대한조선학회 특별논문집
2009 년 9 월

Special Issue of the Society of Naval Architects of Korea
pp. 97-106, September 2009

동조 시스템을 적용한 다수대의 해상크레인 병렬 운용 절차 및 대형 중량물의 리프팅 작업 적용

황진호† *, 안정익*, 이수배*, 김윤호*, 정진식*, 함승호*, 이원준*

대우조선해양*

Free Surface Procedure for Lifting Operation by Parallel Connected Floating Cranes using Synchronized Operation System and Its Applications to Lifting Operations of a Heavy Cargo

Jin-Ho Hwang† *, Jeong-Ik Ahn*, Soo-Bae Lee*, Yun-Ho Kim*, Jin-Sik Choung*, Seung-Ho Ham* and Won-Joon Lee*

Dawoo Shipbuilding and Marine Engineering*

Abstract

Many production methods are tried to enhance the productivity efficiency. Parallel connected floating cranes are one of the examples to lift mega-blocks quickly and efficiently. However, a general operation manual to operate parallel connected floating cranes and a method to consider risks during lifting operation are not confirmed. And if each floating crane is operated by itself, it is very hard to cooperate. Therefore, Synchronized operation system is installed to control parallel connected floating cranes simultaneously and to be informed of each floating cranes data. And weighting factor is calculated by considering all hazards during the operation and the general operation manual is confirmed based on the factor. This paper introduces the procedure for lifting operations by Parallel Connected Floating Cranes using synchronized operation system, and its applications to lifting operation of a heavy cargo such as barge lifting test, floating dock installation and 900 ton goliath crane replacement operation, etc.

※Keywords: Syncronized operation system(동조 시스템), Parallel connected floating crane(다수대의 해상크레인 병렬 운용), Lifting operation(리프팅 작업)

†교신저자: HJHDSME@dsme.co.kr, 010-8870-2621

1. 서론

선박 또는 해양구조물은 여러 개의 블록으로 제작 후 도크에서 순서대로 탑재(block erection)하여 완성된다. 모든 선박 또는 해양구조물이 도크에서 최종 조립되기 때문에 도크의 회전율을 높이는 것이 생산성 향상과 밀접한 관계가 있다.

탑재할 블록의 크기를 키우면 도크 내에서 조립하는데 걸리는 시간을 단축시킬 수 있다. 따라서 육상의 골리앗 크레인 보다 무거운 블록을 들어올릴 수 있는 해상크레인을 사용한 공법이 증가하고 있다.

특히 최근에는 여러 대의 해상크레인을 동시에 사용하여 탑재하는 공법까지 등장하고 있다. Fig. 1에는 골리앗 크레인과 해상크레인 1 기 또는 2 기를 사용하여 선박을 건조할 때의 탑재 횟수를 기준으로 비교한 결과를 나타내었다. 탑재 중량이 커질수록 탑재 횟수가 감소하므로, 도크에서의 작업 시간을 줄일 수 있다.

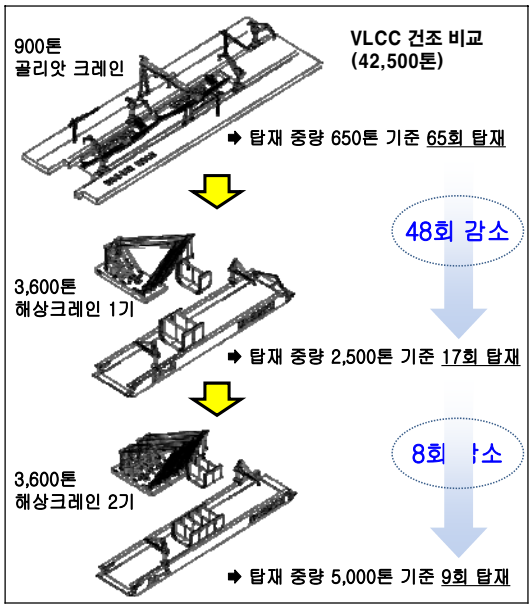


Fig. 1 The number of block erection by a goliath crane, a floating crane and two floating cranes

하지만, 다수대의 해상크레인을 사용하는 공법의 경우 아직 구체적인 작업 절차가 마련되어있지 않은 실정이다. 따라서 매번 작업이 있을 때마다 작업에 적합한 해상 조건, 리프팅할 블록의 하중 factor 결정, 작업 중 해상크레인의 mooring 방법이나 예인선의 운영 방법 등 공법을 결정하고 구체화 하기까지 많은 시간이 소요되었다.

그리고, 또 한가지 문제점은 같은 작업을 수행하는데 해상크레인 간의 공조가 어렵다는데 있다. 각 해상크레인의 MOD(Main Operation Desk)에서 외부에 있는 신호수의 무전이나 수신호에 따라 작업을 수행하게 된다. 따라서, 블록을 들거나 내리라는 명령과 같이 긴밀하게 연락을 취해야 하는 상황에서 작업 효율이 떨어진다. 그리고, 한 쪽 크레인의 오작 또는 비상사태 발생 시에도 다른 쪽 해상크레인에서는 그 사실을 전혀 모를 수도 있다.

이러한 문제점을 해결하고자 병렬로 연결된 2 기의 해상크레인을 동시에 운용할 수 있는 동조 시스템(synchronized operation system)을 도입하였다. 동조 시스템을 사용하여 하나의 해상크레인에서 다른 쪽 해상크레인을 제어할 수 있고, wire rope 에 작용하는 장력을 비롯한 모든 정보를 공유할 수 있다.

또한, 현재 가장 많이 사용되고 있는 해상크레인 2 기의 병렬 운용 절차를 마련하였다. 이는 단순히 두 해상크레인을 물리적으로 연결하는 작업에 대한 절차가 아니라 대상 블록의 공법을 결정하기 위한 작업의 절차가 된다.

본 논문의 2 장에서는 다수의 해상크레인을 사용하여 대형 중량물(블록 또는 교량)을 인양 또는 탑재하는 연구 및 사례에 대해서 고찰한다. 이어지는 3 장에서는 동조 시스템의 개요 및 구성에 대해 설명하고, 4 장에서는 구체적인 해상크레인 병렬 운용 절차에 대해서 설명한다. 5 장에서는 동조 시스템을 적용한 해상크레인의 병렬 운용 사례를 소개한다. 6 장에서는 결론 및 향후 연구 계획에 대해 언급한다.

2. 관련 연구 현황

교량 건설에 다수대의 해상크레인을 사용하여 작업을 하는 사례가 종종 있다. 그러나 대부분의 경우 바지선에 교량 블록을 싣고 탑재 위치로 이동하고, 해상크레인은 그 자리에 계류를 한 상태에서 교량 블록을 탑재하는 역할만 수행한다.

김화수 등(2008)은 인천대교 보강형 제작 공사를 위해 해상크레인 2 기(2,200 ton 급, 1,300 ton 급)를 이용하여 최고 3,000 ton 에 이르는 동측경간 대블럭을 선적한 사례를 언급하고 있다.

Fig. 2 Loading the heavy block of Inchon Bridge by two floating cranes (김화수 2008)

마찬가지로 Ishida 등(2003)은 치토세(Chitose) 다리를 건설할 때에, 3,700ton 급 해상 크레인과 2,200ton 급 해상 크레인을 동시에 사용하여 약 4,000ton 의 아치 블록을 탑재한 사례를 언급하고 있다.

Fig. 3 Erection of arch block by two floating cranes (Ishida 2003)

위와 같은 작업은 대부분 해상크레인을 계류시킨 상태에서 단순히 탑재만 수행하게 되고, 자주 발생하는 작업이 아니기 때문에 동조 시스템이나 해상크레인의 병렬 운용 절차의 필요성이 적다.

한편, 여러 대의 해상크레인을 병렬로 연결하여 대형 중량물을 탑재하는 공법을 사용하는 조선소는 전세계적으로 국내 대형 조선소 외에는 거의 없다. 삼성중공업(2007)은 " 복수 대의 해상크레인을 이용한 기가블록 공법" 이라는 특허를 등록하였다.

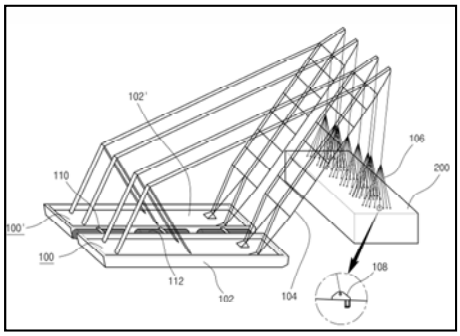


Fig. 4 A conceptual drawing in the patent of Samsung Heavy Industries co., ltd (2007)

위 특허는 육상에서 선체블록을 기가블록으로 제작, 복수 대의 해상크레인을 서로 동조 작업할 수 있도록 연결, 기가블록을 인양 및 탑재 후 결합까지 기가블록을 사용한 선박 건조의 전반적인 내용을 포함하고 있다. 그러나 위 특허는 일반적인 작업 절차 및 복수 대의 해상크레인의 연결 방법에 대한 것으로 공법 결정을 위한 구체적인 작업 지침으로 볼 수는 없다. 또한, 특허에서 언급한 동조 작업도 해상크레인 간의 연결을 나타낼 뿐, 본 논문의 동조 시스템과는 근본적으로 차이를 가진다.

3. 동조 시스템 (synchronized operation system)

3 장에서는 동조 시스템의 개요와 동조시스템을 구성하는 장비 및 기능에 대해서 설명한다.

3.1 동조 시스템의 개요

본 논문에서 소개하는 동조 시스템은 물리적으로 떨어져 있는 2 기의 해상크레인을 하나의 해상크레인에서 제어하기 위한 전기적 연결 장비들의 집합을 의미한다.

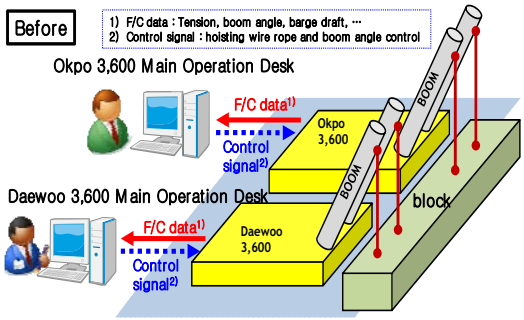


Fig. 5 Operation using 2 floating cranes without synchronized operation system

동조 시스템을 도입하기 이전에는 Fig. 5와 같은 환경에서 작업을 수행하였다. 해상크레인은 MOD(Main Operation Desk)에서 wire rope 의 장력, boom 의 각도, 해상크레인의 흘수 데이터를 전달받아 화면에 표시하고, 외부에 있는 신호수의 지시에 따라 wire rope 를 감거나 boom 의 각도를 조절한다. 동조 시스템이 없는 경우는 다른 쪽 해상크레인의 데이터는 무전을 통해서 구두로만 전달받을 수 있다. 따라서 동시에 중량물을 들거나 내리는 작업 또는 중량물의 평형을 맞추기 위한 작업 등 두 해상크레인을 동시에 제어해야 할 경우 무전에 의존한 데이터 교환으로 인해 시간이 지연되고 작업 효율이 떨어진다.

한편, 동조 시스템을 도입한 경우의 작업은 Fig. 6과 같다. 두 해상크레인 사이에 데이터 및 제어 신호 전달을 위한 케이블을 설치한다. 이 때, Fig. 5의 옥포 3,600 을 master 크레인, 대우 3,600 을 slave 크레인으로 두어 slave 크레인의 데이터가 master 크레인으로 전달되도록 하고, 반대로 제어 신호는 master 크레인에서 slave 크레인으로 전달되도록 구성하였다. 따라서 master 크레인에서 2 기의 해상크레인을 동시에 조작 가능하고, 두 해상크레인의 데이터를 한눈에 볼 수 있다.

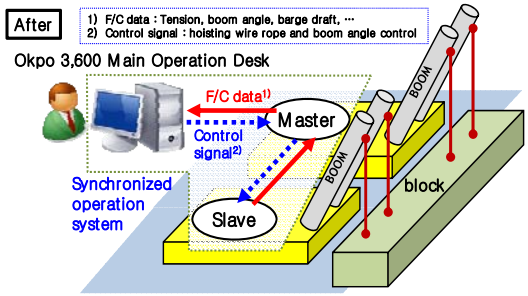


Fig. 6 Operation using 2 floating cranes with synchronized operation system

이어지는 절에서는 동조 시스템의 세부 장비 및 기능에 대해서 설명한다.

3.2 프로그램 가능 로직 제어기 (PLC: Programmable Logic Controller)

PLC 는 마이크로프로세서를 이용한 프로그램으로 제어될 수 있게 통합시킨 장치이다. 해상크레인의 PLC 는 장력 등의 정보를 사용자가 알 수 있도록 화면에 보여주고, 제어 장치의 조작 신호를 장비에 전달하는 역할을 수행한다. 두 해상크레인에는 각각 동일한 PLC 장비가 설치되어 있다. PLC 를 구성하는 장비와 기능은 다음과 같다.

(1) CPU : 일반 컴퓨터와 마찬가지로 입력된 데이터를 사용해 계산을 수행
(2) RS-485 : 제어실 내의 장비간 데이터 통신을 담당. 입력 정보를 FDU 로 송신
(3) FDU (Fault Display Unit) : 해상크레인에서 전송된 장력, boom 의 각도, 흘수 등의 데이터를 보여주는 디스플레이 장비
(4) Profi-bus(Process field Bus) 통신 : 해상크레인에 설치된 외부 장비와의 통신을 담당
(5) Ethernet module : 컴퓨터 간의 통신을 위해설치한 장비로 해상크레인으로 들어온 모든 데이터를 Loading 컴퓨터로 전송, 비행기의 blakcbox 처럼 유사시에 저장된 정보를 통해 사고 원인이나 경위를 파악하기 위함

PLC 의 장비를 통한 데이터와 제어 신호의 전달 과정을 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 외부로부

터 전달받은 데이터는 아날로그 신호이므로 디지털 신호로 바꾸기 위해 inverter 를 거쳐 PLC 로 전달 된다(Fig. 7). 제어 신호의 경우는 MOD(Main Operation Desk)에서 시작하여 PLC 를 거쳐 다시 해상크레인의 장비로 전달된다(Fig. 8).

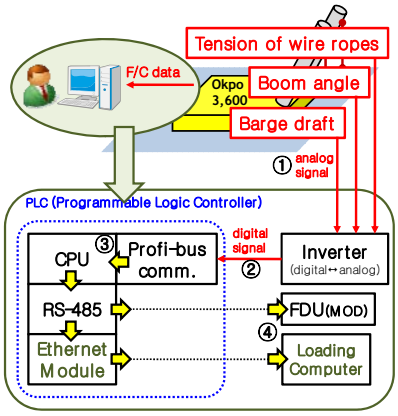


Fig. 7 Data transmission passage form floating crane to PLC, FDU and Loading computer

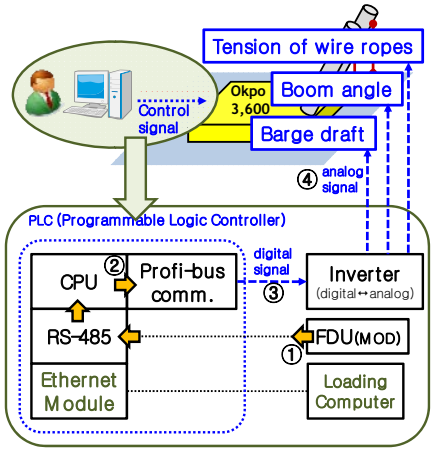


Fig. 8 Control signal transmission passage form FDU to PLC and floating crane

3.3 동조 장비 (SLB : Synchro Local Box)

동조 시스템의 핵심은 바로 두 해상크레인 간의 정보 전달을 위해 설치한 SLB(Synchro Local Box)에 있다. Fig. 9에 SLB 의 연결 방식과 내부 구성을 나타내었다.

SLB 는 profi-bus 케이블로 연결되어 Slave 크레인의 정보를 master 크레인으로 전송하고, 다시 제어 신호를 slave 크레인으로 보내는 역할을 한다. 임시 바아지를 연결할 경우를 대비하여 50m 와 120m 두 종류의 케이블이 준비되어 있다.

SLB 의 내부는 profi-bus 통신 케이블을 연결하는 단자와 전달된 신호를 증폭시켜주는 repeater 로 구성되어 있다. 그리고 PLC 와 SLB 사이의 정보 전달을 위해 PLC 의 CPU 에 MPI(Message Passing Interface)를 설치하였다.

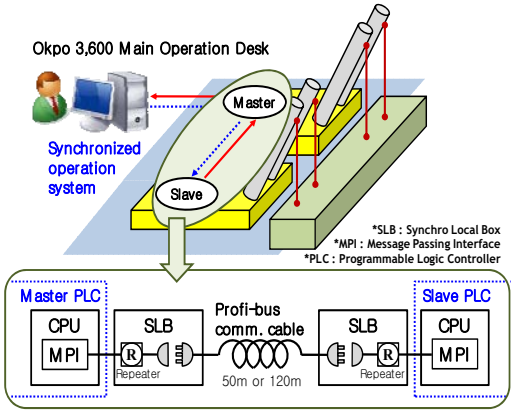


Fig. 9 MPI and repeater in synchronized operation system

아래 Fig. 10 에는 두 해상크레인을 동조 시스템 연결하였을 때의 전체 시스템 구성을 나타내었다. 양쪽 크레인에 동일한 PLC 시스템이 구성되고 SLB 를 통해 통신할 수 있도록 연결되어 있다.

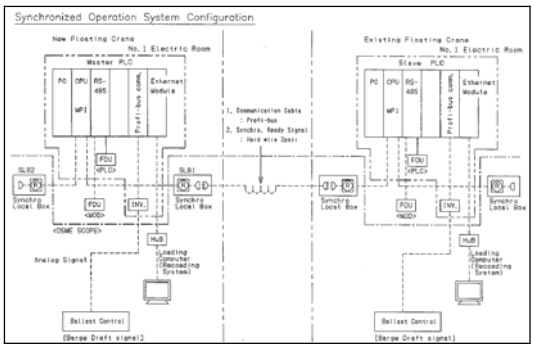


Fig. 10 Synchronized operation system configuration

4. 해상크레인 병렬 운용 절차

4 장에서는 3 장에서 설명한 동조 시스템을 적용한 해상크레인의 병렬 운용 절차에 대해서 설명한다. 해상크레인 병렬 운용 절차는 단순히 두 해상크레인을 물리적으로 연결하는 방법이 아니라 해상크레인 2 기를 병렬로 연결하여 사용할 때 원활한 공법 결정 및 업무 수행을 위한 지침이 된다.

4.1 해상크레인 작업 조건

작업 시작 72 시간 전부터 검증된 기관의 일기예보를 근거로 작업 여부를 판단한다. 아래 Table 1은 해상 상태 및 날씨에 따른 작업 기준을 나타내었다.

Table 1 Weather forecasting and restriction

항목	리프팅 및 근거리 이동	리프팅 및 Towing
유의파고 [m]	0.4 (max 0.6)	0.3 (max 0.5)
풍속 [m/s]	10 (1min. sustain)	8 (1min. sustain)
Current [m/s]	0.5	0.3
Swell [m]	0.3 (5~7sec)	0.2 (5~7sec)
가시도 [km]	1	1

4.2 해상크레인 병렬 운용을 위한 시스템 구성

해상크레인을 병렬로 운용하기 위해서는 전기적, 물리적인 연결이 필요하다.

(1) 전기적인 연결

3 장의

Fig. 10과 같이 동조 시스템을 구성한다. Master 크레인에는 2 기의 해상크레인을 조작할 수 있는 장비가 설치되어 있다. 동조 시스템을 사용한 각 hook 의 조작 방법은 Fig. 11과 같다.

Master 크레인에서 조작하기 위해서 가운데 있는 key switch 를 synchro 로 맞춘다. 다음 조작하고 싶은 hook 의 종류에 따라 8 hooks, 4 hooks, Ind.(individual) 모드를 선택한다. Derrick 도 Fig. 12와 같이 4 derricks 또는 Ind. 모드를 선택한다.

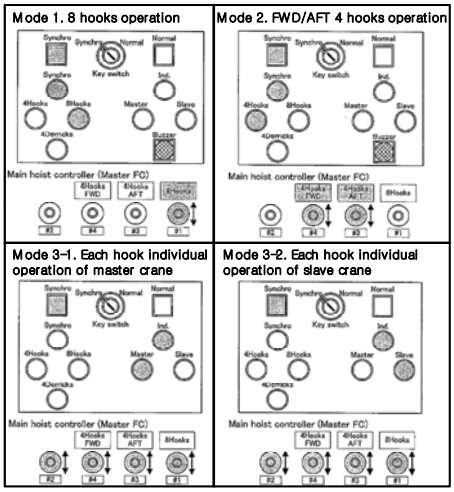


Fig. 11 Synchronized operation method of hooks

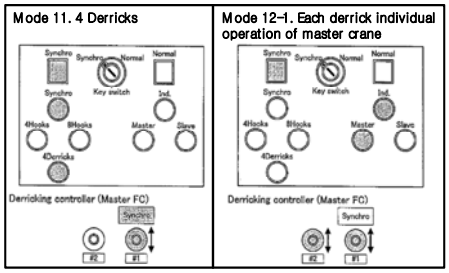


Fig. 12 Synchronized operation method of derricks

(2) 물리적인 연결

2 기의 해상크레인이 작업 중 운동으로 인한 부딪힘을 방지하고 안정성을 높이기 위해 wire rope 와 V-fender 를 사용하여 움직이지 않도록 고정시킨다. 용도에 따라 해상크레인을 직접(direct) 연결하는 방법과 해상크레인 사이에 임시 바아지선을 두는 간접(indirect) 연결의 두 가지 방식이 있다. 두 가지 방식 모두 해상크레인 갑판에 설치된 bollard 에 pp rope(polypropylene rope)와 V-fender 를 사용하여 Fig. 13과 같이 연결하게 된다.

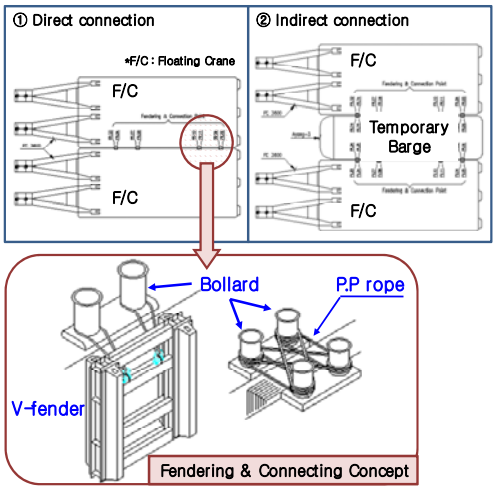


Fig. 13 Direct & Indirect connecting concept of Parallel Connected Floating Cranes

4.3 리프팅 중량 결정 factor 의 정의

중량물의 실제 무게 이외에도 작업 중 운동을 비롯한 여러 가지 요소에 의해 추가적인 하중이 발생한다. 따라서 안전을 위해 하중 factor 를 도입하여 실제 무게에 하중 factor 를 곱한 중량을 견딜 수 있도록 장비 및 공법을 결정해야 한다.

하중 factor 를 크게 잡을 경우 불필요하게 장비를 사용하게 되므로 자원의 낭비가 된다. 따라서 안전한 범위 내에서 가급적 정확하게 하중 factor 를 계산할 필요가 있다. 본 논문에서 소개하는 작업 절차에는 기본 리프팅 factor 와 해상크레인 2 기의 병렬 연결 factor, 예인선의 towing impact factor, 장비 노후화 적용 factor 등을 고려하여 합리적으로 factor 를 계산하는 방안을 제안하였다. 하중 factor 에 대한 자세한 설명은 황진호 등 (2009),김윤호(2005), NDI(2002) 등을 참고한다.

4.3 Mooring 및 예인선의 운영

해상크레인의 운동에 대해 최대한 영향을 받지 않도록 Mooring 및 Anchoring 해야 한다. Mooring Plan 은 안벽 조건, 지형 및 주변 간섭물에 따라서 달라질 수 있으며 전, 후, 좌, 우 모두 구속력을 가지고 있어야 한다(Fig. 14).

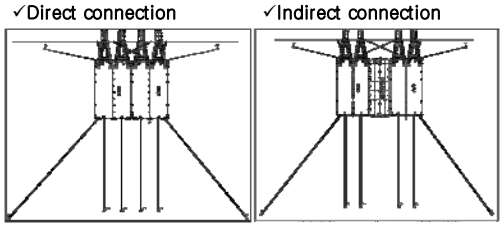


Fig. 14 Mooring plan of direct and indirect connections

해상크레인 병렬 연결 조양 후 항 내에서 일정 거리를 이동할 경우에 예인선을 사용한다. 예인선으로 밀거나 당길 때 해상크레인에 직접 충격하중이 작용하므로 Hook 에 직접 영향을 준다. 따라서 반드시 사전에 Tug boat 운영계획이 수립 되어야 하며 비상시를 대비해 예비선을 준비해야 한다 (Fig. 15).

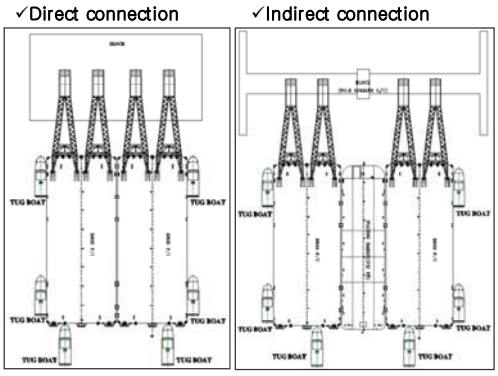


Fig. 15 Tug boat arrangement of direct and indirect connections

4.4 작업 연락망(Communication Chart)

해상크레인 2 기를 사용한 작업을 수행할 때, 해상크레인과 예인선, 신호수, 관련 부서들 사이에 긴밀하게 연락을 취해야 할 필요가 있다. 따라서, 체계적인 연락망의 구축이 필요하다. 4 명의 신호수가 각각 주신호수에 연락을 취하고, 주신호수가 master 크레인에 최종적으로 연락을 취한다. 예인선과 master 크레인 사이에는 tow master 를 두어 연락을 주고 받는다(Fig. 16).

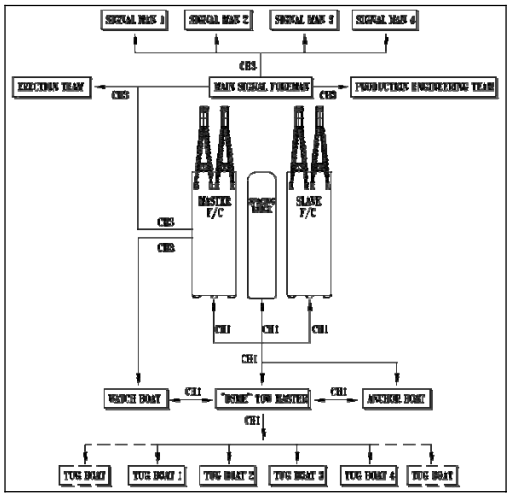


Fig. 16 Communication chart among floating cranes, tug boats, signal mans, and etc.

4.5 해상크레인 병렬 연결 공법 결정 workflow

Fig. 17은 병렬 연결 해상크레인의 공법 결정 과정을 나타내었다. 해상크레인 1 기를 사용한 공법을 결정할 때와 거의 같지만, 해상크레인의 결선 방법과 운영 방법 결정(Fig. 17의 ①)과 크레인의 결정 도면 작성(Fig. 17의 ③)의 과정이 추가되며, 해상크레인 2 기를 사용함에 따른 안전 계수를 고려하여 리프팅 factor 를 계산해야 한다. 만약 리프팅 factor 를 고려한 리프팅 하중이 해상크레인의 조양 능력보다 클 경우 의장품을 없애거나 불필요한 구조물을 치우는 등 중량을 조절하여 다시 리프팅 factor 를 계산한다(Fig. 17의 ②).

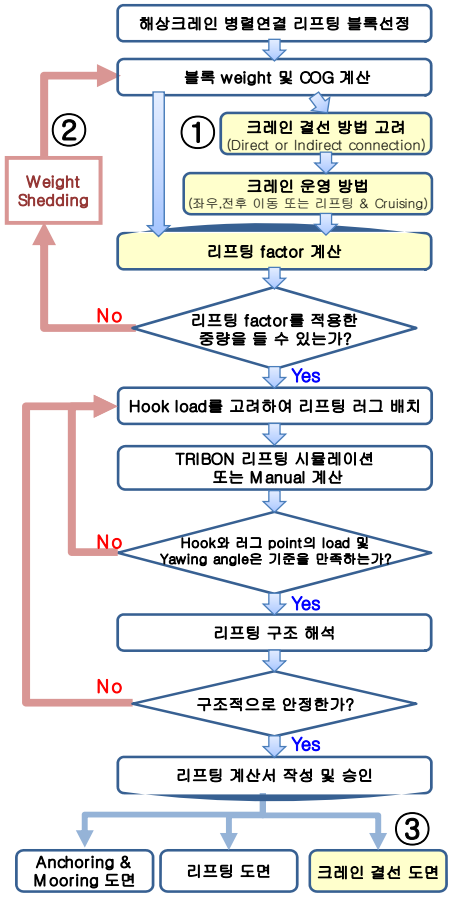


Fig. 17 Decision making workflow for using Parallel Connected Floating Cranes

5. 해상크레인 병렬 운용 사례

5 장에서는 동조 시스템을 적용한 해상크레인 운용 절차에 따라 수행한 작업 사례를 소개한다.

5.1 해상크레인 병렬 연결 테스트 리프팅

동조 시스템을 테스트하기 위해 무게 5,660 톤의 바아지선을 리프팅하였다(2008.10.6). 일반 바아지선에 발라스팅으로 해수를 채운 뒤, 갑판에 임시로 러그를 부착하여 리프팅하였다(Fig. 18).

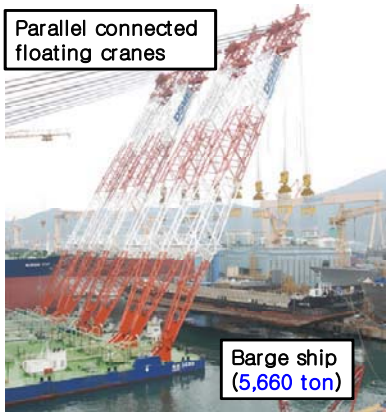


Fig. 18 Example 1: Barge ship lifting for testing synchronized operation system

5.2 골리앗 크레인의 거더 탑재에의 적용

기존의 방식은 기중기를 세워 수직으로 골리앗 크레인의 거더를 들어올려야 했기 때문에 장비의 설치 및 해체에 많은 시간이 소요되었다. 작업 시간을 단축시키기 위해 해상크레인 2 기를 사용하여 골리앗 크레인 거더를 탑재하였다(2008. 1.20).

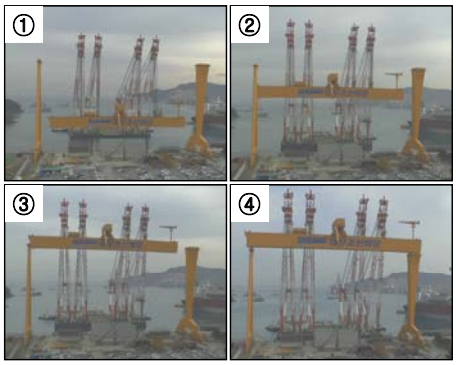
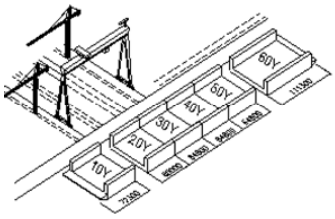


Fig. 19 Example 2: 50Y block lifting

5.3 부유식 도크 설치 작업에의 적용

부유식 도크(floating dock)는 ㅂ모양의 단면을 가지는 구조물로 움푹 파인 곳에 블록을 탑재하여 선박을 건조한 뒤, 부유식 도크의 빈 공간에 물을 채워 도크만 가라앉히는 방식으로 선박을 물 위에 진수시킨다.



10Y	[ton]
20Y	[ton]
30Y	[ton]
40Y	[ton]
50Y	[ton]
60Y	[ton]
Total	[ton]

Fig. 20 Floating dock construction scheme

총 중량 4 만톤의 부유식 도크를 6 개의 블록(10Y~60Y)으로 나누어 조립하였다(Fig. 20). 그 중 20Y~50Y 의 4 개 블록을 병렬 연결된 2 기의 해상크레인을 사용하여 설치하였다. Fig. 21은 50Y 블록을 탑재한 사례이다(2009. 2. 24).

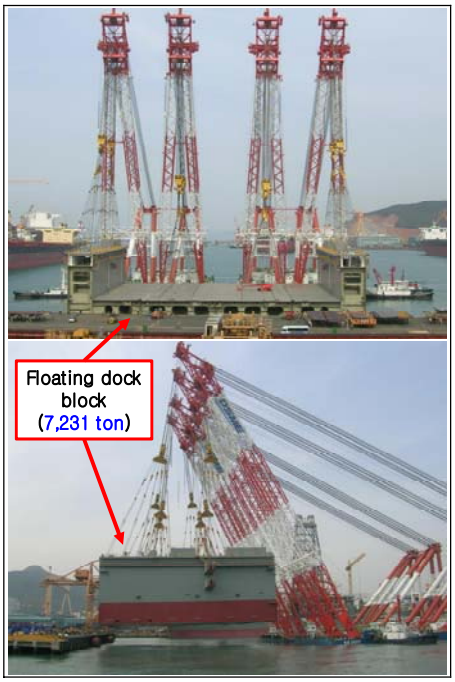


Fig. 21 Example 3: 50Y floating dock block lifting

5.4 골리앗 크레인 교체 작업에의 적용

골리앗 크레인은 건식 도크(dry dock)에서 블록을 탑재할 때 사용되는 장비이다. 도크에서 해체 및 조립 작업을 수행할 경우 한두 달 시간이 소요된다. 하지만, 해상크레인을 사용할 경우 기존의 골리앗 크레인을 이동시키고, 새로 제작한 골리앗 크레인을 설치하는데 총 4 일의 시간이 소요되었다(2009.2.26 ~ 2009.3.1).

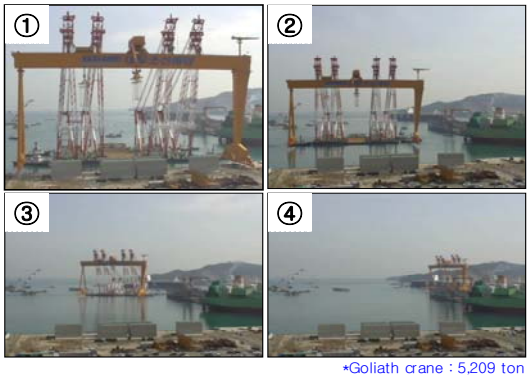


Fig. 22 Example 4: Goliath crane replacement

6. 결론 및 향후 계획

대형 블록 제작으로 생산성을 향상시키는데 해상크레인의 역할이 증가하고 있다. 특히 다수대의 해상크레인을 사용하여 작업할 경우 더 큰 블록의 제작 및 탑재가 가능하므로 향후 많은 활용도를 가질 것은 분명한 사실이다.

이러한 작업의 빈도가 높아짐에 동조 시스템을 통해 해상크레인 간의 긴밀한 공조가 가능하여, 작업 효율을 극대화 시킬 수 있다. 또한 본 논문에서 제안한 해상크레인 병렬 운용 절차에 따라 신속하고 효과적으로 다수대의 해상크레인을 사용한 공법을 결정할 수 있다.

향후에는 동조시스템을 적용한 해상크레인 병렬 운용 절차를 보완하여 이종 해상크레인 간의 운용 절차서로 확장할 계획이다. 또한 운용 절차에 따른 적용 사례를 추가하여 일반적인 생산 공법으로 정착시킬 예정이다.

참 고 문 헌

- 김화수, 김동완, 2008, 김봉석, 유원진, "인천대교 보강형의 제작," 한국강구조학회지, 제 20권, 제 3 호, pp. 89-94.
- 김윤호, 2008, 해상크레인 운용 기준(R4), Technical Report.
- 삼성중공업, 2007, 복수 대의 해상크레인을 이용한 기가블록 공법, 대한민국특허, 특허등록번호 10-0718928.
- 황진호, 김윤호, 하수호, 서정길, 이찬영, 이규열, 박광필, 차주환, 2009, "다수대의 해상크레인 병렬 운용을 위한 리프팅 하중 Factor 적용 기준 마련 및 시뮬레이션을 통한 검증," 대한조선학회 춘계학술대회.
- Ishida, M., Nagai, Y., Fujitani, K. and Nakano, Y., 2003, "The Design and Construction of the Chitose Bridge," Technical Memorandum of Public Works Research Institute, Vol. 3920, pp. 91-104.
- NDI(Noble Denton International), 2002, Guideline for lifting operation by floating crane vessels.

< 황 진 호 >

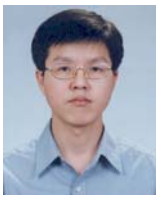
< 안 정 익 >

< 이 수 배 >

< 김 윤 호 >

< 정 진 식 >

< 함 승 호 >



< 이 원 준 >