

고속철도차량 객차창문의 공기압력내구성 시험장치 개발에 관한 연구

A Study on the Air Pressure Endurance Test Device for High Speed Train Windows

장대성^{1*} · 이 원²

Dae Sung Chang · Won Yi

Abstract All of the Korean high speed train windows have been imported from abroad up to now. In this paper, the air pressure endurance test device for high speed train windows was studied and developed. This test device can create air pressure variation similar to train running real condition and carry out pressure endurance test according to international standard. Henceforward, this test device will be useful for domestic production of high speed train windows.

Keywords : High speed train window, Air pressure variation, Pressure endurance test, Pressure endurance test device

초 록 현재까지 국내에서 운행되고 있는 고속철도차량용 창문은 전량 해외 제품의 수입에 의존하고 있다. 본 연구에서는 고속철도차량의 주행도중에 발생하는 공기 압력 변동 값을 반복적으로 생성시킬 수 있고 국제적으로 통용되는 규격에 부합하는 압력 내구성 시험을 수행할 수 있는 시험기의 개발에 대한 연구를 수행 하였다. 따라서 향후 고속철도차량용 창문유리에 대한 압력 내구성시험기의 연구개발을 통하여 창유리의 국산화에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

주요어 : 고속철도차량용 창문, 공기압력 변동, 압력 내구성 시험, 압력 내구성 시험기

1. 서 론

터널은 열차가 주행 중 가장 큰 압력변동을 받는 곳이며 터널을 고속으로 주행할 때 피스톤 효과에 의한 압력파가 생성되고 발생된 압력이 차체표면에 반복적으로 작용하는 것으로 연구되고 있다[1]. 이때 발생하는 압력파의 크기는 열차의 터널 진입속도, 열차길이, 전두부 형상, 터널길이, 터널과 차량의 단면적 비(Blockage ratio)등에 의하여 결정되는 것으로 알려져 있다[1]. 따라서 본 연구에서는 고속 주행중인 철도차량이 외부로부터 받는 압력 변동량을 반복적으로 생성할 수 있으며 창문유리의 국제적 기준에서 요구하는 시험을 수행할 수 있는 시험장치(압력내구성 시험장치)에 대한 연구개발을 수행하였다. 우선 압력 내구성 시험기의 압력발생장치 시제품을 제작하여 작동방식과 제작성, 소음 진동 등에 대한 전반적인 내용에 대하여 사전 문제점을 파악하고 요구되는 시험기 전체 시스템을 구성한 후 본 제품 개발에 착수 하였다. 개발한 압력 내구성 시험장치를 활용하여 차세대 고속전철용 객차 창문과 준 고속용인 경춘선 차량의 창문에 대하여 각각 국제규격에 따라 시험을 수행하여 창문유리의 안전성 및 시험장비의 성능에 대한 검증이 수

행하였다. 그리고 장대성 등은[2]에서, 본 연구에서 개발된 시험장치를 이용하여 주로 창문에 대한 압력시험을 수행한 논문이며, 본 연구에서는 시험장치 개발에 관한 것이 주요 내용이다.

2. 시험장치 개발

2.1 개발의 목적

2004년에 개통한 KTX에서부터 한국형고속전철 및 KTX-산천에 이르기까지 고속전철용 객차창문에 대해서는 전량을 수입하여 장착 하였으며, 이들 창문에 대한 국내개발이 이루어지지 못한 원인들 중에는 창유리에 대한 각종 시험항목 중에서 압력내구성 시험을 수행할 시험장비가 개발되어있지 않았던 것도 한 원인으로 사료된다. 따라서 고속철도차량용 창문유리에 대한 시험기 가운데 하나인 압력내구성 시험장비의 연구개발을 통하여 창문유리의 국산화에 기여 하고자 함에 그 목적이 있다.

2.2 개발기준 및 시험규격

2.2.1 개발기준

프랑스 및 여타국가와 국내의 고속전철용 창문의 압력내구성 시험기준으로 준용되는 규격은 프랑스의 NFF 31-314[3]이며 최근 국내에서도 철도안전법의 하위 기준으로 제정된

*교신저자 : 우송대학교 철도차량시스템학과
E-mail : dsjang62@wsu.ac.kr

¹우송대학교 철도차량시스템학과

²충실대학교 공과대학 기계공학과

“철도차량 안전기준에 관한 지침”[4]이 있다. 본 연구에서는 상기의 두 가지 규격의 시험을 모두 수행할 수 있는 시험장비를 개발 하고자 하였다.

2.2.2 시험규격

현재 국내에서 적용중인 NFF 31-314 규격의 창문에 대한 압력내구성 시험기준은 Table 1과 같으며 사인파형의 2Hz 주기로 10^6 횟수의 정압 및 부압시험과 직각파형의 0.5Hz로 5×10^4 횟수의 정압 및 부압시험을 수행하여야 한다. 부가되는 정부(+/-)압력값(Estimated pressure)은 열차 주행도중에 창문에 부가되는 최대 및 최소 압력값이며 이는 측정 또는 전산유체해석 등의 방법으로 구한 값을 적용할 수 있다.

Table 1의 기준으로 시험한 창문의 판정기준은 Table 2와 같으며 시험 수행 후 창문과 봉착제(Sealant)등의 파손이 없어야 하고, 영하 50°C 이하에서 이슬점의 발생이 없어야 하며, 봉착제의 치수공차를 만족 하여야 하고, 내구성 시험도중 창문의 변위값이 규정치 이내 이어야 한다.

Table 1 Test type (acc. to NFF 31-314)[3]

Pressure type	Air pressure (Pa)	Signal type	Frequency (Hz)	Load cycles
1	± Estimated pressure	Sinusoidal	2	10^6
2	± Estimated pressure	Rectangular	0.5	5×10^4

Table 2 Test items and criteria (acc. to NFF 31-314)[3]

Items	NFF31-314	Remark
Test items (criteria)	+/-Pressure endurance test (no fracture)	Acc. to vehicle speed etc.
	Dew point test (no dew point, less then -50°C)	-
	Sealant test (acc. to Fig.3 of NFF31-314)	-
	Deflection (within±10mm)[5]	Acc. to pressure difference

2.3 시스템의 구성

시험장비의 전체적인 개념은 Fig. 1과 같이 구성 하였으며 각각의 구성품별 기능은 다음과 같다.

- (1) 제어기(Controller)는 시험기의 On/Off 및 Table 1의 2 Hz와 0.5 Hz등 각종 주기와 반복 횟수에 맞는 시험을 설정 및 선택적으로 작동시킬 수 있다.
- (2) 모터(Motor)는 감속기를 거쳐 압력발생장치에 구동력을 제공한다.
- (3) 감속기(Reduction gear)는 모터의 회전수를 변화시켜 압력발생장치에 필요한 토크를 발생 시킨다. 클러치는 직각파형(Rectangular)의 압력발생을 위하여 구동회전력의 전달과 단절을 반복하는 기능을 수행한다.
- (4) 압력발생장치(Pressure generator)에서는 모터의 회전운

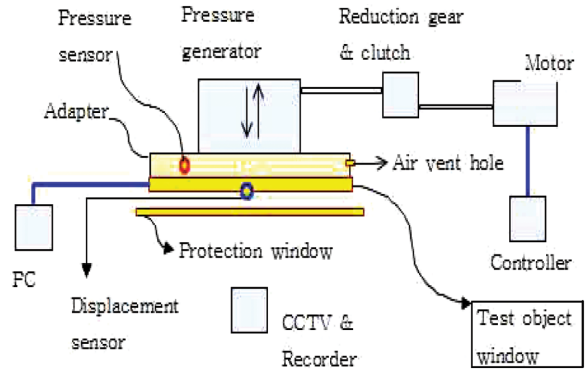


Fig. 1 Concept lay-out of test device

동을 피스톤의 직선운동으로 변환하여 정압과 부압을 생성하며 피스톤의 속도와 공기구멍(Air vent hole)의 크기를 조절하여 시험에 요구되는 공기압력을 생성한다.

- (5) 어댑터(Adapter)는 시험기와 창문이 장착된 곡면차체의 중간에 위치하여 기밀(Air-tightness)기능 및 공기압력 생성을 위한 공간을 제공한다.
- (6) 컴퓨터(PC)는 시험도중의 압력센서와 변위센서의 신호를 받아서 압력값과 창문의 변위값을 계산하여 화면에 표시하고 데이터를 저장한다.
- (7) CCTV & Recorder는 시험도중의 과정 및 만일의 사고를 대비하여 전체 시험 과정을 녹화하는 기능을 수행한다.
- (8) 시험대상 창문(Test object window)은 창문이 취부되는 차체의 일부를 함께 절취 및 장착하여서 시험을 수행한다.
- (9) 안전창문(Protection window)은 시험도중 창문유리의 파손 등의 안전사고를 대비하기 위함이다.
- (10) 공기구멍(Air vent hole)은 피스톤의 왕복운동에 따라 시험기 내 외부로 공기의 출입이 가능하여 정압과 부압을 조절한다.
- (11) 각종 센서류는 시험도중의 압력 및 유리의 변위를 측정한다.

2.4 시험기 제작

2.4.1 시제품 제작

초기에 시험기 제작개념 및 작동방식, 문제점 등을 파악하기 위해 Fig. 2와 같이 유압실린더 작동에 의한 왕복 피스톤타입의 소형 압력발생장치(Pressure generator) 시제품

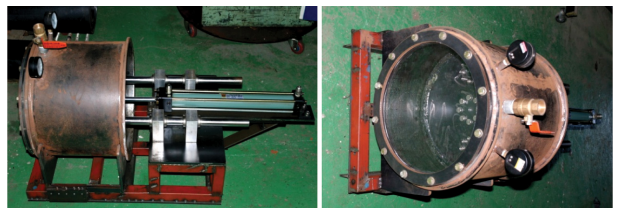


Fig. 2 Prototype of pressure generator(side view & front view)

(Prototype)을 제작하였다. 이를 통하여 소음, 과열, 누기 등에 대한 대책 및 보완 연구가 수행 되었다.

2.4.2 문제점 및 방안 연구

시제품의 작동 과정에서 유압실린더의 과열, 피스톤의 냉각문제, 진동 및 누기 문제 등이 야기 되었으며 이들을 해소하기 위한 주요 대책으로 본 시험장치에서는 다음과 같이 연구 및 적용하였다.

- (1) 동력원을 전기모터로 변경하고 감속기와 클러치를 매개로 하여 내연기관의 엔진과 유사하게, 회전운동을 직선 왕복운동으로 바꾸어서 압력을 발생시키는 Fig. 3과 같은 형상으로 구상 하였다.
- (2) Table 1의 첫 번째 조건(2Hz, 10⁶회)에 대한 사전 시험을 수행하는 과정에서 피스톤과 실린더 벽 사이에서 과열현상이 발생되었으며 기존의 팬을 이용한 강제 냉각 방식과 더불어 자동차엔진의 냉각오일 공급방식을 함께 적용하여 해소 하였다.
- (3) Table 1의 두 번째 조건인 직각파형(Rectangular signal)을 발생시키기 위하여 클러치를 장착 하였으나 지속적인 반복 작동에 따른 클러치의 마모문제가 대두 되었다. 반복적인 작동은 피할 수가 없으므로 일부 재질의 경량화와 회전반경의 축소 등의 방법으로 회전체와 연결된 부위의 회전관성을 축소시켜서 마모문제를 다소 완화 하였다.
- (4) 왕복운동에 따른 진동문제가 발생 하였으며 이는 시험장치의 하부에 완충용 장치를 장착하여 완화 시켰다.
- (5) 피스톤과 실린더 벽 사이에서 누기 현상이 발생 하였으며 이는 Fig. 5의 좌측 아래 작은 그림과 같이 피스톤 헤드에 복수의 링을 장착하고 냉각유를 공급하는 방식으로 해소하였다(Fig. 5의 좌측 그림에서 냉각유 공급용 배관 참조).

2.4.3 본 시험장치 제작

Fig. 3은 제작 전 설계단계에서 모터, 감속기 등 압력발생기의 3-D 설계모델 형상이다. Fig. 5의 좌측 그림은 제작 및 수정 과정 중의 뒷면 모습이고 우측 그림은 전술한 각종 문제점들을 해소한 후 실제 제작된 시험장치의 모습이다. Fig. 5의 우측 그림의 오른쪽이 제어기(Controller)이고 가운데 형상이 시험대상 창문을 시험장치에 장착한 그림이며 왼쪽 그림은 컴퓨터와 CCTV 및 모니터의 모습이다.

Fig. 4는 시험도중 창문의 변위측정용 센서와 압력센서 및 압력발생장치 등의 배치 모습이며 PC 모니터 화면에도 구현하였다[2].

창유리의 변위와 압력 등에 대한 측정값들은 컴퓨터 모니터에 표시 및 저장이 되며 변위값은 순수한 창문유리의 변위를 나타내기 위하여 창문프레임 부위의 변위값을 공제한 아래의 (1)식과 같이 계산된다.

$$S_{in} (\text{내부 변위}) = S_4 - (S_1 + S_2) / 2 \quad (1)$$

$$S_{out} (\text{외부 변위}) = S_3 - (S_1 + S_2) / 2$$

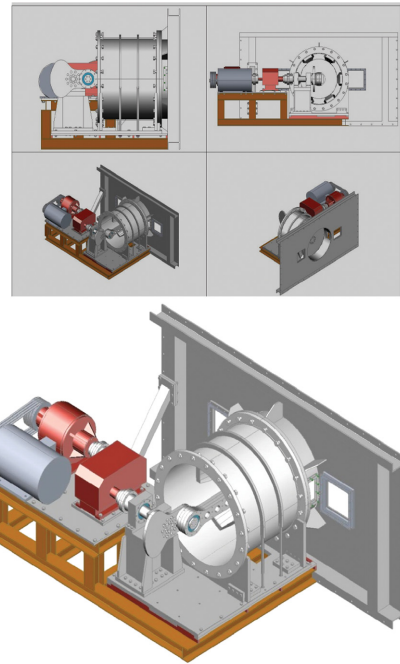


Fig. 3 3D model of test device

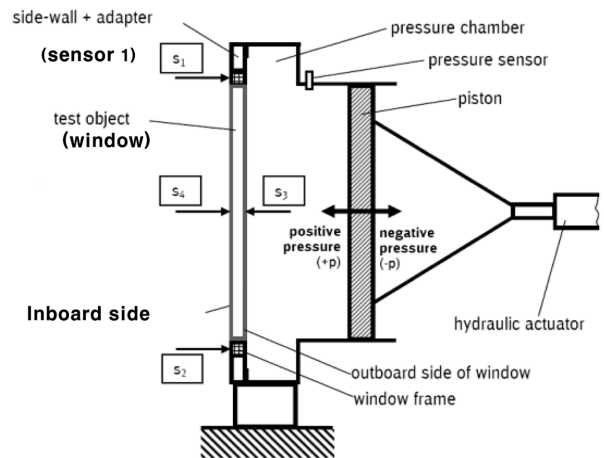


Fig. 4 Lay-out of window, sensors & pressure generator[2]

Table 3의 내용은 시험기에 적용한 변위 및 압력센서의 사양이다.

2.5 시험수행 항목 및 내용

개발된 시험장비를 이용하여 수행이 가능한 시험 항목은 다음과 같으며 각각의 평가기준은 Table 2에 따른다.

- (1) 압력 내구성 시험
전산유체해석 등의 방법으로 도출된 최대 최소 압력값을 Table 1과 Table 2에 따라 주어진 횟수만큼 반복시험을 수행한다.
- (2) 창문유리의 변위값
압력내구성 시험도중 변위센서를 이용하여 창유리의 변위량(S₁~S₄)을 지속적으로 측정 및 기록한다.



Fig. 5 Photograph of test device (left: under construction, right: developed device)

Table 3 Sensor type[2]

Item	Type	Remark
Displacement sensor	GCD-121-250	0,5743mm/V
	WA 20	0,2451mm/V
	TRS 100	8,4361mm/V
Pressure sensor	P3 MBA	50kPa

(3) 봉착재(Sealant) 시험

압력 내구성시험을 종료한 후 유리와 유리 및 유리창과 프레임을 연결하는 봉착재의 변형 정도를 측정하는 시험.

(4) 이슬점(Dew point) 시험

시험대상 유리창문에 대하여 내구성 시험 전후에 영하 50°C 이하에서 이슬점의 발생 유무를 점검하는 시험으로 봉착재의 파손유무를 확인하는 시험이다.

2.6 수행시험 및 고찰

개발된 본 시험장비를 이용하여 차세대고속전철용 객차 창문과 준 고속열차인 경춘선용 객차창문에 대하여 NFF31-314에 따라 압력내구성 시험을 수행해 보았다. 차세대고속전철의 객차 창문에 관해서는 +/-8500Pa의 조건으로 시험을 수행하였고, 경춘선 준 고속전철의 객차 창문에 대해서는 +/-4500Pa의 조건으로 Table 1에 따라 각각 2Hz 주기의 1,000,000회 시험 및 0.5Hz 주기의 50,000회 시험을 수행 하였다[1,2,6,7].

시험 수행 중 사인과 형상의 시험은 Table 1에 정의된 Sinusoidal 형태가 잘 나타난다. 그러나 Rectangular 파형 즉, 직각형태의 압력파형에 대한 구현이 어려웠다. 이것은 압축성 유체인 공기를 매개로 압력을 부가하기 때문인 것으로 사료된다.

그리고 차세대고속전철 시험보고서[6]와 경춘선 시험보고서[7]에서와 같이 시험도중 시험기내에서 발생 된 압력이 부가 하고자 하는 최대최소 압력값을 다소 크게 상회하는 압력값이 생성되었다.

즉 차세대 고속전철용의 경우 +/-8,500Pa이 부가 하고자 하는 압력 기준값[1] 이지만 시험기에서 생성되는 최소 및 최대 압력값은 -11,150Pa에서 +11,060Pa까지 발생 되어서

최대 31%를 상회하는 것으로 나타났으며 이는 경춘선용 시험에서도 유사하게 나타났다.

2.7 시험기 평가

개발한 시험장비를 이용하여 차세대 고속전철 및 경춘선 준 고속열차용 창문에 대한 압력내구성 시험을 수행 하였다. 시험규격에 따른 시험수행은 가능 하였으나 직각 파형의 구현 문제, 클러치의 잦은 마모, 부가 하고자 하는 압력값 보다 다소 과다한 압력발생, 시험조건이 변경될 경우 시험장비의 튜닝에 다소 많은 시간이 걸리는 문제 등에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

3. 결 론

압력내구성 시험장비에 대한 연구개발과정의 수행을 통하여 다음과 같은 결론과 추가적인 보완이 필요한 내용을 얻었다.

- (1) 국내에서는 최초로 국제규격에 따른 고속열차용 창문의 압력내구성 시험을 수행할 수 있는 시험장비를 개발 하였다.
- (2) 개발한 시험기를 활용하여 차세대고속전철 및 경춘선 준 고속열차의 창문에 대한 압력내구성 시험을 수행하여 창문유리의 안전성을 검증할 수 있었다.
- (3) 향후 본 시험장비를 이용한 국제규격에 따른 시험을 통하여 국산 개발 고속열차용 창문의 안전성 검증, 수입대체 및 수출 등에 일조 할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 개발한 장치를 이용하여 시험을 수행해 본 결과 다음과 같은 항목에 대하여 추가적으로 시험 장치의 개선에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.
 - (1) Table 1의 2번째 조건인 직각파형의 구현에 대한 해결방안.
 - (2) 직각파 생성을 위한 클러치의 잦은 단속(Inter-mission)에 따른 내구성(내마모성) 및 진동 문제.
 - (3) 시험 수행 중 목표 값 보다 다소 높은(최대 31%) 압력 값의 발생 문제.
 - (4) 시험도중 시험장비의 공기구멍(Air vent hole)에서 발생하는 소음 감소방안 등.

후 기

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술 평가원에서 위탁 시행한 차세대고속철도기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] H.B. Kwon, D.S. Chang (2010) A study on the window glass pressure for high-speed train, *Journal of the Korean Society for Railway*, 13(4), pp. 371-375.
- [2] D.S. Chang, Won Yi (2011) A study on the Pressure Test of the Glass Window for High Speed Train, *Journal of the Korean*

Society for Railway, 14(5), pp. 391-397.

- [3] AFNOR Standard (1992) NFF31-314 "Railway rolling stock. Insulating glass units".
- [4] Guidance on railway vehicle safety, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs No. 2006-247.
- [5] UIC566OR (1990) "Loadings of coach bodies and their component".
- [6] Kuk young G & M (2011) A report of high efficiency window & frame development.
- [7] Kuk young G & M (2011) A report of kyung chun line 64R window test.

접수일(2012년 2월 16일), 수정일(2012년 3월 2일),
게재확정일(2012년 3월 8일)