



# 산업공학 개론

## 제 11 장 프로젝트 관리



# 프로젝트

- **프로젝트의 정의**
  - 명백한 시작과 종료를 가지는 일련의 활동
  - 주된 결과를 얻기 위한 방향으로 향하는 관련 작업들의 연쇄
    - 활동들은 특정한 순서에 따라 실시간에 행해진다.
    - 짧은 생산 주기와 급변하는 상황에서 점차 중요성이 커지고 있음
      - 점차로 프로젝트 규모는 비대해지고 경쟁도 심화되고 또한 비용 초과는 심각한 문제로 대두되고 있다.
- **프로젝트 관리**
  - 프로젝트의 기술, 비용 및 시간 제약 등을 만족시키기 위해 자원(사람, 기계, 자재)들을 계획, 지시 및 통제하는 행위
    - 목적 지향적 활동으로 목적의 달성에 초점을 맞춘다.
    - 프로젝트는 매일, 매주 혹은 매월 수행되는 것이 아니라, 단 한 번 수행된다는 점이 다른 계획기능과 다르다.
      - 실제로 많은 프로젝트들이 다른 프로젝트의 초기에 반복되거나 이전되기도 한다.



# 주공정 스케줄링

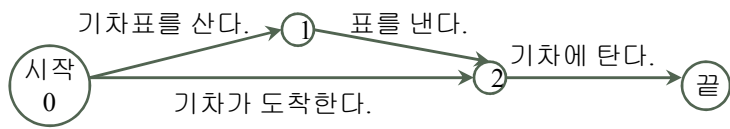
- Project의 계획 및 통제에 사용되는 일련의 그래픽 기법
  - 시간, 비용 및 자원 가용도를 개별적으로 혹은 조합해서 다루기 위해 개발됨
  - PERT(Program Evaluation and Review Technique)
    - 1958년 미 해군의 폴라리스 핵잠수함 프로젝트의 계획과 통제를 위해 개발되었음.
  - CPM(Critical Path Method)
    - 미 듀폰회사에서 화학처리공장의 건설계획을 조직적으로 추진하기 위하여 개발되었음.

- **주공정 스케줄링 기법을 응용하기 위한 프로젝트의 특징**
  - (1) 작업들의 완료가 곧 프로젝트의 완료가 될 수 있도록 각 작업들은 잘 정의되어야 한다.
  - (2) 각 작업들은 독립성을 갖추어서 작업개시, 종료 및 실행 등이 주어진 순서에 의해 독립적으로 이루어져야 한다.
  - (3) 각 작업들은 주어진 순서에 따라야 한다.
- **네트워크의 구성**

### 1) AOA(Activity On Arrow)

- 작업활동을 화살표로 표시하고, 작업활동의 시작과 끝을 사건(Event)이라 하여 교점이나 작은 원으로 표시한다.
  - (a) 이전의 모든 작업활동이 끝나야 다음 작업활동이 시작할 수 있다.
  - (b) 화살표는 공정상의 순서만을 의미한다. 즉 화살길이나 방향각 등은 의미가 없는 것이다.
  - (c) 단계의 번호들은 네트워크 안에서 반복해서 사용할 수 없다.
  - (d) 전체 네트워크에는 1개의 시작점과 1개의 종착점을 가지고 있다.

### 2) AON(Activity On Node)



AOA 네트워크



AON 네트워크

# PERT/CPM

- **작업 네트워크를 구성하여 가장 긴 공정시간을 요하는 경로를 찾는다.**
  - **공정경로:** 시작활동점부터 종료활동점까지 일련의 작업활동
  - **주공정(critical path):** 각 공정경로 중 소요시간이 가장 긴 경로
  - **PERT : 확률적 시간 분포 사용**
    - PERT는 시간 추정에 확률을 사용하는 반면 CPM은 그렇지 않다.
    - PERT:확률적 시간, CPM:확정적 시간
  - **CPM : 비용 중심의 분석**
  - **Gantt Chart로부터 그 근원을 찾을 수 있다.**
    - **Gantt Chart는**
      - 30개 이상의 활동들로 구성된 프로젝트에서는 사용하기가 어렵다.
      - 실제로 중요한 주공정을 보장하는 직접적인 절차를 제공하지 못한다.
      - [그림 8.2] 참조

# PERT/CPM

- Gantt Chart

일활동분야	1개월			2개월			3개월			4개월			가중치 (%)
단계적 Imbedded Markov Chain 모형 개발	■	■	■										20
전문가 설문 조사를 위한 설문 내용 개발 및 기술 영향 자료 수집		■	■	■									20
BASS의 확산 모형에 경쟁 및 보완 관계를 고려한 수요예측 방법의 전이를 도출				■	■	■							20
전문가 설문 조사를 위한 설문 내용 개발 및 전이를 자료 수집					■	■	■						20
Imbedded Markov Chain 모형을 이용한 HSDPA, WiBro 수요 전망							■	■	■	■	■		10
최종보고서 작성										■	■	■	10
분기별 진도(%)	25			25			25			25			100
분기소요예산(천원)	5,000			5,000			5,000			5,000			20,000
분기소요인력(M/M)	4			4			4			4			4

# 1. PERT를 이용한 프로젝트 스케줄링 절차

## [1] 프로젝트 내에 수행되어야 할 활동들을 규정한다.

- 프로젝트를 완성하기 위해 필요한 모든 활동들을 총망라하되 활동들이 같은 규모의 수준으로 표현되어야 한다.
  - 예) “계단에 못을 박는다.” v.s. “기초를 쌓는다.”

## [2] 활동들의 순서를 정하여서 네트워크를 구성한다

- 활동간의 상호 연관성을 가시적인 형태로 제공하여 준다.
- AOA 네트워크의 구성
  - 작업 순서만을 나타내고 실제적인 작업활동이 없을 때는 가상 활동(dummy activity)을 점선의 형태로 나타낸다. P. 245 참조

## [3] 각 활동들의 시간 추정치를 결정한다.

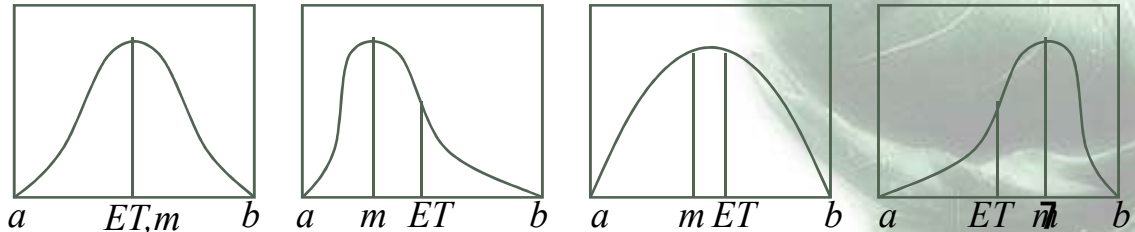
- 실제로 활동을 수행한 사람으로부터 다음의 추정값을 얻는다.
  - a : 최단 소요시간값(optimistic estimate)
  - b : 최장 소요시간값(pessimistic estimate)
  - m : 최우 가능시간값(most likely estimate)

## [4] 각 활동들의 평균소요시간(ET)을 구한다.

- ET의 값은 베타분포(beta distribution)에 근거를 두고 있다.
  - 베타분포는 프로젝트 실행기간 중에 발생하는 다양한 형태를 취할 수 있는 융통성을 가지고 있으며, 시작과 끝점이 정해져 있다.

$$ET = \frac{a + 4m + b}{6}$$

베타분포의 평균 공식



전형적인 베타 곡선들

**(5) 활동 소요시간의 분산( $\sigma^2$ )을 구한다.**

$$\sigma^2 = \left( \frac{b-a}{6} \right)^2 \longleftarrow \text{베타분포의 분산 공식}$$

**(6) 주공정(Critical Path)을 구한다.**

주공정: 네트워크상의 모든 활동들을 연결한 가장 긴 공정순서로, 여유시간( $T_s$ )이 0인 공정들의 묶음

여유시간: 프로젝트의 완료시간을 늦추지 않은 상태에서 개시를 늦출 수 있는 시간:  $T_s = T_L - T_E$

**(7) 주어진 기간에 프로젝트를 완료할 확률을 구한다.**

프로젝트 완료시간에 대한 불확실성 정도를 평가할 수 있다.

(a) 주공정에 해당되는 각 활동들의 분산값을 모두 더한다.

(b)  $D$ 와  $T_E$ 를 사용하여  $Z$ 변형을 한다.

$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{CP}^2}}$$

$D$ : 프로젝트의 완료기간

$T_E$ : 마지막 활동의 가장 빠른 완료기대시간

$\sum \sigma_{CP}^2$ : 주공정에 해당하는 활동들의 분산값의 합

(c)  $Z$ 값을 계산한다.

(d)  $Z$ 값을 사용하여 프로젝트 완료기간을 지킬 수 있는 확률을 구한다. (정규분포를 이용한다.)



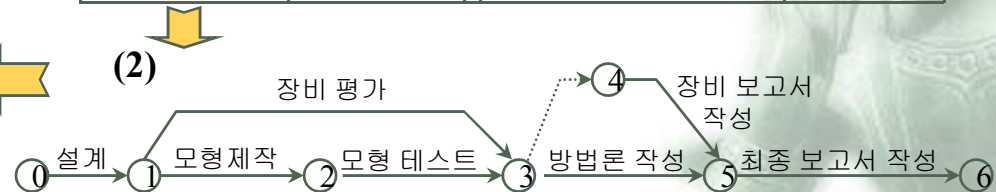
## [예] PERT를 이용한 프로젝트 스케줄링

학생들을 대상으로 한 포터블 컴퓨터의 설계, 개발 프로젝트를 수행하기로 하는데, 1년 이내에 시장을 석권 하는 것이 중요하다고 한다. 이를 위해 프로젝트가 최대 35주 이내에 완료되어야 한다. 프로젝트가 35주 이내에 과연 완료될 수 있는지 그 확률을 통해 분석해 보기로 한다. [작업계획, 주공정, 총완료시간, 여유시간]

- (1) 활동을 결정한다.
- (2) 활동 순서 결정 및 네트워크의 구성한다.
- (3) 각 활동의 시간 추정치를 결정한다.
- (4)(5) 각 활동의 기대소요시간( $ET$ ), 분산( $\sigma^2$ )을 구한다.

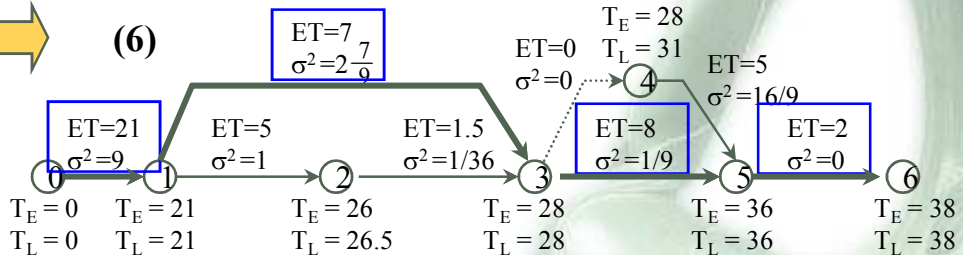
(1) 활동 내용	(2) 활동 표시	(1) 활동 내용	(2) 활동 표시
설계	0-1	가상 활동	3-4
모형 제작	1-2	장비 보고서 작성	4-5
장비 평가	1-3	방법론 보고서 작성	3-5
모형 테스트	2-3	최종 보고서 작성	5-6

(1) 활동 내용	(2) 활동 표시	(3) a	(3) m	(3) b	(4) ET	(5) $\sigma^2$
설계	0-1	10	22	28	21	9
모형 제작	1-2	4	4	10	5	1
장비 평가	1-3	4	6	14	7	$2\frac{7}{9}$
모형 테스트	2-3	1	1.5	2	$1\frac{7}{9}$	$\frac{1}{36}$
가상 활동	3-4	-	-	-	-	-
장비 보고서 작성	4-5	1	5	9	5	$1\frac{7}{9}$
방법론 보고서 작성	3-5	7	8	9	8	$1\frac{7}{9}$
최종 보고서 작성	5-6	2	2	2	2	0



### (6) 주공정을 구한다.

forward로  $T_E$ 를 구하고, backward로  $T_L$ 를 구한다.  
 여유시간( $T_s = T_L - T_E$ )이 0인 경로가 주공정 → 0-1-3-5-6



### (7) 정해진 시간에 완료될 확률을 구한다.

주공정(0-1-3-5-6)에서 분산 값의 합 = 11.89

$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{CP}^2}} = \frac{35 - 38}{\sqrt{11.89}} = -0.87 \quad (7)$$

표준 정규 분포표에서 값을 읽어 보면 확률은 0.19가 된다.

(6) 일의 단계	$T_E$	$T_L$	여유시간( $T_L - T_E$ )	주공정
0	0	0	0	✓
1	21	21	0	✓
2	26	26.5	0.5	
3	28	28	0	✓
4	28	31	3	
5	36	36	0	✓
6	38	38	0	✓

## 2. CPM을 이용한 프로젝트 스케줄링 절차

- PERT와는 달리 확률을 사용하지 않는다(확정적 시간).
- 활동이 Node로 표현된다(AON).
  - 일반적으로 PERT보다도 가상 활동(Dummy Activity)이 적다.

(1) 프로젝트 내에 수행되어야 할 활동들을 결정한다.

(2) 활동들의 순서를 결정해서 네트워크를 구성한다.

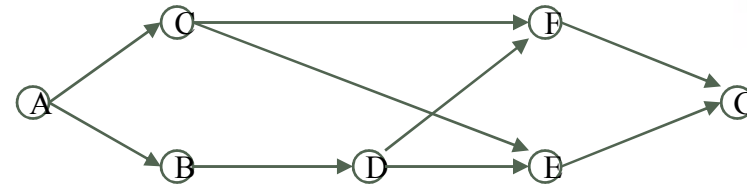
(3) 각 활동들의 평균소요시간을 입력한다.

(4) 주공정을 결정한다.

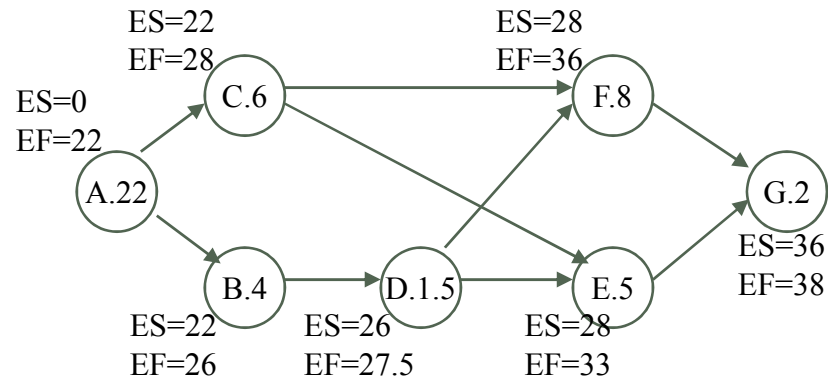
- 여유시간이 0인 공정 경로를 다음의 과정을 통해 찾는다.
  - (a) 가장 빠른 시작시간(ES; Earliest Start time)을 구한다.
  - (b) 가장 빠른 완료시간(EF; Earliest Finish time)을 구한다.
  - (c) 가장 늦은 시작시간(LS; Latest Start time)을 구한다.
  - (d) 가장 늦은 완료시간(LF; Latest Finish time)을 구한다.

## [예] CPM을 이용한 프로젝트 스케줄링

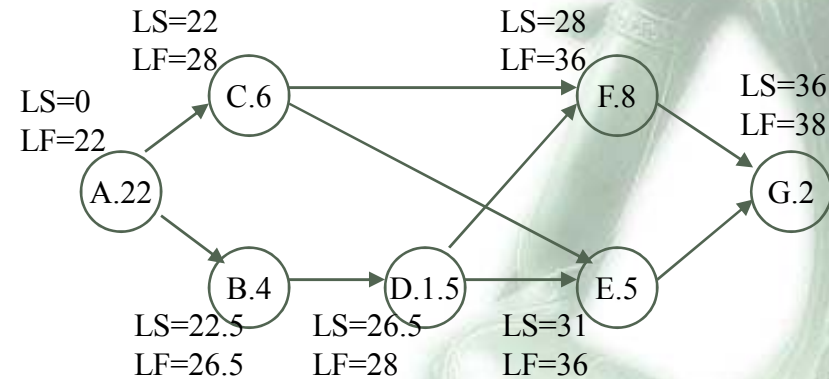
활동	표시	선행 작업	소요시간
설계	A	-	22
모형 제작	B	A	4
장비 평가	C	A	6
모형 테스트	D	B	1.5
장비 보고서 작성	E	C, D	5
방법론 작성	F	C, D	8
최종 보고서 작성	G	E, F	2



### Phase 1: 전방 계산(ES, EF의 계산)

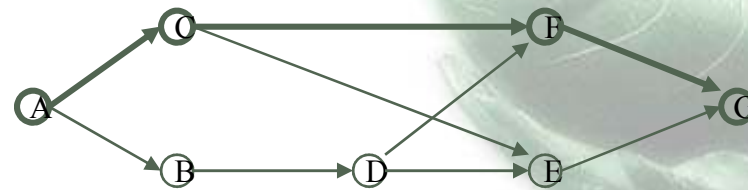


### Phase 2: 후방 계산(LS, LF의 계산)



### 여유시간의 계산

활동	LS-ES	여유시간	주공정
A	0-0	0	✓
B	22.5-22	0.5	
C	22-22	0	✓
D	26.5-26	0.5	
E	31-28	3	
F	28-28	0	✓
G	36-36	0	✓



주공정의 발견 : A → C → F → G



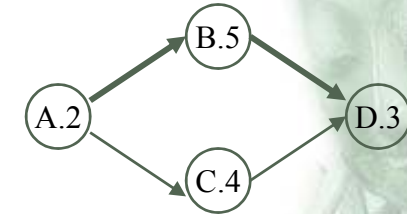
# 시간-비용의 상환

- 관리자들은 프로젝트 완료시간뿐만 아니라 프로젝트 완료에 따르는 비용에도 관심을 가짐.
  - 전체 프로젝트의 최소비용모형을 개발하고 수행에 따르는 예산을 통제하고자 하는 시도
- 최소비용 일정계획
  - [가정] 시간-비용 상환(Time Cost Trade-off)
    - 활동 완료시간과 프로젝트 비용간 상관관계가 존재
    - 활동시간 단축 비용: 직접 활동비, 자원 관련 비용
      - 직접 활동비: 초과근무, 작업자 고용 및 업무 전환 비용, ...
      - 자원 관련 비용: 장비 구입 및 임대, 부수 시설의 설치, ...
    - 프로젝트 유지 비용: 간접비
      - 관리비, 시설 및 자원 기회비용, 위약금, ...
  - 두 비용의 합을 최소화하는 공정시간-비용상환의 최적점 발견

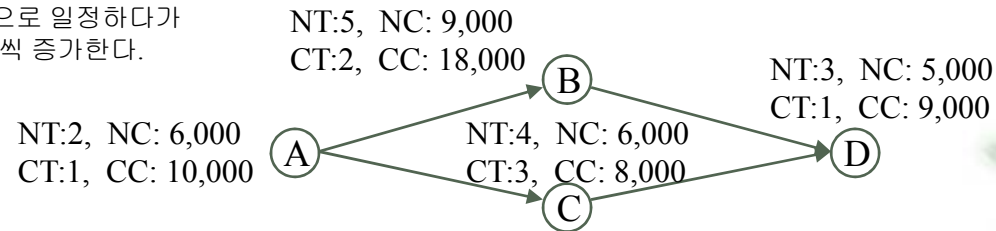
## [1] CPM 형태의 네트워크를 구성한다.

네트워크 상의 각 활동에 다음의 값들을 명기한다.

- 정상비용(NC): 가장 적은 활동 기대 비용
- 정상시간(NT): 정상비용에 따른 작업시간
- 조기달성시간(CT): 가장 적은 활동 가능시간
- 조기달성비용(CC): 조기달성 시간에 의한 비용



[간접비] 처음 8일 동안은 10,000으로 일정하다가 그 후로는 하루 당 5,000씩 증가한다.



## [2] 각 활동시간을 한 단위 단축하는데 드는 비용을 구한다.

[가정] 비용과 시간이 선형관계를 가진다.

활동들의 단위시간당 단축비용

활동	CC-NC (원)	NT-CT	(CC-NC)/(NT-CT)	단위시간 단축비용(천원)	단축 가능한 단위시간
A	10-6	2-1	(10-6)/(2-1)	4	1
B	18-9	5-2	(18-9)/(5-2)	3	3
C	8-6	4-3	(8-6)/(4-3)	2	1
D	9-5	3-1	(9-5)/(3-1)	2	2

**(3) 주공정을 구한다.**

**(4) 가장 적은 비용으로 주공정을 줄인다.**

**정상시간에 의한 주공정에서 가장 적은 단축비용을 갖는 활동을 한 단위 줄임으로써 전체 프로젝트 완료시기를 한 단위 줄여 나간다.**

프로젝트 완료시기 단축 과정

현재 주공정	활동들의 단축 가능 일수	활동들의 단위 시간(일)당 단축비용	최소 단축 비용 활동	총직접비 (천원)	프로젝트 완료시기
ABD	모든 활동 시간과 비	용은 정상 상태이다.		26	10
ABD	A-1, B-3, D-2	A-4, B-3, D-2	D	28	9
ABD	A-1, B-3, D-1	A-4, B-3, D-2	D	30	8
ABD	A-1, B-3	A-4, B-3	B	33	7
ABCD	A-1, B-2, C-1	A-4, B-3, C-2	A	37	6
ABCD	B-2, C-1	B-3, C-2	B,C	42	5
ABCD	B-1	B-3	B	45	5

주공정을 줄이려면 A를 줄이거나 B와 C를 모두 줄여야 한다.

직접비    간접비    총비용

**[시간-비용 상환 분석]**

10	26	20	46
9	28	15	43
8	30	10	40
7	33	10	43
6	37	10	47
5	42	10	52
5	45	10	55

더 이상 B를 줄이는 것이 주공정의 단축을 가져오지 않는다.

# PERT/CPM에 대한 평가

- PERT의 장점과 단점: 262 page 참조
- PERT의 실제 적용과 관련된 문제점
  - (1) 사용자가 모델에 관한 통계기법을 이해하기 어렵다.
    - 베타분포, 세 가지 시간값의 추정, 분산, 작업완성이 정규분포...
  - (2) 소요시간의 과대 혹은 과소평가로 인한 비용 발생
    - 과소평가: 자원의 재분배를 유발 → 프로젝트의 지연 비용 유발
    - 과대평가: 작업활동이 민할하지 못하고, 경영자가 덜 중요한 작업에 관심을 가지게 함 → 계획에 손실을 유발
  - (3) 주공정을 조작하기 위해 네트워크의 변형을 시도
    - 입찰 상황에서 프로젝트의 조기 완공을 조작을 통해 보이려 함.
  - (4) 프로젝트에 주공정이론을 적용함으로써 발생하는 비용
    - 대체로 전체 프로젝트 비용의 2% ~ 5% 정도
    - 개선된 작업일정과 프로젝트 조기달성으로 인한 이윤으로 보상