J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng Vol. 41, No. 3 : 120-128, September 2018
https://doi.org/10.11627/jkise.2018.41.3.120
ISSN : 2005-0461(print)
ISSN : 2287-7975(online)

An Efficient Algorithm for Improving Detour in OLED FAB

Dong So Kim* · Jin Young Choi**†

*Department of Industrial Systems Engineering, Ajou University
**Department of Industrial Engineering, Ajou University

효율적인 OLED FAB 경유 반송 개선 알고리즘

김동소* · 최진영**†

*아주대학교 산업시스템공학과
**아주대학교 산업공학과

OLED Display fabrication system is one of the most complicated discrete processing systems in the world. As the glass size grows from 550×650mm to 1,500×1,850mm in recent years, the efficiency of Automated Material Handling System (AMHS) has become very important and OLED glass manufacturers are trying to improve the overall efficiency of AMHS. Aiming to meet the demand for high efficiency of transportation, various kind of approaches have been applied for improving dispatching rules and facility layout, while simultaneously considering the system parameters such as glass cassettes due date, waiting time, and stocker buffer status. However, these works did not suggest the operational policy and conditions of distribution systems, especially for handling unnecessary material flows such as detour. Based on this motivation, in this paper, we proposed an efficient algorithm for improving detour transportation in OLED FAB. Specifically, we considered an OLED FAB simplifying OLED production environment in a Korean company, where four stockers are constructed for the delivery of Lot in a bay and linked to processing equipments. We developed a simulation model using Automod and performed a numerical experiment using real operational data to test the performance of three operation policies under considerations. We showed that a competitive policy for assigning alternative stocker in case of detour was superior to the current dedicated policy using a specified stocker and other considered policies.

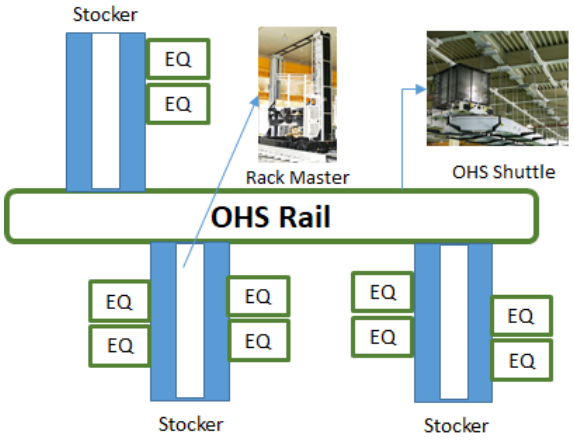
Keywords : Detour Transfer, Stocker, Dispatching System, Full Rate, Automod, Simulation

1. 서 론

유기발광다이오드(Organic Light Emitting Diode : OLED) 디스플레이 제조를 위한 FAB 내부의 제품 이동 물류는 1998년 원판 글라스의 크기가 550×650이 된 이후부터 가공 제품 크기와 배치 로트 무게로 인해 인력에 의한 운반이 아닌 무인 자동화된 반송 차량(Vehicle)에 의해 이동되는 방식으로 처리되고 있다. 이를 위한 물류 시스템은 스케줄러/디스패칭 시스템, 물류 설비 하드웨어, 물류 경로의 레이아웃을 적절하게 활용하여 운영된다. 즉, 스케줄러/디스패칭 시스템이 제품 로트에 이동 명령을 내리면 그 로트는 물류 설비에 의해 물류 이동 경로를 따라서 정해진 공정 설비로 이동하게 된다. 따라서, OLED 생산을 위한 무인 자동화된 제조 환경에서는 제품 로트가 적기에 공정 설비로 공급되도록 하는 물류 시스템의 역할에 대한 중요도와 반송 물류의 성능 품질 향상에 대한 요구가 점차 커지고 있다. 이 때, 반송이란 제품을 주어진 목적지까지 운반하는 것을 의미한다.

Received 20 July 2018; Finally Revised 4 September 2018; Accepted 5 September 2018
† Corresponding Author : choijy@ajou.ac.kr

2005년 양산을 시작한 OLED 디스플레이 FAB(Fabrication) 내부를 구성하는 물류 시스템의 일반적인 물류 방식은 <Figure 1>과 같이 주로 인라인(Inline) 스토커(Stocker)와 OHS(Overhead Shuttle)를 이용한다. 이 중에서 스토커는 공정 설비(Equipment : EQ)와 붙어 있어, 공정 설비에 카세트(로트를 담는 컨테이너)를 공급하고 회수하는 역할을 동시에 수행할 수 있다. 또한 카세트를 적재할 수 있는 버퍼 공간을 가지고 있어 원판 글라스 대형화(1,500×1,850)로 인한 고중량 카세트 보관이 용이하고, 공정 설비의 제품 로트 요청 시점에 쉽게 대응할 수 있다. 이처럼 스토커는 FAB 내의 효율적인 재고 관리 및 배분에 있어서 많은 도움을 준다[5].

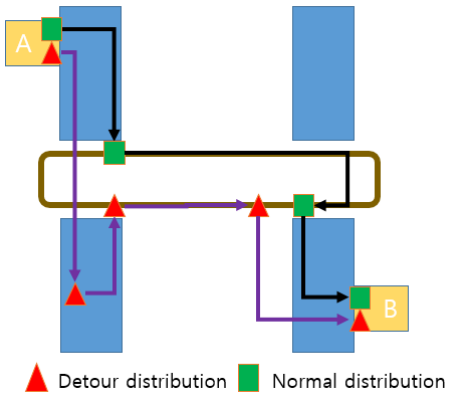


<Figure 1> OLED FAB Distribution System

한편, FAB 내부의 원판 글라스 이동은 카세트에 담겨 수행되기 때문에 카세트가 반송의 기본 단위가 된다. 반송은 제품 로트를 현 공정에서 회수하여 다음 공정에 공급함으로써 발생하는데, 최고의 반송 물류 품질을 위해 제품 로트를 적시에 공급하기 위해서는 반송 경로 상에 반송중인 차량을 최소로 유지하는 것이 유리하다[9]. 따라서 대부분의 FAB 현장에서는 이를 위한 반송 수 최소화, 즉 반송지연을 유발하는 불필요 반송인 경유(우회) 반송을 줄이기 위한 추적 관리를 수행하고 있다.

<Figure 2>는 경유(우회) 반송과 정상 반송을 비교해서 나타내고 있다. 일반적으로, 제품 로트가 들어있는 카세트는 이전 설비 A에서 배출되기 전에 스케줄러/디스패칭 시스템에 의해 이미 후보 설비군 중 다음 진행 설비 B를 지정 받는다. 정상적인 경우에는 네모로 표시된 정상 반송이 수행되지만, 진행 설비 B가 작업 중이고 해당 스토커에 버퍼 공간이 없다면, 배출 반송 시 공정 설비 B와 인접한 다른 스토커를 목적지로 정해 삼각형으로 표시된 것과 같은 경유(우회) 반송을 진행하며, 제품 로트에게 다시 반송 명령이 내려지면 목적지 스토커로 이동하게 된다. 이러한 경유 반송은 목적지로 가기 위해 2회 이상의 반송 명령을 받아서 진행되기 때문에 불필요 반송을 포함한다. 따라서 OLED 제조를 위한 FAB 내부 물류 시스템의 효율적인 운영을 위해서는 경유 반송 최소화로 반송 능력의 낭비를 막고, 반송 트래픽 양을 줄여서 생산 리드 타임을 줄이는 것이 중요한 이슈이다.

이와 같은 불필요한 경유 반송이 발생하는 원인은 다음과 같이 크게 3가지로 구분될 수 있다 : (i) 목적지 스토커가 Full 상태에 도달하여 더 이상 제품 로트 유입이 되지 않는 경우, (ii) 목적지 스토커로 스케줄 되어 반송되었지만, 설비의 상태가 변경되어 이웃 스토커의 설비에서 공정을 진행해야 하는 경우, (iii) 설비의 계획 변경에 따라 이웃 스토커의 로트를 가져오게 되는 경우 등이다.



<Figure 2> Comparison of Detour and Normal Distribution

본 논문에서는 국내 C사의 OLED FAB 내부 물류 시스템에서 원인 (i)에 의해 발생하는 경유 반송 문제를 개선하기 위한 효율적인 스토커 운용 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 먼저 OLED FAB의 한 개 단위 공정에 대한 물류 시스템을 Automod로 모델링 한 후, 현재 운영중인 스토커 선택 정책에 대한 성능 분석을 수행하였으며, 이를 개선하기 위한 세 가지 정책을 제안하였다. 또한 하루 동안의 실제 생산 데이터를 기반으로 제안된 세 가지 스토커 운영 정책들의 효율성 비교를 위한 시뮬레이션을 수행하여 경유 반송을 줄일 수 있는 개선 정책을 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 경유 반송 문제를 다룬 기존 연구와 본 연구의 필요성에 대해서 기술한다. 제 3장에서는 간단한 OLED FAB 단위 공정을 활용한 경유 반송 문제 정의 및 현재의 운영 정책 개선을 위한 세 가지 알고리즘을 제안하고, 제 4장에서는 시뮬레이션을 통한 실험 및 평가 결과를 설명한다. 마지막으로 제 5장에서는 논문의 결론과 향후 연구 방향에 대하여 제시한다.

2. 기존 연구 고찰 및 연구의 필요성

2.1 기존 연구

FAB 내에서 발생하는 경유 반송을 줄이기 위해 지금까지 제안된 다양한 연구들은 적용 대상에 따라 다음과 같이 구분될 수 있다. 첫째, 공정 설비 최적 배치를 위한 새로운 형태의 레이아웃 제안을 통해 반송 거리와 생산성(Throughput)을 높이기 위한 연구이다. 예를 들면, 기존 베이(Bay) 방식의 스파인(Spine) 레이아웃 설비 배치를 개선한 육각형(Hexagonal) 레이아웃 방식이 제안되었다[2]. 이 방법은 외곽의 육각형 구조 물류 동선을 6개면의 FAB으로 나누고, 각 물류 동선으로 만들어진 셀 공간에 설비를 배치하여 운영하는 것으로써, 육각형 구조의 건물에 많은 설비들을 배치할 수 있고 물류 효율도 높일 수 있는 시뮬레이션 결과를 보였다.

둘째, 물류 시스템에 대한 부하율과 이동 거리를 최소로 운영하기 위한 정책에 관한 연구가 있다. 물류 설비의 부하율이 증가하게 되면 제조 리드 타임 증가와 공정 설비로 제품 로트 공급이 원활하게 되지 않아 FAB 전체 생산성이 낮아지게 된다[6]. 이에 대한 개선을 위해 물류 부하율과 반송거리를 줄이기 위한 방법으로 스케줄러와 디스패칭 시스템에 대한 많은 연구가 진행되었다[1]. 이를 통해 정확한 목적지 설비와 제품 로트의 선택이 가능해지고 그 결과로 불필요한 반송과 거리를 줄일 수 있다. 예를 들면, 베이 간 이동 시 목적지 설비가 잘못 선택될 경우, 경유 반송이 발생하게 되며 반송 거리 역시 증가하게 된다[7].

셋째, 스케줄러/디스패칭 시스템의 성능 품질을 높이기 위한 시뮬레이션 기반의 스케줄러/디스패칭 시스템에 대한 연구가 있다[3]. 이 방법은 선형계획법 등의 수학적 모델이 갖는 복잡성 및 불완전성과 이를 통해 얻어진 대안의 한계성 등을 해결하기 위한 방안으로써 각 공정별 목표 생산량, 설비 할당 상태와 디스패칭 룰 등을 결정변수로 정의하고 FAB 현장에서 발생하는 이벤트들을 시뮬레이션하여 스케줄링하는 방법을 사용하였다.

이처럼 FAB 내부 물류 시스템에 대한 기존 연구는 설비 레이아웃 배치와 제품 로트를 적기, 적소에 보내는 분야에 집중되어 있다. 즉, 공정 설비 최적 배치와 제품 로트의 정확한 스케줄링/디스패칭, FAB 내부 현황에 대한 부족한 의사결정 기준 정보의 한계 극복, 생산 계획의 불완전성 등을 해결하기 위한 연구가 많이 진행되었다[8]. 그러나 이러한 공정 및 물류 설비의 배치 최적화와 스케줄러/디스패칭 시스템에 대한 기존 연구들은 FAB 내부 물류를 운영하는 물류 설비들의 실행력에 대한 점검과 개선에 대한 방향성을 제시하지 못했다. 물류 시스템 설계 부분에서도 새로운 기능 및 새로운 방법(시뮬레이션)을 통한 스케줄러/디스패칭 시스템의 요구 품질 향상 필요성과 방법적인 측면에서의 대안은 제시하였지만, 물류 설비들의 운영 정책과 최적 조건에 대한 구체적인 개선 방안에 대해서는 제시하지 않았다.

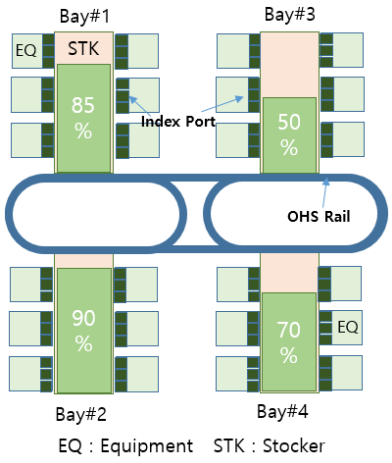
2.2 경유 반송 해결의 필요성

불필요한 경유 반송의 해결은 반송 물류의 생산성을 높이고 여유 생산 능력을 확보하기 위해서 필요하다. 먼저, 반송 물류의 생산성은 공정 설비의 생산성과 비례 관계를 갖기 때문에 반송 물류의 생산성을 극대화함으로 설비의 생산성을 높일 수 있다[5]. 예를 들면, 설비의 생산성을 높이기 위해서는 설비의 가동 효율을 최대화해야 한다. 또한, 가공 설비의 최대 효율을 얻기 위해서는 공급 지연 없이 제품 로트가 공급되어야 한다. 이러한 물류의 운영 품질은 반송 능력의 낭비 없는 운영을 통해서 가능하다. 따라서 경유 반송을 제거하는 것은 이러한 효과를 만들 수 있는 방법이다.

생산능력이 무한하고 반송 능력 역시 무한할 경우, 경유 반송에 의한 비효율은 문제가 되지 않을 것이다. 그러나 FAB 현장은 유한 자원으로 생산이 이루어지고 있기 때문에 유한 자원의 효율을 극대화하고 여유 생산 능력을 확보하는 것이 투자 수익률을 증대하는 방어적 전략으로 주로 사용된다. 이 때, 여유 생산 능력은 공식 (1)과 같이 정의될 수 있으며, 수요의 급격한 증가나 생산 능력의 일시적 감소를 흡수하기 위한 예비 능력을 의미한다[10].

$$\text{여유 생산 능력} = 100\%\text{-이용률}(\%) \quad (1)$$

따라서 경유 반송과 같은 비효율적인 요인들을 제거하는 것은 설비들의 부하율을 낮추게 되어 여유 생산 능력 확보에 기여할 수 있다.



<Figure 3> OLED FAB Distribution Operation

3. 경유 반송 개선 알고리즘

3.1 대상 시스템 정의

<Figure 3>은 스토커 중심의 레이아웃을 채택하여 운영하고 있는 국내 C사 OLED 제조 공장의 한 단위 공정에 대한 물류 시스템을 나타낸다. 공정 설비들은 베이 별로 분산되어 있고, 베이 영역은 스토커가 설치되어 공정 설비들과 연결되어 있다. 공정 설비들과 스토커의 연결 구조는 인덱스(Index)라는 툴(Tool) 인터페이스 모듈을 이용하여 인라인으로 되어 있다. 인덱스는 여러 개의 포트(Port)로 구성되어 있고, 가공 설비와 통신을 통해 서로 정보를 공유한다. 공정 설비 진행이 예정된 제품 로트는 인덱스의 대기 포트 위에서 작업 순서를 기다린다. 베이와 베이 사이의 제품 로트 이동은 OHS에 의해 수행된다. 하나의 공정이 끝나고 다른 베이로 제품 로트가 이동할 경우 스토커에서 제품 로트가 나와서 OHS에 옮겨지고, 그 차량을 이용하여 목적지 베이의 스토커로 이동한다. 각각의 스토커에 표시된 85%, 70% 등의 값은 현재 스토커의 선반들 중 제품 로트가 차지하고 있는 선반의 비율이며, Full rate라고 부른다.

3.2 경유 반송 문제 정의

일반적으로 경유 반송이 발생되는 경우는 크게 세 가지이다. 첫 번째가 스토커 Full에 의한 것, 두 번째는 반송 설비의 고장, 세 번째는 디스패칭 시스템의 오류이다. <Table 1>은 C사 OLED 제조 공장에서 발생하는 경유 반송의 세 가지 원인에 대한 분석 결과를 나타내며, 본 논문에서는 가장 많은 발생률을 갖는 첫 번째 원인에 대한 케이스를 분석하여 대응 방법을 연구하고자 한다.

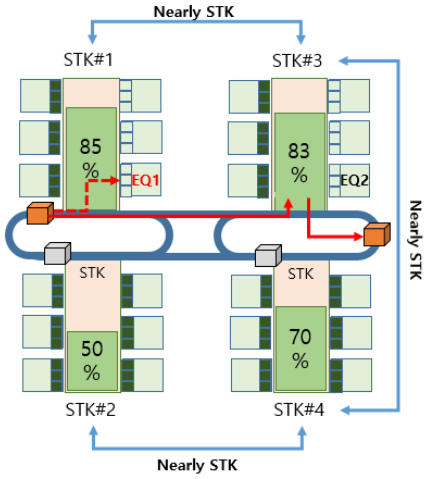
<Table 1> Cause Analysis of Detour Distribution

Cause	Rate	Details
Stocker Full	85%	Blocked by Full Rate
Fault of Transfer	10%	Alarm of transfer machine
Fault of Dispatcher	5%	Dispatching rule faults

스토커 Full에 의한 경유 반송이란 베이 내부 반송을 담당하고 있는 스토커의 선반들 중 제품 로트가 차지하고 있는 선반의 비율이 기준 임계치 이상이 되었을 때, 제품 로트가 목적지 설비가 있는 베이로 반송되지 못하고 근접 베이 스토커로 이동하는 반송이다. 이를 위한 근접 베이 스토커 정보는 기준 정보로 관리되며, 근접 베이 기준은 거리 값에 의하여 정해진다. 스토커 Full 상태를 관리하는 목적은 스토커 내의 여유 선반 부족으로 인접한 공정 설비로부터 배출되는 카세트가 나오지 못하고 대기함으로써 공정설비의 생산성이 낮아지는 상황을 막고, 스토커 내부의 물류가 혼잡하게 되지 않도록 하기 위한 예방 대책이다. 스토커 내부의 물류 정체가 발생되면 스토커에 연결되어 있는 공정 설비들과 그 공정 설비들을 다음 공정으로 예정하고 있는 제품 로트들이 모두 영향을 받게 된다.

<Figure 4>는 <Figure 3>의 시스템에서 발생할 수 있는 경유 반송의 예를 나타낸다. 스토커 Full 상태의 임계치를 85%로 운영할 때, 진행 예정된 공정 설비 EQ1에서 제품 로트 요청 시 스토커 STK(Stocker)#1의 Full 상태가 임계치를 넘게 된 경우, 이동 중인 제품 로트가 근접한 스토커 STK#3으로 회피 반송된다. 또한, EQ2를 목적지로 이동 중인 제품 로트는 STK#3의 Full 상태가 임계치가 되면, 다시 근접한 STK#4로 이동하게 된다.

한편, Full 상태가 임계치 수준이면 스토커는 가지고 있는 제품 로트들을 근접 스토커로 배출하여 자체 Full 상태를 낮추게 된다. STK#3의 경우 Full 상태가 임계치 미만이지만 STK#1에서 회피되어 오는 제품 로트들과 STK#3을 목적지로 하는 제품 로트들의 이동으로 곧 임계치에 도달하게 되어 다시 STK#4로 제품 로트들을 강제 이동시켜야 되는 상황이 올 것이다. 이로 인해 한번 이상의 불필요 반송이 발생하게 된다.



<Figure 4> Detour Distribution Caused by Full Rate

현재 C사에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로서 경유 반송을 위한 근접 스토커 선택 시 기준 정보 등록을 통해 근접 스토커를 미리 정해놓고 반송하는 지정 배출 방식을 적용하고 있다. 그러나 이러한 방식에서는 지정된 근접 스토커 역시 임계치에 도달할 경우 그 스토커의 근접 스토커를 찾아서 움직이게 된다. 이와 같은 경우, 경유 반송이 더 발생하게 되며, 저장될 수 있는

스토커를 찾아서 움직이는 제품 로트들로 반송 수가 늘어나게 된다. 따라서 이 방식은 시스템 내부에서 발생할 수 있는 복잡하고 다양한 재고 및 물류 상황을 반영할 수 없다는 한계점이 있다. 이러한 결과는 스토커 Full rate에 대한 임계치에 의해서도 영향을 받을 수 있다.

3.3 새로운 경유 반송 정책 대안

본 절에서는 앞에서 기술된 경유 반송 문제를 해결할 수 있는 효율적인 알고리즘으로써 경쟁 방식, 혼용 방식(지정+경쟁), 추가 스토커 이용 방식 등을 다음과 같이 제안한다.

3.3.1 경쟁 방식

이 방법은 스토커 Full 상태가 임계치에 도달하여 다른 스토커를 찾을 때, 기준 정보에 등록된 곳으로 옮겨지는 지정 방식이 아니라, 스토커들 중 가장 Full 상태가 낮은 스토커를 선택하여 이동하도록 하는 방식이다.

3.3.2 경쟁과 지정 방식 혼용

이 방법은 경쟁과 지정 방식의 장점을 혼용한다. 즉, 근접 스토커를 선택할 때 Full 상태가 가장 낮은 스토커를 선택할 수도 있지만, 가까이 있는 지정된 스토커로 배출되도록 하는 방법을 혼용하는 것이다. 이 방법은 근접 스토커 Full에 의해 발생하는 경유 반송을 줄이면서, Full 상태가 가장 낮은 스토커의 위치가 거리 값으로 가장 멀리 위치한 경우 발생할 수 있는 반송 시간 지연 및 반송 거리도 줄일 수 있다.

일반적으로 목적지 스토커가 Full일 경우 발생할 수 있는 이벤트는 2가지이다. 하나는 새로운 제품 로트의 유입을 막는 것이고, 또 다른 하나는 기존의 제품 로트들을 선별하여 스토커 외부로 내보내는 것이다. 본 논문에서의 혼용 방식에서는 유입을 막고 새로운 근접 스토커를 찾을 경우에는 경쟁 방식을 사용하고, 내부의 제품 로트들을 선별하여 배출할 경우는 지정 방식을 이용하는 것으로 정의한다.

3.3.3 추가 스토커 이용

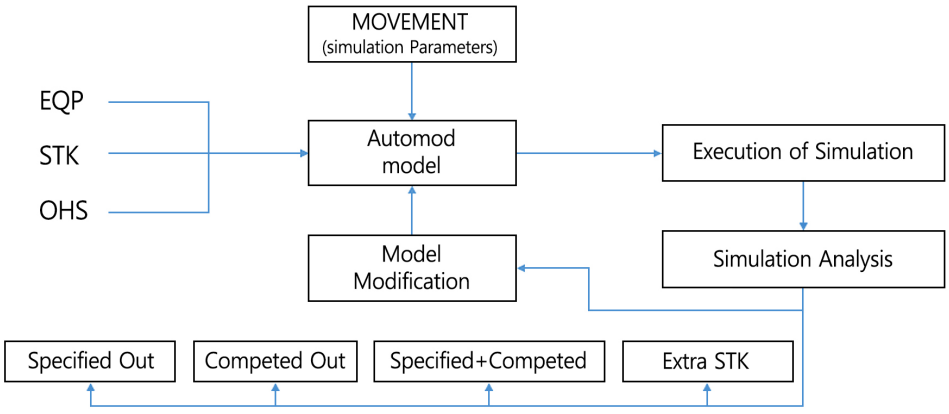
이 방법은 목적지 스토커가 Full 상태에 도달하여 제품 로트가 진입하지 못할 경우, 추가 스토커로 이동하여 대기하다가 목적지 설비의 요청 시 다시 이동하게 하는 방식이다. OLED 제조 환경에서는 제품 로트의 크기와 무게 때문에 공정 설비 근처의 별도 공간 확보는 불가능하다. 따라서 추가 스토커의 설치는 공간 확보를 위해 다른 층, 또는 다른 영역에 설치되어 운영되어야 한다. 추가 스토커가 경유 반송을 줄일 수 있는 좋은 방법이지만, 별도의 공간 확보와 그곳까지 이동 거리와 이동 시간의 단점을 가지고 있다.

4. 시뮬레이션 실험 및 평가

4.1 시뮬레이션 설계

4.1.1 시뮬레이션 모델 구축

현재 C사에서 적용하고 있는 지정 배출 방식과 3장에서 제시한 새로운 경유 반송 정책들의 효율성을 비교 평가하기 위하여 4개의 스토커 Q1~Q4와 OHS, 공정 설비들로 구성된 OLED FAB 단위공정 물류 시스템에 대한 시뮬레이션 모델을 Automod 12를 이용하여 구축하였다. <Figure 5>는 본 논문에서 구현한 전체적인 시뮬레이션 환경 구성을 나타낸다. Automod 모델에 공정 설비들의 가공 시간, 대기 시간, 반송 설비들의 속도, 반송 시간, 그리고 생산량에 대한 파라메타를 입력하여 시뮬레이션을 진행한 후, 그 결과를 실제 FAB에서 나오는 데이터와 비교하여 모델 설비의 기준 정보와 반송 설비들의 위치, 레이아웃들을 조정하였다.



<Figure 5> Configuration of Simulation

시뮬레이션 모델에서 사용된 각 스토커들의 기준 정보와 공정 설비들 위치, 공정 순서 정보는 <Table 3>과 같다. 예를 들면, Q1 스토커에 설비 4대 Q1_M_1, Q1_M_2, Q1_M_3, Q1_M_4가 연결되어 있다. 공정은 단일 공정으로 운영되지 않고 여러 개의 공정이 정해진 순서에 따라 가공을 하면서 제품이 완성된다. 세 번째 열은 각 설비가 처리하는 공정 순서를 나타내는데, 제품 로트가 Proc1 공정이 끝나면 Proc2 공정으로 이동하고 다시 Proc2 공정을 마치면 Proc3 공정으로 이동한다. 이때, 설비 상태에 따라 베이 내 반송, 베이 간 반송이 발생한다. 이러한 공정 순서는 제품 로트에 대한 생산이 시작되기 전에 정해진다. 제품 로트의 반송은 그 공정 순서(Routing)에 따라 각 공정을 진행할 수 있는 설비가 연결되어 있는 스토커로 제품 로트를 보내고, 다시 공정을 마친 로트를 그 다음 공정이 있는 스토커로 보내는 과정으로 이루어진다. 네 번째 열의 선반(Shelf) 수는 스토커 내부에 제품 로트가 저장될 수 있는 공간의 개수를 의미하며 Full 상태를 산출하는 기준이 된다. 다섯 번째와 여섯 번째 열의 1st 근접 스토커와 2nd 근접 스토커는 Full 상태가 기준 임계치 상태에 있을 경우 순차적 대체 스토커에 대한 기준 정보이다. 각 가공 설비들의 가동률은 90%로, 품질 불량에 의한 재작업, 제품의 폐기는 없으며, 스토커의 가동률은 100%로 가정하였다.

위에서 언급된 기준 정보 외에 품질적인 측면과 물류

<Table 3> Basic Information of Stockers

STK	Equipment	Process	Number of Shelf	1st Nearly STK	2nd Nearly STK
Q1	Q1_M_1	Proc2	20	Q3	Q2
	Q1_M_2	Proc2			
	Q1_M_3	Proc2			
	Q1_M_4	Proc2			
Q2	Q2_M_5	Proc2	25	Q1	Q4
	Q2_L_1	Proc5			
	Q2_L_2	Proc5			
	Q2_L_3	Proc5			
	Q2_N_2	Proc4			
Q3	Q3_I_2	Proc1	30	Q4	Q1
	Q3_E_1	Proc3			
	Q3_E_2	Proc3			
	Q3_E_3	Proc3			
Q4	Q4_N_1	Proc4	25	Q2	Q3
	Q4_I_1	Proc1			
	Q4_P_1	Proc6			
	Q4_P_2	Proc6			
	Q4_P_3	Proc6			

설비들에 대한 기준 정보는 아래와 같이 가정되어 시뮬레이션이 진행되었다.

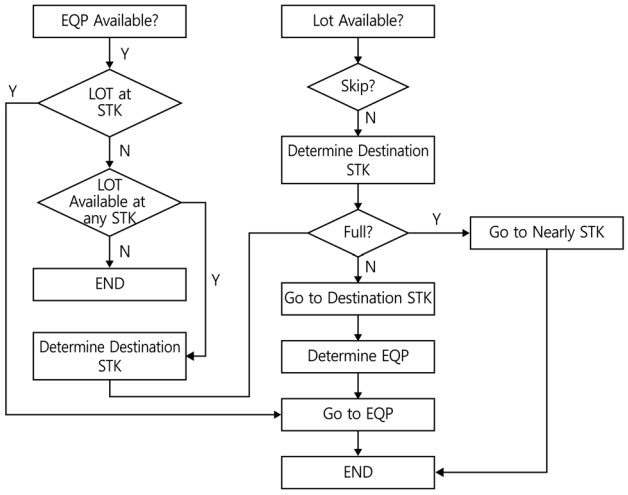
- 제품 로트의 공급 우선순위 : FIFO(First In First Out)
- 품질 제약 조건 : 무시
- 스토커 Rack Master 속도 : 150m/min
- OHS 속도 : 80m/min
- 감속 : 5,000ms
- 가속 : 7,000ms
- 로딩/언로딩 속도 : 12s

또한, C사의 실제 OLED FAB 생산 현장의 설비(EQP, Equipment), 스토커, OHS 정보와 생산 이력 정보들 WIP (Working In Process), TAT(Turnaround Time), 생산량이 시뮬레이션의 입력 값으로 활용되었고, 제품 생산 계획 정보를 이용하여 제품 로트 들의 반송을 결정하였다[4].

4.1.2 디스패칭 시스템 운영 절차

제품 로트 반송을 위한 디스패칭 시스템의 운영 절차는 <Figure 6>과 같이 공정 설비에 의한 요청과 제품 로트에 의한 요청의 두 가지 이벤트에 의하여 시작된다. 먼저, 공정 설비의 대기 포트가 비었을 때 설비는 새로운 제품 로트를 요청한다(EQP Available). 그 요청 신호를 받은 디스패칭 시스템은 가용한 제품 로트를 찾는다. 만일, 인접 스토커에 제품 로트가 있을 경우 스토커 내부 로봇이 제품 로트를 설비에 바로 로딩을 시킨다. 인접 스토커에 제품 로트가 없을 경우에는 다른 스토커에 제품 로트가 있는지 확인한다. 제품 로트를 찾지 못할 경우 해당 프로세스는 종료된다. 제품 로트를 찾았을 경우는 그 로트를 목적지 설비로 가져오도록 명령을 실행한다. 스토커로 반송 이후 목적지 설비의 대기 포트가 비었을 경우는 바로 제품 로트가 로딩이 되지만, 빈 포트가 없을 경우는 목적지 설비의 인접 스토커 선반에 저장된다.

두 번째 경우는 공정 설비에서 가공이 완료된 제품 로트가 다음 공정의 설비를 찾는 이벤트이다(Lot Available). 디스패칭 시스템은 제품 로트가 가용상태가 되면 다음 공정 설비들 중 최적의 설비를 선택하여 제품 로트를 반송한다. 스토커 내부 로봇이 공정 설비로부터 제품 로트를 언로딩 후 다음 공정 설비가 있는 스토커를 목적지로 하여 반송을 보낸다. 설비가 같은 스토커 내에 있고, 대기 포트가 비어 있을 경우 스토커 내부 로봇이 제품 로트를 언로딩 후 설비 위치로 이동하여 로딩을 한다. 대기 포트가 비어 있지 않을 경우는 선반에 보관하여 다음 요청 신호를 기다린다. 다른 스토커에 설비가 위치할 경우는 스토커에서 배출되어 OHS에 의해 목적지 스토커로 이동된 후, 목적지 설비의 대기 포트가 비었을 경우는 바로 로딩되고, 빈 포트가 없을 경우는 선반에 보관된다.



<Figure 6> Procedure for Dispatching System

4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

4.2.1 시뮬레이션 모델 검증

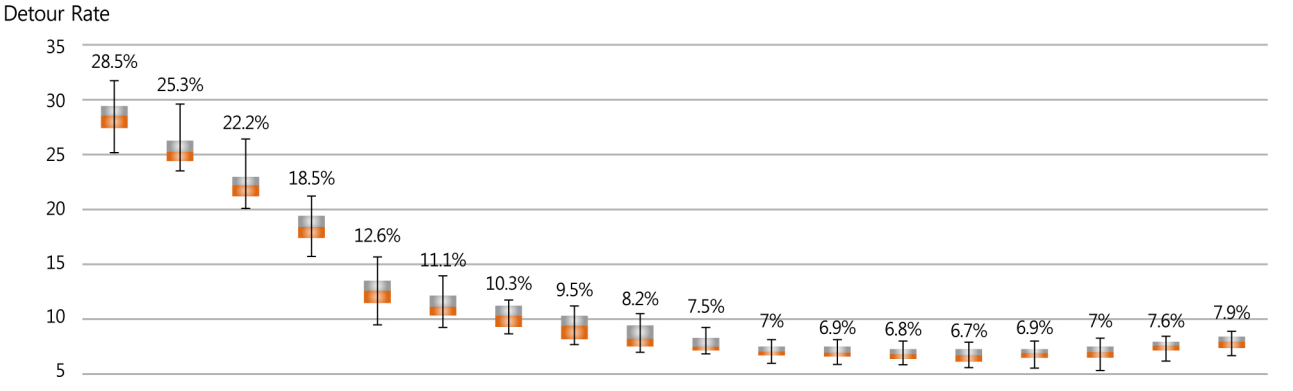
구현된 시뮬레이션 모델 검증을 위하여 실제 OLED FAB 공정에서 월 40,000매를 생산할 때의 반송 수 데이터와 시뮬레이션 결과를 <Table 4>와 같이 비교하였다. 예를 들면, Q1에서 Q3 스토커로 이동하는 제품 로트의 실제 반송 수는 961회였으나, 시뮬레이션 결과는 1,038회로써 약 8% 정도의 오차가 발생하였다. Q1 스토커 내부 반송의 경우는 1,230회와 1,304회로 약 6%의 오차가 발생하였다. <Table 4>의 분석 결과, 전체 반송 수를 기준으로 할 때 실제 반송 수보다 시뮬레이션 반송 수가 약 8% 정도 큰 값을 갖는 오차가 존재하였다. 그러나 자동물류 시스템(Automated Material Handling System : AMHS) 시뮬레이션에서 오차 범위가 10% 이내일 때 좋은 결과를 보여준다는 기존 연구결과[4]에 기반하여 본 논문에서 경유 반송 정책 분석을 위해 구축한 시뮬레이션 모델에 대한 적합성을 확인할 수 있었다.

<Table 4> Comparison of Real and Simulation FAB

	Real FAB				Simulation FAB			
from-to	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Q1	1230	220	961	128	1304	233	1038	134
Q2	95	2239	499	491	103	2441	519	520
Q3	175	123	34	814	187	129	36	871
Q4	676	606	476	2006	717	642	490	2187
Total	2176	3188	1970	3439	2311	3445	2083	3712

4.2.2 시뮬레이션 결과 분석

본 논문에서는 먼저 현재 C사에서 운영되고 있는 지정 배출 방식 환경에서 경유 반송 수를 줄일 수 있는 적절한 스토커 Full 상태 임계치를 찾기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위해서 다양한 스토커 Full rate 임계치 값에 대해 50번의 시뮬레이션을 수행하면서 경유 반송 수를 기록하였다. <Figure 7>은 스토커 Full 임계치 값의 변화에 따른 경유 반송율의 중위값, 최대, 최소, 1Q, 3Q 값들을 나타낸다. 계산에 이용된 경유 반송율은 경유 반송 수/전체 반송 수×100으로 정의되었다. 시뮬레이션 결과, Full 상태와 경유 반송율은 반비례의 관계가 있음을 확인하였으며, 93%의 Full 임계치를 지정할 경우 경유 반송율이 가장 많이 감소함을 확인하였다.



Full Rate	60%	65%	70%	75%	80%	85%	86%	87%	88%	89%	90%	91%	92%	93%	94%	95%	96%	97%
Min	25.2	23.5	20.1	15.7	9.4	9.2	8.7	7.7	7	6.8	6	5.8	5.8	5.6	5.5	5.3	6.2	6.7
1Q	27.4	24.4	21.2	17.4	11.5	10.3	9.3	8.2	7.5	7.1	6.7	6.6	6.4	6.2	6.5	6.5	7.1	7.4
Mid	28.5	25.3	22.2	18.5	12.6	11.1	10.3	9.5	8.2	7.5	7	6.9	6.8	6.7	6.9	7	7.6	7.9
3Q	29.4	26.2	23	19.4	13.5	12.1	11.2	10.3	9.5	8.3	7.5	7.5	73	7.3	7.3	7.5	8	8.4
Max	31.7	29.6	26.4	21.2	15.7	13.9	11.7	11.2	10.5	9.2	8.1	8.1	6	7.9	8	8.3	8.4	8.9

<Figure 7> Detour Rates for Various Full Rates

그러나 본 논문에서 수행된 시뮬레이션에서는 설비의 고장(Breakdown) 또는 스토커 내부 영역 간 이동에 대한 부분이 고려되지 않았다. 일반적으로 설비 고장 또는 스토커 내부 반송의 효율을 위해서는 여유 선반이 필요하다. 왜냐하면, 설비 고장 때 설비 대기 포트에서 제품 로트를 회수하여 선반에 보관해야 할 경우와 스토커 내부 로봇이 2대이기 때문에 로봇 간 제품 로트를 주고받을 경우에 여유 선반이 필요하기 때문이다. 이와 같은 이상 상황을 고려할 경우에 기준 임계치는 93%보다 적은 값인 90% 정도가 더 적합할 수도 있을 것이다. 예를 들면, 선반 수가 20개인 스토커의 경우 2개의 선반 여유가 있어야 된다. 이상 상황 발생시 여유 선반이 없을 경우 스토커 내부 반송이 교착(Deadlock) 상태에 빠지게 되어 제품 로트가 움직일 수 없는 상황이 되기 때문이다. 시뮬레이션 결과도 임계치가 93%보다 높아질수록 다시 경유 반송수가 증가함을 보였다.

두 번째로 본 논문에서는 제 3장에서 제안된 3가지 새로운 경유 반송 정책에 대한 성능 실험을 수행하였다. <Table 5>는 시뮬레이션 결과에 대해 시간당 제품 로트 이동수를 계산한 생산성(Throughput)과 경유 반송율을 나타낸다. 가장 우수한 효율성을 보여주는 알고리즘은 추가 스토커를 이용한 방법이다. 그러나 추가 스토커를 이용할 경우, 경유 반송 수는 낮아지지만 상대적으로 반송 시간이 길어진다. FAB 내부 물류 환경에서 제품 로트가 적기에 도착하기 위해서는 반송 시간이 짧은 것이 유리하기 때문에 추가 스토커를 이용하는 정책을 제외한 후 비교할 때, 경쟁 방식에 의한 근접 스토커를 선택하는 방법이 가장 우수한 성능을 보였다.

결론적으로 Full 상태 기준 임계치를 90%로 지정하고 근접 스토커 선택 알고리즘을 경쟁 방식으로 운영할 경우 다른 방식보다 생산성과 경유 반송 최소화 측면이 모두 우수하다고 할 수 있다. 생산성의 경우에는 경쟁 방식이 지정 방식보다 약 5.2% 정도 우수하고, 경쟁과 지정 방식 혼합의 경우보다 약 3.4% 정도 개선된 시간당 반송이 가능한 것으로 나타났다. 본 논문에서는 이러한 시뮬레이션을 통해서 근접 스토커를 선택하는 알고리즘과 스토커 Full 임계치 설정에 따라 경유 반송 수가 줄어들고, 그 줄어든 여유분만큼 반송 물류의 생산성을 높일 수 있다는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존 연구들에서 진행되었던 하드웨어 투자, 레이아웃 변경 그리고 스케줄링 시스템 고도화에 의한 방법이 아닌 경유 반송 정책 변경을 통해 OLED FAB 물류 생산성을 높이는 방법을 제안하였다. 이를 위해 OLED FAB 물류 방식을 Automod로 모델링하고, 현재 운영 중인 방식을 개선할 수 있는 경유 반송 정책들의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다. 그 결과 스토커 Full이 발생할 경우, 지정된 근접 스토커로 제품 로트를 이동시키는 것보다는 스토커들 중 Full 상태가 가장 낮은 스토커로 제품 로트를 반송시키는 경쟁 방식이 물류 생산성을 5.2% 더 높일 수 있는 것으로 확인되었다. 또한 제조 FAB 내부의 이상 상황에서 여유 선반이 필요하다는 것을 고려한다면 스토커 Full 기준 임계치를 90% 정도로 운영할 때 경유 반송율을 보다 효율적으로 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

본 논문에 대한 향후 연구로서 Full 상태에 있는 스토커로부터 제품 로트를 다른 스토커로 이동 시킬 때 어떤 제품 로트를 선택하여 보내는 것이 더 효율적인지에 대한 연구를 수행하고자 한다. 일반적으로 스토커에는 연구 제품용, 설비 모니터링용, 판매 제품용 등 다양한 종류의 제품들이 보관되어 있을 수 있는데, 이 중 어떤 제품 로트를 선택하여 근접 스토커로 보내는 것이 더 효율적인 방법인지, 시뮬레이션을 통해 검증하고자 하는 것이다. 이러한 연구 결과를 통해 현업에서의 투자 없는 물류 생산성 향상이 가능해질 수도 있을 것으로 기대한다.

Acknowledgement

This study has been performed for Master's thesis of Ajou University, Korea.

<Table 5> Results of Simulation

Full Rate	Throughput(Move/h)				Detour Transfer Rate			
	Specified	Competed	Specified+ Competed	Extra STK	Specified	Competed	Specified+ Competed	Extra STK
95%	350	361	349	372	7.0	6.2	6.9	2.6
90%	348	366	360	370	7.0	6.0	6.6	2.7
85%	333	349	348	362	1.1	6.9	7.1	3.4
80%	328	347	345	360	12.6	7.5	8.1	4.2

References

[1] Chung, J. and Jang, J., The WIP Balancing Procedure Increasing Throughput for Semiconductor Fabrication, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 2009, Vol. 22, No. 3, pp. 381-390.

[2] Chung, J. and Tanchoco, J.M.A., Layout Design with Hexagonal Floor Plans and Material Flow Patterns, *International Journal of Production Research*, 2010, Vol. 48, No. 12, pp. 3407-3428.

[3] Ko, K.H., Yoo, S.K., and Kim, B.H., SIMULATION BASED FAB SCHEDULER : SEEPLAN®, Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, 2010, ISSN 0891-7736, Baltimore, MD, USA.

[4] Kong, S.H., Two-step simulation method for automatic material handling system of semiconductor fab, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2007, Vol. 23, No. 4, pp. 409-420.

[5] Lee, M.S. and Chae, J.J., A Heuristic for Layout and Material Handling System Design in a Semiconductor Fabrication Facility, The Society of Korea Industrial and System Engineering, 2008, *Autumn Conference*, pp. 54-59.

[6] Noto, M. and Sato, H., A method for the shortestpath search by extended Dijkstra algorithm, *Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Nashville, TN, 2000, Vol. 3, pp. 2316-2320.

[7] Ok, S.H., Ahn, J.H., Kang, S.H., and Moon, B.G., A Combined Heuristic Algorithm for Preference-based Shortest Path Search, *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea TC*, 2010, Vol. 47, No. 8, pp. 74-84.

[8] Seo, J.D., Goo, P.H., and Jang, J.J., A Dispatching logic development for logistics control in semiconductor FAB, *Management Science and Financial Engineering*, 2003, pp. 365-369.

[9] Yoon, J.M., Ko, H.H., and Kim, S.S., Improved Dispatching Algorithm for Satisfying both Quality and Due Date, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 2008, Vol. 9, No. 6, pp. 1838-1855.

[10] You, S.Y. and Choi, S.H., Production and Operation Management, *e-Press*, 2015, pp. 97-99.

ORCID

Dong So Kim | https://orcid.org/0000-0001-7840-1507

Jin Young Choi | https://orcid.org/0000-0001-6397-3107