

# 직경 8mm Vortex Tube의 길이변화에 따른 에너지분리 특성

문송현\*, 김창수\*\*, 이영선\*\*\*, 김상우\*\*\*, 박성영\*\*\*\*

\*공주대학교 공과대학 기계자동차공학부

\*\*공주대학교 일반대학원 기계공학과

\*\*\*한국기계연구원 재료연구소

\*\*\*\*공주대학교 공과대학 생산기술연구소

e-mail:sungyoung@kongju.ac.kr

## Energy Separation Characteristics of 7mm Diameter Vortex Tube according to the Length Variation

Song-Hyun Moon\*, Chang-Su Kim\*\*, Young-Sun Lee\*\*\*, Sang-Woo Kim\*\*\*, Sung-Young Park\*\*\*\*

\*Div. of Automotive & Mechanical Engineering, College of Engineering, Kongju National University

\*\*Mechanical Engineering Dept., Graduate School, Kongju National University

\*\*\*Korea institute of Machinery & Materials

\*\*\*\*Industrial Technology Research Institute, Kongju National University

### 요 약

볼텍스 튜브는 고압의 가스를 이용하여 고온 가스와 저온 가스를 분리하거나 입자상 물질의 분리에 사용할 수 있는 장치이다. 본 연구에서는 직경 8mm 볼텍스 튜브의 길이변화가 에너지분리 특성에 미치는 영향을 실험을 통하여 분석하였다. 결론적으로 튜브길이 변화에 따른 영향력은 미미하였으나, 그 중 가장 짧은 튜브길이 64mm에서 고온 출구 측의 온도차가 가장 우수한 성능을 나타내었다. 반면, 저온 출구 측에서는 거의 영향을 미치지 못하는 것을 확인하였다. 본 연구는 볼텍스 튜브의 기초설계 자료로 활용될 예정이다.

주제어 : 볼텍스 튜브, 에너지 분리, 스톱 밸브

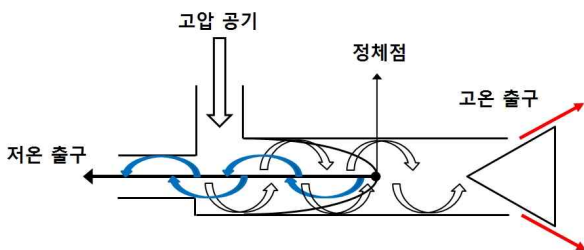
### 1. 서론

볼텍스 튜브의 에너지 분리효과는 1933년 Ranque에 의해 처음 발견되어 1946년 Hilsch[1]의 실험연구를 통하여 세계적으로 알려지고 본격적인 연구가 진행되었다. Ranque-Hilsch 볼텍스 튜브라고도 불리는 볼텍스 튜브는 관내에 고압의 기체를 분사하여 생기는 볼텍스를 이용하여 저온과 고온의 기체로 분리해 낼 수 있는 장치이다. 볼텍스 튜브는 강력한 와류유동을 생성하므로 고온의 공기와 저온의 공기를 분리할 뿐만 아니라, 입자상 물질의 분리에도 적용이 가능하다. 또한 조작이 단순하며 응답성이 빠르다는 점과 전기 및 화학반응이 없어 폭발이나 화재의 위험이 없으며 유지비용도 저렴하다는 장점을 가져 그 효과가 기대되고 있어 여러 분야에 적용할 수 있다는 장점이 있다.

볼텍스 튜브의 에너지 분리효과가 발견된 이래 다수의 연구가 진행되어 왔으나, 튜브내의 복잡한 유동현상으로 인하여 아직까지도 볼텍스 튜브의 원리가 완벽히 규명되지 못하고 있는 실정이다. 하지만, 일반적으로 그림 1에 나타난 에너지 전달 이론으로 에너지 분리효과가 설명되고 있다[2,3]. 입구에서 고압의 공기가 볼텍스 발생기의 접선방향 노즐부를 거치면서 강력한 와류를 생성하고, 고온 출구 쪽으로 진행한다. 튜브내의 나선 회전 유동은 크게 강제 볼텍스와 자유 볼텍스 두 부분으로 구분될 수 있다. 튜브의 중심부는 강제 회전에 가까운 강제 볼텍스를 형성하며, 튜브의 벽면에서는 강제 볼텍스에 의한 자유 볼텍스가 생성된다. 이때 자유 볼텍스는 축방향의 유동과 벽면과의 마찰로 인하여 자유 볼텍스 내부에 또 다른 볼텍스를 수반하는 것으로 알려져

있다. 따라서 자유 볼텍스의 속도는 급격히 증가하게 된다.

볼텍스 튜브의 축 방향으로 일정 거리를 지나면서 볼텍스의 강도가 저하되고, 저온 출구 측으로 역류되는 유동이 튜브의 중앙부에서 발생하게 된다. 이때 튜브의 중심선 상에 유동이 일시적으로 정지하는 정체점이 발생하게 된다. 이러한 정체점을 꼭지점으로 역류 유동이 저온 출구 측으로 발생하게 되며, 이 정체점을 중심으로 한 종 모양의 표면이 에너지 전달과 운동량 전달의 교환이 이루어지는 경계면으로 작용하게 된다. 경계면에서의 운동량 전달이 에너지 전달보다 크기 때문에 벽면 부근의 유체 온도는 상승하게 되고 튜브 중심부의 온도는 더욱 강하게 되어 에너지 분리가 발생한다. 즉, 볼텍스 튜브 내부의 속도차이로 인하여 관의 중심에서 벽면 방향으로 운동량의 전달이 이루어지게 되고 이에 따른 에너지 균형을 위해 열이 중심부로 이동하지만, 운동량의 전달이 열전달량보다 크기 때문에 벽면 부근의 기체 온도는 상승하게 되고 튜브 중심부의 기체는 냉각된다.



[그림 1] 볼텍스 튜브의 원리

2. 볼텍스 튜브의 설계 및 실험 방법

2.1. 볼텍스 튜브의 설계 및 제작

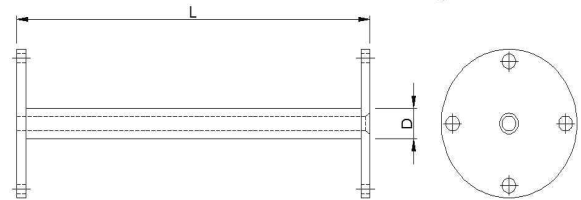
본 연구의 대상인 볼텍스 튜브의 구성은 볼텍스를 생성하는 볼텍스 발생기(vortex generator), 저온 출구와 고온 출구를 포함하는 튜브, 그리고 유량을 조절해주는 트로틀 밸브(throttle valve)로 구성되어 있다. 본 연구에 적용된 모델은 튜브의 직경(D)을 기준으로 오리피스 직경(Dc) 및 튜브의 길이(L)를 [표 1]과 같이 설계하였다. 트로틀 밸브는 고온 가스 출구 측에 배치되며 그림 2(C)와 같이 원추의 형상을 가지고 있으며 60°의 내각을 가지고 있다. 볼텍스 발생기는 튜브 외경에 접선 방향으로 6개의 노즐을 가공하였고, 이를 통하여 볼텍스가 튜브 내에 형성된다. 본 연구에 사용된 볼텍스 튜브의 기본 형태 및 설계 변수의 범위는 기존 연구[4]의 실험 결과를

바탕으로 설계되었다.

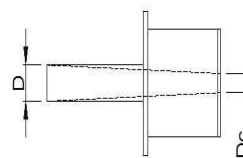
볼텍스 튜브, 발생기 및 트로틀 밸브는 SUS304로 제작되었으며, 그림 2에 제작된 볼텍스 튜브의 각 요소부품을 보여주고 있다.

[표 1] 볼텍스 튜브의 제원

설계 변수	기호 [단위]	치수
튜브 직경	D [mm]	8
볼텍스 발생기 직경	Dc [mm]	5.6
튜브 길이	L [mm]	64, 80, 96



(a) 튜브



(b) 볼텍스 발생기



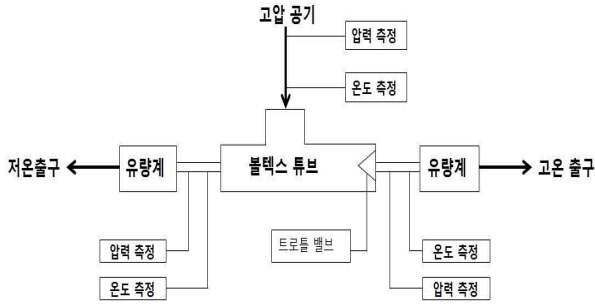
(c) 트로틀 밸브

[그림 2] 볼텍스 튜브의 구성부품

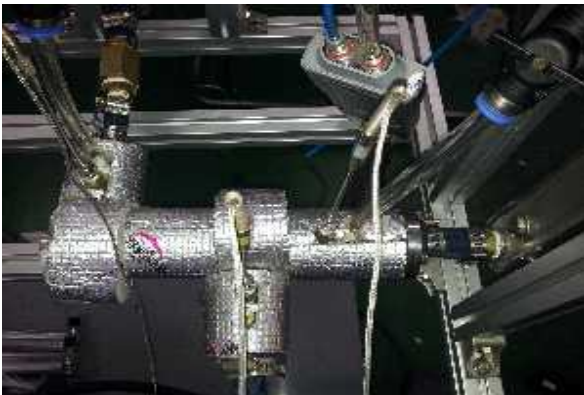
2.2. 실험장치 및 방법

볼텍스 튜브의 에너지 분리효과를 실험하기 위하여 그림 3과 같이 압력센서, 온도센서 및 유량계를 공기압 입구, 저온출구 및 고온출구 측에 각각 설치했으며, 정상상태에 도달하는 시간을 단축하기 위하여 단열재로 볼텍스 튜브를 단열하였다. 가압공기는 20

마력급 컴프레서와 500 liter의 공기탱크를 연결하고 제습기를 설치하여 일정한 습도와 공급압력을 유지하였다. 입구부의 공급압력은 압력레귤레이터로 조절하여 일정한 압력으로 유지시켰다. 트로틀 밸브의 조절나사를 회전시키면서 유량비를 조절하여 입구 및 출구부의 온도와 압력, 유량을 측정하였다. 그림 4는 본 실험에서 사용한 볼텍스 튜브의 실제 장착사진이다.



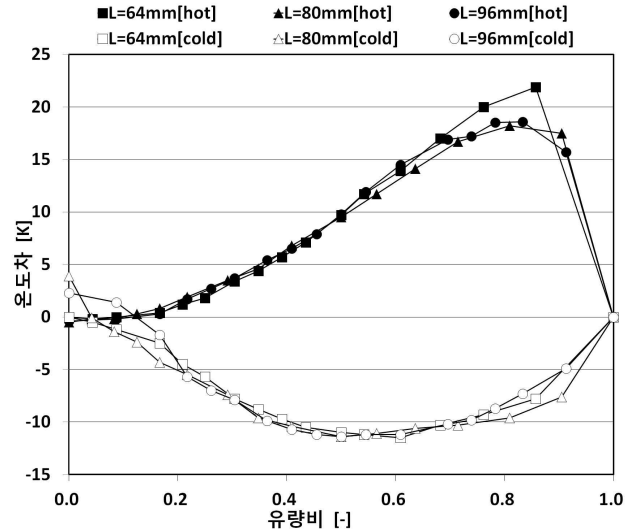
[그림 3] 실험장치 개략도



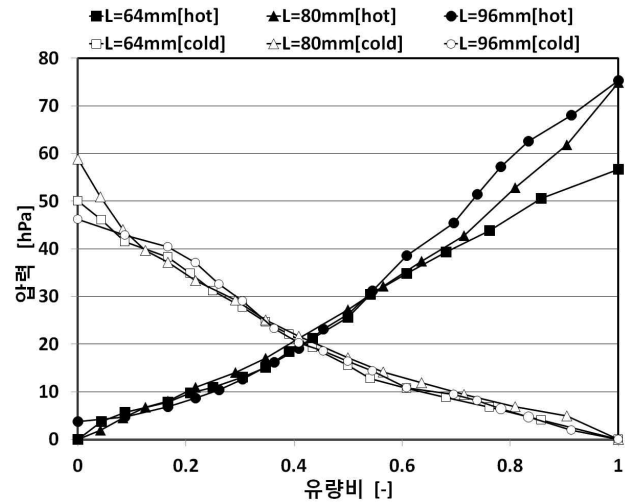
[그림 4] 볼텍스 튜브 장착사진

### 3. 실험 결과

그림 5는 볼텍스 튜브 길이변화에 따른 온도차와 압력변화를 보여주고 있다. 볼텍스 튜브 길이의 변화는 그림5(a)에서와 같이 저온 출구의 온도차에서 거의 변화가 없지만 고온 출구의 온도차에서는 가장 짧은 튜브인 L=64mm가 높게 나오고 중간 튜브와 가장 긴 튜브는 거의 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 그림 5(b)에서 볼텍스 튜브 길이의 변화에 따른 압력 변화도 온도차와 마찬가지로 고온 출구에서는 거의 변화가 없는 것을 확인할 수 있다. 결론적으로 튜브 길이가 길면 효과를 못 볼뿐만 아니라 압력이 높아져 부하가 높아지고 제작 단가가 높아지므로 압력이 비교적 낮고 온도차가 높게 측정된 짧은 길이의 튜브를 사용하는 것이 유리하다.



(a) 온도차



(b) 압력

[그림 5] 에너지 분리 효과 실험결과

### 4. 결론

직경 8mm의 볼텍스 튜브를 설계 및 제작하였으며, 에너지 분리특성 실험을 수행하였다. 볼텍스 튜브 길이변화에 따른 에너지 분리특성의 영향을 실험적으로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 본 실험을 통해 사용된 길이 변수는 볼텍스 튜브의 성능에 미치는 영향이 미미하였다. 가장 짧은 길이에서 고온 측 온도차는 미미하게 높았지만 저온 측 온도차에서는 거의 변화가 없었다.
- 2) 압력변화측면에서는 저온유량비가 0.7이후부터 L=64mm의 압력차가 가장 낮은 것을 확인할 수 있었다.
- 3) L=64mm 튜브에서 미미하지만 고온측의 온도차가 높은 것을 확인하였기 때문에 추후 에너지 분리가 가능한 볼텍스 튜브의 최소 길이에 대한 실

험을 진행할 예정이다.

#### 5. 후 기

본 연구는 산업기술연구회 협동연구사업 (B551179-11-02-00)의 지원으로 수행된 결과입니다.

#### 참고문헌

[1] R. Hilsch, 1947, "The Use of the Expansion of Gases in a Centrifugal Field as Cooling Process," The Review of Scientific Instruments,

Vol 18, No. 2, pp.108-113.

[2] B. Ahlborn and J. Gordon, 2000, "The Vortex Tube as a Classic Thermodynamic Refrigeration Cycle," Journal of Applied Physics Vol. 88, No. 6, pp. 3645-3653.

[3] N. F. Aljuwayhel, G.F. Nellis, S.A. Klein, 2005, "Parametric and internal study of the vortex tube using a CFD model," International Journal of Refrigeration 28, pp. 442~450.

[4] J.S. Lee, "Experimental Study on Energy Separation Characteristics of Vortex Tube", Journal of KSME, Vol. 35, No. 5, pp.517-524, 2011.