

Python을 이용한 GUI 기반의 4축 제어 시스템 설계 및 제작

장현지* · 박승범* · 김지원* · 유은서* · 이동욱* · 이승대**

Design and Fabrication of GUI-based 4-Axis Control System using Python

Hyeon-Ji Jang* · Seung-Bum Park* · Ji-Won Kim* · Eun-Seo You* · Dong-Wuk Lee* · Seung-Dae Lee**

요약

정밀 설비 기술의 발전으로 4축 CNC 정밀 가공 기술의 중요성이 증대되고 있다. 그러나, 복잡한 형상 가공으로 인해 시스템 구동은 어려운 실정이다. 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위해 4축 제어 구조물을 제작하고, 상용 프로그램을 이용없이 Bresenham's Line Algorithm과 Runspeed Algorithm을 구현하여 정밀 제어 및 효율성을 비교하였다. Runspeed를 적용할 경우 Bresenham 대비 약 12.03%의 오차 개선과 곡률 정밀도 향상이 있었으며, 회전축 A모터를 구동하여 입체 구조물에도 정밀한 가공이 가능함을 확인하였다.

ABSTRACT

With the development of precision facility technology, the importance of four-axis CNC precision processing technology is increasing. However, due to complex shape processing, it is difficult to operate the system. This paper compared precision control and efficiency by manufacturing a four-axis control structure to solve this problem and implementing Bresenham's Line Algorithm and Runspeed Algorithm without using commercial programs. When Runspeed was applied, there was an error improvement of about 12.03% and curvature accuracy improvement compared to Bresenham. It was confirmed that precise processing was possible to a three-dimensional structure by driving a rotary shaft A motor.

키워드

Bresenham Algorithm, CNC System, Python, Stepmotor, 4-Axis
브레젠햄 알고리즘, CNC 시스템, 파이썬, 스텝모터, 4축

* 남서울대학교 전자공학과 (ee.hyeon.ee@gmail.com, sm718124@naver.com, kjw4368@naver.com, vegayes@naver.com, wok9118@naver.com)

** 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과

• 접수일 : 2023. 11. 01
• 수정완료일 : 2023. 12. 22
• 게재확정일 : 2024. 02. 17

• Received : Nov. 01, 2023, Revised : Dec. 22, 2023, Accepted : Feb. 17, 2024
• Corresponding Author : Seung-Dae Lee
Dept. of Electronic Engineering, Namseoul University,
Email : seungdae@nsu.ac.kr

I. 서 론

현재 생산 공정에서 정밀설비 기술에 관심이 증가하고 있어, 이를 발전하기 위한 노력이 집중되고 있다. 정밀 가공을 위해서는 고능률화와 고정밀화 기술이 필수적으로 요구되고 있으며, 이에 따라 고속화, 지능화 등과 관련된 생산 기술의 발전이 요구되고 있다. 그리하여 4축 CNC 가공 기술은 다양한 산업 분야에서 뛰어난 정밀성과 생산성, 안정성까지 제공하고 있다[1-2]. 이러한 이유로 4축 CNC 가공 기술에 대한 관심이 급증하고 있으며, 시장 규모 및 전망 또한 지속적으로 늘어날 것으로 보인다[3]. 4축 CNC 시스템은 기본적으로 3축 시스템에 회전축을 추가한 구조로 부품 요소가 추가되어 비용 증가와 오작동 문제를 야기할 수 있다[4]. 또한 구조적 제약으로 인해 충돌과 손상의 위험이 있으며 회전축을 고려하여 작업 경로를 계산하는 프로그래밍이 복잡할 수 있다[5-6].

이를 보완하기 위한 하드웨어 부분에서는 4축 CNC 시스템 설계 시, 각 축에 대한 Limit Endstop Switch와 Emergency Stop Switch 추가 설치, 모터 부하 개선 및 단차 개선 등의 방법이 있다[7]. 그리고 소프트웨어 부분에서는 4축 시스템 제어 방법으로 Bresenham's Line Algorithm 기법과 거리 비율에 대한 등속도 Runspeed 기법 등이 있다.

4축 시스템을 G-code 명령어로 위치제어 하기 위해서는 각 축의 모터들이 목표값까지 개별적으로 동작해야 하므로 비동기적인 제어 방식을 적용해야 한다[8]. 그러므로 Bresenham's Line Algorithm 기법을 이용하였지만, 이 기법은 복잡한 계산을 생략하고자 정수형으로 받아오기 때문에 실수형을 가진 명령어를 정밀하게 제어하기가 어렵다[9]. 이를 보완하여 거리 비율에 대한 등속도 Runspeed 기법은 비동기적인 모터 제어와 실수형 계산까지 가능하여 정확도를 높여 구동할 수 있다. 기존의 비동속 알고리즘을 이용한 3축 제어 구조물은 오픈소스 펌웨어인 Grbl을 상용 프로그램인 UGS를 이용해 제어하였다[10]. 이는 평면 외에는 작업이 불가능하고 UGS에 적용된 특정 소프트웨어가 아니면 제어할 수 없으며, Grbl은 아두이노 보드로 4축 제어가 불가능한 한계점이 존재한다.

따라서 본 논문에서는 기존의 3축 구조물 X, Y, Z 축에 추가로 회전축을 갖춘 4축 CNC 기계를 제작하

고자 한다. 그리고 상용 프로그램을 사용하지 않고 객체 지향 프로그래밍 언어인 Python을 활용하여 GUI(Graphics User Interface)를 구현하고, 상속, 추상화, 캡슐화 등의 객체 지향적 특성을 적용하면서 확장성 있는 4축 제어 프로그램을 제작하고자 한다.

II. 4축 제어 시스템 설계

2.1 하드웨어 제작

본 논문에서는 0.9도 스텝으로 위치를 정밀하게 제어할 수 있는 X, Y, Z축과 회전 각도를 조절하는 A축을 조합하여 4축 제어 구조물을 제작하였다. 그림 1은 하드웨어 시스템의 구성도로, 아두이노와 결합한 CNC Shield에 A4988 모터 드라이버를 각 축마다 장착하여 모터를 제어하였다. 아두이노 우노는 표준 아두이노 보드로, 내장된 전용 마이크로컨트롤러와 USB 연결을 통해 Serial 업로드 및 기기 간 통신을 지원하는 보드이다[11-12]. 그리고 Emergency Stop Switch와 각 축에 Limit Endstop Switch를 추가 설치하여 오차 발생 경우 등을 대비하였다. 4축 구조물을 제작하기에 앞서 길이, 단차 등의 오류를 최소화하고자 AutoCAD로 그림 2(a)의 설계도를 구상한 후 그림 2(b)와 같은 4축 제어 구조물을 제작하였다. 기본적으로 위치를 이동하는 축은 스텝모터를 커플러와 베어링을 사용하여 리드 스크류와 연결하였고 안정도를 증가시키기 위해 양쪽에 연마봉을 연결하였다. 또한, Y축은 베어링을 양쪽에 2개씩 설치하면서 모터의 부하를 줄이는 역할을 하였다.

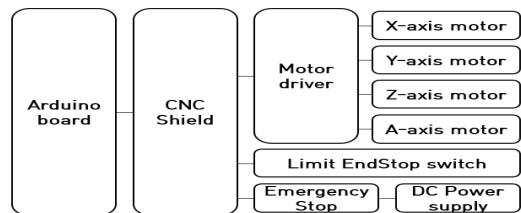
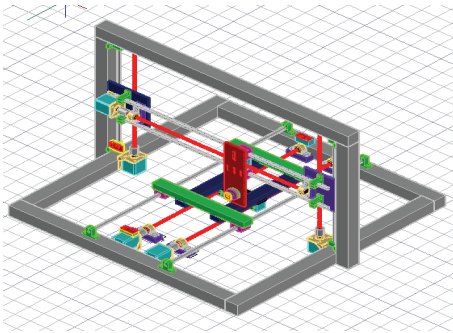


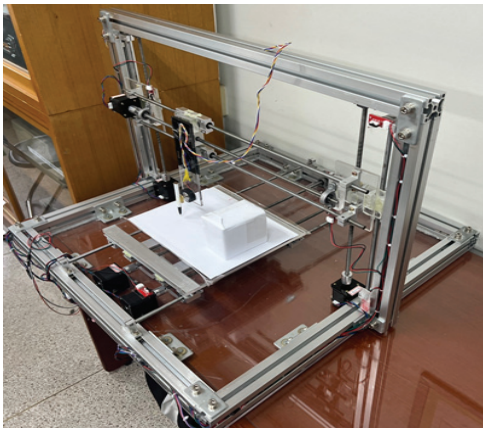
그림 1. 하드웨어 시스템 구성도

Fig. 1 Hardware system configuration diagram



(a) AutoCAD로 구현한 4축 제어 구조물 설계도

(a) Design of 4-axis control structures implemented by AutoCad



(b) 제작된 4축 제어 구조물 사진

(b) Figure of 4-axis control structures produced

그림 2. 제작된 4축 제어 시스템

Fig. 2 Manufactured 4-axis control system

2.2 소프트웨어 구성

그림 3은 4축 구조물을 동작하기 위한 소프트웨어 구성도를 간략하게 나타낸 것이다. 4축 제어를 이용자가 편리하게 사용하기 위해 Python을 활용하여 GUI를 제작하였고 아두이노와의 Serial 통신 방식을 이용해 Python이 가진 데이터 또는 아두이노가 가진 데이터를 송·수신하는 환경을 구축하였다. 본 논문에서는 모터를 구동하는 기능에 대한 작업 데이터를 Python이 아두이노에 송신하면서 모터를 제어한다. 반대로 아두이노는 Python Console에 출력할 값, G-code를

제어하기 위한 종료 신호에 대한 값, 모터가 위치한 좌표 값 또는 이동하고 있는 현재 위치 값을 Python에 송신한다.

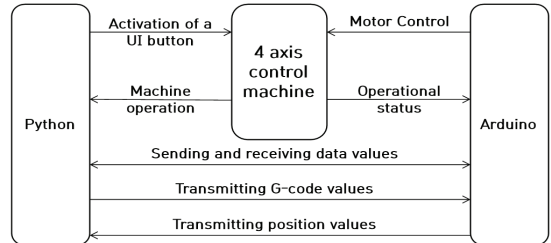


그림 3. 소프트웨어 시스템 구성도

Fig. 3 Software system diagram

2.3 G-code 알고리즘

본 논문에서는 Python이 인식한 G-code의 목표 거리를 아두이노로 송신하여 해당 스텝 수를 갱신한다. G-code 한 줄에는 최소 1개에서 최대 4개의 축을 받아 비동기적으로 모터를 구동해야 한다. 그리하여 Bresenham's Line Algorithm, 또는 거리 비율에 대한 Runspeed Algorithm을 제작하여 모터를 구동하였다.

Bresenham's Line Algorithm은 이동하는 각 축의 변위 값을 정수로 계산하여 직선 구동을 진행하는 알고리즘이다. 가장 큰 축을 기준으로 하여 1 step 씩 증가하는데, 다른 축은 가까운 정수 값을 찾아 동작하게 된다. 여기서 해당 축을 한 번 건너뛸 때마다 over에 이동할 거리의 값을 누적한다. 기준 축의 변위가 다른 축의 over 값보다 크거나 같은 경우 해당 축의 모터가 1 step 씩 이동하면서 비율에 맞게 모터를 구동하여 수신받은 목표 값에 도달할 수 있도록 한다.

그림 4는 Bresenham의 비율 식을 참고하여 등속도로 모터를 제어하는 Runspeed Algorithm이다.

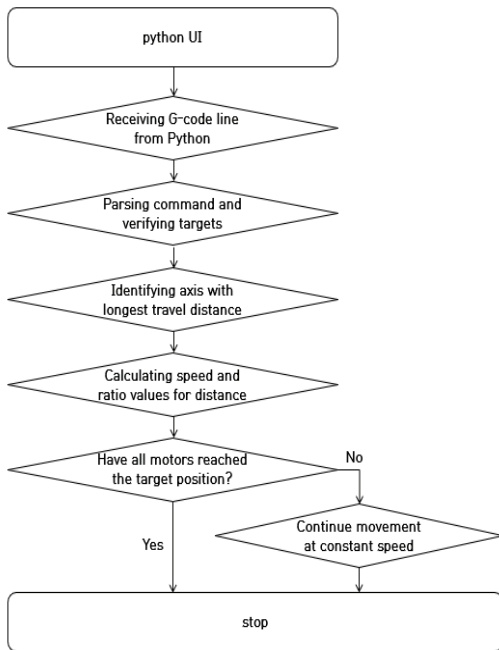


그림 4. Runspeed algorithm 흐름도
Fig. 4 Runspeed algorithm flowchart

Code가 해당 목표까지 계속해서 이동하기 때문에 중간 멈춤이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 그러므로 Accelstepper.h의 Runspeed를 이용하여 각 축의 이동의 비율을 계산한 후 모터를 동시 동작 및 제어가 용이한 Runspeed Algorithm을 구현하였다. Runspeed Algorithm은 G-code의 목표 값을 받아와 절댓값을 취한 후 최장 축을 계산하였다. 각 축의 이동에 대한 비율을 얻어야 하므로 이동 값에 최장 축을 나눠 각 축에 해당하는 speed값을 $v = s/t$ 를 적용하여 계산하면서 가장 빠른 축의 speed를 maxspeed값에 저장하였다. 그리고 등속도로 움직일 speed의 값을 최대속도가 넘지 않도록 조정하는 portion 값에 maxspeed값에서 초기 설정된 speed 값을 나눈 값을 저장하였다. 그러므로 모터를 동작하기 위해 필요한 등속도 speed 값은 $speed/portion$ 이다. 속도가 정해졌으므로 이동에 대한 비율과 방향 값, 현재 위치 값을 계산하여 목표 스텝까지 각 축을 if 문에 따라 $speed/portion$ 값으로 등속 동작하면서 모터를 구동하게 된다. 목표 값에 도달하면 stop을 받기 때문에 목표를 벗어나는 오차 값에 대한 영향을 줄이면서 구동할 수 있도록 Runspeed Algorithm을 제작하였다.

Bresenham's Line Algorithm으로 구동하는 방식은

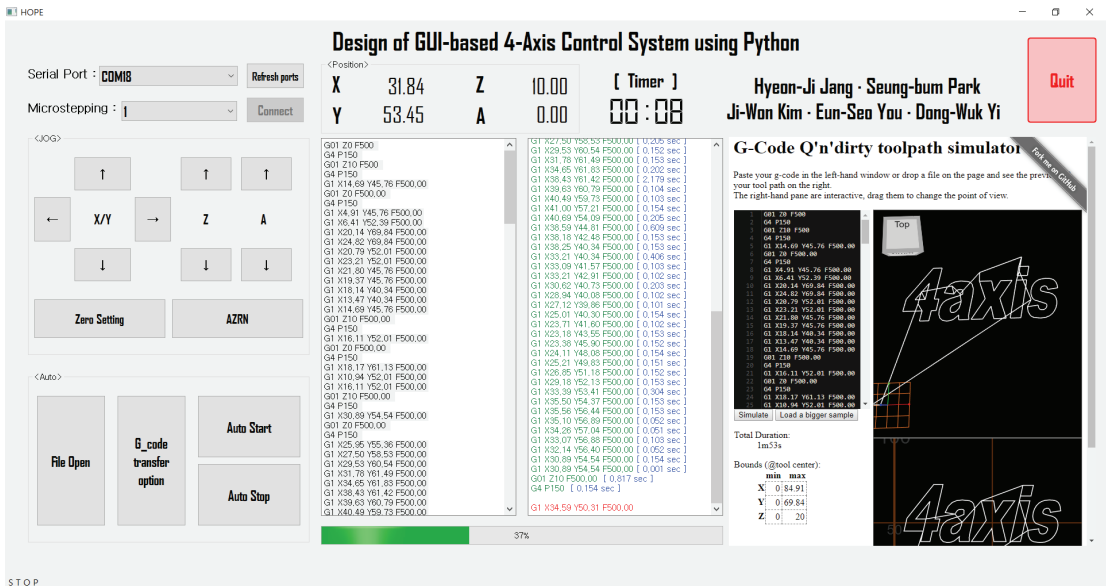


그림 5. 다축 제어 시스템 GUI
Fig. 5 Multi-axis control system GUI

2.4 Python GUI 설계

그림 5는 4축 시스템을 제어하는 GUI를 구성한 화면이다. 4축을 제어하기 위해서는 GUI와 아두이노가 USB Port를 통해 Serial 통신 방식을 이용하여 버튼 및 기능들을 사용할 수 있다. 기본적으로 구성된 컴포넌트들은 GUI 편집을 편리하게 작업할 Tool을 제공하는 Qt designer 프로그램을 이용해 제작하였다. 구성 컴포넌트들은 크게 수동운전을 진행하는 Jog와 G-code를 동작하는 Auto 기능 버튼, 업로드된 File을 표시하는 작업 창과 G-code를 입체 형태로 변환하는 옵션 창, 아두이노에 G-code를 한 줄씩 송신한 현황을 표시하는 작업 창, Progressbar, 모터 현재 위치 등을 구성하였다. GUI에서 모터에 대한 정보 값을 받아오기 위해서는 항상 데이터를 수신할 수 있는 상태가 되어야하기 때문에 Python의 QThread를 이용하여 G-code 송신, 수신하는 값에 대한 다중 Thread를 구현하면서 원활한 정보량을 받을 수 있도록 설계하였다. 또한, 동작할 G-code의 결과값을 직관적으로 파악하기 위해서 Simulator 웹사이트를 GUI와 연결하여 출력물에 대한 정보들을 쉽게 파악할 수 있도록 구현하였다.

2.5 A축 G-code 변환

그림 6은 입체적 구조물에서도 동작할 수 있도록 입체 G-code로 변환하는 옵션 창이다. 평면 G-code를 입체적 형태로 변환하기 위해 구조물 형태, 위치(Y), 너비(X), 높이(Z)의 정보를 입력하면, 회전축이 돌아갈 위치, 이동해야 할 거리 등의 정보를 고려하여 G-code의 값을 변환하도록 구현하였다. 입체적 구동은 A축의 각도 조절을 이용하기 때문에 기준 축과 다른 step 및 보정 값을 받아야 한다. 아두이노에서 보정 값이 mm 단위이기 때문에 90°를 기준으로 이동해야 할 각도의 step으로 계산하여 구동할 수 있도록 제작하였다.

III. 실험 및 고찰

3.1 Bresenham과 Runspeed의 정확도 비교

표 1의 결과는 그림 7을 Runspeed Algorithm과 Bresenham Algorithm을 사용하여 출력한 정확도를

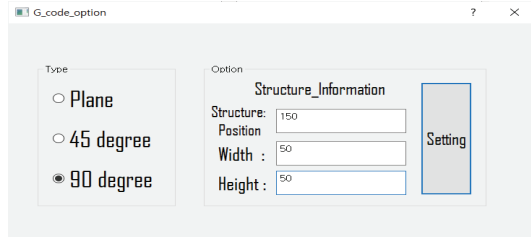


그림 6. G-code 변환 옵션 창
Fig. 6 G-code conversion options window

실험한 값이다. 출력물의 최대 이동 기준값은 33.26mm로, Runspeed의 경우 원점으로 정확하게 복귀하여 0%의 오차율을 보인다. 그러나, Bresenham의 경우 구동 시, 4mm의 오차를 가져 정확도가 12.03%의 오차율을 보인다.

그림 7을 분석한 결과 Bresenham의 경우에는 '4axis' 글자 중 'is' 부분이 내려감을 보이고 있으며, 's' 글자의 윗부분에서 곡률이 아닌 직선 표현이 출력되어 곡률에 대한 오차가 발생함을 확인할 수 있다. 이러한 정밀도 차이가 발생한 원인은 Bresenham이 정수 값만을 고려하고 소수점 이하의 값들을 무시하기 때문이다. 이는 정밀한 계산이 필요한 가공 작업에는 부적합하다는 것을 의미하며, 이를 보완하여 실수값을 받아와 거리의 비율을 이용해 동작하는 Runspeed를 사용하는 것이 4축 제어 시스템의 정확도를 높이는 방법으로 적합함을 알 수 있다.

표 1. 출력물 정확도 실험
Table 1. Experiment of Results Accuracy

Measure	XYZ movement total displacement [mm]	Error rate [%]
Speed	33.26	0
Bresenham	29.26	12.03

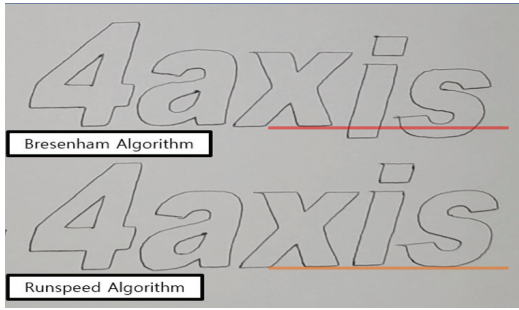
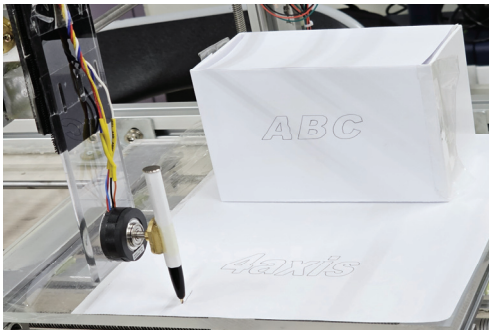


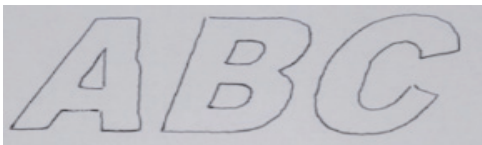
그림 7. Bresenham algorithm과 Runspeed algorithm을 적용한 출력물
Fig. 7 Output with Bresenham algorithm and Runspeed algorithm

3.2 입체 구조물 90°에 출력

그림 8(a)와 그림 8(b)는 입체 구조물의 평면에 '4axis'와 벽면에 'ABC'를 출력한 결과물이다. 이는 앞서 정확도가 높은 Runspeed를 이용하여 출력하였다.



(a) 평면과 입체 구조물에서의 출력물
(a) Output for planar and stereoscopic structures



(b) 입체 구조물에서의 출력물
(b) Output for stereoscopic structures

그림 8. Runspeed Algorithm을 이용한 평면과 입체 구조물에서의 출력물

Fig. 8 Output for planar and stereoscopic structures using Runspeed Algorithm

IV. 결론 및 향후 개선 방향

CNC 시장 규모가 성장함에 따라 4축 CNC 제어 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 3축 제어 기술은 주로 평면 가공에 사용되었지만, 다축 제어 기술은 3차원 공간에서도 복잡한 형태나 내부 가공까지 정밀하게 수행할 수 있으며, 고속 및 고정밀 가공이 가능하다. 그러나, 3축 제어에 사용되는 프로그램인 UGS와 오픈소스 Grbl 펌웨어는 4축 시스템을 구동하기 위해 시스템 구성 및 기능에 대해 알아야 하며, 복잡한 코드를 수정해야 하는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 3축 제어 구조물에 각도를 활용한 회전축 A를 추가하여 4축 제어 구조물을 제작했다. 이를 구동하기 위해 상용 프로그램을 사용하지 않고 직접 Python GUI를 구현하였으며, Bresenham's Line Algorithm과 거리 비율을 이용한 Runspeed Algorithm 방법을 적용하여 4축 시스템의 비동기적 구동 및 정밀 제어 알고리즘을 파악했다. 구현한 알고리즘을 적용하여 글자를 출력한 결과 Runspeed Algorithm일 때, 오차율이 0%라는 것을 확인하였지만, Bresenham Algorithm의 경우 약 12.03%의 오차율을 가진 것을 확인할 수 있다. 따라서, 정밀하고 효율적으로 가공할 수 있는 Runspeed Algorithm 기법을 적용하여 A축 모터를 구동한 결과 입체 구조물에서도 가공할 수 있음을 확인했다.

향후에는 Runspeed Algorithm에 acceleration 값을 적용하여 비동기적인 모터 제어와 비선형 알고리즘을 이용한다면 보다 빠른 가공시간과 높은 정밀도를 갖춘 다축 제어가 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 “2023년 봄철학술대회 우수논문”입니다.

References

- [1] S. Jee and H. Lee, “Integrated Controller Design for Multi-Axis CNC Systems,” *J. of the Korean Society of Precision Engineering*, vol. 23

no. 5, 2006, pp. 93-102.

[2] H. Cho, K. Kim, H. Jang, J. Jeon, and S. Lee, "PLC and Arduino CNC Control for Comparison of 2D Outputs," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 6, Dec. 2021, pp. 1295-1302.

[3] Korea Innovation Foundation[INNOPOLIS], "Computer Numerical Control (CNC) Machine Market" *The Global Market Trend Report*, Aug. 2021, pp. 1-27.

[4] J. Kim, M. Song, C. Lee, C. Moon, and J. Lee, "Study on Welding Systems for Efficient Joining of Stainless Steel Pipes (I) - Development of a Four-Axes Control Automatic Welding System," *J. of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 41, no. 9, 2017, pp. 819-824.

[5] M. Kim and J. Lee, "Education of CNC Machining Using Knowledge based System," *J. of the Korean Institute for Practical Engineering Education*, vol. 2, no. 1, 2010, pp. 58-63.

[6] W. Jang, "Development of the Triaxial CNC Machine Tool for the General-Purpose PC-based Education," Master's Thesis, *Gyeongsang National University Graduate school of convergence science and technology*, Feb. 2016.

[7] H. Ngo, "Development of the Embedded Motion Controller Supporting the Software PLC functions," Master's Thesis, *Dong-Eui University Graduate school of intelligent system engineering*, Feb. 2009.

[8] J. Yang and S. Kwak, "Fault-Tolerant Control of Input/Output Asynchronous Sequential Circuits with Transient Faults Violating Fundamental Mode," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 3, June 2022, pp. 399-408.

[9] S. Lee and Y. Hong, "A Modified Bresenham's Line Drawing Algorithm Using Symmetrical Property of Line Segment," *Trans. of the Korea Information Processing Society*, vol. 6, no. 8, 1999, pp. 2213-2221.

[10] B. Cho, H. Lee, W. Choi, Y. Kim, and S. Lee,

"Design and Implementation of 3-Axis Control System using The Non-Linear Algorithm," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 17, no. 5, Oct. 2022, pp. 833-840.

[11] G. Heo and D. Ryu, "Unified Programmer for AVR-Based Arduino-Compatible Boards," *J. of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 25, no. 1, Jan. 2021, pp. 96-101.

[12] J. Choi, C. Kim, C. Lee, G. Choi, and B. Lee, "Outdoor Care System using WEMOS and Arduino MEGA," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 18, no. 4, Aug. 2023, pp. 677-686.

저자 소개

장현지(Hyeon-Ji Jang)



2020년 3월~현재 남서울대학교
전자공학과 재학
2024년 남서울대학교 전자공학과
졸업예정

※ 관심분야 : 전력전자, 통신시스템

박승범(Seung-bum Park)



2017년 3월~현재 남서울대학교
전자공학과 재학
2024년 남서울대학교 전자공학과
졸업예정

※ 관심분야 : 전력전자, 통신시스템

김지원(Ji-Won Kim)



2017년 3월~현재 남서울대학교
전자공학과 재학
2024년 남서울대학교 전자공학과
졸업예정

※ 관심분야 : 전력전자, 시스템 설계, 통신시스템



유은서(Eun-Seo You)

2020년 3월~현재 남서울대학교
전자공학과 재학
2024년 남서울대학교 전자공학과
졸업예정

※ 관심분야 : 자동제어, 프로그래밍, 통신시스템



이동욱(Dong-Wuk Lee)

2017년 3월~현재 남서울대학교
전자공학과 재학
2024년 남서울대학교 전자공학과
졸업예정

※ 관심분야 : 통신시스템



이승대(Seung-Dae Lee)

1990년 단국대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1992년 단국대학 대학원 전자공
학과 졸업(공학석사)

1999년 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학
박사)

1995년 ~ 현재 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 유무선통신시스템, 네트워크 보안