

【 기술 노트 1 】

TTL과 CMOS의 올바른 이해

오늘날 우리가 편리하고 쉽게 디지털 전자회로를 설계하여 사용할 수 있는 것은 TTL이나 CMOS와 같은 표준 반도체 논리소자가 IC(Integrated Circuit)로 만들어져 제공되기 때문이다. 이것들은 최근에 개발된 몇몇 특이한 모델을 제외하고는 모두 오래 전부터 소자의 이름, 특성, 동작 타이밍 등이 표준화되어 있어서 제조회사에 관계없이 쉽게 사용할 수 있다.

따라서, 디지털 회로의 초보자들은 무엇보다도 먼저 이들 논리소자들이 어떻게 동작하는지를 알아야만 이들 소자들을 올바르게 사용할 수 있게 된다. 이들 소자에 대하여 자세히 설명하자면 한이 없지만 여기서는 각 소자별로 아주 중요한 특성들만을 요약하여 비교 설명한다. 이보다도 더 기초적인 사항들은 관련 서적이나 데이터 시트를 참조하기 바란다.

1. CMOS

CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)는 주로 증가형 MOSFET 소자들을 사용하여 만든 디지털 로직 IC이다. 이것은 <그림 1>과 같이 주로 MOSFET를 사용하며, 출력단은 항상 위쪽이 P채널형 MOSFET를 사용하고 아래쪽이 N채널형 MOSFET를 사용하는 상보형(complementary) 구조를 가진다.

CMOS 소자는 TTL 소자에 비하여 훨씬 늦게 개발되었으나, 반도체 구조가 간단하고 칩상의 공간을 적게 차지하여 유리하며, 따라서 소자의 집적도를 높일 수 있기 때문에 VLSI에도 널리 사용된다. 한편, 사용자의 입장에서는 CMOS 소자의 소비전력이 매우 적고 잡음 여유도가 크다는 것이 더욱 유리하다. 그러나, 이것은 바이폴라 트랜지스터를 기본으로 하는 TTL 소자에 비하면 동작속도가 느리다는 것이 치명적인 단점이다.

CMOS Inverter				
	VDD = 5	VDD = 10	VDD = 15	단위
V_{IL} (max)	1.5	3.0	4.0	[V]
V_{IH} (min)	3.5	7.0	11.0	[V]
V_{OL} (max)	0.05	0.05	0.05	[V]
V_{OH} (min)	4.95	9.95	14.95	[V]
I_{IN} (max)			0.3	[μ A]
I_{OL} (min)	0.44	1.1	3.0	[mA]
I_{OH} (min)	0.16	0.4	1.2	[mA]

<그림 1> CMOS 소자의 기본구조와 동작 특성

CMOS 소자는 이름이 기본적으로 40XX(RCA사에서 처음 개발) 또는 45XX(Motorola사에서 처음 개발)의 형태를 취하며, 일반적으로 +3V~+18V의 전원전압에서 동작한다. 이것은 <그림 1>의 동작 특성표에서 보듯이 출력전압이 L상태일 때 0~0.1V(전형적으로 0.05V) 정도이고 H상태일 때 $V_{DD}-0.1V$ (전형적으로 $V_{DD}-0.05V$) 정도여서 입력전압 범위와 격차가 크기 때문에 잡음 여유도가 상당히 높다.

CMOS 소자의 또다른 특징은 게이트 입력단이 절연되어 있기 때문에 정전기에 의하여 파괴되기 쉽다는 것이다. 대부분의 소자에는 이러한 정전기에 대한 보호회로를 내장하고 있지만 그래도 주의하여 취급하는 것이 좋다.

2. TTL

TTL(Transistor-Transistor Logic)은 바이폴라 트랜지스터를 사용하여 만든 디지털 로직 IC이다. 이것은 이름이 모두 74XXX의 형태를 취하고, 대부분 +5V 전원전압에서 동작하며, 속도가 빠른 반면에 소비전력이 크다는 특징을 가진다. TTL에는 동작속도를 더욱 빠르게 하거나 소비전력을 감소시키기 위하여 아래와 같이 여러가지의 개선된 시리즈 모델들이 개발되었으며, 이밖에도 메이커에 따라 현재까지 매우 다양한 변종이 개발 시판되고 있다.

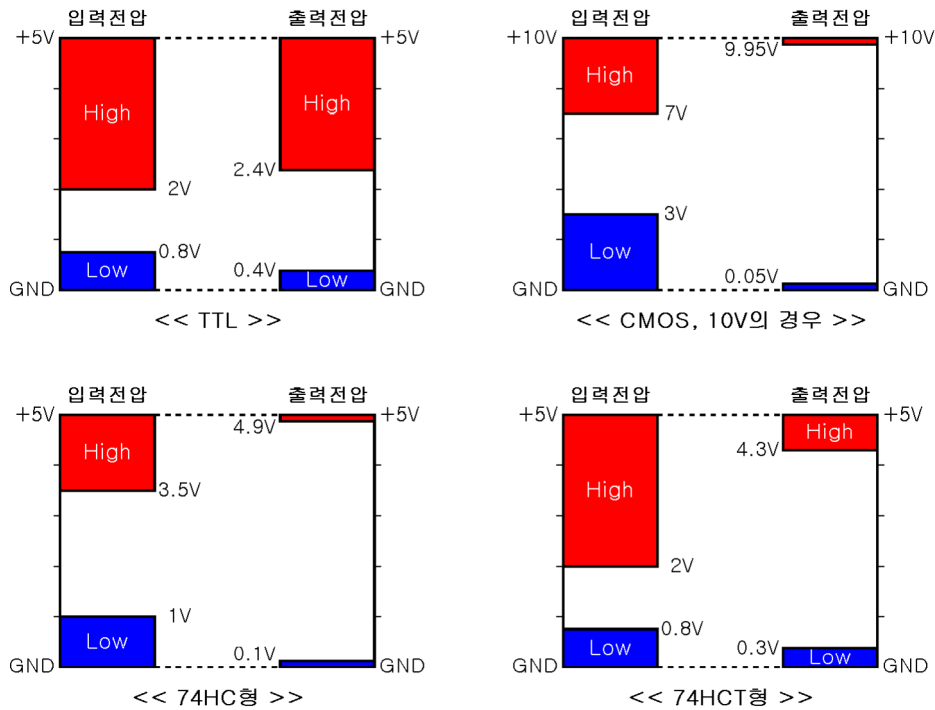
- 74xxx : standard TTL, +5V 전원을 사용하는 표준형 TTL, 현재는 대부분 단종됨
- 74Hxxx : High-speed TTL, 고속형, 현재는 대부분 단종됨
- 74Lxxx : Low-power TTL, 저전력형, 현재는 대부분 단종됨
- 74Sxxx : Schottky TTL, 쇼트키형, 고속
- 74ASxxx : Advanced Schottky TTL, 개선된 쇼트키형, 현재까지의 TTL중에서 가장 빠름
- 74LSxxx : Low-power Schottky TTL, 저소비전력 쇼트키형
- 74ALSxxx : Advanced Low-power Schottky TTL, 개선된 저소비전력 쇼트키형
- 74Fxxx : Fairchild's Fast TTL, 페어차일드사의 고속형
- 74HCxxx : High-speed CMOS, TTL과 핀배열 및 기능이 같게 만든 CMOS
- 74HCTxxx : High-speed TTL-type CMOS, 74HCxxx형의 입출력 특성을 TTL과 유사하게 만든 것
- 74ACxxx : Advanced fast CMOS, 74HCxxx형의 동작속도를 개선한 CMOS
- 74ACTxxx : Advanced fast TTL-type CMOS, 74ACxxx형의 입출력 특성을 TTL과 유사하게 만든 것
- 74LVCxxx : +1.8V 또는 +3.3V 로직과 +5V 로직 사이에 전압 레벨의 변환이 가능하도록 만든 것

현재 가장 모델이 다양하고 널리 사용되는 것은 74LS형이며, 동작속도가 다소 낮아도 무방한 용도에는 74HC나 74HCT의 사용이 많아지고 있다. 그러나, 가장 이상적인 디지털 반도체 소자는 소비전력이 적고 동작속도는 빠른 것인데, 이러한 이상적인 형태에 접근하는 것이 74AC형 또는 74ACT형이라고 볼 수 있다.

3. 전압레벨 및 잡음여유

TTL과 CMOS 소자의 출력전압 및 입력전압 레벨을 도시하면 <그림 2>와 같다. 여기서, TTL은 반드시 +5V의 전압(엄밀하게 말하면 4.75V~5.25V)에서 동작하며, 저전압 레벨 잡음여유와 고전압 레벨 잡음여유가 각각 0.4V씩으로 비교적 작다.

그러나, CMOS는 3V~18V 사이의 임의의 전압에서 동작시킬 수 있으므로 TTL은 물론 OP Amp와 같은 소자와 직접 접속하는 것도 가능하다. 그림에서 보듯이 이를 10V에서 동작시키는 경우 저전압 레벨 잡음여유와 고전압 레벨 잡음여유가 각각 2.95V씩으로 TTL에 비하여 상당히 크다. 이보다 전원전압이 높아지면 잡음여유도 커진다.



<그림 2> TTL과 CMOS 소자의 동작 전압 레벨

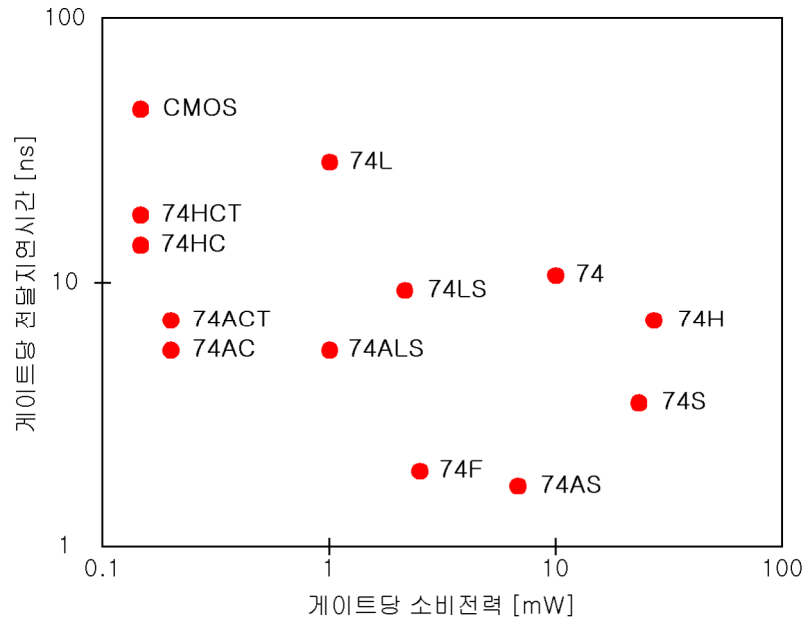
74HC 시리즈는 40xx/45xx 시리즈의 CMOS 대신에 TTL과 동일한 기능과 핀번호를 가지며 2~6V 전압 범위에서 동작하도록 만든 CMOS 소자이므로 TTL과 기능적인 호환성을 가지며 잡음여유가 큰 CMOS의 특징을 그대로 가진다. 그러나, TTL에 비하여 소비전력이 적은 대신에 동작속도는 매우 느리다.

한편, 74HCT 시리즈는 74HC 시리즈의 입력전압 특성을 TTL과 동일하게 만든 소자이며, 출력전압 범위도 CMOS에서 TTL쪽으로 약간 접근하였다. 따라서, 이것은 74HC 시리즈에 비하여 잡음여유가 약간 감소되었다. 74HCT 시리즈는 +5V 전원(엄밀히 말하면 4.5V~5.5V)에서만 사용한다. 요약하면 74HCT 시리즈는 TTL의 입력전압 특성과 CMOS의 출력전압 특성을 가지는 소자로서 소비전력이나 동작속도 측면에서는 CMOS와 유사하다.

74HC 및 74HCT 시리즈는 출력전류용량 I_{oh} 및 I_{ol} 도 각각 4mA로 상당히 커서 약 10개의 74LS TTL을 드라이브할 수 있다.

4. 동작속도 및 소비전력

모든 TTL 시리즈, CMOS, CMOS의 변형 모델들을 모두 망라하여 이들 디지털 소자들의 동작속도 및 소비전력을 비교하여 도시하면 <그림 3>과 같다. 여기서 동작속도나 소비전력은 게이트당의 값을 나타내므로 절대값보다는 상대적인 크기에 유의하여 보기 바란다.



<그림 3> TTL과 CMOS 소자의 동작속도 및 소비전력 비교

TTL중에서 쇼트키형인 74S형은 바이폴라 트랜지스터의 포화를 방지하여 스위칭 속도를 개선한 쇼트키 트랜지스터를 사용함으로써 동작속도를 높였으나 소비전력은 매우 크다. 이것을 저전력화한 것이 74LS형이며, 소비전력과 동작속도를 함께 더욱 개선한 것이 74AS형이다.

한편 CMOS에서 유래하여 TTL과 유사한 구조를 가지도록 한 것이 74HC형이며, 이것의 전원전압 범위와 입력전압 특성을 TTL화한 것이 74HCT형이다.

오늘날은 74LS, 74HC, 74HCT형이 널리 사용되고 있으며, 고속형의 경우에는 74AS형이 종종 사용된다. 그러나, 74LS형이 아닌 다른 시리즈 모델들은 수많은 기능의 TTL 소자들 중에서 아직 제공되지 않는 소자가 많다.

한편, 최근에는 각 반도체 회사에서 TTL과 CMOS 또는 Bi-CMOS 기술을 혼합하여 속도가 빠르고 저전력형인 다양한 소자들을 개발하고 있으며, 이 중에는 기본적인 구조가 TTL 이면서도 3.3V, 2.5V, 1.8V와 같이 저전압에서 동작하는 소자들도 있는데 이것들은 저전압형의 마이크로프로세서들이 많아짐과 함께 점차 사용이 늘어나고 있다. 또한, 최근에는 소비

전력 절감을 위하여 많은 마이크로프로세서들이 기존의 +5V에서 +3.3V 또는 +1.8V로 전원 전압을 낮추어 사용하고 있다. 동일한 임피던스를 갖는 부하에 대하여 전원을 1/2로 낮추면 소비전력은 1/4로 훨씬 더 줄어들기 때문이다. 이에 따라 메모리 소자와 같은 많은 마이크로프로세서 주변의 반도체 소자들도 이런 저전압용이 만들어지고 있지만, 때로는 하나의 시스템에서 이런 저전압용의 소자와 기존의 +5V용 소자를 함께 사용해야 하는 경우가 발생한다. 이런 경우에는 중간에 74LVC형의 TTL 소자를 사용하면 저전압 로직용의 소자와 +5V용의 소자를 하드웨어적으로 문제없이 인터페이스할 수 있다. 이 소자가 양쪽의 전압 차이에 해당하는 신호의 로직 레벨을 상호 변환시켜 주기 때문이다.