

라멘형 구조물이 미기압파에 미치는 영향에 대한 수치해석적 연구

Numerical Analysis on the Effect of Rahmen Structure on Micro-Pressure Wave

김범수*, 김나영*, 이웅희**, 안준선**, 권혁빈*†

Beomsu Kim*, Junsun Ahn**, Nayoung Kim*, Woonghee Lee**, Hyeokbin Kwon*†

초 록 열차가 터널을 고속으로 통과하게 되면, 터널 내부에 큰 폭의 압력 변동을 유발하고, 터널 출구부에서 폭발음과 같은 굉음을 일으키는 미기압파의 형태로 방사된다. 본 연구에서는 터널 출입구 부근에 라멘형 구조물이 미기압파에 미치는 영향을 분석하기 위해, 3차원 비정상 압축성 전산유체해석을 수행하였다. 해석 조건은 260km/h로 주행하는 KTX가 250m 길이의 기준 단면적 107m²인 경부고속선 터널을 단독으로 주행하는 상황으로 선정하였다. 해석 결과, 라멘형 구조물이 터널 출입구로부터 1m 간격을 두고 연속적으로 설치된 경우, 미설치 경우보다 약 4.6% 미기압파를 저감하는 효과를 예측할 수 있었다.

주요어 : 고속열차, 전산유체역학, 터널 공기역학, 미기압파, 경부고속선

1. 서 론

고속열차가 터널에 진입하면, 주행 저항 증가, 터널 내 압력변동으로 인한 승객 이명감 증가, 미기압파의 발생 등 다양한 공기역학적 문제를 유발한다[1]. 2024년 5월 1일부터 상업운행을 시작하는 최고주행속도 320km/h인 KTX-청룡이 상업운행을 시작하면서, 예상하지 못한 다양한 터널 내 공기역학적 문제가 발생할 수 있다. 특히, 개통된 노선에서 터널의 확폭이나 재건설은 어려우므로 단순한 방법을 통한 문제 해결 방안 수립이 필요하다[2].

본 연구에서는 라멘형 구조물을 터널 출입구에 설치할 경우, 대표적인 터널 공기역학 문제 중 하나인 미기압파에 미치는 영향을 분석하기 위해 3차원 전산유체해석을 수행하였다.

† 교신저자: 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과 (hbkwon@ut.ac.kr)

* 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과

** 한국교통대학교 철도대학 철도차량시스템공학과

2. 본 론

2.1 전산유체해석 모델 및 조건

아래 Fig. 1에는 해석 대상 모델인 KTX 열차와 라멘형 구조물이 설치된 경부고속선의 제어 체적을 나타내었다. KTX는 효율적인 해석을 수행하기 위하여 4량 1편성으로 제작하였고, 라멘형 구조물의 기둥부는 궤도와 접하며 폭 1m, 높이가 5.8m이며, 1m 간격으로 5개를 설치하였다. 경부고속선의 경우 라멘형 구조물의 효과를 명확히 관측하기 위하여 후드를 제거하고 모델링을 수행하였다. 해석 조건은, 250m 길이의 경부고속선 터널을 KTX 고속열차 260km/h로 주행하는 것으로 설정하였다.

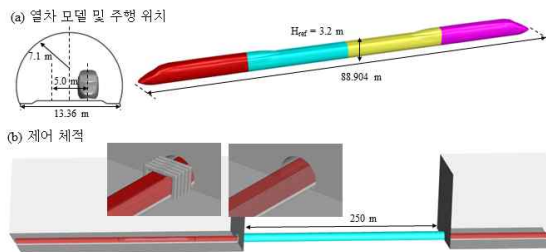


Fig. 1 Train model and control volume.

2.2 전산유체해석 결과

Fig. 2에서는 열차가 터널로 진입할 때의 라멘형 구조물 주위의 난류 기동(Q-criterion)과 압력을 나타내었다. 라멘형 구조물 주위에 다양한 크기의 난류 기동이 형성되는 것을 통해, 열차 주위 유동장을 교란하는 것을 확인하였고, 진입 압축파에도 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단하였다.

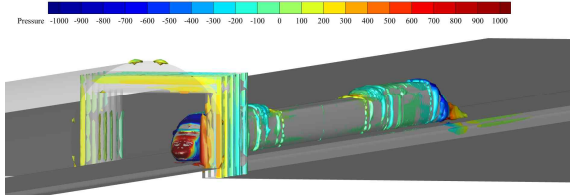


Fig. 2 Pressure distribution near the train surface and girder (Q = 100).

Fig. 3에서는 터널 내 압력 구배를 도시하였다. 라멘형 구조물이 설치된 경우(Rahmen)에서 터널 압력 구배 최대치가 감소하였다. 미기압파는 통상적으로 압력 구배와 비례하기 때문에, 미기압파가 감소할 것임을 예측할 수 있다.

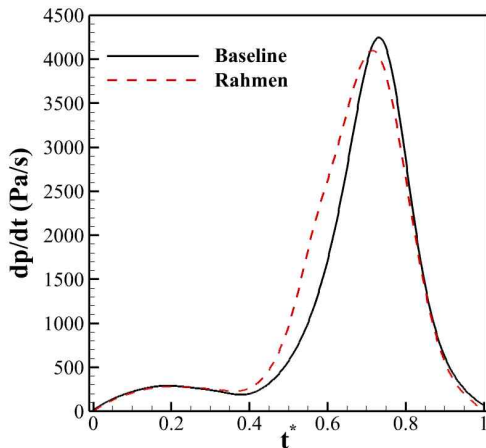


Fig. 2 Time history of pressure gradient.

Table 1에서는 터널 출구부 20m 지점에서 측정된 미기압파의 크기를 나타내었다. 터널 후드를 설치하지 않은 경우에는 약 33.04Pa, 라멘형 구조물이 설치된 경우에는 31.53Pa로 약 4.6%의 저감 효과가 발생하는 것을 확인하였다.

Table 1 Results of Micro-Pressure Wave.

Case	Micro-Pressure Wave	%
Baseline	33.04 Pa	-
Girder	31.53 Pa	-4.6

3. 결론

본 연구에서는 경부고속선을 터널에 라멘형 구조물을 설치할 경우, 미기압파에 미치는 영향을 파악하기 위하여 3차원 전산유체해석을 수행하였다. 그 결과, 260km/h의 속도로 주행하는 KTX에 대하여 터널 출입구에 라멘형 구조물을 설치할 경우, 약 4.6%의 미기압파 저감이 가능한 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 2024년도 국토교통부 ‘370kph 이상 고속운행을 위한 차량 핵심기술 개발 및 기술기준 개정(안) 개발(RS-2022-00143396)’ 과제의 지원을 받아 연구하였음

참고문헌

- [1] H. Kwon, T. Kim, D. Lee and M Kim (2003) Numerical simulation of unsteady compressible flows induced by a high speed train passing through a tunnel, *Proc. of Spring Conference of The Institution of Mechanical Engineers*, 217 (2), pp. 111-124.
- [2] B. Kim, J. Ahn and H. Kwon (2024). Numerical study of the effect of the tunnel hood on micro-pressure wave for increasing high-speed train operation speed. *Journal of Mechanical Science and Technology*, pp. 1-13.