

차량용 배터리 내구성 분석 프로세스 개발에 관한 연구

김병훈*, 이백행*, 신동현*, 정진범*, 송현식**, 허훈**, 김희준***
 자동차부품연구원*, 고려대학교**, 한양대학교***

A Study on Development of the Life Prediction Process of an Energy storage system for Vehicles

Byoung-Hoon Kim*, Back-Haeng Lee*, Dong-Hyun Shin*, Jin-Beom Jeong*, Hyun-Sik Song**, Hoon-Heo**, Hee-Jun Kim***
 Korea Automotive Technology Institute*, Korean University**, Hanyang University***

Abstract - 본 논문에서는 차량용 배터리의 내구 수명 분석을 위한 효율적인 분석 절차와 프로세스를 제안하였다. 분석 프로세스는 배터리의 내구성을 분석하기 위한 기본적인 배터리 특성을 통해 시험에서 얻어진 파라미터를 구하고 배터리 외부 온도 영향에 따른 내부 전해액의 변화 특성 및 배터리의 내구 수명 특성을 통한 상관관계를 도출할 수 있다. 본 논문에서 필드에서 측정된 데이터를 분석하고 이와 동일한 환경을 실험실에서 모사해냄으로써 필요한 실험 데이터를 얻어 배터리의 내구 특성을 분석하고 배터리 수명을 예측하였다.

1. 서론

배터리 내구성에 대한 연구를 배터리의 수명을 예측하고 차량 설계시 적용할 수 있게 된다면 기술적 부분과 상업적 부분에 있어서 많은 이득을 갖다 줄 것이다.[1-2] 그러나 배터리의 수명을 측정하기 위해 실차에 올려 주행을 해서 판단할 수 있으나 이런 경우 많은 시간이 들며 배터리의 종류, 수요자 등 여러 가지 상황에 따라 다른 결과를 보이므로 거의 불가능하다. 그래서 시간을 단축하기 위해 최근에는 모델을 통해 수요자의 환경을 바탕으로 수명을 예측하는 방법이 제안되고 있으나 이를 위해서는 배터리마다의 고유 모델이 존재하며 그 모델을 만들기 위한 다양한 정보와 실험 데이터가 필요로 하게 된다. 그리고 그 결과가 실차 주행과의 관계 검증 또한 많은 문제점을 갖고 있다. 그래서 현재 자동차 회사나 배터리 제조업체에서는 가속 내구 수명 시험 방법으로 차량 모사 프로파일과 높은 온도에서 단순히 배터리의 성능 비교와 수명 예측 수치로만 사용되고 있으며 배터리의 내구 수명을 실차 주행 시 예상 수명에 대한 연구가 전무한 상태이다.[3-4]

본 논문에서는 최근에 사용되고 있는 가속 내구 수명 시험 절차를 적용한 실차 주행 데이터 기반의 배터리 전해액 온도에 따른 내구 수명 예측법을 제안하고자 한다.

2. 본론

2.1 내구 수명 프로세스

먼저 본 논문에서는 주행 온도에 따른 배터리 수명 예측을 위해 배터리 특성과 가속 수명 시험법에 대해 알아보고 실차 주행 시 배터리에 영향을 주는 온도 factor에 대해 실차 필드 데이터를 분석하고자 한다. 여기서 내구 수명 파라미터와 상관관계식 정의하고 시험을 통해 구하기 위해 다음과 같은 배터리 내구 수명 프로세스를 제안하고자 한다.

1. 배터리 특성 분석
2. 실차 주행 온도 데이터 분석
3. 배터리 내/외부 온도 관계 도출
4. 온도별 내구 수명 관계 도출
5. 통합적 예측 수명 프로세스 적용
6. 실차 주행 결과를 통한 검증 수행

2.1.1 배터리 특성

본 논문에서는 실제 주행 중인 차량에 장착된 DELKOR 12V 68AH의 주행 데이터와 모사 시험 결과를 바탕으로 내구 수명 프로세스에 적용하고자 한다. 표 1,2,3은 배터리의 일반적인 특성 및 온도 전달 관련 수치를 나타낸다.

〈표 1〉 DELKOR 68AH 일반적인 특성

Nominal Voltage	Rated Capacity	CCA(-18℃)	치수(mm) L x W x H
12[V]	68[Ah]	560A	259 x 175 x 200

〈표 2〉 DELKOR 68AH 내/외부 물질 특성

재질	전해액 비열 (황산)	커버재질	기타
PP	53.9J/g·℃	글라스 울	

〈표 3〉 DELKOR 68AH 전해액량

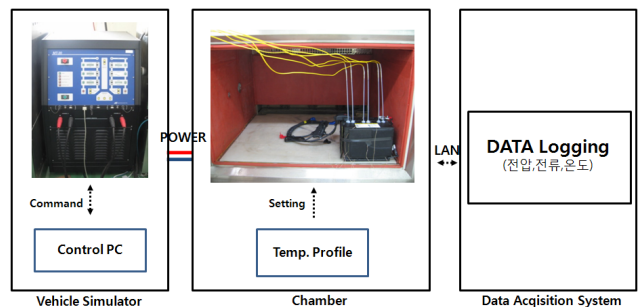
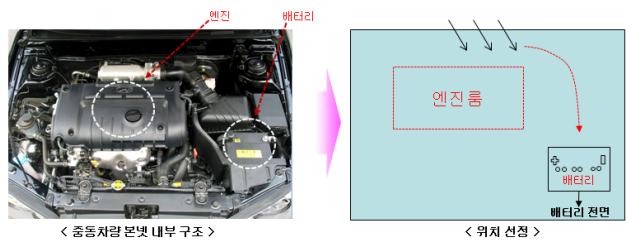
Cell 1	Cell 2	Cell 3	Cell 4	Cell 5	Cell 6
815ml	800ml	800ml	800ml	800ml	815ml

2.1.2 실차 주행 데이터 모사

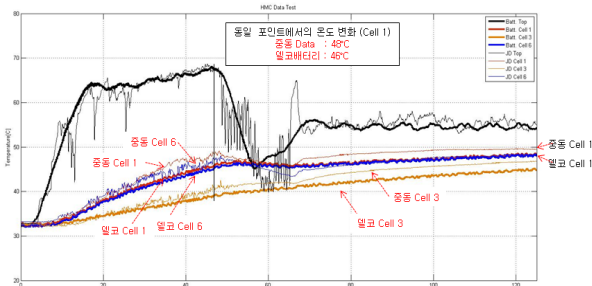
본 논문에서는 실차 주행 데이터에서 환경 온도가 배터리 내구에 미치는 영향에서 표 4에서 보이는 것과 같이 몇몇 실차 필드 차량의 1일 주행 시 배터리의 주변 온도가 높고 낮음에 따라 전해액 온도도 대응해서 올라가고 내려가는 것을 알 수 있었다. 그러나 실제 여러 차량의 주행 시 배터리 주변 온도에 대한 정보는 얻을 수 있으나 전해액 온도를 측정하기란 어렵다. 그래서 본 논문에서는 그림 1과 같이 실험실 내에서 실차 환경을 구축하여 그림 2와 같이 필드 데이터의 측정 결과를 동일하게 모사하여 추가적으로 전해액 온도를 유추할 수 있었다. 즉, 이전 측정된 결과를 모사해냄으로써 배터리의 특성을 추출할 때 실제 차량에 탑재하는 번거로움과 실시간 구현이 어려운 환경을 만들어줌으로 인해 시험 시간을 단축할 수 있게 되었고 극악한 조건과 반복적인 시험을 통해서 특성 분석이 용이하게 되었다.

〈표 4〉 지역별 1일 차량 주행 시 온도 변화

	중동차량	국내차량	기타
엔진룸 온도	35 - 100이상℃	0 - 90℃	
배터리 온도	35 - 85℃	0 - 70℃	
전해액 온도	35 - 75℃	0 - 55℃	



〈그림 1〉 실험실 환경 모사 구성



〈그림 2〉 실험실 모사 시험 결과

2.1.3 배터리 내/외부 온도 분석

배터리 내/외부 온도 분석을 위해 모사 환경에서 배터리의 전해액 온도를 추출하고 배터리 외부 온도의 변화에 따른 전해액 온도 변화율을 시험을 통해 얻을 수 있었다. 그리고 추출된 전해액 온도로부터 상관 관계식을 식(1)의 열량 공식을 적용하였다.

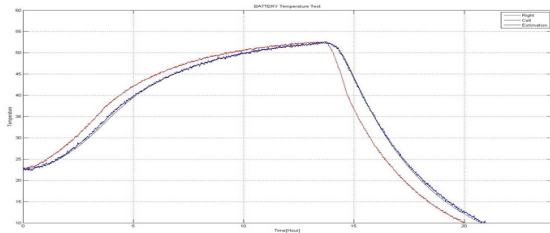
$$\Delta Q(t) = M \times C \times \Delta T(t) \quad (1)$$

여기서, $\Delta Q(t)$: 시간당 전달 열량
 M : 배터리 질량
 C : 전해액 비열
 $\Delta T(t)$: 시간당 온도 변화율

적용한 열량 공식의 기본 관계식은 식(2)와 같다. 여기서 K 는 배터리 커버 온도 전달 계수이다. 전달된 열량을 통해 전해액의 온도 변화를 추출 할 수 있게 된다.

$$\Delta Q_{cell}(t) = K \times M \times C \times (T_{cell} - T_{cell,t-1}) \quad (2)$$

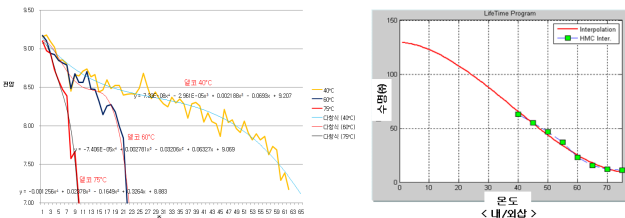
그림 3은 식(1)과 식(2)의 관계식에서 내/외부 온도 특성 파라미터의 값($K=0.0004$)을 적용하여 추출한 결과로 전해액과 ± 2 도의 오차를 보이는 것을 확인할 수 있었다.



〈그림 3〉 전해액 온도 추출 결과

2.1.4 배터리 내구 수명 분석

배터리 내구 수명 시험법은 SAE, KS 등 다양하며 배터리 제조업체에서도 별도로 수명 시험을 하기 위기 정의하고 있다. 본 논문에서는 내구 수명 시험법에 대해서는 논의하지 않으며 내구 수명법에 의해 얻어진 수명 결과를 이용하여 수명 예측법에 적용하는 방법에 대해 알아보 고자 한다. 본 논문에서는 배터리 내부 전해액 40°C, 60°C, 75°C에서의 내구 수명 시험법을 통해 구해진 수명 결과를 Interpolation을 통해 표 5와 같이 40°C-75°C의 온도별 내구 수명을 추출하고 이를 통해 그림 4의 오른쪽 결과 곡선을 얻을 수 있었다.



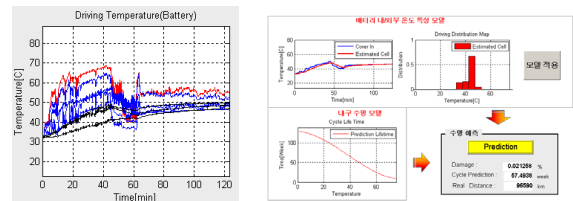
〈그림 4〉 내구 수명 내/외삽

〈표 5〉 내구 수명 추출 결과(40°C-75°C)

	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C	75°C
수명(주)	63.0	55.0	46.5	37.0	23.0	15.4	12.0	11.0

2.2 수명 예측 수행 결과

본 논문에서는 배터리 특성을 적용하여 시험을 통해 구해진 각 파라미터를 적용하고 수명 상관관계식을 적용한 프로세스 프로그램을 개발 하였으며 이 프로세서에 실차 주행 데이터를 입력하여 수명 예측 프로그램을 통해 배터리 내구 수명을 예측한 결과를 얻었다. 그림 5는 수명 예측 프로세스 프로그램으로 실차 주행 데이터를 입력 받아 관계 모델로부터 수명을 예측한 결과를 보여준다.



〈그림 5〉 프로세스 프로그램 수행 결과

표 6은 서로 다른 2시간 정도의 운영 패턴(운영조건 1 : 전해액 온도 35°C-50°C 분포, 운영조건 2 : 전해액 온도 20°C 분포)을 입력하여 나온 결과이다. 주행 패턴을 한번 운행했을 때 damage(%)와 예측 수명을 상관관계식이 들어 있는 모델을 통해 구해지는 것을 확인할 수 있다.

〈표 6〉 지역별 1일 차량 주행 시 온도 변화

	운영조건 1		운영조건 2	
항목	Damage	예측수명	Damage	예측수명
결과	0.021%	57.5주	0.011%	107.8주

3. 결 론

본 논문에서는 배터리 내구성 중 내구 수명 분석 프로세스를 실차 주행 데이터와 전해액 온도의 수명을 관계를 통해 배터리 내구 수명을 예측할 수 있었다. 즉, 실차에서 주행 시 배터리 주변의 온도 변화를 통해 내부 전해액의 온도를 추출할 수 있고 추출된 온도의 분포에 따른 내구 수명 변화를 얻어 최종적으로 수치화된 결과를 얻을 수가 있다. 그러나 내/외부 온도 관계식의 전달 계수에 대한 추가적인 시험과 개선을 통해 전해액 온도 추출 결과의 신뢰성을 높여야하며, 추가적인 내구 수명 시험을 통해 패턴 온도 분포 영역의 결과에 대한 보다 정확한 Interpolation 작업을 통해 정확한 수명 관계식을 도출해 내야만 한다. 그리고 추후 다양한 검증 시험을 통해 예측 수명의 정확도를 한다.

〔참 고 문 헌〕

[1] S. Drouilhet, B.L. Johnson, "A Battery Life Prediction Method for Hybrid Power Applications", NREL/CP-440-21978, 1997
 [2] Douglas Barron, "Hot Application Cycle Life Test for Automotive Storage Batteries", SAE,1999-01-1084, 1999
 [3] Heinz Wenzl, Ian Baring-Gould, 꺾야 Kaiser, Bor Yann Liaw, Per Lundsager, Jim Manwell, Alan Ruddell, Vojtech Svoboda, "Life Prediction of batteries for selecting the technically most suitable and cost effective battery", Journal of Power Sources, 144, 373-384, 2005
 [4] Robert G. Gruenstern, M. Eric Taylor, "High Temperature Application Accelerated Cycle Life Test for 12 Volt Lead-Acid SLI Automotive Storage Batteries", SAE, 2007-01-0637, 2007