

經濟的인 品質保證水準確保를 위한
工程能力指數의 最適化에 관한 研究

-Optimization of Process Capability Index for Economic Quality Assurance Level-

宋 瑞 日*

Abstract

Process capability implies the qualitative capability of a process, and it is necessary to specify the process capability by quantification and to evaluate the level with the specified standardization.

But the process capability index is currently used to evaluate the performance of quality control activity, without considering the characteristics of process structure or the economy of management. Here the researcher would like to redefine process capability and emphasize its index may be used as the measure of managerial assessment and the objective of process quality control in full consideration of the economic aspects of process characteristics.

Too little or too much process capability causes a loss of or excess. The proper economic level of process capability varies to each process. The procedure of taking the optimum process capability index is derived from the expected profit function, whereas each method is studied in cases of normal process with one-sided specification and two-sided specification. In addition, the process capability index is presented as a method of quality assurance. And an example is exhibited on wrapping process of 'A' company.

The results of this study are summarized as follows.

First, though the normalization of the process capability index is possible by the existing methods, the optimum process capability index can vary to the situation of each process. So, the optimum process capability index which is suggested in this dissertation should be used as the standard to assess process capability.

Second, the process capability index can take its effect not just in indicating quality control or managerial records but also in the management of high quality assurance.

1. 序 論

1.1 研究目的

오늘날의 産業社會와 같이 國際競爭이 치열해지고 技術이 向上될수록 品質保證의 重要性이 더해진다. 이는 종래의 市場防禦의 姿勢를 떠나 오히려 市場攻擊的

手段으로서 그 價値가 確定된다.

高品質保證의 方法은 철저한 檢査에 의한 方法과 높은 水準의 工程能力 維持함으로써 所定の 品質을 保證하는 두 方法으로 대별되나, 品質管理의 基本的 思考에서 보더라도 후자가 바람직하므로 本研究에서는 후자에 관하여 논의하고자 한다.

工程能力은 工程의 質的인 收用能力을 뜻한다. 따라서 이의 程度를 具體化하기 위하여는 定量化되어야 하며, 標準으로 정한 規格에 대비시켜 볼 필요가 있다.

* 東亞大學校 産業工學科 副教授

이 論文은 工學博士學位論文을 要約한 것임

접수일: 1988.11.16

전자를 工程能力의 定量化라 하고, 후자를 工程能力指數로 表現하여 評價의 指標로 사용하고 있다.

그러나 工程能力指數는 現在の 工程에 대한 管理活動의 實績을 評價하는 尺度로서 일괄적으로 사용되고 있으며, 그 工程 構造상의 特徵이나 管理上の 經濟性은 전혀 고려되지 않는 狀態에서 工程能力指數가 1.33 以上이면 1等級, 1~1.33이면 2等級, 0.67~1.00이면 3等級, 0.67以下면 4等級이라는 식의 劃一的이고 무조건적인 基準을 適用하고 있다.

이에 本研究는 다음과 같은 두가지 점에서 問題를 提起하고자 한다.

(1) 工程能力指數는 傳統的인 評價基準에서 벗어나 工程의 特性을 근거로 한 經濟性의 면을 고려하여 評價되어야 한다.

(2) 工程能力指數는 管理活動의 實績評價 尺度로서 뿐만 아니라 工程品質管理의 目標로서도 사용될 수 있다.

따라서 本研究에서는 工程能力의 定量化와 評價方法論을 綜合整理함과 아울러 주어진 特定の 工程條件下에서 가장 經濟的인 工程能力指數의 設定方法을 定立하고, 事例로 論證함으로써 工程能力에 대한 올바른 理解와 積極的인 활용으로 品質管理의 活性化에 이바지하고자 한다.

1.2 研究方法 및 範圍

工程能力指數는 品質管理의 實績을 評價하는 指標로 인식되어 있고, 또 그렇게만 사용되어 왔으나, 對外的으로 약속한 品質保證品位를 지키기 위하여 平均出檢品質은 어느 정도 되어야 하며, 그러기 위하여는 어느 정도의 工程能力을 維持해야 하느냐 하는 管理의 目標로서도 중요한 意義를 갖는다.

특히 生産시스템이 自動化됨에 따라 大量生産方式으로 바뀌어지고 國內外의 경쟁이 치열해지는 製品類들은 高品質保證體制가 요망되며, 이러한 경우에는 종래의 傳統的인 思考에서 벗어나 높은 水準의 工程能力을 維持管理함으로써 이를 구현할 수 있다.

그러나 工程能力은 너무 커도, 또는 너무 작아도 問題가 되는 兩面性을 가지고 있기 때문에 이의 目標設定에는 經濟的인 면을 검토해 보지 않을 수 없다. 즉, 工程能力이 아주 크면 不良에 의한 損失費用은 작아지나, 반면에 이의 維持管理에 많은 費用이 들며, 반대로 工程能力이 어느 정도 以下가 되면 規格을 벗어나는 製品의 수가 많아짐으로 해서 保證品位를 지킬 수 없을 뿐만 아니라 損失費用도 커지게 된다.

日本의 木暮正夫[35]는 이 問題에 대하여 工程能力 損失係數를 不良에 대한 價値不足損失과 良品에 대한 價値過剩損失의 합으로 구하고, 이를 이용하여 計量値와 計數値의 工程能力을 評價하는 方法을 제시하고 있으나, 결론적으로는 管理의 目標値를 구하는 선에서 그치고 있다.

經濟的 管理의 目標値를 구하는 問題에 대하여는 Bettes[1]의 研究를 들 수 있다. 그는 下限規格(LSL : Lower Specification Limit)은 고정시키고, 上限規格(USL : Upper Specification Limit)은 임의 조정할 수 있는 狀態에서 最適의 目標値를 정하는 方法論을 提示하고 있으며, Hunter와 Kartha[13], Nelson[24], Carlsson[6] 등도 製造工程에서의 最適管理目標을 찾는 方法을 제시하고 있으나, 모두 中心値의 값으로서 대응하고 있다.

한편 Bisgaard와 Hunter 및 Pallesen[3]도 最適目標値로서 平均値를 찾아내는 方法을 제시하고 있으며, 事例로서 對數正規分布와 코아종分布를 하는 경우를 예로 들고 있다.

그러나 Bettes, Hunter와 Kartha, Nelson, Bisgaard와 Hunter 및 Pallesen, Carlsson, 木暮正夫가 管理의 目標로 제시한 平均値는 工程이 가지는 散布의 값에 따라 상대적으로 의미를 상실할 때가 있다. 즉, 散布의 값이 그다지 크지 않을 때는 目標値로서의 의의가 있으나, 散布가 크게 되면 目標値로서의 相對的 값이 치가 줄어 든다.

이러한 관점에서 보면 工程能力指數는 平均과 散布를 동시에 감안 할 수 있다는 점에서 管理의 目標設定値로서 오히려 광범위하게 수용될 수 있다고 생각한 다.

따라서 本研究에서는 製造單位當의 利益을 最大로 하는 經濟的인 工程能力指數를 결정하는 方法을 제시하고, 현장 데이터에 의한 事例로 論證하고자 한다.

2. 工程能力의 定量化 및 評價

2.1 工程能力의 定義

工程能力이란 “주어진 作業環境條件下에서 生産되는 製品의 固有再現性을 확보하기 위하여 그 工程으로 부터 얻어진 結果(品質特性)에 대한 情報”를 의미한다고 할 수 있다.

그리고 生産過程中에 있는 工程은 偶然原因에 기인한 管理狀態를 전제하고 經濟的인 特性 조건的 許容範圍內에서 본래 있어야 할 狀態의 最大限의 達成能力을

나타내는 情報이며, 新製品開發, 試製品 등 本格生産 以前에 있는 工程은 管理狀態를 전제하지 않더라도 그 를 調査하여 結果에 큰 影響을 미치는 主要한 原因(要因)을 규명하고 管理目標에 도달 가능한 限界를 나타 내는 情報로 사용 가능하다.

2·2 工程能力的 調査

2·3 工程能力的 定量化

가. 定量化의 概念

나. 定量化의 方法

1) 計量品質特性值의 定量化

가) 母數가 既知일 때

나) 母數가 未知일 때

(1) P上的 點 x_{L1}, x_{U1} 는 完만하게 指定하는 경우

(2) 品質特性尺度上의 點 x_{L1}, x_{U1} 를 엄격하게 하고 達成確率P는 完만하게 指定하는 경우

2) 計數品質特性值의 定量化

2·4 工程能力的 評價

가. 工程能力和 公差와의 關係

1) 工程能力和 公差

가) 製品의 精密도와 公差

나) 工程能力和 公差의 設定

2) 工程能力和 規格과의 比較

3) 工程能力的 評價方法論

나. 計量品質特性值의 評價方法

1) 直接評價方法

2) 特定の 評價尺度에 의한 評價方法

가) $T/6\sigma$ 尺度의 利用

나) (片側規格 - μ)/ 3σ 尺度의 利用

다) $T=1$ 尺度의 利用

3) 其他評價方法

가) 歪曲分布의 경우

나) 치우침이 있는 경우

다) 傾向變化가 있는 경우

라) 週期성이 있는 경우

다. 計數品質特性值의 評價方法

라. 從來의 工程能力評價方法

1) 基本的 問題

2) 從來의 工程能力 評價方法의 概念

가) 片側規格을 가진 경우

나) 兩側規格을 가진 경우

3) 從來의 工程能力評價方法에 대한 問題點

木暮正夫의 評價方法은 간략한 費用模型을 도입함으로 分布의 母數만에 의하여 工程能力을 評價하는 것보다도 現實的이라고 생각되나, 各 分布가 確率變數를 가지므로 計算上의 어려움이 너무 많아 아직 實用化되어 있지 못한 實情이다. 또 工程能力損失係數比(G)도 마찬가지로, 어느 範圍가 바람직하다는 條件을 쓸 수 없고, 그저 작은값일수록 工程能力이 좋다고 밖에 할 수 없어, 管理의 指標로 세울 수 없는 것이 缺點이라고 생각된다.

木暮正夫가 費用模型을 導入한 것에 비하여 本研究에서는 利益函數를 利用한 것이 하나의 方法上의 差異이며, 木暮正夫는 費用方程式에 의하여 最適管理目標로서 平均値를 찾으려고 했으나, 本研究에서는 最適工程能力指數를 찾고자 하는 것이 目標上의 差異라고 할 수 있다.

3. 工程能力指數의 最適化

3·1 最適化의 必要性

工程能力指數에 대한 이러한 概念은 일련의 管理活動에 대한 결과의 評價일뿐, 工程管理의 목표로서 사용하려는 적극적인 思考가 缺如되어 있다고 볼 수 있다.

品質管理의 궁극적인 目標은 使用者에의 品質保證에 있다고 할 때, 工程能力指數는 管理活動의 評價尺度로서 뿐만 아니라 一定水準의 品質保證을 하기 위한 管理의 目標로도 사용될 수 있는 충분한 價値가 있다.

더군다나 工程能力의 等級化 問題에 있어서는 規格의 폭에 대하여 얼마만큼의 餘裕를 가지고 있으나 하는 점만 가지고 工程이나 製品의 特性과는 전혀 관계없이 一律적인 基準에 의하고 있다. 여기에는 분명히 費用的인 側面을 고려하지 않을 수 없다.

兩側規格을 가진 경우에 대하여 생각하면 製品의 品質特性은 規格의 上下限을 중심으로 생각하기 쉬우나 事實은 언제나 下限規格이 그 基準이 된다. 왜냐하면 品質特性이 規格을 未達하는 경우나 超過하는 不良도 損失이지만 上下限規格사이에 있을지라도 下限規格을 넘는 餘裕분은 損失이라고 볼 수 있기 때문이다.

木暮正夫[35]는 工程能力의 評價方法으로서 上記와 같은 思考에 입각하여 費用函數를 도출하고, 最小費用이 되는 特性分布의 平均値 μ 를 구함으로써 管理의 目標을 구하고 있으며, 이는 工程能力의 評價라고 보기에 적합한 점이 있다.

그 이전에 Bettes[1]는 下限規格을 固定시키고, 上
 限規格은 任意的 狀態에서 最適의 目標値를 찾는 方法
 을 發表한 바 있으며, Hunter와 Kartha[13], Carlsson
 [6]는 가장 收益性이 큰 製造工程의 目標値의 決定에
 관하여, 또한 Bisgaard등[3]은 製造 品質의 경제적
 選擇에 관하여 발표한 바 있다.

그러나 本研究에서는 그들의 先研究의 思考方式을
 기초로 하여 경제적 工程能力指數를 구하고자 하며,
 이를 工程能力指數의 最適化라고 칭하기로 한다.

3·2 高品質保證을 위한 工程能力指數의 最適化

가. 品質保證의 方法

品質을 保證하는 方法으로서는 基本的으로

- (1) 工程能力의 確保에 의하여 保證하는 方法
- (2) 檢査에 의하여 保證하는 方法

이 있다. [42] 이 중 어느 方法을 선택할 것인지의 意
 思決定은 經濟性과 장래의 전망등 政策에 의하여 決定
 된다.

工程能力指數와 品質保證水準의 關係를 標準正規分
 布의 確率[26], [39] ($1 \epsilon (x) < 1.5 \times 10^{-7}$)로 計算한
 結果를 整理하면 Table-1과 같다.

나. 高品質保證體制

다. 檢査의 精密度

- 1) 檢査精密度
- 2) 檢査精密度의 性質

라. 工程能力의 最適化

檢査精密度 1/50의 檢査設備를 사용하여 檢査하는
 경우에 工程能力指數와 品質保證水準을 確保하기 위하
 여 몇대의 檢査設備가 必要한가를 Table 3-1에 의하여
 決定한 結果는 Table-2와 같다.

3·3 經濟的 側面에서의 工程能力指數의 最適化

가. 問題의 定義

確率變數 X가 品質特性을 나타내는 確率變數이고,
 X의 確率密度函數, 平均, 分散이 $f(x), \mu, \sigma^2$ 인 경우
 에 價値損失의 基準에 따라 下限規格(LSL)이 基準이
 되는 경우 I과 上線規格(USL)이 基準이 되는 경우
 에 II에 대해서 規格과 工程能力指數를 Table-3에 整
 理하였다. 나. 模型의 設定

目的函數는 $X=x$ 일때 單位當 利益函數인 $P(x)$ 의 期
 待値로 정했으며, 生産費는 線形으로 固定費와 x 에 比
 例하는 變動費의 합인 $dx+e$ 로 표시하였다. 또한 販賣

Table-1. Process capability index and quality assurance level

K _c	C _p	Probability of out of specification limit(ϵ)	Quality assurance level	
			One sided specification limit	Two sided specification limits(2 ϵ)
1.0	.33	.15865531922140730	1.6/10	3.2/10
1.1	.37	.13566604768883310	1.4/10	2.7/10
1.2	.40	.11506958411853880	1.2/10	2.3/10
1.3	.43	.09680037221261861	9.7/100	19.4/100
1.4	.47	.08075653427124119	8.1/100	16.2/100
1.5	.50	.06680710000921364	6.7/100	13.4/100
1.6	.53	.05479924072098508	5.5/100	11.0/100
1.7	.67	.04456547361163854	4.5/100	8.9/100
1.8	.70	.03593039683341948	3.6/100	7.2/100
1.9	.73	.02871667600304040	2.9/100	5.7/100
2.0	.77	.02275026173057715	2.3/100	4.6/100
2.1	.80	.01786454280629846	1.8/100	3.6/100
2.2	.83	.01390352939689210	1.4/100	2.8/100
2.3	.87	.01072414577400549	1.1/100	2.1/100
2.4	.90	.00819751412461089	8.2/1000	16.4/1000
2.5	.93	.00620959620707762	6.2/1000	12.4/1000
2.6	.97	.00466108293089318	4.7/1000	9.3/1000
2.7	1.00	.00346684650680673	3.5/1000	6.9/1000
2.8		.00255500185278423	2.6/1000	5.1/1000
2.9		.00186569881223819	1.9/1000	3.7/1000
3.0		.00134981252819610	1.3/1000	2.7/1000

Table-2. Numbers of inspection facility requirements by process capability index and quality assurance level

C _p	Fraction defective (%)	Number of inspection facility requirements by quality assurance level				Inspection precision
		1	2	3	4	
0.33	31.73	$\frac{3.173}{500}$	$\frac{1}{7,899}$	$\frac{1}{393,950}$	$\frac{1}{19,697,500}$	1/50
0.67	4.55	$\frac{4.55}{5,000}$	$\frac{1}{54,945}$	$\frac{1}{2,747,250}$	$\frac{1}{137,362,500}$	
1.00	0.27	$\frac{2.7}{50,000}$	$\frac{1}{925,926}$	$\frac{1}{46,296,300}$		
1.33	0.0064	$\frac{1}{781,250}$	$\frac{1}{39,062,500}$			
1.67	0.0006	$\frac{1}{83,333,333}$				

價格은 規格에 적합할 때 正常價格 A로 販賣되며, 下限規格에 未達일 때는 品質特性의 크기에 比例하는 rx로 販賣되고, 上限規格을 超過할 시는 再加工後 正常價格으로 販賣한다고 假定할 때, 利益函數는 段階線形 函數로서 式(3-6)과 같이 표시할 수 있다.

$$P(x) = \begin{cases} (r-d)x-e, & x < LSL \\ A-dx-e, & LSL \leq x \leq USL \\ A-dx-e-g, & USL < x \end{cases} \quad (3-6)$$

여기서 LSL : 下限規格 USL : 上限規格 e : 單位當 固定費
 A : 單位當 正常販賣價格 d : e에 比例하는 變動費
 g : USL 超過時 單位當 再加工費

그리고 下限規格에 未達될 때도 再加工하여 正常價格으로 販賣하는 경우의 利益函數는 式(3-7)과 같다.

$$P(x) = \begin{cases} A-d \cdot LSL - e - h, & x < LSL \\ A-ds-e, & LSL \leq x \leq USL \\ A-dx-e-g, & USL < x \end{cases} \quad (3-7)$$

여기서 h : LSL 未達時 單位當 再加工費

이 때 式(3-7)는 式(3-8)과 같이 대체 가능하므로, 式(3-6)에 대한 利益函數를 대상으로 논한다. (로 表示)

$$\begin{aligned} r' &= r \\ e' &= -A + d \cdot LSL + e + h \\ A' &= h + d \cdot LSL \\ g' &= g \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

다. 最適工程能力指數의 導出

1) 一般解

目的函數는 單位當 期待利益 E{P(x)}으로 表示하며, 이를 最大化하는 工程能力指數를 구해야 하므로, 目標가 ν이며, 工程能力指數와의 關係式은 式(3-12)와 같다.

$$\mu LSL + 3\sigma C_p = LSL + \theta \dots\dots\dots (3-12)$$

단, $\theta = 3C_p$

따라서 分布의 確率精密函數가 f(x)인 때, 期待利益은 式(3-13)과 같이 된다.

Table-3. Comparison of case I with case II

Division	Case I		Case II	
	One-sided specification limit	Two-sided specification limits	dOne-sided specification limit	Two-sided specification limits
Specification limit	LSL USL = ∞	USL USL	LSL = ∞ USL	LSL USL
Process capability index (C _p)	$C_{pL} = C_{pU}$ $C_{pL} = \frac{(\mu - LSL)}{3\sigma}$	$C_p =$ Min C _{pL} , C _{pU}	$C_p = C_{pU}$ $C_{pU} = \frac{(USL - \mu)}{3\sigma}$	$C_p =$ Min {C _{pL} , C _{pU} }

$$E\{P(x) : C_p\} = r \int_{LSL}^{USL} xf(x : \theta) dx + A \int_{LSL}^{USL} f(x : \theta) dx - dE(x : \theta) - g \int_{USL}^{USL} f(x : \theta) dx - e \quad (3-13)$$

最適工程能力指數는 式(3-14)와 같이 θ 에 관한 一次微分의 값을 0으로 함으로써 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \partial E\{P(x) : \theta\} / \partial \theta &= r \{ \partial m(\theta) / \partial \theta \} \\ &\quad - A \{ \partial F(LSL : \theta) / \partial \theta \} \\ &\quad - d \{ \partial E(x : \theta) / \partial \theta \} \\ &\quad + g \{ \partial F(USL : \theta) / \partial \theta \} \\ &= 0 \dots\dots\dots (3-14) \end{aligned}$$

단, $m(\theta) = \int_{LSL}^{USL} xf(x : \theta) dx$
 $F(x : \theta)$: x 의 分布函數
 $E(x)$: x 의 期待值

2) 正規分布인 경우

標準正規分布의 確率密度函數(pdf)와 累積分布函數(cdf)을 각각 ϕ , Φ 이라면, 期待利益은 式(3-15)가 된다.

$$\begin{aligned} E\{P(x) : \theta\} &= \Phi(\theta)(A - r \cdot LSL - r \sigma \theta) - \phi(\theta) \sigma r \\ &\quad + g \Phi\{(USL - LSL) / \sigma - \theta\} \\ &\quad - e - g + (r - d)(\sigma \theta + LSL) \end{aligned} \quad (3-15)$$

가) 片側規格인 경우

USL이 ∞ 이므로 $\Phi\{(USL - LSL) / \sigma - \theta\} = 1$ 이 되어 期待利益은 式(3-16)과 같다.

$$\begin{aligned} E\{P(x) : \theta\} &= \Phi(\theta)(A - r \cdot LSL - r \sigma \theta) \\ &\quad - \phi(\theta) \sigma r \\ &\quad + (r - d)(\sigma \theta + LSL) - e \end{aligned} \quad (3-16)$$

式(3-16)을 θ 에 대해 一次微分하면 式(3-17)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \partial E\{P(x) : \theta\} / \partial \theta &= \phi(\theta)(A - r \cdot LSL) \\ &\quad - r \sigma \phi(\theta) + \sigma(r - d) \end{aligned} \quad (3-17)$$

式(3-16)의 最適解가 存在하기 위해서는 式(3-17)을 한번 더 微分하면 式(3-19)와 같다.

$$\partial^2 E\{P(x) : \theta\} / \partial \theta^2 = -\phi(\theta)\{ \theta(A - r \cdot LSL) + r \sigma \} \dots\dots\dots (3-19)$$

式(3-17)의 해가 θ 일 때 式(3-19)를 整理하면 式(3-20)과 같다.

$$\begin{aligned} \phi(3C_p) / \{ \Phi(3C_p) + (d/r) - 1 \} \\ = r \sigma / (A - r \cdot LSL) \dots\dots\dots (3-20) \end{aligned}$$

式(3-20)을 滿足하는 θ 가 最適解이므로 數值解析方法에 의해 最適工程能力指數 $C_p = \theta/3$ 을 구할 수 있다.

따라서 式(3-16)에 의하여 單位當 期待利益이 最大인 最適工程能力指數에 따른 最適計量基準值(μ^*)와 最適不良率(P^*) 및 最適計量餘裕量(S^*)은 [58] 式(3-21)에 의하여 決定할 수 있다.

$$\begin{aligned} \mu^* &= LSL + \sigma \theta^* \\ P^* &= \Phi\{(\mu^* - LSL) / \sigma\} \dots\dots\dots (3-21) \\ S^* &= \mu^* - LSL \end{aligned}$$

나) 兩側規格인 경우

式(3-15)의 $E\{P(x) : \theta\}$ 를 微分하여 0로 두면 式(3-22)와 같다.

$$\begin{aligned} \partial E\{P(x) : \theta\} / \partial \theta &= \phi(\theta)(A - r \cdot LSL) \\ &\quad - r \sigma \phi(\theta) + \sigma(r - d) \\ &\quad - g \phi\{(USL - LSL) / \sigma - \theta\} \\ &= 0 \dots\dots\dots (3-22) \end{aligned}$$

여기서 $E\{P(x) : \theta\}$ 를 2次 微分하면 式(3-23)과 같다.

$$\begin{aligned} \partial^2 E\{P(x) : \theta\} / \partial \theta^2 &= -\phi(\theta)\{ (A - r \cdot LSL) \theta \\ &\quad + r \sigma \} \\ &\quad - g \{ (USL - LSL) / \sigma - \theta \} \\ &\quad \phi\{ (USL - LSL) / \sigma - \theta \} \dots\dots\dots (3-23) \end{aligned}$$

式(3-22)도 數值解析方法에 의해 最適解 θ 를 구할 수 있다.

또한 兩側規格인 경우, 工程能力指數는 式(3-24)의 C_{PL} 과 C_{PU} 중 적은 것이므로 工程能力指數를 調整해야 한다.

즉,

$$\begin{aligned} C_{PL} &= \theta/3 \\ C_{PU} &= \{USL - (LSL + \theta \sigma)\} / 3 \sigma \dots (3-24) \\ &= (USL - LSL) / 3 \sigma - C_{PL} \end{aligned}$$

最適工程能力指數는

$$C_p = \text{Min} \{C_{PL}, C_{PU}\}$$

가 된다.

4. 事例研究

4.1 研究對象業體의 概要

가. 會社概要

品質保證水準을 確保하기 위하여 工程能力指數는 어떤 값이어야 하며, 주어진 狀況下에서의 경제적인 工程能力指數의 값은 얼마여야 하는가를 나타내 보이기 위한 事例研究의 對象業體는 A油脂會社를 選定하였다.

또한 A會社의 生産形態는 흐름作業라인을 통한 連續生産型으로서 市場生産(production for market)方式을 취하고 있다.

나. 對象工程의 選定

本研究에서는 A會社의 6個 製品 工程中 가루비누를 生産하는 包裝工程을 選定하였다. 가루비누는 手動包裝라인과 自動包裝라인의 두 라인을 가지고 있으며, 包裝單位는 450[g], 900[g], 2,000[g] 등의 3가지가 있으나, 本研究에서는 900[g]를 택하였다. 自動包裝라인과 手動包裝라인의 生産量比는 8:2程度가 된다.

다. 對象工程의 要求品質水準 및 現況

研究對象으로 선정된 工程의 下限規格(LSL)은 內容物 900[g]과 包裝비닐봉지 15[g]을 합하여 915[g]으로 하고 있다. 上限規格(USL)은 934[g]으로 潛定되어 있으나, 實際로는 規格 未達만 不良으로 處理하고 上限規格을 초과해도 不合格시키지 않고 出荷시키고 있다. 이는 再包裝에 의한 經濟的 損失이 커지기 때문이다.

오랜 期間동안 調査해 본 結果에 의하면 手動包裝라인에서는 下限規格에 못미치는 不良品이 약 12.0[%]였으며, 上限規格을 넘는 潛定不良率 2.0[%]을 포함하면 약 14.0[%]의 不良이 나오고 있음이 確認되었다. 따라서 이러한 不良의 原因을 調査한 結果, 包裝機 自體의 精密度가 主要因으로 나타나 이미 3個月前에 自動包裝機 1臺를 導入하여 稼動시키고 있다. 이 自動包裝機를 調査해 보니 여기서는 下限規格에 못미치는 不良은 거의 없었으나, 上限規格을 벗어나는 潛定 不良率이 약 4.7[%]였다.

따라서 가루비누의 包裝工程 全體의 生産量에 대한

平均不良率은 自動과 手動이 8:2程度의 量으로 生産하고 있으므로, 平均不良率 $p=2.4[\%]$ 정도가 된다고 볼 수 있다.

그러므로 A會社에서는 自動包裝機의 計量基準值 調節技術을 더욱 높이고, 手動包裝機의 保全을 더욱 강화함으로써 包裝工程 全體 不良을 0.13[%]以下로 떨어뜨리기로 하고 있다.

4.2 既存方法에 의한 工程能力評價

本研究에서는 A會社의 가루비누 包裝工程이 安定되어 있는가를 $x-R$ 의 관리도에 의하여 약 3個月間(1988.1.5~3.20) 調査한 結果, 安定狀態로 계속 維持되어 있음을 確認하였다. 또 自動包裝機와 手動包裝機의 工程能力은 規格과 대비시켜 본 결과, 工程은 安定狀態임에 반하여 規格을 벗어나는 製品이 상당히 있었다. 이는 群內變動이 너무 커서 전체 散布가 許容散布를 초과하고 있기 때문이라고 판단되었으며, 散布管理에 더 노력해야 할 것으로 생각된다.

각 包裝工程의 品質特性値와 工程能力指數를 정리하면 Table-4와 같다.

4.3 研究된 方法에 의한 工程能力指數의 最適化

가. 最適工程能力指數의 導出

手動 및 自動包裝工程에서의 가루비누 製品의 上限規格은 934[g]이고, 下限規格은 915[g]이다. 그러나 上限規格 超過時 再包裝에 대한 경제적인 損失을 고려하여 再加工없이 그대로 販賣하므로 여기서 上限規格은 意味가 없다. 그러므로 片側規格 즉, 下限規格만 기준으로 하는 경우]에 該當한다.

下限規格 未達時 再加工 後 販賣를 고려한 경우의 式(3-7)과 式(3-8)에 의한 單位唐 利益函數 要素는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} dx + e &= 0.4x + 55 \\ A &= 506 \\ h &= 27 \\ d' &= r' \\ &= d \\ &= 0.4 \\ e' &= -A + d \cdot LSL + e + h \\ &= -506 + 0.4 \times 915 + 55 + 27 \\ &= -58 \\ A' &= h + d \cdot LSL \\ &= 27 + 0.4 \times 915 \end{aligned}$$

Table-4. Process capability of the wrapping process of the exemplified company

Process parameter	\bar{x}	s	C_p	Classification
Automatic wrapping process	926.00	4.83	0.75	3 class
Hand wrapping process	922.09	5.89	0.40	4 class

$$=393$$

上記의 利益函數要素로서 最適工程能力指數를 구하기 위하여 각 包裝機의 $r'\sigma/(A'-r' \cdot LSL)$ 과 d'/r' 를 구하면 다음과 같다.

1) 手動包裝機

$$\begin{aligned} r'\sigma/(A'-r' \cdot LSL) &= (0.4 \times 5.89)/(393 - 0.4 \times \\ &915) \\ &= 0.0872 \end{aligned}$$

$$d'/r' = 1$$

2) 自動包裝機

$$\begin{aligned} r'\sigma/(A'-r' \cdot LSL) &= (0.4 \times 4.83)/(393 - 0.4 \times \\ &9.5) \\ &= 0.0716 \end{aligned}$$

그리고 A會社의 單位當 利益函數要素로서 式(3-16)과 式(3-21)을 標準偏差(σ)가 變換 時 最適工程能力指數, 單位當 期待利益, 最適計量基準值, 最適不良率 및 最適計量餘裕率을 計算한 結果는 Table-5와 같다.

여기서 式(3-20)과 Table-5에 의하여 最適工程能力指數, 單位當 期待利益, 平均不良率, 平均計量基準值, 平均計量餘裕率등을 既存의 C_p 와 最適의 C_p , 그리고 目標의 C_p 에 대하여 求해 본 結果는 Table 4-4와 같다.

Table-6에서 보는 바와 같이 最適工程能力指數를 구한 結果, 手動包裝工程에서는 現在보다 工程能力을 높이고, 自動包裝工程에서는 줄이는 것이 경제적으로 妥當하다.

즉, 이 A會社의 包裝工程管理政策이 80[%]를 加工하는 自動包裝機 中心으로 되어 있어 自動包裝機의 既存 C_p 는 不良을 減少시키기 위해서 크게 設定하고 있으며, 手動包裝機는 重點管理對象에서 除外되어 있기 때문에 不良이 많이 發生하고 있는 實情이다. 따라서 既存 C_p 를 最適 C_p 로 調整하는 것이 目標 C_p 일 경우보다 不良은 더 많이 發生하나, 不良일 경우는 再加工하므로 對使用者의 이미지를 損傷시키지 않기 때문에 경제적인 側面에서 有利하다.

나. 分析 結果

既定의 品質保證水準을 確保하기 위해 工程能力水準을 어느 정도로 維持하여야 하는 점과 주어진 條件下에서 가장 경제적인 工程能力指數는 얼마이어야 하는가를 事例研究한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 工程能力의 確保에 의한 品質保證에서는 目標品質水準을 不良率 0.13[%]로 잡고 있다. 따라서 Table-1에 의하면 C_p 는 1.0以上을 維持하면 된다. 그러나 現在의 工程能力은 自動包裝機가 0.75, 手動包裝機는 0.40으로서 目標品質을 達成하고 있지 못한 것으로 나타났다.

手動包裝機의 경우, 下限規格을 벗어나는 確率が 12.0[%]나 되는 것은 機械의 性能에 비하여 計量基準值가 너무 낮게 되고 있지 않나 하는 생각이 든다. 한편 自動包裝機의 경우, 下限規格에 벗어나는 것은 거의 없으나 上限規格을 벗어나는 潛定的인 不良이 4.7[%]에 이르고 있으며, 下限規格을 벗어나면 不良處理되나 上限規格을 벗어나는 것은 潛定的이나 不合格시키지 않는다는 心理的인 면이 作用하여 計量基準值를 높게 해 두는 버릇이 있기 때문이라고 생각된다.

어느 程度의 計量基準值를 둘 것인가의 經濟性問題와 아울러 工程調節 間隔을 科學的으로 設定할 것도 要望된다.

2) 經濟的 側面에서 가장 바람직한 C_p 는 얼마이어야 하는가를 求해 본 結果는 Table-6과 같다. Table-6에서 보는 바와 같이 手動包裝機의 경우, 現在의 C_p 는 0.40인데 반하여 式(3-20)을 基準으로 한 最適 C_p 를 求해 보면 0.59가 最大利益을 내는 C_p 가 됨을 알 수 있다. 따라서 手動包裝機의 경우는 最適 C_p 와 差異가 있을 뿐 아니라 不良의 發生도 많으므로 工程能力을 向上시킬 수 있는 對策을 強求해야 할 것이다. 또 自動包裝機의 경우는 現在의 C_p 가 0.75인데 반하여, 最適 C_p 는 0.62로서 오히려 非經濟的인 C_p 를 維持하고 있다고 할 수 있다. 그러나 이것은 크게 管理를 하지 않아도 新設備自體의 精密度에 基因한 것으로 보여지기 때문에 求하여 C_p 를 내릴 필요는 없고, 역으로 品質保證品位를 높여 주는 것이 좋다.

Table-5. Expected profits per unit, setting points, fraction defectives and allowances of optimal process capability index

σ	Optimal C_p	Expected profit/unit	Setting point(μ^*)	Fraction defective(P^*)	Allowance (S^*)
.30	1.000	84.604	915.900	.00135	.900
1.00	.856	83.834	917.568	.00511	2.568
1.50	.802	83.337	918.610	.00805	3.610
2.00	.762	82.868	919.571	.01115	4.571
2.50	.729	82.420	920.467	.01437	5.467
3.00	.701	81.990	921.311	.01771	6.311
3.50	.677	81.575	922.107	.02114	7.107
4.00	.655	81.174	922.863	.02467	7.863
4.50	.636	80.785	923.580	.02828	8.580
5.00	.618	80.407	924.263	.03196	9.263
5.50	.604	80.111	924.787	.03496	9.787
5.60	.601	80.038	924.915	.03572	9.915
5.70	.598	79.966	925.041	.03648	10.041
5.80	.595	79.894	925.167	.03724	10.167
5.90	.591	79.822	925.291	.03801	10.291
6.00	.588	79.751	925.414	.03877	10.414
	.585	79.680	925.536	.03954	10.536

Table-6. Comparison of present, optimal and target process capability index for each type of machine

Item	Present C_p	Optimal C_p	Target C_p
Hand wrapping machine	0.40	0.59	1.00
Automatic wrapping machine	0.75	0.62	1.00
Expected profit per unit(₩)	79.43	80.09	84.60
Average fraction defective(%)	3.16	3.27	0.13
Average setting point(q)	922.01	924.40	915.90
Average allowance(q)	7.01	9.26	0.90

5. 結論 및 向後 研究課題

5.1 結 論

使用者의 欲求를 充足시켜주고 保證品位를 지키기 위하여서는 充分한 工程能力의 確保를 필요로 한다. 그러나 工程能力을 費用의 觀點에서 파악하면 過不足한 어느 경우에도 損失費用이 따른다. 즉 工程能力이 不足하면 不良이 많아져서 이로 인한 損失이 커진다. 반대로 工程能力이 過多하면 그 만큼 資材의 浪費에 따른 費用, 維持管理費用의 過多支出에 따른 費用損失이 생긴다.

그러므로 本研究에서는 가장 經濟的인 工程能力指數의 값을 利益函數에 의하여 구하는 方法論을 提示하였으며, 事例에 의하여 論證하였다.

本研究에서 얻어진 結果는 다음과 같이 要約된다.

첫째, 工程能力指數의 定量化는 기존의 方法에 따라 計算可能하나, 經濟的 側面을 고려한 最適工程能力指數는 工程의 狀況에 따라 각각 다를 수 있다. 따라서 工程能力指數에 의한 工程能力의 評價는 現在 適用되고 있는 基準에 따라 劃一的인 評價가 되어서는 안되며, 本研究에서 提示한 最適工程能力指數가 그 基準이 되어야 한다.

둘째, 工程能力指數는 現行工程의 品質能力指數내지는 管理의 成果指標로만 사용되어 왔다. 그러나 本研究에서 提示한 바와 같이 保證品位를 지키기 위한 管理의 目標로도 그 價値가 충분히 있다고 생각된다. 특히 高品質保證體制를 요하는 工程에서는 工程能力指數에 의한 管理目標의 設定이 바람직하다.

5·2 向後 研究結果

이러한 本研究의 結果를 産業現場에서 適用하면 經濟的 側面에서 크게 도움이 되리라 생각되며, 保證品位의 確實한 遵守로 使用者로 부터 信賴를 받을 수 있으리라 생각된다.

그러나 다음과 같은 점들에 관하여는 계속적인 研究가 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

첫째, 本研究에서는 工程이 正規分布가 되는 경우를 前提로 하였으나 非正規分布인 경우에 대한 工程能力問題에 관하여도 研究되어야 할 것으로 생각된다.

둘째, 業種別, 工程別 最適工程能力指數도 하나의 確率變數로 생각할 수 있으므로 이의 分布函數를 導出하여 工程能力的 等級化 方法에 관하여도 더 研究되어야 하리라고 생각된다.

參 考 文 獻

1. Bettis, D. C., Finding an Optimum Target Value in Relation to a Fixed Lower Limit and an Arbitrary Upper Limit. *Applied Statistics*, 11(2), pp. 202-210, 1962.
3. Bisgaard, S., Hunter, W. E. & Pallesen, L., Economic Selection of Quality of Manufactured Product. *Technometrics*, 26(1), pp. 9-18, Feb. 1984.
6. Carlsson, O., Determining the Most Profitable Process Level for a Production Process under Different Sales Conditions. *Journal of Quality Technology*, 16(1), pp. 44-49, Jan. 1984.
13. Hunter, W. F. & Kartha, C. P., Determining the Most Profitable Target Value for a Production Process. *Journal of Quality Technology*, 9(4), pp. 176-180, 1977.
20. Patel, J. K. & Read, C. B., *Handbook of the Normal Distribution*, p. 51, Marcel Dekker, 1982.
35. 木暮正夫, 工程能力の理論とその應用, pp. 9-43, pp. 60-98, pp. 103-211, 日科技連, 1984.
39. 白根禮吉, 品質設計と工程能力, 品質管理, 17(7), p. 775, 1966.
58. 尹德均·李南植, 最適不良率과 計量餘裕量의 決定에 관한 研究, 韓國品質管理學會誌, 9(2), pp. 10-14, 1981.