

# 고속전철의 기밀 거동 해석

## Analysis of the air tightness for high speed train

정병철\*

염경안\*\*

강석택\*\*\*

Jung Byung-Chul Yeom Kyong-An Kang Seok-Taek

---

### Abstract

As the train run through the tunnels, especially at high speed, pressure shock developed by the running train gives the influence on the pressure fluctuation inside the tunnel and consequently, inside the car. This pressure changes and pressure gradient is closely related with the tunnel section, train speed, air tightness of the train, length of the tunnel, etc. This study includes the analysis of the pressure behavior at the varied train speed and tunnel length. The results show that train speed affects the pressure gradient inside the car almost linearly, and that there exist the critical tunnel lengths that gives the maximum value of pressure change and pressure gradient, respectively.

---

### 1. 서론

고속철도가 터널 내부를 고속으로 주행하는 경우 공기의 압축으로 인하여 터널 내부의 압력변동이 발생한다. 이러한 압력변동은 열차 내부로 전달되어 그 압력변동폭과 압력변화율에 따라 운전자와 승객에게 불편감을 주는 이명현상을 일으킨다. 터널 내부의 압력변동에 영향을 미치는 인자로는 차량 속도, 선로간격, 차량 및 터널 단면적, 실내체적, 전두부 형상 등이 있으며, 차량 내부의 압력변동은 차량 내외부의 압력차, 차체의 기밀도, 환기장치의 운영방식 등의 영향을 받는다.

최대속도 350km/h로 운행하는 한국형 고속전철의 경우 개활지에서는 순간적으로 압력이 올라가도 운전실까지 영향을 주지 않아 문제가 되지 않는다. 그러나 터널 운행 시 특히 교행시에는 압력차가 커서 운전자에게 이명현상을 야기할 수 있으며 이러한 현상의 발생여부는 주행 시 차량내부에서의 압력변동량과 압력변동률의 거동과 관련이 있다.

본 연구에서는 프랑스 ALSTOM사에서 제공한 소프트웨어인 TG\_TUN을 이용하여 급배기 환기가 존재하지 않고(환기량 0) 누기조건이 같을 경우를 가정하여, 차량속도와 터널길이 변화에 따른 차량 내외부의 압력변동량과 압력변화율에 대한 해석을 수행하였다.

---

\* ㈜로템 중앙연구소 제품설계2팀, 연구원

\*\* ㈜로템 중앙연구소 제품설계2팀, 주임연구원

\*\*\* ㈜로템 중앙연구소 제품설계2팀, 책임연구원

## 2. 열차운행속도에 따른 기밀해석

고속차량이라 할지라도 항상 최고운행속도로 운행하는 것은 아니기 때문에 일정속도로부터 최고속도까지의 광범위한 속도범위에서의 기밀거동을 해석할 필요가 있다. 본 해석에서의 해석조건은 표. 1에서와 같이 해석대상 터널은 2가지로 하였고 운전실을 기준으로 각 터널을 주행 시 유량제어를 하지 않은 상태를 가정하고, 누기조건에 따른 누설단면적을 동일하게 하여 해석하였다. 표 2에 각각의 속도변화에 따른 운전실 최대 압력변화량과 압력변화율을 해석한 결과를 나타내었고, 그림2~그림4에 결과치를 도시화 하였다.

표1. 차량 및 터널 조건

	TRAIN	TUNNEL
Length (m)	393	2260(No. 5) / 7825(No.32)
Cross Section (m <sup>2</sup> )	8.80	100
Perimeter	11.22	38
Coefficient of friction	0.004	0.0061
Atmospheric Pressure (Pa)	101300	
Temperature (℃)	11	

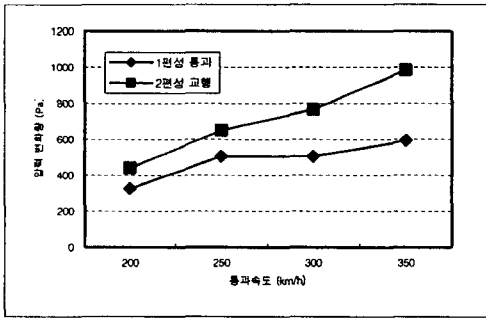


그림1. 통과속도 변화에 따른 압력변화량(No. 5 터널)

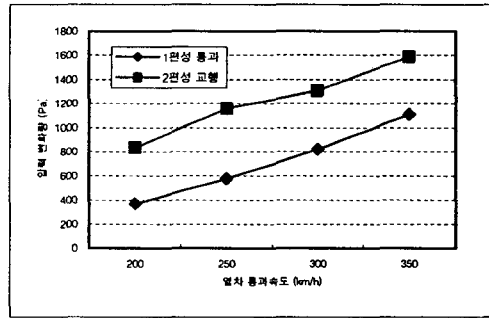


그림2. 통과속도 변화에 따른 압력변화량(No. 32 터널)

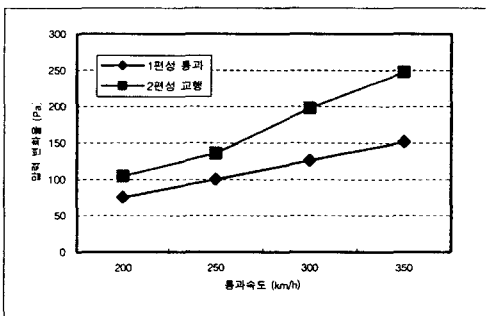


그림3. 통과속도 변화에 따른 압력변화율(No. 5 터널)

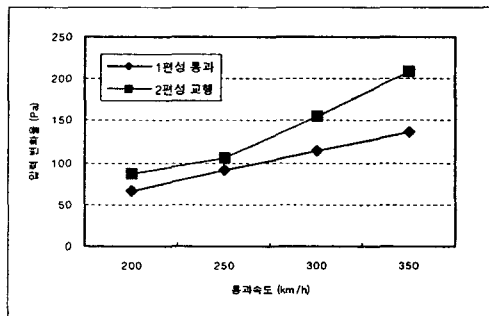


그림4. 통과속도 변화에 따른 압력변화율(No. 32 터널)

표 2. 통과 속도에 따른 실내 압력변화량과 압력변화율

Tunnel	통과속도 (km/h)	1편성 통과시		2편성 교행시	
		$ P_{max} $ , (Pa)	$ dP/dt $ (Pa/s)	$ P_{max} $ , (Pa)	$ dP/dt $ (Pa/s)
No.5	200	327.2	75.6	441.1	104.6
	250	504.2	99.9	650.6	135.4
	300	505.5	125.6	766.9	197.8
	350	594.8	151.7	986.1	247.5
No.32	200	370.2	65.8	831.8	86.5
	250	574.0	90.4	1158.8	104.7
	300	820.7	112.8	1307.1	154.0
	350	1107.2	135.4	1587.0	208.2

No.5 터널의 경우 차량 1편성 통과 시 속도가 200km/h에서 350km/h로 변화할 때 압력변화량은 327.2Pa에서 594.8Pa로, 압력변화율은 75.6Pa/s에서 151.7Pa/s로 각각 증가하였다. 2편성이 교행할 경우에는 압력변화량이 441.1Pa에서 986.1Pa로, 압력변화율은 104.6Pa/s에서 247.5Pa/s로 각각 증가하였다. 또한, No.32 터널의 경우 차량 1편성 통과시 속도가 200km/h에서 350km/h로 변화할 때 압력변화량은 370.2Pa에서 1107.2Pa로, 압력변화율은 65.8Pa/s에서 135.4Pa/s로 각각 증가하였다. 2편성이 교행할 경우에는 압력변화량이 831.8Pa에서 1587Pa로, 압력변화율은 86.5Pa/s에서 208.2Pa/s로 각각 증가하였다. 속도변화에 따른 압력변동값은 속도의 제곱에 비례하는 것으로 알려져 있는 바와 같이 다소 오차가 있지만 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 파악된다. 압력 변동값과 더불어 압력변화율의 값도 승객의 안락함과 긴밀한 관련이 있는데, 열차의 속도증가에 따른 압력변화율의 변화는 대체적으로 선형의 거동을 보이는 결과를 얻을 수 있었다.

차량의 교행여부에 따른 압력변동값이나 변동률의 수치는 문헌에 보고된 바를 찾기가 어려워 본 논문에 해당내용을 추가하고자 한다. 차량의 속도가 증가함에 따라 교행 여부에 따른 압력변동치의 차이는 속도의 비례하는 경향으로 결과가 나타났는데 이러한 결과는 터널의 길이에 따른 결과치를 보아도 같은 결과를 보이고 있음을 알 수 있다. 반면 압력변동률의 경우는 열차의 속도에 관계없이 교행여부에 따라 일정한 차이값을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 터널의 길이에 따른 영향에서도 같은 유사한 결과를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

### 3. 터널길이에 따른 기밀해석

현행 경부고속전철 구간은 최장 19km의 터널을 포함하며, 터널 수 만큼이나 그 길이 또한 다양하다. 본 장에서는 터널의 길이변화에 따른 압력거동을 해석하여 터널의 길이가 차량내부의 압력변화량과 압력변동률에 미치는 영향을 분석하였다. 해석조건은 표1에서의 조건에서 터널의 길이를 변수로 하였고, 이때 차량의 주행속도는 G7 개발차량 최고운행속도인 350km/h로 설정하였다.

표3에서 터널길이에 따른 실내 압력변화량과 압력변화율 값의 해석결과를 나타내었고, 그림5, 그림6에 각각의 수치를 도시화 하였다.

표3. 터널 길이에 따른 실내 압력변화량과 압력변화율(통과속도 350km/h)

터널길이 (m)	1편성 통과시		2편성 교행시	
	$ P_{max} $ , (Pa)	$ dP/dt $ (Pa/s)	$ P_{max} $ , (Pa)	$ dP/dt $ (Pa/s)
500	114.3	104.9	209.6	158.4
1000	317.4	156.1	555.2	241.6
2000	523.4	153.1	909.6	250.2
3000	793.0	148.5	1108.7	241.8
4000	955.1	145.9	1212.6	231.9
5000	1040.0	143.4	1338.4	219.3
6000	1065.2	140.7	1453.4	212.6
7000	1080.1	137.7	1527.3	210.1
8000	1097.8	135.1	1569.5	208.9
9000	1095.2	132.7	1742.3	206.5
10000	1090.0	129.5	1913.3	203.4

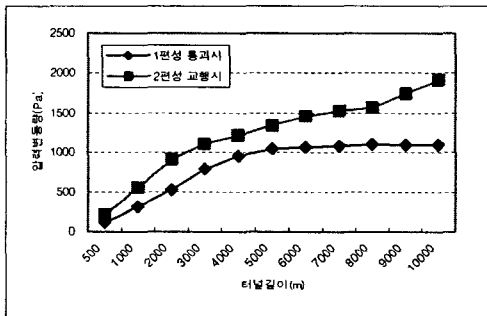


그림5. 터널 길이에 따른 압력변동량 거동

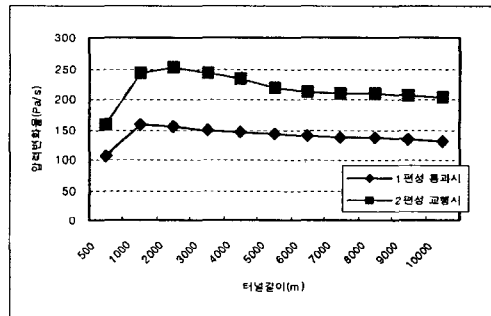


그림6. 터널 길이에 따른 압력변화율 거동

비교행시, 터널의 길이에 따른 압력변동량의 최대값은 일정 터널 길이에 도달하면 더 이상의 증가를 보이지 않는 경향성을 나타냈다. 본 해석 조건에서 (열차속도:350kph)는 4000 ~ 5000 미터 근처에서 최대 압력변동량이 수렴하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 일정 터널길이 까지는 압력과의 변동 양상이 계속 변화다가 그 이후에는 정상상태에 도달하여 차량내부의 압력값의 변화는 크지 않는 경향을 보이는 것을 의미한다. 이러한 경향은 압력변화율의 결과에서도 유사한 결과를 보이고 있는데, 다만 압력변화율의 경우에는 더 짧은 터널길이에서 그 값이 수렴하였다가 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과를 종합하여 볼 때 터널의 길이가 증가함에 따라 초기에는 두 값이 모두 증가하는 구간(이명현상 유발가능성 급격증가)이었다가, 압력변동량만 증가하는 구간 (이명현상 유발가능성 완만한 증가), 압력변화율만 감소하는 구간(이명현상 유발가능성 완만한 감소)의 3구간으로 분류할 수 있음을 본 결과를 토대로 유추할 수 있다.

두 열차의 교행시, 최대 압력변동량과 압력 변화율의 값의 거동을 그림 5,6에 같이 도시하였는데, 압력변동량의 값이 터널길이가 길어짐에 따라서 증가하는 경향을 보이는데, 이러한 결과는

추가적인 연구를 바탕으로 비교행시와 마찬가지로 특정 길이에서 수렴할 것인지에 대한 확인이 필요할 것으로 사료된다. 교행시 터널길이에 따른 압력변화율의 거동은 비교행시와 유사한 결과를 보이고 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 일정한 누기조건을 가지는 고속열차의 터널내 주행 시 열차의 속도, 터널의 길이 및 교행여부가 미치는 실내 압력의 변동값 및 압력변화율에 대한 영향에 대하여 연구하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 터널내 두 편성의 열차가 교행시 실내 압력의 변동량의 절대값은 비 교행시에 비해 속도에 비례하여 증가하며, 실내 압력의 변화율은 차량의 속도에 무관하게 비 교행시에 비해 일정한 값의 차이를 보인다.

- 비교행시, 차량의 실내 압력의 변동값은 터널의 길이에 따라 증가하다가 일정 터널길이에 서 수렴하는 경향을 보이며, 압력변화율은 터널의 길이에 따라 증가하다가 일정 터널길이에 서 수렴하여 점차 감소하는 경향을 보인다. 이러한 결과를 토대로 압력의 변동값과 압력변화율의 함수로 규정되는 이명현상의 유발가능성 정도는 터널의 길이가 증가함에 따라 초기에는 급격히 증가하다가 점차 감소하여 특정 터널길이 이상에서는 오히려 감소하는 경향성을 예측할 수 있다.

#### 참고문헌

1. 최영석, 유경훈(1998년), “고속전철용 환기장치 개발”, 한국생산기술연구원
2. 염한길, 박성제, 고득용(1998년), “고속전철의 압력완화 및 환기기술”, 기계와 재료, 제10권 4호. pp.56-66