

## 플랜트 건축의 특성과 미래

- Future & Character of Plant -



김 응 교\*  
Kim, Eung-kyo



권 익 노\*\*  
Kwun, Ik-no

### 1. 플랜트 건축구조의 특성

플랜트란 국가 산업의 근간이 되는 중요한 기간 산업시설로 크게 함축시킬 수 있다. 여기에 플랜트 시설과 관련되어 건축구조 분야는 설계 단계에서 중요하며 공장건물과 관련시설물의 안전성은 특히 중요한 요소이다.

플랜트 건축 구조의 특성은 산업화 시설로서 공장 건물 및 시설물의 안전에 관련됨으로 우선적으로 공장 원래의 목적으로 하는 생산시설이 원활하도록 하고, 그 공장에 근무하는 작업자의 쾌적함과 편리성을 주목적으로 한다. 산업화의 발달과 더불어 시대적인 요청과 실제적인 요구의 변화는 플랜트 엔지니어링이 갖는 특수성, 즉 인간과 기계와의 관계라는 관점에서 볼 때, 그 역할에 대한 재인식이 필요하다. 플랜트시설에 대한 지나친 강조는 이를 관리하고 유지 및 지원하는 부기능을 소홀히 다룰 수도 있다. 그러므로 주, 부기능을 경제적인 고려와 함께 치우침이 없이 조화시키는 것이 중요한 연구 과제다.

최근의 플랜트 건축은 크게 증가되는 추세이다. 각 국의 산업자원의 발달과 더불어 국가의 기간시설과 기업의 대형화에 따라서 산업공장시설도 국제적으로 대형화되는 추세이고 또한 점점 고도화된 기간산업시설로 대체되기 때문에 이에 따른 공장 건물 및 시설물의 체계화된 설계능력 및 기술력이 필요하다.

미래의 플랜트 시설은 이러한 복합적인 요구를 다변화하여 건축으로 공장 시설의 구조시스템은 결국 인간에게 시각적인 즐거움 및 편리성과 그 속에서 일하는 보람과 긍지를 가지도록 하는 환경적인 배려이다.

플랜트 건축구조의 특성으로, 각 공장 시설별로 요구하는 조건이 서로 상이하나 일반적으로 검토되는 사항은 다음과 같다.

#### 1.1 플랜트 건물의 기능 및 기본 구조계획

플랜트 건물이 요구되는 기능에 적합하도록 적절한 간격으로 기둥 및 벽체가 배치되어야 한다. 또한 플랜트 시설의 목적의도 즉, 발전소 시설, 석유화학 시설, 제철산업시설, 시멘트공장시설 등이 요구하는 기능에 적합하도록 각 기능별 프로세스 공정에 따

\* DSK엔지니어링(주) 대표, 공학박사, 구조기술사

\*\* DSK엔지니어링(주) 소장, 공학박사

른 기본계획을 검토 후 건물의 기본 구조계획을 확정해야 한다.

### 1.2 건물층고 계획 및 설비계획

구조설계 자체만의 경제성을 고려하면 휨부재의 경우 춤(depth)이 클수록 유리하지만 의장 및 설비를 포함한 건축설계의 전반적인 경제성을 고려하여 휨부재의 적절한 춤을 결정하여 층고를 최소화 하도록 한다.

설비설계 중에서도 단면적이 큰 덕트의 위치 및 형태의 설계 외 구조부재와의 관련성이 중요하다. 설비 덕트가 휨재의 하부에 배열되는 시스템에서는 휨부재의 크기를 최소화하여 층고를 낮춤으로서 덕트의 자유로운 설계가 되도록 한다.

그러나 설비 덕트가 휨부재를 지나가는 경우 덕트의 위치 및 형태를 고려하여 휨부재의 개구부 보강과의 관계를 협의해야 한다. 이러한 경우 설비계획의 효율성의 고려와 경제적이고 안정적인 구조계획이 되도록 한다.

### 1.3 설계하중의 적용

플랜트 건물에서는 일반건물에 적용되는 설계하중과 더불어 기계작동 및 설치에서 일어나는 각종 하중을 추가적으로 적용하여야 한다. 이러한 하중의 적용은 다음과 같다.

- 고정하중 (Dead Load)
- 적재하중 (Live Load)
- 풍하중 (Wind Load)
- 지진하중 (Seismic Load)
- 설비하중 (Equipment Load-
  - ① Empty Load
  - ② Operating Load
  - ③ Test Load)
- 설비진동 및 마찰하중 (Equipment Vibration Load & Thermal Friction Load)
- 배관하중 (Piping Load -
  - ①Empty Load
  - ②Operating Load

### ③Test Load)

- 배관마찰하중 (Thermal Friction Load for Piping)
- 배선하중 (Cable Tray Load)
- 온도(열)하중 (Thermal Load)
- 폭발하중 (Blast Load)
- 기계진동하중 (Vibration Load for Machinery)
- 각종 운반기기하중 (Crane Load & Hoist Load etc)

### 1.4 적절한 재료의 선정 및 구조체 자중의 적정화

플랜트 건물의 구조설계시 부재의 강도가 중요시 되며 부재의 크기를 줄이고 공기단축이 중요시 되는 공장설계에서는 일반적으로 철골로 설계하고, 내화 및 내식을 필요로 하는 부재에는 철근 콘크리트로 설계한다.

### 1.5 경제성 및 시공성

플랜트 구조설계에서의 경제성을 골조공사비를 포함한 설비, 공사비, 현장관리 등의 간접비 및 공사기간 단축에 따른 경제성 등이 포함된다. 플랜트 엔지니어링의 시공성에 포함될 내용은 자재운반 및 설치, 공사방법, 타 공정간의 간섭, 공사안전 및 품질관리, 공사기간, 효율성 및 공사비 등이다.

### 1.6 플랜트 건축의 계획요소

국가의 경제 발전과 사회정세의 변화에 따라서 산업시설의 많은 변화와 진보에 따라 공장 건물도 많은 발전을 하였다. 더욱이 산업시설의 급격한 발전과 생산설비의 자동화 및 첨단기계설비의 현저한 발전은 플랜트 건축기술의 비약적인 발전을 가져오게 되었다.

최근의 플랜트 건축의 동향은

- ① 공장 규모의 대형화
- ② 기계배치, 작업의 합리화
- ③ 산업의 발달에 따른 공장 플랜의 융통성

- ④ 작업종업원의 작업환경 향상 고려
- ⑤ 외장 및 미적인 건물외관

플랜트 건축 계획시에는 산업적인 현상, 변화, 기업가들의 의도를 충분히 파악하여 건물의 사용목적, 작업상의 성질, 작업시 요구되는 조건을 검토하여 설계에 반영하도록 하고 작업의 능률과 쾌적한 작업조건이 되도록 한다. 특히, 플랜트 공장 설계 단계에서는 지붕의 물처리, 천장크레인, 공기조절, 환기, 채광 등을 해결하고 쾌적한 공장이 되도록 설계한다.

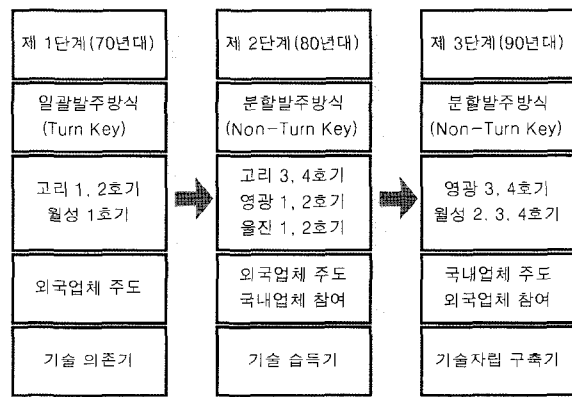
### 1.7 플랜트 건축의 종류

플랜트 건축의 분류는 재료의 적용에 따라 철골 구조나 R.C 구조로 대별되고, 일반적으로 플랜트 시설이 요구되는 조건에 따라 아래와 같이 분류된다.

- 발전소시설
  - 화력발전소(복합화력)
  - 열병합 발전소
  - 원자력 발전소
- 석유화학공장 시설
- 제철공장 시설
- 시멘트공장 시설
- 일반산업공장 시설

1, 2, 3, 4호기 및 신월성 1, 2호기 총 6기가 현재 추진 중에 있다.

국내 운전중인 원자력 발전소는 월성 1, 2, 3, 4호기(가압중수로)를 제외하고 전부 가압경수로(PWR)인데, 국내 원전의 운영실적은 세계적인 수준으로서 최근 수년간 세계 평균이용률보다 약 15% 가량 높게 유지하고 있다. 이와 같은 높은 이용률에 따른 경제적 이득은 100만kW급 원전 2기(건설비 약 3조)를 추가로 보유하고 있는 것과 같은 효과가 있다. 국내 원전의 발전정지 건수도 발전소운전 경험 및 기술 축성에 따라 점차 감소하여 선진국 수준에 근접하고 있다.



<그림 1> 국내 원자력 발전소 건설 사업관리 발전단계

## 2. 국내 원자력 발전소

1장에서 기술한 바와 같이 플랜트 시설이 요구되는 조건에 따라 다양하게 분류할 수 있다. 그 중 가장 특별한 경우가 원자력 발전소 시설이다. 고유가 시대로 접어든 이 시기에 우리에게 가장 중요한 에너지원이 될 수 있는 것이 원자력이기 때문이다. 원자력 발전소 시설에 대한 국내 현황을 간단히 기술하면 다음과 같다.

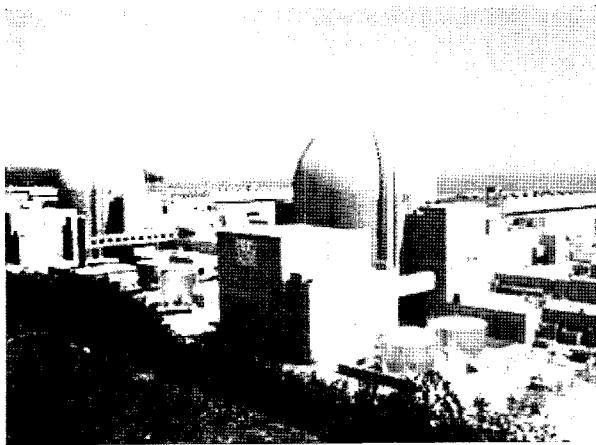
### 2.1 국내 원자력 발전소 현황

우리나라의 원자력 발전소 현황은 현재 20기(고리원전 4기, 영광원전 6기, 월성원전 4기, 울진원전 6기)의 원전이 운전 중에 있고 신규 원자력 발전소 프로젝트로 신고리

2005년 현재 가동중인 국내 원자력 발전소 현황은 <표 1>과 같다. <그림 2>, <그림 3> 그리고 <그림 4>는 우리나라 대표적인 원자력 발전소들의 전경이다.



<그림 2> 고리 원자력 발전소



〈그림 3〉 울진 원자력 발전소



〈그림 4〉 영광 원자력 발전소

〈표 1〉 가동중인 국내 원전 현황

구 분	사업관리 및 종합설계	원자로 및 발전설비공급	시 공
고리 1·2호기 (일괄발주계약)	종합설계 : W/GAI(길버트사) 사업관리 : Westinghouse(턴키)	NSSS : Westinghouse 1호기 : PWR방식(587MW) 2호기 : PWR방식(650MW) T/G : GEC(UK)	현대·동아
월성 1호기 (일괄발주계약)	종합설계 : CANATOM 사업관리 : 캐나다원자력공사(턴키)	NSSS : 캐나다원자력공사(AECL) CANDU방식(679MW) T/G : HP/CAP	현대·동아
고리 3·4호기 (일괄발주계약)	종합설계 : Bechtel 사업관리 : 한국전력 주도	NSSS : Westinghouse PWR방식(950MW) T/G : GEC(UK)	현대
영광 1·2호기 (외국사 주도의 분할발주계약)	종합설계 : Bechtel 사업관리 : 한국전력 주도	NSSS : Westinghouse PWR방식(950MW) T/G : Westinghouse	현대
울진 1·2호기 (외국사 주도의 분할발주계약)	종합설계 : Framatome/Alstom 사업관리 : 한국전력 주도	NSSS : Framatome PWR방식(950MW) T/G : Alstom	두산중공업 ·동아
영광 3·4호기 (국내사 주도의 분할발주계약)	종합설계 : 한국전력기술 및 S & L 사업관리 : 한국전력 주도	NSSS : 두산중공업·KAERI-CE PWR방식(1,000MW) T/G : 두산중공업 및 GE	현대
월성 2호기 (국내사 주도의 분할발주계약)	종합설계 : 한국전력기술 및 AECL 사업관리 : 한국전력 주도	NSSS : 두산중공업·KAERI·AECL CANDU방식(700MW) T/G : 두산중공업 및 GE	현대
울진 3·4호기 (국내사 주도의 분할발주계약)	종합설계 : 한국전력기술 및 S & L 사업관리 : 한국전력 주도	NSSS : 두산중공업·한국전력기술-CE PWR방식(1,000MW) T/G : 두산중공업 및 GE	두산중공업 ·동아
월성 3·4호기 (국내사 주도의 분할발주계약)	종합설계 : 한국전력기술 및 AECL 사업관리 : 한국전력 주도	NSSS : 두산중공업·AECL CANDU방식(700MW) T/G : 두산중공업 및 GE	대우
영광 5·6호기 (국내사 주도의 분할발주계약)	종합설계 : 한국전력기술 및 S & L 사업관리 : 한국전력 주도	NSSS : 두산중공업·한국전력기술-CE PWR방식(1,000MW) T/G : 두산중공업 및 GE	현대대림
울진 5·6호기 (국내사 주도의 분할발주계약)	종합설계 : 한국전력기술 사업관리 : 한국전력 주도	NSSS : 두산중공업 PWR방식(1,000MW) T/G : 두산중공업	두산중공업 ·동아·삼성

### 3. 미래인 플랜트 시설과 공장건축

엔지니어링산업은 연구기관 및 제조·건설사 그리고 엔지니어링 실수요자와 유기적으로 연결돼 설계에서부터 시공감리·시운전에 이르기 까지 사업 수행 영역을 총괄함으로써 최적 플랜트 및 장치·기간설비를 창출하는 역할을 담당하고 있다.

또한, 해외시장에서 엔지니어링 기술을 필요로 하는 프로젝트나 컨설팅 사업을 수주해 소요 기자재 구매 사양서를 작성하고 기자재와 건설공사 입찰서 평가를 수행함으로써 플랜트에 대한 시공기술의 수출을 촉진시키는 역할까지 수행하고 있다.

국제적인 경제 환경의 변화와 기술정보화사회가 진전됨에 따라 이러한 플랜트 엔지니어링 산업의 역할은 더욱 커질 것이고 이 중에서 구조물 및 건물에 관련된 구조적 안전성은 아주 중요한 요소라 할 수 있다.

#### 3.1 국제 산업환경과 플랜트 엔지니어링 산업

자유무역주의에 입각한 GATT체제는 국가간 무역 불균형이 심화되면서 우루과이라운드라는 새로운 세계 무역질서를 출범시켰다. 자유무역의 기초를 유지하기 위한 목적을 실현하기 위해 1986년 출범된 우루과이라운드는 지적소유권을 비롯한 무역관련 투자·서비스 교역 자유화 등을 주요 협의 대상으로 설정해 1993년 말 제반 자유무역주의를 고수하고 있는 국가간 협정이 체결됨에 따라 국내 경제 각 부문의 대외적 시장개방은 급속도로 확대되고 있다.

이 같은 경제체제가 운용되는 현실은 국내 시장에서만 경쟁해 왔던 다양한 산업부문이 국제 경쟁체제로 전환되도록 외적 여건에 의해 강요받았으며, 기업이 경영과 관련된 의사결정 및 사업 참여를 실시하는데 있어서도 국내뿐만 아니라, 외국의 경제 및 산업적 동향까지 고려해야 하는 등 많은 난제를 대두시켰다. 따라서, 대외 기업들에 비해 기술력 및 경쟁력 등이 상대적 우위를 갖지 못한 산업이나 기업은 사양화 내지 도산에 직면하게 될 것이다.

세계 각국의 기업들은 이러한 경제환경을 극복할 수 있게 하는 비교우위를 확보하기 위해 생산성 향상을 위한 기술혁신 및 제조공정 개발에 치중하게

되었으며, 따라서 플랜트 엔지니어링 산업 및 기업의 역할 또한 더욱 확대될 수밖에 없다. 또한, 이 같은 국제경제적 환경변화는 종래의 산업구조를 전환케 유도함으로써 자동차 및 전자제품 등 중화학공업과 메카트로닉스·컴퓨터·신소재 관련 산업 등 첨단 산업의 비중이 크게 증가, 엔지니어링 관련분야의 수요를 다각적인 영역에서 창출케 할 것으로 예상되고 있다.

#### 3.2 기술정보화 사회와 엔지니어링의 역할

산업분야의 기술정보화는 사무 및 생산부문의 공정관리를 위한 산업용 로보트·NC공작기계·사무용 컴퓨터 등 정보관련기기의 운용을 필수적으로 갖추게 했을 뿐만 아니라 설계 및 생산시스템 등 보다 고차적인 정보망 구축 및 운영시스템의 도입으로 까지 진전시켰다.

기존의 대량 생산을 가능케 하는 생산주력 산업체제에서 소프트 기술의 비중이 지속적으로 제고됨에 따라, 생산성 향상은 물론 소프트 및 하드 기술을 결합해야만 참여할 수 있는 신규사업 분야에 대한 진출을 필요로 하게 되었다. 따라서, 제품의 설계·가공·조립 등 직접 생산을 담당하는 제조 분야에서 NC공작기계 및 산업용 로봇 CAD/CAM도입으로 생산의 자동화와 에너지 절감 그리고 생산라인의 시스템화가 진전되면서 엔지니어링 수요가 크게 증가하고 있는 것이 오늘날 고도화된 산업체제의 실상이다.

제조공정의 혁신과 산업구조 변화는 새로운 엔지니어링 기법 창출을 요구할 뿐만 아니라 엔지니어링 업무 범위 및 사업참여 분야를 보다 확대시켜 엔지니어링 산업의 역할을 더욱 확대될 것으로 예측되고 있다.

#### 3.3 플랜트 엔지니어링과 건축

발전 및 화공·시멘트 등 플랜트 엔지니어링의 건축분야 기술은 선진국과 비교하여 우수한 수준을 확보하고 있으므로 플랜트 분야의 설계기술이 일반화될 전망이고, 중소 기술용역업체의 기술력도 강화되고 있는 추세여서 대형 프로젝트 위주의 설계기

술에 치중해야 될 필요성이 요구되고 해외로 진출할 수 있는 계기가 되어야 한다.

1993년 말 우루과이라운드 협상 이후 엔지니어링 시장 개방은 필연적인 상황으로 전개되고 있으며, 기본설계 능력이 우수한 해외 선진 엔지니어링사의 국내 진출이 이전보다 촉진돼 경쟁이 더욱 가속화될 뿐만 아니라 국내 시장도 잠식당할 것으로 우려되고 있다. 이에 따라 우리나라는 기본설계 수행력 제고에 주력하고 기술의 고도화 및 전문화를 이룩하여 해외 기술 의존도를 줄이고 국산화 신기술 개발에 주력해야 한다. 특히, 원자력 분야의 기술용역은 한전의 자회사인 코펙(KOPEC)에 의해 독점되어 왔으나 시장개방을 앞두고 국내 기술용역회사들의 사업 참여가 잇따를 것으로 예상되고 있다.

다른 나라에 비해 최근에 지어진 원자력 발전소 건설로 인하여 우리나라 기술습득과 기술 수준은 높은 편이며, 앞으로 폐기물 사업과 연구시설의 증설이 불가피해질 전망이어서 건축설계 및 구조분야는 산학협동을 통하여 전문적이고 지속적인 연구가 필요하다.

이 같은 여건이 조성되고 있는 것을 고려해 원자력 사업의 핵심기술이라고 할 수 있는 내진설계에 주력할 수 있도록 연구에 주력하고 유관기관 및 학계와의 산학연대를 위한 협력 창구 및 연구 활동이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

최근의 우리나라 플랜트 기술의 동향은 플랜트 시설의 증설과 더불어 선진기술을 국산화 기술로 자립화함으로써 점진적으로 세계로 수출할 수 있는 토대가 되고, 추후 국제적으로 발주되는 플랜트 시설이 설계-시공을 일괄 수주하는 턴키형태의 발주가 일반화될 것으로 예상됨으로 고도의 국산화된 기술력을 확보해야 한다.

### 3.4 구조해석과 기술개발

엔지니어링사가 기술력을 바탕으로 건설회사와 공동으로 프로젝트에 참여하는 사례가 확대되고, 차후에는 대형공사의 주계약자로 전환되어 건설관리 업무를 담당하고 건설회사에 시공을 하청함으로써 엔지니어링사의 위상이 한층 강화될 것으로 예상되

고 있다. 이에 따라, 플랜트 엔지니어링 회사는 시공관리 업무를 전담할 수 있는 전담요원을 육성하고, 하청업체를 공정별로 계열화하여 협력체제 구축을 추진하여야 있다.

플랜트 구조물의 구조적 안정성의 중요성에 따라 특수구조물 분야는 고강도 콘크리트 구조물, 가스저장용 탱크 구조물 등 부분적으로 국내 용역업체에서 기술개발, 사업수행에 적용하고 있으나 외국업체에 비해 기술수준이 떨어지고 있다.

2000년대에는 고강도 콘크리트 건축물을 비롯한 가스저장탱크 등 특수 구조물 설계기술, 공법 적용이 보편화될 것으로 전망됨으로 지속적이고 장기적 연구개발이 필요하다.

### 참고문헌

1. 한국원자력산업회의, 원자력연감, 1996
2. 현대엔지니어링주식회사, 현대엔지니어링사, 1994.
3. KOPEC., "Design Report Containment Shell and Dome, " No. 9-310-C409-003, July 1990.
4. Bechtel-Hyundai Company, "Steam Generator Replacement Project Report for Kori Nuclear Power Station-Unit.1, " May 1997.
5. Westinghouse Electric International Company, "Containment Vessel Design Report for Kori Nuclear Power Station-Unit.1," Jan. 1972.
6. 권택진, 김승덕, 최현식, 정명채, "Shell 구조의 이론 및 응용," 제9회 한국전산구조공학회 기술강습교재 9-1, 1994.
7. Almorh, B. O. and Holmes, A. M. C., "Buckling of Shells with Cutouts Experiment and Analysis," Intl. J. Solids Structure, Vol. 8, August 1972.
8. Rizkalla, S. H., MacGregor, J. G. and Simmonds, S. H., "Prestressed Concrete Containment Model," Journal of Structural Engineering, Vol. 110, No. 4, 1984.