신뢰성응용연구 신뢰성기술
제11권, 제2호. pp.111-126, 2011

자동차용 에어컨 클러치 코일의 수명평가 기준과 고장해석

최만엽*·위신환*·김정식**·정해성*** 1)

자동차부품연구원*·충주대학교 산업경영공학과**·서원대학교 멀티미디어공학과***

Lifetime Assessment Criteria and Failure Analysis for the Clutch Coil in an Automotive Air Conditioner

Manyeop Choi*·Shinhwan Wei*·Jung-Sik Kim**·Hai Sung Jeong*** 1)

Corporation Support and Reliability Division, Korea Automotive Technology Institute*·
Dept. of Industrial & Management Engineering, Chungju National Univ.**·
Dept. of Multimedia Engineering, Seowon Univ.***

Abstract

The clutch coil mounted on the automotive air conditioner is an important part which actuates the clutch to connect or disconnect the pulley and the compressor according to the climate control condition in an automobile. Here, it is generally required that the clutch coil should ensure the long term durability requirement, such as a warranty for the 10 years of field operation or 160,000 km driving, especially in a brand new item, and so forth. However, some difficulties have arisen in restoring its credibility, since domestic specifications for the part have not been yet unified. In order to ensure the reliability, test methods and assessment criteria should be standardized. Moreover, assessed lifetime under specific conditions and potential failure analysis would be important. In this study, lifetime test specifications for the clutch coil have been reviewed and methodological suggestions are provided to ensure reliability, utilizing a quality function deployment through the potential failure mode effect analysis.

Keywords : clutch coil, lifetime test, reliability, failure analysis

---

1) 교신저자_hsjeong@seowon.ac.kr
논문접수일 : 2010년 11월 02일 논문수정일 : 2010년 12월 06일 게재확정일 : 2011년 06월 03일

1. 서 론

자동차의 쾌적성과 안전성에 대한 소비자의 요구는 증대되고 있는 추세이다. 자동차용 에어컨 클러치코일은 승객의 감성과 직접적으로 관계되어 신뢰성 측면에서 중요한 의미가 있다. 에어컨 클러치코일은 에어컨용 압축기에 장착되어 에어컨의 동작 여부에 따라 풀리와 압축기 사이의 클러치를 동작하는 부품이다. 여기서 사용하고 있는 코일은 원자재 가격상승으로 구리(Cu)에서 알루미늄(Al) 도선을 이용한 개발이 가속화 되고 있다.
알루미늄은 열전도 특성 및 열팽창 계수가 구리와 현저히 달라 소재변경에 따른 신뢰성에 대한 영향 검증이 매우 중요하다. 또한 에어컨 클러치 코일의 필드 수명 및 국내 보증기간은 신뢰수준 90%로 10년 또는 160,000km에서 B1 수명을 보증해야한다. 그러나 국내 업체 간의 규격이 서로 달라 국내실정에 맞는 제품의 신뢰성 보증에 어려움이 있다.
이를 위해서는 자동차용 클러치 코일의 신뢰성을 평가하기 위해서는 시험방법과 신뢰성 평가 기준을 명확히 할 필요가 있다. 또한 클러치 코일에 대한 성능 및 내구성에 대한 신뢰성 변화에 대하여 신품 상태에서 시작하여 사용이력 까지 가해가는 과정을 파악 해석 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 자동차용 클러치 코일에서 품질시험 및 수명시험에 대관 시험기준을 제안하고 고장해석을 통해 정확한 고장요인 파악을 하고자 한다.

2. 신뢰성 평가 기준 및 시험방법

2.1 적용범위

본 논문에서는 자동차의 에어컨용 압축기에 장착되어 에어컨 동작여부에 따라 풀리와 압축기 사이의 클러치를 자력으로 동작시키는 코일의 신뢰성 평가에 대한 규정을 범위로 한다.

2.2 인용 규격

이 논문에서 참고한 국내규격은 KS A 0006(2001)과 KS D 9502(2009)를 중심으로 인용규격은 가능한 국제성이 있는 것으로 하고, 신뢰성을 충분히 파악하고 해석 가능한 시험 방법 및 안정성을 확보할 수 있는 요구 성능으로 한다. 또한 국가 규격으로의 이행을 전제로 하므로 기술적 수준이 높은 것으로 하고, 필요성이 높은 것으로부터 취급하였다.

2.3 시험일반

2.3.1 시험 일반

자동차용 클러치 코일은 특별한 지시가 없는 경우 센서 및 케이블로 구성된 단품 상태로 시험한다.

2.3.2 육안 검사

시험에 사용되는 모든 시료는 시험 전·후의 육안 검사에서 균열, 변형이 발견되지 않아야 한다.

2.3.3 시험실 상태

시험실 환경은 특별한 지시가 없는 한 KS A 0006(2001)의 상온, 상습으로 한다.

2.3.4 시험 전압

시험전압은 특별한 지시가 없는 한 단자 전압을 기준으로 공칭전압 DC 12 V인 경우 DC (13.5±0.2) V, 공칭전압 DC 24 V인 경우 DC (27±0.4) V로 한다. 단 인수·인도 당사자 간의 협정에 따라 시험 전압을 달리할 수 있다.

2.3.5 기　록

특기하지 않은 경우 해당부품 형식(제조자명, 형식번호, 로트 번호), 시험 일자, 시험 장소, 시험자, 시험실 온도, 시료의 수량, 시험장비의 교정일자, 시험의 내용을 파악할 수 있는 사진, 시험결과 및 각부 관찰 결과를 기록하여 보고한다.

2.4 샘플링 방법

가장 최근에 동일한 조건으로 생산된 양품 중 <표 1>, <표 2> 및 <표 3>에서 정한 시료수로 랜덤 샘플링 하여 기본 성능 시험, 내환경 시험, 수명 시험에 활용한다. 이와 같은 시료수에 덧붙여 제조자의 책임이 아닌 사고로 인해 결함이 발생된 제품을 대체 사용하기 위한 예비 시료를 준비한다.

2.5 신뢰성 평가 기준

자동차용 클러치 코일의 신뢰성을 시험하는 방법으로 기본 성능 시험, 내환경 시험, 수명 평가 시험으로 구분된다. 기본 성능 시험 항목은 제품의 최소 요구 조건은 물론 내환경 시험과 수명 평가 시험 후 고장 판단의 기준이 된다. 기본 성능 시험 항목으로는 코일 저항 시험, 절연저항시험, 누설전류시험, 돌입전류시험, 소비전류시험, 온도상승시험이 있다. 내환경성 시험 항목으로는 저온방치시험, 열충격시험, 진동시험, 자유낙하시험, 염수분무시험, 과전압 시험 등이 있다. 신뢰성 평가기준은 기본성능 평가기준과 내환경성 평가기준을 요약하면 <표 1>과 <표 2>와 같다. 기본성능은 기본성능시험을 실시하여 <표 1>의 평가기준을 만족하여야 하고, 내환경성평가시험은 <표 2>의 평가기준을 만족하여야 한다.

<표 1> 기본성능 평가 기준

시험 항목	시험조건	판정 기준	시료수
1. 코일 저항	· 방치 온도 : (20±2) ℃ · 방치 시간 : 12 시간 · 측정 위치 : 단자 양단에서 측정	인수·인도 당사자 간의 협정에 따른 저항 값을 만족하여야 한다.	전수(1)
2. 절연저항	· DC 500 V의 절연 저항계로 측정 · 단자와 코일 하우징(코어)간 측정	절연 저항이 100 ㏁ 이상 이어야 한다.	3
3. 누설 전류	· 방치 조건 : (20±2) ℃, 12 시간 · 단자와 코일 하우징(코어) 간에 AC 500 V를 1분간 인가하여 누설 전류 측정	누설 전류가 1 mA 이내이어야 한다.	전수(1)
4. 돌입 전류	· 방치 조건 : (20±2) ℃, 12 시간 · 시험 전압 : **2.3.4**의 전압 · 시험 전압 입력 후 20분 이내 코일에 흐르는 전류의 최대치 측정	인수·인도 당사자간의 협정에 따른 허용 전류 값을 만족하여야 한다.	3
5. 소비 전류	· 방치 조건 : (20±2) ℃, 12 시간 · 시험 전압 : **2.3.4**의 전압 · 시험 전압 입력 후 1시간 이내의 전류 안정화 이후의 전류값 측정	인수·인도 당사자 간의 협정에 따른 소비 전류 값을 만족하여야 한다.	3
6. 온도 상승	· 방치 조건 : (20±2) ℃, 12 시간 · 시험 전압 : **2.3.4**의 전압 · 온도 측정 지점 : 수지 표면 · 시험 전압 입력 후 2시간 이내의 온도가 안정된 후 이후 온도 측정	온도 상승 값이 100 ℃를 넘지 않아야 한다.	3

주(1) 내환경성 시험 및 수명평가 시험에 사용되는 시료의 총수이다.

<표 2> 내환경성 평가 기준

시험 항목	시험 조건	판정 기준	시료수
1. 저온 방치	· 방치 조건 : (-40±2) ℃ · 방치 시간 : 72시간	시험 후 육안 검사 시 파손 및 변형이 발생되지 않아야 하며, <표 1>의 1. 코일 저항과 3. 누설 전류 조건을 만족하여야 한다.	3
2. 열충격	· 고온 : (120±2) ℃, 2시간 · 저온 : (-40±2) ℃, 2시간 · 온도 변환 시간 : 1분 이내 · 사이클 수 : 10 사이클	시험 후 육안 검사 시 파손 및 변형이 발생되지 않아야 하며, <표 1>의 1. 코일 저항과 3. 누설 전류 조건을 만족하여야 한다.	3
3. 진동	· 진동 가속도 : 150 m/s^2 · 진동 주파수 : 5 Hz~200 Hz · 스위프 속도 : 분당 1 옥타브 · 방향 : 상하, 좌우, 전후 · 시험 시간 : 방향 당 8시간	시험 후 육안 검사 시 파손 및 변형이 발생되지 않아야 하며, <표 1>의 1. 코일 저항과 3. 누설 전류 조건을 만족하여야 한다.	3
4. 자유 낙하	· 낙하 높이 : $1\ ^{+0.1}_{-0.0}$ m · 낙하면 : 콘크리트 바닥면 · 낙하 방향 : 6면	시험 후 육안 검사 시 파손 및 변형이 발생되지 않아야 하며, <표 1>의 1. 코일 저항과 3. 누설 전류의 시험을 만족하여야 한다.	3
5. 염수 분무	· 염용액 및 분무실 조건 : KS D 9502(2009)의 중성염수분무조건 · 시험 시간 : (600±2)시간	시험 후 육안 검사 시 모서리 및 용접부위를 제외한 부분의 적녹 발생 면적이 총 면적의 10 %이내 이어야 하며, <표 1>의 1. 코일 저항과 3. 누설 전류의 시험을 만족하여야 한다.	3
6. 과전압	· 시험 전압 : **2.3.4** 전압의 140 % 전압 · 인가 시간 : 60 분	시험 중 발화가 없고 시험 후 수지 표면의 코어 중심 방향의 크랙 및 코어 상단 면 이상의 부풀음이 없어야 하며, <표 1>의 1. 코일 저항과 3. 누설 전류의 시험을 만족하여야 한다.	3

3. 수명평가시험

3.1 수명 평가 시험조건 및 방법

수명평가시험은 자동차용 에어컨 클러치 코일의 고장 메커니즘에 대하여 성능, 내구성의 변화를 신품 상태에서 시작하여 사용 이력을 가하여 가는 과정에서 관련되는 신뢰성을 파악하고, 신뢰성으로서 요구하는 허용 가능한 최저한도를 나타내는 것을 목적으로 한다.

3.1.1 시험조건

시험 온도 및 시험 시간은 <표 3> 중 어느 하나의 조건으로 시험하되, 온도 상승 시험 결과인 자기 발열온도와 <표 3>의 가속 시험 온도의 합이 해당 시료의 과열 방지를 위한 열 퓨즈(thermal fuse)의 끊어짐이 발생되는 온도 이내에서 시험을 실시한다. 하지만 가능한 두 가지 조건으로 시험을 실시함으로서 해당 제품의 활성화에너지 및 온도 가속식을 정립할 것을 추천한다.

3.1.2 시험방법

온도상승시험에서 측정한 온도 상승 값으로부터 코일의 자기발열온도를 산출하여 상기의 가속 시험 온도와 합하여 온도를 산출하고 그 결과가 열 퓨즈의 끊어짐 온도 이내에서 <표 3>으로부터 가속 시험온도 및 전압에 따른 시험 시간을 설정한다. 그리고 가속 시험 온도와 시간이 결정되면 시험 장치에 시료를 설치하고 시험 온도로 설정한다. 또한 시료에 시험 전압을 입력하고 시험을 실시한다. 시험 후 육안 검사를 통해 변형 및 파손의 여부를 육안으로 확인한다. 특히 수지의 부풀음 및 크랙의 발생 여부를 확인한다. 이때 수지의 부풀음이 코어 상단 면을 넘는 것은 허용하지 않는다. 시험 후 코일저항시험 및 누설전류시험을 실시하여 그 결과를 기록한다.

<표 3> 가속 시험 온도 및 전압에 따른 시험 시간

구분	가속 시험 온도(℃)	가속 시험 전압(V)	시험 시간(h)
1	70	**2.3.4** 전압의 10% 과전압	1 600
2	75	**2.3.4** 전압의 10% 과전압	900
3	80	**2.3.4** 전압의 10% 과전압	550

3.2 수명 시험 시간의 산출근거

3.2.1 전제조건

자동차용 에어컨 클러치 코일의 수명을 필드 수명 및 국내 보증 기간을 고려하여 10년 또는 160 000 km를 보증한다.
자동차용 에어컨 클러치 코일의 수명과 관계된 주요한 고장은 필드의 주고장인 고온의 자기 발열에 의한 수지의 변형에 의한 단락 및 외부 수지의 크랙에 의한 단선 고장을 재현하도록 설정한다.

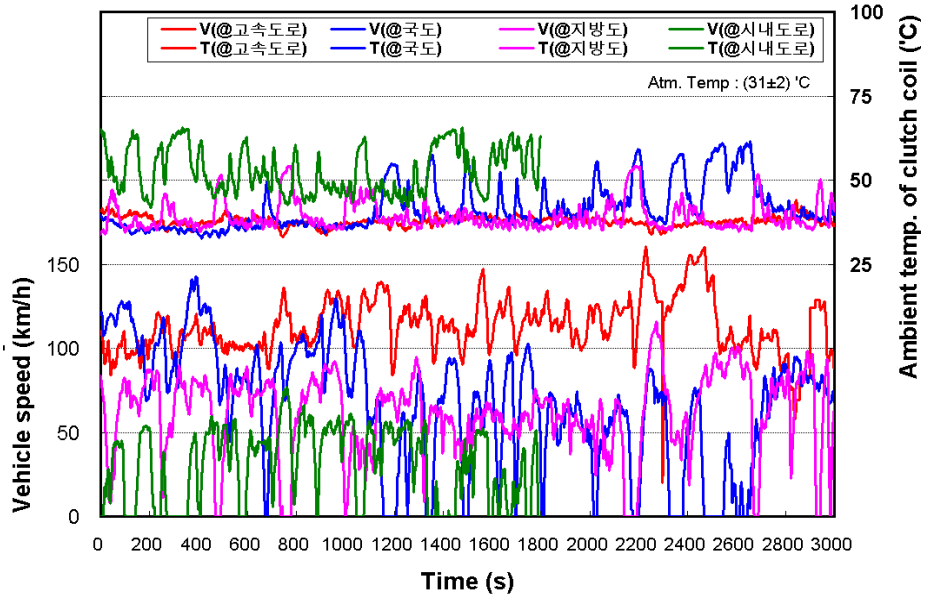
3.2.2 클러치 코일의 사용 시간 산정

자동차용 에어컨 클러치 코일은 일반적으로 에어컨의 압축기 기동에 사용되므로 에어컨 작동 시간인 여름철을 고려하여 작동 시간을 산정할 수 있지만 더운 지방을 고려하여 차량 총 주행 거리의 50 % 정도를 고려하면 충분하다고 본다.

a) 각국의 DOT(Department of transportation)에서 조사한 통계자료에 의하면 국가별 연간평균 주행거리는 연간 약 16 197 km 이므로 1일 평균 주행거리는 44.4 km/day 이다.
b) 주행 평균 속도는 국가별 도로상황에 따른 달라진다. 따라서 대표적으로 사용되는 미국과 유럽의 연비 모드를 통해 산정한다. 미국의 연비 인증 모드는 FTP-75 모드(주행평균 속도 : 34.1 km/h)이며, 유럽(유럽의 연비 인증 모드)은 ECE-15+EUDC 모드(주행평균 속도: 33.8 km/h)이다.
c) 일일 평균 차량 운행시간은 1일 평균 주행거리(44.4 km/일)를 주행평균속도 (33.8 km/h)로 나누면 1.3 h/일이 된다.
d) 에어컨 클러치 코일의 사용시간 산정: 총 운행시간의 50 %가 가동된다고 할 때 10년 기준 작동시간은 1일 평균 차량운행시간 (1.3 h/일)에서 1년(365일/년)을 곱하고 10년을 곱하고 가동시간 (0.5)을 곱하면 2 390 h/10년 된다.
그리고 160 000 km 기준 작동시간 계산은 160 000 km에서 주행평균속도(33.8 km/h)로 나누고 평균 가동시간 (0.5)을 곱하면 2 370 h/160 000 km가 된다. 따라서 클러치 코일의 10년 또는 160 000 km의 총 사용 시간은 2 400 h로 산정하는 것은 타당성이 있다고 본다.

3.2.3 클러치 코일의 사용 환경온도(분위기 온도)

클러치 코일의 주고장은 고온의 자기 발열에 의한 수지의 변형에 의한 단락 및 외부 수지(PA66 또는 epoxy)의 크랙에 의한 단선 고장으로 주변 환경 온도와 코일 자체의 발열에 의한 자기 발열온도가 더해져 고온의 환경이 발생되어 고장이 발생한다. 따라서 사용자 환경의 분위기 온도의 계측이 필수적이다. 따라서 국내 도로를 대상으로 여름철 고속도로, 국도, 지방도, 시내도로를 대상으로 클러치 코일의 주변온도를 측정하였으며 그 결과는 <그림 1>과 같다.

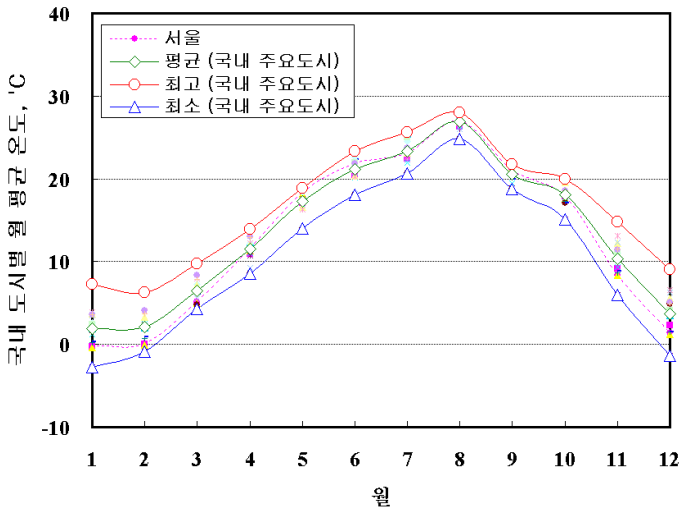


<그림 1> 실차 시험 동안의 차량 속도 및 클러치 코일의 온도

<그림 1>의 결과로부터 국내 도로별 클러치 코일의 주변온도에 대한 특성 온도를 나타낸 것이 <표 4>이다. <표 4>에서 보는 바와 같이 각 도로별 평균 온도는 주행 속도가 낮아 상대적으로 외기 유입 공기가 적은 시내 도로의 경우가 가장 높은 온도를 보인다. 이를 통해 각 도로별 온도치를 대표할 수 있는 대표도로를 산출하였다. 그 결과 대표 도로의 평균 온도는 약 43 ℃ 정도이며, 최고 온도는 56 ℃ 정도이다. 국내 주요 도시별 월 평균/ 최고/ 최소 온도는 <그림 2>와 같다. 상기의 결과는 외기온도가 (29±2) ℃에 측정한 결과로 전국 18개 시의 월 평균온도 26.9 ℃는 물론 최고 온도를 보인 제주시 또는 목포시의 28 ℃보다 높은 온도에서 측정된 값으로 충분한 대표성이 있다고 본다. 따라서 대표도로의 최고 온도인 56 ℃와 시내 도로의 최고 온도 65.7 ℃의 중간인 60 ℃ 정도를 사용 환경 온도의 대표 값으로 설정해도 충분할 것으로 판단된다.

<표 4> 국내 도로별 클러치 코일 주변 온도 측정 결과

구 분	고속도로	국도	지방도	시내도로	대표도로
도로 비율	0.30	0.29	0.18	0.23	
평균 온도(℃)	37.7	41.6	39.2	52.8	42.6
최고온도(℃)	44.1	61.6	54.2	65.7	56.0



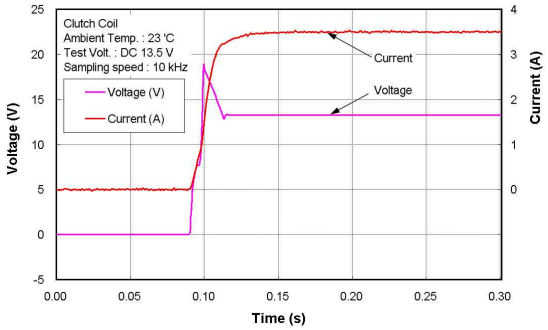
<그림 2> 국내 주요 도시별 월 평균/최고/최소 온도

<그림 3> 클러치 코일 온도 측정지점

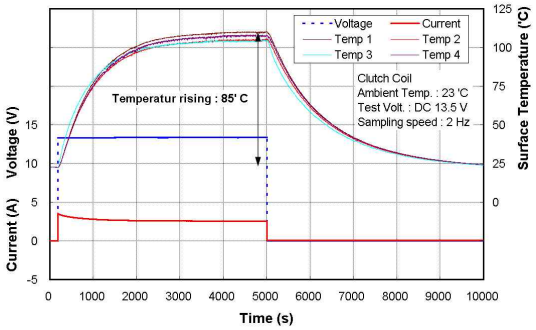
3.2.5 클러치 코일의 자기 발열 온도

클러치 코일은 기본적으로 자장을 발생시키는 코일의 대전류 입력에 의해 자기 발열에 의해 수십 ℃의 온도 상승을 유발한다. PA66 또는 epoxy와 같은 융착층의 열화를 발생시키기에 충분한 온도인지를 파악하기 위하여 필드 주행 품을 회수하여 자기발열온도 및 입력 전류를 측정하였다. <그림 3>은 클러치 코일의 자기 발열온도의 측정을 위한 온도측정 지점을 나타낸 것이다. <그림 4>는 클러치 코일에 인가되는 전압 및 전류를 측정한 것으로 전원 입력과 함께 기본 전압(DC 13.5 V) 보다 약 5 V 높은 18.8 V의 서지전압이 발생되는 것을 알 수 있다. 전류는 돌입전류가 크게 발생하지 않는 것을 알 수 있다. <그림 5>는 클러치 코일의 전원 입력과 함께 자체적으로 발열되는 온도를 측정한 것이다. <그림 5>에서 보는 바와 같이 클러치 코일의 최고 자기 발열온도는 약 85 ℃ 정도이다. 이것은 단자 전압을 기준으로 DC 13.5 V를

입력 했을 때 이며, 일반적으로 차량에서의 도선 저항 등으로 입력 전압은 통상 DC 12 ~ DC 13 V 정도 수준인 점을 감안하면 충분히 높은 설정범위이다.



<그림 4> 클러치 코일의 전류 및 전압



<그림 5> 클러치 코일의 자기 발열 온도

3.2.6 클러치 코일의 사용 환경 분석결과

클러치 코일의 10년 또는 160 000 km의 총사용 시간은 2 400 시간으로 사용자 환경온도와 자체 발열에 의한 자기 발열온도가 결합되어 장시간에 걸친 고온 유지에 따른 융착층의 열화가 발생된다. 상기의 과정이 촉진되어 융착층의 변형 및 파손까지 발생되는 경우에 코일 단락 및 단선과 같은 고장을 초래하게 된다.

3.3 수명 시험 시간 산출

자동차용 에어컨 클러치 코일에 대한 형상 모수를 파악하기 위하여 김범철(2007)의 고온 열화에 의한 코일 수명 예측 연구 결과에 의하면 형상 모수(β)는 3~8까지 다양하다. 자동차 부품의 품질 산포 등을 고려하여 클러치 코일의 형상모수(β)는 5인 와이블 분포를 따르는 것으로 한다.

3.3.1 수명 시험 시간 산정

와이블 분포에서 시료수 8개, 합격 판정개수 1, 형상모수가 5로 가정할 때, 신뢰수준 90 %로 B_1 수명 2 400 시간을 보증하기 위한 시험 시간은 다음과 같다.

$$t_n \geq B_{100p} \cdot \left[\frac{\chi_b^2 [2(C+1)]}{2 \cdot n \cdot \ln(1-p)^{-1}} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (1)$$

$$= 2\,400 \cdot \left[\frac{\chi_{0.1}^2 [4]}{2 \cdot 8 \cdot \ln(1-0.01)^{-1}} \right]^{\frac{1}{5}} = 5\,300 \fallingdotseq 5\,500$$

여기서 t_n : 시험 시간

n : 시료수

C : 합격 판정 개수

B_{100p} : 보증 수명

p : 불신뢰도 (B_1 수명이면 $p = 0.01$)

b : 소비자 위험 (신뢰수준 90 %이면 $b = 0.1$)

따라서 신뢰수준 90 %로 B_1 수명 2400 시간을 보증하기 위해서는 식 (1)로 부터 5500 시간을 시험하여 고장이 1개 이하로 발생하여야 한다. 상기의 5500 시간은 수명시험에만 230일이 걸리는 시험으로 가속시험의 채용을 통한 시험시간 단축이 요구된다.

3.3.2 온도 가속 시험 시간

고온 열화에 의한 융착층의 변형 및 파손에 의한 코일 단락 및 단선을 평가하기 위한 가속식으로는 식 (2)와 같은 온도 및 전압 가속식을 사용한다.

$$AF = \frac{L_u}{L_a} = \exp\left[\frac{E}{k} \cdot \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_a}\right)\right] \cdot \left(\frac{V_a}{V_u}\right)^n \quad (2)$$

여기서 AF : 가속 계수 (사용자 환경수명에 대한 가속 시험 환경에서의 수명의 비)

L_u : 사용 환경 온도에서의 클러치 코일의 수명 (h)

L_a : 가속 온도 조건에서의 클러치 코일의 수명 (h)

E : 활성화 에너지(단위: eV), (활성화에너지 1.0 eV로 고려([1]))

k : 볼츠만 상수(8.6173×10^{-5} eV/K)

T_u : 클러치 코일의 주변 사용 온도 (℃)

T_a : 클러치 코일의 주변 가속 시험 온도 (℃)

V_u : 클러치 코일의 사용 전압 (V)

V_a : 클러치 코일의 가속 시험 전압(V)

n : 전압에 의한 수명 민감 지수(여기서는 수명 민감 지수를 2로 고려([2]))

주([1]) 코일의 활성화 에너지는 EPRI NP-6408(1992)에 의하면 1.08 eV으로 보수적으로 1.0 eV를 선정한다.

주([2]) 코일의 전압에 의한 수명 민감 지수는 코일의 가속수명시험과 관련한 기존 김범철(2007) 연구에 의한 값의 범위 2~4의 값 중 보수적인 값으로 2를 선정한다.

상기의 활성화 에너지 및 사용온도 및 가속 시험 온도 조건으로부터 가속 시험시 요구되는 시험시간을 <표 5>와 같이 산출하였다. 여기서 활성화 에너지는 1.0 eV, 사용 온도는 60 ℃, 가속시험온도는 70, 75, 80, 85 ℃로 선정하였다. 클러치 코일의 자체 발열에 의한 자기발열 온도는 85 ℃로 선정하였다. 여기서 압축기의 보호를 위해 184 ℃ 이상의 이상 고온 발생시 내부의 유기물이 용융되어 스프링 동작에 의해 전류의 흐름을 차단하는 열 퓨즈(thermal fuse)의 동작 범위를 고려하여 가속 범위는 자기발열온도와 합산될 것을 고려하여 90 ℃를 넘지 않도록 하였다.

<표 5> 가속 시험 조건별 요구 시험 시간

구분	사용 온도 (℃)	가속 시험 온도 (℃)	사용 전압 (V)	가속 시험 전압 (V)	가속계수 (AF)	시험 시간 (h)	시험기간 (일)
1	60	60	13.5	13.5	1.0	5 500	230 (일)
2	60	70	13.5	14.9	3.6	1 600	67 (일)
3	60	75	13.5	14.9	6.2	900	38 (일)
4	60	80	13.5	14.9	10.3	550	23 (일)
5	60	85	13.5	14.9	16.8	350	15 (일)

따라서 신뢰수준 90 %로 B_1 수명 2 400 시간을 보증하기 위해서는 <표 5>에 근거하여 가속 시험 온도별 시험 시간에 따라 시험하도록 한다. 이는 안전을 위해 열 퓨즈(Thermal fuse)를 통해 사용온도를 제한하고 있는 클러치 코일이 있음에 따라 열 퓨즈 작동범위 내에서 시험하기 위한 것이다.

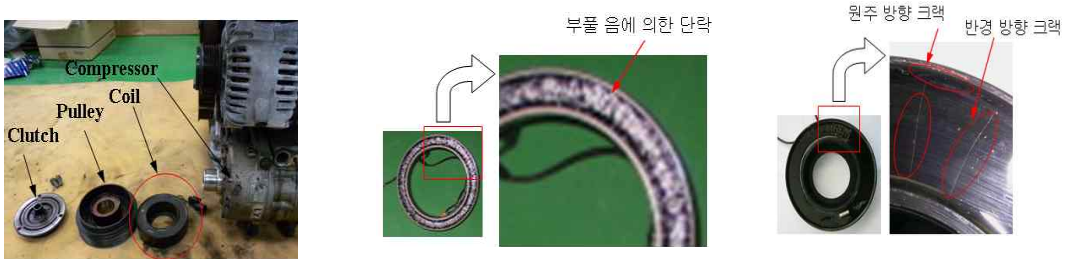
3.3.3 가속 시험 조건에서의 합격 기준

시료 8개를 <표 5>의 분위기 온도 하에서 규정된 시험 시간 동안의 동작을 통한 자체 발열 하에서 시험을 수행하여 단선 및 단락 등의 고장이 1개 이하로 발생하면 신뢰수준 90 %에서 B_1 수명으로 10년 또는 160 000 km를 보증한다고 볼 수 있다.

4. 고장해석

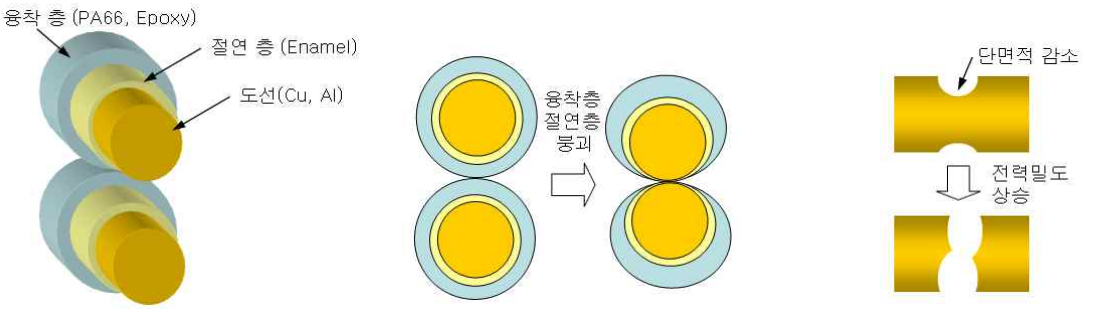
4.1 잠재적 고장형태

클러치 코일에 대하여 성능 및 내구성에 대한 신뢰성 변화를 신품 상태에서 시작하여 사용 이력 등을 가해 가는 과정에서 파악하고 해석함으로써 보다 정확한 고장요인을 파악하고 평가하는 것을 목적으로 한다. 이 기준의 작성에는 국내외 자동차용 제작사 및 자동차용 클러치 코일 제작사 규격을 참고하여 기준의 구성을 검토 하였다. 자동차용 에어컨 클러치 코일은 에어컨용 압축기에 장착되어 에어컨의 동작 여부에 따라 풀리와 압축기 사이의 클러치를 동작하는 역할을 수행하는 부품이다. 자동차용 에어컨 클러치 코일에서 필드 고장 원인으로 주 고장 고온의 자기 발열에 의한 수지의 변형에 의한 단락 및 단선(90 %)과 외부 수지(PA66 또는 Epoxy)의 열적, 기계적 크랙에 의한 단선 고장(10 %)이다. 에어컨 클러치 코일의 필드고장은 <그림 6>과 같은 유형이 있으며 고장 메커니즘은 <그림 7>로 설명할 수 있다. 따라서 시험평가 방법은 상기의 필드 고장을 재현하는 것이 중요하다.



(a) 주행 품 분석 (b) 부풀음에 의한 단락 (c) 크랙에 의한 단선

<그림 6> 에어컨 클러치 코일의 필드 고장 유형



(a) 코일 구성 (b) 고온 열화에 의한 단락/단선 고장 (c) 열충격에 의한 단선 고장

<그림 7> 에어컨 클러치 코일의 고장 메커니즘

4.2 설계용 고장모드 영향 분석

각 구성 부품별 잠재적 고장형태 및 영향 분석을 실시하면 <표 6>과 같다. 클러치 코일의 주고장은 고온의 자기 발열에 의한 수지의 변형에 의한 단락 및 단선이다. 이러한 단락 및 단선의 고장 원인은 자체 발열에 의한 자기발열온도와 엔진 룸 내 외부 환경 온도의 결합에 의해 발생된다. 또한 구성 부품별 잠재적 고장형태 및 영향 분석 결과, 자동차용 에어컨 클러치 코일에서 발생되는 고장 모드 및 메커니즘은 코일 단락 및 단선, 수지의 부풀음, 크랙 절연저하 등임을 알 수 있다.

<표 6> 설계용 고장모드 영향 분석

부 품	기 능	잠재적 고장 형태	고장의 잠재적 영향	심각도	고장의 잠재적 원인/메커니즘	발생도	현 설계관리	검출도	위험 우선 순위
코일 (Magnet wire)	자기장 형성	코일 단락	자력 약화 (클러치 작동 불량)	9	고온 열화에 의한 에나멜선 파손	3	수명시험 (고온방치) 열충격	3	81
		코일 단선	자력 형성 못함 (클러치 작동 불량)	9	자체 발열을 통한 코일 열화, 전기적 충격에 의한 단선	3	수명시험 (고온방치) 과전압	3	81
수지	수분 침투 방지 및 형태 유지	부풀음 (단락/단선)	수지 변형에 의한 단락/단선 (클러치 작동불량)	9	고온열화에 의한 수지 부풀음	3	수명시험 (고온방치) 열충격	3	81
		기계적 크랙 (단선)	수지 변형에 의한 단선 (클러치 작동불량)	6	진동 등 기계적 충격에 의한 수지 파손	2	진동 충격 낙하	2	24
		열적 크랙 (단선)	수지 변형에 의한 단선 (클러치 작동불량)	9	ON/OFF시 자체 발열에 의한 열충격 파괴	2	열충격	3	54
		절연성 저하	클러치 작동력 약화 (전기적 누설 발생)	9	수분 및 염수 침투	2	염수분무	3	54
열 퓨즈 (Thermal fuse)	이상 고온 발생시 전류 차단	오동작	클러치 ON/OFF 안됨	3	공정상 불량	1	코일저항 소비전류	1	3
코어	자력선 통로	변형	클러치 끼임 발생	3	자체 반복되는 발열에 의한 변형 (설계상 문제)	1	수명시험 열충격	1	3
리드 선	코일 연결 전선	단선	전원공급 못함 (클러치 작동 불량)	6	진동 등 기계적 충격에 의한 단선	2	진동시험 충격시험	2	24
면 테이프	코일 형태 유지 및 수지 침투	찢어짐	정상적 수지 침투 안 됨	3	공성상 불량	1	공정검사	1	3
커넥터	상대물과 전원 연결	파손	커넥터 빠짐	3	기계적 충격에 의한 커넥터 파손	1	진동시험 충격시험	1	3

4.3 품질기능전개

요구사항과 고장모드 및 메커니즘의 품질기능전개를 하면 <표 7>과 같으며, 고장모드 및 메커니즘과 시험항목 매트릭스를 분석하면 <표 8>과 같다. <표 7>에서 신뢰성과 관련된 중요도를 분석하면, 수지의 고온 열화에 의한 부풀음 및 크랙, 그리고 코일 자체의 고온 열화에 의한 단락, 단선 순이다. 자동차용 에어컨 클러치 코일의 신뢰성 확보를 위해서는 해당 제품의 품질 및 신뢰성의 확보 여부를 검증할 시험 기준이 요구되고 이에 따른 품질 관리가 요구된다. 따라서 <표 7>의 요구 성능과 고장모드 및 메커니즘의 품질 기능 전개로부터 각 고장모드 및 메커니즘을 재현하고 평가할 시험항목을 선정하면 <표 8>과 같다. <표 8>의 분석결과 시험 항목의 품질 기능 전개로부터 중요도 우선순위를 평가하면 가속 수명 시험, 자기발열 온도 계측을 위한 온도상승시험, 열충격 및 과전압 시험 순이다. 특히 가속 수명시험은 제품의 내구와 관련된 가장 중요한 시험 항목으로 제품의 정량적 수명 파악을 위해서 규정된 시험 시간보다 긴 시간으로 시험하는 것이 추천된다.

<표 7> 요구사항과 고장모드에 관련된 품질기능전개

고장모드/메커니즘 / 요구사항	코일 단락	코일 단선	수지 부풀음	수지의 열적 크랙	코일 절연저하	수지의 기계적 크랙	리드선 단선
내열성	◎	◎	◎	○	○	◇	◇
내충격성(기계적)	◇	◇	◇	◇	◇	◎	◎
내열충격	○	○	◇	◎	◇	◇	◇
내전압	○	◎	◎	○	◇	◇	○
방열성능	◎	○	◎	◎	◇	◇	◇
내부식성	◇	◇	◇	◇	◎	◇	◇
가중치 합계	26	26	30	26	16	14	16
중요도 우선순위	2	2	1	2	3	4	3

비고 신뢰성에 관련된 중요도에 따라 표시 : 가장 중요 ◎(9점), 중요 ○(3점), 보통 ◇(1점)

<표 8> 고장모드와 시험항목에 관련된 품질기능전개

시험 항목 / 고장모드/메커니즘	과전압	열충격	염수분무	진동	온도상승	가속 수명
코일 단락	○	○	◇	◇	◎	◎
코일 단선	◎	○	◇	◇	○	◎
수지 부풀음	◎	◎	◇	◇	◎	◎
수지 열적 크랙	○	◎	◇	◇	◎	○
코일 절연저하	◇	◇	◎	◇	◇	◇
수지 기계적 크랙	◇	◇	◇	◎	◇	○
리드선 단선	◇	◇	◇	◎	◇	◇
가중치 합계	27	27	15	23	33	35
중요도 우선 순위	3	3	5	4	2	1

5. 결 론

자동차용 에어컨 클러치 코일에서 신뢰성 평가 기준 및 시험방법은 규격이 서로 달라 제품의 신뢰성 향상에 어려움이 있는 실정이다. 이런 상황에서는 시험 방법과 신뢰성 평가 기준을 재조명하고 유효한 시험기준과 고장해석을 통해 합리적인 분석이 필요하였다.
그래서 국제 규격 및 선진 외국규격을 참고하고 관련된 업체의 규격을 참고하여 신뢰성 시험을 위한 유효한 시험 기준을 제공하였다. 그리고 해당 부품에 관련된 제조자나 사용자가 해당 부품의 품질이나 특성을 고려하여 일부조건에 대한 사항을 추가하거나 변경할 때 이 기준을 사용하면 효과를 거둘 수 있도록 하였다.
자동차용 에어컨 클러치 코일의 수명 보증은 시험방법과 신뢰성 해석을 위해서 고장모드 영향분석과 품질기능전개를 통해 정확한 고장요인을 파악하고 평가하여 합리적인 시험항목을 설정하도록 하였다.
따라서 본 논문에서 자동차용 에어컨 클러치 코일의 제안된 신뢰성 평가기준은 합리적인 시험방법, 시험조건, 판정기준 시료수를 제안하였고, 수명시험을 보증하거나 고장해석을 통해 효과적인 시험항목을 결정 할 수 있도록 하였다.

참고문헌

[1] 김범철 (2007), “코일의 가속수명시험 및 신뢰성 개선”, 가속수명예측 논문대회, 두산인프라코어.

[2] EPRI NP-6408 (1992), Guidelines for Establishing, Maintaining and Extending the Shelf Life Capability of Limited Life Items (NCIG-13).

[3] KS A 0006 (2001), 시험장소의 표준상태.

[4] KS D 9502 (2009), 염수분무 시험방법.