

컴퓨터 시뮬레이션에 의한 FMS 유연성의 평가방법 연구

-A method for FMS flexibility evaluation with computer simulation-

문기주*

Gee-Ju Moon

양승만**

Seong-Man Yang

Abstract

In this paper, the definition to flexibility is examined through the literature and re-classified to set up an evaluation model. Flexibility is classified into three categories to find the flexibility types for evaluation. The flexibility type called as manufacturing flexibility is defined and a model is developed to make the performance evaluation possible.

The manufacturing flexibility has a heavy relationship to the machine flexibility; and 5 flexibility types out of 8 have relationship to the machine flexibility. This indicates that it is possible to have a pretty good evaluation measure if the machine flexibility related types could be evaluated using a model.

There are four different inter-arrival times in the model. A big time saving is observed if the processing time is set equal to 72 second. This indicates that a flexibility affects the system a lot if the inter-arrival time is close to the processing time. The model used in this paper includes multi-processes in a production line with machine failure. However, development of realistic models with buffer between processes and some of the flexibility types not included in this model are remained for further research.

1. 서론

기업환경은 나날이 변화하고, 급격한 기술혁신과 소비자 수요의 다양화로 인하여 제품의 수명주기는 날로 단축되어가고 있으며, 이러한 기업환경의 변화속에서 기업들은 유연생산시스템을 도입하여 생산시스템의 자동화를 추진함으로써, 생산성 향상에 많은 관심을 보이고 있다. 유연생산시스템은 더 큰 공정유연성, 재고감소, 바닥면적감소, 시장수요에 대한 빠른 대응, 리드타임(lead time) 단축과 생산에서 장비의 수명을 더 높일 수 있는 것 등과 같은 많은 중요한 이익을 제공하고 있다. 또한, 제조시스템에서 수행도의 척도로 사용되는 유연성은 생산시스템의 설계에서 가장 중요한 고려대상이 되고 있으며, 내·외적인 환경변화에 적응하고자 하는 기

* 동아대학교 산업공학과

** 동아대학교 산업공학과 박사과정

업의 목적에 따라 광범위한 개념을 포함하고 있다.

그러나, 유연생산시스템에 있어서 유연성에 관한 연구가 지난 10여년 동안 많은 학자들에 의해 다양하게 시도되어지고 논의되고 있지만 유연성에 대하여 정의하거나 분류하는데 합의된 이론이 없다[1]. 특히 논자에 따라서 유연성의 정의나 분류기준, 유연성 평가방법 등의 척도가 다양한 실정이다. 전체수행도를 측정하는 척도중의 하나로서 유연성에 대한 이해를 증대시키기 위한 여러 가지 방법이 적용되고 있고, 생산시스템에서 수행성과 유연성 사이에는 밀접한 관계가 존재한다는 것은 이미 잘 알려져 있다. 그러나, 시스템에서의 유연성의 정도와 시스템의 수행 수준사이에 명확한 상호관계를 나타내는 정확한 분석적인 모형이 부족하고, 환경의 변화에 대응할 수 있는 유연성이 생산시스템에 있어서의 필요성은 공감하고 있지만, 어떠한 방법으로 유연성을 얻어내고 평가할 것인가가 큰 문제로 남아있다[2,3]. 이것은 실제 생산시스템의 운용을 위한 유연성 개념이 복잡하고, 생산시스템에 적합한 유연성 평가방법이 정립되어 있지 못하며, 유연성 평가방법에 있어서도 그 평가척도들이 서로 상이하므로, 체계적인 분석을 통한 유연성 평가방법이 명확히 정립되어 있지 못하다.

따라서, 본 연구에서는 유연성에 대한 올바른 이해를 위하여 유연성을 형태별로 재분류하고 정리한 후, 정리된 형태를 바탕으로 여러 유연성간의 상호관계를 밝히고자 한다. 또한 이 분류를 바탕으로 제조유연성을 정의하고, 그 중요성을 도출하여, 컴퓨터시뮬레이션을 이용한 제조시스템에서 제조유연성의 수행도 평가모형을 제시하고자 한다.

2. 유연성의 분류

2.1. 유연성 형태의 상호관계

유연성의 형태에 대해서 최초로 체계적인 분류를 한 것은 Browne이다[4]. 그는 기계(machine), 공정(process), 제품(product), 절차(routing), 양(volume), 확장(expansion), 작업(operation), 생산(production)의 8개 유연성 형태를 제안하고 그 정의, 유연성의 척도 및 유연성의 달성수단을 서술하고 있다. 그 후 많은 연구자가 여러 가지 유연성 형태를 제안하고 있다. 예를 들면, Bernado, Gerwin, Chen, Gupta와 Goyal, Gupta와 Somers, Slack, Sethi 등의 제안은 각각 Browne의 분류를 발전시켜 독자적인 분류를 제안하고 인용되는 경우도 많다.[5]

개개의 형태 유연성은 동일한 것이 아니라, 상호관계를 가지며 하나의 형태 유연성은 다른 형태 유연성의 기반이 되며, 큰 영향을 미치고 있다. 여기에서는 기계유연성과 각 유연성과의 상호관계를 살펴보면 다음과 같다.

① 기계유연성과 양유연성

양유연성은 생산수준을 변경할 수 있는 능력과 동시에 어떤 제품에서 다른 제품으로 새로 바꿀 경우의 교체 절차를 쉽게 할 수 있는 능력을 가질 필요가 있으며, 후자에 관해서는 양유연성을 높이기 위해 기계유연성을 향상하는 것이 필요하다.

② 기계유연성과 자재취급유연성

기계유연성이라고 하는 것은 가공작업수준과 정도가 높다고 말할 수 있을 뿐만 아니라, 다차원적이며 복잡한 작업을 행하는 능력을 가진 기계이며, 여러 가지 형상과 치수의 부품도 가공할 수 있는 것이다. 이것에는 복합성과 그 외의 소프트웨어를 프로그램해 넣은 컴퓨터 베이스의 시스템을 링크(link)하고 있지 않으면 효과적인 사용을 기대할 수 없다.

③ 기계유연성과 공정유연성

대체공정을 가지는 것에 의해 시장에 있어서의 품종구성의 변화에 대응할 수 있으며, 또 하나의 생산라인에 전혀 다른 제품을 만들 수 있도록 생산공정을 설계하는 것에 의해 생산라인을 완전히 멈추는 일이 없이 산출량의 구성을 바꿀 수가 있다. “일부의 장치가 사용할 수 없게 되더라도 다른 동일 장치에 의해 시스템의 목적을 달성할 수 있는 것이다”

라는 정의에 따르면[6], 병렬은 기능적으로는 절차와 공정유연성에 포함된다고 생각해도 무방하다.

④ 기계유연성과 절차유연성

절차유연성은 순서 결정의 재편성이 가능한 기계 유연성이 높은 것이 전제가 된다. 요컨대 순서결정을 변경할 때, 긴 교체절차시간을 필요로 하는 경우, 절차유연성은 기대할 수 없다. 또 한 대의 기계에서 품목을 바꿀 때에 요하는 교체절차시간을 작게 하는 것과 대체공정을 설계하는 것에 의해 변화에 대처할 수 있는 것의 어느 쪽이 우세한가는 각 품목의 가공량 변동의 크기와 빈도, 가공시간과 준비교체 시간의 비율, 전체 품목수 또는 총 작업수에 접하는 대체가능한 품목수 또는 작업수의 비율에 따라 다르지만 이 양쪽의 유연성을 가지는 것에 의해 상승효과도 기대할 수 있다.

⑤ 유연성의 타입과 완충

완충에는 내란과 외란에 의한 영향을 흡수 또는 경감한 것에 억제 되도록 하는 원리를 구체화한 것이며, 무라마쯔(村松)는 완충을 물(物), 능력(能力), 시간(時間)의 세 가지로 크게 나누어 그 내용을 구체적으로 서술하고 있다[7]. 그러나 완충을 유연성 타입의 하나로서 취급한 문헌은 조사범위 내에서는 발견할 수 없다. 완충에는 느슨한 연결 등에 의해 설계변경과 같은 환경변화에도 독자적으로 대응할 수 있는 완충과 재고와 같은 기계유연성과 양유연성과 상쇄점(trade-off)관계를 가지는 완충이 있으며, 이 양자는 성격이 다르며, 몇 개의 관점에서 분류 정의하는 것도 가능할지도 모른다.

또한 유연성 형태의 상호관계를 이용하여, 개개 타입의 유연성을 추상화 레벨, 기능 레벨, 계층구조 레벨 등 여러 가지 관점에서 분류할 수 있다. 이와 같이 분류 정리하면, 유연성의 상호관계를 이해하는데 편리하며, 생산시스템 전체의 관점에서 유연성을 조망해 볼 수 있다. 그 결과 개개 타입의 유연성이 생산시스템 궁극의 수행에 주는 효과를 평가할 수가 있다. 또 여러 가지 환경의 변화에 대응할 수 있고, 유연성의 수요와 경쟁상의 우위성을 지키며, 유지할 수 있게 개발·설계해야만 하는 유연성을 정의하고 개선해야만 하는 유연성 타입을 선택하거나 바람직한 수준을 결정하기 위해 가이드를 줄 수가 있다. 계층수와 유연성 형태가 다름에 따라 여러 개가 제안되고 있지만, Fig. 1은 유연성의 상호관계를 이해하는 한 예로 기능계층적으로 분류한 것이다.

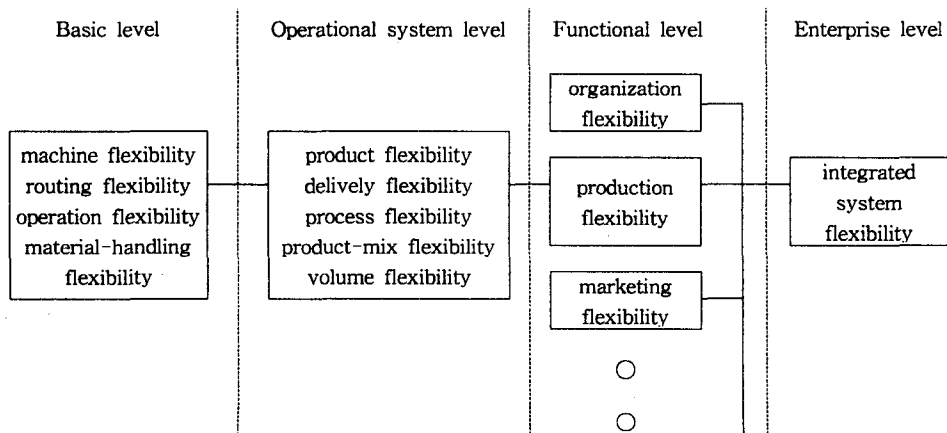


Fig. 1. Relation of Functional Level and Flexible Manufacturing System

2.2. 제조유연성의 중요성

유연성은 생산활동의 변화, 생산량의 변화, 부품 형태의 변화를 지원하여 주는 제조시스템의 변화조합의 집합이라 할 수 있으며, 한 부품에서 다른 부품까지 연속적인 변환에 의하여 다양한 종류의 유사부품을 생산 가능하게 한다. 그리고 유연성은 최소비용과 리드타임을 가지면서 신제품 생산과 생산활동의 변환 또한 가능하게 한다. 따라서, 유연성은 제조성과의 척도로서 제조시스템에서 원재료에 가치를 부여하는 기회라고도 할 수 있다. 그러나 유연성을 평가하기 위한 유연성 형태의 정의와 분류방법이 명확하지 않다.

유연성의 형태에 대해서, 여러 가지 관점에서, 또 여러 가지 추상화 레벨로 분류되고 있으며 적어도 50개의 형태가 제안되고 있다[8]. 그러나 이들의 정의는 일부 특별히 정의하거나 동일 명칭에서 다른 해석도 있다. 예를 들면, 기계유연성, 절차유연성 및 공정유연성에 대해서 해석이 다르며, Rao[9]는 공정유연성과 기계유연성을 통합·수정하여 기계유연성으로 재정의하고 있다. 본문에서는 기계유연성의 직무(job)에 포함되고 있는 작업을 단위로 한 유연성이며, 프로세서 유연성은 재료가 다른 것도 포함한 직무단위의 유연성으로 해석하고 직무유연성도 공정유연성에 포함할 수가 있다. 또 작업유연성은 각 부품의 가공순서를 변경할 수 있는 능력이며, 순서(sequencing)유연성은 다른 종류의 부품을 제조 공정에 할당함에 있어 주문(order)의 투입순서를 재편성할 수 있는 능력으로 정의되고 있다. 따라서 이들의 투입순서의 변경이 특정의 기계에서 가능한 경우에는 기계유연성에 포함하는 것도 가능하며, 대체공정에의 투입순서변경이 가능한 경우에는 절차유연성에 포함된다고 생각할 수도 있다. Rao는 후자의 경우를 상정하여 절차유연성과 순서유연성을 통합하여 순서유연성으로 재정의하고 있다. 이와 같이 유연성 형태에 따른 분류가 논자에 따라 다르며, 앞서 서술한 Rao의 경우처럼 기계유연성이라도 공정유연성과 기계유연성을 같이 포함하고 있다. 또한 유연성의 값을 정확하게 측정하지 못하는 것도 존재한다.

이상과 같은 여러 가지 유연성 형태중에서 먼저 제조시스템의 영향 평가를 위한 수행도 평가모형으로, 이 평가가 가능한 유연성을 제조유연성이라 부르는데 여기에는 앞에서 분류한 11가지 유연성 형태 중에서 절차유연성, 작업유연성, 공정유연성, 양유연성 등이 포함된다. 또한 기계유연성, 제품유연성, 품종구성유연성들이 일부 포함되며, 모형에 포함되지 않는 유연성으로는 자재취급유연성, 확장유연성, 납기유연성, 계획/스케줄링유연성 등이 있다. 특히, 이 모형에 포함되지 않는 유연성은 관리가 용이하지 않는 유연성으로 외적인 요인에 영향을 많이 받는 것들이다.

Table 1. Manufacturing Flexibility and the Flexibilities in the Literature

Flexibilities included in the model	Flexibilities partially included in the model	Flexibilities not included in the model
routing flexibility operation flexibility process flexibility volume flexibility	machine flexibility product flexibility product mix flexibility	materials handling flexibility expansion flexibility delivery flexibility planning/scheduling flexibility

제조유연성의 비용요소는 외적변동 보다 내적 변동으로 측정되는데, 내적 변동의 측정방법으로는 공구장애와 같이 부품처리중에 발생하는 여러 가지 변화에 대한 적응시간을 기준으로 두고 있다. 따라서 제시된 척도를 시간으로 둘 때 변화에 적응하는 시간은 대기시간으로 둘 수 있다. 그러므로 제조유연성 값에 관련된 평가모형으로는 4개의 다른

작업물을 4개의 다른 생산라인에서 처리하며, 각 생산라인은 3개씩의 공정으로, 각기 다른 부품을 가공할 때 그 기계에 유연성을 1에서 4까지 부여하고, 그 비교대상으로는 시간척도를 사용하고자 한다.

3. 제조유연성 수행도 평가모형

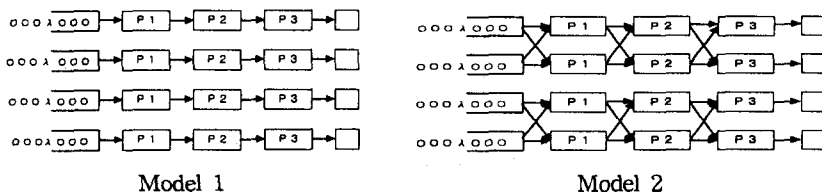
3.1. 모형의 구축

앞에서 서술한 제조유연성 측정 모형을 만들기 위하여, 4개의 다른 작업물을 4개의 다른 생산라인에서 처리하며, 각 생산라인은 3개씩의 공정으로 구성되어있다고 가정한다. 또한 각 생산라인의 부품의 도착시간간격은 지수분포를 따르고, 각 공정의 처리도 지수분포라고 가정한다. 제조유연성 측정을 위해 4가지 모형을 제시하고 있는데, 첫 번째 모형에서는 각기 다른 작업물이며, 생산라인도 전혀 다르므로 단일 공정으로만 작업이 진행되게 한다. 그리고 두 번째 모형에서는 각기 다른 생산라인으로 구성되어 있지만, 유연성을 주어 같은 생산라인으로 진행하거나, 대기가 생길 경우에는 생산라인이 다르더라도 가까운 1대의 기계로 갈 수 있게, 2대의 기계까지 작업이 진행되게 한다. 세 번째 모형에서는 유연성을 더 부여하여 같은 생산라인으로 우선적으로 진행하게 하고, 대기가 생길 경우, 생산라인이 다르더라도 가까운 다른 두 대의 기계, 즉 3대의 기계까지 작업이 진행하도록 모형을 구성하고 있고, 네 번째 모형에서는 대기가 생길 경우에 생산라인이 다르더라도, 3대의 기계까지, 즉 4대의 기계까지 작업이 진행될 수 있도록 유연성을 주어 모형을 구성하고 있다.

생산라인에의 각 기계에 할당하는 부품들은 단일 대기에서 대기하고, FCFS(first come first served)방식으로 서비스되며, 제일 가까운 곳에서 서비스 되어진다. Fig. 2는 4개의 모형을 설명하고 있다. 그리고 각 모형에 대한 시스템의 수행도는 변화하는 작업조건하에서 시뮬레이션(simulation) 되어지고, 시스템은 4개의 로딩(loading) 수준 하에서 시험되어지는데, (1)매우 높은 수준(very high traffic), (2)높은 수준(high traffic), (3)보통 수준(medium traffic), (4)낮은 수준(low traffic)으로 진행한다. 각 수준별 평균도착시간간격은 평균 72초, 90초, 120초, 240초의 지수분포를 따른다고 가정하고, 3개의 공정으로, 각 공정당 60초의 가공시간을 가정한다. 이를 도표로 보이면 Table 2와 같다.

Table 2. Condition of Experiment (unit : second)

Inter-arrival time	P1	P2	P3
$\lambda = 72$	$P_1=60$	$P_2=60$	$P_3=60$
$\lambda = 90$	$P_1=60$	$P_2=60$	$P_3=60$
$\lambda = 120$	$P_1=60$	$P_2=60$	$P_3=60$
$\lambda = 240$	$P_1=60$	$P_2=60$	$P_3=60$



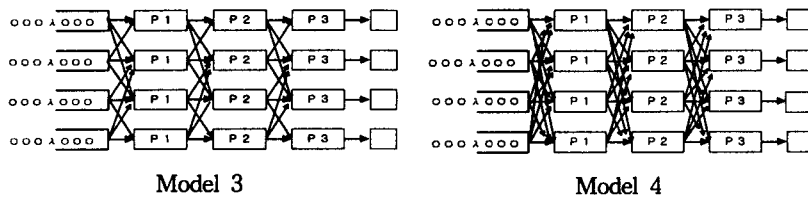


Fig. 2. System Models

3.2. 실험의 설계 및 수행

4개의 로딩 수준 하에서 4가지 모형을 평가하기 위해서 시뮬레이션 언어인 GPSS가 사용된다. GPSS에 의해서 Fig. 2에 나타난 모형으로 프로그램을 해서 시뮬레이션을 수행한다. 각 모형에 대한 평가기준은 각 공정을 거치는 부품이 시스템에 머무르는 시간을 사용한다. Fig. 2에서 각 시스템에 머무르는 시간은 P1의 경우 부품이 시스템에 도착하여 대기하는 시간과 첫 번째 공정이 완료되기까지의 시간으로 정의하고, P2의 경우는 첫 번째 공정이 완료된 후, 부품이 두 번째 공정으로 들어가기 위해 대기하는 시간과 두 번째 공정이 완료되기까지의 시간으로 정의하고, P3의 경우는 두 번째 공정이 완료된 후, 부품이 세 번째 공정으로 들어가기 위해 대기하는 시간과 세 번째 공정이 완료되어 부품이 만들어져 나올 때까지의 시간으로 정의한다.

4개의 로딩 수준은 부품의 평균도착시간간격을 조절해서 적용하게 된다. 부품의 평균도착시간간격을 72초, 90초, 120초, 240초로 증가시키면서 각 로딩 수준에서 4가지 모형의 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 모두 16개의 프로그램이 필요하게 되는데, 이 프로그램들을 사용하여 부품들이 얼마나 많은 시간동안 시스템에 머무르는지를 평가한다.

각 프로그램은 시뮬레이션 시간을 400000초로 하여 5회 반복하고, 고장이 있는 경우와 고장이 없는 경우의 결과를 수집한다. 단 고장이 있는 경우는 36000초마다 라인별로 고장이 발생하며, 고장발생 후 수리하여 정상가동까지 걸리는 시간은 1800초로 한다. 이렇게 수집된 자료를 통하여 4가지 모형의 제조유연성을 평가하는 척도로 사용한다. Table 3은 평균도착시간간격 분포에 따른 대기시간과 가공시간을 합해 산출된 처리시간으로 시뮬레이션 값을 평균한 값이다.

Table 3. Processing Time Based on Inter-arrival Time (unit: second)

Inter-arrival time	Status	Flexibility 1	Flexibility 2	Flexibility 3	Flexibility 4
72 second	normal	1092.88	576.08	385.25	353.35
	failure	1510.14	802.62	480.02	420.83
90 second	normal	540.40	325.77	248.50	231.81
	failure	696.42	406.83	275.47	249.65
120 second	normal	359.17	239.64	203.96	193.16
	failure	448.39	269.98	209.89	200.01
240 second	normal	239.92	192.22	182.34	178.78
	failure	287.37	204.82	184.80	181.39

3.3. 결과분석

각 모형의 유형에 대해 4가지의 로딩수준을 72초, 90초, 120초, 240초로 하여 제조유연성에 대한 시뮬레이션을 행하였다. Fig. 3에서 알 수 있듯이, 평균도착시간간격의 분포가 가공시간에 가까울수록 매우 높은 유연성 효과를 볼 수 있음을 알 수 있었다. 평균도착시간간격의 분포가 가공시간에 비해 길 경우에는 유연성의 효과가 반경도의 수준밖에 나타내지 못하고 있는데, 이는 실제 현장에서도 평균도착시간간격과 가공시간이 거의 비슷하게 발생함을 알 수 있다. 또한

고장이 발생하는 경우와 발생하지 않는 경우를 비교하여 보면, 고장이 발생하는 경우가 유연성을 증가할 때 더 높은 효과를 나타냄을 알 수 있었다. 전반적으로 유연성을 증가시키면서 결과를 살펴보면, 유연성이 모델 1에서 모델 2로 증가할 때에 대략 47%로 가장 많은 시간감소 현상을 볼 수가 있었고, 유연성이 모델 2에서 모델 3으로 증가할 때는 대략 20%정도의 시간감소 효과를 보임을 알 수가 있었다. 그러나 유연성이 모델 3에서 모델 4로 증가할 때에는 5%미만의 아주 낮은 효과를 보이고 있으므로, 유연성을 모델 4와 같이 하여 기계를 사용할 때에는 유연성 정도를 고려하여 사용하는 것이 좋은 것임을 알 수 있다. 위에서 서술한 것을 알기 쉽게 요약 정리하면, Table 4와 같다.

Table 4. Decreased Processing Time Based on Increased Flexibility

Inter-arrival time	Status	Increasing flexibility from 1 to 2	Increasing flexibility from 2 to 3	Increasing flexibility from 3 to 4
72 second	normal	47%	18%	3%
	failure	47%	21%	4%
90 second	normal	40%	14%	3%
	failure	42%	19%	5%
120 second	normal	33%	10%	3%
	failure	40%	13%	2%
240 second	normal	20%	4%	1%
	failure	29%	7%	1%

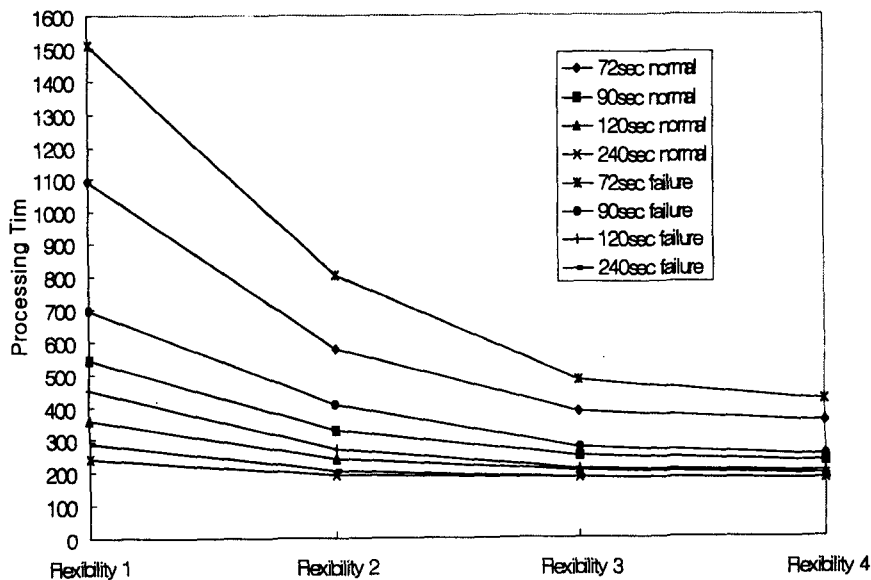


Fig. 3. Processing Time Based on Inter-arrival Time

4. 결 론

수요의 다양화와 기업환경의 변화 속에서 기업들은 경쟁력을 강화시키기 위해 생산시스템의 자동화를 추진하고 있으며, 이를 충족시키기 위한 하나의 도구로서 유연성 평가를 실시하고 있다. 그러나, 유연성에 관한 연구가 많은 학자들에 의해 다양하게 시도되어지고 논의되고 있지만 아직까지 합의된 정의나 분류는 없다. 따라서 본 논문에서는 유연성에 대한 올바른 이해를 위하여 유연성 형태에 대해 재분류 및 정리를 행하고, 제조시스템에서 유연성의 수행도 평가를 위해 평가가 가능한 유연성과 불가능한 유연성, 그리고 부분적으로 평가를 할 수 있는 유연성등, 크게 3가지 범주로 나누었다. 그리고 수행도 평가가 가능한 유연성을 제조유연성으로 정의하고, 그 수행도를 평가할 수 있는 한가지 모형의 개발에 대하여 다루었다.

제조유연성의 수행도 평가모형에서는, 4개의 다른 작업물을 4개의 다른 생산라인에서 처리하며, 각 생산라인은 3개씩의 공정으로 구성된다고 가정하였다. 그리고, 각 생산라인별 부품의 평균도착시간간격은 지수분포를 따르고, 각 공정의 가공시간도 지수분포에 따른다고 가정하였다. 실험의 결과, 유연성이 모델 1에서 모델 2로 증가할 때에 가장 큰 시간감소효과를 얻을 수 있었고, 다음으로 유연성이 모델 2에서 모델 3으로 증가할 때 시간감소 효과를 얻을 수 있었지만, 유연성이 모델 3에서 모델 4로 증가할 때에는 시간감소의 효과가 거의 없음을 알 수 있었다. 또한 4가지의 평균도착시간간격에서 가공시간과 비슷한 72초 일 때의 경우가 많은 시간감소효과를 가져왔으며, 부품평균도착시간간격과 가공시간이 유사한 현실성을 고려할 때 유연성이 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서는 제조유연성이 미치는 영향의 정도에 대해 평가를 할 수 있는 한가지 가능한 척도를 제안하고, 생산라인별 다단계공정과 공정별 고장 등을 다루었지만, 대기공간 등과 같은 현실에 더욱 적합한 모형을 구축하는 것과 수행도 평가에 보다 많은 형태의 유연성을 포함하는 내용의 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1]Gupta, Y. P. and Goyal, S., "Flexibility of Manufacturing Systems: Concepts and Measurement", European Journal of Operational Research, Vol. 43, pp. 119-135, 1989.
- [2]Benjaafar, S., "Modeling and Analysis of Manufacturing Flexibility", PhD Thesis, School of Industrial Engineering, Purdue University, 1992.
- [3]Upton, D. M., "A flexible structure for computer-controlled manufacturing systems". Manufacturing Review, Vol. 5, pp. 58-74, 1992.
- [4]Browne, J., Dubois, D., Rathmill, K., Sethi, S. P., and Stecke, K. E., "Classification of Flexible Manufacturing Systems", The FMS Magazine, Vol. 2, pp. 114-117, 1984.
- [5]Hitoshi Tsubone and Haruki Matsuura, "生産システムの柔軟性について", 일본경영공학회지, Vol. 46, No. 1, pp. 1-6. 1994.
- [6]黒須誠治, "システム設計における防御の概念-切替・緩衝・隔離・豫防-の意義と役割", 와세다대학 시스템과학연구소기요, Vol.23, pp.79-80, 1992.

- [7] 村松林太郎, “生産管理の基礎” 國元書房, 1979.
- [8] Sethi, A. K. and Sethi, S. P. “Flexibility in Manufacturing: A Survey”, *Int. J. Flexible Manufacturing System*, Vol. 2, No. 4. pp. 289-328, 1992.
- [9] Rao, P. and Mothanty, R. P. “Searching for Definitions and Boundaries in Flexible Manufacturing System”, *J. Production Planning and Control*, Vol. 2, No. 4, pp. 142-154. 1992.