

# 저속 전기자동차 제어용 비접촉식 조이스틱 개발

## Development of Noncontactable Joystick Controller for Low Speed Electric Vehicle

팜 쩡 히 웨\* · 안 진 우†  
(Trung Hieu Pharm · Jin-Woo Ahn)

**Abstract** - Noncontactable joystick for a low speed electric vehicle(LSEV) is developed. The joystick is proposed to replaced the steering wheel in a conventional LSEV. The main advantages of the proposed joystick are a durable and a stable in structure, simple and easy to control through discriminating the driving and braking area. To reduce error and stability in the joystick control, input and output signal of the joystick are manipulated by data averaging and differntiation. With this algorithm, the driving resolution and capability are improved. To verify the proposed algorithm, a simple prototype model which has two electric motors for propulsion and steering are used. Test results show that the prototype joystick control system is applicable to an LSEV drive.

**Key Words** : Low speed electric vehicle, Noncontactable joystick, Control algorithm.

### 1. 서 론

현재 자원고갈, 환경, 에너지 문제 등 자동차 산업의 변화로 전기자동차(EV) 및 하이브리드 전기자동차(HEV)의 필요성이 대두되고 있다. 이에 맞춰 최근 토요타, 포드, GM, 현대 등 자동차 업계에서 하이브리드 전기자동차를 개발, 공급하고 있다. 특히 복잡한 도심에서의 개인용 이동수단과 노령 및 여성 운전자의 증가 추세로 편리성과 안정성을 요구하고, 배터리 가격과 충전 인프라 구축 등의 문제로 인해 근거리 및 1인승 전기 자동차에 대한 연구 개발과 상용화가 추진되고 있다[1-2].

근거리 및 1인승 전기자동차의 제어시스템으로 가속 및 감속을 위한 브레이크 페달, 조향장치인 핸들, 그리고 시프트 레버 등 조향, 주행, 제동을 관리하는 기계적인 장치는 일반인의 신체특성에 맞추어져 구동하도록 설계되어 있어 노령의 운전자 또는 장애인들이 사용하기에는 불편함이 적지 않다. 따라서 이동시 운전이 편리하고 경제성과 조작성이 우수한 전기스쿠터 또는 전동휠체어를 선호하며, 여기에 운전 및 조작이 간편한 조이스틱의 사용이 유력한 대안으로 제시되고 있다. 그러나 이러한 운송수단은 주행시 안전상의 문제와 장거리 이동거리의 어려움, 교통법규 등 관련 정책의 문제로 사용이 제한되고 있다[3-6]. 따라서 전동휠체어 등에 적용되는 것보다 제어성, 신뢰성, 내구성이 높은 조이스틱의 개발이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 전기스쿠터 또는 전동휠체어를 대신하고 일반적인 전기자동차보다 저속인 최대 주행 속도가 40km/h

인 저속용 전기자동차(Low Speed EV)를 기준으로 방향을 조작하는 조향장치, 속도를 제어하는 주행기능과 제동기능을 결합한 시스템인 조이스틱 제어시스템을 제안하고 실험을 통해 검증하고자 한다.

### 2. 저속자동차용 조이스틱

#### 2.1 LSEV 구동 시스템

일반적인 EV의 구동 시스템은 그림 1(a)와 같이 방향을 제어하는 핸들, 속도를 제어하는 주행시스템과 이에 연결된 1개 이상의 모터로 이루어져 있다. 이와 달리 조이스틱을 적용한 LSEV 구동 시스템은 그림 1(b)와 같이 핸들, 주행시스템의 역할을 포함하고 있는 조이스틱과 방향 제어 및 속도 제어 모터로 이루어져 있다.

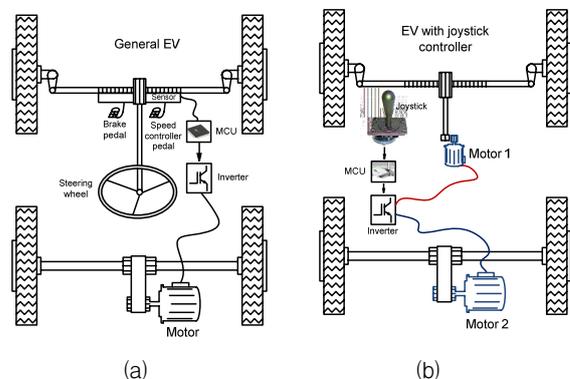


그림 1 EV 구동 시스템 (a) 핸들형 (b) 조이스틱형  
Fig. 1 EV drive system (a) Steering wheel type (b) Joystick type

\* 준 회원 : 경성대 메카트로닉스공학과 석사과정  
† 교신저자, 펠로우회원 : 경성대 메카트로닉스공학과 교수  
E-mail : jwahn@ks.ac.kr  
접수일자 : 2012년 1월 11일  
최종완료 : 2012년 3월 26일

### 2.2 조이스틱의 구조 및 출력 특성

본 연구에서 사용되는 조이스틱은 자성을 가지는 물체가 조이스틱 손잡이 측에 위치하여 물체 아래에 자속을 감지하고 측정한다. 측정된 자속의 양을 전압으로 변환해주는 회로를 가지는 구조이고 앞뒤, 좌우 그리고 360° 회전이 가능한 제어 장치이다. 조이스틱의 구조는 그림 2와 같다. 조이스틱은 접촉부위가 제한되어 있는 비접촉 방식으로 조이스틱의 좌표의 변화는 자속의 양을 변화시키고 이에 따라 출력 전압이 발생된다. 발생하는 출력 전압의 특성은 다음 그림 3과 같이 표시되고, 출력 전압은 모터 속도를 제어하고, 방향을 제어하는 입력값으로 사용한다[7].

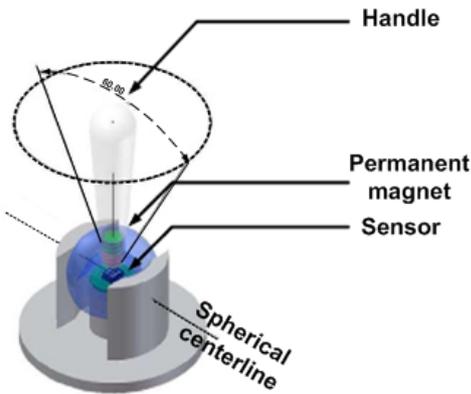


그림 2 조이스틱의 세부 구조  
Fig. 2 Detailed structure of joystick

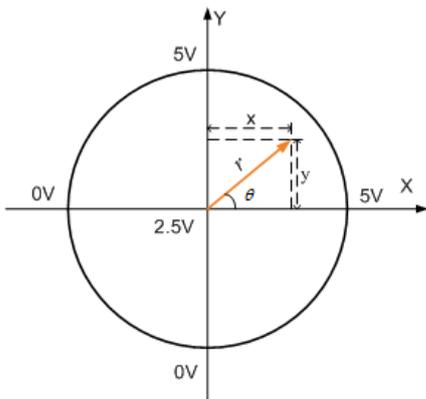


그림 3 조이스틱의 출력 특성  
Fig. 3 The output characteristic of the joystick

조이스틱의 출력 전압 특성은 좌표에 따라 최소 출력 전압 0V에서 최대 출력 전압 5V로 구분되고, 이때 역전압 발생을 없애기 위해 조이스틱의 기준 좌표 (0,0)의 출력 전압을 각각 X축, Y축의 기준을 2.5V로 지정한다. 지정된 출력 특성은 그림 2를 통해 나타낸다. 조이스틱의 좌표는 X축, Y축과 상관없이 자유롭게 방향 전환과 이동이 가능하다.

조이스틱의 좌표 이동에 따라 출력 특성인 원의 내부에 표현된 각도  $\theta$ 와 이동된 거리  $r$ 로 표현한다.

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{1}$$

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{y}{x}\right) \tag{2}$$

$$x = x_j - 2.5 \tag{3}$$

$$y = y_j - 2.5 \tag{4}$$

이때 발생하는 입력 값과 식 (1)~(4)를 통해 LSEV의 방향 전환 제어와 속도 제어, 제동에 필요한 제어 입력 값을 얻을 수 있다. 여기서  $x_j, y_j$ 는 X축과 Y축의 출력되는 전압의 값이다.

### 2.3 제안된 조이스틱 제어 알고리즘

조이스틱의 좌표 값에 따른 출력 전압을 방향 및 속도, 제동 시스템의 입력 값으로 사용한다.

LSEV의 구동시 운전자의 조이스틱의 조작 실수 및 미숙으로 인한 오작동이 발생할 경우 사고가 발생할 수 있다. 이 때문에 조이스틱의 좌표 값이 제어 입력 값으로 출력되기 전에 좌표 값이 적절한 입력 값인지 판단하여 처리하는 과정이 필요하다.

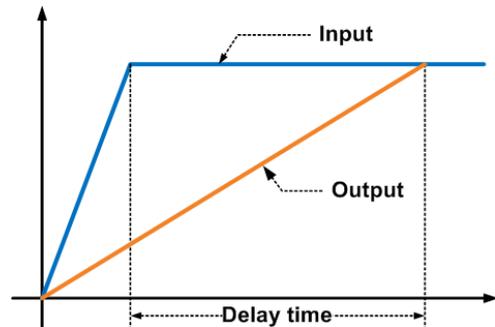


그림 4 조이스틱 입·출력 관계  
Fig. 4 Relationship between input and output of joystick

일반적인 조이스틱에서는 입력되는 값을 합산 후 평균을 구하는 방식으로 오작동의 발생을 줄일 수 있고 안정적으로 동작할 수 있다. 이는 다음 그림 4와 같이 입력되는 값과 출력되는 값이 다른 것을 볼 수가 있다. 그러나 이 경우 사용자의 입력 값을 실시간으로 반영하지 못하는 문제와 안정성을 고려해야 하는 어려움이 따른다. 이러한 문제를 극복하기 위한 방안은 조이스틱의 입력되는 값을 미분을 통해 입력 값의 변화량으로 변환된 데이터를 통해 높은 응답성과 안정성을 가지도록 한다. 그림 5는 시간에 따른 입력신호 및 입력값 변화량의 데이터를 나타내고 있다.

그림 5를 통해 얻은 실시간으로 모니터링한 입력 값과 현재 인가되는 입력 값의 차를 이용하여 미분한 값을 구한 후 미분 값에 대한 실시간 모니터링 데이터  $P$ , 현재의 데이터  $P_{n-1}$ 의 적용 비율을 그림 6에서 나타낸다.

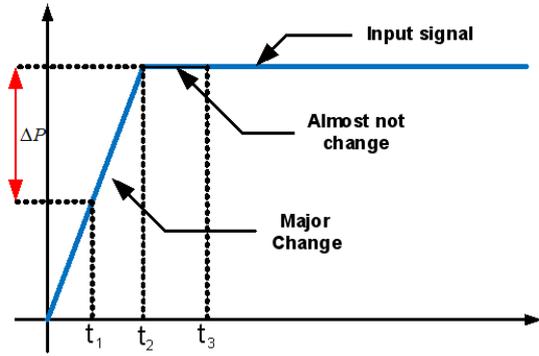


그림 5 입력신호와 입력값의 변화량  
Fig. 5 Relationship between input and differential data

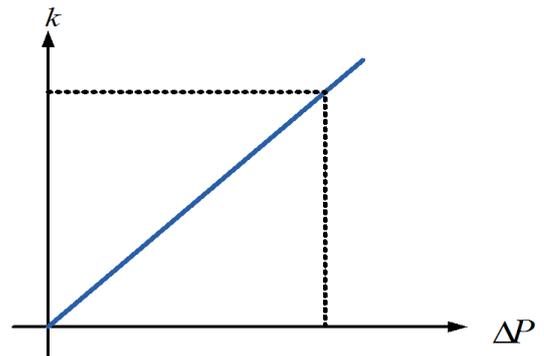


그림 7 데이터 샘플링(k)의 수에 따른 평균값  
Fig. 7 Average value according to number of k-sample

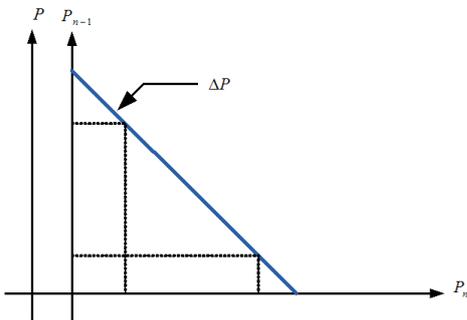


그림 6 현재와 실시간 데이터의 적용비율도  
Fig. 6 Application ratio of current and real time data

그림 6에서 나타난 적용 비율은 현재의 데이터 값  $J_p$ 와 이전까지 평균 데이터의  $J_t$ 를 다음 식 (5)와 같이 계산하여 적용 비율 연산한 데이터 값  $J_s$ 을 얻을 수 있다.

$$J_s = \frac{(P_n \times J_p) + (P_{n-1} \times J_t)}{P_n + P_{n-1}} \quad (5)$$

식 (5)와 같은 연산 방법은 Low-pass filter와 같은 연산 방법으로 계산할 수 있다. 이러한 연산을 통해 사용자의 오작동 및 조작 실수로 인한 조이스틱의 좌표의 급격한 변화에 대해 능동적으로 대응할 수 있다.

평균 연산 방식은 식 (6)과 같다. 이런 연산 과정을 거친 조이스틱 좌표 값은 속도 값으로 변환하기 위한 연산에 적용된다.

$$J_t = \frac{J_s + \sum_{n=1}^k J_{(t-n)}}{k+1} \quad (6)$$

이 과정에서 인가되는 데이터 샘플링(k)는 입력 값의 미분 값인  $\Delta P$ 와 비례관계를 다음 그림 7과 같이 나타낸다. 데이터 샘플링이 커질수록 오동작 처리 능력은 증가하나 응답성이 줄어들게 된다. 반대로 데이터 샘플링 값이 줄어들수록 응답성이 빨라져 실시간 처리가 가능하게 구성된다.

이렇게 함으로서 운전자의 조작 실수 및 미숙으로 인한 오작동에 대해 능동적으로 대응이 가능하고 실시간으로 사용자의 입력 값을 처리 할 수 있게 된다.

제안된 알고리즘은 그림 8(a)의 조이스틱 좌표에 따른 반지름  $r$ , 좌표에 따른 각도  $\theta$ 를 입력 값으로 그림 8(b)는 LSEV의 방향 전환에 따른 각도  $\theta$ , 속도  $s$  값을 얻기 위한 알고리즘이다.

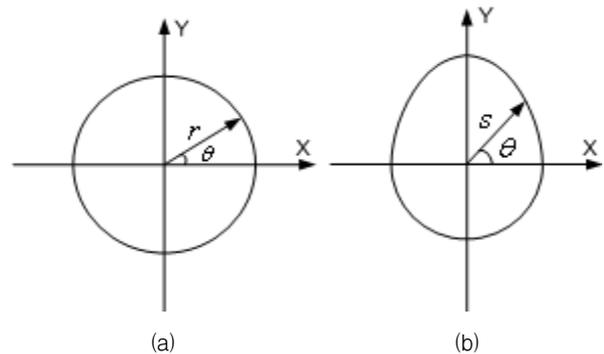


그림 8 (a) 조이스틱의 출력특성 (b) 제안된 알고리즘의 출력특성  
Fig. 8 (a) Joystick output, (b) Joystick output by proposed algorithm

본 논문에서 제안한 제어 알고리즘은 방향 및 속도 제어, 제동 기능을 하나의 제어기인 조이스틱으로 제어할 수 있는 알고리즘이다. 제안된 알고리즘은 LSEV의 방향 제어(좌우), 속도 제어(가·감속)와 제동 기능을 모두 포함하고 있고 알고리즘의 블록도는 그림 9와 같이 나타낸다.

제안된 알고리즘은 버튼을 통해 운전방향(전진, 후진)을 선택 후 조이스틱의 조작에 따라 방향 전환, 속도제어, 제동으로 동작한다. 전진시(Button=0) 조이스틱의 좌표 각도  $\theta$ 에 따라 운전영역인  $0^\circ < \theta < 180^\circ$  과 제동 영역으로 나뉜다. 방향전환 좌표각도는  $90^\circ$ 를 기준으로  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  (왼쪽),  $90^\circ < \theta < 180^\circ$  (오른쪽)으로 제어가 가능하다. 제동시 조이스틱의 좌표는 전진운전 영역 외 모든 좌표와 상관없이 제동 영역으로 동작 된다. 반대로 후진운전(Button=1)은 전진운전과 동일하고 좌표는 후진방향인

$180^\circ < \theta < 360^\circ$  을 기준으로 후진동작을 하고  $270^\circ$  를 기준으로  $270^\circ < \theta < 360^\circ$  (왼쪽),  $180^\circ < \theta < 270^\circ$  (오른쪽)으로 방향 제어가 가능하다. 제동 영역은 전진방향 운전과 동일하다.

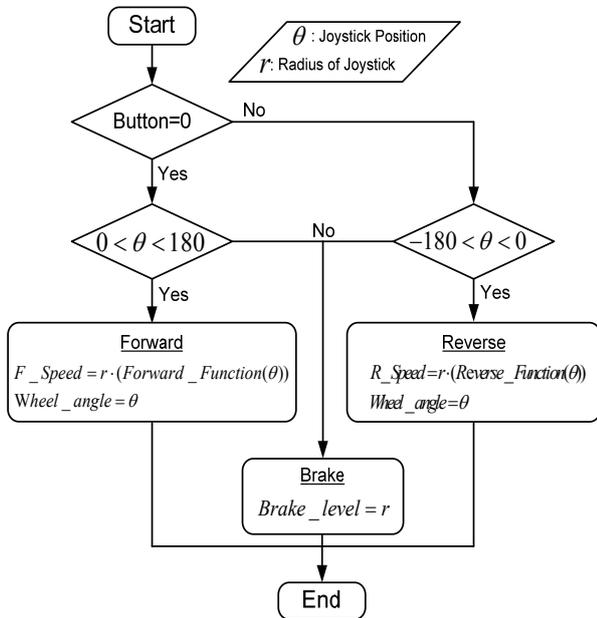


그림 9 제안된 제어 알고리즘의 블록도  
Fig. 9 Flowchart of proposed algorithm

그림 10은 전진, 후진 방향일 때의 방향 전환 각도  $\theta$ , 속도  $s$  값 제어와 제동영역에 대한 출력 특성이다.

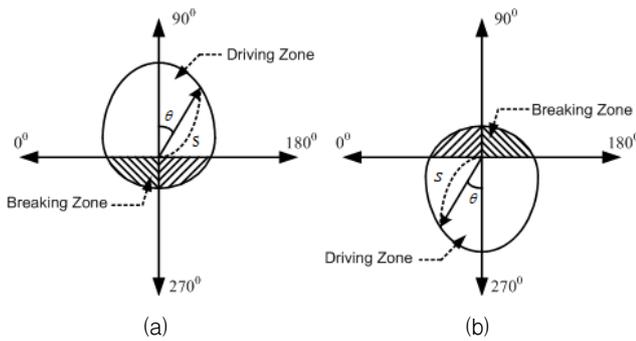


그림 10 운전 및 제동영역 (a) 전진 (b) 후진  
Fig. 10 Driving and Braking zone for (a) Forward (b) Reverse

그림 11은 LSEV 정방향 운전시 조이스틱의 좌표 각도  $\theta$  에 따른 운전 및 제동 특성에 대해 나타낸다. 전진 운전시  $0^\circ < \theta < 180^\circ$  일 때  $\theta$ 의 변화에 따라 속도 변화를 볼 수 있고, 그림 10의 운전 특성을 보았을 때 좌표 각도에 따

라  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  (왼쪽),  $90^\circ < \theta < 180^\circ$  (오른쪽)으로 방향 전환과 속도 변화를 알 수 있다. 좌표 각도  $180^\circ$  이후부터는 좌표 각도  $\theta$ 와 상관없이 제동하는 영역을 볼 수 있다.

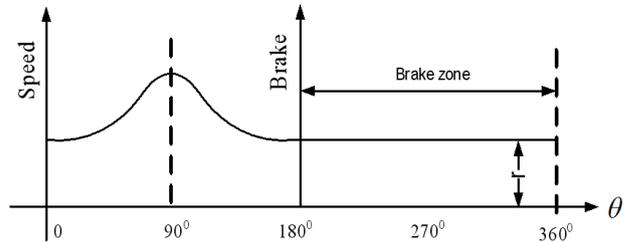


그림 11 운전 및 제동 특성  
Fig. 11 Driving and Braking characteristic

### 3. 실험 결과

제안된 조이스틱제어시스템의 운전특성을 확인하기 위해 비접촉식 조이스틱을 제작하고, 제어 알고리즘을 평가하기 위해 조이스틱과 방향 제어를 위한 서보 모터와 속도 제어를 위한 4/5 SRM으로 구성하여 시험하였다.

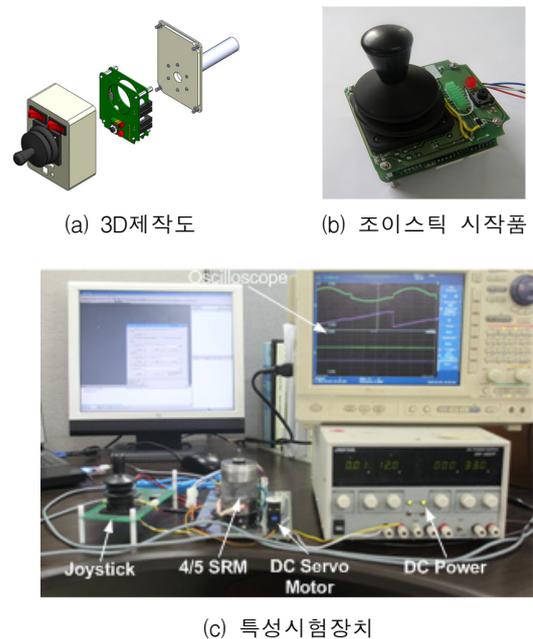


그림 12 조이스틱 시작품과 시험구성도  
Fig. 12 Prototype joystick and control system

출력 전압은 5V에서 최대속도는 5,000rpm으로 회전하고 최저 속도는 1,000rpm으로 회전한다. 제안된 알고리즘의 방향 전환시 부드러운 방향 전환과 안전성을 위해 감속하면서 방향이 전환된다.

그림 13에서 조이스틱 좌표 각도  $\theta$ 가  $0^\circ < \theta < 180^\circ$  (전진)로 변할 때 조이스틱의 토크 명령과 전동기 실제속도를, 제동영역에서는 전동기속도는 감소함을 보여준다.

그림 14에서 버튼설정이 전진운전 영역일 때 조이스틱의 좌표 각도  $\theta$ 에 따라  $0^\circ < \theta < 180^\circ$  영역에서 전진 운전하고, 방향 전환 좌표 각도  $90^\circ$ 를 기준으로 방향 전환과 속도 제어를 나타낸다. 측정된 실험값은 제안된 알고리즘에 따른 운전 및 제동 특성(그림 11)과 같은 결과이다.

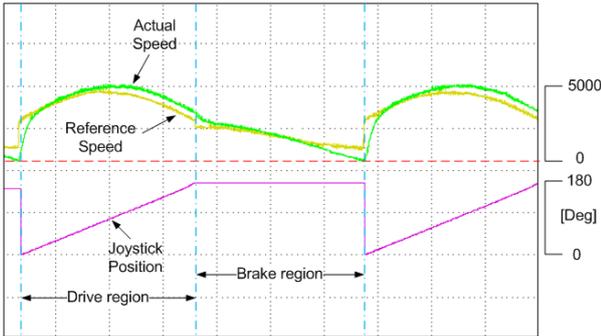


그림 13 전동기 실제 및 명령속도, 조이스틱 명령  
Fig. 13 Actual and command speed, joystick position

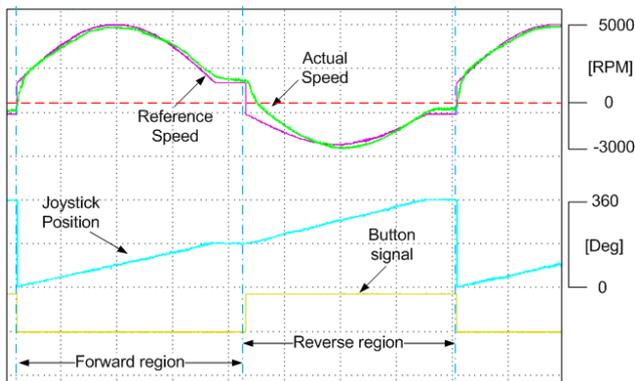


그림 14 조이스틱 좌표에 따른 운전 및 제동특성  
Fig. 14 Drive and braking characteristics according to joystick commend

그림 13과 14의 운전방향 설정, 조이스틱의 입력 값에 따른 실제 모터 속도, 방향전환과 제동 실험결과를 통해 제안된 방식은 LSEV 제어용 조이스틱 알고리즘으로 사용이 가능함을 보여준다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 비접촉식 조이스틱을 개발하고, 이를 LSEV 운전제어용으로 사용하기 위한 기초 알고리즘을 제안하였다. 제안된 조이스틱은 차량운전제어에 어려움이 있는 장애인과 노약자용으로 개발되었다. 제안된 조이스틱 알고리즘은 조이스틱의 좌표에 따라 방향전환, 속도 제어, 제

동을 모두 포함하는 알고리즘을 제안하고 이를 실험을 통해 동작특성을 평가하였다. 비접촉식으로 기구적 내구성과 안정성은 확보하였으나, 향후 고령친화용 복지전기자동차에 적용하기 위해서는 제어의 안정성, 신뢰성 등을 포함하는 추가적 시험이 필요할 것이다.

#### 감사의 글

본 논문은 부산광역시와 교육과학기술부의 지원으로 수행된 부산과학단지육성사업 R&D역량강화사업과 지식경제부지원 QoLT사업의 연구결과입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 신규재, 차현록, 서영주 "1인승 전기 자동차 개발 사례" 전력전자학회지 제 16권 제 2호 pp. 44~48, 2011. 04
- [2] 이상택, 조주희, 김대경 "전기자동차 구동시스템의 개발 동향" 전력전자학회지 제 16권 제 2호 pp. 32~37, 2011년 4월
- [3] Guo, S. Cooper, R.A. Boninger, M.L. Kwarciaik, A. Ammer, B. "Development of power wheelchair chin-operated force-sensing joystick," Engineering in Medicine and Biology, 2002. 24th Annual Conference and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society EMBS/BMES Conference, 2002. Proceedings of the Second Joint, vol.3, pp. 2373-2374, Oct. 2002.
- [4] Larminie, J. Lowry, J. (2003). Electric Vehicle Technology Explained, John Wiley & Sons, New York.
- [5] Barbir, F. (2005). PEM Fuel Cells: Theory and Practice, Elsevier Academic Press, San Diego, USA.
- [6] Mann, R.F., J.C.Amphlett, M.A.I Hooper, H.M.Jensen, B.A.Peppley and P.R.Roberge, "Development and Application of a Generalised Steady State Electrochemical Model for a PEM Fuel Cell," Journal of Power Sources, Vol. 86, pp.173-180. 2000
- [7] 서민재, 윤창민, 허재훈, 김대제, 이태훈, 안진우 "전동 휠체어 제어용 조이스틱 개발" 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 춘계학술대회 논문집 p.p : 315 ~ 317 June 2010
- [8] Mooncheol Won, Grandpierre, T. Fleutot, G., Parent, N. "A joystick driving algorithm with a collision stop feature on an electric vehicle (Cycab)," Intelligent Vehicle Symposium, 2002. IEEE , vol.2 pp. 501- 506 June 2002
- [9] Onishi, M. Kobayashi, K. Watanabe, K. "A study of intuitive electric wheelchair control interface based on weight shift," SICE Annual Conference, 2008 , vol., no., pp.2710-2713, Aug. 2008
- [10] M. Tanujaya, Dong-Hee Lee, Jin-Woo Ahn, "Design a Novel Switched Reluctance Motor for Neighborhoods Electric Vehicle", ECCE-Asia, June 2011.

저 자 소 개



**팜 쩡 히 웨 (Trung Hieu Pham)**

was born in Chon Thanh, Binh Phuoc, Vietnam. He received his B. Eng. in Electrical and Electronics Engineering from Binh Duong University (Binh Duong, Vietnam) in 2009. His research interests are in the areas Design of Switched Reluctance Motor, Power Electronics and Optimal Control.

Tel : 051-663-4779

E-mail : phamtrunghieu.bp86@gmail.com



**안 진 우 (安 珍 雨)**

1958년생. 1984년 부산대 전기공학과 졸업, 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업 (박사), 1992년~현재 경성대 메카트로닉스공학과 교수. 현재 당학회 B부문 국제 이사, Journal of International Conference on Electrical Machines and Systems (JICEMS)편집위원장, 지식경제부지정 고령친화 이지라이프 RIS 사업단장. 한국 RIS협회장, Board Member of IEEE/IAS

Tel : 051-663-4773,

E-mail : jwahn@ks.ac.kr