# PEB SYSTEM의 접합부 도장 안전성 및 일면용접 안전성

PEB SYSTEM의 특징인 앤드플레이트 접합부 도장 안전성과 일면용접의 안전성 등은 국내 건설업계에 종사하는 기술자, 설계자, 감리자 등의 인식부족과 PEB업체의 기술홍보 부족으로 널리 알려지지 못한 까닭에 금번에 이 사항들을 논하고자 한다.

**도 병 호**
동부제강(주) 건재사업부
PEB설계실장

## A. 앤드플레이트(END-PLATE) 접합부의 도장(PAINT) 안전성

### 1. 일반사항

PEB SYSTEM의 인장접합면 도장(PAINTING)여부가 국내에서 많은 논란이 되고 있다.

현재 PEB MAIN FRAME의 부재와 부재 접합은 일반적으로 END−PLATE TYPE의 인장접합을 사용하고 있다. 그러나 국내 일반 철골업자 및 설계자 그리고 감리자가 PEB MAIN FRAME

부재 접합부를 일반철골과 같은 개념의 마찰접합으로 생각함으로써 인장접합면도 도장을 하지 않아야 한다고 인식하는데, 이는 PEB SYSTEM의 접합방법인 인장접합을 잘못 인식하고 있는 것에서 출발한 것이다.

이에 올바르고 정확한 인장접합과 도장관계를 설명하므로 END PLATE 접합면의 도장이 안전하다는 것을 밝히고자 한다.

### 2. 동부 PEB SYSTEM의 부재 간 접합형태

동부 PEB SYSTEM은 고강도볼트 ASTM A325(KS F10T)를 이용하여 MAIN FRAME의 부재와 부재 연결을 END−PLATE로 접합하고 있다. END−PLATE TYPE의 접합은 마찰접합이 아니며, 인장력과 전단력을 볼트의 내력으로만 견디는 지압형 인장접합이며, 이 때 사용되는 볼트형태는 1992 AISC Vol.2 <CONNECTION>에 정의되어 있는 지압형 인장볼트이다.

### 3. 동부 PEB SYSTEM의 END−PLATE 안전성

END−PLATE TYPE의 CONNECTION은 <1996 MBMA "LOW RISE BUILDING SYSTEMS MANUAL", Section. A2 − BOLTED END−PLATE CONNECTION>에서, METAL BUILDING(국내의 PEB SYSTEM)의 가장 일반적인 접합방법이며, 그 안전성이 안전하다고 판명되었으며, 그 이론적인 배경으로는 다음과 같은 내용을 근거로 하고 있다.

1) SPLICE RESEARCH PROGRESS REPORT OF "UNIFICATION OF FLUSH ENDPLATE DESIGN PROCEDURES" By David M. Hendrick, Anant R. Kukreti and Thomas M. Murray, By AISC and MBMA, on March 1985.
2) ANALYTICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF "A FLUSH MOMENT END−PLATE CONNECTION WITH SIX BOLTS AT TENSION FLANGE" By Douglas E. Bond and Thomas M. Murray, Submitted to VARCO−PRUDEN BUILDINGS, on December 1989.

3) 1996 MBMA "LOW RISE BUILDING SYSTEMS MANUAL" Section A2－BOLTED END－PLATE CONNECTIONS.
4) AISC 9th

#### 4. 접합부(END－PLATE) 표면 처리의 안전성

PEB SYSTEM의 END－PLATE CONNECTION에서 PLATE의 접합면은, 마찰형 접합이 아닌 지압형 인장접합 일 경우, 1996 MBMA에서 접합면의 도장을 허용하고 있으며, 아래의 항목에서 허용하는 것을 확인 할 수 있다.

1) 1996 MBMA "LOW RISE BUILDING SYSTEMS MANUAL"
   (1) Sec. A14－BOLT SPECIFICATIONS / 2.Bolts, Nuts, Washers and Paint / (g) Faying Surface Coating
   (2) Sec. A14－BOLT SPECIFICATIONS / 3.Bolted Parts / (b) Surface Conditions

#### 5. 결론

상기 사항들을 살펴본 결과, 고강도볼트의 체결에 의한 부재간의 마찰력으로 응력이 전달되는 마찰형 접합에서는 접합면의 표면처리 상태(PAINT의 유무)가 접합능력을 결정하는 중요한 요소이므로 접합면에 도장을 일반적으로 하지 않는다. 그러나 고강도볼트의 체결에 의한 부재와 볼트 사이의 지압(BEARING)접합과 인장에 의하여 응력이 전달되는 동부 PEB SYSTEM의 지압형 인장접합(END－PLATE TYPE)에서는 접합면의 표면처리 상태(도장의 유무)가 접합능력을 결정하는 요소로 작용하지 않는다.

국내에서는 일반철골(ROLLED SHAPE)의 마찰형 접합에 익숙하여 PEB SYSTEM의 END－PLATE에 무도장 (NO－PAINT)를 요구하고 있으나, 이는 END－PLATE의 지압형 인장접합이라는 특성을 잘 파악하지 못한 것으로 판단되며, 오히려 시공기간 및 운송기간이 길거나 기타이유로 상당기간 대기에 노출될 경우를 대비하여, 부재 END－PLATE 접합면의 녹발생을 방지하기 위하여 END－PLATE 접합면에 도장을 하는 것이 지압형 인장접합에 있어서 구조적으로 보다 적합하고 유리하다고 판단된다.

#### 6. 참고문헌

1) 1992 AISC VOL. 2 <CONNECTION>
2) 1996 MBMA "LOW RISE BUILDING SYSTEMS MANUAL"
   (1) Section A2－ Bolted End－Plate Connections
3) 1996 MBMA "LOW RISE BUILDING SYSTEMS MANUAL"
   (1) Sec. A14－BOLT SPECIFICATIONS / 2.Bolts, Nuts, Washers and Paint / (g) Faying Surface Coating
   (2) Sec. A14－BOLT SPECIFICATIONS / 3.Bolted Parts / (b) Surface Conditions
4) QUALITY CONTROL <FINISH> by Varco－Pruden Buildings
5) DESIGN MANUAL <CONNECTION> by Varco－Pruden Buildings
6) AISC ASD <ALLOWABLE STRESS ON FASTENERS>
7) SPLICE RESEARCH PROGRESS REPORT OF "UNIFICATION OF FLUSH END－PLATE DESIGN PROCEDURES" By David M. Hendrick, Anant R. Kukreti and Thomas M. Murray, Sponsored By AISC and MBMA, on March 1985.( 요청이 있을 시 제출)
8) NALYTICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF "A FLUSH MOMENT END－PLATE CONNECTION WITH SIX BOLTS AT TENSION FLANGE" By Douglas E. Bond and Thomas M. Murray, Submitted to VARCO－PRUDEN BUILDINGS, on December 1989. (요청이 있을 시 제출)

## B. 일면용접(ONE-SIDE WELDING)의 안전성

#### 1. 일반사항

PEB MAIN FRAME을 구성하는 FLANGE와 WEB는 일반적으로 일면용접 (ONE SIDE FILLET WELDING)에 의해서 제작되어진다 .

PEB MAIN FRAME의 FLANGE와 WEB가 일면용접으로 제작된다는 것은, 국내에서 일반철골을 주로 경험한 사람들에게

는 매우 놀라운 일로서, 과거에는 생각도 할 수 없었던 철골 제작 방법이다.

PEB의 발전이 미국에서 시작되었기 때문에 FLANGE와 WEB의 일면용접에 대한 연구와 실험 그리고 기준도 미국에서 먼저 시작되었으며, 이제 미국에서의 일면용접은 아주 일상적인 일로 받아들여지고 있으나, 국내에서는 PEB를 많이 접하지 못한 관계로 아직도 이에 대한 논란이 일어나고 있다.

따라서 PEB MAIN FRAME의 FLANGE와 WEB의 일면용접크기 결정방법을 알아보고, FLANGE와 WEB를 일면용접으로 제작하여도 구조적으로 안전하다는 것을 밝히고자 한다.

### 2. 검토 목적

PEB MAIN FRAME의 FLANGE와 WEB용접에 대한 용접크기와 일면용접의 구조안전을 검토함.

### 3. 검토 내용

1) PEB MAIN FRAME의 FLANGE와 WEB의 용접크기 결정 방법에 대한 계산식을 알아보고 AISC상의 최소 기준을 알아본다.
2) 일면용접 사용에 대한 각종 안전성 근거를 알아보고 구조안전을 검토한다.

### 4. 검토 결과

PEB MAIN FRAME을 구성하는 FLANGE와 WEB의 일면용접(ONE－SIDE FILLET WELDING)에 대하여 구조안전을 검토한 결과, 첨부와 같이 FLANGE와 WEB의 용접을 일면용접 (ONE－SIDE FILLET WELDING)으로 하여도 구조적으로 안전함을 확인한다.

이때 적절한 용접품질을 확보하기 위하여 자동 서브머지드 용접(Automatic Submerged－Arc－Welding)을 사용하여야 한다.

### 5. 관련 자료

PEB MAIN FRAME을 구성하는 FLANGE와 WEB의 일면용접 안전성에 대한 검토자료

- FLANGE와 WEB의 용접크기 설계방법
- 일면용접(ONE－SIDE FILLET WELDING)에 대한 안전성 검토
- 결론

## FLANGE와 WEB의 용접크기 설계방법

### 1. 설계방법론

1) FLANGE와 WEB의 용접크기는 해당 부재에 작용하는 전단력에 의해 계산된 필요값과 각종규준에서요구하는 최소값을 비교하여 큰 값을 사용한다. 이는 계산 값이 최소값보다 큰 경우에는 계산 값을 사용하고 계산 값이 최소값보다 작은 경우에는 최소값을 사용하는 것이다.
2) 최소값의 규정은 부재가 최소한 이정도의 용접 크기는 확보해야 한다는 안전적인 측면이 있으며, 또 용접 시 부재두께에 대한 용접성으로서 두꺼운 판을 너무 작은 용접크기로 용접 할 경우 빠른 냉각에 의한 용접부 균열이나 수축, 변형의 영향 등을 사전에 최대한 예방하자는 목적이 내포되어있다.

### 2. 용접크기 계산

1) 용접크기 계산은 전단응력을 계산하는 식으로부터 구할 수 있다. 전단응력계산식($\tau$)은 다음과 같다.

$\tau = (V \times Q) / (I \times a)$  fv <식1－1>

$\tau$ : 작용 전단응력 ($tf/cm^2$), V : 작용 전단력(tf),
Q : 구하고자하는 위치의 밖에 있는 단면의 중립축에 대한 단면1차모멘트($cm^3$), I : 전체 단면2차모멘트($cm^4$),
a : 구하고자 하는 위치에서 부재목두께(cm),
fv : 허용 전단응력 ($tf/cm^2$)

2) 식1.1 에서 $(V \times Q) / (I \times a) = fv$ 으로 놓고, a 와 fv의 위치를 바꾸면, 원하는 위치에서의 부재 유효 목두께를 구할 수 있다. 부재 유효목두께(a)를 구하는 일반식은 다음과 같다.

$a = (V \times Q) / (I \times fw)$

여기서 빌트업부재를 설계하는 일반적인 식에서는 우항 하단에 2를 포함하지만 PEB 부재는 용접을 부재의 한쪽면에만 하는 일면용접이므로 2를 고려하지 않는다.

일면용접에 대한 안전성은 별도로 논하기로 한다.

3) 용접크기(S1)

값 a 는 유효 목두께이므로 설계와 제작에서 필요로 하는 통상적인 용접크기(S)를 구하면 다음과 같다.

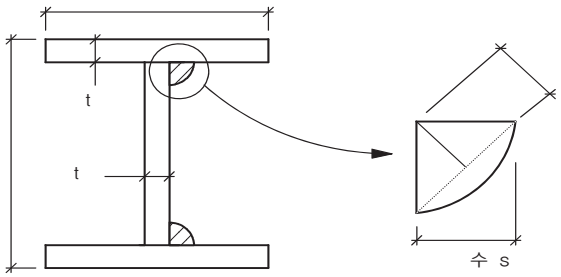
$S_1 = a / 0.7$

### 3. 용접크기 최소값 (AISC기준)

1) PEB의 설계응력검토가 일반적으로 미국 AISC기준으로 실행되고 있기 때문에 AISC기 준의 최소용접 크기를 사용함.

2) AISC기준 최소용접크기(S2)

| 부재 두께(T,mm) | 최소모살용접크기(mm) |
|---|---|
| T 6.35 | 3.2 |
| 6.35 < T 12.7 | 4.8 |
| 12.7 < T 19.1 | 6.4 |
| T > 19.1 | 7.9 |




### 4. 실제 용접크기의 결정

계산값(S1)과 최소용접치수(S2)에 의한 값을 비교하여 큰 값을 사용한다.

## 일면용접(ONE-SIDE FILLET WELDING)에 대한 안전성 검토

### 1. 일면용접에 대한 인식

해외에서는 물론 국내에서도 PEB가 많이 사용되고 있지만, 아직도 일반철골만 접한 사람이나 또는 PEB에 익숙하지 않는 사람은 PEB -MAIN FRAME에서 사용되는 일면용접(ONE-SIDE FILLET WELDING)에 대한 이해가 부족하여 무조건적으로 양면용접으로 해 줄 것을 요구하는 경우가 많다.

이는 PEB의 설계와 제작에 대한 이해부족에서 비롯된 것이라 생각되어진다. 구조적으로 필요하지않는 과잉의 양면용접은 경제성과 생산성을 떨어지게 함은 물론 부재 제작 시 박판 부재를 양면용접하는데서 오는 용접변형을 초래 할 수 있기 때문에 결국 PEB의 매력을 잃게 하는 요소로 작용하게 된다.

### 2. 일면용접의 사용이유

FLANGE와 WEB의 용접 크기는 앞에서 살펴본 바와 같이, 작용 전단력에 대한 필요 계산값과 최소용접치수중에서 큰 값을 사용한다. 이때 용접크기 계산을 일면용접 기준으로 하는 것은 BUILT-UP으로 부재를 생산할 때는 구조적 안정성이 확보된 상태에서 생산성을 얼마나 높이는가가 가장 중요한 요소이기 때문이다. 이는 PEB뿐 아니라 산업계 전체에서 추구하는 바이기도 하다. 즉 양면용접에 의한 과잉 용접량을 줄여서 부재변형을 최소화하는 등 불필요한 요소를 줄이므로 생산성과 경제성을 높혀 구조적으로 안전한 제품의 경쟁력을 갖게 하는 것이다. 국가적인 차원에서도 자원낭비를 막는 좋은 현상이기도 하다.

이는 비단 일면용접에만 해당되는 것이 아니고 PEB SYSTEM이라는 것 자체가 경쟁력을 갖춘 하나의 아이템에서 출발했기 때문에, 모든 PEB 요소들이 여기에 해당된다. 예를 들면 물량을 줄이기 위하여 필요한 만큼만 사용하는 변단면 부재, 물량절감의 주요 요소인 고강도강재의 사용, 휨강성이 우수하고 겹침시공이 가능한 Z형 부재 사용, FLANGE BRACE 사용, ROD BRACING 사용, END PLATE TYPE의 접합부 사용, 18미터 이하의 저층 건물용 WIND LOAD와 제작 및 시공 허용공차, 그리고 MAIN FRAME의 일면용접 등, 이 모두가 PEB SYSTEM의 물량 절감과 시공 공기를 줄이는 요소이므로 결국 경제성(비용과 시간)에 의한 경쟁력을 갖게 되는 것이다.

### 3. 일면용접 방법 및 안전성 근거

(1) 일면용접의 용접 방법

PEB MAIN FRAME의 일면용접은 일반적으로 2개의 FLANGE와 1개의 WEB를 CONRAC WELDER(바닥이 켄베어형태로 흐르는)를 이용하여, FLANGE와 WEB를 지그로 강하게 밀착시킨 상태에서,자동화된 SAW(Submerged Arc Welding)을 사용하여 필요한 크기의 용접작업을 수행한다. 이 자동화된 SAW용접은 고품질의 용접과 높은 생산성을 가지게 한다. 또 CONRAC WELDER는 용접시에 FLANGE와 WEB를 지그로 강하게 밀착시켜서 용접하게 하므로 고품질의 용접을 확보하게한다.

박판을 용접할 경우의 용접에 의한 수축을 고려하여 동부 PEB에서는 WEB와 FLANGE사이의 각도를 90도와는 다르게 운용하여 용접이 끝난 후 수직에 맞도록 하고있다.

(2) 일면용접의 안전성

PEB MAIN FRAME FLANGE와 WEB의 용접크기는 구조 이론적인 면에서 살펴보면, 작용 전단력에 의한 계산 값과 최소 용접 치수중에서 큰 값을 사용하는 것이므로, 필요 용접량만 확보된다면 일반적으로 양면용접이든 일면용접이든 구조적 안전성에는 문제가 없는 것으로 알려져 있다.

그러나 PEB SYSTEM에서는 부재로 박판을 사용하므로 용접에 따른 입열을 최소화하고 생산성과 경제성을 확보하기 위하여 일면용접(ONE－SIDE FILLET WELDING)을 선택하여 사용하고 있다.

전 세계적으로 일면용접의 사용에 대한 안전성 여부는 일반적인 책이나 자료에 잘 나타나있지 않다. 이는 앞에서 밝힌 바와 같이 용접에 의한 FLANGE와 WEB의 강성만 확보된다면 양면용접이든 일면용접이든 구조적으로 안전하다는 이론을 바탕에 깔고 있기 때문이다.

일면용접에 대한 구조적 안전성은, 미국 텍사스 대학의 Joseph Yura교수가 미국 MBMA(Metal BuildingManufacturers Association)에 있는 W. LEE SHOEMAKER(Ph.d., P.E.)에게 보낸 <One－Side Welds>라는 보고서에 구조적으로 안전하다고 잘 나타나 있다. (미국 PEB업계가 사용하는 일면용접－One－Side Welding으로 세장한 WEB를 가진 GIRDER를 만들어 강도시험을 하였는데, 모든 실험 결과에 있어서, 보 부재는 부재의 횡좌굴, 플랜지의 국부좌굴, 웨브의 국부좌굴에 의해서 파괴되었으며, 용접부에 의한 파괴는 일어나지 않았다고 한다. 즉 일면용접이 안전했다고 한다.)

미국의 양대 PEB 업체 중 하나인 VP(Varco－Pruden)사의 Sam love(P.E.)에게서 받은 ONE－SIDE WELDING에 대한 LETTER에서도, 미국의 PEB업체들도 일면용접을 수십년동안 해왔으며, VP사도 1년에 7000개 이상씩을 일면용접으로 제작하여도 아무런 이상 없음을 보여주고 있으며, 용접은 FLANGE와 WEB사이의 전단력만 견디면 되므로 양면용접 할 이유가 없다고 한다.

## 결 론

상기 사항들에서 살펴본 결과, PEB MAIN FRAME을 구성하는 FLANGE와 WEB의 용접은 어떤 형태 용접(일면/ 양면)을 사용하던지 설계에서 결정된 용접량(크기)을 충족시키면 구조적으로 안전하다는 것을 알았다. 또한 일면용접은 PEB SYSTEM이 경쟁력을 갖는 중요한 요소이며, 이는 용접에 대한 노하우가 없는 일반 업체에서는 하기 힘든 작업이므로 동부 PEB와 같은 전문업체에서만 생산 시공하는 것이 바람직하다.

또한 동부 PEB는 최상의 자동 용접기를 사용하여 용접을 실시하고, 미국의 AISC 최소용접기준, AWS를따르며, AISC에서 인증받은 PEB설계전용프로그램인 VP COMMAND를 사용하여 설계하므로 용접크기에 대하여 구조적으로 안전하다.

PEB MAIN FRAME의 일면용접 사용은 구조적인 이론에서도 알 수 있듯이 설계 조건을 충족시키며, 미국의 권위있는 텍사스 대학의 Joseph Yura교수의 보고서와 미국 P.E. Sam Love의 LETTER에 나타난 것과 같이 구조적으로 안전하다는 것을 알 수 있다.

따라서 동부 PEB에서 설계 제작 시공하는 PEB MAIN FRAME의 FLANGE와 WEB를 일면용접으로 제작시공하여도 구조적으로 안전하다고 밝히는 바이다.