

## 9강. Analog to Digital Converter(ADC)

박 원 업  
010.5451.0113

## 목 차

1. Analog와 Digital 신호란?
2. Analog to Digital Converter
  - Resolution
  - Reference voltage
  - Sampling rate
3. ADC의 오차들
  - Quantization 오차
  - Offset 오차
  - Gain 오차
  - Aliasing
4. ATmega128의 ADC
5. 가변저항 ADC
6. CDS(조도센서) ADC

### ○ Analog 신호란?

- 전압이나 전류처럼 연속적으로 변화하는 물리량을 나타내는 일이다. 단속적이고 숫자를 세는 디지털과 반대의 성질을 갖고 있다.

0과 1이라는 신호 체계로 구성된 디지털과는 달리 전압이나 전류처럼 연속적으로 변화하는 물리량을 표현한다. 사람의 목소리와 같이 연속적으로 변하는 신호는 아날로그 형태이며 그 양을 계량할 수 있다. 그러나 모든 데이터 장비의 신호는 2진 펄스 형태의 디지털 신호로서 단속적이고 계수적인 점에서 아날로그와 구분된다.

[네이버 지식백과] [아날로그](#) [analog] (두산백과)

### ○ Digital 신호란?

- 아날로그와 대응되는 의미로, 임의의 시간에서 값이 최소값의 정수배로 되어 있고, 그 이외의 중간값을 취하지 않는 양을 가리킨다. 구체적 예로, 디지털 시계가 있다. 데이터를 한 자리씩 끊어서 다루므로 애매모호한 점이 없고 정밀도를 높일 수 있다.

디지트(digit)는 사람의 손가락이나 동물의 발가락이라는 의미에서 유래한 말이다. 아날로그와 대응하며, 임의의 시간에서의 값이 최소값의 정수배로 되어 있고 그 이외의 중간 값을 취하지 않는 양을 가리킨다.

구체적인 예로 디지털시계의 표시를 들 수 있는데, 시계가 바늘로써 연속적으로 시간을 표시하는 것이 아니라 시·분·초 등으로 구획하여 문자로 표시한다. 따라서, 디지털이란 일반적으로 데이터를 한 자리씩 끊어서 다루는 방식이라 할 수 있으며, 애매모호한 점이 없고, 정밀도를 높일 수 있다는 특징이 있다.

[네이버 지식백과] [디지털](#) [digital] (두산백과)

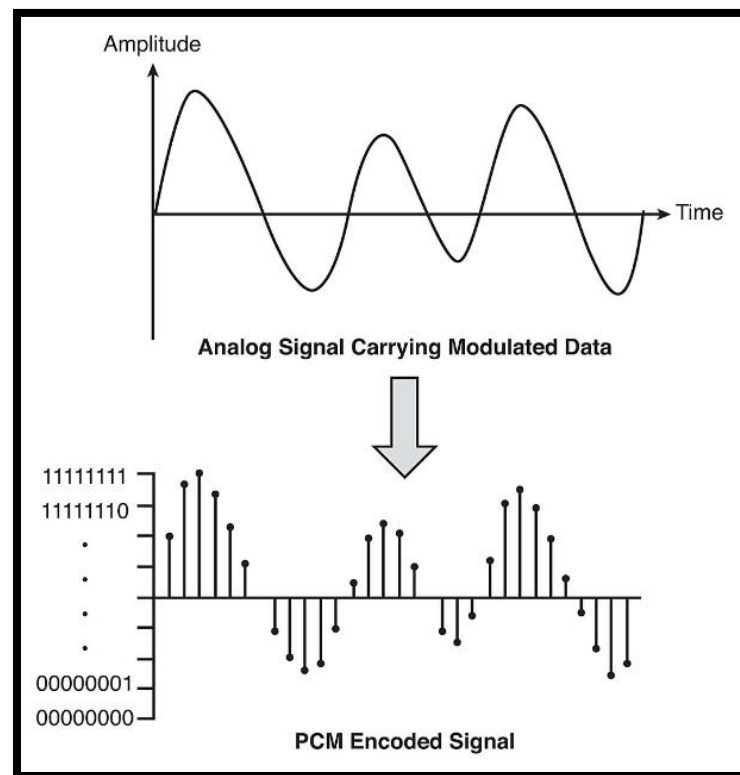
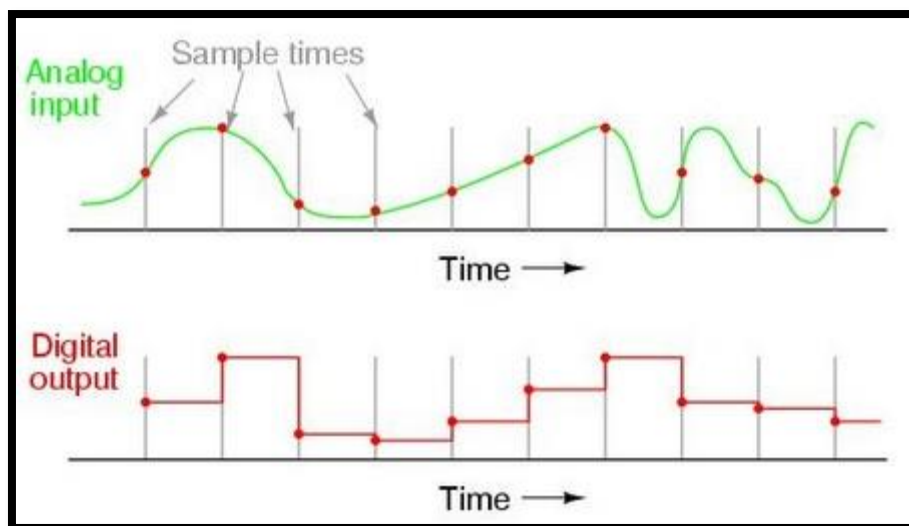
### ○ Analog 와 Digital 신호

	아날로그	디지털
시간 연속성	연속신호	불연속신호(이산신호)
잡음 민감성	높다(잡음에 약함)	낮다(잡음에 강함)
데이터 저장성	어려움	쉬움
신호처리	R,L,C의 수동소자 OPAMP 능동소자 By 회로해석기법	디지털 신호처리 By 신호처리 알고리즘
데이터 가공성	가공이 어려움	가공이 쉬움

디지털이 아날로그에 비해 상대적으로 많은 장점을 가지고 있으나,  
디지털로 신호처리를 하기 위해서는 먼저 원본신호(아날로그)의 품질이 양호해야  
하므로, 아날로그 신호처리 기법도 매우 중요하다!

## 9강 Analog to Digital Converter

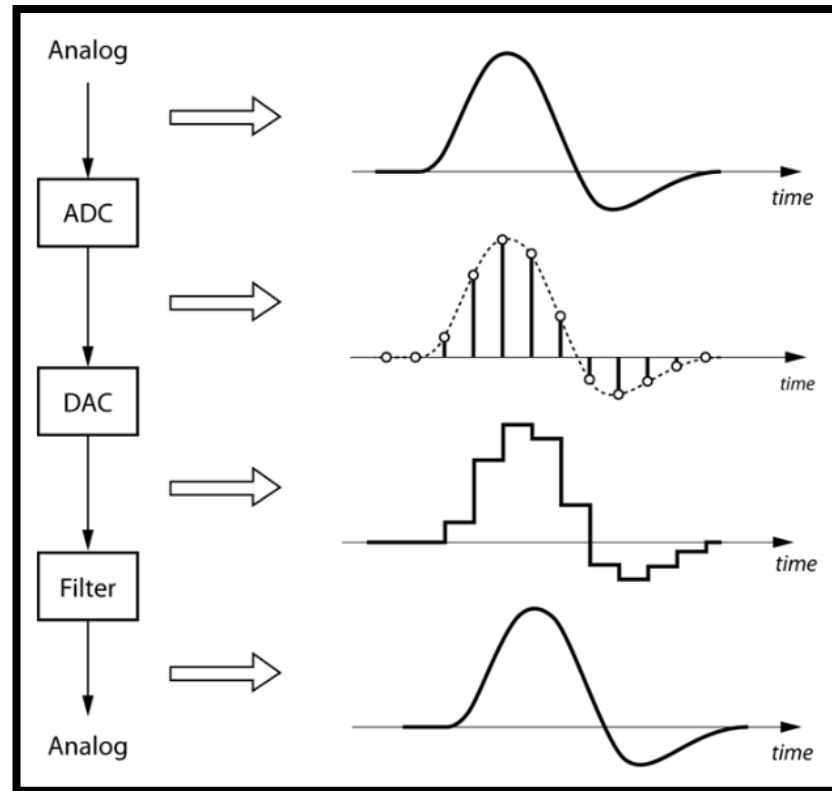
### ○ Analog 와 Digital 신호



출처:  
<http://www.netzek.com/2013/12/atmega16-adc.html>

출처:  
<http://www.networkworld.com/article/2274805/lan-wan/chapter-4--passthrough.html>

## ○ Analog 와 Digital 신호



출처:  
<http://nutaq.com/en/blog/analog-digital-%E2%80%93-part-2-conversion-process>

### ○ Analog to Digital Converter란?

- 신호를 저장, 가공, 처리하기 위해서 시간 연속적인 아날로그 신호를 불연속 신호인 이산신호로 변환해주는 장치(회로 등).

- ADC에서 중요한 3가지 개념

1. 기준전압 (Reference voltage)
2. A/D 분해능 (A/D bit resolution)
3. 샘플링주기 (Sampling rate)

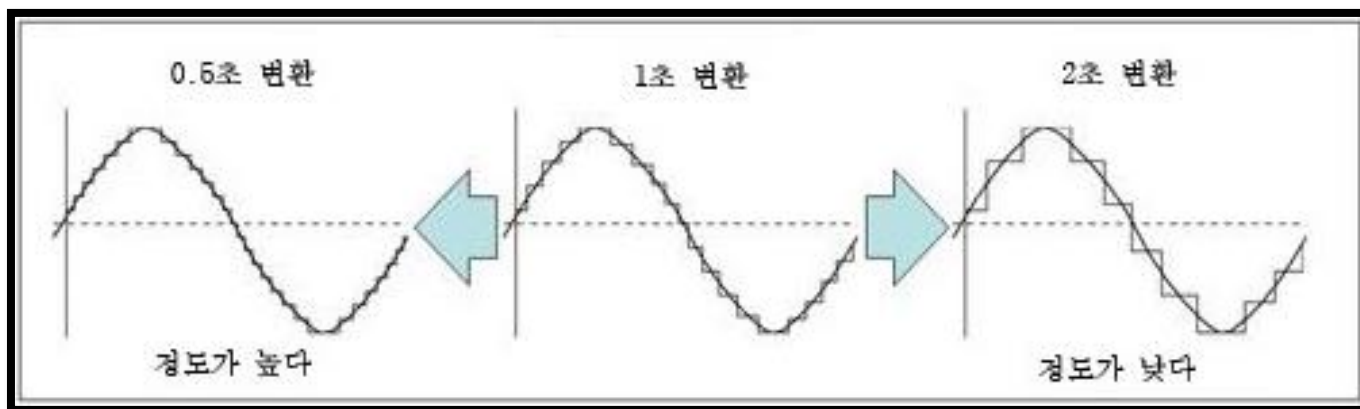


- 기준전압 ( $V_{ref}$  [V], Reference voltage)
  - 아날로그 신호를 디지털 신호로 양자화 할 때, ADC의 기준이 되는 전압. 기준 전압은 가변할 수 있으며, 최소/최대 기준전압은 데이터 시트에 명시되어 있다.
- A/D 분해능 (A/D bit resolution)
  - 아날로그 신호를 디지털 신호로 양자화 할 때, 양자화의 양을 표현하는 비트 수. N-bit의 분해능을 가지고 있다면 표현할 수 있는 A/D의 값은  $0 \sim 2^n - 1$ 이 된다.

예를 들어, 기준전압( $V_{ref}$ )이 5V이고 A/D 분해능이 10비트이면  
**ADC 값 =  $V_{in} \times 1024 / V_{ref}$**  가 된다.

입력전압( $V_{in}$ )이 2.5V였다면 위의 공식에 의해 ADC 값은 512가 된다.

- 샘플링 주기 (sps또는 Hz, Sampling rate)
  - ADC를 하는 시간 간격. 샘플링 주기가 높아질 수록 원본 신호에 가까운 품질을 재현해낼 수 있지만 많은 저장공간을 필요로 한다. 반대로 샘플링 주기가 낮아지면 신호의 품질이 떨어지나 저장공간이 덜 필요해진다.



그림출처: <http://www.nctechonology.co.kr/product-sogae/analogio-basic.htm>

A/D변환 시 고속으로 샘플링을 하면 S/H(sample and hold)과 정에서 노이즈가 발생할 수 있다. 이는 A/D변환기의 성능에 따라 다르며 고성능의 A/D변환기는 ADC의 성능이 우수하지만 가격이 비싼 단점이 있다.

- 샘플링 주기 (sps또는 Hz, Sampling rate)

- 샘플링 주기는 디지털 신호처리 시 중요한 용도로 사용된다. 따라서 디지털 신호처리를 하고자 한다면 고정적인 샘플링 주기를 갖도록 ADC 하는 것이 중요하다!  
(기준전압과 비트 분해능보다 중요한 개념이다.)

- Nyquist와 Shannon의 샘플링 이론

한정된 대역의 주파수를 갖는 함수의 경우, 적절한 샘플링간격을 취하면 샘플링 과정에서 아무런 정보의 유실도 없이 완전하게 재생될 수 있다는 이론. 이 때 특정 주파수성분의 한 사이클을 제대로 나타내기 위해서는 적어도 2개 이상의 샘플이 있어야 한다. 샤논 정리, 카디날 정리 또는 나이퀴스트 정리라고도 한다.

[네이버 지식백과] 샘플링정리 [sampling theorem] (광물자원용어사전, 2010.12, 한국광물자원공사)

- **ADC의 오차들**

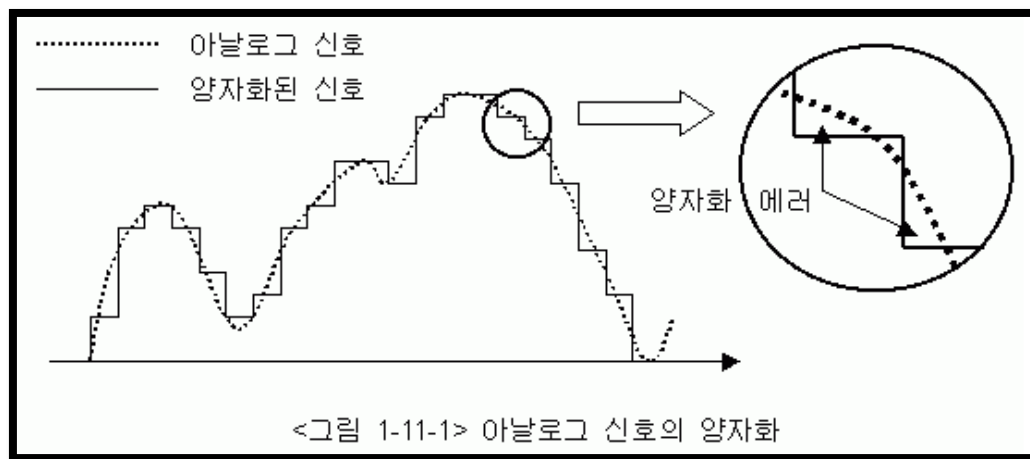
- A/D 변환 시 다음과 같은 오차(잡음)들이 발생할 수 있다.

1. 양자화 오차 (Quantization error)
2. 오프셋 오차 (Offset error)
3. 이득 오차 (Gain error)
4. 에일리어싱 (Aliasing)

### ○ 양자화 오차 (Quantization error)

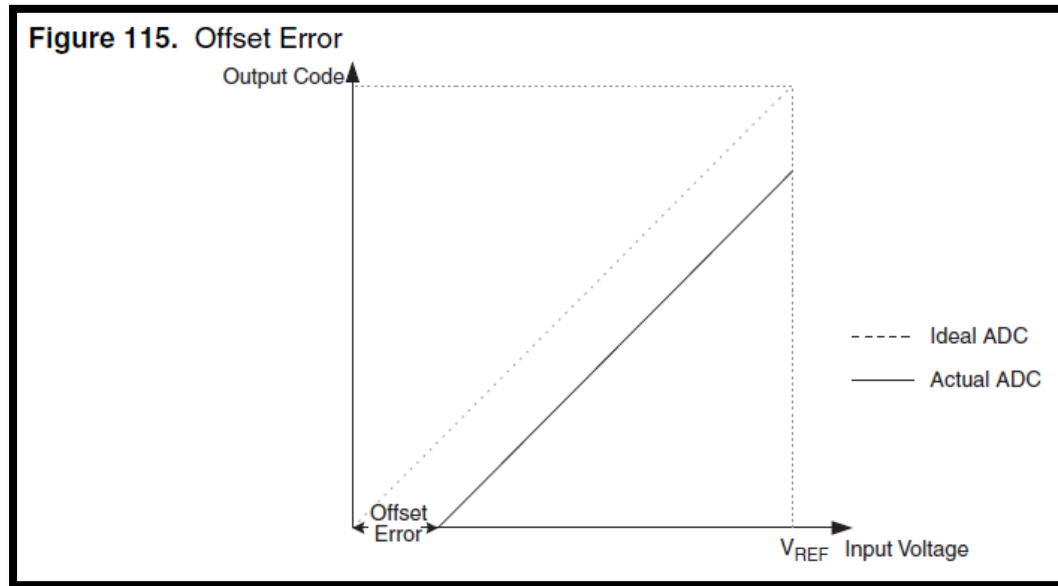
- 연속적인 신호를 단계화하면서 어느 정도 오차가 발생하는데, 이러한 원신호와 양자화 신호와의 오차를 양자화 오차 (Quantization error)라고 한다. 원신호의 왜곡을 막기 위해선 신호의 성질과 상태에 따라서 양자화하는 디지털 level의 수를 조절함으로써 적절한 수준의 양자화 에러를 유지해야 한다.

=> 즉, 고분해능의 ADC를 사용하여 양자화 오차를 줄일 수 있다!



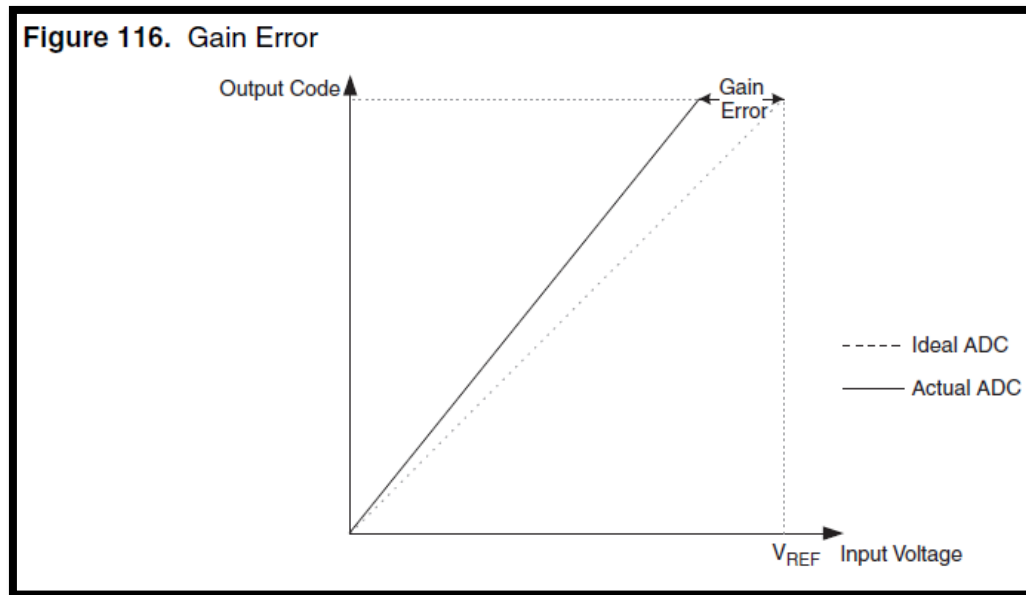
- 오프셋 오차 (Offset error)

- A/D 변환 결과가 이상적인 디지털 값에서 일정한 양만큼 벗어나는 것. 디지털 값이 최소치인 0일 때의 아날로그 입력 값으로 표현. 변환된 디지털 값에서 일정치를 빼거나 더함으로써 소프트웨어적으로 보정 가능하다.



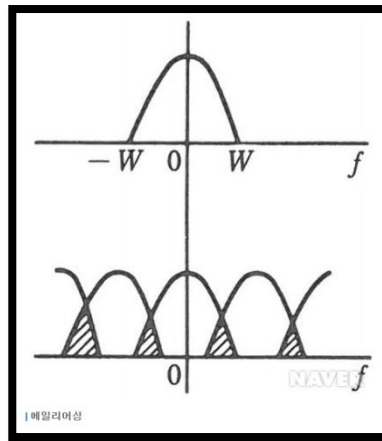
- 이득 오차 (Gain error)

- A/D 변환 결과가 이상적인 디지털 값에서 일정한 비율만큼 벗어나는 것. 디지털 값이 최대치인 경우 아날로그 입력과 최대 아날로그 입력의 차이로 표현. 변환된 디지털 값에서 일정치를 곱하거나 나눔으로써 소프트웨어적으로 보정 가능



### ● 에일리어싱 (Aliasing)

- 아날로그 신호의 표본화 시 표본화 주파수가 신호의 최대 주파수의 2배보다 작거나 필터링이 부적절하여 인접한 스펙트럼들이 서로 겹쳐 생기는 신호 왜곡 현상. 이 현상을 피하기 위해서는 표본화 주파수를 신호의 최대 주파수의 2배 이상으로 높이고, 샘플링하기 전에 저주파 통과 여파기를 사용하여 최대 주파수 이상의 신호들을 제거해야 한다(Anti-aliasing). 영화에서 선풍기의 날개가 천천히 회전하거나 반대로 돌아가는 것처럼 보이는 현상도 표본화 주파수가 부적절하여 느끼게 되는 것이다.

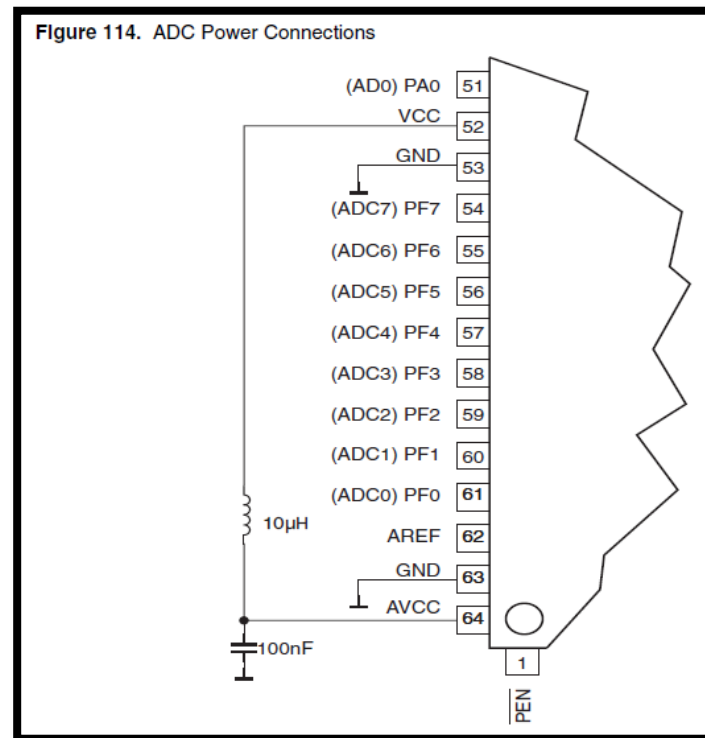


[네이버 지식백과] [에일리어싱](#) [aliasing] (IT용어사전, 한국정보통신기술협회)



- A/D Converter에서 전원 노이즈도 A/D 결과에 큰 영향을 미치기 때문에 회로상에서 전원 노이즈를 제거해주는 것이 바람직하다.

가장 쉬운 방법은 아날로그 전원과 디지털 전원을 분리하는 방법인데 하나의 전원을 사용하고 있다면 아날로그 전원에는 LC필터를 연결해주는 방법이 있다.



## 9강 Analog to Digital Converter

- ATmega128의 ADC 관련 레지스터  
- 데이터시트 242페이지 부터

### ADC Multiplexer Selection Register – ADMUX

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

### ADC Control and Status Register A – ADCSRA

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADFR	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

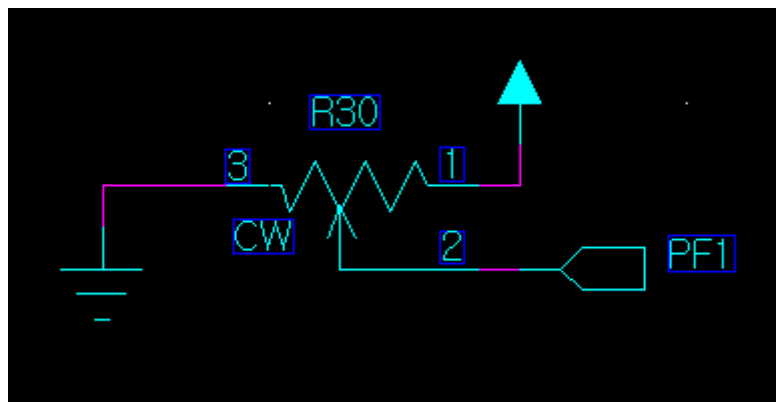
### The ADC Data Register – ADCL and ADCH

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
	–	–	–	–	–	–	ADC9	ADC8	ADCH
	ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0	ADCL
	7	6	5	4	3	2	1	0	
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R	R	
	R	R	R	R	R	R	R	R	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	

**ADLAR = 0:**

ATmega128에는 10bit 분해능의 ADC가 8채널 존재.  
샘플링 주기는 최대 76.9ksps. (최대 분해능 사용시 최대 15ksps)  
단극성(Single ended) 입력 또는 차동(Differential) 입력모드  
Vref는 외부입력 2V ~ 5V까지 가능. 내부 2.56V 사용 가능

- 가변저항 ADC
  - 다음과 같이 회로를 구성한다.



가변저항은 3개의 핀이 있으며

1번 핀은 Vcc, 2번 핀은 ADC 입력, 3번 핀은 Gnd 로 연결해 준다.

이때 가변저항의 전체 저항 (103이면 10k옴) 내에서

1-2번 핀 사이의 저항과 2-3번 핀 사이의 저항이 가변된다.

또한 방향성이 없는 저항이므로 1번과 3번은 방향에 상관없이 연결해주면 된다.

(저항 분배 법칙에 의해 Gnd와 2번핀 사이의 전압이 출력됨.)

- 가변저항 ADC
  - 다음과 같이 코드를 작성

```
1  #include <mega128.h>
2  #include <delay.h>
3
4  main()
5  {
6      unsigned short adc_result;
7
8      ADMUX = 0x01; //0b 0000 0001
9      ADCSRA = 0x87; //0b 1000 0111
10
11     while(1)
12     {
13         ADCSRA |= 0x40;
14         delay_us(200);
15         adc_result = ADCL | (ADCH<<8);
16     }
17 }
```

이 코드의 의미를  
생각해보자!

여기서 중요한 건  
ADCL을 먼저 읽은  
후에 ADCH를 나중에  
읽어야 한다!

10bit 이므로 unsigned  
short으로 캐스팅 해야  
함!

ADC의 결과는 ADCH와 ADCL 레지스터에 나뉘어서 저장되므로 이를 하나의 결과로 합쳐준다.

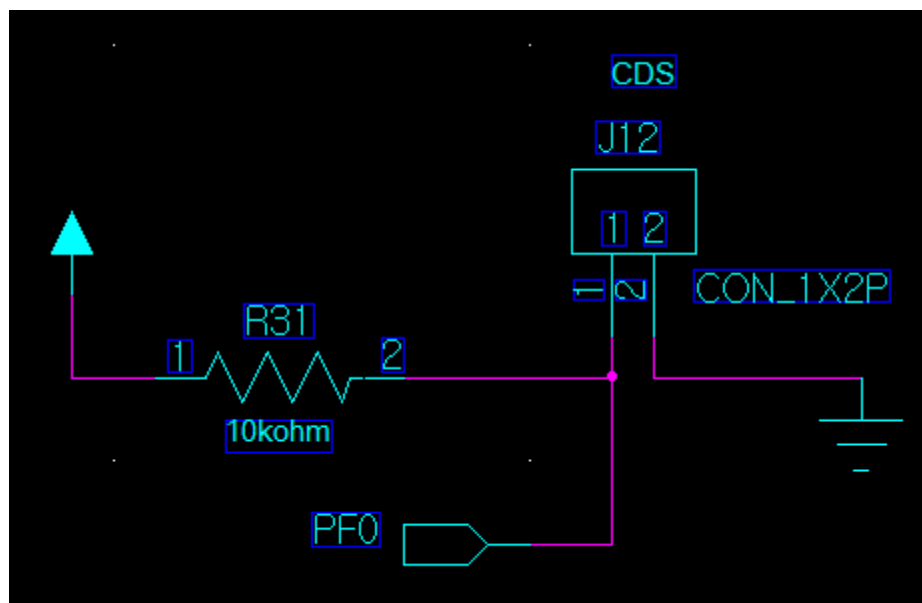
## 9강 Analog to Digital Converter

문1) ADC의 결과를 Serial과 Text LCD로 출력하는 프로그램 작성.  
(디지털 값으로)

문2) ADC의 결과를 Serial과 Text LCD로 출력하는 프로그램 작성.  
(아날로그 값[V]으로 변환하여)

### ○ CDS센서 ADC

- 다음과 같이 회로를 구성한다.



CDS센서는 2개의 핀이 있으며 빛의 밝기에 따라 저항이 변하는 성질을 가진 저항체이다. (밝은 곳에서는 낮은 저항, 어두운 곳에서는 높은 저항을 가짐)

저항의 변화량은 CDS센서의 종류에 따라 다르고, 본 강의에서 사용하는 CDS센서는 약 10에서 20k옴 정도에서 가변된다.

측정은 역시 저항 분배 법칙으로 아날로그 전압을 측정해야 하므로 1k에서 10k옴 사이의 고정 저항을 직렬로 연결해준다.

## 9강 Analog to Digital Converter

문1) CDS센서의 전압(또는 디지털 값)의 변화량을 Serial과 Text LCD로 출력하는 프로그램 작성

문2) CDS센서를 손가락으로 가렸을 때 LED가 켜지고, 조명을 비쳤을 때 LED가 꺼지도록 프로그램 작성

문3) CDS센서에 비춰지는 빛에 반응하여 LED의 밝기가 변하도록 프로그램 작성  
(PWM을 사용)