



플랜트 통합기초 구조설계 자동화

최종범 / GS건설 플랜트사업본부 토건팀
jbchoe@gsconst.co.kr

1. 서론

최근 유가 상승이 지속됨에 따라 중동 산유국 투자가 확대되어 국내외 플랜트 건설 경기의 호황으로 국내외 업계 수주 증가 추세, 2006년 해외 플랜트 수주 164억불 달성, 연말까지 220억불 수주를 예상하고 있다. 플랜트산업의 호황과는 달리 국내에 플랜트설계 전문인력은 매우 부족한 실정이며 하루아침에 육성되지 않는 특성상 쉽게 인력공급 문제를 해결할 수도 없는 현실이다. 또한 국내 전업사들이 추진한 인도 및 필리핀 등 해외 인력 아웃소싱 역시 세계적인 호황에 맞춰 최근 그 공급이 원활치 않으며 업무수행방식 및 문화적 이질감 때문에 설계업무의 생산성을 확보하는 것이 한계가 있다는 게 사실이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 많은 설계 회사들이 설계에 투입하는 자원의 효율적 활용에 대해 고민하고 대안을 찾고 있으나 그리 쉽지 않은 것이 동종업체들의 현실이다.

금번 중점적으로 다루어볼 플랜트 토목건축 구조물 기초(FOUNDATION)의 경우도 구조계산서 작성, 도면작성, 수량산출, 3D모델링을 위한 데이터 작성 등에 많은 Man hour가 소요되고 있다. 이와 같이 플랜트설계에 있어 생산성향상을 위한 노력

은 꾸준히 지속되어 왔으며 그 일환으로 기초설계를 구조계산서, 도면, 수량산출서, 3D 데이터 등을 한번에 동일한 입력 및 출력물로 생성하고자 시도하였고, 그 내용을 소개하고자 한다.

그 동안 플랜트 설계를 위한 구조계산 및 도면작성, 수량산출, 3D 모델링 등은 대부분 기능적인 업무로서 설계기술자의 수작업에 의해 수행되었으며, 잦은 설계 변경으로 설계를 완료하기까지는 상당한 시일이 소요되는 것이 일반적이다.

또한 과업기간 내에 설계를 완료하기 위해서는 설계기술자들이 단순반복의 기능적인 업무에 치중하여야 했기 때문에 보다 중요한 업무인 기본 및 계획단계를 소홀히 하는 경향이 있으며, 플랜트구조물 설계에서 구조물의 단면을 가정해서 예비설계를 수행하고 그 결과를 Feed Back하여 본 설계를 수행하는 것이 바람직하나 이는 사실상 불가능에 가까웠다.

따라서 설계기술자들이 많은 시간을 소요해야 하는 단순작업에서 탈피하고 기본 및 계획 단계에서 충실한 지식 기술을 기반으로 한 설계가 이루어지도록 하기 위하여 설계 자동화 프로그램(AFES)의 개발이 필요하게 되었다.

2. 플랜트 설계



2.1 플랜트 토건설계 절차

플랜트 토건설계는 공정, 배관, 기계, 전기, 계장 부서로부터 정보를 받아 토목 및 건축 구조물의 설계를 진행하며, 공사는 토목 및 건축이 제일 먼저 수행해야 하는 업무 순서를 가지고 있으며, 또한 상위 부서의 빈번한 설계 변경으로 인하여 촉박한 공사일정을 기한 내 수행하기 매우 어려운 위치에 있다. 그림 1은 플랜트 토건 설계 및 공사의 순서를 나타내고 있다.

2.2 플랜트 기초설계 절차

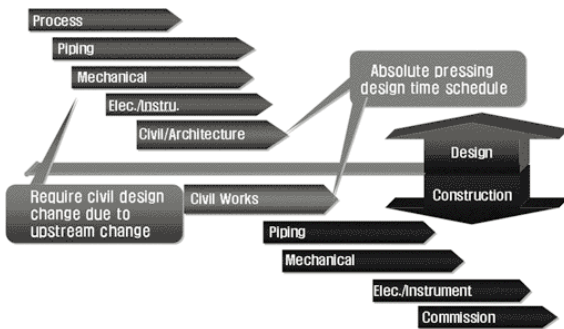
플랜트 기초를 설계하기 위해서는 Engineer, Drafter, Modeler와 긴밀한 협업에 의하여 설계가 진행되며, 많은 부분을 중복으로 입력하다 보

니, 기초 설계를 완성하기 위한 많은 시간과 노력이 필요하다. 그림 2는 플랜트 기초설계 순서를 나타내고 있다.

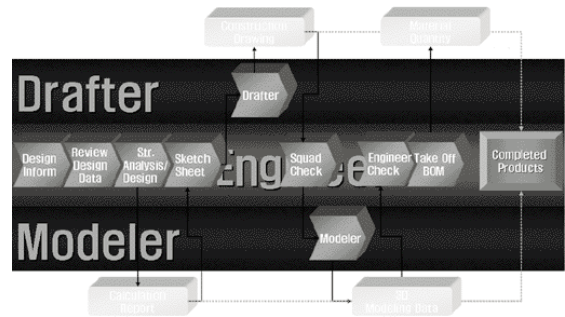
2.3 플랜트 기초와 연관된 프로그램

기초 설계의 대부분이 수작업으로 진행되며, 하나의 성과물을 완성하기 위해서는 아래와 같은 많은 상업용 프로그램과 Spread를 이용하여 설계가 진행되어 많은 M/H와 Cost가 소요된다. 그림 3은 플랜트 기초설계를 위해 주로 사용되는 프로그램을 나타내고 있다.

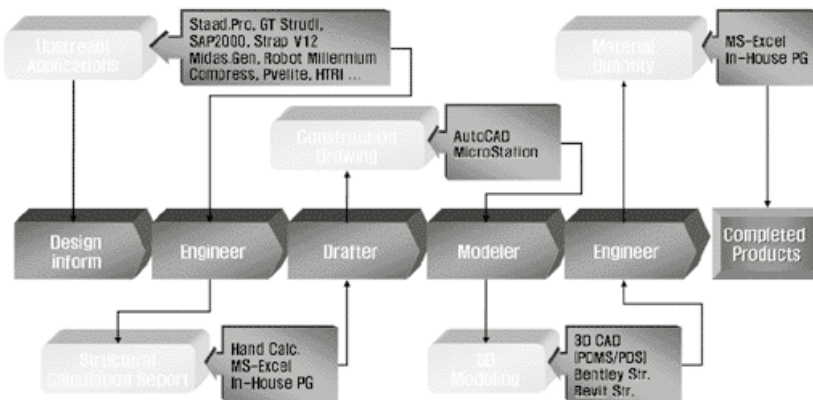
플랜트 특성상 빈번한 설계 변경에 대하여 Upstream Output Data로부터 Downstream Application Software를 어떻게 하면 효과적으로



[그림 1] 플랜트 토건 설계 및 공사 절차



[그림 2] 플랜트 기초설계 절차



[그림 3] 플랜트 기초 설계 상업용 프로그램



Interface 할 것인가에 대하여 많은 선진 설계회사들이 고심하고 있다. 또한 플랜트 특성상 많은 협의에 의하여 설계를 진행하다 보니 다양한 설계 방식을 통합하기 위하여 많은 시간과 노력이 필요한 것이 현실이다.

3. 통합 기초 구조 설계 자동화 프로그램 (AFES)

상기와 같은 문제점을 조기에 해결하기 위하여 통합 기초 구조 설계 자동화 프로그램이 개발되었으며, 그 구성 및 효용성은 다음과 같다. 통합 기초 구조 설계 자동화 소프트웨어 (AFES)는 Automatic Foundation Engineering System의 약자로 기초공사에 필요한 모든 산출물을 자동화한 프로그램이다. AFES에 대한 보다 자세한 사항은 아래와 같다.

3.1 AFES의 Work 절차

AFES는 사용자의 입력사항 후 구조물의 구조 해석 및 설계, 공사용 도면 생성, 수량산출, 3D 모델링 데이터 등을 한번에 수행 (One Stop

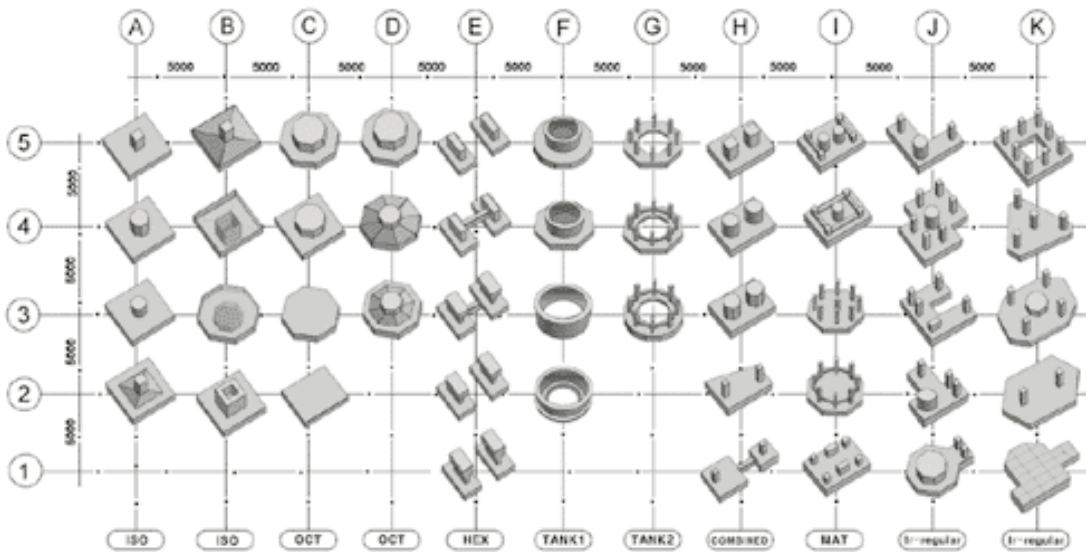
Solution)할 수 있는 프로그램이다. 그림 4에 AFES의 기본 절차를 나타내었다.

3.2 AFES에서 제공하는 기초 형상

플랜트 공사에서 구조물 중 절반 이상이 콘크리트 구조물이다. 이들 기초는 상부 구조물의 형상, 지반조건, 재하 하중, 공사형태 (Revamp or Grass Roots)에 따라 다양한 기초 형상을 가진다. 그림 5는 플랜트에서 자주 사용되는 기초 구



[그림 4] AFES 기본절차



[그림 5] 플랜트에서 자주 사용되는 기초형상



조물의 형상이다. 예를 들면 Building Structure Foundation, Steel Structure Foundation, Vertical Vessel Foundation, Horizontal Vessel (Heat Exchanger 포함) Foundation, Compressor and Pump Foundation, Large Storage Tank Foundation, Ball Tank Foundation, Underground Pit, Transmission 등 이라고 할 수 있다.

3.3 AFES와 연동 프로그램

기초를 설계하기 위해서는 2장에서 언급하였듯이 많은 상용 프로그램 및 In-House 개발 프로그램을 사용하고 있으며 플랜트 특성상 잦은 설계변경으로 인하여 설계기간과 설계품질에 많은 어려움을 갖고 있다. 이를 해결하기 위해 현재 많은 선진 설계회사들은 다양한 Application과 Interface를 어떻게 수행할지 고심하고 있다. AFES는 구조해석프로그램(STAAD. PRO, GT STRUDL, SAP 2000, MIDAS CEN, STRAP V12 등)과의 인터페이스를 통해 수행된 결과들을 쉽게 불러 올 수 있으며, 2D CAD(MICROSTATION, AutoCAD)에 의한 도면생성과 3D CAD(PDS/PDMS)의 모델링을 해석과 동시에 출력시킬 수 있다. 그림 6은

기초 설계를 위한 Upstream Application Software를 나타내고 있다.

3.4 AFES의 FEM해석이론

플랜트 설계는 통상적으로 Cantilever Beam에 의한 방법과 Simple Beam에 의한 방법을 이용한 두가지 해석 중 하나를 선택하여 설계를 수행한다. AFES에서는 자체 3차원 Frame요소를 이용한 FEM해석을 수행하며 Cantilever Beam방법과 Simple Beam방법 두가지를 선택할 수 있으며, 3차원 Frame요소의 해석이론은 아래와 같다.

(1) 3차원 Frame요소의 정식화

(2) Beam요소의 정식화

힘을 받는 Beam요소의 기초미분방정식은 아래와 같다.

$$EI \frac{d^4 v}{dx^4} - w = 0$$

여기서 EI : 휨강성, w : 횡방향 하중이다.

Beam요소의 형상함수는 아래와 같다

$$\{v\} = [N] \{d\}$$



[그림 6] 기초를 설계하기 위한 Upstream Application Software



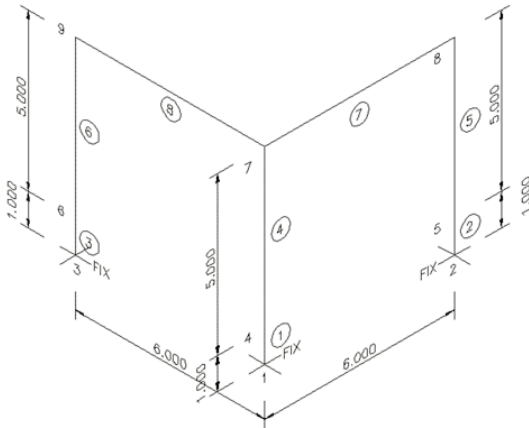
여기서 $[N]$: 요소의 형상함수, $\{d\}$: 요소의 절점벡터, $\{v\}$: 요소의 변위벡터

(3) AFES FEM 해석이론의 검증

AFES의 3차원 Frame요소를 이용한 FEM해석이론을 검증하기 위하여 상용 FEM 프로그램인

MIDAS.GEN과 SAP 2000을 이용하여 결과들을 비교 검토하였다.

- 1) 단면모델(그림 7)
- 2) 부재의 물성치 및 하중조합(표 1)
- 3) 프로그램 실행 결과
 - (ㄱ) 지점반력(표 1 ~ 표 4)
 - (ㄴ) 부재력(표 5 ~ 표 7)
 - (ㄷ) 변위(표 8 ~ 표 10)



[그림 7] 절점 및 부재번호

<표 1> 부재의 물성치 및 하중조합

단위 : ton, m

탄성계수	2509941
프라이송비	0.17
단위중량	2.5
단면	0.7 X 0.7 Ixx = 3.3814E-2, Iyy = 2.0008E-2, Izz = 2.0008E-2
	0.4 X 0.4 Ixx = 3.6053E-3, Iyy = 2.1333E-3, Izz = 2.1333E-3
하중조합	1.0xDead Load1 + 1.0xDead Load2 + 1.4xLive Load + 1.4xWind Load

<표 2> AFES FEM SOLVER 실행결과

Node	Com	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	Com1	-13.922	-3.608	22.595	16.751	-70.742	0.503
2	Com1	-14.915	-4.950	35.865	27.203	-72.572	-1.640
3	Com1	-13.163	-4.043	32.500	17.569	-81.014	2.256

<표 3> SAP2000 실행결과

Node	Com	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	Com1	-13.9284	-3.6120	22.5863	16.76581	-70.74313	0.49594
2	Com1	-14.9096	-4.9462	35.8814	27.18321	-72.51345	-1.64530
3	Com1	-13.1620	-4.0418	32.5073	17.55739	-81.00500	2.25429

<표 4> MIDAS/GEN 실행결과

Node	Com	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	Com1	-13.9284	-3.6120	22.5863	16.76581	-70.74313	0.49594
2	Com1	-14.9096	-4.9462	35.8814	27.18321	-72.51345	-1.64530
3	Com1	-13.1620	-4.0418	32.5073	17.55739	-81.00500	2.25429



<표 5> AFES FEM SOLVER 실행결과

Elem	Part	Axial	Shear-y	Shear-z	Torsion	Moment-y	Moment-z
1	i	-22.600	13.920	3.608	-0.503	16.750	70.740
1	j	-22.600	13.920	3.608	-0.503	13.140	56.820
2	i	-16.480	13.920	3.608	-0.503	13.140	56.820
2	j	-16.480	13.920	3.608	-0.503	-4.895	-12.790
3	i	-35.870	14.910	4.950	1.640	27.200	72.570
3	j	-35.870	14.910	4.950	1.640	22.250	57.660
4	i	-29.750	14.910	4.950	1.640	22.250	57.660
4	j	-29.750	14.910	4.950	1.640	-2.494	-16.920
5	i	-32.500	13.160	4.043	-2.256	17.570	81.010
5	j	-32.500	13.160	4.043	-2.256	13.530	67.850
6	i	-26.380	13.160	4.043	-2.256	13.530	67.850
6	j	-26.380	13.160	4.043	-2.256	-6.687	2.035
7	i	-3.715	4.745	-0.650	-0.494	-2.263	16.760
7	j	-3.715	7.145	-0.650	-0.494	1.640	-18.920
8	i	-1.243	-0.020	0.837	0.965	2.765	2.390
8	j	-1.243	2.380	0.837	0.965	-2.256	-4.687

<표 6> SAP2000 실행결과

Elem	Part	Axial	Shear-y	Shear-z	Torsion	Moment-y	Moment-z
1	i	-22.5863	13.9284	3.6120	-0.49594	16.76581	70.74313
1	j	-22.5863	13.9284	3.6120	-0.49594	13.15385	56.81476
2	i	-16.4613	13.9284	3.6120	-0.49594	13.15385	56.81476
2	j	-16.4613	13.9284	3.6120	-0.49594	-4.90594	-12.82707
3	i	-35.8814	14.9096	4.9462	1.64530	27.18321	72.51345
3	j	-35.8814	14.9096	4.9462	1.64530	22.23701	57.60386
4	i	-29.7564	14.9096	4.9462	1.64530	22.23701	57.60386
4	j	-29.7564	14.9096	4.9462	1.64530	-2.49396	-16.94411
5	i	-32.5073	13.1620	4.0418	-2.25429	17.55739	81.00500
5	j	-32.5073	13.1620	4.0418	-2.25429	13.51554	67.84296
6	i	-26.3823	13.1620	4.0418	-2.25429	13.51554	67.84296
6	j	-26.3823	13.1620	4.0418	-2.25429	-6.69369	2.03275
7	i	-3.7096	4.7564	-0.6538	-0.49396	-2.27753	16.79432
7	j	-3.7096	7.1564	-0.6538	-0.49396	1.64530	-18.94411
8	i	-1.2418	-0.0177	0.8380	0.96725	2.77346	2.39990
8	j	-1.2418	2.3823	0.8380	0.96725	-2.25429	-4.69369



<표 7> MIDAS/GEN 실행결과

Elem	Part	Axial	Shear-y	Shear-z	Torsion	Moment-y	Moment-z
1	i	-22.5863	13.9284	3.6120	-0.49594	16.76581	70.74313
1	j	-22.5863	13.9284	3.6120	-0.49594	13.15385	56.81476
2	i	-16.4613	13.9284	3.6120	-0.49594	13.15385	56.81476
2	j	-16.4613	13.9284	3.6120	-0.49594	-4.90594	-12.82707
3	i	-35.8814	14.9096	4.9462	1.64530	27.18321	72.51345
3	j	-35.8814	14.9096	4.9462	1.64530	22.23701	57.60386
4	i	-29.7564	14.9096	4.9462	1.64530	22.23701	57.60386
4	j	-29.7564	14.9096	4.9462	1.64530	-2.49396	-16.94411
5	i	-32.5073	13.1620	4.0418	-2.25429	17.55739	81.00500
5	j	-32.5073	13.1620	4.0418	-2.25429	13.51554	67.84296
6	i	-26.3823	13.1620	4.0418	-2.25429	13.51554	67.84296
6	j	-26.3823	13.1620	4.0418	-2.25429	-6.69369	2.03275
7	i	-3.7096	4.7564	-0.6538	-0.49396	-2.27753	16.79432
7	j	-3.7096	7.1564	-0.6538	-0.49396	1.64530	-18.94411
8	i	-1.2418	-0.0177	0.8380	0.96725	2.77346	2.39990
8	j	-1.2418	2.3823	0.8380	0.96725	-2.25429	-4.69369

<표 8> AFES FEM SOLVER 실행결과

Node	Com	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1	Com1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	Com1	0.0006584	0.000155	-0.000018	-0.000298	0.001270	-0.000014
7	Com1	0.015326	0.0034192	-0.000085	-0.000709	0.003463	-0.000083

<표 9> SAP2000 실행결과

Node	Com	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1	Com1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	Com1	0.000690	0.000163	-0.000018	-0.000298	0.001270	-0.000014
7	Com1	0.015562	0.003470	-0.000085	-0.000708	0.003460	-0.000082

<표 10> MIDAS/GEN 실행결과

Node	Com	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1	Com1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	Com1	0.000690	0.000163	-0.000018	-0.000298	0.001270	-0.000014
7	Com1	0.015562	0.003470	-0.000085	-0.000708	0.003460	-0.000082



결과값을 비교검토 해 보면 큰 차이를 보이지 않으므로 설계에 적용해도 타당하다고 판단된다.

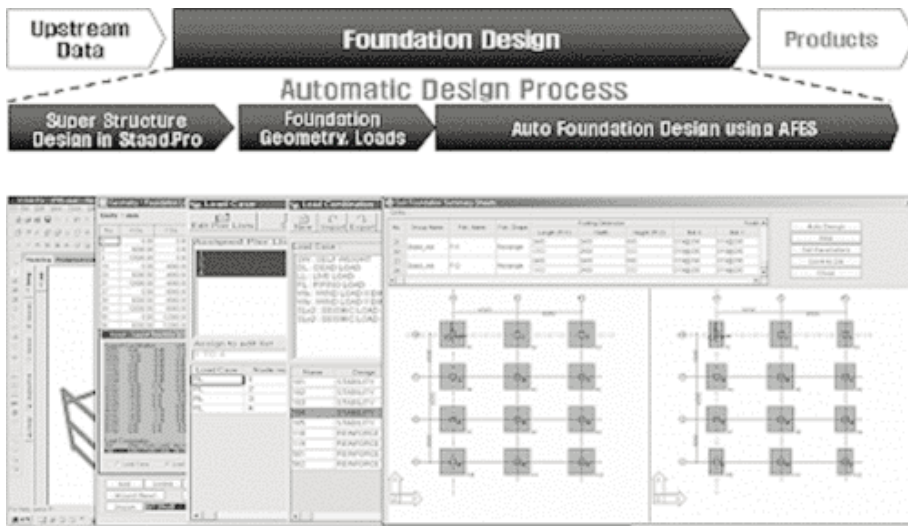
3.5 AFES 자동화 설계과정

AFES는 사용자들의 입력사항만으로 구조물의 단면을 자동으로 결정하는 기능이 있어 구조물의

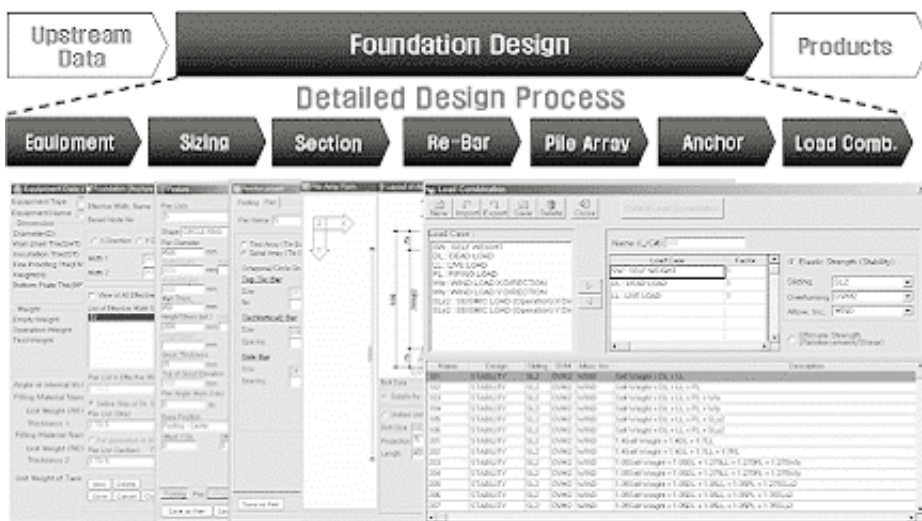
단면을 결정하기 위한 반복적인 작업을 피할 수 있다. 그림 8은 AFES의 자동화 설계과정을 나타내고 있다.

3.6 AFES 상세설계과정 및 결과물

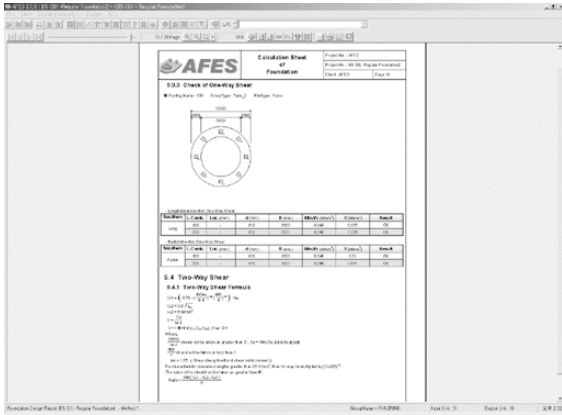
사용자들의 입력사항에 따라 AFES는 동일한



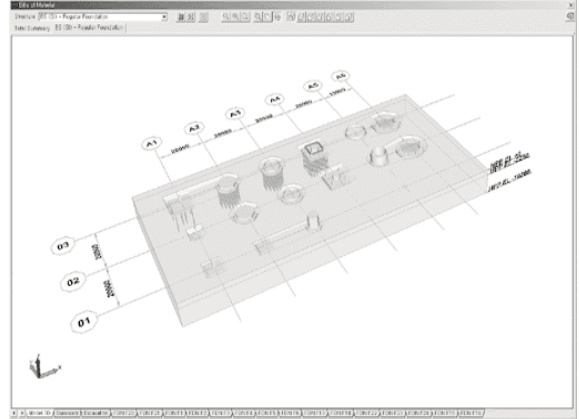
[그림 8] AFES 자동화 설계과정



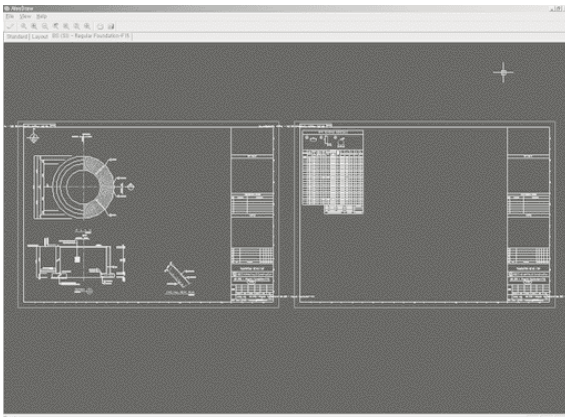
[그림 9] AFES 상세설계 과정



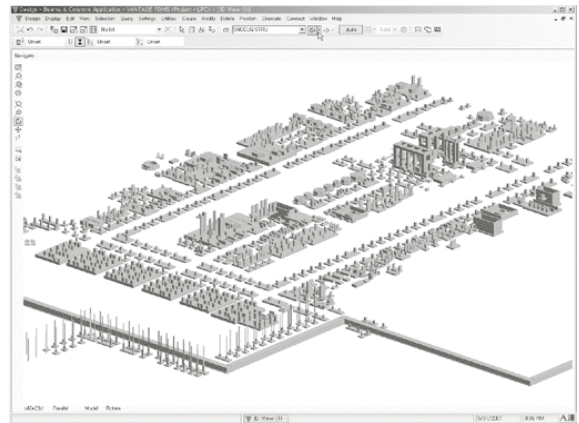
[그림 10] 구조계산서



[그림 11] 3D 수량산출 화면



[그림 12] 2D 출력도면



[그림 13] 3D Modeling

폼의 출력물을 만들 수 있으며 자세한 사항은 그림 9 ~ 13과 같다.

4. 결론

플랜트산업의 호황과는 달리 국내 플랜트 설계 회사들은 설계인력이 턱없이 부족한 상황이어서 기한 내 공사 일정을 준수하기 위해 매우 어려운 실정에 처해 있다. 또한 앞으로 복잡적이면서도 다양한 대규모 Project의 수주 및 수행경험축적을 위해서도 설계에 투입되는 자원의 효율성 향

상이 절실하다. 이를 극복하기 위해서는 본지에서 설명한 기초 설계 자동화 프로그램과 같이 발전하는 IT를 적용한 설계 자동화 Tool의 개발이 효율적인 접근방법이다. 하지만 개발에 필요한 전문인력 부족과 인식이 부족하고 개발하고 나서도 다년간의 꾸준한 유지보수와 사용자들의 Feed Back을 통해서 프로그램을 유지보수 하여 생산성 향상을 추진해야 하는데, 현재 대부분 건설회사들은 일회성으로 개발하거나 단편적으로만 사용하며, 꾸준한 유지보수와 Update가 이루어지지 않아 사용자들로부터 외면 당하여 소멸되고



있는 현실이다. 마지막으로 앞서 소개한 AFES의 장점은 아래와 같이 정리할 수 있다.

1. 기초를 설계 완료하기 위하여 Engineer, Drafter and Modeler 3인이 작업을 수행하면 중복적인 업무수행과 업무절차에 따라 대기 시간이 발생하고 한다. 하지만 AFES의 개발로 한 사람이 계획부터 3D Modeling까지 완료하여 기획능력 및 생산성 향상, 설계오류 방지 및 설계 비용 절감을 얻을 수 있다.
2. 기초 공사를 하기 위해서는 기초 구조 계산서, 공사용 도면, 타 구조물과의 간섭을 검토하기 위한 3D Modeling Data, 수량산출서 등이 있어야 한다. 짧은 설계 일정으로 다수의 설계자가 구조계산, 도면 생성, 수량산출, 3D Modeling을 수행하다 보면 상호 설계 내용의 불일치로 설계지적 사항이 발생하여 업무능력 저하 및 PMC(Project Management Company)로 인해 발주처로부터 신뢰성에 문제가 발생된다. 그러나 AFES와 같은 설계 Tool은 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 역할을 하고 있다.
3. 설계과정에서 발생한 구조물 형식, 위치, 구조물 하중 변경으로 설계 변경(Revision) 시 많은 Manhour가 필요했다. 그러나 AFES를 통해 설계 변경 시 빠른 설계 변경으로 인하여 발주처가 원하는 기간에 성과품 제출을 통해 신뢰성 확보 및 공기지연 방지가 가능할 수 있다.
4. 흔히 검증되지 않은 In-House 프로그램 등 다수의 프로그램을 사용하여 성과품을 제출하다 보니 검증에 많은 시간과 상호 설계 방식 통일을 위하여 많은 시간이 소요되고 있다. 그러나 AFES와 같이 통합하여 사용하게 되면 다양하게 존재했던 In-House 프로그램들 및 개인의 계산자료 등의 검증에 필요한 시간과

노력을 줄일 수 있게 되며 전반적인 설계 방식의 통일화를 추진할 수 있다.

5. 한국의 플랜트EPC 업체들은 한국을 포함하여 중동, 아시아, 중남미 지역에서 많은 프로젝트를 수행하고 있다. 각 나라마다 기초 설계 시에 사용하는 Concrete Building Codes가 있다. 프로젝트 설계 수행 시, 다양한 국가의 빌딩설계 코드를 습득 후 바로 상세 설계를 수행하여야 하는데 이럴 경우 타 국가 빌딩코드 습득에 많은 시간이 필요하며, 확실히 이해하지 못하여 상세 설계에 반영하지 못하는 부분으로 인한 재 설계가 있을 수 있다. AFES의 경우 국가별 다양한 빌딩 설계 코드를 탑재하고 있는 있는데 이는 곳 신규국가진입 혹은 재진입 시 소요되는 엔지니어의 코드습득에 유리한 역할을 하게 된다.
6. AFES는 설계의 기본 및 계획단계에서 구조물의 단면을 가정해서 예비설계를 수행하고 그 결과로서 Feed Back하여 본 설계를 수행할 수 있도록 예비 설계 단계를 간편화하여, 짧은 시간에 구조계산, 도면작성, 수량산출을 설계자가 최적단면을 도출할 수 있도록 할 수 있으며, 또한 설계, 제작, 시공 기술간에 계속적인 문제점들을 사전에 설계단계에서 파악하여 신속하고 정확히 처리함으로써 설계 생산성 향상과 공사비용 절감을 이룰 수 있게 한다.

과거 국내 플랜트EPC설계능력을 고려해 볼 때 단순히 열심히만 해서 높은 수준을 이뤄왔다면, 향후에는 다양한 설계분야의 DB구축과 자동화 구축만이 자체적인 생산성의 향상, 인적자원의 효율적 활용, 고급설계능력자의 조기 배출 등의 직접적인 이익뿐 아니라 전반적인 비즈니스 기회확대의 지름길이라 판단된다. (KIPEC)