2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2007. 7. 18 - 20

일본의 전동차 전자 부품 열화와 고장에 대한 사례소개

김길동, 이한민, 이장무, 오세찬, 박성혁
한국철도기술연구원, 한국철도기술연구원, 한국철도기술연구원, 한국철도기술연구원, 한국철도기술연구원

Introduction on Aging and Breakdown of Electronic Devices in Japanese Electric Train

Gildong Kim, Hanmin Lee, Changmu Lee, Sehchan Oh, Sunghyuk Park
KRRI, KRRI, KRRI, KRRI, KRRI

Abstract - Recently, the electronic components are used plentifully to the railway trains. This paper explains the aging mechanism which is investigated from Japanese electric trains.

Investigating results about the vehicle breakdown of the machinery are explained. We can know breakdown tendency of a cause place, occurrence date etc. by investigating results.

1. 서 론

1960년도부터 철도차량의 유지보수 경감을 위해 차량의 전자기기 무접점화를 추진하여 왔다. 따라서 최근에 전동차에도 많은 전자기기가 사용되면서 전자기기의 고장은 무시할 수 없게 되었다. 전자기기의 주요 부품은 추진인버터 (VVVF), 보조전원장치 (SIV), 브레이크 제어 장치, ATS, ATC 등 운전 보안 장치, 모니터, 공조 등이다. 차량 운행이 대체로 25~30년 가만할 때, 많은 전자 기기가 사용 년수를 넘고 있다. 예를 들면 PC나 휴대전화를 20년 사용하는 사람은 없다. 이 관점에서 보면, 차량의 수명으로 사용하고 있는 전자 부품의 수명은 맞지 않는다는 문제가 일어나고 있다. 최근 철도 차량의 유지보수 담당자는, 주전동기 고장이나, 릴레이 고장 등 기계적 장치에 관한 고장은 줄어 든 한편, 전자기기의 고장은 증가한다고 하는 문제를 떠안고 있다. 더구나 전자 기기의 고장에는 징조가 없는 것을 고려할 때, 전자부품에 대한 체계적인 관리가 필요하다. 따라서 전동차 열화에 많은 연구를 수행하고 있는 일본의 전동차 전자기기 고장원인 사례를 소개하고자 한다.

2.열화하는 부품

전자부품이라고 해도, 차량이 제조된 연대나 제어 방식에 의해 사용되고 있는 것은 여러 가지 이다. 그것 중에서, 시간이 지남에 따라 열화라는 관점으로부터 중점 관리되는 대표적인 것은, 전해 콘덴서와 납땜이다. 전해 콘덴서는, 소형이기 때문에 넓게 사용되고 있지만, 오랜 세월동안에 전해액이 서서히 증발하여 정전용량이 변화한다. 그 열화의 속도는 사용 온도에 의존하여, 고온이 되면 빨라진다.

납땜은, 모재와의 열팽창 계수의 차이에 따라 히트 사이클(heat cycle)에 의해서 응력을 발생 한다. 이것을 반복하는 것에 의해 최종적으로는 크랙(Crack)이 생기고, 이것이 진전하면, 도통 불량을 일으킨다. 따라서, 열팽창 계수 차이의 크기, 히트 사이클의 크기(최고 온도와 최저 온도의 차이)와 반복 횟수가 수명을 결정한다. 운행되는 전철 전장품 부품의 온도를 측정한 결과로는, 낮 영업 운전 중에는 온도가 올라가고, 야간의 무전원이 되면 온도가 내려가는 1일 1사이클 이였다.

3.차량 고장의 개요

일본에서는 철도 운영자 중심으로 차량용 전자 기기 고장에 대해서 조사를 실시하였다. 그 중에서, 2003년 1년간 주요 전자기기 차량 고장에 대해서 앙케트 조사를 실시하여, 결과를 분석했다. 그 결과 그림1.은 주회로 용 인버터(VVVF 인버터)의 고장 원인 개소에 대한 결과이다. 제어부(프린트 기판)가 48% 약 반수를 차지하고 있다. 다음으로 많은 것이 주회로 반도체부 38%이다. 여기에서 말하는 주회로 반도체부에는 게이트 앰프도 포함되어 있고, GTO나 IGBT 등의 주소자만이 아니다. 다음으로, 자세하게 분류 한 것을 그림 2.에 보여주고 있다. 그림1.은 제어부와 분류된 것 중에서는, 논리 Unit 전원부의 19%와 게이트 논리 Unit의 18%가 많다. 또, 그림1.에서 주회로 반도체부와 분류 시킨 것 중에서는, GTO나 IGBT 등의 대전력 소자와 게이트 앰프가 각각 전체의 12%가 많다. 게이트 앰프 전원이 10%로 계속 된다.

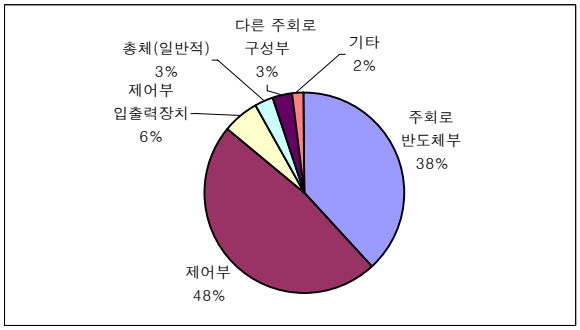

그림 1. 주회로용 인버터 고장 원인 개소(대분류)

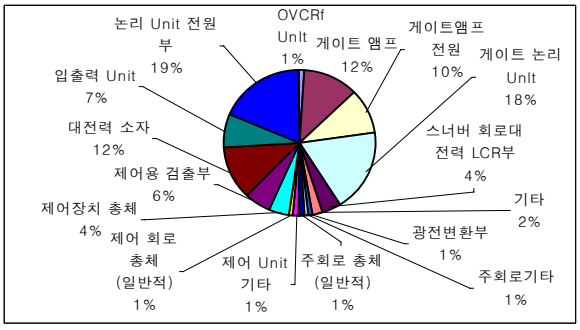

그림 2. 주회로용 인버터 고장 원인 개소(중분류)

여기에서, 전원이 고장의 큰 부분을 차지하고 있다고 할 수 있는데, 이것은, 차량용이라는 것으로 소형화를 중시하고 있는 가운데 열에 의한 열화(상기 고온 또는 히트 사이클)가 있는 것에 기인한다고 생각할 수 있다. 좀더 자세하게 분류한 것이 그림3.이다. 대체로 26%가 가장 많지만, 이것은 부품 레벨까지 고장 원인 개소를 특정할 수 없었던 것을 나타낸다. 이것을 제외하면 기판상 AVR이 16%로 가장 많다. 뒤이어 이어지는 것이 전해 콘덴서 7%, IGBT 6%, 절연 앰프 5%이다. 그 이외는 소수로 다방면에 걸치고 있다. IGBT차량이 같은 원인으로 연달아 차량 고장이 일어났기 때문에 퍼센티지가 커지고 있고, IGBT차량에 문제가

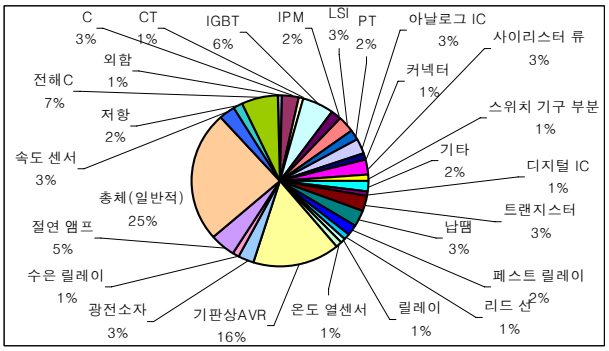

그림 3. 주회로용 인버터 고장 원인 개소(소분류)

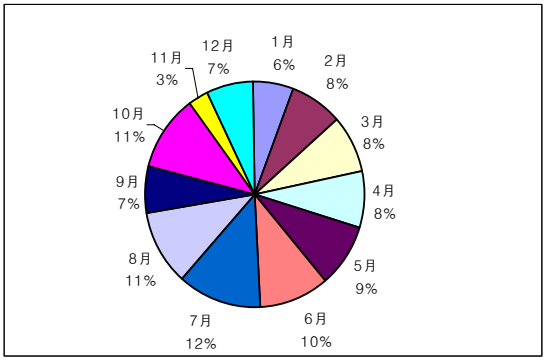

그림 4. 주회로용 인버터 고장 발생 월별 비율

많으면 단순하게 일반화는 할 수 없다. 그림4는 월별로 비율을 나타낸다. 6월, 7월, 8월이 좀 많고, 열에 의한 열화에 기인하는 고장이 많은 것을 시사하고 있다.

다음으로 보조 회로 용 인버터 (SIV)에 대해서 똑같은 분석을 실시한다. 그림5.는 원인 개소 분류를 나타낸다. 주회로 반도체부(게이트 앰프를 포함)가 49%를 차지한다. 제어부는 30%이다. 이 두가지가 대부분을 차지하는 것은 주회로 인버터와 똑같은 경향이다. 자세하게 분류한 것을 그림6.에 나타낸다. 주회로 반도체부 관계에서는 대전력 소자가 전체의 17%로 가장 많고, 다음이 스너버 회로, 대전력 LCR부의 16%이다.

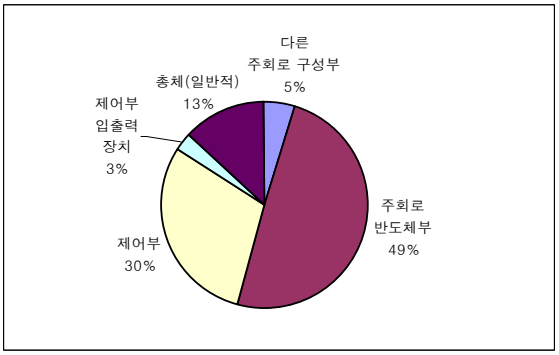

그림 5. 보조회로용 인버터 고장 원인 개소(대분류)

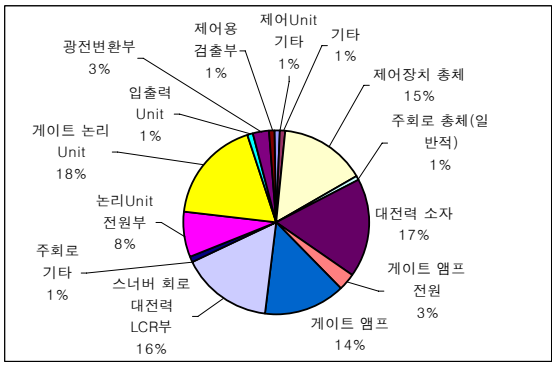

그림 6. 보조회로용 인버터 고장 원인 개소(중분류)

스너버 회로라는 것은 대전류가 흐르고 있는 주소자를 OFF 했을 때에 큰 전압이 발생하여 주소자를 손상하는 것을 막기 위해 콘덴서나 저항 등에서 구성되는 회로이다. 또, 대전력 LCR이라는 것은, 여기에서는 주회로에 들어가 있는 L, C, R을 가리킨다. 게이트 앰프의 14%나 많다.

제어부 관계에서는, 게이트 논리 Unit가 18.6%, 논리 Unit 전원부가 8%라고 하는 것이 많은 곳이다. 또 제어장치가 대체로 15%이지만, 이것은 제어장치의 어느 기판에 원인이 있었는지를 특정할 수 없는 것을 가리킨다. 한층 더 세세하게 분류한 결과를 그림7.에 나타낸다. 대체로 40%이지만, 이것은 주회로 용 인버터와 같고 세세한 부품 단위까지 특정할 수 없었던 것이다.

이것 이외에는 소수로 다방면에 걸치고 있다. 비교적 많은 것은, 콘덴서 13%, 사이리스터(Thyristor)류 8%, 기판AVR 6%, 트랜지스터(transistor), 다이오드(diode)가 각 5%이지만, 4%의 것도 몇 개인가 있다.

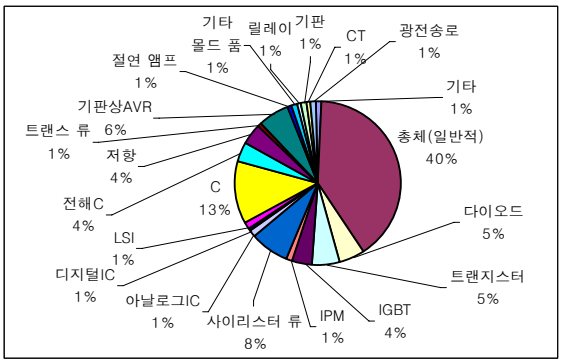

그림 7. 보조회로용 인버터 고장 원인 개소(소분류)

월별 비율을 그림8.에 나타낸다. 주회로 용 인버터에 의해 여름에 많은 것을 확실하게 읽어 낼 수 있다. 이것은 여름에 냉방 때문에 보조회로 인버터의 부하가 큰 것과, 주위온도가 높아 상승하기 때문이라고 생각된다.

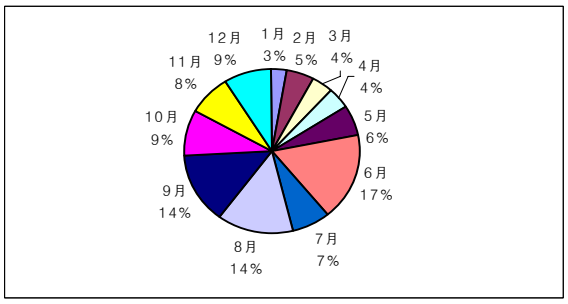

그림 8. 보조회로용 인버터 고장 발생 월별 비율

신제품을 제조한 날로부터 경과년수에 대한 인버터 시스템의 고장원인이 된 부품별로 고장건수를 살펴보면 그림9 나타내었다.

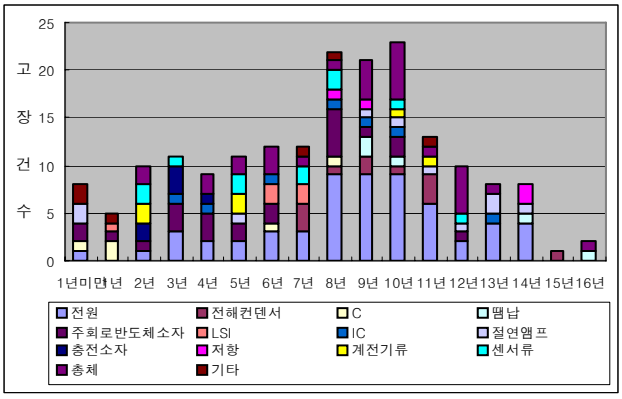

그림 9. 신제품을 제조한 날로부터의 경과년수에 대한 인버터제어장치의 고장건수(부품별)

4. 결 론

과거에는 무접접화라는 계전기를 전자기기에 옮겨 놓는 것이, 무보수화의 가장 유력한 수단이었다. 그러나 차량고장 중에서 전자기기 고장이 눈에 띄게 되었다. 전자부품은, 고장이 없는 부품은 없다는 것이 세계의 상식이다. 이러한 부품을 써서 높은 신뢰성의 전자기기를 제작하려는 기술이 요구되고 있어, 그를 위해 관계자들이 노력하고 있다. 그러나 운영상에서 각 부품에 대한 관리기준이 명확히 없고, 각 핵심부품단위가 아닌 시스템 관점에서 유지보수가 수행되고 있기 때문에 고장발생 줄지 않고 있다고 판단된다. 따라서 전자부품을 관리하기위해서는 전자기기의 부품 온도상승관리 및 사용 년수에 대한 기준을 설정해 부품을 전수 교체해주는 작업이 필요하다고 생각한다. 국내에는 아직도 차량의 전자 부품의 고장에 대해 연구가 진행되고 있지 않고, 고장 나면 관련 카드만 교체해주는 단계이다. 정확한 분석이 되지 않아 같은 반복이 발생하는 경우도 많이 있다. 따라서 10년 이상 경과한 전자부품에 대한 정밀진단을 통해 핵심부품별 기준을 설정하고, 부품에 대한 경년변화 과정에 대한 연구는 필수적이다. 따라서 국내에서도 차량의 신뢰성을 높이기 위해서는 고장이력관리 및 관련 분야 연구가 필수적이라 생각 한다.