

UIC 544-1을 이용한 이란동차 Braked Weight 산출에 관한 연구

A Study for determining the braked weight of Iran DMU using UIC 544-1

윤기석*
Yun, Gi-Seok

전운호**
Jeon, woon-ho

ABSTRACT

Brake system in railway train operates to reduce the speed of the train or to stop the train via changing the kinematic energy into heat energy for emission and so brake system makes an important rule to transport passenger and cargo for safety operation.

Recently operators have a matter of grave concern for the verification of performance in brake system. To verify the exact performance of brake system, most of brake test has been carried out on real operating track condition.

Therefore we will determine the braked weight of indirect brake system applied in Iran DMU(Diesel Multiple Unit) in accordance with UIC leaflet 544-1, which is to enable Iran DMU to achieve the required braking distances in defined situation.

국문요약

철도차량의 제동장치란 차량의 운동에너지를 열 에너지로 변환시켜 대기중으로 방출시킴으로써 차량의 속도를 감속하거나 멈추게 하기 위해 설치한 장치로써 철도차량의 안전한 승객 및 화물 운송을 위하여 제동시스템의 성능 확인은 운영처의 주된 관심사가 되고 있다. 또한 일부 운영처는 차량에 적용된 제동시스템의 성능 지표인 제동중량(Braked Weight) 값을 차량 외판에 기입하도록 요구하는 등의 제동시스템 성능인증은 중요한 요소가 되고 있다.

특히 해외 수출된 이란동차는 편성당 2개의 디젤 엔진(800HP)을 추진 동력원으로 하여 이란현지 승객을 운송한 목적으로 제작, 운영되고 있는 4량 1편성의 디젤동차(Diesel Multiple Unit, 이하 DMU)이며 적용된 제동의 종류는 운전자의 제동핸들(Mascon) 조작으로 발생한 제동지령이 제동제어장치(BCU) 전달되어 발생하는 제동인 주 제동(Direct Brake)과 제동제어장치(BCU) 제어불능 등의 경우에 사용되는 백업(Back-Up) 제동인 보조 제동(Indirect Brake)로 구성되어 있다.

주 제동 및 보조 제동의 성능은 운영처의 영업운행 선로에서 규정된 속도에서 규정된 제동거리를 만족하는지의 제동거리 측정시험을 통하여 확인되나, UIC 승인 받은 제동부품으로 시스템을 구현한 이란동차 보조 제동(Indirect Brake)의 경우 UIC 544-1 규정에 의한 제동중량(Braked Weight) 값을 산출해야 정확한 성능 확인이 된다.

따라서 본 연구에서는 이란동차에 적용된 UIC 보조제동 시스템에 대한 성능을 확인하고자 UIC 544-1에 의거 제동중량(Braked Weight) 값을 산출하고자 한다.

* 윤기석, 현대로템, 제품개발4팀, 선임연구원

** 전운호, 현대로템, 제품개발4팀, 주임연구원

1. 서론

철도차량의 제동장치란 차량의 운동에너지를 열 에너지로 변환시켜 대기중으로 방출시킴으로써 차량의 속도를 감속하거나 멈추게 하기 위해 설치한 장치로써 철도차량의 안전한 승객 및 화물 운송을 위하여 제동시스템의 성능 확인은 운영처의 주된 관심사가 되고 있다. 또한 일부 운영처는 차량에 적용된 제동시스템의 성능 지표인 제동중량(Braked Weight) 값을 차량 외판에 기입하도록 요구하는 등의 제동시스템 성능인증은 중요한 요소가 되고 있다.

특히 해외 수출된 이란동차는 편성당 2개의 디젤 엔진(800HP)을 추진 동력원으로 하여 이란현지 승객을 운송한 목적으로 제작, 운영되고 있는 4량 1편성의 디젤동차(Diesel Multiple Unit, 이하 DMU)이며 적용된 제동의 종류는 운전자의 제동핸들(Mascon) 조작으로 발생한 제동지령이 제동제어장치(BCU) 전달되어 발생하는 제동인 주 제동(Direct Brake)과 제동제어장치(BCU) 제어불능 등의 경우에 사용되는 백업(Back-Up) 제동인 보조 제동(Indirect Brake)로 구성되어 있다.

주 제동 및 보조 제동의 성능은 운영처의 영업운행 선로에서 규정된 속도에서 규정된 제동거리를 만족하는지의 제동거리 측정시험을 통하여 확인되나, UIC 승인 받은 제동부품으로 시스템을 구현한 이란동차 보조 제동(Indirect Brake)의 경우 UIC 544-1 규정에 의한 제동중량(Braked Weight) 값을 산출해야 정확한 성능 확인이 된다.

따라서 본 연구에서는 이란동차에 적용된 UIC 보조제동 시스템에 대한 성능을 확인하고자 UIC 544-1에 의거 제동중량(Braked Weight) 값을 산출하고자 한다.

2. 본론

2.1 제동중량(Braked Weight) 정의

UIC 544-1은 철도차량에 적용되는 제동장치의 제동중량(Braked Weight)에 대한 정의와 제동중량(Braked Weight) 값을 산출하는 방법에 대하여 기술하고 있다. 또한 제동중량의 정의를 통하여 철도차량에 적용된 제동장치의 제동거리 만족 여부 및 제동장치의 성능을 평가할 수 있다.

UIC 544-1에서 제동중량은 제동중량 비율(Braked Weight Percentage)에 차량의 중량을 곱한 값을 100으로 나누어서 값을 얻을 수 있으며 제동장치의 제동거리 성능을 나타내는 지표로써 차량의 외판에 tone의 단위로 표기된다.

이란동차의 제동시스템 설계 단계에서 계산된 제동중량은 그림 1과 같다.

Symbol	A-Car	B-Car	Unit
m(Weight) of AW1	59,860	47,290	kg
λ (Brake Weight Percentage)	161		%
B(Brake Weight) of AW1 $= (m * \lambda) / 100$	96	76	t

그림 1. 계산된 제동중량 값

2.2 제동중량(Braked Weight) 산출방법

UIC 544-1에서 정의된 제동중량(Braked Weight) 값 산출 방법은 차량의 종류(Coach or Wagon), 최고 속도(Top of Speed), 제동시스템 종류(EP Brake, Magnetic Rail Brake, Eddy Current Brake etc)에 따라서 다른 산출 방법을 적용해야 한다. 이란동차(Iran DMU)는 운행 최고 속도가 120km/h인 4량 1편성으로 구성되어 승객을 운송하는 객차(Coach)에 해당한다. 따라서 UIC 544-1, 2장, 2.1.3.1절의 정의된 제동중량(Braked Weight) 산출방법을 따른다. 또한 Braked Weight는 실제 제동거리 측정 시험을 통하여 산출되어야 하며 동일한 제동장치가 설치된 차량의 공차 상태(Empty Car)에서 측정되어야 한다.

단계별 산출방법은 아래와 같다.

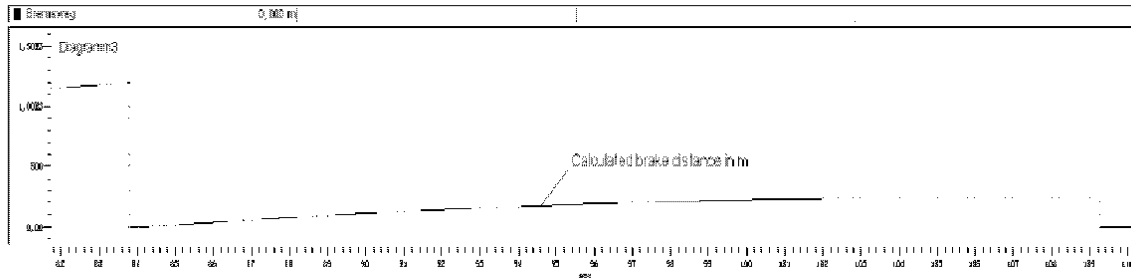
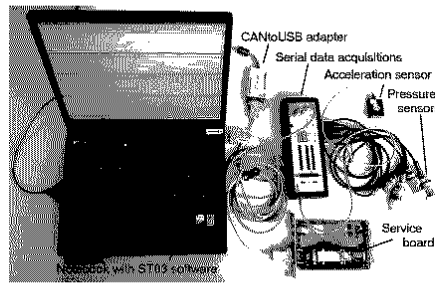
- 1) 유효한 제동거리 측정값은 Appendix F, F.1.2을 만족해야 한다.
- 2) 측정된 제동거리는 Appendix F, F.2.1에 기술된 방법에 의거 보정되어야 한다.
- 3) 평균제동거리는 Appendix F, F.2.2에 기술된 방법에 의거 보정되어야 한다.
- 4) 보정된 평균제동거리는 Appendix A, A.1에 기술된 제동평가곡선 위에 표기하여 제동중량 비율(Braked Weight Percentage) 산출한다.
- 5) 산출된 제동중량 비율(Braked Weight Percentage)는 Appendix F, F.2.3에 기술된 방법에 의거 검증되어야 한다.
- 6) 검증된 제동중량 비율과 시험 차량의 무게를 곱하고 100으로 나누어서 최종 제동중량(Braked Weight) 값이 도출된다.

2.2.1 제동거리 측정

제동거리 측정시 시험결과 값에 미치는 기후 조건을 최소화하기 위해 바람이 적고 선로가 건조한 조건하에서 실시하며 유효성 있는 평균제동거리 값 산출을 위하여 측정시험 횟수는 최소 4회 이상 실시가 필요하다. 따라서 이란동차(Iran DMU)는 적합한 기후 조건하에 이란 현지(Bandar Abbas 지역) 영업선로에서 80km/h, 100km/h, 120km/h 속도 하에서 주 제동(Direct Brake)과 보조 제동(Indirect Brake)을 체결하여 각 4회 제동거리를 산출했다.

아래 그림 2는 제동거리 측정시 사용한 측정장비 및 측정결과의 예를 보여준다.

그림2. 제동거리 측정장비 및 측정결과



4회 측정된 제동거리 값의 유효성을 확인하기 위해 UIC 544-1, Appendix F.1.2에 정의된 조건 1과 조건 2를 만족하는지의 확인이 필요하다. 본 연구 목적상 이란동차에 적용된 UIC 보조제동 체결시 얻은 제동거리 값 중 120km/h의 측정 결과 값(그림 3)이 제동중량(Braked Weight) 값 산출에 사용되므로 측정된 4개의 값을 조건 1과 조건 2의 수식에 대입하여 계산된 값을 확인한 결과, 조건 1의 경우 측정 값이 1.9%의 수준이며 기준인 3%이내를 만족하며 조건 2의 경우 측정 값이 13.9% 수준이며 기준인 17.2%를 만족한다. 따라서 120km/h 속도에서 측정된 제동거리 값은 제동중량(Braked Weight) 값 산출 시 사용 가능한 유효한 값이다.(그림 4)

7.4 Emergency Brake (EP only; Distributor Valve) – Indirect Brake

T-pressure at AW1: MC = 3,66 bar; TC = 2,88 bar
Load at AW1: MC = 68860 kg; TC = 47290 kg

Measurement and Test	Distance required	Average deceleration required	Init. speed (km/h)	Measured brake distance [m]	Measured aver. decel. [m/s ²]	Brake distance recalculated to v ₀ [m]	WSP active yes	Measurement no.	Result ok/not ok
80km/h (v₀)	284m	0.87m/s²							
Measurement 1			80,40	218,10	1,14	216	<input type="checkbox"/> yes	1 from Stat. 80km/h	O.K.
Measurement 2			80,50	226,50	1,10	224	<input type="checkbox"/> yes	2 to Stat. 80km/h	O.K.
Measurement 3			80,80	215,80	1,17	211	<input type="checkbox"/> yes	3 from Stat. 80km/h	O.K.
Measurement 4			82,10	233,20	1,12	221	<input type="checkbox"/> yes	4 to Stat. 80km/h	O.K.
100km/h (v₀)	426m	0.91m/s²							
Measurement 1			98,20	314,40	1,18	326	<input type="checkbox"/> yes	1 from Stat. 100km/h	O.K.
Measurement 2			99,95	341,20	1,13	342	<input type="checkbox"/> yes	2 to Stat. 100km/h	O.K.
Measurement 3			100,90	340,70	1,15	335	<input type="checkbox"/> yes	3 from Stat. 100km/h	O.K.
Measurement 4			99,20	338,30	1,12	344	<input type="checkbox"/> yes	4 to Stat. 100km/h	O.K.
120km/h (v₀)	595m	0.93m/s²							
Measurement 1			118,5	459,80	1,18	472	<input type="checkbox"/> yes	1 from Stat. 120km/h	O.K.
Measurement 2			117,80	459,00	1,14	487	<input type="checkbox"/> yes	2 to Stat. 120km/h	O.K.
Measurement 3			118,70	484,40	1,14	487	<input type="checkbox"/> yes	3 from Stat. 120km/h	O.K.
Measurement 4			117,80	468,80	1,14	486	<input type="checkbox"/> yes	4 to Stat. 120km/h	O.K.

그림3. 보조제동 체결시 측정제동거리 값

조건 1(Appendix F.1.2)

$$\frac{\text{standard deviation of test sample } (\sigma_n)}{\text{mean of test sample } (\bar{s})} \leq 3.0\%$$

조건 2(Appendix F.1.2)

$$|\text{Extreme value } (s_e) - \text{mean value } (\bar{s})| \leq 1.95 \times \sigma_n$$

Indirect Brake / Emergency brake(EP only; Distributor valve)
At 120km/h

Nr.	Measured Brake Distance[m]		
1	459.8		
2	469		
3	484.4		
4	468.8		
\bar{s}	470.5		
σ_n	8.8	Criteria	Result
Calculated Criteria 1	1.9	$\leq 3\%$	Pass
Calculated Criteria 2	13.9	$\leq 17.2\%$	Pass

그림4. 측정 제동거리 값의 유효성 확인

2.2.2 제동거리 보정

차량 속도가 120km/h가 됐을 때 UIC 보조제동을 체결해야 하나, 제동핸들 조작 시간의 차이 및 제동장치 응답속도 등에 의한 동일한 속도에서 제동이 체결되지 않으며 각 제동이 체결되어 제동거리가 측정되는 선로의 조건이 각기 같지 않으므로 이 두 가지 부분을 매번 측정된 제동거리 값에서 보정해야 한다.

보정 수식은 그림 5와 같으며 각 수식의 파라미터 값을 대입한 결과, 2.2.1절에서 얻은 유효한 제동거리 측정값은 그림 6의 Sjcorr 열의 값으로 보정됐으며 또한 시험선로의 구배 수준이 30/00를 만족하며 제동체결 시점의 속도 편차 수준도 2.2km/h로 4km/h이하를 만족한다. 따라서 보정된 제동거리 값은 유효한 것을 알 수 있다.(그림 5, 그림 6)

$$s_{jcorr} = \frac{3,933 \times \rho \times v_{jnom}^2}{3,933 \times \rho \times v_{jmeas}^2 - i_m \times s_{jmeas}} \times s_{jmeas}$$

where:

s_{jcorr} = corrected braking distance, which corresponds to the nominal speed in the test j [m]

s_{jmeas} = braking distance measured in test j [m]

v_{jnom} = nominal initial speed in test j [km/h]

v_{jmeas} = initial speed measured in test j [km/h]

ρ = coefficient of inertia of the rotating masses, which is defined as follows:

$$\rho = 1 + \frac{m_r}{m}$$

where:

m = mass of the test train or test vehicle

m_r = equivalent mass of the rotating components (where no exact value is available then $\rho = 1.15$ for locomotives and $\rho = 1.04$ for coaches shall be used)

i_m = mean gradient over s_{jmeas} on the test track, with the plus sign for rising gradients and the minus sign for falling gradients [%]

1. $|i| < 3 \%$ (in exceptional cases 5 %)

and

2. $v_{jmeas} - v_{jnom} \leq 4 \text{ km/h}$.

그림5. 제동거리 보정 수식과 유효성 조건(Appendix F.2.1)

Nr.	s_{jcorr}	s_{jmeas}	v_{jnom}	v_{jmeas}	ρ	i_m
1	471.5	459.8	120	118.5	1.04	1.5
2	486.7	469	120	117.8	1.04	1.5
3	486.8	484.4	120	119.7	1.04	1.5
4	485.7	468.8	120	117.9	1.04	1.5
Calculated Criteria 1	1.5	< 3 %	Pass			
Calculated Criteria 2	2.2	<= 4km/h	Pass			
		Criteria	Result			

그림6. 제동거리 보정 결과 값

2.2.3 평균제동거리 보정

평균제동거리 보정의 필요성은 차량의 차륜 마모 정도에 따른 동적효율(Dynamic Efficiency)의 차이가 발생하기 때문이다. 따라서 평균제동거리는 그림 7의 수식에 의거 보정이 되어야 하며 보정된 평균 제동거리 값은 466.6m이다.(그림 8)

$$F_{corr} = F_{test} \times \frac{\eta_{dyn}}{\eta_{test}} \times \frac{d_{test}}{d_m}$$

$$\bar{s}_{corr} = t_e \times V_{nom} - \frac{F_{test} + W_m}{F_{corr} + W_m} \times (\bar{s} - V_{nom} \times t_e)$$

where:

- \bar{s}_{corr} = corrected mean braking distance [m]
- \bar{s} = mean braking distance in the test [m]
- t_e = equivalent build-up time for the braking force [s]
- V_{nom} = nominal initial speed in the test [m/s]
- d_{test} = mean diameter of the wheels of the test vehicles [mm]
- d_m = diameter of the semi-worn wheel [mm]; in the case of block brakes $d_m = d_{test}$
- F_{corr} = corrected braking force [kN] (mean over the braking distance)
- F_{test} = mean braking force in the test [kN]
- η_{dyn} = mean efficiency of the brake rigging during the run (mean value between two inspections), which, according to the type of brake rigging used, may reach a maximum of 0.91. For standard brake rigging according to Appendix Q - page 74 the value is 0.83.
- $\eta_{dyn\ test}$ = efficiency of the brake rigging in the test
- W_m = mean resistance to forward movement [kN]

그림7. 평균제동거리 보정 수식(Appendix F.2.2)

Symbol	Value	Unit	Remark
\bar{s}	470.5	m	-
t_e	2.7	s	from the brake calculation(REDE504904/TA29748/40) / chap.9
V_{nom}	33.3	m/s	-
d_{test}	920	mm	from the calculation of tractive effort curve(REDE504897) / clause 4.3
d_m	890	mm	
F_{corr}	44.7	kN	from formula of UIC 544-1 / Appendix F, F.2.2
F_{test}	44.2	kN	from the brake calculation(REDE504904/TA29748/40) / chap.9
η_{dyn}	0.95	-	-
$\eta_{dyn\ test}$	0.97	-	from the brake calculation(REDE504904/TA29748/40) / chap.9
W_m	9	kN	from the calculation of tractive effort curve(REDE504897) / clause 4.3
\bar{s}_{corr}	466.6	m	

그림8. 평균 제동거리 보정 결과

2.2.4 제동중량 비율(Braked Weight Percentage) 산출

2.2.3절에서 산출된 평균제동거리 값 466.6m를 Appendix A, A.1에 기술된 제동평가곡선의 x축에 표기하여 해당 Y축에 해당하는 제동중량비율(Braked Weight Percentage) 값 185%를 얻어낼 수 있다.(그림 9)

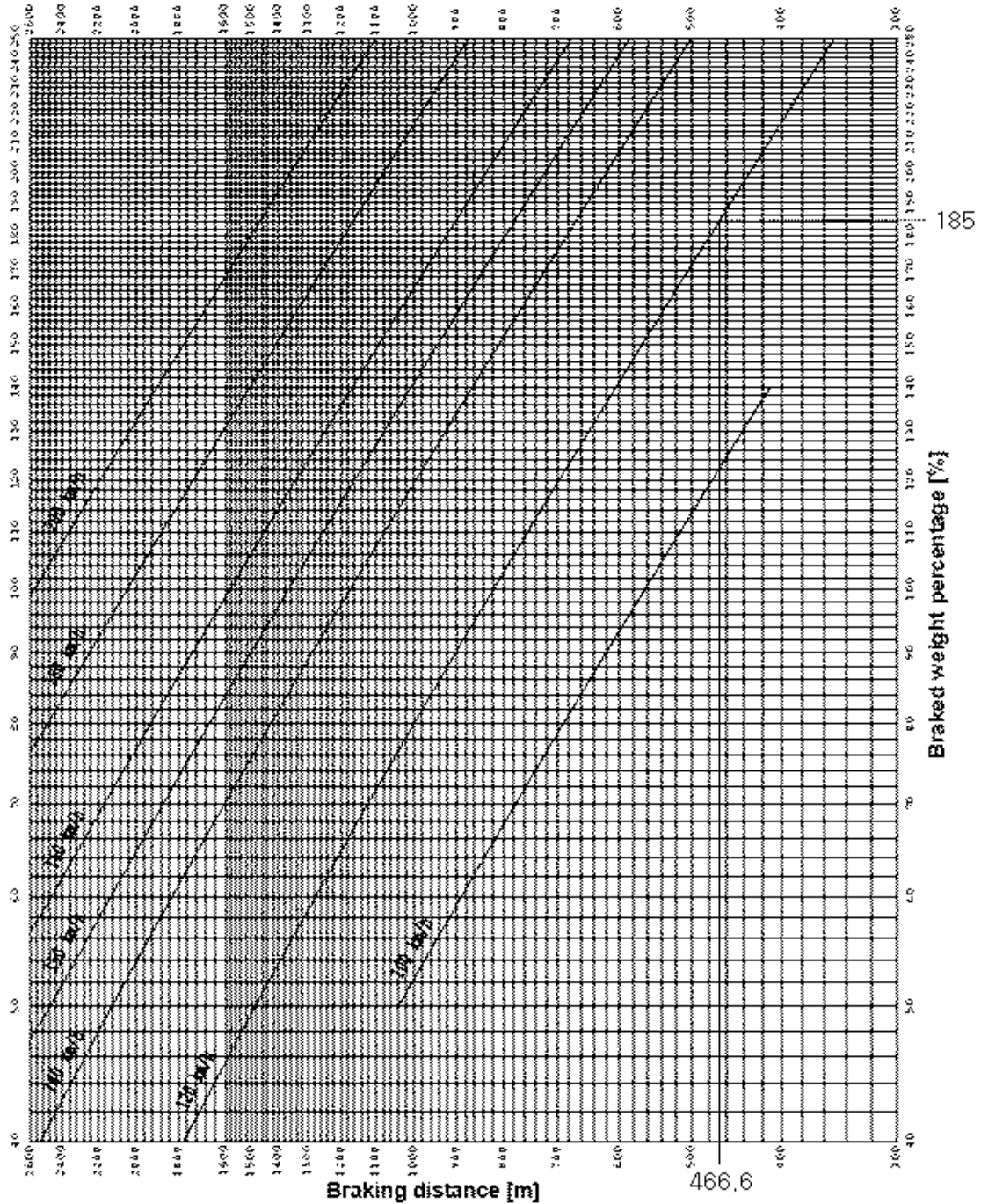


그림9. Braked Weight Percentage

2.2.5 제동중량 비율(Braked Weight Percentage) 보정

제동평가곡선의 제동중량 비율은 공칭 마찰계수(nominal coefficient of friction)값을 기반으로 많은 실험을 통하여 산출된 값이며 실제 제동거리 측정으로 산출된 제동중량 비율 값은 실제 마찰계수 값에 기반을 둔 값이므로 두 값사이의 보정이 필요하다.

조건 5와 같이 공칭 마찰계수 값으로부터 산출된 제동중량 비율(Braked Weight Percentage) 값보다 실제 측정 조건하에서 마찰계수 값을 적용했을 때의 산출된 값이 클 경우 조건 5를 만족하므로 그림 10

의 수식을 사용하여 보정이 되어야 한다. 보정된 제동중량 비율(Braked Weight Percentage) 값은 170.4%이다.(그림 11)

조건 5

$$\lambda_{\text{calculated}}(\mu_{m-\text{actual}}) > \lambda_{\text{calculated}}(\mu_{m-\text{nom}})$$

then correction is as follows.

$$\lambda_{\text{marked}} = \lambda_{\text{test}} \times \frac{\lambda_{\text{calculated}}(\mu_{m-\text{nom}})}{\lambda_{\text{calculated}}(\mu_{m-\text{actual}})}$$

- λ_{marked} = λ value used to determine the braked weight to be painted on the vehicle
- $\lambda_{\text{calculated}}$ = calculated braked weight percentage
- λ_{test} = braked weight percentage obtained in the test
- $\mu_{m-\text{actual}}$ = coefficient of friction determined in the rig tests
- $\mu_{m-\text{nom}}$ = nominal coefficient of friction

그림10. 제동중량 비율 보정 수식(Appendix F.2.3)

	Symbol	Value	Unit	Remark
	$\lambda_{\text{calculated}}(\mu_{m-\text{actual}})$	0.38	%	-
	$\lambda_{\text{calculated}}(\mu_{m-\text{nom}})$	0.35	%	-
Criteria	$\lambda_{\text{calculated}}(\mu_{m-\text{actual}}) > \lambda_{\text{calculated}}(\mu_{m-\text{nom}})$	Meet	-	Correction is needed
Correction	λ_{test}	185	%	-
	$\mu_{m-\text{nom}}$	0.35		based on brake calculation
	$\mu_{m-\text{actual}}$	0.38		based on brake distance results
	λ_{marked}	170.4	%	-

그림11. 제동중량 비율 보정 결과 값

3. 결 론

본 연구를 통하여 이란동차에 적용된 UIC 보조제동(Indirect Brake) 장치에 대한 성능 확인을 위한 제동중량(Braked Weight) 값을 UIC 544-1를 근거로 하여 산출했다. 산출된 제동중량 값은 그림 12와 같이 2개 차종 기준으로 102ton, 81ton으로 제동장치 설계 단계에서 계산된 값과 96ton, 76ton과 최대 6% 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 이란동차 UIC 보조제동 장치는 설계된 성능 목표치를 만족한다는 것을 본 연구에서 산출한 제동중량(Braked Weight) 값을 통하여 입증했다. 또한 철도 차량에 적용되는 UIC용 제동시스템에 대한 성능 입증을 위해 실시하는 운영처의 영업선로에서 제동거리 측정값으로부터 제동중량 값을 산출하기 위한 UIC 544-1에 정의된 각 단계별 보정방법 및 유효성의 검증방법을

이란동차에 적용하여 입증했다.

Symbol	A-Car	B-Car	Unit
m(Weight) of AW1	59,860	47,290	kg
m(Weight) of AW2	66,586	54,013	kg
λ (Brake Weight Percentage)	170.4		%
B (Brake Weight) of AW1 $= (m * \lambda) / 100$	102	81	t
B (Brake Weight) of AW2 $= (m * \lambda) / 100$	113	92	t

그림12. 차종별 제동중량(Braked Weight) 값

참고문헌

1. UIC 544-1 4th edition, October 2004