

# 철도차량의 승강장 통과시 발생하는 공기역학적 영향에 대한 실험적 연구

김동현<sup>†</sup> · 권혁빈<sup>\*</sup> · 김도훈<sup>\*</sup> · 김문헌<sup>\*\*</sup> · 송문석<sup>\*\*\*</sup>  
(2004년 3월 18일 접수, 2004년 5월 18일 심사완료)

## An Experimental Study on the Aerodynamic Effects Generated by a Train Passing Rear by Platform

Dong-Hyeon Kim, Hyeok-Bin Kwon, Do-Hoon Kim,  
Moon-Hun Kim and Moon-Shuk Song

**Key Words** : Train Gust(열차풍), Pressure Pulse(압력 펄스), Railway Station(철도역), Platform(승강장), High-Speed Railway(고속철도), KTX Train(KTX 차량), G7 Train(G7 차량)

### Abstract

The aerodynamic effect on platform during the train passage, the results of field test on the high-speed railway platform are discussed and the whole test results and conclusions are synthesized. The field test for the high-speed railway have been conducted on the Osong temporary platform in the newly constructed Seoul-Busan high-speed line and total 12 measurements have been conducted for G7 train and KTX train. The results shows that the high-speed trains have similar aerodynamic characteristics and have far better characteristics referring to the conventional trains such as Saemaul and Mugungwha trains. To discuss the actual aerodynamic effects on the platform at its own operational speed, Beaufort wind scale have been introduced and the criteria for the safety on railway platform has also been discussed.

### 1. 서론

고속철도의 개통이 가까워지면서 사회적 관심이 고조되고 있으며, 특히 안전과 환경의 문제가 주요한 관심사로 대두되고 있다. 특히 공기역학적 관점에서 볼 때 300km/h의 고속에서는 지금까지 국내에서 경험하지 못한 여러 가지 문제점들이 나타나리라 예상되고 있으며, 그 중에서도 승강장에 대기중인 승객 또는 보행자가 열차 통과

시에 느끼는 불쾌감과 위험에 대한 조사와 대책 강장에 대기중인 승객 또는 보행자가 열차 통과 시에 느끼는 불쾌감과 위험에 대한 조사와 대책이 필요한 시점이다. 한편 철도차량의 통과로 인해 선로 주위에는 공기의 교란이 생겨나게 되는데,<sup>(1)</sup> 이는 차량 전두부 및 후미부에 형성되는 압력장으로 인한 급격한 압력변동과 차량 표면에 형성되는 경계층으로 인해 유도되는 강한 난류 열차풍으로 크게 나뉘어지며, 이를 각각 압력펄스, 열차풍이라 한다.<sup>(2)</sup> 압력펄스와 열차풍은 보통 속도에 비례하고 선로로부터의 거리에 반비례하며, 이는 고속철도에서 압력펄스와 열차풍이 훨씬 커진다는 것을 나타내며, 승강장의 보행자와 선로변 작업자에게 충분한 안전거리를 확보해야한다는 것을 의미한다. 그러나, 기존철도의 연구<sup>(1)</sup>에서 새마을호와 무궁화호에 대한 열차풍과 압력펄스 특성의 비교분석을 통해 밝혀냈던 것처

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 한국철도기술연구원 궤도토목 연구본부

E-mail : dhkim@krii.re.kr

TEL : (031)460-5343 FAX : (031)460-5319

<sup>\*</sup> 회원, 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부

<sup>\*\*</sup> 회원, 숭실대학교 기계공학부

<sup>\*\*\*</sup> 회원, 한국철도대학 차량전기과

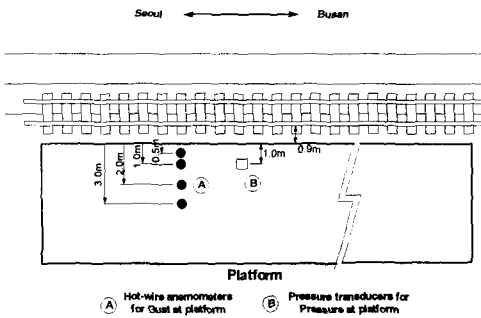


Fig. 1 Specification of measuring system equipped in Osong temporary station platform

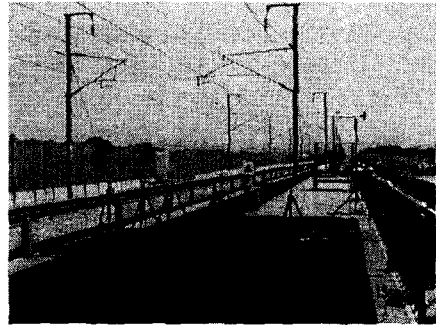


Fig. 2 Osong temporary station platform and measuring system

림, 전두부의 형상을 유선형으로 설계하고 전두부의 길이를 늘이면 이러한 압력펄스와 열차풍의 크기가 크게 줄어들며, 이 때문에 고속철도의 차량설계시에는 주행저항, 미기압과 등과 함께 열차풍과 압력펄스를 저감하는 고성능의 전두부형상 설계가 필수적으로 요구된다.<sup>(3)</sup>

본 연구에서는 경부고속철도에 운행예정인 KTX 열차와 현재, 한국철도기술연구원에서 개발하여 시험운행 중인 350km/h급 G7열차에 대하여 승강장 통과 시 공기역학적 영향에 대한 현장계측시험을 실시하였다. 현장시험은 경부고속철도 오송 간이역에서 이루어졌으며 총 12회의 측정이 이루어졌다. 또한 공기유동에 의한 영향의 척도인 Beaufort Scale을 이용하여 승강장 주변 안전거리에 대한 기준에 대하여 논하였다.

## 2. 시험조건

승강장에서의 열차풍 압력변동 데이터를 얻기 위해 Fig. 1에서와 같이 센서들을 배치하였다. Fig. 1의 (A)에 나타난 것처럼 승강장에서의 유속측정을 위해 열차진행방향에 수직인 방향(x)으로 4개의 열선 유속계가 승강장 바닥으로부터 0.7m 높이, 승강장 끝단으로부터 각각 0.5m, 1m, 2m, 3m의 위치에 설치되었다. 승강장에서의 압력변동(B)은 선로방향과 수직인 평면에 압력센서를 설치한 압력센서 홀더를 제작하여 기존 저속운행열차의 안전선에 해당하는 승강장 끝단으로부터 1m, 승강장 바닥으로부터 0.8m의 높이에 설치하였다.

Fig. 3과 Fig. 4는 측정대상인 G7 차량과 KTX



Fig. 3 Shape of front head G7 train

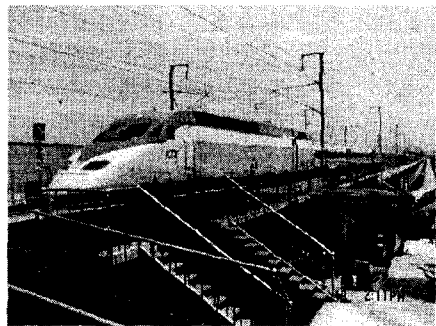


Fig. 4 Shape of front head KTX train

차량의 전두부 형상이다. 두 차량 모두 각각 운행속도 350km/h와 300km/h인 고속철도차량으로서 유선형의 긴 전두부를 갖고 있음을 알 수 있다. 측정 중 G7 차량이 5회, KTX 차량이 7회 승강장을 통과하였는데, G7차량은 최고 246km/h에 머무른 반면 KTX 차량은 대부분 300km/h내의 속도로 통과하였다.

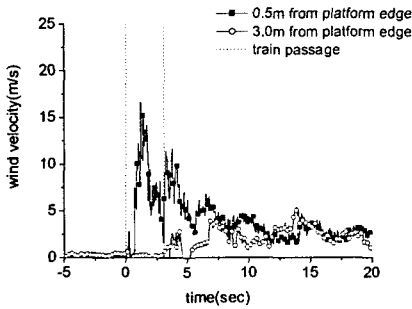


Fig. 5 Wind fluctuation on platform in train passing(G7 train, L=131m, V=244km/h)

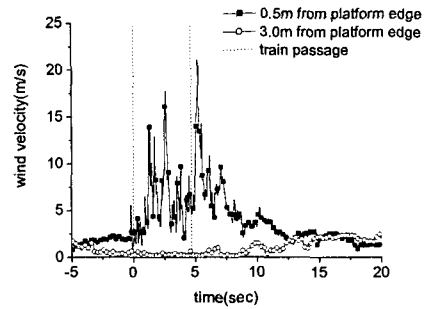


Fig. 6 Wind fluctuation on platform in train passing(KTX train, L=388m, V=298km/h)

### 3. 시험결과

#### 3.1 고속철도 승강장 현장시험

고속철도 차량 통과 시 승강장에서 나타나는 유속변동을 G7 차량과 KTX 차량에 대하여 한 경우씩을 선택하여 각각 Fig. 5와 Fig. 6에 각각 나타내었다. 먼저 Fig. 5에서 선로부터 거리가 0.5m인 지점의 측정결과(■)를 살펴보면, 전두부 통과 후, 유속이 증가하다가 열차 중간지점이 통과하는 시점에서 최고속도인 18.1m/s를 기록한 후 후미부 통과시 다시 유속이 증가하였다가 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 선로부터의 거리 3m 지점(○)에서는 열차 통과 중에는 유속변화가 거의 없다가 열차통과 후 다소간의 유속변동이 있음을 알 수 있다. KTX 차량의 경우(Fig. 6) 전반적으로 G7차량과 비슷한 경향의 유속변화를 보이고 있으나, 최대속도가 차량통과 직후에 나타났고, 크기는 21.12m/s로 나타났다. 기존철도에 대한 연구<sup>(1)</sup>에서 무궁화호의 경우는 전두부 통과시점, 새마을호의 경우에는 후미부 통과시점에서 대체로 최대속도가 나타났으나, 본 연구에서는 차종에 따른 일관된 경향성은 나타나지 않았으며, 차량에 관계없이 열차통과 중 혹은 열차통과 후의 두 가지 경우 중 하나에서 최대속도가 나타났다.

또한 두 차량이 비슷한 속도로 통과한 경우가 없었기 때문에 열차풍의 절대속도를 비교하는 것은 의미가 없으므로, 아래에서는 열차풍을 속도에 대하여 무차원화시켜 각 차량의 고유한 열차풍 특성을 비교하였다.

Table 1 Dimensionless maximum train gust according to distance ( $U_{max}^*$ )

Train type \ Distance(m)	Distance(m)			
	0.5	1.0	2.0	3.0
G7 Train	0.241	0.157	0.080	0.081
KTX Train	0.237	0.157	0.092	0.060

측정위치와 전두부 형상에 따른 열차풍 특성을 좀 더 자세히 알아보기 위하여 각 경우별로 측정 구간 내에서의 최대유속( $U_{wind,max}$ )을 열차속도( $U_{train}$ )로 무차원화시킨 값들과 그 평균을 Table 1과 Fig. 7에 나타내었다. 무차원화를 위해 사용된 식은 식 (1)과 같으며, 이와 같은 무차원화를 통해 열차속도에 관계없이 열차풍의 특성을 상호 비교할 수 있다.

$$U_{max}^* = \frac{U_{wind,max}}{U_{train}} \tag{1}$$

먼저, Table 1에서 열차로부터의 거리에 따른 열차풍 특성을 살펴보면, 0.5m 거리에서는 열차속도의 25%에 달하는 크기의 유속이 나타났으나, 3m에서는 8%이하로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 열차풍 최대유속에 있어서 차량별 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

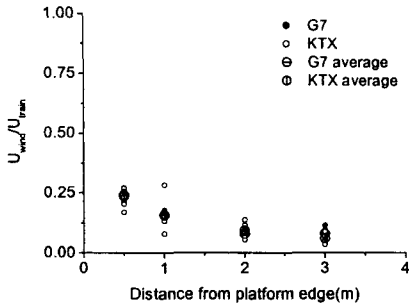


Fig. 7 Dimensionless maximum train gust according to distance ( $U_{max}^*$ )

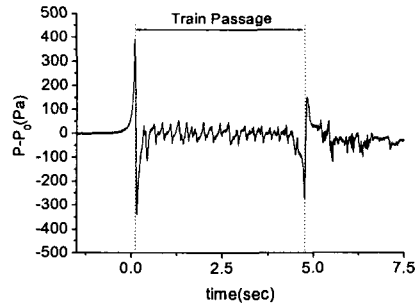


Fig. 9 Pressure fluctuation on platform in train passing(KTX train, L=388m, V=298km/h)

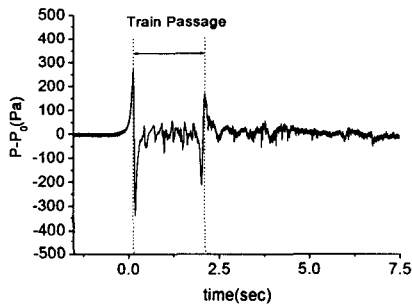


Fig. 8 Pressure fluctuation on platform in train passing(G7 train, L=131m, V=244km/h)

Fig. 7에서와 같이 G7 차량의 최대유속값들(●)은 모두 겹쳐져서 거의 보이지 않으나, KTX 차량의 최대유속값들은(○) 상대적으로 산포도가 높은 것으로 나타나고 있는데, 이는 KTX의 차량 길이가 388m로서 131m 길이의 G7 차량보다 더 길기 때문에 경계층의 성장이 더 오래 지속되면서 생성된 강한 난류의 효과로 추정된다. Fig. 8과 Fig. 9는 승강장 압력변동시험을 분석한 결과로 G7 열차와 KTX 열차의 승강장 통과시 승강장에서 압력변동을 나타내었다. Fig. 8과 Fig. 9에서는 공통적으로 전두부 통과시 먼저 최대양압이 관측되고 그 뒤를 최대부압이 따르며, 이후 열차 후미부 통과 전까지는 상대적으로 작은 압력변동이 대기압 부근에서 관측된다. 또한 열차 후미부 통과 시에는 부압 그리고 양압의 순서로 관측되며 그 피크 값은 열차 전두부 통과시의 최대양압차와 비교할 때 상대적으로 작다.

이러한 경향은 기존철도에 대한 연구<sup>(1)</sup>에서 논의된 바와 같이 새마을호와 무궁화호 통과 시에 나타나는 압력펄스와 동일한 경향임을 알 수 있다. 다만, 고속철도차량들은 유선형의 전두부를 갖기 때문에 전반적으로 새마을호와 같이 압력펄스의 형상이 일정하며, 무궁화호에서 나타나는 불안정한 압력변화의 양상은 보이지 않는다. 이러한 압력펄스는 주변 시설물 및 열차의 창문 등은 반복되는 압력장의 변동 노출되며 이로 인한 시설물의 피로파괴 및 안전문제로 이어질 수 있으며, 승강장의 대기승객의 귀울림을 유발할 수도 있다.

### 3.2 현장시험 종합결과

본 절에서는 기존철도에 대한 승강장현장시험결과<sup>(2)</sup>와 본 연구에서 수행한 고속철도 승강장현장시험결과를 종합하여 선로, 차량별로 철도차량의 통과 시 승강장에 미치는 공기역학적 영향을 조사하고 이 중 열차풍에 대한 안전기준을 평가하였다.

현재 국내에는 고속철 승강장에 대한 안전선거리 및 통과속도에 대한 구체적 규정이 없으므로 선진국의 규정과 비교해 우선적으로 안전도를 평가해 보는 것이 의미가 있다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 영국 철도청의 열차풍 관련 안전규정에 준해 승강장 안전도를 비교하였다. 영국의 경우 Beaufort wind scale<sup>(4)</sup>에 기초하여 열차의 승강장 속도에 따른 승객과 작업자들의 안전거리를 정하고 있다.<sup>(5)</sup> Beaufort wind scale은 1805년 영국해군의 장군인 Francis Beaufort경에 의해

고안된 바람의 척도로서 깃발과 돛에 미치는 바람의 영향을 관찰하여 이를 13단계로 나눈 것으로 이 중 일부분을 Table 2에 나타내었다. 영국의 규정에 의하면 안전지대에서의 열차풍 허용속도가 승객의 경우 40.2km/h(15.6m/s), 선로변 작업자들의 경우 약 56.3km/h(11.2m/s)로 규정되어 있으며, 이는 Beaufort 수 5와 7에 해당한다. 풍속이 Beaufort 수 5에 해당되면, 잎이 많은 나무가 흔들리기 시작하며 내륙의 수면에 파고가 생기며 Beaufort수 7에 해당될 때에는 전체 나무가 움직이기 시작하고 바람을 향해 걸어가기가 불편한 정도이다. 또한 열차의 승강장 통과속도가 200 km/h 이하로 할 것을 권고하고 있으며, 이때 안전선의 거리는 승강장 면으로부터 약 1.5m를 규정하고 있다. 위와 같은 승강장의 안전거리 기준을 본 연구의 시험결과와 비교하여보기 위하여 각 차량의 운행속도별 열차풍 최대허용속도를 Table 3에 정리하였고, 이 중 승객에 대한 기준을 각 차량에 대한 승강장에서 거리별 열차풍 측정결과와 함께 Fig. 10에 나타내었다. 먼저, 기존선 100km/h 주행시 승객에 대한 열차풍 최대허용속도는 0.402이다.

새마을호의 경우에는 약 0.5m이후의 거리에서는 이러한 기준을 만족하며 무궁화호의 경우에는 1.3m정도의 거리가 되어야 이를 만족하는 것을 알 수 있다. 기존철도에서는 새마을호와 무궁화호가 동일한 선로를 이용하므로 승강장 안전거리는 더 큰 값인 1.3m이상이 되어야 할 것이다. 만약 기존선 고속화가 이루어져 운행속도가 더 빨라진다고 가정했을 때에는 무차원화된 열차풍 최대허용속도가 더 커지는 것을 의미하므로 안전거리를 더 크게 하거나 아니며 새마을호처럼 전두부 형상을 유선형으로 설계하여 안전거리를 변화시키지 않은 채 속도증가를 이룰 수 있을 것이다. 이러한 결론은 고속철도차량의 측정결과를 살펴보면 더 쉽게 이해할 수 있는데, G7 차량과 KTX 차량의 경우는 전두부의 공기역학적인 설계로 인하여 기존선에 비해 훨씬 좋은 열차풍 특성을 갖기 때문에 운행속도가 300km/h에서 350km/h로 기존철도에 비해 훨씬 크지만, 열차풍에 대한 안전거리는 무궁화호와 비슷한 1.2m~1.5m 정도인 것으로 나타났다.

Table 2 Beaufort wind scale

Beaufort Number	Name	Wind speed			Description
		mph	km/h	m/s	
4	moderate breeze	13~18	20~29	6~7	-dust and paper stirring up -leaves swaying
5	fresh breeze	19~24	30~39	8~10	-tree with many leaves swaying, waves of the water surface in inland areas
6	strong breeze	25~31	40~50	11~13	-big tree shaking -the sound of wind in wireline -unable to hold an umbrella
7	moderate gale	32~38	51~61	14~16	-whole tree shaking -difficult to walk toward wind
8	fresh gale	39~46	62~74	17~20	-branch breaking off the tree -hard to walk

Table 3 Maximum permissible speed of train gust according to running speed

Train type	Running speed (km/h)	Maximum permissible speed of train gust( $U_{max}^*$ )	
		Passenger	Worker
Conventional railway vehicle	100	0.402	0.563
G7 Train	300	0.134	0.188
KTX Train	350	0.115	0.161

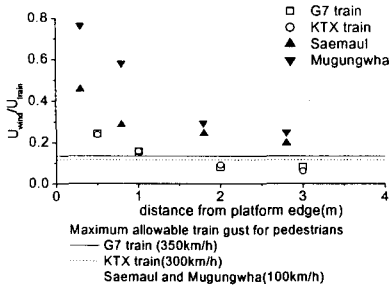


Fig. 10 Maximum wind of train gust on platform ( $U_{max}^*$ ) and safety standards

Table 4 Maximum pressure fluctuation classified by train

Position Train type	$\Delta C_P$	Percent(%)
Saemaul	0.315	40
Mugungwha	0.789	100
G7 Train	0.238	30
KTX Train	0.180	23

Table 4에는 전두부 통과시 발생하는 압력펄스의 무차원 최고압력 변동값을 차량별로 나타내었다. 무궁화호를 기준으로 새마을호는 평균 40%를 나타내고 있어 같은 기존선 차량임에도 불구하고 유선형 전두부로 인하여 압력펄스의 영향이 매우 저감된 것을 알 수 있으며, 고속철도차량인 G7 차량과 KTX 차량은 이보다 더 작은 평균 30%와 23%의 크기를 나타내고 있다.

#### 4. 결론

철도차량이 철도역을 통과할 때 승강장 주위에 미치는 공기역학적 영향을 조사하기 위하여 경부고속선 오송 임시승강장에 유속계와 압력계를 설치하고 총 12편성의 통과열차에 대하여 유속 및 압력변동을 조사하였으며, 고속선의 시험결과를 기존선의 시험결과와 비교하여 다음과 같은 종합적인 결론을 내릴 수 있었다.

(1) G7 차량과 KTX 차량 등 고속철도 차량들은 새마을호와 무궁화호 등 기존선 차량에 비해

더욱 향상된 열차풍 및 압력특성을 보여주고 있으며, 이는 전두부 길이가 길고 유선형이 되도록 공기역학적으로 설계를 하였기 때문으로 보인다.

(2) Beaufort 바람 척도를 이용하여 각 차량의 운행속도에서 승객에 대한 안전거리를 조사한 결과 새마을호와 무궁화호는 운행속도 100km/h에서 각각 0.5m, 1.3m 정도로 나타났으며, G7 차량은 350km/h의 운행속도에서 1.5m, KTX 차량은 300km/h의 운행속도에서 1.2m 정도로 나타났다.

(3) 기존선 철도의 속도증가 및 고속철도의 개통 시 열차풍과 압력변동의 증가로 인하여 안전거리의 증가가 요구되며 차량형상에 따른 승강장 주변 유동장을 정확히 파악하여 이를 결정하여야 할 것이다.

#### 후 기

본 연구는 건설교통부가 주관하는 고속철도기술포발사업의 일환으로 추진되는 “고속철도시스템 신뢰성 및 운영효율화 기술개발” 과제의 연구결과 중 일부임을 밝히며 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) Dong-Hyeon Kim, Hyeok-Bin Kwon, Moon-Shuk Song and Do-Hoon Kim, 2004, "An Experimental Study on the Aerodynamic Effects Generated by a Train Passing near by Platform (Existing Railway Station Field Test)," *Journal of KSCE*
- (2) Gawthorpe, R. G., 1978, "Aerodynamics of Trains in the Open Air," *Aerodynamics in Railway Engineering*, pp. 7-12.
- (3) Peters, J. L., 1983, "Aerodynamics of Very High Speed Trains and Maglev Vehicles :State of the Art and Future Potential," *Int. J. of Vehicle Design*, Special Publication SP3.
- (4) Massachusetts, 1985, "Webster's Ninth New Collegiate Dictionary," *Merriam-Webster Inc.*
- (5) Harvey, Shui-Hong., 1999, "Assessment of Potential Aerodynamic Effects on Personnel and Equipment in Proximity to High-Speed Trains Operations. Report," *DOT/FRA/ORD-99/11*, Federal Railroad Administration.