모형시험장치를 이용한 철도 선로변 방음벽에 미치는 공력 특성시험

Aerodynamic Characteristics on Railway Acoustic Screen Using 1/61-scaled Mock-Up

장용준* 김동현** 박원희** 박승일**

Jang, Yong-Jun, Kim, Dong-Hyeon, Park, Won-Hee, Park, Seung-Yil

ABSTRACT

The experiments for aerodynamic characteristics on railway acoustic screen are performed using 1/61 scale-down mock-up facility. The train model for the experiment is high speed train (KTX) and the tested speed is about 300km/h. The tested train length is about 61cm which is corresponding to two units of train. The strength of pressure wave is measured using piezo typed pressure sensor. The measured pressure is compared with field test data and UIC 779-1 values.

1. 서 론

고속전철의 도입은 선로구축물 안전에 대한 패러다임을 변경시키고 있다. 특히 공력분야에서 주행저항 및 선로변 공기유동장의 교란의 크기가 공히 차량 속도의 제곱에 비례하므로 공력 안전에 대한 대책이 필요하다[1].

고속전철의 주행으로 발생하는 대표적인 공력 현상 문제들은 열차풍, 터널 미기압파, 승객 이명감 등의 현상이다[2]. 특히 철도차량의 통과로 인하여 철도차량 전두부 및 후미부에 형성되는 압력장의 급격한 변화로 인하여 선로주변에 공기유동장의 교란이 크게 증가한다[2].

이러한 고속 열차풍의 피해를 방지하기 위하여 선로변 및 승강장에는 방음벽/방풍벽이 설치되어 있는데, 이들 방음벽이 고속 열차풍에 취약하여 반복적인 유지 보수가 필요하고, 현장에서는 방음벽의 손상이 여러 곳에서 발생하고 있다[3]. 따라서 방음벽/방풍벽의 성능 및 구조 안전에 대한 대책이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 필요에 의하여 방음벽에 미치는 풍압의 구조를 알아보았다.

본 연구를 위하여 열차주행 시험기를 이용한 모형 방음벽 및 모형 고속전철 전두부를 제작하였으며, 300km/h 이상의 속도로 주행 실험을 수행하였다. 모형 방음벽에 미치는 풍압을 계측하였으며 UIC 779-1[4]의 data와 비교분석하였다.

* 책임저자, 정회원, 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀
E-mail : jangyj@krri.re.kr
TEL : (031)460-5355 FAX : (031)460-5319
** 정회원, 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀

2. 실험 조건

실제 열차와 모형 주행 열차사이에 실험 결과를 비교하기 위해서는 역학적 상사가 이루어져야 한다. 본 실험에서는 점성력과 관성력이 지배하는 문제 이므로, Re 상사가 이루어져야 한다. 즉,

$$N_{Re})_p = N_{Re})_m \tag{1}$$

여기서 P는 실형 m은 모형을 의미한다. 따라서,

$$\frac{\rho VD}{\mu})_P = \frac{\rho VD}{\mu})_m \tag{2}$$

여기서 ρ, μ는 각각 같은 값이므로,

$$\frac{V_P}{D_m} = \frac{V_m}{D_P} \tag{3}$$

가 되고, 결국

$$V_m = 61\, V_P \tag{4}$$

식 (4) 가 만족되어야하며, 이는 모형의 속도는 실제 차량의 속도의 61배가량 빨라야 한다는 결론이 나온다. 그러나 공기중에서 이와 같은 실험을 수행하기에는 거의 불가능에 가깝다. 그이유로는 소리 전파 속도(340m/sec)보다 더욱 빠르게 모형 열차를 주행시킬 수 없기 때문이다. 따라서 정확하게 현장 실험 결과와 비교할 수 없다. 그러나 Re 수를 고려하면 실제 상황에서 300km/h의 속도로 주행하는 KTX 20량(387m) 경우 Re 수가

$$Re_P = \frac{83.3m/s \times 387m}{1.5\times10^{-5} m^2/s} = 2.15\times10^9 \tag{5}$$

이고, 모형실험에서는 2량 정도의 길이(약 0.6m)를 실험하였으므로

$$Re_m = \frac{83.3m/s \times 0.6m}{1.5\times10^{-5} m^2/s} = 1.2\times10^7 \tag{6}$$

이다. 실제 열차의 경우와 모형의 경우는 Re 수가 약 180배 정도 차이가 나는 것을 알 수 있다. 그러

나 Re 수가 10^5-10^6보다 큰 경우에는 물체 주위의 경계층 유동이 충분히 난류유동으로 천이되어 Re 수가 변화한다고 해도 항력계수 등이 크게 변하지 않아서 상사 성을 이룬다고 볼 수 있으므로[5], 본 연구의 실험 결과는 검증용으로 충분히 활용 될 수 있다고 판단된다.

3. 실험장치의 구성

본 연구에서는 그림 1에서와 같이 1/61 축적의 모형 고속전철 주행 시험 장치를 제작하고 현장에서의 방음벽과 동일한 위치에 모형 방음벽을 제작하였다.

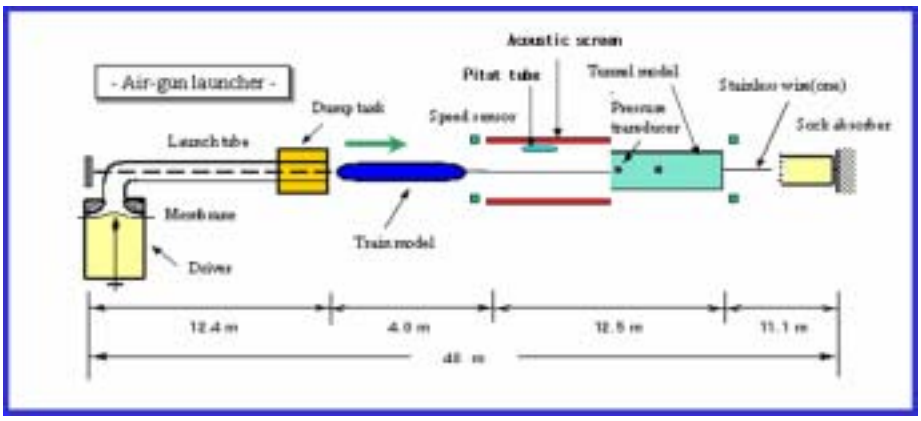

그림 1. 모형 고속전철 및 방음벽 구성도 (1/61축척)

모형 고속전철 주행 시험기의 전체 길이는 40m 이며, 본 주행 거리는 12.5m이다. 압축 공기를 이용하여 고속전철 모형을 발사하게 되며 끝단에서는 모형 전철의 파손을 방지하기 위하여 스폰지등을 이용하여 충격 흡수기를 제작하였다.

그림 2는 방음벽 배열을 나타내고 있다. 열차가 방음벽에 미치는 영향을 알아보기 위하여 방음벽의 길이를 충분히 길게 하여 총 5.64m로 하였다. 방음벽은 4개의 조립으로 이루어져 있으며 각각은 1.25 - 1.30m의 길이를 갖고 있고, 열차 주행 방향 양쪽에 설치하였다. 또한 방음벽과 주행 열차 사이의 간격을 조절할 수 있도록 방음벽 자체를 슬라이딩 구조물로 제작하여 필요한 간격을 유지하면서 풍압의 효과를 계측하도록 하였다. 방음벽과 방음벽 연결부위 사이로 공기가 유출되지 않도록 방음벽 연결부위를 'ㄹ'자로 연결하였다. 방음벽의 두께는 구조적 안정을 위하여 1.2cm로 하였다. 방음벽의 높이는 현장실험에서와 같은 높이로 유지를 하였으며 높이는 11.6cm 이다.

압력센서를 방음벽에 설치하는 위치는 그림 3에서와 같이 열차의 중심선과 일치하는 곳에 압력센서를 설치하고 실험을 수행하였다. 모형 열차의 종류로는 그림 4에서처럼 KTX를 모델로 하였으며, KTX 전두부 단면적을 원통형으로 환산하여 제작하였다. 표 1은 모형 열차의 제원을 상세히 보여주고 있다. 열차의 무게는 약 287kg 정도가 되며, 열차의 길이는 약 61cm 정도가 된다. 이는 KTX 20량의 길이가 387m이므로 1/61축적을 고려하면 2량의 길이에 해당된다.

표 1. 모형 열차 제원

	무게 (g)				길이 (Cm)
	전두부	Body	후두부	전체	전체
KTX	88.5g	163.0g	35.0g	286.5g	61.0Cm

표 2. 열차와 방음벽 사이의 거리

모형 열차 중심과 방음벽 사이의 거리	실제 선로중심과 방음벽 사이의 거리
6.5cm	4.0m
6.9cm	4.2m
7.3cm	4.5m
8.1cm	4.9m
8.9cm	5.4m
9.7cm	5.9m

그림 2. 방음벽 배열 및 이음장치 실물

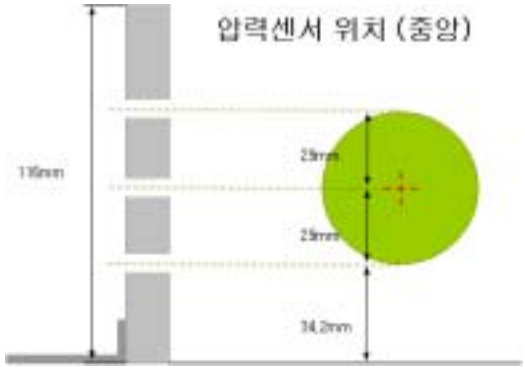

그림 3. 방음벽에 설치된 압력센서의 위치 및 모형 열차

그림 4. KTX 모형 열차 및 방음벽

4. 실험 결과 및 고찰

본 모형 방음벽 축적 실험은 현장 시험의 규격을 1/61로 축적하여 수행한 결과이다. 또한 UIC 779-1에서 제시한 풍압의 결과와 비교하여 그 정확도를 비교하고자 함이다.

모형실험에서는 KTX 주행 속도 300km/h를 기준으로 모형 방음벽에 미치는 풍압을 계측하였다. 모형 열차중심선에서 방음벽사이의 거리는 6.5, 6.9, 7.3, 8.1, 8.9, 9.7cm 이며 이에 대응하는 실제 열차의 선로중심에서 방음벽 사이의 거리는 각각 4, 4.2, 4.5, 4.9, 5.4, 5.9m이다. 이를 표 2에 정리하여 놓았다.

모형 방음벽 실험의 목표는 모형에서도 실제와 같은 풍압을 계측하는 것이다. 만약 모형실험에서도 실제와 같거나 UIC 779-1의 기준치와 흡사한 결과가 나온다면 더 이상 현장시험을 수행할 필요가 없게 된다.

그림 5는 각각의 거리 간격에서 모형 방음벽에 미치는 풍압의 세기를 나타내고 있다. 모형 열차 주행 시험기에서 300km/h 속도를 정확히 맞출 수가 없어 각각의 거리에서 5번의 시도를 하여 풍압의 세기를 계측하였다. 모형 방음벽에 미치는 풍압의 패턴은 현장 시험에서와 동일하게 열차의 전두부 진입시 압력의 피크치가 생성이 되고 열차 모형 후미부가 통과하면서 반대방향의 압력 (suction)이 발생하게 된다. 열차 모형 통과 중에는 현장시험에서와 같이 압력의 반복적 오르내림 현상을 볼 수가 없었다. 이는 현장 시험에서는 차량과 차량 사이에 이음매가 있어서 압력의 오르내림이 발생되는 반면, 모형 열차에는 이러한 이음매가 없기 때문이다.

실험 결과를 표 3에 정리하였다. 본 모형실험에서 계측된 실험값이 UIC 779-1의 기준 값에 비하여 50 - 130Pa 정도가 낮게 계측이 되었다. 이는 본 실험에 사용된 모형 및 주행 열차의 Re number(10^7)가 현장 실험에서의 Re 수(10^9)보다 낮은 까닭일 가능성도 있으나 10^7 이상의 유동장에서는 일반적으로 항력의 변화가 미비하다고 판단되므로 Re 수의 영향 때문으로 판단하기가 쉽지 않다. 오히려 모형 방음벽 실험에서 모형 열차와 바닥 면과의 간격(34.2mm)이 현장실험에서의 열차와 바닥간의 간격에 비하여 크기 때문인 것으로 추정된다.

모형 열차와 바닥 면과의 간격 : 34.2mm ---> 약 20m (1:61 scale)

현장 실험에서는 열차와 바닥간의 간격이 1m 이하이므로 모형 실험에서의 간격이 약 20배 이상 큰 것을 알 수 있다. 이처럼 모형과 바닥간의 간격이 클 경우 방음벽과 열차와의 상호 작용에 의하여 발생하는 와류가 발생되지 않으므로 방음벽에 미치는 풍압이 실제보다 작아 질 수가 있다. 일반적으로 방음벽과 열차와의 상호 관계를 통하여 큰 규모의 와류가 발생이 되고, 이는 방음벽을 밀치는 풍압의 형태로 나타나게 된다[3]. 그러나 본 모형실험에서는 이러한 큰 규모의 와류를 발생시킬 수가 없음으로 모형 방음벽에 실제와는 다른 형태의 풍압이 발생되는 것으로 판단된다. 따라서 차후에는 모형 열차와 바닥간의 간격을 최대한 줄이고 실험하여 실제와 비슷한 와류를 발생시킬 수 있도록 하여야 하겠다.

또한 모형실험에서 가장 취약한 부분은 정확히 모형열차의 속도를 제어할 수 없다는 것이다. 따라서 여러 번 발사를 통하여 300km/h에 가까운 속도를 얻고 5번의 시도를 통하여 이의 평균값을 구하였다.

1

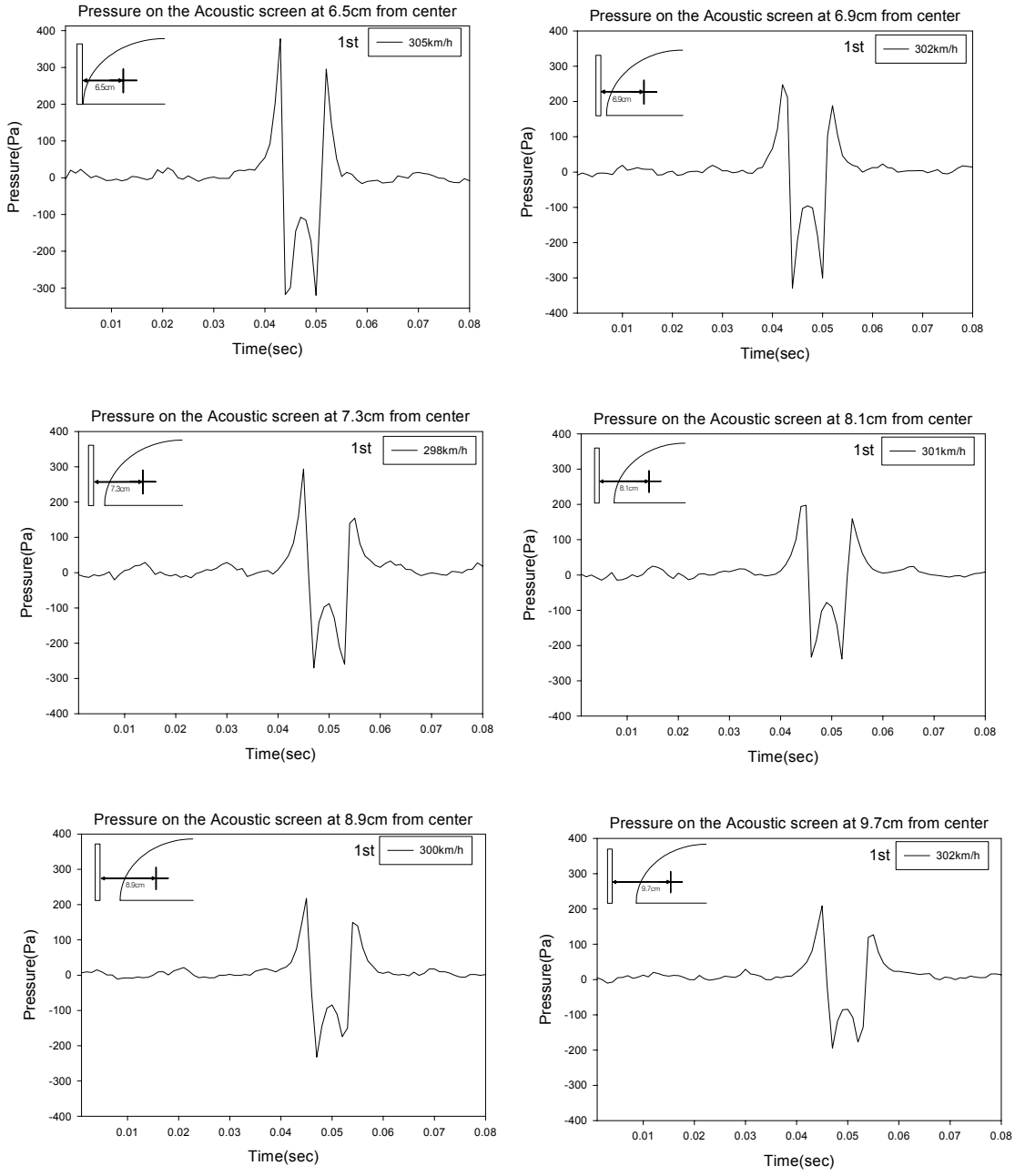

그림 5. 거리에 따른 모형 방음벽에 미치는 압력 분포

표 3. 모형 실험값과 UIC 779-1 기준 값의 비교

Distance from track center (cm) (1/61 scale)	Distance in UIC 779-1 (m) (real situation)	Averaged experimental Data (Pa)	UIC 779-1 (Pa)
6.5	4	365	430
6.9	4.2	273	400
7.3	4.5	254	360
8.1	4.9	230	320
8.9	5.4	214	270
9.7	5.9	185	240

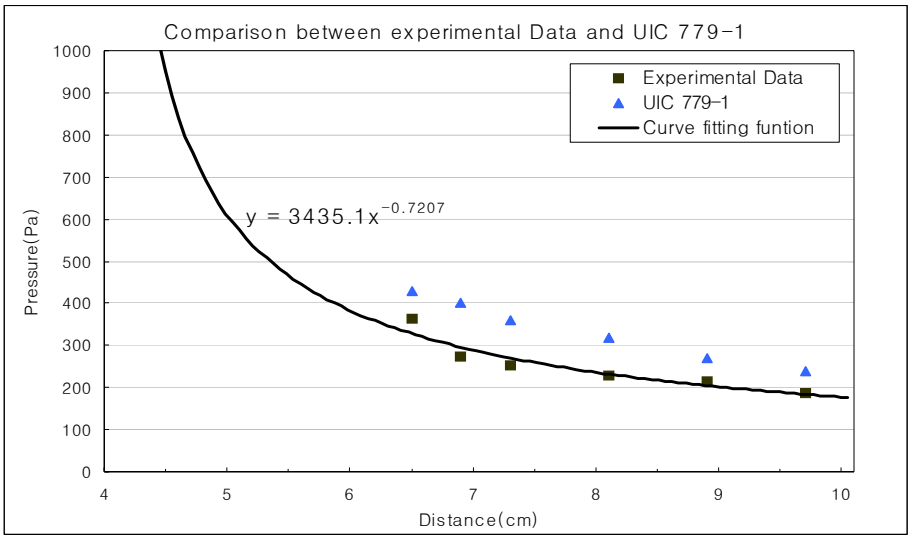

그림 6 모형실험 결과와 UIC 779-1 결과와의 비교

그림 6은 5개의 데이터를 평균한 값으로 모형 열차가 방음벽에 가까울수록 모형 방음벽에 미치는 풍압의 세기가 더욱 가파르게 증가하는 것이 발견된다. 반면 거리가 멀어질수록 풍압의 변화의 크기가 적게 나타나고 있다. 이는 UIC 779-1의 기준 값과 일치하는 것으로 본 실험이 성공적으로 수행되었음을 증거하고 있다. 다만 UIC 779-1의 절대 값과 다소 차이가 있으나 앞에서도 지적하였듯이 이는 모형 열차와 바닥간의 간격이 실제와 크게 차이가 나기 때문이다.

그림 6은 또한 평균값을 curve fitting하여 곡선의 방정식을 구한 결과이다. 곡선은 2차 곡선의 형태를 나타내고 있으며, 수식으로 표현하면

$$Y=3435X^{-0.72}$$

이와 같다. 이를 통하여 측정되지 않은 위치에서 풍압의 값을 예측하여 보면 방음벽에 더욱 가까워질수록 풍압의 크기가 매우 가파르게 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한 UIC 779-1의 기준 값과 비교하여 보면 실험값과 일정한 간격을 유지하고 있는 것이 발견되며 방음벽으로 가까워질수록 풍압의 증가율

(기울기)이 흡사한 것을 볼 수가 있어 실험값의 신뢰를 더하고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 열차주행 시험기를 이용한 모형 방음벽 및 모형 고속전철 전두부를 제작하였으며, 300km/h 이상의 속도로 주행 실험을 수행하였다. 모형 방음벽에 미치는 풍압을 계측하였으며 UIC 779-1의 data와 비교분석하였다. 모형 열차가 방음벽에 가까울수록 모형 방음벽에 미치는 풍압의 세기가 기하급수적으로 증가하는 것이 발견되었으며, 거리가 멀어질수록 풍압의 변화의 크기가 작게 나타나고 있다. 이는 UIC 779-1에서 제시하는 결과와 경향이 일치하는 것이다. 다만 UIC 779-1의 절대 값과 다소 차이가 있으나, 이는 모형 열차와 바닥간의 간격이 실제와 크게 차이가 나기 때문이다. 실험 결과의 평균값을 curve fitting하여 얻은 곡선의 기울기도 UIC 779-1의 결과와 잘 일치가 되었다. 차후에는 모형실험에서 모형열차와 바닥간의 간격을 더욱 줄여 실제 상황과 일치시킨 후 실험을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. 오지택 외 (2004), “선로구축물 시스템 핵심기술 연구”, 한국철도기술연구원
2. 최진유 외 (2005), “선로구축물 시스템 핵심기술 연구”, 한국철도기술연구원
3. 이준석 외 (2006), “ 선로구축물 성능향상 기술연구”, 한국철도기술연구원.
4. UIC Code 779-1, Effect of the slipstream of passing trains on structures adjacent to the track
5. Robert W. Fox and Alan T. Mcdonald (1994), "Introduction to Fluid Mechanics", 4th edition, WILEY