

국내 기후와 환경에 적합한 터널브래킷 선정에 관한 연구

A Study on the Appropriate Tunnel Bracket using in Korea Peninsula

장 광 훈* · 서 기 범†
(Kwang-Hun Jang · Ki-Bum Seo)

Abstract - Tunnel bracket is used in railway tunnel area in order to maintain insulation. Insulator performance evaluation test is proceeded refer to IEC 61109 but it is impossible to reflect all the field condition where insulator installed. Korea has clear four season in climatic condition and peninsula with lots of mountain in geomorphology condition. Tunnel bracket material which used in Korea are butyl rubber, polymer and silicone. Most of them were installed without any internal climatic and geomorphology condition. According to the KORAIL operation data most of the insulator break down occurs in tunnel. So interval of inspection period is shorter than any other insulator and lots of maintenance cost incurs. Most major railway advanced country such as Germany and Japan maintain tunnel bracket with their own experience. For example visual inspection carried out with in one or two years and detailed inspection carried out between three to five years. This paper analyzed materials and shapes of tunnel bracket to in order to find optimized one in Korea peninsula. Proposed bracket were tested under regulation and experience field data. Finally it was installed at the field and evaluated until now.

Key Words : Tunnel bracket, Polymer, KORAIL

1. 서 론

브래킷의 일종인 터널브래킷은 터널내에서 절연확보와 전차선 및 조가선의 지지역할과 편위를 유지시키는 핵심설비로서 주요 재료는 자기, 폴리머, 유리 등이 사용되고 있으며 최근에는 폴리머 애자가 주로 적용되고 있다.

폴리머 애자의 성능평가는 IEC61109를 인용하여 시행되나 이는 대부분 실험실의 조건에서 시행되는 것으로 실제 현장과는 많은 차이가 발생할 것으로 생각된다. 특히 국내의 경우 반도이며, 산악지형이 많고, 사계절에 따른 특징과 운행차종의 영향으로 인한 공해 등은 애자 성능에 지대한 영향을 줄 것으로 사료된다.

주요 철도선진국의 경우 장기간 운영 실적을 바탕으로 자국의 실정에 맞는 애자를 적용하여 1년 또는 2년에 한번 육안을 통한 정밀점검을 시행하고 3년에서 5년 주기로 샘플링 조사를 실시하여 애자의 교체주기 선정에 반영하고 있다.

국내의 경우 터널브래킷은 부틸 고무형, 폴리머제(EPDM), 분리형(Silicone)의 3종이 대표적으로 운영되고 있으나 터널, 기후 및 자연환경 등에 대한 평가를 시행하지 않고 일률적인 점검 주기가 적용됨에 따라, 주변 환경에 영향이 큰 개소의 경우 단기간에 절연성능이 저하되고 크고 작은 장애에 쉽게 노출된다. 이에 따라 점검 및 청소주기가 철도에 사용되는 애자류 중 가장 짧게 적용되고 해마다 많은 유지 보수

비용이 발생한다[1].

위와 같은 문제를 해결하기 위해 지속적인 점검으로 애자의 청결을 유지하는 것도 하나의 방법이지만 유지보수 비용 및 인력운영의 최적화가 요구되므로 터널구간의 오염상태를 판단하여 점검주기를 조정하고 효율적인 관리가 필요한 실정이며, 그간 다양한 연구가 진행 되었다[2-3].

본 논문에서는 기존 터널의 환경에 적합한 재질을 연구 검토하여 최적의 복합형 터널브래킷을 제안하고 적용하고자 한다. 제안된 브래킷은 각종 성능시험을 통하여 국내 적용 환경 적합성을 검증하였으며 현장운용을 통하여 실증을 시행하고 있어 기존의 점검주기를 개선하고 운용자의 애로사항을 해결하여 열차의 안정적인 운행에 기여할 것으로 사료된다.

2. 터널브래킷 운영현황 분석

2.1 터널 현황

전국의 철도터널은 2013년 현재 684개로, 노선별로 분류하면 중앙선이 99개(14%)로 가장 비중이 높으며, 고속선, 경전선, 영동선, 태백선 순으로 나타났다[4].

터널내부 애자의 절연성능은 운행중인 열차의 종류, 터널의 길이와 노후도에 영향을 받게 된다.

터널의 길이에 따라 분류해 보면 장대터널(1[km]이상)이 200개소(29%)이며 과반수 이상이 100~500[m]의 연장으로 조사 되었다. 현장 여건에 따라 다소 차이는 있으나 연장이 100[m] 이상시 열차 운행에 따라 발생하는 분진 및 매연이 자연순환 되지 않아 오염이 심하게 발생하는 것으로 추정된다[4].

* Dept. of Railroad Electric Engineering, Woo Song University, Korea

† Corresponding Author : Dept. of Railroad Electric Engineering, Woo Song University, Korea

E-mail : kbsuh@wsu.ac.kr

Received : April 14, 2014; Accepted : June 20, 2014

준공 연도별로 분류해 보면 1950년 이전에 축조된 터널이 208개(29%)로 가장 많은 수를 차지하고 있으며, 30년 이상 된 노후터널이 50% 이상 되어 운영환경이 매우 열악함을 알 수 있었다. 노후 터널의 경우 협소, 다습하여 오염물질의 외부 방출이 쉽지 않아 발생된 오염 물질이 애자표면에 정착하여 절연과피 등의 장애를 야기하고 있다.

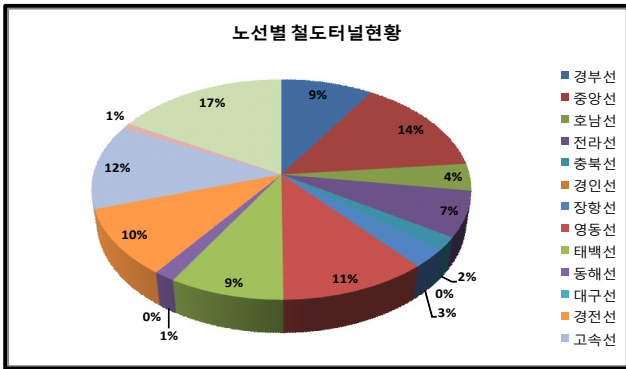


그림 1 철도노선별 터널 현황
Fig. 1 Railway tunnel route present condition

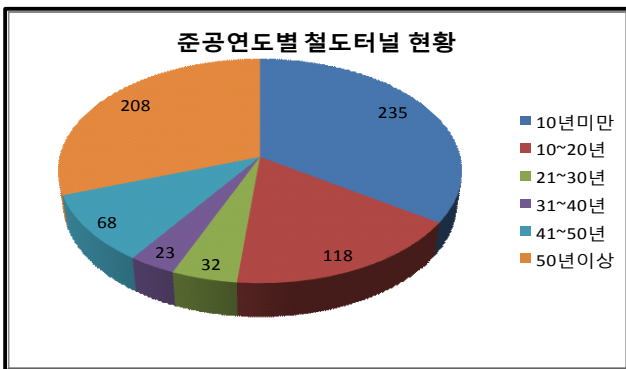


그림 2 준공연도별 철도 터널 현황
Fig. 2 Railway tunnel completion present condition

2.2 터널브래킷 운영현황

전철화 구간의 터널은 537개소(532.9[km])이며 약 82,000여개가의 애자가 설치되어 운용중이다. 전체 애자의 수량과 비교시 대략 10% 수준 임에도 애자와 관련된 장애는 대부분 터널에서 발생한다. 터널은 노출개소와 달리 점검 환경이 원활하지 않으며, 특히 폴리머 재료의 경우 절연내력이 저하되어 장애가 발생하여도 외관상 변화가 쉽게 확인되지 않아 복구까지 장시간이 소요되어 손실이 크게 발생되고 있다[5].

터널브래킷의 절연과피 원인은 터널 내에 쌓이는 오염물질이 브래킷에 정착되어 누적된 후 습도가 높아지면 가용성분이 물에 용해되어 표면 누설저항이 저하되고 많은 누설전류가 흐르기 시작하여 발생하는 것으로 나타났고, 터널 내부에 발생하는 오염물질은 운행되는 열차의 종류와 터널의 길이에 따라 다양하나 철, 규소, 알루미늄, 칼슘 등의 순으로 분석되었다[6]. 본 논문에서 채택하는 방법은 혼합 테스트 구조이다. 이것은 의사 무작위 테스트를 수행하고 그것으로

잡아내기 어려운 고장을 결정 테스트로 해결하는 방식이다 [4]. 무작위 저항 고장에 대한 패턴만을 FSM을 이용해서 가해주고 나머지 고장은 의사 무작위 패턴생성으로 잡아주는 방식을 채택하였다[5].

표 1 터널브래킷 청소주기

Table 1 Sweeping period of tunnel bracket(Insulator)

구분	적용구간	청소주기	비고
비에 씻기지 않는 애자	교류전기차 운행구간	3년	장간애자, 현수애자, 지지애자, 절연봉
	직류전기차 운행구간	5년	
	교류전기차+디젤차 운행구간	1년	터널브래킷
비에 씻기는 애자	전체 구간	3년	장간애자, 현수애자, 지지애자, 절연봉
		5년	본 지침 제31조의 오손등급 참조

국내 터널 내부의 브래킷 점검은 연 1회 열화상카메라에 의한 상태측정과 직접 청소를 기본으로 시행하고 있으며, 청소는 고압살수 또는 손뎀기 방법이 사용된다. 협소터널의 경우 절연성능 향상을 위해 절연그리스를 브래킷 표면에 도포하여 절연성능의 향상을 도모하고 있으며 많은 노동력과 시간, 비용 등이 발생하여 효율화의 필요성이 지속적으로 대두되고 있다.



[손뎀기] [고압 살수]

그림 3 터널브래킷(애자) 관리방법
Fig. 3 Tunnel bracket(Insulator) cleaning method

3. 국내 환경에 적합한 터널브래킷의 선정

3.1 절연재료의 종류

국내 터널환경에 적합하여 오염물질의 부착이 적고, 절연내력의 확보가 가능한 절연재료를 선정하기 위해 대표적 절연물인 불소수지(폴리머), FRP, 실리콘을 대상으로 분석을 실시하였다.

3.1.1 불소수지(폴리머)

국내에 적용되는 불소수지는 테프론이란 상품명으로 널리 알려져 있으며 내열성, 내약품성, 전기절연성, 고주파특성, 비점착성, 저마찰계수, 난연성 등이 우수한 플라스틱이다.

다만 폴리머로서 기계적 부품으로 사용할 때는 내마모성,

압축특성 등의 기계적 물성이 다소 떨어지는 특징이 있어 충전제를 혼합하여 성능을 개선하고 있다. 일반적으로 Glass, Carbon, Graphite, Bronze, MoS2(이황화 몰리브덴)등과 혼합하여 사용되는 특징이 있으며, 가장 보편적으로 적용되는 소재이다.

3.1.2 FRP(Fiber glass Reinforced Plastic)

유리섬유강화플라스틱(FRP)은 열경화성 수지를 접착성 결합제로 하고 고강도의 유리섬유를 보강제로 한 섬유 강화 플라스틱 재료이다. 유리, 탄소, 보론, 그래파이트, 아라미드, 세라믹, 금속 비닐 등이 보강제로 사용된다. 보강재료의 혼합비율과 방법에 따라 특성의 차이가 심하게 발생하여 성능 분석과 취급이 다소 곤란한 부분이 있으나, 국내 애자류에도 적용 되어 활용되고 있다.

3.1.3 실리콘(Silicone)

고분자 애자의 하우징 재료로 가장 보편적으로 사용되며 내열, 내한성, 내오존성, 내후특성 및 내 코로나성이 우수한 장점이 있다. 철도선진국에서도 Shed용 재질로 가장 널리 보편적으로 사용되어 신뢰성이 우수한 것으로 분석되며, 컴파운드 재료 역시 Dow Corning, Wacker, GE silicone의 대표적 제조사가 있어 성분분석 및 특성시험이 유리한 점이 있다.

3.2 하우징 재질별 오손특성 분석

터널 내부의 금속분진은 애자의 절연성능을 저하시키는 주된 요인이므로 재질별 오손상태와 이에 따른 전기적 특성 변화에 대해 시험을 실시하였다.



[불소수지(폴리머) 재질 시험시료] [실리콘 재질 시험시료]

그림 4 제작된 시험용 터널브래킷 시료
Fig. 4 Testing specimen for Tunnel bracket

시료는 일반선 구간에 적용되어 사용중인 불소수지(폴리머), 실리콘 재질에 대하여 축소 시료를 제작하였다.

3.2.1 금속분진시험

금속분진 중 가장 많은 성분은 철(Fe)로서 모의시험을 위해 밀폐용기를 제작하여 그 속에 시료를 넣고 철 성분의 분말(입도 20~200[μ m]) 100g을 1분간 도포 후 표면 오손상태를 확인하였다. 건조상태와 가습상태로 구분하여 상용주파

건조 섬락 전압을 측정하고 초기특성과 비교를 시행하였다. 시험은 객관성 확보를 위해 총 5회 수행되었다. 시험결과 건조상태에서 초기 건조섬락전압은 평균 불소수지(폴리머) 127[kV], 실리콘 129[kV]로 큰 차이는 없었다.



[금속분진 분사] [상용주파 건조섬락 시험]

그림 5 금속분진 모의시험
Fig. 5 Trial examination of metal dust

표 2 건조상태에서 상용주파 건조 섬락전압 측정결과
Table 2 Power frequency dry flashover test result for dry condition

구 분	평균	1차 시험	2차 시험	3차 시험	4차 시험	5차 시험
불소수지 (폴리머)[kV]	142	139	141	141	149	139
실리콘[kV]	114	97	112	104	137	120

표 3 가습상태에서 상용주파 건조 섬락전압 측정결과
Table 3 Power frequency dry flashover test result for wet condition

구 분	평균	1차 시험	2차 시험	3차 시험	4차 시험	5차 시험
불소수지 (폴리머)[kV]	107	124	98	105	102	107
실리콘[kV]	101	106	97	99	111	92

특성시험 결과 건조상태에서는 불소수지(폴리머) 재질이 실리콘에 비해 금속분진의 부착밀도 및 전기적 특성평가 결과가 우수하게 나타났으나, 가습상태에서는 차이점 확인이 곤란하였다. 반면 외력(전기적, 물리적)을 가했을 경우 불소수지(폴리머)의 경우 금속분진이 쉽게 제거되었으나, 실리콘의 경우 그렇지 않음을 알 수 있었다.

3.2.2 Tracking 시험

터널 내부에서 장기간 금속분자에 노출되면 오염의 진전에 따라 표면에 누설전류가 증가하여 Tracking이 발생되므로 절연재료별 성능 시험을 시행하였다. 시험규격은 IEC60587에 따라 4.5[kV]에서 6시간을 정상상태와 오손상태의 제작시편에 대해 시험하였으며 시험 결과 모두 Erosion 및 tracking 흔적은 나타나지 않았으나, 절연재질에 따라 실리콘 재질 보다 불소수지(폴리머) 재질이 금속분진의 오염이 더 적게 발생하고 쉽게 제거됨을 확인할 수 있었다.

3.3 형상연구

3.3.1 운용중인 터널브래킷

국내 터널구간에 운용중인 터널브래킷의 전기적 특성을 분석하여 다음 표에 나타내었다.

표 4 터널(지하)구간에서 운용중인 애자의 절연성능
Table 4 Insulator Insulation performance used in tunnel area

구분		표면누설 거리[mm]	주수섬락 전압[kV]	건조섬락 전압[kV]	비고	
지하구간	NSP 50	1,100이상	150	200		
	R-bar(SP)	991	125	275		
	T-bar(현수1련)	290	30	60	254mm	
터널구간	현수애자(4련)		280×4=1,120	40×4=160	105×4=420	클레비스
	장간 애자	T-m	1,480이상	230이상	300이상	폴리머
		N-a	1,640이상	255이상	330이상	
	터널브래킷	Butyl rubber	1,067	185	230	
		폴리머	≒ 1,050	규격 없음	규격 없음	
실리콘		1,100이상	95	250		

3.3.2 구조설계

표면 누설거리를 증가시켜 터널내부에서 전기적 특성을 향상시키기 위해 현장조사를 바탕으로 Shed의 수를 조정하였다. 기존 Arm에만 설치되어 운영되던 것을 Arm, Support 2개소 확대 하였다. 기존 설치품이 2~3EA의 Shed로 운영 중임을 고려하여 절연 성능확보를 위해 Support에는 3개의 shed, Arm은 6개의 shed를 설계하였다.

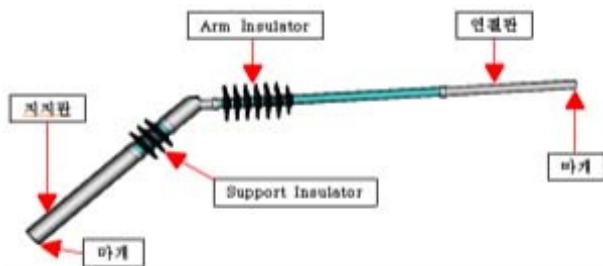


그림 6 제작된 터널브래킷 형상
Fig. 6 New designed product for Tunnel bracket

4. 개발품의 제작 및 현장검증

개발된 제품에 대해 절연성능 및 구조적 문제점 등의 확인을 위해 기계적 하중시험과 전기적 시험을 시행하고 운용 중인 제품과 비교 검토하였으며, 추가적으로 애자의 세척 및 유지보수 용이성에 대한 분석을 병행하였다.

4.1 기계적 하중시험

터널브래킷의 처짐 특성을 파악하여 개발품과 비교 평가하기 위해 브래킷의 운용특성을 기반으로 성능평가를 시행하였다. 수직, 수평하중에 대한 적용기준을 마련하여 시험하였으며 다음표 나타내었다.

표 5 기계적 하중시험 적용 기준
Table 5 Mechanical weight test application criteria

구분	하중점	적용하중[N]	성능
수직 하중	연결관 침단에서 100[mm] 위치	981	연결관 끝부분 처짐 변위차 300mm +10%
		1,667	연결관 끝부분 처짐 변위차 550mm +10%
수평 하중		2,158	각 부에 이상이 없어야 한다.

기계적 하중 측정결과 개발품의 경우 기존 제품과 비교시 최소 20%~50%의 변위가 축소됨을 확인 할 수 있었으며 적용하중에 적절하게 만족 하였다.

표 6 기존품과 개발품의 하중시험 결과
Table 6 Mechanical weight test result

적용하중 [N]	A변위(Arm insulator)		S변위(지지관)	
	기존품	개발품	기존품	개발품
981	398	319	13	5
1667	616	512	20	10

4.2 전기적 특성시험

전기적 특성은 상용주파 건조섬락 전압 및 누설전류와 상용주파 주수섬락 전압에 대하여 측정하였다. 특히 주수섬락 시험에 대해서는 초기상태와 오손상태를 구분하였다.

표 7 기존품과 개발품의 전기적특성 시험 결과
Table 7 Electrical characteristic test result between the two

항목	기존품		개발품	비고
	신품	경련품		
상용주파 건조섬락전압(kV)	308	311	438이상	
누설전류 (100kV 5분 1mA이하)	0.053	0.052	0.044	

항목	기존품(신품)		개발품		비고
	초기	오손	초기	오손	
상용주파 주수 섬락전압(kV)	225	180 (80%)	284	271 (95%)	

건조내전압 및 섬락시험의 경우 기존품에 비해 약 42%의 향상 효과가 확인되었고 주수섬락시험의 경우 약 43%의 향상 효과가 있음이 확인되었다. 다음표에 결과를 나타내었다.

4.3 세척 및 유지보수성

터널내에서 오염된 터널브래킷에 대해 고압살수 방식으로 세척을 시행하고 상태를 확인하였다. 고압 살수 후 형겅으로 1회 세척시 기존품의 경우 먼지와 미세분진들은 제거되나 브래킷에 고착되어 있는 오손물은 제거 되지 않은 반면, 개발품에서는 불소수지(폴리머)에 묻어있던 오손물이 손쉽게 완전하게 제거됨을 확인할 수 있었다. 정량적 평가는 곤란하나 기존 품보다 유지보수에 효과적인 것으로 판단되며 설치이후 운영현황을 지속적으로 누적하여 검증을 시행 중이다.

5. 결 론

현재 한국철도공사에서 사용하고 있는 터널브래킷은 주변 환경에 대한 평가없이 설치 운영되어 안전한 열차운행을 위협하는 요소가 되고 있다.

본 논문에서는 국내 환경에 적합한 제품선정을 위해 주요 애자류의 재질별로 시료를 제작하여 금속분진을 이용한 인공오염 시험 및 Tracking 시험을 시행하였고 이를 바탕으로 적합한 재질을 선정하였다. 이후 터널여건을 고려하여 절연 내력을 향상시키기 위한 형상을 고안하여 시제품을 제작하였다.

제작된 시제품에 대하여 기존제품과 전기적, 기계적으로 비교 시험을 시행하였으며, 전기적 성능의 경우 약 43%이상, 기계적 강도의 경우도 최소 20% 이상 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 특히 유지보수에 큰 영향을 미치는 세척 및 유지보수에 있어서도 정량적 비교는 어려우나 쉽게 오손물이 제거됨을 확인 할 수 있었다. 개발된 브래킷은 운영자에게 설비의 안정적인 운영환경을 제공할 것으로 확신하며, 현장설치 운영을 통하여 지속보완을 시행한다면 국내기술로 적용된 최적의 브래킷이 될 것으로 기대한다.

References

[1] Young sik Park et, al., 「Management method of pollution area(tunnel, sea side) catenary system insulator」, KORAIL Electrification department., Aug. 2013.

[2] Yong Joo Jeon et, al., "A study on the tunnel bract insulator pollution characteristic", KORAIL Research institute, Aug. 2009.

[3] Young Sik Park et, al., 「Management method and future plan of Tunnel bracket insulator」, KORAIL Electrification department., Dec. 2008.

[4] KORAIL, "2013 Civil work present" KORAIL Civil engineering division, 2013.01.

[5] R. Vogelsang et al., "The Effect of Barriers on Electrical Tree Propagation in Composite Insulation Materials", IEEE Trans. on DEI Vol. 13, No. 1, pp.373-382, Apr. 2006

[6] IEC Publ. 60112, "Recommended Method for

Determining Comparative Tracking Index of Solid Insulating Materials under Moist Conditions", 2nd Ed., 1971

[7] Luiz H. Meyer et al., "A Novel Technique to Evaluate the Erosion Resistance of Silicone Rubber Composites for High Voltage Outdoor Insulation Using Infrared Laser Erosion", IEEE Trans. on DEI Vol. 12, No. 6, pp.1201-1208, Dec. 2005

[8] Young-Seok Kim et. al., "The Accident Hazards and Properties of the Surface Leakage Current on the Polymer Insulation caused by Salt-water and Dust", Kiiee, Vol. 21, No. 8, pp. 129-135, 2007

[9] Kil-Mok Song et, al., "Conductivity Measurement According to Sampling Dusts on Spot and Risk Assessment for Electrical Installations", Kiiee autumn conference, 2007.

[10] Jung-Suk Nam et, al., "A study on the safty countermeasure of electrification equipment at tunnel and factory area", KRRI, July. 1996.

[11] Yong Joo Jeon etal, "A research on the Tunnel bracket insulator pollution characteristic in Korea Railroad", ICEE 2009 Shenyang, china, 2009

저 자 소 개



장 광 훈(長 光 勳)

Jang Kwang Hun was born in Korea 1963. He received M.S., degrees in Dept. of Railroad Electric Engineering, Woo Song University in 2011. He is currently working for Ph.D. in Woo Song University and also a head of railway electrification division for the KORAIL



서 기 범(徐 基 範)

Seo Ki bum was born in Korea 1966. He received M.S., and Ph.d. degrees in Dept.of electronic engineering from Han yang university in 1991 and 2000 respectively. He is currently prof. of Dept. of Railroad Electric Engineering, Woo Song University.