

2008년도 창의적 선박 설계 기말 고사 (Part II)

일시: Part I. 2008년 6월 18일 수요일 9시 30분 ~ 12시

13시 ~ 16시

Part II. 2008년 6월 18일 수요일 17시 ~ 22시

시험 시 주어지는 자료:

- 1) Specification for 4,100TEU Container Ship (선주 요구 사항)
(설계선: 4,100TEU Container Ship)
- 2) 3700TEU 기준선 자료 중 관련 부분
 - a) Light weight summary
 - b) T&S (HOMO, 10T SCANTLING DEPARTURE (2,918 TEU)
 - c) 선속에 따른 자항 Test 결과
 - d) Hydrostatic Table
 - e) Midship Section
 - f) G/A는 제외하나 설계선의 G/A 작성을 위하여
1:100 Scale의 설계선 외곽 Line을 제공함
- 3) ICLL, 1966 자료 중 관련 부분 (건현 계산) in English version
- 4) IMO Rule 자료 중 관련 부분 (Intact stability) in English version
- 5) DNV Rule 자료 중 관련 부분 (구조 설계)
 - a) SWBM & VWBM 추정식
 - b) 설계선의 stress factor (f_{2b} , f_{2d})
 - c) Plate & Longitudinal stiffener 치수 결정에 필요한 모든 수식
- 6) 설계선의 Lightweight의 VCG와 이외 각종 Tank들의 VCG 및 Vertical Moment
설계선의 Ballast tank의 경우 ballasting하는 %별 VCG 및 Vertical Moment가 주어짐
- 7) 선박의 측벽이 수직측벽이라 가정하였을 때의 GZ Curve 계산식을 제공
(설계선의 경우, Deck가 물에 잠기기 시작하는 Heel angle까지는 위 계산식을 이용하여
GZ 값을 계산하고, 그 이상의 Heel angle에 대해서는 GZ값을 따로 제공할 것임)
- 8) Lackenby 선형 variation식
- 9) Gaussian Quadrature formula

#이외의 자료 및 식에 대해서는 각자 알고 있어야 함.

혹시 배포되지 않은 자료가 있으면 시험감독에게 알릴 것.

준비물:

삼각자, 자, 계산기, 필기구

7. 복원성능 추정

1) Speciation에서 요구하는 2,760TEU*14T/TEU를 Homogenous 하게 Hold내에 그리고 Deck상에 적재 한다고 할 때, 아래에서 주어진 자료를 바탕으로 선박의 KG추정하시오.

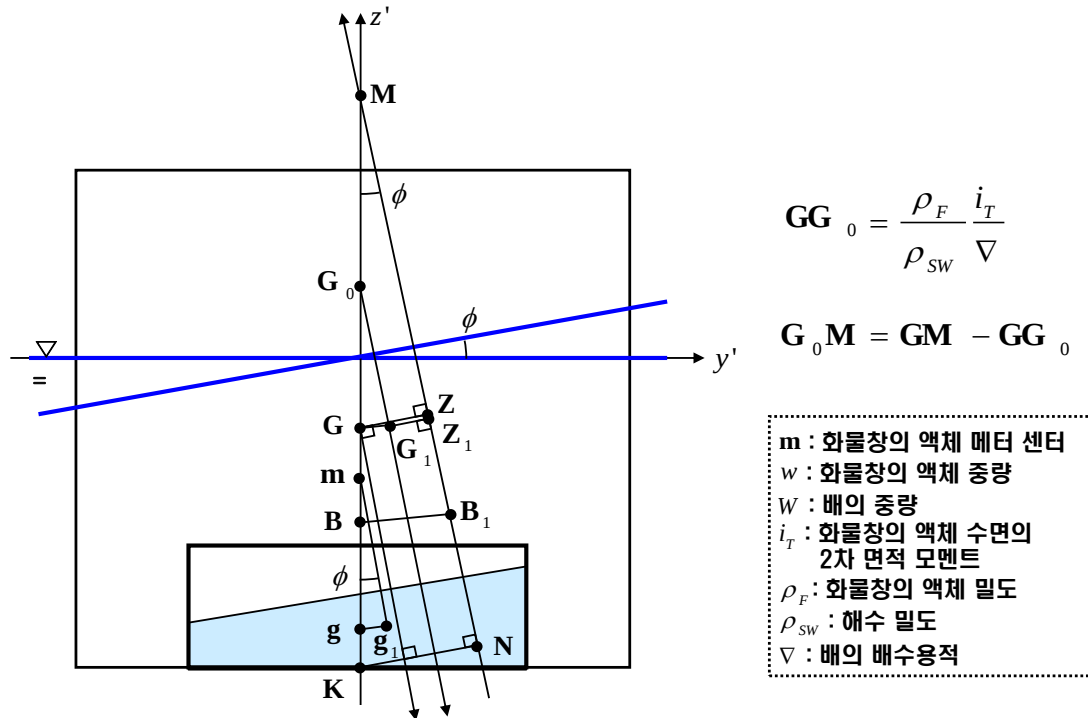
COMPARTMENT	VCG [m]	WEIGHT [Ton]	비고
HOLD (container 2,322 TEU)	12.679		
DECK (container 438 TEU)			이때, Container 하나의 VCG 는 45% Container 높이로 가정한다.
FRESH WATER	17.750		Spec.의 Tank 용적으로부터 구함
HEAVY FUEL OIL	4.856	2,500	
DIESEL OIL	13.988		Spec.의 Tank 용적으로부터 구함
LUBRICATING OIL	11.217	265	
MISCELL	4.705	119	
STORE & PROVISION	17.507	44	
DEADWEIGHT CONSTANT	21.146	205	
LIGHTWEIGHT	14.705		각자 추정한 값 사용
DISPLACEMENT			

DRAFT [m]	KB [m]	BM [m]	VOLUME[m ³]	비고
10.1	5.496	9.225	60754.6	선형 보간을 하여 KB 와 BM 추정
10.2	5.551	9.16	61499.6	
10.3	5.607	9.096	62244.6	
10.4	5.663	9.033	62989.6	
10.5	5.718	8.972	63734.6	
10.6	5.774	8.912	64479.6	
10.7	5.829	8.855	65400.7	
10.78	5.874	8.808	65820.5	
10.8	5.885	8.797	65969.5	
10.9	5.941	8.741	66714.5	

2) 문제 1)에서 추정한 KG를 사용하여 선박의 GM 값이 0.6 이상이 되도록 컨테이너와 Water ballast를 적절히 적재 하시오.

GM값이 0.6이 안 되는 경우, KG를 낮추기 위해 Ballasting을 해야 한다. 각 Ballasting Tank 에 채워야 할 Ballasting water의 양을 계산하시오.

(단, Ballasting 할 때는 탱크의 Free surface effect(자유 표면에 의한 중심 상승 효과)를 고려하여 G_0M 값을 계산해야 함.)



<GZ>

설계선의 GZ Curve를 계산하고, IMO Rule의 요구 조건 중 Heel angle 30° 까지의 조건을 만족하는지 확인하시오.

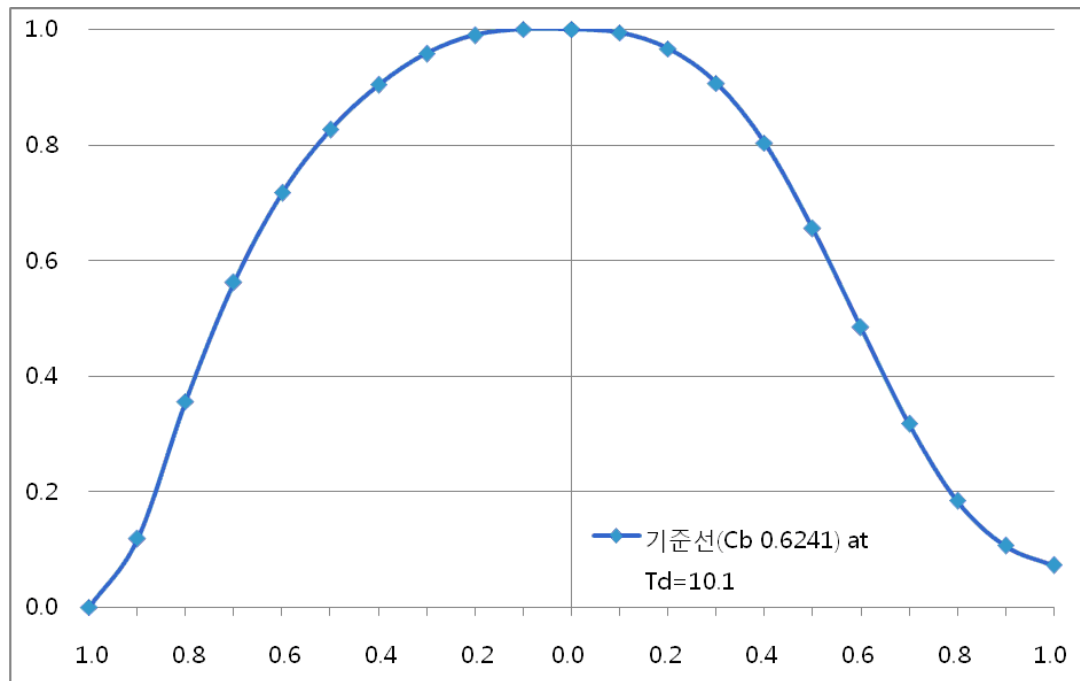
이때, 선박의 측벽이 수직 측벽이라 가정하였을 때의 대 경사각에서의 복원 암 GZ는 다음과 같다.

$$GZ = (G_0M + \frac{1}{2} \cdot BM \cdot \tan^2 \phi) \cdot \sin \phi$$

이 식은 Deck가 물에 잠기는 Heel angle까지만 사용할 수 있다.

8. 선형설계

3700TEU Container선의 CP-curve는 다음과 같다.



기준선의 Cp-curve로부터 구한 parameters	
Cp	0.63
Cp,f	0.59
Cp,a	0.68
LCB (단 L/2로 나누어 Scaling 되었음)	-0.039
$\bar{x}_f$: 기준선의 Midship으로부터 선미부의 도심까지의 거리	0.34
$\bar{x}_a$: 기준선의 Midship으로부터 선수부의 도심까지의 거리	0.37

위 값을 바탕으로 Lackenby의 선형 variation 방법에 따라 설계선의 Cp curve를 작성하시오. (단, 설계선의 LCB는 기준선과 동일하다고 가정하고, parallel middle는 없는 것으로 한다.)

1) Midship으로부터 δC_p 의 중심까지의 거리, $h_{f,a}$ 를 구하시오.

$$h_{f,a} = \frac{C_{p_{f,a}} (1 - 2\bar{x}_{f,a})}{1 - C_{p_{f,a}}}$$

2) 전반부 C_p 변화량, δC_{p_f} 과 후반부 C_p 변화량 δC_{p_a} 를 구하시오.

$$\delta C_{p_a} = \frac{2[\delta C_p (h_f - LCB) - \delta LCB (C_p + \delta C_p)]}{h_f + h_a}$$

$$\delta C_{p_f} = \frac{2[\delta C_p (h_a + LCB) + \delta LCB (C_p + \delta C_p)]}{h_f + h_a}$$

3) Lackenby 선형 variation 식에 따라 $\delta x_{f,a}$ 를 구하시오.

$$\delta x_{f,a} = (1 - x_{f,a}) \left\{ \frac{\delta L_{p_{f,a}}}{1 - L_{p_{f,a}}} + \frac{x_{f,a} - L_{p_{f,a}}}{A} [\delta C_{p_{f,a}} - \delta L_{p_{f,a}} \frac{(1 - C_{p_{f,a}})}{(1 - L_{p_{f,a}})}] \right\}$$

$$, (A = C_{p_{f,a}} (1 - 2\bar{x}_{f,a}) - L_{p_{f,a}} (1 - C_{p_{f,a}}))$$

4) 이로부터 설계선의 C_p -Curve를 개략적으로 작성하시오.

9. Hydrodynamics

Direct Calculation을 통한 vertical acceleration 및 VWBM는 다음의 과정을 통해 구해진다.

<설명 시작>

a) 선박의 운동방정식 풀이

유체력 계수(Added mass, Damping coefficient), Wave Exciting force, Wave amplitude, A_{wp} (수선면적)이 주어지면, 선박의 운동방정식을 구성하고, 이로부터 운동 변위, 속도, 가속도를 구할 수 있다.

예) heave motion의 운동방정식

$$(m + A_{33}(\omega)) \cdot \ddot{\xi}_3 + B_{33}(\omega) \cdot \dot{\xi}_3 + C_{33} \cdot \xi_3 = F_3(\omega) \cdot e^{i\omega t}$$

b) 선박의 RAO (Response Amplitude Operator) 작성

여러 개의 wave frequency에 대해 Added mass, Damping coefficient를 구하고, Wave amplitude를 1로 가정하였을 때의 Wave Exciting force를 구한다. 다음 위에서 구성한 선박의 운동방정식으로부터 wave frequency 별 운동 변위, 속도, 가속도를 구할 수 있다. 이를 선박의 RAO (Response Amplitude Operator)라 한다. (단, 각 축은 무차원화 하여 표현함)

c) 선박이 운항하는 해역에서의 Wave Spectrum 작성

선박이 운항하는 해역에서의 Irregular Wave를 관측하여, 이를 Fourier Series로 분리하면, wave frequency에 따라 서로 다른 Amplitude를 갖는 sine, cosine곡선들의 합으로 나타낼 수 있다. 이 때, wave frequency별 Energy density(Amplitude의 제곱에 비례)값을 표시한 것을 Wave Spectrum이라 한다. Wave Spectrum으로는 ISSC(International Ship and Offshore Structure Congress)에서 제안한 ‘변형된 Pierson Moskowitz 스펙트럼’이나 ITTC(International Towing Tank Conference)에서 추천한 ‘JONSWAP(Joint North Sea Wave Project) 스펙트럼’이 사용된다.

d) 선박의 Motion Spectrum 작성

선박이 운항하는 해역의 wave spectrum로부터 frequency 별 wave amplitude 곡선 (wave amplitude : $\eta_A = 2\sqrt{S(\omega) \cdot \Delta\omega}$)을 구하고, 이를 선박의 RAO와 곱하면, 운항해역의 frequency 별 wave amplitude를 갖는 wave exciting force에 대한 선박의 운동변위를 구할 수 있다. 이를 Motion Spectrum이라 한다.

e) 선박의 Acceleration Spectrum 작성

선박의 운동 변위가 $Ae^{i\omega t}$ 일 때, 가속도는 변위를 시간에 대해 두 번 미분하여 구한다. 즉, 운동 변위의 amplitude, A에 $-\omega^2$ 을 곱하여 Acceleration spectrum을 구할 수 있다.

f) 선박의 Acceleration에 대한 Rayleigh Distribution 구하기

Acceleration Spectrum을 적분하여 면적, m_0 를 구하고 이로부터 분산을 구하여 Rayleigh Distribution을 얻는다. Rayleigh Distribution은 물리량(가속도, x축)에 대한 그 가속도가 발생할 확률(y축)을 나타낸다.

g) Rayleigh Distribution으로부터 초과확률(Probability of Exceedence)분포 구하기

Rayleigh Distribution에서 어느 가속도 이상이 될 확률을 나타낸 것을 초과확률(Probability of Exceedence)라고 한다. 즉, Rayleigh Distribution에서 임의의 x에 대해 x보다 큰 영역의 면적을 의미한다. 초과확률 분포에서는 물리량(가속도, x축)에 대한 그 가속도 이상이 발생할 확률(y축)을 나타낸다.

h) DNV Rule에 따라, 초과 확률이 10^{-8} 일 때의 가속도를 구조 설계에 사용하는 Vertical 방향의 가속도 성분, a_v 로 간주한다. (Pt.3 Ch.1 Sec.4 A

<설명 끝>

<문제>

1) Rule Scantling시 사용하는 acceleration값은 실제로는 위의 과정(a)~h))을 통해 구해지나, 본 문제에서는 위의 과정을 통해 구해진 acceleration값이 아래의 wave frequency에서의 added mass, damping coefficient, wave exciting force에 의한 acceleration값과 같다고 가정하자.

wave frequency: $\omega = 1.00$ [rad/s]

$F3 = 1.06 \cdot 10^8 + 1.97 \cdot 10^8 i$ [kN]

$F5 = 1.05 \cdot 10^9 - 4.92 \cdot 10^8 i$ [kN·m]

이때, 각 단면에 대한 added mass 및 damping coefficient 분포가 다음과 같다.

Station No.	b_n [m] 수선면폭	T_n [m] 수선면 홀수	a_{33} [Mg/m] station의 added mass	b_{33} [Mg/s·m] station의 damping coeff.
0	0	10.78	0	0
5	32.26	10.78	289	135
10	32.26	10.78	289	135
15	30.37	10.78	223	109
20	0	10.78	0	0

위 값을 길이방향으로 아래와 같이 적분하면 전체 선박에 대한 Added mass, Damping coefficient를 구할 수 있다.

$$A_{33} = \int_L a_{33} dx = 6.1 \times 10^4$$

$$A_{35} = -\int_L x a_{33} dx = 4.4 \times 10^5$$

$$A_{55} = \int_L x^2 a_{33} dx = 2.4 \times 10^8$$

$$B_{33} = \int_L b_{33} dx = 2.9 \times 10^4$$

$$B_{35} = -\int_L x b_{33} dx = 1.7 \times 10^5$$

$$B_{55} = \int_L x^2 b_{33} dx = 1.1 \times 10^8$$

$$C_{33} = \rho g \int_L b_n dx = 7.4 \times 10^4$$

$$C_{35} = -\rho g \int_L x b_n dx = 1.3 \times 10^5$$

$$C_{55} = \rho g \int_L x^2 b_n dx = 2.9 \times 10^8$$

위 계수들로부터 해상에서 운동중인 선박의 Heave-pitch 연성 운동방정식을 유도하고, Heave & Pitch에 의한 vertical acceleration을 구하시오.

2) 1)에서 구한 vertical acceleration으로 선박이 운동할 때, 선박에 작용하는 added mass에 의한 Radiation Force 분포를 구하고, 이로부터 Radiation Force에 의한 VWBM을 구하시오.

10. Rule Scantling

1) 중앙단면에 작용하는 Total Bending Moment를 구하시오.

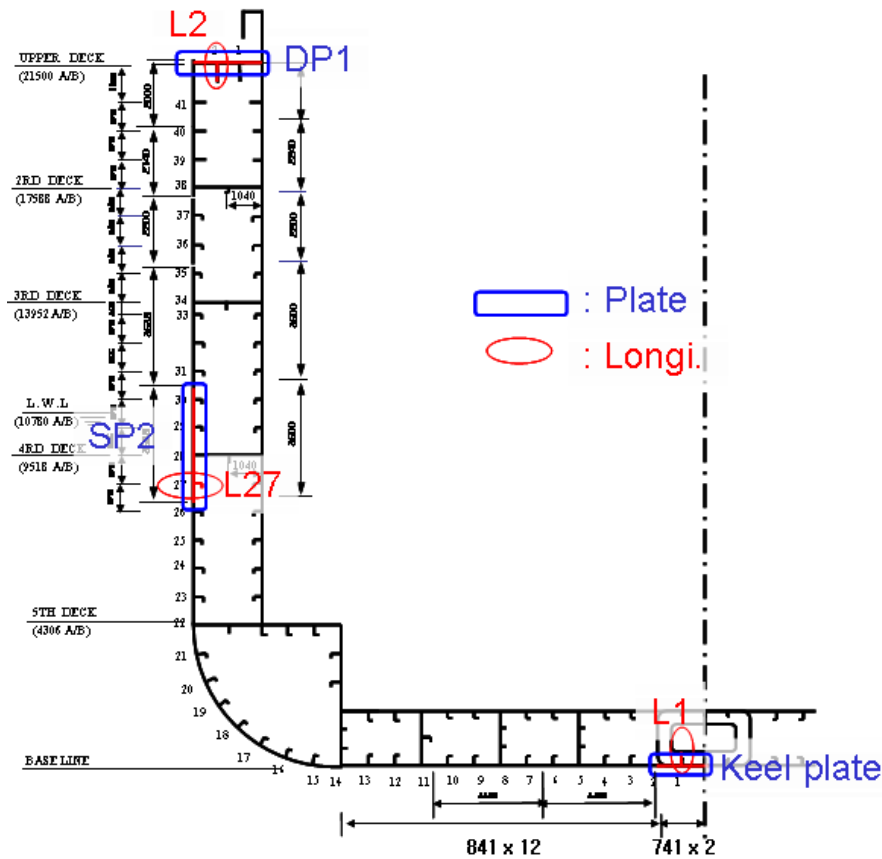
Total Bending Moment = SWBM + VWBM

이때, SWBM: Specification상의 설계선의 SWBM & Rule의 Minimum SWBM값 고려

VWBM: Rule의 추정식으로 구한 VWBM

2) Local Scantling

Bottom, Side, Deck에 대해 각각 한 개의 Plate와 Longitudinal Stiffener에 대하여 Local Scantling을 수행하시오.



3) $\sigma_{act} < \sigma_l$ (σ_l : allowable stress)을 만족 하도록 부재의 치수를 결정 하시오.

2)번 문제에서 구한 부재를 추가하여, 전체 Midship Section에 대한 면적, 1차 모멘트, Neutral Axis, 2차 모멘트를 계산하고, 모든 부재에 대하여 $\sigma_{act} < \sigma_l$ 를 만족하도록 부재의 치수를 결정하시오.

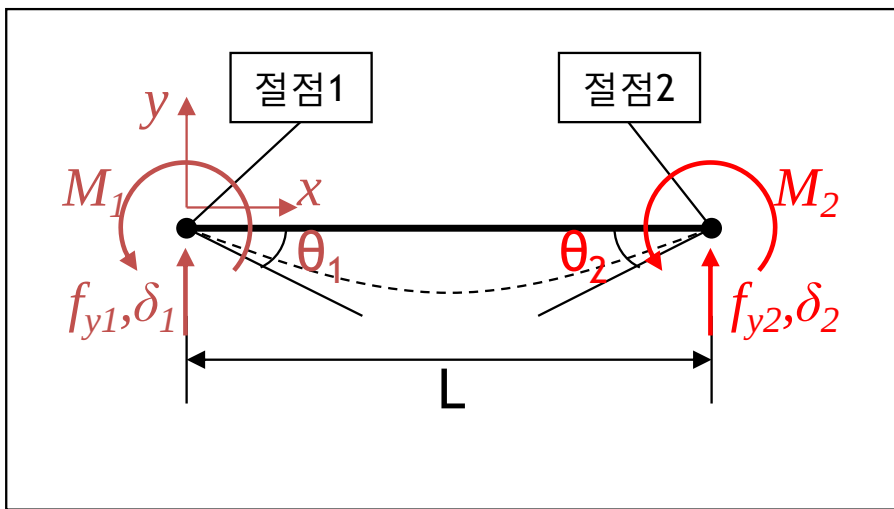
	면적 (cm ²)	1 차 Moment[cm ³]	2 차 Moment[cm ⁴]
Total (단, 2번 문제의 부재들은 제외)	19,331	18,976,694	32,534,474,040

11. Grillage 해석

1) 다음 그림과 같이 절점 1과 절점 2에 힘과 모멘트가 각각 작용하는 1차원 보(beam)가 있다. 절점 2가 'Fixed End' 조건일 때를 그림으로 표시하고 이때 힘과 변위

($f_{y1}, M_1, f_{y2}, M_2, \delta_{y1}, \theta_1$)의 관계를 매트릭스 형식으로 나타내시오.

(단, 기호와 좌표계는 제시된 그림과 동일하게 사용하고 탄성계수와 관성모멘트의 기호는 각각 E와 I로 표기하시오.)

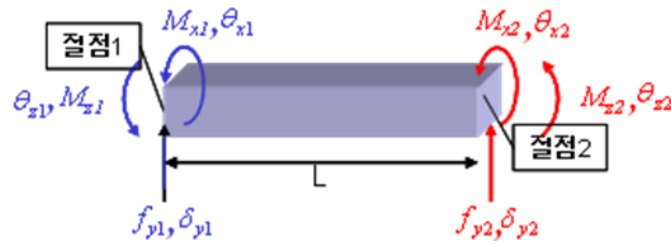


2) 문제 1)에서 절점1을 고정했을 경우의 힘과 변위의 관계식과, Torsio-회전변위의 관계식이 각각 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} f_{y1} \\ M_1 \\ f_{y2} \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ \frac{L^3}{6EI} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{y2} \\ \theta_2 \end{bmatrix}$$

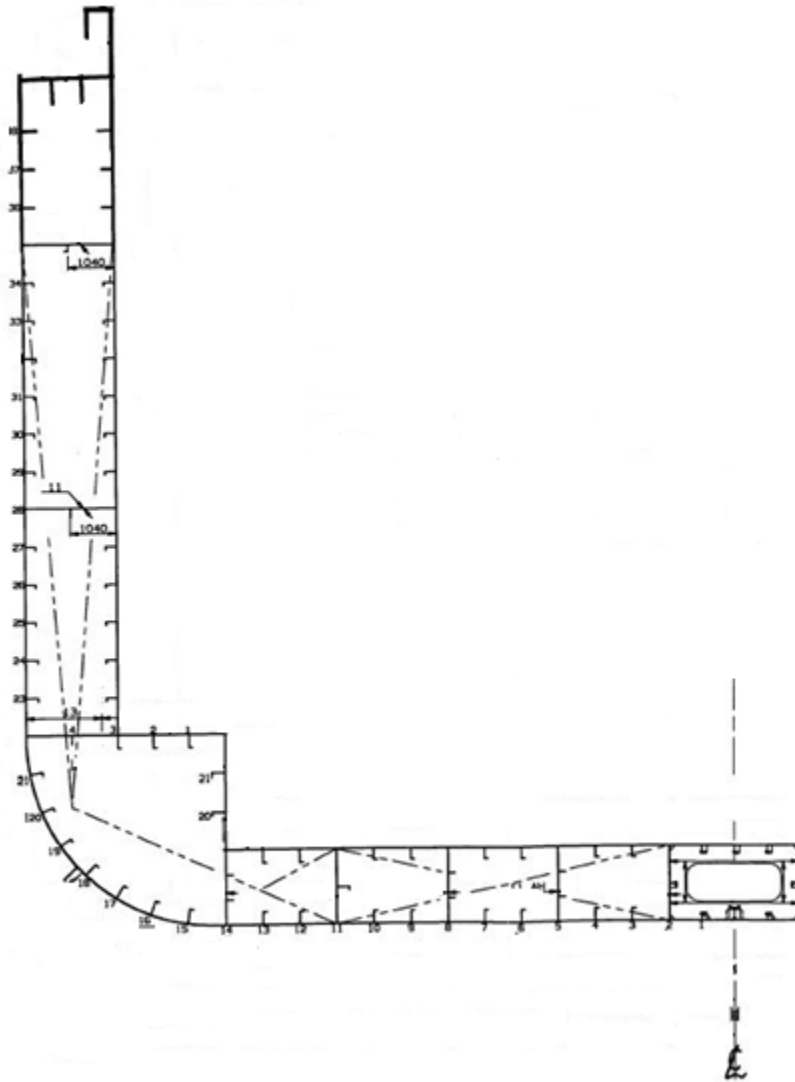
$$\begin{bmatrix} M_{x1} \\ M_{x2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{GJ}{l} & -\frac{GJ}{l} \\ -\frac{GJ}{l} & \frac{GJ}{l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{x1} \\ \theta_{x2} \end{bmatrix}$$

1)의 결과와 위의 주어진 관계식을 이용하여 다음의 Grillage 구조에 대한 강성 방정식의 매트릭스 형태를 완성하시오. ([Grillage Matrix]부분)



$$\begin{bmatrix} M_{x1} \\ f_{y1} \\ M_{z1} \\ M_{x2} \\ f_{y2} \\ M_{z2} \end{bmatrix} = [\text{Grillage Matrix}] \begin{bmatrix} \theta_{x1} \\ \delta_{y1} \\ \theta_{z1} \\ \theta_{x2} \\ \delta_{y2} \\ \theta_{z2} \end{bmatrix}$$

3) 설계선의 중앙 단면 구조배치가 기준선과 동일한 구성(configuration)을 가진다고 가정할 때, 설계선의 중앙의 한 Hold를 Grillage 격자 모델로 표현하고자 한다. 한 Hold의 길이방향 양 경계는 Bulkhead로 하고 그 사이에는 Web Frame이 하나 존재한다고 가정할 때, 주어진 구역을 2차원 Grillage로 모델링 하시오. (단면도에 번호를 표기하고 Grillage 모델에 번호와 부재 명칭을 표기하시오.)



<수고하셨습니다>