

9. 프로젝트 : PERT/CPM 기법

1. PERT/CPM 기법

2. 간트도에 의한 프로젝트의 일정계획

3. 프로젝트 재 계획 및 조정

4. 프로젝트의 통제

1. PERT/CPM 기법

- **PERT(program evaluation and review technique)**

- PERT는 1958년 미국 해군에서 Polaris missile 프로젝트의 일정계획 및 통제를 위한 관리기법으로 개발

- **CPM(critical path method)**

- CPM은 1957년 미국 Remington-Rand사의 J. E. Kelly와 Du Pont사의 M. R. Walker에 의해 개발

- **PERT와 CPM의 역사적 차이**

- PERT는 각 활동시간을 세 가지로 추정하여 평균시간을 계산하는 일종의 확률적 모형인데 비해 CPM은 각 활동시간을 확정적으로 추정
- PERT는 프로젝트의 시간적 측면만 고려하였으나 CPM은 시간과 비용 둘 다 고려

PERT/CPM의 전개단계

- 제1단계 : 프로젝트에서 수행되어야 할 모든 활동 파악
- 제2단계 : 활동간의 선행관계를 결정하고 각 활동 및 활동간의 선행관계를 네트워크로 표시
- 제3단계 : 각 활동에 소요되는 시간의 추정
- 제4단계 : 프로젝트의 최단완료시간과 주공정 발견

프로젝트 활동분석

▪ 활동목록(activity list) 작성

- **활동(activity)**: 프로젝트 완료에 시간과 자원을 필요로 하는 세부작업. 다음과 같이 활동 상호관계의 규명.

- ① **선행활동(先行活動)**과 **후속활동(後續活動)**: 관리적·기술적 제약조건에 따른 활동 간의 선·후관계를 명확히 파악, 일의 순서 결정.

- ② **직렬활동(直列活動)**과 **병행활동(並行活動)**: 직렬활동은 선·후관계가 명확히 구분되는 활동; 병행활동은 업무수행 담당 부서가 서로 다르고 직접적인 관련이 없어 동시에 처리가 가능한 활동.

- 한 활동이라도 빠뜨리게 되면, 자원배정, 예산 및 일정계획이 모두 틀려지게 되므로, 이 단계는 매우 중요.

- 파악된 활동과 단계는 여러 번의 검토를 거쳐 수정되는 것이 일반적이며, 목표달성을 위해 활동을 더 세분화하여 활동과 단계가 빠짐 없도록 하여야 함. 따라서, 프로젝트 관리자는 조직의 각 분야에 프로젝트 관련자와 충분한 교류가 있어야 한다.

- 활동을 파악하는데 작업분해도(work breakdown structure: WBS)가 아주 유용한 도구.

■ 작업분해도

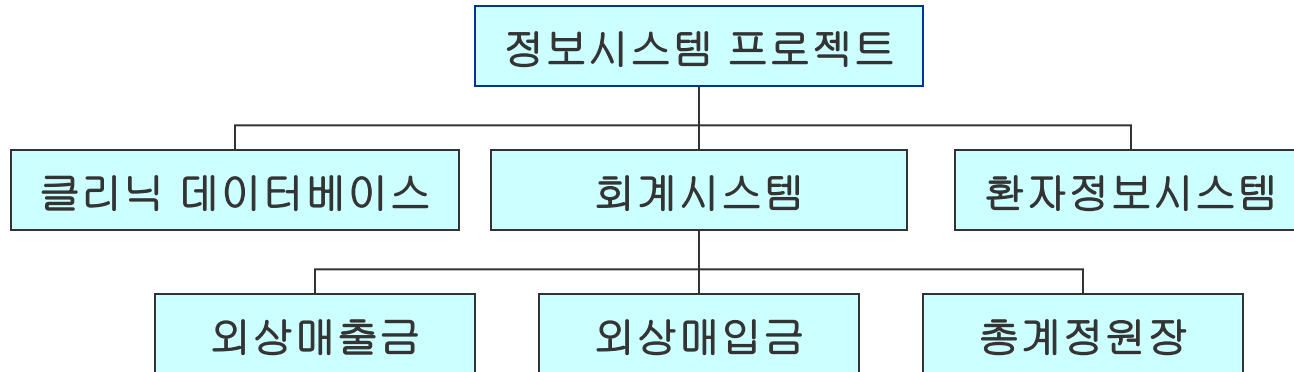
•작업분해도(work breakdown structure: WBS)란 프로젝트를 커다란 임무 구성 요소들로부터 단계적으로 점점 더 작은 과업 요소들로 분해하여 나가는 과정의 구조를 나타내주는 것

① **제품중심 작업분해도(product-focused WBS):** 피라미드(pyramid)의 맨 위에 프로젝트를 놓고, 그 밑에는 명확히 정의된 프로젝트의 주요 구성 요소들을 놓는다. 이러한 분해는 가장 구체적이고 측정 가능한 프로젝트의 기본요소에 이를 때까지 반복한다. 단순히 활동목록을 작성하는 것보다 위에서부터 아래로 프로젝트를 분석해 가는 것이 프로젝트 구성요소를 빠뜨릴 가능성도 적고, 구성 요소들간의 관계도 쉽게 파악할 수 있다. 따라서, 가장 유용한 작업분해의 형태로 본다.

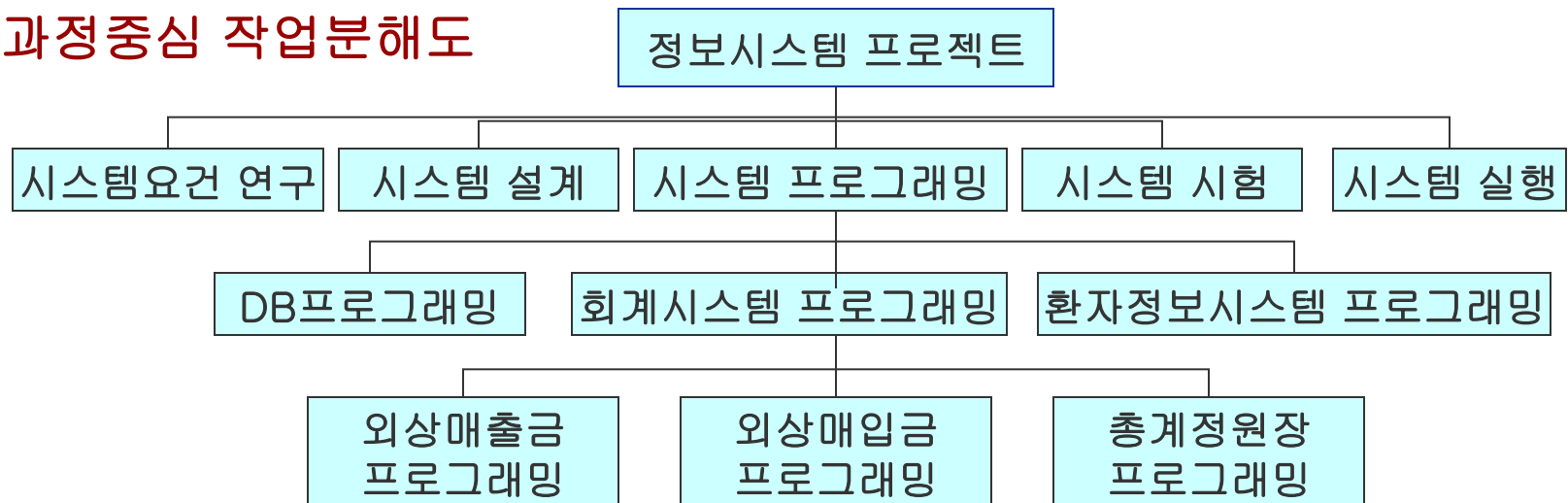
② **과정중심 작업분해도(process-focused WBS):** 프로젝트를 일련의 주요 진행 과정들(예, 시스템 요구사항에 대한 연구, 시스템 설계, 프로그래밍, 시험 및 실행 등)로 분해하는 것. 이 방법에 따르면, 일련의 과정으로 파악하기 때문에 모든 부문상의 활동들이 동시에 파악될 가능성이 적고, 어떤 활동이 누락되었는지를 파악하기 어렵다.

작업분해도 예

제품중심 작업분해도



과정중심 작업분해도



네트워크의 작성

❖ 네트워크의 구성요소

- 네트워크 일람도는 화살표(→)로 연결된 원(○)들로 구성.
 - 화살표를 호(arc)라 하고, 원을 마디(node)라고 함.
 - * 어느 것을 활동으로 보느냐에 따라, 마디상 활동 네트워크와 화살표상 활동 네트워크로 구분됨.
- **화살표상 활동(activity-on-arrow)(AOA) 네트워크 일람도**: 단계(○)를 연결하는 화살표 (→) 로 각 활동을 나타냄.
- **마디상 활동(activity-on-node)(AON) 네트워크 일람도**: 각 활동이 원(○)으로 표시. 원 안에 활동이 표시됨. 마디 사이를 연결하는 화살표 (→) 는 활동이 수행되어야 할 순서.

① **단계(event)**: 활동 간의 구분 점, 선행활동의 완료 점이면서 동시에 후속활동의 시작점. 마디(node)라고 하는 원(O)으로 구성. 단계에는 단계번호가 부여됨.

② **활동(activity)**: 프로젝트 완료를 위해 시간과 자원을 소요하는 작업요소. 호(arc) 또는 가지(branch)라 불리는 화살표(→)로 나타냄.

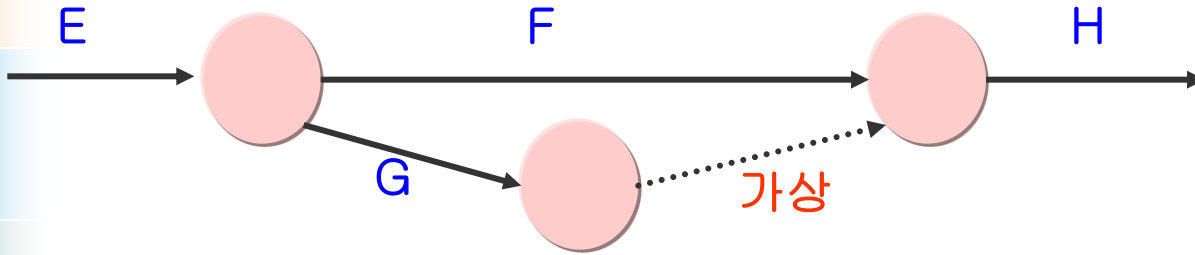
③ **가상활동(dummy activity) 또는 명목활동**:

- 가상활동이란 실제활동이 아니라 단지 네트워크상에서 활동 간의 선행관계만을 나타내기 위해 인위적으로 도입되는 활동
- 가상활동은 네트워크상에서 점선의 화살표(...▶)로 표시되며 활동시간은 0

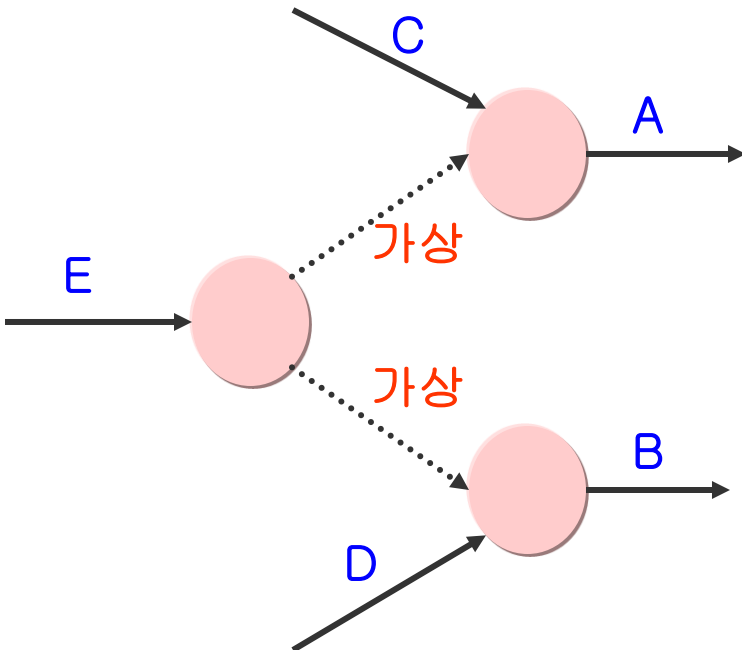
■ **가상활동이 도입되는 경우**

- 두 개 이상의 활동들이 동일한 선행활동과 후속활동을 갖는 경우
- 두 개 이상의 활동들이 부분적으로 선행활동이나 후속활동을 공유하는 경우

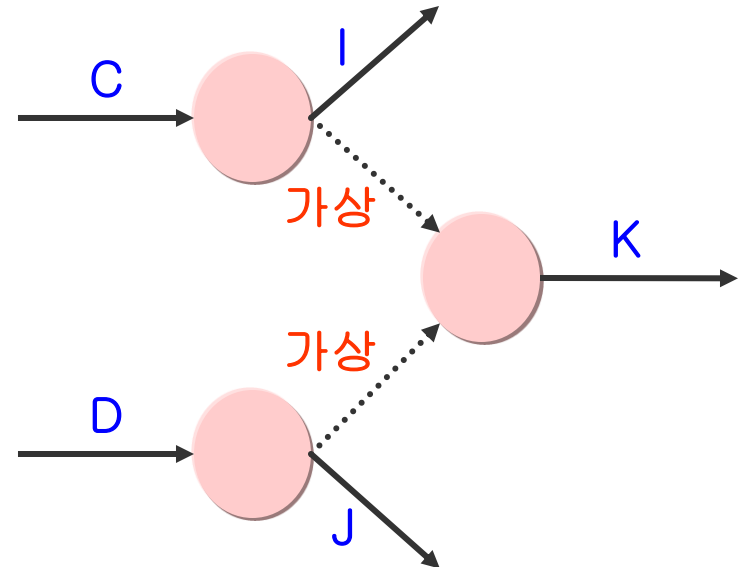
(a) 활동 F와 G가 동일한 선행활동 E와 동일한 후속활동 H를 갖는 경우



(b) 활동 A와 B가 공통의 선행활동 E와 서로 다른 선행활동 C와 D를 갖는 경우



(c) 활동 C와 D가 공통의 후속활동 K와 서로 다른 후속활동 I와 J를 갖는 경우



네트워크의 구성원칙

- ① 단계원칙: 최초 시작단계와 최종 완료단계를 제외한 모든 단계는 반드시 선행활동과 후속활동을 갖는다. 어느 중간단계에서 선행활동은 있으나 후속활동이 없는 경우란 있을 수 없다. 이때는 가상 활동 선으로 논리적 순서를 고려하여, 어느 단계로 인가 연결되어야 한다.
- ② 활동원칙: 모든 활동은 논리적인 순서로 전개되며, 모든 선행 활동들이 완료되지 않으면 그 후속활동은 착수할 수 없다.
- ③ 연결원칙: 활동과 활동, 단계와 단계를 연결하는 원칙.
 - ㉠ 화살표의 길이와 활동소요시간과는 무관함.
 - ㉡ 화살표의 방향이 순환형태가 되어 앞 단계로 되돌아갈 수 없음.
오직 완성방향으로의 일방적인 수행만이 허용.
 - ㉢ 한 쌍의 단계는 오직 하나의 활동선 만을 가짐.
 - ㉣ 활동의 선후관계나 종속관계만을 나타낼 경우는 가상활동선 이용.
 - ㉤ 활동의 상호관계는 화살표의 위치에 의해서 표시됨.

활동소요시간 추정

- 프로젝트의 특징은 비반복적이고 일회적이며, 활동소요시간을 정확히 예측한다는 것은 어려우므로 확률치로 접근하는 것이 보다 타당.
- PERT에서는 활동소요시간을 세 가지로 추정.
 - ① 낙관 시간치(optimistic estimate time: a): 모든 상황이 순조롭게 진행될 때의 최단소요시간.
 - ② 정상 시간치(most likely estimate time: m): 정상적인 조건에서 보편적으로 소요되는 활동시간.
 - ③ 비관 시간치(pessimistic estimate time: b): 가장 불리한 상황이 전개될 때의 최장소요시간.

활동소요시간 추정

- 각 활동시간의 3점 추정

- 낙관적 시간(a)
- 정상 시간(m)
- 비관적 시간(b)

- 활동시간의 평균과 분산

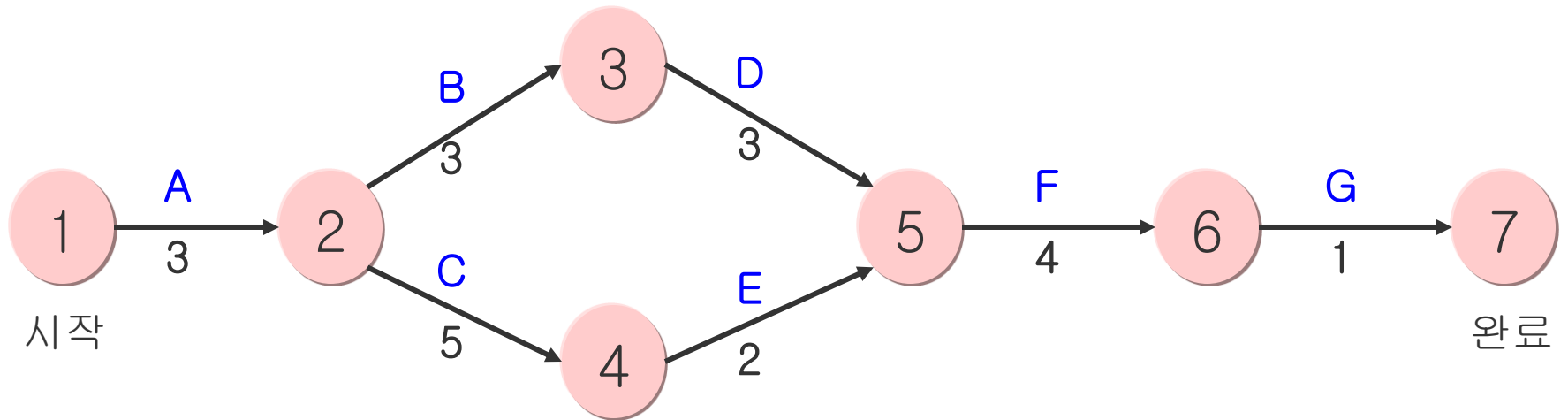
- 활동시간은 베타분포를 하는 것으로 가정

- 활동시간의 평균 : $t = \frac{a+4m+b}{6}$

- 활동시간의 분산 : $\sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2$

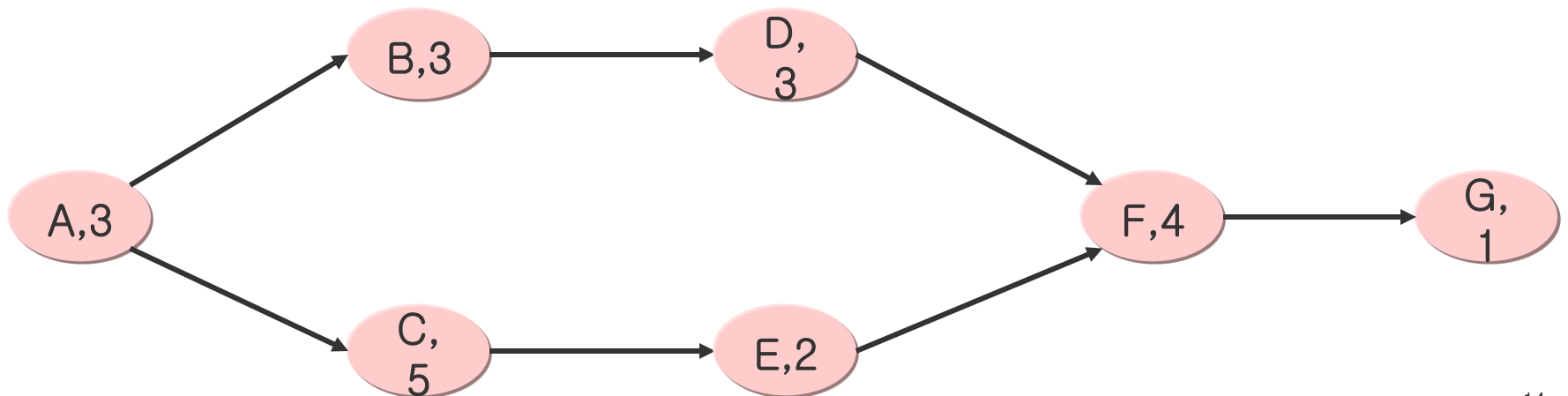
신제품 시 생산 프로젝트의 AOA 네트워크

활동	내용	활동시간(일)	직전 선행활동
A	제품 설계	3	-
B	중간 조립품 X 제작	3	A
C	중간 조립품 Y 제작	5	A
D	중간 조립품 X 시험	3	B
E	중간 조립품 Y 시험	2	C
F	최종조립	4	D, E
G	시험작동	1	F



신제품 시 생산 프로젝트의 AON 네트워크

활동	내용	활동시간(일)	직전 선행활동
A	제품 설계	3	-
B	중간 조립품 X 제작	3	A
C	중간 조립품 Y 제작	5	A
D	중간 조립품 X 시험	3	B
E	중간 조립품 Y 시험	2	C
F	최종조립	4	D, E
G	시험작동	1	F

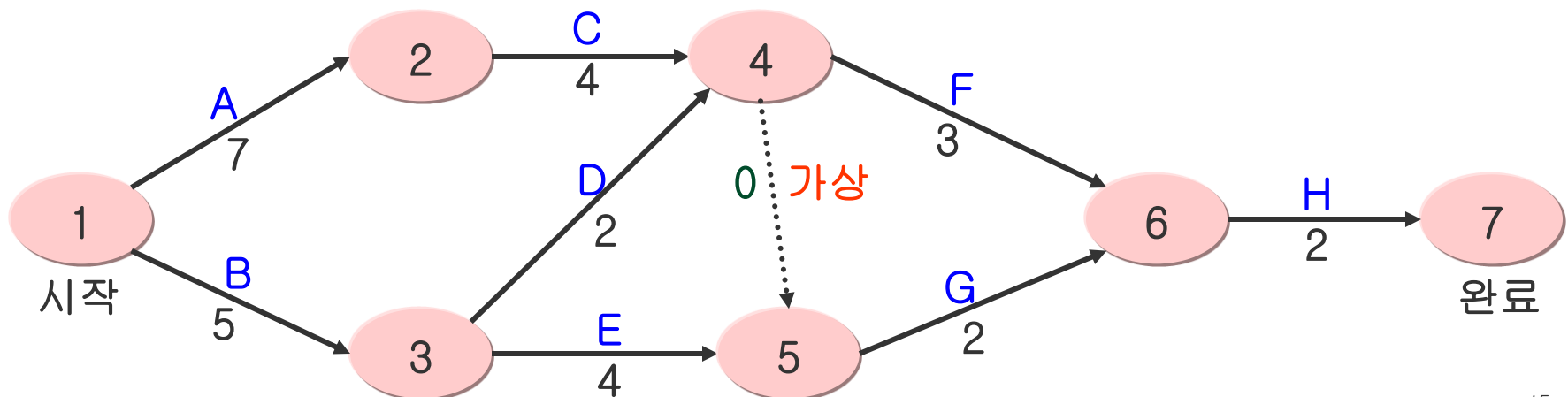


최단완료시간과 주공정의 결정

예 제: 프로젝트 X의 활동표

활동	직전 선행활동	활동시간(일)
A	-	7
B	-	5
C	A	4
D	B	2
E	B	4
F	C, D	3
G	C, D, E	2
H	F, G	2

- 프로젝트 X의 PERT/CPM 네트워크



활동에 대한 전진, 후진계산법

- 기호의 정의

$t(a)$ = 활동 a의 활동시간

ES (earliest start time)(a) = 활동 a의 가장 빠른 시작시간

EF (earliest finish time)(a) = 활동 a의 가장 빠른 완료시간

LS (latest start time)(a) = 전체 프로젝트의 완료시간을 지연

시키지 않는 범위 내에서 활동 a의 가장 늦은 시작시간

LF (latest finish time)(a) = 전체 프로젝트의 완료시간을 지연

시키지 않는 범위 내에서 활동 a의 가장 늦은 완료시간

- 빠른 시간 [ES , EF]의 산정

$$ES(a) = \begin{cases} 0 & : \text{만약 활동 } a \text{가 시작활동이면,} \\ & \text{즉 직전선행활동이 없으면,} \\ \max[EF(\text{활동 } a \text{의 모든 직전 선행활동})] & : \\ & \text{만약 활동 } a \text{가 직전 선행활동을 가지면} \end{cases}$$

$$EF(a) = ES(a) + t(a)$$

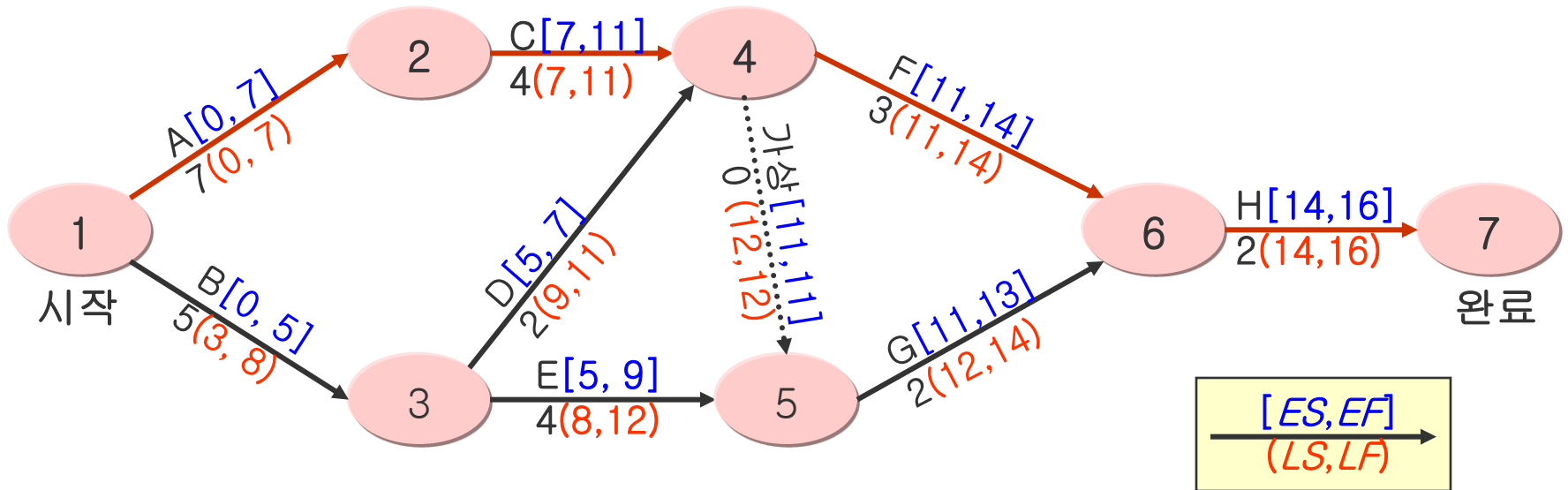
늦은 시간(LS, LF)의 산정

- 프로젝트의 최단완료시간 : 만약 활동 a 가

$$LF(a) = \begin{cases} \text{최종 활동이면, 즉 후속활동이 없으면,} \\ \min[LS(\text{활동 } a \text{의 모든 직후 후속활동})] : \\ \text{만약 활동 } a \text{가 직후 후속활동을 가지면} \end{cases}$$

$$LS(a) = LF(a) - t(a)$$

- 각 활동에 대한 ES, EF, LS, LF 의 계산



■ 활동여유시간의 산정과 주공정의 발견

- 총 여유시간(total slack)이란 전체 프로젝트를 지연시키지 않으면서 각 활동이 지체될 수 있는 시간을 의미 ; 따라서 총 여유시간이 0인 활동들이 주공정 활동임.

$$S(a) = LS(a) - ES(a) = LF(a) - EF(a)$$

- 자유 여유시간(free slack)이란 바로 다음 활동들의 가장 빠른 시작 시간을 지연시키지 않으면서 각 활동이 지체될 수 있는 시간을 의미

$$FS(a) = \min[ES(\text{활동 } a \text{의 모든 직후 후속활동})] - EF(a)$$

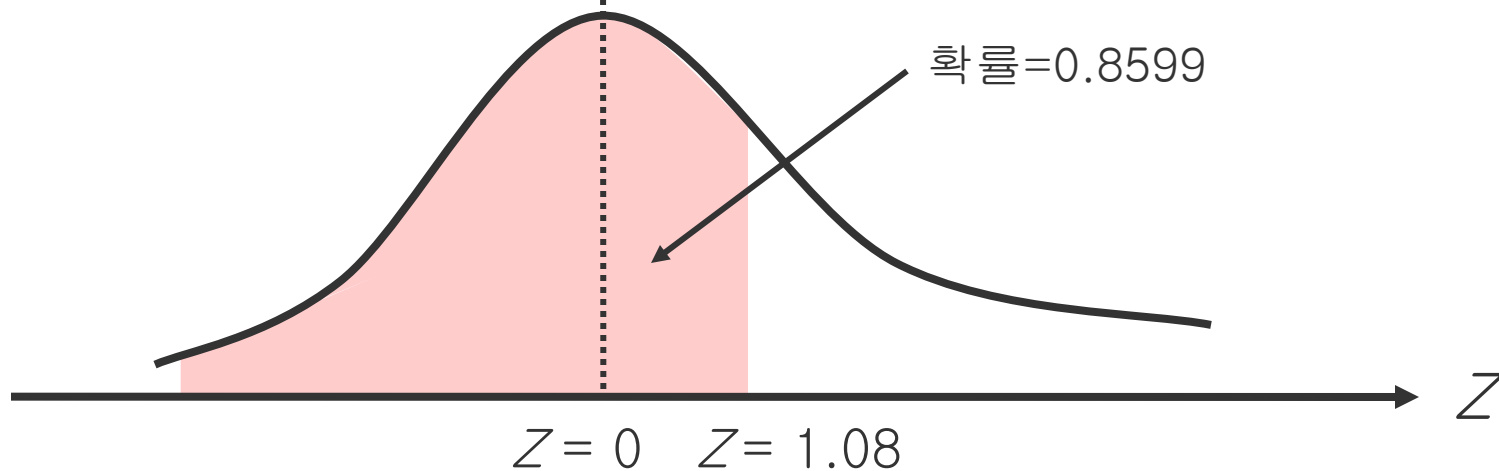
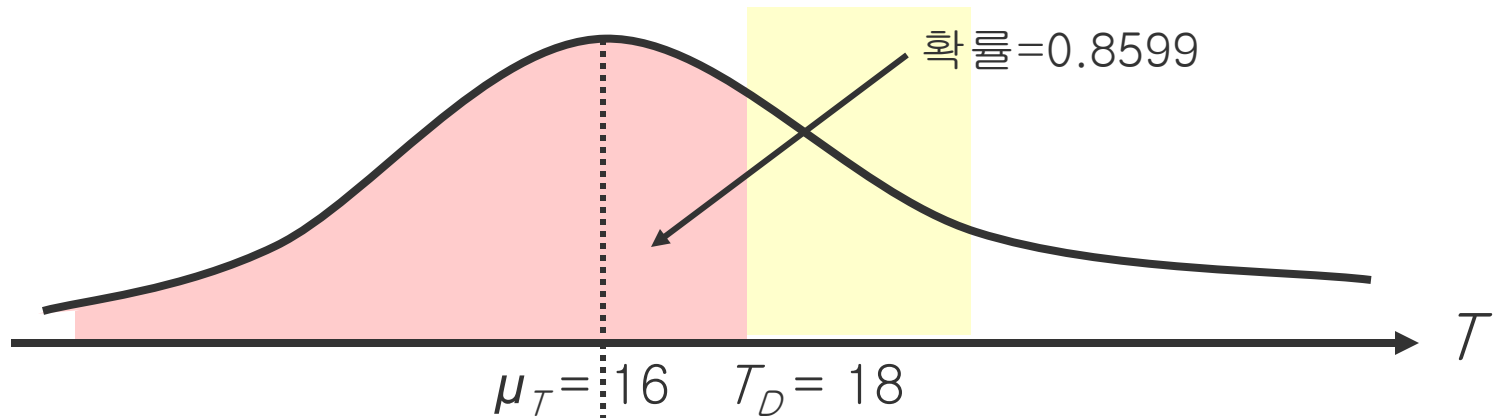
프로젝트의 완료시간 T 의 분포

- 프로젝트의 평균완료시간(μ_T)=주 공정활동(평균 활동시간 기준)의 평균시간의 합
- 프로젝트 완료시간의 분산(σ_T^2)=주 공정활동의 분산의 합
- $T \sim$ 정규분포(평균= μ_T , 분산= σ_T^2)
- 프로젝트가 T_D 기간 내에 완료될 확률

$$\begin{aligned} P(T \leq T_D) &= P\left(\frac{T - \mu_T}{\sqrt{\sigma_T^2}} \leq \frac{T_D - \mu_T}{\sqrt{\sigma_T^2}}\right) \\ &= P\left(Z \leq \frac{T_D - \mu_T}{\sqrt{\sigma_T^2}}\right) \end{aligned}$$

프로젝트 X가 18일 내에 끝날 확률

$$\begin{aligned} P(T \leq 18) &= P\left(\frac{T-16}{\sqrt{3.44}} \leq \frac{18-16}{\sqrt{3.44}}\right) \\ &= P(Z \leq 1.08) = 0.8599 \text{ (표준정규 분포표 참조)} \end{aligned}$$

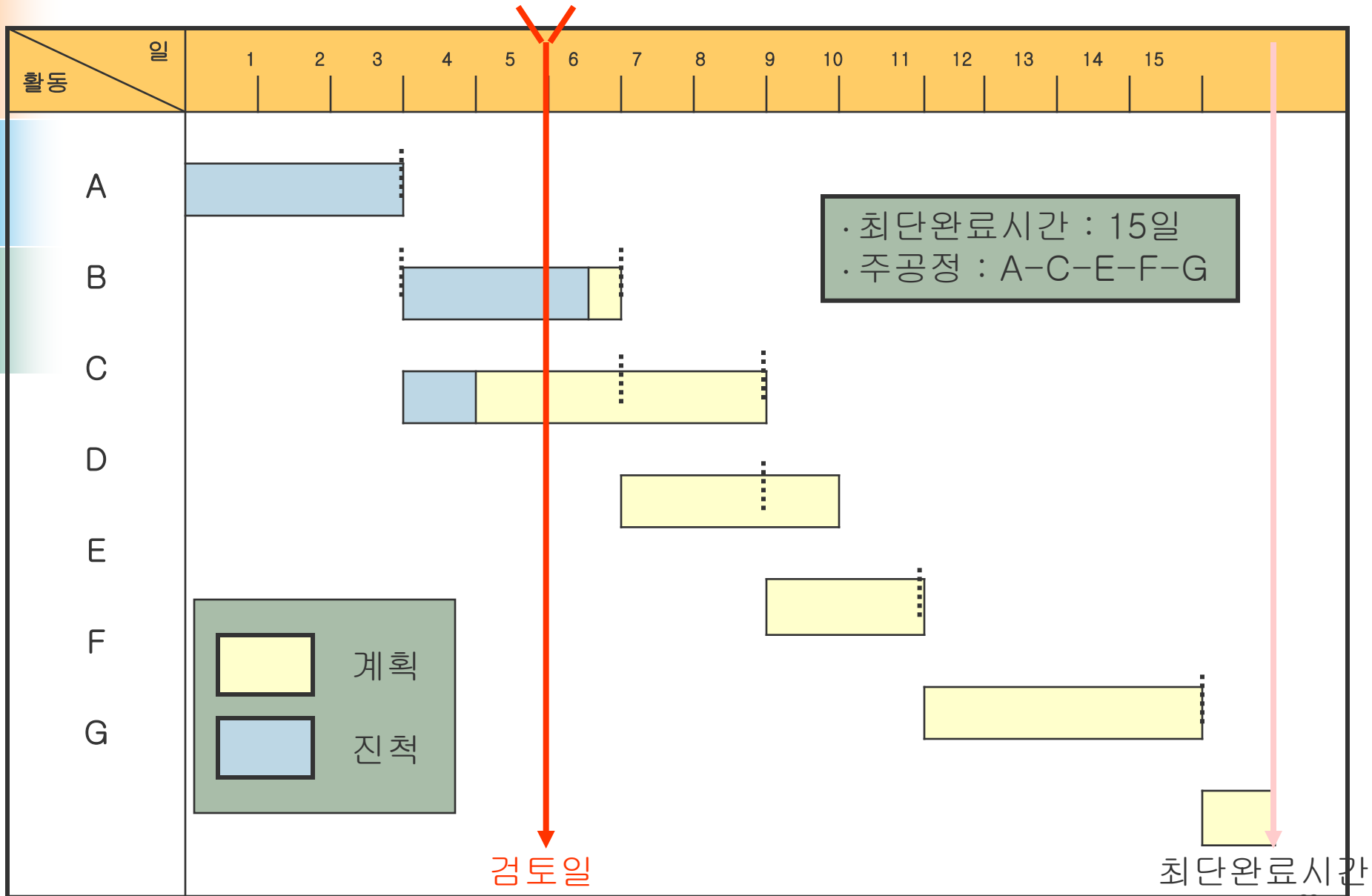


2. 간트도에 의한 프로젝트의 일정계획

- 신제품 시생산 프로젝트의 활동표

활동	내용	활동시간(일)	직전 선행활동
A	제품 설계	3	-
B	중간 조립품 X 제작	3	A
C	중간 조립품 Y 제작	5	A
D	중간 조립품 X 시험	3	B
E	중간 조립품 Y 시험	2	C
F	최종조립	4	D, E
G	시험작동	1	F

신제품 시 생산 프로젝트의 간트도



3. 프로젝트 재계획 및 조정

❖ 자원의 재할당:

- 유사한 자원이 여러 공정에서 사용될 때, 여유 공정으로부터 주공정으로 자원을 재 배정하거나 교체,
- 전체 프로젝트의 완료시간을 단축.

❖ 활동의 재배열:

- 직렬활동을 병렬활동으로 바꾸어줌으로써 프로젝트의 완료소요시간을 단축.
- 동시공학(concurrent engineering)도 이와 같은 개념.

❖ 시간-비용 상환관계와 MCX:

프로젝트의 활동들에 보다 많은 자원을 배정한다면 시간단축이 가; 비용-효과를 비교.

- 프로젝트의 직접비용(direct costs): 초과근무시간, 작업자 증원, 직무변경 등 작업자와 관련된 비용과 설비의 추가설치, 효율적인 설비구입, 추가지원 시설의 유치 등 자원과 관련된 비용.

- 추가적인 자원을 할당하면 프로젝트의 직접비용은 증가하나, 기간단축에 따라 간접비용(예, 경영자의 지원 및 기타 간접비)은 감소.

- 프로젝트가 예정일을 경과하게 되면 벌과금(penalty costs)이 부여되고, 예정일보다 빨리 완료하면 보너스가 지급될 수도 있다.

- 프로젝트 간접비용 절감과 벌과금 회피 및 조기완료에 따른 보너스 등을 합한 것이 직접비용의 증가를 상쇄하고도 남는다면 일정단축을 추진하는 것이 경제적.

MCX(Minimum Cost eXpediting)

- 전체 프로젝트의 비용을 절감하기 위해서 선정된 활동들의 일정을 단축.

$$\text{(단위시간당 증분비용)} = \frac{(\text{속성비용}) - (\text{정상비용})}{(\text{정산시간}) - (\text{속성시간})} ; K = \frac{\Delta C (CC - NC)}{\Delta T (NT - CT)}$$

- * 정상시간(normal time): 정상속도로 추진할 경우의 소요시간
- 속성시간(crash time): 비용추가로 가장 신속 처리할 경우의 소요시간
- 정상비용(normal cost): 정상속도로 추진할 경우의 총소요비용
- 속성비용(crash cost): 속성 처리할 경우의 총소요비용

- 비용 효과적인 일정단축은 주공정선상의 활동들 중 단위당 증분 비용(K)이 가장 작은 활동부터 단축시켜 나간다. 주공정을 단축시켜 나가면, 여유공정이 주공정으로 바뀔 수 있다는 점에 주의.
그리고 비용-효과분석을 하여, 증분 비용과 그에 따른 효과보다 클 경우에는 더 이상 단축시킬 필요가 없다.
이상적으로는 모든 공정이 주공정이 될 때까지 단축.

시간-비용의 관계

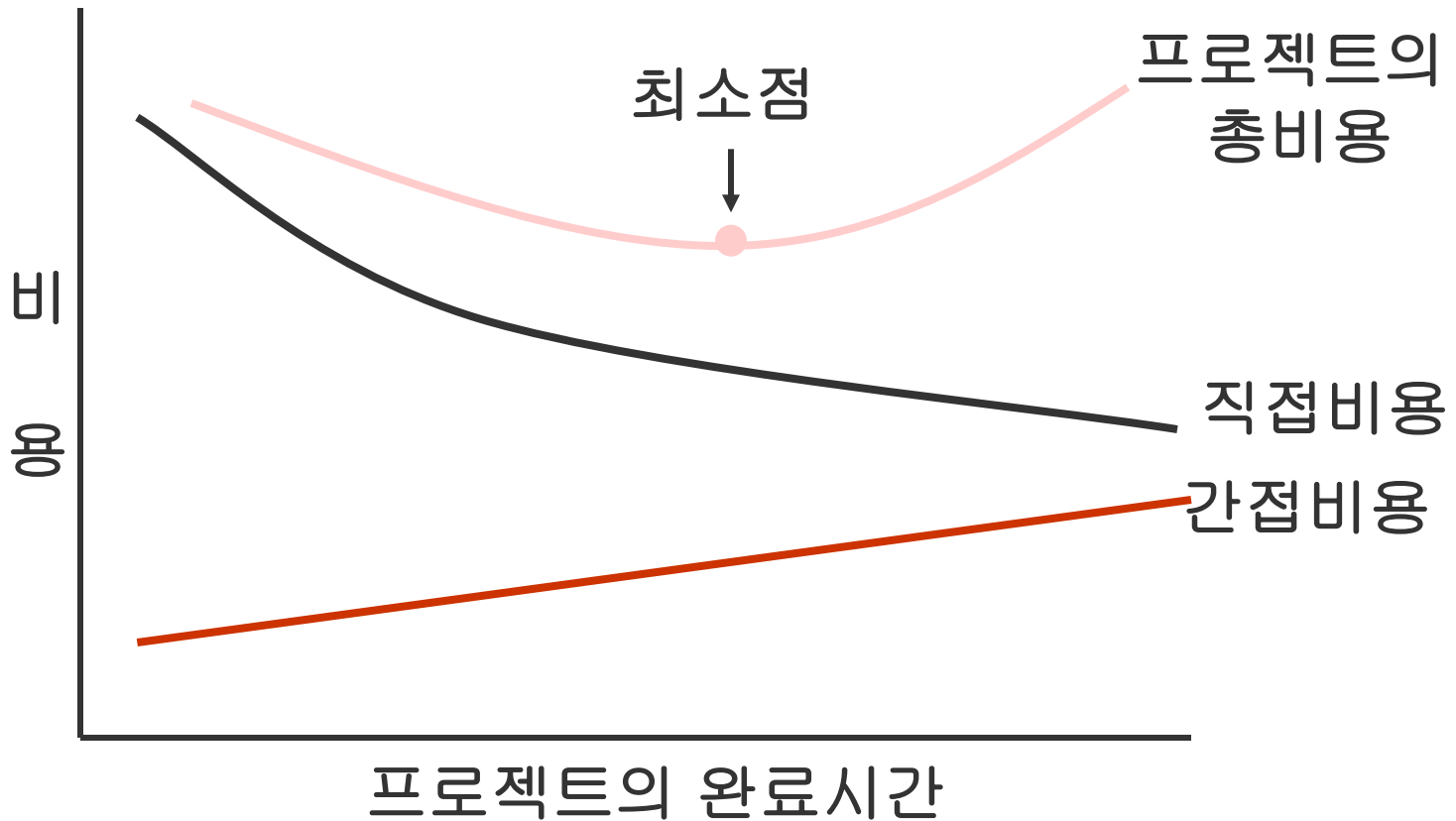
■ 프로젝트의 최소비용 일정계획

- 프로젝트가 최소의 비용으로 완료될 수 있도록 일정계획 수립

■ 프로젝트비용

- 프로젝트비용 = 직접비용 + 간접비용
- 프로젝트의 직접비용이란 각 활동의 완료에 소요되는 비용 (즉, 활동비용)을 말하며, 프로젝트의 완료시간을 단축하려면 직접비용은 증가.
- 프로젝트의 간접비용이란 프로젝트의 완료시간이 길어짐에 따라 증가하는 비용을 말함(예 : 이자, 설비사용료, 보험료와 같은 간접경비)

프로젝트의 비용과 완료 시간간의 관계



4. 프로젝트의 통제

- 프로젝트는 하나의 목표아래 주어진 사업을 완성하기 위하여 일정한 순서에 의해서 수행되는 활동이다. 세부활동에 따른 시간과 그 외 자원의 변동이 올 수 있고, 그 변동은 다음 작업까지 영향을 미치기 때문에 프로젝트 전체 목표달성을 위해서는 변동에 대한 통제가 필수적이다.
- 따라서 프로젝트 관리자는 프로젝트의 수행과정을 항상 주의하고 이상이 발생할 경우 적절한 조치를 통해 프로젝트 목표에 근접할 수 있게 한다.
- 작업상황 정기보고서를 작성함으로써 프로그램 관리자는 프로젝트 수행에서 문제점을 발견하고 조치를 취할 수 있다.

확률론적 검토의 의미

- 프로젝트의 성공확률이 중간 정도일 때 프로젝트 완수에 도전하려는 경향이 가장 높다고 할 수 있다.
이를 IBM의 경험적 기준과 비교하면, 다음과 같음.

고← 노력수준 →저	확률	의미
	1.00	여유가 너무 많아 비경제적이므로, 여유를 줄이는 방향으로 계획을 수정.
	0.65	합리적으로, 계획 추진.
	0.40	지연되면 심각한 결과를 낼 경우 계획 수정, 그렇지 않으면 계획대로 추진.
	0.30	성공확률이 너무 낮으므로, 성공확률을 높일 수 있도록 근본적으로 재계획 수립
	0.00	