

에폭시 박막 절연형 버스웨이 시스템의 장기 수명 및 신뢰성 평가에 관한 연구

장동욱¹, 박성희^{2*}, 이강원³

¹한국철도기술연구원 첨단철도기술기획실, ²원광대학교 그린에너지연구센터, ³한국철도기술연구원 철도시험인증센터

Study on the Estimation of Long Life Cycle and Reliability Tests for Epoxy Insulation Busway System

Dong-Uk Jang¹, Seong-Hee Park^{2*}, Kang-Won Lee³

¹Advanced Railroad Technology Planning Department, Korea Railroad Research Institute

²ICT Fusion Green Energy Center, Wonkwang University

³Railroad Test & Certification Division, Korea Railroad Research Institute

요 약 전력수요와 부하용량이 증가 되어감에 따라 부하에 전력공급을 위한 간선으로서의 케이블은 설치 시간의 과다와 공간의 제약으로 사용이 제한적이다. 이런 문제를 해결하기 위한 간선 시스템으로 대전류를 효율적으로 공급해 줄 수 있는 버스웨이 시스템의 사용이 증가되고 있으나, 신뢰성의 검증을 위한 시험평가 방법과 그에 대한 결과 제시가 부족한 실정이다. 본 논문에서는 에폭시를 주절연으로 하는 버스웨이 시스템의 신뢰성 검증을 위해서 IEC 61439-6에서 제시된 시험항목이외에 장기 사용성과 신뢰성을 평가할 수 있는 시험항목을 선정하였다. 열 및 전기적 스트레스를 동시에 인가하여 최대한 실사용 상태를 반영한 복합가속열화시험을 실시하였으며, 50년 수명 조건을 충족하도록 열화 조건을 선정하여 버스웨이 시스템의 절연성능 확인시험을 통해 수명을 만족함을 확인하였다. 또한, 버스웨이가 설치되는 온도, 습도 및 부하전류 사용 환경에 대한 적합성 확인에 대한 신뢰성 평가 시험항목으로서 열적 과전류 시험, 침수시험, 냉충격시험, 온도 사이클 시험을 선정하여 실시하였으며, 확인 시험을 통해 시험 전후의 특성 변화와 이상 유무를 검토하였다. 이 결과들로부터 에폭시 절연형 버스웨이 시스템의 평가항목으로서 본 논문에서 제시한 시험항목이 적절하고, 그에 대한 제품의 성능도 우수함을 확인하였다.

Abstract The use of electric cable was limited due to the installation time and large space as the increase of power demand and load quantity in side line. In order to solve these problems, the application of busway system which can supply the large current was increasing. But it was lack of methods of performance tests to evaluate the reliability and results of test for busway system. In this paper, we presented items to evaluate the reliability test for epoxy coated busway system with reference to IEC 61349-6. In addition, we proposed items to evaluate the reliability and long term life cycle test for the epoxy coated busway system. The combined acceleration deterioration test that reflects actual conditions of the survey as much as possible was conducted considering both thermal and electrical stresses. The deterioration condition was selected to satisfy fifty years life expectation and the insulation performance verification test of the busway system confirmed the long term life prediction. Furthermore, as test items for reliability assessment of compliance with the environment for the use of temperature, humidity and load current where busway system was installed, thermal overload test, water immersion test, cold shock temperature test and thermal cycle test were performed. And we examined changes in characteristics and abnormality after tests. From results, the test items presented to evaluate performance and reliability of the epoxy insulated busway system were confirmed to be appropriate in this paper, and the performance of the product was also confirmed to be excellent for reliability tests.

Keywords : Busway system, Epoxy Insulation, Estimation, Life cycle, Thermal acceleration

본 연구는 한국철도기술연구원의 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Seong-Hee Park(Wonkwang Univ.)

Tel: +82-31-423-9868 email: partenza@hanmail.net

Received July 2, 2018

Revised (1st July 27, 2018, 2nd August 7, 2018)

Accepted September 7, 2018

Published September 30, 2018

1. 서론

전력수요 증가와 더불어 각 수용가의 부하용량이 대량화 되어감에 따라 부하에 전원공급을 위한 간선으로서의 케이블은 사용상의 한계성이 드러나고 있다. 이것은 부하전류 증가와 더불어 포설길이가 늘어나면서 케이블의 소요량뿐만 아니라 오랜 시간이 걸리는 케이블 포설로 인한 공사비용이 상당히 증가하게 되기 때문이다. 이런 단점을 극복하고자 예전부터 1000 A 이상의 저전압 대전류 간선에는 버스웨이(busway) 시스템을 많이 사용하고 있다. 또한 최근의 공장이나 대단위 규모의 빌딩, 아파트 단지 등에는 4000 A 이상의 부하량을 필요로 하는 수용가가 늘어나고 있는 추세이며, 버스웨이 시스템은 이런 대용량 부하를 사용하는 곳에서는 거의 모든 곳에서 케이블을 대체하고 있다. 국내에서는 버스덕트라는 일본식 명칭이 주로 사용되고 있지만, International Electro-technical Commission(IEC) 규격상에는 버스웨이 트렁킹 시스템(Busway trunking system)으로 명기되어 있다. 현재 1000 V미만의 저압용 버스웨이 시스템의 경우 7500 A까지 단일제품으로 전류를 전송할 수 있을 뿐만 아니라 도체를 구리 및 알루미늄으로 선택이 가능하여 경제적인 측면에서도 케이블에 비해 장점이 많아서 그 수요가 증가하고 있다[1-4].

버스웨이 시스템은 기본적으로 전류용량에 적합한 도체의 단면적 및 형상, 도체절연의 유형과 종류, 방열 효과증대와 기계적 강도를 확보하기 위한 외함의 재질과 형상에 대한 설계로 나눌 수 있다. 특히, 3m 를 최대 길이로 하는 버스웨이 특성상 접속개소가 많아지기 때문에 접속부의 안정적인 설계도 매우 중요한 요소이다. 버스웨이 시스템의 절연재료는 polyethylene terephthalate(PET) 필름, 절연 튜브, 에폭시 박막 코팅등이 사용되는데, 최근에는 대량으로 자동생산이 가능한 에폭시를 주절연으로 하는 제품이 적용되는 추세이다[1].

본 논문에서는 에폭시 박막 절연형 버스웨이 시스템에 대해 가속열화 시험을 통한 수명을 평가하기 위한 시험방법의 수립과 검증을 IEC 61439-6에서 제시하는 시험이외에 신뢰성을 확보할 수 있는 가혹한 시험의 수행을 통하여 사용 안정성을 평가하고 신뢰도 평가 기준으로서 시험항목을 제시하고, 결과를 고찰하고자 한다.

2. IEC 규격에 따른 평가항목

버스웨이 시스템의 성능평가를 위한 규격은 IEC 61439-1 & 6에서 시험 항목 및 방법을 제시하고 있다[3, 4]. 하지만 규격에서 제시하는 시험항목들은 기본적인 성능에 대한 평가만을 하도록 되어 있으며, 장기 신뢰성에 대한 성능 검증에 대한 항목은 제시하지 않고 있다. 버스웨이 시스템은 접속개소가 많으며, 제품 무게가 무겁고 높은 곳에서 작업이 이루어지기 때문에 제품 취급에 어려움이 있다. 또한 설치 현장의 환경이 공사가 진행되는 건축물에서 진행되어서 케이블과 다르게 내부로 물이 침투되거나 습한 환경으로 인한 도체와 외함 사이에 습기가 존재하게 되어 절연을 악화시키는 요인으로 작용하기도 한다. 따라서 버스웨이 시스템이 안정적인 사용을 위한 성능과 일정 기간의 사용 수명에 대해 평가하기 위해서는 별도의 특정된 시험 기준을 마련하고 검증을 통해 확인할 필요가 있다. Fig. 1은 현재 출시되어 판매되고 있는 버스웨이 시스템의 기본 구조와 접속부 구조를 나타낸 것이다[2].

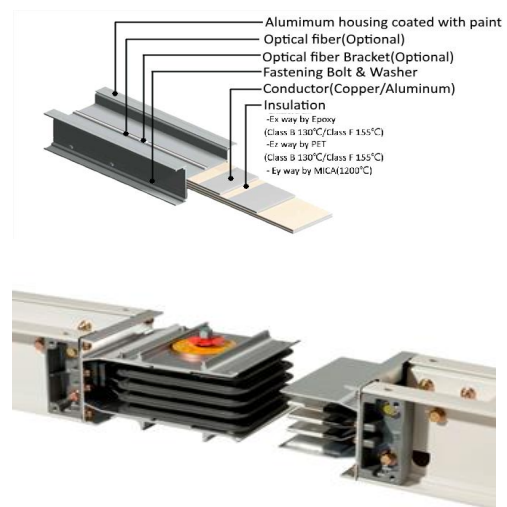


Fig. 1. Composition of busway system and test specimen

3. 수명 및 신뢰성 평가항목

3.1 버스웨이 시스템

대부분의 버스웨이 시스템은 저전압 대전류에 적합하도록 설계되고 사용된다. Table 1에 기본적인 저압 버스

웨이 시스템의 사양을 나타내었다. 버스웨이 시스템은 Fig. 1과 같이 3상 일괄형으로 버스바에 각 상별로 절연을 하고 이를 보호하기 위한 알루미늄 외함으로 구성되어 있다. 도체의 구성은 3상 3선식, 3상 4선식, 중성선 및 접지용량에 따라 다양하게 선택가능하다. 그리고 통상적으로 사용되는 전류량이 크며, 단락 사고로 인한 전류에 대한 내단락 성능도 수십~수백 kA를 요구하는 경우도 있다. 이런 경우 접속부의 구조와 외함이 적절한 성능을 확보하도록 설계를 해야 하는 것이 특징이다.

Table 1. Specifications and insulation composition for busway system

| Contents | Items | Spec. | Note |
|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| Busway system | Rating voltage | below 1 kV | Low voltage |
| | Rating current | 630~7500 A | |
| | AC endurance voltage | 4 kV for 1 min. | 60Hz, IEC 61439 |
| | BIL | 8 kV | 1.2us×50us |
| | Conductor | Aluminum | |
| Insulation composition | Housing | Aluminum | |
| | Main insulation | Epoxy powder coating | |
| | Insulation strength | above 20 kV/mm | |
| | Insulation thickness | below 1mm | |
| | RTI | Class B | 130 ℃ |

3.2 가속수명 평가항목

온도를 이용한 가속 수명평가를 위해서는 버스웨이 시스템의 부하전류와 그에 따른 온도, 평균적인 사용시간을 파악할 필요가 있다. 수명을 50년으로 보았을 경우 가속수명 온도와 가속열화계수를 산출하기 위하여 부하사용량을 근거로 최대한 가혹한 조건을 기준으로 하였으며, 다음과 같이 버스웨이 시스템의 사용조건을 설정하였다[5-8].

- 버스웨이 시스템은 전부하에서 일주일에 6일 사용 및 1일 기준으로는 14시간 사용
- 주위온도가 봄, 가을의 평균온도 25 ℃, 여름철 온도 40 ℃로 기준
- 도체는 온도상승이 55K가 되도록 설계
- 이런 결과로, 버스바의 온도는 수명 50년을 기준으로 80 ℃에서 대략 110,000 시간, 95 ℃를 기준으로 110,000 시간 사용으로 설정

버스웨이 시스템의 사용 온도조건과 아레니우스 반응식을 이용해 열화 온도에 따른 수명, 가속계수, 그에 따른 시험시간을 다음의 식으로 계산하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

$$\text{Accelerated coefficient (AL)} = \exp\left(\frac{\text{TRIANGLEE}}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_a}\right)\right) \quad (1)$$

$$\text{Accelerating aging time} = \quad (2)$$

$$\frac{\text{Life time (year)} \times \text{Operating time (1day)} \times 365 \text{day}}{\text{AL}}$$

ΔE: 활성화에너지(1.138 eV), k: Boltzman constant, Tn: 사용온도, Ta: 가속열화 온도

Table 2. Life time according to accelerating time and temperature

| Accelerating Temperature(℃) | Life time (year) | Testing time(h) |
|-----------------------------|------------------|-------------------|
| 150 | 30 | 1,500h(62.5 days) |
| | 50 | 2,480h(103 days) |
| 160 | 30 | 720h(30 days) |
| | 50 | 1,200h(50 days) |
| 165 | 30 | 510h(22 days) |
| | 50 | 850h(36 days) |
| 170 | 30 | 365h(16 days) |
| | 50 | 610h(26 days) |

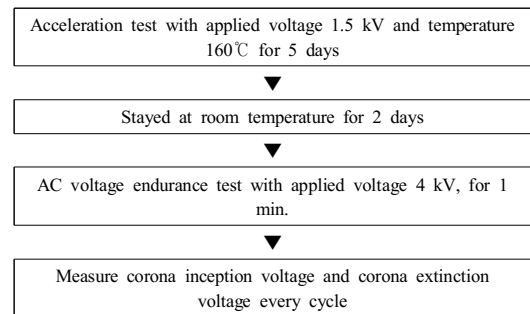


Fig. 2. The Procedure of accelerating aging test

이중에서 본 논문에서는 가속열화 온도를 160 ℃로 선정하고 50년 수명을 기준으로 수명평가를 수행하였다. 또한 온도와 더불어 전압 열화도 동시에 수행하여 실제 사용 환경에 적합하도록 수명평가를 수행하였으며, 그에 대한 시험방법을 Fig. 2에 정리하였다. 평가 기준으로는 시험동안 전압 1.5 kV인가 시 절연파괴가 없어야 함을 기본으로 매 사이클마다 4 kV 내전압을 1분간 인가하였

다. 또한 절연 성능에 대한 변화를 확인하기 위하여 매 사이클마다 부분방전 개시전압과 소멸전압을 측정하여 절연체의 결함여부를 확인하였다.



Fig. 3. Experimental set up of thermal accelerating aging test

3.3 사용 환경에 따른 신뢰성 평가

가속수명 시험 외에 추가적인 시험 항목은 열적 과전류 시험(thermal overload test), 침수시험(Water immersion test), 냉충격 시험(cold shock temperature test), 온도 사이클 시험(thermal cycling test)이며, 각 시험 항목은 버스웨이 시스템이 다양한 사용 환경에서의 적용성과 안정성을 평가할 수 있도록 선정되었다.

3.3.1 열적 과전류 시험

버스웨이 시스템은 3상 도체 혹은 3상 4선식 도체가 하나로 제작된 것을 외함으로 조립 제작되고 도체가 중량물이기 때문에 도체의 흘러내림 현상의 방지를 위해 외함에 볼트 조립시 절연체에 상당한 외압이 가해지게 된다. 이런 상태에서 정격전류보다 과전류가 흐르게 되면 전류에 의한 전자기력에 의해 도체의 변형과 그 전류에 의한 온도 상승으로 절연 손상이 발생될 수 있다. 열적 과전류 시험은 이런 상황에 대한 신뢰성 평가를 위한 것으로 일정 시간 동안의 과전류 발생 시 안정성을 평가하기 위한 시험항목이다.

본 연구에서 사용된 예폭시 박막형 버스웨이 시스템의 절연재료로 사용되는 예폭시는 RTI(Relative Thermal Index)가 B등급으로 최고 온도 130 °C에서 연속사용 가능한 재료이다. 여기에 옥의 제품 주위온도 설계 수준인 40 °C로 가정하고 최대 RTI까지 상승했을 경우 최대 온도는 170 °C가 된다. 따라서 열적 과전류에 대한 시험평가를 위해 도체 최대 온도가 170 °C에 도달

하도록 과전류를 인가한 후 전류를 차단하고 주위온도로 자연냉각을 시키는 것을 하나의 주기로 하여 총 3주기 수행 후 절연성능 시험을 수행하여 이상 유무를 판단하였다.

도체가 목표온도에 도달하기 위해서 사용한 전류 크기는 정격 전류 630 A의 3배 인 1900 A를 인가하였다. 시료는 IEC 기준에 적합하도록 2 m 제품 3개 및 접속부(IEC 규격에서는 시험시료는 6 m, 접속부 1개소 포함을 권고)를 이용하여 설치하여 실험을 Fig. 4와 같은 방법으로 실시하였다.

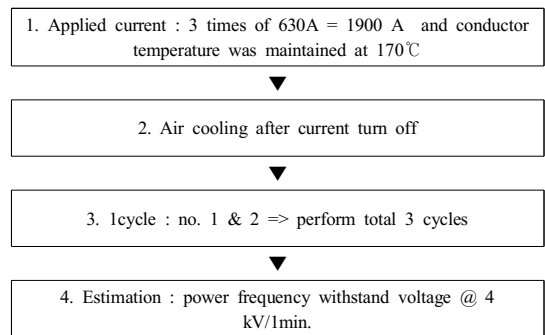


Fig. 4. Test method of thermal overload test

3.3.2 침수시험

버스웨이 시스템은 공사현장 및 사용상에서 수분에 노출 가능성이 높으며, 수중 내전압 시험은 이러한 환경에 노출될 경우 버스웨이 시스템의 안정성을 평가하기 위한 것이다. 시험은 예폭시 코팅된 버스바를 대상으로 하였으며, 알루미늄 도체와 구리도체 두 종류에 대해 수행하였다. 코팅된 버스바는 80 °C의 물에 넣었으며, 시험중에 정격 전압의 1.5배인 1.5 kV를 인가하였다. 총 시험시간은 1000시간이고, 시험 후 교류 hipot test(pin hole test)와 기계적 충격시험을 통해 예폭시 절연의 미세한 핀홀과 절연물의 크랙 발생 여부를 확인하였다.

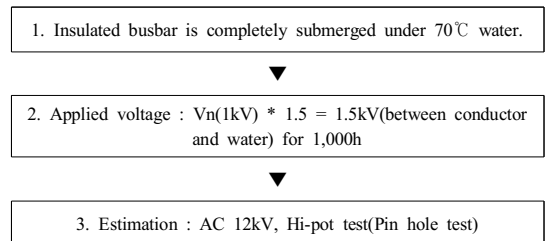


Fig. 5. Test method of water absorption and withstand test



Fig. 6. Experimental set up of water absorption test

3.3.3 냉충격 시험

버스웨이 시스템은 옥외용 제품의 경우 -25℃ 수준 까지를 설계 고려 대상으로 IEC 규격에서 추천하고 있다. 하지만 북유럽, 캐나다, 러시아 등지의 일부지역에서는 그 보다 가혹한 조건에서 제품 사용 가능 여부에 대한 개발자 및 설계자에 문의가 있고, 실제 설치가 되기도 한다. 물론, 일정 부하가 24시간 사용이 되고 그로 인해 도체 온도가 유지된다면 크게 문제 될 것이 없으나 부하 사용량이 극히 적거나 비상라인의 경우 주위온도와 동일 수준으로 될 수 있어 극한 상태에서의 제품에 대한 평가 필요성이 있다. 냉충격 시험은 이런 환경에서 안정적인 절연상태를 유지하는지에 대한 평가를 위한 것이고 -40℃로 챔버에 일정시간 방치시킨 후 절연성과 기계적 충격시험을 평가하는 신뢰성 성능 시험법이다. Fig. 7 과 8은 냉충격 시험의 시험법과 관련 사진을 나타낸 것이다.

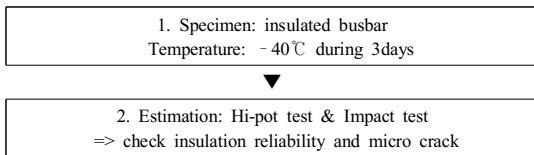


Fig. 7. Test method of cold shock temperature test

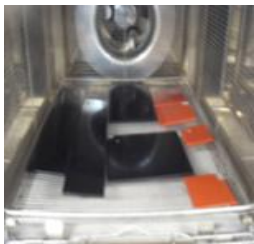


Fig. 8. Experimental set up of cold shock temperature test

3.3.4 온도 사이클 시험

버스웨이 시스템은 부하의 변동과 주위 온도의 변화에 따라 도체 온도가 급격하게 변화할 수 있고 그로 인해 박막 코팅된 에폭시 절연물이 갈라지거나 깨질 수 있는 가능성이 존재한다. 이에 대한 신뢰성에 대한 검증을 위해 완제품 조립 상태에서 2분 동안 -25~175℃를 한 주기로 하여 총 40 주기 수행 후 상용주파 내전압 시험 및 기계적 충격시험을 수행하여 절연 이상 유무를 파악하였다. Fig. 9과 10은 시험방법과 시험 장치에 대해 나타낸 것이다.

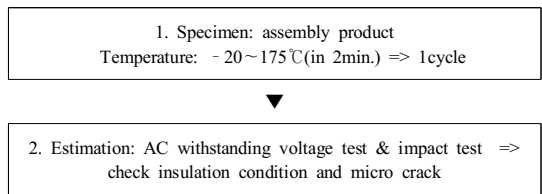


Fig. 9. Test method of thermal cycling test



Fig. 10. Experimental set up of thermal cycling test

4. 시험결과 및 고찰

본 연구는 시험을 진행하고 난 후 몇 개의 확인시험을 거치게 되는데, 절연특성을 파악하기 위한 상용주파 내전압시험, 교류 Hipot 시험, 부분방전 시험이고 기계적 특성 파악으로 기계적 충격시험을 시행하였다. Table 3은 그 확인시험에 대한 시험방법을 정리한 것이다.

에폭시 코팅형 버스웨이 시스템의 가속수명과 신뢰성 평가에 대한 시험결과는 Table 4에 나타내었다. 시험결과는 50년 수준의 가속수명 시험기준 만족과 나머지 신뢰성 시험항목에서 모두 적합한 것으로 나타났다.

Table 3. Verification test of these works

| Items | Test method | Process |
|--|--|--|
| Power frequency withstand voltage test | -Voltage : 60 Hz, 4 kV Duration: 1min. -Estimation : No breakdown and puncture | Set up of specimen => Applied voltage => maintain 1min. => Estimation |
| Hi pot test | Voltage : AC 12kV Conductor : brush Estimation : pin hole, crack | Connection of conductor(Brush : positive, conductor : negative) => Applied voltage => Scanning of insulation surface => Estimation |
| Partial discharge test | Measurement : PD test system Estimation : CSV & CEV | Applied voltage => Check CSV => Power frequency voltage => Check CEV |
| Mechanical impact test | Measurement : a weight is dropped at a predetermined height, and an impact is applied to an specimens. Estimation : Hi-pot test | Weight : 2kg, Height : 34cm => Setup specimen => Drop the weight => Visual checking and Hi-pot test |

Table 4. Test result

| Test items | Criteria | Result |
|-----------------------------|---|--------|
| Acceleration aging test | Life time: 50 years | Good |
| Thermal overload test | - No crack and insulation breakdown - No breakdown when power frequency withstand voltage test | Good |
| Water absorption | - No crack - No pin hole and crack when hi-pot test | Good |
| Cold shock temperature test | - No crack - There is no evidence of breakdown when Impact test & Hi-pot test | Good |
| Thermal cycle test | - No crack - No breakdown when power frequency withstand voltage test | Good |

4.1 가속수명 평가 결과

가속수명 시험에 의한 50년 수명데이터는 매 cycle마다 상용주파 내전압 시험과 부분방전 개시/소멸 전압을 이용해 결과 추이를 분석하였다. 부분방전 개시/소멸 전압의 측정은 수명이 진행될수록 발생하는 부분방전의 특

성 변화에 대한 추이를 확인하고자 상용주파 내전압 시험과 더불어 수행되었다. 시험결과 매 cycle마다 상용주파 내전압 시험에 의한 절연과피가 발생하지 않았고, 부분방전 개시전압과 소멸전압의 차이도 크게 나타나지 않아 가속수명시험 후 절연상태도 상당히 양호한 것으로 파악되었다. 본 시험에서 기계 및 환경 스트레스에 대한 인자를 고려하지는 않았지만, 버스웨이 시스템이 외함에 의해 보호되고 가혹한 외부 환경에 노출되지 않는다는 점을 고려한다면, 전기 및 열적 스트레스가 절연물 열화에 가장 많은 영향을 끼칠 수 있다는 점에서 수명시험으로서 의미가 있다. Fig. 11은 가속수명시험을 실시한 후의 시편을 나타내고 있으며, Fig. 12는 가속열화 주기에 따른 부분방전개시전압 및 소멸전압 변화이다. 가속수명 주기마다 측정된 부분방전개시 및 소멸전압은 열화주기에 따라서 큰 변화가 없는 것으로 측정되어, 절연성능이 양호하게 유지되고 있음을 알 수 있다.



Fig. 11. Specimen for acceleration aging test

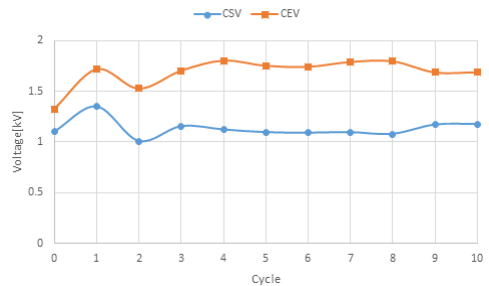


Fig. 12. PD test result

4.2 열적 과전류 시험

단시간에 흐르는 전류에 의한 기계적 응력에 대한 영향과 상승하는 온도에 의한 영향을 파악하기 위한 열적 과전류 시험의 결과는 외관상 특이한 손상이 발생 되지

않았다. 하지만 버스웨이 시스템은 외함으로 도체 및 절연체를 보호하고 접속구간이 많아 육안상의 확인만으로는 이상 유무를 파악하기 어렵다. 따라서 확인 시험으로서 접속부 포함 시험시료에 대해 정해진 상용주파 내전압 시험을 수행하여 절연과피가 없음을 파악하였다.

4.3 침수시험

장기 수중 내압시험은 코팅된 도체를 bar 상태에서 물이라는 환경적 인자에 의해 절연체에 미치는 영향을 파악한 것으로서, 수분에 노출될 경우 버스웨이 시스템의 안정성을 파악하기 위한 시험항목으로서 의미가 있다. 장시간 수분에 노출되어 방치될 경우 에폭시 절연에 문제가 있다면 미세 크랙 혹은 Pin hole로 인해 단락사고가 발생할 수 있다. 따라서 본 시험에서 시험 후 외관 상태에 대한 불량 여부와 12 kV의 교류 Hipot 시험을 통해 절연 안정성을 확인하였다. 또한, 장시간 수분에 노출될 경우 에폭시가 기계적인 충격에 취약해 질 수 있으므로, 기계적 충격시험을 통해 안정성을 파악하였고, 이상 없음을 확인하였다.

4.4 냉충격 시험

극한 지방에서 버스웨이 시스템의 절연 안정성을 파악하기 위한 냉충격 시험은 절연체가 영하 40 °C에 노출되어 일정 기간 방치될 경우 절연상태 이상 유무를 파악하기 위한 시험이다. 극한상태에 노출되면 절연물 표면의 절연상태에 대한 육안 변화 뿐 아니라 에폭시 절연물이 기계적 특성이 저하되고 크랙이 발생할 수 있다. 따라서 시험 후 결과를 확인하기 위한 시험항목으로 육안상태 확인 뿐 아니라 침수시험과 같이 교류 Hipot 시험과 기계적 충격시험 통해 절연상태에 대한 검증을 수행하였고, 이상이 없음을 확인하였다.

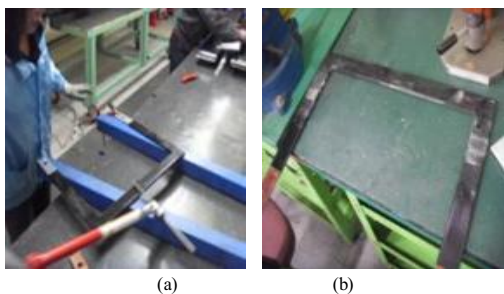


Fig. 13. Verification test after water absorption test
(a) AC Hipot test(Pin hole) (b) Impact test



Fig. 14. Test specimen for cold shock test

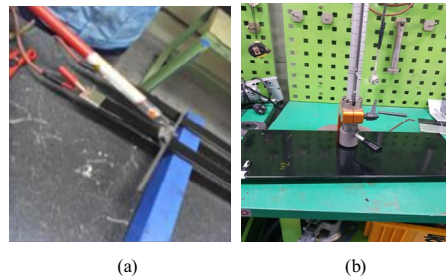


Fig. 15. Verification test after cold shock temperature test
(a) AC Hipot test(Pin hole) (b) Impact test

4.5 온도 사이클 시험

온도 사이클 시험은 Fig. 16과 같이 실시하였으며, 부하의 변화와 외부 온도의 변화에 따라 급격하게 변할 수 있는 온도에 대해 절연안정성을 평가하기 위한 것이다. 접속부가 많은 버스웨이 시스템의 경우 반복적인 열팽창으로 인한 접속부의 절연 손상이 발생할 수 있기 때문에, 이것을 검증하기 위해서 실시하였다. 온도사이클 시험 완료 후 시편의 상태를 확인하기 위해서, 규정된 내전압 시험을 교류 4 kV 전압을 1분간 인가하여 절연과피가 발생하지 않아야 하며, 이상이 없음을 확인하였다.



Fig. 16. Applied temperature graph

5. 결론

버스웨이 시스템은 저압 배전반에서 부하까지 대전류

를 공급하는 구간에 많이 사용되며, 옥내 뿐 아니라 옥외에서도 많은 사용이 이루어지고 있다. 사용 환경이 다양한 버스웨이 시스템은 에폭시를 박막 코팅하여 절연한 3상 시스템이 주로 사용되고 있으며, IEC 61439에 규정된 시험항목 이외에 수명평가와 사용 환경에 따른 신뢰성을 확보하기 위한 시험 및 평가는 이루어지지 않고 있다. 본 논문은 버스웨이 시스템의 가속수명시험을 통한 수명평가와 다양한 환경조건을 모사한 신뢰성 시험에 대한 방법 정립과 기준을 마련하고자 하는 연구를 실시하였으며, 그에 대한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 온도와 전기 스트레스에 의한 가속수명 시험에 대한 결과는 50년 수명을 만족하는 것으로 파악되었다.
- 2) 환경에 대한 신뢰성 평가 시험항목으로서 열적과 진류 시험, 침수시험, 냉충격시험, 온도 사이클 시험은 부하의 조건과 다양한 설치 환경에 따른 에폭시 박막 절연형 버스웨이 시스템에 대한 평가 기준 마련과 시험방법으로서 적합한 것으로 판단되며, 시험 시료에 대한 시험결과도 이상이 없었다.

References

- [1] S. Park, "Development Trend and Properties of Busduct", *The Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, Vol.23 No.7 pp.3-9, 2010
- [2] LS cable website[Internet]; Available from: http://www.lscns.co.kr/_lib/download.asp?aDir=prod/AA001/kr&file=20160210I60455116.pdf&nfile=EzExEf-wa y.pdf (accessed Jan., 10, 2018)
- [3] IEC 61439-1:2011 "Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 1: General rules"
- [4] IEC 61439-6:2012 "Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 6: Busbar trunking systems (busways)"
- [5] H. Rhee, J. K. Lee, B. S. Kim, S. H. Park, "Development of the Bus Duct Installation System for Wind Tower", *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol.24, No.3, pp.219-226, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.5050/KSNVE.2013.24.3.219>
- [6] C. Kang, J. K. Park, J. K. Park, H. D. Ju, H. H. Kim, "A Study on the Insulation and Electrical Degradation Properties of Heat Resistance Epoxy Powder for Busduct", *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, Vol.26 No.9 pp.662-668, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2013.26.9.662>
- [7] C. Kang, H. H. Kim, "Study on the Thickness Dependence of the Breakdown Strength using Epoxy Powder in Busduct", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol.31, No.4, pp.9-15, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2017.31.4.009>

- [8] C. Viswanatha, K. G. Rakesh, "Investigation of epoxy coated Busbar system enclosed in LT busduct of rating 2000A", *Proceedings of 2016 IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS)*, pp.1-5, New Delhi, India, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/ICPES.2016.7584207>

장 동 옥(Dong-Uk Jang)

[정회원]



- 2000년 2월 : 충북대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2000년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

고전압 방전현상, 전기철도, 설비진단, EMI/EMC

박 성 희(Seong-Hee Park)

[정회원]



- 2002년 2월 : 충북대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : 충북대학교 전기공학과 (공학박사)
- 2007년 11월 ~ 2014년 12월 : LS 전선
- 2017년 3월 ~ 현재 : 월광대학교 그린에너지 연구원 교수

<관심분야>

절연재료, 케이블 절연, 고전압 방전, 설비진단

이 강 원(Kang-Won Lee)

[정회원]



- 2000년 2월 : 충북대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 충북대학교 전기공학과 (공학박사)
- 2003년 4월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

고전압 방전현상, 연료전지, 설비진단