

☒ 연구논문

부품 수요율을 고려한 제조 셀의 운용

A Study of Manufacturing Cell Based on the Demand Rate

박승현*

Park, Seung Hun

Abstract

This research presents the relationship among machining time, cycle time and demand rate in a cellular manufacturing system. The manufacturing cell produces part families by automated machines. This paper discusses the cases of increasing demand rate in an existing cell and designing cell based on the demand rate.

This research developed an algorithm for decision making such as cycle time, machines and workers in order to minimize the total machine capacity and the number of workers for any given demand rate. The proposed algorithm was successfully applied for the design and operation of cell manufacturing with a good result.

1. 서론

L-CMS (linked-cell manufacturing system)는 경쟁력 있는 제품생산을 위해 막대한 투자와 그 운용의 복잡함으로 어려움을 겪고 있는 FMS와 CIM 등을 대신할 수 있는 생산 시스템이다.

이 시스템의 첫 단계는 제조 셀의 구축이다. 셀은 기계들이 서로 근접하여 위치하고 일반적으로 U자 형태를 취한다. 셀 들은 비교적 작고 단순한 장비들로 구성되어 있으며 작업자들은 정확한 시간일정에 따라 미리 정해진 경로를 이동한다.

본 연구의 대상(모형)은 다기능 작업자가 자동화된 기계들 사이를 이동하여 기계들을 돌보며 작업을 수행하는 셀이다. 이 모형에서 셀 운영상, 생산주기시간(cycle time)과 기계가공시간(machining time)의 관계는 Black[2]에 의해 규명되어 있다. 실제로 셀 운영상의 관점에서는, 생산주기시간의 결정은 부품의 수요율(demand rate)에 의해 의존된다. 그러나 Black[2]은 수요율에 대해서는 고려하지 않았으며 또한 1인 셀만을 대상으로 하였다.

본 연구는 위에 언급한 셀에서 부품의 수요율을 고려하는 경우와 복수작업자에 의한 셀 운영에 대하여 다음의 경우를 검토한다. (1) 기존 설계된 셀에서 수요율이 증가하는 경우, 수요율을 만족시키기 위한 작업분할과 실행가능한 생산주기시간의 관계 (2) 셀의 초기 설계시 임의의 수요율이 주어지는 경우, 수요율을 만족시키기 위한 최소의 작업자수, 중복기계와 실행가능한 생산주기시간의 결정등에 관하여 검토한다.

* 인하대학교 산업공학과 교수

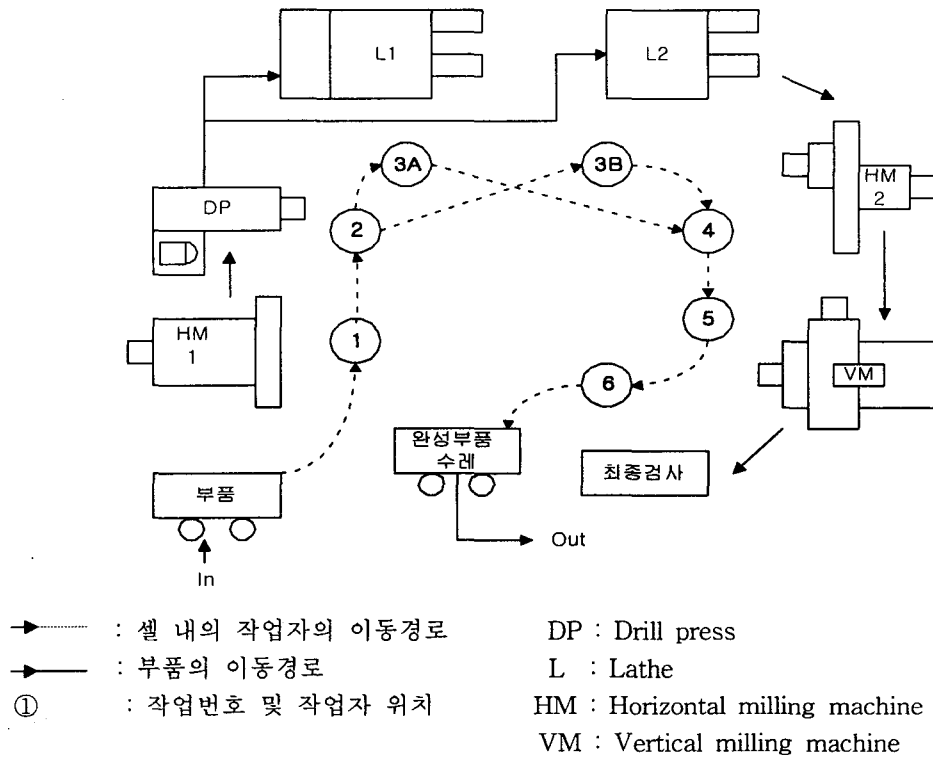
* 본 연구는 1998년도 인하대 연구비의 지원에 의한 것임.

2. 1인 작업자의 셀

2.1 기계가공시간과 생산주기시간

여기에서는 이미 설계되어 있는 가공 셀 모형을 예시하고 이 모형을 통하여 생산주기시간과 기계가공시간의 관계를 밝히고 셀의 산출율과 실행가능 조건등 운영에 미치는 영향을 검토한다.

샤프트(shaft)제조를 위한 가공 셀 모형은 그림1과 같다. 이 셀에서는 부품군(part family)을 생산하며, 5개의 가공작업과 1개의 검사작업으로 구성되어 있다. 그리고 한명의 작업자가 한 기계에서 부품의 제거, 부착 및 검사를 위한 수작업을 끝내고 다른 기계로 이동할 때 기계는 자동적으로 작동된다. 셀내의 각각의 기계작업의 내용에 따른 수작업시간, 작업자 이동시간과 기계가공시간은 표1과 같다. 샤프트의 원재료는 수레에 담겨 도착하고 완성된 부품은 수레로 다음 제조 셀로 이동한다.



<그림 1> 샤프트 제조를 위한 가공 셀

<표 1> 가공 셀의 작업내용 및 시간

작업 순서	작업 내용	수작업 시간	작업자 이동시간	기계가공 시간(MT)
1	Mill ends on work HM 1	11"	4"	40"
2	Drill hole on DP	14"	4"	20"
3	Turn-bore on L1 or L2	17"	4" 7"	120"
4	Mill flat on HM 2	13"	7" 4"	30"
5	Mill steps on VM	13"	6" 4"	30"
6	Final inspection	8"	4"	-
		76"	29"	240"

이 가공 셀에서의 이론적 생산주기시간(CT)은 105초이다. 이것은 다기능공에 의해 자동기계를 다루는 셀의 특성에 기인한다. 즉 한사람의 작업자가 기계에서 부품의 부착, 제거 및 검사 등의 수작업 시간(manual time)과 기계 사이를 이동할 때의 소요되는 이동시간의 합 ($CT = 76\text{초} + 29\text{초} = 105\text{초}$)이다. 그러나 이론적 CT가 반드시 실행가능한 것은 아니다. 보편적으로 수작업에 의한 가공이나 조립라인에서는 최장 공정시간에 의해 CT가 정의되는 것에 비하여 이 가공 셀에서의 이론적 CT는 위에서 언급한 수작업시간과 이동시간에 의해서 정의되어짐을 알 수 있다. 한편 부품 한 개에 대한 기계들의 기계가공시간(MT)의 총합계는 240초이다. 가장 긴 MT는 세 번째 기계(turn-bore)로 120초이다.

앞에서 구한 이론적 CT는 세 번째 기계를 제외하고는 실행가능하다. 즉, 세 번째 기계를 제외하고는 작업자가 셀 내를 이동하는 것을 지연시키지 않는다. 그러나 세 번째 작업의 MT는 CT보다 크기 때문에 105초의 CT는 실행불가능하며 CT의 제약조건이 된다. 작업자가 셀 내를 처음 한주기 이동할 때에는 105초의 CT가 달성 가능하나 다음 주기의 3번째 기계에 도달하면 3번째 기계의 가공시간 MT_3 는, $CT < MT_3$ 이므로, 가공이 끝나지 않아 15초를 대기해야만 한다. 따라서 실행가능한 생산주기시간 CT' 는 120초가 된다. 즉 실행가능한 생산주기시간은 세 번째 기계의 가공시간 CT' 가 되기 때문에 셀의 산출율(output rate)은 저하된다.

산출율의 저하를 방지하기 위해서는 그림1과 같이 세 번째 기계는 두 대로 하여 $MT = 120/2 = 60\text{초}$ 로 변경한다. 작업자는 셀에서의 이동경로에 따라 기계를 선택한다. 두 대의 기계는 같은 작업을 해야 한다. 이론적 CT가 MT의 제약 없이 실행 가능한 경우는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$MT_i < CT \quad \dots (1)$$

(여기에서 $i = \text{작업}1, \dots, \text{작업}6$)

위에서 언급한 이론적 CT가 실행가능하기 위해서는 식(1)이 만족되어야 한다. 식(1)이 만족되지 않는 경우에 CT는 실행가능한 최장 기계가공시간 MT_{\max} 로 대체된다. 즉, 실행가능한 생산주기시간 $CT' = MT_{\max}$ 가 된다.

이 셀에서 생산되는 다른 부품들은 샤프트의 크기에 따라 길이(L)가 다르기 때문에 MT가 달라진다. 표1의 기계(작업) 2에 대한 MT값은 식(2)로 표현할 수 있으며 비슷한 식들이 다른 기계(작업)에도 사용된다.

$$MT = \frac{L + \text{allowance}}{\text{feed} \times \text{rpm}} \quad \dots (2)$$

셀에서 생산된 부품들은 물론 셀 내의 모든 기계를 이용하여 가공되지 않아도 된다. 부품들은 보통 기계가공시간 MT의 합이 다르나

$$MT_{ij} < CT \quad \dots (3)$$

(여기서, $i : \text{작업번호}, j : \text{부품군의 부품번호}$)

식(3)을 만족하는 한 일반적으로 한 셀에서 생산된 부품들은 같은 범위내의 CT(또는 작업자시간)를 필요로 한다. 이것은 여러 부품들을 생산하는 이 셀에서 각 부품에 대해 별도의 다른 작업자가 필요하지 않다는 것을 의미한다. 즉 부품군의 각 부품에 대하여 직무(task) 또는 작업자의 수를 재조정(rebalance)할 필요가 없어 부품을 바꾸어가며 연속적으로 부품군의 가공이 가능하다.

셀에서의 CT는 작업자의 수작업을 포함한 셀 주위를 이동하는 시간으로 정의되기 때문에 식(1)을 만족하는 한 MT의 변화가 셀의 산출율을 저하시키지는 않는다. 또한 부품들의 MT의 합이 다른 경우에도 식(3)을 만족하는 한 산출율을 저하시키지 않을 뿐만 아니라 직무를 재조정함이 없이 연속적으로 생산이 가능하다.

한편 식(1)을 만족하지 못하는 경우, 즉 어떤 기계의 MT가 CT보다 큰 경우, MT가 CT의 제약조건이 되므로 결과적으로 산출율을 저하시킨다. 셀 산출율의 저하를 방지하기 위해서는 다음의 수단들이 검토될 수 있다.

- (1) CT보다 큰 MT를 효과적으로 이등분하기 위해 특정 기계는 식(1)을 만족하도록 중복시킨다. (그림1 참조)
- (2) 특정 기계의 MT를 줄이기 위해 절삭 속도를 높인다. 이의 실행에는 절삭깊이와 절삭속도의 증가 등 여러 방법이 있으나 공구수명감소, 품질 저하 등의 문제를 유발한다.
- (3) 특정 기계의 작업은 잔업을 통하여 여분의 가공부품을 사전에 확보한다.
- (4) 가장 긴 MT를 갖는 작업의 일부는 시간 여유가 있는 다른 기계로 이동시킨다.
- (5) 제품(혹은 부품)을 재설계한다.

2.2 부품수요율과 생산주기시간

셀의 이론적 CT는 앞에서 언급하였듯이 작업자가 셀 내의 이동시간과 각각의 기계에서 수작업을 수행한 시간의 합으로 정의된다. 그러나 이 셀은 다른 셀과 마찬가지로 다음공정(down stream)과 조립라인에 필요한 부품을 생산하기 위해 설계되었기 때문에 실제로는 셀의 부품 수요율(demand rate)이 CT를 결정하게 된다.

부품수요율(=수요량/단위시간)을 만족시키는 셀의 생산주기시간 CT_{dr} 은 다음 식과 같이 수요율(필요생산율)의 역수로 정의할 수 있다.

$$CT_{dr} = \frac{\text{1일 가용 작업시간}}{\text{부품에 대한 1일수요량}} \quad \dots (4)$$

2.1에서 식(1)을 만족하지 못하는 경우에 실행 가능한 생산주기시간은 MT_{max} 가 되었다. 그러나 $MT_{max}(=CT')$ 가 셀이 요구하는 부품의 수요율을 고려한 CT_{dr} 보다 크다면 유휴시간이 늘어날 뿐 산출율의 저하는 셀 운영에 문제가 되지 않는다.

셀이 연결된(linked-cell)공장에서는 셀들은 중간조립 혹은 최종조립에 쓰이는 부품들을 생산한다. 따라서 이 셀은 정확히 최종조립 셀에 꼭 맞는 비율로 부품을 생산하도록 설계되어야 한다. 한편 과잉생산은 부품의 저장, 창고로의 이동, 필요할 때의 검색문제 등 비용만 증가시키고 가치를 증가시키지 않는다. 셀의 산출율과 최종조립라인의 사용율 사이의 불일치가 적으면 적을수록 재고는 적어진다.

3. 수요율을 고려한 복수작업자의 셀

3.1 기존 셀의 작업분할

셀생산은 수요의 증감에 대응하여 셀에 작업자를 증감함으로써 생산량의 유연성을 확보할

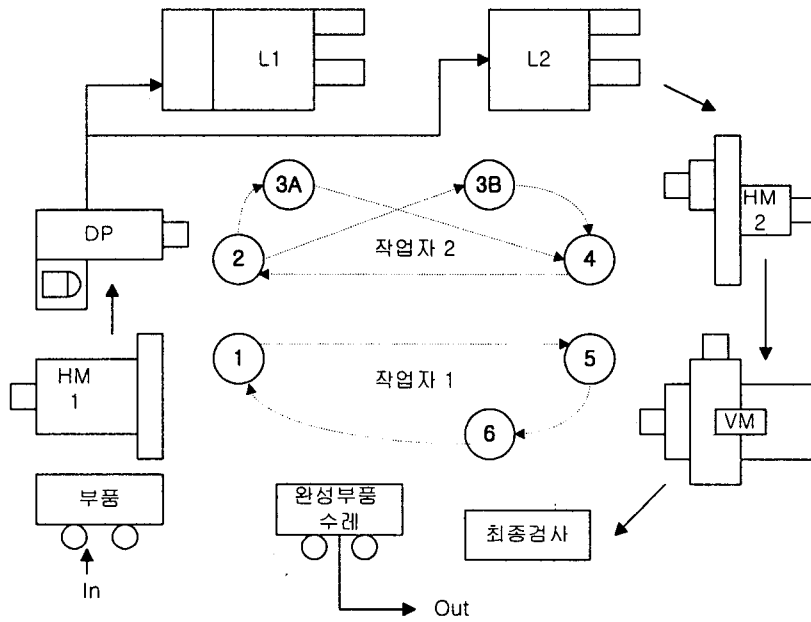
수 있다. 부품의 수요율이 증가하는 경우 증가된 수요율을 충족시키기 위해 (4)식의 CT_{dr} 은 감소하므로, 셀에 작업자를 증원하고 작업분할을 행함으로써 셀의 산출율을 증가시킬 수 있다.

셀에 작업자가 증원되고 작업분할을 행하여 얻어지는 새로운 이론적 생산주기시간 CT^* 는, 셀의 수요율이 만족되는 생산주기시간 CT_{dr} 과는, 다음 식(5)의 관계에

$$CT^* < CT_{dr} \quad \dots (5)$$

있어야 수요율을 만족시킬 수 있다.

작업자 1인을 증원하여 그때의 작업분할과 생산주기시간의 변화를 그림1을 원형으로 하여 살펴본다. 그림1의 6개 작업을 그림2와 같이 횡분할하였다. 그 경우의 각 작업자의 이동시간과 수작업시간은 표2, 3과 같다.



<그림2> 작업자 2인에 의해 작업을 횡분할한 경우

<표2> 작업자 1의 수행시간

작업 순서	수작업 시간	작업자 이동시간
작업 1	11"	4"
작업 5	13"	7"
작업 6	8"	4"
	32"	15"

<표3> 작업자 2의 수행시간

작업 순서	수작업 시간	작업자 이동시간
작업 2	14"	7"
작업 3	17"	4" 혹은 7"
작업 4	13"	7" 혹은 4"
	44"	18" 18"

2인 작업자에 의해 셀의 작업을 횡분할한 결과 작업자 1의 이론적 CT는 47초(=32" +15")이며 작업자 2의 CT는 62초이다. 이 경우에는 새로운 이론적 생산주기시간 CT^* 는 62초가 된다. 앞서 작업자 1인의 경우는 CT가 105초이나 2인의 작업분할에 의해 CT^* 는 62초가 되었다. 즉 작업자 증원에 의해 산출율이 향상되었다.일반적으로는 몇 명에 의한 분할이든지 작업자중 가장 큰 CT가 새로운 이론적 CT^* 로 결정되어야만 실행 가능하다. 또한 이 새로운 CT^* 는 다음의 관계식(6)을 만족해야만 실행가능하며 동시에 필요수요율을 충족시킨다.

$$MT_i < CT^* < CT_{dr} \quad \dots (6)$$

(여기서, i = 작업 1, ... , 작업 6)

즉 이 관계식은 CT^* 가 식(1)에 의해 실행가능해지고 식(5)에 의하여 필요 수요율을 만족시킬 수 있다는 의미이다. 작업자 2인에 의한 작업분할의 본 연구에는 식(1)을 만족시킨다. 동시에 식(5)의 범위안에 CT^* 가 있다면 필요생산율을 만족시키며 실행 가능하다.

CT^* 가 필요 생산율을 만족시키나 식(1)을 만족하지 못하여 실행 불능인 경우에는 2.1에서 제시한 대안 5가지 중 선택하여 해결할 수 있다. 반대로 CT^* 가 식(1)을 만족시키나 필요생산율을 만족시키지 못하는 경우에는 다음과 같은 방안을 고려할 수 있다.

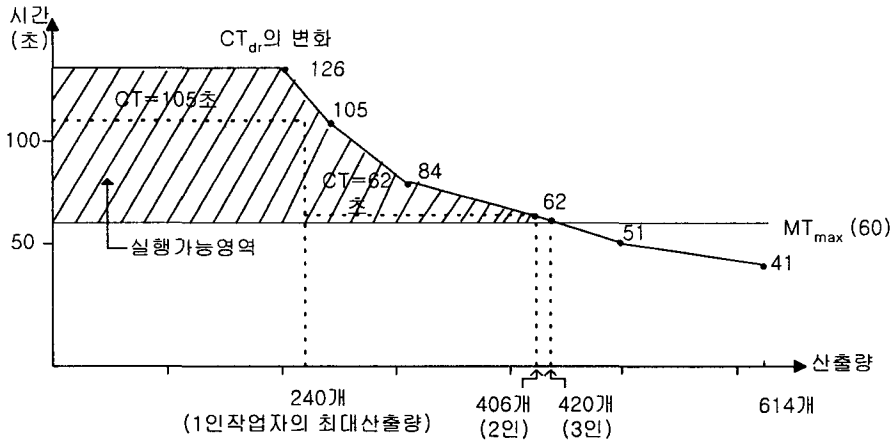
- (1) 작업분할시 도움작업을 검토하고 최적작업분할에 의해 CT^* 를 감소시킴으로써 식(6)을 만족시키도록 한다.
- (2) 작업자를 재증원시킴으로써 CT^* 를 감소시킨다. 이 경우에는 3.1에서 언급한 작업분할 과정이 재차 요구된다.

작업자를 재증원함으로써 CT^* 를 연속적으로 감소시킬 수 있으나 CT^* 가 감소함에 따라 결국 식(1)의 조건을 만족시킬 수 없게 된다. 본 연구의 예로 그림1을 작업자 3인에 의해 충분할 (작업자1: 작업1, 2 작업자2: 작업3, 4 작업자3: 작업5, 6)을 행할 경우, CT^* 는 작업자2에 의해 41초가 된다(이 경우의 그림과 표는 생략하였다). 이 CT^* 는 식(1)을 만족시키지 못하기 때문에 실행 가능한 생산주기시간은 MT_{max} 의 60초가 된다. 3인 작업자에 의한 분할은 2인 작업자에 의한 분할과 비교(표4 참조)할 때 산출율의 증가에 그다지 기여하지 않기 때문에 분할의 의미가 없다고 할 수 있다.

<표4> 작업분할과 생산주기시간

작업자수	1인	2인	3인
이론적 주기시간	105초	62초	41초
실행가능 주기시간	105초	62초	60초

산출율을 증가시키기 위해 표4와 같이 1인 작업자에서 시작하여 작업자를 증원하는 경우, 이론적 생산주기시간의 실행가능 영역(즉 6식을 만족하는 영역)은 그림3과 같다.



<그림3> 수요율 (CT_{dr})의 변화에 따른 CT의 실행가능 영역

그림3의 일일 가용 작업시간은 25,200초로 하였다. 또한 일일수요량은 200개(따라서, CT_{dr} =126초)부터 증가시키며 그 변화를 구하였다. 결국 수요율이 증가할수록 MT_{max} 가 되는 기계의 증설없이 작업의 재분할만으로는 실행가능 영역에 한계가 있음을 알 수 있다.

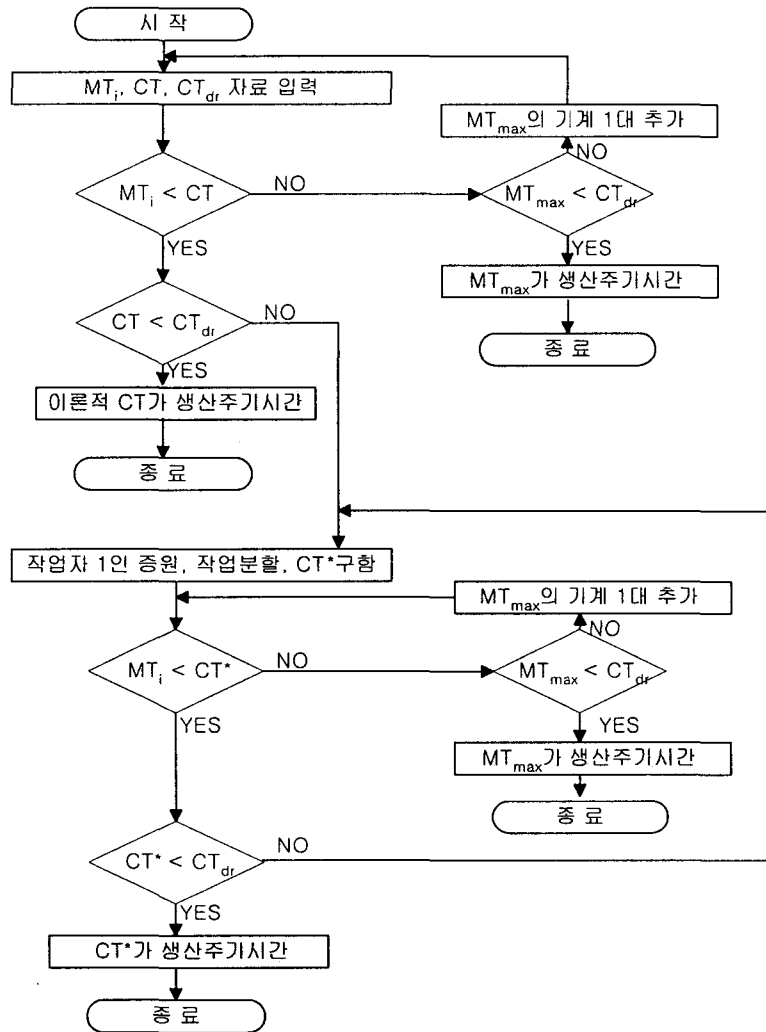
3.2 생산주기시간의 결정

이상 기존의 설계된 셀에서 수요율이 증가하는 경우, 증가된 수요율을 만족시키기 위한 관계를 살펴보았다. 여기에서는 이상에서 정리된 MT , CT^* , CT_{dr} 등의 관계를 이용하여 셀의 초기 설계시 수요율을 만족시키기 위한 알고리즘을 개발하고 이것을 이용하여 적용사례를 확인해 본다.

처음으로 셀을 설계하는 경우, 그림 4와 같은 알고리즘의 흐름도를 이용하여 임의의 수요율을 만족시키는 동시에 최소의 작업인원과 최소의 기계수로 실행가능한 생산주기시간을 결정할 수 있다. 이 때 중복시켜야 할 기계의 종류와 작업자수도 결정된다.

한편 이미 설계되어 있는 셀에서 수요율이 증가하는 경우, 일정한 계획기간 동안은 기계의 증설을 고려치 않고 작업자만을 증원하여 산출을 조정하는 것이 보편적 방법이다. 따라서 흐름도에서 $CT < CT_{dr}$ 의 조건을 충족하지 못하는 경우, 이 알고리즘 흐름도를 이용하여 작업자를 증원하는 방법으로 수요율을 충족시키는 생산주기시간을 구할 수 있다. 그러나 $MT_{max} < CT_{dr}$ 의 조건을 충족하지 못하는 경우, 수요율을 충족시키는 생산주기시간은 기계의 중복없이 존재하지 않기 때문에 2.1에서 언급한 (2)~(5)의 수단으로 해결책을 모색할 수 밖에 없다.

표1과 같이 특정기계의 MT 가 상대적으로 큰 경우, 증가하는 수요율을 만족(산출율의 유연성 확보)시키기 위한 기존 셀의 가장 커다란 제약조건은 MT_{max} 가 된다. 따라서 셀에 산출량의 유연성을 부여하기 위해서는 셀 설계시부터 제약조건이 되는 기계의 중복을 사전에 충분히 고려해야만 한다.



<그림4> 생산주기시간 결정 알고리즘의 흐름도

알고리즘의 절차

- (1) 시작 초기에는 기계의 중복없이 1인 작업자로 시작되는 자료를 입력한다.
- (2) $MT_i < CT$ 의 조건을 만족하고 다음으로 $CT < CT_{dr}$ 의 조건을 만족하면 이론적 CT가 생산주기시간으로 결정된다.
- (3) $MT_i < CT$ 의 조건을 만족하지 못하고 동시에 $MT_{max} < CT_{dr}$ 을 만족하지 못하면 MT_{max} 의 기계를 1대 중복시키고 새롭게 자료를 입력한다.
- (4) (3)에서 $MT_{max} < CT_{dr}$ 을 만족하면 MT_{max} 가 생산주기시간으로 결정된다.
- (5) (2)에서 처음 조건을 만족시키나 $CT < CT_{dr}$ 의 조건을 만족하지 못하면 작업자를 1인 증원하여 작업분할을 하고 새롭게 CT^* 를 구한다.

- (6) 작업분할을 행한 후 $MT_i < CT^*$ 의 조건을 만족하고 다음으로 $CT^* < CT_{dr}$ 의 조건을 만족하면 CT^* 가 생산주기시간으로 결정된다.
- (7) $MT_i < CT$ 의 조건을 만족하지 못하고 동시에 $MT_{max} < CT_{dr}$ 을 만족하지 못하면 MT_{max} 의 기계를 1대 중복시키고 새롭게 MT값을 입력한다.
- (8) (7)에서 처음 조건을 만족하지 못하나 $MT_{max} < CT_{dr}$ 을 만족하면 MT_{max} 가 생산주기시간으로 결정된다.
- (9) (6)에서 처음 조건을 만족하고 $CT^* < CT_{dr}$ 의 조건을 만족하지 못하면 새로이 작업자를 1인 증원하여 작업분할을 하고 CT^* 를 구한 후 다음 단계로 진행한다.

그림4의 음영이 있는 부분은 각 경우의 생산주기시간이 결정되는 장소이다.

이 알고리즘을 이용하여 수요율을 만족시키는 생산주기시간을 결정한 적용사례는 표5와 같다. 초기의 입력자료(MT_i , CT)는 표1에 따랐으며, 수요율은 임의로 부여하여 변화시켰다. CT_{dr} 은 수요율의 역수(4식 참조)이고 1일 가용 작업시간은 25,200초로 하였다.

<표5> 생산주기시간 결정의 적용예 1

수요량/일	기계 중복	작업자 수	생산주기시간 결정
230개 $CT_{dr} = 110$ 초	MT_3 1대 중복 $MT_{max} = 60$ 초	1인 작업	$CT = 105$ 초
360개 $CT_{dr} = 70$ 초	MT_3 1대 중복 $MT_{max} = 60$ 초	2인 작업 (작업분할)	$CT^* = 62$ 초
504개 $CT_{dr} = 50$ 초	MT_3 2대 중복 $MT_{max} = 40$ 초	3인 작업 (작업분할)	$CT^* = 41$ 초

표6은 적용예 1과 동일한 조건에서 표1의 작업순서 3(Turn-bore)의 기계가공시간만을 50초로 변경하여 다른 작업의 기계가공시간과 상대적으로 고르게 분포된 경우를 알고리즘에 적용한 예이다.

<표6> 생산주기시간 결정의 적용예 2

수요량/일	기계 중복	작업자 수	생산주기시간 결정
230개 $CT_{dr} = 110$ 초	없 음	1인 작업	$CT = 105$ 초
360개 $CT_{dr} = 70$ 초	없 음	2인 작업 (작업분할)	$CT^* = 62$ 초
530개 $CT_{dr} = 52$ 초	없 음 $MT_{max} = 50$ 초	3인 작업 (작업분할)	$CT = 50$ 초 (MT_{max})

표6의 결과는 기계가공시간이 비교적 고르게 분포되어 있을수록 기계의 중복없이 셀에 작업자를 증원하는 것만으로 증가하는 수요율을 만족시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 즉 산출물의 유연성을 확보할 수 있다.

4. 결론

다기능 작업자가 자동화된 기계들로 부품군을 가공처리하는 경우, 기계가공시간과 생산주기시간의 관계를 토대로 이 관계가 셀의 산출율과 운용에 미치는 영향을 살펴보았다. 그러나 셀 운용상의 관점에서는 생산주기시간을 결정하는 것은 부품의 수요율이다. 따라서 본 연구는 부품 수요율의 요인을 도입하여 수요율을 만족시키는 생산주기시간과 실행가능한 조건등을 검토하였다.

기존의 설계된 셀에서 수요율이 증가하는 경우, 일정계획 기간중에는 작업자를 증원하여 산출율을 조정하는 것이 보편적이기 때문에 셀에 작업자를 증원하고 작업분할을 행하여 구하는 새로운 이론적 생산주기시간 CT^* 가 실행가능한 조건, 방법과 영역등을 밝혔다.

셀의 초기 설계시 임의로 수요율이 주어지는 경우, 최소의 작업인원과 최소의 기계수로 수요율을 만족시켜며 동시에 실행가능한 생산주기시간을 결정하는 알고리즘을 확립하였다. 이 알고리즘에 장래의 수요율 변화의 예측치를 적용하여 봄으로써 중복시켜야 할 기계의 종류와 대수, 작업자의 수와 생산주기시간등이 결정되므로 셀의 설계와 운용에 유용하다.

이 알고리즘에서 작업자 증원시의 작업분할 방법과 그에 따른 CT^* 는 수작업에 의존하고 있으나 이 부분까지 전산화하는 것은 향후의 연구과제라 하겠다.

참고문헌

- [1] Ballakur, A., Steudel, H.B., " A Within-Cell Utilization Based Heuristic For Designing Cellular Manufacturing Systems.", International Journal of Production Research, Vol. 25, No. 5, pp 639-665, 1987.
- [2] Black, J. T., " The Design of The Factory with a Future", McGraw-Hill Inc., 1991.
- [3] Hara, S., Azuka K., " Cell Production System for Assembly", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, pp 379-385, 1988.
- [4] Heragu, S. S., Gupta, Y. P., " A Heuristic for Designing Cellular Manufacturing Systems Through Simulated Annealing: An Experimental Evaluation", European Journal of Operational Research, Vol. 63, 409-422, 1992.
- [5] Honiden N., Noriyuki N., " A Method of Dynamic Lot-Sizing in a Cellular Manufacturing System", J. Japan Industrial Management Association, Vol. 43, No. 4, pp 289-295, 1992.
- [6] Shingo S., " A Study of the Toyota Production System", Productivity Press, 1989.
- [7] Ueno T., Yuichi T., " A study on Assembling Line System Based on the Relationship between Work Element and Cycle Time", Journal of Japan Industrial Management Association, Vol. 45, No. 4, pp 337-344, 1994.
- [8] Vakhria, A. J., Wemmerlov, U., " Designing a Cellular Manufacturing System: A Material flow Approach based on Operation Sequences", IIE Transaction, pp 84-97, 1990
- [9] William W. L., "Flexible Manufacturing Cells and Systems", Prentice-Hall Inc., 1991
- [10] Wemmerlov, U., Hyer, N. L., "Research Issues in Cellular Manufacturing", International Journal of Production Research, Vol. 25, No. 3, 413-431, 1987.