

# 전동휠체어의 평지 주행 시 안전성 향상을 위한 슬립 제어기에 관한 연구 -1

## A Study on slip controller for safety improvement of run flat road running for motorized wheelchair -1

김보민, 이원영, 이용혁\*  
B. M. Kim, W. Y. Lee, E. H. Lee

### 요 약

본 연구에서는 전동휠체어 주행 시, 슬립 현상으로 인해 발생할 수 있는 경로 이탈 및 제어 불능에 대처할 수 있는 슬립 제어기에 관한 연구로 주요기능인 슬립 검출기를 제안하고자 한다.

전동휠체어에서 슬립의 검출은 주행과정에서 전동휠체어와, 모터의 상태를 검출하는 것으로, 이를 위해 6축 IMU 센서와 좌우 모터에 연결되어 있는 엔코더를 통해 산출된 정보를 슬립 검출 알고리즘을 이용하여 슬립율을 산출한다. 이렇게 산출된 슬립 비율은 전동휠체어의 안전성 향상을 위한 제어변수로 사용된다.

본 연구에서 제안한 슬립 검출기 실험 결과 제안된 경로에서의 슬립 현상을 확인 할 수 있었다. 실험 중 최대 슬립 율 검출 구간은 전동휠체어의 선회시 발생하는 것으로 확인 하였다.

### ABSTRACT

In this study, it is intended to provide a slip detector is an important function in the research on the slip control can be addressed uncontrollably path withdrawal might during driving of the power wheelchair, slip phenomenon occurs.

By detecting and electric wheelchairs, the state of the motor during running, the detection of the slip, slip detection information calculated using an encoder that is connected to the left and right motor with six-axis IMU sensor for the electric wheelchair using an algorithm to calculate the slip ratio. Slip rate calculated in this way is used as control variable for improving the safety of the electric wheelchair.

It was confirmed from the slip phenomenon of the path the proposed experiments slim detector proposed in this study. The maximum slip ratio detection zone during the experiment, can occur during turning of the electric wheelchair has been confirmed.

**Keyword** : Motorized Wheelchair, Slip, Mobile Robot

### 1. 서론

접 수 일 : 2014.07.31

심사완료일 : 2014.08.21

게재확정일 : 2014.08.26

김보민 : 한국산업기술대학교 신기술융합학과 석사 과정  
bmkim@kpu.ac.kr (주저자)

이원영 : 한국산업기술대학교 정보통신공학과 박사 과정  
lbborie@kpu.ac.kr (공동저자)

\* 이용혁 : 한국산업기술대학교 전자공학과 교수  
ehlee@kpu.ac.kr (교신저자)

최근 노년 인구나 장애인 인구의 꾸준한 증가로  
[1] 휠체어, 전동 스쿠터, 전동휠체어 등의 이동보조

※ 본 연구 중 일부는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 “IT융합 고급인력과정 지원사업” 지원받아 수행되었음(NIPA2014-H0401-14-1003)

※ 본 연구의 일부는 보건복지부 “보건의료 연구 개발사업”의 지원에 의하여 이루어진 것임.(과제 고유번호: A121837)

기기의 수요와 보급이 늘어나고 있다. 이와 같은 이동보조기기의 사고 조사에[2] 따르면 사고 환경에 따른 분류 중 경사로에서 일어나는 사고가 가장 많으며(41.2%) 미끄러운 환경에서의 사고가(21.2%) 경사로에서 일어나는 사고 다음으로 많이 일어난다. 경사로에서 일어나는 사고의 경우 사고 대처 방법에 대한 지속적인 연구가[3] 이루어 졌으며 일부 연구의 경우 상품화까지 이루어 졌다.

그러나 미끄러운 지형에서 일어나는 이동보조기기의 사고에 대한 연구는 경사로에서 일어나는 사고에 대한 연구에 비해 미비한 수준이다. 미끄러운 지형에서는 주행 노면과 바퀴 사이의 마찰력 감소로 인해 이동보조 기기에 슬립 현상이 발생하게 되며 이로 인해 전동휠체어의 동력이 지면에 효과적으로 전달되지 않는다. 슬립이 일어난 상태에서 선회 주행을 수행 하면 Oversteer나 Understeer[4] 현상이 발생된다. 또한 심한 경로 이탈의 경우 사고의 위험성이 존재 하며 슬립이 심할 경우 전동휠체어는 제어불능에 빠질 수 있다.

이에 본 논문은 전동휠체어의 평지 주행 시 안전성 향상을 위한 슬립 제어기에 대해 연구하고자 한다.

현재 이동기기의 슬립 제어에 대한 선행 기술 연구는 자동차 분야에서 먼저 연구가 진행 되었다. 슬립 제어 기술은 자동차의 센서 정보 기반으로 슬립율을 산출하여 슬립 제어기의 제어 변수로 사용한다.

대표적인 슬립 제어기의 예로는 TCS와 ABS가 있으며 TCS(Traction Control System)은 차량 바퀴의 슬립 현상이 발생 하는 순간을 검출하여 프로세서가 차량의 출력을 감소시키고 브레이크를 작동시키는 것이다. ABS(Anti-lock brake system)는 급제동시 일부 바퀴에 look-up현상이 발생 한다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 1초에 10회 이상 반복되며 브레이크를 작동시키는 것이다.

차량에 적용된 위와 같은 시스템들은 전동휠체어의 구동, 조향 구조가 다르기 때문에 전동휠체어에 기존 기술 그대로 적용시킬 수 없다. 따라서 본 논문은 각 기술들의 개념만 전동휠체어 시스템에 적용 하고자 한다.

상기 기술들의 핵심은 슬립을 검출기에 있다. 슬립을 검출기는 차체의 이동 속도와 바퀴로 인해 차체가 움직이는 속도를 비교하고 그 오차를 계산해 슬립율을 산출한다.

이에 본 논문은 평지 주행시 안전성 향상을 위한 전동휠체어의 슬립 제어기의 선행 연구로서 슬립 제어기의 중요 요소인 슬립 검출기를 제안한다. 이

는 IMU 센서 와 바퀴의 회전 속도를 기반으로 산출된 가속도, 회전 각속도들을 비교하여 슬립율을 산출 할 것이다.

## 2. 슬립 및 슬립 검출기

본문에선 슬립의 원인과 발생한 슬립 현상이 전동휠체어에 미치는 영향과 슬립 검출기를 제안 한다.

### 2.1 슬립의 원인

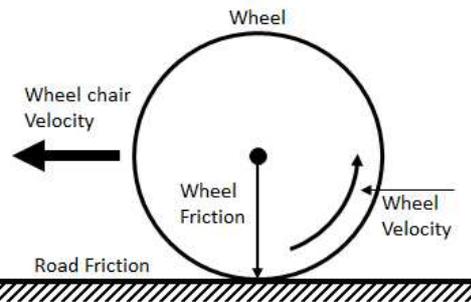


그림 1. 마찰력 구성

슬립현상이란 바퀴의 마찰력과 지면의 마찰력이 저하 되어 바퀴가 헛도는 현상을 의미한다. 이 슬립 현상은 전동휠체어의 평소 주행 시에도 일어나지만 미끄러운 지형에서는 바퀴의 마찰력과 지면의 마찰력이 평지에 비해 더욱 저하되므로 쉽게 슬립현상이 발생하며 평지 대비 더욱 높은 슬립 현상을 확인할 수 있다.

### 2.2 슬립현상이 전동휠체어에 미치는 영향

주행 중인 전동휠체어에 슬립현상이 발생하는 경우 지면에 동력 전달이 제대로 되지 않으며 선회시 슬립이 일어난다면 Understeer 및 Oversteer현상이 발생한다. 또한 선회시 슬립율이 높을 경우에는 전동휠체어가 제어불능 현상까지 발생할 수 있다.

### 2.3 제안하는 슬립검출기

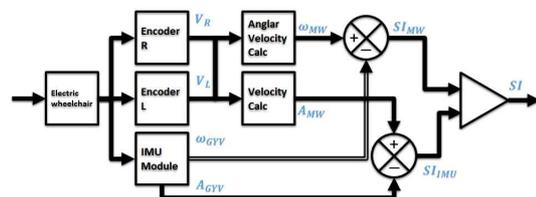


그림 2. 시스템 블록 다이어그램

본 논문에서는 슬립 제어기의 핵심 기술인 슬립 검출기를 제안한다. 선행 연구에서[5] 제안한 슬립 검출기는 선회시 한정된 슬립 검출기였으며 이는 엔코더 정보 기반으로 산출한 회전 각속도와 자이로 센서의 YAW축 정보 비교를 통해 선회시 슬립율을 산출 하였다.

본 논문에서는 선회뿐만 아니라 직진 주행시에도 슬립현상을 검출 할 수 있는 개선된 슬립 관측기를 제안 한다.

제안한 슬립 검출기의 블록 다이어그램은 그림 2.와 같다. IMU 센서, 엔코더 정보 기반으로 산출한 회전 각속도, 가속도의 비교를 통한 슬립을 산출하여 이 두 개의 슬립율을 합성하여 최종 슬립율을 산출한다.

$$w_{mv} = \frac{(V_R - V_L)}{L_{Track}} \times T_{ToD} \quad (82)$$

$$SA_{MW} = \frac{dv}{dt} \quad (83)$$

$$V = \frac{(V_R - V_L)}{2} \quad (84)$$

- $V_R$  : Encoder R Velocity
- $V_L$  : Encoder L Velocity
- $T_{ToD}$  : Radian to Degree
- $\omega_{MV}$  : Angular velocity of an motorize wheelchair
- $L_{Track}$  : The distance between the drive shaft
- $SA_{MW}$  : Straight acceleration of an motorize wheelchair

식(1), 식(2), 식(3)은 각각 엔코더로 측정된 속도 정보를 기반으로 회전 각 속도, 직진 가속도, 속도를 산출하는 식이다.

회전 각 속도는 엔코더로 산출한 좌, 우 모터 속도인  $V_R$ ,  $V_L$  속도의 차를 모터 축에서 이동기기 중심까지의 거리인  $L_{Track}$ 로 나누어 선회 시 회전 각속도를 계산한다.

직진 가속도는 엔코더로 산출한 좌, 우 모터 속도인  $V_R$ ,  $V_L$  속도를 가지고 직진 속도를 산출하며 산출된 속도를 미분하여 가속도를 산출 하였다.

$(SA_{MW} < \omega_{MW}, SA_{GYV} < \omega_{GYV})$ 인 경우

$$SI = \frac{\omega_{MV} - \omega_{GYV}}{\omega_{GYV}} \times 100 \quad (4)$$

$(SA_{MW} > \omega_{MW}, SA_{GYV} > \omega_{GYV})$ 인 경우

$$SI = \frac{SA_{MW} - SA_{GYV}}{SA_{GYV}} \times 100 \quad (5)$$

- $SI$  : Slip Index
- $SI_{MW}$  : Wheelchair Slip Index
- $SI_{IMU}$  : IMU Sensor Slip Index
- $\omega_{GYV}$  : Yaw Axis Angular velocity
- $SA_{GYV}$  : X- Axis Acceleration

슬립율 계산시 2가지 경우인 직진 주행시, 선회 주행시로 나누어 슬립율을 산출 하였다.

직진 주행시 정보는  $SA_{MW} > \omega_{MW}, SA_{GYV} > \omega_{GYV}$ 과 같이 나오며 이때는 식(4)으로 슬립율을 계산한다.

선회 주행시 정보는  $SA_{MW} < \omega_{MW}, SA_{GYV} < \omega_{GYV}$ 과 같이 나오며 이때는 식(5)으로 슬립율을 산출한다.

### 3. 실험 및 결과

실험 및 결과에서는 사용된 전동휠체어의 사양과 전동휠체어의 채택 이유, 전동휠체어의 구성, 센서의 구성 및 배치를 설명할 것이다.

또한 실험을 위해 제안한 경로에 대한 설명, 실험 방법, 실험 결과를 설명 및 분석 할 것이다.

#### 3.1 전동휠체어

본 실험에 사용된 전동휠체어는 일반 상용 전동휠체어와 동일한 사양을 가지고 있다. 제작된 전동휠체어의 구성은 그림 3과 같다. 센서 부착과 제어 프로그램 수정의 용의함이 있어 본 연구의 실험에 사용 되었다.

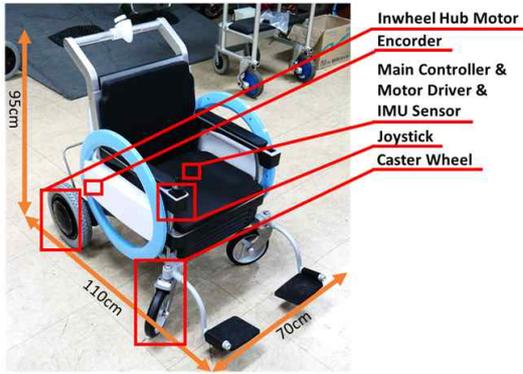


그림 3. 전동휠체어 구성

### 3.2 센서 시스템 구성

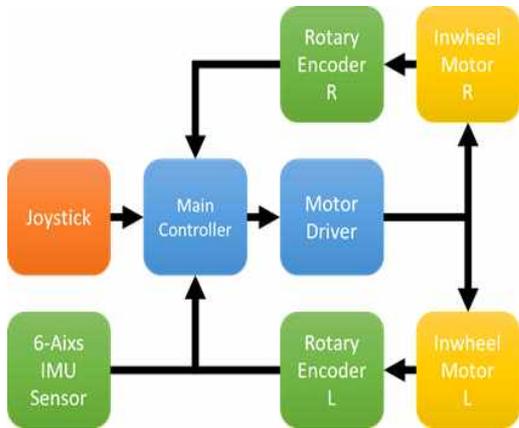


그림 4. 시스템 블록 다이어그램

슬립 검출기에 사용된 센서는 모터 정보를 수집하기 위한 로터리 엔코더, 전동휠체어의 운행 정보를 수집하기 위한 6축 IMU 센서를 사용하였다. 센서를 포함한 시스템 블록 다이어그램은 그림 4.와 같다.

표 1. 엔코더 센서 사양

Company	Autonics
Model Name	E40S8-2000-3-N-5
Feature	Small Size, High resolution
Communication Speed	50ms
Resolution	2000 Pulse

사용된 엔코더는 Autonics 社의 E40S8 종류로 1회전시 2000 분주의 정밀도를 가지고 있으며 50ms의 주기로 주제어기에 정보를 전달한다. 이 엔코더

는 그림 5. 와 같이 모터와 2:1비율의 기어로 연결되어 바퀴 1회전시 엔코더 펄스는 4000개로 측정되며 이것을 기준으로 모터의 속도를 산출할 수 있다. 엔코더의 상세 사양은 표 1.과 같다.

표 2. IMU 센서 사양

Company	Withrobot
Model Name	SD746 Breakout
Feature	Accelerator 3-Axis, gyro 3-Axis
Communication Speed	50ms
Gyro Scale	$\pm 2048^\circ/S$ , $\pm 1024^\circ/S$ , $\pm 512^\circ/S$ , $\pm 256^\circ/S$

6-Aisx IMU 센서는 Withrobot社의 SD746 Breakout으로 3축 자이로, 3축 가속도계를 가지고 있는 센서다. 50ms의 주기로 주제어기에 정보를 전달한다.

그리고 자이로 센서의 측정 범위를 조절 할 수 있어 원하는 크기만큼의 회전 각속도를 추출 할 수 있다.

자이로 센서는 기구적으로 전동휠체어 중심에 위치해 있으며 자이로 센서의 상세 사양은 표 2.와 같다.

위와 같은 센서들을 그림 5.과 같이 전동휠체어에 장착 하여 전동휠체어 슬립 제어기를 위한 슬립 검출기를 구성하였다.

위에 언급된 50ms 의 전치 시스템 주기는 전체적인 센서 연산 및 기본적인 PID 출력 제어 연산까지 포함된 시스템 주기이다.

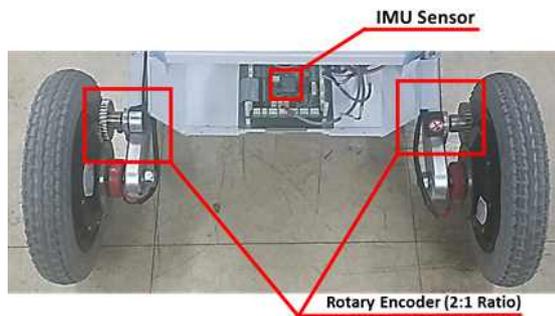


그림 5. 센서 시스템 구성

### 3.3 실험 환경

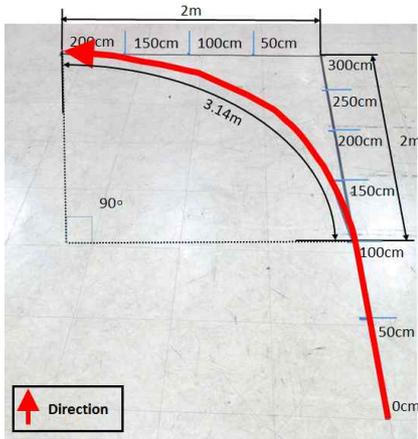


그림 6. 실험환경

실험 환경은 그림 6.과 같다 이 실험 환경은 일반적인 건물 평지 실내 바닥 재질을 가지고 있다. 전동 휠체어의 일반적인 실내 주행 환경과 같은 실내 평지에서 실험을 진행 하였다.

실험은 슬립 검출기 검증 실험이며 제안된 트랙을 실험자가 코스를 따라 주행 하며 슬립 검출기로 슬립 검출을 확인할 것이다.

### 3.4 실험 결과

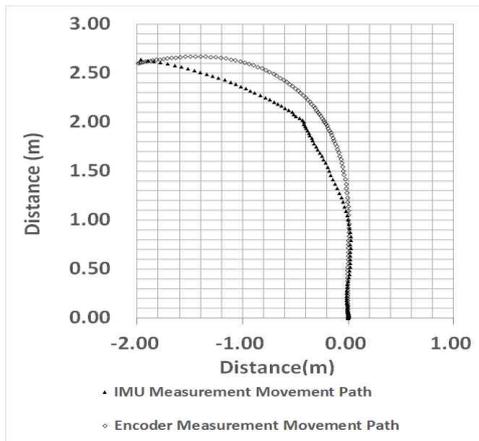


그림 7. 센서 정보로 작성한 주행 경로

그림 7.의 그래프는 엔코더와 IMU 센서 정보로 만든 주행 경로이다. 이 엔코더, IMU 센서로 작성된 경로를 보면 차이가 존재 하는데 이 차이는 전동휠체어의 경로의 차이를 보이며 이는 모터의 출력으로 작성한 경로와, 기구 자체 움직임을 반영하는 IMU 센서간의 차이가 존재함을 의미 하며 이 차이는 슬립 현상이라고 할 수 있다.

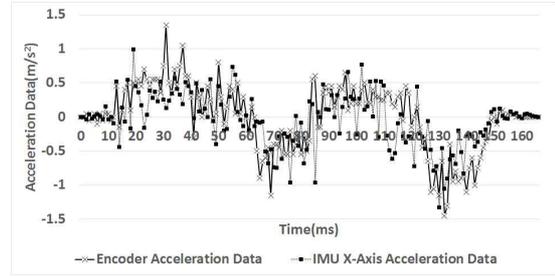


그림 8. 엔코더, IMU로 산출된 가속도

그림 8.의 그래프는 IMU 센서 중 가속도 센서의 X-Axis 값과 모터에 달린 엔코더 정보로 산출한 가속도를 비교한 그래프이다.

이 두 정보는 직진 주행시 전동 휠체어의 가속도와 모터 출력 정보로 산출한 가속도를 나타내며 이 정보의 차이는 슬립을 의미한다.

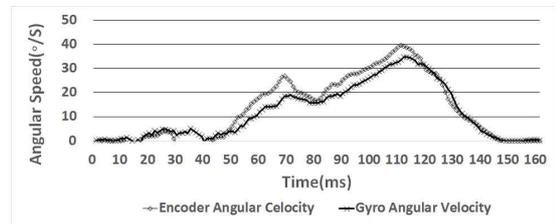


그림 9. 엔코더, IMU로 산출된 회전 각속도

그림 9.의 그래프는 IMU 센서 중 자이로 센서의 YAW 정보와 엔코더 정보로 산출한 회전 각 속도를 나타낸 그래프이다.

이 두 정보는 선회 주행시 전동 휠체어의 회전 각속도와 모터 출력으로 산출한 회전 각속도를 나타내며 이 정보의 차이는 슬립을 의미한다.

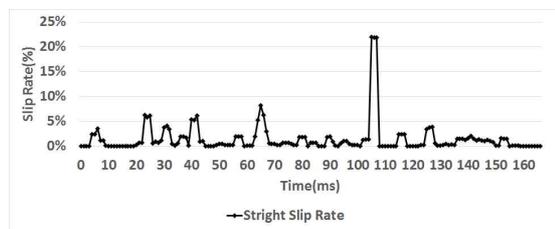


그림 10. 가속도로 산출한 직진 슬립율

그림 10.의 그래프는 엔코더 정보로 산출한 가속도 정보와 IMU 센서 중 가속도 센서의 X-Axis 값으로 계산한 직진 주행시 슬립율 그래프이다.

100 ~ 110 구간 정보 값이 튀는 부분은 센서 정보를 슬립율로 변경 시키는 수식 중 적은 오차를 증폭되어 보여주는 오류이다. 다소의 오류는 있으나

슬립 관측은 정상적으로 하고 있다는 것을 확인할 수 있다.

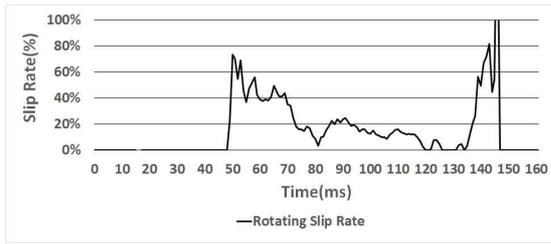


그림 11. 회전 각 속도로 산출한 선회 슬립율

그림 11의 그래프는 엔코더 정보로 산출한 회전 각속도와 와 IMU 센서 중 자이로 센서의 YAW 값으로 계산한 선회 주행 시 슬립율 그래프이다.

선회시에 발생하는 슬립율을 검출하지만 슬립이 끝난 시점인 130 ~ 150 영역에서의 오류가 검출되며 이는 앞의 오류와 같이 센서 정보간의 차이를 슬립율로 변경 시키는 수식 중 적은 오차를 증폭되어 보여주는 오류이다. 다소의 오류는 있으나 슬립 관측은 정상적으로 하고 있다는 것을 확인할 수 있다.

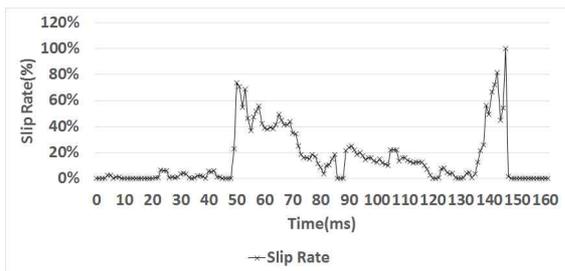


그림 12. 선회 슬립율과 직진 슬립율을 합성한 최종 슬립율

그림 12의 그래프는 최종적으로 합성된 슬립율을 나타내며 이는 직진, 슬립율과 선회시 발생하는 슬립율 정보를 비교하여 더 큰 슬립율을 사용하는 것으로 합성한 것이다.

그러나 직진, 선회시 슬립율 정보에서 슬립 오류 부분을 잡지 못해 오류 정보 역시 함께 합성된 것을 볼 수 있다.

위에서 보여주는 슬립율 오류는 워낙 짧은 시간에 발생하나 주행 중 안정성에 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 향후 연구에 수정되어야 할 것이다.

#### 4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 전동휠체어의 슬립 제어기의 주요 기술인 슬립 검출기를 제안 및 구현 하였다.

이 슬립 검출기의 경우 직진 및 선회시 슬립을 검출 하였으며 직진, 선회시 2가지의 슬립율을 합성해 슬립 제어기에 사용될 수 있는 슬립 변수를 만들 수 있었다.

그러나 직진, 선회 시 슬립율로 변환하는 과정에서 적은 오차가 증폭되어 나타나는 오류가 나타났다. 이는 순간적으로 나타나는 현상이라 슬립 제어기에는 큰 영향을 미치지 못할 것으로 생각되며 이어지는 연구에선 수정 할 것이다.

제안하는 기술이 상용 전동휠체어에 적용될 경우 전동휠체어에 위험 슬립율을 추출하여 위험 슬립율 도달 전에 사용자에게 위험을 알릴 수 있을 것이다.

나아가 위험 슬립율 도달 전에 전동휠체어 제어기단에서 능동적으로 슬립을 제어하여 전동휠체어의 경로 이탈 보정 및 제어 불능의 상태에 처하지 않을 것이다.

앞으로 연구할 문제는 이 알고리즘의 보완과 알고리즘의 검증을 위해 실내 GPS(Global Positioning System)을 이용한 알고리즘의 검출이 필요할 것이다. 그리고 실내, 실외 여러 환경에서의 슬립 검출 실험을 통하여 알고리즘 보정을 진행해야 할 것이다.

완성된 SI를 사용해 슬립 컨트롤러에 대한 연구도 해야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 통계청, 한국의 사회동향, 2013.
- [2] 장애인 이동보조기기 안전사고 실태 조사, 특수교육 및 재활의 학회지, 2013.
- [3] 이원영 외 “횡단 경사면에서 지능형 보행보조로봇의 직진성 향상 방안 연구”, 전자공학회논문지, 제 50권, 제 2호, 2013.
- [4] 자동차 용어사전, 자동차 용어사전 편찬회, 일진사, 2012.
- [5] 김보민, 이원영, 장문석, 이영혁, “전동휠체어 선회시 슬립 관측기 구현” 대한전자공학회 하계학술대회 논문집, 제 1권, 제 37호, pp. 1025-1028, 2014.
- [6] 김성환, 김수현, 백주현, 유재관, 김범수, 박지일, 박지혁, 우효준, “가속도계와 2 자유도 임무장비를 이용한 소형 SUGV의 슬립 및 전복방지 방법” 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 187-188, 2011.



**김 보 민**

2013년 한국산업기술대학교  
전자공학과 학사 졸업  
2013년 ~ 현재 한국산업기  
술대학교 신기술 융  
합학과 석사 과정  
2015년 졸업 예정

관심분야 : 지능형 로봇 제어, 재활공학



**이 원 영**

2011년 한국산업기술대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
2013년 한국산업기술대학교  
정보통신학과 석사  
졸업.  
2013년 ~ 현재 한국산업기  
술대학교 정보통신  
학과 박사 과정

관심분야 : 지능형 로봇 제어, 재활공학



**이 응 혁**

1985년 인하대학교 전자공  
학과 학사 졸업.  
1987년 인하대학교 전자공  
학과 공학석사 졸업.  
1992년 인하대학교 전자공  
학과 박사 졸업.  
1995년 3월 - 2000년 2월  
건양대학교 컴퓨터  
공학과 조교수  
2000~현재 한국산업기술대  
학교 전자공학과  
교수

관심분야 : 지능형 서비스로봇 제어, 모바일  
헬스케어 시스템, 재활공학