**Batching**

**< Experimental result & analysis >**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. Report on the results from the simulation, and explain.   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Batch size (1) | | Batch size (5) | | Batch size (10) | | | Waiting time/U×t | | Waiting time/U×t | | Waiting time/U×t | | | Processing time | Expo (15) | Expo (20) | Expo (15) | Expo (20) | Expo (15) | Expo (20) | | Move Batching | 0.2673 | 0.1139 | 0.3013 | 0.1344 | 0.2999 | 0.1634 | | Process Batching | 0.2014 | 0.0795 | 1.5049 | 0.9535 | 2.6536 | 1.6712 |   , 이다.  이 때, Arena 상에서  Waiting time : Move/Processing Batching Station 1.Queue,  VA Time,  Utilization u : Scheduled Utilization  를 통해 구했다.  **- Batch size(1), Expo(15)Move Batching**  Waiting time = 0.7516,    **Process Batching**  Waiting time = 1.6421,  ,        **- Batch size(1), Expo(20)Move Batching**  Waiting time = 3.259,  ,  **Process Batching**  Waiting time = 3.6363,  ,        **- Batch size(5), Expo(15)Move Batching**  Waiting time = 1.3991,  ,  **Process Batching**  Waiting time = 1.7377,  (VA Time은 Batch단위로 계산되므로 Entity단위 계산을 위해 batch size로 나누어 주었다.)  ,        **- Batch size(5), Expo(20)Move Batching**  Waiting time = 3.7546,  ,  **Process Batching**  Waiting time = 3.4024,  ,        **- Batch size(10), Expo(15)Move Batching**  Waiting time = 1.528,  ,  **Process Batching**  Waiting time = 1.6395,  ,        **- Batch size(10), Expo(20)Move Batching**  Waiting time = 3.7383,  ,  **Process Batching**  Waiting time = 1.8005,  , |

**< Discussion & conclusion >**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. **Discuss the effects of batch size on the production system.**   Batch에는 Process Batch와 Move Batch가 있는데, 순서대로 설명하겠다.  먼저, Process Batch는 Serial Batching과 Parallel Batching이 있다. Serial batching은 part가 하나씩 투입될 때마다 setup이 이루어지는 방식으로 진행된다. 여기서 batch size는 setup 사이의 job 수를 나타내며, batch size k를 증가시킴으로써 setup 비중이 감소하여 전체적인 capacity 손실을 줄일 수 있다. Parallel batching은 한 번에 여러 작업이 동시에 처리되는 방식으로 진행된다. 예를 들면 용광로에서 작업하는 것과 같은 공정이다. 이 경우 batch size는 함께 공정이 이루어지는 job의 수를 의미하며, batch size k를 증가시킴으로써 처리율을 증가시킬 수 있다.  Move batch는 종종 transfer batch로도 불리며, 실제로 lot 단위로 이동되기 때문에 batch 내에서 대기하는 시간이 필수적이다. 이는 batch size k에 비례하여 발생한다. Batch size k가 증가하면 transfer 횟수(자재 이동)는 감소하지만, 다른 부품들이 처리되고 형성될 때까지 대기하는 시간은 증가한다. 즉, Move Batch에서는 WIP과 이동 빈도 사이에 상호간의 trade-off가 존재하게 된다.  아래 그래프는 Process Batching과 Parallel Batching에서 Batch size에 따른 Cycle time의 변화를 보여준다. 그래프에서 알 수 있는 것은 Batch size가 optimal batch size보다 크면 CT가 증가한다는 것이다. Batch size가 optimal batch size보다 작아도 이전 hw에서 다룬 바와 같이 utilization이 1에 가까워지며 CT가 증가한다. 따라서 Batch size가 무작정 작거나 크다고 해서 항상 좋은 것은 아니며, 오히려 최적의 Batch size를 찾는 것이 중요하다.    추가로, 일반적으로 JIT에서는 Batch size를 1로 설정하는 것을 선호한다. 그 이유는 Batch formation time이 필요하지 않으며, 큰 배치로 인해 대기열에서 시간이 낭비되지 않기 때문이다. 그러나 이 때에도 Batch size를 1로 설정함에 따라 Setup time이 많이 소요되고, 공정에 부하가 걸린다.  **(2) Discuss the reason simulation results of move batching and process batching are different.**  Move batching과 Process batching의 결과값이 다른 근본적인 이유는 두 가지 공정 순서의 차이 때문이다. Move batch는 먼저 station의 job을 거치고 batch를 생성하고 분리하는 과정을 거친다. 반면에 Process batch는 먼저 batch를 거치고 station을 거쳐 분리하는 과정을 따른다. 이러한 기본 과정의 차이로 인해 arrival rate에서도 차이가 나타나는데, Process batch는 를 갖고 Move batch는 값을 가진다.  또한 Cycle time을 계산하는 과정에서도 차이가 발생한다. 위의 실험에서의 Cycle time 값을 비교해보면 차이가 있다. Cycle time 값은 Arena 상에서 Total time으로 구했다. 결과는 아래 표와 같다.   |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | Cycle Time | | | | | | | Batch size(1) | | Batch size(5) | | Batch size(10) | | | Processing time | Expo(15) | Expo(20) | Expo(15) | Expo(20) | Expo(15) | Expo(20) | | Move Batching | 0.9893 | 3.5547 | 2.1862 | 4.7164 | 2.9624 | 5.2942 | | Process Batching | 1.9046 | 3.9394 | 3.4441 | 5.4038 | 5.0588 | 5.1061 |   Move batch의 Cycle time은 ()이다. Process batch의 경우에는 Serial batch와 Parallel batch가 있는데, 우선 Serial batch는 non-split과 split의 경우로 다시 나뉜다.  - non-split의 경우 :  =  =  - split의 경우 : ()  Parallel batch는 로 구한다.  따라서, Move batch와 Process batch는 동일한 processing time과 batch size 조건이더라도 arrival rate부터 cycle time을 계산하는 방식이 다르기 때문에 최종 결과가 다를 수 밖에 없다.  **(3) Why does move batching in a big production line have the long batch waiting time with high utilization than with low utilization?**  Move Batching에서, Average time spent at the first station은  = CT(1, no batching) + 이다.  위 식에서 은 Batch formation time으로 batch effect에 해당한다. 이 부분에서는 utilization이 분모에 위치하기 때문에, high utilization일수록 batch waiting time이 줄어들게 된다.  그런데, Time at Second Station은  = CT(2, no batching) + 이다.  Second station에서는 전과 달리 Batch formation time이 로 utilization으로 인한 batch effect의 감소 효과가 사라졌다. 따라서 station이 많아질수록, 즉 big production line 일수록 batch effect의 영향은 사라진다.  그런데 기존의 batch queue time에 해당하는 부분에서는 utilization이 커질수록 queue time이 증가한다. 즉, big production line은 그 특성상 high utilization을 가지는데, 동일한 batch size k에 대해 high utilization이 될수록 long batch waiting time을 갖게 된다.  **(4) Explain the effects of batch size on the production system when processing time is fixed at EXPO (30) for the process batching model.**   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | Batch size (1) | Batch size (5) | Batch size (10) | | Waiting time/U×t | Waiting time/U×t | Waiting time/U×t | | Processing time | Expo (30) | Expo (30) | Expo (30) | | Process Batching | 0.1108 | 0.2132 | 0.0866 |   **- Batch size(1), Expo(30)**  **Process Batching**  Waiting time = 6.7662,  ,        **- Batch size(5), Expo(30)**  **Process Batching**  Waiting time = 0.0952,  ,        **- Batch size(10), Expo(30)**  **Process Batching**  Waiting time = 0.0141,  ,        Variability는 Batch Size 5에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 그 다음은 1과 10의 Batch Size였다. Utilization은 Batch Size 1에서 가장 높은 값을 보여주었으며, Batch Size가 증가함에 따라 급격히 감소하는 경향을 보였다. Station의 Queue Time (대기 시간) 또한 Batch Size가 증가함에 따라 매우 낮아지는 것을 관찰할 수 있었다.  추가로, Total Time으로 CT를 구하면 아래 표와 같다.   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | Batch size (1) | Batch size (5) | Batch size (10) | | Cycle time | Cycle time | Cycle time | | Processing time | Expo (30) | Expo (30) | Expo (30) | | Process Batching | 7.1711 | 1.1769 | 1.7218 |   위에서 확인한 아래 그림과 위 표로부터, Optimal Batch Size가 1과 10 사이에 위치하는 것을 유추할 수 있다. 또한, Optimal Batch Size보다 큰 경우에는 Batch를 기다리는 시간에 의한 영향이 크다는 것 역시 그래프를 통해 확인할 수 있다. 이를 통해 실험 결과에서 Batch Size가 5에서 10으로 증가할 때 Cycle Time이 증가한 이유는 Process Batch Queue인 Batch formation time이 0.5에서 1.125로 증가하면서 Cycle Time에 큰 영향을 미쳤기 때문이라는 사실을 알 수 있다. |