

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.3.133>  
JIIBC 2022-3-20

# 디지털 방사선 검사장치(DR)의 AC 서보 시스템 설계

## AC Servo System Design of Digital Radiography Equipment

정성인\*

Sungin Jeong \*

**요약** 디지털 방사선 검사장치는 인간의 생명을 다루는 의료장치로 안정성과 고신뢰성이 필요하지만 이러한 시스템은 현재 최첨단 기술로 일본을 비롯한 유럽제품에 의해서 국내시장은 거의 점유된 실정이다. 따라서 상당한 부분 값비싼 수입품에 의존하고 있는 의료기기의 국산품 대체는 물론, 보다 경제적이고 조작하기 쉬운 사용자 위주의 제품을 개발, 정확한 진단을 이끄는 장치의 생산을 위한 연구와 개발이 필요하다. 특별히 디지털 X-ray 시스템 중에서 전동기 구동 기술과 기계장치 개발 관련 메카트로닉스 기술은 국내에 어느 정도 성숙되어 있는 단계로 본 논문에서는 디지털 방사선 검사 장치(DR)의 전동기 서보 시스템 설계를 통하여 제어기법과 성능을 확인하고자 한다. 본 논문에서는 촬영용도에 부합하는 디지털 방사선 검사용 AC 서보전동기의 선정과 변환장치 및 제어기법을 적용하여 성능을 확인하고 문제점을 개선함에 있다.

**Abstract** Digital radiation inspection equipment is a medical device that deals with human life and requires stability and high reliability. However, this system is currently the most advanced technology and the domestic market is almost occupied by European products including Japan. Therefore, research and development are needed not only to replace domestic medical devices, which are largely dependent on expensive imported products, but also to develop more economical and user-oriented products that are easy to operate and produce devices that lead to accurate diagnosis. In particular, among the digital X-ray systems, the motor driving technology and the mechatronics technology related to the development of mechanical devices have matured to some extent in Korea. In this paper, selection of AC servomotor for digital radiation inspection suitable for imaging purpose, and application of conversion device and control method to check performance and improve problems.

**Key Words** : X-Ray, Digital Radiography, AC Servo System, Gantry Motor

### 1. 서 론

엑스선 영상진단 장치는 X-Ray가 인체를 투과하면서 감쇄되는 정도를 측정하여 인체 내부 구조를 평면화된

영상으로 제공하는 의료기기이다. 비침습적이고 여러 가지 촬영이나 검사가 쉬우며 CT, MRI 등 다른 영상진단 장치에 비하여 비교적 저렴한 가격으로 높은 해상도의 영상을 얻을 수 있어 흉부 촬영, 정형외과, 일반 외과 수

\*정회원, 광주대학교 AI자동차학과  
접수일자 2022년 4월 20일, 수정완료 2022년 5월 20일  
게재확정일자 2022년 6월 10일

Received: 20 April, 2022 / Revised: 20 May, 2022 /  
Accepted: 10 June, 2022

\*Corresponding Author: si.jeong@gwangju.ac.kr  
Dept. of AI Automotive Engineering, Gwangju University,  
Gwangju, Korea

술 및 치료 경과 확인 등 다양한 의료 진단 분야에 널리 사용되고 있다.

이러한 엑스선 영상진단 장치 중 디지털 방사선 검사(Digital Radiography: DR)장치는 X-선을 디지털로 영상화하는 기술들로 X-선의 영상정보를 디지털화된 전기신호로 변환하여 전자기록 매체(테이프 혹은 디스크)에 기록하고 모니터에 화면으로 재생시켜 판독하는 기법이다<sup>[1]</sup>. 디지털 방사선 검사 장치(DR)는 인간의 생명을 다루는 의료장치로 안정성과 고신뢰성이 필요하지만 이러한 시스템은 현재 최첨단 기술로 일본을 비롯한 유럽 제품에 의해서 국내시장은 거의 점유된 실정이다.

실례로 엑스선 영상진단 장치 기업별 세계시장 점유율은 GE Healthcare LLC가 66.8억 달러의 매출액으로 전체 시장의 21.6%를 차지하고 있으며, Siemens Healthineers AG(63.6억 달러, 20.5%), Koninklijke Philips NV(28.2억달러, 12.3%), Canon Medical Systems Corp(25.7억 달러, 8.3%)의 기업이 그 뒤를 차지하고 있다. 위 4개 기업이 세계 영상진단기기 시장에서 차지하는 비중은 60% 이상이며, 영상진단기기 세부 분야 전 품목을 취급하여 세계시장을 주도하고 있다. 그 밖의 기업들은 영상진단기기 세부 분야에 특화된 기업들로 시장 점유율은 5% 이하로 낮은 수준이며, 국내 기업은 전체 시장의 1% 이하의 점유율을 차지하고 있다<sup>[2]</sup>.

따라서 상당 부분 값비싼 수입품에 의존하고 있는 의료기기의 국산품 대체는 물론, 보다 경제적이고 조작하기 쉬운 사용자 위주의 제품을 개발, 정확한 진단을 이끄는 장치의 생산을 위한 연구와 개발이 필요하다. 특별히 디지털 X-ray 시스템 중에서 전동기 구동기술과 기계장치 개발 관련 메카트로닉스 기술은 국내에 어느 정도 성숙되어 있는 단계로 본 논문에서는 디지털 방사선 검사장치(DR)의 AC 서보시스템 설계를 통하여 제어기법과 성능을 확인하고자 한다. 따라서 마이크로프로세서를 이용한 고정도 제어기와 신뢰성과 경제성이 있는 고성능 전동기를 탑재하여 안전성과 정확성 있는 AC 서보시스템을 설계 및 제작을 통하여 디지털 X-ray 시스템의 활용영도에 부합하는 성능을 확인 및 개선함에 있다.

## II. 전동기 서보 시스템

전동기 서보 시스템에서 디지털 서보를 사용함으로써 얻을 수 있는 장점은 1) 입력 지령 펄스 주파수의 급변에

대하여 큰 가감속 토크를 발생하며 탈조 발생이 없고 고속응답이 가능하며, 2) 대용량에서도 고효율이고 저소음이다. 즉 고속, 고정도, 원활한 제어성을 가진 서보 시스템을 얻을 수 있다. 따라서 디지털 서보의 제어용 전동기의 선정은 다음의 내용으로 정리할 수 있다.

### 1. AC 서보전동기(Servo Motor)

AC 서보전동기란 빈번하게 변화하는 위치나 속도의 명령(목표치)에 대해서 신속하고, 정확하게 추종할 수 있도록 설계된 전동기를 의미한다. 또한 큰 가속도에 의해서 기동하거나 정지하는 능력을 갖추고 있어야 한다. 그러므로 큰 가속도를 얻으려면 고평과 저관성을 만족해야 한다. 이러한 두 가지 조건을 만족하는 것이 DC 전동기로 오랫동안 서보전동기로서 사용되었으나, 유지보수의 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 AC 서보전동기를 사용하여 DR 시스템을 구동하였다. DR 구동 시스템은 크게 서보 시스템을 기반을 둔 기계적 부분과 이를 고속, 고정밀로 제어하기 위한 제어기 부분으로 나눌 수 있다.

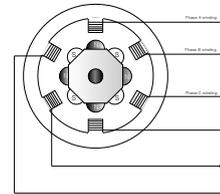


그림 1. AC 서보전동기의 구조  
Fig. 1. Structure of AC servo motor

### 2. AC 서보전동기 원리

AC 서보 동기의 구조는 그림 1과 같이 고정자(Stator) 측은 코어에 전기자권선이 감겨 있고 회전자는 영구자석이 착자 되어 있다. AC 서보전동기는 DC 서보전동기와 반대로 영구자석이 회전자 측에 착자되어있고, 전기자권선은 고정자 측에 감겨 있다. 따라서 정류자와 브러시 없이 외부로부터 직접 전원을 공급받을 수 있는 구조로 AC 서보전동기는 다음과 같은 장점이 있다.

- 1) 높은 속도와 용량의 증대
- 2) 유지보수의 용이성 및 신뢰성 확보
- 3) 구조적 간결성 및 신뢰성 확보

이와 같은 장점이 있는 AC 서보전동기는 최근에 디지털화 기술, LSI 기술, 마이크로컴퓨터 기술 등의 일렉트로닉스의 발전으로 가격 면에서 DC 서보에 접근하고 있

다. 특히 본 논문에서 사용한 AC 서보전동기 중에서 SM형 서보전동기는 회전하는 영구자석에서 계자자속을 만들고 계자자속과 합성벡터가 직교하는 3상 전기자 전류가 흘러 벡터를 발생시킨다.

AC 서보전동기의 가장 큰 특징은 DC 전동기의 정류자 기능을 반도체 소자를 이용한 전력 변환기로 대체한 점으로 표 1에서 DC 서보전동기와 AC 서보전동기의 특징을 살펴볼 수 있다.

표 1. DC 서보전동기와 AC 서보전동기의 특징  
 Table 1. Features of DC servo motor and AC servo motor

DC 서보전동기	AC 서보전동기
브러시 서보전동기 (Brushed Servo Motor)	브러시리스 서보전동기 (Brushless Servo Motor)
제어구조가 간단	제어구조가 복잡
단상 인버터	3상 인버터
회전 전기자형	회전 계자형
방열이 나쁨	방열이 양호
유지, 보수가 필요(브러시 마모)	유지, 보수가 거의 필요 없음
최대속도가 낮다.	최대속도가 높다.
정격용량이 낮다.	정격용량이 크다.

### III. 디지털 방사선 검사장치(DR)의 AC 서보 시스템 설계

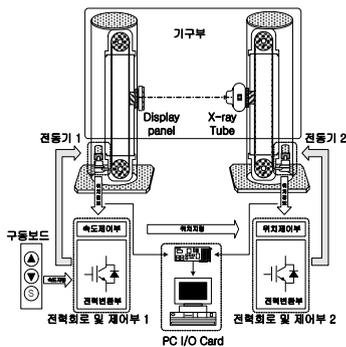


그림 2. 디지털 방사선 검사장치(DR) 구성  
 Fig. 2. Digital radiography inspection system (DR) configuration

디지털 방사선 검사장치(DR)는 그림 2와 같이 크게 Display panel과 X-ray tube를 움직이기 위한 기구부, 기구부 동작을 위한 감속기와 전동기, 전동기 구동을 위

한 전력 회로부, 동기적인 연동을 위한 제어부, 동기제어 확인과 시스템 확장성을 위한 데이터 입출력부, 구동 보드로 구성되어있다<sup>[3]</sup>.

기구부는 벨트-폴리방식으로 동작하며 구동을 위하여 감속기와 AC 서보전동기를 사용하였다. 디스플레이 패널구동을 위한 전동기를 주 전동기로 하고 주 전동기의 움직임을 튜브 구동용 전동기가 동일한 위치를 갖도록 동작한다. 패널 구동용 전동기의 동작은 사용자의 설정에 따라 다양한 속도를 가질 수 있으며 패널의 위치를 튜브 구동용 전동기의 위치제어를 통해 동일한 위치로 이동하게 된다.

#### 1. AC 서보전동기의 전력회로 및 동작모드

본 논문에서는 튜브와 패널의 빈번한 위치변화와 속도 명령에 대하여 신속, 정확하게 추종할 수 있도록 유지보수의 문제점이 없는 AC 서보전동기를 사용하여 디지털 방사선 검사장치(DR)를 구동하였다. AC 서보전동기의 가장 큰 특징은 DC 전동기의 정류자 기능을 반도체 소자를 이용한 전력 변환기로 대체한 점으로 그림 3은 본 논문에서 설계된 전력변환장치의 구성을 보여주고 있다.

3상 입력 전원은 정류 다이오드에 의해 직류로 변환된 후 DC 링크단을 거쳐 3상 인버터에 직류전압이 인가된다. 이 직류전압은 반도체 소자의 스위칭 동작으로 교류전압으로 변환되어 출력측에 연결된 AC 서보전동기에 인가된다<sup>[4]</sup>.

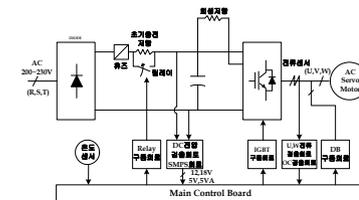


그림 3. AC 서보전동기 구동 시스템  
 Fig. 3. AC servo motor drive system

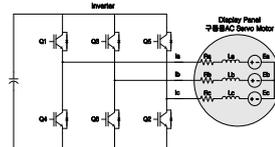


그림 4. 디스플레이 패널 구동용 AC 서보전동기 인버터부  
 Fig. 4. AC servo motor inverter part for driving display panel

그림 4는 디지털 방사선 검사장치(DR) 중 디스플레이

패널을 원하는 속도로 동작시키기 위한 AC 서보전동기 구동용 인버터부를 보여주고 있다. 6개의 IGBT 스위치로 구성된 인버터부는 3상 권선에 인가되는 상전류에 따라 스위칭을 하게 된다<sup>[5]</sup>.

2. 페루프 디지털 서보계의 회로설계

설계된 AC 서보 시스템의 속도제어부 기본 구성 중 그림 5와 같이 AC 서보전동기의 구동에 있어서 회전자 위치에 대한 정보를 파악하는 것이 필수적이다. 또한 속도제어기에서 출력되는 제어 명령(전류명령)은 단상의 직류값이기 때문에 이를 서보전동기에 인가하기 위해서는 3상의 교류값으로 변환해야 한다<sup>[6]</sup>. 따라서 본 논문에서는 3상 변환 회로를 구성하였다.

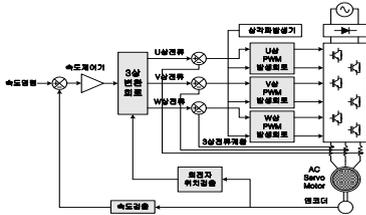


그림 5. AC 서보 시스템의 속도제어부  
Fig. 5. AC servo system speed control unit

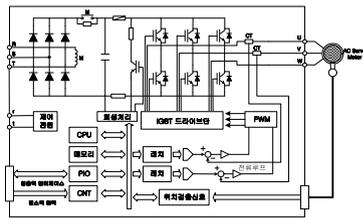


그림 6. AC 서보전동기 위치제어부  
Fig. 6. SRM whole system applying

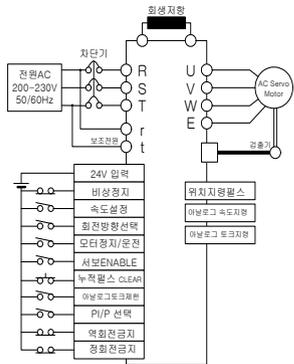


그림 7. AC 서보전동기 구동 드라이버  
Fig. 7. AC servo motor drive

그림 6에서 AC 서보전동기 속도제어부와 달리 위치 제어부에서는 입력 지령이 위치지령인 펄스열로 구성되어 있다. 지령 펄스와 위치제어용 엔코더에서 피드백 펄스의 편차 펄스를 측정하는 편차 카운터를 내장하여 편차 카운터의 출력을 속도 지령으로 한 위치 루프를 설계 하였다. 이러한 설계를 기반으로 입력신호로서 편차 카운터의 내용을 클리어하는 CL기능, 지령 펄스를 저지하는 INH 기능, 출력신호로서 편차 카운터의 정지펄스가 어떤 일정치를 초과했을 때 출력하는 OVER 기능, 정지 펄스가 일단 일정치 이하로 되었을 때 출력하는 COIN 기능 등을 적용하였다.

그림 7은 AC 서보전동기 구동을 위한 드라이브 구성으로 외부 입출력 전원 +24(Vdc)±10%, 1.0[A] 이상의 전원 인가를 위한 입력 단자와 비상 발생 시 강제로 서보 드라이버의 모든 입력상태를 무시하고 전동기를 급 감속 시킨 후 전동기 구동을 차단하기 위한 비상정지가 가능하도록 설계하였다. 또한 전동기를 정지/운전을 위해서 속도 명령값을 강제로 차단하거나 서보전동기의 구동 가능 여부를 결정하는 서보전동기 구동 명령을 사용한다. 아날로그 토크 제한 명령 단자에 입력된 토크 제한 신호의 사용 여부에 따라 아날로그 토크 제한과 디지털 토크 제한의 사용을 결정할 수 있다. 설계된 드라이브에서는 PI와 P 제어기 두 가지 종류의 속도제어기를 선택 단자에 의해 결정할 수 있도록 하였다.

3. 시스템 구동 기능 설계

디지털 방사선 검사장치(DR)를 구동하기 위한 동작은 그림 8의 순서도와 같이 1)~5)에서 설명한 각 기능에 대해 구동될 수 있도록 설계하였다. 또한 서보 드라이버는 주회로가 콘덴서 입력형으로 되어 있기에 충전 시간 0.3~0.5초 동안 큰 충전전류가 흐른다. 따라서 주전원의 on/off 빈도가 많게 되면 주회로 소자의 열화로 인해 고장의 원인이 되기 때문에 전동기 운전 및 정지를 서보 드라이버의 Enable 단자에 의해 처리하였다.

- 1) 단상이나 3상 전원을 투입 후 약 100ms 후 제어 전원이 확립되고 제어프로그램이 초기화될 수 있도록 설정하였다. 초기치 설정은 패널부의 속도를 내부적으로 설정하는 것으로 본 연구에서는 평균 0.3[m/s]로 설정하였다.
- 2) 구동장치에 알람 발생 시 PWM이 차단되고 전동기는 정지하며 알람 발생 원인을 제거하고 최소한 10초 후에 주전원을 재투입한다. 알람의 발생은 비상정지 시와 서보 드라이버의 출력단자가 단락

되거나 출력 과전류시 과전류 알람이 발생하도록 하였다.

- 3) 알람 발생이 없는 경우 패널부와 튜브부의 전동기의 초기원점 확보를 위해 두 전동기는 한 방향으로 회전하여 리미트스위치에 의해 정지하게 된다. 리미트스위치는 기구적으로 정확히 수평 위치에 부착되어있으므로 패널부와 튜브부의 상하 동작 범위를 지정하게 된다.

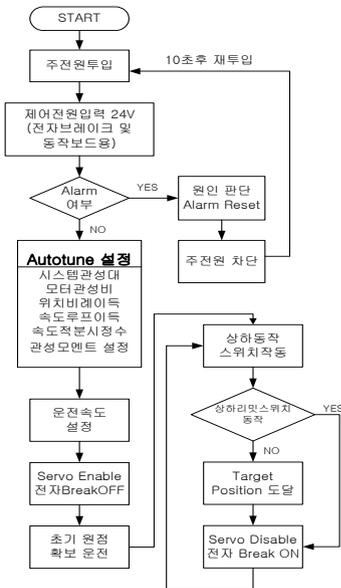


그림 8. 디지털 방사선 검사장치(DR) 동작 순서도  
 Fig. 8. Digital Radiography Inspection System (DR) Operation Flowchart

- 4) 환자의 환부 위치에 따라 상하 동작 스위치에 의해 패널부가 상하로 움직이며 상하 리미트 스위치가 동작하지 않는 범위에서 환부 위치까지 이동하게 된다. 패널부의 이동에 따라 패널부 주 전동기의 엔코더 펄스를 위치지령으로 입력받는 튜브부 전동기는 패널부의 위치를 추종하도록 동작한다.
- 5) 상하 동작 스위치는 누름 버튼 스위치로 구성되어 있으며 스위치로부터 손을 떼면 정지와 동시에 전자브레이크가 작동하여 정지한 위치를 유지해준다.

#### 4. 데이터 입출력 보드 설계

패널부의 움직임을 튜브부가 추종하는 디지털 방사선 검사장치(DR)에서 패널부의 위치와 튜브부의 위치가 동일함을 확인하기 위하여 두 전동기로부터 엔코더 펄스를

입력받아 비교하는 방법을 사용하였다.

또한 경제성을 고려한 저가의 전동기 드라이브 개발 시 상위제어기를 그림 9와 같이 AC 서보전동기 2대의 위치정보를 받기 위한 엔코더 인페이스 부분과 각 상전류를 측정할 수 있는 A/D 컨버터, 제어량을 보내기 위한 D/A 컨버터부, PWM 발생부 및 별도의 8255를 내장한 데이터 입출력 카드를 설계하였다.

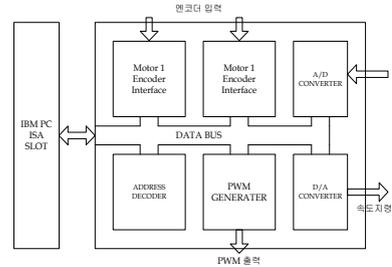


그림 9. 데이터 입출력보드 구성도  
 Fig. 9. Data input/output board configuration

#### IV. 실험 결과

본 논문에서는 디지털 방사선 검사장치(DR)에서 X-ray 튜브와 디스플레이 패널부의 동기적인 상하 동작을 목표로 AC 서보 시스템을 설계하였다. 두 대의 AC 서보 전동기의 위치를 판별하기 위해서 각각의 엔코더로부터 출력되는 펄스 수의 계수를 통하여 1회전 시 2,000 펄스 출력을 4체배하여 8,000 펄스를 사용하였다.

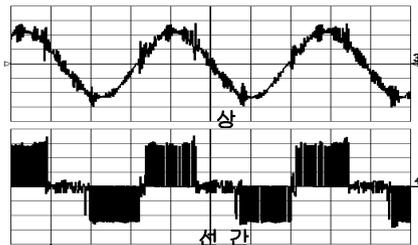


그림 10. AC 서보전동기의 선간전압과 상전류  
 (상전류 : 1A/div, 선간전압 : 100V/div)  
 Fig. 10. Line voltage and phase current of AC servo motor

그림 10은 디지털 방사선 검사장치(DR)를 구동시 AC 서보전동기의 선간전압과 상전류의 파형으로서 스위칭에 의한 PWM 전압 파형과 정현파 형태의 상전류 파형의 결과를 확인할 수 있다.

그림 11은 정현파 상전류 파형을 갖는 AC 서보전동기의 위치정보 파형으로서 일정한 주기의 펄스 형태를 나타내고 있음을 보여주고 있다. 또한 각 상의 출력파형 사이에는 전기적으로 120도의 전기적인 위상차가 나타남을 알 수 있다. 또한 그림 12에서는 본 논문에서 제작된 디지털 방사선 검사장치(DR)와 서보시스템의 외형을 보여주고 있다.

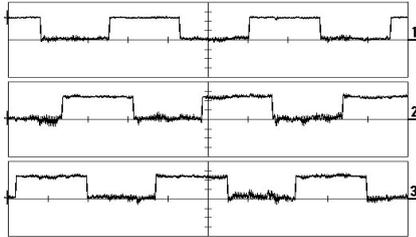


그림 11. AC 서보전동기의 위치정보  
Fig. 11. AC servo motor position information



그림 12. 디지털 방사선 검사장치(DR)와 서보시스템 외형  
Fig. 12. Digital radiation inspection system (DR) and servo system appearance

## V. 결 론

디지털 방사선 검사 장치(DR)는 안정성과 고신뢰성이

필요하지만 이러한 시스템은 현재 최첨단 기술로 일본을 비롯한 유럽제품에 의해서 국내시장은 거의 점유된 실정이다. 따라서 본 연구를 통하여 고정도 제어기와 신뢰성과 경제성이 있는 고성능 전동기를 탑재 및 안전성과 정확성 있는 AC 서보시스템을 설계 및 제작을 통하여 디지털 X-ray 시스템의 촬영응용에 부합하는 성능을 확인하였다.

## References

- [1] H. S. Ahn, "Digital Radiography", Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 33, No. 1, PP. 80-95, 2013.
- [2] Diagnostic Medical Device Industry Analysis and Policy Bureau, Korea Health Industry Development Institute, 2020.
- [3] D. H. Yim, G. B. Kim, D. I. Kim, H. K. Lee and S. J. Lee, "Development of X-ray PIV System Using a Medical X-ray Tube," Proceedings of Fluids Engineering, pp 403~406, 2006.
- [4] J. R. Hendershot and T. J. E. Miller, Design of Brushless Permanent-Magnet Motor, Oxford: Oxford Science, 1994.
- [5] T. Kenjo and S. Nagamori, Permanent Magnet and Brushless DC Motors, Tokyo: Sogo Electronics, 1984.
- [6] D. C. Hanselman, Brushless Permanent-Magnet Motor Design, New York: McGraw-Hill, 1994.

## 저 자 소 개

### 정 성 인(정회원)



- 2001년 : 동국대학교 전기공학과(공학사)
- 2003년 : 한양대학교 전기공학과(공학석사)
- 2015년 : Technical University Braunschweig 전기정보물리 공학과(공학박사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 광주대학교 AI자동차학과 교수
- 주관심분야 : 전기구동 퍼스널 이-모빌리티 부품 및 시스템

※ 이 연구는 2022년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.