

# 화공플랜트 엔지니어링에서의 건축엔지니어의 역할

## The Responsibility of Architectural Engineers in Petrochemical plant engineering



김 한 상\*  
Kim, Han-Sang

### 1. 서론

최근 6-7년간 해외에서 발주되는 플랜트 규모가 급격히 늘어남에 따라 플랜트 산업에 대한 관심이 기존의 건설업계는 물론 새로운 직장을 찾는 구직자 사이에서도 커지고 있다. 전세계에서 발주되는 플랜트 시장은 8200억 달러(2010년), 9800억달러 (2013년), 1조1100억 달러(2015년) 등으로 꾸준한 증가세를 보일 것으로 전망된다<sup>(1)</sup>. 침체된 국내 건설경기로 인하여 대형 건설사는 플랜트산업에 대한 과감한 투자 등으로 새로운 활로를 모색하고 있다. 이에 따라 기존의 우수한 설계인력을 확보하기 위한 경쟁이 심해져서 충분한 인력 확보에 어려움이 있을 뿐만 아니라 국내 인력만으로는 부족해 인도, 필리핀 등지에서 외국 엔지니어를 채용하여 활용하고 있다. 플랜트 산업은 크게 네 가지로 구분 할 수 있다. 첫째는 정유 및 가스의 정제시설을 건설하고, 폴리에틸렌, 폴리스티렌등의 여러 화학 제품의 원료를 제조

하는 화공 플랜트, 둘째는 발전소 및 제철소등을 건설하는 발전 및 철강 플랜트 셋째는 반도체 및 각종 제조 시설, 산업체의 공장건설과 관련 있는 산업 플랜트 마지막으로 담수설비, 하수처리장 등의 환경 플랜트이다. 플랜트 산업에 대한 관심이 많아 짐에 따라 많은 건축엔지니어들이 플랜트 엔지니어링에서의 건축 엔지니어의 역할을 궁금해 하는 것을 보았다. 여기에서는 화공 플랜트를 중심으로한 건축 엔지니어의 역할에 관하여 기술 하겠다. 건축엔지니어의 입장에서 화공 플랜트와 일반건축의 가장 큰 차이는 화공 플랜트의 경우 선행 공종 (공정, 배관, 기계, 전기, 제어, 토목) 과의 coordination이 상당히 중요하고 많다는 점이다. 이러한 coordination work이 화공 플랜트 엔지니어링의 큰 부분을 차지하고 있다고 해도 과언이 아니다. 화공 플랜트에서 건축엔지니어가 주로 설계하는 것은 piperack, equipment structure, shelter 그리고 substation 같은 빌딩 등이다. 이러한 구조물은 대부분이 PC, RC, Steel로 design 되기 때문에 ACI나 AISC,

\* 정회원 · 공학박사, 기술사, 삼성엔지니어링 토목건축2팀 차장

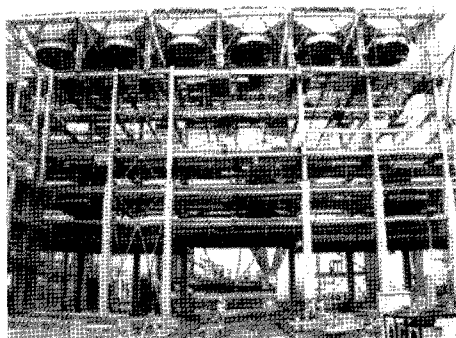
ASCE, IBC 등의 code에 관한 전반적인 이해가 필요하다. 이러한 구조물을 설계하기 위해서 그 전 단계로 각각의 프로젝트의 특성에 맞게 Design Criteria를 작성하게 된다. Design Criteria는 다음과 같은 사항이 기술되어 있다.

- 플랜트의 위치,
- 각 구조물의 재질
- 기초 타입
- 해당지역의 기후 조건 (설계 풍속, seismic area factor 등)
- 사용되는 design code (ACI, ASCE 등)
- 콘크리트의 강도
- Rebar의 종류
- 강재의 종류
- 주요부재의 최대 허용 변위
- 설계시 적용되는 하중 조합
- 설계시 주의 해야할 사항.

Design criteria는 설계시 필요한 주요 사항 및 유의 사항 등을 정리해 놓은 것으로 프로젝트 기간 내내 유용하게 활용할 수 있도록 정확히 작성하고 또 중요한 사항을 빠뜨리지 않아야 한다.

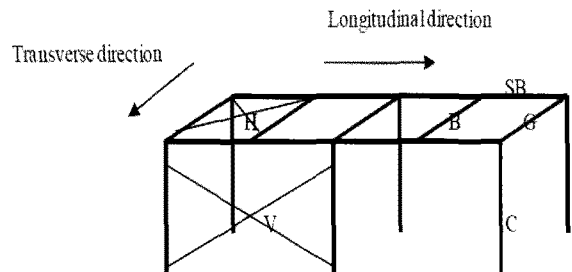
## 2. Piperack의 설계

Piperack 이란 <그림 1>과 같이 Utility line을 적재하는 작은 단독 support 부터 Air cooler 등이 적재된 다단 pipe way 에 이르는 구조물을 총칭한다. 사용되는 재질에 따라 Steel, PC, RC piperack으로 구분한다.



<그림1> Piperack

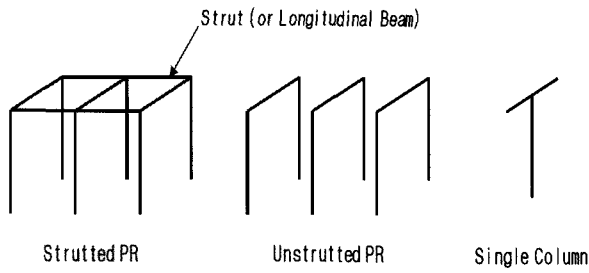
Steel piperack의 장점으로는 대량생산, 균일한 품질 확보가 가능하고 R.C 보다 시공성이 좋은 점을 들 수 있다. 또한 일반적으로 유지 및 보수가 R.C 및 P.C 에 비해서 용이하다. 단점으로는 비용이 높고 제작 후 운송 비용이 추가로 든다. 또한 Fire proofing이 필요하다. 이에 반하여 P.C piperack의 특징은 steel 에 비하여 저가 이나 유지 보수가 어렵고 steel 부재와 연결 부분이 있는 경우 제작이전 접합 부위를 처리 해야 하는 부담이 있다. 스케줄 측면에서는 R.C가 가장 유리하고 steel 이 가장 불리하다. PC나 RC는 현장에서 제작이 가능하나 steel은 fabrication shop 에서 제작 후 다시 현장까지 운송해 와야 하기때문이다. 따라서 piperack의 재질을 결정할 시에는 cost, schedule, 공사난이도, 사업주의 요구 사항 등을 모두 고려하여 결정해야 한다. <그림2>는 piperack에 관련된 용어이다.



- C: Column
- B: Beam
- G: Girder
- SB: Strut(or Longitudinal Beam)
- V: Vertical Brace
- H: Horizontal Brace

<그림2> Piperack의 용어

보통 Transverse direction의 Girder 는 fixed 접합을 하고 Longitudinal direction의 Beam은 Pin 접합을 한다. Vertical brace는 piperack 에 작용하는 하중을 strut에서 기초로 전달하는데 사용한다. Vertical brace 의 위치를 결정하는 문제는 배관의 anchor force 위치, 주변 도로 상황, 비상시의 escape plan등을 고려하여 결정한다. <그림3>은 piperack 의 지지 형태를 나타낸다.



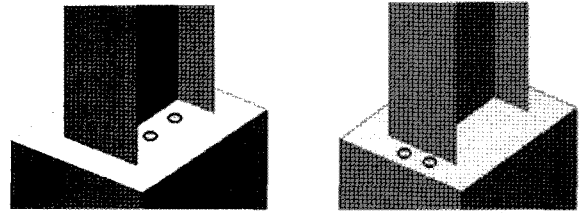
〈그림3〉 Piperack의 지지형태

Unstruted piperack의 경우 상부에 실리는 중량이 작을 때 사용 된다. Piperack 을 설계할 시 고려해야 할 하중은 다음과 같다.

- Operating weight
- Friction force
- Thermal expansion
- Anchor force
- Wind
- Earthquake
- Empty weight

Friction force는 파이프 안의 유체 및 외기 온도 변화 등으로 파이프의 길이가 끊임없이 변하는데 이때 Transverse beam의 직각 방향으로 생기는 힘으로 그 크기는 약 파이프 무게의 10-15% 이다. Anchor force는 pipe에 support의 일종인 anchor를 적용 하였을 때에 생기는 힘이다. Anchor는 일정한 방향의 변위를 구속하는 directional anchor와 모든 방향의 변위를 구속하는 fixed anchor로 나뉜다. 이 anchor force는 piping stress analysis를 통해 구할 수 있고 piperack을 설계할 때 상당히 큰 영향을 끼치는 요소인데 불행하게도 프로젝트 스케줄상 그 값을 가정해야 하는 경우가 많다. 파이프랙의 공사 스케줄과 맞물려 정확한 anchor force의 값이 나오기까지 기다릴 수 있는 시간적 여유가 없기 때문이다. 이러한 부분이 엔지니어의 경험과 안목이 크게 필요한 때이다. 자칫 가정된 값이 너무 크거나 작으면 비용적인 측면에서 큰 손실을 입기 때문이다. Piperack 설계시 중요하게 고려 해야할 부분이 주각 부분의 경계조건이다. 〈그림 4〉와 같이

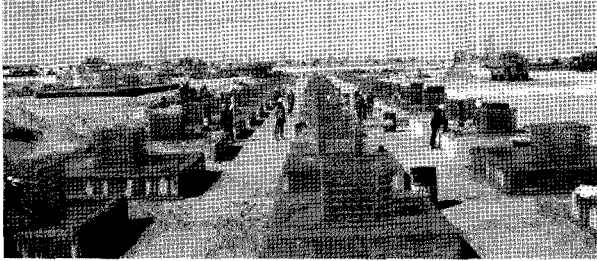
Fixed type과 pinned type 으로 나눌수가 있는데 각각 장단점이 있다.



(a) pinned type (b) fixed type  
〈그림 4〉 주각부분의 경계조건

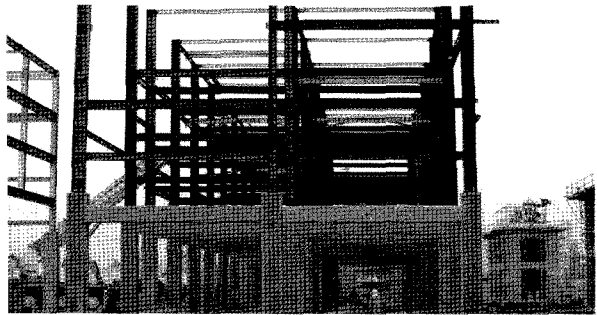
먼저 pinned type의 특징을 살펴보면 기동하부가 모멘트를 부담하지 않기 때문에 주각의 단면이 작아지는 대신 기동이 부담하는 모멘트가 커지기 때문에 기동이 단면이 커진다. 반면에 fixed type 은 기동하부에 모멘트를 받기 때문에 주각 단면이 커지고 기동 base 제작이 복잡해지고 기초의 크기가 커지는 단점이 있지만 기동의 크기가 작아지는 잇점과 또한 piperack의 폭에 비해 높이가 높은 경우 상부의 변위를 작게 할 수 있는 장점이 있다. 따라서 기동하부의 경계조건을 정할 시에는 이러한 부분을 감안하여 각 piperack 의 특성에 맞게 결정해야 한다. 공사 스케줄상 상부 철골도면이 완성 되기 전에 기초공사를 시작해야 하기 때문에 앞서 언급 했듯이 여러 상부 하중을 가정하여 기초구조계산 및 도면을 완성한 후 기초 공사를 현장에서 시작한다. 〈그림 5〉는 piperack 의 기초 공사 사진이다. 일단 현장에서 공사가 시작되면 현장에서 생기는 일부 문제를 해결해야 하는 것도 본사에 있는 엔지니어의 업무이다. 간혹 현장에서 사업주가 설계 변경이 생겼을 때 안정성등을 문제 삼는 경우가 있는데 이때에는 설계에 문제가 없다는 것을 보여주는 계산서 작성과 관련 code의 제시를 통해 해결한다. 플랜트 엔지니어링의 특성상 주요 현장이 외국에 있고 또한 현장 지원을 위해 본사에서 엔지니어가 수개월 동안 현장으로 파견되는 경우도 적지 않다. 현장 업무를 하면 잘못된 설계에 의해서 시공이 이루어졌을 경우 이를 수정하기 위하여 드는 비용, 시간 등의 품질 비용이 얼마나

큰지를 크게 느낄 수 있다. 또한 현장 업무를 체험한 후에는 현장에서의 시공성 등을 더욱 고려하여 설계를 하게 되기 때문에 현장 업무를 꼭 경험해 보는 것을 추천한다.



〈그림 5〉 piperack의 기초 공사

〈그림6〉은 기초위에 설치된 PC piperack 이다. 하부 1단은 PC이고 상부는 steel로 이루어져 있다. 플랜트 엔지니어링의 특성상 잦은 설계변경 등이 발생하여 전체를 PC로 하기 보다는 상부 부분은 설계변경이 용이한 steel로 하는 경우가 많다.



〈그림 6〉 PC piperack

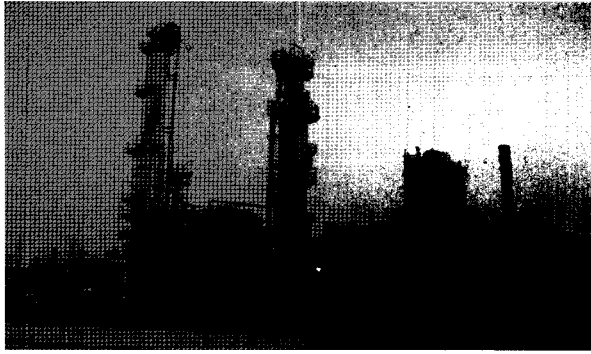
### 3. Equipment structure 의 설계

화공 플랜트에는 compressor, 펌프, 열교환기, air cooler, vessel 등의 많은 회전기기와 장치기계가 필요하다. 이러한 기기류는 지반 위에 직접 설치가 되는 경우도 있고 또한 철골 구조물위에 설치 되기도 한다. 철골 구조물위에 설치 될 경우 이를 위한 구조물을 설계 해야 하는 것은 건축 엔지니어의 역할이다. 이러한 equipment structure를 설계시 가장 크게 고려해야 하는 것은 역시 기기의 자중과 진동 발

생 여부 이다. 특히 진동이 발생하는 compressor 등의 회전기기의 경우는 공장 가동 후 피로 하중으로 인한 구조물의 변위가 커질 수 있기 때문에 설계 초기의 동적인 해석에 큰 노력을 투자해야 한다. 공장 가동 후에 문제가 발생하면 더 큰 비용을 치루어야 하기 때문이다. 다행히 요즘은 많은 학교에서 Dynamics of structures를 건축학부의 정규 과목에 포함 시켰다고 한다. 일단 기본적인 지식이 있으면 실무에서 적용하는 것은 크게 어렵지 않을 것으로 생각되고 많은 case study 등을 하면 훌륭한 엔지니어로 커 나갈 수 있을 거라고 생각한다. 다음은 equipment structure을 설계시 고려해야 할 하중이다.

- Operating weight
- Empty weight
- Test load
- Wind
- Earthquake
- Erection weight
- Thermal expansion
- Bundle pull

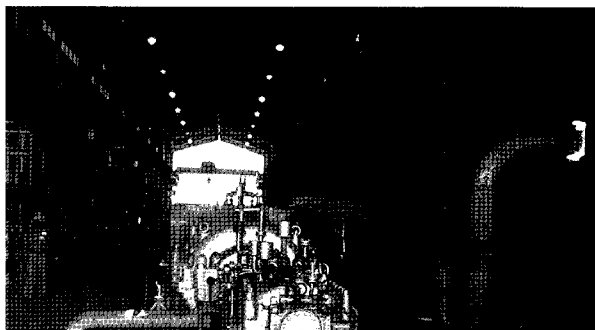
Equipment structure 를 설계할 때 타 부서로부터 접수해야할 사항은 civil inform (from piping), vendor print (from mech.) 이다. Civil inform은 기계가 구조물에서 설치 되는 위치 등을 나타내는, equipment structure의 전반적인 layout을 나타내는 inform 이다. Vendor print는 기계를 제작하는 vendor가 만든 도면으로 기계를 철골에 설치하기 위한 구체적인 정보를 담고 있다. 이러한 타 부서에서 오는 inform을 건축 엔지니어는 상세히 review 하여 필요시 관련 부서에 수정을 요청해야 한다. 간혹 타 부재와의 간섭등으로 설치가 불가능한 경우가 생기기도 한다. Equipment structure를 설계할 때도 초기의 하중과는 다르게 기계의 하중이 갑자기 커져서 구조 해석을 다시 수행하고 이미 설계된 부재를 더 큰 부재로 바꾸는 경우가 있기 때문에 초기 설계시 어느 정도의 여유치를 가져야 한다.



〈그림 7〉 Equipment structures

#### 4. Shelter의 설계

Shelter의 정의는 partially enclosed된 structure이다. 보통 지붕과 벽의 일부 또는 전부가 덮혀있는 구조물을 말한다. 〈사진 8〉는 compressor shelter를 보여주고 있다. Shelter 설계시 특히 고려해야 할 하중은 Wind load와 crane load이다. Shelter 자체의 높이가 높고 벽이 cladding 등으로 모두 막혀 있기 때문에 이로 인한 wind load가 크고 또한 천장에 설치된 crane, 또 crane과 같이 이동되는 equipment의 지중이 큰 영향을 미친다. Compressor shelter의 경우 compressor의 nozzle과 철골 부재와의 간섭도 주의 깊게 확인해야 한다.

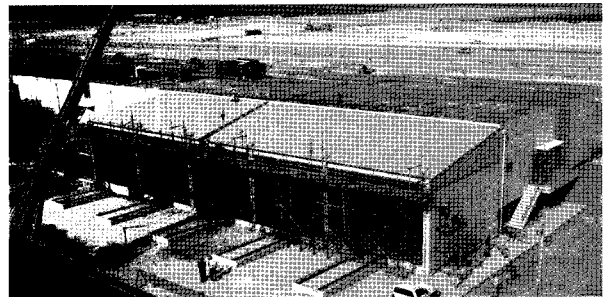


〈사진 8〉 Compressor shelter

#### 5. Building 의 설계

화공 플랜트에는 여러 종류의 빌딩이 지어지는데 그 중 대표적인 빌딩은 control 빌딩, substation, PIB (process interface building) 등을 들 수 있다.

건물 설계도 역시 전기, 제어, HVAC 등의 타 공종과 많은 관련이 있기 때문에 필요한 Room의 배치, sizing, 건물의 개구부 등을 정하는데 이들 타공종과 많은 협의가 필요하다. 〈사진 9〉은 화공 플랜트의 대표적인 빌딩중의 하나인 substation이다. 처음 빌딩 설계를 시작할 때는 기둥의 간격등을 고려한 구조계획을 먼저 수립해야 한다. 특히 substation의 switchgear room의 내부에는 공간 활용을 위해서 기둥을 설치하면 안되니 주의해야 한다. 일부 사업주는 substation과 PIB 빌딩에 방폭 (Blast resistant) 설계를 요구 하는 경우도 있다. 방폭 설계에 있어서 중요한 요소는 방폭 하중과 하중의 작용시간이다. 방폭 설계의 manual로는 ASCE에서 발행한 Design of Resistant Buildings in Petrochemical Facilities가 많이 활용되니 참고하기를 바란다.



〈사진 9〉 substation

간혹 플랜트 공장에서 생산한 물품을 저장하기 위한 Storage 빌딩을 설계 하는 경우도 있다. 이러한 storage 빌딩은 특성상 장스팬이 요구되고 기초 크기나 철골 부재가 보통 구조물과 비교 하여 많이 커지기 때문에 구조 해석시 많은 시간을 투자하여 물량 절감 요인이 없는지 꼼꼼히 체크해야 한다.

#### 6. Field engineering

지금 까지 화공 플랜트 엔지니어링에서 건축 엔지니어가 어떠한 구조물을 설계하는지 알아보았다. 본사에서 설계가 끝나면 현장에서 시공을 하게 되는데 이때 현장 지원을 위하여 현장 파견 근무를 나가는

경우가 종종있다. Field engineering을 하게 되는 이유는 플랜트 엔지니어링의 특성상 설계 변경이 잦아 설계인력의 지원이 없으면 프로젝트 스케줄에 차질이 오기 때문이다. 앞서 언급 하였듯이 field engineering 도 화공 플랜트 엔지니어링에서 건축 엔지니어의 주요 업무중의 하나이다. 현장에서 설계 변경이 생기면 현장에서 즉시 도면을 이슈해야 하는데 이를 FRR (Field Revision Request)라고 하는데 현장에서 이러한 업무를 원활히 하려면 본사에서 설계하는 동안에 프로젝트의 specification 및 관련 code를 숙지 하고 있어야 한다. 또한 간단한 구조물의 경우는 수계산만으로도 설계 할 수 있는 능력을 갖추어야 한다. 시공은 설계의 최종 결과물로서 일단 시공이 되면 수정이 어려울 뿐만 아니라 공기 및 비용 상으로도 큰 영향을 미치고 나아가 프로젝트의 성패에도 큰 영향을 미친다. 설계엔지니어는 이러한 점을 항상 염두에 두고 설계 업무를 해야 한다.

## 7. 결론

근래 화공플랜트 산업의 호황과 국내 건설경기의 침체로 인해 화공 플랜트 산업이 많은 관심을 받고 있다. 매년 입사하는 신입 사원의 자질은 해가 갈수록 우수해 지고 있다. 이러한 상승세를 유지하려면 현재 선진 업체와의 기술적인 격차를 줄이고 사업의 포트폴리오를 다양하게 가져 가는 것이 중요하다. 또한 우수 엔지니어의 확보를 위해 국내 뿐만 아니라 해외에도 눈을 돌려 인도, 동남아의 우수 인력 확보에도 힘을 쏟아야 한다. 이를 위해서 사우디, 인도 등에 현지 법인을 세워 설계센터를 운영하는것도 한 방법이라고 할 수 있겠다. 실제로 국내의 대표적인 엔지니어링의 EPC (Engineering, Procurement, Construction) 업체에서는 이를 실행하고 있다. 갈수록 수주경쟁이 치열해지면서 수주금액은 하락하고 이익률은 낮아지는데 이를 극복하기 위하여 설계 변경 등에 따른 품질 비용 등을 줄이는 것도 엔지니어의 역할이다.

## - 참고문헌 -

1. 산업연구원 [www.kiet.re.kr](http://www.kiet.re.kr)

## 감사의 글

이 글을 위해 각종 자료를 제공해 준 삼성엔지니어링의 화공엔지니어링 본부 토목건축2팀에 감사드립니다.