

초고층 강제어초의 유체력 산출을 위한 예인시험 및 구조해석

신현경*, 박호균**

Structural Analysis and Towing Test for Predicting Drag Coefficients of a Very High-rise Steel Artificial Reef

SHIN, Hyunkyung* and Park, Hokyun**

요 약

초고층 강제어초를 대상으로 3차원 형상표현, 도면 자동 추출, 자재물량정보 산출, 구조해석 입력정보 산출 등이 가능한 모델링 프로그램이 연구(I)에서 개발된 이래 강제어초에 미치는 유체 항력을 구하기 위해 해양공학광폭수조에서 모형시험을 수행하였으며, 구조적인 문제를 점검하기 위해서 구조해석을 수행하였다. 또한 새로운 형태의 초고층 강제어초를 설계할 수 있는 통합시스템을 구축하였다.

Abstract

A modeling program was developed in Part I which represents the 3-D geometry, produces bill of material, automatically draws drawings and produces input data for structural analysis of Very High-rise Steel Artificial Reefs(VEHSAR). Model tests were carried out to measure drag forces acted on VEHSAR in the Ocean Engineering Wide Tank, the University of Ulsan and structural analyses were made to simulate structural behaviors of VEHSAR. The integrated package system is suggested to design VEHSAR with different geometries.

접수일자: 2001년 1월 8일, 승인일자: 2001년 5월 10일

*정회원, 울산대학교 수송시스템공부(E-mail:hkshin@uou.ulsan.ac.kr)

**학생회원, 울산대학교 수송시스템공학부(E-mail:kenshiro@hanmail.net)

1. 서언

어초에 관한 형태 및 기능적인 면에 있어서 이론 및 실험적인 연구와 검토가 오래 전부터 수행되어 수산해양분야에 적용되어 왔었지만, 설계, 해석, 생산 등에 적용할 수 있는 통합시스템 개발은 미비하다. 1997년 일본에서 제작한 초고층 강재어초를 대상으로 지난 연구에서는 3차원 형상표현, 도면 자동 추출, 자재물량정보 산출, 구조해석 입력정보 산출 등이 가능한 모델링 프로그램을 개발하였다. (신현경 등 1998), (신현경/박호균 1999) 본 연구에서는 강재어초에 미치는 유체항력을 구하기 위한 모형시험과 구조적인 문제를 점검하기 위한 구조해석을 수행한다. 이러한 여러 가지 연구를 수행하면서 새로운 형태의 초고층 강재어초를 설계할 수 있는 통합시스템을 Fig.1과 같이 구축하여 새로운 형태의 강재어초를 제시한다. Fig.1에서의 Modeling program은 지난 연구에서, Model test는 2장에서, Structural analysis는 3장에서, 통합시스템은 4장에서 자세히 설명된다. 그리고 제시된 강재어초의 구조적인 안전성과 경제성을 검토해서 적합한 형태를 선정한다.

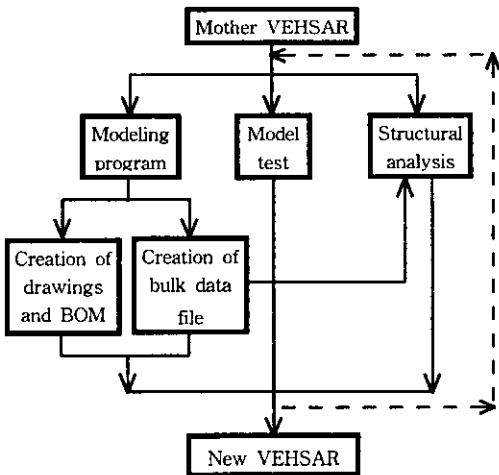


Fig.1 Integrated package system for VEHSAR

2 강재어초 모형시험

2.1 모형시험

모형시험에서 사용하는 대표적인 상사법칙은 Reynolds의 상사법칙과 Froude의 상사법칙이 있다. 이 두가지의 상사법칙이 동시에 만족되어야 완전한 동역학적인 상사성을 얻을 수 있다. 하지만 이 두가지의 상사성을 동시에 얻는 모형실험은 현실적으로 불가능하다. 특히 밀도가 높은 물에서의 실험은 Reynolds의 상사법칙을 적용하기 위해서 엄청난 속도가 요구된다. 그래서 이 속도를 맞추기가 현실적으로 불가능하기 때문에 수조실험에서는 Froude의 상사법칙만을 생각한다.(임우조 1993)

강재어초 모형시험의 흐름도는 Fig.2에 보여진다.

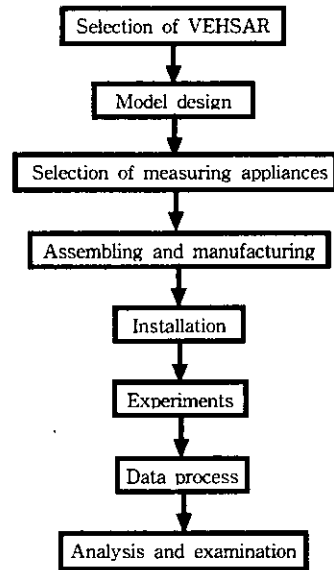


Fig.2 Flow chart of model test

각 단계별로 고려하거나 결정해야 할 사항은 아래와 같다.

- 강재어초 선정 : 구조물의 크기, 형상 등의 자료를 검토한다.

- 모형 디자인 :

강제어초가 실제로 설치될 장소의 해상 상태, 수심 및 유속을 확인한다. 모형시험을 수행할 해양공학광폭수조의 제원을 고려하여 모형의 축척비를 결정하고 예인속도를 결정한다. 모형의 재질, 구매 및 제작 방법 등을 결정한다.

- 계측 기구 선정 :

검력계(Dynamometer)의 동작 특성 및 성능을 고려하여 결정한다.

- 조립 및 제작 :

재료 가공 방법, 부재의 조립 방법, 구조물과 계측 기구간의 연결 방법 등을 결정한다.

- 설치

진수 방법, 모형의 고정 방법, 모형의 이동 방법, 계측 장치의 배치 방법 등을 결정한다.

- 실험

예인속도의 종류, 실험의 회수 등을 결정한다.

- 자료 처리

자료 분석 방법을 결정한다.

- 분석 및 검토

이론식으로부터 얻어진 결과와 비교함으로써 유체항력계수를 결정한다.

2.2 모형제작

2.2.1 모형의 축척비와 예인속도 결정

일본에서 1997년에 제작한 강제어초를 모형시험 대상으로 하고 있으며 높이 35 m, 폭 17.5 m이다. (신현경/박호균 1999) 모형의 크기는 실험할 해양공학광폭수조의 수심과 모형제작을 위한 재료를 고려하여 결정하였다(Fig.3) 해양공학광폭수조의 수심은 2.5m이고, 수조바닥과 어초모형 사이의 충분한 공간 확보를 위하여 강제어초 모형의 높이는 최대 1.4m로 결정하였으며, 축척비는 1/25 이다.(신현경/박호균 2000)

강제어초의 모형은 Fig.4와 같다.

실제 해역에서의 파고, 주기, 유속은 다음과 같다.(鋼鐵俱樂部 1997)

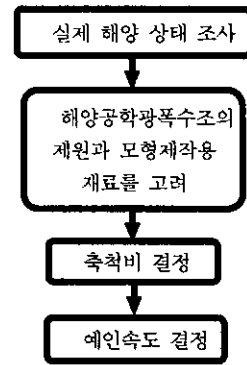


Fig.3 Determination of model size & tow speed

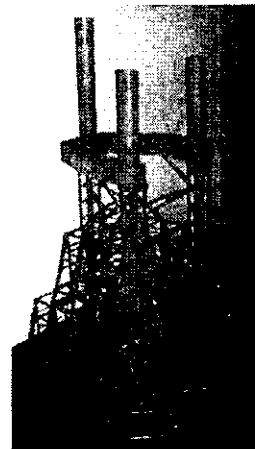


Fig.4 Model of VEHSAR

파고 : 9.370 m
 주기 : 12.1 sec
 유속 : 0.87 m/sec

이러한 값들을 이용하여 모형시험에서의 파고, 주기, 유속을 Froude의 상사법칙에 의해 구할 수 있다.(宇野木早苗 1994)

$$\text{파고} : \left(\frac{L_s}{L_m} \right) = \left(\frac{H_s}{H_m} \right) : 0.37 \text{ m}$$

$$\text{주기} : \left(\frac{L_s}{L_m} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{T_s}{T_m} \right) : 2.42 \text{ sec}$$

$$\text{유속} : \left(\frac{L_s}{L_m} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{U_s}{U_m} \right) : 0.174 \text{ m/sec}$$

2.2.2 재료(Material)

강제어초의 형상이 복잡하기 때문에 제작하기 간편한 비중이 1.19kgf/m³ 인 아크릴을 다음과 같이 선택하였다.

- 10mm×10mm×1m×2t 아크릴 앵글 50개
- 10mm×1m×2t 아크릴 바 30개
- 8mm×1m×2t 아크릴 바 30개
- 1m×1m×2t 아크릴 판 2개
- 아크릴용 접착제 2개
- 실리콘

2.2.3 조립

1) 하단부 조립

횡부재 및 종부재를 제작하고 서로 접착하여 Fig.5와 같은 하단부를 조립하였다.

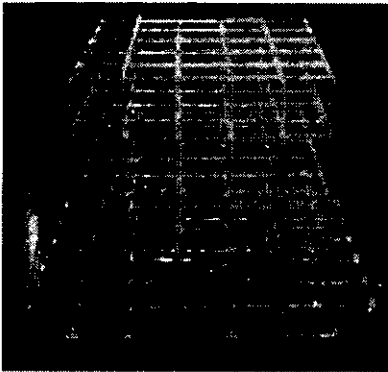


Fig.5 Lower structure

2) 중단부 조립

횡부재와 종부재를 제작하고 하단부에 접착하여 Fig.6과 같은 중단부를 조립하였다.

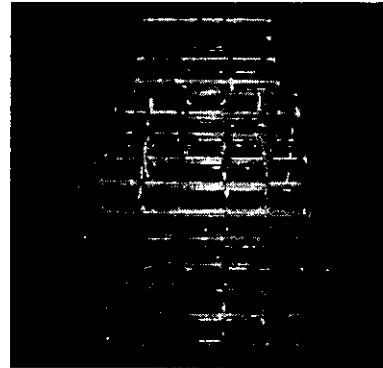


Fig.6 Middle structure

3) 상단부 조립

링타워(Ring tower)와 rock plate를 제작하고 중단부와 연결하여 Fig.7과 같이 조립하였다.

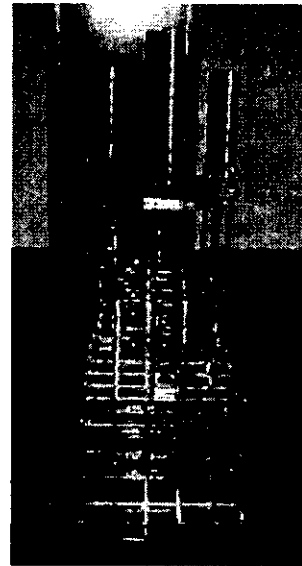


Fig.7 Upper structure

2.3 모형 설치

진수 후 강제어초 모형과 예인전차(Carriage)를 Bar로 연결하여 서로 부착시킨다. Bar와 예인전차 사이에는 유체력을 측정할 수 있는 검력계(dynamometer)를 장착한다. 그리고 Bar와 강

제어초 모형 사이에는 바닥 효과를 내기 위해서 판넬을 제작하여 Fig.8과 같이 설치한다.

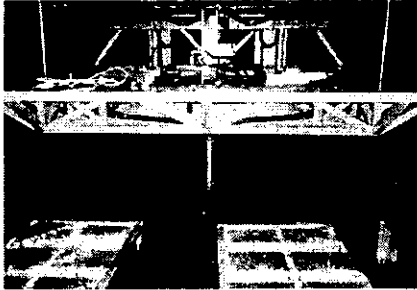


Fig.8 Set of model and carriage

2.4 데이터 분석 및 검토

Table 1 Comparison of experimental drags and theoretical results (unit : N)

drag coeff. \ tow velocity	theoretical results			test
	0.8	1.0	1.2	
0.1 m/sec	1.87	2.34	2.80	2.85
0.2 m/sec	7.47	9.34	11.21	11.21
0.3 m/sec	16.81	21.02	25.22	25.30
0.4 m/sec	29.89	37.36	44.83	44.86
0.5 m/sec	46.70	58.38	70.05	70.24
0.6 m/sec	67.25	84.06	100.87	102.94

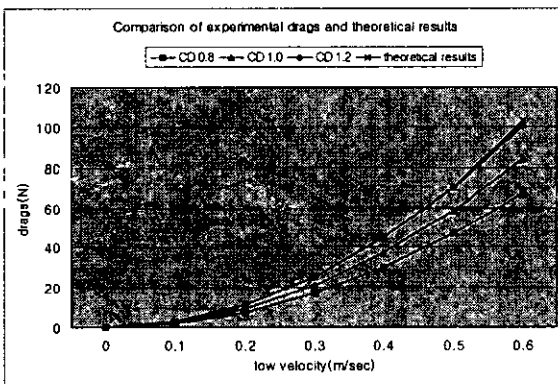


Fig.9 Comparison of experimental drags and theoretical results

실험에 의한 유체항력과 이론식에 의해서 구한 유체력을 비교해 보았다. 강제어초의 유체력을 F

라 하고 이것을 어초의 크기를 나타내는 특정한 투영면적 A로 나눈 일종의 평균압력을 균일의 동압 $\rho V^2/2$ 으로 무차원화한 것을 항력계수 C_D (drag coefficient)로 표시한다.(James 1984)(Robert 1995)

$$C_D = \frac{F}{(\rho V^2 A/2)} \dots\dots\dots (1)$$

속도 0.174 m/sec 일 때, 실험에서는 8.443 N 이 나왔고, 이론식에서는 항력계수(Drag Coefficient)가 0.8일때는 5.656 N, 1.0일때는 7.0694 N, 1.2일때는 8.4833 N이 나왔다. 위의 결과에서도 볼 수 있듯이 항력계수(Drag Coefficient)가 1.2일 때가 실험과 이론의 오차가 가장 작았다. 다른 유속에 대한 비교는 Table 1과 Fig.9에 보여진다. 다른 속도에서도 항력계수 1.2가 가장 오차를 작게 한다는 것을 Fig.9에서 알 수 있다.

3 구조해석

초고층 강제어초 전용 모델링 프로그램에서 모델링을 한 후에(신현경/박호균 2000) Nastran 입력 파일인 Bulk data file을 만들어 MSC/PATRAN에서 읽어 들인다. bdf 파일은 절점(Node), 요소(Element)의 지오메트리(Geometry) 정보만 가지고 있다.

이러한 정보들과 함께 MSC/PATRAN을 사용하여 Material, Property, Boundary, Load정보를 입력한다. Pre/Post 프로그램으로는 MSC/PATRAN을 사용하였고(한국 엠에스씨 1998), 해석 프로그램으로는 MSC/NASTRAN을 사용하였다(한국 엠에스씨 1998).

강제어초를 대상으로 구조해석을 실시한 결과는 Fig.10, Fig.11과 같다.

보통 강재(Steel)의 항복응력은 250 N/mm²인데, 조류의 속도가 1.5 m/sec이상인 경우 강제어초에 걸리는 응력이 항복응력을 초과한다는 것을 알 수 있다. MSC/NASTRAN을 이용하여

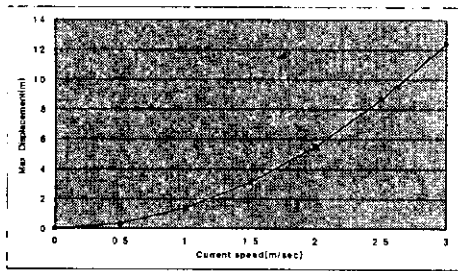


Fig.10 Max. displacements with respect to current speeds

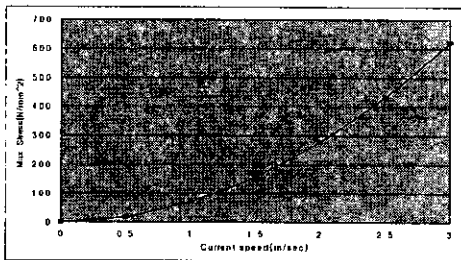


Fig.11 Max. stresses with respect to current speeds

구조해석을 실시한 결과 실제 해역에서의 예상유속인 0.87m/sec를 고려할 때, 최대변위는 1.05 m, 최대응력은 52.2 N/mm² 으로 추정된다. 최대응력은 강재(Steel)의 항복응력(250 N/mm²)을 넘어서지 않기 때문에 구조적으로 안전하다고 볼 수 있다.

4. 통합시스템의 구축 및 응용

1차년도 연구결과인 3차원 모델링, 도면자동생성, 자재물량정보산출 등의 구현과 함께 모형제작 기법, 유체항력시험, 유체 및 구조해석기법 등의 적용을 가능케 하는 통합시스템을 Fig.13~Fig.16에서 보여지는 4가지 형태의 강제어초에 적용해 보았다.

4.1 모델링

Fig.12와 같은 대화상자를 이용하여 면적이 같

은 평면의 형상을 사각형과 팔각형으로 나누고, Ring Tower의 개수를 3개와 4개로 나누어 Fig.13~Fig.16과 같은 4가지 형태의 강제어초를 모델링할 수 있다.

- A type : Square, 3 Ring towers
- B type : Square, 4 Ring towers
- C type : Octagon, 3 Ring towers
- D type : Octagon, 4 Ring towers

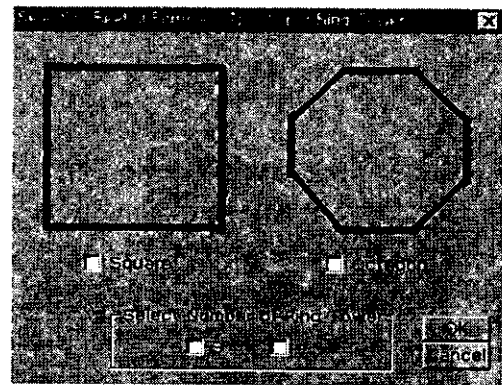


Fig.12 Selection of a reef form and the number of ring towers

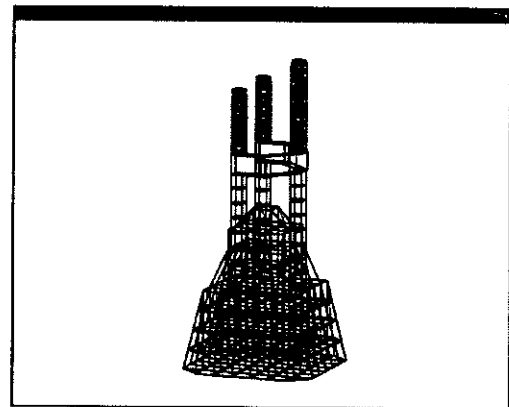


Fig.13 A Type (Square, 3 Ring towers)

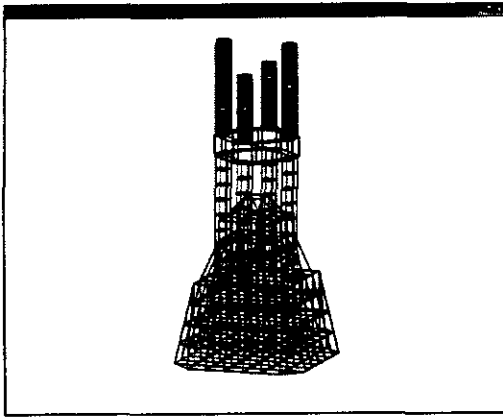


Fig.14 B Type (Square, 4 Ring towers)

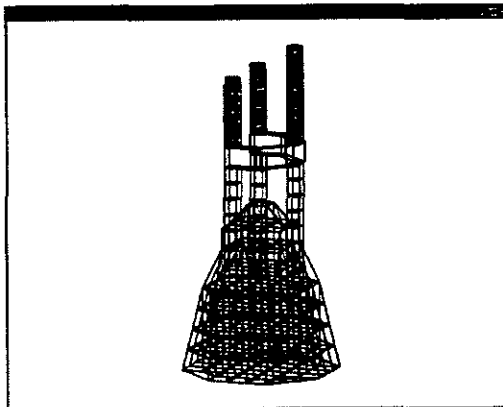


Fig.15 C Type (Octagon, 3 Ring towers)

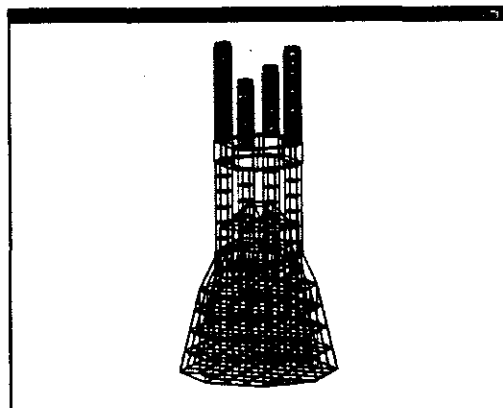


Fig.16 D Type (Octagon, 4 Ring towers)

4.2 구조해석

4가지의 형태의 강제어초를 실제해역의 예상유속인 0.87 m/sec와 예인전차의 속도를 실제해역에서의 속도로 환산한 0.5 m/sec부터 3.0 m/sec까지 0.5 m/sec 간격으로 유한요소해석을 실시한 결과는 Fig.17, Fig.18과 같다.

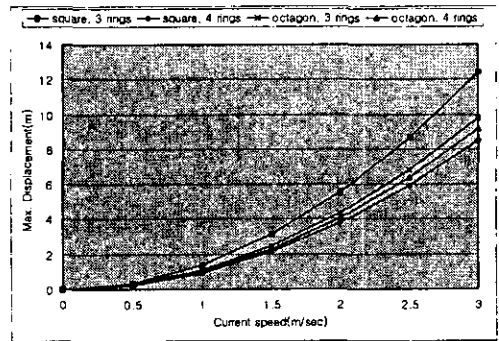


Fig.17 Max. displacements with respect to current speeds

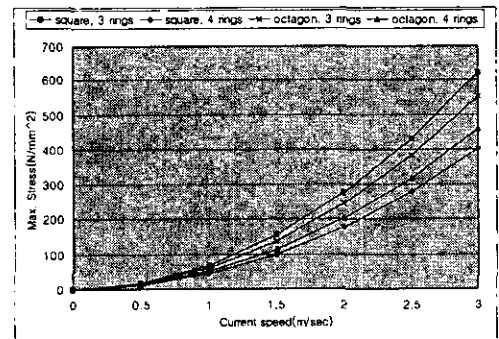


Fig.18 Max. stresses with respect to current speeds

4.3 자재물량정보

Fig.19~Fig.22는 4가지 형태의 다양한 강제어초의 자재물량정보를 보여주고 있으며(신현경/박호균 2000) 예상했던 대로 A type에 가장 적은 부재가 사용된 것을 볼 수 있다.

L0	2460.00	100.00	100.00	10.00	987900.00	190.00
L1	2600.00	100.00	100.00	10.00	1043900.00	10.00
L2	2250.00	100.00	100.00	10.00	903800.00	696.00
L3	1500.00	75.00	75.00	9.00	452336.00	54.00
L4	1687.50	100.00	100.00	10.00	678800.00	96.00

Fig.19 Bill of material of A type

L0	2460.00	100.00	100.00	10.00	1195360.00	228.00
L1	2600.00	100.00	100.00	10.00	1043800.00	10.00
L2	2250.00	100.00	100.00	10.00	903800.00	696.00
L3	1500.00	75.00	75.00	9.00	565672.00	72.00
L4	1687.50	100.00	100.00	10.00	678800.00	96.00

Fig.20 Bill of material of B type

L0	2460.00	100.00	100.00	10.00	1234750.00	237.00
L1	2600.00	100.00	100.00	10.00	1043800.00	10.00
L2	2250.00	100.00	100.00	10.00	903800.00	696.00
L3	1500.00	75.00	75.00	9.00	452338.00	54.00
L4	1687.50	100.00	100.00	10.00	614560.00	115.00

Fig.21 Bill of material of C type

L0	2460.00	100.00	100.00	10.00	1481700.00	294.00
L1	2600.00	100.00	100.00	10.00	1043900.00	10.00
L2	2250.00	100.00	100.00	10.00	903800.00	696.00
L3	1500.00	75.00	75.00	9.00	601875.00	72.00
L4	1687.50	100.00	100.00	10.00	614560.00	115.00

Fig.22 Bill of material of D type

이상과 같이 초고층 강제어초의 설계, 해석, 자재물량정보 산출 등 여러 기능을 가진 통합시스템을 구축하여 4가지의 형태의 강제어초를 제시해 보았다. 사각형이고 Ring Tower가 4개인 B형 강제어초가 사각형이고 Ring Tower가 3개인 A형 강제어초 보다 구조적인 면에서 안전한 반면 자재물량측면에서는 A형이 가장 적은 부재를 사용하였다.

5 결론

35m높이의 초고층 강제어초의 형상정보, 위상정보, 생산정보, 구조해석정보, 모형시험정보 등을 바탕으로 하는 통합시스템을 구축하기 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다.

- 1) 유체력 산출을 위한 모형 제작 및 시험 기법 개발
- 2) 구조해석기법 개발

또한 구축된 통합시스템을 적용함으로써 다양한 형태의 초고층 강제어초 설계를 손쉽게 할 수 있다. 그리고 개발된 프로그램은 Windows NT(Windows 98)에서 개발되어 손쉽고 빠르게 사용될 수 있고, 객체지향 기법을 이용하여 다른 프로그램에도 적용이 가능하다.

후 기

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 협동과제연구비에 의하여 지원되었음(KIOS-97-F-15)

참 고 문 헌

- 신현경, 손호철, 권명준, 박호균, 1998, "컴퓨터 그래픽스 기법을 이용한 초고층 강제어초에 관한 연구(I)", 대한조선학회 춘계연구 논문발표회
- 신현경, 박호균, 1998, "컴퓨터 그래픽스 기법을 이용한 초고층 강제어초에 관한 연구(I) - 설계지원 프로그램 개발", 대한조선학회 논문집, 제35권 제4호
- 신현경, 박호균, 2000, "컴퓨터 그래픽스 기법을 이용한 초고층 강제어초에 관한 연구(III)", 대한조선학회 추계연구 논문발표회
- 임우조, 1993, "강제어초 특성에 관한 연구", 부산수산대학교 산업기술연구소
- 한국 엠에스씨, 1998, "MSC/PATRAN Basic Guide", 한국 엠에스씨
- 한국 엠에스씨, 1998, "MSC/NASTRAN Basic Guide", 한국 엠에스씨
- 鋼製俱樂部, 1997, "鋼製基礎技術マニュアル", 社團法人 鋼製俱樂部, 鋼製漁場施設委員會

- 宇野木早苗, 1994, "해양技術者のための流體學", 東海大學出版社
- James F. Wilson, 1984, "Dynamics of Offshore Structures", Duke University
- Robert L. Street, Gary Z. Watters and John K. Vennard, 1995, "Elementary Fluid Mechanics", John Wiley & Sons



〈 신 현 경 〉



〈 박 호 균 〉