

자동화 공정을 적용한 소방배관 흔들림 방지 버팀대 품질 및 경제성 분석

조진표*, 김도훈**, 김학선**, 김광희*

*인하대학교 제조혁신전문대학원

**㈜엔에스브이

e-mail : realwind1@inha.ac.kr

Quality and Economic Analysis of Fire Pipe Shaking Prevention Support with Automation Process

Jin-Pyo Cho*, Do-Hoon Kim**, Hak-sun Kim**, Kwang-Hee Kim*

*Manufacturing Innovation School, Inha University

**NSV.CO.,LTD

요약

본 연구에서는 소방시설 내진 제품인 흔들림 방지 버팀대의 생산 공정에 대한 자동화 공정 기술 적용을 통한 품질 및 경제성 분석을 수행하였다. 자동화 시스템 도입을 통해 수작업 공정에서 발생하는 문제점을 해소하고 인건비 절감 효과를 실현할 수 있었다. 조립공정 작업자 인건비는 1인 기준 일일 128,750원으로, 2023년 수작업 인건비 총액은 64,890,000원이었으나, 자동화 도입 후 연간 약 65,000,000원의 절감이 예상된다. 이로 인해 작업 인원을 증대하지 않고도 공급 수요를 충족할 수 있었으며, 기존 작업 인원은 다른 업무에 배치하여 작업 효율도 높였다.

자동화 시스템 초기 도입 시 고정비가 크지만 일정 판매량 이상이 되면 고정비 회수가 가능해져 장기적으로 수익성을 높일 수 있다. 손익분기점을 초과한 이후에는 자동화로 인한 변동비 절감 효과가 발생하여 수익이 급격히 증가하고, 이는 자동화 설비가 장기적으로 필수적인 시스템을 확인하였다.

또한, 반복 작업과 장시간 작업에서 오는 피로 누적 및 안전사고 위험도 감소하였고, 고중량 부품 운반의 자동화는 근골격계 질환 예방에 기여했다.

1. 서론

도심 집중화 현상과 4차 산업의 발달로 인하여 지구온난화 및 이로 인한 자연재해의 발생이 증대되고 있으며, 특히 지진으로 인한 피해는 그동안 구축해 놓은 인프라를 회생 불능의 상태로 파괴하여 한 국가 존립 위태까지 몰아가고 있다.

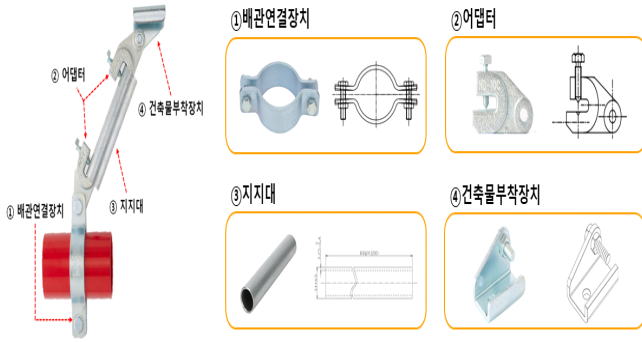
2016년과 2017년에 각각 규모 5.8과 규모 5.4의 대규모 지진이 연이어 동남권 지역에 집중적으로 발생함에 따라 국민들의 지진재난에 대한 염려가 크게 증가하고 있으며, 최근 2023년에 튀르키예에서 규모 7.8 이상의 강진 발생으로 최소 6만 명이 사망하였고 2,300만명 이상이 삶의 터전을 잃는 등 지진 발생으로 큰 피해를 보았다.

우리나라의 경우도 이러한 심각성을 인식하여 2015년에 건축법 시행령을 통해 구조물의 내진설계 기준이 강화되고 있어 이 분야에서는 다양한 기술이 접목되어 있다. 그러나 건축물 내부에 설치된 각종 비구조물에 대한 기준은 구조안전 및 내진설계 확인서에 2018년부터 추가된 것처럼 최근에는 비구조물의 손상이 구조물 내부의 다양한 피해를 가져온다는 심각성을 인식하게 되었다.

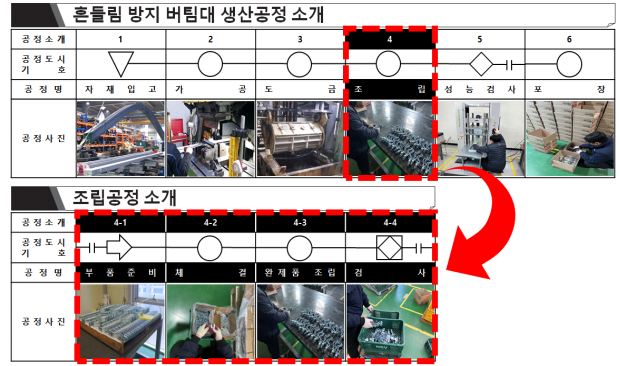
비구조 요소는 정보통신설비, 소방배관과 스프링클러 시스템, 소화수조 등 안전을 위해 지진 발생 후에도 정상적인 기능을 해야만 하는 요소를 말한다. 이러한 비구조 요소의 피해는 지진 후 발생할 수 있는 2차, 3차적 피해를 발생시킬 수도 있으므로 지진 발생 시뿐만 아니라 지진 발생 후에도 시설 및 설비 등이 정상 작동될 수 있도록 구성요소에 대한 내진 안정성 확보가 요구된다.

특히 소방시설에 대한 내진 안정성에 대한 커가는 관심만큼 소방시설을 보호하고 유지하는 내진 제품의 중요성 또한 높아지고 있다. 그중 소방배관의 흔들림을 방지하기 위하여 사용되는 흔들림 방지 버팀대의 수요량은 최근 몇 년 지속해서 급격하게 증가하여 국내에서는 내진 제품군 개발과 공급이 확산하고 있다.

소방 배관은 구조물에 고정되어 있어 지진이 발생할 경우 구조물의 파손이 발생되고 배관의 이격이 발생하여 파손된다. 소방 배관을 지진에 의한 흔들림을 방지하기 위해 사용되는 제품이 흔들림 방지 버팀대이다. 흔들림 방지 버팀대는 지진의 충격을 흡수하는 댐핑 역할을 하는 장치로 배관을 잡아주는 어댑터와 클램프로 구성되어 있다. 클램프와 어댑터는



[그림 1] 흔들림 방지 버팀대



[그림 2] 흔들림 방지 버팀대 생산공정

볼트와 너트로 체결하여 고정하는데 공장에서 출하시 볼트너트 체결 불량으로 인한 부속품 망실로 출하된 제품의 반품이 발생되고 있어, 조립공정 자동화가 필요하다.

본 연구에서는 기존 수작업 공정 개선을 위한 자동화 장치 설치 효과와 손익분기점 분석을 수행하여 자동화 이점을 검토하였다.

2. 기존 수작업 및 자동화 생산공정

2.1 흔들림 방지 버팀대 구성

흔들림 방지 버팀대는 Fig. 1에 부속품 및 설치 형태가 나타나 있다. 주요 부품으로는 배관연결장치, 어댑터, 지지대로 구성되어 있다. 배관연결장치는 지지대와 연결해 배관과 결합하는 장치로 클램프 구조의 제품에 볼트 너트를 연결 조립한다. 배관연결장치는 SS275 재질의 평철(폭 : 32mm, 두께 : 6mm)을 사용하였으며, 호칭은 32A~100A이다. 또한, 배관을 고정해주는 조립볼트 2EA, 너트 2EA로 구성된다. 어댑터는 주물타입으로 제조되며 전단볼트(M10*35L)와 체결되어 구성된다. 지지대는 배관연결장치와 건축물부착장치를 연결하는 배관용 탄소 강관 파이프이다. 호칭은 25A이며, 사용할 수 있는 최대길이는 3.28m이다. 건축물부착장치는 버팀대의 지지대와 연결하여 건물 구조물에 버팀대를 안전하게 부착할 수 있는 장치로 조립볼트와 너트로 구성되며, 어댑터와 체결하여 설치된다. 재질은 철판을 프레스 설비로 가공하여 제작한다.

2.2 기존 수작업 흔들림 방지 버팀대 생산공정

그림 2에는 흔들림방지 버팀대의 생산 공정을 도식화 하여 나타내었다. 조립공정은 모든 단계에서 2인의 작업자로 작업을 하고 있으며, 세부 공정은 4가지 단계로 구성되어 있다. 첫 번째 단계는 각 부품을 작업공간으로 이동하는 단계로, 이 공정은 주로 운반작업이다. 배관연결장치, 조립볼트, 너트 등의 자재를 작업공간으로 이동하여 다음 작업을 위해 준비를

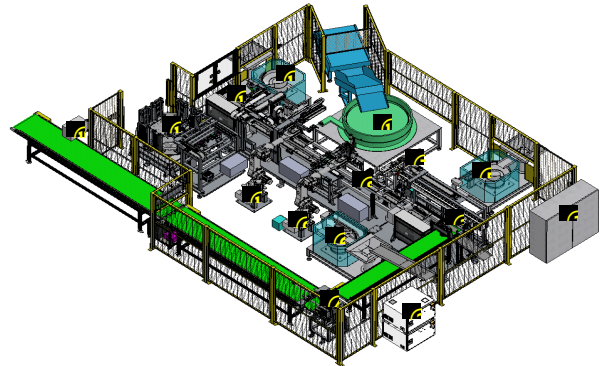
한다. 두 번째 단계는 체결 공정으로, 어댑터에 전단볼트를 체결하는 작업이다. 세 번째는 각 부품을 조립하는 과정으로 배관연결장치와 어댑터를 볼트와 너트로 조립하며 이 공정에서 완제품이 생산된다. 마지막 단계는 완제품 작업 후 검사 공정이다. 검사 공정은 수량 파악과 완제품의 체결상태를 작업자가 확인한다. 각 부품을 조립하는 과정으로 배관연결장치와 어댑터를 볼트와 너트로 조립하며 이 공정에서 완제품이 생산된다. 마지막 단계는 완제품 작업 후 검사 공정이다. 검사 공정은 수량 파악과 완제품의 체결상태를 작업자가 확인한다.

조립공정의 특성상 작업자의 의존도가 높아 2023년 기준 연 20건 이상의 볼트, 너트 등의 부품 누락이 발생하는 사례가 있고, 수량 파악의 착오가 발생하여 고객사의 불만이 발생하는 사례가 있어 자동화를 통한 품질 안정이 필요하다.

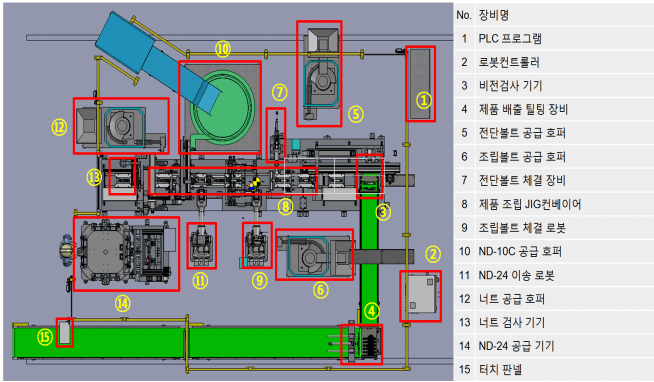
2.3 흔들림 방지 버팀대 자동화 시스템 적용

자동화 시스템은 그림 3과 4에 도식하였다. 부품 자동 공급 장치 5대(클램프, 어댑터, 전단볼트, 조립볼트, 너트)가 있고, 이송 컨베이어 3대, 검사장비(비전기기)가 2대, 체결기기가 2대로 구성된다.

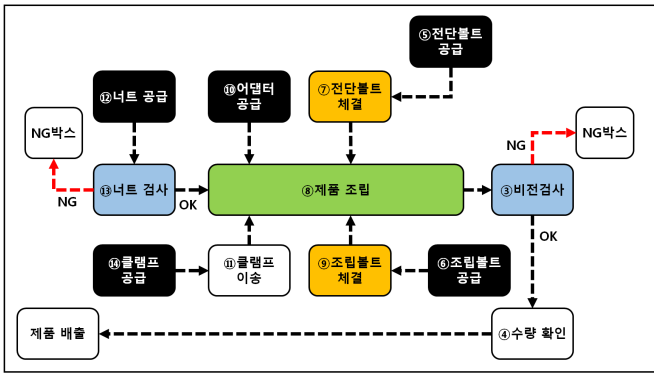
자동화 시스템의 공정 흐름도는 그림 3-5에 표시하였다. 우선, 너트, 어댑터, 전단볼트 등의 부품이 초기 설정 위치로 이



[그림 3] 흔들림 방지 버팀대 자동화 시스템



[그림 4] 자동화 설비의 구성



[그림 5] 자동화 시스템의 공정 흐름도

동되는 부품 공급처가 있다. 여기서 너트는 비전검사를 하여 지그 위 위치가 부적합일 경우는 NG박스로 이동하며 이상이 없을 시 제품 조립설비로 이동된다. 어댑터, 전단볼트, 조립볼트 등은 이송로봇을 통하거나, 즉시 조립설비로 이동한다.

다음은 조립단계로 제품조립 라인에서 취합된 부품들을 조립한다. 공급된 어댑터와 전단볼트 체결을 가정 먼저 진행하며, 클램프 사이에 어댑터를 조립이 가능하도록 설정한다. 공급된 조립볼트로 제품을 조립하여 작업을 마무리한다.

마지막 단계로 비전검사를 수행한다. 비전검사는 조립된 완제품이 볼트나 너트 체결에 이상 유무를 판단한다. 이상 발생 시 NG 박스로 이동하고 양품은 컨베이어 벨트로 운송한다. 운송된 제품의 수량은 작업자가 모니터링이 가능하도록 설계하였다.

3. 조립공정 자동화 시스템

3.1 조립공정 자동화 시스템 도입 전/후 비교

표 1에는 조립 공정과정의 수작업과 자동화 과정을 비교하여 작업시간, 작업인원 비교하여 분석하였다. 수작업 조립공정에서 일일 생산량은 3,840 세트/8h이다. 자동화 시스템 도입 후 일일 생산량은 5,630 세

[표 1] KPI 결과

No.	항목	단위	수작업	자동화 설비
1	일일 생산량	세트	3,840	5,630
2	공정 불량률	%	0.20	0.00
3	작업자	인	2	0.5
4	인건비	천원	65,000	16,250

[표 2] 자동화 설비 적용 시 단위당 판매가격 및 생산원가 분석

No	항목	비용(원)	계산방법	
1	단위당 판매가격	40,425	단위당 평균 판매가격	
총 매출액		9,008,347,425	40,425원 × 221,841개/년	
2	단위 변동비	원자재	5,025	단위당 원자재 가격
		가공비	1,960	단위당 제품 가공비용
		관리비	2,529	단위당 기타 비용
총 변동비		2,110,595,274	9,514원 × 221,841개/년	
3	고정비	인건비	-	일일인건비(128,750원)×작업인원(2인)×근무일(252일)
		투자비	500,000,000	자동화 조립설비 구축비
총 고정비		500,000,000		
총 비용		2,610,595,274	총 변동비 + 총 고정비	
이익		6,397,752,151	총 매출액 - 총 비용	
이익률(%)		71.0	이익/총 매출액×100	
손익분기점 판매량(BEP)		16,175.5	총 고정비/(판매가격-단위변동비)	
투자비 회수후 총비용		2,110,595,274	(총 변동비)투자회수	
투자비 회수후 이익		6,897,752,151	(총 매출액 - 총 비용)투자회수	
투자비 회수후 이익률(%)		76.6	(이익/총 매출액×100)투자회수	

트/11h 이다.자동화 설비를 통한 생산량 향상은 식사 시간, 쉬는 시간 등의 휴게 시간에도 인력을 투입하지 않고 작업이 가능하여 기본 8시간 보다 3시간을 추가로 작업하여 생산량 증대 효과가 있었다.

조립 공정에서 불량 유형은 작업자의 수량 착오로 발생하는 제품 누락과 조립 시 체결 불량으로 발생하는 부품 누락 등의 사례가 있는데, 자동화 시스템 도입 후 비전 검사 기기로 제품의 조립상태를 점검하여, 부적합품 발생 시 불량으로 배출되어 작업자가 즉각적인 대처를 할 수 있어 불량 발생을 미연에 방지 할 수 있다. 또한 제품 배출 릴딩 장비에서 설정한 수량으로 부품을 카운팅 하여 배출함으로 제품 누락을 방지할 수 있다.

3.2 조립공정 자동화 경제성 분석

표 2에 경제성 분석 결과를 나타내었다. 단위가격당 판매가격을 연간 생산량을 곱하여 총매출액, 단위변동비에 연간 생산량을 곱하여 총 변동비를 구하였다. 손익분기점 판매량(Break-Even Point, BEP)은 총 고정비/(판매가격-단위 변동비)을 계산하였다.

고정비 회수율 관점에서, 자동화 설비는 초기 투자 비용이 크지만 일정 판매량을 넘어서면 고정비 부담이 완화된다. 이 시점 이후에는 변동비 절감 효과로 인해 수익성이 크게 개선된 것을 확인 하였다. 자동화 설비는 초기 고정비가 많이 소요되지만, 손익분기점(BEP)을 초과한 이후에는 수익성이 급격히 증가하는 수익 구조를 나타냄을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 소방시설 내진 제품 중 하나인 흔들림 방지 버팀대의 생산공정에 대한 자동화 공정 기술을 개발하였고, 기존 수작업 공정 개선을 위한 자동화 장치설치 효과와 손익분기점 분석을 수행하여 자동화 이점을 분석 하였다.

본 연구는 자동화 시스템 도입을 통해 인건비 절감, 작업 효율성 향상, 작업자 안전성 강화의 효과를 검토했다. 기존 수작업 조립공정의 인건비는 연간 약 6,489만원이 소요되었으나, 자동화 시스템을 통해 연간 6,500만원 이상의 비용 절감이 예상된다.

자동화 시스템 초기 도입 시 고정비가 크지만 일정 판매량 이상이 되면 고정비 회수가 가능해져 장기적으로 수익성을 높일 수 있다. 손익분기점을 초과한 이후에는 자동화로 인한 변동비 절감 효과가 발생하여 수익이 급격히 증가하고, 이는 자동화 설비가 장기적으로 필수적인 시스템임을 확인하였다.

[후기]

본 논문은 인하대학교 스마트제조고급인력양성사업 산학공동프로젝트 결과와 제조혁신전문대학원 석사학위논문 제출을 위해 발표한 논문입니다.

참고문헌

- [1] 이태호, 임의방향 진동의 감쇠기능을 갖는 면진형 배전반에 관한 연구, 2018년
- [2] 김길중, 비정형 구조물 배관의 내진해석 및 평가에 관한 연구, 2021년
- [3] 박시효, 공동주택 소방시설의 내진설계 개선에 관한 연구, 2017년
- [4] 오수연, 4방향흔들림방지버팀대의 구조 안정성 및 내진

성능 연구, 2022년

- [5] 한국소방산업기술원, 흔들림 방지 버팀대의 성능인증 및 제품검사 기술 기준, 2023년
- [6] 소방청, 소방시설 내진설계기준 해설서, 2022년
- [7] 국토교통부, 건축물 내진설계기준 (KDS 41 1700), 2019년