

지게차 전도 방지를 위한 시뮬레이터 설계

이시형* · 배영철**

Design of Simulator for Rollover Prevention of Forklift Truck

Shi-Hyung Lee* · Young-Chul Bae**

요 약

물류 창고 등에서 지게차 사용은 일반화되어 있으나 최근에는 지게차 전도 사고가 빈번하게 발생하고 있다. 또한 일반적으로 어떤 문제를 해결하기 위해서는 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션이나 축소된 하드웨어로 구성된 시뮬레이터를 이용한 문제 해결을 시도하고 있다. 이에 본 논문에서는 지게차의 전도 예방을 위해 기존 지게차의 문제점을 분석하고 지게차의 전도 예방을 위한 기구 개념을 설명한다. 또한 지게차 전도 예방을 위한 시뮬레이터 시스템 구성과 설계된 시뮬레이터를 제시하고자 한다.

ABSTRACT

The use of forklift trucks in logistical warehouses, etc. is generalized; however, the accidents of rollover of the forklift truck have occurred frequently. In general, in order to solve a problem, many people attempt to solve the problem by using computer simulation or simulators which is composed of reduced hardware. Therefore, in this paper, we analyze the problem existed in forklift truck and we also explain the concept of a mechanism to prevent the rollover of forklift truck. In addition, we propose the configuration of simulator system and a designed simulator to prevent the rollover of forklift truck.

키워드

Forklift Truck, Simulator Design, Safety, Rollover Prevention
지게차, 시뮬레이터 설계, 안전, 전도 방지

1. 서론

현대 창고 등의 물류 시스템에서 지게차는 중요한 수송 수단의 하나이다. 실내에 있는 물류 창고뿐만 아니라 야외에서도 지게차는 하중이 있는 물건을 이동시키는데 유용한 도구이다. 지게차는 도로가 아닌 장소에서도 자유롭게 무거운 물건을 운반할 수 있고 작업도 할 수 있어 사용영역이 크다. 그러나 지게차가 작업자와의 충돌, 운

반물 낙하, 지게차 전도 등의 다양한 사고 위험이 늘 뒤따르고 있다. 2017년 기준으로 제조업 분야만 지게차 사고 부상자는 542명이었으며 사망자는 17명에 이른 것으로 알려져 있다.

지게차 사고의 주요 원인으로는 물체의 낙하, 보행자 등과의 접촉, 지게차의 전도로 나눌 수 있다. 물체의 낙하는 불안정한 화물의 적재, 부적당한 작업장치 선정, 미숙한 운전조작, 급출발·급정지·급선회 등으로 인해 주로 발

*전남대학교 전기 및 반도체공학과(powerdark@daum.net)

**교신저자 : 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터공학부

· 접수일 : 2021. 04. 28

· 수정완료일 : 2021. 05. 23

· 게재확정일 : 2021. 06. 17

· Received : Apr. 28, 2021, Revised : May. 23, 2021, Accepted : Jun. 17, 2021

· Corresponding Author : Young-Chul Bae

Division of Electrical · Electronic communication and Computer Eng. Chonnam National University,

Email : ycbae@chonnam.ac.kr

생한다[1]. 지게차 사고 중 전도로 인하여 발생하는 사고는 요철바닥 면의 미경비, 화물보다 소형차량을 이용했을 때, 화물의 과적재, 과속과 급선회 등으로 인해 발생한다. 이러한 전도 사고는 지게차 운전자의 부주의도 문제이지만 지게차 자체의 안정성을 확보하지 못해 발생하는 경우가 있어 지게차의 전도 방지를 위한 안정성이 높은 설계가 필요하다.

최근 지게차에 대한 연구로는 지게차의 재해통계와 사례를 기반으로한 안전대책[2], 속도계를 활용한 지게차 사고 해석[3], 지게차의 안전성 및 안정도에 기반한 해석방안[4-5]에 대한 제시 연구가 있었다. 실제 지게차의 설계 이전에 실제 상황에 대한 사전 검토로서 시뮬레이션 및 시뮬레이터를 이용한 방법을 많은 분야에서 활용하고 있다[6-8].

이에 본 논문에서는 지게차의 전도 예방을 위해 기존 지게차의 문제점을 분석하고 지게차의 전도 예방을 위한 기구 개념을 설명한다. 또한 지게차 전도 예방을 위한 시뮬레이터 시스템 구성과 설계된 시뮬레이터를 제시하고자 한다.

II. 기존 지게차의 문제점

그림 1은 지게차의 기본 구성을 보여주는 것으로, 포크, 업라이트, 프레임, 구동 타이어나 구동 액슬로 구성한다.

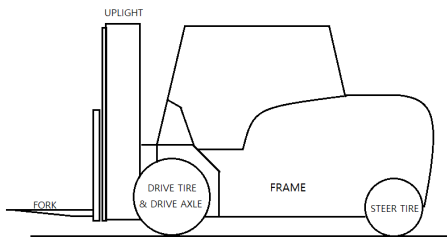


그림 1. 기존 지게차의 기본 구성
Fig. 1 Basic configuration of forklift truck

현재 지게차에서 사용하고 있는 것으로 지게차의 구동과 조향은 2가지, 즉 전륜과 후륜으로 구동하며 그림 2은 전륜 구동 부분을 개략적으로 나타낸 것이다.

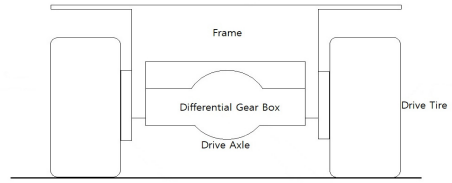


그림 2. 지게차의 구동과 조향
Fig. 2 Driving axle and tire of forklift truck

일반적인 지게차는 화물의 하중을 지지하는 구동(drive axle)과 프레임(frame), 업라이트(uplight)가 강제로 구속되어있다. 포크(fork)에 얹혀진 화물의 하중(load)은 업라이트, 연결되어 구속된 프레임과 구동 타이어나 100% 전달되어진다. 이러한 구조는 중량물을 안전하게 이동하기 위해 만들어진 형태이며 스프링이나 충격 흡수용 충격 흡수기(shockup shover)는 구조상 취할 수 없는 구조이다. 따라서 이러한 구조에서는 그림 3과 같이 지면의 기울기가 그대로 프레임에 전하여지게 되며 지면의 수평방향 기울기가 지게차에는 수직방향 기울기로 나타나게 되고 이는 화물을 높이 들어 올림(lift up)에 따라 안전범위를 점점 벗어나는 결과를 만들게 된다.

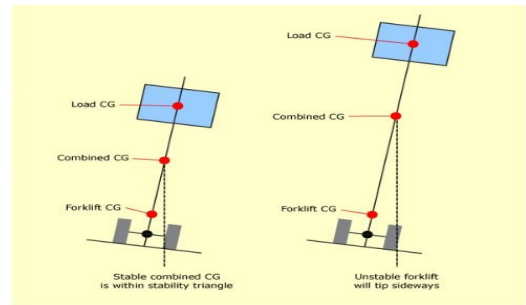


그림 3. 지게차의 수평 방향 안정도
Fig. 3 Horizontal stability of forklift truck

후륜 구동은 좌우 타이어나 각각 상하 방향으로 상대적으로 움직이며 프레임 좌·우 측에는 최대 기울임 스토퍼(stoper)가 설치되어, 지면에 좌·우 방향으로 경사가 있거나 차체가 기울는 경우 프레임이 스티어 타이어나 접촉되는 것을 방지하고 있다. 그러나 이는 관성(inertia of rotation)에 의해 지게차가 과도하게 기울는 것을 제한할지언정, 지게차가 전복되는 것을 능동적으로 방지하지 못한다는 문제점을 가지고 있다.

그림 4는 후륜 조향의 예를 보여준다.

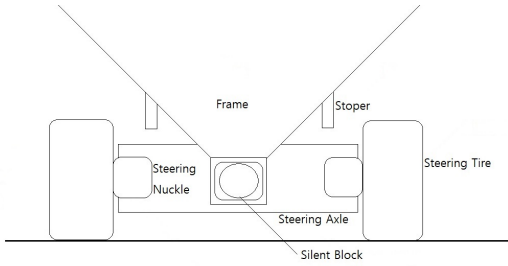


그림 4. 지게차의 후륜 조향 액슬 구조
Fig. 4 Structure of steering axle of forklift truck

강재(steel)로 구성되어진 프레임의 후부에 구성된 후륜은 중앙부위에 구성된 스윙 중심점(swing center point), 즉 사이린트 블록(silent block)에 의해 지지되며 지면의 기울기에 따라 자중으로 각각 상하 방향 운동하게 되며 이는 지게차의 좌우 방향 기울기에는 전혀 저항하지 않는다. 이는 전륜 구동과 후륜 구동이 강제(non moverble)로 구속되면 네 개의 바퀴가 전체 지면에 접촉하지 않는 문제를 일으킨다. 그 결과 차동 기어 박스(differential gear box)가 장착된 전륜 구동 액슬 내부의 구조상 한쪽 구동 타이어(drive tire)가 지면에서 이격되게 되며 구동력(force)을 상실하는 결과를 낳게 된다.

III. 지게차 전도 예방을 위한 기구 개념

그림 2와 그림 3에서 발생하는 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 그림 5와 같은 전륜 구동, 그림 6와 후륜 구동 방법을 제안한다.

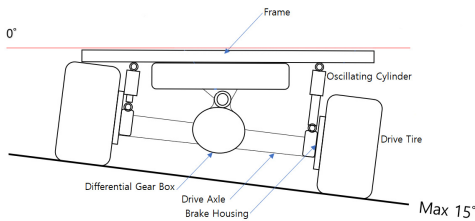


그림 5. 전도방지 기능을 갖춘 전륜 구동
Fig. 5 Drive axle with rollover prevention

먼저 전륜 구동 제안 방법은 전륜 구동과 프레임은 분리하고 중앙부위가 힌지 핀(hinge pin)으로 연결한다. 이

핀은 지게차의 프레임 무게와 프레임에 부싱(bushing)으로 고정되어 화물을 핸들링하는 업라이트의 무게, 그리고 그 업라이트에 걸리는 화물의 하중을 지지하며 지게차의 전, 후 이동시 걸리는 충격하중(drive impact force)을 전체 부담하는 구조를 갖는다.

화물을 운반하는 업라이트는 상부 프레임에 구속되어 있으며 프레임에 장치된 자이로센서(gyro sensor)는 지게차의 작업 시 언제나 프레임을 0°를 유지하는 기본 입력 자료를 발생하며 이를 받은 제어기는 PCB를 통해 유압솔레노이드 밸브(hydro solenoid valve)를 구동시키고 솔레노이드밸브와 유압라인(hydraulic power line)으로 연결된 발진 실린더(oscillating cylinder)는 구동 액슬(Drive axle)과 연결되어 실린더를 확장, 수축하여 지면의 기울기에 대응한 움직임으로 프레임의 수평을 구현하게 된다. 이렇게 좌우방향의 수평을 유지하며 업라이트에 장착된 1채널 각도 센서(angle sensor)는 업라이트의 전후방향 기울기를 감지하여 역시 제어기에 입력하고 제어기는 업라이트에 설치된 경사 실린더(tilt cylinder)에 솔레노이드 밸브를 통한 유압을 제어하여 업라이트를 제어하게 된다.

좌우방향, 전후방향의 움직임 후 이를 피드백 센서로부터 보고를 받은 제어기는 입력과 출력의 값을 비교하고 지정된 값과 다를 경우 이를 보완하여 재 조정 작업을 실시한다.

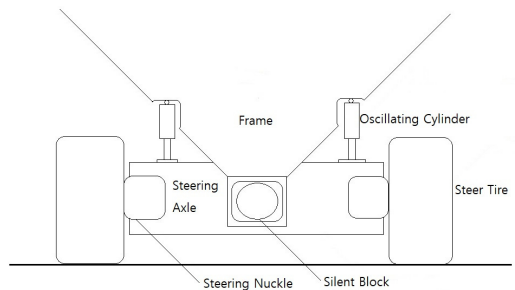


그림 6. 전도방지 기능을 갖춘 후륜 구동
Fig. 6 Steering axle with rollover prevention

그림 5와 같은 전륜 구동 제안 방법은 작업 시 측방향(side) 전도(overthrow)에 의한 운전자, 작업자의 인명피해를 줄일 수 있을 뿐 아니라 주행 중 지게차가 회전할 때 안쪽 실린더의 수축시켜서 기울어지게 하면 지게차의 회전주행(rotation traveling)으로 인해 발생하는 외측방

향 원심력을 상쇄할 수 있게 되고 안전 주행을 하게 된다. 마치 고속도로 나들목에 설치된 회전도로의 경우 경주용 트랙처럼 안쪽이 기울어져 있어 차량은 안전하게 회전주행을 하게 되는 것과 같은 원리이다. 또한 후륜 구동에 기존 스톱퍼 대신 램록 실린더(ram lock cylinder)를 설치하여 장비가 정지되면 제어기는 1초 후 램록 실린더를 움직이지 않도록 락킹(locking)하여 화물 인양 작업 시(Lift up) 안전성을 증대하며 다시 장비가 움직인다는지 방향전환 시그널이 입력되면 램록 실린더는 해제되어 자유롭게 지면에 따라 상하 움직이게 된다. 결국 화물은 좌우, 전후방향의 수평을 유지하게 되며 이는 운전자의 휴먼 에러(human error)에도 항상 수평을 유지하며 이는 사고를 예방하고 수명을 연장하는 방안이 된다.

III. 지게차 전도 예방을 위한 시뮬레이터의 시스템 구성

지게차의 전도 예방을 위한 시뮬레이터 시스템은 입력장치, 제어장치, 구동장치, 피드백 장치로 구성한다.

2.1 전체 시스템 구성

지게차 전도 예방을 위한 전체 시스템은 그림 3과 같이 마스트에서 들어오는 물리량을 측정하는 입력장치, 마스트의 각도 조절을 제어하는 제어장치, 제어장치의 제어 명령에 따라 마스트 각도를 조정하는 구동 장치와 피드백 제어를 위한 피드백 장치로 그림 7과 같이 구성한다.

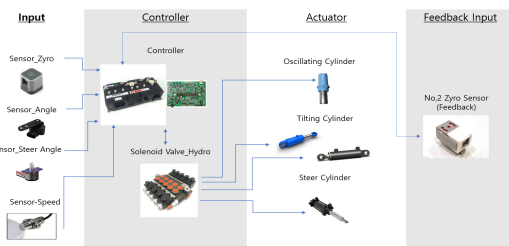


그림 7. 지게차 전도 예방을 위한 시스템 구성도
Fig. 7 System configuration for rollover prevention of forklift truck

2.2 입력장치

입력장치는 마스트의 롤링 방향 각도를 조정하기 위해 전륜 구동과 중력 방향 사이의 각도를 측정하여 전륜 구동

의 롤링 방향 기울기를 측정하는 평형 유지용 센서, 마스트의 피칭방향 기울기를 측정하는 틸팅용 센서, 핸들의 조향 각을 측정하는 조향 조작용 센서, 및 지게차의 속도를 측정하는 속도 센서로 구성한다. 평형 유지 센서는 지면에 경사가 있는 경우에도 마스트의 연장 방향과 중력 방향을 나란하게 유지되도록 마스트의 각도를 자동으로 조정할 수 있어, 지게차가 측방으로 전복되는 것을 방지할 수 있다.

2.3 제어장치

제어장치는 입력장치에서 측정된 값을 수신하여 중력 방향을 기준으로 안전범위 내에서 마스트의 각도가 유지되도록 구동 장치를 제어하는 신호를 발생시키는 역할을 한다. 제어장치는 틸팅용 센서의 기울기 검출값에 따라 마스트 상부가 전방으로 기울어지면 이를 감지하여 틸팅용 실린더를 압축시키는 제어 신호를 발생시킨다. 따라서 포크에 실린 적재물이 전방으로 낙하하는 것을 방지할 수 있다.

2.4 구동장치

구동장치는 마스트의 롤링 방향 각도를 조정하기 위한 장치로 평형 유지 장치, 마스트의 피칭방향 각도를 조정하기 위한 틸팅 장치, 조향각 및 속도에 따라 마스트의 롤링 방향 각도를 조정하기 위한 조향 조작 장치로 구성한다.

평형 유지 장치는 마스트와 프레임을 연결하고, 전륜 구동의 기울기에 따라 프레임을 회전시켜 프레임이 중력 방향에 수직을 이루도록 조정하여 마스트를 롤링 방향으로 각도 조정한다. 프레임과 전륜 구동은 전륜 오실레이터에 의해 연결되어 구동된다. 이는 프레임과 전륜 구동 사이에 각도에 따라 신장하거나 압축되도록 배치된다. 예를 들어 지면에 경사가 있어 전륜 구동이 기울어지는 경우, 그 기울어진 각도(Ψ)를 평형 유지용 센서가 측정 한 후 제어 장치가 전륜 오실레이터의 실린더 길이를 제어함으로써 프레임이 롤링 방향으로 회전되고, 프레임이 중력 방향과 수직을 유지할 수 있도록 한다.

조향 조작 장치는 조향 조작용 센서 및 속도 센서에 의해 측정된 값에 따라 마스트의 각도를 조정하는 것으로서, 주행 중 방향을 변경할 때 속도가 높을수록 관성에 의해 전복될 위험이 높은 점을 고려한 것이다. 이 경우 핸들의 조작 방향과 반대 방향으로 전복되기 때문에 제어 장치는 마스트를 핸들의 조작 방향과 동일한 방향으로 롤링시킨다. 따라서 속도와 조향에 따라 발생하는 관성에 의한 지게차 전복을 방지할 수 있다.

2.5 피드백장치

피드백 장치는 마스트의 각도를 더욱 정밀하게 제어 하는데 사용한다. 이 피드백 장치는 각도 센서 또는 자이로 센서 등으로 구성하여 마스트 또는 프레임과 중력 방향 사이의 각도를 측정한다.

IV. 지게차 전도 방지를 위한 시뮬레이터 설계

지면의 기울기와 이에 대응하는 시스템을 실증하고 차 후 실제 개념 정립의 단계에서 예상되는 문제점을 도출하기 위해 시뮬레이터를 기획하고 제작을 위한 기본 개념도는 그림 8과 같다.

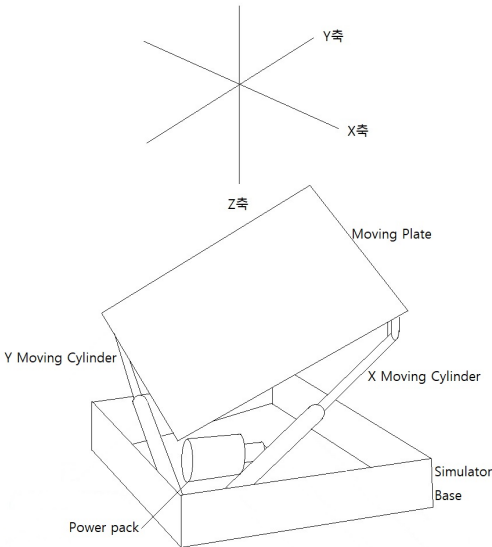


그림 8. 지게차 전도 예방을 위한 시뮬레이터 개념도

Fig. 8 Simulator concept configuration for rollover prevention of forklift truck

시뮬레이터의 크기는 좌·우 1m 높이 1m이며 하부의 지면을 구현하는 부분과 상부의 지게차의 실물 모형으로 이루어진다. 하부에는 단상 220V 모터로 구동되는 유압시스템으로 두 개의 실린더를 이동하여 x축과 y축의 이동을 구현하고 이는 지면의 앞뒤 기울기와 좌·우 기울기를 나타낸다. 이는 지게차가 사용되는 환경을 실제로 나타내기 위함이며 이는 지게차 전도의 직접적인 원인이기 때문이다.

상부에는 지게차의 모형이 설치되어 있으며 지면의 움

직임을 하부 실린더를 이용하여 구현하고 이에 대하여 상부에 설치된 지게차 모형이 이에 대응, 수평을 유지하기 위해 개발되고 설치된 시스템이 작동하여 지면의 기울기에 대처하여 항상 0°를 유지하게 한다. 그림 9와 그림 10에 상부 제어 장치 설계 예와 전체 시뮬레이터 작동 예를 나타내었다.

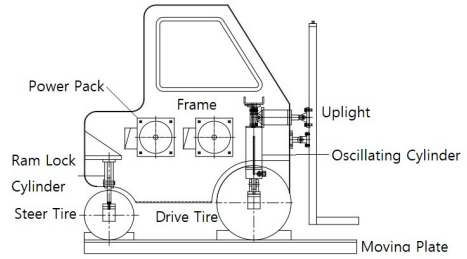


그림 9. 상부 제어 장치 설치 사례

Fig. 9 Installation example of upper control device

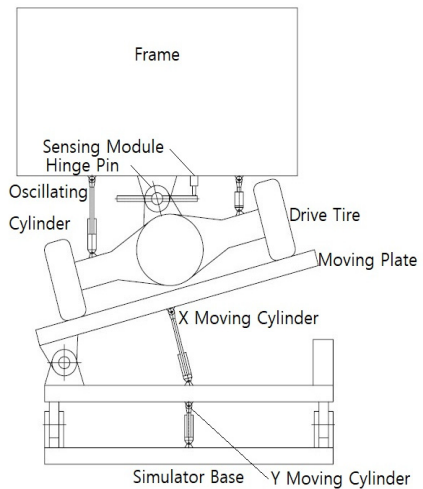


그림 10. 전체 시뮬레이터 작동 사례

Fig. 10 Operation example for entire simulator

그림 10에서와 같이 실험자 또는 관람객이 두 개의 유압 레버를 이용하여 x축, y축 실린더를 움직이고 두 개의 실린더는 상호 연계하여 움직이도록 하여 지면의 기울기, 즉 앞뒤 좌우의 기울기를 복합적으로 나타나게 한다. 그러면 지게차는 시스템이 상시 가동된다는 조건하에 좌우의 기울기에는 후륜 구동에설치된 좌·우 발전 실린더에 의해 좌·후 각 15°의 기울기에 대응하여 항상 수평을 위치

하게 하고 앞뒤 기울기에 대하여는 틸트 실린더를 이용하여 동일한 시스템 하에서 앞뒤 기울기에 대해 보정을 하게 된다. 따라서 좌우 15°와 앞뒤 15°의 기울기에도 지게차의 상부는 수평을 유지하고 지게차의 안전을 유지할 수 있다는 것이다. 또한 시스템의 반응속도에 대한 자료를 취합하여 속도의 변화값에 대한 적절한 반응속도에 대한 데이터를 얻어 실제 제품 양산시 적용할 시스템의 사양을 결정하는데 기본 자료가 될 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 지게차의 진도 예방을 위해 기존 지게차의 문제점을 전륜 구동과 후륜 구동으로 나누어 분석하고 지게차의 진도 예방을 위한 물리적인 기구 개념을 설명하였다. 또한 지게차 진도 예방을 위한 시뮬레이터 시스템을 구성하고 각 구성요소의 기능을 구현하였다. 마지막으로 설계된 시뮬레이터를 제시하였다. 제시된 시뮬레이터를 이용하여 지게차의 반응속도에 대한 자료를 모아 시뮬레이션을 수행할 수 있어 실제 제품 양산시 적용할 시스템의 사양을 결정하는데 기본 자료가 될 것으로 기대한다.

References

[1] KOSHA "Safety management model of forklift truck," *General data of safety sector 2018 Gwangju branch-711*, 2018.

[2] W. Shin, H. Rhee, and J. Park, "Proposed Revision of Standard on Articles for Forklift Trucks in Manufacturing Industries", *J. of the Korean Society of Safety*, vol. 28, no. 4, 2013, pp. 33-37.

[3] Y. Lee, S. Park, and H. Cheong, "Forklift Safety Accident Analysis using an Accelerometer", *J. of the Korean Society of Safety*, vol. 28, no. 7, 2013, pp. 63-67.

[4] J. Kim, W. Shin, and J. Park, "Stability Analysis of Counterbalanced Forklift Trucks," *J. of the Korean Society of Safety*, vol. 30, no. 2, 2015, pp. 1-8.

[5] J. Chae, "A Study on Safety Improvement of Forklift Truck," *J. of the Korean Society of Safety*, vol. 28, no. 4, 2013, pp. 91-96.

[6] M. Chae, S. Cho, and K. Shin, "Development of a real trajectory-based simulator to verify

the reliability of the integrated navigation system for trains," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 1, 2021, pp. 135-144.

[7] H. Lee, J. Heo, and Y. Park "Magnetic field simulation and analysis for monitoring safety hook fastening" *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 6, 2020, pp. 533-542

[8] D. Ahn, S. Cho, and H. Kim "A study on the dynamics of police motorcycle simulator," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 6, 2020, pp. 533-542.

[9] S. Pal and S. Mitra, "Multilayer perceptron, fuzzy sets, classification," *Transactions on neural networks. IEEE*, vol. 3, 1992, pp. 683-697.

[10] X. Wang, P. Guo, and X. Huang, "A review of wind power forecasting models," *Energy procedia* 12, 2011, pp. 770-778.

저자 소개



이시형(Shi-Hyung Lee)

1998년 한려대학교 건축공학과 졸업(공학사)
2020년~현재: 전남대학교 대학원 전기 및 반도체공학과 석사과정

※ 관심분야 : Industrial control, IoT, Deep learning, CPS



배영철(Young-Chul Bae)

1984년 광운대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1986년 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1997년 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
1986년~1991년 한국전력공사
1991년~1997년 산업기술정보원 책임연구원
1997년~현재 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터공학부 교수

2002년~2002년 Brigham Young University 방문교수
2011년~2011년 University of Utah 방문교수

※ 관심분야 : Chaos Control and Chaos Robot, Robot control etc.