

압력게이지를 이용한 부유식 도크의 변형 계측시스템 개발

김영복
경남대학교 공과대학 조선해양IT공학과

Development of the Deflection Measuring System by Pressure Gage for a Floating Dock

Youngbok Kim
Department of Naval Architecture, Ocean and IT Engineering, Kyungnam University

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In case of working for the construction of blocks of any ship in a floating dry dock, there may exist deflection in the pontoon deck of the floating dock due to the ballast loading and the self weight of the ship and the floating dock. This paper is on the development of the measuring system and the GUI program to show the real time variation of the deflections at even-spaced positions by several pressure gages and the calculated inclination of the floating dock. The measured and calculated data produced by this developed system could be used to prepare the protection plan on site like ballast adjustment to ensure the safety of working during the floating dock operation.

Keywords : Floating dry dock(부유식 건조 도크), Pressure gage(압력게이지), Heel angle(정적 횡방향 기울기), Trim(종방향 기울기), AD converting board(아날로그-디지털 변환 보드)

1. 서론

부유식 건조 도크는 손상을 입은 선박이나 낡은 선박의 수리를 위해, 그리고 건조한 지 어느 정도 지난 선박의 중간검사나 정기검사 시 입거검사를 위해, 또는 중소형선의 건조를 위해 사용한다 (Shan, et al., 2009). 이 도크를 사용하며 선박의 하부 구조를 물 밖으로 드러내어 수리 또는 건조를 할 수 있는 이점과 육상의 대형 도크를 이용할 때 보다 도크 회전율이 매우 높아진다는 등의 유리한 점이 있다. 압력게이지를 사용하여 변형량을 측정할 경우의 장점은 우선 부유식 도크 상에서 작업 중인 선체의 변형량을 실시간으로 측정하여 정도관리나 생산성향상을 기할 수 있다는 점이다. 둘째는 국제적인 각 선급 들이 부유식 도크에 관한 규정을 제정하고 있기 때문에 부유식 도크 위에서 선체블록 조립 작업을 하기 위해서는 이와 유사한 시스템을 이용하여 실시간으로 부유식 도크의 종방향과 횡방향의 변형량과 정적 변형각을 감시하려는 필수사항에 대응할 수 있다. 본 연구를 통해 개발한 시스템은 기존의 시스템에서 사용한 적이 없는 압력게이지를 선박과 같은 길이방향과 폭방향으로 일정간격으로 사용

하여 국부적인 변형량까지도 실시간으로 감시가 가능하게 한 점과 발라스트양을 조정하는 컴퓨터 시스템과 연결하여 상호 계측값을 비교하고 판단할 수 있는 시스템을 구성한 점이 타 시스템과 구별되는 점이다.

부유식 건조도크의 구조는 Fig. 1에 보인 대로 폰톤 갑판과 날개모양과 유사한 두개의 발라스트 탱크를 갑판 양 끝단에 가지고 있는 구조로 되어있다. Fig. 2에서는 실제 산업체에서 사용중인 부유식 건조 도크의 형상을 보여 주고 있다. 일반적인 부유식 도크의 형상은 Fig. 1과 같이 두개의 날개구조와 발라스트 탱크로 쓰이는 두 날개구조를 연결하는 폰톤 갑판으로 이루어져 있다. 육상도크와는 다르게 이와 같은 부유식 도크에서는 선체블록 또는 수리선 전체를 작업하는 중에 변형에 의한 건조구조물의 정도관리에 문제가 발생할 수 있기 때문에, 작업 중에 얼마만한 부유식 도크의 변형과 경사각이 발생하는지 모니터링해 가면서 작업하는 것이 필수적인 일이 된다.

부유식 도크의 선체변형과 정적인 횡방향 또는 종방향 각변형량은 선급에서 정한 규정 (DNV, 2012)을 따라야 한다. 선급 규정에서는 종방향 선체거더 굽힘응력의 한계치를 근거로 하여

종방향 변형량 한계치를 규정하고 있다. 이에 따라 많은 연구자들이 부유식 도크의 변형을 모니터링하기 위한 방법에 대해 연구하였다.

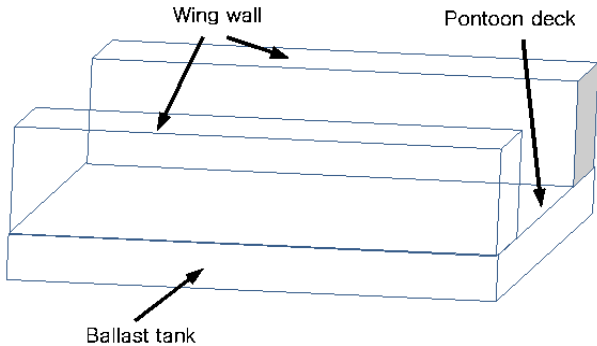


Fig. 1 Conceptual configuration of a floating dock



Fig. 2 A floating dock in operation in a ship yard

부유식 도크의 기하학적인 조정법에 관해서는 Xie, et al. (2006)과 Han, et al. (2009)이 연구를 하였으며, Smith & Levezu. (2009)은 LabView를 기반으로 하여 실시간 통제와 현실 재현하는 시스템을 개발하여 부유식 도크를 실시간 관찰하면서 관리할 수 있도록 하였다. 또한 Zhi (2010)은 부유식 도크에서 블록을 조립할 때 설계도의 계획과 실제 작업효과를 체계적으로 기술하였다. Chen and Wu (2007)은 도크가 물에 잠길 때 발생하는 부유식 도크 변형과 인공지능적인 통제개념에 대해 연구하였다. 이들의 연구실적은 부유식 도크를 사용한 생산작업에 있어 안전과 정도 관리 측면에서 많은 발전을 이루게 하였다. 그러나 아직도 변형계산의 정도와 실적용에 있어 해결해야 할 문제가 남아 있다. 예를 들면, 부유식 도크의 실시간 변형 정도를 정확히 모니터링 하게 된다면 발라스트 양을 조절해가면서 선체블록 또는 탑재된 선박의 작업 정도를 실시간으로 개선해 갈 수 있게 된다. 또한, 종 방향이나 횡 방향으로 집중되는 처짐 정도를 완화하여 작업중인 선체블록 조립 시 발생할 수 있는 어느 특정부위의 응력집중 정도를 해소하여 용접작업 후 잔류변형 양을 최소화 할 수 있다. 이는 육상 건조 도크에서 작업할 때는 발생하지 않는 선체블록 조립과정의 정도 저해 요인으로써 개선과 관리가 필요한 생산과정이다.

본 논문에서는 압력게이지와 파이프 배관시스템에 물을 채워서 구성된 계측시스템을 사용하여 부유식 도크의 종/횡 방향 길이변형과 각 변형 량을 실시간 측정하고 확인할 수 있는 시스템을 개발한 내용을 다루었는데, 이 계측 시스템을 통하여 계산된 변형 값과 Loading computer(탱크에 채워지는 발라스트와 선박에 탑재된 화물의 무게와 위치를 입력하여 줌으로써 선체의 처짐 변형, 전단력, 굽힘모멘트를 실시간으로 계산하는 컴퓨터 프로그램 시스템)에서 계산된 값을 비교하여 신뢰도를 높일 수 있도록 하였다.

2. 시스템 구성과 변형 계산

2.1 시스템 구성

Fig. 3은 계측시스템의 구성을 나타내는 개략도이다. 센서는 모두 전압변환기형의 압력게이지를 사용하였으며, 좌우현에 15개씩 30개의 센서를 좌우현 Wing wall 하부의 Pontoon deck 밑 바닥 지점에 일정간격으로 부착하고, 또한 횡 방향으로도 선미와 선수 쪽의 pontoon deck 하부를 따라 통로가 있으며, 그 통로의 바닥에 일정한 간격으로 선수선미에 9개의 센서를 붙이도록 했다. 센서는 총 48개가 되며 이와 같이 많은 센서를 부착하는 이유는 보통의 부유식 도크의 길이를 200 m, 폭을 50 m로 가정한다면 길이방향으로는 약 14~15 m 간격, 횡 방향으로는 6~7 m 간격으로 변형을 정밀하게 측정해 내기 위해서이다. 이 센서들에 물을 채운 파이프관을 세우고 서로 연결하여 전체 시스템을 구성한다. 파이프에 물을 채워 연결하는 시스템은 이미 Yang and Notodirdjo (2011)이 제안한 방법과 유사하지만 각 센서 위치에 사람의 접근이 가능하게 하여 센서의 초기값 설정으로부터 센서들의 정기적인 상태점검과 유지보수관리를 잘 할 수 있도록 새롭게 구성하였다.

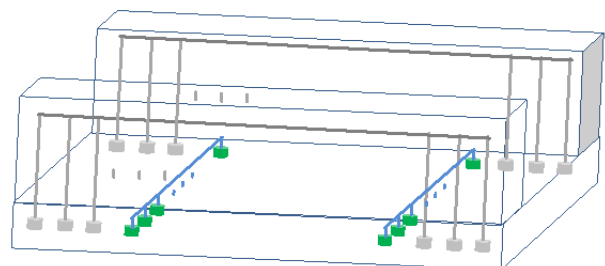


Fig. 3 Schematic diagram of the sensor arrangement

센서에 연결된 계측시스템은 Fig. 4와 같이 AD board와 GUI 프로그램으로 구성되는데, 센서에서 측정된 전압으로 된 신호크기는 AD board를 거쳐 PC의 실시간 변형 상태감시 프로그램에 연결될 때는 각 센서의 길이변형크기/전압크기로 표현되는 이득율(gain) 값을 곱하여 실 길이변형 값과 각 변형 값으로 표현된다.

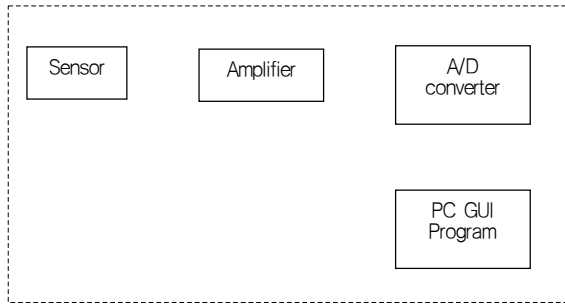


Fig. 4 Architecture of the measuring system

이때 AD converter는 PEX-1202라고하는 다채널 AD board를 사용하였다. GUI program을 구성을 위해서는 Visual C++2013 version을 사용하였으며, AD board에서 지원하는 Protocol인 NMEA 0183 통신과 DA를 위한 RS232 통신라인을 사용하여 Loading computer에 측정값 중 최대 변형량, 선수미 기울기(trim), 횡방향 기울기(heel)의 값을 실시간으로 전송하도록 프로그램을 작성하였다.

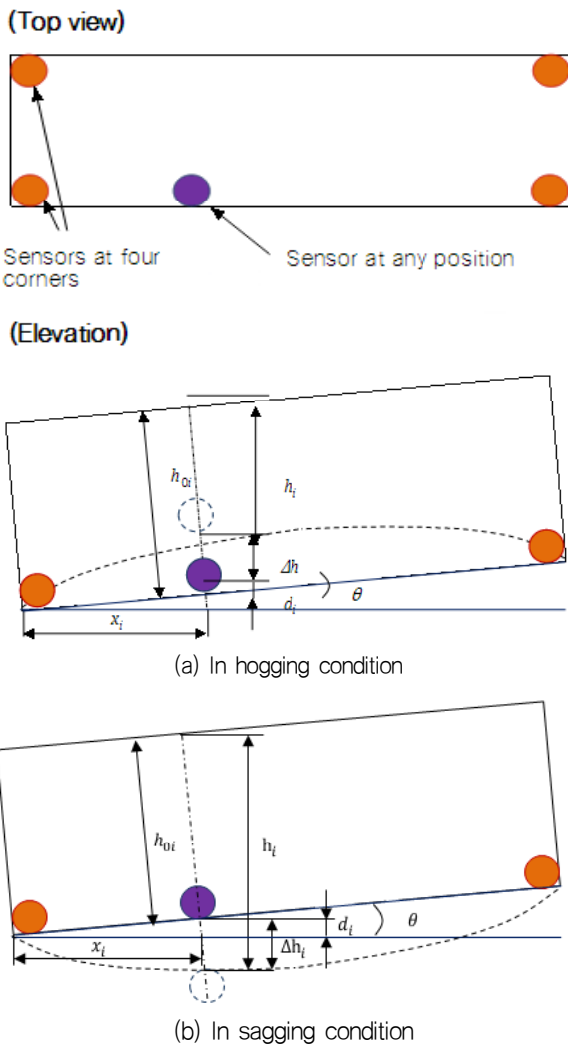


Fig. 5 Measurement of the deflection at any sensor position

Fig. 5에 표기한 기호 중 h_{0i} 는 어느 센서의 초기 설정 값이고, h_i 는 그 위치에서의 계측 값이다. 계측하고자 하는 값은 Δh_i 이며, 이때 센서의 위치를 x_i 로 하고 기준선에서 도크의 바닥선과의 차이를 d_i (이 값은 선수미 끝단에 위치한 두 센서의 값 차이에서 비례값으로 구함)라 하면 다음 식에 의해 구해진다 (Yang, et al., 2013; Yang, et al., 2015).

$$\Delta h_i = h_{0i} \times \cos \left\{ \text{atan} \left(\frac{d_i}{x_i} \right) \right\} - h_i \quad (1)$$

2.2 변형 계산

변형량을 측정한 후에는 센서 초기설정값(캘리브레이션) 시 설정된 초기값과의 차이와 종/횡 방향 처짐량을 계산하여 실제의 변형량을 계산하였다. Fig. 5에서는 변형량을 측정하기 위한 센서 위치와 실시간에서의 각 센서 위치에서의 처짐량을 도식적으로 보여준다.

이 값은 Fig. 5에서 보듯이 hogging condition에서는 양의 값으로, sagging condition에서는 음의 값으로 나타날 것이다. 측정된 변형량을 기준으로 식 (2)와 (3)에서와 같이 Trim과 Heel 앵글 값을 계산할 수 있다.

$$\text{Trim} = \frac{[(d_{15})_{port} + (d_{15})_{starboard}]}{2} \quad (2)$$

$$\text{Heel} = \text{atan} \left[\frac{\{(d_9)_{stern} + (d_9)_{stem}\}}{(2B_D)} \right] \quad (3)$$

여기서 d_{15} 와 d_9 는 각각 종 방향과 횡 방향의 마지막 센서와 처음 센서의 값 차이이고, B_D 는 부유식 도크의 형폭에 해당하는 값이다. 그리고 첨자 중에 port와 starboard, 그리고 stern과 stem은 각각 좌현과 우현, 그리고 선미와 선수를 의미한다.

3. 프로그램 구성

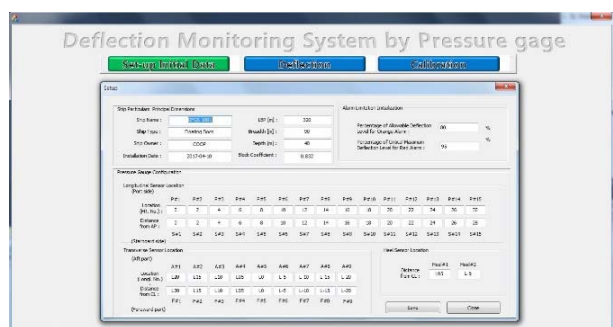
3.1 변형량 측정 프로그램

센서의 배치는 부유식 도크 두개의 Wing tank를 따라 Pontoon 하부 바닥에 길이방향으로 각각 15개의 센서를 배치하였으며, 횡 방향으로는 pontoon 하부 바닥에 횡 방향 통로를 따라 선미와 선수 통로를 따라 9개씩의 센서를 배치하였다. 이 압력센서를 이용하여 각 센서 위치에서의 변형량을 식 (1), 트림과 정적 횡방향 처짐(heel) 앵글은 식 (2)와 (3)에 따라 계산할 수 있다. 이때 측정된 값을 기준으로 DNV GL Floating Docks 규칙에 명시된 도크 관련 규정과, CCS 선급규정 (CCS, 2009)에 명시된 부유식 도크의 변형량 기준치인 0.5%, Trim 앵글 값의 한계치는 각도로 환산하여 1.0°, Heel 앵글 값의 한계치인 2.0°

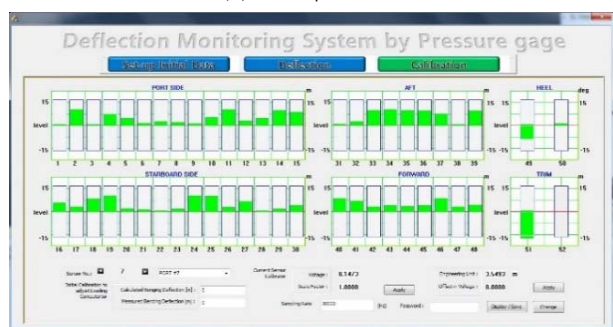
와 비교하여, 이들 값의 80%에 도달했을 때와 95% 이상이 되었을 때는 두 단계로 나누어, GUI 프로그램 상에서 그 값이 나타난 위치에서 표시된 값을 주황색(80%~95%)과 빨간색(95%이상)으로 색깔을 달리하여 경고음과 함께 깜빡이며 화면상에 보이게 하였다. 계측된 값의 정도를 검증하는 동시에 화물의 적재상태를 나타내는 Loading computer와의 상호 비교를 위해서 변형량 측정값 중 최대값과 Trim, Heel 값을 AD board의 D/A기능을 이용하여 RS232 포트를 통해 Loading computer에 전달하도록 하였다.

3.2 화면 구성

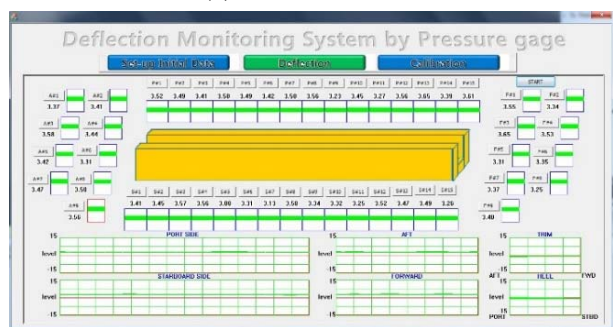
프로그램은 Visual C++ 2013 version을 사용하여 작성되었다. 화면은 기본적으로 사용자의 용도에 따라 3가지 다른 화면이 PC 모니터 상에 나타나도록 하였다. 화면은 1) Set-up 화면, 2) calibration 화면, 3) Deflection measuring 화면 등 세 개의 화면으로 이루어져 있다. 각각의 화면은 Fig. 6에 보이고 있다.



(a) Set-up window



(b) Calibration window



(c) Deflection measuring window

Fig. 6 Windows of the GUI program

첫 번째 화면에서 센서의 위치와 부유식 도크의 주요 치수들을 입력할 수 있게 하였다. 두 번째 화면에서는 각 센서들의 초기값, 그리고 게이지에서 계측되는 값과 실제 값과의 환산계수를 입력하고 실제 신호가 어떻게 계측되는 지를 확인해 볼 수 있도록 하였다. 이때 보정된 값은 컴퓨터에 관리자에 의해 보관되도록 하였다. 계측된 실시간 정보는 매분 단위로 평균된 값을 실제 화면에 보이게 하는 동시에 시간정보와 함께 PC에 보관하도록 하여 감시시스템의 성능을 부여하였다.

4. 적용 예

본 시스템은 85,000 ton 부유식 도크에 탑재되어 시험적으로 실선 검증을 실시하기 위해 탑재될 예정이다. 설계조건은 외부 온도가 40°C (해수온도는 32°C)이고 Sea State 2에 해당하며, 이때의 유의파고는 0.5 m이다. 이러한 기상조건은 방파제 안에 설치되어 안전하게 계류되므로 매우 평온한 기상상태로 여겨진다. 설계명세서에 의하면 공급전원은 220V로 되어 있고, PC와 계측시스템의 공급전원으로 적합한 것으로 판명되었다. 전원 장치에서의 AC voltage는 정상상태시 +6/-10%, 천이상태에서 +/-20%로 설정되어 있다. 부유식 도크의 주요 치수는 Table 1과 같다.

Table 1 Principal dimensions of the floating dock

Items	Dimensions	Unit	
Overall length	320	m	
Breadth	90	m	
Max. scantling draft	20.5	m	
Pontoon	width	90	m
	height	4.5	m
Wing tank	width	2.5	m
	height	23.5	m
Sensor interval	Longitudinal	21.5	m
	Transverse	11.0	m
Max. deflection	1.5	m	
Max. trim	0.4	deg.	
Max. heel	0.8	deg.	

상기 Table 1에서 보면 변형량은 길이의 약 1.4%, 최대 횡 방향 트림 각은 1.0° 보다 작은 0.4°, 종 방향은 2.0° 보다 작은 0.8°로 되어 있는데, 이것은 선주와 의논해 볼 여지가 있는 제한치로 보인다. 물론 DNV 규정이 모든 경우를 대변할 수는 없지만 특별히 Table 1에서와 같이 선급 기준치 보다 작은 값을 쓰는 이유가 무엇인지 확인해 볼 필요가 있다.

중 방향 센서들은 Wing tank의 안쪽 wall을 따라 Pontoon bottom에 설치했으며, 도크의 길이 방향으로는 도크 선미로부터 9.5 m 떨어뜨린 후 21.5 m 간격으로 선수방향으로 부착하였다. 폭방향으로는 도크의 횡방향 끝단인 외판에서 1 m 떨어뜨린 후 11 m 간격으로, 좌현으로부터 우현쪽으로 순서적으로 압력계지를 넘버링하면서 부착하였다. 길이방향으로 센서 위치마다 파이프를 설치하고 상부로 10m를 일정하게 올려서 파이프간 서로 통할 수 있도록 연결 파이프를 상부에 설치하였다. 폭 방향으로는 센서가 설치된 통로에 바닥에서부터 3.0 m 높이에 수직한 파이프를 설치하고 길이방향과 동일하게 상부를 파이프로 연결하여 서로 통하게 하였다 (Fig. 3 참조). 도크의 사양서에 따르면 파이프를 통제하기 위해 각 파이프의 센서부에는 밸브를 설치해야 하며 원격제어 밸브를 설치하여 컨트롤룸 안에서 자동으로도 조절이 가능하게 하도록 되어 있다. 원격제어 밸브가 설치되어야 할 곳은 센서부를 포함하여, 범람과 배수 시스템, 빌지와 스트립 핑 시스템, 밸러스트와 통풍시스템 등 자동조절기능이 필요한 부분의 파이프에 설치토록 되어 있다.

중앙통제실에는 도크의 밸러스트 적재와 화물 하중에 따른 변형량의 결과를 작업 중에 실시간으로 모니터링하기 위한 Loading computer 시스템이 설치되어 있으며, 변형계측시스템에서 보내오는 결과와 실시간 비교 검증될 예정이다. 밸러스트 탱크는 Pontoon에 40개, Wing wall 에 4개 있으며, 그 외에 Slop tank 8개, Fresh water tank 2개, Fuel oil tank 1개가 배치되어 있다.

이 부유식 도크는 Tug에 의해 대양을 가로질러 운송이 가능하도록 설계되어 있으므로 대양에서도 계측시스템을 가동시킬 수 는 있다. 하지만 이를 위해서는 좀더 검토가 필요하며, 항해구역에서의 기상상태와 함께 면밀히 검토해야 할 사항이다. 이를 결정하기 위해서는 자체검토 후 도크 운행팀과 협의의 거쳐야 하므로 운항조건의 검토가 완료되는 대로 협의자료를 만들어 진행할 예정이다.

시험적으로 설치할 도크의 계측 항목에는 선체 거더의 굽힘으로 인한 변형량을 계측값과 계산 값을 같이 적어 주도록 되어 있는데, 이를 위해서는 도크의 선체거더 굽힘 강성인 EI , 즉 Young's modulus와 단면 이차모멘트 값을 입력시켜 주어야 한다. 이에 따라 계산된 값은 Loading computer에서 최소한 계측 당시의 화물 적재와 밸러스트 탱크를 채운 정도에 따른 중방향 굽힘모멘트 값을 받아 와야 한다. 이에 따른 계산은 양단지지보 상태로 보고 가장 단순한 포물선 모양의 모멘트 분포를 가정하여 다음과 같이 계산된다.

$$\delta_{cal} = \frac{5 \cdot M_{bend}}{48 \cdot EI} \cdot (L_D)^2 \quad (4)$$

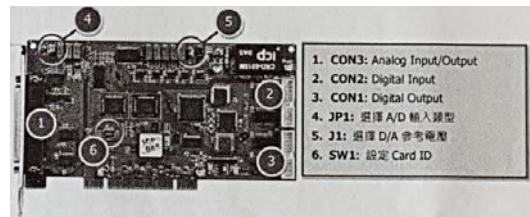
여기서 M_{bend} 는 Loading computer에서 전송 받은 값으로 적재 상태에 따른 굽힘 모멘트이고, L_D 는 도크의 전체 길이이며, EI 는 앞서 입력한 굽힘 강성이다. δ_{cal} 은 선체중강도 이론에 따

라 계산된 중앙부의 도크 최대 굽힘모멘트에 의한 처짐이고, 이는 도크 중앙의 센서로부터 계측된 후 도크 중앙부의 변형량은 다음 식 (5)와 같이 계산된다.

$$\left\{ (\Delta h_8)_{port} + (\Delta h_8)_{starboard} \right\} / 2 \quad (5)$$

이 식 (5)에 의해 계측되는 값과 상기의 식 (4)에 의해 계산된 값을 비교하게 될 것이다. 이 값은 또한 Loading computer 상에서도 계산될 수 있으므로 삼자 비교도 가능하다. 이때 $(\Delta h_8)_{port}$ 과 $(\Delta h_8)_{starboard}$ 은 식 (1)에 따라 좌현과 우현에서 계측된 길이 방향 중앙부의 변형량이다. CCS 규정(CCS, 2009)에 따른 최대 허용 굽힘 변형량은 $L_D \times 0.5\% = 1.5m$ 이고 사양서에는 최대 처짐이 1.5m 로 제한하였으므로 적합하다 하겠다 (Dikovic, et al., 2011).

AD board는 처음 연구할 때와 같이 PEX-1202 48 채널짜리를 사용하였는데 이것을 Fig. 7에 보였다.



(a) PEX-1202 AD board

PEX-1202(L,M), PCI-1602(L,M), PCI-1202/1800/1802(L,M,H)					
Pin Assignment	Terminal No.	Pin Assignment	Terminal No.	Pin Assignment	Terminal No.
DO 0	01	02 DO 1	01	02 DI 1	01
DO 2	03	04 DO 3	02	04 DI 3	02
DO 4	05	06 DO 5	03	06 DI 5	03
DO 6	07	08 DO 7	04	08 DI 7	04
DO 8	09	10 DO 9	05	10 DI 9	05
DO 10	10	12 DO 11	06	12 DI 11	06
DO 12	12	14 DO 13	07	14 DI 13	07
DO 14	14	16 DO 15	08	16 DI 15	08
GND	16	18 GND	09	18 GND	09
+5V	18	20 +12V	10	20 +12V	10

PEX-1202(L,M), PCI-1202/1802(L,M,H), PCI-1602(L,M,H)					
Pin Assignment	Terminal No.	Pin Assignment	Terminal No.	Pin Assignment	Terminal No.
AI_0	01	AI_16	20	AI_8	08
AI_1	02	AI_17	21	AI_9	09
AI_2	03	AI_18	22	AI_10	10
AI_3	04	AI_19	23	AI_11	11
AI_4	05	AI_20	24	AI_12	12
AI_5	06	AI_21	25	AI_13	13
AI_6	07	AI_22	26	AI_14	14
AI_7	08	AI_23	27	AI_15	15
AI_8	09	AI_24	28	A.GND	28
AI_9	10	AI_25	29	A.GND	29
AI_10	11	AI_26	30	N.C.	30
AI_11	12	AI_27	31	N.C.	31
AI_12	13	AI_28	32	D/A out1	32
AI_13	14	AI_29	33	N.C.	33
AI_14	15	AI_30	34	N.C.	34
AI_15	16	AI_31	35	N.C.	35
A.GND	17	Da2 out	36	N.C.	36
Da1 out	18	D.GND	37	N.C.	37
Ext. Trg	19			+5V out	19

(b) Cable connector

Fig. 7 AD board PEX-1202 with 48 channels and the cable connector

Fig. 7의 연결단자를 도크에서 계측시스템과 연결을 하기 위해서는 연결 패널이 필요하게 되었다. 이에 따라 센서에서 나온 선들과 AD board 에 신호를 입력하기 위한 단자 간 연결을 위한 패널을 제작할 필요가 발생했다. 이 패널을 설계한 것을 Fig.8에 보인다.

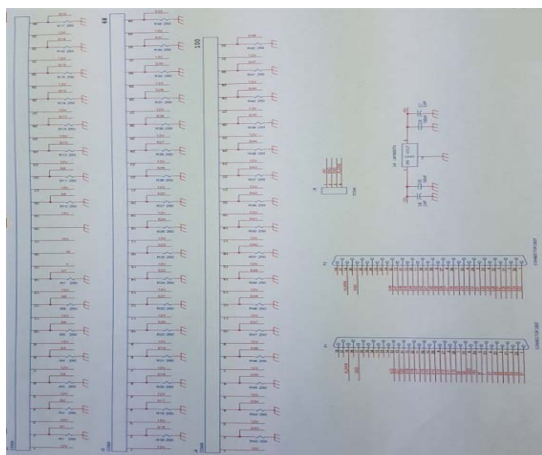


Fig. 8 A panel for connection of the sensor lines to the 48 channel cable of the AD board

5. 결론

부유식 건조 도크는 손상을 입은 선박이나 낡은 선박을 수리할 때 또는 기존 선박의 입거검사 시 선박의 선체 바닥면의 부식이나 손상정도를 검사하기 위하여 사용하는 경우가 많다. 그 외에도 중소형선을 신조할 때도 단독 도크가 필요한 경우 이와 같은 부유식 건조 도크를 사용하게 된다. 이 건조도크를 사용할 때 유리한 점은 육상도크를 사용할 때 보다 도크 회전율이 높고 건조공정을 독립적으로 운영할 수 있다는 것이다. 하지만 도크 위에서 블록간 용접작업 중에 발생할 수 있는 생산정도를 적정 수준으로 유지하기 위해서는 도크의 변형상태를 실시간 관리하고 한계값 이하로 통제해 주는 것이 필요하다.

본 연구는 부유식도크의 실시간 변형을 압력게이지를 사용하여 계측하도록 개발된 시스템에 관한 내용이다. 본 연구를 통해 검증된 방법으로 실시간 도크의 변형상태를 계측 및 감시할 수 있게 되었으며, 적용 연구를 위해 85,000 ton 부유식 도크에 설치하여 시험 계측을 실시하게 될 것이다. 그 결과는 추후 정리되는 대로 다시 논문을 통해 보고할 예정이다.

후 기

본 연구는 경남대학교의 연구년 후원금을 받아 연구년 중에 수행되었음을 밝히며 후원에 감사드립니다.

References

Chen, Q. & Wu, H., 2007. Intellectual control of floating dock's immersion. *Ship Boat*, 1, pp.43-44.
 China Classification Society (CCS), 2009. *Rules for classification of floating docks*. [Online] Available at: <http://www.ccs.org.cn/ccswzen/font/fontAction!article.do?articleId=ff8080815382213e0153826d5bea0097>.

Det Norske Veritas (DNV), 2012. *Rules for classification of floating docks*. [Online] Available at: http://exchange.dnv.com/publishing/rulesotherobjects/DNV_Rules_for_Floating_Docks.pdf.

Dikovic, A. Sisul, G. & Modlic, B., 2011. A low cost platform for sensor network applications and educational purposes. *Radio Engineering*, 20, pp.758-765.

Han, L.I. Wang, S.X. Wang, Z.Q. & Hao, J.L., 2009. Research of real-time control and simulation for steamturbine based on LabVIEW. *Journal of System Simulation*, 13, pp.56-59.

Shan, X.-L. Yu, Q. & Tian, J., 2009. Risk management of mooring operation of floating dock. *Journal of Tianjin University*, 4, pp.398-409.

Smith, D.Q & Levezu, A.P., 2009. *Floating dock deflection management systems*. United States Patent application publication, <http://www.google.com/patents/US20090281686>.

Xie, X. Liu, Y.D. & Sun, C.M., 2006. LabVIEW based realtime control and simulation system for adjustment of floating dock. *Journal System Simulation*, 11, pp.125-129.

Yang, G. Liang, H. & Wu, C. 2013. Deflection and inclination measuring system for floating dock based on wireless networks. *Journal of Ocean Engineering*, 69, pp.1-8

Yang, G. & Notodirdjo, A., 2011. Attached self-lifting scaffolds synchronous movements measuring method and device based on transmitted light of optoelectronic measurement. *Measurement*, 44, pp.1564-1571.

Yang, S. Cho, J. Kim, H. & Kim, B. 2015. Study on the mooring stability of floating dock with ultra large offshore structure. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 52(6), pp.509-519.

Zhi, L., 2010. Floating dock deflection monitoring system design. *Ship Engineering*, 32 (Supp. 1), pp.58-60.



김영복