

# 자전거 거치대 잠금장치의 부하시 효율개선을 위한 구동모터성능비교에 관한 연구

## A Study on Driving Motor Performance Comparison for Load Efficiency Improvement of a Bicycle Locker System

한 기 수\* · 원 성 홍†  
(Ki-Soo Han · Sung-Hong Won)

**Abstract** - This paper presents the design and implementation of a Bicycle Locker System. Generally DC motor has been used to control a Bicycle Locker System, but DC motor system requires frequent maintenances and its power efficiency is comparatively poor especially under heavy load conditions. In order to improve this difficulties, this paper adopts BLDC motor for a Bicycle Locker System and its motor controller is developed. The performances of locker units are compared between DC motor unit and BLDC motor unit. The motor power consumptions between two motors are discussed. Test results verify that power efficiency of the suggested BLDC drive unit is considerably improved compared to the DC drive unit with load condition.

**Key Words** : Bicycle locker, BLDC motor, Load efficiency, Power consumption, Motor controller

### 1. 서 론

최근 건강에 대한 관심이 급증하고 환경보호의 필요성이 강조됨에 따라 자전거를 통근이나, 레저용으로 사용하는 경우가 많아지고, 이에 따른 인프라가 점차 많이 보급되고 있다. 자전거를 교통수단으로 사용하기 위해서 가장 시급한 것이 지하철이나 버스와 같은 기존의 대중교통수단과의 연계를 위한 장치인데, 지하철역 주변에 자전거 거치대를 설치하고, 자전거 전용 보관시설을 확충하는 등 많은 노력을 기울이고 있다.

이런 자전거 전용 거치대의 경우 자전거를 위한 잠금장치가 설치될 수 있어야 하는데, 일반적으로는 자물쇠와 체인을 이용하여 거치대에 묶는 방식을 사용하지만, 사용자가 체인을 일일이 감아야 하는 등의 불편함이 있고, 정확한 위치에 체인을 감지 못하는 경우 자전거의 고장의 원인이 되기도 하기 때문에 이에 대한 대책이 필요하다.

자전거 거치대 잠금장치는 이런 불편함을 개선하기 위해 자동으로 자전거의 앞바퀴를 밀어 넣으면 잠금장치가 바퀴살 사이로 밀려나와 자전거 바퀴를 고정시킬 수 있도록 고안된 장치로서 자전거와 기존 교통수단의 연계를 위해 효과적으로 사용될 수 있어 보급이 기대되는 시설물이다.

그림 1은 본 연구에 사용된 자전거 거치대를 표시한 것이다. 사용자가 자전거를 거치대에 거치시키면 도난 방지를 위해 잠금장치가 동작하게 된다. 이 잠금장치를 작동하기

위하여 사용하는 모터는 일반적으로 DC 모터가 많이 사용되며, 회전하는 DC 모터를 직선왕복운동으로 바꿔주기 위한 기어장치가 필요하게 되는데, 구동메커니즘을 간단하게 만들기 위해 모터의 샤프트에 스크류를 형성하여 모터의 회전자가 회전하면 직선왕복운동을 할 수 있도록 되어있다.

그러나 DC 모터를 이용한 잠금장치는 구동과 제어가 간편하고, 비교적 적은 부하가 걸리는 경우는 효율적인 구동이 가능하지만, 자전거의 바퀴살이 잠금장치의 왕복구동을 방해하는 위치로 거치되어있는 경우 큰 부하가 걸리면서 모터의 정격을 넘어버리거나, 모터의 효율이 급격히 나빠지는 경우가 발생한다.

또한 DC 모터는 가격이 저렴하고 제어가 쉽다는 장점이 있지만, 기계적인 접촉부가 존재하고 분진과 소음의 발생 가능성이 크기 때문에 자전거 거치대와 같이 오랜 기간 동작이 보장되어야 하는 경우는 적용하는데 있어서 단점으로 작



그림 1 자전거 거치대와 잠금장치  
Fig. 1 Bicycle Storage and Locker

\* 정 회 원 : 동양미래대학교 전기시스템과 부교수

† 교신저자, 정회원 : 동양미래대학교 전기시스템과 조교수

E-mail : kshan@dongyang.ac..kr

접수일자 : 2013년 8월 29일

수정일자 : 2013년 9월 17일

최종완료 : 2013년 9월 23일

용하고 있어 개선이 필요하다[1].

이에 대한 대안으로서 제시하고 있는 BLDC 모터는 유사한 크기에 출력도 크고, 높은 부하시에 효율적이며, DC 모터의 브러시와 같은 회전자 구동을 위한 접촉부가 없어 내구성이 강하고, 유지보수에 유리한 장점이 있다. 따라서 자전거 거치대와 같이 자전거 바퀴의 위치에 따라 부하의 크기가 매우 크게 변하는 경우 적용하기 적합하고, 동작을 보장할 수 있는 기간이 DC 모터에 비해 매우 길어서 무인 거치대와 같은 용도에 사용할 경우 많은 장점이 있다[2][3].

따라서, 기존의 DC 모터를 이용하여 개발된 자전거 거치대의 구동모터를 BLDC로 대체하여, 실제 무부하시와 부하시의 비교실험을 함으로써, 자전거 거치대의 구동모터로서 DC 모터에 비해 더 많은 장점을 가지고 있음을 증명하고, 그에 맞는 제어로직과 구동장치를 개발하여 실험결과로서 증명하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 전체 시스템의 구성

그림 2는 자전거 거치대의 전체 시스템 구성도를 간략히 보여주고 있다. 거치대에서 등록된 사용자의 지문이 인식되면 서버에서 사용자를 확인하게 되고 사용자 인증이 완료되면 자전거를 거치할 수 있도록 승인된다. 또 자전거의 바퀴가 거치된 것이 감지되면 Main Controller의 LOCK 장치가 동작하도록 구성되어 있다. 그림 2는 자전거 거치대의 전체 시스템 구성도를 간략히 보여주고 있다.

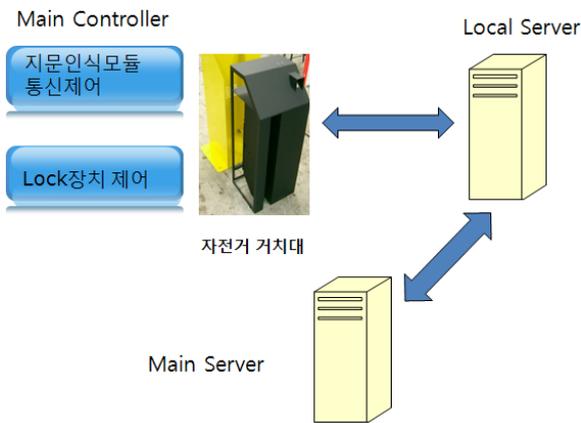


그림 2 자전거 거치대와 Main Controller  
Fig. 2 Bicycle Storage and Main Controller

거치대에서 등록된 사용자의 지문이 인식되면 서버에서 사용자를 확인하게 되고 사용자 인증이 완료되면 자전거를 거치할 수 있도록 승인된다. 또 자전거의 바퀴가 거치된 것이 감지되면 Main Controller의 LOCK 장치가 동작하도록 구성되어 있다.

LOCK 장치가 구동될 때 모터의 샤프트의 중심에 스크류가 회전하면서 왕복운동을 하여 LOCK 장치가 자전거의 바퀴살사이를 밀면서 잠금이 완료된다. 이 과정에서 자전거

바퀴의 위치에 따라 바퀴살을 밀고 가야 하는 경우 모터에는 큰 부하가 걸리게 되는데, 잠금장치는 어떤 경우에도 동작하도록 설계되어야 하므로 가능한 가장 큰 부하를 가정하여 설계되어야 한다.

자전거 거치대는 바퀴가 삽입된 이후 바퀴살을 가로지르는 LOCK 장치를 직선으로 밀어낼 때 잠금이 완성될 때까지의 스트로크는 약 80mm정도이므로 40mm/s의 속도로 약 2초간 동작시키게 된다.

### 2.2 LOCK 장치 설계

기존의 자전거 거치대용 LOCK 장치는 DC 모터로 제작되어 있다. DC 모터는 정역구동을 구현하기 위한 제어가 간단하고, 비교적 높은 출력밀도를 가지기 때문에 소형 구동장치에 많이 사용되고 있으며, 특히 DC 전원을 이용한 직접구동이 가능하기 때문에 다양한 분야에서 적용되고 있다. 아래 표 1은 LOCK 장치에 사용된 DC 모터의 제원을 나타내고 있다.

표 1 DC 모터의 제원  
Table 1 DC motor specification

정격전압(V)		DC12
정격추력(N)		49
정격특성	전류치(A)	2.0
	속도(mm/s)	40
기동추력(N)		110

그림 3은 DC 모터의 제어회로의 구성을 나타낸 것이다.

DC 모터는 모터축 방향으로 스크류가 장착된 형태를 가진 SM-36을 사용하였다. 회전운동을 직선운동으로 변환하기 위해 많이 사용되는 피니언 기어에 비해 스크류를 사용하면 특정위치에서의 정지력을 유지하기에 편리한 장점이 있으며, SM-36에서 사용된 것과 같이 스크류를 샤프트의 중심에 형성한 구조를 사용하면 별도의 스크류 고정장치 없이 직선운동을 구현하기 편리하다.

그림 4는 이 LOCK 장치를 보여주고 있다. 이 모터는 2.0A의 정격전류와 49N의 정격추력을 가지고 있다. 일반적인 회전모터와 다르게 회전축의 스크류를 통해 직선운동을 구현하기 위해 모터의 사양이 직선운동을 기준으로 만들어져 있음을 알 수 있다.

DC 모터를 이용한 LOCK 장치도 자전거 거치대의 기본적인 작동에는 문제가 없으나 자전거의 바퀴살 사이로 잠금장치가 지나가는 구조이기 때문에 매우 다양한 자전거의 바퀴형태에 따라 부하가 크게 증가하는 경우도 있다. 또한 자전거 거치대의 특성상 야외에 설치되고 오랜 기간 고장 없이 동작해야 하는 기기이므로 브러시의 지속적인 접촉에 의해 마모와 특성저하의 우려가 없는 BLDC 모터가 더욱 적합할 것으로 예상되며, 실질적인 부하시 동작을 위해 모터의 용량을 증가시키는 것이 효율적으로 될 것으로 예상할 수 있다.

그림 5는 실제로 DC 모터를 대체하기 위해 제작된 BLDC 모터를 이용한 LOCK 장치를 보여주고 있다. DC 모

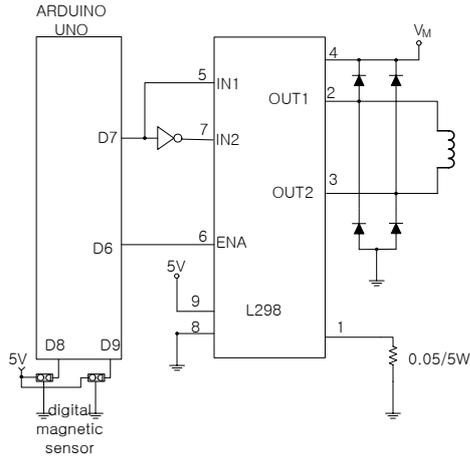


그림 3 DC motor 제어회로  
Fig. 3 DC motor control circuit

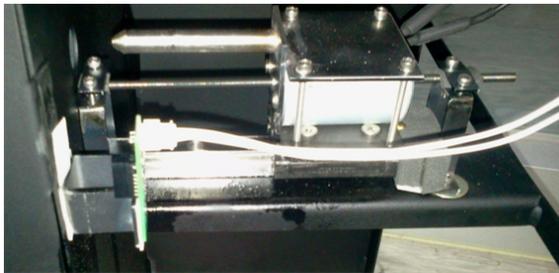


그림 4 DC 모터로 제작된 LOCK 장치  
Fig. 4 Locking system using DC motor

터와 마찬가지로 선형운동을 구현하기 위하여 샤프트축에 스크류를 형성하여 회전운동을 직선운동으로 간편하게 변환할 수 있도록 하였으며, BLDC 모터는 디앤지위드 사의 BL4057을 사용하였다. 잠금장치로 사용할 수 있도록 하기 위해 모터의 중심축에 설치된 슬라이드 스크류(slide screw)는 DC 모터와 함께 제작하여 회전속도에 따른 잠금 및 해제 작동시간을 유사하게 하였다.

사용된 BLDC 모터인 BL4057의 간략한 제원은 다음 표 2와 같다.

24W의 모터를 사용한 DC 모터에 비해 BLDC 모터는 약 38W의 모터를 사용하여 보다 큰 부하에 대응할 수 있도록 하였다.

표 2 BLDC 모터의 제원  
Table 2 BLDC motor specification

정격전압(V)	24V
무부하속도	5200 RPM
연속전류	1.6 A
저항	2 Ω
관성모멘트	130 g·cm <sup>2</sup>

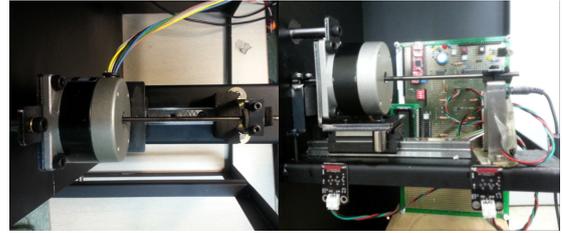


그림 5 BLDC 모터로 구성된 LOCK 장치와 제어회로  
Fig. 5 Locking System and control circuit for BLDC motor drive

또한 BLDC로 만든 LOCK 장치의 제어회로 구성은 아래 그림 6에 표시하였다.

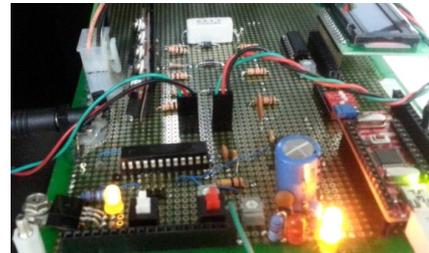
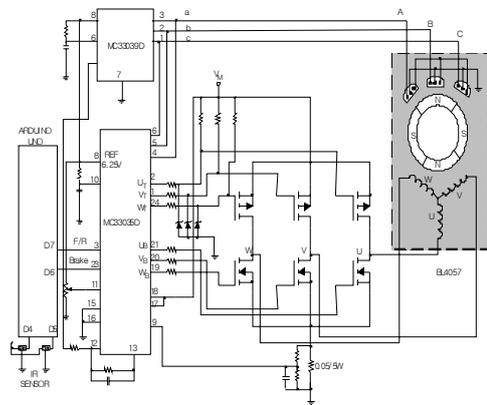


그림 6 BLDC 모터 제어회로와 실물사진  
Fig. 6 BLDC motor control circuit and its photo

BLDC 모터의 구동을 위한 FET 스위치는 Gate Driver를 사용하지 않고, N채널의 하위 스위치 FET와 P채널의 상위 스위치 FET를 쌍으로 사용하여 간단한 TTL 로직으로도 상하 FET를 구동할 수 있는 Compliment 방식을 사용한다[4]. 그림 6의 제어회로는 Motorola사의 MC33035를 사용하여 위쪽 3개의 FET는 Open Collector 방식의 게이트 신호를 사용하고, 아래쪽 3개의 FET는 Totem Pole 방식의 게이트 신호를 사용한다[5].

구성된 제어회로에서는 일정속도리얼을 주거나 가감속 프로파일을 이용할 수 있지만, 자전거 거치대를 위한 LOCK 장치를 선형구동하기 위해서 회전축의 스크류를 이용하고 있기 때문에 최대속도로 구동해도 큰 무리가 없다. 따라서 직선 왕복운동 시에 별도의 속도제어 없이 최대속도로 구동하도록 하며 LOCK 장치의 시작점과 끝점에 On/Off 스위치를 이용하여 구동제어를 한다.

기존에 사용하던 DC 모터를 이용한 자전거 거치대와 새로 개선된 BLDC 모터를 이용한 거치대의 성능비교를 위하여 자전거 바퀴가 거치되지 않은 무부하 상태와 바퀴가 거치된 상태인 부하상태의 각각의 모터의 전력소모 특성을 비교하여 보았다.

### 2.3 실험결과 및 분석

무부하시에는 선형운동시에 열림상태에서 잠금상태까지 모터와 잠금쇠를 모터 회전자의 회전에 의해 스크류를 타고 이동시키기 때문에 모터와 잠금쇠를 이동시키기 위한 최소한의 전력만을 사용하게 되며, 이동시간도 부하시에 비해 짧은 1.5초가 소요된다.

그림 7과 그림 8의 파형은 TEKTRONIX사의 A622 전류 프로브(CURRENT PROBE)로 각각 DC 모터의 전압 및 전류와 BLDC 모터의 전압 및 전류를 측정된 파형을 도시한 것이다.

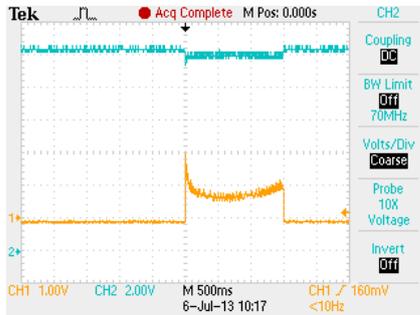


그림 7 DC 모터의 전압, 전류파형  
Fig. 7 DC motor voltage and current waveform under no load condition

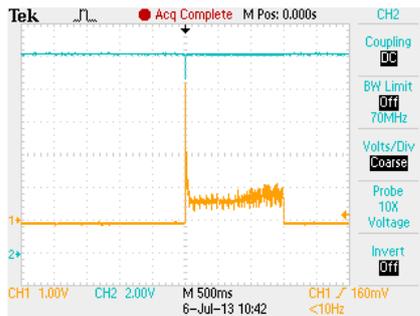


그림 8 BLDC 모터의 전압, 전류파형  
Fig. 8 BLDC motor voltage and current waveform under no load condition

DC 모터의 경우는 초기 기동시에 비교적 큰 전류가 흘렀다가 모터의 회전속도가 어느 정도 이상이 되면 전류가 줄고, LOCK 장치의 잠금 위치에 도달하게 되면서 약간씩 전류가 다시 증가하는 패턴을 가지고 있다. 그렇지만 무부하시에는 자전거 바퀴가 거치되지 않은 상태이기 때문에 실질적으로 부하에 의한 전류증가는 나타나고 있지 않다.

이에 비해 BLDC 모터의 경우는 초기 기동시에 전류증가

가 있기는 하지만 LOCK 장치의 이동에 따라 증가하는 전류량이 별로 없음을 알 수 있다. 비교를 쉽게 하기 위하여 그림 9에 이 두 파형을 MATLAB으로 겹쳐서 도시하였다. 또한 일정 전압이 가해지고 있으므로 무부하시의 전력도 전류와 같은 패턴을 그리게 된다. 그림 10은 무부하시의 전력을 비교한 것이다.

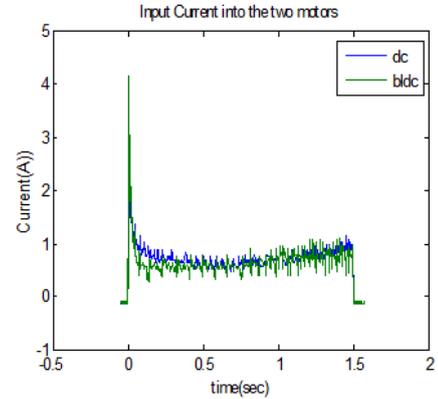


그림 9 무부하시 모터전류  
Fig. 9 Motor currents under no load condition

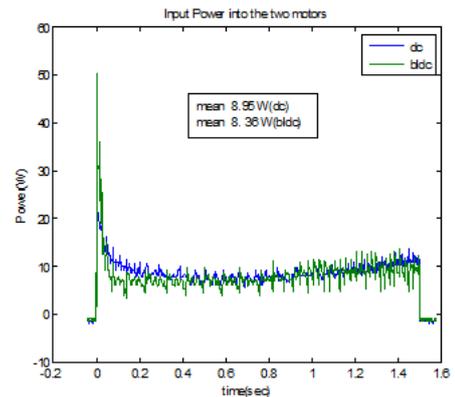


그림 10 무부하시 평균전력소모량  
Fig. 10 Average power consumptions under no load condition

그림 10의 무부하시의 평균전력소모는 seek 구간 동안의 평균전력을 그림 7과 그림 8의 전압,전류 실험치를 기준으로 하여 MATLAB으로 계산한 것으로서 DC 모터와 BLDC 모터의 경우 각각 8.95W와 8.36W로 7%정도 DC 모터의 전력소모가 큰 것으로 나타났다.

순수하게 무부하 상태에서 전력소모를 측정하면 DC 모터의 경우가 더 적은 중량을 가지고 있으므로 적은 전력이 측정되겠지만, 자전거 거치대에 자전거 바퀴가 거치되지 않은 무부하 상태에서도 실질적으로는 LOCK 장치와 스크류의 회전에 의한 마찰이 작용하기 때문에 일정한 부하가 작용하게 된다. 따라서 무부하상태의 비교그래프 상에 나타나는 평균전력소모량은 이 마찰에 의한 전력소모량이라고 볼 수 있고, BLDC 모터와 DC 모터 간에 소비전력량은 그다지 크지 않게 측정되었다.

그러나 부하시의 전력은 DC 모터와 BLDC 모터 간에 꽤 큰 차이를 나타내는 것을 발견할 수 있었는데, DC 모터의 경우는 LOCK 장치가 이동되면서 자전거 거치대에 거치되어 있는 자전거의 바퀴살을 밀고 나가면서 상당히 큰 힘이 필요하며 그에 따라 전류가 실질적으로 많이 흐르게 될 것을 예상할 수 있었으며, 실제 제작되어있는 기존의 자전거 거치대에서 전류가 모터의 최대전류에 가깝게 증가하는 것을 관찰할 수 있었다.

그림 11과 그림 12에는 부하를 인가하였을 때의 DC 모터와 BLDC 모터의 전압 및 전류파형을 도시하였다.

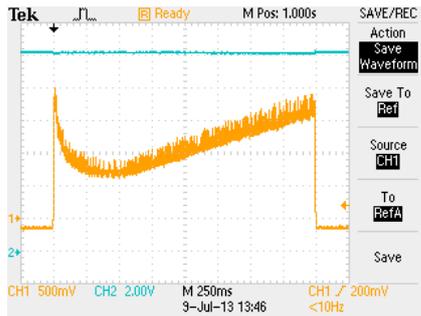


그림 11 부하를 인가하였을 때 DC 모터의 전압, 전류 파형  
Fig. 11 DC motor voltage and current under load condition

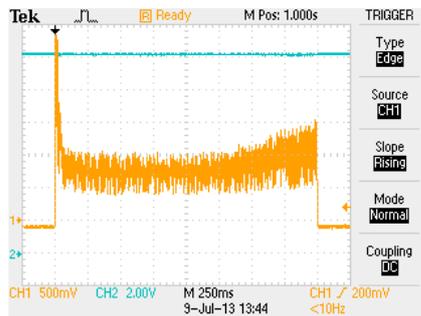


그림 12 부하를 인가하였을 때 BLDC 모터의 전압, 전류 파형  
Fig. 12 BLDC motor voltage and current under load condition

측정된 파형을 보면 기존의 DC 모터를 사용한 경우 LOCK 장치의 이동이 거의 끝날 때까지 계속적으로 전류가 증가하고 있는데, 자전거의 바퀴살을 밀어내면서 잠금장치가 이동하기 위해 지속적인 마찰력이 작용하고 있기 때문이다. 따라서 거의 최대전류에 이르기까지 DC 모터의 전류가 증가하고 있으며, 이에 따라 모터와 드라이버에 많은 손실과 함께 열이 발생하고 있고, 지속적으로 이런 동작이 반복되게 되면, DC 모터와 드라이버의 수명이 급속히 줄어드는 결과를 가져오게 된다.

외부에 설치되어있어 안정된 동작이 되어야 하는 자전거 거치대의 경우 이런 수명의 감소는 유지보수 비용의 증가를 가져오게 된다.

반면 BLDC 모터를 사용한 경우는 초기 기동시에 투입된 전류는 LOCK 장치의 이동이 시작되면서 급격히 줄어들게

되고 자전거 거치대에 자전거 바퀴가 거치되어있어 바퀴살을 밀고 지나가야 하는 상황에서도 부하에 의한 전류증가가 급격하지 않은 것을 볼 수 있다. 이것은 BLDC 모터의 용량을 적절히 선정하였기 때문에 장시간 반복적인 동작을 해도 열이 발생하거나 고장이 발생할 가능성이 적음을 의미한다.

두 모터에 의한 전력소모량의 비교를 알기 쉽게 하기 위하여 이 파형을 MATLAB을 이용하여 비교한 것을 그림 13과 그림 14에 표시하였다. 그림 13에는 전류값을 비교하였고 그림 14에는 전력소모량을 비교한 그래프이다.

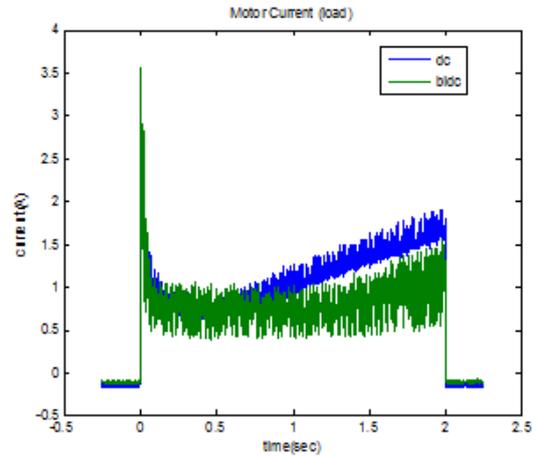


그림 13 부하시 모터전류(MATLAB)  
Fig. 13 Motor currents under load condition

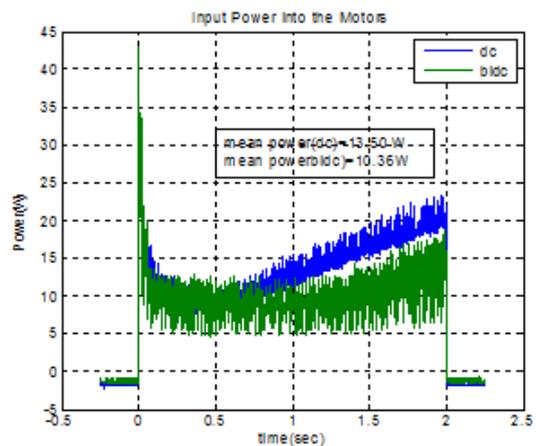


그림 14 부하시 전력소모(MATLAB)  
Fig. 14 Power consumptions under load condition

부하시의 경우는 모터의 마찰력에 의해 실질적으로 가속도가 줄게 되므로 전체적으로 LOCK 장치가 잠금상태에 이르는 시간이 증가하게 된다. 따라서 약 2초간의 동작상태를 비교하였다.

그림 14에 보면 SEEK 구간에서 부하시의 DC 모터의 전력소모 평균치는 13.50 W, BLDC 모터의 전력소모 평균치는 10.36W로 DC 모터의 경우 평균적으로 30%의 전력을 더 소모하는 것으로 나타났다.

따라서, 기존의 자전거거치대에서 사용하고 있는 DC 모터의 경우에 비하여 새롭게 대체된 BLDC 모터와 컨트롤러를 사용한 경우에 있어서 실질적인 무부하상태의 마찰력이 더 큰 모터를 사용하였음에도 전력소비의 측면에서는 더 적은 전력을 소모하고 있음을 알 수 있고, 유지보수에 필요한 여러 가지 비용을 고려할 때, DC 모터를 사용한 자전거 거치대에 비해 BLDC 모터를 사용한 자전거 거치대가 비용이나 관리의 측면에서 더욱 유리함을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 에너지 절감과 CO<sub>2</sub> 저감을 위해 적극적으로 장려되고 있는 자전거 사용과 자전거를 이용한 출퇴근 및 통학에 필수적인 인프라인 자전거거치대의 자동 잠금장치의 성능개선을 위하여 기존의 DC 모터를 사용하여 LOCK 장치를 구현하였던 것을 BLDC를 이용한 장치로 변경하여 무부하시와 부하시의 전력소모량을 비교하여 보았다.

일반적으로 적은 용량의 모터를 사용하는 것이 전력소모가 더 적을 것으로 예상하는 것과 다르게, 실질적으로는 부하가 가해지는 경우, 어느 정도 적절한 용량의 모터를 사용하는 것이 총 사용전력량을 절감하는데 도움이 됨을 알 수 있었고, 시제품제작과 실험을 통해 증명해 보았다.

이런 비교결과로 볼 때, DC 모터로 제작한 LOCK 장치의 경우보다 BLDC로 제작한 LOCK 장치가 무부하시나 부하시에 전력소모가 적고 부하시에는 큰 효율을 얻을 수 있을 것으로 판단할 수 있다.

본 논문의 비교 연구결과는 자전거 거치대와 같은 비교적 소규모의 크기를 가진 LOCK 장치를 제작하는 설계자들이 모터를 선정하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

## 저 자 소 개



### 한 기 수 (韓 己 洙)

1982. 2 : 서울 대학교 전기공학과 졸업  
1984. 2 : 서울 대학교 전기공학과 석사  
1984~ 1991 엘지전자 연구소  
1991~ 1999 대신정보통신 연구소  
1999~현재 동양미래대학교 전기시스템과 부교수



### 원 성 홍 (元 聖 弘)

1993. 2 : 한양대학교 전기공학과 졸업  
1995. 2 : 한양대학교 전기공학과 석사  
1995~ 2004 삼성전기 중앙연구소 CAE그룹  
2007.2 한양대학교 전기공학과 박사  
2007~2008 한양대학교 BK21연구교수  
2009~현재 동양미래대학교 전기시스템과 조교수

### 감사의 글

본 연구는 2011년도 동양미래대학교의 교내학술연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 최준혁,이종배,류세현,정중기,성하경,전자부품연구원, “드라이브 내장형 BLDC모터의 설계와 구현”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집,pp.170-172,2003.4
- [2] 안진우,이동희,“Tread Mill 구동용 BLDC 전동기 제어 시스템 설계 및 운전특성”, 전력전자학회 논문지 제8권 제 3호,pp. 239-246,2003.6
- [3] 박형근,“장애인용 전동스쿠터를 위한 고효율 BLDC 모터제어시스템”,한국산학기술학회논문지 제14권 제3호, pp 1388-1392, 2013.3
- [4] 김은경, 이용균, 김영란, “저전압 구동인버터의 게이트 드라이버 설계”, 전력전자학회 전력전자 학술대회 논문집, pp. 43-44, 2010.7
- [5] On Semiconductor,“Brushless DC Motor Controller”, 2004. 4