Discrete Mathematics

CHAPTER 08 그래프

INFINITYBOOKS
인 피 니 티 북 스

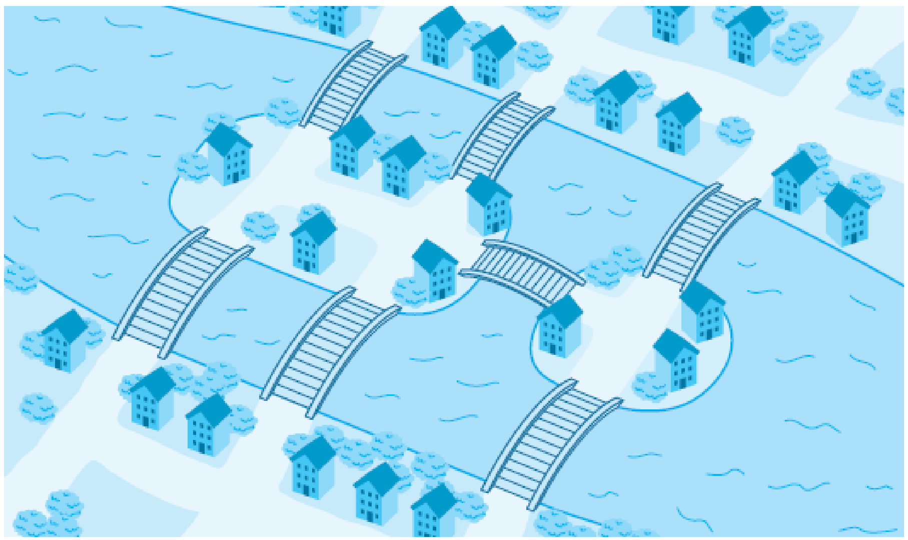
함채원 • 홍영진

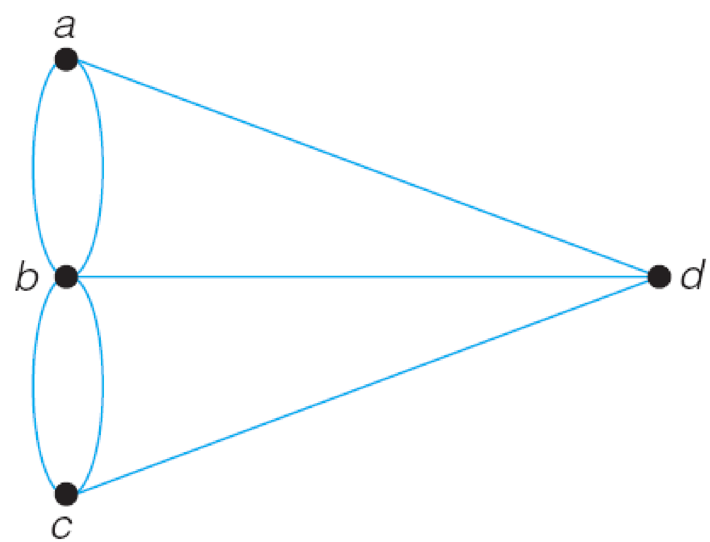
학습개요

- 기본 개념
  - 그래프의 개념을 이해하고 용어를 익힌다
- 오일러와 해밀턴 순환
  - 그래프 이론과 관련된 정리들을 이해한다
- 여러 가지 그래프
  - 다양한 그래프의 종류와 형태를 살펴본다
- 그래프의 표현
  - 그래프를 표현하는 방법을 익힌다
- 그래프 탐색
  - 그래프를 탐색하는 방법과 과정을 이해한다

Section 01 기본 개념 (1)

- 그래프(graph)
  - 비선형 자료구조(non-linear data structure)
- 쾨니히스베르크 다리와 그래프 모델



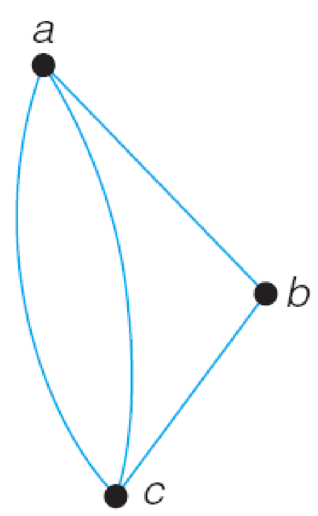


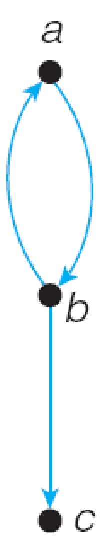
Section 01 기본 개념 (2)

정의 8.1

집합 $V=\{v_1, v_2, \cdots, v_n\}$를 공집합이 아닌 정점(vertex)들의 집합이라고 하고 집합 E를 에지(edge)들의 집합이라고 할 때 그래프 G는 $G=(V, E)$로 나타낸다. 여기서 에지는 서로 다른 정점 $v_i, v_j \in V$의 쌍 (v_i, v_j)를 의미한다.

- 무방향그래프 / 방향그래프





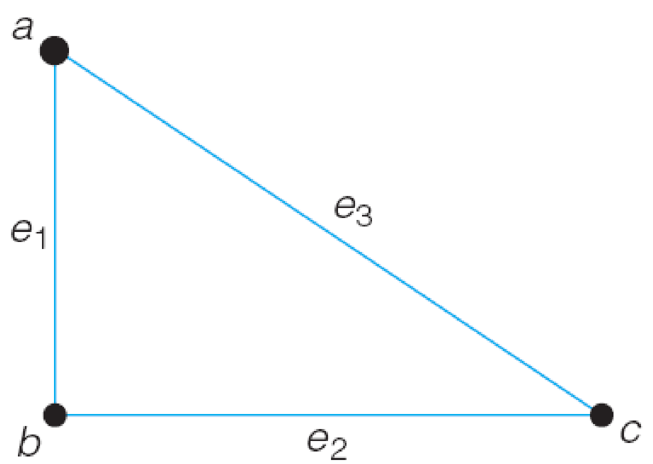
Section 01 기본 개념 (3)

예제 8.2

그래프 G가 다음과 같이 주어졌을 때 이를 그림으로 나타내어라.

$$G=(V, E)$$
$$V=\{a, b, c\}$$
$$E=\{e_1, e_2, e_3\}=\{(a, b), (b, c), (c, a)\}$$

풀이



Section 01 기본 개념 (4)

- 다중그래프(multi graph)
  - 두 정점 사이에 두 개 이상의 에지가 있는 그래프
- 단순그래프(simple graph)
  - 다중그래프가 아닌 그래프

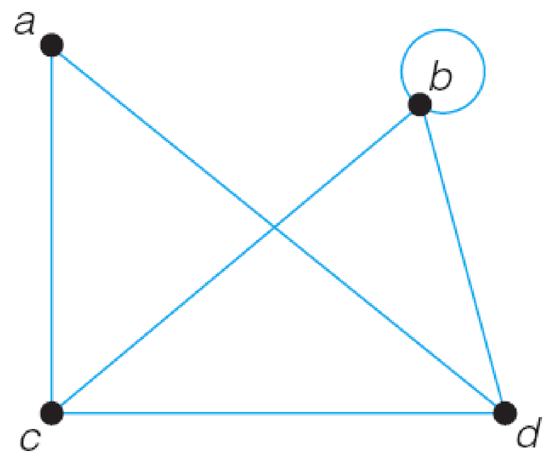
정의 8.2

에지 e의 끝점이 서로 같은 정점이면 이 에지를 루프(loop)라고 한다.

Section 01 기본 개념 (5)

예제 8.6

다음 그래프 G를 집합으로 나타내어라.



풀이 그래프 $G=(V, E)$를 집합으로 나타내면 다음과 같다.

$$G=(V, E)$$
$$V=\{a, b, c, d\}$$
$$E=\{(a, c), (a, d), (b, d), (b, c), (c, d), (b, b)\}$$

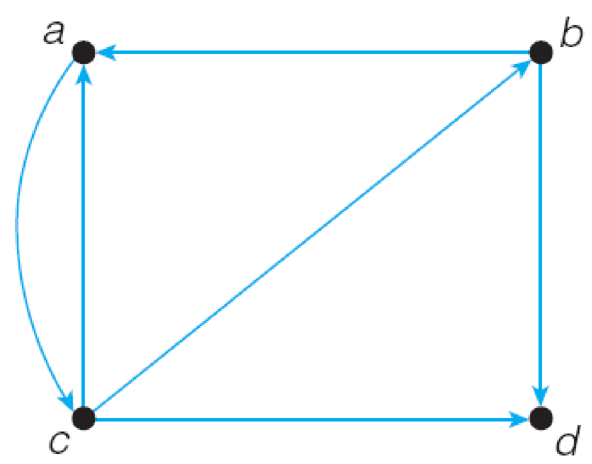
Section 01 기본 개념 (6)

정의 8.3

그래프 G의 임의의 정점 v를 끝점으로 하는 에지의 수를 정점의 차수(degree)라고 하고, $\deg(v)$로 나타낸다.

예제 8.8

다음 그림을 그래프 G로 나타내고 각 정점의 차수를 구하여라.



Section 01 기본 개념 (7)

풀이 그래프 G는 방향그래프다. 정점의 집합을 V, 에지의 집합을 E로 하여 그래프를 나타내면 다음과 같다.

$$G = \langle V, E \rangle$$
$$V = \{a, b, c, d\}$$
$$E = \{\langle a, c\rangle, \langle b, a\rangle, \langle b, d\rangle, \langle c, a\rangle, \langle c, b\rangle, \langle c, d\rangle\}$$

또한 각 정점들의 진입차수 indeg와 진출차수 outdeg를 구하면 다음과 같다.

$$\text{indeg}(a) = 2,\ \ \text{outdeg}(a) = 1$$
$$\text{indeg}(b) = 1,\ \ \text{outdeg}(b) = 2$$
$$\text{indeg}(c) = 1,\ \ \text{outdeg}(c) = 3$$
$$\text{indeg}(d) = 2,\ \ \text{outdeg}(d) = 0$$

Section 01 기본 개념 (8)

정리 8.1

그래프 $G=(V, E)$의 정점의 수가 n개, 에지의 수가 e개면 다음 식이 성립한다.

$$\sum_{i=1}^{n} \deg(v_i)=2e$$

【증명】 그래프에서 에지는 항상 두 개의 정점을 연결한다. 따라서 정점 v_i와 v_j를 연결한 에지를 e_i라고 하면 e_i는 v_i에 대한 차수를 계산할 때와 v_j에 대한 차수를 계산할 때 중복으로 계산된다. 이처럼 하나의 정점에 대해 에지가 항상 중복 계산되므로 위 정리가 성립한다.

Section 01 기본 개념 (9)

정리 8.2

그래프 $G=(V, E)$에서 차수가 홀수인 정점의 수는 반드시 짝수 개 존재한다.

【증명】 [정리 8.1]을 통해 $\sum_{i=1}^{n} \deg(v_i)=2e$가 성립함을 보였다. 이를 이용하면 주어진 정리를 쉽게 증명할 수 있다.

그래프 $G=(V, E)$에서 차수가 짝수인 정점의 집합을 V_1, 홀수인 정점의 집합을 V_2라고 하면 [정리 8.1]에 의해

$$2e=\sum_{v \in V_1} \deg(v)+\sum_{v \in V_2} \deg(v)$$

가 성립한다. 등식의 오른쪽 첫 번째 값에서 $v \in V_1$에 대한 $\deg(v)$의 값이 짝수므로 이들의 합도 짝수다. 그런데 $2e$가 짝수므로 등식의 오른쪽 두 번째 값도 짝수여야 한다. 즉 $\sum_{v \in V_2} \deg(v)$가 짝수므로 홀수의 차수를 갖는 정점은 반드시 짝수 개 존재한다.

Section 01 기본 개념 (10)

정의 8.4

그래프에서 정점과 에지의 연속으로 구성된 $(v_1, e_1, v_2, e_2, \cdots, e_n, v_{n+1})$과 같은 형태를 경로(path)라고 한다.

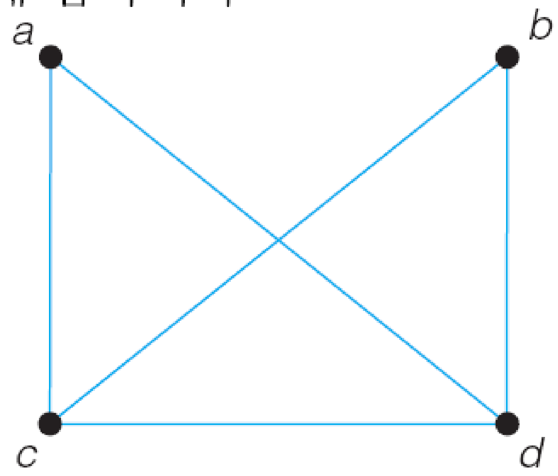
정의 8.5

경로를 구성하는 에지의 개수를 해당 경로의 길이(length)라고 한다. 또한 처음과 끝 정점이 같을 때, 즉 경로 $(v_1, v_2, \cdots, v_{n+1})$에서 $v_1 = v_{n+1}$일 때 이 경로를 닫혀있다(closed)고 하며, 이처럼 닫혀있는 경로를 순환(cycle)이라고 한다.

Section 01 기본 개념 (11)

예제 8.12

다음 그래프를 보고 물음에 답하여라.



(1) 그림에서 길이 3인 경로를 2개 이상 찾아라.

(2) 그림에서 길이 3인 순환을 2개 이상 찾아라.

Section 01 기본 개념 (12)

풀이

(1) 길이 3인 경로에는 다음과 같은 것들이 있다.

$$(a, c, d, b),\ (a, d, b, c)$$

이외에도 많은 경로들이 있다.

(2) 길이 3인 순환에는 다음과 같은 것들이 있다.

$$(a, c, d, a),\ (b, c, d, b)$$

이외에도 많은 순환이 있다.

Section 01 기본 개념 (13)

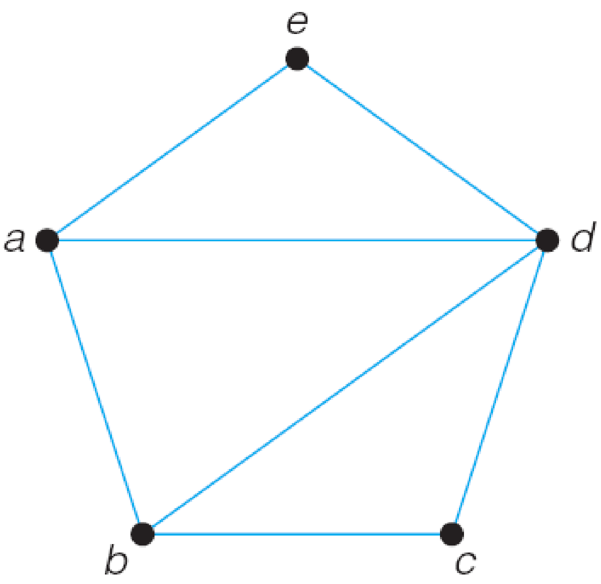
정의 8.6

그래프 $G=(V, E)$라 할 때 $V' \subseteq V$고 $E' \subseteq E$인 V'와 E'로 구성된 $G'=(V', E')$를 그래프 G의 부분그래프(subgraph)라고 한다. 특히 $V'=V$고 $E' \subset E$인 $G'=(V', E')$를 G의 생성 부분그래프(spanning subgraph)라고 한다.

Section 01 기본 개념 (14)

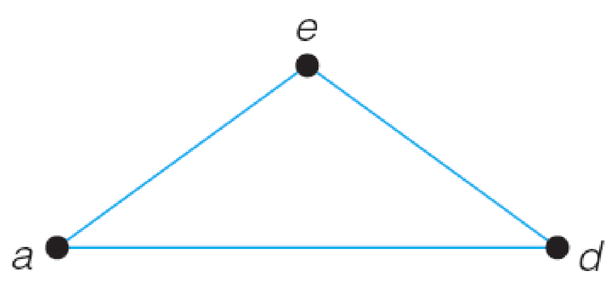
예제 8.16

다음 그래프 G의 부분그래프를 두 개 이상 구하여라.

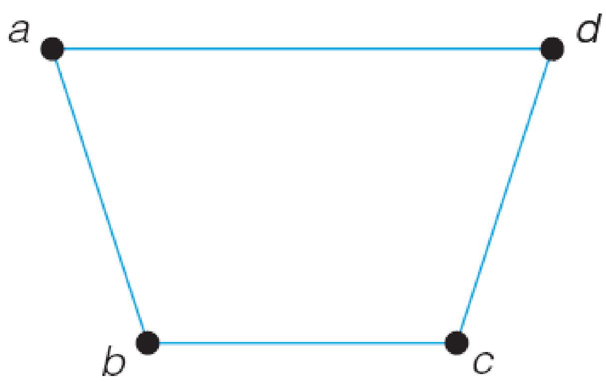


Section 01 기본 개념 (15)

풀이



부분그래프 G_1



부분그래프 G_2

정의 8.7

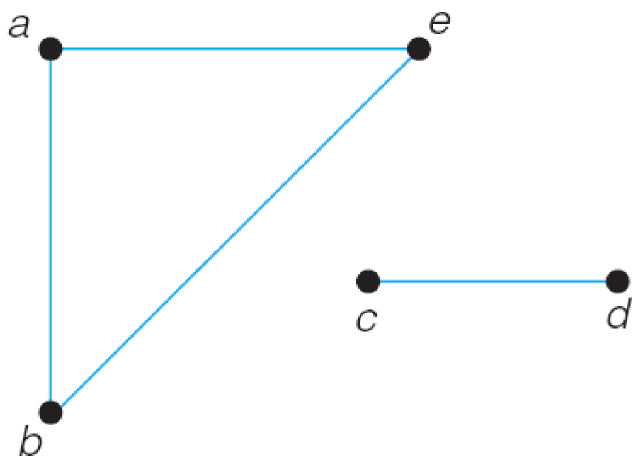
모든 정점들 사이에 경로가 존재하는 그래프를 연결그래프(connected graph)라고 한다.

Section 01 기본 개념 (16)

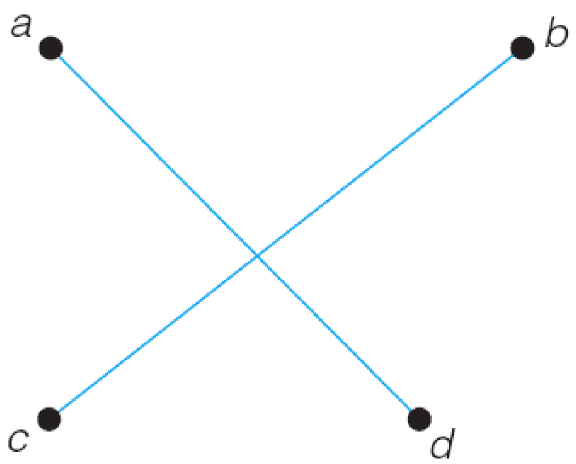
예제 8.18

다음 그래프는 연결그래프인가?

(1)



(2)

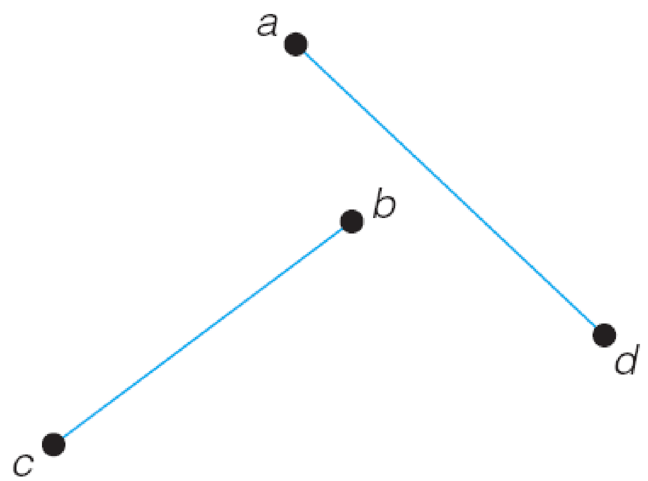


풀이

(1) 예를 들면 정점 a와 d 사이에 경로가 없으므로 연결그래프가 아니다.

(2) 주어진 그래프는 다음과 같이 그릴 수 있다.

Section 01 기본 개념 (17)



그래프의 정점 a와 d, b와 c 사이에는 경로가 존재하지만 a와 b 사이에는 경로가 존재하지 않는다. 따라서 연결그래프가 아니다.

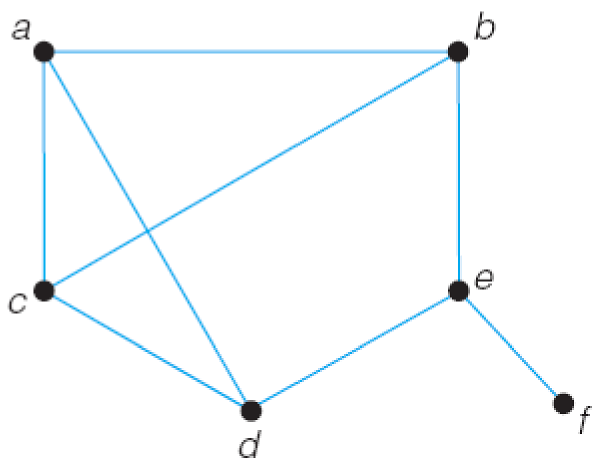
정의 8.8

그래프에서 임의의 두 정점 a와 b 사이의 최단 경로를 거리(distance)라고 하며, d(a, b)로 나타낸다. 또한 임의의 두 정점 간의 거리 중 최장 거리를 그래프의 직경(diameter)이라고 한다.

Section 01 기본 개념 (18)

예제 8.19

다음 그래프 G에 대하여 물음에 답하여라.



(1) 정점 a와 e 간의 거리를 구하여라.

(2) 정점 c와 b 간의 거리를 구하여라.

(3) 정점 a와 f 간의 거리를 구하여라.

(4) 그래프 G의 직경을 구하여라.

Section 01 기본 개념 (19)

풀이

(1) 정점 a와 e 간의 최단 경로는 (a, b, e) 또는 (a, d, e)므로 $\mathrm{d}(a, e)=2$다.

(2) 정점 c와 b 간의 최단 경로는 (c, b)므로 $\mathrm{d}(c, b)=1$이다.

(3) 정점 a와 f 간의 최단 경로는 (a, b, e, f) 또는 (a, d, e, f)므로 $\mathrm{d}(a, f)=3$이다.

(4) 그래프 G의 직경은 $\mathrm{d}(a, f)=3$이다.

Section 02 오일러와 해밀턴 순환 (1)

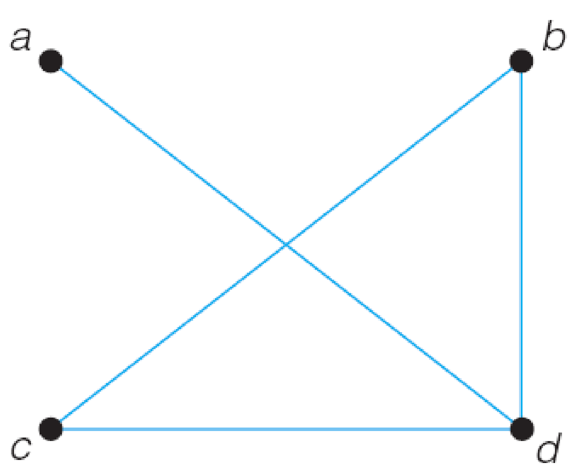
정의 8.9

그래프 $G=(V, E)$에서 G 안의 모든 정점과 모든 에지가 포함되는 경로를 오일러 경로(Euler path)라고 하고, 순환을 오일러 순환(Euler cycle)이라고 한다. 또한 오일러 순환이 포함된 그래프를 오일러 그래프(Euler graph)라고 한다.

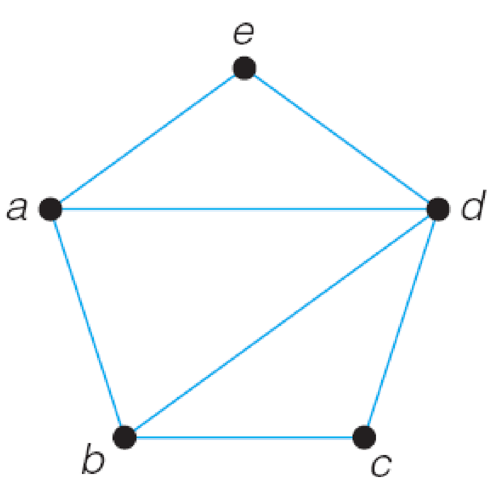
예제 8.21

다음 그래프에서 오일러 경로를 찾아라.

(1)



(2)



Section 02 오일러와 해밀턴 순환 (2)

풀이 (1) 오일러 경로는 (a, d, c, b, d)다.

(2) 오일러 경로는 (a, e, d, a, b, d, c, b)다.

정리 8.3

그래프 $G=(V, E)$가 오일러 순환을 갖기 위한 필요충분조건은 연결그래프 G의 모든 정점들의 차수가 짝수일 때다.

【증명】 먼저 그래프 $G=(V, E)$가 오일러 순환을 갖는다고 할 때 오일러 순환을 갖기 위한 시작 정점을 a라고 하면 순환이 끝나는 정점 또한 a므로 $\deg(a)=2$다. a에서 시작한 오일러 순환은 정점을 통과할 때마다 차수를 2씩 증가시킨다. 그러므로 그래프가 오일러 순환을 갖는다면 모든 정점의 차수는 짝수다.

Section 02 오일러와 해밀턴 순환 (3)

반대로 그래프 $G=(V, E)$의 모든 정점의 차수가 짝수라고 가정하고 오일러 순환을 생성해보자. 모든 정점들이 짝수 차수를 가지므로 그래프 G의 임의의 정점 a를 출발 정점으로 하여 어느 한 정점에 들어갔다가 사용하지 않은 다른 에지를 통해 나오는 경로 생성이 가능하다. 이렇게 생성된 경로를 G_1이라고 할 때 만일 G_1이 그래프의 모든 에지를 지나는 경로라면 오일러 순환이 되어 정리가 성립한다. 그런데 만일 G_1이 모든 에지를 지나지 못하면 그래프 G에서 G_1을 제거하고 남은 에지와 정점들로 그래프 G_2를 생성할 수 있다. 이때 G_2는 비연결그래프일 수도 있다. 하지만 G에서 G_1을 제거하고 생성된 G_2의 모든 정점들의 차수가 짝수다. 그리고 그래프 G가 연결그래프기 때문에 G_1과 G_2 사이에 공통된 정점이 적어도 하나 존재하며, 그 정점을 기준으로 G_2에서 경로를 생성해나가는 과정을 반복하면 결국 오일러 순환을 만들 수 있다. 그러므로 그래프 $G=(V, E)$의 모든 정점의 차수가 짝수면 이 그래프는 오일러 순환을 갖는다.

Section 02 오일러와 해밀턴 순환 (4)

정리 8.4

그래프 $G=(V, E)$가 오일러 경로를 갖기 위한 필요충분조건은 그래프 G가 연결그래프고 2개의 정점이 홀수 차수일 때다.

【증명】 먼저 그래프 $G=(V, E)$가 오일러 경로를 갖는다고 가정하면 오일러 경로를 갖는 그래프 G는 연결그래프다. 주어진 오일러 경로에서 시작 정점을 a, 끝나는 정점을 b라고 할 때 a와 b는 시작과 끝 정점으로 차수가 홀수다. 또한 a, b를 제외한 오일러 경로 상의 나머지 정점은 경로가 이 정점을 통과하므로 차수가 짝수다. 결국 홀수인 차수를 갖는 정점은 a, b뿐이다.

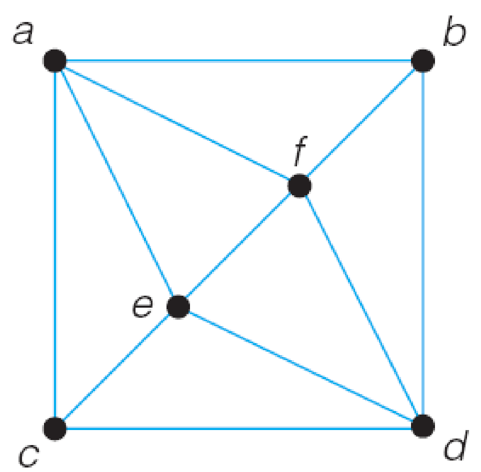
반대로 그래프 G가 연결그래프고, 정점 a와 b가 홀수 차수의 정점이라고 하자. 이 그래프 G에 (a, b) 경로를 추가하면 $G+(a, b)$인 그래프의 모든 정점은 짝수의 차수를 갖게 된다. 이것은 [정리 8.3]에 의해 $G+(a, b)$ 그래프에 (a, b)를 지나는 오일러 순환이 존재함을 의미한다. 이 오일러 순환에서 에지 (a, b)를 제거하면 그래프 G는 정점 a에서 출발해서 b에서 끝나는 오일러 경로를 갖는다.

Section 02 오일러와 해밀턴 순환 (5)

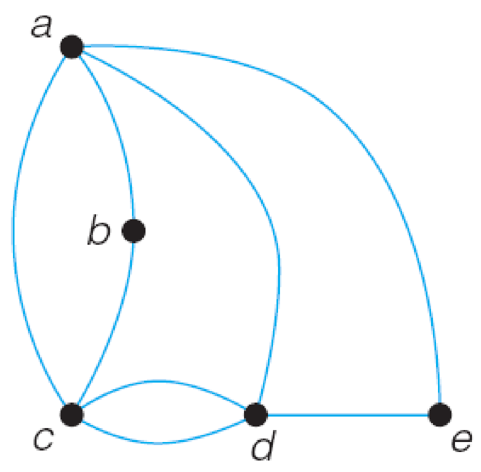
예제 8.24

다음 그래프가 오일러 순환을 갖는지 판별하여라. 만약 오일러 순환이 존재하지 않는다면 오일러 경로가 존재하는지 판단하고, 그 경로를 구하여라.

(1)



(2)



Section 02 오일러와 해밀턴 순환 (6)

풀이

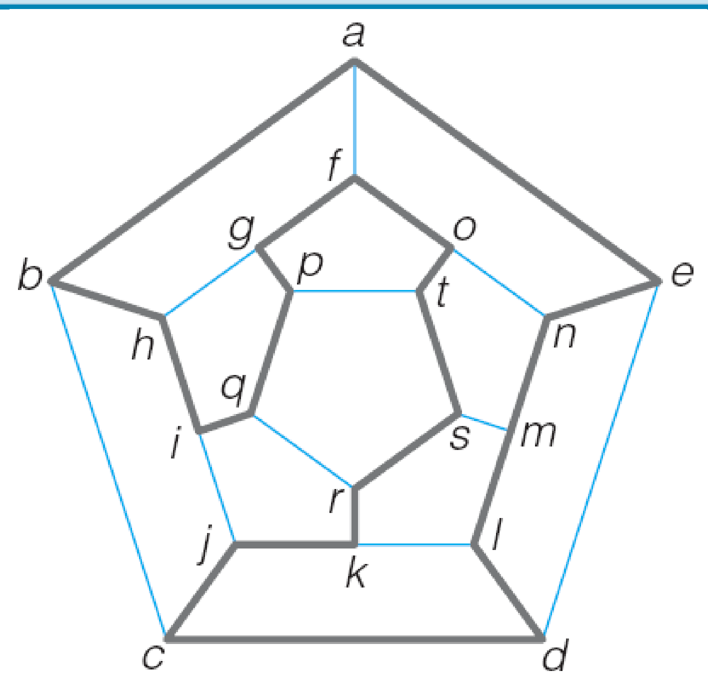
(1) 정점 b와 c의 차수는 3이다. 이는 [정리 8.3]에서 증명한 그래프가 오일러 순환을 갖기 위해서는 모든 정점의 차수가 짝수여야 한다는 조건에 위배된다. 따라서 오일러 순환이 존재하지 않는다. 그러나 홀수 차수인 정점은 2개므로 오일러 경로는 존재한다. 예를 들면 $(c, a, e, c, d, e, f, d, b, a, f, b)$가 있다.

(2) 모든 정점은 짝수 차수다. 따라서 [정리 8.3]에 의해 오일러 순환을 갖는다. 오일러 순환의 예를 들면 $(a, c, b, a, d, c, d, e, a)$가 있다.

Section 02 오일러와 해밀턴 순환 (7)

정의 8.10

그래프 $G=(V, E)$에 대해 G 안의 임의의 정점에서 출발하여 그래프의 각 정점이 한 번씩만 나타나도록 만들어진 경로를 해밀턴 경로(Hamiltonian path)라고 하고, 정점을 한 번씩만 지나고 다시 출발 정점으로 돌아오는 순환을 해밀턴 순환(Hamiltonian cycle)이라고 한다. 또한 해밀턴 순환이 포함된 그래프를 해밀턴 그래프(Hamiltonian graph)라고 한다.

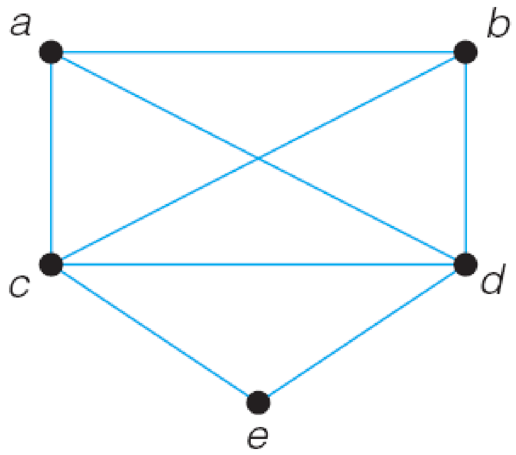


Section 02 오일러와 해밀턴 순환 (8)

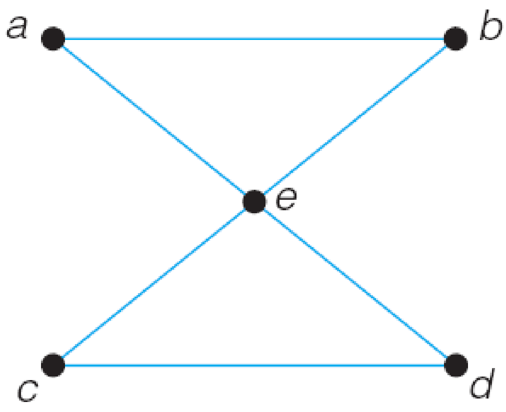
예제 8.25

다음 그래프에 해밀턴 경로 또는 해밀턴 순환이 존재하는지 판별하여라.

(1)



(2)



풀이

(1) 해밀턴 경로와 순환이 모두 존재한다. 예를 들면 해밀턴 순환은 (a, c, e, d, b, a)고, 해밀턴 경로는 (a, b, c, d, e)다.

(2) 어떤 경로라도 정점 e를 두 번 이상 거치게 되므로 해밀턴 순환이 존재하지 않는다. 그러나 해밀턴 경로는 존재한다. 예를 들면 해밀턴 경로는 (a, b, e, c, d)다.

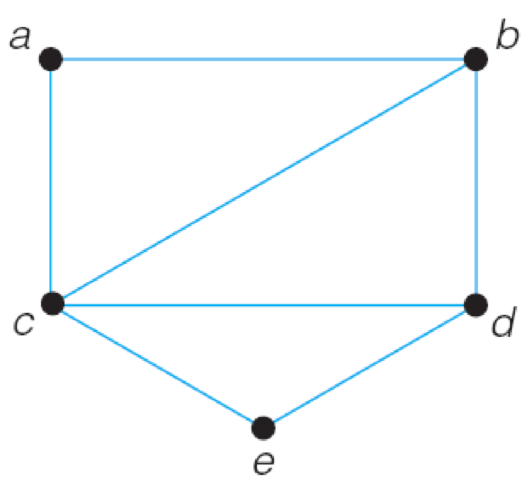
Section 03 여러 가지 그래프 (1)

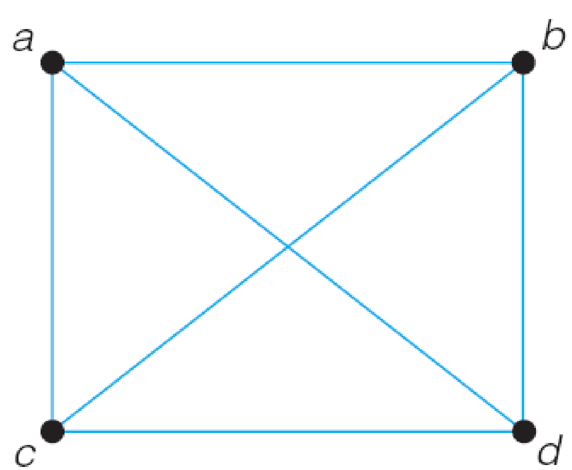
정의 8.11

그래프 G를 평면에 그릴 때 어떤 에지도 정점이 아닌 곳에서는 교차하지 않도록 그릴 수 있다면 G를 평면그래프(planer graph)라고 한다.

예제 8.26

다음 그래프들이 평면그래프인지 판별하여라.

(1) 

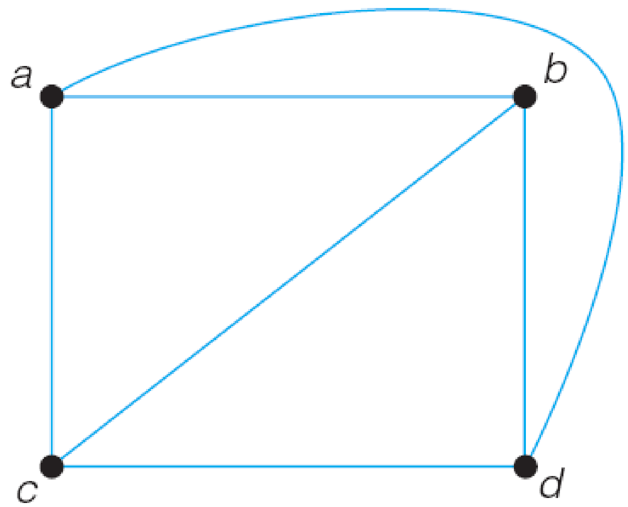
(2) 

Section 03 여러 가지 그래프 (2)

풀이

(1) 평면그래프의 정의에 따라 어느 에지도 정점이 아닌 곳에서 만나지 않으므로 평면그래프다.

(2) 에지 (a, d)와 (b, c)를 다음 그림과 같이 평면에 수정하여 그릴 수 있으므로 평면그래프다.



Section 03 여러 가지 그래프 (3)

정리 8.5

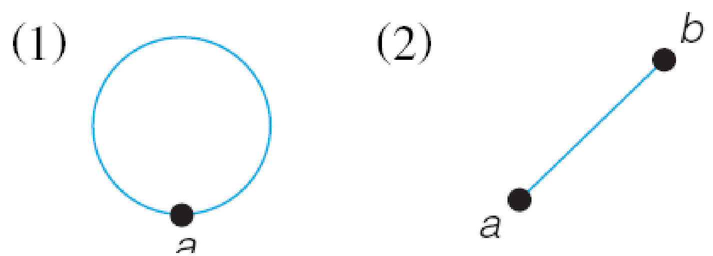
그래프 G를 연결된 평면그래프라고 하고, 정점의 수를 v, 에지의 수를 e, G에 의해 평면에 형성되는 영역의 수를 r이라고 하면 다음 공식이 성립한다.

$$r=e-v+2$$

이를 오일러의 공식(Euler' s formula)이라고 한다.

[증명] 수학적 귀납법을 이용하여 증명한다.

먼저 $e=1$인 경우 생성되는 그래프는 다음과 같이 두 가지다.



(1)의 경우 $v=1$, $r=2$가 되어 $v-e+r=1-1+2=2$가 성립한다.

Section 03 여러 가지 그래프 (4)

(2)의 경우에도 $v=2$, $r=1$이 되어 $v-e+r=2-1+1=2$가 성립한다. 즉 $e=1$인 경우 오일러의 공식은 성립한다.

이제 수학적 귀납법에 의해 $e=k$일 때 공식이 성립한다고 가정하고, $e=k+1$인 경우에도 성립함을 보이자.

$e=k$에서 에지가 하나 증가하는 경우에 가능한 그래프의 형태는 두 가지다. 단, 두 경우 모두 평면그래프의 형태를 유지한다.

첫 번째는 $e=k$인 그래프에 에지를 추가할 때 새로운 정점을 생성하면서 에지가 만들어지는 경우다. 이 경우에 정점은 하나 증가하나 영역의 수에는 변함이 없다. 그러므로

$$(v+1)-(e+1)+r=v-e+r=2$$

가 되어 공식이 성립한다.

Section 03 여러 가지 그래프 (5)

두 번째는 $e=k$인 그래프에 에지를 추가할 때 기존의 정점들 사이에 에지만을 추가하는 경우다. 이 경우에 정점은 증가하지 않으나 영역의 수가 하나 증가하게 된다. 그러므로

$$v-(e+1)+(r+1)=v-e+r=2$$

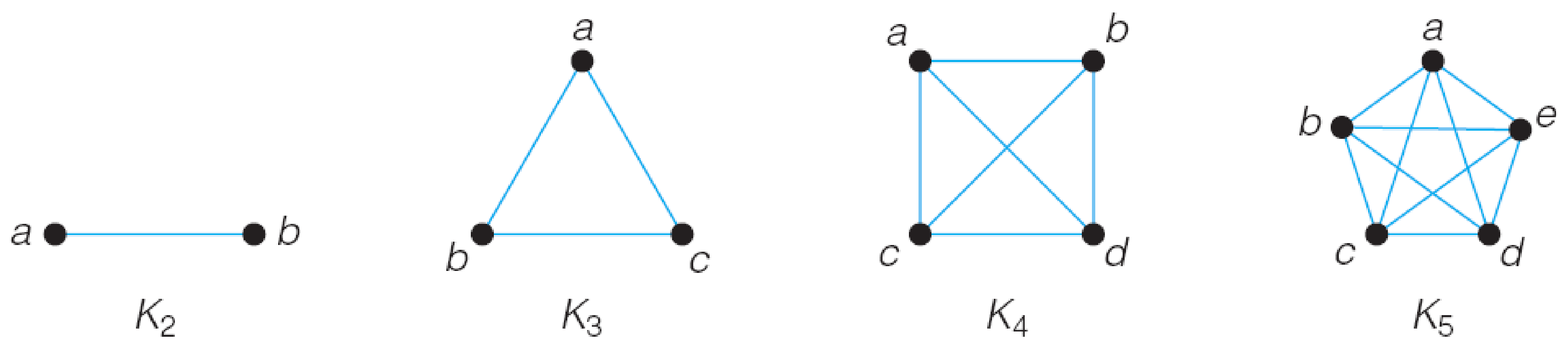
가 되어 역시 공식이 성립한다.

따라서 $e=k$일 때 오일러의 공식이 성립하면 $e=k+1$인 경우에도 공식이 성립한다. 즉 수학적 귀납법에 의해 오일러의 공식 $r=e-v+2$가 성립한다.

Section 03 여러 가지 그래프 (6)

정의 8.12

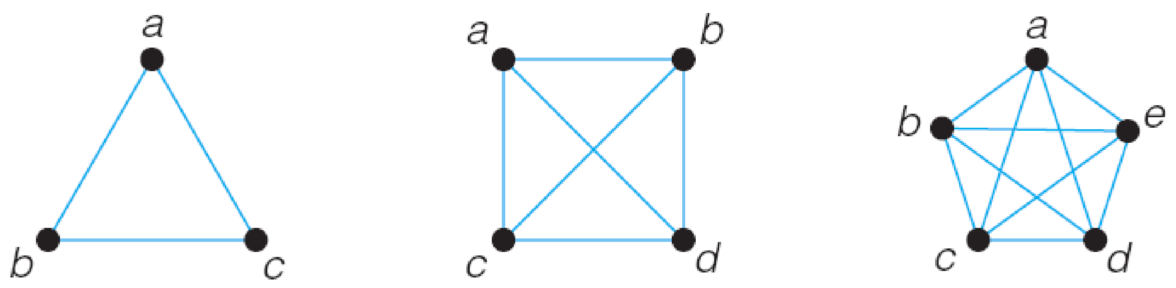
그래프 G에서 모든 정점들 간에 서로 에지가 존재하면 G를 완전그래프(complete graph)라고 하고, n개의 정점을 가진 완전그래프를 K_n으로 나타낸다.



Section 03 여러 가지 그래프 (7)

정의 8.13

그래프 G의 모든 정점들이 같은 차수라면 G를 정규그래프(regular graph)라고 하고, 이때 차수가 k 값을 가지면 k-정규그래프라고 한다.



2–정규그래프　　3–정규그래프　　4–정규그래프

Section 03 여러 가지 그래프 (8)

정의 8.14

그래프 $G=(V, E)$에서 정점의 집합 V가 $V=V_1 \cup V_2$면서 $V_1 \cap V_2=\varnothing$을 만족하는 두 집합 V_1과 V_2로 분리되고, 그래프의 모든 에지가 V_1의 한 정점에서 V_2의 한 정점으로 연결되면 G를 이분그래프(bipartite graph)라고 한다.

Section 03 여러 가지 그래프 (9)

정의 8.15

그래프 $G=(V, E)$의 정점들의 집합 V를 다음의 성질을 만족하는 두 부분집합으로 나누자.

(1) $V=V_1 \cup V_2$

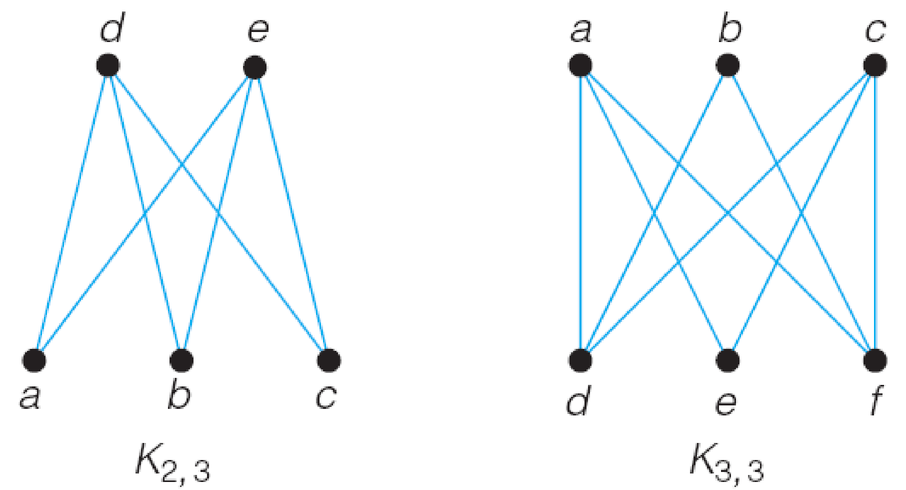
(2) $V_1 \cap V_2=\varnothing$

(3) $|V_1|=m$, $|V_2|=n$

이때 V_1의 한 정점과 V_2의 한 정점 사이에는 에지가 존재하지만 V_1의 정점들 사이와 V_2의 정점들 사이에는 에지가 존재하지 않는다면 이 그래프 G를 완전이분그래프(complete bipartite graph)라고 하고, $K_{m,n}$으로 나타낸다.

Section 03 여러 가지 그래프 (10)

- 완전이분그래프



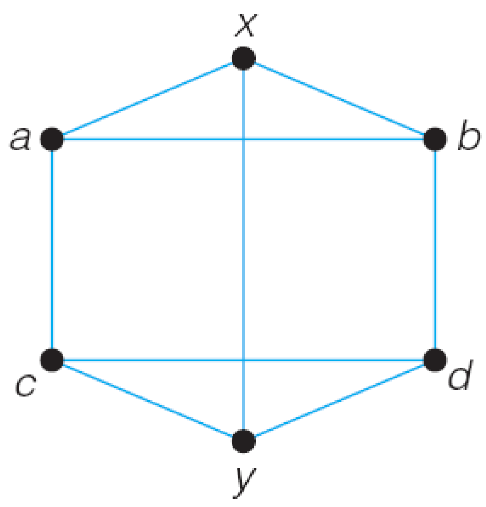
정의 8.16

그래프 $G_1=(V_1, E_1)$과 $G_2=(V_2, E_2)$가 있을 때 V_1에서 V_2로의 전단사함수 f가 존재하여 임의의 정점 $a, b \in V_1$에 대해 $(a, b) \in E_1$일 필요충분조건 $(f(a), f(b)) \in E_2$를 만족한다면 두 그래프 G_1과 G_2를 동형그래프(isomorphic graph)라고 한다.

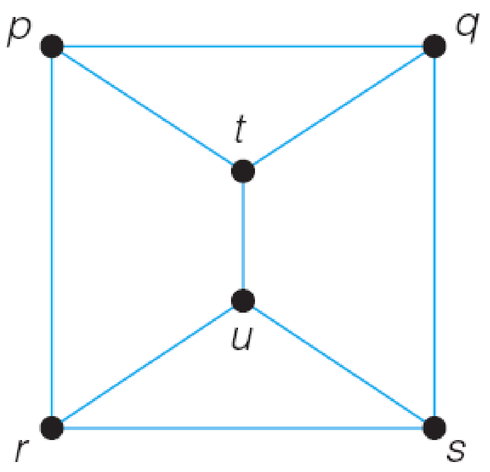
Section 03 여러 가지 그래프 (11)

예제 8.30

다음 두 그래프 G와 H가 동형그래프임을 보여라.



$G=(V, E)$



$H=(W, F)$

Section 03 여러 가지 그래프 (12)

풀이

쉽게 판별되지 않는 동형그래프의 경우에는 각 정점들을 차수별로 정리한 뒤 차수가 같은 값들 사이를 에지를 고려하여 대응시키면서 다음과 같은 함수 f를 정의한다.

$$f(a)=p,\ f(b)=q,\ f(c)=r,\ f(d)=s,\ f(x)=t,\ f(y)=u$$

이때 함수 f는 전단사함수므로 E에 속하는 임의의 에지를 선택했을 때 그 에지에 대응되는 에지의 쌍이 F에 존재한다. 예를 들면 $(a, b)\in E$면 $(f(a), f(b))=(p, q)\in F$고, 그 역도 성립한다. 따라서 두 그래프 G와 H는 서로 동형인 그래프다.

Section 04 그래프의 표현 (1)

- 인접행렬(adjacency matrices)

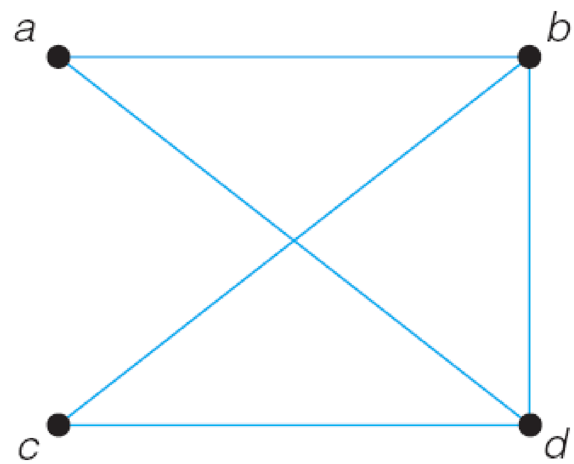
$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & (v_i, v_j) \in E \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

- 인접리스트(adjacency lists)
  - 인접행렬의 *n*행들의 값을 *n*개의 연결리스트로 표현

Section 04 그래프의 표현 (2)

예제 8.32

다음 그래프를 인접행렬로 나타내어라.



풀이

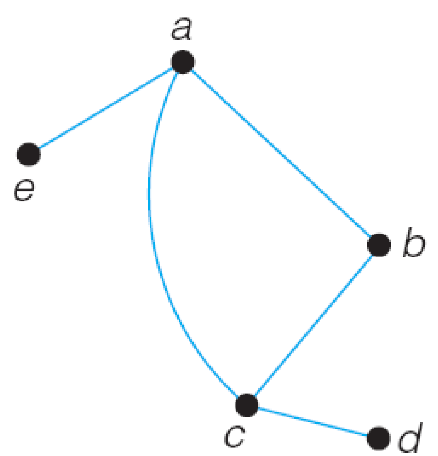
그래프의 에지들을 나열하면 다음과 같다.

$$(a, b),\ (a, d),\ (b, c),\ (b, d),\ (c, d)$$

$$\begin{array}{c c} & \begin{array}{cccc} a & b & c & d \end{array} \\ \begin{array}{c} a \\ b \\ c \\ d \end{array} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

예제 8.36

다음 그래프를 인접리스트로 나타내어라.



풀이

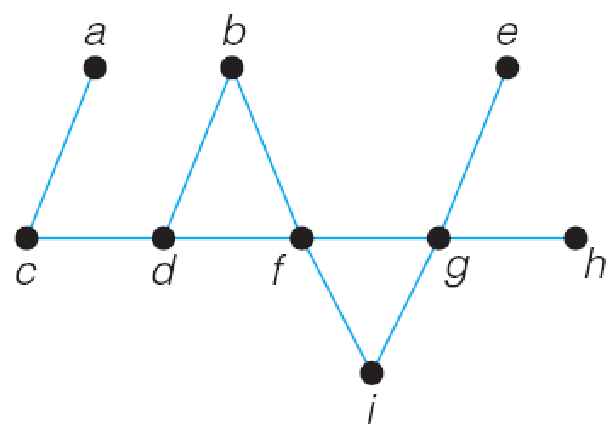
a	→	b →	c →	e null
b	→	a →	c null	
c	→	a →	b →	d null
d	→	c null		
e	→	a null		

Section 05 그래프 탐색 (1)

- 깊이우선탐색(DFS, Depth First Search)

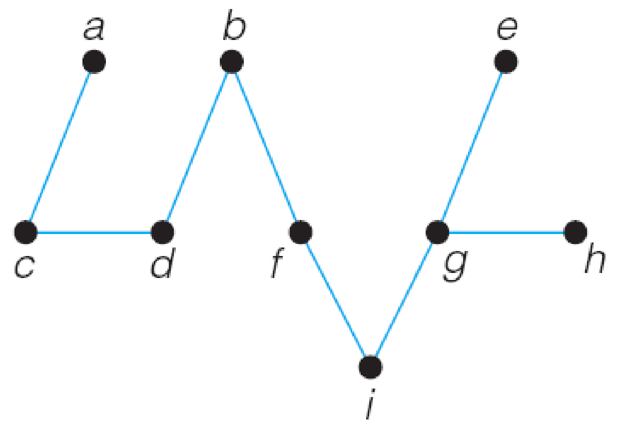
예제 8.38

다음 그래프 $G=(V, E)$에서 f를 기준으로 깊이우선탐색을 수행한 결과를 그림으로 나타내어라.



Section 05 그래프 탐색 (2)

풀이 f를 기준으로 깊이우선탐색하면 f, i, g, h, e를 탐색하고 다시 f를 기준으로 b, d, c, a를 탐색하게 된다. 그림으로 나타내면 다음과 같다.

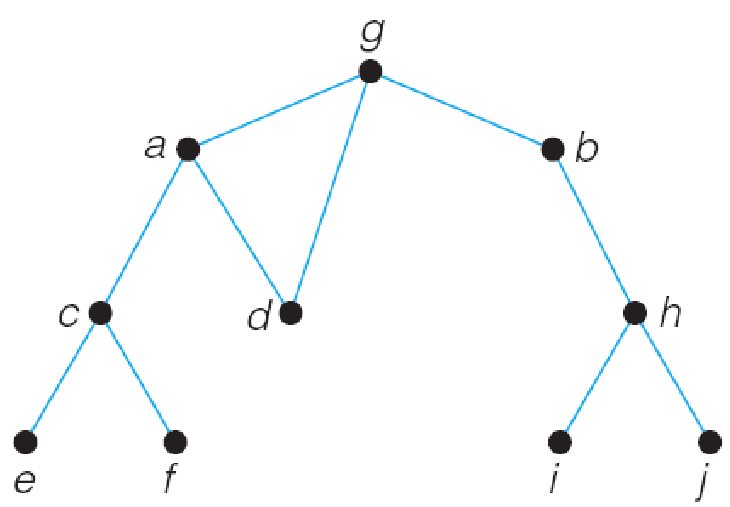


Section 05 그래프 탐색 (3)

- 너비우선탐색(BFS, Breadth First Search)

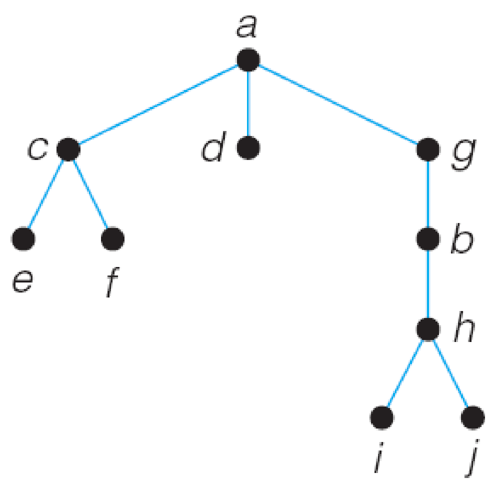
예제 8.40

다음 그래프 $G=(V, E)$에서 a를 기준으로 너비우선탐색을 수행한 결과를 그림으로 나타내어라.



Section 05 그래프 탐색 (4)

풀이 먼저 정점 a를 기준으로 에지로 연결된 c, d, g를 탐색한다. 정점 a의 인접 정점에는 더 이상 탐색할 정점이 없으므로 정점 c를 기준으로 e, f를 탐색하고, 정점 g를 기준으로 b를 탐색한다. 같은 단계에서 탐색할 정점이 없으므로 정점 b를 기준으로 h를 탐색하고 마지막으로 정점 h를 기준으로 정점 i, j를 탐색하게 된다. 그림으로 나타내면 다음과 같다.



The End

INFINITYBOOKS
인피니티북스

함채원 • 홍영진