

레일패드 소재의 물리적 특성에 관한 비교 연구

A Comparative Study on Mechanical Properties of Rail Pad Material

권성태*
Kwon, Sung-Tae

나성훈*
Na, Sung-Hoon

김정남**
Kim, Jung-Nam

ABSTRACT

In this study, we investigate the mechanical properties of rail pad material according to pad types. Especially, to study the application and endurance of TEEE material, we conducted experiments such as tension strength test, hardness test, fatigue test and wear test. Test results showed that TEEE material was better application and endurance than other pad material, but there was difficulties for comparing with others because the variations of application according to pad' types were variable.

1. 서 론

열차 통과시 일정 구간의 레일 궤도에 진동이 발생하며, 이는 열차의 통과 속도와 축중의 크기에 따라 진동이 커진다. 이러한 진동은 침목에 균열을 발생시키고, 자갈을 파쇄시키며 침목과 레일의 뒤뜰름을 발생시키기도 한다. 따라서, 이러한 문제를 최소화하기 위하여 열차 통과시 발생하는 에너지를 흡수할 수 있도록 레일과 침목 사이에 탄력있는 패드를 사용하여 진동을 감소시켜야 한다.

레일 패드는 열차의 뒤뜰이되는 충격 하중에 대하여 경화 또는 파손되지 않고, 수명기간 동안 충분한 기능을 유지해야 하며 절연 성능을 지니고 있어야 한다. 또한 방진성을 향상시키기 위해서 적절한 탄성 유지 및 흡복한 기상 조건에도 견딜 수 있어야 한다.¹⁾

기존 국내의 레일제결상치에 사용하는 레일패드는 EVA, TPU, RUBBER 등이 주로 사용되어 지고 있다. 기존 철도에 주로 사용되고 있는 EVA, TPU 종류는 절연 성능은 비교적 우수하나 e-크림용 레일 패드는 두께 5mm로 탄성이 거의 없는 수준으로 되어 있으며, 고속철도에 사용되는 고무 종류의 패드는 두께 10mm도 65~95 kN/mm의 탄성계수를 가지고 있다. 기존 철도에 사용되는 레일패드는 구조적으로 레일과 침목 사이의 간격이 5mm로 탄성체인 패드의 사용에 제한적이므로 이를 보완하기 위하여 발포된 TEEE(열차소성 폴리에스터 탄성체) 소재의 사용이 검토되어 왔으며 외국에서는 일부 사용되는 것으로 알려져 있다.

따라서, 본 연구에서는 TEEE 소재에 대한 적용성 및 내구성에 대한 검토를 위하여 EVA, TPU, 고무, TEEE 소재의 패드에 대한 물리적 성질 및 스프링 정수, 반복하중에 대한 비교시험 및 마모시험을 실시하여 각각의 소재에 대한 비교 평가를 실시하였다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 위촉연구원, 비회원

2. 물성시험

레일패드의 물성에 대한 시험을 Table 1과 같이 실시하여 기본적인 물성평가를 수행하였다. 시험 방법은 모두 철도용품 표준규격을 적용하였다.²⁾ 일부 재질의 종류가 기본적으로 상이하므로 직접적으로 비교하기에는 무리가 있으나, 본 평가는 제품성능 및 내구성에 대한 비교 판단이 목적이므로 동일한 조건의 비교시험을 실시하였다

Table 1. 레일패드 물성시험 결과

구분		TEEE	EVA	TPU	고무 (고무인도율)	비 고
인장강도 (N/mm ²)	상 온	18.80	10.63	43.10	23.67	
	노화후	19.67	10.17	43.30	24.03	76 °C, 96 h
	침지후	20.00	7.83	43.53	15.30	(70±1) °C, 96 h, No.1
신장율 (%)	상 온	483	323	490	600	
	노화후	512	300	447	383	76 °C, 96 h
	침지후	523	301	440	450	(70±1) °C, 96 h, No.1
경도 (HDA)	상 온	72	92	92	67	
	노화후	67	83	82	66	80 °C, 72 h
	저 온	75	91	97	71	-35 °C, 72 h
오존시험	관찰없음	관찰없음	관찰없음	관찰없음	630/5) ppm, (40±2) °C, 20 %산장, 72 h	
영구압축감손률(%)	86	74	50	38	(70±1) °C, 22 h, 50 %	
고유시형(μ·cm)	10 ⁹⁻¹⁰	10 ¹⁷⁻¹³	10 ¹³⁻¹¹	10 ¹¹⁻¹²	22 °C, 22 %	
내구성시험(%)	0/7	13/27	0/57	53/37	(70±1) °C, 96 h, No.1	
스프링 정수 (kN/mm)	초 기	65.4	332.9	402.5	73.2	(12 ~ 75) kN
	10,000회	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음	(12 ~ 127) kN
	반복후	88.6	5015.4	446.3	75.0	

3. 내구성 평가

내구성시험은 실제의 사용조건으로 사용 시험 후 판단하여야 하나, 본 시험에서는 피로시험 후 스프링정수의 변화로 패드의 내구성에 대한 비교를 실시하였다. 그러나 본 제품들은 장기적으로 사용되고 선로 및 개찰적 요인 등의 제반 사용 조건이 각각 상이하므로, 동일한 조건의 기준에 의하여 내구성을 평가하였다. 따라서 패드의 용도, 사용조건 등을 고려하고 물성 변화 등, 내구성과 관련된 시험항목 중 인장강도 변화율, 경도변화율, 반복하중시험(피로시험)과 반복하중시험 전,후의 스프링정수, 내구성 등에 대하여 비교와 검토를 실시하였다.

3-1. 인장강도 변화율

환경조건 변화에 따른 강도 변화는 성능과 내구성에도 영향이 있으므로 노화(가열)와 내유(침지)에 따른 변화율을 비교하였으며 비교결과는 Fig. 1 (a),(b)와 같다.

노화조건에서는 모든 소재가 양호한 것으로 나타났으며, 내유 조건에서는 TPU, TEEE 소재가 가장 양호하게 나타났다. 따라서 노화에 따른 강도는 큰 차이가 없으나, 고무와 EVA 소재가 내유성에서 재적도 급격하게 변화하여 사용조건에 따라 내구성도 저하될 것으로 판단되며, 연신율 등과도 종합하면 TEEE 소재가 비교적 안정적인 불성을 유지하는 것으로 나타났다.

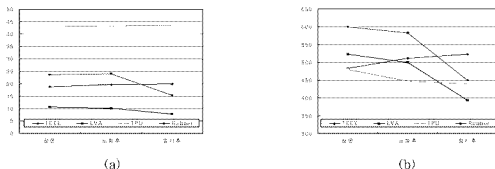


Fig. 1 래드 종류별 인장강도 및 신장율 변화율: (a)인장강도 변화율, (b)신장율 변화율

3-2. 경도 변화율

탄성체에서의 경도는 중요한 불성의 하나로 경도 변화는 사용상 또는 외부조건에 따라 변화하며 특히 탄성체는 저온에서 탄성시 발생하는 에너지에 의해 크게 영향이 없으나(-50℃이내) 고온에서는 스프링정수와 많은 관련이 있다. 따라서 본 시험에서는 비교적 가혹한 환경조건을 고려, 경도변화율 비교하였으며 비교결과는 Fig. 2와 같이 EVA소재가 저온에서는 양호하나, 고온 조건인 노화시험후에는 급격한 저하가 발생하여 내구성면에서 가장 취약한 것으로 판단되며, 고무와 TEEE소재가 비교적 변화가 작이 양호한 것으로 나타났다.

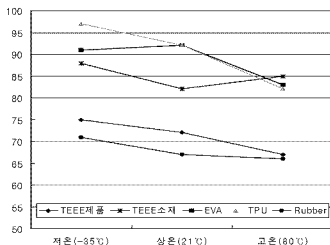


Fig. 2 경도 변화율

3-3. 반복하중시험 및 스프링경수 변화율

본 제품은 레일과 침목 사이에 사용되는 제품으로 차량 운행에 따라 반복적인 하중을 받고 있으므로 반복하중시험(피로시험)을 실시하였으며, 반복하중시험 전 후, 페드의 스프링경수를 측정하여 성능저하 여부도 판단하였다.

반복하중시험시의 시험 하중은 실제로 레일페드가 최대도 받을 수 있는 하중으로 기존의 KNR에서 적용되고 있는 최대 축중(25.4 ton)을 고려하여 기존의 e-크립의 체결력인 12 kN에서 최대 유중인 127 kN까지의 하중을 반복하중으로 하였다. 따라서 본 시험의 목적이 4개의 제품에 대한 비교가 목적이므로 사용된 시험편은 실제의 레일페드를 이용하고, 침목 및 레일 저부의 형상과 동일한 조건으로 Jig를 제작하여 시험을 실시하였다.

일반적으로 페드의 스프링경수 측정시에는 레일페드의 국부적인 손상, 미끄러짐, 또는 초기 변형을 고려하여 레일페드 전체 면적에 힘을 가하거나, 재하관 밑에 연마용 천을 전면적에 걸친 상태에서 시험을 실시하고 있으나, 본 시험에서는 반복하중시험, 스프링경수시험 등이 연속적으로 실시되므로 레일과 침목의 조건을 고려하여 시험을 실시하여, 초기의 스프링경수는 제품에 따라 수치의 순선도 일부 예상되거나 다음과 같은 선차에 의하여 4개의 제품에 대하여는 3개의 제품에 대하여 10,000회의 반복하중시험, TEEE 및 고무에 대하여는 100,000회의 반복하중시험을 실시하였다.

Table 2. 10,000회 하중시험시 스프링경수 변화율

구분	TEEE	EVA	TPU	RUBBER	비 고	
시험전	65.4	3332.9	4025	73.2	(kN/mm)	
시험후	시험결과	88.6	5015.4	4403	75.0	
	변화율	35.5	-49.6	10.9	2.5	
	변화량	23.2	1682.5	43.8	1.8	

각각 3개에 대한 10,000회 반복하중시험(피로시험) 전,후의 스프링경수의 변화율을 정리하면 Table 2와 같으며 피로시험에서는 4가지 시험품에서 찢어짐, 파손, 급격한 변형 등은 없는 것으로 나타났으며, 시험결과 EVA 및 TPU 소재 페드의 스프링경수가 TEEE 및 고무페드보다 높아 전동저감 등의 역할은 없는 것으로 판단된다. TEEE 페드의 경우 시험 전 수치가 다소 낮게 나타났으나 이는 본 시험에서의 조건이 발포계의 특성상 재하면과 접촉하는 표면의 미세한 변화가 초기의 결과에 영향이 있었던 것으로 판단되며 Fig. 4의 100,000회에서도 다소 차이는 있으나 탄성도 유지하는 것으로 나타났다. 고속철도용에 사용된 고무페드(기준치 65~95 kN/mm)는 4개의 시험품 중 가장 양호한 것으로 나타났으나, 본 시험시 페드의 두께는 5mm이나, 고무는 10mm로 시험품의 제작에 따른 영향도 일부 있을 것으로 판단된다.

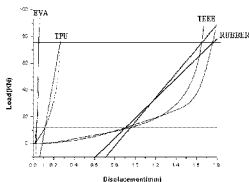


Fig. 4 100,000회 하중시험 후 스프링상수 비교 결과

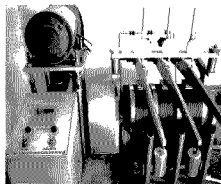
3-4. 마모시험

각각의 레일패드의 내마모성을 조사하기 위하여 동일 조건에서 마모시험을 행하였다. 시험방법은 KS M 6625:1987에 따라 시험속도 40rpm, 하중 2.27kg의 조건에서 Fig. 5 (a)와 같은 NBS RUBBER ABRASION TESTER로 시험하였다.³⁾ 각각의 시험편에 대하여 시험편의 두께가 25.4mm 마모되었을 때의 회전수를 측정하였으며, 본 시험에 들어가기 전 시험편의 면이 시험기의 드럼의 형태와 같이 마모될 때까지 회전시켜 시험편의 전면적이 마모되도록 하였다.

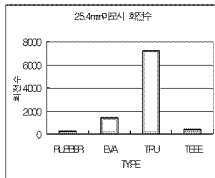
Table 3 및 Fig. 5 (b)은 레일패드 종류에 따른 마모시험 결과를 나타낸 것이다. 측정 결과 EVA와 TPU가 마모성능이 우수한 것으로 나타났는데, 이는 소재 자체의 경도와 동일한 경향을 나타내고 있다. 즉, 경도가 높은 재질일수록 동일 마모 두께에 이르는 회전수가 증가하였다. 따라서, 본 마모시험 결과로는 각각의 레일패드의 마모 성능을 비교하는 것은 다소 무리가 있다고 판단된다.

Table 3. 마모시험 결과

TYPE	100회전(mm)	200회전(mm)	254(mm)마모시 회전수
RUBBER	0.69	1.63	257
EVA	0.18	0.36	1,411
TPU	0.19	0.31	7,248
TEEE	0.75	1.38	411



(a)



(b)

Fig. 5 마모시험 결과 비교; (a) 마모시험방법, (b) 25.4mm 마모 진행 후 회전수 비교

4. 결 론

TEEE, EVA, TPU, 고무 등 기존에 사용되는 제품 및 개발품, 고속철도용 등 4가지 종류의 레일패드에 대하여 각각의 제품 규격에 의하여 시험을 실시한 결과는 다음과 같으며, 각각의 소재는 물성치 기준이 상이하여 물성 변화에 따른 비교 검토로 내구성에 대한 우수성에 대하여 판단한 결과는 다음과 같다.

- 1) 해당 시험품(TEEE 패드)에 대한 물성은 기존의 EVA 및 TPU 레일패드에 비하여 온도변화 및 내구성 등에서 물성의 변화가 적게 나타났으며, 특히 고온에서 인장강도 및 연신율, 경도 등의 물성 변화가 기존의 패드보다 매우 양호하므로 내구성 측면에서도 양호한 것으로 판단된다.

- 2) 반복하중시험 및 스프링상수 시험 결과 EVA 및 TPU 패드는 TEEE 및 고무패드에 비하여 탄성체가 아니므로, 점연효과 및 내지 간격새, 보호새 등의 효과는 있으나 견동저감 등의 성능면에서 사용효과는 크게 없을 것으로 판단된다.
- 3) 반복하중시험(피로시험) 결과 고무패드가 가장 양호하게 나타났으며, 체적에 대한 영향도 있으므로 직접적인 비교는 어려우나 TEEE 소재의 패드도 시험 조건을 고려하면 적정 성능은 유지하고 있는 것으로 판단된다.
- 4) 해당제품은 온도 및 내유변화에 따른 물성과 반복하중에 따른 스프링정수의 변화가 EVA 및 TPU 패드보다 전반적으로 양호하여 성능 및 내구성 등에서 우수한 것으로 나타났으나, 궤도의 성능에도 다소의 차이가 있을 것으로 판단된다.
- 5) 마모시험 결과 경도가 상대적으로 높은 EVA 및 TPU 패드가 우수한 마모 성능을 보였으나, 소재 자체의 물성에 따른 결과로 패드 종류별 단순 비교는 다소 어려움이 있었다.
- 6) 따라서 TEEE패드는 실내의 시험에서는 TPU, 및 EVA보다 성능면이나 내구성면에서 우수하나 사용 조건은 많은 변수가 있어 유동적이므로 부설시험 등으로 종합적으로 판단함이 바람직하다.

참 고 문 헌

1. 양신후, 노혁천, 강윤석, 이종득 (2000), "고속철도 방진침묵 개발", 한국철도학회 2000년도 추계학술대회 논문집, pp.312
2. KRS 2250-1054마 (2002), "레일제갈장치(e-크림용)"
3. KS M 6625 (1987), "가황 고무의 마모 시험 방법"