

컨베이어 라인 변경시 U-라인 설계의 효율적 방안 - K전자 사례를 중심으로 -

박승현^{*}

인하대학교 기계공학부

The Design of the U-Shaped Assembly Line to Replace Conveyor Systems

Seung-hun Park

Department of Industrial Engineering, Inha University, Incheon, 402-751

Generally, the assembly system relied on conveyor lines is efficient for mass production. But it is not efficient when the product types are often varying and their lot sizes are small. Especially, it is much inefficient for the assembly lines for the electronic products whose types are varying very often.

This paper suggests the design of U-shaped assembly lines to replace the existing conveyor systems. The assembly line for the mini-cassette production is dealt with as a case study. The proposed procedure was successfully applied for the design of U-shaped lines. The developed method resulted in the improvement of the productivity such as the decrease of the man power and the cycle time, and the increase of the line utility.

Keywords: U-shaped line, cycle time, working area

1. 서론

컨베이어 방식에 의한 생산 시스템은 다품종소량 생산이 요구되는 상황하에서는 품종의 유연성과 납기 및 생산량 조절의 유연성이 뒤떨어지므로 비효율적이다. 다품종소량 생산하에서는 대량생산의 대명사처럼 불리던 일(一)자형 컨베이어 라인은 퇴조하고 있다. 그 대신 U라인, 셀(cell) 라인, 혼류 생산 시스템 등으로 새롭게 대체되고 있다. 이러한 변화는 다품종소량 생산이 요구되는 전기전자, 정보통신 분야에서 특히 두드러진다. 다품종소량 생산 시대에 적은 비용으로 납품속도, 품종, 생산량의 유연성을 확보하기 위한 대안으로는 셀 제조 시스템의 가장 보편적 형태인 U라인 생산(U-shaped line)을 꼽을 수 있다. 특히 간단한 장비와 함께 대부분 수작업에 의존하는 전기전자 분

야의 조립 라인의 경우는 적은 비용으로 단시간 내에 간단히 U라인을 구축할 수 있다.

U라인 구축에 있어서는 Miltenburg(1994), Urban(1998), Scholl(1999) 등 최적의 라인 밸런싱을 구하는 알고리즘 개발에 관한 연구가 대부분이다. 그러나 수요율(반드시 만족시키는 조건)을 고려한 제약하에서 기존의 컨베이어 라인을 U라인으로 전환하는 전반적 절차를 다룬 기존의 연구는 매우 드문 실정이다. 따라서 본 연구는 카세트 조립 라인의 예를 통하여 수요율을 고려하고, 기존의 컨베이어 라인을 U라인으로 전환하는 절차를 다루고자 한다.

이러한 라인 전환이 이루어지는 경우에 다수 개의 U라인 분할, 수요율과 관련된 사이클 타임(Cycle Time), 각 U라인의 필요인원, 작업자에의 작업배분 등의 관계를 밝힘으로써 U라인 최

본 연구는 2001년 인하대학교 연구비 지원에 의해 수행되었음.

^{*}연락처 : 박승현, 402-751 인천시 남구 용현동253 인하대학교 기계공학부, Fax : 032-867-1605, e-mail : seunghun@inha.ac.kr
2002년 9월 접수, 1회 수정 후 2003년 3월 게재 승인

적 설계에 필요한 절차를 확립하겠다. 설계절차가 확립된 다음으로는 계절에 따라 생산량의 변동이 심한 미니 카세트의 수치예를 적용하여 기존의 컨베이어 라인을 U라인으로 전환하였을 경우의 省人化, 사이클 타임의 변화, 라인 능률 등 전반적인 생산성의 변화를 확인하겠다.

이 컨베이어 라인의 사이클 타임은 최장 작업(공정)시간을 갖는 12번 작업에 의해 50초로 결정된다. 이때의 라인 효율은 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$E = \frac{\sum_{i=1}^k t_i}{nCT} \quad (1)$$

여기에서 각 작업의 작업시간 $t_i(i=1, 2, \dots, k)$, n 은 작업의 수, CT 는 사이클 타임이다. 따라서 이 컨베이어 라인의 효율 E 는 약 64%(=796/1250)이다. 즉 불균형률(balance delay) 또는 유휴율이 36%에 달하여 생산성이 매우 낮은 상태이다. K전자의 작업 가용시간은 월간 22일, 1일은 27,600초(약 7.6시간)이다. 이 컨베이어 라인의 최대 생산능력은 사이클 타임이 50초이므로 1일 기준으로 552대, 월 기준으로 12,144대(=552대×22일)이다.

과거의 수요 데이터에 의하여 수립된 1년간의 월 생산계획은 <표 2>와 같다.

<표 2>에서 미니 카세트의 1년간 월별 생산량은 최대 생산량이 최저 생산량의 2.5배에 달해 계절에 따라 생산량(수요량)

2. 현 상태 및 U라인 전환

2.1 현 상태의 컨베이어 라인

여러 종류의 전자제품을 생산하는 K전자는 <그림 1>과 같이 25개의 작업 순서로 컨베이어 라인에 의해 미니 카세트를 조립 생산하고 있다. 미니 카세트 1대가 조립되는 총 작업시간은 796초가 걸린다(<표 1>). 현 생산방식은 <그림 1>과 같이 1작업에 1인의 작업자가 배정된 컨베이어 라인에 의해 사이클 타임에 맞추는 흐름생산방식이다.

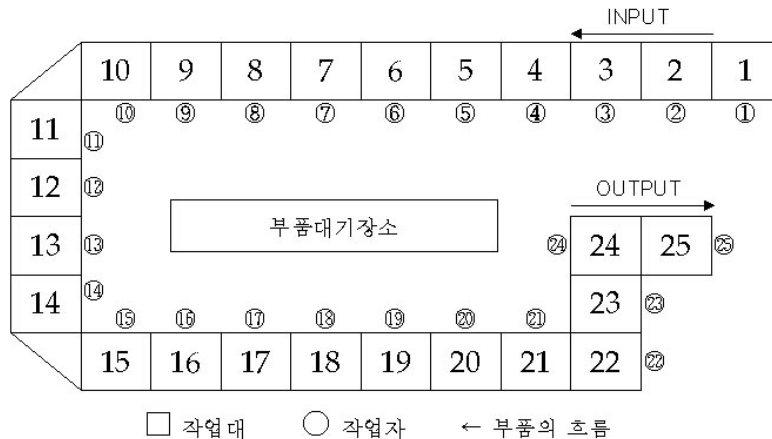


그림 1. K전자 미니 카세트의 컨베이어 최종 조립 라인.

표 1. K전자 미니 카세트의 작업순서와 작업시간

순서	작업	작업시간(초)	순서	작업	작업시간(초)
1	CASE 준비작업(1)	44	14	BODY CASE 체결	32
2	CASE 준비작업(2)	16	15	MAIN 기판 체결	32
3	CASE 준비작업(3)	42	16	DOOR CASE 체결	30
4	MAIN 기판수정(1)	38	17	중간검사(1)	30
5	MAIN 기판수정(2)	29	18	중간검사(2)	35
6	MAIN 기판수정(3)	31	19	MAIN CASE 체결	31
7	MAIN 기판수정(4)	32	20	FINAL 검사(1)	35
8	MAIN 조정(1)	20	21	FINAL 검사(2)	39
9	MAIN 조정(2)	19	22	FINAL 검사(3)	45
10	중간검사	28	23	포장(1)	30
11	MAIN PWB 수정	16	24	포장(2)	33
12	DECK 조립준비(1)	50	25	포장(3)	20
13	DECK 조립준비(2)	39		총 작업시간 = 796(초)	

의 기복이 심한 제품이다. K전자의 생산능력을 고려하면 계절에 따른 월별 잔업량은 <표 3>과 같다.

현 상태의 K전자는 생산율을 맞추기 위해서는 6, 7, 8, 9 월을 제외하고 나머지 8개월은 잔업에 의존해야 하며 더구나 라인 효율이 64%에 지나지 않는 매우 비효율적인 생산형태를 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 하나의 컨베이어 라인을 소수의 인원으로 편성된 효율적인 수개의 U라인으로 분할함으로써 라인 효율을 향상시키고, 省人化를 꾀하며, 잔업시간을 줄이는 등 전체적인 생산성 향상을 도모한다.

2.2 U라인으로 전환

일차형의 컨베이어 라인을 U라인으로 전환하기 위해서는 소인수로 편성된 몇 개의 U라인으로 분할하여야 한다. K전자 사례(<그림 1>, <표 1>)에서는 25개의 작업을 작업 간의 연관성과 작업시간을 감안하여 <표 4>와 같이 5개의 U라인으로 분할하였다. 작업의 연관성이란 <표 1>에서 예컨대 CASE 작업 (1), (2), (3)을 하나의 U라인으로 묶고, 작업내용이 다른 MAIN 기관에 관한 작업 (4)-(11)을 하나의 U라인으로 묶는다는 뜻이다. 유사한 작업끼리 하나의 U라인으로 편성한 이유는 요소작업 분할 시, 한 작업자에게 내용이 전혀 다른 작업이 배분될 가능성을 피하기 위한 것이다.

생산계획에 의한 생산율을 맞추기 위해서는 U라인의 사이클 타임 CT는 다음 식 (2)에 의해 결정된다.

$$CT = T / SPD \tag{2}$$

여기에서 T는 1일 작업가용시간, SPD(Strock Per Day)는 1일의 생산율(필요 생산량)이다.

이 사이클 타임은 5개 U라인에서 각 작업자에게 작업을 배분할 경우, 각 작업자에게 배분된 모든 작업시간의 합이 사이클 타임 CT보다는 작거나 같아야 한다. 즉 각 작업자의 작업시간의 합은 다음 식 (3)을 만족해야 한다.

표 2. 미니 카세트의 월별 생산량

월	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
생산계획량	20,000	20,000	15,000	20,000	15,000	12,000	8,000	8,000	8,000	18,000	18,000	18,000

표 3. 월 필요 잔업량

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
월잔업량	7,856	7,856	2,856	7,856	2,856	0	0	0	0	5,856	5,856	5,856

표 4. 5개의 U라인 편성

U라인 번호	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅
작업편성 내용	①~③	④~⑪	⑫~⑭	⑮~⑲	⑳~㉵

$$W_u \sum_{i=1}^k t_i \leq CT \tag{3}$$

여기에서 각 작업자 W_u(u=1, 2, …, m) 사이클 타임이 결정되면 각 U라인에서의 필요인원을 구하여야 한다.

필요인원 n은 다음의 식 (4)에 의해 구할 수 있다.

$$n = \sum_{i=1}^k t_i / CT \tag{4}$$

n은 식 (3)이 고려되지 않은 작업배분 전의 소수점을 포함한 이론적 필요인원이 된다. 그러나 본 연구에서는 생산율을 맞추기 위해서는 소수점 이하의 인원은 반드시 절상한다.

라인 분할과 사이클 타임 그리고 작업인원이 결정되면 비로소 작업배분을 비롯한 구체적인 U라인의 설계를 시작할 수 있다.

U라인 설계 시에 알려진 일반적 원칙은 다음과 같다.

- (1) 1개씩 만들기
- (2) 1인 작업자의 다작업(공정) 담당
- (3) 첫 작업과 끝 작업의 동일 작업자 담당
- (4) 입식작업
- (5) 작업자의 보행확보
- (6) 불량품 발생 시 생산라인 정지

등이다. 그리고 본 연구의 예처럼 간단한 용접기, 계측기 등으로 이루어진 수작업 위주의 전기전자 분야의 조립 U라인은 단 시간 내에 새로운 U라인 구축이 가능하므로 비용이 저렴하다.

3. 작업배분 및 U라인 설계 적용 예

U라인의 분할, 사이클 타임, 각 U라인의 작업인원이 결정되면 U라인을 완성하기 위해서는 각 작업자에게 사이클 타임 이내

로 작업을 배분하여야 한다. 작업 배분 시 U라인 목표 중 하나인 공정 밸런스(공평한 작업 배분)를 꾀하기 위해서는 다음 식 (5)에 의해 각 U라인의 평균 작업시간 M_j 을 구한다. 그 다음으로 평균시간을 전후한 작업배분을 하여야 한다.

$$M_j = \sum_{i=1}^k t_i / n \quad (5)$$

여기에서 j는 U라인 번호 (= 1, 2, ..., 5)

다음으로 본 연구에서는 K전자의 월 생산량에 따른 2가지 수치 예를 대상으로 위에서 언급한 설계절차를 밟아 작업배분을 포함한 U라인의 구체적 설계를 적용해본다.

3.1 U라인 설계의 적용 예 1

적용 예 1로는 필요 생산율과 생산능력이 거의 비슷한 월 생산 계획량 12,000개 (<표 2>)의 경우를 다루어 본다. 이 경우 1일 필요 생산율은 545개가 된다. 1일 작업 가용시간이 27,600초이므로 식 (2)에 의해 사이클 타임 CT는 51초(이후 소수점 이하는 사사오입한다)가 되고 식 (4)에 의해 첫 번째 라인 $U_1=2$ 인, 두 번째 라인 $U_2=5$ 인, $U_3=3$ 인, $U_4=4$ 인, $U_5=5$ 인이 필요하다. 이 5개의 U라인 중 U라인에 필요한 설명요소를 모두 담고 있는 4번째 U라인 U_4 에 대해 먼저 설명한다. 작업배분을 하기 전에 U_4 라인에 포함된 5개의 작업을 <그림 2>와 같이 U라인으로 형상화한다.

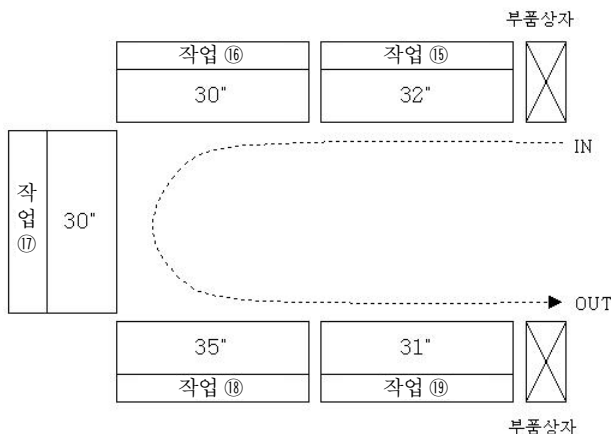


그림 2. U_4 라인의 U라인 구성형태.

여기에서 사각형 내의 수치는 초 단위의 작업 소요시간이며 팔호 안의 수치는 작업 번호이다. 모든 U라인은 <그림 2>와 같이 우 상에서 투입(in)되어 우 하향으로 산출(out)되므로 이후 다른 U라인의 형상화 그림은 생략한다.

<그림 2>와 같이 U라인으로 형상화된 다음에는 작업배분을 행한다. 작업배분 시에는 식 (3)을 만족하여야 하며 또한 2.2의 설계원칙을 만족하여야 한다.

작업분할은 철저하게 작업분할의 사고방식(1인의 작업자가 요소작업을 행할 시 작업에 모순이 일어나지 않는 범위까지 요

소작업으로 분할)을 적용하여 작업을 분할하고, 작업자 간에 작업량이 균등해 지도록 분할한다. 작업분할의 예로서 작업 16의 도어 케이스 체결의 경우, 종래에는 하나의 독립된 단위작업으로 간주하였으나, U라인의 작업분할에서는 다음 예와 같이 5개의 요소작업으로 분할하여 가능한 균등한 작업배분이 이루어지도록 각 작업자에게 배분한다.

예로서 16번 작업 도어 케이스 체결은

- ㉑ 도어 케이스를 조립 치구에 세트한다(6초).
- ㉒ 커버를 케이스에 올려놓는다(6초).
- ㉓ 스크루 4개를 왼손으로 잡는다(8초).
- ㉔ 드라이버로 스크루를 체결한다(5초).
- ㉕ 도어 케이스를 조립 치구에서 떼어낸다(5초).

등 5개의 요소작업으로 분리된다.

즉 작업 16은 B 작업자에 의해 요소작업 ㉑, ㉒가 12초 간 수행되고 C 작업자에 의해 요소작업 ㉓, ㉔, ㉕가 18초 간 수행된다. 이후 다른 작업의 요소작업 분할 시 상세한 예는 위와 유사하므로 생략하겠다.

4번째 U라인 U_4 는 식 (4)에 의해 4인의 작업자가 결정되었다. 다음으로 각 작업자의 작업시간의 합이 식 (3)을 만족하면서 2.2에서 언급한 설계원칙에 의해 작업배분을 한 결과는 <그림 3>과 같다.

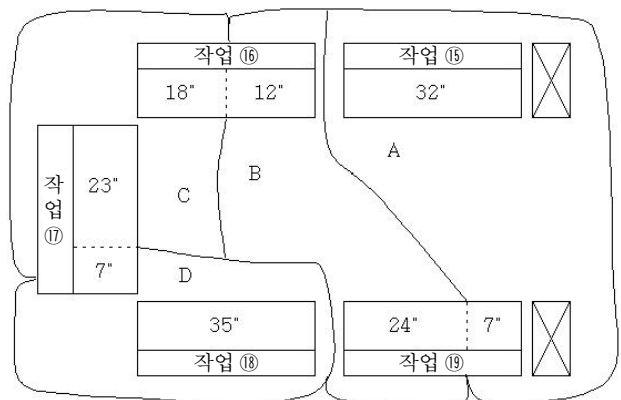


그림 3. U_4 라인의 작업배분 결과 및 각 작업자의 작업내용.

그림에서 사각형 내의 수치는 작업시간, 영문 대문자는 작업자의 활동범위를 나타낸다. 즉 A 작업자는 작업 15를 32초 동안 수행하고 다음으로 작업 19를 7초 간 수행한다. 즉 1인 작업자가 다작업(공정)을 담당하며, 첫 작업과 끝 작업이 동일인에 의해 수행되고 입식작업으로 보행이 확보(<그림 4>)되는 등 설계원칙에 의해 분할되었다.

U_4 라인에서 수행하는 15에서 19까지의 작업들은 컨베이어 라인에서는 사이클 타임이 51초로 5인의 작업자가 수행하였으나 U라인에서는 동일한 사이클 타임으로 4인이 작업분할에 의해 수행할 수 있다.

다음 <그림 4>는 <그림 3>인 경우의 각 작업자의 보행 순서를 나타낸다.

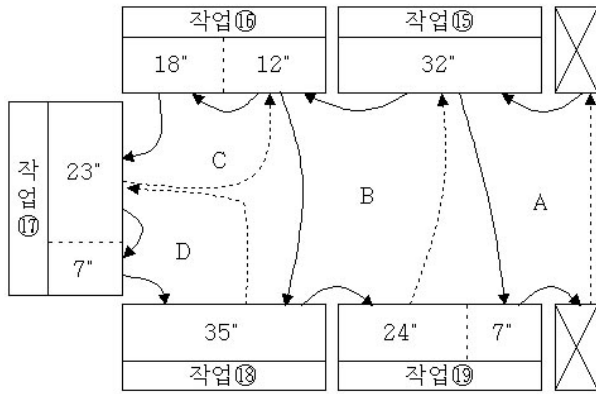


그림 4. U₄라인의 작업자 보행경로.

- 작업자의 보행순서
- 각 작업자의 첫 작업으로 이동

다음으로 첫 번째 라인 U₁의 작업배분 결과를 <그림 5>에 도시하였다. 모든 U라인의 설계과정과 작업배분 절차는 위에

서 언급한 과정과 동일하므로 이후로는 생략하고 결과만을 제시하며 각 그림과 함께 <표 5>를 참조하기 바란다.

<그림 5>에서 A 작업자는 작업①의 44초와 작업③의 7초를 담당한다. 한편 B 작업자는 작업②의 16초와 작업③의 35초를 담당한다.

두 번째 라인 U₂는 5인의 작업자가 <그림 6>과 같이 작업분할되었다.

이후 각 U라인의 작업자별 작업과 시간은 각 그림과 함께 <표 5>를 참조하기 바란다.

3번째 U라인 U₃는 3인의 작업자가 <그림 7>과 같이 작업분할되었다.

5번째 U라인 U₅는 5인의 작업자가 <그림 8>과 같이 작업분할되었다.

U₅에 속해있는 작업 ⑭, ⑮, ⑯는 포장작업이므로 요소작업으로 분할할 수 없어 각 작업은 동일 작업자에 의해 수행된다.

<표 5>는 월 생산량이 12,000개인 경우 위의 그림들과 같이 5개의 U라인에 작업 분할한 결과를 나타낸다. <표 5>에서 최

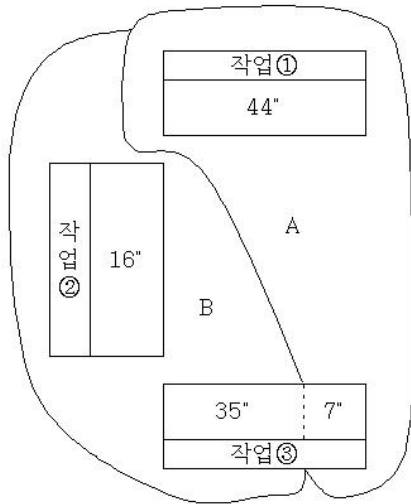


그림 5. U₁라인의 작업배분.

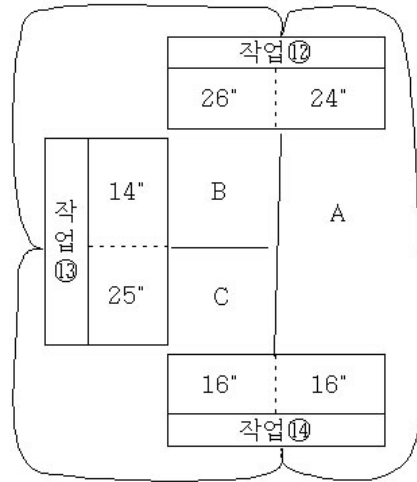


그림 7. U₃라인의 작업배분.

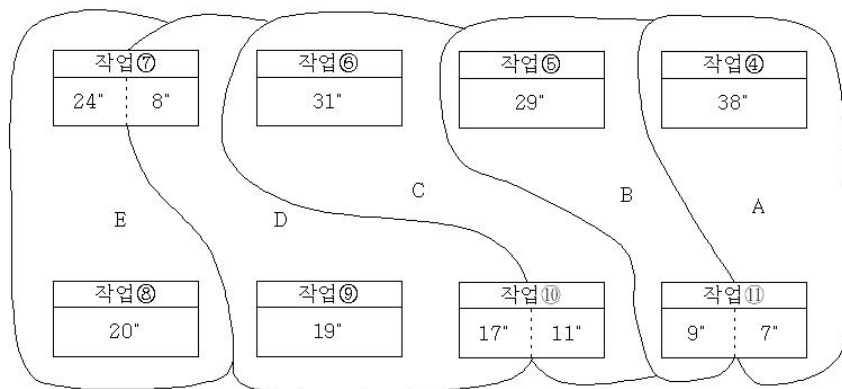


그림 6. U₂라인의 작업배분.

장작업이 U₁라인의 51초이므로 전체 사이클 타임은 51초가 되어 컨베이어 라인과 동일하다. 그러나 전체 U라인 효율은 식 (1)에 의해 82%가 되어 컨베이어 라인 능률 64%에 비해 라인 능률이 18% 향상되었다. 한편 U라인의 총 작업자수는 19인이므로 컨베이어 라인 25인에 비해 6인이 감소하였다. 즉 재설계된 U라인은 과거의 컨베이어 라인과 동일한 사이클 타임 51초로 생산하여도 6인의 작업자가 감소되어 생산비용이 절감(= 1인 인건비/월×6인)되었다.

표 5. 월 생산량 12,000개의 경우, 5개 U라인의 작업자별 작업내용

라인번호	작업자	작업배분 내용	각 작업자의 작업시간(초)
U ₁	A	①(44), ③(7)	51
	B	②(16), ③(35)	51
U ₂	A	④(38), ⑪(7)	45
	B	⑤(29), ⑪(9)	38
	C	⑥(31), ⑩(11)	42
	D	⑦(8), ⑨(19), ⑩(17)	44
	E	⑦(24), ⑧(20)	44
U ₃	A	⑫(24), ⑭(16)	40
	B	⑫(26), ⑬(14)	40
	C	⑬(25), ⑭(16)	41
U ₄	A	⑮(32), ⑰(7)	39
	B	⑮(12), ⑰(24)	36
	C	⑮(18), ⑰(23)	41
	D	⑰(7), ⑱(35)	42
U ₅	A	⑳(25), ㉕(20)	45
	B	⑳(10), ㉔(33)	43
	C	㉑(9), ㉓(30)	39
	D	㉑(30), ㉒(7)	37
	E	㉒(38)	38
합계	19인		796

○은 작업번호를, ()는 초 단위의 작업시간을 나타낸다.

3.2 적용 예 2

적용 예 2는 월 생산량이 18,000개의 경우를 다루어 본다. U라인의 분할, 작업인원 결정, 작업배분 등은 3.1에서 다룬 적용

표 6. 월 생산량 18,000개의 경우, 5개 U라인의 작업자별 작업내용

라인번호	작업자	작업배분 내용	각 작업자의 작업시간(초)
U ₁	A	①(20), ③(14)	34
	B	①(24), ②(10), ②(6), ③(28)	34
	C		34
U ₂	A	④(25), ⑪(7)	32
	B	④(13), ⑪(9)	32
	C	⑤(18), ⑩(11)	29
	D	⑥(16), ⑩(17)	33
	E	⑥(15), ⑨(12)	27
	F	⑦(23), ⑨(7)	30
	G	⑦(9), ⑧(20)	29
U ₃	A	⑫(14), ⑭(16)	30
	B	⑫(26), ⑭(16)	28
	C	⑫(14), ⑬(11)	25
	D	⑬(28)	28
U ₄	A	⑮(22), ⑰(10)	32
	B	⑮(10), ⑰(21)	31
	C	⑮(18), ⑰(12)	30
	D	⑮(12), ⑰(23)	35
	E	⑰(7), ⑱(23)	30
U ₅	A	⑳(14), ㉕(20)	34
	B	⑳(21), ㉑(13)	34
	C	㉑(26), ㉒(8)	34
	D	㉒(33)	33
	E	㉒(4), ㉓(30)	34
	F	㉔(33)	33
합계	25인		785

()는 컨베이어 라인의 경우를 나타낸다.

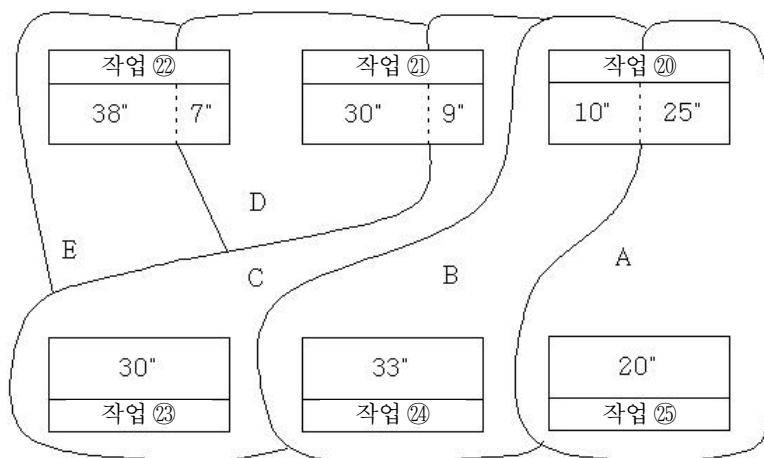


그림 8. U₅라인의 작업배분.

표 7. 월 생산량에 따른 U라인 필요인원, 사이클 타임 및 라인 능률

월 생산량	8,000	12,000	15,000	18,000	20,000
U라인 필요인원	13인 (25인)	19인 (25인)	23인 (25인)	25인 (25인)	25인 (25인)
U라인의 경우 잔업시간	없음 (0)	없음 (0)	없음 (40시간)	없음 (81시간)	22시간 (109시간)
U라인 사이클 타임	75초 (50초)	51초 (50초)	40초 (50초)	35초 (50초)	35초 (50초)
U라인 라인 능률	81% (64%)	82% (64%)	87% (64%)	91% (64%)	91% (64%)

예 1과 동일한 방법으로 구하였으므로 구체적 설명은 생략하고 5개 U라인의 작업배분 결과만을 <표 6>에 제시한다.

<표 6>에서 최장작업이 U₄라인의 35초이므로 U라인 전체의 사이클 타임이 35초가 된다. 전체 U라인 효율은 식 (1)에 의해 91%가 되며 작업자수는 25인이다.

즉 신설된 U라인은 컨베이어 라인과 동일한 작업자수로 운영되나 사이클 타임이 16초 줄어들고 라인 능률은 컨베이어 라인 64%에 비해 무려 27%가 향상되었다. 한편 잔업에 의한 작업은 컨베이어 라인의 경우 81시간 필요하나 불필요하게 되어 생산비용이 잔업비용(=시간당 잔업수당×81시간) 만큼 절감되었다.

한편 월간 생산량이 20,000개의 경우는 수치 예 2의 U라인 설계를 그대로 적용할 수 있으나 생산율을 충족시키기 위해서는 잔업이 22시간 필요하다. 컨베이어 라인의 경우 잔업시간이 109시간 필요한데 비해 잔업시간이 무려 87시간 절약된다. <표 7>은 월 생산량에 따라 U라인의 설계결과인 작업인원, 사이클 타임, 라인 능률, 잔업 여부들을 표시하였다.

4. 결론

컨베이어 라인은 대부분 좌식작업으로 1인 1작업으로 고정되어 있으므로 계절에 따라 생산량의 변동이 심한 경우에는, 생산량 조절에 대한 유연성이 부족하고 라인 능률이 낮아지는 등 특히 비효율적이다. 이러한 경우에는 U라인 생산이 효율적이다. 본 연구에서는 미니 카세트를 생산하는 조립라인을 예로 하여 컨베이어 라인을 필요 생산량(수요율)에 맞도록 소수 개의 U라인으로 전환하기 위한 설계절차를 확립하였다. 실제의 예로서 설계절차를 전개하였으나 전자산업의 조립라인에서는 일반적인 적용이 가능하다.

다음으로 수치 예를 적용하여 기존의 컨베이어 라인을 5개의 U라인으로 분할하여 월 생산량이 12,000개의 경우(적용 예 1), 재설계된 U라인은 사이클 타임이 종래의 컨베이어 라인과

같으나 작업인원이 25인에서 19인으로 6인 감소하고 라인 능률은 64%에서 82%로 향상되어 전체적인 생산성 향상을 확인하였다. 생산비용도 매월 6인의 인건비만큼 절감되었다. 한편 월 생산량이 18,000개의 경우(적용 예 2), 작업인원은 25인으로 종래와 같으나 사이클 타임이 35초로 감소하였으며 라인 능률은 91%가 되어 비약적으로 생산능률이 향상되었다. 더구나 생산율을 만족시키기 위해 종래의 컨베이어 방식으로는 81시간의 잔업시간이 필요하였으나 U라인은 잔업이 필요하지 않아 생산비용이 잔업비용(=시간당 잔업수당×81시간) 만큼 절감되었다.

이러한 생산성 향상은 주로 작업자 1인의 다작업 소화와 상대적으로 균등한 라인 밸런스에 기인한다. 그 밖의 경우도 <표 7>에서 밝혔듯이 생산성 향상을 확인할 수 있었다. 추후의 연구과제로는 소수 개의 U라인으로 분할하는 경우, 본 연구는 각 작업의 연관성과 작업시간을 감안하였으나 최적 설계를 위해서는 보다 정밀한 분석이 필요하다.

참고문헌

- Black, J. T.,(1991), *The Design of the Factory with a future*, 64-80 McGraw-Hill, Inc,
Chase, Richard B. and Nicholas J. Aquilano.,(1995), Seventh Edition, Production and Operations Management : *Manufacturing and Services*. Irwin.
Degarmo, E. Paul, J. T. Black and Ronald A. Kohser,(1997), *Materials and Processes in Manufacturing*, 8th ed., Prentice-Hall, Inc.
Dixon, D. & D.Scott, (1995), Designing a cellular fabrication plant, The Fabricator.
Miltenburg, J. and J. Wijngaard, (1994), The U-Line Balancing Problem, *Management Science*, 40(10), 1378-1388
Redford, A. and Chal, J.,(1994), Design for Assembly, 75-134, McGraw-Hill, Inc.
Scholl, A. und R. Klein, (1999): ULINO: Optimally Balancing U-Shaped JIT Assembly Lines. *International Journal of Production Research*, 37(4), 721- 736
Shingo and Shigeo, (1989), A Study of the Toyota Production Systems, 141-166, Productivity Press,
Urban and J. T.,(1998), Note. Optimal Balancing of U-Shaped Assembly Lines, *Management Science*, 44(5), 738-741.



박승현

인하대학교 공과대학 금속공학과 학사

경응의숙대학(keio)대학 산업공학 석사

경응의숙대학(keio)대학 산업공학 박사

현재: 인하대학교 기계공학부 산업공학과

교수

관심분야: 생산시스템, 인터넷 마케팅