

교육용 소형 SMT 플랫폼 설계에 관한 연구

¹ 박세준

A Study on the Design of Small SMT Platform for Education

¹Se-Jun Park

요약

본 논문은 SMT라인의 핵심 기술인 칩마운터의 보급을 위해 교육연구용이나 샘플제작을 목적으로 사용이 가능한 3D 프린터 기술기반의 칩마운터를 설계하고 제작하였다. 저가형 구동부 설계를 위해 오픈루프제어가 가능한 스텝모터를 사용하였다. 스텝모터 사용으로 발생하는 모터의 진동, 탈조 등의 특성상 단점은 마이크로스텝제어 방법을 이용하여 보완하였다.

칩마운터 실험은 제작한 소형 칩마운터에 거버파일을 생성하고 실제 크기로 프린트하여 샘플보드 제작과 동일한 방법으로 HASL 처리되어 있는 PCB에 솔더크림을 프린팅한 후 부품을 실장하여 여러 번 반복해서 수행하였다.

실험결과 2012 미소부품과 달리 보정이 필요한 SOIC, TQFP 등의 부품은 부품 실장 시간이 2배정도 길었지만 비교적 정확히 실장되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 초기 위치에 대한 오차를 총 10회에 반복하여 측정한 결과 약 0.110mm의 비교적 적은 오차가 발생함을 확인할 수 있었다.

Abstract

This paper designed and manufactured a chip mounter based on 3D printer technology that can be used for educational research or sample production to disseminate chip mounter, a core technology of SMT line. A stepper motor with open loop control is used for low cost drive design. The shortcomings of the motor's vibration and disassembly caused by the use of the step motor were compensated by the Micro-Step control method.

In the chip mounter experiment, the gerber file was generated on the small chip mounter, printed at the actual size, and the solder cream was printed on the HASL-treated PCB in the same manner as the sample board fabrication.

As a result of the experiment, unlike the 2012 micro components, parts such as SOIC and TQFP that require correction are twice as long as the component mounting time, but it can be confirmed that they are mounted relatively accurately. In addition, as a result of repeatedly measuring the error of the initial position 10 times, it was confirmed that a relatively small error of about 0.110mm occurs.

Keywords: Chip Mounter, 3D printer, SMT, Micro-Step, Gerber, PCB

¹ 목원대학교 지능로봇공학과 교수(sjpark@mokwon.ac.kr)

I. 서론

전자기기에서 사용되는 인쇄회로기판(PCB: Printed Circuit Board) 표면에 전자부품들을 실장하는 기술을 표면실장기술(SMT: Surface Mounting Technology)이라 한다. SMT는 부품의 리드를 PCB 구멍에 삽입하지 않고, 솔더크림을 패드에 도포하여 이 위에 표면 실장부품을 삽입하고, 이를 Reflow Oven에 구워 납을 굳힘으로써 표면실장부품(SMD: Surface Mount Device)을 부착시키는 실장방법이다[1].

SMT 공정은 기판에 납을 도포하는 실크 프린트 공정, 부품을 위치시키는 마운트 공정, 납을 녹여 기판과 접합시키는 리플로우 공정으로 구성된다[2].

또한, SMT를 구현하는 제품군을 SMT 설비라 하며 SMT 생산라인을 구현하기 위해 다양한 형태의 설비가 사용된다. SMT 설비 중 부품을 정해진 위치에 올려놓는 칩마운터가 생산설비의 핵심이다[3]. 그러나 칩마운터는 대량 생산을 목적을 두고 속도 향상, 고정밀도 그리고 생산관리의 편의성을 제공하기 때문에 매우 고가의 설비이다. 고가의 설비는 전자회로나 제어기 등의 개발 단계나 샘플제작 단계에서는 사용이 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 고속은 아니지만 솔더크림을 프린팅해주는 방식과 3D 프린터 기술을 바탕으로 전자부품을 PCB에 부착할 수 있는 소형 SMT 플랫폼을 다양하게 개발하고 있다.

일반적으로 칩마운터는 전자부품을 흡착했을 때 중심점을 찾기 위해 카메라 또는 레이저센서를 이용하여 노즐의 위치를 보정하는 기능을 가지고 있다[1]. 그러나 대부분의 소형 SMT 플랫폼은 제작 단가를 낮추기 위해 조정 기능을 가지고 있지 않는 경우가 있다.

PCB 가공기와 PCB 프린터와 같은 3D 프린터 기술이 확산되면서 연구실 내에서 PCB를 제작하고 테스트할 수 있도록 기술이 발전되고 있다.

본 논문은 교육용 소형 SMT 플랫폼 설계에 관한 것으로 교육연구용이나 샘플제작을 목적으로 사용이 가능한 3D 프린터 기술기반의 칩마운터를 설계하고 제작한다. 실험을 통해 제안한 SMT 플랫폼의 성능을 검증한다.

II. 소형 칩마운트 설계

2.1 소형 칩마운트 설계

본 연구를 위해 설계한 소형 칩마운터는 그림 1과 같이 칩마운터 본체, Y축 이동모듈, X축 이동모듈, 흡착모듈, 기판 지지부, 기판고정부재 그리고 테이프 피더로 구성되어 있으며 그 기능은 표 1에서 보여주고 있다.

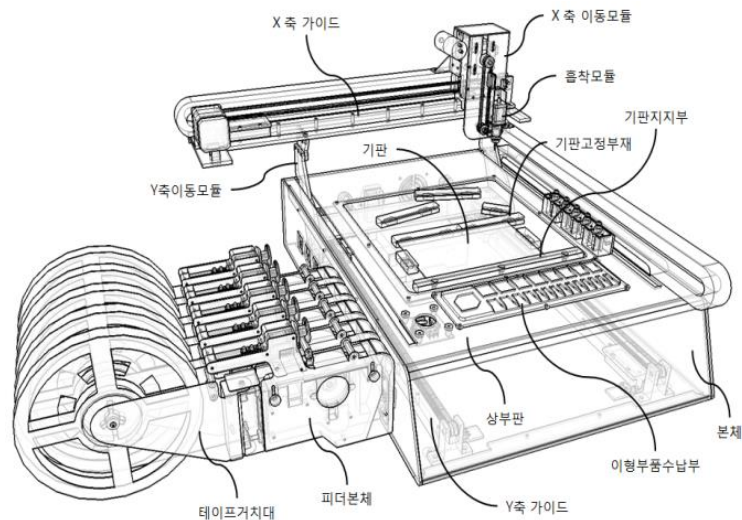


Figure 1. Small chip mounter design

Table 1. Small chip mounter configuration and features

Configuration	Features
Chip mounter body	Consists of board seating part for fixing the PCB and a part receiving.
Y axis moving module	Connected to the main body, it moves in the longitudinal direction along the Y axis.
X axis moving module	Connected to the Y axis moving module, it moves in the width direction along the X axis.
Adsorption module	Connected to the Y axis moving module, it seat them on the upper board of the main body with Adsorption of parts located in the parts storage.
Board support	Board fixing.
Board fixing member	Fixing multiple board regardless of board position.
Tape feeder	Consists of a tape reel holder and a feeder body that moves the tape reel containing parts.

2.1.1 구동부

스텝모터는 정류자(brush)가 없어 내구성이 뛰어나고, 직류모터와 교류모터에 비해 가격이 저렴하기 때문에 사무용 기기, 공장 자동화 기기, 가전 기기, 컴퓨터, 자동차 등 다양한 제품에 위치 제어를 위해 사용 되고 있으며 오픈루프도 각 위치제어가 가능하다[4-6].

스텝모터 NK244-01AT 은 X 축, Y 축, Z 축에 공통으로 사용되며 사용전압은 24V, 스텝각은 1.8° 그리고 2phase Bipolar 이다. 부품이 놓일 위치가 정방향으로만 설계되는 것이 아니기 때문에 진공흡착 노즐을 회전시켜 흡착된 부품을 설계된 방향으로 회전하여야 한다. 또한, 노즐은 회전체에 부착되어 있어야 하고 이 회전체는 진공흡착을 위한 Air flow 를 갖고 있어야 한다. 그러므로 노즐 회전을 위해 모터 축에 중공이 있는 스텝모터 OK20STH30-0604B-NK2.5 를 사용하였으며 사용전압은 3.9V, 스텝각은 1.8° 그리고 2phase Bipolar 이다. 그리고, 부품 릴 피더에는 스텝모터 14HR05-0504S 를 사용하였으며 사용전압은 8.5V, 스텝각은 1.8° 그리고 2 phase Bipolar 이다. 그림 2 는 연구를 위해 사용한 각각의 모터를 보여주며 표 2 와 표 3 은 각각의 모터 사양을 보여주고 있다.



Figure 2. Step Motor

Table 2. The Specification of NK244-01AT & OK20STH30-0604B-NK2.5

Model	Length	Holding Torque	Rated Current	Resistance Per Phase	Inductance Per Phase	Detent Torque	Rotor Inertia
		mNm	A	ohm	mH	mNm	g.cm2
NK244-01AT	39.3mm	450	0.5	25	50	15	57
OK20STH30-0604B-NK2.5	44mm	18	0.6	6.5	1.7	2	2

Table 3. The Specification of 14HR05-0504S

Model	Torque	Voltage	Current	Resistance	Inductance	Inertia	Bi/Unipolar	Weight	Length
	Ncm	V/Phase	A/Phase	Ohm/Phase	mH/Phase	g.cm ²	#of Leads	Kg	mm
14HR05-0504S	7	8.5	0.5	17	7.5	11	Bi(4)	0.08	12.5

2.1.2 이형 부품 위치 보정부

이형 부품의 보정은 흡착된 부품의 위치를 상하좌우 이동을 대각선으로 한 번씩 2 번 이동하여 보정이 수행한다. 그림 3은 이형 부품 위치 보정 방법을 보여주고 있다. 그림 3에서 L은 보정 블록의 거리, S는 보정 블록의 센터 거리, PL은 이형부품의 크기 그리고 M은 노즐의 이동거리를 나타낸다.

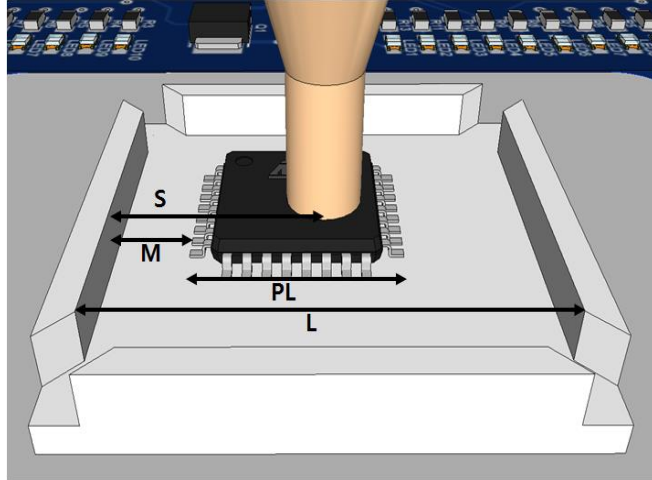


Figure 3. How to correct the position of the release part

2.2 소형 칩마운트 제어기 설계

칩 마운터의 제어기는 주제어기와 부품 공급을 하는 피더제어기로 분리하여 설계하였으며 RS-232C 통신을 통해 동작신호와 상태신호를 서로 주고받을 수 있도록 구성하였다.

주제어기는 PC와 통신을 통해 좌표값, 실장하는 부품의 순서, 현재 노즐의 위치를 실시간으로 주고받을 수 있도록 설계하였으며, 피더제어기는 정확한 부품공급을 위해 초기 위치를 설정할 수 있도록 설계하였다. 그림 4는 제어기의 전체 블록 다이어그램을 보여주고 있다.

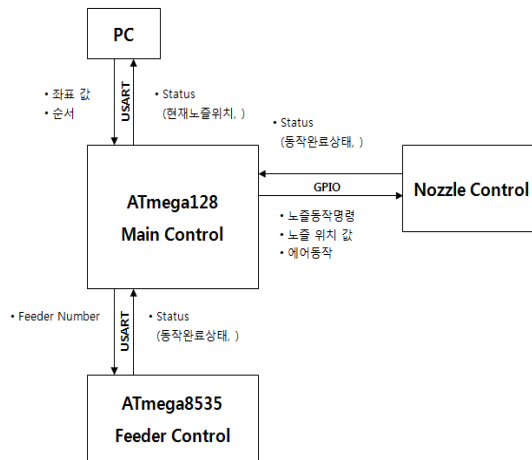


Figure 4. Block Diagram

ATmega128을 사용한 주제어기는 노즐제어보드와 연결할 수 있는 부분, X축 / Y축 / Z축 스텝모터를 제어하기 위한 리미트 센서(Limit Sensor) 인터페이스 부분, 조작스위치 연결부, 노즐 끝단 영점 위치를 보정하는 연결부, PC 인터페이스부로 구성되어 있다.

제어를 위한 스텝모터는 모터의 진동과 정밀 제어를 위해 별도의 마이크로스텝 드라이버를 사용하였다[7]. 표 4 는 마이크로스텝 드라이버 특성을 보여주고 있으며, 본 논문에서는 1/16 분주를 사용하여 1step 마다 12.47 μm 씩 이동한다.

Table 4. The characteristic of Micro-Step driver

SW1	SW2	SW3	SW4	Ratio	Rotation angle(°)	Moving distance(μm)
OFF	ON	ON	ON	1/1	1.8	199.49
OFF	ON	OFF	OFF	1/2	0.9	99.75
OFF	OFF	ON	ON	1/4	0.45	49.87
OFF	OFF	ON	OFF	1/8	0.225	24.94
OFF	OFF	OFF	ON	1/16	0.1125	12.47

또한, ATmega8535 를 사용한 피더제어기는 인터페이스를 위한 피더 스위치보드와 여러 개의 피더가 장착될 수 있기 때문에 각 피더를 구분할 수 위한 ID 부여용 DIP스위치를 사용하였다. 미소부품을 원하는 위치로 이동하기 위해 마이크로스텝 드라이버를 사용하였다.

III. 소형 칩마운트 제어

스텝모터를 구동하는 방식은 Full-Stepping 과 Half-Stepping 여자방식이 있으며, 스텝모터 1 펄스당 회전각도는 스테이터와 로터에 있는 톱니 수에 의해 정해지기 때문에 고속회전에서는 탈조 현상이 발생하고 중저속 회전에서는 공진현상이 발행할 수 있는 단점이 있다[8]. 이러한 단점을 해결하기 위해 본 논문에서는 오픈루프제어가 가능한 마이크로스텝 기법을 사용하였다[9]. 마이크로스텝 원리를 이용하여 모터 각상에 90° 위상차 정현파 전압을 인가하여 정밀도를 향상시켰다.

지령각 위치(θ^d), 지령상 전압의 진폭(V^d), 스텝모터의 톱니수(N_r) 이라 하면 A 상에 인가되는 전압(V_a)과 B 상에 인가되는 전압(V_b)은 식 (1)과 식(2)와 같이 나타낼 수 있다[10-11].

$$V_a = V^d \cos(N_r \theta^d) \quad (1)$$

$$V_b = V^d \sin(N_r \theta^d) \quad (2)$$

식 (1)과 식(2)를 이용하여 스텝모터를 구동하게 되면 회전자의 각위치(θ)가 지령각 위치(θ^d)로 회전한다. 이때, 안정도는 리아프노프(Lyapunov) 안정도에 의해 확인할 수 있다[12]. 각 코어의 저항을 R 이라 하면 A 상에 인가되는 전류(i_{ad})와 B 상에 인가되는 전류(i_{bd})는 식 (3)과 식(4)와 같이 나타낼 수 있다[10-11].

$$i_{ad} = \frac{V^d}{R} \cos(N_r \theta^d) \quad (3)$$

$$i_{bd} = \frac{V^d}{R} \sin(N_r \theta^d) \quad (4)$$

또한, “AVR446: Linear speed control of stepper motor” 어플리케이션 노트를 이용하여 추정 근사치를 정수형태로 적용할 수 있다[13]. 정수연산의 결과를 프로세서에 적용하여

타이머/카운터 주파수를 결정하는데 사용하였다. 하나의 타이머에서는 고정주파수를 사용하면서 실시간 속도 프로파일을 계산하였고 다른 타이머카운터는 스텝모터 제어를 위한 펄스를 만들어 속도 프로파일에 따라 4 가지 상태로 동작 시켰다. 그림 5 는 속도프로파일에 따른 4 가지 동작 상태를 보여주고 있다.

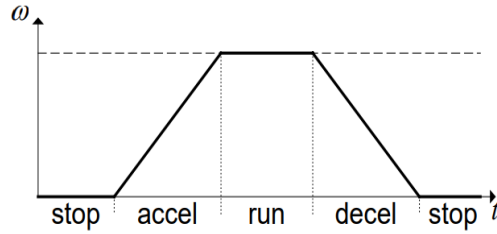


Figure 5. Operating states according to speed profile

스텝모터는 초기에 stop 상태로 유지하고 있다가 계산이 끝나면 타이머 인터럽트를 활성화하고 accel 상태로 스텝모터를 가속한다. 원하는 속도에 도달하면 run 상태를 유지하고 스텝모터가 0 이 될 때까지 decel 상태로 감속하고 속도가 0 이 되면 stop 상태로 변경되면서 타이머 인터럽트를 종료한다.

IV. 실험 및 결과고찰

칩마운터 테스트 실험을 위해 그림 6 과 같이 제작한 소형 칩마운터에 거버파일을 생성하고 실제 크기로 프린트하여 샘플보드 제작과 동일한 방법으로 HASL(Hot Air Solder Leveling) 처리되어 있는 PCB 에 솔더크림을 프린팅한 후 부품을 실장하여 여러 번 반복해서 실험을 수행하였다. 이때, 거버데이터는 2012 미소부품, SOIC14 IC 그리고 TQFP Type IC 를 사용하였다. 실험을 진행하기에 전 TQFP Type IC 와 SOIC14 IC 를 각각의 캐리지에 넣었으며 2012 미소부품은 부품공급용 피더에 장착한 후 피더를 본체에 부착하였다.

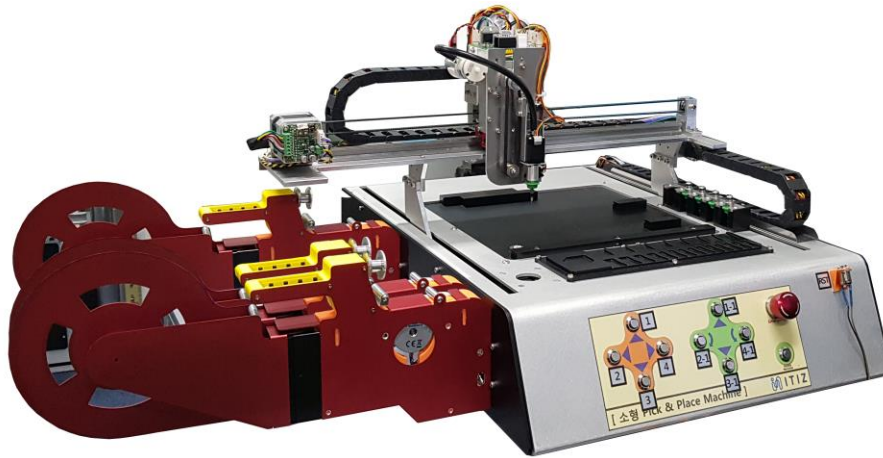


Figure 6. Small chip mounter

그림 7 은 2012 미소부품은 피더에서 부품을 흡착하여 각각 위치에 부착한 결과를 보여주고 있다. 결과에서 알 수 있듯이 표시되어 있는 부품이 약간 비틀어져 실장된 것을 볼 수 있다. 이것은 여러 번 반복 테스트한 결과 진공흡착 노즐을 이용해 흡착 시 발생하는 오차로 사료된다. 그러나, 실제 PCB 에 솔더 크림을 이용하여 부품을 실장하고 리플로우를 통해 부품을 실장하면 약간 비틀어졌어도 제자리를 찾아가는 특징이 있기 때문에 약간의 오차는 허용이 가능하다.

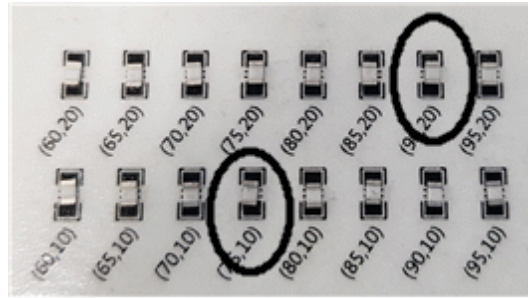


Figure 7. 2012 micro parts mounting result

SOIC 부품은 부품 캐리지에 놓여 있는 방향과 같이 실장되는 경우와 일정회전 각도를 가지고 실장되는 경우로 부품을 실장 하였다. 실험 결과 비교적 정확히 실장되는 것을 확인 할 수 있다. 그림 8은 SOIC 부품 실장 테스트 및 결과를 보여주고 있다.

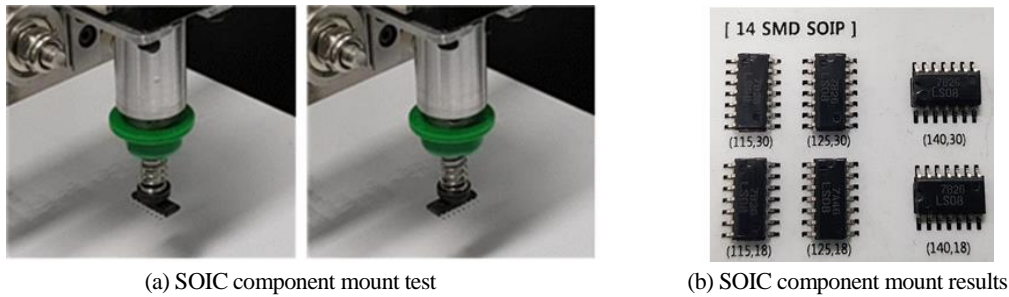


Figure 8. SOIC component mount test & results

마지막으로, TQFP 부품은 부품 보정 위치에서 영점 보정한 후 실장을 진행하였으며 실험 결과 비교적 정확히 실장되는 것을 확인 할 수 있다. 그림 9는 TQFP 부품 실장 테스트 및 결과를 보여주고 있다.

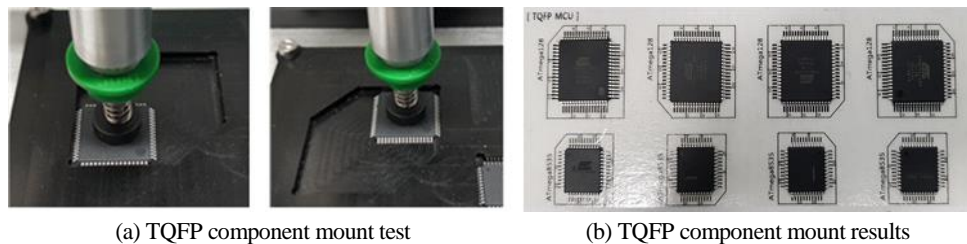


Figure 9. TQFP component mount test & results

결과적으로, 영점 보정 없이 바로 실장 하는 미소부품과는 다르게 보정이 필요한 SOIC, TQFP 등의 부품은 실장 시간이 다소 길게 나타나는 특징이 있다. 부품에 따른 실제 소요 시간을 측정하여 표 5와 같은 결과를 얻어낼 수 있었다. 표 5에서 개 당 실장시간은 총 10회를 반복한 평균값을 나타내며, CPH(Chip Per Hour)는 시간당 부품 실장 개수를 의미한다.

또한, 특정 위치에서 이동을 시작하여 다수의 횟수 동안 이동한 후 다시 특정 위치로 되돌아왔을 때 처음 시작 위치와의 오차를 측정하였다. 표 6과 같이 총 10회에 반복하여 측정한 결과 약 0.110mm의 비교적 적은 오차가 발생함을 확인할 수 있었다.

Table 5. Component mounting time measurement result

Part	Zero correction	Mounting number	Mounting time(ea)	CPH
2012	X	40	2.89sec	1,245
SOIC	O	6	6.02sec	598
TQFP	O	8	6.34sec	567

Table 6. Position error

Times	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	average
Error(mm)	0.107	0.146	0.121	0.106	0.085	0.120	0.115	0.108	0.109	0.081	0.110

V. 결론 및 향후과제

본 논문은 SMT 라인의 핵심 기술인 칩마운터의 보급을 위해 교육연구용이나 샘플제작을 목적으로 사용이 가능한 3D 프린터 기술기반의 칩마운터를 설계하고 제작하였다. 저가형 구동부 설계를 위해 오픈루프제어가 가능한 스텝모터를 사용하였다. 스텝모터 사용으로 발생하는 모터의 진동, 탈조 등의 특성상 단점은 마이크로스텝제어 방법을 이용하여 보완하였다.

칩마운터 실험은 제작한 소형 칩마운터에 거버파일을 생성하고 실제 크기로 프린트하여 샘플보드 제작과 동일한 방법으로 HASL 처리되어 있는 PCB 에 솔더크림을 프린팅한 후 부품을 실장하여 여러 번 반복해서 수행하였다.

실험결과 2012 미소부품과 달리 보정이 보정이 필요한 SOIC, TQFP 등의 부품은 부품 실장 시간이 2 배정도 길었지만 비교적 정확히 실장되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 초기 위치에 대한 오차를 총 10 회에 반복하여 측정한 결과 약 0.110mm 의 비교적 적은 오차가 발생함을 확인할 수 있었다.

그러나, 스텝모터를 이용하여 2012 부품을 실장할 때 5,000CPH~20,000CPH 성능을 발휘하는 서보모터를 적용한 칩마운터에 비해 현저히 떨어지는 것을 알 수 있었다. 가격대비 정밀도를 확보한 부분은 검증할 수 있었지만 생산성도 보장하는 성능 향상은 많은 연구를 통해 개선이 필요하다. 또한, 기구적으로 12.47 μm 의 오차범위를 확보하였지만 진공흡착모듈을 통해 부품을 흡착할 때 오차가 발생하는 것을 확인하였다.

향후 연구로 부품의 크기와 무게에 따른 흡착압력을 조절하여 부품을 흡착할 때 발생하는 오차를 줄이는 방법, 노즐의 뒤틀림 보정을 위해 흡착부품에 대한 다양한 위치 보정방법, 시스템 성능비교 그리고 인터페이스를 위한 PC 소프트웨어 개발을 계속하고자 한다.

VI. 감사의 글

본 연구는 2018 년도 산학협력 기술개발사업(첫걸음 협력) 지원에 의하여 이루어짐 (S2654311)

VII. 참고문헌

- [1] Young-Min Kim, Hyun-Jong Kim, Sun-Chon Um, Heon-Tag Kong, Chi-Su Kim, "The surface mounting technology to prevent improper fine chip insertions by using fiber sensors", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 12, No. 9, pp. 4138~4146, 2011.
- [2] Young-Gyu Kim, Tae-Hyoung Park, "SMT Defect Classification by CNN and Input Image Transform", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 25, No. 3, pp. 260~267, 2019.
- [3] Jae Heon, Lee, "A Study on the Development and Application of the Chip Mounter Dual Multi

- Head”, Master’s Thesis, School of Mechanical Eng., Graduate School of Industry, Ajou Univ., Suwon, Korea, 2007
- [4] Wonhee Kim, Donghoon Shin, Youngwoo Lee, Chung Choo Chung, “Survey of Nonlinear Control Methods to Permanent Magnet Stepping Motors”, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 20, No. 3, pp. 323~332, 2014.
- [5] P. P. Acarnley, “Stepping Motors: A Guide to Modern Theory and Practice”. NewYork: Peregrinus, 1982.
- [6] T. Kenjo, “Stepping Motors and Their Microprocessor Control”. New York: Clarendon, 1984.
- [7] D. W. Jones, Control of Stepping Motors. In W. H. Yeadon, & A. W. Yeadon, Handbook of Small Electric Motors, New York: McGraw-Hill, 2001.
- [8] Acarnley, Paul, “Stepping Motors: A Guide to Theory and Practice”, 4th edition. London: Institution of Electrical Engineers, 2002.
- [9] David Austin, “Generate stepper-motor speed profiles in real time”, Freelance software engineer United Kingdom. 2005.
- [10] T. Kenjo, “Stepping Motors and Their Microprocessor Control”. New York: Clarendon, 1984.
- [11] Kenjo, Takashi and Akira Sugawara, “Stepping Motors and their Microprocessor Controls”, 2nd edition. Oxford University Press, March, 1995.
- [12] W. Kim, D. Shin, and C. C. Chung, “Lyapunov-based controller with a passive nonlinear observer to improve position tracking performance of microstepping in permanent magnet stepper motors,” Automatica, vol. 48, no. 12, pp. 3064-3074, 2012.
- [13] AVR446: Linear speed control of stepper motor. Application Note. 2006 Atmel Corporation

저자 소개



박세준(*Se-Jun Park*)

1992년 2월 목원대학교 전자공학과(공학사)
 1997년 8월 목원대학교 대학원 전자및컴퓨터공학과(공학석사)
 2010년 8월 목원대학교 대학원 IT 공학과(공학박사)
 2011년 3월 ~ 현재 목원대학교 지능로봇공학과 조교수

관심분야: 지능로봇, 자율주행로봇, 임베디드 IoT