

\* 본 자료는 서경대학교 아두이노 프로그래밍 수업 수강자를 위해 작성된 강의 교재입니다.

강의교재- 아두이노 프로그래밍

# 11장 ADC와 조도 센서

서경대학교 김진현

# 11

---

## ADC와 조도센서

### 내용

- 11.1 ADC 개요
- 11.2 A/D 변환에 관련된 아두이노 표준 함수
- 11.3 조도 센서 모듈(CDS, TEMT6000)
- 11.4 조도 센서 인터페이스 프로그래밍
- 11.5 고찰

## 11.1 ADC 개요

ADC(Analog-to-Digital Converter)는 연속적인 값을 갖고 있는 아날로그(analog) 신호를 디지털(digital) 값으로 변환하는 장치이다. 그림 1.1에 보인 바와 같이 ADC는 외부에서 유입되는 아날로그 신호를 샘플링 신호에 맞추어 그 값(보통 전압)을 디지털 값으로 환산하여 출력한다. ADC의 성능은 sampling rate와 data resolution으로 대표될 수 있는데 높은 주파수로 샘플링할수록, 데이터의 비트 길이가 높을수록 성능이 우수하다고 할 수 있다. 이러한 사양은 적용되는 응용 목적에 따라 적절히 선택하여 사용하는 것이 좋다.

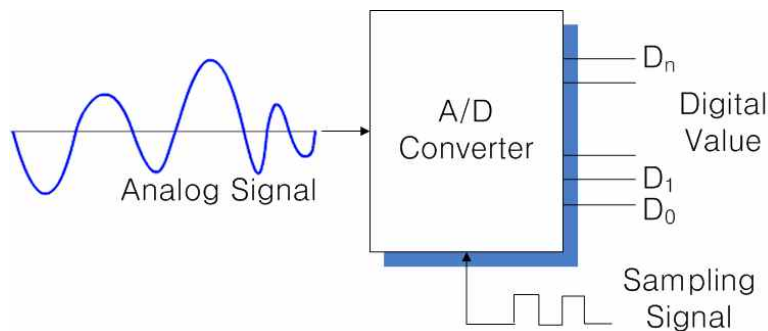


그림 1.1 ADC 역할

ADC는 과거에는 별도의 소자(chip)으로 판매되어왔으나 근래에 들어 고집적화가 가능해지면서 임베디드 프로세서, 혹은 소형 마이크로컨트롤러 내부에 내장된 모습을 어렵지 않게 만날 수 있게 되었다.

아두이노 메가에는 16개 채널을 지원하는 ADC가 내장<sup>1)</sup>되어 각 채널마다 AD 변환을 독립적으로 동시에 시행할 수 있다. 변환은 10비트로 이루어지므로 0~1023까지의 값으로 표현된다. 보드에 따라 다르긴 하지만 5V 기반의

1) 채널 전환(switchoing)을 통해 총 16개의 아날로그 신호를 디지털로 변환할 수 있다. 동시에 16개의 아날로그 신호를 변환하는 것은 아니다. 채널을 전환할 때는 전환 지연시간이 필요하다.

아두이노 보드의 경우에는 0V~5V까지의 전압을 0~1023으로 변환하고, 3.3V의 아두이노 보드에는 3.3V까지의 전압을 0~1023까지의 값으로 변환한다<sup>2)</sup>. 변환에는 약 **100us**가 소요되므로 아두이노 메가에 내장된 ADC의 최대 샘플링 주파수는 **10KHz**이다.

**□ 아날로그 데이터 => 디지털 데이터 변환 단계**

아날로그 데이터는 그림 1.2의 과정을 거쳐 디지털로 변환된다.

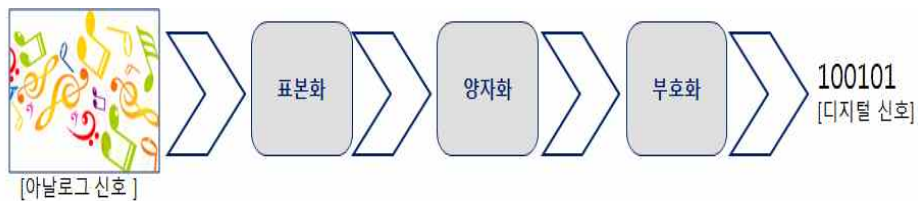


그림 1.2 AD 변환과정

각 단계에서 이루어지는 신호 변환을 그림 1.3에 보였다.

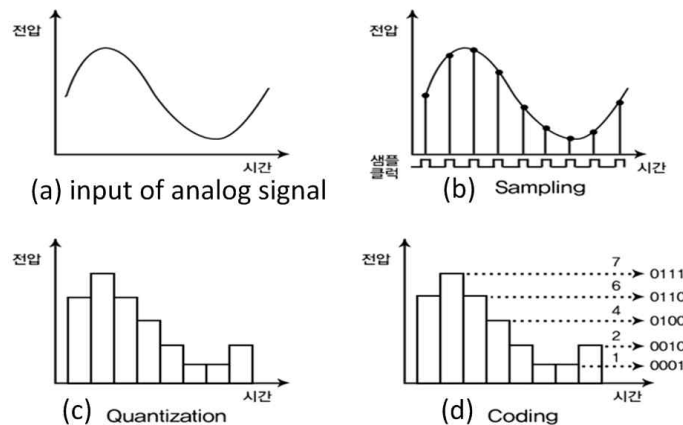


그림 1.3 AD 변환 과정

2) analogReference() 함수를 통해 입력전압의 범위를 조절할 수 있다.

- (a) 아날로그 신호(Analog Signal) 입력
  - 연속적인 아날로그 입력 신호가 입력된다.
- (b) 표본화(Sampling)
  - 일정 시간 간격으로 표본을 추출(sampling)한다.
  - 샘플링 주파수가 높을수록 향후 원본 입력 신호에 근접한 모양의 신호를 재생해낼 수 있다.
- (c) 양자화(Quantization)
  - 시간에 따른 신호의 세기를 이산화시켜 표시한다. 샘플링된 값은 다음 샘플링 시간까지는 같은 값으로 유지한다.
  - 이산화 값의 범위가 클수록 정밀도가 높으며 이것을 해상도 또는 분해능(Resolution)이라 한다. 8bit ( 0~ 255), 10bit ( 0 ~ 1023 )
- (d) 부호화(Coding)
  - 표본화된 데이터를 디지털 값으로 표현한다.

## 11.2 A/D 변환에 관련된 아두이노 표준 함수

int analogRead(pin)		
기능	A/D 변환기를 통해 외부 장치가 출력한 전압을 읽어 들인다. A/D 변환에는 약 100us가 소요되므로 초당 10,000번의 샘플링( <b>10KHz</b> )이 가능하다.	
매개변수	단자번호	A/D 변환이 가능한 입력 단자 번호. 지정된 단자와 예는 사용할 수 없다. 아두이노 우노: A0~A5 단자(6개). 10비트 분해능. 아두이노 메가: A0~A14 단자(15개). 10비트 분해능. Ardu-Ez 키트에서는 54번 ~ 69번 단자가 ADC에 연결되어 있다.
반환 값	int	0~1023(10비트 변환기가 장착됨)

void analogReference(type)		
기능	아날로그 신호 입력시 외부 표준 전압을 설정한다. 이 전압에 의거해서 A/D 변환결과를 출력한다. 설정된 변환 값이 A/D 변환기에 유입될 때 변환기는 최댓값 1023을 출력한다.	
매개변수	DEFAULT	the default analog reference of 5 volts (on 5V Arduino boards) or 3.3 volts (on 3.3V Arduino boards)
	INTERNAL	an built-in reference, equal to <b>1.1 volts</b> on the ATmega168 or <b>ATmega328(Uno에서 채택)</b> and 2.56 volts on the ATmega8 (not available on the Arduino Mega)
	INTERNAL1V1	a built-in 1.1V reference (Arduino Mega only)
	INTERNAL2V56	a built-in 2.56V reference (Arduino Mega only)
	EXTERNAL	the voltage applied to the AREF pin (0 to 5V only) is used as the reference <sup>3</sup> . AREF 단자를 기준 참조 전압으로 사용한다. 실험키트 Ardu-Ez 보드는 GND에 연결되어 사용할 수 없다.
반환 값	void	없음

analogRead()를 수행하기 위해서 해당 단자를 INPUT으로 설정할 필요는 없다. 만약 INPUT\_PULLUP으로 설정하면 해당 단자의 신호는 풀업 저항에 영향을 받을 수 있다. 아날로그로 사용하지 않을 때는 해당 단자는 일반 GPIO로 설정하여 사용할 수 있다.

3) AREF 단자를 사용하려면 먼저 analogReference() 함수를 수행하여 아날로그 입력 신호의 최댓값을 먼저 설정한 후 analogRead() 함수를 호출할 수 있다. 그렇지 않으면 내부에서 생성된 참조 전압과 충돌하여 손상을 입을 수 있다.

## 11.3 조도센서모듈 소개(CDS, TEMT6000)

아날로그 신호를 읽어보는 실험을 위해 본 교재에서는 2가지의 센서 모듈을 사용하는 방법을 소개하기로 한다.

### □ CDS 조도 센서모듈

조도센서는 빛의 양을 측정하는 장치로 빛의 입사량에 따라 저항 값이 달라지는 LDR(Light Dependent Resister) 센서를 많이 사용한다. 빛에 따라 저항값이 달라지는 소재로는 CDS(Cadmium sulfide, 황화카드뮴)가 있다. 그림 3.1에는 CDS 센서와 동작원리를 보인 것이다.

(a) 센서는 2개의 터미널에 연결되어 있는 도전체를 CDS 소재가 양분하고 있다. 이 CDS가 입사되는 광량의 변화에 따라 저항 값이 변한다.

(b) LDR 소자의 심볼을 보인 것이다.

(c) CDS 소자를 연결하는 회로를 보인 것이다. 센서는 Vout의 출력 전압을 사용한다.

(d) 입사되는 광량에 따라 Vout의 전압이 작아지는 그래프를 보인 것이다.

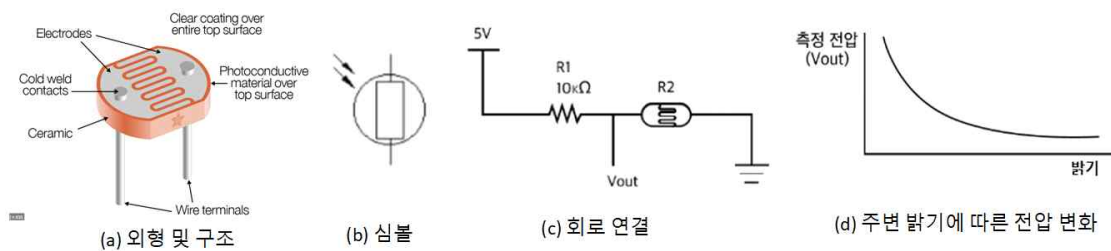


그림 3.1 LDR 센서와 그 동작원리

센서 내에 황화카드뮴 저항체가 존재하면 이 저항체는 빛의 세기에 따라서 저항값이 변한다. 즉 빛의 세기가 셀수록 저항값이 작고, 빛의 세기가 클수록 저항값이 크게 변한다. 이 저항의 변화를 전압으로 바꾸어 출력하여 빛의

강도를 측정할 수 있도록 하는 장치가 **조도 센서 모듈**이다. 그림 3.2에는 CDS 센서와 전압 비교기(comparator)를 장착한 LDR 센서 모듈과 그 내부 회로를 보인 것이다.

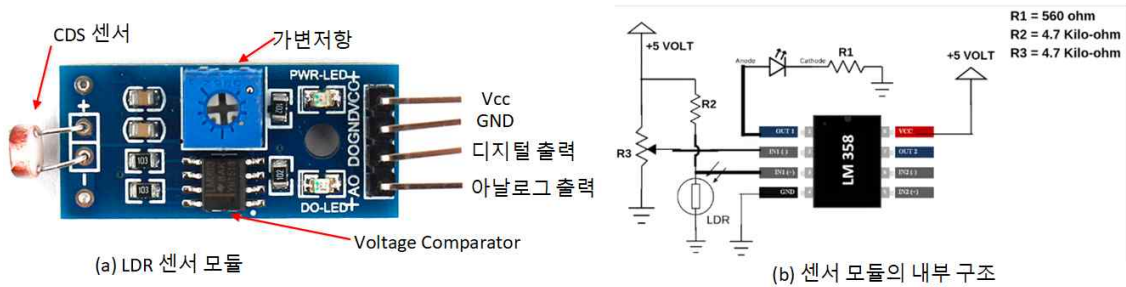


그림 3.2 LDR 센서 모듈 및 내부 구조

본 센서 모듈은 아날로그 출력외에도 특정 조도가 되면 외부로 신호를 내 보내는 디지털 출력 단자도 갖고 있으며, 기준이 되는 밝조를 가변저항을 통해 제어할 수 있는 편리한 기능을 제공한다.

☐ **TEMT6000 조도 센서모듈 - Ardu\_EZ 키트에서 제공**

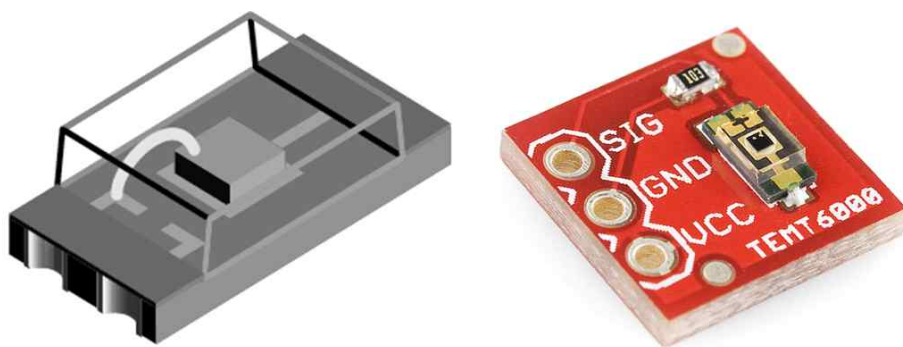


그림 3.3 조도 센서 TEMT6000 그림과 실장된 센서 모듈 사진

이 센서는 광전도효과를 이용하여 주위의 빛의 양을 측정하여 이를 전기적



인 신호로 출력해 주는 센서이다. 그림 3.3에 조도 센서(TEMT6000)<sup>4)</sup>와 센서 모듈을 보였다. 이 센서는 사실상 NPN 트랜지스터와 같은 역할을 수행한다.

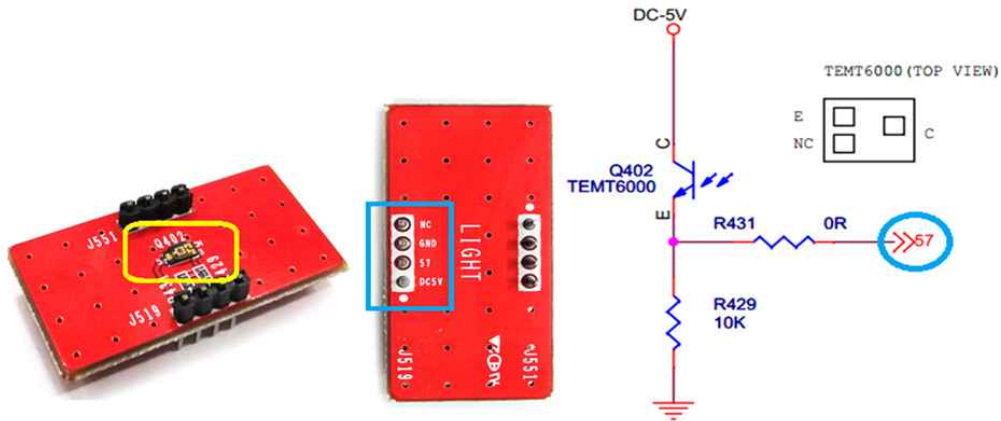


그림 3.4 Ardu-Ez 실습키트의 조도 센서 모듈 및 회로도

그림 3.4에 실험 키트에서 사용한 조도 센서 모듈과 그 회로도를 보였다. 그림에서 조도 센서는 노란색으로 표기한 부분이며 TEMT6000 소자가 사용되었다. 조도 센서는 전원에 연결하면 빛이 많이 조사되면 높은 전압을 출력하고, 빛이 적어지면 낮은 전압을 출력한다. 측정된 전압의 크기를 조도의 단위인 Lux로 환산하면 현재 비추고 있는 빛의 양을 Lux 단위로 출력할 수 있다.

연결 방식	ADC 입력
<b>연결 단자</b>	<b>57번 단자<sup>5)</sup> (아날로그 데이터 입력)</b>
동작 모드	센서 모듈은 빛의 밝기를 Analog 전압 신호로 바꾸어 아두이노에 전송

4) 출처 : Vishay Semiconductor사의 TEMT6000 데이터 시트

5) 57번 단자는 ADC의 채널 3에 연결되어 있다. 그러나 프로그래밍 과정에서는 단자 번호만 알려지고 채널 번호는 밝힐 필요가 없으므로 채널번호에 대해서는 관심을 갖지 않아도 된다.

## 아두이지(Ardu-Ez)의 ADC 아날로그 신호 입력 단자

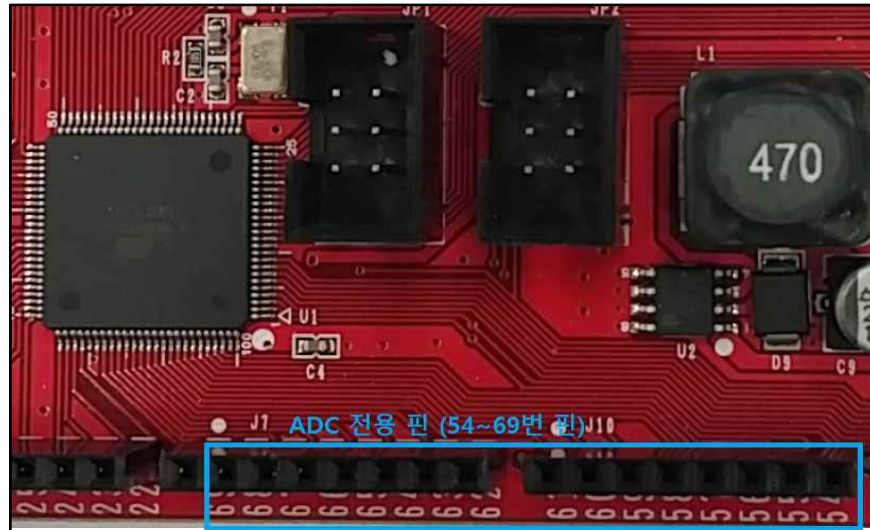


그림 3.5 Ardu-Ez의 ADC 지원 단자의 사진

그림 3.5에는 아두이지에서 제공하는 ADC 단자를 보였다. **54번 ~ 69번 단자는 ADC의 입력을 위한 전용단자이다.** 이 단자를 통해 소리, 습기, 빛 등의 아날로그 값을 측정하는 센서를 연결해서 디지털 값으로 변환할 수 있다.

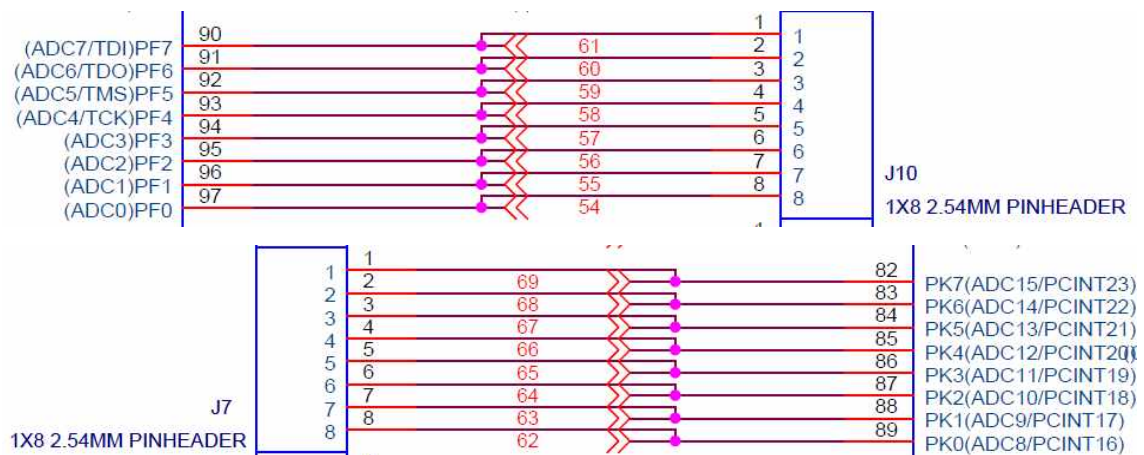


그림 3.6 Ardu-Ez의 ADC 지원 단자의 회로도

그림 3.6에는 ADC의 16개 입력단자의 회로도를 보였다. 그림에 보인 바와 같이 ADC 아날로그 입력단자(ADC0~15)는 다른 신호선(PCINT16~23 등)과 함께 혼용되어 있다<sup>6)</sup>.

단자 하나를 여러개의 신호와 함께 혼성해서 쓰기 위해서는 사전에 해당 단자를 어떤 신호로 선택하여 사용할 것인지 설정하는 과정이 필요하다. 아두이노에서는 이러한 과정이 아두이노 함수안에 내장되어 있다.

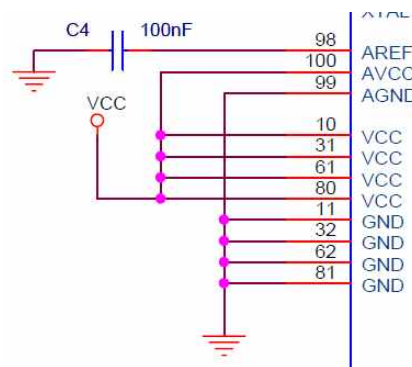


그림 3.7 AREF 연결

그림 3.7에는 AREF(Analog Reference) 단자의 연결을 보인 것이다. 현재의 보드는 이 단자가 커패시터를 거쳐 접지되어 있어 Ardu-EZ 실험 키트에서는 용도 폐기된 상황이다. AREF는 전압을 디지털로 변환할 때 기준이 되는 전압을 외부에서 제공하는 용도로 활용된다.

6) 이렇게 하나의 단자를 여러 신호중의 하나의 용도로 선택하여 사용하는 단자를 multiplexed pins라는 용어를 사용하기도 하며, 여러 용도로 쓰이는 기능을 alternate function이라는 용어를 사용하기도 한다.

## 11.4 조도 센서 인터페이스 프로그래밍

예제(1) - 조도센서의 출력 결과를 모니터링한다.

□ 예제 1 : 조도 센서의 출력값을 시리얼 모니터로 출력한다.

Light\_01.ino : 아두이노 표준 함수 -analogReference, analogRead

```
01  #define LIGHT_PIN  A0  // 아두이노 우노의 경우. ref voltage = 3.3V or 5V
02  //#define LIGHT_PIN  57  // 아두이노 메가의 경우
03  #define INPUT_D0 11    // 센서 모듈의 D0 출력
04  void setup( ) {
05      //pinMode(LIGHT_PIN, INPUT);  // 불필요..
06      pinMode(INPUT_D0, INPUT);
07      pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
08      Serial.begin(9600);
09      analogReference(INTERNAL);      // Uno only. 1.1V ref. 출력값이 커짐
10      //analogReference(INTERNAL2V56); // 1) Mega only. 출력값이 작아짐.
11      //analogReference(INTERNAL1V1); // 2) Mega only. 출력값이 커짐
12  }
13  void loop( ) {
14      int val = analogRead(LIGHT_PIN);
15      // You may need to insert Lux conversion from voltage here.
16      Serial.println(val);
17      delay(1000);
18      digitalWrite(LED_BUILTIN, digitalRead(INPUT_D0));
19  }
```

조도 센서의 출력 결과를 시리얼 모니터를 통해 확인하는 프로그램을 설계한다. 센서는 주변의 밝기 정보를 전압 신호로 바꾸어 출력하기 때문에 정교한 조도 측정을 위해서는 전압을 조도에 상응하는 값으로 변화하는 스케일링 작업이 필요하다.

질문 : analogReference() 설정에 따라 읽히는 값이 달라지는 이유는?

본 실험을 통해 다음과 같은 사실을 관찰하기 바란다.

(1) 8번 줄을 주석 처리하던가, 혹은 아날로그 reference 전압을 1.1V로 설정하는 명령을 수행하면 값이 어떻게 달라지는가?

=> 참조 기준 전압을 1.1V로 설정하면 측정 값의 정밀도가 올라가서 값이 커진다. 실험 사례의 경우를 제시하여 보면 다음과 같다.

UNO의 사례	default (5V or 3.3V)	INTERNAL (1.1V)	비율
스탠드 조명 ON(1)	49	253	5.2
스탠드 조명 ON(2)	27	136	5.0
스탠드 조명 OFF	79	384	4.8
막았을 때	595~660	1023	

충분한 회수의 실험을 하지 않은 약식 실험이지만 대략 1.1V 기준 전압을 사용했을 때 5배 정도의 큰 값이 출력되었다. 이는 본 실험에서 사용한 우노 보드의 사용전압이 5V 전압인 것으로 추정해 볼 수 있는 근거로 활용할 수 있다.

(2) 센서 모듈의 가변저항을 돌리면서 어떤 변화가 있는지 관찰해 보자.

=> 센서 내장 LED

조도가 특정값에 도달하면 센서 모듈에 내장된 LED가 꺼지는 것을 관찰할 수 있다. 어두워지면 꺼지도록 설계된 것으로 보인다. CCW(반시계 방향)일 때 꺼지는 것을 관찰하였다. 그런데 특이한 것은 이 가변저항은 아날로그 출력 A0와는 관련이 없는 것 같았다. 가변저항을 조절해도 아날로그 출력 값은 변하지 않았다. 아마도 내장 LED는 프로그램과 상관없이 독립적으로 작동시킬 목적으로 설계된 듯 싶다.

=> D0 단자

센서 내장 LED가 꺼지면 D0 단자는 HIGH를 출력하는 것으로 판단된다. 제시된 실험에서는 D0의 값을 그대로 우노 보드의 LED\_BUILTIN에 출력하게 하였는데 센서 모듈의 불이 꺼지면 LED\_BUILTIN에 불이 켜지는 것을 관찰하였다.

□ 예제 2 : 참조 전압을 5V와 3.3V로 바꾸어 실험해 본다.

● 이 실험을 로드할 때는 현재 로드된 프로그램은 아날로그 실험이 없는 더미 프로그램을 미리 다운로드해 두어야 한다.

Light\_02.ino : 아두이노 표준 함수 -analogReference, analogRead

```

01  #define LIGHT_PIN A0  // 아두이노 우노의 경우. ref voltage = 3.3V or 5V
02  #define INPUT_D0 11  // 센서 모듈의 D0 출력
03  void setup( ) {
04      pinMode(INPUT_D0, INPUT);
05      Serial.begin(9600);
06      analogReference(EXTERNAL);      // ref. 3.3V or 5V
07  }
08
09  void loop( ) {
10      int val = analogRead(LIGHT_PIN);
11      // You may need to insert Lux conversion from the value here.
12      Serial.println(val);
13      delay(1000);
14  }

```

본 실험을 수행하기 전에는 미리 다음과 같은 더미 프로그램을 수행하도록 하자.

```

void setup() {
    // put your setup code here, to run once: }
void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly: }

```

참조 전압 AREF 단자를 5V에 연결한 후 전원을 인가하면 쏘전에 실험했던 예제 1의 analogRead() 함수가 수행될 것이다. 이는 AREF 단자의 전압제공원이 2개가 되는 상황이 되어 보드 손상이 일어날 수 있기 때문이다.

약식 실험에 의하면 AREF를 3.3V에 연결하였을 때 스탠드 조명이 off일 때 146이 출력되었다. 이는 default/스탠드 조명 off일 때 79가 나왔던 것보다 큰 값이다. 이로써 현재 사용하는 보드는 default ref. 전압으로 5V를 사용하는 것이 명확해진 셈이다.

### 예제(3) - 조도의 변화를 음정의 높낮이로 표현하라

조도가 밝아지면 높은 음정을 출력하고 어두워지면 낮은 음정을 출력한다. A/D 변환 결과를 스피커 부분에서 기술한 tone() 함수의 주파수 설정 값으로 활용한다. A/D 변환 값의 범위는 0~1023이며 tone() 함수의 설정 주파수는 31Hz 이상이지만 스피커의 재현 능력의 한계가 있으므로 100Hz ~ 3000Hz 범위 내에서 설정하기로 한다.

□ 예제 3 : 조도의 변화에 따라 음정이 변화하는 프로그램을 설계하라. 이때 저음은 100Hz, 고음은 3000Hz로 설정한다.

Light\_02.ino : 아두이노 표준 함수 -tone()/noTone()

```
01  #define SPK_PIN 11
02  void setup( ) {
03      pinMode(SPK_PIN, OUTPUT);
04  }
05  void loop( ) {
06      #define MaxF 3000
07      #define MinF 100
08      for (int freq =MinF; freq < MaxF; freq=freq+1 ) {
09          tone(SPK_PIN, freq);
10          delay(1);
11      }
12  }
13  * 현재 음정 변화 루틴만 실었습니다. 나머지 부분은 직접 작성해 보세요!
```

## 11.5 고찰

다음 주제에 대하여 답할 수 있는지 검토해 보면서 그동안 습득한 지식을 정리해 보자.

1. A/D Converter의 역할을 기술하고 이것의 입력과 출력에 대해 기술하십시오.
2. `analogReference()` 함수의 역할에 대해 설명하라. 이 함수로 적절히 참조 전압을 설정하지 않으면 어떤 문제가 발생할 수 있는지 기술하십시오.
3. 측정하고자 하는 센서의 출력 전압이 0~1V이다. 가능한 정밀한 결과를 측정하고자 한다면 `analogReference()`의 전압은 어떻게 설정하는 것이 좋겠는지 의견을 제시하십시오.
4. A/D 결과의 값이 모두 1023으로 출력되는 것을 발견하였다. 이 문제를 해결하기 위해 1) S/W 관점에서 취할 수 있는 조치사항, 2) H/W 관점에서 설계를 변경하여 취할 수 있는 조치 사항에 대해 해결책을 제시하십시오.
5. ADC 기준 전압을 default로 설정하여 5V 혹은 3.3V 단자를 ADC의 입력으로 읽어보아 현재 AVR 프로세서의 인가 전원의 전압을 추정하십시오. 그리고 그 방법을 설명하십시오.
6. 1초당 100회의 맥박신호와 1초당 10회의 온도를 측정하고자 한다. 둘 다 아날로그 신호라는 전제하에 샘플링 간격을 정확히 유지해야 한다는 조건으로 이 문제를 해결하기 위한 방안을 설계하십시오. 문제와 조건을 기술하고, 이를 해결하기 위한 방안의 블록 다이어그램, 플로우 차트, pseudo code 등을 동원하여 자신의 구상을 표현하기 바랍니다. ♡ 인터럽트 기반으로 해야 풀리게 될 것입니다.