

컨테이너선의 래싱 어널리시스 시뮬레이터 개발

황진욱* 양성구* 홍충유** 박제웅**

*쥬메카정보통신

**조선대학교

Development of Lashing Analysis Simulator for Container Vessel

Jin Wook Hwang*, Sung Ku Yang*, Chung You Hong**, Jae Woong Park **

*MECA Co., Ltd.

**University of Chosun

KEYWORDS:

LASHING 래싱, LASHING ANALYSIS 래싱 어널리시스, LASHING ARRANGEMENT 래싱 어레이지먼트, SECURING EQUIPMENT 컨테이너 고박장비, CRITERIA 임계조건

ABSTRACT:

All of the world, unification and extension of market enlarged scale of international commerce. Thus, not only production but also circulation of goods is brought into relief and transportation of most freights is performed using container. Container vessels are equipped with many kinds of securing equipments such as Lashing, twistlock. Lashing is installed mainly in container vessel for the container stack with more than 3 containers. Damage of containers often arise from irrelevant lashing arrangement and bring economical loss. Much time and cost is requested for the Calculation of forces on container and determination of lashing arrangement

In this study, We developed lashing analysis simulator which performs calculation and presenst relevant lashing arrangement. It will provide more convenient and efficient environment for lashing analysis.

1. 서론

전세계적인 시장의 통합화로 국제 통상 규모는 급속히 커져갔고, 대규모의 물류 이동 또한 확대되었다. 이로 인해 상품의 유통이 중요한 과제로 부각됨에 따라 컨테이너 화물의 비중은 증가하고, 많은 양의 화물이 컨테이너선에 의해 수송되고 있다.

컨테이너 선박은 항해중에 파도 및 바람 등의 영향에 의하여 다양하고 강력한 외력을 받게 되며, 이에 따른 컨테이너의 파손을 방지하기 위하여 래싱(Lashing) 이나 트위스트락(Twistlock), 스택킹콘(Stacking Cone)과 같은 컨테이너 고박장비를 설치하게 된다. 일반적으로 3단 이상의 컨테이너 적재 시 래싱을 사용하게 되는데 래싱 어레이지먼트가 부적절할 경우 컨테이너 자체는 물론 선체에도 손상을 주게되어 경제적인 손실이 발생한다. 적절한 래싱 어레이지먼트의 결정

을 위해서는 컨테이너 및 래싱에 작용하는 힘을 계산하고, 임계조건을 만족시킬 수 있는 래싱 어레이지먼트를 결정하여야 한다.

이러한 작업의 효율성을 증대시키기 위해 여러 선급에서 제시한 계산 이론을 확립하여, 단 시간 내 계산을 수행하고 적절한 래싱 어레이지먼트를 제시해 줄 수 있는 래싱 어널리시스 시뮬레이터를 개발하는 것을 본 과제의 목표로 채택하였다.

2. 이론 해석

여러 선급에서 제시한 계산 이론을 다음과 같이 단계별로 구분하여 분석하였다.

2.1 6-자유도 운동의 진폭과 주기 계산

대양에서 선박은 파도, 조류, 바람 등의 다양한 힘을 받아 Fig. 1과 같이 3축을 기준으로 6 자유도 운동(6 Degree of Freedom Motion)을 하

게 된다.

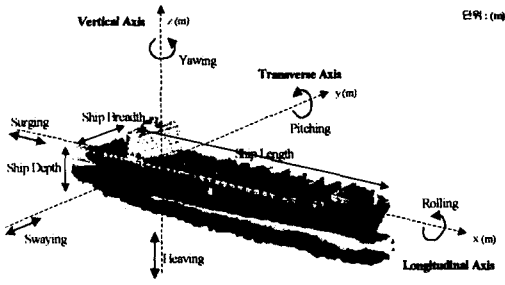


Fig. 1 6-DOF Motion

이들 6-자유도 운동의 진폭과 주기의 계산에 대해 여러 선급에서 Table 1과 같이 주로 롤링(Rolling), 피칭(Pitching), 히빙(Heaving)의 진폭과 주기를 고려하며, 다른 운동의 효과들도 적절히 계산과정에 참작된다.

Period and Amplitude about 6 DOF Motion			선급별 고려 유무				비고
			LR	GL	ABS	DNV	
1. Longitudinal axis	1-1. Surging	Period	X	X	X	X	
		Amplitude	X	X	X	X	
	1-2. Rolling	Period	O	X	O	O	
		Amplitude	O	X	O	O	
2. Transverse axis	2-1. Swaying	Period	X	X	X	X	
		Amplitude	X	X	X	X	
	2-2. Pitching	Period	O	X	O	O	
		Amplitude	O	X	O	O	
3. Vertical axis	3-1. Heaving	Period	O	X	X	X	
		Amplitude	O	X	X	X	
	3-2. Yawing	Period	X	X	X	X	
		Amplitude	X	X	X	X	

O : 고려, X : 비고려

Table 1 Comparison Table about Calculation of Amplitude and Period of 6-DOF Motion

2.2 컨테이너에 작용하는 힘의 계산

선박의 불규칙한 운동에 의해 컨테이너가 받는 힘을 정형화 시키는 것은 매우 힘들다. 그러나 주기운동의 최대 진폭에서 받는 힘의 계산을 통해 컨테이너가 받는 영향을 고려할 수 있으며 많은 선급에서 이와 같은 방법에 기반을 두고 있다. 컨테이너가 받게 되는 힘은 각 운동들에 의해 복합적으로 고려되는데 이는 각 축을 따라 작용하는 힘으로 구분된다. 각 축 방향의 직선운동, 회전운동에 의해 접선방향으로 작용하는 가속도 및 중력 가속도는 각 축에 대한 분력을 발생시킨다. 또한, 최외곽 컨테이너의 경우 바람(Wind Force)의 영향으로 더 많은 힘을 받게 된다.

2.3 스프링 계수의 계산

래싱이 장착될 경우, 각각의 컨테이너와 래싱

을 하나의 스프링으로 치환하여 스프링 모델로 해석하는데, 일반적으로 Stiffness를 계산하며 Table 2와 같이 일부 선급은 Flexibility를 사용하기도 한다.

Spring Constant in the Container Stack	선급별 고려 유무				비고
	LR	GL	ABS	DNV	
Stiffness	X	O	O	O	
Flexibility	O	X	X	X	

O : 고려, X : 비고려

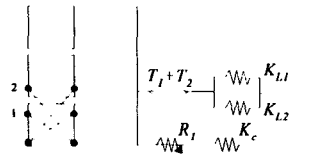
Table 2 Comparison Table about Consideration of Spring Constant of Container and Lashing

2.4 래싱에 작용하는 인장력의 계산

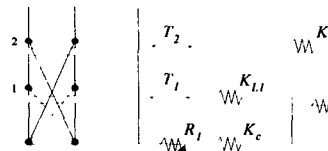
여러 고박 패턴에 대해 래싱의 인장력 도출을 위해 CASE 2를 바탕으로 스프링 모델을 해석하였으며 이는 Fig. 2와 같다.



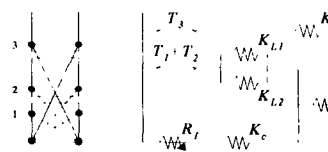
CASE 1. Single Lashing Pattern



CASE 2. Paired Lashing Pattern



CASE 3. Double Lashing Pattern



CASE 4. Full Lashing Pattern

Fig. 2 Spring Model of Lashed Stack

2.5 컨테이너의 반력 계산

컨테이너 스택 내부에서는 선박의 운동, 중력 및 바람에 의한 효과로 인해 발생하는 힘의 반력이 발생한다. 이들 힘의 임계조건은 안전하중(Safety Working Load)으로 설정한다. LR선급에서는 래싱 인장력을 고려한 컨테이너의 반력 계산식을 (1)~(4)와 같이 제시하였다.

$$R_i = \sum_{a=i}^n (F_a - T_a) \quad (1)$$

$$S_i = 0.55 \sum_{a=i}^n (H_a + Q_a - T_a) \quad (2)$$

$$C_i = \sum_{a=i}^n P_a + \frac{1}{a} \sum_{a=i}^n (F_a - T_a) \left(\sum_{b=1}^i h_b \right) \quad (3)$$

$$L_i = \sum_{a=i}^n P_a - \frac{1}{a} \sum_{a=i}^n (F_a - T_a) \left(\sum_{b=1}^i h_b \right) \quad (4)$$

where,

K_c : Flexibility of Container End Wall

K_L : Flexibility of Lashing Each Lashing

P_i : Pressure Force Applied on Each Container Post at Container Level i

H_i : Sliding Force Applied on Each Container End Wall at Container Level i

F_i : Applied Horizontal Force at Container Level i

T_i : Sum of Horizontal Lashing Tension applied on Container Level i

R_i : Racking Force in Each Container Level i

S_i : Shear Force in Each Container Level i

C_i : Compressive Force in Each Container Level i

L_i : Lifting Force in Each Container Level i

h_i : Height of Container Level i

a : Breadth of Container

컨테이너 스택 내부의 반력 및 여러 선급의 고려사항은 Table 3과 같다. 압축력의 경우 컨테이너 포스트(Container Post)와 코너 피팅(Corner Fitting)에 작용하는 두 가지 힘을 고려한다.

Responses of Container	선급별 고려 유무				비고
	LR	GL	ABS	DNV	
1. Sliding Force	○	○	○	○	
2. Shearing Force	○	○	○	X	
3. Compressive Force	○	○	○	○	
4. Lifting Force	4-1. In Container Post	X	○	X	○
	4-2. In Corner Fitting	○	○	○	○

○ : 고려, X : 비고려

Table 3 Comparison Table about Consideration of Responses of Container

3. 시뮬레이터 개발

3.1 개발 목표

시뮬레이터의 개발목표는 다음과 같다.

- ① 대양에서 다양한 운동에 의해 선박에 적재된 컨테이너에 작용하는 힘을 계산하는 모듈개발

- ② 갑판위에서의 래싱 어레이지먼트에 따라 계산을 수행하는 모듈개발

- ③ 컨테이너와 래싱에 작용하는 힘의 반복적인 자동계산을 통해 컨테이너의 적재 안정성을 자동 검증하고 적절한 래싱 어레이지먼트를 제시하는 모듈개발

- ④ 래싱을 비롯한 컨테이너 고박장비와 관련된 데이터베이스를 구축

3.2 시뮬레이터 구성

시뮬레이터는 크게 래싱 어널러시스와 고박장비 관리의 두 부분으로 나눌 수 있다. 이의 플로우 차트는 Fig. 4와 같다.

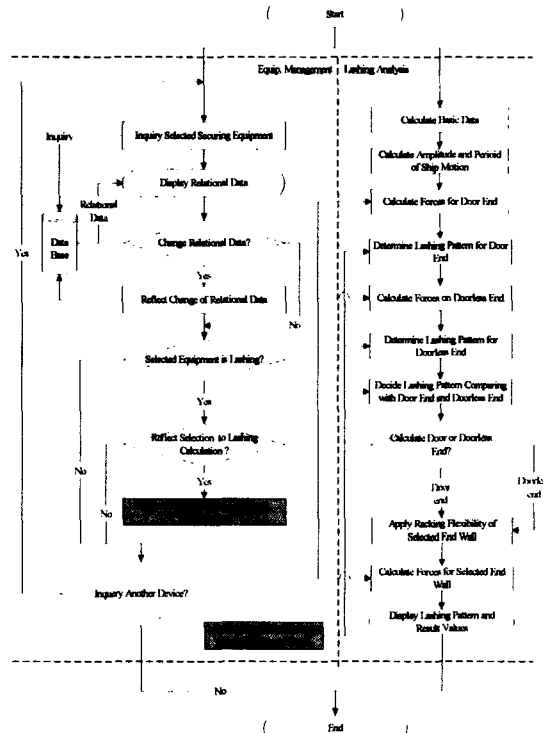


Fig. 4 General Flowchart of Simulator

고박장비 관리는 컨테이너선에 장착되는 고박장비들의 데이터를 조회하고 이를 해석 과정에 반영하는 기능을 제공한다.

래싱 어널러시스 수행과정에서 사용자가 설정한 컨테이너의 적재상태에 대해서 컨테이너에 작용하는 힘과 래싱에 작용하는 인장력을 임계조건과 비교하여 컨테이너의 적재 안정성을 자동검증한다. 래싱이 걸려있지 않은 상태에서부터 계산을 시작하는데, 임계조건을 만족시키지 못할 경우 래싱 패턴을 하나씩 증가시켜 나가며 자동검증을 수행한다.

각 Bay의 모든 컨테이너 스택에 대해서 자동으로 계산을 반복하며, Container Door End와 Doorless End에 대해서 결정된 래싱 패턴 중 상위 단계를 적용한다.

3.3 시뮬레이터 화면 구성

Fig. 5는 래싱 어널러시스의 결과화면으로 시뮬레이터에 의해 결정된 래싱 어래인지먼트와 계산결과값을 보여준다. 최상위 래싱 패턴을 적용하여도 임계조건을 만족시키지 못한 컨테이너 스택은 화면에 강조되어 표시된다.

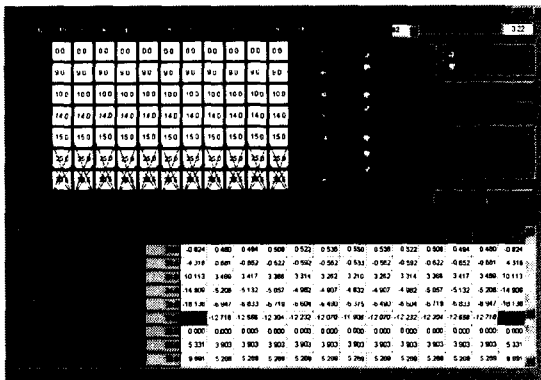


Fig.5 Lashing Analysis Results

Fig. 6과 Fig. 7은 고박장비의 데이터를 요약하여 보여주며, 이 중 사용자가 선택한 조회결과를 보여준다.

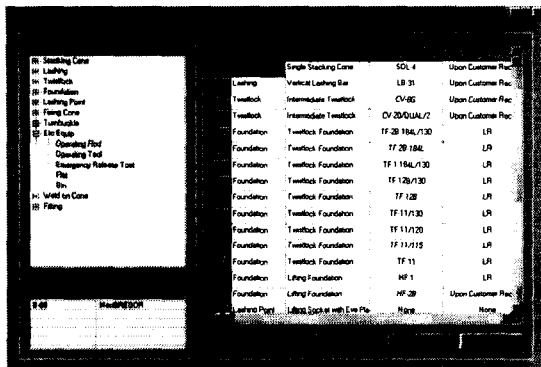


Fig.6 Securing Equipment Summary

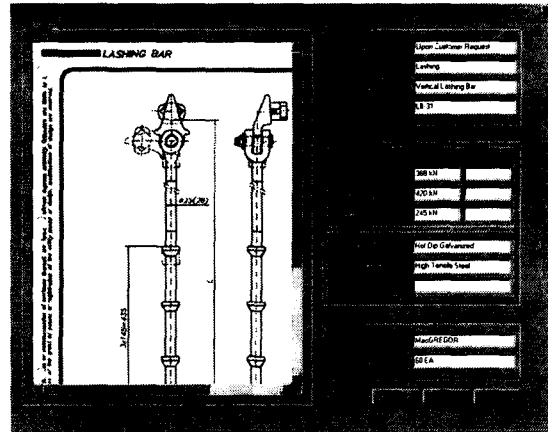


Fig.7 Inquiry of Securing Equipment

4. 검증

시뮬레이터의 계산결과와 정확성을 검증하기 위해 4,250 TEU 컨테이너선의 제원을 사용했으며 그 값은 Table 4와 같다.

PRINCIPAL PARTICULAR	VALUE (m)
LENGTH OVER ALL	260.049
LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR	244.800
BREADTH (MOULDED)	32.250
DEPTH (MOULDED)	19.300
DESIGN DRAFT (MOULDED)	11.000
SCANTLING DRAFT (MOULDED)	12.600

Table 4 Principal Particulars of Container Vessel used for Simulation

LR선급은 롤링과 히빙, 피칭과 히빙 및 이들의 복합운동에서의 계산방법을 각각 제시하는데, 각 경우에 대한 컨테이너의 반력에 대한 계산결과를 선급의 계산결과와 비교하였으며 그 결과는 Fig. 8 ~ Fig. 11과 같다.

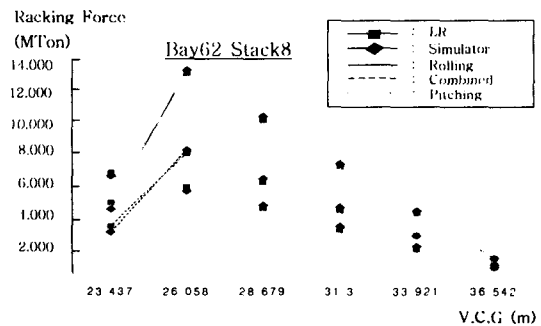


Fig. 8 Comparison of Racking Force with LR

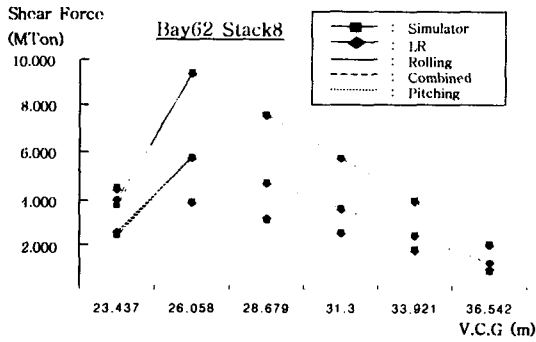


Fig. 9 Comparison of Shear Force with LR

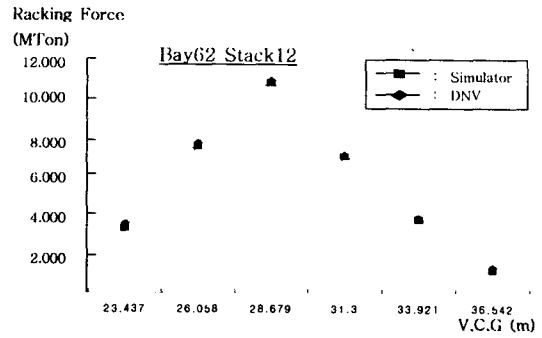


Fig. 12 Comparison of Racking Force with DNV

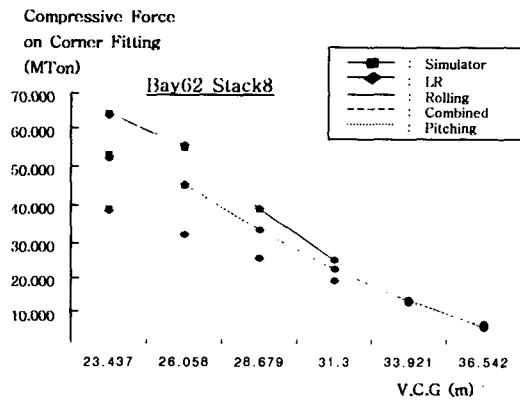


Fig. 10 Comparison of Compressive Force on Corner Fitting with LR

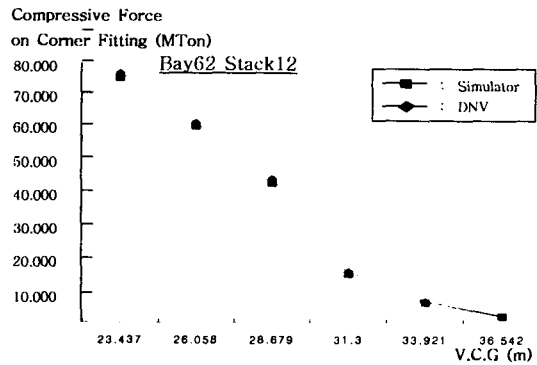


Fig. 13 Comparison of Compressive Force on Corner Fitting with DNV

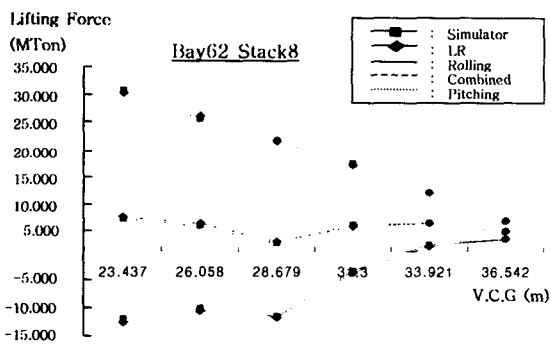


Fig. 11 Comparison of Lifting Force with LR

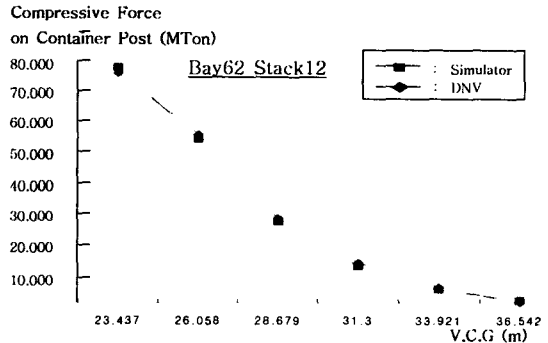


Fig. 14 Comparison of Compressive Force on Corner Post with DNV

DNV 선급의 경우 복합적인 선박의 운동에 대한 계산을 제시하는데 시뮬레이터와 선급의 계산결과를 비교한 결과는 Fig. 12 ~ Fig. 15와 같다.

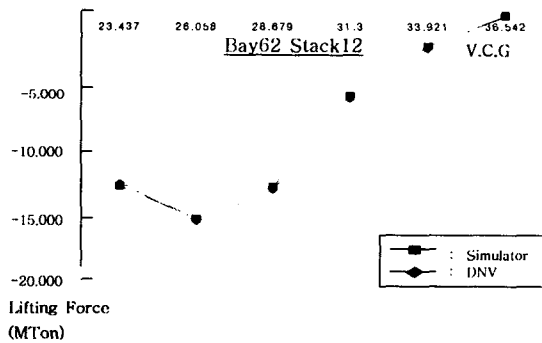


Fig. 15 Comparison of Lifting Force with DNV

GL 선급 기반의 모듈과 함께 시뮬레이터의 계산결과를 검증해 본 결과 매우 정확함을 알 수 있었다. 일반적으로 계산결과와 정확도는 선급 계산결과와의 차이를 선급계산결과에 대한 비율로 나타낸 값의 5%를 오차 허용범위로 두며, 시뮬레이터의 계산결과가 이를 만족함을 확인할 수 있었다.

5. 결론

5.1 요약

본 시뮬레이터의 개발을 위하여 여러 선급의 계산 이론을 분석하여 래싱이 장착된 컨테이너 스택에서 작용하는 힘을 계산하는 일반적인 프로시저(Procedure)를 확립하였다. 이를 바탕으로 DNV, LR 및 GL 선급 이론에 기반을 두어 선급별 계산을 수행하는 종합적인 래싱 어널러시스 시뮬레이터를 개발하였으며, 이의 계산 결과를 검증해 본 결과 아주 정확함을 알 수 있었다.

5.3 기대 효과

컨테이너선의 래싱 어널러시스 시뮬레이터는 단시간 내에 계산을 수행하므로 시간과 비용의 소모를 절감할 수 있다. 또한, 저렴하고 질적으로 우수한 국산 제품의 개발을 통해 국제경제에서 자국 경쟁력의 확보 효과를 가져온다.

5.3 적용 계획

다음과 같은 산업 분야에의 활용이 가능하다.

- ① 컨테이너 선박의 래싱 사양 결정을 위해 조선소에서 사용이 가능하다.
- ② 기자재 업체의 제품 개발 시 용역에 따라 적절히 컨테이너 고박을 수행할 수 있는 관련장치를 경제적으로 개발하기 위한 목적으로 본 시뮬레이터를 활용하는 것이 가능하다.
- ③ 선상에서의 운항선박 안전사고 예방 및 예비품목의 표준화 과정, 관련 산업의 시뮬레이션에 활용하는 것이 가능하다.

참고문헌

- [1] LR, "Cargo Securing Arrangements (Pt.3 Ch.14)", 2000년
- [2] LR, "The Assessment and Certification of

- Container Securing Arrangement on Board Ships (Pt.3 Ch.14)", 2000년
- [3] DNV, "Strength Analysis of Container Securing Arrangements", 1983년
- [4] DNV, "Container Carriers (Pt.5 Ch.2 Sec.6)", 2000년
- [5] DNV, "Design Load (Pt.3 Ch.1 Sec.4)", 2000년
- [6] DNV, "Container Securing in Ships", 1999년
- [7] GL, "Rules for Arrangement and Construction (Pt.4 Ch.3 Sec.2)", 1999년
- [9] GL, "Design Principles (Pt.4 Ch.3 Sec.3)", 1999년
- [10] ABS, "Guide for Certification of Container Securing Systems", 1988년
- [11] KR, "선급 및 강선 규칙 적용 지침 [부록] 7-2 컨테이너 고박 설비에 관한 지침", 1999
- [12] RINA, "Container Lashing Equipment (Pt.F Ch.10 Sec.5)", 2003년
- [13] Macgregor, "Cargo Securing Manual", 2003년
- [14] "조선설계편람", 해문당, 1976
- [15] "Principle of Naval Architecture", 미국조선학회, 1994, 대한교과서주식회사