

전차선 및 조가선 접속지용 드롭바크래프의 성능 안정화 연구

정 현 수*, 이 승 혁 이 철 직 이 형 권
(주)삼원전력*, 한양대학교, 대림대학, 한국전기연구원

A Study on the Efficient Stabilization of Dropper Clamp for Messenger and Trolley Wire

Hyun-Soo Jung*, Seung-Hyuk Lee, Cheol-Jick Ree, Hyung-Kwon Lee
Sam Won Electric Power Co.,Ltd*, Hanyang University, Daelim College, KERI

Abstract - In the ATs(Auto-Transformers)-fed AC electric railroad system, the trolley wire with high power is supported with a messenger by the dropper. As the dropper maintains the height of the trolley wire and plays a role in distributing the supply power, it should be stabilized in that an electric and mechanical character according to the change of the open air circumstance and constructed easily.

Consequently, this paper propose C5111 Sn(3.5~4.5%) and hexagonal round bolt for the way of the efficient stabilization as a result of the test that the correlation of the Sn content and the change of temperature affect a character of product.

1. 서 론

2004년 4월 경부고속전철 계통을 전후로 국내 전기철도 건설사업이 활발히 진행되고 있다. 현재 국내에 적용되고 있는 교류 AT급전방식은 전 세계적인 표준급전방식(단차선 조가방법은 주로 심플 커니너리(Simple Catenary)방식)를 채용하고 있다.

이 방식에서 옥외 전차선을 조가선에 매달아 지지하는 접속금구는 최근 까지도 단순한 행가타입이 사용되었으나 현재는 이 전차선 지지목적 외에도 전차선과 조가선의 균압 및 급전전류의 분배가 가능한 형태인 드롭바(Dropper = Clamp+Wire)로 바뀌었고, 이것은 옥외에서 내구수명(약 25년)까지 안정된 성능을 발휘해야 한다.

따라서 본 논문에서는 이와 같은 역할을 수행하는 드롭바의 성능안정화가 전철급전계통 운용에 매우 중요하므로, 실제 드롭바의 소손, 파단된 사고사례를 추적한 결과 드롭바크래프의 주석(Sn)성분 함유량과 외기온도변화(특히 동절기)와의 상관관계에 원인이 있다고 보고 이를 주안점으로 제품의 성능변화를 시험을 통해 분석하였다.

시험방법은 먼저 문제된 신제품과 종전제품을 모델링하여 화학성분분석과 인장시험을 실시하고, 경년변화에 따른 온도Cycle시험과 충격시험 및 시공성 등을 종합적으로 평가하여 제품성능 안정화 방안을 제시하였다.

2. 드롭바의 역할 및 요구조건

2.1 드롭바의 개요

드롭바는 교류AT급전방식의 심플커니너리 조가방식에 전차선의 무효부분(펜타그래프 접속에 지장이 없는 부분)을 조가선에 매는 금구를 말하며, 드롭바와이어와 드롭바크래프로 구성되어 있다.

드롭바와이어는 일반적으로 스텐리스 강선과 아연도금 강선이 사용되고, 드롭바크래프의 재질은 강선에는 가하

주철, 동선 또는 동합금에 고정시키는 것은 알미늄청동이 이용되고 있는데 현재는 주로 카드뮴동연선의 드롭바와이어에 인청동재질의 드롭바크래프를 사용하고 있다.

2.2 드롭바의 역할

드롭바의 역할은 급전계통 전차선로에서 전차선을 조가선에 매달아 전차선의 일정높이(등고 5,200mm),가요성 유지와 전차선과 조가선의 균압 및 전류분배의 역할을 수행하는 매우 중요한 도전성 접속 지지금구이다.

2.3 드롭바의 요구조건

전차선은 일정한 가요성(등요)이 필수불가결한 조건사항으로 전차선에 경점이 있으면 펜타그래프가 도약현상을 일으켜 이선을 유발할 수 있고, 또한 가선진동을 더하는 상태에서 사용되기 때문에 다음과 같은 조건이 필요하다.

- (1) 기계적 강도가 클 것.
- (2) 정량일 것.
- (3) 내식성이 좋을 것.
- (4) 시공 및 점검이 용이할 것.

3. 드롭바크래프의 사고사례

3.1 소손 및 파단사고 개요

2002년 D지역 S전차선로 시공현장에서 BZ65mm 조가선과 원형 CU150mm 전차선에 드롭바를 설치하고 1년 경과(동절기 경과)한 뒤에 그림1과 같이 전차선 및 조가선용 드롭바크래프의 연결쇠와 조가선용 드롭바크래프의 걸림쇠가 크랙(Crack) 및 파단(破斷)사고가 발생하였다.



그림 1 드롭바크래프의 소손 및 파단 사진

3.2 소손 및 파단사고 원인 추정

3.2.1 소손 및 파단사고 경위

신 제품 드롭바크래프(인청동C5212/Sn7.0-9.0%)는 종전 드롭바크래프(인청동C5111/Sn3.5-4.5%)에 비해 주석(Sn)함유량이 2배로 증가시켜 표 1과 같이 인장강도 및 연신율과 경도 등 기계적 특성이 좋아졌다.

반면에 제품 내측 절곡허용 안전율이 감소되고, 외기온도변화에 효과적으로 적응하지 못한 채 다음과 같은 사고가 발생된 것으로 추정되었다.

- (1) 드롭바크래프(M/T)의 걸림쇠 크랙발생 및 파단.
- (2) 조가선 드롭바크래프의 볼입쇠 크랙발생 및 파단.

표 1. 드롭바크랩프의 화학성분 및 기계적 성질

구분	화학성분		기계적 성질		
	Sn(wt%)	인장강도	연신율	안쪽반경	경도
신제품	7.0-9.0	50-62	30이상	1.6*두께	178
중전제품	3.5-4.5	42-52	25이상	1.0*두께	150

3.2.2 소손 및 파단사고 원인분석

(1) 표 1에서와 같이 신제품의 주석성분이 중전제품에 비해 2배가 함유되어 기계적인 성능은 좋아졌으나 외기 환경조건(동절기 저온)에서는 신축성이 약화되어 크랙 및 파단사고를 초래한 것으로 추정되었다.

(2) 조가선용 드롭바크랩프는 조가선 BZ65mm(내 반경 5mm)를 체결하므로 공장에서 내 반경 5mm로 180도 프레스 절곡하게 되면, 표 1에서와 같이 신제품은 두께에 따른 절곡최대허용치 4.8mm(1.6*두께=1.6*3mm)에 근접하게 되어 생산과정에서 안전율에 문제가 발생할 수 있다.(중전제품은 1.0*3mm=3.0mm로 5mm 절곡시 충분한 안전율 확보.)

(3) 전차선 및 조가선용 드롭바크랩프의 고정용볼트는 시공 편이상 6각 원형볼트가 아닌 원형금각(4각)볼트 사용으로 600kgf.cm 볼트조임 시에 과중한 편심이 크랩프의 4각볼트홀에 가해져 크랙발생 원인으로 추정되었다.

(4) 차후 전차 운행 시에도 이 원형4각볼트는 가선진동과 하중의 전달 및 분산과정에서 힘의 불평형을 초래하여 이로 인해 소손이 우려된다.

4. 드롭바크랩프의 성능시험

4.1 시험 목적

드롭바크랩프의 파손 원인 분석 및 내구수명시험을 통한 성능안정화 방안 제시.

4.2 시험 기간 및 장소

- (1) 시험기간 : 2003.9.15-10.30
- (2) 시험장소 : 한국화학시험연구원 재료시험본부 금속재료 센터

4.3 시험 장비

- (1) 토오크렌치(Torque Wrench)
- (2) 항온항습기(-40℃~+100℃)
- (3) 금속현미경(×1~×1,000)
- (4) 만능재료시험기(Zwick Z600KN)
- (5) 주사전자현미경(S.E.M)
- (6) 마이크로 비커스 경도기 (10~1,000g)

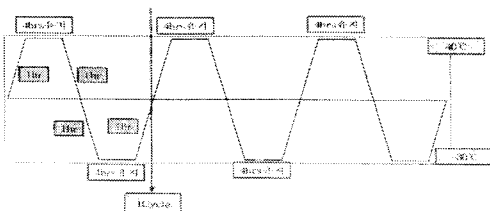
4.4 시험 방법

4.4.1 시료준비

조가선 및 전차선을 마이스에 장착한 후 토크렌치를 이용하여 600kgf.cm 장악력으로 드롭바크랩프를 조가선 및 전차선에 각각 접속한다.

4.4.2 Cycle 시험

표 2. Cycle시험 순서



드롭바크랩프를 Cycle시험기 안에서 -30℃~40℃의 온도 변화를 표 2의 조건을 준 다음 40Cycle(480시간)후 현미경을 통해 드롭바크랩프의 표면을 관찰한다.

4.4.3 화학성분 분석

- (1) KS D1801-1993(I.C.P)(철 및 강 분석방법 통칙)
- (2) KS D1803-1993(철 및 강 분석방법)
- (3) KS D1804-1993(철 및 강 분석방법)
- (4) KS D1805-1993(철 및 강 분석방법)

4.4.4 시료원판의 인장시험

드롭바크랩프의 시편으로 KS D1801에 의해 만능재료 시험기(Zwick Z600KN)를 이용하여 인장강도, 내력, 그리고 연신율을 측정하였다.

4.4.5 마이크로 비커스 경도시험

원 소재와 가공 후 드롭바크랩프 그리고 Cycle 후 강도값을 측정하였다.

4.4.6 충격 시험

주석(Sn)함유량 차이가 온도변화에 미치는 영향을 분석하기 위해 주석성분 증가에 따른 저온에서 인성값을 KS B0811-1999의 시험방법에 따라 시료의 샤르피(Charpy) 충격치를 측정하였다.

시험은 원자재[Sn(3.5~4.5%(2t), Sn(3.5~4.5%(3t), Sn(7.0~9.0%(3t))]에서 시료를 채취하여 상온, 0℃, -20℃, -40℃의 온도에서 각각 충격치를 측정하였다.

4.4.7 주사현미경 (S.E.M) 촬영

파괴 면을 주사현미경을 통해 파단의 향상을 측정

4.5 시험 결과

4.5.1 Cycle시험 전/후의 표면 관찰

- (1) 조가선 및 전차선(Sn7.8-9.0%)의 Cycle시험

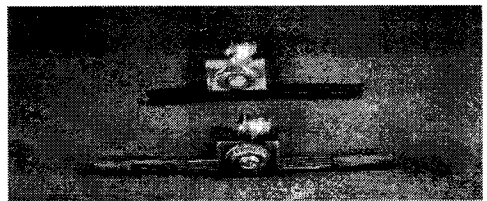


그림 2 조가선 및 전차선(Sn7.8-9.0%)의 시편

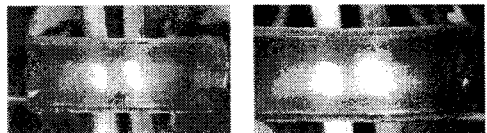


그림 3 조가선의 시험전/40Cycle시험 후 표면



그림 4 전선의 시험전/40Cycle시험 후 표면

- (2) 조가선 및 전차선(Sn3.5-4.5%)의 Cycle시험



그림 5 조가선 및 전차선(Sn3.5-4.5%)의 시편

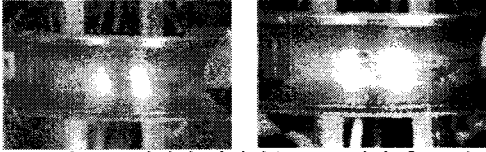


그림 6. 조가선의 시험전/40Cycle시험 후 표면

4.5.2 화학성분 분석결과

표 3 화학성분 분석결과(Sn7.0-9.0%)

구 분	화 학 성 분 (단위:wt%)			
	Cu	Sn	P	Cu+Sn+P
철도청사양	-	7.0-9.0	0.03-0.35	99.5%이상
분석결과	92.06	7.69	0.07	99.82

표 4 화학성분 분석결과(Sn3.5-4.5%)

구 분	화 학 성 분 (단위:wt%)			
	Cu	Sn	P	Cu+Sn+P
철도청사양	-	3.5-4.5	0.03-0.35	99.5%이상
분석결과	95.87	3.89	0.17	99.93

4.5.3 시료원판의 인장시험 및 경도시험 결과

표 5 인장시험 및 경도시험 결과(Sn7.0-9.0%)

구 분	인 장 시 험		경 도 시 험	
	인장강도	연신율(%)	두께	측정값(HV)
철도청사양	50-62	30이상	0.2이상	150-205
분석결과	57.6	34.5	2.0	191

표 6 인장시험 및 경도시험 결과(Sn3.5-4.5%)

구 분	인 장 시 험		경 도 시 험	
	인장강도	연신율(%)	두께	측정값(HV)
철도청사양	42-52	25이상	0.2이상	120-180
분석결과	44.7	28.7	2.0	172

4.5.4 충격시험 결과

Sn3.5-4.5%는 온도차이에 따른 가로변형율과 샤르피 충격치의 변화가 거의 일정하나, Sn7.0-9.0%는 저온(-40℃)에서 상온에 비해 훨씬 낮아져 외기에 취약하였다.

표 7 Sn3.5-4.5%함유원판(2.0t)의 샤르피 충격치

시험 온도(℃)	시험편 두께(m)	시험편 높이(m)	시험후 두께(m)	샤르피 충격치	가로변형량(m)
상온23℃	0.20	0.808	0.344	9.9	1.44
0℃	0.203	0.810	0.339	9.8	1.37
-20℃	0.201	0.808	0.338	9.8	1.37
-40℃	0.202	0.814	0.330	9.7	1.29

표 8 Sn3.5-4.5%함유원판(3.0t)의 샤르피 충격치

시험 온도(℃)	시험편 두께(m)	시험편 높이(m)	시험후 두께(m)	샤르피 충격치	가로변형량(m)
상온23℃	0.302	0.816	0.490	11.8	1.88
0℃	0.303	0.814	0.487	11.2	1.84
-20℃	0.303	0.814	0.487	11.7	1.84
-40℃	0.304	0.815	0.468	11.6	1.64

표 9 Sn7.0-9.0%함유원판(3.0t)의 샤르피 충격치

시험 온도(℃)	시험편 두께(m)	시험편 높이(m)	시험후 두께(m)	샤르피 충격치	가로변형량(m)
상온23℃	0.302	0.807	0.441	10.1	1.45
0℃	0.302	0.811	0.440	9.8	1.38
-20℃	0.303	0.812	0.421	9.6	1.17
-40℃	0.302	0.811	0.388	9.1	0.86

4.5.5 신제품의 주사현미경(S.E.M) 촬영결과



그림 7 조가선 드롭마크램프(Sn7.0-9.0%) 파단단면

4.5.6 EDX 분석

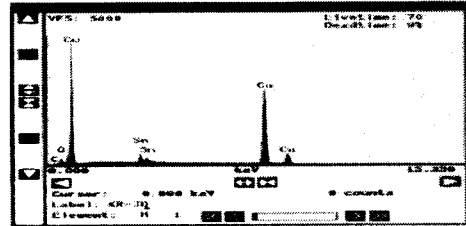


그림 8 조가선드롭마크램프(Sn7.0-9.0%)파단면의 EDX

5. 결 론

본 논문은 교류AT급전계통의 심플커터너리 조가방식에 적용되는 드롭마크램프의 성능 안정화 연구이다.

연구범위는 소손사고가 발생한 실 사례를 근거로 (1) 파단사고의 원인분석, (2)드롭마크램프의 주석(Sn)성분과 외기 환경이 제품의 기계적 특성에 미치는 영향, (3)드롭마크램프의 내 반경과 두께와의 상관관계 및 볼트체결방법이 전철운용에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

시험방법은 기존 및 문제된 신제품을 모델링하여 화학성분을 분석하고, 주석함유량과 외부온도변화(경년변화)와의 관계를 인장시험과 40Cycle(480시간)시험 및 충격시험 등을 수행하여 기계적 특성변화를 관찰하였다.

그 결과 신제품인 인철동 C5212(Sn7.0-9.0%)드롭마크램프는 사용온도 차이에 의한 수축-팽창 불일치로 시즌크래킹(Season Cracking) 및 파단이 발생되었지만, 기존 제품인 인철동 C5111(Sn3.5-4.5%)은 문제가 발생하지 않았다. 또한 시공측면에서도 원형금각볼트가 육각원형볼트에 비해 체결 시에 편심과 전철운용 시 가선진동 및 하중에 힘의 불평형이 생긴다는 것이 확인되었다.

따라서 본 논문에서는 이 같은 시험결과에 따라 교류 AT급전방식에 사용되는 전차선 및 조가선용 드롭마크램프의 성능안정화 방안으로 인철동 C5111(Sn3.5-4.5%), 6각원형볼트 타입을 제안하였다. 앞으로도 이에 대한 더 많은 연구가 지속적으로 이루어져야 하겠다.

[참 고 문 헌]

- [1] 철도청, "전차선로 설계시공 표준도", 철도청, p143, 1983.4.
- [2] 김용순 역, "전차선장치", 일본전철기술협회, pp75-100, 1995.
- [3] (주)삼원전력, 고려전선사, "시험결과보고서", 한국화학시험연구원, pp1-54, 2003. 10.31.