

수송용 DPH HVAC 히팅유닛장치 의 열유동 시뮬레이션평가연구

노 홍 구[†], 임 경 빈^{*}, 노 종 호^{**}, 이 영 기^{**}
[†], *한밭대학교, [†], ** (주)하이드로메틱스

A Study on the Heat Transfer Characteristics of Heating Unit in DPH HVAC

[†]Hongkoo Roh, ^{*}Kyungbin Lim, ^{**}Jongho Noh, ^{**}Youngki Lee

ABSTRACT : The study aims to analyzed and identify the heat transfer characteristics of heating unit for room using 3-D numerical-analysis in order to design heating unit. The temperature comparison processes were done with various numerical conditions. In addition, the optimal conditions of heating unit design were proposed as inlet temperature, the inlet flow, heater power, and vessel size.

Key words: DPH(Dual Pack Heater, 이중심히터), HVAC(공조장치), Heating Unit(히팅유닛장치), Heat Transfer(열전달), Simulation(시뮬레이션)

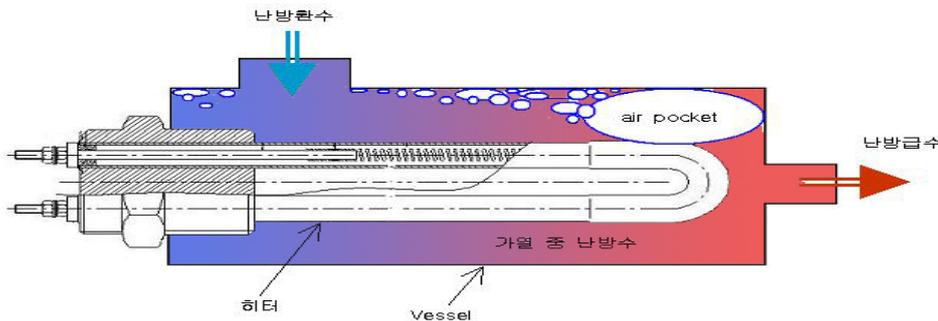


Fig. 1 Operating process of heating unit

1. 서론

Fig. 1에서 보이는 바와 같이, 수송용 DPH HVAC내에 설치되는 히팅유닛(heating unit)은 바셀(Vessel)내에 고풍력 전기히터가 장착되어, 수송실내를 난방하고 귀환하는 상대적으로 미지근한 '난방환수'를 히팅시키고 난 후, 이 히팅된 난방수를 우측 에지면에 연결된 난방배관라인으로 흘러 들어가게 함으로써, 실내로 '난방급수'가 이루어지는 기능을 담당하게 된다. 난방환수가 들어오는 입구에서는 $T_{in} = 40 \sim 80^{\circ}C$ 온도의 난방수가 $V_{in} = 1.4 \sim 8.5kg/s$ 의 유

량으로 들어와서 전기히터의 발열량, $Q = 4 \sim 5kW$ 로 히팅되어 출구에서 난방수로서 유출되게 된다. 이과정에서 입구에서 들어오는 난방환수와 출구로 유출되는 난방수의 온도차, ΔT , 난방수의 유량, V , 바셀내의 유동형태 그리고 전기히터의 발열량, Q 의 조사가 필요하다. 이러한 온도차, 유량, 유동형태 및 발열량에 따라 난방수의 히팅 정도와 바셀형태가 결정되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션기법으로 히팅 유닛의 열유동(flow)를 평가하고자 한다. 이를 위해 다음의 표에 나타낸 바와 같은 케

이스별 시뮬레이션과 조건별 연구를 수행한다. 첫 번째 경우로서 기존 히팅유닛 열유동 시뮬레이션을 수행하여 난방수의 유동장, 정압손실, 온도차(ΔT) 등을 조사한다. 이어서 난방수 유입온도를 변화시켜 난방수의 ΔT 변화 조사하여 적정한 난방수 유입온도를 결정하며, 난방수 유량 변화시켜 난방수의 정압손실변화를 조사하여 난방수의 적정유량결정하고, 히터 발열량을 변화에 따른 히팅유닛 열유동을 조사하여 적정히터발열량을 결정하게 된다.

2. 기존 히팅유닛의 형상구조 및 해석모델

기존의 히팅유닛은 Fig. 2에 보이는 바와 같이, 외부에 길이 390mm, 내부직경 31.7mm의 알루미늄 바셀(vessel)용기가 제작되고, 내부에 길이 332mm, 직경 19.3mm의 SUS 전기히터를 부착한 구조를 지녔으며, 바셀 상부에 난방수가 유입되는 높이 45mm, 직경 34mm의 유입부가 용접되었다. 난방수는 유입부에서 유입온도 $T_{in} = 40^{\circ}\text{C}$ 및 유량 $V_{in} = 2.8\text{kg/s}$ 으로 유입되어 $Q =$

4.5kW의 전기히터에 의해 히팅된 다음, 우측 유출구로 유출되어 실내로 난방급수되었다. 기존 히팅유닛을 사용하여 수행된 선행 연구에서는 개략적인 온도차와 전기사용량 정도가 실험측정되었으나, 난방수의 유동장, 압력장 및 온도장 실험측정은 불가하였으며 유입온도변화, 유량변화, 전기히터 발열량변화를 실험적 여건상 구가하기 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 이러한 것들이 가상적으로 가능한 시뮬레이션기법으로 기존 히팅유닛에 대해 시뮬레이션연구를 수행하여 난방수의 유동장, 압력장 및 온도장을 얻고, 기존 히팅유닛의 히팅성능을 평가함으로써 히팅유닛에 대한 성능개선을 위한 유입온도변화, 유량변화, 전기히터 발열량변화에 대한 기준 설계데이터를 얻고자 한다. Fig. 3과 같이, 기존의 히팅유닛과 거의 유사하게 모델링하여 히팅유닛의 시뮬레이션 해석모델을 3차원으로 설정하여 시뮬레이션 해석을 수행하였다. 본 시뮬레이션 해석을 위해 1500,000여개의 격자를 사용하고, 10여시간의 컴퓨터 해석시간이 소요되었다.

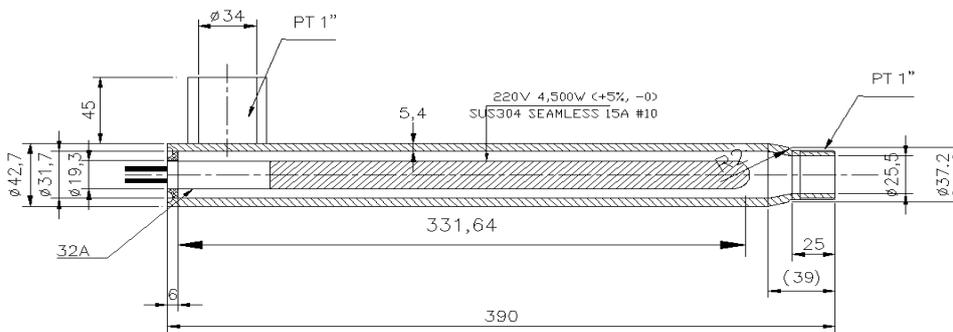


Fig. 2 Drawing of conventional heating unit

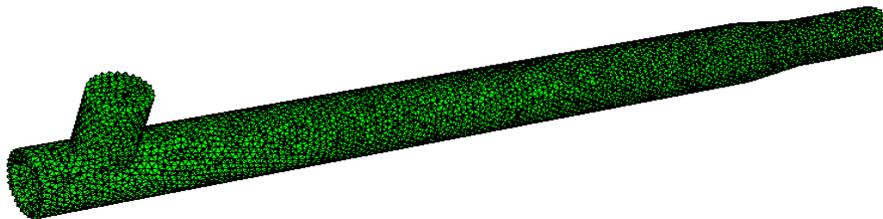


Fig. 3-D Numerical Model

3. 연구결과 및 고찰

Fig. 4는 히팅유닛내부의 난방수가 흐르는 유동분포를 나타낸다. (a)의 바셀 내부로 흐르는 난방수 전체흐름을 보면, 난방수가 유입 파이프를 흘러 수직하게 아래로 내려오면서 흐름이 우측으로 회류하면서 좌측 공간에서 약한 재순환유동이 발생된다. 따라서 현재의 유입파이프 용접위치가 가능한 한 좌측에 치우치게 위치하여야 재순환유동을 막을 수 있다. 회류된 난방수는 바셀을 따라 흐르고 있으나, 하부쪽이 상부쪽보다 속도벡터가 커지고 있다. 이는 유입파이프에서 흘러나온 난방수 직하유동 영향을 받아 하부쪽으로 수류가 치우치기 때문이다. 따라서 유입 속도가 너무 크면 이러한 현상이 더욱 커져 바셀내의 유동이 원활하지 못할 수 있으므로 유입속도의 적절한 조절이 필요함을 알 수 있다. 만일 유입속도의 조절이 제한적이라면 이를 고려한 바셀내부설계가 추가되어야 한다. (b)의 전기히터 주변 난방수 유동을 특별히 살펴보면, 유입된 난

방수가 베셀내 전기히터에 부딪히면서 열교환이 일어나고 뜨거운 전기히터의 표면을 따라 우측으로 흐르면서 히터로부터 가열되고 있다. 히팅유닛에서 난방수가 열교환이 되면서 원활하게 흐르기 위해서는 히팅유닛내의 유동저항을 이길 수 있는 유입펌프의 정압이 필요하다. 히팅유닛 설치시에 유입펌프 산정을 위해 본 연구에서 압력감소량을 알면 유익하다. Fig. 5에 히팅유닛내의 압력분포가 나타나 있다. 컬러가 푸른색에서 붉은 색으로 짙어질 수록 압력이 커짐을 표시한다. 압력의 단위는 $\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$ 이며, 그림에 나타난 바와 같이 입구부위에서 83Pa의 압력으로 난방수가 유입되어 전기히터에서 난방수가 충돌하면서 639Pa의 압력으로 증가하며, 유닛을 지나면서 점차 감소하면서 유출구부위에서 -1300Pa의 압력으로 떨어진다. 따라서 난방수의 정압이 유입유출 정압차가 1383Pa정도 발생하므로 이를 감안한 펌프의 양정을 산정하여야 한다.

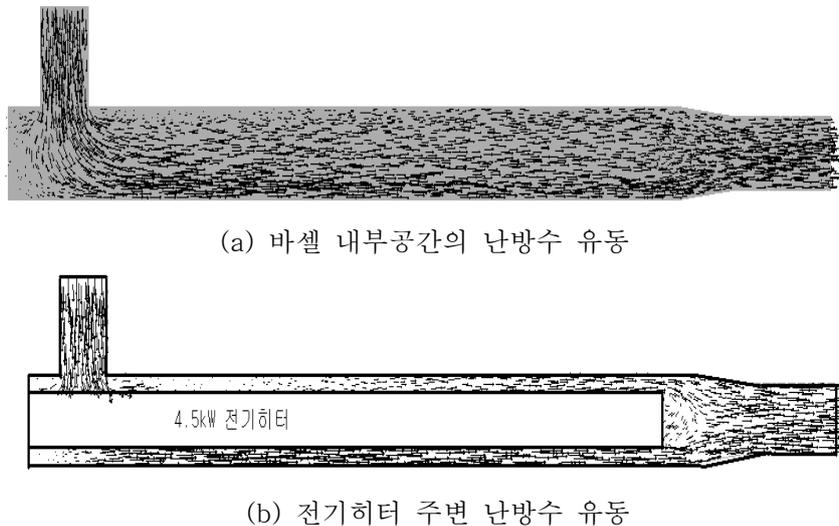


Fig. 4 Flow distribution in the heating unit



Fig. 5 Pressure in the heating unit

Fig. 6은 히팅유닛내에서의 전기히터의 세부적인 발열상황 및 온도분포와 난방수의 개략적인 전열상황을 보여준다. 그림 아래쪽에 칼라의 정도에 따른 해당온도 값이 표시되는 온도레전드가 제공되고 있다. 4.5kW로 발열된 전기히터에 의해 내부를 흐르는 난방수는 열을 받아 뜨거워지게 된다. 유입파이프 부근에서 히터는 냉각되므로 히터의 온도가 70 ~ 80°C 정도의 온도를 가진다. 난방수가 히터를 지나면서 히터 자체의 온도는 증가하며 80 ~ 127°C의 온도를 보인다. 히터의 설계온도가 350°C이므로 본 기준 히팅유닛의 전기히터는 안전한 발열상태를 유지하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6에서는 온도대역범위가 넓기 때문에, 난방수 온도가 구체적으로 보기 어려워, Fig. 7에 최대 온도대역을 50°C로 낮춰 세부적으로 난방수 온도를 보여주게 하였다. 그림에서, 전기히터의 발열이 난방수에 전달되어 난방수가 뜨거워 지는 정도를 볼 수 있다. 전기히터 상부에 있는 난방수는, 히터 부근이 46°C이며 바셀쪽으로 갈수록 온도가 감소하면서 43°C로 균일해지는 분포를 보이고, 전기히터 하부에 있는 난방수는, 히터 부근이 역시 46°C이며 바셀쪽으로 갈수록 히터의 발열의 영향이 거의 없음을 볼 수 있다. 이는 앞의 유동분포에서 언급한 바와

같이, 상부에서는 유동이 느려 열전도의 영향이 크고, 하부에서는 유동이 빨라 열대류의 영향이 커서 온도분포가 이러하게 나타난다. 출구부위에서 히터 끝의 와류 영향으로 온도가 높다가 하부쪽으로 갈수록 난방수 온도가 균일하게 혼합되고 있으며 해당 온도는 43°C 정도 뜨거워 졌음을 볼 수 있다. 전기히터의 발열량이 4.5kW이므로 난방수 유량과 비열을 감안해서 이론적 수식적으로 계산해 볼 때 온도 증가량 ΔT 가 본 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 볼 수 있어 본 시뮬레이션 정확성이 적정하다고 말할 수 있다.

난방수가 유입될 때, 유입온도는 40 ~ 70°C가 되는 것이 보통이다. 이제, 이러한 유입온도에 대해 전기히터의 온도변화와 난방수의 온도변화를 조사해보자. 즉, 전기히터의 온도가 설계온도(350°C)이상으로 과열되는 지, 난방수의 설계온도(80°C)이하로 안전하게 히팅되는 지의 여부를 알아보기 위함이다. Fig. 8 (a)는 전기히터의 온도변화를 나타낸 것이다. 유입온도가 40°C일 때, 전기히터의 최대온도는 127°C이었던 것이, 유입온도가 50°C, 60°C 및 70°C로 증가할 때, 전기히터의 최대온도는 137°C, 147°C 및 157°C로 대략 10°C정도씩 증가하였다.

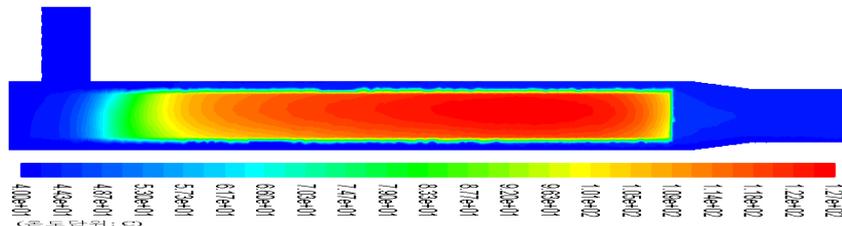


Fig. 6 Temperature distribution of heater

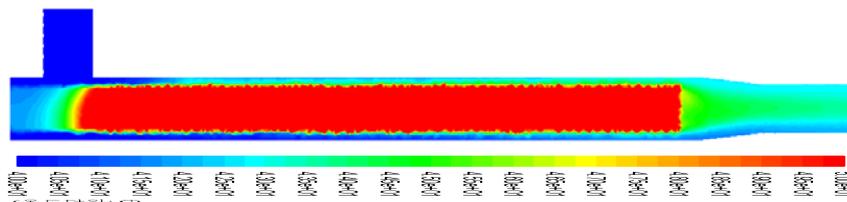


Fig. 7 Temperature distribution in the heating flow

이는 유입온도의 온도증가량에 비례하여 전기히터의 온도도 선형적으로 증가함을 보여준다. 따라서 유입온도가 40 ~ 70°C 정도 영역에서 본 히팅유닛의 전기히터는 설계온도보다 상당히 낮으므로 안정함을 보여준다. Fig. 8 (b)는 히팅되는 난방수의 온도분포를 보이고 있다. 유입온도가 40°C일 때, 난방수의 출구온도는 43°C이었던 것이, 유입온도가 50°C, 60°C 및 70°C로 증가할 때, 난방수의 출구온도는 53°C, 63°C 및 73°C로 10°C 정도씩 증가하였다. 이는 유입온도의 온도증가량에 비례하여 전기히터의 온도도 선형적으로 증가함을 보여준다.

Fig. 9는 히터 발열량 증가에 따른 히터 온도변화를 나타낸다. 전기히터의 발열량이 증가하면, 히터가 과열되므로 과열정도를 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 히터 발열량이 증가될 때, 히팅유닛의 온도분포변화를 예측하고자 하며, 이어서 적절한 전기히터의 용량을 선정하고자 한다. 그림 13에 나타낸 바와 같이, 히터 발열량이 6kW로 증가할 때, 히터의 최대온도는 156°C로서 당초 히터 발열량이 4.5kW일 때, 히터의 최대온도가 127°C였던 것보다, 29°C 정도 증가하였다. 히터 발열량이 7kW로 이전보다 1kW 증가할 때, 히터의 최대온도는 175°C로서 히터 발열량이 6kW일 때보다 19°C 정도 증가하였고, 또한 1kW더 증가한 8kW일 때는 히터의 최대온도는 194°C로서 히터 발열량이 7kW일 때보다 역시 19°C 정도 증가하였으므로 히터 발열량 1kW 증가할 때, 대략 20°C 정도 증가하는 것으로 추산할 수 있다. 따라서 전기히터의 설계온도일 350°C까지 가능한 최대히터 발열량은 대략 16kW 정도로서 이 정도 범위에서 전기히터를 최대 발열시킬 수 있음을 본 시뮬레이션 결과로서 예측할 수 있다.

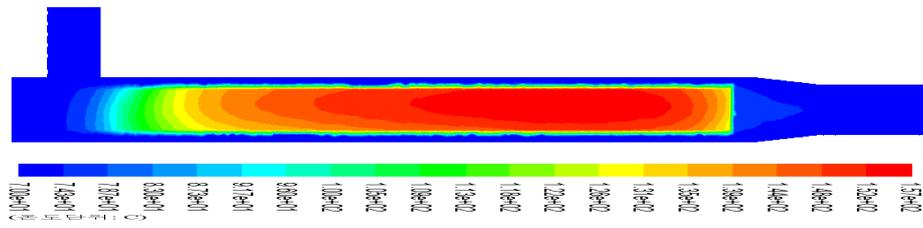
바셀의 직경을 10cm까지 크게하였을 때, 열유동 변화를 조사하고자 하였다. Fig. 10에서 바셀 내부를 흐르는 난방수 전체흐름을 보면, 난방수가 유입 파이프를 흘러 수직하게 아래로 내려오면서 흐름이 우측으로 회류하면서 좌측 공간에서 약한 재순환유동이 발생된다. Fig. 11에서 히터온도를 살펴보면, 최대 546°C까지 증가함을 보이는 데, 이는 본 시뮬레이션이 비등열전달을 고려하지 않기 때문이며 이를 고려할 경우 히터온도는 대략 300 ~ 400°C 정도로 될 것으로 추산된다. 따라서 바셀 직경은 작을 수록, 즉 강제대류열전달이 일어나도록 하는 직경사이즈가 히터 온도에 유리함을 알 수 있다.

4. 결 론

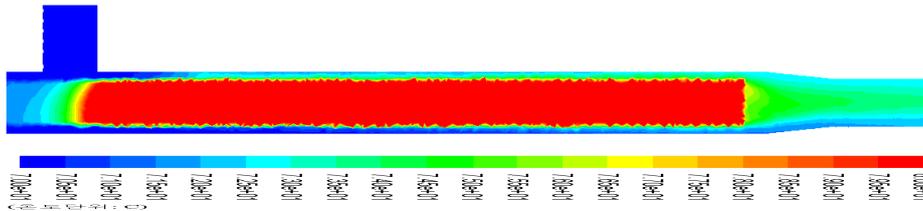
기존 히팅유닛에서, 난방수의 정압이 유입유출 정압차가 1383Pa 정도 발생하므로 이를 감안한 펌프의 양정을 산정하여야 한다. 유입온도가 40 ~ 70°C 정도 영역에서 본 히팅유닛의 전기히터는 설계온도보다 상당히 낮으므로 안정함을 보여주었다. 전기히터의 발열량 증가에 따른 난방수 온도변화는 크지 않으므로 전기히터 용량의 선정시에는 전기히터의 내부 최대온도치로서 결정할 수 있다. 바셀의 직경의 커지는 경우는, 난방수 흐름의 속도가 급격하게 감소하므로, 바셀 직경은 작을 수록, 즉 강제대류열전달이 일어나도록 하는 직경사이즈가 히터 온도에 유리함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 노홍구, 임경빈, 열전달, 보성각, 2008
2. 하이드로메틱스, 수송용 3kW급 DPH HVAC장치 부품개발, 사업계획서, 2008
3. Pantankar, Numerical Fluid Flow, Mchill, 2002



(a) Heater



(b) Heating flow

Fig. 8 Temperature distribution in $T_{in} = 70^\circ\text{C}$

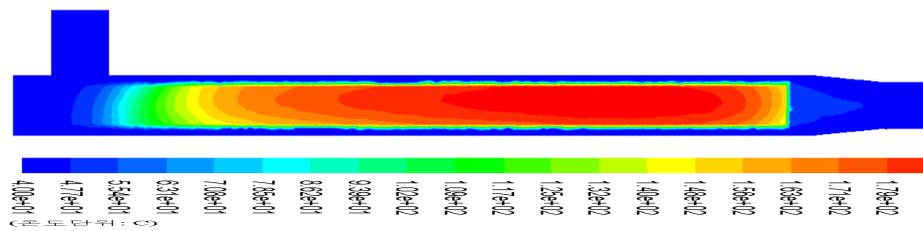


Fig. 9 Temperature distribution of heater in $Q = 8\text{kW}$

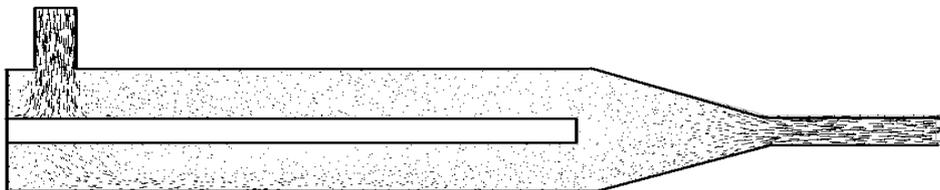


Fig. 10 Flow field in case of wide size vessel

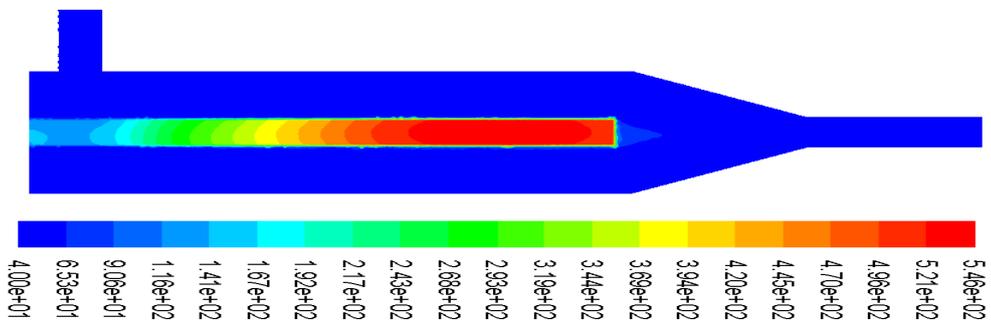


Fig. 11 Temperature of heater in case of wide size vessel