

Critical Path Method의 基礎理論과 그 導入可能性에 대한 一考察

金 用 憲

<目 次>

I. 序 言	2. 段階時間 日程計算
II. 工事計劃—建設工事를 中心으로	3. 活動時間 日程計算
1. 工事計劃의 性格	IV. Critical Path Method의 導入과 評價
2. 工事計劃의 節次	1. Critical Path Method의 導入
III. Critical Path Method에 의한	2. Critical Path Method의 分析的 評價
計劃工程 및 日程計劃	V. 結 言
1. 基礎概念	

I. 序 言

오늘날 눈부시게 發展하고 있는 生産管理上의 諸管理技術(management skills or techniques) 중에서 가장 重要的한 研究對象의 하나로 Critical Path Method를 들 수 있다.

工程管理의 職能을 生産計劃機能과 生産統制機能으로 大別하였을 때, 生産計劃을 中心으로 하여 工程計劃(routing), 日程計劃(scheduling), 着手統制(dispatching), 檢査(inspection)와의 關聯下에 새로이 登場하고 있는 Critical Path Method에 의한 工事(project)日程計劃法이 開發된 것은 비교적 최근의 일이다. 즉 1956년 the E.I. Du Pont de Nemours Company에서 着手했던 새로운 管理技術의 適用可能性 研究에서 비롯된다.⁽¹⁾ 이 研究에 참

筆者 : 서울大學校 商科大學 附設 韓國經營研究所 補助研究員, 서울大學校 經營大學院 助敎.

(1) Critical Path Method와 PERT(Program Evaluation and Review Technique)와의 關係는 다음을 參照할 것

- i. T.M. Ramsay Green, "the Student's Forum," *Work Study*, Vol. 15, No.9, September 1966, pp. 17-24 and Vol. 15, No.10 October 1966. pp. 11-17.
- ii. Booz · Allen & Hamilton Inc., *New Uses & Management Implications of PERT*, New York; Booz · Allen & Hamilton Inc., 1962, cf. pp. 1 ff.
- iii. C. Brien Honess, "PERT/TIME; Method, Assumption, and Mathematical Considerations," *Business and Economic Review* Vol. XII, No. 9, June 1966, cf. pp. 6-13
- iv. James E. Kelly, Jr., "Critical Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis," *Operations Research*, May-June 1961, cf. pp. 296-320.

여한 數學者들은 UNIVAC I 電子計算機에 作業順序에 관한 情報과 各 作業活動의 所要時間을 入力시키면 훌륭한 作業日程을 樹立할 수 있다는 結論을 基礎로 이를 建設事業에 있어서의 計劃(planning)과 日程計劃(scheduling)에 적용하게 되었다. 한편 1967年初에는 Dr. John W. Mauchly가 이끄는 UNIVAC Applications Research Center에 Remington Rand (UNIVAC)의 James E. Kelly, Jr.와 Du Pont社의 Newark 責任者인 Morgan Walker가 加擔하였다. 같은해 12월, Kelly-Walker Method로 불리우는 이 새로운 管理技法을 實證하기 위해 6인의 技術士, 部門技術士 2인, 工程技術士 및 評價者 各 1인으로 構成된 試驗團(test team)을 組織하여 既存 日程計劃團(normal scheduling group)과 對比한 結果, 兩側에 의해 作成된 Kentucky Louisville에 세울 大單位 化學工場(施工額 1,000萬弗) 建設計劃에서 當初의 期待를 훨씬 넘는 成果를 보았고, 잇달아 試圖된 設備의 整備作業例에서는 自然爆發性을 가진 合成 고무의 中間化合物을 生産하기 때문에 生産途中에는 整備作業을 行할 수 없으므로 稼動停止時間을 短縮하는 것이 絶실히 要請되었던 것이다. 그때까지의 經驗으로는 平均 125時間을 要하던 것을 Critical Path Method를 導入한 計劃에 의한 時間이 不過 93時間이면 충분하였고 그 後 74時間으로 까지 短縮하게 되었다. 當時로서는 이러한 結果가 매우 劃期的인 것이어서 Du Pont社의 成功에 자극되어 土木, 建設 및 生産分野를 비롯하여 多方面에 걸친 研究와 適用을 試圖하게 되었다.

이와 같이 經營意思決定을 돕기 위한 定量的 道具의 하나로 擡頭된 Critical Path Method는 大規模의 複雜한 工事(또는 事業 project)를 分析(analyzing), 計劃(planning), 日程計劃(scheduling)하는 매우 有力하고도 同時에 매우 손쉬운 技法이라는 점에서 現代企業의 經

- v. Boon Kok Cheug, "An introduction to Critical Path Method," *Malaysian Management Review*, The Journal of the Malaysian Institute of Management, December, 1966, Vol. 1, No.2 pp. 33-43.
- vi. Ferdinand K. Levy, Gerald L. Thomson and Jerome D. Wiest, "The ABCs of the Critical Path Method," *HBR*, Vol. 41, No. 5(September-October, 1963), pp. 98-108.
- vii. L.R. Shaffer, J.B. Ritter, and W.L. Meyer, *Critical Path Method*, New York; McGraw-Hill Inc., 1965.
- viii. Robert W. Miller, *Schedule, Cost, and Profit Control with PERT*, New York; McGraw-Hill Inc., 1963.
- ix. James J. O'Brien, *CPM in Construction Management*, New York; McGraw-Hill Inc., 1965. cf. pp. 97-108.
- x. Powell Niland, *Network Techniques-The Critical Path Method and PERT*, 1964. (printed material)
- xi. Joseph J. Moder and Cecil R. Phillips, *Project Management with CPM and PERT*, New York; Reinhold Publishing Co., 1964, pp. 2-5.
- xii. Albert Battersby, *NETWORK ANALYSIS for Planning and Scheduling*, 2nd ed., 1967, pp. 2-5.

營意思決定에 있어서 決定的으로 중요한 役割을 遂行할 수 있는 道具로서의 脚光을 받고 있는 것이다.

이 技法은 그 本質上

1) 事業(project)을 이루고 있는 수많은 作業(jobs) 혹은 活動(activities) 중에서 施工事 期間에 가장 致命的的(critical) 影響을 미치는 것은 어느 것인가?

2) 最少의 費用으로 目標期日을 지키기 위해서는 어떤 方法으로 日程計劃을 最適化 시 킬 것인가? (2)라는 두가지 質問에 대한 解決手段이라고 할 수 있다.

여기서 Critical Path Method를 적용할 수 있는 對象 가운데 代表的인 것을 列擧하면 아 래와 같다. (3)

- i. 建物이나 大路의 建設(the construction of a building or a high way)
- ii. 新製品의 計劃과 出荷(planning and launching a new product)
- iii. 豫防整備保全計劃(a turn around in an oil refinery or other maintenance projects)
- iv. 電子計算制度의 導入과 檢討(installing and debugging a computer system)
- v. 調查研究 및 土木設計事業(research and engineering design project)
- vi. 造船 및 그 修理日程計劃(scheduling ship construction and repairs)
- vii. 大型發電機의 製作 및 組立 또는 그 밖의 山積作業(the manufacture and assembly of a large generator or other job-lot operations)

(2) F.K. Levy, *et al.*, *op. cit.*, p. 98.

(3) *Ibid* (i~viii)

ii. Warren Dusenbury, "CPM for new product introductions," *HBR*. Vol. 45, No.4 (July-August, 1967), *cf.* pp.124-139.

한편 James J. O'Brien, *op. cit.*, p. 233에 의하면 constructon 以外에 다음과 같이 列擧하고 있다.

- a. shipbuilding b. city planning c. refinery maintenance d. architectural design e. staffing a new plant f. research project g. embarkation of a construction battalion h. procedure for state approval of a new school i. bringing a show to Broadway j. preparing a corporate budget k. preparing a city budget l. city approval of plans m. purchase of a new house n. purchase of a car o. manufacture of a car.

And a survey by the management consulting firm of Booz-Allen & Hamilton, Inc. (1962) showed the following types of applications:

Research and Development	25%	Installation of Computer Systems	8%
Construction Programs	24%	Distribution Planning	5%
Programming of Computers	12%	Cost-Reduction Program	5%
Preparation of Bids and Proposals	12%	Miscellaneous	4%
Maintenance Planning	12%		

J.W. Pocock, "PERT as an Analytical Aid for Program Planning—Its Payoff and Problems," *Operations Research* Nov. Dec., 1962, pp. 895-896.

viii. 「미사일」發射節次計劃(missile countdown procedure)

ix. 作戰計劃(operations)

등을 들 수 있는데 이러한 事業들은 Critical Path Method 에 의해서 다루어 질 수 있는 몇가지 基本的 特性을 갖고 있기 때문이다.⁽⁴⁾

첫째 이들 事業은 모두 뚜렷한 여러個의 作業活動들의 集合群으로 이루어져 있어서 이들 個別 作業活動이 完了되면 事業全體가 完了될 수 있고

둘째 各 作業活動은 주어진 順序에 따라 個別的으로 시작, 완료될 수 있어야 하며(이는 예컨대 精油業에서처럼 전혀 아무런 餘裕(slack)가 없이 連續的으로 흐르게 되는 作業은 除外됨을 뜻한다.)

셋째 作業活動에는 一定한 秩序를 必要로 한다. 바꾸어 말하면 이들 作業活動은 技術的인 차례에 따라서 遂行되어야 한다는 것을 의미한다.(예컨대 住宅의 경우 基礎工事は 반드시 壁을 쌓기 전에 끝을 내야 한다는 條件을 뜻한다.)

지금 우리나라의 經濟開發計劃은 그 進行過程에서 巨大한 建設·計劃事業을 背景으로 展開되는 중이다. 이처럼 舉國的인 事業을 遂行함에 있어서 時間과 資金 兩面에서 가장 浪費가 적은 最善의 計劃을 세우고 이를 實現시키는 것은 現實의으로도 매우 重要한 課題가 아닐 수 없다.

II. 工事計劃—建設工事業 중심으로

1. 工事計劃의 性格

生産計劃을 豫定計劃과 實行計劃으로 區分하였을 때⁽⁵⁾ 後者は 製造過程의 合理的 形成을 위한 計劃이라고 할 수 있으며 生産計劃의 具體的 計劃으로서 製造過程의 形成에 따르는 時間的인 決定을 特色으로 하는 것이다. 그러므로 아래와 같은 몇가지 事項을 그 決定 領域에 포함하게 된다. 즉 時間을 短縮시키며 製造過程에 있어서의 製造品目, 製造日程의 優先順位, 製造 및 作業方法, 製造工程의 順序, 作業場所, 各 作業의 開始 및 完了의 時期에 대한 事項등이 있다. 한편 이를 豫定計劃에 對應시켜 보면 製品開發計劃으로서 確定되어지고 品種計劃으로 系列화된 品種과 數量計劃으로서 決定된 豫定數量을 製造命令으로

(4) F.K. Levy, *et al. op. cit.*, pp. 98 ff.

(5) 豫定計劃과 實行計劃을 위한 production design of product 와 process planning 은 Elwood S. Buffa, *Modern Production Management*, 2nd printing, New York; John Wiley & Sons Inc., 1962, cf. pp. 332-368. 특히 nonmanufacturing 의 경우는 cf. *Ibid.*, pp.366-368.

서 綜合하여 이를 實施하는 것이 實行計劃이라고 할 수 있다. 따라서 이는 作業遂行을 위한 製造設計를 圖謀케 하고 製造工程에 대한 計劃을 作成함은 물론이고 生産要素의 合理的인 所要計劃을 樹立해야 될 것이다. 이와 같은 計劃은 단지 作業遂行에 所要되는 諸要素의 合理的인 結合이라는 面에서만 重要性을 갖는 것이 아니고 製造計劃의 마지막 段階인 日程計劃을 세우는데 基礎가 되는 점을 認識해야 한다. 요컨대 實行計劃의 內容은 工程計劃, 所要計劃, 日程計劃 등으로 把握될 수 있을 것이다.

이러한 生産一般의 概念을 建設工事に 關聯시키면 施工目的物을 技術的으로 優秀하게 그리고 經濟的으로 迅速히 竣工시키는 技術的 計劃이라고 表現할 수 있다. (6) 물론 이와 같은 計劃은 工事に 관한 모든 條件을 미리 충분히 調查研究한 後 計劃上의 諸問題를 合理的으로 解決함으로써 完成되는 것이다. 이때 施工의 精度를 높이고 또한 施工이 能率的으로 行하여 지려면 尙급적 施工의 機械化가 要請되지만 機械의 稼動率低下로 인한 不經濟와 減價償却費, 賃借料 및 損料가 相對的으로 큰 比重을 차지할 경우에는 오히려 人力 施工이 보다 經濟的이므로 工事規模와 필요한 施工精度 등을 考慮하여 機械器具의 使用限度를 決定하여야 할 것이다. 또한 주어진 工期內에 全體工事を 完了하려면 各種 細部工事의 施工順序를 檢討하여 工事의 흐름이 待期狀態에 놓이지 않도록 材料의 搬入, 勞動力의 確保를 計劃하여 全體로서 無理가 없는 工事計劃을 세워야 할 것이다.

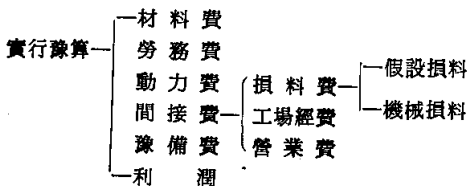
한편 施工計劃上 注意할 것은 細部工程을 세울 때 언제나 綜合的인 判斷能力을 所有한 現場責任者가, 經驗이 있는 現場員의 意思를 충분히 反映하여 決定할 것과 現場의 施工上 事情으로 인한 工程의 變更時에는 반드시 工事管理者와의 協議下에 設計監督者의 指導를 받아야 한다는 점이다

2. 工事計劃의 節次

(實行豫算의 編成) 算出된 工事實施 數量에 單位當 實施原價를 乘하여 表示한 工事實施 豫算書는 工事を 進行하는 工事關係者의 活動을 規制하는 數字(또는 金額)上의 基準이 된다. (7)

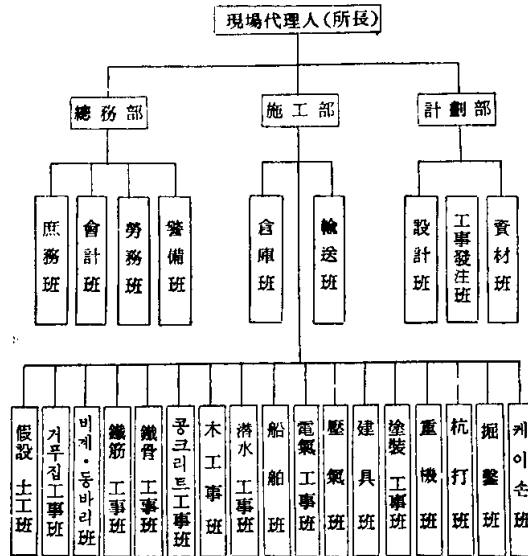
(6) 洪思天, 最新建築施工學, 서울, 東明社, 1963. p. 57 參照.

(7) 上揭書, pp. 58-59.



(作業班의 編成) 工事의 性格, 規模등에 따라 다르겠으나 大規模 土木工事에 필요한 基本編成의 例(案)을 들면 <圖 1-1>과 같다.

<圖 1-1>



(日程計劃을 위한 工程表) 工事의 迅速如何는 施工目的物이 廉價이면서 同時に 質의 優秀해야 하는 條件과 함께 工事의 三大要件이 된다. 따라서 工期는 施工主, 施工者 및 기타 利害關係者의 立場에서 볼 때 加급적이면 短縮되어야 함이 原則이나 施工目的物의 크기, 높이, 길이, 構造, 精度, 地質, 位置, 季節등에 의하여 크게 달라질 수 있다.

建設工事に 있어서 工程表(progress schedule)는 各 部分工事의 施工期間을 合理的으로 計劃하여 이를 圖式化한 것이며 주어진 工期에 準據하여 작성된다.

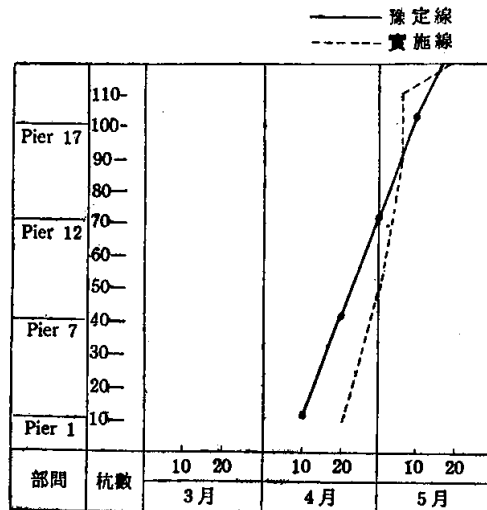
i. 基本工程表(全工事工程表)

적절한 工程表作成에는 施工地의 氣候 및 季節등 氣象에 관계있는 事項을 考慮하고 地質, 垜地狀態, 材料數量 및 供給狀態, 材料運搬方法, 機械의 種類와 臺數 및 能率, 從事할 수 있는 勞動者數 등의 事項을 調査 研究하여 各 工事に 技術 및 經濟上 가장 적당한 期間을 주어 竣工日까지 完成토록 한다. 이 工程表에는 (1) 假設工事 (2) 基礎工事 (3) 主體工事 (4) 마무리工事 (5) 附帶設備工事 등과 같이 大別하여 記載하는 것이 一般的이다.

ii. 細部工程表(部分工事工程表)

基本工程表에서 정해진 期限內에 各 部分工事を 完成토록 部分工事別로 상세하게 計劃하는 것으로 예컨대 <圖 1-2>와 같이 杭打方式工程表⁽⁸⁾를 작성하므로써 杭打方式의 順序와 每日의 杭打豫定部分을 정해 두면 「파일」(pile)搬入 및 그 杭打를 지체없이 進行시키

<圖 1-2> 假棧橋下部 杭打方式 工程表



게 된다. 물론 이때 ① 使用材料 또는 工場製作品을 現場에 搬入하기 까지의 期間과 ② 現場設置 또는 組立作業의 着手과 完成日로 區分하여 計劃을 세우는 것이 더 좋을 것이다.

iii. 其 他

基本 및 細部工程表에서 計劃한대로 工事を 進行하려면 材料, 勞力, 現寸圖(full size drawing) 등의 所要量이 所要期日까지 準備되어야 하므로 이에 대한 事前 考慮가 필요하다.

Ⅲ. Critical Path Method 에 의한 計劃工程 및 日程計劃

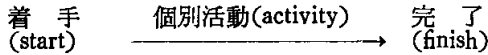
1. Critical Path Method 의 基礎概念⁽⁹⁾

Critical Path Method 의 中樞를 이루는 것은 '計劃事業(project)을 圖式化한 「모델」' 이라는 점으로, 이 「모델」은 計劃事業全體를 完成하기 위해서 遂行되는 個別活動을 나타내는

(8) 上掲書 p. 62를 參照하여 本稿에서 예로 다룬 假棧橋下部構造의 杭打工程을 圖式化한 것으로 豫定線은 計算에 의하였으나 實施線은 假想線임.

(9) James J. O'Brien, *op. cit.*, cf. pp. 9-20.

화살표(arrow)로 이루어진다. 이때 화살표의 꼬리는 活動의 着手點을, 그리고 머리는 完了點을 나타낸다.

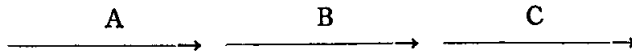


이때 計劃事業의 個別活動이 進行될 計劃案에 따라 論理上의 矛盾이 없도록 配列되려면,

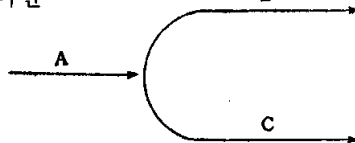
- ① 先行되어야 하는 活動
- ② 同時에 發生 및 進行하는 活動
- ③ 後續되어야 하는 活動을 明確히 決定해야 한다. ⁽¹⁰⁾ 그리고 이와 같이 작성된 論理的 흐름圖表(logical flow chart)를 計劃工程表(arrow diagram or network)라고 한다.

i. 計劃工程의 論理(network logic) ⁽¹¹⁾

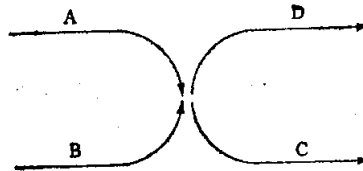
지금 個別活動 A, B 및 C가 連續해서 일어난다고 假定한다면 計劃工程表는 다음과 같다.



그러나 B와 C가 A에 뒤따른다면

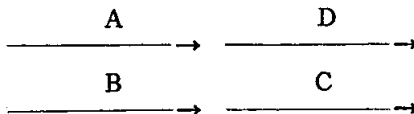


로 나타내는 것이 妥當할 것이다. 왜냐하면 B와 C는 전혀 別個의 活動임을 뚜렷이 나타내기 때문이다. 한편 活動 A, B, C, D에 있어서 D와 C가 A와 B에 이어지는 경우 A와 C 또는 B와 D 사이에 아무런 論理的 連關性이 없는 限



가 아니라 A에서 D로, B에서 C로 연결되는 平行線으로 表示해야만 한다.

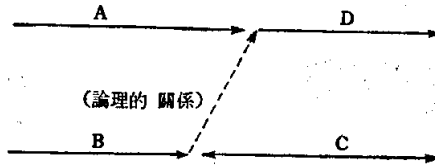
즉



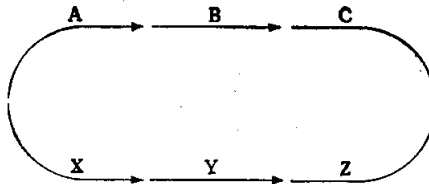
(10) *Ibid.*, p. 6.

(11) *cf. Ibid.*, pp. 12-14.

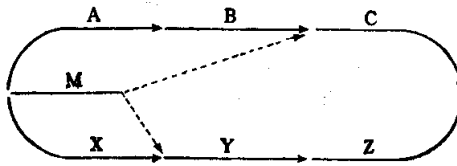
여기서 論理的인 制約關係란 있고 실제로는 活動을 隨伴하지 않는 活動(arrow)을 點線으로 나타내는 이른바 論理的 關係(logical connection)의 概念을 생각할 수 있다.



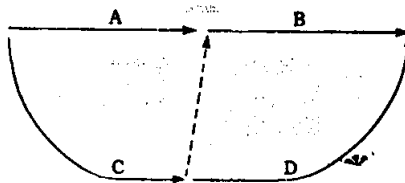
위의 그림에서 D는 A와 B에 잇대어 일어나는 活動이다. 그러나 C는 B에 의해서만 制約되어 진다는 것을 明確히 알 수 있다. 지금 連續關係에 있는 A,B 및 C의 活動과 또 다른 連續關係로 이어진 X,Y 및 Z 活動이 平行으로 連結되어서 進行한다고 하자. 이때 A와 X는 着手活動이고 C와 Z가 完了活動이라면 다음과 같이 表示하게 된다.



그런데 여기에 出發點을 같이 하며 C와 Y에 先行해야 하는 活動 M을 追加하면 아래와 같이 나타내게 된다.

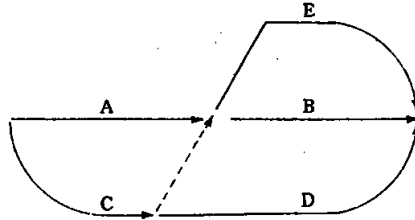


즉 論理上의 制約을 表示하는 活動線은 個別活動의 進行을 正確하게 나타내기 위해 절대로 필요한 것이다. 구체적인 예를 하나 더 든다면

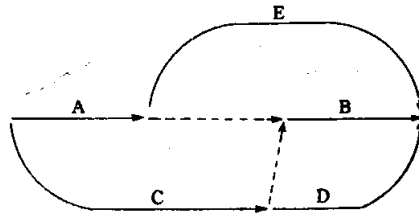


위의 같이 주어진 計劃工程에 A에는 뒤따르면서 C와는 無關한 活動 E가 追加되었을

때 아래와 같이 나타낼 수는 없다.



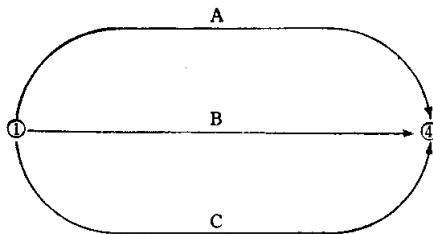
여기에서 E 활동이 C 활동의 制約을 받지 않고 遂行될 수 있는 점을 뚜렷이 하려면 A에 이어지는 다른 하나의 假想線(dummy)이 있어야만 하므로 다음과 같이 表示해야 한다.



ii. 段階(events)⁽¹²⁾

두개의 活動線 사이를 段階라고 한다. 段階는 전혀 時間上의 길이를 갖지 않는다. 그러나 하나의 段階에서 出發하는 活動線은 어느 것이나 (any of the activities leading out of the event) 그 段階로 들어 온 모든 活動(all activities leading into the event)이 完了되어야만 着手될 수 있다. 모든 段階에는 番號를 붙이므로 個別活動은 着手段階와 完了段階의 番號로 나타낸다. 着手段階를 i 完了段階를 j 라고 하면 ij 는 特定活動의 名稱으로 쓰이게 되는데 여기에는 몇가지 規制가 따르게 된다.⁽¹³⁾

① 各 活動은 固有한 ij 를 갖어야 한다. 두개의 段階 사이에 複數의 活動이 存在한다면 結果적으로 同一한 名稱을 갖는 複數의 活動이 있게 되므로 假想線을 사용하여 이러한 混同을 除去해야 한다.

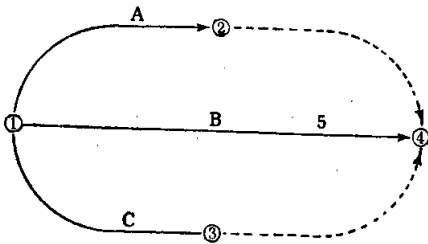


$i-j$	活 動
1-4	A
1-4	B
1-4	C

(12) cf. *Ibid.*, p. 229.

(13) *Ibid.*, pp. 17-18 실례로는 段階가 많을수록 ②를 지키기 어렵다.

즉 위의 計劃工程은 아래와 같이 修正되어야 한다.



$i-j$	活 動
1-2	A
1-3	C
1-4	B
2-4	假 想 線
3-4	假 想 線

② $i < j$ 의 關係가 維持되어야 한다.

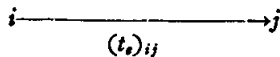
論理上의 循環을 막으려면 計劃工程이 完成된 뒤에 段階番號를 붙이는 것이 좋을 것이다.

iii. 日程計劃을 위한 時間概念

가장 빠른 着手日程(ES_{ij} : earliest start time)과 가장 늦은 完了日程(LF_{ij} : latest finish time)부터 살피기로 하자.

$$ES_{ij} = (T_E)_i$$

$$LF_{ij} = (T_L)_j$$



但 T_E = 가장 빠른 期待時間(earliest expected time)

T_L = 가장 늦은 許用時間(latest allowable time)

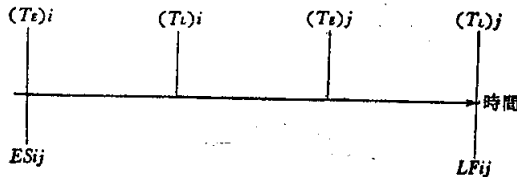
t_e = 個別活動의 期待時間(expected time)

a : optimistic time

t_m : most likely time

b : pessimistic time

$$t_e = \frac{a + 4t_m + b}{4} \quad (14)$$



위에서 가장 빠른 着手日程 ES_{ij} 에 의한 完了日程을 EF_{ij} : earliest finish time 이라고 하며 가장 늦은 完了日程 LF_{ij} 에 대한 着手日程을 LS_{ij} : latest start time 이라고 한다.

요컨대 ① 가장 빠른 着手日程(ES_{ij})은 그 活動을 着手할 수 있는 가장 빠른 時點을 말한다. $ES_{ij} = (T_E)_i$

② 가장 늦은 着手日程(LS_{ij})은 그 活動을 시작하지 않으면 안될 限界日程으로서 이를 超過하면 주어진 工期를 지키지 못하게 된다. 따라서 가장 늦은 許容期日에서 그 活動의 所

(14) Ibid., pp. 98-99 $a \leq t_m \leq b$

要期間인 te 만큼을 앞선 時點이 된다. $LS_{ij} = (TL)_j - (te)_{ij}$

③ 가장빠른 完了日程(EF_{ij})은 가장빠른 着手日程으로 그 活動을 시작했을 때의 豫定完了日을 말한다. $EF_{ij} = (TE)_i + (te)_{ij}$

④ 가장늦은 完了日程(LF_{ij})은 그 活動을 完了하지 않으면 안될 限界日程을 말한다. $LF_{ij} = (TL)_{ij}$

⑤ 總餘裕 (TS : total slack)⁽¹⁵⁾는 가장늦은 着手日程 LF 와 가장빠른 完了日程 EF 와의 差를 말한다. 이는 그 活動이 가지는 最大餘裕日에 해당하며 그 以上으로 作業이 遲延되면 工期를 넘기게 된다. (The total slack of an activity represents the maximum amount of time it can be delayed beyond its ES without delaying the project completion time.)⁽¹⁶⁾

⑥ 自由餘裕(FS : free slack)⁽¹⁷⁾는 어떤 活動 ij 의 先行 및 後續活動들이 그들의 가장빠른 着手日程 ES 에서 출발하였을 때, 이는 檢討하고자 하는 어떤活動이 취할 수 있는 調整可能域을 나타내는 것이라고 할 수 있다. (Free slack is the amount of time that an activity can be delayed without delaying the ES of any other activity. Free slack for an activity never exceeds the TS for that activity. FS for an activity can be computed as the difference between the EF for that activity and the earliest of the ES times of all of its immediate successors.)⁽¹⁸⁾

2. 段階時間에 의한 日程計算(Event Time Computation)

活動時間計算(activity time computation)의 前에, 段階에 의한 日程時間을 計算하는 方法으로 「매트릭스」計算法(matrix manual computation)과 直接計算法(intuitive manual computation)을 考察해 보면 基礎의 原理를 잘 알 수 있다.⁽¹⁹⁾

(15) cf. *Ibid.*, p. 104 TS 와 TF (total float)는 전혀 같은 內容으로 相互混用됨.

(16) Elwood S. Buffa, *op. cit.*, 2nd ed., 1965, p. 541.

(17) FS 活用上的 制約은 cf. O'Brien, *op. cit.*, p. 228

(18) Elwood S. Buffa, *op. cit.*, p. 542.

(19) cf. O'Brien, *op. cit.*, pp. 46-52, computer에 의한 計算方法도 基本的으로는 同一한 原理이므로 本稿에서는 그 說明을 省略함.

한편 計算作業에 先行하는 所要期間測定은 다음과 같다. (cf. *Ibid.*, pp. 46-49) Critical Path Method에서 다루게 되는 時間이란 計劃期間(project time)을 뜻하는 것으로 測定單位는 統一性이 維持되도록 時間(time), 日(day), 週(week)등 어느 것이나 택할 수 있다. 이때 測定者는 正常的의 條件에서 動員可能한 作業人員을 假定하게 된다. 이 假定은 반드시 測定者가 判斷할 때 該當作業을 遂行할 時點에서 動員될 수 있는 “期待作業人員”이어야 한다. 測定方法은 일정한 作業活動에 所要되는 人/時(man-hour requirements)를 計算하여 이를 1일의 推定作業員數가 遂行하는 人/時로 除하는 方法이 많이 活用되지만 실제로는 이의 不正確性을 補完하기 위해서 計劃中인 對象工事に 經驗이 있는 測定者가 精密한 測定을 할 수 있을 정도로 까지 全體工事が 細分되어야 한다.

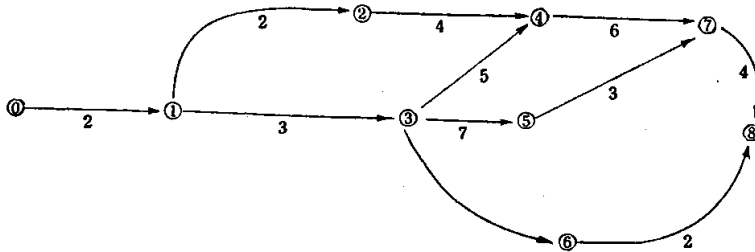
i. 「매트릭스」計算法(matrix manual computation)

예컨대 工事計劃이 주어졌다고 하면 주어진 工事計劃을 이루고 있는 活動 ij 의 所要期間(duration)을 D_{ij} 로 表示하여 表를 만들 수 있다. (表 2-1)⁽²⁰⁾

〈2-1 活動目錄表〉

活 動		D_{ij}	作 業 名
i	j		
0	1	2	測 量 斗 整 地
1	2	2	發 電 機 架 設
1	3	3	監 督 官 室
2	4	4	配 線 工 事
3	4	5	Compressor 室
3	5	7	倉 庫
3	6	1	Pile 運 搬
4	7	6	接 道 工 事
5	7	3	鍛 冶 場
6	8	2	Beam
7	8	4	Pier

〈2-1 計劃工程圖表〉



이를 根據로 하여 日程計算表를 작성하면 〈2-1 計算表〉와 같다. 즉 세로軸에 i 番號를 붙이고 가로軸에는 j 番號를 붙인 計算表에서 i 와 j 가 마주치는 빈칸에 所要期間 D_{ij} 를 記入한다. 이때 $i < j$ 를 정확히 지켜서 段階番號를 정하였다면 計算表의 左上端에서 右下端으로 이어지는 대각선의 浬부분에만 D_{ij} 가 記入되어야 한다. (2-1 計算表 參照)

① T_E 의 計算⁽²¹⁾

첫 段階인 $i=0$ 에서는 그 以前活動이 없으므로 첫 段階에 도달하는 때에는 $T_{E0}=0$, 즉 時間所要가 없음을 나타낸다. 이를 세로軸 i 番號 옆에 記入하고 다음에는 段階 1에서 끝나는 活動이 $ij=0-1$ 뿐이므로 $T_{E1}=T_{E0}+1=0+1=1$ 이 된다. 마찬가지로 $T_{E2}=T_{E1}+2=1+2$

(20) 說明의 便宜上 實際보다는 單純化 시킴.

(21) cf. *Ibid.*, pp. 226-227.

=3이 되고 $T_{E3}=T_{E2}+3=1+3=4$ 가 된다. 그런데 T_{E4} 의 계산에서는 段階4에서完了되는活動이 $ij=2-4$ 와 $ij=3-4$ 이므로 $T_{E4}=T_{E2}+4=3+4=7$ 과 $T_{E4}=T_{E3}+5=4+5=9$ 중에서所要期間이 긴 $T_{E4}=9$ 가 段階4의 T_E 가 된다. 왜냐하면 段階4로 연결된 $ij=2-4$ 와 $ij=3-4$ 의 두가지 個別活動이 모두完了되어야만 段階4에서出發하는 다음活動을着手할 수 있기 때문이다. 같은 방법으로 T_E 計算을完成시키면 <2-1 計算表>와 같다.

<2-1 計算表>

T_E	計算內容		1	2	3	4	5	6	7
0		0	2						
2	2	1	2	3					
4	(2+2)	2			4				
5	(2+3)	3			5	7	1		
10	(4+4) (5+5)	4						6	
12	(5+7)	5						3	
6	(5+1)	6							2
16	(10+6)(12+3)	7							4
20	(6+2) 16+4)								

② T_L 의 計算⁽²²⁾

마지막 段階인 $j=8$ 의 $T_{E8}=20$ 을 T_{L8} 로 定하여⁽²³⁾ T_E 計算때와는 逆方向으로 計算한다. 段階7의 T_L 은 i 軸 段階7에서出發하는 $ij=7-8$ 뿐이고 $D_{ij}=4$ 이므로 $T_{L7}=T_{L8}-4=20-4=16$ 이 된다. 같은 방법으로 計算을 進行시키면 段階6에서는 $T_{L6}=T_{L8}-2=20-2=18$ 이 되고 段階5에서는 $T_{L5}=T_{L7}-3=16-3=13$ 이 되며 段階4에서는 $T_{L4}=T_{L7}-6=16-6=10$ 이 된다. 그런데 段階3의 경우는 $T_{L3}=T_{L4}-5=10-5=5$ 와 $T_{L3}=T_{L5}-7=13-7=6$ 및 $T_{L3}=T_{L5}-1=18-1=17$ 이 計算되는데 T_E 計算때와는 반대로 작은 값을 計算値로 택하여 $T_{L3}=T_{L4}-5=10-5=5$ 가 段階3의 T_L 로 決定된다. 이러한 計算方法으로 T_L 計算을 完成시키면 <2-2 計算表>와 같다.

③ 主檢討對象工程과 各段階의 餘裕⁽²⁴⁾

T_E 와 T_L 의 計算作業이 끝나면 이를 綜合하여 主檢討對象工程(critical path)과 各段階別 餘裕를 찾아낼 수 있는바 前記한 例에서 計算된 <2-3 計算表>를 만든다. 즉 同表에서 0, 1, 3, 4, 7, 8 段階는 全體工程이 進行되는 동안에 아무런 餘裕도 없이 지나게 되므로

(22) Loc. cit.

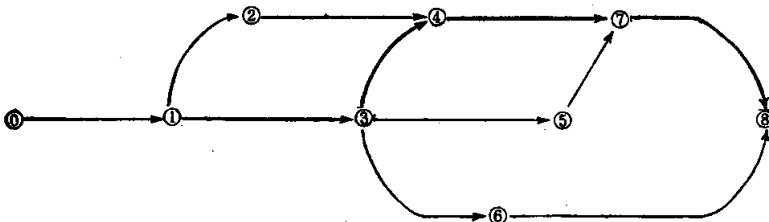
(23) 別途로 定해진 工期(scheduled time)가 없을 때의 利用方法

(24) cf. F.K. Levy et al., op. cit., pp. 103-104.

<2-2 計算表>

j \ i	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	2								
1		2							
2			3						
3				4					
4					5				
5						7			
6							1		
7								6	
8									3
									2
									4
	(5-3)		(18-1)						
(2-2)	(10-4)	(13-7)	(16-6)	(16-3)	(20-2)	(20-4)			計算內容
	(6-2)	(10-5)							
0	2	6	5	10	13	18	16	20	T_L

<2-2 計劃工程圖表>



<2-3 計算表>

段階番號	T_E	T_L	餘裕期間
0	0	0	0
1	2	2	0
2	4	6	2
3	5	5	0
4	10	10	0
5	12	13	1
6	6	18	12
7	16	16	0
8	20	20	0

이들 段階를 지나는 工程이 段階時間計算에 의한 主檢討對象工程이라고 할 수 있다.

위 圖表에서 굵은 線으로 이어진 0-1-3-4-7-8 工程은 全體工程을 完成하는데 所要되는 期間(주 工期)에 절대적인 영향을 주고 있는 것이다.

그러나 「메트릭스」計算法은 다음과 같은 몇가지 缺點 때문에 널리 利用되지 못하고 있다. (25)

(25) O'Brien, *op.cit.*, p. 51.

첫째 資料가 되는 數値를 計劃工程表(diagram)로 부터 移記해야 하므로 불필요한 時間이 소요되는 물론이고 轉記錄의 誤記로 인하여 잘못된 結果를 갖어오기 쉽다.

둘째 「매트릭스」型은 複雜한 計劃事業인 경우 너무 많은 面을 필요로 하기 때문에 다루기가 불편하다. 즉 段階數 m 을 100 이라고 했을때 $(m-1) \times (m-1)$ 즉 $99 \times 99 = 9,801$ 個의 정사각형 모눈을 다루게 된다.

셋째 順列番號에 있어서 반드시 $i < j$ 의 關係가 유지되어야 하므로 실제로는 追加 및 削除 등 進行過程에 따르는 變更에 隨時로 應하지 못하는 短點이 있다.

넷째 計劃工程表와 分離하여 時間進行을 計算하기 때문에 단순히 機械的인 計算을 하는 傾向이 있다.

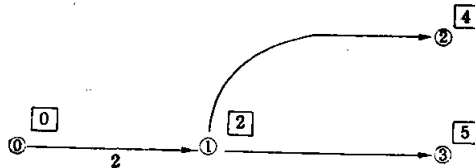
ii. 直接計算法(intuitive manual computation)⁽²⁶⁾

說明의 統一을 위해 같은 例를 계속 檢討하기로 하면 다음과 같다.

① T_E 의 計算⁽²⁷⁾

<2-1 計劃工程圖表>에서, 段階 0에서 出發한다면 段階 1에 이를 수 있는 가장 빠른 時間은 所要期間 2日을 經過해야만 活動 0-1이 完了된다고 豫想했으므로 段階 1의 가장 빠른 段階時間 T_E 는 2日이 된다. 段階 3에 까지 이르는 T_E 는 $2+3=5$, 段階 2까지의 경우도 마찬가지로 $2+2=4$, 즉 4日이 지나야 段階 2의 T_E 점에 도달되는 것이다. (計算의 原理는 「매트릭스」法과 同一하다) 段階가 계속됨에 따라 計算된 T_E 를 <2-3 計劃工程圖表>와 같이 記錄해 간다.

<2-3 計劃工程圖表>



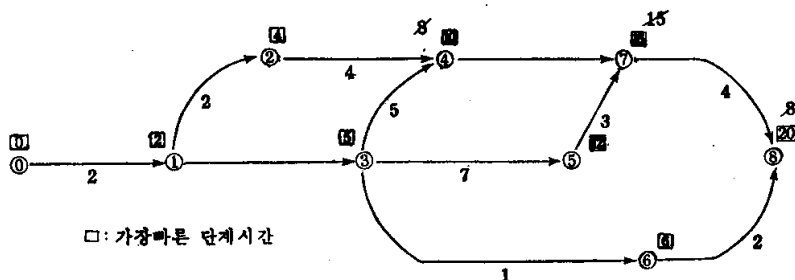
이때 段階 4의 T_E 를 決定할 때에는 이 段階로 進入하는 工程이 두가지 경우가 있으므로 우선 段階 2의 T_E 인 4日에 4日을 加算한 8日이 計算되지만 이를 그대로 段階 4의 T_E 로 決定하지 않고 0-1-3-4를 지나는 工程을 追跡하면서 T_E 를 計算해 보면 段階 3의 T_E 인 5日에 5日을 加算한 段階 4의 T_E 는 10日이 되므로 결국 段階 4의 T_E 는 0-1-2-4를 지나는 工程에서 計算된 8日보다 큰 數인 10日로 決定된다. 여기서 注意할 점

(26) cf. Ibid., pp. 51-56.

(27) cf. Ibid., pp. 52-54.

은 段階番號를 나타내는 數字는 단순히 各 段階 및 段階間의 活動을 表示하는데 불과하므로 各 段階의 T_E 를 나타내는 數字와는 混同을 避해야 한다는 것이다. 이러한 誤謬를 막기 위해서 <2-4 計劃工程圖表>와 같이 各 段階의 T_E 를 □속에 記入하고, 여러개의 活動으로 갈라지거나 모여드는 段階에는 特別한 表示를 要한다. (28)

<2-4 計劃工程圖表>

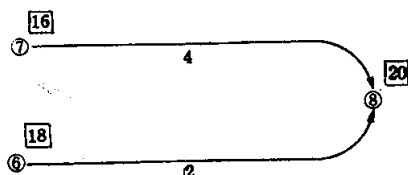


이러한 T_E 의 計算으로 이 計劃工程을 모두 끝내는데 필요한 所需기간은 20日임을 밝힐 수 있다.

② T_L 의 計算 (29)

各 段階의 T_L 은 앞에서 論한 바와같이 計算된 全工程의 所需기간을 遲延시키지 않는 범위내에서 그 段階까지 도달해야하는 가장 늦은 時間을 뜻한다.

<2-5 計劃工程圖表>

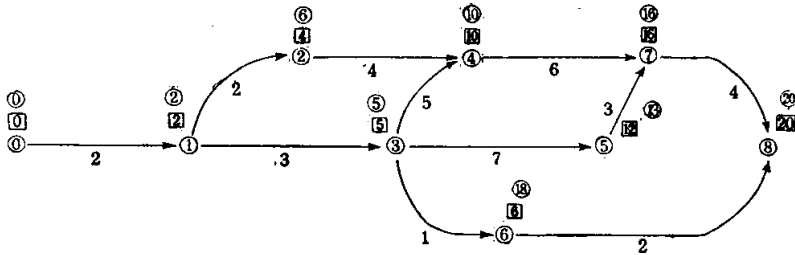


「매트릭스」計算法의 경우와 마찬가지로 最後段階인 段階8의 T_L 은 20이므로 段階7의 T_L 은 <2-5 計劃工程圖表>에서 $20-4=16$ 이고 段階6의 T_L 은 $20-2=18$ 이 된다. 이것은 段階8이 20日에 完了되려면 段階7과 段階6은 各各 16日과 18日보다 늦어질 수 없다는 意味를 갖는다. 段階의 逆順에 따라 T_L 의 計算이 進行되면 段階3과 段階1에서는 T_E 의 計算때와 같이 두가지 以上の 數值가 計算되므로 가장 작은 數值를 擇하여 그 段階의 T_L 로 定하면 <2-6 計劃工程圖表>와 같다.

(28) T_E 및 T_L 의 記入은 반드시 □ 및 ○이 아니라도 됨.

(29) cf. *Ibid.*, pp. 54-56.

〈2-6 計劃工程圖表〉



이때 段階 3과 段階 1의 경우는 〈2-4 計算表〉와 같이 計算하여 나타낼 수 있다.

〈2-4 計 算 表〉

活 動	가장늦은단계시간 (T_L)	소요시간 (D_{ij})	경로별계산치
3-4	10	5	5
3-5	13	7	6
3-6	18	1	17
1-2	6	2	4
1-3	5	3	2

但 着手段階의 T_L 은 항상 0이어야 한다. 만일 0이 아닐 때에는 T_L 計算上の 錯誤를 뜻한다. (30)

(T_L 計算으로 主檢討對象工程을 發見하는 方法은 i 의 ② 參照)

3. 活動時間에 의한 日程計算(Activity Time Computation) (31)

지금까지 段階를 중심으로 한 時間計算을 考察하였다. 그러나 段階와 段階間에 位置하는 個別活動의 時間計算이 없이는 결코 충분한 考察이 될 수 없다. 예컨대 앞에서 引用한 計劃工程表에서 段階 3에 관하여 T_{L3} 인 5일까지 監督官室이 完成되어야 한다는 점만을 밝혔으므로 段階 4, 段階 5 및 段階 6과의 關係는 밝혀지지 않았다.

日程計劃의 時間概念은 앞서 論하였으므로 直接 計算을 試圖하던 段階時間計算에서 完成된 〈2-5 計算表〉에서

$$ES = T_E(\text{段階 } i) = \text{①}$$

$$EF = ES + D_{ij}$$

$$LF = T_L(\text{段階 } j) = \text{①}$$

(30) 最後段階에서 $T_E = T_L$ 로 했을 때에 限한다.

(31) cf. *Ibid.*, pp. 60-66.

〈2-5 計 算 表〉

活 動 ij		所 要 期 間 D_{ij}	ES	LF
i	j			
0	1	2	0	2
1	2	2	2	6
1	3	3	2	5
2	4	4	4	1
3	4	5	5	10
3	5	7	5	13
3	6	1	5	18
4	7	6	10	16
5	7	3	12	16
6	8	2	6	20
7	8	4	16	20

$LS=LF-D_{ij}$ 이므로 EF와 LS를 計算한 〈2-6 計算表〉를 作成할 수 있다.

〈2-6 計 算 表〉

活 動 ij		所 要 期 間 D_{ij}	ES	EF	LS	LF
i	j					
0	1	2	0	2	0	2
1	2	2	2	4	4	6
1	3	3	2	5	2	5
2	4	4	4	8	6	10
3	4	5	5	10	5	10
3	5	7	5	12	6	13
3	6	1	5	6	17	18
4	7	6	10	16	10	16
5	7	3	12	15	13	16
6	8	2	0	8	18	20
7	8	4	16	20	16	20

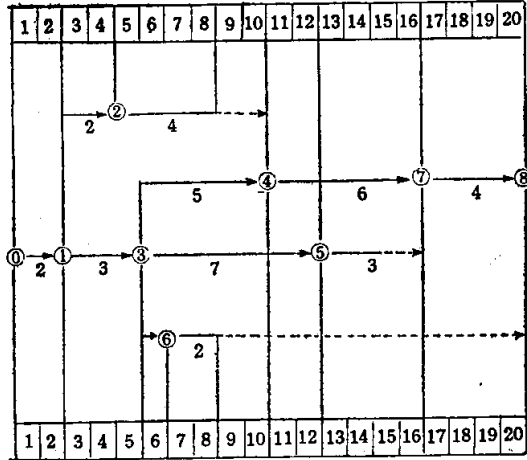
또한 〈2-6 計算表〉를 日程을 記入한 圖表로 나타내면 活動時間計算에서의 主檢討對象工程을 明確히 알게 된다. (2-7 計劃工程圖表 參照)⁽³²⁾

(32) Warren Dusenbury, *op. cit.*, p. 130.

日程을 對應시킨 計劃工程圖表의 長點 :

- a. 利用者가 輒然 利用하기 쉽
- b. ES와 LS를 計算치 않으므로 圖表가 單純하며
- c. 統制하기 쉽도록 段階의 歷日을 알려주는 副次的인 目的에 도움을 준다. (週 및 月別로 對應시켜 작성한 圖表는 cf. *Ibid.*, pp. 131-136)

<2-7 計劃工程圖表>

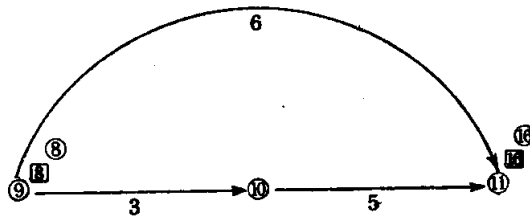


끝으로 活動時間計算을 했을 때의 主檢象對象工程을 確認하는 方法은 아래와 같다. ⁽³³⁾

- ① 着手段階의 가장 빠른 段階時間이 그 가장 늦은 段階時間과 同一할 것.
- ② 完了段階의 가장 빠른 段階時間이 그 가장 늦은 段階時間과 同一할 것.
- ③ ES와 LF의 時間差가 D_{ij} 와 一致하는 活動일 것.

여기서 ①과 ②는 段階時間을 計算할 때의 方法과 同一하나, ③의 경우는 特別한 注意를 要한다.

<2-8 計劃工程圖表>



즉 위의 圖表에서 9-11 活動은 要件 ①과 ②를 갖추었으나 主檢討對象에 屬하는 工程이 될 수 없고 $LF-ES-D_{ij}$ 만큼의 餘裕를 갖는다고 하겠다.

(33) O'Brien, *op. cit.*, p. 63.

〈2-7 計 算 表〉

活 動 ij		所要期間	ES	EF	LS	LF	TF
i	j	D_{ij}					
0	1	2	0	2	0	2	0
1	2	2	2	4	4	6	2
1	3	3	2	5	2	5	0
2	4	4	4	8	6	10	2
3	4	5	5	10	5	10	0
3	5	7	5	12	6	13	1
3	6	1	5	6	17	18	12
4	7	6	10	16	10	16	0
5	7	3	12	15	13	16	1
6	8	2	6	8	18	20	12
7	8	4	16	20	16	20	0

Ⅳ. Critical Path Method 의 導入과 評價

1. Critical Path Method 의 導入

本稿에서 들고 있는 例는 우리나라의 西海에 接한 二重橋脚의 下部構造工事を 위해 마련했던 架設工事的 實施計劃書一切를 根據로 作成되었다. 本架設工事的 工事別 分類는 다음과 같다.

(圖面番號)

1. 假建物 (temporary facilities) (1/1), (1/10)
2. 電氣工事 (electric work) (1/1), (1/10), (1/12)
3. 橋臺 및 날개壁 (abutment and wing wall) (1/1), (1/10), (1/7)
4. 假棧橋 (temporary bridge) (1/1), (1/10)
5. 進水臺 (incline cradle) (1/1), (1/9)
6. 壓縮空氣施設 (air supply system) (1/1), (1/12)
7. 本橋脚 (main pier) (1/1), (1/8), (5/8), (1/9)

但, 潛函(caisson)工法에 의함.

以上은 橋脚 兩側에서 同時に 進行함을 原則으로 하고, 高壓線 및 送氣管의 架設은 既存 電氣施設의 利用을 위해서, 또한 所要資材一切는 立地條件을 考慮하여 一方側 經由를 前提로 하였다.

한편 活動目錄表와 計劃工程表를 作成하고 intuitive manual computation 에 의해서 各段

〈第16番 Pier 以下の活動目錄表〉

活動 i	活動 j	所要期間 (日) (Dij)	作業名 (Activity)	動員人員 (Crew)	責任部署 (Section)	着手 (Start)		完了 (Finish)		總餘裕 (Total Slack)	備考 (Remarks)
						ES	LS	EF	LF		
364'	365'	1	P. 16 Scaffold	木工10	木工班	463	690	464	691	227	
365'	366'	3	作業臺	木工3 鐵工2 電工2	木工班 鐵工班 電工班	502	691	505	694	189	
366'	367'	1	Steel Caisson 掘置	運搬船1, Crane, 15	船舶班, 重機班	541	694	542	695	153	
367'	368'	15	Steel Caisson Conc.	Mixer. 8	Conc. 班	581	695	596	710	114	T.H. H=9.9m (V=148.7606m³×2)
368'	369'	36	거푸집(Conc. Caisson)	木工5	木工班, 거푸집班	626	710	662	746	84	$297.521m³ \times \frac{1}{20} \approx 15$
369'	370'	36	Conc. Caisson	Mixer 1	Conc 班	675	746	711	782	71	$1,767.6944m³ \times \frac{1}{10 \times 5} \approx 36$
370'	371'	1	Air lock 設置	鐵工5, 壓氣工3	鐵工班 壓氣班	725	782	726	783	57	$716.4224m³ \times \frac{1}{20} \approx 36$
371'	372'	43	掘 鑿	caisson10 壓氣工10, 18	掘鑿班	770	783	813	826	13	
372'	373'	9	Seal conc.	Mixer1 Caisson10	Conc. 班	813	826	822	835	13	
373'	374'	17	Sand Filling	Truck 10	輸送班	822	835	839	852	13	$1,355.1235m³ \times \frac{1}{80} \approx 17$
374'	375'	3	Lid 거푸집	木工5 木工5	거푸집班, 木工班	839	852	842	855	13	
375'	376'	10	Lid Conc.	Mixer 1	Conc. 班	842	855	852	865	13	
376'	377'	5	Curing 解體	木工 3	木工班, 거푸집班	852	865	857	870	13	
377'	378'	7	Body 거푸집 (strut scaffold)	木工 5 木工 5	거푸집班, 木工班	857	870	864	877	13	$316.9632m³ \times \frac{1}{10 \times 5} \approx 7$
378'	379'	16	Body Conc.	Mixer 1	Conc. 班	864	877	880	893	13	$313.1659m³ \times \frac{1}{20} \approx 16$
379'	395'	0	Dummy			880	893	880	893	13	

階의 ES 및 LF를 計算하였던바 그 計算作業의 一部는 앞에 例示하였다.

i. Critical Path의 決定

위에 그 一部를 例示한 活動目錄表에서 TS가 0인 活動을 連結하면 第1次的으로 檢討되어야 할 作業이 다음과 같다.

① 假棧橋(temporary bridge)

着手→測量 및 整地→監督官室→鍛冶場→倉庫 및 壓氣室→接道杭打→Beam 깔기→杭打 第1番 橋脚부터 第30番 橋脚까지(但 反對側은 第60番 橋脚부터 第31番 橋脚까지)→Truss(shoe) 設置完了→I Beam 깔기完了→rail 設置完了→送氣管設置完了→高壓線架設完了
以上은 兩側의 作業進行이 同一하다.

② 本橋(main pier)

第1番 橋脚的 作業臺를 위한 杭打에서 出發하여 同 비계(scaffold)→同作業臺→同 steel caisson 掘置→同 conc. 치기→第2番 橋脚的 steel caisson conc. 치기→同 conc. caisson의 거무집(wooden form)→第3番 橋脚 conc. caisson의 거무집→第4番 橋脚 conc. caisson의 거무집→第5番 橋脚 conc. caisson의 거무집→同 conc. 치기→同 air lock 設置→同 掘鑿(ex-cavation)부터 第15番 橋脚的 掘鑿까지→第15番 橋脚的 封鎖(seal) conc.→同 頂板(lid) 거무집→同 conc. 치기→同 養生(curing)→同 軀體(body) 거무집 및 동바리(strut)→同 conc. 치기

이러한 作業線(activity line)을 連結하여 本工事의 期間이 最少限 893日이상 일을 알게 되었다.

ii. Critical Path의 檢討

그러나 893日의 意味는 critical path 上에 있는 112個의 作業中에서 어느 하나라도 短縮이 可能하다면 全體工期를 그만큼 短縮시킬 수 있고, 豫想보다 遲延되던 全體工期도 그만큼 延長될 수 있다는 前提에 不遇하다. 따라서 完工豫定日을 超過하거나 未達할 때에는 工事管理의 焦點을 critical path에 集中시켜서 調整을 試圖하는 것이 필요하다. 이때 工期短縮을 위한 試圖는 다음의 세가지 側面에서 考察될 수 있다. (34)

첫째 連續된 作業의 平行作業化, ③-④, ③-⑤ 및 ③-⑥으로 表示된 鍛冶場, 倉庫 및 壓氣室作業은 計劃工程을 樹立할 때부터 個別作業을 平行作業化시킨 것에 不遇하지만

(34) cf. *Ibid.*, pp. 141-147.

①-③으로 表示되는 監督官室作業까지도 平行作業化 한다면 그만큼 短縮이 可能할 것이다.

둘째 所要期間이 긴 作業活動을 調査하여 裝備 또는 人力을 追加함으로써 短縮시키는 方案으로 예컨대 ㉠-①로 表示되는 測量 및 整地作業에 D₇型 Bull Dozer 를 2臺에서 4臺로 追加投入하면 兩側이 各各 15日에서 8日로 短縮이 可能하고 假棧橋工事全體에 걸쳐 Diesel Hammer 를 追加投入할 수 있는 方案을 技術적으로 解決한다면 65日에서 35日로 日程이 短縮된다.

위의 두가지는 critical path 全體에 適用될 수 있는 한가지 例에 지나지 않으므로 112個의 모든 作業活動이 實務技術陣과 共同으로 檢討되어야 한다.

셋째 作業日程의 歷日化

季節的 制約을 強하게 받는 工事, 특히 橋梁工事의 경우에는 正確한 時期를 알기 위해서도 CPM 日程歷을 作成하여 活用할 수 있다. 즉 日程歷에 의하여 各 個別作業이 遂行되는 年月日을 正確히 알게 되므로 장마나 洪水철에 水中作業을 強行하거나 가장 추운 時期에 「공크리트」作業을 實施하는 不合理한 計劃을 事前에 豫想하고 이를 技術적으로 解決하는 方案을 마련할 수 있다.

2. Critical Path Method 의 分析的 評價

計劃工程表에서 計算된 ES 및 LS와 活動目錄表에서 計算된 EF, LS 및 TS에 의해서 決定한 critical path 를 日程計劃의 基礎的 前提로 活用하려면 몇가지 分析的 評價가 隨伴되어야 한다.

i. 資材(materials)

一般的으로 資材運搬을 早期에 끝냈다고 해서 個別作業을 ES 以前에 着手하거나 EF 以前에 끝낼 수는 없으나 資材運搬의 遲延이 工期에 미치는 影響은 致命的이다.⁽³⁵⁾ 따라서 資材班이나 輸送班의 가장 重要한 任務는 適期에 資材供給을 遂行하는 데에 集約된다.

한편 前述한 活動目錄表에서는 現場에서 進行되는 作業活動에 局限시켰으므로 이를 活用하려면 ① 外國資材의 導入期間 ② 國內調達品目中 steel caisson 과 같이 長期間의 製作期間을 要하는 注文品은 그 製作期間 ③ 所要資材의 運搬期間을 算出⁽³⁶⁾하여 이를 所要計劃에 對應시킨 資材調達 및 導入의 計劃工程表가 別途로 作成·併用되어야 한다.

(35) Ibid., p. 131.

(36) 예컨대 「시멘트」는 裡里湖南國土建設局(L=26km) 4 ton × 2.18日 = 8.72 ton/day(truck 當) (湖南國土建設局 FY 67 同工事下部構造 單價算出書, 서울, 1967, p. 10 參照)

ii. 餘裕(Slack)

本橋(main pier)工事が着手된 후의作業 即 段階 155以後의 作業中에는 TS가 100을 넘는 것이 많다. 따라서 計劃工程表가 日程計劃表로서의 구실을 다하려던 TS가 長期間인 作業活動을 檢討하여 그의 着手段階側이나 完了段階側 또는 中間에 lead(또는 lag)期間⁽³⁷⁾을 導入함으로써

- ① 人力 및 裝備의 適正配當 및 活用計劃에 있어서 第1次의인 考慮要素로 삼을 수 있고
- ② 各 作業活動의 進行에 미치는 季節의인 影響을 最少限으로 막거나 逆利用할 수 있다.⁽³⁸⁾

iii. 最少費用理論(minimum cost expediting)

本稿에서는 工費를 直接的인 研究對象으로 삼지는 않았으나 工事日程의 增減은 必然的으로 工費問題를 隨伴하므로 다음과 같은 基本的 檢討가 必要하다.

CPM을 現實的인 工費管理에 適用할 때 가장 어려운 점의 하나는 所要經費의 精確한 測定問題이다.⁽³⁹⁾ 그러나 이점은 종래의 傳統的 方法으로 工費管理에 임할 때에도 마찬가지일 것이다. 個別作業의 所要日數 對 費用增減의 關係에서 最少費用으로의 工程短縮을 摸索하려면 먼저 所要工費를 直接費(direct cost), 間接費(indirect cost) 및 機會費(opportunity cost)로 區分하고 理論上 이의 合計가 最少로 되는 점이 最適工費이겠으나⁽⁴⁰⁾ 실제로는 直接費를 對象으로 함이 보다 現實的인 것이다. 이때에는 計劃工程을 이루는 個別作業을 各各 普通計劃費(normal cost)와 急速計劃費(crash cost) 및 이에 對應하는 普通計劃期間(normal duration)과 急速期間(crash duration)으로 區分하여 作業別 費用增減率(cost slope)⁽⁴¹⁾를 算出할 수 있다. 이와 같이 算出된 費用增減率이 最少인 活動부터 차례로 短縮하여 全工程을 critical path化하면 結果의으로는 最少의 費用으로 工期를 短縮한 것과 같다.⁽⁴²⁾ 이러한 短縮工程을 찾아 내려면 ① critical path의 發見 ② critical path上的 費用增減率이 最少인 作業을 發見 ③ critical path가 移動되기 前까지 ②의 作業을 短縮 ④ 短縮된 期日로의 調整이 反復된다.⁽⁴³⁾ 이와 같은 日程短縮法을 適用하는 過程에서 가장 問

(37) O'Brien, *op. cit.*, pp. 143-145.

(38) 우리나라 西海岸의 干滿差는 매우 심하다. 따라서 橋脚架設에 難點이 많으나 潮位가 높은 年度下半年에 假棧橋工事を 이미 끝냈다면 Truss 作業時 干滿差를 利用하여 起重機의 使用을 節約할 수 있다. (湖南國土建設局, 前掲書 <實施設計報告書> p. 92 潮位表 參照)

(39) O'Brien, *op. cit.*, p. 158.

(40) *cf. Ibid.*, p. 182.

(41) *cf. Ibid.*, p. 171.

(42) 구체적인 例는 *cf. Ibid.*, pp. 171-183.

(43) *cf. Ibid.*, pp. 175-176.

題가 되는 것은 單純한 計算節次보다도 오히려 急速費用과 急速期日을 決定하는 것이다.

V. 結 言

理論的인 計劃「모델」에 의한 計算結果와 實施過程 및 竣工時의 結果가 완전히 一致하지는 못하더라도 不可抗力의 事態가 發生할 確率은 從來의 日程計劃法과 같으나 個別作業活動이 全工期에 미칠 影響을 明確히 豫測할 수 있어서 動態的인 對備策樹立이 可能하다는 것이 critical path method의 強點이라 하겠다. 어떠한 事態下에서도 事前措置를 위한 치밀한 豫測과 計劃이 所望스러운 것이라면 critical path method로 設計變更, 施工節次의 變更, 所要期間의 調整 및 裝備와 資材의 調達計劃을 정확히 豫測하게 되므로 解決策樹立이 더욱 容易한 것도 事實일 것이다. 그러나 critical path method의 成果를 높이려면 作業現場의 與件에 密着된 計劃이라는 前提가 있어야 된다. 工事現場의 狀況을 人爲的으로 critical path method에 適應시키는 接近을 除去하려면 最初의 計劃工程樹立時에 現場實務陣을 參與시키는 方法이 考慮되어야 하겠다. 計劃工程表가 갖는 圖表로서의 特性은 먼저 計劃된 作業順序를 全利害關係者가 모두 檢討·確認할 수 있어서 大規模作業이나 複雜한 工程으로 된 作業이 事前에 충분히 檢討된다는 점으로 이는 圖表上의 誤謬는 實現된 誤謬보다 훨씬 修正하기 쉽다는 것을 말한다.

또한 工事의 進行이 明確하므로 管理者의 交替가 必要한 때에도 交替로 인한 進捗管理上의 蹉跌을 最少限으로 막을 수 있을 것이다. 그러나 가장 중요한 特徵은 計劃工程表自體가 動態的이기 때문에 工事過程에서 隨時로 發生하는 與件變化에 即應하여 새로운 案이나 變更의 評價調整이 可能하다는 점이라고 하겠다.

끝으로 現實的인 問題點을 보면 첫째 建設業界의 受容態勢: 典型的인 對象作業이 建設分野임을 考慮할때 國內 大規模 土木·建設事業이 대부분 國家豫算支出의 制約을 強하게 받기 때문에 工事管理를 위한 日程計劃이 當該 施工年度의 豫算割當額(특히 그支出額)에 크게 左右되므로 集中投資에 의한 集中管理를 試圖하여 全般的으로 工費를 節約할 수 있는 利點을 살리지 못할 뿐 아니라 根本的으로 施工業者들은 科學的인 工事管理를 통한 工費節減 및 日程의 短縮을 輕視하는 傾向이 있다.

둘째 專門家의 不足: 理論의 定立만을 위한 理論이 아닌 以上 비록 critical path method 理論自體는 大規模의 複雜한 事業(project)을 分析(analyzing), 計劃(planning), 日程計劃(scheduling)하는 매우 有力하고도 손쉬운 技法⁽⁴⁴⁾이라 하더라도 이의 活用이 最高

(44) F.K.Levy et. al., op. cit., p. 98.

經營層을 비롯한 利用關係者들에게 受容되려면 잘 訓練되고 經驗있는 專門家에 의해서 먼저 그 效果가 實證되어야 할 것이다. 우리나라의 慣行에 따른다면 工程 및 日程計劃을 비롯한 工事管理全般이 擔當者 個人的 力量에만 直結되어 있기 때문에 이러한 體制가 改善되지 않는 限 公開, 協力, 集團管理方式인⁽⁴⁵⁾ critical path method의 適用은 難關이 豫想된다. 한편 技術工學的 素養을 갖춘 建設技術陣은 일반적으로 施工技術自體에는 깊은 關心을 갖고 研究할지라도 個別作業을 如何히 連結하여 全體工程을 最適化시킬 것인가 라는 管理的 側面에 소홀하기 때문에 傳統的인 日程計劃이 施工管理에 큰 도움이 못되는 形式的 書類作業임을 잘 아는 그들에게, 새로운 日程計劃技法이(既存方法의 代替가 아닌 併用을⁽⁴⁶⁾ 勸告하는 理由로) 不必要한 書類作業의 追加로 認識되는 實情이다. 따라서 經驗과 踏襲에 치우치기 쉬운 現場管理者와 施工技術에 지나치게 執着하는 技術陣間의 橋梁의 役割을 해 낼 수 있는 專門家(CPM consultant)의 養成이 아쉽다.

셋째 施工主의 支援: 施工者, 設計監督, 施工主는 工事を 成功的으로 이끄는 가장 重要한 役割을 擔當한다.⁽⁴⁷⁾ 더구나 國內 大單位工事의 거의가 政府 및 公共團體에서 차지하므로 이를 科學的으로 管理 하려면 施工主인 政府側의 支援이 絶對로 必要하다. 外國에서는 이미 오래 전부터 政府가 앞장서서 本技法의 導入을 推進하고 있어서 政府가 關與하는 大單位工事を 完工하는데에 實效性있는 支援과 監督의 方法으로 利用하고 있다. 우리나라에서도 일단 落札된 工事を 推進함에 있어서 竣工時까지의 進行에 대하여 從來의 工事日程計劃만으로는 不充分하므로 施工者에 의하여 樹立된 CPM 日程을 活用한다면 根據 있는 支援과 監督에 큰 도움이 될 것이다.

우리나라에서는 아직 critical path method의 導入이 胎動期에 있는 實情이고 建設·產業界 一般의 受容態勢도 그다지 鼓舞的은 아니지만 몇몇의 前衛의 「모델·케이스」가 進行中에 있고, 앞으로 電子計算機의 活用이 보다 활발해 진다면 費用과 工期 兩面에서 훌륭한 成果를 보여 줄 展望이 결코 어둡기만 하지는 않다. 問題는 技術論의 理論이 實務에 活用되려면 實證的 研究과 開發을 통한 山 經驗이 必要하다고 하겠다. 이러한 研究開發은 1970年代의 繁榮을 향해 京釜間 高速道路工事を 비롯하여 막대한 國土建設計劃을 目前에 現時點에서 충분한 研究과 檢討가 要請되는 것이다.

(45) cf. O'Brien, *op. cit.*, pp. 110-112.

(46) *Ibid.*, p. 5.

Misuse of bar charts does not prove that they should be discarded. To throw out bar charts is like throwing out the baby with the bath water.

(47) *Ibid.*, p. 199 이들의 役割을 prizefight에 比喩하여 fighter, trainer, manager와 같다고 說明한다.