

# KTX 열차풍압 특성을 측정하기 위한 선로변 현장 실험 연구

## Experimental Study to Measure the Characteristics of KTX Train Wind Pressure by using Field Test

남성원\* · 권혁빈\*\* · 남윤수†

Seong-Won Nam · Hyeok-Bin Kwon · Yoonsu Nam

**Abstract** When constructing a high-speed railroad, the reduction of the distance between track centers and the width of track bed will save the construction cost. However the shortening the distance between track centers may cause the stability problems due to higher wind pressure. Therefore the extensive technical review and aerodynamical study should be performed to determine the adequate distance between track centers. In this study, the impact that the increase in wind pressure due to the change of aerodynamic phenomena with the change of the distance between track centers may have on two trains passing by each other was predicted, and the stability of train operation was analyzed in order to review the distance between track centers suitable to Honam HSR trains. And we estimated the aerodynamical effects by the results of the field test.

**Keywords** : Aerodynamical effects, Track center, High speed train, Field test, Interface

**요 지** 고속철도 건설시, 선로중심 간격 및 시공기면폭의 감소는 건설 비용의 절감을 가져온다. 그러나, 선로중심 간격의 축소는 열차 주행 풍압의 증가로 여러 가지 안전성 문제를 야기 할 수 있으므로 기술적 검토와 공기역학적 연구가 수행되어야 한다. 본 연구에서는 호남고속철도에 적합한 선로 중심간격을 검토하는데 필요한 차량 주행 안정성을 해석하기 위하여 선로중심 간격 변화로 인한 교행 열차 풍압을 예측하였으며, 이를 선로변 현장 실험 결과를 토대로 공력 영향을 평가하였다.

**주요어** : 공력영향, 선로중심, 고속철도, 선로변 현장 실험, 인터페이스

### 1. 서 론

고속철도 선로 건설시, 선로 중심 간격과 노반폭의 감소는 막대한 선로 공사비의 절감 효과를 가져 올 수 있으나, 선로 중심 간격 변화로 인한 열차 풍압 증가가 서로 교행하는 열차의 주행 안전성에 미치는 영향을 고려할 때 선로 중심 간격 결정에 앞서 충분한 기술적 검토와 제반 연구가 선행되어야 한다. 열차의 고속주행시, 발생하는 열차풍의 영향은 상대 교행 열차에 횡력으로 작용하며 이로인해 증가되는 차량간의 압력변동과 횡방향 가속도의 영향은 선로 중

심 간격 결정에 주요 요소로 대두된다. 차량 속도 증가와 선로 중심 간격 감소로 야기되는 열차풍 크기 증대와 교행 열차 사이에 발생하는 압력 변동은 교행 열차의 횡가속도를 증가시킬 수 있는 요인으로 진전될 수 있다. 따라서 열차 교행시 압력 변동의 주요 요인인 유동 변화를 예측하고 그 영향력을 검토하여 열차에 미치는 외력의 변화에 따른 열차 주행 안전성을 검토하여야 한다[1-4].

본 연구의 고려 대상인 호남 고속철도는 현재 설계 단계로서 기존의 경부 고속철도보다 차량속도가 증가할 것으로 예상되므로 이에 맞는 선로 설계가 이루어 져야 한다. 즉 고속 열차 차량의 설계 최고 속도는 350km/h 이상이며, 상하행선간의 선로 중심 간격은 5.0m 이하로 설계 가이드라인을 설정한다. 이는 해외의 사례들을 보더라도 경부 고속철도의 선로 중심 간격인 5.0m는 최대값으로서 선정 당시 일부에서 논란의 소지가 있었으며, 차량 속도를 350km/h 로

\* 정회원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 책임연구원  
E-mail : swnam@krti.re.kr

TEL : (031)460-5244 FAX : (031)460-5279

\*\* 정회원, 한국철도기술연구원

† 책임저자 : 정회원, 강원대학교, 교수

**Table 1.** Track Spec. of High-Speed train

Train	Max. Vel.	Distance	Structure
TGV Atlantic	300km/h	4.8m	Ballast
ICE Köln	300km/h	4.5m	Concrete
Eurostar	300km/h	4.5m	Concrete Ballast
Taiwan	300km/h	4.5m	Concrete
Shinkansen Sanyo	300km/h	4.3m	Concrete Ballast
KTX	300km/h	5.0m	Ballast

설정된 이유는 현재 세계 각국에서 운행되고 있는 고속철도의 최고 속도가 대부분이 300km/h이므로 멀지 않은 장래에 최고속도 350km/h의 차량이 개발될 것으로 예측되기 때문이다. Table 1에 현재 운행중인 각국의 대표적인 고속철도의 선로 중심 간격을 나타내었다.

Table 1에서 알 수 있듯이, 각국의 대부분의 고속철도는 최고 속도가 300km/h 이상이며 선로 중심 간격은 5.0m 이하이고, 궤도 구조는 지형에 따라 슬라브 혹은 발라스트 구조를 사용한다[5-8].

본 연구에서는, 현재 운용중인 KTX와 경부 고속 철도 제원을 이용하여 선로변 현장 실험을 하고, 이러한 결과들을 이용하여 350km/h 및 선로 중심 간격 5.0m 이하에서의 교행시 열차간에 끼치는 공력 영향을 예측하고자 한다.

## 2. 선로변 현장 실험 개요

KTX가 상용 운행되는 경부 고속철도 선로변에서의 현장 실험은 서울기점 124k 하행선에서 시행하였다. Fig. 1 및 2에 열차풍 측정 입력센서 설치 전경과 개략도를 표시하였다.

압력 측정 개소는 총 10개소이며 레일면상으로부터 1m 높이 지점에 50cm 간격으로 설치하였다.

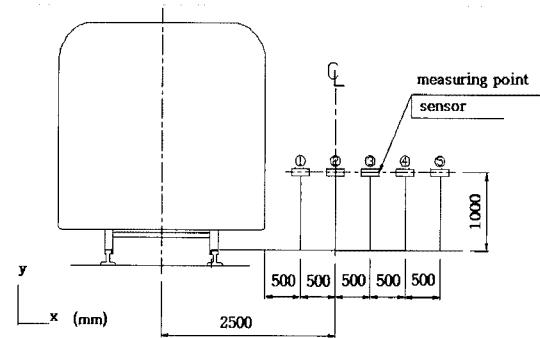
그림에서 ①센서는 주행중인 열차의 차체 측면으로부터 약 50cm 떨어진 위치이며 ②센서는 선로 중심간격이 5.0m 인 경우의 중앙에 해당된다. 그리고, 대향 열차의 내측 차체면은 ④센서의 위치에 해당되며, 선로 중심간격이 4.0m 로 줄어들면 대향 열차의 차체면은 ②센서 위치에 오게 된다. 또한, 상행선 열차가 통과할 때에는, 동일한 계측 위치에서도 상행 열차의 차체로부터 7.0~9.0m에 떨어진 거리에서 측정하는 것에 해당되므로 거리별 열차 풍압 변화 유형을 측정하기에 유리한 점이 있다.

열차풍 계측은 실험 현장을 지나는 KTX 열차를 대상으로 실시하였으며, 통과 열차의 속도는 디지털 카메라를 이용한 동영상 촬영 시간에서 열차 전두부 및 후미부 통과 시간을 열차 길이(388m)로 나누어 계산하였다.

센서 설치대에 장착된 압력 센서로부터의 신호는 케이



**Fig. 1.** Picture of Pressure Measuring System

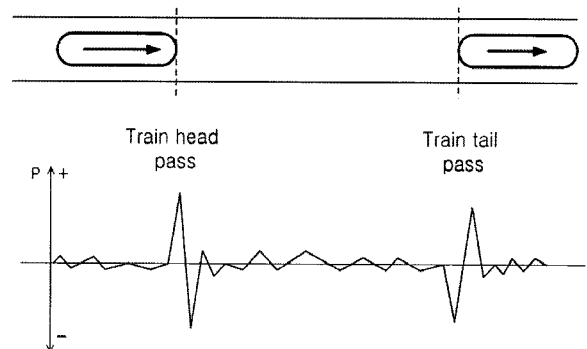


**Fig. 2.** Schematic Sketch of Measurement System

블을 통하여 노반 끝에 위치한 data acquisition system에 실시간으로 전송 받았다. 각각의 측정 센서로부터의 입력 신호는 A/D 컨버터를 거쳐 포터블 PC에 저장되며, 사용한 압력센서는 Druck社 PMP4070 모델이며, 압력 계측 범위는 80~150kPa, 데이터 샘플링 속도는 최대 5kS/s이다.

## 3. 실험 결과 및 검토

Fig. 3은 열차가 통과할 때의 전형적인 압력 변화 형태를

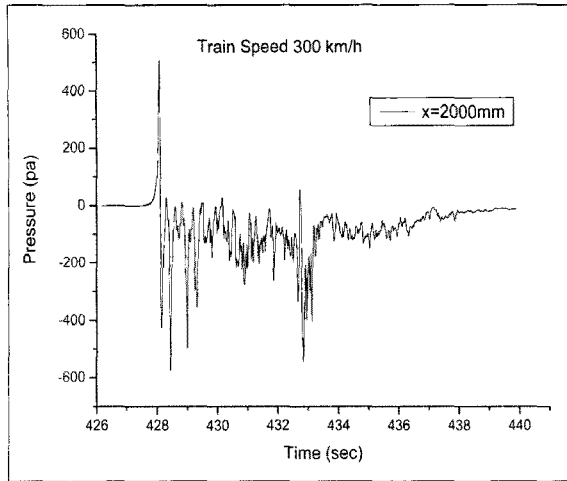


**Fig. 3.** Pressure Variation Pattern

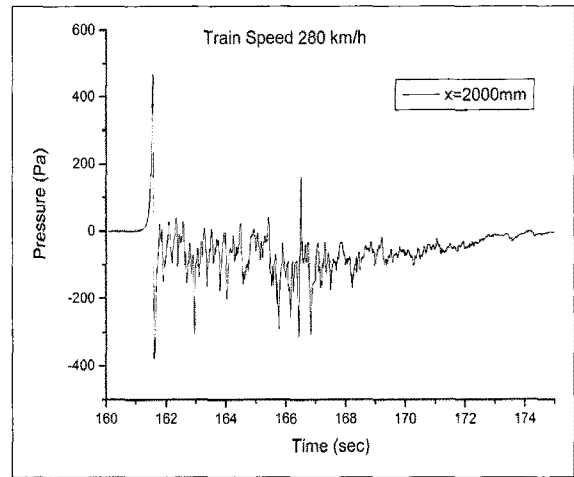
나타낸다. 교행시의 압력 변화와 마찬가지로 열차의 전두부가 통과할 때에는 큰 반발력이 작용한 후 평형을 유지하기 위한 부압(-)이 작용하며, 열차의 후미부가 통과할 때에는

흡인력이 작용한 후 정압(+)이 작용한다.

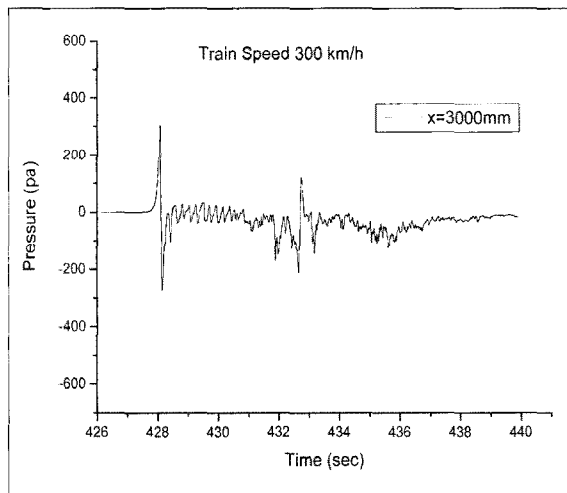
선로변 현장 실험 결과인 압력 변화를 Fig. 4~Fig. 6에 나타내었다. 각각의 그림에서 수평 및 수직축은 계속 상대



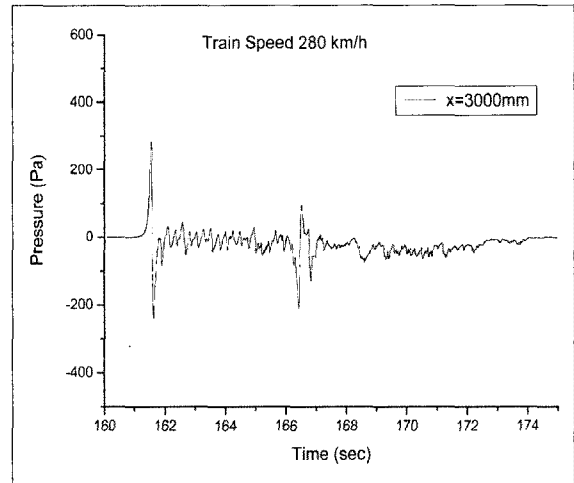
(a)  $x=2000\text{mm}$



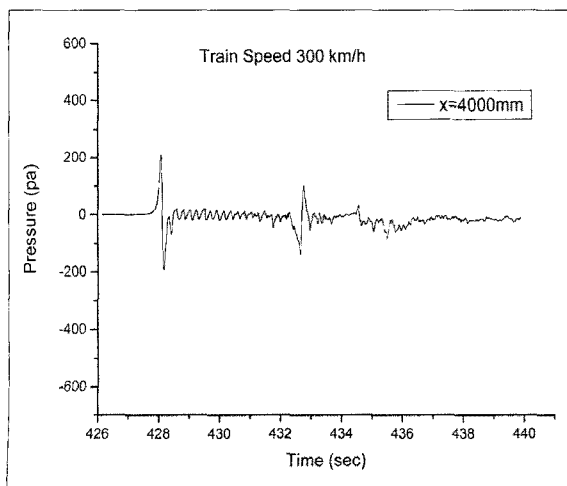
(a)  $x=2000\text{mm}$



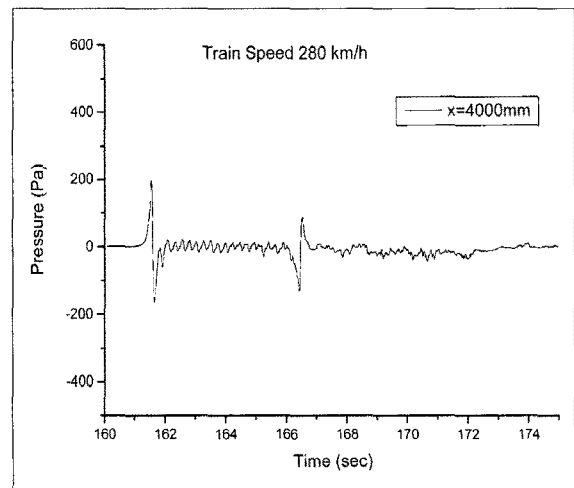
(b)  $x=3000\text{mm}$



(b)  $x=3000\text{mm}$



(c)  $x=4000\text{mm}$

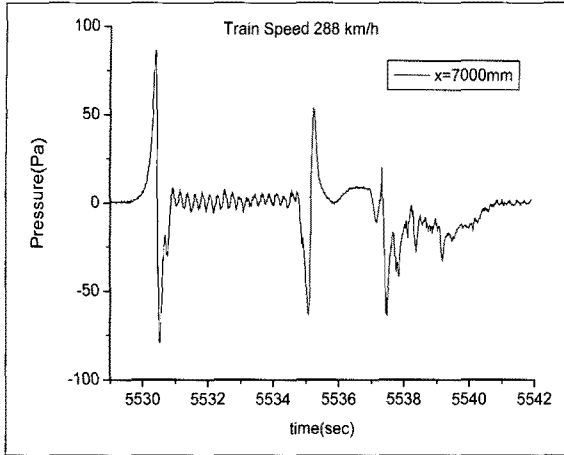


(c)  $x=4000\text{mm}$

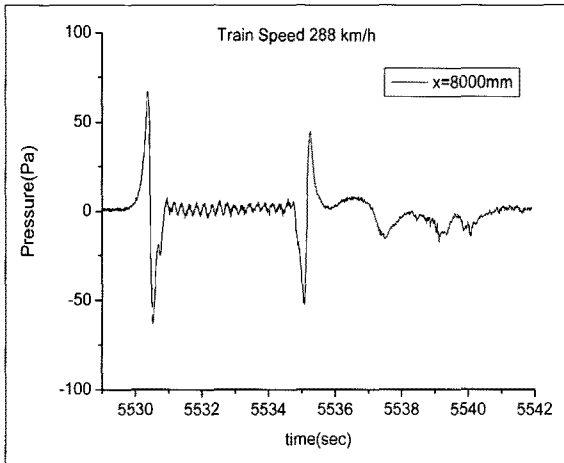
Fig. 4. Wind Pressure (train speed : 300km/h)

Fig. 5. Wind Pressure (train speed : 280km/h)

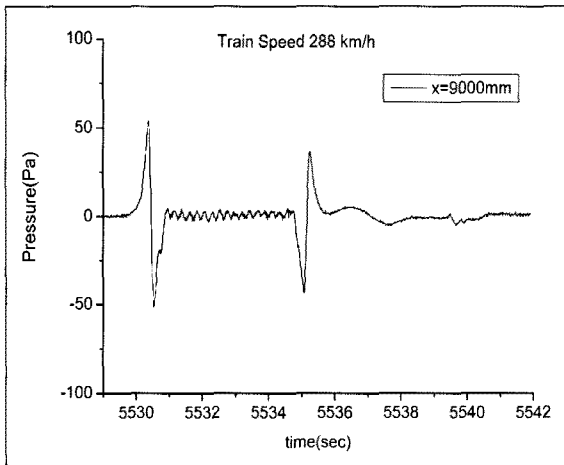
시간과 열차풍압을 나타낸다. 통과하는 열차 속도에 비례하여 열차풍압이 증가함을 알 수 있으며, 선로 중심으로 부터의 거리가 멀어짐에 따라 열차 풍압은 감소하는 경향을 나타낸다. 계측거리는 선로 중심으로 부터의 거리이며,



(a) x=7000mm



(b) x=8000mm



(c) x=9000mm

Fig. 6. Wind Pressure (train speed : 288km/h)

x=2000mm가 차체 외벽으로부터 500mm 떨어진 위치에 설치한 Fig. 2의 ①번 압력계의 압력값이며, x=4000mm는 차체 외벽으로부터 2500mm 떨어진 ⑤번 압력계의 계측값이다.

Fig. 6은 원방에 위치한 상행선의 선로를 지나가는 열차 풍을 측정된 것으로 여기서는 압력 측정점 x=7000mm가 차체 측벽으로부터 5500mm 떨어진 위치에 해당된다.

차체의 전후면의 압력 차이에 기인하는 압력항력 계수는 Bernoulli식  $c_p = (p - p_0) / 0.5\rho U^2$ 으로부터 Fig. 7과 같이 구할 수 있다.  $c_p$  또한 거리에 반비례하여 감소하며, 얻은 실험결과 데이터를 이용하여 감소 지수 함수의 실험식을 구할 수 있었다. 그러나 이식은 정해진 KTX 차량 형상에 대하여 구한 식이므로 모든 차량에 대하여 통일된 함수로 적용하여 사용할 때에는 주의를 필요로 한다.

열차 교행시의 압력과 단독 열차 통과시의 압력 사이에는 상관 관계를 찾을 수 있다. Fig. 8과 9에 각각 이들을 표시하였다. Fig. 9에서 하행선을 지나는 차량별 통과 속도에 따른 실측치를 300km/h인 경우 ●로, 270km/h인 경우 ■로 각각 나타내었다. 이 값들을 외삽하여 얻은 350km/h에 대한 예측값을 구하였다. 그림에서 수직 점선은 교행하는 상하행선 차량의 차체면의 위치를 나타낸다. 즉, 좌측의 점선은 하행선 차량의 차체면의 최외곽 위치이며, 우측의 점선은 상행선 차량 차체면의 최외곽 위치이다. 따라서, 두 점선간의 영역이 교행하는 차량의 풍압이 작용하는 공간에 해당된다.

동일한 차체 단면을 가진 차량이 운행하는 구간에서 선로 중심 간격이 줄어들게 되면, 두 점선간의 간격이 좁아 지므로 교행열차 풍압은 중심 간격에 반비례하여 증가하게 된다.

Fig. 8에서 구한 교행 열차풍 측정 실험값과의 상관 관계

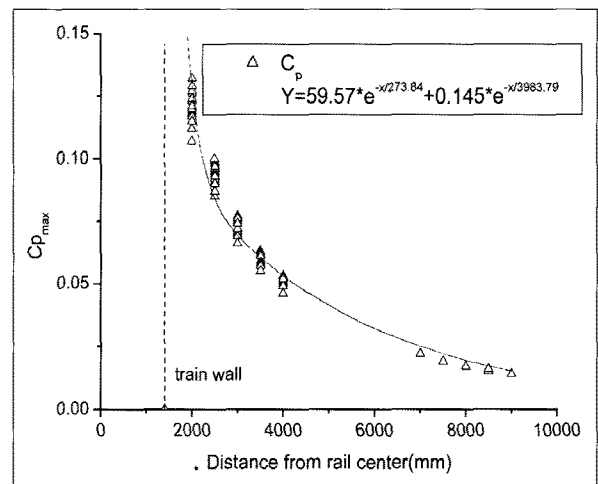


Fig. 7. Coefficient of pressure drag

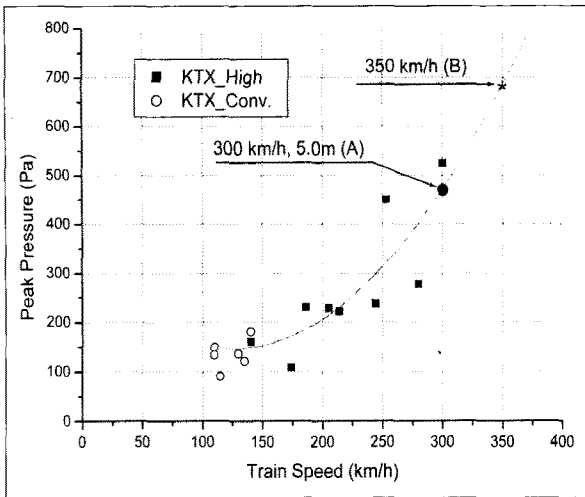


Fig. 8. Peak pressure to train speed [9]

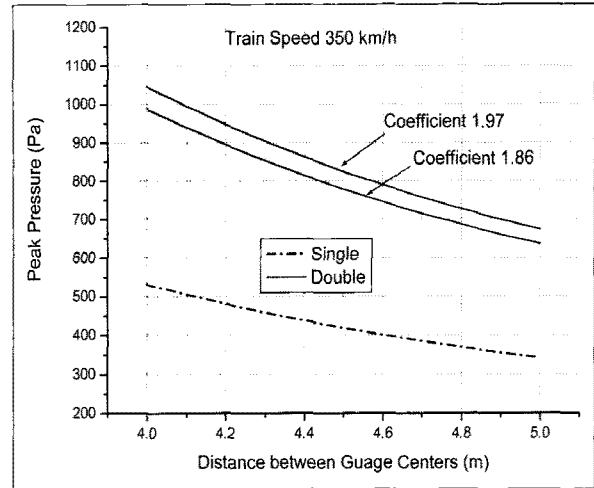


Fig. 10. Peak pressure to distance (350km/h)

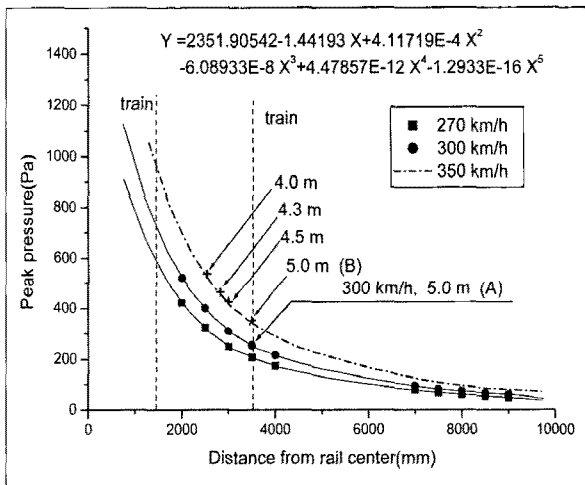


Fig. 9. Peak pressure to distance

를 찾기 위하여, 같은 조건인 선로 중심 간격 5.0m에서 열차 속도 300km/h에 대한 값(A)을 구하였으며, 그 때의 값은 약 255Pa임을 알 수 있다. 앞에서 구한 같은 조건에서의 교행 열차풍의 크기가 474Pa이므로 Fig. 8 및 9의 A점들 간에는 교행열차풍/단독열차풍이 약 1.86배의 비례 관계가 있음을 알 수 있다. 또한, 속도가 350km/h일 때의 외삽 곡선을 구하면, 예측값(B)는 각 곡선상의 \*점의 값이 선로중심 간격이 5.0m일 때 350km/h 속도에서의 단독 열차풍압으로 약 346Pa이며, 앞에서 350km/h 외삽 곡선상의 교행 열차 풍압값(B)는 682Pa이므로 교행열차풍/단독열차풍 예측값 간에는 약 1.97배의 비례 관계가 있다.

이는 교행 열차의 상대 속도가 대상 열차 관점에서 2배에 해당되므로, 300km/h 이하에서 얻은 데이터를 이용하여 구한 예측 곡선들이 이론값들과 크게 벗어나지 않으며, 예측 곡선간의 비례상수 1.97은 실험값간의 비례상수 1.86과는 6% 이내의 오차를 갖는다. 따라서, 차량 속도 350km/h

일 때의 선로 중심간격 변화에 따른 열차 풍압은 Fig. 9의 곡선상에서 구한 예측값 (예를들면, 4.5, 4.3, 4.0m 일때에 \*로 표기)에다 비례상수 1.97~1.86을 곱한 값들이 교행 차량에 작용하는 열차 풍압이 될 것으로 예측할 수 있다. 이렇게 하여 구한 열차 속도 350km/h에 대한 단독 열차풍압 및 교행 열차풍압의 크기를 선로 중심 간격별로 나타낸 것이 Fig. 10이다. 이 값들을 이용하여 350km/h로 교행하는 열차풍압 크기를 구할 수 있었으며, 증가된 열차 풍압은 차량 주행 안정성 해석시, 차체에 부가되는 외력의 크기로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 고속 열차의 속도가 증속되고 선로 중심 간격이 변화되었을 때의 열차풍압 변화를 예측하기 위하여 경부 고속선에서 KTX 열차를 이용하여 선로변 현장 실험을 실시하였다.

선로변 현장 실험은 KTX가 최고 운행속도로 주행하는 운전 선도 구간에서 열차 풍압을 측정하였다. 250~300km/h로 주행하는 열차에 대하여 열차풍압 변동을 측정하였으며, 측정된 결과들을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 선로변 현장 실험을 통하여 열차로부터의 거리별 풍압 크기를 측정하였으며 이를 바탕으로 열차 풍압 및 압력 저항계수 실험식을 구하였다.
- (2) 경부선 KTX 열차가 차량 속도 300km/h로 교행할 때에 전두부에서 받는 열차 풍압의 크기는 약 474Pa이며, 단독 주행하는 열차 풍압을 선로변에서 측정한 값은 255Pa이다.
- (3) KTX가 300km/h로 주행할 때의 측정된 교행열차풍압/단독열차풍압 값의 비례상수는 1.86이며, 각각의 실험

값에 기초하여 예측한 350km/h에서의 교행열차풍압/단독열차풍압의 비례 상수는 1.97로서 실측값과 예측값간의 오차는 6% 이내이다.

- (4) KTX 열차가 350km/h로 교행할 때의 열차 풍압의 크기는 선로 중심간격이 5.0m에서 약 656Pa, 4.5m에서 802Pa, 4.0m에서 1017Pa로 예측되었다.

## 후 기

KTX실험에 협조하여 준 Korail 관계자에게 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 김화동, (1996), "고속철도의 공기역학(II)," 대한기계학회지, 제 36권 제3호, pp. 268-280.
  2. Maeda, T, (1996), "Review of Micro-pressure Wave Radiating from Tunnel Portal and Pressure Variation under Train Passage," RTRI Report, Vol. 10, No. 2, pp. 5-10
  3. Kobayashi, M, (1995), "Analysis of Pressure Changes Developed Outside and Inside a Shinkansen Train Running through a Tunnel," J. JSME (B), Vol. 61, No. 591, pp. 4054-4060.
  4. Suzuki, M, (2001), "Study on Interaction between Vehicle Dynamics and Aerodynamic Force on High-Speed train in tunnel," RTRI Report, Vol. 15, No. 5, pp. 19-24.
  5. Schetz, J, (2001), "Aerodynamics of High-Speed Trains," Annu. Rev. Fluid Mech, Vol. 33, pp. 371-414.
  6. Robert, A, (2002). "Measurement of the Aerodynamic Pressures Produced by Passing Trains," Proc. 2002 ASME/IEEE Joint Rail Conf., pp. 1-8.
  7. Rochard, B.P., (2000), "A Review of methods to measure and calculate Train Resistances," IMechE, Vol. 214, part F, pp. 185-199.
  8. UIC code 779-1, (1996), "Effect of the Slipstream of Passing Trains on Structures Adjacent to the Track".
  9. Nam. S.W and Kwon. H.B., (2007), "A study of aerodynamical effects for determining the distance between track centers by using real train experiment," J. KSR, Vol. 10, No. 5, pp. 487-491.
- 접수일(2008년 7월 25일), 수정일(2008년 10월 15일),  
게재확정일(2008년 10월 23일)