

고정 위치 생산과 흐름생산의 비교 분석 : 데크하우스 선행의장 공정의 사례

김연민*

A Comparative Analysis of the Fixed Location Production vs. Flow Production: An Example of Deckhouse Preceding Outfit Process

Yeamin Kim*

ABSTRACT

By using simulation, fixed location production method and flow production method have been compared to improve the productivity of deckhouse preceding outfitting process. In this paper, we analyze that the suggested flow production system instead of fixed location production can improve productivity. In current preceding outfit production system which adopts fixed location production, where a block occupies an area and does not move until the work finishes. On the other hand, in improved flow production system, the block moves instead of workers and equipment. Though the output of two systems are almost the same when we did not consider the moving time and waiting time of blocks, the flow production will be better when the variability of task time will be reduced.

Keyword : Fixed Location Production, Flow Production, Simulation, Deckhouse

요 약

고정위치 생산 방식과 이를 개선한 흐름 생산 방식의 생산성을 비교하기 위해 데크하우스 선행의장 공정의 사례를 이용하여 이를 비교 분석하였다. 현재의 선행의장 공정 시스템은 고정위치 생산을 하고 있으며, 여기서는 블록이 한 구역을 점유하고, 작업이 완료 될 때까지 이동하지 않는다. 반면 개선된 흐름생산시스템에서는 블록이 이동하며 작업자와 장비는 움직이지 않는다. 시뮬레이션 결과 제안된 생산시스템에서 블록의 이동시간과 대기시간을 고려하지 않았을 때는 블록의 생산량이 거의 증가하지 않았다. 그러나 흐름생산에서는 작업을 위한 장비와 작업자의 이동과 대기시간이 거의 없어, 작업장의 작업시간의 변동성을 줄일 수 있다면 흐름생산이 고정위치 생산 시스템을 대체하는 보다 더 우수한 대안이 될 수 있음을 보였다.

주요어: 고정위치 생산, 흐름생산, 시뮬레이션, 데크하우스

1. 서 론

보잉(Boeing)사는 과거 제트기를 생산할 때 고정위치에서 생산을 하였으나 787 제트기를 생산할 때부터는 과거의 고정 위치 생산을 흐름생산 방식으로 바꾸어 생산성을 높였다. 프로젝트 산업과 같은 고정위치생산은 작업

의 일회성으로 생산성을 높이는 것이 쉽지 않다. 그러나 프로젝트 산업 내에서도 다수의 유사한 작업이 이루어지는 공정일 때에는 장비와 작업자의 이동시간과 대기시간을 줄이기 위해 고정위치 생산을 흐름생산으로 바꾸고자 하나, 이러한 변경이 작업에 어떠한 영향을 미치는가는 제대로 파악되지 않았다. 또 흐름생산이 한 자리에서 이루어지는 고정위치 생산 보다 더 생산성이 높다는 선입견을 가지기 쉬우나, 단순한 작업일 때는 흐름생산을 통한 분업이 오히려 작업의 이동과 대기로 인해 생산성을 저해하기도 한다. 따라서 본 연구는 고정위치 생산 방식을 흐름 생산 방식으로 개선하였을 때의 생산성과 생산

Received: 10 August 2015, **Revised**: 30 May 2016,
Accepted: 31 May 2016

* **Corresponding Author**: Yeamin Kim
E-mail: ymkim@ulsan.ac.kr
I.E. Dept., University of Ulsan, Ulsan, Korea

방식의 변화에 따른 공정변수들의 차이를 비교 분석하고자 한다.

작업장 배치와 관련해서는 대안적 작업장 설계를 비교 평가한 Pagell et al. (2004)의 연구, 효율을 높이기 위해 물리적 배치를 재설계한 Tanwari et al. (2001)의 연구, 작업이 혼잡할 때 물류 흐름 시간을 줄이는 것이 거리에 기초한 물류 흐름을 원활하게 하는 것 보다는 낫다는 Zhang et al. (2011)의 연구가 있다. 시뮬레이션을 프로젝트 산업에 적용한 예로는 건설산업에 적용한 Wan et al. (2013)과 Chan et al. (2008)의 연구, 프로젝트 관리와 계획에 시뮬레이션을 적용한 Cohe et al. (2014)과 Li et al. (2012) 등이 있다. 그러나 프로젝트 산업에서의 고정위치 생산을 흐름생산으로 바꾸고 그 생산성을 비교한 연구는 거의 찾아 볼 수 없다.

본 연구는 고정위치 생산을 통해 데크하우스 조립공장에서 블록(Block)이 출고되기 전까지 옥내 작업 공간인 셸터(Shelter) 내에서 진행되는 선행의장 공정을 흐름생산으로 개선한 예를 통해 고정위치 생산 방식을 흐름 생산 방식으로 개선하였을 때의 생산성과 생산방식의 변화에 따른 공정변수들을 비교 분석하였다. 본 연구는 먼저 현행 데크하우스의 생산방식인 고정위치 생산 방식에 대한 설명과 문제점을 제시하고, 흐름 생산방식으로의 개선 방안을 설명하였다. 다음으로 동일한 작업조건을 가정하고 시뮬레이션을 통해 고정위치 생산 방식과 흐름 생산 방식을 비교 분석하였다.

2. 생산방식의 비교분석: 데크하우스의 예

생산방식 중 고정위치 생산 방식은 프로젝트 산업에서 주로 사용되는 방법으로 선박, 제트기, 교량, 해양 구조물 등에 주로 이용되고 있다. 작업물은 고정된 장소에 배치되어 있으며 작업자와 장비가 이동하며, 생산품은 많은 시간을 작업대기에 소비하므로 프로젝트의 원활한 수행을 위해서는 장비와 자재의 물류흐름에 대한 관리가 필수적이다. 프로젝트 생산방식과는 다르지만 Black et al. (2003)은 Job Shop 형태의 생산일 때 총 작업 시간 중 기계에서 가공되는 시간은 5%에 지나지 않으며 95%의 시간이 작업의 이동 및 대기에 소비되는 것으로 보고 있다.

반면, 흐름 생산 방식은 라인을 중심으로 이루어진 배치로서 주로 조립 라인을 이용하여 대량 생산이 가능한 방식이다. 생산율이 높고, 전체 공장이 일반용도의 범용 장비보다는 특수용도의 전용장비를 사용하여 특정 제품이나 제품군을 생산하는 데 맞도록 설계되어 있다. 제품

은 컨베이어나 이동벨트에 의하여 작업순서대로 흘러가는 방식으로 만들어진다. 또 라인 균형화가 이루어져 제품이 각각의 작업장에서 소비하는 시간이 비슷하다.

본 논문에서 다루는 고정위치 생산 방식은 비교적 전문화된 인원들에 의해 작업되고 자재의 대기 및 이동에 시간 소비가 많으며, 작업장 배치가 다양한 형태를 보이며 생산율이 낮다. 고정위치 생산 방식을 흐름 생산 방식으로 개선하였을 때의 생산성 차이를 분석하기 위한 사례로서 제안된 데크하우스에 대한 흐름 생산 방식은 높은 설비 이용률을 가지고 작업이 순서대로 흘러가는 방식을 사용하며, 품목이 각각의 작업장에서 소비하는 시간이 다소 일정하다는 점에서 일반적인 흐름 생산 방식의 특성과 공통점을 가지고 있다.

현재 데크하우스 생산은 크게 조립 공장 내 의장, 선행 의장, 턴 오버(Turn over) 후 P.E(Pre Erection) 의장, 데크하우스 탑재, 본선 의장 공정으로 이루어져 있다.

<그림1>은 현재의 데크하우스의 생산 흐름을 나타낸 것이다.



Figure 1. Present Deckhouse Production

본 연구에서는 데크하우스 블록의 생산공정 전체를 다루지 않고 이 가운데 “선행 의장” 공정이 고정위치 생산 방식에서 흐름 생산방식으로 바뀔 경우의 문제점을 살펴 보고 생산성과 성과 변수들이 어떻게 개선되는지를 시뮬레이션 결과의 비교분석을 통해 알아보고자 한다.

“선행 의장” 공정은 5개의 공정으로 이루어져 있으며, 한 장소에서 작업조, 장비, 및 자재가 차례로 투입되어 1 공정부터 5공정의 순서로 공사가 진행되는 것이 원칙이지만, 각 공정에 투입되는 인원수와 공사 기간이 다르기 때문에 투입 순서가 바뀔 경우도 많아, 작업은 반드시 순차적으로 진행되지 않아도 된다. 공정은 각각 다음과 같이 작업이 이루어진다(그림 2).

- 1공정 : 파이프, 덕트(Duct) 등의 관통 피스(Piece) 설치
- 2공정 : 각종 파이프류 설치
- 3공정 : 덕트, 주 케이블 설치
- 4공정 : 서브 케이블 트레이(Tray) 설치
- 5공정 : 오버헤드(Overhead) 공사, 선장용 파이프 설치

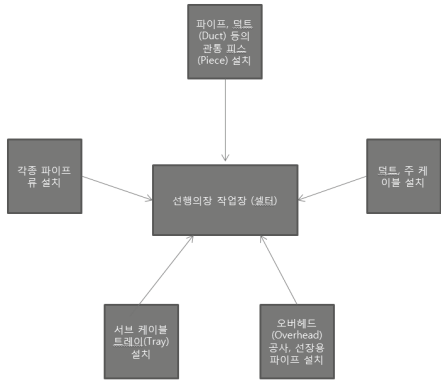


Figure 2. Fixed Position Pre-Outfit Deckhouse Production

데크하우스 블록 조립 공장에서 옥내 작업공간인 셸터 (Shelter)로 이동된 블록(그림 2)은 10개 (블록의 크기에 따라 셸터 내 블록의 점유 공간이 달라질 수 있으나 평균 10개의 블록이 가동되고 있다)의 공간 중 하나를 점유하고, 모든 공정이 끝날 때 까지 움직이지 않는다. 각 공정에는 2개 조가 순차적으로 투입하는 것을 표준으로 운영하고 있으나 공정별 투입 인원과 공사기간이 다르고, 작업량에 따라 공정 간에 다중으로 투입되므로 인원 운영이 확정적이라고 볼 수 없는 것이 현실이다. 그러나, 공정 준수를 위해 현재 1블록당 공정별 표준으로 운영되는 작업 인원과 공사 기간은 <표1>와 같다. 작업대기 등을 고려하지 않고 평균 생산 일수는 블록 당 2조가 작업하므로 24일에 2개의 블록을 생산할 수 있으며, 블록 하나를 생산하는데 12인일이 걸리며, 공수는 총 82인일이 소요된다.

Table 1. Standard Worker and Duration in Fixed Location Production

Process	1	2	3	4	5
Worker	4	4	3	3	3
Duration (Days)	4	6	5	4	5

고정위치 생산 방식에서는 셸터 내로 블록이 입고되어 공간을 점유한 후에는 선행의장의 모든 공정을 거칠 때까지 블록은 이동하지 않는다. 따라서 작업을 위해서는 해당 블록에 사용될 자재와 장비는 물론, 인력의 이동이

필요하다. 블록이 고정된 상태로 선행의장 작업을 수행해야 하는 현 상태에서의 문제점은 다음과 같다.

(1) 자재 분류 및 이동 시간의 발생

파이프 (Pipe) 및 서포트 (Support)가 블록 구분 없이 셸터 바깥 자재 적치 구역에 일괄 입고되어 설치 위치 별로 자재를 분류, 이동 후 작업을 착수함으로써 작업 착수 지연 및 대기 시간이 발생한다.

(2) 블록 및 작업 구역 별 장비, 인원 이동 시간의 발생

작업 완료, 작업선 철거, 작업 블록으로의 공구 박스 이동 (그림 3), 작업선 설치 등의 과정이 반복되어 선행의장 공사기간에 영향을 미치고 블록 위치가 일정하지 않아 이동 거리가 길고 기 설치된 의장품의 간섭으로 이동에 장애가 발생한다.



Figure 3. Equipment Movement from a Shelter

(3) 크레인 사용대기 시간의 발생

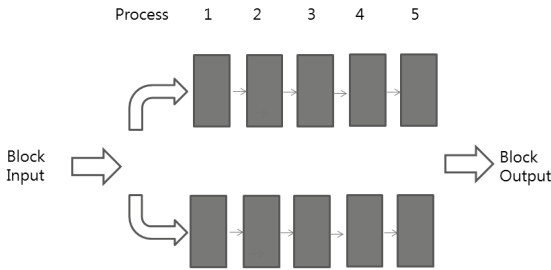
셸터 내 무거운 파이프 및 자재 작업 시에는 천장 크레인(Crane)의 사용이 불가피하나 두 가지 작업이 동시에 이루어질 경우 크레인 사용을 위한 대기 시간이 발생한다.

한편 블록이 고정된 상태에서 작업자가 이동하는 현재의 고정위치 생산 방식과는 달리 흐름 생산 방식은 각 작업조가 한 자리에 머물러 있고 블록이 이동한다. 흐름생산은 하루에 1블록씩 셸터 내로 입고된 블록은 두 개의 라인 (병렬 라인)으로 번갈아 입고되어 공정별 2일이라는 동일한 텍트 타임을 가지면서 흐르게 되고, 블록이 셸터 내로 들어오고 난 후 10일이 경과하면 셸터 바깥으로 이동되도록 설계하였다 (그림 4).

Table 2. Standard Worker and Duration in Flow Production

Process	1	2	3	4	5
Task	Through Piece	STEEL, COPPER, PVC E/C Support	S/Q & S/P Duct MAIN TRAY	F.B TRAY PROFILE	Overhead Work Pipe
Worker	4	8	6	4	6
Duration	2	2	2	2	2

즉, 공정별 2개 조의 인원이 두 개의 라인에서 작업하게 되고 2일이라는 택트(Tact) 타임을 준수하도록 인원 배치를 표준화하였다. 물론 작업량에 따라 인원은 유동적일 수도 있으나 본 연구에서는 공정 별 공사시간을 2일내로 준수하도록 하였다. 즉 작업대기 등이 없을 경우 블록 생산에 10일이 걸리고, 평균 56 인일이 소요될 것으로 예상되었다. <그림4>는 개선된 흐름 생산 방식의 기본 개념을 표현한 것이며, <표2>의 공정 흐름을 거치며 표준 인원 및 공기(평균 2일)를 따른다.



<Figure 4> Improved Flow Production

흐름 생산 방식이 적용되기 위해서는 고정위치 생산 방식이 가진 제한 사항들을 해결하기 위해 대차 2기, 상부 크레인 2기 신설, 대차 레일 기초공사 및 셸터 레일 연장, UTILITY 이설, 용접기 설치 (HANGER 포함) 등의 시설투자가 이루어져야 한다. 이러한 설비를 신설하기 위해서는 상당한 투자가 이루어져야 하나 이를 통해 작업자, 장비 및 자재의 이동과 대기를 현저히 줄일 것으로 예상된다.

3. 고정위치 생산과 흐름생산의 비교분석을 위한 시뮬레이션 모델링

고정 위치 생산과 흐름생산을 비교분석하기 위해서는 동일한 작업 조건에서의 비교가 필요(Kim, 2001)하므로 현재의 고정위치 생산을 그대로 시뮬레이션 하기 보다는 각 공정에 소요되는 시간을 평균 2일로 흐름생산과 동일한 조건을 만족하는 것으로 가정하여 시뮬레이션을 시행하였다. 아울러 자재의 이동, 장비를 위한 대기 등도 동일한 조건의 비교를 위해서 제외하고 작업만을 고려하였다.

3.1 고정 위치 생산의 모델링

고정위치 생산 방식에서는 조립 공장으로부터 출고된 블록이 10개의 셸터 가운데 하나의 셸터 내부로 입고되면 비어있는 공간에 놓이게 되고, 공사가 완료되기 전까지 이동하지 않는다. 고정된 블록은 여러 작업조가 투입되어 5개 공정을 모두 마친 후 셸터로부터 출고된다. 공정별 투입인원은 2개조로 운영된다. 이러한 공정 흐름을 ARENA에서의 모델링은 <그림5>과 같다.

모델링에서는 1) 작업 완료여부 확인을 위한 변수를 정의하고 각 공정의 완료 여부를 판단하기 위해 변수를 지정하고 값을 할당한다. 최초에 할당된 값(0)은 공정을 완료하게 되면 다른 값(1)으로 바뀌게 했다. 변수 값에 따라 미완료된 공정을 수행할지, 아니면 다음 공정으로 진행할지를 결정하게 된다. 2) 입고된 블록은 셸터 내 10개 중 임의의 한 공간에서 작업되고, 블록이 10개의 모든 공간을 점유한 상태가 되면 이후 입고되는 블록은 셸터 밖에서 대기하게 된다. 3) 작업이 순차적으로 투입되는 것을 기본으로 하기 때문에 1공정부터 5공정 순으로 공정을 수행한다. 4) 작업이 완료된 공정으로 판단되었다면 그 다음으로 공정을 찾아 이와 같은 과정을 반복한다. 5) 다섯 공정을 모두 완료하면 블록은 작업장을 빠져 나온다.

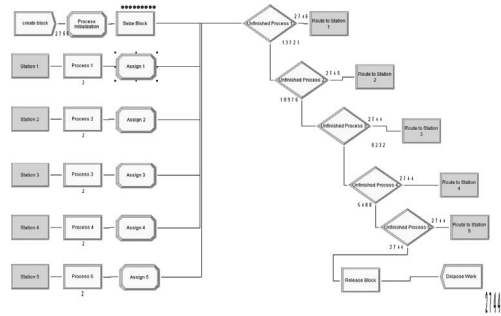


Figure 5. A Simulation Modelling of Fixed Location Production

블록 도착 시간 간격에 대한 확률 분포를 추정하기 위해 샘플링한 70개 블록에 대한 시간 간격은 ARENA 시뮬레이션의 INPUT ANALYZER를 이용한 결과 도착 시간 간격의 분포가 4.5 + WEIB(5.37, 2.16)이었다 (그림 6).

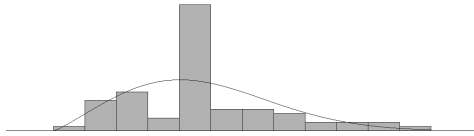


Figure 6. Arrival Time Distribution by Input Analyzer

공사기간은 흐름 생산과 동일한 조건에서 비교하기 위하여 각 공정이 평균 2일 (하루는 9시간으로 간주함), 즉 삼각분포 TRIA(16,18,20)을 따르는 것으로 가정하였다. 물류이동과 대기시간은 고정위치 생산이 흐름생산에 비해 매우 크나 단지 고정위치생산 공정과 흐름생산공정의 전체 공정시간을 비교하기 위해 따로 고려하지 않았다.

3.2 흐름생산의 모델링

고정위치 생산 방식과 비교했을 때 흐름생산 방식의 가장 큰 차이점은 인원과 장비가 고정되어 있는 상태에서 블록이 이동한다는 점이다. 블록은 작업이 없는 야간에 대차에 의해 이동하는 것을 원칙으로 하므로 작업 시간 중 이동으로 인한 손실은 없다. 하루에 1블록씩 두 개의 라인에 번갈아 입고되고 표준공사 기간이 약간의 분산을 가지지만 10일의 표준 공사 기간이 지나면 셀터에서 출고된다. <그림 7>은 흐름 생산 방식을 ARENA로 모델링한 모습이다.

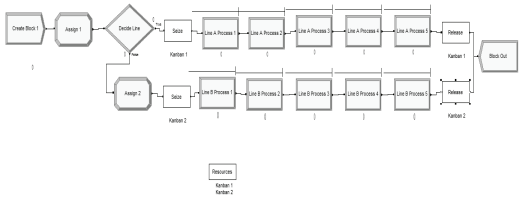


Figure 7. A Simulation Modelling of Flow Production

각 공정은 약 2일씩의 공사 기간을 가지고 진행되는데 어느 한 공정에서라도 이 기간을 준수하지 못하면 문제가 발생된 공정의 후속 공정에서는 작업 대기가 발생할 것이고, 해당 공정에는 블록이 쌓일 것이다. 본 연구에서는 인원의 탄력적인 배치로 공정 별 공사기간 대부분 2일

을 준수할 수 있다고 보았으나, 고정 위치 생산과 흐름 생산을 비교하기 위해 블록의 입고는 같은 분포를 따르는 것으로 보았으며 각 공정별 공사기간은 흐름생산에서도 삼각분포 TRIA(16, 18, 20)를 따르는 것으로 가정했다.

4. 고정위치 생산과 흐름생산의 비교분석

ARENA를 이용한 고정위치 생산 방식의 시뮬레이션은 하루 9시간, 한 달 24일 작업일 기준으로 10년간 (warm-up 360시간) 작업한 결과 연간 274개의 블록을 생산할 수 있었다. 흐름생산의 시뮬레이션도 10년간 (warm-up 360시간) 작업한 결과 연간 278개의 블록을 생산할 수 있었다. 고정 위치 생산이 지금과 같이 충분한 고정위치 작업장을 가질 때에는 흐름생산과 같은 생산량을 산출할 수 있었다. 그러나 작업장이 9개일때는 연간 239개의 블록만을, 작업장이 8개일때는 연간 214개의 블록만을 생산할 수 있었다. 그러나 고정위치생산을 위해 작업장을 더 늘이는 것은 생산량의 증가에 그다지 기여하지 않았다. 즉 원활한 공정 흐름을 위해서는 최소 10개의 작업장이 필요하다. 그러나 작업장의 수가 증가할 때는 작업장 밖에서 기다리는 블록은, 11개 작업장일 때는 7.09 블록, 12개 작업장일 때는 3.96 블록으로 줄어들었다.

고정위치 생산 방식과 흐름 생산 방식을 비교한 결과는 <표3>과 같다. 고정위치 생산에서는 작업장이 10개라는 제한이 있기 때문에 블록이 작업장 밖에서 작업장에 들어가기 위해 평균 10.5개 정도가 대기하고, 일단 작업장이 확보되면 공정에서는 작업 대기시간, 작업대기 개수가 적은 것으로 나타났다. 반면 흐름생산에서는 도착시간의 간격이 9시간 보다 큼에도 불구하고 공정이 삼각분포를 따르기에 공정 1에서 작업대기가 나타났다.

Table 3. Results of Simulation

	Fixed Location Production	Flow Production
Block Input	275.5	278.4
Block Output	274.4	278.3
Average Waiting Time of the Block in each Process	0.64	8.56*
	0.65	2.79
	0.60	1.22
	0.61	1.92
	0.61	1.92

Average Waiting Number of the Block in each Process	0.07	0.47
	0.06	0.15
	0.06	0.12
	0.06	0.10
	0.06	0.10

* Average Value of Line 1 and Line 2 in case of Flow Production

그러나 비교를 위해 흐름생산에서 작업장간의 대기기를 무한대로 가능하게 하고 작업시간을 삼각분포 TRIA(16,18,20)으로 가정하였으나 이는 흐름생산을 제대로 표현했다고 볼 수 없다. 추가적으로 흐름생산의 대기기를 줄이기 위해 Push 방식의 생산이 아닌 CONWIP (Constant Work in Process)으로 생산을 하며, 작업시간의 변동성이 삼각분포 TRIA(17,18,19)를 따른다면, CONWIP의 간판이 5개일 때 (즉 재공품 재고를 5개로 했을 때) 작업시간이 삼각분포 TRIA(16,18,20)이며, 작업장간의 대기기를 무한대로 가정했을 때와 같은 결과를 보였다. 따라서 고정위치생산에서 흐름생산으로 바꾸기 위해서는 흐름생산으로 전환할 때 작업시간의 변동성을 줄이는 것이 매우 중요한 요소임을 알 수 있었다.

5. 결론 및 향후 과제

고정위치 생산과 흐름생산방식의 비교 연구를 위해 대표적 프로젝트 산업인 조선의 테크하우스 선행의장 공정을 현행 고정위치 생산방식에서 대차를 이용한 흐름 생산 방식으로 개선하고, 생산방식의 변화로 연간 생산량이 얼마나 향상되는가를 비교 분석하였다.

테크하우스 선행의장 공정에 흐름 생산 방식을 적용하여 공정별로 일정한 텍트 타임을 가지고 운영할 경우, 작업의 이동과 대기시간을 고려하지 않았기에 고정위치 생산 방식보다 시뮬레이션에서는 산출량을 그다지 증가시킬 수 없는 것으로 나타났다.

그러나, 고정위치생산은 총 작업 시간 중 가공에 소요 되는 시간이 적은 반면 많은 시간이 작업을 위해서 작업 조, 장비 및, 자재가 이동하고 또 장비 및 자재의 이동을 위해서는 크레인 등을 기다려야 하므로, 흐름생산방식이 작업시간의 변동성을 줄일 수 있다면 고정위치생산보다 생산율을 크게 향상할 수 있다. 즉 고정위치생산에서 흐름생산으로의 변경은 동일 작업 시간을 고려할 경우 생산량에 차이가 없으나 대기 및 이동시간 (자재 분류 및 이동, 블록 및 작업 구역 별 장비, 인원 이동 및, 크레인

사용대기 시간)을 고려할 때에는 생산량을 상당히 높일 수 있는 이점이 있는 것으로 파악된다. 본 연구는 공정 개선을 위해서는 가공시간이나 작업시간의 단축 보다는 대기 및 이동시간을 줄이는 것이 중요 (Black, 2003, Tapping et al., 2002) 하며, 작업시간의 변동성, 대기 및 이동시간을 줄일 수 있는 작업장의 설계가 필요함을 시사하고 있다. 즉 교량, 미사일 등과 같이 작업물이 크고 일회성이어서 고정위치생산이 불가피하지 않다면 프로젝트 산업이라도 유사한 작업이며 생산량이 확보된다면, 보잉사가 제트기 생산을 흐름생산으로 바꾼 것과 같이 고정위치생산에서 흐름생산으로의 전환하는 것이 생산성을 높이는데 크게 기여할 수 있을 것으로 보인다.

추후 연구과제로는 실제 고정위치생산에서 자재 취급 및 물류이동에 걸리는 시간과 장비 대기 시간 등이 어느 정도 차지하는가를 명확히 밝혀, 고정위치생산에서 흐름 생산으로 전환할 때 생산성에서 어떠한 차이가 나는지를 구체적으로 밝히는 과정이 필요해 보인다.

References

Black, JT., Steve L Hunter, Lean Manufacturing Systems and Cell Design, Society of Manufacturing Engineers, 2003.

Chan, Wah-Ho, Ming Lu, "Materials Handling System Simulation in Precast Viaduct Construction: Modeling, Analysis, and Implementation," *Journal of Construction Engineering and Management*, 134 (4), 2008.

Cohe, Izack, Michal Iluz, Avraham Shtub, "A Simulation- Based Approach in Support of Project Management Training for Systems Engineers," *Systems Engineering*, 17(1), 2014.

Drira, Amine, Henri Pierreval, Sonia Hajri-Gabouj, "Facility layout problems: A survey," *Annual Reviews in Control*, 31, 255-267, 2007.

Li, Shiqi, Yan Jia, Junfeng Wang," A discrete-event simulation approach with multiple-comparison procedure for stochastic resource-constrained project scheduling," *Int. J. Adv Manuf Technol*, 63, 65-76, 2012.

Kim, W, "A Simulation Study for Comparison and Evaluation of Alternative Plans for the Productivity Improvement," *Journal of the Korea Society for*

Simulation, Vol. 10, 1, 2001.3, 51-62

Lee, YH, Deck House Shop Simulation using TOC Theory, Master Thesis, University of Ulsan, 10-19, 2006.

Melnyk, "Assessing the impact of alternative manufacturing layouts in a service setting," *Journal of Operations Management* 22, 413-429, 2004.

Tanwari, A. U., Abdul Kareem Mansour, "Redesigning Physical Layout for Increased Efficiency," *Industrial Marketing Management* 30, 453-462, 2001.

Tapping, Don, Tom Luyster, and Tom Shuker, Value Stream Management, Productivity Press, 2002.

Wan, Sammy K.M., Mohan Kumaraswamy, Davis T.C. Liu, "Dynamic modelling of building services projects: A simulation model for real-life projects in the Hong Kong construction industry," *Mathematical and Computer Modelling* 57, 2054-2066, 2013.

Zhang, Min, Rajan Batta, Rakesh Nagi, "Designing manufacturing facility layouts to mitigate congestion," *IIE Transactions* 43, 689-702, 2011.



김 연 민 (ymkim@ulsan.ac.kr)

1979년 서울대학교 산업공학과 (학사)

1981년 한국과학기술원 산업공학과 (석사)

1993년 한국과학기술원 경영학과 (박사)

1981-1984 현대중공업 근무

현재 울산대학교 산업경영공학부 교수

관심분야 : 생산관리, 기술경영, 환경경영