싱글레이어 프리폼 지붕 구조의 접합시스템 사례

Connection Systems of Single Layer Free-form Roof Structures

황 경 주*
Hwang, Kyung-Ju

1. 서론

디지털 건축과 시공 및 재료제작 기술의 발전과 더불어서 프리폼 구조물이 우리주변에 자주 등장하고 있다. 디자이너 혹은 건축가의 측면에서는 독창적이고 자유로운 설계의 컨셉이 단순히 아이디어에만 국한되지 않고 실제의 건물에 반영이 되고 있는 측면에서 의미를 부여할 수 있을 것이다. 반면 구조적인 측면에서는 수학적으로 구현하기 힘든 형태의 구조물이 경제적인 측면에서도 최적의 상태를 갖고 있으면서 자중과 다양한 외력에 합리적으로 잘 견디게 설계한다. 여러 가지 디자인 요소가운데 접합시스템은 가장 중요한 요소가운데 하나이다. 왜냐하면 접합부에 주요 응력들이 집중이 될 가능성이 많을 뿐만 아니라 자유형상이 갖는 다양한 각도들이 접합 시스템에서 나타나기 때문이다. 현재 세계의 여러 나라에서 접합 시스템을 개발하여 실제 프로젝트에 적용하고 있지만 국내에서는 아직 개발이 미흡한 실정이다. 본 기사에서는 싱글레이어 프리폼 지붕에 적용되고 있는 접합 시스템의 사례들을 소개하고자 한다.

* 정회원·서울시립대학교 건축학부, 부교수
School of Arch., University of Seoul

2. 싱글레이어 프리폼 지붕과 그 접합부 사례

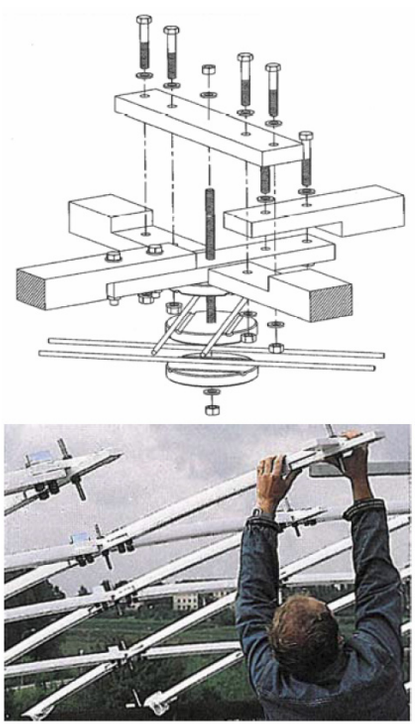
기존에 대공간 구조물에 많이 적용되었던 복층(Double Layer)의 대공간구조물에 비해 단층(Single Layer)의 대공간구조물의 가장 큰 특징은 접합부가 모멘트의 지배를 받는다는 것이다. 이러한 설계 조건에 맞추어서 해외에서 개발되고 적용되고 있는 시스템의 경우 크게 Splice Node Connection Type과 End Face Node Connection 두 가지 방식으로 분류할 수 있다.

2.1 Splice Node Connection

Splice Node Connection 방식은 노드와 부재사이에 이음재를 두어 연결하는 방식으로 주로 부재와 같은 방향으로 체결이 된다. 한 개 혹은 두 개의

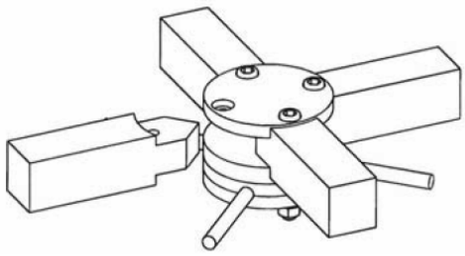
접합면으로 구성 되어질 수 있으며 볼트 접합이 주로 사용된다.

〈Fig. 1〉에서는 Splice 시스템 가운데 하나인 SBP-1이 소개되고 있다. 1988년 독일 Schlaich Bergermann & Partners에 의해서 개발이 되었으며 함부르크 역사박물관 지붕과 슈투트가르트 Naecharsulm 수영장 지붕에 작용이 되었다. 그림에서 보는바와 같이 반 포크형태로 가공이 된 부재에 사각 플레이트가 이음재 역할을 하면서 볼트로 연결이 되어 있으며 결과적으로 하나의 전단면을 형성하게 된다. 접합부의 가장 중심축에 하나의 볼트로 연결이 되어 있어서 수평적으로 조절하면서 시공할 수 있는 장점이 있다. 접합부 자체의 수직각도에 대한 표현은 이음재인 플레이트를 가공함으로 표현이 가능하지만 극히 제한적이다.



〈Fig. 1〉 Splice system of SBP-1[1)]

1993년 독일의 Helmut Fischer GmbH는 HEFI-1을 개발했다〈Fig. 2, 3〉. 이 시스템은 시스템의 상, 하단부에 원형의 Disk 플레이트가 Splice 역할을 한다. 접합이 되는 부재의 단부는 산 형태로 뾰

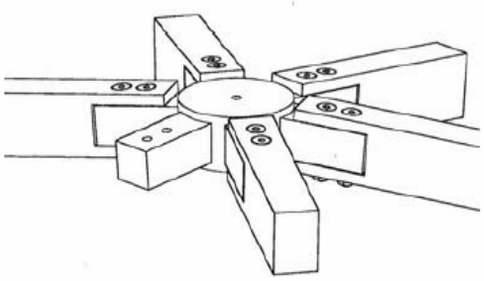


〈Fig. 2〉 Splice system of HEFI-1[1)]

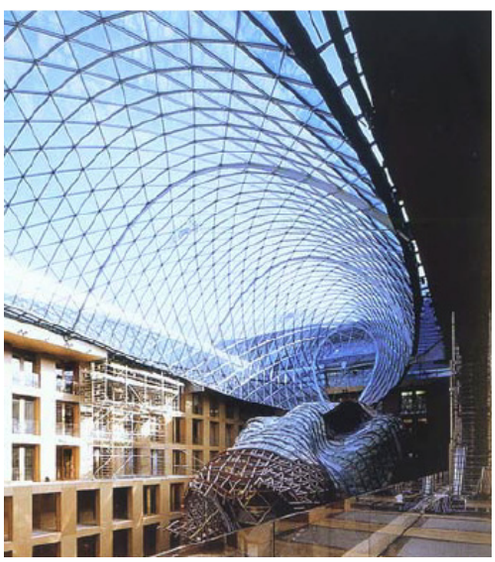
〈Fig. 3〉 The Hippopotami House of zoological garden in Berlin

족하게 가공되어 4~6개의 부재가 하나의 접합을 이룰 수 있도록 설계가 되어 있으며 하나의 볼트로 Disk 플레이트와 부재가 접합이 이루어진다. 이 시스템을 이용해서 베를린의 Hippopotami House의 싱글레이어 프리폼 지붕에 적용이 되었다.

1998년 독일 Berlin의 DZ-Bank의 중정의 프리폼 지붕의 접합 시스템에 적용하기 위해 독일 Schlaich Bergermann & Partners에서 SBP-3을 개발하여 적용하였다. 〈Fig. 4〉에서 보는바와 같이 별 모양을 갖는 Node에 6개의 수평의 Finger Splice 플레이트가 있어서 포크(Fork)모양으로 가공이 된 부재의 끝 부분과 볼트로 연결이 되게 설계가 되었다. 이를 통해 결과적으로 두 개의 전단면을 갖게 함으로써 접합부의 전단력이 향상되도록 하였다. 주요한 각도의 조절은 Finger Splice Plate가 접합부에서 필요로 하는 수평, 수직, 비틀림의 각도를 표현할 수 있게 디자인이 되었다.



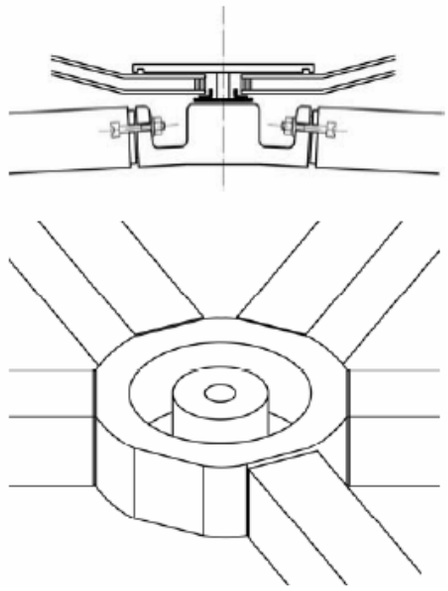
〈Fig. 4〉 Splice system of SBP-3[1)]



〈Fig. 5〉 DZ-Bank in Berlin

2.2 End-Face Node Connection

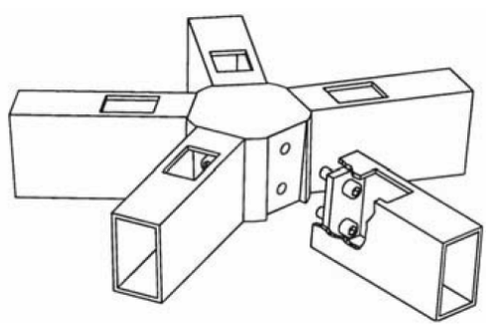
End-Face Node Connection 시스템은 연결 Splice없이 노드 혹은 부재의 접합면이 수직면에 접합되어 부재의 축방향으로 힘이 전달되도록 설계된 형식이다. 접합의 형식으로는 볼트 혹은 용접으로 가능하며 각각의 시스템의 특성에 따라 혹은 부재력의 크기에 따라 혼합하여 사용할 수도 있다. 〈Fig. 6〉에서 보이고 있는 접합 시스템은 MERO에서 개발한 Disk Node 형식의 End-Face 시스템이다. 이 시스템은 평편한 Ring 형태의 노드의 면과 부재가 90° 수직면으로 맞닿아 있으며 연결은 볼트 하나로 되어있다. 따라서 실제 대공간 구조물에 있어서의 적용은 삼각 혹은 사각형태의 Grid로 이루어진 핀 접합 가정의 구조물에서만 적합하다. 수평각의 조절은 30°에서 80°로 가능하며 수직각은 0°



〈Fig. 6〉 MERO disk node type[1)]

에서 10°까지 가능하다.

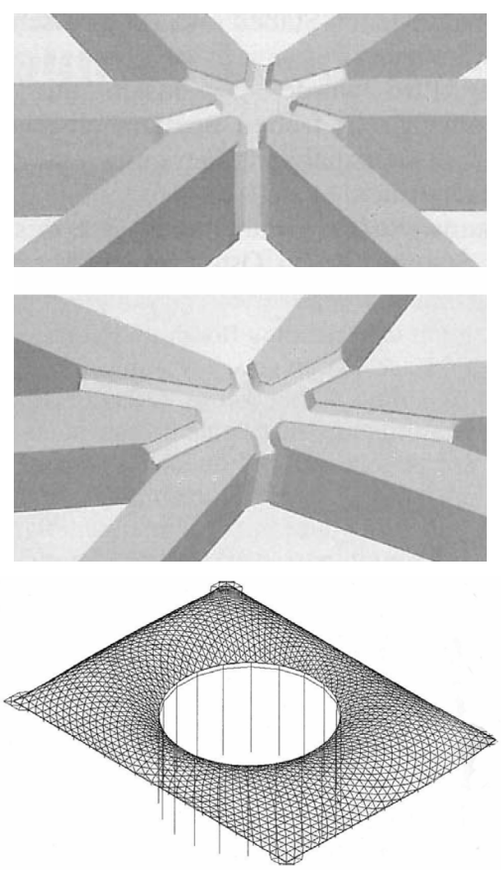
또 하나의 MERO 시스템 가운데 하나인 Block Node Type이 〈Fig. 7〉에 소개되고 있다. 앞서 소개된 Disk Node 형식과 달리 노드에 Block 형태의 노드 면에 부재의 면이 90° 수직면으로 밀착되어 있으며 여기에 볼트로 연결이 되어 있다. 볼트는 2개 이상이 가능하도록 설계가 되어 있으며 부재내부는 자중을 줄이기 위하여 Hollow Section으로 되어있다. Block Node에 대한 가공은 두꺼운 Steel Plate를 절삭가공을 통해서 생산이 된다. 특히, 부재와 맞닿는 면은 필요로 하는 다양한 각도를 표현하는 면이 되며 이 또한 절삭 가공 시 정확한 데이터가 기계에 입력이 되어서 가공이 된다. 수직 각도는 약 10° 정도로 조절이 가능하다.



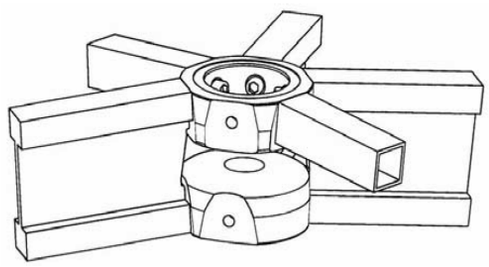
〈Fig. 7〉 MERO disk node type[1)]

볼트를 사용하지 않고 완전 용접으로 접합부를 구성하고 있는 End-face Connection 형식의 시스템 WABI-1이 〈Fig. 8〉에 소개되고 있다. 이 접합 시스템은 오스트리아 회사 Waagner-Biro에 의해서 개발이 되었으며 런던에 있는 영국 박물관 지붕에 사용되었다. 별 모양을 하고 있는 노드에서 수평, 수직, 뒤틀림의 다양한 각도를 표현하고 각각의 부재들은 노드에 가공이 되어 있는 홈에 삽입이 되어서 용접으로 마무리가 된다. 노드는 두꺼운 Steel Plate를 절삭가공을 해서 제작을 하게 되며 절삭 시 정확한 좌표 데이터가 입력이 되어서 가공이 이루어진다. 부재의 높이가 접합부의 높이 보다 약간 높으며 이는 유리 등의 외장 패널이 놓일 폭을 충분히 갖도록 하고 덮개 및 실리콘 Cealing 등에 대한 충분한 디테일 치수를 갖기 위해서다.

2004년 이탈리아 밀라노의 박람회의 프리폼 그리드 지붕에 사용하기 위해 MERO사는 〈Fig. 9〉와 같은 MERO-4 시스템을 개발하였다. 노드부는 두 개의 실린더 플레이트로 구성되어 있으며 노드와 부재가 마주치는 부분은 수평, 수직, 뒤틀리는 각도를 조절 할 수 있도록 절삭가공이 되어있다. 부재는 휨강성을 보다 향상시키기 위해서 접합부와 맞닿는 부분에 특수 처리로 하여 Build-up이 되었다. 두 실린더 플레이트사이에 비어 있는 부분은 필요에 따라서 인장 케이블로 보강을 할 수도 있다.



〈Fig. 8〉 End-face system WABI-1 and grid of the British Museum in London[2)]



〈Fig. 9〉 End-face system MERO-4[1)]

〈Fig. 10〉 Inside of End-face system MERO-4[1)]

3. 결언

산업분야의 발전에 맞추어서 건축가의 자유로운 디자인 개념의 프리폼 구조물이 계속해서 건축분야에 등장할 전망이다. 단층 대공간 지붕 구조물과 프리폼 구조물에 적용 가능한 경제성 및 안정성을 갖춘 접합 시스템의 개발이 국내 기술로 실현되길 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원(15AUDP-B100343-01)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사합니다.

References

1. Soeren Stephan et al, Reticulated Structures on Freeform Surfaces, Proceedings of the IASS Symposium, France, 2004.
2. Heinle E. and Schlaich, J., Kuppeln, Deutsche Verlags Anstalt GmbH, 1996.