産業技術硏究(江原大學校 産業技術硏究所 論文集) 第3輯(1983)
Res. Report, The Inst. of Industrial Technology, Kangweon Nat. Univ., Korea, Vol. 3

엔트로피 尺度를 利用한 製品 라인의 部品 共通性 및 重複性 分析에 關한 硏究

盧 載 皓*

A Study on the Analysis of Part Commonality and Redundancy in a Product Line by Entropy Measure

Jae-HoRo

Abstract

This paper presents a quantitative measure of the degree of part commonality and redundancy in a product line based on entropy measure of information theory. The several possible methods of analysis are discussed and the use of the entropy measure is discussed. These commonality and redundancy measure can be applied to analyze the usage pattern of part across a product line and to determine which parts have the broadest usage across the firm's product lines. An analysis of the results by entropy statistics is compared with the practical part usage in a simulation of several types of part usage's distributions.

Ⅰ. 序 論

1900年代 初 "最低生産費로 社會에 奉仕한다"는 低費用, 低價格의 經營理念은 生産人力要素로부터 均一한 製品을 生産하기 위해 製品및 作業의 單純化, 部品의 規格化, 機械 및 工具의 專門化方法으로 一定한 工程을 維持하는 生産統制가 必要하였다. 이러한 生産管理的 問題는 F.W.Taylor, H.Ford, H.L.Gantt, F. Gilbreth, H.B.Maynard 등의 寄與와 W.A. Schewart 등의 品質管理 技法의 開發로 作業의 合理化, 製品의 單純化와 部品의 互換性이 根幹이 되어 生産의 標準化, 흐름組立을 통해 均一化된 製品의 大量生産이 可能하게 되었다.[3,24,25,26]

그 後 産業의 發達과 所得의 向上은 消費者의 購買力 增大를 이루어 消費量 增加와 製品의 機能的 要因인 使用目的에 對한 有用性, 機能의 信賴性, 人間要素와 非機能的 要因인 맵시, 色相, 使用者의 이미지, 디자인의 適時性 등에 關한 個人의 要求事項은 個性化, 多樣化되면서[18,19]보다 더 個人的 嗜好에 適合한 "欲求充足物"로서의 多樣한 製品을 원하게 되었으며, 企業側面에서도 技術革新 템포의 加速化, 競爭企業의 出現, 市場要求의 變化, 代替製品의 出現, 企業目標의 高度化 등으로 製品壽命(Product Life Cycle)도 점차 短縮되어 가는 傾向이 있

* 江原大學校 工科大學 産業工學科 專任講師
* Instructor, Dept. of Industrial Engineering, Kangweon National University.

으며,[20,21,26] 한 製品을 構成하는 所要部品의 種類도 증가하고 있다.[9,10]

따라서 特定한 産業에 속하는 企業이 市場에서 優位性을 계속 높이기 위해서는 生産志向型으로 부터 消費者志向型의 多樣한 要求에 適應하는 製品들을 製造原價, 收益性, 販賣力, 技術 등을 고려하여 製品設計와 製品構成를 함으로써 經濟的 規模로 生産될 수 있게끔 해야만 한다.[3,20,21,25]

製品이 多樣化되면 消費者의 要求事項이 잘 만족되어 평균적인 販賣期待는 증가되나 이에 따른 附加的 費用인 工程設計費, 生産準備費, 生産計劃費, 事務費 등도 증가하게 되어, 限界費用이 限界利益을 超過하는 多樣化의 限界에 관한 硏究가 行해져 왔다.[4,5,6,8,17,18] 消費者들의 다양한 需要變化에 對해 企業은 多品種製品生産政策으로 潛在需要 創出과 單一製品出荷로 인한 需要變動의 위험을 감소할 수 있으나, 多品種으로 인한 部品의 증가와 製品壽命 短縮으로 인한 標準化의 安定化機能과 調整機能의 弱化로 企業活動을 능률적으로 遂行한다는 것은 서로 折衷을 要하는 復雜化 過程인 것이다.[3,5,25]

企業的 입장에서는 可能하면 最小種類의 部品으로 最大의 多樣한 最終製品을 生産하려는 目的을 達成시킬 수 있는 經濟規模의 大量生産槪念인 代替可能性(Substitutionability), 共通性(Commonality), 構成 혹은 單品(Modularity)으로 部品의 互換性을 擴張시켜, 다른 여러 製品의 部品에 까지도 互換性을 維持하려 했다.[2,5,6,8,9,12,14,17,19,22] 이는 經濟的으로 가능하다면 多樣한 製品들에서 非效率的인 差異의 部品들을 統合, 調整 使用함으로써, 部品의 共通性 水準을 製品라인에서 높여 多樣한 最適設計製品들이 될 수 있도록 함을 뜻하며,[9,13] 다음과 같은 잇점을 줄 수 있음을 意味한다.

1. 部品 擴散의 最小化와 이로 인한 文書處理減少, 部品間의 重復設計減少, 적은 에너지 使用(機械加工, 準備 등)[5,9]*1.

2. 經濟的 生産量에 이르지 못해 小量特別購買하거나, 小量生産해서 使用하던 部品에 對해 經濟的 規模의 生産이 可能하게 된다.[6,13]

3. 각 部品의 生産量이 증가하므로, 學習效果*1.도 증가하여 生産性 向上 및 早期 工程安定, 製品과 工程 技術革新으로 인한 費用감소.[3,21,26]

4. 部品의 品切時 發生할 수 있는 機會費用을 같은 製品라인의 製品 item 중 進行速度가 늦은 것의 部品으로 經濟的 轉用(Canivalization) 使用이 가능하다.[13]

5. 資源統合의 效果, 이는 人力要素와 生産要因에서 多樣性이 적다는 것이 製品, 消費者目的에 對한 多樣性의 감소를 意味하지는 않는다.[13,20]

이는 製品에 관한 標準化보다는 部品의 標準化가 變化에 對한 融通性과 適應性이 높도록 設計될 수 있음을 意味하며, 企業環境의 變化를 標準化된 製品으로 緩衝하려는 시도보다는 標準化된 部品으로 適應하는 것이 더 效率的임을 뜻한다.

그러므로, 本 硏究에서는 어떤 製品라인에서 使用되어지는 각각의 部品들이 製品 item(모델)들에 共通, 重復의 水準을 測定分析하려 하며, 이를 위해 情報理論의 엔트로피 尺度를 應用함으로써 部品 등을 區別 管理(設計改善, 工程設計, 生産計劃, 在庫管理 등) 할 수 있는 判斷基準을 開發하고, 이로 部品 共通性 程度를 測定하는 것이 가능하고, 意味가 있음을 보이고, 部品 使用의 形態를 分析하는데 있다.

Ⅱ. 엔트로피 尺度 應用의 理論的 背景

情報理論에서 정보를 計量的이고 客觀的인 입장에서 測定하거나 識別할 수 있는 尺度로 bit(binaryu nit)를 使用하고 있는데, 이는 實現可能性이 같은 2개의 代案중 하나가 明示되었을 때 우리가 얻는 情報量이라 定義된다.[16,23] 情

* 1. CAD/CAM과 GT의 統合시스템은 部品群의 구별과 코드, 部品設計, 工程試計計劃(CAPP)으로 이를 效果的으로 遂行할 수 있는 구체적 方法

* 1. Learning Curve, Manufacturing Progress Function, Experience Curve, Improvement Curve.

報라는 것은 우리가 外系에 適應하고 또 우리가 適應한 것을 外系로 하여금 感知하게 할 때 交換되는 內容에 붙인 이름으로써 다음과 같이 說明될 수 있다.[23] 情報量 $I=(S_{max}-S)$; $S=k\ln W$로 定義되고, 情報는 시스템이 갖을 수 있는 最大엔트로피 값(S_{max})과 t時에서의 시스템의 엔트로피 값(S)의 差異에 의해 發生되는데, S_{max} 값이 一定할 때 情報量을 크게 할 수 있는 方法은 S 값이 적도록 시스템을 維持하도록 해야 하며, S는 증가하는 傾向을 갖고 있으므로 情報量이 증가할 수 있는 것은 $\frac{dS_{max}}{dt}>\frac{dS}{dt}>0$ 이면 $\frac{dI}{dt}>0$ 로, 즉 시스템의 境界條件 變化에 의한 S_{max}의 증가율이 시스템의 엔트로피가 증가하는 速度를 능가할 때이다. 이는 시스템의 엔트로피 증가는 情報量의 감소를, 秩序가 解體되는 것을 意味한다.

따라서 S_{max}를 한 製品라인에 對한 엔트로피, W를 部品 使用上의 境遇數 라면, 이때 部品들이 多樣한 製品 item 들에 適用 使用되는 頻度가 높다는 것은 共通性이 높다고 說明할 수 있고, S 값은 그렇지 않은 境遇보다 적어서 그 部品 使用의 情報量은 많다고 할 수 있다. 이는 情報理論에서 일반적으로 使用되는 情報測定値의 特性을 部品의 共通性의 特性에 擴大適用, 測定할 수 있고, 이를 使用한 分析이 意味가 있음을 뜻한다.

平均情報量은 $H=-\Sigma P_i\log_2 P_i$[23]로 表現되며, 이때 P_i는 i事象이 發生할 確率이다.

이에 對해 Edwards는 이 測定値의 特性을 다음과 같이 考察했다.[1]

1. H 값은 $0\leq P_i\leq 1$인 P_i에 對해 成立
2. 一定한 크기의 集合體라면 모든 i에 대한 情報量은 加法的이다.
3. $H_{max}=\log_2 n$; n개 事象의 出現이 같을 때 H는 最大이다.
4. 가능한 모든 事象의 出現이 같다면 H 값은 事像의 數 n의 단조증가함수이다.
5. H의 最小값은 零이며, 이는 가능한 事象이 오직 하나임을 意味한다.

Abramson은 各各의 P_i가 어떤 값을 가졌을 때, H 값은 P_i가 값을 갖는 過程에 對해서는 獨立的임을 考察했다.[1,16]

이러한 測定値는 情報通信에 Shannon의 情報엔트로피, 싸이버네틱스에 Wiener의 負의 엔트로피, 反엔트로피, 心理學에 Garner의 不確實性, 製品을 構成하는 部品 分析에 Moscato의 共通性, 企業과 經濟分析에 Horowitz의 價値割當, 作業의 多樣性分析에 Kvalseth의 多樣性 등의 槪念으로 여러 分野에 應用되어 왔다.

다음은 엔트로피 尺度를 使用할 때 얻을 수 있는 附加的 利點들을 간추린 것이다.[11,13,15,23]

1) 많은 環境의 差異에도 불구하고 遂行度의 單一指數를 提供할 수 있는 點

2) 基礎資料들이 다른 次元일 때도 遂行度를 比較할 수 있는 手段이 될 수 있다.

3) 非미터 資料에도 適用할 수 있다.

4) 分散分析과 엔트로피 測定値 사이의 관계는 確立되었으나, 엔트로피 尺度를 利用한 實行方法이 比較的 편리하다.

以上으로 어떤 製品라인에서 部品 共通性을 測定하고, 使用 形態를 分析하는데 엔트로피 尺度의 應用은 바람직한 몇가지 屬性을 明確히 가졌다고 할 수 있다.

Ⅲ. 共通性 및 重復性 測定値의 決定

製品構成(Product-Mix)은 企業에 의해 生產되는 製品의 集合이며, 系列製品, 製品群이라 불리는 製品構成의 폭인 製品라인과 製品構成의 깊이라 불리는 規格, 形像, 디자인 등이 다른 具體的 製品아이템으로 이루워진다.

Starr는 한 製品아이템에 對해서 M個 部品의 使用方法이 X種類로 같다면 總 區別 可能한 製品아이템의 理論的으로 가능한 數는 $N=x^M-1$ 이나 이는 特定 消費者의 多樣한 選擇에 對한 可能性 일뿐이지, 製品構成에 영향을 미치는 生產要因에 의해 不可能하게 된다. 그러나 이것은 最小의 部品으로 最大의 多種製品을 生產

한다는 構成設計의 基礎的着想은 製品아이템을 구성하는 部品들의 明細表를 갖추어야 함을 의미한다.[20]

따라서, 部品의 共通性 및 重復性을 測定·分析하기 위한 製品情報行列表(Product Information Matrix)는 表 1과 같이 構成되며, 한 製品라인의 製品아이템들에 使用되는 部品들의 共通性 및 重復性 測定値를 求하기 위한 記號와 式은 다음과 같다.

〈記號說明〉

i=1, 2,…, M ; 한 製品라인에 使用된 部品

j=1, 2,…, N ; 한 製品라인의 製品아이템

u_{ij} ; j 製品아이템을 만들기 위해 使用된 i 部品의 使用量

C_i ; i 部品의 共通性 測定値

C_{max} ; 部品 最大共通性 測定値

RC_i ; i 部品의 相對的 共通性

R_i ; i 部品의 相對的 重復性

$$C_i=-\sum_{j=1}^{N}\left[\left(u_{ij}/\sum_{j=1}^{N}u_{ij}\right)\log_2\left(u_{ij}/\sum_{j=1}^{N}u_{ij}\right)\right] \quad (1)$$

$$\begin{aligned}C_{max}&=-\sum_{j}^{N}\left[\left(u_{ij}/\sum_{j=1}^{N}u_{ij}\right)\log_2\left(u_{ij}/\sum_{j=1}^{N}u_{ij}\right)\right]\\&=-N\left[u/(N\times u)\log_2\{u/(N\times u)\}\right]\\&=\log_2 N \quad (2)\end{aligned}$$

式(1)과 (2)로부터

$$RC_i=C_i/C_{max} \quad (3)$$

$$R_i=1-C_i/C_{max} \quad (4)$$

式(1)의 測定値는 한 製品라인에서 部品의 均衡잡힌 使用形態 즉, 共通性의 程度를 意味한다.

式(2)의 測定値는 한 製品라인에서 生産要素의 制限要因 때문에 理論的으로 가능한 部品使用에 對한 共通性의 最大測定値를 意味한다.*1.

(3)式의 測定値는 한 製品라인에서 뿐만 아니라, 企業의 여러 製品라인 전반에 걸쳐, 製品라인에 가장 널리 使用되는 部品을 選定하는 것이 가능해지며, 이의 낮은 測定値는 部品이 特殊目的(한 製品의 性能極大化)에 使用됨을, 높은 값은 部品이 한 製品라인에 고루 使用됨(費用의 極小化)을 意味한다.

이 測定値로 專用部品과 共通部品의 區別이 가능해진다.

(4)式의 測定値는 部品의 한 製品에 對한 過多 集中 使用되는 程度를 意味하며, 이 값이 높은 境遇 이는 좀더 낮은 測定値를 갖는 現存의 部品으로 代替되거나, 새로운 設計에 의한 除去를 意味하거나, 이 部品의 使用頻度가 높은 製品아이템을 管理할 때는 이 部品을 集中差別管理해야 함을 意味한다.

Ⅳ. 實驗的 結果分析 및 模擬實驗 結果

製品라인 A, B의 各 製品아이템에 對한 部品使用量의 製品情報行列表가 表1, 表2 처럼 주어졌을때, 이의 共通性 測定値, 相對的 共通性 測定値, 重復性의 測定値를 Ⅲ의 方法으로 求해 表1, 2의 오른편에 整理해 놓았다.

表 1에서 共通性 測定値는 部品이 各 製品아이템에 使用되는 頻度에 따라 部品의 使用形態를 잘 나타내고 있음을 考察할 수 있다. 3部品은 5部品보다 共通性 測定値가 높으므로 製品라인에 對해 情報量을 0.0294bit 만큼 더 가졌다고 分析할 수 있고, 이는 企業環境이 變할때 生産管理的 要因인 ① 操業度의 安定化 ② 原材料 供給 ③ 材料의 有效 適切한 使用, 副産物의 利用 ④ 過剩生産力의 利用 ⑤ 技術力의 維持 및 開發 ⑥ 作業者의 雇傭維持 ⑦ 現 製造工程에의 適合性 ⑧ 폐기물 처리 등에 의해 製品라인이 영향을 받을때 5部品이 3部品보다 영향을 0.0294bit 만큼 더 받음을 意味하며, 이는 5部品이 그만큼 寄與가 적음을 뜻한다. 6部品인 境遇 共通性 測定値가 낮고, 重復性 測定値가 가장 높은데, 이런 상황에서 部品 使用頻度가

---

* 1. M개의 部品이 理論的으로 가능한 製品의 最大多樣한 種類는 $N=\prod_{i=1}^{n}\{\max_j(u_{ij})\}-1$ 이고, 最大共通性의 測定値는 $C_{max}=\log_2\left[\prod_{i=1}^{n}\{\max_j(u_{ij})\}-1\right]$이다. 이때 1은 製品 아이템에 部品이 전혀 使用되지 않았음을 意味한다.

Table 1. Product Information for Part Usage in Product Line A.

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	C	RC	R
1	3	3	3	3	3	3	3	2.8074	1	0
2	1	1	10	8	2	2	2	2.2689	.8082	.1918
3	2	3	5	4	2	1	5	2.6424	.9413	.0587
4	4	5	4	5	4	0	0	2.3131	.8239	.1761
5	4	5	3	2	7	3	1	2.6130	.9308	.0692
6	0	20	4	3	2	7	9	2.1724	.7738	.2262
7	8	8	8	8	8	8	8	2.8074	1	0

Table 2. Product Information for Part Usage in Product Line B.

i \ j	1	2	3	4	5	C	RC	R
1	1	4	5	6	7	2.1422	.9226	.0774
2	3	4	6	78	50	1.4607	.6291	.3709
3	1	2	10	2	1	1.6738	.7208	.2792
4	7	4	9	2	3	2.1264	.9158	.0842
5	1	4	6	8	0	1.7474	.7526	.2474
6	2	33	5	6	7	1.6669	.7179	.2821
7	8	9	23	3	4	1.9519	.8406	.1594
8	6	7	8	4	5	2.2812	.9825	.0175
9	5	5	5	5	5	2.3219	1	0

가장 높은 2製品아이템의 판매량이 變化하여, 生産量이 변할 경우에는 A 製品라인 전반에 심각한 영향을 줄 수 있음을 意味하므로, 部品을 가능하다면 現在 使用하고 있는 共通性 測定値가 높은 部品으로 代替하거나, 그렇지 못할 경우 이 部品의 使用頻度가 높은 2製品아이템을 集中差別管理해야 한다.

4部品 境遇 6, 7製品아이템에 전혀 使用되지 않아 1, 2, 3, 4製品아이템에 使用量은 比較的 均一한데도 불구하고 공통성 測定値는 낮아지게 된다. 따라서 表3에서는 使用量이 零인 部品이 發生하지 않도록 각 頻度函數의 전형적인 使用形態에 따른 測定値들을 求했다. N에 따라 測定値의 값이 變하기 때문에 表 3의 資料는 Moscato의 資料를 利用했다. 表 3은 頻度函數의 形態에 따라 測定値들이 어떤 順位를 갖는 가를 보여주는데, 일반적으로 部品使用이 소수 製品아이템들에 집중되어 있을때 共通性 測定値는 낮은 값을 重復性 測定値는 높은 값을 나타냄을 알 수 있다.

表 1과 表 2에서 두 製品라인은 遂行度가 다르다. 두 製品라인이 部品을 情報가 많도록 使用하고 있는가로 두 製品라인의 遂行度의 比較가 가능하며, 두 製品라인이 企業에 對한 寄與가 비슷할 때, 企業이 한 製品라인을 포기할 때는 相對的 共通性 測定値가 낮은 B 製品라인 쪽을 選擇하고, 製品라인을 改善할 여유가 있을 때도 이 測定値가 낮은 B 製品라인 쪽을 選擇하는 것이 企業에 有利함을 알 수 있다. 또 N가 큰 A 製品라인이 5개의 製品아이템을 갖고 있는 B 製品라인 보다 共通性 測定値가 전반적으로 높은 것을 알 수 있다. 이는 두 製品라인의 最大共通性이 N의 단조증가함수 인 것으로 說明될 수 있다.

Table 3. Rank Order of the 16 Part Usage Weighting Function.

Order	Commonality Measure	Relative Commonality	Redundancy	Usage Pattern
1	4.322	1.000	0	Perfectly Uniform
2	4.286	.991	.009	Quasi Uniform
3	4.096	.947	.053	Triangular
4	4.055	.938	.062	Mixed Emperirical
5	3.902	.902	.098	Gamma
6	3.893	.900	.100	Bimodal
7	3.889	.900	.100	Beta
8	3.875	.896	.104	Diffuse
9	3.851	.891	.109	Trimodal
10	3.783	.875	.125	Exponential
11	3.636	.841	.159	Normal
12	3.610	.835	.165	Normal
13	3.589	.830	.170	Gamma
14	2.890	.668	.332	Binomial
15	2.882	.667	.333	Binomial
16	2.874	.665	.335	Peaked Normal

(N=20)

또, 共通性 測定値의 적절한 값을 한 製品라인에서 專用部品과 共通部品을 區別할 수 있는 基準値로 使用하면, 앞에서의 分析이 더욱 意味를 가질 수 있다. 情報量은 時間이 지나면서 점차 줄어 드는 傾向이 있듯이, 生産要素의 制限的 要因때문에 共通性 測定値를 最大값으로 갖는 것이 企業이나 製品라인에 꼭 最適이 되는 것은 아니다.

V. 結 論

製品壽命週期가 점차 短縮되고, 需要의 不確實性이 증가하고, 製品을 構成하는 部品의 數가 많아지는 現在 製品의 高度任意的 趨勢에서 過多한 部品을 管理하고, 部品을 합리적으로 設計할 수 있게 하는 意味있는 情報와 使用形態 分析을 통한 使用 部品의 改善 方向은 企業에서 점차 重要한 存續의 軸으로 나타나고 있다.

本 硏究에서는 企業의 여러 製品라인에서 共通性을 갖는 部品을 얼마나 使用할 것인가 하는 일을 遂行하기 위해 製品情報行列의 資料處理體系를 提示하고 있으며, 한 製品라인에서 製品아이템 多樣性과 部品의 共通性이 어떻게 새롭게 分析될 수 있는 가를 情報理論의 엔트로피 尺度를 適用해 檢討했으며, 이 엔트로피 測定値는 部品의 共通性 程度를 잘 반영하였다. 또 大量의 資料를 간단한 測定値로 바꾸어 쉽게 使用할 수 있음이 檢討되었다.

이 測定値는 한 製品라인에서 製品아이템에서로 相異한 部品들의 使用이 어느 程度 意味있는一情報量의 감소하는 傾向과 生産要素의 制限性一形態에 따라 이루워질때 企業이나 製品라인에 最適이지, 測定値가 가질 수 있는 最大값일 때가 企業의 發展에 공헌하고, 外系 環境의 變化에 더 오래 存續할 수 있는 가능성이 가장 높음을 意味하지 않음이 檢討되었다. 그리고 遂行度가 다른 製品라인의 比較도 意義가 있음이 檢討되었다.

따라서, 情報의 最大事項이 存在한다는 것과 같이, 本 硏究의 最大情報는 한 製品라인의 製品아이템에서 部品의 重復性, 共通性 尺度로

使用된 情報엔트로피 尺度의 測定値는 部品들이 改善의 여지가 있다는 存在를 밝힐 수 있다는 點이라 思料되며, 이는 "多樣化 減小", "標準化 指數", "Group Technology", "生産과 情報統制"란 文獻에 發表된 槪念으로 支持될 수 있으리라 思料된다.

參 考 文 獻

1. Arbib, M. A., Brains, Machines & Mathematics, McGraw-Hill Book, Co. New York, pp. 51—117 (1964)
2. Bramson, M. J. and Roberts, P. C., "The Commonality Problem in Stock Control for Complex Assemblies", Operational Research Quarterly, Vol. 20, pp. 71—85 (1969)
3. Buffa, E. S., Modern Prodution/Operations Management, 7th. ed., Wiley Inc., pp. 103—125 (1982)
4. Chern, C. H., "A Multi Product Joint Odering Model With Dependent Setup Cost", Management Science Vol. 20, No. 7, pp. 1081—1091 (1974)
5. Colombi, J. S. B., "Standization & Production ; Degree of Variety, Ind. Form Vol. 2, No. 1 (1970)
6. Dogramaci, A., "Design of Common Components considering Implications of Inventory Costs and Forecasting", AIIE Transactions, Vol. 11, No. 2, pp. 129—135 (1979)
7. Elton, M. C. J. and Mercer, A., "Estimating the Effect of Variety on sales", Operational Research Quarterly, Vol. 20, No. 3, pp. 151—360 (1969)
8. Emmons, H. and Tedesco, A. R., "The Modular Growth Design Problem", AIIE Transactions, Vol. 3, No. 2, pp. 104—114 (1971)
9. Groover, M. P., Automation Production Systems & Computer-Aided Manufacturing, Prentice-Hall, Inc., pp. 537—563 (1980)
10. Kono, H., "Profile Pattern Recognition System for Machine Parts", IFAC 1977 Conference Proceedings, pp. 53—62 (1977)
11. Kvalseth, T. O., "Quantitive Measures of Job Variety : An Experimental Study based on a Psychophysical Scaling Technique", Int. J. Prod Res., Vol. 18, No. 4, pp. 441—454 (1980)
12. Longbottom, D. A., "The Application of Decision Analysis to a New Product Planning Decision", Operational Research Quarterly, Vol. 24, No. 1, pp. 9—17 (1973)
13. Moscato, D. R., "The Application of The Entropy Measure to the Analysis of Part Commonality in a Product Line", Int. J. Prod. Res., Vol. 14, No. 3, pp. 401—406 (1976)
14. Nose, T. et al., "The Substitutional Multi-Product Inventory System with Bivariate Normal Distribution Demand", Osaka University, pp. 331—345 (1978)
15. Rifkin, J., Entropy : A New World View, 김건譯, 정음사 (1983)
16. Rosie, A. M., Information & Communication Theory, 2nd ed., Van Nostrornd Rein Hold, Co., London, pp. 1—20, pp. 37—153 (1973)
17. Rutenberg, D. P., "Design Commonality to Reduce Multi-item Inventory ; Optimal Depth of a Product Line", Operations Research, Vol. 19, No. 2, pp. 491—509 (1971)
18. Schaffir, K., "The Economics of Nonfunctional Variety", Operations Research, Vol. 11, No. 5, pp. 702--720 (1963)
19. Shern, D. C. S., "The Assortment Problem ; Different Models and an Application", Operational Research Quarterly, Vol. 27, No. 3, pp. 567—571 (1967)
20. Starr, M. K., "Modular Production-A New Concept", Harvard Business Review, Vol. 43, No. 6, pp. 131—142 (1967)
21. Utterback, J. M. & Abernathy, W. J., "A Dynamic Model of Process and Product Innovation", Omega, Vol. 3, No. 6, pp. 639—658 (1975)
22. Walters, J. R., "An Extension to the Assortment Problem in which Components are grouped to Form Assemblies", Operational Research Quarterly, Vol. 27, No. 1, ii, pp. 169—175 (1976)

23. Wiener, N., The Human Use of Human Beings; Cybernatics & Society, 최동철譯, 현대과학신서 (1981)
24. 盧載晧, "動的計劃法을 利用한 最適標準치수 集合의 決定—2要因치수", 江原大學校 論文集 第15輯 (1981)
25. 李順龍, 生産管理論—生産시스템의 設計와 運營—, 법문사, pp. 171—200 (1977)
26. 李軫周, "企業에 있어서 技術革新의 動態的 模型" 한국 OR 학회지, 제3권, 제1호, pp. 57—67 (1978)