

PERT AND CPM의 概念 下

安 景 韓

目 次

1. CPM의 절차
2. CPM의 日程 계산
3. CPM의 비용 경제적 및 균배
4. CPM의 일정 短縮
5. CPM의 자원 배분
6. 전자 계산기에 의한 PERT AND CPM

1. CPM의 절차

모든 계획 사업 및 공사는 單一獨立作業들이 集成된 것이므로 아래 節次를 밝아서 전개된다.

a. 全体計劃事業 및 工事의 工程을 독립적 工程들로 細分化 한다.

b. 이들 單一作業은 相互關係를 가지고 있으므로 各 독립적 小工程들은 어느것은 同時에 行하고 어느것은 順序의 順序로 行해야 하는가를 決定한다.

c. 모든 作業은 화살표로 그 흐름이 圖示되고 이들 作業은 실제의 工事活動, 物品調達期間, 수송 및 計劃期間과 같은 工程들로서 各 독립적 小工程別로 소요工期를 決定하고 所要人力, 所要資材, 所要장비를 積算하고 工事의 직접비를 계산한다.

d. 完成된 計劃工程에서 時間-費用曲線을 決定하여 正常所要工期(Normal time)와 正常所要工費(Normal cost)를 확인한다.

e. 計劃工程에서 各作業에 소요되는 工期를 加減하여 여유시간(Float time)을 決定한다.

f. 計劃工程에서 여유가 없는 作業經路를 찾아 主檢討對象工程을 찾아낸다.

g. 特急所要工期(Crash time)와 特急所要 工費(Crash Cost)를 새로운 工法과 관련시켜 決定하여 계획공정의 Program을 修正한다.

h. 計劃工程이 工法의 限界點에 도달 하였다든 決心을 얻으면 作業지도서를 作成한다.

i. 일반적으로 한개의 활동이 종료될 때마다 평가하고 조정한다.

j. 主檢討對象工程은 연기될 정보가 入手되면 지체없이 이를 克服할 계획공정의 修正이 되어야 한다.

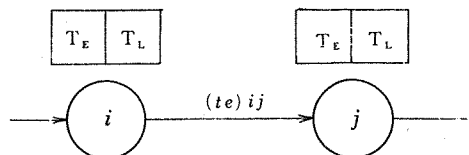
k. 主檢討對象工程(Cp)이 아닌 工程이라 할지라도 여유(Float)의 浪費가 없도록 投入하는 資源을 人力, 장비, 자재 및 자금의 配分등을 합리적으로 하도록 한다.

l. 「Project Manager」의 관리착안점은 CP에 주어져야 한다.

m. 作業담당책임자는 各活動을 다시 細分하여 上記와 같은 諸過程을 研究해야 한다.

2. CPM의 日程 계산

前号에서 說明한 바와같이 PERT에서는 段階餘裕(Slack)를 T_E (Earliest expected date)와 T_L (Latest allowable date)의 差에 의하여 계산할 수 있었으며

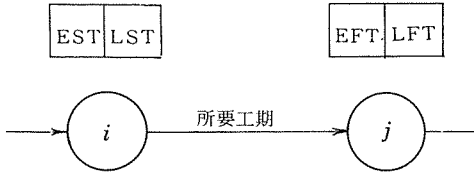


$$\text{Slack} = (T_L)_i - (T_E)_i \geq 0$$

$$= (T_L)_j - (T_E)_j \geq 0 \text{의 경우를 생각할 수}$$

있었다.

CPM에서는 이를 다음과 같이 나타낸다.



EST: 가장 빨리 시작할 수 있는 시간(Earliest start time)

LST: 가장 늦게 시작되는 시간(Latest start time)

EFT: 가장 빨리 마칠 수 있는 시간(Earliest Finish time)

LFT: 가장 늦게 마쳐지는 시간(Latest Finish Time)

$$\text{活動餘裕, Float} = \text{LST} - \text{EST} \geq 0$$

$$= \text{LFT} - \text{EFT} \geq 0$$

a. 가장 빠른 着手시간(EST)

어떤 활동을 着手하는데 必要한 가장 빠른 時間을 말한다.

$$\text{EST} = \text{다음 단계의 EST} - \text{所要工期}$$

b. 가장 늦은 着手시간(LST)

어떤 활동을 늦어도 이 時点에서 着手하지 않으면 안될 限界時間을 말하여 이보다 늦게 시작되면 工期를 지킬 수 없다.

$$\text{LST} = \text{다음 단계의 LFT} - \text{所要工期}$$

c. 가장 빠른 완료시간(EFT)

EST로 그 활동을 시작하는 경우의 예정완료 시간을 말한다.

$$\text{EFT} = \text{前段階의 EST} + \text{所要工期}$$

d. 가장 늦은 완료시간(LFT)

LST로 그 활동을 시작하는 경우의 예정완료 限界時間을 말한다.

$$\text{LFT} = \text{前段階의 LST} + \text{所要工期}$$

e. 總餘裕時間(TF: Total Float)

全体作業에 영향을 주지 않고 어떤 활동에서 發生되어도 관계없는 遲延을 말하며 여유시간(Float time)이라고도 한다. 즉 모든 先行活動이 可能한 限 가장 빠르게 着手되고 또한 모든 후속 活動이

可能한 限 늦게 着手될 때 利用 可能한 활동여유 시간이다.

$$\text{TF} = \text{LST} - \text{EST} = \text{LFT} - \text{EFT}$$

f. 自由 여유시간(FF: Free Float)

총 여유시간의 一部分은 자유 여유시간으로서 利用 될 수 있다. 一連의 工程에 있어서 모든 活動이 可能한 限 빨리 開始될 때 해당 活動에 對한 利用 可能한 活動餘裕時間을 말한다. 이는 한 活動이 어떤 후속活動에도 영향을 주지 않고 자유 여유시간의 범위 내에서 遲延될 수 있고 또한 모든 후속 활동들은 가장 빠른 着手時間에 開始될 수 있다.

$$\text{FF} = \text{다음 단계의 EST} - (\text{前 단계의 EST} + \text{所要工期})$$

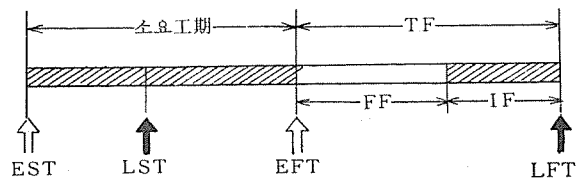
$$= \text{다음 단계의 EST} - \text{EFT}$$

g. 干涉 여유시간(IF: Interfering Float)

이는 총 여유시간(TF)과 자유 여유시간(FF)와의 差를 말한다.

$$\text{IF} = \text{TF} - \text{FF}$$

TF, FF, IF를 그림으로 나타내면 아래와 같다.



이때 이 作業은 FF가 나타내는 時間만큼 늦출 수 있다.

h. 主檢討對象工程(CP: Critical Path)

CP란 全体 계획사업이나 工事의 所要工期를 決定할 수 있는 一連의 活動時間의 合이며 時間的으로 가장 긴 經路가 된다. 이 CP上的 어떤 活動의 아무리 적은 遲延도 全体 계획사업이나 工事의 完了日程에 영향을 주게되며 다음과 같은 關係를 가지고 있다.

$$\text{CP上에 있어서 } \text{TF} = \text{FF} = 0$$

CP는 계획공정의 처음부터 끝까지 적어도 한개의 연속線이 되어야 하며 한개 以上の CP가 있을 수 있다. 여기서 CP가 반듯이 가장 힘든 工事が거나 重要한 工程이란 것은 아니며 事業이나 工事が 계획된 완료日程까지 수행되려면 이 CP에 相當한 관리상의 注意를 하여야 할 필요가 있는 것이다. 建設工事を 포함하여 大部分의 계획에서 활동의 약 10~20% 정도가 CP가 된다고 한다.

우리가 흔히 경험하는 바와같이 어떤 原因으로 그 計劃이 지연되었을때가 許多한데 일단 CP에 대한 隘路를 分析해 나가면 意外로 費用을 증가시키지 않고 總소요工期를 短縮시킬수 있는 餘地가 많다는 것을 알수있다. 지금까지 說明한 a~h까지를 아래에 주어진 Network(圖-1)를 보고 前號의 PERT 日誌計算을 참고로 하여 계산한 결과를 表-1 과 비교해 보기 바란다.

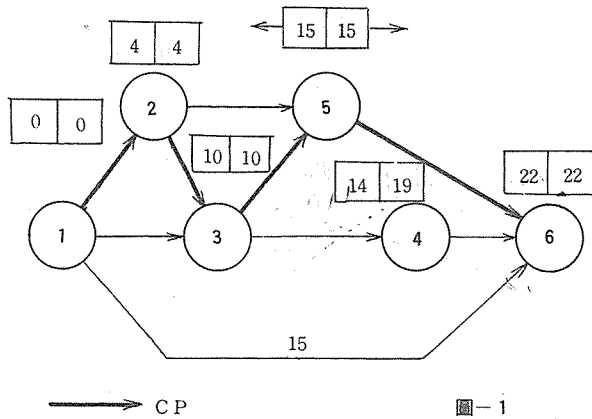


圖-1

活動	工期	EST	LST	EFT	LFT	TF	EF	IF	CP
1-2	4	0	0	4	4	0	0	0	*
1-3	8	0	2	8	10	2	2	0	
1-6	15	0	7	15	22	7	7	0	
2-3	6	4	4	10	10	0	0	0	*
2-5	9	4	6	13	15	2	2	0	
3-4	4	10	15	14	19	5	0	5	
3-5	5	10	10	15	15	0	0	0	*
4-6	3	14	19	17	22	5	5	0	
5-6	7	15	15	22	22	0	0	0	*

表-1

3. CPM의 비용건적

CPM에서는 工期和 工費의 관계가 中心的인 「테마」가 되므로 各 活動을 수행하는데 所要 되는 費用을 어떻게 取扱하는가가 問題가 된다. 工事의 費用은 大体的으로 다음과 같다.

a. 直接費

工事に 직접 消費되는 費用을 말하며 勞賃, 資

材費, 기계사용료, 수송비 등이 포함된다.

b. 間接費

全 工事に 關連되어 發生되는 費用을 말하며 다음과 같은 것이 있다.

- (1) 工事감독자 및 기타 非時間制 人員의 賃金
- (2) 現場사무실의 임대료 및 이에 따른 設備供給費
- (3) 事務費
- (4) 管理費
- (5) 償與金(工事의 早期完成時)
- (6) 機會損失費(工事의 遲延에 따른 罰料金) 따

c. 總工事費

직접비와 간접비의 合을 말하며 그림으로 표시하면 아래와 같다.

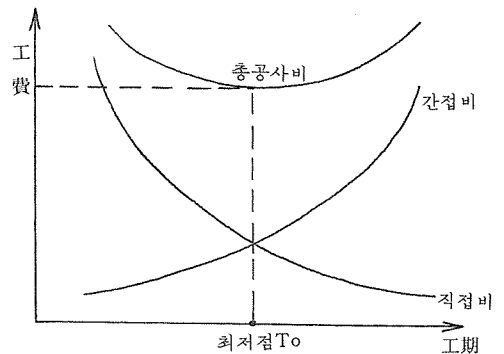


圖-2

圖-2 에서 총공사비용을 보면 工期 T_0 에서 工費가 最低가 될을 알수있다. 이 T_0 點은 理論上의 最適工期이지만 계획工事에서는 工期的 엄수에 重點을 두게되므로 반드시 이 T_0 點을 採用치는 않는다.

d. 비용勾配

各 活動을 수행하는데 소요되는 費用을 어떻게 취급하는가를 파악하는 것을 말하며 다음과 같다.

- (1) 正常所要工期(D: Normal Duration)

보통 상태로 工事を 할 경우의 소요工期를 말하며 CPM의 時間見積은 이것에 의해 樹立된다.

- (2) 正常所要工費(C(D): Normal cost)

정상소요工期로 作業을 할 경우의 소요 工費를 말한다(直接費)

- (3) 特急(早期達成)所要工期(d: Crash Duration) 所要工期的 短縮限界를 말한다.

- (4) 特急(早期達成)所要工費(C(d): Crash Cost) 特急所要工費에 所要되는 直接費를 말한다. 그

림으로 나타내면 다음과 같다.

圖-3 은 어떤 活動의 所要工費를 정상상태로부터 단축해 가서 더이상 단축할 수 없는데까지 즉, 특급상태까지 단축한 경우의 시간-비용 관계를 나타낸다. 이때 工費는 直接費를 말하며 이費用은

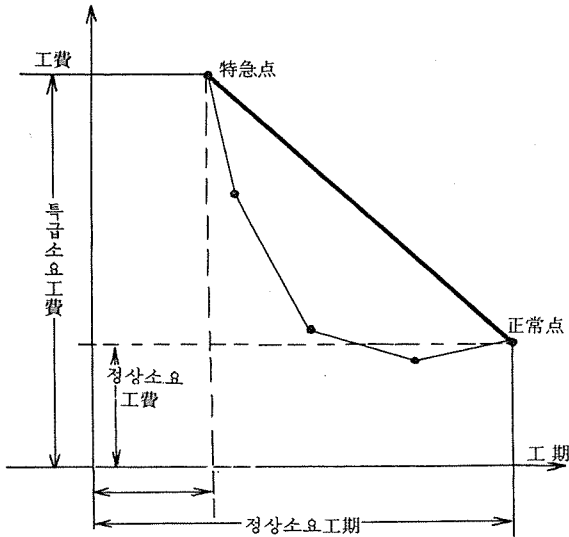


圖-3

工費短縮時 上昇하는 傾向이 있다. 正常点에서 特急点에 이르는 工費의 動向의 曲線을 따를 것이라고 생각되지만 直線으로(上圖에서 굵은線)실제의 工費를 近似化시키고 이를 費用勾配라고 하며 絶對值를 取한다. 따라서 이 費用勾配의 時間單位를 日數로 잡으면 이는 1日當 工作業을 短縮하는데 所要되는 費用의 증가를 意味한다. 이를 公式으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{費用勾配} = \frac{\text{特急所要工費} - \text{正常所要工費}}{\text{正常所要工期} - \text{特急所要工期}}$$

$$C = \frac{C(d) - C(D)}{D - d}$$

예를들어 圖-3 에서 時間-費用曲線에 대해 아래와 같은 요소가 주어질때 費用勾配를 求해 보자.

正 常		特 急		費用勾配
所要工期	所要工費	所要工期	所要工費	원/日
6	90,000 원	4	100,000 원	5,000 원

$$C = \frac{100,000 - 90,000}{6 - 4} = \frac{10,000}{2} = 5,000$$

이 活動을 2日間 短縮시키는데 10,000원 이 所要되므로 費用勾配는 5,000원이다.

4. CPM의 日程短縮

CPM의 일정단축은 다음과 같은 要領에 의하여 行해진다.

- CPM 計劃工程上에서 主檢討對象工程을 發見한다.
- 찾어낸 CP上에서 費用勾配(Cost slop)가 最小인 活動을 發見한다.
- 費用勾配가 最小인 活動부터 短縮한다.
- c에서 短縮한 日程을 CPM 計劃工程에 넣어 計劃을 再樹立하고 다시 a로 되돌아 간다.

그러면 앞에서 주어진 圖-1 을 가지고 표-1 과 주어지는 표-2 를 利用하여 실제로 日程短縮을 行해 보도록 하자.

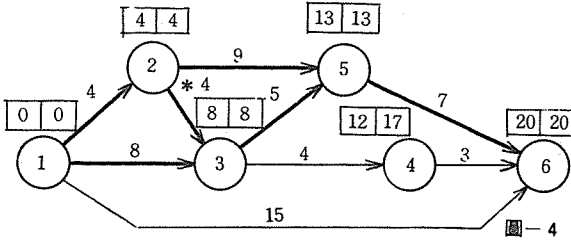
活動	正 常		特 急		費用勾配 (원/日)
	所要工期 (日)	所要工費 (원)	所要工期 (日)	所要工費 (원)	
1-2	4	21,000	3	28,000	7,000
1-3	8	40,000	6	56,000	8,000
1-6	15	100,000	10	150,000	10,000
2-3	6	50,000	4	60,000	5,000
2-5	9	54,000	7	60,000	3,000
3-4	4	50,000	1	110,000	13,000
3-5	5	15,000	4	24,000	9,000
4-6	3	15,000	3	15,000	日程 단축없음
5-6	7	60,000	6	75,000	15,000
合計		405,000		578,000	

第1段階

CP上에서 工費가 가장 적은 즉, 비용勾配가 가장 적은 活動을 찾아보면 ②→③이며 비용勾配는 5,000원이다. 이때 이 作業을 2日間 短縮하는 것이 有利하므로 우선 1日間 단축한다. 이 경우 총 직접비=405,000+5,000=410,000원이 된다. 같은 意味로 총所要工期가 22日에서 21日로 된다. 1日을 더 단축하여 20日로 하려고 할 경우 다시 1日間 더 단축한다. 活動 ②→③을 1日間 단축하였을때 CP는 변하지 않았으며(日程 단축은 반듯이 CP上에 있는 作業에서 行해지며 단축한후는 곧 CP上 변경여부를 검토해야 한다) 단축할 수 있는 期間도 6日→4日(2日間) 이므로 한번 더 단축

하면 총직접비는 415,000원이 된다.

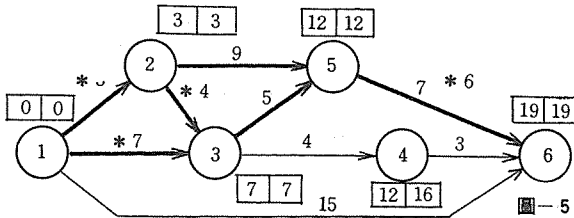
이를 圖示한 것이 圖-4이며 이때 생긴 3個의 CP (①→⑥)으로가는 方法이 3가지란 意味)에 대한 Cost slop는 표-3과 같다.



經路 I		經路 II		經路 III	
活動	Cost slop	活動	Cost slop	活動	Cost slop
1-2	7,000	1-3	8,000	1-2	7,000
2-3	5,000			2-5	3,000
3-5	9,000	3-5	9,000		
5-6	15,000	5-6	15,000	5-6	15,000

第2段階

所要工期 1日間을 더 短縮하여 19日로 하자면 표-3에서의 3가지 經路에서 各各 1日間 씩을 短縮할 必要가 있으며 圖-5와 같다.



經路 I...活動 ②→③은 이미 特急所要工期에 達하고 있으므로 다음으로 cost slop가 적은 ①→②를 1日間 短縮한다. cost slop는 7,000원/日.

經路 II... 1日間을 短縮하기 위한 最小 Cost slop는 活動 ①→③으로써 이는 8,000원/日이다.

經路 III...活動 ①→②는 經路 I과 共通으로 同時에 1日間 短縮된다.

活 動	所要 工期의 단축	所要 工費의 증가
* 1~2	1	7,000
* 2~3	2	10,000
* 1~3	1	8,000
合 計		25,000

第3段階

所要工期를 18日로 단축함에 있어서 活動①→②와 ③→⑤는 이미 特急所要工期에 達하고 있으므로 다음 2가지 方法만이 可能하다.

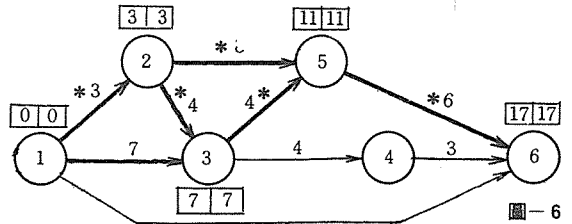
a. 活動 ②→⑤, ②→③, ①→③을 各各 1日間 씩 단축하여 16,000원을 들이느냐

b. 그렇지 않으면 活動 ⑤→⑥만 1日 단축하여 15,000원을 들이느냐 이다.

이런 경우 경제적인 面을 고려하여 b方法을 택하는 경우가 보통이다. 圖-5에서 ⑤→⑥의 7日을 6日로 고치도록 한다.

第4段階

活動 ②→⑤, ②→③, ①→③을 各各 1日間 씩 단축하면 所要工期를 17日로 단축할 수 있다. 이 계획工程은 圖-6과 같으며 經路 II의 모든 作業은 特급所要工期에 達하고 있으므로 이 以上の 일 정단축은 안된다. 17日이 이 工程의 短縮限界日이다.

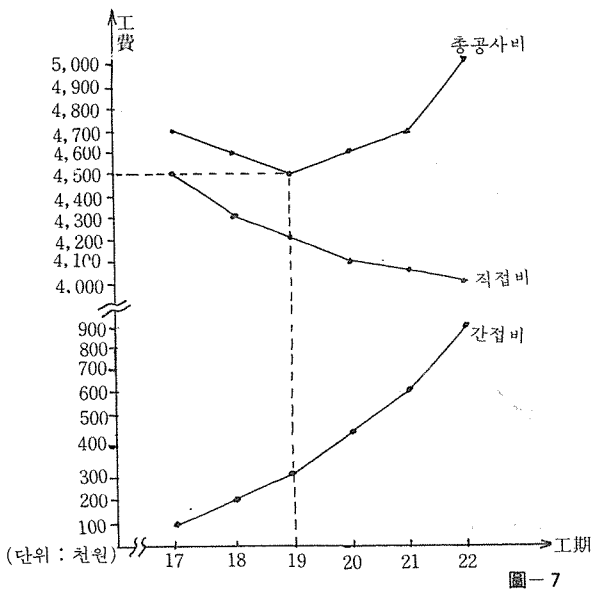


第5段階

以上과 같이 所要工期를 단축하고 그 工期에 對應하는 作業日數와 工事 全体의 直接費를 求하면 표-5와 같다.

活動	정상소 요工期 22日	-1日 21日	-2日 20日	-3日 19日	-4日 18日	-5日 17日	特급소 요工期 17日
1-2	4	4	4	3	3	3	3
1-3	8	8	8	8	8	7	6
1-6	15	15	15	15	15	15	10
2-3	6	5	4	5	5	4	4
2-5	9	9	9	9	9	8	7
3-4	4	4	4	4	4	4	1
3-5	5	5	5	4	4	4	4
4-6	3	3	3	3	3	3	3
5-6	7	7	7	7	6	6	6
直接費	405,000원	410,000원	415,000원	426,000원	441,000원	457,000원	578,000원

工期를 正常所要工期인 22日에서 特急所要工期인 17日로 短縮하기위한 增加費用은 457,000원 - 405,000원=52,000원이고 이 증가비용은 工事全体的 모든 作業을 特急상태로 한 全特急所要工期와 比較하면 578,000원-457,000원=111,000원이 節約된다. 여기서 總工費는 實際로 各活動에는 連結되지 않는 間接費를 包含하고 있으므로 적절한 간접비를 주었을 경우 費用曲線을 圖示하면 圖-7과 같다. 즉 各 工期에 따르는 직접비가 최소가 되는 계획工程은 19日로 工期를 단축할 때이며 이때의 總 직접비는 426,000원이 된다.



5. CPM의 人力 및 資源配當法

모든 計劃事業을 完成시키는데 必要한 資源으로서는 人力, 資金, 裝備, 資材, 空間, 技術方法 및 市場등이 있으며 이러한 것들이 한 計劃事業中에서 몇개의 作業에 關係가 있을 경우에는 될수있는 대로 均衡잡힌 配當이 要望된다.

一般的으로 人力 및 資源配當은 다음과 같은 事項들을 고려하여 推進해 나가야 할 것이다.

첫째, 人力의 變動을 피하여야 한다. 人力의 敏感한 變動으로 因한 人員의 모집, 고용, 훈련등은 時間과 費用을 要하며 따라서 計劃에 예기치 못한 차질을 가져 오는 要因의 하나가 되기도 한다. 日程計劃이 目標하고 있는 人力-時間曲線은 아래 圖-8의 B와 같아야 한다.

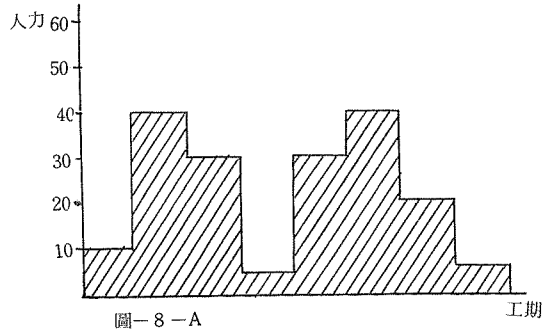


圖-8-A

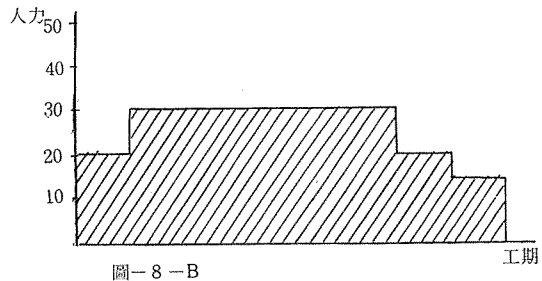


圖-8-B

둘째, 限定된 資源을 善用해야 한다. 즉 주어진 人力數를 超過하지 않고 作業시켜야 할 경우가 發生한다. 이것은 追加人員을 利用할 수 없단거나 또는 고용과 訓練費用이 높단거나 作業場이 一時에 一定한 作業人員만을 許用한다거나 하는 경우이며 利用可能한 人員數의 制限性과 關係가 있는 것이다.

세째, 資源의 固定水準을 유지해야 한다.

네째, 資源의 日程計劃을 효율적으로 세워야 한다. 즉 人力水準에서 頂點(Peak) 또는 降點(Valley)의 發生을 되도록 피하여 圖-8-A처럼 굴곡이 많은 것 보다 圖-8-B처럼 平準化 되게 하도록 한다.

그러면 여기서 山積表의 作成方法과 平準化作業을 說明해 나가기로 하자. 어떤 作業 ① $\frac{5日}{5名/日}$ ②에서 소요기간이 5日이고 하루에 5名의 人力이 필요하다면 山積表은 아래와 같다.

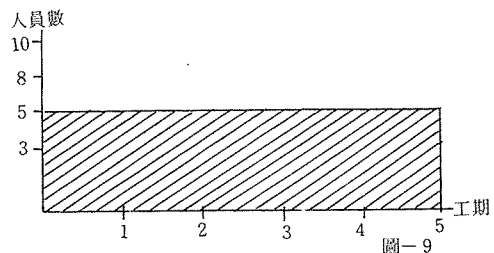


圖-9

지금 圖-10과 같은 計劃工程을 例로 들어 보면 圖-10에 대한 CPM 日程計算을 표 6 과 같이 먼저 실시한다.

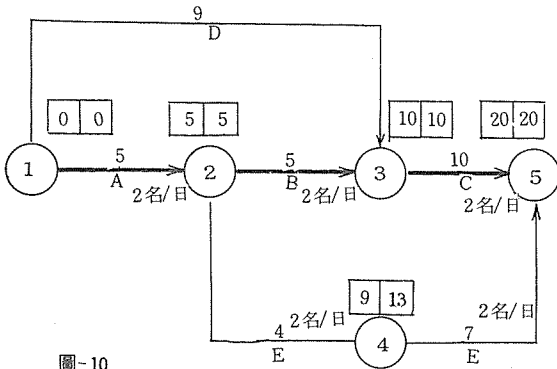


圖-10

活動	작업 기호	소요 工期	EST	LST	EFT	LFT	T	F	F	I	F	CP
1-2	A	5	0	0	5	5	0	0	0	0	0	*
1-3	D	9	0	1	9	10	1	1	0			
2-3	B	5	5	5	10	10	0	0	0	0	0	*
2-4	E	4	5	9	9	13	4	0	4			
3-5	G	10	10	10	20	20	0	0	0	0	0	*
4-5	F	7	9	13	16	20	4	4	0			

이를 가장 빠른 착수時間(EST)에 의하여 日程計劃을 樹立하고 이에 該當하는 山積表를 圖示한 것이 圖-11이며 이에 對한 平準化作業을 실시한 것이 圖-12 이다.

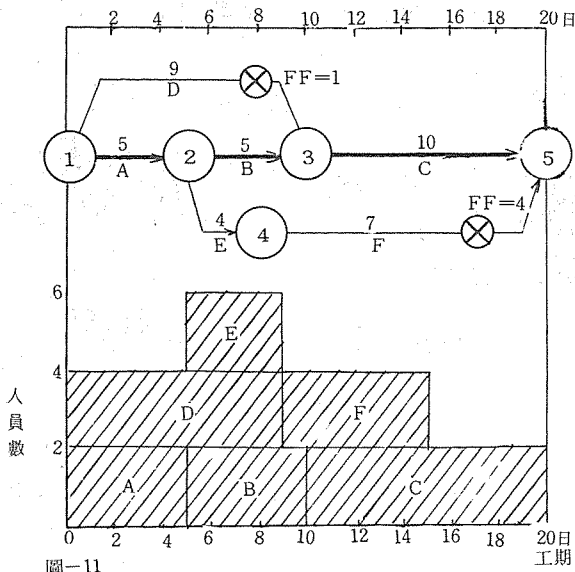


圖-11

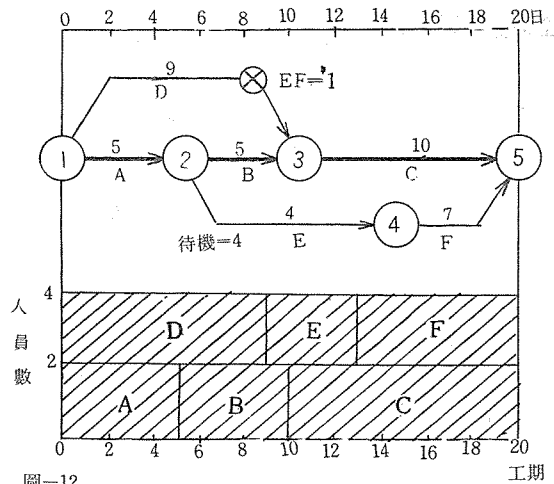


圖-12

上記 2 個의 圖에서 實動人日은 양쪽다 80人日 이나 圖-11에서의 노동력 利用效率(E)는

$$E = \frac{80}{20 \times 6} = 66.7\% \text{ 인데 比하여}$$

$$\text{圖-12에서 } E = \frac{80}{20 \times 4} = 100\% \text{ 이다.}$$

CPM의 資源配當計劃도 人力配當計劃과 類似한 方法으로 推進해 나갈수 있으므로 여기서는 구체적인 說明은 省略하기로 하겠다.

6. 電子計算機의 PERT 및 CPM 利用

電子計算機를 PERT 및 CPM에 利用하려고 할 때 그 節次가 相當히 專門의이고 복잡하기 때문에 이를 全部 說明한다는 것은 紙面관계상 곤란한 일이며 여기서는 長點과 어떤 事業과 어떤 경우에 利用되는 가를 간단히 설명하기로 하겠다.

a. 電子計算機를 使用할 때의 長點

- (1) 신속, 정확하다.
- (2) 報告書의 提供

즉 전자계산기에 의해 각종보고서(Mile stone, 數年分의 Calendar, Barchart, Loading, Craft, 資金計劃, 職制別보고서 其他)를 받아 볼수있다.

- (3) 最小費用 日程計劃이 可能하다.

b. 적용하는 事業의 종류

- (1) 各種 建設事業
- (2) 都市計劃의 建設工事
- (3) 水源, 개발, 食糧증산, 造林砂防등 개발 工事
- (4) 경제개발계획
- (5) 국제경쟁입찰준비
- (6) 신제품(新制品) 개발계획, 기타.