

제조유연성 측정에 관한 소고

- On the Measurement of Manufacturing Flexibility -

이 성 호 *

Abstract

The problem of manufacturing flexibility(MF) is assuming increasing importance in business environment. This paper examines definition and classification of MF based on the literature. Using empirical data and employing factor analysis, MF was measured.

I 서 론

제조업의 경쟁력 확보는 생존전략중에서 가장 중요하다고 하겠다. 제조업의 경쟁우위 전략을 여러 측면에서 생각할 수 있으나, 제조시스템의 구성요소들의 상황변화에 대처하는 능력, 즉 유연성(가변성)이라는 측면을 고려할 수 있을 것이다. 생산시스템의 추구목표는 규모의 경제에서 범위의 경제[16]를 통하여 이들의 양자를 결합시킨 연결의 경제로 변화함에 따라 소품종 대량생산에서 다품종 소량생산으로 다시 변품종 변량생산으로 변화되어 가고 있다. 일반적으로 환경변화에 신속하게 적용하기 위해서는 유연성을 갖춘 시스템이 필요하나, 이 유연적 시스템은 효율성 즉 생산성을 동시에 만족시킬 때 경제적이라 할 수 있다. 유연성은 환경변화로 인한 불확실성에 의해 영향을 받지 않는 성과를 보장할 뿐만 아니라, 경쟁 우위를 달성하기 위한 요인으로 작용할 수 있다. 여기서의 유연성은 다양한 의미를 내포하고 있으나, 이에 대한 정확한 정의를 내리기가 어려운 실정이고, 잘 이해되지 않고 있다. 즉 유연성은 접근분야, 접근방법에 따라 그 의미가 달라질 수도 있다. 고려해야 할 기간, 기업의 내적 또는 외적 요인, 마케팅 또는 제조부문등에 따라 함축된 의미가 다를 수 있다.

제조업의 경쟁전략수립에 있어서 고려 요인중 하나는 어느부문, 요인에 초점을 맞추어 유연성을 확보하느냐하는 문제와 접근요인에 대한 유연성을 측정할 수 있는 적절한 측정방법을 개발하는 문제이다. 지금까지 어느정도 추상적인 개념적 수준에 머물러 있는 유연성에 대한 개념화작업을 통하여 제조전략상 환경에 변화를 가하는 공격적 전략과 환경에 적응하는 방어적 전략[30]으로서 제조시스템에 대한 유연성의 확보가 중요하나 제조기술상의 투자를 고려한 의사결정단계에서 적절한 관심을 받지 못하며, 실행단계에서도 적절한 인식을 받지 못하기 때문에 유연성에 대한 구체적인 개념화 작업이 필요하다[17]. 그리고 이 유연성을 측정하는 기법이 빈약하여 유연성을 어느 수준까지 확보할 것인가하는 의사결정에 어려움이 따르기 때문에 제조 유연성의 측정방법을 개념적, 운영적으로 개발할 필요가 있으며, 이 측도는 응용하기 용이하며, 공장능력의 지표가 될 수 있어야하며, 다양한 제품믹스에도 적용 가능할 것 같은 이상적인 특성을 가져야 할 것이다.

따라서 본연구는 다음과 같은 목적을 갖고 수행된다. 첫째, 제조 유연성에 대한 정의를 구체적으로 개념화시키며, 둘째, 학문적 연구와 실무적 응용에 적절한 유연성에 대한 측정을 실시한다.

* 상지대학교 산업공학과

접수 : 1993년 10월 30일

확정 : 1993년 11월 6일

II 유연성의 정의와 분류

제조업을 둘러싸고 있는 환경은 제품의 다양성증가, 제품수명주기의 단축, 구매자집중 증가, 집중화 제조, 제조기술의 혁신, 예기치 못한 경쟁자의 출현등[10]으로 매우 빠르게 변화하고 있다. 생산활동에 있어서 체화 또는 리드타임은 불경기에 줄어들고 경제가 활성화될 때 올라가나 확장기에 항상늘어나는 경향이 있다. 이러한 상황에서 제조업의 의사결정은 매우 어려운 실정이다. 제조업이 상황변화에 따라 원가, 품질, 납기등의 문제를 유연하게 해결할 수 있다면 문제는 간단할 것이나, 유연성이 올라가면 생산성이 떨어지는 것이 일반적 상황이다[5].

Webster 사전에 의하면 유연성이란 "변화하는 또는 새로운 환경에 반응 또는 순응할 수 있는 질"을 의미하나, 기업상황에서는 이 개념에 얼마나 빠르게, 경제적으로 목표달성이 가능할 수 있는냐의 문제를 추가하는 것이 주요 관점일 것이다[14]. 유연성의 문제는 규모의 경제에서 범위의 경제로의 경쟁전략의 변경[18]을 의미하나, 이에 대한 의미는 너무나 다양하다. 물론 여기에서 말하는 규모의 경제는 설비, 공장의 규모가 아니라 바로 생산량만을 의미하는 것[27]으로 해석된다. 제조업이 유연성을 확보할 수 있다면 추가적인 자본지출 없이 현행제조시스템을 개선할 수 있으며[27], 이의 가치는 주문된 모델에서 가 아니라도 보다 낮은 원가로 고품질 제품으로의 변경이 가능하다는 것이다. 또한 비용효율과 고객요구를 동시에 만족시킬 수 있으며, 시스템의 업무성과 보다도 시스템이 보유할 수 있는 잠재능력을 향상시킬 수 있을 것이다[17]. 그리고 제품, 공정, 부하와 기계고장과 같은 관련 요인에서의 변화에 적응하기 위한 시스템의 능력을 개선할 수 있으며, 수요의 불확실성의 영향을 중화[30]하는 제3의 선택[15]이라 할 수 있다. 유연성은 단기간 관점에서는 현생산계획 또는 사업계획의 범위내에서 기존 과업간의 재조정노력을 감소시킬 수 있으며, 장기간 점에서는 기업의 정량적,정성적 능력의 변경으로 인한 신생산과업과 기업적력을 재설정하기 위하여 요구되는 노력을 감소시킬 수 있다[14]. 이상의 의미에서 유연성이란 변화하는 환경에 신속하게 대응할 수 있는 양적 및 질적 적응능력이라고 정의한다.

위에서 언급한 유연성의 개념을 토대로 할 때 이에 대한 분류문제도 매우다양성을 띠고 있으나, 보통 기간에 따른 장,단기 전망과 시스템의 변화적용능력의 물질 특성에 따라 분류하고 있다. Buzacott[5]는 변화에 대처하는 능력과 효과성에 따라 직무(job)유연성과 기계(machine)유연성으로 분류하고 있으며, Zelenovic[33]은 변화하는 조건하에서 시스템의 생산성과 직능화(functioning)에 따라 응용(application)유연성과 적응(adaptation)유연성으로 나누고 있다. Son과 Park[29]은 주어진 생산기간과 그 관련 비용에 따라 전체(total)유연성과 부분(partial)유연성으로 분류하고 있다. Mandelbaum[3]은 경제적 결과, 미래에 대한 지식과 다른 상황에서의 운영에 따라 조치(action)유연성과 상태(state)유연성으로 구별하고 있다. Browne 등[4]은 다음의 8가지 유연성 특성에 따라 가장 포괄적으로 세분하여 제조유연성을 나타내고 있다. 즉 기계, 공정, 제품, 절차계획, 생산량, 확장, 공정순차, 생산유연성으로 분류하고 있다. Frazelle[14]은 동적 환경하에서 신속하고 경제적으로 적용할 수 있다는 관점에서 부품제조, 제품믹스, 생산량, 절차계획, 설계변경(부품)유연성으로 분류하고 있으며, Chen 등[10]은 유연성 이점을 마케팅/제조대면전략에 연계시키기위한 시도로서 유연성을 제조유연성과 마케팅유연성으로 분류하고, 이를 세분하여 제조유연성은 기계, 자재취급; 공정, 절차계획, 노동인력, 프로그램유연성으로, 마케팅유연성은 제품, 생산량, 믹스, 확장유연성으로 분류하고 있다. Taymaz[31]는 유연성의 계층체계에 따라 구성요소(기계, 절차계획, 통제유연성), 운영(생산량,믹스,공정,제품유연성), 그리고 시스템(생산유연성)수준으로 분류하고 있다.

III 측정방법

제조 유연성을 측정하기 위한 유연성의 분류와 측정기법은 접근 방법에 따라 경제적 성과, 업무성과, 다차원 접근법, Petri-nets, 정보이론적, 의사결정 이론적 접근 방법이 있으나, 크게 정량적분석방법과 정성적분석방법 두 가지로 대별된다.

1.정량적 방법

Buzacott[5], Son과 Park[29]은 경제적성과를 기준으로 한 측정방법을, Chatterjee[9], Primrose와 Leonard[26], Falker[13]은 업무성과를 기준으로 한 측정방법을, Barad and Sipper[2]는 Petiri-nets 접

근방법을 이용하여 제조 시스템의 운영 유연성을 측정했다. Mandelbaum 와 Buzacott[3,5]는 미래 상황의 예측이 어려운 현실을 감안하여 의사결정자들에게 객관성과 전망성을 주는 유연성측정방법을 의사결정 이론적 접근방법을 이용하여 제시한다. Kumar[23]은 작업장 착화작업가변성측정을 위한 정보 이론적 척도를 제시했다. Gupta[17]는 제조유연성에 대한 다른 제조 목표간의 관련성을 연구하기 위한 측정모형을 개발했다. Hutchnson 과 Sinha[21]는 제조 임무의 변경능력과 제조능력 변경능력 유연성을 결정하기 위한 의사결정이론적방법에 의한 척도를 제시했다. Brill과 Mandelbaum[3]은 확률이론에 근거하여 개별공작기계와 복합공작기계 또는 제조 시스템에 대한 유연성의 척도를 제시 했다. Chandra와 Tombak[8]은 절차계획과 기계유연성에 대한 시간과 여러 조건하에서의 평가모형을 제시했으며, Nagarur[25]는 유연성측정의 한계를 지적하면서 시스템이 의도한 기능과 과업을 수행할 수 있는 정도를 의미하는 producibility에 대한 측정방법을 제시했다.

2. 정성적 방법

Mandelbaum[3]은 경제적성과를 기준으로 조치유연성과 상태유연성 척도를 문헌연구를 통해 제시했다. Zelenovic[33], Frazelle[14], Carter[7]는 업무성과 기준에서 유연성을 측정하였으며, Barad와 Sipper[2]은 시간길이의 기준에서 단기, 중기, 장기 유연성을 측정하였다. Slack[]은 유연성은 그자체로 끝나는 것이 아니라 생산의 다른 요소 즉, 제품 품질, 생산량, 납기 같은 기준을 포함해 다차원적으로 측정해야 한다고 주장 했으며, Gupta와 Goyal[18]도 다차원척도 기준으로 민감도와 안정성의 개념을 갖는 유연성의 범위를 특성화 하여 측정하려 시도 했다. Dixon[12]은 섬유산업분야에서의 실증적 연구를 통하여 믹스, 신제품, 수정의 세 차원에 대한 유연성측정을 시도했다. Gupta와 Somers[19]는 분석요인기법을 이용하여 제조유연성측정을 위한 8개요인 측정모형을 개발했다.

IV. 실증분석

본 연구를 위한 자료는 생산부문책임자에 대하여 우편설문, 직접면접, 교육참석자를 대상으로 수집되었으며, 조립금속.기계제조.전기전자.기타 제조업을 대상으로 하였다. 총208매의 설문이 회수되었으나, 응답에 문제가 있는 21매를 제외한 187매를 분석에 이용하였다.

제조유연성의 유형을 측정하기위하여 이용된 문항은 Gupta와 Somers[19]의 연구에 이용된 문항중 현실적으로 조정된 24개 문항으로 Likert의 5점척도로 이루어졌다(부록1). 분석방법은 문항전체에 대한 신뢰성을 알아본 후, 요인분석을 실시하여 유연성 유형을 분류한 다음 각 유연성 요인에 대한 신뢰성을 검토하여 최종적으로 제조유연성 유형을 제시한다.

첫째, 전체문항에 대한 신뢰성 측정에서 alpha 계수가 .6180으로 신뢰성이 확인되었으나, x3과 x11이 항목-전체상관계수가 음의 값을 갖으며 제거된다면 전체신뢰성이 개선될 수 있으므로 나머지 22개문항을 요인분석에 이용한다(부록2).

둘째, 유연성을 분류하기 위하여 varimax회전에 의한 주성분방법에 의하여 요인분석을 실시한결과 8개요인으로 분류되었다(부록3,4).

셋째, 이들 8개요인에 대한 요인별 문항에 대하여 신뢰성을 검토한 결과 x5, x11의 7요인의 alpha 계수가 .1870으로 신뢰성에 문제가 있어 유연성 유형의 분류에서 제거하였다(부록4).

마지막으로, 분류된 유연성유형을 제시하면 다음과 같다.

표 제조 유연성 유형

유연성 측정요인	측정문항
확장 및 절차계획	x8, x7, x9, x6
시장	x23, x22, x24, x21
기계	x13, x12, x14
부품믹스	x15, x17, x16
제품 및 공정	x19, x20, x20
생산량	x1, x2
프로그래밍	x4

V. 결론

제조업의 기술적·전략적 요인에서의 변화는 제조 유연성의 중요성을 실감케 한다. 유연성을 증가시키기 위하여 FMS, CIM 등 시스템의 도입만을 고려할 것이 아니라, 기존의 시스템의 유연성을 정확히 파악하고 유연성을 확장시킬 분야를 결정한 후에 기존 시스템에 대한 보완이 시급하며, 시스템의 관리운영을 통한 가변성의 확대방안도 논의할 필요가 있다.

즉, 격화되고 있는 무역대전에서 우리나라 제조업이 보다 큰 경쟁우위를 확보하기 위해서는 새로운 자동화설비에 대한 설비투자도 중요하지만 기존 시스템에 대한 정확한 유연성 측정이 중요하다. 따라서 본 연구는 제조업의 기술적·전략적 의사결정시에 자사 시스템의 유연성에 대한 유용한 측정도구를 제공함으로써 가변성을 중점 적용할 분야를 용이하게 판별케 하며, 관리통제 시스템이 이용되고, 제량화될 수 있는 제조업의 공적 목표로서 가변성을 취급케 하여, 신속하고 경제적으로 대처할 수 있는 기업의 상황적응력을 제고시킬 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 분석을 위한 자료수집이 우편, 면접, 교육참여자 등의 여러방법에 의해 이루어졌기 자료자체의 오류와 유연성 측정항목 자체에 대한 정확한 개념이해의 문제가 제기될 수 있으며, 앞으로 특정산업에 대한 보다 집중적이며 정확한 생산자료와 재무자료에 의한 정량적·정성적 연구가 요구된다.

부록1 설문문항내용

	평균	표준편차	내 용
X1	4.11	1.00	경제적으로 가동할 수 있는 생산량범위
X2	3.80	1.01	총생산량수준 변동시 단위당제조원가의 안정성
X3	2.58	1.02	현생산프로그램내에서 기존 생산과업간의 변경비용
X4	2.68	.87	해당기계가 이용할 수 있는 프로그램수
X5	3.15	.77	전공정에서 부품유형전환을 위한 자체취급능력
X6	3.44	.99	필요시 시스템능력의 증가
X7	3.97	.96	기계간 연계시킬 수 있는 자체취급능력
X8	3.73	.92	시스템의 부품유형 처리방법
X9	3.77	.98	효율적 생산하에서의 제품믹스에 대한 변경
X10	2.98	1.19	신제품의 추가적비용지출시 신제품의 충분가치
X11	3.08	.95	시스템의 산출량배가에 요구되는 비용
X12	3.51	1.08	주어진 기간에 해당기계의 총산출과 유틸비용의 비율
X13	3.48	.95	기계고장으로 인한 산출량의 감소
X14	2.70	1.17	해당기계가 취급하는 원자재투입특성의 변동
X15	3.96	.79	추가적자본지출없이 생산할 수 있는 시스템의 부품규모
X16	3.78	.76	하나의 부품믹스를 다른 부품믹스로의 전환비용
X17	3.88	.73	완제품품질비용 규모
X18	3.56	.86	제2,3교대시 자동으로 가동될 수 있는 능력
X19	3.36	.70	신제품도입에 요구되는 시간
X20	3.29	.73	연간 도입된 신부품 수
X21	3.94	.83	신제품도입에 요구되는 비용
X22	3.61	.90	생산량증감시 요구되는 시간
X23	3.66	.82	주요설업없이 시스템이 제조할 수 있는 부품의 생산량
X24	3.73	.77	고객주문에 대한 지체비용정도

부록2 문항전체의 신뢰성

	ITEM- TOTAL CORRELATION	SQUARED MULTIPLE CORRELATION	ALPHA IF ITEM DELETED
X1	.0987	.3161	.6200
X2	.0330	.3707	.6283
X3	-.0492	.1765	.6384
X4	.0666	.1717	.6219
X5	.0287	.1369	.6241
X6	.1034	.2103	.6194
X7	.3224	.4632	.5924
X8	.3115	.4836	.5943
X9	.2064	.3549	.6067
X10	.1811	.1568	.6112
X11	-.0165	.2303	.6326
X12	.1879	.4388	.6094
X13	.1759	.4835	.6103
X14	.1026	.3039	.6224
X15	.2947	.3887	.5983
X16	.3681	.3380	.5917
X17	.2875	.2980	.6001
X18	.2824	.2897	.5985
X19	.3627	.4542	.5937
X20	.3034	.3921	.5985
X21	.3001	.4029	.5971
X22	.2456	.2389	.6023
X23	.4494	.3984	.5811
X24	.4078	.3906	.5873
ALPHA =	.6180	STANDARDIZED ITEM ALPHA =	.6509

부록3 요인분석의 통제량 요약

Factor	Communality *	Eigenvalue	Pct of Var	Cum Pct
1	.71175 *	3.60362	16.4	16.4
2	.73997 *	2.17540	9.9	26.3
3	.58427 *	1.95154	8.9	35.1
4	.50522 *	1.49390	6.8	41.9
5	.46198 *	1.34076	6.1	48.0
6	.65995 *	1.23117	5.6	53.6
7	.70288 *	1.08785	4.9	58.6
8	.59716 *	1.00456	4.6	63.1

부록4 회전된 요인행렬과 요인별 신뢰성

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
X8	.81714							
X7	.76922							
X9	.75619							
X6	.42602							
	$\alpha = .6827$							
X23		.75828						
X22		.64976						
X24		.59637						
X21		.54151						
		$\alpha = .6656$						
X13			.83795					
X12			.79933					
X14			.68561					
			$\alpha = .6817$					
X15				.76385				
X17				.73653				
X16				.69822				
				$\alpha = .6679$				
X19					.83046			
X20					.67411			
X18					.66741			
					$\alpha = .6295$			
X1						.83183		
X2						.80515		
						$\alpha = .6765$		
X5							.66356	
X10							.53787	
							$\alpha = .1870$	
X4								.73049

References

1. Ashton, J.E and Cook, F.X., "Time to Reform Job Shop Manufacturing," H.B.R, Mar-April, 1989, 106-111.
2. Barad, M, and Sipper, D., "Flexibility in manufacturing systems : Definitions and Petri-net modeling," IJ.O.P.R.,26(2), 1988, 237-248.
3. Brill, P.H, and Mandelbaum, M., "On measure of flexibility in manufacturing systems," IJ.P.R.,27(5), 1989, 747-756.
4. Browne, J., "Classification of flexible manufacturing systems," The FMS Magazine, April, 1984, 114-117.
5. Buzacott, J.A., "The fundamental principles of flexibility in manufacturing systems," Proc. 1st International Conference on FMS, 1982, 23-30.
6. Carlsson, B., "Management of Flexible Manufacturing : An International Comparison," OMEGA, V.20, N.1, 1992, 11-22.
7. Carter, M.F., "Designing flexibility into automated manufacturing systems," Proc.2nd ORSA/TIMS conference on FMS,1986,107-118.
8. Chandra, P., & Tombak, M.M., "Models for the evaluation of routing and machine flexibility", E.J.O.R.,60, 1992, 156-165.
9. Chatterjee, A., Cohen, M., and Maxwell, W., and Miller, L., "Manufacturing flexibility : Models and measurement," Proc.1st ORSA/TIMS special International conference on FMS, 1984, 49-54.

10. Chen, L.J., and Calatone, R.J., and Chung, C.H., "The Marketing-Manufacturing Interface and Manufacturing Flexibility," OMEGA, V.20, N4, 1992, 431-443.
11. Cox, T., "Toward the Measurement of Manufacturing Flexibility," Production and Inventory Management Journal, 1st, 1989, 68-72.
12. Dixon, J.R., "Measuring manufacturing flexibility: An empirical investigation," E.J.O.R., 60, 1992, 131-143.
13. Falker, C.H., "Flexibility in Manufacturing Plants," Proc. 2nd ORSA/TIMS special International conference on FMS, 1986, 95-106.
14. Frazelle, E.H., "Flexibility: A Strategic Response in changing times," Industrial Engineering, March, 1986, 17-20.
15. Gerwin, D., "Manufacturing Flexibility in the CAM era," Business Horizons 32(1), 78-84.
16. Goldhar, J.D., and Mariann Jelinek., "Plan for economics of scope," H.B.R., Nov-Dec, 1983, 141-148.
17. Gupta, Y.P., and Goyal, S., "Flexibility of manufacturing systems: Concepts and measurements," E.J.O.R., 43, 1989, 119-135.
18. Gupta, Y.P. and Goyal, S., Flexibility trade-offs in a random flexible manufacturing system: A simulation study; I.J.P.R., V30, N3, 1992, 527-557.
19. Gupta, Y.P., and Somers, T.M., "The Measurement of manufacturing flexibility," E.J.O.R., 66, 1992, 166-182.
20. Gustavsson, S., "Flexibility & productivity in complex production processes," I.J.P.R., V.22, N.5, 1984, 801-808.
21. Hutchinson, G.K., and Sinha, D., "A quantification of the value of flexibility," Journal of Manufacturing Systems 8(1), 47-57.
22. Jaikumar, R., "Postindustrial Manufacturing," H.B.R., Nov-Dec, 1986, 69-76.
23. Kumar, V., "Entropic measures of manufacturing flexibility," I.J.P.R., 25(7), 1987, 957-966.
24. Kusiak, A., "Flexible Manufacturing Systems: a structural approach," I.J.P.R., V.23, N.6, 1985, 1057-1073.
25. Nagarur, N., "Some performance measures of flexible manufacturing systems," I.J.P.R., V.30, N.4, 1992, 799-809.
26. Primrose, P.L., and Leonard R., "Conditions under which Flexible Manufacturing is financially viable," Proc. 3rd International conference on FMS, KFS publications Ltd., 1983.
27. Schonberger, R.J., "Frugal Manufacturing," H.B.R., Sept-Oct, 1987, 95-100.
28. Slak, N., "Flexibility as a manufacturing objectives," I.J.P. Management 3(3), 4-13.
29. Son, Y.K., and Park, C.S., "Economic measure of productivity, quality, and flexibility in advanced manufacturing systems," Journal of Manufacturing Systems 6(3), 1987, 193-206.
30. Swamidass, P.M., "Manufacturing Flexibility," Monograph No.2, Operations Management Association.
31. Taymaz, E., "Types of flexibility in a single-machine production systems," I.J.P.R., V.27, N.11, 1989, 1891-1899.
32. Vernardo, J.J., "The measurement and use of operational flexibility in the loading of Flexible Manufacturing Systems," E.J.O.R., 60, 1992, 144-155.
33. Zelenovic, N.M., "Flexibility A condition for effective production systems," I.J.P.R., 20(3), 1982, 319-337.

* I.J.P.R : International Journal of Production Research
 E.J.O.R: European Journal of Operations Research
 H.B.R : Harvard Business Review