

# 응집력 척도를 활용한 계층별-조결합군락화 기법의 개발

## Development of the Combinatorial Agglomerative Hierarchical Clustering Method Using the Measure of Cohesion

鄭 鉉 泰\*  
崔 仁 壽\*\*

### ABSTRACT

The purpose of this study is to design effective working systems which adapt to change in human needs by developing an method which forms into optimal groups using the measure of cohesion.

Two main results can be derived from the study as follows :

First, the clustering method based on the entropic measure of cohesion is predominant with respect to any other methods proposed in designing the work groups, since this clustering criterion includes symmetrical relations of total work groups and the dissimilarity as well as the similarity relations of predicate value, the clustering method based on this criterion is suitable for designing the new work structure.

Second, total work group is clustered as the workers who have the equal predicate value and then clustering results are produced through the combinatorial agglomerative hierarchical clustering method. This clustering method present more economic results than the method that clustering the total work group do.

\*慶北産業大學 産業工學科

\*\*崇實大學校 産業工學科

## 1. 서론

오늘날의 제조기술은 유연성(flexibility)을 강조하고 있으며, 이는 FMS설계분야보다 인간육구변화에 적용할 수 있는 새로운 작업구조(new work structures)설계분야에서 더욱 그러하다[11]. 인간육구변화에 적용할 수 있는 효과적인 작업집단(effective work groups)을 설계하기 위한 군락화 기준(clustering criterion)은 1) 전체작업자군의 다원적 관계(multilateral relations)를 고려할 수 있어야 하며[1, 12], 2) 작업자간의 유사성(similarity)관계뿐만 아니라 비유사성(dissimilarity)관계도 작업집단의 응집력(cohesion) 크기에 기여하므로 이를 고려할 수 있어야 한다[13]. 그리고 조직체계의 외부환경 변화가 관리상 중요한 변수로서 인식되어 단일속성공간과 동등하게 중요시 될 경우에는 두 속성공간을 동시적(concurrently)으로 고려할 수 있어야 한다[6]. Watanabe의 엔트로피 응집력척도(an entropic measure of cohesion)을 제외한 군락화 기준은 두 작업자/작업집단간의 이원적 관계(directed bilateral relations)의 유사성만을 군락화 기준으로 하고 있으므로[3, 4, 8] 이 기준을 근거하여 작업집단을 설계하려면 우선 두 작업자/작업집단간의 이원적 관계의 유사성만을 근거하여 군락화한 다음, 설계자의 선택적인 주관적 판단에 의하여 군락화하기 때문에 작업집단간 응집력(inter-cohesion of work groups;  $C_{inter}$ )을 최소화 할 수 있는 군락화 결과를 보장할 수 없다. Watanabe의 기준을 사용하면 작업집단내 응집력(intra-cohesion of work group;  $C_{intra}$ )과 작업집단간 응집력을 간편하게 계산할 수 있지만  $C_{intra}$ 의 구성을 분해할 수 없는 까닭에 작업집단을 구성하는 작업자 속성의 유사성과 비유사성, 혹은 복합확률실험의 가능한 결과(outcomes)가  $C_{intra}$ 크기에 얼마만큼 기여하는가를 분석할 수가 없다. 또한 기

존의 군락화 기준은 단일 속성공간만을 고려한 군락화 기준이거나 혹은 두 속성공간을 순차적(sequentially)으로 고려한 것이므로[6, 9, 10] 두 속성공간이 동등하게 동시적으로 중요시될 경우에는 이에 대비할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 단일 속성공간과 두 속성공간을 사용하여 작업자군을 군락화하는 경우 각각에 관한  $C_{intra}$ 를 분해 할 수 있는 군락화 기준과 효율적인 군락화 결과의 도출을 보증할 수 있는 군락화 기법(clustering algorithm)을 개발하여 조직체의 중간층은 물론 하부층까지도 쉽게 활용할 수 있는 의사결정지원체계(decision support systems)의 제안모형(suggestion model)을 제시하고자 한다.

## 2. 군락화 기준

작업자  $O_i$ 가  $P_j$ 를 가졌다면 1, 가지지 않았다면 0로 표시되는 작업자-속성표(worker-predicate table)[14]로부터  $q$ 명 작업자로 구성되는 작업집단의 내부응집력 척도  $C_{intra}$ 를 구할 수 있는 일반식은 다음과 같다.

### 2-1 단일공간의 군락화 기준

속성공간  $P_p$ 의 확률실험에서, 확률실험의 가능한 결과  $a_i$ 의 확률을  $P_p(a_i)$ ,  $i=1, 2, \dots, l$  그리고  $P_p$ 의 총 속성수를  $N$ 으로 표시하면 이에 상응하는 Shannon의 엔트로피 함수는 (2-1)식이다[2].

$$h(O_1 \vee O_2 \vee \dots \vee O_q) = - \sum_{i=1}^l P_p(a_i) \log P_p(a_i) \quad (2-1)$$

속성공간  $P_p$ 의  $i$ 번째 열벡터  $a_i$ 는 다음과 같다.

$\mathbf{a}_i = [e_1, e_2, \dots, e_q]^T$  여기서  $e_k, k=1, 2, \dots, q$ , 의 값은 1 혹은 0이다.

$q$ 명 작업자로 구성되는 작업집단의  $C_{intra}$ 를 구하는 일반식은 (2-2)식이다.

$$C_{intra} = \sum_{i=1}^l P_p(\mathbf{a}_i) \log \frac{P_p(\mathbf{a}_i)}{\prod_{i=1}^q P_p(e_i)} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\text{여기서 } P_p(e_i) = \begin{cases} n_1(O_i)/N, & \text{if } e_i=1 \\ n_0(O_i)/N, & \text{if } e_i=0 \end{cases}$$

$$P_p(\mathbf{a}_i) = n(O_1 \vee O_2 \vee \dots \vee O_q)/N$$

이다.

Watanabe는 Shannon의 엔트로피 함수를 사용하여 (2-3)식과 같은 응집력 척도  $C_w$ 를 개발한 바 있다[2, 13].

$$C_w = [h(O_1) + h(O_2) + \dots + h(O_q) - h(O_1 \vee O_2 \vee \dots \vee O_q)] \dots\dots (2-3)$$

(2-3)식에 Shannon의 엔트로피 함수를 대입하면 既 발표한 응집력척도  $C$ [14]와 같음을 알 수 있고 이는 본 연구의 (2-2)식과 같은 결과를 도출한다.

2-2 두 속성공간의 군락화 기준

효과적 작업집단을 설계하기 위한 Tenda 등의 유형화(similar types)절차는 우선 속성공간  $P_p$ 에서 두 작업자/작업집단간의 유사성 정도를 집단평균법(the group average method)을 사용하여 후보군을 선정한 다음, 선정한 후보를 대상으로 하여 또 다른 속성공간  $P_e$ 에서 후보간의 유사성 정도를 ward method를 사용하여 단

일 후보를 선정하였다[6, 9, 10]. 그러나 오늘날 조직체계는 QWL(quality of working life), 직무만족 등에 대한 관심이 속성공간  $P_p$ 와 동등하게 인식되므로 [7] 이와같은 경우에 대비할 수 있는 군락화 기준을 개발할 필요성이 있다.

적확률실험  $P_p \otimes P_e$ 의 가능한 결과는 쌍(pair)  $(a_i, b_j)$ 가 되고 이의 확률을  $\varphi(a_i, b_j)$ 로 표시하면 이에 상응하는 엔트로피 함수는 다음과 같다[2].

$$h(O_1 \vee O_2 \vee \dots \vee O_q) = -\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \varphi(a_i, b_j) \log \varphi(a_i, b_j) \dots\dots\dots (2-4)$$

확률실험의 결과  $a_i$ 와  $b_j$ 의 확률을  $P_p(a_i)$ 와  $P_e(b_j)$ 라 하고 두 속성공간  $P_p$ 와  $P_e$ 에서의 가능한 결과의 수를  $l, m$  그리고 두 속성공간의 총 속성수를  $N, N'$ 라고 하면,  $P_p$ 의  $i$ 번째 열벡터와  $P_e$ 의  $j$ 번째 열벡터  $\mathbf{a}_i$ 와  $\mathbf{b}_j$ 는 다음과 같다.

$$\mathbf{a}_i = [e_1, e_2, \dots, e_q]^T, \mathbf{b}_j = [e'_1, e'_2, \dots, e'_q]^T$$

여기서  $e_k$ 와  $e'_k, k=1, 2, \dots, q$ 의 값은 1 혹은 0이다.

두 속성공간을 동시에 고려하는 경우  $q$ 명 작업자로 구성되는 작업집단의  $C_{intra}$ 를 구하는 일반식은 (2-5)식이다.

$$C_{intra} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \varphi(a_i, b_j) \log \frac{\varphi(a_i, b_j)}{\prod_{i=1}^q P_p(e_i) \prod_{j=1}^q P_e(e'_j)} \dots\dots (2-5)$$

여기서

$$P_p(e_i) = \begin{cases} n_1(O_i)/N, & \text{if } e_i=1 \\ n_0(O_i)/N, & \text{if } e_i=0 \end{cases}$$

$$P_p(e'_j) = \begin{cases} n_1(O_i)/N', & \text{if } e'_j=1 \\ n_0(O_i)/N', & \text{if } e'_j=0 \end{cases}$$

$$P_p(a_i) = n_{e_1, e_2, \dots, e_q} (O_1 \vee O_2 \vee \dots \vee O_q) / N$$

$$P_p(a_i) = n_{e'_1, e'_2, \dots, e'_q} (O_1 \vee O_2 \vee \dots \vee O_q) / N'$$

$$\varphi(a_i, b_j) = P_p(a_i) \otimes P_e(b_j) \text{ 이다.}$$

### 3. 군락화 기법

군락화를 위한 4가지 정리[14]를 근거하여 전체 작업자군을  $r$ 개 하위군으로 군락화한 다음, 계층별로 두 하위군만을 결합하는 계층별-조절 합군락화 기법(the combinatorial agglomerative hierarchical clustering algorithm)은 다음과 같다.

[1단계] 작업자-요인표로부터 작업자-속성표를 만든다.

[2단계] 전체 작업자군  $O_S$ 를  $r$ 개 하위군  $O_{S_i}$ 로 군락화한다.

[3단계] 하위군 각각의 엔트로피 함수와 하위군 전체의 엔트로피 함수 및  $C_{tot}$ 를 계산한다.

[4단계] 두 하위군  $\{O_{S_i}\}, \{O_{S_j}\}$ 만을 결합한  $rC_2$  가지의 모든 새로운 하위군  $\{O_{S_k} \vee O_{S_l}\}$ 의  $h\{O_{S_k} \vee O_{S_l}\}$ 와 이 경우의  $C_{inter}$ 를 계산하여 이 값이 가장 작은 군락화를 군 갯수가  $(r-1)$ 인 제약조건에서 후보하위군으로 선택한다. 이때 후보하위군수  $\alpha=1$ 이면, 이 후보하위군이  $(r-1)$ 인 제약조건에서

최적해가 되며  $\alpha \geq 2$ 이면,  $(r-\alpha)$ 단계까지 각 단계에서 임의의 후보하위군을 결합하더라도 각 단계에서 최적해가 되며  $(r-\alpha)$  단계 이후의 최적해는  $\alpha$ 만큼 존재한다.

[5단계] 군 갯수가  $[r-(\alpha+1)]$ 로 군락화하는 단계에서는 다음과 같은 절차에 의해 군 갯수가  $[r-(\alpha+1)]$ 인 제약조건에서 최적해가 되는 군락화를 선택한다.

1)  $(r-\alpha)$ 개 하위군을 두 하위군만을 결합하는  $(r-\alpha)C_2$ 가지의 모든 가능한 새로운 하위군의 엔트로피 함수값과 이 경우의  $C_{inter}$ 를 계산한다.

2)  $r$ 개 하위군 중에서  $(\alpha+2)$ 개 하위군만을 새로운 하위군으로 결합하는  $rC_{(\alpha+2)}$ 개의 모든 가능한 새로운 하위군의 엔트로피 함수와 이 경우의  $C_{inter}$ 를 계산한다.

3) 1), 2)중에서  $C_{inter}$ 가 가장 작은 군락화를 군 갯수가  $[r-(\alpha+1)]$ 인 제약조건에서 최적해로 선택한다.

[6단계]  $[r-(\alpha+1)]$ 개 하위군 중에서 두 하위군만을 결합한  $[r-(\alpha+1)]C_2$ 가지의 모든 가능한 새로운 하위군의 엔트로피 함수와 이 경우의  $C_{inter}$ 를 계산하여 이 값이 가장 작은 군락화를  $[r-(\alpha+1)]$ 인 제약조건에서 최적해로 선택한다.

[7단계] 더욱 군락수를 줄일 필요가 있다면 [6단계]으로 가서 절차를 반복하고 그렇지 않으면 중지한다.

### 4. 수치 예

군락화 결과를 고찰하기 위하여 본 연구에서 설정한 8명 작업자의 속성공간  $P_p$ 와  $p_e$ 는 Fig.1,

Fig.2와 같고 계층별-조절합군락화 기법에 의한 군락화 결과는 Fig.3과 같다.

$O_i \backslash f_p$	$f_{p1}$	$f_{p2}$	$f_{p3}$	$f_{p4}$	$f_{p5}$	$f_{p6}$	$f_{p7}$	$f_{p8}$	$f_{p9}$	$f_{p10}$
$O_1$	1	2	3	5	1	7	3	4	1	2
$O_2$	1	3	3	5	2	7	3	4	1	5
$O_3$	2	2	3	4	3	7	3	4	3	2
$O_4$	1	2	3	5	1	7	3	4	1	2
$O_5$	4	2	2	2	1	6	1	2	2	1
$O_6$	1	3	3	5	2	7	3	4	1	5
$O_7$	6	2	1	1	4	6	1	3	4	1
$O_8$	5	3	1	5	3	5	4	4	3	2

Fig. 1. 작업자- $P_p$ 요인표

$O_i \backslash f_e$	$f_{e1}$	$f_{e2}$	$f_{e3}$	$f_{e4}$	$f_{e5}$	$f_{e6}$	$f_{e7}$	$f_{e8}$	$f_{e9}$	$f_{e10}$
$O_1$	4	3	1	2	4	2	3	4	3	1
$O_2$	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$O_3$	3	2	1	2	3	3	3	3	2	1
$O_4$	3	3	3	2	4	3	4	3	3	3
$O_5$	4	3	1	2	4	2	3	4	3	1
$O_6$	1	2	4	3	2	2	1	2	4	3
$O_7$	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$O_8$	4	3	1	2	4	2	3	4	3	1

Fig. 2. 작업자- $P_e$ 요인표

하위군수	1	2	3	4	5	6	7	8
$C_{inter}$	0	0.642	1.472	2.301	3.153	4.077	5.126	6.172
$\Sigma C_{intra}$	6.172	5.530	4.700	3.871	3.019	2.095	1.046	0

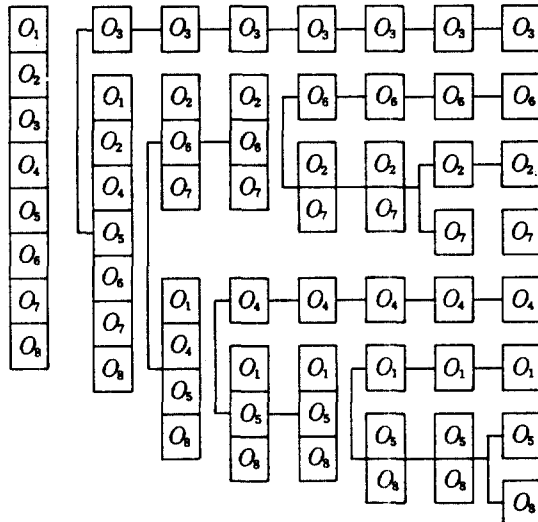


Fig. 3. 군락화 결과

table 1은 군갯수가 5인 제약조건화에서 하위군을 형성하는 작업자들이 지닌 속성의 유사성

과 비유사성이  $C_{intra}$  크기에 얼마만큼 기여하고 있는가를 나타낸 표이다.

Table 1. 하위군의  $C_{intra}$  구성

하위군	$\{O_2 \vee O_3\}$						합계
성분	$a_1$	$b_1$	$a_2$	$b_2$	$a_3$	$b_3$	
$\{O_2\}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	1.049
$\{O_3\}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	
응집력	.279		.197		.203		.217
							.092
							.061

하위군	$\{O_1 \vee O_2 \vee O_3\}$						합계
성분	$a_1$	$b_1$	$a_2$	$b_2$	$a_3$	$b_3$	
$\{O_1\}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	.235
$\{O_2\}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	
$\{O_3\}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	
응집력	.022		.006		.133		.089
							.359

성분	$a_1$	$b_1$	$a_2$	$b_2$	$a_3$	$b_3$	합계
$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$		
.301	.232		.102		.096		.214
							.183
							1.972

### 5. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 도출할 수 있다.

1) 내부확률구조를 지닌 엔트로피 응집력척도를 군락화 기준으로 하는 군락화 방식은 엔트로피 함수가 음 Liapunov 함수이므로 [5] 최적해 도출을 보장할 수 있고, 또한 전체작업자군의 다원적 관계의 유사성과 비유사성도 고려하여 군락화하기 때문에 효과적 작업집단을 설계하는데 적합하다.

2) 전체작업자군을 대상으로 군락화하는 것

보다 전체작업자군을 속성값이 동일한 작업자끼리 일단 군락화한 다음 계층별-조절합군락화 기법에 의해 군락화 결과를 도출하는 것이 보다 경제적이다.

그러나 이 기법의 5단계)의 두번째 절차는 군락화의 전 과정을 통해 임의의 어떤 단계에서 복수 하위군이 결합하는 경우를 대비한 것인데 군락화의 전 과정을 통하여 두번 이상 임의 단계에서 복수 하위군이 결합하는 경우가 발생하지 않을 것으로 생각하나 이와같은 경우가 발생할 때에는 이에 대비하지 못하고 있다.

參 考 文 獻

1. Dejong, J.R. (1978), "*The method in work design ; Some recommendations based on experience obtained in job redesign*", Int. J. Prod. Res., Vol.16, No.1, p. 46.
2. Guiasu, S. (1977), "*Information Theory with Applications*", McGraw-Hill, Inc., USA, pp.341-359.
3. Johnson, R. A. and Wichern, D. W. (1982), "*Applied Multivariate Statistical Analysis*", Prentice-Hall, Inc., USA, p.541.
4. Kendall, M. (1980), "*Multivariate Analysis*", Charles Griffin House, London, p. 32.
5. Luenberger, D. G. (1979), "*Introduction to Dynamic System*", John Wiley & Sons, Inc., pp.364~370.
6. Nagai, Y., Tenda, S. and Shingu, T. (1980), "*Determination of similar task types by the use of the multidimensional classification method*", Int. J. Prod. res., Vol. 18, No. 3, pp.307-322.
7. Robbins, P. (1984), "*Essentials of organizational Behavior*", Prentice-Hall, Inc., USA, p.20.
8. Späth, H. (1980), "*Cluster Analysis Algorithms for data reduction and classification of objects*", Ellis Horwood Ltd., England, p.15.
9. Tenda, S., Nagai, Y. and Shingu, T. (1983), "*Optimizing the interaction of technical, social and organigational factors in work groups*", Int. J. Prod. Res., Vol.21, No. 2, pp.231~245.
10. Tenda, S., Nagai, Y. and Shingu, T. (1985), "*A multidimensional classification method for finding the design rules of work proups*", Int. J. Prod. Res., Vol.23, No.1, pp.209~221.
11. Warnecke, H.J. and Kolle, J.H. (1979), "*Production control for new work structures*", Int. J. Prod. Res., Vol.17, No.6, p.632.
12. Watanabe, S. (1969), "*Knowing and Guessing : A Quantitative study of Inference and Information*", John Wiley & Sons, Inc., USA, p.387.
13. Watanabe, S. (1985), "*Pattern Recognition : Human and Mechanical*, John Willey & Sons", Inc., USA, pp. 143~169.
14. 정현태, 최인수(1989), 엔트로피 응집력 척도를 활용한 군락화기법의 개발에 관한 연구, 한국경영과학회지, 제14권, 제1호, pp.36~50.