MYONGJI UNIVERSITY
Dept. of Business Administration

운영관리
(Operations Management)

3. 프로세스 분석

목차

1. 프로세스 분석이란?

2. 프로세스 흐름 파악

3. 프로세스 성능 측정

4. 프로세스 성능 변화 요인

5. 프로세스 설계

1. 프로세스 분석이란?

(1) 운영전략과 운영관리

❑운영전략은 기업의 제품/서비스에 대한 경쟁력을 갖추게 함

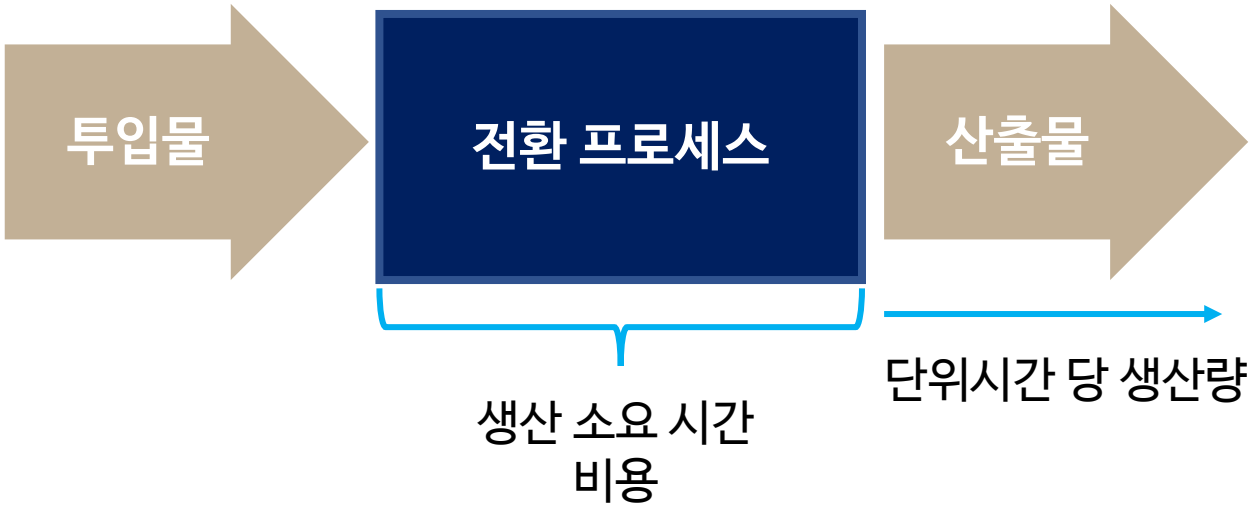
- 제품/서비스에 대한 수요 발생 - 유지 - 확대

❑운영관리: 운영목표를 달성하며 수요와 공급이 균형을 이루도록 운영시스템을 조정

- 효율적이고 효과적으로 자원을 확보 - 조달 - 투입 - 활용하기 위한 의사결정 필요

❑운영시스템에 대한 이해와 분석이 필요함

- 운영시스템의 구성 요소와 성능
  - 필요한 자원, 활용 방법
  - 단위시간 당 생산량 / 생산 소요 시간 / 비용
- 구성 요소 변화가 성능에 미치는 영향
  - ex. 사람 한 명을 더 투입할 때 운영시스템의 성능 변화



(2) 프로세스 분석

프로세스 (Process):

- 자원을 활용하여 투입물을 산출물로 변환시키기 위한 일련의 과정

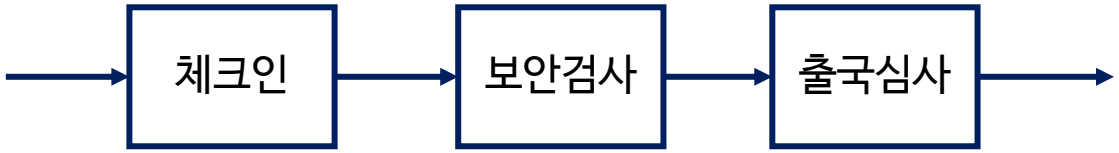
  - 운영시스템의 전환 "프로세스" = 프로세스 (운영시스템 ≠ 프로세스)
    - 보통 운영시스템은 조직의 외부를 통해 들어오고 나가는 투입, 산출 전환 시스템을 지칭함

❑운영시스템의 전환 프로세스 뿐만 아니라 변화가 일어나는 모든 과정 = 프로세스

  - 기업의 기능 대부분: 채용 프로세스, 결재 프로세스 등
  - 일상 속 변화: 등/하교, 식사, 쇼핑 등

❑하나의 프로세스는 여러 개의 부분 프로세스 (sub-process)로 나뉘어질 수 있음

  - 세분화 정도에 따라 계층화 가능
  - ex) 공항 출국 프로세스



(2) 프로세스 분석

프로세스 분석(Process Analysis):

- 프로세스를 이해하고, 성능을 측정하여, 문제점을 파악하고, 개선하는 활동

❑ 일반적인 성능 척도: 처리되는 산출물 / 활용되는 자원 관점

- 단위 시간 당 생산량 (서비스 = 처리 양)
- 생산 소요 시간 (서비스 = 처리 시간)
- 자원의 활용 정도

❑ 명확한 분석의 대상과 범위가 필요함: 프로세스를 얼마나 자세히 분석할 것인가?

- 분석의 목적에 따라 대상이 되는 프로세스의 범위와 구체화 정도가 달라짐
  - 상위 프로세스를 분석: 하위 프로세스에 대한 분석이 필요
- 분석 과정을 단순화 하기 위해서는 목적이 명확해야 함: 왜 이 프로세스를 분석하는가? / 어떤 성능을 개선하고 싶은가?

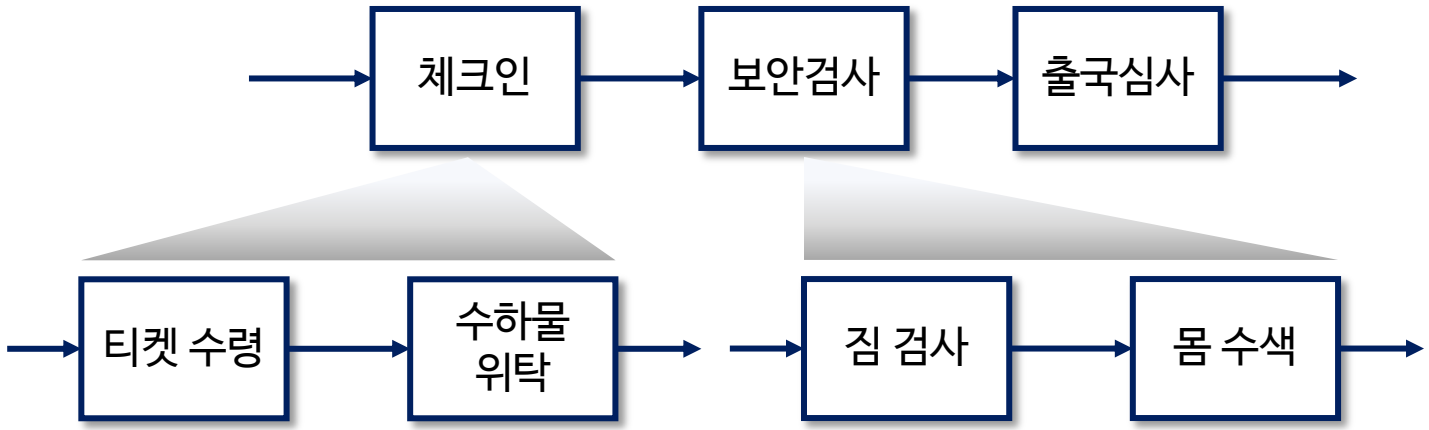
❑운영시스템을 이해하고 분석 = 전환 프로세스 분석

2. 프로세스 흐름 파악

(1) 프로세스 분석의 시작: 작업 파악

❑프로세스는 투입물을 중간산출물로 전환하는 작업(task)들로 구성됨

- 어떤 작업들을 통해 프로세스가 진행되는지 파악해야 함



작업 (Task):

- **투입물이 어떤 처리를 받거나 특정 행위를 하는 일**

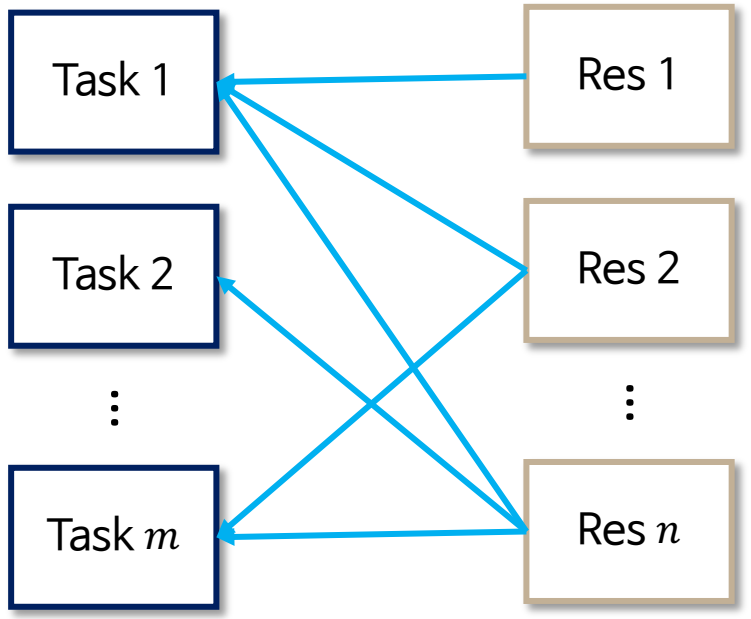
- Task도 하나의 프로세스 = 부분 프로세스 (sub-process)
- ex. 병원 (접수 - 진료 - 처방), 공항 (체크인 - 보안검사 - 출국심사)
  - 주의: 투입물과의 상호작용을 기준으로 생각할 것

(1) 프로세스 분석의 시작: 작업 파악 - 작업 정의

❑Task 정의: 처리시간 (Processing time) 과 자원 (Resource) 이 정의되어야 함

- 처리시간 : 투입물 한 단위에 대해 Task를 수행하기 위해 소요되는 시간
- 자원: 필요한 Man/Machine/Material
  - 처리시간은 투입물과 자원의 종류, 활용 방법 (Method)에 따라 달라짐
- 자원에 따라서 한 번에 여러 개의 투입이 처리될 수도 있음

체크인 4분/명;
- ✓ 체크인 카운터
- ✓ 직원
- ✓ 키오스크



〈 Task vs Resource = Many to many 〉

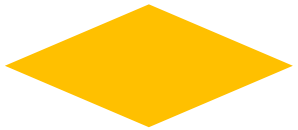
❑Task도 범위에 따라 다르게 정의할 수 있음

- 용어로 구분하기도 함
  - Task: 더 이상 나눠질 수 없는 단일 작업 / 행동
  - Activity (Stage, Step): 비슷한 기능을 하는 여러 Task들의 집합
  - cf) Operation: 물리적 장비를 활용하는 task

(2) 프로세스 흐름차트 (Process Flowchart)

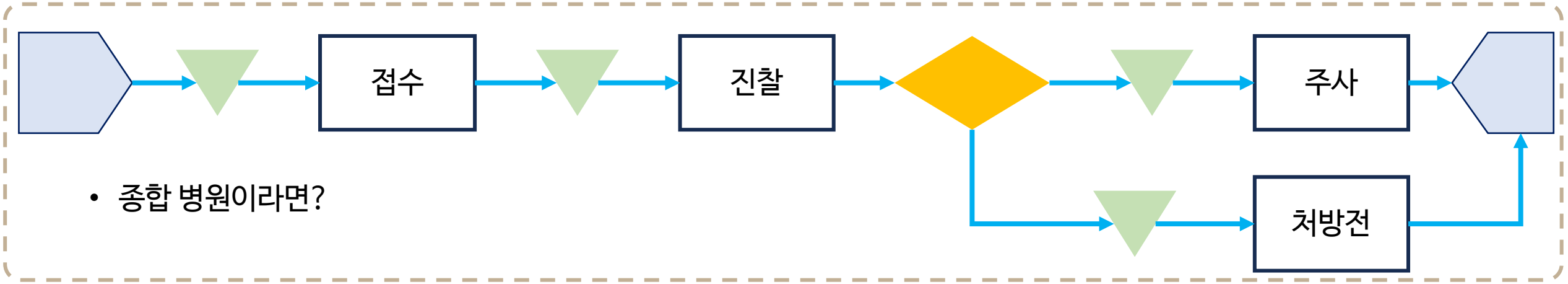
Process Flowchart:

- 투입의 흐름에 따라서 Task들의 순서를 시각화한 도표

Symbol	Role	Example
	Task: 수행해야 하는 작업을 표현	• 병원 접수, 진료, 처방 등 • 자동차 부품 조립
	Decision point: 어떤 결정에 의한 분기를 표현	• 환자에 따라 다른 처방을 받는 경우 • 제품에 따라 다른 task를 처리받는 경우
	Buffer: 제품이나 고객의 저장소를 표현	• 병원의 대기 공간 • 공정 중인 재고 / 완제품 재고를 쌓아두는 공간
	Arrow: Task 간의 순서를 표현	• 병원에서 접수 후 진료를 위해 이동 • 자동차 power train 조립 후 바퀴 조립을 위해 이동

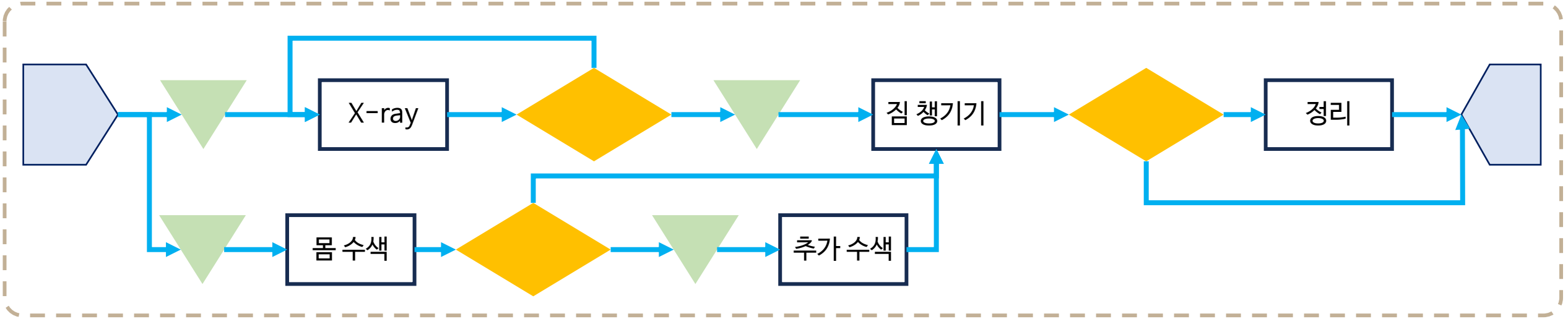
(2) 프로세스 흐름차트 예시

❑병원



- 종합 병원이라면?

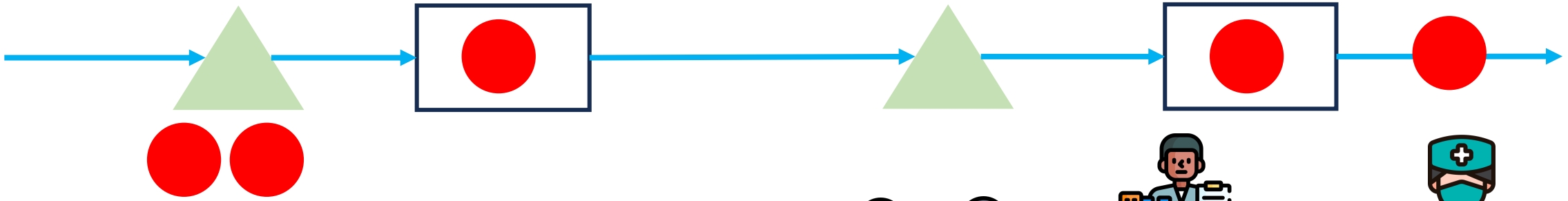
❑공항 보안검색



(3) 프로세스 흐름

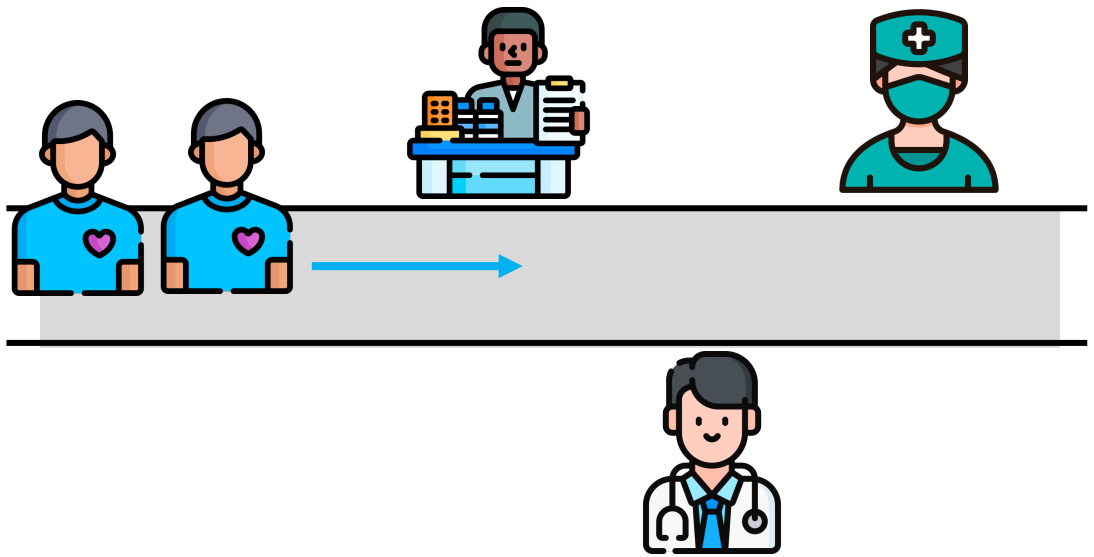
❑투입물은 플로우 차트를 따라 산출물로 전환됨

- 화살표를 따라 다음 Task로 이동 / 각 Task에서 처리시간 동안 머무름
- Buffer를 만나면 순서대로 쌓여 있다가 차례가 되면 작업 시작
  - 버퍼의 역할 1: 작업 단계 간 연속성 유지 (작업이 끊이지 않게 함)



❑컨베이어 벨트 위로 투입물이 흘러간다고 생각: 흐름

- 컨베이어 벨트 주변에 작업을 위한 자원들이 있음
  - 작업을 시작하지 못하면 컨베이어 벨트 멈춤



(4) 프로세스 흐름 - Flow unit

Flow unit (흐름 단위):

- 프로세스를 따라 흐르는 독립된 가상의 개체
- 하나의 Process – 하나의 Flow unit

  - 한 종류의 Flow unit, 여러 종류의 유형
    - 환자 - 감기, 장염, 건강검진 / 빵 - 식빵, 팥빵, 크림빵 / 공항 승객 - 출국 승객, 환승 승객

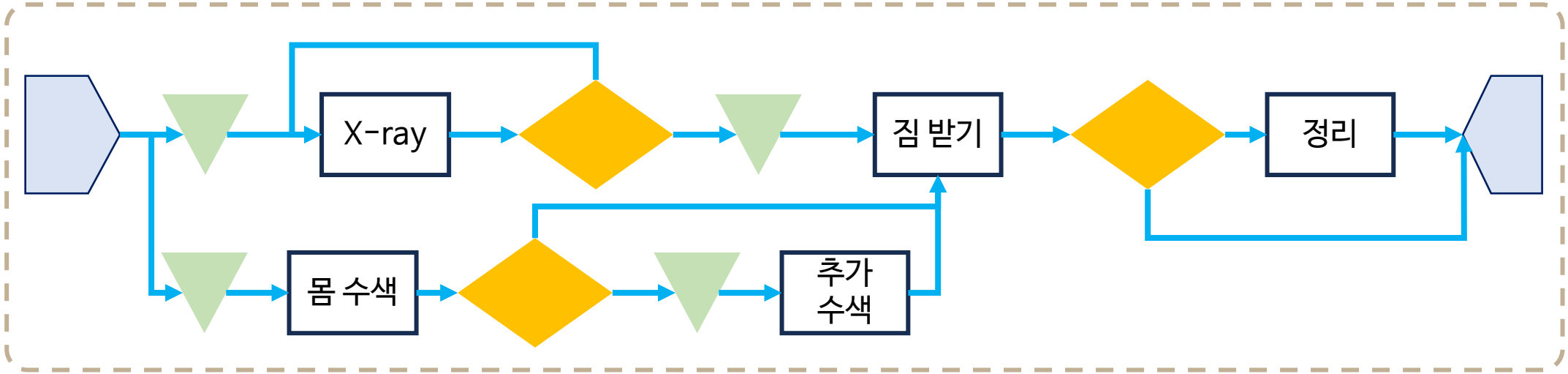
❑처리시간을 포함하여 프로세스 분석에 필요한 수치들의 기본 단위로 사용됨

❑Flow unit의 특성

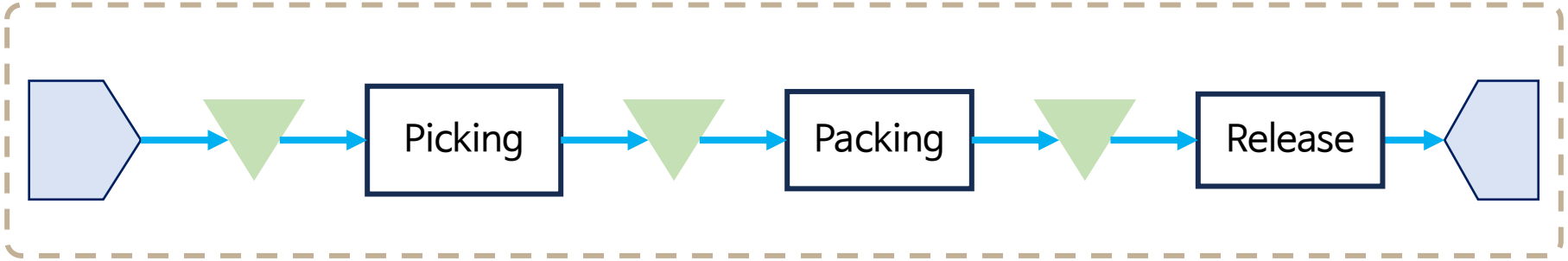
- Flow unit은 분해되거나 조립될 수 있으며, Task를 통해 유형이 변하기도 함
- 연속적인 개체도 이산화하여 독립적인 Flow unit으로 구분할 수 있음: 물, 광석 (input이 다 다름)
- Flow unit의 유형에 따라 하나의 운영시스템에서 서로 다른 Task를 처리받을 수 있음
  - ex) 공항 보안검색 - 출국 승객 / 환승 승객

(4) 프로세스 흐름 - Flow unit

❑공항 보안검색: 승객, 짐 바구니 (하루에 몇 명의 승객을 처리하는가? / X-ray 기계는 한 시간당 몇 개의 바구니를 처리하는가?)



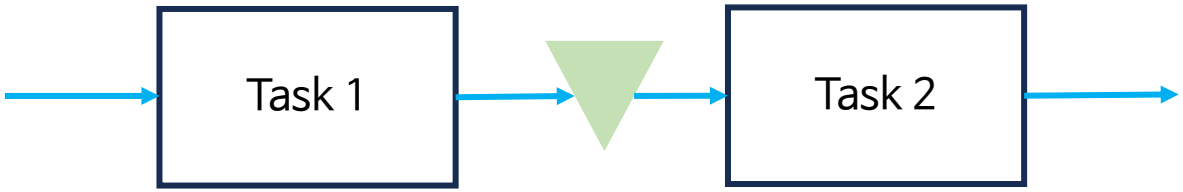
❑E-commerce 물류창고: 주문, 제품 (한 시간에 몇 개의 주문을 처리하는가? / 한 사람당 몇 개의 제품을 picking하는가)



분석 목적에 따라 Flow unit을 다르게 설정하면 분석이 쉬워질 수 있음!

(5) 프로세스의 분류

〈단일 단계〉

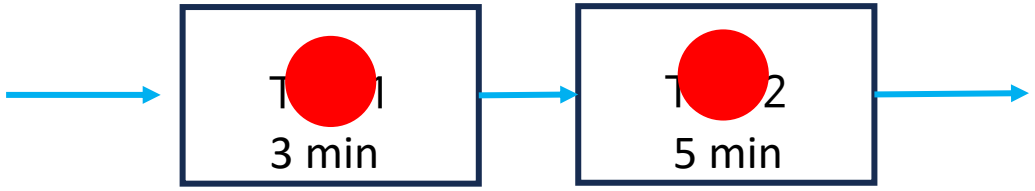


〈다단계〉

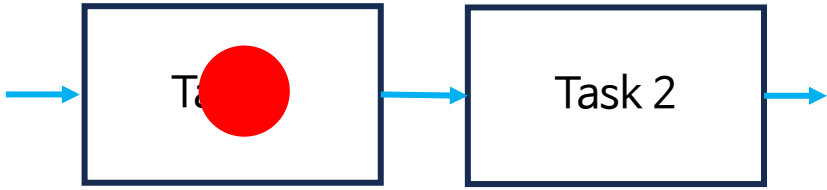
❑단일 단계 (single-stage) vs 다단계 (multi-stage)

- 하나의 Flow unit이 거치는 task가 한 개 vs 여러 개

❑다단계 프로세스에서 버퍼의 역할



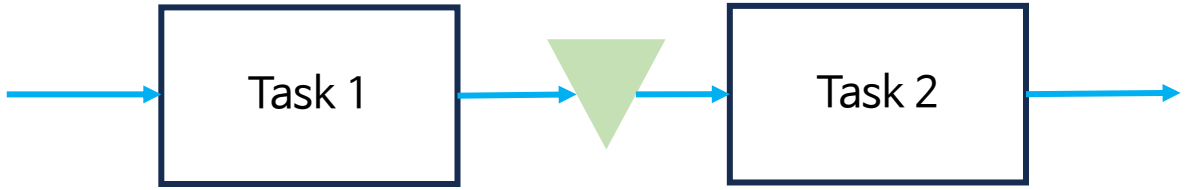
〈Blocking〉



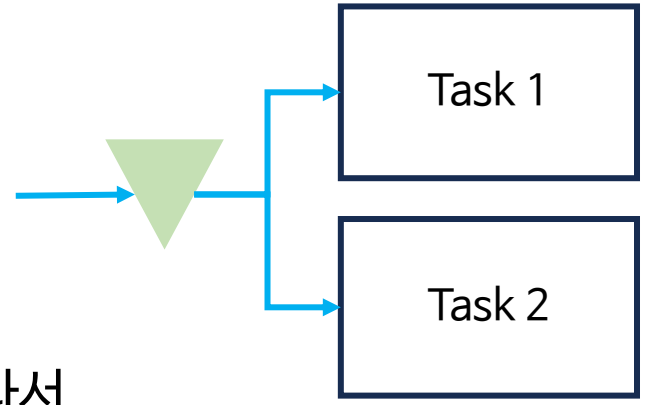
〈Starving〉

- 각 공정 단계의 독립성을 보장함
- 버퍼가 없는 경우, 다음의 장애가 발생
  - Blocking: 전공정이 작업 후 재공품을 보관할 장소가 없어서 작업을 중단
  - Starving: 후공정이 작업량이 없어서 작업이 중단되는 경우
- Blocking 혹은 starving이 발생하는 task의 resource는 활용률이 저하됨
- 수요, processing time의 변화에 대응을 하지 못하게 됨 = 생산성 감소

(5) 프로세스의 분류

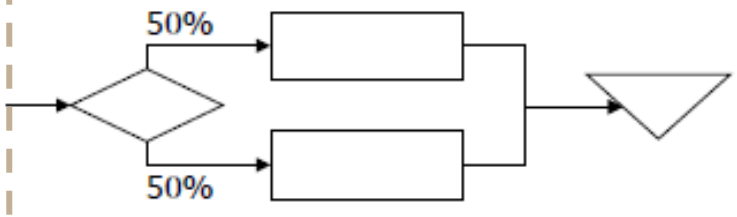


〈직렬〉

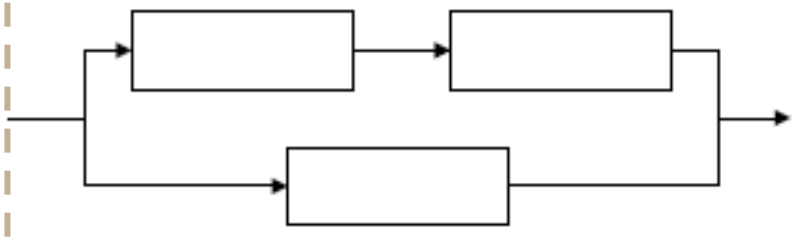


〈병렬〉

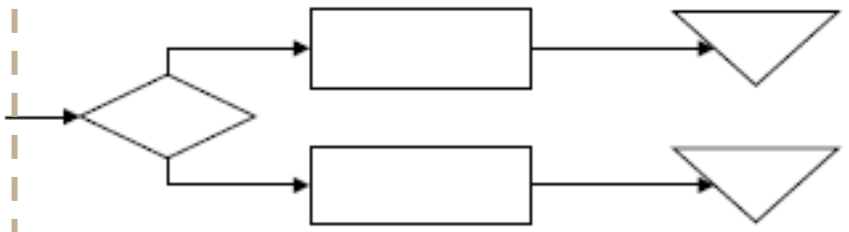
❑직렬 (Serial) vs 병렬 (Parallel) 프로세스: Task들의 연결에 따라서



〈Alternative Paths〉



〈Simultaneous Activities〉



〈Different Products Produced〉

- Flow unit의 유형에 따라 나뉘어짐

3. 프로세스 성능 측정

3-1. 프로세스 성능 지표: 기본

(1) 프로세스 성능 지표: 기본

❑성능 (Performance): 얼마나 잘했는가 & 얼마나 잘 할 수 있는가

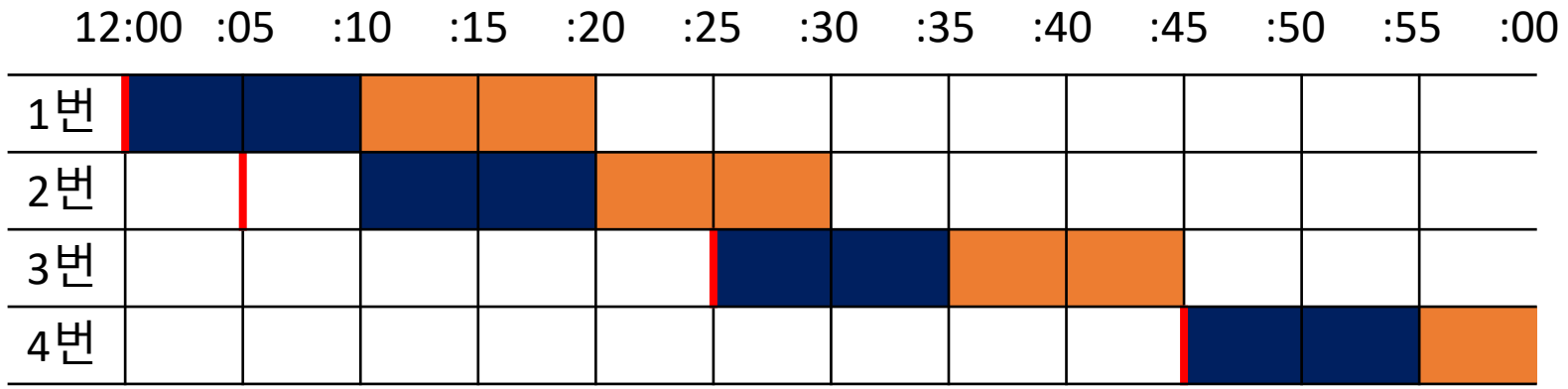
❑흐름 단위의 투입 스케줄이 주어져 있을 때,

- 하나의 Flow unit을 처리하는데 얼마나 오래 걸리는가?
- 투입된 Flow unit 중 몇 개를 처리할 수 있는가?

❑예시: 코인세탁소

- 평균 15분 간격으로 손님이 방문

고객	도착시간
1번	12:00
2번	12:05
3번	12:25
4번	12:45



(1) 프로세스 성능 지표: 기본

❑성능 (Performance): 얼마나 잘했는가 & 얼마나 잘 할 수 있는가

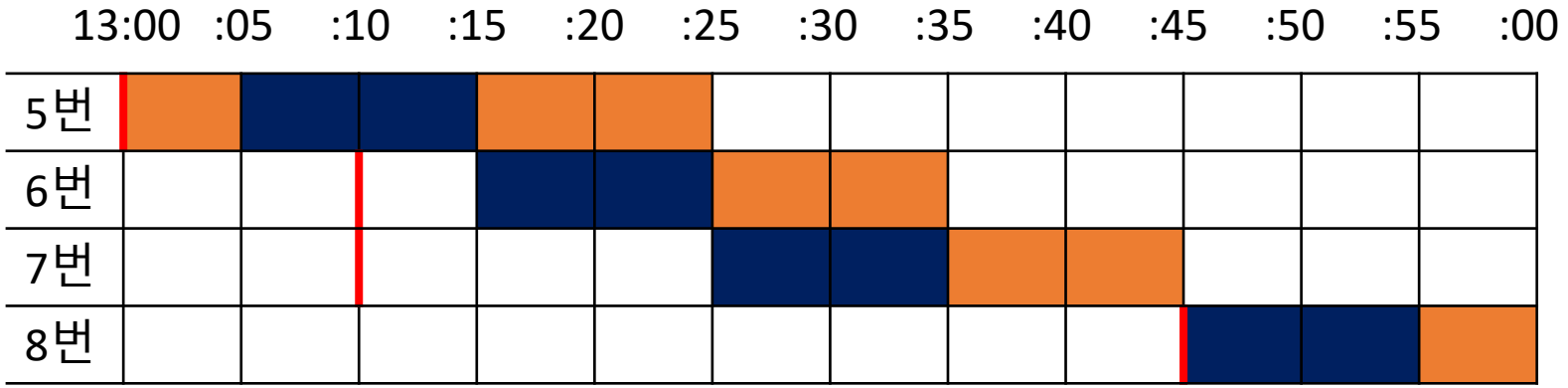
❑흐름 단위의 투입 스케줄이 주어져 있을 때,

- 하나의 Flow unit을 처리하는데 얼마나 오래 걸리는가?
- 투입된 Flow unit 중 몇 개를 처리할 수 있는가?

❑예시: 코인세탁소

- 평균 15분 간격으로 손님이 방문

고객	도착시간
5번	13:00
6번	13:10
7번	13:10
8번	13:45



(2) 프로세스 성능 지표: Flow Time

❑Flow Unit의 투입 (수요) 스케줄이 주어져 있을 때, 측정가능한 성능: Flow Time & Flow Rate

Flow Time (흐름시간):

- **하나의 Flow unit이 프로세스로 진입해서 통과할 때까지 소요되는 평균 시간**

  - Flow Time = Processing Time + Waiting Time

❑Flow Time의 변화 요인:

  - Flow unit 도착간격의 분포: Flow Time은 관측한 시간대에 따라 달라질 수 있음;
  - 자원의 Setup time: Task를 수행하기 위해 준비하는 시간

❑제조시스템의 Flow Time은 고객이 주문을 전달받기까지 소요되는 시간

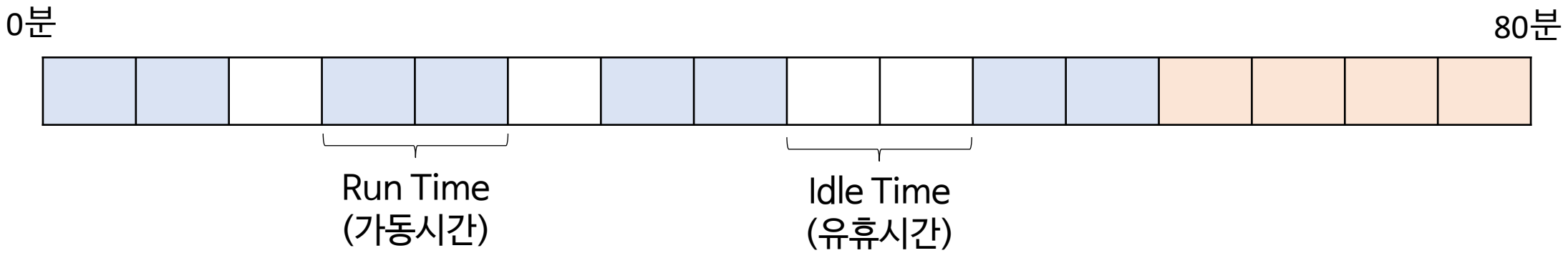
❑서비스운영시스템의 Flow Time은 고객의 대기시간과 직결되므로 서비스 품질에 큰 영향을 끼침

(3) 자원의 시간

❑자원의 스케줄:

- Machine A: 하루 총 8시간 가동, 40분 작업 후 20분간 작업 준비시간이 필요

용어	의미	예시
Available Time (가용시간)	일정기간동안 가용한 총 작업시간	하루 중 8시간 1시간 중 1시간
Setup Time (준비시간)	작업을 위한 준비, 조정 시간	20분
Effective Operating Time (유효시간)	Available Time 중 실제 작업을 수행할 수 있는 시간	8시간 중 5.3시간 1시간 중 40분
Production Cycle (생산주기)	생산과 준비가 반복되는 주기	40분 + 20분 = 60분



- 80분동안, Run Time = 40분, Idle Time = 20분

(3) 프로세스 성능 지표: Flow Rate

❑Flow Unit의 투입 (수요) 스케줄이 주어져 있을 때, 측정가능한 성능: Flow Time & Flow Rate

Flow Rate (흐름률):

- **프로세스를 통해 처리되는 단위 시간 당 평균 Flow unit 수 (1시간, 하루)**

- Flow Rate = Throughput Rate (처리율)
- **Cycle Time** = 1/Throughput Rate:

  특정 flow unit이 출력되고 나서 다음 flow unit이 출력될 때까지 소요되는 평균 시간

  - ex. Cycle Time = 10분 → Throughput Rate = 6개/시간
- Throughput Rate, Cycle Time은 관측한 시간대에 따라 달라질 수 있음:

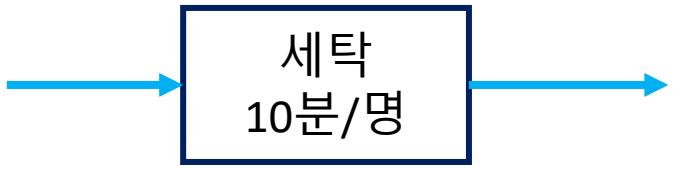
  Flow unit 도착간격의 분포에 따라…

(3) Flow Time / Throughput Rate의 변화 요인

❑Flow Time과 Throughput Rate는 Flow unit의 투입에 따라 달라짐

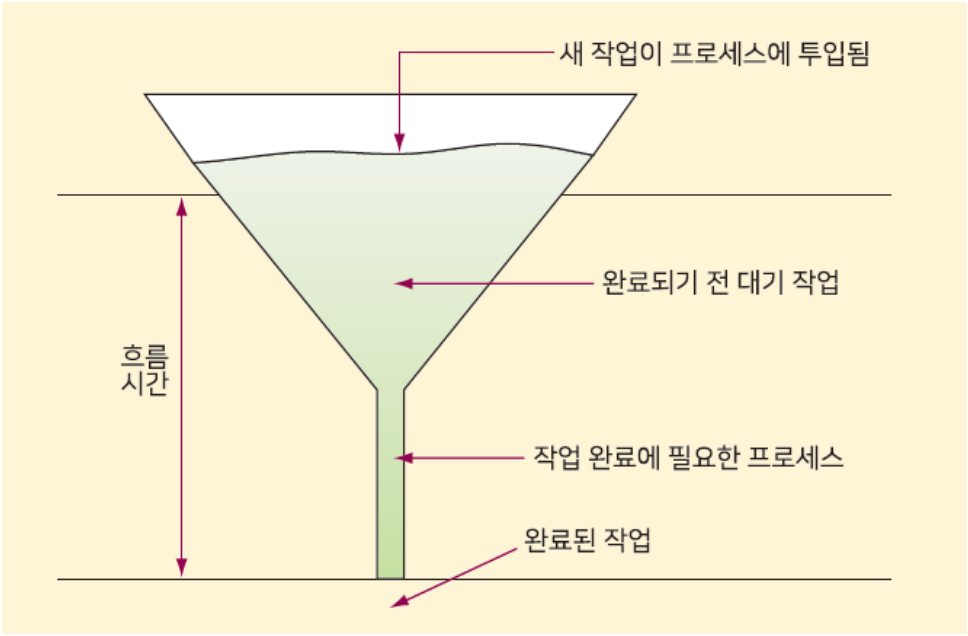
- 투입 시간 간격 평균 / 분산에 따라 달라지게 됨
  - 분산 ↑ ⇒ Flow Time ↑; 평균 ↓ ⇒ Throughput Rate ↑

❑그러나 Throughput Rate의 증가는 한계가 있음



❑이 한계를 넘어서 투입이 되면…

- Flow Time이 무한대로 커지게 됨

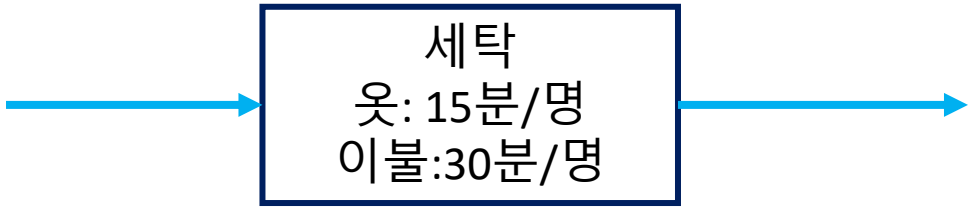


(3) Flow Time / Throughput Rate의 변화 요인

❑투입되는 Flow unit의 유형이 다양하고, task의 processing time이 달라지는 경우?

❑투입되는 Flow unit 유형의 구성에 따라서도 Flow Time / Throughput Rate 변화함

- 여러 개의 장비를 이용하는 경우, 작업 할당 방식에 따라서도 변화함



고객	유형	도착시간
1번	옷	12:00
2번	옷	12:15
3번	옷	12:30
4번	옷	12:45

고객	유형	도착시간
1번	이불	12:00
2번	옷	12:15
3번	옷	12:30
4번	옷	12:45

고객	유형	도착시간
1번	이불	12:00
2번	이불	12:15
3번	이불	12:30
4번	옷	12:45

- 각 경우의 Throughput Rate / Flow Time 은?

(4) 프로세스 성능 지표: Capacity

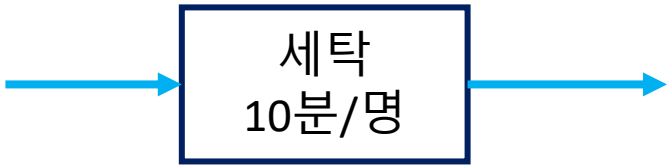
❑성능 (Performance): 얼마나 잘했는가 & 얼마나 잘 할 수 있는가

Capacity (생산능력):

- **이상적인 (ideal) 투입을 통해 프로세스가 달성할 수 있는 최대 Throughput**

- 프로세스는 Capacity 이상의 수요를 처리할 수 없음: Throughput Rate ≤ Capacity
  - Throughput Rate = min{Capacity, Demand}
- Throughput Rate는 수요 (투입) 에 따라 달라질 수 있음; Capacity는 수요에 무관한 값
  - 수요가 주어지지 않아도 계산할 수 있는, 프로세스의 이상적인 performance

❑Capacity = 해당 Throughput Rate를 달성하기 위한 투입



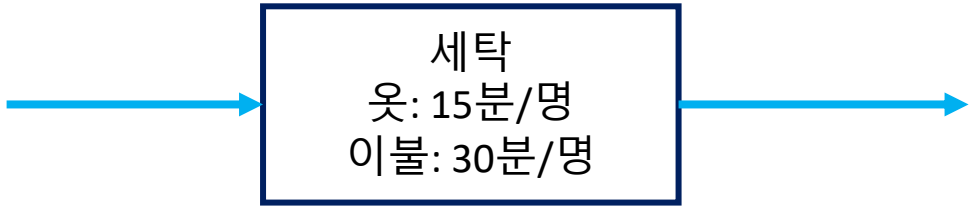
- Capacity = 1명/10분 = 6명/시간
- 10분에 1명이 투입되면 그 때의 Throughput Rate = Capacity

(4) 프로세스 성능 지표: Capacity

❑투입되는 Flow unit의 유형이 다양하고, task의 processing time이 달라지는 경우?

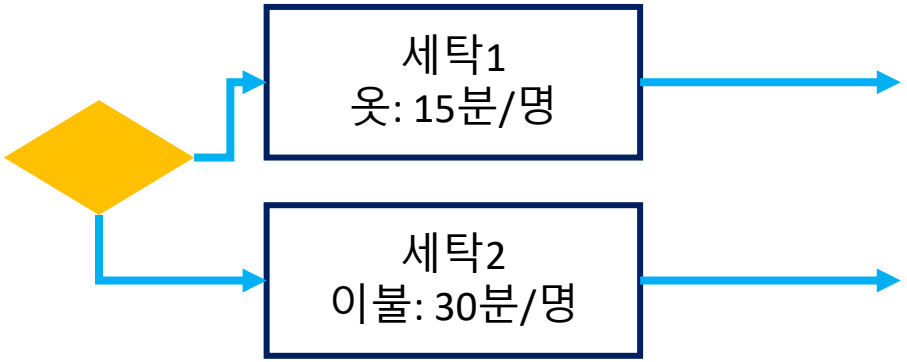
❑산출되는 Flow unit의 유형 간 비율 (Product-mix)에 따라서도 Capacity 변화함

- 여러 개의 장비를 이용하는 경우, 작업 할당 방식에 따라서도 변화함



- 옷:이불 = 1:1 일 때 capa? / 옷:이불 = 2:1 일 때 capa?

45분동안 2명 처리 60분으로 처리하면 3명이라 했는데 3명이 아니고 3분의 4회 잖아요 3분의 8회가 돼야대 2.x가 됨



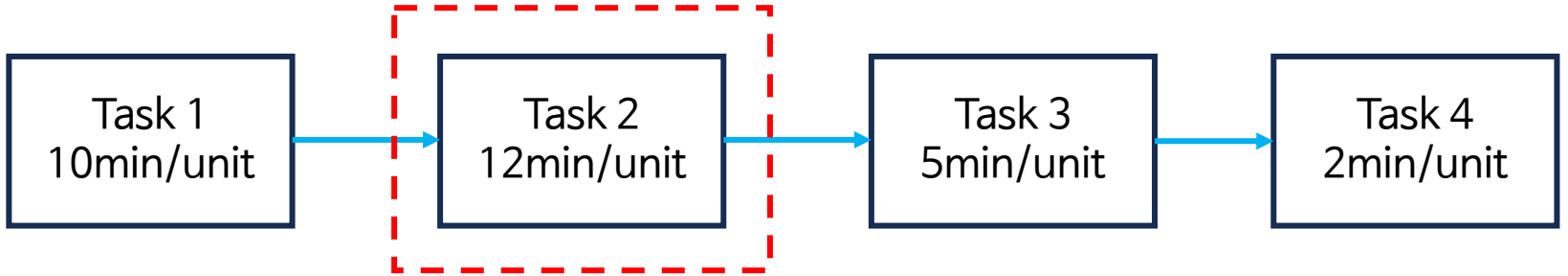
- 옷:이불 = 1:1 일 때 capa?
- 두 세탁기 모두 옷, 이불을 처리하는 경우?

주어진 운영시스템의 Capacity를 정의하려면? Flow unit의 product-mix가 필요함

3-2. Capacity 계산

(1) 단일 유형 Flow unit / Task 별 독립적인 Resource

❑병목 (Bottleneck) 공정: 전체 공정의 Throughput Rate를 제한하는 공정



병목 공정의 Capacity = 전체 프로세스의 Capacity

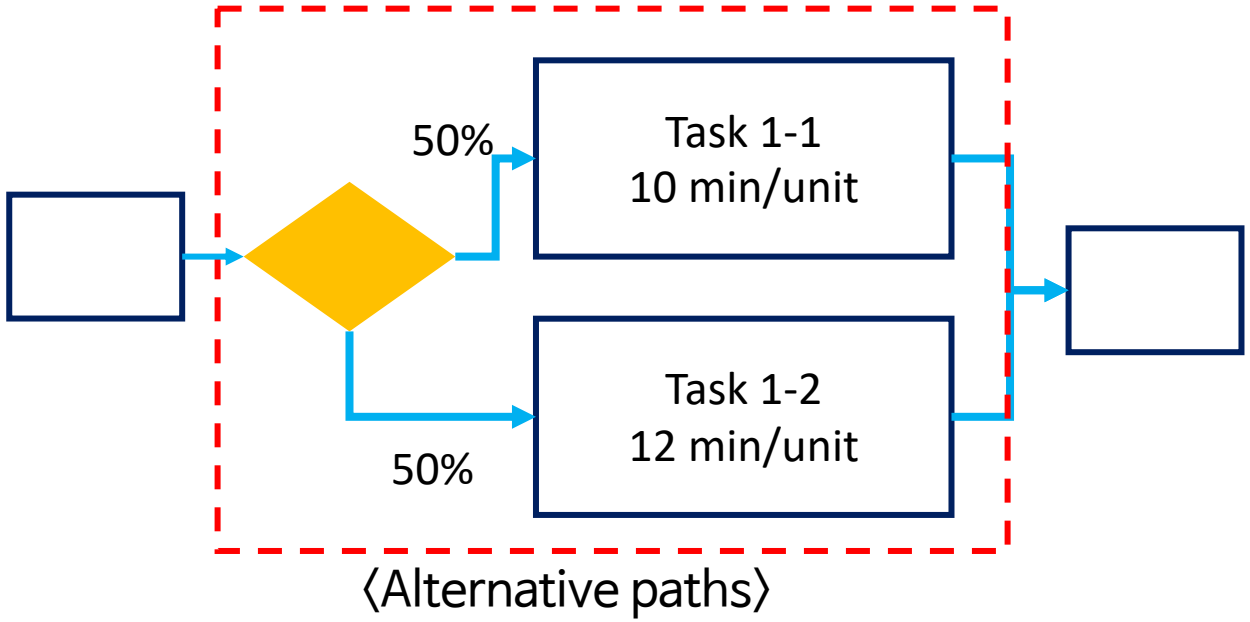
❑병목 공정을 찾아서 Capacity 계산하기 1

- Task 별 Capacity 도출 = available time/processing time; ex. 10min/unit = 6 unit / hour
  - Setup time이 있는 경우의 Capacity: $$\frac{\text{effective time}}{\text{effective time} + \text{setup time}} \times \frac{\text{available time}}{\text{processing time}}$$
  - Task 1: 40분 가동 후, 20분 준비작업이 필요하다면? Capacity는 4 unit / hour

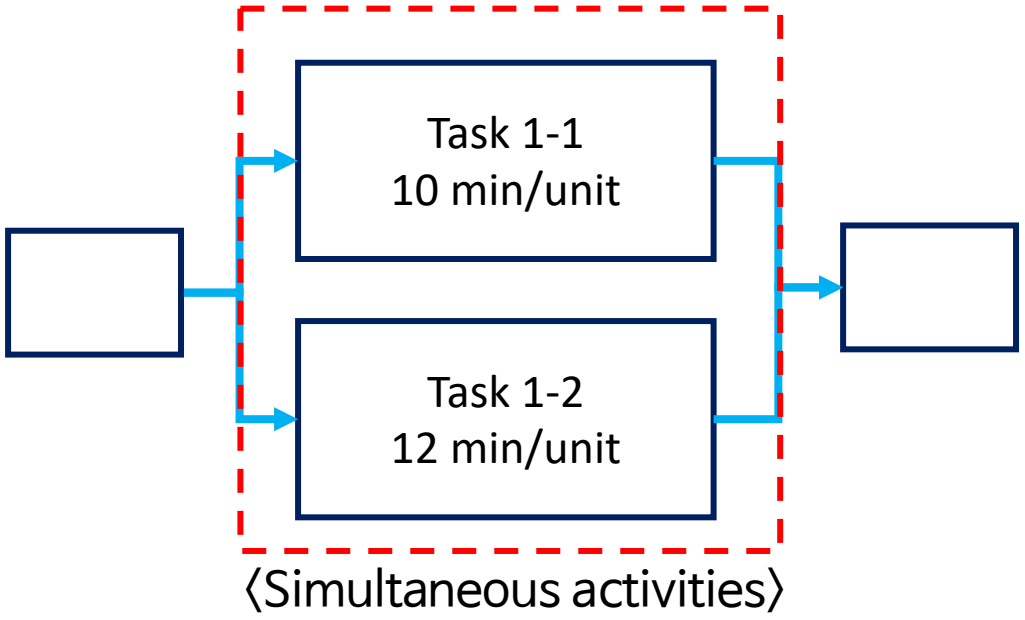
(1) 단일 유형 Flow unit / Task 별 독립적인 Resource

❑병목 공정을 찾아서 Capacity 계산하기 2

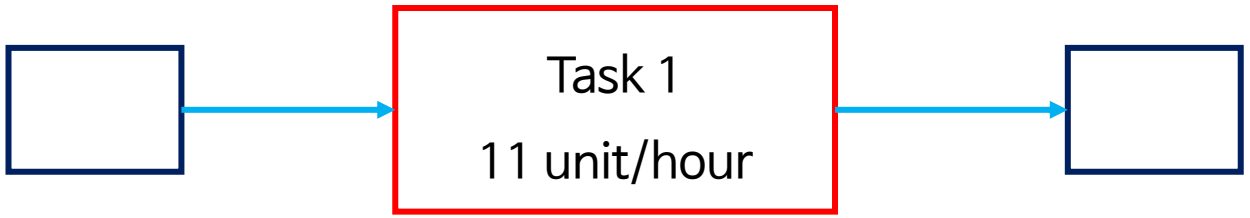
- 병렬 Task는 하나의 Task로 aggregation 가능

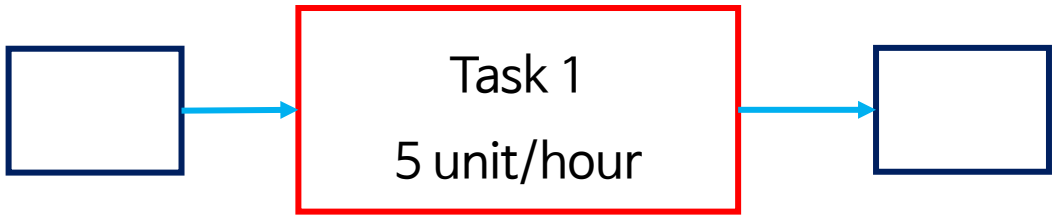


〈Alternative paths〉



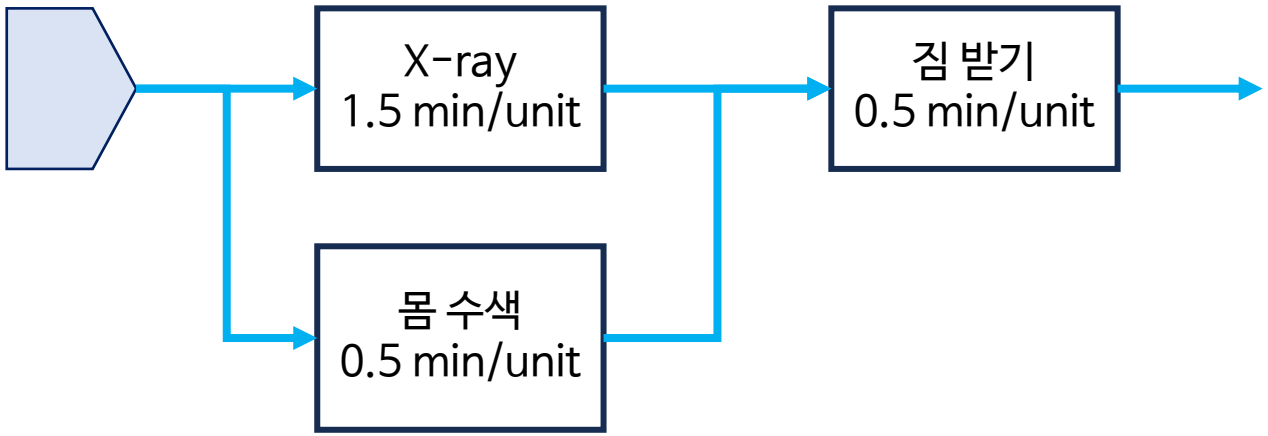
〈Simultaneous activities〉





(1) 단일 유형 Flow unit / Task 별 독립적인 Resource

❑공항 보안검색

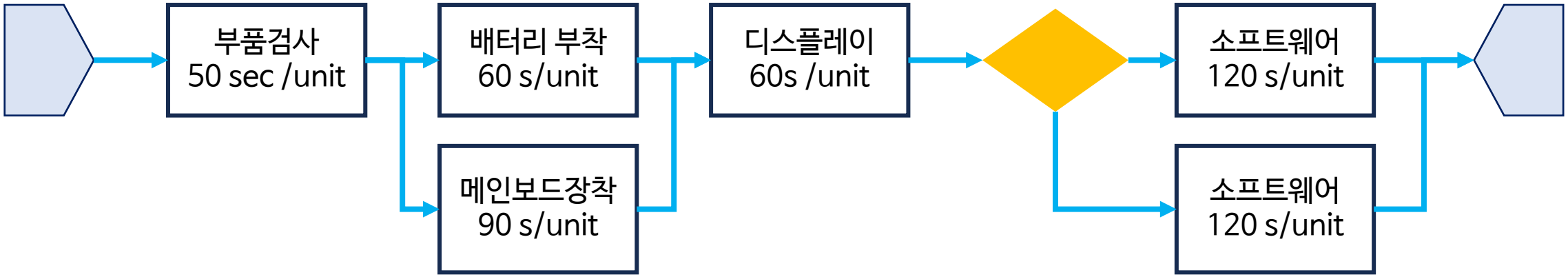


출국 수속 때마다 분통 터져…비행기 탑승에만 3시간 걸리는 인천공항, 왜?

인천공항이 시간대별 여객 수를 미리 제공해 혼잡 상황에 대비할 수 있도록 한 조치도 도움이 안 됐다. 전날 인천공항이 예고한 이날 출국 여객은 피크 시간대(오전 6~9시) 1만7700여 명을 포함해 총 7만여 명. 시간대별 최대 출국자는 6633명으로, 시간당 7000명 이상일 때 발령하는 경보 대상이 아니었다.

- 110대의 보안검색대

❑자동차 조립

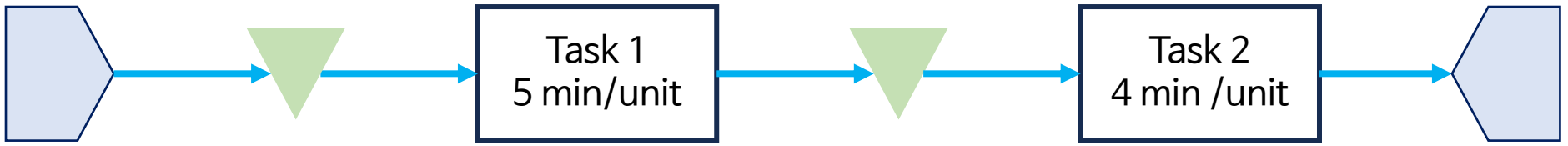


(2) 버퍼의 역할 2 - 병목 완화

❑버퍼는 프로세스의 병목을 완화시켜주기도 함

- Task 2: 40분 run + 20분 Setup time

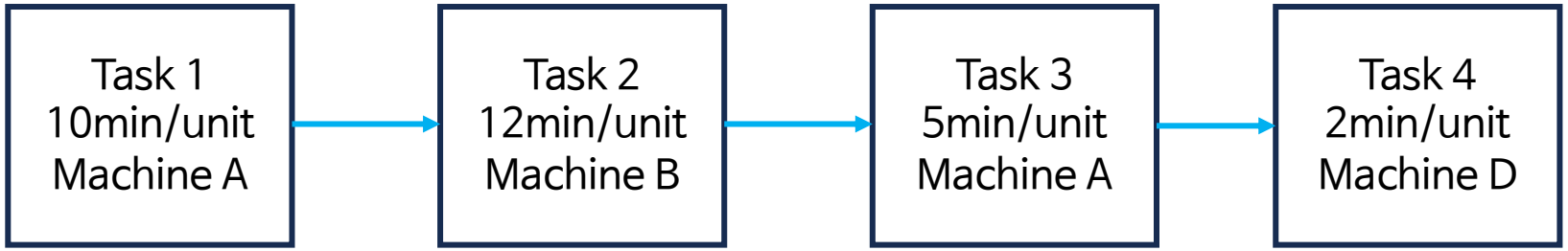
❑버퍼가 없는 경우의 capacity는?



❑버퍼가 있는 경우의 capacity는?

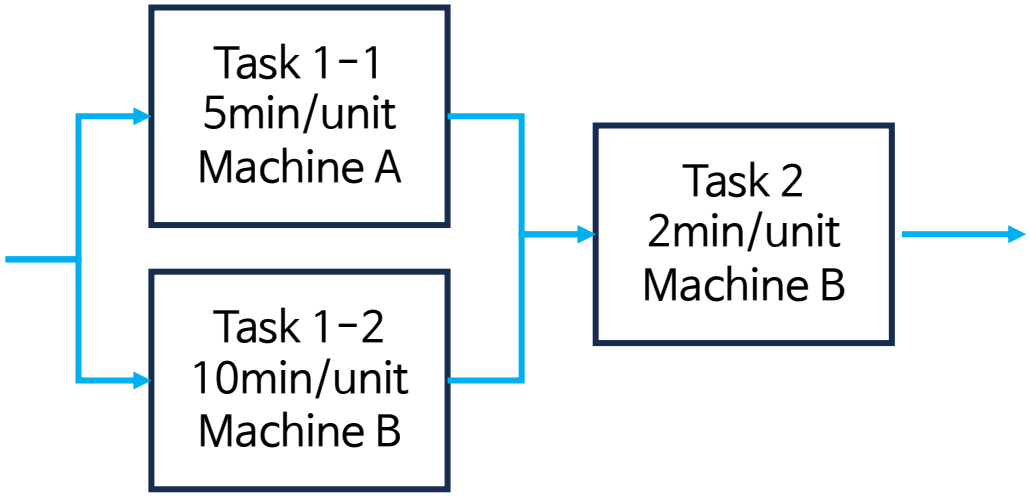
(3) 단일 유형 Flow unit / Task 별 Resource 공유

❑Machine A가 Task 1과 Task 3를 모두 수행



- 이 프로세스의 Capacity?

❑Machine B가 Step 1, 2를 모두 수행 가능



- 이 프로세스의 Capacity?

(3) 단일 유형 Flow unit / Task 별 Resource 공유

❑Capacity를 계산하기 위한 수학적 모형:

$$
\begin{aligned}
\max \quad & t \\
\text{s.t} \quad & 5x_{1A} \le 60 && \cdots \text{Machine A의 작업시간 분배} \\
& 10x_{1B} + 2x_{2B} \le 60 && \cdots \text{Machine B의 작업시간 분배} \\
& t \le x_{1A} + x_{1B} && \cdots \text{Step 1의 Capacity} \\
& t \le x_{2B} && \cdots \text{Step 2의 Capacity} \\
& t, x \ge 0
\end{aligned}
$$

- 어떻게 풀어야할까?

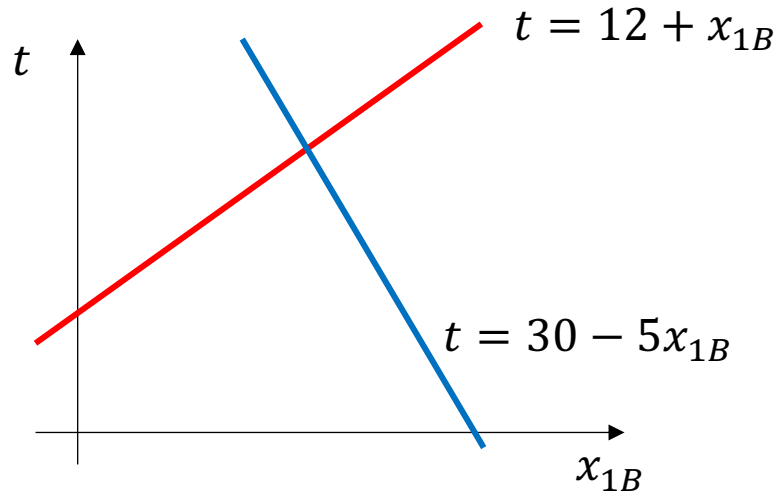
✓ 변수 변환

$$x_{1A} = 12$$
$$x_{2B} = 30 - 5x_{1B},\ 0 \le x_{1B} \le 6$$

$$\begin{cases} t \le 12 + x_{1B} \\ t \le 30 - 5x_{1B} \end{cases}$$

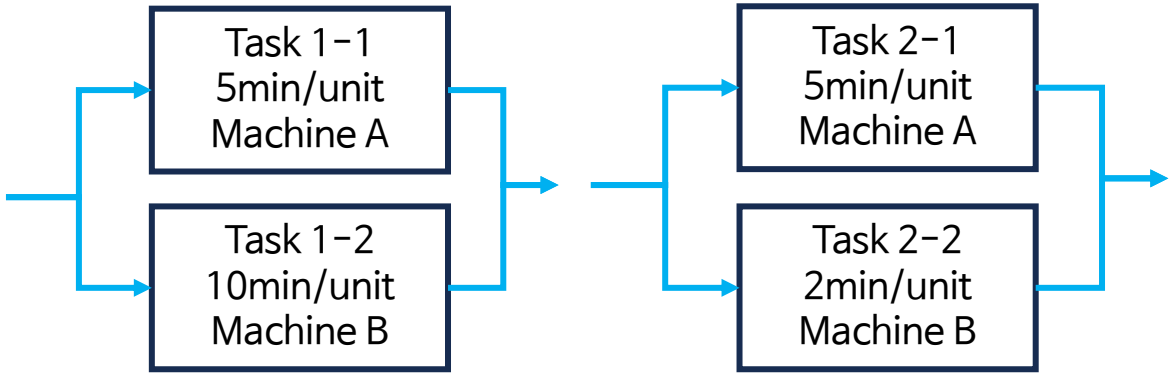
✓ t와 x_{1B}에 대한 그래프

t의 최댓값은?



(3) 단일 유형 Flow unit / Task 별 Resource 공유

❑Machine A, B가 Step 1, 2를 모두 수행 가능



- 이 프로세스의 Capacity?

❑Capacity를 계산하기 위한 수학적 모형:

$$
\begin{aligned}
\max \quad & t \\
\text{s.t} \quad & 5x_{1A} + 5x_{2A} \le 60 && \cdots \text{Machine A의 작업시간 분배} \\
& 10x_{1B} + 2x_{2B} \le 60 && \cdots \text{Machine B의 작업시간 분배} \\
& t \le x_{1A} + x_{1B} && \cdots \text{Step 1의 Capacity} \\
& t \le x_{2A} + x_{2B} && \cdots \text{Step 2의 Capacity} \\
& t, x \ge 0
\end{aligned}
$$

- 어떻게 풀어야할까?

✓ 변수 변환

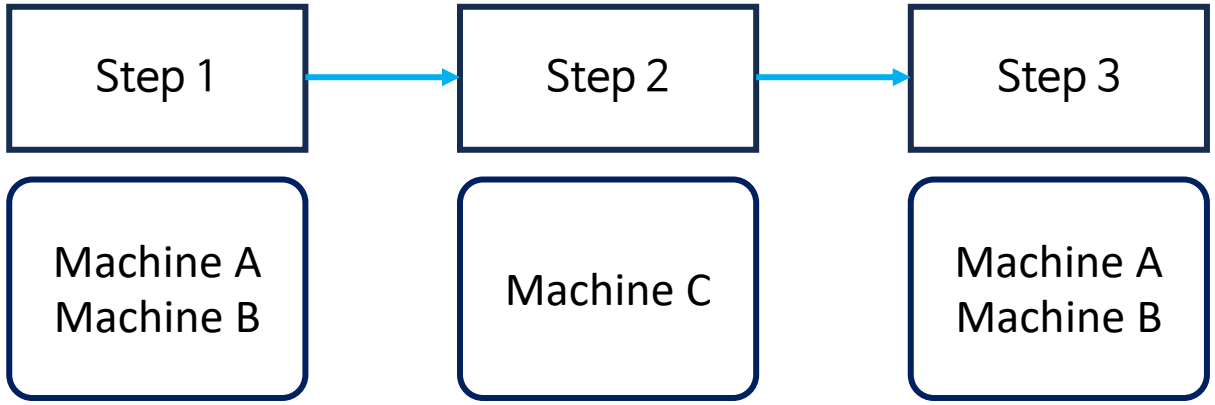
$$
\begin{cases} x_{2A} = 12 - x_{1A},\ 0 \le x_{1A} \le 12 \\ x_{2B} = 30 - 5x_{1B},\ 0 \le x_{1B} \le 6 \end{cases}
$$

$$
\begin{cases} t \le x_{1A} + x_{1B} \\ t \le 42 - x_{1A} - 5x_{1B} \end{cases}
$$

✓ 3차원 그래프 ?

(4) 여러 유형의 Flow unit / Task 별 Resource 공유

❑다음의 프로세스를 통해 2가지 제품이 생산됨 (제품 1, 제품 2)



❑각 제품-machine-step 별 processing time이 다음과 같음

Product	Step	Machine	Processing Time (sec)
1	1	A	60
		B	30
	2	C	10
	3	A	20
		B	30

Product	Step	Machine	Processing Time (sec)
2	1	A	30
		B	40
	2	C	20
	3	A	40
		B	50

(4) 여러 유형의 Flow unit / Task 별 Resource 공유

❑제품 1: 제품2 = 2:1 비율로 생산할 때 Capacity는?

$$
\begin{aligned}
\max \quad & t_1 \\
\text{s.t} \quad & 60x_{1A}^1 + 20x_{3A}^1 + 30x_{1A}^2 + 40x_{3A}^2 \leq 3600 \\
& 30x_{1B}^1 + 30x_{3B}^1 + 40x_{1B}^2 + 50x_{3B}^2 \leq 3600 \\
& 10x_{2C}^1 + 20x_{2C}^2 \leq 3600 \\
& t_1 \leq x_{1A}^1 + x_{1B}^1 \\
& t_1 \leq x_{2C}^1 \\
& t_1 \leq x_{3A}^1 + x_{3B}^1 \\
& t_2 \leq x_{1A}^2 + x_{1B}^2 \\
& t_2 \leq x_{2C}^2 \\
& t_2 \leq x_{3A}^2 + x_{3B}^2 \\
& t_1 = 2t_2 \\
& t_1, t_2, x \geq 0
\end{aligned}
$$

- t_1의 1.5배가 capacity가 됨
- 어떻게 풀어야할까?
  - 최적화 소프트웨어 활용

(5) Capacity 계산의 현실적 어려움

❑프로세스의 변동성 (Variability)

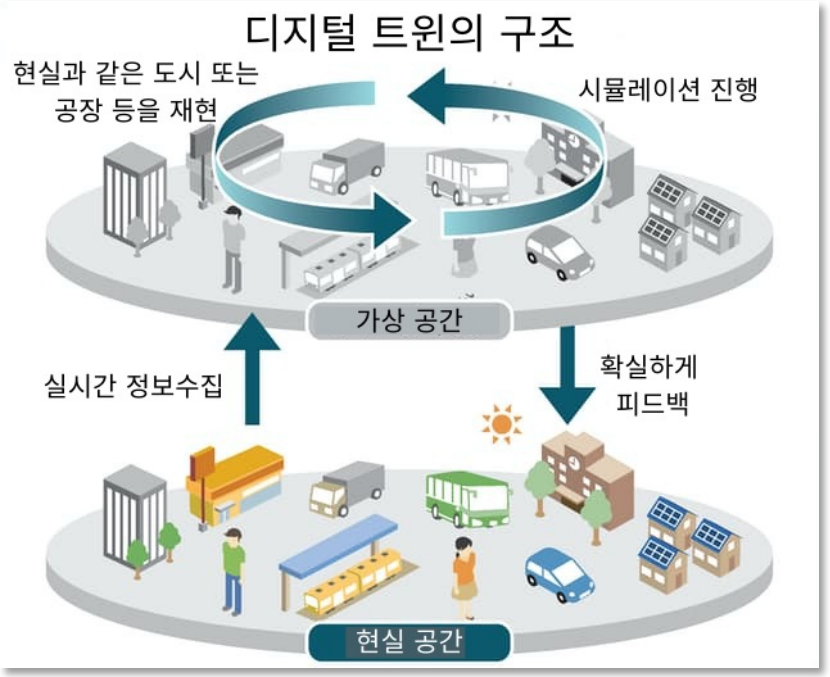
- Processing time이 일정하지 않음: 장비의 마모 상태, 인력의 숙련도 등
- 자원의 available time이 일정하지 않음: 장비는 오래될 수록 고장 빈도 증가, 수리 시간도 달라짐
- 품질이 일정하지 않음: 재작업 필요한 산출물의 비율이 변하게 되면 capacity가 변화함

❑프로세스의 복잡성 (Complexity)

- 공정 간 의존성: 제품에 따라 공정 간 관계를 고려해야하는 경우가 있음
  - 이전 step에서 특정 기계에 의해 처리 → 이후 step에서도 특정 기계에 의해 처리
  - 생산 제품 변경 시, 준비시간이 변경 전 제품과 변경 후 제품에 따라 달라질 수 있음

❑프로세스의 Capacity는 현실적으로 계산이 어려움:

- Capacity 추정을 위한 프로세스 단순화 및 근사
- 현실의 프로세스와 똑같은 모형을 만들자! – 디지털 트윈 (Digital Twin)

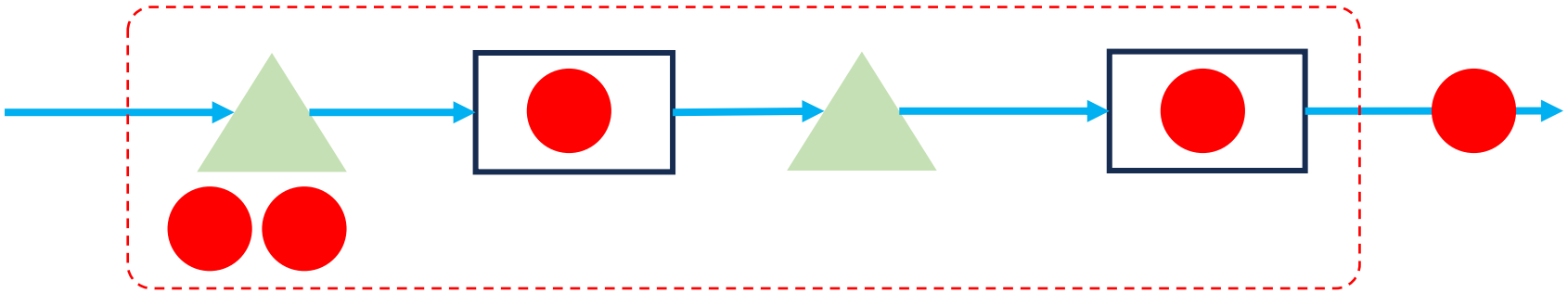


3-3. 프로세스 성능 지표: 응용

(1) WIP (Work In Process)

❑WIP (Work In Process, 공정 중 재고)

- 프로세스 내에 존재하는 flow unit의 평균 수
- Task를 처리받고 있는 flow unit + 대기중인 flow unit
  - 공항 보안검색대: 검사받고 있는 승객 + 대기 승객; 병원: 진료/처방받고 있는 환자 + 대기 환자
- 운영시간 중 프로세스의 사진을 찍었을 때, 프로세스 내부 flow unit의 개수 평균



❑“공정 중” 재고이지만, 완제품 재고를 포함할 수 있음

- 제조시스템의 경우, 재고를 반제품/완제품 재고 구분
- 프로세스의 범위에 따라 WIP에 완제품도 포함될 수 있음

(2) Little's Law

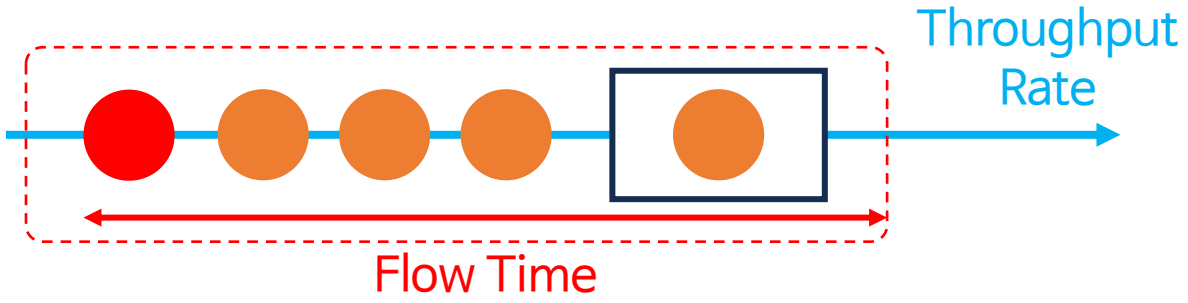
❑WIP이 중요한 이유?

- 과도한 WIP = 운영 비용 증가: 재고 유지 비용의 증가, 투자한 비용이 많이 묶여있게 됨 ⇒ 자금 회전율의 감소
- WIP은 적정수준을 유지해야 함: 수요 증가 대응 vs 재고 비용
  - 수요 증가 대응: WIP을 많이 보유하면 단기적인 수요 증가 시 쉽게 대응할 수 있음 (Throughput 증가)

Little's Law (리틀의 법칙)

- 프로세스가 '정상' 상태일 때, Throughput Rate, Flow Time, WIP 사이의 관계를 설명
- 정상 상태: 수요와 공급 (Throughput Rate) 이 같은 상태 (평균 수요율로 긴 시간이 유지된 상태)
  - 정상 상태가 아닌 경우 (수요가 Capacity를 초과), Flow Time과 WIP은 무한히 증가

$$\text{WIP} = \text{Flow Time} \times \text{Throughput Rate}$$



Flow Time 동안 프로세스에서 산출되는 Flow unit 수 = 처리 중인 재고 + 대기 재고

(2) Little's Law

❑Little's Law는 세 지표 중 두 개의 값을 알 때, 나머지 하나의 값을 구할 때 활용함

- 보통 Flow Time, Throughput Rate 측정하여 WIP을 계산

〈예제 11-1〉

어느 자동차 회사는 한 공장에서 자동차를 조립하며 중국에 있는 공급업체로부터 배터리를 구매한다. 배터리 하나당 평균 구매비용은 45달러이다. 구매한 배터리가 공장에 도착한 시점부터 이에 대한 소유권이 자동차 회사에 넘어간다. 공장에서 한 대의 자동차를 조립하는 데 정확히 12시간에 소요되며 공장은 8시간의 교대 근무시간(현재 이 공장은 하루에 하나의 교대 근무시간만 운영한다) 동안 200대의 자동차를 조립한다. 자동차 한 대당 하나의 배터리가 사용된다. 이 회사는 버퍼로서 평균 8,000개의 배터리를 원자재 재고로 공장에 보관하고 있다.

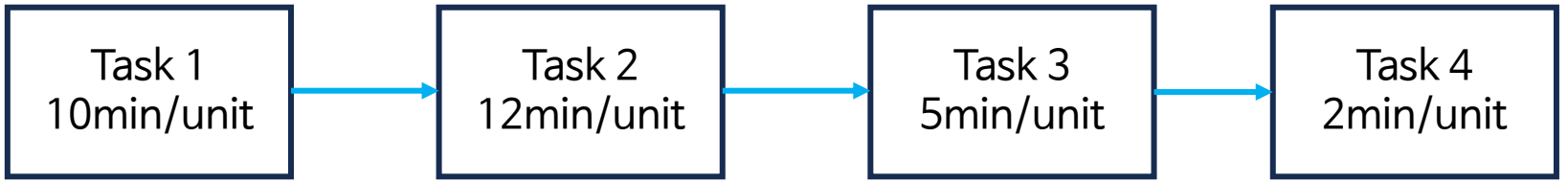
- 이 공장의 WIP은?

(3) Utilization

(Process) Utilization (활용률):

- **프로세스를 얼마나 활용하고 있는지를 나타내는 지표**

$$\text{Utilization} = \frac{\text{Throughput Rate}}{\text{Capacity}}$$



- Throughput Rate = 3 unit/hour
- Utilization = ?

❑보통 Utilization은 100%로 유지되지 않음:

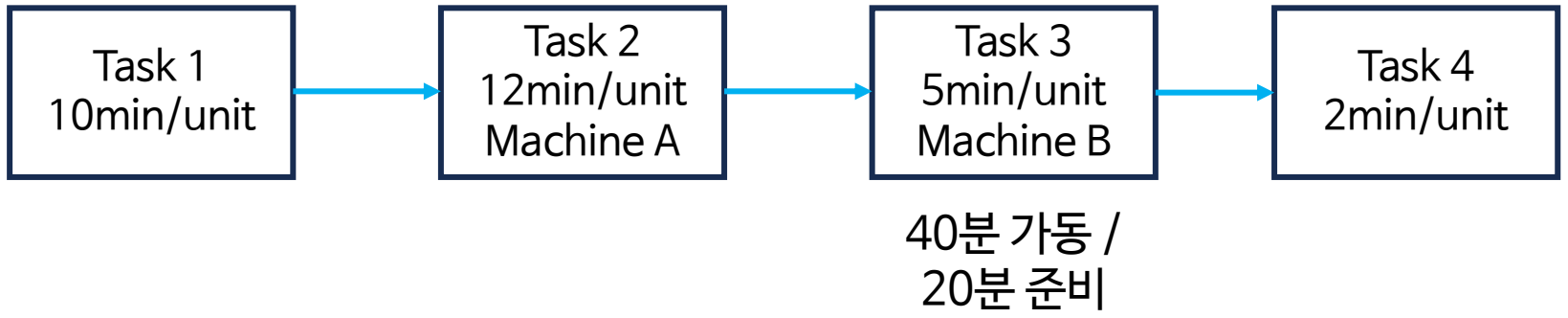
- 유연성 vs 품질: 수요 변동성에 대한 대응 / 인력, 설비가 유휴시간 없이 가동되면 오류 발생 확률 증가
- 적정 수준을 유지하는 것이 필요함

(3) Utilization

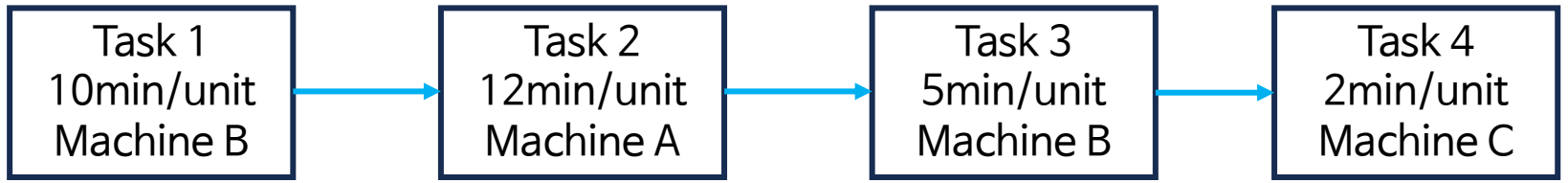
Resource Utilization (활용률):

- **자원을 얼마나 활용하고 있는지를 나타내는 지표**

$$\text{Utilization} = \frac{\text{Run time}}{\text{Effective time}}$$



- Throughput Rate = 3 unit/hour
  - Utilization of Machine A, B?
- Throughput Rate = 5 unit/hour
  - Utilization of Machine A, B?



- Throughput Rate = 4 unit/hour
  - Utilization of Machine B?

❑ 어떤 Task에 필요한 자원들의 Utilization이 모두 100% = Bottleneck

(4) WIP 관련 성능 지표

Total average value of inventory (총 평균 재고 가치):

- **WIP이 지니고 있는 비용 (원자재 재고, 반제품 재고, 완제품 재고들의 가치)**

❑ 어떤 Task에 필요한 자원들의 Utilization이 모두 100% = Bottleneck

Inventory Turns (재고회전율):

- **WIP에 속한 Flow unit들이 교체된 횟수**

$$\text{Inventory Turns} = \frac{1}{\text{Flow Time}} = \frac{\text{Throughput Rate}}{\text{WIP}} = \frac{\text{매출원가}}{\text{총 평균 재고 가치}}$$

- 높은 재고회전율: 재고가 빠르게 소진, 낮은 재고 비용
  - 높은 현금회전율: 운영 자금, 투자금 확보
  - 수요 변화에 대한 유연한 대응

(4) WIP 관련 성능 지표 예시

- 공급일수 (days-of-supply): Inventory Turns의 역수

〈예제 11-1〉

어느 자동차 회사는 한 공장에서 자동차를 조립하며 중국에 있는 공급업체로부터 배터리를 구매한다. 배터리 하나당 평균 구매비용은 45달러이다. 구매한 배터리가 공장에 도착한 시점부터 이에 대한 소유권이 자동차 회사에 넘어간다. 공장에서 한 대의 자동차를 조립하는 데 정확히 12시간에 소요되며 공장은 8시간의 교대 근무시간(현재 이 공장은 하루에 하나의 교대 근무시간만 운영한다) 동안 200대의 자동차를 조립한다. 자동차 한 대당 하나의 배터리가 사용된다. 이 회사는 버퍼로서 평균 8,000개의 배터리를 원자재 재고로 공장에 보관하고 있다.

과제: 공장 내에 있는 총 배터리 개수(공장 내 재공품 및 원자재 재고)의 평균은 얼마인가? 이 배터리의 가치는 얼마인가? 원자재 재고량의 공급일수는 평균적으로 얼마인가?

- 원자재 재고량의 공급일수는?
- 전체 재고에 대한 Inventory Turns?

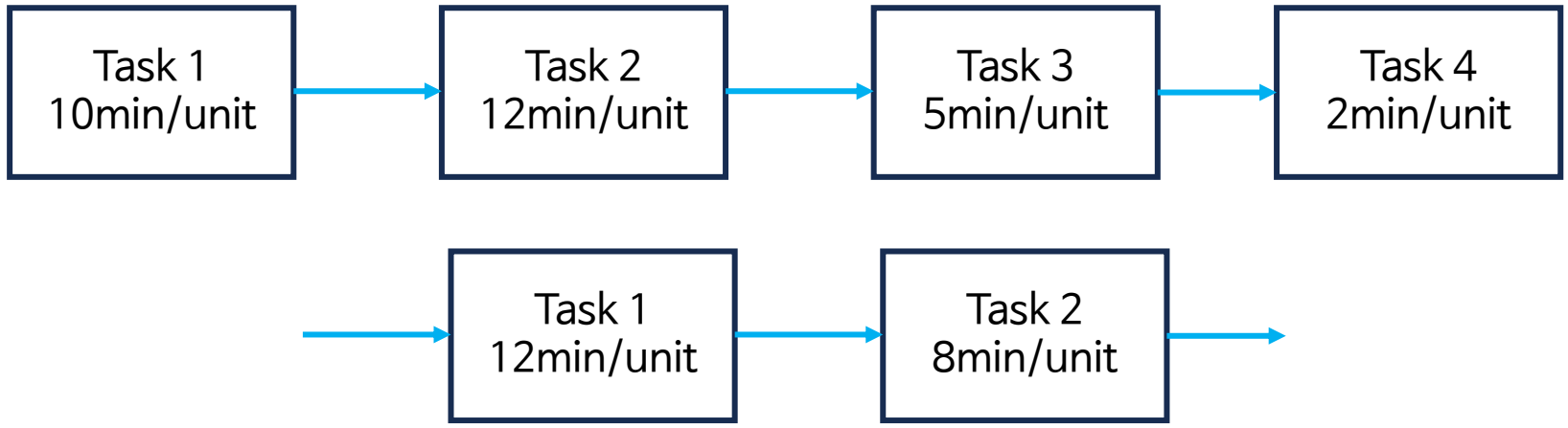
(5) Process Velocity (프로세스 속도)

Process Velocity (프로세스 속도) 안봐도됨

- **Flow Time 중 실질적으로 작업이 이루어지는 시간의 비율**

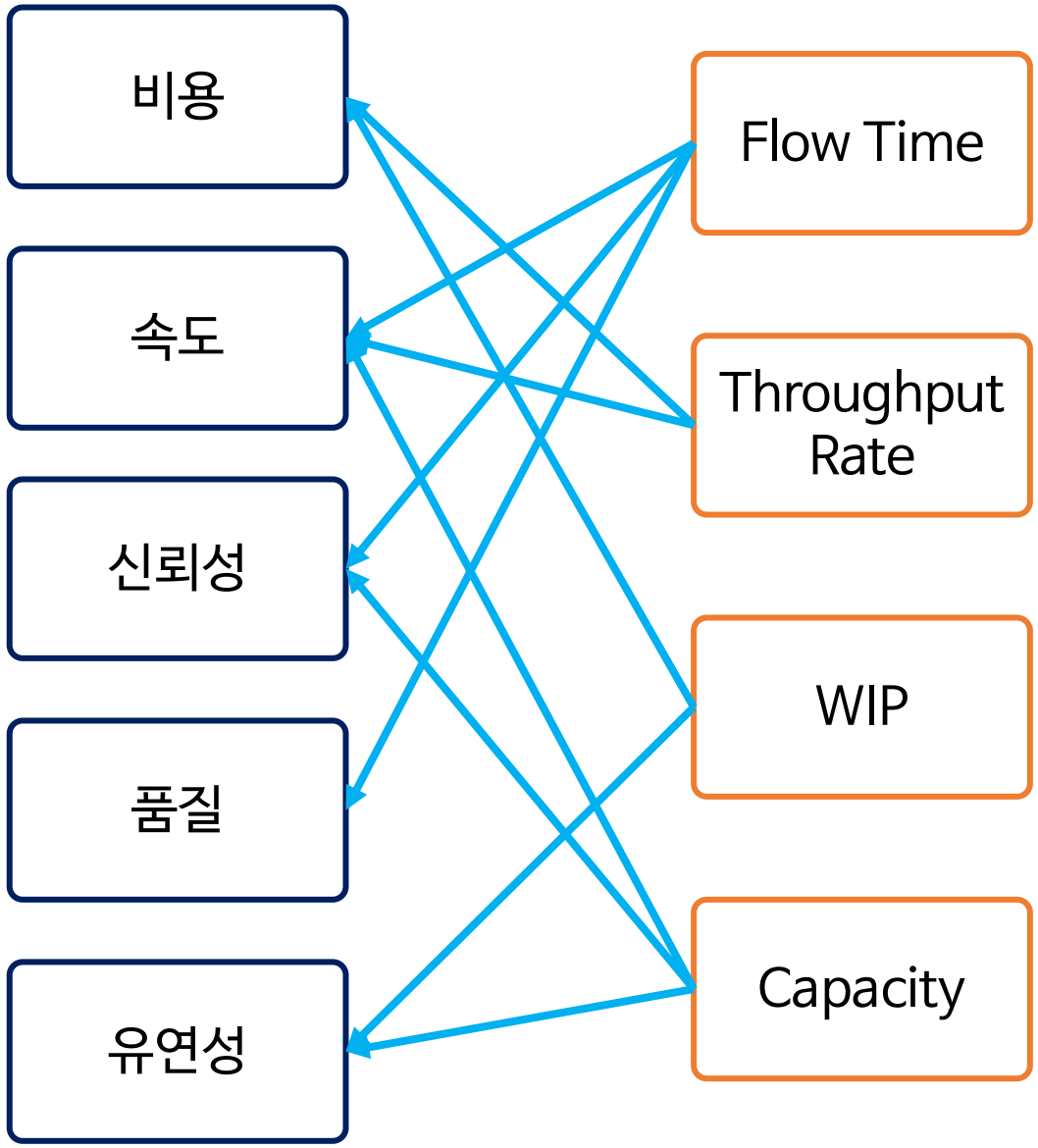
$$\text{Process Velocity} = \frac{\text{Operation Time}}{\text{Flow Time}}$$

- Process Velocity ↑ ⇒ 전체 시간 중 대기시간이 상대적으로 짧다는 것을 의미
- 대기시간이 얼마나 긴지 상대적으로 표현하는 지표



- 둘 다 Flow Time = 30 min
- Process Velocity?

(6) 프로세스 성능 지표와 운영전략의 관계



- 속도: 제품/서비스 제공 속도와 연관
- 신뢰성: Flow Time의 변화를 관리해야 납기 예측 가능
- 품질: 품질 문제 발생 시 신속한 수정 가능

- 속도: 제품/서비스 제공 속도와 연관
- 비용: 고정비 분산 효과 = 단위 비용 변화

- 비용: 재고 보관 비용 변화
- 유연성: 수요 변화에 따라 프로세스 전환 빠름; product mix 변화 시

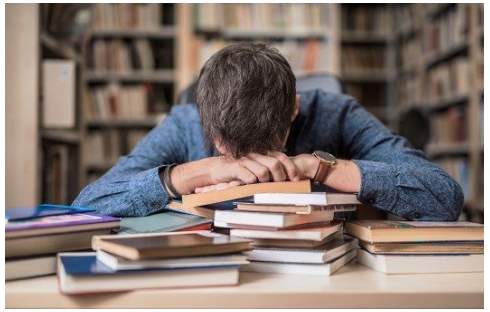
- 속도: 최대 속도 제한
- 신뢰성: 여유있는 Capacity 유지 = Flow Time 변동성을 줄일 수 있음
- 유연성: 수요 급증 / product mix 변경에 유연하게 대처 가능

4. 프로세스 성능 변화 요인

(1) 프로세스 성능에 영향을 미치는 요인

❑변동성 (Variability): 어떤 값이 변화하는 정도

- 수요 변동성: Flow unit이 프로세스에 투입되는 시간 간격의 변화 정도
  - 대중교통 승객은 출퇴근 시간에 가장 많음
- 프로세스 변동성: Task들의 processing time, operation time 등의 변화 정도
  - 식당에서 주문받은 음식에 따라 시간이 다르게 걸림
  - 매일 공부량이 달라짐

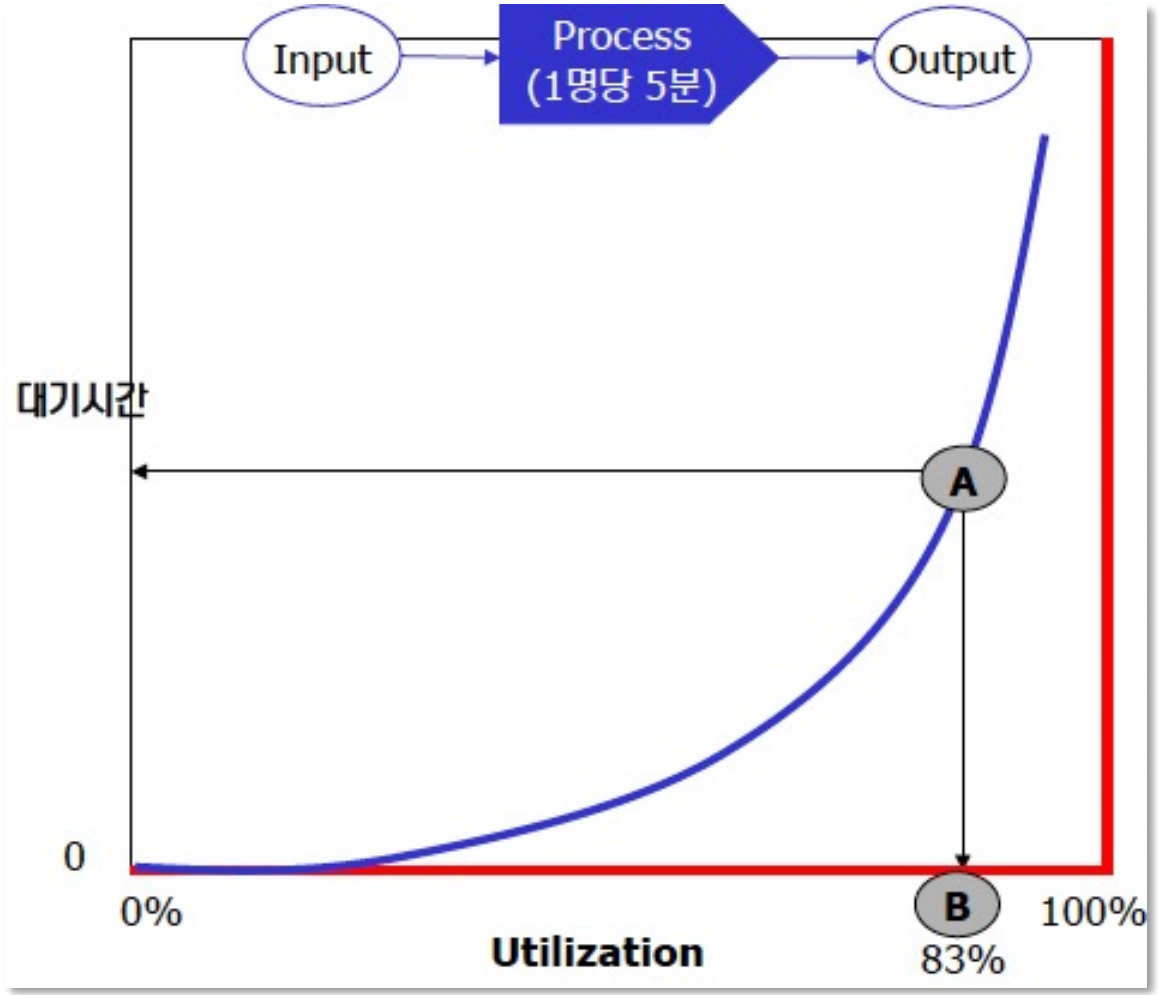


❑분산(Variance)을 활용하여 변동성을 비교

- 평균에 대한 상대성을 고려하기 위해 분산계수(Coefficient of variance, CV) 를 활용하기도 함
- 평균 10분 걸리는 작업, 표준편차 1분 vs 평균 2분 걸리는 작업, 표준편차 1분?

$$\mathrm{CV} = \frac{\mathrm{Mean}}{\mathrm{Standard\ deviation}}$$

(2) 변동성과 프로세스 성능



❑변동성의 영향: 대기시간을 발생시킴

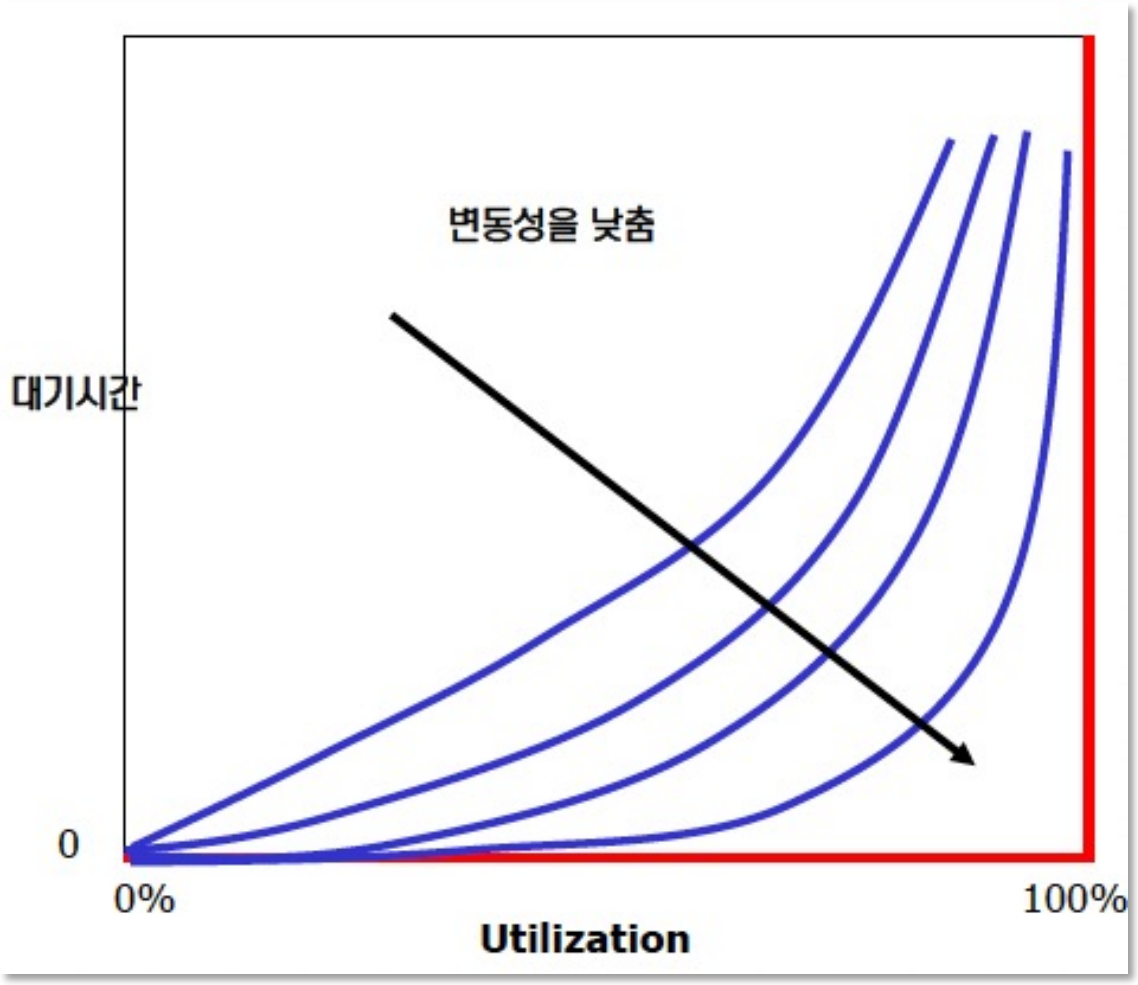
❑대기시간의 길이는 변동성의 크기와 utilization에 비례

- 같은 변동성이 발생하더라도 ,
  utilization에 따라 발생되는 대기 시간이 다름
- 식당에서 갑자기 손님이 많이 오는 경우
  - 10% → 20% 늘어날 때보다
    80% → 90% 늘어날 때 추가되는 대기시간 김

❑단순한 프로세스의 경우:

$$\text{대기시간} \propto \frac{\text{utilization}}{1 - \text{utilization}}$$

(2) 변동성과 프로세스 성능



❑변동성의 영향: 대기시간을 발생시킴

❑대기시간의 길이는 변동성의 크기와 utilization에 비례

- 같은 utilization이더라도,
  변동성이 커질수록 대기시간이 길어짐
  - 변동성의 크기 제곱에 비례

❑Utilization이 높을 때, 변동성의 증가는 대기시간을 크게 증가시킴

- 배수는 같지만, 절대량이 폭증
- 서비스 운영시스템의 경우, 절대적인 대기시간에 따라 고객만족도가 크게 하락함

(3) 변동성 대응

❑긴 대기시간은 Throughput Loss를 유발함

- 특히 서비스 운영시스템에서 대기시간이 길면 고객이 떠날 확률 증가 → Throughput 감소 = 매출 하락

❑Utilization을 높게 유지하는 것은 위험

- 고정 비용은 줄어들겠지만, 변동성에 의해 대기시간 폭증: WIP 폭증
  - 재고 비용 증가, 재고회전율 감소
  - 속도 저하, 신뢰성 하락, 단기간 품질 저하

❑변동성이 큰 경우에는 utilization을 낮게 유지하거나 단기적 capacity 상승 전략을 마련하는 것이 바람직함

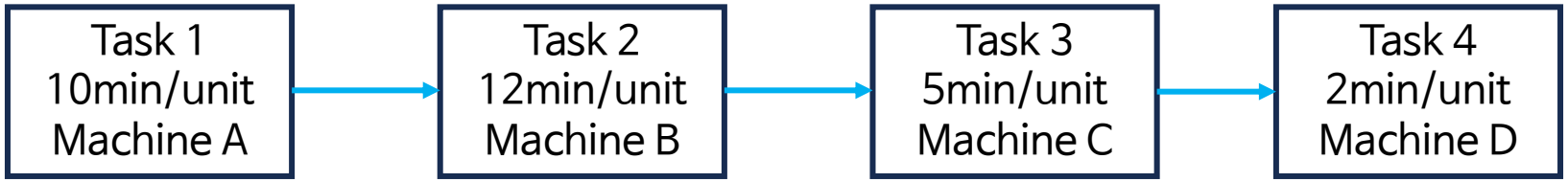
- Capacity 확보: 파트타임, 외주
- 변동성을 줄이는 것이 가장 바람직한 방법이긴 함: 마케팅을 활용한 수요 조절 (여름에 싸게 패딩 팔기)

(4) 프로세스 개선

❑프로세스 개선을 위한 일반적인 방법

- 병목공정 개선
  - 병목공정의 추가 자원 투입
  - 불필요한 작업 없애기 (processing time 감소)
- 대기시간 감소: 수요와 별개로 투입을 조절할 수 있는 경우, 대기시간을 줄이도록 투입 계획을 수립
  - 식당 예약, 예상 대기시간 고지
- 변동성 감소: 발생할 수 있는 불확실성을 줄임
  - 설비의 정기적 점검, 인력 관리
  - 수요의 쏠림 현상 제거: 에어컨 겨울 특판, 공항 예상 대기시간 공지

(4) 프로세스 개선



- Capacity를 늘리기 위해서는 어떤 자원을 추가적으로 투입해야하는가?
- Capacity를 늘리기 위해서는 어떤 공정의 processing time을 단축시켜야 하는가?
- 시간 당 4개의 제품을 생산하려고 할 때, 대기시간을 줄이기 위한 적절한 투입 시간 간격은?
- Machine C의 고장률이 높아서 40분 run, 20분 정비시간을 도입하려고 할 때, Capacity 변화는?

5. 프로세스 설계

(1) 프로세스 설계 (Process Design)

❑제품/서비스를 생산하기 위한 프로세스 흐름과 자원 배치 결정

- 운영시스템을 설계하기 위한 청사진

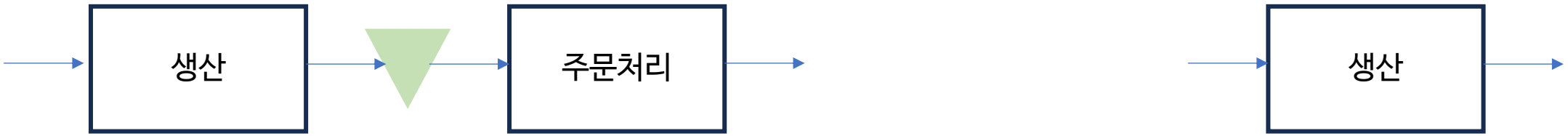
❑프로세스 설계 절차

목표 설정 및 요구사항 정의	• 프로세스의 운영 목표 설정: 비용, 품질, 속도, 신뢰성, 유연성 • 어떤 운영 목표를 우선 순위로 둘 것인가?
생산 및 재고 전략/ 공정 유형 결정	• 생산 및 재고 전략: 미리 생산 vs 주문 후 생산 • 공정 유형: 공정의 방식; ex) 라인 생산 vs 프로젝트형 생산
Capacity 결정	• 예측된 수요에 따라 필요한 Capacity 결정 • 변동성에 대응하기 위해 얼마나 여유를 둘 것인가?
프로세스 Flow 설계/ 자원 배치	• 필요한 Task 파악 / 순서 결정 • Task 별 필요 자원 정의 / Task 별 배치

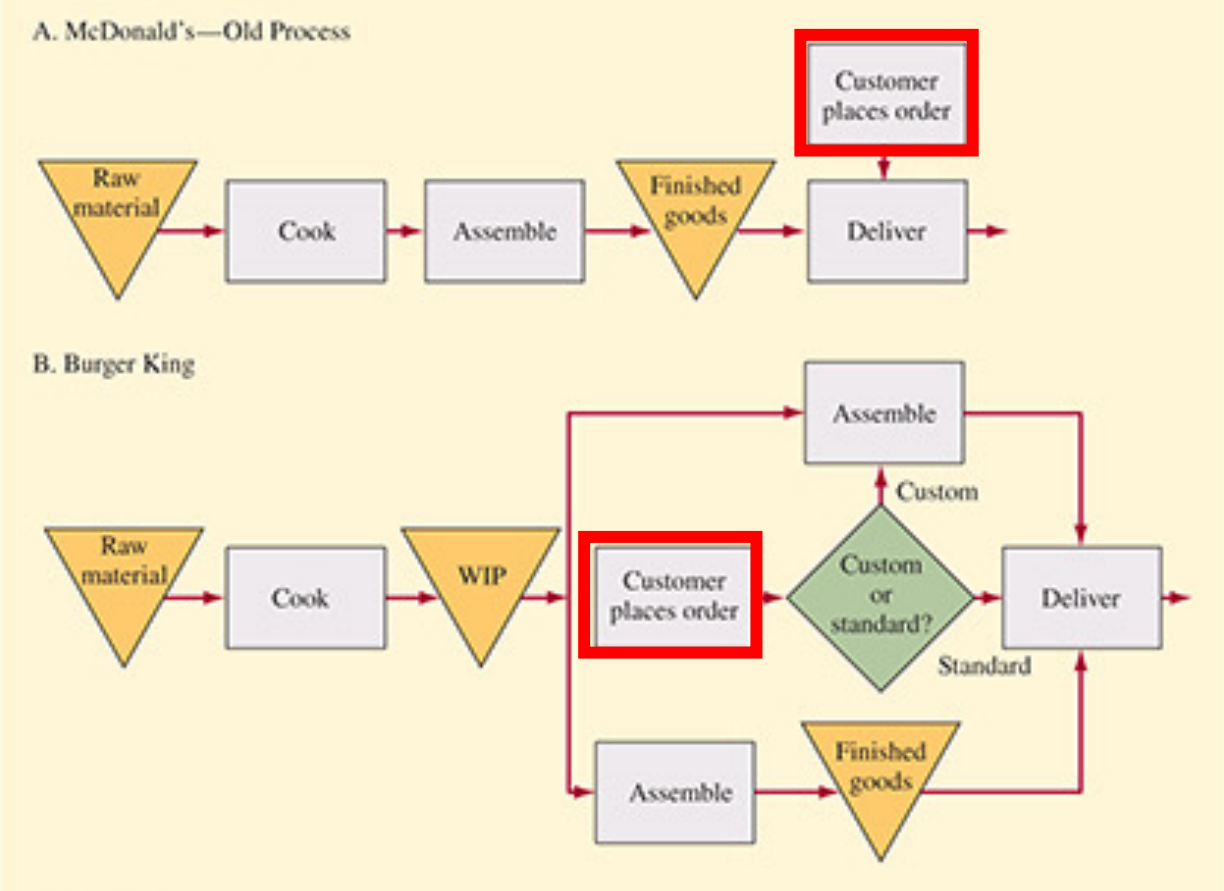
(2) 생산 및 재고 전략

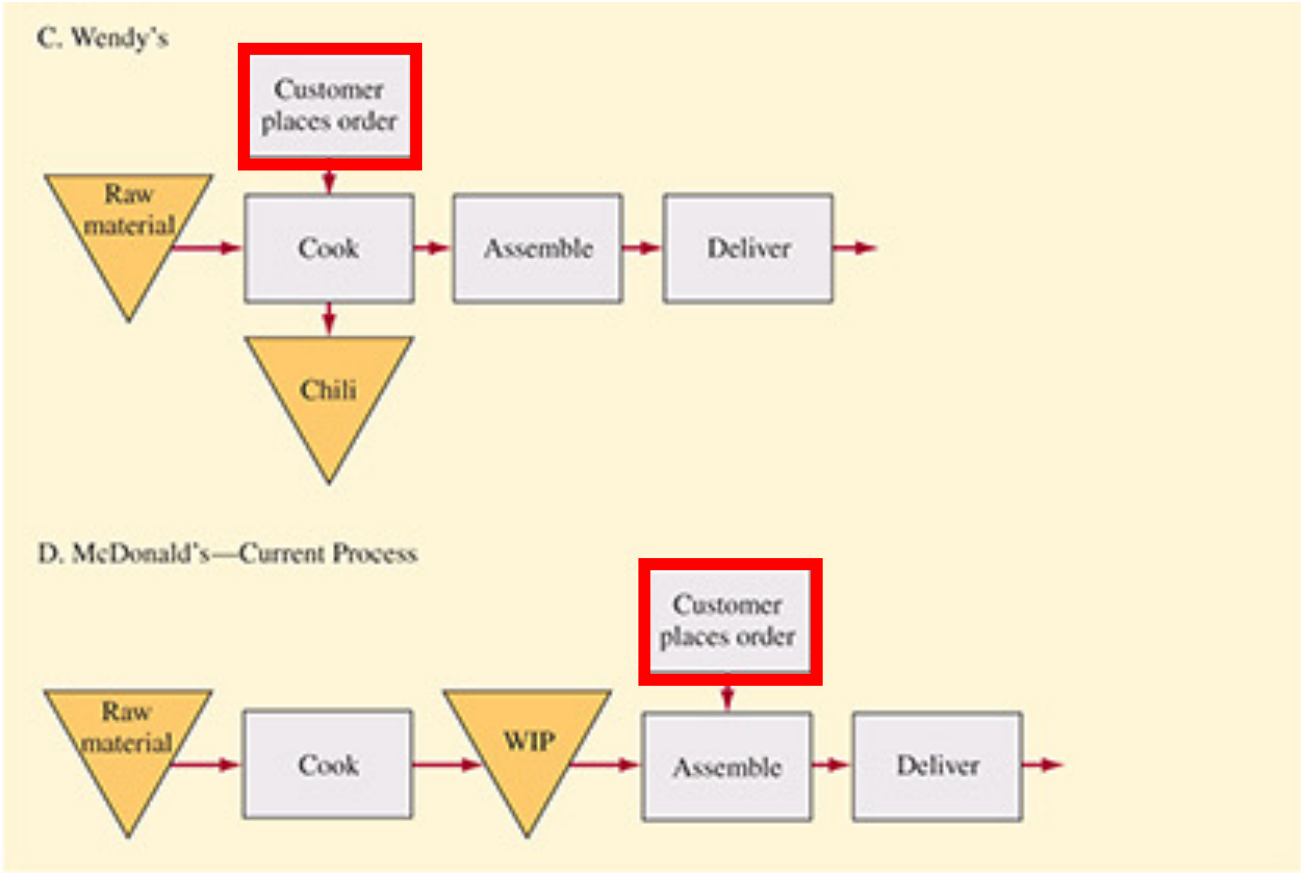
- 생산과 주문 시기에 따른 공정 분류

계획생산, MTS (Make-to-stock)	• 미리 수요를 예측하여 표준화된 제품을 생산, 재고에 보관 → 정확한 수요 예측 필요 • 완제품 재고로부터 고객의 수요를 충족시킴 • 표준화된 제품 (다양성 ↓), 재고량 ↑; 주문 처리 속도 ↑
주문생산, MTO (Make-to-order)	• 고객의 주문 접수 후 제품/서비스 생산을 시작 • 다양성 ↑, 재고량 ↓, 주문 처리 속도 ↓ • 생산의 속도가 중요: 고객 주문부터 제품/서비스 전달 받을 때까지의 시간
혼합생산, ATO (Assemble-to-order)	• 계획생산 + 주문생산 • 반제품, 부품은 계획 생산; 이후에 완제품 조립 (주문 생산)



(2) 생산 및 재고 전략 – 예시





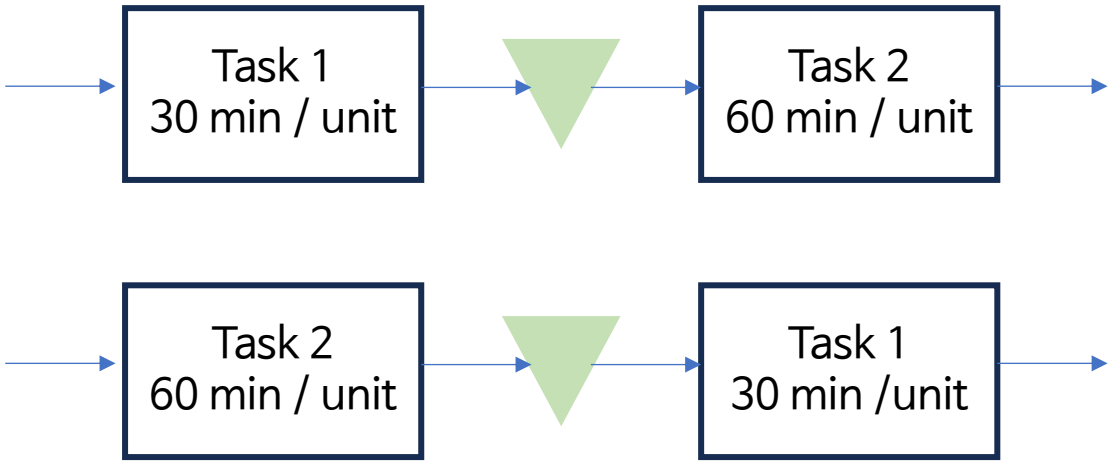
- Wendy's: MTO; McDonald (old): MTS
- Burger King: Hybrid; (조립 과정만 나중에)

(3) 프로세스 Flow 설계 및 자원 배치

❑프로세스의 Task를 파악하고, 결정된 Capacity를 달성하기 위해 Task 별 자원 배치

- 자원들의 활용율이 비슷하게, Task 별로 Capacity가 비슷하게 배치
- 모든 Task들의 Capacity를 동일하게 맞추기는 현실적으로 어려울 수 있음: 한정된 자원

❑병목 공정을 가능한 앞쪽으로 배치되도록 자원을 우선 투입



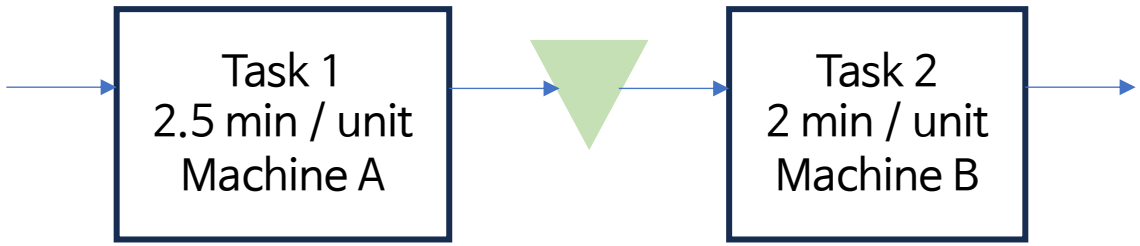
❑두 프로세스의 Capacity는 같음

- WIP이 0일 때, 비병목 공정이 1시간 down될 때, 하루 생산량은?

(3) 프로세스 Flow 설계 및 자원 배치

❑버퍼의 크기 결정
하지말자~~

- 버퍼: 원활한 프로세스 Flow, 변동성 대비, Capacity 영향
- Buffer가 Capacity에 영향을 주는 경우, Capacity를 유지하기 위한 최소 크기가 존재함



❑ Machine B는 40분 가동 후 20분 준비시간이 필요함

- 버퍼가 있을 때와 없을 때 이 프로세스의 Capacity는?
- 버퍼가 있을 때의 Capacity를 달성하기 위해서 필요한 버퍼의 최소 크기는?