

3D 모델링 기법을 이용한 작업자효율 및 생산성 분석

(Worker utilization and productivity analysis using a 3D modeling technique)

윤영수*, 양승렬*, 이수철*, 서승록*
(Young-Soo Yun, Sung-Yeal Yang, Soo-Cheol Lee, Seung-Lock Seo)

요약 본 연구는 작업자 효율 균형화, 생산성 향상등과 같은 시스템 수행도를 개선하기 위해 자동차 부품 조립라인의 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 시뮬레이션 모델은 완벽한 3D환경을 제공하는 이산사건모델링 도구인 QUEST를 이용하였으며, 이를 이용하여 현재의 생산라인의 수행도를 분석하였으며, 작업자효율을 균형화시키면서 생산성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다.

Abstract In this paper, we developed a simulation model of a car parts assembly line to improve the system performance such as worker's utilization balancing, productivity. This simulation model has been developed using QUEST, a true 3D discrete event simulation package that is designed for modeling and analysis of manufacturing systems. We have suggested the results obtained to improve the system performances of an existing production line.

1. 서론

오늘날의 기업들은 극심한 경쟁상태에서 살아남기 위해 생산성 향상에 대한 노력을 끊임없이 해왔다. 재고의 감소, 노동력의 효율적인 배분, 제품의 품질개선등에 관심을 가지며 JIT, MRP, ERP등의 신개념의 생산관리 기법을 도입하거나 생산라인의 자동화, 유연화를 추구하고 있다. 생산성 향상을 위해서는 시스템의 문제점이나 상황변화에 따른 시스템의 대응능력을 분석하고 여기서 밝혀진 문제점을 해결하기 위한 대안의 평가가 요구된다.

이러한 시스템의 분석과 평가를 위해 실제의 시스템을 구축하거나, 이미 구축된 시스템을 변경하는 것은 현실적으로 불가능할 경우가 많다. 이러한 문제점을 해결하는 방법은 가상의 모델을 만들어 시스템을 분석·평가할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 방법이 필요하다.[1]

컴퓨터 시뮬레이션에서 가장 중요한 점은 현실성에 어느 정도 가깝게 모델링을 할 수 있는가 하는 점이다. 이를 위해서는 대상모델의 생산환경(작업조건, 생산량, 가공시간, 셋업시간등) 뿐만 아니라 정확한 물리적인 특

성(작업장에서 설비의 실제 배치상태 및 크기, 작업자의 이동방법등)을 가상의 환경인 컴퓨터 화면속으로 완벽하게 표현하는 것이 필수적이다.

하지만 기존에 개발된 대부분의 시뮬레이션 방법들이 2D환경하에서 개발되었기 때문에 이를 잘 표현하지 못한다는 단점이 있다. 따라서 본 연구는 이를 가장 표현해 줄 수 있는 3D 시뮬레이션 모델링 도구인 QUEST(QUEuing Event Simulation Tool)를 이용하여 시뮬레이션을 수행한다.

본 연구의 목적은 자동차 생산라인을 대상으로 기존 시스템의 수행도를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석한 후 그 실행결과를 실제 현장의 결과와 비교하여 타당성을 입증하고자 하며, 이를 통해 다양한 실험을 수행하였다. 특히 본 연구에서 실시한 실험분석·방법은 작업자의 배치변경과 Layout변경을 통하여 작업자 효율을 균형화시키면서 생산성을 향상시키는 방안에 중점을 두었다.

2. 본론

*대구대학교 자동차·산업·기계공학부

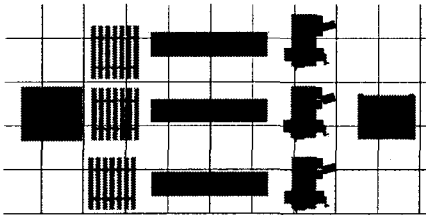
2.1 3D 모델링의 필요성

지금까지 개발된 대부분의 시물레이션 모델링 기법들은 2D환경하에서 실행된다. 2D환경하에서는 <그림 1>에서 보여지는 것처럼 일반적으로 개략적인 모델링만을 사용하기 때문에 설비의 물리적인 배치, 예를들어, 컨베이어의 길이, 기계의 크기, 기계간 간격, 기계의 배치면적등은 중요하게 고려되지 않는다.

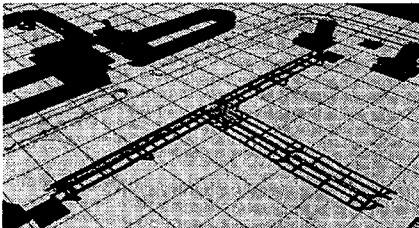
이러한 상황하에서의 시물레이션은 실제 생산현장의 정확한 정보를 표현하지 못하기 때문에 그 시물레이션 결과를 그대로 현장에 적용하기에는 많은 어려움이 따른다.

하지만 본 연구에서 제시하는 3D모델링은 2D환경하에서 표현하지 못한 현장의 환경을 정확히 표현할 수 있기 때문에 시물레이션 결과가 많은 부분에서 현장의 상황에 일치시킬 수 있다.

<그림 2>에서 보여지는 것처럼 3D 환경에서의 모델링은 정확한 3D 치수에 근거하고 있기 때문에 이를 이용한 상세설계에서는 공정설계가 좀더 분명하고 정확한 수행도 척도가 가능하다. 이 단계에서 컨베이어 및 자재처리장비와의 길이, 위치, 작업자의 이동거리등은 전체적인 공정수행도에 중대한 영향을 주게된다.



<그림 1> 2D환경하에서 시물레이션 모델링



<그림 2> 3D환경하에서 시물레이션 모델링

본 연구에서는 이러한 현장의 작업환경을 가장 잘 표현할 수 있는 3D 시물레이터인 QUEST를 이용하여 시물레이션을 수행한다.

QUEST는 Deneb사에서 개발한 이산사건(Discrete-Event) 시물레이터로 3D 모델링과 제조시스템 분석에 있어 획기적인 해결책을 제공한다. 대화식 입력, 3D 그래픽 및 시각분석과 결합된 세부 물리적인 시스템의 특성을 지니며, 레코딩이 아닌 실시간

(Real-Time)으로 처리되는 3D 전용 시물레이터이다.[2]

QUEST를 이용한 모델링의 장점은 VFI(Visual File Interface)와 연결된 Geometric File의 풍부한 데이터 라이브러리를 제공하며, 특히 사용자가 CAD환경에서 설계한 도면을 IGES, DXF 및 기타의 다른 포맷으로 쉽게 입력받을 수 있으며 이를 별도의 변환작업을 거치지 않고 곧바로 3D모델링으로 구축할 수 있기 때문에 현장의 생산라인을 거의 완벽하게 컴퓨터상으로 표현할 수 있다.[3]

2.2 대상라인의 시물레이션 모델링

2.2.1 가정

본 연구에서 사용한 시물레이션 모델링의 기본 가정들은 아래와 같다.

① 생산계획 및 라인/설비 운영방법은 공장에서 제시한 생산계획자료를 기준으로 한다.

② 제품불량, 설비고장, 자재품질현상등으로 인한 설비 가동시간의 지연이나 재작업등의 요인은 발생하지 않는다.

③ 작업자의 작업순서는 담당하는 기계들 내에서 변경 가능하다. 예를들어 1번 작업자가 담당하는 기계가 10~50이라면, 10번 기계에 장착 혹은 탈착을 한후 작업자를 필요로 하는 가공작업중에는 현재의 작업자와 가장 가까우며, 가장 먼저 대기하고 있는 기계로 이동하여 작업을 수행한다.

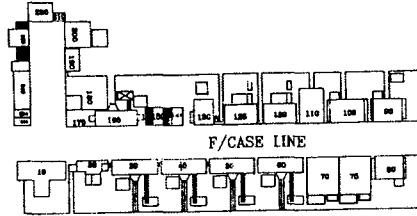
이러한 작업수행규칙은 QUEST의 작업수행로직을 이용하여 작성한다.

④ 기계간 가공물의 이동은 작업자가 한번에 한개씩 가져가며 컨베이어는 사용하지 않는다.

⑤ 가공에 사용되는 기계는 자동화된 기계로 작업자는 가공부품을 장·탈착만 하면 되며, 기계가공작업은 작업자의 도움이 없이 기계 단독으로 수행된다. 또한 작업자는 숙련된 작업자들로 어느 기계를 담당하더라도 작업수행이 가능하다.

2.2.2 대상 라인의 현황

본 연구에서 대상으로 하고 있는 생산라인은 경북 경주에 소재한 J공업의 일부라인으로 자동차의 엔진부분인 Front Case을 생산하고 있으며 총 7명의 작업자가 28대의 자동화된 기계를 담당하고 있다. <그림 3>은 이를 나타낸 것이며, 각 기계별로 표시된 번호는 기계번호를 의미한다.



<그림 3> 현재의 생산라인

따라서 1일 총작업시간은 34,200초(=10시간×60분×60초-30분×60초(휴식시간))이다.

2.2.3 대상 라인의 3D 시뮬레이션 모델링

먼저 생산현장에 배치된 기계들의 정확한 물리적인 특성(크기, 다른기계와의 거리등)을 실제로 측정하였으며 <표 1>, <표 2>에서 제시한 생산자료와 함께 QUEST의 3D환경에서 구축하였다. 구축된 화면은 <그림 4>와 같으며, 작업자의 이동시간은 일반적으로 기계간 이동시간을 정한다음 주게 되지만 이럴 경우 왕복에

<표 1> 현재라인의 생산관련 자료

| 기계 번호 | 공정명 | 작업내용(Sec.) | | | 총가공 시간 | 기계 번호 | 공정명 | 작업내용(Sec.) | | | 총가공 시간 |
|-------|-------------------------|------------|-------|----|--------|-------|-------------------|------------|-------|----|--------|
| | | 장·탈착* | Spray | 가공 | | | | 장·탈착* | Spray | 가공 | |
| 10 | C/Block 장착 면 가공(황삭) | 6 | 0 | 49 | 55 | 130 | L/Tester | 6 | 0 | 22 | 28 |
| 20 | C/Block 장착 면 가공(정삭) | 6 | 0 | 50 | 56 | 140 | Dowel Pin 조립 | 5 | 0 | 10 | 15 |
| 30 | 기준홀 | 5 | 0 | 44 | 49 | 150 | Cover 가조립 | 6 | 0 | 8 | 14 |
| 40 | 드릴, Fac'G | 5 | 0 | 39 | 44 | 160 | Bor.G | 6 | 0 | 51 | 57 |
| 50 | 리머, 드릴 | 5 | 0 | 36 | 41 | 170 | Cover 분해 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| 60 | Tapp'G | 5 | 0 | 19 | 25 | 180 | 세척 | 5 | 11 | 36 | 52 |
| 70 | O/Pan 가공 | 7 | 0 | 74 | 81 | 190 | Taper Plug 조립 | 12 | 0 | 11 | 23 |
| 75 | O/Pan 가공 | 7 | 0 | 74 | 81 | 200 | L/Tester | 11 | 0 | 0 | 11 |
| 80 | O/Pan탭,드릴 | 5 | 0 | 45 | 50 | 210 | O/Filter 조립 | 22 | 0 | 0 | 22 |
| 90 | 드릴 | 5 | 0 | 31 | 36 | 220 | O/Seal 조립 | 6 | 0 | 12 | 18 |
| 100 | 드릴, 3/8Tap 리머 | 5 | 0 | 51 | 56 | 230 | Gear 삽입, 카바 조립 | 16 | 0 | 8 | 24 |
| 110 | O/Filter면삭, 3/8Tap리머 | 10 | 0 | 47 | 57 | 240 | 성능시험 | 9 | 0 | 27 | 36 |
| 120 | G/Room 가공 | 5 | 15 | 83 | 103 | 250 | 진공검사 | 10 | 0 | 23 | 33 |
| 125 | G/Room 가공 | 5 | 15 | 83 | 103 | 260 | 외관검사 | 20 | 0 | 0 | 20 |

주) Spary = 가공이 끝난후 가공품에 묻어 있는 잔여물질, 수분등을 제거하는 작업시간
주) 기계번호 70, 75와 120, 125는 같은 기계로 가공시간이 다른 기계에 비해 월등히 크기 때문에 각각 2대씩 설치하였으며 작업자는 이들 기계중에서 유휴시간을 갖는 어느기계라도 순서에 관계없이 먼저 가공을 수행할 수 있다.
주) “장·탈착”과 “Spray”작업은 기계와 작업자 모두를 필요로 하는 공정이지만 “가공”작업은 기계만 필요로 하고 작업자는 필요 없다.

기계번호, 공정명, 작업내용 및 시간등은 회사에서 미리 제시한 생산자료를 이용하였으며 <표 1>과 같다. 작업자별 담당기계의 배치는 <표 2>와 같다.

<그림 3>에서 보여지는 기계들중에서 10번 기계와 130번 기계는 충분한 양의 가공품 재고를 두고 있으며, 이를 제외한 나머지 기계들도 하나씩의 재고는 항상 두고 있기 때문에 작업시작과 동시에 작업을 수행할 수 있다.

이러한 상태에서 7명의 작업자가 1일 10시간 작업(오전, 오후 각각 15분씩 휴식시간 포함)을 수행하고 있다.

<표 2> 작업자별 담당기계

| 작업자 No. | 담당기계 번호 |
|---------|-----------------------|
| 1 | 10, 20, 160, 170 |
| 2 | 30, 40, 130, 140, 150 |
| 3 | 50, 60, 110, 120, 125 |
| 7 | 70, 75, 80, 90, 100 |
| 4 | 180, 190, 200, 210 |
| 5 | 220, 230, 240 |
| 6 | 250, 260 |

<표 3> 기존상황의 시뮬레이션 결과

| 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 |
|------|------|------|-----|--------------------|-----|------|-----|
| 10 | 547 | 75 | 217 | 130 | 877 | 200 | 369 |
| 20 | 547 | 80 | 440 | 140 | 877 | 210 | 369 |
| 30 | 439 | 90 | 440 | 150 | 877 | 220 | 370 |
| 40 | 439 | 100 | 440 | 160 | 546 | 230 | 371 |
| 50 | 439 | 110 | 441 | 170 | 547 | 240 | 371 |
| 60 | 440 | 120 | 220 | 180 | 368 | 250 | 372 |
| 70 | 222 | 125 | 220 | 190 | 368 | 260 | 371 |
| 생산량 | 371개 | 병목기계 | | 기계번호 30, 160, 180번 | | | |

따른 시간을 별도로 지정해 주어야 하는 불편한 점이 있다. 예를들어 1명의 작업자가 담당하는 기계가 여러 대일 경우 모든기계에 대해 개별적으로 시간을 지정해 주어야 하며, 또한 라인의 배치가 변경될 경우에 작업자 이동시간도 기계별로 다시 지정해 주어야 하는 단점이 있기 때문에 본 연구에서는 일반적인 성인이 걷는 평균속도인 약 61cm/sec.로 하였다.[4]

이는 QUEST에서 현장의 라인 배치상태를 정확히 컴퓨터로 구현가능하기 때문에 별도로 기계간 이동시간을 줄 필요가 없으며 단지 이동속도만 지정해 주면 작업자 스스로가 이러한 속도로 기계들 간에 이동하기 때문에

작업자 이동시간을 손쉽게 작성할 수 있다. 또한 라인의 배치가 변경되더라도 별다른 수정이 필요하지 않다는 장점이 있다. 작업자의 작업로직(logics)은 작업자가 담당하는 기계들중에서 작업을 가장 먼저 마치고 대기중인 기계이며, 작업자와 가장 가까운곳에 위치한 기계부터 작업자가 자동적으로 이동하는 로직을 사용하였다.

<그림 5>는 작업자의 기계간 이동시간을 정해주는 QUEST화면이며, <그림 6>는 작업자의 작업 로직의 일부분을 보여주고 있다.

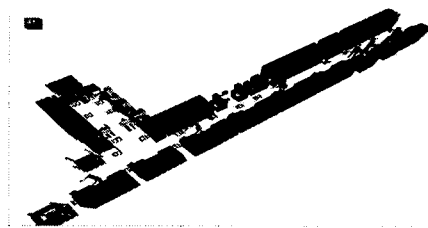
2.3 시뮬레이션 실험 및 분석

본 연구에서 수행하는 시뮬레이션의 목표는 현상태의 작업라인을 정확히 분석한후 작업자간 작업효율을 비교적 균등하게 유지하면서 생산량을 증가시키는 방향으로 시뮬레이션을 수행하고자 한다. 이러한 이유는 현장의 상태를 고려한 것으로 작업자의 작업효율을 무시한채로 생산량만을 증가시킬 경우 작업자의 피로누적과 불만이 쌓이게 되며 궁극적으로는 불량품을 양산하여

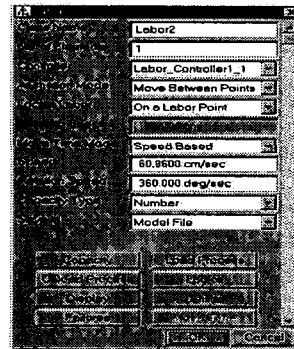
경영자나 작업자 모두에게 불이익을 가져다 준다는 점을 고려한 것이다.

분석순서는 먼저 기존의 상황대로 시뮬레이션을 구축한후 1일 동안 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과치로 제시되는 최종생산량을 실제 생산현장에서 1일 작업동안 수행한 생산량과의 비교를 통해 그 타당성을 검증한다.

타당성 검증이 완료되면 다양한 실험변경사항들을 제시하여 시뮬레이션을 수행하였다.



<그림 4> 대상라인(Front Case)의 3D 모델링



<그림 5> 작업자의 기계간 이동시간을 보여주는 QUEST 화면

2.3.1 기존상황 시뮬레이션 분석 및 타당성 검증

<표 1>, <표 2>, <그림 4>를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 수행시간은 1일(=작업시간 34,200초)로 하였다.

<표 3>은 각 기계별 생산량 및 병목현상을 보이는 기계를 나타내며, <표 4>는 작업자별 작업효율을 <그림 7>은 3D 시뮬레이션 결과화면을 보여주고 있다.

```

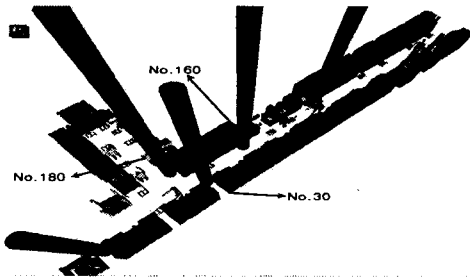
#include <lbr.inc>
procedure def_labor_proc_logic()
var
  Reroute           : popup_selection
  Do_Load           : popup_selection
  Do_Unload         : popup_selection
  Do_Wait           : popup_selection
  Path_selection    : popup_selection
  Lbr_Path
  cmd               : Lbr_Cmd
  pending_cmd       : Lbr_Cmd
  the_path          : Lbr_Path
Begin
  cmd = wait_for_lbr_command()
:Process_Cmd
  switch( cmd->type )
  case MOVE_LBR_ALONG :
    if( celem->curr_path <> NULL ) then
      Reroute = get_popup_selection( LBR_
      REROUTE, \
      celem, cmd->dec, celem->lbr_ctr )
      if (Reroute == NULL) then
        unassigned_popup(
LBR_REROUTE )
      endif
      Reroute( celem, cmd->path )
    endif
  start_lbr_move ALONG cmd->path

```

<그림 6>는 작업자의 작업 로직(일부분)

<표 4> 기존상황의 시뮬레이션 결과 2

| 작업자 번호 | 작업 효율 |
|--------|-------|
| 1 | 73 % |
| 2 | 92 % |
| 3 | 80 % |
| 7 | 51 % |
| 4 | 88 % |
| 5 | 43 % |
| 6 | 36 % |



<그림 7> 기존 상황의 3D 시뮬레이션 결과 화면

<표 3>은 최종 생산량이 371개로 마지막 기계인 260번을 거쳐 생산된 양을 의미한다. 실제 현장에서는 1일 작업시 평균 365개가 생산되기 때문에 실제 생산량을 기준으로 한다면 시뮬레이션 결과치는 약 98%정도의 효율을 보이고 있는 것으로, 시뮬레이션 결과가 실제

현장의 상황을 잘 반영하고 있음을 보여준다고 할 수 있다.

실제로 이 회사의 경영층에서는 시뮬레이션 결과가 실제 현장의 데이터에 80%이상이라면 타당성이 있다고 판단하고 있다. 따라서 본 연구에서 실시한 시뮬레이션이 타당성이 있는 것으로 분석된다.

또한 <표 3>에서는 기계별 생산량의 흐름을 보여주고 있는데 이는 각 기계별 생산량의 차이가 많이 날수록 병목(Bottleneck)현상을 일으킨다고 볼 수 있다. 즉 기계번호 20번에서 30번으로 가공품이 이동할 때 생산량의 차이가 108개 난다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 150번 --> 160번, 170번 --> 180번 기계에서도 비슷한 현상이 발생함으로 병목현상을 일으킨다고 볼 수 있다. <그림 7>에서도 이들 기계에 재고가 많이 쌓이는 현상을 볼 수 있다.

이러한 현상은 기계별 Setup시간이나 가공시간의 차이가 그 원인이기도 하지만 기계별 담당 작업자의 부적절한 배치에 더 큰 원인이 있다고 볼 수 있다. 즉 병목현상을 보이는 기계 30번은 2번 작업자가 담당하고, 160번은 1번 작업자, 180번은 4번 작업자가 담당을 하고 있으며 각각의 작업자 작업효율은 <표 4>에 제시된 대로 92%, 73%, 88%로 작업자 3번을 제외하면 다른 작업자에 비해 상당히 높은 작업효율을 나타내고 있기 때문에 작업자 효율 불균등 현상이 심하게 발생하고 있다. 예를들어 작업자 2번과 6번의 경우는 작업자별 작업효율이 각각 92%, 36%로 심각한 수준이다.

이런 환경에서 작업을 계속할 경우 효율이 높은 작업자는 낮은 작업자에 비해 작업 피로도가 증가하며, 작업자간의 불만이 고조되며, 장기간의 작업일 경우 불량률을 증가시킬 수 있는 가능성이 크며 궁극적으로는 생산량을 감소시키는 문제점이 있다.

2.3.2 기계별 작업자 배치 변경에 따른 시뮬레이션 분석 1

2.3.1절에서 발생한 문제점을 개선하며, 작업자간 작업효율을 균형화시키는 쪽으로 개선안을 제시한다.

<표 4>의 작업자 효율이 가장 낮은 5, 6번 작업자의 담당기계를 작업효율이 우수하며, 바로 인접한 기계를 담당하는 4번 작업자와 작업자 담당기계 배치를 적절히 변경한다. 즉 4번 작업자의 마지막 담당기계인 210번을 작업자 5번이 추가로 담당하게 하고, 작업자 5번이 담당하던 240기계를 작업자 6이 추가로 담당할 경우를 고려하였다. 따라서 작업자 4, 5, 6번은 전부 3대의 기계를 담당하게 된다.

이러한 기계별 작업자 배치변경에 따른 시뮬레이션을 실시해 보면 <표 5>, <표 6>, <그림 8>의 결과를 얻을 수 있다.

<표 5>을 살펴보면 <표 3>에 비해 생산량은 371개에서 552개로 181개 증가하였고, 병목현상을 보이던 기계 180번은 병목현상이 없어졌다. <그림 8>에서도 이

<표 5> 작업자 배치 변경에 따른 시뮬레이션 결과 1

| 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 |
|------|------|------|-----|---------------|-----|------|-----|
| 10 | 547 | 75 | 217 | 130 | 877 | 200 | 548 |
| 20 | 547 | 80 | 440 | 140 | 877 | 210 | 549 |
| 30 | 439 | 90 | 440 | 150 | 877 | 220 | 550 |
| 40 | 439 | 100 | 440 | 160 | 546 | 230 | 550 |
| 50 | 439 | 110 | 441 | 170 | 547 | 240 | 550 |
| 60 | 440 | 120 | 220 | 180 | 548 | 250 | 551 |
| 70 | 222 | 125 | 220 | 190 | 548 | 260 | 552 |
| 생산량 | 552개 | 병목기계 | | 기계번호 30, 160번 | | | |

러한 현상은 관찰된다. 즉 <그림 7>에서 보여지던 기계 180번의 재고가 많이 쌓이는 현상은 <그림 8>에서는 사라졌다.

<표 6>의 작업자별 작업효율을 분석해 보면 작업자 4의 작업효율은 88% -> 78%로 10% 감소하였고, 이로 인한 손실 효율은 작업자 5, 6의 작업효율이 43% -> 78%, 36% -> 75%로 각각 35%, 39%로 증가하는데 기인하였다. 즉 작업자 4, 5, 6의 작업효율은 거의 균등화되었다고 볼 수 있다. 이러한 이유는 작업자 4, 5, 6의 담당기계가 각각 4대 -> 3대, 3대 -> 3대, 2대 -> 3대로 모두 동일하게 배치되었기 때문인 것으로 분석된다.

하지만 아직까지도 병목현상을 보이는 기계 30번과 160번이 존재하며, 작업자 2번, 3번의 작업효율은 작업자 1번, 7번에 비해 높기 때문에 여전히 작업자간 작업 효율불균등 현상이 발생하고 있다.

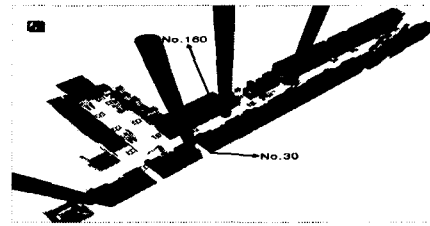
<표 6> 작업자 배치 변경에 따른 시뮬레이션 결과 2

| 작업자 번호 | 작업효율 |
|--------|------|
| 1 | 73 % |
| 2 | 92 % |
| 3 | 80 % |
| 7 | 51 % |
| 4 | 78 % |
| 5 | 78 % |
| 6 | 75 % |

<표 7> 작업자 배치 변경에 따른 시뮬레이션 결과 3

| 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 |
|------|-----|------|-----|-----------|------|------|-----|
| 10 | 552 | 75 | 267 | 130 | 1025 | 200 | 554 |
| 20 | 552 | 80 | 527 | 140 | 1026 | 210 | 554 |
| 30 | 552 | 90 | 527 | 150 | 1027 | 220 | 555 |
| 40 | 536 | 100 | 527 | 160 | 552 | 230 | 556 |
| 50 | 535 | 110 | 527 | 170 | 552 | 240 | 556 |
| 60 | 535 | 120 | 263 | 180 | 552 | 250 | 556 |
| 70 | 267 | 125 | 263 | 190 | 553 | 260 | 557 |
| 생산량 | 557 | 병목기계 | | 기계번호 160번 | | | |

1) 120, 125번 기계는 동일한 기계로 한명의 작업자가 담당해야 하며, 작업 특성상 이를 나누어서 다른 작업자가 담당할 수는 없다. 따라서 110번 기계를 작업자 7에 배정한다.



<그림 8> 작업자 배치 변경에 따른 3D 시뮬레이션 결과화면

2.3.3 기계별 작업자 배치 변경에 따른 시뮬레이션 분석 2

2.3.2절에서 발생하는 현상을 개선하기 위해서 작업자별 담당기계배치를 변경한다. 즉 가장 높은 효율을 보이고 있는 작업자 2번의 작업효율을 분산시키기 위해서, 30번 기계를 작업자 1이 담당하게 하고, 다음으로 작업효율이 높은 작업자 3이 담당하던 110번¹⁾ 기계를 작업자 7에 배정할 경우에 대해서 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과는 <표 7>과 같다.

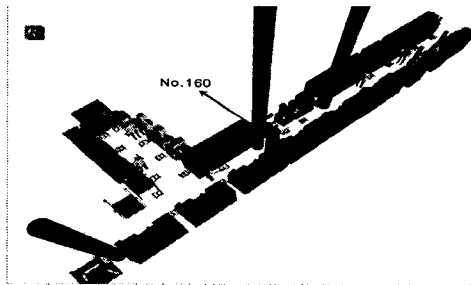
<표 7>과 <표 8>은 지금까지 제시된 시뮬레이션 결과중에서 최적의 상태를 보이고 있다. 생산량은 <표 5>의 결과와 비슷하지만 작업자별 효율은 어느정도 균형화된 상태를 볼 수 있다. 즉 작업자 1은 73%에서 83%로 10% 작업효율이 증가되었고, 이러한 증가치는 작업

자 2의 92% -> 88%로 4% 감소한데 기인한다고 볼 수 있다.

마찬가지의 경우로 작업자 3은 80% -> 69%로 11% 감소, 작업자 7은 51% -> 78%로 27%증가하였다. 지금까지의 결과들이 대부분 생산량이 높으면 작업자 효율이 최고에 달해서 현실적으로 문제가 있지만 <표 7>, <표 8>의 경우는 이러한 문제점을 어느 정도 해결하였다고 볼 수 있다.

<표 8> 작업자 배치 변경에 따른 시물레이션 결과 4

| 작업자 번호 | 작업효율 |
|--------|------|
| 1 | 83 % |
| 2 | 88 % |
| 3 | 69 % |
| 7 | 78 % |
| 4 | 79 % |
| 5 | 79 % |
| 6 | 76 % |



<그림 9> 작업자 배치 변경에 따른 3D 시물레이션 결과 화면 2

따라서 현재상태의 공정배치를 그대로 유지하면서 작업자별 담당 기계를 변경할 경우 생산량이 초기상태의 373개에서 557개로 184개 증가하였고, 작업자간 작업효율도 어느정도 균형화할 수 있다는 장점이 있어 우수한 대안으로 분석된다.

하지만 <표 7>과 <그림 9>에서 볼 수 있듯이 160번 기계에서 여전히 병목현상이 나타난 것을 볼 수 있다.

<표 10> Layout 변경에 의한 시물레이션 결과

| 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 |
|------|-----|------|-----|------|----------------|------|-----|
| 10 | 537 | 75 | 269 | 130 | 828 | 200 | 504 |
| 20 | 537 | 80 | 541 | 140 | 828 | 210 | 503 |
| 30 | 536 | 90 | 541 | 150 | 828 | 220 | 503 |
| 40 | 536 | 100 | 541 | 160 | 563 | 230 | 503 |
| 50 | 539 | 110 | 540 | 170 | 564 | 240 | 504 |
| 60 | 539 | 120 | 207 | 180 | 564 | 250 | 505 |
| 70 | 270 | 125 | 207 | 190 | 564 | 260 | 506 |
| 생산량 | 506 | 병목기계 | | 기계번호 | 120, 160, 200번 | | |

2.3.4 Layout 변경에 따른 시물레이션 분석

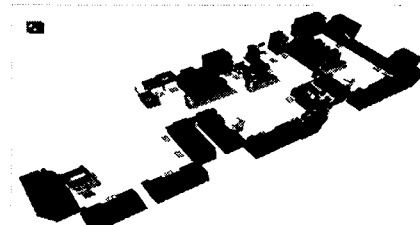
다음으로는 공정 Layout을 변경할 경우에 대해 시물레이션을 실시하였다. Layout 변경은 작업장의 공간이 미리 확보되어야 한다는 것을 전제로 한 것이며, 최근 생산라인 변경에서 많이 사용하고 있는 U자 라인 형태로 변경하고자 한다.[5]

변경된 레이아웃은 <그림 10>과 같으며, 여기에는 <그림 10>에서 보듯이 각 셀을 연결하는데 컨베이어가 새롭게 투입되었다. 투입된 컨베이어는 30cm/sec.로 움직인다. 작업자별 담당기계는 <표 9>과 같다.

이러한 배치상태를 이용하여 시물레이션을 실시하였다. 실행결과는 <표 10>, <표 11>, <그림 10>과 같다.

<표 9> Layout변경에 의한 작업자별 담당기계 배치

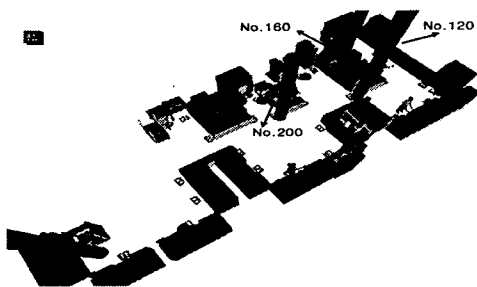
| 작업자 No. | 담당기계 |
|---------|-------------------------|
| 1 | 10, 20, 30, 40 |
| 2 | 50, 60, 70, 75 |
| 3 | 80, 90, 100, 110 |
| 4 | 120, 125, 130, 140, 150 |
| 7 | 160, 170, 180, 190 |
| 5 | 200, 210, 220, 230 |
| 6 | 240, 250, 260 |



<그림 10> 변경된 3D Layout 화면

<표 11> Layout변경에 의한 시뮬레이션 결과 2

| 작업자 번호 | 작업효율 |
|--------|-------|
| 1 | 64 % |
| 2 | 49 % |
| 3 | 62 % |
| 4 | 92 % |
| 7 | 83 % |
| 5 | 100 % |
| 6 | 64 % |



<그림 10> 변경된 Layout의 3D시뮬레이션 결과 화면

<표 10>, <표 11>을 살펴보면 생산량은 506개로 기존 모델의 <표 3>보다는 많지만 이를 변경한 <표 5>, <표 7>보다는 적다. 또한 작업자별 작업효율은 작업자

별로 상당한 차이를 보이고 있다. 특히 4, 7, 5번 작업자는 다른 작업자에 비해 작업효율이 상당히 높기 때문에 작업불균등 현상이 심하게 나타난다. 이러한 현상은 이들이 담당하는 기계들 중에서 120, 160, 200번 기계가 병목현상을 일으키기 때문이기도 하다.

따라서 이들 작업자의 작업효율을 균형화시키기 위해 작업자 2명을 추가로 투입하여 담당기계를 분리하여 담당하도록 하였으며, 또한 지금까지의 모든모델에서 공통적으로 발생하는 병목현상을 일으키는 160번 기계를

1대 더 추가로 투입(편의상 165번이라함.)할 경우를 고려하여 Layout를 다시 구축하였다.

즉 4번 작업자가 담당하던 5대의 기계중에서 120, 125번 기계를 작업자 3이 담당하도록하며, 3번 작업자는 자신이 담당하던 기계 80, 90번을 작업자효율이 가장 낮은 2번 작업자에게 배치하도록 하여 작업자 2, 3, 4번의 작업효율을 어느정도 비슷하게 유지하도록 하였다. 또한 새롭게 추가된 165번 기계를 7번이 담당할 경우 작업효율이 상당히 상승될 것으로 예상되기 때문에 새로 투입된 작업자 1명(8번 작업자)이 7번 작업자가 담당하던 180, 190번 기계를 전담하도록 하였다. 마찬가지로 작업자 효율이 100%로 나타나는 5번 작업자의 200, 210번 기계를 추가로 투입된 작업자 1명(9번 작업자)이 담당하도록 하였다.

이러한 상황을 고려하여 구축된 모델의 작업자별 담당기계의 배치는 <표 12>와 같으며 시뮬레이션 실행결과는 <표 13>, <표 14>, <그림 11>과 같다.

<표 12> Layout변경에 의한 작업자별 담당 기계배치

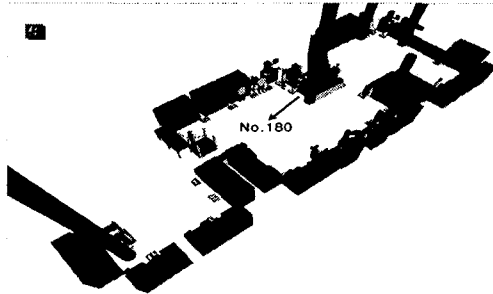
| 작업자 No. | 담당기계 |
|---------|------------------------|
| 1 | 10, 20, 30, 40 |
| 2 | 50, 60, 70, 75, 80, 90 |
| 3 | 100, 110, 120, 125 |
| 4 | 130, 140, 150 |
| 7 | 160, 165, 170 |
| 8 | 180, 190 |
| 5 | 200, 210 |
| 9 | 220, 230 |
| 6 | 240, 250, 260 |

<표 13> Layout 변경에 의한 시뮬레이션 결과 3

| 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 | 기계번호 | 생산량 |
|------|-----|------|-----|-----------|------|------|-----|
| 10 | 537 | 75 | 268 | 130 | 1118 | 190 | 637 |
| 20 | 537 | 80 | 537 | 140 | 1118 | 200 | 638 |
| 30 | 536 | 90 | 537 | 150 | 1118 | 210 | 639 |
| 40 | 536 | 100 | 515 | 160 | 534 | 220 | 639 |
| 50 | 538 | 110 | 515 | 165 | 534 | 230 | 640 |
| 60 | 538 | 120 | 257 | 170 | 1069 | 240 | 640 |
| 70 | 269 | 125 | 257 | 180 | 637 | 250 | 640 |
| | | | | | | 260 | 640 |
| 생산량 | 640 | 병목기계 | | 기계번호 180번 | | | |

<표 14> Layout 변경에 의한 시뮬레이션 결과 4

| 작업자 번호 | 작업효율 |
|--------|------|
| 1 | 64 % |
| 2 | 89 % |
| 3 | 73 % |
| 4 | 68 % |
| 8 | 67 % |
| 9 | 68 % |
| 7 | 58 % |
| 5 | 65 % |
| 6 | 82 % |



<그림 11> Layout 변경에 의한 3D 시뮬레이션 결과 화면 2

<표 13>, <표 14>, <그림 11>을 분석해 보면 병목현상을 보이는 기계가 180번 한 대로 기존 모델들 보다는 상당히 줄었으며, 생산량이 640개로 지금까지 제시된 모델중에서 최고의 생산량을 기록하고 있다. 또한 작업자별 효율이 어느정도 균형을 이루었다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구의 목적인 작업자효율을 균형화시키면서 생산량을 증대시키는데 합당한 모델이라 생각된다.

이러한 Layout 변경 모델은 추후 공장을 증설하거나 라인을 새로 구축할 때 좋은 의사결정 대안이 될 수 있을 것이라 분석된다.

하지만 실제 생산라인 구축에 있어서는 작업자 2명, 기계 1대 추가 투입에 따른 경제성 측면도 함께 고려해 보아야 할 것이다.

3. 결 론

기존에 많이 개발된 시뮬레이션 모델링 기법들은 대부분이 2D 환경하에서 수행된다. 이러한 경우 그 수행결과가 실제 생산현장의 상황을 고려하지 못한 경우가 대부분이다. 예를들면 기계의 크기, 기계간 배치간격, 작업자와 기계간 이동거리, 이동속도, 작업위치등은 실제의 생산환경에서 생산량의 증대와 작업자의 효율등에 상당한 영향을 미친다.

본 연구는 이러한 문제점들을 정확하게 고려해 줄 수

있는 3D 모델링 기법을 소개하였으며 이를 이용하여 실제 사례공장의 대상라인에 적용하여 작업자간 효율을 균형화시키면서 생산량 증대를 위한 다양한 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 현재의 라인은 이미 셋업(Setup)되어진 상태라 변경이 곤란하지만 차후 공장 증설이나 라인 변경이 가능하다면 Layout을 U자 형태로 변경하는 방안과 추가로 작업자 2명, 기계 1대를 더 배치하는 방안이 작업자 효율을 어느 정도 균형화시키면서 생산량을 더 증대시킬 수 있는 대안이 된다는 점도 살펴보았다.

현재는 하나의 대상라인에 대해서만 시뮬레이션을 수행하였지만 이를 공장 전체로 확대하여 대규모의 3D 시뮬레이션 모델링을 구축하여 다양한 분석을 수행해 보는 것이 앞으로의 과제이다.

참 고 문 헌

- [1] 조규갑, 문일경, 윤원영, 김영규, "전자레인지 조립라인의 생산물류 분석 시뮬레이션", 산업공학, Vol. 12, No. 1, pp.121-131, 1999
- [2] QUEST, Dassault Systems Inc., 1999
- [3] M. R. Barnes, "An Introduction to QUEST," Deneb Robotics Inc., 1998
- [4] QUEST Users Manual, Deneb Robotics Inc., 1997
- [5] J. Anelle, "Virtual Manufacturing for Design and Production", 1998 Deneb International Simulation and Technology Conference, 1998
- [6] 이영국, "경쟁력 확보를 위한 생산기술력", 자동차공학회지, Vol. 19, No. 1, 1997



서 승 록

건국대학교 산업공학과 (학사, 석사)

동아대학교 산업공학과 (박사)

현재 : 대구대학교 자동차·산업·기계공학부 교수

관심분야 : 인간공학적 시스템 설계, 작업분석 및 설계



이 수 철

서울대학교 농공학과 (학사)
(미) 콜롬비아대학교 기계공학과
(석사, 박사)
현재 : 대구대학교 자동차·산
업·기계공학부 교수
관심분야 : 기계제어, 모델링 설
계



윤 영 수

대구대학교 산업공학과 (학사)
건국대학교 산업공학과(석사,
박사)
현재 : 대구대학교 자동차·
산업·기계공학부겸임교수
관심분야 : 3D 모델링, 유전알고리즘, 최적설계

양 승 렬

대구대학교 산업공학과 (학사)
관심분야 : 3D 모델링, 작업분석, 마이크로 로봇 개발