

보일러 튜브 자동벤딩 생산시스템 개발 Auto-Bending Manufacturing System for Boiler Tubes

이현수, 강문현, 박준곤, 허관, 성준석, 허왕순 (삼성중공업 기전연구소)

Hyun-soo Lee, Moon-hyun Kang, Jun-kon Park, Kwan Hur, Joon-suk Sung, Wang-soon Heo (Samsung Heavy Industries Co., Ltd.)

ABSTRACT

This system is the automatic boiler tube bending equipment which has four heads for bending the tube and the carriage for moving the tube. The system consists of two frames for transporting each moving parts, high-frequency heating equipment for heating the tube in hot bending, control panel for inputting the job data and operating, remote control unit for concentration and distribution of input/output, and the monitoring system which can establish unmanned operation by receiving the bending job data via LAN from a design team which produces the job data and schedule based on master production plan and diagnoses bending data change, input, whole system status, and system malfunctions. By employing this system, 30% of production improvement was achieved comparing to the existing bending system.

Key Words : Boiler(보일러), Tube(튜브), Bending System(벤딩 시스템), Head(헤드), Carriage(캐리지) Chuck(척), Bending Roll(벤딩 롤), Booster(부스터)

1. 서 론

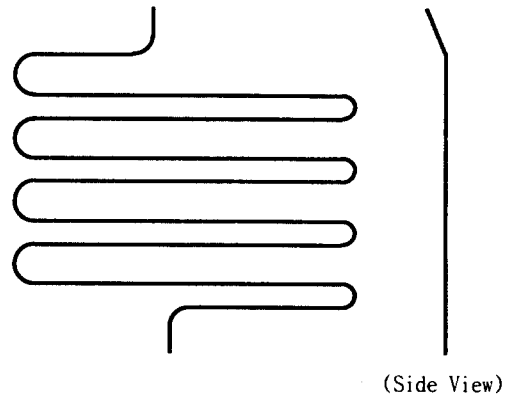
최근 들어 보일러의 대용량화, 제작 납기단축, 제작 원가절감 등이 지속적으로 요구됨에 따라 보일러 제작 설비 또한 고성능 생산시스템을 설치하고자 하는 수요가 증가되고 있다. 그러나 고성능의 생산설비 대부분이 해외에서 전적으로 수입에 의존하고 있어 많은 보일러 제작 업체들이 어려움을 겪고 있다. 산업체의 이러한 어려움을 해소하는데 조금이나마 도움이 되고자 본 시스템을 개발하게 되었다.

본 시스템은 여러 보일러 제작설비 중에서 Fig.1과 같은 보일러 튜브를 연속적으로 자동벤딩하는 시스템으로 아직까지 국내에서는 개발, 설치되어진 실적이 전무한 시스템이다. 이렇게 벤딩 시스템의 개발이 어려운 이유는 튜브의 벤딩 프로세스(Process)에 대한 해석적 모델링(Modeling)이 어렵기 때문이다. 그러나 해외업체에서는 오랜 기간 동안의 튜브 벤딩에 대한 현장 기술과 노하우(Know-How)가 축적되어져 있기 때문에 이를 바탕으로 하여 최적의 시스템 개발을 하고 있다.

당사에서는 10여 년간 튜브를 벤딩 생산하여온 기술과 노하우를 바탕으로 해외업체에서 도입한 기존의 벤딩 시스템을 자체 개발한 고성능의 벤딩 시스템으로

교체하게 되었다. 그리고 이 시스템의 적용으로 기존에 비해 30%의 생산효율을 향상시키는 효과를 얻을 수 있었다.

본 논문에서는 튜브의 벤딩 프로세스에 대한 대략적인 설명과 튜브 벤딩에 영향을 미치는 요소들을 살펴보고, 당사에서 자체 개발하여 현재 설치, 운용중인 벤딩 시스템의 구성과 제어시스템을 소개하는 것으로 글을 맺고자 한다.



(Side View)

Fig.1 The bended boiler tube

2. Bending Process

Fig.2는 튜브를 벤딩하기 위한 벤딩롤, 클램프, 슬라이드바 그리고 부스터의 조합을 나타내고 있는 것으로 튜브가 벤딩되기 전의 형태이다. 여기서 벤딩롤과 클램프는 벤딩하고자 하는 각도만큼 튜브를 잡고 회전함으로써 벤딩작업이 이루어진다. 이때 부스터도 튜브를 잡고서 튜브가 진행되는 방향으로 일정압을 걸어주면서 전진하게 된다. 부스터를 이동시키는 이유는 뒤에서 설명되어진다. 슬라이드바는 튜브가 옆으로 좌굴되는 것을 방지하기 위하여 튜브의 측면을 받쳐주면서 전진하게 된다. 이러한 연속동작에 의해서 튜브가 벤딩되어진 형태를 Fig.3에서 나타내었다.

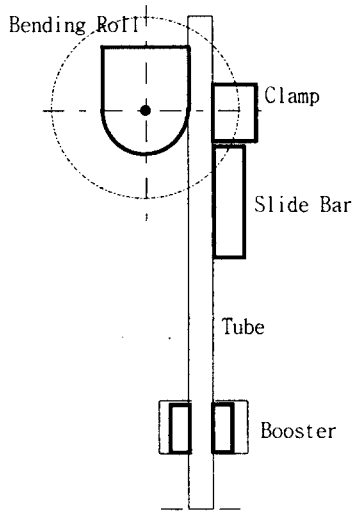


Fig.2 Bending units and unbent tube

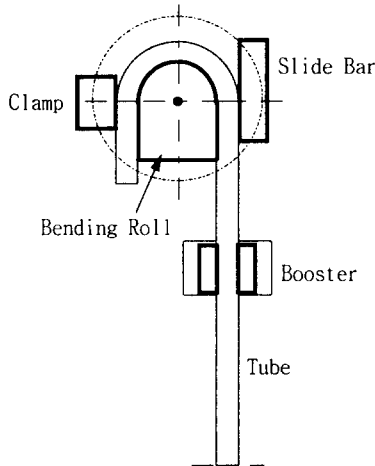


Fig.3 Bending units and bended tube

부스터의 필요성을 먼저 설명하기 전에 튜브 벤딩부의 품질이 어떻게 판단되는지 부터 서술하겠다.

앞서 언급한 바와 같이 보일러 내부에 설치되는 튜브는 고온, 고압의 스팀이 연속적으로 계속하여 흐르는 관이므로 벤딩 부위의 두께가 얇거나 표면상태가 균일하지 않게 되면 보일러 운전시 그 부위에서 균열 또는 파열이 발생하게 된다. 일반적으로 튜브의 벤딩부 조건은 다음의 2가지를 따르고 있다. 첫번째는 식(1), 식(2)와 같이 벤딩부의 두께 변화율이다.

$$E_o = \frac{t - t_o}{t} \times 100 \% \quad (1)$$

$$E_i = \frac{t_i - t}{t} \times 100 \% \quad (2)$$

여기서,

E_o : 튜브 벤딩부의 외측 두께 변화율[%]

E_i : 튜브 벤딩부의 내측 두께 변화율[%]

t : 벤딩전 튜브의 두께[mm]

t_i : 벤딩후 튜브의 내측두께[mm]

t_o : 벤딩후 튜브의 외측두께[mm]

이다. 물론 벤딩후 튜브 벤딩부의 내측 두께 변화율은 증가하고 외측 두께 변화율은 감소하게 된다. 그러나 실제 벤딩시 튜브 벤딩부의 내측 두께 증가율보다는 외측 감소율이 더욱 크게 나타나기 때문에 두께 감소율이 중요한 요소로 인식되고 있다.

두번째는 식(3)와 같이 벤딩부의 타원화율 U 를 들 수 있다.

$$U = \frac{D_a - D_b}{D} \times 100 \% \quad (3)$$

여기서 D 는 벤딩전 튜브의 외경이며 D_a , D_b 는 Fig.4와 같이 벤딩후 타원화 되어진 튜브의 장외경과 단외경을 나타낸다.

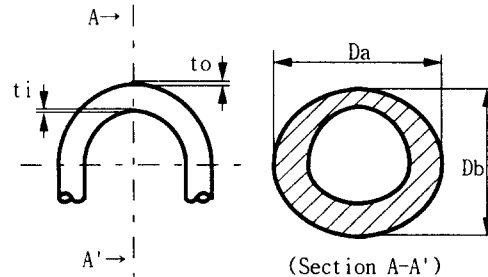


Fig.4 The cross sectional view of Bended tube

이와같은 튜브 벤딩부의 두께 감소율과 타원화율의 최소화를 위하여 부스터가 사용되어 진다. 벤딩시 튜브의 두께가 얇아지는 만큼 뒤에서 부스터가 일정압으로 밀어주어 튜브의 두께가 보상되도록 하고 또한 타원화가 되지 않도록 한다. 여기서 일정압의 입력치는 현재 수직식으로 정확하게 규명된 바는 없고, 현장에서 오랜 사용에 의한 작업자의 노하우(Know-How)에 의해 설정되고 있다.

그러면 벤딩부의 두께변화율과 타원화율에 영향을 미치는 다른 요소들을 살펴보자. 크게 3가지로 나누어 생각할 수 있다.

첫번째는 본질적으로 벤딩부의 형상에 영향을 미치는 요소로서 튜브의 재질, 두께, 크기 등과 같은 소재의 사양을 들 수 있다. 튜브의 재질이 어떤 종류인가에 따라서 같은 벤딩 조건이라도 벤딩부의 두께변화율과 타원화율은 달라지게 되는 것이다.

두번째는 전술한 부스터 추력과 같은 역학적인 요소로서 벤딩 속도, 벤딩 토크 등을 들 수 있다. 산업체에서는 단시간내에 많은 양의 생산이 이루어져야 하므로 두께감소율과 타원화율의 조건이 만족하는 내에서 최적의 입력치를 설정하여야 한다.

세번째는 작업자의 노하우(Know-How)다. 이것은 단시일 내에 이루어질 수 없는 요소로서 오랜 기간 동안의 숙련된 작업으로만 얻을 수 있는 것이다.

3. 시스템 구성 및 주요사양

3.1 시스템 구성

본 설비의 구성은 Fig.5에서와 같이 헤드, 캐리지 그리고 헤드(Head)와 캐리지(Carriage)의 이송을 위한 각각의 프레임으로 구성되어 있다. 또한 튜브의 열간 벤딩을 위하여 튜브를 가열시킬 수 있는 고주파 방식의 가열로가 있으며, 작업 데이터 입력 및 운전을 위한 조작반, 각종 콘트롤러, 드라이브, 전기부품 등이 설치되어 있는 전장 관벨, 입출력 신호의 결집 및 분산성을 이룬 4개의 리모트 제어유닛 그리고 모니터링 시스템으로 구성되어 있다.

헤드는 Fig.3의 벤딩 유니트가 부착되어 튜브를 벤딩할 수 있는 장치로 4개가 있으며 LM 가이드가 부착되어 있는 프레임을 따라 이송할 수 있다. 헤드는 2개가 쌍(Pair)을 이루어 좌우 벤딩을 하며 열간벤딩을 할 수 있는 한쌍과 냉간벤딩을 할 수 있는 한 쌍으로 구성되어 있다. 여기서 열간벤딩과 냉간벤딩은 벤딩 각도 및 튜브의 직경에 따라서 결정된다. 일반적으로 벤딩 각도가 180° 이상일 경우에는 벤딩전에 고주파 가열장치를 사용하여 벤딩부위를 가열한 후 열간벤딩을 하게 된다.

캐리지는 LM 가이드가 부착되어 있는 프레임을 따라 이동하며 튜브를 이송시키는 장치와 튜브를 3차원으로

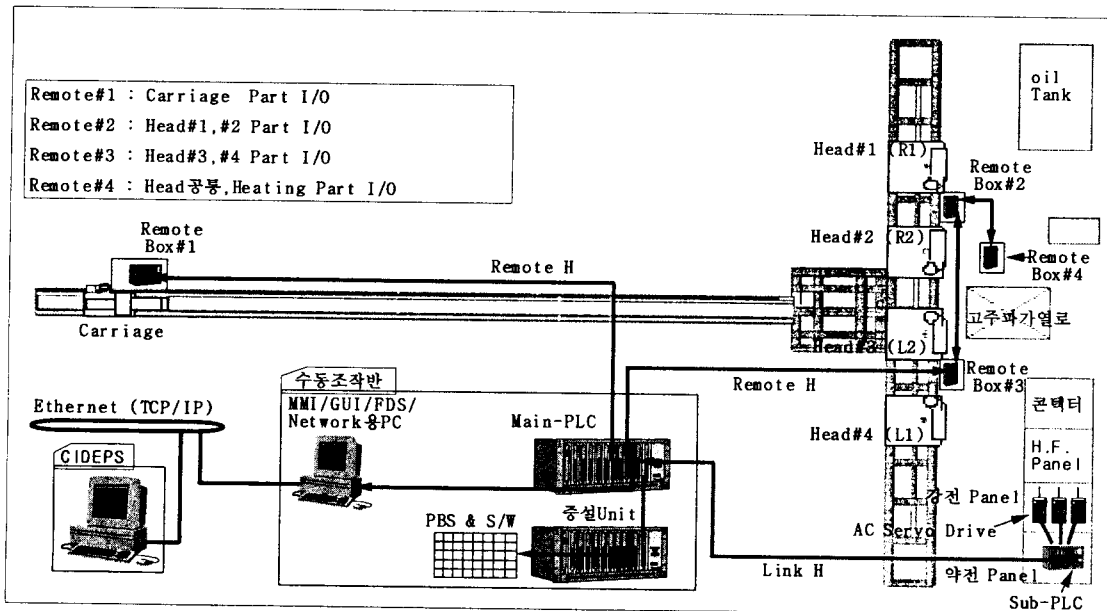


Fig.5 Schematic view of the bending system

벤딩할 수 있도록 튜브 이송방향을 축으로하여 회전시킬 수 있는 척(Chuck)장치로 구성되어 있다.

조작반은 작업자가 직접 수동으로 데이터 입력을 하거나 운전을 하는 경우에 사용되어 진다. 그리고 조작반 내부에는 시스템의 전체 제어를 총괄하는 주 제어장치인 Main-PLC가 장착되어 있다.

전장판넬에는 약전반과 강전반 그리고 고주파 가열장치 판넬로 구성되어 있다. 강전반에는 스위치, 릴레이(Relay) 등과 같은 각종 전기부품이 장착되어 있으며, 약전반에는 헤드 및 캐리지의 위치 이송을 제어하는 Sub-PLC와 모터 드라이브 등이 장착되어 있다.

모니터링 시스템은 전체 시스템의 상태를 파악할 수 있는 기능과 고장 발생시에 그 고장에 대한 내역과 대책방안을 데이터베이스(DataBase)에서 검색하여 작업자에게 알려줄 수 있는 기능이 있다. 물론 새로운 고장에 대한 데이터는 계속하여 추가할 수 있다. 그리고 모니터링 시스템에서 또 다른 주요한 기능 중의 하나는 LAN을 이용한 네트워크(Network) 기능이다. 이것은 튜브의 설계에서부터 생산까지 컴퓨터에 의한 총체적 관리를 할 수 있는 CIM(Computer Integrated Manufacturing)을 구축할 수 있다.

3.2 시스템 주요사양

벤딩시스템의 생산능력과 구송부의 주요사양을 정리하면 Table 1.과 같다.

Table 1. Specification of the Bending System

구분	항 목	사 양	
생산 능력	튜브종류	최대14종/1회	
	튜브직경	φ31.5~φ68.8 mm	
	Cycle Time	0.9 min/bending	
구 송 부	Head	이송속도	600 mm/sec
		최대 이송거리	6440 mm
	Carriage	위치 정도	0.1 mm
		이송속도	800 mm/sec
		최대이송거리	13760 mm
	Chuck	위치정도	0.1 mm
		최전속도	80° /sec
		최대회전각도	±200°
	Bending Roll	위치정도	0.1°
		최전속도	25° /sec
최대회전각도		±200°	
	위치정도	0.1°	

4. 제어 시스템

본 개발에 적용된 제어시스템은 크게 3가지로 분류할 수 있다.

첫번째는 주제어장치인 Main-PLC에 의해 실행되어지는 시스템의 전체 흐름(Sequence)을 제어하는 부분이다. Fig.6에서와 같이, 작업에 필요한 모든 데이터의 입력이 주어지면 벤딩데이터로 자동변환이 되어 벤딩 데이터 파일이 생성되어 진다. 그 벤딩데이터 파일에 의해 PLC는 시스템의 전체제어를 수행하게 된다.

두번째는 구동부인 헤드, 캐리지, 척의 이송을 위한 서보모터(Servo Motor)의 위치제어시스템 부분이다. 제어방식은 폐루프(Closed-Loop) PID 제어로, 전장판넬 내에 설치되어 있는 Sub-PLC에 의해 수행되어 진다. 또한 이 Sub-PLC는 상위 콘트롤라인 Main-PLC와의 통신을 통하여 전체 시스템의 제어를 따르게 되어 있다.

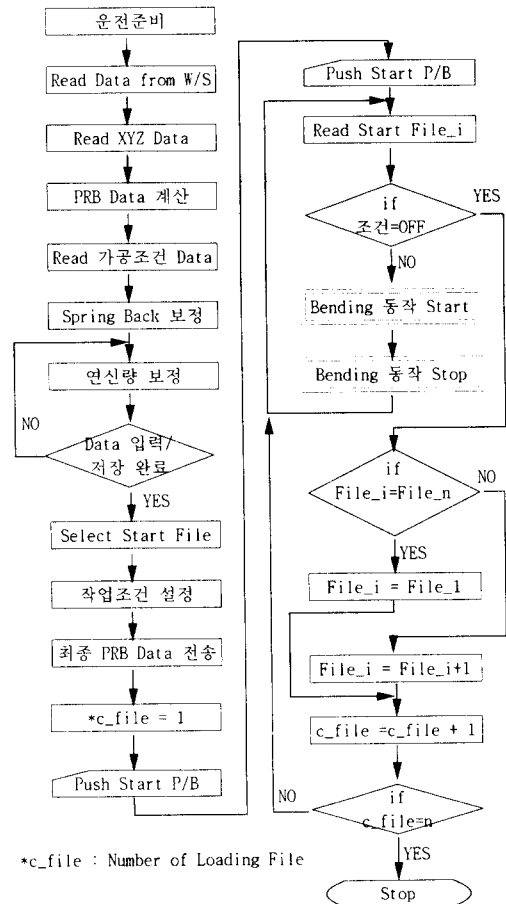


Fig.6 Flow chart for auto-operation

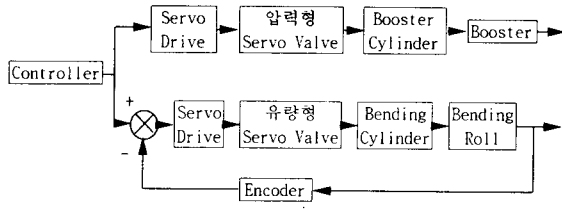


Fig.7 Block diagram of the hydraulic control

세번째는 실제 튜브의 벤딩을 수행하는 벤딩롤과 부스터의 유압서보(Hydraulic Servo) 제어시스템 부분이다. 벤딩롤은 위치형 서보밸브에 의해 벤딩각도가 제어되며, 부스터는 압력형 서보밸브에 의해 튜브를 밀어주는 추력이 제어된다. 각 서보밸브의 지령은 리모트 유닛 #4에 설치되어 있는 유압전용 콘트롤라에 의해 주어진다. 벤딩롤의 제어방식은 일반적으로 유압제어에 많이 적용되고 있는 폐루프 PI제어방식을 사용하였으며, 부스터는 피드백(Feed-Back) 신호가 없는 개루프(Open-Loop)방식을 사용하고 있다. 유압제어 블록도는 Fig.7과 같다.

5. 결론

본 시스템은 기존의 시스템에 비해 많은 기능의 추가와 시스템 성능의 개선을 통하여 30%의 생산성 상승

효과를 얻을 수 있었다. 또한 CIM 구축을 통하여 설계에서부터 생산까지의 총체적인 관리를 달성함으로써 실질적인 효과는 그 이상이라 하겠다. 그러나 아직까지는 튜브 벤딩에 영향을 미치는 모든 요소들의 정확한 해석과 검증을 통한 시스템 적용보다는 현장에서의 축적되어온 기술과 노하우에 의존하여 제어 및 설계되어지는 부분이 상당 차지하고 있는 실정이다.

앞으로 벤딩에 영향을 미치는 모든 요소들의 정확한 해석과 검증이 있어야 하겠으며, 그 결과를 시스템의 설계 및 제어에 반영한다면 보다 안정되고 뛰어난 고성능의 벤딩 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Thomas C. Elliott, "Standard Handbook of Power-plant Engineering," McGraw-Hill, 1989
2. 김재환, "화력기계설계실무," 한국전력공사, 1989
3. R. M. Arrowood, Jr., "Manual for Investigation and Correction of Noiler Tube Failures," Report CS-3945, San Antonio, Texas, April 1985
4. Merrit, H. E., "Hydraulic Control System," John Wiley, New York, 1976
5. 일본계측자동제어학회, "자동제어 핸드북," 세화, 1990