

다수대의 해상크레인 병렬 운용을 위한 리프팅 하중 Factor 적용 기준 마련 및 시뮬레이션을 통한 검증

황진호^{†*}, 김윤호*, 하수호*, 서정길*, 이찬영*
이규열**, 박광필**, 차주환**

대우조선해양*
서울대학교 조선해양공학과**

Guideline of Weight Factor for Lifting Operation by Parallel Connected Floating Cranes and Verification using Simulation

Jin Ho Hwang^{†*}, Yun Ho Kim*, Soo Ho Ha*, Jeong Gil Seo*, Chan Young Lee*
Kyu Yeul Lee**, Kwang Phil Park** and Ju Hwan Cha**

Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering co., LTD. *
Dept. of naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University**

Abstract

In the recent large block are used to build the ship to improve productivity. For this reason, two or more floating cranes that are connected in parallel is the trend. Typically, when working with floating crane load safety factor is considered. Even in the parallel operation, load safety factor is calculated similar to working alone. For this reason, operations do not guarantee the reliability or excessive safety factor applied. Therefore, the subdivided cases for calculating the safety factor are defined when parallel connected floating cranes are operated. Based on those cases, the operation standard is made about procedure using parallel connected floating cranes. And to verify this, dynamics simulation was performed for verification using the dynamics simulation program.

※ Keywords: Floating crane(해상크레인), Parallel connection(병렬 연결), Lifting factor(리프팅 팩터), Simulation(시뮬레이션), Dynamics(동역학),

1. 서론

현재 여러 조선소에서는 생산성 향상을 위해 기존의 생산 공법과 다른 여러 가지 새로운 공법들을 시도하고 있다. 일반적인 크기보다 아주 큰 대형 블록을 한번에 탑재하거나 새로 설치하는 생산 설비를 설치 위치에서 만들지 않고 다른 위치에서 만들어서 한번에 이동/설치 하는 공법 등이 그 예이다. 이를 위해 기존의 해상 크레인 한기만을 이용한 작업에서 나아가 해상 크레인을 병렬로 연결하여 작업 효율을 좀 더 높이고자 하는 시도가 늘어나게 되었다.

일반적으로 해상 크레인을 이용한 작업 시에는 작업의 안정성을 보장하기 위하여 작업 시의 각종 조건들을 고려하여 하중 factor 를 적용한다. 이때 병렬로 연결한 해상 크레인의 작업 시에도 기존의 한 대를 이용한 방법과 유사한 방법으로 작업 가능성을 검토하다 보니 안전을 위하여 과도한 하중 factor 를 적용하여 해상 크레인의 능력을 최대한 활용하지 못했다. 이에 기존의 한 기를 이용한 해상 크레인 작업시의 하중 factor 계산 방법에서 추가하여 병렬 작업 시의 특성을 고려한 하중 factor 계산 방법을 고안하였다.

2. 작업 절차

블록 인양 시의 작업 절차는 Fig. 1 과 같다. 먼저 블록을 선택한 후 인양/탑재 방법을 선정하는데 운용 장비와 수, 연결 방법 및 이동 형태 등을 결정하면 하중 factor 에 따른 인양 가능 블록의 하중을 결정할 수 있다. 이 때 인양 블록의 하중이 크레인의 허용 수치를 넘게 되면 블록 선정단계로 되돌아간다. 하중이 허용 수치를 만족하면 리프팅 러그를 배치를 배치하는데 배치 결과를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하여 간섭 및 각 러그별 하중 등을 확인한다. 다음 단계로 각 러그에 걸리는 하중을 이용하여 구조적인 안정성을 검토한다. 검토 후 구조 안정성 여부에 따라서 보강 또는 러그 재배치를 수행하고 안정성에 문제가 없으면 리프팅 도면을 작성하여 리프팅을 수행한다.

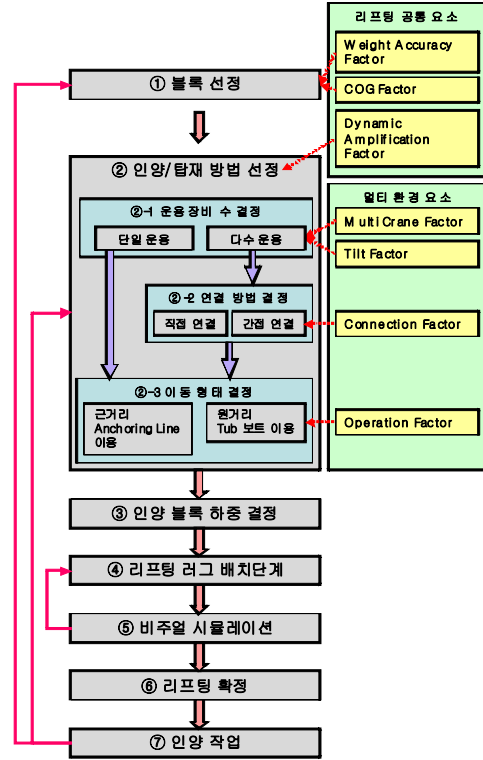


Fig. 1 크레인 작업 절차

크레인을 이용한 작업을 할 때에 가장 중요한 것은 크레인의 최대 허용 하중을 넘지 않도록 하는 것이다. 하지만 설계 하중과 실제 하중의 오차 및 기타 여러 가지 이유로 인하여 최대 허용 하중을 넘는 경우가 발생할 수 있기 때문에 하중에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 요인들을 파악하여 하중을 계산해야 한다. 하지만 인양하는 모든 중량물에 대하여 정확한 동역학 시뮬레이션을 수행하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 일반적인 상황에서의 영향을 고려하여 factor 를 계산한다.

Fig. 1 의 우측에는 작업 절차 중에서 각 단계별로 고려해야 하는 여러 가지 factor 를 정리하여 하중 결정에 반영할 수 있도록 하였다. Factor 에는 일반적인 작업 환경에서 고려해야 하는 factor 가 있고 병렬 작업 시에 고려해야 하는 factor 도 있다.

Factor 계산 결과는 작업 환경에 따라서 달라지

기 때문에 작업 가능 여부의 기준이 되는 환경이 필요하다. 본 논문에서 사용한 작업 기준은 파도의 파고 0.5 m, 주기 7.03 초 이내의 환경을 기준으로 factor 를 계산하였다. 그리고 해상 크레인을 병렬 연결하는 와이어는 20%~30% 정도의 신율을 가진 와이어(P.P Rope, Nylon or Manila Rope) 를 사용하는 것으로 가정하였다.

3. 항목별 Factor 적용 기준

3.1 Weight Accuracy Factor

인양 대상물의 하중을 결정할 때는 weighed weight 와 estimated weight 로 나누어 factor 를 다르게 적용한다. Weighed weight 는 실제 검증 받은 weighing 장비를 이용하여 weighing 한 결과 무게를 의미한다. 단 조선소의 실정에 따라서 weight control report 의 weight 나 실적 weight 를 weighed weight 에 포함한다. Weighed weight 의 경우에는 1.035 의 factor 를 적용한다. Estimated Weight 는 설계 추정 무게 즉 산출무게이다. Estimated weight 의 경우에는 기존의 예측 정확도를 바탕으로 하여 1.05 의 factor 를 적용한다. Factor 수치는 NDI(Noble Denton International) report No.27(이하 NDI) 5.1 항을 참조하고 조선소 상황을 감안하여 결정하였다. NDI 는 세계적인 warranty surveyer 로써 report No.27 은 해상 크레인을 이용한 리프팅 작업 시에 사용할 수 있는 가이드라인을 제시하고 있다.

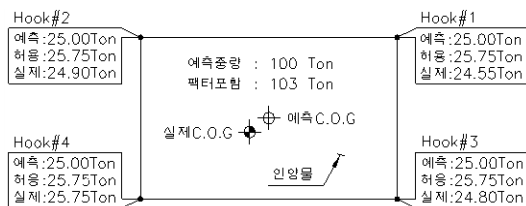


Fig. 2 COG Factor 예제

3.2 COG(Center of Gravity) Factor

리프팅 시에는 COG 위치를 예측하는데 예측 COG 위치와 실제 COG 위치간의 오차가 생길 수

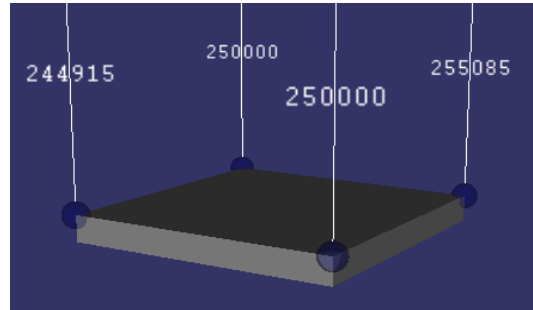


Fig. 3 COG Factor 시뮬레이션

도 있다. 이러한 COG 오차 범위를 COG envelop 이라고 한다. COG 오차로 인하여 각 hook 의 실제 하중이 예측 하중과 달라지는데 이러한 오차를 반영하기 위해 COG factor 를 둔다. Fig. 3 는 예측 COG 와 실제 COG 가 다를 때 각 hook 에 걸리는 하중이 어떻게 변하는지 보여준다. COF factor 는 기존의 COG 오차율과 NDI 5.9.1 항을 참고하여 1.03 을 적용한다.

COG factor 의 검증을 위하여 COG 위치가 1% 정도의 오차가 있다고 예상할 때의 하중 결과를 계산하였다. Fig. 3은 COG 가 중심에서 1% 벗어날 때의 하중 분포 변화를 시뮬레이션 한 결과로 1.02034 의 factor 가 계산되었다.

3.3 Tilt Factor

인양물을 인양 시에 인양 속도의 차이 등으로 경사가 생길 수 있는데 이러한 경사로 인하여 특정 hook 에 load 가 편중될 수 있다. Fig. 4 는 인양물의 경사로 인한 하중 차이를 보여주는 예제이다. 이때 적용하는 factor 는 NDI 5.9.1 항을 참조하고 작업 정확도를 감안하여 1.03 의 factor 를 적용한다.

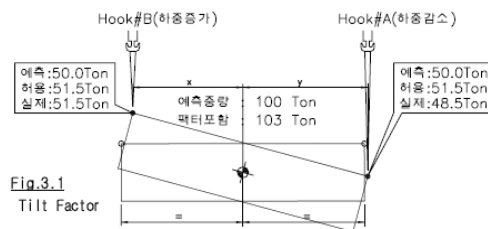


Fig.3.1 Tilt Factor

Fig. 4 Tilt Factor 예제

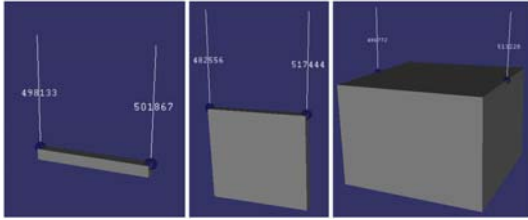


Fig. 5 Tilt Factor 시뮬레이션

Tilt factor 를 검증하기 위하여 인양물이 1 도 기울어 졌을 때를 기준으로 factor 를 계산하였다. 인양물의 형상에 따라서 factor 가 다르게 나오는데 긴 막대기 형태(1.004)와 넓은 판 형태(1.035), 가장 블록과 유사한 box 형태(1.026)를 계산해 보았는데 모두 1.03 이하이거나 유사한 값이다. Fig. 5 는 tilt factor 를 시뮬레이션 한 결과이다.

3.4 Dynamic Amplification Factor

해상 크레인을 이용하여 인양 시에는 파도로 인해 인양물의 거동이 생기므로 이로 인한 동적 하중을 고려해야 한다. 특수한 케이스에 대해서는 따로 계산을 수행하고 일반적인 경우에는 NDI 5.2.1 항을 참조하고 조선소 실정을 반영하여 다음의 factor 를 적용한다.

Table 1 Dynamic Amplification Factor

Gross Weight (Ton)	Dynamic Factor		Remark
	Offshore	Inshore	
100 >= W	1.300	1.150	
100 < W <= 1000	1.200	1.100	
1000 < W <= 2500	1.150	1.050	
2500 < W <= 5000	1.100	1.050	
5000 < W	1.050	1.035	DSME

위의 factor 를 적용함에 있어서 조선소의 실정을 감안하기 위하여 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 참고 하였다. Fig. 6 은 dynamic amplification

factor 를 조선소의 조건에 따라서 시뮬레이션 한 것으로써 적용 기준은 위에 언급한 바와 같이 파고 0.5m, 주기 7s 이다. 시뮬레이션 결과로 계산된 factor 는 100ton 의 하중에서 1.108 이 계산되었다.

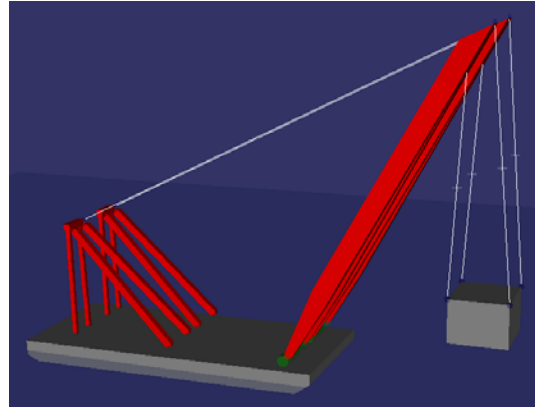


Fig. 6 Dynamic Amplification Factor 시뮬레이션

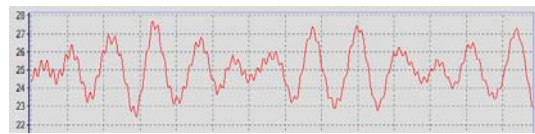


Fig. 7 Dynamic Amplification Factor 시뮬레이션으로 계산된 Hook 하중

3.5 Multi Crane Factor

해상 크레인 2 기 이상을 사용하여 리프팅 시에는 해상 크레인을 연결하게 되는데 해상 크레인 간의 연결을 단단하게 고정하는 경우와 어느 정도의 여유를 두고 자유롭게 움직일 수 있게 연결하는 두 가지 방법이 있다. 연결 방법에 따라서 해상 크레인의 거동이 달라지므로 고려해야 하는 사항이 달라지게 된다.

3.5.1 Rigged Body Connection

해상 크레인을 연결할 때 해상 크레인 간의 연결을 단단하게 고정하는 방식으로 해상 크레인이 하나의 부유체처럼 움직이는 방식이다. 해상 작업 시에 연결 부분에 걸리는 하중이 크다. 하지만 해

상 조건이 hook 에 미치는 영향은 적어서 따로 고려할 사항은 없다고 볼 수 있다. Fig. 8 은 Rigged body connection 의 예를 보여준다.

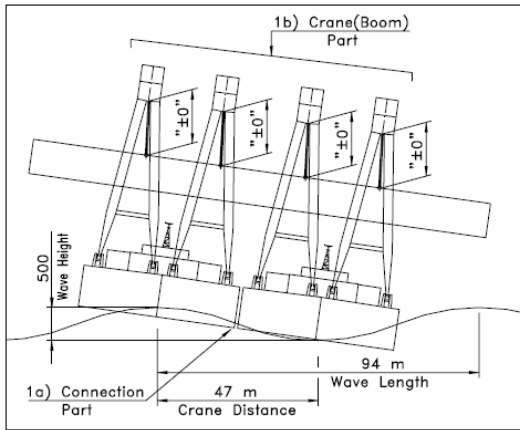


Fig. 8 Rigged body connection

3.5.2 Flexible Connection

Fig. 9 와 같이 해상 크레인의 연결을 단단하게 고정하지 않고 어느 정도의 여유를 두고 연결하는 방식으로 해상크레인 간의 연결 부분에 걸리는 하중은 연결재의 신율에 따라서 대부분 흡수되므로 상대적으로 크게 고려하지 않아도 된다. 하지만 hook 에 걸리는 하중은 해상 상태에 따라서 달라지게 되므로 관련 사항을 반영한 설계가 이루어지거나, 제한적인 해상 조건에서 작업이 이루어져야 한다.

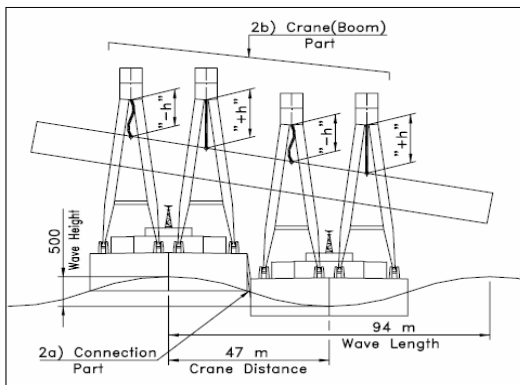


Fig. 9 Flexible connection

예를 들어 해상 크레인 2 기 이상을 사용하여 리프팅 시에 해상 크레인 한기는 파도의 파정에 있고 나머지 한기는 파저에 있을 수 있다. 이와 같은 경우 해상 크레인의 높이 차로 인한 하중 불균형이 생기는데 이러한 영향을 고려하기 위해 multi crane factor 를 적용한다. Multi crane factor 의 값은 NDI 5.2.5 항을 참고하고 조선소의 실정을 감안하여 1.05 를 적용하였다.

Multi crane factor 를 검증하기 위하여 두 기의 해상 크레인이 인양물을 들고 있는 상황을 시뮬레이션 하였다. 초기 상태는 두 해상 크레인의 높이가 같고 하중 분포가 균등한 상황이며 초기 상태에서 해상 크레인의 높이 차이가 생길 때를 가정하여 factor 를 계산해 보았다. factor 값은 와이어의 신율, boom 의 처짐 정도 등 여러 가지 요인에 영향을 받으므로 해당 관련사항을 모두 반영하여 계산해야 하지만 본 논문에서는 상황을 단순화 하여 높이 차이를 고려한 factor 계산을 수행하였다. 계산 결과는 높이 차이 0.5m 에서 1.20 의 factor 가 계산되었다.

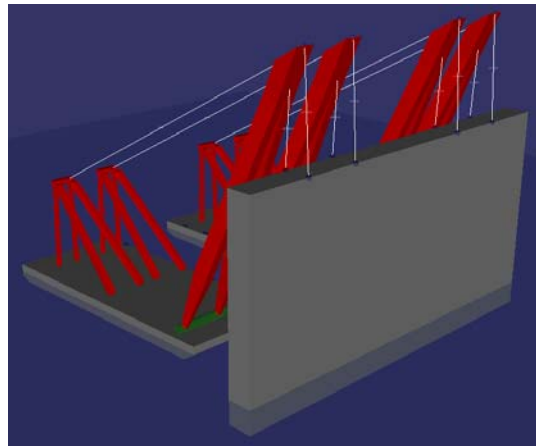


Fig. 10 Multi crane factor 시뮬레이션

3.6 Operation Factor

부유체를 예인하는 방법에 따라서 부유체의 거동이 달라질 수 있지만 winch 의 pulling force 나 tug bollard pull 에 비하여 부유체의 질량이 커서 부유체에 미치는 영향이 적으므로 tug thruster 에

의한 파의 발생을 감안하여 다음의 factor 를 적용한다.

Table 2 Operation Factor

Winch 사용		0.000
Tug 사용	Towing Speed 1 kts 이하	1.010
	Towing Speed 2 kts 이하	1.025
	Towing Speed 2 kts 초과	1.050

Operation factor 의 계산은 현업 경험을 바탕으로 하여 "해상크레인을 병렬로 연결하여 인양하는 대형 중량물의 동적 거동 계산 시뮬레이션" 논문 의 내용을 바탕으로 하여 적용하였다.

4.3.7 Connection Factor (Yaw Factor)

다수의 해상 크레인을 연결하여 작업을 하다 보면 Fig. 11 과 같이 해상 크레인이 서로 다른 방향으로 수평면 상에서 이동할 수 있다. 이로 인해 Fig. 12 와 같은 sling angle 이 생기고 이는 각 hook 의 하중 증가로 나타난다. 이처럼 병렬 해상 크레인이 수평 운동을 할 때 hook 의 위치 변화로 발생하는 하중 증가에 대비한 factor 를 yaw factor 라 한다.

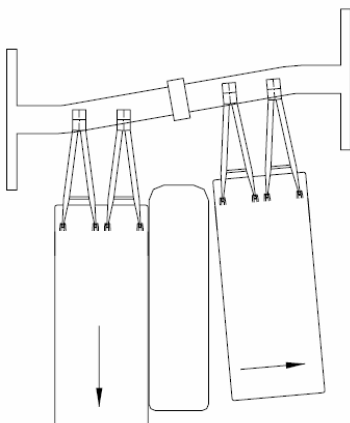


Fig. 11 해상 크레인 수평 이동

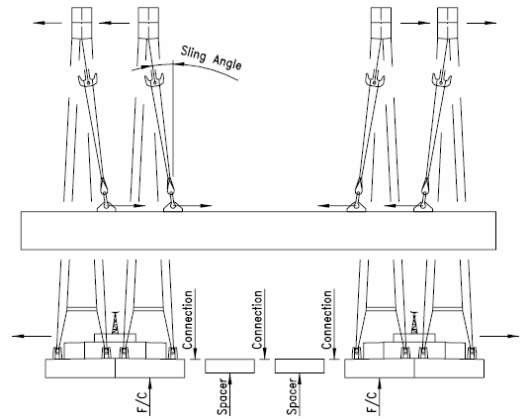


Fig. 12 Sling Angle

Yaw factor 는 해상 크레인의 수평 변위에 따라서 결정되는데 부유체나 연결부의 개수가 많아지면 수평변위 및 sling angle 이 커지므로 flexible connection 개수가 yaw factor 에 영향을 준다고 볼 수 있다. Fig. 13 은 connection 이 1 개인 경우의 상황이고 Fig. 14 는 connection 이 4 기인 경우의 상황이다. 각 연결부가 같은 방식으로 연결될 때에는 연결부가 1 개인 경우에 비해서 연결부가 4 개인 경우가 수평 변위가 더 많이 생길 수 있다.

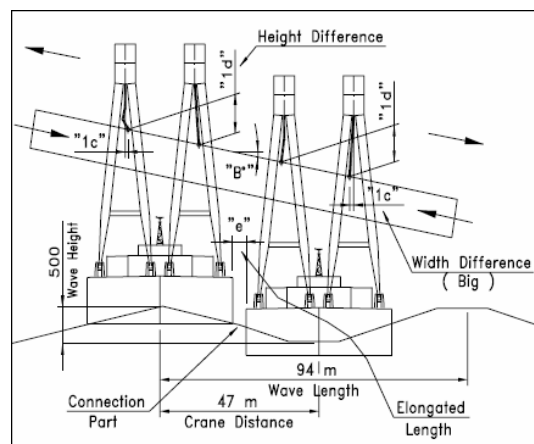


Fig. 13 연결부 1 개인 경우

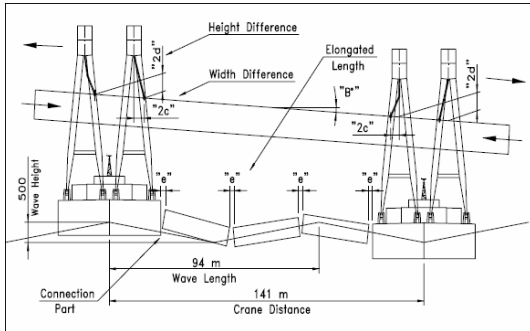


Fig. 14 연결부 4 개인 경우

위와 같은 상황을 고려하여 yaw factor 를 반영 하는데 sling angle 의 각도 및 연결부 수에 따라서 다르게 반영한다.

1. Sling angle 이 4 도를 넘을 경우
 - Force 및 적절한 factor 를 구하여, 크레인의 리프팅 용량, 인양 대상물의 강도 확인 시 적용한다.
 - Lug shackle 및 sling 등의 rigging design 에 반영한다.
2. Sling angle 이 4 도를 넘지 않은 경우
 - Connection 1: Factor 1.000
 - Connection 2: Factor 1.025
 - Connection 3: Factor 1.050
 - 4 개 이상: 추가 고려 필요

Yaw factor 를 검증하기 위해서 multi crane factor 와 유사한 방법으로 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저 해상 크레인 두 기가 인양물을 들고 있는 상황에서 connection 2 개 부위에서 각각 2m 씩 수평이동이 발생한 상황을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과로 1.016 의 factor 가 계산되었다.

5. Factor 통합

앞 장에서 설명한 factor 를 모두 정리하면 Table 과 같은 결과를 얻을 수 있다. 이를 3600 톤 해상 크레인 2 기에 적용하면 Lift weight x Weight factor(1.050) x COG factor(1.030) x Tilt factor(1.030) x Dynamic factor(1.035) x Multi crane factor(1.050) x Operation factor(1.025) x

Connection factor(1.025)를 계산하여 총 factor 1.272 를 얻을 수 있다. 즉 허용 중량이 7200 톤 인 두기의 해상 크레인을 사용하는 경우 실제로는 5660 톤까지 인양이 가능하다는 의미이다.

Table 3 Factor 통합

Weight Factor	Weighed Weight		1.035
	Estimated Weight		1.050
COG Factor			1.030
Tilt Factor			1.030
Dynamic Factor	100 >= W		1.150
	100 < W <= 1000		1.100
	1000 < W <= 5000		1.050
	5000 < W		1.035
Multi Crane Factor			1.050
Operation Factor	Winch		1.000
	Tug	1 kts	1.010
		2 kts	1.025
		3 kts	1.050
Connection Factor	Connection 1		1.000
	Connection 2		1.025
	Connection 3		1.050

6. 적용 사례

Fig. 15 는 본 논문에서 설명한 factor 를 바탕으로 실제 현장에 적용한 사례이다. 3600 톤 해상 크레인 두 기를 이용하여 900 톤 용량의 골리앗 크레인을 운송한 것으로 기존의 설치 위치에서 직접 만드는 방식에 비하여 설치 기간을 획기적으로 줄일 수 있었다. 골리앗 크레인의 운송 가능성을 검토할 때에 위에서 언급한 여러 가지 Factor 를 해

당 상황에 맞게 적용하여서 운송 가능성을 검토하여 가능하다는 판단 하에 작업을 수행하였다.



Fig. 15 900 톤 골리앗 크레인 운송

- 차주환, 함승호, 권정한, 노명일, 이규열, 박광필, 2008, "해상크레인을 병렬로 연결하여 인양하는 대형 중량물의 동적 거동 계산 시뮬레이션," 대한조선학회 추계학술대회, pp. 921-930.
- 함승호, 차주환, 이규열, 노명일, 박광필, 서흥원, 2008, "다물체간 상호 작용 및 해양파에 의한 운동 응답을 고려한 실시간 시뮬레이션," 대한조선학회 추계학술대회, pp. 1669-1676.
- NDI (Noble Denton International), 2002, Guideline for Lifting Operation by Floating Crane Vessels.

7. 결론 및 향후 계획

현재 생산성을 향상시키기 위하여 다양한 공법이 시도 되고 있고, 그 중 하나가 해상 크레인 병렬 운용이다. 각 조선소에서는 병렬 작업시의 안전을 확보하면서 효율성을 높이고자 많은 노력을 하고 있다. 하지만 해상 크레인 병렬 작업시의 안전성을 확보하기 위한 정확한 기준이 없는 실정이다.

본 논문에서는 해상 크레인의 병렬 작업 시에 안전을 확보하면서 최대한의 효율을 얻기 위한 하중 factor 적용 항목을 제안하였다. 일반적인 해상 크레인 작업시의 factor 를 고려하였고 여기에 추가하여 병렬 작업 시에 고려해야 할 factor 항목들을 제안하였다. 그리고 시뮬레이션 시스템을 이용하여 각 항목별로 검증을 수행하였다.

향후에는 해상 크레인 병렬 운용 시의 데이터를 수집하고 좀 더 정확한 시뮬레이션을 통하여 각 항목별로 Factor 계산 결과를 보완하여 좀 더 생산성을 높일 수 있도록 할 예정이다.

참 고 문 헌

- 김윤호, 2008, 해상크레인 운용 기준(R4), Technical Report.



< 황 진 호 > < 김 윤 호 > < 하 수 호 >



< 서 정 길 > < 이 찬 영 > < 이 규 열 >



< 박 광 필 > < 차 주 환 >