

전산유동해석을 이용한 컨테이너 크레인의 유동 분석

권순규* · 이성욱** · 한동섭*** · 한근조****

*동아대학교 대학원, **동아대학교 기계공학부 교수, ***동아대학교 대학원, ****동아대학교 기계공학부 교수

A Fluid Analysis of a Container Crane using the Computation Fluid Dynamics

Soon-Kyu Kwon* · Seong-Wook Lee** · Dong-Seop Han*** · Geun-Jo Han****

*Graduate school of Dong-A University, Busan 604-714, Korea

**Graduate school of Dong-A University, Busan 604-714, Korea

***Graduate school of Dong-A University, Busan 604-714, Korea

**Division of Mechanical Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

요 약 : 본 연구는 풍하중이 컨테이너 크레인에 작용할 때, 풍향에 따라서 컨테이너 크레인의 유동장을 분석하였다. 본 연구를 위해 사용된 모델은 50ton급 컨테이너 크레인으로 현재 항만시설에 가장 많이 사용되는 모델이다. 유동장은 원통으로 모델링하였으며, 직경, 300m, 높이 200m로 설정하였다. 본 연구는 멱급수를 적용하여 풍속 50m/s의 설계 기준에서 고도에 따라 풍속을 고려하였다. 또한 풍향은 0° ~ 180° 를 30° 간격으로 적용하였으며, CFX-10을 사용하여 전산유동해석을 수행하였다. 본 연구에서는 풍향에 따른 풍압력을 분석하였으며, 향후 유동 연성 해석을 통한 컨테이너 크레인의 구조 안정성 평가를 할 것이다.

핵심용어 : 컨테이너 크레인, 전산유동해석, 풍하중

ABSTRACT : This study analyzed the fluid state around a container crane according to a wind direction when a wind load was applied to a container crane. The container crane for this research is a model of a 50-ton class used broadly in the current ports. The dimension of an external fluid field set up diameter, 300m, height, 200m. This study considered the change of a wind velocity according to an altitude in a criterion of a wind velocity, 50m/s, applying a power series law. An incident angle applied to an interval of 30 degrees in 0° ~ 180° and this study carried out a computaion fluid dynamics using a CFX-10. In this study, we indicate the wind pressure according to the height and section figure of each member. In addition, we suggest the wind pressure accordint to a wind direction. And we will analyze the structure stability of a container crane from the fluid-ductile analysis in the next study.

KEY WORDS : container crane, computation fluid dynamics, wind load

1. 서 론

경제의 세계화 진전에 따라 세계 컨테이너 물동량은 연평균 7% 내외의 높은 성장세가 지속되고 있으며, 이에 따라 컨테이너 선박의 투입이 증가되고 있으나, 1984년 미국 신해운법 발효 이후 세계 정기선해운의 경쟁심화로 인한 저 운임 환경에서도

경쟁력을 갖추기 위해 컨테이너 단위당 운송비가 저렴한 컨테이너 단위당 운송비가 저렴한 컨테이너선의 대형화가 크게 진전되어 2004년에는 10,000TEU급 선박을 포함하여 6,000TEU급 이상 선박이 30~40척 이상 인도될 예정이며, 향후 10년 이내에는 12,000TEU급의 초대형 컨테이너 선박이 취항할 것으로 전망되고 있다.

컨테이너 선박이 이와 같이 초대형화됨에 따라 해상물류와 항만에도 큰 영향을 미치게 되어 초대형 컨테이너선의 기항 항만 수는 적어지는 대신 한 항만에서 이루어지는 양·적하 컨테이너 화물 수는 증가하게 되었다. 즉 초대형 컨테이너선이 기항

* 정회원, lsw1126@korea.com 051)200-6989

** 정회원, gihan@dau.ac.kr 051)200-7650

*** 정회원, dshan@paran.com 051)200-6989

**** 정회원, kimth@kit.ac.kr 051)320-1275

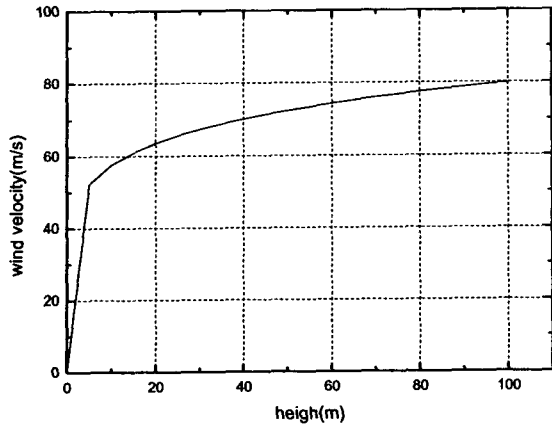


Fig. 1 Wind velocity according to a altitude

하는 항만인 물류 중심항만(Hub Port)과 주변항(Feeder Port)으로 구분되면서 각 항만의 역할 분담과 함께 서열화가 될 것으로 예상되고 있다.(양 등 2002)

따라서 각 나라에서는 자국의 항만이 물류 중심항만으로 성장하기 위해 항만하역장비에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 항만하역장비분야 중 컨테이너 크레인 컨테이너를 선박에 양·적하하는 장비로서 컨테이너선의 대형화와 함께 대형화가 이루어지므로 컨테이너선의 대형화에 적합한 구조와 작동방식 및 자동화, 흔들림에 대한 연구가 요구되고 있다.(김 등 2000)

또한, 컨테이너 크레인의 작업 환경에 의해 차폐물이 거의 없는 항만에 설치되어 사용되며, 자중이 850ton에 육박하는 계류시(붐(Boom)을 올렸을 경우) 최대 100m에 달하게 되므로 바람에 매우 큰 영향을 받게 된다. 특히, 지난해 태풍 '매미' 내습 시에는 부산항의 신감만 및 자성대 부두에서 초속 50m에 이르는 강풍에 의하여 총 11기의 컨테이너 크레인이 파손되어 부산항 기능을 마비시켰다.

본 연구에서는 지금까지 연구된 유한요소법을 이용한 연구방법을 변경하여 바람의 유동을 모델링하여 실제 항만에서 컨테이너 크레인 받는 풍압력을 분석하였으며, 향후 풍압력을 컨테이너 크레인에 적용한 유동-연성 해석을 수행함으로써 컨테이너 크레인의 구조 안정성을 분석할 것이다.

2. 전산유동해석

2.1 풍하중의 분석

풍하중 산출 식 (1)과 같이 "건축물 하중 기준"에 의해 산출된다. 본 연구에서는 풍압력인 q_z 를 산출함으로써 컨테이너 크레인의 풍압력을 제시하고자 한다.

$$P = C_f \cdot C_A \cdot G_f \cdot q_z \cdot A \quad (1)$$

$$q_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_z^2$$

$$v_z = v_0 \cdot K_{zr} \cdot K_{zt} \cdot I_w$$

P : 설계풍력 (kgf)

C_f : 풍력계수

G_f : 거스트 계수

C_A : 풍향계수(angle factor)

q_z : 설계속도압 (kgf/m²)

A : 수압면적

v_z : 설계풍속

v_0 : 기본풍속

K_z : 풍속고도분포계수

K_{zt} : 풍속할증계수

I_w : 중요도 계수

풍압력 q_z 에서 ρ 는 공기 밀도이므로 $0.125\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 이며, v_z 는 고도에 따른 설계풍속을 나타내고 있다.

2.2 유동장 모델링

본 연구에서는 75m/s의 풍속이 작용할 때를 고도에 따라 바람의 유동을 모델링하였다.

식 (2)은 경계층을 위해 사용되는 가장 일반화된 고도에 따른 풍속으로 헤르만에 의해 제시된 멱급수 법칙을 따르고 있다.(미국 토목공학회, 1982)

Fig. 1은 식 (1)을 적용하여 고도에 따른 풍속의 분포를 나

$$\frac{V(z)}{V(z_g)} = \left(\frac{z}{z_g} \right)^{(1/\alpha)} \quad (2)$$

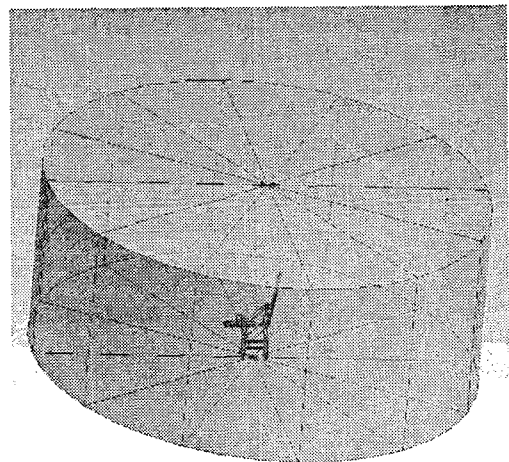


Fig. 2 Fluid state around the container crane

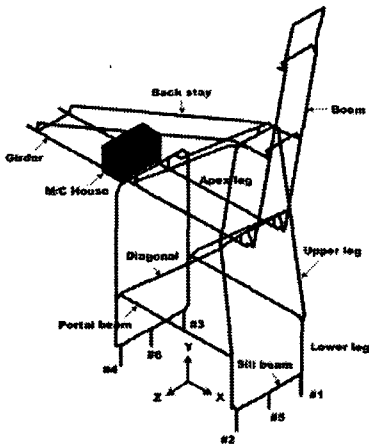


Fig. 3 Structure skeleton drawing of a container crane

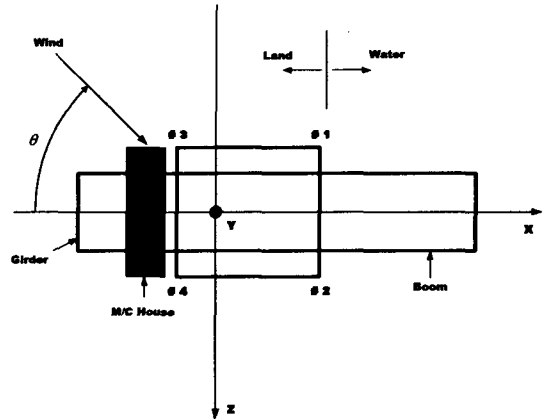


Fig. 4 Definition of an incidence angle of a wind load

타낸 것이며, 좌변항의 지수인 $(1/\alpha)$ 는 항만의 경우 1/7 지정하고 있다.

Fig. 2는 원통의 지름, 600m, 높이, 200m로 모델된 유동장으로서 본 연구에 사용된 모델이다. 컨테이너 크레인의 주변 유동장을 크게 함으로서 경계층에 의한 영향을 제거하였다. 또한 컨테이너 크레인의 각 부재에 크기에 맞게 요소의 크기를 설정함으로써 컨테이너 크레인의 부재의 정확도를 향상시켰다.

Fig. 3은 본 연구의 모델로 사용된 컨테이너 크레인으로서 컨테이너 용량(Liftinf capacity)이 50ton이며, 전체 자중이 890ton, 아웃리치(Out reach)가 51m, 레일 스패น(rail span, 해측과 육측 레그간의 거리)이 30.5m, 지상에서 붐(Boom) 및 거더(Girder)까지 높이가 40m, 계류시 지상에서 붐 끝단까지의 높이가 100m에 달하며, 해측(X 방향) 수평면적이 863m², 레일측(Y 방향) 수평면적이 997m²에 달하는 대형 구조물이다.(한진중공업, 2000)

Fig. 4는 본 연구에서 풍하중의 방향을 나타내고 있으며, θ 는 육측을 기준으로 0°에서 180°까지 변화하는 풍향의 방향을 나타내고 있다. 본 연구에서는 원통형에 대한 벡터로서 입사각을 설정하였으며, 입사각이 바뀌어짐에 따라 모델링을 하지 않도록 함으로서 case별로 동일한 요소수를 가지고 산출하기 때문에 정확도를 향상시켰다.

table. 1 wind pressure according to an incident direction

구분	Boom	low leg	upper leg
0-degree	3302 [Pa]	2307 [Pa]	3070 [Pa]
30-degree	3407 [Pa]	1664 [Pa]	2970 [Pa]
60-degree	3309 [Pa]	2100 [Pa]	2950 [Pa]
90-degree	3335 [Pa]	2385 [Pa]	3028 [Pa]
120-degree	3391 [Pa]	2104 [Pa]	2874 [Pa]
150-degree	3405 [Pa]	2078 [Pa]	2905 [Pa]
180-degree	3302 [Pa]	2309 [Pa]	3047 [Pa]

3. 해석결과 및 고찰

3.1 풍향에 따른 풍압 분포

본 연구에서는 컨테이너 크레인이 계류 시에 풍향에 따른 풍압분포이므로 Boom의 경우 최대 100m에 이르며, 다른 부재와 달리 차폐물이 없으므로 최대 풍압이 풍향에 따라 변화가 없지만, 최대 풍압력이 발생하는 지점은 풍향에 따라 부재의 위치 또한 동일한 방향으로 변화함을 알 수 있다.

부재 중에서 leg의 경우는 upper leg와 low leg로 구별할 수 있으며, 나누는 지점은 portal beam을 기준으로 나누어 볼 수 있다. lower leg는 사각부재이므로 풍속을 정면을 받은 경우에서 최대의 풍압력이 발생한다. 즉 0°, 90°, 180° 지점에서는 풍속이 lower leg에 정면으로 발생하므로 다른 풍향에서보다 조금 높은 풍압력이 발생하였음을 알 수 있다.

또한, upper leg의 경우도 lower leg와 마찬가지로 사각부재이므로 최대 압력 발생 지점도 동일한 각도에서 발생한다. 하지만, upper leg의 lower leg보다 높은 고도에 있음에도 lower leg와 풍압력에서 큰 차이를 보이지 않는 것은 풍속이 일정 높이 도달하면서 풍속이 변화가 거의 없기 때문인 것으로 판단되어진다. Boom의 경우도 upper leg보다 최대 50m까지의 높이 차이가 발생하지만, low leg와 upper leg와의 관계에서보다 큰 차이를 보이지 못하고 있는 것으로 판단된다. 이것은 Fig. 1의 고도에 따른 풍속에 의해 50m에서 급격히 기울기가 작아지면서 풍속의 차이가 매우 작아지기 때문인 것으로 판단된다. 또한 표에서 나타나지 않았지만, low leg의 경우 바닥면의 경계층에 의한 와류 및 바람이 rail span을 지나면서 다른 부재와의 충돌로 인한 와류 등으로 음의 값을 가지는 경우도 발생하였다. 여기서 음의 압력은 대기압을 고려하지 않은 값이므로 실제 대기압을 적용하였을 때는 음의 값이 없을 것으로 판단되어진다.

Boom, low leg, upper leg와 컨테이너 크레인에서 가로빔에 해당하는 부분인 portal beam, Girder의 경우는 table. 2에서 참조하여 판단할 수 있다. 먼저, portal beam은 처음 입사각이 0°에서 바람에 대한 직접적인 수평 면적이 존재하지 않기 때문

Table. 2 wind pressure according to an incident direction

구분	portal beam	girder	upper dia.	low dia.
0-degree	-58 [Pa]	707 [Pa]	3217 [Pa]	1142 [Pa]
30-degree	500 [Pa]	1707 [Pa]	3006 [Pa]	2824 [Pa]
60-degree	1527 [Pa]	2305 [Pa]	2916 [Pa]	2916 [Pa]
90-degree	2152 [Pa]	2857 [Pa]	3150 [Pa]	2724 [Pa]
120-degree	1878 [Pa]	2414 [Pa]	2875 [Pa]	2368 [Pa]
150-degree	750 [Pa]	1920 [Pa]	2756 [Pa]	2152 [Pa]
180-degree	-56 [Pa]	287 [Pa]	1044 [Pa]	1722 [Pa]

에 -58 [Pa]이 작용하는 것으로 판단되어진다. 또한, 예상과 같이 90°에서 최대 수평 면적이 발생하므로 풍압력 또한 최대의 값이 된다. 풍향이 60°에서 풍하중이 작용되면, 최대 풍압력은 portal beam중에서 해측인 Boom 아래쪽에서 최대 풍압력이 형성되며, 육측인 Girder 아래쪽에서는 음의 풍압력이 발생한다. 컨테이너 크레인의 전체 모델은 X축에 대해서 대칭지만, portal beam의 경우는 Y축에 대해서 대칭이므로 90°를 기준으로 유사한 풍압력을 가지는 것으로 판단되어진다. 그러므로 입사각이 120° 인 경우에는 60°의 풍향에서와 유사한 풍압력을 발생함을 알 수 있다.

Girder의 경우도 portal beam과 동일하게 가로빔에 해당함으로 풍향이 90°에서 최대 풍압력을 가진다. 하지만, portal beam과 달리 Y축에 대한 대칭이 아니지만, 가로빔의 특성에 의해 유사한 대칭형상의 풍압력이 발생한다. 하지만, 입사각이 180°에서와 0°에서 차이가 크게 나는 것은 Boom 등에 의한 차폐물의 영향인 것으로 판단된다. 특히, 기계실의 형상이 큼으로 Girder의 내부 면에서는 아주 낮은 풍압력이 발생한다.

컨테이너 크레인의 부재는 대부분이 사각 부재로 구성되어

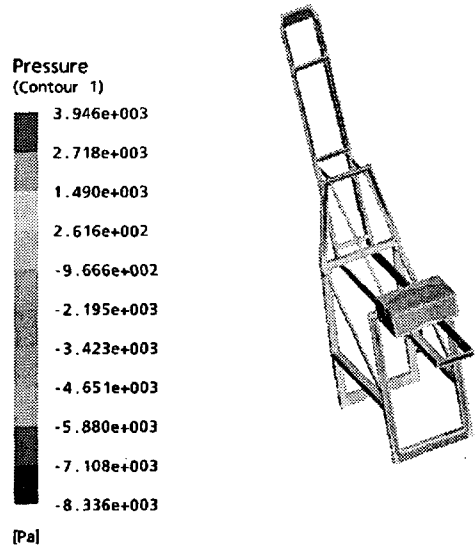


Fig. 6 Wind pressure distribution in 30-degree

있지만, diagonal은 원통형 부재로 구성되어 있다. upper diagonal의 경우는 풍속의 입사각이 90° 이상부터는 Boom의 차폐효과가 발생하여 입사각이 커질수록 풍압력이 작아지게 된다. 반면, 0°인 지점에서는 차폐효과가 발생하지 않으므로 최대 풍압력이 발생하며, 90°까지는 비슷한 풍압력이 나타난 것으로 판단된다. low diagonal의 경우도 upper diagonal과 동일하게 원통형이지만, leg 등에 의한 차폐효과가 큼으로 90°를 기점으로 하여 입사각이 커지거나 작아짐에 따라서 풍압력이 작아지는 것을 알 수 있다. Fig. 5~11은 입사각도에 따라서 컨테이너 크레인의 주요 풍압분포를 나타내고 있다. 입사각별 최대 압력 차이는 거의 없으며, 컨테이너 크레인의 최대 풍압력은 풍향에 수직인 방향에서 최대 압력이 발생하는 것으로 판단되어진다.

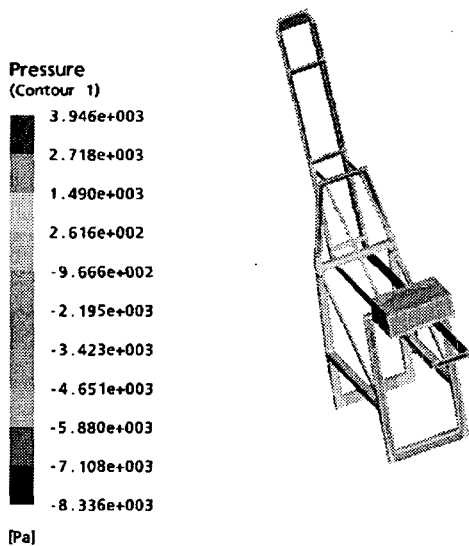


Fig. 5 Wind pressure distribution in 0-degree

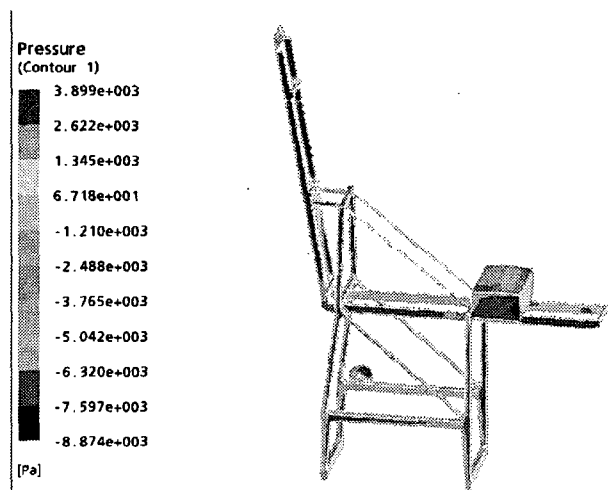


Fig. 7 Wind pressure distribution in 60-degree

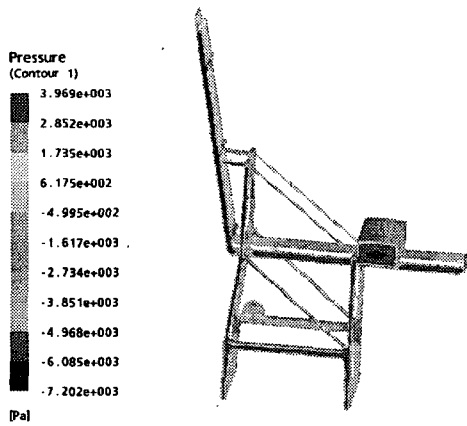


Fig. 8 Wind pressure distribution in 90-degree

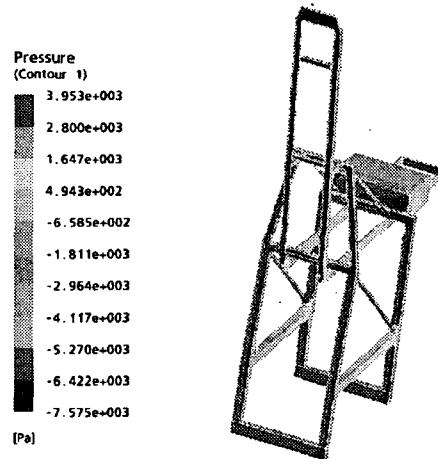


Fig. 8 Wind pressure distribution in 150-degree

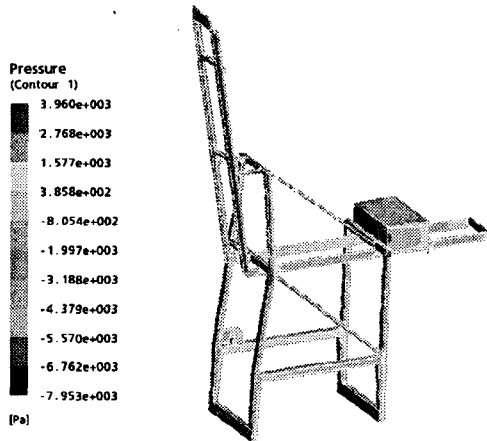


Fig. 8 Wind pressure distribution in 120-degree

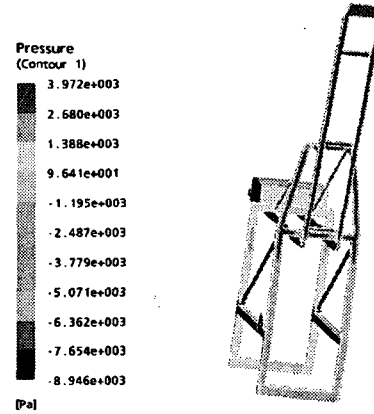


Fig. 8 Wind pressure distribution in 180-degree

4. 결 론

본 연구에서 사용된 컨테이너 크레인 50ton급으로 현재 항만에 가장 많이 사용되고 있는 모델이다. 기존 컨테이너 크레인의 구조 안정성 분석을 위해 유한요소법을 사용하여 각 절점에 하중을 입력하는 방법을 적용하였다.(이 등, 2005) 하지만, 절점력의 작용만으로 바람의 기류특성을 정확하게 반영하기에는 한계가 있었다. 이런 단점을 보완하기 위해서 바람의 유동을 해석함으로써 바람의 기류 특성을 반영하여 컨테이너 크레인의 풍압력을 정확하게 산출 할 수 있었다.

향후 본 연구에서를 통해서 얻어진 풍향에 따른 풍압력을 바탕으로 풍하중의 주요 원인 중 하나인 풍향계수를 산출할 수 있을 것으로 판단되어진다. 또한, 풍압력을 구조 해석 분야에 접목함으로써 컨테이너 크레인의 구조 안정성 평가에 있어서 기존의 유한요소법과 비교, 분석할 수 있을 것으로 기대되어진다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 양창호, 김창곤, 최종희, 최상희, 최용석, 이주호, “ 초대형 컨테이너선 운항에 대비한차세대 항만 하역시스템 기술개발 전략 연구,” 한국해양수산개발원, 2002
- [2] 김경한, 이영진, 이진우, 이권순, “고효율 갠트리 크레인 설계 및 성능 분석,” 한국항만학회지, 제14권, pp. 395-406, 2000
- [3] 건설교통부(2000), 건축물하중기준
- [4] AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS “Wind Tunnel Studies of Buildings and Structures,” 1982
- [5] 한진중공업(2000), 부산항 감만부두 확장구역 50ton 컨테이너 크레인 구조 및 기계부문 계산서

- [5] 이성욱, 심재준, 한동섭, 박종서, 한근조, 이권순, 김태형
“풍하중이 컨테이너 크레인의 안정성에 미치는 영향 분석,
” 한국정밀공학회지 제 22권 제 2호, 2005