

치과용 임플란트 포장 간이자동화 설계 및 시제품 제작

김형수*, 이정익**

*㈜오스비스 그룹장

**인하공전 기계설계공학과 교수

e-mail:kimhs@ossvis.com

e-mail:jilee@inhac.ac.kr

Simplified Automation Design and Prototype of Dental Implant Packaging

Hyung-Soo Kim*, Jeong-Ick Lee**

*Group leader, Ossvis Co. Ltd

**Professor, Dept. of Mechanical Design, INHA Technical College

요 약

본 연구의 최종 목표는 치과용 임플란트 포장 공정에 간이 자동화를 적용함으로써 생산 효율성과 품질 안정성을 확보하고, 이를 기반으로 향후 완전 자동화로 전환까지 가능하도록 하는 것이다.

포장 공정 중 반복성과 수작업 비중이 높은 핵심 공정을 중심으로 간이 자동화 시스템을 설계·구축하고, 실증 데이터를 확보하여 자동화 적용 효과를 검증한다.

이를 통해 공정 속도 개선, 인력 투입 최소화, 원가 절감 등의 효과를 실현하고, 장기적으로는 모듈화된 자동화 시스템을 확장하여 완전 자동화 구축이 가능하도록 기술적·운영적 기반을 마련하는 것이 핵심이다. 즉, 본 연구는 현실적인 간이 자동화 기술의 적용을 통해 단계적 자동화 전략을 실현하고, 완전 자동화까지 연계 가능한 구조적 시스템 설계를 목표로 한다.

1. 연구 과제의 필요성

제품의 용도 및 특성은 다음과 같다. 임플란트(Implant)는 본래 특정 인체 조직이 상실되었을 때, 상실된 인체 조직을 대신하는 대체물을 의미하지만, 일반적으로는, 치과에서 손상된 치아를 대신하여 인공 치아를 이식하는 것을 의미한다. 임플란트 식립의 주요 시술재료로는 **픽스처**, 어버트먼트, 보철 등의 의료기기가 필요하며 이와 함께 픽스처를 잇몸에 식립하기 위해 치조골에 구멍을 만드는 데 사용하는 시술용 드릴 키트가 사용된다.

임플란트 시스템의 주요 구성 요소는 다음과 같이 구성된다.

– 픽스처(Fixture): 치조골에 직접 식립되는 티타늄 또는 지르코니아 소재의 나사형 기구

– 어버트먼트(Abutment): 픽스처와 보철물을 연결하는 중간 연결부

– 보철물(Crown): 최종적으로 환자의 치아 역할을 하는 크라운 또는 브릿지

상기 세 가지 구성품은 정확한 설계와 적절한 시술 방법을 통해 환자의 구강 내에서 장기적으로 기능할 수 있도록 설계된다.

임플란트 시장의 성장과 경쟁심화는 전 세계적으로 치과용 임

플란트의 수요가 지속적으로 증가함에 따라, Ti Grade 소재 사용 및 SLA 표면처리 공정 등의 기술이 업계 전반에 보편화되었으며, 제품의 기능적 차별성이 감소하고 있다. 이에 따라 제조업체 간의 경쟁이 가격 중심으로 치우치면서 단가 경쟁이 심화되고 있는 상황이다. 이러한 시장 환경에서 제조사들은 생산 효율성을 극대화하고, 원가 절감을 실현할 수 있는 스마트 제조 기술을 도입하는 것이 필수적이다. 특히, 공정 자동화를 통해 생산성을 향상시키고, 균일한 품질을 유지하면서도 비용 효율적인 운영이 가능하도록 제조 혁신이 요구되고 있다. 따라서 생산 전 과정의 자동화 및 스마트 공장 구축을 위한 단계적 접근이 중요한 전략적 요소로 작용하고 있다. 국내제조업의 경쟁력 강화를 위한 스마트 공장 도입에 있어서는 국내 연구개발 활성화 및 제조업 경쟁력 강화를 위해 정부는 스마트 공장 구축 지원사업을 추진하고 있으며, 이를 통해 임플란트 제조업체들은 자동화 시스템을 도입하여 생산성과 품질을 향상시킬 수 있는 기회를 얻고 있다.

본 연구에서 중요한 포장공전의 병목현상 해결을 위한 간이 자동화 도입의 필요성은 다음과 같은 표로서 기존공정(As-is)에서 간이자동화적용(To-be)로 변모시키고자 하며 그 개선 효과는 다음

과 같다.

[표 .1] 포장 공정별 소요 공수 단위 시간 (s)

항목	기존공정 (As-is)	간이자동화 적용 (To-be)	개선효과
Inner Cover+Bus h 조립시간	28	15	13초 단축(46% 감소)
Front & Back Cover 조립	10	(10)	간이 자동화 15s 이내 조립가능, 삭제가능
Implant 삽입	7	7	동일
Rubber & Blister 조립	8	8	동일
총 작업 시간 (1ea)	53	30	23s 단축(43.4% 개선)
작업 인원	2명	2명	작업인원 동일
1일 생산량 (8시간 기준)	544ea	960ea	416ea 증가 (76% 향상)

당사의 임플란트 제조 공정은 원재료 입고 검사부터 완제품 검사까지 총 13ea의 공정으로 구성되며, 이중 초도품 자주검사, 공정 검사, 표면검사, 1차포장 및 완제품 검사 등 총 5개 공정이 병목 공정(Bottle neck)으로 작용하고 있다. 이중 가장 오랜 공수가 소요되는 공정이 임플란트를 포장용 앰플에 삽입하는 “1차포장” 공정이 가장 많은 시간이 소요된다. 1차포장을 포함한 각각의 공정이 병목 현상을 유발하는 원인은 다음과 같다.

① 초도품 검사 (생산 초기단계의 품질 검증으로 인한 지연 공정)

- CNC 가공 후 첫 제품(초도품)의 치수 및 형상을 검사하는 공정으로, 이후 생산 공정이 정상적으로 진행될 수 있는지 판단하는 중요한 단계이다.
- 정밀 측정 장비를 활용한 검사가 필요하며, 측정 과정이 수작업으로 진행되는 경우 시간이 오래 걸린다.
- 검사 과정에서 문제가 발생하면 CNC 가공 공정까지 되돌아가야 하는 리스크가 있어, 신중한 검사 수행이 필수적이다.

② 공정검사 (생산 중 치수 측정 및 외관검사)

- CNC 가공 후, 제품의 주요 치수 및 외관을 육안과 측정 장비를 통해 검사하는 공정으로, 가공 정밀도를 보장하는 핵심 단계이다.
- 수작업 및 육안 검사 비율이 높아 작업자의 숙련도에 따라 검사 속도가 달라지는 문제가 존재한다.
- 일정량의 제품을 검사한 후, 문제가 발견되면 해당 로트(Lot) 전체를 재검사해야 하는 경우가 많아 시간이 지연된다.

③ 표면검사 (전수 확대경 검사로 인한 검사 속도 지연)

- SLA 표면 처리 및 최종 세척 후, 제품 표면을 확대경을 이용해 100% 전수 검사하는 공정이다.
- SLA 표면 처리 후 미세한 오염, 표면 결함(스크래치, 기포, 변색 등)이 발생할 가능성이 있어 정밀한 검사 기준이 요구된다.
- 검사 결과에 따라 불량품이 발견되면, 이전 공정에서 추가적인 재작업이 필요하여 전체 생산 일정이 지연될 수 있다.

④ 1차 포장 (다품종 포장 구성 및 공정 복잡성 증가)

- 1차 포장 공정에서는 다양한 구성품(Inner cover 2종, Bush hinge 2종, Back cover 2종, 실리콘 커버, 블리스터 포장)을 조립 및 포장해야 한다.
- 각 제품마다 포장 형태가 달라 수작업 비중이 높으며, 자동화가 적용되더라도 완전 자동화보다는 반자동화 수준에 머물러 있는 경우가 많다.
- 포장 과정에서 부품 조립 오류, 정렬 문제 등이 발생 할 경우 재작업이 필요하여 전체 공정이 지연될 가능성이 크다.

현재 조립용 지그를 활용한 수동 조립 방식으로 포장 공정을 운영하고 있으며, 부속품 구조상 이중 조립 방식이 적용되고 있다. 개별 공정 속도를 기준으로 계산하면 1일 443~505ea 조립이 가능하나, 실제 작업 방식에서는 2명의 작업자가 내측 조립 (Inner Cover 2ea + Bush Hinge)을 완료한 후, 외측 조립 (Front & Back Cover + 실리콘 커버) 공정을 수행하는 형태로 진행되고 있어 실제 1일 평균 완제품 포장 기준 500ea 생산을 달성하지 못하는 실정이다.

이는 수작업 비중이 높아 작업 속도가 일정하지 않으며, 작업자의 피로도 증가로 인해 생산성이 저하되는 구조적 한계를 갖고 있다. 또한, 작업 공정별 속도 불균형과 반복 작업으로 인한 병목 현상이 발생하고 있어 생산성 향상 및 작업 효율 개선이 절실히 필요한 상황이다.

이에 따라, 포장 공정의 간이 자동화 도입을 통해 수작업 부담을 줄이고, 조립 속도와 품질의 균일성을 확보하며, 작업자의 부담을 경감시키고, 일정한 속도로 공정을 운영함으로써 생산량 증대와 비용 절감 효과를 동시에 기대할 수 있다.

⑤ 완제품 검사 (최종확대경 검사 및 품질 보증과정)

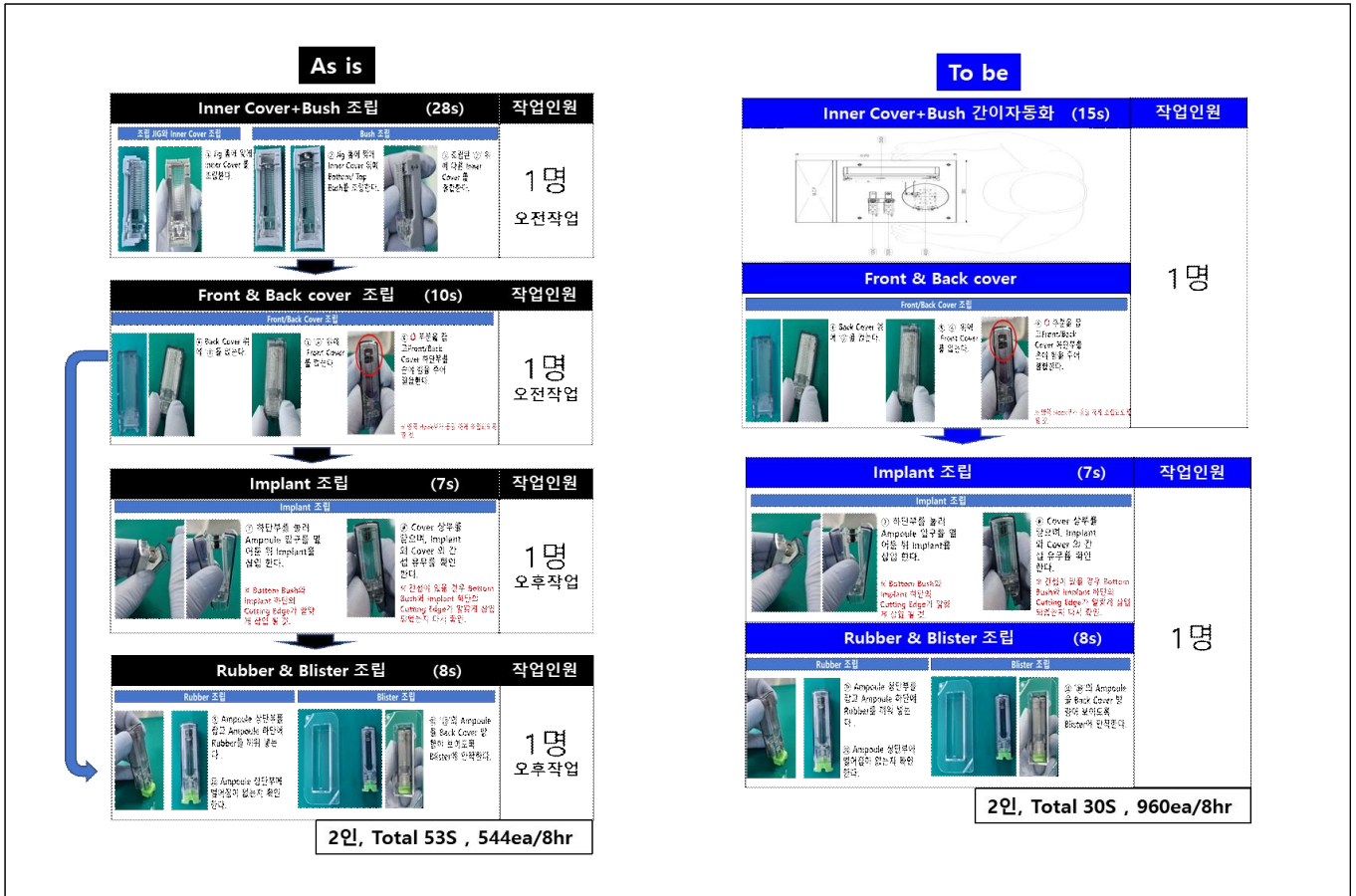
- 출하 전 마지막 검사 공정으로, 전수 확대경 검사를 통해 제품의 외관 및 포장 상태를 최종 확인하는 단계검사 기준이 엄격하고, 검사자의 숙련도에 따라 검사 속도가 달라질 수 있어 생산성이 일정하지 않다.

5) 고비용 전자동 포장 설비 도입 전 연구 개발의 중요성
포장 공정의 완전 자동화를 구축하기 위해서는 고비용 설비 투

자 및 장비 오류 발생 가능성에 대한 사전 대응이 필수적이다. 이에 따라, 포장 공정의 간이 자동화 시스템을 개발 및 적용함으로써, 공정 안정성을 사전에 검토하고 최적의 자동화 방식을 도출하는 것이 중요하며 포장 공정의 자동화 가능성을 검증하고 향후 완전 자동화 시스템 도입의 초석으로 이용할 계획이다.

매우 높은 개선 효과 도출

간이 자동화 장비의 도입은 단순히 하나의 공정을 기계화한 것에 그치지 않고, 전체 포장 조립 공정의 흐름을 구조적으로 개선한 실질적 성과 도출이 가능하다. 특히, 생산성이 약 76%



[그림 1] 간이 자동화를 이용한 조립 연속공정 모식도

2. 간이 자동화 및 포장 조립안 구성

본 연구의 해결 방안이 될 수 있는 간이 자동화 및 포장 조립안은 다음과 같이 구성될 수 있다.

이들의 구체적인 설계는 다음과 같다.

1. 핵심 병목 공정인 'Inner Cover + Bush 조립'에 간이 자동화 장비 적용으로 시간 단축 및 흐름 개선

→ 단일 공정 기준 13초 절감, 전체 공정 기준 23초 절감

2. 총 작업 인원 2명 운영동일, 효율 증가 544ea → 960ea

3. 총 작업 시간 53초 → 30초로 단축, 이에 따라 1일 기준 생산량이 약 76% 증가

4. 기계화된 일정 속도와 반복성 확보로 인해 품질 균일성 향상 및 작업자 피로도 감소 기대

5. 단순 자동화 적용임에도 불구하고, 생산성과 경제성 측면에서

향상되고, 작업 인원은 2명으로 유지되나 공정시간이 23초 가량 단축 되면서도 생산량이 크게 증가된다는 점은, 간이 자동화의 도입이 단순한 효율 향상을 넘어 운영 구조 자체를 최적화할 수 있는 잠재력을 지닌 솔루션임을 입증한다.

또한, 이번 개선을 통해 반복적이고 정밀도가 요구되는 조립 공정의 품질을 일정하게 유지할 수 있는 기반이 마련될 수 있고, 이는 향후 고객 만족도 및 불량률 감소와도 직결되는 중요한 성과로 평가될 것으로 사료된다. 더불어 작업자의 피로도와 휴면 에러 가능성 또한 감소하여 안정적이고 지속 가능한 생산 운영 체계로의 전환 가능성이 높다.

무엇보다 이번 간이 자동화 적용을 통해 축적될 정량적 실증 데

이터(작업시간, 생산량, 인원 구성 등)는 향후 완전 자동화 시스템 설계 및 구축 시 매우 유용한 기준 정보로 작용할 수 있으며, 투자 대비 효과(ROI)와 기술 적용 범위에 대한 사전 검증 지표로 활용 가능할 것으로 예상된다.

3. 연구개발 과제의 최종 목표

1. 연구 개발 과제의 최종 목표는 다음과 같다.

본 연구의 최종 목표는 치과용 임플란트 포장 공정에 간이 자동화를 적용함으로써 생산 효율성과 품질 안정성을 확보하고, 이를 기반으로 향후 완전 자동화로의 전환까지 가능하도록 하는 것이다. 포장 공정 중 반복성과 수작업 비중이 높은 핵심 공정을 중심으로 간이 자동화 시스템을 설계·구축하고, 실증 데이터를 확보하여 자동화 적용 효과를 검증한다.

이를 통해 공정 속도 개선, 인력 투입 최소화, 원가 절감 등의 효과를 실현하고, 장기적으로는 모듈화된 자동화 시스템을 확장하여 완전 자동화 구축이 가능하도록 기술적·운영적 기반을 마련하는 것이 핵심이다. 즉, 본 연구는 현실적인 간이 자동화 기술의 적용을 통해 단계적 자동화 전략을 실현하고, 완전 자동화까지 연계 가능한 구조적 시스템 설계를 목표로 한다.

2. 연구개발과제의 내용은 다음과 같다.

① 포장 공정 분석 및 간이 자동화 적용 구간 도출

- 기존 수작업 중심의 포장 공정 흐름 및 작업 시간 분석
- 병목 공정 식별 및 간이 자동화 적용 타겟 공정 선정
- 자동화 설계를 위한 기술 요건 도출 및 적용 가능성 검토

② 간이 자동화 시스템 설계 및 시제품 제작

- 적용 대상 공정에 대한 간이 자동화 장비 구조 설계
- 핵심 부품(구동계, 센서류 등) 선정 및 시제품 제작
- 실제 생산 환경에 적용 가능한 작업 조건 정의

③ 현장 적용 및 실증 테스트 진행

- 간이 자동화 시스템을 실제 조립 및 포장 공정에 적용
- 작업 시간, 품질, 인력 투입 변화 등 실증 데이터 수집
- 시스템 작동 안정성 및 개선 필요 요소 검토

④ 완전 자동화 전환 가능성 평가 및 기술 확장성 분석

- 간이 자동화 결과를 바탕으로 완전 자동화 확장 시 시나리오 수립

- 각 단계별 기술 요소 연결성 및 통합 자동화 가능성 검토
- 장기적 자동화 구축 전략 및 로드맵 기초 데이터 확보

⑤ 경제성 및 운영 효율 분석

- 간이 자동화 적용 전·후 공정별 원가, 생산성, 품질 비교
- 투자 대비 기대 효과(ROI) 분석 및 사업화 가능성 검토
- 향후 확장형 자동화 시스템 개발을 위한 기반 조성

3. 이를 위해 본 연구개발과제는 치과용 임플란트 포장 공정에 간이 자동화 시스템을 설계·적용함으로써, 생산 효율 향상과 원가 절감, 품질 안정성 확보를 달성하고, 향후 완전 자동화로의 전환 기반을 마련하는 것을 목표로 한다. 포장 공정 분석과 자동화 적용 가능성 검토, 간이 자동화 장비 설계 및 실증 연구 계획 등을 체계적으로 수립할 예정이며 단계별 실행 로드맵에 따라 과제가 추진될 예정이다. 특히, 본 과제는 실질적인 공정 개선 효과를 검증하고, 자동화 적용 전·후의 성능 및 경제성 데이터를 확보하여 궁극적으로 포장 공정의 병목 해소와 작업자 부담 경감, 그리고 장기적 자동화 체계 도입을 위한 전략적 출발점으로 삼을 예정이다.

참고문헌

- [1] 이창훈, 강신한, “전선포장용 포장비닐 자동화 생산시스템 설계”, 공학기술논문지 제 10권 4호, pp. 465-471, 2017년
- [2] 윤상주, “다품종 소량 생산품 포장 라인의 로봇 자동화 방법”, 아주대학교 일반대학원, 2018년
- [3] 김태형, 오승일, “식재료 분류 및 소포장 공정 로봇-자동화 시스템 디지털전환 공정 표준화 모델 개발”, 한국산학기술학회 논문지 제24권 12호, pp. 422-429, 2023년