

## 초대형 열교환기용 열판 성형을 위한 22,000Ton급 유압 프레스 개발

임성주 · 박훈재 · 윤덕재 · 김응주 · 임 혁\* · 나경환

### Development of 22,000Ton Hydraulic Press for the Forming of Heat Plate with Ultra-Large Size

S. J. Lim, H. J. Park, D. J. Yoon, E. Z. Kim, H. Lim, and K. H. Na

#### Abstract

22,000 Ton hydraulic press was developed using wire winding method. The hydraulic press consists of three piece of frame type. The outer layers of yoke-column frame and main cylinder linear were wound with piano wire(1mm×4mm) under controlled tension and the total length of wound wire was about 450Km. The developed hydraulic press is used for the forming of heat plate with ultra-large size. To obtain large force with relative small apparatus, high pressure of 1,500 Kg/cm<sup>2</sup> was supplied to main cylinder through pressure amplification by booster pump. Therefore sealing technique of main cylinder is so crucial that the seals were made of mitre ring type with super-elastic metal. The press total weight is about 150 tons, which is quite light and compact relative to that of conventional hydraulic press.

**Key Words** : Wire-Winding, Hydraulic Press, High Pressure, Heat Plate, Yoke-Column Frame, Booster Pump

#### 1. 서 론

최근 들어 판형 열 교환기에 대한 인지도가 높아지고, 해외 Plant 설비에 소요되는 판형 열 교환기가 대형화됨에 따라 대용량의 열판의 수요가 증가하고 있으며 국내 제품의 인지도가 높아짐에 따라 국내 조선업체 및 대규모 화학공장, 대형 방축열 시스템 설비 업체 등에서 판형 열교환기에 대한 관심이 한층 증가되고 있다.

현재 산업의 모든 분야에서 사용되고 있는 판형 열 교환기는 각종의 열 교환기 중에서 가장 효율이 높고 저가(효율은 타종의 3~5배정도, 가격은 타종의 1/3~1/5 정

도)이며 유지보수비가 적게 들기 때문에 일반적으로 판형 열 교환기가 선호되고 있으며, 수요도 날로 증가하는 추세에 있다. 그러나 국내에서 초대형 Ti 열판이 생산되지 않아 국내 유수의 중공업 업체에서 대형 Plant (원자력발전소, 화학공장, 열병합 발전소, 제철소, 조선소)를 수주하는 경우 비싼 가격을 지불하고 외국 판형 열 교환기를 수입할 수밖에 없는 실정이다. Ti 초대형 열판은 소재 특성상 소형의 단품으로 제작하여 접합하는 방식으로는 제작이 곤란한데 그 이유는 Ti의 접합을 위해서는 진공분위기와 비교적 높은 가열온도 및 가압조건이 요구되며, 이러한 조건하에서도 크기가 대형이며 접합부의

한국생산기술연구원 생산공정기술연구팀  
\* 대원열판(주)

단면형상이 복잡한 열판의 경우는 접합이 곤란한것으로 알려져 있다. 따라서 독점성이 크고 부가가치가 높은 초대형 열판(면적 4m<sup>2</sup>급 이상)을 제작하기 위해서는 대용량급의 프레스가 요구되는데 이러한 대용량급의 프레스를 기존의 제작 방식으로 제작하는 경우 장치의 크기가 커져 가공 및 운반이 곤란하며 이에 따른 막대한 비용이 소요된다. 그러나 소재가공산업이나 기계장치분야에서 구조물, 단조금형 및 초고압컨테이너의 제작시 허용내압을 높이기 위해 Pre-stress를 가하는 방법중의 하나로 축대칭 형상의 금형 하우징이나 고압용기 등의 제작에 이용되는 강선적층법(Wire-winding method)을 적용하는 경우 구조물을 소형화(Compactness)시키는 것이 가능한 것으로 알려져 있다.<sup>1), 2)</sup>

본 연구에서는 강선적층방식 이라는 혁신적인 기술을 적용하여 최대 가압 용량 22,000Ton급의 유압프레스(프레스 프레임 한개 당 7,500Ton의 가압 능력을 갖는 3개의 독립된 프레임과 Intensifier를 이용한 1,500Kgf/cm<sup>2</sup>의 가압이 가능한 유압시스템)를 개발<sup>1)</sup> 완료하였으며 최종적으로 초대형 열판 성형용 금형 및 주변장치를 개발하여 전열면적 4.5m<sup>2</sup>의 Titanium 시제품 열판 제작 시스템을 완성하였다

## 2. 초대형 열판 성형용 프레스

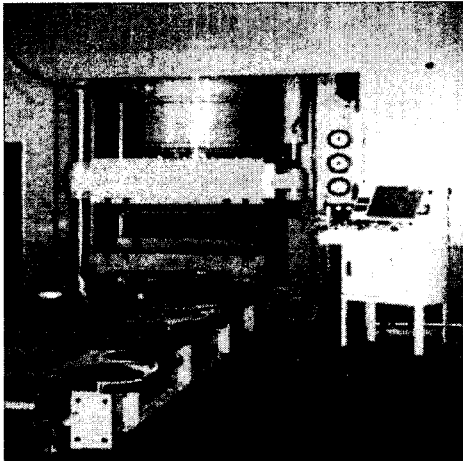


Fig. 1 22,000Ton Hydraulic press

개발된 프레스는 초대형 Ti열판 성형에 적합하도록 강선적층기법에 의해 설계 제작된 전용 프레스로서 22,000Ton 가압을 위한 각각 7,500Ton 용량의 3개의 유압실린더와 프레임으로 구성되며 실린더의 작동은 1500

/cm<sup>2</sup> 압력을 발생하는 Booster pump 및 유압 시스템에 의하여 수행된다. 설계·제작된 프레스의 주요 사양은 Table 1과 같으며 Fig. 1 은 완성된 프레스의 외관을 보여주고 있다.

Table 1 Specification of 22,000Ton Hydraulic press

Item	Specification
Forming force	22,000 Ton
Forming Stroke	200 mm
Forming Pressure	300~1,500(kg/cm <sup>2</sup> )
Upper bolster size	1,400×4,000×400mm
Lower bolster size	1,400×4,000×300mm
Side up-down cylinder	6EA
Guide column	6EA(φ 150)
Total weight	150 Ton
Press size	2,500×4,000×4,500mm
Yoke radius	1,126mm
Width of yoke flange	1,100mm

## 3. 유압 실린더의 설계 및 제작

### 3.1 유압실린더의 설계

본 유압 실린더는 Fig. 2과 같이 Solid liner의 외벽에 강선이 적층되는 구조를 갖고 있다. 설계시 프레스의 가압 가능 하중과 최대 사용압력에 따라 실린더 내경이 결정되며 또한 소재구입과 가공여부, 밀폐요소, 및 각종 체결부의 구조에 따라 적층이 시작되는 Liner의 외경을 결정하게 된다. 여기에 경계조건 및 구속조건을 적용한 최적설계기법을 이용하여 적층수와 인장력을 결정한다.

라이너 내경이  $r_0$  외경이  $r_1$ 이고, 와이어 Layer의 외경이  $r_2$  인 원통 주위에 강선을 적층을 고려한다. 임의반경  $r_i$ 에서 두께가  $\Delta r_i$ 인 강선에 인장응력  $T(i)$ 로 적층시에 접촉면압의 증분  $\Delta p_i$ 는 다음과 같다.

$$\Delta p_i = \frac{T(i)\Delta r_i}{r_i} \quad (1)$$

이  $i$ 번째 적층으로 발생한 면압증분  $\Delta p_i$ 는  $r=r_i$ 에서 외압증분으로 작용하고 이로 인한 원통부의 응력증분들은 식(2)와 (3)으로 구해진다.

$$\Delta \sigma_\theta(r)_i = -\frac{r_i}{r_i^2 - r_0^2} \left[ 1 + \frac{r_0^2}{r^2} \right] T(i)\Delta r_i \quad (2)$$

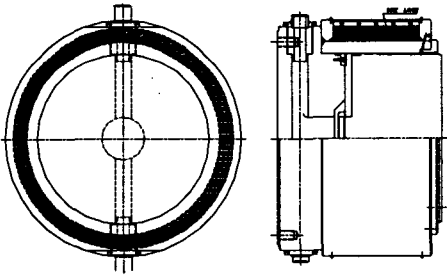
$$\Delta \sigma_r(r)_i = -\frac{r_i}{r_i^2 - r_0^2} \left[ 1 - \frac{r_0^2}{r^2} \right] T(i)\Delta r_i \quad (3)$$

**Table 2 Specification of main hydraulic cylinder**

Item	Specification
Liner inner radius	400 mm
Liner outer radius	450 mm
Wire layer outer radius	525 mm
Yield strength of liner material	600 MPa
Yield strength of wire material	2,100 MPa
Working bore pressure	150 MPa
Winding width	400 mm
Wire weight/unit cylinder	735 Kg
Number of low and layer of wound wire	100×75

궁극적으로는 상용부하압력이 작용할 때 적층된 강선층의 각각의 바깥 면에서의 최대 전단응력이 일정한 값에 도달할 때 동일한 용기의 Dimension으로 최대의 이득을 얻을 수 있다.

Table 2는 설계된 유압실린더의 주요 사양이고 Fig 2은 설계된 실린더의 구조로서 라이너 외벽에 Wire가 적층된 것을 보여주고 있다.



**Fig. 2 Structure of Main hydraulic cylinder**

**3.2 유압실린더의 제작**

실린더 Liner와 Flange소재는 압력용기용강으로 가공 여유를 고려하여 Bending 후 용접하였다. 용접한 소재는 비파괴 검사로 Crack의 유무를 검사하고 열처리공정을 통해 잔류응력 제거를 통한 강도향상을 도모하였으며 완성 가공된 실린더 외벽에 강선적층장치를 이용하여 적층을 완료하였다.

**4. 프레스 프레임의 설계 및 제작**

프레스 프레임에 Wire를 응력집중없이 효과적으로 감기 위해서 프레임은 2개의 Column과 Column의 양단에

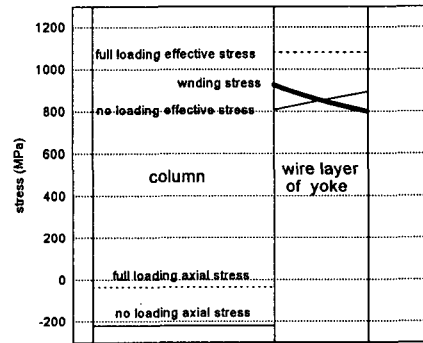
부착되는 2개의 반원형 Yoke로 구성되며<sup>[3, 4]</sup> Wire는 이들 Column과 Yoke의 홈을 따라 적층되는 구조로서 이루어져있다.

**4.1 프레스 프레임의 설계**

단일 프레임에서 작용하중 Q로 인해 Column에 작용하는 인장응력은 다음과 같다.

$$\sigma_t = -\sigma_m = \frac{Q_s}{2(A_c + B_w)} \quad (1)$$

여기서 A<sub>c</sub>는 Column의 단면적이고, B<sub>w</sub>는 적층부의 단면적이다. 설계시 프레스의 최대가압용량에 근거한 Yoke와 Column의 분리하중Q<sub>s</sub>와 Column의 재질과 안전율에 의해 정해지는 압축응력을 설정하고, 식(1)로부터 Column의 Dimension을 구한다. 그리고 Column부에 부



**Fig. 3 Stress distribution of yoke layer and column**

여할 설정된 장력 (Pre-compression)값에 도달하도록 적층수와 각층마다 부여하는 인장응력을 구한다. 이 때 프레스의 최대부하하중이 작용할 때 Yoke부 각 층에서 원주방향과 반경방향의 평면응력상태가 안전율을 고려한 Wire의 인장강도의 일정한 비율로 도달하도록 Iteration을 통해 설계를 최적화 한다.

설계 결과는 Table 1과 같으며 Fig.3은 프레임 Yoke 강선부의 응력 분포를 나타내고있다.

**4.2 프레스 프레임의 구조해석**

프레스 설계의 타당성과 안정성을 검증하기 위하여 상용 유한요소 해석프로그램을 사용하여 프레스 프레임의 구조해석을 행하였다. Fig. 4는 구조해석 후 유효 응력 분포를 나타내고있다. 강도적인 측면과 강성적인 측면

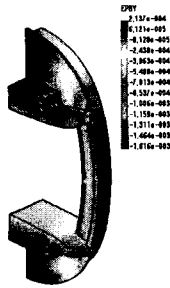


Fig. 4 Stress distribution of hydraulic press frame

에서 설계값과 실제 측정값 및 유한요소 해석 결과가 비교적 일치함을 확인할 수 있었다.

### 4.3 프레스 프레임의 제작

프레임은 소재 이용률을 극대화하고 기계가공을 최소화하기 위하여 저망간강(SCMn2A)을 주조후 기계 가공하여 강선 적층을 하였다. 주조 후 소재는 비파괴검사(Ultrasonic test)로 Crack의 유무를 검사하고 열처리공정을 통해 잔류응력제거와 강도향상을 도모하였다.

## 5. 유압 시스템의 제작

본 프레스 유압시스템의 구동압력은  $300 \text{ Kg/cm}^2$ 이고, 플린저 유압펌프(Plunger pump)를 2개로 선정하였으며, 고압 발생용 Booster pump는 공급된 초기압력을 증폭비에 따라 압력을 증가시키는 증압기로서 본 유압시스템을 구성하는 부품중에서 가장 핵심기술을 요구되는 부분이다.

## 6. 초대형 Ti 열판용 열 교환기



Fig. 5 Assembly products heat plate with ultra large size

Fig. 5은 개발된 22,000 Ton 유압프레스와 열판성형용 금형을 이용하여 성형된 열판을 조립한 판형 초대형 Ti 열 교환기로서 기존 가압 하중이 부족한 프레스에서 성형된 것과 비교하여 성형 형상이 매우 뚜렷한 양질의 제품을 얻을 수 있었다.

## 7. 결 론

열 교환기용 초대형 Ti열판 성형용 프레스개발 연구를 수행하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 반원형 Yoke와 Column에 강선이 적층되는 7,500Ton급 3piece의 22,000Ton급 유압프레스를 설계 제작하였다.

(2) 적층용 Rotary winding table과 최대인장하중 1,000Kgf급의 강선적층장치를 설계 제작하였으며 실린더 및 프레스 프레임에 주어져야 할 계산된 장력으로(Pre-compressed) 잔류 응력값에 도달하도록 적층을 완료하였으며 설계 안정성 검증을 위한 프레스 프레임의 구조 해석을 수행하였다.

(3) 사용압력  $1,500 \text{ Kg/cm}^2$ 에 대응하는 대유량 유압 시스템을 국내 기술로 설계 제작하였다.

(4) Ti 열판 시제품 성형을 위하여 설계 제작된 금형과 개발된 22,000Ton급 프레스를 이용하여 매우 월등한 양질의 시제품을 얻을 수 있었다.

초대용량 프레스의 소형화 및 안정화 기술 확립으로 향후 국내 대형 프레스 제작 분야의 강선적층기술 파급과 강선적층기술의 고도화와 안정화를 통한 각종 초고압 용기의 국내 제작 기술의 기반(HIP, CIP, 단조금형 및 압출용 컨테이너)을 마련하였다.

## 참 고 문 헌

- (1) 나경환 외, 열 교환기용 초대형 Ti 열판 제작 시스템 개발, 한국생산기술연구원, 산기반 연구보고서, 2001
- (2) Osamu Fukunaga (National Institute for research in Inorganic Materials) : "Construction of large volume high pressure apparatus", Ceramics 19, No 8, 1984.
- (3) Osamu FUKUNAGA, Shinobu YAMAOKA, Hisao KANDA, Minoru AKAISHI, Toshikazu OSAWA, Yoshiinori YOSHIKAWA, Muneenori SOEJIMA, "Construction of Wire - Wound Type 30,000Ton Press Frame", JHPI Vol.24. No. 1. 1986.
- (4) Fulid forming of sheet metal, ASEA Metallurgy