

CE cluster尺度에 의한 生産셀 設計

정현태*

Design of Manufacturing Cells with the Converted Entropic Cluster Measure

Hyun-Tae Chung*

Abstract

Manufacturing cell formation is one of the most important problems faced in designing cellular manufacturing systems. The purpose of this study is to design effective manufacturing cell systems by developing a method which forms machines/parts into optimal machine cells/part families. The 0-1 data matrix structure is used to form a basis for manufacturing cell formation. In this paper, we propose a CE method to reorder the 0-1 data matrix for manufacturing cell formation. The resulting solutions are shown to demonstrate the effectiveness of the CE method.

1. 서 론

효과적인 셀-제조시스템 구축은 생산셀 구성과 기계셀 배치 그리고 기계셀내 기계배치등의 문제를 총합적으로 해결함으로써 가능하다 [4]. 생산셀 구성문제를 해결하므로써 물자 흐름의 단순화, 부품가공에 소요되는 준비/가공 시간과 재공품 재고의 감소화 그리고 시스템설계와 공정계획이 부품가공 공정의 유사성에 기준하여 수립되므로 제조효율이 최대화 된다[6]. 또한 부품가공에 필요한 물류취급시간을 최소

화하는 것을 근본목적으로 하는 기계셀 배치와 기계셀내 기계배치에 관한 문제를 해결하기 위하여는 공정유사성을 기준하여 기계와 부품을 기계셀과 부품군에 할당하지 않으면 안된다. 제조공정 정보를 기초하여 생산셀을 구성하는 방식은 생산 데이터를 기초로 하기 때문에 셀-제조시스템 설계에 적합한 방식으로서 대부분의 기존 생산셀 구성방식은 부품공정표로 부터 구축되는 0-1데이터 행열을 사용하고 있다 [1]. 0-1데이터 행열을 사용해서 생산셀을 구성하는 방식에는 (1)부품군을 구성하고 나서 기계를 셀에 할당하는 방식 (2)부품가공의 공

정유사성을 기준하여 기계셀을 구성하고 나서 부품을 기계셀에 할당하는 방식 그리고 (3)동시적으로 기계셀과 부품군을 구성하는 방식등이 있다. 그런데 (1), (2)방식은 (3)의 방식보다 생산셀 설계자의 주관적 판단의 의존도가 높기 때문에 객관적 평가가 가능한 (3)의 방식이 생산셀 구성방식으로서 더욱 효과적이다. 그러나 효과적인 생산셀 구성은 기계셀/부품군의 cluster결과만이 아닌 기계 가동율등 다른 요인도 고려해서 생산셀을 재평가하지 않으면 아니된다. (3)의 방식에는 McCormic등의 BEA(bond energy algorithm), Chan등의 DCA(direct clustering algorithm), Kusiak등의 LDA(line drawing approach) 그리고 가장 일반적인 King등의 ROC(rank order clustering algorithm)등이 있다[1]. 0-1데이터 행열을 사용하는 생산셀 구성방식의 목적은 행열의 대각구역(diagonal blocks)에 있는 회피적 성분(avoid elements)과 대각구역밖(off-diagonal blocks)에 있는 예외적성분(exceptional elements)의 최소화이다. 행과 열을 재배열하는 것에 의해서 대각구역의 모든성분이 1, 대각구역밖의 모든성분이 0인 구조(perfect block-diagonal form)는 데이터 특성 혹은 생산셀 구성방식의 부적합으로 인하여 좀처럼 발생하지 않는다. 생산셀 구성의 그룹핑 효율의 향상은 합리적인 cluster척도와 이것을 보지할 수 있는 알고리즘 개발에 의해서 가능하다. 그런데 지금까지 제안된 생산셀 구성방식의 cluster기준은 최적 그룹핑 결과의 도출을 보증하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 엔트로피 함수를 활용하여 정식화한 CE(converted entropic) cluster척도를 생산셀 구성의 cluster기준으로 하는 생산셀 구성방식(CE방식)을 제안한다. 2장과 3장에서는 CE cluster척도를 사용하는 생

산셀 구성의 cluster기준과 최적 cluster 결과가 보증되는 단계별-결합방식의 알고리즘을 제안한다. 그리고 4장에서는 수치예로서 King등의 ROC-2방식, Askin등의 HPH방식과 본 연구의 CE방식에 의한 생산셀 구성결과를 비교 검토한다.

2. 생산셀 구성의 cluster기준

2.1 엔트로피 cluster척도

엔트로피 개념은 열역학 제 2법칙을 규정하기 위해 Clausius에 의해서 도입된 이후 Boltzman, Gibbs, Maxwell등이 엔트로피의 확률적 의미를 강조하고 시스템의 무질서 정도를 나타내는 척도로서 고찰하였다. 한편 Wiener, Shannon, Weaver는 확률시스템의 구조해석을 위해 가법성, 비음성 그리고 볼록함수의 기본성질을 가진 엔트로피 함수를 제안했다. 엔트로피는 시스템의 무질서 정도를 나타내는 척도이므로 시스템의 구조해석에 활용할 수 있다[5]. 시스템의 안정구조는 시스템을 구성하는 서브-시스템 간 응집력이 0가 될때 유지된다. 그리고 시스템의 응집력은 \sum 서브시스템내 응집력과 서브-시스템간 응집력의 합으로, 그 값은 시스템 내부구조의 변화 여부에 관계없이 일정하다[5]. 서브-시스템간 상호의존의 상관관계가 크면, 서브-시스템의 엔트로피 합은 시스템의 엔트로피보다 크게 된다. 그러나 서브시스템간 상호의존의 상관관계가 없다면, 서브-시스템의 엔트로피는 시스템의 엔트로피와 일치한다. Watanabe는 이 개념에 착안해서 0-1데이터 행열의 개체-속성표로 부터 개체간의 상호의존성 정도를

나타내는 척도 E_w 을 식(1)과 같이 정식화한 바 있다.

$$E_w = \sum_{i=1}^q h(O_i) - h(O_1 v O_2 v \dots v O_q) \quad (1)$$

단 $h(O_i)$ 는 개체 O_i 의 엔트로피, $h(O_1 v \dots v O_q)$ 는 q 개 개체로 구성되는 군의 엔트로피이다. 시스템 전체의 입장에서 인적 또는 물적자원의 cluster 기준은 [그림 1, 2]와 같이 개체간 이원적 관계에 의한 유사성 뿐만 아닌 다원적 관계에 의한 비유사성도 함께 고려할 수 있어야 한다. 그러나 식(1)은 제조시스템의 효과적인 작업집단(effective work-groups)설계에 적합한 cluster 기준이지만 군 구성 개체간의 유사성 관계에 의한 응집력의 크기가 군 구성에 어느정도 기여하는지를 파악할 수 없다. 그래서 Chung등은 q 개 개체로 구성되는 군내 응집력 크기를 분해할 수 있는 cluster 척도 E_h 를 식(2)와 같이 정식화한 바 있다[3].

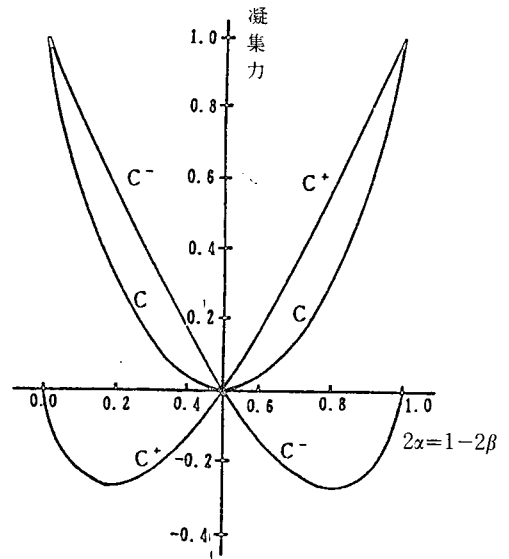
$$E_h = \sum_{i=1}^q P(a_i) [\log P(a_i) / \prod_{i=1}^q P(e_i)], \quad (2)$$

$$P(e_i) = \begin{cases} n_i(O_i) / n, & e_i = 1 \\ n_0(O_i) / n, & e_i = 0, \end{cases}$$

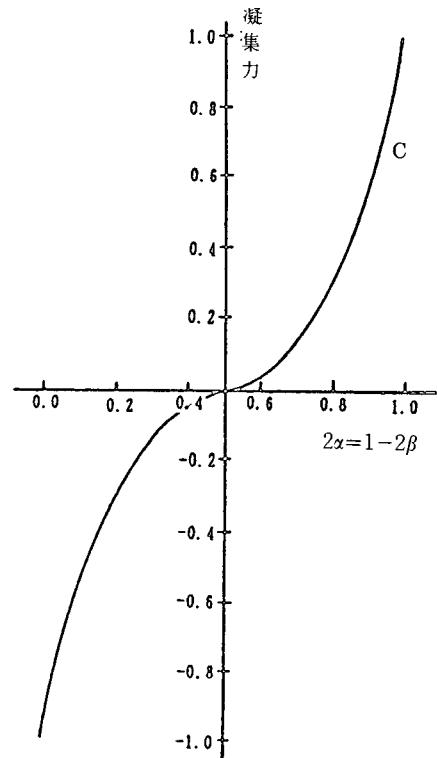
$$P(a_i) = n e_1 \dots e_q (O_1 v \dots v O_q) / n.$$

단 n 는 총속성수, $n_1(O_i)$ 와 $n_0(O_i)$ 는 개체 O_i 의 속성이 1 또는 0인 갯수 그리고 $n e_1 \dots e_q (O_1 v \dots v O_q)$ 는 개체의 속성치가 $e_k (k=1, \dots, q)$ 인 행벡터 수이다. [그림 1]은 $q=2$ 인 0-1데이터 행렬에서 0과 1이 동수일 때, 척도 E 의 특성을 나타냈다.

여기서 $n_{rr} (O_1 v O_2)$ 는 개체 O_1 과 O_2 의 속성치가 각각 r , r 인 열벡터 수, C^+ 는 유사성 관계에 의한 응집력, C^- 는 비유사성 관계에 의한 응집력, C 는 총응집력, $\alpha = n_{11} (O_1 v O_2)$, $\beta = n_{10}$



[그림 1] 척도 E의 특성($q=2$)



[그림 2] 척도 CE의 특성($q=2$)

($O_{1v}O_2$), $\gamma = n_{01}(O_{1v}O_2)$ 그리고 $\delta = n_{00}(O_{1v}O_2)$ 이다. 척도 E의 주요 성질은 다음과 같다.

- (1) 척도 E는 개체간 이원적 관계의 유사성과 다원적 관계의 비유사성을 함께 고려하는 함수로서, 유사성 관계에 의한 응집력 C^+ 과 비유사성 관계에 의한 응집력 C^- 의 합이다.
- (2) 척도 E는 개체간 유사성 관계의 강도가 비유사성 관계의 그것보다 상대적으로 클 때 C^+ 는 양의 값이 되고 C^- 는 음 또는 C^+ 보다 작은 양의 값이 되지만, 개체간 유사성 관계의 강도가 비유사성 관계의 그것보다 상대적으로 작을 때 C^- 는 양의 값이 되고 C^+ 는 음 또는 C^- 보다 작은 양의 값이 된다.
- (3) 0-1데이터 행렬 $A = \{a_{ij}\}$, ($i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$)에서 0와 1이 동수이고 q 개 개체로 구성되는 군의 근원사상(2^q 개) 모두가 일양분포일 때, 척도 E의 값은 0가 되지만 이 분포가 아닌 경우에는 0보다 큰 양의 값이 된다.

2.2 CE cluster 척도

앞서 언급한 바와 같이 생산셀 구성의 cluster기준은 개체간 이원적 관계의 유사성 뿐만아닌, 다원적 관계의 비유사성도 고려할 필요가 있다. 또한 생산셀 설계문제는 그 특성상 구조적 0-1데이터 행렬의 기계/부품간 유사성 관계에 의한 응집력 C^+ 가 비유사성 관계에 의한 응집력 C^- 보다 클 때에는 기계셀/부품군 구성의 의미가 있지만 비유사성 관계에 의한 응집력 C^- 가 유사성 관계에 의한 응집력 C^+ 보다 큰 경우인 비구조적 0-1 데이터 행렬에서는 기

계셀/부품군 구성의 의미가 없다. 따라서 생산셀 구성의 기준은 $C^+ \geq C^-$ 일 때는 비음의 서브-시스템내 응집력, $C^+ < C^-$ 일 때는 음의 서브-시스템내 응집력이 될 수 있는 기준이 요구된다. 따라서 이상의 조건을 만족하기 위하여 본 연구에서는 척도 E의 특성을 식(3), (4)와 같이 수정한 cluster척도 CE를 생산셀 구성의 cluster기준으로 제안한다. 식(3)은 q 대 기계로 구성되는 기계셀의 cluster기준 CE_m 이며 식(4)는 k 개 부품으로 구성되는 부품군의 cluster기준 CE_p 를 구하는 일반식이다.

$$CE_m = \sum_{i=1}^q P(a_i) [\log P(a_i) / \prod_{e_i=1}^q P(e_i)], C^+ \geq C^- \\ - \sum_{i=1}^q P(a_i) [\log P(a_i) / \prod_{e_i=0}^q P(e_i)], C^+ < C^- \quad (3)$$

$$P(e_i) = \begin{cases} n_1(m_i) / n, e_i = 1 \\ n_0(m_i) / n, e_i = 0 \end{cases} \\ P(a_i) = n e_1 \dots e_q (m_{1v} \dots v_{mq}) / n,$$

$$CE_p = \sum_{j=1}^m P(a_j) [\log P(a_j) / \prod_{e_j=1}^k P(e_j)], C^+ \geq C^- \\ - \sum_{j=1}^m P(a_j) [\log P(a_j) / \prod_{e_j=0}^k P(e_j)], C^+ < C^- \quad (4)$$

$$P(e_j) = \begin{cases} n_1(p_j) / n, e_j = 1 \\ n_0(p_j) / n, e_j = 0 \end{cases} \\ P(a_j) = n e_1 \dots e_k (p_{1v} \dots v_{pk}) / m.$$

단 n 은 총속성수, $n_1(\cdot)$ 와 $n_0(\cdot)$ 는 개체 \cdot 의 속성치가 1와 0인 갯수 그리고 $n e_1 \dots e_q (m_{1v} \dots v_{mq})$, $n e_1 \dots e_k (p_{1v} \dots v_{pk})$ 는 개체의 속성치가 e_k 인 행벡터 수이다. [그림 2]는 $q=2$ 인 0-1데이터 행렬에서 0와 1이 동수일 때 척도 CE의 특성을 나타낸 그림이다. [그림 2]에서 C 는 총응집력이다.

3. 生産셀 구성의 알고리즘

3.1 알고리즘을 위한 보조정리

단계별-분기방식은 단계별-결합방식보다 개체 수가 많으면 계산량이 증가하기 때문에 대부분의 cluster방식에서는 단계별-결합방식을 선호 하지만 단계별-결합방식도 개체수가 많다면 계산효율이 떨어진다. 따라서 계산효율을 높이기 위하여 기계의 행벡타가 동일한 기계를 r개 기계셀, 부품의 열벡타가 동일한 부품을 u개 부품군으로 cluster한 다음, 단계별로 두 기계셀 / 부품군만을 결합하는 단계별-결합방식의 cluster 알고리즘을 개발하기 위하여 다음의 3가지 보조정리를 마련한다.

[정리 1] 기계의 행벡타 $M_i(i=1,2,\dots,m)$ 가 동일한 기계를 cluster한 기계셀 M_{Sk} ($k=1,2,\dots,r$)는 셀수가 r인 제약에서 최적해 $[\max\{\sum_{k=1}^r CE_m\}]$ 이다.

[정리 2] 부품의 열벡타 $P_j(j=1,2,\dots,n)$ 가 동일한 부품을 cluster한 부품군 P_{Sk} ($k=1,2, \dots,u$)는 군수가 u인 제약에서 최적해 $[\max\{\sum_{k=1}^u CE_p\}]$ 이다.

[정리 3] 정리 1, 2에 의해서, cluster한 기계셀 M_{Sk} 와 부품군 P_{Sk} 중에서 기계셀 / 부품군 구성의 개체수가 1인 $M_{Sk}^{i=1}$ 와 엔트로피 함수값과 $i \geq 2$ 인 $M_{Sk}^{i \geq 2}$ 와 $P_{Sk}^{i \geq 2}$ 의 엔트로피 함수값은 같다.

3.2 단계별-결합방식의 cluster 알고리즘

식(3)과 (4)의 生産셀 구성의 cluster기준과

보조정리를 근거하는 生産셀 구성의 알고리즘은 이하와 같다.

[step 1] 기계셀 M을 r개의 기계셀 M_{Sk} 으로 cluster

[step 2] 두 기계군 $\{M_{Sk}\}, \{M_{Sj}\}$ 을 결합한 $r \cdot C_2$ 개 새로운 기계군 $\{M_{Sk} \vee M_{Sj}\}$ 의 CE_m 을 계산하고, $\max\{CE_m\}$ 을 기준하여 (r- 후보 기계셀수 α)단계까지 cluster

[step 3] 다음 1)~3)에 의해서, 기계셀 수[r-($\alpha+1$)]로 cluster

- 1) (r- α)개 기계셀중에서 ${}_{(r-\alpha)}C_2$ 개 가능한 새로운 기계셀의 CE_m 을 계산
- 2) r개 기계셀 중에서 ${}_{r}C_{(\alpha+2)}$ 개 기계셀의 CE_m 을 계산
- 3) 1)과 2)에서 $\max\{\sum CE_m\}$ 의 cluster를 기계셀 수[r-($\alpha+1$)]의 제약에서 최적해로서 선택

[step 4] ${}_{(r-(\alpha+1))}C_2$ 개 가능한 새로운 기계셀의 CE_m 을 계산해서 기계셀수[r-($\alpha+2$)]으로 cluster

[step 5] $\max\{\sum CE_m\}$ 의 기계셀로 cluster될때 까지 [step 4]를 반복하고 $\max\{\sum CE_m\}$ 이 도출되면 기계셀의 cluster를 종료

[step 6] 부품군 p를 u개 부품군 P_{Sk} 으로 cluster

[step 7] 0-1데이터 행열에서 각 부품($j=1,2, \dots,n$)의 수치를 계산해서 수치가 큰 순서를 열을 재배열한다. j번째 열의 수치는 $\{a_{mj}2^0 + a_{(m-1)j}2^1 + a_{(m-2)j}2^2 + a_{(m-r)j}2^r + a_{1j}2^{n-1}\}$ 이다.

[step 8] $\max\{\sum CE_p\}$ 를 탐색해서 부품군의 cluster를 종료

[step 9] cluster한 결과를 검토해서, 재cluster가 필요하면, 데이터 행열을 서브-데

〈표 1〉 기계셀 구성 과정

$\sum CE_m=0$	0.758	1.153	1.693	2.348	2.923	0.548
1	{1}	{1}	{1}	{1}	{1}	{1}
2	{3}	{3}	{3}	{3}	{3}	{3}
3	2	{2}	{2}	{2}	{2}	{5}
4	4	{4}	{4}	{4}	{4}	{6}
5	5	5	{7}	{7}	{7}	{2}
6	6	6	5	{8}	{8}	{4}
7	7	7	6	{5}	{5}	{7}
8	8	8	7	{6}	{6}	{8}

이타 행렬로 분할해서, [step 1~8]의 절차에 의해서 생산셀을 cluster

〈표 1〉은 본 연구의 수치예로서 선정한 Chandrasekharan 등의 기계수 8, 부품수 20의 0-1데이터(1) 행렬을 제안 알고리즘 [step 1~5]에 의한 기계셀 구성 과정을 나타낸 표이다. 표 1에서 기계셀 수가 7인 조건에서는 {1,3}으로 그룹핑하는 것이 최적($\sum_{i=1}^7 CE_m=0.758$)이며, 기계셀 수가 4인 조건에서는 {1,3}과 {2,4,7,8}로 그룹핑하는 것이 최적($\sum_{i=1}^4 CE_m=2.348$)이 되며, 기계셀수가 3인 경우, {1,3} {2,4,7,8} 그리고 {5,6}으로 그룹핑하는 것이 최적($\sum_{i=1}^3 CE_m=2.923$)이다. 그러나 예로서 {1,3,5,6}과 4,7,8}로 그룹핑하면 $\sum CE_m$ 의 값은 기계셀 수가 3일 때보다 감소한다. 따라서 기계셀 수 또는 기계셀내 기계 수의 제약이 없다면, 기계셀을 {1,3}, {2,4,7,8} 그리고 {5,6}으로 구성하는 것이 최적이다. 그리고 부품군 구성은 기계셀 수와 동수의 부품군 수를 구성해야 하기 때문에 ROC-2방식을 적용해서 열을 재배열하고 나서 식(4)의 cluster기준을 근거해서 부품군을 구성했다. 본래 ROC/ROC-2방식은 행과 열 모두에 대해서 ROC의 수치 기준을 적용해서 행과

열을 재배열하기 때문에 최적해 탐색이 용이하지 않다. 그러나 본연구에서는 CE cluster기준에 근거해서 기계셀을 구성하고 나서, 부품군 구성만을 ROC-2방식을 활용한 알고리즘을 사용하기 때문에 생산셀 구성에 관한 문제점은 없다.

4. 수치예

다음의 0-1데이터 행렬을 사용해서 King등과 ROC-2방식, Askin의 HRH방식과 본 연구의 CE방식을 비교검토한다.

- (1) 0-1데이터(1)행렬, Chandrasekharan등 [2], 기계수 8, 부품수 20
- (2) 0-1데이터(2)행렬, Askin등[1], 기계수 12, 부품수 19

〈표 2〉와 〈표 3〉은 0-1데이터 행렬의 생산셀 구성의 결과이다. 0-1데이터 행렬의 회피적 성분과 대각구역밖의 예외적 성분의 가중치가 동등할 때, Chandrasekharan 등의 GT그룹핑 효율 $\eta=0.5\eta_1+0.5\eta_2$ 이다. 단 η_1 =회피적 성분수/대각구역의 성분수, η_2 =예외적 성분수/대각구역밖의 성분수이다. HPH방식과 ROC-2방식 그리고 본 연구의 CE방식에 의한 데이터(1)의 생산셀 구성의 결과, 기계셀 수가 3일때 η 의 값은 0.96, 0.85, 0.96이다. 데이터 (2)의 생산셀 구성결과, η 의 HPH방식과 ROC-2방식에서는 기계셀 수가 2일때 0.87, 0.80이며 기계셀 수가 3일때 0.76, 0.68으로 기계셀 수가 2일때 최대임에 비해서 CE방식에서 도출된 최적해는 기계셀 수가 4일때 η 값이 0.87이다. 따라서 본 연구의 CE방식이 HPH방식과 ROC-2방식보다 우수함을 알 수 있다.

〈표 2〉 0-1데이터(1) 행열의 生産셀 구성의 결과

HPH方式

機械 (i)	部品(j)																											
	17	9	2	19	8	16	13	14	11	3	18	4	7	6	20	12	15	5	1	10								
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1																			
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																		{9, 0}
7										1	1	1	1	1	1	1	1											
2										1	1	1	1	1	1	1												
8											1	1	1	1	1	1												
4											1	1	1	1	1	1												
5	1												1	1	1	1	1	1										
6		1														1	1	1	1	1	1							

ROC-2方式

機械 (i)	部品(j)																					
	14	3	11	17	9	16	2	8	19	13	6	20	4	7	18	12	10	15	1	5		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
2	1	1																				
3	1		1	1	1	1	1	1	1	1												
7	1		1												1							
4	1													1								
8	1													1								
5	1															1	1	1	1	1	1	
6	1																1	1	1	1	1	1

CE方式

機械 (i)	部品(j)																									
	14	2	8	13	16	19	11	17	9	3	4	7	18	6	20	10	1	5	15	12						
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1																	
2	1																									
8										1	1	1	1	1	1	1										
4											1	1	1	1	1											
7												1	1	1	1											
5															1	1	1	1	1	1						
6										1												1	1	1	1	1

〈표 3〉 0-1데이터(2) 행렬의 생산셀 구성의 결과

HPH方式

機械 (i)	部品(j)																		
	19	18	12	11	9	17	16	10	14	15	5	4	7	2	13	6	8	3	1
6	1	1	1	1			1		1	1	1								
8	1	1	1	1	1	1	1			1									1
3	1	1	1																
5	1	1																	{23, 24}
2	1					1	1												
4	1	1	1	1	1	1	1	1											
9	1	1		1	1	1		1	1	1									
1					1	1	1	1	1										
7						1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1		
10									1	1	1	1	1	1	1				
11													1	1	1	1	1	1	
12															1	1	1	1	1

ROC-2方式

機械 (i)	部品(j)																		
	16	17	10	9	14	19	18	11	12	15	5	13	7	4	6	8	1	2	3
1	1	1	1	1	1														
4	1	1	1	1		1	1	1	1										
7	1	1	1		1					1	1	1	1	1	1	1			{34, 35}
8	1	1		1		1	1	1	1	1									
2	1	1				1													
6	1				1	1	1	1	1	1	1						1		
9		1	1	1	1	1	1	1		1									
10					1					1	1	1	1	1					1
3						1	1		1										
5						1	1												
11												1	1		1	1		1	1
12												1			1	1	1		1

CE方式

機械 (i)	部品(j)																		
	17	9	10	11	16	19	18	12	15	14	5	4	7	2	13	6	8	3	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1											
1	1	1	1		1				1										
2	1				1	1													
9	1	1	1	1		1	1		1	1									{29, 10}
3						1	1	1											
5						1	1												
8	1	1			1	1	1	1	1										
6					1	1	1	1	1	1	1								1
10									1	1	1	1	1	1	1				
7	1		1		1				1	1	1	1	1	1	1	1	1		
11													1	1	1	1	1	1	
12															1	1	1	1	1

5. 결론

본 연구에서는

- ① 최적해 도출이 보증되는 CE cluster척도를 생산셀 구성의 cluster기준으로서 정식화하였다.
- ② 생산셀 구성의 cluster기준에 근거한 단계별-결합cluster알고리즘을 제안하였다.
- ③ 0-1데이터 행렬의 수치예에 의해 CE방식의 유효성을 나타냈다.

Societies' Manufacturing and Productivity Symposium Proceedings.
Tronto City, 1989, pp. 207-212.

- [5] Watanabe, S., *Pattern Recognition: Human and Mechanical*, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1985.
- [6] Wemmerlov, U. and N.L. Hyer, "Cellular Manufacturing in the U.S Industry: A Survey of Users," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 27, No. 9(1989), pp. 1511-1530.

참 고 문 헌

- [1] Askin, R.R., S.H. Cresswell, J.R. Golderg and A.J. Vakharia, "A Hamiltonian Path Apporoach to Reordering the Part-machine Matrix for Cellular Manufacturing," *Int. J. of Prod. Res.*, Vol. 29, No.6(1991), pp. 1081-1100.
- [2] Chandrasekharan, M.P. and R. Rajagopalan, "MODROC : and Extension of Rank Order Clustering for Group Technology," *Int. J of Prod. Res.*, Vol. 24, No.5(1986),pp. 1221-1233.
- [3] Chung, H.T. and Choi, I.S., "A Study on the Development of Clustering Algorithm using Entropic Measure of Cohesion," *J. of Korean OR/MS society*, Vol. 14, No.1 (1989), pp. 36-56
- [4] Heragu, S.S., "A Group Technology Approach to Machine Layout," *Int. Industrial Engineering Conference and*