

Stud Bolt 용접 환경 개선을 위한 자동 용접 시스템 개발

하인철*(고등기술연구원 로봇/생산기술센터), 송병석(고등기술연구원 제품기술연구센터)
송신우(고등기술연구원 제품기술연구센터)

Auto Welding System Development For The Improvement Of The Stud Bolt Welding System

I. C. Ha(Robot Technology & Manufacturing Center, IAE), B. S. Song(Product Design Tech. Center, IAE)
S. U. Song(Center for Product Design Tech., IAE)

ABSTRACT

At the present, a stud bolt welding was achieved by the manual method. The manual method caused many problems of work evasion. In order to work out these problems, an automatic welding system is designed for a stud bolt welding system. The system is composed of articulated type welding robot, stud gun, stud feeder, stud controller and various jig.

Key Words : Stud Bolt(스터드 볼트), Welding(용접), Robot(로봇), Automation(자동화)

1. 서론

자동차 산업의 현 추세는 경량화, 비용절감, 조립 공정 단순화를 요구하고 있다. 따라서 자동차 조립의 대부분을 차지하고 있는 용접조립의 개선을 통한 품질 향상과 제조비용 절감이 우선시 되고있다.

특히 자동차 부품의 스테드 용접은 다른 종류의 용접보다 자동화 개발이 현저히 떨어져있으며, 전기, 전자 등의 여러 복합기술이 접목된 고급기술을 필요로 한다. 외국의 선진 자동차 업계의 경우는 전문 용접기 제조 업체와 로봇 업체의 3자 공동개발로 각 업체의 특정 부품에 맞는 기술 개발이 활발히 진행되어 오고 있으며, 제조비용(인건비, 품질 유지비용) 절감에 크게 기여 하고 있다. 이러한 스테드 용접 자동화 기술 개발은 국내의 기존 용접기술인 수동 용접으로 인한 생산성 저하, 작업자의 작업기피, 불량품 수정(REWORK), 검사원의 전량 타격 및 육안 식별 검사 등에 소요 되는 제조 경비를 절감하여 기업 경쟁력 강화를 주목적으로 하고 있다. 스테드 용접 자동화 기술 개발은 자동차 부품 제조업체의 제조 공정 단순화, 인건비 절감 품질 유지비용 절감을 통한 기업 경쟁력 강화와 산업

경제적 필요성과 목적성을 가진다. 이러한 산업 경제적 필요성에서 선진국의 스테드 용접 자동화 기술 개발은 자동차 산업 분야에서 제조비용 절감과 고객으로부터의 신뢰성, 품질보증 등을 위하여 각 업체별로 전문자동화 업체와 전문 용접기기 제조 업체와의 기술 공유를 통한 공동 개발로 실 생산 LINE에 적용하고 있다. 기존의 스테드 용접방법은 제품의 무게가 13Kg 이상 되는 부품을 전용 지그에 장착하고 6Kg 정도의 스테드 용접건(용접장치)을 손으로 들고 방아쇠를 당기며 14~24곳에 일일이 용접을 해야 한다. 따라서 단순 반복 작업에 의한 산업재해 사고가 빈번하고, 작업자의 작업 속도 정도에 비례하는 용접 품질과 생산성이 문제가 되고 있다. 용접품질 검사 방법 또한 생산성 저하에 주요 요인으로 작용 하고 있으며, 현 검사 방법은 검사원이 일일이 망치를 사용 반파괴 검사로 용접성을 확인, 용접 POINT와 용접 개소는 육안과 실샘으로 확인하고 있는 실정이다. 한편 제조 공장의 전력 사정에 따라 전압 편차가 심하여 이에 따른 용접조건외 보정치를 적용, 조건 변동이 수시로 일어난다. 이러한 과정에서 용접 품질은 급격히 저하되며, 품질 관리비용이 상승할 수밖에 없는 실정이다.

다. 스티드 용접은 앞서 열거한 제조비용 상승 요인을 저감시키기 위해, 제품의 이송 및 용접 자동화와 용접 품질(누락, 기공, 탈락)을 자동으로 검사하여 용접 조건을 최적화 할 수 있는 F/PROOF 제어기술이 종합된 자동화 용접기술 개발이 필요하다.

본 연구에서는 스티드 볼트 HOPER에 볼트를 쏘아 부으면 순차적으로 용접이 용이하도록 자동 정렬되고 용접 개시 신호에 따라 스티드건까지 자동으로 송급 되는 스티드 볼트 자동 송급 장치 설계와 스티드 용접 대상물인 모재를 자동으로 운반, 용접 위치까지 핸들링 하는 6축 로봇 시스템과 스티드건을 고정 시킬 수 있는 지그의 개발 및 스티드 용접을 위한 자동 용접기와 자동화 제어 시스템 개발에 대하여 수행하고 한 생산 라인을 모델로 하여 개선 사항 등을 확인한다.

2. 스티드 볼트 용접 시스템

2.1 스티드 볼트 용접

스티드 용접법은 동봉 또는 황동봉 등을 볼트 대신에 모재에 심는 방법이며, 아크 용접의 일종으로 스티드 선단에 페룰(ferrule)이라고 불리는 보조 링을 끼우고, 스티드를 모재에서 약간 떼어놓아 아크를 발생시켜 적당히 용융하였을 때 스티드를 용융지(molten pool)에 압입하여 용착시킨다. 일반적으로 아크 발생 시간은 0.1~2초 정도로 선정된다. 용접 작업은 전기에너지를 사용하여 이루어지는 것으로 아크열에 의한 순간적인 국부 가열이 필요하므로 작업자의 노동력을 필요로 한다.

다음 그림은 스티드 볼트가 용접 되어 있는 자동차 판넬의 일부를 나타낸 것이다.

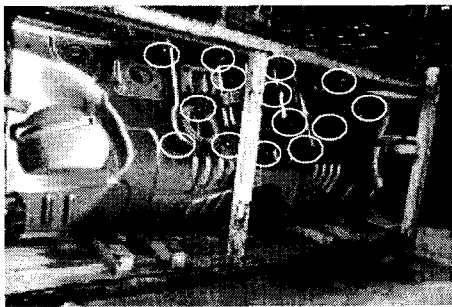


Fig 1. Stud Bolt Welding Part

2.2 스티드 볼트 용접 경향 분석

스티드 볼트 용접 분야의 현재 추세와 향후 발전 방향을 모색하기 위해 특허 조사를 하였다. 특허 검색은 특허청의 특허검색 프로그램인 PIAS2.0과 한국특허 정보원(www.kipris.or.kr)에서 주요어로 '스

티드'와 '용접'을 사용하였다. 그 결과로 837건을 검색할 수 있었고, 새로운 주제어 '자동화', '로봇', '아크용접'을 사용하여 40여건의 특허를 검색할 수 있었다. 가장 많이 사용되고 있는 분야는 H01 분야로 기본적인 전기소자 분야에 스티드 용접기술이 가장 많이 사용되고, 그 다음으로 많이 사용되고 있는 분야는 B23분야로 공작기계분야, E04 분야, B60 분야 등으로 그 다음부터는 사용빈도수가 크게 줄어들을 알 수 있다. 다음 그림에 기술 분석과 사용된 분야의 기술 건수를 나타낸다.

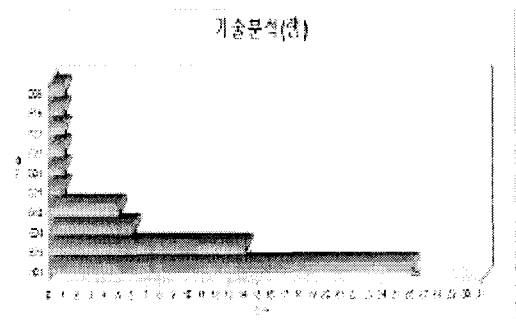


Fig 2. Technical Analysis

- H01: 기본적인 전기소자, B23: 공작 기계
- E04: 건축물(적층재(積層材), 적층체(積層體))
- B60: 차량일반, G21: 핵물리; 핵공학
- G01: 측정 시험
- F27: 노(FURNACES), 킬른(KILNS), 오븐(OVENS)
- F23: 연소장치; 연소방법, F16: 기계요소 또는 단위
- D06: 섬유 또는 유사물의 처리

기계공업분야에서 특허를 많이 출원한 회사는 국내에는 S전관, D자동차, SDI, TRW, L전자 등의 순으로 많이 출원하였음을 알 수 있다. 그리고 미국에는 TRW, Emhart Inc., USM Corporation, Nelson Stud Welding, Inc., Senco Products, Inc., MIT등에서 주로 출원하였다.

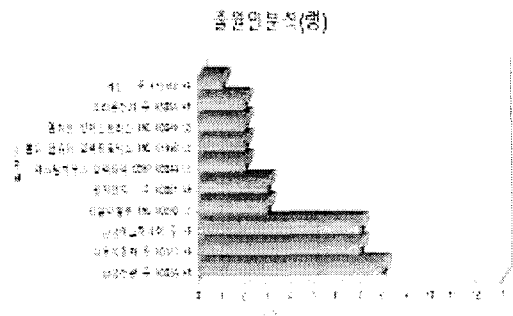


Fig 3. Domestic License Diagram

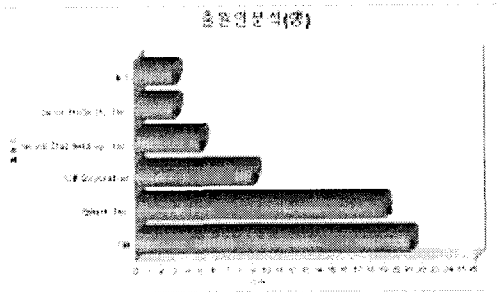


Fig 4. License Diagram (U.S.A)

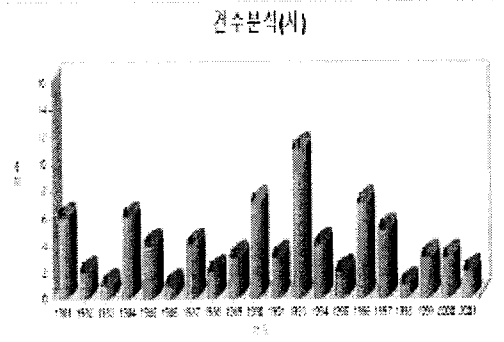


Fig 5. License Diagram By The Year

상기의 특허조사 과정을 통하여 본 현재까지 출원된 국내외 특허 기술을 근거로 하여 스테드 볼트 용접기의 특허구성은 스테드 볼트 용접 시스템 구성 및 제어기 설계, 스테드 볼트 용접기 고정방지 장치, 스테드 자동 충전 장치, 스테드 볼트 용접 시스템 제어 알고리즘으로 분류할 수 있으며, 현재 까지도 관련 연구가 계속 진행되고 있다.

3. 기존 시스템 및 요구 사양 분석

3.1 기존 시스템 분석

스테드 용접기는 대부분의 국내 중소기업에서 반자동 용접기를 보유하고 있어 제품 생산에 사용하고 있으나, 대체적으로 일반적인 용접에 적합하므로 다양한 용도의 작업을 필요로 하는 소량 다품종에는 사용이 곤란하여 생산성이 저하되고 있으며, 각각의 용도에 맞추어 여러 대의 스테드 용접기를 준비하여 작업에 착수하고 있는 실정이다.

또한, 용접물체의 크기가 크면 작업자가 손으로 스테드 건을 잡고 용접을 진행해야 하므로 장시간 작업이 이루어지지 못하고 있고, 제품의 크기가 작으면 스테드 용접기를 고정시키고 용접물체를 손으로 잡고 용접을 진행하므로 이러한 경우에도 장시간 작업이 이루어지지 못한다.

3.1.1 스테드 볼트 용접 시스템 구성도

현재 스테드 볼트 시스템의 방식은 다음과 같다.

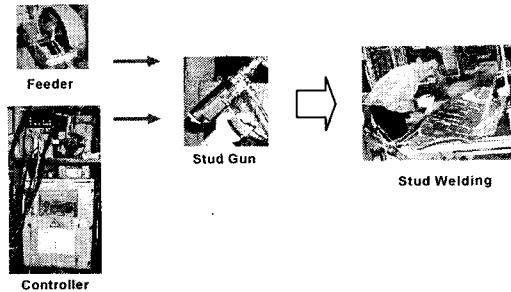


Fig 6. Stud Bolt Welding Process

스테드 피더에서 스테드가 분류되고, 제어기에서 스테드건으로 Arc 전류를 공급하고, 사람의 수작업에 의하여 스테드건을 가지고 직접 작업부재가 있는 곳에서 스테드 볼트 용접할 곳을 일일이 용접한다.

3.1.2 스테드 볼트 용접 작업 공정

현재 스테드 볼트 용접 작업 공정은 다음과 같다.



Fig 7-1. Stud Welding

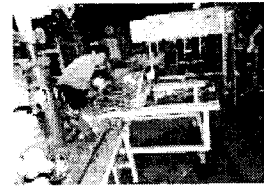


Fig 7-2. Stud Numbering

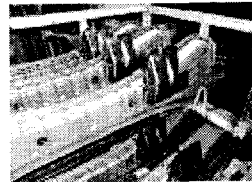


Fig 7-3. Stud Bolt

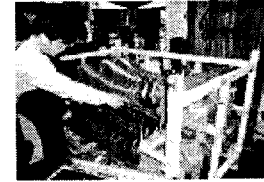


Fig 7-4. Bolt & Quality

스테드 볼트가 용접될 판재에 대하여 작업자가 일일이 스테드 볼트를 용접한다.(Fig 7-1) 용접된 스테드 볼트와 판재에 대하여 스테드 볼트의 번호를 기술한다.(Fig 7-2, 3) 스테드 볼트의 용접 수량이 맞는지 육안검사를 통하여 확인하고, 품질검사를 위하여 망치로 두들겨 충격검사를 수행한다.(Fig 7-4)

3.1.3 기존 시스템의 문제점

용접물체에 용접대상물을 올려놓고 순간 용접 방식으로 용접할 때 작업자가 수작업으로 용접건을 들고 용접하므로 장시간 작업이 이루어지면 작업자는 쉽게 피로하여 더 이상의 작업이 이루어지지 못하며, 용접 시 용접봉과 모재사이에서 발생하는 불뿔 등으로 인하여 작업 기피의 요인이 발생한다. 또한, 용접대상물이 변경될 때마다 스테드 용접기

의 용접조건을 변경시켜야 하고, 용접이 끝나면 용접품질이 균일한가를 판단해야 하므로 업무의 부가 가치에 비해 작업의 난이도가 높으므로 작업자는 중소기업 특성에 맞는 다품종 소량생산 업무에 적용이 어려워 생산성이 저하되며, 작업기피의 요인이 발생한다. 동종업계의 중소기업들은 반자동 스테드 용접기를 이용하여, 수작업으로 용접대상물을 용접하고 있고, 스테드 용접기 생산업체들도 중소기업 현장에서 일반적으로 사용할 수 있는 범용 스테드 용접기를 생산하고 있어, 스테드 용접 대상물에 맞춤형으로 용접을 수행할 수 있는 장비는 개발이 안 되어 있는 실정이다. 따라서 작업자는 용접물체가 변경될 때 마다 수작업으로 용접기의 제어판넬을 수정하면서 숙련도에 의존하여 작업을 진행하고 있어, 제품 품질이 균일하지 못하고 타 작업에 비교하여 작업성이 뒤떨어지고 있다.

3.2 자동화 시스템 요구 사양 분석

3.1.3의 문제점들을 해결하기 위하여 자동 용접 시스템 구현에서 필요로 하는 기능은 다음과 같다.

- ① 별도의 장비 조절이 필요 없이 작업자는 간단히 버튼 조작만으로 용접이 가능하여야 한다.
- ② 소비 전력이 작고, 전력 조절이 간편해야 한다.
- ③ 스케일 모니터의 채택 및 자체 고장의 진단회로가 내장이 되어야 한다. (Self-testing)
- ④ 모니터를 통한 용접 준비 신호와 조작을 시험할 수 있는 기능을 제공하여야 한다.
- ⑤ 급속 용접시 아크 발생 시간을 재질마다 조정 가능하여야 한다.

4. 자동화 시스템 구현

4.1 자동화 시스템 설계

수동적인 용접 작업에서 자동화 용접 작업으로 교체될 시스템의 설계는 다음과 같이 크게 두 가지 형태로 분류된다.

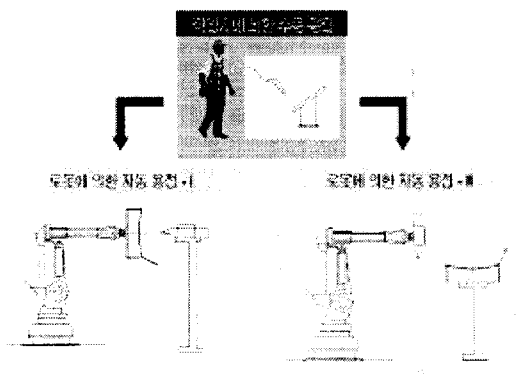


Fig 8. System Consideration

① 로봇에 의한 자동 용접 - I

- 로봇이 작업 부재를 움직여서 고정된 스테드건에 접촉시킴으로써 스테드 볼트용접을 수행하는 방식이다.

② 로봇에 의한 자동 용접 - II

- 로봇이 스테드건을 움직여서 작업 부재에 접촉시킴으로써 스테드 볼트 용접을 수행하는 방식이다.

설계된 시스템과 요구 사양들을 기초로 하여 구현된 시스템은 다음과 같다.

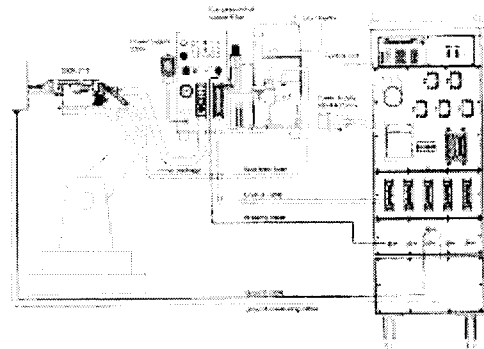


Fig 9. System Construction

오른쪽의 긴 직사각형 형태의 장비가 스테드 제어기이고, 중앙에 스테드 피더가 연결되어 있으며, 왼쪽에는 스테드건이 장착되어 있다. 이 스테드건을 움직이기 위해서 로봇이 사용되고 있다.

Arc의 발생을 제어하는 것은 스테드 제어기이고, 피더의 이송을 담당하고 있는 장비가 스테드 피더이며, 용접 대상체에 스테드 볼트를 접합시키는 역할을 스테드건이 담당하고 있다. 또한, 부가적으로 스테드 제어기가 모든 Alarm을 제어 및 관측하고 있다. 위의 그림은 시스템의 전체적인 구성 요소와 구성 요소들 간의 연결도에 대하여 주안점을 둔 그림으로써 용접 자동화 시스템 1, 2에 따라서 형태는 달라질 수 있다.

4.2 기능 분석

로봇은 가반 중량이 6Kg(스테드건 이송 타입), 130Kg(작업 부재 이송 타입)이 사용되고 있으며, 이때의 로봇 반복 위치 정밀도는 $\pm 0.08\text{mm}$ 인 6축 다관절 로봇을 적용하여 다양한 작업 공간을 활용하도록 하였다.

구현된 자동화 시스템의 기능들은 다음과 같다.

- ① 스테드 볼트가 규격화되어 있지만 볼트 공차에 대한 유연성을 가지고 있다.

- ② 스테드 볼트의 이중 투입이 가능하다.
- ③ Fault detection
 - (i) 7-segment display for the coded error codes
 - (ii) Weld tool에서 Arc Voltage 측정하여 용접 검사
- ④ 용접 성능 향상성
 - (i) Workspace의 cleaning : Cleaning jet 기능
 - (ii) Welding head의 수평 지지 기능
- ⑤ 스테드 용접 프로세서 지지 기능
 - (i) Workpiece surface에 용접 스테드가 접촉 여부 지지 기능
 - (ii) Welding head의 receiver에 용접 스테드가 장착 여부 지지 기능
 - (iii) Welding head의 solenoid actuator 신호 여부 지지 및 이송 여부 지지 기능
 - (iv) Paddle wheel movement motor의 작동성 지지 기능
 - (v) 스테드 slide의 이송 위치 검출 기능
 - (vi) Isolating blade의 작동 검출 기능
- ⑥ 통합 제어기의 확장성
 - Up to five 스테드 용접건
- ⑦ Data 저장 기능
 - PC와 Serial, Fiber Optics interface (RS-232C)

5. 자동화 시스템 성능 분석

생산 라인에 대하여 주 생산품 중 작업자에 의한 수동 스테드 적용 부품인 GXV 모델의 PNL A-DASH와 스테드 자동화가 적용된 GXT 모델의 용접 품질과 생산성을 비교하였다.

5.1 기존 시스템 분석

먼저 수동용접의 경우 생산 품질 데이터를 보면 작업자의 변동이나 설비 점검주기 도래시 품질지수는 2002년 5월 최고 69,000PPM, 적게는 1,900PPM을 나타내고 있다. 이것은 생산 라인의 수정공정을 거치기 전 순수 용접공정내의 품질 지수이다. 따라서 기존의 스테드 용접공정은 반드시 수정 공정이 필요 하였으며 이에 따른 제조 경비는 가중될 수밖에 없었다.



Fig 10. Manual Setting Fig 11. Manual Welding
또한 Fig 10, 11에서 알 수 있듯이 열악한 작업 환경에 약 13Kg의 제품을 하루 600회 이상 반복 작업해야 하는 작업 기피공정으로써 생산성은 월평

균 약 15%의 편차로 불규칙함을 보였고, 2002년의 불량수정비용 약 600만원, 설비의 유지 보수 비용은 약 800만원을 사용 하였다. 이는 제조 경비 상승에 주요인이 되었다.

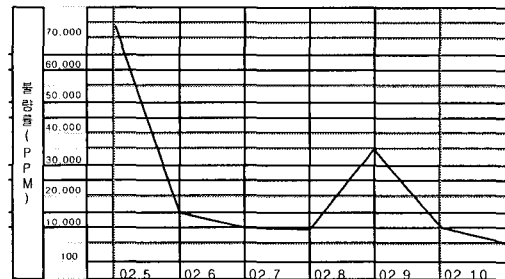


Fig 12. Welding Inferiority (Manual Work)

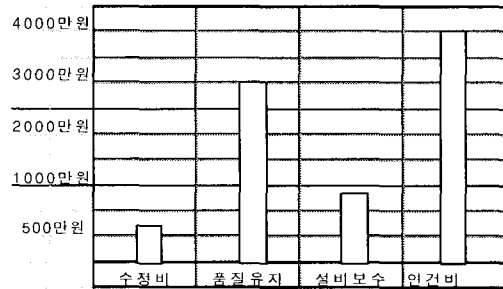


Fig 13. Cost (Manual Work)

Fig 12.는 2002년 5월부터 10월까지의 수동 용접 공정에서 불량 수정 공정을 거치전의 품질지수를 나타내고 있으며, Fig 13.은 생산 라인의 수동 용접시 발생된 부가 제조 경비이며 이는 불량 수정비 품질 유지를 위한 검사 및 관리 비용, 설비의 유지 보수 비용, 작업자 인건비를 나타내고 있다.

5.2 자동화 시스템 분석

다음은 스테드 용접자동화를 적용한 GXT 모델의 PNL A-DASH의 생산성 및 품질지수 이다.

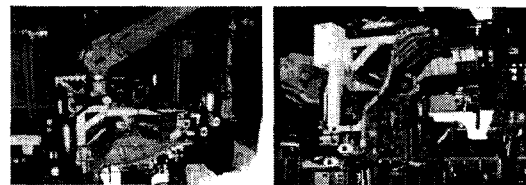


Fig 14. Automation Setting Fig 15. Automation Welding

먼저 Fig 14.에서 보듯이 작업자가 없이 로봇에 의해 제품이 공정 간에 이동 하는 것을 알 수 있다. 이는 산업재해 등의 문제와 작업자의 숙련도에 따라 변동되었던 기존의 작업 방식과는 비교도 안 될 정도의 생산성과 품질에서 큰 차이를 보이고 있다. Fig 15.는 작업자를 대신한 로봇에 의한 용접 장면이다.

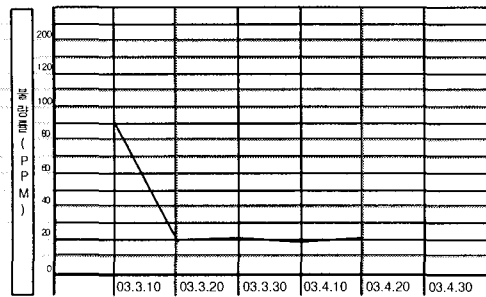


Fig 16. Welding Inferiority(Automation)

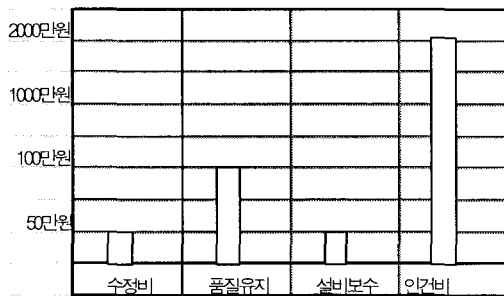


Fig 17. Cost (Automation)

따라서 스티드 자동화 용접은 Fig 16.에서 보는 바와 같이 최초 장비의 설치 초기에는 품질 지수가 약 90PPM을 보였지만 문제점 보완과 시스템이 안정화됨에 따라 20PPM 정도를 나타내고 있다. 이는 제품 표면에 도포된 유막 또는 방청유, 먼지 등에 의해 발생된 불량으로 파악되었으며, 이에 대한 대책으로 용접전 끝단에 Air 분사 장치를 장착 용접 직전 이물질 제거 되도록 검토 중에 있다. 스티드 용접의 자동화 설치 이후 발생된 부가제조 경비는 Fig 17.에서 보는 바와 같이 아주 미약 하였고, 이는 자동화 용접 시스템의 설치 이후 2개월간에 발생된 비용을 추론에 의해 1년치를 예상한 것이다. 하지만 현 수준과 같이 품질 지수가 20PPM 미만으로 유지되거나 차후의 개선으로 시스템이 더 안정 된다면 약 20%이상의 절감 효과가 있을 수 있다.

6. 결론

본 스티드 용접 자동화 개발 및 생산 라인에 따른 효과 분석은 다음과 같다.

구분	작업전	작업후	절감효과	비고
목인원	22명(주)	17명(주)	1명(주)	1공정 감소로 인한
인건비	40만 원/년	27만 원/년	2000만 원	작업시간 단축으로 인한
생산성	10000/년	20000/년	65.5%	재고비 절감
불량유지비용	6만 원/년	0.5만 원	5.9%	가공시 불량수정
품질유지비용	30만 원/년	1만 원	29%	품질 검사원감소
설치유지보수비용	8만 원/년	0.5만 원	7.5%	소모품 교환
(합계)			14758만 원	

스티드 용접 자동화 시스템 개발은 피더 설계 기술 및 로봇 구동기술, Actuator 구동기술 등에 활용되는 공통기술분야와 공정설비인 용접볼트 이송 메카니즘 및 제어기술분야 등으로 구분하여 개발하였으며, 제어시스템의 설계 시스템을 구축함으로써 체계적인 설계 기술이 확립되어 기술 자립 미흡 분야에 핵심적인 기술로 사용될 것이다. 장래에 스티드 용접 자동화 시스템을 이용한 생산기술 및 제품기술에서 지금까지의 기술을 기초로 더 한층 고기능의 기술을 융합하고 신규기술을 도입하여 성능 향상 및 개선을 도모하면서 변혁될 것으로 예상된다.

향후 연구 과제로서는 구현된 자동화 시스템에 대하여 시스템의 확장 적용시 제품에 도포된 유막(기름, 방청유)등에 의한 미세한 품질 저하요인 제거를 위한 지속적인 개선이 필요하며, 정밀 전자 전기제어 장비로 구성된 이 자동화 시스템은 제조업체의 설치환경을 고려(전기 품질, NOISE, 미세분진 등등)하여 개선하여야 할 것이다.

후기

본 연구 과제는 중소기업청에서 시행한 "중소기업 직무기피 해소 사업"으로 추진되었음에 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kuhne, A. H., Frassda, B., Starke, G., "Components for the Automated Gmaw형 Process," Welding Journal JUL, pp. 31, 1984.
2. V. MALIN, "Designer's Guide to Effective Welding Automation-Part 1," Welding Journal, pp 17-27, NOV, 1985.
3. 김재근, 이상진, 신윤섭, "산업차량 샤프의 로봇 용접 적용," 대한전기학회 로보틱스 및 자동화 연구회 워크샵, pp. 67, 1991.
4. 과학기술처, "Robot 응용 자동나사 체결 시스템의 개발," 과학기술처 1차 보고서, 1992.
5. 최기한, "로봇을 이용한 자동 볼트 시스템 개발에 관한 연구," 경북대 석사 학위 논문, 1993.