Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol.24, NO.1, March, 1998

홀론간의 협상 중재를 위한 평가함수 모델링

Modeling of Evaluation Function for The Mediation of Negotiation Between Holons

김 정*

Jeong Kim

Abstract

Holonic manufacturing systems have been recently presented to meet the various needs of customer rapidly. Holonic manufacturing systems consist of several holons which may perform decision making for the achievement of their objectives. Holonic manufacturing systems are characterized by cooperation and negotiation among holons. The problem of conflict can be occurred during communication between holons. Then the negotiation is required for the holons. This paper deals with a mathematical model for the mediation of negotiation between holons in the holonic manufacturing systems. In this paper an evaluation function for mediation is modeled using the utility function.

1. Introduction

홀로닉 생산시스템은 효율적인 운영을 위하여 시스템의 각 요소들이 자율적으로 자신의 일들을 수행하면서 시스템 공동의 목표 성취를 위해 서로 협력 및 협상하는 것을 주요 특징으로 하고 있다. 각 홀론들은 자신의 최적화를 추구하게 되므로 홀론들 간에 갈등이 일어날 수 있다. 한 홀론이 최적화를 이루기 위해 다른 홀론의 최적화를 희생할 수 있는 문제가 발생할 수 있기 때문에 시스템 전체의 최적화를 위하여 각 홀론들의 최적 해를 만족시키지 못하는 문제가 발생할 수 있다[1,6].

홀로닉 생산시스템에 대한 연구가 아직까지는 활발하게 진행되지 못하여 홀론 간의 협상을 위한 방법들이 많이 연구되지는 않았다[2,3,4,5]. 임 등[7]은 시스템을 구성하는 한 자원으로써 AGV를 운영하는 문제를 다루고 있다. AGV의 운영에 있어서 우선도는 운반 작업 중인 AGV, 작업의 요구에 의해 작업장에 이동 중인 AGV, 그리고 작업을 끝내고 복귀하는 AGV의 순으로 정하였다. 그리고 임기 응변식 판단 처리는 경로의 최적성을 생각하지 않고 충돌 회피를 방지하기 위한 동작을 우선한다. 특히 돌발적인 상황하에서는 어떠한 형태이든 회피 동작을 행하고 회피 동작이 끝나면 새로운 이동 경로를 재 측구한다. 임 등[7]이 제안한 알고리즘은 다수의 AGV를 가지고 작업을 수행할 경우 AGV간의 협조를 위한 해당 시스템에 맞는 우선순위 룰을 만든 것이다. 따라서 임 등이 제안한 알고리즘을 고려된 시스템 이외의 경우에 그대로 적용하는 데에는 무리가 따를 수 있다.

김과 황[8,9]은 작업장에 AGV를 할당하는 문제를 다

* 안산공업전문대학 공업경영과 전임강사

루었다. 작업장 운영에서 작업대 객체가 AGV를 선택, 그리고 AGV 객체가 작업대를 선택하는 일련의 과정들이 입찰(bidding)의 양상을 띠고 있다는 점에 착안하여 "입찰 함수(bidding function)"라는 것을 개발하였고 이를 이용한 AGV급송을 위한 규칙을 제시하였다. 그들이 개발한 식은 최적 해는 보장해 주지는 않아도 AGV 급송을 위한 대안 선정에 유용한 것으로 평가된다. 그런데 입고대와 출고대에 대하여 고려한 비용이 동일한 단위, 즉 운반물이나 작업물 모두에 대한 비용 단위가 동일한 개수로 나타낼 수 있기 때문에 척도를 조정할 필요가 없었다. 그러나 두 비용의 단위가 다른 경우에나 한 비용이 주어져 있지 않은 경우에는 입찰 함수에 많은 수정이 요구될 수도 있다.

앞에서 제시한 협상 방법들은 홀로닉 생산시스템의 운영을 위하여 개발된 것이 아니고 자율 분산 시스템의 운영을 위하여 개발되었는데 동일 환경하에서는 홀로닉 생산시스템을 구성하는 홀론 간의 협상을 위하여 도움이 될 수 있다. 한편 홀로닉 생산 시스템의 운영에 있어서 Agre 등[4]은 대안 선정을 위한 협상 알고리즘을 개발하여 제시하였다. Agre 등[4]이 제시한 방법은 철강재(Steel rod)를 생산하는 수냉식 시스템에서 철을 냉각시키기 위하여 물의 양을 다양하게 조절할 때 가장 큰 비용 절감을 가져다 주는 조건을 찾아 주는 것으로써 한 비용 요소가 변하지 않고 일정할 때 다른 요소의 비용이 최소가 되는 대안을 선정하는 데 유용하다. 그러나 한 쪽이 유리하게 대안을 선정할 때 다른 쪽의 비용 요소가 일정하지 않고 변하게 되는 경우에는 Agre 등이 제안한 방법이 용이하지 않다. 본 연구에서는 단일 효용 함수[10]를 이용하여 상호 의존적 관계에 있는 두 비용 요소로 구성된 대안 선정을 위하여 각 홀론들이 제안하는 대안들의 평가를 위한 수리 모델을 제안한다.

2. 평가 함수의 전개

단일 속성의 효용 함수를 이용하여 평가 함수를 모델링하기 위하여 먼저 단일 속성들로 구성된 다속성 효용 함수(Multi-Attribute Utility Function)를 고찰하고 대안 선정을 위한 평가 함수를 전개한다. 그리고 속성들의 효용을 구하기 위한 방법으로 효용 함수를 이용하는 절차를 설명한다.

2.1 다속성 효용 함수

다수의 속성(Multiple attributes)을 갖는 다수의 대안들 중에서 한 대안의 선정을 위해 효용 함수(utility function)를 생각한다. 단일 속성을 갖는 다수의 효용 함수들이 존재할 때, 이들을 대표하는 다속성 효용 함수는 그들이 갖는 속성간의 관계에 따라 가법적 효용 함수(additive utility function)와 승법적 효용 함수(multiplicative utility function)로써 구분하여 설명될 수 있다.

가법적 효용 함수는 속성들이 상호 선호 독립(mutual preferential independence)일 때 속성들의 총효용을 나타낼 수 있다. 속성 x의 특정 값에 대한 선호가 속성 y에 의존하지 않을 때 선호 독립(preferential independence)이라고 하는데 이와 동시에 속성 y가 x에 선호 독립이 되면 속성x와 y사이에는 상호 선호 독립의 성질이 있다고 한다. 상호 선호 독립의 성질이 있는 속성 x, y의 단일 속성 효용 함수가 각각 $U_x(x)$, $U_y(y)$일 때 속성 x, y의 총 효용을 나타내는 다속성 효용 함수의 일반형은 식(2.1)과 같다[10,11].

$$U(x,y) = w_x U_x(x) + w_y U_y(y) \tag{2.1}$$

여기서

$U(x^0,\ y^0) = 0,\ U_x(x^0) = 0,\ U_y(y^0) = 0$

$U(x^*,\ y^*) = 1,\ U_x(x^*) = 1,\ U_y(y^*) = 1$

x^0, y^0는 가장 좋아하지 않는 값을 의미하고, x^*, y^*는 가장 선호하는 값을 의미한다. 그리고 w_x, w_y는 각 단일 속성 효용 함수의 척도 구성 계수(scaling constant)를 의미한다. 효용 함수에 포함되어 있는 척도 구성 계수는 속성간의 상대적 중요성을 의미하지 않고 다만 x^0에서 x^*로 변하는 것보다 y^0에서 y^*로 변하는 것이 더 좋으면 $w_x < w_y$의 값을 갖게 된다는 것을 의미한다. 그런데 상호 선호 독립의 성질이 없고 상호 의존적인 성질이 있을 때 가법적 효용 함수는 속성들의 총 효용을 나타내는데 적합하지 않은 것으로 알려져 있다[9].

속성간에 의존적 관계가 있을 때 속성들의 총 효용을 구할 수 있는 승법적 다속성 효용함수의 일반형을 Keeney

와 Raiffa[11]가 제시하였는데 이를 식(2.2)에 나타낸다.

$$\begin{aligned} U(x_1, x_2, \cdots, x_n) = & \sum_{i=1}^{n} k_i U_i(x_i) \\ & + k \sum_{\substack{i=1 \\ j>i}}^{n} k_i k_j U_i(x_i) U_j(x_j) \\ & + k^2 \sum_{\substack{i=1 \\ j>i \\ l>j}}^{n} k_i k_j k_l U_i(x_i) U_j(x_j) U_l(x_l) \\ & \cdots \\ & + k^{n-1} K_1 k_2 \cdots K_n U_1(x_1) U_2(x_2) \cdots U_n(x_n) \end{aligned} \qquad (2.2)$$

여기서

(1) $U(x_1^0, x_2^0, \cdots, x_n^0) = 0, U(x_1^*, X_2^*, \cdots, x_n^*) = 1$

(2) $U_i(x_i^0) = 0, U_i(x_i^*) = 1,\ i = 1, 2, \cdots, n$

(3) $k_i = U(x_i^*, \bar{x}_i^0)$, $\bar{x}_i$는 X_i의 여집합 $\bar{x}$ 값.

(4) k는 다음 식의 해이다: $1 + k = \prod_{i=1}^{n}(1 + kk_i)$

그리고 식(2.2)에서 효용 함수들은 0과 1사이의 값으로 정규화된 함수이며 이 식을 이용하여 속성이 2개인 경우의 효용 함수는 식(2.3)과 같이 정리될 수 있다.

$$U(x,y) = k_x U_x(x) + k_Y U_Y(y) + kk_x k_y U_x(x) U_Y(y) \qquad (2.3)$$

여기서

(1) $U(x^0, y^0) = 0,\ U(x^*, y^*) = 1$

(2) $U_x(x^0) = 0,\ U_x(x^*) = 1,\ U_Y(y^0) = 0,\ U_Y(y^*) = 1$

(3) $K_x = U(x^*, y^0),\ k_Y = U(x^0, y^*)$

(4) $k + 1 = 1 + kk_x + kk_Y + k^2 k_x k_Y$

승법적 효용 함수에서 $k = 0$이면 가법적 효용 함수가 되는데 속성이 2개인 경우의 식(2.3)에서 k_x와 k_y의 합이 1.0일 때 승법적 효용 함수에 의한 속성들의 총 효용과 가법적 효용 함수에 의한 총 효용은 같게 된다.

본 절에서 살펴 본 바와 같이 다속성 효용 함수를 이용하여 단일 속성들로 구성된 대안들의 총 효용을 표현하는 것이 가능하다. 따라서 대안 선정의 기준이 총 효용을 극대화하는 경우에는 다속성 효용 함수를 이용할 수 있다. 그러나 임의의 대안을 선정함으로써 한 속성이 이득을 보고 동시에 다른 속성이 손실을 입었을 때 이득을 본 입장에서 손실을 본 입장에 전적으로 보상이 불가능한 경우에는 다속성 효용 함수를 대안 선정에 이용하는 것은 바람직하지 않을 수 있다. 다속성 효용 함수를 이용하여 대안을 선정하게 되면 가법적 효용함수를 적용하든지 혹은 승법적 효용함수를 적용하든지, 전체 효용을 최대화하는 대안을 선정 할 수는 있어도 속성들의 입장을 공정하게 반영하여 대안을 선정할 수는 없기 때문이다. 따라서 두 속성의 입장을 고려하면서 총 효용을 가능한 한 최대화하는 평가 함수의 모델링이 요구된다.

2.2 평가함수 모델링

경쟁 관계에 있는 두 홀론이 내 놓은 대안들 중에서 홀론들의 입장과 전체 시스템의 입장을 고려하여 적절한 대안을 선정하기 위한 기준 즉 평가 함수는 다음의 두 가지 성질을 반드시 포함하여 모델링되어야 한다.

(1) 평가함수는 두 홀론의 총 효용을 가능한 한 극대화하는 대안이 선정될 수 있도록 모델링되어야 한다.

(2) 평가함수는 가능한 한 두 홀론 모두에게 공정성을 보장할 수 있는 대안이 선정되도록 모델링되어야 한다.

왜냐하면 임의의 대안에 대해 한 홀론이 이익을 보게 되고 다른 홀론이 큰 손해를 보게 될 때, 전체의 대안들 중에서 그 대안의 두 홀론들의 효용의 합이 최대라고 하더라도 양자에게 공정하지 않음으로 최적이라고 말하기는 곤란할 수 있다.

앞에서 제시한 대안 선정을 위한 평가 함수에 포함되어야 할 내용으로서 첫번째 성질인 전체 효용 최대화의 목표는 두 홀론의 총 효용이 가장 큰 대안을 선정하면 달성될 수 있다. 두 홀론의 속성간에 상호 효용 독립인 경우에는 가법적 효용 함수를 이용하고, 상호 의존적인 경우에는 승법적 효용함수를 이용하여 모델링될 수 있는데, 본 연구에서는 상호 효용 독립인 경우를 고려하여 두 홀론의 총 효용을 식(2.4)과 같이 나타낸다.

$$U(X,Y) = \alpha U_X(X) + (1-\alpha) U_Y(Y), \qquad 0 \le \alpha \le 1 \qquad (2.4)$$

여기서 α는 평활 계수로서 α가 $(1-\alpha)$보다 크면 X쪽에 유리한 대안이 선정되고 작으면 Y쪽에 유리한 대안이

선정된다. 두 홀론의 효용이 상호 효용 독립일 때, 두 효용의 최대화를 위해 식(2.4)를 만족하는 대안이 선정되어야 한다.

한편 평가 함수가 가져야 할 기준 중 두 번째인 대안의 공정한 선정을 만족하기 위해서는 다른 두 홀론 간의 효용의 차를 가능한 한 작게 하는 대안이 선정되어야 한다. 두 효용의 차의 값을 식(2.5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$D = |U_X(X) - U_Y(Y)| \tag{2.5}$$

공정한 평가에 의해 대안이 선정되려면 가능한 한 두 홀론의 효용 차가 최소가 되어야 하는데 공정성에 대한 효용은 식(2.5)에서 얻어진 효용의 차를 이용하여 구해질 수 있다. 그런데 효용차 특성에 따라 효용차 함수는 다양하게 표현될 수 있는데 효용차가 선형 관계에 있는 경우 공정성 평가의 기준이 될 수 있는 효용차에 대한 함수를 식(2.6)과 같이 표현하는 것이 가능하다[10].

$$U_D(D) = \frac{D^0 - D}{D^0 - D^*} \tag{2.6}$$

여기서 D^0는 두 속성간의 가장 큰 효용 차를 의미하며 D^*는 가장 작은 효용 차를 의미한다.

그러므로 총 효용의 합을 가능한 한 최대화하면서 두 효용의 차를 가능한 한 작게 하는 대안 선정을 위한 평가 함수는 식(2.7)과 같이 된다.

$$U_c(X,Y) = (1-\beta)U(X,Y) + \beta U_D(D) \tag{2.7}$$

여기서 β는 평할 계수로써 0과 1사이의 값을 갖게 되는데 β가 $(1-\beta)$보다 크면 가능한 한 두 홀론들의 효용 간의 차이가 작은 대안이 선정되고 β가 $(1-\beta)$보다 작으면 가능한 한 총 효용이 큰 대안이 선정된다.

3. 홀론들의 효용 함수의 전개

본 절에서 모델링 된 평가 함수를 대안 선정에 이용하려면 홀론들의 대안별 효용이 알려져야 한다. 본 절에서는 홀론들의 대안별 효용을 구하는 절차에 대하여 논의한다.

3.1 단일 의사결정 변수의 값만 주어진 경우

효용이 구체적으로 주어지지 않고 다만 홀론들에 대한 한 의사 결정 변수 값만 알려지는 경우에 홀론들의 효용을 발견하기 위해서는 그 의사결정 변수를 독립 변수로, 각 홀론의 효용을 종속 변수로 하는 단일 효용 함수가 필요하다. 회귀 분석은 시스템에 적절한 단일 효용 함수를 전개하는데 이용될 수 있는데, 회귀 분석을 통해 결정 계수(R^2)가 1에 근사하면 이렇게 얻어진 회귀 방정식을 유도할 수 있다[12].

생산 비용을 $x_i(i=1, 2, \cdots, n)$라 하고 생산 비용에 대한 생산자 만족도가 $U(x_i)$, 생산 비용 x_i를 들여 제품을 생산하여 소비자에게 제공하였을 때, 그 제품에 대해 소비자가 만족하는 정도를 $V(x_i)$라 하자. 오랜 생산 활동을 통해 생산 비용에 대한 생산자 및 소비자 만족도의 정보가 충분하면(즉 n가 크면) 생산 비용에 대한 생산자 만족도, 생산 비용에 대한 소비자 만족도에 대한 회귀 분석을 통해 회귀 방정식을 유도할 수 있게 된다. 생산비용에 대한 생산자 및 소비자 만족도가 선형 관계인 경우에는 생산비용에 대한 생산자 만족도를 식(3.1)과 같이, 생산비용에 대한 소비자 만족도를 식(3.2)와 같이 나타낼 수 있다 [12].

$$U = a + bx_i \tag{3.1}$$

여기서

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} U(x_i) - b\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

$$b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i U(x_i) - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} U(x_i)}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2}$$

U는 0과 1 사이의 값을 갖는 효용 함수가 됨으로 x_i에 따른 U의 범위는 다음과 같다.

$$\begin{cases} U=0 & \text{for } x_i \le -\frac{a}{b} \\ U=1 & \text{for } x_i \ge \frac{1-a}{b} \\ 0 < U < 1 & \text{for } -\frac{a}{b} < x_i < \frac{1-a}{b} \end{cases}$$

$$V = p + qx_i \tag{3.2}$$

여기서

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{n} V(x_i) - q\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

$$q = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i V(x_i) - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} V(x_i)}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2}$$

식(3.1)에서와 마찬가지로 V는 0과 1 사이의 값을 갖는 효용 함수가 됨으로 x_i에 따른 V의 범위는 다음과 같다.

$$\begin{cases} V=0 & \text{for } x_i \le -\frac{p}{q} \\ V=1 & \text{for } x_i \ge \frac{1-p}{q} \\ 0 < V < 1 & \text{for } -\frac{p}{q} < x_i < \frac{1-p}{q} \end{cases}$$

이렇게 유도된 회귀 방정식은 생산 비용에 대하여 그 시스템에 적합한 생산자 효용 및 소비자 효용의 예측을 가능하게 한다. 그러므로 단일 의사 결정 변수로서 생산 비용이 주어지고 두 홀론들의 효용 값인 생산자 효용과 소비자 효용이 주어지지 않는 경우에는 회귀 방정식을 유도하여 단일 효용 함수를 구할 수 있다.

3.2 홀론들의 값이 주어진 경우

본 절에서 모델링된 평가 함수를 대안 선정에 이용하려면 홀론들이 제안한 대안들의 효용을 알 수 있어야 한다. 효용이 주어진 경우에는 평가 함수에 직접 적용함으로 적절한 대안 선정을 위한 정보로 활용할 수 있다. 그러나 홀론들의 대안별 값들이 주어질 때에는 이들을 효용으로 변환한 후, 대안 평가에 이용할 수 있다. 홀론들의 값이 선형 관계에 있을 때 이들을 효용으로 변환하는 과정은 다음과 같다.

홀론들의 대안별 값 x_i와 y_i(i=1, 2, ..., n)인 두 개의 홀론 X와 Y가 제안한 n개의 대안이 있다. 홀론 X와 Y가 가장 선호하지 않는 값을 각각 x^0, y^0라 하고, 선호하는 값을 각각 x^*, y^*라 하자.

첫째, 홀론 값이 이익으로 주어지지 않고 비용 또는 손실로 주어진 경우 그 홀론의 비용에 대한 효용은 식(3.3)을 이용하여 계산될 수 있다.

$$U(x_i) = \frac{x^0 - x_i}{x^0 - x^*} \tag{3.3}$$

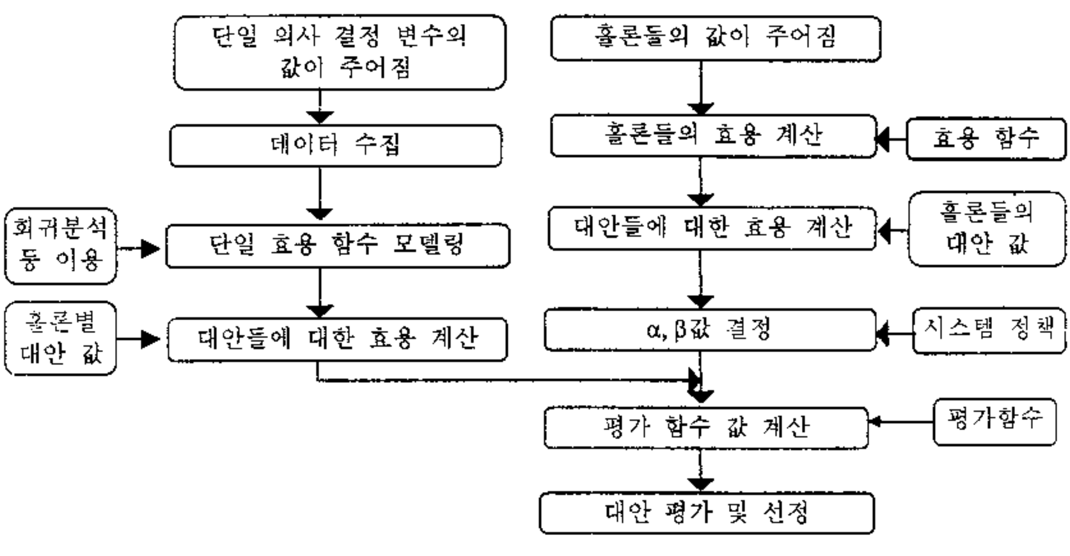

Fig 1. 홀론 간의 협상 중재를 통한 대안 선정 절차

둘째, 홀론의 값이 이익으로 주어진 경우 그 속성의 이익에 대한 효용은 식(3.4)을 이용하여 계산될 수 있다.

$$U(x_i) = \frac{x_i - x^0}{x^* - x^0} \tag{3.4}$$

본 장에서는 대안 선정을 위한 평가 함수를 모델링하였으며 홀론들의 효용 계산 절차를 제시하여 대안 평가가 평가 함수를 이용하여 가능하게 하였다. Fig 1은 평가 함수를 이용하여 대안을 평가하고 선정하는 절차를 나타낸다.

대안 선정을 위해 평가 함수를 이용하려면 효용의 계산이 필수적이다. 두 홀론의 값이 주어지지 않고 다만 한 의사 결정 변수만 주어진 경우에는 효용 함수를 유도하는 것이 필요한데 이를 위하여 회귀 분석 방법이 유용할 수 있다.

한편 홀론들의 값이 주어진 경우에는 효용 함수를 이용하여 각 홀론의 효용을 계산하는 것이 가능하다.

홀론들의 효용이 계산되면 이를 평가 함수에 적용하여 평가 함수 값을 계산하게 되는데 시스템의 운영 정책을 고려하여 평할 계수를 결정하는 것이 필요하다. 그리고 계산 결과 가장 큰 함수 값을 갖는 대안을 최적의 대안으로 선정하게 된다.

4. 수치 예제

본 절에서는 대안 선정을 위해 모델링된 평가 함수가 가능한 한 두 홀론 모두에게 공정성을 보장해 주면서 효용의 합을 가능한 한 최대화하는 한다는 것을 검증하는 수치 예제와, 평가 함수를 이용하여 대안을 선정하는 수치 예제를 제시한다.

4.1 평가함수 검증을 위한 수치 예제

평가 함수의 검증을 위해 두 홀론들이 제시한 대안 10가지에 대해 각 홀론의 효용 값을 임의로 정한 후 α값과 β의 값의 변화에 따른 대안 선정의 예를 Table 4.1부터 Table 4.5에 나타낸다. Table 4.1은 α값을 0.1로 일정하게 한 후 β의 값을 변화시킨 결과이다.

α값이 0에 근사하게 된 이유 때문에 평가 함수 값은 홀론 Y쪽에 유리한 대안이 선정되도록 결과가 나왔다. 한편 β의 값이 점점 증가함에 따라 두 홀론의 효용의 차가 줄어드는 쪽으로 대안이 선정됨을 알 수 있다. α의 값을 0.3으로 고정한 후 β의 값을 전과 동일한 간격으로 증가시킨 예를 Table 4.2에 나타낸다.

Table 4.2는 Table 4.1의 경우보다 α의 값이 0.1에서 0.3으로 증가하였기 때문에 평가 함수 값은 대안이 X에 유리한 쪽으로 선정되도록 나왔다. 한편 α의 값을 일정

Table 4.1 Experimental results for the evaluation function(α=0.1)

구분	X 효용	Y 효용	β=0.1	β=0.3	β=0.5	β=0.7	β=0.9
대안1	1	0	0.09	0.07	0.05	0.03	0.01
대안2	0.8132	0.2212	0.2971	0.3304	0.3637	0.397	0.4303
대안3	0.7221	0.2792	0.3522	0.4095	0.4669	0.5242	0.5816
대안4	0.6623	0.3534	0.4216	0.4961	0.5707	0.6452	0.7198
대안5	0.5324	0.4453	0.5086	0.6178	0.727	0.8362	0.9454
대안6	0.3424	0.5534	0.5655	0.6319	0.6983	0.7647	0.8311
대안7	0.3321	0.6223	0.6117	0.6486	0.6854	0.7222	0.7591
대안8	0.2343	0.7123	0.6552	0.6367	0.6182	0.5996	0.5811
대안9	0.1235	0.9324	0.7873	0.6589	0.5304	0.402	0.2736
대안10	0	1	0.81	0.63	0.45	0.27	0.09

Table 4.2 Experimental results for the evaluation function (α=0.3)

구분	X 효용	Y 효용	β=0.1	β=0.3	β=0.5	β=0.7	β=0.9
대안1	1	0	0.27	0.21	0.15	0.09	0.03
대안2	0.8132	0.2212	0.4036	0.4132	0.4229	0.4325	0.4421
대안3	0.7221	0.2792	0.4319	0.4715	0.5112	0.5508	0.5904
대안4	0.6623	0.3534	0.4772	0.5394	0.6016	0.6637	0.7259
대안5	0.5324	0.4453	0.5243	0.63	0.7357	0.8414	0.9471
대안6	0.3424	0.5534	0.5275	0.6024	0.6772	0.752	0.8269
대안7	0.3321	0.6223	0.5595	0.6079	0.6564	0.7048	0.7533
대안8	0.2343	0.7123	0.5692	0.5698	0.5704	0.5709	0.5715
대안9	0.1235	0.9324	0.6417	0.5456	0.4495	0.3535	0.2574
대안10	0	1	0.63	0.49	0.35	0.21	0.07

Table 4.3 Experimental results for the evaluation function (α=0.5)

구분	X 효용	Y 효용	β=0.1	β=0.3	β=0.5	β=0.7	β=0.9
대안1	1	0	0.45	0.35	0.25	0.15	0.05
대안2	0.8132	0.2212	0.5102	0.4961	0.4821	0.468	0.454
대안3	0.7221	0.2792	0.5116	0.5335	0.5555	0.5774	0.5993
대안4	0.6623	0.3534	0.5328	0.5826	0.6324	0.6823	0.7321
대안5	0.5324	0.4453	0.54	0.6422	0.7444	0.8467	0.9489
대안6	0.3424	0.5534	0.4895	0.5728	0.6561	0.7394	0.8226
대안7	0.3321	0.6223	0.5072	0.5673	0.6274	0.6874	0.7475
대안8	0.2343	0.7123	0.4832	0.5029	0.5226	0.5423	0.562
대안9	0.1235	0.9324	0.4961	0.4324	0.3686	0.3049	0.2412
대안10	0	1	0.45	0.35	0.25	0.15	0.05

하게 한 후 β의 값을 증가시키면 총 효용의 합이 약간씩 희생되면서 두 효용의 차가 적어지는 쪽으로 평가 함수의 최대값은 이동하게 되는데 차이가 가장 작은 대안에 이르러서는 β의 값이 증가되어도 평가 함수의 최대값은 일정한 대안에서 결정된다. Table 4.2의 예에서는 β의 값이 0.5일 때 두 홀론의 효용차가 최소가 되는 대안에서 평가 함수의 값이 최대로 나타나고 있는데, β의 값이 계속 증가되어도 평가 함수의 최대값을 나타내는 대안은 변하지 않음을 알 수 있다.

Table 4.3은 α의 값을 0.5로 두어 두 홀론의 가중치를 동일하게 두고 β의 값을 전과 동일한 간격으로 증가시킨 결과를 보여 준다.

α의 값을 0.5로 일정하게 두면 홀론 X와 Y에 동일한 비중을 두고 평가 함수 값이 계산된 결과를 보여주고 있는데 이때 β의 값이 0.1에서 0.9까지 대안 5의 평가 함수 값이 가장 큰 결과를 나타내고 있다. Table 4.2의 결과와 비교해 보면 β의 값이 0.1로 일정할 때, α의 값이 0.3에서 0.5로 증가하였을 때 평가 함수의 최대 값은 대

안 9에서 대안 5로 바뀌었다.

α의 값을 0.7로 일정하게 한 후 β의 값을 변화시키면서 평가 함수 값을 계산한 결과를 Table 4.4에, α의 값을 0.9로 일정하게 한 후 β의 값을 변화시키면서 평가 함수 값을 계산한 결과를 Table 4.5에 나타내었다. 두 Table에서 보는 바와 같이 α의 값을 크게 하면 홀론 X에 유리한 대안 선정이 가능하도록 대안 2와 대안 1에서 각각 평가 함수 값이 가장 크게 나타났다.

Table 4.5의 경우에서 보는 바와 같이 α의 값이 더욱 증가하게 되면 X에게 더욱 유리한 대안이 선정되는데 β의 값을 증가시키면 효용의 차가 적은 쪽의 대안이 선정되도록 평가 함수의 최대 값은 이동하게 된다.

지금까지의 실험의 결과로 보건대 평가 함수는 가능한 한 두 홀론의 총 효용을 최대화는 대안의 선정이 가능하게 하며 또한 홀론 간의 효용의 차를 가능한 한 작게 하는 대안을 선정하게 함을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 대안 선정을 위해 모델링된 평가 함수는 가능한 한 홀론 간의 공정성을 보장하면서 홀론

Table 4.4 Experimental results for the evaluation function (α=0.7)

구분	X 효용	Y 효용	β=0.1	β=0.3	β=0.5	β=0.7	β=0.9
대안1	1	0	0.63	0.49	0.35	0.21	0.07
대안2	0.8132	0.2212	0.6167	0.579	0.5413	0.5035	0.4658
대안3	0.7221	0.2792	0.5913	0.5955	0.5997	0.6039	0.6082
대안4	0.6623	0.3534	0.5884	0.6259	0.6633	0.7008	0.7383
대안5	0.5324	0.4453	0.5556	0.6544	0.7531	0.8519	0.9506
대안6	0.3424	0.5534	0.4516	0.5433	0.635	0.7267	0.8184
대안7	0.3321	0.6223	0.455	0.5267	0.5983	0.67	0.7417
대안8	0.2343	0.7123	0.3971	0.4359	0.4748	0.5136	0.5524
대안9	0.1235	0.9324	0.3505	0.3191	0.2878	0.2564	0.225
대안10	0	1	0.27	0.21	0.15	0.09	0.03

Table 4.5 Experimental results for the evaluation function (α=0.9)

구분	X 효용	Y 효용	β=0.1	β=0.3	β=0.5	β=0.7	β=0.9
대안1	1	0	0.81	0.63	0.45	0.27	0.09
대안2	0.8132	0.2212	0.7233	0.6619	0.6005	0.539	0.4776
대안3	0.7221	0.2792	0.6711	0.6575	0.644	0.6305	0.617
대안4	0.6623	0.3534	0.644	0.6691	0.6942	0.7193	0.7445
대안5	0.5324	0.4453	0.5713	0.6666	0.7618	0.8571	0.9524
대안6	0.3424	0.5534	0.4136	0.5137	0.6139	0.714	0.8142
대안7	0.3321	0.6223	0.4028	0.486	0.5693	0.6526	0.7359
대안8	0.2343	0.7123	0.3111	0.369	0.427	0.4849	0.5428
대안9	0.1235	0.9324	0.2049	0.2059	0.2069	0.2079	0.2088
대안10	0	1	0.09	0.07	0.05	0.03	0.01

들의 총 효용을 최대화하는 대안을 선정하는 데 이용할 수 있다.

4.2 평가 함수를 이용한 대안 선정의 예제

동일 제품이라고 하더라도 품질 수준의 등급을 달리하는 경우 생산 소요 시간이 달라질 수 있다고 가정한다. A급부터 E급까지의 제품을 생산하는 업체가 있다. 그 업체가 제품을 생산할 때 제품의 품질 등급에 따른 생산 소요 시간과 제품 원가가 Table 4.6과 같다고 가정한다.

Table 4.6 Example for the case whose the specific measures is known

제품의 종류	생산 소요 시간	제품 원가
A급 제품	30	4,000
B급 제품	50	5,000
C급 제품	60	7,000
D급 제품	80	8,000
E급 제품	100	10,000

이와 같은 경우에서는 각 제품 등급에 대한 속성 값들, 즉 생산 소요시간과 제품 원가가 주어져 있음으로 각각에 대한 효용을 식(3.3)과 식(3.4)를 이용하여 계산할 수 있다. 여기서 제품 원가는 생산자에게 비용이지만 소비자에게는 그것이 기회 이익이 됨으로 이를 이용하여 소비자 효용을 계산하는 것이 가능하다. 따라서 제품에 대한 생산자 효용과 소비자 효용을 계산하여 그 결과를 Table 4.7에 나타낸다.

Table 4.7 Utilities for manufacturer and consumer in Table 4.2

제품의 종류	생산 소요 시간	제품 원가
A급 제품	1.0000	0
B급 제품	0.7143	0.1667
C급 제품	0.5714	0.3333
D급 제품	0.2857	0.6667
E급 제품	0.0000	1

Table 4.7에 제품에 대한 생산자 효용과 소비자 효용을 평가 함수에 대입하면 그 계산 결과는 Table 4.8와 같다.

Table 4.8에서 보여진 바와 같이 α의 값이 작을 수록 소비자에게 유리한 대안이 선정되며((1), (2), (3), (4)항 참조), 커질 수록 생산자에게 유리한 대안이 선정된다((9), (10), (11), (12)항 참조). 그리고 β의 값이 0.5로 일정할 때 β의 값이 증가함에 따라 생산자와 소비자에게 공정한 대안을 선정해 주는 경향을 나타내고 있다((6), (7), (8) 항 참조). 한편 α, β 값이 혹은 1의 값에 매우 근사한 값(위의 표 4.8에서 0.1 또는 0.9의 값 같은 경우)을 갖지 않는 경우에는 C급 제품이 선정되는 것을 볼 수 있는데((6), (7) 항 참조) 이는 다른 대안에 비해 효용 간의 차이가 작은 데서 기인된 것이다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 두 홀론의 효용의 합과 공정성을 고려한 대안 선정에 이용될 수 있는 협상 중재 평가 함수를 모델링하였다. 대안 선정을 위하여 평가 함수를 이용하려면 효용이 알려져 있어야 한다. 그래서 효용 계산을 위해 두 가지의 경우를 고려하여 효용 계산 절차를 제안하였다. 첫 번째 경우로서 각 대안에 대한 홀론들의 값이 주어지지 않고 단일 의사 결정 변수의 값만 주어진 경우 회귀 분석을 이용하여 생산자와 소비자 효용을 설명할 수 있는 회귀 방정식을 유도할 수 있음을 보였고, 두 번째 경우로서 대안들에 대한 홀론들의 값이 주어진 경우에는 효용 함수를 이용하여 효용을 계산하는 절차를 제안했다. 한편 홀로닉 생산시스템에서 자원 할당 및 관리의 문제를 해결하기 위하여 자원들의 효용 계산을 위한 알고리즘의 개발이 요청되며 자원의 교착상태 검색 및 예방에 대한 연구가 수행될 필요가 있다.

본 연구에서 모델링된 평가 함수는 가능한 한 총효용을 최대화하면서 가능한 한 홀론 간의 효용의 차가 적은 대안 선정을 가능하게 하는데 홀로닉 생산시스템의 홀론간의 협상 중재 뿐 만 아니라 경제, 사회, 인사, 재무 등 다양한 분야에서 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 4.8 Result from the calculation of evaluation function

제품의 종류	$U_e(x)$, $\alpha=0.1$		$U_e(x)$, $\alpha=0.1$		$U_e(x)$, $\alpha=0.5$	
	(1) $\beta=0.1$	(2) $\beta=0.5$	(3) $\beta=0.7$	(4) $\beta=0.9$	(5) $\beta=0.1$	(6) $\beta=0.5$
A급 제품	0.09	0.05	0.03	0.01	0.45	0.25
B급 제품	0.2587	0.4076	0.4821	0.5565	0.4558	0.5171
C급 제품	0.4214	0.6786	0.8071	0.9357	0.5071	0.7262
D급 제품	0.647	0.7205	0.7573	0.7941	0.5098	0.6443
E급 제품	0.81	0.45	0.27	0.09	0.45	0.25

제품의 종류	$U_e(x)$, $\alpha=0.5$		$U_e(x)$, $\alpha=0.9$		$U_e(x)$, $\alpha=0.9$	
	(7) $\beta=0.7$	(8) $\beta=0.9$	(9) $\beta=0.1$	(10) $\beta=0.3$	(11) $\beta=0.5$	(12) $\beta=0.9$
A급 제품	0.15	0.05	0.81	0.63	0.45	0.09
B급 제품	0.5478	0.5785	0.653	0.6398	0.6267	0.6004
C급 제품	0.8357	0.9452	0.5928	0.6833	0.7738	0.9548
D급 제품	0.7116	0.7788	0.3727	0.4704	0.5681	0.7636
E급 제품	0.15	0.05	0.09	0.07	0.05	0.01

참고문헌

[1] Tonshoff, H.K., M. Winkler and J.C. Aurich, "Product Modeling for Holonic Manufacturing Systems", Proceedings of 4th International Conference on CIM and Automation Technology, New York, pp.121-127, October 1994.

[2] Valckenaers, P., F. Bonneville, H. V. Brussel, L. Bongaerts and J. Wyns, "Results of the Holonic Control System Benchmark at KULeuven", Proceedings of 4th International Conference on CIM and Automation Technology, New York, pp.128-133, October 1994.

[3] Valckennaers, P. and H. Van Brussel, "Holonic Manufacturing Systems; Technical Overview", Technical Report, Katholieke Univ. Leuven, Division PMA Belgium, December 1995.

[4] Agre, J.R., G. Elsley, D. McFarlane, J. Cheng and B. Gunn, "Holonic Control of a Water Cooling System for a Steel Rod Mill", Proceedings of 4th International Conference on CIM and Automation Technology, New York, pp.134-141, October 1994.

[5] Lee, Y.H, L.Z. Lee and J. Kim, "Holonic Scheduling Methods for Advanced Manufacturing Systems", Proceedings of 20th International Conference on Computers & Industrial Engineering, Vol. 1, pp37-40, October 1996.

[6] Full Scale Project Description, Holonic Manufacturing Systems, August 1995.

[7] 임재국, S. Sugimoto and T. Takahashi, "자율분산협조형의 AGV를 위한 경로 계획에 관한 연구", 한국경영과학회/대한산업공학회, '97춘계공동학술대회 논문집', pp267-270, 1997.

[8] 김상휘, 황학, "An Adaptive Dispatching Algorithm for Automated Guide Vehicles Based on An Evolutionary Process", 한국경영과학회/대한산업공학회, '97

춘계공동학술대회 논문집', pp805, 1997.
[9] 황학, 김상휘, "자치제어구조 생산시스템에서 무인운반차량 시스템의 운영정책 개발", 산업공학회지, 제23권 제2호, 1997. 6.
[10] 강맹규, 불확실성하에서의 의사결정론, 희중당, 1996.
[11] Keeney, R. and H. Raiffa, Decision with Multiple Objectives, Wiely, N.Y.N , 1976
[12] 정동선, 새로운 OR 원론, 교우사, 1996.

97년 10월 최초 접수, 98년 3월 최종 수정