고속철도차량용 창문유리의 압력시험에 관한 연구

A study on the Pressure Test of the Glass Window for High Speed Train

장대성[†] · 이 원¹

Dae Sung Chang · Won Yi

Abstract In this paper, the pressure endurance test of passenger train's glass window which was developed for next high speed train was studied. At first, pressure test equipment which will be able to generate the maximum pressure same as crossing case between two trainsets in the tunnel was developed. Afterwards the pressure test and evaluation that are based on NFF31-314 were carried out and studied.

Keywords : Pressure endurance test, Glass window, Pressure test equipment, Crossing

초 록 본 논문에서는 차세대 고속전철에 적용하기 위하여 개발한 객차용 창문의 압력시험에 관하여 연구 하였다. 열차 외부에 가장 큰 압력변동이 발생하는 시점이 터널내부에서 2개편성의 열차가 최고 속도로 서로 교행 해서 지나갈 때이며 이때 발생 가능한 압력값을 부가할 수 있는 시험장비를 개발하여 NFF 31-314의 기준에 따라 시험을 수행하고 평가 하였다.

주요어 : 압력 내구성 시험, 창문, 고속전철, 교행, 압력시험장비

1. 서 론

우리나라에서도 2004년에 고속전철을 개통 하였고, 경부 고속전철의 기술이전을 위한 프랑스 현지에서의 기술연수가 수행 중이던 1996년부터 한국형고속전철 차량개발을 시작 하였다. 그 동안 많은 수의 부품이 국내 기술진에 의해 국산화되어서 차량에 적용 및 운용되고 있다. 그러나 창문유리는 현재까지 해외에서 제작된 제품을 수입하여 장착하고 있는 실정이다. 이는 창유리 제품자체의 제작기술부족 이라고 하기보다는 만든 제품을 제대로 시험할 수 있는 시험장비의 부재라고 하는 것이 옳을 것이다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 개발한 객차용 창문에 대하여 국제규격을 기준으로 시험할 수 있는 시험 장비를 개발하여 현재 개발 중인 차세대 고속전철의 객차창문에 대한 압력 내구성 시험을 수행 하였다. 따라서 앞으로는 우리나라도 고속차량용 창유리 제품에 대한 국제적 인증확보를 통한 수입대체 및 수출도 가능할 것으로 사료된다. NFF 31-314 규격은 프랑스의 TGV series와 KTX 및 KTX-II(산천) 등의 창문 규격으로 준용 되었고, KTX용 창유리는 기 입증품 이라는 이유로 프랑스 제품이 추가시험 없이 장착 되었으며, KTX-II(산천)의 객차 창유리는 이태리에서 제작하고 독일DB(독일 철도청)의 시험장비로 NFF 31-314에 따라 시험을 수행 하였다[4].

현재 300kph 이상의 고속철도 차량용 창문을 Test 할 수

있는 시험기를 보유한 국가는 독일, 일본 및 프랑스 정도로 알려지고 있으나 파악된 기관은 독일 DB 연구소 이다.KTX-II(산천) 시험도중 입수한 독일DB의 시험장면 사진 2장으로 본 시험장비에 대한 연구개발을 시작 하였다.

2. 시험장비 개발 및 시험

2.1 개발 배경

국내외적으로 철도차량의 고속화가 요구되고 있으며 고속전철의 해외시장 진출도 가시화 되고 있다. 따라서 차량 외부소재의 많은 부분을 차지하는 창문유리 또한 국제규격에 걸맞는 시험을 국내에서 독자 수행할 수 있는 압력내구성 Test용 시험장비의 연구개발을 통하여 창유리 기술력 확보 및 외화획득 등의 필요성이 있다고 사료된다.

2.2 시험기의 구성

공기압력 생성 및 부가를 위한 압력내구성 Test용 시험기는 Fig. 1과 같이 구성 하였고, 시험대상인 창문은 Fig. 1의 좌측부분(test object)이며 Fig. 5와 같이 실제차량의 창문취부 구조물의 일부를 직접 절취하여 창문과 함께 시험기에 장착 하였다. Fig. 1의 S1~S4는 유리창의 가로방향 변위측정을 위한 센서이고 상부에 압력측정용 센서를 취부 하였으며 사용된 센서의 종류는 Table 1과 같다. 그리고 정압 및 부압을 발생 시키는 장치인 Hydraulic actuator는 자동차 엔진의 피스톤 작동원리를 참고하여 개발 하였다.

그리고 압력과 변위를 기록하기 위한 컴퓨터, 압력부가 횡수 측정용 Counter, 전체 시험기간 동안의 시험기 작동과정

[†]교신저자 : 우송대학교 철도차량시스템학과
E-mail : dsjang62@wsu.ac.kr

¹숭실대학교 공과대학 기계공학과

Fig. 1 Schematic of test device

Table 1 Sensor type

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

전체를 녹화 위한 CCTV 및 시험 결과 값을 기록하기 위한 Recorder 등으로 구성 하였다.

2.3 시험 및 판정 기준

2.3.1 압력내구성 시험기준

열차의 창문이 가장 큰 압력을 받는 시점이 최고속도인 400km/h로 터널 내부를 상호 교행 할 때 이며 이때 발생 가능한 최고 및 최저의 압력을 Simulation한 결과 값인 $\pm 8,500\text{Pa}$. [1,2]을 Table 2와 같이 Sinusoidal 과 Rectangular 과 형태로 각각 2Hz 및 0.5Hz로 1,000,000회와 50,000회 씩 시험 대상체인 차량의 창문에 부가 한다. 시험의 종류와 판정기

Table 2 Test type(acc. to NFF 31-314) [3]

Pressure type	Air pressure (Pa)	Signal	Frequency (Hz)	Load cycles
1	± 8500	Sinusoidal	2	1,000,000
2	± 8500	Rectangular	0.5	50,000

준은 프랑스 규격인 NFF 31-314에 의거 하였으며 시험기준, 시험조건, 온도조건 및 시험방법 등의 세부내용은 Table 4에 기술 하였다.

2.3.2 판정기준

NFF 31-314에 의거, 시험 종료 후 다음의 조건을 모두 만족 하여야 한다.

- ① 어떤 유리판도 파괴 되어서는 안 된다(유리창의 변위는 $\pm 10\text{mm}$ 이하)[6]
- ② 복층유리의 이슬점은 -50°C 이하여야 한다.
- ③ Fig. 2와 같이 봉착재의 변형 치수에서 봉착재와 공기층 사이를 구분하는 직선의 공차는 최대 2mm 이고 봉착재의 높이(h)는 직선부분과 둥근 단부의 최대공차 0, $+4\text{mm}$ 이다.

2.4 시험기간

시험기 연구개발에 약 16 개월 정도가 소요 되었고, Sinusoidal 시험기간이 약 1달, Rectangular 시험에 약 10일 정도가 소요되어 시료체(창문과 시험기 사이의 공간 확보 및 기밀용 구조체) 제작 및 사전 예비시험을 포함하여 전체 시험 기간은 약 20개월 정도가 소요 되었다.

2.5 시험대상 창문의 구성

Fig. 3 및 Fig. 4는 시험대상 창문의 도면이며 창틀프레임을 기준으로 크기는 $1712\text{mm(L)} \times 764\text{mm(W)} \times 43.78\text{mm(T)}$ 이고 전체 39.04mm 두께의 4겹 접합 복층 강화유리로 구

Fig. 2 Dimension criteria of window sealant [3]

Fig. 3 Drawing of window

Fig. 4 Section drawing of window

Fig. 5 Figure of test device and window

성 하였다.

Fig. 5는 창문과 시험기가 장착된 모습이며 실제차체에 장착된 형태로 시험을 수행 하기 위하여 차체 일부를 절취하여 창문과 함께 장착 하였으며 차체의 곡선부위와 시험기와 의 사이에는 시로체(Adapter)를 장착하여 기밀 및 공기압 형성을 위한 공간으로 사용 하였다.

2.6 시험내용 및 결과

2.6.1 압력내구성시험

시험기의 왕복 피스톤 운동에 의해 발생된 $\pm 8,500\text{Pa}$ 의 공기압을 이용하여 Table 2과 같이 2가지 종류의 압력 내구성 시험을 수행 하였다. 시험수행 도중의 변위 및 압력변화는 Fig. 1과 같은 위치에 Table 1의 센서에 의해 측정하였으며 Table 2에 따른 2Hz 및 0.5Hz 시험 도중의 그래프 사례는 Fig. 6 및 Fig. 7과 같다.

Fig. 6은 2Hz 압력내구성 시험도중 실시간으로 나타나는 모니터상 각종 수치의 한순간을 캡처하여 설명한 그림이다. Fig. 6의 좌측 그림은 시간(가로축) 진행에 따른 압력(세로축)의 변화를 나타내며 가운데 그림은 센서별 변화량을 표시하고 우측은 최대 및 최소압력 일때의 센서별 변위량을 표시 하고 있다.

Fig. 7은 0.5Hz 압력내구성 시험도중의 모니터 화면그림이며 화면 구성은 Fig. 6과 동일하다. 압력에 의한 유리의 변위량 계산은 Fig. 1에서와 같이 장착된 4개의 변위센서 ($S_1 \sim S_4$)로 측정하여 다음과 같이 자동 계산을 수행 하였다.

- 내부 변위량: $\text{Sinboard} = S_4 - 1/2(S_1 + S_2)$
- 외부 변위량: $\text{Soutboard} = S_3 - 1/2(S_1 + S_2)$

측정결과 최대변위는 Table 3과 같이 $-8,500\text{Pa}$ 의 부압이 가해질 때이며(실제 측정된 압력값은 $10,290\text{Pa}$) 이때 외부 측 유리창에서 2.48mm 정도 발생 하였다. 정압이 가해질 경우에는 유리창의 중간 공기층이 일부 변위를 흡수하여서 부압의 경우에 더 큰 변위가 발생하는 것으로 사료된다. 그리고 실제 차량에서는 차량실내의 기밀설계에 의하여 이 값 보다 더 작은 값이 될 것으로 사료 된다.

Fig. 6 2Hz Test(Sample)

Fig. 7 0.5Hz Test(Sample)

2.6.2 이슬점 시험(Dew point test)

이는 압력 내구성 시험의 수행 전후에, 영하 50 이하에서 복층유리 내부의 이슬점 발생 유무를 확인 함으로써, 복층 유리 봉착재의 파손 여부를 알기 위한 시험이다. Fig. 8 및 Fig. 9는 각각 압력내구성 시험 전후의 이슬점 시험 수행사진 이며 냉각재와 온도계가 장착된 장치를 이용하여 시험을 수행 하였으며 영하 70°C에서 시험결과 이슬점의 발생은 없었다. Fig. 9는 압력시험 수행 후 24시간이 경과한 다음 시험한 그림이다.

2.6.3 봉착재 시험(Window sealant test)

압력내구성 시험 종료 후 창문내부의 봉착재(sealant) 변

Fig. 8 Under dew point test 1

형 상태를 Fig. 10 및 Fig. 11과 같이 직선부 및 곡선부위를 측정한 결과 봉착재의 변형상태가 모두 1mm 이하로 Fig. 2의 기준을 만족 하였다. 20cm 자를 이용한 육안검사 후 별도의 세부측정 및 기록은 수행하지 않았다.

2.7 NFF31-314의 기준 및 해외시험 사례와 비교연구

2.7.1 시험기준 및 시험내용 비교

Table 4에서는 창문의 압력내구성 시험 등에 대한 NFF31-314 규격과 KTX-산천 창문의 독일DB 시험 및 본 연구와

Table 3 Deflection value of window

Nominal pressure P in Pa	Measured pressure P in Pa (Max)	Maximum deflection in mm					
		Measurement point					
		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S _{inboard}	S _{outboard}
-8500	-10290	-0.615	-0.54	-3.058	-1.918	-1.3405	-2.4805
+ 8500	+9660	0.886	1.212	1.895	2.142	1.093	0.846

Fig. 9 Under dew point test 2 (-70°C)

Fig. 11 Sealant test of round area

Fig. 10 Sealant test of horizontal part

의 시험항목, 시험방법, 시험기준, 창문의 구속조건, 온도조건, 창문의 장착방법 및 압력을 부가하는 방향 등에 대한 비교를 기술 하였다 Table 4에서와 같이 여타 내용은 유사하

나 NF규격과 본시험과의 차이점으로 창문장착과 구속방법 및 압력을 부가하는 방향의 차이가 있다.

② 창문구속 방법에서 NF규격에서는 10mm 두께의 철판에 고정하여 창유리와 프레임 간의 상대변위를 없도록 하기 위함(프레임 완전구속)으로 보이며 본 시험과 독일DB 시험에서는 창문이 취부되는 실제 차체의 일부를 시험기에 고정하고 프레임과 유리의 상대변위를 고려하는 방법을 사용 하였다. 변위측정을 위한 결과값은 동일하지만 본 시험에서의 방법이 좀더 실제 주행조건과 유사한 방법이라고 사료된다.

③ 압력을 부가하는 방향에서 NF규격에서는 유리창을 수평으로 설치하고 수직상하방향으로 부가하는 방법을 제안하고 있다. 그러나 본 연구에서는 하부공간의 부족 및 시험기의유지보수 문제 등을 고려하여 독일DB 시험과 같이 수평방향으로 압력을 부가하고 유리창을 수직으로 설치하는 방향으로 수행 하였다. 방향에 따른 하중조건은 대동소이 할 것으로 사료된다.

Table 4 Comparison table NFF31-314 with DB test & present paper

Items	NFF31-314	Germany DB test (KTX-II)	Present paper	Remark
Test items (criteria)	+/-Pressure endurance test (no fracture)	+/- 8000Pa (no fracture)	+/- 8500Pa (no fracture)	Acc. to vehicle speed
	Dew point test (less then -50°C)	No condensing	No condensing (less then -70°C)	-
	Sealant test (acc. to Fig.2)	Passed	Passed	-
	Deflection (below±10mm)[6]	2mm Max. (passed)	2.48mm Max. (passed)	Acc. to pressure difference
Test method	By pressure device	By pressure device	By pressure device	Similar with NF std.
Temp. condition	Keep temp.(23±2°C) for 24h. after pressure test	Same	Same	-
Inspections before & after test	Dew point(below-50°C), Sealant(acc. to Fig. 2)	Passed	Passed	-
Window constraint	By steel plate(10mm thick)	With carbody	With carbody	Different from NF std.
Window mounting	Horizontal	Vertical	Vertical	Different from NF std.
Pressure direction	Vertical	Horizontal	Horizontal	Different from NF std.

Table 5 Test condition & result for KTX-II(Sancheon) window

Window spec.	Tempered glass 4-layer, 1660mm(W) × 764mm(L) × 37.28mm(T)		For KTX-II
Pressure condition	± 8000(Pa)		350kph Vehicle speed
Test standard	NFF31-314		
Test result	Visual	No fracture	
	Displacement	S _{in} : -1.7mm S _{out} : -2.0mm	Criteria: ± 10mm
	Dew point	Not appearance at(-50°C)	
	Sealant	Passed

Fig. 12 Test set-up picture of KTX-II at DB

2.7.2 KTX-II(산천) 유리창 시험내용[4]

Table 5는 2008년 3월 독일 Minden에 위치한 DB 연구소에서 KTX-II(산천) 유리창에 대한 시험내용이며 복층 접합 유리의 구성은 본 시험대상과 동일하고 크기와 두께는 다소 작다. NFF31-314를 기준으로 시험을 수행하였고 350km/h로 터널내 교행시 발생할 것으로 예측한 ±8000Pa 크기의 압력으로 Table 2의 조건에 따라 시험한 결과 외부유리의 최대변위 2mm 발생 등 2.3.2항의 기준에 만족함을 나타내고 있다. Fig. 12는 DB 연구소에서 시험장치와 KTX-II(산천) 창문의 설치 모습이다. 여기서도 차체와 유리창이 장착된 상태로 시험을 수행 하였으며, 가운데의 어댑터(adapter)가 본 연구의 시료체 역할을 하는 것으로 보인다. 그리고 좌측부분의 압력발생장치가 어댑터와 볼팅으로 체결되어 있으며 전체적으로 시험기 구성 및 창문과 시험장치간의 취부 형태도 본 연구와 유사하다.

2.7.3 본 연구와의 비교

본 연구 결과와 DB에서의 시험 결과에서 대상 유리창은 모두 안전 하였으며 다음과 같은 유사점과 차이점이 있었다.

- ① 부가압력의 차이, 즉 KTX II(산천)은 350km/h에서의 발생 압력값을 시뮬레이션 하여서 도출 하였고, 본 연구에서의 압력값은 400km/h로 터널에서의 교행시 압력값을 시뮬레이션 하여서 도출 하였다.
- ② 시험 도중의 유리창 변위량은 유사하며 이는 본 연구에서의 부가 압력값이 증가한 만큼 유리 두께도 증가하여

서 비슷한 변위량을 나타내는 것으로 사료된다.특이점으로는 내부측 유리의 변위량은 KTX-II(산천)이 좀더 큰 값으로 나타났다. 이는 KTX-II(산천)의 유리두께가 조금더 얇은 것이 원인으로 사료된다.

3. 결론 및 향후 내용

3.1 결론

본 시험에서는 3가지 기준, 즉 압력 내구성 시험 후 유리의 파손이 없어야 하고 영하 50°C 이하에서 이슬점의 발생이 없어야 하며 봉착재의 기준치수를 만족 하여야 한다. NFF 31-314 규격에 의거한 시험 방법과 시험 기준에 따라 수행한 결과, Table 2와 같이 2가지의 압력에 의한 내구성 시험과 이슬점 기준 및 봉착재 치수기준을 모두 만족하였다. 그리고 시험의 신뢰성 확보와 유사시의 문제점 파악을 위하여 시험진행 전체과정을 CCTV로 기록 하였다. 따라서 향후 각종 국내외 Project에 사용될 철도차량용 창문유리의 압력내구성 시험이 국내에서도 가능 할 것으로 사료 된다.

3.2 향후 연구필요 내용

시험도중 장비의 고장으로 인한 애로사항이 수 차례 있었기에 장비 자체의 내구성 문제 또한 개선 해야 할 사항으로 사료된다. 그리고 차세대고속전철을 제작하여 운행할 때 실차의 객실에서 직접 작용압력의 크기와 창유리의 변위량을 측정하여 본 연구내용과 비교할 필요성이 있다고 사료 된다.

후 기

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 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] H.B. Kwon, D.S. Chang (2009) A study on the strength

requirement of the window glass for high-speed train, *Journal of the Korean Society for Railway autumn Conference of the Korean Society for Railway*, Jeju, pp. 2618-2624.

- [3] AFNOR Standard (1992) NFF31-314 "Railway rolling stock. Insulating glass units".
- [4] DB (2008) "Fatigue testing of a side window manufactured by Sessa Klein S.p.A. for the KTX II project in accordance with NF F 31-314".

- [5] ROTEM (2009) Vehicle system specification of next generation high speed train.

- [6] UIC566OR(1990) "Loadings of coach bodies and their component".

접수일(2011년 8월 16일), 수정일(2011년 9월 9일),
게재확정일(2011년 9월 15일)