

플랜트 구조물의 모듈화 공법

서한설*†, 장상수*

*대림산업(주) 건축(P) 설계팀

Modularization of plant structures

Han Seol Seo*†, Sang Soo Chang*

*DAELIM, Plant Business Division, Architecture & Structure Engineering Team

(Received June 9, 2017; Revised June 16, 2017)

ABSTRACT : Module can be categorized as PAS(Pre-Assembled Steel structure), PAR(Pre-Assembled pipe Rack), PAU(Pre-Assembled Unit), VAU(Vendor Assembled Unit) and VPU(Vendor Package Unit). At the stage of design and fabrication of module, the condition of land and ocean transportation is considered and these conditions are reflected on the module division design. The control of the module's center of gravity is important to transport and install modules safely and the steel structure should have the strength enough to resist the sea acceleration force during the ocean transportation. The transportation condition and the installation method influence the size and weight of module. The size and weight of module are considered for the design of module division.

초 록 : Module은 세부적으로 PAS(Pre-Assembled Steel structure), PAR(Pre-Assembled pipe Rack), PAU(Pre-Assembled Unit), VAU(Vendor Assembled Unit) 그리고 VPU(Vendor Package Unit)로 분류될 수 있다. 이러한 Module의 설계 및 제작 시에는 Stick built type 구조물과는 달리 육상 또는 해상 운송 조건이 고려되어야 하며, 운송 조건에 따른 Module division design이 수반되어야 한다. 육상 운송 및 설치를 위해서는 무게중심(Center of gravity) 관리가 중요하며, 해상 운송을 위해서는 구조물이 Sea acceleration force에 대해 안전성을 확보할 수 있도록 설계되어야 한다. 운송 조건 및 설치 방법은 구조물의 규모와 무게를 제한하게 되며, 이는 Module 대상 구조물 선정 시, 그리고 선정된 Module의 분할 계획 시 요구조건으로 작용하게 된다.

Key words : Module (모듈), 해상운송설계, Sea Acceleration Force(가속도), 육상운송설계, C.O.G(무게중심)

1. 서 론

플랜트 구조물은 설치 방식에 따라 크게 2가지로 분류된다. Project site로 공급된 단위 부재를 조립하며 설치하는 방식을 Stick built type이라 하고, Module yard에서 조립 완료된 후 Project site로 운송되어 납품되는 방식을 Module type이라 한다.

해상플랜트(Offshore)는 해상 설치라는 특수성 때문에 Module type 구조물로 육상에서 제작되고 해상으로 운반

† Corresponding Author
E-mail hanseol@daelim.co.kr

플랜트 구조물의 모듈화 공법

되어 설치하게 된다. 그러나, 육상플랜트(Onshore)는 설치 인력과 장비 동원이 어려워 현저하게 작업성이 떨어지는 경우를 제외하고는 일반적인 Stick built type 구조물로 현장에서 조립하여 설치하게 된다. 대림산업-대우건설 컨소시엄으로 진행되고 있는 S-OIL 온산공단 잔사유 고도화시설과 올레핀 하류시설 공사(S-OIL Residue Upgrading Complex Project, S-OIL RUC Project)에서는 육상 플랜트 공사임에도 협소한 공장 부지 면적으로 인해, 통상적인 방법인 Stick built type으로 공사 수행 시에는 사업주가 원하는 기간 내 완료가 불가능하였다. 이에 주요 Pipe rack과 주요 Equipment structure에 모듈화 공법을 적용하게 되었고, 2017년 3월에 모듈구조물로서 주요 Pipe rack을 성공적으로 설치 완료하였고, 주요 Equipment 구조물도 모듈로 제작 중에 있다. 선진 엔지니어링사인 FLOUR나 FOSTER WHEELER에서는 모듈화 공법을 수십 년 전부터 프로젝트 특성에 맞게 적용 중이지만, 국내 플랜트업계에는 생소한 플랜트 구조물의 모듈

화 공법을 소개하여, 플랜트엔지니어링의 기술 발전에 도움이 되고자 한다.

2. 본 론

2.1 모듈의 분류

S-OIL RUC Project에서 적용된 Module은 세부적으로 PAS(Pre-Assembled Steel structure), PAR(Pre-Assembled pipe Rack), PAU(Pre-Assembled Unit), VAU(Vendor Assembled Unit), 그리고 VPU(Vendor Package Unit)로 분류된다.

PAS는 주로 철골구조물로만 구성되며, Stick built 적용 시 복잡한 접합부가 있거나 현장 설치 작업의 어려움이 있는 경우에 적용할 수 있고, PAR은 철골구조물에 Piping, Instruments, Cable tray, Platforms 등이 설치된 Pipe rack module을 뜻한다. PAU는 Equipment structure로서 Vessels, Exchangers, Heaters 등과 같은 장치류가

Table 1 Module category

Type	PAS	PAR	PAU	VAU	VPU
Components	Steel Structure	Piping, Valves, Cable trays, Tracing, Insulation	Equipment, Cabling, Instrument, Lighting	Equipment (Incl. pre-dressing with attachments such as P/F, ladders, piping, etc.)	Equipment (e.g. compressors, loading arms as sub-type of VAU)
Relevant Engineering Department	Structure	Piping, Electrical, Instrument	Static, Rotating	Static, Rotating	Static, Rotating
Civil, Procurement, Inspection, Logistics, Construction					
Remarks	<ul style="list-style-type: none"> - Simple Operation P/F - Structure supporting re-boiler - Overbridge * Using normal crane 	<ul style="list-style-type: none"> - Piperack including access walkways - All inspection including NDT except hydro-test * Using trailer hydraulics such as SPMT 	<ul style="list-style-type: none"> - Process equipment including exchangers, vessels, piping, cabling, instruments, lighting, etc - 90% 3D Model Review by Module Fabricator * Using trailer hydraulics such as SPMT 		

설치되고 관련된 Piping, Instruments, Cabling & Cable tray, Platforms까지 설치된다. VAU는 장치공급자에 의해 설계 및 제작되어 운송되는 장치류로서, Platforms, Ladders, Piping, Cable tray, Lighting, Insulation 등의 작업을 제작장에서 최대화하여 현장 납품되며, VPU는 VAU에 비해 상대적으로 작은 규모의 장치류로서, VAU의 Sub-type을 뜻한다.

2.2 모듈설계 적합성 검토

Stick built 구조물의 모듈화를 Modularization이라 하는데, Modularization 적용 시 검토되어야 할 주요 요소로는 작업자 상황 (Labor), 현장 접근성 (Site access), 현장여건 (Site conditions), 공사일정 및 안전 (Schedule and Safety)등이 있다.

해상플랜트와는 달리 육상플랜트에서는 그 동안 상대적으로 낮은 임금의 작업자를 동원하기 수월한 반면 운송비용은 상대적으로 높아 모듈 구조물은 고려대상이 아니었다. 그러나 작업자 임금 상승, 작업자 동원의 어려움, 공사 현장 대비 모듈 제작장에서의 작업능력 향상 등을 고려하면, 현 시점에서의 모듈운송비용은 전체 비용 측면에서 충분히 상쇄될 수 있는 요소가 되었다.

Project site에는 공장의 생산능력에 따라 여러 구조물이 조밀하게 배치될 수 있다. 이러한 조건의 Site에서는 여러 요소들의 설치 작업을 위한 크레인 동원 계획이 어려울 수 있고, 설치기간이 늘어남에 따라 공사 기간도 길어질 수 있다. 그런데 만약 현장 접근성 측면에서 불가능한 요소가

없어 모듈 구조물의 적용이 가능하다면, Modularization은 현장에서의 적절한 크레인 계획 및 운용을 가능하게 만든다. 또한 협소한 Site내 여러 공정간의 충돌을 경감시켜 공사 중 안전사고의 발생 가능성을 낮추는 추가적인 이점도 생긴다.

때에 따라서는 사업주의 공장완료 요구일정을 충족시키기 위해, Modularization이 적용될 수 있다. 이는 Site에서 토목공사 완료 후, 철골공사가 시작되어야 하는 Stick built 방식과 달리, 모듈제작공사는 모듈설계 완료 직후 시작이 가능하며, Site에서의 토목공사와 병행될 수 있기 때문이다. 만약 토목공사 완료 시점에 맞추어 모듈구조물이 Site로 운송될 수 있다면, 전체 공사 일정은 단축되게 된다.

상기와 같은 Modularization의 이점과 협소한 공장대지면적으로 인해, S-OIL RUC project에서는 Area 1 & 2 내 Main pipe rack과 주요 Equipment structure에 모듈화 공법을 적용하기로 하였고, 기존 공장 내 증축공사가 많은 Area 5에서는 Pipe over bridge를 모듈로 계획하게 되었다.

2.3 모듈설계

Module engineering은 Plant plot plan과 운송가능성 여부를 고려하여 Module 대상 구조물을 확정된 후, Module division 계획을 세우는 것으로부터 시작된다. 그리고 나서 분할된 모듈을 육상 및 해상운송 시 안전하도록 설계하고 현장 설치 시 문제가 없도록 상세 설계를 보완하는 것으로 완료된다.

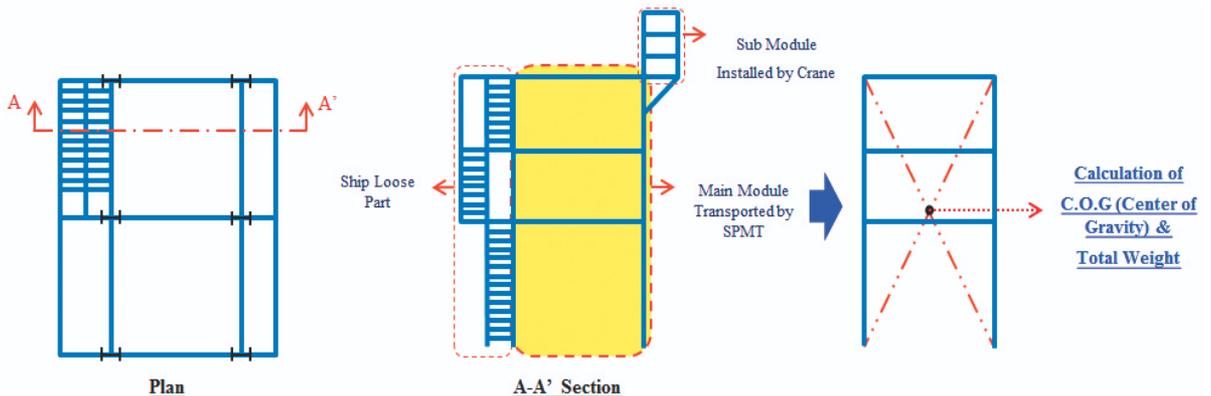


Fig. 1 Module division concept

플랜트 구조물의 모듈화 공법

2.3.1 모듈분할계획(Module Division Design)

Module division 계획은 운송 방법과 현장 설치 방법을 고려하여 하나의 구조물을 Main module, Sub module 및 Ship loose part로 나누는 계획이며, 이에 맞게 Piping, Cable Tray 등도 분할하는 것이다. 운송방법에 따른 Site 도달까지에 대한 운송가능 여부도 중요하지만, Site 내에서의 이동 동선 조건으로 인해, 모듈의 높이, 폭 그리고 길이가 제한되며, 이를 모듈분할계획 수립 시 고려하여야 한다. SPMT(Self Propelled Modular Transporter)나 Trailer를 이용한 육상운송 시에는 도로의 높이나 폭에 대한 제한 사항이 고려되어야 하며, 현장 반입 후 설치 방향에 따라 구조물이 안전하게 인양되어 설치 될 수 있도록 모듈의 무게제한 및 관련 Lug plate & Spread beam 계획 등도 필요하다.

Barge선을 이용한 해상운송 시에는 동원될 Barge선의 규모에 따라 모듈의 높이와 폭이 제한되며, Barge선 자체의 부두 접안 가능성이 선 검토되어야 한다.

2.3.2 해상운송 설계

철골구조물 설계 시에는 인양(lifting) 시 발생하는 외력과 육상 및 해상운송에 의한 외력을 고려하여야 한다. 해상운송 시 발생하는 외력을 Sea acceleration force라 하는데, 이 힘을 Horizontal force(Roll), Longitudinal Force(Pitch), Vertical Force(Heave)로 분해하여 구조물 설계 및 해상 운송 안전성 검토 시 적용하게 된다. 이러한 힘은 운송되는 모듈의 규모에 따라 지진하중이나 풍하중보다 구조물 설계의 지배적 요소가 될 수 있으며, 해상운송 설계 완료 후, 피드백 설계가 수행되어야 한다. 구조물 및 해상운송 설계 시에 적용된 하중조합은 Table 2 Load combination과 같다.

해상운송 설계 프로그램으로는, 일반적으로 API RP-2A 또는 GL Noble Denton Guidelines을 적용하여 미국의 Engineering Dynamics, Inc.사가 개발한 SACS (Structural Analysis Computer System)를 사용하거나, 해양 운송 경로 상의 상세조건을 입력하여 Bentley

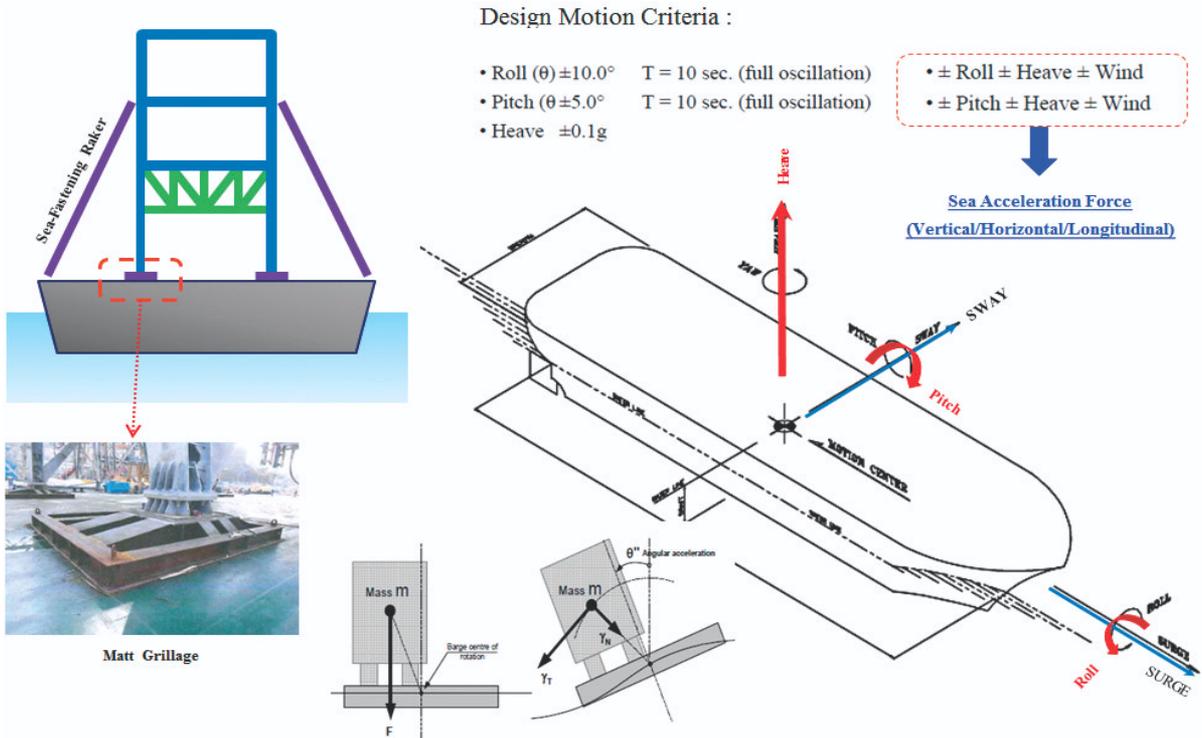


Fig. 2 Sea acceleration force

Table 2 Load combination

No.	Description
LC01	Dead+Roll(+10.0°/10sec)+Heave(+0.1g)+Wind
LC02	Dead+Roll(+10.0°/10sec)-Heave(-0.1g)+Wind
LC03	Dead-Roll(+10.0°/10sec)+Heave(+0.1g)+Wind
LC04	Dead-Roll(+10.0°/10sec)-Heave(-0.1g)+Wind
LC05	Dead+Pitch(+5.0°/10sec)+Heave(+0.1g)+Wind
LC06	Dead+Pitch(+5.0°/10sec)-Heave(-0.1g)+Wind
LC07	Dead-Pitch(+5.0°/10sec)+Heave(+0.1g)+Wind
LC08	Dead-Pitch(+5.0°/10sec)-Heave(-0.1g)+Wind

Systems, Inc.사에서 개발한 MOSES를 해양 구조물 해석용으로 사용하고 있다.

이러한 해석프로그램을 활용하여 Barge의 종강도 및 복원성을 검토하고 화물의 안전성을 확인한 후, Barge 선 보강이나 Sea fastening 설계를 수행하게 된다.

2.3.3 육상운송 설계

육상운송 설계 시에는 해상운송 설계와 달리 고려되어야

할 외력은 없지만, 구조물의 무게 중심(C.O.G, Center Of Gravity)에 대한 고려와 안정성 검토가 중요하다. C.O.G는 크게 Designed C.O.G와 Actual C.O.G로 구분되며, 두 수치 간에 급격한 차이가 발생되면, 운송 안전성에 문제가 발생할 수 있다. 그러한 경우에는 해상 및 육상 운송 계획안을 수정하여야 하고 운송일정 지연으로 인해 전체 공사 일정에 영향을 주게 된다. 따라서, 모듈 설계 단계부터 해상운송 전까지 운송 안전성에 문제가 되지 않는 선에서 C.O.G는 별도의 Weight control sheet로 관리되어야 한다.

SPMT를 이용한 육상운송 설계 시에는 C.O.G가 Safety area 내에 배치되도록 SPMT를 배열하게 되며, 실행단계에서는 구조물이 전도되거나, Overload가 걸리지 않도록 SPMT가 운영되어야 한다.

2.3.4 현장사전준비 및 설치 작업

모듈화 공법이라고 해서 추가적인 현장 작업이 없는 것은 아니며, 모듈 설치를 위해 진입로의 평탄화, 지내력 확보, 첩판포설 등의 사전 준비작업등이 필요하다. 또한, 협소한 Site area가 모듈화 공법 적용 시 결정요소가 된 S-OIL RUC Project에서는 Site내 진입 동선 상 일부 구조물의 페테스탈이 장애물로 검토되어, 특별 상세를 적용하

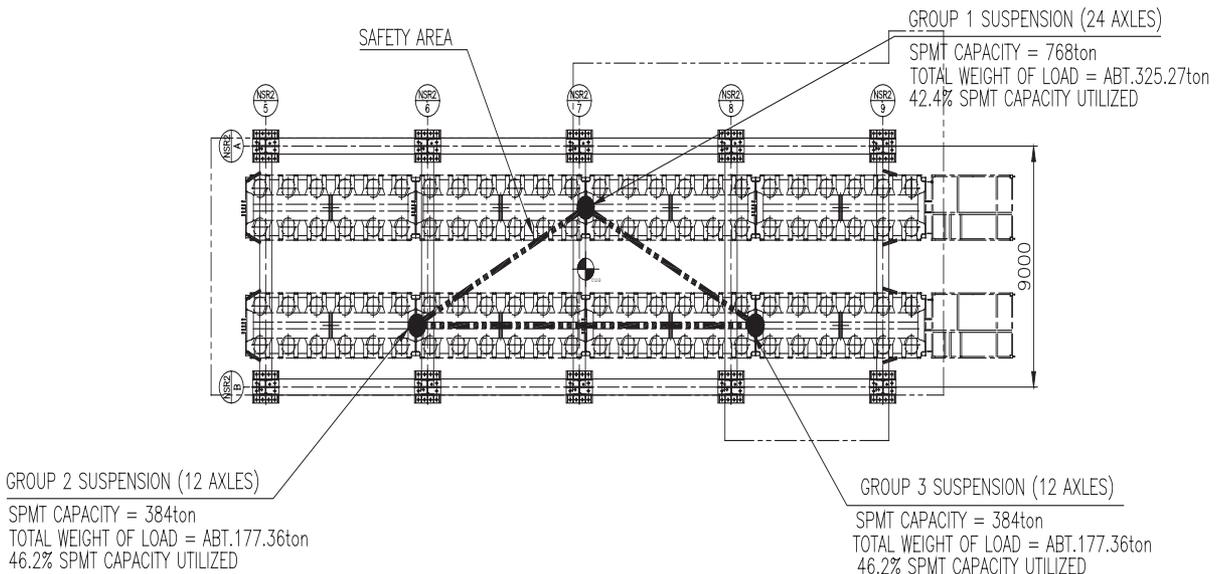


Fig. 3 SPMT combination & Safety area



Fig. 4 Site installation of module

거나, 시공 시점의 조정이 이루어졌다. 이는 3D modeling을 이용한 선 검토 후, 검토된 사항을 가지고 현장팀과 협의, 조처한 결과로 간섭으로 인한 모듈설치의 지연은 발생되지 않았다.

모듈의 현장 설치 방법은 크게 Crane을 사용하는 방법과 SPMT와 같은 Transporter를 사용하는 방법이 있는데, S-OIL RUC Project에서는 PAU, PAR 및 일정규모 이상의 PAS는 SPMT를 사용하여 설치하였고, 나머지 PAS는 Crane을 사용하여 설치하였다.

3. 결론

Module type은 Stick built type에 비해 추가적인 고려 사항들로 인해 더 많은 시간의 Engineering 설계와 더 빠른 조달 구매를 필요로 하며, 상대적으로 더 큰 운송 비용을 지불해야 함은 분명하다. 하지만, 공기단축을 통한 사업주의 제품 생산 시점을 앞당기고, 현장 운영 등과 같은 간접비가 경감되며, 모듈 제작사의 일관된 제품품질이 유

지 또는 향상되는 점 등을 고려하면, 전체 Project cost 측면에서는 경쟁력이 있을 수 있다고 본다.

모듈화 공법은 DAELIM에서 수행한 S-OIL RUC Project에서도 PAR의 성공적인 현장 납품이 이루어져 짧은 공기 및 협소한 Site area에 이점으로 작용되었으며, PAU도 안전하게 현장 설치될 수 있도록 만전을 기하도록 할 것이다.

참고문헌

- (1) GL Noble Denton 0030/ND – Guidelines for marine transportations
- (2) Det Norske Veritas(2014) DNV Offshore standard DNV-OS-C102 – Structural design of offshore ships (KIPEC)