Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 21, No. 12 pp. 782-789, 2020

https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.12.782
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

철도차량 기후환경시험을 위한 국제 규격(UIC, EN, IEC) 및 국내 규격(시험방법) 분석 및 고찰

장용준[1*], 정종덕[2], 이재천[2]
[1]한국철도기술연구원 미래혁신전략실, [2]한국철도기술연구원 교통환경연구팀

Analysis and Investigation of International(UIC, EN, IEC) and Domestic Standards(Test Methods) for Climatic Wind Tunnel Test of Rolling Stock

Yong-Jun Jang[1*], Jong-Duk Chung[2], Jae-Cheon Lee[2]
[1]Division of Future Innovation Strategy, Korea Railroad Research Institute
[2]Transportation Environmental Research Team, Korea Railroad Research Institute

요 약 국내에서 제작되는 철도차량의 해외 시장 개척을 위하여 다양한 기후환경에서도 최고의 성능을 유지하기 위한 철도차량의 기술개발이 시급하다. 본 연구에서는 혹독한 기후환경시험 모사 시스템 구축에 필수적으로 적용되어야 할 국제·국내 규격을 조사 및 비교 분석하였으며, 국내 규격의 향상 방안을 고찰하였다. 기후환경시험 풍동내에서 풍속 및 온도 규정은 UIC, EN 및 IEC 규격에 규정되어 있으며, EN 50125-1에서 가장 큰 풍속인 180km/h까지 시험하도록 되어있다. 극저온 시험은 UIC 및 EN 규격에서 가장 낮은 온도 -45℃를 제시하고 있으며, IEC 62498-1에서 55℃까지의 고온시험을 규정하고 있다. 태양광 복사 시험은 UIC, EN, IEC 규격에서 최대 1200W/m2 복사 강도까지 규정되어 있다. 강우시험은 IEC, EN 및 KS R 9145 규격에서 규정하고 있으며 살수량, 살수 압력 및 살수방법 등에서 차이점이 있다. 강설시험의 경우는 국내외적으로 상세히 규정되어 있지 않다. 여압 시험은 KRTS-VE-Part31 국내 기준에서 규정되어 있다. 고속 철도차량 기밀시험은 UIC 660 및 779-11에서 객실내 압력 변화율 규정이 있으며 차량 기밀도가 규정되어 있다. 국내 규격에서는 풍속에 대한 규정은 매우 미비하며, 태양광 복사 시험 및 강설 시험 규격은 존재하지 않는다. 철저한 기후환경 시험을 위하여 국내 철도 완성차 관련 기술기준 및 시험 규격을 국제수준으로 향상시킬 필요가 있는 것으로 판단된다.

Abstract The demand for the development of rolling stock technology to maintain the best performance in various climatic environments has increased to expand the overseas market of rolling stock. In this study, international and domestic standards that must be applied to build a harsh climatic environment test system were investigated and compared. The way of improvement for domestic standards is proposed. The wind velocities and temperatures are specified in the UIC, EN, and IEC standards for climatic wind tunnel, and EN 50125-1 provides the velocity test up to 180km/h, the largest wind speed. UIC and EN provide the lowest temperature of -45℃, and IEC 62498-1 provides the highest temperature 55℃. The solar radiation test was specified up to 1200W/m2 in the UIC, EN, and IEC. The IEC, EN, and KS R 9145 provide the water tightness standards, which are different from each other in water capacity, pressure, and methods. The snow test method was not well specified. KRTS-VE-Part 31 provides pressurization test methods. The airtightness standards for high-speed rolling stock are defined and regulated for internal pressure change rate in UIC 660 and 779-11. The domestic standard for the wind tunnel test was not well prepared, and the solar radiation test and snow test do not exist in Korea. Therefore, it is necessary to improve domestic standards to an international level for the climatic wind tunnel test of rolling stock.

Keywords : Climatic Wind Tunnel, Rolling Stock, Standard, Air-Conditioning, Solar Radiation, Water-Air Tightness

본 연구는 한국철도기술연구원 '혹한기 기후환경시험체계 구축을 위한 기초핵심기술 개발"연구과제 지원으로 수행되었음.
*Corresponding Author : Yong-Jun Jang(Korea Railroad Research Institute, KRRI)
email: Jangyj@krri.re.kr
Received July 22, 2020 Revised August 11, 2020
Accepted December 4, 2020 Published December 31, 2020

1. 서론

최근 국내 철도의 우수한 기술이 인정되면서 해외 진출이 급격하게 증가하고 있는 추세이다[1-3]. 이에 따라 다양한 기후환경에서 우수한 성능을 유지할 수 있는 철도차량의 개발이 시급한 상황이다. 특히 국내환경보다 더욱 열악한 기후 환경조건인 북유럽 및 북미의 극저온 환경 및 동남아시아의 고온다습한 환경과 같은 곳에서 최고성능을 보장할 수 있는 철도차량 제작 기술이 해외 시장 개척에 있어서 가장 중요한 기술로 부상하고 있다. 철도차량 내외부의 다양한 온도 환경에 대한 시험은 한국철도기술연구원에 대형 환경챔버[4]가 운용되고 있으므로 어느 정도 기술 축적이 진행되고 있으나, 국내에서는 철도차량의 고속주행(고풍속) 중 고온 및 극저온 기후환경에 대한 시험시설의 부재로 성능평가 시험이 불가능하여 철도차량의 해외 수출을 어렵게 하는 요인이 되고 있다.

국토의 대부분을 혹한기 기후환경을 가지고 있는 캐나다는 혹한기 기후환경시험 인프라 및 기술개발을 활발히 진행하고 있다. 캐나다는 혹한기에 온도가 -30℃ ~ -40℃까지 내려가며, 바람이 강하고, 강설량도 많아 기후환경시험 수요가 많다. 캐나다는 CSTT(Center for Surface Transportation Technology)에서 혹한기 기후환경 시험을 수행하고 있으며 극저온, 고온, 다습 조건 등의 다양한 극한 환경을 모사할 수 있다. 철도차량은 물론이고 상용 및 군용 장비, 기타 차량 및 부품이나 구성품 등의 극한 기후 조건하에서의 성능을 평가할 수 있다. 구현 가능한 온도는 -51℃ ~ +55℃로서 극저온 환경의 구현이 가능하다. CTSS 환경챔버는 30m(L)×6m(W)×6m(H)의 규모를 가지고 있으며, 국내 철도차량 제작사가 미국 필라델피아에 수출한 철도차량[5]의 기후환경 시험이 이 곳에서 수행되었다. 캐나다의 UOIT(The University of Ontario Institute of Technology)도 기후환경 풍동 시험 시설[6]을 갖추고 있으며, 자동차와 트럭 등의 극한 환경에서의 환경성능 시험을 수행하고 있다. 유럽에서는 RTA(Rail Tec Arsenal)를 중심으로 철도 및 도로 차량의 극한 기후 조건에서의 환경시험이 이루어지고 있다. 환경 풍동 시험장비는 온도(-45℃ ~ +60℃), 습도, 강설, 강우, 태양광 모사, 풍속 등 동력장치 성능 개별 시험과 요소의 조합 시험 등이 가능하고, 철도차량 3량까지 환경시험이 가능하다. 특히 풍동시험의 경우는 풍속 250km/h까지 구현 가능하여 철도차량의 주행환경을 실환경과 동등한 수준으로 모사가 가능하다[7].

본 논문은 기후환경시험 모사 시스템(Climatic Wind Tunnel) 구축에 필수적으로 적용되어야할 국제 (UIC, EN, IEC 등) 및 국내 (KS) 철도차량 규격을 조사 분석하였으며, 국내 철도완성차 관련 기술기준을 국제수준으로 향상시킬 항목에 대하여 비교 고찰하였다.

2. 본론

2.1 기후환경모사 시스템(환경풍동) 적용 국제규격

Table 1. Standards for climatic wind tunnel test

Standard	Application	Wind speed
UIC 553-1	Heating, ventilation and air-conditioning in coaches - Standard tests	≥120km/h
BS EN 13129	Railway applications - Air conditioning for main line rolling stock - Comfort parameters and type tests	≤160km/h
BS EN 14750-2	Railway applications - Air conditioning for urban and suburban rolling stock	Max operational speed
BS EN 14813-2	Railway applications - Air conditioning for driving cabs	Max operational speed
IEC 62498-1	Railway applications - Environmental conditions for equipment-Part 1:Equipment on board rolling stock	-
BS EN 50125-1	Railway applications - Environmental conditions for equipment	≤180km/h
BS EN 60721-3-5:1997	Classification of environmental conditions - part 3:Classification of groups of environmental parameters and their severities - Section 5: Ground vehicle installations	≤108km/h

철도차량의 안정성과 쾌적성을 확보하기 위해 다양한 기후 조건하에서 철도완성차의 기후환경 성능 및 냉난방 환기 성능을 평가하는 국제시험 규격을 만족하여야 한다. 성능 시험의 종류로는 풍속시험, 고온 및 저온 시험, 습도 시험, 태양광 모사시험, 강우시험, 강설시험, 여압시험,

기밀시험 등이 있다. 국제규격의 종류 및 적용사항은 Table 1에서와 같이 정리하였다. UIC 553-1[8]의 규격은 철도차량 객차의 공조시스템에 대한 성능시험 기준을 제시하고 있으며, 환경풍동에서의 속도는 120km/h 이상에서 풍속 시험을 하도록 규정되어 있다. BS EN 13129[9]는 간선(main line) 철도차량 객차 공조시스템에 대한 안락성 및 시험 기준이 규정되어 있으며, 최고 160km/h까지 풍속 시험을 하도록 규정되어 있다. BS EN 14750-2[10]는 도시 및 교외 철도차량의 공조시스템에 대한 시험 기준을 규정하고 있으며, BS EN 14813-2[11]는 철도차량 기관차의 공조시스템에 대한 시험 기준을 제시하고 있다. IEC 62498-1[12]은 철도차량에 설치되는 전기/전자장비에 대한 환경 시험 기준을 제공하고 있다. BS EN 50125-1[13]은 철도차량에 적용되는 전기-기계 장치에 대한 환경시험 기준을 규정하고 있으며, 최고 풍속 시험은 국제 규격중 가장 높은 180km/h까지 시험하도록 되어 있는 것이 특징이다. BS EN 60721-3-5[14]은 지상 차량에 탑재되는 장치에 대한 환경시험 기준을 규정하고 있다. 풍속 관련하여 국내 규정은 KS R 9145:2007(철도 차량의 방수 시험 방법)[15]에서 철도차량 방수 시험시 10m/sec (36km/h) 이하의 풍속을 요구하고 있다.

2.2 기후환경모사 시스템(환경풍동)의 공조시스템(air conditioning) 적용 규격

국내 철도차량기술기준(KRTS-VE-Part31, 41, 42, 43, 51, 52-2014)[16 ~ 21]에서는 국내철도차량에 적용되는 공조시스템 (냉난방·환기장치)의 설계 적합성을 입증하기 위하여 Table 2에서와 같이 기후환경 시험을 수행하도록 규정되어 있다. 시험 방법으로는 실제 운행 편성으로 실시하며, 정지상태에서 모든 장치는 정상적으로 작동하고 있어야 한다. 공조 시험중 가장 저온을 적용하고 있는 국제 규격은 UIC 553-1[8]이며, -45℃까지 온도강하를 하도록 되어 있다. 가장 높은 온도를 적용하고 있는 규격은 IEC 62498-1[12]이며, 55℃까지 온도 상승을 요구하고 있다. 국내 규격으로는 KS R 9202(철도차량 부품 내습 및 내수 시험 방법)[22]에서 시험 규정(5℃ ~ 35℃)이 있으나 빙점이하에서의 온도 시험은 없다. KS R 9191(철도신호 보안 부품의 고온 및 저온 시험 방법) 규격[23]에서는 -30℃ ~ 60℃까지 온도 시험을 하도록 규정되어있으나, 상대습도에 대한 기준은 제시하고 있지 않다. KS C IEC 60077-1(철도 차량용 전기설비 일반 요구사항) 규격[24]에서는 국내에서 가장 낮은 온도(-40℃)에서 시험하도록 요구하고 있으나, 상대습도에 대한 기준은 제시하고 있지 않다. KS R 9198(철도 차량의 냉방 및 난방의 온도 측정 방법) 규격[25]에서는 철도차량 내부에서 냉방 온도 및 난방 온도의 측정 방법에 대하여 규정하고 있으나, 철도차량 내외부의 온도에 대해서는 구체적인 명시가 없다. 본 연구에서 조사된 국내 규격은 온도 기준이 국제규격에 비하여 상대적으로 가혹하지 않으며, 상대 습도에 대한 기준도 없거나 구체적이지 않다. 또한 국내 규격은 풍속에 대한 기준이 매우 약하거나 없는 경우가 많으므로, 해외 수출을 위한 철도차량을 제작하기 위해서는 국내 기후 환경 성능 시험에 대한 설계 기준을 국제수준으로 향상시켜야 한다.

Table 2. Standards for air-conditioning test

Standard	Temperature		Relative Humidity
	min	max	
UIC 553-1	-45℃	50℃	80%@22℃ 30%@50℃
BS EN 13129	-45℃	50℃	90%@15℃ 25%@50℃
BS EN 14750-2	-20℃	40℃	60%@28℃ 40%@40℃
BS EN 14813-2	-45℃	50℃	60%@28℃ 40%@40℃
IEC 62498-1	-40℃	55℃	0.05~30g/m^3 35%@50℃
KS R 9202	5℃	35℃	45~85%
KS R 9191	-30±3℃	60±2℃	no std.
KS C IEC 60077-1	-40℃	50℃	no std.
KS R 9198	no std.	no std.	no std.

2.3 기후환경모사 시스템(환경풍동)의 태양광 (intensity of solar radiation) 시험 적용 규격

태양광 복사의 시험 규격은 국내에서는 시험 기준이 전무하므로 Table 3의 UIC 553-1[8], BS EN 13129[9], BS EN 14750-2[10], BS EN 14813-2[11], IEC 62498-1[12], BS EN 50125-1[13], BS EN 60721-3[14] 등의 국제 규격을 적용하여야 한다. 이들 규격에서는 램프의 규격, 조사 각도, 조사 방법 및 조사 광도 등이 규정되어 있으며, 가장 높은 복사 강도를 가지고 있는 기준은 BS EN 60721-3[14] 이다. 위에서 언급한 시험 기준 모두 태양광 조사 각도를 수평면에 대하여 Fig. 1과 같이 30° 각도를 유지하고 있는 것이 특징이다. 여기서 E_n은 태양광 조사면에 수직하게 조사되는 동등한 태양광 강도(Equivalent intensity of solar radiation)

이며, E_v는 철도차량 측면에 조사되는 태양광 강도를 나타낸다. Table 3에서 태양광 강도(Intensity of solar radiation)는 E_n을 나타낸다.

Table 3. Standards for intensity of solar radiation

Standard	Intensity of solar radiation		Inclination of solar rays
	min	max	
UIC 553-1	500W/m^2	800W/m^2	30°
BS EN 13129	200W/m^2	800W/m^2	30°
BS EN 14750-2	600W/m^2	800W/m^2	30°
BS EN 14813-2	600W/m^2	800W/m^2	30°
IEC 62498-1	700W/m^2	1120W/m^2	30°
BS EN 50125-1	700W/m^2	1120W/m^2	30°
BS EN 60721-3-5:1997	700W/m^2	1200W/m^2	30°
Domestic std.	no std.		

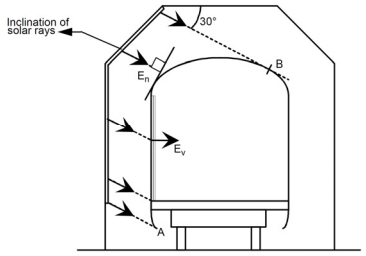

Fig. 1. Simulation of solar radiation and inclination of solar rays (En : Equivalent intensity of solar radiation on a surface perpendicular to the direction of radiation, Ev=En*cos30) (UIC 553-1[8])

2.4 기후환경모사 시스템(환경풍동)의 강우 및 강설 (water tightness) 시험 적용 규격

철도 완성차 시험에서 강우 및 강설 시험(누수 시험)을 수행하여 납품하여야 하며, 강우시험 관련하여 국내외 표준 강우시험 규격을 Table 4와 같이 정리 하였다. IEC 61133[26]는 철도차량의 사용 전 완성차 시험 방법과 관련한 시험 기준을 제공하고 있다. 살수 방법은 철도차량 하부를 제외한 3면에 분당 500리터의 물을 15분간 살수하도록 규정되어 있으며, 살수 압력은 200kPa(2bars)을 유지하도록 되어 있다. EN 14752[27]는 철도차량 완성차 시험에는 해당되지 않으나, 철도차량 구성품 중의 하나인 철도차량 출입문 시험에 해당된다. 출입문은 닫히고 잠긴 상태에서 시험하며, 물의 분사는 Fig. 2와 같이 실외측에서 1m가 떨어진 노즐로부터 노즐당 14리터를 3 bar의 압력으로 분사하도록 규정되어 있다. 분사 시간은 150cm 폭의 출입문의 경우 50초간 분사하도록 되어있다. 국내표준으로는 '철도차량의 방수시험 방법'이 KS R 9145(2002)[15]에 규정되어 있다. 철도차량의 측면, 단면 및 지붕 윗면에 시간당 150mm를 균등하게 살수하도록 되어있으며, 2m 거리이내에서100kPa(1bar)의 압력으로 각 면에 살수하도록 되어있다.

Table 4. Standards for water tightness tests

Standard	Requirements	
IEC 61133	test subject	completed car
	water surface	3 surfaces excluding un dercarriage
	water capacity	500L/min/unit
	water pressure	200kPa
	distance	-
	duration	15min
EN 14752	test subject	entrance door
	water surface	vehicle side
	water capacity	14L/min/nozzle
	water pressure	3 bars
	distance	1m
	duration	50sec for 150cm wide door
KS R 9145	test subject	completed car
	water surface	3 surfaces excluding un dercarriage
	water capacity	150mm/h
	water pressure	100kPa
	distance	〈 2m
	duration	15min

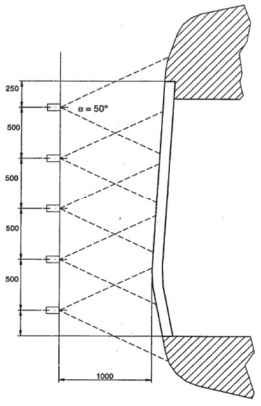

Fig. 2. Arrangement for water tightness test of body side entrance of rolling stock (EN14752[27])

Table 5. Classes of snow levels (EN 50125-1[13])

Classes	Snow levels above top of rail
S1	0 ~ 250mm
S2	250 ~ 400mm
S3	400 ~ 800mm

기후환경시험에서 강설 시험은 시험 구역 내부에 눈 노즐을 설치하고 풍동내부에서 온도 및 풍속을 제어함에 따라 이루어진다. 눈의 발생 원리는 물을 작은 입자로 분사할 때 물 입자가 찬 공기를 통과하면서 냉각되어 눈이 생성된다. 물 입자가 냉각되기 위해서는 어느 정도의 시간이 필요하며, 물 입자가 철도차량에 도달하기 전에 눈이 형성되기 위해서는 공간 및 거리가 충분히 필요하다. 강설에 대한 기준은 국내외적으로 자세히 규정되어 있지 않다. 다만 BS EN 50125-1(2014)[13]에 적설량에 대한 참고자료가 나와 있으며 Table 5와 같다. 이와 같은 적설량의 분류 기준에 따라 철도차량이 다르게 운행되어야 한다고 규정되어 있다.

2.5 기후환경모사 시스템(환경풍동)의 HVAC-여압(pressurization)시험 적용 규정

철도차량의 경우 공기조화장치는 철도차량하부의 패널에 설치되어 있으며, 신선공기가 차량의 하부에서 덕트를 통하여 창문 옆의 그릴로 공급된다. 고속 철도차량의 경우 터널 진입시 발생되는 고압의 압력파가 객실 내로 유입되어 승객들의 이명현상을 방지하기 위해 여압장치(pressurization)가 설치되어 있다. 철도차량의 구성품 중에서 외부와 연결된 차량의 각종 플랩(flap)이 터널 입구에 설치된 감지 장치에 의하여 터널의 존재를 확인하면 자동으로 플랩이 닫히도록 설계되어 있다. 여압장치의 성능시험은 실제로 고속의 풍속이 존재하는 풍동시험에서 수행하는 것이 바람직하다. 여압장치 시험 관련 규격은 철도차량기술기준(KRTS-VE-Part31-2014(R1) : 고속철도차량 기술기준)[16]에 구성품 시험, 완성차 시험 및 시운전 시험 사항에 규정되어 있다. 시험 차량은 정상운행 조건과 동일하도록 되어 있다. 시험 온도는 10 ~ 35℃이며, 습도는 10 ~ 80% 이어야 하며, 측정회수는 3회 이상 측정하여야 한다.

2.6 기후환경모사 시스템(환경풍동)의 기밀(air tightness)시험 적용 규정

고속 철도차량 완성차는 기밀시험을 수행하도록 규정

Table 6. Standards for air tightness test

Standard	UIC 660	UIC 779-11
	$\triangle P/\triangle t$ (pressure variation/unit time)	
1 sec	$\leq 500Pa/s$	$\leq 1000Pa/s$
3 sec	$\leq 800Pa/s$	
4 sec	-	$\leq 1600Pa/s$
10 sec	$\leq 1000Pa/s$	$\leq 2000Pa/s$
60 sec	$\leq 2000Pa/s$	-

(KRTS-VE-Part31-2014(R1) : 고속철도차량 기술기준)[16]되어 있다. UIC 660(Measures to ensure the technical compatibility of high-speed trains)[28]에서는 고속 철도차량의 기밀 기준을 두 종류로 분류하고 있다. 첫 번째 기준은 동적 기준으로서 철도차량이 최고 속도로 주행할 때에 객실내 압력 변동율을 Table 6와 같이 제한하고 있다. 1초, 3초, 10초, 60초 동안 철도차량의 객실내 압력 변화율($\triangle P/\triangle t$)이 각각 $500Pa/s$, $800Pa/s$, $1000Pa/s$, $2000Pa/s$ 이내이어야 한다. UIC 779-11(Determination of railway tunnel cross-sectional areas on the basis of aerodynamic considerations)[29]에서는 다소 완화된 기준을 사용하고 있다(Table 6 참조). 두 번째 기준은 정적 압력 변화이다. 철도차량 객실내 압력을 3000Pa까지 가압한 후 1100Pa까지 객실내 압력이 강하(pressure drop)하는데 소요되는 시간이 18초 이상이어야 한다.(KRTS-VE-Part31[16]에서는 정적 압력 변화에 대한 기준만 있다.) 철도차량의 기밀도(air tightness)는 UIC 779-11[29]에서 Eq. (1)과 같이 정의되고 있다.

$$\tau_d = \frac{\triangle P(t)}{dP_i/dt} \quad (1)$$

Where,
τ_d : air tightness
$\tau_d = \infty$: complete air tightness
$\tau_d = 0$: no air tightness
$\triangle P(t) = P_e - P_i$: pressure difference at time t
P_e : exernal pressure of rolling stock
P_i : internal pressure of rolling stock

3. 결론

본 연구에서는 국내에서 제작되는 철도차량의 다양한

해외 시장 개척을 위하여 기후환경시험 모사 시스템(Climatic Wind Tunnel) 구축에 필수적으로 적용되어야 할 국제 및 국내 규격을 조사 분석하였다. 국제 규격으로는 UIC, BS EN 및 IEC 규격이 풍동내에서의 속도 및 온도에 대하여 규정하고 있다. 가장 큰 풍속을 규정하고 있는 규격은 BS EN 50125-1[13]로서 180km/h까지 풍속 시험을 하도록 되어있으며, 온도관련해서는 UIC 553-1[8], BS EN 13129[9] 및 BS EN 14813-2[11]에서 가장 낮은 온도인 -45℃까지 극저온 시험을, IEC 62498-1[12]에서는 가장 고온인 55℃까지 시험하도록 규정되어 있다. 국내 규격으로는 KS R 9202[22], KS R 9191[23] 및 KS C IEC 60077-1[24]에서 저온 및 고온 시험 규정이 있으나, 풍속에 대한 규정은 국내 규격에서는 KS R 9145[15]에서 철도차량 방수 시험시 36km/h 이하의 풍속을 적용하도록 규정한 것이 전부이다. 태양광 적용 시험 관련하여 UIC, BS EN, IEC 규격에서 태양광 복사 강도가 규정되어 있으며, BS EN 60721-3-5[14]에서 최고 복사 강도 1200W/m^2를 규정하고 있고 태양광 조사 강도는 30^o 각도를 유지하도록 되어있다. 태양광 복사 관련하여 국내 규격은 존재하지 않는다. 강우 시험의 경우 IEC, EN 및 KS R 9145(국내)[15] 규격에서 규정하고 있으며 살수량, 살수 압력, 살수 방법 등이 각 기준마다 차이점이 있다. 강설시험의 경우는 국내외적으로 자세히 규정되어 있지 않으며, BS EN 50125-1[13]에서 레일 위의 적설량이 규정되었을 뿐이다. 여압시험은 철도차량 기술기준(KRTS-VE-Part31)[16]에서 규정되어 있다. 고속 철도차량의 기밀 시험은 UIC 660[28] 및 779-11[29]에서 동적 기준으로 정해진 시간내에 객실내 압력 변화율($\triangle P/\triangle t$)이 각 기준 마다 다르게 규정되어 있다. 국내 규격인 KRTS-VE-Part31[16]에서는 정적 압력 변화에 대한 기준이 제시되어 있다. 철도차량 기밀도(τ_d)는 UIC 779-11[29]에 정의되어 있다.

국제 규격에 비하여 국내 규격에서는 풍속에 대한 규정이 미비하며, 태양광 복사에 대한 규정도 국내 규격에는 존재하지 않는다. 또한 강우 시험에 대한 규정은 있으나, 강설 시험에 대한 규정은 없으므로 철저한 기후환경 시험을 위하여 국내 철도 완성차 관련 기술 기준 및 시험 규격을 국제 수준으로 향상시킬 필요가 있는 것으로 판단된다.

References

[1] Y.S. Jeon, "Export of US$ 9.2billion electric train to Australia by Hyundai Rotem", *JoongAng Ilbo*, Retrieved, Aug. 2016. Available From: https://news.joins.com/article/20472566

[2] H.K. Shin, "Hyundai Rotem exports 96 unmanned electric train to India", *YonHapNews*, Retrieved, Nov. 2017. Available From: https://www.yna.co.kr/view/AKR20171107047351008

[3] H.L. Kwak, "Hyundai Rotem to export Singapore electric trains... 36 billion won", *FNTIMES*, Retrieved, Feb. 2020. Available From: https://www.fntimes.com/html/view.php?ud=2020021015380431937de3572ddd_18

[4] Y. M. Cho, W.H. Park, D.S. Park, S.B. Kwon, "Study on Chage in Temperature and Wind Speed near the Door of High-Speed Train During Door Opening in Winter", *Asia-Pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, Vol. 7, No. 5, pp. 385-393. 2017 DOI: https://dx.doi.org/10.14257/AJMAHS.2017.04.51

[5] S.C. Park, "Hyundai Rotem electric trains to export to US", *MBN*, Retrieved, Sep. 2009. Available From: https://www.mk.co.kr/news/business/view/2009/09/461218

[6] S. Best, J. Komar, G. Elfstrom, "The UOIT Automotive Center of Excellence - Climatic Test Facility", *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical System*, Vol. 6, Issue. 1, pp. 78-87, 2013. DOI: https://doi.org/10.4271/2013-01-0597

[7] W. Breitfub, M. Wannemacher, F. Knobl, H. Ferschitz "Aerodynamic Comparison of Freezing Rain and Freezing Drizzle Conditions at the RTA Icing Wind Tunnel", *SAE Int. J. Adv. & Curr. Prac. in Mobility*, Vol. 2, Issue. 1, pp. 245-255, 2020. DOI: https://doi.org/10.4271/2019-01-2023

[8] UIC 553-1 "Heating, ventilation and air-conditioning in coaches - Standard tests", *UIC code*, 2005 Available From: http://www.shop-etf.com/en/leaflets-irs.html

[9] BS EN 13129 "Railway applications - Air conditioning for main line rolling stock - Comfort parameters and type tests", *European Standard*, 2016 Available From: http://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000030286253

[10] BS EN 14750-2 "Railway applications - Air conditioning for urban and suburban rolling stock", *European Standard*, 2006 Available From: http://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=00030100167

[11] BS EN 14813-2 "Railway applications - Air conditioning for driving cabs", *European Standard*, 2006 Available From: http://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=00003021793 6

[12] IEC 62498-1 "Railway applications - Environmental conditions for equipment-Part 1: Equipment on board rolling stock", *International Electrotechnical*

Commision, 2010 Available From: http://webstore.iec.ch/publication/712

[13] BS EN 50125-1 "Railway applications. Environmental conditions for equipment - Part 1: Rolling stock and on-board equipment", *European Standard*, 2014 Available From: http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000302 3526

[14] BS EN 60721-3-5 "Classification of environmental conditions - part 3 : Classification of groups of environmental parameters and their severities - Section 5 : Ground vehicle installations", *European Standard*, 1997 Available From: http://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=010 94683

[15] KS R 9145 "Test methods for waterproof of railway rolling stock", *Korea Standard*, 2007. Available From: http://www.standard.go.k

[16] KRTS-VE-Part31 "Technical Specification for High Speed Railway Vehicles", *Korea National Legislation*, 2014. Available From: http://www.law.go.kr

[17] KRTS-VE-Part 41 "Technical Specification for Conventional Railway Vehicles", *Korea National Legislation*, 2014. Available From: http://www.law.go.kr

[18] KRTS-VE-Part 42 "Technical Specification for Conventional Railway Vehicles(Passenger Car)", *Korea National Legislation*, 2016. Available From: http://www.law.go.kr

[19] KRTS-VE-Part 43 "Technical Specification for Conventional Railway Vehicles(Freight Car)", *Korea National Legislation*, 2018. Available From: http://www.law.go.kr

[20] KRTS-VE-Part 51 "Technical Specification for Urban Railway Vehicles", *Korea National Legislation*, 2017. Available From: http://www.law.go.kr

[21] KRTS-VE-Part 52 "Technical Specification for Urban Railway Vehicles(Street Car)", *Korea National Legislation*, 2017. Available From: http://www.law.go.kr

[22] KS R 9202 "Railway rolling stock parts - Test methods of resistibility for moisture and rainfall", *Korea Standard*, 2006. Available From: http://www.standard.go.kr

[23] KS R 9191 "High and low temperature testing methods for parts of railway signaling", *Korea Standard*, 1996. Available From: http://www.standard.go.kr

[24] KS C IEC 60077-1 "Railway applications - Electric equipment for rolling stock - Part 1 : General service conditions and general rules", *Korea Standard*, 2002. Available From: http://www.standard.go.k

[25] KS R 9198 "Measuring methods for air conditioning and heating temperature of railway rolling stock", *Korea Standard*, 1996. Available From: http://www.standard.go.k

[26] IEC 61133 "Railway applications - Rolling stock - Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service", *International Electrotechnical Commision*, 2016 Available From: http://webstore.iec.ch/publication/24242

[27] BS EN 14752 "Railway applications. Bodyside entrance systems for rolling stock", *European Standard*, 2019 Available From: http://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=0003033 4220

[28] UIC 660 "Measures to ensure the technical compatibility of high-speed trains", *UIC code*, 2002 Available From: http://www.shop-etf.com/en/leaflets-irs.html

[29] UIC 779-11 "Determination of railway tunnel cross-sectional areas on the basis of aerodynamic considerations", *UIC code*, 2005 Available From: http://www.shop-etf.com/en/leaflets-irs.html

장 용 준(Yong-Jun Jang) [정회원]

- 1991년 2월 : 한양대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 7월 : Texas A&M 대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1991년 2월 ~ 1996년 7월 : 국방과학연구소 연구원
- 2000년 8월 ~ 2004년 4월 : 임피리얼런던대학 박사후연구원
- 2004년 5월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원

〈관심분야〉
철도안전, 기후환경시스템

정 종 덕(Jong-Duk Chung) [정회원]

- 1988년 2월 : 조선대학교 기계공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 전남대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 : 한양대학교 정밀기계공학과 (공학박사)
- 1997년 7월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원/교통환경연구팀장

〈관심분야〉
철도형식승인, 기후환경시스템

이 재 천(Jae-Cheon Lee) [정회원]

- 1993년 2월 : 창원대학교 전기공학과 (공학사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 상명대학원 에너지그리드학과 (석사과정)
- 2020년 6월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 전문위원

〈관심분야〉
전기품질, 신재생에너지