

자율분산적 운영방식인 Bucket Brigade 라인 구성 방안

구 평 회

부경대학교 시스템경영공학부

Introduction

➤ Presentation 목적

- 새로운 라인 운영 방식 Bucket Brigade 소개
- BB기반 라인 운영방식 적용시 고려사항

➤ 발표 내용

- 라인 작업 및 기존 라인 운영방식
- Bucket Brigade (BB) 기반의 라인 운영
- BB기반의 라인 운영 상의 이슈 및 대안 소개
- 결론

라인 작업

- 라인(Line)형태의 생산시스템을 구성하여 일련의 요소작업을 연속적으로 처리하는 생산 형태
 - 제조시스템 (조립라인, 자동차 용접라인 등)
 - 물류시스템 (창고 Order Picking 등)
- 라인작업에서의 운영 문제
 - 라인 효율 극대화를 통한 생산성 확보



www.shutterstock.com · 759386443



Courtesy: Industrial Business Technology News



Courtesy: CSI UK

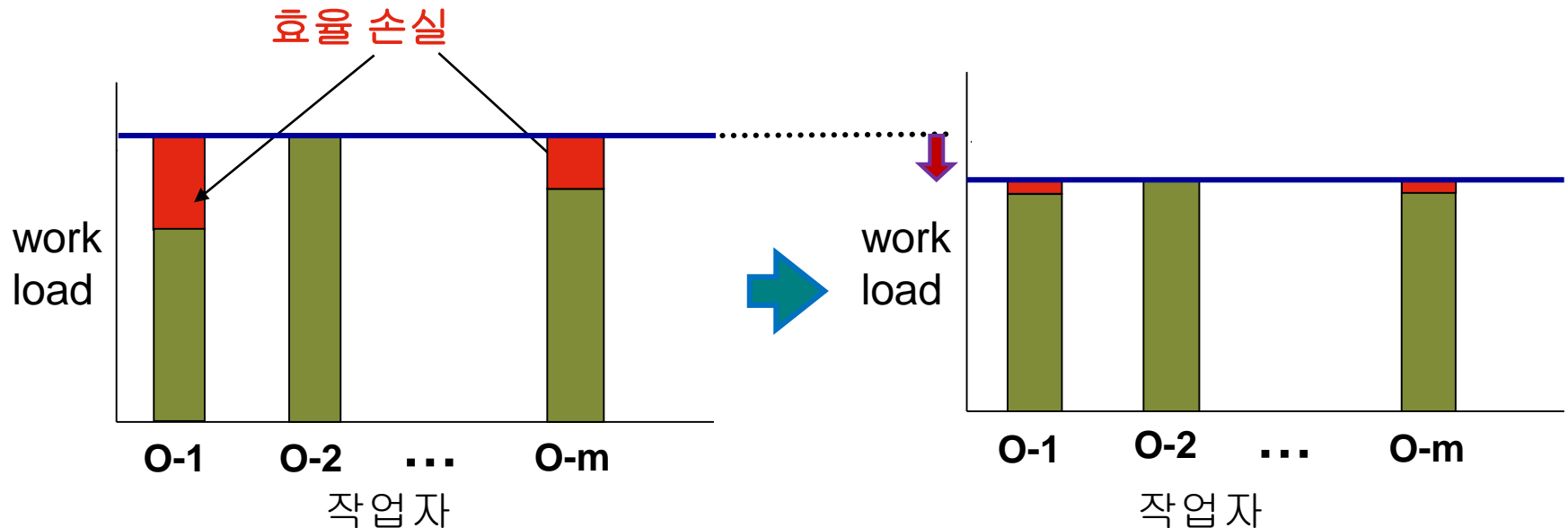
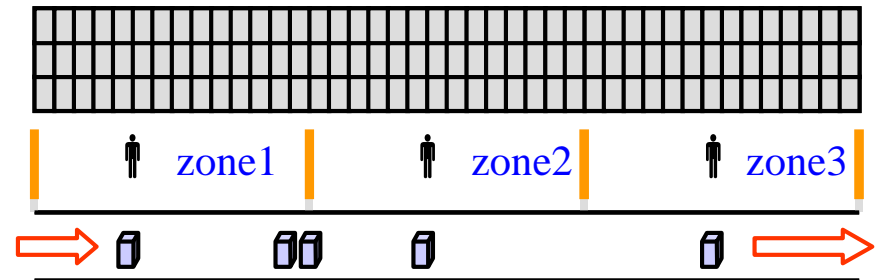
일반적인 라인 운영 방식

- 라인밸런싱: 라인 효율 향상을 위해 작업자에 작업량을 균등하게 배정

조립라인



오더피킹(존피킹)



정적 라인 설계 방식의 문제점

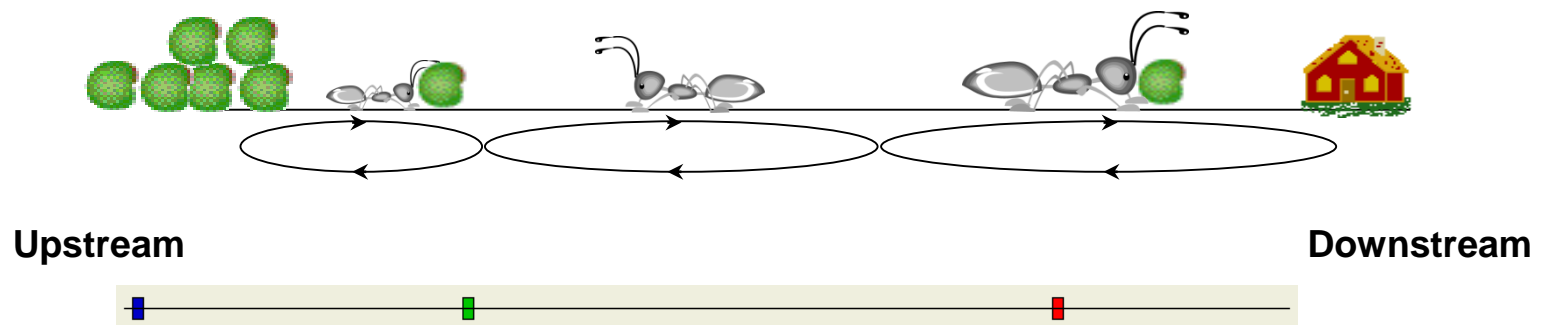
- ❑ 불확실성 대응: 기계/장비 고장, 품질문제, 작업자의 변동성,...
- ❑ 라인 설계 시 **확정적 작업시간** 가정
- ❑ **혼류생산**시 product mix 변화에 따른 효율 감소
- ❑ 제품 라이프사이클이 짧은 경우 **잘은 라인 재구성**
- ❑ 작업자의 **작업 속도 차이** 반영 여부



실제 현장 적용 시 기대한 효율 얻기 어려움

Bucket Brigade (BB) 기반의 라인 운영

- 자율분산적 작업 할당으로 자체 밸런스가 이루어 지는 라인 운영방식
- 개미(특정종류)의 먹이 운반 방식 모방
 - ✓ 작은개미 – 큰개미 순으로 배치
 - ✓ 모든 개미는 먹이 운반 중 downstream 개미를 만나면 먹이를 인계하고, upstream으로 이동하여 운반중인 개미로부터 먹이 인수 후 운반
 - ✓ 첫번째 개미: upstream으로 이동하여 새로운 먹이 운반
 - ✓ 마지막 개미: downstream으로 이동하여 먹이를 집에 저장



Courtesy: <https://www2.isye.gatech.edu/~jjb/bucket-brigades.html>

BB 모델 적용을 위한 이상적인 운영 조건

- BB 모델의 최대 생산성 달성을 위한 조건 (Normative Model. Bartholdi et al., 2001)

Condition 1. **Insignificant Walking Time**

The walk-back time is ignorable.

Condition 2. **Total Ordering of Workers by Velocity**

Each worker is characterized by a **distinct work speed**.

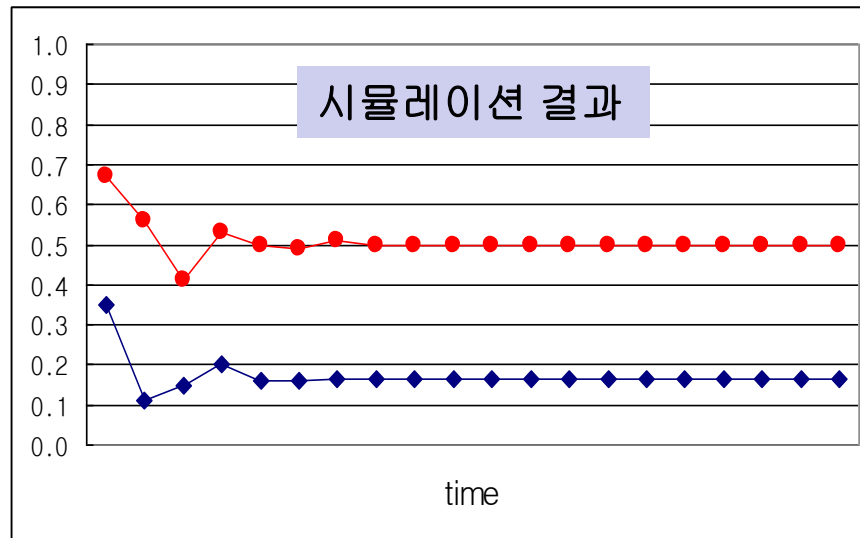
Workers are sequenced from **slowest-to-fastest**

Condition 3. **Continuity of Work Contents**

The work content is spread continuously along the flow line.

Normative Model에서의 BB 특징

- slowest-to-fastest 배치 경우 작업자 i 의 작업 영역 수렴 : $\left[\sum_{j=1}^{i-1} v_j / \sum_{j=1}^n v_j, \sum_{j=1}^i v_j / \sum_{j=1}^n v_j \right]$
- 단위시간당 생산량: $\sum_{i=1}^n v_i$ where v_i : 작업자 i 의 작업 속도
- 예: 3명의 작업자 (작업속도 0.5, 1.0, 1.5)인 경우

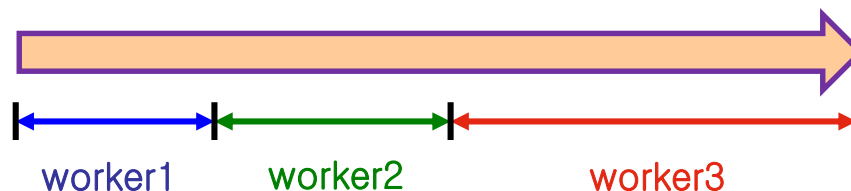


단위시간당 생산량 = 3

작업자3 [0.50, 1.00]

작업자2 [0.17, 0.50]

작업자1 [0.00, 0.17]



효율 손실 최소화
작업자의 능력별 활용
자율적 balancing
Pull system
Low WIP

BB 적용 사례

➤ Warehouse Order Picking

- Revco Drug Store: Pick rate 34% 증가
- Anderson Merchandising: Pick rate 20% 증가
- The gap: Throughput 25% 향상
- Ford, Customer Service Division: Pick rate 50% 증가
- Wawa Convenience Stores: Pick rate 25% 증가

➤ Assembly Line

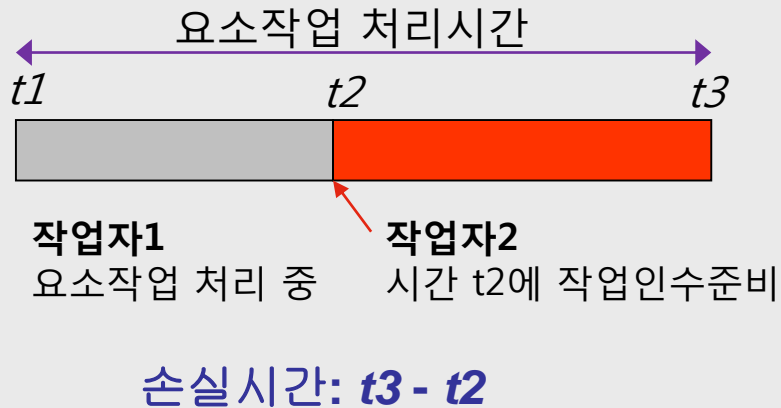
- United Technologies Automotive: 생산성 10% 증가, WIP 75% 감소
- Tug Manufacturing (공항 트랙터): 작업장 고정, 작업자 이동
- Mitsubishi Consumer Electronics America:
- Subway
- Luxury Handbag Assembly Line(Carlo et al. 2013): 생산성 55% 향상

참조: <https://www2.isye.gatech.edu/~jjb/bucket-brigades.html>

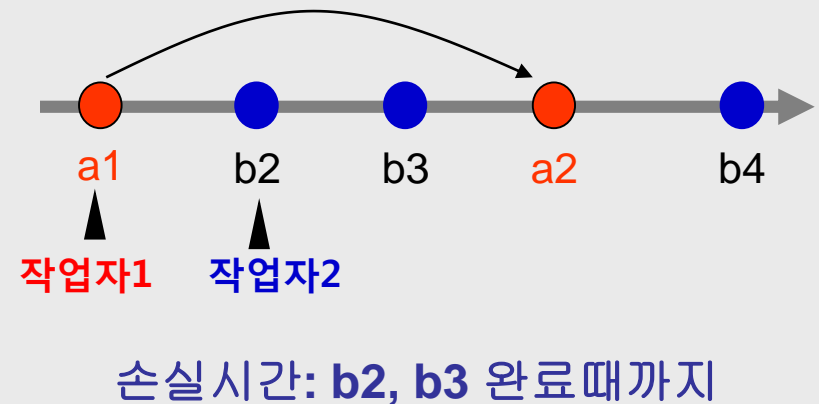
BB 라인 구성시 고려 사항

- Normative모델의 조건과 상이한 라인 상황
 - 요소작업내용 변동: blocking 손실 (OP 라인, 혼류조립라인)
 - 요소작업의 비연속성: Hand-off 손실 (조립라인, 처리시간 긴 OP)
 - 작업자의 작업속도 고려 여부
 - Walk-back 시간 영향 여부

Handoff 손실



Blocking 손실



Handoff 손실

n : 작업자수; m : 요소작업 수;
 p : 작업평균시간; cv : 작업시간 변동계수

- 하나의 흐름단위에 대한 hand-off 손실시간

$$L_h = (n-1) \frac{(cv^2 + 1)p}{2}$$



large p , large n ,
large $cv \rightarrow$
Handoff 손실 증가

- Handoff 효율손실 $EL_h = \frac{L_h}{mp + L_h} = \frac{(n-1)(cv^2 + 1)}{2m + (n-1)(cv^2 + 1)}$

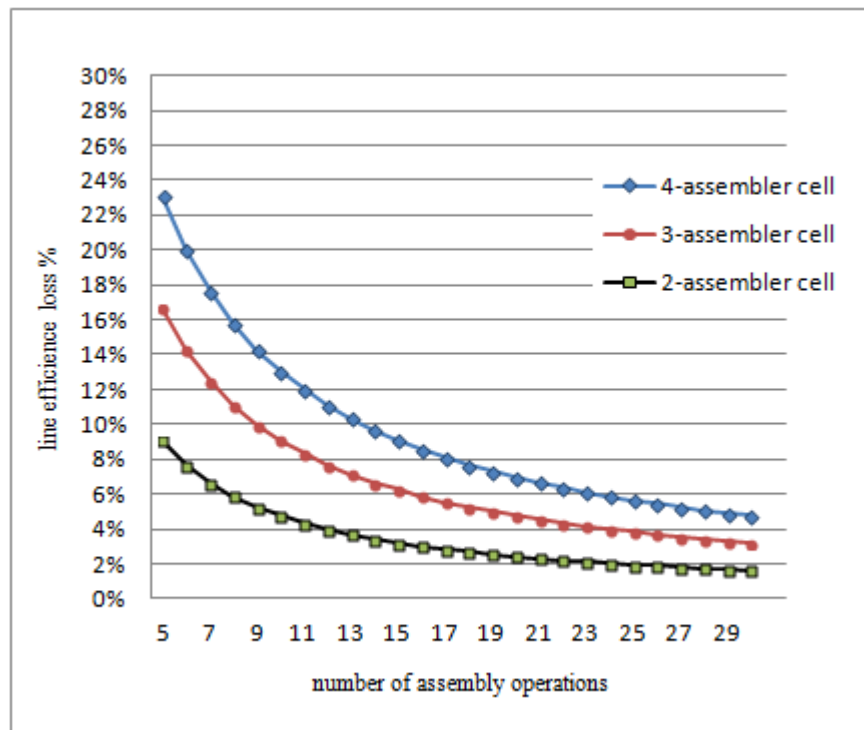
- Constant 인 경우 효율손실: $EL_h = \frac{n-1}{2m + n - 1}$

- 지수분포인 경우 효율손실: $EL_h = \frac{n-1}{m + n - 1}$



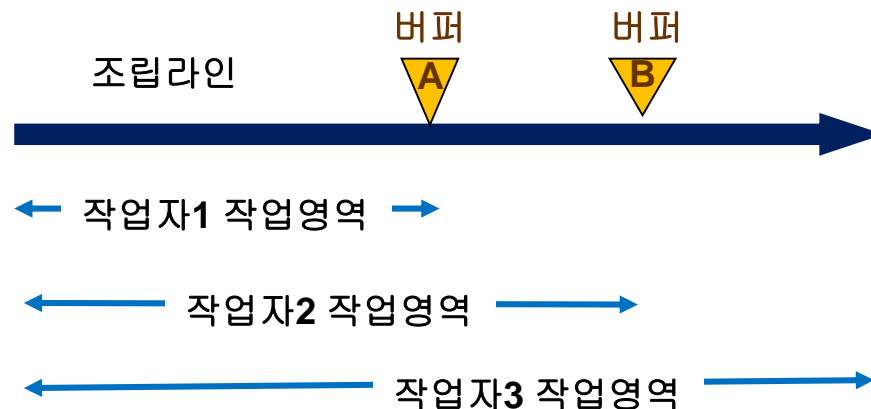
small m , large n ,
(즉, small m/n) \rightarrow
Handoff 효율손실 증가

BB 라인에서의 Handoff 손실



효율 향상을 위한 대안

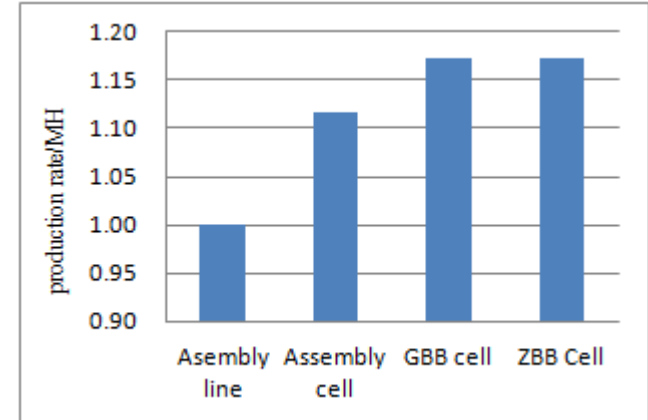
- Blocking과 Handoff 효율 손실에 대응하여 작업영역 제한 및 Buffer 도입
 - 일반적 BB 라인 (GBB)와 다르게 작업영역 제한 (ZBB)
 - 작업자 1은 버퍼 A까지 생산. 이때 까지 작업자 2 available하지 않으면 버퍼 A에 두고, walk back
 - 작업자 2와 3은 다음 작업 상황에서 버퍼 A, B를 각각 확인. 작업물 있으면 이것부터 작업, 없으면 GBB 따름.



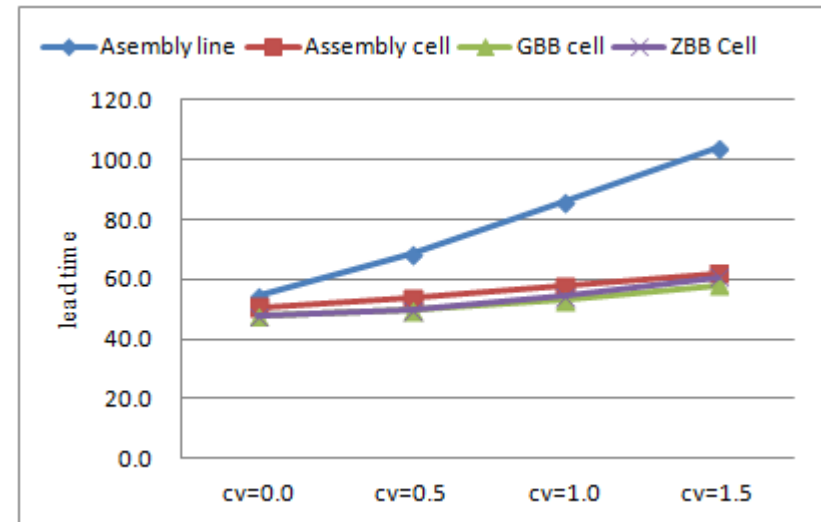
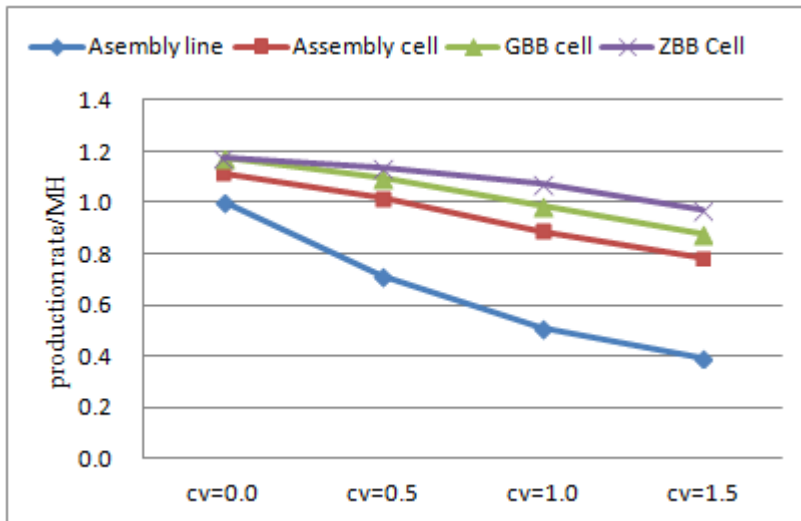
시뮬레이션 분석 (생산성 비교)

Assembly line, Assembly Cell, General BB (GBB), Zoned BB (ZBB) 생산성 비교
12개 요소작업의 라인

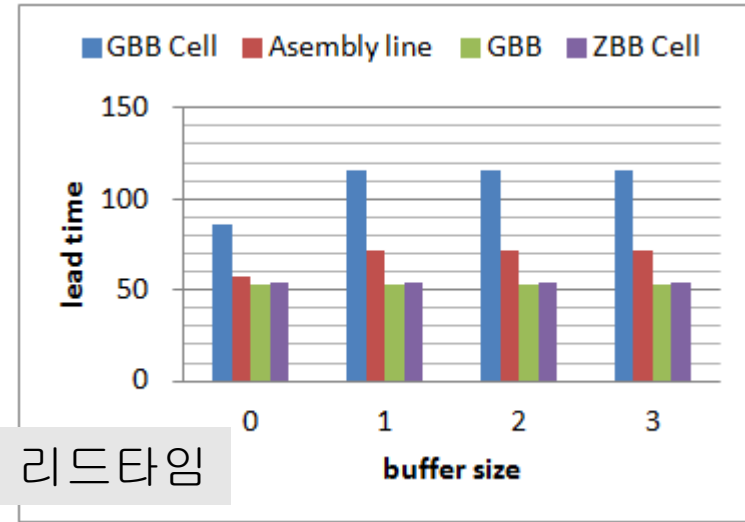
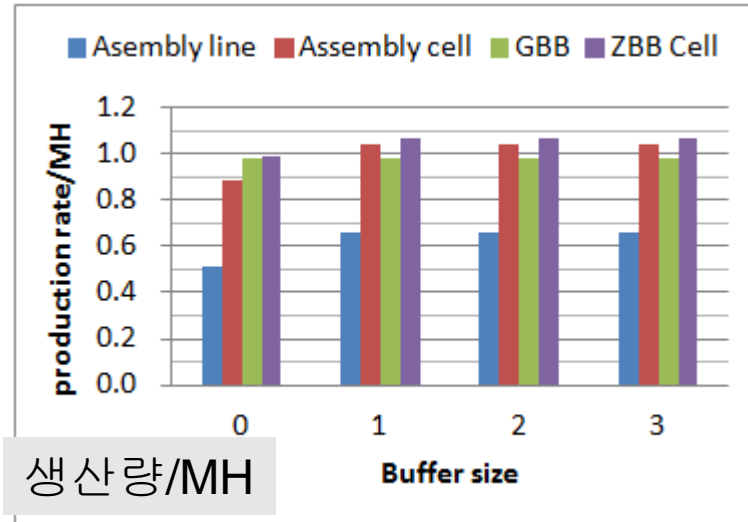
➤ 생산시간 변동성 없는 경우, 생산성(생산량) 비교



➤ 생산시간 변동성이 존재하는 경우, 생산성 비교

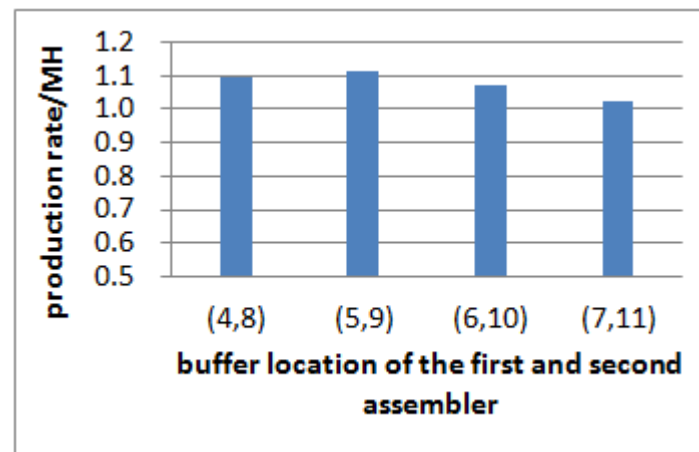


➤ 중간버퍼를 활용하는 경우 performance 비교



➔ 버퍼크기 1이 한계효과 큼

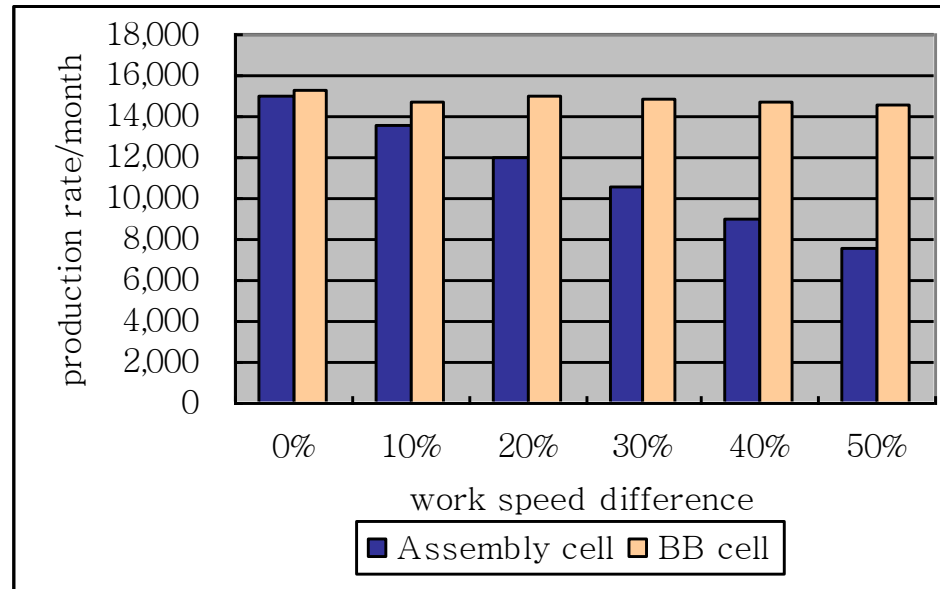
➤ ZBB조립셀에서 버퍼위치가 생산성에 미치는 영향



➔ 버퍼 위치에 따라 생산량 차이

➤ 작업자간 작업속도 차이 있는 경우, 생산성 비교 (작업장 21개 경우)

- BB의 경우, slowest - fastest 배치
- 일반라인 경우, 부하 많은 작업장에 빠른 작업자 배치



- **BB셀**은 작업자의 속도차이에 영향 미미

결론

- BB를 적용하기 적절한 산업
 - ✓ 제품조립라인, 창고 오더피킹라인, ...
 - ✓ 작업자(자원)들이 일련의 작업을 할 수 있는 능력을 가지고 있는 환경
 - ✓ 작업자가 **Station** 간에 이동이 자유롭고 쉽게 인수인계 할 수 있는 환경
 - ✓ **Passing**이 허용되지 않는 라인작업
 - ✓ 작업자들의 작업속도가 차이 나는 경우

- BB기반 Line 구성 시 고려사항
 - ✓ Line 의 팀멤버 수는 2 – 4명이 적절함 (m/n 이 큰 작업환경)
 - ✓ Buffer에 의한 Hybrid (Zone, BB) 대안 고려
 - ✓ 생산시간 변동성 감축 (OP에서 **Blocking** 방지를 위해 order batching 등)
 - ✓ Slowest-fastest 순서로 배치