

연안 환경 모형 실험을 위한 2차원 조파 수조 제작

Abstract

해안, 연안 등을 소규모로 재현하여 연안 공학, 선박 공학 등의 분야와 관련된 모형 실험이 가능한 2차원 조파 수조를 제작하였다. 조파 수조는 수조 모듈, 조파기, 소파기, 파고계, 경사로(연안 모형)으로 구성된다. 수조 모듈은 길이 2,000 mm, 폭 300 mm, 높이 400 mm이며 3개로 연결하여 길이 6,000 mm로 구성하였다. 조파기는 구동부와 제어부로 나뉘며, 구동부는 리니어 액츄에이터와 스텝 모터를 주 부품으로 하고, 이를 제어부의 틴시 보드 기반 컨트롤러로 제어한다. 개발한 아두이노 코드로 조파기를 구동시켜 여려 파를 발생시킬 수 있고, 이에 의한 맞춤형 파 생성이 가능하여 원하는 조건에 대한 모형 실험을 구현할 수 있다.

서론

1. 제작 동기

연구를 계획하던 중 모형 실험을 위하여 연안 모형과 이곳에 해파를 발생시키는 장치가 필요하게 되었다. 선행 연구를 조사해 보니 연안 등 다양한 조건에서 해양 현상의 모의 실험은 조파 수조를 이용하여 할 수 있다는 것을 알게 되었다 [1].

2. 제작 목적

본 조파 수조는 파도를 발생시키거나 이를 이용한 모형 실험을 하기 위하여 개발되었다.

- ▶ 쓰나미에 의한 피해를 알아보는 연안의 구조물 모형 실험
- ▶ 다양한 파력방전 모형 실험
- ▶ 방파제의 조적구조 효율 비교 실험
- ▶ 선박, 부표 등의 안정성 비교 실험

이론적 배경

1. 모의 실험 장치

모의 실험 장치는 조파 수조, 조파기, 소파기 및 연안 모형으로 구성된다. 조파기는 파를 생성하는 장치로 수조와 함께 현상을 직접적으로 재현하며 구동 방식에 따라 종류가 나뉜다. 소파기는 벽에서 반사되는 파를 상쇄시켜 실험 오차를 줄이고 연안 모형을 설치하여 여러 실험을 전개할 수 있다. 실험실의 조파기는 피스톤형이며 조파판이 수평적으로 운동한다.

2. Wave Maker Theory

2차원 조파수조에서는 유체와 관련된 여러 방정식과 경계조건을 도입하여 근사적인 파의 개형을 얻을 수 있다. 심해파 조건에서는 파가 다음과 같이 표현된다 [2-4].

$$\mu(x, t) = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t), \quad \frac{H}{S_0} = \frac{4 \sinh^2 kh}{\sinh kh + 2kh}$$

S_0 는 스트로크이며 Froude 상자 법칙에 의하면 $\omega \sim 4\pi$ 정도는 되어야 심해파 조건을 만족하여 제대로 된 sin파가 생성될 수 있다.

작품 설명: C. 그 외

1. 소파 장치

파는 수조 내부에서 전달되며 수조 말단에서 반사파가 생성된다. 종철의 원리에 의하여 수면파는 진행파와 반사파에 의한 정상파의 선형 결합으로 표현되며 정상파가 주요 오차의 원인이 되므로 이를 위해 소파장치가 필요하다.

2. 파고계

파고를 측정하기 위하여 스티로폼 부표를 이용하였다. 부표가 좌우로 움직이지 않도록 하기 위하여 스티로폼 가운데 두개의 구멍을 뚫고 낚시 줄을 이용하여 고정한 후 파가 진행할 때 부표의 상하 운동을 동영상으로 촬영하여 분석하였다.



Fig. 1: (a) 플라스틱 바구니에 철수세미와 벽돌을 담은 모습, (b) 플라스틱 바구니를 수직으로 쌓아 올린 모습, (c) 파고를 측정하는 모습

3. 해안 경사

해저에서 해안으로 이어지는 구조를 모형화 하여 해안 경사로를 설치할 수 있다. 긴 아크릴 판에 알루미늄 프로파일로 지지대를 만들어 높이와 기울기를 조절할 수 있도록 설계하였으며 그림 2 속 경사로는 높이 200 mm, 길이 2,000 mm로 기울기가 1/10이다.



Fig. 2: Coastal Model - Ramp

작품 설명: A. 2차원 조파 수조 (길이 확장 가능)

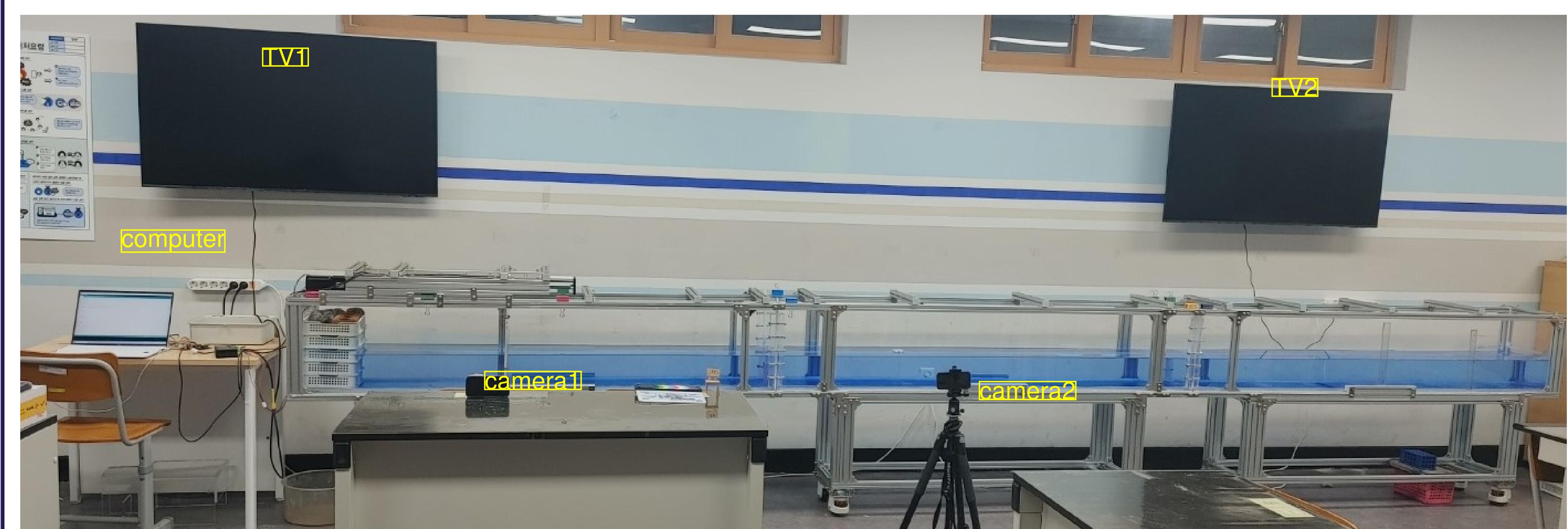


Fig. 3: 완성된 조파수조의 모습

제작한 작품은 '2차원 조파 수조'로 명명하였다. 이 조파 수조를 이용하여 실험을 할 때 제대로 진행이 되려면 조파기, 소파기, 파고계, 해안 경사로 등이 제 역할을 해 주어야 가능하다. 따라서 각 부분은 실험 목적에 따라 조립과 분해가 가능하도록 따로 제작하였다. 제작한 조파 수조의 특징을 나열하면 다음과 같다.

- ▶ 폭 300 mm, 높이 400 mm, 총 길이 6,000 mm의 2차원 조파 수조를 제작하였다. 폭과 높이를 맞추어 수조 모듈을 추가로 제작하여 연결하면 얼마든지 길이를 확장할 수 있다.
- ▶ 조파기는 리니어 액츄레이터를 이용하여 구동부를 제작하였고 틴지 보드를 기반으로 하여 스텝 모터를 움직이는 제어부를 제작하였다.
- ▶ 현재 조파기로 규칙파를 생성하는 코드를 완성하여 검증하고 있으며, 코드가 경교화되면 원하는 주기, 파장, 파고의 규칙파를 생성할 수 있다.
- ▶ 이후 조파기는 쓰나미 등의 불규칙파를 생성할 수 있도록 정교한 제어를 할 수 있도록 코드를 업그레이드 할 예정이다.
- ▶ 해안 경사는 교각 위에 아크릴 판을 올리는 구조로 설계하여 길이와 기울기를 변화시켜 탈부착이 가능하도록 제작하였다.
- ▶ 파고계는 물에 잘 뜨는 재질로 제작하여 동영상 분석을 통해 파고를 파악하고 있으며, 이후 센서를 부착하여 정밀한 파고를 측정하도록 개선할 예정이다.

작품 설명: B. 조파기

1. 구동부

구동부는 알루미늄 프로파일 프레임에 80 cm 길이의 리니어 액츄레이터를 이용하여 제작하였다. 조파판은 액츄에이터의 이동부에 붙어 수조 내부를 수평적으로 이동하여 물이 옆부분으로 새지 않도록 공간에 딱 맞는 아크릴 판으로 제작하였다. (295 mm × 300 mm × 15 mm).

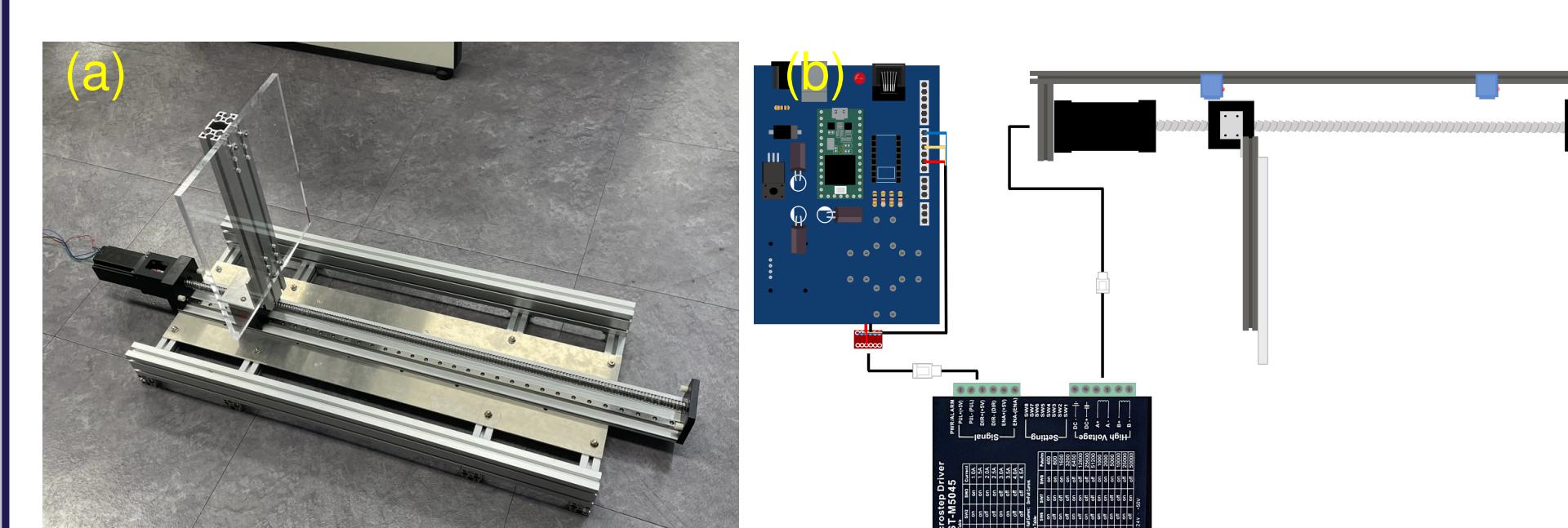


Fig. 4: (a) 피스톤형 조파기의 구동부 모습과 (b) 조파기 전자 회로와 모터 드라이버, 전원장치를 연결한 모습

2. 전자 회로부

조파기의 회로는 Teensy 3.2와 DRV8825, Microstep Driver(ST-M5045), 24V SMPS로 구성되어 있다. 모터 드라이버의 최대 펄스는 400 Pulse/Rev이다. Teensy 보드와 Microstep Driver는 DIR, PULSE, ENABLE이 연결되어 있고 각각의 (-)는 보드의 Ground에 연결하였다.

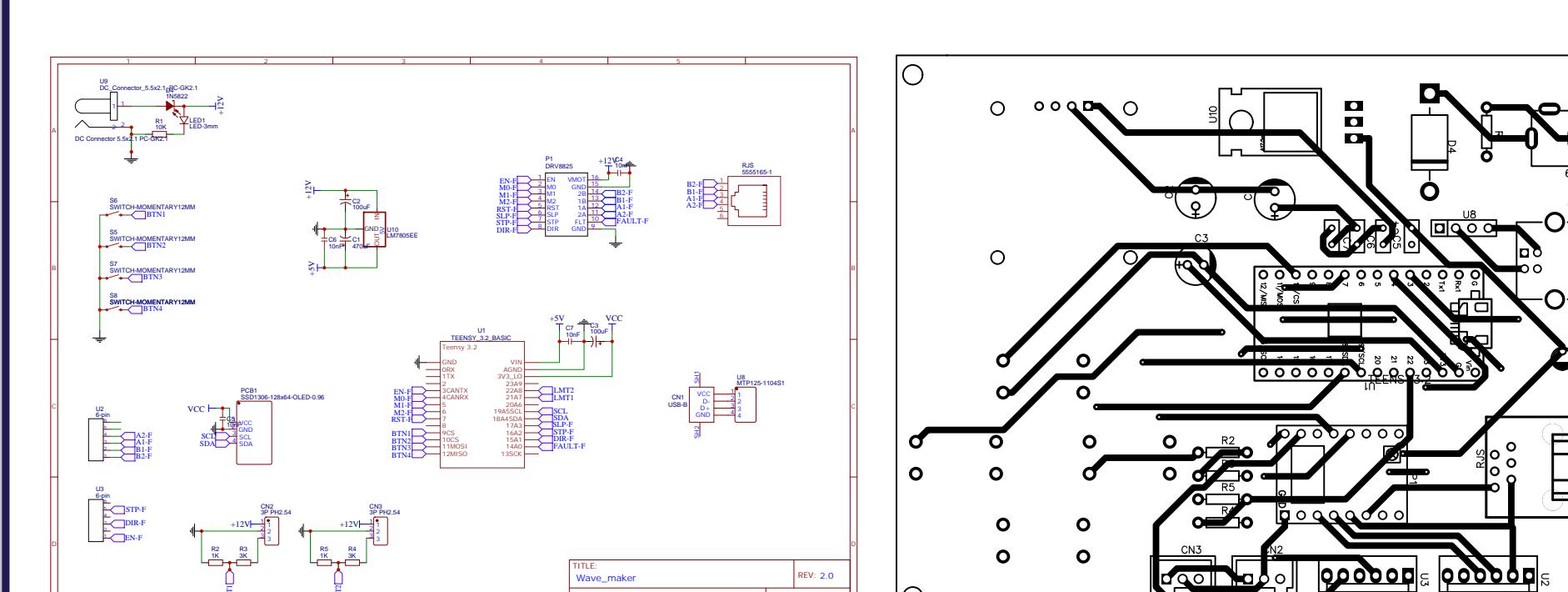


Fig. 5: 조파기 전자 회로와 pcb 디자인

3. 코드 개발

모터의 빠른 구동을 위해서 TeensyStep 라이브러리를 이용하여 변위를 대입하는 방식으로 코드를 작성하였다. 변위를 대입하면 그에 맞는 속도를 계산하여 각속도를 부여하는 방식으로 모터가 작동하며 400 step 회전 시 1 cm 전진한다. 이로부터 조파기가 사인형으로 움직이기 위한 코드는 다음과 같으며 변위 함수는 진폭 A, 각진동수 ω 등을 설정하여 조절할 수 있다.

4. 동작 모습

버튼 스위치와 OLED 디스플레이를 사용하여 메뉴를 구성하였다. 펌웨어가 업로드 되면 컴퓨터 없이도 파도를 생성할 수 있다는 것이 특장점 중의 하나이다.

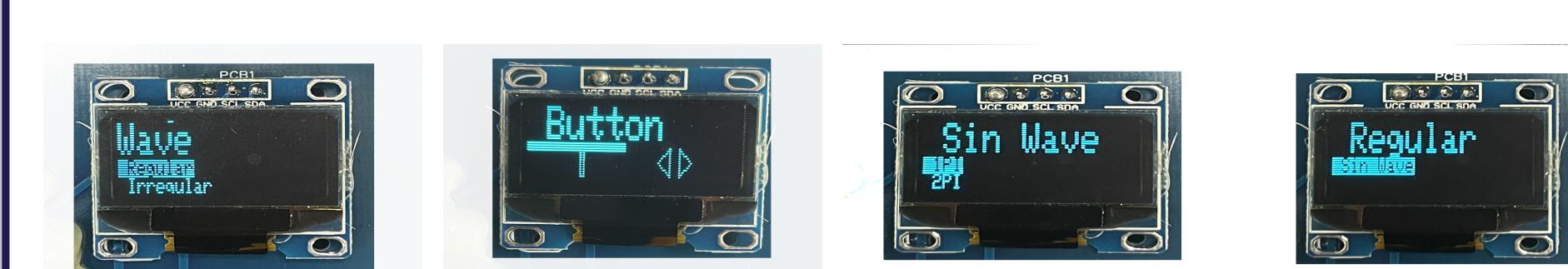


Fig. 6: 디스플레이 메뉴 동작 모습

RESULT

1. 조파기 특성

실험을 통해서 구한 H/S 와 이론적인 H/S 는 기울기가 1인 선형 관계를 띠 것으로 예측하였으나 실험 결과는 달랐으며 심해파 구간 ($\omega \sim 4\pi$)에서도 잘 맞지 않았다. Dean and Darymple의 이론 전개는 수많은 근사가 있으며 이를 충족하지 못하는 경우이다. 하지만 파형은 sin파에 근접하였으며 여러 실험을 통해 Calibration을 한다면 원하는 H 에 대한 S 를 지정할 수 있다. 또, ω 가 커질수록 모터에서 구현 가능한 진폭이 제한되어 있으며 이 또한 여러 실험을 통해 구현 가능한 스트로크의 범위를 알아야 한다. 단, 판과 파도, 그리고 코드에서 작성한 ω 는 모두 일치한다는 결과를 얻을 수 있었다. 추가적으로 조파기의 다른 매개변수를 조절하며 다양한 파를 생성할 수 있고 소파기의 성능 검증이 필요하며 무엇보다 연안 모형의 종류에 따라 여려 실험을 전개할 수 있다.

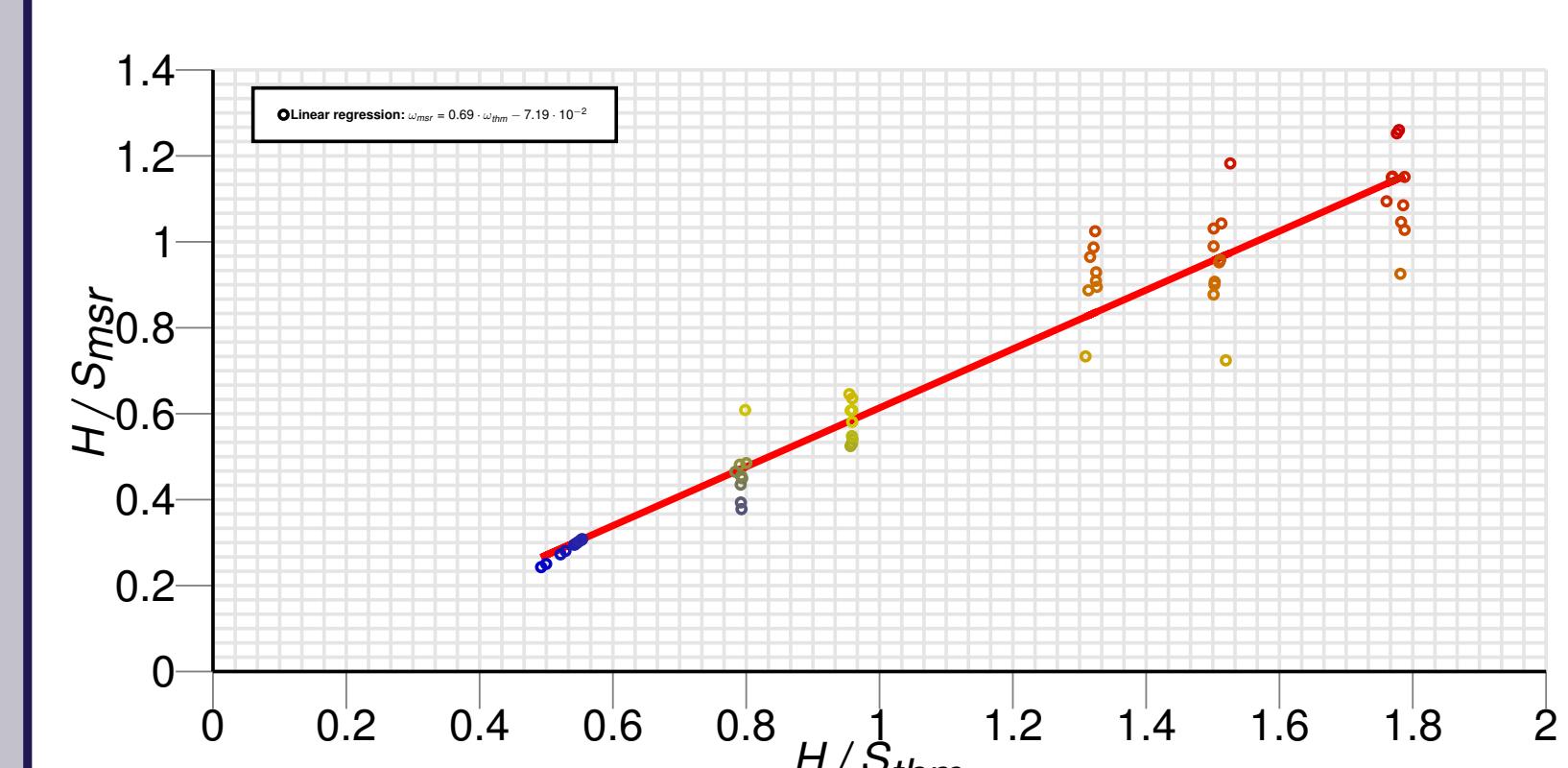


Fig. 7: H/S_{msr} - H/S_{stmr} graph

2. 파도 생성 모습

조파기로 규칙파에 해당하는 파도를 생성하여 관련 실험을 진행할 수 있다.

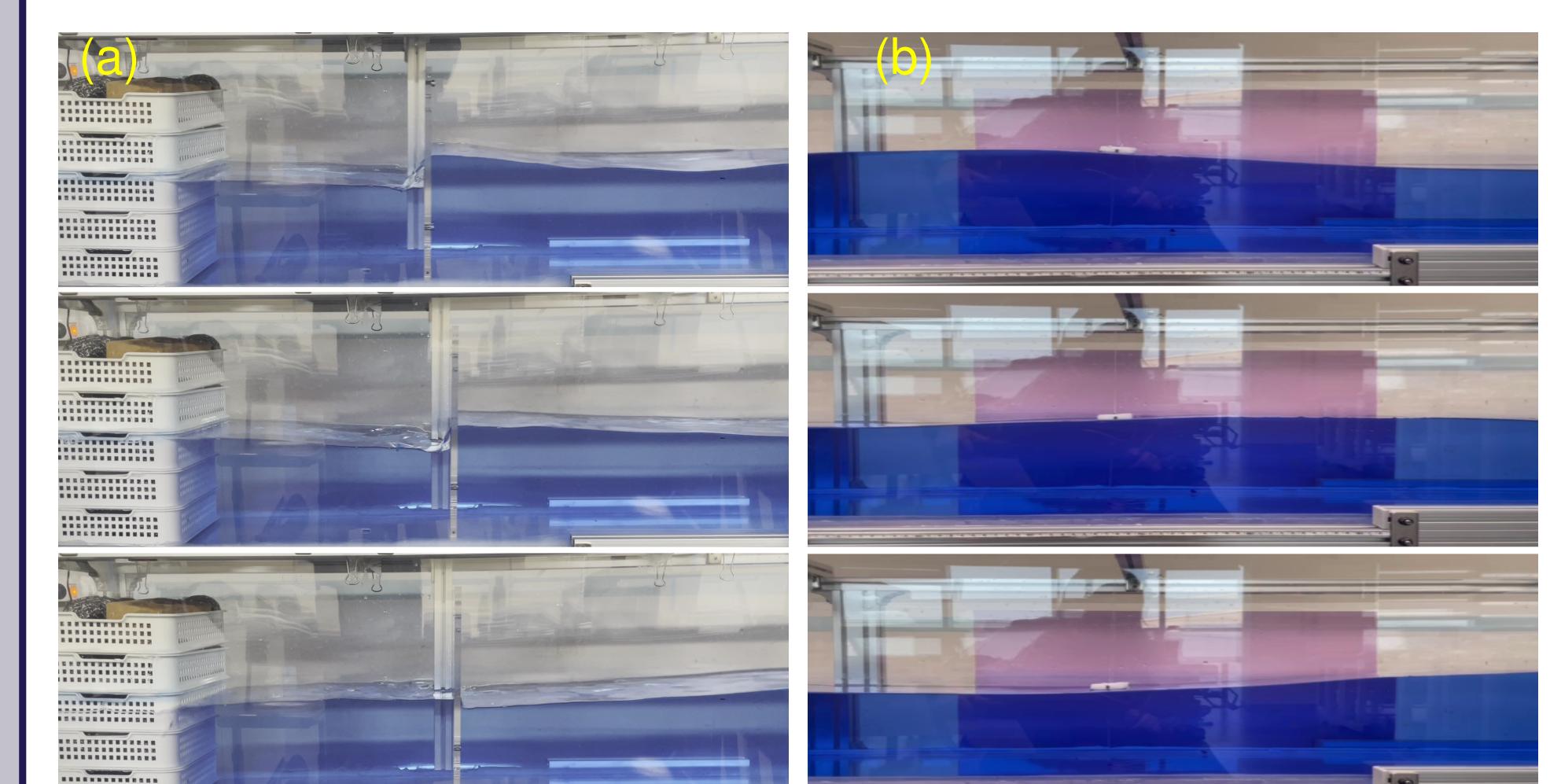


Fig. 8: (a) 조파기로 파도를 만드는 동작 (b) 생성된 파도가 전파될 때 파고를 측정하는 모습

참고문헌

- [1] 정의철 and 임의창, "소형 조파수조에서의 진행과 생성에 관한 연구," 대한기계학회 춘추학술대회, pp. 163-168, 2013.
- [2] 오정근, 김주얼, 김효철, 권종오, and 류재문, "수직 평판 요소의 수중동요 균사해와 설계 적용," 대한조선학회 논문집, vol. 55, no. 6, pp. 527-534, 2018.
- [3] 김효철, 오정근, 류재문, 이신형, and 김재현, "다기능 조파기의 조파 운동과 발생 파형," 대한조선학회 논문집, vol. 58, no. 6, pp. 339-347, 2021.
- [4] R. G. Dean and R. A. Dalrymple, *Water wave mechanics for engineers and scientists*. world scientific publishing company, 1991, vol. 2.