라인작업분석

라인작업의 개요

- 라인이란 생산과정의 구성요인인 **4M**을 공정순서에 따라 연속적으로 배치한 것

- 이상적 라인조건
  - 전후 작업공정이 서로 인접
  - 물품은 균형이 잡힌 일련의 공정을 일정한 속도로 이동
  - 합리적인 직선경로를 거치면서 완성방향으로 이동
  - 라인전체가 동시작업

라인밸런싱 (Line Balancing)

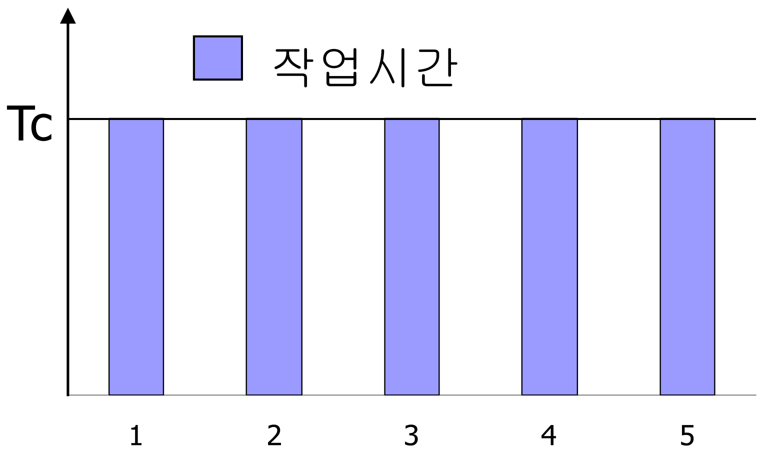
- 흐름라인에서 작업장간의 공정균형을 맞추는 문제
- 입력자료
  - 생산량/기간
  - 요소작업들간의 선행관계
  - 각 요소작업의 표준시간
- 결정방법
  - 기결정된 생산주기 하에서 작업장의 수를 최소화
  - 기결정된 작업장수 하에서 생산주기를 최소화

완전공정균형(Perfect Line Balancing)

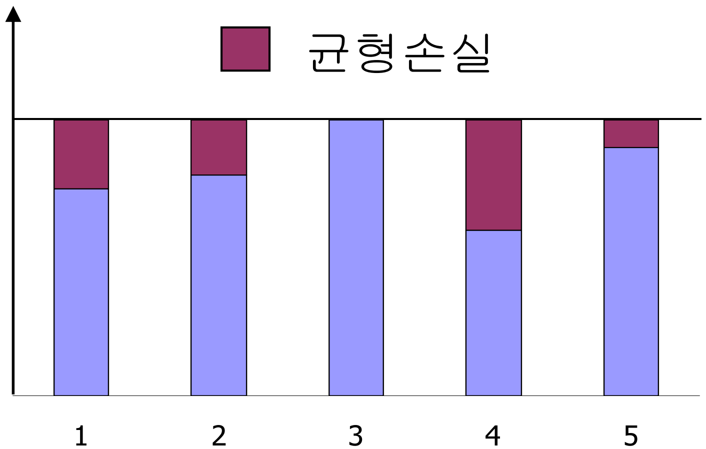
- 공정균형손실(Balancing Loss)이 전무
- 기본조건

$$N \bullet T_c = \sum_{i=1}^{m} T(E_i)$$

  - 여기서 m = 요소작업의 수, N = 작업장의 수, T_c = 생산주기,
  - $T(E_i)$ = i번째 요소작업시간 i= 1, 2, …, m.



완전공정균형



일반적 형태

이론적 최소 작업장 수

- 이론적 최소 작업장 수 (N_{min})

$$N_{min} = \frac{Q\sum_{i=1}^{m} T(E_i)}{T} = \frac{\sum_{i=1}^{m} T(E_i)}{T_c}$$, 단 N_{min} = 정수.

$$T_c = \frac{T}{Q}$$

$$T(E_i) \le T_c$$ i = 1, 2, ⋯, m

개념과 용어

- j번째 작업장에 배정된 요소작업의 총작업시간을 $T(S_j)$ 라고 하면

$$T_c \geq T(S_j) \qquad j = 1, 2, \cdots, N$$

- 작업장의 평균작업시간

$$\overline{T_s} = \frac{\sum_{i=1}^{m} T(E_i)}{N} = \frac{\sum_{j=1}^{N} T(S_j)}{N}$$

- 작업장 j의 유휴시간 혹은 균형지연(Balancing Delay)

$$T_c - T(S_j)$$

개념과 용어

- 흐름라인의 유휴시간 혹은 균형지연

$$NT_c - \sum_{j=1}^{N} T(S_j)$$

- 작업장 j의 균형손실(Balancing Loss)

$$L_j = \frac{T_c - T(S_j)}{T_c} \times 100$$

- 흐름라인의 균형손실

$$L_s(\%) = \frac{T_c - \overline{T_s}}{T_c} \times 100 \qquad L_s(\%) = \frac{NT_c - \sum_{i=1}^{m} T(E_i)}{NT_c} \times 100$$

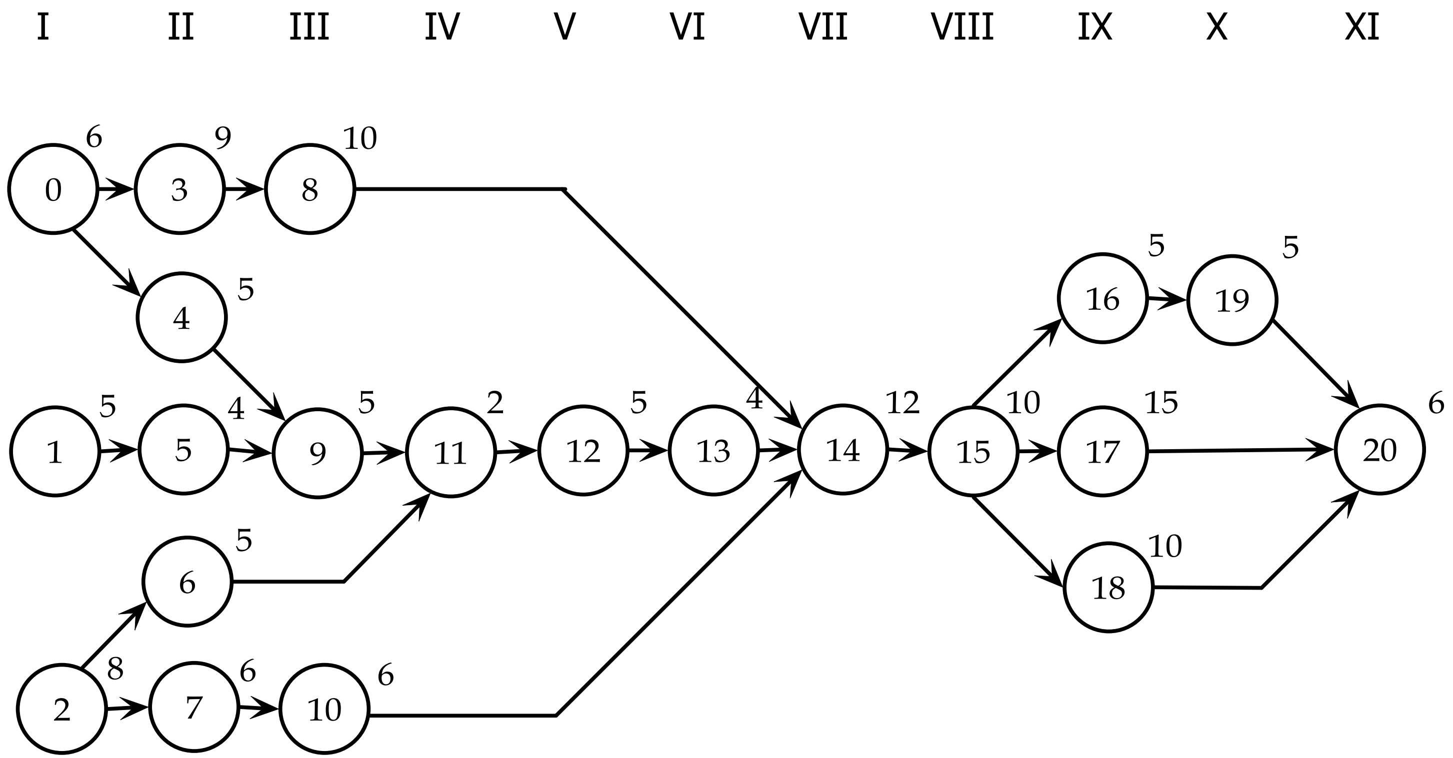
- 흐름라인의 효율

$$E(\%) = 100 - L_s$$

고정된 생산주기와 라인밸런싱

- Kilbridge와 Wester 방법
- 순위 가중 배열법
- COMSOAL

Kilbridge와 Wester 방법



Kilbridge와 Wester 방법

열번호	요소작업 (b)	횡적이동 가능성(c)	요소작업 시간(d)	열의소요 시간(e)	누적소요 시간(f)
	0		6		
I	1		5	19	19
	2		8		
	3	III - V (with 8)	9		
	4		5		
II	5		4	29	48
	6	III	5		
	7	III - V (with 10)	6		
	8	IV - VI	10		
III	9		5	21	69
	10	IV - VI	6		
IV	11		2	2	71

Kilbridge와 Wester 방법

열번호	요소작업 (b)	횡적이동 가능성(c)	요소작업 시간(d)	열의소요 시간(e)	누적소요 시간(f)
V	12		5	5	76
VI	13		4	4	80
VII	14		12	12	92
VIII	15		10	10	102
IX	16 17 18	 X X	5 15 10	30	132
X	19		5	5	137
XI	20		6	6	143

Kilbridge와 Wester 방법

열번호	요소작업 (b)	횡적이동 가능성(c)	요소작업 시간(d)	열의소요 시간(e)	누적소요 시간(f)
Ⅰ	0 1 2		6 5 8	19	
Ⅱ	4 6 7		5 5 6	16	(35)
Ⅲ	3 5 8 9 10	Ⅳ - Ⅴ(with 8) Ⅴ - Ⅵ Ⅳ - Ⅵ	9 4 10 5 6	34	34
Ⅳ	11		2	2	36

Kilbridge와 Wester 방법

열번호	요소작업 (b)	횡적이동 가능성(c)	요소작업 시간(d)	열의소요 시간(e)	누적소요 시간(f)
V	12		5	5	41
VI	13		4	4	45
VII	14		12	12	57
VIII	15		10	10	67
IX	16 17 18	 X X	5 15 10	30	97
X	19		5	5	102
XI	20		6	6	108

Kilbridge와 Wester 방법

열번호	요소작업 (b)	횡적이동 가능성(c)	요소작업 시간(d)	열의소요 시간(e)	누적소요 시간(f)
	0		6		
I	1		5	19	
	2		8		
	4		5		
II	6		5	16	(35)
	7		6		
	3		9		
	5		4		
III	8		10	34	
	9		5		
	10		6		
IV	11		2	2	(36)

Kilbridge와 Wester 방법

열번호	요소작업 (b)	횡적이동 가능성(c)	요소작업 시간(d)	열의소요 시간(e)	누적소요 시간(f)
V	12		5	5	5
VI	13		4	4	9
VII	14		12	12	21
VIII	15		10	10	31
IX	16 17 18	 X X	5 15 10	30	61
X	19		5	5	66
XI	20		6	6	72

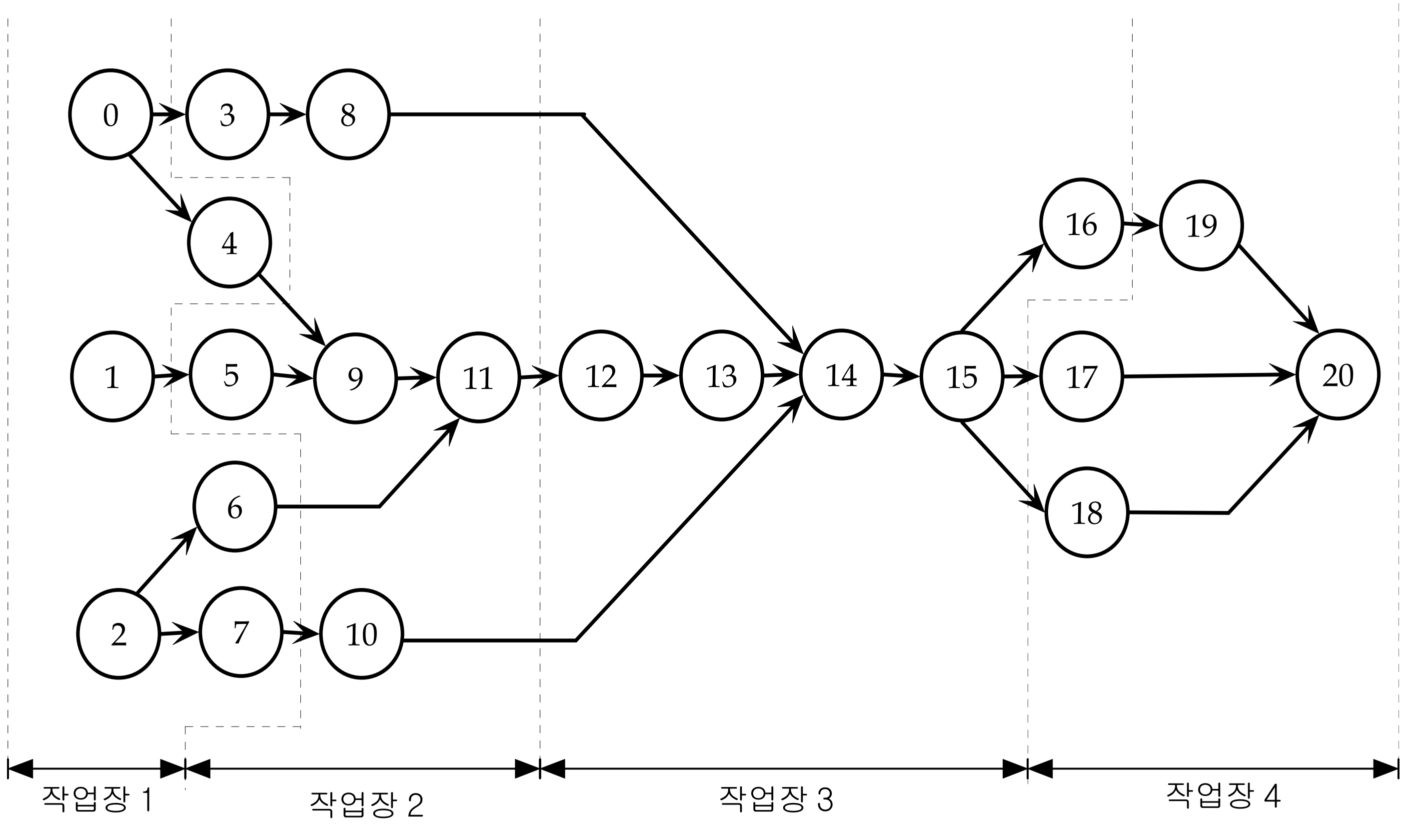
Kilbridge와 Wester 방법

열번호	요소작업 (b)	횡적이동 가능성(c)	요소작업 시간(d)	열의소요 시간(e)	누적소요 시간(f)
	0		6		
I	1		5	19	
	2		8		
	4		5		
II	6		5	16	(35)
	7		6		
	3		9		
	5		4		
III	8		10	34	
	9		5		
	10		6		
IV	11		2	2	(36)

Kilbridge와 Wester 방법

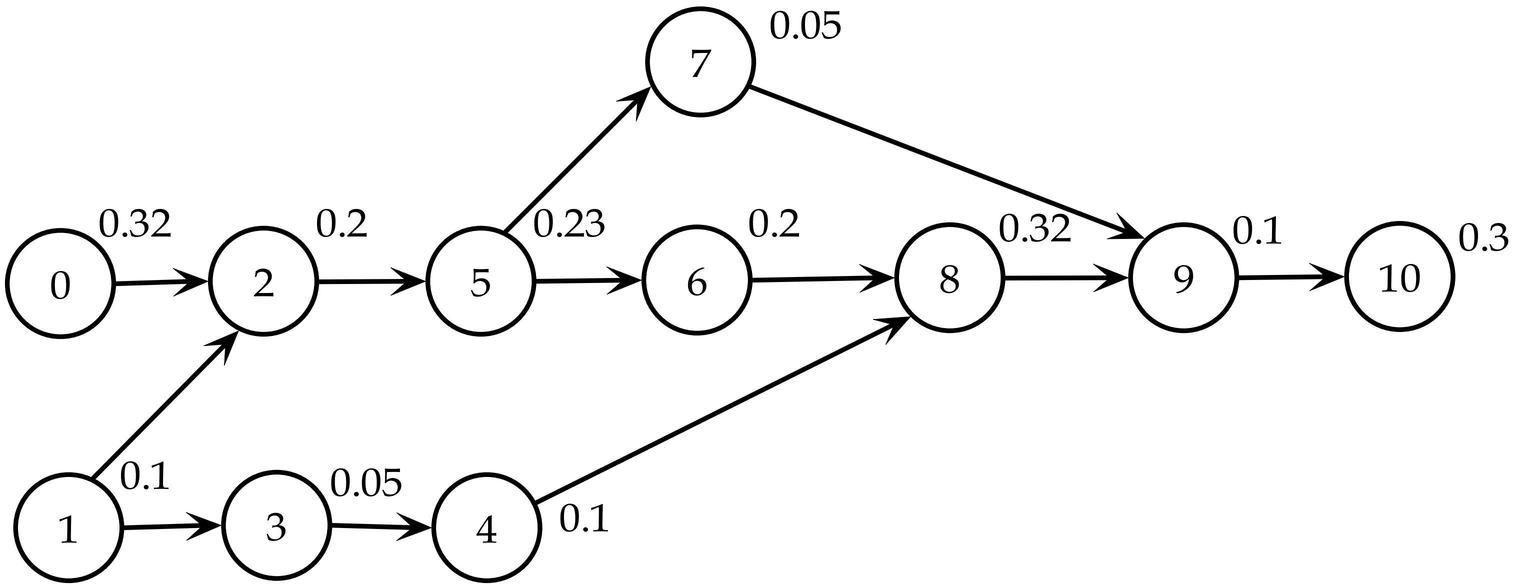
열번호	요소작업 (b)	횡적이동 가능성(c)	요소작업 시간(d)	열의소요 시간(e)	누적소요 시간(f)
Ⅴ	12		5		
Ⅵ	13		4		
Ⅶ	14		12		
Ⅷ	15		10		
	16		5		(36)
	17		15		
Ⅸ	18		10	25	25
Ⅹ	19		5	5	30
Ⅺ	20		6	6	36

Kilbridge와 Wester 방법



순위 가중 배열법

- Ranked Positional Weights Method



순위 가중 배열법

요소작업 (Ei)	작업시간 T(Ei)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	순위가중치 (P.W)
0	0.32			|			+	+	+	+	+	+	1.72
1	0.1			|	|	+	+	+	+	+	+	+	1.65
2	0.2						|	+	+	+	+	+	1.4
3	0.05					|				+	+	+	0.87
4	0.1									|	+	+	0.82
5	0.23							|	|	+	+	+	1.2
6	0.2									|	+	+	0.92
7	0.05										|	+	0.45
8	0.32										|	+	0.72
9	0.1											|	0.4
10	0.3												0.3

순위 가중 배열법

작업장	요소작업 (Ei)	P.W	직접선행 작 업	작업시간 T(Ei)	누적소요 시 간	미 배정시간
	0	1.72	—	0.32	0.32	0.23
1	1	1.65	—	0.1	0.42	0.13
	3	0.87	1	0.05	0.47	0.08
2	2	1.4	0,1	0.2	0.2	0.35
	5	1.2	2	0.23	0.43	0.12
	4	0.82	3	0.1	0.53	0.02
3	6	0.02	5	0.2	0.2	0.35
	8	0.72	4,6	0.32	0.52	0.03
	7	0.45	5	0.05	0.05	0.5
4	9	0.4	7,8	0.1	0.15	0.4
	10	0.3	9	0.3	0.45	0.1

COMSOAL

- Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Line
- 1966년 Arcus가 제안한 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 기법
- 선후관계도로부터 각 요소작업의 직접선행작업(Immediate Predecessor)의 수를 밝혀 List A작성

List A

요소작업	직접선행작업의 수
0	0
1	0
2	2
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	2
9	2
10	1

COMSOAL

- List A로부터 직접선행작업이 전혀 없는 요소작업을 찾아 List B 작성

List B

직접선행작업이 없는 요소작업
0
1

- List B의 요소작업 중 랜덤하게 한 개를 선정
- 선정된 요소작업을 선후관계도에서 삭제한 후 List A와 B를 재작성
- 이상의 절차를 반복하여 형성된 요소작업 번호의 순열에 대해 생산주기 범위 내에서 순서대로 각 작업장에 배치
- 개선안 : List B의 요소작업 중 미배정시간을 초과하지 않는 작업을 찾아 List C를 추가로 작성하고, 이 List로부터 랜덤하게 혹은 가중치를 준 상황 하에서 샘플링

고정된 작업장의 수와 라인밸런싱

- 작업장 수가 고정된 경우 작업주기는 각 작업장에서의 작업시간 중 가장 긴 것이 된다.

  즉, $T_c = \max_j T(S_j)$, j = 1, 2, ⋯, N.

- 이 때의 균형손실은

$$L_s(\%) = \frac{N \times \left(\max_j T(S_j) \right) - \sum_i T(E_i)}{\max_j T(S_j)} \times 100$$

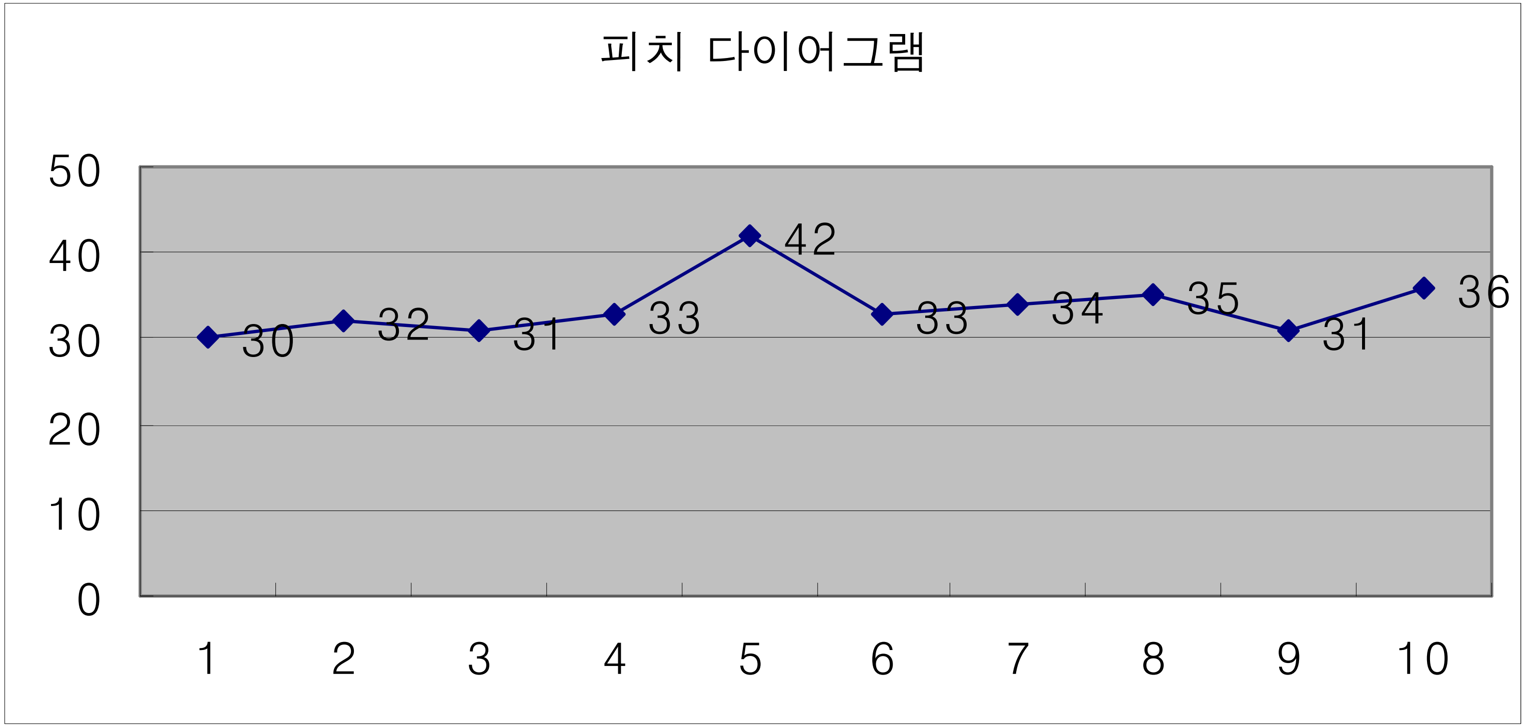
고정된 작업장의 수와 라인밸런싱

- L_s를 최소화시키는 탐색적 기법은
- 작업장 수 N과 요소작업자료로부터 최소의 생산주기 T_c^o를 구한다.

$$T_c^o = \sum T(E_i) / N$$

- T_c^o를 가지고 앞에서 논의된 공정균형기법을 적용하여 최소 작업장 수 K를 구한다.
- 만약 K > N이면, 임의의 시간 ΔT를 어느 정도 크게 잡아 T_c^o를 ΔT만큼 증가시킨 후 앞 단계를 다시 수행한다. K=N인 T_c^o를 발견할 수 있을 때까지 이 과정을 반복한다.
- 반대의 경우에는 T_c^o를 매우 조금씩 감소시키면서 K=N인 범위 내에서 최소의 T_c^o를 구한다.

피치 다이어그램에 의한 라인밸런싱



라인밸런스 효율 : $$E_b = \frac{\sum t_i}{m \bullet t_{\max}} \times 100$$

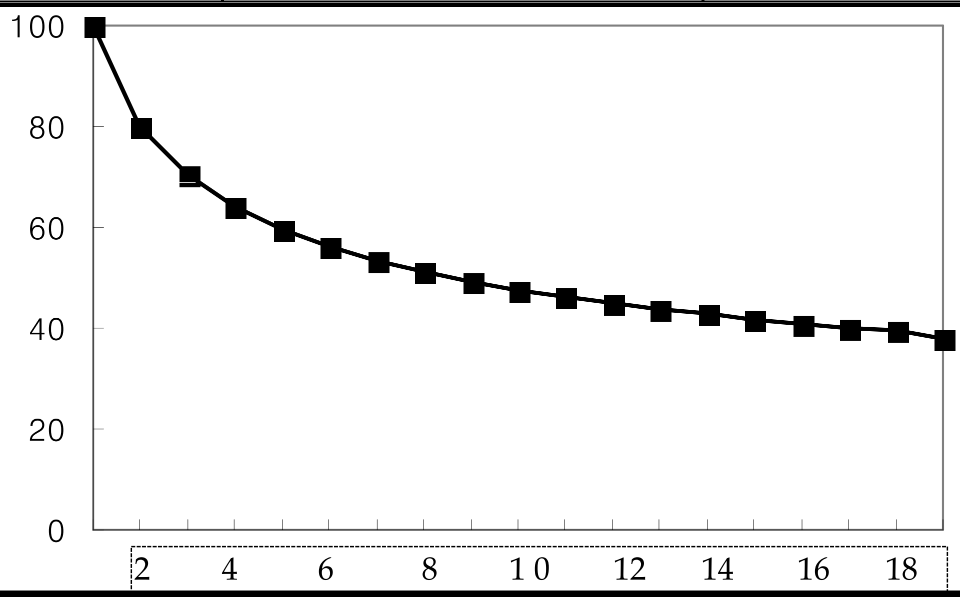
Learning Curve

- 학습효과(Learning Effect)
  - 작업자가 특정작업의 반복수행 과정에서 그 작업에 숙달되어 작업 사이클당 시간이 점점 짧아지는 현상
  - 동일 작업을 장기간 계속할 때 학습현상에 의해 작업속도 및 성과가 높아지는 현상
- 공수체감현상
  - 공수에 걸리는 시간이 개별적 또는 치공구 개선이나 기술개선에 의해 일정한 비율로 감소하는 현상.

Learning Curve

- 학습률 80% 하에서의 생산시간

생산량 (x)	누적 평균생산시간(y)	총 생산기간 (T = x *y)
1	100.00	100.00
2	80.00	160.00
4	64.00	256.00
8	51.20	409.60
16	40.96	653.36



Learning Curve

- 학습곡선의 이용
  - 신제품 생산시 표준공수견적, 정원계획, 출하계획, 원가예측
  - 새로운 작업자의 교육훈련계획
  - 작업 로트 크기에 따라 표준공수조정
  - 제품마다 부품의 적정구입가격 견적
  - 성과급의 선정

수리적 모델

- 평균시간 모델(Average Time Model)
  - 생산량이 두 배로 증가될 때마다 누적 평균생산시간이 (1-R)만큼 감소

$$y_x = aR^m \qquad\qquad x = 2^m$$

Where, y_x = x 개의 제품을 생산했을 때의 누적 평균생산시간

a = 첫번째 제품의 생산소요시간

m = 생산량이 두 배로 증가된 회수

R = 학습률

수리적 모델

$$\log x = m\log 2 \rightarrow m = \frac{\log x}{\log 2}$$

$$\log y_x = \log a + \frac{\log x}{\log 2}\log R = \log a + b\log x, \quad \text{where} \quad b = \frac{\log R}{\log 2}$$

- 평균 생산시간 : $y_x = a \cdot x^b$, where 0.5 < R < 1.0
- X개를 생산하는 데 소요된 총 생산시간 : $T_x = x \cdot y = x \cdot ax^b = a \cdot x^{b+1}$
- X번째 제품의 생산소요시간 : $u_x = T_x - T_{x-1} = \frac{dT_x}{d_x} = y_x(1+b)$

수리적 모델

- 한계시간 모델 (Marginal Time Model)
  - 생산량이 두 배로 증가되는 시점의 제품 단위 생산시간이 (1-R) 만큼 감소

$$Z = aR^m \qquad x = 2^m$$

단, Z = X개째의 생산시간

- X개째 생산시간 : $Z = a \cdot x^b,$ where 0.0 < R < 1.0
- X개를 생산하는 데 소요된 총 생산시간 : $Z_s = \int_0^x ax^b dx = \dfrac{ax^{b+1}}{b+1}$
- X번째 제품의 생산소요시간 : $Z_m = \dfrac{Z_s}{x} = \dfrac{ax^b}{b+1}$

학습모델의 활용예

- 어느 제품을 자체 생산할 때의 노무비는 시간당 4,000원, 재료비는 개당 2,100원, 간접경비는 개당 1,200원이다. 첫번째 제품을 생산하는데 5시간이 소요되며, 생산량이 두 배가 될 때마다 누적평균 생산시간이 20%씩 감소한다고 한다. 이 제품의 시장 구입가격이 개당 4,100원이라면 총 몇 개를 생산해야 시장 구입비용이 동일해지는가?
- 학습률 R= 0.8인 평균생산시간 모형을 이용하면 X개의 제품을 생산하는데 걸리는 총 생산시간은

  $T_X = 5\,X^{b+1}$, $b = \log 0.8 / \log 2 = -0.3219$ 즉, $T_X = 5\,X^{0.6781}$
- 시장구입가격과 생산비용이 동일해지려면

  $(2100 + 1200)\,X + 4000\,T_X = 4100X$

  $4000\,(5\,X^{0.6781}) = 800X$, $20000\,X^{0.6781} = 800X$, $X^{0.6781} = 0.04X$

  $0.6781 \log X = \log 0.04 + \log X$, $0.3219 \log X = 1.3979$,

  $\log X = 4.3428$

  $X = 10^{4.3428} = 22019.12$ 즉, 22,020개