

# 150톤급 해상크레인용 윈치 제어시스템 HILS 개발

임채욱(부산대학교), 박병철(부산대학교), 황동환(EK중공업), 신성철(부산대학교)

## Development of HILS for winch control system in 150t floating crane

Chae-og Lim (Pusan National University), Byeong-cheol Park (Pusan National University),  
Dong-hwan Hwang (EK Heavy Industries), Sung-chul Shin (Pusan National University)

### 요약

해상크레인용 윈치 시스템이란, 크레인을 이용하여 해상에서 중량물을 이동시키기 위해 필요한 동력을 공급하는 시스템을 의미한다. 윈치 시스템의 윈치 구동부는 윈치 제어기의 명령에 따라 동작하는데, 제어기는 윈치의 로프를 감거나 풀고, 제동을 위한 제어신호를 해당 장비인 모터, 인버터, 브레이크 유압장치 등에 보낸다. 윈치 제어시스템 처럼 제어기를 설계 및 제작 하는 단계에서 제어기의 정상동작 유/무, 성능 시험, 검증, 평가와 가혹한 조건에서 제어기 및 시스템 응답 및 거동의 확인이 필요하다. 하지만 이를 실제 하드웨어 장비와 연동하여 직접 수행하기에는 많은 제약과 위험이 따른다. 따라서 설계 엔지니어들은 HILS (Hardware-in-the-Loop Simulation, HIL-test)라는 방법을 이용하여 이러한 제약을 해결하고 있다.

본 연구에서는 150톤급 해상크레인용 윈치 제어시스템의 HIL-test를 위한 Ethernet 기반 HIL-test 플랫폼(HILS 환경)을 구성하였다. Test 플랫폼은 '윈치 HIL-Simulator', '인터페이스(Interface)장비', '윈치 제어시스템(PLC, Programmable Logic Controller)'로 구성된다. 구성된 HIL-test 플랫폼을 통해 실제 윈치 제어시스템인 PLC의 HIL-test를 수행 하였다.

**Keywords :** 윈치 시스템(Winch system), 윈치 제어시스템(Winch control system), 해상크레인(Floating crane), HILS(Hardware-in-the-Loop Simulation), HIL-test(Hardware-in-the-Loop test)

## 1. 서론

해상크레인은 바지선(Barge)이나 반잠수식, 고정식 해양구조물에 설치되어 해상에서 무거운 중량물을 이동, 하역하기 위해 사용되는 크레인을 말한다. 해상크레인은 해상 건설현장, 조선소, 심해 구조물 설치작업 등 폭 넓은 영역에서 활용 되고 있으며 육상크레인 보다 규모가 크고, 더 무거운 중량물을 이동시킬 수 있기 때문에 그 중요도 또한 증가하고 있다. 조선소의 경우 육상크레인인 콜리엇크레인을 사용하는 것보다 규모가 큰 해상크레인을 사용 시 작업속도와 생산성을 높일 수 있는 효과를 가진다.

이처럼 해상크레인의 활용 범위가 다양해지고 중요도가 증가함에 따라 해상크레인 구성장비들의 개발, 설계, 제작에 대한 중요도가 높아지고 있다. 특히 해상크레인에서 중량물을 들어 올리거나 내려놓기 위해 필요한 동력을 제공하는 핵심 장비인 윈치 시스템(Winch System)의 중요도가 가장 높다고 볼 수 있다. 윈치 시스템은 모터, 전력변환기, 감속기, 제동장치 등으로 구성된 윈치 구동부시스템(Winch Driving System)과 구동부 제어를 위한 윈치 제어시스템(Winch Control System)으로 구성되어 있다. 제

어를 통해 구동부의 전력변환기, 제동장치가 구동하여 모터를 운전하며 모터의 정,역회전 운전 상태에 따라 윈치의 로프가 감기거나 풀려 중량물을 이동시킬 수 있다.

윈치 시스템의 제어기가 실제 해상크레인에 탑재되었을 때 안정적으로 동작하는지에 대한 확인은 엔지니어 입장에서 매우 중요한 문제가 된다. 따라서 제어기 제작 전 단계에서 제어기의 정상동작 유/무, 성능 시험, 검증 평가와 가혹 조건에서 제어기와 시스템 응답 및 거동의 확인이 필요하다. 윈치 시스템 구동부의 용량과 규모가 커지고 제어로직이 고도화 될수록 제어기 개발 엔지니어에게 윈치 제어기의 성능에 대한 시험, 검증, 평가의 필요성이 더욱 높아지고 있다. 하지만 제어기 제작 전 설계, 개발 단계에서 성능을 시험, 검증, 평가하기에는 많은 제약이 따른다. 이런 문제에 대한 해결책으로 HILS라는 방법을 이용한다. HILS는 제어시스템을 제외한 주변환경을 가상의 모델로 구현하고 검증 대상 Hardware 제어시스템과 연동시켜 제어기의 성능을 시험, 검증, 평가하는 방법이다. HILS를 이용하여 실제 제어기를 test 하는 것을 HIL-test라고 한다. 이 방법을 이용하면 제어기를 실제 해상크레인에 탑재하여 실선 테스트를 하지 않고도 가상의 환경에서 제어기의 성능을 시험, 검증, 평가할 수 있다(Lee, S.H., et al., 2006). 이러한 HIL-test를 위해선 검증대상 Hardware의

주변환경을 모사하는 모델 구현과 실제 제어기와 모델간의 제어 신호(Control Signal) I/O(Input/Output) 인터페이스(Interface) 개발, HIL-test 플랫폼 개발이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 윈치 제어시스템 HIL-test를 위해 필요한 윈치 구동부시스템 모델 개발, 모델과 윈치 제어시스템간의 제어신호 인터페이스를 위한 통신 모델 및 test 플랫폼 개발을 수행하였다. 개발된 윈치 구동부시스템 모델과 통신 모델, test 플랫폼을 이용하여 HIL-test 환경을 구성하고, 윈치 제어시스템의 HIL-test를 수행 하였다. 윈치 구동부시스템 모델은 회전기 모델(Rotary Machine Model), 전력 변환 모델(Power Converter Model), 부하 및 제동기 모델(Load & Brake Model), 신호변환 모델(Signal Converter Model)로 구성하였다. 실제 제어기의 제어신호에 따라 윈치 구동부시스템 모델의 각 모델들이 구동된다. HIL-test case를 설정하여, 제어기의 정상 동작 유/무, 성능 시험, 검증, 평가에 관한 HIL-test를 수행 하였다.

## 2. 윈치 제어시스템 HILS 개발

### 2.1 윈치 구동부시스템 모델 개발

실제 윈치 시스템은 윈치 구동부시스템, 윈치 제어시스템으로 구성되며 Fig. 1은 윈치 시스템의 구성 다이어그램을 나타낸다. Fig. 1의 윈치 구동부시스템 모델에 포함된 각 구성요소들의 사양 및 설명은 Table 1에 나타내었다.

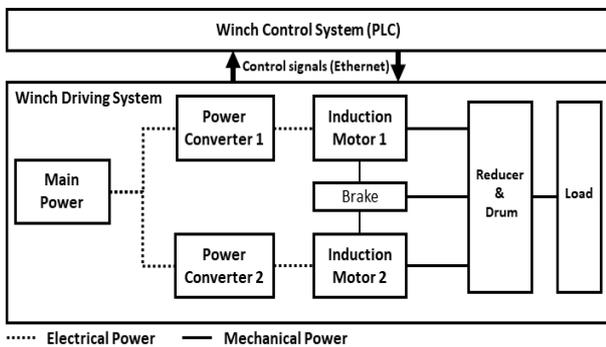


Fig. 1 Single line configuration diagram of winch system

윈치 구동부시스템 모델 중 회전기 모델은 윈치의 동력공급을 위한 모터(Motor), 로프를 감고 풀기위한 드럼(Drum), 모터의 고속 회전속도와 낮은 토크를 저속 회전속도와 높은 토크로 변환하기 위한 감속기(Reducer) 모델로 구성되어있고, 전력변환 모델은 모터가 필요로 하는 전력공급을 위한 주전원(Main Power), 모터 토크와 회전수 제어를 위한 인버터(Inverter) 모델로 구성되어 있다. 부하 및 제동기 모델은 중량물에 따른 부하 토크 적용을 위한 부하(Load), 제동기의 제동력을 위한(Brake) 모델로 구성되어 있으며, 실제 제어기의 제어신호를 모델에 적용하기 위한 신호변환(Signal Converter) 모델로 구성되어 있다.

윈치 구동부시스템 모델은 Matlab/Simulink를 활용하여 모델링 하였다. 특히 회전기 모델의 모터 모델은 d-q axis를 사용한

Table 1 Components of the winch driving system model

| Component        | Specification  |
|------------------|--|
| Motor            | - Type: Induction Motor<br>- Rated Power : 644Kw<br>- Rated Speed : 1192rpm<br>- Pole : 6P<br>- Rated Voltage : 440V, 60Hz |
| Reducer, Drum    | - Reduction Ratio : 1 : 365.4<br>- Drum Speed : 3.26 rpm<br>- Drum Diameter : 2.77m  |
| Main Power       | - Type : 3-Phase Power<br>- Supply Voltage : 440V<br>- Rated Frequency : 60Hz  |
| Inverter         | - Type : 3-Phase IGBT Inverter<br>- Control Type : VVVF, PWM   |
| Load, Brake      | - Type : Band Brake, Caliper Brake, Ratchet & Pawl<br>- Load : Weight[TON] -> Torque[Nm]                                   |
| Signal Converter | - Inverter Command : Hz -> rpm<br>- Heave, Payout Command -> Forward, Reverse Command                                      |

유도전동기 모델이며, Matlab/Simulink에서 제공하는 라이브러리 모델을 기반으로 윈치 시스템에 사용된 실제 모터의 내부 파라미터(용량, 크기, 구조, 운전초기 조건, 정격전압, 정격출력 등) 값을 적용하여 모델을 구성하였다(Park, et al., 2009). 드럼과 감속기 모델은 제동토크, 감속비를 이용하여 모델을 구성하였다. 주전원은 모터가 요구하는 전력을 제한 없이 공급 가능한 이상적인 전원으로 모델링 하였고, 인버터와 DC 전원 생성을 위한 정류기는 일반적인 3상 IGBT 인버터와 전파 정류기를 모델링 하였다(Nho, et al., 2011). 부하와 제동기 모델은 드럼과 감속비의 사양을 이용하여 중량물[TON]에 따라 모터에 작용하는 부하를 [Nm]로 변환하는 모델을 구성하였다. 신호변환 모델의 경우 제어기의 인버터 제어신호[Hz]를 모델이 사용할 수 있는 신호 [rpm]로 변환 하며, 로프를 감거나 푸는 제어신호를 모터 정,역 회전 신호로 변환하는 모델로 구성하였다.

Table 1의 시스템 구성 모델의 사양과 Fig. 1의 윈치 시스템 구성 다이어그램을 이용하여 Fig. 2와 같은 윈치 구동부시스템 모델을 구성하였다. 다이어그램의 점선은 전력의 흐름을 나타내고, 실선은 기계적 출력과 제동력, 부하 토크 흐름을 나타낸다. 모터 2대의 동력은 감속기를 거쳐 드럼에 전달되어, 드럼은 중량물을 들어올리기에 충분히 큰 토크와 낮은 회전속도를 가진다. 개발된 윈치 구동부시스템 모델을 HIL Simulator로 사용하였다.

### 2.2 제어신호 인터페이스 모델 및 HIL-test 플랫폼 개발

HIL-test를 수행하기 위해서는 제어기의 제어신호 I/O와 HIL Simulator I/O 간의 신호전달을 위한 인터페이스 모델 개발이 필요하며, 인터페이스 모델과 장비, HIL Simulator, 제어기를 이용하여 HIL-test 플랫폼을 개발해야 한다. 본 연구에서는 Labview(ver.2015, National Instruments)를 이용하여 TCP/IP Ethernet 기반의 인터페이스 모델을 개발하였고, HIL Simulator



Table 2 Signal components of winch control system and winch HIL Simulator

| Component                  | Type            | Unit       | Details                   |
|----------------------------|-----------------|------------|---------------------------|
| Inverter Command Frequency | Numerical Value | Hz, rpm    | Inverter Command          |
| Auto Run                   | True/False      | on/off     | Winch Drive               |
| Auto Run Lamp              | True/False      | on/off     | Winch Drive Lamp          |
| Auto Stop                  | True/False      | on/off     | Winch Stop                |
| Auto Heave                 | True/False      | on/off     | Motor Forward Drive       |
| Auto Payout                | True/False      | on/off     | Motor Reverse Drive       |
| Winch Speed                | Numerical Value | m/min      | Current Rope Speed        |
| Speed Set                  | Numerical Value | m/min      | Speed Command             |
| Working Length             | Numerical Value | m          | Rope Working Length       |
| Release Length             | Numerical Value | m          | Rope Release Length       |
| Remain Length              | Numerical Value | m          | Rope Remain Length        |
| Emergency Stop (HMI)       | True/False      | on/off     | Emergency Stop            |
| Emergency Stop (Door)      | True/False      | on/off     | Emergency Stop            |
| Fault(Reset)               | True/False      | on/off     | Buzzer Off, Fault Reset   |
| BZ. Stop (Lamp Test)       | True/False      | on/off     | Buzzer Stop and Lamp Test |
| Motor Speed                | Numerical Value | rpm        | Simulator Motor Speed     |
| Drum Speed                 | Numerical Value | rpm, m/min | Simulator Drum Speed      |
| Load                       | Numerical Value | ton        | Load                      |
| Brake                      | True/False      | on/off     | Winch Brake               |

### 3. HIL-test 수행 및 결과

#### 3.1 HIL-test 시나리오

원치 시스템 HIL-test를 위해 18가지의 Test Case를 설정하여 Test를 수행하였다. Test Case는 Table 3에 나타내었다. 각 Case중 9, 10, 13, 14, 17, 18을 제외한 Test Case는 정격속도 (28.3 m/min), 정격하중(150 ton), 정격작업길이(999 m) 이내의 범위에서 수행하였으며, 정격속도의 편차와 최대정격 속도를 28.3 m/min으로 유지하기 위해서 로프(Rope)의 풀린 길이를 나타내는 Release Length가 960~990 m 범위가 유지되도록 하여 Test를 수행하였다.

Table 3 Test cases of winch control system HIL-test

| No. | Test Case   |
|-----|---|
| 1   | Check of auto start run, auto heave                   |
| 2   | Check of auto start run, auto payout                  |
| 3   | Check of auto stop                                    |
| 4   | Check of rated speed 28.3m/min in auto heave          |
| 5   | Check of rated speed 28.3m/min in auto payout         |
| 6   | Check of emergency stop HMI                           |
| 7   | Check of emergency stop DOOR                          |
| 8   | Check of starting at both heave and payout on         |
| 9   | Check of over the maximum speed set (over 28.3 m/min) |
| 10  | Check of lower the minimum speed set (lower 0 m/min)  |
| 11  | Check of heave starting at maximum load (150 ton)     |
| 12  | Check of payout starting at maximum load (150 ton)    |
| 13  | Check of heave starting at over the maximum load      |
| 14  | Check of payout starting at over the maximum load     |
| 15  | Check of payout, working length 0→999 m               |
| 16  | Check of heave, working length 999→0 m                |
| 17  | Check of working length limit (over 1000 m)           |
| 18  | Check of working length limit (lower 0 m)             |

#### 3.2 HIL-test 결과

Test Case에 따른 HIL-test 결과는 Table 4에 나타내었다. HIL-test Case 중 8, 18번 Case에서 이상동작을 확인하였다. 8 번의 경우 모터의 정/역 회전 신호인 Heave(로프감기), Payout (로프풀기) 신호 두개를 강제로 모두 On(활성화) 시킨 경우이다. 이 경우 원치 제어시스템이 동작을 하지 않는 것이 안전한 상태로 판단되지만, 실제 원치제어 시스템은 정회전 신호를 발생하여, HIL Simulator를 구동시켰다. 실제 원치 제어시스템에서 HMI 터치스크린을 통해 Heave와 Payout 버튼을 On 시킬 수 있는데, 두 신호를 동시에 On 시킬 수 없게 토글 처리가 되어 있다. 18번의 경우 작업길이(Working Length)에 음수를 입력한 경우이다. 이 경우 작업길이에 음수가 입력되면 동작하지 않는 것이 안전한 상태로 판단되지만, 실제 원치 제어시스템은 작업길이가 입력한 음수 작업길이에 도달할 때까지 모터구동 신호를 발생하여, HIL Simulator를 구동 시켰다. 극한 시험 조건건에 해당하는 Case 13, 14번은 정격부하인 150 ton 보다 무거운 200 ton, 250 ton 부하에서 원치를 구동하는 Test이며, 13번인 Heave의 경우 200 ton 부하에서 구동이 가능하였고, 정격속도 보다 낮은 속도로 운전되었다. 250 ton의 경우 모터 회전지령 제어신호의 가속률에 따라 기동이 가능하거나, 불가능 하였다. 14번 Payout의 경우 200 ton, 250 ton 모두 기동이 가능했고, 2가지 Case 모두 정격 속도보다 높은 속도로 운전되었다. HIL-test를 이용하면 13, 14

번과 같이 실제로 수행하기 어렵거나, 위험한 극한 시험조건에 해당하는 Test를 수행하여, 제어기의 성능 및 시스템의 거동을 확인 할 수 있다.

Table 4 Result of test cases for winch control system HIL-test

| No. | Test Result  |
|-----|--|
| 1   | Normal operation   |
| 2   | Normal operation   |
| 3   | Normal operation   |
| 4   | Reach the rated value(28.3 m/min), normal operation  |
| 5   | Reach the rated value(28.3 m/min), normal operation  |
| 6   | Normal operation   |
| 7   | Normal operation   |
| 8   | <b>Working</b>   |
| 9   | Reach the rated value(28.3 m/min), normal operation  |
| 10  | Not working  |
| 11  | Normal operation   |
| 12  | Normal operation   |
| 13  | 200 ton: Slow acceleration, Lower speed(1160 rpm) than setting value, Normal operation<br>250 ton: Starting available at slow acceleration, No starting at fast acceleration |
| 14  | 200ton: High speed(1212 rpm) than rated speed<br>250ton: More high speed(1222 rpm) than rated speed  |
| 15  | Reach the 999 m, Normal operation  |
| 16  | Reach the 0 m, Normal operation  |
| 17  | Normal operation   |
| 18  | <b>Reach the negative length</b>   |

## 4. 결론

본 연구에서는 150톤급 해상크레인용 윈치 제어시스템의 HILS 개발을 위하여 Matlab/Simulink, Veristand를 이용하여 HIL Simulator를 개발하였고, Labview를 이용하여 제어신호 인터페이스 모델 개발을 개발하였다. 인터페이스 장비와 개발된 모델, 윈치 제어기인 PLC를 이용하여 HIL-test 플랫폼을 구성, 개발하였다. 개발한 플랫폼을 이용하여 18가지 Test case에 대한 HIL-test를 수행하였고, Test 결과 중 8, 18번 2가지 case에서 이상동작을 확인 하였고, 극한 시험조건에 해당하는 13, 14번 Case에 대한 Test를 수행하여 극한 조건에서의 윈치 제어시스템의 제어와 윈치 구동부시스템의 거동 특성을 확인 할 수 있었다. 발견된 이상동작에 대한 수정사항을 제어시스템에 반영하여 제어연산 및 알고리즘을 수정하면 안전하고, 검증된 제어기를 설계 할 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 2018년 한국산업기술진흥원의 경제협력권산업육성 사업의 지원을 받아 수행하였음(R0003966)

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0030013)

## 참 고 문 헌

- Lee, S.H. Kim, S.S. Jeong, W.H., 2006. HILS Environment Application of Real time Multibody Vehicle Dynamics model. *Korea Society of Automotive Engineers*, 782-787.
- Nho E. C., Joung G. B., Choi N. S., 2011. *Power Electronics*. Moon woon dang.
- Park H. S., Woo K. I. 2009. *Understanding electric machine*. Pukyong National Uni. press.