

생산셀 설계를 위한 시스템

문치웅* · 이상용*

A System for the Design of Manufacturing Cells

Chi-ung Moon · Sang-yong Yi

〈Abstract〉

The purpose of this paper is to develop a procedure and a system for the design of manufacturing cells.

First, a procedure is developed to create machine cells, to identify part families and to allocate part families to machine cells so that the intercellular movement of part is minimized.

Next, a system for solving this procedure is developed and an application example is demonstrated.

1. 서론

다품종 소량의 batch 형태의 생산을 위한 시스템의 생산성 향상과 효율성 증대를 위한 방안으로 set-up 시간과 자재이동의 최소화가 필요하다. 이를 위해, 하나의 셀(cell) 내에서 부품 또는 부품군의 가공을 위한 생산셀(manufacturing cell)을 구성할 필요가 있다. 이러한 생산셀 설계를 위한 기본 개념은 가공정보가 유사한 부품들을 군(group)으로 형성하고, 그 부품군의 가공을 위해 기계들을 셀로 구성하는 G.T. 개념에 기초하고 있다.

생산현장에서의 생산셀 설계 개념은 다품종 중-소량의 batch 생산 시스템의 생산성 향상을 위한 가장 적절한 접근 방식으로 응용되어지고 있으며, 또한 공정계획과 CAD/CAM, 공구선정 그리고 일정계획 문제 등의 해결접근을 위한 방법으로도 많이 응용되고 있다[6, 7].

본 논문은 생산셀 설계 문제에서 셀 크기(cell size)

의 자유로운 조정과 셀간 이동 부품(intercellular move part)의 최소화를 통한 셀구성 절차를 제시하고, 이 절차에 의거 생산셀 설계를 위한 시스템(SDMC: system for the design of manufacturing cell)을 제안하려고 한다.

2. 생산셀 설계 문제

하나의 부품 또는 부품군의 가공을 위한 생산셀 설계에서 가장 이상적인 형태는 셀간 이동부품과 애로 기계(bottleneck machine)가 없는 독립셀(independent cell)을 설계하는 것이다. 그러나 현실적인 문제에서 애로기계의 중복설계(duplication)나 셀간 이동 부품에 대한 독자적인 셀구성 등과 같은 적절한 조치없이 독립셀을 구성하기는 어렵다. 대다수의 경우 <그림 1>과 같이 최종 생산셀 구성결과 셀간 이동부품(* 표시)의 발생을 볼 수 있다.

셀간 이동부품의 발생은 set-up 시간, 공정중 재고

* 건국대 산업공학과

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
M1	1	1		1			
M2	1	1	1	1			
M3	1	1	1		*		*
M4					1	1	1
M5	*		*	*		1	1

(그림 1) 생산셀 구성 예

(in-process inventory) 그리고 제품생산 시간의 증가를 가져오므로써 생산성 문제에 중대한 영향을 미치게 된다[1, 10]. 이러한 셀간 이동부품의 발생은 어떤 부품 또는 부품군의 가공을 위해 필요한 기계가 셀안에 없을 때, 또는 셀 구성 설계가 잘못 되었을 때 발생한다. 그리고, <그림 1>의 { M4, M5 }로 이루어지는 셀에서 기계 M5를 보면, 셀안에서 가공되어지는 부품수보다 셀간을 이동하는 부품수가 더 많이 발생하는 경우도 있다. 그러므로 이러한 셀간 이동부품의 최소화와 부적절 셀 구성 문제의 해결을 위한 적절한 방안이 모색되어야 하겠다.

Seifoddini[11]는 두 셀안의 모든 기계들 간의 유사계수의 평균을 이용해 셀간 이동부품을 최소화 하고자하는 ALC(average linkage clustering)알고리즘을 제안 하였다. 그러나, ALC 알고리즘은 셀간이동의 최소화를 위한 체계적인 해석을 위한 방법 제시에는 미흡하다.

Chow 등[5]은 두 기계간의 CS(commonality score)을 구하고, 최대 CS을 갖는 기계쌍(pair of machine)을 셀로 형성해 나가는 반복적인 방법을 통해 셀간 이동부품 수의 최소화 문제를 해결하고 있다. 그리고 Boctor[2]는 셀크기 제약하에서 셀간 이동부품 수의 최소화를 위한 LP모델을 제시하고 있다.

Kusiak[9]은 자원제약(resource constraints)하에서 셀간 이동부품의 최소화를 위한 생산셀 설계 시스템을 개발하였다.

본 논문은 생산셀 설계에서 셀간 이동부품의 최소화를 위한 새로운 방법의 제시에 있다. 우선, 두 기계쌍간의 공정 유사성 계산을 위한 유사계수(similarity coefficient)를 제시한다. 이 계수를 이용해 모든 기계쌍에 대해 유사성을 계산하고 최대값을 갖는 기계쌍

을 셀로 묶어나가는 반복적인 방법을 통해 생산셀을 구성한다. 그리고 제시된 방법의 효과적인 적용을 위해 이를 시스템으로 개발한다.

3. 생산셀 설계 절차

셀 크기의 자유로운 조정과 셀간 이동부품의 최소화를 통한 효율적인 생산셀 설계를 위한 방법의 제시를 위해, 우선 사용되어질 기호를 정의하고, 기계쌍간의 유사계수를 제시한다. 다음으로 생산셀 설계를 위한 알고리즘을 제시한다.

<기호정의>

$M_i, M_j = i, j$ 번 기계

$P_i, P_j = i, j$ 번 부품

CS = 셀의 크기

$C_i = i$ 번 셀

$S_{ij} =$ 기계 M_i, M_j 에 대한 유사계수

$n(M_i \cap M_j) = (M_i \cap M_j)$ 의 원소의 갯수

$n(M_i), n(M_j) = M_i, M_j$ 의 원소의 갯수

3.1 유사계수

위의 기호를 이용해 기계 M_i, M_j 간의 상호 관련도 계산을 위한 유사계수 S_{ij} 를 제시하면 다음과 같다.

$$S_{ij} = \frac{n(M_i \cap M_j)}{\min\{n(M_i), n(M_j)\}} \quad (1)$$

식 (1)은 기계쌍간의 공정유사성 계산척도로써 $0 \leq S_{ij} \leq 1$ 범위의 값을 가지며, S_{ij} 가 '1'에 가까울수록 기계쌍은 유사성이 큼을 나타낸다. <그림 1>의 가공정보를 이용해 M1과 M2에 대한 S_{12} 를 구하면,

$$n(M_1) = 3, n(M_2) = 4 \text{ 이므로 } \min\{n(M_1), n(M_2)\} = 3$$

또한, $n(M_1 \cap M_2) = 3$ 이므로 $S_{12} = \frac{3}{3} = 1$ 이다.

같은 방법으로 M1과 M3에 유사계수를 구하면, S_{13}

$= \frac{2}{3} = 0.67$ 이고, M2와 M4에 대한 $S_{24} = 0$ 이다. $S_{12} = 1$ 이라고 하는 것은, $M_1 = \{P1, P2, P4\} \subset M_2 = \{P1, P2, P3, P4\}$ 을 의미하므로 M_1 은 M_2 에 완전히 종속적인 가공정보를 갖는다. 그러므로 M_1 은 M_2 가 속한 셀에 우선 배정된다. $S_{24} = 0$ 은 두 기계쌍간의 유사성이 없다는 것을 의미한다. 위의 유사계수를 이용해 제시되는 알고리즘은 기존의 유사계수법[10, 11]에서 셀 구성을 위해 도입한 임계값(threshold value)은 필요치 않으며, 각 단계에서 전체 기계쌍에 대한 유사계수값 중 최대값을 갖는 기계쌍만을 셀로 묶고, 다시 이 셀을 하나의 기계로 놓고 모든 기계쌍에 대한 유사계수를 구한 후 최대 유사계수값을 갖는 기계쌍을 셀로 구성해 나가는 반복적인 방법이다.

다음 절에서 알고리즘의 전개과정을 설명하기로 한다.

3.2 알고리즘

단계 1. 기계 M_i 에 대한 부품집합을 구성한다.

$$M_i = \{ P_1, P_2, P_3, \dots, P_n \}, i = 1, 2, 3, \dots, m$$

단계 2. 셀크기(CS)를 지정한다.

단계 3. 기계 M_i, M_j 에 대한 유사계수 S_{ij} 를 (1)식에 의해 구한다.

단계 4. S_{ij} 에 대한 유사계수표를 구한다.

단계 5. 유사계수표에서 $S_{ij} = 1$ 인 M_i, M_j 을 우선 셀로 배정하고 초기셀 C_i 을 구성한다.

만약, $0 < S_{ij} < 1$ 이면 최대값을 갖는 M_i, M_j 을 C_i 로 구성한다. 동률을 이룬다면 먼저 나오는 기계쌍을 택한다.

단계 6. 단계 5에서 선택된 기계쌍에 대해 ($M_i \cup M_j$)을 구한 후, C_i 을 한 대의 기계로 보고 다시 부품집합을 구성한다.

단계 7. 셀 크기의 조건을 만족할 때까지 단계 3에서 단계 6까지를 반복한다.

기계수가 한대씩 감소할 때마다 S_{ij} 의 계산횟수는 (기계대수 - 1)만큼씩 감소하게 된다.

단계 8. 임의의 셀이 크기 조건을 만족하면, 그 셀에는 더 이상 기계를 배정하지 않는다.

단계 9. 모든 셀이 위의 조건을 만족한다면, 현재의

상태가 최종 해가 된다.

단계 10. 최종 셀구성 결과에 대해 다음 식을 이용해 셀구성 효율(GE : grouping efficiency)[8]과 GCI (grouping capability index)[10]을 계산한다.

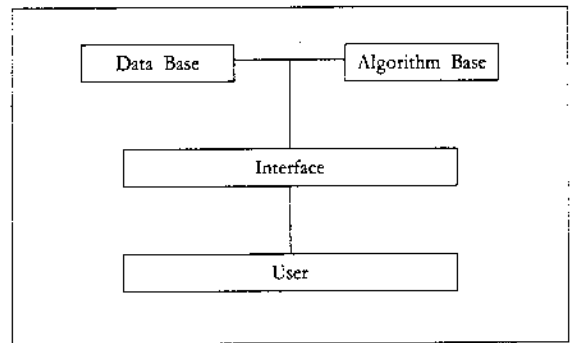
$$GCI = 1 - \frac{\text{셀간이동수}}{\text{전체 공수}} \quad (2)$$

$$GE = \frac{GCI}{1 + \left(\frac{\text{셀block안의 0의 수}}{\text{전체 공수}} \right)} \quad (3)$$

제시된 절차는 기존의 유사계수법과는 달리 반복적인 단계에서 최대 유사계수 값을 갖는 기계쌍만을 선택하므로써 셀간이동을 최소화 한다.

4. 지식기반 시스템의 설계

본 논문에서 제시된 생산셀 설계 절차의 보다 효과적인 수행을 위한 SDMC의 구성도를 <그림 2>에 나타내었다.



<그림 2> SDMC의 구성도

4.1 시스템 개발도구

생산셀 설계문제는 많은 양의 데이터와 반복계산을 필요로 한다. 그러므로 컴퓨터 내부에서의 데이터의 처리와 기억장소의 효율적인 이용 그리고 규칙(rule)의 표현이 자유로운 개발도구여야 하겠다. SDMC는 범용 프로그램 언어인 C-언어를 이용하여 PC의 DOS 환경에서 개발되었다.

4.2 SDMC의 구성

SDMC는 <그림 2>에서 보여지듯이 4 개의 부분요소로 구성되어 있으며, 중요한 역할을 수행하는 부분들의 기능은 다음과 같다.

(1) 데이터 베이스 : SDMC의 데이터베이스는 생산셀 설계를 위한 기계, 부품정보와 셀 설계 관련 사실(fact)들을 포함하며, 알고리즘 베이스에 상호 작용한다.

(2) Algorithm 베이스: 생산셀 설계를 위한 알고리즘과 G.T의 기본 과정들을 IF (조건) THEN (행동) 규칙(rule)으로 표현 하였다. SDMC의 IF - THEN 규칙의 표현 예를 들면 <그림 3>과 같다.

```

Rule :
  IF  $S[i][j] = 1$  AND  $n(M_i) > n(M_j)$ 
  THEN Delete  $M_j$  AND A Cell  $C_i = \{ M_i, M_j \}$  is formation .
  IF  $S[i][j] < 1$  THEN Find Max{  $S[i][j]$  } AND
  Find  $(M_i \cup M_j)$  on Max{  $S[i][j]$  } .

Rule :
  IF Cell Size = X AND Max{  $S[i][j]$  } on  $M_i$  &  $M_j$ 
  THEN Cell  $C_i$  is Completed AND Find Next Cell  $C_j$  .

```

<그림 3> 생산셀 설계를 위한 규칙표현 예

(3) Interface : 사용자와의 대화를 통한 문제해결 기능으로 거의 모든 과정이 Yes/No로 가능하도록 설계하였다.

4.3 시스템의 특성

SDMC는 사용자와의 대화방식을 통해 문제를 해결하며, 기계-부품 정보에 대해 셀구성 단계에서 원하는 크기의 생산셀을 구성할 수 있도록 설계되었다. 또한 문제 해결 능력은 DOS 환경에서 100대의 기계와 100개의 부품 또는 가공공정에 대한 문제를 해결할 수 있도록 하였으며, 시스템 능력에 따라 확장가능하다.

5. 적용사례

본 논문에서 개발된 알고리즘과 SDMC의 생산셀 설계과정을 설명하기 위해 <그림 4>와 같은 기계-부품 입력정보[4]을 이용하였다. 먼저 SDMC를 실행하면 <그림 5>의 아래 부분에 메뉴가 보여지며, <그림 4>의 가공정보를 입력하기 위해 F1 키를 누르면 입력 데이터 필드(data field)가 나타난다.

<그림 5>는 기계-부품 가공정보를 이용해 기계 M_i 에 대한 부품 집합을 구성한 것이다.

가공정보 입력이 완료되면 [ESC]키를 누르고 빠져 나온 후 F2키를 누르면 <그림 5>의 정보를 기초로 한 생산셀 구성 화면이 보여진다. 생산셀 구성 화면(F2

명령)에서 이루어지는 과정의 핵심은 생산셀 구성 절차의 단계 2에서 단계 7까지의 과정이다.

우선 최대 셀크기(CS)를 4로 지정하였다. 최대 셀크기의 의미는 임의의 셀에 포함되어지는 기계의 댓수가 4대를 넘을 수 없음을 의미한다. 다음으로, 기계 M_i, M_j 에 대한 유사계수 S_{ij} 를 (1)식에 의해 구한다. 초기 가공정보에 대한 기계간 유사계수를 <그림 6>에 나타내었다.

유사계수표에서 최대값을 갖는 M_i, M_j 을 우선 셀로 배정한다. 만약, 동물을 이루면 먼저 나오는 기계쌍을 택한다. 위의 유사계수표에서 $S_{12} = 1.00$ 이므로 우선 선택된다. 선택된 기계쌍에 대한 부품집합의 합집합을 구하고 초기 생산셀을 구하면, $C_1 = \{ M1, M3 \} = \{ P2, P3, P8, P9, P11, P13, P14, P16, P17, P19 \}$ 이 된다. 이 C_1 을 하나의 기계로 간주하고 다시 <그림 5>

MACHINE \ PART	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
M1		1	1					1	1		1		1	1		1	1		1	
M2		1	1		1	1							1					1		1
M3		1						1	1		1		1	1		1	1		1	
M4			1	1	1	1				1								1		1
M5	1				1	1						1				1				
M6	1			1				1	1			1			1					1
M7		1	1	1	1					1	1							1		1
M8		1	1	1	1													1		1

〈그림 4〉 기계-부품 가공정보

최대 부품번호를 입력 하시오 => 20

M1 = { P2, P3, P8, P9, P11, P13, P14, P16, P17, P19 }

M2 = { P3, P4, P6, P7, P14, P18, P20 }

M3 = { P2, P8, P9, P11, P13, P14, P16, P17, P19 }

M4 = { P3, P4, P6, P7, P10, P18, P20 }

M5 = { P1, P5, P6, P10, P12, P15, P17 }

M6 = { P1, P5, P9, P10, P12, P15, P20 }

M7 = { P3, P4, P6, P7, P11, P12, P18, P20 }

M8 = { P3, P4, P6, P7, P18, P20 }

M9 = {

F10 - Help F1 - Data Input F2 - Cell Formation Esc - Escape

〈그림 5〉 기계-부품 가공정보의 입력 필드

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
M1	-	2/7	1.00	1/7	1/7	1/7	2/7	1/6
M2		-	1/7	5/7	1/7	1/7	6/7	1.00
M3			-	0.00	1/7	1/7	1/8	0.00
M4				-	2/7	2/7	6/7	1.00
M5					-	5/7	2/7	1/6
M6						-	2/7	1/6
M7							-	1.00
M8								-

〈그림 6〉 유사계수표

에 나타낸 것과 같은 부품 집합을 구성하고 셀 크기 조건을 만족할 때까지 반복한다. 기계수가 한대씩 감소할 때마다 S_{ij} 의 계산횟수는 (기계대수 - 1)만큼씩 감소하게 된다. 최종 생산셀이 구성될 때까지의 SDMC의 설계과정을 화면을 통해 나타내면 〈그림 7〉과

같다.

〈그림 7〉에서 볼 수 있는 바와 같이 5회의 반복과정을 통해 세 개의 기계셀과 각 셀에서 가공되어질 부품군이 구성되었음을 알 수 있다. 〈그림 8〉의 화면에 최종 셀구성과 (2)식 및 (3)식에 의한 효율계산 결과

```

Input Maximum Cell Size => 4

Iteration 1 :
## Maximum Sij = 1.00

C1 = { M1 , M3 } = { P2,P3,P8,P9,P11,P13,P14,P16,P17,P19 }
      = { 0,1,1,0,0,0,0,0,1,1,0,1,0,1,1,0,1,1,0,1,0 }

Continue ....? ( Y/N)  y

Iteration 2 :
## Maximum Sij = 1.00

C2 = { M2 , M8 } = { P3,P4,P6,P7,P14,P18,P20 }
      = { 0,0,1,1,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,1,0,1 }

Continue ....? ( Y/N)  y

Iteration 3 :
## Maximum Sij = 0.86

C3 = { C2 , M4 } = { P3,P4,P6,P7,P10,P14,P18,P20 }
      = { 0,0,1,1,0,1,1,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,1,0 }

Continue ....? ( Y/N)  y

Iteration 4 :
## Maximum Sij = 0.75

C4 = { C3 , M7 } = { P3,P4,P6,P7,P10,P11,P12,P14,P18,P20 }
      = { 0,0,1,1,0,1,1,0,0,1,1,1,0,1,0,0,0,1,0,1,0 }

Continue ....? ( Y/N)  y

Iteration 5 :
## Maximum Sij = 0.71

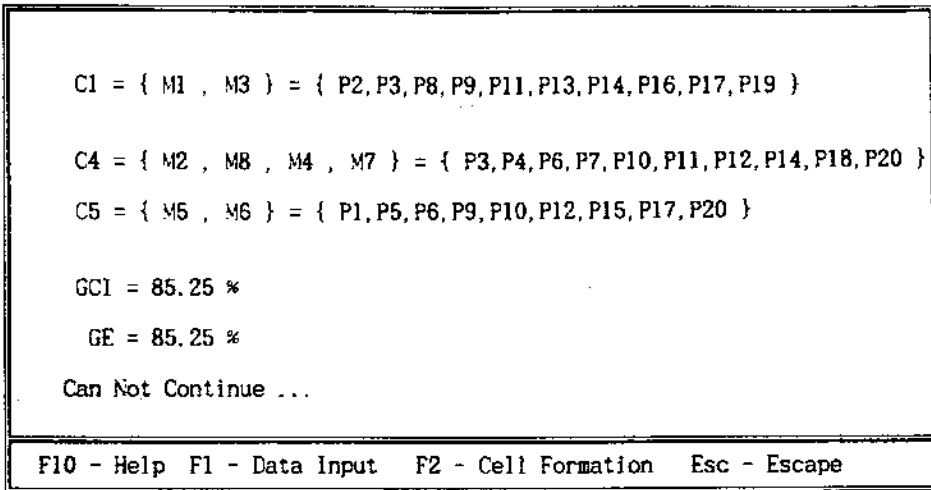
C5 = { M5 , M6 } = { P1,P5,P6,P9,P10,P12,P15,P17,P20 }
      = { 1,0,0,0,1,1,0,0,1,1,0,1,0,0,1,0,1,0,0,1,0 }

Can Not Continue ...

F10 - Help  F1 - Data Input  F2 - Cell Formation  Esc - Escape

```

〈그림 7〉SDMC의 생산셀 설계 과정



〈그림 8〉 SDMC의 최종 생산셀 구성 결과

가 보여진다.

제시된 방법의 평가를 위해 기존 연구결과와 비교를 행하였다. 비교 방법은 제시된 절차에서 자유롭게 조정 가능한 셀크기를 기존 연구의 셀크기와 동일하게 놓고 실행하였다. 그 결과가 〈표 1〉에 보여진다.

〈표 1〉 기존 연구결과와의 비교

기계갯수	부품수	Algorithm	GCI(%)	GE(%)
5	18	제안된 방법	89.13	83.68
		ALC 알고리즘[11]	84.72	82.10
8	20	제안된 방법	85.25	85.25
		ROC 해법	78.68	69.56
		Chandrasekharan[4]	85.25	85.25
16	43	제안된 방법	78.58	48.77
		ROC 해법	71.43	45.23
		Seifoddini[12]	78.58	48.77
20	35	제안된 방법	73.86	51.13
		ROC 해법	64.71	34.49
		Boe[3]	73.86	51.13

〈표 1〉의 GCI와 GE의 평가척도에 의한 기존 연구와의 비교에서 본 논문의 방법은 보다 나은 생산셀 구성 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 생산셀 설계 단계에서 셀 크기(cell size)의 자유로운 조정을 통해 보다 유연한 생산셀을 설계할 수 있는 방법과 셀간 이동부품(intercellular move part)의 최소화를 통해 생산 시스템의 효율성 증대를 위한 문제 해결 절차를 제안 하였다. 제안된 방법은 최대 유사계수를 갖는 기계쌍들을 셀로 구성해 나가는 반복적인 과정을 통해 원하는 크기의 생산셀과 최소의 셀간 이동부품만을 발생시킨다. 또한 제안된 방법의 효과적인 적용을 위해 지식기반 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 대화방식으로 문제를 해결하며 PC환경에서 쉽게 이용 가능하다.

【참고문헌】

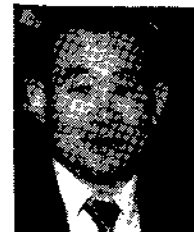
- [1] 문치웅, 김효남, 이상용, “ 중복설계와 하청을 고려한 셀 및 부품군 형성 절차, ” Journal of the KSQC, Vol. 21, No. 2, 224-231, 1993.
- [2] Boctor, F. F., “A Linear Formulation of The Machine-Part Cell Formation Problem,“ International Journal of Production Research, Vol. 29, No. 2, 343-356, 1991.

- [3] Boe, W.J. and Cheng, C.H., "A Close Neighbour Algorithm for Designing Cellular Manufacturing Systems," *International Journal of Production Research*, Vol. 29, No.10, 2097-2116, 1991.
- [4] Chandrasekharan, M. P., "An Ideal Seed Non-hierarchical Clustering Algorithm for Cellular Manufacturing," *International Journal of Production Research*, Vol. 24, No. 2, 454-464, 1986.
- [5] Chow, W. S., and Hawaleshka, O., "Minimizing Inter-cellular Part Movement in Manufacturing Cell Formation," *International Journal of Production Research*, Vol. 31, No. 9, 2161-2170, 1993.
- [6] Gunasekaran, A., Goyal, S. K., Virtanen, I. and Yli-Olli, P., "An Investigation into the Application of Group Technology in Advanced Manufacturing Systems," *INT. J. of CIM*, Vol. 7, NO. 4, 215-228, 1994.
- [7] Gunasekaran, A., Goyal, S. k., Virtanen, I. and Yli-Olli, P., "Production Planning and Control in Automated Manufacturing Systems," *Production Planning & Control*, Vol. 4, No. 2, 2-16, 1993.
- [8] Kumar, C.S. and Chandrasekharan, M. P., "Grouping Efficacy : A Quantitative Criterion for Goodness of Block Diagonal Forms of Binary Matrices in G.T," *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 2, 233-243, 1990.
- [9] Kusiak, A., "EXGT-S: A Knowledge Based System for Group Technology," *International Journal of Production Research*, Vol. 26, No. 5, 887-904, 1988.
- [10] Seifoddini, H. and Hsu, C.P., "Comparative Study of Similarity Coefficients and Clustering Algorithms in Cellular Manufacturing," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 13, No. 2, 119 - 127, 1994.
- [11] Seifoddini, H., "A Note on The Similarity Coefficient Method and The Problem of Improper Machine Assignment in G.T Application," *International Journal of Production Research*, Vol. 27, 1161-1165, 1989.
- [12] Seifoddini, H., "Application of the Similarity Coefficient Method in G,T ," *IIE Transaction*, September, 271-277, 1986.



문치용

산업공학 전공으로 학사, 석사를 마치고 현재 건국대 박사과정에 재학 중이다. 주 관심분야는 컴퓨터 응용, G.T, FMS 등이다.



이상용

현재 건국대학교 산업공학과 교수 및 공과대학장으로 재직 중이다. 석사, 서울대 전자공학과를 거쳐 애리조나 주립대에서 시스템 공학으로 학위를 마쳤고, 대한 산업공학회 이사, 품질관리학회 회장을 역임 하였다. 주요 관심분야는 생산 시스템의 컴퓨터 응용, 신뢰성, 시스템 공학등이다.