

◆ 특집 ◆ 직선 · 회전모터 구동 이송 · 회전체 연구 XII

모의실험장치에서의 기계적인 동요에 대한 단순모사 장치개발

Development of Simple Simulation by Changing the Stroke of Cylinder for a Oscillation

설상석¹, 정원지², 정동원^{3,✉}

Sang-Seok Seol¹, Won-Jee Chung², and Dong-Won Jung^{3,✉}

¹ 창원대학교 클러스터사업단 (Cluster Agency, Changwon National University)

² 창원대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Changwon National University)

³ 제주대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Jeju National University)

✉ Corresponding author: jdwcheju@jejunu.ac.kr, Tel: +82-64-754-3625

Manuscript received: 2016.1.5. / Revised: 2016.1.26. / Accepted: 2016.1.28.

Equipments to influence by external force have to take effect mechanical oscillation. These equipments regardless of the movement on the external force such as roll, pitch and heave etc, worked to keep the height of tote are required for activeness and needed a device as equipment's fluctuation for rapidly compensation. Because the actual development of these devices is difficult to cost-effectively, we were developed to compensation simulator scaled down 1/50. In this paper, we were studying kinematic characteristics, designed the simulator to grasp the point and manufactured. This paper was analyzed for confirming the superiority of compensation simulator and set up 50 ton crane in practice.

KEYWORDS: Knuckle crane (너클 크레인), Oscillation (흔들림), 6-DOF (6 자유도), Hydraulic cylinder (유압 실린더), Simulator (모의실험장치)

1. 서론

세계 에너지수요는 2008 - 2035년간 연평균 1.6 % 증가(IEA, 2010)를 예상하고 있으며, 에너지수요 확대에 따라 해양플랜트 시장도 2010년 1,400 억불에서 2030년 5,000 억불로 성장할 것으로 전망한다. 이렇듯 전망이 밝은 해양 플랜트 사업 및 해저 터널, 해양 구조물 건설 그리고 침몰된 선박인양 등과 같이 해양 작업에서 필요한 장비 중에 하나가 크레인이다. 특히 협소한 곳에서 폭넓게 구동할 수 있는 너클 크레인(Knuckle Crane)은 플랜트

사업에 사용되는 주요 장비이다.

크레인은 와이어 로프를 사용하여 작업물을 메달아 작업을 수행하지만, 해수면의 움직임과 같이 외부적인 영향에 의하여 기계적인 흔들림이 발생하게 되면 작업물에 그대로 전달되기 때문에 이로 인한 작업시간이 지체되거나 작업이 불가능하게 되는 경우가 발생하게 된다. 따라서 이러한 기계적인 흔들림과 관계없이 작업물의 높이를 유지하기 위한 능동형 작업이 필요하며 이러한 동요를 신속하게 보정하기 위한 보정 장치가 설치되어야 한다.^{1,2}

보정 장치는 드럼(Drum)을 사용하여 와이어 로프의 길이를 직접 제어하는 방식과 유압실린더를 사용하여 제어하는 방식 등이 있으며, 독일 BOSCH사에서 개발한 보정 장치는 크레인에 와이어 로프 제어용 드럼을 설치하여 동요를 보정하는 방식을 사용하고 있으며, BOSCH/REXROTH 사에서는 이러한 드럼 방식의 보정 장치를 시연하기 위한 모의 실험 장치를 제작하여 영업에 활용하고 있다.

본 연구에서는 이러한 특허 출원된 방식을 회피하여^{3,4} 유압실린더를 사용하여 와이어 로프를 제어하는 방식을 개발하고자 함이며, H. S. Kim et al⁵의 연구에서처럼 실제 크레인에 장착할 수 있는 적용성이 좋은 구조 방식을 바탕으로 기계적인 특성을 구현할 수 있도록 상사법칙에 준한 1/50 축소 모의 실험 장치를 개발하였다.

본 논문의 2장에서는 모의 실험 장치의 기구학적 특성에 대하여 언급하였으며, 3장에서는 이러한 기구학적 특성을 적용한 모델에 대한 실험 결과를 보여주었다. 그리고 마지막으로 4장에서는 결론을 도출하였다.

2. 모의 실험 장치의 기구학적 특징

2.1 모의 실험 장치 개념설계

항공기 및 선박 등의 분야에서 활용되는 기계적인 특성을 갖춘 장치·장비의 모든 동작 요소는 6 자유도를 갖는다(Fig. 1). 즉, x축에 대한 회전운동인 횡동요(Roll)와 전후 운동인 전후동요(Surge), y축에 대한 회전운동인 종동요(Pitch)와 좌우운동인 좌우동요(Sway) 그리고 z축에 대한 회전운동인 선수동요(Yaw)와 상하운동인 상하동요(Heave)를 하게 되며, 이들 동요는 단독으로 발생하는 경우는 거의 드물며, 한 가지 동요가 발생하면 다른 동요가 유발하게 되며 장비는 세 방향의 병진 운동(U_x, U_y, U_z)과 세 방향의 회전운동($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)을 하게 된다. 따라서 기계적인 특성을 갖춘 장비의 동요를 구현하기 위한 모의 실험 장치는 6 자유도 운동을 할 수 있도록 설계되어야 한다.^{6,7}

본 연구에서는 이러한 특성을 갖춘 장비의 동요를 구현하고자 함이며 또한, 일반적인 모의 실험 장치의 동요는 6개의 실린더를 사용하여 세밀하게 제어를 할 수 있지만,^{2,7} 3개의 실린더를 이용하여 단순하면서도 장비의 흔들림에 대한 특성을 명확하게 파악하고자 함이다. 특히 선체의 동요에

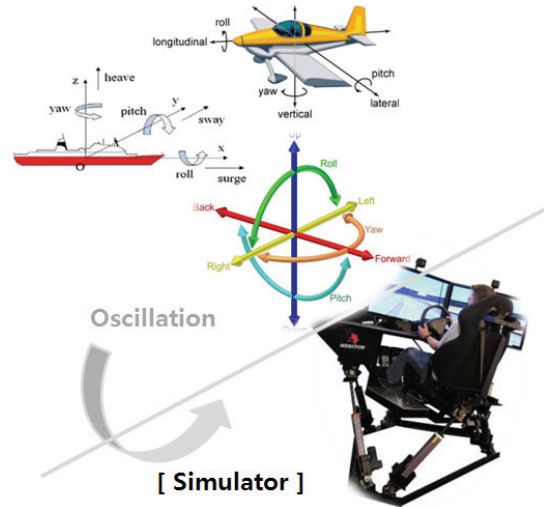


Fig. 1 Oscillation of mechanical equipment

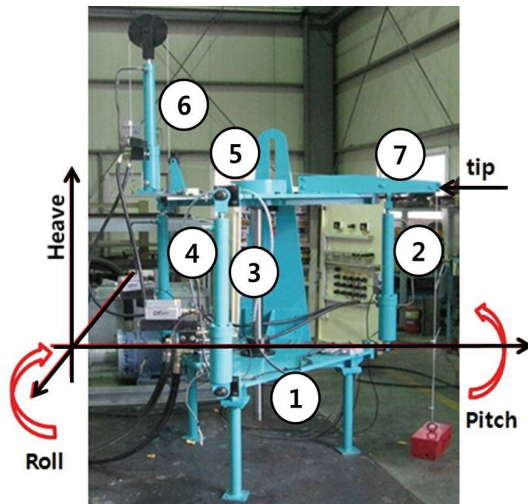


Fig. 2 Simulator for active heave compensator

의한 크레인의 움직임을 파악하고자, Fig. 2와 같이 모의 실험 장치에 설계하였다. Fig. 2①은 모의 실험 장치의 몸체로서 고정부 역할을 하는 하부 구조물이며, 선체의 역할을 하는 상부 구조물(Fig. 2 ⑤)과 하부 구조물 사이에 각각의 3 점을 연결하여 기계적인 흔들림을 구현하는 유압실린더(Figs. 2 ②-2④, 동요구현용 실린더)가 있다. 그리고 장비의 동요를 보정하는 실린더(Fig. 2⑥, 보정용 실린더) 및 너클 크레인(Fig. 2⑦)으로 구성되어 있다. 4 동요구현용 실린더가 작동하면, 상판이 흔들리며, 크레인 정점(Tip)의 위치 변화가 발생한다.

2.2 기구학적 특징

Fig. 3(a)에서처럼 수위(Wave Level)에서 크레인 정점까지의 높이를 초기값 Z_0 라고 하면, Fig. 3(b)처럼 선체의 동요가 발생했을 때는 dZ 만큼의 높이 변화가 발생하여, 수위에서 크레인 정점까지의 높이 변화가 발생한다.⁸

이러한 변화량(dZ)에 관한 식을 유도하기 위하여 실험 장치의 형상을 가지고 실린더의 길이변화에 대한 수식을 유도하였다.

Fig. 4는 실험 장치의 상부 구조물에 대한 형상이다.⁵ Figs. 4①-4③은 동요구현용 실린더가 장착되는 부위이고, 상부 구조물의 무게 중심(CG)를 기준으로 Figs. 4④와 4⑤ 그리고 정점의 위치를 정하였으며, 각각의 위치에 대한 길이를 a, b, c 그리고 d로 설정하였다.

Fig. 5는 종동요를 할 때 유압실린더의 길이변화를 나타낸 것이다. 여기서 l_c 는 실린더의 초기 길이이며, L_1, L_2, L_3 는 각각의 동요구현용 실린더의 길이를 나타낸 것이다. 예를 들어, 동요구현용 유압실린더 Figs. 5①과 5②의 길이가 같은 수치로 변화할 때, 초기길이 l_c 에 대하여 정리하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$l_c = \frac{L_1 + L_2}{2} \cdot 2 + L_3 \cdot 1 = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{3} \quad (1)$$

또한, Fig. 6은 횡동요를 할 때 유압실린더의 길이변화를 나타낸 것이다. 초기길이 l_c 와 실험 장치가 x축에 대한 회전 운동을 할 때 Figs. 4①-4④까지의 거리 l_4 의 길이, 동요구현용 유압 실린더의 길이 l_3 의 길이와 초기 길이 l_c 의 차에 대한 비례식은 다음과 같이 표현된다.

$$l_c - l_4 : l_3 - l_c = c \sin \phi_p : b \sin \phi_p \quad (2)$$

실험 장치에서 횡동요를 할 때 l_4 의 길이와 크레인의 정점 l_{tip} 의 길이 차 그리고 상부 구조물 중심 CG의 길이와 l_1 의 길이 차에 대한 비례식은 다음과 같은 식으로 정리된다.

$$l_4 - l_{tip} : \frac{l_1 + l_2}{2} - l_1 = d \sin \phi_r : a \sin \phi_r \quad (3)$$

위의 식을 이용하여, 크레인 정점의 수직 길이의 변화를 구할 수 있으며, 실험 장치 정점의 위치 변화는 초기 위치 l_0 의 길이에서 나중 위치 l_{tip}

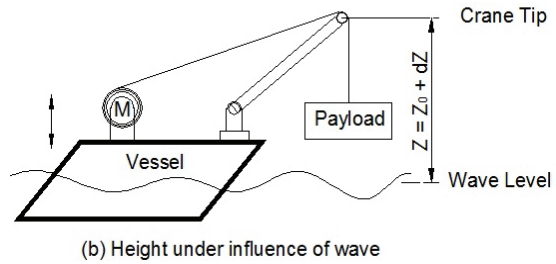
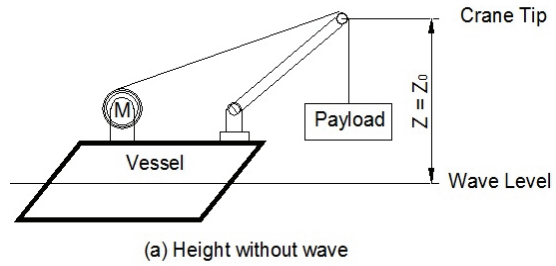


Fig. 3 Define height for position analysis

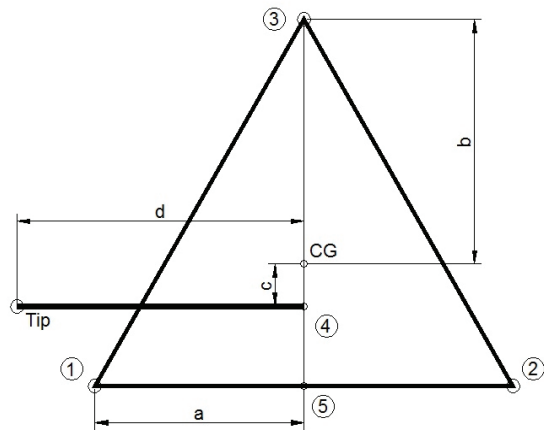


Fig. 4 Model of upper structure in simulator

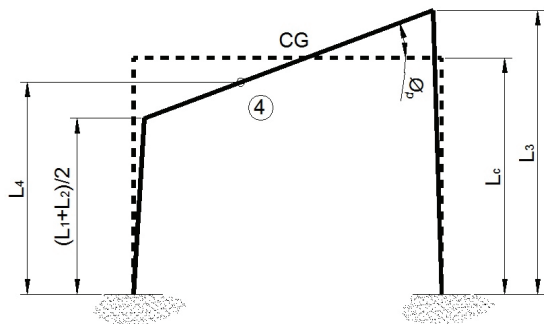


Fig. 5 Change in cylinder length to pitch

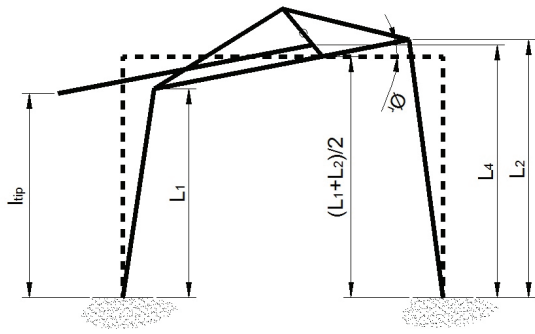


Fig. 6 Change in cylinder length to roll

의 길이 차로 나타낼 수 있고, 위의 내용을 정리하면 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$l_{Tip} = \frac{Al_1 + Bl_2 + Cl_3}{6ab}$$

$$A = 2ab + 2ac + 3bd$$

$$B = 2ab + 2ac - 3bd$$

$$C = 2ab - 4ac$$
(4)

$$dZ = l_0 - l_{Tip} = l_0 - \frac{Al_1 + Bl_2 + Cl_3}{6ab}$$
(5)

2.3 유압 장치 설계

유압실린더를 미세하게 구동시키기 위해 각각의 실린더에 비례제어 밸브(Proportional Control Valve)와 변위센서(Position Sensor)를 장착하였다. 비례제어 밸브는 임의의 동작 값을 전달하여 서로 다른 위치를 만듦으로써 동요현상을 발생하게 하며, 변위센서는 실린더의 위치변화를 PLC에 전달하여 제어명령과 작동위치에 따라 실린더가 작동하게 된다.

3개의 동요구현용 유압 실린더와 1개의 보정용 유압 실린더의 피스톤을 80 mm/s의 속도로 구동시키는 데 요구되는 유량은 각각 10 lpm씩 필요하므로 총 40 lpm을 처리할 수 있는 유압펌프를 사용하여 실험 장치를 구동시켰으며, Fig. 7과 같이 유압도를 설계하였다.

3. 성능 평가

3.1 반응속도 및 변위제어 평가

모의 실험 장치의 성능 평가를 하기 위하여 (1) 실시간적인 기계적인 흔들림에 대한 반응이 필

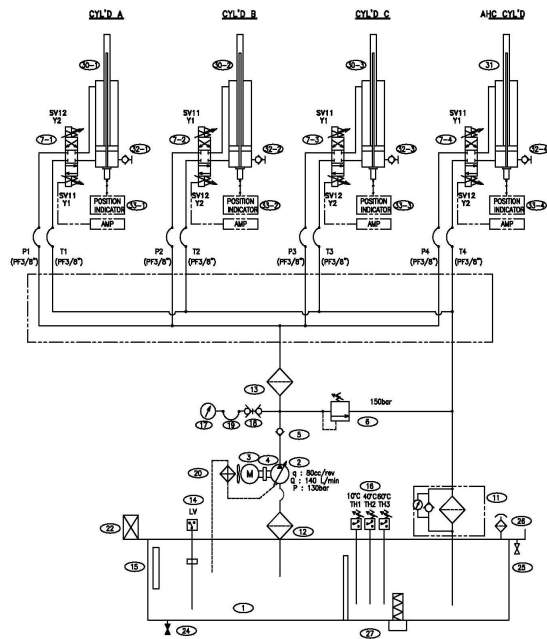


Fig. 7 Hydraulic unit for AHC simulator



Fig. 8 Experiment for displacement of tip and pendulum

요하므로 반응 속도 평가를 하였으며, (2) 미세하게 구동시키기 위한 변위제어 평가 및 유압펌프의 작동시 오일 탱크의 온도를 측정하였다. Fig. 8은 크레인의 정점과 작업물 역할을 하는 추의 움직임을 측정하기 위한 설치 준비과정이다.

3.2 실험 결과

Fig. 9는 너클 지브의 변위 측정값을 보여주며, Fig. 10은 정점을 고정시킨 추의 변위 측정값을 보여주고 있다.

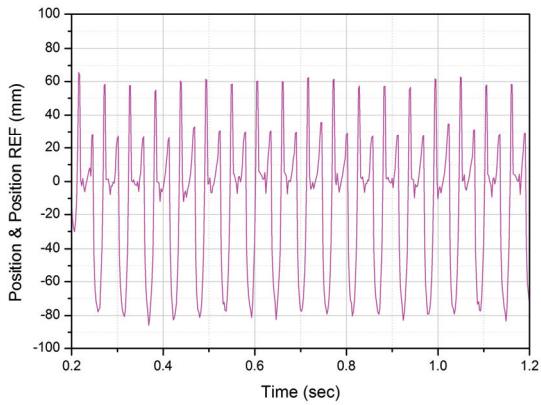


Fig. 9 Displacement of knuckle JIB

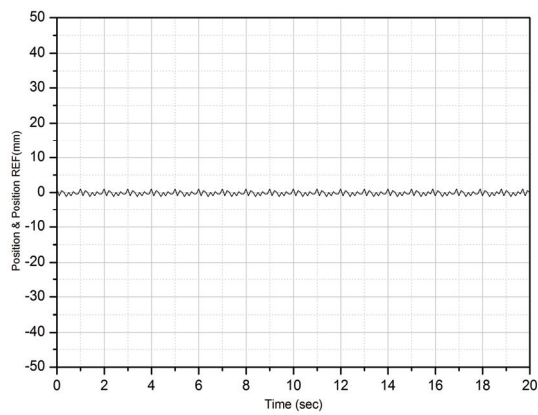


Fig. 10 Displacement of pendulum

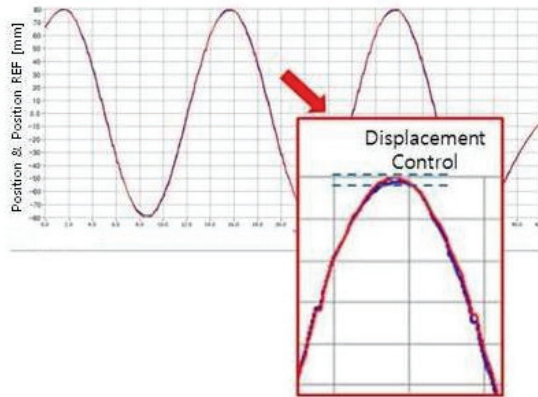


Fig. 11 Result of displacement control

Fig. 11은 변위 제어에 대한 실험 결과이며, MRU(Motion Reference Unit)를 미포함한 변위 제어는 2 mm이내로 나타났으며, MRU 포함한 변위 제

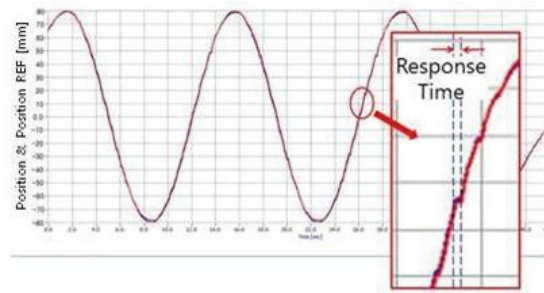


Fig. 12 Result of response time



Fig. 13 Temperature measurement of oil tank



Fig. 14 Installation of System for 50 ton desk crane

어는 3.3 % 이내임을 확인할 수 있었다. Fig. 12는 실제 응답 시간에 대한 결과로써 평균 0.12 sec를 보여주었다.

그리고, Fig. 13은 온도 센서를 이용하여 온도를 측정하는 장면이며, 실험 결과 오일 탱크내의 오일 온도는 46 - 48 °C를 유지됨을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 동적인 요소를 배제하고 정적분석만으로 모의 실험의 변위제어를 위한 관계식을

도출하였다. 변위제어 실험결과 정점의 변위는 3 % 이내로 나타남을 알 수 있었다. 본 연구의 실험결과를 바탕으로 50 ton 용량의 크레인용 시스템에 응용이 가능하였으며, Fig. 14는 설치된 모습이다.

후 기

이 논문은 2015학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

1. Korde, U. A., "Active Heave Compensation on Drill-Ships in Irregular Waves," *Ocean Engineering*, Vol. 25, No. 7, pp. 541-561, 1998.
2. TMG, "Meritor Acquires 6 Dof Simulator," <http://www.automotivetestingtechnologyinternational.com/news.php?NewsID=31866> (Accessed January 22 2016)
3. Kyllingstad, A., "Method and Apparatus for Active Heave Compensation," US Patent, No. US8265811 B2, 2006.
4. Kyllingstad, A., "Method for Reducing Dynamic Loads of Cranes," US Patent, No. US20130213919A1, 2010.
5. Kim, H. S., Han, G. J., and Han, D. S., "Analysis on the Vertical Displacement of Ship Motion by Changing the Length of Actuator in AHC Simulator," *Proc. of KSPE Autumn Conference*, pp. 945-946, 2010.
6. K uchler, S., Mahl, T., Neupert, J., Schneider, K., and Sawodny, O., "Active Control for an Offshore Crane Using Prediction of the Vessel's Motion," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 16, No. 2, pp. 297-309, 2011.
7. John, W. H., Anthony, J. S., and William, D. L., "Motion Simulator," *Justia Patent*, No. 4753596, 1988.
8. Johansen, T., Fossen, T., Sagatun, S. I., and Nielsen, F. G., "Wave Synchronizing Crane Control during Water Entry in Offshore Moonpool Operations-Experimental Results," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 28, No. 4, pp. 720-728, 2003.