다 속성분석방법을 이용한 제조물류시스템의 성능산정모델

A Material Handling Performance Evaluation Model for Cellular Manufacturing System of Based on Multi-Attributes Analysis Method

황 흥 석,
Hwang Heung-Suk
동의대학교 기계산업시스템공학부
614-714, 부산시 부산진구 가야동 산24
전화 : 051-890-1657, E-Mail : hshwang@hyomin.dongeui.ac.kr

Abstract

This paper is concerned with development of a performance evaluation model for material handling system in cellular manufacturing system based on multi-attributes analysis method. We used the AHP(analytic hierarchy process) and fuzzy set ranking methodologies to overcome the special decision problems; those of multi-objective, multi-criterion, and multi-attributes. We proposed a 3-step approaches and we developed a systemic and practical computer program to solve the problems in the proposed methods. Computational experiments are then performed to cellular manufacturing system and show the effectiveness of the proposed model.

Keyword : Evaluation of Material Handling System, Multi-Attribute Analysis

1. 개 요

최근에 셀형제조시스템(Cellular Manufacturing System)의 성능평가에 관한 연구들이 많이 되어오고 있으며 이러한 제조물류시스템의 성능평가모델은 다음 내용들을 상세한 내용의 부족, 분석기간의 시기지연 및 Feed-back 부족과 부적절한 가정사항 등의 이유로 널리 활용되지 못하고 있다. 다음과 같이 7가지의 상호 연관된 기능들을 제조물류시스템의 성능평가 요인으로 제시하고 있다[8].

- 효율성(Effectiveness), · 능률성(Efficiency)
- 품질(Quality), · 생산성(Productivity)
- 혁신(Innovation), · 수익성(profitability)
- 작업 생활의 품질(Quality of work life)

최근의 다-속성분석방법(Multi-attributes Analysis Method)을 이용한 제조물류시스템의 성능평가는 다음과 같은 분야에서 연구되고있다.[7]

- 개선된 품질, · 재고의 감소,
- 유연성의 증대, · 생산라인에 따른 조직,
- 자동화 촉진, · 효과적인 정보활용 증대

등을 들 수 있다. 본 연구에서는 셀형 제조물류시스템의 성능평가모델의 개발로서 이론적인 기반 위에서 모델링하고 실 예를 통하여 이를 확인하려고 한다. 현재까지의 셀형제조시스템의 성능평가는 아래와 같은 3가지 이유로 실제 생산라인의 각종 의사결정에 적절히 활용되지 못하고 있다고 본다: 1) 많은 모델들이 이론적인 기반이 결여되어 있으며, 2) 주관적인 관점에서 많은 변수(요인)들이 포괄되어 있으나 실제 생산라인의 운용의 의사결정에 큰 도움이 되지 못하고 있다. 본 연구에서 제시하는 다-특성분석방법은 이론적인 근거를 둔 실용적인 방법이라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 이러한 셀형제조시스템의 성능평가를 위한 다-특성분석방법을 사용하였으며 이를 위하여 우선 제조물류시스템의 성능의 특성을 정의하고 셀형제조시스템의 성능평가 및 다-특성 분석방법에 관한 기초의 문헌조사연구를 하였으며 적절한 성능평가방법으로 활용할 수 있는 성능평가모델을 제안하였다. 이를 위한 관련 전산 프로그램을 개발하고 실 예제를 들어 보였다.

2. 셀형제조시스템(Cellular Manufacturing System)의 성능 평가문제

일반적으로 셀형제조시스템은 여러 가지 가공장비로 연결된 공정 자체의 다양한 속성들에 따라 그 성능평가를 기반으로 한 각종 의사결정이 매우 중요시 되고 있다. 셀형제조시스템은 자동화 정도 생산의 유연성 및 구성 장비와 치공구 등의 다양한 특성에 따라 매우 다양한 측면을 가지고 있다[13] [8]. 이러한 셀형제조시스템은 최근의 생산장비의 자동화와 효율화 등의 추세에 따라 그 성능 평가를 기반으로 한 각종 의사결정 문제들이 매우 중요시되고 있다. 표 1은 전형적인 셀형제조시스템 성능과 관련된 의사결정 내용을 요약한 것이다[11]. 본 연구에서 고

표 1. 시스템 성능 관련 의사결정 및 해당 성능 측정방법

기존의 의사결정	개선된 의사결정
· 장비의 수량 및 type	· 자원 활용도
· load/unload작업장의 수	· 생산률(production rate)
· 제품 type	· WIP
· 제품 흐름 경로	· 제품의 흐름시간
· 총 할당	· 각 자원의 대기 수량
· 파렛의 종류 및 수량	· 시스템 융통성
· 운송 장비 수	· 운송 주기 시간
· 완충저장 크기	· 현금 흐름
· 계획 및 순서 정책	· 제품 생산비용

려한 셀형제조시스템의 실 예로 그림 1과 같이 3가지 엔진 오일 Pan을 생산하는 Cell을 예로 들었으며, 여기서 생산되는 Pan은 120개의 Lot Size로 생산되며, 두 명의 작업자가 운영한다. 주요 구성 장비로는 3 대의 CNC Machine : Milling Machine, Boring Machine, Multi-spindle 및 Drill 기능을 가진 CNC로 구성되어 있다.

3. 다-속성의사결정분석방법(Multi-attribute Analysis Method)에 의한 성능평가모델

본 연구에서 활용한 다-특성분석방법으로 다음 3가지를 들 수 있다.

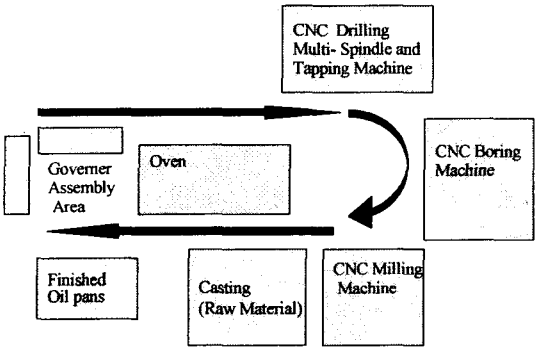

그림 1. 응용사례를 위한 Pan 생산시스템의 Cell의 Layout

1) 가중치를 고려한 방법으로 다-특성 분석의 결과를 적절히 종합할 수 있는 종합논리모형 (Aggregate Logistic Model)
2) Saaty의 계층적 분석방법, AHP
3) Fuzzy Set 가중치 방법

이외에도 많은 방법들이 있으나 본 연구에서는 다음 그림 2와 같이 3-단계의 접근방법을 사용하였다.

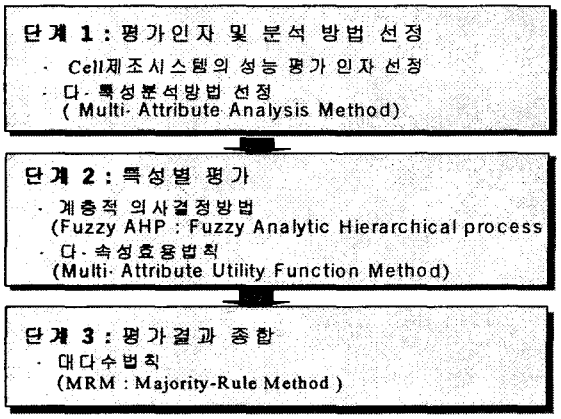

그림 2. 셀형제조시스템의 성능평가를 위한 3-단계 접근방법

3.1 평가인자 및 분석 방법 선정

본 연구에서 고려한 셀형제조시스템의 평가인자는 다음과 같이 5개 분야의 총 26개의 소 항목으로 구성되는 인자들을 선정하였다. 이는 예제 셀형제조시스템의 성능 평가를 고려한 안이며 평가기관의 성향에 따라 여러 가지로 구성할 수 있으나 과거 분석결과와 제조공정의 특성에 따라 달리 선정하여 사용할 수 있다. 본 연구에서는 표 2와 같이 5가지 평가인자를 선정하여 사용하였다. 위의 각 평가인자 및 세 항목의 주어진 셀형제조시스템의 성능에의 가중치를 각 세 항의 해당 평가인자에 대한 가중치와 평가인자의 전체 셀의 성능에 대한 가중치를 AHP 방법 및 Fuzzy Set 우선순위 방법으로 산출하여 사용하여 가중치를 구하였다. 일반적으로 다 속성분석방법을 사용할 경우 분석 목표는 전체의 목표를 달성할 수 있도록 그림 3과 같이 다 단계의사결정체계를 구성하여야 한다.

표 2. 셀형제조시스템의 성능 평가 인자(안)

평가 인자	평가 인자의 세 항목
- 셀의 정비	· 수정정비성(CM) · 장비의 고장시간(Down Time) · 예방정비성(PM)
- 유연성(Flexibility)	· 생산기간(Production Lead Time) · 생산단위(Production lot Size)
- 수익성(Profitability)	· 소비자효용(Customer returns) · 직접인건비(Direct Labor Cost) · 간접인건비(Indirect labor Cost) · 완제품의 재고(Finished Good Inv.) · 장비고장시간(Down Time) · 간접비(Overhead Cost) · 부가가치성(Value Added Time)
- 가공성(Producability)	· 부족효과(Absentism) · 생산순기(Cycle Time) · 장비고장(Down Time) · 폐자료(Scrap) · 적응성(Straight Acceptance) · 생산능력(Throughput) · 부가가치성(Value Added Time)
- 품질(Quality)	· 소비자혜택(Customer return) · 제 작업(Rework) · 폐자료(Scrap) · 적응성(Straight Acceptance) · 품질보증비용(Warranty Cost)

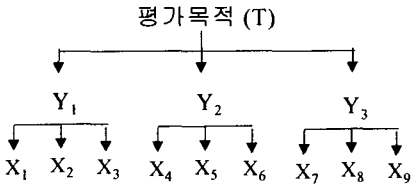

그림 3. 다-단계 평가목표구성 예:

1) 계층적 의사결정방법(AHP)

가) 계층적 구조설계

셀형제조시스템의 성능 평가를 위한 분석을 위하여 다-단계 다-속성 분석방법인 AHP방법[12]을 적용하였으며, 이를 위하여 다음과 같이 Zahedi[14]에 의한 4가지 단계에 따른 기본 방법을 제시하였다:

- 의사결정 요소들의 계층적 분석 구조 선정,
- 의사결정 요소들의 쌍비교 Matrix 작성,
- 계층간 의사결정 요소들의 상대적 가중치를 추정하여 의사결정대안의 우선 순위를 결정,
- 일관성 검증 등이다.

계층구조의 최하위에는 평가인자들로서 구성된다. 이를 도식화하면 그림 4와 같다.

나) 고유값 우선 순위(Eigenvalues)

이렇게 각 계층적 구조를 설정하고 나면 다음 단계로 쌍비교에 의한 쌍비교 행렬을 작성한다. 여기서 쌍비교 Matrix는 다음과 같이 주어진다.

$$A = (a_{ij}), \quad i = 1, 2, \cdots, n$$

여기서 a_{ij}는 대안 i가 대안 j에 미치는 상대적인 우월성이며, $a_{ij} = k$ 이면 $a_{ji} = 1/k$ 가 되도록 하고, 대안 i와 j가 동일한 우월성일 경우 $a_{ij} = 1$ 및 $a_{ji} = 1$ 이 되도록 한다. 여기서 a_{ij}의 값을 각 쌍비교값 w_i/w_j의 추정 치로 사용하며 다음 그림에서와 같이

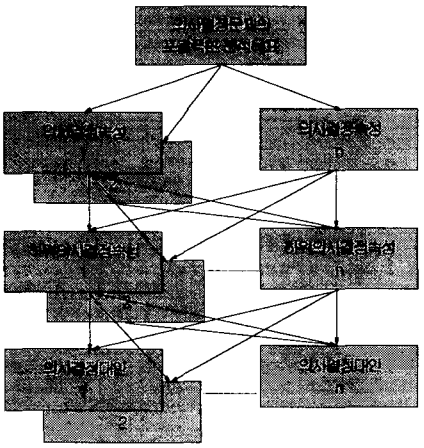

그림 4. 계층화의사결정법의 계층적 구조

n개의 분석목표들에 대안 일반적인 Matrix를 표시하였다.

$$A = \begin{vmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \cdots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \cdots & W_2/W_n \\ \vdots & & & \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \cdots & W_n/W_n \end{vmatrix}$$

여기서, $w = (w_1, w_2, \cdots, w_n)$ 라 두면,

$a_{ij} = w_i/w_j \qquad i, j = 1, 2, \cdots, n$

$a_{ij} \cdot a_{jk} = (w_i/w_j)(w_j/w_k) = w_i/w_k = a_{ik}$

또한, $a_{ji} = w_j/w_i = 1/(w_i/w_j) = 1/a_{ij}$

만일 Matrix A에 w를 곱하면, AW = nW 이 된다. 여기서 W는 다음과 같은 특성식 (A - nI)W = 0으로부터 구할 수 있다.

$$\begin{vmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \cdots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \cdots & W_2/W_n \\ \vdots & & & \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \cdots & W_n/W_n \end{vmatrix} \begin{vmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{vmatrix} = n \begin{vmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{vmatrix}$$

즉

n은 Matrix A의 고유값(Eigenvalues)이 되고 W는 A의 고유벡터(Eigenvector)가 된다.

2) 훠지집합 우선 순위 모델

셀형제조시스템의 성능 평가와 같이 의사결정이 복잡할수록 전문가의 의견이 중요 시 된다. 여러 평가위원들의 의견을 종합하여 하나의 우선 순위 결정을 위한 평가과정의 애매한 상황하에서의 의사결정 방법으로 최근에 Fuzzy Set 이론을 활용할 수 있다. Fuzzy 우선 순위 관계(Fuzzy Rank Relation)의 기본개념은 x_{ij}와 x_{ji} 와 같이 상호보완(Complement) Cells를 위한 다른 추가적인 Fuzzy Set, 즉 $X_{ij} = 1 - X_{ji}$ 이 필요하며 Fuzzy Set Matrix R을 구하고, 다음과 같이 R의 전치형인 R^T와의 차이를 구하여 사용하였다.

$R\text{-}R^T = U(x, y) - U(y, x), \quad \text{if } U(x, y) > U(y,x)$

$= 0, \quad \text{otherwise}$

여기서, U(x, y):평가인자 x가 y보다 우세함을 뜻한다. 훠지집합(Fuzzy Set)이론을 이용하여 우선 순위 결정하는 절차를 요약하면 다음과 같다:

단계 1 : 각 평가위원 선호순서로부터 합계빈도행렬(Summed Frequency Matrix)을 만든다.

단계 2 : 합계빈도행렬의 각 원소를 총 평가위원수로 나누어 훠지집합 행렬 R을 만든다.

단계 3 : R - R^t을 계산한다.

$R\text{-}R^T = U(x, y)\text{-}U(y, x), \quad \text{if } U(x, y) > U(y,x)$

$= 0, \quad \text{otherwise}$

단계 4 : 지배되지 않는 각 대안의 비율을 아래와 같이 계산한다.

$X_{ColA}^{ND} = 1\text{-Max}(X_{1 \cdot ColA}, X_{2 \cdot ColA}, \ldots, X_{n \cdot ColA})$

즉 (R- R^t) Matrix에서 대안 a에 대한 지배되지 않는 값은 Col A에 서의 큰 값을 1에서 뺀 값과 같다.

단계 5 : X^{ND}를 내림차순으로 정렬하면 이것이 훠지집합순위결정 절차의 순위가 된다.

3) Computer Program

지금까지의 대다수법칙방법, Fuzzy 우선 순위 및 평가의 일관성 Test등 관련방법을 이용하여 다음 그림 5와 같이 하나의 종합 우선 순위 결정을 위한 Computer Model로 표시하였다. Model의 입출력 자료, 및 각종계산 과정의 이론적인 기반 하에서 사용자가 쉽게 사용할 수 있는 Computer Program을 PC레벨에서 사용 가능하도록 개발하였다.

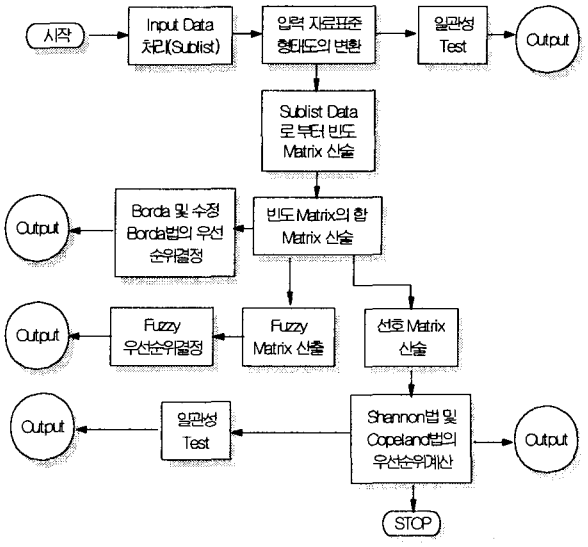

그림 5. 우선 순위 종합 Model의 흐름도

본 Model은 융통성을 고려하여, 특정평가 인자의 가중치, 또는 전체 종합가중치, Fuzzy 우선 순위 선호도의 평점계수, 및 기타 종합 우선 순위 방법론에 관련된 내용들이 포함되도록 하였다. 또한 Module Base Program을 구성하였다.

4. 셀형제조시스템의 성능평가모델의 응용예:

계층화 의사결정법(AHP)을 응용한 셀형제조시스템의 성능분석 문제에 응용한 사례를 위하여 다음과 같은 예제를 보였다. 셀형제조시스템의 성능분석의 목적(특성)을 각 계층에 따라 분류하여 각 상위계층에서부터 하위계층에 대한 각 평가요인에 따라 쌍비교 Matrix를 구하고 이로부터 우선도를 나타내는 값(Eigenvector)을 구하여 축차적으로 가중치를 고려하였으며, 맨 하위의 구조는 분석 대안 단위로 본 예에서는 표 2에서와 같이 5개의 평가인자를 고려하였으며 여기서 본 Model을 이용하여 각 인자의 셀의 성능에 대한 가중치를 결정한 결과를 AHP 및

퍼지셀 우선순위 방법의 결과를 비교하여 보였다. 본 Sample 문제의 AHP 구조를 그림 6에서와 같이 각 계층 Level별 평가 구조도를 설정하고 각 하위계층에 대한 평가(쌍비교)를 위하여 관련 전문평가위원을 편성하였다. Level II 및 Level III에서는 평가를 위하여 각 분야의 전문요원으로 구성하였다. 본 분석을 위하여 개발한 전산Program을 응용한 결과를 요약하면 표 3 및 그림 7과 같다. 그림 7에서 보면 생산능력(B1)의 비중이 0.51로 매우 크며 그 다음이 생산비용(B3)로 0.28이다.

Fuzzy 가중치 : B1 B2 B3
0.455 0.363 0.182

Fuzzy 가중치 : F1, F2, F3, F4, F5
0.224 0.167 0.167 0.205 0.231

여기서 AHP 방법에 의한 각 평가인자의 세 항목별 가중치를 산출한 결과를 표 6과 같이 요약하였다.

표 5. Fuzzy 우선순위 및 Fuzzy우선 순위의 비교

우선 순위	1	2	3	4	5
Fuzzy가중치	F1 0.224	F2 0.167	F3 0.167	F5 0.205	F4 0.231
AHP가중치	F2 0.182	F1 0.170	F3 0.216	F4 0.205	F5 0.227

표 6. 평가인자의 세 항목별 가중치 산출결과

평가 인자의 세항목	산출 가중치
- 셀의 정비	0.182
· 수정정비성(CM)	0.265
· 장비의고장시간(Down Time)	0.327
· 예방정비성(PM)	0.408
- 유연성(Flexibility)	0.170
· 생산기간(Production Lead Time)	0.667
· 생산단위(Production lot Size)	0.333
- 수익성(Profitability)	0.216
· 소비자효용(Customer returns)	0.168
· 직접인건비(Direct Labor Cost)	0.136
· 간접인건비(Indirect labor Cost)	0.128
· 완제품의재고(Finished Good Inv.)	0.128
· 장비고장시간(Down Time)	0.172
· 간접비(Overhead Cost)	0.134
· 부가가치성(Value Added Time)	0.134
- 가공성(Producability)	0.206
· 부족효과(Absentism)	0.120
· 생산순기(Cycle Time)	0.173
· 장비고장(Down Time)	0.192
· 폐자료(Scrap)	0.110
· 직응성(Straight Acceptance)	0.125
· 생산능력(Throughput)	0.160
· 부가가치성(Value Added Time)	0.120
- 품질(Quality)	0.227
· 소비자혜택(Customer return)	0.209
· 재작업(Rework)	0.215
· 폐자료(Scrap)	0.206
· 직응성(Straight Acceptance)	0.250
· 품질보증비용(Warranty Cost)	0.120

5. 결 론

셀형제조시스템의 성능분석을 위하여 다-속성 분석 방법을 사용한 3-단계의 접근방법을 사용하였으며 먼저 5 개 분야의 주요 평가 주요 평가인자를 사용하였으며 각각의 세부평가 인자의 세 항을 총 26개를 설정하고 가 평가 인자별 셀형제조시스템의 성능에 기여하는 정도를 나타내는 가중치를 산정하는 통합논리형 모델을 개발하였다. 예제 셀형제조시스템에 적용한 결과를 AHP방법 및 Fuzzy Set방법에 의한 가중치를 산출하고 비교하였다. 이들을 종합하여 하나의 종합우선순위 결정모델로서 활용할 수 있는 전산프로그램을 개발하고 PC레벨에서 가용하도록 하였다. 본 연구는 보완 개발될 경우 기존의 셀형제조시스템의 성능분석 모델들을 활용한 종합성능평가모델로서 복합계층 및 복합전문분야별로 평가된 결과를 종합하여 총 시스템 성능을 평가하는 방법으로 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Black, J.T., "The Design of Manufacturing Cells(Step One to Integrated Manufacturing)," Proceedings of manufacturing International'88, The American Society of Mechanical Engineers, Vol. 3, Atlanta, GA, pp.143-157, 1988.

[2] Cew, W.B.," No-Nonsense Gide to Measuring Productivity", harvard Business Review, Jan-Feb, pp.110-118, 1988.

[4] Dritina, R.E., "The Outsorcing Decision", Management Accounting, march, pp56-62, 1994.

[5] Eilram, L. M., " Supply Chain Management : The Industrial organization Perceptive." International Journal of Physical Distribution & Logistics Management Vol.21 No.1, pp. 13-22, 1991.

[6] Gerald, R. B., Analysis and Development of a Project Evaluation Process, January, 1985.

[7] Howell, R.A., "The New Manufacturing Environment : Major Trends for Management Accounting", Management Accounting, pp.21-27, Jully, 1987.

[8] Kamarani, A.K., *Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems*, Elsevier, 1995

[9] Murphy C. K., " Limits on the Analytic Hierarchy Process from Its Consistency Index", European Jnl. of Operation Research, Vol. 65, pp.138-139, 1995.

[10] Leong, G. K., Snyder, D. L., "Research in the Process and Content of Manufacturing Strategy", OMEGA International Journal of Management Science, Vol. 18, No.2, pp.109-122, 1990.[11] Leung Y.T. and R. Suri, "Performance Evaluation of Discrete Manufacturing Systems," IEEE Control Systems magazine, Vol. 10, No. 4, pp.77-86, 1990.

[12] Pannesi, R.T., "Promoting Manufacturing Strategy Implementation Through the Right Measurements", American Production & Inventory Contol Society 32nd Int. Conf. Proceedings, pp.263-266, 1989.

[13] Saaty, T. L., *The Analytic Hierarchy process*, McGraw-Hill, 1980.

[14] Zahedi, F., "The Analytic Hierarchy Process - A Survey of the Method and it's Applications." Interfaces, Vol. 16, No. 4, pp.96-104, 1986.