Skid Launching System을 위한 Floating Dock Control Simulator의 개발

김지훈* · 이장용** · † 박석주

*, ** (주)호페 코리아, † 한국해양학교 조선해양시스템공학부

A Development of Floating Dock Control Simulator for Skid Launching System

Jee-Hun Kim* · Jang-Yong Lee** · † Sok-Chu Park

*, ** HOPPE Korea co. ltd. Busan, Korea, † Korea Maritime university, Busan 606-791, Korea

요 약 : 최근 중국의 경제 활성화에 힘입어 물동량이 급증하게 되었고, 따라서 선박의 폭발적인 요구도 생기게 되었다. 그러나 조선소의 건조 능력은 드라이도크의 용량에 의하여 크게 의존할 수밖에 없는 실정이다. 드라이도크의 건조는 상당히 긴 기간을 필요로 하고, 또 건조 비용도 많이 들기 때문에 장기적인 조선의 수요의 관점에서 타당성을 검토할 필요가 있다. 더욱 시급한 것은 당장 목전에 와 있는 조선 수요를 적절히 감당해 주어야 한다는 점이다. 그래서 여러 조선소에서는 드라이도크의 부족을 메우기 위한 다양한 방안들이 검토되었다. 현대중공업에서는 육상 건조법을 도입하였고, 삼성중공업과 STX 조선소에서는 플로팅도크에서 건조하는 방법을 도입하였다. 본 논문은 육상에서 건조한 대 블록을 플로팅도크에 밀어 넣는 Skid Launching System(SLS)을 위한 도크 제어 시뮬레이터를 개발하여 모의 조정된 결과를 보인다. 대형 블록을 플로팅도크에 밀어 넣기 전에 발라스트 순서도를 작성하여 모의 작업을 통하여 안정성을 확인한 뒤 실제 작업 시 이 순서대로 작업을 하여 플로팅도크의 안전성을 확보하기 위한 장치를 개발한 것이다.

핵심용어 : 플로팅도크, 드라이도크, 육상 건조, 진수, SLS

Abstract : Since the shipbuilding industry is at its peak to assimilate the large volume of orders in recent years, the Floating Dock has been an alternative to the dry dock which takes a certain period of time to build. Hence the use of Floating Dock is steadily increasing. Since the Skid Launching System(SLS) is used in Floating Dock, the balancing of the ship while launching is important and achieved by adjusting the Ballast tank of the Floating Dock.

In this paper a Floating Dock Control Simulator for SLS is developed through the on-line interface of VRC(Valve Remote Control), Tank Level & Draft Measuring System and Valve Control algorithm on Simulation Tank Plan.

Key words : Floating dock, Dry dock, Ship building on yard, Launching, Skid launching system

1. 서 론

최근 중국의 경제 활성화에 힘입어 물동량이 급증하게 되었고, 따라서 선박의 폭발적인 요구도 생기게 되었다. 그러나 조선소의 건조 능력은 드라이도크의 용량에 의하여 크게 의존할 수밖에 없는 실정이다. 드라이도크의 건조는 상당히 긴 기간을 필요로 하고, 또 건조 비용도 많이 들기 때문에 장기적인 조선의 수요의 관점에서 타당성을 검토할 필요가 있다. 더욱 시급한 것은 당장 목전에 와 있는 조선 수요를 적절히 감당해 주어야 한다. 그래서 여러 조선소에서는 다양한 방법의 건조 기술이 검토되었다. 초기에는 블록을 대형화하여 가능한 한 드라이도크에서의 공정을 짧게 하는 방법으로 해결하기도 하

고, 대우중공업에서는 2척의 배를 동시에 진수하여 드라이도크의 효율을 높여서 해결하기도 하였다. 그러나 이 방법으로도 수요를 충족시킬 수 없어 대우조선해양과 삼성중공업에서는 블록을 플로팅도크에서 조립하기도 하고, 급기야 현대중공업에서는 육상에서 배를 완전하게 건조하여 바다에 밀어 넣는 방법까지 고안되었다(대우조선해양보도자료, 2006; 한국조선공업협회, 2005; 문화일보, 2004a; 문화일보, 2006b; 문화일보, 2007c). 이러한 방법들은 진수 시 대단히 어려운 문제들을 많이 안고 있어서 조그마한 실수가 커다란 사고로 이어질 수 있고, 이러한 결과는 상상할 수 없는 경제적 손실과 조선소의 신뢰에 막대한 손상을 가져 오게 마련이다.

본 연구에서는 육상에서 만들어진 거대 블록을 플로팅도크

† 교신저자 : 종신회원, poseidon@hhu.ac.kr 051)410-4305
* lbskim@hanmail.net 019)9167-2004
** jeff@naviscontrol.com 011)854-2584

에 밀어 넣는 Skid Launching System을 위한 플로팅도크 제어 시스템을 완성하여 안정적인 SLS를 구현하고자 한다. 이를 위하여 우선 시뮬레이션 과정에서 먼저 가상의 진수 절차를 만들어 모의 조정하고, 다음에 이를 바탕으로 실시간 모니터링하면서 실시간 제어하는 시스템을 만들고 실제 진수에 적용하고 한다. 여기에서는 우선 SLS를 위한 플로팅도크 제어 시뮬레이터를 개발한다.

2. SLS의 개념

플로팅도크의 수요가 증가하면서 각 조선소의 지리적 또는 운영면적 특성에 따라 다양한 방식의 플로팅도크가 설계되었다. 기본적인 형태는 Pontoon Deck에 선체를 넣는 방향에 따라 종방향 Side Wall과 횡방향 Side Wall 형태를 이룬다. 그러나 가장 보편화된 것은 종방향 Side Wall Type의 플로팅도크가 주류이다.

이러한 플로팅도크에 여러 가지 탑재 공법을 결합하여 선체를 조립하는데 대표적인 예로는 삼성중공업에서 시행되고 있는 거대블록(Mega Block) 탑재공법과 STX에서 시행되고 있는 Fig. 1과 같은 SLS공법이 있다. 거대 블록 탑재공법은 지상에서 조립한 5~6개의 거대 블록을 해상 크레인으로 들어 올려 탑재하는 공법이다. 이 방법으로 10만 톤급 유조선을 연간 8척이나 건조할 수 있는 능력을 확보하였다. SLS공법은 드라이도크에서 건설할 필요 없이 육상에서 대형선박을 2개 부분으로 나누어 건조하고 Skid Barge(플로팅도크)에 Load Out한 후 이 둘을 조립하여 플로팅도크를 가라앉혀 진수하는 공법이다. 이는 공기 단축과 생산성 향상에 크게 기여를 한다. 하지만 전자의 방식은 대용량 해상크레인이 필요하고 작업의 지리적 여건 등 제약을 많이 받지만 후자의 방법은 대형 크레인이 필요하지 않을 뿐만 아니라 작업속도가 향상되고 육상공간을 효율적 사용할 수 있어 많은 조선소에서 선호하는 방법이다.

기본 개념은 Fig. 1에 보인 바와 같이 플로팅도크의 물을 다 빼낸 뒤 육상에서 건조된 두 개의 대 블록의 선수부를 먼저 밀어 넣고 선미부를 나중에 밀어 넣고 결합시킨 뒤 다시 플로팅도크에 물을 채워 완성된 선박을 진수하는 방식이다.

Fig. 1 Basic concept of the SLS

Fig. 2에 플로팅도크 제어에 대한 개념을 나타낸다. 주 프로그램을 실행하기 전에 Project Ship Creator를 통해 본선에 해당되는 데이터베이스를 정의한다. 그러면 주 프로그램에서는 이 데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 위한 데이터를 계산하고 Remote Control 및 Online 상에서 홀수, 트림, 기울기 등을 실시간 감시한다.

Fig. 2 Basic Concept for Floating Dock Control Application

Fig. 3 ConFiguration of the application

플로팅도크 컨트롤 시스템의 기본 구성은 지역 부분의 밸브와 펌프 그리고 탱크와 홀수 감지기로 구성된다. 그리고 이것들을 제어할 수 있도록 I/O Module과 결합하여 MIP(Multilateral Interoperability Program)라는 정보네트워크 통신장치에 각 각의 지역 정보를 디지털 신호로 변환하여 보낸다. 그리고 ModBus 프로토콜을 이용한 RS-485통신을 하여 BCR(Ballast Control Room)의 Control Workstation-I과 데이터 송수신을 한다. Control Workstation-I은 Master의 기능으로 각종 정보를 수집하고 Local Unit를 제어한다. 반면에 Workstation-II는 Workstation-I과 정보를 주고받고, 시뮬레이터의 기능을 하게 된다.

플로팅도크 컨트롤 장치는 Fig. 3과 같이 Simulation, Monitoring, Control의 3가지 요소가 통합된 환경을 가지면서 각각의 요소가 유기적으로 결합되어 안정적이고 효율적인 최적의 운영 환경을 제공하여야 한다.

Table 1에 제어하고자 하는 플로팅도크의 제원을 보인다.

Table 1 Principal Particulars of Floating Dock

KIND OF SHIP	15000TLC FLOATING DOCK
LENGTH(O.A)	200.00m
LENGTH(B.P)	200.00m
BREADTH(OUTSIDE)	49.00m
BREADTH(INSIDE)	39.00m
DEPTH(TOP DECK)	4.00m
DEPTH(SAFETY DECK)	6.30m
DEPTH(TWEEN DECK)	6.30m
DEPTH(PONTOON DECK)	6.30m
Draft(MAX)	15.30m
BALLAST CAPACITY	57100 m ³
LOAD OUT CAPACITY	12000 ton

3. 시뮬레이터의 개발

시뮬레이션의 주목적은 플로팅도크의 발라스트 계획을 얼마나 효율적이고 안정적으로 작성하느냐에 따라, 이를 토대로 실제 작업의 경우 얼마나 위험을 줄이면서 안정적으로 작업을 할 수 있느냐에 있다. 따라서 가장적인 발라스트 계획을 짜면서 Displacement, Draft, Shearing Force, Bending Moment, TPC, LCB, LCG 등을 계산할 수 있어야 하고, 진수 시 플로팅도크와 Project Ship 사이의 부력 관계를 토대로 Project Ship의 Floating Draft 등을 알 수 있어야 한다. 따라서 정확한 시뮬레이션 데이터들을 유추하기 위해서는 Project Ship에 대한 정의가 정확히 이루어져야 한다.

일반적으로 Project Ship에 대한 데이터는 기본 설계 데이터를 바탕으로 정의를 한다.

Fig. 4에 발라스트 계획의 기본 개념을 보이고, Fig. 5는 종강도 곡선을 보이고, Fig. 6는 복원력 곡선을 보인다.

Fig. 4 Basic Concept for Ballast Plan

Fig. 5 Strength Curve

Fig. 6 Stability Summary

3.1 Load Out Mode

육상에서 건조한 선체 블록을 플로팅도크로 옮기는 과정은 매우 어려운 작업이다. 거대한 선체 블록이 플로팅도크에 진입하면서 큰 굽힘모멘트를 가하게 되고, 거대 중량으로 안벽과 플로팅도크 선체 블록 진입부분에 큰 간격이 생길 수 있기 때문에 작업을 수행하기 전에 플로팅도크의 유체역학적 안정성과 구조역학적 안정성 등이 완벽하게 검토되어야 한다. 이러한 작업을 보다 더 안정적이고 효율적으로 하기 위해서 실시간 Monitoring과 시뮬레이션을 통한 예측은 아주 필수 불가결하다.

Fig. 7은 플로팅도크 컨트롤 시스템 중에 Load Out Mode를 처리하는 기본 과정에 대한 개념도이다. Fig. 8에서 보듯 미리 정의된 선체 블록과 적절한 Draft 그리고 종강도 등을 고려하여 Ballast Plan을 여러 단계로 나누어 계획한다. 이러한 Ballast Plan을 사전에 계획하고 시뮬레이션을 해봄으로써 작업의 안정성을 검토할 수 있고 보다 효율적인 작업환경을 만들 수 있다.

Fig. 7 Basic Concept for Load Out Mode

Fig. 8 Ballast Plan for Load Out Mode

3.2 Sinking Mode

플로팅도크내에서 Load Out된 선체 블록들을 결합시켜 하나의 선박이 완성되면 완성된 선박을 진수시켜야 한다. 진수를 위해서는 플로팅도크가 충분히 가라앉을 수 있는 수심 지역으로 이동해야 한다. 그리고 건조된 선박이 부력을 받아 뜨는 시점을 예측하고 플로팅도크를 얼마나 가라앉혀야 선박이 안전하게 나올 수 있는지를 계산하는 것은 매우 중요하다. Fig. 9는 Sinking Mode에서 시뮬레이션을 하기 위한 기본 흐름도이다. 이 흐름도를 바탕으로 Fig. 10과 같이 적절한 Ballast Plan을 단계별로 계획한다. 그리고 본선이 뜨는 시점과 플로팅도크의 안정성 등을 Fig. 11을 통하여 미리 예측함으로써 작업의 효율성, 안정성, 신뢰성 등을 확보할 수 있다.

Fig. 9 Basic Flow Chart for Sinking Mode

Fig. 10 Ballast Plan for Sinking Mode

Fig. 11 Project Ship Condition in Sinking Mode

4 실선 시뮬레이션

여기에서는 개발한 시스템을 실제 선박에 적용하여 보기로 한다. 적용한 선박의 기본 사양은 Table 2와 같다.

Table 2 General Particulars of a simulated ship

Ship Name	H-1001
LOA(m)	183
LBP(m)	174
Width(m)	32
L/W(Ton)	9666
LCG(m)	-7.839 from Midship
VCG(m)	11.7 from Keel
TCG(m)	0

4.1 Simulator의 강도 계산의 정확도에 대한 검증

플로팅도크 컨트롤 시뮬레이터를 적용하기에 앞서 이의 검증은 신뢰성을 확보하는 차원에서 아주 중요하다. 본 논문에서는 검증을 위하여 삼성중공업 종합설계팀의 NAPA를 이용한 결과 데이터와 비교하여 분석하였다. 검증 대상은 삼성중공업의 Green Dock II이며 Loading Condition은 Light Weight상태의 조건을 적용하였다.

Table 3에 본 논문에서 개발한 시뮬레이터(SIM)와 삼성중공업 NAPA의 강도 계산 결과를 비교해 보인다. 굽힘모멘트(BM)의 경우 최대 오차율이 1.35%, 전단력(SF)의 경우 최대 오차율이 0.26%, 처짐의 오차는 최대 11mm(8.09%)를 보여 비교적 신뢰도가 좋았다.

Table 3 Strength Data of NAPA and Simulation

	NAPA	SIM		NAPA	SIM		NAPA	SIM	
FR	BM(ton-m)	BM(ton-m)	오차율(%)	SF(ton)	SF(ton)	오차율(%)	DEF(mm)	DEF(mm)	오차율(%)
0	1305	1290	0.00	378	378	0.00	15	13	2
28	20383	13616	1.35	1181	1204	0.16	44	40	4
60	45673	39539	1.21	824	853	0.21	76	69	7
88	60525	55243	1.06	559	592	0.24	99	90	9
116	69816	65336	0.90	303	338	0.25	117	108	9
144	74389	70793	0.72	84	120	0.26	130	120	10
172	73854	71125	0.55	-127	-91	0.26	136	125	11
176	73405	70801	0.52	-153	-118	0.25	136	126	10
200	69205	67139	0.41	-281	-266	0.11	136	126	10
224	62730	60906	0.36	-393	-386	0.05	131	121	10
252	52772	51220	0.31	-496	-476	0.14	120	112	8
284	39054	38229	0.17	-536	-515	0.15	102	95	7
312	27395	27049	0.07	-528	-513	0.11	83	78	5
340	16854	16809	0.01	-451	-445	0.04	62	58	4
372	7202	7253	0.01	-326	-331	0.04	35	33	2
400	733	677	0.01	-232	-232	0.00	12	11	1

4.2 Load Out 시뮬레이션

Load Out은 플로팅도크에 먼저 선미 블록을 싣고 난 다음에 선수 블록을 싣는다. 블록을 단번에 싣는 것이 아니기 때문에 천천히 블록을 Load Out하는데 따라서 Fig. 8과 Table 4에 보인 바와 같이 경우 별로 발라스트 계획을 세운다. 여기에서는 25 단계로 나누어 발라스트 계획을 세우고, 각 단계별 탱크별 무게, 홀수, 트림, GM, 굽힘모멘트, 처짐 등의 변화를 예측하여 선박의 안정성(stability)과 구조적 안전성(safety)을 검토한다. Table 4에는 25 단계 과정 중 4 개의 과정만 보이고 있으나 25 단계별로 계획한 대로 Load Out과 발라스트를 진행한다.

Table 4 Balast plan for load out

	CASE1	CASE10	CASE20	CASE25
NO.1 WWBT(P)	369.84	369.84	369.84	183.28
NO.1 WBT(P)	370.97	370.97	370.97	183.84
NO.1 WBT(C)	1118.39	1118.39	1118.39	554.24
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
NO.6 WBT(C)	924.82	193.57	1139.9	1139.9
NO.6 WBT(S)	306.76	64.21	378.1	378.1
NO.6 WWBT(S)	305.83	64.01	376.95	376.95
Displacement (t)	27729.75	29497.72	31687.1	28972.7
LCG (m)	-0.33	-0.001	0.179	-0.117
VCG (m)	3.302	6.633	6.269	5.84
TCG (m)	0	0	0	0
EQ. Draft (m)	3.005	3.197	3.434	3.14
Fore Draft (m)	2.975	3.197	3.453	3.129
Aft Draft (m)	3.036	3.197	3.415	3.151
Trim (m)	-0.061	0	0.038	-0.023
List (deg)	0	0	0	0
GoM (m)	50.431	44.103	41.183	45.734
Max SF (t)	1552	1928.2	-1671	-1389
Max SF (%)	53.5	66.5	57.6	47.9
Max BM (t-m)	78698.8	67994.3	-27010.9	56358.4
Max BM (%)	85.5	73.9	29.4	61.3

Fig. 12는 선미 블록의 Load Out에 따른 도크 중앙부 홀수의 변화를 보인다. 가로 축의 CASE는 Table 4의 발라스트 플랜에 따랐을 경우의 홀수 변화이다. 그림과 같이 중앙부의 홀수가 3.0m에서 3.2m로 천천히 변해가도록 발라스트 계획을 짜서 실제로 발라스트할 때 이 과정을 따르도록 하여야 한다. Fig. 13은 그 때의 트림의 변화를 보인다.

Fig. 12 Mean Draft changes by aft block Load Out Simulation

Fig. 13 Trim changes by aft block Load Out Simulation

Fig. 14는 선수 블록의 Load Out에 따른 도크 중앙부 흘수의 변화를 보인다. Fig. 15는 그 때의 트림의 변화를 보인다.

이 시뮬레이션 데이터를 기초로 실제로 선박을 진수하는 작업 계획을 세우고, 계획에 따라 작업을 수행하고, 그 과정에서 실시간으로 모든 데이터를 수집하고 판단하면서 진수 작업을 수행하는 것이다.

Fig. 14 Mean Draft changes by fore block Load Out Simulation

Fig. 15 Trim changes by fore block Load Out Simulation

4.3 Sinking 시뮬레이션

선미 블록과 선수 블록을 Load Out한 뒤 두 개의 블록을 용접하여 선박을 완성시키면 진수를 하게 된다. 진수를 하기 위하여 플로팅도크에 물을 넣어 가라앉히는 작업을 하게 되는데 Load Out 때와 마찬가지로 발라스트 계획을 세워 시뮬레이션을 하여 안정성을 검토한다. Load Out 때와 마찬가지로 발라스트 계획을 세워서 진행하고 작업의 진행에 따른 흘수, 트림, GM, 굽힘모멘트, 처짐 등의 변화를 예측한다. Fig. 16은 그 결

차에 따른 흘수의 변화를 보이고, Fig. 17은 그 때의 트림 변화를 보인다. 이 시뮬레이션 결과는 플로팅도크가 안정된 상태로 진수할 수 있음을 보여준다. 따라서 모의한 절차대로 실제로 작업을 수행하면 안정적으로 선박을 안전하게 진수할 수 있을 것이다.

Fig. 16 Mean Draft changes by Simulation

Fig. 17 Trim changes by Simulation

5. 결 론

본 논문에서는 육상에서 만들어진 거대 블록을 플로팅도크에 떨어 넣는 SLS를 위한 플로팅도크 제어 시스템을 완성하여 안정적인 SLS를 구현하고자 SLS를 위한 전길이 200.0m 속너비 39.0m인 플로팅도크에 대하여 제어 시뮬레이터를 개발하였다.

모의 선박에 대한 Load Out과 진수 절차를 만들어 발라스트 계획을 하고 그 계획대로 발라스트하였을 때 매 단계 별로 종강도 계산과 복원력 계산을 하면서 안정성을 확보한 가운데 플로팅 도크에 Load Out하고 플로팅도크를 Sinking하는 시뮬레이터를 개발하였다.

삼성중공업의 Green Dock II에 대하여 삼성중공업 종합설계팀의 검증 결과인 NAPA와 본 시뮬레이터의 계산과 비교하여 거의 비슷한 결과를 얻어서 시뮬레이터의 유용성을 확보하였다.

후속 연구에 이 시뮬레이션을 바탕으로 실제 배에 적용하여 모의 데이터를 기초로 한 과정을 따라서 작업을 수행하고 실

시간 모니터링하면서 실시간 제어하는 시스템을 만들고 실제 시스템에 적용하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 대우조선해양홈페이지보도자료(2006), "대우조선해양, 2척을 하나로 묶어 동시 진수 성공," 대우조선해양(주).
[2] 문화일보(2004a), "도크없이 육상서 선박건조 세계 첫 성공".

- [3] 문화일보(2006b), "성동조선 조선업계 다크호스".
[4] 문화일보(2007c), "세계를 휩쓰는 한국의 조선업체들".
[5] 조선정보, "선박건조 신공법이 조선강국 만든다," 제7호, 한국조선공업협회, p8

원고접수일 : 2007년 8월 1일
원고채택일 : 2007년 2월 5일