

철도차량용 제동마찰재 표준규격 제정에 관한 연구

An Investigation on Standards Creation of Brake Friction Materials for Railway Vehicles

권성태* 김정국** 서정원*** 권태순****
Kwon, Sung-Tae Kim, Jeongguk Seo, Jung-Won Kwon, Tae-soon

ABSTRACT

Brake friction materials in railway applications are one of critical elements for acceleration and/or deceleration of vehicle, stop at designated position, and stability of vehicle operation. In this investigation, a comprehensive overview on international standards on brake friction materials, including UIC, JI, and AAR, was conducted to understand the current standards creation trend and collect the related information on brake friction materials with different applications. Moreover, the detailed conditions such as testing conditions and environment, testing items, and materials, were carefully reviewed and compared by each standard. The preliminary results will be used for the creation of Korean railway standards (KRS) on brake shoe materials.

1. 서 론

철도차량의 제동장치는 철도차량의 감속, 정위치 정차 등, 차량의 안전성에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 요소의 하나이다. 최근에 적용되고 있는 제동장치는 차량의 제어시스템 설계에도 중요한 요소이며 제동압력, 점착력, 마찰재의 성능 등이 주요 변수로 작용하고 있으나, 제동마찰재의 선정에는 시험조건 등은 고려하지 않은 상태에서 단순히 평균마찰계수만을 변수로 사용하고 있어 그동안 차량의 제동거리 확보 및 정위치 정차 등에서도 많은 시행착오를 겪고 있는 실정이다. 일반적으로 제동마찰재는 소모성 부품으로 제동 초기속도나 제동 작용시에도 마찰계수는 변화하고 있어 제동장치의 성능에 가장 영향을 미치는 부품중의 하나이다. 따라서 제동마찰재의 선정시에는 차량의 설계 조건, 운용상태 등을 전반적으로 고려하여야 하며 이외에도 디스크 및 차륜에의 공격성, 적정마찰계수, 사용상의 적정 강도 등도 확인하여야 하는 부품이다. 국내에 적용되고 있는 마찰재 규격에서는 감속도를 기준으로 평균마찰계수를 적용하고 있으며 제동시험기의 조건도 명확하게 규정되어 있지 않으나, 제동마찰재의 주요규격인 UIC, JIS, AAR 등의 규격에는 철도 산업의 발전 및 안전성 확보를 위하여 마찰계수 시험시 실차와 유사하게 풍속 조건을 규정하거나, 사용상 마찰재 절손으로 인한 사고 예방 및 마찰 성능 확보를 위하여 실물 시험항목이 추가되고 있는 추세에 있으며, 마찰계수 시험시에도 시험 방법 및 조건을 현실성 있는 항목으로 규정하고 있다. 그러나 현재 국내운용 기관에 적용되고 있는 제동마찰재에 대한 규격은 대부분이 강도, 경도 등의 물성 위주이며 가장 중요한 마찰계수의 시험 조건도 관성모멘트, 제동 초기의 온도 등에 한정하여 실제의 조건을 반영하지 못하고 있어 차량 설계에 따른 적정 제동거리 확보에도 어려움이 있는 실정이며 관련 업체에서도 관련 연구 및 자료가 미흡하며 국제적인 규격으로의 부합화에도 어려움이

* * 책임저자 : 정희원, 한국철도기술연구원, 시험인증센터, 책임연구원
E-mail : stkwon@krti.re.kr
TEL : (031)460-5514 FAX : (031)460-5539

** 정희원, 한국철도기술연구원, 주행추진연구실, 선임연구원
*** 정희원, 한국철도기술연구원, 차륜제동연구실, 선임연구원
**** 정희원, 한국철도기술연구원, 시험인증센터, 선임연구원

있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 각국에서 적용되고 있는 제동마찰재 가운데 제륜자와 관련된 규격에서 규정된 주요 시험항목 및 동향 등을 검토하여 철도의 안전과 호환성의 확보를 위하여 제정되는 철도표준규격 제정(안) 작성시 우선적으로 적용하여야 하는 시험항목, 시험조건 등, 규격 제정시 필요한 요구 조건 및 시험항목 등을 제시함으로써 철도표준규격 제동마찰재(제륜자)의 규격 제정 및 관련 산업의 연구개발에 활용하고자 한다.

2. 제동마찰재의 규격 현황

2.1 국내 규격

국내에 제정되어 있는 제륜자 규격은 각 도시철도 운영기관에서 제정되어 있는 전동차용 제륜자 규격과 철도공사에서 2009년 개정된 화차, 전동차, 객차 제륜자에 사용되는 레진제륜자(KRCS B006 02)1) 및 화차에만 한정되어 있는 합성제륜자(KRCS B244 02)2) 규격이 있다. 도시철도 각운용기관에서 제정된 규격은 철도청의 규격을 근간으로 철도공사의 규격과 유사하게 제정되어 있다. 철도공사에서 제정된 규격의 주요 내용은 환경 유해 여부 확인을 위한 X-Ray(비석면) 검사와 여객 차량에는 순간마찰계수, 화차의 경우에는 평균마찰계수로 규정하고 경도, 압축강도, 충격강도 등, 제륜자의 물성이 주를 이루고 있으며 합성제륜자에는 제륜자 절손 방지를 위한 그림2-1과 같은 제륜자의 박리강도 시험이 추가되고 있다. 마찰계수 시험시 시험기의 주요 조건으로 관성모멘트, 압부력, 마찰계수 산정식, 열반점온도, 초기온도, 마찰면 조건 등으로 규정되어 있으며 AAR 규격에서 규정되어 있는 불꽃 발생으로 인한 화제를 예방하기 위한 제륜자 불꽃발생시험이 추가되어 있으나 평균마찰계수의 경우 차량의 감속도를 근거로 평균마찰계수를 산정하고 있다.

2.2 UIC

1997년 제정되어 3회 개정된 UIC 규격의 제륜자는 UIC 541-4:2007, "Brake-Brakes with composition brake block-General condition for certification of composite brake block"3), 라이닝은 UIC 541-3:2006, "Brake-Disc brakes and their application-General condition for brake pads"4) 규격으로 되어 있으며, 제륜자 규격은 2007년도 개정 되어 비교적 가장 최근에 제정되어 있다. UIC 541-4:2007에서는 120km/h이하의 화차용만 제정되고, 객차 및 동력차에 대한 제륜자 규격은 아직까지 미 제정되어 있으며 2007년 개정 규격에 추가되고 있는 주요 내용은 마찰계수 시험시 제동시험기의 조건으로 UIC 승인 또는 ISO EN 17025에 의하여 관리되어야 하며 제작중의 품질관리도 ISO 9001에 의하여 관리하고 이에 대한 확인도 가능하도록 규정되어 있다. 2006년 개정된 UIC 541-3:2006에서는 라이닝에 대한 규격이나 국내 차량은 아직까지 적용되지 않고 있는 최고속도 160km/h의 화차용 디스크브레이크 제동마찰재도 제정되어 있으나 제륜자 규격에서와 같은 시험기 조건 및 품질관리 조건은 포함되고 있지 않다.

UIC 541-4:2007의 주요 내용에는 재질의 물성은 업체에서 제시하는 것으로 하여 특별히 규정되어 있지 않으나 유해성 물질의 포함여부는 필수적으로 제시하도록 하고 각각의 제륜자 형상 및 치수가 규정화 되어 있다. 마찰계수에 있어서는 제동시험기의 조건이 UIC의 승인 또는 ISO EN 17025에 의한 관리 등이 상세하게 규정되어 있으며 특히 시험 차륜은 신제품으로 시험하도록 하며, 습식 조건, 지속 제동(Continuous braking), 표 2-1과 같은 외부 공기 공급조건, 순간 및 평균마찰계수 조건을 규정하고 있다. 제륜자의 실물시험으로 제륜자의 접착력 및 강도를 확인하기 위한 그림 2-2, 그림 2-3과 같이 제륜자 설치 방향에 수직으로 하중을 가하는 시험 등이 추가되어 있으며 마찰계수의 경우에도 차량의 조건에 따라 그림 2-4 ~ 그림 2-5와 같이 평균 및 순간마찰계수가 공통으로 규정되어 있다.

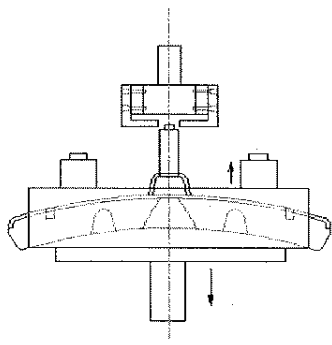


그림 2-1 합성제륜자 박리강도 시험방법

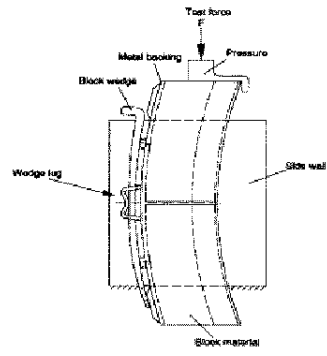
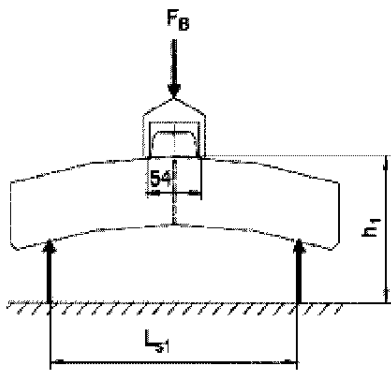
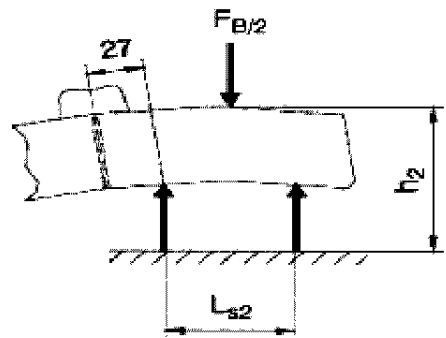


그림 2-2 UIC 강도 시험



(Test 1)



(Test 2)

그림 2-3 UIC 제륜자 강도 시험방법

표 2-1 제동시험기 공기 공급 조건도

구 분	v	Test bench speed (km/h)		Cooling air speed (km/h)	
		dry	wet	dry	wet
During braking with	≤ 80 km/h	v	v	v/2	10
	> 80 km/h	v	v	40	10
Between brake stops		100	50	40	10

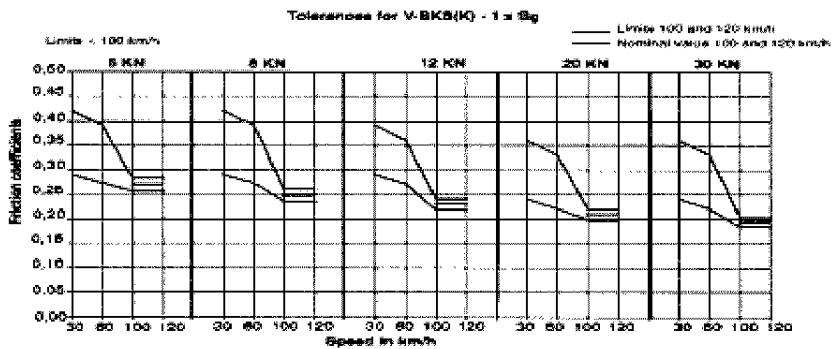


그림 2-4 평균마찰계수의 범위(예)

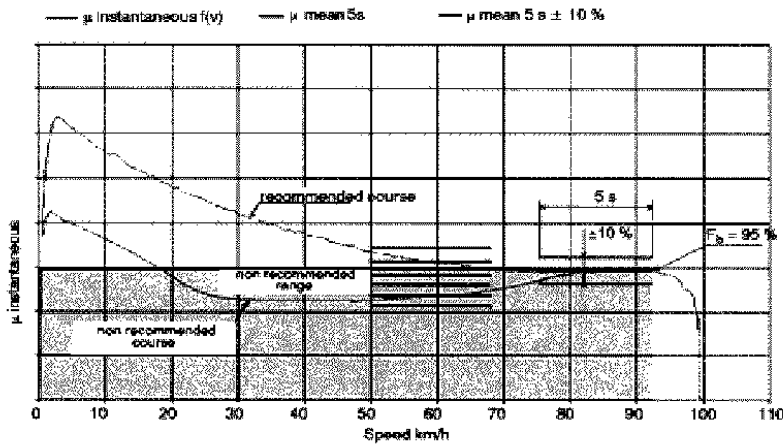


그림 2-5 순간마찰계수(예)

2.3 AAR

1965년 제정되어 2003년, 2005년 2회 개정된 AAR 규격은 AAR M-926, "Brake Shoe, High-Friction Composition Type"5) 으로 고마찰용 제륜자 규격이다. 이 규격은 국내 제륜자에서도 일부 시험항목이 적용되어 있는 규격으로 주요 내용은 AAR 승인 위주의 규격으로 수량은 최소 25,000개 또는 최초 2년 동안 승인하는 것으로 되어 있다. 이 규격의 주요 내용은 마찰계수를 확인하기 위한 제동시험 조건, 품질관리를 위하여 제륜자의 물성도 AAR의 승인을 받도록 규정되어 있다. 특히 제동시험기의 경우 AAR에서 설계되어 TTCI에서 보유하고 있는 제동시험기에 의하도록 규정화 되어 있다. 또한 일반적으로 제륜자와 마찰면의 온도 측정은 차륜 담면에 열전대를 설치하여 측정하나 이 규격에서는 차륜에 슬라이딩하는 형식으로 되어 있다. 마찰계수 측정은 모든 시험은 상용 및 비상 조건으로 최고속도 80 mph 까지 시험을 실시하며 고마찰계수인 제륜자이나 압부력은 편압으로 실시하며 제동패턴도 역속제동 시험과 정지제동시험으로 실시하도록 되어 있다.

또한 이 규격에서는 TTCI에서 보유하고 있는 시험기에 대하여도 압부력, 토오크 등의 시험장비의 지정된 항목과 제동프로그램에 대하여도 매년 교정을 실시하고 위원회의 심의를 받도록 하고 있으며 데이터의 취득도 최소 10 Hz이상이 되도록 하고 있다. 이 규격은 국내와 같이 제동시험 전후로 공기로 제륜자를 세척하고 무게와 밀도를 측정하여 이를 마모량으로 측정하는 방법과 국내 합성제륜자 규격에서도 인용되고 있는 그림 2-5와 같은 제동시험기의 차륜에서 일정 높이에 스크린을 설치하여 제륜자에 의한 불꽃 발생 여부를 확인하는 시험이 규정되어 있다.

이 규격은 우리나라와 유사하게 밀도, 경도, 용해 추출(성분분석)과 제륜자와 철판의 강도를 확인하기 위한 제륜자를 볼트로 고정하고 키 홈에 하중을 가하는 pull-off 강도 시험이 규정되고 있다.

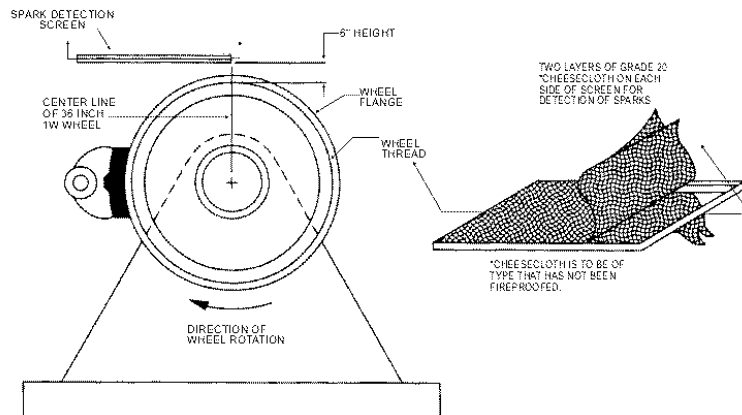


그림 2-5 불꽃 발생시험

2.4 JIS

우리나라의 규격과 비교적 유사한 2001년 제정된 JIS E 4309:2001, "Composition brake shoes for railway rolling stock-Quality requirement"6) 규격은 규격의 명칭은 철도차량용 합성제륜자이나 용도의 구분에서 답면용과 브레이크 디스크용으로 구분하여 규격의 적용범위가 제륜자와 라이닝을 모두 포함하는 규격으로 제정되어 있다. 이 규격에서는 95 km/h 이상은 고속차량으로 이하는 일반차량으로 구분하고 있으며 제륜자의 경우에도 고마찰계수용과 저마찰계수용으로 구분되어 있다.

이 규격은 제륜자와 라이닝의 형상 및 치수가 규격서의 내용에 포함된 것을 제외하면 국내에서 제정되어 있는 규격과 비교하면 관성모멘트 조건, 제동 초기 조건 압축 및 충격시험 등 제반 시험 항목이 국내의 규격과 많은 부분이 동일한 규격이다. 다만 모든 마찰재의 마찰계수의 판전은 순간마찰계수로 판정하고 있으나 국내에는 아직까지 적용되고 있지 않은 그림 2-6과 같이 습윤 조건시에는 마찰계수 저하가 건조조건보다 속도별 순간마찰계수 범위가 15 %이내로 규정되어 있으나 실물 제륜자에 의한 강도 평가 규정은 없는 규격으로 제정되어 있다.

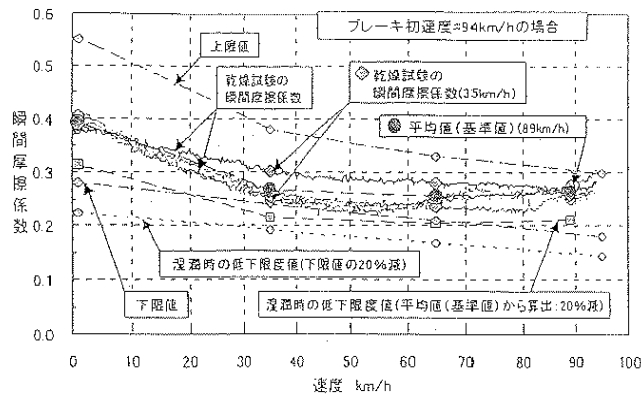


그림 2-6 습윤시의 순간마찰계수 기준

3. 제륜자 표준규격의 제정 방향

3.1 개요

제륜자에 대한 각국의 제륜자 규격을 비교한 결과, 각각의 규격에서는 차량의 설계조건 및 운용조건, 제작사의 기술 수준, 사회적인 배경에 따라라도 제정되어 있는 시험 항목에 차이가 있었으며 명칭에 있어서도 슈(Shoe), 브레이크 블록(Brake block), 제륜자(制輪子) 등으로 부르고 있었다. 다만 제륜자 규격에서 가장 중요한 항목은 안전성과 차량의 성능확보로 이들 규격에서도 가능한 한 이를 반영하여 제정되고 있으므로 향후 규격 작성에도 운용되고 있는 차량 설계조건에 따른 마찰계수 및 재질의 요구조건, 완성품의 요구조건 등을 종합적으로 검토하여 제정되어야 한다. 또한 제륜자 성능 평가에 있어서 각각의 규격에서 가장 중요시 되고 있는 제동시험기(Dynamometer tests)에 의한 마찰계수시험의 경우에도 UIC 및 AAR의 경우에는 형식시험의 개념으로 AAR의 위원회 또는 UIC에 의한 인증, ISO 17025에 의한 관리를 요구하고 있으며 시험시에도 신품 차륜을 사용하도록 규정하고 있으나, 국내 실정에서는 고가로 인하여 요구조건에 적합한 제동시험기를 보유한 업체가 거의 없는 실정에서 중요한 요소이나 이러한 항목을 직접적으로 적용하기 위하여도 타당성 검토가 요구되고 있다. 따라서 각각의 규격에서 정한 시험 항목을 비교하여 철도표준규격 제정시에도 국내 실정에 적합한 수준으로 제시하여야 할 것으로 판단된다.

3.2 제륜자의 구조 및 물리적 특성

각국의 규격에서 제시되어 있는 제륜자의 구조 및 물성에 을 비교하면 표 3-1과 같다.

표 3-1 제륜자 규격의 주요 시험 항목 비교

구 분		KRCS	UIC	AAR	JIS	비 고	
시 편	압축강도	○	-	-	○	UIC는 제작자 제시	
	충격강도(샤르피)	○	-	-	○		
	경 도	○	-	○	-		
	굽힘강도	○	-	-	-		
	유해물질	비석면	유해물질	비석면/납	유해물질		
	밀 도	○	-	-	○		
제 륜 자	불꽃발생시험	○	-	○	-		
	박리강도시험	○	-	○	-		
	강도시험	수직	-	○	-	-	
		굽힘1	-	○	-	-	
		굽힘2	-	○	-	-	
샘플링 갯수	지정	-	지정	일정기간			
제조방법 규정여부	규정	ISO 9001	품질승인규격	지정			
검사방법	지정	-	승인	지정			
제작도면	도면에의함	규정	승인	규정			
규격의 적용	lot 시험	의뢰자	승인	-			

※ ○ 표시는 규격에서 직접적으로 수치 또는 내용으로 규정

표 3-1에서와 같이 국내 규격은 제작사의 실정을 감안하여 일정 수량에 대한 소재 검사 위주이며, UIC는 ISO 9001, AAR은 AAR M-1003 "Quality Assurance Specification"에 의한 품질관리를 하도록 규정되어 있어 이러한 경우에도 관련 소재시험은 실시되나 규격에서는 항목은 명시하지 않게 제정되고 있다. 다만 제륜자 실물에 대한 강도평가 항목을 규정하여 사용상 안전성 확보가 가능하게 하였다.

따라서 철도표준규격에서도 유해물질의 강화와 사용상의 조건과 유사한 강도시험에 대하여는 직접적으로 규정하고 시편 시험은 제작사의 품질관리에 의하는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

3.3 제륜자의 마찰계수

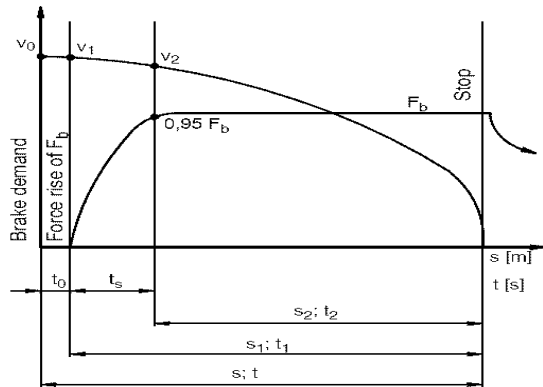
각국의 규격에서 제시되어 있는 마찰계수와 관련하여 제정된 주요 항목은 표 3-2와 같다.

표 3-2 마찰계수 규격의 주요 항목 비교

구 분		KRCS	UIC	AAR	JIS	비 고	
시 험 항 목	마찰계 수	평균	○	-	○	-	
		순간	○	-	-	○	
		평균/순간	-	○	-	-	
	역속제동	-	○	○	○	Continuous braking	
	습식제동시험	-	○	○	특정조건실시		
	마 모 량	○	-	○	○		
시 험 조 건	차륜의 공격성		○	-	○	○	
	관성모멘트		○	○	-	○	
	압 부 력(KN)		1조건(양압)	가변(편/양)	2조건(편압)	1조건(편/압)	사용조건 고려
	차륜상태		-	신품	신품(거칠기)	-	
	풍 속		-	속도별규정	규정	-	
	시험기상태		-	승인	승인	-	
	시험초기온도		○	○	○	○	
	제동패턴		20회정도	다양	다양(3개 슈)	20회정도	
	측정데이터수		-	규정	규정	-	sampling time
	측정프로그램		-	규정	규정	-	
배당조건		-	속도등	-	연마		
최고속도(km/h)		110	120	128	125		

※ ○ 표시는 규격에서 직접적으로 수치 또는 규정함

표 3-2에서와 같이 국내 규격은 여객열차는 제동충격 영향을 감소하기 위하여 순간마찰계수로, 이외에는 평균마찰계수로 규정하고 있으나, JIS에서는 순간마찰계수로 UIC에서는 평균/순간마찰계수 모두 규정하고 있다. 또한 우천시를 고려한 습윤시의 마찰계수 시험, 차륜의 공격성을 확인하기 위한 시험이 국내를 제외하여 실시되고 있으며 시험기의 조건도 강화하여 규정하고 있다. 따라서 철도표준규격에도 차량과 유사한 풍속, 압부력 범위 등은 적용이 필요하며 마찰계수 산정시에도 그림 3-1과 같은 조건의 규정이 필요하며, 신풍의 차륜 조건은 신뢰성 있는 자료의 확보를 위하여 필요하나 경제적인 측면에서 관련 기관과의 협의후 규격화 하는 것이 필요하다.



- F_B [kN] Total nominal contact force per wheel
- F_b [kN] Total instantaneous contact force per wheel
- V_0 [km/h] Actual speed on braking
- V_1 [km/h] Speed at start of force rise F_b
- V_2 [km/h] Speed at time at which $F_b = 0,95 \times F_B$
- T_0 [s] Free-run time between brake demand and start of brake force rise from F_b
- T_s [s] Brake build-up time from 0_95% of F_B
- s [m] Total braking distance from brake demand to stop
- t [s] Total braking time
- s_1 [m] Braking distance from start of force rise from F_b to stop
- t_1 [s] s_1 corresponding braking time
- s_2 [m] Braking distance from time at which $F_b = 0,95 \times F_B$ to stop
- t_2 [s] s_2 corresponding braking time

그림 3-1 UIC 규격의 마찰계수 산정

4. 결 론

본 연구에서는 철도안전법에 의하여 제정되고 있는 철도표준규격을 제정하기 위하여 각국에서 적용되고 있는 제동마찰계의 제륜자 규격에서 규정된 주요 시험항목 및 동향 등을 검토하여 철도표준규격에서 요구조건으로 규정되어야 하는 항목에 대하여 제시하고자 하였다.

철도표준규격 제정시에는 제정(안)을 작성하고 관련기관의 의견수렴, 위원회의 심의 등 관련 절차에 의하여 제정되어야 하나 관련 법령에 의한 철도표준규격의 목적이 철도의 안전과 호환성의 확보이므로 철도표준규격 제정(안)에서는 이러한 목적에 부합화 할 수 있도록 제정되어야 할 것으로 판단된다.

따라서 제륜자의 규격 제정(안)에서는 화차용의 경우 120km/h의 차량으로 제작 운영되고 있으나 마찰계수 시험은 110km/h까지 실시되고 있으므로 이를 반영하고 다음과 같은 세부 시험항목과 시험조건 등의 필요 요구 조건도