

## 애로공정 개선순위 결정을 위한 감도 분석에 대한 고찰

A study of sensitivity for making a priority of Bottleneck

李 福 永\*  
Lee, Bok-Young  
金 正 植\*\*  
Kim, Jung-Sik

### ABSTRACT

This paper present that the improvment of the effectiveness of a total system is more important than a improvment of efficiency of subsystem in improving process and production activity.

Also, this paper show that how to be taken the priority of the work elements to be improved through algorithm as follows :

- 1) Prosentation of model process and process analysis.
- 2) Finding the element of delay time
- 3) Giving an Inter-Index to each element
- 4) Sensitivity analysis
- 5) Making a priority

### 1. 서 론

공정이나 제조활동상의 문제점을 색출하여 개선활동의 목표로 삼고자 할때는 국소적 능률(Efficiency)향상에만 집착해서는 안되며 항상 기본 System의 유효성(Effectiveness)향상에 주목해야 한다. 그러므로 개선을 실시하기 위해서는 현장직업의 실정을 파악하고 비능률적인 개소와 원인을 규명하고 그 문제점을 개선 했을 때 기본 System의 유효성에는 어떤 영향을 미치는가를 조사 연구하지 않으면 안되는 것이다.

일반적으로 능률의 향상은 유효성의 향상으로 결부가 되지만 때에 따라서는 국소적인 능률의 향상은 될수 있으나 요인상호간의 특성에 의하여 기본 System의 유효성은 오히려 저하되는 경우도 발생할 수 있는 것이다. 따라서 본 연구에서는 공정분석을 통하여 나타난 애로공정내에 여러 문제점의 상호연관성을 파악하여 관리지표(Inter-Index)를 부여하고, 개선후 기본 System에 미치는 유효성 향상 여부를 고찰해 봄으로써 개선활동의 우선순위를 결정함에 따르는 합리적인 생산능률의 극대화를 기할 목적으로 본 연구에서는 이를 위하여

\* 품질관리기술사, 오산전문대학 공업경영과 교수

\*\* 수원전문대학 공업경영과 외래교수

1. Model 공장의 선정 및 애로공정의 색출
  2. 애로공정에서의 생산지연 원인분석
  3. 각 요인에 따른 관리지표의 부여 및 지표 상호간 연관분석
  4. 각 지표의 개선에 따른 감도분석
  5. 개선활동의 우선순위결정
- 등의 문제에 관하여 고찰하고자 한다.

## 2. 공정조사 및 분석

생산 및 조립작업 등에 있어서 부하량이 각각 다를 때 가장 큰 작업량을 가진 공정을 애로공정(Bottleneck Operation)이라고 하며 이 공정

Table. 1 Status of Man-Machine allocation

No	Operation	Machine	Operator
1	Lathe	18	18
2	Milling	7	7
3	Drilling	2	2
4	Shaper	4	4
5	Planer	4	6
6	Boring	2	2
7	Grinding	3	3
8	Hobbing	2	2
Total		42	44

Table. 2 The Observed result from Process II

1'st Factor	Observed frequency	Time(hour /month)	Relative frequency
Material and parts Stand by	458	1,549	40.9
Out of Order of Machines	194	632	17.3
Preparing	213	719	19.0
Rework by part defective Production	69	234	6.2
Etc Delay	186	628	16.6
TOTAL	1,120	3,762	100.0

의 소요작업시간이 가장 길며 가장 지연되는 공정(Slowest Process)이 되는 것이다.

이 연구의 대상모델로 삼은 K공장의 작업공정 및 기계와 작업자의 현황과 애로공정의 지연 원인 분석결과는 Table 1과 2에 나타나 있다.

## 3. 관리지표의 부여 및 상호관련분석

### 3.1 관리지표의 부여

#### 3.1.1. 관리지표

애로공정 내에서 개선활동을 추진함에 있어서는 무엇보다도 먼저 문제의 파악과 아울러 요인 분석을 하여야하나 요인상호간의 연관성도 함께 연구하지 않으면 안된다. 또한 이들 요인을 개선하여 기본 System의 감도분석을 실시하기 위해서는 제요인들을 기호화할 필요가 있다.

#### 3.1.2. 관리지표의 부여

본 연구에서는 Fig. 3에 나타난 요인들의 상호관계를 파악하기 위하여 다음 3가지의 지표를 부여하기로 한다.

- 1) X지표 : 제1차적인 지연요인
- 2) Y지표 : 제2차적인 요인으로서 제3차적인 요인을 포함하는 것
- 3) Z지표 : 제2차적인 요인이지만 제3차적인 요인을 포함하지 않은 요인이거나 순수한 제3차적인 요인

다시 말하자면 X지표란 기업의 경우 이익과 직접 관련된 것이고 포괄적인 지연요인들로서 최고경영자 또는 상급관리자 직접적인 관심의 대상으로 삼는 요인들을 말하며, Y지표란 중심적 성격을 갖고 있는 것으로 몇개의 더욱 세분된 요인들에 의하여 비로서 하나의 제2차적인 요인이 되는 것을 의미하며, Z지표는 각 담당부서나 분임조 등에서 개선활동을 추진하기 위하여 목표를 설정하고 이를 개선하려고 노력하고 있는 요인을 의미하며 본 연구에서 중점적으로

연구검토하려고 하는 지표를 말한다.

관리지표의 계량적 분석을 하기 위하여 우선 Model공정의 요인분석에 따라 총42대의 기계설비를 대상으로 Work Sampling법에 의하여 관측한 지연회수 및 월간으로 환산한 평균지연시간은 Table. 3과 같다.

Table. 3에서는 제3차적 요소(Z지표)의 세밀

한 시간측정이 어려우므로 지연건수만 파악했으며, 2차적 요인은 Y지표에 한해서 건수를 파악하였다. 또한 부여된 지표에 따라(C. f. Fig. 3) Table. 3의 관측결과를 조합하여 하나의 행렬(Matrix)로 만든 것이 Table. 4의 각지표간의 관계분석이다.

Table. 4에서 알 수 있는 바와 같이 각 열에

Table. 3 Construction of Delay Factor

1'st Factor	hr.	2'nd Factor	fr.	hr.	3'rd Factor	fr.
Material & Parts Stand by (X1)	1,549	Dealy of Ordering (Y1)	61	650	Delay of Process I (Y2)	41
					Deficiency of Ordering (Y7)	20
		Delay of Process I (Y2)	92	781	Inferiority of PM (Z2)	31
					Operating Mistake (Z3)	41
					Dfect of Materials (Z8)	10
Etc (Z1)		118				
Out of Order of Machines (X2)	632	Inferiority of PM (Z2)		323		
		Operating Mistake (Z3)		309		
Preparing (X3)	719	Normal Preparing (Z4)		287		
		Avoidable delay (Y3)	51	432	Delay of Ordering (Y1)	20
					Delay of Process I (Y2)	20
Urgency of Order (Z9)	11					
Rework by parts defective (X4)	234	Defect of Ordered parts or devices(Z5)		72		
		Operating Mistake (Z6)		162		
Etc Delay(X5)	628	Etc (Z1)		628		
TOTAL	3,762		204	3,762		204

Table. 4 Analysis of Relationship of Inter-Index

Cause \ Effect		X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3
		1549hr.	632hr.	719hr.	234hr.	628hr.	61hr.	92fr.	51fr.
Y1	61fr.	650					-		20
Y2	92fr.	781					41	-	20
Y3	51fr.			432					-
Z1		118				628		10	
Z2			323					31	
Z3			309					41	
Z4				287					
Z5					72				
Z6					162				
Z7							20		
Z8								10	
Z9									11

놓여진 수직의 합계는 최상란의 수치와 동일하게 되어 있다. 지금 각 원인과 결과 사이에는 1차적인 비례관계가 있다고 보면, 1, 2차적인 지표  $X_i$  및  $Y_i$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= \frac{650}{61}Y_1 + \frac{781}{92}Y_2 + 118Z_1 \\ X_2 &= 323Z_2 + 309Z_3 \\ X_3 &= \frac{432}{51}Y_3 + 287Z_4 \\ X_4 &= 72Z_5 + 162Z_6 \\ X_5 &= 628Z_1 \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= \frac{41}{92}Y_2 + 20Z_7 \\ Y_2 &= 10Z_1 + 31Z_2 + 41Z_3 + 10Z_8 \\ Y_3 &= \frac{20}{61}Y_1 + \frac{20}{92}Y_2 + 11Z_9 \end{aligned} \right\} (2)$$

윗식 (1) 및 (2)를 일반식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x_i &= a_{i1}y_1 + a_{i2}y_2 + \dots + a_{in}y_n + b_{i1}z_1 + b_{i2}z_2 + \dots + b_{in}z_n \\ y_i &= c_{i1}y_1 + c_{i2}y_2 + \dots + c_{in}y_n + d_{i1}z_1 + d_{i2}z_2 + \dots + d_{in}z_n \end{aligned}$$

여기서 지표  $x_i, y_i, z_i$ 의 집합을 X, Y, Z라 하고 이를 각각 열 Vector로 나타내면

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_m \end{bmatrix} \quad Z = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix}$$

과 같다. 또한 일반적  $x_i$ 에서 변수인 지표  $y_i, z_i$ 의 상수의 집합을 각각 A, B라 하고 일반식  $y_i$ 에서의 그것을 C, D라 하여 각각 Vector로 나타내면

$$\begin{aligned} A &= [a_{ij}], B = [b_{ij}], C = [C_{ij}], D = [d_{ij}] \\ X &= AY + BZ \end{aligned} \quad (3)$$

$$Y = CY + DZ \quad (4)$$

와 같이 표현할 수 있다.

식 (3), (4)의 연립방정식을 풀면

$$\begin{aligned} Y - CY &= DZ \\ Y(1 - C) &= DZ \\ Y(1 - C)^{-1} &= DZ \end{aligned} \quad (5)$$

Table. 7 Relation between Inter-Index  $X_i$  &  $Z_i$

$X_i \backslash Y_i$	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	TOTAL
X1	250	401	543				213	133		1,549
X2		323	309							632
X3	31	95	126	287			56	31	93	719
X4					72	162				234
X5	628									628
TOTAL	909	828	978	287	72	162	269	164	93	3,762

Table. 8 Relation between Inter-Index  $Y_i$  &  $Z_i$

$X_i \backslash Y_i$	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	TOTAL
Y1	4	14	18				20	5		61
Y2	10	31	41					10		92
Y3	4	11	15				6	4	11	51
TOTAL	18	56	74				26	19	11	204

$$X = A(1-C)^{-1}DZ + BZ$$

$$= \{A(1-C)^{-1}D + B\}Z \quad (6)$$

가 된다.

그러므로 식 (5) 및 (6)의 성질을 이용하여 원식 (1), (2)를 풀면 제1차 원인인 X지표는 제3차 원인인 Z지표만의 함수로 치환할 수 있다. 이 식을 전산처리 하여 이를 다시  $X_i$ 와  $Y_i$ ,  $Y_i$ 와  $Z_i$ 와의 관계로 일괄하여 정리한 것이 Table. 7과 Table. 8이다.

이것은  $X_i$ ,  $Y_i$ 를  $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_9$ 의 함수로 하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= 250Z_1 + 410Z_2 + 543Z_3 + 133Z_8 \\ X_2 &= 323Z_1 + 309Z_3 \\ X_3 &= 31Z_1 + 95Z_2 + 126Z_3 + 287Z_4 + 56Z_7 + 31Z_8 + 93Z_9 \\ X_4 &= 72Z_5 + 162Z_6 \\ X_5 &= 628Z_1 \end{aligned} \right\} (7)$$

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= 4Z_1 + 14Z_2 + 18Z_3 + 20Z_7 + 5Z_8 \\ Y_2 &= 10Z_1 + 31Z_2 + 41Z_3 + 10Z_8 \\ Y_3 &= 4Z_1 + 11Z_2 + 15Z_3 + 6Z_7 + 4Z_8 + 11Z_9 \end{aligned} \right\} (8)$$

또한 유도가능시간의 변화고를 조사하기 위해서는  $X_1 + X_2 + \dots + X_5$ 의 변화고를 조사하지 않으면 안된다.

따라서 총지연시간  $\sum_{i=1}^5 X_i$ 는

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^5 X_i &= (250+31+628)Z_1 + (410+323+95)Z_2 \\ &\quad + (543+309+126)Z_3 + 287Z_4 + 72Z_5 + \\ &\quad + 162Z_6 + (213+56)Z_7 + (133+31)Z_8 + \\ &\quad + 93Z_9 \\ &= 909Z_1 + 828Z_2 + 978Z_3 + 287Z_4 + 72Z_5 + \\ &\quad + 162Z_6 + 269Z_7 + 164Z_8 + 93Z_9 \end{aligned}$$

로 나타낼 수 있다.

#### 4. 감도분석 및 개선활동의 우선순위 결정

##### 4.1 지연원인의 개선에 따른 감도분석

감도분석(Sensitivity Analysis)이란 원래는 조건식의 제한량이라든가 목적함수의 계수 등 전제조건이 변화하게 되면 그와 같은 변화에 대

하여 이미 구해 놓고 있는 최적해가 어떻게 변화하는 것 인가를 조사분석하는 것을 말한다.

따라서 본 연구에서는 감도분석을 통하여 지연요소에 따라 부여된 관리지표를 어떤 정도로 개선했을때 지연이라는 기업의 System의 유효성(Effectiveness)은 어떻게 변화되는가를 알아보고자 한다. 일반적으로 연 근무시간이 일정하다면 지연시간과 유효가동시간은 상반관계에 있을 것이며 유효가동시간의 증가에 비례하여 총생산량도 증가될 것이다. 따라서 개선전후의 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_g = T \times \frac{t_g}{t_g + t_v} = T \times \frac{t_g}{t_g + \sum X_i} \quad (10)$$

$$= 8,400 \times \frac{4,939}{4,939 + \sum X_i}$$

$$t_g' = T \times \frac{t_g}{t_g + t_v'} = T \times \frac{t_g}{t_g + \sum X_i'} \quad (11)$$

$$= 8,400 \times \frac{4,939}{4,939 + \sum X_i'}$$

$$t_g = t_g(X_1, X_2, \dots, X_5)$$

$$\Delta t_g = \frac{\partial t_g}{\partial X_1} \Delta X_1 + \frac{\partial t_g}{\partial X_2} \Delta X_2 + \frac{\partial t_g}{\partial X_3} \Delta X_3 + \frac{\partial t_g}{\partial X_4} \Delta X_4 + \frac{\partial t_g}{\partial X_5} \Delta X_5 \quad (12)$$

$$= 8,400 \times 4,939 \times \frac{\partial}{\partial X_i} \left( \frac{1}{4,939 + \sum X_i} \right)$$

$$= 8,400 \times 4,939 \times \frac{-1}{(4,939 + \sum X_i)^2}$$

$$= -8,400 \times \frac{4,939}{(4,939 + \sum X_i)^2}$$

$$\Delta t_g = \sum_{j=1}^5 -8,400 \times \frac{4,939}{(4,939 + \sum X_i)^2} \Delta X_j$$

$$= -8,400 \times \frac{4,939}{(4,939 + \sum X_i)^2} \sum_{j=1}^5 \Delta X_j$$

그런데  $\sum_{j=1}^5 \Delta X_j$ 는 1이므로

$$\Delta t_g = -8,400 \times \frac{4,939}{(4,939 + \sum X_i)^2} \quad (13)$$

$$= -0.5879$$

이 된다.

단 여기에서

$t_g$  : 정미유효가동시간 (4,939)

$t_g'$  : 개선후의 정미유효가동시간

T : 연 근무시간(25일 × 42대 × 8시간 = 8,400)

$T_v(\sum X_i)$  : 총지연시간(8,400 - 4,939 = 3,461)

$T_v'(\sum X_i')$  : 개선후의 지연시간

$\Delta t_g$  :  $t_g$ 의 변화고

U : 가동률(4,939 / 8,400 = 58.79%)

따라서 상기식을 이용하여 다음과 같은 경우의 감도를 분석할 수 있다.

#### 4. 1. 1 지표Z와 X에 의하 감도분석

(1)  $Z_2$ 를 개선하여 10%의 지연회수를 감소시켰을 경우  $Z_2$ 를 개선함에 따라 지연회수가 10% 감소한다면 Table.7로 부터  $X_2=32.3hr.$   $Y_2=3.1fr.$  만큼 감소하고 결국은 Table. 8로 부터  $X_1, X_2, X_3$ 가 약간씩 감소할 것이다.

(2)  $Z_3$ 를 개선하여 10%의 지연회수를 감소시켰을 경우  $Z_3$ 를 개선함에 따라 지연회수가 10%의 감소한다면 Table. 7로 부터  $X_2=30.9hr.$   $Y_2=4.1fr.$  만큼 감소하고 결국은 Table. 8로 부터  $X_1, X_2, X_3$ 가 약간씩 감소할 것이다.

(3)  $Z_5$ 를 개선하여 10%의 지연과정을 감소시켰을 경우  $Z_5$ 를 개선함에 따라 지연시간이 10% 감소한다면 Table. 7로 부터  $X_4=7.2hr.$  만큼 감소하고 결국은 Table 10% 감소하고 결국은 Table. 8로 부터  $X_4$ 가 약간 감소할 것이다.

(4)  $Z_6$ 를 개선하여 10%의 지연시간을 감소시켰을 경우  $Z_6$ 를 개선함에 따라 지연시간이 10% 감소한다면 Table. 7로 부터  $X_4=16.2hr.$  만큼 감소하고 결국은 Table. 8로 부

터  $X_i$ 가 약간 감소할 것이다.

#### 4. 1. 2 지표 Z와 Y에 의한 감도분석

만약  $Y_1$ 을 10% 개선하려고 한다면 이를 위해 가능한  $Z_2, Z_3, Z_7, Z_8$ 의 조합은 여러가지가 있고 최고이익에 미치는 효과는 다를 것이다.

극단적인 경우에는  $Y_1$ 은 10% 개선되었지만 기본적으로는 이익이 오히려 감소되는 경우도 있을 수 있다.

가령 (8)식으로부터

$Y_1 = 4Z_1 + 14Z_2 + 18Z_3 + 20Z_7 + 5Z_8$ 인데 만약의 경우에는 K공장 품질관리과에서 외주업무 지도에 힘을 기울인 결과 지표  $Z_7$ 이 70% 감소했지만 그로 인하여 PM활동을 등한히 하여  $Z_2$ 가 50% 증가하였고, 그밖의  $Z_i$ 는 변화하지 않는다고 가정하면  $Y_1$ 의 변화고  $\Delta Y_1$ 은

$\Delta Y_1$ 은

$$\Delta Y_1 = 14.0 \times (0.5) \times 20.0 \times (-0.7) = -11\text{fr.}$$

가 되어

$$Y_1 = (-11) \div 61 = -18.0\%$$

즉 18.0% 개선될 것이고 기본 System에서 경제효과는 정지시간의 변화고를  $\Delta X_b$ 라고 하면  $\Delta X_b$ 는 (9)식으로 부터

$$\Delta X_b = 828 \times (0.5) + 269 \times (-0.7) = 225.7\text{hr.}$$

가 된다.

따라서 (13)식에 의해서  $\Delta t_s$ 는

$$\Delta t_s = 225.7 \times (-0.5879) = -132.68\text{hr}$$

즉 133hr. 만큼 정지시간이 오히려 증가함으로써 경제효과는 손해를 보는 것이 된다.

만약 반대로  $Z_7$ 이 70% 증가하고  $Z_2$ 가 개선되어 50% 감소했다면

$$\Delta Y_1 = 14.0 \times (-0.5) + 20.0 \times (0.7) = 7\text{fr}$$

$$Y_1 = 7 \div 61 = 11.47\%$$

즉 11.5%만큼 지연될 것이고

$$\Delta X_b = 828 \times (-0.5) + 2269 \times (0.9)$$

$$= -171.9\text{hr가 되어}$$

$$\Delta t_s = (-171.9) \times (-0.5879)$$

$$= 101.06\text{hr.}$$

즉 101hr. 만큼 정지시간이 감소하게 되기 때문에 전체 경제효과는 유리하게 될 것이다.

#### 4. 2 개선활동의 우선순위결정

작업개선활동을 추진해 나가기 위해서는 작업을 지연시키는 여러가지의 요인들 중에서 어느 것부터 택하여 나갈 것인가 하는 우선순위의 결정이 문제가 된다. 이러한 우선순위의 결정은 불량률이 높다던가 작업시간이 다른 공정에 비하여 많이 걸린다던가 하는 이유로 택해서는 안 될 것이며 하나의 지연요소가 어떤 값으로 개선되었을 때 전체에 미치는 영향은 어느 정도인가 하는 감도분석을 통한 후 그 결과에 따라 결정

Table. 9 Sensitivity Analysis of Inter-Index  $Z_i$

$Z_i$	10% $Z_i$ (hr)	delay time(hr)	relative frequency	Cumulative Sum	Cumulative %
Z2	82.7	-48.6	0.291	48.6	0.291
Z3	97.8	-57.5	0.344	106.1	0.635
Z4	28.7	-16.8	0.100	122.9	0.735
Z5	7.2	- 4.2	0.025	127.1	0.760
Z6	16.2	- 9.5	0.056	136.6	0.816
Z7	26.9	-15.2	0.091	151.8	0.907
Z8	16.4	- 9.6	0.057	161.4	0.964
Z9	9.3	- 5.4	0.036	166.8	100.0

되어야 할 것이다.

Table. 9는 Z지표를 10%씩 개선시켰을 때 식 (13) 및 Table. 7에 의하여 전체에 미치는 영향을 시간단위로 나타낸 것이다.

결국 Table에 의하면 개선활동을 추진해 나가기 위한 우선순위를 결정함에 있어서는 전체에 미치는 영향이 큰  $Z_3, Z_2, Z_4, Z_7, Z_8, Z_6, Z_9, Z_5$  순으로 개선활동을 전개해 나가는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

## 5. 결 론

Inter-Index에 의한 작업지연시간의 감도분석을 실시하기 위하여 Model 공정을 설정한 후 조사연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 지표  $X_i$ 와  $Z_i$ 의 감도분석 결과 제3차적 요인인  $Z_i$ 의 개선은  $X_i$ , 즉 전체의 유효성에 직접 결부된다.
2. 지표  $Y_i$ 와  $Z_i$ 의 감도분석에서는 경우에 따라 제2차적 요인인  $Y_i$ 지표의 개선이 전체의 유효성을 오히려 감소시키는 경우도 있다. 따라서  $Y_i$ 지표는 개선활동 대상에 포함시킬 수 없고 개선활동은 제3차적 요인인  $Z_i$ 지표를 대상으로 하여야 한다.
3. 감도분석의 결과로부터 작업개선은 전체에 대한 기여도가 가장 큰 것부터 추진해 나가

는 것이 바람직하다. 즉 본 논문이 택한 Model 공정에서는 전체에 대한 기여도가 가장 높은  $Z_3$ (Operating Mistake),  $Z_2$ (Inferiority of PM),  $Z_4$ (Normal preparing),  $Z_7$ (Deficiency of Ordering),  $Z_8$ (Defect of Mistake),  $Z_9$ (Urgency Order),  $Z_5$ (Defect of Ordered parts or devices)순으로 개선활동을 해 나가는 것이 좋다.

## 參考文獻

1. 이근희, 현대설비관리, 창지사, 1978.
2. 이근희, 작업관리의 이론과 실제, 창지사, 1983.
3. 이근희, 생산계획, 생산통제, 창지사, 1978.
4. 이근희, 경영공학용어사전, 창지사, 1979.
5. 신용백, 생산관리의 이론과 실무, 아주대학, 1978.
6. 이순요, 신공정관리론, 박영사, 1979.
7. 한국생산성본부, 생산성향상활동추진요령, 1981.
8. 박경수, 경영공학개론, 탑출판사, 1978.
9. 광수일, 강석천, 생산관리, 박영사, 1978.
10. 김해천, 현대생산관리론, 박영사, 1978.
11. Eugenel. Grant W. Grant Ireson. Principles of Engineering Economy, 6 Edition, John Wiley & Sons, Inc. 1976.
12. Erwin Kreyszig. Advanced Engineering Mathematics 3rd John Wiley & Sons, Inc. 1977.