

연속형 노용 자동장입기의 기구설계

김 병 오* 강 대 기* 전 정 철** 이 우 진*** 김 중 완****
(동아대 원) (동아대 원) (우성산업) (동남실업) (동아대)

A Mechanism Design of the Automatic Charging Machine for the Industrial Furnace of Continuous Type

P. O. Kim*, D. G. Kang*, K. C. Chon**, W. J. Lee***, J. W. Kim****

ABSTRACT

In the industrial heat treatment fields, some parts of the continous furnace have been automated, but there are not enough interests and achievements for automatic charging machine. The automatic charging machine is set up to the industrial mesh belt type continuous furnace which continuously or intermittently charge and extract industrial units for the heat treatments.

Key Words : Automatic Charging Machine(자동장입기), Industrial Continuous Furnace(공업용 연속로)

1. 서 론

연속로란 연속적 또는 일정한 시간을 두고 부품을 노내에 몇 개의 帶(조온)로 분할하여 각 정하여진 온도로 제어하는 것을 말한다. 따라서 각 帶(조온)를 통과하는 시간과 그 온도에 따라 열처리 방법이 결정되는데 연속로의 특성은 대량생산에 적합하고, 작업능률이 빠르며, 가열 냉각 속도가 좋아 열효율이 좋다.⁽⁵⁾ 하지만 현재 연속로를 이용한 열처리 회사들의 실태를 조사한 바 작업 인원이 소규모인 영세한 중소기업이 대부분이다. 더우기 현재 제조 분야에서 생산원가의 절감과 품질의 고급화 및 3D 현상 기피로 수익성이 나빠지고 기능인을 구하기가 어려워지고 있다. 이같은 현상을 극복할 수 있는 한가지 방법으로 공장자동화가 행해지고 있으며 많은 분야에서 그 활용도가 증가되고 있다. 또한 열악한 작업 환경을 개선하고 안정된 품질의 제품을 생산하기 위해서는 설비의 자동화는 불가피하다. 자동화 기구의 개발 대상은 기계의 사용 목적에 따라 정해져야 하므로 개발과정과 기구의 형태도 독자적인 것일 수 밖에 없을 것이다.

본 논문에서는 부산지역에 산재해 있고 규모가 영세한 열처리 전문업체가 가격면에서 도입하여 사용하기에 부담스럽지 않은 자동장입기의 개발에 초점을 두었다. 최근에 공업용 열처리로 중에서 컨베이어로 소재를 로 안으로 연속 공급하는 연속로의 사용이 증가하고 있으나 컨베이어에 소재를 올리는 작업은 모두 작업자에 의한 수작업이다. 연속로의 주된 동작 특성은 컨베이어의 이동속도가 매우 느려서 소재를

올려 놓는 사이클 타임이 30초에서 수 분이나 되는 것으로 현장 조사되었다. 여기에 투입되어 일하는 작업자는 자연히 권태롭고 한가한 작업을 4시간에서 8시간 까지 하여야 하므로 소재를 공급하는 작업을 자연히 기피하지 않을 수 없다. 연속로에 관해서 좀더 살펴 보면 연속로를 그 반송방법에 따른 형식으로 분류하면 푸셔형 (Pusher Type), 콘베이어형(Conveyor Type), 스트랜드형(Strand Type) 등이 있다.⁽⁵⁾⁽²⁰⁾ 이 중에서 국내에 널리 보급되어 많이 사용하고 있는 형태는 콘베이어형 연속로로서 이는 싸이클 시간이 짧고, 노 온도가 낮아서 爐床負荷가 적을때 채택한다. 또한 노의 휴지에 있어서 노내에 부품을 남기는 일이 없으므로, 준비시간에 따른 시간의 낭비가 적은 장점이 있다. 본 논문에서 고려한 것은 콘베이어형으로 mesh belt가 부품을 싣고 노내를 이동하는 방식이다.(Fig.1 참조)⁽²⁰⁾

메시벨트형 연속로의 크기는 일정하지 않지만 소비자의 주문에 맞추어 주문 제작된다. 메시벨트의 폭, 길이 및 이송속도 또한 일정하지는 않지만 주로 연속로의 길이는 5-10m이고, 노내의 온도는 500-1150℃의 온도에서 30분내지 1시간반 정도까지 열처리하므로 아주 느린 속도로 이동한다. 컨베이어에 소재를 공급하는 방법은 전적으로 수작업에 의존하고 있다. 컨베이어의 이동속도가 매우 느리기 때문에 30초에서 2분 동안에 하나의 소재를 올려 놓게 된다. 이 일은 대단히 느리며 단순한 작업이기 때문에 이런 일에 흥미를 느낄 작업자는 없다고 생각된다. 이런 사정을 감안하여 본 논문에서는 작업자를 이와 같이 권태로운 일에서 해방시킴과 아울러 인건비 절감에 일조하

이것은 크게 holding actuator부, 미끄럼부, 팔레트부, 리프터부 및 각종 Sensor로 구성된다.

2-1. 설계 개요

자동장입기를 설계하는데 있어서 본래의 목적을 달성하기 위하여 새로운 기계를 제작하기 위한 계획이 먼저 구상되어야 했다. 자동장입기의 각 부분의 역할을 살펴보면 리프터(lifter)는 열처리 하려는 소재를 미끄럼판까지 끌어올리는 기능을 하며, 중계 팔레트(relay pallet)는 리프터로 부터 끌어올려진 소재를 메시벨트에 장착하기위한 미끄럼판 구실을 하며, 홀더(holder)는 1차홀더와 2차홀더로 구분하여 메시벨트에 장입하기 전까지 부품이 미끄러져 흘러내림을 방지하고 한 라인씩 공급하도록 해주는 역할을 한다. 사용된 센서는 3개의 광센서, 7개의 리미트 스위치이고, 동력용 모터로는 3개의 스테핑모터를 사용하였다. 이것은 시험용 자동장입기에 사용되었다. 광센서는 물체의 유무를 감지하여 검출신호를 모터 제어 신호로 이용한다. 리미트 스위치는 액추에이터가 경계위치에 이르렀을때 모터의 회전을 멈추게한다.

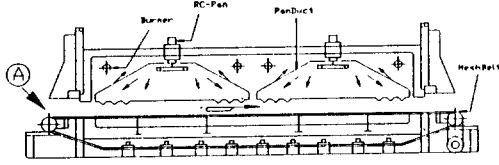


Fig.1 Mesh belt형 연속로의 개략도.

기 위하여 소재의 공급을 자동화하고자 하였다. 열처리할 소재의 크기와 형상이 다양하므로 전용장입기 보다는 어느 정도 범용성이 가능한 자동장입기가 되도록 설계하였다. 이 기구의 설계에서는 운동을 전달하는 메커니즘과 메커니즘을 구동하는 구동 액추에이터, 액추에이터를 제어하는 컨트롤러, 컨트롤러에 신호를 보내는 센서를 필요로 한다. 본 연구에서는 자동장입기의 기구 메커니즘에 사용될 기계요소의 최적 설계에 대하여 연구하였다.

2. 자동장입기의 구조

본 연구에서 개발할 자동장입기의 동작신호는 센서의 open과 close 신호이다. 메시 벨트 컨베이어의 일정한 장소에 투과형 광센서를 설치하고 소재에 의해 빛이 차단되면 open이고 소재가 이동하여 빛이 통하면 센서의 회로가 close 된다. close되면 컨베이어 위에 물체가 없으므로 장입기의 문이 열리면서 소재가 컨베이어에 공급된다. 공급방식은 운전경비를 감안하여 무동력 자유낙하방식을 채택하기로 하였다. 소재를 가득 실은 팔레트를 복층으로 쌓아 놓고 기울이면 소재는 기울어진 방향으로 흘러내린다. 이 때 소재가 바르게 흘러 내려가도록 중계 팔레트를 설치한다. 이 중계 팔레트의 적당한 장소에 문을 달아서 하나씩 흐르도록 하는 것이다. 이같은 동작을 가능하게 하도록 그림2와 같은 자동장입기를 구상하였다.

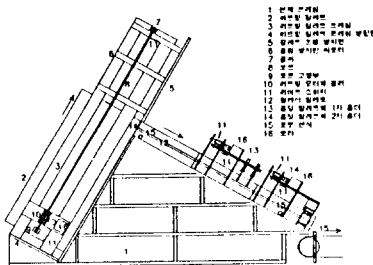


Fig.2 공업용로의 자동장입기 각부명칭

2-2. 리프터 설계

리프터는 열처리 하려는 부품을 중계 팔레트까지 끌어올리는 부분을 말한다. 복층 팔레트를 실는 리프터의 최대 하중을 1톤으로 고려하였다. 본 논문에서 필요로 하는 리프터는 불규칙 형상의 프레스 성형부품이나 주조물과 같은 것을 취급하기 적합한 엘리베이터 호퍼피이드(PDG80010)형 리프터를 사용한다.⁽¹⁾ 리프터를 경사지게해서 팔레트 안의 부품을 미끄럼판 위로 공급하게 된다. 이 리프터는 스테핑모터로 구동되며 리프터의 스트로크를 고려한 최고 위치와 최저 위치에 리미트 스위치를 부착시켜 오동작을 방지하였다(Fig.3 참조)⁽⁹⁾

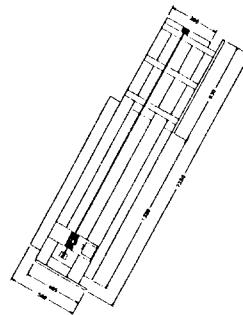


Fig.3 자동리프터와 프레임의 개략도

2-2-1 프레임 설계

리프터의 설계에서 중요한 요소는 하중을 견디는 프레임과 동력 전달 장치의 설계이다. 먼저 리프터 프레임의 설계과정을 설명하면 다음과 같다.

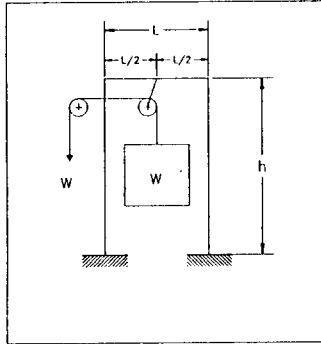


Fig. 4 리프터 프레임의 개략도

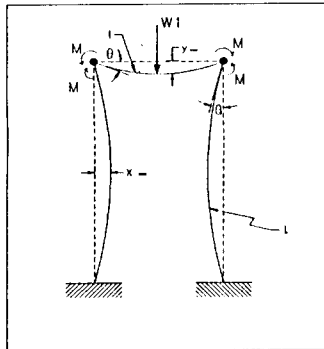


Fig. 5 리프터 프레임의 역학선도

프레임을 설계하기 위하여 다음의 가정을 둔다.

[가정] 보의 최대 하중은 1 ton 이다.

보의 최대처짐을 $y_{max} = 0.5mm$ 로 제한한다.

그림5에서 A점과 B점에서 발생하는 우력 M은 수평봉에 대하여 저항모우멘트 수직봉에 대해서는 작용모우멘트로 되는데 이것은 過剩拘束으로 생각한다.

즉 결합부인 A와 B는 힌지가 아니므로 AC의 상단의 처짐각과 수평봉좌단의 처짐각이 같다. 이 같은 가정을 바탕으로 재료역학에 의한 해석과 안전계수를 6으로 두어서 앵글 등변 형강의 치수표를 참고하여 Cross Beam 앵글의 치수를 $25 \times 25 \times 2$ 로 정하였고 Post의 앵글의 치수를 $40 \times 40 \times 3$ 으로 정하였다.

리프터의 구동기구는 모터, 워엄 및 워엄기어로 구

성된다. 작동 조건을 고려하여 다음과 같이 해석하였다. 리프터의 상승속도 v_l 은 리프터의 1회 상승높이가 16cm일 때, 10초 동안 이송하면 $v_l = 1.6 \text{ cm/sec}$ 이다. 워엄휠의 직경이 $d_{wh} = 5\text{cm}$ 이면 워엄휠의 회전수는 $w_{wh} = 0.64 \text{ rad/sec} = 6.112 \text{ rpm}$ 이다. 워엄의 감속비를 1:24 로 두면 워엄의 회전수는 $w_w = w_{wh} \times i = 15.36 \text{ rad/sec} = 146.688 \text{ rpm}$ 이다.

2-2-2 리프터부의 모터 토크 해석

가속토크, 부하토크, 모터축 부하관성 모멘트, 가속시간, 각속도, 풀리 구동부의 부하토크, 풀리 구동부의 관성모멘트, 워크의 관성 모멘트, 워크의 중량, 중력 가속도 등을 고려하여 모터축 전체토크는 다음과 같이 계산되었다.

$$T_{TOTAL} = 69.13 \times (15.36/0.2) + 32.4 = 523.52 \text{ N-m}$$

2-3. 팔레트의 구조

팔레트는 소재를 3열로 담고 1행씩 토출하며 수평과 30° 경사지게 설치한다. 팔레트는 3부분으로 구성된다. 그림6에 팔레트의 정면도를 도시하였다. 그림에서 A 부분은 리프터에서 흘러내린 소재를 넉넉하게 보관하기 위한 여유 공간이며, 왼쪽에는 리프트 팔레트의 상승 위치를 결정하는 리미트 스위치와 소재의 유무를 감지하는 광센서가 부착되어 있다. B 부분은 1차 홀더부로서 누름방식으로 소재가 흘러내림을 방지한다. 모터로 누름판을 이송하며 상단과 하단에 리미트 스위치를 설치하여 회로가 close되면 모터의 회전이 멈춘다. C 부분은 2차 홀더부로서 연속로의 컨베이어에 가장 가깝다. 컨베이어에 설치된 광센서의 회로가 close되면 2차 홀더의 문이 회전하여 소재를 흘려준다. 리미트 스위치가 문의 회전량을 제어한다.

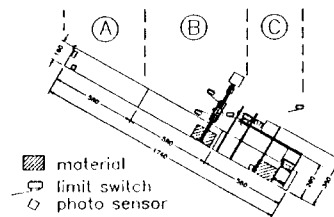


Fig.6 홀딩 팔레트의 개략도

이 곳에 설치된 광센서가 close 신호를 보내면 1차 홀더의 누름판이 상승하여 소재를 2차 홀더 쪽에 공

급한다. 팔레트의 경사각을 30°로 두는 타당성 해석 과정은 다음과 같다. 소재의 미끄럼 해석을 위해 그림 7을 참고하자.

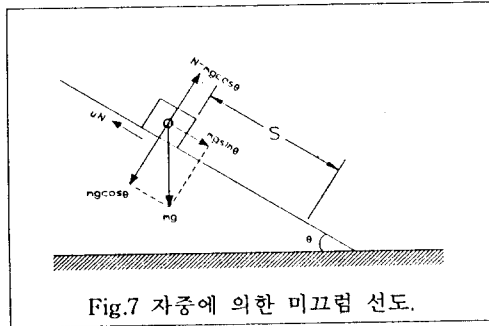


Fig.7 자중에 의한 미끄럼 선도.

소재의 운동방정식은 다음과 같다.

$$m\ddot{x} = mg \sin\theta - \mu mg \cos\theta$$

여기서

m : 소재의 질량 [kg]

\ddot{x} : 가속도

μ : 경사면과 부품사이의 마찰계수(정마찰)

θ : 경사면각

g : 중력 가속도

v_0 : 초기속도

w : 부품 한개의 중량

S : 2차 홀더까지의 거리

$$v = v_0 + g(\sin\theta - \mu \cos\theta)t$$

$$S = v_0t + \frac{1}{2}g(\sin\theta - \mu \cos\theta)t^2$$

$$t = \frac{v - v_0}{g(\sin\theta - \mu \cos\theta)}$$

S점까지 미끄러져 떨어지는데 걸리는 시간을 t_s ,

부품 한개의 길이는 l , 초기 속도를 $v_0 = 0$ 로 두면

$$t_s = \left\{ \frac{2l}{g(\sin\theta - \mu \cos\theta)} \right\}^2$$

경사면 위에서 N개의 소재가 S점에 가하는 힘을 P_N ,

부품한개의 중량을 $w = mg$ 라 하면

$$P_N = Nw(\sin\theta - \mu \cos\theta)$$

부품에 대한 가속도 $\ddot{x} = g(\sin\theta - \mu \cos\theta) =$ 일정 미끄럼 조건은 $\theta > \lambda = \tan^{-1}\mu$ 이므로 소재와 경사면간의 동마찰계수를 μ 라 하면

$$\tan 30^\circ = \mu$$

$$\mu = 0.577$$

강의 동마찰계수는 0.2 정도이므로 경사각이 30° 일 때에 자중으로 인한 미끄럼 조건은 충분하다.

2-4. Holding Actuator의 설계

홀더에는 1차 홀더와 2차 홀더가 있으며 홀더는 경사진 판에 고정되어 있으며 메시벨트에 장입하기 전까지 부품이 미끄러져 흘러내림을 방지하고 한 라인씩 공급하도록 해주는 역할을 한다.

2-4-1. 1차 홀더

1차 홀더의 구조와 명칭을 그림 8에 도시하였다.

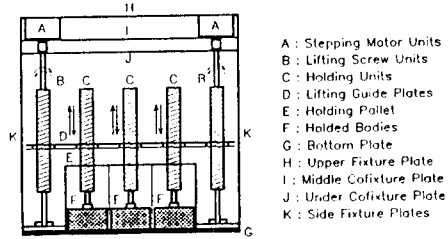


Fig.8 1차 홀더의 각부 명칭과 개략도

1차 홀더가 소재를 잡고 있도록 누름판의 스프링 상수와 압축량을 계산하면 다음과 같다.

$l = 100$ cm 라 하고 1차 홀더에 물체가 미끄러져 내려가지 못하도록 스프링이 눌러주는 힘을 F_s 라 하면

$$F_s = kx = P_N$$

여기서

x : 변형량 [cm]

k : 스프링 상수

여기서 스프링 재질을 SUS27강으로 선택했을 때

종단성 계수 : $E = 21 \times 10^3$

횡단성 계수 : $G = 8 \times 10^3$

최대 허용응력 : $\sigma = 39 \text{ kgf/mm}^2 = 3900 \text{ kgf/cm}^2$

코일의 지름 : $D = 15 \text{ mm}$

경사면상의 부품중량 : $W = 20 \text{ kgf}$ 이면,

위의 데이터를 근거로 하여 스프링 강성의 굵기, 코일의 감김 횟수를 구하면 $k = 1$ 로 두었을때

$$\tau = \frac{16WR}{\pi d^3} \quad d^3 = \frac{16WR}{\pi \tau}$$

$W = 20 \text{ kgf}$, $R = 7.5 \text{ mm}$, $\tau = 39 \text{ kgf/mm}^2$ 대입하면

$$d^3 = \frac{16 \times 20 \times 7.5}{\pi \cdot 39} \quad \therefore d = 2.69 \text{ mm}$$

따라서

$$D/d = 15/3 = 5$$

$$k = 1.19$$

위의 식에서 수정계수 k를 곱하여 식 τ 를 수정하면

$$\tau = k \frac{16WR}{\pi d^3} = \frac{(1.19)(16)(20)(7.5)}{\pi (3)^3} = 33.67 \text{ kgf/mm}^2$$

로 되어 최대응력을 거의 만족하고 있다.

$$\begin{aligned} \text{유효감김수} &= \frac{xG}{64W} \left(\frac{d}{R} \right)^3 \\ &= \frac{(16.8)(8)(10)^3}{(64)(20)} \left(\frac{3}{7.5} \right)^3 \times 3 = 20.16 \end{aligned}$$

2-4-2. 2차 홀더

1차 홀더와 2차 홀더에 있는 소재는 이상적인 경우는 간격이 없는 상태여야 하며 소재에 의해 압축되는 스프링의 압축량을 계산하기 위해 스프링 상수를 고려하여 1차 홀더의 위치를 조정할 수 있는 구조로 제작하여야 한다. 소재가 미끄러져 홀더에 충격을 가할 때 안정감을 주기 위해 스프링 4개로 완충하였다.

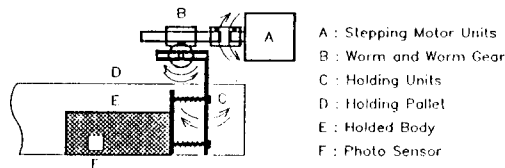


Fig.9 2차 홀더의 각부 명칭과 개략도

스프링의 압축량은 스프링 상수에 직접 관계되거나 스프링 상수를 알 수 없으므로 스프링의 압축량을 임시로 주고 스프링 상수를 구한 다음에 스프링 편람을 참고하여 스프링 상수를 결정하였다. 이어 스프링의 실제 압축량을 계산하였다. 1차 홀더에서 2차 홀더까지의 미끄럼 거리와 소재의 중량 및 경사각을 파라미터로 하고 일과 에너지의 원리 및 에너지 보존법칙을 마찰계수와 함께 고려하여 희망 압축량을 3cm라 하였을 때 계산된 스프링의 규격은 다음과 같았다.

스텐레스 압축강 스프링

사용재료 : SUS304-WPB

외경 : $d = 7.5 \text{ mm}$

선경 : $r = 0.7 \text{ mm}$

허용하중 : 945 g/mm^2

상수 $k : 79 \text{ g/mm}$

2-5. Sensor 선정, 장착 및 기능

사용된 센서는 3개의 광센서와 7개의 리미트 스위치이다. 최대 검출 거리 1.5m의 대향식 투과형 광센서와 최대회전각 180° 인 가변레버형 리미트 스위치를 사용하여 충격에 견디도록 하였다.

3. 제작 및 시험

척도 1/3의 시험용 자동장입기를 직접 제작하고 조립하여 작동시험을 하였다.

4. 결론

공업용 연속로에 사용할 자동장입기의 기구부와 액츄에이터를 해석적으로 설계하고 직접 제작하여 작동시험한 결과는 다음과 같다.

- 1) 리프터 프레임과 리프터 팔레트 및 리프팅 액츄에이터를 설계하고 제작하였다.
- 2) 운전 경비 절감을 목적으로 소재 공급을 자유낙하방식으로 하였다.
- 3) 미끄럼판에 중계팔레트와 1차 홀더 및 2차 홀더를 설치하고 제원을 역학적으로 해석하고 제작하였다.

참고문헌

- 1) 영국 생산 기술자 협회, "자동 조립 데이터 북1 PD680001-680360", 圖書出版 世和, p.1-49, 1990
- 2) 成煥泰의 3人, "機械設計學", 三聖實業, 1990
- 3) 金平吉, "自動化機構 活用技術", 圖書出版 技術, 1990
- 4) 李明, "FA計劃 實務技術", 圖書出版 技術, 1992
- 5) 모영진, "열처리설비의 자동화", 熱處理工學會誌, 5卷 1號, 1992, pp.50-57
- 6) 吳炳文, "전기로 조업의 생산성 향상에 대하여", 大韓金屬學會會報, Vol.1, NO.1, 1988, pp.9-14
- 7) 소형모우터기술 조사전문위원회, "제4호 소형모우터 기술현황", 大韓電氣學會, 1992
- 8) 변용선의 4명, "퍼스널 컴퓨터를 이용한 분위기 열처리 공정관리 시스템", 熱處理工學會誌, 6卷, No.1, 1993, pp.37-43
- 9) 박선호, "FA센서응용백과2", 영진출판사, 1993
- 10) 吳世旭, "材料力學", 동명사, 1988
- 11) 차경옥, "재료역학", 원화, 1988
- 12) 成煥泰의 4명, "기계설계학", 삼성실업, 1990
- 13) 成洛元의 1명, "機械要素設計", 삼성실업, 1991
- 14) 朴榮祖, "機械設機" 보성문화사, 1991