전차선로 절연물의 안전성 평가기준 검토

A review of Safety standards for insulating materials in overhead contact line

이재봉* 정호성** 이기원** 권삼영*** 이기승**** 조호령*****

Bongjae Lee Hosung Jung Kiwon Lee Samyoung Kwon Kiseung Lee Horyung Cho

ABSTRACT

The Seoul subway is acting the center of public transportation after the opening of the first line on August 15, 1974. and the subway line of the DC traction system is running and building to the ninth line. However, the main insulation parts used in overhead contact line are now imported from overseas products.

Therefore, this paper considers domestic manufacture technology, supply easiness and economic effectiveness of insulation products and reviews the safety of support insulator used in rigid conductor line, stem insulator used in movable bracket and AC/DC different phase section insulator that localization development is necessary

1. 서 론

서울 지하철은 1974년 8월 15일 1호선 개통을 시작으로 대중교통의 중심으로 자리 잡았으며 직류공급 방식의 지하철 노선은 9호선까지 건설되어 운행하고 있다. 하지만, 현재 직류전철시스템에서 사용 되는 전차선로의 주요 절연용품은 외국 제품의 수입에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 국내 제작기술 확보와 공급 용이성 및 경제적 효과 등을 고려하여 국산화 개발 필요성이 있는 강체전차선용 지지애자와 전차선로 가동 브라캣용 장간애자, 교류-직류 이상용 절연구분 장치의 절연용품에 대한 안전성을 검토하였다.

2. 애자의 안전성 평가기준

2.1 애자의 요구사항

전차선로용 애자는 대기 중의 습도, 분진, 매연, 염해지역의 염해 등에 따라 애자표면이 오손되고, 그 표면저항이 저하하여 누설전류의 증대로 전기적 파괴를 일으킬 우려가 있다. 이 애자의 파손은 전력공급에 직접적인 지장을 주기 때문에 그 형상의 표면거리가 가능한 한 큰 것을 사용하고 있으며 적절한 절연강도의 애자를 선정할 필요가 있다. 이와 같은 전차선로용 애자로는 현수애자와 장간애자 등이 사용되고 있으며, 절연애자는 다음과 같은 요구사항을 갖춰야 한다.

* 정회원, 서울메트로(한국철도기술연구원 파견) 차장
E-mail : catenarysm@paran.com
TEL : (031)460-5844 FAX : (031)460-5459
** 한국철도기술연구원 집전전력연구실 선임연구원
*** 한국철도기술연구원 집전전력연구실 책임연구원
**** 서울메트로 기술연구소 부장
***** (주)평일 기술연구소 부장

1) 비, 눈, 안개 등에 대하여 충분한 전기적 표면저항을 가져야 하고, 누설전류가 작을 것.
2) 전차선의 무게뿐만 아니라 바람, 눈 같은 외력에 대하여 충분한 기계적 강도를 가질 것.
3) 선로의 정격전압은 물론이며, 접지사고, 선로개폐 등에 발생하는 내부 이상전압에 대하여 충분한 절연내력을 가질 것.
4) 온도가 급변하거나 장기간 사용하여도 습기를 흡수하지 않아 전기적, 기계적 성능에 열화(熱火)되지 않을 것.

2.2 지지애자(Support Insulator)

2.2.1 구성과 재질

지지애자는 전차선을 구조물과 절연하여 전기차를 안전하게 운행할 수 있도록 T-Bar를 붙들어 지지하는 역할을 하는 것으로 그림1과 도표1에서와 같이 254[mm]의 지지애자를 사용하고 있으며 자기부와 캡, 베이스로 구성되고, T-Bar를 붙들고 있는 누름 금구와 이들을 접속하는 볼트, 너트, 분할 핀으로 되어 있다. 그리고 지지애자는 강체전차선의 온도 변화에 따른 신축에 지장이 없는 적당한 구조이어야 하고, 전기적, 기계적으로 충분한 강도를 가진 것이어야 하며, 절연저항은 1,000[V] 메가로 2,000[MΩ] 이상으로 균열, 흠집 등이 없는 것 이어야한다.

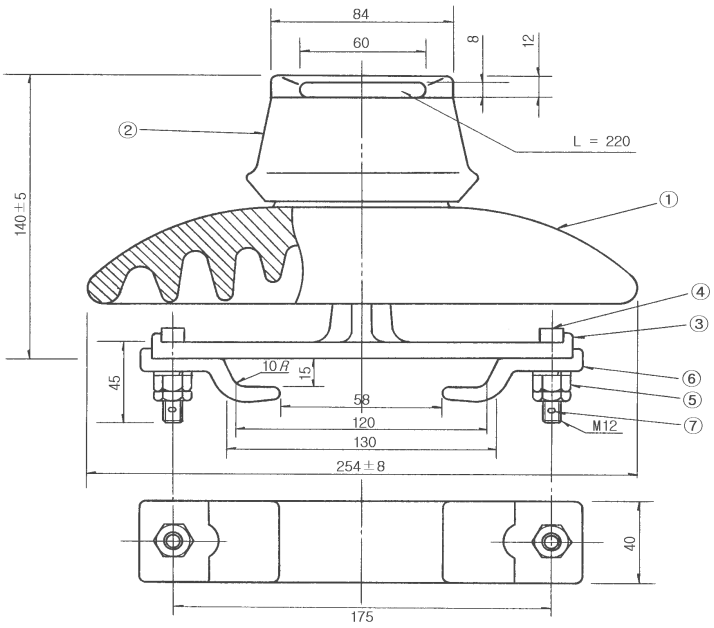

그림 1. 지지애자 형상

도표 1. 지지애자 구성 및 규격

번호	품 명	재 질 구 성	규 격	기 호	비 고
1	자기부	균질의 밝은 회색빛 자기			**개발대상**
2	캡	연성의 주철(신장율:8%이상)	KSD4303	BMC32	KSD4301
3	지지대	"			
4	볼 트	M12×45	KSD3503	SS400	
5	너 트	M12	KSD3503	SS400	
6	지지금구	합금(전기부식 처리)		AL	
7	분활핀	스테인레스강	KSD5554	BSW1	

2.2.2 성능 및 시험기준

항 목	성 능 기 준	시험방법	비 고
저주파 건조 섬락전압	60,000V	KSC3801	
저주파 주수 섬락전압	30,000V	KSC3801	
50% 충격 섬락전압	100,000V	KSC3801	
상용주파수 유중 파괴전압	22,000V	KSC3801	
고주파 전압	섬락즉시 고주파전압 3초간	KSC3801	
나(Strip) 전 파괴하중	수직:400kg 수평:240kg	KSC3801	작업하중
나(Strip) 전 파괴하중	수직:500kg 수평:300kg	KSC3801	
표면누설거리	290mm		
냉열시험	온도차90℃ 침수15분간3회	KSC3801	
흡습시험	습기로부터 보호받을 수 있는 애자 내연	KSC3801	
아연도금시험	용액 산화제, 구리 침수횟수 4회	KSC3801	
구조검사		KSC3802	
형태검가		KSC3802	
인장 내 하중시험		KSC3801	

1) 건조 섬락전압(Dry Flash Over Voltage)
공기 중에서 깨끗하고, 건조한 애자의 양 전극 간에 상용주파수 전압을 가했을 때 아크를 지속하다가 단락되는 전압을 말한다. 이때의 온도는 20℃, 기압은 760mmHg, 65~85%일 때의 실효값을 표준으로 한다.

2) 주수 섬락전압(Wet Flash Over Voltage)
비가 와서 애자 표면이 젖은 경우의 섬락 특성을 나타내는 것으로, 선로에 뇌우(雷雨) 등 주수상태에 있을 때 섬락현상이 많으므로 분수구에서 비가 오듯이 전압을 가하여 시험한 것이다. 이때의 주수각도는 45°, 주수량은 매분 3[mm], 물의 고유 저항은 10[kg-㎝]를 표준으로 한다.

3) 충격 섬락전압(Impulse Flash Over Voltage)
일반적으로 시험에 사용되는 파형은 1~1.5×40[μs]이며, 표준 파형의 충격전압을 가하면 이 전압의 파고값이 교류 섬락(Flash Over) 전압의 파고값보다 낮은 경우의 애자는 견디지만, 이보다 높은 파고값의 충격전압을 가하면 어느 경우는 섬락이 일어나지 않는 것을 경험할 수 있다. 이와 같이 같은 파고값의 충격전압을 몇 번 인가하여 그것의 절반이 섬락을 일으키고, 나머지 절반이 섬락을 일으키지 않는 전압을 그 애자의 50[%] 섬락전압이라 한다.

4) 유중 파괴전압(Breakdown Voltage)
애자를 구성하는 자기의 절연내력을 나타내는 것으로, 애자를 절연유 속에 넣고 그 양극간에 상용주파수전압을 점점 높여 줄 때, 자기가 파괴되는 때의 전압 값을 말한다. 자기가 건전한 애자의 유중 파괴전압은 섬락전압보다 훨씬 높으며, 254[mm]애자에서는 140~160[kv], 130[mm]애자에서는 120~130[kv] 정도이다.

2.3 장간애자(Stem Insulator)

2.3.1 구성과 재질

장간애자는 가동브래킷에 설치되어 전차선과 지지물을 절연하는 기능으로 그림2와 도표2에서와 같이 갓 모양의 봉 형태를 한 자기 절연물의 양단에 캡(크레비스형 또는 통형)을 접착한 구조로서 사용전압, 섬락보호방식(2중절연의 유무) 등에 따라 용도에 적합한 것을 선정하여 사용한다.

건조섬락 전압에 비하여 주수섬락 전압이 적고 그 형태가 비에 씻기기 쉽게 되어 있어 섬락의 경우 아크가 도자기 부분에 접촉되기 힘든 여러 가지 이점이 있다.

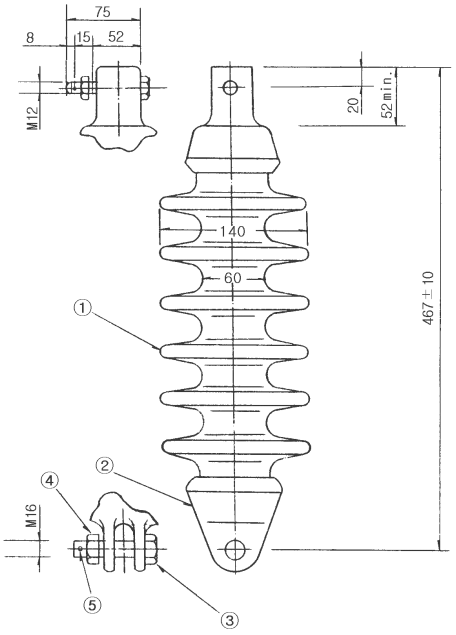

그림 2. 장간애자 형상

도표 2. 장간애자 구성 및 규격

번호	품 명	재 질 구 성	규 격	기 호	비 고
1	자기부	균질의 자주색 빛 자기			**개발대상**
2	캡	연성의 주철	KSD4303	BMC35	
3	볼 트	M16×50	KSD3503	SS400	
4	너 트	M16	KSD3503	SS400	
5	분활핀	스테인레스강	KSD5554	BSW1	

2.3.2 성능 및 시험기준

항 목	성 능 기 준	시험방법	비 고
저주파주수내전압	65,000V	KSC3801	
충격내전압	180,000V	KSC3801	
굽힘파괴하중	315kg		
인장 내하중	2,300kg(온도분포 70℃)	KSC3801	
표면누설거리	600mm		
냉열시험	침수횟수 3회, 15분간	KSC3801	
흡습시험	자기내부에 습기가 없어야 함.	KSC3801	
아연도금시험	용액 산화제, 구리 침수횟수 4회	KSC3801	

3. 절연구분장치(Section Insulator)의 안전성 평가기준

3.1 절연구분장치의 요구사항

절연구분장치에 적용되고 있는 절연체의 수지는 대기 중의 습도, 분진, 매연 등에 쉽게 오손되지 않는 절연물로서 집전장치의 습동으로 인한 절연체 습동면이 쉽게 마모되지 않는 구조이어야 하며 일반적으로 절연체 수지는 다음과 같은 요구사항을 갖추어야 한다.

1) 누설전류가 미세하게 적을 것.
2) 집전장치 습동에 따른 충분한 기계적 강도와 절연저항이 우수할 것.
3) 절연체는 쉽게 마모가 되지 않는 불연성 재질로서 보수가 용이한 구조일 것.
4) 절연체와 금구류의 조합이 원활하고 온도가 급변하거나 장기간 사용하여도 습기를 흡수하지 않아 전기적, 기계적 성능에 열화(熱火)되지 않을 것.

3.2 구성과 재질

교류 전철구간의 이상전원 접속개소 및 직류 전철구간과 교류 전철구간의 접속개소에는 서로 다른 전원의 단락(교류 구간의 이상단락, 교직 접속개소에 있어서의 교직류 단락)을 방지하기 위하여 전차선을 전기적으로 절연 구분하는 구분장치를 설치하고 있다. 절연구분장치의 길이는 그 구간을 운전하는 차종이나 구간의 속도 및 주행 방향에 따라 결정되고, 그 길이만큼이 무가압으로 되기 때문에 "절연구간(Dead Section)"이라고 한다.

절연구간이 있는 인류구간의 길이는 섹션의 위치가 크게 이동하는 것은 좋지 않기 때문에 600m 이하로 제한하고, 활차식 또는 도르레식 자동장력 조정장치는 한쪽에만 취부하고, 절연구간의 양단에는 조가선과 전차선을 코넥타로 접속(일괄 균압)하여 섹션 근방의 행거에의 순환전류를 작게 하여, 행거 및 조가선의 손상을 방지한다. 또한 절연구간의 길이는 당해 선로를 운행하는 열차의 속도, 판토그래프의 성능 및 설치간격, 지형조건 등을 고려하여 결정하며, 편위는 0으로 하고, 직선개소에 설치하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 주변 여건상 부득이한 경우는 곡선부에 설치할 수 있다.

그림 3과 도표 3은 FRP제 절연구분장치의 형상과 구성 및 규격을 나타내었다.

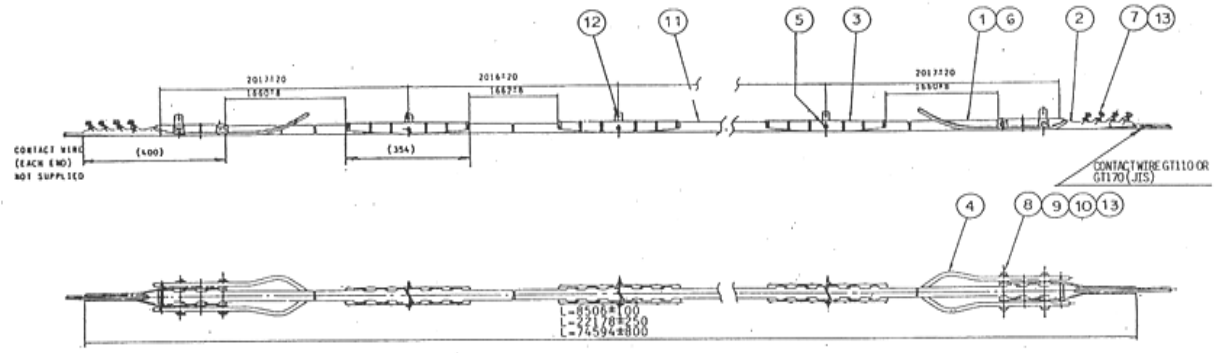

그림 3. 절연구분장치 형상

도표 3. 절연구분장치 구성 및 규격

번호	품 명	재 질 구 성	규 격	기 호	비 고
1	절연본체(A)	불연성 유백색 절연 수지제			**개발대상**
2	전차선연결금구	황동 단조품	KSD6015	$ALBrC_2$	
3	중간접속금구	황동 단조품	KSD6015	$ALBrC_2$	
4	아킹혼	전차선과 동일 재질	KSD3698	SUS304	
5	코터볼트	스테인레스강	KSD5516	SUS304	
6	코터볼트	스테인레스강	KSD5516	SUS304	
7	밀착조임볼트	스테인레스강	KSD3706	SUS304	
8	아킹혼	전차선과 동일 재질	KSD3698	SUS304	
9	스톱볼트	스테인레스	KSD3706	SUS304	
10	분활핀	스테인레스	KSD5506	SUS304	
11	절연본체(B)	불연성 유백색 절연 수지제(연속성)			**개발대상**
12	행거걸이	스테인레스판	KSD5506	PBS2	
13	스프링와샤	스테인레스강	KSD3698		

3.3 성능 및 시험기준

항 목	성 능 기 준	시험방법	비 고
굽힘강도	13kgf/㎟이상	공인기관시험	
인장강도	32.3kgf/㎟(3분간)	KSC3801	
절연저항	5.5×10^{5}MΩ이상		
내 전 압	100KV(5분간)	KSC3801	
누설전류	1㎃이하		
비 중	1.6 ~ 2.1		
흡 수 율	2%이하	KSC3801	
Air Gap	149mm	공인기관시험	
연면거리	500mm	공인기관시험	

4. 결 론

전차선로 구성에 많은 수요가 필요한 직류 1500[V]공급방식의 T-Bar 지지애자(Support Insulator)와 가동브라켓용 장간애자(Stem Insulator), 교류-직류 이상용 절연구분장치(Section Insulator)에 대한 안전성 평가기준을 마련하여 국산화 개발에 따른 성능 인증에 활용하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 서울특별시지하철공사(1992), “전차선자재표준사양서” pp.29-36,291-300
2. 서울특별시지하철공사(2002), “전기용어해설집” pp.50,100-101,115.
3. 한국전기철도기술협력회(2006), “전기철도공학” pp.163.
4. 한국전기연구원(2008), “TEST REPORT”