creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학석사학위논문

평블록 주판의 용접 변형 측정 시스템 개발

Development of Welding Distortion Measurement System for Deck Plate of Panel Block Structure

2014년 2월

서울대학교 대학원

조선해양공학과

손 승 혁

초 록

선박을 건조할 때, 선체를 이루는 블록은 용접을 통해 만들어 진다. 하지만 이러한 제작 과정의 특성 상 어쩔 수 없이 용접 변형이 발생하게 되고, 조선소에서는 이러한 용접 변형을 해결하기 위해 많은 노력이 필요하게 된다.

용접 변형을 교정하기 위해서는 먼저 블록의 용접 변형 상태를 측정해야 할 필요가 있다. 하지만 현재 조선소에서는 자나 실 따위를 이용하거나, 광파기를 이용하여 하나하나 측정을 하고 있는 실정이다. 그래서 용접 변형 교정 작업의 효율성을 높이기 위해 먼저 용접 변형을 측정하는 작업의 효율성을 높이는 연구를 수행하였다.

선박의 블록은 평블록과 곡블록으로 구분할 수 있는데, 평블록은 공통된 특징을 찾기에 용이하므로 본 논문에서는 먼저 평블록에 대해서 연구를 진행하였다. 특히, 평블록의 주판 부분에 대한 용접 변형을 측정하고자 하였다.

평블록 주판의 용접 변형을 효율적으로 측정하기 위해 레이저 거리측정기와 Pan-Tilt 시스템을 적절히 이용하여 측정 장비를 구성하고, 측정 작업의 효율성을 높이기 위해 자동으로 용접 변형을 측정할 수 있도록 하였다. 또한 측정된 결과를 통해 원하는 결과를 계산하는 방법을 정립하

였으며, 측정 장비부터 결과 정리 방법을 전체적으로 묶어 평블록 주판의 용접 변형 측정 시스템으로 완성하였다.

기존에 직접 측정하는 방식에 비해 높은 측정 속도를 기대할 수 있으며, 용접 변형량 뿐만 아니라 측정 대상의 전체적인 형상을 파악할 수 있게 되었다. 결과적으로 용접 변형 교정 작업의 효율성까지도 높일 수 있기를 기대한다.

주 요 어 :

평블록 주판(Deck Plate of Panel Block Structure)
용접 변형 측정(Welding Deformation Measurement),
레이저 거리측정기(Laser Range Finder),
Pan-Tilt 시스템(Pan-Tilt System),
용접 변형 측정 시스템(Welding Distortion Measurement System)

학 번 : 2012-21060

목 차

논문 목차

1. 서 론 1
1.1 연구 배경 1
1.2 관련 연구 현황 3
1.3 연구 범위 및 방법 5
1.3.1 연구 범위 5
1.3.2 연구 방법 6
2. 평블록 주판의 용접 변형 측정 7
2.1 용접 변형 측정 대상 정의 및 분석 7
2.1.1 측정 대상 정의 7
2.1.2 측정 대상 분석 8
2.2 용접 변형 측정 시스템의 구성요소 도출 1 2
3. 용접 변형 측정 시스템 개발 1 3
3.1 측정 장비 구현 1 3
3.1.1 기존 측정 장비 분석 1 3
3.1.2 측정 장비 제작 2 0
3.1.3 측정 장비 보정 2 4

3.2 측정 프로세스 정립 31
3.2.1 기존의 측정 시나리오 조사 31
3.2.2 용접 변형 측정 프로세스 정립 35
3.3 결과 분석 방법 정립 37
3.4 용접 변형 측정 시스템 39
4. 용접 변형 측정 시스템 적용 41
4.1 적용 대상 정의 41
4.1.1 실험 대상 41
4.1.2 적용 결과 42
5. 결 론 46

그림 목차

그림 1 Total Station을 이용한 용접 변형 측정 프로세스 2
그림 2 블록 분할 사례 5
그림 3 주판의 형상에 따른 블록 구분 5
그림 4 평블록의 주판 부분 8
그림 5 필렛 용접의 용접 변형 경향..... 8
그림 6 구속 조건이 없는 경우 여러 개의 필렛 용접으로 인한 변형 (Masubuchi, 1980) 9
그림 7 구속 조건이 있는 경우 여러 개의 필렛 용접으로 인한 변형 (Masubuchi, 1980) 9
그림 8 보강재가 수직으로 놓인 주판의 용접 변형(Masubuchi, 1980) 1 0
그림 9 변형의 정도를 파악하기 위한 측정 부위 1 0
그림 10 용접 변형량의 정의 1 1
그림 11 용접 변형 측정 시스템의 구성 1 2
그림 12 측정 장비의 분류..... 1 3
그림 13 접촉식 측정 장비 - 로봇 팔 방식..... 1 4
그림 14 접촉식 측정 장비 - Gantry 타입 1 5
그림 15 점 정보 수집 방법에 따른 센서 유형(E Sparrer, T Machleidt, 2012) 1 6
그림 16 구면 좌표계와 직교 좌표계의 관계 및 Pan-Tilt의 의미..... 1 6
그림 17 비접촉식 측정 장비 - 1D 센서를 이용한 시스템.... 1 7

그림 18 비접촉식 측정 장비 - 2D 센서를 이용한 시스템.... 1 8
그림 19 비접촉식 측정 장비 - 2.5D 센서를 이용한 시스템 1 9
그림 20 개략적인 측정 장비 개념도 2 0
그림 21 사용된 레이저 거리 측정기의 성능 2 1
그림 22 반사경을 이용한 Pan-Tilt 시스템 2 2
그림 23 제어부 시스템 구성도 2 3
그림 24 평블록 주판의 용접 변형 측정 장비 2 4
그림 25 보정 실험의 대상 2 5
그림 26 평판 측정 결과 2 5
그림 27 레이저 스팟이 길어지는 경우 2 7
그림 28 보정이 끝난 실험 결과 3 0
그림 29 평면도 공차가 필요한 평면의 개념도 3 1
그림 30 평블록 주판의 측정 시나리오 3 4
그림 31 용접 변형 측정 프로세스 3 5
그림 32 측정 범위 설정의 개념도 3 6
그림 33 결과 정리를 위한 좌표 변환 3 7
그림 34 측정 시나리오에 맞게 점 정보 배열 3 8
그림 35 용접 변형량 계산 및 결과 가시화 3 8
그림 36 평블록 주판의 용접 변형 측정 시스템 3 9
그림 37 용접 변형 측정 시스템의 적용 대상 4 1
그림 38 전체 형상 가시화 - 1 ..... 4 2
그림 39 전체 형상 가시화 - 2 ..... 4 3
그림 40 용접 변형량 계산 위치 4 4
그림 41 용접 변형량의 가시화 4 4

표 목차

표 1 Tilting을 담당하는 서보모터의 각도 세팅이 잘못된 경우와 예상되는 결과 28
표 2 Tilting 각도에 일정량을 더한 결과 29
표 3 평면도 조사를 위한 추출 전략 32

제 1 장

서 론

1.1 연구 배경

선박은 여러 개의 블록으로 이루어진다. 현재 조선소에서는 이 블록들을 조립하고, 연결하기 위해서 용접을 사용하고 있다. 선체 블록이 조립되는 과정에서 대부분 맞대기 용접과 필렛 용접이 사용되며, 이러한 과정에서 용접으로 인한 변형은 일어날 수 밖에 없다. 그렇기 때문에 선체 블록 조립 이후에 블록을 연결하는 블록 탑재 과정에서 문제가 생기게 되고, 문제의 해결을 위해 용접 변형을 교정해야 한다. 류현수(2003)에 의하면 블록 탑재 작업은 선박 건조 기간의 1/3을 차지하는 중요한 공정이므로, 블록의 형상 및 치수의 정확성은 탑재 작업을 비롯한 선박 건조의 효율성과 밀접한 관계를 갖는다.

그런데 용접 변형을 교정하기 위해서는 우선 변형이 어떻게 되어있는지 파악하는 작업이 필요하다. 특히, 정량적인 해석방법을 이용해 용접 변형 교정을 하기 위해서는 정확한 용접 변형량이 필요할 것이다. 하지만, 현재 조선소에서는 이러한 용접 변형을 측정하는 작업이 비효율적으로 이루어지고 있다. 크게 두 가지 방법을 사용하는데, 먼저 자나 실 따위를

이용하여 직접 용접 변형을 측정하기도 하고, Total Station(광파기)를 이용하여 용접 변형을 측정한다. 그런데 자나 실 따위를 이용한 방법보다 효율적인 방법인 광파기를 이용한 용접 변형 측정 역시 많은 공수가 필요하며 그 측정 프로세스는 다음과 같다.

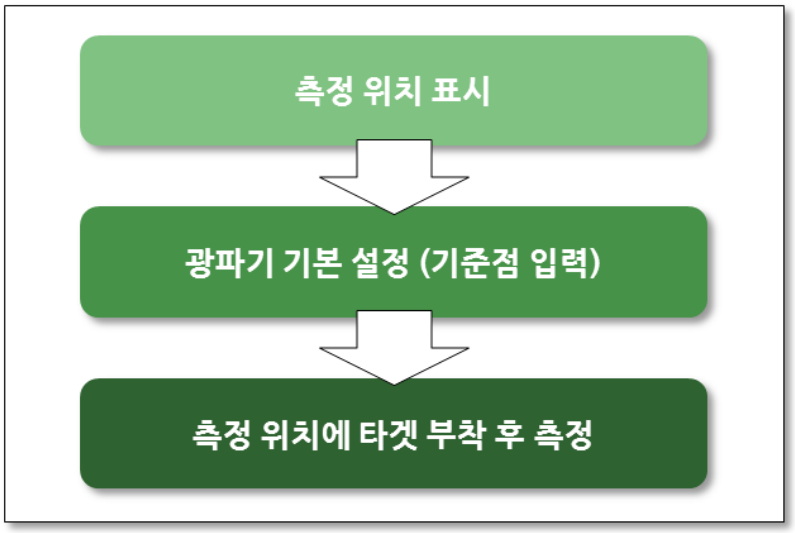


그림 1 Total Station을 이용한 용접 변형 측정 프로세스

그림 1은 광파기를 이용한 측정 프로세스에 대한 설명이다. 먼저 블록 모서리 길이만큼의 실을 이용하여 측정 위치를 파악한 후, 분필을 사용해 하나하나 표시를 한다. 그런 다음 광파기의 기준점을 입력하고, 측정이 필요한 위치에 타겟을 붙여가며 하나하나 측정한다. 이러한 용접 변형 측정 방법은 적어도 2명의 작업자가 필요하며 단위 블록당 약 2~3시간이 소요되며, 용접 변형 측정 방법을 효율적으로 개선할 필요가 있다. 용접 변형 측정을 효율적으로 수행함으로써 용접 교정 작업을 개선할 수 있으며 이는 결국 선박 건조의 효율성을 높이는데 도움이 된다.

1.2 관련 연구 현황

용접 변형에 관한 연구는 용접 변형이 일어나지 않도록 하는 것에 중점을 둔 연구와 이미 일어난 용접 변형을 해결하기 위한 것에 중점을 둔 연구로 나눌 수 있다. 용접 변형이 일어나지 않도록 하는 것에 중점을 둔 연구는 용접 변형을 예측하는 연구와 제어하는 연구로 나눌 수 있고, 이미 일어난 용접 변형을 해결하기 위한 연구는 용접 변형을 측정하는 연구와 교정하는 연구로 나눌 수 있다. 이 중 본 연구에 관련된 연구는 용접 변형 측정에 관한 연구이다. 그런데 용접 변형 측정에 관한 연구는 대부분 소형 구조물을 대상으로 하는 경우가 많다.

김형주(2001)는 레이저 스패클을 이용한 미세 용접부의 변형 측정 시스템에 관한 연구를 하였는데, 레이저 스패클이란 물체의 굴곡이 빛의 파장보다 긴 경우에 빛이 산란되어 나타나는 빛의 알갱이 무늬를 의미한다. 이 방법은 수 마이크로 이내의 열변형을 파악하는 것이 가능하며 비접촉식이므로 고온에도 적용이 가능하다.

김창현 외(2006)는 용접 로복을 위한 3D 측정 시스템에 대한 연구를 하였다. PC 기반의 비전 카메라와 선형 레이저 다이오드를 통해 용접 변형을 파악하였다. 또한 측정 대상 전체의 3차원 형상을 얻는 것이 가능하였다.

Fredrik Sikstrom et al.(2006)는 3D 레이저 스캐너를 사용하여 용접 변형을 측정하는 연구를 수행하였다. 레이저 스캐너를 로봇 팔에 달아서 사용하였으며 용접 과정에 대한 Finite Element Analysis(FEA)를

Validation하는 방법으로도 이용가능 하였다.

이처럼 소형 구조물의 용접 변형을 측정하는 연구는 다양한 측정 장비로 용접 변형을 정밀하게 측정하는 방법에 대해 여러 가지로 연구되어 왔다. 하지만 대형 구조물의 경우 연구된 경우가 거의 없었다.

T.D. Huang et al.(2003)은 선체 평블록의 잔류 응력을 파악하는 연구를 수행하면서 용접 변형을 측정하였다. 레이저를 이용한 3대의 라이다(LIDAR, LIght Detection And Ranging)를 통해 용접 변형을 파악하였고, 파악된 용접 변형을 통해 잔류 응력을 계산하였다. 하지만 이 연구에서는 잔류 응력 계산을 위한 용접 변형 측정을 수행하였므로 정밀한 측정을 하였고, 이 연구에서 사용된 장비는 평블록의 크기보다 더 큰 정반과 몇 배 이상 높은 공간이 필요하였다.

결국 소형 구조물과 대형 구조물의 경우 모두 어느 대상에나 적용 가능한 측정 방식에 대한 연구였고, 다시 말해 측정 대상의 형태가 딱히 고려되지 않고, 전체 형상의 정보를 얻기 위한 연구라고 할 수 있다. 하지만 평블록 주판의 경우 뚜렷한 특징을 가지므로 전체 형상의 정보를 상세히 얻는 작업은 비효율적이라고 할 수 있다. 그러므로 측정 목적과 대상의 특징을 고려한 체계적인 측정 시스템에 관한 연구가 필요하다.

1.3 연구 범위 및 방법

1.3.1 연구 범위

선박을 이루는 블록은 주판의 형상에 따라 곡블록과 평블록으로 구분할 수 있다. 평블록은 주판이 평면인 블록을 의미하는데, 형상의 특징으로 인해 곡블록에 비해 공통적인 특징을 파악하는 것이 용이하다.

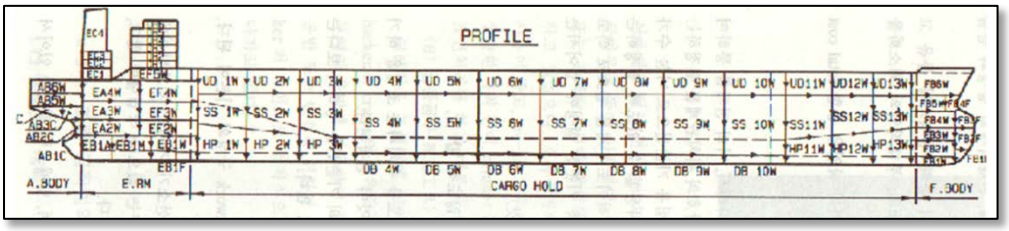


그림 2 블록 분할 사례

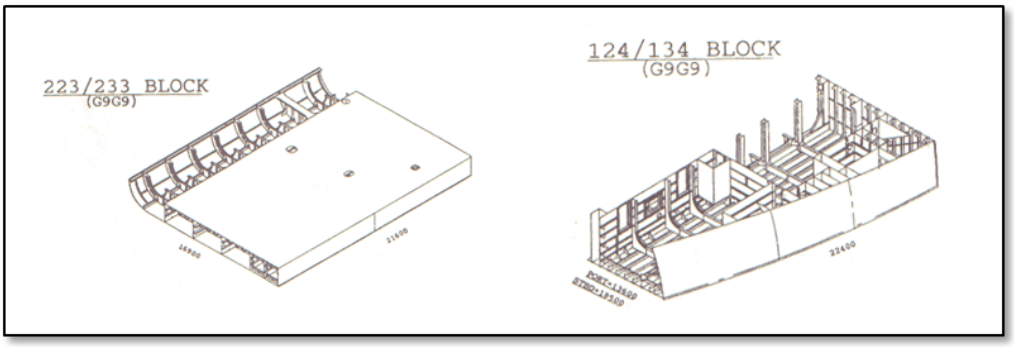


그림 3 주판의 형상에 따른 블록 구분

그림 2는 블록으로 이루어진 선박을 보여주는 그림이며, 그림 3은 주판의 형상에 따라 평블록과 곡블록으로 구분되는 것을 보여주며 왼쪽의 블록이 평블록이고, 오른쪽의 블록이 곡블록이다.

본 연구는 용접 변형 측정에 대한 초기 연구이므로 공통적인 특징을 파악하기 쉬운 평블록 주판에서의 용접 변형을 대상으로 연구를 수행하였다.

1.3.2 연구 방법

본 논문은 아래와 같은 순서로 연구를 진행하였다.

2장에서는 평블록 주판의 용접 변형 측정 대상에 대하여 정의하고 분석한 뒤, 용접 변형 측정 시스템의 구성요소를 도출하였다.

3장에서는 측정 장비를 구현하고, 측정 프로세스를 정립한 후, 결과 분석 방법을 정립하였고, 용접 변형 측정 시스템을 정의하였다.

4장에서는 본 논문에서 개발된 용접 변형 측정 시스템을 직접 적용하고 그 결과를 분석하였다.

5장에서는 연구의 결론을 서술하였다.

제 2 장

평블록 주판의 용접 변형 측정

2.1 용접 변형 측정 대상 정의 및 분석

2.1.1 측정 대상 정의

용접 변형 대상은 연구 범위 설정에서 언급했듯이 평블록의 주판 부분이며, 그림 4에 그 모습이 표현되어 있다. 본 연구에서 대상으로 한 평블록의 주판 부분은 아래로 향해 있는 형태이다. 또한 바닥부터 주판까지의 간격은 약 2m 정도의 높이를 갖는다. 그런데 이러한 측정 대상을 측정하는데 고려해야 할 제약사항이 몇 가지 있다. Pre-Eretion(P.E.)장에서 측정을 수행할 수 있어야 하며 이 때의 블록은 6개 이상의 서포터로 가장자리를 받치고 있다. 서포터의 위치를 고려하여 측정 방법을 설정하여야 할 것이다. 그리고 용접 변형 측정 작업의 효율성을 높이기 위하여 측정 중에 장비를 옮기는 일이 최소화되도록 장비를 제작하여야 할 것이다. 이는 본 연구의 목적인 효율성 향상에 중요한 제약 사항이다. 또한 기존의 선박 생산 과정을 방해하지 않고, 적용이 가능한 장비를 개발해야 하는 것 역시 중요한 제약 사항이 된다.

그림 4 평블록의 주판 부분

2.1.2 측정 대상 분석

측정 대상인 평블록 주판의 용접 변형은 보강재와 주판을 필렛 용접하는 과정에서 주로 발생하게 된다. 필렛 용접 과정에서 보강재에 부착되는 주판은 보강재를 중심으로 용접된 부분이 수축하며 휘게 된다. 그림 5과 같이 필렛 용접한 부분이 수축하면서 변형이 발생한다.

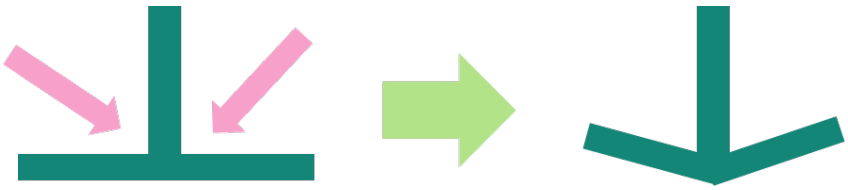


그림 5 필렛 용접의 용접 변형 경향

평블록은 주판에 여러 개의 보강재를 필렛 용접하므로 그림 5과 같은 현상이 여러 곳에서 일어나게 된다. 이 때 만약 구속 조건이 전혀 없다면 그림 6과 같이 변형이 일어나겠지만 구속 조건이 있다면 그림 7 같은 변형이 발생한다. (Masubuchi, 1980)

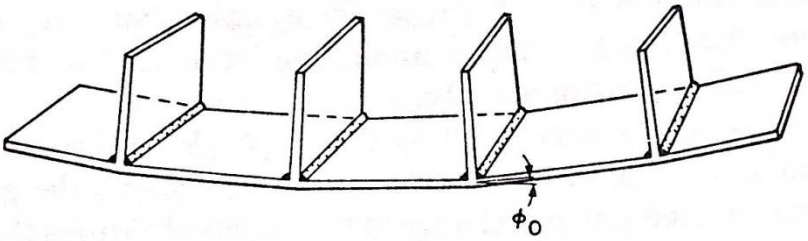


그림 6 구속 조건이 없는 경우 여러 개의 필렛 용접으로 인한 변형
(Masubuchi, 1980)

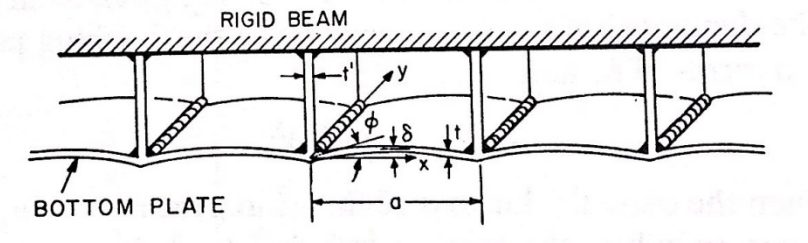


그림 7 구속 조건이 있는 경우 여러 개의 필렛 용접으로 인한 변형
(Masubuchi, 1980)

그런데 평블록의 경우 구속 조건이 있는 경우에 해당하므로 그림 7 와 같은 변형이 일어나며, 보강재가 놓이는 방향이 한 쪽 방향이 아니라 수직으로 놓이는 경우에는 그림 8과 같은 변형이 일어날 것이다.

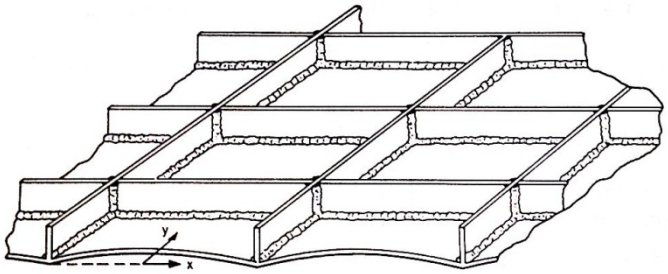


그림 8 보강재가 수직으로 놓인 주판의 용접 변형(Masubuchi, 1980)

이를 통해 보강재와 보강재의 사이 가운데 부분에 가장 심한 변형량이 생긴다는 것을 확인할 수 있다. 이 가장 심한 변형량은 그 주변 보강재로 이루어진 사각형을 대표하는 변형량으로 볼 수 있으며 이는 곡직 작업에 가장 중요한 요소가 될 것이다. 그래서 용접 변형을 파악하기 위해서 최소한 보강재가 주판과 만나는 부분과 그 가운데의 높이값을 측정해야 한다. 그런데, 본 연구의 목적이 효율성 향상에 있으므로 앞에서 언급한 부위만을 측정하여 변형의 정도를 파악한다. 그림 9은 보강재와 주판이 용접되어 있는 구조물의 단면에 변형의 정도를 파악하기 위한 측정 부위를 표시한 그림이다.

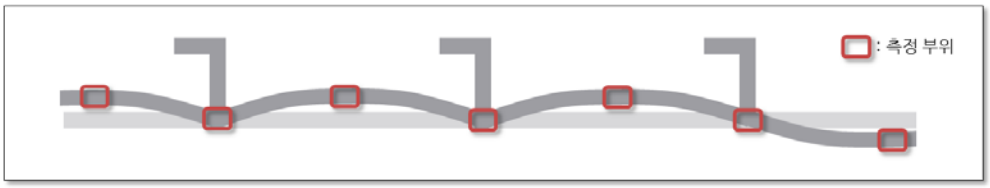


그림 9 변형의 정도를 파악하기 위한 측정 부위

본 논문에서는 평블록 주판의 용접 변형만을 다루므로 그 특징에 맞도록 적절하게 용접 변형량을 정의하여 사용하였다. 곡직 작업의 대상이 되

는 면외변형만을 고려하였으며, 보강재가 서로 교차하여 만드는 직사각형 하나에 용접 변형량을 하나씩 정의하였다. 먼저 보강재가 교차하는 꼭지점을 지나는 Bi-Linear Bezier Patch를 생성하고 그 때의 두 매개변수는 0에서 1까지의 값을 가지도록 한다. 그리고 두 매개변수의 값이 (0.5, 0.5)인 점의 높이를 계산하고 실제 측정값과 비교하여 용접 변형량을 정의하였다. 그림 10의 가운데 화살표로 표시된 부분의 길이가 정의된 용접 변형량을 의미한다.

(용접 변형량)

= (측정 높이값) – (주변 보강재의 측정값으로 계산한 높이)

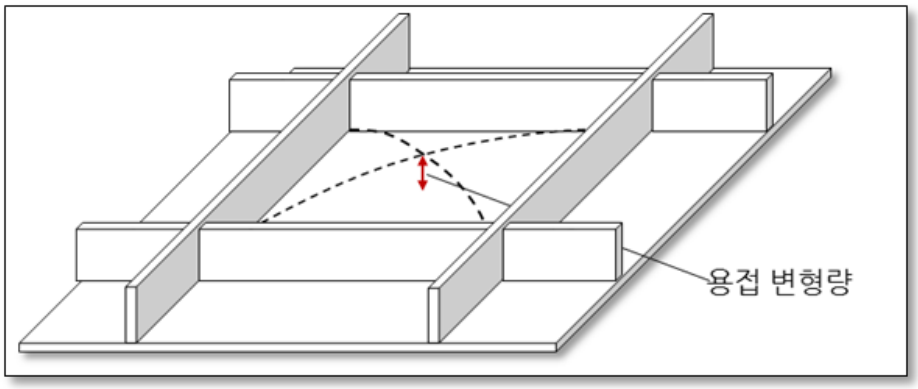


그림 10 용접 변형량의 정의

2.2 용접 변형 측정 시스템의 구성요소 도출

용접 변형 측정 시스템을 개발하기에 앞서 본 연구에서 개발할 시스템의 목적. 요구사항, 기대효과를 먼저 알아보고 최종적으로는 시스템의 구성요소를 도출한다. 먼저 시스템의 목적은 평블록 주판의 형상 측정을 통해 곡직 작업을 위한 용접 변형량을 도출하는 것이다. 기존 측정법만큼 신뢰가 가능한 측정 결과를 얻는 것이 본 시스템의 요구사항이며, 본 시스템을 통해 용접 변형 측정 작업의 M/H를 감소할 수 있어야 할 것이다.

시스템의 목적, 요구사항, 기대효과를 만족하기 위해서는 먼저 대형 구조물의 용접 변형을 측정할 수 있는 측정 장비가 필요할 것이다. 또한 파악된 구조물의 특징을 통해 효율적인 측정을 가능하게 할 측정 프로세스가 필요하다. 마지막으로 측정 장비와 측정 프로세스를 통해 얻어진 정보를 분석하여 원하는 결과를 얻는 방법이 필요하다. 그림 11은 평블록 주판의 용접 변형 측정 시스템의 구성이며 이 시스템은 용접 변형 측정 장비, 용접 변형 측정 프로세스, 결과 분석 방법으로 이루어져 있다.

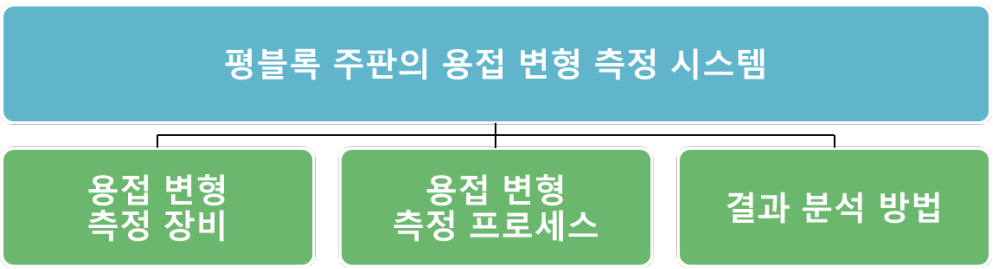


그림 11 용접 변형 측정 시스템의 구성

제 3 장

용접 변형 측정 시스템 개발

3.1 측정 장비 구현

3.1.1 기존 측정 장비 분석

평블록 주판의 용접 변형 측정 시스템 중 용접 변형 측정 장비를 구현하기 위해 먼저 기존의 측정 장비를 분석하였다. 기존의 측정 장비는 크게 접촉식 측정 장비와 비접촉식 측정 장비로 나누어 볼 수 있다. 이는 물체 표면에 탐지 프로브(Probe)를 직접 대는가의 여부로 구분된다. 그림 12은 측정 장비의 분류를 보여 준다.

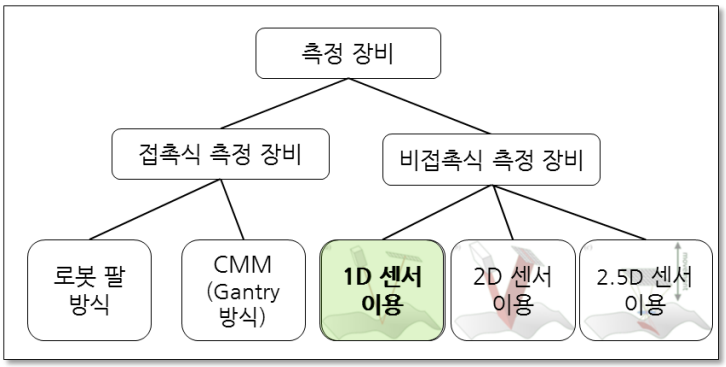


그림 12 측정 장비의 분류

접촉식 측정 장비는 로봇 팔을 이용하는 방식과 Gantry 타입의 방식(CMM; Coordinate Measuring Machine)으로 나눌 수 있다. 먼저 로봇 팔 방식은 로봇 팔의 관절에 고분해능 엔코더를 사용하여 회전각을 측정함으로써 팔 끝에 달린 프로브의 3차원 좌표를 획득하는 방식이다. 정밀도는 5μm 수준이며, 로봇 팔이 닿을 수 있는 거리가 측정 가능 영역이 된다. 그림 13은 로봇 팔을 이용하는 접촉식 측정 장비의 예이다. (a)는 Hexagon Metrology의 Cimcore arm이며, (b)는 Faro의 FaroArm이다.

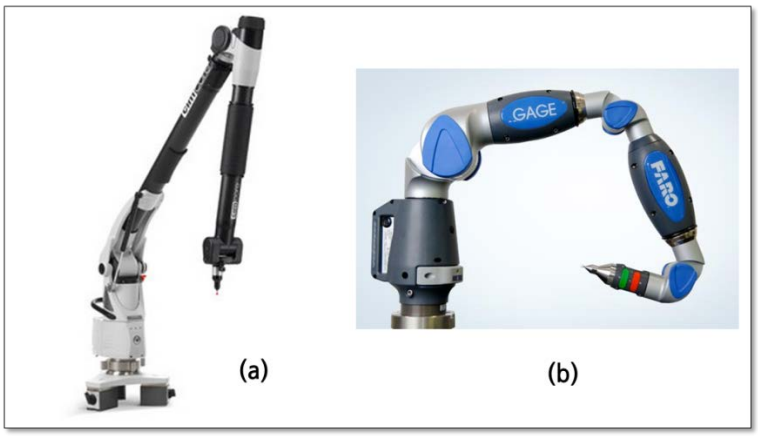


그림 13 접촉식 측정 장비 – 로봇 팔 방식

Gantry 타입의 방식은 측정 대상을 정반에 올려 놓고, 정반 위를 Gantry가 움직이고 Gantry 에 접촉 프로브가 부착되어 측정 대상의 3차원 좌표를 획득하는 방식이다. 정밀도는 0. 5μm 수준이며, Gantry를 이루는 기둥 사이의 간격과 정반의 크기가 측정 가능 영역이 된다. 그림 14은 Gantry 타입 접촉식 측정 장비의 예이다. (a)는 Hexagon Metrology의 DEA ALPHA이며, (b)는 COORD3의 Gantry CMM이다.

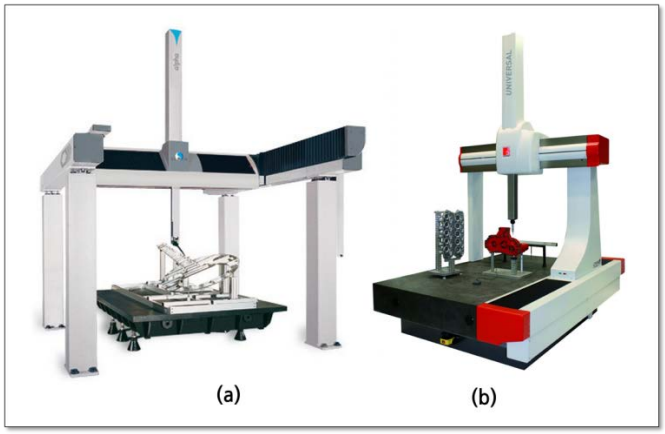


그림 14 접촉식 측정 장비 - Gantry 타입

접촉식 측정 장비는 제한된 소규모 영역을 정밀하게 측정하는 방식이라 할 수 있다. 또한 작업자가 측정이 필요한 부분에 일일이 측정을 해야 한다. 그런데, 연구 대상인 평블록 주판에 적용하기 위해서는 측정 대상 전체를 커버할 수 있는 로봇 팔이나 Gantry를 따로 제작해야 하며, 조선소에 용접 변형 측정만을 위한 공간을 마련해야 하므로 현재 선박 건조 프로세스에 많은 영향을 미치게 되어 적용이 현실적으로 불가능하다. 또한 현재의 측정 방식과 다르지 않게 측정이 필요한 부위에 하나하나 작업을 해야 하므로 효율성의 개선이 어렵다. 즉, 접촉식 측정 장비는 평블록 주판과 같은 대형 구조물에 적용하기에는 적합하지 않음을 알 수 있다.

비접촉식 측정 장비는 사용하는 센서의 종류에 따라 구분할 수 있다. 1D 센서를 이용한 시스템, 2D 센서를 이용한 시스템, 2.5D 센서를 이용한 시스템이 있는데, 각 센서는 한 번에 얻을 수 있는 정보의 양에 따라

구분된다. 그림 15은 센서 유형에 따른 개념도 이다. (a)는 1D 센서를 이용한 시스템이고, (b)는 2D 센서를 이용한 시스템이며 (c)는 2.5 센서를 이용한 시스템이다.

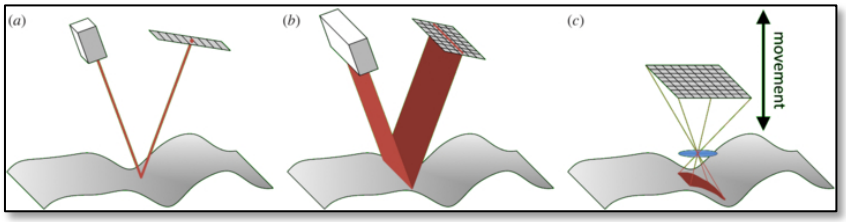


그림 15 점 정보 수집 방법에 따른 센서 유형(E Sparrer, T Machleidt, 2012)

1D 센서는 레이저 거리측정기에서 측정점까지의 거리 값만을 얻게 된다. 그렇기 때문에 1D 센서를 이용한 시스템은 Pan-Tilt 시스템에 의한 두 개의 각도와 1D 센서의 거리값을 통해 3차원의 점 정보를 생성한다. 여기서 Pan-Tilt 방식이란, 구면 좌표계의 변수 중 각도와 관련한 변수를 기계적으로 구현한 것을 의미하며, 그림 16에 표현한대로 레이저 거리측정기의 거리 값이 구면 좌표계의 반지름 값에 해당하게 된다.

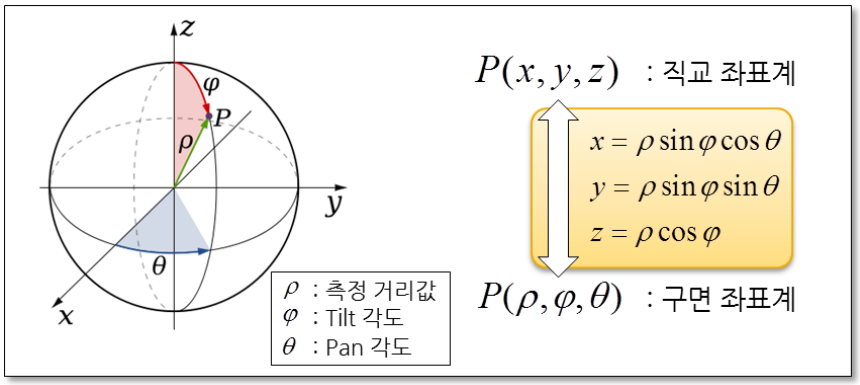


그림 16 구면 좌표계와 직교 좌표계의 관계 및 Pan-Tilt의 의미

그림 17은 1D 센서를 이용한 시스템의 예이다. (a)는 Sokkia의 Total Station(광파기)이고, (b)는 Faro의 Laser Traker이고, (c)는 Faro의 Focus3D이다. Total Station은 실제로 조선소에서 사용하고 있는 장비이며 효율성에 문제가 있다. Laser Tracker은 Total Station과 비슷한 원리로 작동하지만 전용 타겟을 사용하여 타겟이 움직이는 방향으로 레이저가 따라 움직이며 점 정보를 획득할 수 있는 제품이다. 그렇기 때문에 고정된 물체를 측정하는 본 연구에는 적절하지 않은 제품이다. Focus3D는 고속 회전하는 반사경을 통해 Tilt를 구현하고 계측기 전체를 회전시켜 Pan을 구현한 형태이다. 고속으로 많은 점을 측정하여 대형 구조물의 3차원 정보를 획득할 수 있으므로 평블록 주판의 용접 변형 측정 장치를 구현하는 과정에서 참고하기에 가장 적합한 형태라 할 수 있다.

그림 17 비접촉식 측정 장비 – 1D 센서를 이용한 시스템

2D 센서는 라인 형태의 레이저를 이용해 라인 상의 많은 점 정보를 한 번에 얻는 것이 가능하다. 같은 구조물의 3차원 정보를 얻을 때 2D 센서를 이용하는 경우에 더 효율적일 것이다. 즉, 소형 구조물의 정밀 계

측을 좀 더 빠르게 하는데 용이한 시스템이라고 할 수 있다. 그림 18는 2D 센서를 이용한 시스템의 예이다. (a)는 Nikon의 Digital CMM Scanner이고, (b)는 Faro의 Laser ScanArm이고, (c)는 Konica Minolta의 Range7이다. Digital CMM Scanner는 접촉식 측정 장비 중 Gantry 타입의 CMM과 같은 목적을 지니며 속도 면에서 더 나은 성능을 갖고 있다. Laser ScanArm 역시 접촉식 측정 장비 중 로봇 팔 방식과 유사하며 같은 목적을 지닌다. Range7는 장비 앞의 측정 대상을 선 형태의 레이저가 지나가면서 3D 정보 얻어내는 형태이며, 대형 구조물의 측정에는 적합하지 않다.

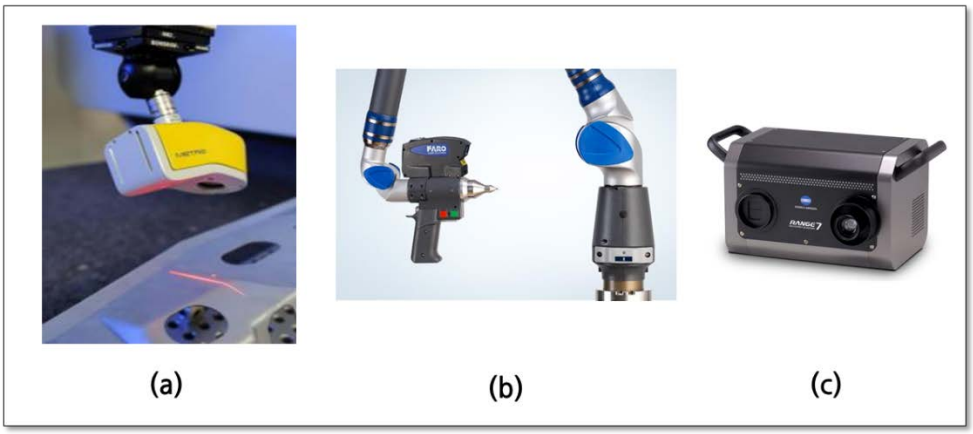


그림 18 비접촉식 측정 장비 – 2D 센서를 이용한 시스템

2.5D 센서는 2D 센서를 사용하는 경우보다 더 확장된 특정 면적 내부의 점 정보를 한 번에 얻는 것이 가능하다. 1D 센서나 2D 센서를 이용하는 경우에는 대부분 레이저를 사용하지만 2.5D 센서를 이용하는 경우에는 백색광 간섭 측정(white light interferometry), 레이저 간섭 측정(laser interferometry), 사진 측량 방법(Photogrammetry method) 등

다양한 방법이 존재한다. 그림 19은 2.5D 센서를 이용한 시스템의 예이다. (a)는 Breuckmann의 smartSCAN이고, (b)는 SPACEVISION의 3D Body Scanner이고, (c)는 AICON의 DPA이다. smartSCAN은 백색광 간섭 측정을 사용하며 소형 구조물 측정에 적합하다. 3D Body Scanner는 레이저 간섭 측정을 사용하며 인체를 한 번에 스캔할 수 있다. 한 번에 3차원 정보를 얻기 때문에 가장 효율성이 높은 방식이지만 측정 대상만큼 큰 측정 장비가 필요하므로 연구의 목적에는 적합하지 않다. DPA는 사진 측량 방법을 사용하며 타겟을 붙이고 여러 번의 사진 촬영 결과를 통하여 3차원의 점 정보를 얻을 수 있다.

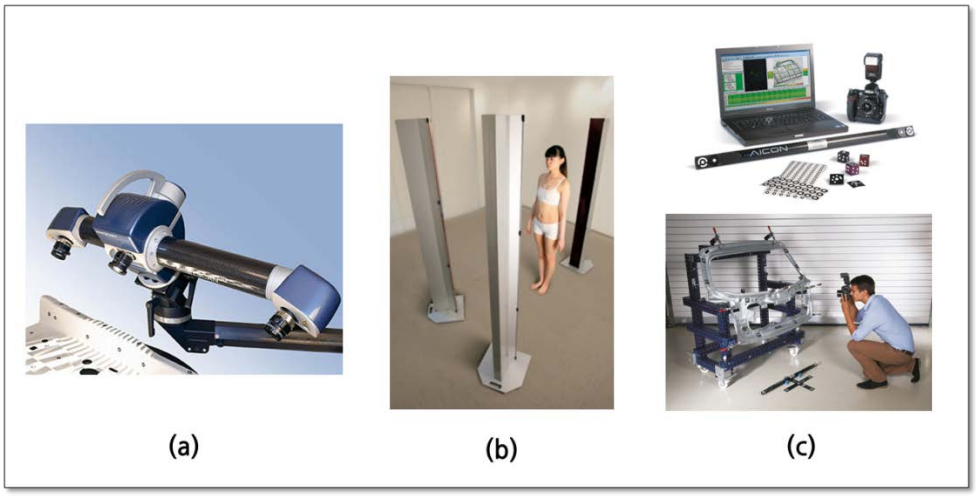


그림 19 비접촉식 측정 장비 - 2.5D 센서를 이용한 시스템

결과적으로 본 연구에 가장 적합한 것은 비접촉식 측정 장비 중 1D 센서를 이용한 시스템이며, 이 때 효율적인 Pan-Tilt 시스템을 위해 반사경을 사용한 방식이라고 할 수 있다.

3.1.2 측정 장비 제작

앞에서 측정 장비가 어떤 방식으로 작동해야 하는지를 결정하였다. 실제 원하는 대로 장비를 움직이기 위해서는 장비를 제어할 수 있는 모듈을 제작해야 한다. 측정 장비를 제작하기에 앞서 먼저 제어 모듈을 포함한 전체 측정 장비의 구성요소를 파악하여야 한다.

측정 장비는 크게 기계부와 제어부로 나눌 수 있고, 기계부에는 1D 센서를 사용한 레이저 거리측정기와 Pan-Tilt 시스템을 구현하기 위한 서보모터가 두 개 필요하다. 또한 제어부에는 제어 모듈이 필요하며, 사용자의 직접적인 제어를 위해 레이저 거리측정기와 서보모터를 제어할 조이스틱이나 터치스크린이 필요할 것이다. 그리고 자동 측정을 위해 시나리오를 작성하여 제어 모듈에 전달할 PC가 필요할 것이다.

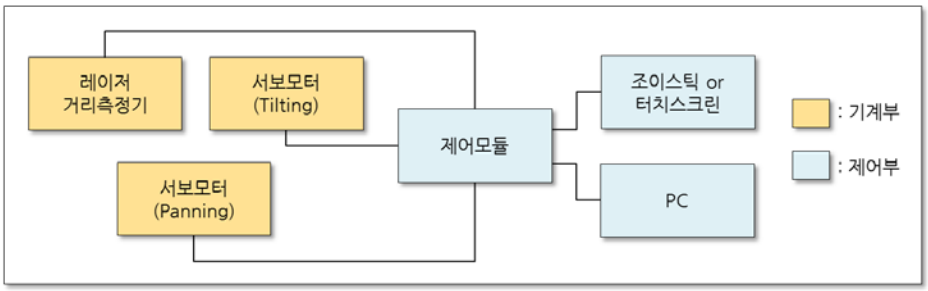


그림 20 개략적인 측정 장비 개념도

그림 20은 측정 장비의 구성 요소를 나타낸 개념도이다. 레이저 거리측정기와 두 서보모터는 제어 모듈에 연결되어 있고, 조이스틱이나 터치스크린은 제어 모듈에 명령을 내릴 수 있도록 연결되어 있다. PC 역시 자동 측정을 위해 제어 모듈에 연결되어 있다.

먼저 기계부를 제작하기 위해서는 적절한 1D 센서를 사용해야 한다. 본 연구에서는 측정 거리 0.05~65m 에서 정도는 ±1mm이며 반복성은 ±0.3mm인 레이저 거리측정기를 선정하여 사용하였다. 그림 21은 사용된 레이저 거리측정기인 Dimetix의 FLS-C10에 대한 성능을 알기 쉽게 표현한 것이다.

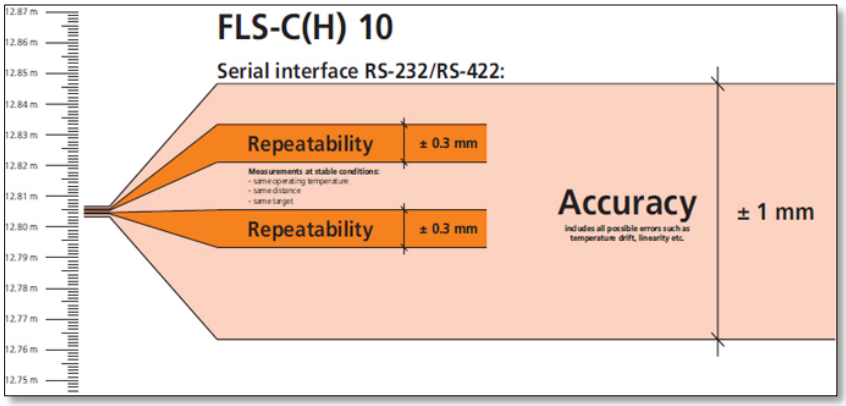


그림 21 사용된 레이저 거리 측정기의 성능

Pan-Tilt 시스템의 구현을 위해서는 서보모터를 두 개 사용해야 한다. 두 개의 서보모터는 각각 Panning과 Tilting을 담당하게 되는데, Panning 을 위해 측정 장비에 회전 정반을 설치한다. 회전 정반 위에는 레이저 거리측정기와 Tilting을 위한 서보모터가 고정되어 함께 돌아가고, 회전 정반 밑에는 Pannnig을 위한 서보모터를 설치한다. 그리고 Tilting을 효율적으로 수행하기 위해 반사경을 설치한다. 그리고 나서는 서보모터의 두 축과 레이저가 만나도록 서보모터의 축을 조정해야 한다.

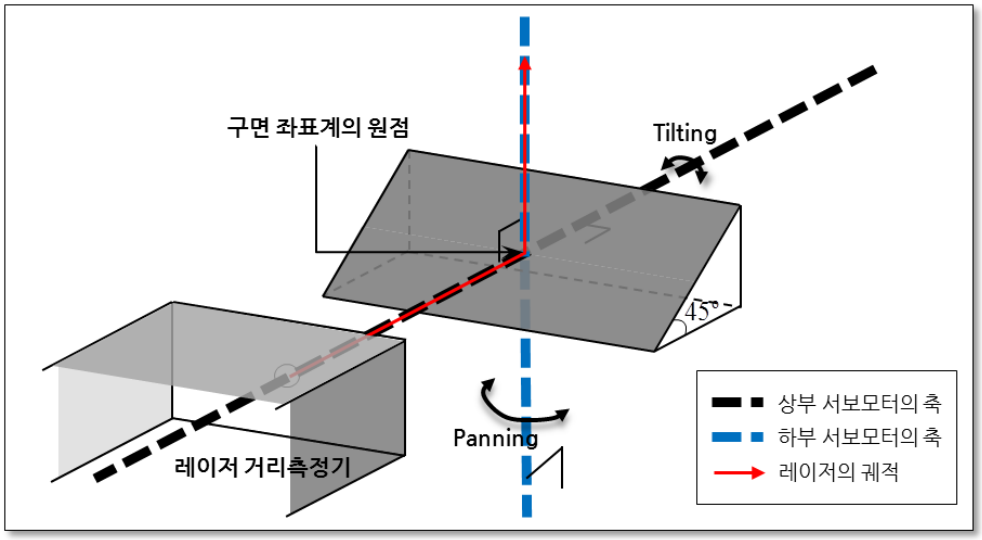


그림 22 반사경을 이용한 Pan-Tilt 시스템

그림 22은 반사경을 이용한 Pan-Tilt 시스템에 대해 좀 더 자세히 그린 개념도이다. 먼저 그림에 나와있듯이 반사경은 45도로 설치하여 레이저의 궤적이 수직으로 바뀔 수 있도록 해야 한다. 또한 레이저가 반사경에 닿기 전까지의 궤적은 상부 서보모터의 축과 일치해야 하며 이 직선은 하부 서보모터와 한 점에서 수직으로 만나야 한다. 그리고 그 만나는 점이 레이저가 반사경와 만나는 지점과도 일치해야 한다. 결국 레이저가 반사경과 만나는 지점이 Pan-Tilt 시스템이 만드는 구면 좌표계의 원점이 되어야 하는 것이다.

실제로 측정 장비를 제작하는 과정에서 Pan-Tilt 시스템이 만드는 구면 좌표계의 원점을 맞추는 작업을 위해서 레이저 측정기와 서보모터의 밑에 마이크로 스테이지를 부착하여 미세한 조정이 가능하도록 하였다.

제어부는 앞에서 언급했듯이 제어 모듈과 조이스틱 혹은 터치스크린, PC 이렇게 세 가지 구성요소가 필요하다. 실제로 제어부를 제작하는 과정에서 조이스틱 보다는 좀 더 여러 가지 명령을 내릴 수 있는 터치스크린을 선택하였으며, PC는 이동이 편한 노트북을 사용하였다. 제어 모듈은 두 개의 서보모터와 레이저 거리측정기를 제어해야 하는데, 자세한 내용은 그림 23에 나타나 있다.

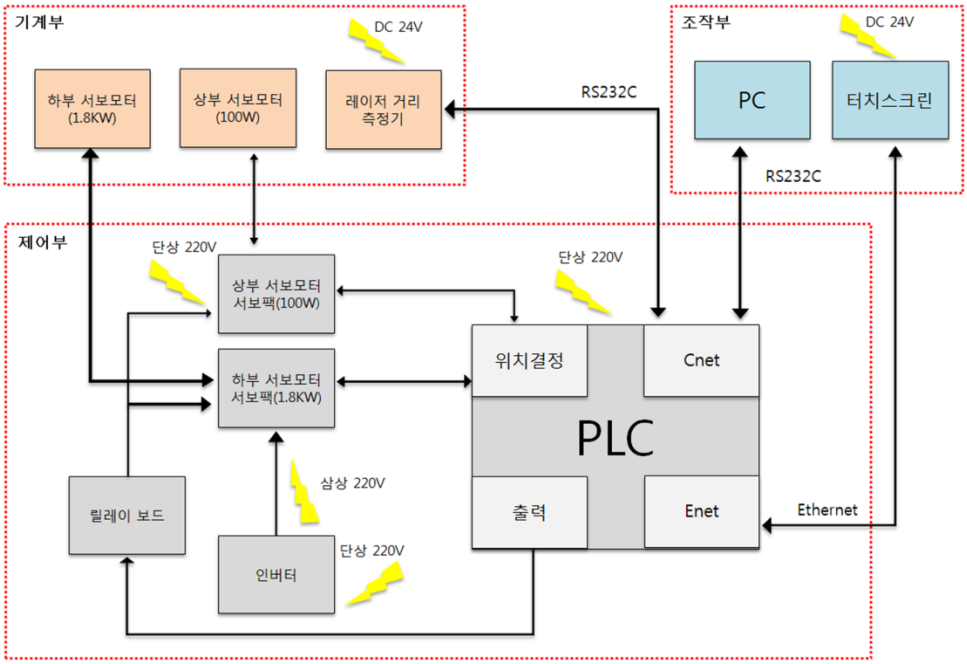


그림 23 제어부 시스템 구성도

기본적으로 제어 모듈에는 전원 공급기능이 있고, 서보모터를 제어하기 위한 서보팩이 있으며, 전체적인 제어부 시스템에서의 정보의 입출력을 위한 Programmable Logic Controller(PLC)가 있다. 터치스크린은 Ethernet 통신을 통해 사용자의 명령을 PLC로 전달하며, PC는 API를

이용하여 자동 측정 시나리오를 작성하여 RS232를 통해 PLC로 전달한다.

측정 장비에 사용된 부품은 부록에 추가하였다.

그림 24는 완성된 측정 장비의 실제 모습이다.

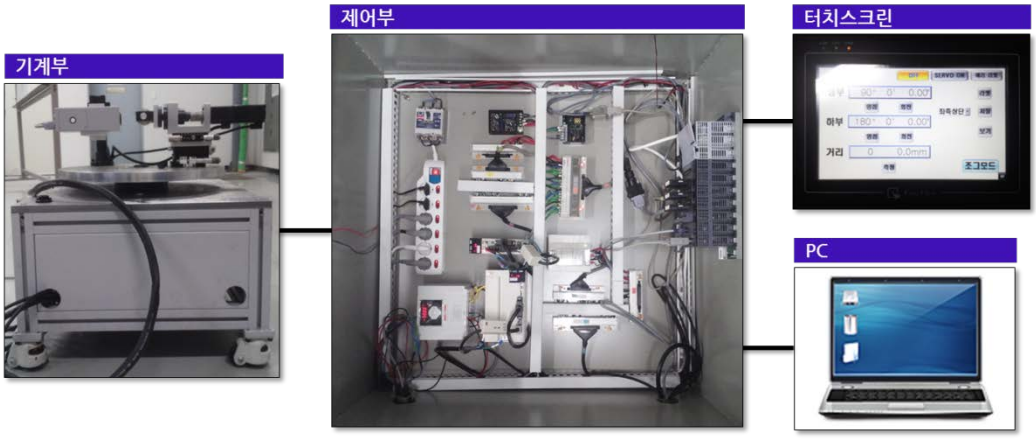


그림 24 평블록 주판의 용접 변형 측정 장비

3.1.3 측정 장비 보정

만들어진 측정 장비를 바로 사용할 수는 없기 때문에 간단한 실험을 통해 보정을 하였다. 평판을 측정하여 그 결과가 실제로 평판인지를 알아보는 실험이며, 실험 대상으로 그림 25과 같이 3m x 3m 의 정사각형 평판을 사용하였다.

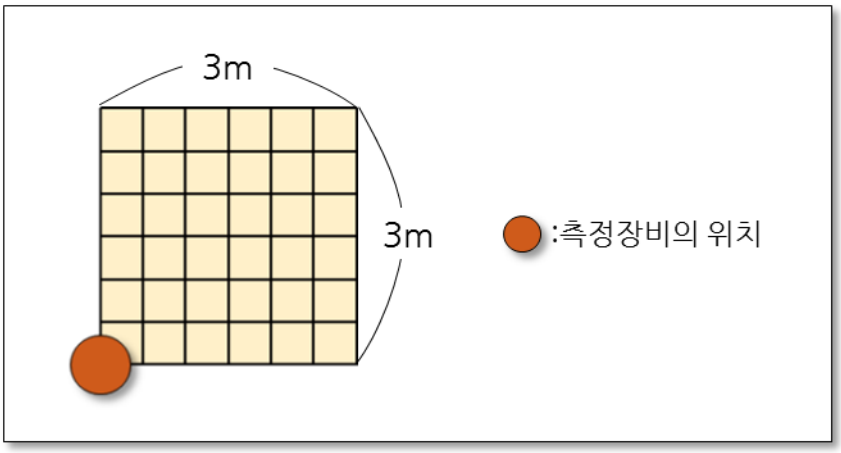


그림 25 보정 실험의 대상

실험 대상의 높이는 약 1,280mm이며, 50cm간격으로 점 정보를 얻어 총 49개의 점을 수동으로 측정하여 그 결과를 분석하였다. 그런데 장비의 특성상 Panning보다 Tilting에서 오차 발생 확률이 높기 때문에 측정 장비를 정사각형의 꼭지점 부근 아래에 두고 실험을 진행하였다.

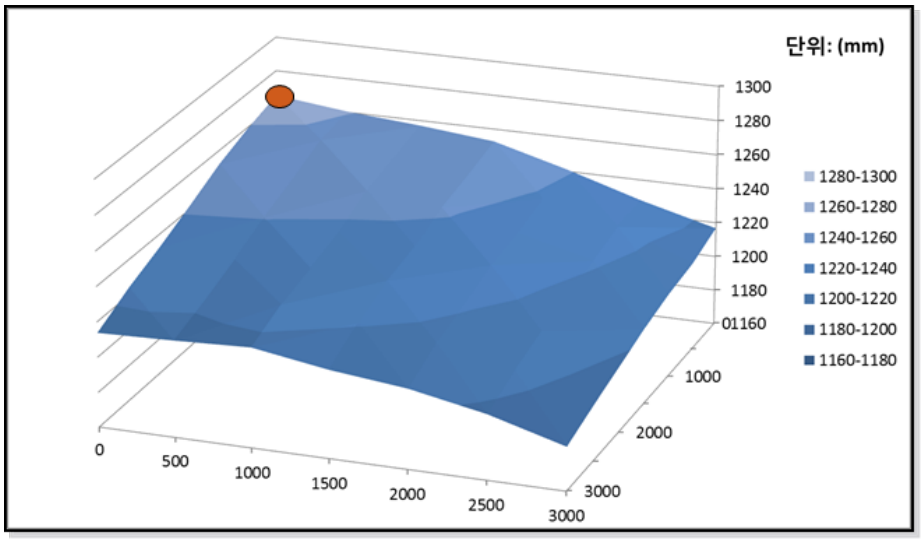


그림 26 평판 측정 결과

그림 26는 실험 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 실험 결과를 살펴보면 먼저 측정 장비에서 가까운 쪽의 높이 값이 먼 쪽에 비해 높은 경향을 확인할 수 있다. 가장 가까운 쪽과 가장 먼 쪽의 높이 차는 약 7cm인데, 이는 제작된 평판의 평면도와 바닥의 기울기가 이상적이지 않다는 것을 감안하더라도 큰 차이라고 할 수 있다. 그래서 오차가 있다고 가정하고 그 원인을 파악해 보았다. 원인을 파악하는 과정에서 측정 장비의 구성 요소 각각의 성능은 이상적이라는 가정을 하였다.

먼저 측정 장비와 측정 대상의 특성으로 인한 오차와 측정 장비 제작 상의 문제로 인한 오차로 나누어 생각해 보았다. 측정 장비와 측정 대상으로 인한 특성으로 인한 오차는 레이저와 측정 대상이 만나는 각도가 원인일 수 있다. 측정 장비에서 먼 곳을 측정하기 위해서는 레이저와 측정 대상이 만나는 각도가 작아지고 레이저가 대상에 맺히면서 생기는 스팟의 길이가 길어지게 되기 때문이다. 두 번째로 측정 장비 제작 상의 문제로 인한 오차의 원인으로 가장 쉽게 생각해 볼 수 있는 것은 시스템에서 파악된 각도와 실제 각도의 차이일 것이다.

레이저와 측정 대상이 만나는 각도로 인해 레이저의 스팟이 길게 퍼지는 경우에는 Tilting 각도에 따라 레이저가 만드는 상의 길이가 달라지게 되고, 이것이 오차의 원인이 될 수 있다. 그림 27는 각도에 따라 레이저가 만드는 상의 크기가 달라지는 것에 대해 설명하였다. φ가 작아질수록 상의 크기는 길어지고 φ가 90에 가까워질수록 상의 크기는 원래 레이저의 두께만큼의 상과 가까워진다. 만약 레이저 거리측정기의 두께가 3mm라고 가정하면 측정 대상에 맺히는 상의 길이는 $\frac{3}{\sin(\varphi)}$가 된다. φ가 15

도가 되면 상의 길이는 약 12mm가 된다. 실험 과정에서 측정 장비에서 가장 먼 쪽의 점을 측정할 때 φ가 약 14도이므로 충분이 오차의 원인이 될 수 있을 것이다.

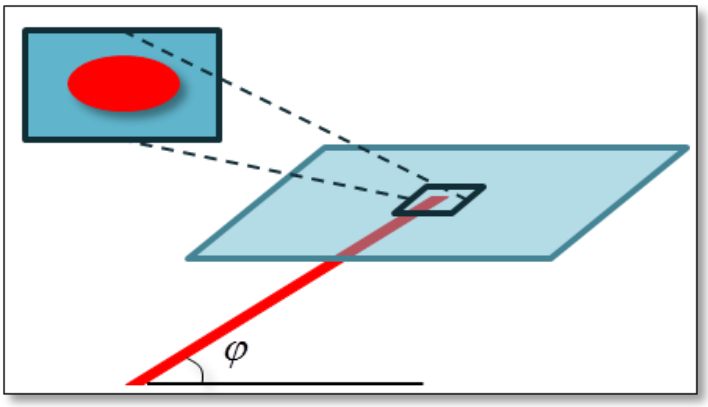


그림 27 레이저 스팟이 길어지는 경우

하지만 추가적인 실험 결과 레이저가 만드는 상의 길이가 달라지면서 생기는 거리값의 오차는 레이저가 만드는 상의 길이보다 크지 않음을 확인할 수 있었다. 그런데 측정 장비에서 가장 먼 쪽의 높이 값과 가장 먼 쪽의 높이 값의 차이는 7cm였으므로 가장 먼 쪽의 거리값의 오차는 $\sin(\varphi)$를 곱해 약 10cm정도이었어야 한다. 그렇기 때문에 15도에서 12mm 정도의 오차가 생기는 것으로는 실험 결과를 설명할 수 없기 때문에 Tilting 각도에 따라 달라지는 레이저 상의 길이는 오차가 될 수 없다.

Tilting 각도에 대해 시스템에서 특정 각도로 파악하고 있는 상태가 실제로는 그 각도가 아닌 경우 역시 오차의 원인이 될 수 있다. 측정 장비

를 실제로 사용하는 경우에는 측정 장비를 대상의 중앙 바로 밑에 두고 측정을 하게 될 것이다. 그러한 경우에 단순하게 생각하면 전체적으로 기울기가 맞지 않게 측정되는 수준의 오차가 발생한다고 생각할 수 있다. 하지만 제작된 측정 장비는 Tilting을 담당하는 서보모터에서 0~90도의 각도만 사용하고, Panning을 담당하는 서보모터에서 0~360도의 각도를 사용해서 구면 좌표계를 구현하게 되므로 이 오차의 원인에 대한 결과가 전체적인 기울기의 문제가 아니게 됨을 알 수 있다.

표 1 Tilting을 담당하는 서보모터의 각도 세팅이 잘못된 경우와 예상되는 결과

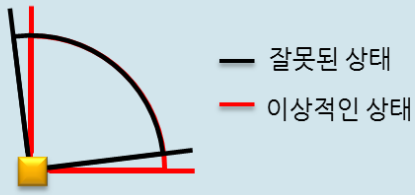
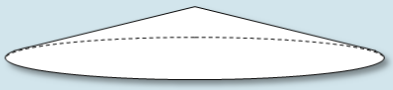
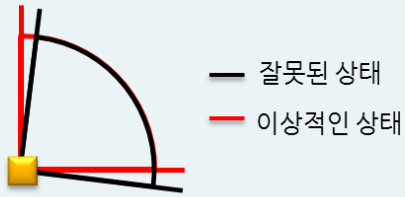
세팅 상태	예상되는 결과
	
	

표 1은 평판의 중앙 밑에 측정 장비를 두고 측정을 하였을 때 각도가 잘못된 경우에 따라 예상되는 결과를 정리한 표이다. 위의 경우는 실제 기계의 Tilting 각도(φ)가 45도라면 시스템에서 파악하고 있는 각도는 45도보다 작은 각도인 경우이다. 레이저 거리측정기의 결과값에 $\sin(\varphi)$을 곱해서 높이 값을 얻게 되는데, 실제 각도보다 작은 각도를 넣어 계산

한 높이 값은 실제 각도인 45도를 넣어 대입한 결과보다 작게 나오게 된다. 그 결과 실제의 높이 값보다 작은 값을 도출하게 되고, 결과적으로 평판 측정 결과가 측정 장비가 있는 쪽에서 원뿔의 꼭지점이 위로 향한 모양으로 얻어진다. 반대의 경우는 결과가 측정 장비가 있는 쪽에서 원뿔의 꼭지점이 아래로 모양으로 얻어진다.

실험 결과는 원뿔의 꼭지점이 위로 향한 모양의 일부였으므로 보정을 하기 위해서는 일정량의 각도를 더해야 한다. 그래서 실제 오차의 원인인지를 파악하기 위해 각도를 조금씩 늘려가며 더하고, 결과를 확인하였다. 그 결과는 **오류! 참조 원본을 찾을 수 없습니다.**에 나타나 있다.

표 2 Tilting 각도에 일정량을 더한 결과

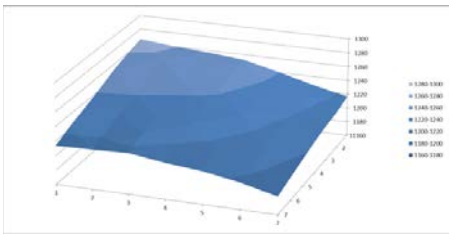
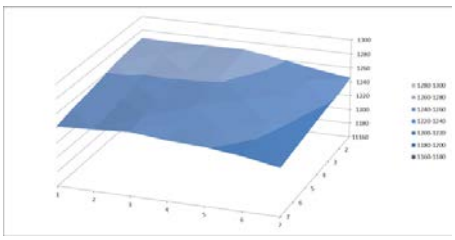
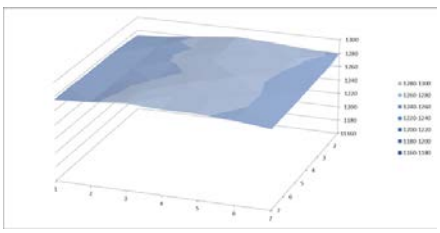
원래 상태	
+ 0.5도	
+ 1도	

표 2는 Tilting 각도에 아무것도 더하지 않은 결과, 모든 각도에 0.5도씩을 더한 결과, 1도를 더한 결과를 나타낸 것이다. 점점 평판에 가까워짐을 확인할 수 있고, 각도 세팅이 잘못된 것이 오차에 대한 지배적인 원인임을 알게 되었다. 그래서 보정 각도를 구하기 위해 높이 값들의 표준편차가 최소값을 가지는 각도를 계산하였고, 그 각도는 1.078도이다. 측정 장비에 대한 정도를 파악하기 위해 50번의 측정 결과를 분석하였고 그 결과, 신뢰도 90% 구간에서 표준오차가 0.11~3.08mm였다.

결과적으로 제작된 용접 변형 측정 장비는 지면에서의 높이가 1~2m 되는 판에 대해 약 ±3mm의 오차를 가지며 그 때의 신뢰도는 90%이다.

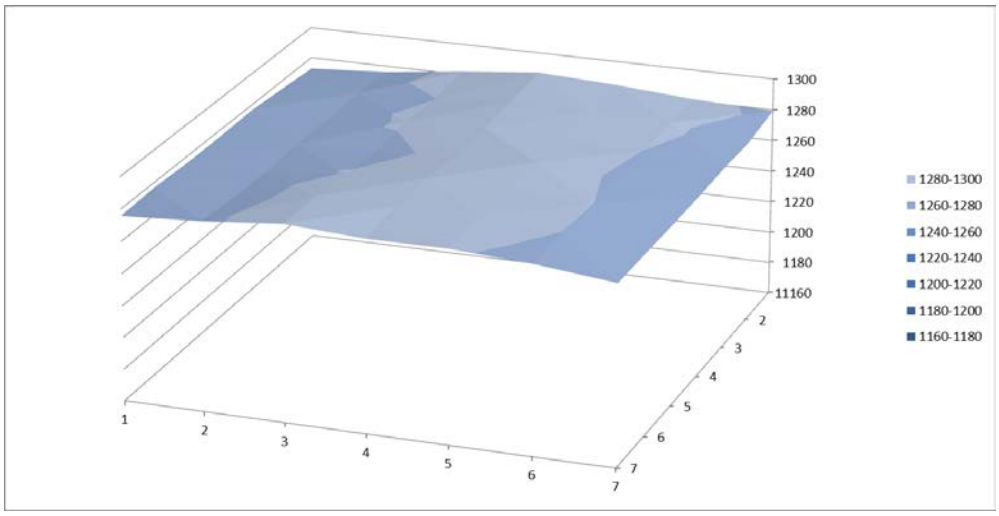


그림 28 보정이 끝난 실험 결과

그림 28은 3m x 3m 평판을 측정한 최종 결과이다.

3.2 측정 프로세스 정립

3.2.1 기존의 측정 시나리오 조사

측정 프로세스를 만들기에 앞서 자동 계측에 필요한 측정 시나리오를 만들어야 한다. 하지만 대형 구조물의 경우 이러한 방식의 측정 방법이 존재하지 않으므로 소형 구조물에 대하여 조사하였다. 그 중 평면도(Flatness)를 조사하는 방법을 사용하기로 하였다.

평면도란 어떤 부품의 특정 면이 완벽한 평면으로부터 어느 정도 이상 벗어나면 기능이나 호환성에 문제가 생기는 경우에 부여하는 기하공차이다. (KS 규격 B0608) 또한, 공차가 부여된 곡면을 포함할 수 있는 2개의 평행 관계인 두 평면 사이의 최소 거리로 정의가 된다. (ISO/TS 12781-1:2003)

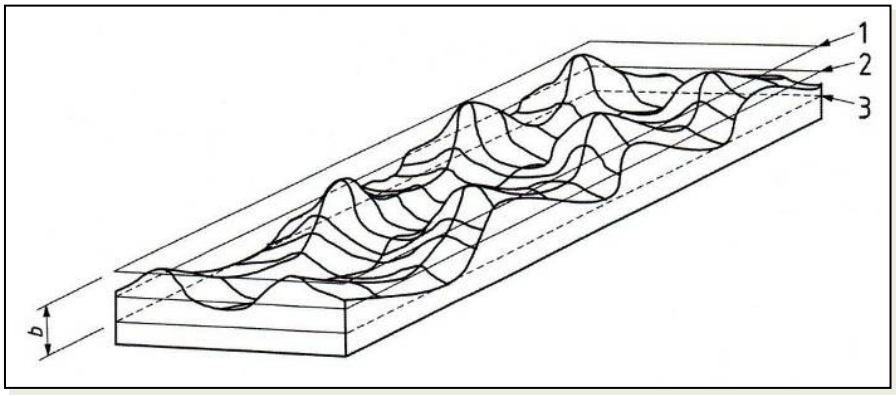
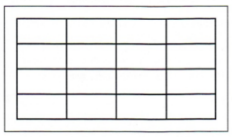
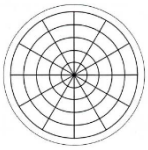
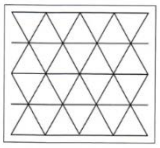
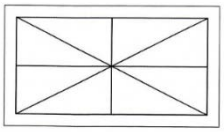


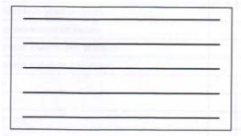
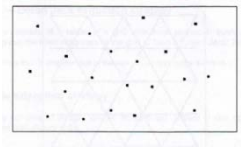
그림 29 평면도 공차가 필요한 평면의 개념도

Stanislav Lakota는 ISO/TS 12781-2:2003에 있는 평면도 조사 전략에 따라 평면도를 조사하였다. 그림 29은 평면도 공차가 필요한 평면의 개념도인데, 평블록 주판 역시 이상적인 상태는 완벽한 평면이므로 평면도 추출 전략을 적절히 적용할 수 있을 것이다.

ISO/TS 12781-2:2003에 따르면 평면도 조사를 위한 정보 추출 전략은 표 3과 같이 Rectangular grid extraction strategy, Polar grid extraction strategy, Triangular grid extraction strategy, Union Jack extraction strategy, Parallel extraction strategy, Points extraction strategy 총 6개의 전략이 있다.

표 3 평면도 조사를 위한 추출 전략

	Rectangular grid extraction strategy
	Polar grid extraction strategy
	Triangular grid extraction strategy
	Union Jack extraction strategy

	Parallel extraction strategy
	Points extraction strategy

Rectangular grid extraction strategy는 상대적으로 높은 밀도의 점 정보를 추출하는 시나리오이다. 서로 수직한 두 방향의 고조파 성분을 파악하는 것이 가능하며 평면 전체에 대한 평면도를 알 수 있다.

Polar grid extraction strategy도 상대적으로 높은 밀도의 점 정보를 추출하는 방법이며, 반지름 방향과 원주 방향의 고조파 성분을 파악할 수 있다. 보통 원판 형태의 물체의 평면도를 조사하는데 사용한다.

Triangular grid extraction strategy도 상대적으로 높은 밀도의 점 정보를 추출하는 시나리오이며 사용자가 원하는 각도 2개에 대한 고조파 성분을 파악할 수 있으며 평면 전체에 대한 평면도를 알 수 있다.

Union Jack extraction strategy는 상대적으로 낮은 밀도의 점 정보를 추출하며 상대적으로 빠르게 평면도를 조사할 수 있다. 고조파 성분이 없는 경우에는 평면 전체의 평면도를 파악하는데 효율적인 방법이다.

Parallel extraction strategy는 한 쪽 방향으로 높은 밀도의 점 정보를 추출하는 방법이며, 정밀하게 한 가지 방향의 고조파 성분을 파악하는데 사용한다.

Points extraction strategy는 가장 낮은 밀도의 점 정보를 추출하는 방법이며 평면도의 고조파 성분을 파악하는 것은 불가능하다. 평면도의 대략적인 추정치를 구하는데 사용한다.

효율성 향상을 위해 최소한의 점으로 측정을 하는 것이 적절하기 때문에 평블록 주판의 용접 변형 특징을 고려하면 Rectangular grid extraction strategy와 Points extraction strategy를 함께 적용하는 것이 가장 알맞다. 즉, Rectangular grid extraction strategy의 격자점만을 측정하는 것이 최종 전략이 될 것이다. 결국 평블록 주판의 용접 변형을 자동으로 측정하기 위한 시나리오는 그림 30과 같이 한 쪽 꼭지점에서부터 차례로 측정하는 것이다. 그림 30은 평블록 주판의 용접 변형의 이상적인 상태를 표현한 후 그 위에 측정 시나리오를 표현하였다. 변형의 정도가 클수록 빨간색으로 나타내었다.

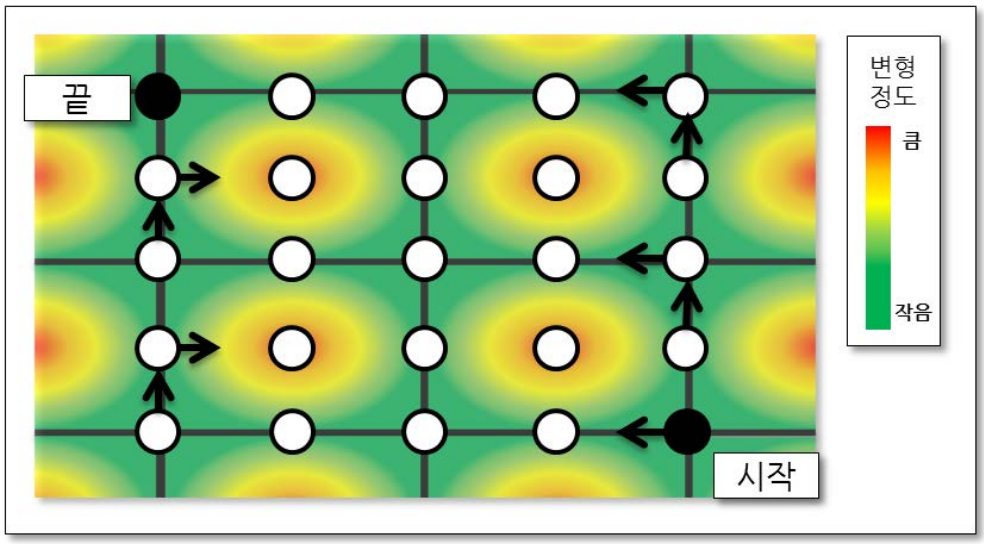


그림 30 평블록 주판의 측정 시나리오

3.2.2 용접 변형 측정 프로세스 정립

그림 31 용접 변형 측정 프로세스

완성된 측정 시나리오를 포함하여 용접 변형 프로세스를 정립하여 그림 31에 나타냈다. 먼저 측정 대상을 선정한 후에, 설계 정보를 조사해야 한다. 측정 대상의 보강재 개수와 보강재 사이의 간격을 조사해야 한

다. 이는 측정 시나리오를 수립하는데 사용된다. 그 후에 측정 장비를 측정 대상이 있는 곳에 놓은 뒤 측정 장비가 수평을 유지하도록 고정해야 한다. 그리고 터치스크린으로 측정 장비를 직접 제어하여 측정을 원하는 부분의 네 꼭지점의 좌표를 구한다. 이 과정을 통해 측정 범위를 설정할 수 있으며 그림 32의 점선으로 표현된 사각형이 측정 범위가 된다.

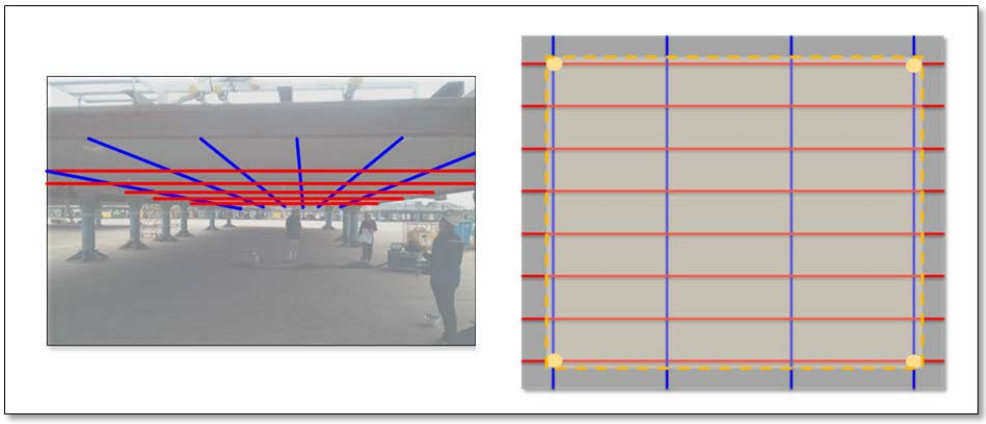


그림 32 측정 범위 설정의 개념도

측정 범위 안의 보강재 개수와 보강재 사이 간격, 측정 범위 꼭지점의 좌표를 가지고 측정 시나리오에 해당하는 점의 좌표를 계산하고 순서를 정하여 측정 시나리오를 수립한다. 그 후에 순서에 맞게 자동 측정을 하고 결과를 정리 및 분석하여 최종적으로 용접 변형량을 획득한다.

3.3 결과 분석 방법 정립

측정 시나리오에 의해 정해진 순서대로 얻어진 3차원의 점 정보는 구면 좌표계로 표현되어 있다. 앞에서 정의한 용접 변형량을 구하기 위해서는 3차원 직교좌표계로 변환이 필요하다. 그림 33은 좌표를 변환하는 과정을 나타냈으며 직교 좌표계로 변환하는 과정에서 측정 시나리오에서 정해진 순서는 그대로 지켜야 한다.

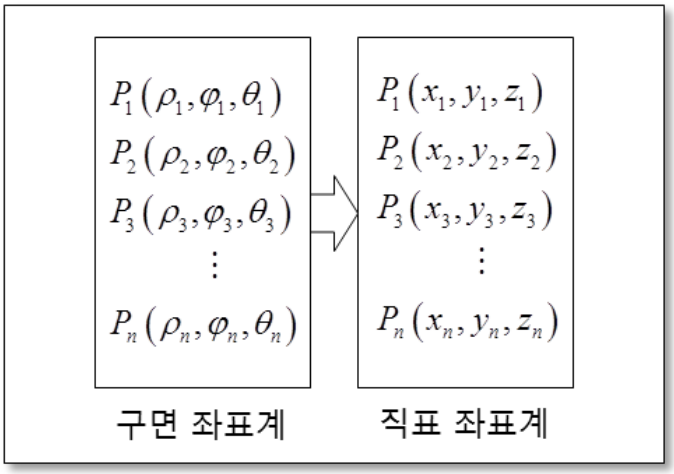


그림 33 결과 정리를 위한 좌표 변환

3차원 직교 좌표계로 변환된 좌표를 측정 시나리오에 따른 위치대로 점 정보를 다시 배열한다. 그림 34는 점 정보를 측정 시나리오에 맞게 배열하는 것을 나타냈다. 배열한 후에 그림 35에 나타냈듯이 보강재가 만나서 생기는 직사각형 하나에 하나씩 정의되는 용접 변형량을 계산하고, 그 결과를 3차원 그래프로 가시화하여 정리하였다.

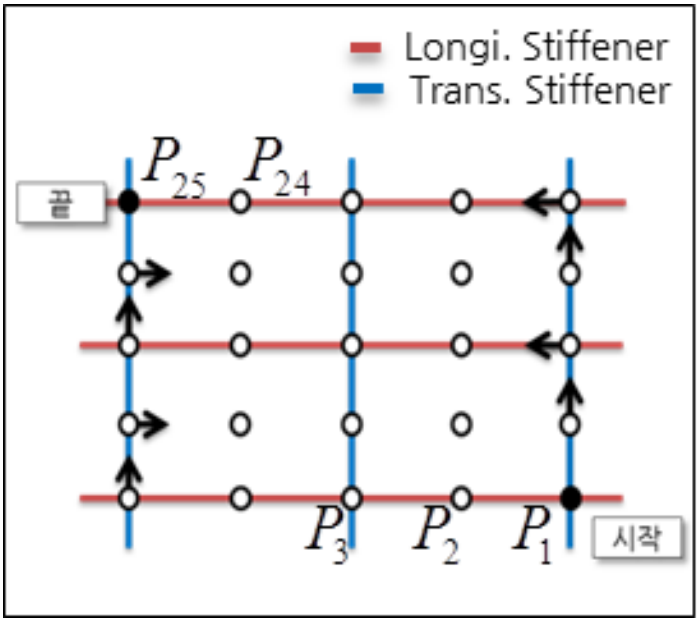


그림 34 측정 시나리오에 맞게 점 정보 배열

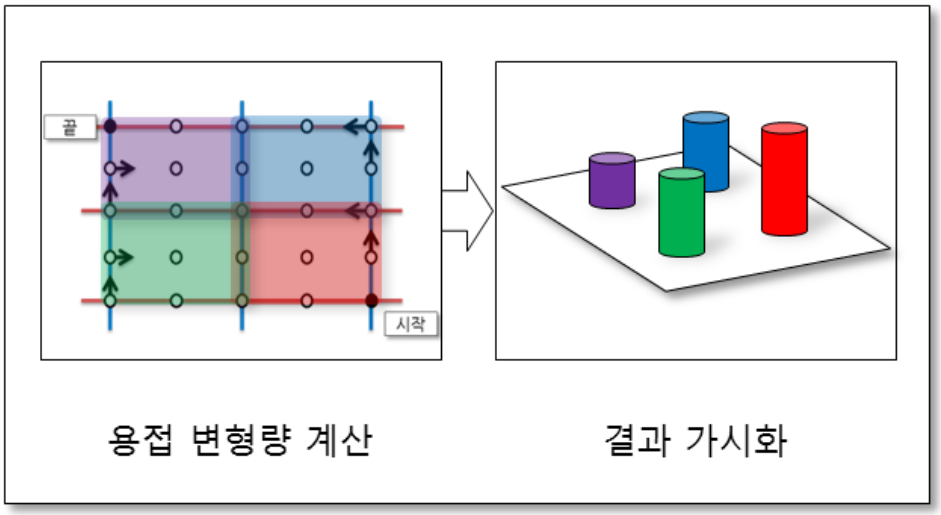


그림 35 용접 변형량 계산 및 결과 가시화

3.4 용접 변형 측정 시스템

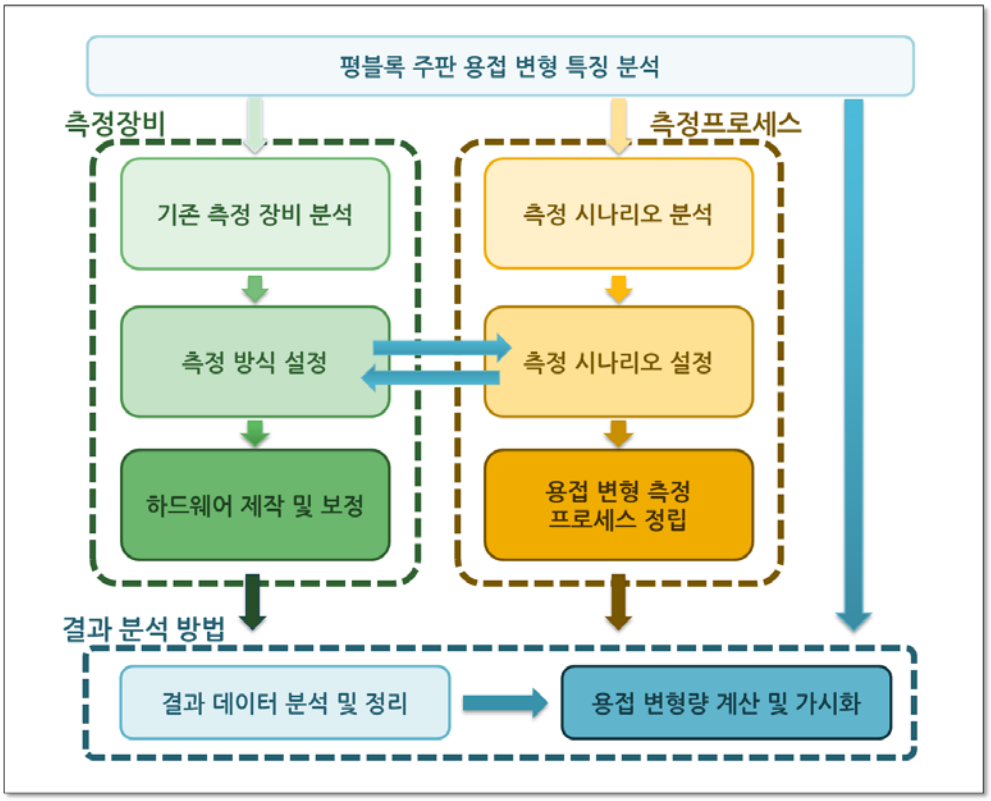


그림 36 평블록 주판의 용접 변형 측정 시스템

평블록 주판의 용접 변형 측정을 위한 연구를 바탕으로 시스템 구성 요소를 상세화하였다. 그림 36를 보면 측정 대상에 대한 분석 결과를 바탕으로 측정 장비, 측정 프로세스, 결과 분석방법을 개발하였다. 측정 장비는 기존의 측정 장비를 분석한 후 측정 방식을 설정하고 하드웨어를 제작한 후에 보정하여 개발하였다. 측정 프로세스는 기존 측정 시나리오를 분석하고 알맞은 측정 시나리오를 설정한 후에 용접 변형 측정 프로

세스를 개발하였다. 측정 방식을 설정하는 과정에서 자동으로 측정하는 시나리오가 필요하다는 부분이 영향을 주었고, 측정 시나리오는 결정된 측정 방식에 따라 만들어졌기 때문에 서로 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 마지막으로 측정 장비와 측정 프로세스를 통해 얻어진 결과를 분석 및 정리하여 최종적으로 용접 변형량을 계산하고 가시화 한다.

제 4 장

용접 변형 측정 시스템 적용

4.1 적용 대상 정의

4.1.1 실험 대상

앞서 개발된 평블록 주판의 용접 변형 측정 시스템을 실제 평블록에 적용해 보았다.

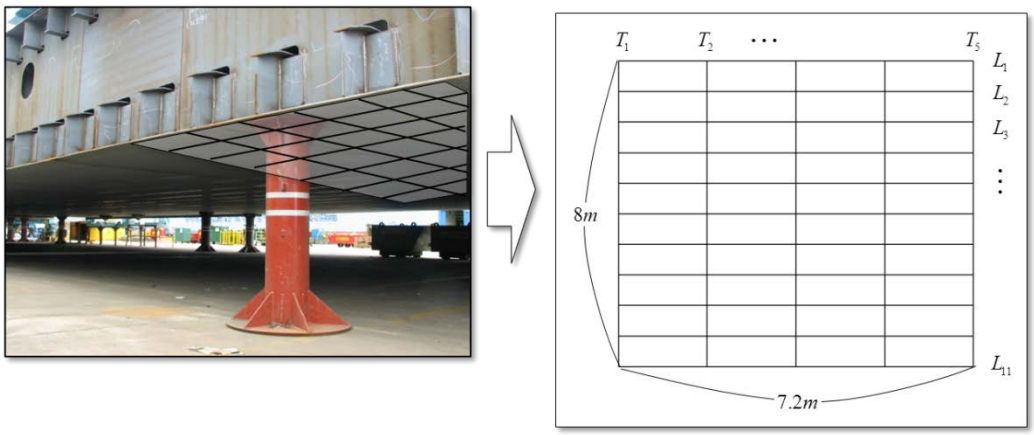


그림 37 용접 변형 측정 시스템의 적용 대상

그림 37에 나와있는 실험 대상은 Longi. Stiffener가 11개 Trans.Stiggener가 4개 있는 측정 범위를 가지며 측정 시나리오에 의하면 측정 대상이 되는 점은 108개이다. 측정 범위의 크기는 7.2m x 8.0m 이다.

4.1.2 적용 결과

평블록 주판의 용접 변형 시스템을 적용한 결과는 다음과 같다. 우선 전체 형상을 가시화한 결과이다.

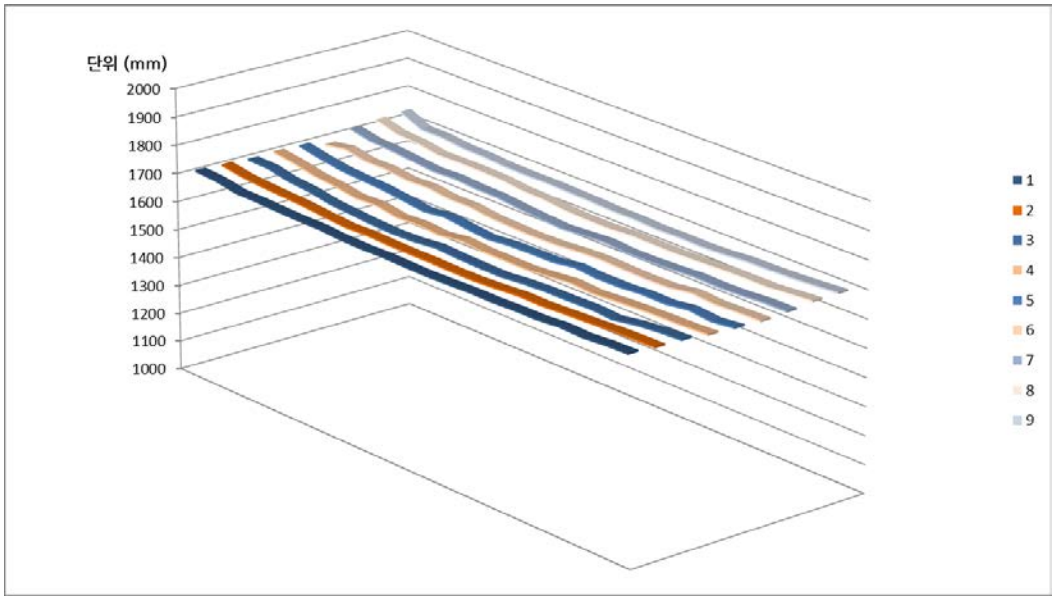


그림 38 전체 형상 가시화 - 1

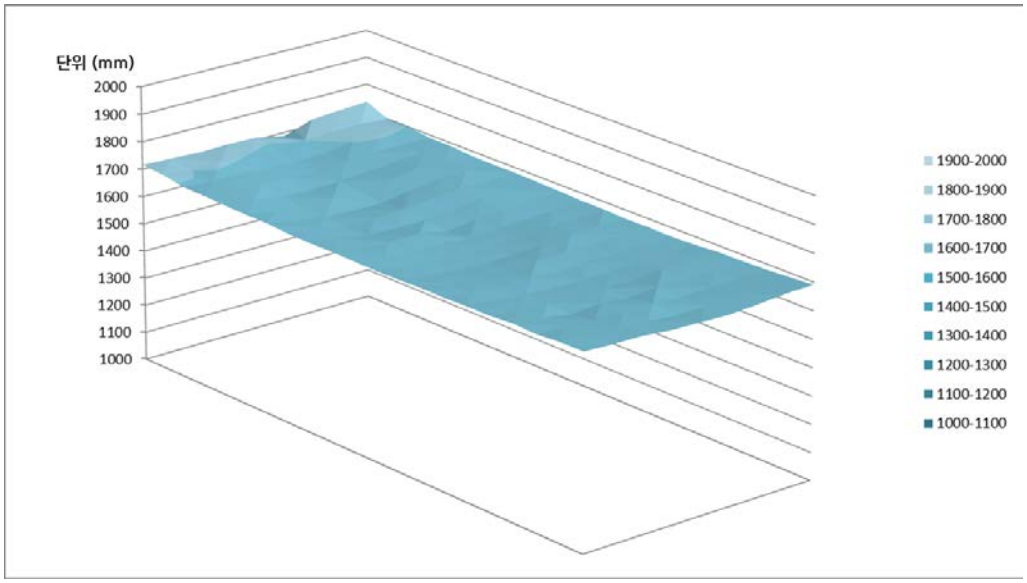


그림 39 전체 형상 가시화 – 2

그림 38은 측정된 결과를 3차원 꺾은선형 그래프의 형태로 가시화 하였다. 자중에 의해 가운데 부분이 살짝 처진 것을 확인할 수 있으며 중간 중간 선이 꺾이는 부분에서 용접 변형이 있을 것이라는 예상을 해 볼 수 있다. 그림 39는 측정된 결과를 표면형 그래프의 형태로 가시화 하였다. 판의 전체적인 모습을 확인하기에 좋으며 역시 중간 중간에 용접 변형이 발생한 부분을 확인할 수 있다.

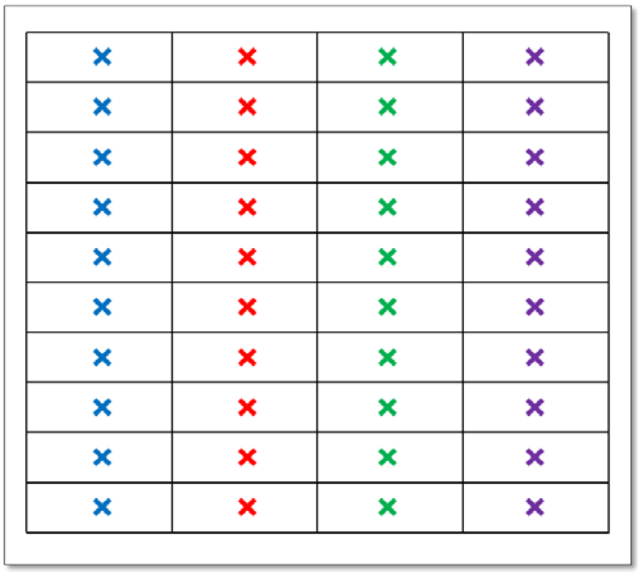


그림 40 용접 변형량 계산 위치

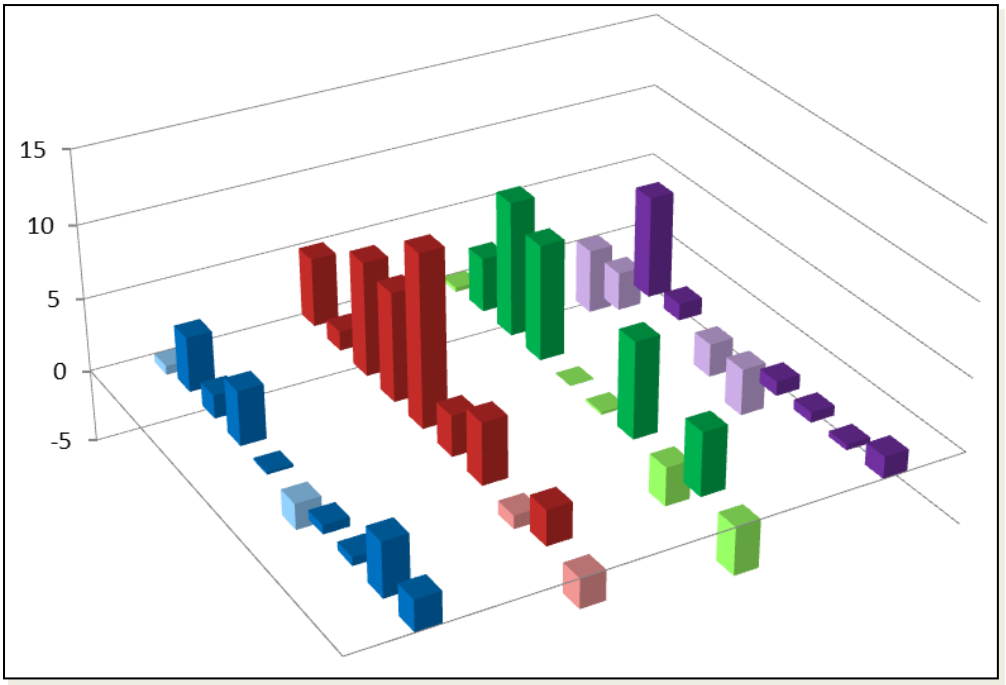


그림 41 용접 변형량의 가시화

용접 변형 측정 시스템의 최종 결과물인 용접 변형량을 계산하고 그 결과를 가시화하였다. 그림 40은 가시화된 용접 변형량이 어느 부분의 용접 변형량인지 알아볼 수 있도록 색을 다르게 하여 표시하여 놓은 그림이다. 그림 41은 용접 변형량을 가시화 해 놓은 결과이다.

기존에 광파기를 이용한 경우에는 2명이 2.5M/H를 사용하는 작업이기 때문에 총 5M/H가 필요했다면, 본 연구에서 개발된 시스템을 사용하는 경우에 1명이 0.5M/H를 사용하게 되어 총 0.5M/H를 사용한다.

제 5 장

결 론

본 논문에서는 평블록 주판의 용접 변형 측정을 좀 더 효율적으로 할 수 있는 시스템을 제안하였다. 평블록 주판의 용접 변형 측정으로 연구 범위를 좁히고 평블록 주판의 특징을 파악하였다. 또한 평블록 주판에서의 용접 변형의 특징을 분석하여 용접 변형량을 정의하였고, 용접 변형 측정 시스템의 구성 요소를 도출하였다. 용접 변형 측정 시스템의 구성요소는 용접 변형 측정 장비, 용접 변형 측정 프로세스, 결과 분석 방법이 있다.

먼저 용접 변형 측정 장비를 구현하기 위해 기존의 측정 장비를 분석한 뒤, 1D 센서를 이용한 레이저 거리측정기와 Pan-Tilt 시스템을 적용하고, 제어 모듈을 만들어 자동 측정이 가능하도록 하였다.

그리고 용접 변형 측정 프로세스를 정립하기 위해 기하 공차 중 평면도를 추출하는 전략을 참고하여 측정 시나리오를 정립하고, 전체 측정 과정을 아우르는 용접 변형 프로세스를 정립하였다.

측정 시나리오에 의해 순서대로 저장된 점을 앞서 정의한 용접 변형량을 계산하기 위한 형태로 변형하여 용접 변형량을 계산하고 가시화하였다.

이렇게 시스템 구성 요소를 개발하여 전체 시스템을 완성한 후 실제 평블록 주판에 적용하여 보았다. 측정된 점 군을 통해 평블록 주판의 전체적인 형상을 획득하였으며, 용접 변형 측정 시스템을 통해 평블록 주판의 용접 변형량을 계산할 수 있었다.

본 연구에서 개발한 평블록 주판의 용접 변형 측정 시스템을 적용했을 때 기대되는 효과는 다음과 같다. 먼저 평블록 주판에 대해 용접 변형을 측정하는 시간을 크게 단축할 수 있을 것이다. 그리고 기존 측정 프로세스를 단순화하였기 때문에 작업자의 편의성이 증대할 것으로 기대된다.

차후에는 주물로 틀을 제작하는 방식을 통해 오차를 줄일 수 있어야 할 것이며, 측정된 용접 변형량을 통해 교정량을 계산하는 시스템까지 통합하여 용접 변형 교정 작업의 효율성을 향상 시켜야 할 것이다.

참고문헌

[1] 류현수, 2003, “고유변형도 기반 등가하중법에 의한 보강판의 가열 교정 해석”, 서울대학교 석사 학위 논문

[2] Koichi Masubuchi, 1980, “Analysis of Welded Structures”, International Series on MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY Volume 33

[3] 김형주, 2001, “레이저 스패클을 이용한 미세 용접부의 변형 측정 시스템에 관한 연구”, 한국과학기술원 석사 학위 논문

[4] Chang-Hyun Kim et al., 2006, “Development of Welding Profile Measuring System with Vision Sensor”, IEEE SENSORS 2006

[5] Fredrik Sikstrom, Mikael Ericsson, Per Nylen and Anna-Karin Christiansson, 2006, “3D-Scanning for Weld Distortion Measuring”, IMTC 2006

[6] T.D. Huang, Pingsha Dong, Lawrence A. DeCan and Dennis D. Harwig, 2003, “Residual Stresses and Distortions in Lightweight Ship Panel Structures”, Avondale Industries, Inc., New Orleans, La.

[7] KS 규격 B0608

[8] Stanislav Lakota, 2011, Flatness Mesaurement by Multi-Point Methods and Scanning Methods, Journal of Interdisplinary Research

[9] ISO/TS 12781-1:2003

[10] ISO/TS 12781-2:2003

[11] Cimcore arm(Hexagon Metrology), http://www.cimcore.com/CIMCORE-ARM_570.htm

[12] FaroArm(Faro), http://www.faro.com/products/metrology/measuring-arm-faro-gage/overview

[13] DEA ALPHA(Hexagon Metrology), http://www.hexagonmetrology.asia/kor/DEA-ALPHA-_245.htm#.UsQ02PRdWPs

[14] Gantry CMM(COORD3), http://www.coord3-cmm.com/gantry-coordinate-measuring-machines/

[15] E Sparrer, T Machleidt, "A framework for using optical sensors in nanomeasuring machines over I++/DME", Measurement Science and Technology, 2012

[16] Total Station(Sokkia), http://www.sokkia.co.kr/product/pro_01.asp?oidProduct=66&oidCateg=2

[17] Laser Traker(Faro), http://www.faro.com/products/metrology/faro-laser-tracker/overview

[18] Focus3D(Faro), http://www.faro.com/products/3d-documentation

[19] Digital CMM Scanner(Nikon) http://www.nikonmetrology.com/en_US/Products/Laser-Scanning/CMM-scanning/LC50Cx-laser-scanner

[20] Laser ScanArm(Faro), http://www.faro.com/products/metrology/measuring-arm-faro-scanarm/overview

[21] Range7(Konica Minolta),
http://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction_manual/3d/pdf/range7-5_instruction_eng.pdf

[22] smartSCAN(Breuckmann),
http://aicon3d.com/products/breuckmann-scanner/smartscan/at-a-glance.html

[23] 3D Body Scanner(SPACEVISION),
http://www.space-vision.jp/EP-Body_Scanner.html

[24] DPA(AICON),
http://aicon3d.com/products/moveinspect-technology/dpa/at-a-glance.html

[25] FLS-C10,(Dimetrix)
http://www.ymsystem.co.kr/sub03_02_n.php

부록

<평블록 주판 용접 변형 측정 장비 부품 사양>

구분	제조사	모델명	사양
상부 서보모터			
서보 모터	YASKAWA	SGMJV-01A3A6C	용량 : 100W 엔코더 : 20bit 절대치 전원 : AC 220V(단상/삼상)
서보팩	YASKAWA	SGDV-R90A01A	전원 : AC 220V(단상/삼상)
하부 서보모터(서보팩)			
서보 모터	YASKAWA	SGMGV-20A3A6C	용량 : 1.8kW 엔코더 : 20bit 절대치 전원 : AC 220V(삼상)
서보팩	YASKAWA	SGDV-180A01A	전원 : AC 220V(삼상)
레이저 거리 측정기			
LASER	DIMETIX	FLS-C10	측정거리 : 0.05~65m 응답속도 : 200Hz 측정오차 : 1mm 분해능 : 0.1mm

			전원 : DC 24V
PLC(Programmable Logic Controller)			
CPU	LS산전	XGI-CPUE	프로그램 메모리 용량 : 64Kbytes 입출력 점수 : 1,536점 처리속도 : 84ns/step 소비전류 : DC 5V, 940mA
전원 모듈	LS산전	XGP-ACF2	입력 : AC 220V 출력 : DC 5V, 6A
베이스	LS산전	XGB-M08A	입·출력 모듈 슬롯 : 8개
입력 모듈	LS산전	XGI-D24A	입력점수 : 32점 소비전류 : DC 5V, 50mA
출력 모듈	LS산전	XGQ-TR4A	출력점수 : 32점 소비전류 : DC 5V, 130mA
위치 결정	LS산전	XGF-PD2A	제어 축 수 : 2축 보간 기능 : 2축 직선/원호 보간 위치 결정 방식 : 절대/상대 방식 소비전류 : DC 5V, 790mA
통신 모듈	LS산전	XGL-EFMT	통신 규격 : 10/100BASE-TX 지원 프로토콜 : TCP/IP, UDP/IP

			소비전류 : DC 5V, 410mA
통신 모듈	LS산전	XGL-C22A	인터페이스 :RS-232C, 2채널 소비전류 : DC 5V, 310mA
A/D 모듈	LS산전	XGF-AD8A	입력 채널 수 : 8채널 입력 종류 : 전압/전류 입력 최대 변환 속도 : 250us 접속 단자 : 18점 단자대 소비전류 : DC 5V, 420mA
터치스크린			
T*S	이지뷰	MT8070iH	화면크기 : 7인치 해상도 : 800x480 용량 : 128MB Flash
기타			
인버터	LS산전	SV022IG5A-2	입력 : AC 220V 출력 : 삼상 220V 용량 : 2.2kW
SMTP	OMRON	S8VS/24024	입력 : AC 220V 출력 : DC 24V 10A

ABSTRACT

Development of Welding Distortion Measurement System
for Deck Plate of Panel Block Structure

Seunghyeok Son

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering

The Graduate School

Seoul National University

Ships are composed of blocks that are assembled by welding, and the blocks are made up with steel plates by welding. However, due to the characteristics of welding, welding distortion occurs while making blocks and assembling blocks. Therefore, shipyards need to make every effort to correct welding distortions.

To correct welding distortions, the amount of welding distortions needs to be measured first. Shipyards typically use a ruler or a total station to measure the amount of welding distortions. However, these methods are inefficient. Therefore, this paper studies how to

improve efficiency of measuring welding distortions to improve efficiency of whole welding correction job.

The blocks that constitute a ship are divided into panel blocks and curved blocks. Among them, panel blocks are the targets of this study as they are easy to obtain common characteristics. In particular, deck plates of panel block structure are of interest to this study.

To efficiently measure welding distortions of a deck plate of a panel block structure, a measuring device is constructed with a laser range finder and a pan-tilt system, and the measuring process is automated. In addition, a calculating process is established so that the amount of welding distortion can be calculated from the measured results. Finally, the welding distortion measurement system for a deck plate of panel block structure is established with the measuring equipment, the calculating process, and the measuring process.

The system is expected to improve the efficiency of measuring welding distortion in comparison with the existing methods. The system allows us to recognize the overall shape of deck plate not only to measure the local distortion. It is expected that this system improves the efficiency of the correction of welding distortion as a result.

Keywords:

Deck Plate of Panel Block Structure,
Welding Deformation Measurement,
Laser Range Finder,
Pan-Tilt System,
Welding Distortion Measurement System

Student Number: 2012-21060