

하이퍼튜브 캡슐트레인 압축기 장착 및 미장착에 따른 유속 해석

Analysis of Aerodynamic Behavior With and Without Compressor for Capsule Train of HyperTube System

장용준*[†], 이관섭*, 한상헌**Yong-Jun Jang*[†], Kwan Sup Lee*, Sang-Hun Han**

초 록 현재 지상교통 중 가장 빠른 고속철도의 경우 최고속도 350km/h 로 상업운행 중에 있으며, 속도를 더욱 높이고자 각국의 경쟁이 치열하게 전개되고 있다. 지상에서 주행 속도를 높이기 위해서는 공기저항과 공력소음 문제를 극복하여야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 아진공 상태하의 튜브내부에서 초고속으로 주행하는 운송시스템이 지속적으로 제시되고 있다. 본 연구에서는 압력이100Pa(0.001atm)로 유지되는 하이퍼튜브 내부에서 아음속(Mach < 1.0)으로 주행하는 캡슐차량에 대하여 3차원 CFD를 이용하여 공기 저항 및 튜브 내부 및 캡슐 주변의 유동의 형태를 연구하였다. 압축성 유동을 해석하기 위하여 오픈폼(OpenFOAM) 코드를 사용하였으며, RANS 기법에 기반한 $k-\omega$ 난류 모델을 사용하였다.

주요어 : 하이퍼튜브, 아음속, 아진공, 캡슐트레인, 공기저항

1. 서 론

2009년도에 한국철도기술연구원에서는 국내에서 처음으로 튜브 트레인 기반기술을 연구하기 시작하였으며, 700km/h 튜브 시스템의 기초 사양을 수립하였다[1]. 국외에서는 스위스가 1987년부터 스위스메트로 프로젝트를 시작하여 2000년대 초반에 기초연구를 완료하였으나 실제 운행시스템으로 연결되지 않았다. 2013년에는 미국의 Elon Musk가 ‘Hyperloop’ 개념[2]을 도입하여 튜브 트레인에 대한 향상된 기술 개발을 진행하고 있다.

본 연구에서는 압력이100Pa(0.001atm)로 유지되는 튜브 내부에서 아음속(Mach < 1.0)으로 주행하는 캡슐 차량에 대하여 3차원 CFD를 이용하여 공기 저항 및 튜브 내부 및 캡슐 주변의 유동의 형태를 연구하였다.

압축성 유동을 해석하기 위하여 오픈폼(OpenFOAM) 코드 [3]를 사용하였으며, RANS 기법에 기반한 $k-\omega$ 난류 모델[4]을 사용하였다.

2. 본 론

2.1 캡슐차량 및 튜브의 제원 및 유동 조건

캡슐차량(capsule)의 전두부에 장착된 압축기(compressor)는 전방의 공기를 흡입하여 차량 내부에서 고압으로 압축하고 차량의 후미부에 장착된 노즐(nozzle)을 통하여 분사되고 캡슐차량에 추진력을 제공한다. 캡슐차량의 길이는 26m, 단면적은 1.41m², 압축기 입구의 단면적은 0.932m², 압축기 출구의 단면적은 0.327m² 이다. 튜브의 길이는 캡슐 차량의 길이 6배(156m), 튜브의 직경은 2.225m 이다. 튜브의 단면적 대비 캡슐 차량의 단면적 비율(Blockage ratio)은 0.36 이다(Table 1). 캡슐차량의 형상 및 그리드는 Fig. 1 과 같다. 전두부 상류 지역은 캡슐 길이의 2배를, 후미부 하류 지역은 캡슐 길이의 3배 길이를 계산 영역으로 포함 시켰다. 계산에 사용된 총 격자수는 5,701,057개 이다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원
하이퍼튜브연구팀
(jangyj@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 하이퍼튜브연구팀

** 넥스트폼(주)

Table 1 Specification of capsule train and tube

Items	Specification
Length of capsule	26m
Cross-section area of capsule	1.41m ²
Inlet cross-section area of compressor	0.932m ²
Outlet cross-section area of compressor	0.327m ²
Length of tube	156m
Diameter of tube	2.225m
Blockage ratio (cross-section area ratio between capsule and tube)	0.36

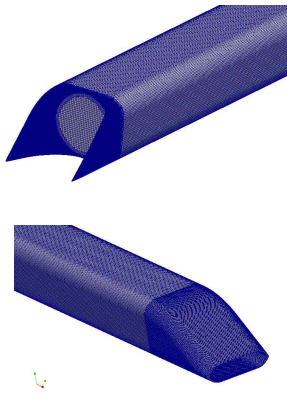


Fig. 1 Capsule Grid of Hypertube : front (up) and tail (down)

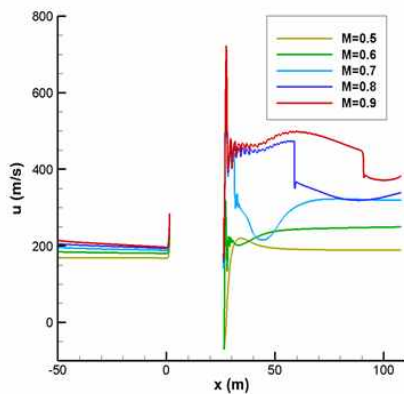


Fig. 2 Velocity variation along the streamwise direction inside tube with compressor ON

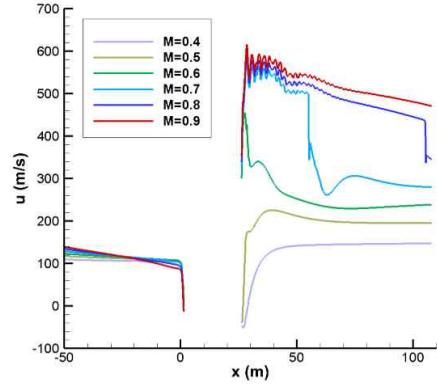


Fig. 3 Velocity variation along the streamwise direction inside tube with compressor OFF

3. 결론

압축기를 장착하지 않았을 경우 $M \geq 0.6$ 조건에서는 후미부 후류에서 유속이 증속(> 500m/sec)되어 초음속 유동이 발생된다. 이는 좁은 튜브 내부를 고속으로 주행하는 캡슐차량과 튜브 벽 사이에서 초킹 유동으로 인하여 칸트로위즈 한계 현상이 발생하고 후미부 끝단에서 팽창하면서 normal shock(충격파)이 발생하기 때문이다. 압축기를 장착하였을 경우는 캡슐 차량과 튜브 사이의 초킹 현상을 지연시켜 $M = 0.7$ 에서 부터 초킹 유동이 발생한다.

참고문헌

- [1] B.B. Kang (2009) Development of the core technologies of the super-speed tube train, *KRRI research report 2009-060 of Korea Railroad Research Institute*, pp. 1-198.
- [2] M. Elon (2013) Hyperloop Alpha, SpaceX. Retrieved August 13, 2013.
- [3] OpenFOAM (2016), the open source CFD Toolbox, User Guide.
- [4] D.C. Wilcox (1994) Simulation of transition with a two-equation turbulence model, *AIAA Journal*, 32, pp. 247-255.