

더 분리된 정류기를 장착하는 것이다. 보조정류단식은 발생기와 일체형으로 함으로써 온도구배와 물질전달이 용이하여 고순도의 암모니아 증기를 얻을 수 있는 장점을 지닌다.

본 연구는 GAX 시스템 일체형 보조 정류기와 충전식 정류기의 설계 기초자료를 얻고자 5RT 규모의 정류시스템 성능실험장치를 제작하여 적정 충전재, 충전율, 적정 보조정류단수, 평형상태 등을 실험, 해석하였다.

본 논문에서는 5RT급 NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O 흡수식 열펌프의 발생기 일체형 충전식 정류기 시스템을 제작하여 열 및 물질전달 현상을 해석하였으며, 보조정류기의 정류단수와 정류단의 평형농도, 평형온도, 용액과 증기 흐름량, 환류량이 정류에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 충전식 정류기에서 적정 충전재를 선정하고 최적의 충전율을 도출하기 위해 실험적으로 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 발생기 일체형 보조 정류기의 정류단 설계에 있어서 발생기 압력이 높을 수록 많은 정류단수가 필요하게 된다.
- (2) 암모니아 수용액으로부터 주입되는 암모니아수의 적정 주입지점과 GAX가열부의 적정 설치 위치를 도출하였다.
- (3) 환류량이 감소하면 발생기 주입열량이 감소하며 환류액 농도와 충전식 정류기 상부증기의 농도차에 의한 흡수력 즉 물질전달이 저하되어 정류단이 무한히 많이 필요하게 된다.
- (4) 정류에서의 충전재는 철섬유(Iron fibres)가 효과적이며, 암모니아 증기 농도 99.8%이상 정류를 위한 적정 충전율은 36%이다.
- (5) 충전재로 철섬유(Iron fibres)를 충전하였을 때, 설계치보다 열량이 1.06 ~ 1.32배 증가하며 그에 따른 관계식은 다음과 같다.

$$UA = 0.1567 \cdot (1 + 7.3832E - 3 \cdot P_R^{0.6212} \cdot C_N^{0.3927})$$

본 연구는 NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O 흡수식 열펌프에서 연구 수행이 미비한 상태에서 최적의 충전재와 충전율에 대한 기초자료를 실험적으로 파악하였다.

충전식 정류기내의 열 및 물질전달 특성을 더욱 자세히 이해하고 응용하려면 충전식 정류기 내부에서 일어나는 유동양식에 따른 특성실험과 충전재에서의 열 및 물질전달에 대한 현상 규명이 필요하다.

이후 System 용액 Feeding 량 변화 등과 같은 여러 인자를 변화해 가며 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 57. 수직 미세관에서의 공기-물 이상유동의 압력강하에 관한 연구

냉동공조공학과 김 호 영  
지도교수 김 경 근

이상유동은 2개 이상의 물질이 2개 이상의 상(phase)을 이루고 함께 유동하는 것을 말한다.

이러한 이상유동을 자연 현상에서 찾아보면, 봄이 되면 찾아오는 불청객인 황사 현상을 비롯하여, 도심의 스모그 현상과 비바람, 눈보라, 안개 등이 있다.

또한 공학적인 측면에서는 흔히 상변화 열전달 현상과 연관되어 각종 보일러, 증발기, 응축기, 건조기, 열 파이프 등의 단위 기기로부터 냉동공조 장치, 담수화 장치, 석유화학 플랜트, 제철 플랜트, 그리고 원자력 발전소의 각종 열교환기 등에 이르기까지 여러 곳에서 볼 수 있다.

최근에는 컴퓨터에 사용되는 전자회로의 고집적화로 인한 단위면적당 발열량이 크게 증가함에 따라, 지금까지의 공기에 의한 강제대류 냉각방식으로는 충분한 냉각이 불가능하게 되어, 상변화 열전달을 이용한 액체 냉각기술이 대두되었다.

이러한 상변화 열전달 기술은 전자기기의 냉각은 물론, 원자력분야에서의 핵연료봉 밀집화에 따른 간극비등(narrow-gap boiling), 고효율 밀집형 열교환기(compact heat exchanger)의 설계에 적용할 수 있으며, 대상이 되는 미세관의 관 직경은 주로 5.0 mm 이하의 경우이다.

그러나 지금까지의 이상유동에 관한 연구는 주로 관 직경이 10.0 mm 이상의 원형관에 대한 것으로, 관 내를 흐르는 작동유체의 종류나 유로의 형상 등이 바뀌게 되면 열전달 및 유동특성이 크게 변하게 되는데 미세관에서의 열전달특성 및 유동특성에 관하여는 아직 많은 부분이 명확하게 밝혀지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 미세관에서의 상변화 열전달을 상징하여 공기-물을 작동유체로 한 수직 미세관에서의 이상유동 압력강하, 유동양식 및 유동특성에 대한 기초적인 지식을 얻음을 목적으로 실험하였다.

실험장치는 압력강하를 측정하는 테스트부, 테스트부에 작동유체인 공기와 물을 공급하는 공급계통, 공기와 물의 유량을 측정하는 유량계와 유량을 조절하기 위한 니들 밸브, 공기의 유량을 일정하게 하기 위한 에어 레귤레이터와 공기 탱크, 관 내부를 흐르는 공기-물 이상유동을 촬영하기 위한 고속도 카메라, 온도 및 압력을 측정하기 위한 측정장치 등으로 구성되어 있다.

테스트부는 60.0  $\phi$   $\times$  373.0 L mm의 혼합실과 120.0  $\phi$   $\times$  394.0 L mm의 분리기로 이루어져 있으며, 혼합실의 아래에서 물이, 측면에서 공기가 2.0  $\phi$  mm의 노즐을 통해 공급된다. 관을 통과한 공기와 물은 분리기에서 공기는 대기중으로 방출되고, 물은 드레인 라인을 통해 드레인된다.

압력강하 측정실험에 사용된 관 직경은 2.0, 4.0, 6.0, 10.0 mm의 동관으로 전체 길이는 800.0 mm이고, 입구에서 150.0 mm, 출구에서 150.0 mm의 위치에 관 직경 1.0 mm, 길이 30.0 mm의 동관을 측정용 관의 표면에 용접해 수은 마노미터에 연결하여 측정하였다. 또한 관 내부를 흐르는 유동은 직경이 같은 유리관으로 사용하여 NAC사(Model : HSV-1000)의 고속도 카메라를 이용하여 촬영하였다.

본 실험은 실내온도와 대기압 상태에서 실험하였다.

이상유동 압력강하실험에 앞서 단상유동 압력강하에 대한 일반적인 예측법과 실험장치의 안정성을 확인하기 위해 단상유동 압력강하실험을 실시하였다.

관 직경이 6.0, 10.0 mm에서는 압력강하 실험결과와 계산결과가 거의 일치함을 확인하였으나, 관 직경이 2.0, 4.0 mm의 경우에는 레이놀즈수가 2,000 이상의 난류유동 영역에서 실험결과가 계산결과보다 조금씩 낮음을 확인하였다.

이러한 결과는 Tran 등(2000)이 실시한 관 직경 2.46 mm, 길이 914.0 mm에서의 R-134a 단상유동 압력강하 실험결과와 일치하나 그 이유는 아직까지 명확하게 밝혀지지 않고 있는 실정이다.

그 이유 중 하나로 入谷 등(1982)이 실시한 강제대류 평판 난류경계층에 있어 수송기구에 관한 연구에서 제시한 와 크기(vortex size)를 고려해 볼 수 있다.

본 실험에서의 관 직경이 2.0, 4.0 mm의 레이놀즈 수가 2,000 이상의 난류유동 영역에서는

와 크기가 관의 직경과 거의 일치한다. 따라서 유동이 난류로 발달하기 어려워 이러한 경향을 보이는 것으로 판단된다.

단상유동에서 마찰계수를 구하는 일반적인 방법으로 층류유동의 경우에는 Hagen-Poiseuille식이, 난류유동의 경우에는 Blasius식이 알려져 있다.

층류유동에 대해서는 실험에서 얻어진 마찰계수와 Hagen-Poiseuille식이 잘 일치함을 확인하였다. 그러나 난류유동에 대해서는 관 직경이 6.0, 10.0 mm 경우에는 실험에서 얻어진 마찰계수가 Blasius식과 거의 일치하나, 2.0, 4.0 mm 경우에는 앞서 설명한 와 크기 때문에 실험에서 얻어진 마찰계수가 Blasius식 보다 낮게 얻어졌다.

이러한 단상유동 압력강하 실험결과로부터 관 직경 2.0, 4.0 mm의 레이놀즈 수가 2,000 이상의 난류유동영역에서 마찰계수를 구하였다.

이상유동의 총 압력강하는 (1) 마찰압력강하, (2) 중력압력강하, (3) 가속(감속) 압력강하의 세 개항으로 구성되어 있다. 가속(감속) 압력강하는 본 연구에서와 같이 상변화가 없다면 건도와 보이드율이 상수가 되므로 '0' 이 된다.

따라서 마찰압력강하는 실험에 의해 얻어진 총 압력강하에서 중력압력강하를 뺀으로써 얻을 수 있다.

또한 중력압력강하의 계산에서 보이드율은 앞서 설명한 것처럼 (1) 균질유동, (2) 드리프트 플럭스 모델, (3) Hibiki 모델을 계산해서 비교·검토하였다.

관 직경이 2.0, 4.0 mm에서는 실험에 의해 얻어진 마찰압력강하에 대한 예상 마찰압력강하가 각각 30 %, 25 %의 오차를 보였다. 이것은 Chisholm 변수가 관 직경이 큰 실험에서 얻어져 미세관에서는 적용이 불가능하다는 것과, 기상과 액상의 유동이 층류나, 난류나 유동양식에만 의존하기 때문이라 할 수 있다.

따라서 이번에는 작동유체로 공기-물을 이용하고 미세관에서의 유동특성에 관한 실험을 통하여 Chisholm 변수를 관 직경의 함수로 나타낸 Hibiki의 실험식으로 계산하여 비교하였는데 실험에 의한 마찰압력강하에 대한 예상 마찰압력강하가 관 직경이 2 mm의 경우에는 30 %, 4 mm의 경우에는 약 8 % 개선된 결과를 나타내고 있다.

본 연구에서는 앞서 설명한 바와 같이 이상유동 압력강하실험에 앞서 단상유동 압력강하에 대한 일반적인 예측법과 실험장치의 안정성을 확인하기 위해 단상유동 압력강하실험을 실시하였다.

단상유동 압력강하 실험결과로부터 관 직경 2.0, 4.0 mm의 레이놀즈수가 2,000 이상의 난류유동 영역에서는 마찰계수가 Blasius식보다 낮았으며, 이때의 새로운 마찰계수식을 얻을 수 있었다.

따라서 이 식들을 이용하여 이상유동의 마찰압력강하를 계산하여 Blasius식에서의 결과와 비교하였으며 새로운 마찰계수식에 의해 얻어진 이상유동의 마찰압력강하가 Blasius식에 의해 얻어진 이상유동의 마찰압력강하보다 관 직경 2.0 mm의 경우는 6 %, 관 직경이 4.0 mm의 경우는 13 % 각각 개선된 결과를 얻을 수 있었다.

보이드율은 앞서 설명한 것처럼 (1) 균질유동, (2) 드리프트 플럭스 모델, (3) Hibiki 모델)에 대하여 각각 계산해서 비교하였다.

균질유동에서의 보이드율은 드리프트 플럭스 모델과 Hibiki 모델보다 약 25 % 높았으며, 드리프트 플럭스 모델과 Hibiki 모델에서의 보이드율은 거의 같은 경향을 보였다.