

친환경/고효율 자동차용 고전압 커넥터의 정격전류 선정

연복희¹⁾, 노용준¹⁾, 조세훈¹⁾, 김유민¹⁾, 김대기¹⁾, 박완기²⁾
 LS 전선 자동차전장팀¹⁾, LS 전선 기술개발본부 (연구위원)²⁾

Current Rating of High Voltage Connectors used for High Efficiency Vehicles

Bokhee Youn, Yongjoon Nho, Seihoon Cho, Youmin Kim, Daegee Kim, Wanki Park
 Automotive Electrics Team, LS Cable Ltd.

Abstract - This paper described the current rating methodology of high voltage connectors used for high efficient vehicles. Typically, temperature rise at rated current has been used to rate power contacts in automotive connector. However, for automotive applications, they are required to meet severe environmental conditions and high connector reliability. Therefore, it is very important to rate correctly an allowable current of automotive connector. We have measured the contact characteristics through current cycling at room temperature and at high temperature, as well as temperature rising and current carrying capacity by de-rating. From the above results, we have developed high reliable contacts with about 80 Amperes.

1. 서 론

자동차의 연비향상과 친환경화는 자동차 산업의 지속적인 화두로 최근 교토의정서 협약 발효와 미국의 무공해 자동차(ZEV) 의무 판매규정과 함께 관심을 받고 있다. 위와 같은 상황에서 각 자동차 업체에서는 연료전지자동차(FCEV)와 하이브리드자동차(HEV)의 개발에 노력을 기울이고 있다.

위와 같은 새로운 동력원을 사용한 고효율 자동차의 경우, 전기적 동력원을 주/부수적으로 사용하기 때문에 기존의 내연기관 자동차에서 사용하는 전기시스템에 비하여 고전압/대전류용 부품들이 반드시 필요하게 된다. 특히, 자동차용 커넥터의 경우, 커넥터의 안정적인 전기적 접속이 외에 고전압 작동에 따른 절연설계 요소와 사용자의 안전성을 가져야 한다. 부가적으로, 자동차의 전자화 동향에 맞물려 고전압 동력라인에서 발생할 수 있는 전자파가 인근 여러 전장부품에 미치는 노이즈 영향을 차단할 수 있는 차폐특성이 필요하다. 위와 같은 고절연성 및 차폐성능을 커넥터에 추가하기 위해서는 일반적으로 어느 정도 이상의 공간이 필요하지만, 자동차라는 제한된 공간 내에 자동차의 전기적 와이어링이 이루어져야 하기 때문에 콤팩트(compact)화 또한 달성해야 할 항목 중 하나가 된다. 따라서, 커넥터의 주요부품인 단자는 전기적 전도도가 높으며, 기계적 특성(인장강도 및 신율)이 우수한 고신뢰성 재질 선정이 무엇보다 중요하다. 커넥터를 자동차의 각종 전기장치에 사용하는데 있어 사용자의 대부분이 커넥터의 정격전류 만으로 선정하고 적용한다는 측면에서 커넥터의 정격전류는 주의 깊게 평가되어야 한다. 현재, 커넥터의 정격전류 선정법은 단자부의 온도상승에 따라서 규정된 전류통전 시, 온도상승분 만큼 측정하고 있지만, 장기 내구성을 고려하지 않기 때문에 가혹한 조건에서 장시간 사용하는 경우 많은 문제를 야기할 가능성이 있다. 따라서, 본 논문에서는 고효율 자동차용 고전압 커넥터 중 모터 구동단에 연결되는 약 80A급 커넥터를 대상으로 개발과정에서 정격전류 선정과 이의 고려사항 및 내구시험 결과를 소개하고자 한다.

2. 실 험

현재, 연료전지나 하이브리드와 같은 고효율 자동차용 고전압 커넥터를 규정하고 있는 국제적 규격은 전무한 상황이며, 단지 완성차 업체에서 전자/통신/일반자동차용 개별규격을 조합하여 기초성능 및 장기 내구성 관련 항목을 정하여 사용하고 있는 실정이다. 단지, SAE(Society for Automotive Engineers)에서 위와 같은 고효율 자동차의 개발 요구에 따라 50 ~ 600V 범위의 정격전압을 가지는 전기적 연결부의 기초성능 및 장기 내구성을 규정하고 있다. 하지만, 전류 사이클, 온습도 사이클 및 진동과 같은 기본적인 장기 내구성에 대한 규정 밖에 없다. 따라서, 본 고효율 자동차용 고전압 커넥터의 경우 기초성능을 SAE J1742 기준으로 기존 일반 자동차용 커넥터에서 요구하는 각종 내구성을 포괄하는 커넥터 성능 목표를 정하고, 이를 개발 목표로 하였다. 표 1은 고효율 자동차용 고전압 커넥터 중 약 80A급에 해당하는 주요성능을 나타내었

다.

〈표 1〉 고전압 커넥터의 주요 요구성능

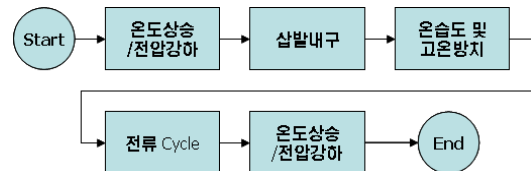
구분	항목	성능
조립성 /강도	단자 삽입력	40 N 이하
	단자 보유력	150 N 이상
	락(Lock) 강도	150 N 이상
전기적 성능	전압강하	1 mV/A
	온도상승	40℃ 이하
	내전압	2.5 kV
	절연저항	100 MΩ
내구성	차폐효과	40 dB
	삽발 내구	전압강하, 온도상승 만족
	기밀성	초기/ 내구 후 0.5kgf/cm ² 이상
	Salt-fog	전압강하, 절연저항 만족
	온습도사이클	전압강하, 절연저항 만족
	전류사이클	온도상승 만족
진동	전압강하, 온도상승 만족	

2.1 단자설계

커넥터에서 단자는 핵심적인 전기적 통전 기능을 담당하는 주요부품이기 때문에 무엇보다 중요하다. 커넥터의 단자를 설계하기 위해서는 기본적인 전기 전도도와 인장강도 이외에 단자의 스프링 구조에서 수직 접촉력 및 삽입력을 예측하여 적절한 압수 단자의 접점구조를 갖도록 해야 하며, 구조에 따라 온도상승정도를 예측하여 설계해야 한다. 뿐만 아니라 장기간 성능유지를 위하여 고온에서의 응력이완특성을 검토하여 선정해야 한다. 고효율 자동차의 경우, 기존 일반자동차용 커넥터에 비해 요구되는 전류용량이 높지만 제한된 크기 내에서 전기적 접속이 이루어져야 하기 때문에 전기 전도도가 높고, 기계적 성능이 우수한 고성능 재질이 필요하게 된다.

2.2 정격전류 선정

커넥터의 정격전류 선정은 정격전류의 연속통전 시와 자동차의 운전 시의 운전조건, 노출환경 조건 등을 고려하여 그림 1와 같은 순서로 진행하였다. 각 시험 평가를 진행하면서 상기의 규격치 성능의 만족 여부와 외관검사를 통하여 성능의 이상유무를 단계적으로 확인하였다.



〈그림 1〉 정격전류 선정을 위한 프로그램

2.2.1 온도상승 및 De-rating

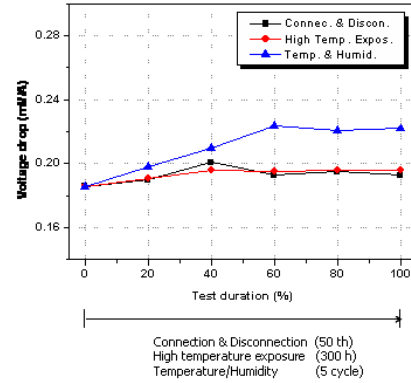
온도상승의 경우는 통전전류에 따라서 단자의 단성접점부 및 케이블 압착부에서의 저항성분으로 발생하는 주열 열에 의한 발열정도를 측정하는 것으로 단자재질의 열적 특성 및 용력이완 특성 등을 고려해서 정격전류를 선정해야 한다. 본 실험에서는 통상적으로 사용하고 있는 상온에서의 통전전류에 따른 온도상승을 케이블과 단자의 압착부위 인근에

서 측정하였다. 또한, 사용한 케이블의 크기, 부하 측에서의 오차 등 외부적인 요인을 고려한 계수를 적용하여 de-rating curve를 산정하였다.

2.2.2 Current cycling 및 전압강하

위에서 산정한 정격전류의 장기 내구성을 평가하기 위해 기본전류의 on/off를 반복하는 전류 cycle 시험을 진행하였으며, 커넥터의 적용부가 고온일 경우를 고려하여 같은 전류 사이클 시험을 차량 내 최고온도 기준인 80℃에서 실시하였다. 전류 사이클 시험을 진행하면서 최고 온도상승분 및 전압강하의 변화를 동시에 측정하였다. 전류 사이클 주기는 SAE J1742 규정에 따라 산정전류를 10분간 on, 50분간 off하는 것으로 구성하였다. 또한, 상온 및 고온에서 측정하는 시료를 직렬로 구성하여 동시에 측정할 수 있도록 하였고, 최대 1000 사이클 동안 실시하였다.

커넥터의 전압강하는 10A 전류를 통전할 때, 커넥터의 단자 접촉부에서 발생하는 접촉저항치를 측정하여 계산하였다. 커넥터 단자와 케이블의 접속 끝단에서 각각 75mm 구간에서 전체의 접촉저항을 측정한 후, 케이블 자체의 저항치를 뺀 후, 순순하게 단자부에서의 전압강하를 계산하였다.



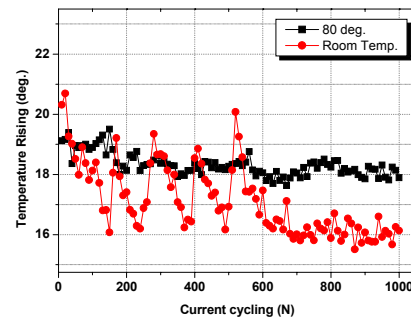
〈그림 4〉 각종 내구시험 동안의 전압강하 변화

3. 결 과

3.1 커넥터 단자의 정격전류 산정

커넥터 단자의 정격전류는 단자의 크기 뿐만 아니라 암수 단자의 접촉력 및 연결된 케이블의 크기에 따라서 정해진다. 본 고효율 자동차용 커넥터의 단자는 1.2 t 두께의 고순도 동합금 판을 이용하여 9.5mm (375 series) 폭의 탭단자를 설계하였다. 커넥터의 단자는 암단자의 스프링 구조로 대별될 수 있다. 첫째, 원판의 재료를 가공하여 탄성부를 만들고, 이 부분이 수컷형 단자가 삽입되었을 때, 탄성변형하면서 접촉부에 원하는 접압력으로 접촉하는 구조이다. 다른 형태로, 탄성부를 이루는 탄성부를 다른 개별부품(member)로 구성하고, 이 부품이 접압력을 이루도록 접촉하는 형태이다. 이러한 단자구조는 암형 단자를 이루는 기본 판재의 두께가 두꺼운 경우, 탄성부를 적절히 조절하거나 제조 공정상의 어려운 점을 해결할 수 있다. 하지만, 연속적인 프레스 공정에 의한 단자 제조를 어렵게 하는 단점이 있다. 본 개발품의 커넥터 단자에서는 암형 단자 구조를 두 개의 개별부품으로 구성하고, 탄성부를 이루는 부분을 탄성계수가 높고 얇은 재질로 선정함으로써 단자 간 삽입력을 낮게 유지하는 조립상 장점을 활용하였다.

이와 같이 구성된 단자의 통전전류별 온도상승치를 측정하였으며, 열평형 상태에서 온도를 측정하였다. 측정결과를 그림 2에 나타내었는데, 그림에서 보는 바와 같이 80A 통전 시 온도상승치는 약 30℃, 100A 통전 시에는 42℃까지 상승하였다. 위와 같은 온도상승치 측정결과를 가지



〈그림 5〉 전류 사이클 시험 중의 온도상승 변화

고, 커넥터의 최고사용온도 125℃에서 온도상승분을 고려한 de-rating curve를 그림 3에 나타내었다.

그림 3에는 온도상승에서 산정한 기본 라인(basic curve)과 de-rating factor 0.8을 고려한 곡선을 동시에 나타내었다. 자동차의 최고 사용온도 80℃를 고려했을 때, 약 80A까지 통전가능함을 알 수 있었다. 또한, 초기 커넥터의 전압강하치는 약 0.186mV/A 정도를 나타내었다.

그림 4는 이후 순차시험에 따라서 커넥터의 삽발 내구, 온습도 사이클 (-40~60℃, 90~95%RH, 120h) 및 고온방치시험(120℃, 300 h)을 진행하면서 단자 간에서 발생하는 전압강하의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 안정적인 접촉저항을 나타내었다. 그림 5은 전류 사이클 중에 측정된 온도상승분의 변화를 나타낸 결과이다. 상온에서보다 고온에서의 경우, 최고 온도피크 및 전압강하의 변화가 크게 나타났다. 이는 고온에서 단자의 고유저항이 증가하여 나타난 결과이다. 위의 모든 내구시험을 거친 커넥터를 초기시험과 동일한 온도상승 및 de-rating curve를 산정하였다. 이 결과, 온도상승은 2℃ 이내, 전압강하는 0.05mV/A 이내의 변화치만을 나타내었다.

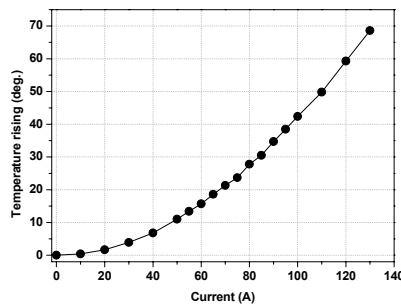
3. 결 론

자동차의 연비향상과 친환경화를 위한 고효율자동차용 고전압 커넥터의 개발과정에서 정격전류 산정을 위한 온도상승, de-rating 및 전류 사이클 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

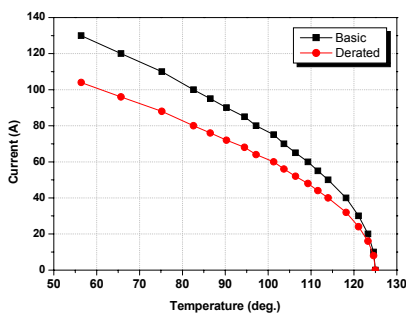
- 1) 고효율 자동차용 커넥터는 단순 통전전류에 따른 온도상승 특성과 함께 각종 내구시험을 거쳐 신뢰성 높은 단자 개발이 필수적이다. 이를 위해서는 고성능 단자재질의 선정 뿐만 아니라 자동차 환경을 모의한 환경시험 및 current cycling 시험을 실시해야 한다. 환경시험 중 온습도 사이클 시험을 통해 전압강하의 변화가 상대적으로 크게 나타났으며, 이는 주석도금 단자의 경우 필수적인 고려대상임을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김현수, "하이브리드 전기자동차의 현황과 전망", Auto Journal, June, 2006
- [2] R.S. Mroczkowski, Electronic connector handbook, McGRAW-HILL, 1998



〈그림 2〉 커넥터 단자에서의 온도상승



〈그림 3〉 커넥터 단자에서의 de-rating curve