

## 研究開發 프로젝트를 위한 새로운 GERT 評價모델

( An Advanced GERT Evaluation Model for Research and Development )

權 哲 信\*

### Abstract

Research and Development has a property that involves uncertainty and risk in itself.

Therefore, in order to scheduling of R & D activity, it is needed of a certain probabilistic network technique with due regard to feedback process used to occur in the R & D proceeding.

It is GERT that was developed as the need arises. In this study, the network structure of GERT-I and GERT-II was combined and then simulation analysis was used to it.

According to that analysis, an advanced GERT model which covers the following stochastic problems was examined.

1. Evaluating success feasibility under the complex condition (time and cost).
2. Selecting acceptance range for the worst.
3. Selecting optimum path on basis of time, cost and success.
4. Evaluating project utility among the project alternatives.

It is for managing R&D projects more effectively.

### 1. 序 論

研究開發 ( Research and Development ) 에 있어서의 管理過程이란 주어진 目標을 達成하기 위하여 不確定性이나 risk 減少의 方向으로 여러가지 action 을 취하는 試行錯誤의 過程이라고 할 수 있다. 사실 研究開發 project는 그 自體가 內包하는 特殊性 즉 不確定性 및 risk 로 인하여 최초로 計劃된 그대로 아무런 修正이나 變更이 없이 進行, 完了되는 일이란 거의 없는 것이 實狀이다.

일반적인 計劃過程에서의 scheduling 을 위한 network 手法으로는 지금까지 PERT, CPM 등이 利用되고 있다. 그러나 이들은 確定的 (deterministic) 인 network 手法으로서, R & D 活動의 計劃 및 管理를 위한 手法으로는 不適當하다. 왜냐 하면 이들을 R & D 에 適用하려고 할 때 모든 network 要素全部를 R & D 活動過程에서 確定하지 않으면 안되게 되는데, 이는 R & D 活動이란 本質적으로 試行錯

誤의 過程이며 또 그 各過程에 있어서 精確한 所要 時間, cost, 成功可能性 등의 全 network 要素가 처음부터 빠짐없이 精確히 취해진다고는 斷定할 수 없다고 하는 基本前提로부터 벗어나기 때문이다.

따라서 確定的인 發想에 根據하는 network 手法으로서는 R & D 活動의 特性을 表現하기 어렵고, 試行錯誤의 過程이나 研究開發의 過程에서 빈번하게 일어나는 feedback 을 考慮에 넣을 수 있는 確率的 (probabilistic)인 network 手法이 必要하게 된다.

이러한 要請에 응하여 開發된 것이 GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) 인데<sup>1)</sup> GERT - I 과 GERT - II 가 그 代表的인 手法이다. 本研究에서는 이들 GERT - I 과 GERT - II 의 論理 構造를 複合化하고, 이를 바탕으로 새롭게 最適經路 選擇, 時間과 cost 를 複合시킨 條件下에서의 成功의 可能性에 焦點을 놓고 分析하려고 한다.

더우기 이렇게 改良된 GERT network 에 simulation) GERT는 1968~69년에 걸쳐 RAND에서 A. Alan B. Pritsker 에 의하여 최초로 開發된 確率的인 network 手法이다.

\*漢陽大學校 工科學 産業工學科 教授

tion 手法를 사용하여 다음과 같은 R & D management 에 있어서의 중요한 4 가지 問題點에 관한 檢討를 행한다.

- ① 所要時間과 cost 에 대한 成功의 可能性의 評價
- ② 最大所要時間과 最大 cost 및 成功 可能性의 最小確率이 設定되었을 때의 許容領域
- ③ project內의 諸經路에 있어서 所要時間, cost, 成功可能性을 基準으로 하는 最適經路選擇
- ④ project代替案의 設定과 그 相互評價에 의한 utility의 評價

2. 問題의 所在

오늘날 가장 보편적으로 사용되고 있는 Network 手法으로는 Bar Chart, PERT, CPM 등이 있으며, 이들을 發展시킨 것으로서 NASA/PERT, DCPM, GERT가 있다. 이들의 原理와 그에 따른 問題點을 검토하고 GERT의 代數的 評價의 限界를 論함은 本研究에서 提起되는 改良된 GERT에 의한 scheduling 評價手法의 當爲性과 그 位置設定을 行하기 위한 到에 있다.

2.1 確定的 Network 手法

1) Bar Chart

가장 古典的인 scheduling 手法으로서, project의 開始로부터 終了까지의 全作業을 列記하고 各作業이 全體의 經過時間속에서 위치하는 時間帶를 棒線으로 나타내는 方式이다. 그러나 이는 各 作業間의 連結性이 주어지지 않기 때문에 scheduling에 具體化시키기는 어렵다.

2) PERT

諸作業間의 連結를 連結點(event)으로 나타내고 作業의 進行方向도 提示함으로써 作業에 連繫性을 유지한다. 그러나 이것은 모든 Network의 要素를 最初부터 確定하지 않으면 안되므로 試行錯誤過程을 表現할 수가 없다.

3) CPM

이것은 cost의 節減과 日程의 短縮을 취급하는 手法으로서, critical path를 變化시키면서 가장 費用이 들지 않는 network을 찾아내는 것이다.

4) DCPM

CPM의 手法를 基礎로 그 network에 代替 process를 導入한 것으로, 그 decision은 activity에 주어진 time, cost, 最終的 penalty reward로 ㅅ project cost를 最小로 하는 process를 決定하는 것이다. 이 역시 本質的으로는 確定的 network 手法이다.

5) NASA/PERT

review 時點을 多數 設定해 놓고 上限 cost와 各時點의 cost의 關係로부터 予算配分을 行하여가는 方法으로서, PERT의 靜的인 處理에 比하면 약간 動的인 경향을 띄고 있다고 할 수 있다.

2.2 確率的 Network 手法

1) GERT의 屬性

R & D活動의 特性으로 볼 때, 사실은 이상에서와 같은 確定的 network의 諸手法으로는 해결할 수 없는 project가 대부분이다. 그림 1과 같은 PERT에 의한 project의 scheduling의 경우, 現實的으로 企業에서 어떤 製品을 開發하는 데는 單一作業도 있겠으나 複數의 並行하는 作業의 경우가 더욱 많다. 또한 完成된 試作品의 Test를 行함에 있어서도 항상 合格의 경우만을 假定할 수는 없으며 再次 試作의 作業으로 되돌리는 경우를 重視하지 않을 수 없는 것이다.

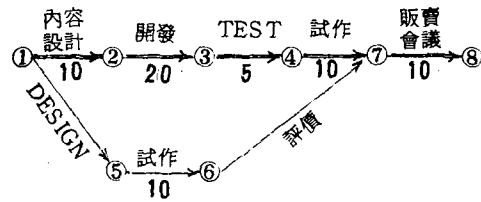


그림 1. PERT (P 製品의 開發)

이렇게 볼 때, 하나의 目標을 設定하고 그것을 達成하는 데 있어서 여러가지의 可能性을 검토하여 多樣한 approach를 行하며, 그 approach의 過程에 있어서도 수많은 feedback이 發生하는 R & D 領域에서, 確定的인 network 手法으로 project를 計劃·管理하기란 거의 不可能하다. 즉, 中途에서 計劃의 修正을 수시로 檢討해야 하는 R & D project를 network로써 表現하고 check하려고 할 때, 당연히 確率的인 network이 되지 않을 수 없으며, GERT는 이러한 基本的인 要求를 어느정도 充足시키는 2) 論理構造를 갖추고 있는 것이다.

2) GERT-I

GERT-I은 network의 論理構造로서의 入力は Exclusive-OR(複數個의 activity 중 단지 1개의 activity의 到達로 Node가 成立하고 그외의 activity는 그 時點에서 終了한다), Inclusive-OR(複數個의 activity의 Node로의 到達을 認定한다), AND(全 activity가 到達함으로써 Node가 成立한다)의 3形式을 採用한다. 그리고 出力으로는 確定的인 것과 確率的인 것의 2종류를 사용한다.

이러한 network을 바탕으로 時間對 成功의 可能性, cost對 成功의 可能性, 複數 project의 目標達成에의 有用性 등의 問題가 展開되고 있다.

3) GERT-II

GERT-II에서의 network의 理論構造로서는 Node가 成立하는데 必要한 activity의 數를 指定하는 方法을 취하고 있기 때문에 GERT-I에서의

2) GERT I: GER II의 최초의 형태 그대로는 R & D適用에 不充分한 點이 많아, 今日 P-GERT, Q-GERT 등 여러가지 改良 GERT에 관한 研究가 활발히 進行되고 있다.

3入力形式 이외에 다른 여러 入力選擇을 可能하게 하고 있다. 더우기 feedback 이 이루어지므로써 생기는 再入力(Re-release)의 數를 指定할 수 있고, Network Modification(network에서 運行中에 있는 Node를 다른 Node로 置換하는 操作)이라고 하는 새로운 展開도 가능하기 때문에 GERT-I에 比하여 더욱 다이내믹한 network 構造를 갖고 있다고 볼 수 있다.(그림 1에서의 PERT에 의한 P製品의 開發進行過程을 GERT-II의 形式으로 나타낸 것이 그림 2이다).

이와 같이 GERT-II는 GERT-I에 比하여 network의 論理構造面에서는 더욱 高度의 手法이라 할

수 있다. 그러나 R&D에 直接 連結시킬 수 있는 時間 對 成功의 可能性, cost 對 成功의 可能性 project의 有用성에 대한 檢討까지는 행하여지지 않고 있다. 따라서 本研究에서는 GERT-II에서 사용되고 있는 network의 論理構造에 上記의 問題를 適用하고 나아가서 이들과 關聯하는 他問題에 關하여도 擴張하여 考察하려고 한다.

이는 GERT-I, II와 比較할 때 R&D 費用과 時間에 關하여 일층 有效한 成功可能性의 情報를 求할 수 있을뿐만 아니라, 最適經路를 고려에 넣음으로 해서 보다 完備한 R&D scheduling을 가능하게 하는 것이기 때문이다.

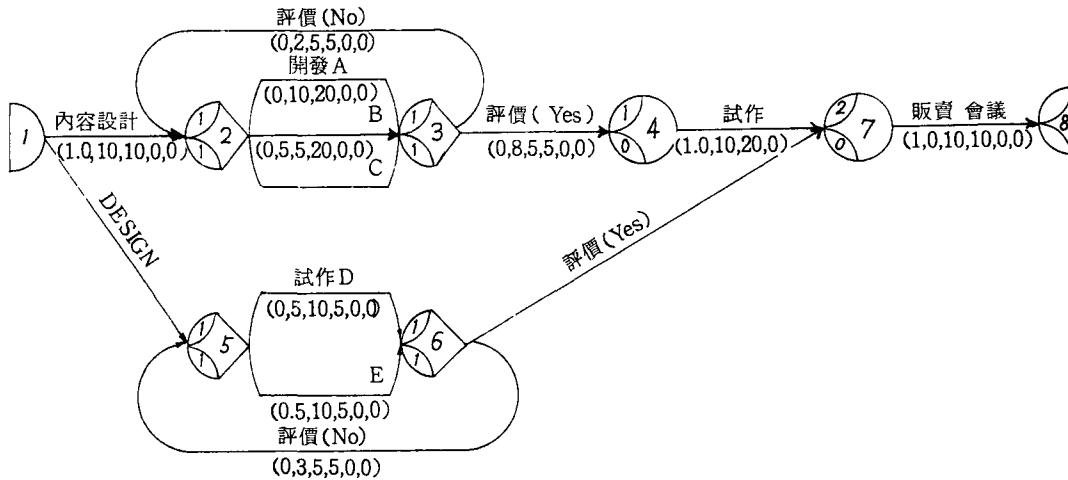


그림 2 GERT II (P製品의 開發)

2.3 GERT의 代數的 評價의 限界-Simulation 手法의 展開

GERT network을 simulation에 의하지 않고 代數的으로 評價할 수도 있다. 그러나 이는 평가

해야 할 要素라든지 範圍가 限定된 경우가 되지 않을 수 없다. 그림 3의 network을 代數的으로 評價하면 그 平均時間과 平均 cost는 다음의 式으로 나타낼 수 있다.

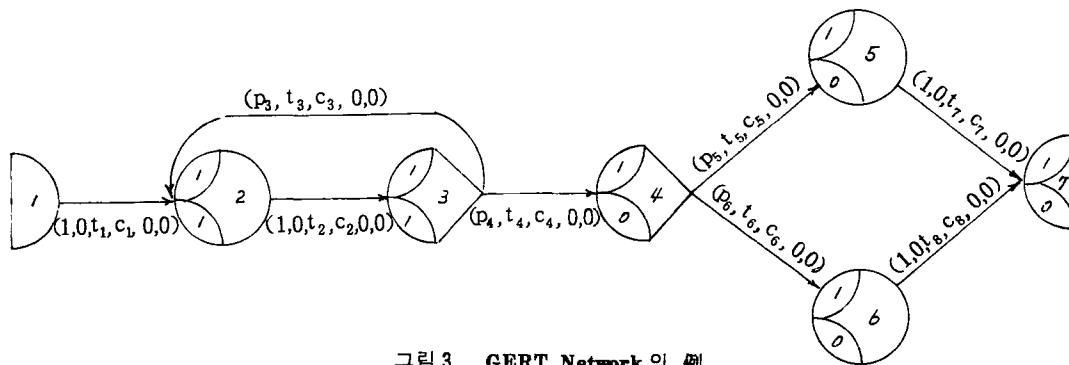


그림 3. GERT Network의 例

평균시간의 函數를  $MT(t)$ 로 할 때,

$$\begin{aligned}
 MT(t) &= t_1 + t_2 + \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n p_3^i (t_3 + t_2) + t_4 \\
 &\quad + p_5 (t_5 + t_7) + p_6 (t_6 + t_8) \\
 &= t_1 + t_2 + p_3 / (1 - p_3) (t_3 + t_2) + t_4 \\
 &\quad + p_5 (t_5 + t_7) + p_6 (t_6 + t_8)
 \end{aligned}$$

평균 cost MC는  $MT(t)$ 의 各 activity 시간에 各 activity에 대하여 指定된 cost를 加乘한 것이 된다. 즉,

$$\begin{aligned}
 MC &= MT(t \cdot c) \\
 &= t_1 c_1 + t_2 c_2 + p_3 / (1 - p_3) (t_3 c_3 + t_2 c_2) \\
 &\quad + t_4 c_4 + p_5 (t_5 c_5 + t_7 c_7) + p_6 (t_6 c_6 \\
 &\quad + t_8 c_8)
 \end{aligned}$$

그런데, 보통 R & D에서 취급하는 project 는 이러한單純한 network 이 아닌 더욱 복잡하고 大規模의 것이 대부분이다. 그와 같은 network 을 解析的으로 分析한다고 하는 일은 극히 時間이 걸릴뿐 아니라 分析미스에 의한 不正確性까지 內包하고 있는 것이다.

따라서 이러한 network 을 simulation 手法에 의하여 풀 수 있는 프로그램이 얻어지기만 한다면, 使用亂數가 적절하고 simulation 의 實行回數를 증가시켜 주는 限, 現實性있는 유효한 情報를 얻을 수 있다. 뿐만 아니라 다양한 종류의 network 을 汎用的으로 解決할 수 있게 된다.

이와 같은 觀點으로 부터, 이 研究에서는 改良된 GERT network 構造에 simulation 手法을 適用하여 檢討해 나간다.

3. 改良GERT에 의한 새로운 Scheduling 評價모델

3.1 成功可能性(時間과 Cost)의 評價

어떤 GERT network 에 대하여 simulation 을 實行하는 경우, 그 project 가 實現하는 所要時間  $t$  는 試行錯誤의 過程임으로 해서 여러가지의 値를 얻는다. 또 같은 所要時間이더라도 所要 cost 역시 다양한 값을 얻게 된다. 따라서 그 각각의 所要時間과 所要 cost 에 대한 成功可能性의 確率을 求함에 의하여 project 의 性格을 判別할 수 있는 것이다.

지금 simulation 의 結果, 所要時間은  $t_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 10$ )의 値를 가지며  $p_i$  는  $p_i$  { Number of success |  $t_{i-1} < t \leq t_i$  } 즉,  $t_{i-1}$  과  $t_i$  의 시간 사이에서의 實現 回數로 한다.

이 때  $t_i$  에 대하여 累積되는 成功의 可能性( $PT_i$ ) 은 다음과 같다.

$$PT_i = \sum_{j=1}^i p_j / \sum_{j=1}^{10} p_j \quad (i = 1, 2, \dots, 10)$$

여기서  $p_i$  및  $PT_i$  를 그래프로 나타낸 것이 그림 4 와 5 이다. (點線이  $PT_i$ , 實線이  $p_i$  를 나타낸다.)

다음에 cost 에 대하여도 같은 評價를 行할 수 있다. simulation 의 결과 얻어진 여러 값의 cost 를  $c_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 10$ )로 하고  $q_i$  를  $q_i = \{ \text{Number of success} | c_{i-1} < c \leq c_i \}$ 로 할 때,  $c_i$  에 대한 累積되는 成功의 可能性( $PC_i$ )은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PC_i = \sum_{j=1}^i q_j / \sum_{j=1}^{10} q_j \quad (i = 1, 2, \dots, 10)$$

그림 6 은  $q_i$  및  $PC_i$  를 나타낸 것이다.

여기서  $PT$ 에서의 1階의 差分을  $\Delta PT$ 로 할 때,  $\Delta PT_k$  ( $k = 1, 2, \dots, 9$ )는

$$\begin{aligned} \Delta PT_k &= PT_{k+1} - PT_k \\ &= \sum_{j=1}^{k+1} p_j / \sum_{j=1}^{10} p_j - \sum_{j=1}^k p_j / \sum_{j=1}^{10} p_j \\ &= p_{k+1} / \sum_{j=1}^{10} p_j \quad (k = 1, 2, \dots, 9) \end{aligned}$$

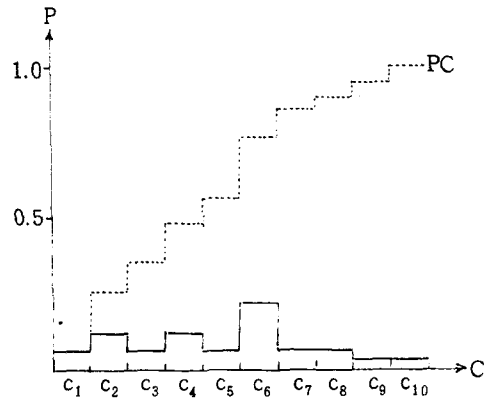


그림 6. Cost 對 成功可能性

가 되고  $\Delta PT_k \geq 0$  이다.

$PC$ 의 差分  $\Delta PC$ 에 관하여도 마찬가지로

$$\Delta PC_k = q_{k+1} / \sum_{j=1}^{10} q_j \quad (k = 1, 2, \dots, 9)$$

가 되고  $\Delta PC \geq 0$  이다.

따라서  $PT$ 와  $PC$ 는 減少하는 일이 없다.

더우기 여기서 2階의 差分을 취하여  $\Delta^2 PT$ ,  $\Delta^2 PC$ 로 하면, 이들 値의 選擇방법에서  $PT$  및  $PC$ 의 性格을 決定할 수 있다.  $\Delta^2 PT$ 에 관하여 전개하면,  $\Delta^2 PT_e$ 는

$$\begin{aligned} \Delta^2 PT_e &= \Delta PT_{e+1} - \Delta PT_e \\ &= p_{e+1} - p_e / \sum_{j=1}^{10} p_j \quad (e = 1, 2, \dots, 8) \end{aligned}$$

이 되어  $\Delta PT$ 와는 달리  $\pm$ ,  $-$ 의 各種의 値를 취하게 된다.

$\Delta^2 PT_1, \Delta^2 PT_2, \dots$ 가 모두  $-$ 인 project 를 想定할 때, 이 project 는 어떤 시점에서  $PT$ 의 値가 현재 필요한 成功의 可能性에 대한 確率을 充足시키고 있다고 한다면, 그 project 를 scheduling 하는 경우 그 이후에 時間을 거는 일은 고려의 대상에서 除外해도 좋다고 結論지을 수 있다.<sup>3)</sup> (그림 4 는 이것에 近似한 形을 띄고 있는 例이다.)

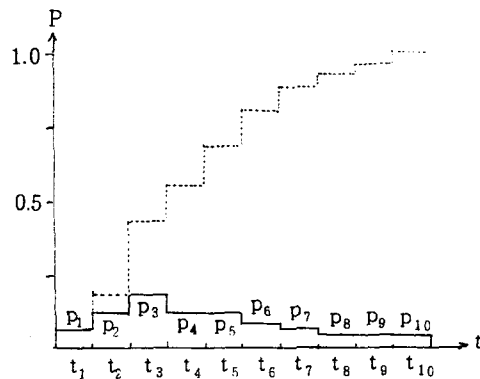


그림 4. 時間對 成功可能性 1

3) 왜냐하면 그 이후 時間을 많이 소요해도 소요한 시간에 비하면 成功可能性의 確率은 그렇게 많이 增加하지 않기 때문이다.

逆으로  $\Delta^2 PT_1, \Delta^2 PT_2, \dots$ 가 모두 +일 때는 實現回數  $P_i$ 가 所要時間이 긴 쪽에 집중하고 있는 경우이므로 빠른 시간에 終了시키는 식의 scheduling은 하지 않는 편이 좋다고 判斷할 수 있다. (이것에 近似한 形을 띄고 있는 것이 그림5이다.)

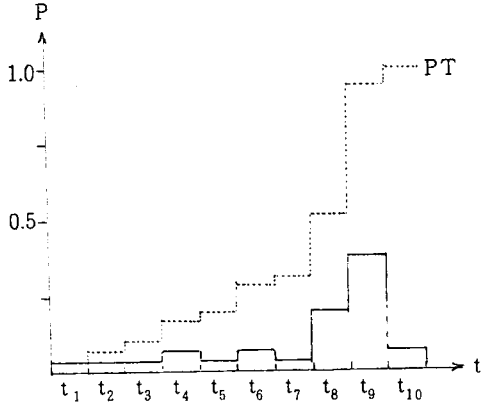


그림 5. 時間對 成功可能性 2

이 2階의 差分이 +, -의 여러가지이고 그 值역시 多樣할 때는, 하나하나 그 特徵을 파악하여 判斷하지 않으면 안된다. PC에 관한 2階差分  $\Delta^2 PC$ 도  $\Delta^2 PT$ 와 마찬가지로의 性質을 갖고 있으며 따라서 上述한 判斷에 따를 수 있다.

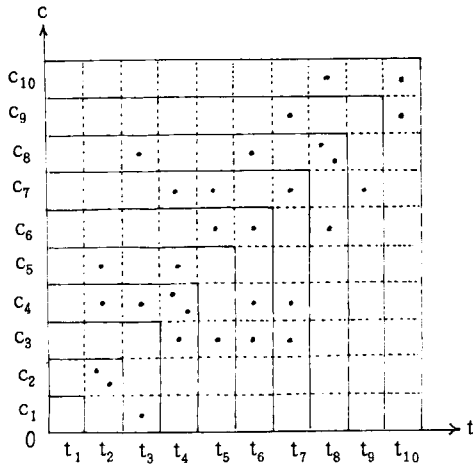


그림 7. 時間과 Cost의 相關圖  
(0을 基點으로 實線으로 둘러싸인 部分의 點의 數는  $\tau_i$ 가 된다)

한편 時間과 cost의 相關으로부터 project의 特性을 判別할 수가 있는데, 그림7은 이를 나타낸 時間과 cost의 相關圖이다. 여기서 時間과 cost間的 相關係數( $\rho$ )는 다음의 式으로 求해질 수 있다.

$$\rho = 1/N \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t}) (C_i - \bar{c})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2 \sum_{i=1}^N (C_i - \bar{c})^2}}$$

- N : simulation의 實現回數
- $t_i$  : 實現回數에 대응하는 時間
- $C_i$  : cost
- $\bar{t}$  : 平均時間
- $\bar{c}$  : 平均 cost

이때 相關係數  $\rho$ 의 絕對值가 1에 가까울수록 相關이 높게 되는데,  $|\rho|$ 가 1에 가까울 때의 回歸方程式을  $f(t, c)$ 로 하면 時間과 cost의 關係는  $f(t, c)$ 에 의하여 결정될 수 있다. 즉 所要한 時間에 대한 予想되는 cost를 求할 수가 있는 것이다.

또한 時間과 cost에 대한 實現數를  $\tau$ 로 하고  $\tau_i = \{ \text{Number of success} \mid t \leq t_i \ \& \ C \leq C_i \}$  ( $i = 1, 2, \dots, 10$ )로 할 때, 成功의 可能性에 대한 確率  $PTC_i$ 는

$$PTC_i = \tau_i / N \quad (i = 1, 2, \dots, 10)$$

이 된다. 그림8은 이것을 圖表化한 것이다.

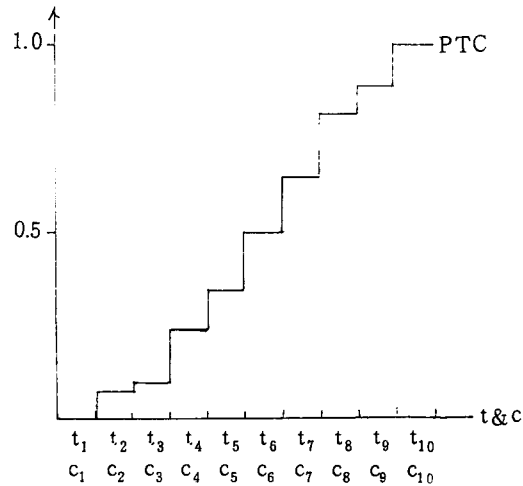


그림 8. 時間과 Cost와의 複合條件에서 成功可能性의 確率 (그림7로부터)

### 3-2 許容領域의 選擇

여기에서는 最大所要時間, 最大 cost 및 成功可能性의 最小確率이 設定되었을 때, project 遂行이 가능한 受諾領域에 대하여 考察하고자 한다.

어떤 研究開發의 project를 遂行할 수 있을지 없을지를 決定하는 경우, 予算의 制約, 成功의 可能性에 대한 制約, 時間의 制約을 고려해 놓지 않으면 안된다. 이들의 制約을 고려하는 方法으로 다음의 것을 提示한다.

予算의 制約으로서 CMAX가 주어지고 時間의 制約으로서 TMAX가 주어지면, 對象이 되는 project는 그 評價基準이 여러가지인 경우, 다음과 같은 許容領域이 決定된다.

- ① CMAX와  $PM_i N$ 에서의 許容領域  
 $C_\alpha \leq C \leq CMAX$   
 $\{ C_\alpha \mid PC = PM_i N \} \dots$ (그림 9)
- ② TMAX와  $PM_i N$ 에서의 許容領域

$$T_\alpha \leq t \leq TMAX$$

$$\{T_\alpha | PT = PM_i, N\} \dots\dots (\text{그림 10})$$

- ③ CMAX와 TMAX에서의 許容領域  
 $C \leq CMAX \& t \leq TMAX \dots\dots (\text{그림 11})$
- ④ CMAX, TMAX 및  $PM_i, N$ 에서의 許容領域  
 $C_\alpha \leq C \leq CMAX \& T_\alpha \leq t \leq TMAX \dots\dots (\text{그림 12})$

予算制約面에서 이 project 는  $C_\alpha$  이상 CMAX 까지 cost 를 투여하면,  $PM_i, N$  이상의 確率로써 成功한다고 評價할 수 있다. 時間制約面에 있어서도  $T_\alpha$  이상 TMAX까지 時間을 투여하면,  $PM_i, N$  이상의 確率로 成功한다고 評價한다. ①, ④의 경우도 마찬가지로 規定할 수 있다.

許容領域은 이와 같이하여 決定되는데, 그 意義는 TMAX, CMAX의 設定下에서 그 project 가 成功하는 可能性의 確率을 구한다든지,  $PM_i, N$ 의 設定下에서  $T_\alpha, C_\alpha$  를 決定하여 그 project 에 必要 最小限의 所要時間, 費用을 부여한다든지 하는 데에 있는 것이다.

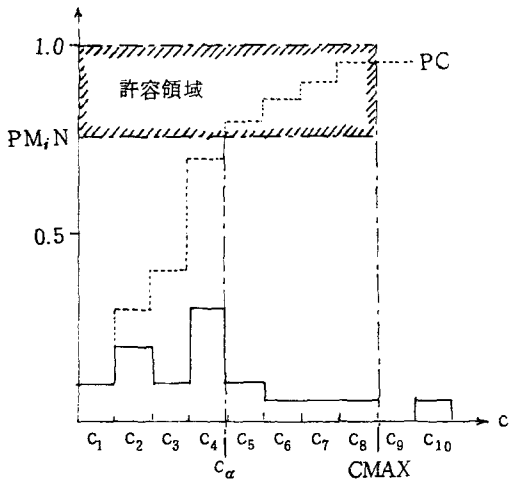


그림 9. Cost의 許容領域

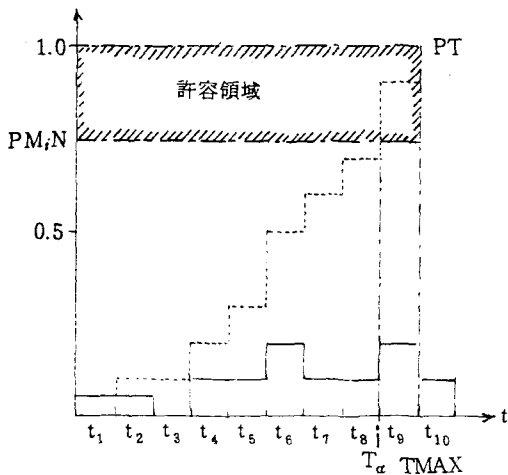


그림 10. 時間의 許容領域

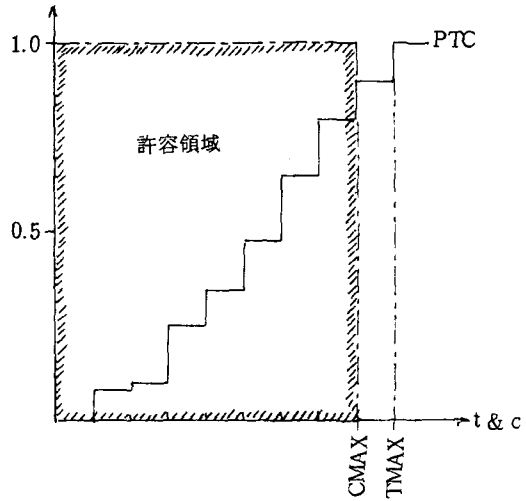


그림 11. TMAX와 CMAX를 複合한 許容領域

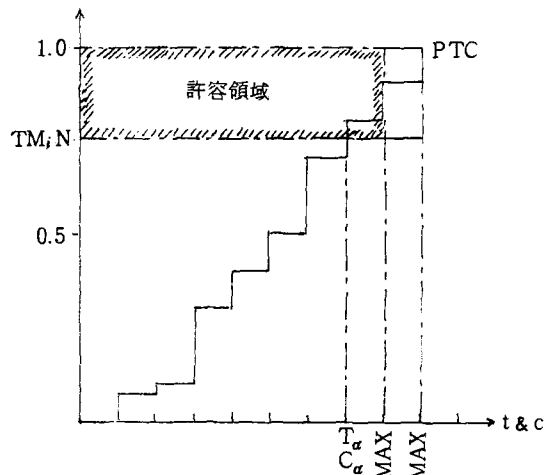


그림 12. TMAX, CMAX,  $PM_i, N$ 의 複合條件下의 許容領域

### 3.3 最適經路의 選擇

어떤 R & D project 를 GERT network 로 표현할 때, 目標가 達成되는 經路 (path)는 多種多樣하다. 研究開發을 計劃하고 管理하는 경우, 이들 經路에서 最適의 것을 抽出할 必要가 있는데 이러한 點에서 PERT와 接續할 수 있게 되는 것이다. 이하에서 검토되는 方法에 의하여 選擇된 經路에 대해서 PERT手法를 適用함으로써, 日程短縮을 行할 수도 있으며 相互並用으로 效率높은 GERT network 을 作成할 수도 있다.

지금 GERT network 中에서 실현되는 經路를  $PTH_i (i = 1, 2, \dots)$ , 그들에 對응한 所要時間을  $t_i$ , cost 를  $C_i$ , 成功可能性의 確率을  $P_i$ 로 한다. 이때 成功가능성의 확률 ( $P_i$ )은 simulation 總實現回數中의  $PTH_i$ 의 實現回數가 된다.

구체적으로 첫째, 所要時間만을 基準으로 할 때,

$t_n = \min(t_1, t_2, \dots, t_n, \dots)$  이면  $PTH_n$ , cost 만을 기준으로 할 때,  $C_m = \min(C_1, C_2, \dots, C_m, \dots)$  이면  $PTH_m$ , 成功可能性의 確率을 기준으로 할 때,  $P_l = \max(P_1, P_2, \dots, P_l, \dots)$  이면  $PTH_l$  이 각각 選擇된다.

둘째, 성공가능성 확률과 소요시간과의 2要素로 經路를 選擇할 때는,

$$f_i = t_i / t_i$$

즉  $PTE_i$  와  $PTH_j$  의 2경로가 있고 ( $i \neq j$ )  $f_i > f_j$  인 경우는  $PTH_i$  가 有利하므로,  $\max(f_1, f_2, \dots)$  로써 組路를 選擇한다(그림 13 參照).

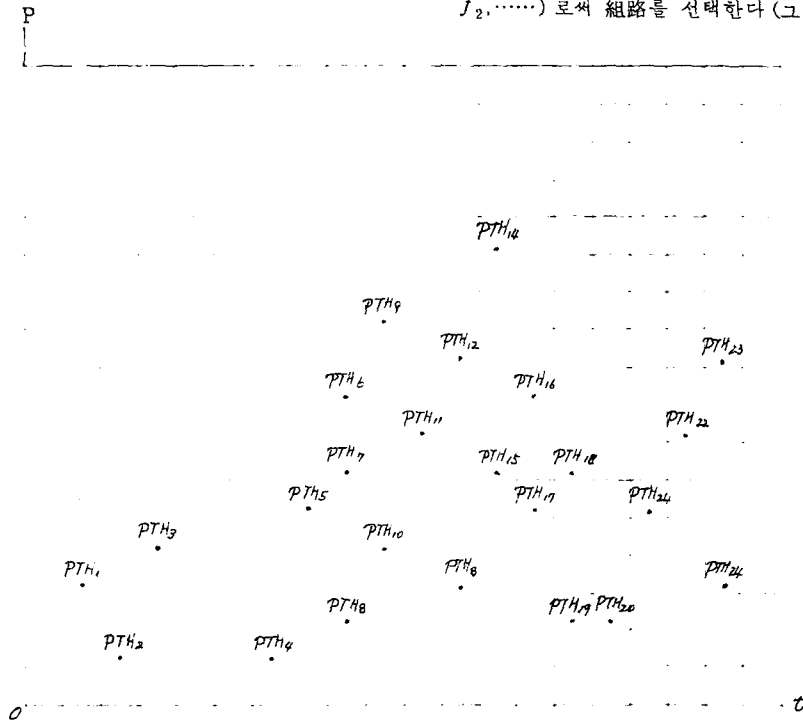


그림 13. 所要時間과 成功可能性의 確率의 相關圖

셋째, 成功의 可能性과 cost 로써 經路를 選擇 할 때도,  $G_i = P_i / C_i$  를 사용하여  $\max(G_1, G_2, \dots)$  로써 最適經路를 選擇할 수 있다.

이상의 方法을 써서 最適經路의 選擇을 行한 後, PERT 등의 確定的 network 手法을 適用하게 되면 더욱 有用性이 높은 scheduling 手法으로 發展시켜 나갈 수 있게 되는 것이다.

### 3.4 Project 有用性의 評價

研究開發의 目標가 設定되었을 때, 그 목표달성에는 複數個의 代替案이 설정되는 수가 많다. 이 때 필요로 되는 것은 그들 중 어느 project 를 選擇해야 할 것인가를 評價하기 위한 手段인 것이다. 여기서는 改良된 GERT network 의 構造에 simulation 手法을 導入하여, scheduling이라고 하는 觀點에서 代替案의 評價를 行하는 方法을 提案한다.

지금, 목표달성을 위한 R & D project 의 集合  $PR_j$  ( $i = 1, 2, \dots$ )가 있다. 그리고 각  $PR_j$ 를 GERT network 로 表示한  $N_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ )라고 하는 GERT network 集合體를 想定한다.

그런데, 어떤 project 를 評價하기 위하여는 Review 過程을 설정할 必要가 있는데, 여기서 Review 周期을  $\Delta t$ 로 하면 各 Review 時點은  $j\Delta t$  ( $j = 1, 2, \dots$ ,

$n$ )가 되며,  $T_{ij}$ 는 project  $PR_j$ 가 어떤 Review 時點  $j\Delta t$ 에 있다는 것을 意味한다.

여기서 平均을  $E$ 로, 平均의 變化率을  $\Delta E$ 로 놓으면,  $PR_j$ 의  $j\Delta t$ 에서의 平均 cost  $E_j\{C_i\}$ 와 cost 의 變化率  $\Delta E\{C_i\}$ 는 다음의 式에서 求해진다.

$$E_j\{C_i\} \equiv E\{\text{cost of } N_i | T_{ij} \leq T_{ij}\}$$

$$\Delta E_j\{C_i\} \equiv E_{j+1}\{C_i\} - E_j\{C_i\}$$

$$= E\{\text{cost of } N_i | T_{ij} < T \leq T_{ij+1}\}$$

그리고  $PR_j$ 에서  $j\Delta t$ 에서의 成功가능성 확률을  $P_{i,j}$ 로 하고,  $T_{i,1}, T_{i,2}, \dots, T_{i,n}$ 에 對應한 實現回數를  $P_{i,1}, P_{i,2}, \dots, P_{i,n}$ 으로 할 때,  $P_{i,j}$  및 變化率  $\Delta P_{i,j}$ 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$P_{i,j} = \frac{\sum_{l=1}^j P_{i,l}}{\sum_{l=1}^n P_{i,l}}$$

$$\Delta P_{i,j} = P_{i,j+1} - P_{i,j}$$

이들의 情報를 근거로 하여 목표달성을 위한 最適의 project 를 選擇할 수 있으며, 進行中의 project 의 경우에는 他 project 와의 比較를 통하여 中止

또는 續行의 決定을 행할 수 있다. 이 cost 와 時間을 條件으로 한 評價函數 U는 다음의 式에 의하여 求할 수 있다.

$$U_{i,j} = w_1 \frac{R_{i,j}}{\sum_i P_{i,j}} + w_2 \frac{C_{MAX_i} - E_j\{C_i\}}{\sum_i \{C_{MAX_i} - E_j\{C_i\}\}} + w_3 \frac{\Delta P_{i,j}}{\sum_i \Delta P_{i,j}} + w_4 \frac{C_{MAX_i} - (C_{i,j} + \Delta E_j\{C_i\})}{\sum_i \{C_{MAX_i} - (C_{i,j} + \Delta E_j\{C_i\})\}}$$

- $i$  : PR $J_i$ 의  $i$
- $j$  :  $j\Delta t$  時點
- $w_1$  :  $j\Delta t$ 에서의 成功可能性에 대한 條件付確率의 weight
- $w_2$  :  $j\Delta t$ 에서의 平均 cost 와 最大 cost 와의 差에 대한 weight

$w_3$  :  $j\Delta t$ 에서 成功可能性의 變化分에 대한 weight

$w_4$  :  $j\Delta t$ 에서의 cost 의 變化分에 대한 weight

$C_{MAX_i}$  : PR $J_i$ 에 놓을 수 있는 最大 cost  
그런데 上式의 各項은 모두 競合 project 의 成功可能性의 確率로써 正規化하고 있기 때문에 weight

역시  $\sum_{k=1}^4 w_k = 1.0$ 으로 놓는다.

여기서 上式의 各項의 內容을 보면 다음과 같다.

- 第1項 : 日程에 대한 成功可能性의 確率
- 第2項 :  $j\Delta t$ 에서의 project 의 平均 cost
- 第3項 : [ $j\Delta t, (j+1)\Delta t$ ]에서의 成功可能性의 變化率
- 第4項 : [ $j\Delta t, (j+1)\Delta t$ ]에서의 cost 의 變化率

<表 1> GERT Simulation 表 (Project 1)

	0<t≤1	1<t≤2	2<t≤3	3<t≤4	4<t≤5	5<t≤6	6≤t≤7	7<t≤8	8<t≤9	9<t≤10	Rest & Total
成立回數	79	33	26	21	17	17	15	15	14	6	Rest 11 Total 250
P	0.315	0.550	0.550	0.635	0.705	0.705	0.775	0.895	0.950	0.975	
$\Delta P$	0.315	0.105	0.105	0.085	0.070	0.070	0.070	0.060	0.055	0.025	
{Cost of $N_i$ , $T < T_j$ } 0 < C ≤ 400 400 < C ≤ 600 600 < C ≤ 800	x 1, 1 x 1, 2 x 1, 3 ⋮ $\sum_k x 1, K$ = 79	x 2, 1 x 2, 2 ⋮ $\sum_k x 2, K$ = 33	⋮ ⋮ ⋮ $\sum_k x 3, K$ = 26	⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮	
E (單位 1000)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	
$\Delta E$ ( " )	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	

지금 R & D의 目標達成 project로서 PR $J_1$ 과 PR $J_2$ 를 設定한다. PR $J_1$ 에 대한 GERT network  $N_i$ 의 simulation 結果가 表 1이라고 할 때, PR $J_1$ 에 대한 評價函數의 non-weight의 各項은 表 2가 된다.

더우기 PR $J_2$ 에 대한 weight를 가하지 않은 評價函數의 各項을 表 3과 같이 設했을 때,  $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = 0.25$ 로 한 경우의 評價函數는 그림 14 그리고 15와 같이 나타난다.

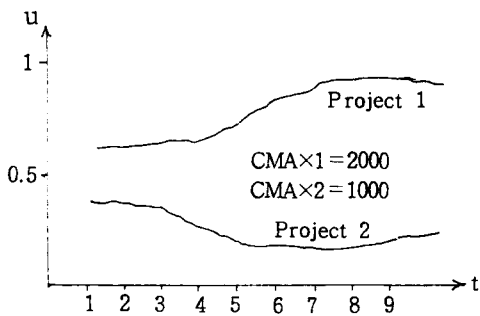


그림 14. Project Utility 그래프 1

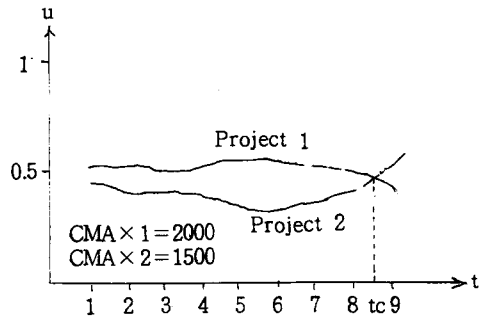


그림 15. Project Utility 그래프 2



〈表 2〉 Project 1의 Non-weight 評價函數

	제 1 항	제 2 항	제 3 항	제 4 항	A U <sub>1</sub>	B U <sub>2</sub>
t <sub>1</sub> C MAX <sub>1</sub> = 2000	0.190	0.178 0.148	0.139	0.111 0.051	0.618	0.520
t <sub>2</sub>	0.172	0.191 0.155	0.150	0.116 0.057	0.629	0.534
t <sub>3</sub>	0.167	0.211 0.162	0.141	0.156 0.061	0.643	0.531
t <sub>4</sub>	0.164	0.224 0.163	0.159	0.200 0.067	0.747	0.553
t <sub>5</sub>	0.162	0.230 0.157	0.166	0.217 0.068	0.775	0.553
t <sub>6</sub>	0.164	0.232 0.148	0.168	0.239 0.070	0.803	0.550
t <sub>7</sub>	0.164	0.231 0.130	0.188	0.224 0.069	0.810	0.543
t <sub>8</sub>	0.165	0.232 0.170	0.184	0.227 0.069	0.808	0.525
t <sub>9</sub>	0.166	0.239 0.170	0.139	0.239 0.070	0.783	0.445

〈表 3〉 Project 2의 Non-weight 評價函數

	제 1 항	제 2 항	제 3 항	제 4 항	A U <sub>1</sub>	B U <sub>2</sub>
t <sub>1</sub> C MAX <sub>2</sub> =1000 C MAX <sub>2</sub> =1500	0.060	0.072 0.102	0.111	0.139 0.199	0.382	0.480
t <sub>2</sub>	0.078	0.059 0.095	0.100	0.134 0.193	0.371	0.466
t <sub>3</sub>	0.083	0.039 0.088	0.109	0.094 0.189	0.351	0.469
t <sub>4</sub>	0.086	0.026 0.087	0.091	0.050 0.183	0.253	0.447
t <sub>5</sub>	0.088	0.020 0.093	0.084	0.033 0.182	0.225	0.447
t <sub>6</sub>	0.086	0.018 0.102	0.082	0.011 0.180	0.197	0.450
t <sub>7</sub>	0.086	0.019 0.120	0.062	0.023 0.181	0.190	0.457
t <sub>8</sub>	0.085	0.018 0.143	0.066	0.023 0.181	0.192	0.475
t <sub>9</sub>	0.084	0.011 0.180	0.111	0.011 0.180	0.217	0.555

여기서 그림 14 와 같은 utility 의 그래프에서 볼 때, project 1 은 항상 有利한 位置에 있기 때문에 project 2 에 다른 merit 가 없는 限 당연히 project 1 을 選擇한다.

그러나 그림 15 와 같은 경우는 政策的 決定을 필요로 한다. 이는 교차하는 時點 t<sub>c</sub> 를 基準點으로 하여 두 project 의 有動度 (utility) 가 달라지고 있기 때문이다. 따라서 이와 같은 경우는, 목표달성 까지에 要하는 期間을 t<sub>c</sub> 點 以前으로 가져가기를 원한 때는 project 1 을, t<sub>c</sub> 點 以後로 가져가고 싶을 때는 Project 2 를 選擇하는 것이 有利하다고

判定할 수 있다.

이상과 같은 操作을 實行함에 의하여, R & D 의 目標達成을 위하여 設定한 多數 project 들을 모두 評價할 수 있으며, 따라서 그 중 가장 有用性있는 最適 project 를 選擇함으로써 目標達成을 容易하게 할 수 있는 것이다.

#### 4. 結 論

##### 4.1 結果의 考察

確率的인 network 手法인 GERT는 PERT를 비

못한 從來의 確定的 network 手法으로써는 充分히 適用할 수 없었던 研究開發 project 的 scheduling 에 대한 適用을 可能하게 하고 있다. 그러나 이미 本論에서 검토된 바대로, GERT 역시 改善되어야 할 여러가지 問題를 內包하고 있다. 本研究에서는 GERT의 未備點을 分析하고 그를 補完하기 위한 改良 GERT network 的 開發을 試圖하였다. 이는 R & D management 的 scheduling 手法로서의 有用性을 더욱 높이는 모델을 얻기 위함이었다.

이러한 目的에 따라 GERT-II에서의 network 的 構造에 時間 對 成功의 可能性, 費用 對 成功의 可能性, 有用性 등 GERT-I에서의 論理構造를 適用 並合하였다. 특히 最適經路選擇, 時間과 費用要素를 동시에 고려하는 complex condition 下에서의 成功의 可能性에 관한 모델의 檢討를 行하였는데, 이는 R & D의 計劃, 管理를 위한 試行錯誤過程을 包容하는 새로운 scheduling 手法으로서 일층 總合的인 評價를 약속하는 것이다.

요컨대, 本研究에서 開發된 改良 GERT 모델은 從來의 諸手法에서 表現될 수 없었던 다음의 點에 관한 結果를 얻는 것을 可能하게 하고 있다.

① 研究開發의 目標에 대하여 設定된 復數의 project 代替案의 有用性을 算出함으로써, 一定期間마다 project 끼리의 比較를 행할 수가 있으며, 目的達成에 가장 有效한 最適 project 를 選擇할 수 있다.

② 時間, cost 的 各各에 대한 成功可能性은 물론 時間과 cost 的 複合條件下에서의 成功可能性을 구할 수 있다. 이에 따라 特定 project 的 成功可能性에 대한 特性을 더욱 상세하게 검토할 수 있으며, R & D Project 的 選擇·計劃·管理를 원활히 행할 수 있게 되는 것이다.

③ 對象이 되는 遂行 project 에 있어서, 목표달성 的 有效도가 높은 經路를 抽出하는 일이 가능하기 때문에, 具體的인 scheduling 을 행하는 R & D planning 段階에 쉽게 活用할 수 있는 점이다.

#### 4.2 今後的 課題

지금까지 改良 GERT 모델의 開發作業을 통하여 또한 知見, 金후 남겨진 課題를 要約하면 다음과 같다. 먼저 理論上의 問題點으로서는,

① GERT는 activity 에 주는 情報로서 確率, 所要時間 및 cost 를 設定하고, activity 的 採用基準을 時間에 두고 있는데, 이를 時間과 cost 的 兩面으로 擴張하여 더욱 깊이 分析해 나갈 필요가 있다.

② 그런데 그와 같은 評價를 행한다 하더라도 定量的 評價밖에 얻어지지 않기 때문에, activity가 採用될 때의 priority 를 정하는 등 定性的 評價까지도 包容해 나갈 수 있는 모델이 요구된다.

③ 有效度의 産出에 의하여 諸 project 間的 有用性을 判定하게 되는데, 그 函數에만 의존하기보다는 許容領域, 最適經路 등의 問題도 포함한 형태로써의 評價理論이 設定되어야 할 것이다.

④ 실제의 R & D process 는 복잡한 學習過程

(learning process)이며 時間과 함께 ダイナミック하게 變化해 나가는 것이다. 따라서 GERT에 있어서는 사용되고 있는 確率의 值, cost 的 值, 時間의 值가 feedback 에 의하여 달라져 간다고 하는 learning process 를 導入하는 새로운 概念 및 論理構成이 필요하다.

그리고 運用上의 問題點으로서,

⑤ GERT network 에 運用에 있어서 最大의 問題點이 確率의 附與方法인데, 이의 決定에는 專門的인 知識 및 오랜 經驗의 蓄積이 필요하다.

⑥ 本研究에서의 GERT scheduling 은 그 Node 數라든지 activity 가 限定되어, 大規模의 研究開發에 適用하기에는 미흡하기 때문에 金후 大規模의 것으로 開發할 필요가 있다.

이상과 같은 諸問題點을 考慮하여, 이 手法을 더욱 充實히 해 나가는 것이 남겨진 今後的 課題일 것이다.

#### 參 考 文 獻

- 1) Arisawa, S. & S. E. Elmagraby, Optimal time - Cost tradeoffs in GERT Networks, *Management Science* 18 [11], 1972, pp. 589 ~ 599.
- 2) Clayton, E. R. & L. J. Moore, *GERT Modeling and Simulation*, Charter Pub., 1976.
- 3) Clayton, E. R. & L. J. Moore, GERT versus PERT, *Journal of Systems Management* 23 [2], 1972, pp. 11 ~ 19.
- 4) Cleland, D. I. & W. R. King, *Systems Analysis and project Management*, McGraw Co., 1975 (2nd ed.), pp. 341 - 367.
- 5) Pritsker, A. A. B., New GERT Concepts and a GERT Network Simulation Program, *Research Memorandum No. 71-8*, 1971.
- 6) Pritsker, A. A. B. & G. E. Whitehouse, GERT, Part II - Probabilistic and Industrial Engineering Applications, *Journal of I. E. E* 17 [6], 1966, pp. 293 ~ 301.
- 7) Pritsker, A. A. B. & W. W. Happ, GERT, Part I - Fundamentals, *Journal of I. E. E* 17 [5], 1966, pp. 267 ~ 274.
- 8) Souder, W. E., Experiences with an R & D Project Control Model, *IEEE Trans. E. M* 15 [1], 1968, pp. 39 ~ 49.
- 9) Whitehouse, G. E. & A. A. B. Pritsker, GERT, Part III - Further Statical Results, *AIIE Transactions* 1 [1], 1969, pp. 45 ~ 50.
- 10) 刀根 薫, *SCHEDULING*, 東京: 다이야몬드社, 1966.
- 11) 權 哲信, P & D 에 있어서의 評價方法에 관한 研究, 東京: 東京工大論文集, 1974.