

## 웨이브 솔더링 공정 개선을 위한 팔레트 도입 사례 연구

# A Case Study on Pallet Introduction to Improve Wave Soldering Process

나승천, 최환영\*

한국기술교육대학교 스마트팩토리융합학과

Seung-Chun Na, Hwan Young Choi\*

Department of Smart Factory Convergence, Korea University of Technology & Education (KOREATECH), Cheonan 31253, Korea

### [ 요약 ]

인쇄회로기판(PCB)은 전자 제품 생산에 널리 적용되는 요소부품으로 지속적으로 양적인 성장은 물론 집적도와 같은 질적인 발전도 묵과할 수 없다. 제조현장에서 보편적으로 웨이브 솔더링 장비가 사용되고 있으나 선행 연구 및 시제품 개발 단계에서는 각 PCB 제원에 맞는 전용 장비 환경을 구성할 수 없고, 범용의 고정 장비 환경에서 정해진 시간 내에 장비의 설정 조건만 변경하여 다양한 제품 군을 생산할 수밖에 없는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 위와 같이 제한된 환경 내에서 최적의 공정 조건을 선택할 수 있도록 PCB 팔레트 도입 사례를 소개한다. 또한 현재 범용 장비에서 생산 가능 여부를 미리 판단할 수 있는 판별식을 제시하여 범용 웨이브 솔더링 장비 환경의 한계로 인해 발생할 수 있는 문제점을 사전에 파악하고 대응하도록 하고 궁극적으로 개발기간 단축 및 생산성 향상을 기대할 수 있도록 한다.

### [ Abstract ]

Printed circuit boards (PCBs) are a key component widely used in the production of electronic products, and not only quantitative growth but also qualitative developments such as integration cannot be ignored. Wave soldering equipment is commonly used equipment at manufacturing sites, but it is impossible to configure a dedicated equipment environment suitable for each PCB specification during the preliminary research and prototype development stage. It is neither suitable for development within limited time line nor manufacturing various product groups because only equipment setting conditions can be changed within a given time. In this study, we introduce a case of introducing a PCB pallet to enable selection of optimal process conditions within the limited environment described above. In addition, by presenting a discriminant that can determine in advance whether production is possible with current general-purpose equipment, it is expected that problems that may arise due to limitations in the general-purpose wave soldering equipment environment can be identified and resolved in advance. Ultimately, this palette makes it possible to shorten the development period and improve productivity.

**Key Words:** Wave soldering, PCB pallet

<http://dx.doi.org/10.14702/JPEE.2024.179>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 3 March 2024; Revised 27 March 2024

Accepted 29 April 2024

\*Corresponding Author

E-mail: zauber@koreatech.ac.kr

## I. 서론

최근 4차 산업혁명과 세상을 바꾸는 미래기술(로봇, 5G, 자율자동차, 사물인터넷, 스마트시티, 바이오, 헬스케어, 2차 전지등) 개발이 추가됨에 따라 PCB에 대한 개발 요구가 나날이 증대되고 있다. 이에 따라 인쇄회로기판(Printed Circuit Board 이하 PCB) 세계 시장 규모는 2022년에 673억 달러에 이르렀고 2023년부터 연평균 4.4%의 성장률(CAGR)로 2028년까지 877억 달러에 이를 것으로 예측되고 있다[1]. 또한, 제품의 경박 단소 추세에 따라 전체 사이즈 축소가 중요해지면서 내부 기구 레이아웃 설계 자유도 확보를 위해 PCB는 갈수록 집적화 되고 종류가 많아지며, 인서트 사출물, 프레스 버스바, 고전압/고전류 커넥터 등의 다양한 부품들이 PCB에 집적화 되는 경향을 보이고 있다.

이러한 이형 부품들은 SMT를 활용한 자동 삽입이 거의 불가능 하므로 PCB 생산 시 각 부품 배치에 따라서 솔더링 품질이 안정되도록 수동 삽입(이하 수삽) 공정 조건을 도출하는 것이 중요하다. 수삽 공정으로는 웨이브, 선택티브, 로봇솔더, 레이저 등 다양하게 있지만, 일반적으로 양산에서는 솔더링 품질 및 생산 효율 등을 고려하여 웨이브 공정으로 적용하는 경우가 많고 성능개선과 원가절감 및 품질확보를 위한 웨이브 솔더링 장비와 공정 조건에 대한 부단한 연구와 개발이 진행되고 있다[2].

양산 단계에서 웨이브 공정 최적의 조건을 선정하기 위해서는 각 PCB의 크기와 이형 부품의 배치에 적합한 솔더링이 되도록 전용 장비 환경 조건인 노즐 사양과 높이, 컨베이어 벨트의 폭과 길이 등을 결정하고, 여러 차례의 시험생산을 통해 지그를 개선하고 수정하며, 온도/속도/RPM 등의 솔더링 조건에 따른 납땜 품질을 비교 분석하는 등의 환류 과정을 반복하게 된다.

하지만, 선행 및 연구개발 단계에서는 각 PCB 크기와 종류에 일대일로 대응되는 전용 장비 환경을 구성할 수 없기 때문에 중소기업의 생산 현장에서는 노즐 사양/높이, 컨베이어 벨트 폭/길이/높이는 고정된 장비 조건으로 전동화/전장/메카 등 다양한 제품군을 정해진 시간 내 개발 가능 하도록 솔더링 조건(온도/속도/RPM)만을 변경하여 생산하는 실정이다.

이와 같이, 한정된 범용 장비 및 시간 내에서 웨이브 공정 최적의 조건을 선정하기 위해서는 PCB 팔레트 도입이 도움이 될 수 있다. PCB 팔레트 최적화 설계를 통해 범용 장비 환경에서의 작업 한계를 어느 정도 극복할 수 있고, 부수적으로 Tack time 단축이 가능하여 생산성을 높일 수도 있다. 또한, 범용 웨이브 솔더링 장비에서의 생산 가능/불가 여부를 사전

에 판별할 수 있어, 선택티브, 로봇솔더, 레이저 등 다른 장비를 사용하는 수삽 공정으로의 전환 여부를 신속하게 의사 결정할 수 있다.

본 연구에서는 선행 및 연구개발 단계와 같은 범용 웨이브 솔더링 장비에서 최적의 공정 조건을 선정하는데 도움이 되는 PCB 팔레트를 적용하여 생산성 향상 및 품질 개선에 도움이 되고자 한다.

## II. 범용 솔더링 장비

범용 웨이브 솔더링 장비는 그림 1과 같은 형태로 하나의 장비를 사용하여 정해진 시간 내 전동화/전장/메카 등 다양한 제품군을 생산하기 위해 크게 노즐 및 컨베이어로 구성된 장비의 기구적 사양과 솔더링 설정 조건으로 나누어 검토한다.

### A. 기구적 사양

#### 1) 노즐 형상과 높이

웨이브 솔더링 장비에서 액체화 된 납은 인버터-모터 RPM 제어 방식에 의해 노즐을 통해 분사된다. 노즐의 종류는 그 형태에 따라 다양하게 존재하며, 필요시 생산 특성에 맞도록 맞춤형으로 주문 제작하여 사용하기도 한다. 솔더링 장비의 온도/속도/RPM이 동일 하더라도, 노즐의 사양에 따라 각기 다른 납땜 품질을 보인다.

하지만, 선행 및 연구개발 단계와 같이 한정된 시간 내에서 다양한 제품군(전동화/전장/메카 등)을 생산하기 위해서는 그림 2와 같이 가장 보편적인 범용 노즐로 사양 및 높이가 고정된다. 노즐 교환 작업이 까다롭고, 시간이 상당히 소요되기에 각각의 PCB 형상에 맞도록 노즐을 매번 교체할 수 없기



그림 1. 범용 웨이브 솔더링 장비

Fig. 1. Soldering machine for general purpose.

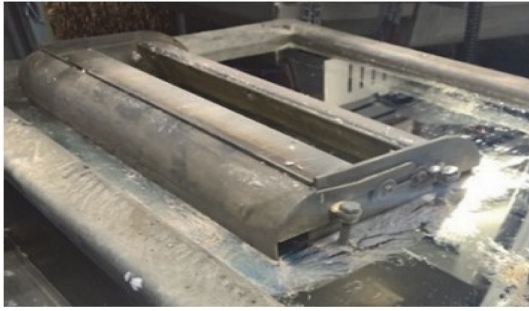


그림 2. 범용 웨이브 솔더링 장비 노즐  
Fig. 2. General purpose wave soldering equipment nozzle.

때문이다[3].

2) 컨베이어 벨트 폭/길이/높이

웨이브 솔더링 장비에서 PCB는 컨베이어 벨트에 안착되어 그림 3과 같이 순차적으로 플럭스 도포 - 예열 - 솔더링 - 냉각 공정순으로 투입된다.

양산 단계에서는 각 PCB 사이즈에 맞게 컨베이어 벨트 폭을 조절하고, 예열/냉각 시간 및 속도 등을 고려하여 컨베이어 벨트 길이를 조절함으로써 생산성을 극대화 하지만, 선행 및 연구개발 단계에서는 앞서 언급한 노즐과 마찬가지로, 각 PCB 형상에 맞도록 컨베이어 벨트 환경을 매번 조절할 수 없기에 고정된 폭과 길이를 가지게 된다.

B. 솔더링 설정 조건

범용 웨이브 솔더링 장비의 제한된 환경 내에서 각 PCB 형상 별 솔더링 품질이 안정화된 공정 조건을 도출하기 위해 변경 가능한 인자는 많지 않지만 그림 4에서와 같이 장비의 기구적 사양을 고정하고 플럭스 량, 예열/솔더 온도 및 컨베이어 벨트 속도, 솔더 RPM 과 같은 설정 조건을 변경해 가며 솔더링 품질을 비교 분석하여 최적의 설정 조건을 결정해 진행한다.

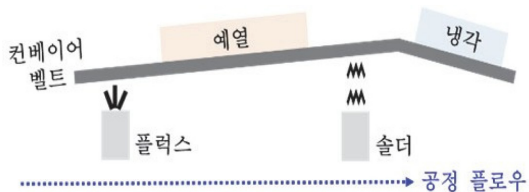


그림 3. 솔더링 공정 플로우  
Fig. 3. Soldering process flow.

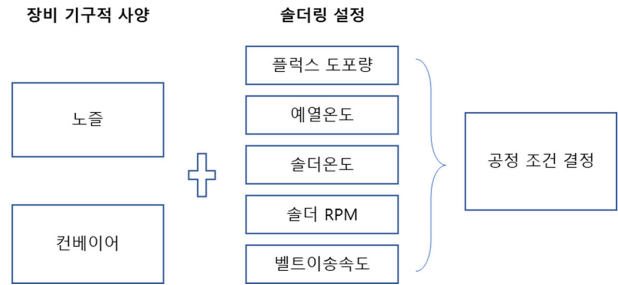


그림 4. 최적의 공정 조건 도출을 위한 설정 변경 가능 인자  
Fig. 4. Changeable factors required to derive optimal process conditions.

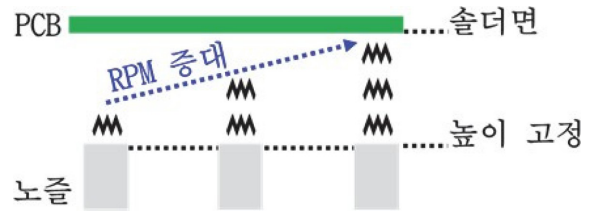


그림 5. 솔더 RPM 증대에 따른 액체화 된 납의 분사력  
Fig. 5. Injection power of melted lead due to increased solder RPM.

이 중, 조건 변경에 따라 솔더링 품질 비교가 비교적 쉬운 인자는 솔더 RPM이며, 이는 육안을 통해 쉽게 솔더링 필렛 형성 유/무 판단을 내릴 수 있기 때문이다. 솔더 RPM은 노즐을 통해 분사되는 액체화 된 납의 분사력에 관여하며, 그림 5와 같이 솔더 RPM이 높을수록 노즐로부터 액체화 된 납이 높게 분사된다.

선행 개발 및 R&D 단계에서 범용 웨이브 솔더링 장비 노즐의 높이는 고정되어 있으므로 PCB 솔더면까지 용융된 납을 충분히 분사하기 위해서는 솔더 RPM을 적정 수준까지

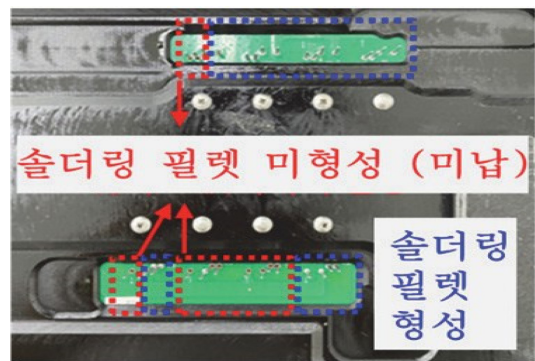


그림 6. 솔더 RPM 증대에 따른 솔더링 품질 불량 사례  
Fig. 6. Case of soldering poor quality due to increased solder RPM.

높일 수밖에 없으나 솔더 RPM 은 설비에 따라 최대값이 존재하여 그 이상으로 값을 올릴 수 없고, 솔더 RPM을 높일수록 분출되는 액상 솔더의 분수 모양이 심하게 출렁이므로 안정적인 솔더링 품질 확보가 불가능해진다. 이 때문에, 솔더 RPM을 최대 값으로 설정하여도 PCB 솔더면까지 액체화 된 납이 분사되지 못하여 솔더링 필렛이 아예 형성되지 못하거나, 분사된다고 하더라도 솔더 분출에 의해 필렛(부품리드와 패드 간에 솔더에 의해서 형성된 연결부)이 간헐적으로 형성되거나 그림 6과 같이 아예 미 형성되는 품질 불량 발생한다[4].

또한, 솔더 RPM을 높일수록 솔더 불순물(찌꺼기)이 과다 발생하여 납 욕조 관리 요소가 증대되고 생산성이 떨어지는 문제점도 발생하게 된다.

### III. PCB 팔레트

앞서 언급한 범용 웨이브 솔더링 장비에서 솔더 RPM 증대에 따른 솔더링 품질 불량은 PCB 팔레트를 도입하는 것으로 극복할 수 있다. 그림 7과 같이 PCB 솔더면 (a)과 팔레트가 컨베이어 벨트 안착 되는 (b) 사이의 높이 (a-b)를 작게 할수록, 솔더 RPM을 최저로 설정할 수 있고, 이에 따라 솔더 분출 양을 줄여 안정적인 납땜 품질을 구현할 수 있다.

범용 웨이브 솔더링 장비에서 컨베이어 벨트의 높이는 고정되어 있으므로 PCB 팔레트 설계 요소 중 컨베이어 벨트 안착 면 (b)의 높이는 고정되게 된다. 다음으로 팔레트 하단 면 (c)의 치수는 고정된 노즐의 높이 (d)와 간섭이 되지 않는 범위에서 최대한 크게 하고 PCB 하단실장부품의 길이를 감안하여 PCB 솔더면 (a)를 컨베이어벨트 안착 면 (b) 쪽으로 최대한 가깝게 되도록 그 사이의 높이 (a-b)를 최소화하는 것으로 최소한의 솔더 RPM으로 고정된 노즐로부터 PCB 솔더면 (a)까지 용융된 액상 납을 분사할 수 있게 된다[5].

#### A. 팔레트 두께 결정

솔더 RPM을 최소값으로 설정하여 납땜 품질 안정을 극대화하는 팔레트 두께는 아래와 같이 각 부분의 높이를 검토하여 결정할 수 있다.

- 1) 기구적 사양인 노즐 높이와 벨트 높이 고정 [(b) & (d)]
- 2) 노즐과 팔레트 간섭 최소화 충족 여부 결정 [(c)-(d)]
- 3) 솔더면과 팔레트 안착면 높이 최소화 충족 여부 결정 [(a)-(b)].

#### B. 생산 가부 판별

PCB 팔레트 설계 안을 통해 산출된 PCB 솔더면 (a) 값을 기준으로 팔레트 투입 또는 제작 전에 보유한 범용 장비에서 생산 가능 여부를 판별할 수 있다.

PCB 솔더면 (a) 높이가 최대 솔더 RPM 조건에서 노즐로부터 액체화 한 납이 분사될 수 있는 높이 (e) 보다 낮다면 현재의 범용 웨이브 솔더링 장비로는 생산이 가능함을 직관할 수 있다.

그림 7에서와 같이 선정된 PCB 솔더면 (a) 높이가 최대 솔더 RPM 조건에서 노즐로부터 액체화 한 납이 분사될 수 있는 높이 (e) 보다 높다면 현재의 범용 웨이브 솔더링 장비로는 생산이 불가능한 것으로 정리하여 판별식으로 나타내면 아래와 같다.

- 생산 가능: (a) < (e) @ 솔더 RPM 최대
- 생산 불가: (a) > (e) @ 솔더 RPM 최대

이와는 별개로 생산 불가 조건은 PCB 하면에 실장된 부품의 높이가 상당히 높을 때 발생하며, 이 경우 기존 웨이브 솔더링 공정이 아닌 선택티브, 로봇솔더, 레이저 등 다른 수납 공정으로 빠르게 전환하여 개발 대응하는 것이 중요하다. 그림 8에서는 팔레트에 작업 대상 PCB를 안착하여 플럭스 도포 및 예열을 진행하고 1~2차 솔더링을 완성하는 공정 순서

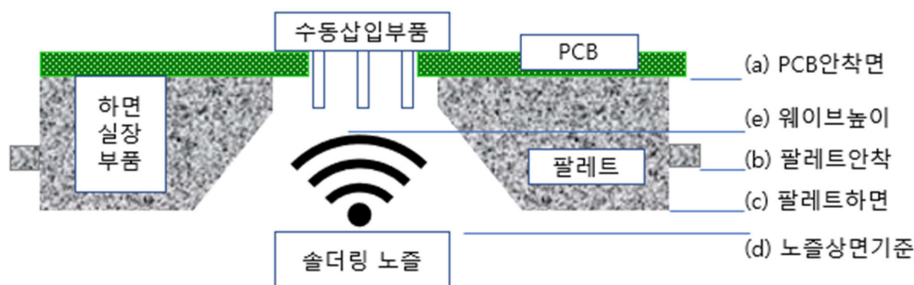


그림 7. 팔레트 최적화 요소 및 모식도

Fig. 7. Main elements and schematic diagrams of PCB Pallet.








1. 부품 커팅: 이송시 간섭되지 않도록 2mm	2. PCB 안착: 두께(0.8t, 1.2t, 1.6t) 에 따라 안착 높이는 조정 가능	3. 부품 삽입: 솔더링 대상 부품 삽입	4. 상판 누름: 이송시 들뜸 방지 차원	5. 플럭스 도포: 자동으로 도포함
				
6. 예열존: 유연/무연 온도설정 상이	7. 솔더링 1차: 안착부품에 납 분사	8. 솔더링 2차: 납 필렛 형성을 매끄럽게 처리	9. PCB out	10. 냉각
				

그림 8. 공정 순서 및 주요 체크포인트

Fig. 8. Process sequence and key check points.



그림 9. 팔레트 제작 사례 및 솔더링 완료 PCB 배면

Fig. 9. Bottom view of pallet and PCB with soldering completed.

도와 단계별 주요 체크 사항을 보여 주고 있다. 그림 9에서는 사례연구 대상 기업에서 시생산에 적용한 팔레트의 실물과 솔더링 작업이 완료된 PCB의 배면을 확인 할 수 있다.

C. 웨이브 솔더링 생산단가 비교

수작업(Manual) 솔더링과 웨이브 솔더링의 항목별 제조 원가를 살펴보면 표 1에서와 같이 인건비 측면에서 수동 솔더링은 숙련된 작업자가 다수 필요하나 웨이브 솔더링은 숙련된 작업자를 최소인원으로 배치하고 비 숙련 작업자 투입이 가능하므로 인건비 절감이 가능하다. 웨이브 솔더링의 경우 재료비와 제조경비 그리고 상각비가 모두 증액되므로 제조 비용 합계가 약 37% 증가하지만 단위 시간당 최대 생산량

표 1. 수작업 솔더링과 팔레트 도입 웨이브 솔더링 제조 원가 비교

Table 1. Manufacturing cost comparison between manual and wave soldering with pallet

항목	수작업 솔더링 (A)	웨이브 솔더링 (B)	증감 (B-A)	비율 (B/A)
인건비(숙련)	600.0	200.0	Δ400.0	
인건비(비숙련)	0.0	360.0	360.0	
재료비	8.6	215.0	206.4	
제조경비	5.0	50.0	45.0	
상각비용	0	16.8	16.8	
제조비용 소계	613.6	841.8	228.2	137%
최대생산량(대)	200	500	300	
제조단가	3.1	1.7	Δ1.4	55%

이 수동 솔더링 경우 대비 2.5배 늘어 나게 되므로 궁극적으로 제조 단가는 45% 절감이 가능하므로 경영 손익 측면에서도 긍정적인 효과를 기대 할 수 있다.

IV. 결론 및 고찰

본 연구에서는 선행 및 연구개발 단계와 같은 범용 웨이브 솔더링 장비의 제한된 환경 내에서 최초의 설정 값을 결정하는데 도움이 되도록 PCB 팔레트를 도입하여 시 생산이 가능한 사례를 제시하였고 실제 산업 현장에 적용된 사례를 통하여 다음과 같은 두가지 결론을 도출하였다.

첫째는 장비 설정 조건 중 하나인 솔더 RPM을 크게 할수록 솔더 분출량 출렁임이 심하여 안정적인 품질 확보가 어려

우므로 최소 솔더 RPM으로 작업 가능한 팔레트 높이 치수를 결정할 수 있다.

둘째는 PCB 팔레트 최적화 설계 과정에서 정리된 판별식을 활용하여 현재의 범용 장비에서 생산 가능여부를 사전에 판단할 수 있다.

이상과 같은 결론으로 범용 웨이브 솔더링 장비 환경의 한계로 인해 발생할 수 있는 문제점을 사전에 확인 및 방지할 수 있고 아래와 같은 부수적 효과가 기대된다.

- 1) 웨이브 솔더링 작동 후 JIG에 안착된 PCB 투입 후 Flux 분사 시 Connector 및 부품에 Flux 튜 현상 관련한 Damage 최소화
- 2) 수납 부품이 있는 부분만 선택적 가공으로 주변 SMT 부품(반도체, IC) Damage 최소화
- 3) 착탈식 수납 부품 압착판 추가하여 솔더링 시 부품 들뜸 현상 해결
- 4) PCB 납땜 과잉 방지 및 기타 마스킹 작업 생략 가능.

### 감사의 글

이 논문은 2024년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.

### 참고문헌

- [1] IMARC, Printed Circuit Board Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2023-2028, Available: <https://www.giikorea.co.kr/report/imarc1207130-printed-circuit-board-market-global-industry.html>
- [2] V. Carvalho, B. Arcipreste, D. Soares, L. Ribas, N. Rodrigues, S. F. C. F. Teixeira, and J. C. Teixeira, "Numerical modeling of the wave soldering process and experimental validation," *Journal of Electronic Packaging*, vol. 144, issue 1, pp. 011011-1~6, March, 2022.
- [3] M. Arra, D. Shangguan, S. Yi, R. Thalhammer, and H. Fockenberger, "Development of lead -Free wave soldering process," *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, vol. 25, no. 4, pp. 289-299, October, 2002.
- [4] M. K. Choi, C. Y. Lee, C. J. Shur, and J. P. Jung, "A study on wettability and defects behavior of flow-soldered joint using low residue flux," *Journal of Electronics Manufacturing*, vol. 08, no. 03n04, pp. 235-241, 1998.
- [5] J. Lee, "Wave jig that can prevent overheating of PCB during wave soldering process and wave soldering method using the same," Disclosure of Korean Patent Publication, Registration No. 10-2019-0058228, May 29, 2019.



**나 승 천 (Seung-Chun Na)** \_정회원

2021년 9월 ~ 2023년 8월 : 한국기술교육대학교 스마트팩토리융합학과 석사  
 1993년 12월 ~ 2009년 12월 : (주)해태전자(주인켈), 통신장비영업팀  
 2010년 1월 ~ 2016년 3월 : (주)삼봉전자, OEM영업팀  
 2016년 3월 ~ 현재 : (주)유니테크, OEM영업팀  
 <관심분야> 스마트팩토리, 5G중계기, 방산산업, 전력전자



**최 환 영 (Hwan Young Choi)** \_종신회원

2001년 9월 ~ 2004년 8월 : 연세대학교 공학박사  
 1986년 1월 ~ 2012년 1월 : 삼성전자 기반기술그룹장/상무  
 2012년 2월 ~ 2015년 5월 : 에스엔유프리시전 신규사업팀장  
 2016년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 부교수  
 <관심분야> 평판디스플레이, 지능형제조기술, 일학습병행