

## 대형 해양구조물 해석과 컴퓨터 이용

이        총        동\*  
 김        준        오\*\*

현대중공업은 1985년 7월 15일에 미국의 엑슨(Exxon)사로 부터 1억2천만 달러 규모의 초대형 자켓 2기를 수주하는데 성공, 관련 업계로 부터 깊은 관심을 불러 일으킨 바 있다. 미국 캘리포니아주 서해안 산타바바라해협 서쪽에 위치한 산타이네즈 해저유전개발 프로젝트인 SYU프로젝트의 일부로서 석유생산 및 굴착용으로 사용될 하모니(Harmony) 및 헤리티지(Heritage) 2기의 자켓인데, 한국에서는 현대중공업이 유일하게 미국의 맥더모트, 브라운 앤드 루트, 카이저, 일본의 신일본제철, 일본강관과 함께 정식 응찰 요청을 받아, 치열한 경쟁 끝에 수주에 성공한 것이다. 세계적인 관심속에 현대중공업 해양개발 2공장에서 이미 제작완료된 하모니자켓은 중량이 약 40,000 M. Ton으로, 크기가 높이 377.3m에 (대한 생명빌딩의 2배 높이), 바닥부분 117.6m×91.5m, 윗면 부분 43m×26.2m에 이른다. 지난 4월에 세인의 관심속에 Loadout된 쉘(Shell)사의

불링클(Bullwinkle)자켓에 이어 세계 두 번째로 큰 자켓이며, 오는 12월경에 히레마(Heerema)사의 H-851바지선에 선적되어 울산만을 출발하여 태평양을 횡단하는 세계 최대의 자켓이 될 것이다.

그림1과 같이 육상 안벽위의 Skidway 위에 놓여져 생산된 하모니자켓은 바지선에 있는 유압식 Push-Pull System에 의해 당겨져 바지선의 Skidway로 옮겨진다. 이와 같이 자켓을 해안안벽에서 바지선으로 선적하는 작업을 Loadout이라고 하는데 자켓이 움직이는 시간만 약 24시간 소요될 예정이다. 자켓이 바지선에 조금씩 실려나감에 따라 자켓의 무게가 육상에서 바지선으로 옮겨지게 되는데, 자켓의 위치를 21개의 단계적 위치로 나누어서 각 위치에서의 자켓, 바지선, 육상 기초 등의 강도계산을 하게되는데, 이 Loadout 해석은 현대중공업(주) 선박해양연구소내에 본인들을 포함한 5명의 Task 팀이 구성되어 수행

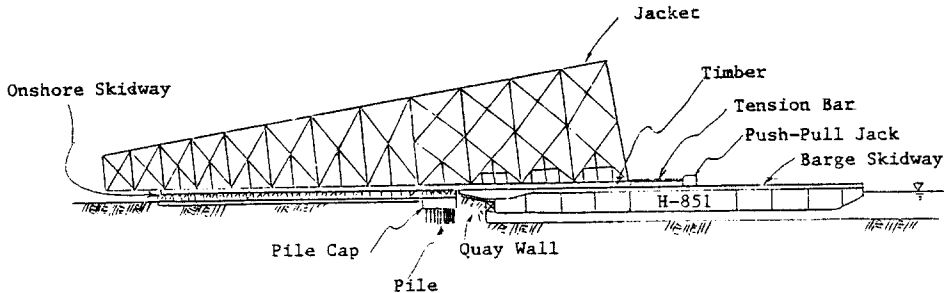


그림 1. 자켓 Loadout의 개념도

\* 현대중공업(주) 선박해양연구소 책임연구원, 성희원  
 \*\* 현대중공업(주) 선박해양연구소 연구원

되어졌다.

Loadout 해석의 주요 부분은 바지선위의 Skidway를 육상의 Skidway와 같은 높이로 유지시키기 위한 Ballast Plan 작성과 자켓, 바지선, Skidway, 육상 기초등의 강도 계산을 하는 구조해석 및 바지선이 아래위로 움직일 경우 그 허용범위를 정하는 Allowable Barge Deflection Envelope Analysis 등이다.

Ballast Plan은 자켓이 전진함에 따라 바지선으로 전달되는 자켓부재를 바지선에 작용하는 부력으로 상쇄시키는 것은 물론 6시간 단위로 변하는 간만의 차이를 극복하기 위하여 이미 바지선에 채워진 물의 양을 얼마만큼 조정하는가를 결정하는 것이다. 각 단계적 위치에서 퍼널 물의 양은 바지선으로 전달되는 자켓부재와 거의 같아야 하고, 해석상 Rigid Body Motion에 해당되는 바지선의 Trim, Heel, 평행침하의 조정은 물론 바지선의 변형을 최소로 할 수 있도록 해야한다. 구조해석은 각 단계적 위치마다 정해진 Ballast Plan에 대해 각 구조물과 육상 기초가 안전하다는 것을 보여주는 것이다. 실제 Loadout시에 모든 상황이 계산되고 예측된대로 될수는 없는데, 어느 조건 내에서 자켓이 안전하다는 기준이 필요하게 된다. 이것을 위해 바지선의 선미부분, 자켓선두 부분과 접촉된 바지선 부분의 두 점에 대해서 허용범위를 정하게 되는데 이것이 Allowable Barge Deflection Envelope Analysis이다.

현대중공업에서 사용하는 해양구조물 구조해석 프로그램은 SACS(Structural Analysis Computer System, 미국 Engineering Dynamics, Inc.에서 개발)인데, 자켓, 바지선, Skidway 및 기초(Pile Cap 및 Pile 등) 등이 SACS에 의해 모델링되었다. 자켓은 요소수 2181개, 절점수 847개의 3차원 뼈대구조물로 모델링하였고, 바지선은 2차원 그릴리지(Grillage)로 모델링하였고, Skidway는 3차원 뼈대구조물로, Pile Cap은 2차원 그릴리지로 모델링하였으며, Pile과 육상의 토양은 스프링으로 치환하였다. 이와 같이 모델의 자유도수가 매우 크고, 자켓이 전진함에 따라 자켓의 상대적인 위치만을 바꾸어서 구조해석을 하여야하고, 특히 Envelope Analysis에서는 각 단계적 위치에

서 자켓부재의 응력이 허용응력을 넘어가는 순간에서의 바지선의 위치를 Iteration으로 찾아내야 하므로 계산량이 엄청나며 감당하기 또한 어렵다. 더우기 스프링으로 모델링한, 자켓과 Skidway 사이의 Timber와 다져진 부분의 토양은 비선형성을 가지며, 실제로 접촉은 하되 분리되어 있는 각 구조물 사이의 작용력이 인장력으로 계산결과 나타날 경우에는 반력이 압축력으로 될 때까지 접촉부분을 하나씩 떼어 가며 해석을 하여야 한다. 이와 같이 대형 계산에 따라 여러 가지 애로사항은 SACS만으로는 해결할 수 없기 때문에 Loadout 해석을 위한 전문 프로그램 'LOAN'을 개발하여 이 두 프로그램을 이용하였다.

SACS로 각 구조물을 모델링 하고 각 구조물의 접촉부분에 대해서만 Flexibility Matrix들을 구하고, 이를 이용하여 'LOAN' 프로그램으로 각 구조물 사이의 반력을 구하고, 이 반력을 각 구조물에 작용시켜 SACS 프로그램으로 구조해석을 수행하여 강도계산을 하였다. 'LOAN'은 FORTRAN으로 쓰여졌으며, 각 단계에서 Ballast Plan을 바지선에 작용하는 반력에 근거하여 결정할 수 있고, SACS에서는 고려할 수 없는 비선형 해석을 포함하고, 각 구조물사이의 접촉부분의 인장력을 제거할 수 있도록 만들었다. 'LOAN' 프로그램을 개발함으로써 Engineering 문제가 일괄 해결되었고, 같은 구조물에 대해 전체 Full Matrix의 반복적인 계산을 제거함으로써 컴퓨터 사용 시간도 극적으로 감소시켰다.

컴퓨터는 PRIME 비전을 사용하였는데, 현대중공업에 세 기종을 가지고 있으며, 선박해양연구소에 P9650, 해양개발사업부에 P9955-II, 조선사업부에 새로 도입한 P6350이 각각 설치되어 있다. P9955-II와 P6350은 P9650과 통신망을 형성하여 정보를 주고 받을 수 있도록 되어 있으며, 연구소에서 사용가능하게 되어 있다. P9650, P9955-II, P6350은 CPU시간을 기준으로 대략 1:4:8의 계산속도 차이가 있으며, 계산속도가 느린 P9650은 각종 데이터 작업에 사용하였고, P6350에서는 'LOAN' 프로그램을 수행하였고, P9955-II에서는 구해진 반력을 자켓모델에 작용시켜 SACS로 구조해석을 수행하였다. 낮에는 많은

사용자들이 컴퓨터를 이용하므로 계산속도가 느리기 때문에 데이터 작업만 낮게 하고 주로 밤에 'LOAN' 사용자들이 컴퓨터를 이용하므로 계산속도가 느리기와 SACS로 해석을 수행하였으며, 많은 계산량의 해석을 하므로 20만 레코드(Record) 정도의 Disk 공간을 사용하였다.

통신망을 통해서 직접 정보를 주고 받으므로 자기테이프에 데이터를 담아 옮기는 등의 불편은 없었으나, 통신망이 불안정하여 끊어지는 경우가 가끔 있었고, 데이터는 Disk에 저장되어 CPU에서 제어를 받는데 Disk Read Error가 발생하여 Disk에 저장된 데이터가 소멸될 위험이 있고 또 자주 Disk를 청소해 주어야하며, 컴퓨터의 상태가 불안정하여 Down되는 일이 자주 있는 등의 컴퓨터 이용상의 문제점이 Loadout 해석을 하는 동안에 느낀 불편한 점이었다. 하모니 자켓의 Loadout해석과 같이 수많은 반복계산을 필요로하는 문제에서는 계산시간을 줄이고 업무일정을 앞당기기 위해서는 국내에 이미 도입된 슈퍼컴퓨터 CRAY-II의 기관간 유기적 사용을 활성화하는 방안이 적극 고려되어야 한다고 결실히 느꼈다.

Loadout 해석을 수행하면서 컴퓨터를 최대한

효율적으로 사용하는 문제와 그 중요성에 대해서 생각을 많이 하게되었고, 새로운 프로그램을 작성하여 컴퓨터의 계산시간을 상당량 줄였으나, 프로그램을 보다 더 효율적으로 개선 향상하여야 할 숙제를 남겨놓게 되었다. 더우기 이미 상업화된 SACS 프로그램도 설명서및 Technical Note 내용이 부족하여 사용자가 프로그램을 올바르게 효율적으로 쓰는데에 어려움을 주고 있고, 부분적 개선도 Objective Code만을 공급받으므로써 그 개선이 불가능한 아쉬움을 느꼈다. Disk의 문제집이나 통신망, 컴퓨터 시스템이 불안정한 점 등은 그 방면의 기술이 더 발달되면 털어질 수 있으리라 기대된다. 이상의 어려움을 극복하고 실제로 Loadout이 성공하면 해양기술부문에 대한 자신감과 그 심층정보가 축적되리라 믿어 의심치 않는다. 컴퓨터를 이용해 여러가지 공학적인 문제를 해결하는 것은 엔지니어에게 필수 불가결한 일이고, 주어진 시간과 여건속에서 어떻게 하면 컴퓨터를 보다 효율적으로 사용하고, 보다 문제를 쉽게 해결하느냐의 방안은 스스로 어려움을 극복하는 과정에서 축적된 Know-how만이 보상할 것이다.