바이어스 궤도계전기 접점의 재질 특성에 관한 연구

A Study on the Material Characteristics of Contacts on Bias Track Relay

김희대* · 이성일

Hee-Dae Kim · Sung-Il Lee

Abstract The cases for selecting contact materials of Ag and AgC for Bias Track Relay are the studies and their safety evaluations are proposed in this paper. The welding at the relative low current has occurred in Ag contacts, but the one has not occurred in AgC contacts although the high currents flow since it has an excellent temperature characteristic. In the repetitive switching experiment, more unstable resistance and transfer phenomena has occurred in contacts as the switching numbers of AgC contacts increase, which results in more consumption of contacts. In the experiments, there exists a trade off relationship between welding and resistance variation. AgC contacts have excellent characteristics in welding, but the caution is required in using them since a lot of repetition switching produces much resistance variation. However, Ag contacts have excellent characteristics in repetitive switching, but weak ones in welding

Keywords : Bias track relay, Welding, Ag contacts, AgC contacts, normal close system, Sintering

초 록 본 연구에서는 바이어스 궤도계전기의 접점재료를 선정하는데 있어 Ag 접점과 AgC 접점의 문제점을 분석하고, 안전성을 평가하는데 목적이 있다. 접점의 용착실험과 반복개폐 실험을 실시하여 접점의 특성을 알아 보았다. 실험 결과, Ag 접점은 비교적 낮은 전류에서 용착이 발생하였고, AgC 접점은 온도특성이 우수하여 대전류에서도 용착이 발생하지 않았다. 반복개폐 실험에서는 AgC 접점의 개폐횟수가 증가할수록 저항이 불안정하고 접점에 전이현상이 발생하여 접점소모가 큰 것으로 나타났다. 연구 결과, AgC 접점은 용착특성에서는 우수하나 반복개폐 실험에서 저항변화가 많아 사용상 주의가 요구되며, Ag 접점은 반복개폐 특성은 우수하나 용착특성에서 취약한 것으로 나타났다.

주요어 : 바이어스 궤도계전기, 용착, 은 접점, 은탄소 접점, 폐전로식, 소결

1. 서 론

바이어스 궤도계전기는 궤도회로용으로 비전철 구간의 폐전로식(normal close system)궤도회로에서 열차가 폐색구간을 통과할 때 신호를 주어 열차의 운행상황과 위치를 관제실에 전달함으로써 운전 취급을 원활하게 할 수 있도록 하는 계전기이다[1]. 계전기는 선로 및 건널목에 설치되어 있으며, 접점은 항상 닫혀있고 열차가 궤도에 진입하면 차축에 의하여 레일 양끝이 단락되어 계전기 접점은 개방된다[2]. 열차가 궤도에 진입해도 계전기 접점이 낙하하지 않으면 열차충돌 등의 사고를 유발시킬 수 있어 계전기 접점재료의 선정은 철도안전에 중요한 요소이다. 따라서 철도신호용 계전기 접점재료의 특성은 전기전도성, 내용착성, 안정성, 내마모성 등을 요구하고 있다.

특히, 바이어스 궤도계전기는 비전철구간의 옥외에 설치되어 있어 낙뢰나 서지 등 이상전류의 유입에 견딜 수 있

는 내용착성을 중요시 한다[3].

현재 바이어스 궤도계전기는 3,800여 개가 운용 중에 있으며, 주로 5~9월 사이에 용착 장애가 보고되고 있어 낙뢰나 서지가 주 원인으로 추정된다[4]. 이런 원인으로 용착 장애가 자주 발생하는 Ag 접점에 용점이 높은 탄소를 첨가하여 소결한 AgC 접점을 혼용하여 사용 중에 있다. 바이어스 궤도계전기는 접점의 장애 빈도와 열차운용 횟수가 적은 비전철구간에 사용하는 관계로 현재까지 접점재료에 대한 연구가 없었다. 최근 AgC 접점에서 저항의 급격한 변화 등의 문제가 발생되고 있어 관심의 대상이 되고 있다. Ag와 AgC 접점을 대상으로 용착실험과 반복개폐 실험을 통해 접점의 용착특성, 저항에 대한 안정성, 반복 개폐 후 접점의 소모성 등 전기안전 특성을 비교하여 평가하였다. 이 연구에서 나타난 결과를 토대로 적절한 접점을 선정하여 열차의 안전운행에 도움이 되기를 기대한다.

2. 바이어스 궤도계전기 접점의 특성

2.1 접점의 일반적 특성

계전기의 접점재료는 그 부하의 전류 사용영역에 따라 Table 1과 같이 구분된다[3,6]. 전기전도도가 우수한 소전류

*Corresponding author.

Tel.: +82-54-630-5234, E-mail : khd@kbc.ac.kr

©The Korean Society for Railway 2012

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2012.15.6.597>

Table 1 Properties of relay contacts

Element	Material	properties
Small currents (1A Below)	Pt, Pt-Ir, Au, Au-Ag, Pd	Conductivity
Medium current (1~600A)	Ag-MOx M = Cd, Sn, In, Ni	Conductivity, Abrasion resistance, Melting point
High current (600A More than)	W, Ag-W, Ag-WC, Cu-W	Abrasion resistance, Melting point Conductivity,
Railway Signalling Relay	Ag, AgC, AgCdo, AgPd, PGS	Durability Welding, Stability

용과 용점이 높은 대전류용 접점이 있으며, 부하특성에 맞추어 재료를 혼합해 제작하는 중전류용 접점이 있다[5]. 철도신호용 계전기 접점재료는 Ag, AgPd, PGS 등 전기전도성이 우수한 재료를 사용하고 있으며, 바이어스 웨도계전기와 같이 전기전도성과 내용착 특성을 동시에 요구하는 계전기도 있다.

2.2 Ag 접점의 특성

철도신호 계전기 매뉴얼에 바이어스 웨도계전기 접점은 CP4로 은99.8[%] 기타 0.2[%]의 순은 접점을 사용하도록 되어 있다[7]. 은의 물성은 Table 2와 같이 전기전도성이 우수하고 열전도도가 높으며 적절한 가격 등의 장점으로 인해 소전류용 접점재료로서 넓게 이용되고 있다. Ag 접점은 은을 1,200~1,400[°C]에서 소결하여 생산하며 용점이 낮아 대전류에서는 사용이 어렵기 때문에 은의 단점인 저융점과 산화성의 향상을 위하여 이종금속을 혼합(AgCd, AgC 등)하여 중대 부하 및 용착 방지용 접점을 제작하고 있다[5]. Ag 접점은 초기저항이 적으나 개폐 횟수를 증가시키면 아크에 의한 오존의 발생으로 접점 표면에 산화막이 형성되어 저항이 증가하는 원인이 된다[3].

Table 2 Physical properties of contacts material

Material	Specific gravity [g/cm ³]	Melting point [°C]	Thermal conductivity [W/m°C]	Electrical conductivity [IACS%]
Ag	10.5	960.5	1.0	105
C	2.1	3,700	0.057	4.19

2.3 AgC 접점의 특성

탄소의 물성은 Table 2와 같이 용점이 높아 고온에서 강도를 유지하며, 화학적 안정성과 열팽창 계수가 낮아 열적 충격에 강하다[8]. AgC 접점은 열적 특성이 우수한 탄소 분말과 전기전도도가 우수한 은 분말을 혼합하여 소결하는데 소결과정의 온도가 높으면 비중이 높은 은이 가라 앉고 탄소 분말은 위로 떠오르기 때문에 은이 완전히 용융되기 전의 온도인 800~850[°C]에서 소결함으로써 내부에 기공이 존

Table 3 Physical characteristics according to the carbon Ingredient

Material	Ingredient ratio[%]	Specific gravity [g/cm ³]	Hardness [Hv]	Electrical conductivity [IACS%]
Ag : C	97:3	8.5~9.5	25~45	70~80
	95:5	7.3~8.3	20~35	53~63
	90:10	7.0~8.0	15~30	38~50
	85:15	5.3~6.3	10~25	25~35

재하고 결합력이 떨어지는 단점이 있다[9].

AgC 접점에서는 탄소의 입도가 미세하고 분포가 균일할수록 경도와 내마모성이 개선되며 탄소 함유량이 증가하면 Table 3과 같이 경도와 전기전도도는 떨어지고 내용착성은 크게 향상된다[5]. 탄소만으로 접점을 구성하면 쉽게 파손되기 때문에 용도에 따라 은에 3~15[%]정도의 탄소를 함유한 접점을 생산하고 있으며, 철도신호용으로는 5[%]급이 사용되고 10~15[%]급은 포신제어 등 방위산업에 사용된다.

3. 실험방법

3.1 실험 개요

본 실험에서 사용한 Ag 및 AgC 접점은 경성야금에서 2012년에 생산하여 유경제어(주)에 납품한 것을 사용하였다. 한국생활환경시험연구원에 분석을 의뢰한 결과 Ag 접점은 은이 99.98[%] AgC 접점은 은이 94.6[%] 탄소가 5.34[%]의 비율로 제작되었다.

본 연구에서는 Ag와 AgC 접점의 특성 비교가 목적이지만 탄소 함유량에 따라 접점소모가 어떻게 변화되는지 관찰하기 위하여 탄소 3[%] 접점을 추가로 실험에 사용하였다. 사용접점의 모형은 Fig. 1과 같으며 Ag-Ag 접점은 Fig. 1의 (a)

Fig. 1 Shape of the experimental contact (unit : [mm])

Table 4 Specifications of bias track relay

Element	Contents
Switching capacity	DC 28.8[V] 3[A] Continuous Switching
Contact resistance	DC 100[mA] Voltage drop 10[mV] Below
Contact Force	15[gf] More than
Opening force	50[gf] More than
Operating voltage	1.42[V]
Contact Materials	AgC=Ag(94.6%) : C(5.34%)

와 같은 반원통형 접점 2개를 사용하여 십자형태로 배치되어 있고, AgC-Ag 접점은 (b)와 같이 AgC 접점은 불룩한 원형으로 되어 있는 고정접점이고, Ag 접점은 (a)와 같은 반원통형의 가동접점이다. AgC 접점은 접촉면적을 증가시키기 위해서 면과 선이 접촉하는 형태로 되어 있으며, 바이어스 궤도계전기의 제원은 Table 4와 같다[3].

3.2 용착 실험

Table 4의 사양을 가지고 있는 계전기 접점을 Fig. 2의 회로를 이용하여 용착특성 실험을 하였으며, 사용한 계측장비의 세부 내역은 Table 5와 같다. 계전기에 직류 전원공급기를 이용하여 전원단자에 사용전압 직류 1.42[V]를 인가하여 계전기 코일을 여자시켜 접점이 밀착된 상태에서 스위치로 5[ms] 동안 단자에 전압을 인가하였다. Ag-Ag 접점은 접점 단자에 30[V]인가를 시작으로 5[V]씩 증가시키면서 55[V]에서 접점이 용착될 때까지 실험을 진행하였다. 각 실험 단계마다 오실로스코프를 이용하여 전류파형을 관찰하였고, 이때 생성되는 파형을 저장하여 용착 상태를 비교하였으며, 용착을 확인한 후 접점을 분리하여 접점의 소모상태를 전자현미경으로 20~250 배율로 관찰하였다. 사진은 전자현미경으

Fig. 2 Schematic of the experimental system

Table 5 Specification of the experimental system

Name	Size	Maker
Charger	0~900[V]	Yoo Kyung Co.
Shunt	50[A]	Yoo Kyung Co.
DC Power Supply	0~30[V]	Myungtech
Oscilloscope	TDS1000	Tektronix

Fig. 3 The shape of the inner conductor

로부터 접점상태를 가장 선명하게 확인할 수 있는 50배율로 하였다. AgC-Ag 접점은 30[V]를 시작으로 5[V]씩 전압을 증가시키면서 100[V]까지 실험을 하였으나, 100[V]에서 계전기 내부도체가 과열로 소손되어 더 이상 실험을 진행할 수 없었다. 내부도체는 회로 보호용으로 접점의 개폐를 쉽게 하고 반복 개폐에도 견딜 수 있도록 인장강도가 큰 인철동을 사용하며 Fig. 3과 같이 주름진 판형도체로 되어 있다.

3.3 반복개폐 실험

반복개폐 실험은 유경제어(주)에서 제작한 계전기 내구실험기를 이용하였으며 접촉저항의 측정은 1~300[mΩ] 접점저항계를 사용하였다. Table 4의 계전기로 접점에 3[A]가 흐르도록 저항을 설치하여 반복개폐 실험을 진행하였다. 하루에 8시간(약 14,000회) 동안 2초당 1회씩 2개월간 60만 회의 반복개폐 실험을 진행하였고 개폐횟수 10만 회마다 접촉저항을 측정하였으며, 60만 회까지 연속적으로 저항 변화를 측정하여 저항값을 비교하였으며, 실험 후 접점의 소모상태를 전자 현미경으로 확인하였다. 60만 회는 안동역 기준으로 하루 평균60회 운행하여 약 40년간 사용한 것과 같으며, 철도계전기 매뉴얼에서 계전기의 수명은 약 15년을 기준한다.

4. 실험 및 고찰

4.1 용착 특성 실험

4.1.1 방전 특성

용착 실험 결과 Fig. 4와 같이 전압과 전류의 함수는 상관관계수 ($R^2 = 0.97$)이상으로 선형 특성을 나타내고 있으며 전압의 크기에 비례하여 전류가 증가하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 Paschen의 방전 특성에서 접점이 밀착되어 있는 경우의 아크특성은 전계방출에 의한 절연파괴로 볼 수 있다[10]. 전계방출에 의한 절연파괴는 Fig. 5의 Paschen의 곡선과 같이 접점간격 d 가 Paschen의 최저점에 해당하는 간격 d_m 보다 작은 경우에 발생하며, 이 때 접점 양단에 나타나는 전압을 V_0 라고 하면 전계 $E = V_0/d$ 로 나타난다[9]. Paschen은 d_m 이하 즉, 접점이 밀착되어 있는 경우 접점교락의 발생원인을 접점간의 정전인력과 전계방출에 의한 전자충돌에 의해 접점이 가열되기 때문에 일어나는 것으로 해석하고 있다[11].

Fig. 4 Comparison of the current as a function of the voltage (time : 5[ms])

Fig. 5 Discharge characteristics as a function of contact gap

4.1.2 Ag-Ag 접점의 용착 특성

Fig. 6의 (a)와 (b)는 전압을 인가하였을 때, 각 접점에 생긴 전류파형으로 모양은 같고 전류크기가 다르게 나타난 것을 보여주고 있다. 이것은 접점이 밀착된 상태에서 전계방출에 의한 전자충돌이 접점교락의 발생원인이라는 Paschen의 해석과 일치됨을 알 수 있고, 전계의 세기와 접촉면적이

Fig. 6 Comparing of current characteristics of Ag contact

Fig. 7 Welding shape of Ag contact

전자밀도를 결정하는 중요한 요소임을 나타내고 있다. Fig. 6의 (c)는 50[V]를 인가했을 때 전계의 증가에 따라 전자밀도가 상승해 그래프 하단의 변곡점과 같이 아크가 길어지며 용착 직전의 신호를 보여 주고 있는데 이것은 스프링의 개방력(50[gf] 이상)에 의해서 접점이 충분히 떨어질 수 있는 정도였다. Fig. 6의 (d)는 55[V]를 인가하였을 때 그래프 상단에 380[A]에서 전류가 I자 모양으로 겹쳐진 부분이 발생하였다. 이것은 전계의 증가로 전자밀도가 상승하여 아크에 의해 접점의 온도가 은의 융점까지 상승해 Fig. 7과 같이 접점에서 용착이 발생하였다는 것을 나타내고 있다. Ag-Ag 접점은 반원통형 접점 두 개를 십자형으로 배치하여 전류의 흐름에 신뢰성을 주지만 접촉면적이 적어 전자들이 좁은 통로에 집중되면서 아크에 의해 용착이 발생되었다. 이것은 전계의 세기와 융점이 용착을 발생시키는 중요한 요소라는 것을 나타내고 있다.

4.1.3 AgC-Ag 접점의 용착 특성

AgC 접점에서는 Fig. 8의 (a), (b)와 같이 30~85[V]까지 전류파형의 모양은 같고 전류크기가 다르게 나타난 것은 Ag-Ag 접점의 용착특성과 같이 Paschen의 해석과 일치됨을 알

Fig. 8 Comparing of current characteristics of AgC contact

수 있다. Fig. 8의 (c)와 같이 90[V]를 인가하였을 때 그래프 하단에 변곡점이 나타났다. 이것은 내부도체에서 전자밀도의 증가로 발생한 열 때문에 내부도체가 가열되어 증발현상이 나타났고, Fig. 3의 우측 도체와 같이 변색을 확인할 수 있었다. Fig. 8의 (d)와 같이 100[V]를 인가하였을 때 전계의 증가로 전류가 상승하여 회로 내에서 가장 약한 부분인 내부도체에 전류가 집중되면서 주울 열에 의하여 (d)의 상부 452[A]에서 나타난 꼭지점으로부터 내부도체가 소손되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 내부도체는 평소에는 전류의 통로가 되지만, 이상전류가 흐르면 소손 되어 내부회로와 접점을 보호하는 역할을 하는 것으로 나타났다.

452[A]에서 내부도체가 끊어진 후 접점의 상태를 확인해본 결과, Fig. 9의 (b)와 같이 AgC 접점에는 0.1[mm] 정도의 미세한 소모만 발생하였다. 이것은 전계를 증가시켜 접점온도가 상승했지만 AgC 접점은 고 용점 재료로 용착특성이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

4.1.4 탄소 함유량과 접점의 소모특성

Fig. 9는 용착실험 후 접점의 표면상태를 전자현미경을 이용하여 50배율로 확대한 것이다. 용점이 낮은 탄소 3[%] 접점에서는 전계의 증가로 온도가 상승하면서 은과 탄소의 결합력이 약해져 Ag 접점과 접촉하는 부위의 AgC 접점에 1.2[mm] 깊이의 접점소모가 발생하였으며, Ag 접점에서는 0.3[mm]의 소모가 있었다. 탄소 함유량 3[%]인 접점 (a)에서 5[%]인 (b)보다 접점소모가 많이 발생한 것은 탄소 3[%] 접점이 경도와 전기전도성은 높지만 용점이 낮아 생긴 것으로 용착특성에서는 용점이 가장 중요한 요소라는 것을 알 수 있다. 탄소 함유량이 5[%] 접점에서는 AgC 접점에 0.1[mm]의 미세한 소모가 나타났으며, Ag 접점은 아크에 의해 발생된 오존으로 인해 산화된 흔적은 있으나 접점소모는 발생하지 않았다. 이와 같이 탄소 3[%]인 접점에서 아크 발생시

Fig. 9 Comparison of the abrasion shape as a function of the carbon content

접점소모가 많았지만 탄소 5[%]의 접점에서 소모가 적었던 것은 탄소 함유량의 증가에 따라 온도특성이 향상되는 것을 알 수 있었다[5]. Fig. 9의 (a)로 부터 AgC 접점에서 아크에 의해 은이 용해되면서 은과 탄소의 결합력이 떨어져 조직이 파괴되었는데, 이것은 은이 용해되면 비중이 낮은 탄소 분말이 계면 위로 올라와 Ag 접점과 분리함으로써, 조직은 파괴 되어도 용착은 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이 실험에서 내부도체의 열화로 AgC 접점의 용착을 확인하지는 못했지만 Fig. 9의 (a)에서 전계의 세기를 증가시켜도 탄소 분말의 계면활동 때문에 용착이 발생하지 않는다는 것을 유추할 수 있어 AgC 접점이 비 용착 접점이라는 것을 알 수 있었다[5].

4.2 반복 개폐 실험

4.2.1 Ag-Ag 접점의 저항 특성

Fig. 10은 반복개폐에 따른 저항변화를 나타낸 것으로 Ag 접점에서 초기저항은 40[mΩ]이었으며 30만 회까지 접점을 반복개폐 시켰을 때 개폐횟수에 비례하여 저항이 상승하였으며 30만회에서 60[mΩ]을 정점으로 감소하기 시작하여 40만 회에서 50[mΩ]을 유지하였으며 60만 회까지 저항 값이 변동 없이 안정되었다. Ag-Ag 접점의 접촉저항은 직류 100[mA]를 접점에 흘렸을 때 회로에 발생하는 전압강하가 10[mV]이하로 규정하고 있어 한계 저항 값은 100[mΩ]이 된다[3]. Fig. 10에서 나타난 것과 같이 Ag-Ag 접점은 개폐횟수를 증가시켜도 접촉저항에 대한 안정성은 매우 높은 것으로 나타났다.

4.2.2 AgC-Ag 접점의 저항 특성

Fig. 10에서 AgC 접점에서 초기저항은 50[mΩ]이었으며 30만 회까지 접점을 반복개폐 시켰을 때 개폐횟수에 비례하여 저항이 상승하여 110[mΩ]이 되었다. 이후 50만 회까지는 감소하여 80[mΩ]이 되었으나, 50만 회 이상에서는 다시 증가하여 100[mΩ]이 되었다. 30만 회에서 저항이 110[mΩ]으로 상승한 것은 지속적으로 발생한 아크에 의해 접점표면에 산화 막의 형성되었고 전이현상의 초기증상으로 접점에 돌기가 생기기 시작하여 저항이 증가하였다는 것을 알 수 있

Fig. 10 Comparison of contact resistance as a function of the repetitive switching

Fig. 11 Abrasion shape of the contacts surface

다. 30만 회 이상으로 개폐횟수가 증가하여도 산화막이 수 Å 정도로 얇아 터널효과에 의해 전류가 흐르며 기계적인 충격으로 접촉면에 미소돌기 부분이 생겨 이 돌기부분을 따라 접점 표면에 전류가 흐르면서 저항이 감소하게 된 것으로 보인다[10]. 50만 회 이상에서 AgC 접점에 저항이 상승하는 것은 돌기부분의 면적이 아주 작기 때문에 Fig. 11의 (a)와 같이 전류가 이 돌기부분에 집중되어 반복개폐 동작을 함으로써 아크에 의해 산화막이 재형성되었기 때문으로 보인다. AgC-Ag 접점에서는 접촉저항은 직류 100[mA]를 접점에 흘렸을 때 회로의 전압강하가 50[mV]이하로 규정하고 있어 한계 저항 값은 500[mΩ]이 된다[3]. 반복개폐 실험에서 나타난 바와 같이 AgC 접점은 접촉저항에 대한 안정성이 떨어져 사용상 주의가 요구되나, 규정 값 이내에 있어 적용에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

4.2.3 Ag-Ag 접점의 소모특성

Table 4의 계전기로 접점에 3[A]가 흐르도록 저항을 설치하여 반복개폐 실험을 진행하였다. 개폐횟수의 증가에도 접촉저항이 30만 회에서 조금 상승했을 뿐 지속적으로 안정되었고 접점소모는 발생하지 않았다. 이것은 저 전류로 실험했기 때문에 아크로 인한 열의 발생이 적어 용점의 영향은 없었으며 전기전도도와 경도가 우수한 Ag-Ag 접점에서는 Fig. 11의 (b)처럼 산화의 발생이 지연되고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 Ag 접점은 저 전류에서 접촉저항이나 접점소모에 대한 내성이 강하여 저 전류를 사용하며 개폐횟수가 많은 회로에 적합한 것으로 나타났다.

4.2.4 AgC-Ag 접점의 소모특성

일반적으로 접점의 부하 범위는 기준 값 보다 낮은 영역에서 사용하면 접점표면의 피막 등의 영향으로 접촉 신뢰도가 떨어지며 상한 값 보다 높은 영역에서 사용하면 접점소모가 많아져 수명이 짧아진다[3]. Fig. 11의 (a)와 같이 Ag

쪽 전극 일부가 AgC 접점 쪽으로 이전되었는데, 이것은 반복 개폐에 따른 피로와 집중저항의 영향으로 접점 개폐 시에 발생하는 아크 열로 인해 Ag 접점이 증발하였다가 응고될 때 발생된다. 이것은 용점이 낮은 쪽에서 용점이 높은 쪽으로 이전되며, 이전이 반복되면 접점에 돌기가 생겨 기계적으로 로킹(locking)현상이 발생되고, 용점이 낮은 접점은 소모가 커서 접점불능 상태가 된다[5].

R. Holm에 의하면 접점의 접촉력이 강할수록 집중저항이 증가하고 경계저항은 감소하는데 웨드계전기는 타계전기에 비하여 접촉력이 강하여 집중저항이 증가하였고 이 저항 때문에 아크가 강해져 Fig. 11의 (a)와 같이 용점이 낮은 Ag 접점에서 용점이 높은 AgC 접점으로 접점의 전이현상이 발생되었다[11]. 전이현상을 방지하기 위하여 이중접점 재료를 조합시켜 사용하면 효과적이라는 연구 결과가 있으나[10] 본 연구에서는 적합하지 않은 것으로 나타났다. Fig. 11에서 (a)와 (b)의 사진은 접점재료의 반복개폐 특성을 잘 나타내고 있다. Ag-Ag 접점에서는 아크에 의한 산화막이 형성되어 저항의 상승이 있었으나 접점소모가 발생되지 않았고, AgC-Ag 접점에서는 집중저항으로 접점의 전이현상이 발생하여 접점소모가 크게 발생하였다. 이것은 전기전도도와 경도가 높은 재료가 반복개폐 특성이 우수하다는 것을 나타내고 있다.

5. 결 론

실험 결과, 용착실험에서는 온도특성이 중요한 요소로 나타났다. 반복개폐 실험에서는 접촉저항, 전기전도성, 경도가 중요한 요소임을 알 수 있었다. 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Ag 접점의 용착실험에서 전계를 증가시키면 전자밀도의 상승으로 발생하는 아크에 의해 Ag 접점의 용점에 도달하여 용착현상이 발생되기 때문에 Ag 접점은 이상전류가 유입될 가능성이 있는 회로에는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

(2) AgC 접점의 용착실험에서는 용점이 높아 용착이 발생하지 않았으며, 탄소 함유량이 높을수록 전기전도성과 경도는 감소하나 내용착 특성이 우수하여 대 전류 회로에 적합한 것으로 나타났다.

(3) 반복개폐 실험에서 전기전도성과 경도가 우수한 Ag 접점에서는 접점소모가 발생하지 않아 소전류용으로 많은 개폐가 요구되는 회로에는 Ag 접점이 적합한 것으로 나타났다.

(4) 반복개폐 실험에서 AgC 접점은 접점피로와 집중저항 현상이 발생되어 전기전도성이 높은 Ag 접점에서 AgC 접점으로 이전되면서 접점소모가 크고 저항의 안정성이 떨어져 개폐횟수 많은 회로에는 적합하지 않으며, 현장 적용 시 주기적인 접점의 저항측정 등의 점검과 주의가 요구된다.

실험 결과, AgC 접점은 Ag 접점에 비하여 전기전도도와 경도가 낮아 접촉저항이 크고 접점소모가 많아 기대수명이 짧지만, 이상전류가 유입될 가능성이 있는 계전기에는 용점이 높아 내용착 특성이 있는 AgC 접점을 사용하는 것이 적합한 것으로 나타났다.

참고문헌

- [1] Y.T. Kim (1998) Railway Signaling Control System, Tech Media, Seoul, p. 38.
 - [2] J.Y. Park, W.S. Hong, B.R. Chon (2011) Railway Signaling Engineering, Dong Il Publishing Co, pp. 135-136.
 - [3] Uoo-Kyung Control Co, (2010) Railway signaling Relay Manual, pp. 17-19, 69-71.
 - [4] Electrical Engineering Office Data (2011) No.18, Electrical Railway Signaling Control System Planning Dept, p. 274.
 - [5] H.W. Lee, H.Y. Cho, D.Y. Lee, S.W. Han et al. (1987) Research and Development on the Relay Contact and Cu-alloy Spring, *Korea Electro-technology Research Institute(KERI)*, pp. 13-20, 32-40.
 - [6] G.B. Kwon, T.W. Nam (2005) Treatment Condition and the Oxidation Process on the Microstructure of AgCdo Contact Materials, H.Y. University, *Journal of Korea Foundrymen's Society*, 25(6), p. 2.
 - [7] Electric contact material for electric communication equipment and apparatus (2011) Approved KSC 2057, p. 2.
 - [8] K.H. Back (2011) The Summary of electric contactor, Kung sung Metallurgy p. 11.
 - [9] Japan Science Metallurgy Co, (2006) A Summary of Electric Contactor, pp. 10-11.
 - [10] Harold. N. Wager (1969) predicting the Erosion of Switching Contacts that Break Inductive Load, *IEEE Trans.*, Vol, PMP-5, No. 1.
 - [11] R. Holm (1985) Electric contact hand book, p. 15.
- 접수일(2012년 6월 12일), 수정일(2012년 10월 26일),
게재확정일(2012년 11월 1일)
-

Hee-Dae Kim : khd@kbc.ac.kr

Department of Safety Engineering, Korea national university of transportation, 50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk, Korea

Sung-II Lee : silee@ut.ac.kr

Department of Safety Engineering, Korea national university of transportation, 50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk, Korea