

고속전철 천안역사 내부의 풍압연구

원찬식*·김사량**·허남건***

A Study on Wind Pressure inside Cheonan High Speed Train Station

Chan-Shik Won*, Sa Ryang Kim** and N. Hur***

Key Words : Wind Pressure(풍압), High Speed Train(고속전철), Pressure Coefficient(압력계수), Train Station(역사), Passing Train(통과열차)

Abstract

Unlike ordinary train, the HST(High Speed Train) is operated at a very high speed, which may cause pressure transient problems when the HST is passing through a station. In the present study, the wind pressure caused by the passing HST was measured in the Cheonan HST station and compared with the numerical simulations. For the measurement, the HST was passing through the station at speeds of 240 km/h north bound and 150 km/h south bound. MEMS based differential pressure transducers are used to measure pressure variation at various locations in the station. It is shown from the results that measured data are in good agreement with CFD simulation with moving mesh technique for the train movement. With the present validation of CFD simulation, the CFD simulation may effectively aid the design of future HST station.

1. 서론

고속전철은 일반 철도차량과는 다르게 매우 빠른 속도로 운행되므로 중간역을 정차하지 않고 통과하는 경우, 그 빠른 속력에 의한 풍압의 효과로 여러 가지 문제가 야기된다. 즉, 역사의 구조물에 통과열차로 인해 발생한 풍압이 큰 힘을 미쳐 정적, 동적 구조의 안정성에 영향을 미치거나, 또한 승강장에 여객이 서 있을 경우에 불편감 및 안정상의 문제를 야기할 수 있다. 그러므로 이러한 경우 기존의 역에서는 풍압의 영향이 크지 않을 정도로 서행을 하고, 주행속도로 통과하는 새로운 역을 설계할 때에는 풍압의 영향을 충분히 고려하여야 한다. 현재 고속전철이 운행되고 있는 독일, 일본, 프랑스 등의 국가에서는 열차가 역사를 통과할 때 대부분 서행하고 있는 실정인데 반해, 우리나라의 천안 고속전철역은 열차의 운행속도인 270 km/h의 속도로 통과하도록 결정되었으므로, 이 경우 기존의 역사에서 나타나지 않았던 여러 가지 문제가 발생될 수 있어 반드시 실제의 설계형상에 대한 실험 및 수치해석 등이 수행되어 그 결과가 설계시에 고려되어야 한다.

지금까지 통과열차의 풍압에 대한 많은 연구들이 이루어져 왔다. 그러나 아직까지 실제적으로 실험을 통한 측정결과는 전혀 없었으며 수치해석^[1-4]이나 수조, 풍동실험^[2-5]을 통한 결과만이 제시되었다. 따라서 실제 통과열차에 대한 풍압 측정을 통해 수치해석 및 수조, 풍동실험 결과의 검증이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 고속전철이 천안역을 통과할 때 발생하는 열차풍에 의하여 발생하는 풍압을 측정하고 이와 동일한 형상의 모델을 수치해석하여 그 결과와 비교함으로써 현재 건설중인 천안역사에서의 통과 열차에 대한 풍압 특성 기초자료를 제시하고

자 한다. 또한 본 측정 및 수치해석과의 비교를 바탕으로 향후 건설되는 다른 역사에 대하여 실측 없이 수치해석만을 통해 설계상의 안전성 검토할 수 있는 근거를 마련하고자 한다.

2. 압력 측정

2.1 측정 장치

천안역사내 통과 열차에 대한 풍압 측정을 위하여 Fig. 1과 같은 측정 시스템을 구성하였다. 우선 압력 센서를 통해 측정된 압력값은 전압의 형태로 속도계로 측정된 속도는 실제값으로 출력된다. 이 때 출력된 결과 값은 측정 위치에 따라 5~30m 길이의 Shield Data Cable(압력센서) 및 RS 232 C 케이블(속도계)을 통해 컴퓨터와 연결시켰다. 그리고 결과값을 컴퓨터 모니터 화면상에 표시하였으며 동시에 파일로 저장하였다.

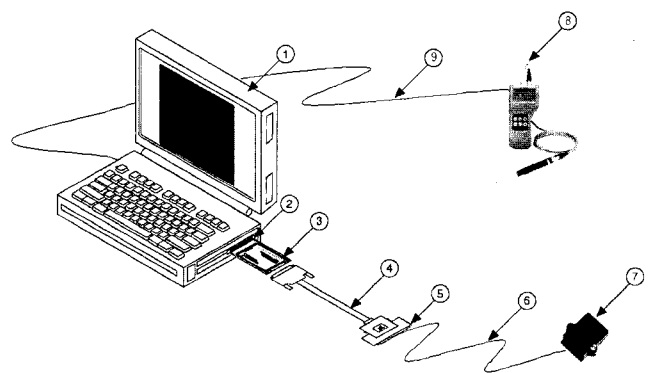


Fig. 1 Schematic diagram of wind pressure & velocity measurement equipments
(① Mobile Computer, ② PCMCIA Socket, ③ DAQCard 1200, ④ I/O Cable ⑤ CB-50 I/O Connector Block ⑥ I/O Signals Cable ⑦ Pressure sensor, PX138-0.3D5V or PX138-001D5V, ⑧ Velocity meter, Climometer Model 6542, ⑨ RS 232 C Cable)

* 서강대학교 기계공학과 대학원, ace@sogang.ac.kr

** 강릉대학교 정밀기계공학과, dearksr@kangnung.ac.kr

*** 서강대학교 기계공학과, nhur@ccs.sogang.ac.kr

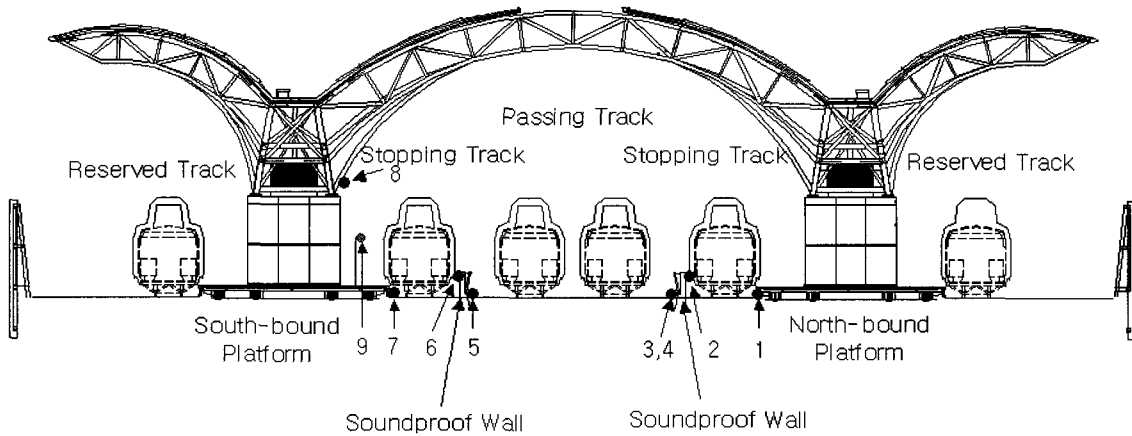


Fig. 2 A section view of Cheonan station & pressure sensor positions (1~8 : pressure measurement, 9: velocity measurement)

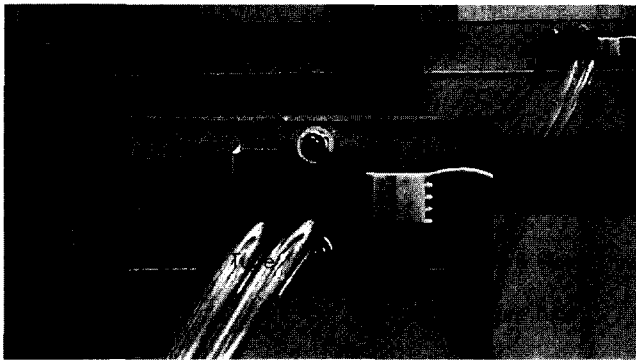


Fig. 3 Installation of pressure sensor (at soundproof wall)

압력 센서

기존의 천안 역사에 대한 수치해석 결과를 살펴보면 열차 후미부와 선두부에서 최소/최대 압력이 발생하며 그 값은 -5000 Pa~5000Pa 이며 이때 역사 승강장 및 지붕 등에서는 -100Pa~100Pa 사이에서 나타남을 확인해 볼 수 있다.^[1] 따라서 이와 같은 압력 조건을 고려하여 본 실험에서는 Omega사에서 제작한 PX138-0.3D5V와 PX138-001D5V 압력 센서^[6] 사용하여 열차 통과시 압력을 측정하였다. MEMS 기술에 의한 압력 센서인 PX138 Series는 차압 측정 장치로서 폭 21.6mm, 높이 27.4 mm, 두께 12.2 mm 그리고 직경 4.8 mm, 길이 14.0 mm인 2개의 압력탭을 가지고 있다. 또한 직류 8 V 가전시 1~6 V의 출력 범위를 가지며, zero balance difference는 3.5 Vdc ± 0.05 Vdc이다. 그리고 각각의 압력 센서는 -2000Pa~2000Pa, -7000Pa~7000Pa의 측정 범위를 갖는다.

Table 1. Pressure sensor position

Sensor Number	Sensor Position	Sensor Measurement Range
1	Platform (North bound)	0.3 psi
2	Soundproof Wall (North bound, stopping track)	0.3 psi
3	Soundproof Wall (North bound, passing track)	1.0 psi
4	Soundproof Wall (North bound, passing track)	0.3 psi
5	Soundproof Wall (South bound, passing track)	1.0 psi
6	Soundproof Wall (South bound, stopping track)	0.3 psi
7	Platform (South bound)	0.3 psi
8	Roof (South bound)	0.3 psi

Data Acquisition

측정된 압력 결과들을 얻기 위하여 National Instruments Corporation의 DAQCard-1200를 사용하였다.^[7] 각각의 카드는 4개의 채널을 통하여 압력을 측정 할 수 있으며 총 2개의 카드를 사용하여 동시에 8.곳의 위치에서 압력을 측정하였다.

속도계

고속전철 통과시 승객에게 미치는 영향을 알아보기 위해서는 풍압뿐만 아니라 승강장에서의 풍속의 측정이 필요하다. 승강장에서의 풍속을 측정하기 위하여 본 실험에서는 Kanomax사의 Climomaster 6542 모델을 이용하였다.^[8] 본 속도계는 무향성으로서 0.01m/s~30m/s의 측정 범위를 갖고 있다.

2.2 측정 장치 설치 및 방법

측정 장비 설치

천안역사 통과 열차의 풍압 측정을 위해서 Fig. 2와 같이 총 8개의 센서를 설치하였다. 설치 위치는 역사의 길이 방향으로 중앙 단면에 설치하였으며 승강장, 방음벽 및 지붕에 각각 설치하였다. 지붕에 설치되는 센서는 실제적으로 통과 열차 상부에 설치하여야 하지만 건설 현장 여건을 고려하여 지붕 측면에 설치하였다. 아울러 각각의 위치에 대한 자세한 설명은 표 1에 나타내었다.

측정 방법

설치된 압력센서의 구성은 Fig. 3과 같다. 압력센서에는 2개의 측정 탭이 부착되어있는데 우선 여러곳의 기준압력 조건을 동일하게 유지하기 위하여 약 3m 정도의 튜브를 이용하여 센서

Table 2. Measurement Cases

CASE	HST Speed (km/h)	HST Direction
N1	240	North bound
S1	150	South bound
N2	240	North bound
S2	150	South bound
N3	240	North bound
S3	150	South bound
S4	150	South bound
N5	240	North bound
S5	150	South bound

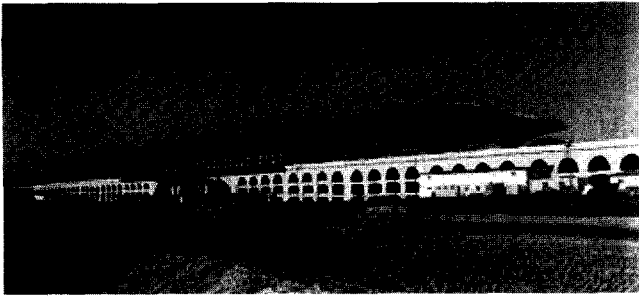


Fig. 4 Perspective view of Cheonan station

의 측정 탭중 한 곳과 연결하였다. 그리고 다른 측정 탭은 아크릴 판의 구멍에 연결하여 정압을 측정하도록 하였다. 아울러 압력 센서를 통해 나오는 시그널은 노트북과 연결하여 결과값을 출력하였다. 시그널은 초당 2000개의 신호를 받게 되었으며 총 8초 동안 측정하였다. 승강장내의 풍속 측정은 속도계를 승강장바닥으로부터 1.5m 높이에 설치하여 열차 진입시 풍속 변화를 측정하였다. 본 측정 실험은 상하행 각 5번씩 총 10회에 걸쳐 수행되었으나 데이터 저장 오류에 의한 한가지 경우(N4)를 제외한 9가지 실험 경우를 표 2에 그 내용을 나타내었다.

3. 수치해석

3.1 해석 대상

천안역을 통과하는 열차의 풍압해석을 위해서 Fig. 4와 같이 건설되고 있는 천안역사 설계도면을 이용하여 계산 격자를 생성하여 Fig. 5에 나타내었으며, 이 때 해석에 사용된 계산 격자의 수는 약 1,000,000개이다. 격자 생성시 역사 및 열차의 길이는 약 400m 정도 되지만 열차의 움직임에 따른 유동이 충분히 발달될 수 있도록 역사 길이 양 끝단에 600m 씩 추가하여 총 1600m의 계산 영역을 형성하였다. 전체 계산 격자의 바깥면에 압력 경계 조건을 주었으며, 열차의 움직임과 함께 이동하는 셀 면에서는 attach 경계 조건을 주었다.

3.2 해석방법

천안역사 통과 열차에 대하여 상용 유동해석 프로그램인 STAR-CD를 이용하여 3차원 비압축성 난류 유동 수치해석을 수

행하였다. 그리고 열차의 움직임을 모사하기 위하여 셀 층의 소거 및 첨가방법(Dynamic Cell-Layer Removal and Addition Method)을 이용하였다. 이 방법은 계산 공간 내의 이동격자가 과도하게 큰 폭을 갖고 변화되는 경우 사용하는데 이런 경우는 시간에 따라 두 개의 서로 다른 형상을 갖는 면 사이에 격자를 없애거나 추가하는 방법을 사용한다. 이 때 추가하거나 소거되는 경계층을 셀 층(Cell-layer)으로 정의하며, 이 셀 층을 생성시키거나 없애도록 STAR-CD Event Module 내의 명령어를 사용하여 그 변수를 바꾸어 가며 셀 층을 재정의 하여 계산을 수행한다. 이 때 셀 층의 움직임에 따라 그 경계는 자동으로 바뀌게 된다.

이와 같은 계산 방법을 고려하여 수치해석은 본 연구실에서 보유하고 있는 Linux Cluster를 사용하여 수행하였으며, 약 24시간 정도의 시간이 소요되었다.

4. 결과

4.1 측정 압력 계수

고속전철이 천안역을 통과할 때 측정된 압력 결과를 이용하여 시간에 따른 압력 계수의 관계를 Fig. 6에 나타내었으며, 각각은 방음벽, 승강장 그리고 지붕에서의 결과 값들이다. 측정 데이터는 고압선에 의한 Noise의 영향을 많이 받았다. 따라서 FFT에 의하여 60 Hz 이상의 Noise 성분은 제거하였으며, 이 데이터를 사용하여 결과를 나타내었다. 그림에서 시간 0은 열차가 측정위치에 진입한 시간이며 시간 1은 열차가 측정위치를 통과한 직후를 나타낸다. 그리고 압력계수와 무차원화된 시간은 다음과 같이 정의된다.

$$Cp = \frac{p - p_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (1)$$

$$t_0 = \frac{t \times U}{l} \quad (2)$$

여기서 Cp 는 압력 계수, p 는 측정 압력, p_{∞} 는 기준 압력, ρ 는 공기 밀도, U 는 고속전철 통과 속도, t_0 는 무차원화된 시

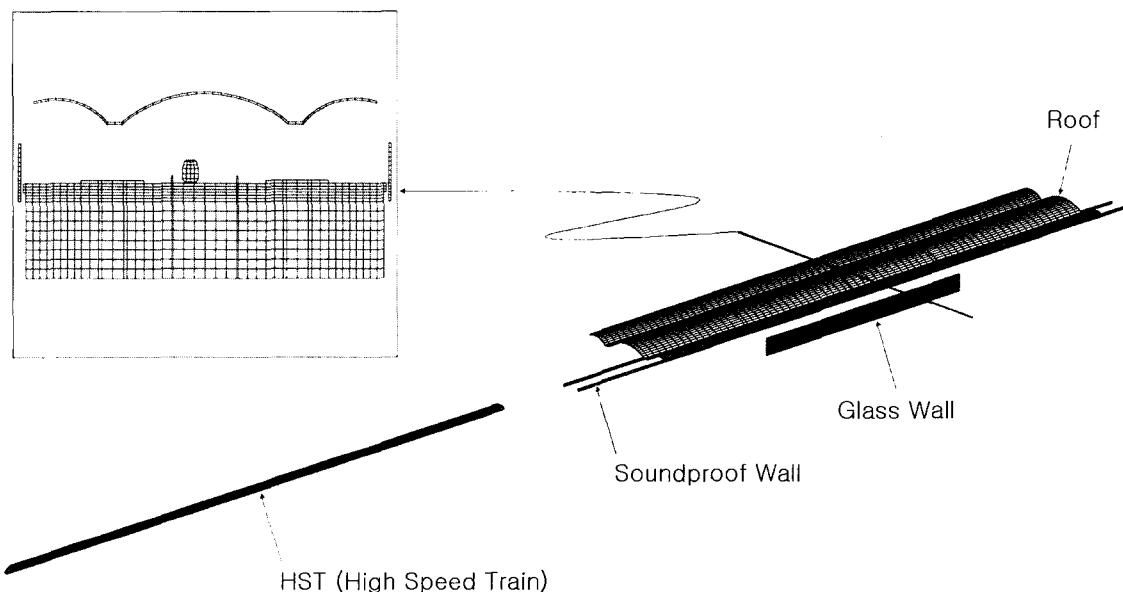


Fig. 5 Computational mesh for passing HST through Cheonan station

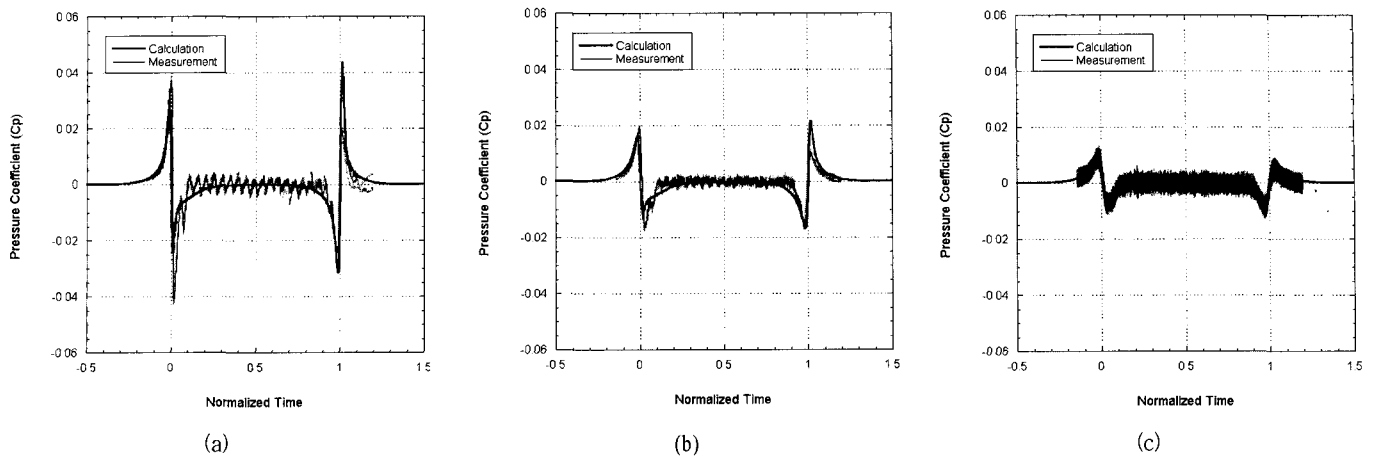


Fig. 6 Comparison of measurement data with numerical calculation (a) at the soundproof wall (b) at the platform (c) at the roof

간, t 는 측정시간 그리고 l 은 고속전철의 길이 (수치계산열차 길이 400m, 실제 측정 열차 길이 388m)이다.

측정된 압력계수 값을 살펴보면 전체적으로 열차의 선두와 후미가 지나갈 때의 압력파를 명확히 볼 수 있다. 그리고 선두부가 지나갈 때의 압력변동이 후미부가 지나갈 때보다 크게 나타남을 알 수 있다. 열차의 바로 뒷 쪽 공간은 항상 부압이 걸리며 열차가 빠져나간 공간을 채울 공기가 열차의 진행방향으로 밀려오며 수반되는 박리현상 등으로 유동 현상이 매우 복잡하며 이러한 영향으로 실제적으로 후미부 통과시 선두부 통과때 보다 약간 작은 압력 변동이 나타난다고 생각되어진다. 각각의 위치 별로 살펴보면 압력계수의 분포 경향성은 일정하나 승강장의 경우 방음벽의 1/2 수준으로 그리고 지붕의 경우 1/4 수준으로 낮게 나타남을 알 수 있다. 승강장의 경우 방음벽의 영향으로 압력계수 값이 상당히 감소하게 되며 지붕에서는 열차와의 거리가 충분히 떨어져 있기 때문이다.^[9]

4.2 압력계수 비교 (측정 결과 & 수치해석)

Fig. 6 (a)~(c)사이에 나타난 수치해석 결과와 측정 실험 결과 비교를 살펴보면 열차의 진출입시 나타나는 압력 변동은 모든 위치에서 대체적으로 잘 일치한다. 하지만 수치계산의 경우 후미부 통과시 압력 변동이 측정값에 비해 크게 예측하고 있다. 이는 앞에서 언급했듯이 수치계산에서 후미부의 복잡한 유동 영향이 약간 적게 반영되었기 때문으로 생각된다. 계산에 사용된 열차는 매끈한 열차인데 반하여 실제 기차의 표면은 창문틀, 객차 연결부 등에 돌출부와 함몰부가 존재하는데 이러한 사항들이 일종의 거친 표면으로 작용할 수 있기 때문이다.

4.3 풍속의 영향

승강장에서 측정된 풍속과 수치계산 결과를 살펴보면 열차 통과시 열차로 인한 풍속은 승강장에 크게 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있다. 실제적으로 천안역사의 구조는 지붕 및 양쪽 측면이 모두 외기와 열려진 상태이기 때문에 통과 열차로 인해 승강장에 미치는 풍속의 영향은 매우 작으며 오히려 환경적, 구조적인 영향이 더욱 크게 작용한다.

5. 결론

본 연구에서는 고속전철 천안역사에서 통과하는 고속전철로

인한 풍압을 측정하여 수치해석 결과와 비교하여 역사내 풍압 특성을 연구하였다. 풍압 측정은 MEMS 기술에 의한 차압 압력 센서를 이용하였으며, 통과 열차 속도 상행 240 km/h, 하행 150 km/h에 대해 역사내 다양한 위치에서 압력값을 측정하였다. 측정 결과는 열차의 움직임을 모사하기 위한 moving mesh 방법을 이용한 수치해석 결과와 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 아울러 본 연구를 통하여 실측정과 수치해석을 비교함으로써 수치해석 결과의 타당성을 검증할 수 있었고, 이는 향후 건설되는 다른 역사에 대하여서도 수치계산이 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 경주역사 설계사인 (주)POS-A.C.를 통한 한국고속철도 건설공단의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] 허남건 등, “경부 고속철도 천안역사 풍압연구 보고서,” 한국고속철도건설공단(1995).
- [2] 허남건 등, “경부 고속철도 제 4-1 공구 역사 설계변경 특별 업무 부문(풍하중연구) 보고서,” 한국고속철도건설공단(1998).
- [3] 허남건 등, “경부 고속철도 남서울역사 신축설계 학술연구용역 최종결과보고서(풍압),” (주)무영종합건축사사무소(1997).
- [4] 허남건 등, “경부 고속철도 대전 통합역사 신축설계 학술연구용역 최종 보고서(풍압),” (주)단우종합건축사사무소(1997).
- [5] 허남건 등, “경부 고속철도 천안역사 풍동 실험 보고서,” 한국고속철도건설공단(1996).
- [6] "PX138 Series pressure Sensors Manual," Omega Engineering, INC.(2001).
- [7] "DAQCard-1200 User Manual," National Instruments Corporation (1996).
- [8] "Kanomax Climomaster Model 6542 取扱説明書," 日本カノマックス株式会社(2002).
- [9] 조두신, 허남건, 김사량, “한국고속전철(KTX)이 역사를 통과할 때 격벽의 높이에 따른 풍하중의 변화에 대한 수치해석 연구,” 한국전산유체공학회지, 제6권, 제1호(2001), pp.56 ~ 62.