

## 이동로봇용 In-Wheel Motor의 가속수명시험

金永起\*, 金相勳\*\*, 金學源\*\*\*, 睦亨洙†

## Accelerated Life Test of In-Wheel Motor for Mobile Robot

Young-Ki Kim, Sang-Hoon Kim, Hag-Wone Kim, and Hyung-Soo Mok

## 요 약

In-Wheel System은 고성능의 전기모터를 Wheel에 직접 장착하여 파워트레인 요소를 모두 제거함으로써 차량시스템의 효율을 높인 시스템이다. 추후 친환경 차량에 적용할 수 있는 신개념의 플랫폼을 제공할 수 있는 고효율, 고성능 차량 시스템이기에 다양한 분야에 적용되고 있다. 이러한 시스템의 급증은 우리 생활의 안전과 직결되므로 개발단계에서 부품의 신뢰성을 확인하고 인증하여야 한다. 신뢰성이란 “부품이나 시스템이 주어진 환경에서 고장 없이 일정기간 동안 요구기능을 수행하는 특성”이다. 따라서 본 논문에서는 In-Wheel System의 핵심 부품인 In-Wheel Motor를 신뢰성 평가 중 하나인 내구 수명에 대한 검증 방안을 In-Wheel Motor의 운전 조건으로부터 가감속 토크 및 실효토크를 계산해서 이를 바탕으로 가속수명시험을 위한 속도 패턴을 제안하여 시험시간을 단축하고, 또한 In-Wheel Motor의 수명 신뢰성을 검증한다.

## ABSTRACT

In-Wheel System is a high-efficiency system to supply a new concept of platform which raises the efficiency of motor drive system and applies it to an environment-friendly automobile by installing a highly efficient electric motor directly to wheels and removing factors of power train. The proliferation of these systems is directly related to the safety of our lives, so check the reliability of the part in the development phase and should be certified. Reliability is the ability of a system or component to perform its required functions under stated conditions for a specified period of time. This paper presents to the verification methods for durability, one of reliability assessments of the Motor, the study calculated acceleration and deceleration torque and the effective torque from driving conditions of In-Wheel Motor, and based on this, it reduced the test time and suggested the verification methods of In-Wheel Motor reliability through the accelerated life test.

**Key Words** : In-Wheel Motor, In-Wheel System, Reliability Test, Life Test, Accelerated Life Test

## 1. 서 론

친환경 기술은 미래 산업의 생존이 달린 핵심기술로

서 선진 국가들은 환경을 위한 기술 개발에 총력을 기울이고 있다. 현재 대표적인 친환경 기술은 하이브리드 자동차 및 연료전지 자동차 등의 전기 자동차 기술이 대표적이라 할 수 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 친환경기술을 만족시키는 새로운 구조로 인휠 시스템(In-Wheel System)이 주목받고 있다.

이 인휠 시스템(In-Wheel System)은 에너지 효율을 극대화 시킨 친환경적인 기술이기에 전기자동차, 전기스쿠터, 전기휠체어, 골프카, 이동로봇 등 다양한 분야

†교신저자 : 정희원, 건국대 전기공학과 교수  
E-mail : hsmok@konkuk.ac.kr

\*학생회원, 건국대 대학원 전기공학과 박사과정

\*\*정희원, 강원대 전기전자공학부 교수

\*\*\*정희원, 충주대 제어계측공학과 조교수

접수일자 : 2009. 10. 13                      1차 심사 : 2009. 11. 2  
2차 심사 : 2010. 10. 29                      심사완료 : 2010. 11. 9

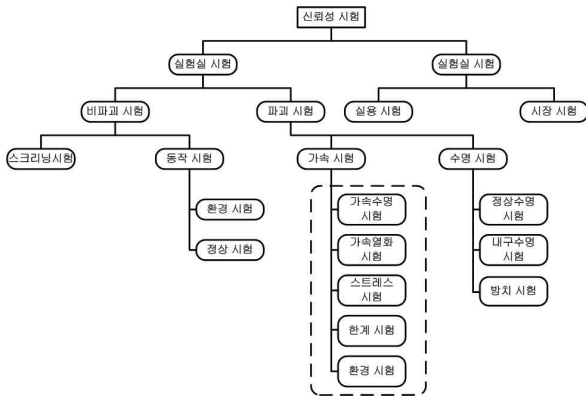


그림 1 신뢰성 시험의 분류<sup>[3]</sup>  
Fig. 1 Classification of Reliability Test

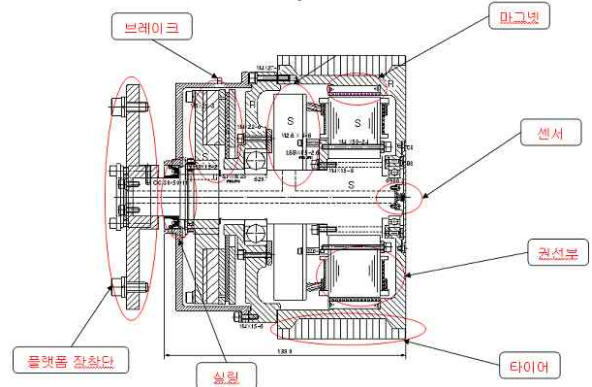


그림 2 2상 In-Wheel Motor의 구성  
Fig. 2 Structure of 2-phase In-Wheel Motor

에 적용되고 있다. 따라서 이러한 시스템의 급증은 우리 생활의 안전과 직결되는 문제로 인식되며, 이러한 문제로 인하여 각 개발단계에서 부품의 신뢰성을 확인하고 인증하여야 하는 문제에 직면하게 되어 신뢰성 평가에 많은 관심이 집중되고 있다.

신뢰성이란 어떤 부품, 구성품, 제품 등이 주어진 사용조건이나 환경조건하에서 고장 없이 일정 기간 동안 최초의 품질 및 성능을 유지하는 특성을 말한다. 생산자는 제품의 신뢰성을 향상시키기 위해 끊임없이 노력하며 주기적으로 제품에 대한 신뢰성을 수치적으로 파악하기 위해 신뢰성시험을 직접 실시하거나 우리나라의 경우 기술표준원에 의뢰한다.

신뢰성시험에는 기본성능시험, 내환경시험, 수명시험 등 여러 가지가 있고, 이 중에서도 신뢰성과 가장 밀접한 관련이 있으며 오랜 시험시간을 요구하는 것이 수명시험이다<sup>[2]</sup>. 수명시험은 신뢰성시험의 일환으로 수행되는데, 수명평가를 위한 신뢰성시험의 기술발전 추이는 시험시간을 단축시키는 방향으로 계속 발전하고 있다. 일반적으로 단품의 신뢰도가 높아질수록 신뢰도 평가를 위한 시험시간과 시료수도 증가하게 된다. 가속시험이란 단품의 신뢰도가 높아질수록 길어지는 시험시간과 시료수의 증가 및 이로 인한 시험비용의 상승문제를 극복하기 위해 인위적으로 단품의 수명을 단축시키는 시험방식을 말한다. 가속시험에서는 시험시간이나 시료수의 감소를 위해 사용조건보다 가혹한 조건을 부과함으로써 고장 메커니즘을 촉진시키는 방법을 주로 사용한다.

단품의 수명 시간은 대체적으로 수천시간에서 수만 시간을 보장해야 하지만 실제적으로 수만 시간을 시험하기란 환경적으로 실행하기가 어렵고 또한 많은 시간을 소모하게 된다. 따라서 빠른 시간 내에 제품의 신

뢰성을 확인할 수 있는 가속수명시험이 필요하게 된다.

본 논문에서는 이동로봇의 핵심부품인 인휠 모터(In-Wheel Motor)의 신뢰성을 확인하기 위한 가속 수명 평가 방법에 대하여 기술한다. 인휠 모터(In-Wheel Motor)의 신뢰성을 확인하기 위해 운전조건으로부터 가감속 토크 및 실효 토크를 계산하여 모터의 규정된 수명시간을 가속수명시험으로 대체하여 시험시간을 대폭 줄였으며 또한 모터에 대한 신뢰성을 검증하였다.

## 2. 인휠 모터(In-Wheel Motor)

영구자석 동기 전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor)는 회전자에 자속 발생을 위한 여자 권선이 없으므로 이로 인한 손실이 없어 효율이 좋으며, 고출력 밀도를 가지고 있어 전동기 무게에 대한 출력 토크의 비가 크고, 속응성이 좋다는 등의 여러 성능이 유도 전동기나 직류 전동기보다 우수하기 때문에 최근 순시 토크 제어가 요구되는 고성능 전동기 제어 분야에 그 상용이 크게 증가하고 있다<sup>[4]</sup>.

인휠 시스템(In-Wheel System)은 모터, 브레이크, 센서 및 바퀴의 조합으로 이루어지며 차량시스템이나 이동체 등에 있어서 동작 및 성능을 좌우하는 구동 장치의 핵심부품으로써 품질, 성능 및 크기를 좌우한다고 할 수 있다. 주요 구성요소로서 제어장치(Controller)로부터 운동신호를 받아서 그 신호에 맞는 동작을 하도록 모터에 전원을 공급하고, 모터의 속도 및 위치를 피드백 받아 속도 및 위치를 제어하는 드라이버와 드라이버로부터 전원을 공급 받아 지령한대로 정확히 운동을 하는 정밀 동기모터로 이루어져 있다. 동기모터는 전류가 흘러 회전자계를 형성하는 고정자

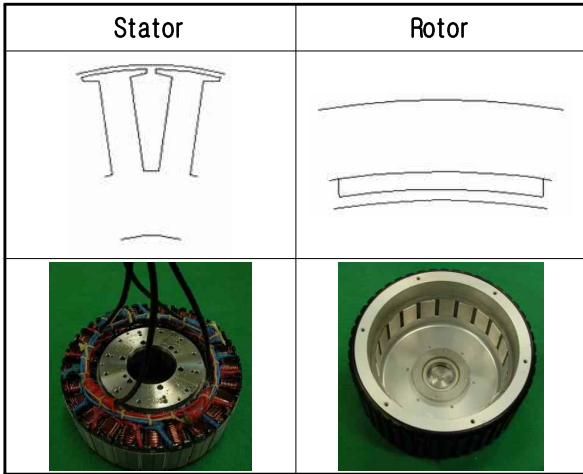


그림 3 고정자와 회전자의 형상  
Fig. 3 Shapes of the Stator and the Rotor

표 1 2상 In-Wheel Motor의 파라미터와 정격  
Table 1 Parameters and ratings of two-phase In-Wheel motor

정격출력	565[W]	
정격전압	48[V]	
극수	20[pole]	
최대토크	30[Nm]	
최대전류	60[A]	
정격토크	10[Nm]	
정격전류	20[Arms]	
회전 속도	최대토크 시	250[rpm]
	최대속도 시	500[rpm]
유기전압정수	47.4[Vrms.LL/krpm]	
토크정수	1.08[Nm/Arms]	
저항	0.173[Ω]	
인덕턴스	1.376[mH]	

권선을 포함한 고정자부와 고성능 영구자석이 설치된 회전자, 고정자와 회전자를 구조적으로 견고하게 지탱하며 회전자의 회전을 원활히 하도록 하는 기구부, 동기모터의 속도 및 위치를 감지하여 드라이버에 속도 및 위치 신호를 피드백(Feedback)하는 센서, 플랫폼의 정지 시 위치이동을 하지 않도록 고정시키는 브레이크로 이루어진다<sup>15)</sup>.

본 논문에서는 2상 인휠 모터(In-Wheel Motor)의 적용 대상을 이동로봇으로 하였다. 이동로봇의 이동속도는 10Km/h를 목표로 하였고, 이를 만족하기 위해서 휠 외경을  $\varnothing 220$ , 모터 회전속도는 242[rpm]이상이 되

표 2 가속수명시험과 가속스트레스시험의 비교  
Table 2 Comparison of ALT and AST

종류	목적	대상	방법
가속수명 시험	사용조건에서의 수명 추정	부품 또는 간단한 조립품	일정스트레스 적용
가속스트레스 시험	설계약점 발견 및 신뢰성 향상	PBA 또는 조립품	계단형 스트레스와 복합 스트레스를 적용

어야 목표치의 이동속도에 도달할 수 있기 때문에, 최대 토크시의 모터속도를 250[rpm]으로 선정하였다. 그리고 모터의 최대 회전수를 500[rpm]까지 구동 가능하도록 설계하였다. 극수 및 슬롯 수는 유기전압 파형이 정현파에 가깝게 하기 위하여 20극 24슬롯으로 설계를 하였고, 회전자의 구조는 출력을 키우기 위하여 외전형(Outer Rotor) 구조로 설계하였다. 그림 3과 표 1은 인휠 모터(In-Wheel Motor)의 고정자 및 회전자 형상, 파라미터와 정격을 각각 보여주고 있다.

구률행 이동로봇은 주로 경비로봇, 청소로봇, 그리고 안내용 로봇과 같은 공공 도우미 로봇 등에 많이 적용되고 있다. 이와 같이 실내 또는 실외에서 주행을 목적으로 움직이는 이동로봇의 바퀴는 이동로봇에 있어서 동작 및 성능을 좌우하는 핵심부품이 된다. 경비용 로봇인 경우 평균 초당 1.0m~1.5m의 속도가 요구되고, 안내용 로봇의 경우 평균 초당 0.6m~0.7m가 요구된다. 하지만 단순 주행할 경우이외에 사람이나 장애물이 나타나는 경우에는 속도의 변화가 빈번히 발생하게 되고, 이때에는 바퀴(Wheel)에 부하가 급격히 증가하게 된다. 따라서 가속 수명 시험에도 장애물이 나타나는 경우와 같이 속도의 가감속 패턴을 급격하게 변화를 주어 시험을 진행하였다.

### 3. 인휠 모터(In-Wheel Motor)의 수명시험방법

시간을 단축시킬 목적으로 사용조건보다 가혹한 조건에서 수행하는 시험을 총칭하여 가속시험이라 한다. 가속시험은 가속수명시험(Accelerated Life Test)과 가속스트레스시험(Accelerated Stress Test)으로 구분할 수 있다<sup>16)</sup>.

표 2는 가속수명시험과 가속스트레스시험의 비교를 보여주고 있다. 본 논문에서의 In-Wheel Motor는 가속수명시험(Accelerated Life Test)을 적용하였다.

가속시험의 장점은 개발 및 양산 검증 시간을 단축시켜 개발기간을 단축할 수 있고, 궁극적으로 개발비용을 줄일 수 있다. 또한 설계 평가를 위한 단품의 성능정보와 잠재적 고장모드, 설계 취약점, 중요부품의 확인 등 신뢰성에 관한 많은 정보를 빨리 수집할 수 있다.

표 3 고장 모드 및 메커니즘 분석  
Table 3 Failure Modes and Mechanism Analysis

주요 구성품	기능	고장모드	고장 메커니즘
베어링	회전축지지 원활한 회전	마모, 변형	부식, 피로
고정자 권선	회전자계 발생	이상 작동	단선, 단락 절연과괴(스 위칭 과전압)
		이상 소음	외부 충격 스위칭 전류
회전자	회전운동 발생	이상 작동	자속 밀도 불균일
		이상 소음	외부 충격
엔코더	회전자 위치 검출 및 속도 측정	측정 오차 발생 및 오작동	소자 파손
리드 와이어	전원 공급 및 센서 신호	작동 불능	단선, 단락
프레임	내부 부품 유지	이상 소음	풀림, 변형
Motor	Motor Parameter	이상 성능	열화

인휠 모터(In-Wheel Motor)의 고장모드는 베어링, 고정자 권선, 회전자, 엔코더, 리드 와이어, 프레임 등 여러 곳에서 나타날 수 있다. 표 3은 인휠 모터(In-Wheel Motor)의 고장에 대한 해석을 보여주고 있다. 따라서, 가속수명시험을 거치는 동안 다음과 같은 고장모드를 중심으로 분석을 하여야 한다.

가속수명시험(Accelerated life testing)은 제품의 실 사용조건보다 가혹한 조건(가속조건)에서 시험하여 고장을 촉진시키고, 가속조건에서 관측된 데이터로부터 수명-스트레스 관계를 추정하고, 이를 사용조건으로 외삽(extra polation)하여 사용조건에서의 수명을 빨리 추정하기 위한 시험이다. 가속수명시험에서 고장을 가속하기 위한 방법으로 사용률을 높이거나, 과부하를 인가할 수 있는 방법이 있다. 사용률을 높여 가속을 시키는 예로, 베어링을 실제 사용속도보다 빠르게 시험하거나, 절연 내구시험에 사용하는 교류전압을 60Hz

대신 412Hz에서 시험하는 경우, 냉장고 문의 내구 개폐시험, TV의 온/오프(on-off) 스위치 시험 등 많은 경우가 있다. 과부하를 인가하여 고장을 가속시키는 경우는 온도, 전압, 습도, 진동, 부하 등 고장메커니즘을 가속시킬 수 있는 스트레스를 사용조건보다 가혹하게 설정하고 시험하면 제품의 고장을 가속할 수 있다. 예를 들어 부하 변동이나 기동 정지 횟수 증가로 히트 사이클에 의한 피로나 마모, 전자 진동 등이 모터의 열화 요인이 될 수 있다. 따라서 온도를 높이면 화학 반응속도가 빨라져 재료의 열화와 고장이 가속되는 것이 그 예이다. 모터의 고장은 기계적인 부분과 화학적인 부분으로 나눌 수가 있는데 기계적인 고장은 화학적인 고장인 열화로 인한 모터 내부 파라미터의 변동을 제외한 대부분의 경우이다. 기계적인 고장은 모터의 외관상으로 쉽게 고장 유무를 판단 할 수 있으나, 화학적인 고장은 열로 인한 이상 변형이기에 주기적으로 내부 파라미터 측정으로 판단한다.

본 논문에서는 인휠 모터(In-Wheel Motor)의 가속 수명시험을 사용률을 높이고 동시에 과부하를 인가하는 방법을 수행하였다.

먼저, 인휠 모터(In-Wheel Motor)의 적용대상이 이동로봇이기에 모터 자체에 사용률을 높이고 동시에 과부하를 인가하기 위해서는 속도 패턴을 일정한 속도로 운전하는 방법이 아닌 속도가 급격한 변화를 가지도록 하였다.

인휠 모터(In-Wheel Motor)를 신뢰성 평가 기준에서 규정된 모터의 수명 20,000시간에 신뢰 수준 80%를 보장하기 위한 무고장 합격 기준을 만족하는 시험 시간의 계산은 다음 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 t_n &= B_{100P} \left[ \frac{\ln(1-CL)}{n \cdot \ln(1-p)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \\
 &= 20,000 \left[ \frac{\ln(1-0.8)}{3 \cdot \ln(1-0.1)} \right]^{\frac{1}{1.2}} \\
 &= 77641.25
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

- $t_n$  : 무고장 시험 시간
- $B_{100P}$  : 보증수명 ( $B_{10}$  수명 20,000시간)
- $CL$  : 신뢰 수준 (80%)
- $n$  : 시험 중인 전체아이템의 개수 (3개)
- $p$  : 불신뢰도 ( $B_{10}$  수명이면  $p=0.1$ )
- $\beta$  : 형상모수 (AC, DC모터의 경우 1.2)

가속계수는 정상사용조건 특성치와 가속조건에서의 특성치 사이의 비율을 말하는데, 여기서 특성치는 토크를 기준으로 하였다.

표 4 모터특성 및 가속수명시험 조건  
Table 4 Characteristics of Motor and Conditions of ALT

모터 특성		시험 조건	
모터관성	0.065kg.m2	가속시간	0.08sec
회전속도	220rpm	정속시간	0.0sec
정격전류	20.0A	감속시간	0.12sec
최대전류	60.0A	부하토크	0.25Nm
정속시전류	0.5A	가속토크	18.969Nm
정격토크	10.0Nm	감속토크	12.229Nm

실제 필드에서의 등가부하에 대한 가속계수는 가속 수명시험용 토크인  $T_{test}$ 와 평지 주행에서 요구되는 필드용 토크  $T_{field}$ 의 비로 이루어진다.  $T_{field}$ 는 인휠 모터(In-Wheel Motor)를 이동로봇에 적용하였을 경우, 정격토크인  $T_{rated}$ 의 약 19%가 요구됨을 실험으로 확인하였다.

스트레스 수준은 가능한 단품의 동작 범위에 가깝게 선정해야 한다. 높은 스트레스 수준이 작동한계(Operating Limit)를 초과하지 않는 수준에서 설정하여야 하며, 이에 따라  $T_{test}$ 는 정격토크  $T_{rated}$ 의 150%를 가속수명시험의 목표값으로 설정하였다.

모터에 부하를 인가하기 위해서는 “가속 → 정속 → 감속”과 같은 운전 사이클을 빠르게 적용해야만 한다. 여기서는  $T_{rated}$ 의 150%인 15Nm을 인가하기 위해서 정속구간을 제외한 “가속 → 감속”의 패턴을 빠른 사이클 시간(Cycle Time)으로 적용하였다.  $T_{test}$ 을 구하기 위해서 가속시 토크인  $T_{accel}$ 과 감속시 토크  $T_{deccel}$ 을 다음과 같이 구하였다.

$$T_{accel} = \frac{2\pi \times \text{속도} \times (\text{모터관성} + \text{부하관성})}{60 \times \text{가속시간}} + \text{부하토크} \quad (2)$$

$$T_{deccel} = \frac{2\pi \times \text{속도} \times (\text{모터관성} + \text{부하관성})}{60 \times \text{감속시간}} - \text{부하토크} \quad (3)$$

위의 식으로부터  $T_{test}$ 는 다음과 같다.

$$T_{test} = \sqrt{\frac{(T_{accel}^2 \times \text{가속시간}) + (T_{deccel}^2 \times \text{감속시간})}{\text{Cycle Time}}} \quad (4)$$

표 4를 만족하는 속도 가감속 패턴이 그림 4에 보여

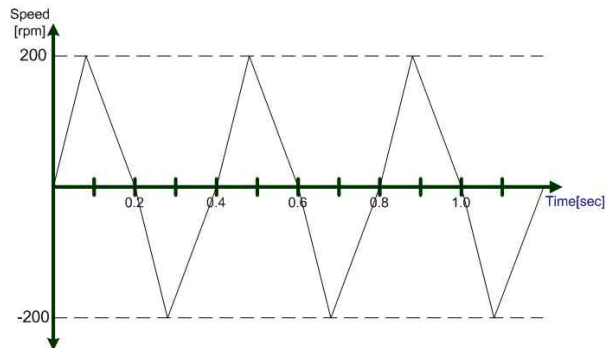


그림 4  $T_{test}$  만족하는 가속수명시험 속도 패턴

Fig. 4 Accelerated life testing speed reference for satisfaction of  $T_{test}$

주고 있다. 이러한 경우 가속계수는 다음 식(5)와 같고, 이 때 우리가 필요한 가속 수명 시험 시간  $t_{na}$ 는 식(6)과 같이 구할 수 있다.

$$AF = \left( \frac{T_{test}}{T_{field}} \right)^m \quad (5)$$

$$= \left( \frac{150\%}{19\%} \right)^3$$

$$= 492.05$$

$$t_{na} = \frac{t_n}{AF} = \frac{77641.25}{492.05} \quad (6)$$

$$= 157.79$$

- $AF$  : 가속계수
- $T_{rated}$  : 정격토크
- $T_{test}$  : 가속수명시험 부하토크(150%)
- $T_{field}$  : 실제 운전 부하토크(19%)
- $m$  : 볼 베어링의 경우  $m = 3$
- $t_{na}$  : 가속수명 시험 시간

위와 같이, 시료수 3개를 157.79시간까지 가속 수명 시험한 후, 3개 모두 고장이 없고 종합 성능의 평가 기준을 만족하면, 신뢰 수준 80%에서 작동 시간 20,000시간을 보장하게 된다.

#### 4. 가속 수명 시험

인휠 모터(In-Wheel Motor)의 수명평가는 실 사용 조건을 고려하여 Wheel을 장착한 상태에서 전원 공급 장치를 통해 전원을 공급하여 실내 온도조건에서 인휠 모터(In-Wheel Motor) 3대를 동시에 시험을 실시하였다. 또한, 인휠 모터(In-Wheel Motor)를 동작시키기 위하여 TI사의 TMS320VC33을 사용하였고, 인버터

표 5 가속 수명 시험 시간  
Table 5 Accelerated life testing time

시험 부하율	150%
시료수	3EA
토크 실효치	15.286Nm
무고장 시험 시간	77641.25 [h]
가속 수명시험 시간	157.791[h]
소요 시험 기간	1 일 : 8시간 운전 시험 1 주 : 5일 시험 약 4주 시험

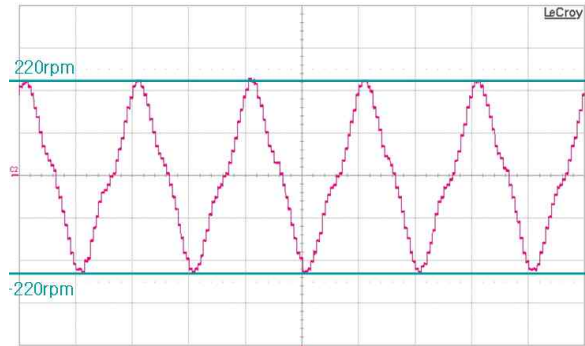


그림 7 실제 가속수명시험 속도[100rpm/div, 200msec/div]  
Fig. 7 Real Accelerated life testing speed

표 6 고장 모드 및 메커니즘에 대한 가속 수명 실험 결과  
Table 6 Failure Modes and Mechanism Analysis

주요 구성품	고장판단	시료 #1	시료 #2	시료 #3
베어링	변형	변형 무	변형 무	변형 무
고정자 권선	이상 작동 이상 소음	이상 무	이상 무	이상 무
회전자	이상 작동 이상 소음	이상 무	이상 무	이상 무
엔코더	측정 오차 발생 및 오작동	정상작동	정상작동	정상작동
리드 와이어	작동 불능	정상작동	정상작동	정상작동
프레임	이상 소음	이상 무	이상 무	이상 무

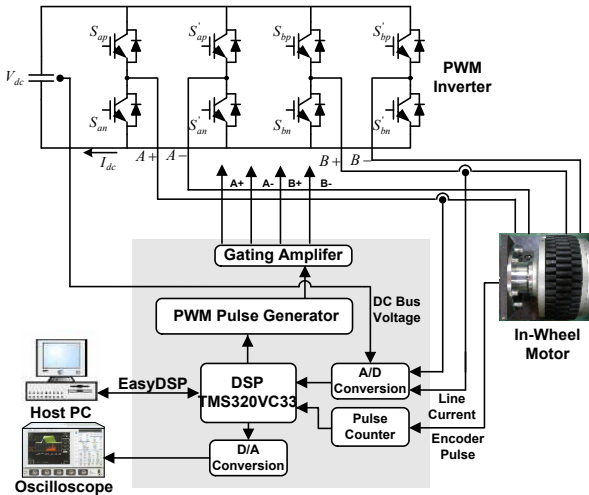


그림 5 실험 구성  
Fig. 5 Experimental Structure



그림 6 In-Wheel Motor의 가속수명시험 [장소: KIMM]  
Fig. 6 Accelerated Life Test for In-Wheel Motor

(Inverter) 소자는 Mitsubishi사의 IPM(Intelligent Power Modules)인 PM150RSA060(600V/150A)을 사용하여 보다 안정적인 실험을 실시하였다. 다음 표 5는 가속 수명 시험 조건과 시간을 보여주고 있다.

그림 5와 6은 실험 환경 구성을 보여주고 있다. PC

와 TI사 DSP(Digital Signal Processor) 간의 관계를 EasyDSP를 이용하여 실시간으로 통신을 할 수 있다.[7] DSP 동작 중 온라인(Online)으로 DSP프로그램의 변수, 메모리, 레지스터 등을 관찰 및 변경을 할 수 있어 모터의 상태를 보다 쉽게 접근을 할 수가 있다.

### 5. 수명 시험 결과

$T_{test}$ 를 만족시키기 위한 속도 패턴은 가속 0.08sec, 감속 0.12sec이며, +220[rpm]~-220[rpm]까지 운전을 해야 한다. 그림 7은  $T_{test}$ 를 만족시키기 위한 속도 패턴을 지령하였을 때 DSP로부터 D/A로 본 실제 실험 파형이 되겠다.

위와 같은 실험을 한국기계연구원(KIMM)에서 인휠 모터(In-Wheel Motor)에 대한 가속수명시험을 30일에 걸쳐서 하였다.

표 7 모터 내부 Parameter 시험 결과  
Table 7 Accelerated life testing time

시험 시료	대표성능 시험항목	시험 결과			판정
		시험 전	시험 중	시험 후	
시료 #1	R[Ω]	0.3	0.3	0.3	합격
	L[mH]	1.2779	1.2351	1.2674	
시료 #2	R[Ω]	0.3	0.3	0.3	합격
	L[mH]	1.2845	1.2985	1.2317	
시료 #3	R[Ω]	0.3	0.3	0.3	합격
	L[mH]	1.2503	1.2333	1.2845	

인휠 모터(In-Wheel Motor)의 시험 결과는 주요 구성품의 이상 유무나 이상소음, 오작동 등으로 판단하였다. 베어링, 리드와이어, 프레임 등은 모터의 외관상으로 판단이 가능하기에 시험 과정은 생략하였고, 모터 내부의 고정자 및 회전자 그리고 엔코더의 이상 유무 또한 모터의 작동 유무로 판단 가능하기에 시험 과정은 생략하였다.

다음은 모터의 고장 메커니즘 항목 중 하나인 열화로 인해 모터 내부 파라미터의 변화를 측정 및 확인을 하였다. 실험 방법은 가속수명시험 전후로 하여 모터의 선간 저항과 선간 인덕턴스 측정하여 모터의 이상 유무를 판단하였다. 판단 기준은 내부 파라미터의 변화를 ±5% 이내로 하였다.

표 7은 인휠 모터(In-Wheel Motor)가 가속수명시험으로부터 열화로 인해 내부 파라미터의 이상 유무에 대한 결과이다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 제작된 인휠 모터(In-Wheel Motor)의 신뢰성을 확인하기 위해 신뢰성 평가 중 하나인 수명시간을 해석하기 위한 방법으로 실제 인휠 모터(In-Wheel Motor)의 운전조건으로부터 필드용 토크와 시험용 토크를 계산하였다.

이를 바탕으로 가속수명시험용 시험시간과 가속운전패턴을 제안하였다. 제안된 가속운전패턴을 활용하여 가속 수명 시험(Accelerated Life Testing)을 실시하였고 작동시간 20,000시간을 보장하는 결과를 얻었다.

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥원의 대한 IT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음.”  
(NIPA-2009-(C1090-0904-0007))

이 논문은 2010년도 지식경제부에서 시행한 부품소재기술개발사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이륙, 김정민, 김동현, 김현수, “인휠 모터 독립구동 전 기자동차의 제어 알고리즘 개발”, *한국자동차공학회 2006년도 춘계학술대회 논문집*, pp. 1772-1777, 2006.
- [2] 신의경, 이수홍, “자동차용 송풍기 모터의 신뢰성 수명 평가 설계 및 평가”, *대한기계학회 춘계학술대회*, pp. 2782-2787, 2006. 6.
- [3] 이백준, 유승우, 이원석, “항공기용 시동/발전기의 가속 수명시험과 안전성 평가”, *한국항공우주연구원, 항공우주기술*, 제6권 제2호, pp. 229-235, 2007.11.
- [4] 김상훈, “DC, AC, BLDC 모터제어”, 복두출판사.
- [5] 김영기 외 6명, “2상 SPMSM을 이용한 모바일 이동 로봇용 구동장치”, *전력전자학회 2008년도 학술대회 논문집*, pp. 455-457, 2008. 6.
- [6] 산업자원부 기술표준원, “신뢰성용어 해설서”.
- [7] www.easydsp.com
- [8] 김재중, “가속수명시험과 사례”, *대한기계학회 기계저널*, 제49권 제12호, pp. 60-64, 2009.12.
- [9] 권영일, “기계류부품 신뢰성평가를 위한 가속시험법”, *대한기계학회 기계저널*, 제49권 제12호, pp. 44-48, 2009.12.
- [10] 이택재, 김동현, “인휠 시스템 기술”, *한국자동차공학회 오토저널*, 제31권 제4호, pp. 21-25, 2009. 8.
- [11] 전남주, 정기윤, 이형철, “인휠모터 구동 차량의 모터 고장 검출 및 진단”, *한국자동차공학회, 2009년 학술대회 및 전시회*, pp. 3039-3043, 2009. 11.
- [12] J.M.Hu, D.Barker, A.Dasgupta and A.Arora, “Role of failure-mechanism identification in Accelerated testing”, *Journal of the IES*, pp. 39-45, July/August 1993.
- [13] J.M.Hu, “Physics-of-Failure-Based Reliability Qualification of Automotive electronics,” *Communications in RMS*, Vol. 1, No. 2, pp. 21-33, 1994, July.
- [14] W. Nelson, 1990, “Accelerated testing; Statistical models, test plans, and data analysis, Wiley.

## 저 자 소 개



### **김영기(金永起)**

1981년 2월 23일생. 2007년 강원대 전기전자공학부 졸업. 2009년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.



### **김상훈(金相勳)**

1964년 9월 11일생. 1987년 서울대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1994년~1996년 대우 중공업 철도차량 연구소 선임연구원. 1997년~현재 강원대 전기전자공학부 교수.



### **김학원(金學源)**

1968년 3월 30일생. 1989년 고려대 전기공학과 졸업. 1991년 한국과학기술원 전자전산학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전자전산학과 졸업(공박) 1991년~2008년 LG전자(주) 디지털 어플라이언스 연구소 책임연구원. IEEE 멤버. 2008년~현재 충주대 제어계측공학과 조교수. 당 학회 학술위원.



### **목형수(睦亨洙)**

1963년 10월 31일생. 1986년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 졸업(석사). 1992년 동 대학원 졸업(공박). 1992년~1996년 서울산업대 제어계측공학과 조교수. 1997년~현재 건국대 전기공학과 교수. 당 학회 재무이사.