

DEVELOPMENT OF TRANSVERSE STRENGTH MONITORING SYSTEM FOR LOADOUT, TOWING AND FLOATOFF OPERATION

양 영태 (Member)*, 박 병남*, 이 춘보*, 송 석부**
 * 현대중공업 해양기본설계 1부, ** TechMarine

종강도 위주의 일반 상선의 LMC 의 경우는 단지 선박을 1 차원 Beam Model 로 단순화 하여 선미로부터 선수까지의 Weight Distribution 과 Buoyancy Distribution 을 계산하여 두 값의 차이를 Shear Force 로 계산하고 Shear Force 적분값을 Bending Moment 로 계산한다. 횡강도가 중요시되는 Barge 선의 경우 Global Transverse Strength 같은 경우에는 위의 식을 적용할 수 있으나 복수의 바지선을 Hinge Type 이 아닌 Fixed Type 으로 고정시켜 사용할 경우 각각의 Connector 에 작용하는 Strength 값이 횡강도의 큰 비중을 차지한다. 일반적인 Load Master Computer 의 경우 이와 같은 계산이 불가능하며 NAPA 와 같은 전용 계산 프로그램의 경우 하나의 Condition 을 계산하는데 소요되는 시간이 많아 실질적인 Monitoring 은 불가능 하다. 이에 특수목적의 Load Master Computer(ShipManager-88) 를 제작하게 되었고 이 Program 을 이용하여 Loadout 과 Floatoff 의 Simulation 을 수행하고 Monitoring 하였다.

ShipManager-88 은 Barge 선의 종강도, 횡강도, Stability, Trim & Draft 등을 계산하며 Sequence 기능으로 실제 LOADOUT 과 FLOATOFF 시의 모의시뮬레이션을 수행해 볼 수 있으며 Online Interface 제공으로 각 Tank 에 설치된 센서에서 Level 값을 받아 실시간으로 현재 선박의 상태를 정확하게 계산할 수 있다.

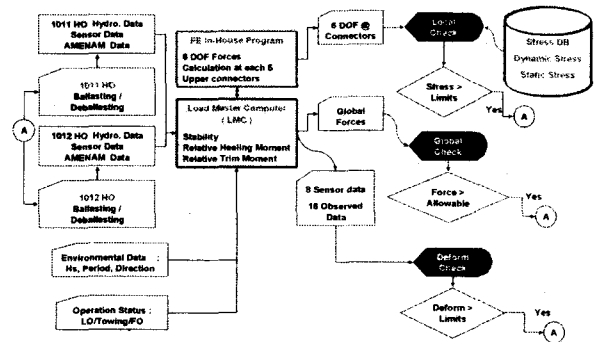
실제 LOADOUT and FLOATOFF 를 수행하면서 Check 한 부분은 종강도, 횡강도, Stability, Deform, Connector Strength, Level 등을 Check 하였고 종방향의 LOADOUT 이 불가능한 Project 를 위해 Transverse LOADOUT 을 이용할 계획이다.

1. Introduction

일반 상선의 경우에는 횡 강도가 그다지 중요하게 부각되지 않는다. 하지만 Breadth 가 큰 선박(Barge)의 경우에는 횡 강도가 치명적인 요인이 될 수 있다. 더욱이 이번 Project 는 두 부선을 일렬로 연결하여 사용함으로써 횡 강도의 중요성이 더욱 큰 비중을 차지한다. 이에 LMC 에서는 Global 한 종강도 뿐만 아니라 횡 강도 계산 방법도 추가하였다. 하지만 이와 같은 결과는 전체적인 부선의 횡 강도 만을 계산할 뿐 Connector 각각의 Strength 는 계산하지 못한다. 각각의 Connector 의 Strength 를 계산하기 위해서 Finite Element Method 의 Beam Theory 를 이용하여 Combined Barge 와 Connector 를 Beam Model 로 구성하여 이를 FE. 해석하였다.

Boundary Condition 은 Combined Barge 를 지지하고 있는 Beam 의 Buoyancy 를 계산하고 이 값을 Beam 의 Property 로 치환하여 적용하였고 각각의 Node 점에 걸리는 하중을 계산하여 임의의 Condition

에서도 즉시 결과치를 계산할 수 있도록 Program 하였다. 실제 Simulation 시에는 Online Sensor 에서 각 Tank 의 Level 을 입력 받아 계산함으로써 실제로 선박의 상태에서 Connector 에 작용하는 Strength 를 계산하여 Monitoring 할 수 있도록 하였다.



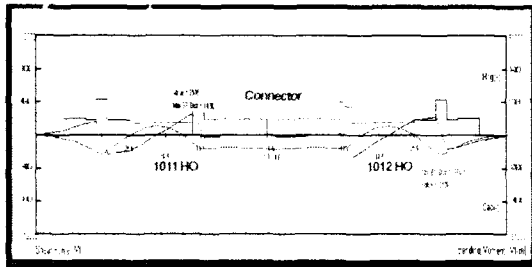
<LOCAL, GLOBAL, Deform Check 기능이 추가된 LMC Flow Chart>

2. Transverse Check

두 부선이 Connector 로 연결되어 있고, 본선이 부선의 선미 쪽에서 진입하여 선수 방향으로 선적되는 경우, 두 부선의 중 강도는 본선이 부선으로 진입하는 시점부터 발생하는 Moment 와 Shear 를 충분하게 견딜 수 있다. 그러나, 횡 방향의 경우 두 부선 사이의 connector 로 연결되는 구간에서는 횡 강도는 급격하게 줄어들게 된다. LMC 에서 횡 강도를 계산할 수 있도록 수정 하였으며 횡 강도 계산을 검증하기 위하여 다음의 3 가지 각기 다른 방법을 사용하였다.

a. Global Transverse Strength

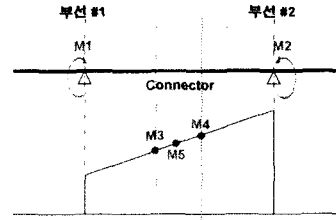
방법은 종강도 계산 방법과 동일하나, 방향을 90 도 회전시킨 Hydro Model 을 LMC 안에서 구성하였다. 중 강도를 구하기 위한 Model 의 양 끝단이 선수, 선미인 것에 반해, 횡 Model 은 양 끝단이 각 부선의 PORT 쪽 Side Shell Edge 와 Starboard Side Shell Edge 를 표현한다. 이 Model 을 이용하여 Connector 구간에 작용하는 Transverse 방향으로의 Shear Force 와 Bending Moment 를 계산한다.



<Combined Barge 횡 강도 곡선>

b. Relative Heeling Moment

각각의 부선에 대한 Hydro Model 을 구성하여 LMC 에 도입하였다. 각각의 부선에 대한 Hydro Model 은 부선과 Casing 및 반쪽의 본선으로 구성되어 있어, 각 부선에 대한 Heeling Moment 를 계산토록 하였다. 각각의 Barge 선의 Heeling Moment 를 계산하여 Combined Barge 의 Transverse Moment 를 계산하였다. 계산된 결과는 간단한 수 계산으로 검증되었다.



<Single Barge 의 Moment 선도>

M1 : No.1 부선 Heeling Moment

M2 : No.2 부선 Heeling Moment

M3 : Connector Bending Moment

M4 : Connector Bending Moment

M5 : Connector Bending Moment at Center

c. Local Strength

Local Check 를 위하여 각각의 부선과 5 개의 체 Connector 를 표현하는 3 차원 Frame Model 을 LMC 에 도입하였으며, Connector 를 표현하는 각 Beam Element 의 Moment 의 합을 계산하였다.

위의 a. b. & c. 3 가지 계산 방법에 의해 계산된 값 모두 동일하게 Global Transverse Strength 값을 나타내고 있다. 실제 Loadout Condition 과 Floatoff Condition 을 적용하여 위 계산결과를 비교하였으며 이들 모두의 계산결과가 동일 Condition 에서 같은 값을 가진다는 결론을 얻었다.

TRANSVERSE SHEAR FORCE & BENDING MOMENT									
NO.	ELEM	SHEAR		BENDING		SHEAR MOMENT			
		MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
01	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
02	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
07	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
08	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
09	9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
41	41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
42	42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
43	43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
44	44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
46	46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
47	47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
48	48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
49	49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

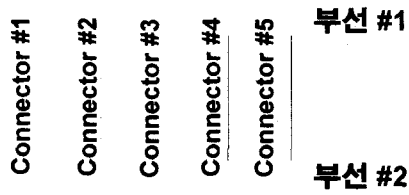
<Combined Barge 횡 강도>

3. Local Check

상선에 적용되는 1 차원적인 Beam Theory 의 계산방법은 Combined Barge 의 Connector 에 작용하는 Strength 값을 계산하기 위해 적용될 수 없다. 왜냐하면 Connector 는 횡 방향으로 일부만 존재하므로 이를 1 차원적인 Beam 으로 치환할 경우에는 계산이 불가능하다. 그러므로 이 계산을 수행하기 위해서는 선박을 2 차원 평면으로 가정하고 Weight/Buoyancy Distribution 을 구해야 한다.

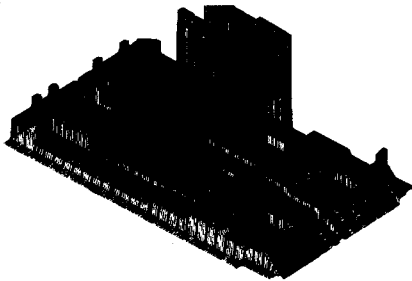
Connector 의 Local Strength 를 계산하기 위해 3 차원 Beam Model 을 적용하여 Combined Barge 를 단순화

하였다.

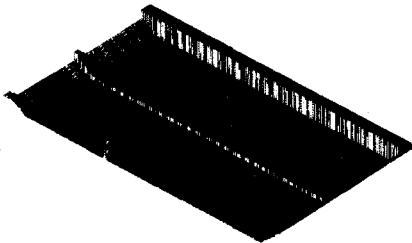


<Beam Model Plan View for Local Analys>

Boundary Condition 과 Loading 을 적용하기 위해서 선박을 종방향과 횡방향으로 2 차원 Grid 구조로 나누어서 각각의 Cell 에 해당하는 Weight 와 Buoyancy 를 계산하고 이를 해당하는 Node 점에 적용하였다.

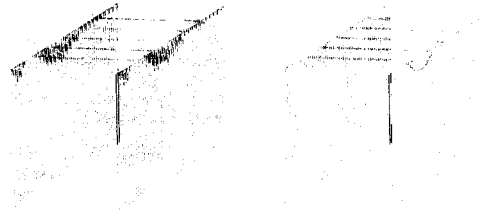


<2 차원 Combined Barge Weight Distribution>



<2 차원 Combined Barge Buoyancy Distribution>

5 개 Connector 각각에 대해서 6 자유도에 해당하는 6 개의 Force 를 구할 수 있었으며, 아래의 그림은 관심 사항인 Moment 와 Shear Force 결과를 나타내고 있다.



<Shear Force>

<Bending Moment>

Local Check 시 부력, DWT 의 분포에 의해서 발생하는 Static Load 와 Wave 의 영향으로 발생하는 Dynamic Load 를 고려 하였다. Static Load 의 경우 위의 Beam Model 에서 구한 Beam Reaction Force 를 사용하였으며, Dynamic Load 의 경우 Wave Response Analysis 의 결과 값을 사용하였다.

1. Component Stress by Static Load: 단위 하중에 대하여 Maximum Stress 가 나오는 Element 를 Control Element 로 설정 후, Control Element 의 단위 하중에 대한 각 Member 의 X, Y, Z, XY, XZ, YZ Component 별로 Stress 를 구하였다. 구한 Stress 를 Load Master Program 에 Mild Member 와 High Tensile Member 를 구분하여 저장함

2. Component Stress by Dynamic Load : 선적, 운송 및 진수의 각 과정마다의 환경조건에서 구한 Wave induced load 를 Global Model 에 적용하여 나온 Component Stress 를 Mild Steel, High Tensile Steel 별로 구분하여 Load Master Program 에 저장함 .

3. LMC 내의 Local Model 에서 나온 각 Beam member 의 6 가지 Force 에 대해 1에서 구한 Stress 에 Linear EQ.을 적용하여 각 Connector 의 Control Element 에 대한 Component Stress 를 구하였다. Operation Condition 에 따라서 Global Model에서 구한 Stress 를 connector 를 구분하여 Summation 함.

4. Beam Model 에서 구한 Reaction 을 단위하중 대한 Global Model 에서의 Stress 와 Match 시켜 Static Load 에 대한 Stress 를 구한 후 Response Analysis 수행 후 구한 Dynamic Load 를 Global F.E. Model 에 적용하여 구한 Stress 와 조합하였다.

5. 4에서 구한 Stress 를 아래의 조건에서 판단하였다.

- Normal Stress (0.78F_y)
- Shear Stress (0.52F_y)
- Vonmises (0.9F_y)

ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
CONNECTOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

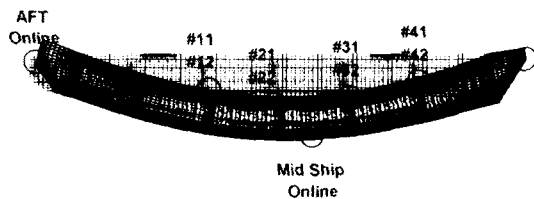
<Local Check Result>

4. Deform Check

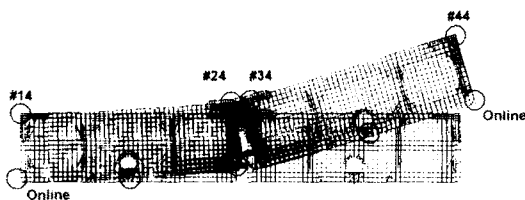
Ballast Control 및 Skid Reaction control Error가 발생시 두 부선은 서로 다른 거동을 보이게 된다. 서로 다른 거동은 두 부선 사이에 위치한 Fixed Type Connector에 심각한 영향을 초래할 수 있다는 점을 감안하여 각각의 선박의 PORT 쪽과 STBD 쪽에 4개씩 총 16개의 Target과 Theodolite를 설치하여 두 부선의 상대적 종 방향 Deform과 Connector가 위치한 Section에 대한 상대적 횡 방향 Deform을 관측하였다. 관측한 값들은 수시로 아래의 입력창을 통하여 입력 및 저장이 되었다. 입력된 저장 값들은 종 방향 및 횡 방향에 대한 Deform으로 나타나며, 수시로 지난 시간을 조회할 수 있도록 하였다.

CHECK POINT	PORT				STBD			
	L1	L2	L3	L4	L1	L2	L3	L4
T1	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	0	0	0	0	0	0	0
T3	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	0	0	0	0	0	0	0	0

<관측 값 입력 창>



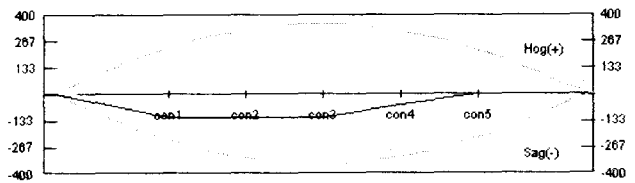
<부선 종 방향 Target Points>



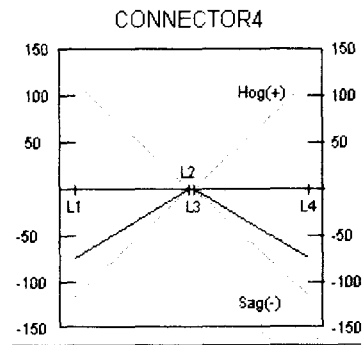
<부선 횡 방향 Target Points>

입력된 Data는 각각 종 방향과 횡 방향으로 분석하였으며 종 방향의 경우 AFT On line Data와 FWD On line Data에서의 두 점을 직선으로 연결하여 이 직선을 기준으로 상대적인 Deflection을 관측하였고 Allowable Hull Deflection은 Design Hull Girder Bending Moment를 이용하여 계산되었다. 계산된 부선의 최대 허용 Deform 값은 Midship에서 356mm이다.

횡 방향의 경우에는 Connector가 위치한 부선 횡 단면에서의 Point #24와 Point #34를 직선으로 연결하여 기준선을 잡고 같은 방법으로 관측하였으며 Allowable Hull Deflection은 FEM deformation analysis의 결과를 이용하였고 최대 허용 Deform 값은 Hog, Sag 모두 115mm를 적용하였다.



<종 방향 Deform & Allowable>



<횡 방향 Deform & Allowable>

5. Level Check

시간차이를 두고 상대적으로 Step 간의 측정된 Level 값을 비교할 수 있도록 하였다. 선수 부분과 선미부분, 그리고 각각의 종 방향 level을 비교하여 Graph와 Table로 표시하였으며 1분단위로 사용자가 저장할 수 있도록 하여 추후에도 분 단위의 level을 서로 비교할 수 있도록 하였다. Level Check를 함으로써 두 부선의 거동을 직관적으로 파악할 수 있도록 하여 부선 Ballast Control시 참고 정보로 이용하였다.

