

조선소 블록 정도관리를 위한 경량화 측정 장비 및 증강현실 기반의 스마트 정도관리 시스템 개발

남 병 옥¹ · 이 경 호^{1*} · 이 원 혁¹ · 이 재 덕² · 황 호 진³

¹인하대학교 조선해양공학과, ²(주)강남 조선사업부, ³선박해양플랜트연구소 해양안전환경연구본부

A Study on Smart Accuracy Control System based on Augmented Reality and Portable Measurement Device for Shipbuilding

Byeong-Wook Nam¹, Kyung-Ho Lee^{1*}, Won-Hyuk Lee¹, Jae-Duck Lee² and Ho-Jin Hwang³

¹Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha Univ., Incheon, 22212, Korea

²Dept. Shipbuilding, Kangnam Corp., Busan, 49454, Korea

³Maritime Safety and Environmental Research Division, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon, 34103, Korea

Abstract

In order to increase the production efficiency of the ship and shorten the production cycle, it is important to evaluate the accuracy of the ship components efficiently during the drying cycle. The accuracy control of the block is important for shortening the ship process, reducing the cost, and improving the accuracy of the ship. Some systems have been developed and used mainly in large shipyards, but in some cases, they are measured and managed using conventional measuring instruments such as tape measure and beam, optical instruments as optical equipment, In order to perform accuracy control, these tools and equipment as well as equipment for recording measurement data and paper drawings for measuring the measurement position are inevitably combined. The measured results are managed by the accuracy control system through manual input or recording device. In this case, the measurement result is influenced by the work environment and the skill level of the worker. Also, in the measurement result management side, there are a human error about the lack of the measurement result creation, the lack of the management sheet management, And costs are lost in terms of efficiency due to consumption. The purpose of this study is to improve the working environment in the existing accuracy management process by using the augmented reality technology to visualize the measurement information on the actual block and to obtain the measurement information And a smart management system based on augmented reality that can effectively manage the accuracy management data through interworking with measurement equipment. We confirmed the applicability of the proposed system to the accuracy control through the prototype implementation.

Keywords : block accuracy control, portable measurement device, augmented reality

1. 서 론

조선 및 해양플랜트 산업 특성 상 선박이나 플랜트의 규모가 타 산업에 비해 크고, 수많은 부재와 기자재를 조립하는 복잡한 공정과정을 거쳐 하나의 제품을 제작하게 된다. 이러한 이유로 제품 전체를 한 번에 건조하게 되면 공정 기간이 길어지기 때문에 블록 단위로 나누어 건조할 수 있도록 설계하고 제작한다. 일반적으로 선박 한 척을 건조하는데 300개 내외의 블록이

소요되며, 도크 안에서 탑재 및 조립을 통해 완성하게 된다. 블록은 조립 공정에서 부재의 절단, 가공, 용접 등의 작업에 의해 변형이 발생하여 실제 제작하고자 하는 치수보다 작거나 커지는 경우가 발생한다. 이러한 경우 블록 탑재 과정에서 오버랩(overlap), 갭(gap), 단차(misalignment) 등의 문제를 유발하여 블록 재작업 및 공정 이외의 추가 작업으로 이어져 공기를 증가시키게 될 뿐만 아니라 막대한 비용의 손실로 이어져 선박 블록의 정도를 관리하는 것은 중요하다. 따라서 이를 예방

* Corresponding author:

+82-32-860-7343; E-mail: kyungho@inha.ac.kr

Received November 19 2018; Revised November 30 2018;

Accepted December 3 2018

©2019 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

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.

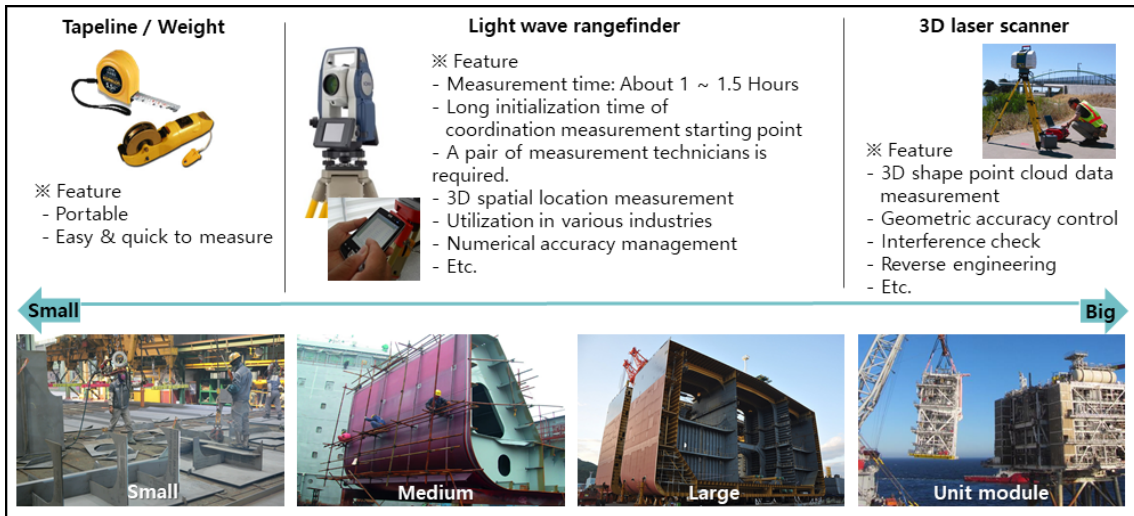


Fig. 1 Accuracy management tool according to the size and characteristics of the Accuracy control target

하기 위하여 Fig. 1과 같이 많은 조선소에서 이미 각 조립 공정 단계에서 완성되는 블록에 대해 계측 도구 및 장비를 이용하여 정도를 측정하고 있다. 다양한 형태의 정도관리 솔루션이 연구, 개발되어 정도관리를 수행하고 있으나 이러한 시스템들은 대형 조선소를 중심으로 대형 블록의 정도를 관리하는데 초점으로 맞추어져 있다. 반면 대부분의 중소형 조선소에서는 이러한 시스템보다 줄자나 추 등의 정도관리 초창기 계측기와 2인 1조로 수행하는 광파기를 이용한 블록 정도 측정을 수행하며, 특히 블록의 형태에 따라 작업자의 고가 작업으로 인한 작업 난이도 및 위험도가 상승하게 되어 안전사고로 이어질 수 있다. 뿐만 아니라 측정 결과 값을 확인하여 정도관리 시트에 수기로 작성하거나 PDA에 데이터 입력하고 작업자가 정도관리 시스템에 이를 입력하여 블록의 정도를 확인하는 과정을 거치게 된다.

본 연구는 Fig. 2와 같이 이러한 과정에서 나타날 수 있는 측정 결과 작성 누락, 관리 시트 관리 부재 등의 인적 오류 (human error)를 줄이고 완성도 확인을 위한 시스템 내 결과를 입력하는 이중 작업 시간 소요 등을 줄임과 동시에 작업자 단독으로 쉽게 측정할 수 있는 경량화 측정 장비인 레이저거리측정기를 활용함에 따라 줄자의 처짐 등에 의한 전통적인 측정 도구에서 발생하는 오차를 줄이고 2인 1조 정도 작업 인원을 효율적으로 배치하여 기존 작업 환경을 개선하는 것을 목적으로 정도관리 수행 시간을 단축하고 정도관리 데이터를 효과적으로 관리할 수 있는 경량화 측정 장비 및 증강현실 기반의 스마트 정도관리 시스템의 제안한다.

이를 위하여 경량화 측정 장비로부터 측정 정보를 획득하기 위한 경량화 측정 장비 연동 모듈과 실 모델 위에 3D CAD 모델을 가시화하여 블록의 제작 정확도 및 측정 상세 위치를 쉽게 파악할 수 있도록 실 모델과 3D CAD 모델 간 정합 모듈, 측정 결과 파악을 위한 정도 계산 모듈 등을 개발하여 프로토타입 구현을 통해 정도관리에 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 관련 연구

블록 정도 계측은 줄자 및 추 등 1차원 계측기를 활용하거나 블록의 3차원 형상 전체를 파악할 수 있는 광파기를 활용하여 이루어지고 있다(Kwon, 2017). 블록 정도를 계측하는데 정도관리 계획 단계에서 생성되는 종이 도면에서의 블록 계측 기준점이 필요하며, 이를 확인하여 측정을 수행하였다. 이러한 방법은 초기 선박 건조 작업 과정 및 소형 블록에서 주로 쓰였으나 광파기와 같은 3차원 계측 장비가 도입되고 최근에 선박의 크기가 점차 대형화됨에 따라 대형 블록에 대한 정도관리 이슈가 크게 증가하여 기존 방식을 벗어나 효율적인 계측 및



Fig. 2 Accuracy management improvements

정밀 계측에 대한 수요가 증가하고 있으며, 선박의 제품 품질 및 생산성에 직접적으로 영향을 미치는 요소 중 하나로서 국내의 조선소를 중심으로 다양한 연구가 진행되었다. 계획, 계측, 시뮬레이션, 데이터 관리 등 4단계로 구분되어 수행되는 블록의 정도 관리는 특히 단위 블록의 정확한 제작을 지원하기 위한 변형과 관련된 연구와 제작 후 정도를 평가하기 위한 계측에 관련된 연구가 주를 이루었으며, 사례는 다음과 같다.

선박이 대형화됨에 따라 블록의 계측 정확도를 높이기 위하여 계측 환경에 따라 적합한 계측 도구를 활용할 수 있도록 계측 장비에 대한 연구가 진행된 바 있다(Kwon, 2017). 측정 환경의 간섭함과 정밀도가 높아짐에 따라 계측 장비의 도입 비용이 상승하여 기존의 계측 장비에서 벗어나 계측 절차를 간소화하면서 정도 관리가 가능한 장비로 휴대용 레이저 거리 측정기의 활용 가능성에 대한 연구가 진행되었다(Ku, 2016). 이러한 연구는 측정 장비의 활용 가능성에 대해 논의하였으나 각 계측 장비에서 획득되는 데이터를 활용하기 위해서는 별도의 시스템이 요구된다. 이에 따라 각 계측 장비에서 획득한 데이터를 활용하기 위한 연구들이 진행되었다. 이미지를 획득하여 시스템에서 설계 모델과 정합을 통해 정도를 분석할 수 있는 시스템 개발에 대한 연구가 있었으며(Johnson *et al.*, 2004), 광파기를 통해 측정된 3차원 데이터의 정도 확인을 위하여 설계 데이터와의 정합 알고리즘에 대한 연구가 진행되었다(Lee *et al.*, 2012). 이외에도 탑재 이전에 간섭되는 블록 간 정합률을 판단하기 위하여 3차원 레이저 스캐너 활용에 대한 연구들이 진행되었다. 정도 계측에서의 계측 장소의 한계를 극복하기 위하여 저고도 무인 항공기 기반의 정도 관리 시스템 구축에 대한 연구가 진행된 바 있고(Son *et al.*, 2015), 컨테이너 선박의 셀 가이드 측정 및 적재 가능 여부를 판단하기 위하여 3차원 스캐너 기술을 활용한 연구가 진행되었으며(Pack *et al.*, 2018), 이동형 핸드헬드(hand held) 방식의 스캐너를 적용하여 중소형 선박의 생산 관리 기법이 연구되었다(Lee *et al.*, 2016). 또한 블록의 설계 정보와 제작 블록의 오차를 판단하기 위하여 포인트 클라우드 기반의 오차 예측 연구가 있었고(Li *et al.*, 2016), 3차원 레이저 스캐너를 활용하여 탑재 단계에서의 블록 정합도 추정에 대한 연구가 진행되었으며(Housel *et al.*, 2015; Takechi *et al.*, 2002), 블록의 정도 관리 전과 후의 측정 데이터를 이용하여 변형량을 예측한 사례가 있었다(Takechi *et al.*, 1998). 하지만 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 정도를 측정하기 위해서는 스캔 정보를 획득하는 과정에서 기존의 정도 측정 방법에 비해 데이터 획득하는 과정과 획득한 데이터와 설계 데이터와 비교하기 위해서 별도의 시스템에서 역설계(reverse engineering) 수행, 정합 및 시뮬레이션 과정에서 많은 시간이 소요된다. 또한 3차원 레이저 스캐

너는 광파기와 같은 3차원 계측 장비에 비해 가격이 비싸고 정도를 확인하기 위하여 별도 시스템의 도입이 필요하기 때문에 중소형 조선소에서 도입하여 활용하기에는 어려움이 있다. 또한 이러한 시스템들은 주로 계측 후 정도 확인에서 사용되는 시스템으로서 1차원 계측기나 광파기를 이용한 정도 계측 시 종이 도면을 통해 측정 위치를 확인하고 계측하는 작업자의 입장에서 작업을 지원하는 시스템은 현재 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 줄자와 추를 이용한 전통적인 계측 방법과 2인 1조로 수행되는 광파기를 이용한 계측 방법 사이에서 작업 환경 개선 및 효율적 작업 인력 배치를 위하여 경량화 측정 장비인 레이저거리측정기를 활용하고 기존 계측 기준점을 확인하기 위해 사용되었던 종이도면을 대체하기 위하여 실 블록에서의 계측 기준점 및 블록 완성도를 파악할 수 있도록 3차원 블록 모델을 제공하는 증강현실 기술 기반 정도관리 시스템을 제안하고자 한다.

3. 경량화 측정 장비 및 증강현실 기반 스마트 정도관리 시스템

3.1 스마트 정도관리 시스템 개요

앞서 언급한 바와 같이 정도관리 수행에 있어서 작업자가 블록의 정도를 신속하게 판단할 수 있도록 필요한 정도관리 정보를

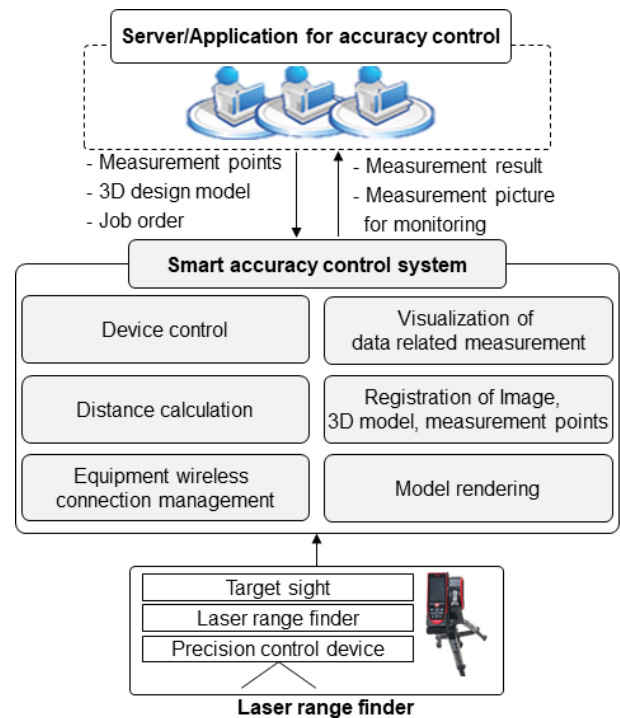


Fig. 3 Concept of smart accuracy control system based on augmented Reality and Portable measurement device

가공하고 통합하여 제공해주어야 한다. 증강현실 기반의 정도 관리를 지원하기 위해서는 영상을 획득하기 위한 카메라가 수반되어야 하며, 카메라로부터 블록 영상을 획득한 후, 영상 처리를 통하여 대상 블록을 인식하고 그 위에 블록의 3D CAD 정보와 정도 관리에 필요한 측정 포인트 정보 및 정도 관리 지침서를 포함한 정도관리 정보들을 효과적으로 정렬하여 가시화하고 경량화 측정 장비로부터 획득되는 측정값을 이용하여 정도 관리 결과를 직관적으로 가시화함으로써 정도관리 비전문가도 활용 가능한 정도관리 장비 및 프로세스를 제공하게 된다. Fig. 3은 본 논문에서 제시하고자 하는 경량화 측정 장비 및 증강현실 기반의 스마트 정도관리 시스템의 개념을 보이고 있으며, 다음 절부터 시스템의 구현에 필요한 요소기술에 대하여 기술하였다.

3.2 경량화 측정 장비 신뢰성 분석

선박 및 해양플랜트 블록의 정도관리는 제품의 완성도를 높이기 위한 작업으로서 블록을 이루고 있는 각 부재 별로 정도를 관리하고 있으나, 측정 시점이나 측정 환경, 측정 방법, 측정 장비 등에 따라 측정 정도가 달라진다. 이에 따라서 각 부재 별 오차 허용 범위가 다르더라도 오차 범위를 통상 $\pm 5\sim 10\text{mm}$ 로 설정하여 허용하고 있다. 레이저 거리 측정기를 활용하기 위해서는 사전 작업으로 신뢰성 분석이 필요하다. 측정 장비에 대한 신뢰성 분석은 측정 정확도를 파악하고 장비의 활용 가능 여부를 분석하는 것으로서 본 연구에 앞서 레이저 거리 측정기를 도입하기 위한 신뢰성 분석을 수행하였으며(Ku *et al.*, 2015), 레이저 거리 측정기를 활용하여 거리, 수평(d_h)/수직각(d_v)을 변화시켜 각 단계별 5회씩 측정하여 평균값을 계산하였다. Fig. 4는 거리 및 각도 별 평균값과 실제 거리를 비교하여 오차를 계산한 표를 나타낸다. 분석에 따라 오차 허용 기준에 부합하는 거리와 각도에 대하여 Fig. 4에서 색상으로 표기하였다. 본 연구에서 활용하고자 하는 레이저 거리 측정기는

30m에서부터 허용 오차 기준에 부합하지 않고 급격하게 증가하여 이를 초과하지 않는 중·소형 블록을 대상으로 활용하고자 하였다.

3.3 영상 및 정도관리 데이터 정합

정도관리 데이터 정합은 카메라 영상으로부터 입력되는 실 모델과 3차원 설계 모델 간 정합과 정합된 이미지에 계측 기준 점을 정합하는 것으로서 카메라로부터 입력되는 영상 데이터는 실 공간 좌표계이며, 설계 모델 데이터는 3차원 가상공간의 좌표계를 가지고 있어서 정합을 위해서는 두 좌표계를 변환하여 일치시키는 작업이 필요하며, 입력된 영상에서 블록 형상의 정확한 추출이 요구된다.

3.3.1 실 모델과 설계 모델 정합

카메라 영상에서의 물체와 가상 물체를 오버랩하여 두 물체를 정합하기 위해서는 먼저 카메라 영상에서의 물체 인식이 필요하며, 물체 인식 방법으로는 마커 방법, 비 마커 방법으로 나눌 수 있다. 마커는 물체 위에 인식을 위한 마커를 부착하고 마커 인식을 통하여 물체를 오버랩하여 정합하는 방법으로 본 연구에서 카메라 영상에서의 실 모델과 설계 모델 간 정합에 사용하였을 경우, 블록 자세에 따라 마커의 부착 위치나 방향을 설정하여야 하나 상황에 따라서 부착이 불가능한 경우가 발생할 뿐만 아니라 정밀한 자세 제어를 위해서는 별도의 영상처리가 추가적으로 필요하게 된다. 이에 따라 본 연구에서는 실 모델과 설계 모델 간 정합을 위해서 깊이 데이터(depth data)를 활용하였으며, 깊이 데이터를 직접 가시화 시 발생하는 시각적 이질감을 해결하기 위하여 RGB 이미지를 활용하였다. Fig. 5는 영상에서의 실 모델과 3D 설계 모델 간 정합을 수행하기 위한 프로세스를 나타낸다.

실 모델을 가시화하기 위한 카메라와 깊이 데이터를 획득하고 블록을 인식하기 위한 카메라는 서로 다른 화각(FOV)을 가지고

Error Check	L (mm)															
	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000	50,000	
θ	10°	-0.152	-0.305	-0.457	-0.609	-0.762	-0.914	-1.066	-1.219	-1.371	-1.523	-2.285	-3.046	-3.808	-4.570	-7.616
	15°	-0.236	-0.473	-0.709	-0.945	-1.182	-1.418	-1.654	-1.891	-2.127	-2.364	-4.965	-4.727	-5.909	-7.091	-11.818
	20°	-0.330	-0.660	-0.991	-1.321	-1.651	-1.981	-2.312	-2.642	-2.972	-3.302	-4.954	-6.605	-8.256	-9.907	-16.512
	25°	-0.439	-0.878	-1.317	-1.755	-2.194	-2.633	-3.072	-4.915	-3.950	-4.388	-6.583	-8.777	-10.971	-13.165	-21.942
	30°	-0.569	-1.137	-1.706	-2.275	-2.844	-3.412	-3.981	-4.550	-5.118	-5.687	-8.531	-11.374	-14.218	-17.061	-28.435
	35°	-0.729	-1.458	-2.188	-2.917	-3.646	-4.375	-5.105	-5.834	-6.563	-7.292	-10.938	-14.585	-18.231	-21.877	-36.461
	40°	-0.934	-1.869	-2.803	-3.738	-4.672	-5.607	-6.541	-7.475	-8.410	-9.344	-14.016	-18.689	-23.361	-28.033	-46.721
	45°	-1.206	-2.413	-4.970	-4.825	-6.031	-7.238	-8.444	-9.650	-10.857	-12.063	-18.094	-24.126	-30.157	-36.189	-60.315
	50°	-1.581	-3.162	-4.743	-6.325	-7.906	-9.487	-11.068	-12.649	-14.230	-15.811	-23.717	-31.623	-39.529	-47.434	-79.058
	55°	-2.123	-4.246	-6.368	-8.491	-10.614	-12.737	-14.860	-16.982	-19.105	-21.228	-31.842	-42.456	-53.070	-63.684	-106.140
	60°	-2.952	-5.904	-8.856	-11.809	-14.761	-17.713	-20.665	-23.617	-26.569	-29.521	-44.282	-59.043	-73.803	-88.564	-147.606
	65°	-4.322	-8.643	-12.965	-17.287	-21.608	-25.930	-30.252	-34.574	-38.895	-43.217	-64.826	-86.434	-108.043	-129.651	-216.085
	70°	-6.835	-13.670	-20.505	-27.340	-34.175	-41.010	-47.845	-54.680	-61.515	-68.351	-102.526	-136.701	-170.876	-205.051	-341.752
	75°	-12.249	-24.498	-36.747	-48.996	-61.246	-73.495	-85.744	-97.993	-110.242	-122.491	-183.736	-244.982	-306.227	-367.473	-612.456
	80°	-27.653	-55.306	-82.958	-110.612	-138.264	-165.917	-193.570	-221.223	-248.876	-276.529	-414.793	-553.058	-691.321	-829.585	-1,382.643

Fig. 4 Analysis of error in measured distance and angle of portable measurement device(laser range finder)

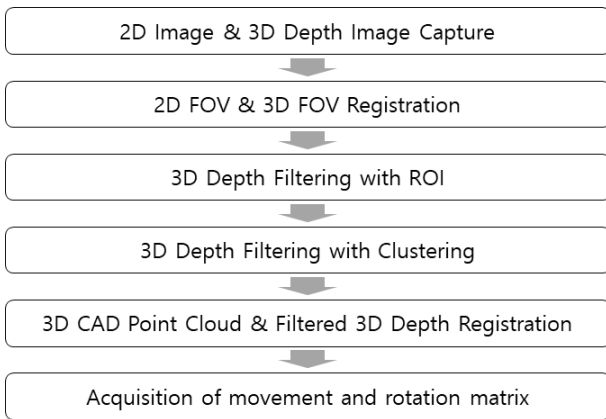


Fig. 5 The registration process between actual model and design model

있으며, 화각이 다를 경우 정합된 결과가 발생하므로 일치시켜 주는 전처리 과정이 필요하다. 깊이 데이터는 블록의 깊이 데이터 이외에도 작업 환경이나 장비를 포함하고 있어 블록 형상을 획득하기 위해서는 깊이 데이터에서 노이즈 필터링을 수행하여야 하며, 관심영역(ROI)를 설정하고 블록까지의 거리를 활용하여 블록의 범위를 획득한 후, 군집화(clustering)를 통하여 노이즈를 제거함으로써 블록의 깊이 데이터를 추출하였다. 추출된 블록의 깊이 데이터는 ICP 알고리즘을 이용하여 설계 모델의 포인트 클라우드 데이터(point cloud data)와 정합을 수행하였으며, 이동 및 회전 행렬을 획득하였다.

3.3.2 정합 이미지와 계측 기준점 정합

계측 기준점은 블록 정도관리를 수행 시 계측이 필요한 위치를 나타내는 것으로서 3D CAD 모델에서 측정하고자 하는 좌표를 추출하여 활용하고 있다. 본 연구에서는 이 좌표를 카메라 영상에서의 실 모델 위에 계측 위치로 가시화하기 위해서 앞서 계산된 이동 및 회전 행렬을 사용하여 계측 기준점을 정합하였다.

3.4 측정 데이터 계산

레이저 거리 측정기로부터 획득되는 데이터는 3차원 계측 값으로서 수평각, 수직각, 거리로 획득된다. 블록의 설계 값과 비교하기 위해서는 3차원 설계 모델에서의 계측 기준점인 xyz 좌표점 간의 거리 계산과 일대일로 매칭되는 계측 값 간의 거리 계산 과정이 필요하다. xyz 좌표점 간 거리 계산식을 통하여 구해진 설계 상 거리와 식 (1)~(4)의 계측 값 간 거리 계산식을 통하여 구해진 거리를 비교하여 계측 값의 오차율을 구하였으며, Fig. 6에서는 식 (1)~(4)을 나타내기 위한 요소들을 나타낸다.

$$\overline{AB} = \frac{K}{\cos \theta} \quad (1)$$

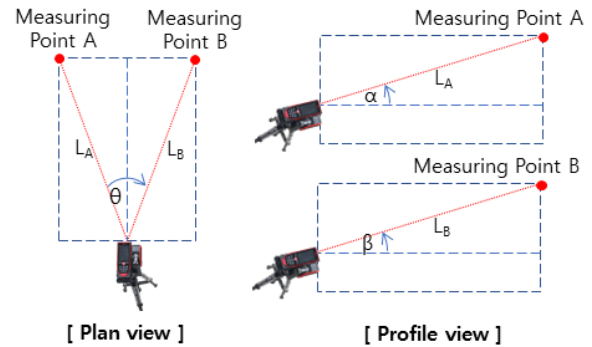
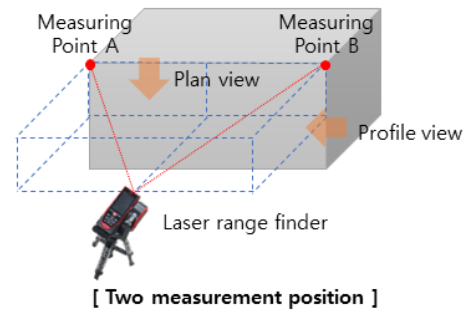


Fig. 6 The relationship between two measurement points

$$K = L_A^2 \cos^2 \alpha + L_B^2 \cos^2 \beta - 2L_A L_B \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{P}{K} \right) \quad (3)$$

$$P = |L_A \sin \alpha - L_B \sin \beta| \quad (4)$$

여기서, L_A 는 계측 기준점 A까지의 거리, L_B 는 계측 기준점 B까지의 거리, θ 는 L_A , L_B 의 두 직선을 포함하고 있는 평면에서의 사이 각, α 와 β 는 각각 측면도(profile view)로 본 레이저 거리 측정기의 수평선과 L_A , L_B 의 사이 각, γ 는 평면도(plan view)로 본 L_A 와 L_B 의 사이 각을 의미한다.

3.5 계측 기준점 상세 가시화

블록의 정도를 계측하는 데 있어서 Fig. 7에서 보이는 바, (a)에서는 선박을 구성하고 있는 한 블록을 나타내고 있다. 여기서, (b)와 같이 내판부의 경우에는 부재 두께에서 바깥부분, (c), (d)와 같이 외판부의 경우에는 부재 두께에서 가운데부분을 정도를 측정하고 있다. 즉, 블록을 구성하고 있는 부재의 두께 부분에서 부재의 위치에 따라 계측 위치가 다르다. 일반적으로 작업자가 계측 위치에 따라 측정하는 방법을 숙지한 채로 계측하게 되며, 이러한 이유로 작업자의 숙련도에 따라서 계측 값이 달라진다. 이에 따라 정합된 블록 이미지에 계측 기준점을 정합하여 나타내었으나 블록의 크기에 비해 부재의 두께는 작기 때문에 이미지 상 정합된 블록 위에 표시하는 데 한계가 있다.

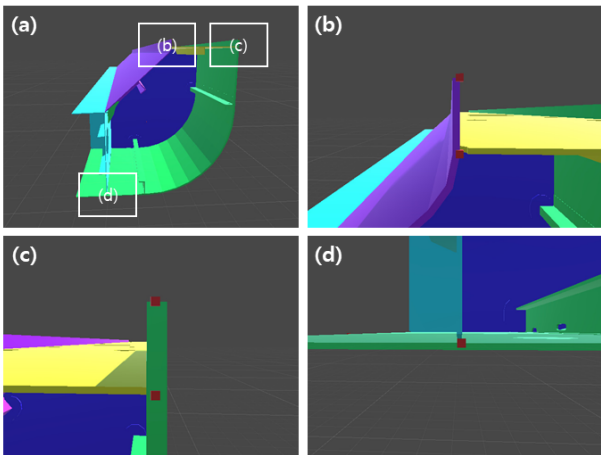


Fig. 7 Measurement points according to members of block

이에 따라 가독성을 개선하기 위하여 3차원 설계 모델을 활용하여 측정 기준점을 상세히 나타낼 수 있도록 구성하였다.

4. 시스템 구성 및 구현

4.1 시스템 구성

경량화 측정 장비 및 증강현실 기반 스마트 정도관리 시스템은 측정 장비를 포함한 하드웨어와 증강현실 환경을 생성하는 소프트웨어로 구성되며, 시스템의 구성은 Fig. 8과 같다. 스마트 정도관리 시스템의 하드웨어는 블록의 정도를 측정하기 위한 경량화 장비인 레이저 거리 측정기와 블록의 이미지를 획득하기

위한 카메라, 사용자에게 정합된 화면을 가시화하고 원격 제어를 수행할 수 있는 태블릿 PC로 구성되며, 소프트웨어는 경량화 측정 장비를 제어하고 측정값을 받아오는 경량화 측정 장비 컨트롤부와 카메라로부터 2D 이미지와 3D 깊이 데이터를 획득하고 두 이미지와 블록의 3차원 설계 데이터와 측정 기준점을 정합하는 정합부, 정도관리 서버로부터 정도관리 데이터를 받아오고 측정 결과를 전송하기 위한 데이터 관리부, 측정값을 용도에 맞게 변환하고 측정 결과를 직관적으로 확인할 수 있도록 계산하는 계산부로 크게 4가지로 구성되며, 본 시스템을 통한 정도관리 프로세스는 다음과 같이 5단계의 순서로 수행된다.

- 정도관리 준비 단계
 - 경량화 측정 장비 컨트롤러를 통한 경량화 측정 장비인 레이저 거리 측정기와 무선 연동
 - 스테레오 카메라로부터 정도관리 수행 대상 블록 촬영을 통한 2D 이미지 및 3D 깊이 데이터 획득
 - 정도관리 데이터 관리자를 통해 정도관리 서버로부터 정도관리 수행 대상 블록의 3D CAD 모델 및 측정 기준점 정보 획득
- 정도관리 정합 단계
 - 정합 모듈을 통해 획득된 블록의 2D 이미지와 3D 깊이 데이터의 화각에 대한 전처리 수행
 - 전처리된 이미지와 블록의 3D CAD 모델의 정합 수행
 - 위 정합된 결과에 측정 기준점 정보 정합 수행
- 정도관리 측정 단계
 - 정합된 화면에서 측정하고자 하는 측정 기준점 선택

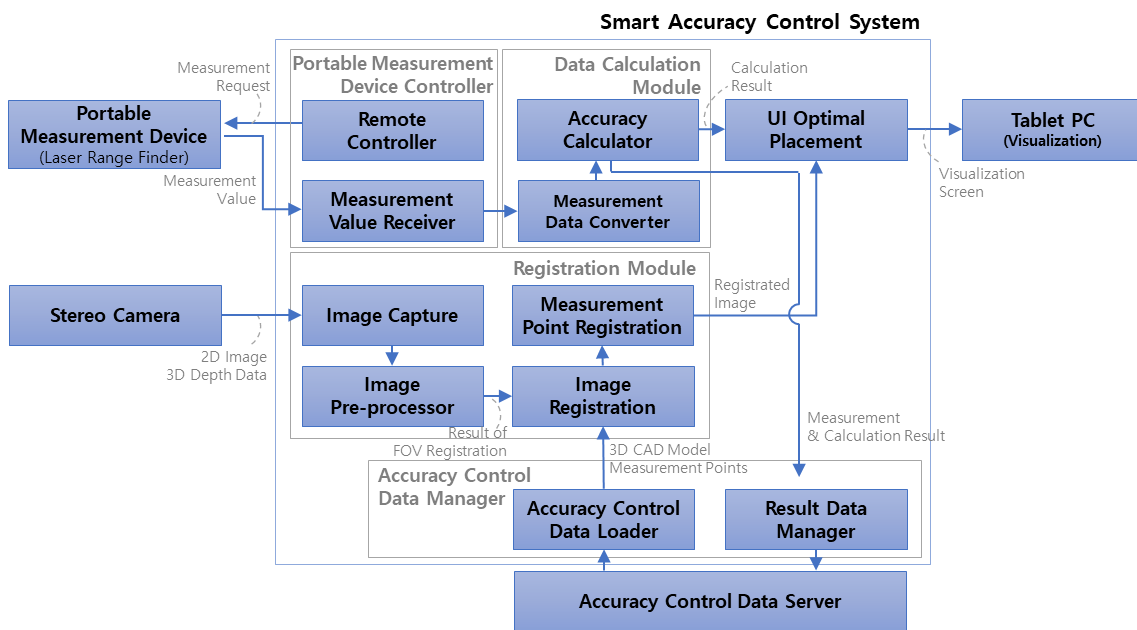


Fig. 8 Smart accuracy control system based on augmented reality and portable measurement device

- 경량화 측정 장비 컨트롤러를 통해 측정 장비를 원격 제어하여 측정을 수행하고 측정 장비로부터 측정값(거리, 수직각, 수평각) 획득
- 정도 계산 단계
 - 계산 모듈을 통해 설계 데이터와의 비교를 위한 측정값의 xyz 좌표계 변환 및 직관적 판단 지원을 위한 실장거리 계산 수행
- 정도관리 결과 가시화 및 전송 단계
 - UI 최적 배치 모듈을 통해 정합된 이미지에 정도관리 계산 결과를 배치하여 태블릿PC 화면에 가시화 수행
 - 측정 및 계산된 결과를 서버로 전송

위 프로세스를 통해 블록의 설계 데이터와 경량화 측정 장비로부터 획득된 측정값을 직관적으로 확인할 수 있도록 정합하고 계산하여 가시화함으로써 정도관리를 지원한다.

4.2 프로토타입 구현 및 테스트 결과

본 논문에서 제안한 시스템은 Windows Tablet을 기반으로 프로토타입 구현하였으며, 이를 통해 조선소 블록 조립 공장에서 실제 제작된 Deck 블록을 대상으로 테스트를 수행하였다. 테스트를 수행하고자 하는 대상 블록의 3D CAD 모델과 실제 이미지는 Fig. 9에서 보이고 있으며, 제안한 시스템의 프로토타입을 통해 실 블록과 3D CAD 모델, 측정 기준점의 정합하고 선택한 측정 기준점의 상세 가시화 화면에 대해 테스트한 결과를 Fig. 10에서 나타내었다. Fig. 11은 경량화 측정 장비를 통해

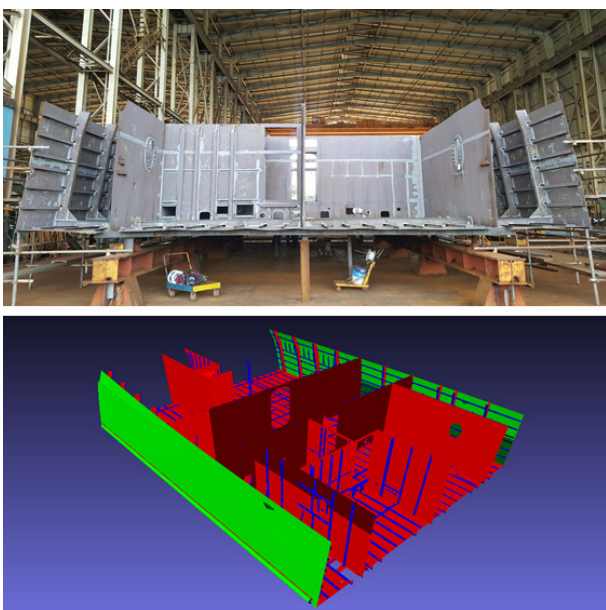


Fig. 9 Actual image(top) and 3D CAD model(bottom) of test block



Fig. 10 Result of matching between actual block and 3D CAD model and measurement points. Detailed visualization window displayed on the screen by selecting measurement point(top right)

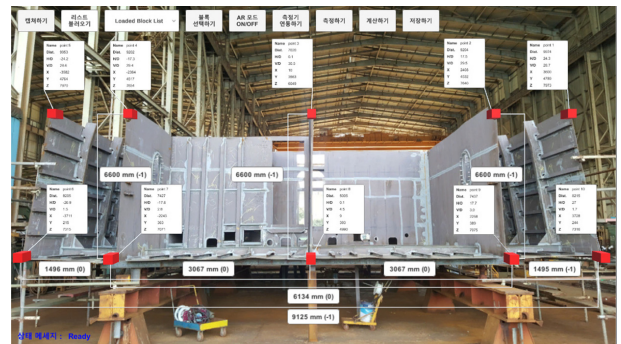


Fig. 11 Measurement and calculation result visualization screen

블록의 측정 기준점을 측정한 후 측정값과 측정값을 계산한 결과를 보이고 있다. Fig. 9에서 보이는 것과 같이 프로토타입을 통하여 정도관리 데이터를 정합한 결과, 실 블록 이미지와 3D CAD 모델이 정합된 모습을 볼 수 있으나 약간의 오차가 발생하였다. 오차 원인으로 실 블록의 2D 이미지와 3D 깊이 데이터 간 화각을 일치시키는 과정과 카메라를 통해 블록의 깊이 데이터를 획득하는 과정에서 발생하는 공백으로 오차가 일부 발생한 것으로 확인하였으며, 깊이 데이터의 생성을 통한 보완할 필요성을 보였다. 반면, 측정 기준점을 측정한 후 측정값과 측정값을 계산하고 가시화하는 부분에 있어서 설계된 값과 비교한 결과, 허용오차 범위 이내에 부합하는 결과를 보여 본 연구에서 제안하는 방법의 활용 가능성을 확인하였다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구는 블록의 모습과 설계 데이터를 오버랩함으로써 블록의 제작 정도를 판단할 수 있도록 지원하는 동시에 측정 포인트 위치를 가시화하고 측정 장비와의 연동을 통해 측정 결과를 실시간으로 확인할 수 있도록 증강현실 기술을 기반으로 선박의 블록 정도관리를 위한 정도관리 시스템을 설계하고,

이를 위한 프로토타입 시스템을 구현하여 테스트함으로써 시스템의 적용 가능성을 확인하였다. 제안된 시스템은 정도 관리를 위하여 활용되고 있는 고가의 장비나 전문 측정 인력, 종이 도면을 대체하고 측정 데이터의 관리가 가능함에 따라 선박 블록 조립 생산성을 향상시키고 비용을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 본 연구에서 진행한 레이저거리측정기의 신뢰도 분석에 따라 중·소형 블록과 조선소를 대상으로 활용이 가능할 것으로 판단되며, 추후 장비 성능의 개선이 이루어질 경우, 적용 범위가 확대되어 대형 블록에도 활용이 가능할 것으로 기대된다. 향후에는 본 연구에서 발생한 정합 오차 발생 부분을 개선하고 블록을 변환하고 가시화하는데 있어서 발생하는 모델의 절단 부분 누락에 대하여 보완할 예정이며, 실 블록 및 3D 모델 정합만으로 정도관리를 수행할 수 있는 시스템으로 발전시킬 예정이다.

감사의 글

이 연구는 2018년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원 (KEIT) 연구비 지원에 의한 연구이며(10067156), 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2016R1A2B4014406).

References

Housel, T.J., Mun, J., Ford, D.N., Hom, S. (2015) *Benchmarking Naval Shipbuilding with 3D Laser Scanning, Additive Manufacturing, and Collaborative Product Lifecycle Management*, Acquisition Research Program Sponsored Report Series, Naval Postgraduate School.

Johnson, G.W., Laskey, S.E., Robson, S., Shortis, M.R. (2004) Dimensional & Accuracy Control Automation in Shipbuilding Fabrication: An Integration of Advanced Image Interpretation, Analysis, and Visualization Techniques, *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2004 Congress XX*, Turkey.

Ku, B.J. (2016) *Study on Applicability of Quality Control using Laser Distance Measurement Devices for Small and Medium Shipyard*, Master's Thesis, Inha University.

Ku, B.J., Lee, K.H., Park, K.M., Nam, B.W. (2015)

A Study on the Portable Laser Range Finder for Three-Dimensional Localization, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*, Republic of Korea, 4-6 February 2015.

Kwon, K.Y. (2017) A Study on the Applications of Measurement Systems for Dimensional Quality Management in Shipbuilding, *Korean J. Comput. Des. & Eng.*, 22(3), pp.317~328.

Kwon, K.Y. (2017) Shipbuilding Quality Management Trend Analysis, *Rev. Comput. Des. & Eng.*, 23(1), pp.15~21.

Lee, D.K., Seo, K.C., Oh, D.K. (2016) A Study on the Production Management Technology of Medium-sized Ship using a Handheld 3D Scanner, *Korean Society for Precision Engineering 2016 Autumn Conference*, Korea, 26-28 October 2016.

Lee, H.C., Lee, D.M. (2012) A Study on Pattern Matching Algorithm of 3D Coordinates for Quality Control in Ship Blocks, *J. Korea Inf. & Commun. Soc.*, 37(10), pp.933~939.

Li, R., Lee, K.H., Lee, J.M., Nam, B.W., Kim, D.S. (2016) A Study on Matching Method of Hull Blocks Based on Point Clouds for Error Prediction, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 29(2), pp.123~130.

Pack, B.R., Kim, H.C. (2018) Development of Cell Guide Quality Management System for Container Ships, *J. Ocean Eng. & Technol.*, 32(3), pp.158~165.

Son, S.H., Ahn, D.H., Wang, C., Shin, J.G., Ryu, C.H. (2015) A Study on Building Shipyard Quality Control System based on Low Altitude Unmanned Aerial Vehicle, *Korean Society for Precision Engineering 2015 Autumn Conference*, Republic of Korea, 16-18 December 2015.

Takechi, S., Aoyama, K., Nomoto, T. (1998) Basic Studies on Accuracy Management Systems based on Estimating Welding Deformations, *J. Marine Sci. & Technol.*, 3(4), pp.194~200.

Takechi, S., Aoyama, K., Nomoto, T. (2002) Studies on the Block Positioning Metrics System for the Hull Erection Stage, *J. Marine Sci. & Technol.*, 6(3), pp.158~167.

요 지

선박의 생산 효율을 높이고 생산 주기를 단축하기 위해서는 건조 주기 동안에 효율적으로 선박 구성 요소의 정확도를 평가하는 것이 중요하다. 블록의 정도 관리는 선박 공정의 단축 및 비용 절감, 선박 품질 향상에 중요한 의미를 갖는다. 대형 조선소를 중심으로 이를 위한 시스템들이 개발되어 활용되고 있지만 일부 조선소에서는 블록 형상이나 크기에 따라 줄자나 추 등의 전통적인 측정도구나 광학 장비인 광과기를 사용하여 측정, 관리하고 있으며, 정도 관리 수행하는데 있어서 이러한 도구나 장비뿐만 아니라 필수적으로 측정 위치를 파악하기 위한 종이 도면과 측정 데이터를 기록하기 위한 장치를 병행하고 있다. 측정된 결과는 수기 입력 혹은 기록 장치를 통해 정도 관리 시스템에서 관리하게 된다. 측정 결과는 작업 환경 및 작업자의 숙련도에 따라 영향이 미치게 되며, 측정 결과 관리 측면에서도 측정 결과 작성 누락, 정도관리 시트 관리의 부재 등에 대한 인적 오류(human error)와 시스템 내 결과 데이터 입력으로 인한 이중 작업 시간 소요로 인한 효율 측면에서의 비용 손실이 발생한다. 본 연구에서는 기존 정도관리 수행에서의 작업 환경을 개선하기 위한 목적으로 블록 정도 및 블록 측정 위치를 종이 도면을 통해서 확인하던 과정을 증강현실 기술을 이용하여 실제 블록 위에 측정 정보를 가시화함으로써 정도 관리 수행 시간을 단축하고 측정 장비와의 연동을 통해 정도관리 데이터를 효과적으로 관리할 수 있는 증강현실 기반의 스마트 정도관리 시스템을 제안하고, 제안한 시스템에 대해서 프로토타입 구현을 통하여 정도 관리에서의 적용 가능성을 검토하였다.

핵심용어 : 블록 정도 관리, 경량화 측정 장비, 증강현실