

手工組立工程의 經濟性 比較에 관한 研究 - A Study on the Comparison of the Economics of Manual Assembly Process -

趙 載 堯*

ABSTRACT

Three different manual assembly techniques are evaluated by relating the effects of component quality to the total cost of the product. The results show that the choice of the scrapping or repairing the defective products or alternatively, salvaging the acceptable parts, may effect the total product cost by as much as 400 per cent.

This paper emphasizes the need for accurate control quality of parts in assembly if low-cost manufacture is to be achieved.

I. 序 論

信賴할 수 없는 組立部品과 技術에 대한 소비자들의 反應은 아주 심각하다. 이에 따라 品質管理 技術에 관한 論文이 많이 나왔다. 그러나 組立工程에서 使用되는 部品品質에 대한 效果를 經濟的인 면에서 상세하게 다룬 일은 그리 많지 않다고 본다.

많은 工場에서는 종전에 몇년동안 사용해 왔거나 임의로 選擇된 檢査와 品質計劃들이 組立品으로 만들어지는 특별한 제품의 狀況과는 관계없이 부적당하게 적용되어온 경우가 많다고 생각된다. 手工組立工程에서 하나의 불량 部品에 대한 經濟性分析은 이 공장에서 파생되는 이들 部品 개개의 效果를 고려해야 한다.

따라서 다음과 같은 條件을 생각할 수 있다.

(1) 許容差나 公差와 같은 기계적 결함은 눈에 잘 띄고, 쉽게 알 수 있기 때문에 組立전에 버려진다. 이러한 경우 製造費에 대한 影響은 交轉 部品の 費用이 들게 된다.

(2) 전기장치와 같이 部品은 機能的인 결함이 있다 하더라도 組立이 完了될 때까지 잘 觀察되지 않는다. 그래서 이러한 경우는 다음 3가지 중에서 選擇할 수 있다.

㉠ 組立部品の 불량인 스팅킹-프러그와 같이 修理할 수 없거나, 製品的 修理價値 增加費用이 크기 때문에 廢棄되는 경우

㉡ 不良部品이 組立라인에 再生品으로 되돌아 오는 경우

㉢ 不良部品이 修理되어 되돌아 오는 경우이다.

*慶熙大學校 工科學 工業經濟學科

따라서 ⑥ ⑦의 경우는 부품에 부가적인 再加工費 혹은 勞動費를 內包하게 된다.

이 論文의 目的은 總組立費를 最低로 하기 위해서는 構成部品 하나하나에 明確한 品質水準과 規格이 要求되며 보다 신중하게 合理的인 經濟性 分析을 해야 된다는 것을 강조하고, 나아가서는 手工組立工程의 3가지 側面, i) 不良部품을 廢棄할 것인가? ii) 不良部품을 再生할 것인가? iii) 不良部품을 修理할 것인가? 하는 問題가 總組立費에 어떻게 影響을 줄 지를 經濟的 數理的으로 比較하는 方法을 예시하는데 있다.

따라서 最低組立費를 目標로 했을 때 不良部품을 廢棄하였을 경우와 再生하였을 경우, 修理하였을 경우 각각에 대해 手工組立製品에 發生하는 여러 條件을 表示해 보면 다음과 같다.

◎ 表示法

C = 部品費用

C_a = 組立部품을 만들기 위해 必要한 여러가지 部品

C_n = 불량율 2%일 때의 部品費用

C_R = 不良部품이 修理되었을 때 組立品の 總費用

C_s = 불량부품이 再生되었을 때 組立品の 總費用

C_T = 不良部품이 廢棄되었을 때 組立品の 總費用

D = 不良組立部品の 比率

$T = t_R / t$ 或은 t_s / t

n = 組立部品の 數

t = 組立時間

x = 不良率

\bar{x} = 1000 개의 部品에 대한 不良部品の 數

◎ 부수적인 表示法

p = 許容된 組立品の 生産에

q = 不良 組立品の 生産에

s = 不良部品으로 부터 再生된 部品에

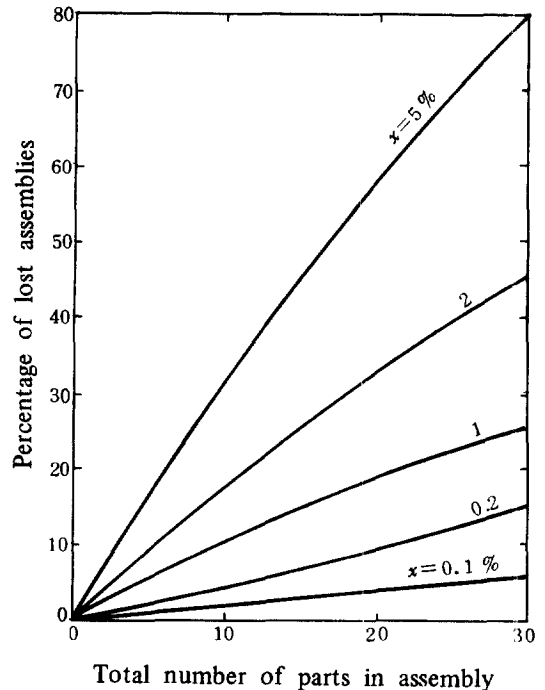
R = 修理部품에

II. 組立製品 生産에 對한 不良部品の 影響

組立製品 生産에 대한 不良部品の 影響은 쉽게 식으로 나타낼 수 있다. 만약 모든 組立製品이 不良組立으로 인해 不良品으로 된다면 不良組立部品の 比率는 다음 식으로 정의할 수 있다.

$$D = 1 - (1 - 0.001 \bar{x})^n$$

이에 대한 여러가지 경우가 [그림 1]에 나타나 있다.



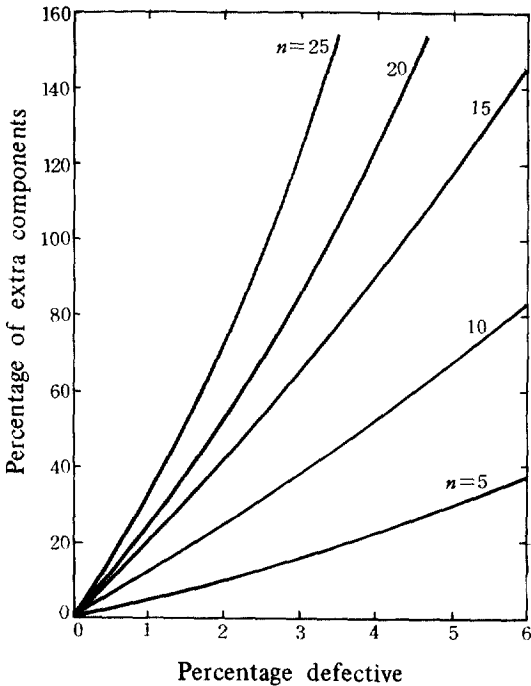
[Fig 1] THE EFFECT OF DEFECTIVE COMPONENTS ON ASSEMBLIES

이 그림에서는 部品不良水準이 2% 이상일 때 아주 많은 部品들을 廢棄하거나 再生하거나, 修理해야 된다고 본다. 예를들면, 만약 部品 不良率이 2%이고, 組立된 제품이 20개의 部品으로 組立된 產品일 경우, 대개 35% 部品이 폐기, 재가공, 수리를 요하게 된다. 또한 이 경우 不良部품을 交替하여 組立品을 만드는 데 이에 必要한 部品들은 부수적인 費用이 들게 되고, 이러한 部品들로 만들게 되면 組立部品은 여분의

部품을 必要하게 된다. 이때 이 여분의 部品比率은 다음 式으로 나타낼 수 있다.

$$C_a = 100 / (1 - 0.01 \bar{x})^n - 100$$

이 式은 部品交替에서 發生하는 不良部品の 影響을 內包하며, 이 比率에 의해 여분의 部品の 交替될 수 있다. [그림 2]는 이 關係를 나타낸다.



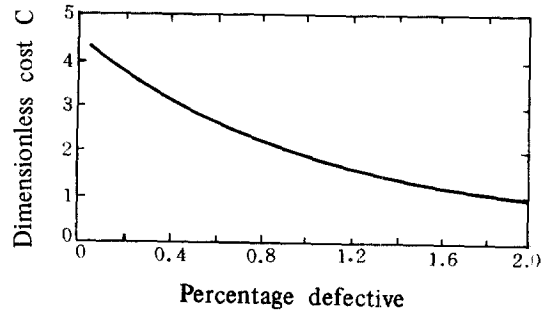
[Fig 2] THE EXTRA COMPONENTS REQUIRED TO RECTIFY DEFECTIVE ASSEMBLIES

1. 品質關係費用

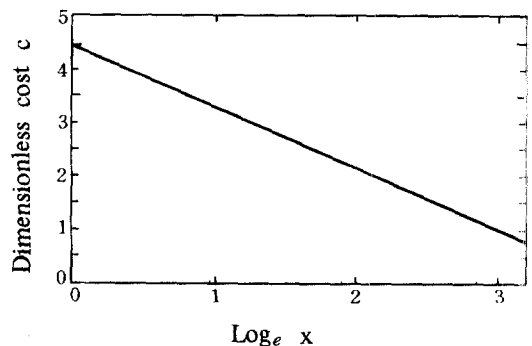
手工組立工程을 가지고 있는 工場들은 어떤 특정 組立製品을 만들기 위해 실제 構成部品の 수보다 더 많은 量을 구매해야 한다. 특히 나사, 리벳트, 스프링 등의 部品이며 이들은 또한 必然的으로 正確한 品質保證計劃이 樹立되지 않는다면 구입 부품 속에 들어 있는 不良部品の 平均費가 組立라인에서 使用되는 費用보다 초과되게 된다. 따라서 組立 技術者는 3 가지의 可能性을 생각

할 수 있다. (1) 매우 고급품질의 部품을 구입해서 기술적으로 안전한 비싼 部품을 구입하는 경우, (2) 組立工程을 잘 管理하여 모든 구성 部품을 組立製品에 適合한 部품으로 사용하는 경우 (3) 구성部品の 合格品質水準을 經濟的인 組立製品이 되도록 廢棄品, 再生品, 修理品 등을 綜合해서 管理해야 되는 경우이다.

이 3 가지 사항에서 品質保證에 가장 適合한 方法을 選擇하기 위해서는 먼저 組立製品의 構成部품에 必要한 品質과 價格과의 關係費用을 考慮해야 한다. 따라서 여러 部品の 品質水準에 대한 費用은 關聯된 많은 會社의 品質水準과 協力關係를 考慮하여 調査해야 하며, 이러한 調査資料는 組立製品의 많은 問題를 解決할 수 있으리라 생각된다. [그림 3]은 여러 品質水準에 대한 部品の 單位費를 나타내고 있다.



[Fig 3] THE EFFECT OF DEFECTIVE RATE ON COMPONENT COST



[Fig 4] THE LOGARITHMIC RELATION OF QUALITY AGAINST COST

따라서 이 單位費는 이질적인 여러 部品の 경우 다양하고 複雜한 程度에 따라 發生하는 價格 差異 問題를 잘 解決해야 한다. 예를들면, 어떤 특정한 部品の 購入價格과 注文量의 多少問題, 또한 組立製品의 모든 構成部品の 價格과의 問題등을 생각할 수 있다. 만약 어떤 특정 品質水準에서 어떤 一定한 部品の 不良率에 대한 購入價格이 設定되면 그 構成部品の 價格은 制限이 된다. 가로축이 \log (로그) 눈금으로 그려질 때 (여기서는 $x = \bar{x}/10$) 의 曲線은 [그림 4] 와 같이 直線이 된다.

따라서 $\bar{x} = 20$ 일때 이 直線은 水平이 된다. 다시 말하면 $x = 2\%$ 일 때 水平이 된다는 말이다. 이러한 현상은 一般的으로 部品品質의 品質水準은 2% 이하에서 維持되어야 한다는 뜻으로 볼 수 있다. 따라서 組立製品의 構成部品들은 2% 이하의 불량율을 維持해야 하기 때문에 購入 部品價格은 이 이하로 절감할 수 없으며, 部品費用은 다음 式과 같이 部品 1000 개당의 수를 고려하여 정의할 수 있다.

$$C = 4.5 - 1.167 \log_e \bar{x} \dots\dots\dots (1)$$

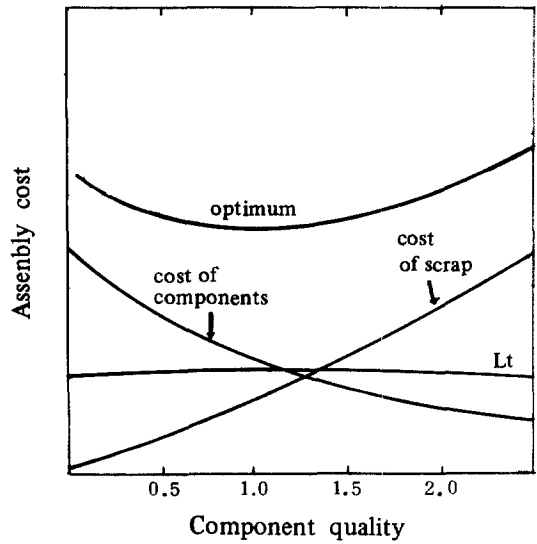
고로 $\bar{x} = 20$ 에 대하여 $C = 4.5 - 1.167 \log_e 20$ 이 된다.

2. 最低組立製品費에 대한 部品品質의 最適解

우선 費用/品質의 關係를 考慮하면 組立部品の 組立費用은 一般的으로 [그림 5]에 나타난 곡선을 생각할 수 있다.

특히 組立 라인 工程은 i) 組立時間費用 L_t 費用의 要素가 대략 適當하게 固定되며, 이 固定費 要素는 장소, 열량, 전기소모량 등의 費用으로 組立部品 單位에 따라 一定하게 增加된다. 이 費用을 推定하는 많은 方法이 있으며, 또한 각 會社에서 採擇하고 있는 方法도 다양하다. 그러나 어떤 計算方式이든 가장 適合한 方法을 選擇하여 그 절차에 따라 이 費用을 採擇하면 된다.

ii) 組立費의 要素는 部品の 購入價格이다.



[Fig 5] THE EFFECT OF COMPONENT QUALITY ON TOTAL ASSEMBLY COSTS

[그림 5] 에서 보는 바와 같이 특정된 部品品質水準과 組立費의 함수이다. iii) 마지막 요소는 不良部品이 發生할 때 나타나는 費用이다. 이 3 가지 要素로 組立費用曲線을 그릴 수 있다. 따라서 最適組立費用曲線은 最低費用點에서 定義된다. 그러므로 最低費用에 대한 最適條件을 유도할 수 있다.

또한 手工組立工程은 構成部品이 3 가지 特性을 갖는다. i) 不良部品을 廢棄하여 再加工이 없는 경우, ii) 再生된 部品이 組立라인에 들어오는 경우, iii) 불량部品이 修理되어 組立 라인에 들어오는 경우 등을 比較하여 組立費用을 算出할 수 있다.

3. 再加工 없는 手工組立品

모든 불량部品은 組立工程에서 버려진다고 가정하면 最適組立費用 要素는 $P_p + P_q$ 로 주어진다. 또한 이에 대하여 最適勞動費用 要素는 $L_p + L_q$ 로 주어진다. 그러므로 불량部品이 廢棄되었을 때 組立品の 總費用은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_T = P_p + P_q + L_p + L_q \dots\dots\dots (2)$$

組立라인에서 品質水準을 고려한 部品費用 C_n 을 總組立費用에 包含시키면 \bar{x} 가 20 미만일 때 總組立費用은 다음에서 정의된다.

$$P_p = C_n (4.5 - 1.167 \log_e \bar{x}) \dots\dots (3)$$

$$P_q = P_p \left[\frac{1}{(1 - 0.001 \bar{x})^n} - 1 \right] \dots\dots (4)$$

$$L_p = L_t / 3600 \dots\dots (5)$$

$$L_q = L_p \left[\frac{1}{(1 - 0.001 \bar{x})^n} - 1 \right] \dots\dots (6)$$

$$\therefore P_p + P_q = \frac{C_n (4.5 - 1.167 \log_e \bar{x})}{(1 - 0.001 \bar{x})^n} \dots (7)$$

$$L_p + L_q = \frac{L_t}{[3600(1 - 0.001 \bar{x})^n]} \dots\dots (8)$$

(7)式+(8)式

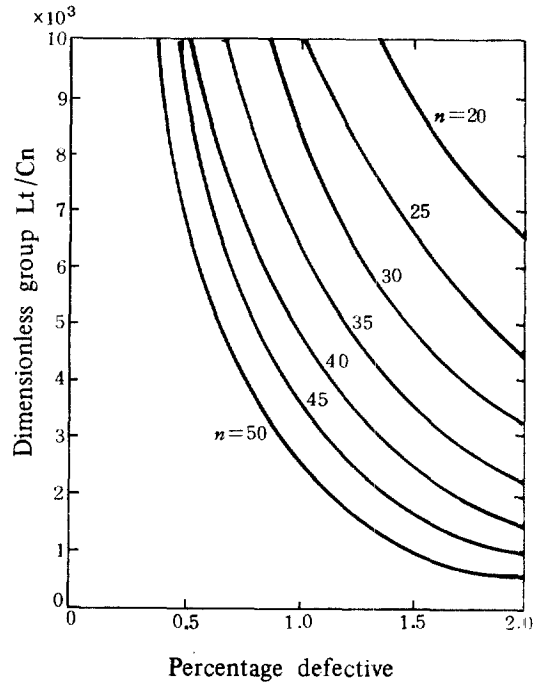
$$C_T = \frac{C_n (4.5 - 1.167 \log_e \bar{x})}{(1 - 0.001 \bar{x})^n} + \frac{L_t}{[3600(1 - 0.001 \bar{x})^n]} \dots\dots (9)$$

組立部品에 대한 最低費用의 條件을 \bar{x} 에 대해서 表記한 것을 보면 다음 식은 最低費用 條件을 만족한다.

$$\frac{L_t n}{C_n} = 36 \times 10^2 \left[\frac{1.167}{\bar{x}} (1 - 0.001 \bar{x}) - n (4.5 - 1.167 \log_e \bar{x}) \right] \dots\dots (10)$$

(10)식으로부터 $L_t n / C_n$ 의 比에 따르는 最低費用에 대한 불량水準은 매 時間當의 勞動率과 組立時間, 組立部品の 수와 組立總費用에 關係된다. (10)식의 양변에 매개변수 n 이 있기 때문에 n 의 특별한 값에 대한 현재의 값을 얻을 수 있다. [그림 6]은 매개변수 L_t / C_n 와 불량수준 \bar{x} 를 쉽게 계산할 수 있고, 또한 最

適不良率을 選擇할 수 있다.



[Fig 6] THE OPTIMUM COST RELATION FOR ASSEMBLIES WHERE DEFECTS ARE SCRAPPED

$\bar{x} > 20$ 일때 最適解는 없다. 이것은 C_n 의 값이 [그림 4]를 고려하여 얻어진 명목상의 2% 불량율의 部品으로 組立한 n 개의 部品價格에 대해 설명하고 있기 때문이다. 여기서 時間當 勞動率의 매개변수 L 은 공장에서 실제로 組立費用에 대한 要素로 사용할 수 있다. 이 曲線으로부터 얻어진 값은 공장에서 採擇된 組立時間費用의 計算方式과 關係없이 찾아 쓸 수 있다.

또한 [그림 6]은 L_t / C_n 의 값이 크면 낮은 불량수준을 나타내고 있다. 이것은 部品費用이 增加할 때 總部品組立費의 增加를 뜻한다. 또한 노동比率이나 組立時間이 커질수록 높은 品質水準의 部品이 必要하며, 勞動關係費는 組立費用중 큰 비중을 차지하기 때문이다. 部品의 수가 많으면 組立製品은 이와 같은 特性을 갖게 된다. 따라서 組立技術者는 組立部品の 品質水準을 明確히 하고, 最適品質은 생각해야 한다.

[그림 4]에서 모든 부품의 비용을 명목상 2% 不良水準을 定한 것을 보면 잘 알 수 있다.

4. 再加工 있는 手工組立品

이 경우는 2가지로 條件을 分離해서 i) 再生된 部品組立品 ii) 修理한 部品組立品으로 區分해 보자.

i) 再生部品이 있는 手工組立品

앞의 정의와 같이 同一한 推定을 생각할 수 있다. 이 경우 再加工을 위한 部品을 包含한 總組立費用은 다음 式으로 나타낼 수 있다.

$$C_T = P_p + P_q + L_p + L_q + R_s \quad \dots\dots (11)$$

여기서 R_s 는 다음과 같다.

$$R_s = \frac{LtR[1 - (1 - 0.001 \bar{x})^n]}{3600 (1 - 0.001 \bar{x})^n} \quad \dots (12)$$

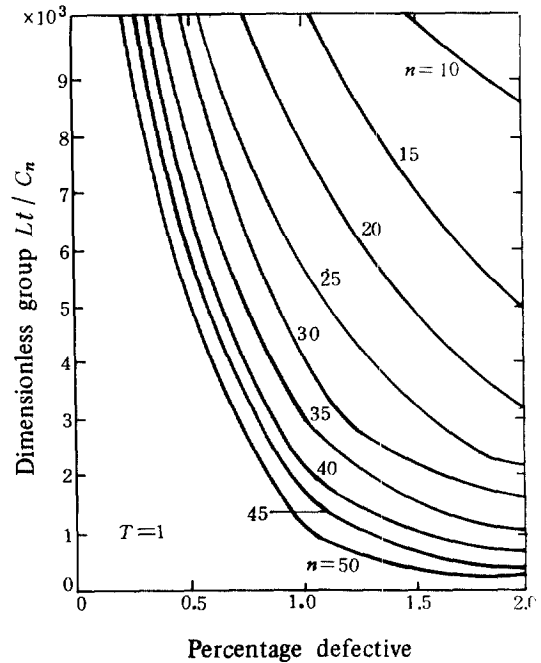
다음에 P_p, P_q, L_p, L_q 항을 다시 정의하고 식 (11)과 식 (12)식을 결합하면

$$C_s = \frac{C_n (4.5 - 1.167 \log_e \bar{x})}{(1 - 0.001 \bar{x})} + \frac{Lt}{3600 (1 - 0.001 \bar{x})^n} + \frac{LtR[1 - (1 - 0.001 \bar{x})^n]}{3600 (1 - 0.001 \bar{x})^n} \quad \dots (13)$$

\bar{x} 에 대해 最低費用 條件을 만족하는 식을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{Lt_n}{C_n} = \left(\frac{3600}{1+T} \right) \left[\frac{1.167}{\bar{x}} (1 - 0.001 \bar{x}) - n (4.5 - 1.167 \log_e \bar{x}) \right] \quad \dots (14)$$

여기서 $T = t_R / t$ 이다. [그림 7]은 Lt / C_n 에 對한 \bar{x} 의 最適値를 나타내고 있다.



[Fig 7] THE OPTIMUM COST RELATION FOR ASSEMBLIES WHERE ACCEPTABLE PARTS ARE SALVAGED AND RETURNED TO LINE

ii) 修理部品에 있는 手工組立品

앞의 정의와 같이 同一한 推定을 할 수 있다. 이 경우 R_R 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_R = \frac{LtR[1 - (1 - 0.001 \bar{x})^n]}{3600 (1 - 0.001 \bar{x})} \quad \dots\dots (15)$$

P_p, P_q, L_p, L_q 항은 바뀌어 진다. 단, 이 경우는 余분의 部品이 廢品으로 計算되지 않기 때문에

$$\therefore P_p + P_q + L_q = \frac{C_n (4.5 - 1.167 \log_e \bar{x})}{(1 - 0.001 \bar{x})} + \frac{Lt}{3600} \quad \dots\dots (16)$$

따라서 總組立費用은 다음과 같다.

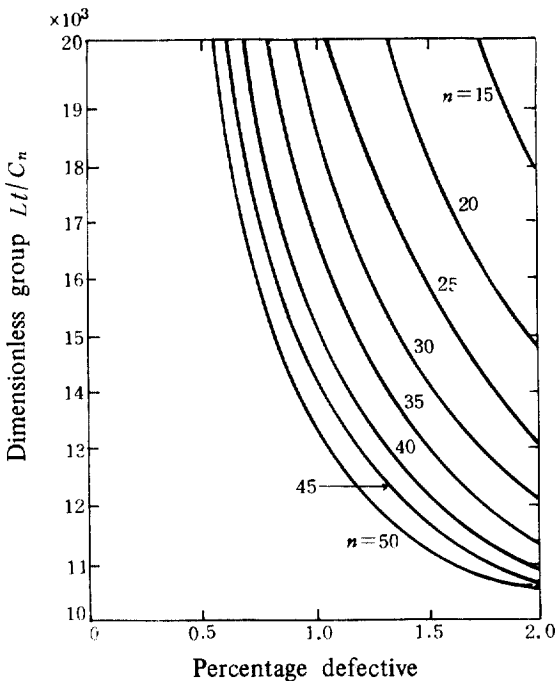
$$C_R = \frac{C_n (4.5 - 1.167 \log_e \bar{x})}{(1 - 0.001 \bar{x})} + \frac{Lt}{3600}$$

$$+ \frac{Ltr[1-(1-0.001\bar{x})^n]}{3600(1-0.001\bar{x})} \dots (17)$$

\bar{x} 에 대해 最低費用 條件을 만족하는 식을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{Lt_n}{C_n} = \frac{3600}{T} \left[\frac{1.167}{\bar{x}} (1-0.001\bar{x}) - \frac{(4.5 - 1.167 \log_e \bar{x})}{1+(n-1)(1-0.001\bar{x})^n} \right] \dots (18)$$

여기서 $T = t_s / t$ 이다. [그림 8]은 Lt / C_n 에 대한 \bar{x} 의 最適値를 나타내고 있다.



[Fig 8] THE OPTIMUM COST RELATION FOR ASSEMBLIES WHERE DEFECTS ARE REPAIRED

5. 結果에 대한 考察

[그림 6] [그림 7] [그림 8]의 曲線은 n 의 값에 따른 Lt / C_n 의 比에 對한 最適 品質水準을 나타내고 있다. [그림 6]은 모든 不良部品들이 廢品이 되는 條件으로 交替에

민감한 部品들이 해당되며, 最低組立費用 條件을 만족시키는 部品の 불량수준이 나타나 있다. 예를 들면 만일 $Lt / C_n = 4500$ 이면 $x = 1.1\%$ 가 된다.

[그림 7] [그림 8]은 再生과 修理를 할 수 있는 部品에 對한 最適 條件의 曲線을 나타낸다. 고로 이들 曲線도 [그림 6]과 유사하다. Lt / C_n 의 값은 3가지 條件에 대해 比較해 볼 수 있다.

〈事例〉

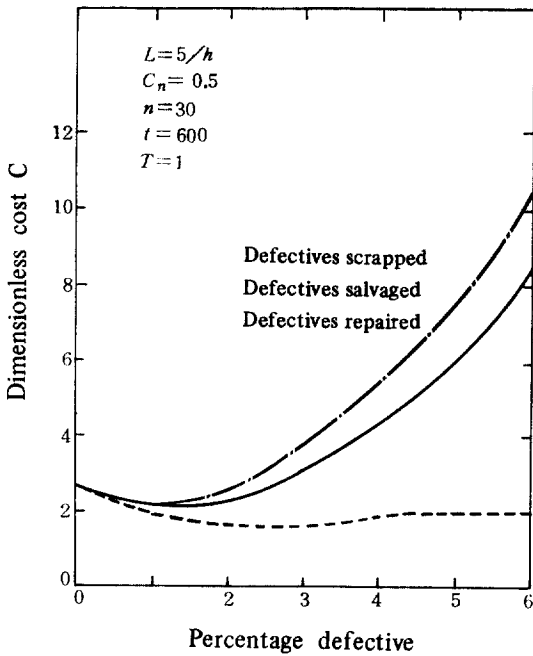
勞動率(천원) = $L5 / n$, 組立時間(t) = 600 s, 部品費用(C_n) = 0.5 (천원), 組立部品 수(n) = 30, $Lt / C_n = 6000$ 이라면 各 部品에 對한 最適不良率은 [그림 6] [그림 7] [그림 8]에서 算出할 수 있다. i) 모든 불량부품을 廢棄된 手工組立品 = 1.2%, ii) 불량부품을 再生한 경우의 手工組立品 = 0.7%, iii) 불량부품을 修理하여 사용한 경우의 手工組立品 = 2.0%를 갖는다. 이러한 結果는 모든 部品를 修理하여 使用하였을 때 불량율의 값이 제일 낮은 最適値를 갖는다. 그리고 부품불량율이 가장 낮은 경우는 不良部品를 再生하여 使用했을 경우이다. 그러나 이러한 事例은 모든 組立技術이 同一하다고는 할 수 없다.

어떤 組立工程에서 組立製品을 만드는 것은 여러 方法으로 單位組立部品에 對한 總組立費用을 比較해야 하며, 여러번 費用計算을 해서 最適水準을 결정해야 하고, 보다 높은 技術水準을 維持해야 한다. [그림 9]는 組立費用이 部品品質水準이 높으면 적은 變化를 하나 部品品質水準이 낮으면 큰 變化를 한다.

불량部품을 再生하여 組立하는 경우 組立費用에서 部品品質水準이 2%에서 6%로 惡化됨에 따라 약 400% 정도 높아진다. 그래서 되는대로 組立部품을 選擇하는 것은 組立期間동안 많은 組立費用의 증가를 초래하게 된다는 것을 알 수 있다. 이 例에서는 組立時間에 對한 修理時間의 比를 $T = 1$ 로 나타낸 경우이며, 이 比率이 一定單位로 變化할 때 이 比率에 따라 經濟

의인 組立方式도 變化하게 됨을 알 수 있다.

参 考 文 献



[Fig 9] THE COMPARISON OF ASSEMBLY COSTS

Ⅲ. 結 論

[그림 6~9]에 나타난 結果로 부터 手工組立工程은 그 構成部品들의 불량을 ① 廢棄 ② 再生 ③ 修理등으로 처리 되도록 해야 한다. 또한 이 3가지 側面에 대해 經濟性을 比較해 보니 너 무 큰 差가 있었다. 따라서 組立技術과 經濟性을 고려한 最適組立費를 決定하려면 各 部品들의 最低組立費를 만족하는 品質水準을 찾아 철저한 部品品質管理를 해야 한다.

- (1) Bond, M.E., "A Commercial approach to instrument quality" R & D Management, Vol. 5, No.2, 1975, P. 149.
- (2) Stout, K.J., Charnleg, C.J., and Rowe, W.B., "The effect of quality on the performance and economics of mechanised assembly machines", The Production Engineer, April 1976, PP. 25-28.
- (3) Feigenbaum, A.V., "Total Quality Control", McGraw-Hill, 1975, PP. 83-85.
- (4) Thuesen, W.J., Fabrycky, W.J., Thuesen, G.J., "Engineering Economy", Prentice-Hall Inc., 1976, pp. 384-386.
- (5) Juran, J.M., Gryna, F.M., and Bingham, R.S., "Quality control handbook", 3rd Ed, McGraw-Hill, 1974, pp. 250-253.
- (6) Grant, E.L., Ireson, W.G., "Principles of Engineering Economy", Ronald, 1976, pp. 123-126.
- (7) Juran, J.M., Frank, M. Gryna JR, "Quality Planning and Analysis", McGraw-Hill, 1975, pp. 54-59.