

결 과 보 고 서

과제명: 배수로 자동 청소 시스템

팀 명:

전남대학교 IDEC 2023 스마트전자회로설계 챌린지

목 차

1. 과제 동기

2. 진행 과정

3. 시행착오

4. 과제 결과

1. 과제 동기

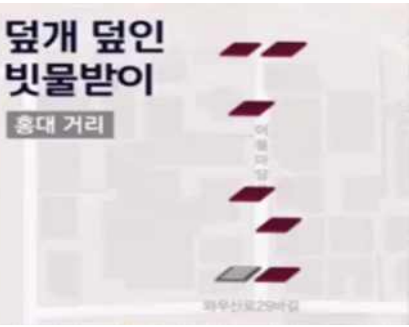
우리나라의 여름 장마철에는 홍수 피해가 빈번하게 발생한다. 작년 8월경에 어마어마한 폭우가 쏟아지며 다수 지역이 침수되는 사건이 있었다. 이때 발생한 침수차량, 농작물 및 건물 피해, 인명피해는 이루 말할 수 없다.

침수피해의 주요 원인 중 하나로 배수로 막힘 문제가 손꼽힌다. 배수로는 물이 빠져나갈 수 있도록 만든 길로써 도로가 침수되는 것을 막아준다. 그러나 폭우 시에는 빗물과 함께 사람들이 버린 쓰레기나 나뭇잎, 흙 등에 막혀 물이 잘 흘러가지 못해 역류하며 침수피해가 발생한다. 더불어 배수로에서 올라오는 악취로 인해 무단으로 막아둔 덮개는 폭우 시 빗물이 흘러 들어가지 못하여 침수피해가 더 커지기도 한다. 이를 해결하기 위해 주기적인 배수로 청소가 필요하지만 이조차도 청소 인력이 부족하여 쉽지 않은 상황이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 배수로를 자동으로 청소하는 시스템을 도입하고자 한다. 이 시스템은 배수로 막힘으로 인해 발생하는 침수피해와 악취를 예방할 수 있으며, 효율적인 청소 인력 배치 또한 기대할 수 있다.



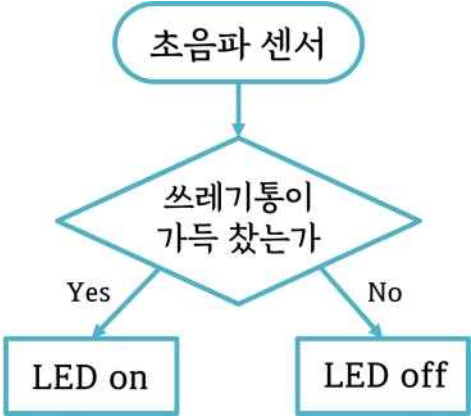
[그림 1] 현재 배수로 실태



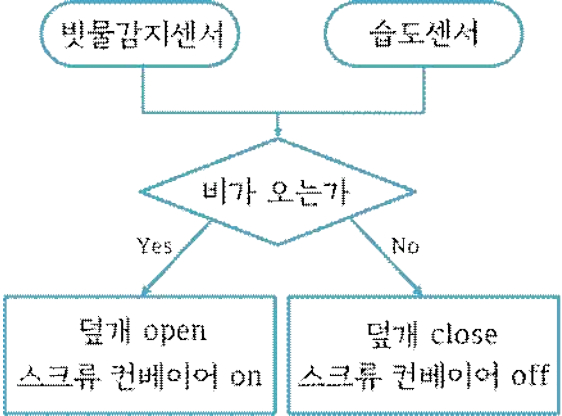
[그림 2] 덮개 덮인 홍대 배수로

2. 진행 과정

다음과 같은 순서로 회로를 설계하도록 계획하였다.



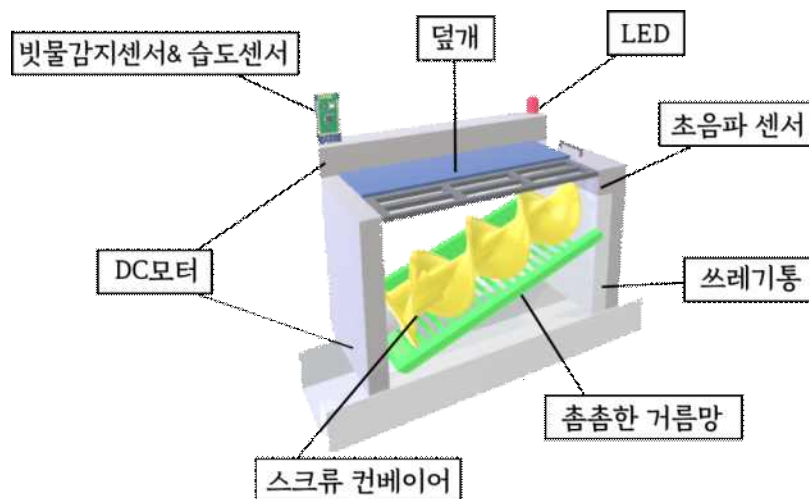
[그림 3] 쓰레기통-LED 순서도



[그림 4] 덮개&스크류 컨베이어 순서도

1. 비가 오지 않을 때 배수로에서 올라오는 악취, 쓰레기 및 나뭇잎 등이 배수로로 들어가는 문제를 해결하기 위해 자동으로 개폐하는 덮개를 설계한다. 이 덮개는 습도센서를 이용하여 비 오는 것이 감지되었을 때 습도센서와 연결된 DC 모터가 작동하여 배수로 입구에 덮여있던 덮개가 말려 들어가면서 열리게 된다.
2. 배수로 입구가 열려있을 때 빗물을 따라 쓰레기나 나뭇잎 등이 유입될 경우, 촘촘한 거름망을 이용하여 쓰레기와 나뭇잎을 걸러준다. 걸러진 쓰레기와 나뭇잎은 스크류 컨베이어를 이용하여 별도 설치된 쓰레기통으로 버려준다. 이때 스크류 컨베이어를 움직이게 하는 DC 모터는 습도센서와 연결되어 비가 올 때만 동작하도록 설계한다.
3. 쓰레기통에 모인 쓰레기는 쓰레기통 뚜껑 안쪽에 부착된 초음파 센서를 이용하여 쓰레기가 얼마나 차 있는지 확인한다. 쓰레기가 일정 높이까지 가득 찼을 때 배수로 위에 나와 있는 LED를 이용하여 쓰레기통이 꽉 찼음을 알린다.

회로 동작을 구현해 볼 제품을 아래와 같이 구상해보았다.

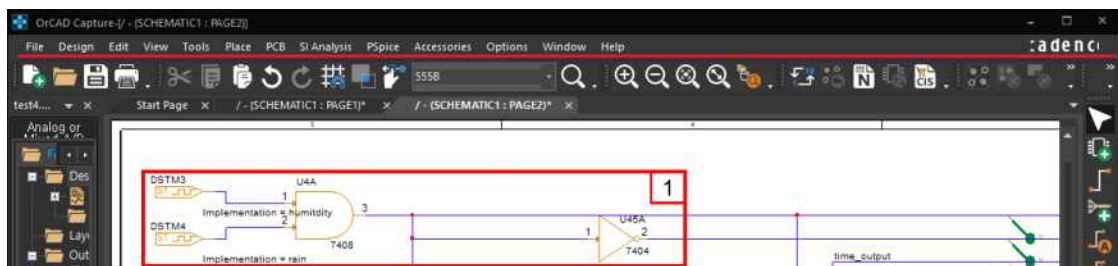


[그림 5] 제품 구상도

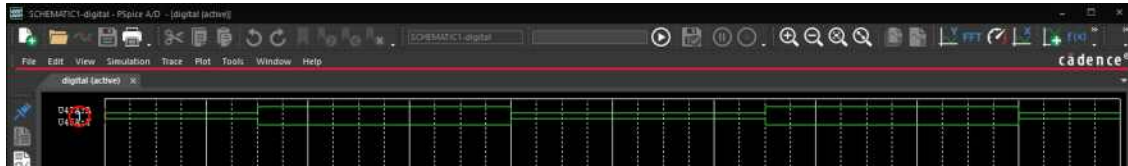
1) 습도센서&빗물 감지 센서-덮개용 DC 모터 제어 회로부

- DC 모터 회전 방향 제어를 위한 회로(open-close)

덮개를 여닫기 위해 DC 모터 회전 방향을 바꾸어 주어야 한다. 따라서 비가 오기 시작했을 때 정방향으로 회전시켜 덮개를 열고, 비가 그쳤을 때 역방향으로 회전시켜 덮개를 닫는다. 습도센서와 빗물 감지 센서의 출력 신호를 DC 모터 드라이버 IC인 L293D의 IN1에 넣고, NOT 게이트로 반전시킨 신호를 IN2에 넣게 되면 OUT1, 2에 연결된 모터는 출력 신호가 High일 때 정방향, Low일 때 역방향으로 회전하면서 덮개를 여닫게 된다.



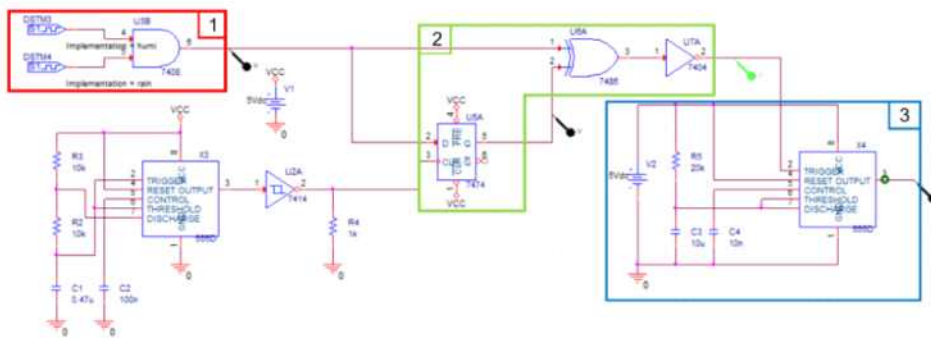
[그림 6] 덮개용 DC 모터의 방향 제어 회로



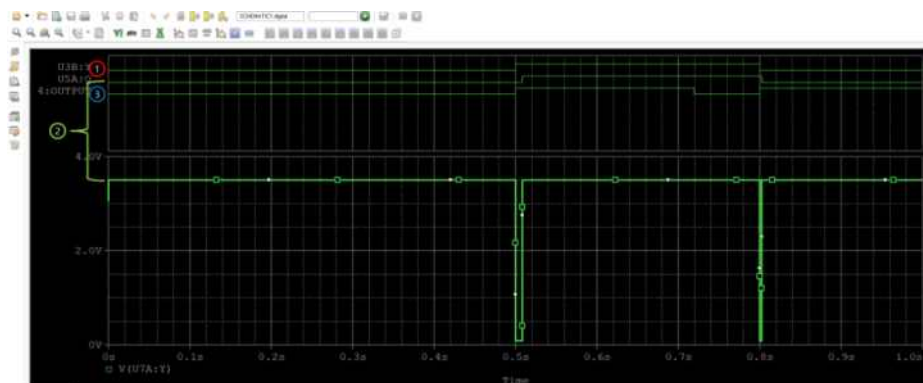
[그림 7] 뒤편용 DC 모터의 방향 제어 회로 시뮬레이션 결과

- 모터의 동작 시간을 제어하기 위한 회로

뒤편과 연결된 DC 모터는 뒤편을 여닫는 시간 동안만 동작하기 위해 타이머 회로를 사용한다.



[그림 8] 뒤편용 DC 모터 동작 시간 제어 회로



[그림 9] 뒤편용 DC 모터 동작 시간 제어 회로 시뮬레이션 결과

① 습도센서와 빗물 감지 센서의 출력값

습도가 높고 비가 오는 순간을 감지하기 위해 AND 게이트를 사용하여 습도센서와 빗물 감지 센서가 동시에 동작하는 순간에 High 신호를 출력한다. 시뮬레이션 창으로 1번 신호가 그 결과이다.

② 타이머 회로의 trig핀 신호

1번에서 출력된 신호가 Low에서 High가 되는 순간과 High에서 Low가 되는 순간, Low를 잠깐 출력하기 위해 XNOR 게이트의 한쪽에 받은 신호를 그대로 넣고 다른 쪽에 D 플립플롭을 이용하여 지연된 신호를 입력한다. 따라서 습도센서와 빗물 감지 센서가 동시에 동작하고 꺼지는 순간 (Low에서 High가 되는 순간과 High에서 Low가 되는 순간)에 일시적인 Low 신호를 출력한다.

시뮬레이션 창에서 1번 신호가 기존 신호이고, 2번 신호의 위쪽 신호가 D 플립플롭에 의해 지연된 신호이다. 2번 신호의 아래쪽 신호가 XNOR 게이트를 지나 출력된 신호이다.

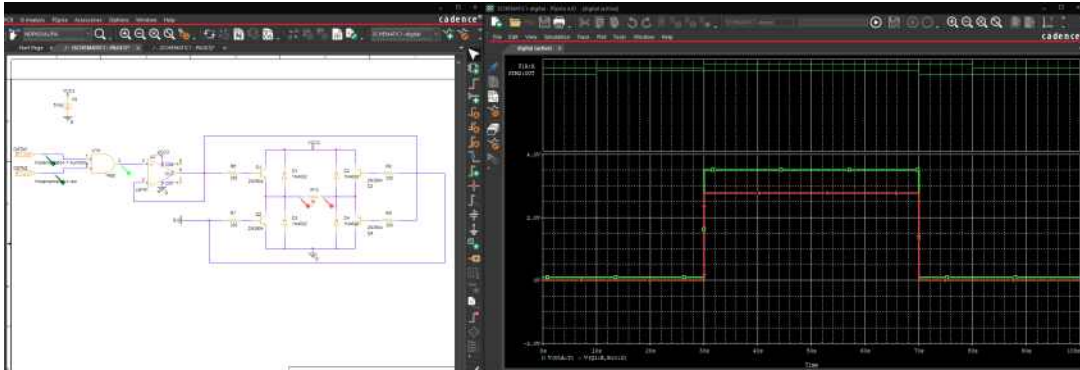
③ NE555를 사용한 단안정 멀티 바이브레이터 회로(타이머)

trig핀에 들어온 신호가 High에서 Low가 되는 순간 동작하기 시작한다. $t = 1.1 \times R \times C[s]$ 에 따라 DC 모터의 동작 시간을 결정할 수 있다. 시뮬레이션 3번 신호가 그 결과이다.

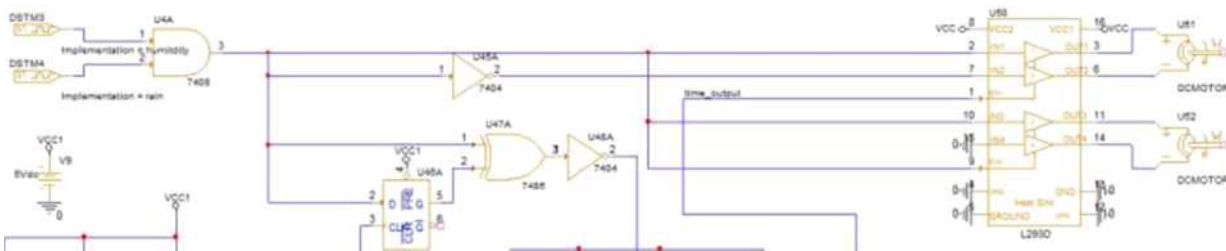
2) 습도센서&빗물 감지 센서-스크류 컨베이어용 DC 모터 제어 회로부

- 습도센서-빗물감지센서 출력부에서 컨베이어용 DC 모터를 제어하기 위한 회로

습도가 높고 비가 오는 순간에 스크류 컨베이어가 동작하도록 만들기 위해 AND 게이트를 사용한다. DC 모터 드라이버 IC인 L293D를 사용하여 스크류 컨베이어용 모터를 제어한다. 스크류 컨베이어는 한 방향으로 회전하기 때문에 IN3에 AND 게이트 출력값을 넣고 IN4는 접지시킨다. OUT3, 4에 모터를 연결하면 비가 올 때 스크류 컨베이어가 한 방향으로 회전하게 된다.



[그림 10] L293D 내부 h-bridge 회로 시뮬레이션 결과



[그림 11] L293D가 연결된 회로

아래 표는 IC L293D의 데이터시트 표이다.

IC L293D 핀 입력			
EN1, 2(1)	뒷개용 모터 속도 제어	VCC1(16)	칩 전원(5V)
IN1(2)	뒷개용 모터 +단자	IN4(15)	스크류용 모터 -단자
OUT1(3)	뒷개용 모터 + 출력단자	OUT4(14)	스크류용 모터 - 출력단자
GND(4)	접지	GND(13)	접지
GND(5)	접지	GND(12)	접지
OUT2(6)	뒷개용 모터 - 출력단자	OUT3(11)	스크류용 모터 + 출력단자
IN2(7)	뒷개용 모터 -단자	IN3(10)	스크류용 모터 +단자
VCC2(8)	전체 모터 전원(3V)	EN3, 4(9)	스크류용 모터 속도 제어

[표 1] DC 모터 드라이버 IC (L293D)

3) 초음파 센서-LED 회로부

- 초음파 펄스의 송출 시간을 제어하기 위한 발진회로(trig핀 입력)

초음파 센서 데이터시트에 따르면 트리거 신호 주기는 에코 신호와의 간섭을 막기 위해 60ms 이상의 측정 주기를 사용하는 것이 좋으며, 한 주기 당 트리거 입력 신호를 10us로 만들어야 한다. 조건에 맞는 발진회로를 만들기 위해 NE555 타이머를 사용한 비안정 멀티바이브레이터 회로를 구성하였으며, 식에 따라 적절한 저항과 커패시터값을 정하였다. 마지막으로 슈미트 트리거 인버터를 사용하여 반전된 결과값을 정확하게 출력하였다.

(1) 출력주파수

$$f_0 = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C} = \frac{1}{T} \cdot \frac{1.44}{(2M + (2 \times 0.001M)) \times 0.047u} \approx 15.3[Hz]$$

(2) 주기

$$f_0 = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C} = 15.3[Hz]$$

$$T = \frac{1}{15.3} \approx 65.34[ms]$$

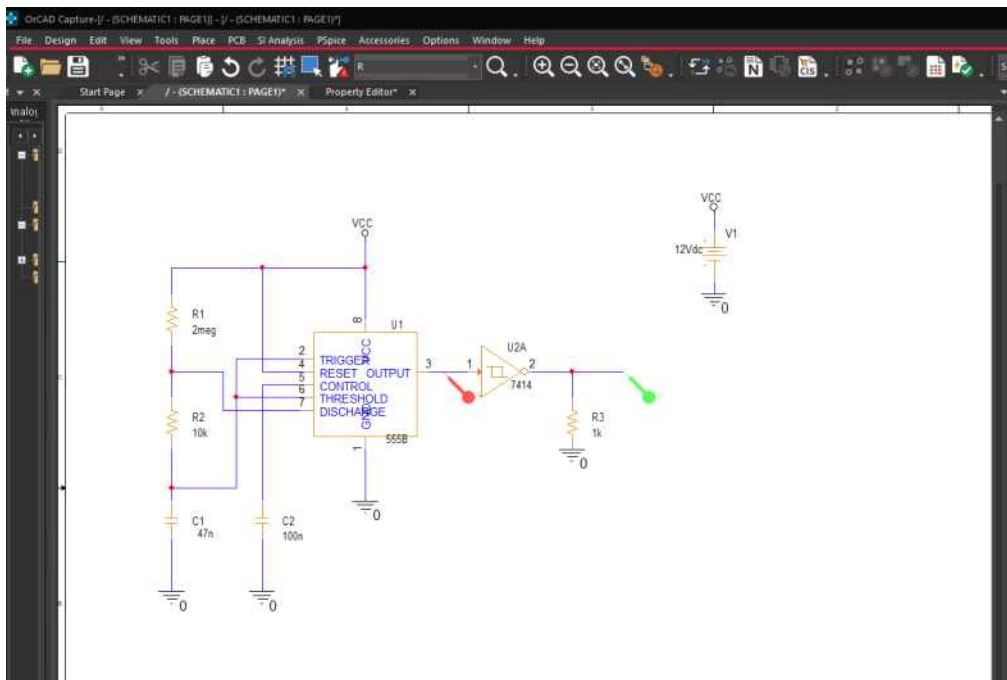
(3) %듀티 사이클

$$\%D = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} \times 100\% \approx 99.95\%$$

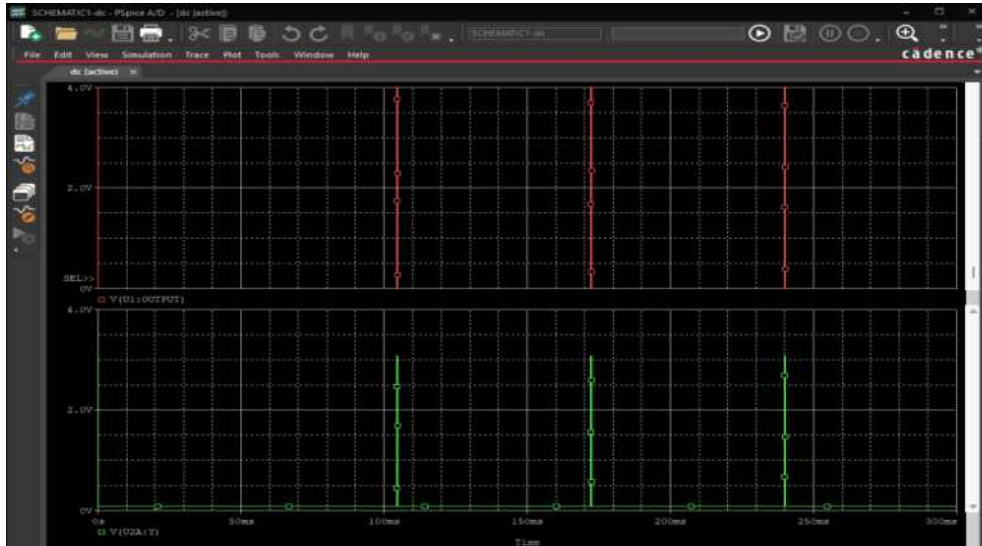
$$= \frac{t_1}{T} \times 100\%$$

range = high level time * velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.

[그림 12] 초음파 센서의 데이터시트



[그림 13] NE555 타이머를 사용한 비안정 멀티바이브레이터 회로(발진회로)



[그림 14] NE555 타이머를 사용한 비안정 멀티바이브레이터 회로 시뮬레이션 결과

- 에코 신호를 카운트하여 거리를 약 5cm 기준으로 구분하는 회로

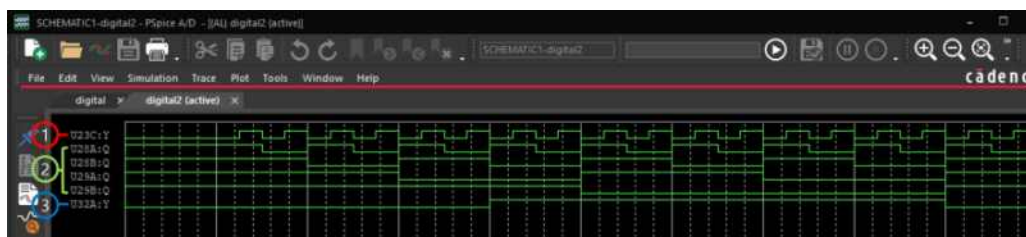
4bit 동기식 하향 카운트 회로를 사용하여 약 5cm 이하로 입력될 시 off 상태, 5cm 이상이 되는 순간 on 신호를 출력하게 만든다.

① 에코 신호 카운트 회로

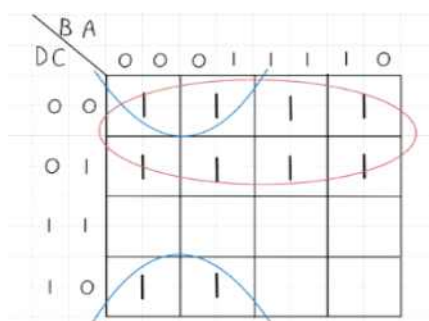
초음파 센서(HC-SR04)에서 출력되는 에코 신호를 카운트하여 초음파 센서와 물체 간의 거리가 몇 cm인지 계산하기 위한 회로이다. 카운트하기 위한 발진회로와 에코 신호를 AND 게이트에 입력하여 에코 신호가 들어왔을 때만 카운트하여 4bit 동기식 하향 카운트 회로에 입력한다.

② 4bit 동기식 하향 카운트 회로 & ③ 15~10 off, 9~0 on 상태인 조합 논리 회로

입력된 신호를 하향 카운트하여 조합 논리 회로에 입력한다. 하향 카운트 회로에서 출력값이 15(1111)에서 10(1010)일 때는 off, 9(1001)에서 0(0000)일 때는 on이 되므로 최종적으로 출력된 신호는 약 5cm 이하일 때는 off, 5cm 이상일 때는 on 상태가 된다.



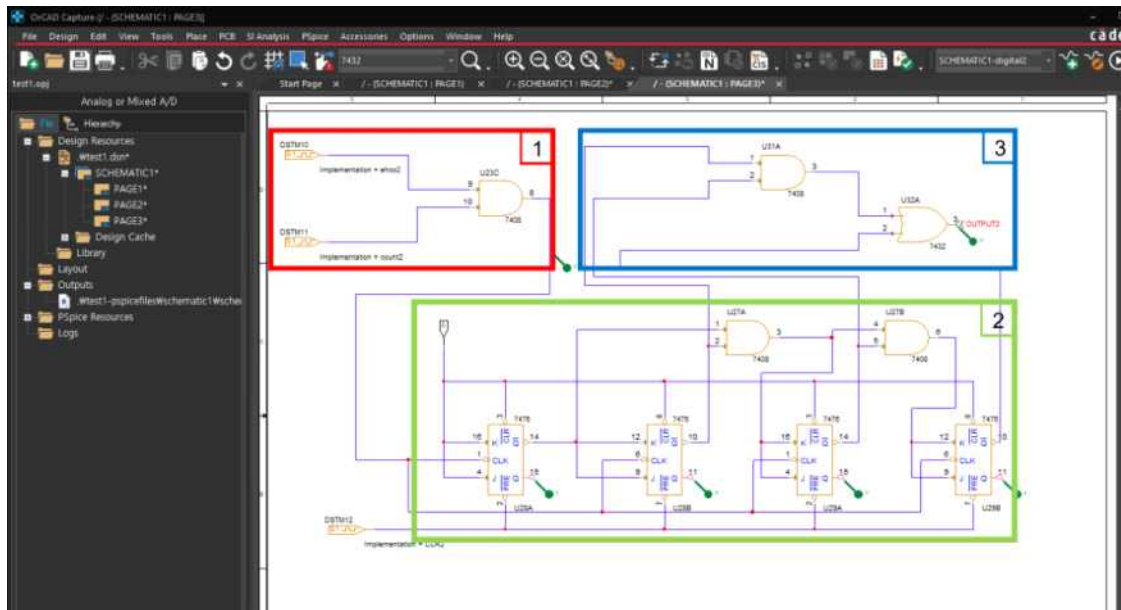
[그림 15] 에코 신호를 카운트하여 거리를 약 5cm 기준으로 구분하는 회로 시뮬레이션 결과



[그림 16] 조건을 만족하는 카르노맵

$$\text{특성 방정식} = D' + B'C'$$

[그림 17] 특성 방정식



[그림 18] 에코 신호를 카운트하여 거리를 약 5cm 기준으로 구분하는 회로

- 에코 신호를 카운트하기 위한 발진회로

초음파 센서 데이터 시트에서 초음파 센서와 물체와의 거리에 따른 ehco High 펄스 시간을 계산할 수 있다. 이를 토대로 실험한 결과, 두 값이 거의 일치하는 것을 확인했다.

$$t = \frac{s \times 2}{v} = \frac{5cm \times 2}{0.034cm/us} = \text{약 } 294.12us$$

$$t = \frac{s \times 2}{v} = \frac{10cm \times 2}{0.034cm/us} = \text{약 } 588.235us$$



[그림 19] 초음파 센서 10cm 거리
약 590us



[그림 20] 초음파 센서 5cm 거리
약 300us

다음으로 초음파의 수신 시간을 측정하기 위하여 카운트 펄스 발진기를 구성한다. NE555 타이머를 사용한 비안정 멀티바이브레이터 회로를 사용하여 제작한다. 듀티사이클은 50%, 에코 신호의 출력이 1cm일 때 약 60us 발생하므로 카운트 펄스의 주기를 60us로 설정하였다.

(1) 출력주파수

$$f_0 = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C} = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(0.64K + (2 \times 0.64K)) \times 0.047u} \approx 15.957[KHz]$$

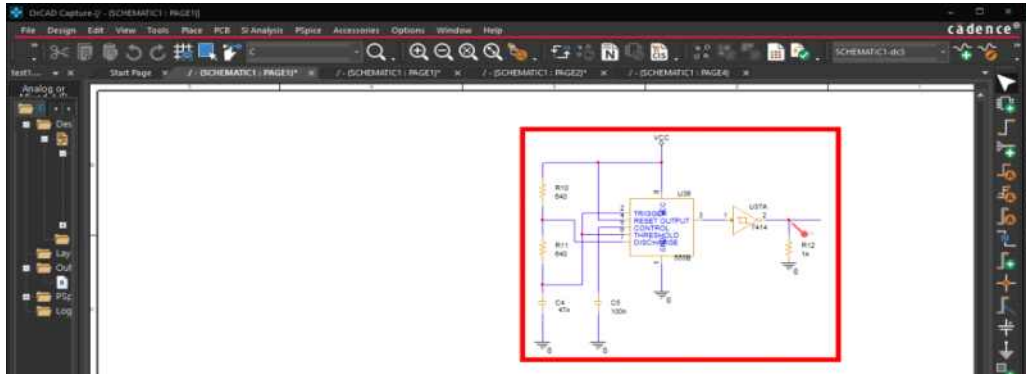
(2) 주기

$$f_0 = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C} = \frac{1}{T}$$

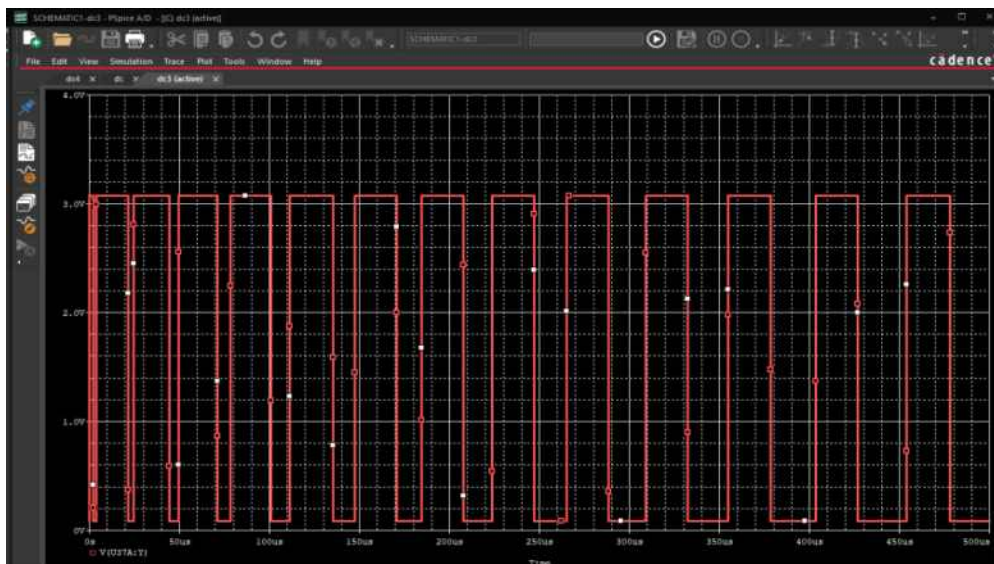
$$T = \frac{1}{15.957K} \approx 62.668[us]$$

(3) %듀티 사이클

$$\begin{aligned}\%D &= \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_1} \times 100\% \simeq 50\% \\ &= \frac{t_1}{T} \times 100\%\end{aligned}$$



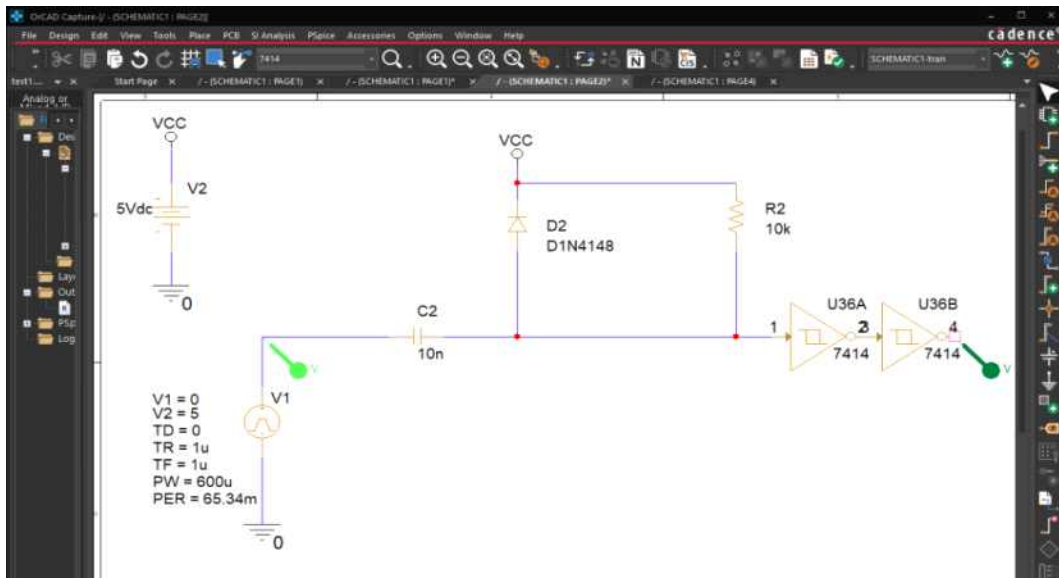
[그림 21] NE555 타이머를 사용한 비안정 멀티바이브레이터 회로(발진회로)



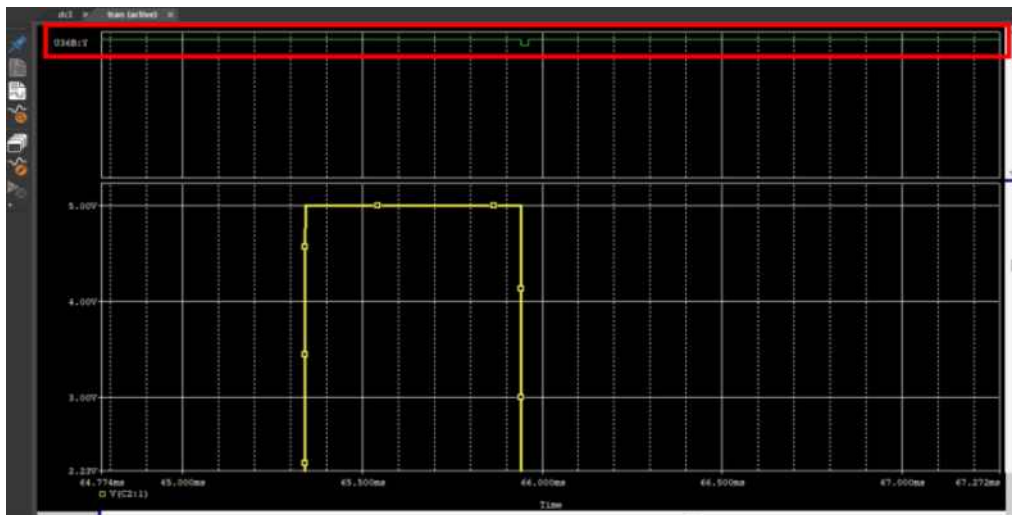
[그림 22] NE555 타이머를 사용한 비안정 멀티바이브레이터 회로 시뮬레이션 결과

- 프리셋 펄스 발진회로

초음파 센서로 거리를 약 65.34ms마다 측정하는데, 이때 에코 신호를 카운트하기 위한 4bit 동기식 하향 카운트 회로의 초기화가 65.34ms마다 필요하다. 따라서 4bit 동기식 하향 카운트 회로의 JK 플립플롭 프리셋 단자에 65.34ms마다 LOW 신호를 입력시켜 주어야 한다.



[그림 23] 프리셋 회로



[그림 24] 프리셋 회로 시뮬레이션 결과

- 초음파 센서의 출력 시간을 이용한 LED 제어 회로

약 5cm 이상일 경우 짧게 출력되는 신호를 적분 회로를 통해 증폭시킨 뒤, 버퍼를 이용하여 평활 회로와 연결한다. 맥류 신호를 완전한 직류 신호로 바꾸어서 LED 전원 회로와 연결한다.

① 적분 회로

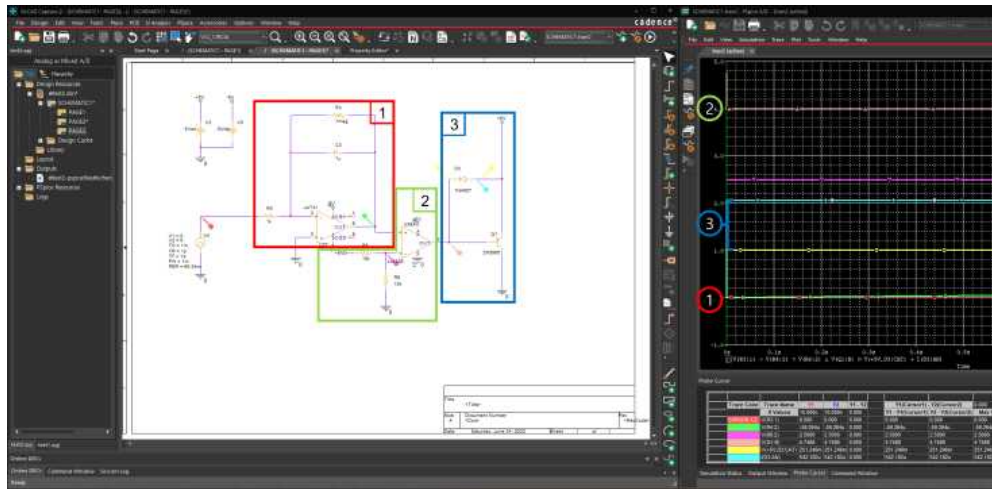
에코 신호를 카운트한 뒤, 거리를 약 5cm 기준으로 구분하는 회로에 입력하였을 때 5cm 이상일 경우 출력 파형에서 HIGH가 출력된다. 이 신호를 적분 회로에 넣어서 증폭시키고 맥류 파형으로 나타나게 한다.

② OPAMP 비교기

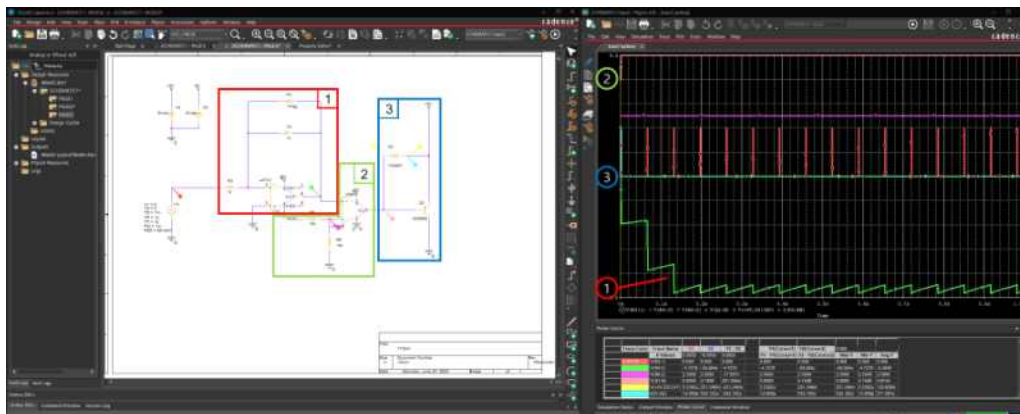
적분 회로에서 출력된 전압이 -단자에 걸린 기준전압(2.5V)을 넘으면 5V를 출력하고, 이보다 낮으면 0V를 출력하게 된다.

③ LED 제어 회로

비교기에 출력된 신호가 5V일 때 이 전압이 LED의 cathode 단자에 인가되므로 LED에 전위차가 생기지 않아서 불이 켜지지 않게 되고, 0V일 때 LED의 cathode 단자가 ground에 연결된 것과 같으므로 LED에 전위차가 발생하여 불이 켜지게 된다.

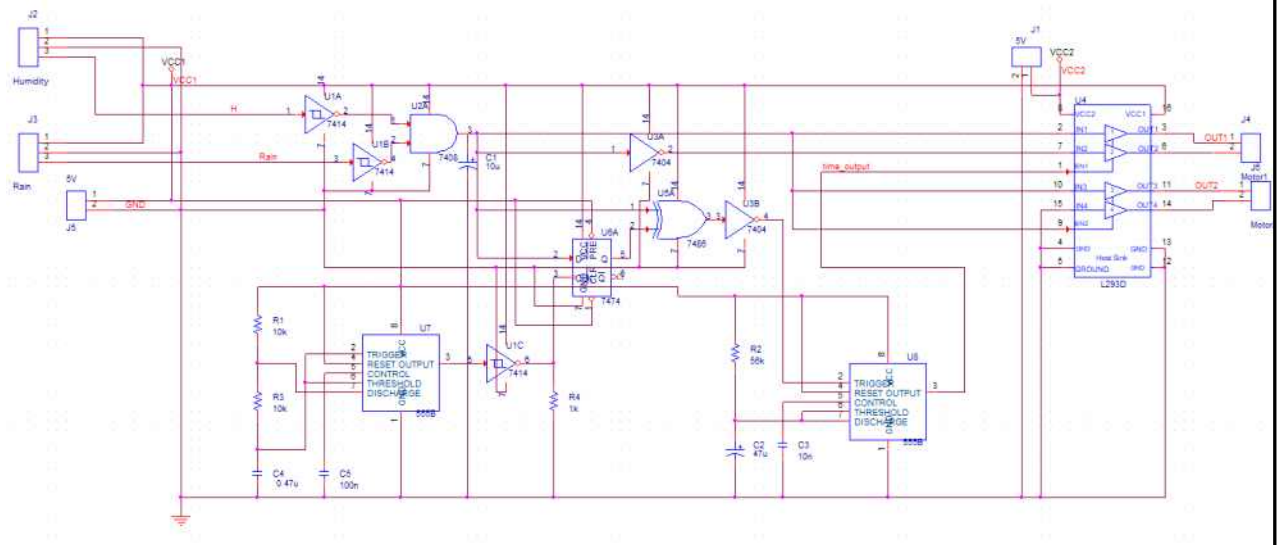


[그림 25] 5cm일 때 LED on 시뮬레이션 결과

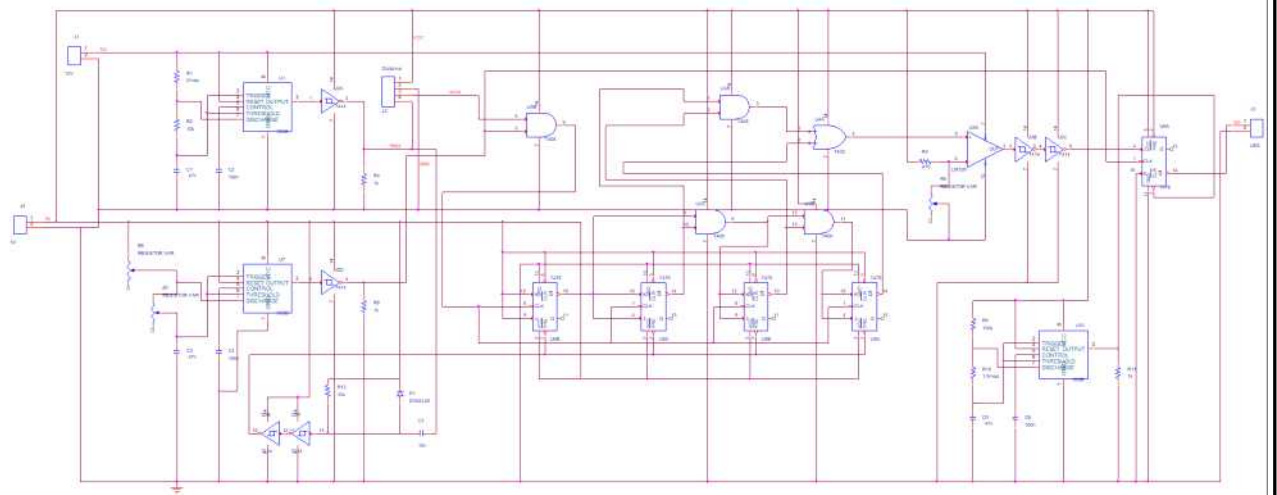


[그림 26] 10cm일 때 LED off 시뮬레이션 결과

- 최종 회로도



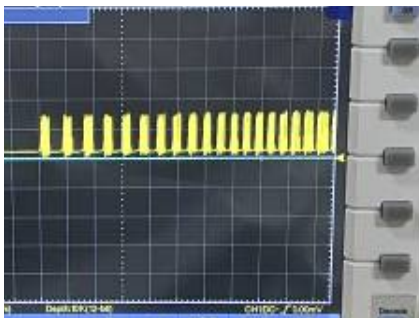
[그림 27] 습도센서 & 빗물 감지 센서-DC 모터 제어 회로



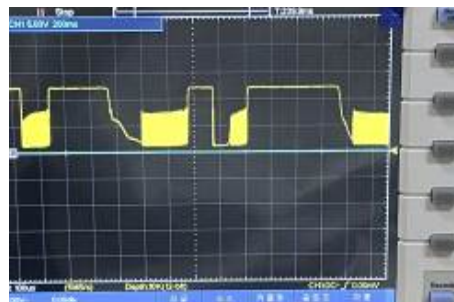
[그림 28] 초음파 센서-LED 제어 회로

3. 시행착오

1. 일반적으로 사용하는 소형 DC 모터는 스크류를 돌릴 토크 힘이 부족하다.
→ DC 기어 모터 사용: 기어비가 1:100, 무부하 속도가 100 RPM(분당 회전수)인 기어 모터를 사용하여 회전 속도를 감소시키고 토크 힘을 상승시켜 무거운 물체를 돌릴 수 있게 하였다.
2. DC 모터 연결 시 센서 출력값에 노이즈 발생
→ 우리가 사용하는 모터는 브러시 모터로 브러시 모터는 작동 중에 전류 변동과 전압 스파이크(급격한 전압 변화)가 발생하기 쉬워 주변 회로에 전자기 노이즈가 발생할 수 있다. 이러한 노이즈는 회로에 연결된 다른 구성 요소, 특히 아날로그 센서의 출력 값에 영향을 미칠 수 있다.
이를 해결하기 위해 커패시터(10uF)를 추가하였다: 전압 스파이크를 흡수하고 일정한 전압을 유지하여 센서 출력 값에 대한 안정성을 향상시킨다.

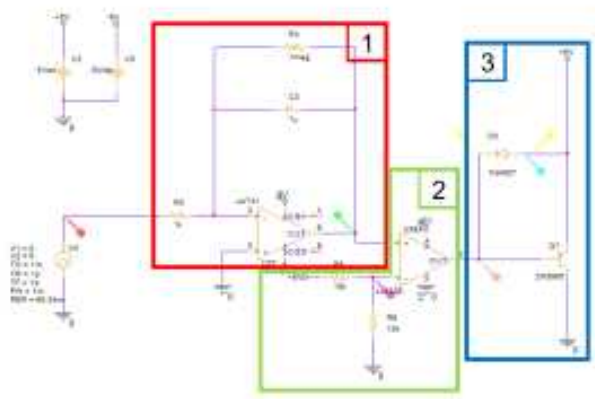


[그림 29] 커패시터 달기 전 출력값



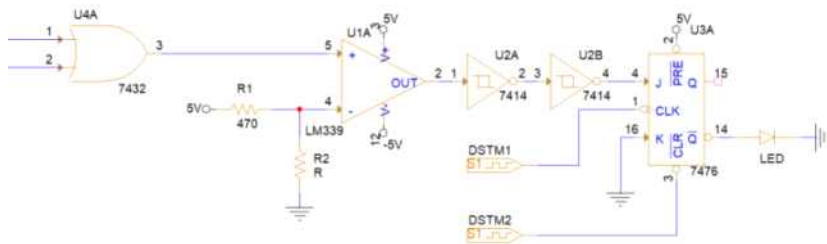
[그림 30] 커패시터 단 후 출력값

3. 쓰레기와의 거리에 따른 LED 제어 부분에서 회로가 원하는 대로 동작하지 않음.
: 센서 출력값 및 555 타이머로 구성된 발진회로의 신호가 0V보다 살짝 뜨게 된다.



[그림 31] 처음 고안한 회로

→ 증폭 회로가 LOW신호까지 증폭해서 원하는 결과를 얻을 수 없다.
이를 해결하기 위해 아래와 같이 회로를 재구성해 보았다.



[그림 32] 재구성한 초음파 센서-LED 제어 회로

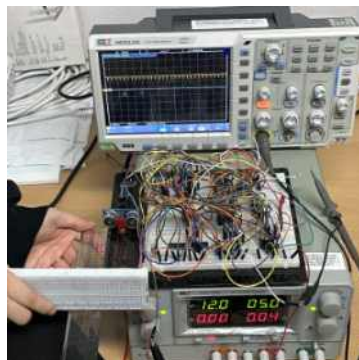
JK 플립플롭

J	K	$Q(t+1)$
0	0	$Q(t)$
0	1	0
1	0	1
1	1	$Q'(t)$

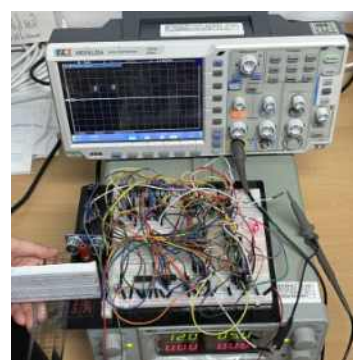
[그림 33] JK플립플롭 진리표

- 7432 3번 pin 측정

7432 IC의 3번 핀을 측정해 보면 센서와 거리가 멀 때 5V, 가까울 때 0V의 출력값을 얻을 수 있다.

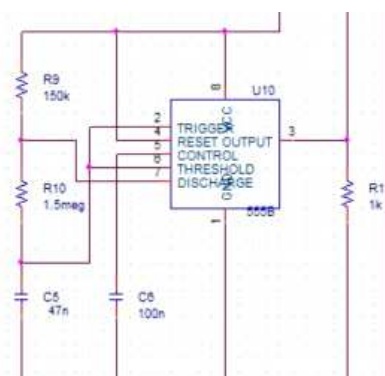


[그림 34] 거리가 약 10cm일 때

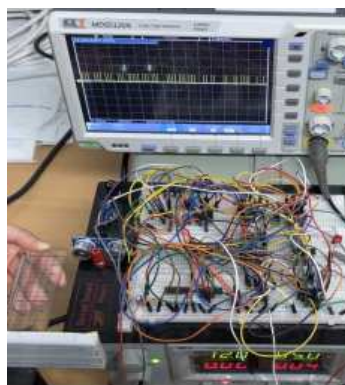


[그림 35] 거리가 약 5cm일 때

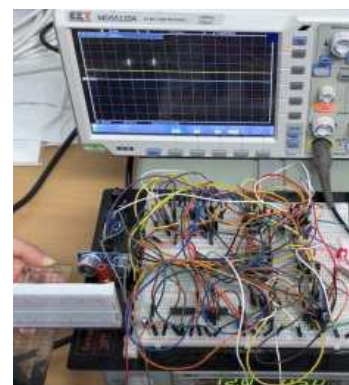
이 신호를 7414를 두 번 거쳐 보다 안정된 신호로 만들어 준 후 JK F.F을 거쳐 LED를 제어한다. 센서와 쓰레기의 거리가 멀 때는 $J=1$, $K=0$ 이므로 $Q'=0$ (LED off)이고 반대로 센서와 쓰레기의 거리가 가까울 때는 $J=0$, $K=0$ 이므로 이전 상태를 유지하게 된다. 이때 LED의 불이 켜지도록 JK F.F의 Clear에 들어가는 발진회로를 구성한다. 주기는 0.1s, 듀티 사이클은 52%이다.



[그림 36] Clear 발진회로



[그림 37] 10cm일 때 LED 신호

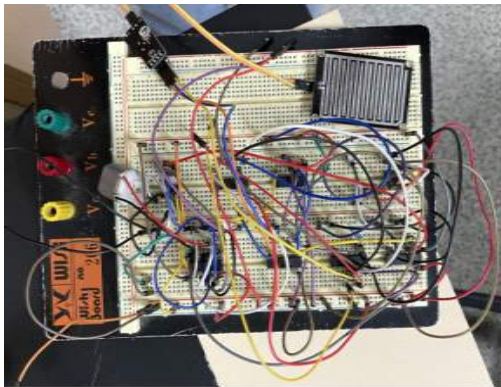


[그림 38] 5cm일 때 LED 신호

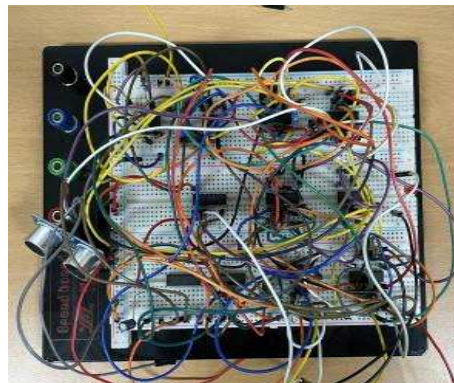
센서와 쓰레기의 거리가 멀 때는 위 사진에서 볼 수 있듯이 clear가 계속 되지만 그 주기가 0.1s로 매우 짧아 우리에게서는 항상 LED가 켜진 것 같이 보이게 된다. 센서와 쓰레기의 거리가 가까울 때는 clear를 한 번 시킨 후 그 결과를 유지하기 때문에 Q' 출력은 항상 1이 나오게 되고 따라서 LED가 켜진 것 같이 보인다.

4. 과제 결과

- 브레드보드 구현

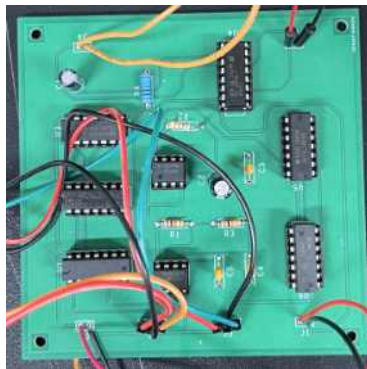


[그림 39] 습도센서&빛물 감지 센서부
브레드보드 구현

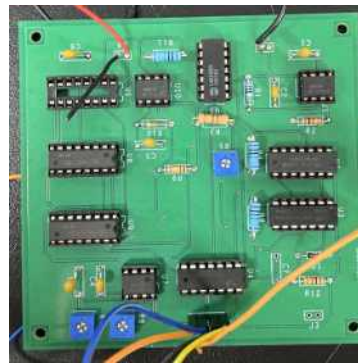


[그림 40] 초음파 센서-LED 회로부
브레드보드 구현

- PCB 구현



[그림 41] 습도센서&빛물 감지
센서부 PCB



[그림 42] 초음파 센서-LED
회로부 PCB

- 작품 외관



[그림 43] 작품 외관 구현

- 작동 영상