

터널 길이에 따른 열차의 교행시 나타나는 유동현상 비교분석

Comparison of Flow Characteristics by Trains Crossing in a Tunnel According to Tunnel Length

조정민*, 성재용**†, 이동훈**

Jung-Min Cho*, Jaeyong Sung**†, Dong-Hoon Lee**

Abstract In this study, the flow characteristics when two trains are crossing in a straight tunnel, have been compared according to the tunnel length. The 3-dimensional flows are simulated using a commercial CFD software(Fluent) and a $k-\omega$ standard model is applied as a turbulence model. To see the effect of tunnel length, short and long tunnels are considered. The length of short and long tunnels are 600m and 3400m, respectively, which is 6- and 34-times of the train length. the train's speed is set to be 27m/s. The results shows that the reflecting pressure wave is generated at the tunnel exit because of the train movement. This reflecting pressure wave is significant effect on fluid flow in the tunnel. The variations of the pressure and velocity inside the short tunnel are larger than those inside the long tunnel.

Keywords : Crossing train, Flow characteristics, CFD, Reflecting pressure wave, Compressible flow

초록 본 연구에서는 터널 길이에 따른 열차의 교행시 나타나는 유동현상을 비교분석 하였다. 해석을 위해 CFD를 사용하여 3차원 유동을 시뮬레이션 하였으며, 난류모델로 $k-\omega$ standard모델을 사용하였다. 해석모델은 각각의 길이가 600m, 3400m인 기차 길이의 6배, 34배의 짧은 터널과 긴 터널을 모델링 하였다. 열차는 27m/s의 속도로 교차운행 하도록 설정 하였다. 두 터널을 분석한 결과, 터널 출입구의 압력상태와 열차의 운동에 의해 반사파가 생성되며, 이는 터널내부 유동특성에 큰 영향을 미친다. 이로 인해 짧은 터널내부의 유동장이 긴 터널에 비해 압력과 속도의 변화가 크게 나타났다.

주요어 : 열차교차운행, 유동특성, 전산유체역학, 반사파, 압축성유동

1. 서론

터널 내에서 열차가 고속으로 주행하며 교차하는 경우 각 열차의 운동상태와 터널내부 유동장의 상호작용으로 압력파가 발생하여^{[1][2]} 주행의 위험도가 높아질 뿐만 아니라, 유동소음을 발생시키므로 이를 저감시키기 위해 터널내부의 속도 및 압력의 유동특성을 분석할 필요가 있다.

최근 컴퓨터의 연산기술의 발달로 실제유동해석에 대한 전산유체해석의 수치해석의 오차가 줄어들어 신뢰도가 증가하면서 다양한 유동상태에 따른 해석이 활발히 진행되고 있다.^[3]

† 교신저자: 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과 (jysung@seoultech.ac.kr)

* 서울과학기술대학교 일반대학원 기계공학과

** 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과

본 연구는 실제크기와 운행조건으로 터널과 열차를 모델링하여 시뮬레이션을 통해 압력 및 속도의 유동특성을 분석하고자 한다. 또한 열차의 교행시 반사파의 간섭에 의한 유동특성 비교분석을 위해 열차의 교차 중 반사파가 간섭하는 짧은 터널과, 교차가 종료 될 때까지 해석구간에 반사파가 영향을 미치지 않을 정도의 긴 터널 두 시뮬레이션을 비교해 반사파가 터널 내부 유동특성에 어떠한 영향을 미치는지 고찰하고자 한다.

2. 수치해석 기법

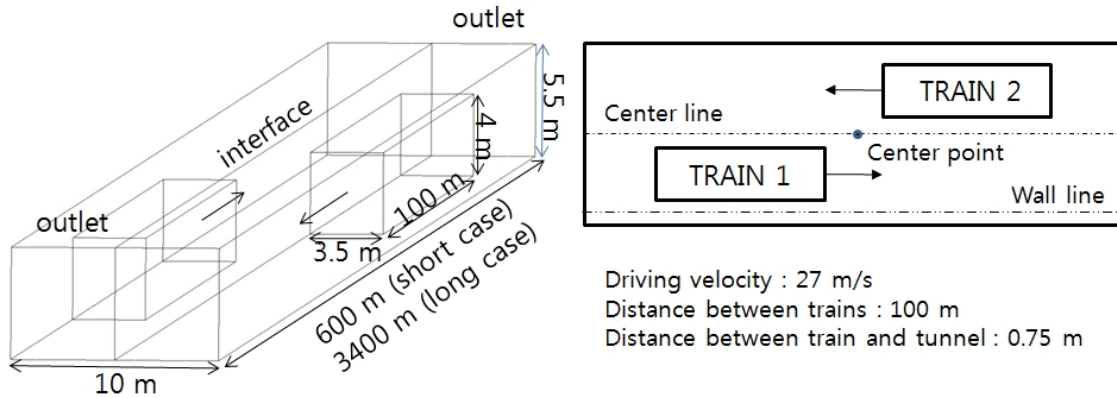


Fig. 1 Geometry and operating condition

Table 1 Method of numerical simulation

Analysis program	CFD-Ansys Fluent
Turbulence model	K- ω standard model
Working fluid	Ideal gas
Flow method	3D Compressible Transient flow
Dynamic mesh	Layering method Sliding mesh
Initial condition in the tunnel	T=300[K] P=0[Pa] (gauge pressure)

Fig.1과 Table 1은 시뮬레이션에서 사용한 해석모델로 길이가 다른 두 터널을 실제크기로 모델링하여 동일 운행조건으로 두 열차가 교차 운행시 음속으로 전파되어 터널 출입구에서 반사된 반사파의 영향을 받는 경우와 받지 않는 경우를 수치해석 하였다.

3. 결과 및 고찰

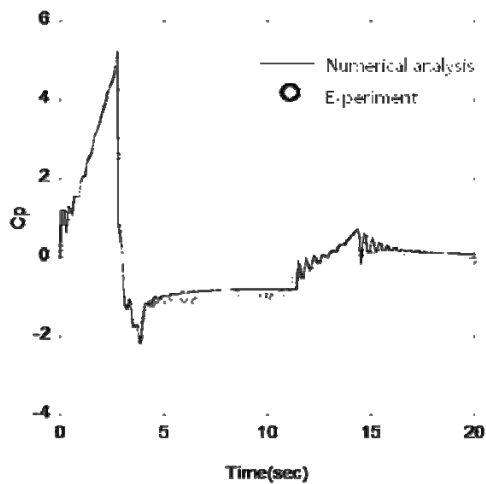


Fig. 2 Validation of numerical method

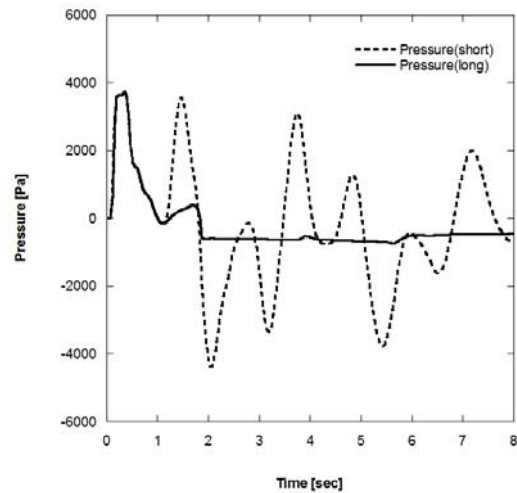
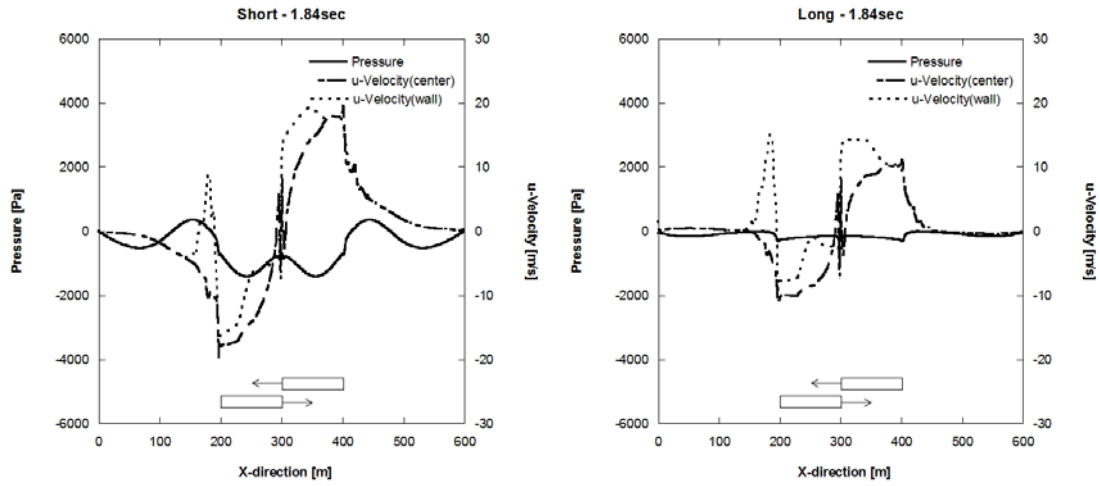


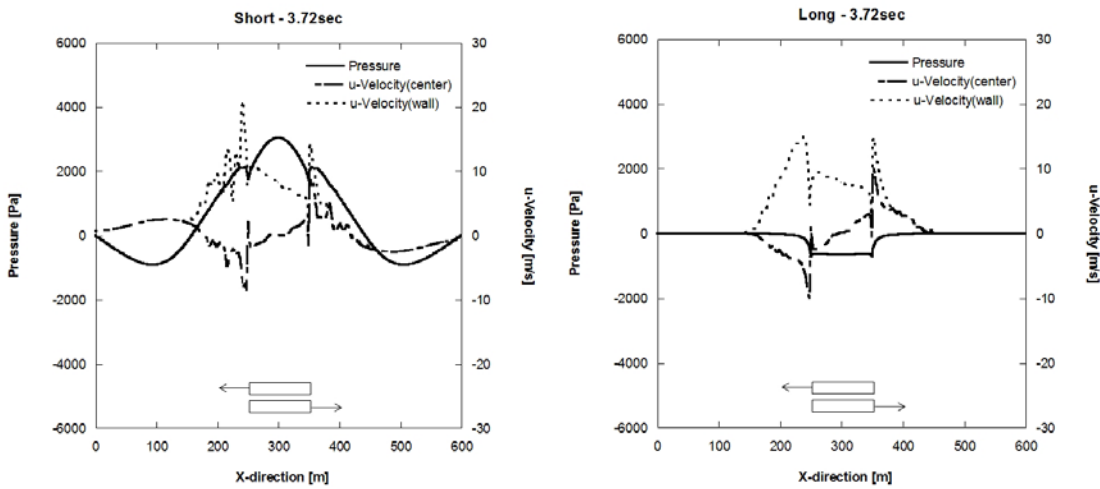
Fig. 3 Pressure at the center point according to time

Fig. 2는 기존 선행연구와^[4] 비교한 것이다. 선행연구는 터널과 기차를 각각 $33 \times 0.2 \times 0.25\text{m}^3$, $3 \times 0.156 \times 0.225\text{m}^3$ 로 축소 제작하여 터널 내에서 열차가 3m/s로 운동할 때 터널 내부의 압력변화와 입출구의 속도를 측정하는 실험을 시행했다. 이 선행연구의 실험을 기준으로 동일한 형상을 모델링하여 시뮬레이션이 실험 데이터와 근접한 수치해석 값을 갖는 경계 조건과 설정값임을 확인하고 본 연구에서의 해석조건으로 사용하였다.

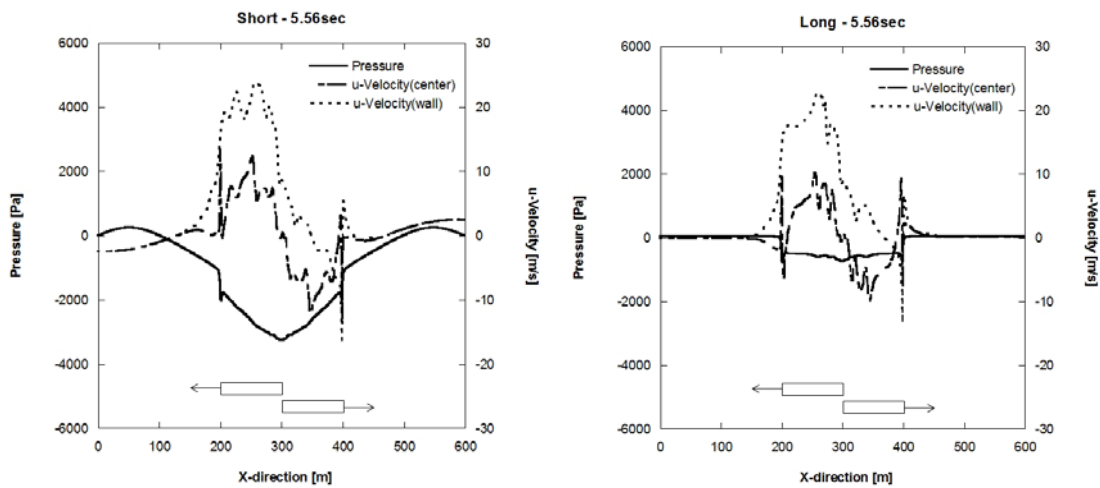
Fig. 3는 터널 중심에서의 압력변화를 기록한 그래프다. 터널 내부에서 열차의 운동에 의해 발생한 압력파는 음속으로 전달되며, 터널의 출구에서 반사파를 형성하게 된다. 짧은 터널의 경우 열차가 교차하는 동안 터널 내부로 돌아온 반사파가 중첩되어 교차중인 터널 내부의 압력을 크게 변화시킨다. 반면 긴 터널의 경우 열차의 교차운행의 종료까지 반사파의 영향을 받지 않기 때문에 열차가 출발한 직후와, 교차가 시작하기 직전인 1.84초 전후에서만 급격한 압력의 변화가 나타났고 이후 교차 종료까지 큰 변화가 나타나지 않고 안정된 압력분포를 유지했다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Pressure and u-velocity distributions when (a) trains cross at a center point, (b) trains overlap completely, (c) trains are passed; The left figures are the results in the short tunnel, and the right figure are the results in the long tunnel

Fig. 4는 두 열차의 교차 진행에 따른 터널 내부 유동특성을 공간적으로 분석한 그래프로 터널 중심선의 압력 및 속도분포와, 양의방향으로 이동하는 열차와 벽사이의 속도분포를 분석하였다. Fig. 4 (a)는 열차가 교차를 시작하는 상태이며 두 터널 모두 터널 중심에서 압력과 속도가 순간적으로 심하게 변화하는 공통점을 보였다. 또한 교차점 이외엔 안정적인 압력분포를 갖고 유동단면적 변화구간에 따라 유속의 방향이 일정한 긴 터널에 비해 짧은 터널의 경우 압력, 속도 모두 변동이 심하며 유속의 최댓값이 크게 나타났다. Fig. 4 (b)는 열차들이 서로 겹친 상태로 각 열차의 전면과 후면의 유동간섭이 심하게 나타났다. 교차시작 상태와 마찬가지로 변화의 정도와 유속의 최댓값이 짧은 터널에서 크게 나타났으며, 각 터널이 서로 반대되는 압력분포를 갖지만 속도분포는 유사한 성향을 갖는 것을 볼 수 있었다. Fig. 4 (c)는 열차가 분리되기 시작하는 상태이며 각 열차의 후류에 의해 터널 중심영역의 유동변화가 크게 나타났다. 종합하면 열차의 상대적 위치와 상관없이 공통적으로 짧은 터널에선 압력변화가 심해 불균일한 압력분포를 보였고, 긴 터널에선 열차 주변부에 형성된 음압분포 외엔 변동이 거의 없는 압력분포가 나타났다. 속도분포는 또한 짧은 터널의 경우가 변동이 심하게 나타났으며, 유속의 최댓값이 긴 터널보다 항상 크게 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 길이가 다른 직선터널의 내부에서 운행중인 두 열차의 교차에 의해 형성되는 압력과 속도의 유동특성에 대한 수치해석을 수행하여 비교분석 하였다.

터널 내부에서 운동하는 열차에 의해 발생한 압력파가 음속으로 전파된다. 짧은 터널의 경우 터널의 출입구에서 반사되어 돌아온 반사파가 간섭하여 열차의 교차운동 중의 터널 내부 유동특성에 영향을 미치며, 긴 터널의 경우엔 열차의 교차 동안 반사파의 간섭 없이 열차들의 운동에 의해 유동특성이 결정된다. 반사파 영향을 많이 받는 짧은 터널에서 압력변화가 심하며, 유속의 변화 또한 크고 긴 터널보다 큰 최댓값을 갖는다..

후 기

본 연구는 환경부의 환경선진화 기술개발사업에서 지원받았습니다.

참고문헌

- [1] Y.W. Wang, G.W. Yang, C.G. Huang, W. Wang (2012) Influence of Tunnel Length on the Pressure Wave Generated by High-speed Trains Passing Each Other, *Science China Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 55, pp. 255-263.
- [2] S.I. Seo, C.S. Park, O.K. Min (2006) A Study on Fluctuating Pressure Load on High Speed Train Passing through Tunnels, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 20, pp. 482-493.
- [3] C.R. Chu, S.Y. Chien, C.Y. Wang, T.R. Wu (2014) Numerical Simulation of Two Trains Intersecting in a Tunnel, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 42, pp. 161-174.
- [4] J.Y. Kim, K.Y. Kim (2007) Experimental and Numerical Analyses of Train-induced Unsteady Tunnel Flow in Subway, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 22, pp. 166-172.