

섬식 승강장에서 열차 운행에 의한 지하철 승강장 스크린 도어 풍압 해석

이 명 성,¹ 원 찬 식,² 허 남 건^{*3}

WIND PRESSURE TRANSIENTS ON PLATFORM SCREEN DOOR OF ISLAND PLATFORMS IN A SUBWAY STATION CAUSED BY A PASSING TRAIN

Myungsung Lee,¹ Chan-Shik Won² and Nahmkeon Hur^{*3}

In the present study, the wind pressure transients on platform screen door in island platform caused by a passing train are investigated numerically. The transient compressible 3-D full Navier-Stokes solution is obtained with actual operational condition of subway train and the moving mesh technique adopted for the train movement. To achieve more accurate results, detailed shape of train is included in a computational domain and the entrance and exit tunnel of platform are also modeled. Numerical analyses are conducted on three operational conditions of different velocity variation.

Key Words : 풍압(Wind Pressure), 승강장 스크린 도어(PSD, Platform Screen Door), 섬식 승강장(Island Platforms), 터널(Tunnel), 압축성 유동(Compressible Flow), 전산유체역학(CFD), 이동격자(Moving Mesh)

1. 서 론

근래 국내에 도입되고 있는 승강장 스크린 도어(PSD, Platform Screen Door)는 승강장에서 대기하는 승객에게 불쾌감을 주는 열차풍을 차단하여 보다 쾌적한 역사 환경을 조성하고, 낙상 및 지하철 화재와 같은 인명 사고를 예방하는 등 많은 장점을 가지고 있다. 따라서 보다 안전한 PSD 사용을 위해 PSD 설치에 따른 역사 내 풍압 환경에 대한 평가가 필요함은 당연하며 이에 따라 설계 조건이 안전 기준에 합당하지 검토하여야 한다.

역사 내 풍압 환경을 평가하기 위해 최근에는 실험적 연구와 더불어 전산유체역학(CFD, Computational Fluid Dynamics)을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 역사 내의 복잡한 유동 현상을 해석하고 설계를 개선하는 사례들이 많이 보고되고 있다. 국내에서 CFD가 적용된 연구로는 경부고속철도의 건설과 관련하여 고속 열차가 역사를 통과하는 경우 승객의 안전

과 쾌적성을 위한 역사 내부의 풍압 환경에 관한 연구[1-3]가 수행되어 안전한 역사 환경 설계 자료로 활용되었다. 위 연구에 적용된 수치해석 방법은 상용 프로그램인 STAR-CD[4]에서 지원하는 이동격자(Moving Mesh)기법을 이용하여 움직이는 열차를 모사하고 그에 따라 발생하는 풍압의 변화를 예측하는 것으로 천안·아산 역사에서 고속열차가 300 km/h로 통과할 때 역사 내에서 실험 장치를 이용한 실제 측정 결과와 비교하여 정성적·정량적으로 유사한 결과를 얻었다[5]. 한편 지하철에서 PSD에 작용하는 풍압을 CFD를 이용하여 수치해석한 경우로는 정해권 등[6]이 사직역에서 지하철 운행에 의하여 PSD에 작용하는 압력을 수치 해석하였고, 김정엽 등[7]은 단선 터널 구조의 정거장에서 열차풍이 PSD에 미치는 압력 및 기류 분포를 예측하였다. 또한 이재열 등[8]은 동래역에서 열차가 승강장에 진입한 후 PSD에 미치는 풍압을 유체 유동 해석 프로그램으로 분석하고 도출된 결과를 구조해석 프로그램에 적용하여 구조 안정성 평가를 수행하였다.

하지만 위의 연구들은 해석 격자수와 계산 시간의 문제로 인하여 역사의 진입, 진출 터널의 전 구간이 아닌 일부를 모사하거나 열차를 터널 중앙에서 PSD방향으로 일정 간격으로 이동시키며 반복 계산을 수행하는 2차원 경향 테스트를 병행[6]하여 3차원 해석 결과를 보정하였다. 본 연구에서는 보다

접수일: 2007년 2월 28일, 심사완료일: 2007년 8월 23일.

1 서강대학교 기계공학과 대학원

2 서강대학교 기계공학과

3 종신회원, 서강대학교 기계공학과

* Corresponding author, E-mail: nhur@sogang.ac.kr

신뢰성 있는 수치해석을 위하여 열차의 자세한 형상을 모델링하는 것뿐만 아니라, 다른 역사와 연결되는 전체 터널 구간을 해석 격자에 포함하였다. 또한 실제 운행곡선에 의거하여 열차가 역사에 진입, 진출 그리고 최고 운행속도로 역사를 통과하는 경우로 해석 조건을 구분하여 열차풍에 의해 PSD에 작용되는 풍압을 여러 가지 조건에서 수치 해석하였다. 최종적으로 수치 해석 결과를 검토함으로써 PSD 및 건축마감에 미치는 압력을 구하고 PSD가 설치된 선례의 풍압 조건과 비교하여 설계의 적정성 및 신뢰성을 확보하고자 한다.

2. 수치해석

2.1 해석 대상

본 연구에서는 지하철 2호선 서울대 입구역을 3차원 모델링하였다. 위 역사는 상·하행 열차 노선 사이 중앙에 승강장이 위치하여 상·하행 열차를 승차하기 쉬운 섬식 승강장 구조이다. Fig. 1과 같은 전체 해석 격자 구성 시 역사뿐만 아니라 역사 양끝의 운행 터널도 고려되었다. 역사 설계 도면에 의거하여 승강장의 길이는 210 m이고 터널 효과 및 유동을 충분히 발달시키기 위한 진입 터널과 출구 터널의 길이는 각각 984 m, 1050 m이다. 역사를 운행하는 열차의 길이는 10량으로 길이가 200 m이고, 압력변동에 영향을 미치는 열차의 단면적은 에어컨 형상의 포함 유·무에 따라 각각 12.5 m²와 11.6 m²로서 그에 따른 열차 단면적과 터널 단면적의 비는 54.6%와 50.7%이다. 터널을 지나가는 열차의 단면적의 변화는 PSD에 작용하는 압력에 영향을 미치기 때문에 Fig. 2와 같이 실제적인 열차의 형상을 모사하여 보다 정확한 해석 결과를 도출하였다. 또한 총 해석 격자는 2,800,000개로 열차의 운동을 표현하기 위한 이동격자는 800,000개이고 나머지 부분인 유동장은 2,000,000개이다. 경계조건으로 이전 역과 다음 역을 연결하는 터널 양 끝단은 수치해석의 대상이 되는 이동 열차 이외에 추가적인 열차의 운행이 없는 상태라고 가정하여 대기 압력 조건을 적용하였고, 양 끝단이 아닌 다른 부분은 벽 조건이 적용되었다.

2.2 해석 방법

열차의 운동을 모사하기 위해 이동 격자(Moving Mesh) 방법을 사용하였다. 풍압해석을 위한 열차 운행조건은 총 3가지

Table 1 Cases of train movement

Case	Train movement
1	Train enters the platform as speed is decreased
2	Train leaves the platform as speed is increased
3	Train passes the platform with constant maximum speed

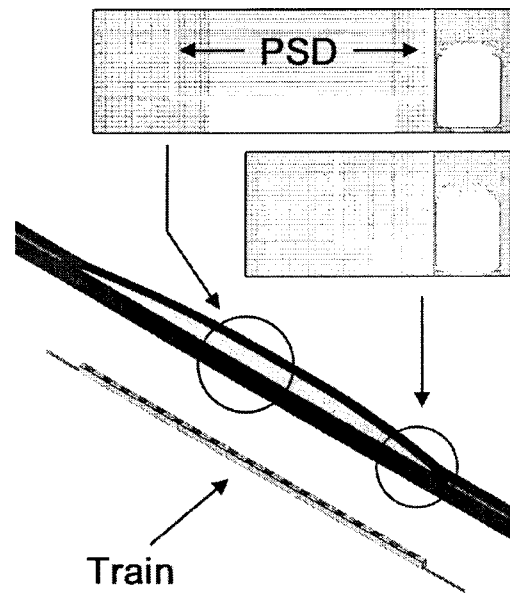


Fig. 1 Cross sectional mesh of computational domain

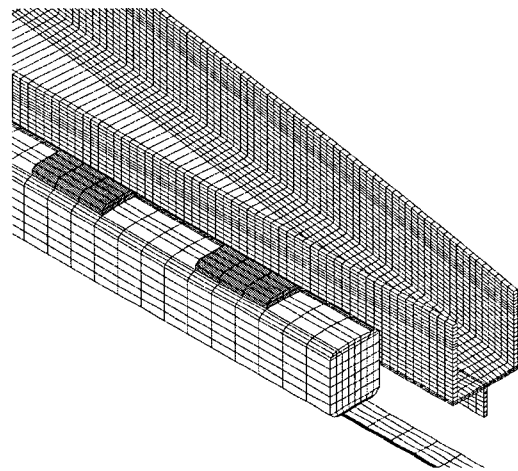


Fig. 2 Detailed mesh for train and platform

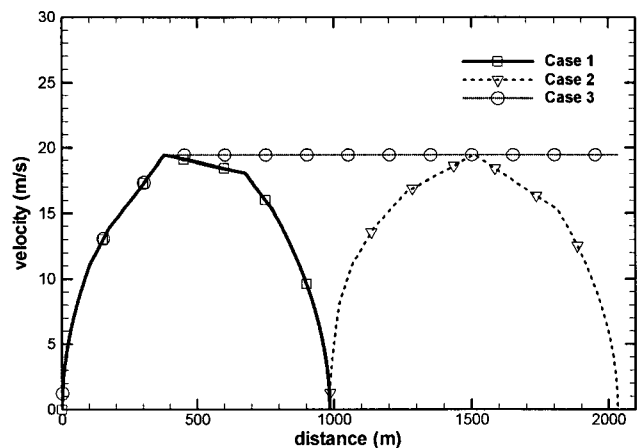


Fig. 3 Train operation curves

로서 역사로 열차가 진입하는 경우(case 1), 역사로부터 진출하는 경우(case 2) 그리고 역사를 최고 운행속도로 통과하는 경우(case 3)이다. 위 해석 조건은 Table 1에 정리하였고, 각각의 해석 조건에 따른 열차 운행 곡선은 Fig. 3과 같다. 그림에서 984~1194 m 지점에 역사가 위치한다. 열차의 움직임을 모사하는 기법 및 계산 방법은 3가지 경우 모두 동일하나 각각의 해석 조건에 따라서 열차의 운행 속도 및 정차, 통과, 출발 등이 달라진다.

열차 운행에 의한 풍압해석은 3차원 압축성 난류 유동으로 가정하여 연구하였다. 일반적인 수치해석 연구에는 시간 및 비용 등의 문제로 비압축성 유동으로 가정하지만, 비압축성 해석은 열차가 진입하는 순간의 압력 변동은 잘 모사하는 반면 시간에 따라 압력이 변하는 유동 현상에 대한 결과는 부정확하므로 본 연구에서는 보다 실제적인 현상을 모사하기 위해 압축성 유동으로 해석을 수행하였다. 개활지에서 고속 전철이 300 km/h로 운행하는 경우에도 마하수가 0.3보다 작기 때문에 비압축성 유동으로 해석하지만 터널이나 역사와 같이 밀폐된 공간에서 열차가 운행되는 경우 피스톤이나 주사기와 같은 효과가 발생하여 압력의 변화가 매우 커지므로 압축성 효과가 고려되어야 한다. 수치해석을 위해서 상용 프로그램인 Star-CD v3.24를 사용했으며, AMD Opteron 250 (2.2GHz) 4 CPU Linux Cluster를 이용하여 Case별로 계산시간은 각각 47, 14, 27 시간이 소요되었다.

3. 결과 및 토의

열차의 운행조건에 따라서 PSD에 작용하는 풍압 변화를 알기 위해 3가지 방법을 사용하였다. 첫 번째는 Fig. 4와 같이 PSD의 양쪽 끝 부분과 가운데 부분을 측정 위치(총 3곳)로 지정하여 시간에 따른 압력 변화가 승강장의 위치에 따라서 어떤 차이가 있는지 비교하였고, 두 번째는 PSD에 작용하는 압력 분포(contours)를 열차의 위치와 함께 시간에 따라서 연속적으로 도시함으로써 역사 내부의 압축과 팽창과로 인해 발생하는 양압과 부압의 위치를 파악하였다. 이때 양압은 열차 측에서 PSD 방향으로 밀어내는 힘을 의미하고, 부압은 열차 측에서 PSD를 당기는 방향의 힘을 나타낸다. 마지막으로 세 번째 방법은 PSD 전체 길이에 대한 압력 변화를 시간에 따라 나타내어 압축과와 팽창과의 생성과 소멸을 표현하였다.

3.1 열차가 진입하는 경우

Fig. 5와 같이 열차가 역사로 진입하면서 0초에서 56초까지 PSD에 압축과로 인한 양압이 주기적으로 발생한다. Fig. 7(a)는 열차가 역사로 들어오기 전까지 PSD에 미치는 압력 분포로서 시간에 따라 압력이 상승한 후 하강하는 것을 볼 수

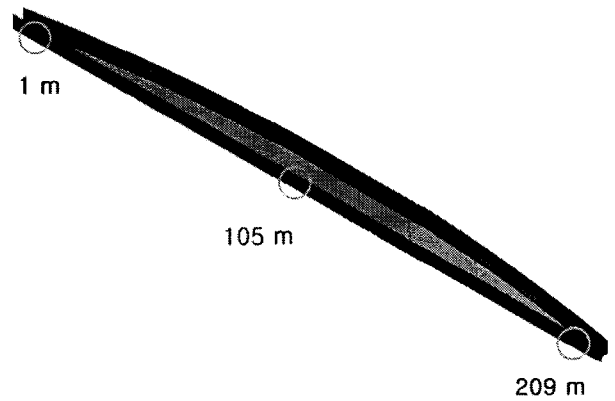


Fig. 4 Pressure measurement positions on PSD

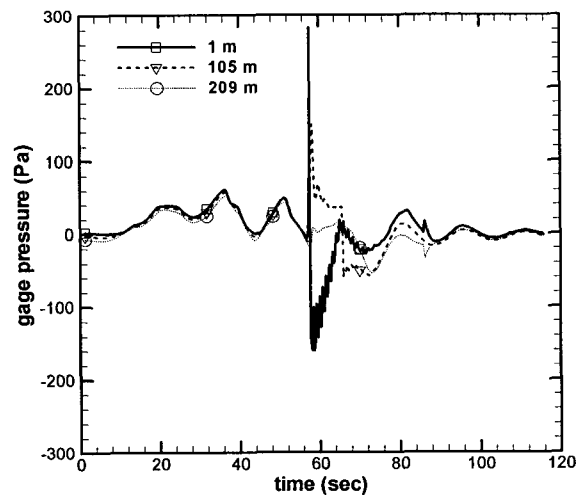


Fig. 5 Pressure transients history at each measurement point on PSD (case 1)

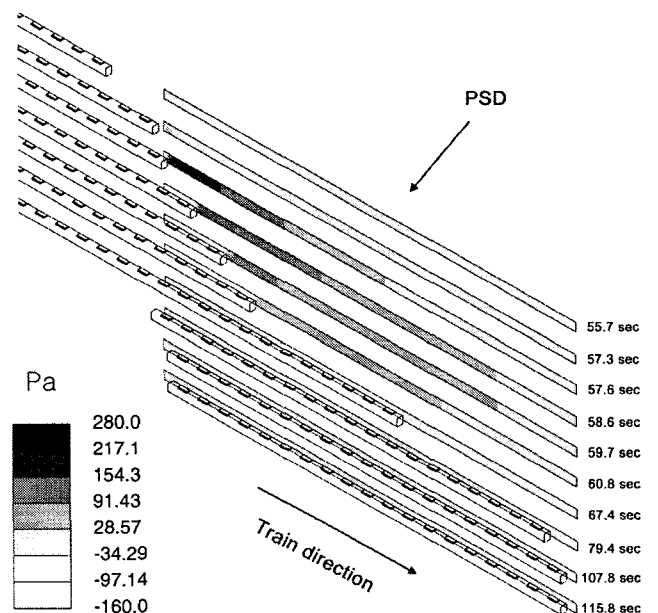
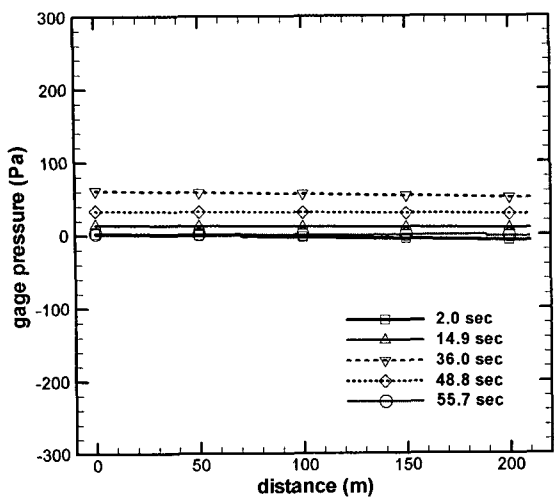
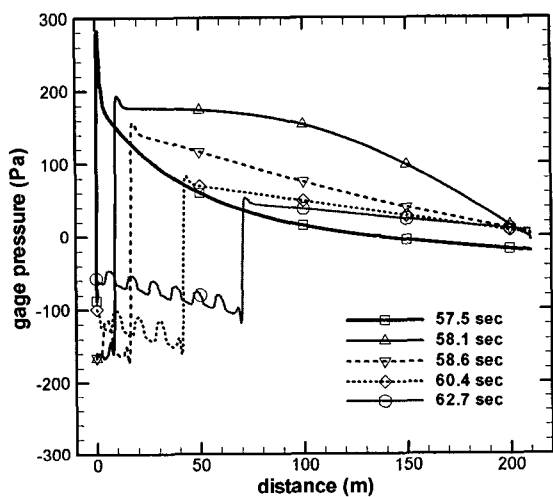


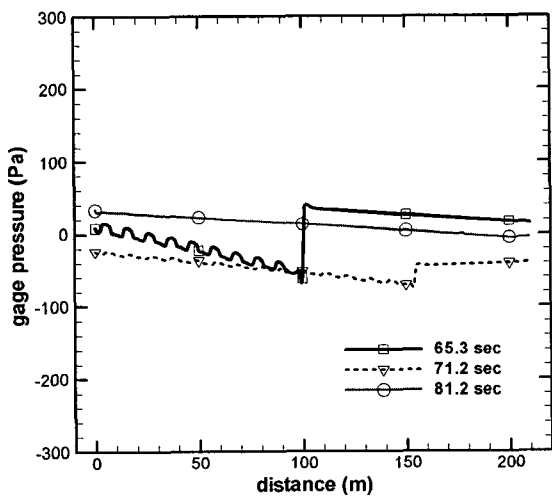
Fig. 6 Pressure distributions on PSD (case 1)



(a) Train approaching toward to station



(b) Train front between the entrance and the 70 m from the entrance



(c) Train front between the half and the exit

Fig. 7 Pressure transients of the train getting stopped (case 1)

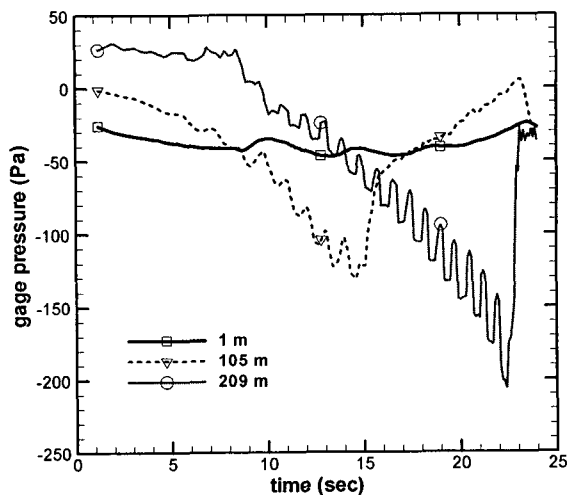


Fig.8 Pressure transients history at each measurement point on PSD (case 2)

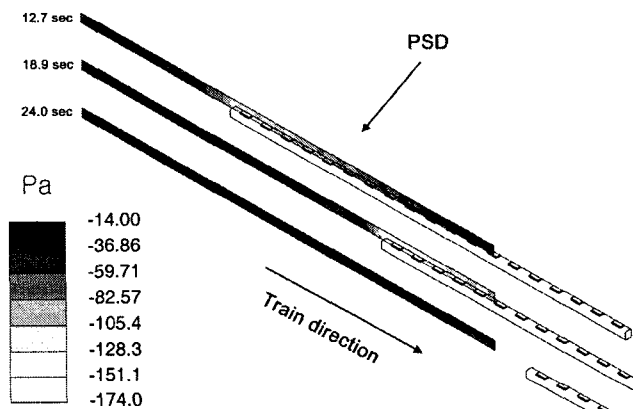


Fig. 9 Pressure distributions on PSD (case 2)

있다. Fig. 6에서 열차 선두가 역사로 진입한 직후인 57.6초에 압축파는 최대가 되어 최대 양압이 역사 입구 부분의 PSD (1 m)에 작용하는 것을 알 수 있다. 역사 입구부분에서 상대적으로 거리가 떨어져 있는 PSD의 가운데 부분(105 m)은 압축파의 영향이 점차 감소되어 양압의 최대값도 줄어든 것을 볼 수 있다. Fig. 5의 각 압력 측정 지점에서 최대 양압 발생 후, 압력이 갑자기 감소하는 현상은 Fig. 6의 59.7 sec의 경우와 같이 열차가 진행함에 따라 열차 선두의 앞부분에서는 양압이 작용하고 열차 선두부의 뒷부분에는 부압이 작용하는 것으로 확인된다. Fig. 7 (b)은 열차가 승강장에 진입한 직후부터 열차의 선두가 승강장 중앙부분까지 위치할 때의 PSD에 작용하는 압력 분포이고 Fig. 7 (c)은 열차 선두부가 승강장 중앙 부분에서 승강장 끝까지 이동하여 열차가 완전히 정지할 때까지 PSD에 작용하는 압력분포이다. Fig. 7 (b)(c)과 같이 열차가 진행함에 따라 양압과 부압은 열차 선두부에서 서로 교차하고, 양압과 부압의 교차점은 점점 승강장 뒤쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다. 열차가 역사에 정지하면서 열차의

속도는 감소하여 주기적으로 변하는 압력도 점차 안정되어 Fig. 5와 같이 100초 이후에는 0 Pa에 가까운 일정한 압력값을 보인다.

3.2 열차가 진출하는 경우

열차의 길이는 200 m이고 승강장의 길이는 210 m이므로 정지한 열차의 선두부와 출구터널 입구는 5 m 떨어져 있다. 일단 열차가 출발하면 Fig. 8의 10초 이전까지는 열차 선두부와 출구 터널 사이의 공기가 압축되어 출구 터널과 가장 가까운 측정위치(209 m)에서 양압이 발생한다. 그리고 열차가 이동하면서 열차 뒷면에 위치하는 에어컨 박스 유닛에 의하여 열차 단면적이 변하면서 PSD에 작용하는 압력이 주기적으로 진동하는 현상이 발생하는 것을 볼 수 있다. 한편 Fig. 8에서 13초일 때 측정 위치 3곳 중 승강장 가운데 부분(105 m)의 부압이 가장 큰 것을 볼 수 있다. 그리고 Fig. 9에서 13초일 때 열차의 후미부는 승강장 가운데 부분에 위치하는 것을 예측할 수 있다. 위 두 가지 사실로부터 열차 후미부 근처의 PSD에는 부압이 가장 크게 작용하는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 9에서 열차가 점점 속도를 증가시키면서 역사를 빠져나갈 때 열차 후미부와 가까운 PSD에 작용하는 부압이 점점 증가하는 것을 확인할 수 있다. 위와 같은 현상은 Fig. 8, 10에서 출구와 가까운 측정위치(209 m)일수록 부압이 증가하는 것을 통해 확인할 수 있다. 한편 Fig. 9에서 열차의 후미부가 지난 뒷 부분의 PSD에 작용하는 압력은 다시 증가하여 부압이 감소하는 것을 볼 수 있고, Fig. 10에서 부압이 감소되어 압력이 증가되기 시작하는 지점은 시간에 따라서 승강장 출구 부분(209 m)으로 이동하는 것을 볼 수 있다.

3.3 열차가 최고 운행속도로 통과하는 경우

Fig. 11에서 알 수 있듯이 최고 운행 속도로 역사를 통과하는 Case 3도 Case 1과 마찬가지로 열차가 역사에 진입하기 전인 56초까지는 역사 내부의 PSD에 압축파로 인하여 주기적인 양압이 발생하고 열차가 역사로 진입한 직후에 압력은 급격히 상승한다. 열차가 이동하면서 전체 PSD 영역 중 열차 선두부의 앞부분에서 최대 양압이 발생하고 선두부가 지난 바로 다음 부분부터는 압력이 급격히 감소하여 부압이 발생한다. 이러한 현상은 Fig. 12의 58.5 초, 62.3 초일 때 압력 분포로 확인된다. Fig. 13은 시간에 따라 PSD 길이 방향에 작용하는 압력분포를 나타낸 것으로 (a)는 열차가 역사로 진입한 순간부터 열차 선두가 역사 길이방향 60 m 지점까지 이동할 때 압력 분포이고 (b)는 열차 선두가 역사 중앙 지점에서 출구까지 진행할 때 압력 분포이고 (c)는 열차가 역사에 완전히 진입한 후에 열차의 후미가 역사 중간까지 진행할 때의 압력 분포이며 (d)는 열차의 후미가 역사 중간에서 역사를 완전히

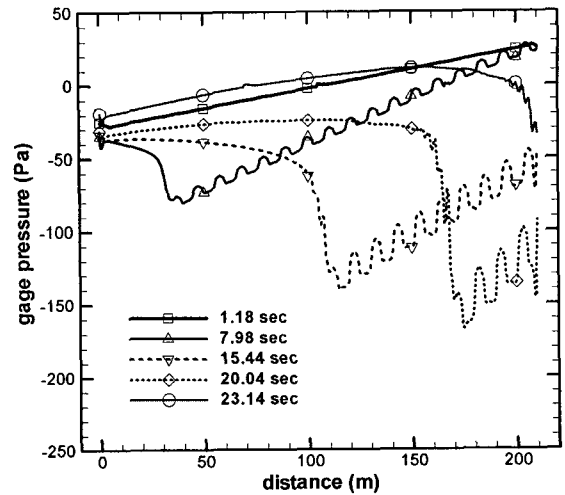


Fig. 10 Pressure transients of the train getting departed (case 2)

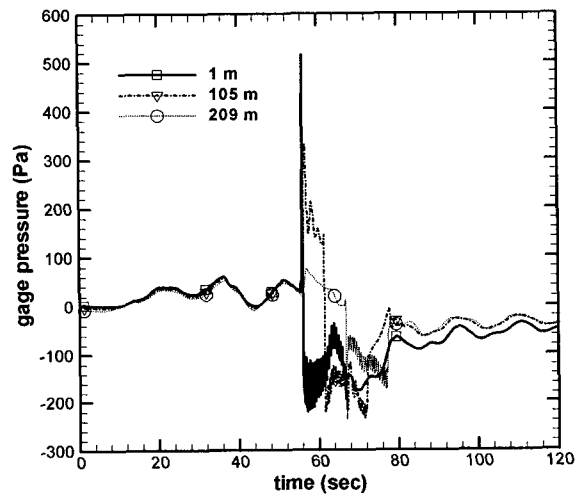


Fig. 11 Pressure transients history at each measurement point on PSD (case 3)

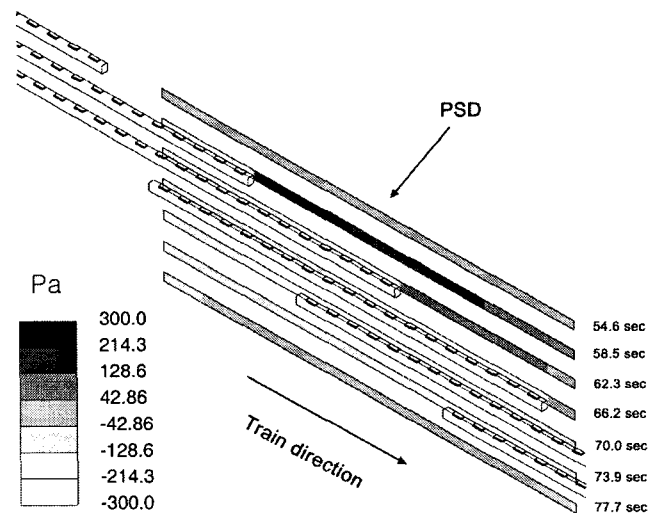
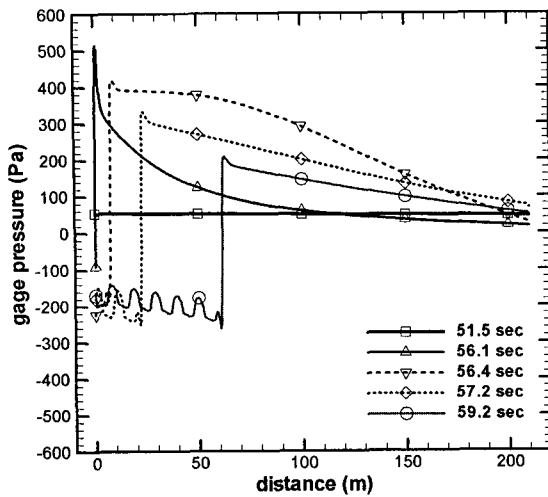
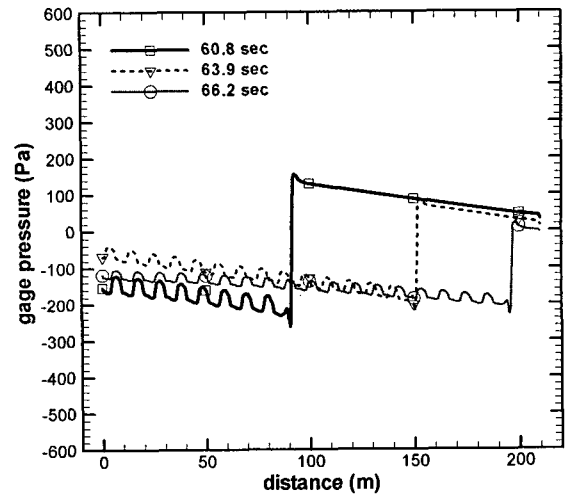


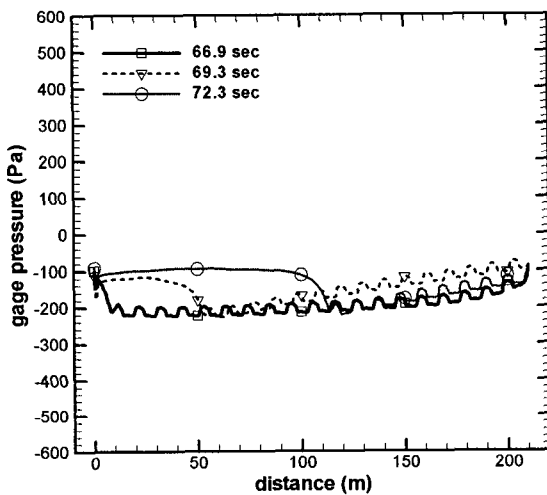
Fig. 12 Pressure distributions on PSD (case 3)



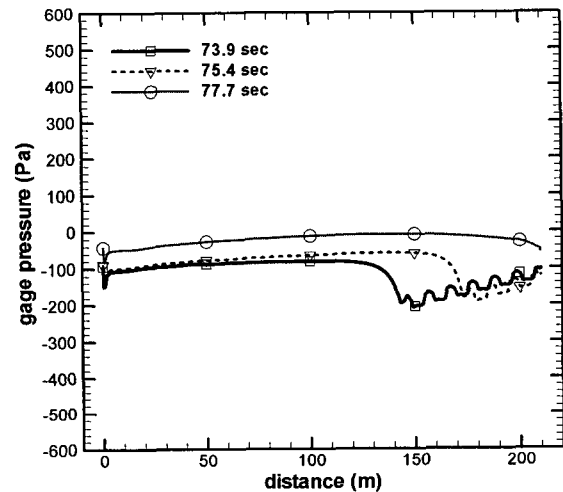
(a) Train front between the entrance and the 60 m from the entrance



(b) Train front between the 90 m from the entrance and the exit



(c) Train rear between the entrance and the 120 m from the entrance



(d) Train rear between the 150 m from the entrance and the exit

Fig. 13 Pressure transients of the train penetrating through the station (case 3)

빠져 나올 때까지의 압력분포를 나타낸다. Fig. 13 (a)(b)에서 열차 선두의 이동에 따라 양압과 부압의 교차되는 것을 확인할 수 있고 양압과 부압의 교차점은 열차의 진행에 따라서 출구 터널 쪽으로 이동된다. 하지만 열차의 속도가 감소되는 Case 1과 달리 Case 3는 열차의 속도가 감소되지 않으므로 Fig. 13 (a)(b)에 나타난 Case 3의 최대 양압과 최대 부압의 차이가 Fig. 7 (b)(c)의 Case 1보다 더 크다. 또한 Case 3의 PSD 영역 길이방향의 압력 분포를 시간에 따라서 나타낸 결과인 Fig. 13은 마치 Case 1과 Case 2를 합친 것 같은 형태를 보인다. Case 1은 압축파의 생성과 소멸을 나타내고 Case 2는 팽창파의 생성과 소멸이 나타난다면 Case 3은 압축파의 생성과 소멸 이후에 팽창파의 생성과 소멸이 이어지는 현상이 나타난다. 이와 같은 현상은 Fig. 7, 10, 13을 통해 확인할 수 있다. 즉 Fig. 13 (a)(b)은 열차의 역사 진입으로 인해 생성된 압

축파가 점차 소멸되는 모습이 보이고, Case 1인 Fig. 7 (b)(c)에서도 진폭의 크기는 다르지만 같은 현상이 나타난다. 그리고 Fig. 13 (c)(d)과 같이 열차가 출구 터널을 통해 빠져 나가면서 팽창파가 발생하고, 후미부가 지나는 바로 다음 지점부터 압력이 상승하는 현상은 Fig. 10과 유사하다. 한편 Fig. 13 (a)(b)과 같이 압축파가 소멸되면서 시간에 따라 양압의 최대값은 뚜렷이 감소하지만 부압의 최대값은 -200 Pa 내외로 변화량이 적은 것을 확인할 수 있다. 또한 열차가 빠져나가면서 발생하는 부압의 최대값도 Fig. 13 (c)과 같이 3곳의 측정위치 모두에서 거의 같은 값인 -200 Pa을 보이고 있다. 이러한 현상은 열차의 속도가 감소하는 Case 1의 경우 부압은 Fig. 7 (b)(c)와 같이 점차 감소하고, 열차의 속도가 증가하는 Case 2의 경우 Fig. 10과 같이 부압이 증가하는 현상과 비교된다. 위와 같이 PSD에 작용하는 부압은 열차의 운행 속도와 관계있

Table 2 Maximum pressure for each cases of train movement

Case	Operating condition	Pressure (kPa)
1	Train enters the platform	-0.16 ~ +0.28
2	Train leaves the platform	-0.20 ~ +0.04
3	Train passes the platform	-0.24 ~ +0.52

Table 3 Foreign standards on the PSD[9]

Title	Pressure (kPa)	Velocity (km/h)	Company
Hong Kong MTRC TKE Line	+1.50 -0.90	80	Nabco
Hong Kong KCRC WR Line	±2.70	120	Nabco
Taiwan Xinzhuang Line	±1.73	80	Nabco
Taiwan Lucho Line	±1.20	80	Nabco
BangKok Blue Line	±0.75	80	Faiveley
Shanghai line No. 4	±0.90	90	Faiveley
LAR MTRC Hong Kong	+1.38 -3.26	110	Faiveley

으며 열차의 속도가 감소할 때 부압은 감소하고, 열차의 속도가 증가하면 부압도 증가하며, 열차가 일정한 운행 속도일 때 부압 역시 일정하게 발생하는 것이 확인되었다. 또한 PSD에 작용하는 압력은 Case 1에서 Fig. 5와 같이 압력 측정 위치마다 한 번씩 불연속적으로 변하지만, Case 3에서는 Fig. 11과 같이 압력 측정 위치마다 두 번씩 불연속적으로 변하는 현상이 관찰되었다. 승강장 가운데 부분(105 m)을 예로 들면 Fig. 11의 62초일 때 압력은 0 Pa에서 -200 Pa로 급격히 감소하였다. 그리고 72초일 때는 -160 Pa에서 -40 Pa로 반대로 증가한 것을 알 수 있다. Fig. 12에서 62초는 승강장 가운데 부분(105 m)을 열차의 선두가 지난 직후이고 72초는 열차의 후미가 지난 직후이다. 즉 PSD 영역 중 선두부가 지나가는 지점에서는 압력이 급격히 감소하고 후미부가 지나가는 지점에서는 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 섬식 승강장 구조인 서울대 입구역을 3차원 모델링하여 3가지 운행 조건에 따라 PSD에 작용하는 풍압을 수치 해석하였다. PSD의 설치로 인하여 차단된 열차 운행으로 내부에서 공기의 압축성 효과로 인한 압축파와 팽창파가 생성, 소멸되어 압축파는 PSD에 양압으로 작용하고, 팽창파는 부압으로 나타나는 것을 확인하였다. Case 1, 2, 3 모두 열차 선두 앞부분의 PSD에서 압축파로 인한 최대 양압이 발생하고 열차 선두부가 지난 곳 이후의 압력은 양압에서 부압으로 바뀌고 두 압력값의 차이는 열차의 속도가 최대인 Case 3에서 최대가 된다. PSD에 작용하는 부압의 최대값은 열차가 점차 감속하는 Case 1의 경우 시간에 따라 점점 감소하였고, 열차가 가속하는 Case 2의 경우 시간에 따라 증가했으며, 일정한

최고 운행 속도로 역사를 통과한 Case 3의 경우에는 그 값이 일정하였다. 이와 같이 PSD에 작용하는 부압의 최대값은 열차의 운행 속도와 관계있음을 예측하였다. 각각의 열차 운행 조건마다 설계 안전의 기준이 되는 양압과 부압의 최대값은 Table 2와 같다. 결과적으로 Table 3과 같이 PSD의 선례 및 풍압조건과 비교해 볼 때 지하철 2호선 PSD의 설치에 대한 설계 및 시공 조건은 설계 안전 기준에 부합되며 적절한 설계가 이루어졌다고 생각된다.

후 기

본 연구는 태창 엔지니어링의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 2001, 허남건, 김사량, “고속전철 열차풍 시뮬레이션,” 설비공학 논문집, 제18권, 제5호, pp.60-78.
- [2] 2001, 조두신, 허남건, 김사량, “한국고속전철(KTX)이 역사를 통과할 때 격벽의 높이에 따른 풍하중의 변화에 대한 수치해석 연구,” 한국전산유체공학회지, 제6권, 제1호, pp.56-62.
- [3] 2004, N. Hur, S. R. Kim, W. Kim and S. Lee, “Wind Pressure Transients in the Tunnel inside a Station Caused by a Passing High Speed Train,” *KSME International Journal*, Vol.18, No.9, pp.1614-1622.
- [4] 2004, STAR-CD Manual, Ver. 3.24, Computational Dynamics Ltd.
- [5] 2002, 허남건, “경부고속철도 신경주역사 신축설계 현장 측정 및 학술연구용역 관련자료 비교검토서,” (주)포스에 이씨 보고서.
- [6] 2004, 정해권, 하만영, 김경천, 전충환, 최호진, 주재천, 문정만, 황성기, “PSD 설치에 따른 지하철 내부 유동장 계산,” *대한기계학회 추계학술대회 논문집*, pp.1430-1435.
- [7] 2001, 김정엽, 신현준, 조정식, “지하철 정거장에서의 열차진입시 열차풍 해석,” *대한설비공학회 하계학술발표회 논문집*, pp.791-795.
- [8] 2006, 이재열, 신광복, 류봉조, 김동현, 이은규, “열차 진입 시 풍압에 의한 완전 밀폐형 승강장 스크린 도어 (PSD) 시스템의 구조 안정성 평가,” *한국철도학회논문집*, 제9권, 제5호, pp.594-600.
- [9] 2006, 허남건, “지하철 2호선 서울대 입구역 열차 운행에 따른 풍압시뮬레이션 해석,” (주)삼중테크 보고서.