

분리된 마스트에 설치되는 선체고정 위상 배열 레이더의 기계적 정렬

서형필¹, 김대한¹, 김준우¹, 이경진², 조규룡^{1*}
¹국방기술품질원, ²한진중공업

Mechanical Alignment of Hull Mounted Phased Array Radar on the Separated Mast

Hyeong-Pil Seo¹, Dae-Han Kim¹, Joon-Woo Kim¹, Kyung-Jin Lee², Kyu-Lyong Cho^{1*}
¹Naval Sea Systems Center, Defense Agency for Technology and Quality
²Defense Projects Outfitting Design Team, Hanjin Heavy Industry

요약 본 논문은 4면 선체 고정형 위상 배열 레이더를 부착하기 위한 2개의 분리된 마스트를 해군 함정에 정확하게 탑재하기 위한 기계적 정렬 방법과 정렬을 위한 3D 스캐너를 활용한 측정 방법에 대해 연구하였다. 선체 고정 위상 배열 레이더는 초고주파를 사용하므로 짧은 파장으로 인해 작은 위치오차에도 이로 인한 소자의 위상차이가 발생할 수 있고 배열 안테나가 선체 고정식이므로 4개의 배열 면에 대해 회전형 레이더 보다 높은 정도 관리(accuracy control)가 필수적이다. 육상 공장에서 제작된 2개의 레이더용 마스트에 대한 편평도 확인 방법, 마스트들을 함정에 탑재하기 위해 정렬을 하는 방법과 4개의 array 부착용 Pad 가공 면에 대해 정렬하는 방법을 도출하였다. 이에 대한 도구로 3D 레이저 스캐너에 의한 측량과 측량 결과를 3D CAD와 비교하기 위한 소프트웨어 활용의 방법이 사용된다. 이 논문은 한국 해군 함정에서 분리된 마스트에 4면 선체 고정 위상 배열 레이더를 설치하고 기계적 정렬 방법을 도출한 최초의 사례로서 의미가 있다.

Abstract This paper is meaningful as the first case where a 4 - sided hull-fixed phased array radar was installed on a mast separated from Korea and the alignment was verified. The mechanical alignment method was studied for accurately mounting two separate masts for naval ships and the 3D scanner for alignment. Hull-fixed phased array radar uses very high frequency, so the short wavelength can cause a phase difference of the device due to the small positional error. Since the array antenna is fixed with the hull, it has higher accuracy control than the rotary radar for 4 array surfaces. The study describes a method of checking the flatness of two radar masts manufactured at a factory, a method of aligning masts in a shipyard, and a method of aligning four array pad mounting surfaces. As a tool for this, a 3D laser scanner and a software-based method for comparing survey results with 3D CAD are used. This paper is meaningful as the first example of installing a four-sided hull-fixed phased array radar on a separate mast from a Korean naval ship and deriving a mechanical alignment method.

Keywords : Phased Array Radar, Alignment, Hull Mount, 3D Laser Scanner, 3D CAD

*Corresponding Author : Kyu-Lyong Cho(Defense Agency for Technology and Quality)
email: kyulyong@hanmail.net

Received May 22, 2019

Accepted September 6, 2019

Revised August 21, 2019

Published September 30, 2019

1. 서론

1.1 개요

우리 해군은 Fig. 1에서 보는 바와 같이, 대형수송함 1번함인 독도함(LPH-6111)에 이어[1], 10여년 만에 2번함인 마라도함(LPH-6112)을 획득 추진 중에 있다[2]. 대형수송함은 상륙작전 시 지휘함 역할을 수행하는 함정으로 입체적으로 투사되는 우군세력에 대한 실시간 위치 확인과 적군 세력에 대한 조기경보를 위해 대공레이더를 운용한다. 선도함인 독도함에 탑재된 SMART-L 회전형 위상배열 레이더[3]가 단종 되면서 2번함인 마라도함에는 4면 선체 고정형 위상배열 레이더가 탑재된다[4,5]. 통상적으로 4면 선체고정 위상배열 레이더는 하나의 타워에 90° 간격의 방위차로 Array 정면이 향하게 설치되나, 마라도함의 경우에는 대형수송함의 구조적인 특성상 넓은 비행 갑판위에 함수에서 함미로 길게 이어진 아일랜드(항공모함에서 함교와 관제탑을 통틀어 이른다.)에 설치가 불가피하여 2개의 레이더 마스트에 4개의 레이더 안테나가 분리되어 설치된다. 이에 따라 하나의 타워에 설치되는 경우보다 배열에 있어서 함의 배열 기준면(MRP: Mean Reference Plane, 이하 MRP)과 마스트 간의 배열 오차에 추가하여 분리된 2개의 마스트 간의 배열 오차가 추가로 고려되어야 한다. 또한 마스트의 면에서 Array 안테나가 부착될 센서 프레임과, 센서 프레임에 용접 되어 있는 28개의 센서 접촉면(이하 Pad)의 레벨에 대한 철저한 정도관리가 요구된다. 국내에서는 이지스(Aegis) 구축함에 4개의 위상배열 레이더 안테나를 하나의 이지스 타워에 탑재한 경험은 있으나[6], 마라도함과 같은 전부, 후부 2개의 마스트에 위상배열 안테나 1개와 3개를 각각 설치하는 사례는 최초이다.



Fig. 1. Shape of Phased Array Radar
 (a) Rotate type Phased Array Radar of LPH-6111 ROKS Dok-Do[1] (b) Hull Mounted type Phased Array Radar of LPH-6112 ROKS Mara-Do(Under Construction)[2]

민수분야에서는 Fig. 2에서 보는 바와 같이, 최근 선박 및 해양구조물의 곡 부재와 선박 블록 정합을 위한 정

도 관리(accuracy control)를 위해 3D 스캐너를 활용한 연구가 진행되어 왔다[7,8]. 이는 기존의 무거운 광파 측정기를 활용할 때보다 생산성 향상과 측량의 정확성, 편리성, 효율성을 증대시켰다. 군수분야에서는 위상배열 레이더 설치 시 세오돌라이트(theodolite)를 활용한 사례가 있지만[6], 세오돌라이트의 특성상 거리가 아닌 각도 측정만 가능하여 여러모로 불편한 것이 사실이었으며, 3D 스캐너를 활용한 정도 관리에 대한 연구는 없었다.

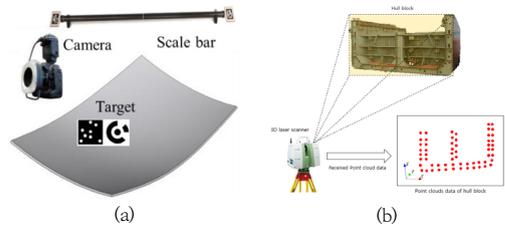


Fig. 2. 3d Laser Scanner Application for Shipbuilding
 (a) Photogrammetry[7] (b) Field point clouds data collection for hull block[8]

따라서 본 연구에서는 육상에서 제작된 두 개의 레이더용 마스트에 대한 편평도 확인방법, 2개의 마스트를 함정에 탑재 후 배열을 하는 방법, 28개의 Pad의 레벨을 정렬하는 방법을 제안한다. 이에 대한 도구로 3D 레이저 스캐너에 의한 측량과 3D CAD와 비교에 의한 방법이 사용된다.

1.2 연구 내용 및 구성

본 연구는 함정에 위상배열 레이더 안테나 4개를 2개의 마스트에 분리하여 설치 후 기계적으로 정렬하는 방법을 제시하였다. 각 마스트는 지정된 경사도를 갖도록 설계 및 제작되었고, 각 면이 편평도 $\pm 0.5\text{mm}$ 이내로 정도 관리가 되고 있다. 마스트의 정도는 육상에서 편평도계측기와 3D 스캐너를 이용한 측량 후 3D CAD와 측량자료를 비교하는 방법을 사용하였다. 또한 2개의 마스트를 함정에 임시 탑재 후 함 기준면과의 배열, 전 후부 마스트간의 함수미 중심 정렬 등을 수행하였다. 함상 정렬에는 3D 스캐너를 이용한 측량 후 3D CAD와 측량자료를 비교하는 방법을 사용하였다.

2. 이론적 배경

2.1 위상배열 레이더

위상배열 레이더의 가장 큰 장점은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 전파의 위상을 변경하는 것만으로 레이더파의 방향을 변경할 수 있어 기계식 회전 레이더보다 훨씬 빠르게 360° 모든 방향의 스캔이 가능하다는 것이다. 이후 전자기술의 발달에 따라 위상배열 레이더는 특정 방향으로 몇 개의 빔을 집중해 여러 개의 표적을 실시간으로 추적하면서 나머지 방향을 스캔할 수 있는 능력을 갖추게 되었다[9]. 따라서 마라도함에는 독도함에서 탑재한 선회형 위상배열레이더가 아닌 비 선회형 레이더를 탑재하게 된 것이다.

EL/M-2248은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 이스라엘이 개발한 능동 주사식 위상배열(AESA: Active Electronically Scanned Array) 레이더 이다[4,5]. 구축함에 탑재되어 360° 전 방향을 탐지/추적하는 첨단 레이더로, 이스라엘과 인도 해군이 운용하고 있다. 4방향에 탑재되는 비 선회형이다.

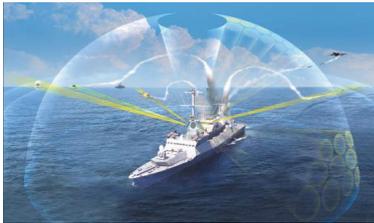


Fig. 3. 3D Anti-Air Planar Active Array Radar

종류는 3차원 대공 레이더로서 레이더 탐지거리는 250km이며, 주파수 대역은 S 밴드이다. 제조국은 이스라엘이며 무게는 하나의 Array당 1.5 톤 이다. 레이더 탐지거리는 고고도 전투기 목표물이 250km 이상이며, 저고도 순항미사일의 경우 25km 이상이다. 운용 국가 및 함정은 이스라엘의 Sa'ar 5급 초계함과 인도의 콜카타급 구축함, 비크란트급 항공모함이다.[4,5]



Fig. 4. EL/M-2248 Radar(Sa'ar 5 class Corvet)

2.2 배열

사각형의 평면 배열의 형태는 Fig.5 와 같다. x, y, z

좌표계에서 $x-y$ 평면에서 x 축을 기준으로 반시계방향으로 회전하는 벡터를 ϕ , z 축을 기준으로 기울어진 벡터를 θ 로 정의한다. β_x 는 x 방향으로의 위상차, β_y 는 y 방향으로의 위상차를 의미한다.

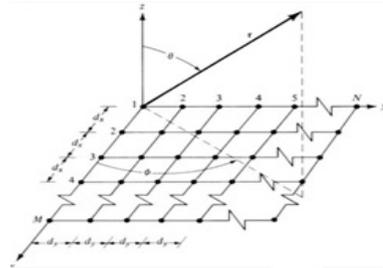


Fig. 5. Rectangular Planar Array Geometry[10]

진폭이 같은 평면형 배열의 Array Factor는 Eq. (1-2)[10]와 같다. I_0 는 각 소자의 진폭을, k 는 전파상수로 $k = \omega \sqrt{\mu\epsilon}$ 이다.

$$(AF)_{xy} = I_0 \left[\sum_{m=1}^M e^{j(m-1)(kd_x \sin\theta \cos\phi + \beta_x)} \right] \times \left[\sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd_y \sin\theta \cos\phi + \beta_y)} \right] \quad (1)$$

(if $I_{mn} = I_m I_n = I_0 = Constant$)

$$(AF)_n = \left[\frac{1}{M} \frac{\sin\left(\frac{M}{2}\Psi_x\right)}{\sin\left(\frac{\Psi_x}{2}\right)} \right] \left[\frac{1}{N} \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\Psi_y\right)}{\sin\left(\frac{\Psi_y}{2}\right)} \right] \quad (2)$$

$\Psi_x = kd_x \sin\theta \cos\phi + \beta_x$
 $\Psi_y = kd_y \sin\theta \sin\phi + \beta_y$
 $M = \text{number of elements in } x \text{ direction}$
 $N = \text{number of elements in } y \text{ direction}$

위상배열 레이더는 (1-2)의 β_x, β_y 에 따라 주엽(Main beam)의 방향을 안테나의 기계적 회전 없이 조정할 수 있는 것이다. 따라서 β_x, β_y 가 중요하며, Fig. 5에서 보는 바와 같이 각 소자의 위치가 정위치한 상태에서 원하는 위상을 발생시켜야 정확한 주엽의 방향을 만들어 낼 수 있다. 하지만 레이더 Array 안테나를 마스트에 탑재 시 위치 오차가 있을 경우에는 위상 차이를 가져와 레이더의 성능을 저하시키는 원인으로 작용할 수 있다. 특히 0GHz 단위의 주파수를 사용하는 레이더에서 1파장은 0~00cm에 해당하며, 0m의 Array 크기를 갖는 안테나 면이 기계적 오차를 갖고 설치가 된다면 엄청난 위상의 차이를 유발시켜 레이더 탑재 후에 소프트웨어적으로 배열을 할 수 없는 상황에 이를 수도 있기 때문에 정밀한 계측을 통한 정도 관리가 필수적이다.

2.3 3D 스캐닝

3D 스캐너는 물체에 대한 3차원 형상 좌표를 획득하는 장비 일체를 말한다. 최근 시제품에 대한 수정 후 CAD화 작업, CAD 데이터가 분실된 제품에 대한 CAD 데이터 복원, 품질 검사 및 금형검사 분야에도 확산되고 있다. 시스템의 구성은 3차원 스캐너(하드웨어)와 데이터 처리용 프로그램(소프트웨어)으로 구성되며, 다음과 같은 주요 특징이 있다. 주요 특징은 첫째, 측정데이터를 컴퓨터를 이용 3차원 그래픽 처리가 가능하다. 둘째, 측정된 형상은 실물과 같은 정확한 치수정보를 보유한다. 레이저 스캐너의 경우 50~100미크론, 백색광 스캐너의 경우 10 미크론의 정확도를 보인다. 셋째, CAD 데이터로 변환, 검증 데이터로 활용한다. 넷째, 대상물과 접촉 여부에 따라 접촉식과 비접촉식으로 구분한다. 접촉식은 특정 점의 위치, 두 점간 거리, 특정단면 검사에 유용한 반면 3차원 자유 곡면 획득은 곤란하다. 다섯째, 물체와 측정거리 또는 물체의 크기에 따라 근거리와 중거리, 원거리 측정기로 분류한다. 근거리 측정기는 약 1m 이내, 중거리 측정기는 약 0.5~30m, 원거리 측정기는 약 1m~1km 의 측정 범위를 갖는다.

함정에 위상배열 레이더를 설치하기 위한 마스트의 정 도관리를 위해서는 측정 포인트가 많고 측정 환경이 위험하여 신속하고 간편하게 측정할 필요가 있고, 기존의 광파측정기로는 한계가 있으므로 3D 레이저 스캐너를 활용하기로 한다.

3. 위상배열 레이더 설치요조건

3.1 개요

위상배열 레이더의 성능을 보장하기 위해서는 Array 탑재 후 소프트웨어적으로 배열을 할 수 있는 범위에서 기계적 배열이 완료되어야 한다. 4개의 레이더 Array가 각각 설계된 방향으로 주엽을 방사할 수 있으려면 공장 블록제작 과정에서 Array가 부착될 28개 Pad의 편평도가 보장되어야 하고, MRP와의 기울기, Roll, Yaw 방향에 대해 정렬을 만족해야한다. 또한 마스트가 분리되었으므로 함수-함미 마스트간 정렬을 해야 한다. 또한 이러한 요구조건을 측량할 수 있는 원거리, 근거리 측측이 가능한 3D 측측장비가 있어야 한다.

3.2 마스트 블록 편평도

공장에서 제작된 대공 레이더용 마스트 블록의 요구조건은 다음과 같다. 블록 장착 면의 편평도는 $\pm 0.5\text{mm}$ 이하, 표면 거칠기는 $1.6\mu\text{m}$ 이하이다. 또한 Pad 28개의 편평도는 평균값 기준 $\pm 2\text{mm}$ 이하이다[11].

3.3 MRP와 기울기, Roll, Yaw 정렬 만족

함수미 중심선(SCL: Ship Center Line, 이하 SCL)은 함수와 함미의 중심을 이은 기준선이다. 대공레이더 마스트 블록에 탑재될 Array 위치는 MRP와 SCL 기준으로 정의되며, 요구조건은 Table 1과 같다[11].

Table 1. Angle Parameters for Radar Array Installation

Parameters	Values
4 Arrays - MRP Tilt	$20^\circ \pm 0.172^\circ$
FWD, AFT Array Yaw-SCL	$0^\circ \pm 0.172^\circ$
FWD, AFT Array Roll-MRP	$0^\circ \pm 0.114^\circ$
PORT, STBD Array Yaw-SCL	$90^\circ \pm 0.172^\circ$
PORT, STBD Array Roll-MRP	$0^\circ \pm 0.114^\circ$

3.4 선수 마스트와 선미 마스트간 정렬

레이더 마스트가 선수와 선미로 나누어진 함 형상으로 선수 마스트와 선미 마스트간의 정렬은 네 개의 Array로 구성된 대공레이더의 성능 보장을 위해 중요한 요소로 작용한다. 선수 마스트와 선미 마스트간의 높이 차는 함 형상 설계 상 4,205mm가 발생하며 기준은 $4,205 \pm 10\text{mm}$, 위에서 봤을 때 선수Array-선미 Array간, 선미 좌현-우현 Array간 횡방향 선, 측면에서 봤을 때 좌현-우현-선미 Array의 최대 높이차는 $0 \pm 10\text{mm}$ 이다. 요구조건은 아래 Table 2와 같으며 Fig.6과 같이 도식화된다[11].

Table 2. Position Parameters for Radar Array Installation

Parameters	Values
FWD, AFT Array - FWD, AFT Array Centerline(Top view)	$0 \pm 10\text{mm}$
FWD, AFT Array - FWD, AFT Array Centerline(Side view)	$4,205 \pm 10\text{mm}$ *TBD = 4,205mm
PORT, STBD Array PORT, STBD Array Centerline(Top view)	$0 \pm 10\text{mm}$
PORT, STBD Array FWD, AFT Array Centerline(Side view)	$0 \pm 10\text{mm}$

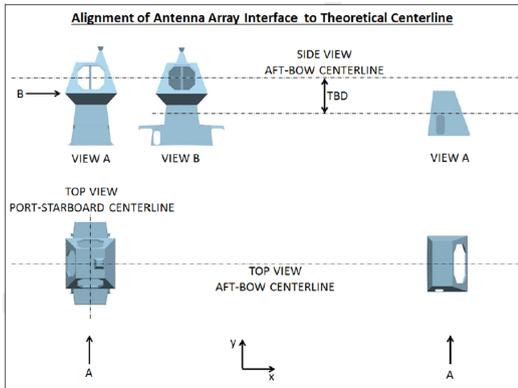


Fig. 6. Requirement for Radar Array Installation[11]

3.5 3D 측량장비 요구조건

대공레이더의 측량 요구조건은 0.2mrad이므로, 1m 기준으로 0.2mm를 계측할 수 있어야 한다. 본 연구에서 선정한 계측기는 Fig. 7과 Table 3에서 보는 바와 같이 위의 요구조건을 만족하는 1m 기준 0.03mm를 계측할 수 있는 레이저 스캐너를 선정하였다.



Fig. 7. Shape of 3D Laser Scanner[12]

Table 3. Specifications of 3D Laser Scanner

Type	HandySCAN700 (left of Fig.7)	MaxSHOT Next™ (right of Fig.7)
Weight	0.85 kg	0.79 kg
Volumetric Accuracy	0.020 mm + 0.060 mm/m	0.020 mm + 0.025 mm/m

4. 레이더 마스트 제작 및 정렬

4.1 마스트 블록 제작

마스트 블록의 제작은 다음과 같은 절차로 이루어졌다. 갑판기반으로 조립하여 전도시킨다. 하부 조립 체를

레벨 "0" 에 맞추어 정반에 준비한다. 블록 공장에는 MRP가 없으므로 MRP 대신 지면 레벨 "0" 을 기준으로 한다.

다음은 Interface 구조 / Pad 조립 및 외판(Hull Skin) 조립이다. RHS(센서 프레임)을 구성한 뒤 Pad를 취부 한다. Interface 구조와 외판을 조립 전 Guide Plate를 취부/시공한다. 각 배열센서 외판(Interface 구조가 조립된 구조)의 조립 Pad의 면을 가공한다. 가공 기준 요구치는 ±0.5 [mm/Meter]이다. 총 4개의 Interface 구조에 대한 레벨을 측정한다.

다음은 블록 조립이다. 전부 / 후부 배열센서 블록조립에서 각각의 배열센서 외판은 Jig 와 적절한 보강재로서 구조변형을 방지한다. Punch Mark Point를 표시한다. 이는 조선소 탑재 및 Drill Jig Alignment를 위함이다. 조립중인 선미 마스트는 Fig. 8과 같다.

4.2 공장정렬

공장수락검사에서는 4.1항의 마스트블록 제작이 정확히 이루어졌는지 3D 레이저 스캐너로 확인하였다. Fig. 9는 레이저로 스캔된 선수, 선미 레이더 마스트 블록이다. 오른쪽은 그 중 한 개 Array의 Pad 편평도를 레이저로 분석한 것이다.

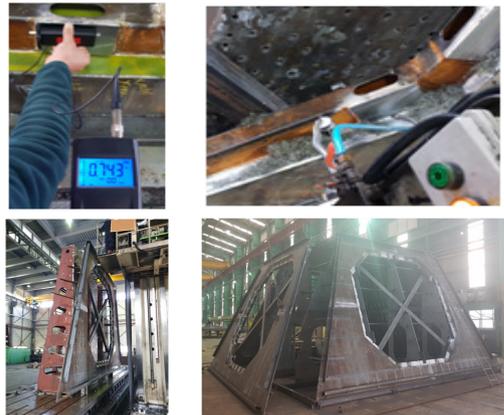


Fig. 8. After Mast Block under Constructing

현장에서의 스캐닝이 끝나면 조선소의 3D CAD자료와 현장의 스캐닝 자료를 Polyworks[13] 라는 소프트웨어에 입력하여 비교작업을 거친다. 비교 후에 Fig. 9의 오른쪽 그림과 같은 편평도 비교 결과 자료를 시각화하여 도출할 수 있다. 공장검사 결과 모두 기준치 내의 결과를 얻었다.

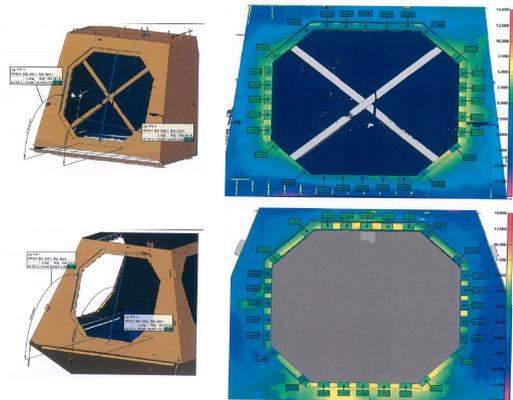


Fig. 9. Factory Acceptance Test of FWD/AFT Mast Block Using 3D Laser Scanner

4.3 함상정렬

1장에서 언급한 위상배열 레이더 설치 시 세오돌라이트(theodolite)를 활용한 사례의 기존방법은 레이더 Array를 선체 상부구조물 외판(SPY 타워)에 외부에서 내부방향으로 볼팅으로 부착하는 방식이고[6], 본 연구는 레이더 Array를 부착하기 위한 2개의 마스트를 각각 제작하여 내부에서 외부방향으로 볼팅으로 부착하는 방식으로 공정의 차이점이 있다. 따라서 마스트의 정도관리가 기존 방법보다 더 초기 단계인 공장 제작부터 공장 정렬 단계에서 부터 더 중요하다고 할 수 있다. 기존 방법은 Fig. 10에서 보는 바와 같이 세오돌라이트를 이용하여 그 값을 읽어내기 위하여 Array 전면부에 Optical target을 설치한다. 방위, 고각, 기울기에 대한 값을 읽기 위해 Array 상 4개의 측정 지점에서 3개의 직각자를 교호로 이용한다. Array의 기울기를 측정하기 위해 세오돌라이트 조준경에 Pentaprism(수직반사경)을 부착하여 선체 기준에서의 기울기를 측정한다.



Fig. 10. Measurement of elevation of array with theodolite

본 논문의 위상배열 레이더 함상정렬 방법은 3.2항

MRP와 기울기, Roll, Yaw 정렬 만족, 3.3항 선수 마스트와 선미 마스트간 정렬 만족에 대한 계측을 3D 스캐닝을 통해 한꺼번에 하고 3D 스캔 결과를 3D CAD와 비교할 수 있는 소프트웨어[13]를 이용하여 동시에 분석한다.

함수, 함미 배열센서 블록 주변에 Fig. 11 (b),(c)와 같이 추가적인 Bench / Center 표기를 한다. Off Center Mark 는 SCL 을 기준으로 정의한다. 이 Center/Bench Mark 는 배열센서 블록의 탑재와 계측을 위함이다. Bench Mark Point 는 MRP 의 x, y 축을 기준으로 한다. Fig.11 (a)에서 보이는 MRP 레벨과 동일한 레벨을 블록 주변으로 설정하는 것과 같다. Bench Mark Point "z" 축은 Static Tilt(Pitch)를 계측할 때 사용된다. Off Center Mark 와 Bench Mark 는 진수 전 마킹/계측된다. Fig. 11 (c) 의 Frame 97은 SCL과 직교하는 늑골번호 97의 연장선으로 계측이 용이한 비형감판상의 선으로 전후부 마스트가 SCL 기준으로 어느 정도 위치했는지 분석할 때 사용된다. 계측된 3D 스캐닝 결과를 Fig. 11의 (c) 와 같이 각 Array가 벤치마크와의 상대적인 위치가 어떠한지 분석 소프트웨어에 기록된다.

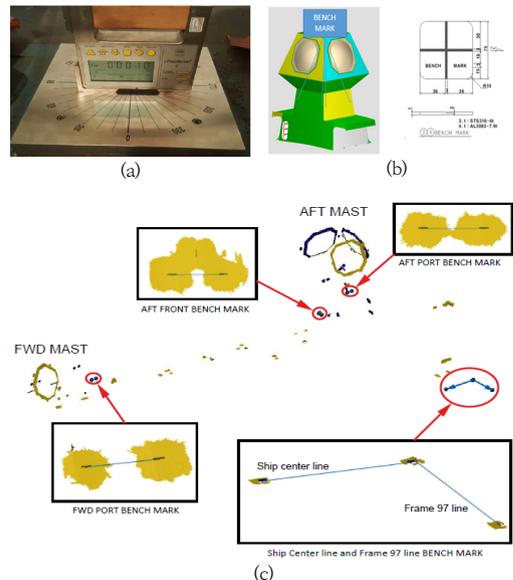


Fig. 11. Result of 3D Laser Scanning imported to Polyworks (a) MRP (b) Bench Mark (c) 3D Laser Scanning using bench mark

3D 스캐닝과 탑재의 순서는 다음과 같다. 함수 배열센서 블록 탑재, 함미 배열센서 블록 탑재 후 선각보정작업을 위한 첫 번째 3D 스캐닝을 한다. 이후 블록의 전체

용접 전 보정작업을 확인하기 위한 두 번째 3D 스캐닝 계측을 실시한다. 블록의 전체 용접 후 정부검사 전 최종 확인을 위한 세 번째 3D 스캐닝 계측을 실시한다. 네 번째 최종으로 국방기술품질원 주관 네 번째 3D 기계적 스캐닝 계측을 실시한다. 3D 스캐닝은 Fig.12에서 보는 바와 같이 진행되었다.

인원의 통행이 없는 야간에 마스트 구조물 주변에 작업 발판을 설치하여 Table 3과 같이 두 가지의 레이저 스캐너를 이용하여 측정한다. Fig. 2(a)에서 보이듯이 스캐닝 카메라스캐너와 스케일 바, 표적을 사용하게 된다. Fig. 12에서 구조물을 따라 붙어있는 사각형 모양이 Fig. 7의 상자 안에 있는 Coded target 으로서 각각의 일련 번호가 부여되어 있고 반사체의 모양이 서로 달라 구별이 용이 하도록 하였고 포토그래메트리 방식으로 스캐닝된 여러 사진이 오차 없이 통합 이미지화 되도록 하는 역할을 한다.



Fig. 12. 3D Laser Scanning for Mechanical Alignment of FWD/AFT Mast Block

계측이 진행되면 Fig. 14 (a),(b)와 같이 계측결과를 분석하여 3장에서 제시된 요구조건을 만족하는지를 비교하게 된다. Fig.1(a)는 선수 Array 의 Tilt값을 분석한 것이고 Table 4의 1번 20.078°를 나타낸다. 각도에 대한

요구치는 Fig. 14(a)와 유사하게 측정되고 시각화된 세부 분석 자료는 Table 4의 2~12번으로 대체한다. Fig. 14(b)는 거리에 대한 요구 치로서 구간별 측정된 거리를 분석하여 Table 4의 13~26번의 결과 치를 얻었다. 블록의 함상 탑재 후 Pad의 편평도를 재 측정하였다. 그 이유는 Fig. 9에서 Array 부착을 위한 개구부에 가설한 X자형 바를 구조변형을 위한 보강재로서 사용하였는데 함상 탑재 후 보강재를 제거해야하고 이에 따라 공장 검사 시 편평도를 만족하였더라도 함상에서 Pad의 Level 변화를 재확인하기 위함이다. 측정결과 Fig. 13과 같이 요구치인 $\pm 2\text{mm}$ 를 벗어나는 개소가 우현, 함미 Array에서 발견되었다. 녹색으로 나타낸 우현 Array의 14번~19번이 -2mm 를 초과, 22번이 $+2\text{mm}$ 를 초과하였고 열처리를 통한 수정 가공으로 탑재상태에서 보라색 라인처럼 $\pm 2\text{mm}$ 이내에 Level을 만족시켰다. 파란색으로 표시된 함미 Array의 10~12번, 23~26번 Pad가 -2mm 이내로 불만족하여 수정 가공으로 탑재상태에서 주황색 라인처럼 $\pm 2\text{mm}$ 이내에 Level을 만족시켰다.

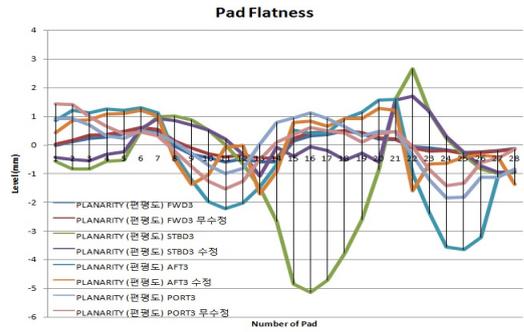


Fig. 13. Measurement result of pad flatness on each array

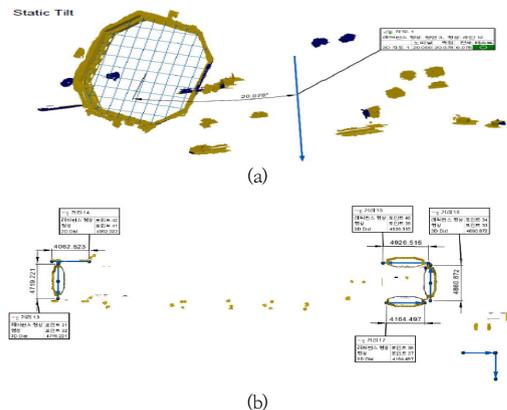


Fig. 14. Measurement result (a) FWD array tilt angle (b) position of each array for calculating centerline distance

네 번째 최종 3D 스캐닝 결과는 Table 4와 같으며, 모두 3장에서 제시된 설치 요구조건의 기준치를 만족하였다[14]. 향후연구 내용은 레이더 탑재 시 Pad에 정확하게 안착시키는 등의 정렬 방법과 탑재 후 대공표적 지원을 통한 소프트웨어적인 정렬을 통해 대공 레이더의 성능을 입증하는 것이다.

Table 4. Results of Final 3D Laser Scanning

No.	Parameters		Required	Measured
1	4 Arrays - MRP Tilt	FWD	20 ± 0.172 °	20.078°
2		AFT		19.873°
3		PORT		20.140°
4		STBD		20.021°
5	FWD, AFT Array Yaw-SCL	FWD	0 ± 0.172 °	0.03°
6		AFT		0.052°
7	FWD, AFT Array Roll-MRP	FWD	0 ± 0.114 °	0.044°
8		AFT		0.089°
9	PORT, STBD	PORT	90 ± 0.172 °	0.027°
10	Array Yaw-SCL	STBD		0.079°
11	PORT, STBD	PORT	0 ± 0.114 °	0.070°
12	Array Roll-MRP	STBD		0.056°
13	FWD, AFT Array - FWD, AFT Array Centerline(Top view)		0 ± 10mm	5.568mm
14	FWD, AFT Array - FWD, AFT Array Centerline(Side view)		4.205 ± 10mm	4207.43mm
15	PORT, STBD Array PORT, STBD Array Centerline(Top view)		0 ± 10mm	1.215mm
16	PORT, STBD Array FWD, AFT Array Centerline(Side view)		0 ± 10mm	9.021mm
17	4 Arrays Interface Pad	FWD	±2mm	-0.459~0.611mm
18		AFT		-0.948~1.701mm
19		PORT		-1.532~1.433mm
20		STBD		-1.715~1.281mm

5. 결론

최근 레이더 설치를 위한 구조물이 복잡해지고 측정 Point가 많아지면서 기존의 계측기로는 한계에 부딪히고 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 3D 레이저 측정 방법이 대안으로 제시되고 있다. 3D 스캐닝 방법은 정밀한 계측이 가능하다는 장점이 있지만, 장비의 가격이 비싸고, 숙련된 계측 자와 소프트웨어를 이용한 분석자가 다수 필요하며, 우천 시에는 빗방울을 Volume으로 인식한다는 단점, 작업 구조물이나 인원 통행 시 오차가 많이 발생한다는 단점이 있어 타 작업이나 인원통행이 없는

야간에 작업이 이루어져 안전관리 차원에서도 단점이 많이 있다.

하지만 본 연구에서와 같이 레이저 3D 스캐닝 외에는 대안이 없을 경우에는 이 방법을 사용할 수밖에 없는 점과 최근 센서의 요구 정밀도 향상에 따른 기계적 정렬 정밀 요구도 향상 추세에서는 불가피한 계측 방법이 될 것이다. 따라서 군·산·학·연에서도 이에 대한 대비로 많은 교육과 연구가 필요하다.

References

- [1] Wikipedia. LPH-6111 Dok-do[Internet]. Wikipedia. [cited 2019 May 11], Available From: <https://ko.wikipedia.org/wiki/LPH-6111> (accessed May. 22, 2019)
- [2] Wikipedia. LPH-6112 Mara-do[Internet]. Wikipedia. [cited 2019 Mar 8], Available From: <https://ko.wikipedia.org/wiki/LPH-6112> (accessed May. 22, 2019)
- [3] Wikipedia. SMART-L[Internet]. Wikipedia. [cited 2019 Jun 14], Available From: <https://ko.wikipedia.org/wiki/SMART-L> (accessed Aug. 10, 2019)
- [4] ELTA Systems Ltd, MF-STAR Multi-Function Digital AESA Radar ELM-2248, Brochure, ELTA Systems Ltd, Israel, pp.1-2. DOI: <https://www.iai.co.il/p/elm-2248-mf-star>
- [5] Wikipedia. EL/M-2248[Internet]. Wikipedia. [cited 2019 Jan 10], Available From: <https://ko.wikipedia.org/wiki/EL/M-2248> (accessed May. 22, 2019)
- [6] K. L. Cho, The Result of MNAV for KDX-III AEGIS Combat System, Technical Report, Defence Agency for technology and Quality, Korea, pp.12-16.
- [7] K. Kwon, J. Lee, "Fabrication Assessment Method for Dimensional Quality Management of Curved Plates in Shipbuilding and Offshore Structure", Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol.32, No.2, pp.106-115, Apr. 2018. DOI: <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201813639169742.page>
- [8] L. Runqi, K. H. Lee, J. M. Lee, B. W. Nam, and D. S. Kim, "A Study on Method of Hull Blocks Based on Point Clouds for Error Prediction", Journal of Computational Structural Eng Engineering Institute of Korea, Vol.29, No.2, pp.123-130, Apr. 2016. DOI: <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201614139533662.page>
- [9] Merrill I. Skolnik, Radar Handbook, 3rd Ed., McGraw-Hill, 2008.

- [10] Constanine A. Balanis, "Antenna Theory 3rd Ed." Wiley, pp.350-353, 2005.
- [11] Radar Sensor Array, Working Manual, Hanjin Heavy Industry Corporation, Korea, pp.1-6.
- [12] AMETEK, Optical CMM 3D Scanner, Brochure, AMETEK, USA, pp.1-6.
DOI: <https://www.creaform3d.com/ko/gyceug-solrusyeon/gwanghag-cmm-seukaeneo-metrascan-3d>
- [13] Innovmetric, Polyworks 2019 Metrology Suite.
DOI: <https://www.innovmetric.com/en/polyworks-metrology-suite-2019>
- [14] Antenna Array Interface Alignment Report, Process Inspection Report, Hanjin Heavy Industry Corporation, Korea. pp.1-3.

서 형 필(Hyeong-pil Seo) [정회원]



- 2003년 2월 : 해군사관학교 전자공학과 (공학사)
- 2013년 2월 : 연세대학교 일반대학원 전기전자공학부 (공학석사)
- 2014년 : 해군사관학교 무기체계공학과 조교수
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>
RCS 감소, 위상배열, 레이더

김 대 한(Dae Han Kim) [정회원]



- 2014년 2월 : 부산대학교 재료공학부(공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원 재직

<관심분야>
소재, 구조

김 준 우(Joonwoo Kim) [정회원]



- 2010년 2월 : 부산대학교 조선해양공학과(학사)
- 2010년 2월 ~ 2014년 8월 : 삼성중공업 설계팀
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 함정센터 근무

<관심분야>
함정구조, 선체구조 및 정렬

이 경 진(Kyung jin Lee) [정회원]



- 1998년 2월 : 창신전문대 실무영어과 (전문학사)
- 1982년 10월 ~ 2015년 9월 : 대한민국 해군
- 2015년 10월 ~ 현재 : 한진중공업 품질경영팀

<관심분야>
정보통신, 전자전, 수중음향

조 규 룡(Kyu-Lyong Cho) [정회원]



- 2002년 2월 : 영남대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2010년 2월 : 한국해양대학교 해양공학과 (공학석사)
- 2017년 8월 : 한국해양대학교 전기전자공학과 (공학박사)
- 2004년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>
신호처리, EMI/EMC, 수중음향