⊠ 연구논문

FMS에서 유연성과 안전성 요인을 고려한 경제성 평가

- An Economic Evaluation of FMS Considering the Safety and Flexibility Factors -

강 영 식*
Kang, Young Sig
함 효 준**
Hahm, Hyo Joon

Abstract

Many firms have applied flexible manufacturing systems as a means of increasing productivity, profitability, and quality.

Therefore, the purpose of this paper is to develop the more efficient justification model through an analytical scoring model with the quantitative factors, flexibility factors, and safety factors under uncertainty.

In this paper, the three factors for properly comparing and evaluating of flexible manufacturing systems are presented.

Especially, this paper has emphasized the flexibility and safety factor; the one consists of organization assessment, process treatment function, products and products quantity, useful life assesment, and software function, the other presents risk assesment, Y2K problem, safety device analysis, total productive management system, safety management.

Finally, a normalized scoring model by the new flexibility and safety factors can be used in real fields for flexible manufacturing systems project selection under uncertainty.

1. 서론

현재, 기업은 세계화와 수요변동으로 인한 제품의 수명단축, 첨단 기술의 향상, 기업의 경쟁력 강화, 생산성 증대, 안전과 품질의 고급화 등에 즉각적으로 대처하기 위하여 여러 첨단 기술이 집약된 자동화 시스템을 도입하여 기업의 경쟁력을 강화하고 있다. 특히, 유연생산체제(Flexible Manufacturing Systems: FMSs)는 환경변화에 매우 능동적으로 대처 할 수 있으며, 다양한 제품을 적기에 생산할 수 있는 첨단 자동화 시스템이다.

* 세명대학교 산업안전공학과
** 아주대학교 산업공학과

그러므로 첨단기술에 대한 불확실한 위험을 최소화하는 효율적인 경제성 평가 방법을 개발해야만 한다. 즉, 불확실한 상황하에서 유연생산체제를 도입 시에 시스템차원, 정보차원, 생산차원의 유연성과 안전성을 구체적으로 평가할 수 있는 모형이 요구되는 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 불확실한 상황하에서 비계량적인 요소인 유연성과 안전성 요인들을 정량적인 요인과 결합하여 유연생산체제에 가장 적합하고 구체적이며 타당성을 가지는 경제성 평가모형을 개발하는 것이다.

본 연구의 연구범위는 유연생산체제를 도입 시에 설비 셋팅을 전제로 하여 설비투자에 대한 경제성을 평가하는 계획단계까지 만을 다룬다.

본 연구의 구성은 다음과 같다.

제 1장은 서론으로 본 연구의 연구범위와 최근의 유연생산체제를 도입 시에 매우 구체적인 경제성 평가 모형을 개발해야 하는 연구의 필요성과 목적에 대하여 묘사하였다.

제 2장은 기존의 경제성 평가에 대한 이론적 배경에 체계적으로 분석하였다.

제 3장은 모형의 정립으로 유연생산체제를 도입 시에 최근의 의사결정기준을 제시하기 위하여 결정 요인을 3가지 요인으로 분류하여 정규화 하였으며, 각 요인의 서브항목에 대한 합리적이며 구체적인 의사결정기준을 제시하였다.

마지막으로 제 4장은 결론으로 본 모형을 적용 시에 기대효과와 추후 연구과제를 다루고 있다.

2. 경제성 평가의 이론적 배경

기존의 이론적 배경을 체계적으로 살펴보면, 1950년도와 1960년대까지는 단순한 점수산정모형이 주류를 이루고있으며, Mottely, Newton[14]과 Dean, Nishry[10] 등이 유연 생산 체제를 위하여 경제성을 평가하는 점수 산정 모형을 개발하여 단기적인 설비 투자의 도입에 초점을 맞추었다.

1970년대에는 예산/비용을 구체적으로 추정하기 위한 경제성 평가 모형이 많으며, Thuesen[19]은 투자설비에 대한 예산/비용을 추정하기 위하여 설비부담액과 조업열성을 2가지로 단순하게 가정하여 설비효과를 측정하였다.

1980년대에는 비 계량적인 요소와 모호집합 이론을 고려하여 구체화한 경제성 평가 방법이 활성화되었다. 이에 관한 연구로는 Arbel, Seidman[8]이 최초로 계층화 의사결정 기법을 사용하여 편익 비용을 고려하여 가중치를 적용한 설비 투자대안을 평가하였으며, Suresh, Meredith[18]가 개량된 모형으로써 비가중 요인 점수 산정 모형을 소개했으며, Nelson[15]은 점수 산정 모형을 확장하여 전략적, 정성적, 정량적 요인을 모형화하였으며, Miltenburg, Krinsky[13]는 조립 제조공정의 경제성 평가를 위하여 적절한 재정기준, 기계운영의 추계적 변수, 위험선호도와 정보가치, 결정분석주기를 가지고 장기적인 설비투자의 도입에 대한 타당성을 평가하였으며, Parsaei[16]는 유연생산체제에서 컴퓨터 통제시스템으로부터 획득되는 확실한 상황과 불확실한 상황에서 이익을 전략적 요인뿐만 아니라 전술적 요인으로 구분하여 톱다운(Top-Down)방식으로 모형을 구축하여 경제성 평가를 실행하였다.

계층화 기법으로서 모호집합 이론을 적용한 연구로는 Harker, Vargas[11], 김성인[6] 등이 각 대안들의 평가과정이 쌍대비교에 의해 평가하여 최종 가중치가 평균이 되도록 하였다. 또한, 상대적 가중치에 의한 일관성 지표를 이용하여 판단기준을 합리화하였다.

그러므로 현재는 비계량적인 요인을 구체적으로 평가하기 위하여 점수산정에 의해 정규화시킨 모형과 모호집합을 이용한 모형의 연구가 활성화되고 있다.

3. 모형의 정립

최근에 새로운 마이크로프로세서의 출현으로 인하여 제조시스템의 탄력성인 유연성의 기능은 한층 더 확장되고 기술의 유연성을 갖게 되었다. 따라서 유연성의 기능은 디자인과 운영관리를 수행하는데 결정적인 역할을 하게 된다[2,3,12,13,17]. 또한, 기술이 고도로 진보함에 따라 이에 상응하는 안전성에 관한 문제가 대두되고 있다. 따라서 본 모형에서는 정량적인 요인과 유연성과 안전성 요인을 결정인자로 하여 평가 모형을 정립하였다.

그러므로 본 모형은 생산성, 유연성, 신뢰성을 구체적으로 평가하기 위하여 3가지 결정 요인으로 나누어지며, 이들은 선형결합으로 나타나게 된다.

3가지 결정요인의 세부 사항은 다음과 같다.

정량적 요인은 기존의 연구를 토대로 하여 순현가에 의한 상대점수로 나타낸 후에 C-언어로 구성하였다. 또한, 순현가는 시뮬레이션을 실행하여 중·장기적인 투자에 적합하게 경제성 평가를 수행하였다.

유연성 요인은 조직, 공정처리 기능, 제품과 생산량의 탄력성, 유연생산체제의 수명, 소프트웨어의 기능으로 분류하여 분석하였다.

안전성 요인은 전체시스템을 고려한 비 계량적인 위험성, Y2K 문제해결능력, 전사적 생산보전시스템(Total Productive Maintenance: TPM), 안전관리(Safety Management)로 분류하고 각 요소를 세분화하여 점수화하였다.

그러므로 최종적으로는 정량적, 유연성, 안전성 요인에 가중치를 부여하여 매우 합리적이고 타당성 있는 경제성 평가 모형을 개발하였다.

3.1 정량적 요인 : V_i

정량적 평가 기준인 순현가는 예정된 이율 i에 대하여 투자에 대한 수입과 지출을 현재의 가치로 환산한 값을 말하며, 여러 개의 작은 설비가 모여서 유연생산체제를 이루는 경우에 후행작업을 하는 설비는 선행작업을 하는 설비에 대해 조건부 확률을 갖는 시행확률로 표현한다. 따라서 본 장에서 정량적인 방법으로 요인을 분석하여 정규화하기 위한 기호 및 정의는 다음과 같다.

V_i = 후속되는 작업에서 조건부 확률을 고려한 순 현재가치

V_m = V_i 중에서 최댓값

i = 이자율

n = 내용년수

P_i = 각 대안에서 서브 유연생산체제가 기술적으로 성공할 확률

$\overline{F}_t$ = t기간 동안 각 대안에서 서브 유연생산체제의 예상 현금흐름

F_t = 각 대안에서 t기간 동안 서브 유연생산체제의 현금흐름

P_t = 각 대안에서 t기간 동안 서브 유연생산체제에 현금흐름이 발생할 확률

그러므로 순현가법에 의한 정규화 된 식은 다음과 같다.

$$V_i = P_i \cdot \sum_{t=0}^{n} \frac{\overline{F}_t}{(1+i)^n} \qquad (2.1)$$

$$V_i^o = \frac{V_i}{V_m}, \quad 0 < V_i^o \leq 1 \qquad (2.2)$$

$$\overline{F}_t = \sum_{t=0}^{n} (F_t \cdot P_t) \qquad (2.3)$$

투자 결정에 관한 시뮬레이션 분석방법은 다음과 같이 일량분포(Uniform Discrete Distribution), 이산분포(Discrete Distribution), 그리고 정규분포(Normal Distribution)로 가정하여 추정하였다[1,2,3,15]. 또한 순현가액을 추정하기 위해 다음과 같은 입력자료를 이용하였다.

① 초기투자액(Initial Investment)
② 내용년수(Useful Life)
③ 잔존가치(Salvage Value)
④ 연간 등가비용 지출(Annual Equivalent Expense)
⑤ 연간 등가수입(Annual Equivalent Return)
⑥ 자본비용(Capital Cost) 또는 할인율(Discount Rate)

위에 대한 순현가액을 추정하기 위한 프로그램은 C-언어로 시뮬레이션을 수행하였다[2,3].

3.2 유연성 요인 : X_i

유연생산체제를 채택하게되는 결정적인 원인 중의 하나가 유연성 요인이다. 따라서 조직, 공정의 처리능력, 제품과 생산의 탄력성, 유연생산체제의 수명, 소프트웨어의 기능을 구체적으로 파악해야만 한다. 따라서 본 장에서는 유연성 측면을 5 가지 요소로 분류하여 각각의 항목 대해 가중치를 부여하였으며, 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$X_i = ox_1 + lx_2 + px_3 + ux_4 + sx_5 \quad 4 \le X_i \le 22 \tag{2.4}$$

X_i = 대안으로 등장한 유연생산체제를 위한 유연성 절대평가 점수
ox_1 = 대안으로 등장한 유연생산체제의 조직의 유연성 점수
lx_2 = 대안으로 등장한 유연생산체제의 공정처리의 유연성 점수
px_3 = 대안으로 등장한 유연생산체제의 제품과 생산의 탄력성 점수
ux_4 = 대안으로 등장한 유연생산체제의 수명에 대한 유연성 점수
sx_5 = 대안으로 등장한 유연생산체제의 소프트웨어에 대한 유연성 점수

우선, 조직의 유연성은 유연생산체제에서 환경 변화에 신속하게 대처할 수 있는 제품 중심 형태의 조직을 구성하는 것이다. 각각의 유연성이 수행될 때마다 조직의 중요성이 대두되는데 이에 대한 해결 방안으로는 경험적인 연구에서 선택하는 것이 바람직하다. 따라서 조직의 유연성은 기능적인 관점에서 분석하였다[3].

<표-1> 유연생산체제의 조직의 유연성 점수와 가중치

유연생산체제에서 조직의 기능	모수	모수의 가중 점수치
현 유연생산체제에 기능이 양호	ox_{j11}	1
현 유연생산체제에 기능이 비양호	ox_{j11}	0
서브 시스템과 기능이 양호	ox_{j12}	1
서브 시스템과 기능이 비양호	ox_{i12}	0

ox_{j11} = 대안의 j상태에서 서브 유연생산체제의 상태 1
ox_{j12} = 대안의 j상태에서 서브 유연생산체제의 상태 2

$$ox_1 = \frac{\sum_{j=1}^{4} (ox_{j11} + ox_{j12})}{n_1}, \quad 0 \le ox_1 \le 2 \tag{2.5}$$

n_1 = 대안에서 총 서브 유연생산체제의 수

공정 처리의 유연성은 유연생산체제의 정당성을 제공하는 중요한 결정인자이다. 따라서 공정 처리 유연성은 경험과 기술을 고려한 기능적인 관점에서 분석하였다.

그러므로 준비시간 감소와 각각의 상이한 제품을 처리 시에 공정효율의 수행도에 관한 평가

로 점수화하였다[3,5].

기능적인 관점에서 공정처리에 대한 유연성 점수는 <표-2>와 같다.

<표-2> 유연생산체제의 공정 처리 유연성 점수와 총 점수

대안으로 등장한 공정처리의 유연성	공정처리효과	점수	총점수
준비시간 감소(5분 이내)와 공정효율 85% 이상	최우수	1	5
준비시간 감소(5-10분)와 공정효율 80-85%미만	우수	1	4
준비시간 감소(10-15분)와 공정효율 75-80미만	보통	1	3
준비시간 감소(15-20분)와 공정효율 70-75%미만	미흡	1	2
준비시간 감소(20분 이상)와 공정효율 70%미만	필요 없음	1	1

단, $1 \le lx_2 \le 5$이다. 제품과 생산의 탄력성 점수는 제품 변경 시에 매우 경제적이며 신속하게 처리하는 능력, 상이한 생산량에서 유연생산체제의 가동능력을 분석하였다.

<표-3> 유연생산체제의 제품과 생산의 탄력성 점수와 총 점수

대안으로 등장한 제품과 생산의 탄력성	상태	점수	총점수합계
제품 변경시 처리능력과 생산량에 신속 대응	최우수	1	5
제품 변경시 처리능력과 생산량에 적절히 대응	우수	1	4
제품 변경시 처리능력과 생산량에 보통	보통	1	3
제품 변경시 처리능력과 생산량에 미흡	미흡	1	2
제품 변경시 처리능력과 생산량에 적합하지 않음	필요 없음	1	1

단, $1 \le px_3 \le 5$이다. 유연생산체제에서 수명에 대한 유연성은 대안으로 등장한 유연생산체제의 사용년수를 추정함으로 가중치를 할당하는 것이다.

<표-4> 대안으로 등장한 유연생산체제의 수명점수와 가중치

대안으로 등장한 유연생산체제의 수명점수	가중점수(W_{i4})
20년 이상	5
15-20년 미만	4
10-15년 미만	3
5-10년 미만	2
0-5년 미만	1

$$ux_4 = \frac{\sum_{j=1}^{5} n_{j4} \cdot W_{j4}}{n_2}, \quad 1 \le ux_4 \le 5 \tag{2.6}$$

n_{j4} = 대안에서 설비 사용년수가 j로 판명난 서브 유연생산체제의 수

n_2 = 대안에서 총 서브 유연생산체제의 수

W_{j4} = 해당 사용년수의 총점수

소프트웨어의 유연성은 기능적인 면에서 유연생산체제의 보조적인 역할로 보완적인 관계에서 분석하였다. 소프트웨어의 기능 면에서 기능 상태 점수와 가중치는 <표-5>와 같다.

단, $1 \le sx_5 \le 5$이다. 위와 같이 5가지 요소에 대하여 일정한 가중치를 부여하여 유연성 요인을 계량화하는 것이다. 유연성 요인을 표준화하기 위하여 대안 i중에서 최댓값을 나누어 준 상대점수치로 정규화 하였다. 유연성 요인을 정규화 시킨 식과 기호는 다음과 같다.

$$X_i^o = \frac{X_i}{X_m}, \quad 0 < X_i^o \le 1 \tag{2.7}$$

X_m = 대안 i중에서 최댓값

X_i^o = 불확실성을 최소화하기 위하여 정리정돈한 각 대안 i의 상대 유연성 평가점수

<표-5> 유연생산체제에서 소프트웨어의 유연성 점수와 가중치

대안으로 등장한 소프트웨어의 기능	기능 상태	점수
현재 쓰이지 않으나 장래 절실히 요구됨	기대	5
현재 사용 증가추세	안정	4
현재 보편적으로 쓰임	동종	3
산업에서 쓰이나 폐기단계	구식	2
현재 쓰이지 않으며 새로운 계획프로그램에 적합치 않음	쇠퇴	1

3.3 안전성 요인 : S_i

첨단 기술이 고도화하면 할수록 유연성과 더불어 중요한 문제로 대두되는 요인이 시스템 적인 측면에서 사고의 위험을 최소화할 수 있는 안전성의 문제가 큰 이슈로 대두되고 있다. 따라서 본 절에서는 비계량적인요소와 더불어 정성적인 측면을 분석하여 계량화함으로서 타당성 있는 안전성 요인의 점수산정 모형을 개발하는데 있다.

안전성 요인의 결정인자는 5가지로 분류하여 각 요소에 대해 세분화한 항목으로 점수를 체계적으로 분류하였다.

첫째는 위험을 계량화하기 힘든 정성적인 측면으로는 유연생산체제와 각 서브시스템으로 분류하여 위험에 대한 가중치를 부여하였다.

둘째는 신속한 정보를 제공하기 위하여 프로그램의 실수를 미연에 방지하기 위하여 Y2K 문제 해결능력을 점수화하였다.

셋째는 유연생산체제의 사고발생 시에 안전장치가 이상 시에 제대로 작동하는가에 초점을 맞추어서 계량화하였다.

넷째는 TPM에 대하여 설비보수상태와 TPM 소프트웨어에 대한 신속한 정보능력과 해결능력을 점수화하였다.

마지막으로 안전관리 면에서 안전교육과, 안전운전 지침 및 절차를 점수화하였다.

안전성 요인을 계량화한 식과 기호 및 용어 정의는 다음과 같다.

$$S_i = sr_1 + sy_2 + sd_3 + st_4 + sm_5, \quad 6 \le S_i \le 30 \tag{2.8}$$

S_i = 대안으로 등장한 유연생산체제를 위한 안전성 절대평가 점수

sr_1 = 대안으로 등장한 유연생산체제의 정성적 위험에 관한 안전성 점수

sy_2 = 대안으로 등장한 유연생산체제의 Y2K 문제해결 능력에 대한 안전성 점수

sd_3 = 대안으로 등장한 유연생산체제의 안전장치 이상 시에 안전성 점수

st_4 = 대안으로 등장한 유연생산체제의 TPM에 대한 안전성 점수

sc_5 = 대안으로 등장한 유연생산체제의 안전관리에 대한 안전성 점수

재해를 유발하는 원인 중에서 중대 위험보다는 정성적인 측면과 발생가능성의 측면이 상당한 부분을 차지한다[9]. 따라서 발생가능성의 재해위험에 초점을 맞추어야한다.

그러므로 본 절에서는 정성적인 측면에서 발생가능성이 있는 요소를 유연생산체제와 각 서브시스템으로 분류하여 점수를 부여하였다.

전체적인 유연생산체제의 관점으로 정성적인 면에서 분석한 점수는 <표-7>과 같다. 따라서 위험에 대한 안전성 점수를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$sr_1 = sr_{j1} + sr_{j2} = \frac{\sum_{j=1}^{5} sr_{j1}}{n_1} + sr_{j2}, \quad 1 \le sr_{j1} \le 5, \; 1 \le sr_{j2} \le 4, \; 2 \le sr_1 \le 9 \tag{2.9}$$

sr_{j1} = j 상태에서 1에서 5까지 정수 값을 갖는 서브 시스템의 위험성 점수
sr_{j2} = j 상태에서 1에서 4까지 정수 값을 갖는 유연생산체제의 위험성 점수

<표-6> 서브 시스템에서 발생가능성이 있는 위험에 대한 점수

정성적인 면에서 각 서브시스템의 위험 가능성	기능 상태	점수
사고가 거의 100만 시간당 0에 가까움	최우수	5
사고가 100만 시간당 1회 발생	우수	4
사고가 20만 시간당 1회 발생	보통	3
사고가 15만 시간당 1회 발생	불량	2
사고가 3만 시간당 1회 발생	폐기	1

<표-7> 유연생산체제에서 발생가능성이 있는 위험에 대한 점수

유연생산체제에서 가능성	기능 상태	점수
시스템이 거의 피해 없으며 상해 없음	무시	4
경미한 사고와 시스템 가동 가능	보통	3
시스템의 부분적 가동 불능과 중대 인명 사고	위기적	2
시스템 가동 불능과 사망사고	파국적	1

전체적인 유연생산체제의 관점으로 정성적인 면에서 분석한 점수는 <표-7>과 같다. 따라서 위험에 대한 안전성 점수를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$sr_1 = sr_{j1} + sr_{j2} = \frac{\sum_{j=1}^{5} sr_{j1}}{n_1} + sr_{j2},\ 1 \le sr_{j1} \le 5,\ 1 \le sr_{j2} \le 4,\ 2 \le sr_1 \le 9 \qquad (2.9)$$

sr_{j1} = j 상태에서 1에서 5까지 정수 값을 갖는 서브 시스템의 위험성 점수
sr_{j2} = j 상태에서 1 에서 4까지 정수 값을 갖는 유연생산체제의 위험성 점수

마이크로프로세서의 발달로 인하여 유연생산체제의 기술이 고도로 진보함에 따라 품질과 안전에 신속한 대처능력을 갖게 되었다.

그러나 연속적인 생산의 개념에서 Y2K 인식 오류에 의한 사고는 매우 크다고 할 수 있기 때문에 이에 대한 해결능력을 갖춘 설비가 요구되어야만 한다. 따라서 Y2K 문제해결능력에 대한 안전성 점수를 부여하면 다음과 같다.

<표-8> 유연생산체제에서 Y2K 문제해결 능력에 관한 점수

유연생산체제에서 Y2K 해결능력	기능 상태	점수
유연생산체제에 적절하고 신속하게 대처	최우수	4
유연생산체제에 부분적인 수정 후 가능	우수	3
유연생산체제에 상당한 시간이 필요	보통	2
유연생산체제에 대처 불능	대체	1

유연생산체제에서 사고가 발생할 경우에는 즉각적으로 대처할 수있는 안전장치가 설치되어 적절하게 작동을 해야 만이 사고를 미연에 방지할 수가 있는 것이다. 따라서 안전장치가 이상시에 운영은 기능적인 관점에서 분석하였다.

<표-9> 유연생산체제에서 안전장치 이상 시에 총점수

유연생산체제에서 안전장치의 이상 시의 기능	기능 상태	점수
유연생산체제에 안전하고 신속하게 대처	최우수	5
유연생산체제에 안전하나 수동 후 가능	우수	4
유연생산체제에서 서브시스템 수동 후 가능	보통	3
유연생산체제에서 상당한 시간이 필요	미흡	2
유연생산체제에서 대처 미흡	대체	1

유연생산체제에서 설비가 수명시간 동안 품질, 안전, 생산성 등을 지속적으로 유지하기 위해서는 설비를 도입하는 단계에서 TPM 소프트웨어, 설비의 보수비 비중 등을 철저하게 분석할 필요가 있다. 왜냐하면 유연생산체제는 고가의 비용을 수반하는 체제이기 때문에 서브 시스템의 지연으로 전체적인 유연생산체제에 영향을 주기 때문에 이를 회복하는 데에는 상당한 시간과 비용을 필요로 하기 때문이다.

그러므로 TPM 소프트웨어는 경험적인 연구에서 기능적인 관점으로 분석하였으며, 설비의 보수비용은 총 비용 중에서 연간 보수비율로 나타내었다. TPM 소프트웨어의 기능 점수(st_{j41})는 다음과 같다.

<표-10> 유연생산체제에서 TPM 소프트웨어의 기능에 대한 점수

유연생산체제에서 TPM 소프트웨어의 기능	기능 상태	점수
유연생산체제에서 다른 서브 시스템과 체계적이며 MTBF의 최소화에 적절한 결정기준 제시	최우수	5
유연생산체제에서 자체적으로 체계적이며 MTBF 최소화에 결정기준제시	우수	4
유연생산체제에서 현재 보편적으로 쓰이며 MTBF를 체계적으로 산출	보통	3
유연생산체제에 새로운 프로그램에 적합치 않으며 MTBF 분석이 미흡	미흡	2
유연생산체제에 적합치 않으며 현재는 쓰이지 않음	폐기	1

유연생산체제에서 설비의 보수비용은 날로 증가 추세에 있다. 따라서 유연생산체제에서 보수비용의 비율에 대한 비중은 점점 더 중요한 의사결정 요소로 분석되어야만 한다. 보수비용은 기술의 진보로 인한 설비의 대체에 중요한 역할을 하게 된다.

설비보수 상태 점수(st_{j42})와 가중치와 식은 다음과 같다[3].

<표-11> 설비보수상태 점수와 그 가중치

총 비용 중 연간 보수비 차지비율	상태	가중점수(W_{i41})
0-1%	최우수(Excellent)	5
1-16%	우수(Good)	4
16-41%	보통(Fair)	3
41-66%	불량(Poor)	2
61%이상	폐기(Scrap)	1

$$\text{단, } 1 \le st_{j42} \le 5, \quad st_{j42} = \frac{\sum_{j=1}^{5} n_{j42} \cdot W_{j42}}{n_2} \tag{2.10}$$

W_{j42} = j 상태에서 설비상태 점수

n_{j42} = 대안에서 j상태로 평가된 서브 유연생산체제의 수

n_2 = 대안에서 총 서브 유연생산체제의 수

따라서 TPM에 대한 안전성 점수를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$st_4 = st_{j41} + st_{j42} = st_{j41} + \frac{\sum_{j=1}^{5} n_{j42} \cdot W_{j42}}{n_2}, \quad 2 \le st_4 \le 10 \tag{2.11}$$

st_{j41} = j상태에서 TPM 소프트웨어 기능 평가 점수

안전관리에 대한 안전성 요인은 관리 면에서 매우 중요한 결정 요인이 되기 때문에 안전교육 지침에 초점을 맞추었으며, 특히 안전운전 지침 및 절차에 철저한 분석이 요구되어진다.

안전교육과 지침은 유연생산체제에서 사고를 미연에 방지하는데 상당한 역할을 수행하므로 종업원과 관리자 모두에게 중요한 요소이므로 설비를 도입 시에 사전에 철저한 지침과 교육의 의 세부 사항이 효율적으로 작성되었는가를 검토, 분석해야만 한다[5,9].

안전관리에 대한 평가 점수를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$sc_5 = m_1 \cdot esc_{51} + o_1 \cdot osc_{51}, \quad 0 \le sc_5 \le 1 \tag{2.12}$$

단, m_1 = 안전관리 면에서 교육 지침에 대한 가중치

esc_{51} = 안전 교육 지침에 대한 점수

o_1 = 안전 운전 및 절차에 대한 가중치

osc_{51} = 안전운전 및 절차에 대한 점수

따라서 안전성 요인을 표준화하여 정규화 시킨 식과 기호는 다음과 같다.

$$S_i^o = \frac{S_i}{S_m}, \quad 0 < S_i^o \le 1 \tag{2.13}$$

단, S_m = 대안 i중에서 최댓값이다.

S_i^o = 불확실성을 최소화하기 위하여 정리정돈한 각 대안 i의 안전성 상대 평가점수

그러므로 정량적, 유연성, 안전성 요인을 가중치를 부여하여 나타낸 선형결합을 세부적으로 묘사하면 다음과 같다.

$$T_i = A_1 \cdot V_i^o + A_2 \cdot X_i^o + A_3 \cdot S_i^o, \quad 0 \le T_i \le 3 \tag{2.14}$$

$$= A_1 \cdot \left(\frac{P_i \cdot \sum_{t=0}^{n} \frac{\overline{F}_t}{(1+i)^n}}{V_m} \right) + A_2 \cdot \left(\frac{\left(\frac{\sum_{j=1}^{4} (ox_{j11} + ox_{j12})}{n_1} + lx_2 + px_3 + \frac{\sum_{j=1}^{5} n_{j4} \cdot W_{j4}}{n_2} + sx_5 \right)}{X_m} \right)$$

$$+ A_3 \cdot \left(\frac{\frac{\sum_{j=1}^{5} sr_{j1}}{n_1} + sr_{j2} + sy_2 + sd_3 + st_{j41} + \frac{\sum_{j=1}^{5} n_{j42} \cdot W_{j42}}{n_2} + m_1 \cdot esc_{51} + o_1 \cdot osc_{51}}{S_m} \right) \tag{2.15}$$

단, T_i는 불확실한 상황하에서 체계적으로 선형결합한 i대안의 총점수이며, A_1, A_2, A_3는 정량적, 유연성, 안전성 요인에 대한 가중치이다.

4. 결론

마이크로프로세서와 메카트로닉스의 효율적인 결합은 환경의 변화 시에 매우 능동적이며 신속하게 대처할 수 있는 유연생산체제를 가능하게 하였다. 따라서 민감하게 변화하는 환경에 유연성 있게 대처하기 위해서는 시스템차원, 정보차원, 생산차원의 유연성과 안정성을 을 민감하게 탐지하는 새로운 경제성 평가모형을 개발해야만 한다. 따라서 본 연구의 결과로 기대되는 효과는 다음과 같다.

첫째, 최근의 설비투자를 위하여 기능적인 측면에서 유연성, 안전성 요인을 고려하여 새로운 경제성 평가모형을 개발하였으며, 타당성을 갖기 위하여 각 결정 요인에 대하여 정규화된 새로운 모형을 제안하였다.

둘째, 본 연구의 경제성 평가모형은 불확실한 상황하에서 첨단시스템의 종합적인 요인을 고려하기에 매우 합리적이며 실제 적용하기에 적합한 기법이다.

마지막으로, 유연성 요인과 안전성 요인은 기능적인 관점에서 톱다운 방식으로 분석하였다.

추후에 다년간 연구과제로는 더욱 더 효율적인 TPM이나 TPM을 더욱 더 개선한 RCM(Reliability Centered Maintenance)에 대한 결정 요인의 분석이 요구되어지며, 유연생산체

제의 비계량적인 신뢰성분석이 요구된다.

참고문헌

[1] 강영식, 함효준, "공장자동화를 위한 FMS의 경제성 평가에 관한 연구, 품질관리학회지," 19(1), pp. 141-150, 1991.
[2] 강영식, 함효준, "유연생산체제에서의 최적 공정계획 모형의 적용 및 타당성 평가", 대한설비관리학회지, 1(1), pp. 67-87, 1996.
[3] 강영식, 함효준, "유연생산체제에서 점수산정 모형에 의한 경제성 평가", 대한설비관리학회지, 2(2), pp. 303-320, 1997.
[4] 강영식, 함효준, "유연생산체제에서 SIMAN을 이용한 공정의 수행도 평가를 위한 시뮬레이션 모형", 한국공업경영학회지, 2(2), pp. 153-161, 1997.
[5] 강영식외 4인, 시스템안전공학(개정판), 태성, pp. 10-248, 1999.
[6] 김성인, 김승권, 이종민, "유연생산 시스템의 타당성 평가를 위한 의사결정 모델", 경영과학회지, 7(1), 1990.
[7] 함 효 준, 최신경제성공학, 동현, 1999.
[8] Arbel, A., and Seidman, "Selecting an FMS: A Decision Framework", Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Conference on FMS, pp. 24-29, 1984.
[9] Bird, F., Management Guide to Loss Control, Institute Press, Atlanta, 1974.
[10] Dean, B. V., and Nishry, M. J., "Scoring and Profitability Models for Evaluating and Selecting Engineering Projects", Journal of the Operations Research Society of America, 13, pp. 550-570, 1965.
[11] Harker, P. T., and Vargas, L. G., "The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process", Management Science, 33(11), pp. 1393-1403, 1987.
[12] Kang, Y, S., and Hahm, H. J., "A Model for Computer-Aided Process Planning System in Flexible Manufacturing Systems," Journal of the Korean Society for Quality Management, 22(1), pp. 188-204, 1994.
[13] Miltenburg, G. J., and Krinsky, I., "Evaluating Flexible Manufacturing Systems", IIE Transactions, 19(2), pp. 222-232, 1987.
[14] Mottley, C. M., and Newton, R. D., "The Selection of Projects for Industrial Research", Operations Research, 7, pp. 740-751, 1959.
[15] Nelson, C. A., "A scoring model for flexible manufacturing systems project selection," European Journal of Operational Research, 24, pp. 346-359, 1986.
[16] Parsaei, H. R., *et al.*, "A Methodology for Economic Justification of Flexible Manufacturing," An International Journal of Computers & Industrial Engineering, Vol. 15, 1-4, pp. 117-122, 1988.
[17] Sethi, A. K., and Sethi, S. P., "Flexibility in Manufacturing: A Survey", The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 2, pp. 289-328, 1990.
[18] Suresh and Meredith, "Justifying Multi-machine Systems", Journal of Manufacturing Systems, 14(2), 1985.
[19] Thuesen, H. G., Fabrychy, W, J., and Thuesen, G. J., Engineering Economy, 5th ed., New Jersey, Prentice-Hall Inc., pp. 351, 1977.