

생산율에 따른 U-라인의 효율적 운용 알고리즘

- An Algorithm for the Efficient Operation of the U-Shaped Line -

박 승 현 *

Park Seung Heon

Abstract

The production using U-shaped line is studied. This research presents the relationship among machining time, cycle time and production rate in a U-shaped line. The U-shaped line produces shafts by automated machines. In this paper when any production rate is given the U-shaped line always satisfies the production rate.

An algorithm is developed for the determination of cycle time, the number of machines and workers of the U-shaped line in order to minimize the total machine capacity and the number of workers for any given production rate. The U-shaped line was successfully designed by applying the proposed algorithm.

Keyword : U-Shaped line, Production rate

1. 서 론

최근에는 JIT생산의 원리를 도입함으로써 많은 일자형 생산라인(straight line)들이 U-라인으로 교체되었다. U-라인은 다품종 생산에 폭넓게 적용되고 있다. 그리고 이 생산방식은 적기에 납기를 맞추기 용이할 뿐만 아니라 값싸게 생산할 수 있는 장점 등이 있다.

그 장점들 중에서도 특히 U-라인은 수요의 변화에 대해서 생산량의 조절이 다른 생산 시스템에 비하여 용이하다는 장점이 있다. U-라인에서는 필요 생산율(production rate)이 갑자기 증가하는 경우, 첫째로는 설비의 증대 없이 U-라인에 작업자만을 증원 시켜서 사이클 타임(cycle time)을 짧게 함으로써 생산량을 증가시키는 방법이 있다. 둘째로는 계속되는 수요의 증가로 인해 작업자의 증원만으로 필요 생산량을 충족할 수 없을 때에는, 애로공정(bottle neck)이 되는 특정 설비만을 증설함으로써 생산량을

* 인하대학교 산업공학과 교수

증가시킬 수 있다. U-라인에서는 일반적으로 소형기계를 사용하기 때문에 라인의 재배치가 다른 생산시스템에 비해 비교적 용이하다.

이와 같이 U-라인은 수요량의 변화에 따라 생산율의 조정이 유연하다. 이렇듯 뛰어난 장점에도 불구하고, U라인에 관한 기존의 연구는 조립라인에서 선후 공정관계를 이용하여 라인효율이 최대가 되도록 작업 스테이션에 작업을 배분하는 라인밸런싱 문제의 알고리즘 개발에 관한 연구[4][7][9]가 대부분이다. 그러나 필요생산율(=수요율)이 변화함에 따라 그 생산율을 반드시 충족시키는 U-라인의 효율적 운용방법에 관한 연구는 전무한 실정이다. 한편으로 U-라인에서의 사이클타임과 기계가공시간의 관계는 Black [1]에 의해 규명되어 있으나 이 역시 생산율에 대해서는 고려하지 않았으며 1인 셀만을 대상으로 하였다. 따라서 본 연구는 필요 생산율이 주어지는(또는 변화하는) 경우에 최단의 사이클 타임과 최소의 인원 및 기계로 그 생산율을 충족시킬 수 있는 효율적 운용 조건을 구하는 알고리즘 개발을 목표로 한다. 그리고 알고리즘의 개발 후에는 몇 개의 수치 예를 통하여 그 효용성을 확인하겠다.

2. U-라인 모형

2.1 사이클 타임과 가공시간

여기에서는 이미 설계되어 U-라인 모형을 예시하고, 이 모형을 통하여 사이클 타임과 가공시간, 사이클 타임과 필요 생산율 등의 관계를 밝히고 이 관계들이 U-라인 운용에 미치는 영향을 검토한다.

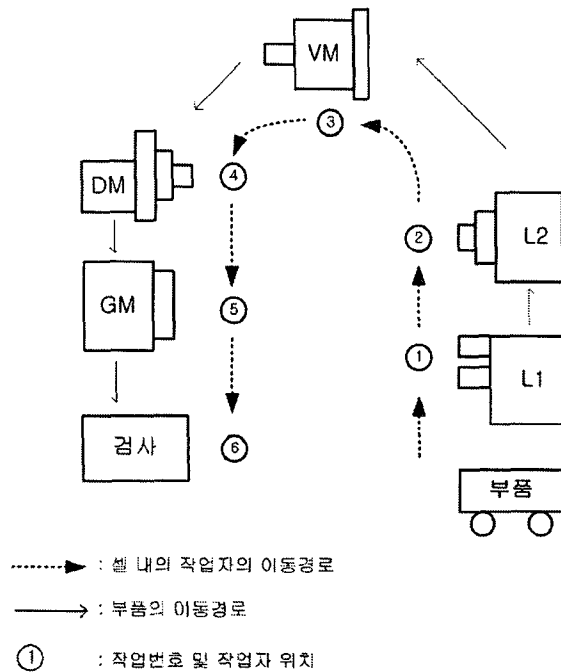
샤프트 제조를 위한 U-라인 모형은 그림1과 같다. 이 U-라인은 5개의 가공작업과 1개의 검사작업으로 구성되어 있다(표1 참조). 그리고 한명의 작업자가 한 기계에서 가공 부품의 제거 및 부착을 위한 셋업(set up)을 끝내고 다른 기계로 이동할 때, 기계는 자동적으로 작동되어 부품을 가공한다. U-라인 내의 각 공정에 따른 셋업 시간과 기계의 자동 가공시간은 표1과 같다.

< 표 1 > U-라인 셀의 작업순서 및 시간

(시간단위: 초)

순서	공정	기계	셋업시간 (ST)	자동가공시간 (MT)
1	turning(선삭)	lathe1	30	210
2	boring(보링)	lathe2	100	150
3	end milling(밀링)	vertical milling machine	170	210
4	drilling(드릴링)	radial drilling machine	120	80
5	grinding(연삭)	grinding machine	230	380
6	inspecting(측정)	coordinate measuring machine	210	230
			860	1,260

이 U-라인에서 사이클 타임(CT)은 860초가 된다. 즉 한명의 작업자가 각 기계에서 부품의 제거 및 부착하는 셋업 시간의 합이 사이클 타임이 된다. 이것은 다 기능공에 의해 셋업 후에 이동하고 다음 기계를 돌보는 사이에 기계가 자동으로 부품을 가공하는 셀의 특성에 기인한다.



< 그림 1 > 샤프트 가공 U-라인

한편 한 개의 완성 부품에 대한 기계들의 가공시간(MT)의 합계는 1,260초이다. 표 1의 경우에는 위에서 구한 860초의 CT를 어느 기계에서 기다리는 시간의 지체 없이 실행 가능하다. 그러나 이 U-라인 모형의 CT는 항상 실행 가능 한 것은 아니다. 예컨대 표1에서 5번작업의 기계 자동가공시간이 900초라면, 작업자가 U-라인 셀 내를 처음 한 주기 이동 할 때에는 860초의 CT가 달성 가능하다. 그러나 다음 주기의 5번째 작업에서는 자동 가공시간 MT_5 가 900초($CT < MT_5$)이므로 가공이 끝나지 않아 40초를 대기 해야만 한다. 따라서 실행 가능한 CT'는 900초가 된다. 사이클 타임 CT가 자동 가공시간 MT의 제약 없이 실행 가능하기 위해서는 다음 식의 조건을 만족해야 한다.

$$MT_i \leq CT \dots (1)$$

여기에서(i =작업1, ..., 작업6)

그러나 식(1)의 조건이 만족되지 않는 경우에는 실행 가능한 사이클 타임 CT'는 최

장 가공시간 MT_{\max} 로 대체된다.

U-라인에서 CT가 식(1)을 만족하는 범위 내에서는, 기계 가공시간 MT의 변화가 셀의 산출율(output rate)을 저하시키지는 않는다. 한편 식(1)을 만족하지 못하는 경우, MT가 CT의 제약 조건이 되므로 결과적으로 산출율을 저하 시킨다.

2.2 사이클 타임과 필요 생산율

이 U-라인 모형의 CT는 앞서 언급한 바와 같이 셋업 시간의 합으로 정의된다. 그러나 이것은 이론적 사이클 타임이다. 필요 생산율을 반드시 충족시킨다는 전제로 U-라인을 운용하는 관점에서는 필요 생산율(=수요량/단위기간)이 CT를 제한 짓는다. 즉 필요 생산율이 사이클 타임의 상한값이 된다.

필요 생산율을 충족시키는 U라인의 사이클 타임 CT_{pr} 은 다음과 같은 식으로 정의 할 수 있다.

$$CT_{pr} = \frac{\text{1일가용작업시간}}{\text{부품에대한1일수요량}} \dots (2)$$

앞에서 식(1)을 만족하지 못하는 경우, 실행 가능한 사이클 타임은 MT_{\max} 가 되었다. 이 $MT_{\max}(=CT')$ 가 U라인에 필요한 CT_{pr} 값보다 작다면 (작업자의 유휴시간이 늘어날 뿐 이 때의 산출율 저하는) 필요 생산율을 충족시킨다는 관점의 U라인 운용에는 아무런 문제가 되지 않는다.

(정리1) 이론적 사이클타임 CT는 모든 기계의 자동가공 시간 MT보다 같거나 커야만 실행 가능하다.

(정리2) 정리1의 조건($MT_i \leq CT$)이 만족되는 범위 내에는 기계 가공시간 MT의 변화가 산출율을 저하시키지 않는다.

(정리3) 정리1의 조건이 만족되지 않으면 MT_{\max} 가 실행 가능한 사이클 타임 CT'가 된다.

(정리4) 정리1의 조건이 만족되지 못하면 MT_{\max} 는 실행 가능한 사이클타임 CT의 하한값이 된다.

(정리5) 필요생산율 CT_{pr} 은 실행 가능한 사이클타임 CT의 상한값이 된다.

3. 필요 생산율을 충족시키는 U-라인 운용

3.1 작업자 증원에 의한 U-라인의 작업 분할

U-라인은 필요 생산율의 증가에 대응하여 어느 한계까지는 설비의 증설 없이 셀(cell) 내에 단순히 작업자를 증원하는 것 만 으로 생산량에 대한 유연성을 확보 할 수 있는 장점이 있다. 즉 일정기간에 부품의 필요 생산율이 증가하는 경우는 U-라인에 작업자를 증원하여 기존에 1 인이 하던 작업을 복수 작업자에게 분할함으로써 증가된 생산율을 충족시킬 수 있다.

U-라인에 작업자가 증원되고 작업분할을 행함으로써 얻어지는 새로운 이론적 사이클 타임 CT^* 는 필요 생산율을 만족시키는 사이클 타임 CT_{pr} 과는 다음 식(3)의 관계에 있어야만 필요 생산율을 만족시킬 수 있다.

$$CT^* \leq CT_{pr} \dots (3)$$

다음으로 그림1과 표1의 경우를 출발점으로 하여 작업자 1인을 증원하였을 때의 작업분할과 사이클 타임의 변화를 살펴본다. 그림 1의 6개 작업을 그림 2와 같이 작업자 2인에게 횡 분할하였다. 2인 작업자에 의해 횡 분할한 결과, 표 2와 같이 작업자 1의 CT는 470초 이며 작업자 2의 CT는 390초가 된다. 이 경우에는 작업분할에 의한 실행 가능한 새로운 사이클 타임 CT^* 는 470초가 된다. 작업분할 전의 CT는 860초 이었으나 사이클 타임이 470초로 줄어들어 U라인의 산출율이 크게 향상되었다.

< 표 2 > 2인 작업자에 의한 작업분할

(시간단위: 초)

작업자 1		작업자 2	
작업 순서	셋업 시간	작업 순서	셋업 시간
작업 1	30	작업 2	100
작업 5	230	작업 3	170
작업 6	210	작업 4	120
합 계	470	합 계	390

몇 명에 의한 작업분할 이든지 작업자 중 가장 큰 CT값이 실행 가능한 새로운 사이클 타임 CT^* 가 된다. CT^* 는 다음의 관계식 식(4)의 범위 안에 있어야 만 실행 가능한 동시에 필요 생산율을 충족시킬 수 있다.

$$MT_i \leq CT^* \leq CT_{pr} \dots (4)$$

즉 이 관계식의 좌변은 CT^* 가 기계 가공시간의 제약 없이 실행 가능할 수 있음을 의미(1식의 조건)하며, 한 편으로 우변은 필요 생산율을 충족 시킬 수 있다는 의미(3식의 조건)이다. 예컨대 위에서 행한 2인 작업자에 의한 작업분할의 예는 식(1)을 만족 시킨다. 아울러 CT^* 가 식(3)의 범위에 있다면 필요 생산율을 충족시키며 실행 가능(기계가 가공시간의 제약 없이)하게 된다.

CT^* 가 식(4)를 만족하지 못하는 경우는 다음의 두 경우이다. 첫째는 CT^* 가 (4)식의 우변, 즉 필요 생산율은 만족 시키나 식(1)의 조건을 만족시키지 못하는 경우에는 U라인 내에 설비를 증설하는 방법 밖에 없다. 설비를 증설해야만 하는 경우는 3.2에서 설명한다. 둘째는 CT^* 가 식(4)의 좌변을 만족하나 식(4)의 우변, 즉 필요 생산율을 만족시키지 못하는 경우이다.

이 경우에는 작업자를 재 증원하여 위에서 행한 작업배분을 재차 거침으로써 CT^* 값을 CT_{pr} 값보다 작게 만든다. 즉 작업자 수를 늘려감에 따라 CT^* 값을 연속적으로 감소시킬 수 있다. 그러나 CT^* 가 연속적으로 감소함에 따라 CT^* 값이 너무 작아지면 결국 (4)식 좌변의 조건을 만족 할 수 없게 된다.

위에서 행한 예로써 그림 1의 경우를 작업자 3인에 의해 작업분할을 행할 경우, CT^* 는 작업자2에 의해 330초(표3 참조)가 된다. 이후로 작업 분할된 그림은 그림2와 유사하므로 생략한다. 또한 작업자 4인에 의한 작업분할은 위와 유사하므로 그림과 표를 생략하지만 작업자1에 의해 230초(표4참조)가 된다.

< 표 4 > 3인의 작업자에 의한 작업분할

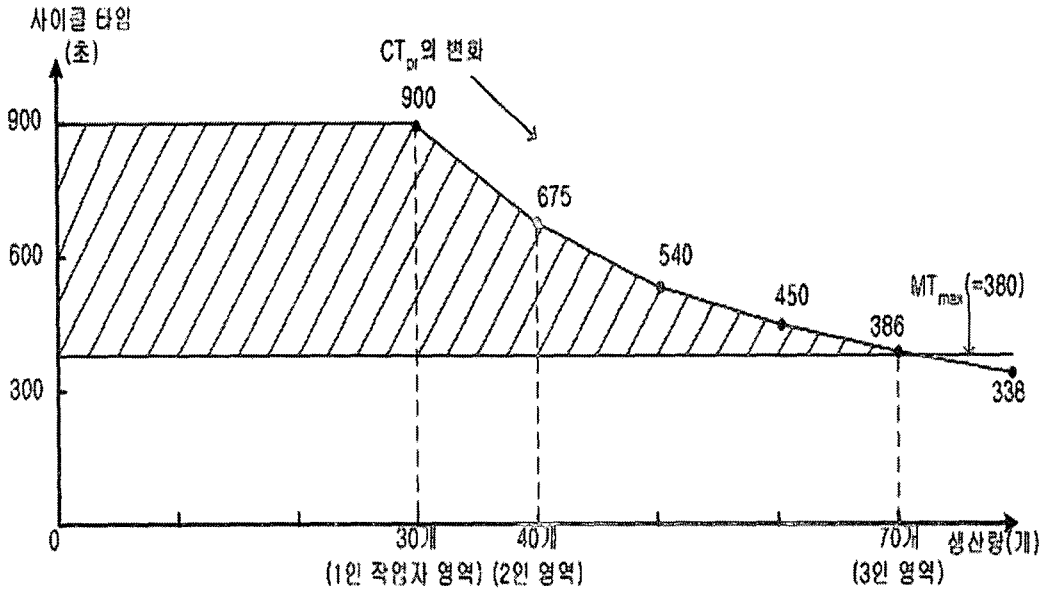
(단위시간:초)

작업자1		작업자2		작업자3	
작업순서	셋업시간	작업순서	셋업시간	작업순서	셋업시간
작업 1	30	작업 2	100	작업 3	170
작업 6	210	작업 5	230	작업 4	120
합 계	240	합 계	330	합 계	290

필요 생산율이 증가되어 표(4)와 같이 1인 작업자에서 시작하여 작업자를 계속해서 증원하는 경우, 사이클 타임 CT^* 가 식(4)를 만족하는 영역은 그림 3과 같다. 여기에서 일일 가용작업시간은 27,000초(7.5시간)로 하였다. 또한 일일 필요생산량은 30개(즉 $CT_{pr}=400$ 초)로 시작하여 10개씩 증가시키며 그 변화를 구하였다. 그림 3에서 생산율이 증가할수록 MT_{max} 가되는 기계의 증설 없이 작업의 재분할만으로는 실행 가능영역(그림의 빗금친 부분)에 한계가 있음을 알 수 있다.

< 표 4 > 작업 분할에 따른 사이클 타임의 변화

작업자 수	1인	2인	3인	4인
사이클 타임	860초	470초	330초	230초



< 그림 3 > 필요 생산량(CT_{dr})의 변화에 따른 CT의 실행 가능 영역

3.2 U-라인의 설비 증설

앞에서 언급하였듯이 (4)식을 만족시키지 못하는 또 하나의 경우는 다음과 같다. CT^* 가 필요 생산을(4식 우변)은 만족시키나, CT^* 보다 더 큰 기계가공 시간 MT_i 가 있어 이론적 사이클 타임 CT^* 의 실행이 불가능한 경우이다. 이 경우에는 작업자의 증원으로는 해결 할 수 없으며 기계의 증설만이 유일한 해결방법이다. (4)식의 좌변 제약 조건 ($MT_i > CT^*$)이 되는 기계를 증설하여 기계 작업을 나누어 함으로써 기계 가공시간 MT 를 감소시킬 수 있다.

수요가 점진적으로 증가하여 필요 생산율이 높아지는 경우에는 생산율을 만족시키기 위해 CT^* 가 점점 작아지게 되어 또 다른 설비가 (4)식의 좌변 제약 조건으로 바뀌어 지지만, 위와 동일하게 제약조건이 되는 설비를 증설하여 MT 를 감소시킨다.

(정리6) 새로운 이론적 사이클 타임 CT^* 가 3식의 조건($CT^* \leq CT_m$)을 만족하는 한 기계의 증설 없이 작업자의 증원만으로 필요 생산율을 충족할 수 있다.

(정리7) 모든 CT는 1식의 조건($MT_i \leq CT$)을 만족하지 못하면 필요 생산율을 충족하기 위해서는 반드시 기계의 증설이 필요하다.

3.3 필요 생산율의 변화에 따른 운용방법의 결정 알고리즘

앞에서는 필요생산율의 증가에 대응하여 작업자의 증원과 설비를 증설하는 방법으로 이론적 CT^* 가 필요생산율을 만족시키는 동시에 실행 가능한 조건을 검토하였다. 여기에서는 이상에서 정리한 CT^* , MT_i , CT_{pr} 등의 관계와 조건식을 이용하여 필요생산율이 주어지는 경우에, 생산율을 만족시키며 실행 가능한 사이클 타임 CT^* 와 그때의 최소 작업자수와 증설해야 할 최소 설비를 구하는 운용 알고리즘을 개발한다. 이 개발된 알고리즘은 다음의 두 가지 경우에 모두 사용이 가능하다.

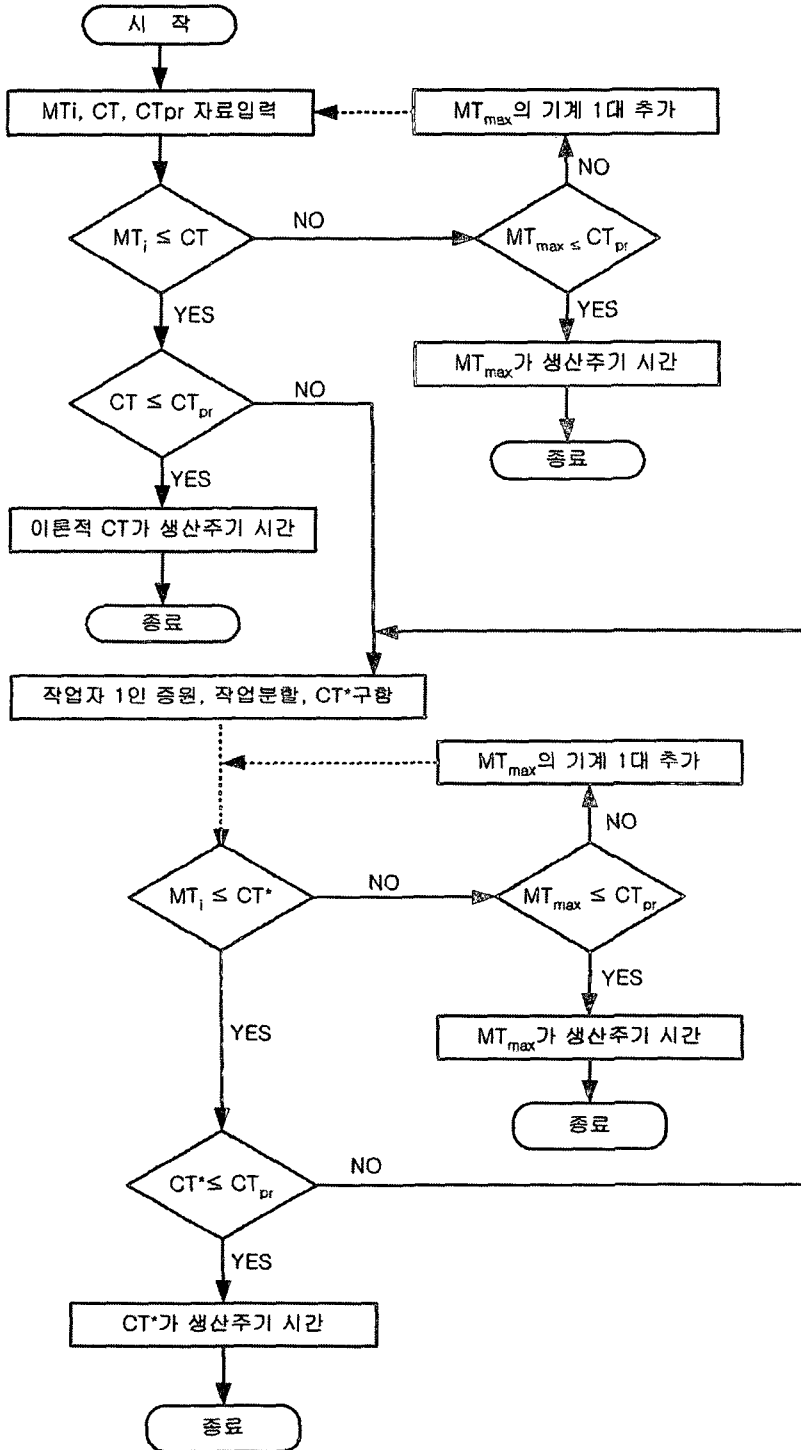
첫째로는 초기에 U-라인 셀을 설계하는 경우 그림 4와 같은 알고리즘을 이용하여 필요생산율을 만족시키는 동시에 최소의 작업자와 최소의 설비 대수로 실행 가능한 생산 주기 시간 등 효율적 운용방법을 결정 할 수 있다.

둘째로는 이미 설계되어 있는 기존의 셀에서도 필요 생산율이 증가하는 경우 동일하게 그림 4의 알고리즘으로 그 운용방법을 결정 할 수 있다. 이 경우에는 CT^* 가 (4)식의 좌변을 만족하는 한, 작업자만 증원하는 방법으로 필요생산율을 만족 시킬 수 있다. 그러나 작업자의 계속되는 증원으로 인해 $MT_{max} < CT^*$ 의 조건을 충족하지 못하는 경우에는 설비를 증설하여 U-라인을 재배치하여야 한다.

표1에서 5, 6번 공정과 같이 다른 공정에 비해 상대적으로 MT 가 큰 경우에는 필요생산율이 증가하면 가장 커다란 제약조건은 MT_{max} 가 된다. 따라서 설비의 증설로 인한 재배치를 피하기 위해서는 U-라인 설계 시부터 제약 조건이 되는 설비의 산출량을 사전에 충분히 고려해야 만 한다.

알고리즘의 절차

- (1) 처음 입력 시에는 특정 기계의 중복 없이 1인 작업자로 시작되는 자료를 입력한다.
- (2) $MT_i \leq CT$ 의 조건을 만족하고 다음으로 $CT \leq CT_{pr}$ 의 조건을 만족하면 이론적 CT 가 사이클 타임으로 결정된다.
- (3) $MT_i \leq CT$ 의 조건을 만족하지 못하고 동시에 $MT_{max} \leq CT_{pr}$ 의 조건도 만족하지 못하면 MT_{max} 의 기계를 1대 중복시키고 새롭게 MT_i 의 자료를 입력한다.
- (4) (3)에서 $MT_{max} \leq CT_{pr}$ 을 만족하면 MT_{max} 가 사이클 타임으로 결정된다.
- (5) (2)에서 처음 조건을 만족시키나 $CT \leq CT_{pr}$ 의 조건을 만족하지 못하면 작업자를 1인 증원하여 작업분할을 하고 새롭게 CT^* 를 구한다.
- (6) 작업분할을 행한 후 $MT_i \leq CT^*$ 의 조건을 만족하고 다음으로 $CT^* \leq CT_{pr}$ 의 조건을 만족하면 CT^* 가 사이클 타임으로 결정된다.
- (7) $MT_i \leq CT$ 의 조건을 만족하지 못하고 동시에 $MT_{max} \leq CT_{pr}$ 을 만족하지 못하면 MT_{max} 의 기계를 1대 중복시키고 새롭게 MT_i 및 CT^* 값을 입력한다.
- (8) (7)에서 처음 조건을 만족하지 못하나 $MT_{max} \leq CT_{pr}$ 을 만족하면 MT_{max} 가 사이클 타임으로 결정된다.
- (9) (6)에서 처음 조건을 만족하고 $CT^* \leq CT_{pr}$ 의 조건을 만족하지 못하면 새로이 작업자를 1인 증원하여 작업분할을 하고 CT^* 를 구한 후 다음 단계 (7)로 진행한다.



< 그림 4 > 흐름도

그림4의 흐름도에서 음영이 있는 부분은 각 경우의 사이클 타임이 결정되는 장소이다. 한편 화살표 점선(←) 부분은 새롭게 MT_i 및 CT^* 값이 입력되는 부분이다.

3.4 수치 예

여기에서는 앞서 개발한 알고리즘에 몇 개의 수치 예를 적용하여 봄으로써 알고리즘의 유용성을 확인하여 본다. 적용 예의 입력자료 (MT , CT 등)는 표1의 자료를 사용하였다. 필요생산량은 임의로 부여하였으며 10개 단위로 증가 시켰다(표5 참조). 1일 가용 작업시간은 27,000초(=7.5시간)로 하였으며 이 경우에 필요 생산율 CT_{pr} 은 (2)식에 의해 정해진다. 알고리즘을 적용한 결과, 표5는 필요생산율은 만족시키면서 최소의 기계 및 작업자와 그때의 생산 주기 시간의 결정 등 즉 운용 방법을 결정한 예이다.

< 표 6 > 알고리즘의 적용 예1

(단위시간:초)

생산량/일	작업자 수	기계 추가	사이클 타임 결정
30개 $CT_{pr}=900$	1인작업	없 음	$CT = 860$
40개 $CT_{pr}=675$	2인작업 (작업분할)	없 음	$CT^* = 470$
50개 $CT_{pr}=540$	2인작업 (작업분할)	없 음	$CT^* = 470$
60개 $CT_{pr}=450$	3인작업 (작업분할)	없 음	$MT_{max} = 380$
70개 $CT_{pr}=390$	3인작업 (작업분할)	없 음	$MT_{max} = 380$
80개 $CT_{pr}=338$	4인작업 (작업분할)	그라인딩머신 1대추가	$CT^* = 240$
90개 $CT_{pr}=300$	4인작업 (작업분할)	그라인딩머신, 측정기 각1대추가	$CT^* = 240$
100개 $CT_{pr}=270$	4인작업 (작업분할)	그라인딩머신, 측정기 각1대추가	$CT^* = 240$

다음의 적용 예2는 표1에서 선삭기와 밀링(작업 1,3)의 기계 가공 시간을 대폭 늘려 표6과 같이 변화시켜 적용 예1에 비해 상대적으로 가공시간이 불균일한 경우의 사례를 다루어 보았다.

< 표 7 > U-라인 셀의 예2

(단위시간:초)

순서	공정	기계	셋업 시간 (ST)	자동가공시간 (AT)
1	turning(선삭)	lathe1	30	420
2	boring(보링)	lathe2	100	150
3	end milling(밀링)	vertical milling machine	170	450
4	drilling(드릴링)	radial drilling machine	120	80
5	grinding(연삭)	grinding machine	230	380
6	inspecting(측정)	coordinate measuring machine	210	230
			860	1,710

표6에 근거하여 기계 가공시간을 입력하고 알고리즘을 적용하여 본 결과, 표7은 각각의 필요생산율을 만족시키는 최선의 운용방법을 결정한 예이다.

< 표 8 > 알고리즘의 적용 예2

(단위시간:초)

생산량/일	작업자 수	기계 추가	사이클 타임 결정
30개 CT _{pr} =900	1인작업	없음	CT = 860
40개 CT _{pr} =675	2인작업 (작업분할)	없음	CT* = 470
50개 CT _{pr} =540	2인작업 (작업분할)	없음	CT* = 470
60개 CT _{pr} =450	3인작업 (작업분할)	없음	MT _{max} = 450
70개 CT _{pr} =390	3인작업 (작업분할)	밀링 머신 1대 추가 선삭기 1대 추가	CT* = 330
80개 CT _{pr} =338	3인작업 (작업분할)	밀링 머신 1대 추가 선삭기 1대 추가	CT* = 330
90개 CT _{pr} =300	4인작업 (작업분할)	밀링 머신 1대 추가 선삭기 1대 추가	CT* = 240
100개 CT _{pr} =270	4인작업 (작업분할)	밀링 머신 1대 추가 선삭기 1대 추가	CT* = 240

적용 예2의 결과는 기계가공시간이 균일하지 않을수록 약간의 필요 생산량 증가에도 상대적으로 기계 가공시간이 긴 설비를 추가로 증설하여야 한다. 적용 예의 결과는 생략하나 반대로 모든 기계의 가공시간이 상대적으로 균일한 경우에는 생산량의 계속적인 증가에도 불구하고 작업자를 증원하는 것만으로 필요 생산율을 충족시킬 수 있는 것을 확인하였다.

4. 결 론

U-라인 셀에서 다기능 작업자가 자동화된 설비들을 돌보며 부품을 생산하는 경우에 기계가공시간, 사이클 타임과 필요생산율 등의 관계를 밝혔다. 이 관계(정리7개 포함)들을 토대로 U-라인의 운용에 미치는 영향을 살펴보았다. 필요 생산율을 반드시 만족시킨다는 셀 운용상의 관점에서는 사이클 타임을 결정짓는 요소는 필요생산율이다. 따라서 본 연구는 필요 생산율의 요소를 도입하여 생산율을 반드시 만족시키는 실행가능 조건과 효율적 운용방법을 검토하였다.

본 연구는 필요 생산량이 증가 또는 변화할 때 필요 생산율을 만족시키는 동시에 최소의 작업자 및 기계 그리고 그때의 최단 사이클 타임을 결정하는 U-라인의 효율적 알고리즘을 개발하였다. 그리고 알고리즘에 적용 예를 통하여 그 유용성을 확인하였다.

U-라인의 셀 설계 시 이 알고리즘에 장래의 필요 생산율 변화의 예측치를 적용해 봄으로써 중복시켜야 할 설비의 종류와 대수, 작업자의 수와 사이클 타임 등이 결정되므로 U형 라인의 셀 설계 시에도 유용하다. 또한 기존의 설계된 U-라인 셀에서도 생산율이 변화하는 경우에 필요 생산율을 만족시킬 수 있는 운용 방법에 유용하다. 그러나 셀에서 작업자의 작업분할의 경우, 정밀한 방법 및 알고리즘의 개발은 향후의 연구 과제이다.

5. 참 고 문 헌

- [1] Black, J. T., *The Design of the Factory with a future*, McGraw-Hill, Inc., 1991.
- [2] Degarmo, E. Paul, J. T. Black and Ronald A. Kohser, *Materials and Processes in Manufacturing*, 8th ed., Prentice-Hall, Inc., 1997.
- [3] Edward J. Anderson, *The Management of Manufacturing Models and Analysis*, Addison Wesley, Great Britain, 1994.
- [4] Miltenburg, J. and J. Wijngaard, "The U-Line Balancing Problem," *Management Science*, Vol.40, No.10(1994), pp.1378-1388.
- [5] Moden, Y., *Toyota Production System*, (2nd Ed.), Industrial Engineering and Management Press, Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA, 1993.
- [6] Redford, A. and Chal, J., *Design for Assembly*, McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [7] Scholl, A. and R. Klein :ULINO;, "Optimally Balancing U-Shaped JIT Assembly Lines," *International Journal of Production Research*, Vol.37, No.4(1999), pp.721-736.
- [8] Shingo, Shigeo, *A Study of the Toyota Production Systems*, Productivity Press, 1989.
- [9] Sparling, D. and J. Miltenburg, "The mixed-model U-line balancing problem,"

International Journal of Production Research, Vol.36, No.2(1998), pp.485-501.

[10] 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(1974), pp.337-344.

[11] Urban, J. T., "Optimal Balancing of U-Shaped Assembly Lines," Management Science, Vol.44, No.5(1998), pp.738-741.

저 자 소 개

박 승 현 : 인하대학교 금속공학과에서 공학사, 일본 Keio대학 산업공학과에서 공학석사 및 공학박사를 취득하였다.

현재 인하대학교 산업공학과 교수로 재직중이다.

주요 관심 분야는 셀 생산, FMS 등 각종 생산시스템의 설계, 운영 및 감성 공학 등이다.