

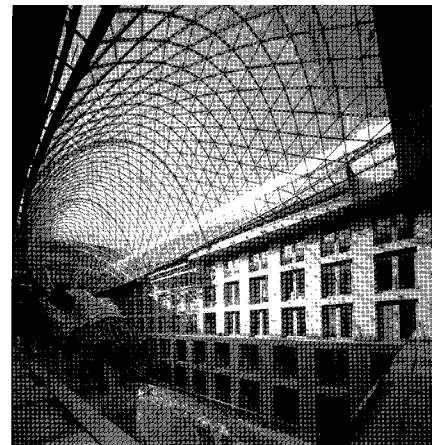
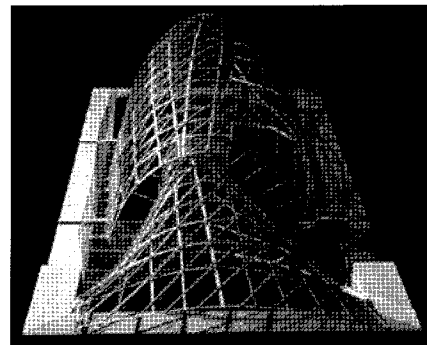
구조와 설계의 조화 – 자유 형상 그리드 구조

Combination of Structural and aesthetic design – Free form grid structure



황 경 주*
Hwang, Kyung-Ju

매력적인 디자인이 돋보이는 자유 형상 건축물은 최근의 제조업 기술의 발달과 맞물려 활발하게 계획되고 있다. 건축가 입장에서는 창의적인 디자인 아이디어가 현실화 되는 것에 큰 동기부여를 들 수 있을 것이며 구조 디자이너의 입장에서는 안전함과 동시에 최대한 미적인 요소를 고려해야하기 때문에 이전의 구조설계와는 한 차원 다른 설계 개념을 적용해야한다. 물론 세상의 모든 건축가들이 이러한 독특한 형태의 Geometry를 선호하는 것은 아니다. 하지만 자유 형상의 디자인 이미지를 본인의 설계에 반영하고자 하는 건축가 및 디자이너의 숫자가 많아지고 있는 것은 분명하다. 이는 과거에는 건축가의 머릿속 혹은 스케치에만 머물렀던 개념적인 것들이 실제로 지어지고 있기 때문이다<그림 1>.



<그림 1> DZ Bank, Berlin의 건축가(Frank O. Gehry)에 의한 모형(상)과 실제 완공된 구조물(하)¹⁾

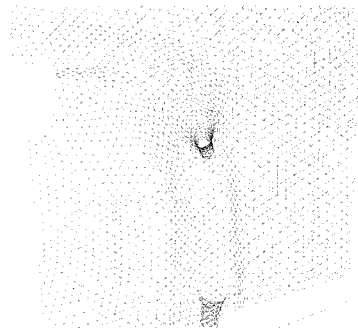
* 정희원·고려대학교 건축사회환경공학과 BK21 연구교수

이러한 자유 형상 그리드 구조물의 합리적인 설계를 위해서는 어떤 요소들을 특별히 고려해야할까?

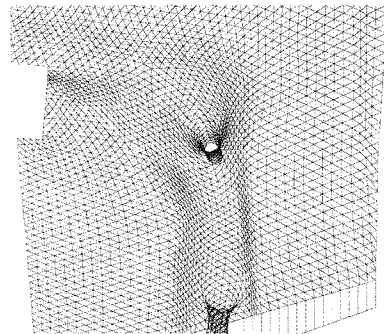
〈그림 2〉에서 보는 바와 같이 먼저 형상에 대한 최적화 그에 따른 그리드의 최적화 배열이 그것이다. 이 단계는 설계의 가장 첫 번째 단계이면서 가장 중요한 단계이다. 왜냐하면 건축가가 원하는 전체적인 자유 형태를 결정짓게 될 뿐만 아니라 응력의 집중현상을 막고 하중이 자연스럽게 흐르며 각각의 곡률 정도에 따른 접합부의 제작 범위와 외장재의 방수 디테일 등의 공사비용이 예상될 수 있기 때문이다.

그렇다면 이 단계에서는 과연 누가 책임을 지고 진행을 해나가야 하는가하는 질문을 할 수 있을 것이다. 왜냐하면 기존의 설계 방식으로 생각해 볼 때 구조물의 초기 Geometry는 건축 설계자가 제시하는 것이 원칙이기 때문이다. 하지만 이러한 구조물에 있어서는 초기 Geometry의 최적화는 구조적인 안정성이 고려가 되어야하며 최적화 할 수 있는 프로그램 툴 또한 복잡한 수학적 기반을 바탕으로 한 프로그램을 이용하기 때문에 현재까지는 구조 설계자가 하고 있는 실정이다. 물론 설계자 측에서 프로그램을 잘 운영하여서 최적의 형태를 제시 할 수 있다. 그러나 구조물 자체가 형태 저항형의 성격을 나타내고 있는 이상 구조 디자이너의 확인이 반드시 필요로 하게 된다.

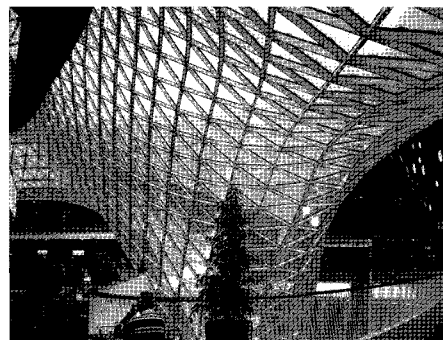
최적의 형태가 완성이 되면 그리드에 물성치를 넣고 다양한 하중조합을 사용하여서 수치해석을 통해 부재의 크기를 정하게 된다. 형태의 자유로움이 심할 수록 풍하중과 설하중의 조합에 대한 경우의 수도 상당수 늘어나게 된다. 무엇보다 단층 그리드 쉘 구조의 특성상 초기 불완전을 고려한 기하학적 비선형을 수행해야하며 비대칭의 하중 그리고 신뢰성 있는 접합부의 강성 또한 해석과정에서 고려되어야한다.



(가)



(나)

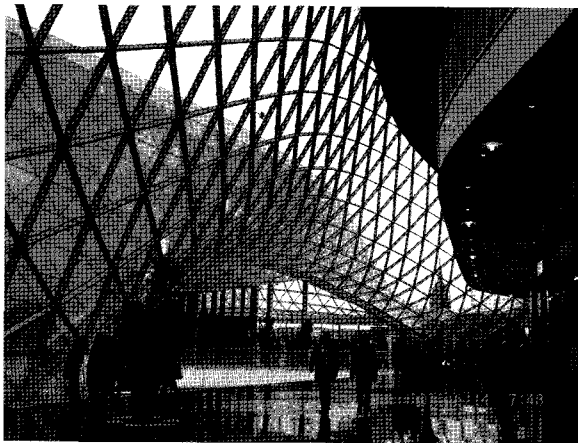
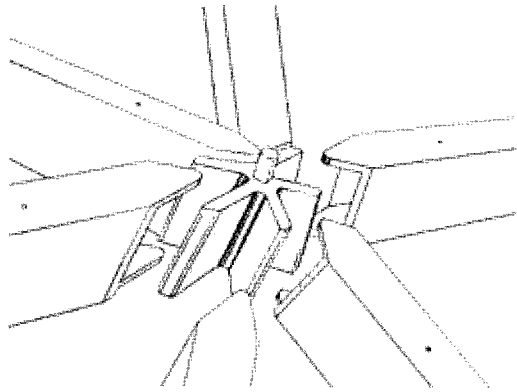


(다)

〈그림 2〉 My Zeil, Frankfurt의 그리드 최적화 iterations(가,나)²⁾, 실제 완공된 구조물(다)

또 하나의 두드러진 특성이운데 하나는 스마트한 접합부의 개발 및 적용이다. 전체 부재의 곡률은 직선의 부재들이 각각의 다양한 각도로 설계되어 있는 접합부와 만나 이루어지고 있다. 그렇기 때문에 시공성이 우수하며 제작비용이 최대한 경제적인 접합부가 반드시 필요로 하게 된다. 다른 일반적인 복층 스페이스 트러스에 비해서 분명 전체적인 재료비는

절감이 되는 것은 사실이다. 하지만 이러한 접합 시스템의 개발 비용이 전체 복층 스페이스 트러스의 제작비용보다 때로는 높기 때문에 합리적인 접합부의 개발이 전체 공사비를 좌우하게 된다. 구조 해석적인 측면에서는 용접을 쓰느냐 아니면 볼트를 쓰느냐에 따라서 반강점의 성격을 해석상에 가능한 적용해야 하는 것 또한 중요한 설계 요소이다.

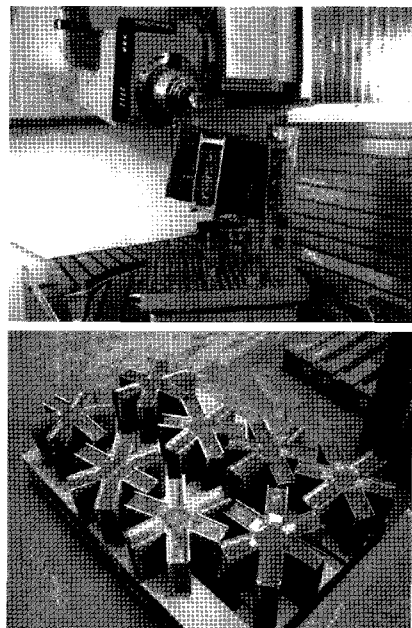


〈그림 3〉 Shopping center My Zeil, Frankfurt에 적용된 접합 디테일²⁾ 과 실제 적용

구조물의 크기와 복잡성이 더 방대할수록 모든 부재와 외장재의 데이터 베이스화도 아주 중요하다. 과거와 달리 각각 다른 부재의 길이 혹은 각도의 생산은 현재 그다지 어렵지 않다. 하지만 각각의 길이와 각도가 다른 부재와 접합부를 시공자와 설계자, 구조가가 알기 쉽게 정보를 주고받는 것이 아주 중요하다. 예를 들어 부재의 길이가 다름으로 생기는

다양한 외장재의 면적도 외장재의 시공자에게 정확하게 전달이 되지 않으면 엄청난 시간적인 손실을 유발시킨다. 사실 이 부분에서 현재 건축계에서 많이 거론되고 있는 BIM(Building Information Modeling)의 필요성이 부각된다. 즉, 비정형의 형태에서 파생되는 복잡한 각도로 인해 2차원의 도면이 아닌 3차원상의 도면으로 바로 표현하게 되면 상당히 효과적인 설계를 할 수 있다.

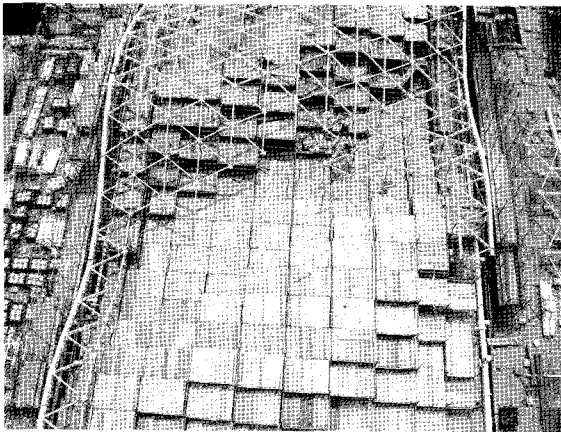
또한 시공에 쓰일 부재의 정확도를 확인하는 것이 매우 중요한 과정이다. 이는 시공과정에서 발생할 수 있는 기하학적인 초기 불완전성과 아주 밀접하게 관련 있는 것으로 도면에 표시되어 있는 치수와 형상대로 부재들이 제작이 되어 있는지 확인하는 단계이다. 〈그림 4〉는 영국의 Shopping center Westfield, London에 적용이 된 접합 시스템의 최종적인 정확도를 측정하는 과정을 나타내고 있다. 특히 접합부가 갖는 수평, 수직 그리고 뒤틀림의 각도가 도면과 일치하는지 검토하여 특정의 오차에 넘어서는 것은 새로 제작을 해야 한다. 그렇지 않으면 기하학적인 초기 불완전을 초래하게 되며 이는 전체 구조물의 불안정의 원인이 될 수 있다.



〈그림 4〉 Shopping center Westfield, London에 적용된 접합 시스템의 정확도 측정 과 제작 완성²⁾

시공의 과정을 생각할 때도 아주 세심한 계획을 필요로 하게 된다. 도면에 나타나 있는 기하학적 Geometry에 최대한 정확하게 시공하는 것은 모든 구조물에 있어서 동일하겠지만 이러한 단층 그리드 셸 구조물은 더욱더 그 정확성이 중요해진다. 앞서 서술한 바와 같이 구조물의 초기 기하학적인 불완전성과 깊은 연관을 가지기 때문이다.

〈그림 5〉에서와 같이 기본적으로 scaffolding을 이용하여 시공자가 직접 각각의 부재를 조립하는 것이 일반적이다. 여기에 각각의 시스템의 종류에 따라서 공장에서 조립하는 것 현장에서 시공하는 것 등을 구분을 하게 된다.



〈그림 5〉 Shopping center Westfield,
London 시공과정

종합적으로 볼 때 이러한 자유 형상 그리드 구조물은 기존의 일반적인 구조물과는 다른 독특한 설계 요소 및 시공 과정을 반드시 필요로 하게 된다. 특히 구조 디자이너의 측면에서는 한 단계 높은 구조지식 뿐만 아니라 건축가를 실질적으로 컨설팅 할 수 있는 노하우가 필요하기 때문에 몇 배의 시간적인 노력이 필요로 하게 된다. 하지만 이러한 구조물에 있어서 구조의 합리적인 해결점이 없이는 미적인 요소도 전혀 성립이 될 수 없기 때문에 그만큼 구조가 디자인에 직접적으로 영향을 끼치는데 상당한 의미가 있으며 여기에 맞는 구조 설계 자문의 비용과 보다 여유가 있는 설계기간을 반드시 보장 받아야 한다.

참고문헌

1. Schlaich, J., and Bergermann, R., Leicht Weit. DAM: Frankfurt, 2004.
2. Knippers, J. and Helbig T., Vom Entwurf bis zur Ausfuehrung frei geformter Netzschalen-eine Prozesskette, Stahlbau Spezial 2008, pp.10-150.