



# [J02122] 컴퓨터구조

2022년 1학기

상명대학교 소프트웨어학과 박희민

3.1 논리

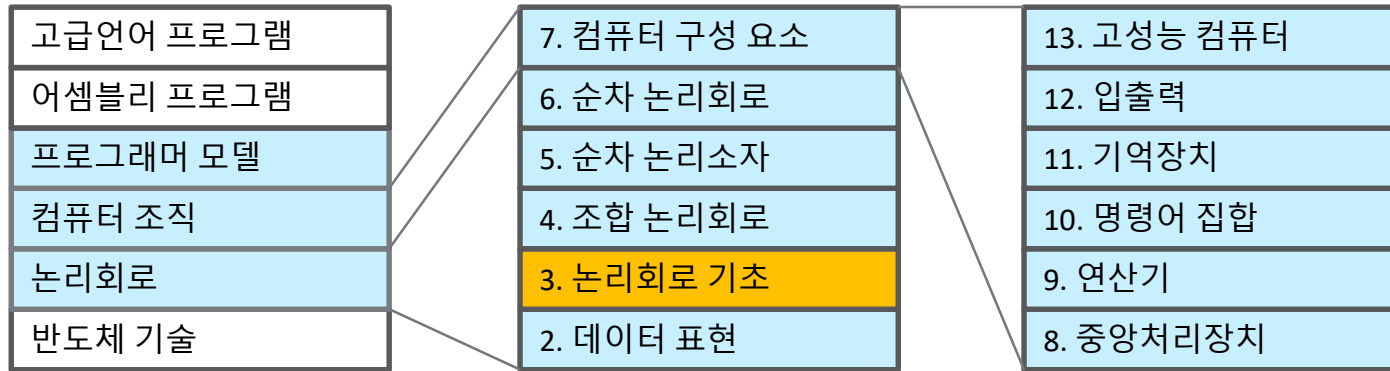
3.2 논리연산 규칙

3.3. 논리게이트

2022-03-16

## CHAP03 논리회로 기초

# 3. 논리회로 기초



- 학습 목표
  - 부울 대수: 논리회로에 대한 수학적 배경과 논리연산 규칙을 이해한다.
  - 논리게이트(logic gates)의 종류와 동작을 이해한다.
- 내용
  - 3.1 논리
  - 3.2 논리연산 규칙
  - 3.3 논리 게이트

# 3.1 논리

- 논리: 참과 거짓을 다루는 학문
- 논리값(logic value) 대응

논리값	거짓(false)	참(true)
2진수	0	1
스위치	닫힘(off)	열림(on)
전기 신호	끊김(Low)	흐름(High)

- 논리상수 = {false, true} = {0, 1}
- 논리변수: 문자열로 표시. 예) x, y, z, a1, a2, alarm, bell
  - 입력변수(입력 신호)
  - 출력변수(출력 신호)
- 논리연산: 입력변수와 출력변수의 관계

# 논리연산의 표현

- 논리연산 표현 = {논리식, 진가표, 논리회로도}
- 진가표(truth table)

입력변수 목록	출력변수 목록
입력변수 값의 조합	해당 조합에 대한 출력 값

- (예) 짝수 패리티 진가표

x	y	z	F
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

# 기본 논리 연산

논리곱(AND) $Z = X \cdot Y = XY = X \text{ AND } Y$		
X	Y	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

논리합(OR) $Z = X + Y = X \text{ OR } Y$		
X	Y	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

논리부정(NOT) $Z = \overline{X}$ 또는 $Z = X'$	
X	Z
0	1
1	0

# 3.1 논리 요약

- 논리
  - 참과 거짓을 다루는 학문
  - 물리적 개념을 논리적 개념으로 변환
  - 논리 상수: False/True, 0/1 (디지털 논리)
  - 논리 변수: 논리 상수의 값을 갖는 변수
- 기본 논리 함수: AND, OR, NOT

## 3.2 논리연산 규칙

- 학습 목표
  - 부울대수의 기본 법칙 숙지
  - 부울대수를 이용한 논리식 간소화
- 내용
  - 3.2.1 부울대수
  - 3.2.2 논리식의 간소화

## 3.2.1 부울대수

- 대수(algebra)
  - 일련의 공리(axioms)을 만족하는 수학적 구조
  - 원소의 집합(set of elements) & 연산자(operator)의 관계
- 연산자
  - 이항 연산자(binary operator)
    - 실수 연산:  $+$ ,  $-$ ,  $\times$ ,  $\div$
    - 논리연산: AND, OR
  - 단항 연산자(unary operator)
    - 실수연산: 음수  $-$ , 제곱근(square root), 로그(log)
    - 논리연산: NOT



# 부울 대수

- 부울 (George Boole, 1815-1864)
  - 논리값에 적용하는 대수 창안
- 부울대수
  - 원소의 집합 =  $\{0, 1\}$
  - 연산자 =  $\{AND(\cdot), OR(+), NOT(')\}$
- 쌍대식(dual equation)
  - 논리식에 대하여  $\{0 \Leftrightarrow 1, AND \Leftrightarrow OR\}$ 로 교체하여 만든 논리식
  - 쌍대식의 정리: 원래의 논리식이 참이면 쌍대식도 항상 참이다.
  - $x \cdot x = x \quad \Leftrightarrow$  \_\_\_\_\_
  - $x \cdot 0 = 0 \quad \Leftrightarrow$  \_\_\_\_\_
  - $(x')' = x$

# 부울대수 정리

- 1. 닫힘(closure)
  - 연산의 결과값이 다시 그 집합의 원소에 속한다.
  - 부울대수는  $\text{AND}(\cdot)$ ,  $\text{OR}(+)$ ,  $\text{NOT}(\cdot)$  연산에 대하여 닫혀 있다.
- 2. 결합법칙(associative law)
  - $(x * y) * z = x * (y * z)$  for all  $x, y, z \in S$
  - $\cdot$ 와  $+$  연산에 대하여 결합법칙 성립
    - $(x \cdot y) \cdot z = x \cdot (y \cdot z) \quad \Leftrightarrow \quad (x + y) + z = x + (y + z)$
- 3. 교환법칙(commutative law)
  - $x * y = y * x$  for all  $x, y \in S$
  - $\cdot$ 와  $+$  연산에 대하여 교환법칙 성립
    - $(x \cdot y) = (y \cdot x) \quad \Leftrightarrow \quad (x + y) = (y + x)$

# 부울대수 정리

- 4. 분배법칙(distributive law)

$$x * (y \cdot z) = (x * y) \cdot (x * z)$$

- $(\cdot, +), (+, \cdot)$  연산에 대하여 분배법칙 성립

$$x \cdot (y + z) = (x \cdot y) + (x \cdot z) \quad \Leftrightarrow \quad x + (y \cdot z) = (x + y) \cdot (x + z)$$

- 5. 항등원(identity element)

$$e * x = x * e = x \text{ for every } x \in S$$

- $\cdot$ 에 대한 항등원은 1,  $+$ 에 대한 항등원은 0

$$x \cdot 1 = x \quad \Leftrightarrow \quad x + 0 = x$$

- 6. 역원(inverse) 또는 보수(complement)

$$x * y = e$$

- 논리변수  $x$ 에 대한 역원(보수)은  $x'$

$$x \cdot x' = 0 \quad \Leftrightarrow \quad x + x' = 1$$

# 부울대수 정리 증명

- 진가표에 의한 분배 법칙 증명

$$x \bullet (y + z) = (x \bullet y) + (x \bullet z)$$

입력변수			분배 법칙의 왼쪽 식		분배 법칙의 오른쪽 식		
x	y	z	y+z	$x \bullet (y+z)$	$(x \bullet y)$	$(x \bullet z)$	$(x \bullet y) + (x \bullet z)$
0	0	0					
0	0	1					
0	1	0					
0	1	1					
1	0	0					
1	0	1					
1	1	0					
1	1	1					

# 드모르간의 법칙 (De Morgan's law)

$$(x + y)' = x' \bullet y' \Leftrightarrow (x \bullet y)' = x' + y'$$

$$(x_1 + x_2 + \cdots + x_n)' = x_1' \bullet x_2' \cdots \bullet x_n' \Leftrightarrow (x_1 \bullet x_2 \cdots \bullet x_n)' = x_1' + x_2' \cdots + x_n'$$

[표 3-5] 드모르간의 법칙 증명

입력변수		왼쪽 논리식		오른쪽 논리식		
x	y	x+y	(x+y)'	x'	y'	x'·y'
0	0					
0	1					
1	0					
1	1					

## 3.2.2 논리식의 간소화

- 간소화(simplification)
  - 더 간단한 논리회로로 구현 (논리 게이트 수 감소)
- [예제 3-1] [예제 3-2]

$$x + x \bullet y = x$$

$$x \bullet (x + y) = x$$

- [예제 3-3]

[예제 3-4]

$$x + x' \bullet y = x + y$$

$$x \bullet (x' + y) = x \bullet y$$

# 복잡한 간소화 예제

[예제 3-5]  $f(x, y, z) = x'yz + xyz' + xyz$

[풀이]  $f(x, y, z) = x'yz + xyz' + xyz$

$$\begin{aligned} &= xyz' + x'yz + xyz + xyz && // x = x + x \\ &= (xyz' + xyz) + (x'yz + xyz) && // + 연산 순서 변경 \\ &= xy(z' + z) + (x' + x)yz && // x'y + xy = (x' + x)y \\ &= xy \cdot 1 + 1 \cdot yz && // x' + x = 1 \\ &= xy + yz \end{aligned}$$

# 간소화 원리

- 인접항(adjacent terms)을 찾아 하나로 합친다.
- 인접항
  - 논리식에 포함된 AND항(OR 항) 중에서 논리 변수 하나의 표현이 다른 항
- [예제 3-6] 논리항에 대한 인접항?
  - (1)  $x \cdot y$
  - (2)  $(x+y)$
  - (3)  $x \cdot y \cdot z'$
  - (4)  $(x' + y' + z)$
- 카르노 맵(Karnaugh map)
  - 인접항을 인접한 곳에 배치하여 간소화 하는 방법
  - (논리회로) 교재 참조



# 간소화 원리

- 예) 2변수 논리항  $xy$ 에 대한 인접항 결합

- $x$ 가 다른 항:  $xy + x'y =$  \_\_\_\_\_
- $y$ 가 다른 항:  $xy + xy' =$  \_\_\_\_\_

- 예) 3변수 논리항  $xyz$ 에 대한 인접항

- $x$ 가 다른 항:  $xyz + x'yz =$  \_\_\_\_\_
- $y$ 가 다른 항:  $xyz + xy'z =$  \_\_\_\_\_
- $z$ 가 다른 항:  $xyz + xyz' =$  \_\_\_\_\_

# 간소화 예제

- [예제 3-5] 인접항 풀이:  $f(x, y, z) = x'yz + xyz' + xyz$

- [풀이]  $f(x, y, z) = \underbrace{x'yz}_{\text{A}} + \underbrace{xyz'}_{\text{B}} + \underbrace{xyz}_{\text{C}} = xy + yz$

- [예제 3-7]  $f(x, y, z) = x'y'z' + x'y'z + xy'z' + xy'z$

- [풀이]  $f(x, y, z) = \underbrace{x'y'z'}_{\text{A}} + \underbrace{x'y'z}_{\text{B}} + \underbrace{xy'z'}_{\text{C}} + \underbrace{xy'z}_{\text{D}}$
- $= \underbrace{x'y'}_{\text{E}} + \underbrace{xy'}_{\text{F}}$
- $= y'$

## 3.2 논리연산 규칙 요약

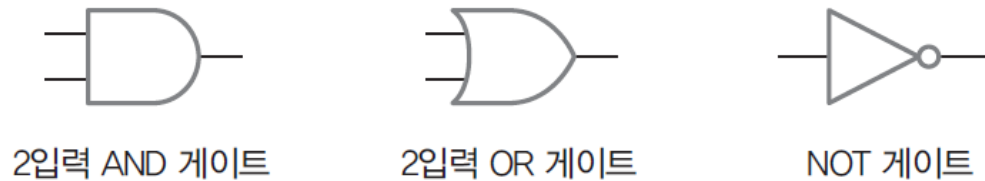
- 부울 대수
  - 닫힘 AND, OR, NOT 연산의 결과는  $\{0, 1\}$
  - 결합법칙  $(x \cdot y) \cdot z = x \cdot (y \cdot z)$
  - 교환법칙  $(x \cdot y) = (y \cdot x)$
  - 분배법칙  $x \cdot (y + z) = (x \cdot y) + (x \cdot z)$
  - 항등원  $x \cdot 1 = x$
  - 역원(보수)  $x \cdot x' = 0$
- 드모르간의 법칙:  $(x + y)' = x' \cdot y'$
- 논리식 간소화:
  - 부울 대수 정리 활용
  - 인접항을 찾아 서로 다른 항 제거

# 3.3 논리게이트

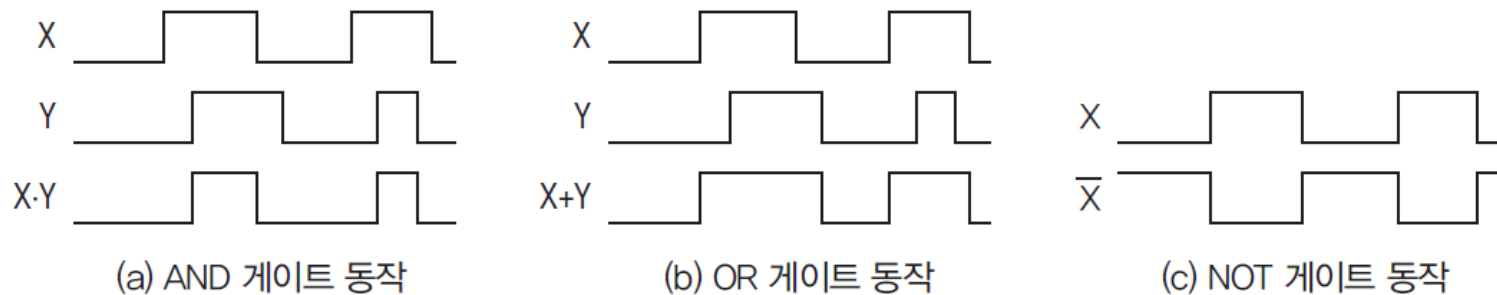
- 학습 목표
  - 논리게이트의 동작 표현에 쓰이는 관례(convention) 이해
  - 여러 가지 논리게이트에 대한 기호와 동작 이해
- 내용
  - 3.3.1 기본 논리게이트
  - 3.3.2 정논리와 부논리
  - 3.3.3 논리게이트 기호
  - 3.3.4 논리게이트 종류
  - 3.3.5 세상태 버퍼

# 3.3.1 기본 논리게이트

- 논리 게이트: 신호가 통과하는 문



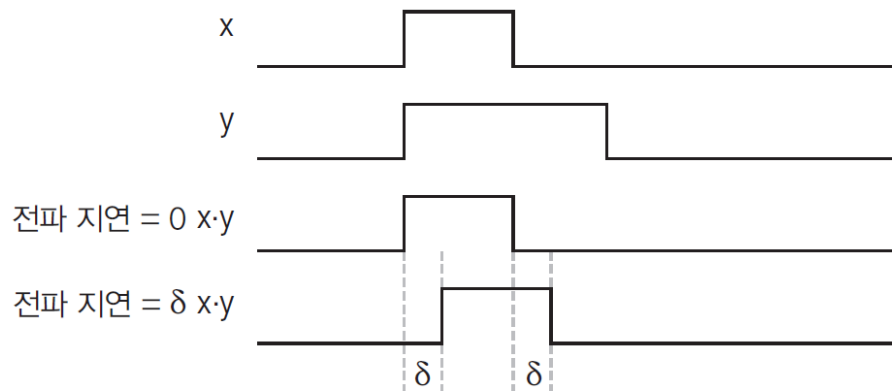
[그림 3-1] 논리게이트 기호



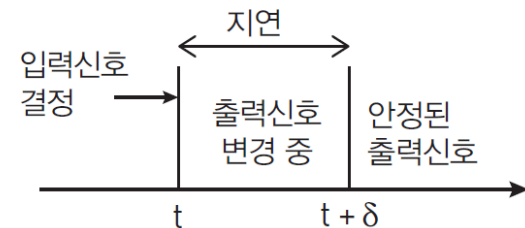
[그림 3-2] 기본 게이트의 출력에 대한 타이밍 다이어그램

# 전파 지연

- 전파 지연(propagation delay)
  - 입력신호에 따라 출력신호가 변하는 시간 간격
  - 신호가 게이트를 통과하는 시간
  - 게이트 통과 때마다 누적
  - 일반적으로 수 나노초



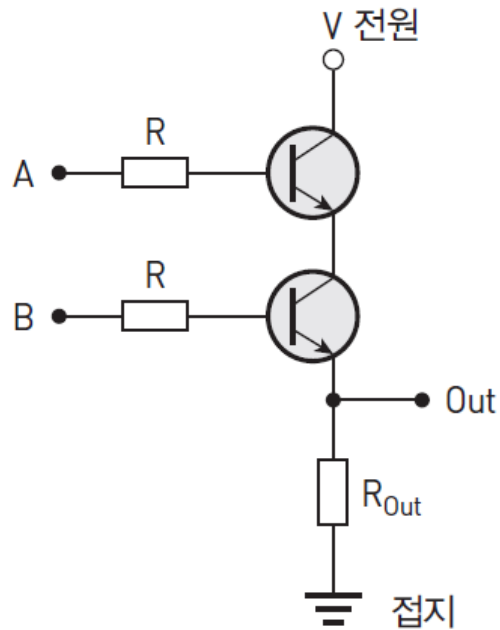
(a) AND 게이트의 전파 시간



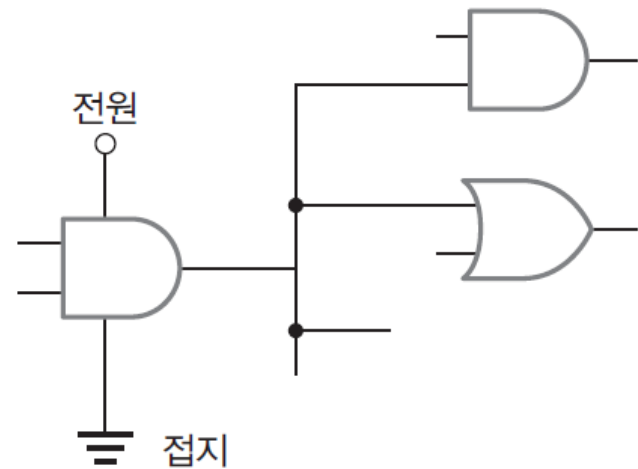
(b) 논리회로의 출력 지연

[그림 3-3] 전파 지연

# 전원 공급과 팬아웃



(a) 트랜지스터 AND 게이트



(b) 팬아웃(fan-out)

[그림 3-4] 전원 공급과 팬아웃

## 3.3.2 정논리와 부논리



[그림 3-5] 정논리와 부논리

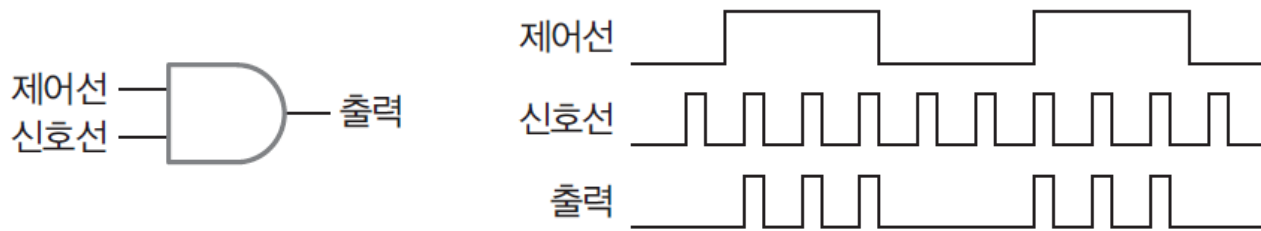
- 정논리
  - 정상시 상태 0
  - 사건 발생 1
- 부논리
  - 정상시 상태 1
  - 사건 발생 0
  - 신호 이름에 '/' 또는 '~'

### 입력/출력과 정논리/부논리 조합

	정논리	부논리
입력	입력 정논리-출력 정논리	입력 정논리-출력 부논리
출력	입력 부논리-출력 정논리	입력 부논리-출력 부논리



# 3.3.3 논리게이트 기호



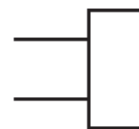
[그림 3-6] 제어선과 신호선



(a) 삼각형



(b) 작은 원



(c) 직선형 입력



(d) 곡선형 입력

[그림 3-7] 논리게이트 표현 기호

신호 전달



신호 부정(NOT)  
입력/출력에 추가

AND 연산  
입력선 2개 이상



OR 연산  
입력선 2개 이상

## 3.3.4 논리게이트 종류

〈표 3-7〉 2-입력 AND 게이트



입력		출력	AND 게이트 기호	
X	y	$F = x \cdot y$	입력 정논리 - 출력 정논리	입력 부논리 - 출력 부논리
0	0	0		
0	1	0		
1	0	0		
1	1	1		

〈표 3-8〉 2-입력 NAND 게이트



입력		출력	NAND 게이트 기호	
X	y	$F = (x \cdot y)'$	입력 정논리 - 출력 부논리	입력 부논리 - 출력 정논리
0	0	1		
0	1	1		
1	0	1		
1	1	0		

# 논리게이트 종류 (OR)

〈표 3-9〉 2-입력 OR 게이트


입력		출력	OR 게이트 기호	
X	y	$F = x+y$	입력 정논리 - 출력 정논리	입력 부논리 - 출력 부논리
0	0	0		
0	1	1		
1	0	1		
1	1	1		

〈표 3-10〉 2-입력 NOR 게이트


입력		출력	NOR 게이트 기호	
x	y	$F = (x+y)'$	입력 정논리 - 출력 부논리	입력 부논리 - 출력 정논리
0	0	1		
0	1	0		
1	0	0		
1	1	0		

# 논리게이트 종류 (XOR)

〈표 3-11〉 2-입력 XOR 게이트

입력		출력	XOR 게이트 기호
X	y	$F=x\oplus y$	
0	0	0	
0	1	1	
1	0	1	
1	1	0	

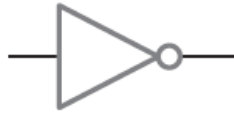
〈표 3-12〉 2-입력 XNOR 게이트

입력		출력	XNOR 게이트 기호
x	y	$F=(x\oplus y)'$	
0	0	1	
0	1	0	
1	0	0	
1	1	1	

# 버퍼, NOT 게이트, 3입력 게이트



(a) 버퍼



(b) 정논리 NOT 게이트



(c) 부논리 NOT 게이트

[그림 3-8] 버퍼와 NOT 게이트



(a)  $F = X \cdot Y \cdot Z$



(b)  $F = X + Y + Z$



(c)  $F = X \oplus Y \oplus Z$



(d)  $F = (X \cdot Y \cdot Z)'$



(e)  $F = (X + Y + Z)'$



(f)  $F = (X \oplus Y \oplus Z)'$

[그림 3-9] 3-입력 게이트

# [예제 3-8] 3입력 XOR 게이트

XOR 게이트: 입력 중 1이 홀수 있다 출력 1

X	Y	Z	$F = X \oplus Y \oplus Z$
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

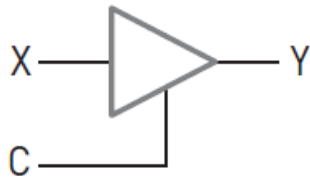


(c)  $F = X \oplus Y \oplus Z$

## 3.3.5 3상태 버퍼

- Tri-state buffer = {0, 1, Z}

• Z :



(a) 정논리 3상태 버퍼

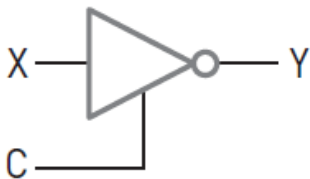


(b) C=0일 때 등가회로

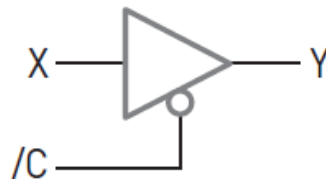


(c) C=1일 때 등가회로

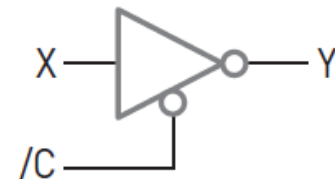
[그림 3-10] 정논리 3상태 버퍼



(a) 정논리 3상태 NOT 게이트



(b) 부논리 3상태 버퍼



(c) 부논리 3상태 NOT 게이트

[그림 3-11] 여러 가지 형태의 3상태 버퍼

## 3.3 논리게이트 요약

- 논리게이트
  - 논리연산을 수행하는 하드웨어 소자
- 타이밍 다이어그램
  - 논리게이트의 입출력 신호의 변화를 표현하는 그림
- 정논리/부논리
  - 정논리: 평상시 0(low), 사건 발생 1(high)
  - 부논리: 평상시 1(high), 사건 발생 0(low)
- 논리게이트 종류
  - AND, OR, NOT, XOR, NAND, NOR, XNOR, NOT, BUFFER
- 3상태 버퍼
  - {0, 1, high impedance}



# 3.4 논리회로 기초 요약

- 3.1 논리
  - 논리값(0/1, false/true), 논리상수, 논리변수 개념 소개
- 3.2 논리연산 규칙
  - 부울 대수: 논리값에 대한 연산 규칙
  - 논리식의 간소화: 부울대수 활용, 인접항 통합
- 3.3 논리게이트
  - 정논리, 부논리
  - 논리게이트 종류와 기호
  - 3상태 버퍼
- 제4장 조합 논리회로
  - 조합 논리회로의 동작
  - 빌딩 블록: 가산기, 비교기, 인코더/디코더, 멀티플렉서/디멀티플렉서