7. Jeon, D. S., Ko, J. W. and Kim, S. C., "Effects of Tube Diameter and Surface Sub-Cooling Temperature on R1234ze(E) and R1233zd(E) Film Condensation Heat Transfer Characteristics in