

자동화 제조시스템의 유연성 평가방법

편 영 식*, 최 병 규**

요 약

경쟁력 제고를 위해 제조시스템을 자동화하고 유연화하려 할 때 이에 대한 투자와 효과를 평가할 수 있는 투자타당성 평가모형을 찾기가 어려울 뿐 아니라 가용한 모형을 적용해 보아도 평가결과와 실제 운영결과 사이에는 많은 차이가 존재하고 있음을 발견하게 된다. 이러한 차이를 근본적으로 줄이기 위하여, 구현될 유연성의 개념을 도입하고 이를 화폐가치로 산정하는 방법을 제시함과 동시에 산정된 값을 결합하여 사용할 수 있는 투자타당성 평가모형을 제시하였다. 이렇게 제안된 모형을 일반 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 소프트웨어로 구성하여 적용 예와 함께 제시하였다.

1. 서론 및 관련문헌의 연구

제조현장에서 기업의 경쟁력을 향상시킬 수 있는 가장 중요한 요소 중의 하나는 제조시스템의 유연성을 향상시키는 것이다. 전세계적으로 유연자동화 제조시스템(Flexible manufacturing Cell, Flexible Manufacturing System, Flexible Manufacturing Line, Flexible Transfer Line 및 Modular Manufacturing Line)에 대한 설치가 수천 라인에 이르고 있으며 기 공급된 수십 만대의 수치제어(CNC) 공작기계류 중 사용자에 의해 물류자동화 등이 추가되어 운영되고 있는 숫자를 더하면 이 숫자는 더욱 증가할 것이다. 유연자동화 제조시스템의 대표적인 시스템이라 할 수 있는 FMS(Flexible Manufacturing System)의 우리나라를 비롯한 일본, 미국, 독일과 세계의 설치 숫자에 대한 자료 및 우리나라와 미국, 일본의 운영에 대한 상호 비교내용을 <부록>에 첨부하였다. 자동화 제조라인을 가장 많이 사용하고 있는 자동차용 부품 가공사업과 전기 전자용 부품 가공산업 등에서 공작기계를 이용한 양산용 자동화 제조시스템의 주요 국가별 투자추세와 도입검토시 주로 사용하는 투자타당성 평가방법들을 <표 1>에 정리하였다.

제조 유연성의 정의, 분류 및 측정방법과 유연자동화

의 투자분석을 위한 의사결정 방법에 대한 수많은 연구들이 있었으나(1-4) 아직도 유연성 가치를 화폐가치로 산정하는 것이 성공적이지 못하고, 일부 이러한 산정방법이 제시되었다 하여도 그 방법을 운영하기가 쉽지 않은 물론 이를 투자타당성 평가모형에 결합하여 사용할 수 있는 방법이 제시되지 않았다(2, 5, 6). 그러므로 사용자의 입장에서 현재 가용한 투자타당성 평가모형을 이용하여 유연자동화 제조시스템 도입을 분석할 때의 기대효과와 실제 운영결과 사이에는 많은 차이가 있다(7-11).

저자들은 기존 연구(12, 13)에서 이러한 문제들을 해결하고 자동화 제조시스템의 제조 유연성의 효과를 화폐가치로서 산정하는 방법을 제시함과 동시에 이를 결합하여 사용할 수 있는 투자타당성 평가모형을 제시하였다. 본 논문에서는 제안된 모형을 일반 사용자가 실무에 쉽게 적용할 수 있도록 소프트웨어로 구성하여 제시하고자 한다.

2. 잠재된 유연성 및 구현될 유연성

저자들은 기존 연구(12, 13)에서는 이제까지의 다른 연구의 문제점을 "제조시스템에 내재되어 있는 유연성과 설치 운용 후 사용자가 얻을 수 있는 유연성은 다르다"라는 기본 개념으로 출발하여 제조시스템의 유연성을

* 성화대

** 한국과학기술원

〈표 1〉 주요 국가별 양산용 자동화 제조시스템의 투자 추세 및 주요 투자타당성 평가방법

국가	투 자 추 세	주요 투자타당성 평가 방법
한국	외국기술제휴선(주로 일본) 제조라인의 모방 또는 일부 변경 전용기 → Flexible Transfer Line 도입중	외국기술제휴선의 투자금액에서 일정률 감소기준이 많이 사용됨
일본	생산기술력 우위확보로 국제경쟁력 우위 유지 전용기 → Flexible Transfer Line의 보편화 Modular Manufacturing Line 일부 도입중	재무분석기법을 이용한 평가방법 사용 운영상의 문제에 더 비중을 둠(14, 15)
미국	일본의 생산기술과 생산관리의 일부 장점 도입 전용기 → Flexible Transfer Line이 주로 도입 Modular Manufacturing Line 일부 도입중	회폐가치 기준과 유연성의 전략적 효과에 중요성을 두는 경제성 평가모형을 함께 사용함(1, 14, 16)
독일	일본에게 추월당한 생산기술분야의 우월성을 회복하기 위한 새로운 제조시스템을 개발도입중 주로 Modular Concepts를 이용한 자동화제조 시스템의 설계와 제작 전용기 → Flexible Transfer Line의 보편화 Modular Manufacturing Line을 중점 도입중	장기적 관점에서 투자금액 대생산량의 비율을 주요 평가 기준으로 사용

제조자의 입장과 사용자의 입장으로 구분하여 분석하는 새로운 방법을 제시하여 해결하려고 하였다. 제시된 새로운 방법에 대한 기본 개념들이 그림 1에 설명되어 있다.

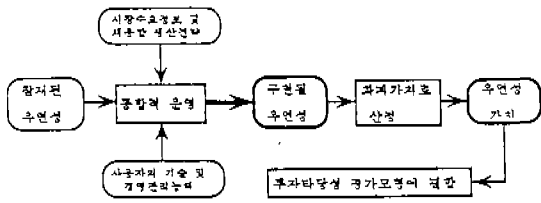


그림 1 유연성 평가와 투자타당성 평가모형에 관련된 개념들의 관계

2-1. 잠재된 유연성

제조시스템에 내재되어 있는 유연성을, 사용자에 의해서 도입 운영되기 전의 상태에서, 제조시스템 제조자의 입장에서 분석된 유연성을 잠재된 유연성이라 한다. 잠재된 유연성의 종류와 정의는 다음과 같다.

1. 부가적 투자 유연성(Incremental investment Flexibility)을 “제조시스템의 제조능력을 필요에 따라 증가감 투자할 수 있는 제조시스템의 능력”으로 정의한다.
2. 공구 유연성(Tooling flexibility)을 “새로운 제품이나 설계 또는 공정이 변경된 제품을 제조할 수 있는

제조시스템의 능력”으로 정의한다.

3. 재료 취급 유연성(Material handling flexibility)을 “새로운 제품이나 설계 또는 공정이 변경된 제품의 물류를 취급할 수 있는 제조시스템의 능력”으로 정의한다.
4. 호환 유연성(Interchange flexibility)을 “각 기계 공정들(Stations)의 공구류 및 작업을 취득 지그류나 기능들을 필요시 각 기계 공정들(Stations)끼리 교환하여 사용할 때 이를 지원할 수 있는 제조시스템의 능력”이라 정의한다.
5. 소프트웨어 유연성(Software flexibility)을 “상가의 네 종류의 유연성이 적용될 때 요구되는 제조시스템의 소프트웨어 제어(System control software) 변경 능력”으로 정의한다.
6. 인력 유연성(Manpower flexibility)을 “상기의 다섯 종류의 유연성을 적용하면서 제조시스템을 운영하는데 필요한 인력을 조정할 수 있는 제조시스템의 능력”으로 정의한다.

2-2. 구현될 유연성 및 유연성 가치

사용자는 제조시스템에 내재된 잠재된 유연성과 사용자 자신의 기술 및 경영 관리능력을 통합적으로 활용하여 자신에게 주어진 생산전략을 구현하면서 시장 수요 정보에 따른 생산 목표 달성을 위하여 노력한다. 사용자의 입장에서 시스템의 잠재된 유연성, 생산전략, 시

장 수요 정보와 자신의 기술 및 경영 관리능력의 상호 작용의 결과 나타나는 유연성을 분석할 때, 이렇게 분석된 유연성을 구현될 유연성이라 한다. 이 구현될 유연성은 회폐가치로의 환산이 가능하고, 이렇게 회폐가치로 환산된 값을 구현될 유연성의 가치 또는 간단히 유연성 가치라 부른다. 구현될 유연성의 종류, 정의 및 해당 유연성 가치를 산정하는 방법은 다음과 같다. 여기서 사용한 약어들은 <표 2>에 설명되었다.

1. 투자정책 관련분야

주어진 투자정책에 대응하는 사용자의 통합적 운용능력과 관련된 분야에 속한 유연성으로서 다음의 세가지 요소로 분류할 수 있다.

1) 점증적 투자 유연성(Flexibility for sequential investment : SI)을 "변화하는 시장수요정보에 맞추어 제조시스템, 제조능력을 점증적으로 증가감하여 투자할 수 있는 사용자의 능력"으로 정의한다. 이 유연성의 가치는 독립적인 값으로 환산이 어렵다. 그러므로 이 유연성 가치는 점증적 증가감 투자 정책에 의해 제시된 각 투자 대안들의 설비의 비용에 포함되어 나타난다고 가정한다.

2) 사업(또는 제품) 포기시 유연성(Flexibility for project abandonment : PA)을 "조기에 제품 생산을 포기해야 할 경우 기 투자된 제조시스템을 타용도로 전환할 수 있는 사용자의 능력"으로 정의한다. 유연성 가치는 식 (1)에 의해 구할 수 있다.

$$PA = -(1-t) (1-\gamma) \sum_{n=1}^N \frac{B_n P_m}{(1+i)^n} \tag{1}$$

3) 사업완료 후(또는 제품수명 후) 유연성(Flexibility for new project adaptation : NP)을 "사업이(또는 제품의 수명이) 완료된 후 설치된 제조시스템을 타용도로 전환할 수 있는 사용자의 능력"으로 정의한다. 유연성 가치는 식 (2)에 의해 구할 수 있다.

$$NP = \frac{P_e B_N + P_m (B_N - c_1 (1-t)) + (1-P_e - P_m) \{ \gamma (1-t) + t \} B_N - \{ \gamma (1-t) + t \} B_N}{(1+i)^N} \tag{2}$$

여기서 $N_a \leq N$ 이 되면 NP는 값이 0이 된다.

또한 사용자의 입장에 따라 사업 포기시 유연성과 사업 완료 후 유연성을 통합하고 이들의 유연성 가치를

다음의 식 (A2)를 이용하여 구할 수도 있다(양산용이 아닌 중간 규모 생산용이나 다품종 소량 생산용의 제조시스템에서는 통합이 용이함. 그러므로 적용사례에서는 이식을 사용하였다).

$$PE = \sum_{n=1}^N E_{pn} \left[\frac{-P_e B_n + P_m (B_n - c_1 (1-t)) + (1-P_e - P_m) \{ \gamma (1-t) + t \} B_n - \{ \gamma (1-t) + t \} B_n}{(1+i)^n} \right] \tag{A2}$$

여기서 E_{pn} 은 n년도에 사업을 포기할 확률이다.

2. 내부관리 관련분야

사용자 자신의 내부 변화에 대응하는 사용자의 능력과 관련된 분야에 속한 유연성으로서 다음의 다섯가지 요소로 분류할 수 있다.

1) 지속적 개선 유연성(Flexibility for continuous improvement : CI)을 "지속적 개선을 위해 설계 또는 작업 공정이 변경된 제품을 제조할 수 있도록 제조시스템을 변경(적용)시키는 사용자의 능력"으로 정의한다. 유연성 가치는 식 (3)에 의해 구할 수 있다.

$$CI = -(1-t) \sum_{n=1}^N \frac{r_n c_1}{(1+i)^n} \tag{3}$$

2) 고장발생 처리 유연성(Flexibility for trouble control : TC)을 "제조시스템에 고장이 발생할 경우 정상 가동이 가능한 일부 기계 공정(Stations)들로서 생산을 계속할 수 있도록 제조시스템을 축소 운영할 수 있는 사용자의 능력"으로 정의한다. 유연성 가치는 식 (4)에 의해 구할 수 있다.

$$TC = (1-t) \sum_{n=1}^N \frac{T_n b_n}{(1+i)^n} \tag{4}$$

$$T_n = a d \min (C_n M_n, Q_n) - c_2 \tag{4-1}$$

3) 무인 가동시간 확장 유연성(Flexibility for extension of unattended manufacturing hours : UH)을 "직접 작업자의 참여없이 최소의 감독 인원을 활용하여 제조시스템에서 생산을 지속할 수 있는 시간을 확장하여 나가는 사용자의 능력"으로 정의한다. 유연성 가치는 식 (5)에 의해 구할 수 있다.

$$UH = (1-t) \sum_{n=1}^N \frac{c_w L_n}{(1+i)^n} \tag{5}$$

4) 작업관리 유연성 (Flexibility for workforce control : WC)을 "제조시스템을 운영하는데 필요한 작업자의 기술 및 경영 관리능력과 소요 인원수를 관리하는 사용자의 능력"이라 정의한다. 유연성 가치는 식 (6)에 의해 구할 수 있다.

$$WC = (1-t) \sum_{n=1}^N \frac{\phi \int_n W_n}{(1+i)^n} \quad (6)$$

5) 공정재고 관리 유연성 (Flexibility for WIP control : IP)을 "제조시스템을 운영하는데 필요한 공정 중의 재고를 최소의 양으로 관리하는 사용자의 능력"으로 정의한다. 유연성 가치는 식 (7)에 의해 구할 수 있다.

$$IP = -(1-t) \sum_{n=1}^N \frac{c_v \alpha V_n}{(1+i)^n} \quad (7)$$

3. 시장수요 관리 관련분야

시장수요의 변화에 대응하는 사용자의 능력과 관련된 분야에 속한 유연성으로서 다음의 다섯가지 요소로 분류할 수 있다.

1) 제품혼합을 변경 유연성 (Flexibility for the changes in product mix : PM)을 "변동하는 시장 수요에 따라 제품혼합을 변경하면서 생산할 수 있도록 제조시스템을 변경할 수 있는 사용자의 능력"으로 정의한다. 유연성 가치는 식 (8)에 의해 구할 수 있다.

$$PM = -(1-t) \sum_{n=1}^N \frac{m_n c_2}{(1+i)^n} \quad (8)$$

2) 신제품 투입 유연성 (Flexibility for new items introduction : NI)을 "신제품을 투입하여 제조할 수 있도록 제조시스템을 변경(적용)시키는 사용자의 능력"으로 정의한다. 유연성 가치는 식 (9)에 의해 구할 수 있다.

$$NI = -(1-t) \sum_{n=1}^N \frac{n_n c_3}{(1+i)^n} \quad (9)$$

3) 미달수요 처리 유연성 (Flexibility for underdemand control : UC)을 "실제 수요가 제조시스템의 생산능력보다 적은 상태가 발생할 때 제조시스템 중 여유 설비를 활용할 수 있는 사용자의 능력"으로 정의한다. 유연성 가치는 식 (10)에 의해 구할 수 있다.

$$UC = (1-t) \left[\beta \sum_{n=1}^N \frac{\delta_n (M_n - Q_n) C_r}{(1+i)^n} - \frac{c_2}{(1+i)^s} \right] \quad (10)$$

4) 초과수요 처리 유연성 (Flexibility for overdemand control : OC)을 "실제 수요가 제조시스템의 제조능력을 초과하는 상태가 발생할 때 이를 처리하는 사용자의 능력"으로 정의한다. 유연성 가치는 식 (11)에 의해 구할 수 있다.

$$OC = -(1-t) \sum_{n=j}^M \frac{\tau_n \varepsilon (Q_n - M_n)}{(1+i)^n} - \frac{I_{j-M}}{(1+i)^{j-M-1}} \quad (11)$$

$$j = \min. \{n \mid Q_n > M_n, 1 \leq n \leq N\} \quad (11-1)$$

5) 납기 관리 유연성 (Flexibility for due date control : DC)을 "수주된 제품들의 납기를 맞추어 생산하는 사용자의 능력"으로 정의한다. 유연성 가치는 식 (12)에 의해 구할 수 있다.

$$DC = -(1-t) \sum_{n=1}^N \frac{\psi \alpha F_n G_n K_n}{(1+i)^n} \quad (12)$$

3. 경제성 평가모형

제2장에서 제안된 유연성 가치 산정방법을 보다 편리하게 사용하고 또한 이를 경제성 평가모형에 포함하여 투자타당성 평가기준으로 사용할 수 있도록 하기 위하여 이를 소프트웨어로 구성하여 제시한다.

3-1. 경제성 평가모형

현재 투자가치 기준의 경제성 평가모형이 전통적인 평가기준 중에서 사용의 편리함이나 일치성 (consistency)과 견고성 (robustness)에서 가장 우수한 특성을 갖고 있으므로, 본 논문에서는 투자가치의 현재 값을 평가기준으로 사용하는 투자타당성 평가모형을 채용한다. 총 투자가치는 식 (13)과 같이 수립, 설비 비용, 운용 비용, 감가상각 관련 비용 및 잔존 설비 처분가치와 앞장의 식 (1)-(12)에 의해서 화폐값으로 계산된 유연성 가치의 총합(FV)을 합하여 구할 수 있다.

$$PW(t) = \sum_{n=1}^N \left(\frac{(1-t)R_n}{(1+i)^n} - \frac{I_n}{(1+i)^{n-1}} - \frac{(1-t)O_n}{(1+i)^n} + \frac{t D_n}{(1+i)^n} \right) + \frac{(t + \gamma(1-t))B_N}{(1+i)^N} + FV \quad (12)$$

여기서 R은 수입, I는 설비 비용, O는 운용 비용, D는 감가상각비, B는 장부 가격, $\gamma \times B$ 는 처분 가격.

<표 2> 유연성 가치 산정에 필요한 입력자료의 약어표

순	약어	내 용	유연성 가치
1	i	최소기대 수익율(MARR)	전체에 사용
2	t	소득세율	전체에 사용
3	B _n	n년도말의 장부가격	PA, NP
4	γ	설비 처분가치(S)의 장부가격에 대한 비율 : $S = \gamma * B_n$	PA, NP
5	P _{an}	사업(또는 제품생산)의 포기가 발생할 확률	PA
6	c ₁	도면이나 공정설계의 변경에 따른 공정변경 소요비율	NP, CI
7	P _e	설계나 공정의 변경없이 타사업에 채용될 확률	NP
8	P _m	일부 설계나 공정의 변경후에 타사업에 채용될 확률	NP
9	N _a	설비의 실제 기대수명	NP
10	r _n	n년도의 도면이나 공정설계의 평균 변경횟수(개선을 위해)	CI
11	b _n	n년도의 평균 고장발생 횟수	TC
12	c ₂	Rerouting을 위한 공정의 변경에 소요되는 평균비율	TC, PM, UC
13	C _a	고장수리기간중 생산가능한 평균능력 : M _n 의 %	TC
14	d	평균 고장수리기간	TC
15	α	평균 단위제품당 수입(또는 최소 부가가치)	TC, IP, DC
16	c _w	직접작업자 일인당 평균 직접인건비+부대제비용	UH
17	L _n	n년도의 평균 감소된 직접인력수	UH
18	φ	사용자가 취득할 수 있는 단위 직무당의 연평균 수입	WC
19	W _n	n년도의 제조시스템운영에 필요한 평균 인력	WC
20	J _n	n년도의 제조시스템운영에 필요한 작업자당 평균 소요직무 종류수	WC
21	c _v	단위공정재고당 평균 재고비용(단위 제품가격에 대한 비율)	IP
22	V _n	n년도의 평균 공정재고 수량	IP
23	m _n	n년도의 평균 제품혼합률 변경 횟수	PM
24	n _a	n년도에 투입된 신제품의 평균 종류수	NI
25	c ₃	한종류의 신제품 투입시 필요한 제 공정비율	NI
26	C _t	미달수요 발생시 타용도로 전용할 수 있는 능력 : M _n 의 %	UC
27	λ	미달수요 유연성을 적용하는 기준 : Q _n 의 M _n 에 대한 비율%	UC
28	β	여유생산능력으로 사용자가 얻을 수 있는 평균 단위제품당 수입(또는 최소 부가가치)	UC
29	s	미달수요 유연성의 적용을 시작하는 연도	UC
30	Q _n	n년도의 평균 수요	TC, UC, OC
31	M _n	n년도초의 최대 생산능력	TC, UC, OC
32	δ	하정생산시 추가되는 단위제품당 평균 비율	OC
33	ψ	연간 납기지연에 의해 발생하는 비용(단위 제품가격에 대한 비율)	DC
34	F _n	n년도에 발생한 납기지연 평균 횟수	DC
35	G _n	n년도에 발생한 납기지연당 평균 제품수량	DC
36	K _n	n년도에 발생한 납기지연당 평균 기간	DC

아래 첨자 n 은 사업년도이다. 수입의 차이가 미세한 여러 대안들을 비교할 경우에, 예를 들어 양산용으로 사용할 시스템을 여러 대안들 중에서 선정할 경우에는 수입 항목을 제외하고 계산하는 것이 편리할 수도 있다.

3-2. 관련자료 획득을 위한 합의모임

여기서 제시된 유연성 가치 산정방법에 사용된 각식의 변수들은 상호작용-예로서 식 (6)에 사용하는 추정된 작업 인력수(W_n)는 식 (3)에 사용하는 부품 수정 횟수(r_n)나 식 (4)에 사용하는 시스템의 고장 횟수(b_n)에 의해 값이 바뀔수 있고 반대의 경우도 성립한다. 을 하는 것이 많기 때문에 이 식을 적용하는데 있어서 하나의 어려움은 (기존의 다른 방법들과 마찬가지로 계산에 필요한 자료들을 획득하는 것이다. 그러나 각식에 사용될 입력 자료가 획득되지만 하면 유연성 가치를 구하는 것은 어려운 일이 아니다. 이러한 자료 획득의 어려움을 덜어 주기 위하여 유연성 가치 산정자료 취득을 위한 합의모임을 (구현될 유연성의 새 관련부문과 같이 투자정책 관련부문, 내부관리 관련부문 및 시장수요 관리 관련부문으로 구성한다) 제안한다. 이러한 합의모임을 통하여 유연성 가치 계산에 필요한 자료를 수집한다면 그 자료의 정확성과 신뢰성이 향상되므로 투자타당성 분석의 결과도 더욱 정확하고 신뢰성도 높아질 것이다. 또한 이러한 자료를 취득하는 과정을 통하여 관련부서와 담당자들은 상호간의 입장뿐 아니라 도입을 검토중인 제조시스템에 대한 깊은 이해를 할 수 있게 될 것이다. 그러므로 자동화 제조시스템의 성공적 도입에 가장 중요한 요소인 시스템의 도입과 운영에 관련된 사람과 사람, 부서와 부서사이의 합의에 의한 공동목표의식의 함양을 얻을 수 있다(14, 15).

3-3. 유연성 가치 산정과 투자타당성 평가모형 소프트웨어

프로그램은 C언어를 사용하여 작성하였으며 IBM compatible PC에서는 Text file을 이용한 입출력을 할 수 있도록 구성하였다. Workstation에서는 Text file을 이용한 입출력뿐 아니라 X-Window 하에서 사용자가 메뉴 식으로도 입력이 가능하며 또한 입력 자료의 수정, 프로그램 수행 및 출력이 하나의 Window 상에서 처리할 수 있도록 구성하였다. 기본적인 소프트웨어의 구조는 그림 2와 같고 Workstation에서 구성한 작

업 Window에는 그림 3과 같다.

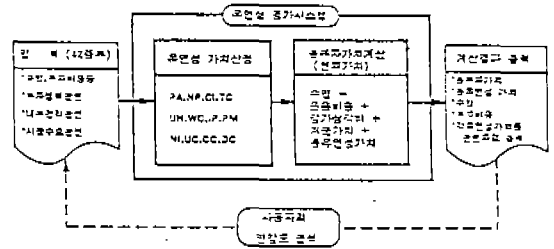


그림 2 투자타당성 평가 모형 소프트웨어

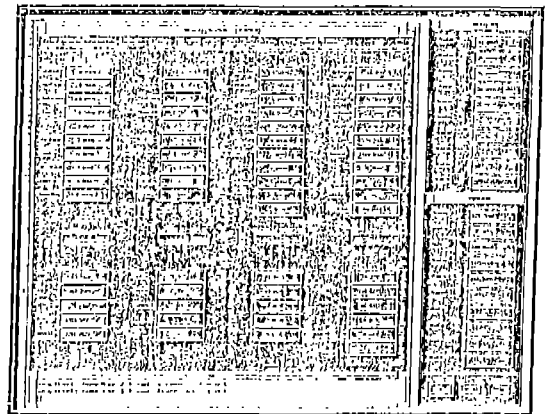


그림 3 Workstation에서의 작업 Window예

4. 적용 예

앞장에서 제시한 투자타당성 평가모형을 하나의 FMS 제조업체에서 발행한 기술자료(17)의 예에 적용해 보기로 한다. 이 기술자료는 일반 고객에게 Multi-Machine FMS(18)가 Single-Type Flexible Machine(18)보다 경제적으로 유익하다는 것을 설명하는 것인데 본 논문에서는 유연성 가치 산정에 필요한 자료를 추가로 가정하여 적용한다.

4-1. 시나리오와 입력 자료

1. 시나리오

FMS 제조업체의 기술자료(17)에서는 평균 가공시간 55분인 제품 55개를 하루에 생산할 수 있는 세 종류의 유연자동화 제조시스템 - 두 종류의 Single-Type Flexible Machine(7대의 two-pallet-type machining centers로 구성된 시스템과 5대의 six-pallet-type

machining centers로 구성된 시스템)과 하나의 Multi-Machine Flexible Manufacturing System(3대의 machining center로 구성됨)-의 경제성을 비교하고 있다. 이 기술자료의 상황(경우)을 시나리오 A라고 하며 편의상 7대의 two-pallet-type machining centers로 구성된 시스템은 기술자료의 결과와 같이 다른 대안들에

비해 경제적인 평가에서 현격히 열등하므로 본 분석 대상에서 제외한다(이 결과는 본 연구 모형을 적용한 결과에서도 현격히 열등하였다). 유연자동화 제조시스템의 투자타당성 분석에서 유연성 가치가 갖는 중요성을 부각시키기 위해 시나리오 A의 상황을 <표 3> 및 그림 4와 같이 변경하여 가정하고 이 경우를 시나리오 B라 한다.

<표 3> 시나리오 A와 B의 차이 요약

시나리오 A	시나리오 B
내면적으로 시장수요량의 변화가 없는 것으로 가정하여 5년간의 사업기간중에 생산능력은 불변으로 가정하였다.	시장수요가 사업 3년차부터 33% 증가할 것으로 예측하고 Multi-Machine FMS의 경우는 3년차부터 Machining Center 한대를 추가설치하고 Single-Type Flexible Machining에서는 한대의 Six-Pallet-Type Machining Center를 빼내는 대신 1교대에서 2교대로 작업시간을 증가하여 증산한다.
관련 작업자의 인건비를 연간 약 \$60,000으로 계산	관련 작업자의 인건비를 5/6로 줄여서 계산(연간 평균 인건비 약 \$50,000로 계산)

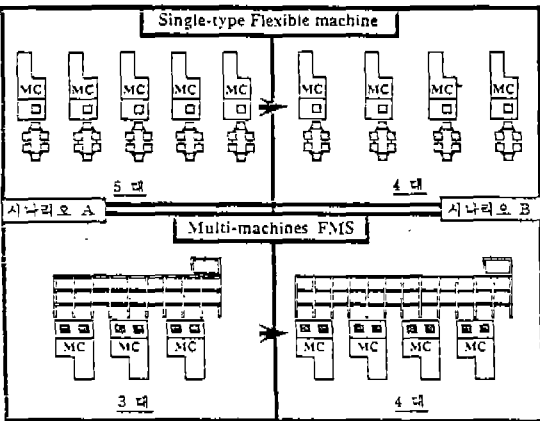


그림 4 시나리오 A와 B에서 두종류 제조시스템의 설비 계획

2. 입력 자료

일반적인 투자가치를 계산하는데 필요한 자료들은 대부분 FMS 제조업체의 기술자료(17)를 이용하여 계산하였고 일부는 가상 자료를 추가하여 <표 4>와 같이 정리하였다. 유연성 가치산정을 위한 자료들은 <표 5>와 같이 가정하였다. 계산 및 자료에 사용된 화폐가치의 단위는 \$1,000이다.

4-2. 계산 및 계산 결과의 토의

1. 각 시나리오에서의 투자 비용 계산

각 시나리오에서의 두 투자 대안들의 유연성 가치와 투자 가치들을 앞장에서 제시한 소프트웨어를 이용하여 계산하여 정리하면 <표 6>과 같다.

2. 적용 예의 계산 결과에 대한 검토

FMS 제조업체의 기술 자료(45)에서는 The discounted-payback-period method와 유사한 일본식의 회계학적인 평가모형을 사용하여 분석하여 Multi-Machine-Type FMS가 Single-Type Flexible Machine보다 경제적으로 우수한 투자 대안이라고 추천하고 있다. 이는 본 논문에서 제시한 모형에서 유연성 가치만을 제외한 상태에서 적용하여 분석하여도 같은 결론을 얻게 된다. 다시 설명하면 <표 5>의 시나리오 A에서 Multi-Machine-Type FMS의 IW-FV 값이 Single-Type Flexible Machine의 IW-FV 값보다 많다. 같은 분석 방법 (유연성 가치만을 제외한 모형)을 시나리오 B의 두 시스템에 적용하면 이때는 Single-Type Flexible Machine의 IW-FV 값이 Multi-Machine-Type FMS의 IW-FV 값보다 많으므로 Single-Type Flexible Machine이 경제적으로 우수한 투자 대안이라는 결론을 얻게 된다. 그러나 본 논문에서 제시한 모형과 같이 유연성의 가치(FV)를 포함한 방법을 적용하게 되면 시나리오 A의 경우에는 두 대안의 총 투자가치(IW)의 차이가 유연성 가치를 제외한 경우의 값

〈표 4〉 5년 사업 기간의 투자 가치 계산에 필요한 자료

내역	시스템	Single-Type Flexible Machine	Multi-Machine FMS
시나리오 A			
년간수입 (Sales-Material cost)		987. 3	888. 6, 987. 3, 987. 3, 987. 3, 987. 3
년간 운용비용 (Labor and overhead)		196. 203. 8, 278. 2, 292. 1, 306. 7	136. 4, 141. 3, 146. 4, 151. 7, 157. 2
작업자수와 유인 및 무인 작업시간		1. 66 작업자, 8시간 유인 6시간 무인	0. 674 작업자 8시간 무인, 15시간 무인
설비비		첫해 : 2, 681	첫해 : 2, 318
년간 감가상각비		268. 1	231. 8
시나리오 B			
년간수입 (Sales-Material cost)		987. 3, 987. 3, 1, 313. 1, 1, 313. 1, 1, 313. 1	888. 6, 987. 3, 1, 313. 1, 1, 313. 1, 1, 313. 1
년간 운용비용 (Labor and overhead)		163. 3, 169. 8, 231. 9, 243. 4, 255. 6	113. 7, 117. 8, 134. 6, 139. 7, 144. 9
작업자수와 유인 및 무인 작업시간		3년차부터 2. 66 작업자, 2교대 작업, 2×8 시간 유인작업, 7시간 무인 작업	3년차부터 0. 9작업자, 8시간 유인작업, 15시간 무인 작업
설비비		2, 681. 0, -388. 1, 0, 0	2, 318, 0, 540, 0, 0
년간 감가상각비		268. 1, 268. 1, 219. 5, 219. 5, 219. 5	231. 8, 231. 8, 285. 8, 285. 8, 285. 8

주 : 감가상각법은 10년 정액법을 채용하고 10년후의 잔존가액은 0으로 계산

(IW-FV)보다 더욱 커진다. 이를 시나리오 B에 적용하게 되면 더욱 현격한 결과를 얻게 된다. 즉 이 경우에는 유연성 가치를 고려치 않은 경우와는 반대로 Multi-Machine-Type FMS이 더 많은 총 투자가치(IW)을 갖게 되어 경제적으로 우수한 투자 대안으로 추천된다.

5. 결론 및 토의

유연성 분석의 새로운 방법(사용자의 입장과 제조 및 공급자의 입장을 분리하여 분석하는 방법)을 이용하여 유연성을 잠재된 유연성과 구현될 유연성으로 구분하였다. 구현될 유연성은 그 특성에 따라 세 분야로 구분한 후 다시 측정 가능한 13종류의 요소로 세분한 후 화폐 가치로 산정하는 방법을 제시하였다. 이렇게 화폐가치로 계산된 유연성 가치를 투자타당성 평가모형의 현재 투자 가치 기준에 직접 가산하여 사용할 수 있는 경제성모형을 제시하고 이를 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 소프트웨어로 구성하고 예로서 이의 적용방법을 보였다. 자동화 제조시스템의 성공적인 도입과 정확한 유연성

측정 자료의 획득에 도움이 되는 합의모임의 구성도 제안하였다.

제시된 모형 및 소프트웨어는 모든 용도(양산용, 다 품종 소량 생산용 및 중간 규모 생산용)의 가공산업용 제조시스템뿐 아니라 조립, 금속가공 등의 제조시스템의 유연성 가치 산정과 투자타당성 평가방법에 활용될 수 있다. 또한 단일 대안의 투자타당성 평가뿐 아니라 여러 대안들 중에서 적절한 대안을 선정할 때에도 쉽게 적용할 수 있다. 다른 모형의 경우와 마찬가지로 필요한 자료 수집의 어려움을 덜어 주기 위하여 제안한 합의모임을 잘 활용한다면 정확한 자료의 획득뿐 아니라 자동화 제조시스템의 성공적인 도입에 필수요소인 도입 운영과 관련된 사람 및 부서 사이에 합의에 의한 공동 목표 의식을 함양할 수도 있다.

부록-1, FMS 현황 표본조사

1. 주요 국가 및 세계의 FMS 설치 현황
우리나라, 일본, 미국 및 통일 독일의 FMS 설치

〈표 5〉 유연성 가치 계산에 필요한 자료

변 수	Single-Type Flexible Machine	Multi-Machine FMS
MARR i	0.08	
Income tax t	0.58	
The rate of salvage γ	0.85	0.8
Average cost for revision c_1	27	20
Probability of project exit E_{pn}	0, 0.015, 0, 0, 0.985	0, 0.02, 0, 0, 0.98
Probability of adoption without revision P_e	0.2	
Probability of adoption with revision P_m	0.8	
Average number of parts revisions r_n		
Rescheduling cost c_2	5	3
Unit price α	0.078	
Average benefit per job ϕ	3	
Average number of operators W_n	2	1
Average number of different jobs J_n	1, 1, 2, 2, 2	1, 2, 2, 3, 3
Inventory carrying-cost rate C_v	0.6	
Average WIP V_n	130	80
Average number of product mix changes m_n	6, 9, 12, 18, 18	
Average number of new items n_n	1	
Average cost for new item introduction c_3	91, 91, 73, 73, 73	66 for all
Annual delayed-delivery-cost rate ψ	10.0	
Average frequency of delayed delivery F_n	30, 30, 30, 25, 20	30, 25, 25, 20, 20
Average quantity of delayed delivery G_n	50	50
Average period per delayed delivery K_n	0.002, 0.001, 0.002, 0.002 0.002	0.002, 0.001, 0.002, 0.002 0.002

현황과 전 세계의 설치 현황에 대한 몇가지의 자료를 정리하면 다음 〈표 A1〉과 같다.

2. 국내에 설치된 FMS의 현황과 일본 및 미국의 현황과 비교

1) 조사 방법 및 자료

FMS를 설치하여 운영하고 있는 3개회사(4개 공장)의 생산 담당자(모두 과장급 이상)에게 설문서를 보내어 응답을 받는 형식을 취했으며 D사 1개 라인을 제외하고는 직접 방문하여 운영 실태를 확인하고 담당자와 운영 실태에 대하여 의견을 교환하였다. 이 결과 얻어진 자료를 Jaikumar⁽¹⁵⁾가 발표한 미국과 일본의 자료와 비교하여 〈표 A2〉에 정리하였다.

2) 비교 분석

우리나라의 현황과 미국과 일본의 현황과는 시간적으

〈표 A1〉 FMS의 주요국가 및 세계의 연도별 누적운영 시스템수(9, 10, 15, 19-21)

국가별	연도별					
	'75년	'80년	'84년	'88년	'93년	2000년
한국	0	0	1	3	5	(20)
일본	15	40	70	(200)	(400)	(900)
미국	5	25	70	(170)	(300)	(600)
독일(통일)	3	15	50	(100)	(170)	(350)
전 세계 합계	25	125	370	1,000이상	(1,500)	(3,000)

주: 국내의 FMS는 MacCarthy B. L. 와 J. Y. Liu⁽¹⁸⁾의 Multi-Machine FMS에 해당하는 시스템 설치 숫자임.

로 8년이란 격차가 있으나 일본이나 미국에서 일반 산업체에서 제조용으로 FMS의 도입을 본격적으로 시작한 것이 75년으로 볼 때⁽¹⁹⁾ '84년도의 현황은 미국과 일본

<표 6> 각 시나리오에서 두 투자 대안들의 유연성 가치와 투자 가치 비교

내역	시나리오 A		시나리오 B	
	Single-Type	Multi-Machine FMS	Single-Type	Multi-Machine FMS
FV : 총 유연성 가치	-249.6	-156.4	-259.9	-135.2
1) Sequential investment SI	적용안함		설비비용에 포함됨	
2) Project exit PE	52.1	63	41.9	84.2
3) Continuous improvement CI	-66.7	-49.4	-66.7	-49.4
4) Trouble control TC	Utilization rate에 포함됨			
5) Extension of unattended manufacturing hours UH	운용비에 포함됨			
6) Workforce control WC	15.6	10.6	15.6	10.6
7) WIP control IP	-10.2	-6.2	-10.2	-6.2
8) New items introduction NI	-135.8	-110.6	-135.8	-110.6
9) Product mix control PM	-101.3	-60.8	-101.3	-60.8
10) Under demand control UC	적용안함			
11) Over demand control	적용안함			
12) Due date control DC	-3.1	-2.8	-3.1	-2.8
IW : 총 투자가치	-219.5	157.4	258.5	351.2
IW-FV	30.1	313.8	518.4	486.4

<표 A2> 국내 FMS의 현황과 일본 및 미국의 현황과 비교

비교내용	국가별 현황			
	한 국	일 본	미 국	국내세부현황
1. 시스템 개발기간	1.5-2.5	1.25-1.75년	2.5-3.0년	'89년 이전 : 2.5년 '90년 이후 : 1.5년
2. 시스템당 공작기계 수량	7.4(6-10)	6	7	
3. 시스템당 생산부품 종류	65	93	10	D사 2라인 : 2-3, S사 라인 : 20 H사 2라인 : 120, 180
4. 제품종류당 연간 생산수량	1,200미만	258	1,727	1200미만 : 218종류 6000미만 : 7종류
5. 일일평균가동시간	18.6	20.2	8.3	
6. 일일평균생산량	100	120	88	
7. 무인가동시스템수	2	18	0	H사 2라인 8시간
8. 연산 신제품투입 종류	연간 생산종류의 10% 정도	22	1	D사의 2라인은 고정제품만을 생산
9. 조사시스템수	5	60	35	
10. 조사기준	'93년 기준	'84년 기준 총 설치라인의 50% 이상의 조사자료		

이 10년간의 운영 실적이 쌓인후의 내용을 담고 있고 국내의 '93년도 현황은 최초의 운영 개시 연도인 '84년 으로부터 10년의 운영 실적이 쌓인 후의 내용을 담고 있으므로 비교 기준의 의미가 있으리라 생각한다. 간략히 이들 자료를 비교 분석하면 다음과 같다.

(1) 생산 부품 종류수에서 H사의 공작기계 부품 가공용(다품종 소량) 두 라인을 제외하면 일본에 비하면 대단히 적다. 이는 미국과 일본을 비교하면서 jaikumar 가 지적한 것과 같이 사용자의 기술 및 경영 관리능력의 부족에서 오는 것으로 해석할 수 있을 것이다. 이는 연간 신제품 도입 종류수를 살펴봐야도 같은 결론을 얻게 된다.

(2) 일본에서도 가장 의욕적으로 FMS를 도입하고 운영하는 분야는 설비 제조업체들인데 국내도 마찬가지로 5개 라인의 설치 업체가 모두 공작기계 제조업체이고 이들 중 두 라인은 공작기계 부품 가공용으로 사용되고 있다. 그러나 일본의 달리 자체적으로 시스템을 설계제작할 능력이 충분히 배양되어 있지 못하기에 앞의 (1)항과 같은 차이를 갖게 함은 물론 부인 가동 시간에서도 최근에 일본에서 도입한 두개라인을 제외하고는 시도를 못하고 있는 실정이다.

(3) 일본의 대부분의 시스템 운영과 마찬가지로 국내의 모든 FMS의 운영은 Job-shop 형태를 따르고 있다. 이는 아직도 Modular 기술의 부족으로 볼 수 있다.

참고문헌

- Swamidass, P. M. and M. A. Waller, "A classification of approaches to planning and justifying New Manufacturing Technologies", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 9, No. 3, 1990, pp.181~193
- Mandelbaum M. and P. H. Brill, "Measurements of flexibility and adaptivity", *Journal of Operation Research Society*, Vol. 40, No. 6, 1989, pp.603~609
- Canada J. H., "Annotated bibliography on justification of CIM systems", *The Engineering Economist*, Vol. 31, 1986, pp.137~150
- Wallace J. W. and G. J. Thuesen, "Annotated bibliography on investment in flexible automation", *The Engineering Economist*, Vol. 32, 1987, pp.247~257
- Dixon, J. R., "Measuring manufacturing flexibility: An empirical investigation", *European Journal of Operational Research*, Vol. 60, No. 2, July, 1992, pp.131~143
- Kumar, V., "Entropic measures of manufacturing flexibility", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 25, No. 7, 1987, pp.957~966
- Fine, C. H. and R. M. Freund, "Optimal investment in product-flexible manufacturing capacity", *Management Science*, Vol. 36, No. 4, 1990, pp.449~466
- Prueitt, G. C. and C. S. Park, "The economic justification of the sequential adoption of a new manufacturing system", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 11, No. 1, 1992, pp.38~49
- Ranta, J. and I. Tchijov, "Economics and success factors of FMS: the conventional explanation revisited", *The International Journal of FMS.*, 2, 1990, pp.169~190
- Röller, L. H. and M. M. Tombak, "Strategic aspect of flexible production technologies: theory and evidence", *International Journal of Production Economics*, 23, 1991, pp.197~204
- Troxler, J. W. and L. Blank, "A Comprehensive methodology for manufacturing system evaluation and comparison", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 9, No. 3, 1990, pp.175~183
- Pyoun Y. S. and B. K. Choi, "A method of quantifying the flexibility value in automated manufacturing systems", Submitted to *Journal of Manufacturing Systems* and now on the revision
- Pyoun Y. S. and B. K. Choi, "Flexibility value as a tool for improving decision-making in flexible automation", Submitted to *The Engineering Economist* and now on the

- revision
14. Hodder, J. E., "Evaluation of manufacturing investments : A comparison of U. S. and Japanese practices", Financial Management, Spring, 1986, pp.17~24
 15. Jaikumar, R., "Postindustrial manufacturing", Harvard Business Review, Nov.-Dec. 1986, pp.69~76
 16. Merdeith, J. R., "Managing factory automation projects", Journal of Manufacturing System, Vol. 6, No. 2, 1987, pp.75~91
 17. FMS-A reasonable alternative, Yamazaki Mazak Corporation, Japan, 91. 5-10,000
 18. MacCarthy B. L. and J. Y. Liu, "A new classification scheme for flexible manufacturing systems" Int. J. Prod. Res., Vol. 31. No. 2. 1993, pp.299~309
 19. Greenwood, N. R., "Implementing Flexible Manufacturing Systems", Macmillan Education, 1988, pp.4~5
 20. Raju, Venkataswamy, "FMS Around the World : A Status Report", CASA/SME Flexible Manufacturing Systems '86 Conference, March, 1986
 21. Roch, Jr. A. J., "Productivity by Design-FMS Applications That Work", CASA/SMI Flexible Manufacturing Systems '86 Conference, March, 1986