

평판 디스플레이 제조 라인의 반복 프로세스 성능 평가를 위한 시뮬레이션 시스템 개발*

이 경 근** · 최 성 길*** · 류 시 욱****

〈 목 차 〉

I. 서론	IV. 시뮬레이션을 통한 디스플레이 라인분석
II. 대상시스템 분석	4.1 선행분석
2.1 대상시스템의 소개	4.2 기존안에 대한 시뮬레이션 분석결과
2.2 대상시스템 프로세스 분석	4.3 개선안에 대한 시뮬레이션 분석결과
III. AutoMod를 이용한 시뮬레이션 모델링	4.4 작업처리 우선순위 규칙에 따른 비교
3.1 시뮬레이션 시스템 구현환경	V. 결론
3.2 제조라인 설비의 환경설정	참고문헌
3.3 설비 운영 프로그램 구현	Abstract

I. 서 론

기업의 정보시스템은 재무, 구매, 제조, 노무, 판매 등 기업활동의 전반에 데이터의 수집, 저장 및 처리와 정보의 생성 및 업무지원 그리고 의사결정의 지원 등 오늘날 기업활동에서는 없어서는 안 되는 중요한 다양한 역할을 수행하고 있다. 또한, 기업의 제조부문에서는 ERP(Enterprise Resource Planning)나 MES (Manufacturing Execution System)등과 같은 정

보시스템을 통해 생산에 필요한 정보를 실시간 생성 및 처리하고 이러한 정보를 통해 제조 프로세스를 최적화하거나 생산과정에서 발생된 문제에 대응하는 능력을 향상시켜 기업의 경쟁력향상 및 생산성 제고에 크게 기여하고 있다. 한편, 오늘날 기업은 고객 수요의 끊임없는 변화와 설비의 기술발전 및 제조현장의 여건 등에 따라 제조 프로세스도 자주 바뀌고 있으며 실제 현장에서는 제조 프로세스를 최적화하는 일이란 매우 어려운 일 중의 하나가 되고 있다.

* 이 논문은 부산대학교 자유 과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

** 부산대학교 산업공학과 교수, kklec@pusan.ac.kr

*** 삼성 SDI 과장, autocsk.choi@samsung.com

**** 한중대학교 안전연구센터 연구교수, swkryu@hanzhong.ac.kr

따라서 몇 가지 실행 가능한 대안을 개발하고 이를 통해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 최적에 가까운 제조 프로세스에 대한 의사결정을 지원하는 방식은 매우 유용하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 우리나라 평판 패널 디스플레이(FPD: Flat Panel Display)를 생산하는 기업의 사례를 통해 시뮬레이션을 통한 의사결정을 지원하는 정보를 제안하는 과정과 그 시뮬레이션 시스템을 개발하는 과정을 소개하고자 한다.

본 연구에서 소개하고자 하는 평판 패널 제품을 생산하는 프로세스의 경우는 설비가 매우 고가라서 중복 투자가 어려운 문제점이 있다. 따라서 어떤 한 기능이 여러 프로세스에 공통으로 필요하면 프로세스를 반복적인 형태로 설계하는 경우가 많다. 그러나 반복적이고 복잡한 흐름은 라인정체를 발생시키고 이는 곧 생산량 감소나 리드타임의 증가를 초래하는 문제를 야기한다. 즉, 설비투자의 경제적 효용을 높이기 위해 여러 프로세스에 걸쳐 필요한 동일한 기능의 프로세스 설비에 대한 투자 의사결정을 하게 되면 결과적으로 생산흐름이 복잡해져 고객이 원하는 납기와 주문량을 달성하는데 어려움을 겪게 된다. 반복적이고 복잡한 생산프로세스에 대해 정확한 납기와 생산량을 예측한다는 것은 간단한 문제가 아니다. 설비의 고장과 같은 생산계획 상에서 발생하는 현실적인 문제점을 모두 반영하여 수리모형으로 정형화하여 이를 통해 정확한 납기와 생산량을 예측하는 것은 매우 어려운 일이다. 이런 경우는 생산시스템을 시뮬레이션 모형으로 평가시스템을 구축하고 생산 활동의 결과를 예측하는 것이 훨씬 더 수월하다. 이러한 이점 때문에 시뮬레이션 기법은 다양한 생산 활동에 유용한 평가도구로

사용되어 왔다. 즉, 생산시스템에 시뮬레이션 기법을 적용하여 대상 시스템의 기존 전략의 효율성을 평가하고 새로운 대안의 적용결과를 예측함으로써 대안의 타당성을 평가하는 수단으로 많이 이용되어왔다. 그러나 시뮬레이션은 기업의 현장에서 생산시스템을 평가하는 도구로 많이 사용되는 정보기술의 하나이지만, 정보기술 특히 정보시스템 분야에서는 그 적용과 사례에 대한 연구가 많지 않은 편이다. 김기문(2006)은 정보기술의 능력이 기업성공에 미치는 영향을 탐색적 연구를 통해 긍정적 관계가 있음을 소개하였다.

시뮬레이션을 생산시스템에 적용한 여러 연구들을 살펴보면, 박성미 등(1994)은 JIT(Just-In Time) 시스템에서 불량, 기계고장과 같은 불안정한 생산시스템을 가정하여 수행도를 평가하는 시뮬레이션 모형을 개발하여 분석하였고 이준수 등(1997)은 시뮬레이션 전용언어인 SIMUL을 이용하여 목공예 제조시스템의 공정 설계대안에 대해 생산리드타임과 생산량을 예측하는 시뮬레이션시스템을 개발하였다. 그리고 김원경(2001)은 자전거를 생산하는 기업의 전처리라인과 도장라인에 대해 공정개선이 가능한 대안을 제시하고 가장 큰 생산량을 제공하는 대안을 평가하는 시뮬레이션 시스템을 개발하였으며 황선문(2003)은 이와 유사한 상황에서 공정의 일부를 아웃소싱하는 형태의 생산시스템의 사례에 대한 평가시뮬레이션 시스템을 개발하는 연구를 수행하였다. 또한, 이경근 등(2005)은 신발제조업체 생산시스템의 공정을 평가하는 SIMAN 시뮬레이션 모형을 개발하고 도출된 문제점을 개선할 수 있는 대안들을 설정한 후 그 결과를 시뮬레이션하여 분석하였다.

한편, 최근에는 생산현장의 레이아웃에 따른 생산흐름을 시뮬레이션으로 실험하여 제조시스템의 성능을 스케줄링 규칙, 기계의 고장, 배치 사이즈, 이송기의 용량 등의 요인에 대한 분석한 연구가 수행되기도 하였다(Ekren and Ornek, 2008). 디스플레이 생산에 대한 시뮬레이션의 연구를 보면, 김승남 등(2005)이 디스플레이의 주요 부품 중 하나인 백라이트 유닛생산공정의 문제점을 예측하기 위한 시뮬레이션 모형을 개발하기도 하였으며, Zhou and Li(2005)는 TV 패널 압착공정에 있어 생산성과 품질에 영향을 미치는 성형 냉각시스템의 설계에 필요한 냉각기의 위치, 차원에 대한 분석을 시뮬레이션을 이용하여 실험하고 그 값을 분석하였다. 한편, 조대호, 하경재(2005)는 계층적 구조의 유연생산시스템의 생산성을 평가할 수 있는 시뮬레이션 모형을 수립하고 중첩작업을 처리하는 알고리즘을 개발하였다. 그리고 김중상(2001)은 시뮬레이션 기법을 이용하여 공급사슬경영의 효율성을 입증하는 연구를 수행하였으며, 장형욱 등(2006)은 공급사슬구조에 따른 활동과 경영성과를 요인분석과 신뢰성분석을 통해 연구를 수행하였다. 김선민, 강현곤(2003)은 생산시스템의 정책을 평가할 수 있는 의사결정지원도구를 시뮬레이션 모형을 이용하여 개발하기도 하였다.

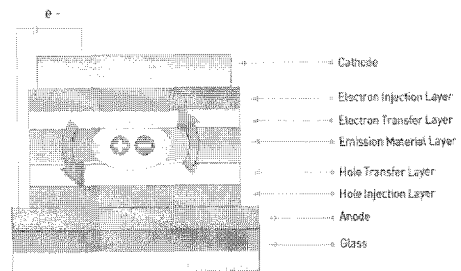
이처럼, 컴퓨터 시뮬레이션은 복잡한 생산시스템의 상황을 평가하고 문제점을 찾고 그 대안을 제시할 수 있는 유용한 도구로 각광을 받고 있으며, 본 연구에서는 각종 전자제품의 주요 부품으로 많이 쓰이는 평판 디스플레이를 생산하는 공정의 사례에 대하여 시뮬레이션 전용언어인 AutoMod를 통하여 생산시스템 평가 모형을 개발하고 문제점분석을 통한 대안을 제

시하고 작업할당규칙에 따른 결과를 제안하고자 한다.

II. 대상시스템 분석

2.1 대상시스템의 소개

본 논문의 연구대상은 AM 유기EL 제조라인 중 패널을 완성하는 단계인 기관투입에서부터 저온 폴리 실리콘(LTPS: Low Temperature Poly-Si) 프로세스까지이다. 이 프로세스는 앞서 언급한 것과 같이 프로세스가 반복적이고 매우 복잡한 흐름을 갖고 있다. 작업장(Work Center)은 프로세스 장비와 검사장비로 구성되어 있는데 검사장비는 대부분이 여러 공정들의 결과를 검사할 수 있는 기능을 가지고 있다. 즉, AM 유기EL의 제품구조를 보면 <그림 1>과 같이 여러 장의 글라스(Glass)가 계층적으로 쌓여 있는데 각 글라스별로 유기물 증착프로세스를 실행하고 증착이 제대로 되었는지 검사한 후 다음 프로세스로 진행하게 되는데 이런 검사 공정을 수행하는 장비는 매우 고가이어서 여러 프로세스에 걸쳐 반복적으로 적용되고 있다.



<그림 1> AM 유기EL의 제품구조

따라서 본 연구에서는 차세대 디스플레이 신규 양산 라인에서 고가의 설비로 프로세스를 반복적으로 수행하는 생산계획에 따른 생산 리드타임과 생산량을 평가할 수 있는 시뮬레이션 모델링 및 시스템을 개발하고 이를 통하여 라인 운영방법과 운영규칙에 대한 대안의 비교평가를 수행하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 자동 창고와 작업장 그리고 무인 천정 반송 장치로 이루어진 생산라인을 시뮬레이션으로 모델링하고 생산계획에 따라 제품을 투입한 후 각 장비의 활용도, 투입에서 완료까지의 리드타임과 일정기간 동안 생산량 추정을 통해 특정 라인운영방법과 운영규칙에 따른 현재의 상태와 개선된 상태를 비교평가 하고자 한다.

디스플레이 라인 시뮬레이션을 위해서는 재료의 투입계획, 설비보전을 위한 정지계획, 고장에 의한 수리시간, 가공시간 및 생산이나 물류장치의 용량 및 처리능력 등에 대한 정보가 필요하다. <표 1>은 본 연구에서 FPD 생산시스템 시뮬레이션에 필요한 입력 데이터들을 요약하여 설명하고 있다.

<표 1> 시뮬레이션에 필요한 입력 데이터

입력 데이터	내용
투입계획	양산라인에 투입될 글라스의 투입기준
설비계획 정지	설비보전을 위하여 설비문제 발생 전 계획적으로 정지하여 설비의 상태를 점검하는 활동과 정지시간
설비순간 정지	비계획적이고 불규칙적으로 발생하는 설비문제와 이에 대한 수리시간
설비가동 시간	ASRS, OHS, 컨베이어 등의 물류장비와 작업장이 공정 내에서 운영되는 표준 가공시간
기타	시뮬레이션 시간, 카셋(cassette) 기준 적재를 등의 기본정보

카셋(Cassette)이란 공정간 이동에 사용되는 일정의 팔렛(Pallet)으로 한 카셋에는 20개의 글라스가 들어갈 수 있다. 카셋당 적정 글라스의 수는 본 연구에서 사용한 20개의 값에 대한 근거는 4장의 대기행렬모형을 이용한 선행분석에서 소개한다.

위와 같은 주어진 입력 자료를 기반으로 시뮬레이션을 수행하여 <표 2>와 같이 생산량, 생산 리드타임, 설비 및 물류장치의 활용도, 점유율 등에 대한 정보를 얻게 된다. 이런 결과들은 현재의 생산시스템에 대한 성과를 측정하는 중요한 지표로 사용될 수 있다. 동일한 생산시스템에 대해 특정 조건에 대한 입력데이터의 변화에 따른 결과를 용이하게 비교하게 함으로써 대안 비교가 수월해지게 된다.

<표 2>에서 설비의 활용도는 설비의 실제 가동시간을 전체 시뮬레이션 시간으로 나누어 구하고 스택커 크레인의 활용도는 총 가동 시간이 반출(Delivering: 제품을 싣고 이동하는 프로세스)시간, 이송(Retrieving: 제품을 싣기 위해 이동하는 프로세스)시간, 이동대기시간(Moving to Park: 대기하는 장소로 이동하는 프로세스)의 합으로 표현되며 이를 전체 시뮬레이션 시간으로 나누어 구하게 된다.

<표 2> 시뮬레이션의 출력 데이터

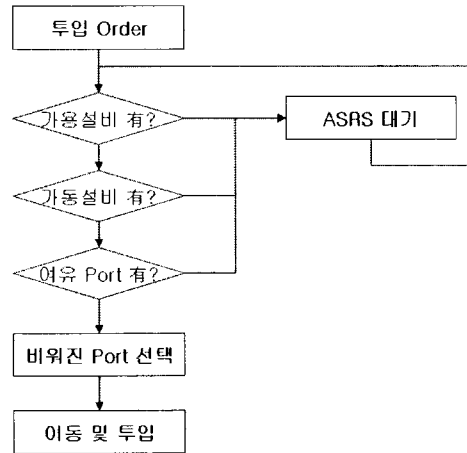
출력 데이터	내용
생산 리드타임	기판투입 후 LTPS 공정추출까지 소요되는 시간
생산량	시뮬레이션 구동시간 동안에 생산된 제품 총량
설비 활용도	설비가 직접 부가가치 작업을 한 시간
스택커 크레인 활용도	공정간 이동 또는 ASRS 적재를 담당하고 있는 물류반송 장비인 스택커 크레인의 활용도
랙 점유율	각각의 ASRS에 카셋이 채워진 정도

2.2 대상시스템 프로세스 분석

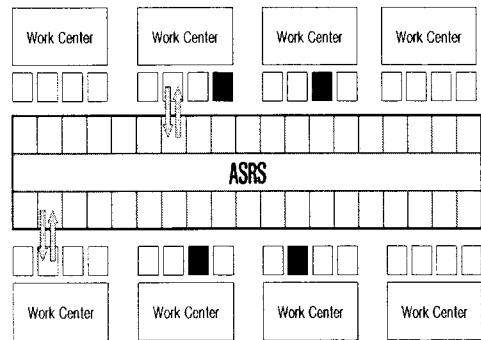
본 연구에서는 시뮬레이션 수행을 위해 라인 운영 프로세스를 정리하고 그에 따라 시뮬레이션 모듈을 구현한다. 먼저, 라인운영 프로세스를 3개 부분으로 나누어 분석한다. 첫 번째 프로세스는 제품이 작업을 하기 위해 해당프로세스의 가공처리를 담당할 작업장을 선택하는 작업투입 프로세스이며, 두 번째 프로세스는 작업이 완료된 제품이 추출되어 다음 작업 투입 또는 적재를 하기 위한 작업완료 추출 프로세스이다. 마지막으로 세 번째 프로세스는 적재 및 대기하기 위한 제품이 저장되는 ASRS 적재 프로세스에 대한 모듈이다.

2.2.1 작업투입 프로세스

<그림 2>와 같이 제품이 작업장으로 투입되기 위해서는 먼저 가용할 수 있는 다음설비가 있는지를 확인해야 하며 이 과정에서 해당설비가 정상적으로 작업이 가능한 장비만을 대상으로 표시되어야 한다. 그리고 가용설비가 여러 대 있을 경우 각 장비 중, 대기하고 있는 제품 수가 가장 작은 즉, 가장 여유있는 설비를 찾아야 한다. <그림 3>과 같이 작업 설비 앞의 4개의 대기지점 중 비워있는 대기지점을 결정하고 화살표와 같이 ASRS와 대기지점에서 제품이 입고 또는 출고되게 된다. 검정색 부분은 가공품이 자리를 차지하고 있는 경우이다. 한편, 한 카셋이 임의의 작업지점에서 투입되면 작업이 완료된 후 동일한 지점에서 회수가 되는데 이는 카셋에 입력된 바코드 값으로 물류이동이 제어되기 때문에 투입된 글라스들은 동일한 위치에서 전량 회수된다.



<그림 2> 작업투입 프로세스



<그림 3> ASRS와 설비투입 대기지점

2.2.2 작업완료 추출 프로세스

다음으로 작업이 완료된 제품이 추출되어 다음 작업 투입 또는 적재를 하기 위한 프로세스는 <그림 4>에 표시되어 있다. 여기서 베이는 하나의 ASRS를 중심으로 구성된 설비의 집합을 말한다.

작업이 완료된 제품은 카셋형태에 적재되어 다음 작업으로 이동하게 되는데 이때 다음공정의 작업지점이 어디에 있는지를 확인하고 ASRS에 이동작업지시를 내려서 후공정으로 이동하게 된다. 단, 작업지점이 ASRS와 해당지점

의 설비집합체 내에 존재하지 않을 경우 ASRS 이동은 내부위치 중 OHS와 가장근접한 지점으로 이동하게 되는데 이 위치를 TFE (Transfer Equipment)라고 한다. TFE로 이동된 카셋은 OHS에 명령을 내린 후 공정설비가 있는 베이로 이동을 하게 되고 OHS로 해당 베이에 이동된 카셋은 해당 베이의 ASRS로 이동할 수 있는 TFE로 이동한다.

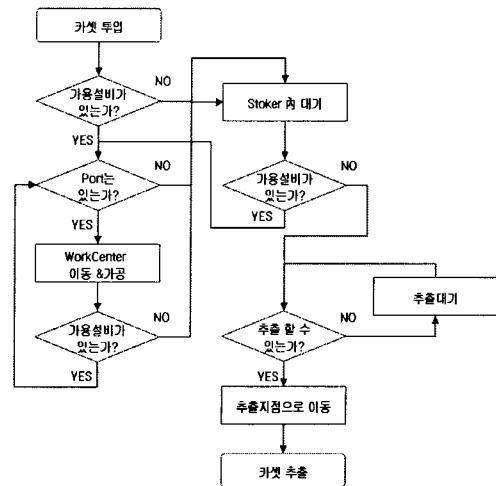
이후 후공정 작업지점의 대기 장소가 카셋을 내려 놓을 수 있는 조건이 되면 해당지점으로 이동하고 없을 경우 이동된 ASRS의 적재 장소에 보관하게 된다. ASRS내의 물류이송은 스택커 크레인(Stacker Crane)이라는 반송장치에 의해 이루어진다.

2.2.3 ASRS적재 프로세스

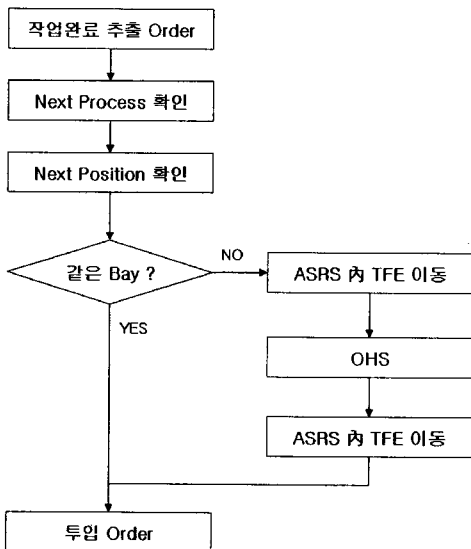
마지막으로 적재 및 대기를 위한 ASRS 적재 프로세스는 <그림 5>에서 정의하고 있다. 스토커(Stoker)는 ASRS 내의 저장공간 부분을 지칭

한다. ASRS의 스택커 크레인에 올린 제품은 후공정이 작업 가능한 상태로 변하기 전까지 ASRS에 보관하게 된다.

<그림 5>의 내용은 카셋 투입 후, 후공정 설비가 작업대기 중인가를 확인한 후 작업대기 중일 때는 설비 앞의 대기지점이 비워져 있는가를 확인한다. 이후 설비로 이동하여 작업을 하고, 작업이 끝난 제품은 다시 가용설비가 있는가를 확인하는 프로세스이다.



<그림 5> ASRS 적재 프로세스



<그림 4> 작업완료추출 프로세스

III. AutoMod를 이용한 시뮬레이션 모델링

본 연구에서는 앞 절에서 정의된 입출력 데이터와 디스플레이 라인 프로세스를 3차원 공장자동화 시뮬레이션 전용도구인 AutoMod를 이용하여 구현한다. 이 과정은 세 가지의 특징을 갖는데, 첫째 ASRS, OHS, 컨베이어, 작업장에 대한 객체화된 모듈을 만들고 각 기능에 해

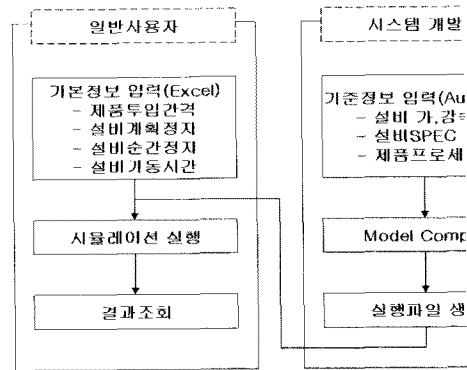
당하는 모듈별 프로그램으로 구현하는 것과, 둘째 스프레드시트 인터페이스 기능을 사용하여 입력 데이터를 읽어 들이게 함으로써 사용자 편의성을 증대시킨다는 점, 셋째 결과처리 부분을 비즈니스 그래픽스(Business Graphics)라는 모듈을 활용하여 다양한 그래프 형태로 출력하여 표현하는 것이다.

3.1 시뮬레이션 시스템 구현환경

본 연구에서는 시뮬레이션에 필요한 정보들을 사용자가 손쉽게 입력할 수 있는 사용자 인터페이스 환경과 객체화된 시뮬레이션 모델 그리고 다양한 방법의 분석결과를 볼 수 있도록 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 MS 윈도우즈 계열의 운영체제 하에서 구동되며, AutoMod 12와 인터페이스 환경을 제공하는 MS Excel API를 활용하고 있으며 구축된 시스템은 AutoMod 실시간 모듈을 활용하여 AutoMod 프로그램 수정은 불가능하지만 Excel 데이터 입력과 개발된 소스를 활용한 분석이 가능하도록 하였다. 또한 런타임 모듈의 경우 네트워크 라이선스를 활용하여 여러 사람이 접속하여 입력 값을 변경해가며 분석이 가능하도록 환경을 구축하였다. <그림 6>은 의사결정자 또는 일반사용자가 시스템을 활용하여 디스플레이 라인 운영에 대한 의사결정을 수행하는 순서도를 나타내고 있다.

시뮬레이션 시스템의 개발자, 운영자, 의사결정자 모두가 개발된 분석 시스템을 활용할 수 있도록 시스템을 설계하였다. 라인의 운영조건을 반영한 사전분석만 필요한 일반사용자의 경우 시뮬레이션 시스템의 프로그램은 다루기 힘

들뿐만 아니라, 일선관리자의 대부분이 Excel 표준양식에 의해 라인생산계획을 관리하고 있기 때문에 시스템개발자 환경과 사용자 환경을 분리하고 각자 활용할 수 있는 시뮬레이션 구동 라이선스도 분리한다. <그림 6>은 같이 시스템 개발자는 시뮬레이션 모델링 후 컴파일이 완료된 실행 데이터를 서버에 두고 일반사용자는 시뮬레이션 입력조건 설정을 위한 Excel 데이터의 업데이트만으로 시뮬레이션 결과정보를 조회할 수 있게 한다.



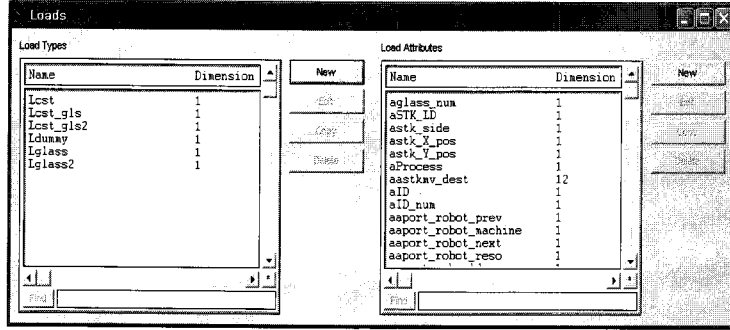
<그림 6> 시스템 및 사용자 실행 순서도

3.2 제조라인 설비의 환경설정

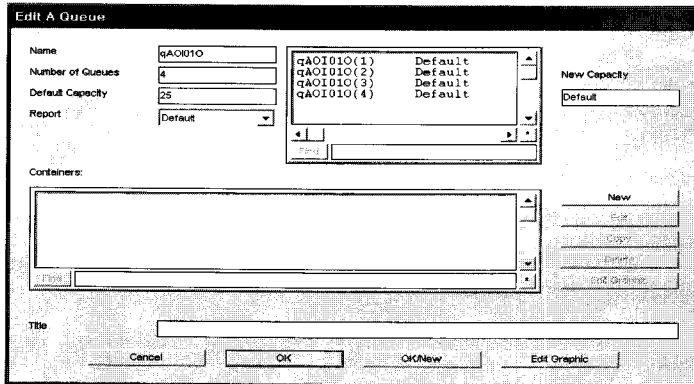
설계도면을 시뮬레이션 모델로 만들기 위해선 먼저 설비배치도면 입수 후 AutoCAD 도면 파일(.dwg)을 Neutral Format(.igs)으로 변환하여 AutoMod에 임포트(Import) 명령을 실행하면 설계도면을 AutoMod 프로그램에서 구현할 수 있게 된다.

한편, 시뮬레이션 구현을 위한 AutoMod 프로그램은 로드(Loads)라고 불리는 개체에 의해 프로세스 처리시점을 관리하기 때문에 최초로 로드를 생성함으로써 시작한다. <그림 7>은 로드

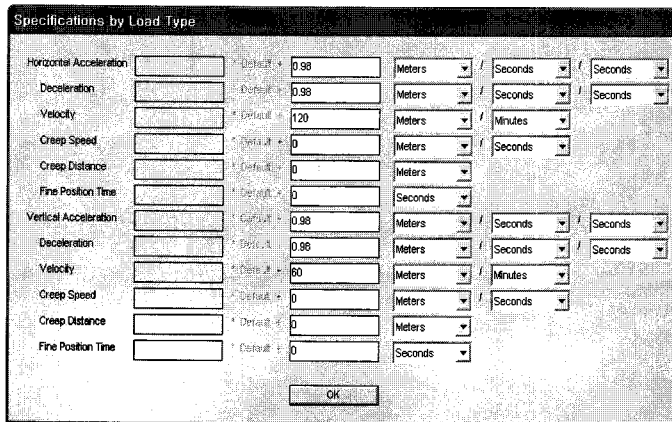
유형(Load Types)과 로드 속성(Load Attributes)에 대해 정의하는 과정을 보여주고 있다. 이를 편집 창에서 시뮬레이션 대상인 생산 제품을



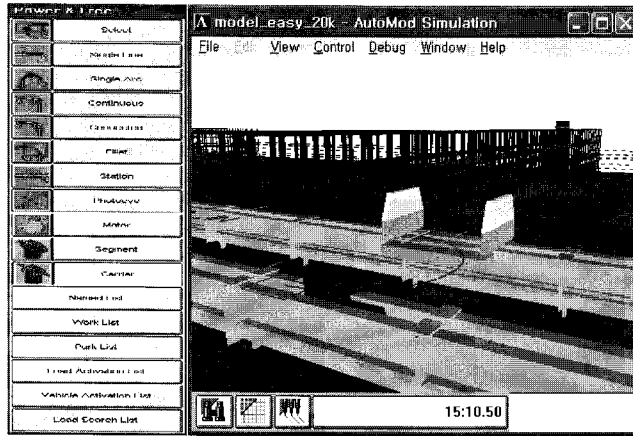
<그림 7> 로드 유형정의 화면



<그림 8> 대기행렬 내용정의 화면



<그림 9> 스택커 크레인 속성정의 화면



<그림 10> OHS 모듈생성 화면

한편, 생산된 제품을 컨베이어 시스템으로 옮기고 컨베이어 시스템으로 옮겨진 제품은 로봇에 의해 카셋에 옮겨 담게 되는데, 프로그램에서는 카셋을 대기행렬(Queue) 시스템으로 처리하게 된다. 대기행렬은 <그림 8>과 같이 25개의 제품을 담을 수 있는 카셋의 대기행렬이 4개가 있다는 것을 나타낸다. 카셋으로 담겨진 제품은 ASRS 시스템의 스택커 크레인에 의해 후공정 작업장 또는 ASRS 내부의 적재 장소에 대기하게 되는데, <그림 9>는 반송장치인 스택커 크레인의 속성을 입력하는 창의 모습이며 이 속에는 ASRS 모듈 내에서 수평 또는 수직 이동 속도와 가속, 감속도의 정의 그리고 적재하는 장소를 세밀히 정의하는 내용들이 포함되어 있다. 베이와 베이 간의 이동을 맡고 있는 OHS는 ‘Power & Free’ 라고 하는 시뮬레이션 모듈을 사용하여 정의하고 이 모듈 내에서 OHS는 캐리어(Carrier)라고 불린다. <그림 10>의 좌측화면은 OHS 모듈내의 캐리어 등과 같은 기능을 선택할 수 있는 화면이고 우측화면은 좌측기능을 사용하여 만든 OHS의 모습을

나타낸다.

실제라인에서는 ASRS와 OHS간의 제품이동은 ASRS 내에 TFE지점에서 대기행렬로 만든 후 ASRS 작업이 완료된 로드를 해당 대기행렬로 이동시키고 대기행렬에선 ‘Power & Free’ 모듈로 ‘Move to’라는 명령어를 사용하여 보내게 된다. OHS를 구동하는 모듈은 ‘Worklist’라고 불리는 OHS에 작업을 할당하는 지점이 존재하는데 OHS의 캐리어는 ‘Worklist’로 ‘Move to’라는 명령어를 사용하여 옮겨진 제품을 싣고 목적지로 이동하게 된다. OHS에서 ASRS로의 이동은 위의 경우와 반대로 정의하여 각 베이간을 이동하게 된다.

3.3 설비 운영 프로그램 구현

설비를 구동하기 위한 프로그램 운영방법은 AutoMod의 ‘Process’ 모듈을 사용하게 되는데 <그림 11>과 같이 ‘Model Ready Function’을 활용하여 라인초기 환경을 구현하였다. 초기 환경설정 내용 중 반복적이거나 자주 변경되는

부분에 대한 'modelname.arc' 파일아래 엑셀 데이터 또는 별도 참조할 수 있는 데이터를 생성시킨 후 그 값을 읽어 기본환경이 설정되도

록 하고 설비의 가공시간은 'Use Resource'라는 명령을 사용하여 처리하였다.

```

AutoMod Editor [sfmain.m]
File Edit Search View Window Help
begin model ready function
open "arc/simuldata.txt" for reading save result as V_mainptr
read Vstrtemp from V_mainptr with delimiter "\n" /* title remove */

while V_mainptr eof = false do begin
set val to 0 /* a variable to seek unique equipment ID */
read vProcNum from V_mainptr with delimiter "\t" /* process number */
read vEqCnt(vProcNum), vEqseq from V_mainptr with delimiter "\t" /*equipment number */
set vEquniqueID to vProcNum*10 + vEqseq /* generate equipment Unique ID */
read vEqcode(vEquniqueID), vInspect(vProcNum) from V_mainptr with delimiter "\t" /*Eq name, inspect count */
read vstk(vEquniqueID) from V_mainptr with delimiter "\t" /* stocker number */
if vstk(vEquniqueID) = 1 then /* transfer stocker number to fit the simulation layout */
set vstk(vEquniqueID) to 9
else if vstk(vEquniqueID) <> 10 then
set vstk(vEquniqueID) to vstk(vEquniqueID)-1

read vTT(vEquniqueID), vLT(vEquniqueID) from V_mainptr with delimiter "\t" /* tact time, lead time */
read vbuffer(vProcNum), vPosition(vEquniqueID) from V_mainptr with delimiter "\t" /* buffer number and Eq position */
read vBackup(vEquniqueID) from V_mainptr with delimiter "\t" /* back-up sign */

set castk_pro_Cnt(vProcNum) capacity to vbuffer(vProcNum) /* buffer counter */
set caMachine_capa(vEquniqueID) capacity to ((vLT(vEquniqueID)/vTT(vEquniqueID))+1) /* lead time/tact time -> machine capacity */
set vaMach_capa(vEquniqueID) to caMachine_capa(vEquniqueID) capacity
while val <= vEquniqueID do begin /* a loop for seek unique Eq ID */
inc val by 1
if vEqcode(val) is vEqcode(vEquniqueID) then begin
set vEqID(vEquniqueID) to val
break
end
end

open "arc/simuldata_PM.txt" for reading save result as V_mainptr
read Vstrtemp from V_mainptr with delimiter "\n"

while V_mainptr eof = false do begin
read vPMnum, vEquniqueID from V_mainptr with delimiter "\t" /* read the Eq trouble number */
if vPMnum is 0 then begin
return true
end
set vPMID(vPMnum) to vEquniqueID /* To match the Eq Unique ID */
if vEquniqueID is 11 then
set vinitial to vPMnum
read vEqcode2(vPMnum), vVMUP(vPMnum), vVMDOWN(vPMnum), vVMSTART(vPMnum) from V_mainptr with delimiter "\t" /* PM dat
read vchUP(vPMnum), vchDOWN(vPMnum), vchTT(vPMnum) from V_mainptr with delimiter "\t" /* chamber PM data(No down) */
end

open "arc/simuldata_lot.txt" for reading save result as V_mainptr
read vschedule from V_mainptr with delimiter "\t" /* schedule type EDD, SPT, FIFO, SPOU.. */
read vglass_num from V_mainptr with delimiter "\t" /* glass number in a cassette */
read vMiletime from V_mainptr with delimiter "\t" /* read line capacity */
    
```

<그림 11> Model ready function 구현 화면

<표 3> 소스 파일의 구성과 역할

Source File 명	내용
Sfmain.m	라인운영 방법을 비롯한 메인로직 프로그램
Next_proc.m	작업 후 검사공정이 필요 없는 작업일 경우 검사공정을 건너뛸 수 있게 만든 프로그램으로 작업추출 프로세스를 정의함
Cur_worCenter.m	작업장의 여유 버퍼공간 확인 및 여유 공간 발생 시 공간 확보를 위한 프로그램으로 작업투입 프로세스를 정의함
Cur_procNcapa.m	현 프로세스를 확인하고 검사공정의 필요 유무에 대한 판단을 위한 프로그램
Cur2_STKnTFE.m	TFE를 사용할 경우 사용되는 프로그램으로 ASRS 적재프로세스를 정의함

엑셀파일을 통한 인터페이스의 경우 다음과 같은 명령어를 사용하여 각 시트에 들어있는 데이터를 읽어 들여 시뮬레이션 프로그램의 변수로 변환한다. 아래의 예는 엑셀의 'B2'셀의 내용을 시뮬레이션의 'VstrA'라는 변수로 받아 들인다는 의미이며, 이 변수를 시뮬레이션 프로그램에서 가공하여 라인운영의 중요한 입력데이터로 활용한다.

```
set VstrA to XLGet("[Values.xls]Sheet1", "B2")
```

또한, 본 연구에서 사용된 프로그램은 총 5개의 소스 파일로 구성되어 있으며 각 파일의 역할은 <표 3>과 같다. 입력 데이터와 라인운영 알고리즘이 정립되면 결과분석을 위한 출력 결과물에 대해 정의한다. 본 연구에서는 생산량 및 리드타임과 같은 결과물은 타임라인 그래프

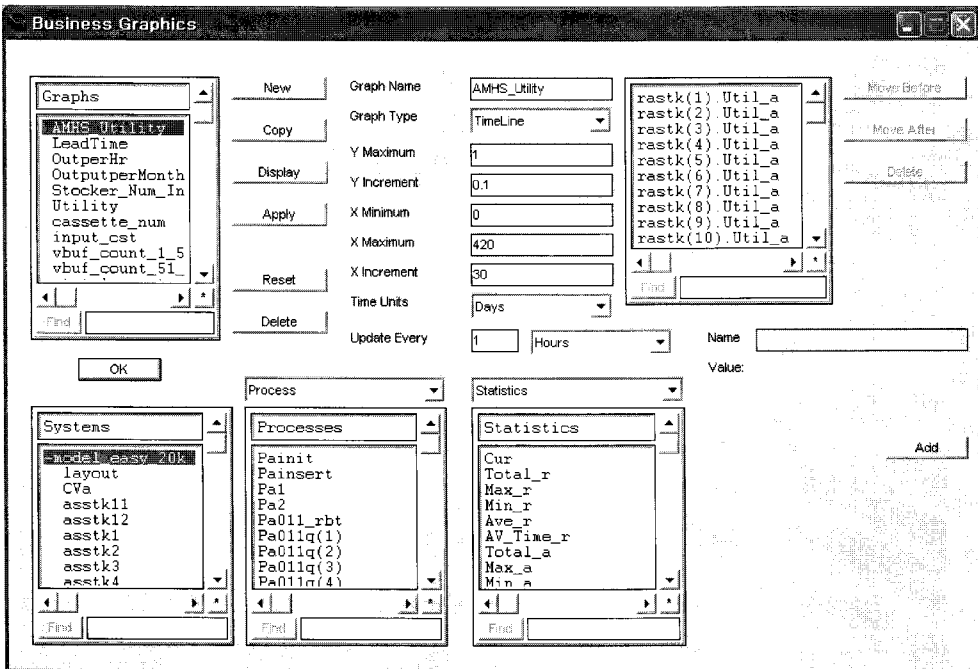
를 활용하여 <그림 12>와 같이 시간대별 추이를 분석할 수 있도록 비즈니스 그래프로 정의하였다.

그리고 시뮬레이션 모델 구동시간과 보고서 형태 및 결과파일의 종류 등은 런 컨트롤(Run Control)에서 정의하는데 시뮬레이션 운영방법은 30일간의 주기로 15번 반복하여 결과를 도출하였다.

IV. 시뮬레이션을 통한 디스플레이 라인분석 결과

4.1 선행 분석

여기서는 대기행렬이론을 활용한 양산라인



<그림 12> 비즈니스 그래픽스(Business Graphics) 입력화면

의 리드타임을 분석하였다. 여기서 리드타임은 LTPS 투입에서 추출까지의 시간을 의미하며, 이 시간은 본 연구에 앞서서 물류이송단위가 되는 카셋의 용량을 결정하기 위해 설비의 순수 가동시간을 합산한 수치와 단위 공정간의 소요대기시간을 합산한 결과를 기준으로 카셋 용량을 선정하기 위한 기초자료로 활용하였다. 대기행렬 이론의 적용에 있어 λ , μ , ρ 값을 구하는데 λ 는 모델에서 시간당 카셋 투입량을, μ 는 시간당 처리 개수를 그리고 ρ 는 시간당 설비활용 횟수를 표현한다. λ 의 산출은 글라스당 투입 간격(108 sec)으로 하나의 카셋(24 글라스)이 만들어지는 시간을 환산하여 ($108\text{sec} \times 24\text{cell} = 43.2\text{min} = 0.74\text{hr}$) 구하고 μ 값은 시간당 처리 개수로 $3600/\text{설비소요시간}$ 으로 산정한다. μ 값의 경우 첫 번째 설비가 글라스 투입간격이 60 초라면 60초 곱하기 24장을 하여 생산 시 설비 소요시간을 구하고 '3600/생산소요시간'을 사용하여 $\lambda(3600/(60 \times 24)=2.5)$ 을 구한다. ρ 값은 설비활용횟수/시간으로 산정($0.74/2.5=0.296$)한다. 여기서 평균 고객수를 ($\rho/(1-\rho)$)으로 구하고 평균 체제시간과 평균 대기시간을 구한다. 각 프로세스별로 구해진 평균 대기시간을 합산한 결과는 <표 4>와 같이, 본 연구는 20 글라스 카셋으로 모델링을 구현하였다.

<표 4> 리드타임 분석결과(단위: 카셋)

	24 글라스	20 글라스
순수설비 이용시간	2.15 일	1.79 일
평균 대기시간 합계	3.38 일	2.31 일

<그림 13>은 기존의 라인 운영 프로세스를 나타내고 있으며, 시뮬레이션 수행을 위한 기본

조건들은 다음과 같다.

1) 라인내의 물류이동은 카셋 단위로 이동하고 이동 및 설비의 운영은 선입선출(FCFS)에 의한다.

2) ASRS 내부에서 움직이는 스택커 크레인 과 OHS의 스펙은 <표 5> 및 <표 6>과 같다.

3) 카셋은 일정시간 간격으로 라인에 투입된다.

4) 설비 가동률은 파일럿 라인에 실제운영하고 있는 장비를 기준으로 설비 계획

정지율(평균 95.4%)과 설비문제발생률(평균 99.4%)을 적용한다. 해당 수치는 실제 데이터를 수집하여 평균을 낸 결과이다. 설비 문제 발생 적용은 난수를 이용한 설비순간 정지를 입력 값으로 산정한다.

5) 모든 설비의 작업시간은 지수분포로 가정한다.

6) 모든 설비는 설비로 투입/추출되는 지점이 동일하며, <그림 13>과 같이 프로세스 장비(P)와 검사장비(R) 그리고 ASRS를 포함한 물류이송 장비로 구성된다.

7) 프로세스의 시나리오는 다음과 같다. P2 프로세스가 끝난 제품이 P3 프로세스로 가기 전에 검사공정(R1, R2, R3)을 순차적으로 거친 후 P3 공정으로 이동한다. P3 공정의 제품의 P4 공정으로 이동하고 다시 P5 공정으로 이동하기 전 P2 공정 후 검사했던 동일한 검사 장비로 다시 투입되고 검사 후 P5 공정으로 이동하게 된다.

4.2 기존안에 대한 시뮬레이션 분석결과

<그림 14>와 같이 시뮬레이션 가동시간 150 일중 80일 이후부터 기존안의 라인은 정체로

인하여 리드타임이 증가하고 라인이 정지하는 현상이 발생하였다. 'vLT_current_hr'은 실시간 추출되는 제품의 리드타임을 나타내며 'vLT_average'는 파형의 선에 대한 평균치를 나타낸다. 파형의 선이 X축의 80일 이후에 실선으로 표현된 것은 제품이 추출되지 않기 때문에 마지막 변수가 타임 그래프에서 실선으로 표현되는 것이다.

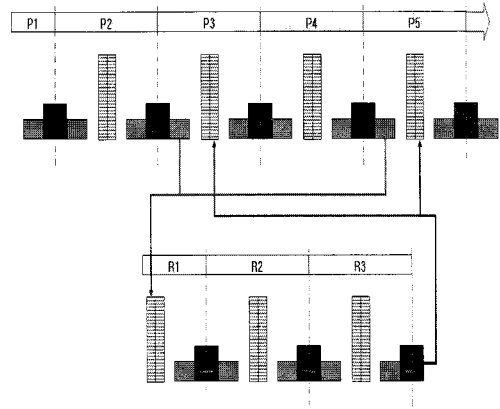
<그림 15>는 11개의 ASRS 내부에서 제품의 반송을 담당하고 있는 스택커 크레인에 대한 활용도를 나타내고 있다. 이 경우도 80일 이후 제품이송이 정지하여 설비 활용도의 평균값이 급격히 저하되는 것을 볼 수 있다.

<표 5> 스택커 크레인 스펙

Loading		7 sec
Unloading		7 sec
Robot velocity	Vertical	1 m/sec
	Horizontal	2 m/sec
Robot Acceleration	Vertical	1.96 m/sec ²
	Horizontal	1.96 m/sec ²
Communication Delay		1 sec

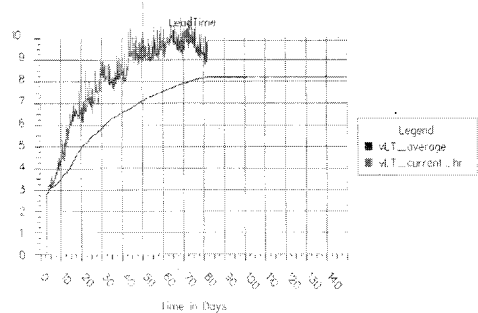
<표 6> OHS 스펙

Loading		9 sec
Unloading		9 sec
Velocity		1.33 m/sec
Acceleration /Deceleration	Acceleration	0.49 m/sec ²
	Deceleration	0.49 m/sec ²
Curve Velocity		0.42 m/sec
Communication Delay		1 sec



<그림 13> 기존의 라인 운영 프로세스

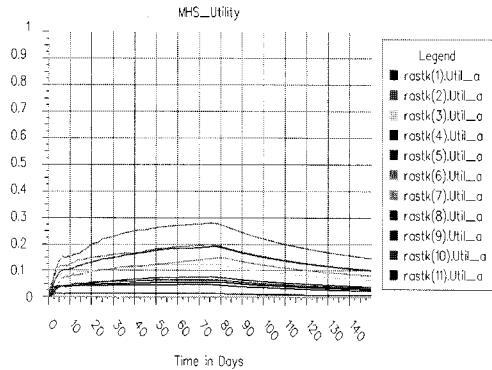
기본안의 시뮬레이션 결과는 <그림 16>과 같이 정체상황이 발생하였으며 정체발생 지점에서 각 엔트리의 현재 프로세스를 나타내고 있는 속성인 aProcess를 확인한 결과 '#12' 프로세스의 검사완료 제품이 대기한 것으로 나타났다.



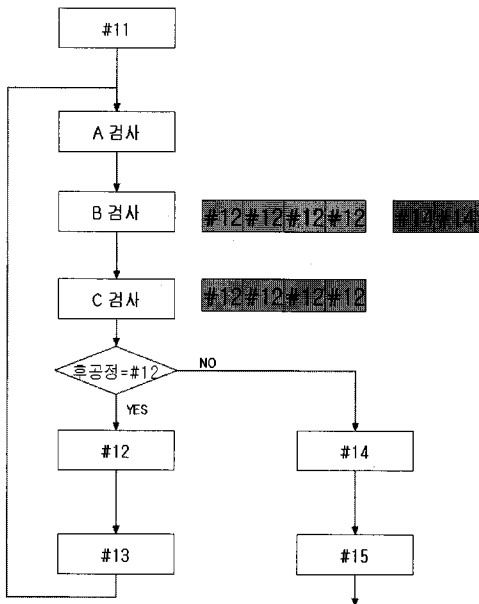
<그림 14> 시뮬레이션 진행에 따른 리드타임

정체의 원인분석결과 '#11' 프로세스 작업 후 '#12' 프로세스를 부여 받은 제품이 'C' 검사단계를 완료 후 '#12' 프로세스 설비로 투입 되려고 하고 있지만, '#12' 설비문제로 인하여 후 공정으로 이동하지 못하고 있는 상태이다. 이때, 'C' 검사공정의 추출지점을 '#12' 프로세

스가 모두 점유하고 있기 때문에 ‘#14’ 프로세스 제품은 ‘B’ 검사 이후 ‘C’로 이동하지 못하고 그로 인하여 ‘#14’ 프로세스 장비는 가동할 수 있음에도 불구하고 대기상태로 있는 것이다.



<그림 15> 스택어 크레인의 활용도

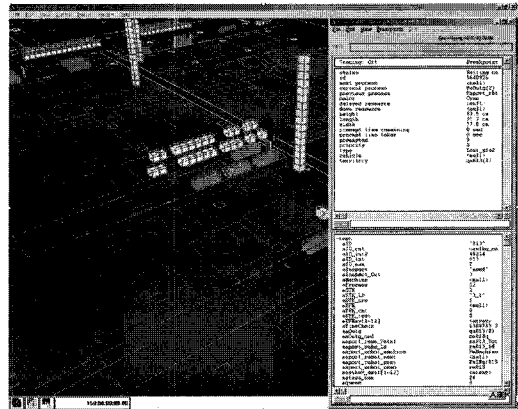


<그림 16> 라인정체 발생 시 현상

4.3 개선안에 대한 시뮬레이션 분석결과

단순한 선입선출의 라인운영 방안으로 인한 정체문제를 해결하고자 <그림 17>과 같이 디버깅을 통해 <그림 18>과 같이 라인운영 개선안을 개발하고 적용한다.

개발안은 크게 아래의 4단계로 되어있으며, 각 단계는 순차적으로 적용되어야 한다. 즉, 다음단계 이동이 불가능할 경우 그 단계에서 프로세스 진행 대기를 한다.



<그림 17> 라인정체 디버깅 화면

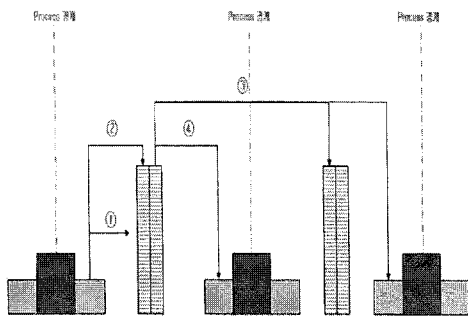
(단계1) 먼저 보관 스토커와 OHS를 결정한다. 작업 후 보관 스토커는 다음 작업이 이루어지는 스토커의 베이로 이동하여 대기하는 것을 원칙으로 한다. 후공정이 같은 베이 내에 있을 경우 제품은 ASRS 내에서 대기하고 후공정이 다른 베이 내에 있을 경우 후공정 설비가 있는 베이로 OHS를 통해 이동하여 해당 베이의 ASRS내에서 대기한다.

(단계2) 현 프로세스에서 대기할 수 있는 한계 대기수량을 설정하고 대기수량이 늘어났음을 표시한다. 각 프로세스는 점유할 수 있는 최

대 대기수량을 가진다. 왜냐하면 각 베이는 대부분 80 카셋 정도를 수용할 수 있는 용량을 가지고 있으며 베이 당 설비의 종류는 5~10개이므로 각 설비에 대기할 수 있는 제품의 수는 한정되어야 한다. 뿐만 아니라 반복 프로세스의 설비는 설비가 한대일지라도 대기하는 수량은 프로세스 별로 한계수량을 결정해야 한다. 한계 대기 수량의 결정 즉 재공수량의 산정은 시행착오법에 의해 그 수량을 결정한다.

(단계3) 후공정 프로세스의 대기 수량을 점검한다. 다음 단계의 프로세스로 진행이 가능한지를 점검한다. 이미 한계수량이상 점유되어 있을 경우 한계수량 이하로 떨어져 진행 가능할 때까지 대기한다. 본 연구에선 다음공정의 한계수량을 'Count' 변수를 사용하여 제어한다.

(단계4) 후공정 설비를 결정한다. 동일한 작업을 하는 설비가 여러 개 있을 경우 그 중 가장 대기수량이 적은 설비로 이동하여 작업을 대기한다. 본 연구에선 각 설비에 대한 설비문제 발생을 난수발생을 이용하여 운영하고 있으므로 후공정 설비 중 설비문제 발생되어 수리 중인지 그렇지 않는지 먼저 파악한다.



<그림 18> 라인운영 프로세스 개선안
(①②③④는 각 단계를 표시)

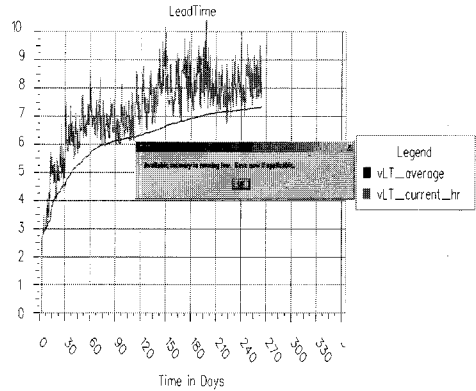
개선안에 대한 시뮬레이션 결과는 <그림 19>의 리드타임 그래프로 나타냈으며 표현된 바와 같이 평균 리드타임이 6.7일로 수렴되고 있다. 여기에서 'vLT_current_hr'은 추출되는 제품마다 리드타임을 측정한 결과이고 'vLT_average'는 이 값들의 평균을 나타낸다.

<그림 20>은 스택커 크레인의 활용도를 나타낸다. 결과와 같이 스택커 크레인의 활용도는 40% 이하로 나타나 스택커 크레인 제작업체에서 제시하는 80% 이하의 가동률 조건에 비해 약 40% 여유가 있다.

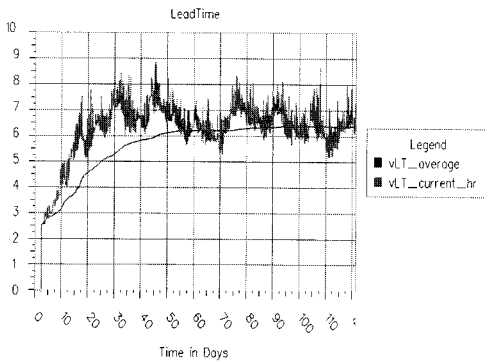
4.4 작업처리 우선순위 규칙에 따른 비교

정체문제를 해결하기 위한 개선안은 시뮬레이션 분석결과 유용한 결과를 도출하였다. 이하에서는 검사설비 앞에 대기 중인 여러 프로세스의 제품 중 어느 제품을 우선으로 처리하는 것이 전체라인의 리드타임을 더 짧게 하였는가를 살펴보고자 한다. 디스플레이 라인 시뮬레이션 시스템의 경우 단일기종 생산라인을 기본조건으로 모델링되었으며, 제품군 또한 동일하게 운영될 계획이다. 같은 설비에서 반복적 프로세스로 제품이 가공된다고 하여도 각 프로세스에 따른 시간차이도 없기 때문에 작업할당규칙 중 FOR(Fewest Operations Remaining)과 FCFS(First Come First Serve)에 대해 비교 분석하였다. SPT(Shortest Processing Time)는 초기 분석단계에서 비교대상으로 선정하여 분석하였으나 전체 100여 프로세스 단계에서 오직 하나의 단계만이 같은 설비에서 프로세스에 따라 가공시간이 다르게 나타났기 때문에 본 연구에서는 제외하였다. 두 작업할당규칙의 경우 AutoMod

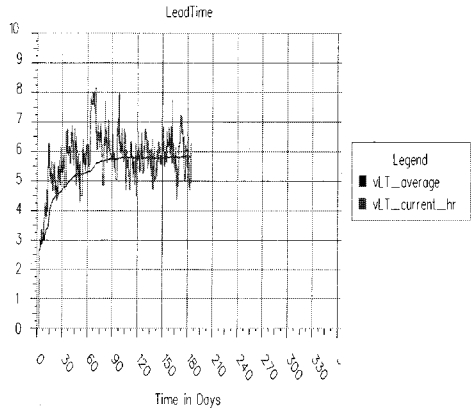
시뮬레이션 프로그램 내에 FCFS와 FOR에 대해 소스 프로그램을 구현하였다. 작업할당규칙은 검사장비가 주 대상 설비이지만 검사 장비가 아닌 경우에도 반복적으로 발생하는 프로세스 장비에도 동일한 조건으로 반영하였으며 대상라인 전체를 대상으로 비교분석하였다. <그림 21>과 <그림 22>는 FOR와 FCFS에 대한 리드타임 시뮬레이션 분석결과를 보여주고 있다. 이를 보면, FOR보다 FCFS 규칙이 현재 라인조건에서 보다 좋은 결과를 보이고 있다. 따라서, 향후 LTPS 프로세스라인에서는 FCFS 작업할당규칙이 보다 더 높은 성능을 가져다 줄 수 있을 것으로 기대된다.



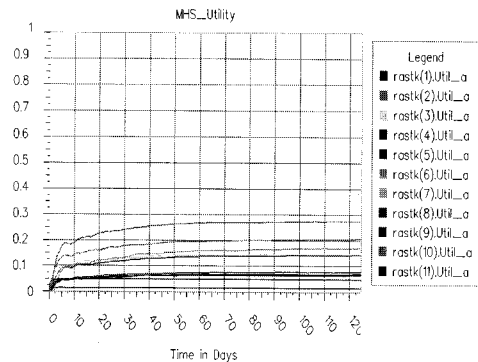
<그림 21> FOR일 때의 리드타임의 변화



<그림 19> 개선안 적용 후의 리드타임



<그림 22> FCFS일 때의 리드타임의 변화



<그림 20> 개선안 적용 후 스택어 크레인 활용도

VI. 결론

본 연구에서는 정보시스템의 영역에서 생산 정보시스템에서 프로세스의 최적화배치와 관련된 시뮬레이션 시스템의 개발에 대한 연구를 국내의 평판 디스플레이 패널을 생산하는 기업을 사례로 하여 제조 프로세스를 소개 및 기존 안의 평가하였고 또한 새로운 대안을 개발하고 그 시뮬레이션 결과를 비교 평가할 수 있는 시

물레이션 시스템을 개발하였다.

반복 프로세스 라인 시뮬레이션 시스템 활용에 따른 가장 큰 기대효과는 양산라인 구축 전 다양한 라인운영 방식의 사전분석이나 변경에 따른 변화를 사전에 예측하고 변화에 따른 위험 요인을 최소화할 수 있다는 점이다. 이번 연구의 대상라인 경우도 기존안으로 라인 건설 시 발생할 수 있는 문제점을 사전에 파악하고 그 대안 프로세스와 작업할당규칙을 찾아 낼 수 있었다. 다만 실제라인 운영상황을 반영한 결과에서 보듯이 생산량과 리드타임에 대한 결과를 정확히 분석하기 위해선 실제라인에서 발생될 수 있는 수 많은 변수를 적용해야 하지만 본 연구에서는 제품의 프로세스와 설비문제 발생빈도를 중요 변수로 보고 대안의 비교에 활용하였다.

그러나 본 연구가 보다 더 적용가능성을 높으려면 몇 가지 현실적인 상황을 더 반영하여야 한다. 예를 들어, 설비의 변경 및 작업의 주기나 방법, 버퍼크기 제어를 통한 리드타임 최소화 등에 대한 연구 등과 레거시 시스템과의 연계를 통한 데이터베이스 기반의 시스템 개발과 같은 문제들을 추가적으로 반영하는 것이 필요하다고 판단되며 향후 과제로 남겨둔다.

참고문헌

- 김기문, “정보기술 능력이 기업성과에 미치는 영향 관계,” 정보시스템연구, 제15권, 제2호, 2006, pp.195-226.
- 김선민, 강현곤, “스프레드시트 시뮬레이션 모형을 사용한 생산정책 의사결정지원 도구의 개발,” 한국생산관리학회지, 제14권, 제2호, 2003, pp.115-131.
- 김승남, 문제창, 임석철, “시뮬레이션을 이용한 백라이트유닛의 생산공정예측,” 한국경영과학회 춘계학술대회논문집, 2005, pp. 1040-1044.
- 김원경, “생산성 향상을 위한 대안들의 비교 평가 시뮬레이션 사례연구,” 한국시뮬레이션학회 논문지, 제10권, 제1호, 2001, pp.51-62.
- 김종상, “공급사슬경영의 유효성 입증을 위한 최적화생산시스템의 시뮬레이션,” 한국 OA학회 논문집, 제6권, 제1호, 2001, pp. 95-102.
- 박성미, 남상진, 김정자, “불안정한 생산환경하에서의 시뮬레이션에 의한 JIT시스템 수행도 평가,” 공업경영학회지, 제17권, 제32호, 1994, pp.155-162.
- 이경근, 윤원영, 문일경, 조형수, 차병철, “시뮬레이션을 이용한 중소 신발생산기업의 생산시스템 개선방안 연구,” IE Interface, Vol. 18, 2005, pp. 35-43.
- 이준수, 정선화, 황선문, “SIMUL8을 이용한 공정 설계 대안들의 비교평가,” 한국시뮬레이션학회 학술대회 논문집, 1997, pp.43-50.
- 장형욱, 이상식, 박병권, “공급사슬구조에 따른 SCM 활동과 경영성과에 관한 연구,” 정보시스템연구, 제15권, 제2호, 2006, pp.173-194.
- 조대호, 하경재, “계층의 구조를 갖는 지능형 유연생산 시스템 시뮬레이션,” 정보과학회지, 제13권, 제4호, 1995, pp.46-59.

황선문, “생산성 향상을 위한 공장 내 공장 생산 환경에서의 시뮬레이션 사례연구,” 한국산업경영시스템학회 추계학술대회 논문집, 2003, pp. 133-142.

Ekren, B. Y., and Ormek, A. M., “A Simulation based Experimental Design to Analyze Factors Affecting Production Flow Time,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 16, 2008, pp. 278-293.

Zhou, H., and Li, D., “Mold Cooling Simulation of the Pressing Process in TV Panel Production,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 13, 2005, pp. 273-285.

류시욱(Ryu, Si-Wook)



현재 한중대학교 산학협력단 안전연구센터에서 연구교수로 재직 중이다. 부산대학교에서 산업공학으로 학사, 석사 및 박사학위를 취득하였다. 관심분야는 SCM, 전자상거래, 물류, 휴먼에러 등이다.

이경근(Lee, Kyung-Keun)



현재 부산대학교 산업공학과 교수로 재직 중이며 서울대학교에서 학사, 석사, 미국 캘리포니아대학 버클리캠퍼스에서 박사학위를 취득하였다.

최성길(Choi, Seung-Kil)

현재 삼성 SDI에 과장으로 근무 중이다. 부산대학교 산업대학원에서 석사학위를 취득하였고 관심분야는 시뮬레이션 기반의 레이아웃 분석과 Digital Manufacturing 설계 및 개발이다.

<Abstract>

Development of Simulation System for Evaluating Performance of the Flat Display Manufacturing Line with Repetitive Process

Kyung-Keun Lee · Seung-Kil Choi · Si-Wook Ryu

The display market has been replaced by the FPD (Flat Panel Display) from the CRT (Cathode-Ray Tube) since the late 1990s.

In the FPD production line, the most equipment has high price. Thus, when the equipment has multi-function, the repetitive process is arranged for the equipment. However, such disposition of equipment results in more complicated process flow owing to repetitive operations. This reduces the production capacity and increases lead-time in turn.

In this paper, we develop an AutoMod simulation system that derives to information about the quantity, production lead-time, utilities of facilities, and occupation rates of racks. In this simulation system, we consider the situation where the equipment might be broken and suspended randomly.

For the developed system, we first evaluate a production plan with current layout and then, propose a revised alternative plan. Using the same simulation scheme, we investigate comparing the production quantity and lead-time with the two plans. In addition, for a proposed alternative, we try to forecast the most adequate rule between the two job dispatching rules which are FOR (Fewest Operation Remaining) and FCFS (First Come First Serve) through simulation.

Keywords: Flat Panel Display, Production System, Program Module, Simulation

* 이 논문은 2008년 7월 29일 접수하여 1차 수정을 거쳐 2008년 10월 2일 게재 확정되었습니다.