



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

선박특성을 고려한 컨테이너 시큐어링  
시스템 개선에 관한 연구

**A Study on the Improvement of Container Securing System  
considered Container Ship's Characteristics**



지도교수 이 은 방

2017년 2월

한국해양대학교 대학원

해양경찰학과

김 대 호

본 논문을 김대호의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 공학박사 박진수 (인)

위원 공학박사 국승기 (인)

위원 공학박사 이은방 (인)

2017년 2월

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	v
Abstract .....	vii
<b>1. 서론 .....</b>	<b>1</b>
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 내용 및 방법 .....	3
1.3 연구의 기대 효과 .....	6
<b>2. 컨테이너 시큐어링 시스템 .....</b>	<b>7</b>
2.1 컨테이너와 고박장치 .....	7
2.1.1 컨테이너 개요 .....	7
2.1.2 컨테이너 고박장치 .....	8
2.1.3 컨테이너와 고박장치에 작용하는 하중 .....	11
2.2 Lashing Bridge 시스템 .....	15
2.2.1 Lashing Bridge의 필요성 및 역할 .....	15
2.2.2 Lashing Pattern .....	15
2.3 컨테이너 고박강도계산 .....	19
2.3.1 고박강도계산 방법 .....	19
2.3.2 고박강도계산 이론 .....	19
2.3.3 고박강도계산 프로그램 활용 .....	26
<b>3. 컨테이너 시큐어링 시스템에 미치는 선박특성 및 연구 방법 .....</b>	<b>27</b>
3.1 선박특성 설정 .....	27
3.2 영향 평가 방법 .....	28
3.3 적용 조건 및 고려사항 .....	28
3.3.1 비교 대상 선박 제원 .....	29
3.3.2 적용 컨테이너 및 Lashing force 허용하중 .....	30
3.3.3 선박특성 적용 조건 .....	31

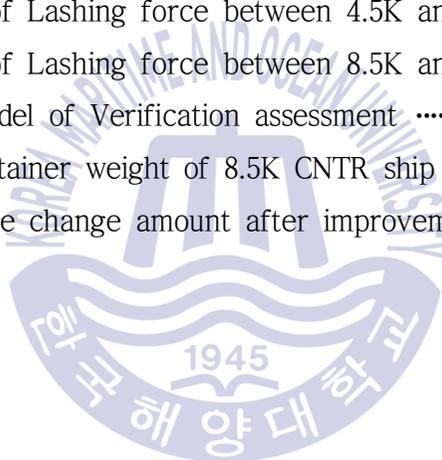
<b>4. 컨테이너 선박특성 별 시큐어링 시스템 영향 분석 .....</b>	<b>36</b>
4.1 GM이 고박하중에 미치는 영향 분석 .....	36
4.1.1 선박 별 GM 구간 설정 .....	36
4.1.2 GM을 변수로 한 고박하중 계산 및 상관관계 분석 .....	37
4.2 컨테이너 적재 위치가 고박하중에 미치는 영향 분석 .....	48
4.2.1 컨테이너 적재 위치 설정 .....	48
4.2.2 적재 위치를 변수로 한 고박하중 계산 및 상관관계 분석 ..	49
4.3 선박의 흘수가 고박하중에 미치는 영향 분석 .....	54
4.3.1 선박 별 흘수 구간 설정 .....	54
4.3.2 흘수를 변수로 한 고박하중 계산 및 상관관계 분석 .....	54
4.4 선박크기별 특성이 고박하중에 미치는 영향 분석 .....	60
4.4.1 선박 크기 별 비교대상 및 통제요인 설정 .....	60
4.4.2 선박크기별 특성을 변수로 한 고박하중 계산 및 상관관계 분석 ..	60
<b>5. 선박특성을 고려한 컨테이너 시큐어링 개선 방안 .....</b>	<b>68</b>
5.1 GM의 적정 수준 운용 .....	68
5.2 선수, 선미 Bay에 중량화물 선적 제한 .....	69
5.3 흘수를 감안한 Stowage 운용 .....	69
5.4 선박 크기 별 Stowage 운용 개선방안 .....	69
5.5 개선 방안의 검증 평가 .....	70
<b>6. 결 론 .....</b>	<b>76</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>79</b>
<b>부 록 .....</b>	<b>81</b>
<b>감사의 글 .....</b>	<b>121</b>

## List of Tables

<b>Table 1</b> ISO Container's Size and Weight .....	8
<b>Table 2</b> Allowable force on ISO container .....	11
<b>Table 3</b> Dynamic motion combination factor .....	24
<b>Table 4</b> Ship motions .....	24
<b>Table 5</b> Dynamic coefficient at the location of x-direction .....	25
<b>Table 6</b> Specific sea route reduction ractor .....	25
<b>Table 7</b> Parameter setting for a Study .....	28
<b>Table 8</b> Ship's Particular (4.5K, 8.5K, 13.1K) .....	29
<b>Table 9</b> Container Properties .....	30
<b>Table 10</b> Lashing Rod & Twist Lock Properties .....	30
<b>Table 11</b> Allowance of Lashing force(KN) .....	31
<b>Table 12</b> Allowance of Lashing force(KT) .....	31
<b>Table 13</b> GM & Draft of 4.5K Container ship at PUS (recent 6month) ...	32
<b>Table 14</b> GM & Draft of 8.5K Container ship at PUS (recent 6month) ...	33
<b>Table 15</b> GM & Draft of 13.1K Container ship at PUS (recent 6month) ·	34
<b>Table 16</b> VCG of 4.5K, 8.5K, 13.1K Container ship's middle Bay .....	35
<b>Table 17</b> Deck Stacking weight allowance of 4.5K, 8.5K, 13.1K CNTR ship ..	35
<b>Table 18</b> Section & Interval of Container ship's GM .....	36
<b>Table 19</b> Loading Container weight of 4.5K Container ship .....	37
<b>Table 20</b> Loading Container weight of 8.5K Container ship .....	40
<b>Table 21</b> Loading Container weight of 13.1K Container ship .....	43
<b>Table 22</b> Average change amount of 4.5k's Lashing force on GM .....	46
<b>Table 23</b> Average change amount of 8.5k's Lashing force on GM .....	47
<b>Table 24</b> Average change amount of 13.1k's Lashing force on GM .....	47
<b>Table 25</b> Control variable & Interval of Ship's Loading position .....	49
<b>Table 26</b> Lashing force's difference between 50Bay and 74Bay of 8.5K .....	52

## List of Tables

<b>Table 27</b>	Lashing force's difference between 36Bay and 64Bay of 4.5K	.....	53
<b>Table 28</b>	Lashing force's difference between 50Bay and 82Bay of 13.1K	....	53
<b>Table 29</b>	Section & Interval of Container Ship's Draft	.....	54
<b>Table 30</b>	Average change amount of 8.5k's Lashing force on Draft	.....	58
<b>Table 31</b>	Average change amount of 4.5k's Lashing force on Draft	.....	59
<b>Table 32</b>	Average change amount of 13.1k's Lashing force on Draft	.....	59
<b>Table 33</b>	Comparison target & Control variable on CNTR ship's size	....	60
<b>Table 34</b>	Difference of Lashing force between 4.5K and 8.5K	.....	66
<b>Table 35</b>	Difference of Lashing force between 8.5K and 13.1K	.....	67
<b>Table 36</b>	Planning model of Verification assessment	.....	70
<b>Table 37</b>	Loading Container weight of 8.5K CNTR ship for Verification	...	70
<b>Table 38</b>	Lashing force change amount after improvement plan	.....	75



# List of Figures

Fig. 1 Average ship size vs average CO <sub>2</sub> emissions .....	1
Fig. 2 Flow of Study .....	5
Fig. 3 Fixed cargo securing fittings .....	9
Fig. 4 Loose container securing fittings .....	10
Fig. 5 Allowable force on ISO container .....	12
Fig. 6 Kinds of Lashing force on Container .....	14
Fig. 7 Images of Container damage .....	14
Fig. 8 Methods of Container Lashing .....	16
Fig. 9 Lashing Pattern of 4.5K Container ship .....	17
Fig. 10 Lashing Pattern of 8.5K Container ship .....	17
Fig. 11 Lashing Pattern of 13.5K Container ship .....	18
Fig. 12 Showing the various motions effecting containers .....	20
Fig. 13 Ship's motion coordinate .....	21
Fig. 14 Lashing gear & Permission setting on Lashing force Tool .....	26
Fig. 15 End row Lashing force of 4.5K Container ship on GM .....	37
Fig. 16 End row Compress force of 4.5K Container ship on GM .....	38
Fig. 17 End row Tension force of 4.5K Container ship on GM .....	38
Fig. 18 End row Shear force of 4.5K Container ship on GM .....	39
Fig. 19 End row Racking force of 4.5K Container ship on GM .....	39
Fig. 20 End row Lashing force of 8.5K Container ship on GM .....	40
Fig. 21 End row Compress force of 8.5K Container ship on GM .....	41
Fig. 22 End row Tension force of 8.5K Container ship on GM .....	41
Fig. 23 End row Shear force of 8.5K Container ship on GM .....	42
Fig. 24 End row Racking force of 8.5K Container ship on GM .....	42
Fig. 25 End row Lashing force of 13.1K Container ship on GM .....	43
Fig. 26 End row Compress force of 13.1K Container ship on GM .....	44
Fig. 27 End row Tension force of 13.1K Container ship on GM .....	44
Fig. 28 End row Shear force of 13.1K Container ship on GM .....	45

## List of Figures

Fig. 29	End row Racking force of 13.1K Container ship on GM .....	45
Fig. 30	Container Loading Position of 8.5K Container Ship .....	48
Fig. 31	End row Lashing force of 8.5K on Loading position .....	49
Fig. 32	End row Compress force of 8.5K on Loading position .....	50
Fig. 33	End row Tension force of 8.5K on Loading position .....	50
Fig. 34	End row Shear force of 8.5K on Loading position .....	51
Fig. 35	End row Racking force of 8.5K on Loading position .....	51
Fig. 36	End row Lashing force of 8.5K on Ship's Draft .....	55
Fig. 37	End row Compress force of 8.5K on Ship's Draft .....	55
Fig. 38	End row Tension force of 8.5K on Ship's Draft .....	56
Fig. 39	End row Shear force of 8.5K on Ship's Draft .....	56
Fig. 40	End row Racking force of 8.5K on Ship's Draft .....	57
Fig. 41	End row Lashing force of 4.5K & 8.5K .....	61
Fig. 42	End row Compress force of 4.5K & 8.5K .....	61
Fig. 43	End row Tension force of 4.5K & 8.5K .....	62
Fig. 44	End row Shear force of 4.5K & 8.5K .....	62
Fig. 45	End row Racking force of 4.5K & 8.5K .....	63
Fig. 46	End row Lashing force of 8.5K & 13.1K .....	63
Fig. 47	End row Compress force of 8.5K & 13.1K .....	64
Fig. 48	End row Tension force of 8.5K & 13.1K .....	64
Fig. 49	End row Shear force of 8.5K & 13.1K .....	65
Fig. 50	End row Racking force of 8.5K & 13.1K .....	65
Fig. 51	End row Lashing force change amount after improvement plan .....	71
Fig. 52	End row Compress force change amount after improvement plan .....	72
Fig. 53	End row Tension force change amount after improvement plan .....	72
Fig. 54	End row Shear force change amount after improvement plan .....	73
Fig. 55	End row Racking force change amount after improvement plan .....	73

# A Study on the improvement of container securing system considered container ship's characteristics

Kim, Dae Ho

Department of Coast Guard Studies  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## Abstract

Global container shipping companies have continuously enlarged the ship's size to reduce fuel cost, port charge and CO<sub>2</sub> emissions to transport more cargoes at a time by a ship. Loadable space on deck has significantly increased by ship's size enlargement, but the container ship can not load containers up to designed capacity of container as shipbuilding's design plan due to the existing installed lashing system's limitation. Each Classification restricts to load containers on deck when lashing force exceeds permission load for safety lashing. It leads to business loss for Shipping company due to unable cargo spaces of the ship.

Cargo stowage planner and ship's crew must observe the regulation of lashing force's permission load required by the Classification for safety cargo transit. In case of lashing force's over, it is necessary to study the

ship's characters affecting cargo securing system to maximize loadable ship's space as well as cargo weight distribution when planning cargo loading stowage.

This paper is intended to provide improvement method after analyzing the correlation of ship's characters with lashing force. Analysis procedure of the this study is as follows.

Firstly, this study specifies parameters which are GM(metacentric height), Loading position of container, Draft except of ship's static characters and external factor. Additionally, this paper tries to makes inferences any features from data which was gotten to comparison analysis of container lashing force by ship's sizes.

Secondly, This study was carried out targeting 4.5K, 8.5K, 13.1K container ship of H shipping company having been to enter Pusan new port H terminal during the recent 6 month period(2015.09~2016.02). Pusan new port is last port of 'Trans Pacific Service' and main port of 'Asia-Europe Service' . So these conditions are suitable for this study because ship's cargo spaces were stuffed full of containers.

Thirdly, Lashing calculation tool(Certificated by KR classification) which was made by H-UNI was used for lashing force calculation by parameters. There was a correlation between parameters and lashing force through data which was obtained by lashing calculation tool.

As a result, parameters such as GM, Loading position, Ship size's characteristic change the lashing force significantly. The utilization of this

parameters can make additional loadable spaces and safe lashing status reduce lashing force.

Lastly, this paper suggested improvement method for reducing lashing force when making cargo stowage plan. And these improvement method was verified by actual used loading stowage plan.

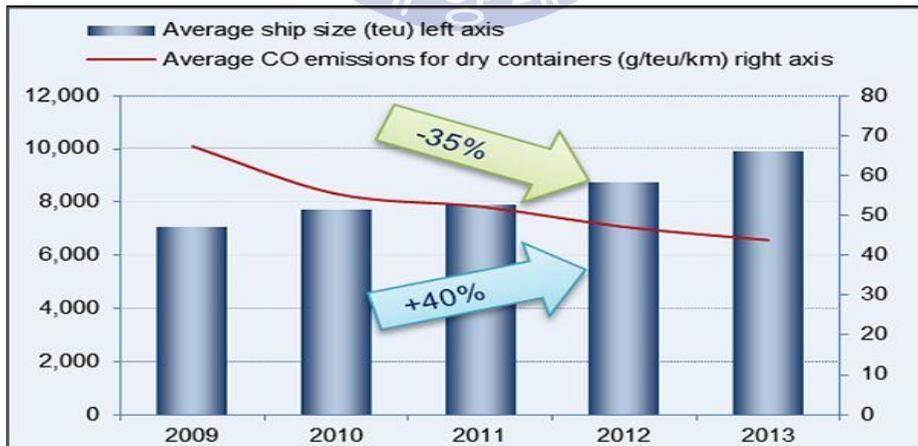
**KEY WORDS** : Lashing force 라싱력; Container securing system 컨테이너 시큐어링 시스템; Lashing bridge 라싱 브릿지; Cargo stowage 화물 적화.



# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

2009년부터 2010년까지 해운업 활황기로 선사는 큰 이익을 거두었으며, 이는 선사의 대규모 선박 발주 주문으로 이어졌다. 하지만 최근까지 세계 경기 장기 침체로 물동량의 증가폭이 크게 둔화하면서 수요와 공급이 불일치하여 해운 운임이 크게 감소하였고, 이러한 기간이 장기간 지속되면서 해운업계가 장기 불황에 시달리고 있다. 그리고 국가 간 탄소배출 규제가 크게 강화되어 선사들에게 비용 절감뿐만 아니라 환경보호를 위한 노력이 요구되어 졌다. 선사들은 그 대안으로 컨테이너선 대형화를 지속적으로 추진하고 있다. 한 번에 많은 물량을 운반하여 연료비, 항비 등을 절감하고 이산화탄소 배출량도 크게 감축시키기 위함이다. Fig. 1은 컨테이너선 대형화로 CO<sub>2</sub> 배출량이 감소하는 추이를 나타낸다.



(Source : Drewry Maritime Research and BSR)

Fig. 1 Average ship size vs Average CO<sub>2</sub> emissions

하지만 컨테이너선 대형화로 갑판상 적재 가능한 컨테이너 수는 급격하게 증가하고 있으나, 실제 운영에 있어서 기존에 설치된 컨테이너 Lashing 설비의 한계로 조선소에서 설계 당시 계획한 컨테이너 개수만큼 선적 할 수가 없는 것이 현재 상황이다. 상갑판에 컨테이너 화물을 적재할 때 안전한 고박을 위해 각 선급에서는 컨테이너와 Lashing에 작용하는 허용하중(Permission load)을 두어 선적을 제한하고 있기 때문이다. 선사 입장에서는 Space 사용 불가로 인한 영업적인 손실로 이어지고 있다.

선박운항담당자와 선박의 선원은 화물 안전을 위해, 선급에서 요구하는 Lashing force 허용치 규정을 준수하여야 한다. 이러한 규정을 준수하기 위해 Lashing calculation program을 사용하며, 허용치 이상이 될 경우 Program 상 Alarm 이 발생하도록 설계되어 있다. 이 경우, Cargo weight distribution을 통해 Lashing force 허용치를 만족시키면 되지만, 불가할 경우 화물을 Cancel 하고 Space를 비워두게 된다. 단순히 Weight planning에서 벗어나, 컨테이너 시큐어링 시스템에 영향을 주는 선박특성들을 분석하고 이를 적극 활용하여 화물 안전 증대 및 선박 적재 능력 향상을 위해 본 연구를 수행하게 되었다.

컨테이너 시큐어링 시스템과 관련된 선행된 연구는 최적 적재를 위한 컨테이너 시큐어링 시스템 개발에 관한 연구(신상훈, 2003), 컨테이너선의 래싱 어널러시스 시뮬레이터 개발(황진욱 등, 2004), 컨테이너선 LASHING BRIDGE의 최종강도 평가(윤중흠, 2008), 피로 특성을 고려한 초대형 컨테이너선의 3단 LASHING BRIDGE 개발(위성국, 2013) 등이 있으며, 선박의 Cargo Securing system 설비에 하중이 적게 걸리도록 하는 형상적 설계 연구, 화물을 무게 별로 위치를 바꿔가며 최적의 배치 안을 찾기 위한 시스템 개발 연구 등이 주를 이루었다.

하지만 현장에서 컨테이너 선박운영자인 선박운항담당자와 선박항해사

의 실무적 사용에 관한 연구는 없었다. 선급 규정 및 프로그램 Manual로 컨테이너 고박 강도 계산을 위한 이론식을 통해 영향을 주는 요인들을 확인 할 수 있으나, 복잡하고 다양한 계수들로 인해 이러한 요인들이 얼마나 고박 강도 계산프로그램에 영향을 주는지는 선박운영자와 항해사가 확인 하기란 어렵다.

본 연구를 통해 선박운항담당자와 선박의 항해사가 고박강도계산프로그램을 적절히 이해하고, 활용하여 안전한 범위 내에서 컨테이너 적재 Space를 적극 사용할 수 있도록 도움을 주고자 한다.

## 1.2 연구의 내용 및 방법

컨테이너 고박강도계산프로그램에 미치는 요인들을 살펴보면, 선박운동 및 가속도에 영향을 미치는 컨테이너 적재에 따른 흘수(Draft), 선박의 수직방향 중심위치(VCG), 부면심의 종방향 위치(LCF), 횡방향 메타센터의 높이(GM), 방형비척계수( $C_b$ ), 선박의 길이, 폭, 높이 등의 선박의 특성 요인이 있다. 그리고 외부적 요인인 풍속, 라싱설비의 강성 등이 고박강도 계산프로그램에 영향을 미친다.

이러한 요인들 중 선박의 길이, 폭, 높이, 방형비척계수, 라싱설비 등은 선박 제작 때부터 설계되어 변동시킬 수 없으며, 외부적 요인인 풍속 또한 선박운항담당자와 항해사가 관여할 수 없는 부분이다.

따라서 선박의 고정적 특성 및 외부적 요인을 제외한 인위적으로 변화시킬 수 있는 횡방향 메타센터의 높이(GM), 화물의 적재위치에 따른 영향, 컨테이너 적재에 따른 흘수(Draft) 등을 주요 변수로 두었다. 추가로 컨테이너 선박의 크기 별 컨테이너 고박강도를 비교 분석하기 위해 컨테이너 선박 크기도 변수에 포함하였다.

본 연구는 H 선사의 선박 중에 최근 6개월(2015.09~2016.02)간 부산 신항 H 터미널에 기항한 4.5K, 8.5K, 13.1K 컨테이너 선박을 대상으로 하였다. 이는 부산 신항이 미주항로의 최종 기항지, 구주항로의 주요 기항지로서 선박에 Cargo 가 Full 로 선적되기 때문에 본 연구에 적용하기 적합하여 이를 기준으로 적용하였다.

그리고 지정한 변수들과 컨테이너 고박강도 간에 상관관계를 분석 및 비교하기 위해 H선사에서 사용 중인 HI-STOW 프로그램 기반으로 한 Lashing calculation tool(제작:H-UNI, 2015년 12월 KR 선급 인증)을 사용하였다. 해당 프로그램을 통해 변수 변화에 따른 컨테이너 및 Lashing 설비에 걸리는 하중을 계산하였으며, 나온 결과 값을 분석하여 컨테이너 선박의 특성이 Cargo Securing System에 얼마만큼 영향을 주는지 연구하고, 큰 영향을 끼치는 변수들을 식별 및 증명하고자한다.

본 연구는 총 5장으로 나누어져있으며, 제 1장에서는 연구의 배경, 목적, 내용 및 기대효과에 대하여 기술하였고, 제 2장에서는 본 연구의 대상이 되는 컨테이너 시큐어링 시스템 및 고박강도계산에 관한 기본적인 이론 설명을 하였다. 제 3장에서는 컨테이너 시큐어링 시스템에 미치는 선박특성을 고려한 연구방법을 설명하고 있다. 선박특성(변수)을 설정하고 영향 평가 방법을 설명하였으며, 적용조건 및 고려사항을 소개하였다. 제 4장에서는 컨테이너 선박특성 별 시큐어링 시스템에 미치는 영향을 비교 분석하여 주요 선박특성들을 도출하였으며, 제 5장에서는 도출된 선박 특성들을 활용한 개선방안을 제시하여 결론을 도출하였다.

Fig. 2는 본 연구의 흐름을 나타낸다.

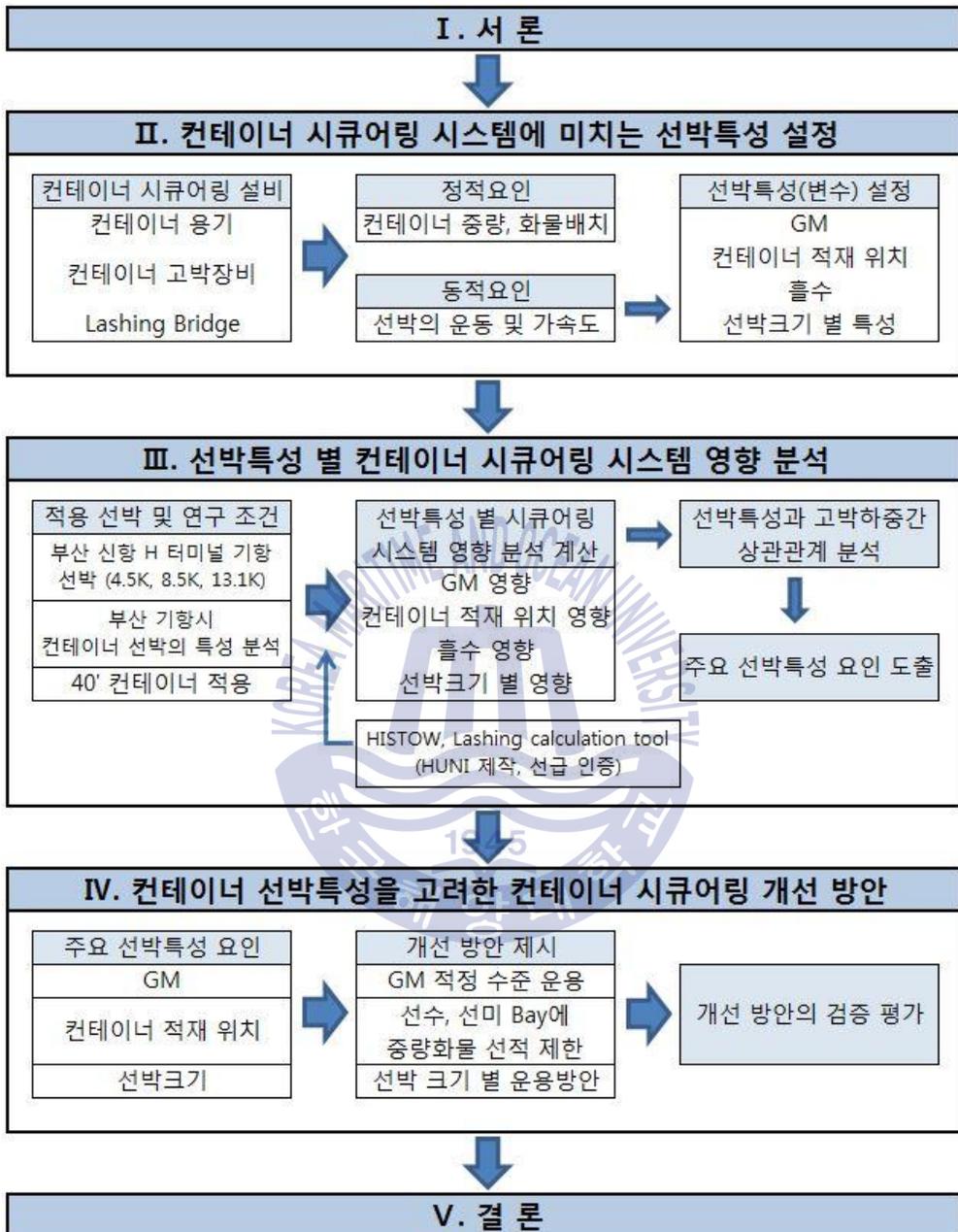


Fig. 2 Flow of Study

### 1.3 연구의 기대 효과

본 연구를 통해 Lashing 설비에 영향을 주는 선박특성 요인들을 고려하여 실무에 적용할 경우, 일정 범위 내에서 Lashing force를 감소시켜 선급에서 요구하는 허용하중을 만족시킬 수 있다. 이로 인해 두 가지 측면에서 기대 효과를 볼 수 있다.

첫 번째, 컨테이너 선사입장에서는 Booking 된 컨테이너를 해당 선박에 선적 취소 없이 최대한 선적하여 영업적인 이익과 화주 신뢰 하락을 예방할 수 있다. SCFI(Shanghai Containerized Freight Index, 상하이 컨테이너 운임지수, 46week, 2016) 기준으로 북미 서안 평균 운임은 40피트 컨테이너(FEU)당 \$1,809/FEU, 북미 동안 평균 운임은 \$2,671/FEU로 선박에 40피트 컨테이너 1Box 추가 선적으로 해당 운임을 기대할 수 있다.

그리고 Space 활용을 통한 Stowage 효율적 운영을 통해 컨테이너 Re-handling을 최소화하여 비용을 절약할 수 있고, 선박특성을 고려한 컨테이너 고박시행으로 안전 운송에 도움을 줄 수 있다.

두 번째, 화주입장에서는 Booking 된 컨테이너를 제때 선적하여 양하지에 예정된 스케줄에 따라 운송할 수 있다. 만약 화물 선적이 Lashing force over 로 인해 취소될 경우, 해당 항로의 다음 선박이 기항할 때 까지 터미널 보관으로 인한 장치 비용 증가 및 지연 운송으로 인한 경제적 손실로 이어질 수 있다.

## 제 2 장 컨테이너 시큐어링 시스템

### 2.1 컨테이너와 고박장치

#### 2.1.1 컨테이너 개요

컨테이너(Container)란 화물을 실을 수 있도록 규격화된 직육면체형의 용기를 말한다. 다양한 크기 및 형태의 일반 화물을 적화 및 양화하는 데 드는 시간과 비용을 절약하기 위해 화물을 컨테이너에 넣고, 이 컨테이너를 그대로 선박 등의 수송 수단에 적재하여 편리하고 신속한 수송이 이루어지도록 고안되었다. 컨테이너 수송이 점차 확대됨에 따라, 컨테이너의 규격과 용어를 국제적으로 통일시킬 필요가 생겨났고, 국제 표준화 기구(International organization for standardization, 이하 'ISO'라 한다.)에서는 컨테이너에 대한 국제적 표준을 정하여 세계 각국의 선박 회사는 ISO 표준 규격의 컨테이너를 사용하고 있다. (선화운송, 2012)

##### 1) 컨테이너 특징

컨테이너는 화물을 보다 능률적이고 경제적으로 수송하기 위해 규격화한 운송용기로, 아래와 같이 장단점이 있다.

##### 가) 장점

하역의 기계화로 하역시간 및 수송기간을 단축할 수 있을 뿐만 아니라 운송수단간 환적이 용이하고 대량수송이 가능하여 운송경비를 절감할 수 있다. 하주가 발행한 선하증권이 목적지까지 유효하게 통용되므로 사무절

차가 간소하며, Door to Door 서비스 등 신뢰성 있는 서비스 제공이 가능하다.

나) 단점

하역장비, CY, CFS 등 대규모의 컨테이너 처리시설이 필요하며, 컨테이너 용기의 신속회수 및 손상방지 등 재고관리 애로사항이 발생할 수 있다. 기항지 최소화로 기항지 이외로 수송되는 화물은 추가운임이 발생할 수 있으며, 항만시설 및 수송수단이 미비한 일부 국가에서는 부적합하다. (여수광양항만공사, 2016)

2) 컨테이너 규격 및 무게

Table 1은 국제표준규격 컨테이너의 크기 및 최대총중량을 나타낸다.

**Table 1** ISO Container's Size and Max. Gross weight

Division	20FT	40FT	45FT
Length (m)	6.0	12.0	13.7
Width (m)	2.4	2.4	2.4
Height (m)	2.6	2.6	2.9
Max. Gross Weight (ton)	24.0	30.48	30.48

(Source : 부산지방해양항만청, 2008)

**2.1.2 컨테이너 고박장치**

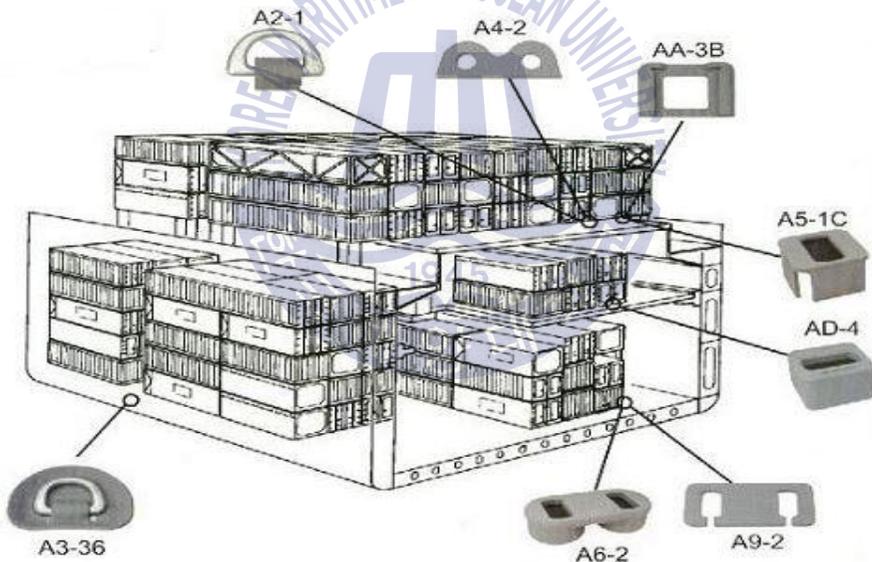
컨테이너 고박장치는 크게 고정식 화물고박 부속장구(Fixed cargo securing fittings) 와 이동식 컨테이너 부속장구(Loose container securing fittings) 로 구분할 수 있다. 그리고 컨테이너 고박 작업에 따라 컨테이너의 코너 부분에 트위스트 락(Twist Lock)을 삽입하는 라킹(Locking) 작업과 와이어(Wire)나 로드(Rod)를 사용하여 묶어 주는 라싱(Lashing) 작업으로 구분할 수 있다. (선화운송, 2012)

1) 고정식 화물고박 부속장구(Fixed cargo securing fittings)

Fig. 3는 컨테이너 선박의 고정식 화물고박 부속장구를 나타낸다. 컨테이너 선박 선조 때부터 설치된 부속으로 대표적인 것이 소켓(Socket or Foundation) 과 라싱 아이(Lashing eye)가 있다.

가) 소켓은 컨테이너 전체 중량을 받는 장치이며, 트위스트 락 (Twist lock)을 중간에 삽입하여 컨테이너를 고정하는 하부장치이다.

나) 라싱 아이(Lashing eye)는 상갑판이나 Lashing Bridge, 그리고 해치 커버(Hatch cover) 상부에 부착되어, 라싱로드(Lashing rod)와 턴버클(Turn buckle)로 연결하여 컨테이너의 움직임을 방지하는 역할을 한다.



(Source : CCCME, 2014)

Fig. 3 Fixed cargo securing fittings

2) 이동식 컨테이너 부속장구(Loose container securing fittings)

Fig. 4는 이동식 컨테이너 부속장구를 나타낸다. 이동이 가능한 부속으로 대표적인 것이 트위스트 락(Twist lock), 라싱 로드(Lashing rod), 턴버

클(Turn buckle) 등이 있다.

가) 트위스트 락(Twist lock)은 선박과 컨테이너를 연결하여 고정하고, 컨테이너와 컨테이너를 연결하기 위한 장치이다. 사람이 직접 체결하는 수동 트위스트락(Manual Twist Lock)과 긴 막대를 이용하여 체결하는 반자동 트위스트락(Semi-Automatic Twist Lock), 자동으로 체결되는 자동 트위스트락(Automatic Twist Lock) 등이 있다.

나) 라싱로드(Lashing rod)는 라싱아이(Lashing eye)와 컨테이너 상부 및 하부를 연결하는 장치이며, 턴버클(Turn buckle)로 조여서 느슨함을 방지한다. 항해 중 선체가 횡요하게 되면 갑판적된 최하단 컨테이너에 응력이 집중된다. 따라서 이 부분을 보강해 주기 위해 라싱을 하고 있다.

(Source : CCCME, 2014)

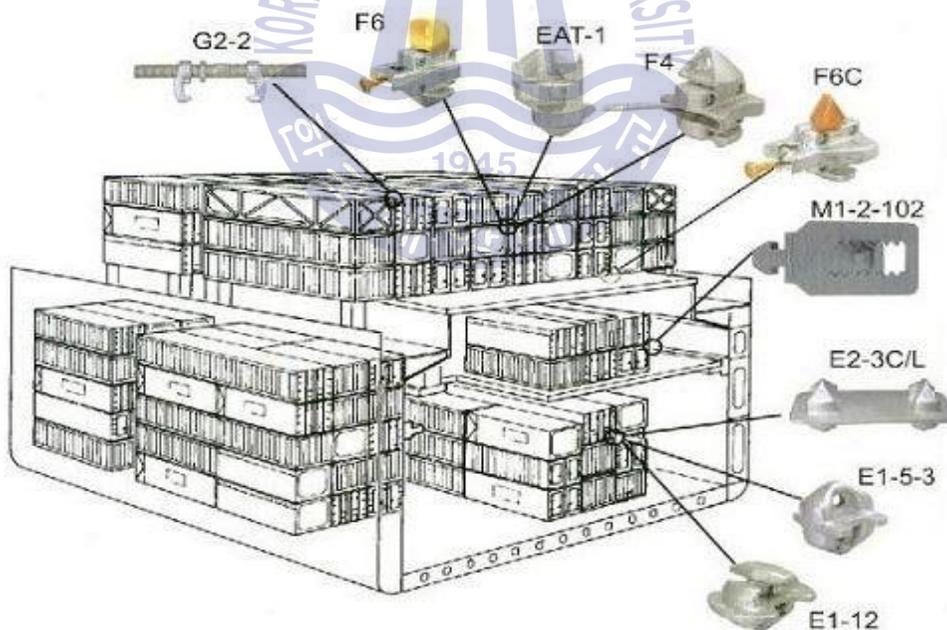


Fig. 4 Loose container securing fittings

### 2.1.3 컨테이너와 고박장치에 작용하는 하중

#### 1) 컨테이너에 대한 허용력

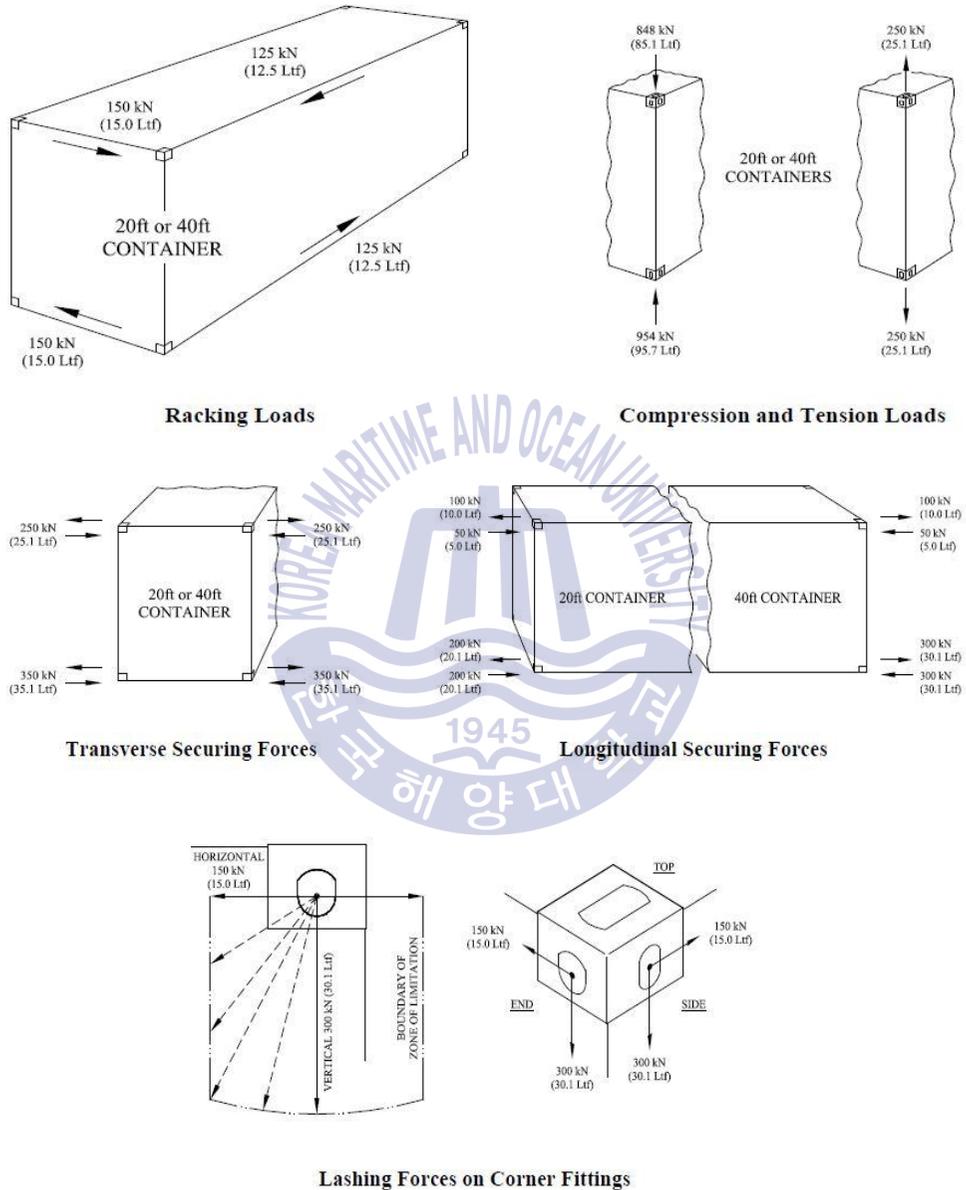
ISO 표준 규격 컨테이너의 경우, 컨테이너에 대한 외부 하중이 Table 2의 값을 초과하지 않도록 설계 및 승인받아야 한다. 허용 하중을 초과할 경우 Stowage plan 변경 또는 Lashing 설비를 추가하여 허용하중 보다 낮게 하여야 한다.

Table 2 Allowable force on ISO container

분 류	ISO 1496-1:1990 (개정 No. 3 포함)	
	20 ft(kN)	40 ft(kN)
측면에 평행하게 작용하는 컨테이너 잠금장구로부터의 수평력	150	150
끝면에 평행하게 작용하는 컨테이너 잠금장구에 대한 래싱으로부터의 수평력	225	225
측면 또는 끝면에 평행하게 작용하는 컨테이너 잠금 장구에 대한 래싱으로부터의 수직력	250	250
컨테이너 끝단에 대한 래킹력	150	150
컨테이너 측면에 대한 래킹력	150	150
각 상부 모서리(top corner)에서의 수직력, 인장	250	250
각 선저 모서리(bottom corner)에서의 수직력, 인장	250	250
각 상단 모서리 기둥에서의 수직력, 압축	848	848
스택에서 가장 낮은 컨테이너의 각 선저 모서리 캐스팅에서의 수직력, 압축	$848+(1.8Rg)/4$	$848+(1.8Rg)/4$
상단 수준 및 상단면에 평행하게 작용하는 횡방향 힘, 인장 또는 압축	340	340
하단 수준 및 하단면에 평행하게 작용하는 횡방향 힘, 인장 또는 압축	500	500

(Source : 선급 및 강선규칙, 2015)

ISO 표준 규격 컨테이너에 대한 외부 허용하중을 Fig. 5와 같이 나타내고 있다.



(Source : GUIDE FOR CERTIFICATION OF CONTAINER SECURING SYSTEMS, 2010)

Fig. 5 Allowable force on ISO container

## 2) 작용 하중의 종류

### 가) Compressive Force (Post Load)

Container Box Post에 수직으로 가해지는 압축력으로, 컨테이너를 연직 방향으로 선적하였을 때, 컨테이너 하방향으로 작용하는 압축응력을 말한다. ISO 및 KR 선급에서 규정하는 허용한도는 848KN 이다.

### 나) Tension(Lifting) Force

Container Box Corner 에 수직으로 가해지는 인장력을 말한다. 즉 컨테이너 상방향으로 작용하는 힘으로서, 선박의 Rolling 시에 크게 작용한다. ISO 및 KR 선급에서 규정하는 허용한도는 250KN 이다.

### 다) Rack Force

Container Box 끝단과 Door Frames 에 가해지는 횡압력을 말한다. 횡경사 방향으로 작용하는 힘이며, 허용한도를 넘을 경우 컨테이너 자체를 무너지게 한다. ISO 및 KR 선급에서 규정하는 허용한도는 150kN 이다.

### 라) Lashing Force

Lashing Bar 에 가해지는 힘을 나타낸다. Container Lashing 은 Rack & Tension Force를 경감 시켜주는 역할을 한다. Lashing Bar의 Tension S.W.L 값을 근거로 허용한도가 정해지며, 이 연구에서는 250KN 이다.

### 마) Shearing Force

컨테이너와 컨테이너에 사이에 삽입된 Twist Lock 에 수평 방향으로 작용하는 힘으로서, 방향이 선로 반대되는 힘이 작용하여 끊어지려는 힘을 말한다. Twist Lock의 S.W.L 값을 근거로 허용한도가 정해지며, 이 연구에서는 150KN 이다.

컨테이너에 작용하는 하중을 Fig. 6와 같이 도식화하여 나타내었다.

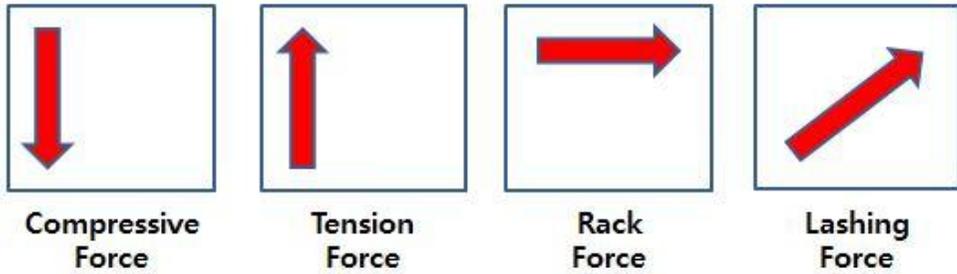


Fig. 6 Kinds of Lashing force on Container

Fig. 7는 ISO 컨테이너의 최대 허용하중을 초과하는 경우의 컨테이너 손상 모습을 나타내고 있다.



Fig. 7 Images of Container damage

## 2.2 Lashing Bridge 시스템

### 2.2.1 Lashing Bridge의 필요성 및 역할

컨테이너 선박의 크기가 지난 20년에 걸쳐 점차 대형화되면서, 2011년에 전 세계 컨테이너 선박의 수주현황을 살펴보면 50% 이상이 10,000 TEU 이상의 컨테이너 선박으로 구성되어 있다. 선박 크기가 증가하면서 컨테이너 적재공간이 더 많아졌고, 이에 따라 Lashing bridge 의 채택도 또한 점차 증가하고 있다. (MACGREGOR, 2011)

Lashing Bridge란 대형 컨테이너선에서 컨테이너의 다단적재를 수월하게 해주며, 운반 시 롤링(좌우로 흔들리는 것)과 피칭(앞뒤로 흔들리는 것)에 의한 컨테이너 쓸림을 방지하기 위해 고박 하는 구조물이다. 상갑판 위에 컨테이너 적재중량과 적재높이는 컨테이너 표준강도와 이용 가능한 Lashing 배열에 의해 제한되어 있다. Lashing Bridge를 설치하면 Lashing 을 더 높은 tier(단, 층)에 적용할 수 있어, 컨테이너 stack(더미)에 더 높은 안정성을 줄 뿐만 아니라 더 높게 컨테이너를 선적할 수 있어 더 많은 적재 공간을 이용할 수 있다. 이러한 이유로 컨테이너선의 대형화 추세에 따라 Lashing Bridge는 기존 1단, 2단의 형태에서 3단, 4단으로 높아지고 있는 추세이다. (김창환, 2014)

### 2.2.2 Lashing Pattern

Lashing은 전도(뒤집어짐) 되는 것을 방지한다. 항해 중 선체가 횡요하게 되면 갑판적된 최하단 컨테이너에 응력이 집중된다. 따라서 이 부분을 보강해 주기 위해 Lashing을 한다. Lashing 방법에는 교차라싱(Cross lashing), 수직 라싱(Vertical lashng) 및 두 가지를 혼합한 혼합 라싱을 한다. 실무에서는 주로 교차라싱을 이용하며, 인장 하중을 지탱할 수 있다.

Lashing rods는 보통 2~3단적 하부 corners에 적용된다. Lashing bridge를 장치한 선박에서 Lashing rods는 4~5단적 컨테이너 하부 corners에 적용할 수도 있다. 추가적인 Lashing 강도가 요구되면, Parallel lashings이 사용된다. 이 배열에서 Lashing은 평행으로 배열되는데, 하나는 1단적 상부에, 다른 하나는 2단적 하부에 장치된다.

한편, 풍압에 노출된 컨테이너들은 추가 또는 더 강한 Lashing이 필요하다. Blocks 적재로 운반될 때, 풍압에 노출되는 것은 외측 stacks이다. 따라서 선측에 적재되어 운반되는 컨테이너들은 풍압을 받기 때문에 Wind lashing을 추가한다.

아래 Fig. 8 은 컨테이너 Lashing 방법들을 나타내고 있다.

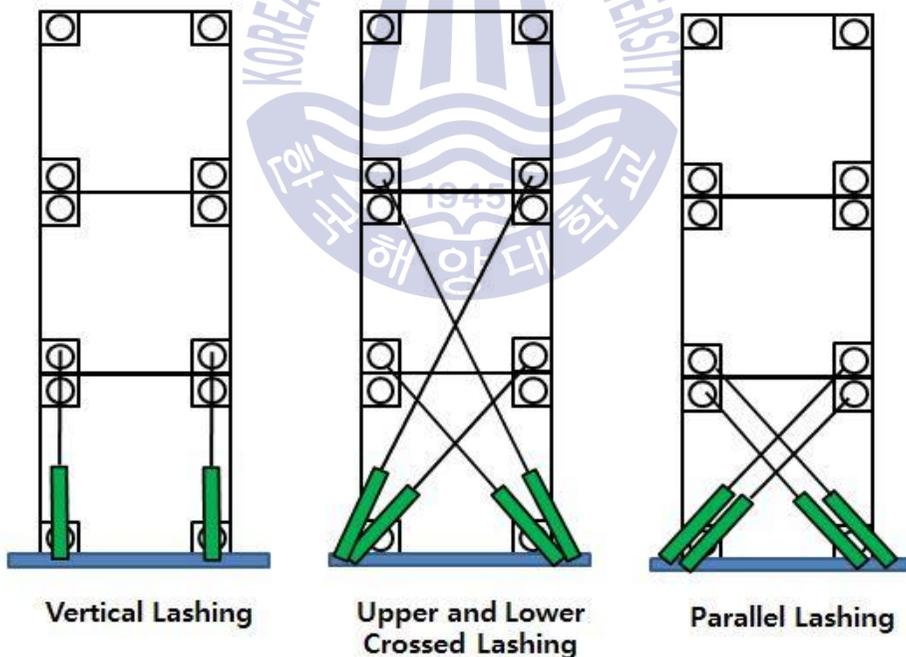


Fig. 8 Methods of Container Lashing

본 연구에 적용된 선박의 Lashing Pattern은 Fig. 9~Fig. 11와 같다.

1) 4.5K 선박 Lashing Pattern

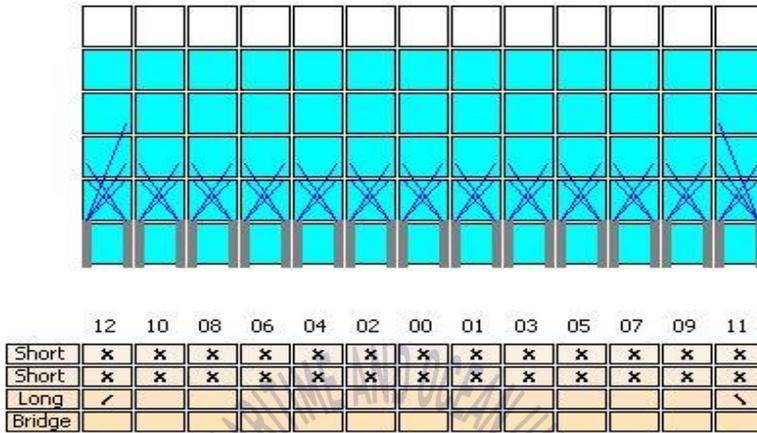


Fig. 9 Lashing Pattern of 4.5K Container ship

2) 8.5K 선박 Lashing Pattern

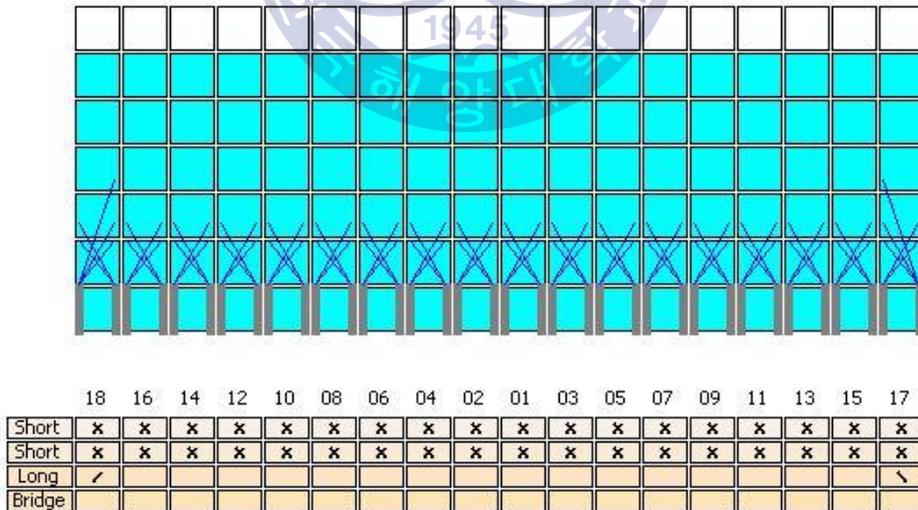


Fig. 10 Lashing Pattern of 8.5K Container ship

### 3) 13.1K 선박 Lashing Pattern

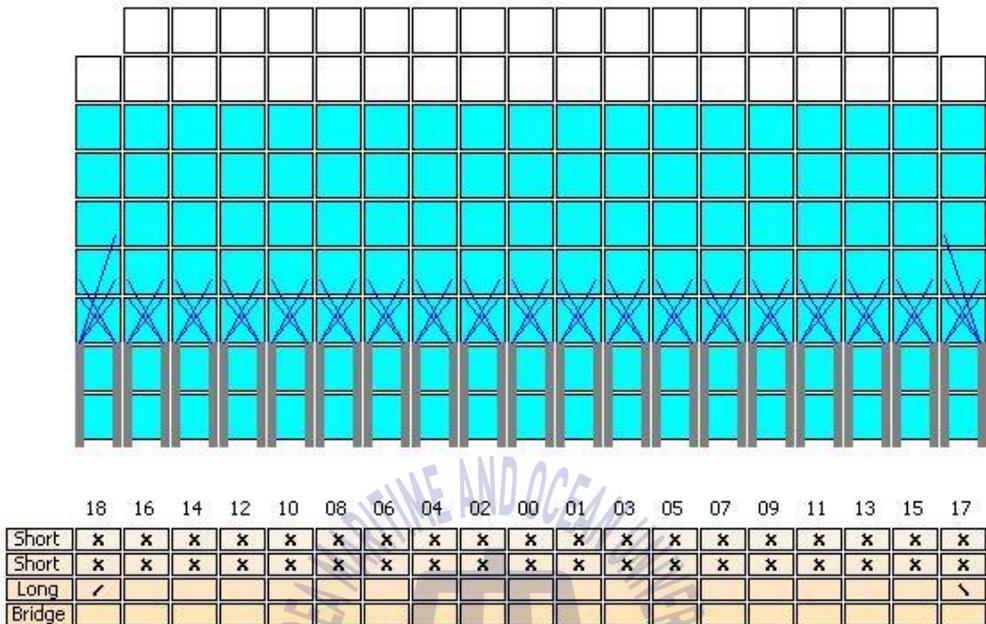


Fig. 11 Lashing Pattern of 13.5K Container ship

4.5K & 8.5K 선박의 Lashing pattern 은 Lashing bridge 1단에 Short bar 로 Parallel lashing이 되어있으며, 바람에 노출된 최외측 stack에는 추가적으로 long bar가 Single crossing lashing으로 장치하도록 지침이 되어있다.

13.1K 선박의 Lashing pattern 은 Lashing bridge 2단에 Short bar로 Parallel lashing이 되어있으며, 최외측 stack에는 long bar가 Single crossing lashing으로 장치하도록 지침이 되어있다.

## 2.3 컨테이너 고박강도계산

### 2.3.1 고박강도계산 방법

컨테이너선박의 대형화에 따른 갑판적 Container 화물의 증가로 인한 사고 위험에 대비해 선급에서 요구하는 안전 기준 만족 여부를 확인하고, 황천 항해 중 Container의 선외추락 및 유실의 위험성을 저감하기 위해 안전대책으로서 고박강도계산프로그램(Lashing Program)이 개발 및 사용되고 있다.

고박강도계산프로그램은 선급에서 요구하는 설계 요건을 만족하고 형식승인을 받아야 한다. 프로그램 계산 결과 허용기준이 선급에서 계산된 값과 허용치가 5% 이하가 되어야 기준을 만족하게 되며, 선급 검사원 입회하에 시험이 실시된다. (한국선급, 2015)

해당 프로그램을 통해 고박강도를 계산 및 검증할 수 있으며, 고박하중 값이 선급에서 요구하는 허용하중을 초과할 경우 안전한 운송을 위한 선급 규정에 위배되므로, Weight distribution 또는 화물을 취소하는 조치를 취하여야 한다.

본 연구에서는 H선사에서 사용 중인 HI-STOW 프로그램 기반으로 한 Lashing calculation tool(제작:H-UNI, 2015년 12월 KR 선급 인증)을 사용하였다. 해당 프로그램을 통해 변수 변화에 따른 컨테이너 및 Lashing 설비에 걸리는 하중을 계산하였다.

### 2.3.2 고박강도계산 이론

컨테이너 Lashing force 에 영향을 주는 외부적 요인에는 크게 선박의 운동(Vessel movement)과 풍력 하중(Wind load) 등이 있다. 이러한 외부적 요인들은 각 컨테이너에 하중으로 작용한다.

### 1) 선박의 6자유도 운동

바다수면을 향해하는 선박이 해상파에 의해 받게 되는 진동운동으로 3개의 직선운동과 3개의 회전운동으로 구성된다. 이러한 운동으로 선박이 동요할 때 선적된 컨테이너에 하중이 작용하게 된다.

하중의 주요 인자는 다음과 같다.

가) 횡요주기(Rolling Period) 및 각도(Angle of radian)

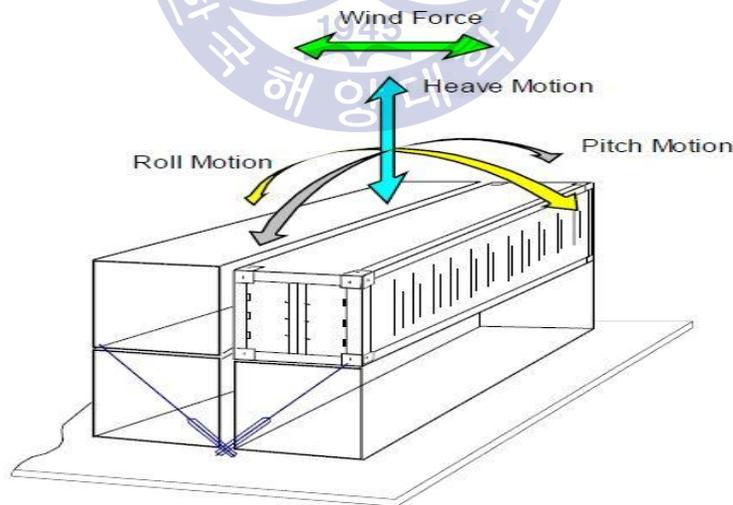
나) 종요주기(Pitching Period) 및 각도(Angle of radian)

다) 상하동요(Heave), 횡동요(Sway), 종동요(Surge) 운동가속도

상기 인자를 통해 x,y,z 방향 가속도를 구하여 고박설비의 하중 계산 시 고려한다.

### 2) 풍력 하중 (Wind load)

풍력 하중은 바람에 노출된 Container, 즉 Container stack 의 양쪽 끝단에 적재된 컨테이너에만 적용한다. KR 선급 규정상 바람에 의한 하중은 최대풍속 36m/sec을 기준으로 구하며, 횡하중을 증가시키는 방향으로 적용한다고 규정하고 있다. (한국선급, 2015)

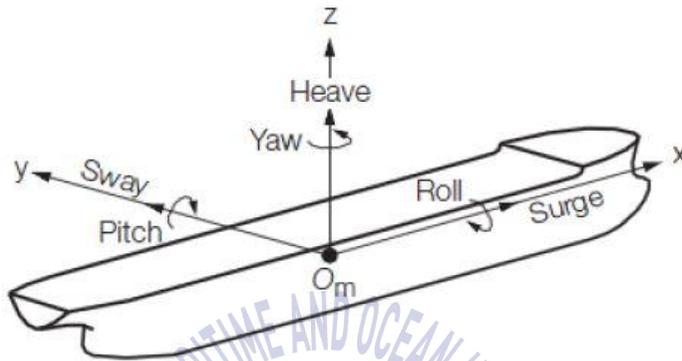


(Source : Capt. Pawanexh Kokli 's CARGO SECURING MANUAL, 1995)

**Fig. 12** Showing the various motions effecting containers

3) 하중의 결정 및 적용 (KR 선급 및 강선규칙 적용지침)

가) 이 지침에 정의된 선박운동 및 가속도에 대한 부호는 Fig. 13과 같이 오른손 좌표계를 따른다. 그림에서 나타낸 바와 같이 횡요, 종요 및 선수동요는 시계방향이 양으로 정의된다.



(Source : KR 선급 및 강선규칙, 2015)

Fig. 13 Ship's motion coordinate

나) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음에 따른다.

$a_o$  : 가속도 변수로서, 다음 식을 따른다.

$$a_o = f_c (1.58 - 0.47 C_b) \left( \frac{2.4}{\sqrt{L_{BP}}} + \frac{34}{L_{BP}} - \frac{600}{L_{BP}^2} \right) (m/sec^2)$$

$$f_c = -\frac{L_{BP}^2}{1000000} + 0.0011 L_{BP} + 0.8064, L_{BP} > 240m \text{ 인 경우}$$

$$= 1.0, L_{BP} \leq 240m \text{ 인 경우}$$

$a_{heave}$  : 상하동요 운동 가속도로서 다음 식에 따른다.

$$a_{heave} = f_h a_o g (m/sec^2)$$

$a_{sway}$  : 횡동요 운동 가속도로서 다음 식에 따른다.

$$a_{sway} = 0.56 a_o g (m/sec^2)$$

$a_{surge}$  : 종동요 운동 가속도로서 다음 식에 따른다.

$$a_{surge} = a_o g \left( \frac{30}{L_{BP}} + 0.17 \right) (m/sec^2)$$

- $a_i$  :  $i$ 번째 컨테이너의 폭(m)
- $a_x, a_y, a_z$  :  $x, y, z$  방향 가속도 (m/sec<sup>2</sup>)
- $b_i, c_i$  :  $i$ 번째 컨테이너의 길이 및 높이 (m)
- $d_i$  : 컨테이너 사이 수직방향 고박설비의 높이
- $f_h, f_p, f_r$  : 상하동요(Heave), 종동요(Pitch), 횡동요(Roll) 에 대한 항로별 경감계수(Table 6 참조)
- $g$  : 중력가속도로 9.81 m/s<sup>2</sup> 로 한다.
- $h_i = c_i + d_i$
- $i$  :  $i$ 번째 컨테이너의 인덱스
- $k_r$  : 횡동요 회전반경(m), 일반적으로 0.35B
- $l_i$  : ' $i$ ' 번째 컨테이너 래싱설비의 길이 (mm)
- $x$  : 선미수선으로부터 해당 컨테이너 중심까지의  $x$  방향 거리(m) 로서, 단위컨테이너의 중심은 컨테이너 길이의 1/2 로 한다.
- $y$  : 선체중심선으로부터 해당 컨테이너 중심까지의  $y$  방향 거리(m) 로서, 단위컨테이너의 중심은 컨테이너 폭의 1/2 로 한다.
- $z$  : 기선으로부터 해당 컨테이너 중심까지의  $z$  방향 거리(m) 로서, 단위 컨테이너의 중심은 컨테이너 높이의 1/2 로 한다.
- $C_{a1-5}$  : 각각 선박운동에 대한 동적운동조합계수로서 Table 3에 따른다.
- $C_c$  : 컨테이너 무게중심의 높이와 컨테이너 높이의 비율로, 일반적으로 0.33.으로 한다.
- $C_r, C_p$  : 횡동요, 종동요 대한 동적운동조합계수로서 Table 3에 따른다.
- $C_{yf}, C_{zf}$  : 선박의 종방향 위치에 따른 동적 계수로서 Table 5에 따른다.
- $L_{BP}$  : 선수 수선과 선미 수선 간의 수평거리를 말한다. (m)
- $O_m$  : 기선으로부터 선박의 운동중심까지의 높이로서  $D/2, T_{LC}/2 + D/4$  중 작은 값으로 한다.
- $T_{LC}$  : 고려하는 적재상태에서의 선박의 형흘수 (m)

$T_i$  : 'i' 번째 컨테이너의 래싱설비에 작용하는 인장력 (kN)

$T_p, T_R$  : 종요, 횡요의 주기 (sec)

$V_w$  : 풍속(m/s) 으로서, 항해구역에 제한이 없는 부호를 가진 선박인 경우 36 m/sec 로 한다.

$\alpha$  : 풍력 계수로서 Table 3에 따른다.

$\theta, \phi$  : 횡요, 종요의 각도 (radian)

다) 선체운동에 의한 가속도

아래의 선체운동가속도 계산에 필요한 각 선체운동 상태에 따른 조합 계수는 Table 2 에 따른다.

HSVA : 선수파에 따른 최대 수직가속도

OSVA : 사파에 따른 최대 수직가속도

BSRL : 횡파에 따른 최대 횡요 진폭

OSPA : 사파에 따른 최대 종요 가속도

BSHA : 횡파에 따른 최대 상하동요 가속도

OSPH : 사파에 따른 최대 종요 진폭

횡요 및 종요에 대한 선체운동의 각도 및 주기는 Table 4에 따른다. 고박설비의 하중계산시 고려하여야 하는 가속도는 다음 식에 따른다. 길이 방향 위치에 따른 동적계수  $C_{yf}$  와  $C_{zf}$  는 Table 5와 같다.

$$a_x = -g \sin(C_p \Phi) + C_{a1} a_{surge} + C_{a5} \Phi \left(\frac{2\pi}{T_p}\right)^2 \{z - O_m\}$$

$$a_y = g \sin(C_r \Theta) + C_{yf} C_{a2} a_{sway} - C_{yf} C_{a4} \Theta \left(\frac{2\pi}{T_R}\right)^2 \{z - O_m\}$$

$$a_z = -g + C_{zf} C_{a3} a_{heave} + C_{zf} C_{a4} \Theta \left(\frac{2\pi}{T_R}\right)^2 y - C_{zf} C_{a5} \Phi \left(\frac{2\pi}{T_p}\right)^2 (x - 0.45L_{BP})$$

다만,  $|(x - 0.45L_{BP})| < 0.2L_{BP}$  인 경우,  $|(x - 0.45L_{BP})| = 0.2L_{BP}$  로 한다.

**Table 3** Dynamic motion combination factor

		가속도					각도		풍력계수 $\alpha$
		종동요 (Surge)	횡동요 (Sway)	상하동요 (Heave)	횡요 (Roll)	종요 (Pitch)	횡요 (Roll)	종요 (Pitch)	
		Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Cab	Cr	Cp	
HSVA	1	-0.5	0	0.35	0	-1.0	0	0.9	0
	2	-0.5	0	-0.35	0	-1.0	0	0.9	0
	3	0.5	0	-0.35	0	1.0	0	-0.9	0
	4	0.5	0	0.35	0	1.0	0	-0.9	0
OSVA	1	0.25	-0.15	0.4	0	-1.0	0	0.6	-0.5
	2	0.25	-0.15	-0.4	0	-1.0	0	0.6	-0.5
	3	-0.25	0.15	-0.4	0	1.0	0	-0.6	0.5
	4	0.25	0.15	0.4	0	1.0	0	-0.6	0.5
BSRL	1	0	0.1	-0.1	-0.4	0	1.0	0	1
	2	0	0.1	0.1	-0.4	0	1.0	0	1
	3	0	-0.1	0.1	0.4	0	-1.0	0	-1.0
	4	0	-0.1	-0.1	0.4	0	-1.0	0	-1.0
OSPA	1	0.25	-0.2	-0.25	0.1	1.0	-0.1	-0.6	-0.5
	2	0.25	-0.2	0.25	0.1	1.0	-0.1	-0.6	-0.5
	3	-0.25	0.2	0.25	-0.1	-1.0	0.1	0.6	0.5
	4	-0.25	0.2	-0.25	-0.1	-1.0	0.1	0.6	0.5
BSHA	1	-0.1	-0.6	1.0	0.15	-0.1	-0.1	0	-1.0
	2	-0.1	-0.6	-1.0	0.15	-0.1	-0.1	0	-1.0
	3	0.1	0.6	-1.0	-0.15	0.1	0.1	0	1.0
	4	0.1	0.6	1.0	-0.15	0.1	0.1	0	1.0
OSPH	1	-0.6	0.4	0.4	-0.1	-1.0	0.1	1.0	0.5
	2	-0.6	0.4	-0.4	-0.1	-1.0	0.1	1.0	0.5
	3	0.6	-0.4	-0.4	0.1	1.0	-0.1	-1.0	-0.5
	4	0.6	-0.4	0.4	0.1	1.0	-0.1	-1.0	-0.5

(Source : KR 선급 및 강선규칙, 2015)

**Table 4** Ship motions

운동	각도(Angle of radian)(Deg)	주기(Periods) (sec)
횡요 (Roll)	$\Theta = f_r \frac{\pi}{180} \left( \frac{4000 - 65 T_R}{B + 75} \right)$ 30° (0.524 rad)를 넘을 필요는 없으며, $f_r \times 22^\circ$ ( $f_r \times 0.384 rad$ )보다 작아서는 안 된다.	$T_R = \frac{2.0k_r}{\sqrt{GM}}$
종요 (Pitch)	$\Phi = f_p \left( \frac{\pi}{180} \right) \left( \frac{6800}{L^{1.2}} \right)$ 8° (0.14 rad)를 넘을 필요는 없다.	$T_P = \sqrt{\frac{2.6\pi L}{g}}$

(Source : KR 선급 및 강선규칙, 2015)

**Table 5** Dynamic coefficient at the location of x-direction

X-방향 위치 ( $x/L_{BP}$ )	$C_{yf}$	$C_{zf}$
0.0	2.36	1.13
0.1	2.11	1.12
0.2	1.91	1.07
0.3	1.80	1.00
0.4	1.74	0.98
0.5	1.74	1.03
0.6	1.79	1.14
0.7	1.88	1.31
0.8	2.02	1.42
0.9	2.20	1.42
1.0	2.43	1.43

주) 각 구간별 중간위치에 대한 값은 보간값을 사용한다.

(Source : KR 선급 및 강선규칙, 2015)

**Table 6** Specific sea route reduction ractor

항로(Route)	$f_r$	$f_p$	$f_h$
아시아-유럽 (Asia-Europe service)	-0.0034B+0.99, 최소 0.928	0.894	0.927
태평양 (Pacific service)	-0.0057B+1.13, 최소 1.00	0.906	1
태평양-대서양 (Pacific-Atlantic service)	-0.0021B+1.0, 최소 0.983	0.973	0.996
북해-지중해 (North Sea-Mediterranean Short Sea service)	-0.0032B+1.03, 최소 0.974	0.945	0.968
북대서양 (North Atlantic service)	1	1	1
아시아-남아메리카(서부해안) (Asia-South America(West Coast))	-0.0034B+1.02, 최소 0.959	0.915	0.991
남아메리카(동부해안)-아프리카 (South America(East Coast)-Africa)	-0.0014B+0.91, 최소 0.897	0.867	0.886
아프리카-동아시아 (Africa-East Asia)	-0.0005B+0.91, 최소 0.921	0.909	0.898
유럽(로테르담)-아프리카 (Europe(Rotterdam)-Africa)	-0.0005B+0.96, 최소 0.936	0.931	0.931
유럽(로테르담)-남아메리카(브라질) (Europe(Rotterdam)-South America(Brazil))	-0.0019B+0.98, 최소 0.957	0.956	0.941
미국(뉴욕)-남아메리카(브라질) (US(NYC)-South America(Brazil))	0.0033B+0.89, 최소 0.829	0.799	0.842

(Source : KR 선급 및 강선규칙, 2015)

### 2.3.3 고박강도계산 프로그램 활용

H선사에서는 컨테이너의 선외추락 및 유실의 위험성에 대한 안전대책으로 Lashing Program을 사용하고 있다. 항구에서 Pre-stowage plan 수령 시, Lashing Program을 이용하여 Lashing force(Lashing/Compressive/Tension/Shear/Rack force)를 검증한다.

검증 기준으로 Lashing force 값이 CSM(Cargo Securing Manual, 이하 'CSM' 라 한다.)의 허용하중을 100% 이내를 준수하도록 권고하고 있으며, 100% 초과 시 선장에게 보고하고 본사 운항팀과 협의토록 하고 있다. Fig. 14와 같이 Lashing tool, Permission, Wind & Ship Speed 등을 Setting 하여, Lashing force 값을 계산한다. Simulation 기능이 있어, GM 및 흘수를 변경하여 Lashing force을 비교 검증할 수 있다.

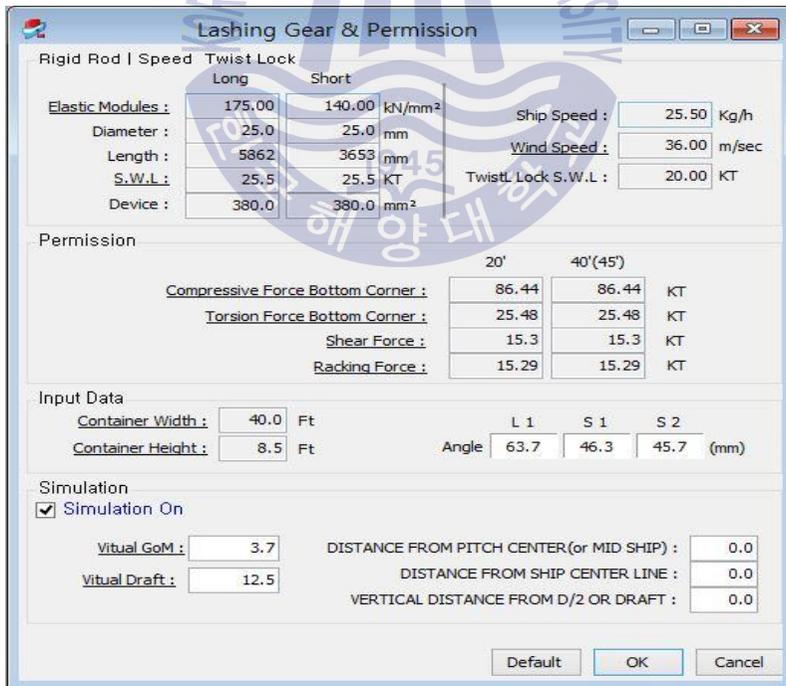


Fig. 14 Lashing gear & Permission setting on Lashing force Tool

## 제 3 장 컨테이너 시큐어링 시스템에 미치는 선박특성 및 연구 방법

### 3.1 선박특성 설정

컨테이너 시큐어링 시스템에 영향을 미치는 요인은 크게 정적 요인과 동적 요인으로 나눌 수 있다. 정적 요인으로는 컨테이너 중량 및 적재 위치로 인한 것으로 컨테이너 고유 중량은 변경이 불가하며, 컨테이너 적재 위치는 최적의 적재 계획을 위해 배치를 변경할 수 있다. 동적 요인은 선박이 해상에서 받게 되는 6가지 진동운동에 의해 선박이 움직이게 되면서 발생하며, 선적되어 있는 화물 및 라싱설비에 추가적인 하중이 작용하게 된다. 기존에 컨테이너 선박 운영 및 Stowage plan 설계 시 통상적으로 정적 요인만을 고려하였기 때문에 선급에서 요구하는 제한하중 규정을 준수하는데 한계가 있었다. 따라서 동적 요인을 고려한 컨테이너 Stowage 운영 방법을 모색하게 되었다.

해상에서 컨테이너 선박의 운동 및 가속도에 영향을 미치는 요인들을 살펴보면, 컨테이너 적재에 따른 흘수(Draft), 선박의 수직방향 중심위치(VCG), 부면심의 종방향 위치(LCF), 횡방향 메타센터의 높이(GM), 방형비 척계수( $C_b$ ), 선박의 길이, 폭, 높이 등 다양한 선박특성 요인들이 있다.

이러한 요인들 중 선박의 길이, 폭, 높이, 방형비척계수 등은 선박 제작 때부터 설계되어 변동시킬 수 없는 고정적 특성이다. 이들을 제외한 인위적으로 변화시킬 수 있는 있는 횡방향 메타센터의 높이(GM), 화물의 적재 위치에 따른 영향, 컨테이너 적재에 따른 흘수(Draft) 등을 주요 변수로

두었다. 추가로 컨테이너 선박의 크기 별 컨테이너 고박강도를 비교 분석하기 위해 컨테이너 선박 크기도 변수에 포함하였다. Table 7은 이러한 과정을 나타낸다.

**Table 7** Parameter setting for a Study

Ship's Draft, GM, VCG, LCF, $C_b$ , Length, Breadth, Height, Etc
↓ (Artificial alterable parameter)
Draft, GM, Container loading position, Character by ship's size

### 3.2 영향 평가 방법

본 연구에서는 선박특성이 컨테이너 시큐어링 시스템에 미치는 영향을 분석하기 위해 H선사에서 사용 중인 HI-STOW 프로그램 기반으로 한 Lashing calculation tool을 사용하였다. 해당 프로그램을 통해 변수 변화에 따른 컨테이너 및 Lashing 설비에 걸리는 하중을 계산하였다.

선박특성 변수의 변경에 따른 컨테이너 및 Lashing 설비에 걸리는 하중을 계산하여, 선급에서 요구하는 허용하중을 만족하는지 여부와 해당 계산 결과 값의 변화폭을 확인하고 상호 비교 분석을 통해 선박특성이 컨테이너 시큐어링 시스템에 얼마나 영향을 미치는지 평가하였다.

이러한 평가를 통해 영향이 큰 선박특성 변수를 활용하여, 컨테이너 시큐어링 시스템을 개선할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

### 3.3 적용 조건 및 고려사항

컨테이너 고박강도계산프로그램 사용을 위한 비교대상 선박 제원, 그리고 컨테이너, Lashing tool 및 선박특성 조건을 아래와 같이 적용하였다.

### 3.3.1 비교 대상 선박 제원

본 연구에서는 비교 분석을 위한 선박의 제원을 Table 8와 같이 H선사의 주력 컨테이너 선박인 4.5K, 8.5K, 13.1K 컨테이너 선박들을 대상으로 하였다.

4.5K 선박은 Panamax Max. 선박 크기이며, 기존 파나마 운하 통항을 위한 최대 선박 사이즈로, 주로 아주와 미주 동부를 연결하는 항로에 투입되고 있다.

8.5K 선박은 Post Panamax plus 선박 크기로 아주와 미주 서부를 연결하는 항로에 투입되고 있다.

13.1K 선박은 New Panamax 선박으로, 파나마 새 운하를 통과할 수 있는 최대 선박 사이즈로 현재는 아주와 구주를 연결하는 항로에 투입중이나, 추후에는 새 운하 개통으로 아주와 미주 동부 잇는 항로에 투입될 것으로 예상된다.

Table 8 Ship's Particular (4.5K, 8.5K, 13.1K)

Division	4.5K	8.5K	13.1K
L.O.A	294.12m	339.62m	365.5m
L.B.P	284.23m	322.60m	349.5m
Breadth	32.2m	45.6m	48.4m
Depth	18.28m	24.6m	29.9m
Draft(Summer)	13.518m	14.526m	15.5m
Gross Ton	52,581 M/T	94,511 M/T	141,868 M/T
Net Ton	31,157 M/T	51,639 M/T	78,387 M/T
DWT(Summer)	62,253.6 M/T	99,123 MT	146046.1 M/T
Nominal Capacity	4,571 TEU	8,566 TEU	13,154 TEU

### 3.3.2 적용 컨테이너 및 Lashing force 허용하중

본 연구에서는 컨테이너 하중 계산을 단순 비교하기 위해 ISO에서 정하고 있는 40ft 컨테이너를 대상으로 하였다. Table 9의 ISO 40' 컨테이너 특성을 연구에 적용하였다.

**Table 9** Container Properties

1. Container stack description		
40ft Container dimension	12.192m(L) x 2,438m(B) x 2,591m(H)	
Weight	20 Ton	
2. Container properties		
Variable	Design load	Description
CT	848 kN	Corner post compression
CB	954 kN	Vertical compression on bottom corner fitting
TT	250 kN	Vertical tension on top corner fitting
TB	250 kN	Vertical tension on bottom corner fitting
R	150 kN	End wall racking
FCFH	150 kN	Lashing force on end wall corner fittings (Horizontal)
FCFV	300 kN	Lashing force on end wall corner fittings (Vertical)

그리고 컨테이너 고박을 위한 Tool로서 Lashing bar 와 Twist Lock을 사용하였으며, Lashing tool의 특성은 아래의 Table 10와 같다.

**Table 10** Lashing Rod & Twist Lock Properties

1.Lashing rod	Short bar	Long bar	Unit
Elastic Modules	140.0	175.0	kN/mm <sup>2</sup>
Diameter	25.0	25.0	mm
Length	3653	5862	mm
S.W.L	25.5	25.5	KT
2. Twist lock			
S.W.L	20.0		KT

Lashing force 값이 안전하중 범위를 준수하고 있는지 확인하기 위해서는 하중의 최대허용치를 알아야 한다. Lashing force 값이 최대허용치 보다 작으면, 안전하중 범위를 만족하고 있는 것이다. 아래 Table 11와 같이 KR 선급 및 고박계산프로그램의 Lashing force 허용치를 정하고 있다.

**Table 11 Allowance of Lashing force(kN)**

Load	Allowance of Lashing force(KN, Kilo Newton)
Lashing	250KN
Racking	150KN
Shear	150KN
Compress	848KN
Tension	250KN

하지만 고박계산프로그램에서는 단위를 KN(킬로뉴턴) 대신에 KT(킬로톤)을 사용하기 때문에 환산이 필요하며, KN 값에 0.1019 곱하여 KT 값을 구할 수 있다. 아래 Table 12은 KT 단위로 변경한 Lashing force 허용치를 나타낸다.

**Table 12 Allowance of Lashing force(KT)**

Load	Allowance of Lashing force(KT, Kiloton)
Lashing	25.5KT
Racking	15.3KT
Shear	15.3KT
Compress	86.44KT
Tension	25.5KT

### 3.3.3 선박특성 적용 조건

본 연구는 H 선사의 선박 중에 최근 6개월(2015.09~2016.02)간 부산 신항 H 터미널을 기항한 4.5K, 8.5K, 13.1K 컨테이너 선박을 대상으로 Size

별 선박특성을 변수 값으로 두었다. 이는 부산항이 미주항로의 최종 기항지, 구주항로의 주요 기항지로서 선박에 Cargo 가 Full 로 선적되기 때문에 본 연구에 적용하기 적합하여 이를 기준으로 적용하였다.

1) GM & 흘수 of 4.5K, 8.5K, 13.1K Container ship at PUS

Table 13~Table 15은 H 선사의 선박 중에 최근 6개월(2015.09~2016.02)간 부산 신항 H 터미널을 기항한 4.5K, 8.5K, 13.1K 컨테이너 선박을 대상으로 선박의 GM & 흘수의 최소값과 최대값 그리고 평균값을 구하였다. 여기서 구한 최소값과 최대값의 구간을 GM, 흘수, 선적 위치, 컨테이너 Size별 특성 등 변수에 따른 Lashing force 결과값 확인 시에 적용하였다.

**Table 13** GM & Draft of 4.5K Container ship at PUS (recent 6month)

GM & Draft of 4.5K Container ship					
No.	Ship's voyage	Arr.GM	Dep.GM	Arr. average Draft(m)	Arr. average Draft(m)
1	HHFW-046E	1.06	0.85	10.19	11.3
2	HHVO-046E	1.88	1.02	10.03	11.43
3	HHGW-045E	1.71	1.34	10.6	11.35
4	HHGO-070E	1.20	0.95	10.58	10.45
5	HHDT-043E	0.98	0.9	10.35	11.55
6	HHFW-047E	1.19	0.83	10.11	11.48
7	HHVO-047E	1.67	0.96	10.45	11.75
8	HHGW-046E	1.20	1.06	10.45	12.1
9	HHDT-044E	0.8	0.84	10.23	12.1
10	HHFW-048E	1.22	1	10.86	11.85
11	HHVO-048E	1.54	1.01	10.1	11.25
12	HHGW-047E	1.77	1.07	10.25	11.48
Minimum value		0.80	0.83	10.03	10.45
Maximum value		1.88	1.34	10.86	12.1
Average value		1.2		10.93	

**Table 14** GM & Draft of 8.5K Container ship at PUS (recent 6month)

GM & Draft of 8.5K Container ship					
No.	Ship's voyage	Arr.GM	Dep.GM	Arr. average Draft(m)	Arr. average Draft(m)
1	HHFC-044E	4.05	3.85	10.95	12.5
2	HHGB-040E	4.64	4.06	10.98	12.6
3	HHCR-046E	4.63	3.98	11.00	12.5
4	HHBV-047E	4.4	3.47	11.40	12.35
5	HHMC-044E	4.59	4.06	11.30	12.9
6	HHFA-049E	5.5	4.26	10.23	12.6
7	HHFC-045E	5.91	4.62	10.23	11.98
8	HHGB-041E	5.64	4.75	10.40	12.0
9	HHCR-047E	4.72	4.06	10.90	12.3
10	HHBV-048E	4.04	3.87	11.30	12.28
11	HHMC-045E	5.29	4.62	11.10	12.09
12	HHFA-050E	5.3	4.1	10.70	11.65
13	HHFC-046E	5.29	3.74	10.48	11.63
14	HHGB-042E	5.45	4.51	10.68	11.55
15	HHBV-049E	4.88	4.04	10.85	12.1
16	HHCR-049E	5.6	3.62	10.83	12.1
17	HHMC-046E	4.66	3.89	11.20	12.15
18	HHFA-051E	5.02	4.1	10.88	11.7
19	HHFC-047E	5.21	3.94	11.40	12.4
20	HHGB-043E	4.51	3.2	11.15	12.35
21	HHCR-050E	4.39	3.95	11.43	12.55
22	HHMC-047E	5.15	4.25	10.65	12.3
Minimum value		4.04	3.2	10.23	11.55
Maximum value		5.91	4.75	11.43	12.9
Average value		4.5		11.56	

**Table 15** GM & Draft of 13.1K Container ship at PUS (recent 6month)

GM & Draft of 13.1K Container ship					
No.	Ship's voyage	Arr.GM	Dep.GM	Arr. average Draft(m)	Arr. average Draft(m)
1	HHHO-008W	2.94	4.6	12.90	11.25
2	HHAM-016W	2.66	5.25	13.85	11.4
3	HHSM-017W	2.96	4.83	12.83	12.4
4	HHTG-018W	3.77	4.82	12.25	12.37
5	HHPD-017W	2.63	4.24	13.79	12.68
6	HHDR-009W	2.26	5.86	13.40	10.58
7	HHAM-017W	1.86	3.26	14.25	12.85
8	HHSM-018W	2.82	4.25	13.90	12.25
9	HHTG-019W	3.09	3.42	13.63	13.31
10	HHHO-009W	3.52	3.8	12.60	12.6
11	HHVR-008W	3.2	3.6	12.80	12.8
12	HHPD-018W	2.9	4.54	12.60	12.28
13	HHDR-010W	4.25	3.94	8.78	9.38
14	HHSM-019W	4.17	4.03	13.00	12.6
Minimum value		1.86	3.26	8.78	9.38
Maximum value		4.24	5.86	14.25	13.31
Average value		3.7		12.48	

2) VCG of 4.5K, 8.5K, 13.1K Container ship

Table 16는 4.5K, 8.5K, 13.1K 컨테이너 선박의 중간(Middle) Bay의 Deck 상 Tier 별 적용된 VCG 값을 나타낸다.

**Table 16** VCG of 4.5K, 8.5K, 13.1K Container ship's middle Bay

VCG of 4.5k, 8.5k, 13.1k Container ship's middle Bay			
Tier	VCG(4.5K, 36Bay)	VCG(8.5K, 42Bay)	VCG(13.1K, 42Bay)
9th	-	-	52.309
8th	-	-	49.691
7th	-	44.370	47.073
6th	38.630	41.750	44.455
5th	36.010	39.130	41.837
4th	33.390	36.500	39.219
3rd	30.770	33.890	36.601
2nd	28.150	31.270	33.983
1st	25.530	28.640	31.35

3) Stacking weight allowance of 4.5K, 8.5K, 13.1K Container ship

Stacking weight란 컨테이너를 선박에 적재 시, 선체에 작용하는 수직 하중으로 Max. Allowance를 초과 선적 할 경우 선체 및 해치 커버 damage로 이어질 수 있으므로 초과 선적을 제한하고 있다. Table 17는 4.5K, 8.5K, 13.1K 컨테이너 선박의 CSM에서 Deck상 Stacking weight allowance를 나타내며, 한 slot 에 최대 선적 가능한 weight를 나타낸다.

**Table 17** Deck Stacking weight allowance of 4.5K, 8.5K, 13.1K Container ship

Deck Stacking weight allowance of 4.5k, 8.5k, 13.1k Container ship			
Division	4.5K	8.5K	13.1K
Stacking weight allowance(ton) on deck	105.0	130.0	170.0
Max. Loadable Tier (Container: 20ton base)	5 Tier	6 Tier	8 Tier
Loading total weight (ton) (Container: 20ton base)	100.0	120.0	160.0

## 제 4 장 컨테이너 선박특성 별 시큐어링 시스템 영향 요소 분석

### 4.1 GM이 고박하중에 미치는 영향 분석

이 절에서는 횡방향 메타센터의 높이(Transverse metacenter height, 이하 ‘GM’ 라 한다.)을 변수로 하여 고박하중에 얼마나 영향을 끼치는지 비교 분석을 하였다. H선사에서 사용 중인 HI-STOW 프로그램의 Lashing calculation tool 에는 GM 만을 변경하여 Lashing force를 check 할 수 있는 시뮬레이션 기능이 있어 이를 이용하였다.

#### 4.1.1 선박 별 GM 구간 설정

GM 구간을 설정함에 있어서, 최근 6개월간 부산 신항 H 터미널에 기항한 4.5K, 8.5K, 13.1K 컨테이너 선박의 실제 DATA를 통해 Table 18와 같이 정리하였다. 변수 적용 시 GM 구간 및 간격을 아래와 같이 설정하여 컨테이너 고박 하중을 계산하였다.

**Table 18** Section & Interval of Container ship's GM

Ship's size	Middle Bay	GM section	GM interval	Draft	Tier
4.5K	36 Bay	0.8~1.9	0.1	10.90m	5
8.5K	42 Bay	3.0~6.3	0.3	11.60m	6
13.1K	42 Bay	1.6~6.0	0.4	12.50m	7

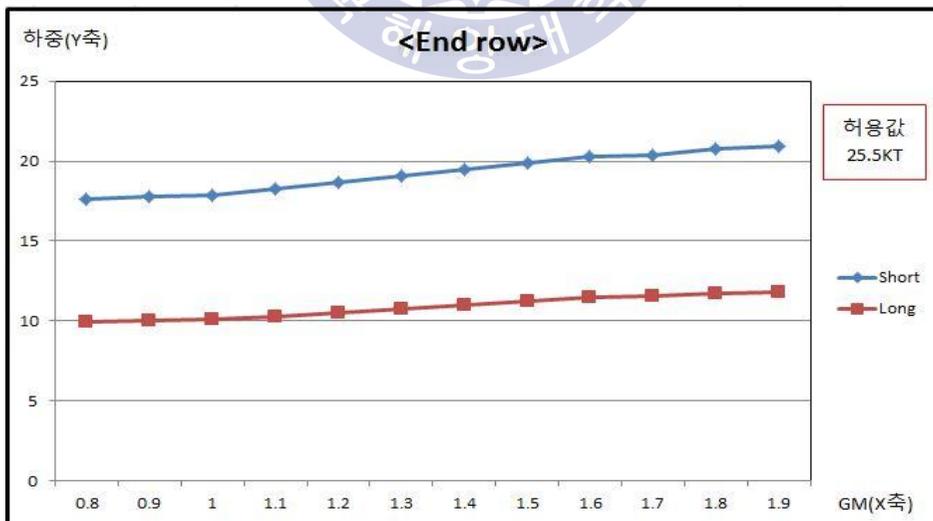
#### 4.1.2 GM을 변수로 한 고박하중 계산 및 상관관계 분석

##### 1) 4.5K 컨테이너선 GM을 변수로 한 고박하중 비교 분석

아래 Table 19은 4.5K 컨테이너 선박에 선적 컨테이너 무게 및 위치를 나타내며, Fig. 15~Fig. 19는 End row에서 GM에 따른 Lashing force 비교 그래프를 나타낸다. End row 와 Center row의 Lashing force 실제 Data 값과 Center row에서 GM에 따른 Lashing force 비교 그래프는 부록에 첨부하였다.

**Table 19** Loading Container weight of 4.5K Container ship

Tier	Container weight(Ton) / Slot												
	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11
5th	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
4th	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
3rd	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
2nd	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
1st	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
SUM	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



**Fig. 15** End row Lashing force of 4.5K Container ship on GM

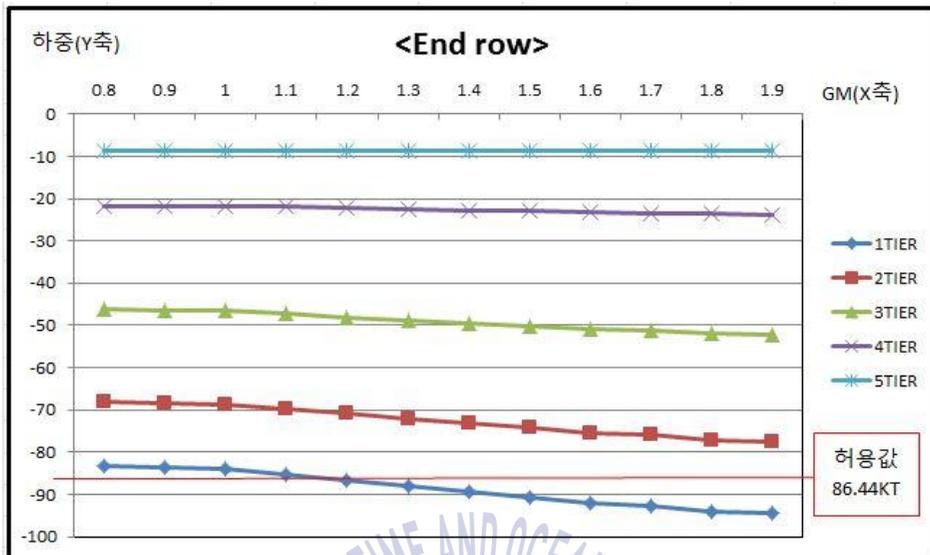


Fig. 16 End row Compress force of 4.5K Container ship on GM

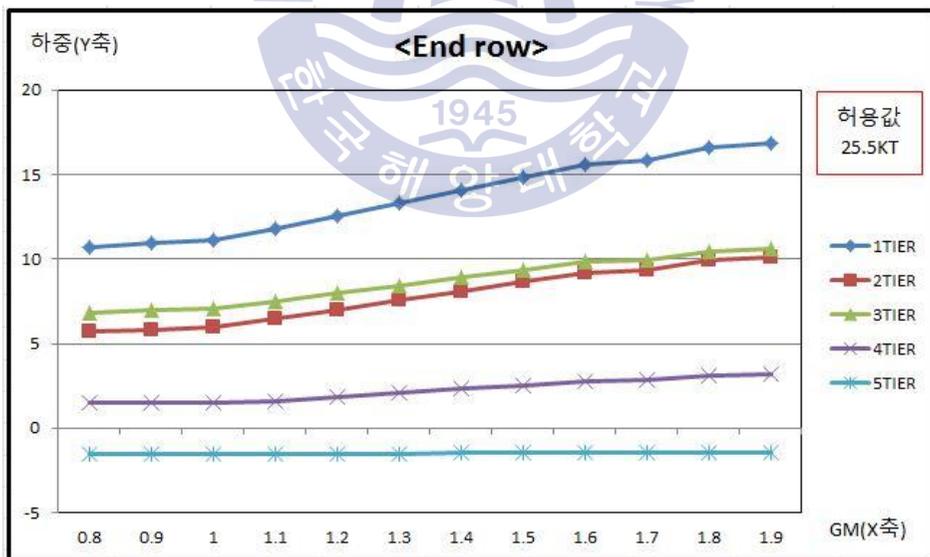


Fig. 17 End row Tension force of 4.5K Container ship on GM

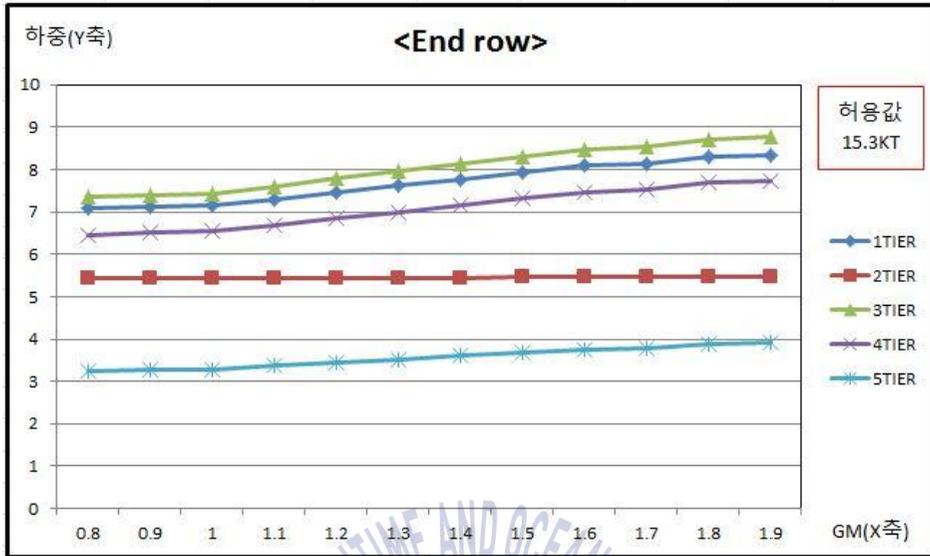


Fig. 18 End row Shear force of 4.5K Container ship on GM

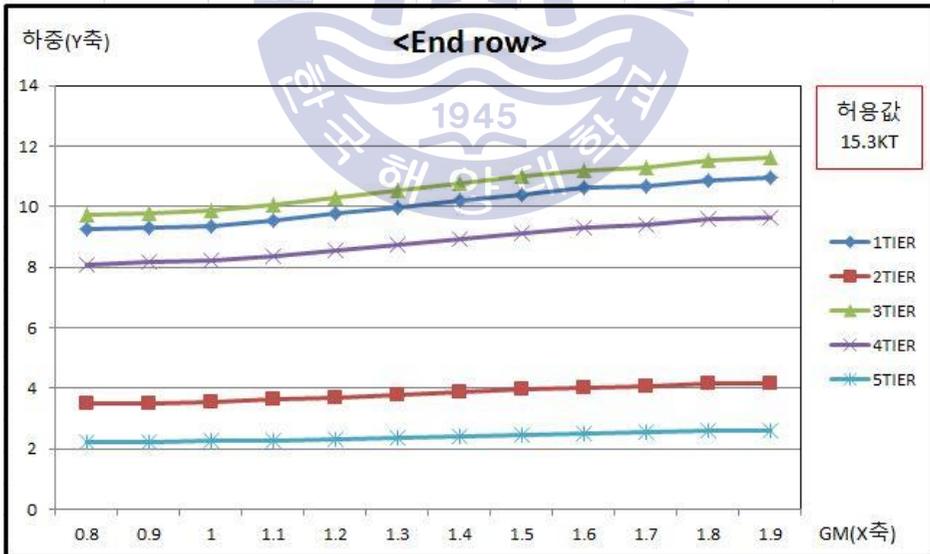


Fig. 19 End row Racking force of 4.5K Container ship on GM

2) 8.5K 컨테이너선 GM을 변수로 한 고박하중 비교 분석

아래 Table 20은 8.5K 컨테이너 선박에 선적 컨테이너 무게 및 위치를 나타내며, Fig. 20~Fig. 24는 End row에서 GM에 따른 Lashing force 비교 그래프를 나타낸다. End row 와 Center row의 Lashing force 실제 Data 값과 Center row에서 GM에 따른 Lashing force 비교 그래프는 부록에 첨부하였다.

Table 20 Loading Container weight of 8.5K Container ship

Tier	Container weight(Ton) / Slot																	
	18	16	14	12	10	08	06	04	02	01	03	05	07	09	11	13	15	17
6th	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
5th	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
4th	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
3rd	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
2nd	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
1st	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
SUM	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0

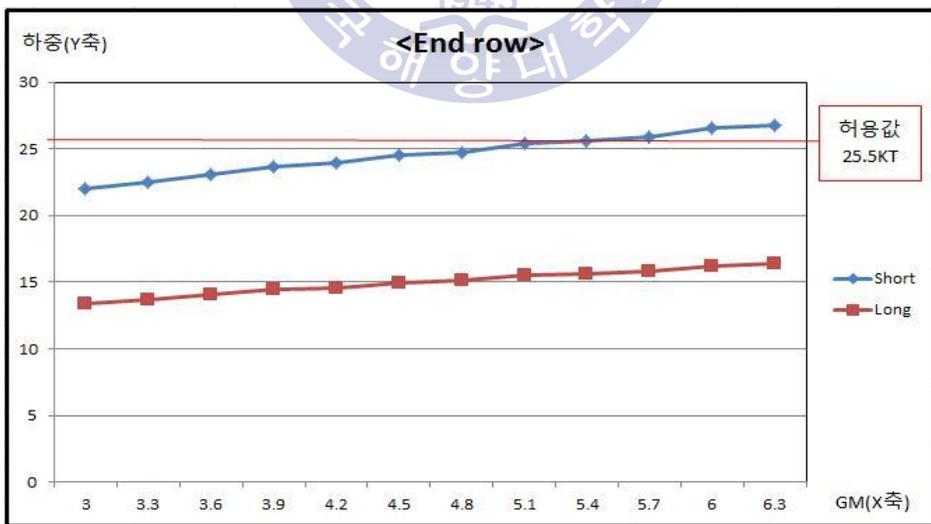


Fig. 20 End row Lashing force of 8.5K Container ship on GM

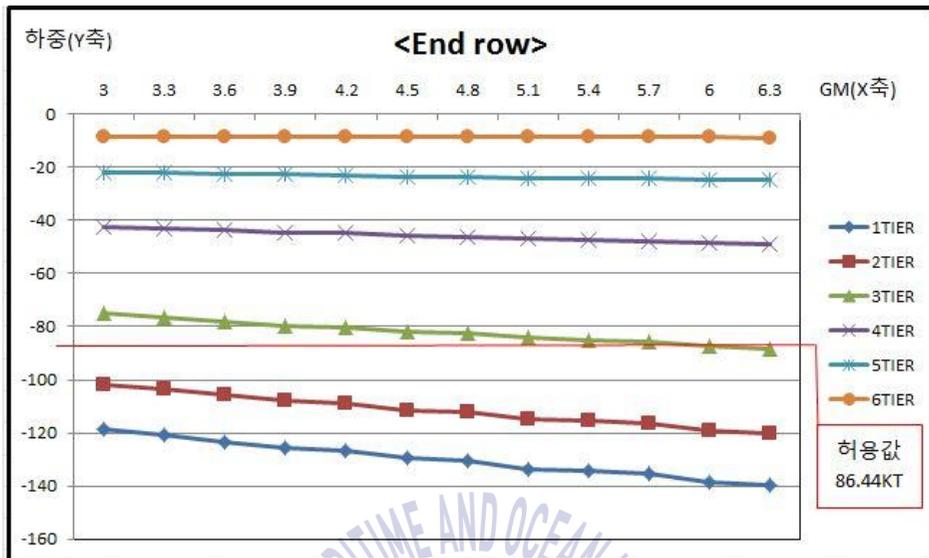


Fig. 21 End row Compress force of 8.5K Container ship on GM

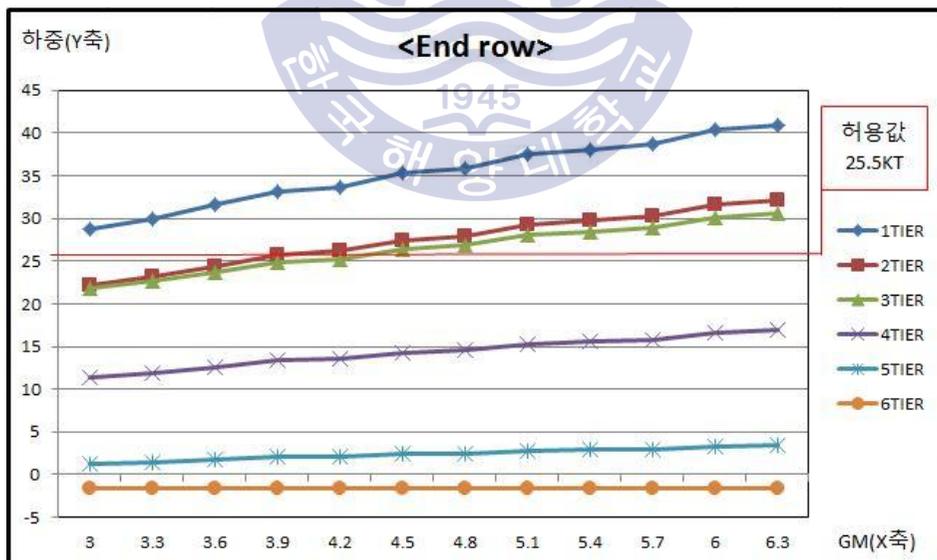


Fig. 22 End row Tension force of 8.5K Container ship on GM

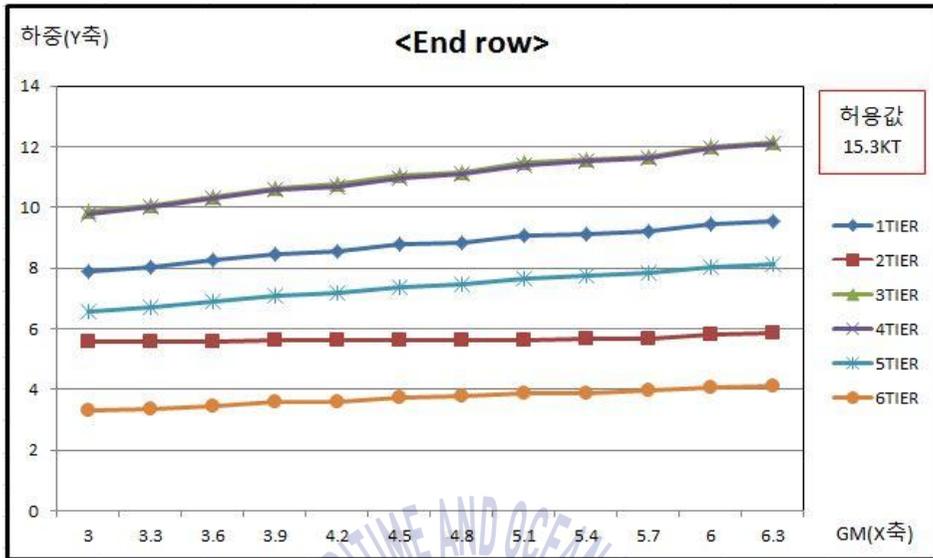


Fig. 23 End row Shear force of 8.5K Container ship on GM

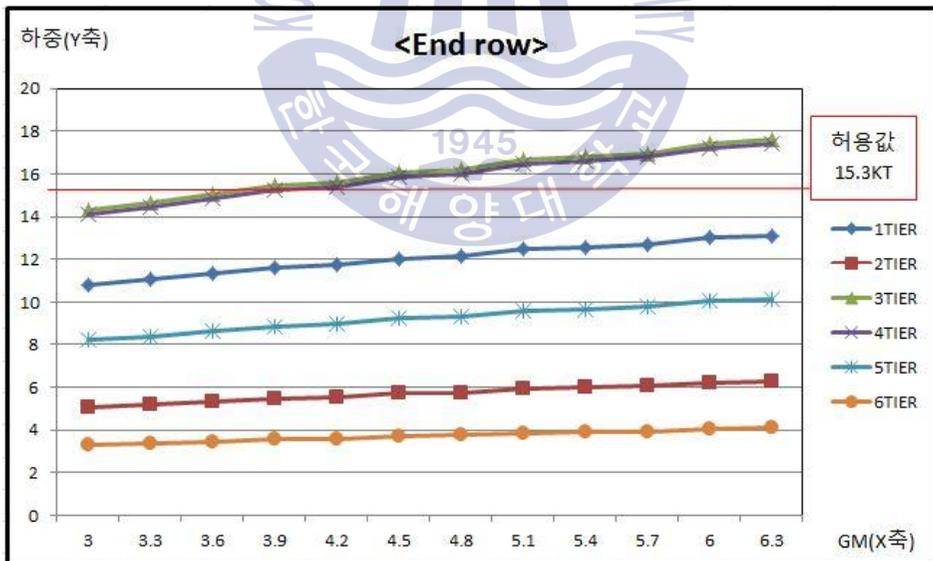


Fig. 24 End row Racking force of 8.5K Container ship on GM

3) 13.1K 컨테이너선 GM을 변수로 한 고박하중 비교 분석

아래 Table 21은 13.1K 컨테이너 선박에 선적 컨테이너 무게 및 위치를 나타내며, Fig. 25~Fig. 29는 End row에서 GM에 따른 Lashing force 비교 그래프를 나타낸다. End row 와 Center row의 Lashing force 실제 Data 값과 Center row에서 GM에 따른 Lashing force 비교 그래프는 부록에 첨부하였다.

Table 21 Loading Container weight of 13.1K Container ship

Tier	Container weight(Ton) / Slot																		
	18	16	14	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11	13	15	17
7th	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
6th	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
5th	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
4th	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
3rd	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
2nd	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
1st	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
SUM	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0

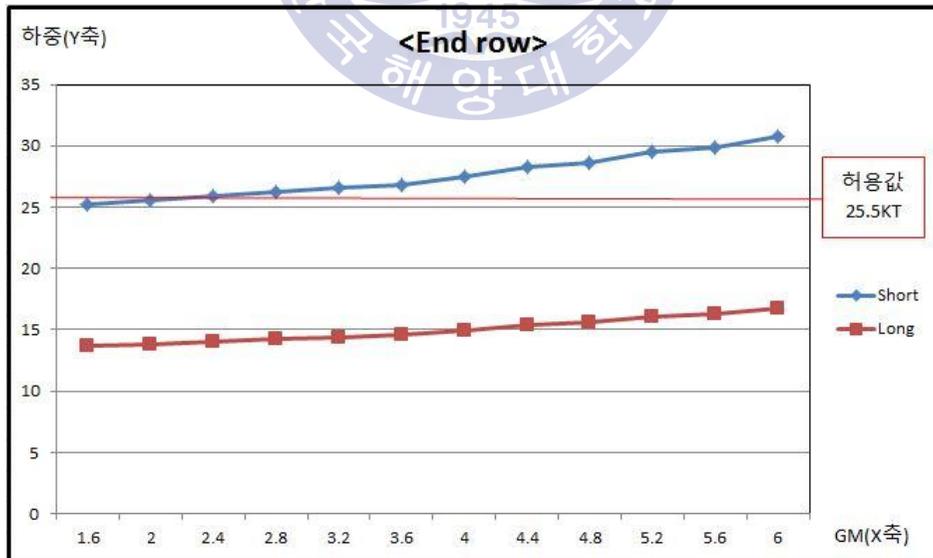


Fig. 25 End row Lashing force of 13.1K Container ship on GM

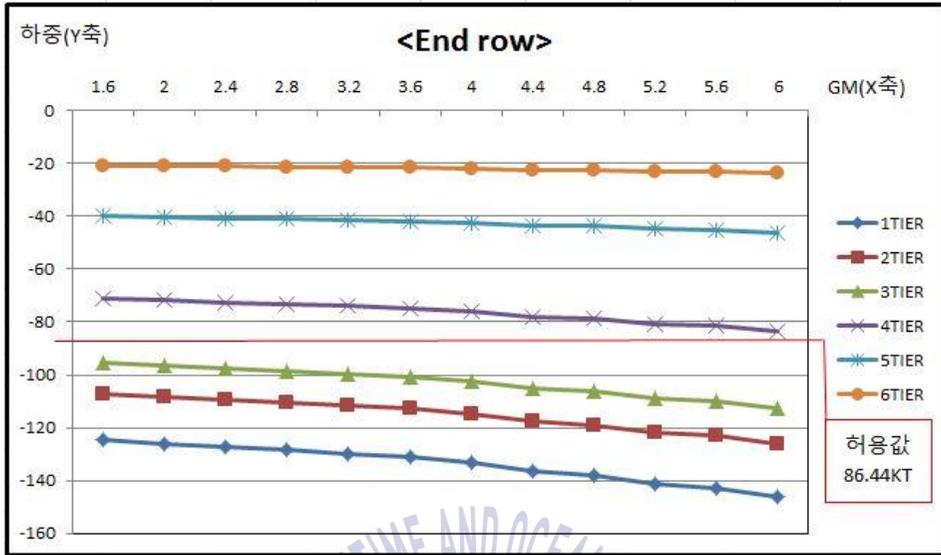


Fig. 26 End row Compress force of 13.1K Container ship on GM

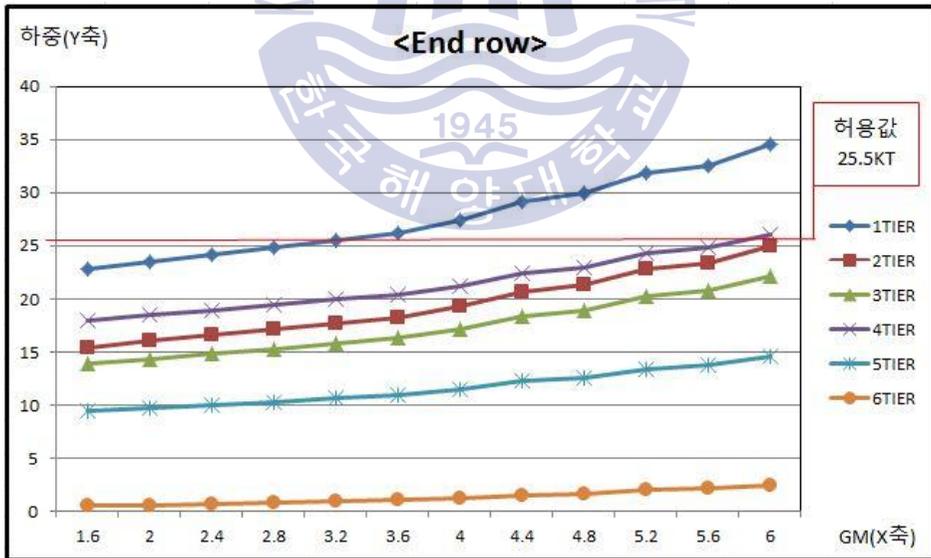


Fig. 27 End row Tension force of 13.1K Container ship on GM

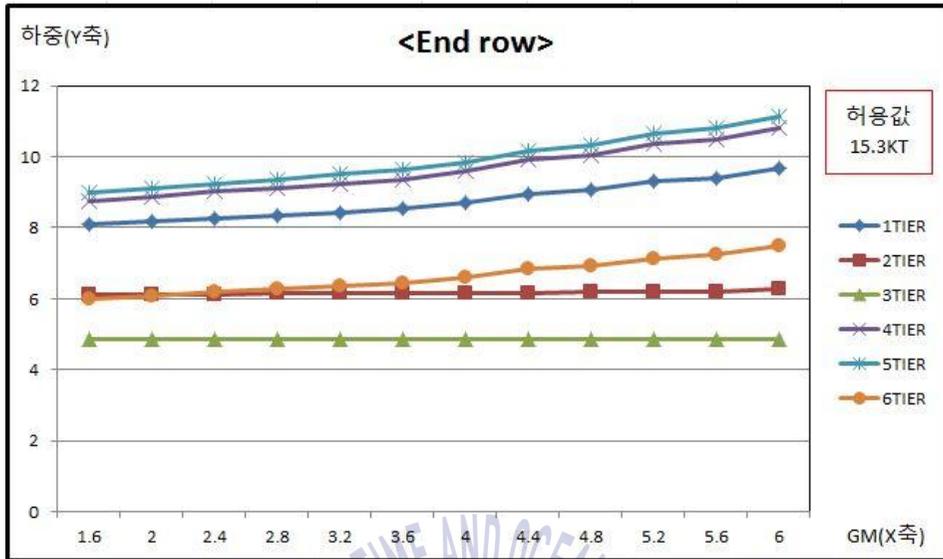


Fig. 28 End row Shear force of 13.1K Container ship on GM

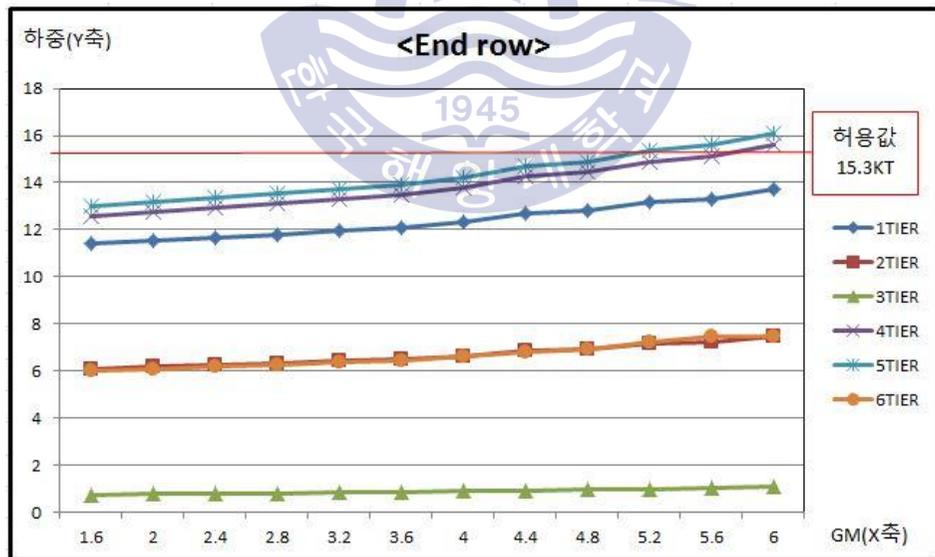


Fig. 29 End row Racking force of 13.1K Container ship on GM

4) GM을 변수로 한 고박하중 종합 비교

Fig. 15~Fig. 29의 그래프를 살펴보면, GM이 증가할수록 모든 Lashing force의 값은 대체적으로 비례하여 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 그리고 특징 중 하나는 Shear force는 어떠한 변수라도 허용하중 (15.3 KT)을 초과하지 않는 것을 확인 할 수 있었으며, 변동 폭 또한 가장 작았다.

Table 22는 4.5K 컨테이너 선박의 고박 하중에 대한 GM의 간격 별 비교 분석 결과이다. GM이 고박하중에 상당히 많은 영향을 끼치는 것을 확인 할 수 있으며, 특히 Tension force의 경우 1단 선적된 Container에 GM 변동 폭(per:0.1) 마다 2.17%~3.00% 변동되어, 가장 많은 영향을 받는 것을 확인 할 수 있었다.

**Table 22** Average change amount of 4.5k's Lashing force on GM

Parameter	Row	Lashing	Tier	Compress	Tension	Shear	Racking
Average change amount of 4.5K Container ship's lashing force on GM							
GM (per0.1)	End row	Short bar	-	-	-	-	-
		1.17%	5	-0.01%	0.02%	0.39%	0.23%
			4	-0.21%	0.60%	0.76%	0.92%
		Long bar	3	-0.64%	1.34%	0.84%	1.11%
		0.67%	2	-0.98%	1.57%	0.02%	0.41%
			1	-1.18%	2.17%	0.74%	1.00%
GM (per0.1)	Center row	Short bar	-	-	-	-	-
		1.50%	5	-0.01%	0.04%	0.40%	0.24%
			4	-0.22%	0.78%	0.79%	0.97%
		Long bar	3	-0.54%	1.84%	1.15%	1.66%
		Nil	2	-0.98%	2.22%	0.03%	0.60%
			1	-1.21%	3.00%	0.27%	1.21%

Table 23, 24는 8.5K, 13.1K 컨테이너 선박의 고박 하중에 대한 GM의 간격 별 비교 분석 결과이다. 4.5K 컨테이너 선박과 비슷한 추이를 나타내고 있다. Tension force의 경우 1단 선적된 Container에 GM 변동 폭 (8.5K:0.3, 13.1K:0.4) 마다 8.5K는 4.32%~5.70%, 13.1K는 4.15%~5.67%로 영향을 받는 것을 확인 할 수 있다.

**Table 23** Average change amount of 8.5k's Lashing force on GM

Parameter	Row	Lashing	Tier	Compress	Tension	Shear	Racking
Average change amount of 8.5K Container ship's Lashing force on GM							
GM (per0.3)	End	Short bar	6	-0.02%	0.02%	0.48%	0.29%
		1.72%	5	-0.31%	0.77%	0.93%	1.15%
			4	-0.71%	1.95%	1.37%	1.95%
	row	Long bar	3	-1.39%	3.13%	1.34%	1.96%
		1.07%	2	-1.91%	3.52%	0.15%	0.71%
			1	-2.19%	4.32%	0.98%	1.37%
GM (per0.3)	Center	Short bar	6	-0.02%	0.05%	0.49%	0.30%
		2.21%	5	-0.28%	0.93%	0.96%	1.18%
			4	-0.66%	2.22%	1.40%	2.01%
	row	Long bar	3	-1.19%	4.00%	1.81%	2.79%
		Nil	2	-1.86%	4.64%	0.11%	0.99%
			1	-2.18%	5.70%	1.05%	1.67%

**Table 24** Average change amount of 13.1k's Lashing force on GM

Parameter	Row	Lashing	Tier	Compress	Tension	Shear	Racking
Average change amount of 13.1K Container ship's Lashing force on GM							
GM (per0.4)	End	Short bar	7	-0.03%	0.02%	0.45%	0.27%
		1.96%	6	-0.29%	0.69%	0.87%	1.08%
			5	-0.67%	1.81%	1.27%	1.83%
	row	Long bar	4	-1.32%	2.87%	1.22%	1.76%
		1.10%	3	-1.80%	2.92%	0.02%	0.20%
			2	-1.98%	3.36%	0.10%	0.81%
GM (per0.4)	Center	Short bar	7	-0.02%	0.05%	0.46%	0.28%
		2.50%	6	-0.26%	0.88%	0.89%	1.09%
			5	-0.61%	2.07%	1.30%	1.86%
	row	Long bar	4	-1.10%	3.73%	1.67%	2.57%
		Nil	3	-1.72%	3.99%	0.02%	0.40%
			2	-1.91%	4.65%	0.05%	1.02%
		1	-2.21%	5.67%	0.61%	1.59%	

## 4.2 컨테이너 적재 위치가 고박하중에 미치는 영향 분석

이 절에서는 컨테이너 선박에 대한 종방향으로 컨테이너 적재 위치를 변수로 하여 고박하중에 얼마나 영향을 끼치는지 비교 분석을 하였다.

### 4.2.1 컨테이너 적재 위치 설정

컨테이너 선박에 대한 컨테이너 적재 위치는 선박의 종방향으로 기본 8Bay 간격을 두고 선적하여 위치별 비교 분석하였다. 다만, 거주구역 및 선박의 특수한 구조로 인한 제약사항이 있을 경우 4Bay 간격을 띄우도록 하여 동일한 라싱설비에서 연구를 진행하였다. 아래 Fig. 30는 8.5K 컨테이너 선박에 대한 컨테이너 적재 위치를 나타낸다.

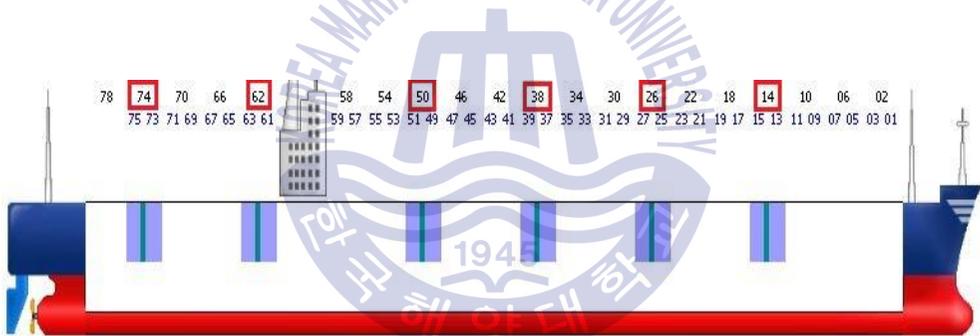


Fig. 30 Container Loading Position of 8.5K Container Ship

통제 변수로 GM 및 DRAFT 는 최근 6개월간 부산 신항 H 터미널에 기항한 4.5K, 8.5K, 13.1K 컨테이너 선박의 실제 DATA의 평균치를 기반으로 하였다. 컨테이너 적재 단수는 컨테이너 선박에 Staking weight allowance(20ton 기준)를 만족하는 최대 선적 가능 층수를 기준으로 하였으며, Table 25와 같이 설정하여 컨테이너 고박 하중을 계산하였다. 단, 13.1K 선박은 8단적 까지 선적 가능하나 Lashing force 계산시 허용하중을 모두 넘어 7단으로 설정함.

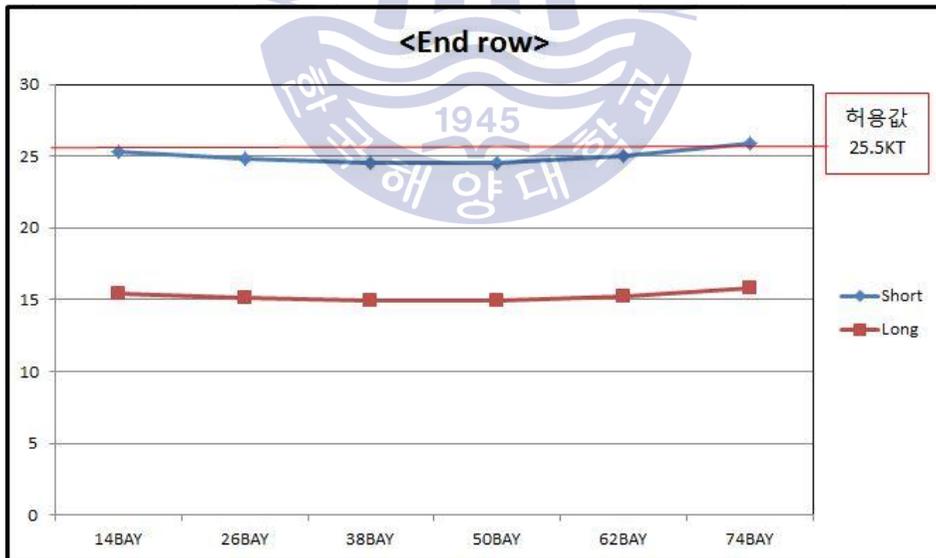
**Table 25** Control variable & Interval of Ship's Loading position

Ship's size	GM	Draft	Interval	Bay of application	Tier
4.5K	1.2	10.9m	4~8 Bay	12,24,36,48,56,64	5
8.5K	4.5	11.6m	8 Bay	14,26,38,50,62,74	6
13.1K	3.7	12.5m	4~8 Bay	14,26,38,50,62,74,82	7

#### 4.2.2 적재 위치를 변수로 한 고박하중 계산 및 상관관계 분석

1) 8.5K 컨테이너선, 컨테이너 적재 위치를 변수로 한 고박하중 분석

Fig. 31~Fig. 35는 End row에서 컨테이너 적재 위치에 따른 Lashing force 비교 그래프를 나타낸다. End row 와 Center row의 Lashing force 실제 Data 값과 Center row에서 컨테이너 적재 위치에 따른 Lashing force 비교 그래프는 부록에 첨부하였다.



**Fig. 31** End row Lashing force of 8.5K on Loading position



Fig. 32 End row Compress force of 8.5K on Loading position

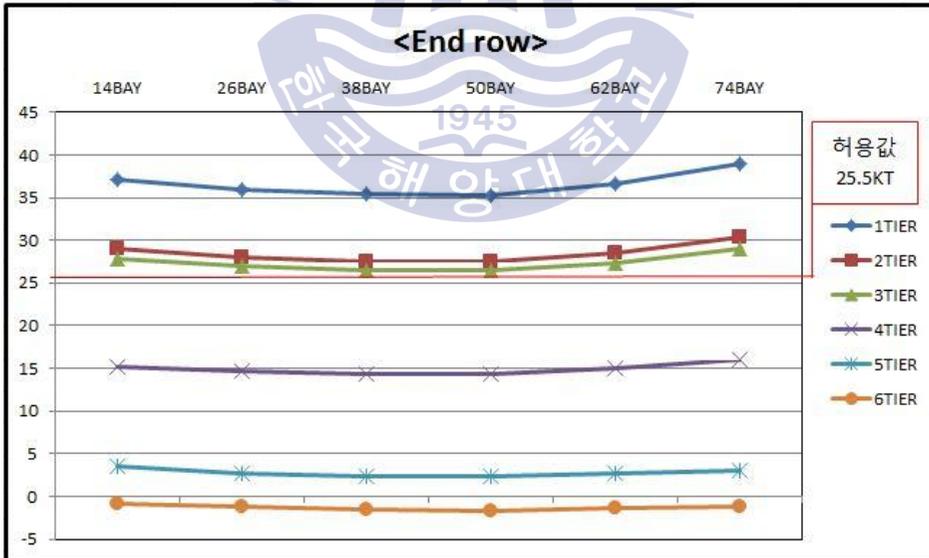


Fig. 33 End row Tension force of 8.5K on Loading position

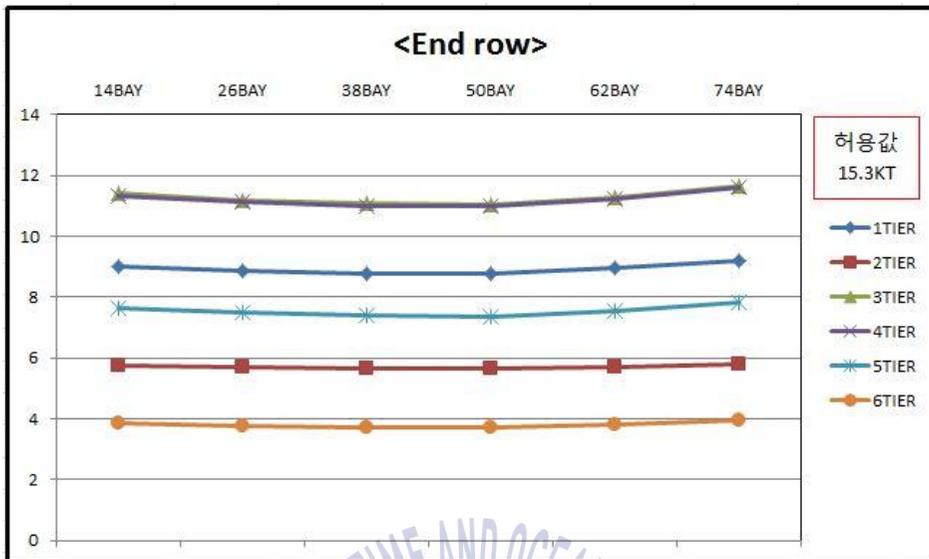


Fig. 34 End row Shear force of 8.5K on Loading position

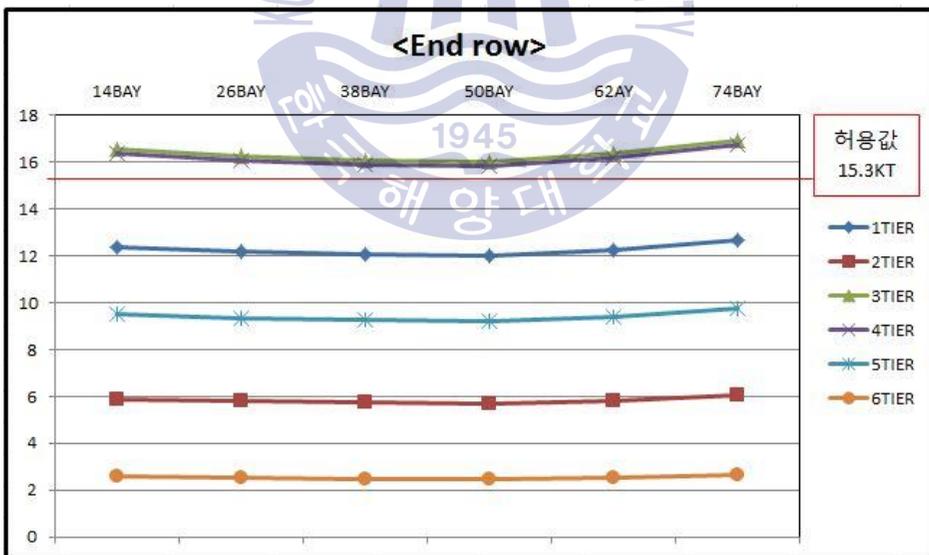


Fig. 35 End row Racking force of 8.5K on Loading position

2) 컨테이너 적재 위치를 변수로 한 고박하중 종합 비교

Fig. 31~Fig. 35의 그래프를 살펴보면, 선박의 종방향으로 선수, 선미에 가까울수록 Lashing force의 값이 증가하였고, 중간에 선적할수록 Lashing force의 값이 상대적으로 낮음을 확인 할 수 있었다. 이는 선박의 길이방향 위치에 따른 동적계수로 인한 차이로 풀이할 수 있다. 선수, 선미에 가까울수록 동적계수가 증가하여 Lashing force 값도 증가하였다.

8.5K 선박의 적용한 Bay 중에서 가장 차이가 많이 나는 50Bay 와 74Bay의 Lashing force 값의 차이를 비교 분석한 결과를 Table 26와 같이 정리하였다.

**Table 26** Lashing force 's difference between 50Bay and 74Bay of 8.5K

Lashing force's difference between 50Bay and 74Bay of 8.5K							
Parameter	Row	Lashing	Tier	Compress	Tension	Shear	Racking
Difference	End row	Short bar	6	-0.6%	1.5%	1.5%	0.9%
		5.1%	5	-1.0%	2.8%	2.9%	3.5%
			4	-2.2%	6.5%	4.2%	5.9%
			Long bar	3	-4.2%	10.4%	4.1%
		3.2%	2	-5.8%	11.7%	1.0%	2.2%
			1	-6.7%	14.3%	2.9%	4.1%
Difference	Center row	Short bar	6	-0.6%	1.5%	1.5%	0.9%
		6.5%	5	-1.0%	2.8%	2.9%	3.5%
			4	-2.2%	6.6%	4.2%	6.0%
			Long bar	3	-3.8%	11.9%	5.3%
		Nil	2	-5.8%	13.8%	1.1%	2.9%
			1	-6.8%	16.9%	3.3%	4.8%

50Bay와 74Bay의 선적위치에 따라 최고 Lashing(6.5%), Compress(6.8%), Tension(16.9%), Shear(5.3%), Rack(8.2%) 까지 Lashing force 값의 차이가 발생하였다.

Table 27, Table 28는 4.5K, 13.1K 선박에 적용한 Bay 중에서 가장 차이가 많이 나는 Bay의 Lashing force의 값의 차이를 비교 분석하였다. 8.5K 선박과 비슷한 추이를 나타내었다.

**Table 27** Lashing force 's difference between 36Bay and 64Bay of 4.5K

Lashing force's difference between 36Bay and 64Bay of 4.5K							
Parameter	Row	Lashing	Tier	Compress	Tension	Shear	Racking
Difference	End	Short bar	5	-0.5%	1.1%	0.8%	0.5%
		2.5%	4	-1.6%	3.8%	1.6%	2.0%
	3		-1.4%	3.3%	1.8%	2.4%	
	row		Long bar	2	-2.1%	4.6%	0.7%
		1.4%	1	-2.5%	5.3%	1.6%	2.1%
Difference	Center	Short bar	5	-0.5%	1.7%	0.8%	0.5%
		3.0%	4	-1.3%	2.7%	1.6%	2.0%
	3		-1.2%	3.9%	2.4%	3.3%	
	row		Long bar	2	-2.1%	4.7%	0.7%
		Nil	1	-2.6%	6.3%	1.4%	2.4%

**Table 28** Lashing force's difference between 50Bay and 82Bay of 13.1K

Lashing force's difference between 50Bay and 82Bay of 13.1K							
Parameter	Row	Lashing	Tier	Compress	Tension	Shear	Racking
Difference	End	Short bar	7	-0.6%	1.4%	1.2%	0.7%
		4.7%	6	-1.1%	3.3%	2.3%	2.8%
			5	-1.7%	5.3%	3.3%	4.7%
	row	Long bar	4	-3.4%	8.3%	3.2%	4.6%
		2.7%	3	-4.6%	8.9%	0.3%	1.0%
			2	-5.2%	10.6%	1.2%	2.7%
			1	-5.6%	11.9%	-0.7%	2.0%
Difference	Center	Short bar	7	-0.6%	1.4%	1.2%	0.7%
		6.0%	6	-0.9%	2.4%	2.3%	2.7%
			5	-1.7%	5.3%	3.3%	4.7%
	row	Long bar	4	-3.0%	9.5%	4.2%	6.6%
		Nil	3	-4.6%	10.5%	0.4%	1.5%
			2	-5.3%	12.5%	1.1%	3.2%
			1	-5.8%	14.2%	0.3%	2.5%

### 4.3 선박의 흘수가 고박하중에 미치는 영향 분석

이 절에서는 컨테이너 선박의 흘수를 변수로 하여 고박하중에 얼마나 영향을 끼치는지 비교 분석을 하였다. H선사에서 사용 중인 HI-STOW 프로그램의 Lashing calculation tool 에는 흘수만을 변경하여 Lashing force 를 check 할 수 있는 시뮬레이션 기능이 있어 이를 이용하였다.

#### 4.3.1 선박 별 흘수 구간 설정

흘수 구간을 설정함에 있어서, 최근 6개월간 부산 신항 H 터미널에 기항한 4.5K, 8.5K, 13.1K 컨테이너 선박의 실제 DATA를 통해 흘수 구간 및 간격을 설정하였고, 통제 변수인 GM은 6개월간의 선박의 GM 평균치를 기반으로 하였다. 선박의 흘수 구간과 간격, 적재단수는 Table 29와 같이 설정하여 컨테이너 고박 하중을 계산하였다.

Table 29 Section & Interval of Container Ship's Draft

Ship's size	Middle Bay	GM	Draft section(m)	Draft interval(m)	Tier
4.5K	36 Bay	1.2	10.0~12.5	0.5	5
8.5K	42 Bay	4.5	10.5~13.0	0.5	6
13.1K	42 Bay	3.7	9.0~14.0	1.0	7

#### 4.3.2 선박의 흘수를 변수로 한 고박하중 계산 및 상관관계 분석

##### 1) 8.5K 컨테이너 선박의 흘수를 변수로 한 고박하중 비교 분석

Fig. 36~Fig. 40는 End row에서 컨테이너 적재 위치에 따른 Lashing force 비교 그래프를 나타낸다. End row 와 Center row의 Lashing force 실제 Data 값과 Center row에서 컨테이너 적재 위치에 따른 Lashing force 비교 그래프는 부록에 첨부하였다.

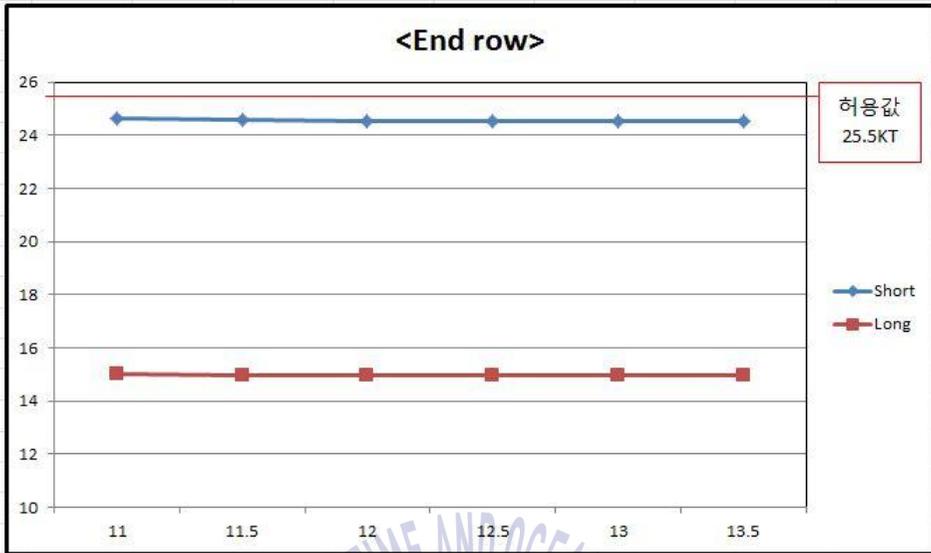


Fig. 36 End row Lashing force of 8.5K on Ship's Draft

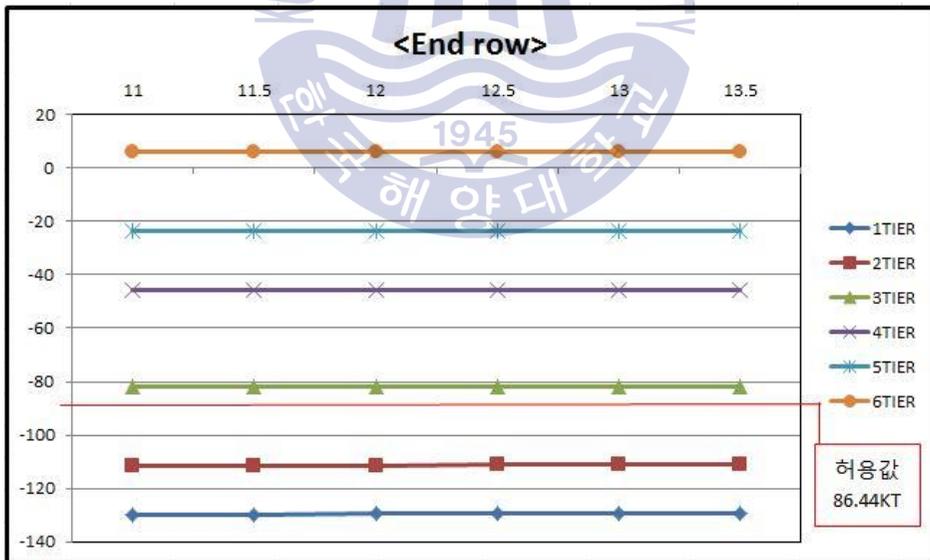


Fig. 37 End row Compress force of 8.5K on Ship's Draft

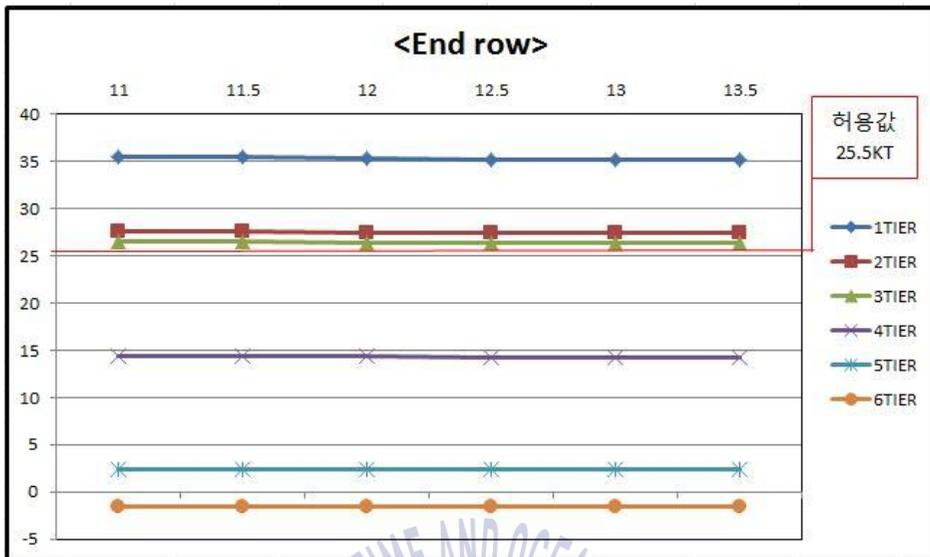


Fig. 38 End row Tension force of 8.5K on Ship's Draft

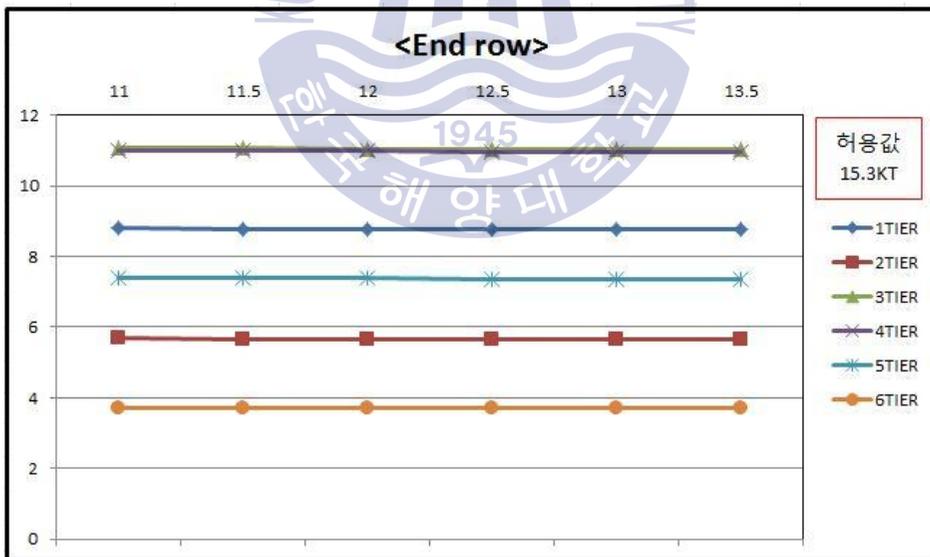


Fig. 39 End row Shear force of 8.5K on Ship's Draft

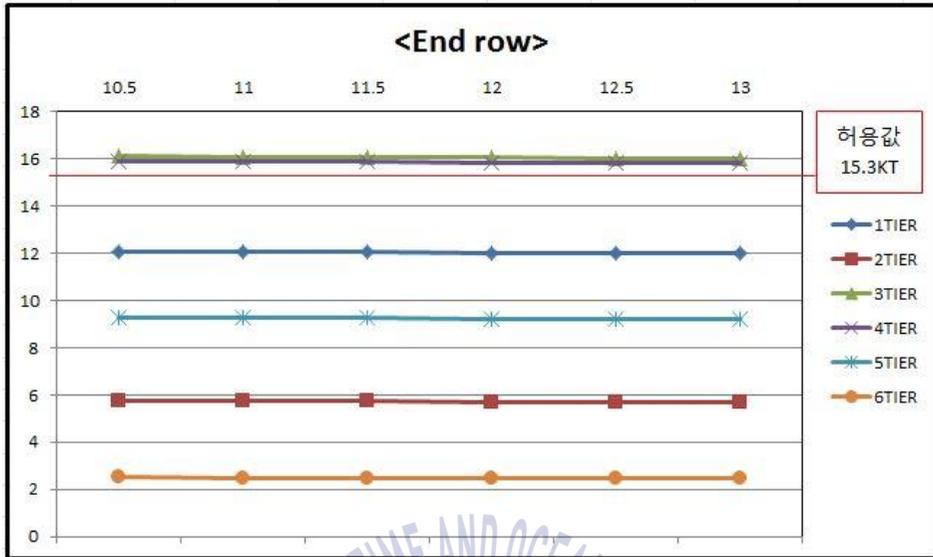


Fig. 40 End row Racking force of 8.5K on Ship's Draft



2) 컨테이너 선박의 흘수를 변수로 한 고박하중 종합 비교

Fig. 36~Fig. 40의 그래프를 살펴보면, 컨테이너 선박의 흘수가 증가할수록 미세하게 Lashing force의 값이 감소하였다. 하지만 이 변동 값이 크지 않으며, 특히 일정 흘수 이상이 되면 더 이상 Lashing force 값이 변경되지 않고 일정하게 유지되는 것을 발견하였다.

Table 30은 8.5K 컨테이너 선박 흘수의 간격별 Lashing force 값의 비교 분석 결과이다. 가장 크게 변동된 값이 Lashing & Compress force로 0.15% 변동에 불과하여, 흘수가 고박하중에 적은 영향을 끼치는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 12.5m 이상의 흘수에서는 더 이상 Lashing force의 값은 변동이 없었다.

**Table 30** Average change amount of 8.5K's Lashing force on Draft

Average change amount of 8.5K Container ship's Lashing force on Draft							
Parameter	Row	Lashing	Tier	Compress	Tension	Shear	Racking
Draft (per0.5m)	End row	Short bar	6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
		-0.12%	5	0.02%	-0.02%	-0.01%	-0.02%
			4	0.04%	-0.04%	-0.02%	-0.02%
			Long bar	3	0.09%	-0.07%	-0.02%
		-0.07%	2	0.13%	-0.08%	-0.02%	-0.01%
			1	0.15%	-0.10%	-0.01%	-0.02%
Draft (per0.5m)	Center row	Short bar	6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
		-0.15%	5	0.02%	-0.02%	-0.01%	-0.01%
			4	0.04%	-0.04%	-0.02%	-0.02%
			Long bar	3	0.08%	-0.08%	-0.02%
		Nil	2	0.13%	-0.09%	-0.01%	-0.01%
			1	0.15%	-0.12%	-0.02%	-0.02%
No more change over 12.5m							

Table 31, Table 32은 4.5K, 13.1K 선박의 고박하중에 대한 흘수의 간격별 비교 분석 결과이다. 4.5K 선박은 흘수가 11.0m 이상이 될 경우, 13.1K 선박은 15.0m 이상이 될 경우 Lashing force의 값이 변동이 없었다.

**Table 31** Average change amount of 4.5K's Lashing force on Draft

Average change amount of 4.5K Container ship's Lashing force on Draft							
Parameter	Row	Lashing	Tier	Compress	Tension	Shear	Racking
Draft (per0.5m)	End	Short bar	6	0.00%	0.00%	0.00%	-0.03%
		-0.06%	5	0.01%	-0.04%	-0.03%	-0.03%
	4		0.03%	-0.08%	-0.03%	-0.07%	
	row	Long bar	3	0.05%	-0.08%	-0.07%	-0.03%
		-0.02%	2	0.05%	-0.12%	-0.03%	-0.07%
			1	0.09%	-0.20%	-0.10%	-0.07%
Draft (per0.5m)	Center	Short bar	6	0.00%	0.00%	-0.03%	0.00%
		-0.06%	5	0.01%	-0.04%	-0.03%	-0.03%
	4		0.03%	-0.08%	-0.03%	-0.07%	
	row	Long bar	3	0.05%	-0.10%	-0.10%	-0.03%
		Nil	2	0.05%	-0.14%	-0.10%	-0.07%
			1	0.09%	-0.24%	-0.10%	-0.07%
No more change over 11.0m							

**Table 32** Average change amount of 13.1K's Lashing force on Draft

Average Change amount of 13.1K Container ship's Lashing force on Draft							
Parameter	Row	Lashing	Tier	Compress	Tension	Shear	Racking
Draft (per1.0m)	End	Short bar	7	0.00%	0.00%	-0.05%	-0.03%
		-0.22%	6	0.03%	-0.09%	-0.09%	-0.10%
	5		0.06%	-0.20%	-0.13%	-0.18%	
	row	Long bar	4	0.12%	-0.32%	-0.13%	-0.18%
		-0.13%	3	0.18%	-0.34%	-0.10%	-0.01%
			2	0.19%	-0.38%	-0.13%	-0.09%
Draft (per1.0m)	Center	Short bar	7	0.00%	0.00%	-0.04%	-0.03%
		-0.27%	6	0.03%	-0.09%	-0.09%	-0.10%
	5		0.06%	-0.21%	-0.13%	-0.18%	
	row	Long bar	4	0.11%	-0.38%	-0.17%	-0.26%
		Nil	3	0.18%	-0.40%	-0.10%	-0.04%
			2	0.20%	-0.47%	-0.13%	-0.12%
row	Nil	1	0.23%	-0.59%	-0.16%	-0.18%	
		1	0.23%	-0.59%	-0.16%	-0.18%	
No more change over 15.0m							

#### 4.4 선박크기별 특성이 고박하중에 미치는 영향 분석

이 절에서는 컨테이너 선박의 크기를 변수로 하여 고박하중에 얼마나 영향을 끼치는지 비교 분석을 하였다.

##### 4.4.1 선박 크기 별 비교대상 및 통제요인 설정

컨테이너 선박의 대상은 Table 33와 같이 동일한 컨테이너 단수 하에 4.5K 선박과 8.5K 선박의 비교, 8.5K 선박과 13.1K 선박을 비교하였으며, GM 및 흘수는 최근 6개월간 선박별 PUS 기항 선박의 실제 DATA를 통해 평균치를 기반으로 설정하여 고박 하중을 계산하였다.

**Table 33** Comparison target & Control variable on CNTR ship's size

Target	Ship's size	GM	Draft(m)	Middle Bay	Tier
4.5K vs 8.5K	4.5K	1.2	10.9	36 Bay	5
	8.5K	4.5	11.6	42 Bay	5
8.5K vs 13.1K	8.5K	4.5	11.6	42 Bay	6
	13.1K	3.7	12.5	42 Bay	6

##### 4.4.2 선박 크기를 변수로 한 고박하중 계산 및 상관관계 분석

1) 4.5K vs 8.5K 컨테이너선을 변수로 한 고박하중 비교 분석

Fig. 41~Fig. 45는 End row에서 4.5K 선박과 8.5K 선박 간에 Lashing force 비교 그래프를 나타낸다. Center row에서 컨테이너 적재 위치에 따른 Lashing force 비교 그래프는 부록에 첨부하였다.



Fig. 41 End row Lashing force of 4.5K & 8.5K

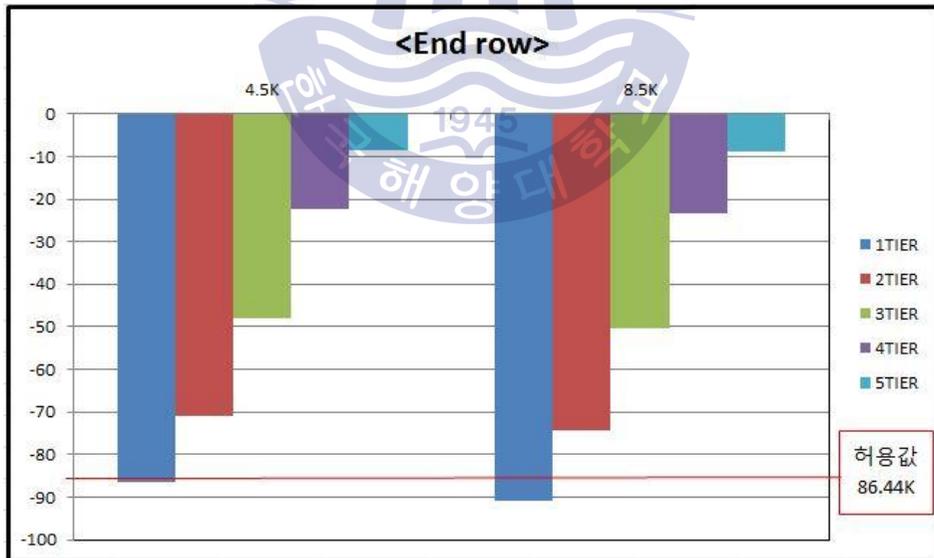


Fig. 42 End row Compress force of 4.5K & 8.5K

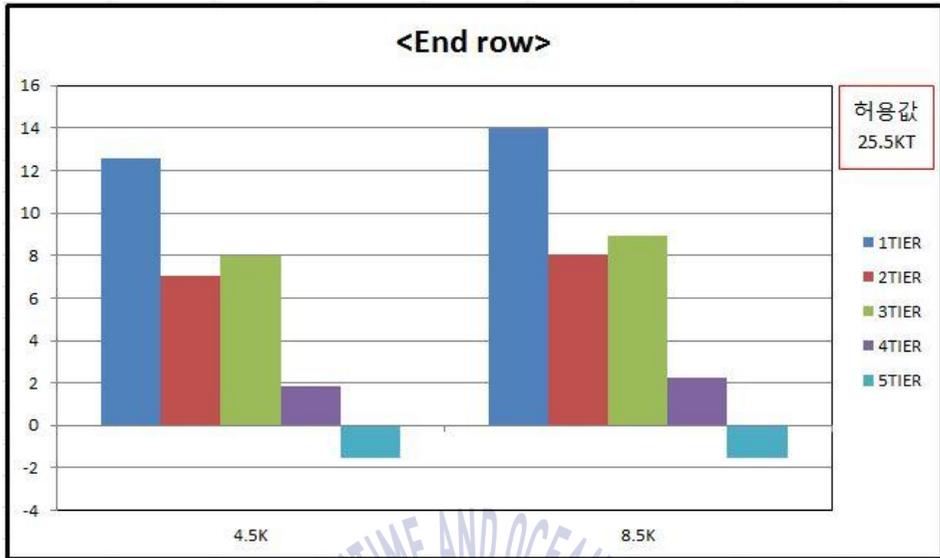


Fig. 43 End row Tension force of 4.5K & 8.5K

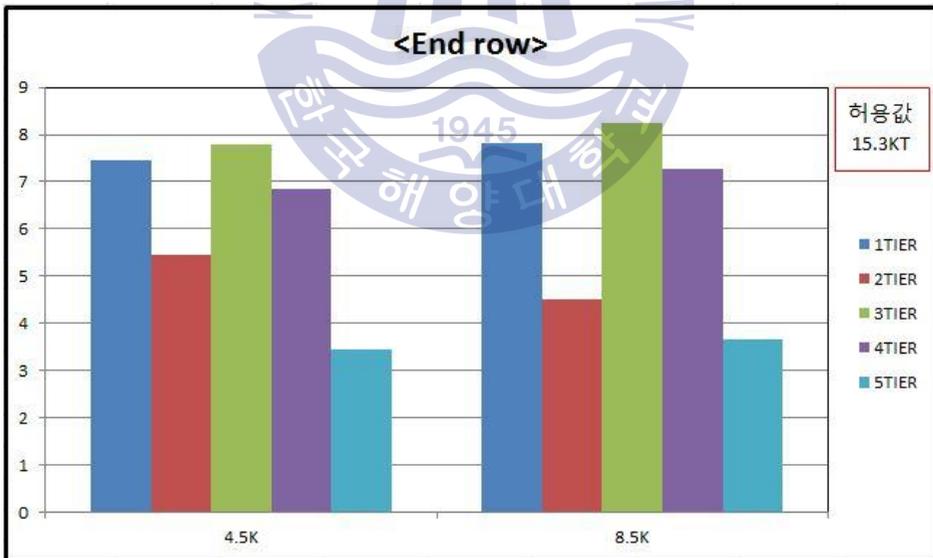


Fig. 44 End row Shear force of 4.5K & 8.5K

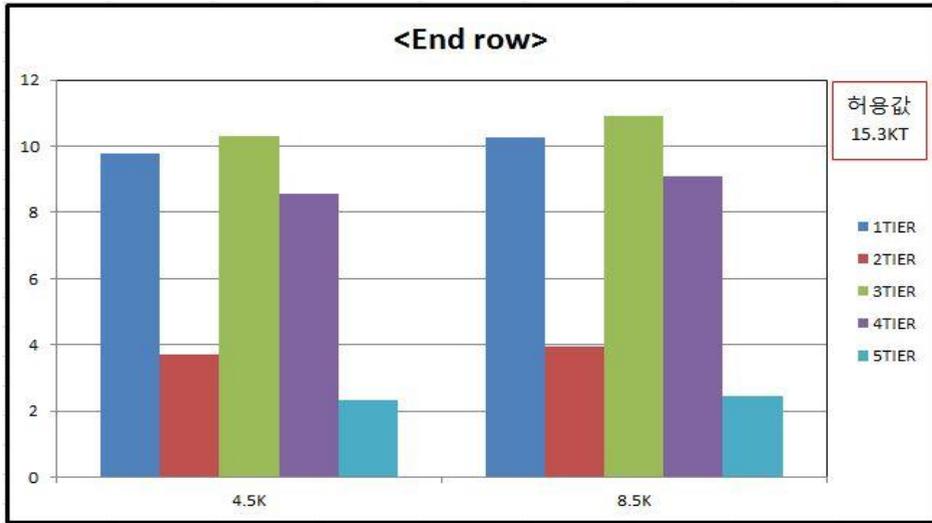


Fig. 45 End row Racking force of 4.5K & 8.5K

2) 8.5K vs 13.1K 컨테이너선을 변수로 한 고박하중 비교 분석

Fig. 46~Fig. 50는 End row에서 8.5K 선박과 13.1K 선박 간에 Lashing force 비교 그래프를 나타낸다. Center row에서 컨테이너 적재 위치에 따른 Lashing force 비교 그래프는 부록에 첨부하였다.

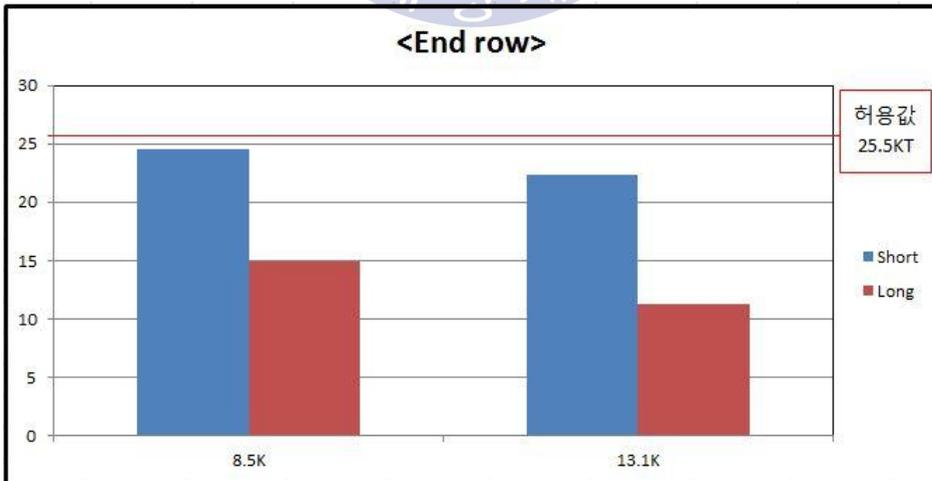


Fig. 46 End row Lashing force of 8.5K & 13.1K

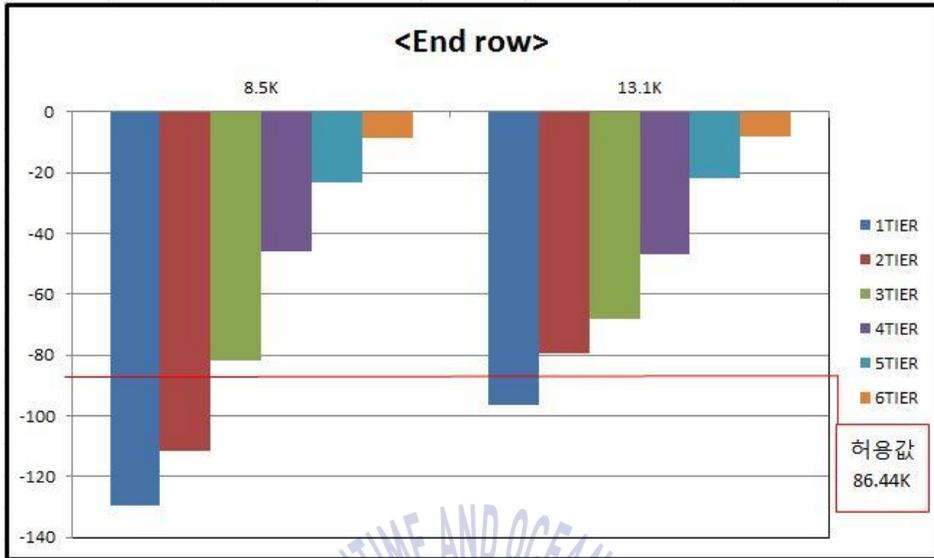


Fig. 47 End row Compress force of 8.5K & 13.1K

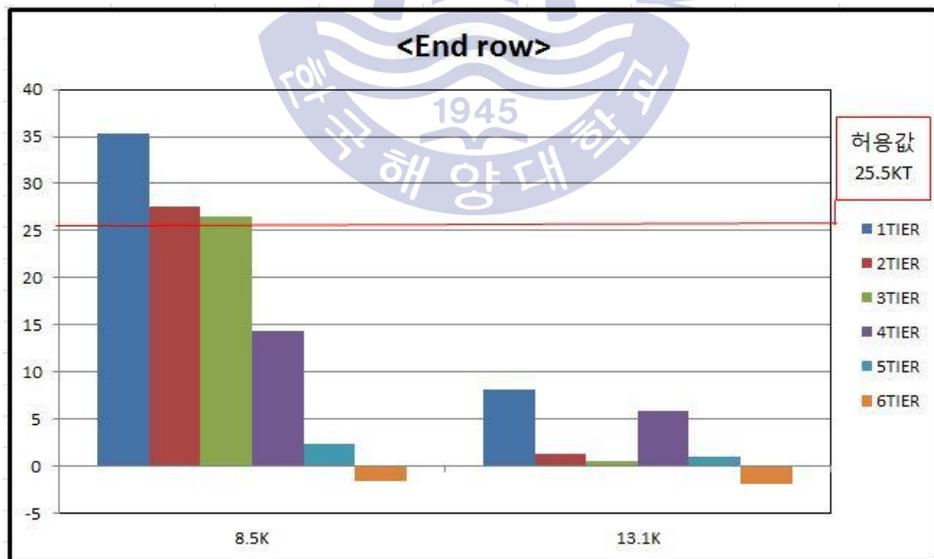


Fig. 48 End row Tension force of 8.5K & 13.1K

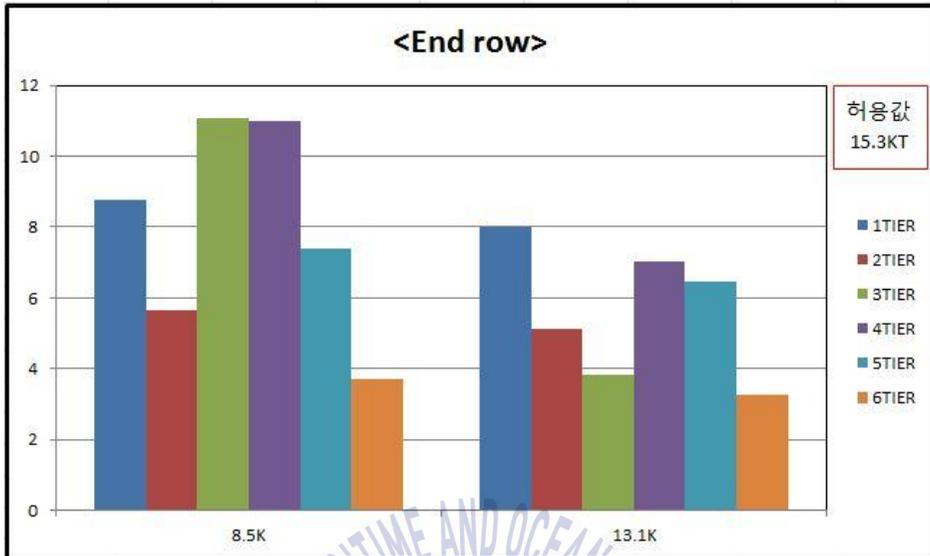


Fig. 49 End row Shear force of 8.5K & 13.1K

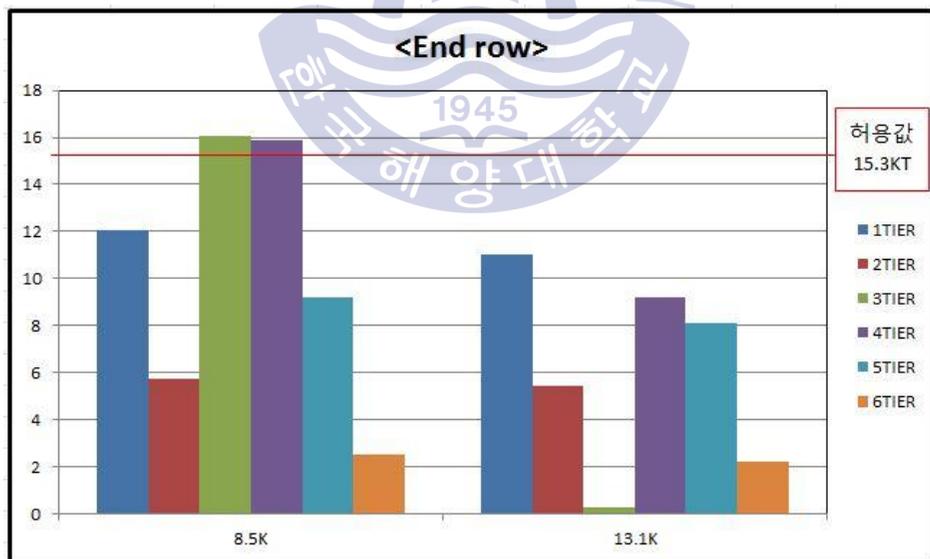


Fig. 50 End row Racking force of 8.5K & 13.1K

3) 컨테이너 선박크기별 특성을 변수로 한 고박하중 종합 비교

4.5K와 8.5K 선박을 비교한 Fig. 41~Fig. 45의 그래프를 살펴보면, 동일한 컨테이너를 5단 선적함에도 불구하고 8.5K 선박에서 Lashing force 별 결과 값이 Table 34와 같이 4.5K 선박보다 더 크게 발생하였다. 이러한 이유는 8.5K 선박이 운항할 때 평균 GM이 4.5K 선박보다 크고 VCG가 높기 때문이라고 풀이할 수 있다.

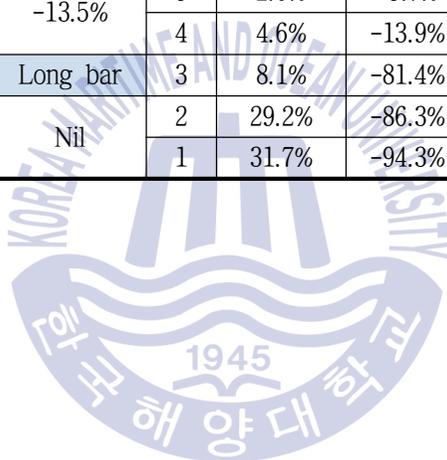
**Table 34** Difference of Lashing force between 4.5K and 8.5K

Difference of Lashing force between 4.5K and 8.5K (5 Tier)								
Parameter	Row	Lashing	Tier	Compress	Tension	Shear	Racking	
Difference	End	Short bar						
		4.0%	5	0.0%	-0.2%	1.5%	0.9%	
	row	Long bar		4	-1.2%	1.6%	2.8%	3.5%
			2.4%	3	-2.7%	3.7%	3.0%	4.1%
		Center		2	-4.1%	4.1%	-6.1%	1.6%
				1	-4.8%	5.6%	2.4%	3.3%
Difference	Center	Short bar						
		4.9%	5	0.0%	-0.2%	1.5%	0.8%	
	row	Long bar		4	-1.1%	1.6%	2.7%	3.4%
			Nil	3	-2.4%	4.7%	3.9%	5.7%
		End		2	-4.0%	5.5%	-6.1%	2.1%
				1	-4.8%	7.4%	-1.4%	3.7%

8.5K와 13.1K 선박을 비교한 Fig. 46~Fig. 50의 그래프에서는 동일한 컨테이너를 6단 선적한 상태에서 비교한 결과, 13.1K 선박에서 Lashing force 별 결과 값이 Table 35와 같이 8.5K 선박에 비해 고박하중이 작음을 확인할 수 있다. 13.1K 선박의 VCG 값이 높음에도 불구하고 이러한 결과가 나온 이유는 운항상 평균 GM이 8.5K 선박에 비해 작을 뿐만 아니라 Lashing bridge가 8.5K 선박은 1단형으로 설치되어 있지만, 13.1K 선박에서는 2단형으로 설치되어 있어, 이 요인이 Tension & Compress force 값을 현저히 감소시켰음을 연구를 통해 확인하였다.

**Table 35** Difference of Lashing force between 8.5K and 13.1K

Difference of Lashing force between 8.5K and 13.1K (6 Tier)							
Parameter	Row	Lashing	Tier	Compress	Tension	Shear	Racking
Difference	End row	Short bar	6	0.5%	-1.3%	-3.1%	-1.8%
		-8.7%	5	2.0%	-5.4%	-5.9%	-7.3%
			4	-1.4%	-33.2%	-25.8%	-43.5%
		Long bar	3	15.7%	-101.6%	-47.2%	-103.0%
		-14.7%	2	37.0%	-102.7%	-3.5%	-2.0%
			1	38.4%	-106.7%	-5.2%	-6.5%
Difference	Center row	Short bar	6	0.4%	-1.3%	-3.2%	-1.9%
		-13.5%	5	2.0%	-5.7%	-6.1%	-7.6%
			4	4.6%	-13.9%	-9.1%	-13.0%
		Long bar	3	8.1%	-81.4%	-47.1%	-105.4%
		Nil	2	29.2%	-86.3%	-4.0%	-7.9%
			1	31.7%	-94.3%	-8.6%	-12.6%



## 제 5 장 선박특성을 고려한 컨테이너 시큐어링 개선 방안

### 5.1 GM의 적정 수준 운용

영향 분석을 통해 GM이 커질수록 고박하중도 비례해서 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 Lashing force가 안전 허용하중을 초과할 경우 GM을 줄일 필요가 있다. H선사에서는 선회성능 및 복원성을 감안하여 GM의 Minimum 기준을 0.8m로 정하고 있으며, 선박의 운용 GM을 살펴보면 충분히 낮출 수 있는 여지가 있다. 특히, 8.5K, 13.1K 컨테이너 선박은 선형특성에 따라 GM이 과다하여 충분히 낮출 필요가 있으며, 공선일 경우 Lashing force가 과다하여 저단적 선적에도 Lashing force가 초과되는 경우가 있다.

단순히 Weight planning에서 벗어나, GM을 적정 수준으로 조절하여 안전하게 효율적인 Space 운용이 필요하다. 선체의 무게중심(G)을 상하로 이동시키기 위해서는 선내 화물의 이동 또는 발라스트 등으로 조절할 수 있다. 선박운항 담당자와 선박의 항해사는 이 점을 감안하여, 중량화물을 Hold에만 선적할 경우, GM이 커지기 때문에 Deck와 적절히 분산하여 적 부계획을 세워야 과다한 GM을 피할 수 있다. 그리고 Ballast를 최소화 또는 상부 Ballast를 사용하여 GM을 적절히 운용할 경우 Lashing force를 낮추어 Space를 최대한 활용할 수 있다.

## 5.2 선수, 선미 Bay에 중량화물 선적 제한

선수, 선미에 가까운 Bay일수록 Midship에 비해 상대적으로 동적운동이 크게 일어나며, 해당 Bay에 컨테이너를 선적할 경우 Lashing force가 크게 나타났다. 그리고 흘수가 낮고 건현(Freeboard)가 커질수록 이러한 경향이 증가하였다.

따라서 선수, 선미에 가까운 Bay에는 중량화물 선적을 제한하여야 한다. 경량 및 Empty 컨테이너를 선수, 선미에 가까운 Bay 위주로 적부 계획을 세운다면 이러한 영향을 최소화 하면서 Space를 최대한 활용할 수 있을 것이다. 특히 공선 시에는 건현이 높을 뿐만 아니라 GM 또한 크기 때문에 되도록 선수, 선미에 가까운 Bay에는 컨테이너 고단적 적재 및 중량화물 선적을 제한하고 그 외 Space를 사용하여 컨테이너의 유실을 예방하여야 한다.

## 5.3 흘수를 감안한 Stowage 운용

선박 운용 흘수 범위 내에서 흘수가 깊어질수록 Lashing force를 미세하게 감소시켰다. 하지만 Lashing force에 미치는 영향이 미미하기 때문에 흘수를 인위적으로 증가시킬 필요는 없다. 다만, 흘수의 변화에 따라 선수, 선미에 가까운 Bay에는 미치는 영향이 상대적으로 크기 때문에 이 점을 유의하여 컨테이너 적부 계획을 세워야 한다.

## 5.4 선박 크기 별 Stowage 운용 개선방안

선박 크기 별 선형특성 및 Lashing Bridge 차이로 인해 선박에 따라 Lashing force 차이도 발생하였다. 연구를 통해 8.5K 선박이 4.5K, 13.1K 선박에 비해 Lashing force 결과 값이 상대적으로 크게 나와 다른 선박

Size에 비해 Lashing force에 취약한 것을 확인하였다. 따라서 8.5k 컨테이너 선박의 경우에는 GM, 컨테이너 선적 Position, 흘수 등 모든 고려사항을 적부 계획 시 적용하여야 한다. 그리고 이러한 선박에는 추가적으로 Lashing tool을 비치하여 Lashing force 초과 시 추가 사용토록 관리해야 할 것이다.

### 5.5 개선 방안의 검증 평가

개선 방안을 검증 평가하기 위해, 8.5K 컨테이너 선박의 Stowage plan을 대상으로 검증평가를 시행하였다. Table 36, 37와 같이 평가 계획 및 선적 컨테이너 무게를 설정하고, 개선 방안을 적용하여 Lashing force 감소에 효과가 있는지 평가하였다.

**Table 36** Planning model of Verification assessment

Ship's size	Bay	GM	Mean draft(m)	Lashing pattern	Tier
8.5K	74 Bay	5.15	12.83	Refer to Fig. 10	7
	↓ (Improvement plan)				
	38 Bay	4.38	12.15	Add long bars at 15,16 slot	7

**Table 37** Loading Container weight of 8.5K CNTR ship for Verification

Tier	Container weight(Ton) / Slot																	
	18	16	14	12	10	08	06	04	02	01	03	05	07	09	11	13	15	17
7th	-	4.3	4.3	4.0	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.0	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.0	4.0	-
6th	6.3	10.1	10.2	10.4	10.4	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.7	10.7	10.7	10.9	10.9	11.0	11.1	7.3
5th	7.9	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.7	12.0	12.1	12.5	12.5	13.3	11.4	11.4	11.4	11.5	8.1
4th	13.8	14.0	16.6	16.7	16.7	14.1	14.5	17.1	13.9	14.0	14.0	14.0	18.9	14.0	14.0	14.0	17.8	10.1
3rd	19.4	20.5	22.6	27.9	28.0	11.9	22.6	21.7	14.0	14.0	16.3	16.3	18.2	18.3	28.1	28.1	10.5	19.3
2nd	22.5	27.8	27.8	20.3	20.5	23.0	23.3	23.3	23.4	23.4	24.3	24.3	24.3	26.7	27.2	27.3	27.4	20.1
1st	22.1	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	30.7	31.3	31.3	31.3	31.8	31.8	27.9	27.9	24.3	13.6	21.7	20.0
SUM	92.0	110.8	115.6	113.4	114.0	97.9	117.5	119.9	109.5	109.3	113.9	113.9	117.6	113.5	120.2	109.4	104.0	84.9

개선 방안으로는 선미에 가까운 74Bay에서 Midship에 가까운 38Bay로 컨테이너를 이동시켜 동적계수 영향을 감소시키고자 하였고, Ballast tank 조절로 GM을 낮췄다. 그리고 15, 16slot에 Long bar crossing lashing을 추가하여 외각 열에 편중된 Lashing force를 감소시키고자 하였다.

Fig. 51~ Fig. 55는 개선 방안을 적용 전후를 비교한 그래프를 나타낸다. 개선 전에는 Compress & Tension & Racking force가 안전 허용하중을 초과하고 있었으나, 개선 방안 시행 후 Compress & Tension & Racking force를 허용하중에 만족토록 하였을 뿐만 아니라 Lashing force 값을 전체적으로 낮추어 안전한 측면도 높였다. Compress, Racking force는 Center row에서 초과하였다. End row 와 Center row의 Lashing force 실제 Data 값과 Center row에서 컨테이너 적재 위치에 따른 Lashing force 비교 그래프는 부록에 첨부하였다.

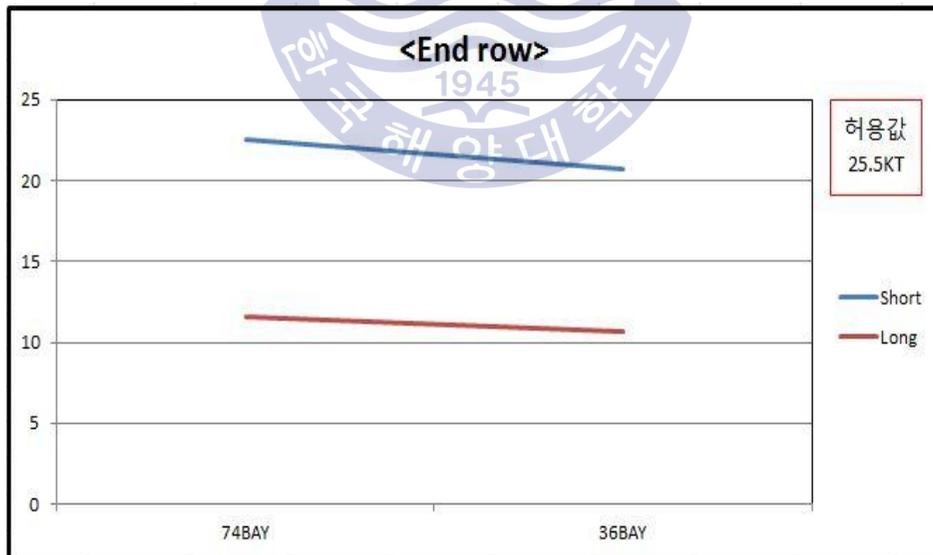


Fig. 51 End row Lashing force change amount after improvement plan

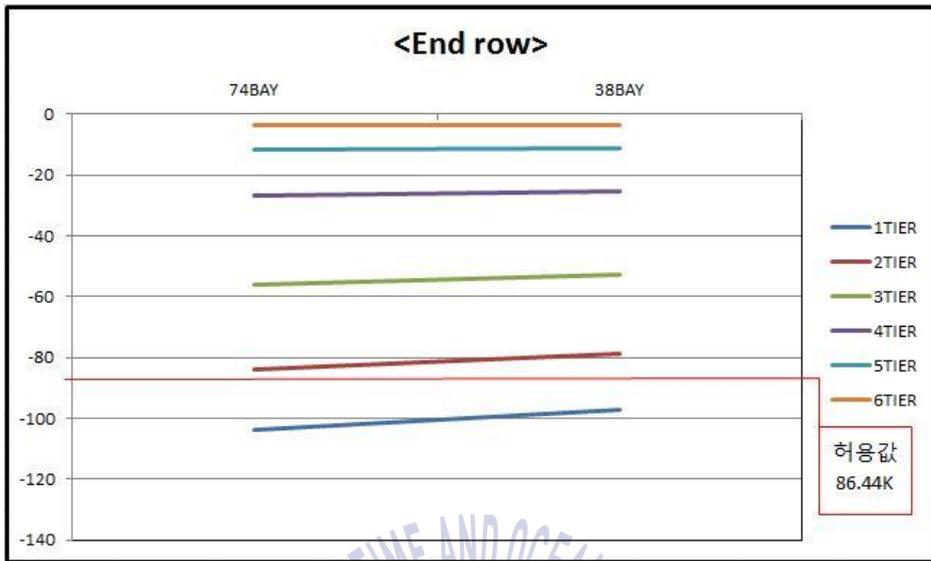


Fig. 52 End row Compress force change amount after improvement plan

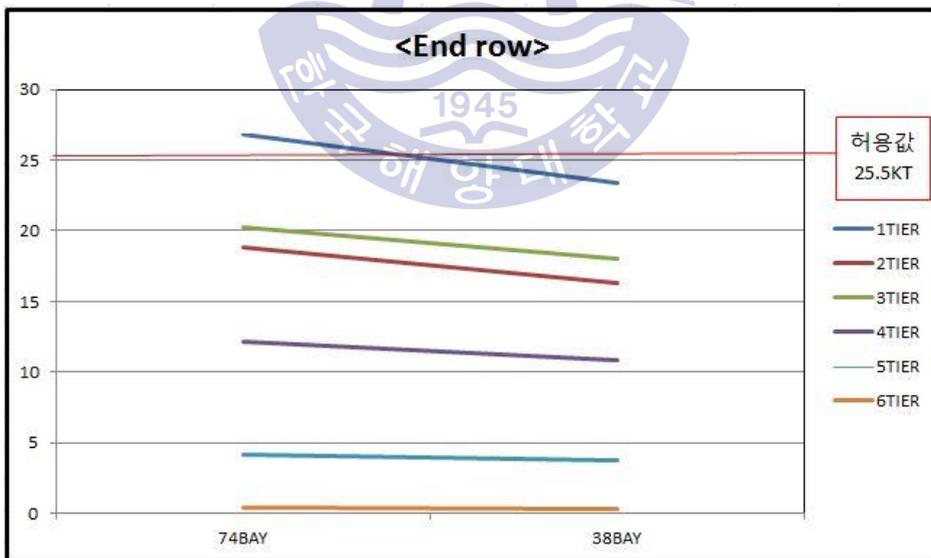


Fig. 53 End row Tension force change amount after improvement plan

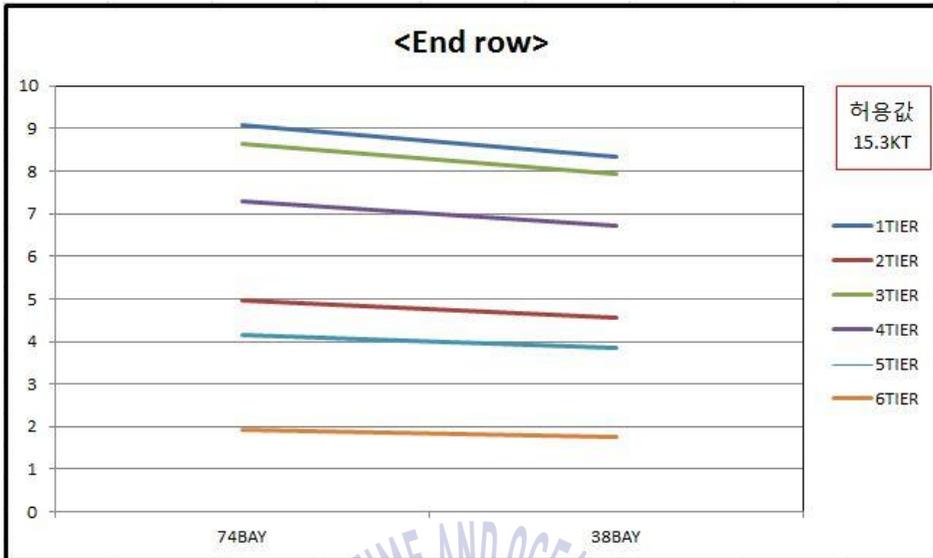


Fig. 54 End row Shear force change amount after improvement plan

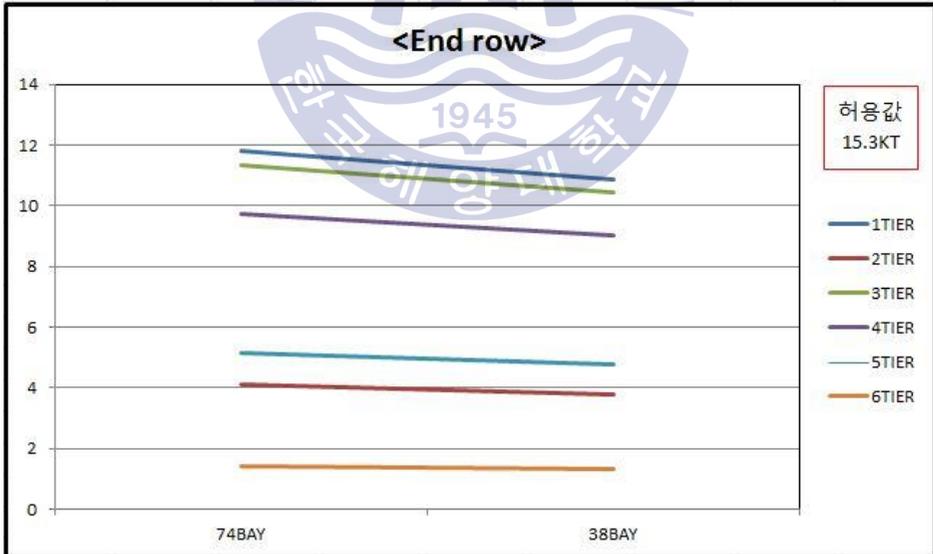


Fig. 55 End row Racking force change amount after improvement plan

Table 38은 개선 방안 시행 후 Lashing force의 개선 방안 별 변화량을 나타낸다.

선적 예정 Position을 74Bay에서 38Bay로 이동시키면서 고박하중을 Lashing(6.1%), Compress(5.9%), Tension(15.0%), Shear(4.5%), Racking(5.0%)까지 낮췄다.

De-ballasting을 통해 GM을 5.15에서 4.38로 낮추어 컨테이너 및 고박설비에 걸리는 하중을 Lashing(10.7%), Compress(10.6%), Tension(25.2%), Shear(8.0%), Racking(11.6%)까지 낮추어 선적 Position 변경보다 약 1.7배 더 많이 Lashing force를 감소시켰다.

선적 Position 및 GM 조정에도 불구하고 외각에 위치한 15, 16slot에 Compress & Tension force가 안전 허용하중을 초과하여, 기존 설치된 Short bar crossing lashing 에 Long bar crossing lashing을 추가하여 안전 허용하중을 만족토록 하였다. 추가 Lashing 으로 Lashing(26%), Compress(12.5%), Tension(54.0%), Shear(22.6%), Racking(38.2%) 까지 감소시켰다. 다만, 추가 Lashing은 설치한 slot(15,16)에만 작용하는 한계가 있다.

이상에서 설명한 바와 같이, 개선 방안을 적용하여 시행함으로써 Lashing force를 감소시켜, 안전 허용하중을 만족하면서 석박의 Space 활용률을 높일 수 있었다. 따라서 적부계획 작성 시, 해당 개선 방안 내용을 종합적으로 검토하여 적용한다면 안전한 화물 운송 및 선박의 Space 활용이 가능할 것으로 판단된다.

**Table 38** Lashing force change amount after improvement plan

Lashing force change amount after improvement plan							
Parameter	Row	Lashing	Tier	Compress	Tension	Shear	Racking
Change of loading position	End row	Short bar	6	0.2%	-0.4%	-0.5%	-0.3%
		-4.1%	5	0.4%	-1.2%	-1.1%	-1.3%
			4	1.0%	-3.0%	-2.2%	-2.7%
			3	2.2%	-5.3%	-2.6%	-3.3%
		-2.1%	2	3.4%	-6.0%	-1.6%	-1.2%
			1	4.2%	-8.5%	-2.7%	-3.6%
	Center row		Short bar	7	0.1%	-0.2%	-0.4%
		-6.1%	6	0.4%	-1.4%	-1.3%	-1.2%
			5	0.9%	-2.8%	-2.2%	-2.9%
			4	1.8%	-5.9%	-3.1%	-4.6%
		Nil	3	3.1%	-10.2%	-4.5%	-6.6%
			2	5.0%	-11.9%	-2.4%	-2.3%
	1		5.9%	-15.0%	-3.5%	-5.0%	
	Change of GM	End row	Short bar	6	0.2%	-0.4%	-0.9%
-7.2%			5	0.7%	-1.8%	-2.0%	-2.3%
			4	1.7%	-4.9%	-3.7%	-4.6%
			3	3.9%	-8.6%	-4.6%	-5.7%
-3.6%			2	6.1%	-9.7%	-2.8%	-2.2%
			1	7.5%	-13.8%	-4.8%	-6.3%
		Center row	Short bar	7	0.1%	-0.2%	-0.7%
-10.7%			6	0.6%	-1.6%	-2.2%	-2.2%
			5	1.6%	-4.7%	-3.8%	-5.0%
			4	3.2%	-9.8%	-5.6%	-8.0%
Nil			3	5.5%	-17.3%	-8.0%	-11.6%
			2	8.9%	-20.0%	-4.2%	-4.0%
		1	10.6%	-25.2%	-6.3%	-9.0%	
Lashing bar's addition (15,16 slot)		Center row	Short bar	7	0.1%	-0.2%	-0.7%
	-26.0%		6	0.6%	-1.6%	-2.2%	-2.2%
			5	1.6%	-4.7%	-3.8%	-5.0%
			4	3.2%	-9.8%	-5.6%	-8.0%
	Nil		3	0.5%	-34.4%	-22.6%	-38.2%
			2	9.5%	-45.0%	-5.0%	-13.3%
			1	12.5%	-54.9%	-11.4%	-18.2%

## 제 6 장 결 론

해운업계가 세계 경기 장기 침체로 선박 발주 대비 물동량의 증가폭이 크게 둔화되면서 해운 운임이 크게 감소하였고, 이 기간이 장기간 지속되면서 장기 불황에 시달리고 있다. 그리고 국가 간 탄소배출 규제가 강화되면서 환경보호를 위한 노력도 요구되어지고 있다. 선사들은 그 대안으로 컨테이너선 대형화를 지속적으로 추진하여 비용 절감 및 탄소 배출량을 감축하고 있다. 하지만 컨테이너선 대형화로 갑판적 적재 가능한 컨테이너 수는 급격히 증가하였으나 안전한 고박을 위해 선급에서 요구하는 허용하중(Permission load) 제한으로 설계 당시 계획한 컨테이너 개수만큼 선적할 수가 없어 선사 입장에서는 Space 사용 불가로 인한 영업적인 손실로 이어지고 있다.

따라서 본 연구에서는 최근 6개월(2015.09~2016.02)간 부산 신항 H 터미널을 기항한 H선사의 주력 컨테이너선 4.5K, 8.5K, 13.1K 컨테이너 선박을 대상으로 선박의 특성이 컨테이너 고박하중에 얼마나 영향을 미치는지 확인하기 위하여, 횡방향 메타센터의 높이(GM), 컨테이너의 적재위치, 선박의 흘수, 선박의 크기별 특성 등을 주요 변수로 하여 컨테이너 고박강도를 비교 분석하였다. 이를 위해 H선사에서 사용 중인 Lashing calculation tool(제작:H-UNI, 2015년 12월 KR 선급 인증)을 사용하여, 변수 변화에 따른 컨테이너 및 Lashing 설비에 걸리는 하중을 계산하였다. 이를 통한 결과 값을 분석하여 컨테이너 선박의 특성이 Cargo Securing system에 큰 영향을 끼치는 변수들을 식별 및 증명하였다.

본 연구의 결론을 정리하면 아래와 같다.

(1) 컨테이너 고박강도 비교 분석 결과, GM이 증가할수록 모든 Lashing force의 값이 비례하여 증가하였다. 특히 Tension force의 경우 GM의 간격(4.5K:0.1, 8.5K:0.3, 13.1K:0.4) 마다 2.17%~5.70% 까지 변동 폭을 나타내었다.

(2) 8.5K 컨테이너 선박을 기준으로 선박의 종방향 컨테이너 적재 위치에 따라 가장 차이가 많이 나는 Bay 간 비교 분석 결과, Lashing(6.5%), Compress(-6.8%), Tension(16.9%), Shear(5.3%), Racking(8.2%) 까지 차이가 발생하였다. 선수, 선미에 가까운 Bay 일수록 고박강도가 증가하였고, 선박의 종방향 중심에 가까울수록 상대적으로 고박강도가 감소하였다. 이는 길이 방향 위치에 따른 동적계수 영향이라고 해석할 수 있다.

(3) 컨테이너 선박 흘수의 간격(4.5K:0.5m, 8.5K:0.5m, 13.1K:1.0m) 별 고박강도의 변동 폭은 Lashing force 별 가장 클 때가 4.5K(-0.24%), 8.5K(-0.15%), 13.1K(-0.59%)로 변수 중 가장 작게 고박강도에 영향을 미쳤다. 흘수가 증가할수록 Lashing force의 값이 미세하게 감소하였으며, 일정 흘수(4.5K:11.0m, 8.5K:12.5m, 13.1K:15.0m) 이상에서는 더 이상 Lashing force 값의 변동이 없었다.

(4) 선박 크기별(4.5K vs 8.5K / 8.5K vs 13.1K) 컨테이너 고박 강도를 비교 분석한 결과, 4.5K 선박에 비해 8.5K 선박의 Lashing force 별 결과 값이 1단적 기준 1.4%~7.4%으로 크게 나왔다. 이러한 이유는 8.5K 선박이 운항할 때 평균 GM이 4.5K 선박보다 크고, VCG가 높기 때문이라고 풀이될 수 있다. 8.5K선박과 13.1K 선박에서도 8.5K 선박의 Lashing force 별 결과 값이 1단적 기준 5.2%~106.7% 까지 크게 나왔다. 13.1K 선박의 VCG가 높음에도 불구하고, 8.5K 선박의 운항 시 평균 GM이 높을 뿐만 아니라 Lashing bridge가 8.5K 선박은 1단형으로 설치되어 있지만, 13.1K 선박에서는 2단형으로 설치되어 있어, 이 요인이 Compress & Tension force

값을 현저히 감소시켰음을 연구를 통해 확인하였다.

(5) 선박의 GM, 컨테이너 적재 위치, 선박의 흘수 순으로 고박 강도에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 그리고 비교 대상 선박 중 8.5K 컨테이너 선박이 선체특성으로 인하여 4.5K & 13.1K 컨테이너 선박에 비해 Lashing force에 취약함을 확인하였다.

(6) 선박특성 별 컨테이너 시큐어링 시스템에 미치는 영향 분석 결과를 통해 다음과 같이 개선방안을 제시하였다. GM의 적정 수준 운용으로 과다한 Lashing force를 예방하고, 선수, 선미 Bay에는 동적계수를 감안하여 중량화물 선적을 제한하고, 경량 및 Empty 컨테이너 위주로 적부 계획을 세운다면 Space 활용률을 높일 수 있을 것이다. 선박 크기 별로 비교 분석 결과, 8.5K 선박이 Lashing force에 가장 취약하였기 때문에 해당 선박에는 추가적인 Lashing tool을 비치하여 필요시 사용토록 Spare 확보 및 관리해야 할 것이다.

본 연구는 단순 계산을 위하여 동일한 40ft 컨테이너 및 무게의 컨테이너로 한정으로 하였기 때문에 실무상 제약이 있을 수 있으며, 선급에서 정한 고박강도 관련 허용하중이 안전한 운송을 위한 절대 값이 아닌 점을 유의하여야 할 것이다.

향후 연구과제로는 본 연구에서 식별된 변수들을 감안한 고박강도를 감소시킬 수 있는 구체적인 실무방법을 모색하고, 이외에 추가적으로 활용할 수 있는 요인들을 찾아 최적의 컨테이너 Stowage 운영방안을 설계 및 운용할 것이다. 더 나아가 단순히 Lashing 프로그램으로 고박하중을 계산하는 것에 벗어나, 자이로센서 활용을 통해 선박의 운동 가속도를 측정하고 그 결과 값을 가공하여, 고박하중을 실시간으로 계측 및 모니터링 할 수 있는 시스템 개발 연구로 확대해 나갈 계획이다.

## 참고문헌

- 교육과학기술부, 2012. *선화 운송*. 두산동아(주)
- 김창환, 2014. *NEW TYPE LASHING BRIDGE 개발 연구*. 석사학위논문. 부산:부산대학교.
- 부산지방해양항만청, 2008. *컨테이너 안전관리 지침서*.
- 신상훈, 2003. *최적 적재를 위한 컨테이너 시큐어링 시스템 개발에 관한 연구*. 한국항해항만학회지, 27(4), pp. 397~402.
- 여수광양항만공사, 2016. *컨테이너 부두건설 E-book, 제1장 컨테이너 운송*. [Online] Available at : <http://www.ygpa.or.kr> [Accessed 15 Aug 2016]
- 윤종흠, 2008. *컨테이너선 LASHING BRIDGE 의 최종강도 평가*. 석사학위논문, 울산:울산대학교.
- 위성국, 2013. *피로 특성을 고려한 초대형 컨테이너선의 3단 LASHING BRIDGE 개발*. 석사학위논문. 목포:국립목포대학교.
- 한국선급, 2015. *선급 및 강선규칙 2015, 부록7-2 컨테이너 고박설비에 관한 지침*.
- 황진욱, 양성구, 홍충유, 박제웅, 2004. *컨테이너선의 래싱 어낼러시스 시뮬레이터 개발*. 한국해양공학회 춘계학술대회. pp. 90~95.
- ABS, 2010. *GUIDE FOR CERTIFICATION OF CONTAINER SECURING SYSTEMS*.

Capt. Pawanexh Kokli, 1995. *CARGO SECURING MANUAL* [Online]  
Available at : <http://www.crosstree.info> [Accessed 10 Aug 2016]

CCCME, 2010. *Supply marine container securing system and lashing device* [Online] Available at : <http://www.cccme.org.cn> [Accessed 10 Aug 2016]

Drewry Maritime Research and BSR, 2015. *Shipping is cutting CO<sub>2</sub> emissions* [Online] Available at : <http://www.drewrysupplychains.com> [Accessed 20 Apr 2016]

MACGREGOR, 2011. *Lashing bridges* [Online] Available at : <http://www.cargotec.com> [Accessed 12 Aug 2016]



# 부 록

선박특성 별 Lashing force 값을 계산하기 위해 H선사에서 사용 중인 Hi-STOW 프로그램의 Lashing calculation tool을 이용하여 Lashing force 값을 도출하였음.

## □ GM을 변수로 한 고박하중 계산 및 상관관계 분석

Row No.	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11	
Lashing Force	S1	17.65	15.54	15.54	15.54	15.54	15.54	15.54	15.54	15.54	15.54	15.54	17.65	
	S2	17.65	15.54	15.54	15.54	15.54	15.54	15.54	15.54	15.54	15.54	15.54	17.65	
Compressive Force (Tier)	L1	9.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.96	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	-8.65	-7.73	-7.72	-7.72	-7.71	-7.71	-7.71	-7.71	-7.71	-7.72	-7.72	-7.73	-8.65
	4	-21.82	-18.13	-18.12	-18.11	-18.1	-18.1	-18.09	-18.1	-18.1	-18.11	-18.12	-18.13	-21.82
	3	-46.21	-33.93	-33.9	-33.87	-33.84	-33.81	-33.77	-33.81	-33.84	-33.87	-33.9	-33.93	-46.21
	2	-68.09	-54.3	-54.26	-54.22	-54.17	-54.13	-54.09	-54.13	-54.17	-54.22	-54.26	-54.3	-68.09
Tension Force (Tier)	1	-83.25	-67.77	-67.72	-67.67	-67.62	-67.57	-67.52	-67.57	-67.62	-67.67	-67.72	-67.77	-83.25
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	-1.52	-2.44	-2.44	-2.43	-2.43	-2.43	-2.42	-2.43	-2.43	-2.43	-2.44	-2.44	-1.52
	4	1.48	-2.13	-2.11	-2.09	-2.07	-2.05	-2.04	-2.05	-2.07	-2.09	-2.11	-2.13	1.48
	3	6.83	3.64	3.67	3.7	3.73	3.76	3.77	3.76	3.73	3.7	3.67	3.64	6.83
Shear Force (Tier)	2	5.69	2.55	2.59	2.63	2.67	2.71	2.73	2.71	2.67	2.63	2.59	2.55	5.69
	1	10.73	5.93	5.95	6.03	6.08	6.13	6.16	6.13	6.08	6.03	5.95	5.93	10.73
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	3.24	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	2.36	3.24
	4	6.46	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	6.46
Racking Force (Tier)	3	7.35	7.02	7.02	7.02	7.02	7.02	7.02	7.02	7.02	7.02	7.02	7.35	
	2	5.43	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.43	
	1	7.1	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	7.1	
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	2.22	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	2.22	
Racking Force (Tier)	4	8.1	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	8.1	
	3	9.73	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.93	9.73	
	2	3.49	3.53	3.53	3.53	3.53	3.53	3.53	3.53	3.53	3.53	3.53	3.49	
	1	9.27	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	9.27	

4.5K Container ship, GM(0.8)

Row No.	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11	
Lashing Force	S1	17.76	15.67	15.67	15.67	15.67	15.67	15.67	15.67	15.67	15.67	15.67	17.76	
	S2	17.76	15.67	15.67	15.67	15.67	15.67	15.67	15.67	15.67	15.67	15.67	17.76	
Compressive Force (Tier)	L1	10.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.03	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	-8.66	-7.73	-7.72	-7.72	-7.72	-7.71	-7.71	-7.71	-7.72	-7.72	-7.73	-8.66	
	4	-21.85	-18.15	-18.14	-18.13	-18.13	-18.12	-18.11	-18.12	-18.13	-18.13	-18.14	-18.15	-21.85
	3	-46.42	-34.11	-34.08	-34.05	-34.02	-33.99	-33.95	-33.99	-34.02	-34.05	-34.08	-34.11	-46.42
	2	-68.41	-54.62	-54.58	-54.54	-54.5	-54.46	-54.39	-54.46	-54.5	-54.54	-54.58	-54.62	-68.41
Tension Force (Tier)	1	-83.63	-68.16	-68.11	-68.06	-68.01	-67.96	-67.88	-67.96	-68.01	-68.06	-68.11	-68.16	-83.63
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	-1.52	-2.44	-2.43	-2.43	-2.42	-2.42	-2.42	-2.42	-2.43	-2.43	-2.43	-2.44	-1.52
	4	1.49	-2.07	-2.05	-2.03	-2.01	-1.99	-1.97	-1.99	-2.01	-2.03	-2.05	-2.07	1.49
	3	6.95	3.79	3.82	3.85	3.88	3.91	3.95	3.91	3.88	3.85	3.82	3.79	6.95
Shear Force (Tier)	2	5.83	2.74	2.78	2.82	2.86	2.9	2.94	2.9	2.86	2.82	2.78	2.74	5.83
	1	10.93	6.17	6.22	6.27	6.33	6.38	6.43	6.38	6.33	6.27	6.22	6.17	10.93
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	3.27	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	3.27
	4	6.51	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	6.51
Racking Force (Tier)	3	7.4	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.08	7.4	
	2	5.43	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.43	
	1	7.11	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	6.79	7.11	
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	2.23	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	2.23	
Racking Force (Tier)	4	8.16	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	8.16	
	3	9.8	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	9.8	
	2	3.52	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	3.52	
	1	9.32	7.76	7.76	7.76	7.76	7.76	7.76	7.76	7.76	7.76	7.76	9.32	

4.5K Container ship, GM(0.9)

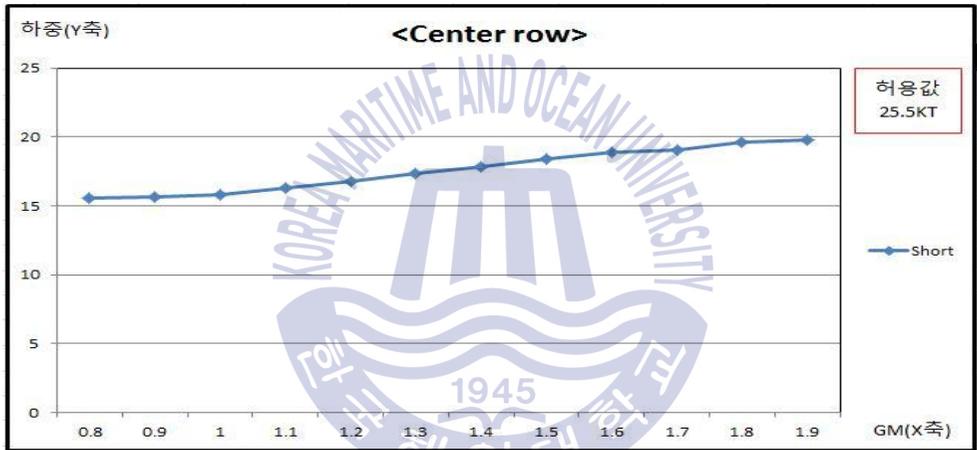




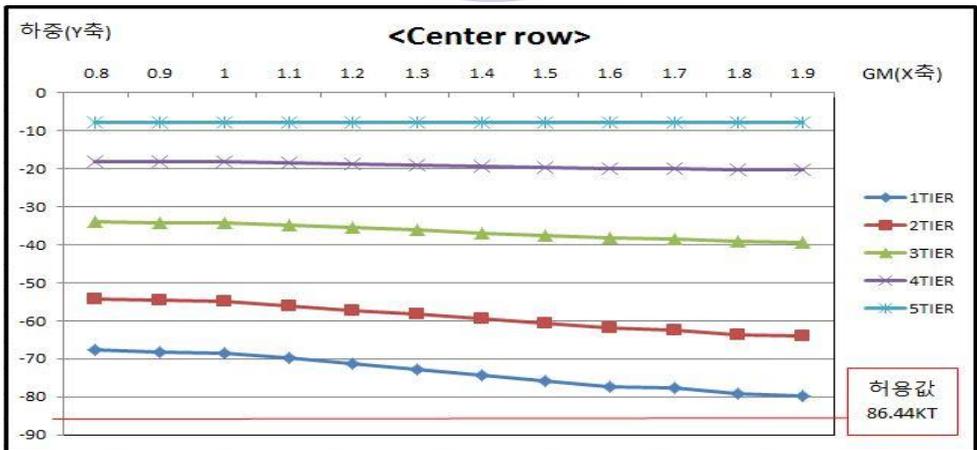


Row No.	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11
Lashing Force	S1	20.92	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	20.92
	S2	20.92	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	19.75	20.92
	L1	11.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.84
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Compressive Force (Tier)	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	-8.79	-7.86	-7.85	-7.84	-7.83	-7.82	-7.81	-7.82	-7.83	-7.84	-7.85	-8.79
	4	-23.8	-20.41	-20.36	-20.31	-20.25	-20.2	-20.14	-20.2	-20.25	-20.31	-20.36	-23.8
	3	-52.29	-39.34	-39.27	-39.19	-39.1	-39.02	-38.93	-39.02	-39.1	-39.19	-39.27	-52.29
	2	-77.4	-63.95	-63.85	-63.75	-63.62	-63.52	-63.4	-63.52	-63.62	-63.75	-63.85	-77.4
	1	-94.46	-79.7	-79.57	-79.44	-79.29	-79.16	-79.01	-79.16	-79.29	-79.44	-79.57	-94.46
Tension Force (Tier)	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	-1.46	-2.37	-2.36	-2.35	-2.34	-2.33	-2.32	-2.33	-2.34	-2.35	-2.36	-1.46
	4	3.16	-0.13	-0.08	-0.03	0.03	0.09	0.14	0.09	0.03	-0.03	-0.08	3.16
	3	10.6	8.53	8.61	8.69	8.78	8.85	8.93	8.85	8.78	8.69	8.61	10.6
	2	10.09	8.43	8.53	8.64	8.76	8.86	8.96	8.86	8.76	8.64	8.53	10.09
Shear Force (Tier)	1	16.83	13.91	14.04	14.16	14.32	14.44	14.57	14.44	14.32	14.16	14.04	16.83
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	3.9	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.9
	4	7.74	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	7.74
	3	8.77	8.96	8.96	8.96	8.96	8.96	8.96	8.96	8.96	8.96	8.96	8.77
Racking Force (Tier)	2	5.47	5.39	5.39	5.39	5.39	5.39	5.39	5.39	5.39	5.39	5.39	5.47
	1	6.34	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	6.34
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	2.6	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	2.6
	4	9.65	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	9.65
3	11.6	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	12.72	11.6	
2	4.18	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	4.18	
1	10.95	9.74	9.74	9.74	9.74	9.74	9.74	9.74	9.74	9.74	9.74	10.95	

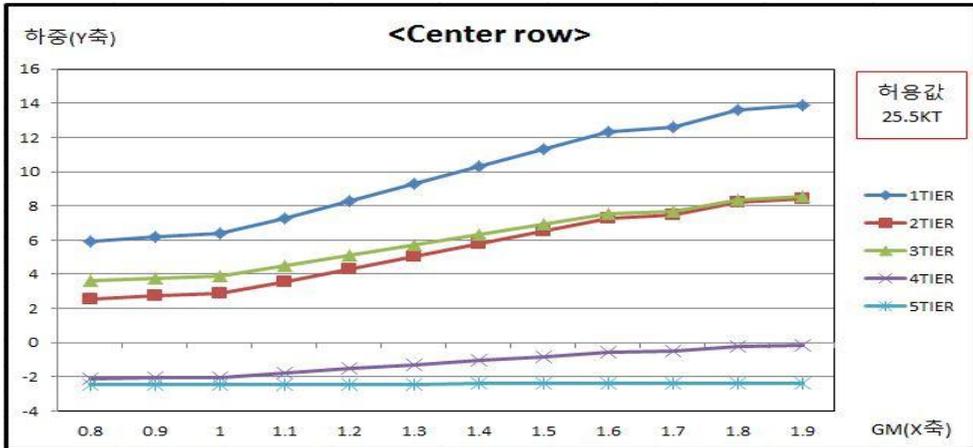
4.5K Container ship, GM(1.9)



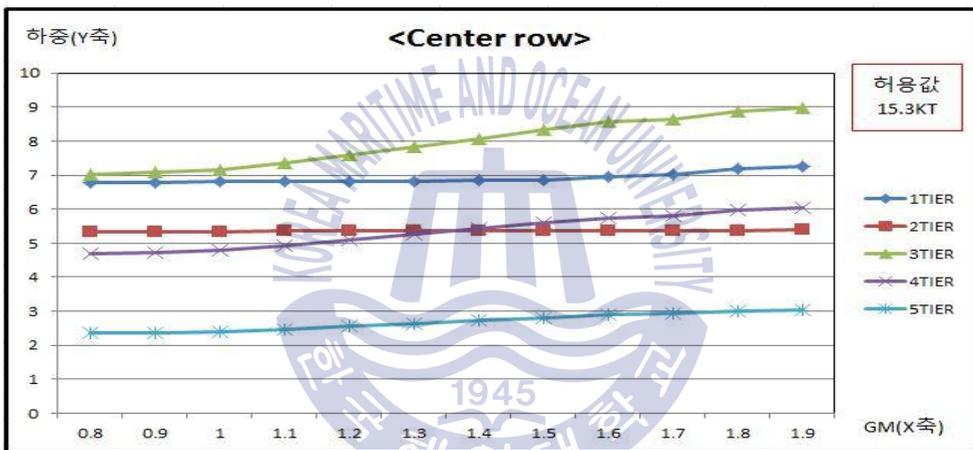
4.5K Container ship, GM(Lashing, Center row)



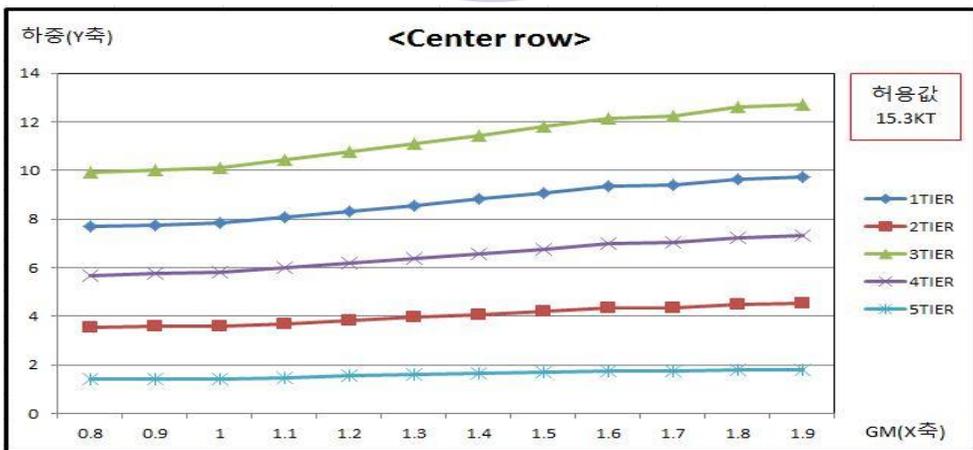
4.5K Container ship, GM(Compress, Center row)



4.5K Container ship, GM(Tension, Center row)



4.5K Container ship, GM(Shear, Center row)



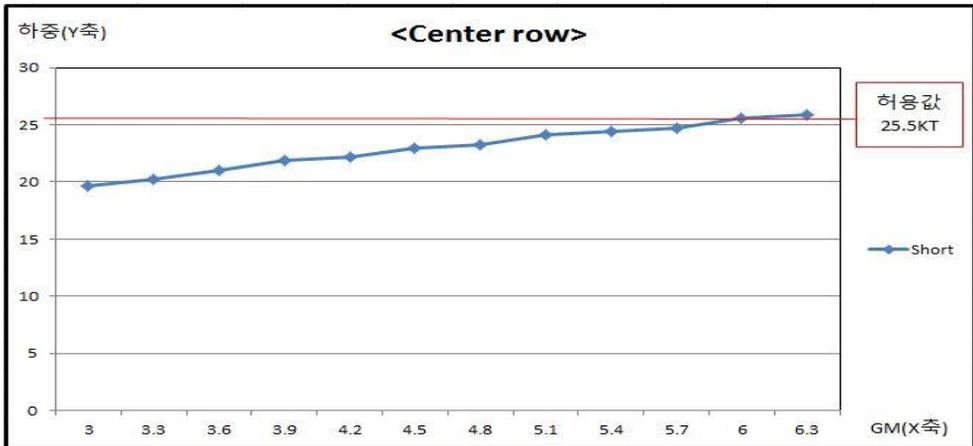
4.5K Container ship, GM(Racking, Center row)



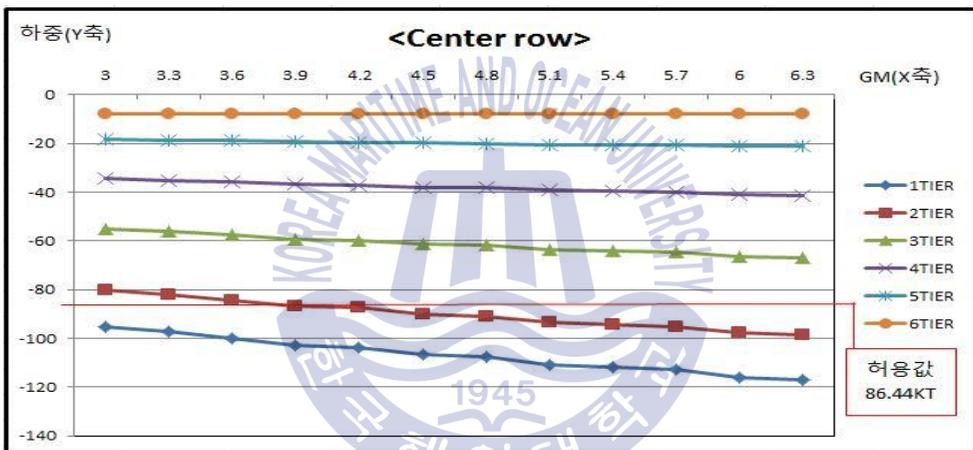




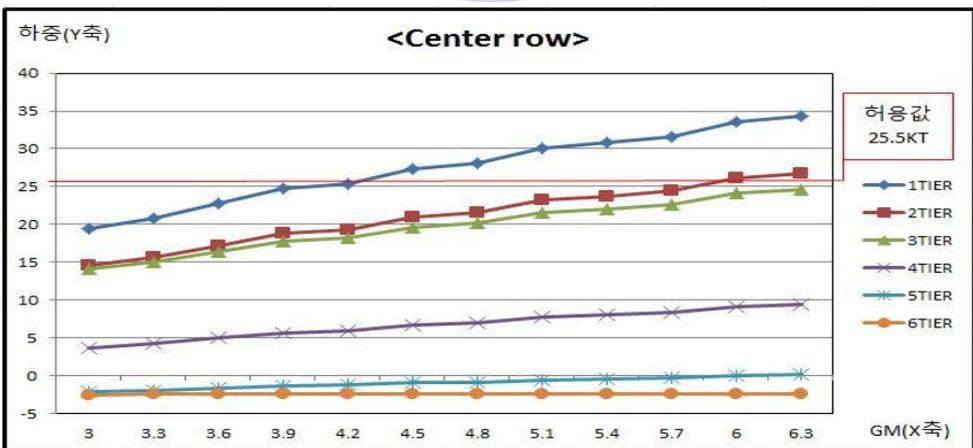




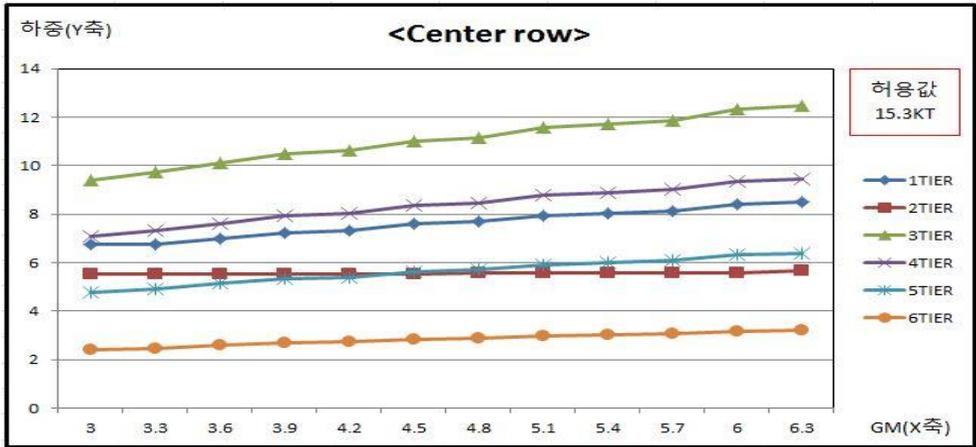
8.5K Container ship, GM(Lashing, Center row)



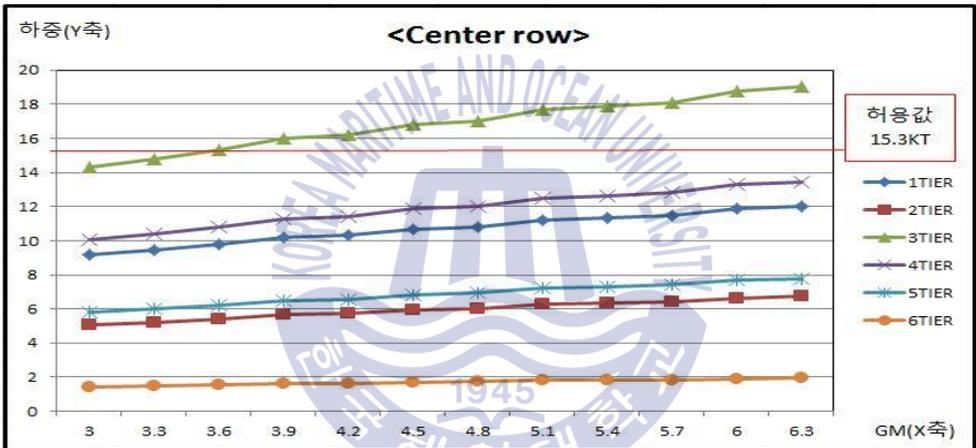
8.5K Container ship, GM(Compress, Center row)



8.5K Container ship, GM(Tension, Center row)



8.5K Container ship, GM(Shear, Center row)



8.5K Container ship, GM(Racking, Center row)

Row No.	18	16	14	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11	13	15	17	
Lashing Force	51	25.25	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	25.25
82	25.25	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	21.79	25.25
L1	13.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.66
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	-5.26	-7.34	-7.33	-7.33	-7.33	-7.33	-7.32	-7.32	-7.32	-7.31	-7.32	-7.32	-7.32	-7.33	-7.33	-7.33	-7.33	-7.33	-7.34	-5.26
6	-20.79	-17.22	-17.2	-17.19	-17.19	-17.19	-17.18	-17.18	-17.14	-17.13	-17.11	-17.13	-17.14	-17.16	-17.17	-17.17	-17.17	-17.17	-17.22	-20.79
5	-39.84	-31.98	-31.93	-31.91	-31.88	-31.87	-31.84	-31.82	-31.79	-31.77	-31.79	-31.82	-31.84	-31.87	-31.88	-31.91	-31.93	-31.98	-39.84	
4	-70.92	-50.73	-50.69	-50.67	-50.63	-50.61	-50.57	-50.55	-50.51	-50.49	-50.51	-50.55	-50.57	-50.61	-50.63	-50.67	-50.69	-50.73	-70.92	
3	-95.35	-73.51	-73.46	-73.39	-73.36	-73.31	-73.28	-73.23	-73.21	-73.23	-73.23	-73.21	-73.23	-73.31	-73.36	-73.46	-73.51	-95.35		
2	-107.12	-84.38	-84.3	-84.27	-84.2	-84.17	-84.11	-84.08	-84.02	-83.99	-84.02	-84.08	-84.11	-84.17	-84.2	-84.27	-84.3	-107.12		
1	-124.58	-99.05	-99.04	-99.04	-98.97	-98.94	-98.87	-98.83	-98.76	-98.72	-98.76	-98.83	-98.87	-98.94	-98.97	-99.04	-99.05	-124.58		
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	-1.08	-2.8	-2.79	-2.79	-2.79	-2.78	-2.78	-2.78	-2.77	-2.78	-2.78	-2.78	-2.78	-2.79	-2.79	-2.79	-2.79	-2.8	-1.08	
6	0.52	-3.02	-3.01	-2.99	-2.98	-2.96	-2.95	-2.93	-2.92	-2.9	-2.92	-2.93	-2.95	-2.96	-2.98	-2.99	-3.01	-3.02	0.52	
5	9.42	1.59	1.61	1.64	1.65	1.68	1.7	1.73	1.74	1.77	1.74	1.73	1.7	1.68	1.65	1.64	1.61	1.59	9.42	
4	17.89	10.24	10.26	10.3	10.32	10.36	10.38	10.42	10.45	10.48	10.45	10.42	10.38	10.36	10.32	10.3	10.26	10.24	17.89	
3	13.86	6.98	7	7.05	7.08	7.13	7.18	7.21	7.23	7.28	7.23	7.21	7.18	7.13	7.08	7.05	7	6.98	13.86	
2	15.46	7.7	7.73	7.79	7.82	7.88	7.91	7.97	8	8.07	8	7.97	7.91	7.88	7.82	7.79	7.73	7.7	15.46	
1	22.77	12.37	12.41	12.48	12.51	12.58	12.62	12.68	12.73	12.8	12.73	12.68	12.62	12.58	12.51	12.48	12.41	12.37	22.77	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	3.01	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	3.01	
6	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	6
5	5.98	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	5.98	
4	8.76	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.76	
3	4.85	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.84	4.85	
2	6.11	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	6.11	
1	8.08	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	7.05	8.08	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2.08	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	2.08	
6	7.84	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	5.09	7.84	
5	12.97	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	8.89	12.97	
4	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	12.67	
3	0.74	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	0.74	
2	6.09	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	6.09	
1	11.42	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	8.95	11.42	

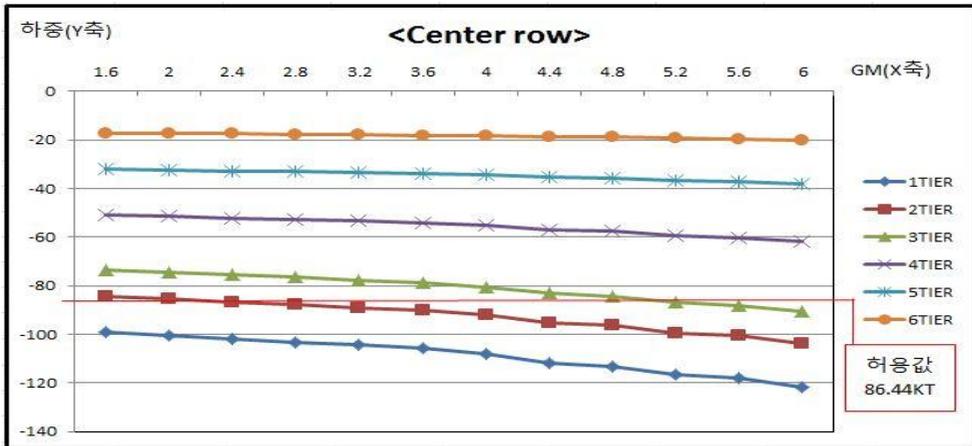
13.1K Container ship, GM(1.6)



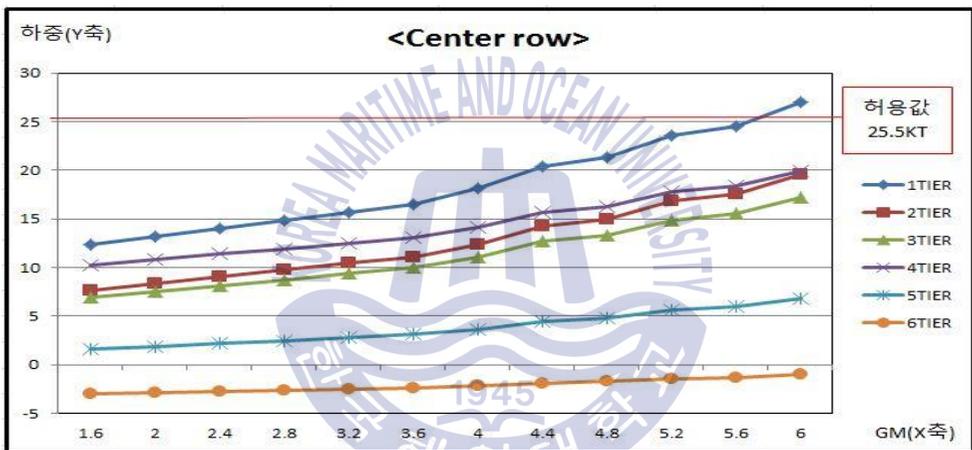




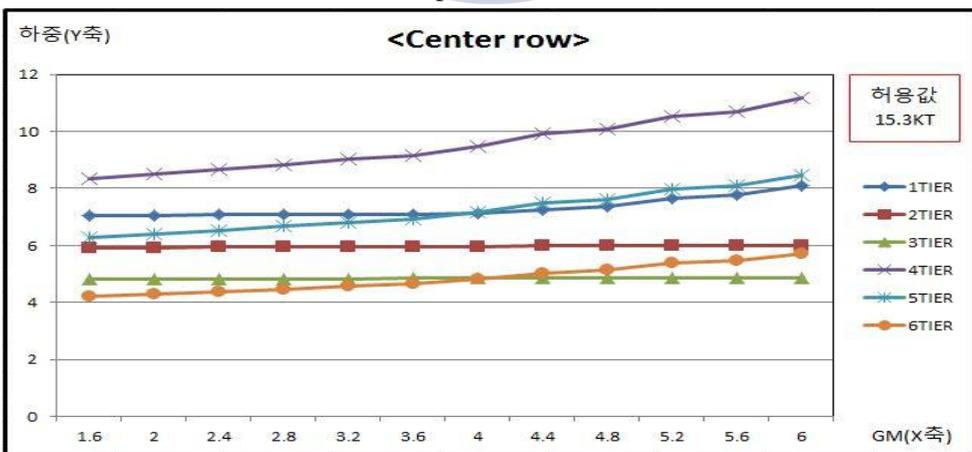




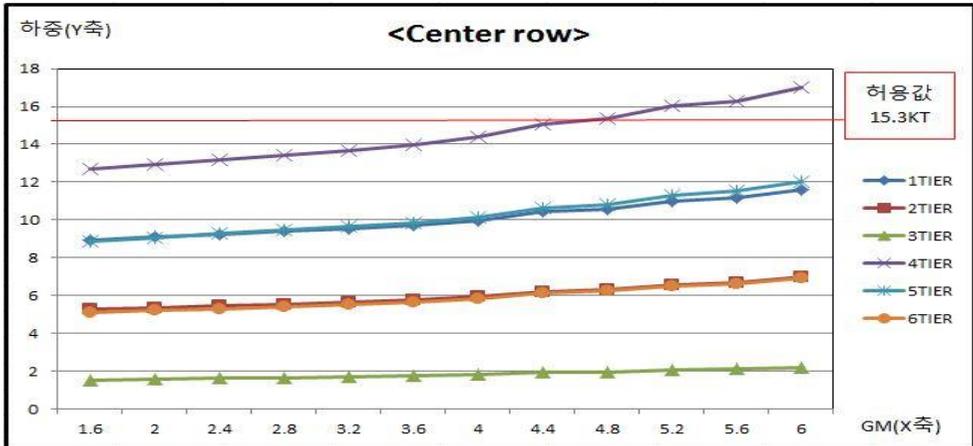
13.1K Container ship, GM(Compress, Center row)



13.1K Container ship, GM(Tension, Center row)



13.1K Container ship, GM(Shear, Center row)



13.1K Container ship, GM(Racking, Center row)





Row No.	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11
Lashing Force	S1	18.68	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.68
	S2	18.68	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.65	18.68
	L1	10.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.55
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Compressive Force (Tier)	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	-8.64	-7.72	-7.71	-7.71	-7.7	-7.7	-7.89	-7.7	-7.7	-7.71	-7.71	-8.64
	4	-22.23	-18.79	-18.78	-18.72	-18.69	-18.66	-18.63	-18.66	-18.69	-18.72	-18.78	-22.23
	3	-45.1	-35.6	-35.55	-35.51	-35.46	-35.42	-35.37	-35.42	-35.46	-35.51	-35.55	-45.1
	2	-70.99	-57.28	-57.22	-57.16	-57.1	-57.04	-56.98	-57.04	-57.1	-57.16	-57.22	-70.99
Tension Force (Tier)	1	-86.74	-71.46	-71.38	-71.3	-71.23	-71.15	-71.08	-71.15	-71.23	-71.3	-71.38	-86.74
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	-1.55	-2.46	-2.46	-2.45	-2.45	-2.44	-2.44	-2.44	-2.45	-2.45	-2.46	-2.46
	4	1.87	-1.51	-1.48	-1.45	-1.43	-1.4	-1.37	-1.4	-1.43	-1.45	-1.48	1.87
Shear Force (Tier)	3	7.9	5.16	5.2	5.25	5.28	5.33	5.37	5.33	5.28	5.25	5.2	7.9
	2	7.06	4.38	4.44	4.5	4.54	4.6	4.66	4.6	4.54	4.5	4.44	7.06
	1	12.63	8.4	8.48	8.55	8.6	8.68	8.76	8.68	8.6	8.55	8.48	12.63
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Racking Force (Tier)	5	2.34	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54	2.34
	4	8.59	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	8.59
	3	10.9	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.9
	2	3.71	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.71
	1	9.79	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	9.79

4.5K Container ship, Loading position(48Bay)

Row No.	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11
Lashing Force	S1	18.97	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	18.97
	S2	18.97	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	18.97
	L1	10.72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.72
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Compressive Force (Tier)	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	-8.95	-8.03	-8.02	-8.02	-8.01	-8	-8	-8	-8.01	-8.02	-8.02	-8.95
	4	-22.87	-19.17	-19.16	-19.15	-19.14	-19.12	-19.11	-19.12	-19.14	-19.15	-19.16	-22.87
	3	-48.68	-36.09	-36.05	-36	-35.96	-35.91	-35.89	-35.91	-35.96	-36	-36.05	-48.68
	2	-71.87	-58.15	-58.09	-58.03	-57.96	-57.9	-57.84	-57.9	-57.96	-58.03	-58.09	-71.87
Tension Force (Tier)	1	-87.8	-72.53	-72.45	-72.37	-72.3	-72.22	-72.14	-72.22	-72.3	-72.37	-72.45	-87.8
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	-1.33	-2.25	-2.24	-2.24	-2.23	-2.22	-2.22	-2.22	-2.23	-2.24	-2.24	-2.25
	4	2.3	-1.31	-1.28	-1.25	-1.22	-1.19	-1.15	-1.19	-1.22	-1.25	-1.28	2.3
Shear Force (Tier)	3	8.39	5.62	5.67	5.71	5.76	5.8	5.86	5.8	5.76	5.71	5.67	8.39
	2	7.52	4.94	5	5.06	5.12	5.18	5.26	5.18	5.12	5.06	5	7.52
	1	13.26	9.16	9.23	9.31	9.39	9.46	9.57	9.46	9.39	9.31	9.23	13.26
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Racking Force (Tier)	5	3.51	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	3.51
	4	8.98	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23	8.98
	3	7.92	7.79	7.79	7.79	7.79	7.79	7.79	7.79	7.79	7.79	7.79	7.92
	2	5.49	5.41	5.41	5.41	5.41	5.41	5.41	5.41	5.41	5.41	5.41	5.49
	1	7.58	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93	6.93	7.58

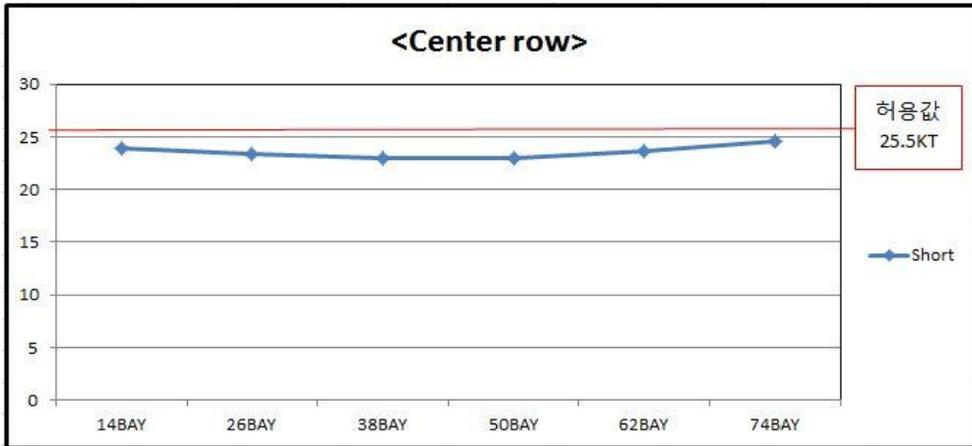
4.5K Container ship, Loading position(56Bay)

Row No.	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11
Lashing Force	S1	19.26	17.57	17.57	17.57	17.57	17.57	17.57	17.57	17.57	17.57	17.57	19.26
	S2	19.26	17.57	17.57	17.57	17.57	17.57	17.57	17.57	17.57	17.57	17.57	19.26
	L1	10.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.89
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Compressive Force (Tier)	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	-9.15	-8.23	-8.22	-8.21	-8.21	-8.2	-8.19	-8.2	-8.21	-8.22	-8.23	-9.15
	4	-23.56	-19.86	-19.84	-19.83	-19.82	-19.81	-19.79	-19.81	-19.82	-19.83	-19.84	-23.56
	3	-49.23	-36.58	-36.54	-36.49	-36.43	-36.38	-36.34	-36.38	-36.43	-36.49	-36.54	-49.23
	2	-72.71	-59	-58.94	-58.88	-58.8	-58.74	-58.68	-58.74	-58.8	-58.88	-58.94	-72.71
Tension Force (Tier)	1	-88.8	-73.57	-73.5	-73.42	-73.32	-73.24	-73.16	-73.24	-73.32	-73.42	-73.5	-88.8
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	-1.22	-1.98	-1.97	-1.97	-1.97	-1.96	-1.96	-1.96	-1.97	-1.97	-1.98	-1.22
	4	2.82	-0.86	-0.84	-0.83	-0.82	-0.81	-0.79	-0.81	-0.82	-0.83	-0.84	2.82
Shear Force (Tier)	3	8.77	6.08	6.14	6.18	6.23	6.28	6.34	6.28	6.23	6.18	6.14	8.77
	2	8.16	5.49	5.57	5.63	5.69	5.76	5.84	5.76	5.69	5.63	5.57	8.16
	1	13.87	9.89	9.99	10.07	10.15	10.22	10.33	10.22	10.15	10.07	9.99	13.87
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Racking Force (Tier)	5	3.57	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	3.57
	4	7.09	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	7.09
	3	8.05	7.96	7.96	7.96	7.96	7.96	7.96	7.96	7.96	7.96	7.96	8.05
	2	5.54	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45	5.54
	1	7.69	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.69

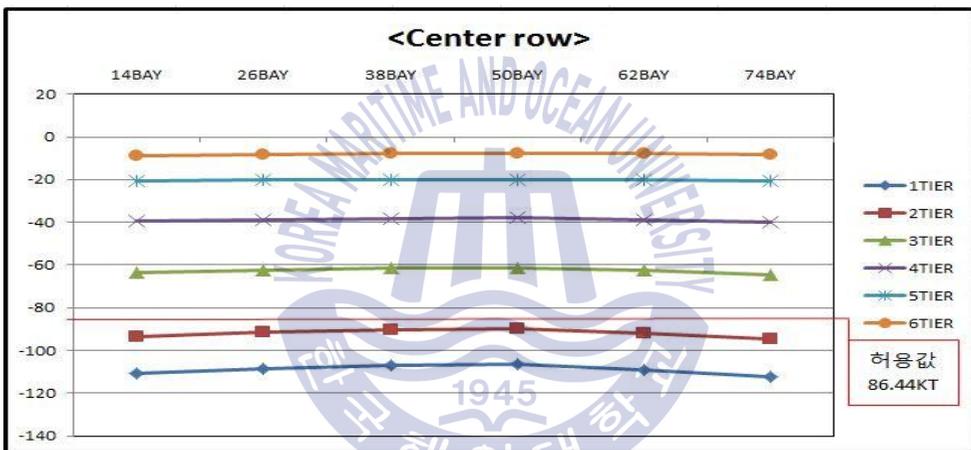
4.5K Container ship, Loading position(64Bay)



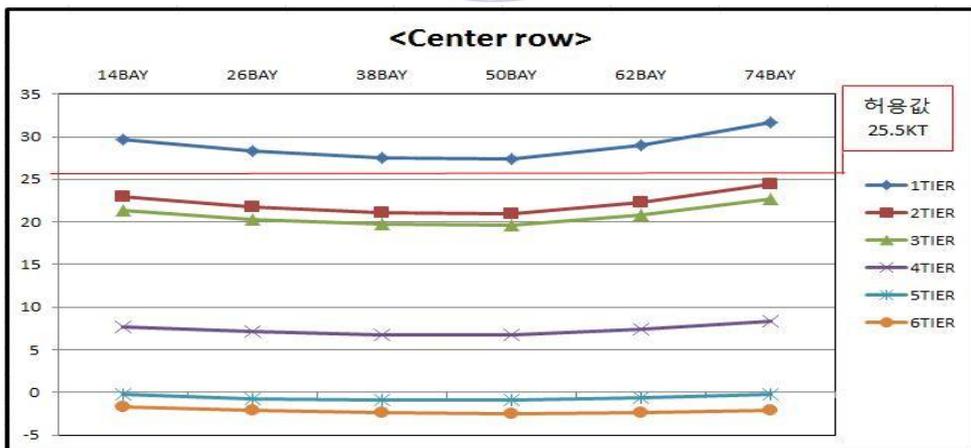




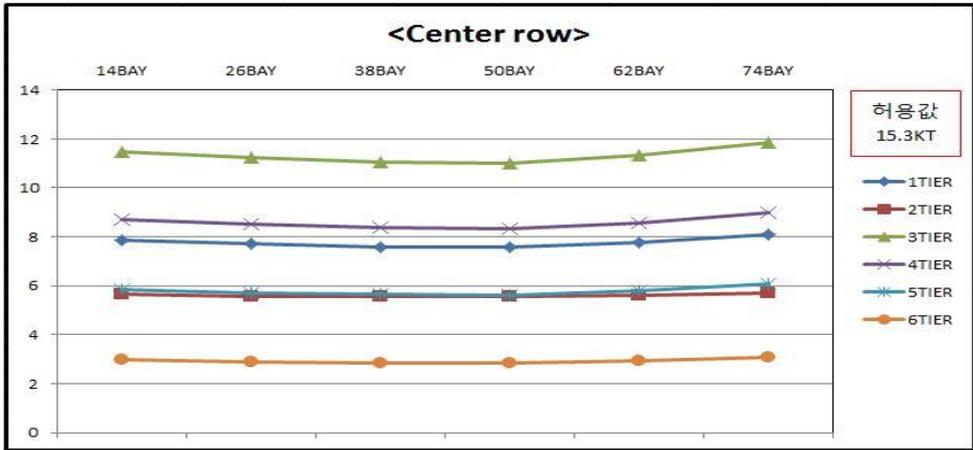
8.5K Container ship, Loading position(Lashing, Center row)



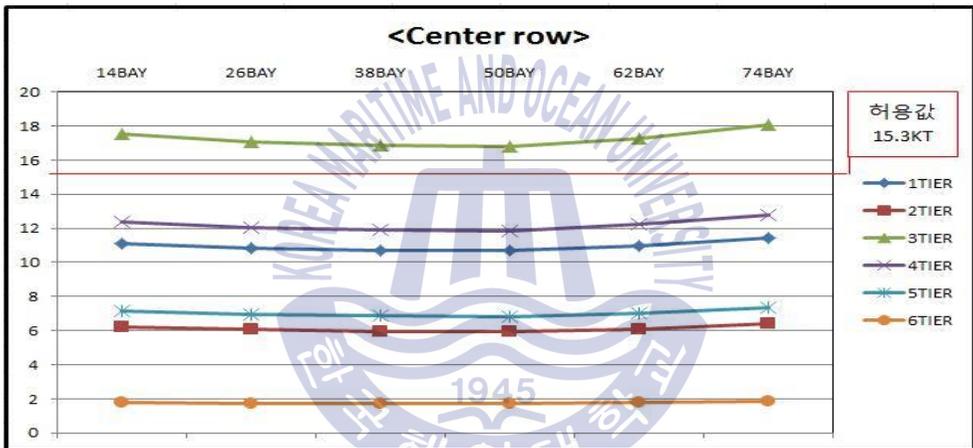
8.5K Container ship, Loading position(Compress, Center row)



8.5K Container ship, Loading position(Tension, Center row)



8.5K Container ship, Loading position(Shear, Center row)



8.5K Container ship, Loading position(Racking, Center row)

Row No.	16	16	14	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11	13	15	17	
Lashing Force	S1	27.94	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	27.94
	S2	27.94	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	25.19	27.94
	L1	15.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.18
Compressive Force (Tier)	7	-9.13	-8.2	-8.19	-8.18	-8.17	-8.16	-8.15	-8.14	-8.13	-8.12	-8.13	-8.14	-8.15	-8.16	-8.17	-8.18	-8.19	-8.2	-9.13
	6	-23.09	-19.39	-19.37	-19.35	-19.33	-19.31	-19.28	-19.27	-19.25	-19.23	-19.25	-19.27	-19.28	-19.31	-19.33	-19.35	-19.37	-19.39	-23.09
	5	-43.32	-35.4	-35.32	-35.24	-35.17	-35.09	-35.01	-34.94	-34.86	-34.8	-34.8	-34.85	-34.94	-35.01	-35.09	-35.17	-35.24	-35.32	-43.32
	4	-77.57	-56.63	-56.53	-56.43	-56.33	-56.23	-56.13	-56.02	-55.94	-55.84	-55.84	-55.94	-56.02	-56.13	-56.23	-56.33	-56.43	-56.53	-77.57
	3	-104.4	-82.47	-82.34	-82.21	-82.08	-81.96	-81.83	-81.7	-81.6	-81.47	-81.6	-81.7	-81.83	-81.96	-82.08	-82.21	-82.34	-82.47	-104.4
	2	-117.06	-94.4	-94.25	-94.09	-93.94	-93.79	-93.63	-93.48	-93.36	-93.21	-93.36	-93.48	-93.63	-93.79	-93.94	-94.09	-94.25	-94.4	-117.06
	1	-135.9	-110.76	-110.55	-110.4	-110.22	-110.05	-109.89	-109.57	-109.55	-109.37	-109.55	-109.89	-109.37	-110.05	-110.22	-110.4	-110.55	-110.76	-135.9
Tension Force (Tier)	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	-1.23	-2.15	-2.14	-2.13	-2.12	-2.11	-2.1	-2.09	-2.08	-2.07	-2.08	-2.09	-2.1	-2.11	-2.12	-2.13	-2.14	-2.15	-1.23
	6	2.37	-1.31	-1.29	-1.27	-1.25	-1.22	-1.2	-1.19	-1.17	-1.15	-1.17	-1.19	-1.2	-1.22	-1.25	-1.27	-1.29	-1.31	2.37
	5	11.98	4.2	4.28	4.36	4.42	4.51	4.59	4.65	4.72	4.8	4.72	4.65	4.59	4.51	4.42	4.36	4.28	4.2	11.98
	4	22.02	15.04	15.15	15.25	15.33	15.45	15.55	15.64	15.74	15.84	15.74	15.64	15.55	15.45	15.33	15.25	15.15	15.04	22.02
	3	17.98	12.07	12.19	12.32	12.42	12.58	12.7	12.81	12.93	13.06	12.93	12.81	12.7	12.58	12.42	12.32	12.19	12.07	17.98
Shear Force (Tier)	2	20.2	13.6	13.75	13.91	14.03	14.21	14.37	14.49	14.64	14.79	14.64	14.49	14.37	14.21	14.03	13.91	13.75	13.6	20.2
	1	26.59	19.56	19.74	19.92	20.06	20.25	20.46	20.6	20.78	20.95	20.78	20.6	20.46	20.25	20.06	19.92	19.74	19.56	26.59
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	3.39	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	3.39
	6	6.73	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	4.94	6.73
	5	10.04	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	10.04
Racking Force (Tier)	4	9.77	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.72	9.77
	3	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88	4.88
	2	6.24	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.24
	1	8.84	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	8.84
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	2.31	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	2.31
Racking Force (Tier)	6	5.44	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.44	
	5	14.5	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	14.5
	4	14.07	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.79	14.07	
	3	0.92	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	0.92	
	1	6.76	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.76	
1	12.52	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	12.52	

13.1K Container ship, Loading position(14Bay)

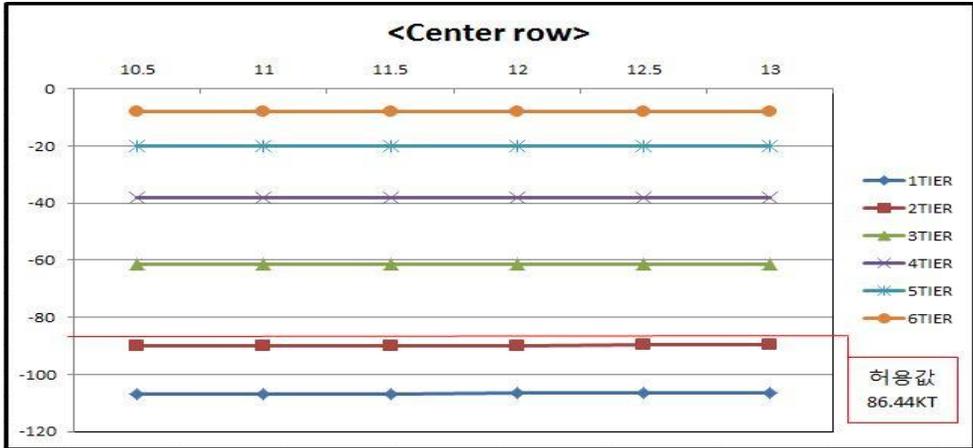




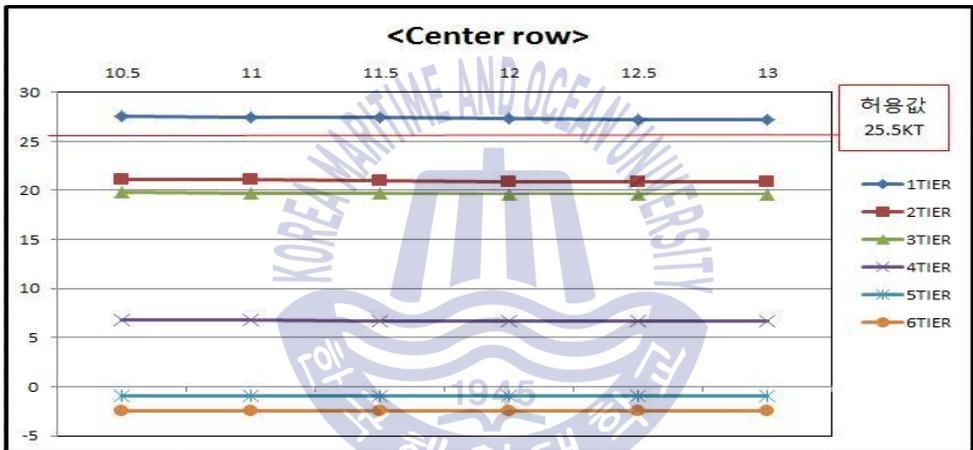




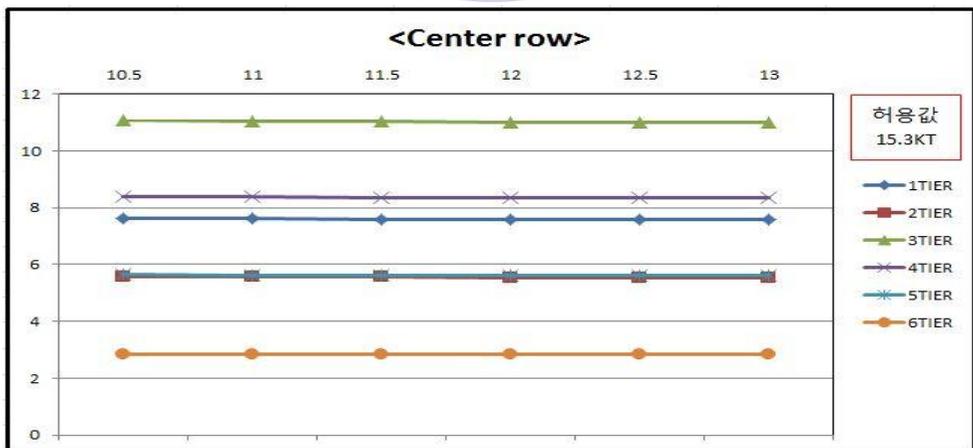




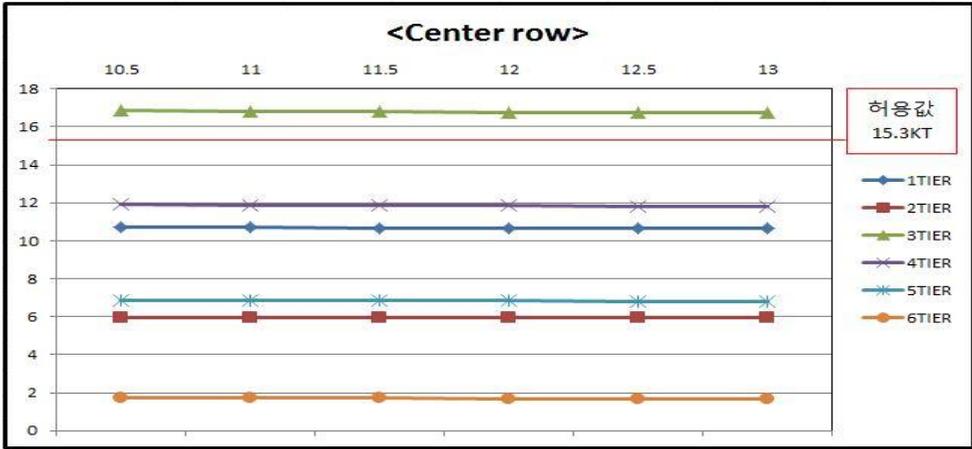
8.5K Container ship, Draft(Compress, Center row)



8.5K Container ship, Draft(Tension, Center row)



8.5K Container ship, Draft(Shear, Center row)



8.5K Container ship, Draft(Racking, Center row)

Row No.	18	16	14	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11	13	15	17
Lashing Force	27.39	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	27.39
L1	14.87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.87
Compressive Force (Tier)	-5.36	-7.44	-7.43	-7.42	-7.42	-7.41	-7.4	-7.39	-7.38	-7.39	-7.4	-7.4	-7.41	-7.42	-7.42	-7.43	-7.44	-7.44	-5.36
Tension Force (Tier)	1.85	-2.76	-2.75	-2.75	-2.74	-2.73	-2.73	-2.72	-2.71	-2.71	-2.71	-2.72	-2.73	-2.73	-2.74	-2.75	-2.75	-2.76	1.85
Shear Force (Tier)	3.31	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	3.31
Racking Force (Tier)	8.25	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	8.25

13.1K Container ship, Draft(9.0m)

Row No.	18	16	14	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11	13	15	17
Lashing Force	27.33	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	24.43	27.33
L1	14.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.84
Compressive Force (Tier)	-5.36	-7.43	-7.42	-7.42	-7.41	-7.4	-7.4	-7.39	-7.38	-7.39	-7.39	-7.4	-7.4	-7.41	-7.42	-7.42	-7.43	-7.43	-5.36
Tension Force (Tier)	1.85	-2.76	-2.76	-2.75	-2.75	-2.74	-2.73	-2.73	-2.71	-2.71	-2.71	-2.72	-2.73	-2.73	-2.74	-2.75	-2.76	-2.76	1.85
Shear Force (Tier)	3.31	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	3.31
Racking Force (Tier)	8.25	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	5.81	8.25

13.1K Container ship, Draft(10.0m)

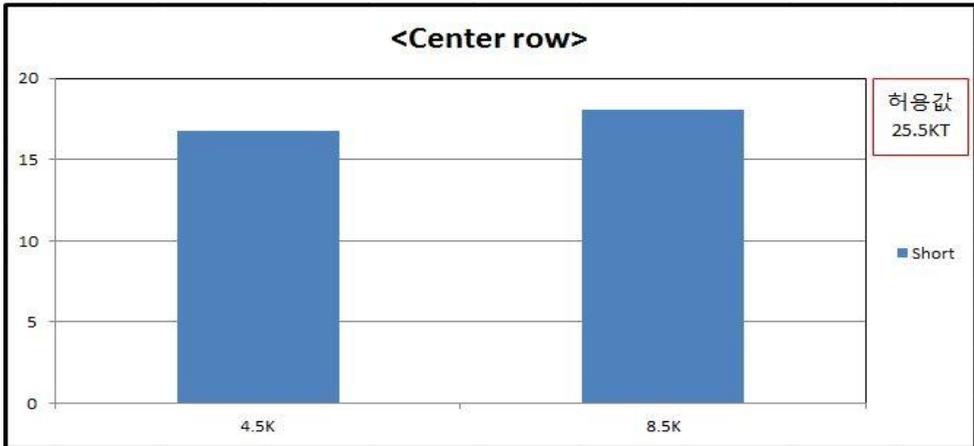


Row No.	18	16	14	12	10	08	06	04	02	00	01	03	05	07	09	11	13	15	17	
Lashing Force	S1	27.11	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	27.11
	S2	27.11	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15	24.15
Compressive Force (Tier)	11	14.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.71
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	-8.36	-7.43	-7.42	-7.41	-7.41	-7.4	-7.39	-7.38	-7.37	-7.36	-7.36	-7.35	-7.34	-7.34	-7.41	-7.41	-7.42	-7.43	-8.36
	6	-21.76	-18.24	-18.2	-18.17	-18.13	-18.09	-18.06	-18.03	-17.99	-17.96	-17.99	-18.03	-18.06	-18.09	-18.13	-18.17	-18.2	-18.24	-21.76
	5	-42.11	-34.21	-34.15	-34.1	-34.04	-33.98	-33.93	-33.89	-33.83	-33.78	-33.83	-33.89	-33.93	-33.98	-34.04	-34.1	-34.15	-34.21	-42.11
	4	-75.34	-54.85	-54.57	-54.51	-54.43	-54.35	-54.28	-54.23	-54.14	-54.08	-54.14	-54.23	-54.28	-54.35	-54.43	-54.51	-54.57	-54.85	-75.34
	3	-101.39	-79.51	-79.41	-79.33	-79.23	-79.12	-79.05	-78.97	-78.87	-78.79	-78.87	-78.97	-79.05	-79.12	-79.23	-79.33	-79.41	-79.51	-101.39
	2	-113.71	-91.05	-90.93	-90.84	-90.72	-90.6	-90.5	-90.41	-90.29	-90.2	-90.29	-90.41	-90.5	-90.6	-90.72	-90.84	-90.93	-91.05	-113.71
	1	-132.06	-108.88	-108.73	-108.63	-108.48	-108.34	-108.23	-108.13	-108.06	-108.06	-108.06	-108.13	-108.23	-108.34	-108.48	-108.63	-108.73	-108.88	-132.06
Tension Force (Tier)	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	-1.85	-2.76	-2.76	-2.75	-2.75	-2.74	-2.73	-2.73	-2.72	-2.71	-2.72	-2.73	-2.73	-2.74	-2.75	-2.75	-2.76	-2.76	-1.85
	6	1.12	-2.33	-2.3	-2.26	-2.23	-2.18	-2.15	-2.11	-2.08	-2.04	-2.08	-2.11	-2.15	-2.18	-2.23	-2.26	-2.3	-2.33	1.12
	5	11.14	3.35	3.4	3.46	3.51	3.57	3.61	3.68	3.72	3.78	3.72	3.68	3.61	3.57	3.51	3.46	3.4	3.35	11.14
	4	20.72	13.51	13.57	13.65	13.72	13.8	13.86	13.94	14	14.08	14	13.94	13.86	13.8	13.72	13.65	13.57	13.51	20.72
	3	18.63	10.43	10.5	10.61	10.68	10.78	10.86	10.96	11.04	11.14	11.04	10.96	10.86	10.78	10.68	10.61	10.5	10.43	18.63
	2	18.64	11.69	11.78	11.9	11.99	12.12	12.21	12.33	12.42	12.55	12.42	12.33	12.21	12.12	11.99	11.9	11.78	11.69	18.64
	1	26.66	17.23	17.33	17.46	17.58	17.73	17.83	17.98	18.08	18.23	18.08	17.98	17.83	17.73	17.58	17.46	17.33	17.23	26.66
	Shear Force (Tier)	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7		3.27	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	3.27	
6		6.51	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	6.51	
5		9.72	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	7.03	9.72	
4		9.47	9.31	9.31	9.31	9.31	9.31	9.31	9.31	9.31	9.31	9.31	9.31	9.31	9.31	9.31	9.31	9.31	9.47	
3		4.84	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83	4.84	
2		6.12	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	5.93	6.12	
1		8.6	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	7.07	8.6	
Racking Force (Tier)		9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	2.24	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	2.24	
	6	8.17	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	8.17	
	5	14.04	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	9.97	14.04	
	4	13.62	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	14.15	13.62	
	3	0.87	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	0.87	
	2	6.55	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84	5.84	6.55	
	1	12.18	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83	9.83	12.18	

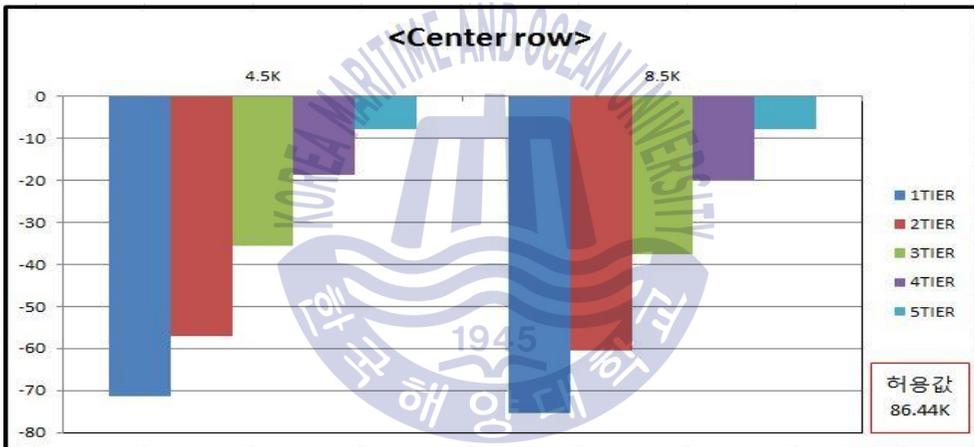
13.1K Container ship, Draft(14.0m)



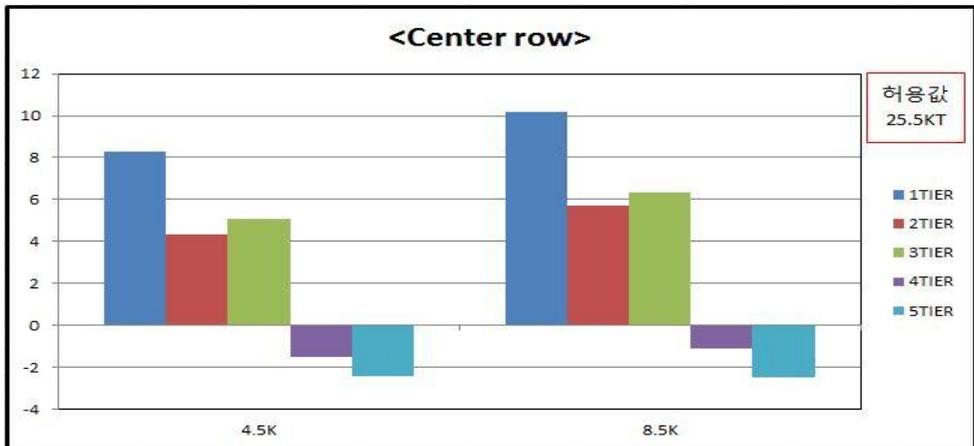
□ 선박크기별 특성을 변수로 한 고박하중 계산 및 상관관계 분석



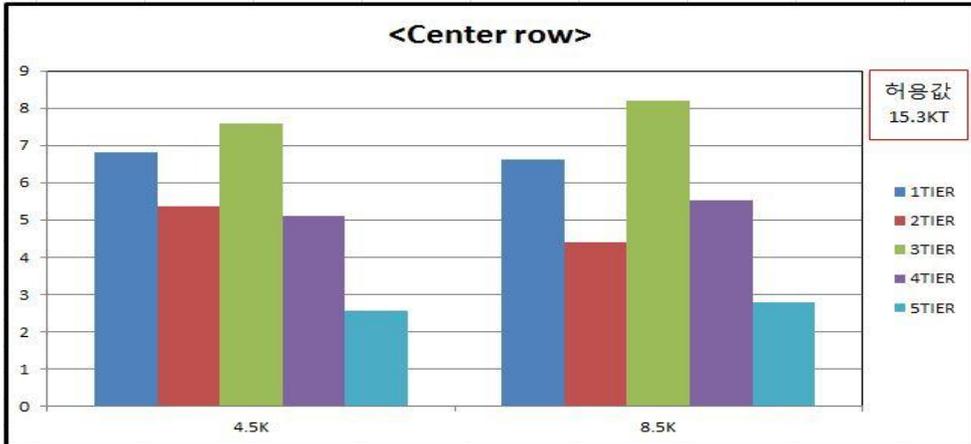
Center row Lashing force of 4.5K & 8.5K



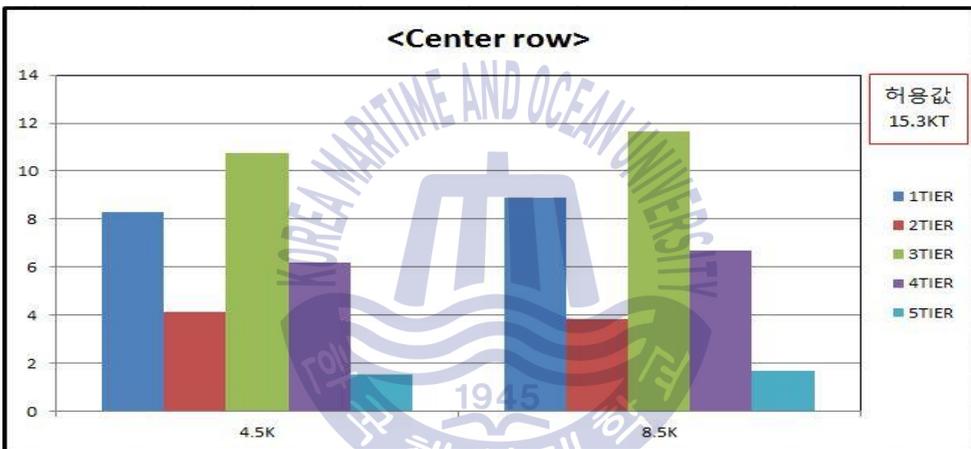
Center row Compress force of 4.5K & 8.5K



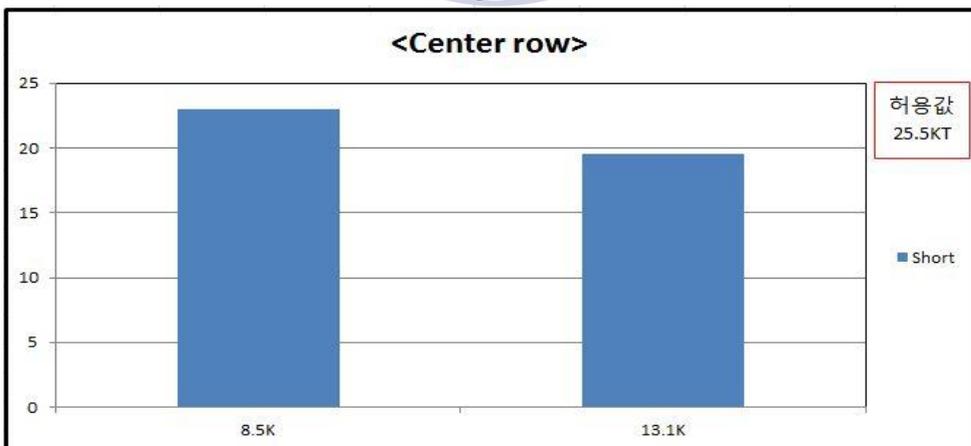
Center row Tension force of 4.5K & 8.5K



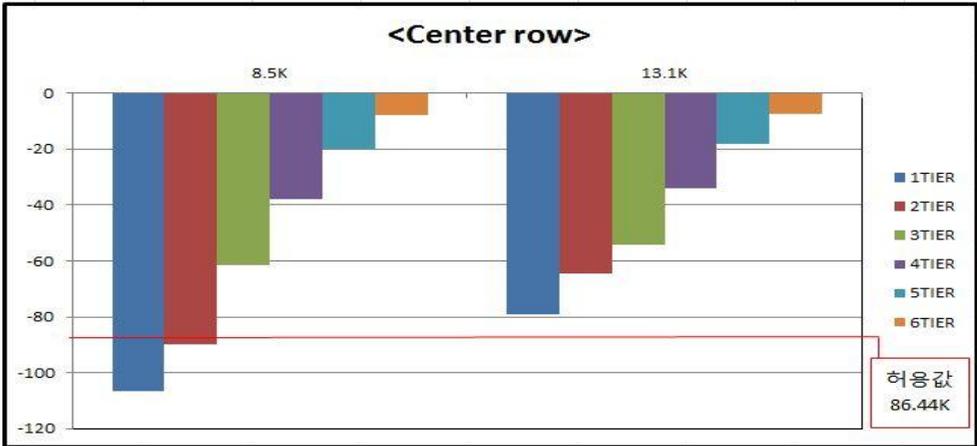
Center row Shear force of 4.5K & 8.5K



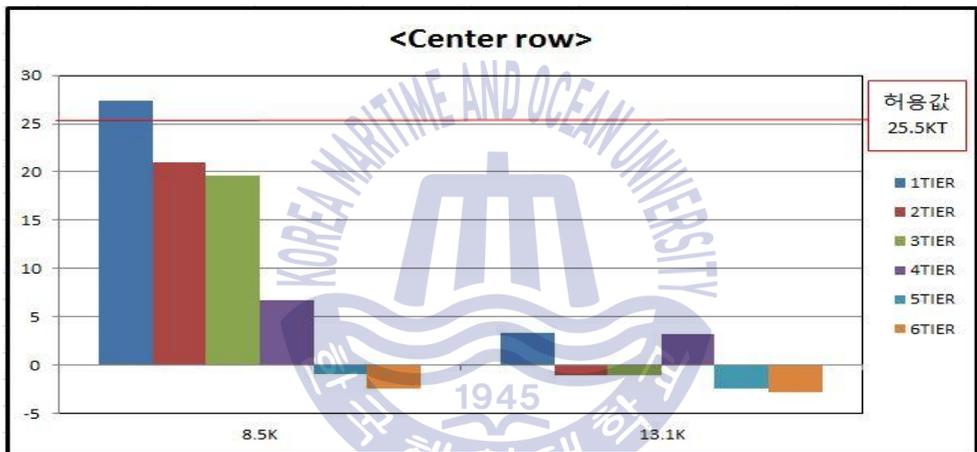
Center row Racking force of 4.5K & 8.5K



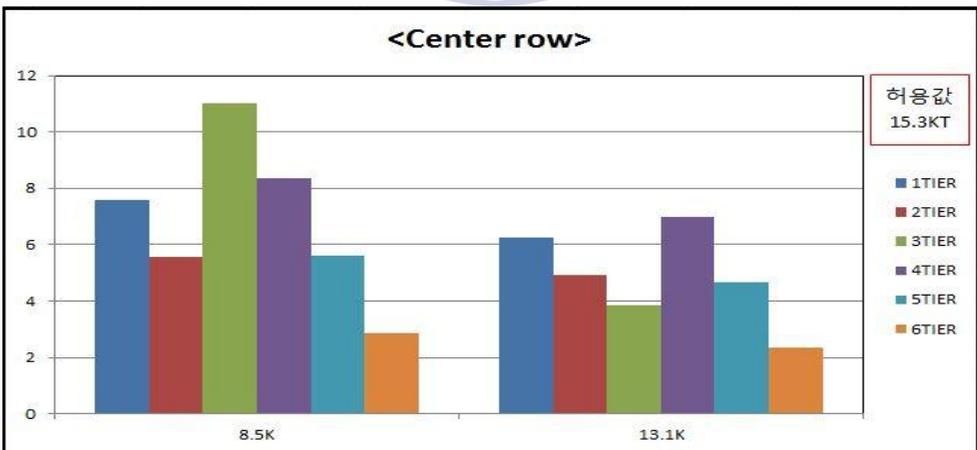
Center row Lashing force of 8.5K & 13.1K



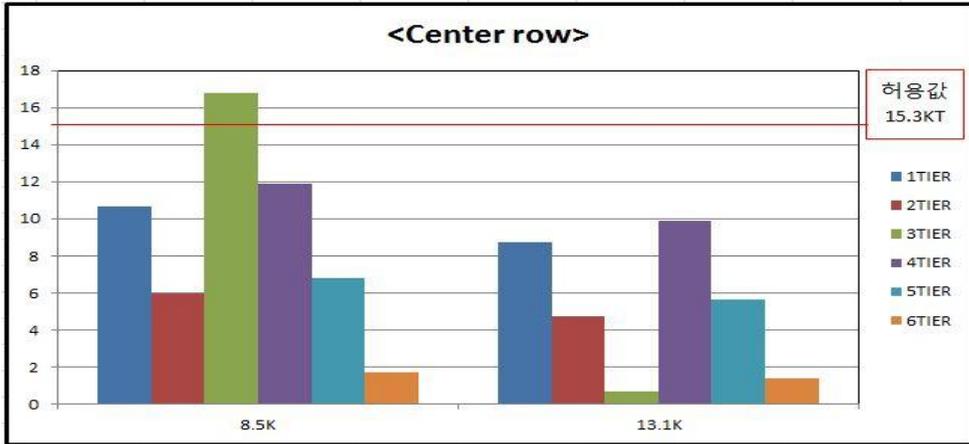
Center row Compress force of 8.5K & 13.1K



Center row Tension force of 8.5K & 13.1K



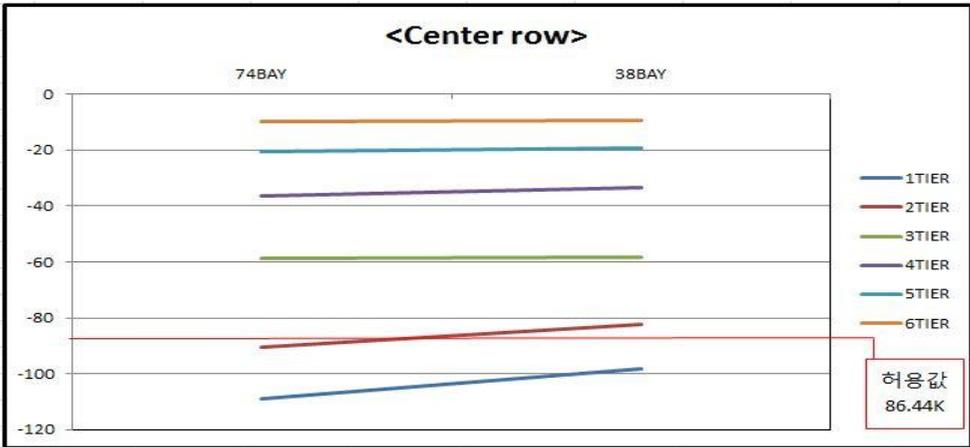
Center row Shear force of 8.5K & 13.1K



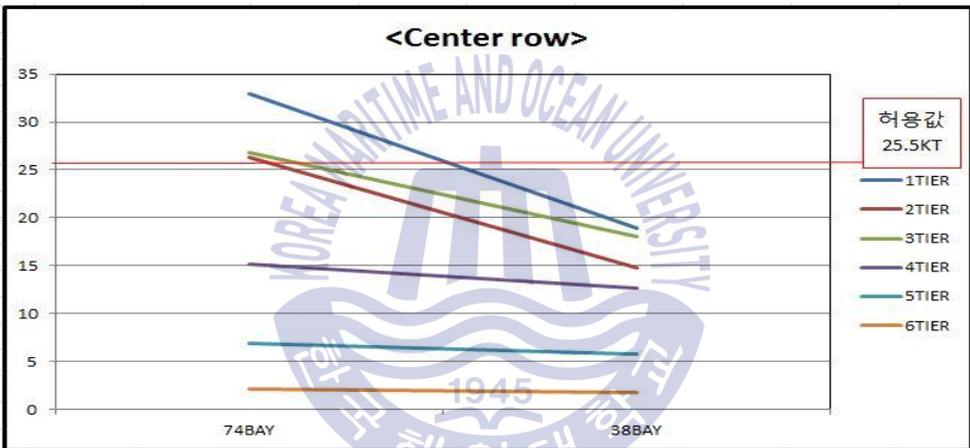
Center row Racking force of 8.5K & 13.1K



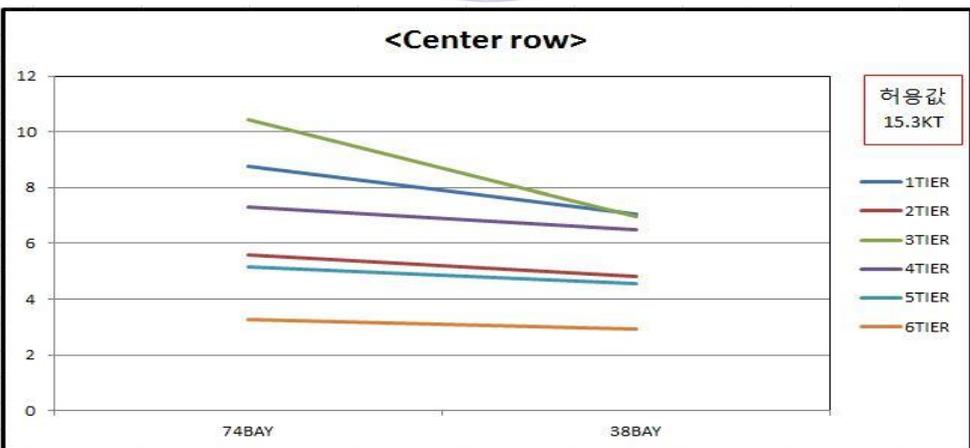




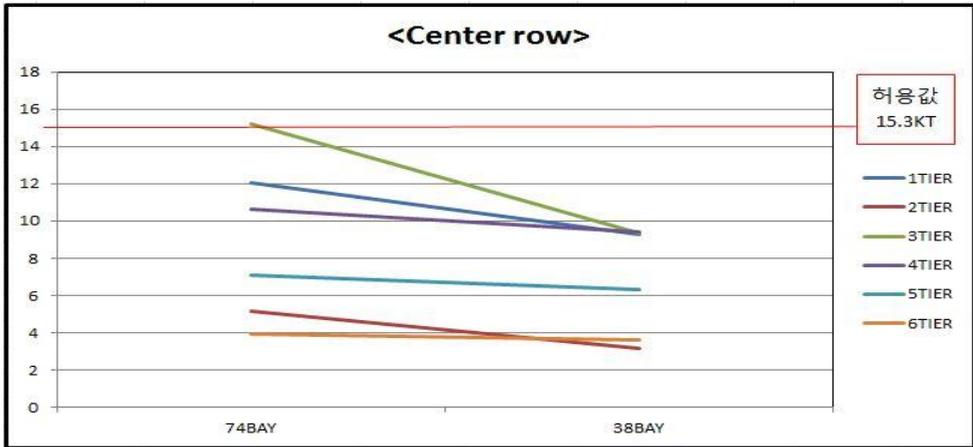
Center row Compress force change amount after improvement plan



Center row Tension force change amount after improvement plan



Center row Shear force change amount after improvement plan



Center row Racking force change amount after improvement plan



## 감사의 글

본 논문이 완성되기까지 지도 해주신 모든 분들께 머리 숙여 감사를 올립니다.

먼저 바쁘신 와중에도 많은 지도와 도움을 아낌없이 주신 이은방 교수님께 감사를 드립니다. 학위 논문을 작성하면서 막힘이 있을 때, 적절한 조언과 격려로 무사히 마무리 할 수 있었습니다. 그리고 학위 과정 중에 세상을 보는 시야와 생각을 많이 넓힐 수 있는 계기가 되었고, 학업을 정진하는데 큰 도움이 되었습니다.

대학원 과정에 첫 발을 내딛을 때 옆에서 도움을 주시고, 멀리서도 관심과 궁금한 점에 대해서 친절히 지도해주신 박영수 교수님, 세미나 발표 때 좋은 말씀과 전체적인 논문의 개선방향을 알려주신 박진수 학장님, 논문 발표 및 심사 때 명쾌한 조언과 격려를 해주신 국승기 교수님, 논문 관련 기초를 닦아주시고 많은 정보와 조언을 해주신 이윤석 교수님, 구체적인 직언으로 도움을 주신 하원재 교수님, 논문을 쓰는 과정에서 전체적인 방향을 잡기 힘들 때 바로 잡아 주신 정재용 교수님, 좋은 이야기와 상담을 해주신 김득봉 교수님 감사합니다. 석사과정을 거치면서 제 능력을 한 단계 더 발전시킬 수 있는 기회가 되었고, 큰 도움이 되었습니다.

석사과정을 하면서 저에게 많은 기회와 정보를 준 박상원, 석사과정 동안 옆에서 함께하고 늘 힘이 되어준 강석용 교수님 그리고 심효상, 신대운, 권승철 후배님께도 감사드립니다. 많은 의지가 되었고, 덕분에 시행착오를 많이 줄일 수 있었습니다.

일과 공부를 동시에 할 수 있는 기회를 주신 현대상선 부산운영팀 고상준 파트장님, 당직 계획을 짜는데 많은 배려를 해주신 이지웅 감독님, 그리고 항상 함께 해준 감독님들 감사합니다.

항상 일을 벌리고 도전하는 아들 때문에 신경이 많이 쓰이지만, 부담을 주지 않으려고 항상 옆에서 묵묵히 지켜보고 격려를 해주시는 어머니, 할머니, 할아버지, 그리고 장인어른, 장모님 감사합니다. 한층 더 높이 뛰어오를 수 있는 계기가 되었습니다.

마지막으로 석사과정을 마치느라 신혼초임에도 불구하고 제대로 된 여행과 데이트도 못하고 주말에는 도서관과 집을 전전하며, 스트레스를 주었던 신랑을 옆에서 격려와 애정으로 뒷바라지 해준 아내 서은지에게 이 지면을 빌어 감사하고 사랑한다고 전합니다.



2017년 2월 김대호