

## 2008년도 창의적 선박 설계 기말 고사 (Part II) (해답지)

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.

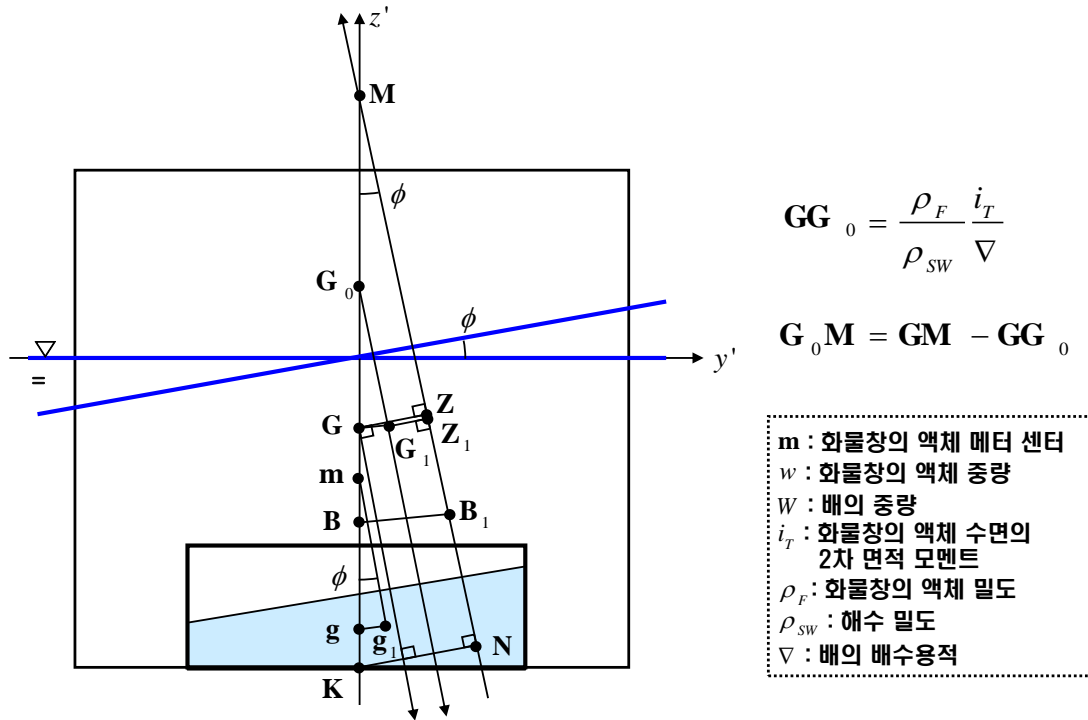
COMPARTMENT	VCG [m]	WEIGHT [Ton]	비고
HOLD (container 2,322 TEU)	12.679		
DECK (container 438 TEU)			이때, Container 하나의 VCG 는 45% Container 높이로 가정한다.
FRESH WATER	17.750		Spec.의 Tank 용적으로부터 구함
HEAVY FUEL OIL	4.856	2,500	
DIESEL OIL	13.988		Spec.의 Tank 용적으로부터 구함
LUBRICATING OIL	11.217	265	
MISCELL	4.705	119	
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 <sup>3</sup> ]	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 추정된 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.

[7. 복원성능 추정 해답]

<GM 답>

Water ballast를 하지 않았을 경우,

	COMPARTMENT	TOTAL NO.	V-MOM.	VCG	FILL RATIO	S.G OR UNIT WEIGHT	WEIGHT	WEIGHT	V-MOM.
HOLD	NO. 1	84	17,167	14,598		14	1,176	32,508	414,127
	NO. 2	234	46,771	14,277		14	3,276		
	NO. 3	326	57,831	12,671		14	4,564		
	NO. 4	344	59,005	12,252		14	4,816		
	NO. 5	344	59,005	12,252		14	4,816		
	NO. 6	344	59,005	12,252		14	4,816		
	NO. 7	342	58,923	12,306		14	4,788		
	NO. 8	304	56,419	13,256		14	4,256		
DECK	NO. 1	20	7,158	25,565		14	280	6,132	153,907
	NO. 2	52	18,611	25,565		14	728		
	NO. 3	52	18,611	25,565		14	728		
	NO. 4	52	18,611	25,565		14	728		
	NO. 5	52	18,611	25,565		14	728		
	NO. 6	52	18,611	25,565		14	728		
	NO. 7	52	18,611	25,565		14	728		
	NO. 8	52	18,611	25,565		14	728		
	AFT. DECK	54	16,469	21,785		14	756		
BALLAST WATER	F.P.TK		-		0	1.025			
	NO. 1 W.W.B.TK(P)				0	1.025			
	NO. 1 W.W.B.TK(S)				0	1.025			
	NO. 2 D.B.W.B.TK(P)				0	1.025			
	NO. 2 D.B.W.B.TK(S)				0	1.025			
	NO. 2 W.W.B.TK(P)				0	1.025			
	NO. 2 W.W.B.TK(S)				0	1.025			
	NO. 3 D.B.W.B.TK(P)				0	1.025			
	NO. 3 D.B.W.B.TK(S)				0	1.025			
	NO. 4 D.B.W.B.TK(P)				0	1.025			
	NO. 4 D.B.W.B.TK(S)				0	1.025			
	NO. 4 W.W.B.TK(P)				0	1.025			
	NO. 4 W.W.B.TK(S)				0	1.025			
	NO. 5 D.B.W.B.TK(P)				0	1.025			
	NO. 5 D.B.W.B.TK(S)				0	1.025			
	NO. 5 W.W.B.TK(P)				0	1.025			
	NO. 5 W.W.B.TK(S)				0	1.025			
	NO. 6 D.B.W.B.TK(P)				0	1.025			
	NO. 6 D.B.W.B.TK(S)				0	1.025			
	NO. 6 W.W.B.TK(P)				0	1.025			
	NO. 6 W.W.B.TK(S)				0	1.025			
	NO. 7 D.B.W.B.TK(P)				0	1.025			
	NO. 7 D.B.W.B.TK(S)				0	1.025			
	NO. 8 W.W.B.TK(P)				0	1.025			
NO. 8 W.W.B.TK(S)				0	1.025				
NO. 8 D.B.W.B.TK(P)				0	1.025				
NO. 8 D.B.W.B.TK(S)				0	1.025				
A.P.TK				0	1.025				
FRESH WATER		4,438	17,750		1.00	250			
FUEL OIL		12,140	4,856		0.98	2,500			
DIFESL OIL		3,210	13,988		0.85	230			
LUBRICATING OIL		2,974	11,217		0.9	265			
MISCELL		562	4,705			119			
STORE & PROVISION		770	17,507			44			
DEADWEIGHT CONSTANT		4,335	21,146			205			
DEADWEIGHT (DECK)		153,907	25			6,132			
DEADWEIGHT (HOLD)		414,127	13			32,508			
TOTAL DEADWEIGHT		596,462	14,116			42,253			
LIGHTWEIGHT		296,271	14,705			20,148			
TOTAL WEIGHT		892,733	14,306			62,401			

KG: 14.306m

Total weight: 62,401 ton

Total volume:  $62,401 / 1.025 = 60879.1 \text{ m}^3$

선형 보간을 하여 KB, BM을 구하면 KB = 5.560m, BM = 9.149m이다.

Draft	KB	BM	Volume mld
10.1	5.496	9.225	60754.6
10.1167	5.560	9.149	60879.1
10.2	5.551	9.16	61499.6

$$GM = KB + BM - KG = 5.560 + 9.149 - 14.306 = 0.403$$

Heavy fuel oil tank에 의해 Free surface effect가 발생한다.

$$i_T: 383.8 + 383.8 + 756.9 + 756.9 = 2,281.4$$

Heavy fuel oil의 밀도: 0.98

$$GG_0 = 2,281.4 / 60879.1 * 0.98 / 1.025 = 0.04$$

$$GoM = 0.403 - 0.04 = 0.363m$$

GoM = 0.363m < 0.6m 이므로, 요구조건을 만족하지 못한다.

따라서 ballast water를 실어서 GoM을 0.6m보다 크게(KG를 작게) 해야 한다.

학생들이 적절하게 ballast water를 싣고, free surface effect도 고려하고, GoM을 0.6m보다 약간 크게 되도록 함

예) NO. 4 D.B.W.B.Tk(P&S)와 NO. 5 D.B.W.B.Tk(P&S)를 100% 채웠을 경우

	COMPARTMENT	TOTAL NO.	V-MOM.	VCG	FILL RATIO	S.G OR UNIT WEIGHT	WEIGHT	WEIGHT	V-MOM.
HOLD	NO. 1	84	17,167	14,598		14	1,176	32,508	414,127
	NO. 2	234	46,771	14,277		14	3,276		
	NO. 3	326	57,831	12,671		14	4,564		
	NO. 4	344	59,005	12,252		14	4,816		
	NO. 5	344	59,005	12,252		14	4,816		
	NO. 6	344	59,005	12,252		14	4,816		
	NO. 7	342	58,923	12,306		14	4,788		
	NO. 8	304	56,419	13,256		14	4,256		
DECK	NO. 1	20	7,158	25,565		14	280	6,132	153,907
	NO. 2	52	18,611	25,565		14	728		
	NO. 3	52	18,611	25,565		14	728		
	NO. 4	52	18,611	25,565		14	728		
	NO. 5	52	18,611	25,565		14	728		
	NO. 6	52	18,611	25,565		14	728		
	NO. 7	52	18,611	25,565		14	728		
	NO. 8	52	18,611	25,565		14	728		
	AFT. DECK	54	16,469	21,785		14	756		
	BALLAST WATER	F.P.TK		-		0	1.025		
NO. 1 W.W.B.TK(P)			-		0	1.025			
NO. 1 W.W.B.TK(S)			-		0	1.025			
NO. 2 D.B.W.B.TK(P)			-		0	1.025			
NO. 2 D.B.W.B.TK(S)			-		0	1.025			
NO. 2 W.W.B.TK(P)			-		0	1.025			
NO. 2 W.W.B.TK(S)			-		0	1.025			
NO. 3 D.B.W.B.TK(P)			-		0	1.025			
NO. 3 D.B.W.B.TK(S)			-		0	1.025			
NO. 4 D.B.W.B.TK(P)			297	0.850	100	1.025	349.3		
NO. 4 D.B.W.B.TK(S)			297	0.850	100	1.025	349.3		
NO. 4 W.W.B.TK(P)			-		0	1.025			
NO. 4 W.W.B.TK(S)			-		0	1.025			
NO. 5 D.B.W.B.TK(P)			297	0.850	100	1.025	349.3		
NO. 5 D.B.W.B.TK(S)			297	0.850	100	1.025	349.3		
NO. 5 W.W.B.TK(P)			-		0	1.025			
NO. 5 W.W.B.TK(S)			-		0	1.025			
NO. 6 D.B.W.B.TK(P)			-		0	1.025			
NO. 6 D.B.W.B.TK(S)			-		0	1.025			
NO. 6 W.W.B.TK(P)			-		0	1.025			
NO. 6 W.W.B.TK(S)			-		0	1.025			
NO. 7 D.B.W.B.TK(P)			-		0	1.025			
NO. 7 D.B.W.B.TK(S)			-		0	1.025			
NO. 8 W.W.B.TK(P)			-		0	1.025			
NO. 8 W.W.B.TK(S)			-		0	1.025			
NO. 8 D.B.W.B.TK(P)		-		0	1.025				
NO. 8 D.B.W.B.TK(S)		-		0	1.025				
A.P.TK				0	1.025				
FRESH WATER			4,438	17,750		1.00	250		
FUEL OIL			12,140	4,856		0.98	2,500		
DIESEL OIL			3,210	13,988		0.85	230		
LUBRICATING OIL			2,974	11,217		0.9	265		
MISCELL			562	4,705			119		
STORE & PROVISION			770	17,507			44		
DEADWEIGHT CONSTANT			4,335	21,146			205		
DEADWEIGHT (DECK)			153,907	25			6,132		
DEADWEIGHT (HOLD)			414,127	13			32,508		
TOTAL DEADWEIGHT			597,650	13,692			43,650		
LIGHTWEIGHT			296,271	14,705			20,148		
TOTAL WEIGHT			893,921	14,012			63,798		

KG: 14.012m

Total weight: 63,798 ton

Total volume:  $63,798 / 1.025 = 62,242.2 \text{ m}^3$

선형 보간을 하여 KB, BM을 구하면  $KB = 5.607\text{m}$ ,  $BM = 9.096\text{m}$ 이다.

Draft	KB	BM	Volume mld
10.2	5.551	9.16	61499.6
10.300	5.607	9.096	62242.2
10.3	5.607	9.096	62244.6

$$GM = KB + BM - KG = 5.607 + 9.096 - 14.012 = 0.6914$$

Heavy fuel oil tank에 의해서만 Free surface effect가 발생하므로,  $GG_0 = 0.04\text{m}$ 이다. (만약 water ballast tank를 100% 채우지 않았다면, 이로 인하여 free surface effect가 발생하므로, ballast water에 의한 free surface effect도 고려해야 한다.)

$$GoM = 0.6914 - 0.04 = 0.6563\text{m}$$

$GoM = 0.6563\text{m} > 0.6\text{m}$  이므로, 요구조건을 만족한다.

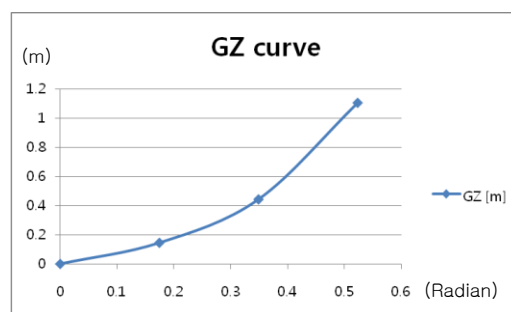
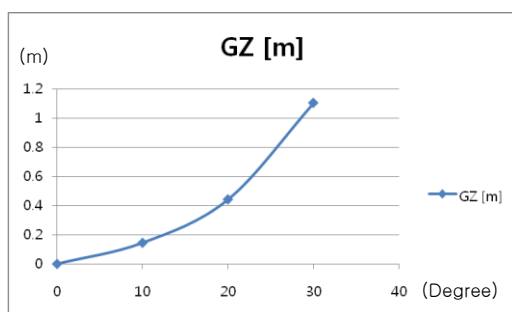
<GZ 답>

위 공식을 이용해서 heel angle에 따른 GZ를 구하면 다음과 같다.

$\Phi$	0	10	20	30
GZ	0	0.1446071	0.4425262	1.1036936

요구조건 구하기 ( $C = 0.08597$ 로 주어짐)

0도~ 30도 사이의 GZ curve의 면적이  $0.009 / C = 0.009 / 0.08597 = 0.1047 \text{ [rad - m]}$ 보다 커야 한다.

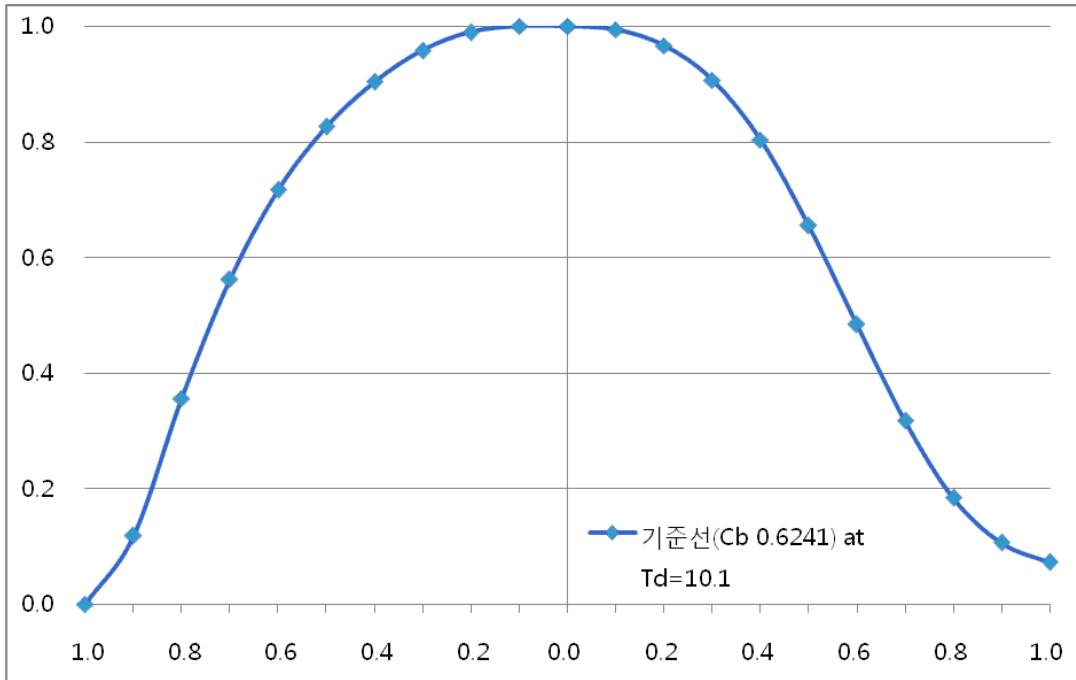


위 그림 중 좌측 그림은 heel angle이 0도에서 30도까지의 GZ curve이고 오른쪽 그림은 heel angle을 radian 단위로 바꿔서 다시 그린 것이다. (이는 GZ curve 아래의 면적을 rad-m로 구해야 하기 때문이다.)

GZ curve 아래의 면적을 구하면  $0.1869 \text{ [rad-m]}$ 이다.  $0.1869 > 0.1047$ 이므로 요구조건을 만족한다.

## 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  $\delta C_p$ 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,  $\delta C_{p_f}$  과 후반부  $C_p$  변화량  $\delta C_{p_a}$  를 구하시오.

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

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

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.

[8. 선형설계 해답]

1)

$$h_f = \frac{C_{P_f} (1 - 2\bar{x}_f)}{1 - C_{P_f}} = \frac{0.59 (1 - 2 \cdot 0.34)}{1 - 0.59} = 0.46$$

$$h_a = \frac{C_{P_a} (1 - 2\bar{x}_a)}{1 - C_{P_a}} = \frac{0.68 (1 - 2 \cdot 0.37)}{1 - 0.68} = 0.55$$



2)

$$\delta C_{Pf} = \frac{2[\delta C_p (h_a + LCB) + \delta LCB (C_p + \delta C_p)]}{h_f + h_a} = \frac{2[0.0544 (0.55 - 0.039)]}{0.46 + 0.55} = 0.055$$

$$\delta C_{Pa} = \frac{2[\delta C_p (h_f - LCB) - \delta LCB (C_p + \delta C_p)]}{h_f + h_a} = \frac{2[0.0544 (0.46 - 0.039)]}{0.46 + 0.55} = 0.053$$

3)

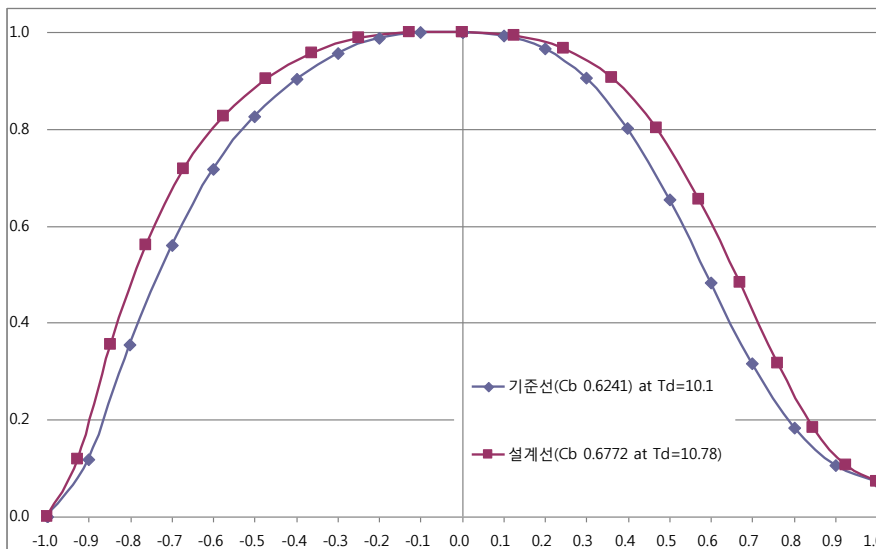
$L_{P_{f,a}} = \delta L_{P_{f,a}} = 0$  이므로 Lackenby 선형 variation 식은 다음과 같이 간단히 정리 된다.

$$\delta x_{f,a} = (1 - x_{f,a}) \left\{ \frac{x_{f,a}}{A} \delta C_{P_{f,a}} \right\}, (A = C_{P_{f,a}} (1 - 2\bar{x}_{f,a}))$$

$$\begin{aligned} \delta x_f &= (1 - x_f) \left\{ \frac{x_f}{C_{P_f} (1 - 2\bar{x}_f)} \delta C_{P_f} \right\} = (1 - x_f) \left\{ \frac{x_f}{0.59 (1 - 2 \cdot 0.34)} 0.055 \right\} \\ &= -0.2913 x^2 + 0.2913 x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta x_a &= (1 - x_a) \left\{ \frac{x_a}{C_{P_a} (1 - 2\bar{x}_a)} \delta C_{P_a} \right\} = (1 - x_a) \left\{ \frac{x_a}{0.68 (1 - 2 \cdot 0.37)} 0.053 \right\} \\ &= -0.2998 x^2 + 0.2998 x \end{aligned}$$

4)



## 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 Wace 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]

$F_3 = 1.06 \cdot 10^8 + 1.97 \cdot 10^8 i$  [kN]

$F_5 = 1.05 \cdot 10^9 - 4.92 \cdot 10^8 i$  [kN·m]

$I_{yy} = (0.25 \cdot L)^2 \cdot \rho \cdot \nabla$  (추정식)

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

Station No.	$b_n$ [m] 수선면폭	$T_n$ [m] 수선면 흘수	$a_{33}$ [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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

[9. Hydrodynamics 해답]

1)

Heave-Pitch 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} m + A_{33} & A_{35} \\ A_{53} & A_{55} + I_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\xi}_3 \\ \ddot{\xi}_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{33} & B_{35} \\ B_{53} & B_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\xi}_3 \\ \dot{\xi}_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{33} & C_{35} \\ C_{53} & C_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_3 \\ \xi_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_3 e^{i\omega t} \\ F_5 e^{i\omega t} \end{bmatrix}$$

$\xi_3(t) = \xi_3^A e^{i\omega t}$ ,  $\xi_5(t) = \xi_5^A e^{i\omega t}$  로 가정 (Harmonic motion)

$$\dot{\xi}_3(t) = i\omega \xi_3^A e^{i\omega t}, \dot{\xi}_5(t) = i\omega \xi_5^A e^{i\omega t}$$

$$\ddot{\xi}_3(t) = -\omega^2 \xi_3^A e^{i\omega t}, \ddot{\xi}_5(t) = -\omega^2 \xi_5^A e^{i\omega t}$$

이를 Heave-Pitch 운동방정식에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} m + A_{33} & A_{35} \\ A_{53} & A_{55} + I_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\omega^2 \xi_3^A e^{i\omega t} \\ -\omega^2 \xi_5^A e^{i\omega t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{33} & B_{35} \\ B_{53} & B_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i\omega \xi_3^A e^{i\omega t} \\ i\omega \xi_5^A e^{i\omega t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{33} & C_{35} \\ C_{53} & C_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_3^A e^{i\omega t} \\ \xi_5^A e^{i\omega t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_3 e^{i\omega t} \\ F_5 e^{i\omega t} \end{bmatrix}$$

양변을  $e^{i\omega t}$  로 나누고, 정리하면 다음과 같다.

$$-\omega^2 \begin{bmatrix} m + A_{33} & A_{35} \\ A_{53} & A_{55} + I_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_3^A \\ \xi_5^A \end{bmatrix} + i\omega \begin{bmatrix} B_{33} & B_{35} \\ B_{53} & B_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_3^A \\ \xi_5^A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{33} & C_{35} \\ C_{53} & C_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_3^A \\ \xi_5^A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_3 \\ F_5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -\omega^2(m + A_{33}) & -\omega^2 A_{35} \\ -\omega^2 A_{53} & -\omega^2(A_{55} + I_{yy}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_3^A \\ \xi_5^A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} i\omega B_{33} & i\omega B_{35} \\ i\omega B_{53} & i\omega B_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_3^A \\ \xi_5^A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{33} & C_{35} \\ C_{53} & C_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_3^A \\ \xi_5^A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_3 \\ F_5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -\omega^2(m + A_{33}) + i\omega B_{33} + C_{33} & -\omega^2 A_{35} + i\omega B_{35} + C_{35} \\ -\omega^2 A_{53} + i\omega B_{53} + C_{53} & -\omega^2(A_{55} + I_{yy}) + i\omega B_{55} + C_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_3^A \\ \xi_5^A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_3 \\ F_5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} P & Q \\ R & S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_3^A \\ \xi_5^A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_3 \\ F_5 \end{bmatrix}$$

$$P = -\omega^2(m + A_{33}) + i\omega B_{33} + C_{33}$$

$$Q = -\omega^2 A_{35} + i\omega B_{35} + C_{35}$$

$$R = -\omega^2 A_{53} + i\omega B_{53} + C_{53}$$

$$S = -\omega^2(A_{55} + I_{yy}) + i\omega B_{55} + C_{55}$$

$$\xi_3^A = \frac{F_5 Q - F_3 S}{QR - PS}$$

$$\xi_5^A = \frac{F_3 R - F_5 P}{QR - PS}$$

$$\dot{\xi}_3^A = i\omega \frac{F_5 Q - F_3 S}{QR - PS}$$

$$\dot{\xi}_5^A = i\omega \frac{F_3 R - F_5 P}{QR - PS}$$

$$\ddot{\xi}_3^A = -\omega^2 \frac{F_5 Q - F_3 S}{QR - PS} = 3.8911 - 0.9285 i$$

$$\ddot{\xi}_5^A = -\omega^2 \frac{F_3 R - F_5 P}{QR - PS} = -8.0669 + 633.12 i$$

$$\left| \ddot{\xi}_3^A \right| = 4 \text{ m / s}^2$$

$$\left| \ddot{\xi}_5^A \right| = 633 \text{ m}^2 / \text{s}^2$$

## 10. Rule Scantling

1) 중앙단면에 작용하는 Total Bending Moment를 구하시오.

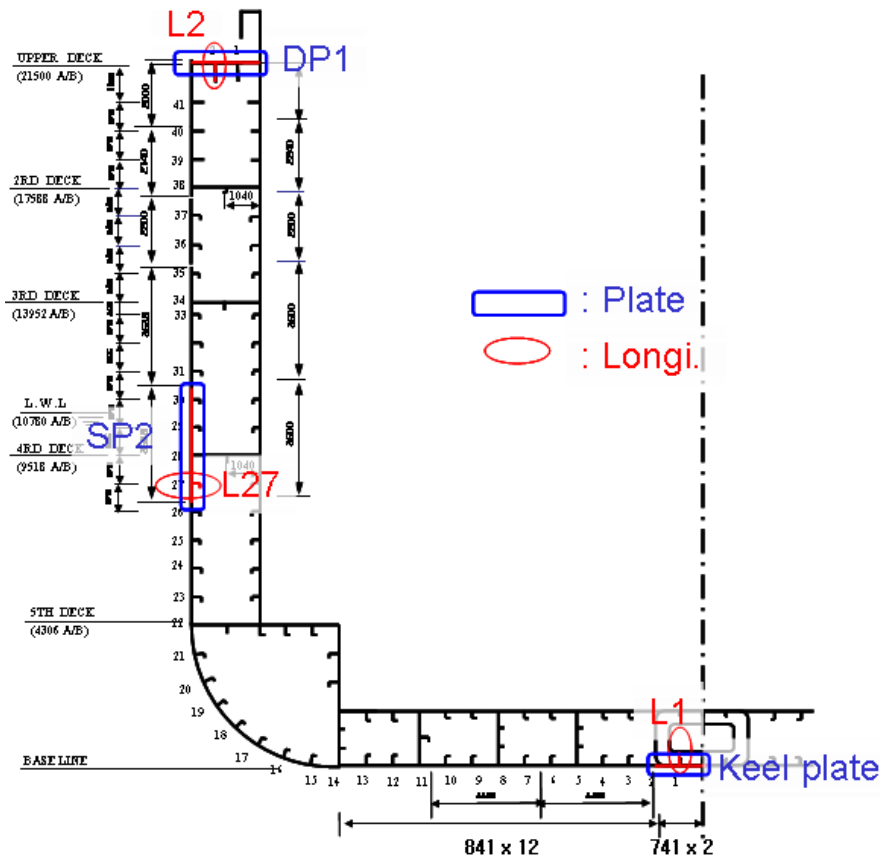
Total Bending Moment = SWBM + VWBM

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)  $\sigma_{act} < \sigma_l$  ( $\sigma_l$ : 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 ( $cm^2$ )	1차 Moment [ $cm^3$ ]	2차 Moment [ $cm^4$ ]
Total (단, 2번 문제의 부재들은 제외)	19,331	18,976,694	32,534,474,040

[10. Rule Scantling 해답]

1)

가) SWBM: Specification상의 설계선의 SWBM & Rule의 Minimum SWBM값 고려

Specification's Allowable SWBM : Hogging + 310,000 T·M = 3,041,100 kN·m

Sagging -25,000 T·M = -245,250 kN·m

Rule's Minimum SWBM:

$$M_{SO} = C_{WU} L^2 B (0.1225 - 0.015 C_B) \text{ kNm in Hogging}$$

$$= -0.065 C_{WU} L^2 B (C_B + 0.7) \text{ kNm in Sagging}$$

( $C_{WU} = C_W$  for unrestrict ed service )

$L$	$C_W$
$L \leq 100$	$0.0792 \cdot L$
$100 < L < 300$	$10.75 - [(300 - L)/100]^{3/2}$
$300 \leq L \leq 350$	10.75
$L > 350$	$10.75 - [(L - 350)/150]^{3/2}$

여기서 Wave Coefficient,  $C_W$  는 선박의 길이에 따라 정해지는 parameter이다.

구조 설계 시, 선박의 길이  $L$ 은 Rule Length로써,  $0.97 \cdot LWL$ 이다. 설계선의 경우,  $L=272.57 \text{ m}$  이다.

따라서, Wave Coefficient,  $C_W$  는  $100 < L < 300$  의 범위이며,

$$C_W = 10.75 - [(300 - L)/100]^{3/2}$$

$$= 10.75 - [(300 - 272.57)/100]^{3/2}$$

$$= 10.61$$

$$M_{SO} = C_{WU} L^2 B (0.1225 - 0.015 C_B)$$

$$= 10.61 \cdot 272.57^2 \cdot 32.26 \cdot (0.1225 - 0.015 \cdot 0.6772)$$

$$= 2,846,822 \text{ kN} \cdot \text{m in Hogging}$$

$$M_{SO} = -0.065 C_{WU} L^2 B (C_B + 0.7)$$

$$= -0.065 \cdot 10.61 \cdot 272.57^2 \cdot 32.26 \cdot (0.6772 + 0.7)$$

$$= -2,286,799 \text{ kNm in Sagging}$$

따라서, 구조 설계 시, Design SWBM: Hogging 3,041,100 kN·m

Sagging -2,286,799 kN·m



나) VWBM

$$\begin{aligned}M_{wo} &= 0.19 \alpha C_w L^2 B C_B \quad kN \cdot m \text{ in Hogging} \\ &= -0.11 \alpha C_w L^2 B (C_B + 0.7) \quad kN \cdot m \text{ in Sagging}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{wo} &= 0.19 \alpha C_w L^2 B C_B \\ &= 0.19 \cdot 1.0 \cdot 10.61 \cdot 272.57^2 \cdot 32.26 \cdot 0.6772 \\ &= 3,309,946 \quad kN \cdot m \text{ in Hogging}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{wo} &= -0.11 \alpha C_w L^2 B (C_B + 0.7) \\ &= -0.11 \cdot 1.0 \cdot 10.61 \cdot 272.57^2 \cdot 32.26 \cdot (0.6772 + 0.7) \\ &= -3,869,969 \quad kN \cdot m \text{ in Sagging}\end{aligned}$$

따라서, 구조설계 시, Design VWBM: Hogging 3,309,946  $kN \cdot m$   
Sagging -3,869,969  $kN \cdot m$

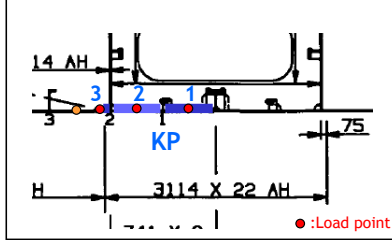
다) Total Moment

$$\begin{aligned}\text{Total Moment} &= \text{SWBM} + \text{VWBM} = 3,041,100 + 3,309,946 = 6,351,046 \quad kN \cdot m \text{ in Hogging} \\ &= -2,286,799 + -3,869,969 = 6,156,768 \quad kN \cdot m \text{ in Sagging}\end{aligned}$$

따라서, Design Total moment = 6,351,046  $kN \cdot m$  이다.

2)

가) Keel Plate (KP)



✓ Keel plate는 3개의 Unit strip으로 구성

✓ Unit strip의 Load point:  
1, 2, : Midpoint  
3: Midpoint와 가장 가까운 지점

✓ 3개의 Unit strip에 대해 각각 Plate 두께를 계산하고, 가장 큰 값을 Keel plate의 두께로 사용한다.

✓ KP의 Material은 기준선과 동일한 NV-32를 사용한다. ( $f_1=1.28$ )

✓ Design Load

DnV Rules, Jan. 2004, Pt. 3 Ch. 1 Sec. 6 Table B1

Structure	Load Type	$p$ ( $kN / m^2$ )
Outer bottom	Sea pressure	$p_1 = 10T + p_{\phi}$

: Keel plate의 경우 Sea pressure만이 Design Load로 작용함

① Keel Plate의 Unit strip 1에 대한 Design Load, P

p1	pdp	ks	2	0.2L-0.7L form A.P. ks=2
		Cw	10.606	$100 < L < 300, 10.75 - [(300-L)/100]^{(3/2)}$
		kf	f	6.7
			6.7	
			28.163	$p_1 = (k, C_w + k_f)(0.8 + 0.15 V / \sqrt{L})$
	y	8.05	중심선으로부터 하중지점까지의 수평거리, 최소 B/4(m)=8.05	
	z	0	선저(Baseline)으로부터 하중지점까지의 수직거리, 최대 T(m)	
		23.355	$p_{\phi} = p_1 + 135 \frac{y}{B+75} - 1.2(T-z)$ ( $kN / m^2$ )	
		<b>133.165</b>	$p_1 = 10T + p_{\phi}$	

Unit strip2, Unit strip3 도 동일한 Flow로 구함

Unit strip2 :  $p_1 = 133.165(kN/m^2)$

Unit strip3 :  $p_1 = 133.165(kN/m^2)$

②

✓ Required Thickness  $t_1 = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$  (mm)

✓ Allowable stress for Bottom Plate  $\sigma = 120 f_1$

Keel Plate의 Unit strip 1에 대한 Required Thickness

t <sub>1</sub>	p	133.165	Maximum Design Load
	ka	1.0	$k_a = (1.1 - 0.25 s / l)^2 s / l = 0.4$ 이하 ka는 최대 1.0
	s	0.741	stiffener spacing in m
	f1	1.28	Material factor = 1.28 for NV-32
	σ	153.6	$\sigma = 120 f_1$
	tk	1	Corrosion addition
		<b>11.9</b>	$t_1 = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k$ (mm)

Unit strip2, Unit strip3 도 동일한 Flow로 구함

Unit strip2 :  $t_1 = 11.9$  (mm)

Unit strip3 :  $t_1 = 13.9$ (mm)

③

✓ Minimum Thickness  $t_2 = 7.0 + \frac{0.05 L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$  (mm)

t <sub>2</sub>	L1	272.57	Min (L, 300) (m)
	f1	1.28	Material factor = 1.28 for NV-32
	tk	1	Corrosion addition
		<b>20.55</b>	$t_2 = 7.0 + \frac{0.05 L_1}{\sqrt{f_1}} + t_k$ (mm)

Unit strip 1,2,3에 모두 적용됨

cf) Minimum Breadth  $b = 800 + 5L$  (mm)

b	Rule	2162	
	Arr.	3154	배치 상의 Keel plate 폭 → Rule을 만족함

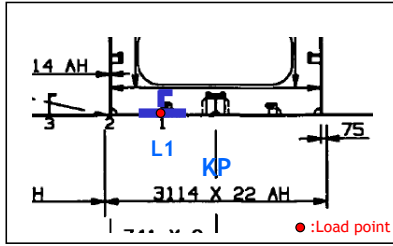
④

	$t = \max(t_1, t_2)$ [mm]
Unit strip 1	20.55
Unit strip 2	20.55
Unit Strip 3	20.55

⑤ Unit strip의 두께 중 가장 큰 값을 Keel plate의 두께로 정함

$$t = 20.55 \approx 20.5 \text{ [mm]}$$

나) Longitudinals at Keel plate



✓ Load point: Midpoint

✓ L1의 Material은 기준선과 동일한 NV-32를 사용한다. ( $f_1=1.28$ )

✓ Design Load

DnV Rules, Jan. 2004, Pt.3 Ch.1 Sec.6 Table B1

Structure	Load Type	$p$ ( $kN / m^2$ )
Outer bottom	Sea pressure	$p_1 = 10T + p_{\phi}$

: Keel plate의 경우 Sea pressure만이 Design Load로 작용함

①

L1 에 대한 Design Load P

P1	pdp	ks	2	0.2L-0.7L form A.P. ks=2	
		Cw	10.606	$100 < L < 300, 10.75 - [(300-L)/100]^{(3/2)}$	
		kf	f	6.7	f=waterline에서 선박 측면 상단의 수직거리 (최대 0.8*Cw)
				6.7	
			28.163	$p_1 = (k_s C_w + k_f) \times 0.8 + 0.15 V / \sqrt{L}$	
		y	8.05	중심선으로부터 하중지점까지의 수평거리, 최소 B/4(m)=8.05	
		z	0	선저(Baseline)으로 부터 하중지점까지의 수직거리, 최대 T(m)	
	25.365	$p_{\phi} = p_1 + 135 \frac{y}{B+75} - 1.2(T-z)$ ( $kN / m^2$ )			
		<b>133.164</b>	$p_1 = 10T + p_{\phi}$		

②

✓ Required Section Modulus      ✓ Allowable stress

$$Z = \frac{83 l^2 spw_k}{\sigma} \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\sigma = 225 f_1 - 130 f_{2b} - 0.7 \sigma_{db}$$

Z	le	2.96	Web frame 간격(3.16m) - 0.2 m(braket)	
	s	0.741	stiffener spacing in m	
	p	133.164	Maximum Design Load	
	wk	tkw	1.0	Corrosion addition
		tkf	1.0	Corrosion addition
		1.15	$l + 0.05(t_{kw} + t_{kf})$ for flanged section	
	$\sigma$	f1	1.28	Material factor = 1.28 for NV-32
		f2b	1.13	
		odb	25.6	20f1 in general
		141.1	$\sigma = 225 f_1 - 130 f_{2b} - 0.7 \sigma_{db}$	
		<b>584.84</b>	$Z = \frac{83 l^2 spw_k}{\sigma} \text{ (cm}^3\text{)}$	

③

✓ Minimum Thickness of Web and Flange

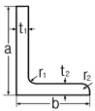
$$t_1 = 5.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k \text{ (mm)}, \quad t_2 = \frac{h}{g} + t_k \text{ (mm)}$$

t1	k	5.45	0.02 L1
	f1	1.28	Material factor = 1.28 for NV-32
	tk	1.0	Corrosion addition
		<b>11.32</b>	$t_1 = 5.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k \text{ (mm)}$
t2	H	300	Profile height in m
	G	70	70 for flanged profile webs
	Tk	1.0	Corrosion addition
		<b>5.79</b>	$t_2 = \frac{h}{g} + t_k \text{ (mm)}$

$$t = \max(t_1, t_2) = t_1$$

④ Required section modulus를 만족하는 Longi.를 Table 에서 찾아 Longi.의 치수 선정

“조선설계편람”, 제 4판 (일본어), 일본관서조선협회, 1996  
이규열, “창의적 선박설계”, 선체 구조설계, p22-25



a	b	t1	t2	r1	r2	A	I	Z
mm								
						cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>
300	90	<b>13</b>	<b>17</b>	19	9.5	52.67	17,600	<b>743</b>

다) Deck plate

②

✓ Required Thickness

$$t = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k \text{ (mm)}$$

✓ Allowable stress for Deck Plate

$\sigma = 120 f_1$  at N.A.  
 $\sigma$  shall be reduced linearly.

**DP1의 Unit strip 3에 대한 Required Thickness**

<b>t<sub>1</sub></b>	p	0.739	Maximum Design Load
	ka	1.0	$k_s = (1.1 - 0.25s/l)^2$ , s/l= 0.4 이하 ka는 최대 1.0
	s	0.765	= (0.69 + 0.84)/2, stiffener spacing in m
	f1	1.28	Material factor = 1.28 for NV-32
	sigma	153.6	120f1
	tk	1	Corrosion addition
	<b>1.756</b>		$t_1 = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k \text{ (mm)}$

Unit strip1, 2도 동일한 Flow로 구함  
 Unit strip1 : t<sub>1</sub> = 1.174 (mm)  
 Unit strip2 : t<sub>1</sub> = - (mm)

③

✓ Minimum Thickness

$$t = t_0 + \frac{kL_1}{\sqrt{f_1}} + t_k \text{ (mm)}$$

<b>t<sub>2</sub></b>	t0	5.5	5.5 for unsheathed weather and cargo deck
	k	0.02	0.02 in vessels with single continuous deck
	L1	272.57	Min (L, 300) (m)
	f1	1.28	Material factor = 1.28 for NV-32
	tk	1	Corrosion addition
<b>16.137</b>		$t = t_0 + \frac{kL_1}{\sqrt{f_1}} + t_k \text{ (mm)}$	

Unit strip 1,2에 모두 적용됨

cf) Minimum Breadth

$$b = 800 + 5L \text{ (mm)}$$

<b>b</b>	Rule	2025.566	
	Arr.	3154	배치 상의 Keel plate 쪽 → Rule을 만족함

④

	$t_2 = \max(t_{2-1}, t_{2-2}) \text{ [mm]}$
Unit strip 1	16.137
Unit strip 2	16.137
Unit strip 3	16.137

⑤ Unit strip의 두께 중 가장 큰 값을 DP1의 두께로 정함

**$t_2 = 16.137 \approx 16.0$**

0.25 단위로 반올림

②

✓ Required Thickness

$$t = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k \text{ (mm)}$$

✓ Allowable stress for Deck Plate

$\sigma = 120 f_1$  at N.A.  
 $\sigma$  shall be reduced linearly.

**DP1의 Unit strip 3에 대한 Required Thickness**

<b>t<sub>1</sub></b>	p	0.739	Maximum Design Load
	ka	1.0	$k_s = (1.1 - 0.25s/l)^2$ , s/l= 0.4 이하 ka는 최대 1.0
	s	0.765	= (0.69 + 0.84)/2, stiffener spacing in m
	f1	1.28	Material factor = 1.28 for NV-32
	sigma	153.6	120f1
	tk	1	Corrosion addition
	<b>1.756</b>		$t_1 = \frac{15.8k_a s \sqrt{p}}{\sqrt{\sigma}} + t_k \text{ (mm)}$

Unit strip1, 2도 동일한 Flow로 구함  
 Unit strip1 : t<sub>1</sub> = 1.174 (mm)  
 Unit strip2 : t<sub>1</sub> = - (mm)

③

✓ Minimum Thickness

$$t = t_0 + \frac{kL_1}{\sqrt{f_1}} + t_k \text{ (mm)}$$

<b>t<sub>2</sub></b>	t0	5.5	5.5 for unsheathed weather and cargo deck
	k	0.02	0.02 in vessels with single continuous deck
	L1	272.57	Min (L, 300) (m)
	f1	1.28	Material factor = 1.28 for NV-32
	tk	1	Corrosion addition
<b>16.137</b>		$t = t_0 + \frac{kL_1}{\sqrt{f_1}} + t_k \text{ (mm)}$	

Unit strip 1,2에 모두 적용됨

cf) Minimum Breadth

$$b = 800 + 5L \text{ (mm)}$$

<b>b</b>	Rule	2025.566	
	Arr.	3154	배치 상의 Keel plate 쪽 → Rule을 만족함

④

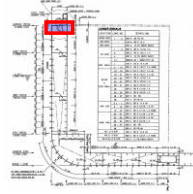
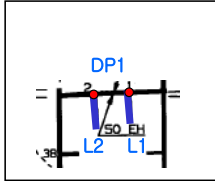
	$t_2 = \max(t_{2-1}, t_{2-2}) \text{ [mm]}$
Unit strip 1	16.137
Unit strip 2	16.137
Unit strip 3	16.137

⑤ Unit strip의 두께 중 가장 큰 값을 DP1의 두께로 정함

**$t_2 = 16.137 \approx 16.0$**

0.25 단위로 반올림

라) Longitudinals at Deck plate



● : Load point

✓ Load point: Midpoint

✓ L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>의 Material은 기준선과 동일한 NV-32를 사용한다. (f<sub>1</sub>=1.28)

DnV Rules, Jan. 2004, Pt. 3 Ch. 1 Sec. 7 Table B1

Structure	Load Type	p (kN / m <sup>2</sup> )
Weather deck	Sea pressure	$p_1 = a(p_{dp} - (4 + 0.2k_s)h_0)$

: L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>의 경우 Sea pressure만이 Design Load로 작용함

① DP1의 L<sub>2</sub>에 대한 Design Load P

p1	pdp	ks	2	0.2L-0.7L form A.P. ks=2	
		pl	Cw	10.343	100 < L < 300, 10.75 - [(300-L)/100]^(3/2)
			kf	f	6.7
				6.7	
			28.33795639	$p_1 = (k_s \cdot C_w + k_f) (0.8 + 0.15 \sqrt{V}) \sqrt{L}$	
	y	15.55	중심선으로부터 하중지점까지의 수평거리, 최소 B/4(m) = 8.05		
	z	10.78	선저(Baseline)으로부터 하중지점까지의 수직거리, 최대 T(m)		
		47.921	$p_{dp} = p_1 + 135 \frac{y}{h} - 1.2(T - z)$ (kN / m <sup>2</sup> )		
	a	0.8	FP, deckhouse front 앞쪽으로 0.15L: 1.0, 그 외 : 0.8		
	h0	6.7	Waterline at T에서 deck까지의 수직 거리		
		<b>0.462</b>	$p_1 = a(p_{dp} - (4 + 0.2k_s)h_0)$		

② Required Section Modulus    ✓ Allowable stress

$$Z = \frac{83 l^2 spw_k}{\sigma} \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\sigma = 225 f_1 - 130 f_{2d} \frac{z_n - z_a}{z_n}$$

Z	le	2.96	Web frame 간격(3.16m) - 0.2 m(braket)	
	s	0.695	= (0.550 + 0.840)/2, stiffener spacing in m	
	p	0.462	Maximum Design Load	
	wk	tkw	1	Corrosion addition
		tkf	1	Corrosion addition
		1.3		
	σ	f1	1.28	Material factor = 1.28 for NV-32
		f2d	1.19	3700TEU의 section Modulus로 구한 값임
		zn	12.472	=21.5- 9.028, neutral axis부터 deck까지의 거리
		za	0	deck부터 load point까지의 거리
	133.3			
		<b>2.27</b>	1 + 0.05 (t <sub>kw</sub> + t <sub>kf</sub> ) for flanged section	

③ Minimum Thickness of Web and Flange

$$t_1 = 5.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k \text{ (mm)}, \quad t_2 = \frac{h}{g} + t_k \text{ (mm)}$$

t1	k	4.9022	0.02 L <sub>1</sub>
	f1	1.28	Material factor = 1.28 for NV-32
	tk	3	Corrosion addition
		<b>12.33</b>	$t_1 = 5.0 + \frac{k}{\sqrt{f_1}} + t_k \text{ (mm)}$
t2_2	h	150	Profile height in m
	g	20	20 for plat bar profile
	tk	3	Corrosion addition
		<b>10.5</b>	$t_2 = \frac{h}{g} + t_k \text{ (mm)}$
$t = \max(t_1, t_2) = t_1$			

④ Required section modulus를 만족하는 Longi.를 Table 에서 찾아 Longi.의 치수 선정  
판을 포함한 소형 평강재의 단면계수

d	tw	6	9	11	12.7	14
150	A	9	13.5	16.5	19.1	21
	Z	44.7	65.2	78.3	<b>89.1</b>	97.2
	I	614	856	1000	1120	1200

3)

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

Localscantling 결과 구한 최소 부재 치수 및 1차, 2차 모멘트는 다음과 같다.

부재	면적[ $cm^2$ ]	z좌표[ $cm$ ]	1차 Moment[ $cm^3$ ]	2차 Moment[ $cm^3$ ]
Keel Plate	319.19	0	0	0
Longi. At KP	52.67	0	0	0
Deck Plate	332.8	2,150	715,520	1,538,368,000
Longi. At Deck	19.19	1,917	518,750	1,076,406,250
Side Plate	634.9	975	620,925	605,587,904
Longi. At SP	864.8	864	37,143	32,121,405

이로부터 중앙단면 전체의 면적, 1차, 2차 모멘트는 다음과 같다.

	면적 ( $cm^2$ )	1 차Moment[ $cm^3$ ]	2 차 Moment[ $cm^3$ ]
Total	21,555	20,831,889	35,786,957,599

$$N/A = 1차 모멘트 / 면적$$

$$= 20,831,889/21,555 = 966.47 (cm^2)$$

이로부터 부재에 작용하는 actual stress를 구하면 다음과 같다.

부재	$\sigma_{actual}$	$\sigma_{allowable}$	만족 여부
Keel Plate	237.9	224	X
Longi. At KP	190.7	224	O
Deck Plate	359.6	224	X
Longi. At Deck	338.8	224	X
Side Plate	33.1	175	O
Longi. At SP	2.4	175	O

Deck 와 Bottom의 부재에서 allowable stress를 만족하지 못하였으므로, 부재의 치수를 증가 시킨다.

부재	두께 [cm]	면적[ $cm^2$ ]	z좌표[cm]	1차 Moment[ $cm^3$ ]	2차 Moment[ $cm^3$ ]
Keel Plate	2.2	342.54	0	0	0
Longi. At KP		52.67	0	0	0
Deck Plate	6.0	1,248	2,150	715,520	1,538,368,000
Longi. At Deck		250	2,075	518,750	1,076,406,250
Side Plate		634.9	975	620,925	605,587,904
Longi. At SP		864.8	864	37,143	32,121,405

이로부터 중앙단면 전체의 면적, 1차, 2차 모멘트는 다음과 같다.

	면적 ( $cm^2$ )	1 차Moment[ $cm^3$ ]	2 차 Moment[ $cm^3$ ]
Total	22,723	22,855,462	40,096,688,349

$$N/A = 1차 모멘트 / 면적$$

$$= 22,855,462 / 22,723 = 1005.79 (cm^2)$$

이로부터 부재에 작용하는 actual stress를 구하면 다음과 같다.

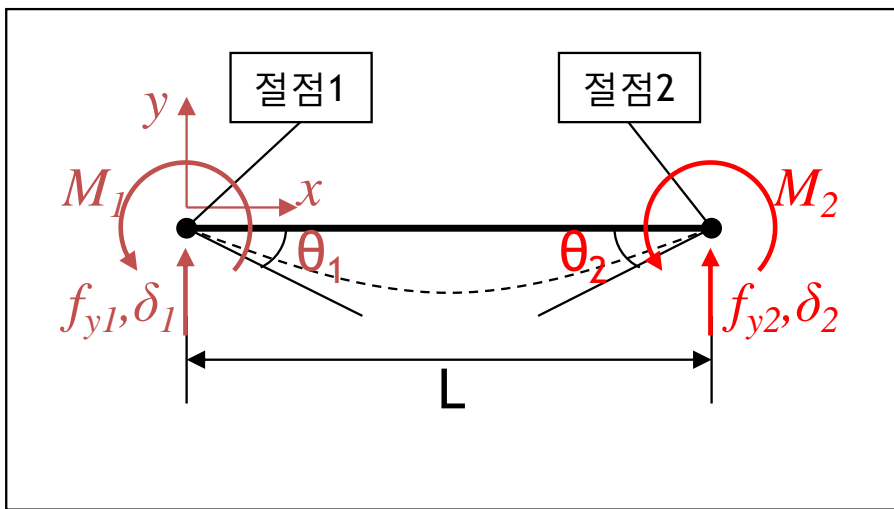
부재	$\sigma_{actual}$	$\sigma_{allowable}$	만족 여부
Keel Plate	203.5	224	O
Longi. At KP	170.1	224	O
Deck Plate	219.1	224	O
Longi. At Deck	219.1	224	O
Side Plate	11.8	175	O
Longi. At SP	33.6	175	O

## 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.)



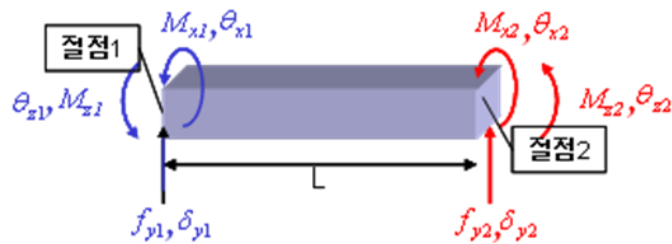


2) 문제 1)에서 절점1을 고정했을 경우의 힘과 변위의 관계식과, Torsio-회전변위의 관계식이 각각 다음과 같다.

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

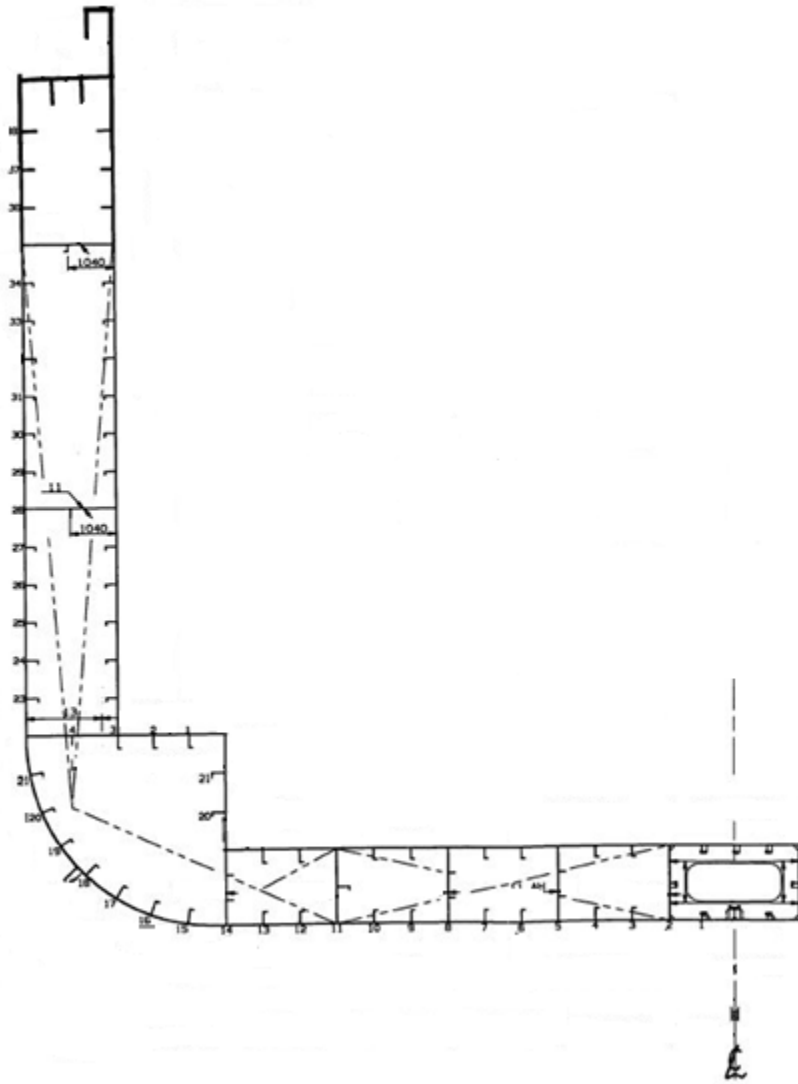
$$\begin{bmatrix} M_{x1} \\ M_{x2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{GJ}{l} & -\frac{GJ}{l} \\ -\frac{GJ}{l} & \frac{GJ}{l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{x1} \\ \theta_{x2} \end{bmatrix}$$

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



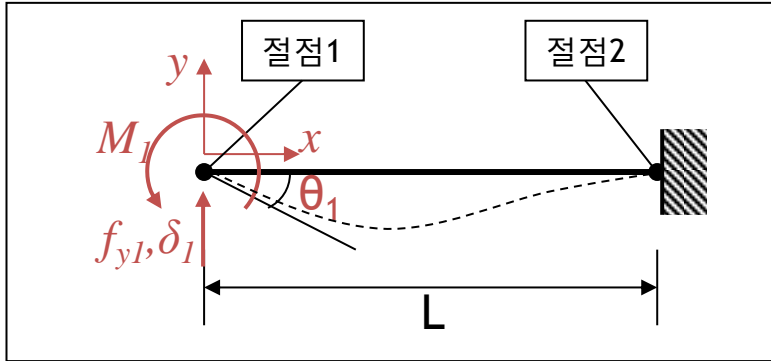
$$\begin{bmatrix} M_{x1} \\ f_{y1} \\ M_{z1} \\ M_{x2} \\ f_{y2} \\ M_{z2} \end{bmatrix} = [\text{Grillage Matrix}] \begin{bmatrix} \theta_{x1} \\ \delta_{y1} \\ \theta_{z1} \\ \theta_{x2} \\ \delta_{y2} \\ \theta_{z2} \end{bmatrix}$$

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.)



[11. Grillage 해석 답안]

1)



미분방정식 :

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M_1 + f_{y1}x$$

적분하면,

$$EI \frac{dy}{dx} = -M_1x + \frac{f_{y1}}{2}x^2 + C_1$$

$x = L$ 에서,

$$\left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=L} = \theta_2 = 0$$

$$-M_1L + \frac{f_{y1}}{2}L^2 + C_1 = 0$$

$$\therefore C_1 = M_1L - \frac{f_{y1}}{2}L^2$$

다시 적분하면,

$$EIy = -\frac{M_1}{2}x^2 + \frac{f_{y1}}{6}x^3 + C_1x + C_2$$

$x = L$ 에서,

$$y|_{x=L} = \delta_{y2} = 0$$

$$-\frac{M_1}{2}L^2 + \frac{f_{y1}}{6}L^3 + C_1L + C_2 = 0$$

$$\therefore C_2 = \frac{M_1}{2}L^2 - \frac{f_{y1}}{6}L^3 - C_1L = -\frac{M_1}{2}L^2 + \frac{f_{y1}}{3}L^3$$

처짐곡선식 :

$$EIy = -\frac{M_1}{2}x^2 + \frac{f_{y1}}{6}x^3 + C_1x + C_2$$

처짐각식 :

$$EI \frac{dy}{dx} = -M_1x + \frac{f_{y1}}{2}x^2 + C_1$$

$$C_1 = M_1L - \frac{f_{y1}}{2}L^2, \quad C_2 = -\frac{M_1}{2}L^2 + \frac{f_{y1}}{3}L^3$$

$x = 0$ 에서의  $y$ 축 방향의 수직변위

$$\delta_{y1} = y|_{x=0} = \frac{C_2}{EI} = -\frac{M_1}{2EI}L^2 + \frac{f_{y1}}{3EI}L^3$$

$x = 0$ 에서의 회전변위

$$\theta_1 = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=0} = \frac{C_1}{EI} = \frac{M_1}{EI}L - \frac{f_{y1}}{2EI}L^2$$

Matrix 형태로 표현

$$\begin{bmatrix} \delta_{y1} \\ \theta_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L^3}{3EI} & -\frac{L^2}{2EI} \\ -\frac{L^2}{2EI} & \frac{L}{EI} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{y1} \\ M_1 \end{bmatrix}$$

$$\therefore \begin{bmatrix} f_{y1} \\ M_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L^3}{3EI} & -\frac{L^2}{2EI} \\ -\frac{L^2}{2EI} & \frac{L}{EI} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \delta_{y1} \\ \theta_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{y1} \\ \theta_1 \end{bmatrix}$$

힘과 모멘트 평형식 :

$$\sum f_y = f_{y1} + f_{y2} = 0$$

$$\sum M_2 = -f_{y1}L + M_1 + M_2 = 0$$

절점2에서 힘과 모멘트 :

$$f_{y2} = -f_{y1}$$

$$M_2 = f_{y1}L - M_1$$

매트릭스 형태로 표현하면 :

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} f_{y2} \\ M_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ L & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{y1} \\ M_1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ L & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{y1} \\ \theta_1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{y1} \\ \theta_1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

절점 2를 고정시 힘과 변위의 관계 :

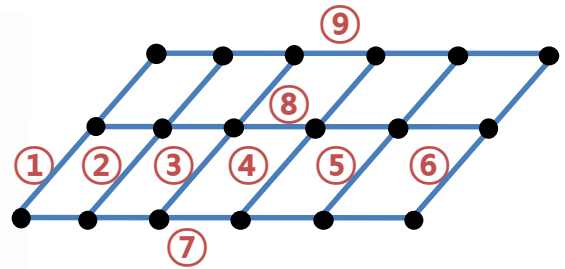
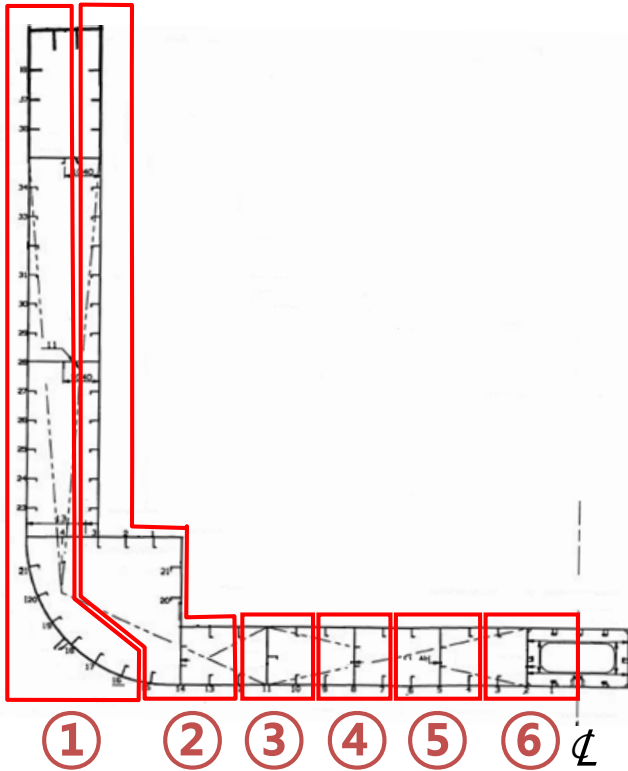
$$\begin{bmatrix} f_{y1} \\ M_1 \\ f_{y2} \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \\ -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{y1} \\ \theta_1 \end{bmatrix}$$

2)

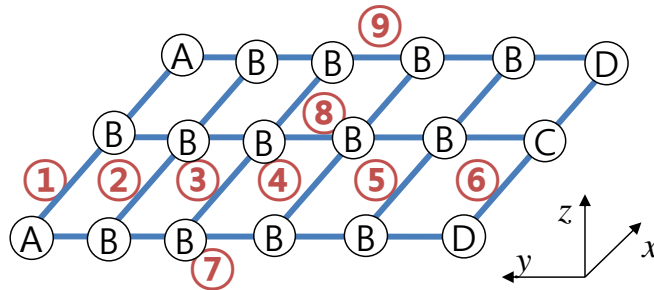
$$\begin{bmatrix} M_{x1} \\ f_{y1} \\ M_{z1} \\ M_{x2} \\ f_{y2} \\ M_{z2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{x1} \\ \delta_{y1} \\ \theta_{z1} \\ \theta_{x2} \\ \delta_{y2} \\ \theta_{z2} \end{bmatrix}$$

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 모델링하시오. (단면도에 번호를 표기하고 Grillage 모델에 번호와 부재 명칭을 표기하시오.)

3)



- ① Side Shell
- ② Side Logitudinal Bulkhead
- ③ (11575 Off C.L.) Girder
- ④ (9051 Off C.L.) Girder
- ⑤ (4005 Off C.L.) Girder
- ⑥ (1482 Off C.L.) Girder
- ⑦ Transverse Bulkhead
- ⑧ Web Frame
- ⑨ Transverse Bulkhead



전후, 좌우 대칭은 그 Node를 기준으로 변형의 양상이 대칭인가를 말하는 것임.

	Remark	$\theta_x$	$\theta_y$	$\delta_z$
Ⓐ	T.BHD와 Side Shell의 교차점	—	—	0
Ⓑ	전후방향 대칭	—	0	—
Ⓒ	전후, 좌우 방향 대칭	0	0	—
Ⓓ	좌우방향 대칭조건	0	—	—
Ⓔ	구속 조건이 없는 절점	—	—	—