

# Inter-Bay 물류 흐름을 고려한 반도체 Fab의 Unload 및 Load Request Logic 개발

서정대<sup>1\*</sup> · 구평희<sup>2</sup> · 장재진<sup>3</sup>

<sup>1</sup>경원대학교 산업정보시스템공학과 / <sup>2</sup>부경대학교 시스템경영공학과

<sup>3</sup>Department of Industrial and Manufacturing Engineering, University of Wisconsin-Milwaukee

## An Unload and Load Request Logic for Semiconductor Fab Considering Inter-Bay Material Flow

Jungdae Suh<sup>1</sup> · Pyung-Hoi Koo<sup>2</sup> · Jaejin Jang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Kyungwon University, Seongnam, 461-701

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Pukyong National University, Busan, 608-739

<sup>3</sup>Department of Industrial and Manufacturing Engineering, University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee, WI 53201-0413, U.S.A.

The purpose of this paper is to develop and show the efficiency of the URL(Unload Request Logic) and LRL(Load Request Logic) of the dispatcher in the Fab(Fabrication) Manufacturing Execution System. These logics are the core procedures which control the material(wafer and glass substrate) flow efficiently in the semiconductor and LCD fab considering inter-bay as well as intra-bay material flow. We use the present and future status information of the system by look-ahead and the information about the future transportation schedule of Automated Guided Vehicles. The simulation results show that the URL and LRL presented in this paper reduce the average lead time, average and maximum WIP level, and the average available AGV waiting time.

**Keywords:** dispatching, scheduling, semiconductor, LCD, look ahead

### 1. 서론

반도체 및 LCD fab은 일반적으로 고가의 자동화된 장비들이 그룹을 형성하고 있는 베이(bay) 형태로 이루어져 있다. Fab 내에는 웨이퍼(wafer) 및 유리기판(glass substrate) 등과 같은 물류의 흐름이 발생하며, 이들의 이동 형태에 따라 베이 내의 intra-bay 물류 흐름과 베이와 베이 간의 inter-bay 물류 흐름으로 구분된다.

Fab 내의 물류 흐름의 실시간 제어는 장비의 효율적인 사용을 위하여 중요하며, 현재 사용되고 있는 기존의 제어 방식은

의사 결정 시점(load 및 unload request를 처리하는 시점)에서 설비의 가용성 여부는 고려하지만 미래의 계획 정보는 고려하지 않는다. 특히 베이 간 이동의 경우, 인접 베이에 있는 장비를 구체적으로 지정하지 않고 인접 베이의 stocker까지만 결정하고 있다. 이로 인하여, 전체 가공 시간이 길어지며, 반송 장비의 사용도가 늘어난다. 따라서 운반 장비의 가용성 여부뿐만 아니라 미래의 계획을 고려할 필요가 있으며, 베이 간 이동의 경우 인접 베이에 있는 장비까지 구체적으로 결정할 필요가 있다.

물류 운반을 위하여 AGV, OHT/OHS 등 다양한 형태의 운반

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2002-042-D00136)

\*연락처 : 서정대, 461-701 경기도 성남시 수정구 북정동 산 65 경원대학교 산업정보시스템공학과, Fax : 031-750-5273,

E-mail : jdsuh@kyungwon.ac.kr

장비들이 사용되고 있으며 intra-bay 물류 운반은 AGV, inter-bay 물류 운반은 stocker를 경유하는 환경을 본 논문의 대상으로 한다.

Fab 내의 물류 운반 장비 중 특히 AGV 운영과 관련하여 Koo and Jang(2002), Kobza *et al.*(1998) 등은 확률적인 접근법을 이용해서 AGV의 운행시간을 예측하는 모델을 제시했으며 공차운행시간 예측을 위해서 마코브 체인을 이용했다. Ulusoy and Bilge(1993), Langevin *et al.*(1996) 등은 일반적인 유연생산시스템 환경에서 AGV routing을 위한 방법을 제시했으며, Oboth *et al.*(1999), Kim *et al.*(1999)은 특히 conflict-free AGV 경로 생성 기법을 제시하고 적용성을 테스트했다.

Fab에서의 스케줄링은 주로 기대 사이클(cycle)타임을 최소화하기 위한 것으로 Fowler *et al.* (2002)는 batching 공정에서 기대 사이클 타임을 최소화하는 배치 크기를 결정했으며, Chung and Huang(2002)은 fab의 자재 흐름의 특성을 분석함으로써 사이클 타임을 추정하였다.

Lu *et al.*(1994), Liao *et al.*(1996) 등은 라인 전체의 성능을 bottleneck 장비가 결정한다는 사실을 지적하고 bottleneck 장비의 스케줄링에 대해 연구하였다. 대개의 반도체 장비는 photo 장비이므로 mask 수, balancing 등을 고려하였고, heuristic 모델, MIP 모델, 그리고 sequencing rule 등을 활용하였다. SemaTech의 많은 현장 엔지니어들에 의해 작성된 Scheduler/Dispatcher 요구 사항에 의하면(Gartland *et al.*(2000)), scheduler의 가장 중요한 기능으로 생산량과 납기 만족에 대한 적절한 최적화를 언급하고 있다. 그 외에도 현장의 복잡한 제약들, 즉 장비의 고장(down), 예방정비(PM), 비정규 공정 로트 처리, 작업자의 개입 그리고 반송시간 및 장비 상태의 고려 등 미세한 사항에 대한 고려를 요구하고 있다.

본 논문은 반도체 및 LCD fab의 물류제어시스템(LAD; Look Ahead Dispatcher)을 위하여 look ahead에 의한 시스템의 현재 및 미래의 상태 정보를 이용하여 intra-bay뿐만 아니라 inter-bay 흐름을 고려하여 효율적으로 물류의 흐름을 제어하는 핵심 로직인 URL과 LRL을 개발하고 그 효과를 보인다. URL은 장비에서 가공을 마친 로트가 다음 가공을 위하여 장비를 선택하는 과정이며, LRL은 장비에서 로트의 가공이 완료된 후 가용해진 포트(port)가 다음 가공을 위하여 로트를 선택하는 과정이다.

장비 및 로트 결정 과정에서 AGV의 가용 여부 및 출발지로부터 도착지까지의 운반시간, 그리고 미래의 운반 계획 정보 등을 함께 고려하여 AGV를 선택하는 과정을 제시하고 적용한다.

## 2. LAD

반도체 fab의 운영 통제를 위한 제어시스템은 상위 계층의 MES (Manufacturing Execution System), 하위 계층의 MCS(Material Control System), 그리고 단위 장비 컨트롤러로 구성되는 계층적인 구조를 띠고 있다(<그림 1>).

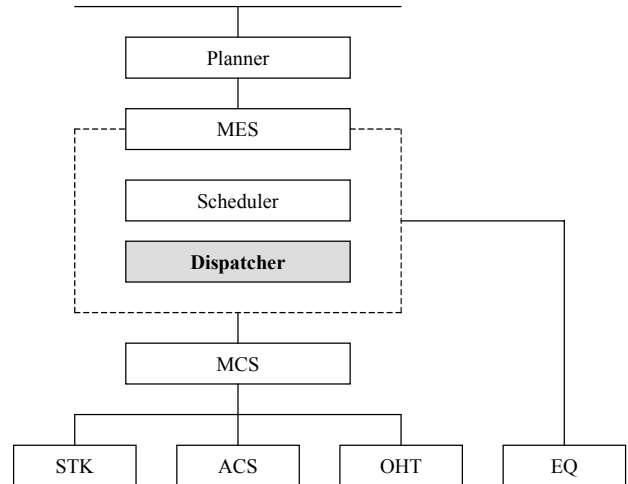


그림 1. 반도체 fab의 제어시스템 구조.

MES는 제조 장비와 가공 정보를 보관하여 제어 측면의 생산 관리를 담당하며, 공정의 선후 관계와 가공 장비 및 시간을 결정하는 scheduler와 가공이 끝난 로트의 다음 장비를 선택하는 dispatcher로 구성된다. Scheduler는 공정 수순에 맞는 로트의 장비를 결정하며, dispatcher는 현재 시점에서 변동된 가용한 자원(장비, AGV, stocker 등)을 고려하여 실시간으로 결정한다. MES는 이외에도 로트의 공정 진행 상황 파악, 공정 품질 정보 관리, 공정 장비와의 통신, 그리고 장비 정보 관리 등의 기능도 수행한다.

MCS는 물류 이동에 대한 관리를 담당하며 MES로부터 결정된 로트의 출발지와 목적지를 바탕으로 그 사이의 이동 경로를 생성한다. AGV, Stocker(STK), OHT/OHS 등은 각자의 컨트롤러를 따로 가지고 있어, 각각의 고유한 역할을 수행하게 된다. <그림 1>에서 EQ(Equipment)는 설비를 의미한다.

장비에서 로트(웨이퍼 및 유리기관을 담은 캐리어(carrier))의 가공이 완료되었을 때, 가공 완료된 로트가 다음 공정 가공을 위하여 장비를 선택하고, 선택된 장비로 이동하기 위하여 반송 장비를 요청하는 unload request가 발생한다. 장비의 선택은 다음 공정 가공이 가능한 장비들로 구성된 그룹 내에서 이루어진다. 그룹은 동일 베이 내에 있거나 또는 다른 인접 베이에 있을 수 있다.

한편, 하역 작업을 완료하여 장비의 포트가 가용하게 되었을 때, 이 포트가 다음 가공을 위하여 로트를 선택하고 반송 장비를 요청하는 load request가 발생한다. 선택 대상이 되는 로트는 이전 공정 장비들로 이루어진 그룹 내에서 현재 가공중이거나 또는 stocker 내에서 현재 대기중인 로트다. Unload request의 발생 경우와 마찬가지로 이전 공정 장비 그룹은 동일 베이 또는 인접 베이에 있을 수 있다.

베이 내에는 동종의 장비들이 그룹을 구성하고 있다. 각 그룹은 가공 가능한 공정들이 정해져 있으며 각 공정의 가공시간은 그룹 내에서 서로 동일하다. 각 그룹 간에 가공 가능한 공정들은 서로 중복될 수도 있다.

본 논문에서 사용되는 기호를 다음과 같이 정의한다. 여기서

장비는 가공을 수행하는 기계 장비를 의미하고, 설비는 기계 장비 외에 AGV, stocker 등과 같은 반송 및 저장 장비도 포함한다.

Notations:

- $TF_i$  : 장비  $i$ 의 모든 포트가 full이 되는 시간
- $TB_i$  : 장비  $i$ 의 blocking 발생시간
- $TA_i$  : 장비  $i$ 의 포트가 가용해지는 시간
- $TS_i$  : 장비  $i$ 의 starvation 발생시간
- $TG_i$  : 장비  $i$ 의 AGV 도착시간
- $PT_i$  : 장비  $i$ 의 가공시간
- $ET_{ij}$  : 설비  $i$ 로부터 설비  $j$ 까지의 공차 운행시간
- $LT_{ij}$  : 설비  $i$ 로부터 설비  $j$ 까지의 적재 운행시간

여기서  $TF_i$ ,  $TB_i$ ,  $TA_i$ ,  $TS_i$ ,  $TG_i$  값들은 look-ahead에 의해서 구해진다. 본 논문에서 사용되는 look-ahead의 대상 범위는 <표 1>과 같다. <표 1>에서 IN 범위는 현재 장비로 들어오고자 하는 로트의 범위, OUT 범위는 현재 장비로부터 나가고자 하는 로트의 범위를 나타낸다. <표 1>에서 POM(Previous Operation Machine)은 로트의 이전 스텝(step) 공정을 위한 장비, NOM (Next Operation Machine)은 다음 스텝 공정을 위한 장비를 나타낸다.

표 1. Look-ahead를 위한 IN 범위 및 OUT 범위 유형

IN 범위	OUT 범위
POM에서 가공중	포트에서 가공 대기중(waiting lot)
POM의 포트에서 AGV 대기중	현 장비에서 가공중
AGV 위에서 운반중	포트에서 AGV 대기중
하역(unloading)중	적재(loading)중

IN 범위는 POM에서 현재 가공중인 로트의 정보를 포함한다. POM에서 현재 가공중인 로트는 가공 완료 후 NOM 그룹 중 특정 장비를 선택하는 기준을 설정할 필요가 있다. 그 외의 IN 범위에 속하는 로트들은 이미 목적지가 결정된 상태이다.

### 3. URL(Unload Request Logic)

URL은 현재 장비에서 가공을 마친 로트가 다음 가공을 위하여 NOM 그룹 내에서 장비를 선택하는 과정(machine selection procedure)이다. 즉, 캐리어의 모든 웨이퍼 또는 유리 기관의 가공이 완료되었을 때 가공을 마친 로트가 다음 스텝 가공을 위하여 동일 베이 또는 인접 베이에 있는 NOM 그룹 장비 내에서 목적지 장비(포트 포함)를 선택한다.

현재는 일반적으로 가장 오래 유힌한 포트(longest idle port), 또는 포트 수가 가장 많이 빈 장비가 선택되고 있다. 장비 선택을 위하여 동일 베이 내에 있는 NOM 그룹부터 찾아보며, 동일 베이에서 다음 장비를 선택할 경우는 장비의 포트까지 결정한다.

다. 동일 베이가 아닌 타 베이에 있는 NOM 그룹에서 장비를 선택할 경우는 인접 베이의 stocker를 목적지로 선정한다. 인접 베이에서 가용한 포트를 가진 장비를 찾지 못하면 현재 베이의 stocker를 목적지로 선정한다.

Look-ahead 정보를 사용하여 목적지 장비를 선정하는 기준은 현재의 로트가 도착 장비에서 가공이 완료되는 시간과 blocking에 의한 로트의 대기시간, AGV 점유시간, 그리고 stocker 점유시간을 고려하여 이들의 가중합을 합한 시간을 최소화하는 것이다. 로트가 NOM 그룹의 장비  $i$ 에 도착하는 경우, 관련된 시간들을 다음과 같이 정의한다.

- $CT_i$  : 로트가 장비  $i$ 에 도착하여 가공이 완료되는 시간
- $GT_i$  : 장비  $i$ 에 도착할 때까지의 로트의 AGV 점유시간
- $WT_i$  : 장비  $i$ 에서의 로트의 대기시간
- $ST_i$  : 장비  $i$ 에 도착할 때까지의 로트의 stocker 점유시간

그리고  $TT_i$ 를 식 (1)과 같이 장비  $i$ 에서의 가공 완료시간에 로트의 대기시간, AGV 점유시간, 그리고 stocker 점유시간의 가중합으로 정의한다. 가중치  $\alpha, \beta, \gamma$  값은 각 시간에 대한 중요도의 비중으로서 현장 상황에 따라 결정한다. 즉, 현장시스템의 수행도에 영향을 미치는 주요 제약 자원이 AGV일 경우는  $\alpha$  값, 가공 장비일 경우는  $\beta$  값, 그리고 stocker일 경우는  $\gamma$  값에 비중을 두어 조정한다. 그러면 목적지 선정 기준은  $TT_i$ 를 최소화하는 장비를 선택하는 것이다.

$$TT_i = CT_i + \alpha GT_i + \beta WT_i + \gamma ST_i \quad (1)$$

$$0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1, \alpha + \beta + \gamma = 1$$

Blocking에 의한 로트의 대기시간 종류는 해당 로트가 목적지에서 blocking 당하여 대기하는 시간, 임의의 로트가 목적지에서 blocking 당하여 대기하는 시간, 그리고 임의의 로트가 출발지에서 blocking 당하여 대기하는 시간들이 있다. 로트 대기시간은 이러한 세 가지 유형의 blocking에 의한 대기시간들을 합한 것이다.

AGV 점유시간은 로트의 AGV 요청에 대하여 AGV가 대응하는 시간의 합이다. 즉, 공차 이동시간, 적재시간, 장비 또는 stocker 간 운행시간, 하역시간을 합한 시간이다. AGV 점유시간에 빈 AGV가 생길 때까지 기다리는 대기시간을 합하면 AGV 대응시간이 된다.

NOM 그룹 장비에 로트를 보내는 방법을 생각해 보면, 첫째, NOM 그룹이 동일 베이 내에 있을 경우에는 현재 장비에서 stocker를 경유하지 않고 NOM 그룹 장비로 직접 보내는 방법과 stocker를 경유하여 보내는 방법이 있다. Stocker를 경유하는 경우는 NOM 그룹 장비가 현재 시간에 가용하지 않을 때 적용하며 stocker에서 일정시간 대기한 후 목적지로 향한다. 둘째, 동일 베이가 아닌 인접 베이에 있는 NOM 그룹 장비로 가기 위해서는 stocker를 경유해야 한다. 이때 현재 장비에서 stocker를 경

유하여 바로 목적지로 보내는 방법과 도착지에서의 blocking 발생 방식을 위하여 stocker에서 일정 시간 대기한 후 보내는 방법이 있다.

현재 장비  $s$ 에서 가공 완료된 로트가 AGV를 호출하여 가용한 AGV가 할당되어 NOM 그룹의 임의의 장비  $i$ 로 출발했다고 하자. NOM 그룹이 동일 베이에 있는 경우에는 NOM 그룹 장비로 직접 가고, 인접 베이에 있는 경우에는 stocker를 경유하여 바로 NOM 그룹 장비로 간다고 하자. 그러면 AGV가 NOM 그룹 장비  $i$ 에 도착하는 시간,  $TG_i$ 에 따라 다음의 세 가지 경우를 생각해 볼 수 있다.

(1)  $TG_i \geq TS_i$  및  $TA_i \leq TG_i < TS_i$ 인 경우

이 경우는 장비  $i$ 가 유힬하거나 장비  $i$ 에 가용한 포트가 있는 경우이다(<그림 2>).

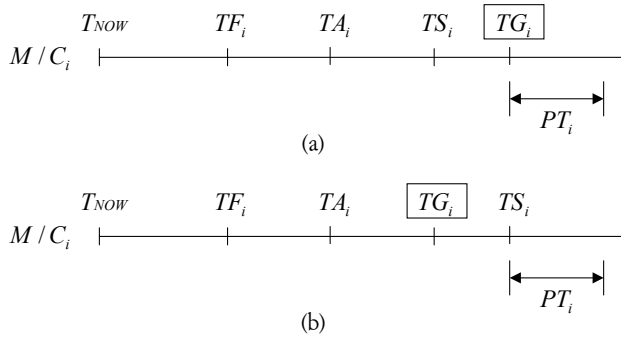


그림 2. (a)  $TG_i \geq TS_i$ 인 경우, (b)  $TA_i \leq TG_i < TS_i$ 인 경우.

AGV 출발시간을  $T_{NOW}$ 로 두면,  $TG_i \geq TS_i$ 인 경우는  $TT_i = TG_i + PT_i + \alpha GT_i$ 이며,  $TA_i \leq TG_i < TS_i$ 인 경우는  $TT_i = TS_i + PT_i + \alpha GT_i$ 이다. 따라서  $TG_i \geq TS_i$  및  $TA_i \leq TG_i < TS_i$ 인 경우  $TT_i$ 는 식 (2)로 표현된다.

$$TT_i = \text{Max}(TS_i, TG_i) + PT_i + \alpha GT_i \quad (2)$$

(2)  $TF_i \leq TG_i < TA_i$ 인 경우

이 경우는 NOM 그룹 장비  $i$ 의 가용한 포트가 없어 현재의 로트가 장비  $i$ 에서 blocking 당하는 경우이다(<그림 3>).

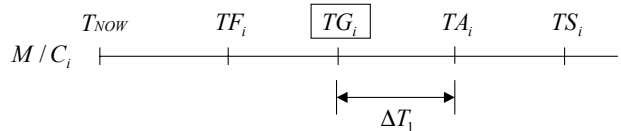


그림 3.  $TF_i \leq TG_i < TA_i$ 인 경우.

<그림 3>에서  $\Delta T_1$ 은 현재의 로트가 NOM 그룹 장비  $i$ 의 가용한 포트가 생길 때까지 기다리는 시간이다. 이 경우 출발지에서 AGV 출발을  $\Delta T_1$ 만큼 늦출 수 있다면 도착지에서의

blocking 발생으로 인한 대기시간을 회피할 수 있다.

지금 출발지에서의 blocking 발생 예정 시간,  $TB_s$ 가  $TB_s > T_{NOW} + \Delta T_1$ 이면 AGV 출발을  $\Delta T_1$ 만큼 늦출 수 있으며 그럴 경우  $TT_i = TS_i + PT_i + \alpha GT_i$ 가 된다. 그렇지 않다면 다음의 세 가지 대안을 고려한다.

대안 1: Blocking 발생을 감수하고 장비로 직접 보냄

이 대안은 NOM 그룹 장비가 동일 베이에 있을 때 적용할 수 있으며 출발지 또는 도착지에서의 blocking 발생을 감수하고 목적지 장비로 로트를 직접 보낸다. AGV 출발시간을  $TB_s$ 로 두면 도착지의 blocking 발생을 감수하고 출발지에서의 blocking 발생을 방지하며, AGV 출발시간을  $T_{NOW} + \Delta T_1$ 으로 두면 출발지에서의 blocking 발생을 감수하고 도착지에서의 blocking 발생을 방지한다(<그림 4>).  $TT_i$ 는 식 (3)과 같다.

$$TT_i = TS_i + PT_i + \alpha GT_i + \beta(T_{NOW} + \Delta T_1 - TB_s) \quad (3)$$

식 (3)에서  $(T_{NOW} + \Delta T_1 - TB_s)$ 는 blocking 발생으로 인한 로트의 대기시간으로 출발지에서의 blocking 발생인 경우는 임의의 로트가 출발지로 도착하지 못하여 대기하는 시간이며, 도착지에서의 blocking 발생인 경우는 현재의 로트가 도착지에서 대기하는 시간이다.

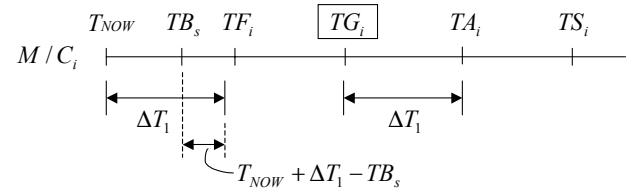


그림 4.  $TF_i \leq TG_i < TA_i$ 인 경우의 대안 1.

대안 2: Stocker를 경유하여 바로 목적지로 보냄

이 대안은 NOM 그룹 장비가 인접 베이에 있을 때 적용할 수 있으며 출발지 또는 도착지에서의 blocking 발생을 감수하고 인접 베이에 있는 목적지 장비로 stocker를 경유하여 직접 보낸다. 대안 1과 마찬가지로 AGV 출발시간에 따라 출발지 또는 도착지에서의 blocking 발생을 방지한다.  $TT_i$ 는 식 (4)와 같다.

$$TT_i = TS_i + PT_i + \alpha GT'_i + \beta(T_{NOW} + \Delta T_1 - TB_s) \quad (4)$$

식 (4)에서  $GT'_i$ 는 AGV 출발이  $T_{NOW}$ 가 아닌 다른 시간일 때, 로트가 stocker를 경유하여 목적지까지 도착하는 데 필요한 AGV 점유시간이다.  $(T_{NOW} + \Delta T_1 - TB_s)$ 의 의미는 대안 1의 경우와 동일하다.

대안 3: Stocker를 경유하여 대기한 후 목적지로 보냄

이 대안은 NOM 그룹 장비가 동일 베이와 인접 베이에 있을

때 모두 적용할 수 있다. 출발지에서 blocking이 발생되는 시점에서 출발지를 떠나 stocker로 간다. Stocker에서 도착지의 blocking 발생을 방지하는 시간 동안 대기한 후 목적지로 향한다. 이 대안은 출발지 및 도착지에서 blocking은 방지하지만, AGV 점유시간 및 stocker 점유시간은 증가한다.  $TT_i$ 는 식 (5)와 같다.

$$TT_i = \text{Max}(TS_i, TG'_i) + PT_i + \alpha GT'_i + \gamma ST_i$$

where  $ST_i = (T_{NOW} + \Delta T_1 - TB_s - (GT'_i - GT_i))^+$  (5)

식 (5)에서  $TG'_i$ 는 로트가 stocker를 경유하여 목적지에 도착하는 시간,  $(GT'_i - GT_i)$ 는 stocker를 경유함으로써 추가로 소요되는 AGV 점유시간이다. 이 경우 AGV의 목적지 도착의 불확실성으로 인해  $(TA_i - TG'_i)^+$ , 즉 목적지에서 가용한 포트가 생길 때까지 대기하는 시간이 발생할 수 있다.

(3)  $TG_i \leq TF_i$  인 경우

이 경우는 장비  $i$ 의 가용한 포트가 현재는 있으나 미래에 full이 되는 경우로, 현재의 로트가 NOM 그룹 장비를 차지함으로써 여기로 오고자 하는 미래의 임의의 로트가 blocking 당하는 경우이다. 이 경우, (2)에서와 같이  $TB_s > T_{NOW} + \Delta T_2$  이면  $TT_i = TS_i + PT_i + \alpha GT_i$ 가 된다(단,  $\Delta T_2 = TA_i - TG_i$ ). 그렇지 않다면 다음의 세 가지 대안을 고려한다.

대안 1: Blocking 발생을 감수하고 장비로 직접 보냄

이 대안은 NOM 그룹 장비가 동일 베이에 있을 경우에 적용하며 출발지 또는 도착지에서 blocking 발생을 감수하고 목적지 장비로 로트를 직접 보낸다.

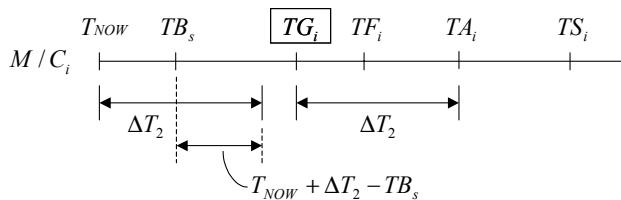


그림 5.  $TG_i \leq TF_i$  인 경우의 대안 1.

<그림 5>에서 AGV 출발시간을  $TB_s$ 로 두면 출발지의 blocking 발생을 방지한다. 그러면 목적지에서의 blocking 발생으로 인한 대기시간은  $TA_i - \text{Max}(TF_i, TA_i - (T_{NOW} + \Delta T_2 - TB_s))$ 가 된다. 이때 대기시간이  $TA_i - TF_i$ 일 경우는 임의의 로트가 목적지에서 대기하는 시간이며,  $T_{NOW} + \Delta T_2 - TB_s$ 일 경우는 현재의 로트가 목적지에서 대기하는 시간이다. AGV 출발시간을  $T_{NOW} + \Delta T_2$ 로 두면 도착지에서 blocking 발생을 방지한다. 그러면 출발지에서 blocking 발생으로 인한 대기시간은  $T_{NOW} + \Delta T_2 - TB_s$ 가 된다.

$TT_i$ 는 식 (6)과 같이 구한다.

$$TT_i = TS_i + PT_i + \alpha GT_i + \beta WT_i \quad (6)$$

where

$$WT_i = TA_i - \text{Max}(TF_i, TA_i - (T_{NOW} + \Delta T_2 - TB_s))$$

if AGV departure time =  $TB_s$

$$= T_{NOW} + \Delta T_2 - TB_s$$

if AGV departure time =  $T_{NOW} + \Delta T_2$

대안 2: Stocker를 경유하여 바로 목적지로 보냄

이 대안은 NOM 그룹 장비가 인접 베이에 있을 때 적용하며 도착지에서 blocking 발생을 감수하고 인접 베이에 있는 목적지 장비로 stocker를 경유하여 직접 보낸다. 출발지 장비에서의 AGV 출발시간을  $TB_s$ 로 둘 때 AGV가 목적지 장비에 도착하는 시간에 따라 다음의 두 가지 경우가 발생 가능하다.

(경우 1)  $TF_i \leq TG'_i < TA_i$

이 경우는 목적지 장비에서 현재의 로트가 blocking 당하는 경우이다(<그림 6>).

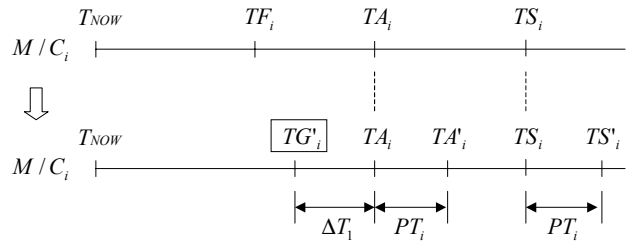


그림 6.  $TF_i \leq TG'_i < TA_i$  인 경우.

여기서  $TA'_i = TA_i + PT_i$ ,  $TS'_i = TS_i + PT_i$ 이며, 목적지 장비에서 현재의 로트가 blocking 당하여 대기하는 시간,  $\Delta T_1$ 은  $\Delta T_1 = TA_i - TG'_i$ 이다. 따라서  $TT_i$ 는 식 (7)과 같다.

$$TT_i = \text{Max}(TS_i, TG'_i) + PT_i + \alpha GT'_i + \beta (TA_i - TG'_i) \quad (7)$$

(경우 2)  $TG'_i < TF_i$

이 경우는 현재의 로트가 목적지 장비의 포트를 차지함으로써 미래에 여기로 도착할 예정인 임의의 로트를 blocking하는 경우이다(<그림 7>).

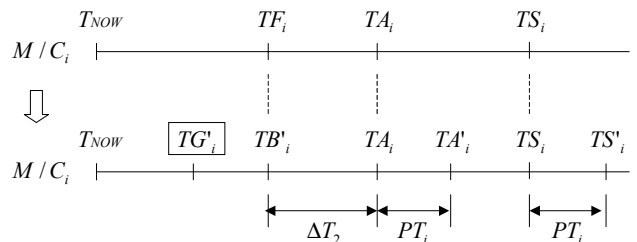


그림 7.  $TG'_i < TF_i$  인 경우.

여기서  $TG_i \leq TF_i < TB_i$ ,  $TA'_i = TA_i + PT_i$ ,  $TS'_i = TS_i + PT_i$ 이며, 목적지 장비에서 임의의 로트가 blocking 당하여 대기하는 시간,  $\Delta T_2$ 는  $\Delta T_2 = TA_i - TB_i = TA_i - TF_i$ 이다. 따라서  $TT_i$ 는 식 (8)과 같다.

$$TT_i = TS_i + PT_i + \alpha GT'_i + \beta(TA_i - TF_i) \quad (8)$$

대안 3: Stocker를 경유하여 대기한 후 목적지로 보냄  
이 대안은 NOM 그룹 장비가 동일 베이와 인접 베이에 있을 때 모두 적용할 수 있으며,  $TF_i \leq TG_i < TA_i$  인 경우와 유사한 결과이다. 즉,  $TT_i$ 는 식 (9)와 같다.

$$TT_i = \text{Max}(TS_i, TG_i) + PT_i + \alpha GT'_i + \gamma ST_i \quad (9)$$

where

$$ST_i = (T_{NOW} + \Delta T_2 - TB_i - (GT'_i - GT_i))^+$$

- 이상의 모든 경우들을 종합하여 URL을 정리하면 다음과 같다.  
Step 1: Look ahead 정보를 이용하여  $TF_i, TB_i, TA_i, TS_i, TG_i$  값들을 구한다.  
Step 2: NOM 그룹 장비들에 대하여  $TG_i$ 에 따라  $TT_i$ 를 구한다.  
Step 3:  $TT_i$ 가 최소가 되는 장비  $i$ 를 목적지 장비로 선정한다.

#### 4. LRL(Load Request Logic)

LRL은  $T_{NOW}$ 에서 현재 장비  $M$ 의 가용해진 포트가 다음 가공을 위하여 로트를 선택하는 과정(Lot Selection Procedure)이다. 다음 가공 로트는 POM 그룹 장비들에서 현재 가공중인 로트들과, stocker에서 현 장비로 오고자 대기하고 있는 로트들 중에서 선택된다. LRL을 위한 look ahead의 범위는 URL의 경우와 동일하다.

POM 그룹 장비에서 현재 가공중인 로트를 선택하는 경우, POM에서 가공을 마치면 바로 AGV를 호출하여 현재 장비의 포트로 오게 한다. 이때 AGV 점유시간을 고려한다. 또한 POM에서 가공을 마치는 시간에 따라 현재 장비로 도착하는 시간,  $TG_M$ 이 달라지며,  $TG_M$ 의 위치에 따라 현재 장비의 starvation 시간,  $T_1$ 이 달라진다. 즉,  $T_1$ 은 식 (10)으로 구해진다. 여기서  $TS_M$ 은 현재 장비의 starvation 시작시간이다.

$$T_1 = (TG_M - TS_M)^+ \quad (10)$$

한편, POM 그룹 장비에서 가공을 마친 로트가 포트를 떠나지 않고 계속 점유하고 있으면, 이 장비로 오는 미래의 임의의 로트를 blocking할 수 있다. 이러한 blocking이 발생하기 이전에 로트를 떠나게 할 필요가 있으며, POM 그룹 장비들에서 blocking이 발생하는 시간,  $TB_i$ 의 차이(빠르고 늦음)는 로트를 포트로 부터 떠나게 해야 하는 긴급한 정도의 차이가 된다. 따라서,

POM 그룹의 각 장비들에 대해  $T_2$ 를 식 (11)처럼 구해 로트 선택 기준으로 삼는다.

$$T_2 = TB_i - \text{Min} TB_i \quad (11)$$

한편, stocker로부터 로트를 선택해서 현재 장비로 오게 하는 경우,  $T_{NOW}$ 에서 AGV를 호출하게 되며, POM 그룹 장비에서 오는 경우와 마찬가지로 현재 장비의 starvation 시간과 AGV 점유시간을 고려한다. Stocker로부터 로트를 선택하면 stocker의 점유시간을 줄이는 효과가 있다. Stocker 점유시간의 절감도  $T_3$ 는  $T_{NOW}$ 에서 다음 load request event가 발생할 때까지, 즉 NES (Next Event Schedule)에서 적재를 완료하는 event들 중 첫번째 event의 발생시간,  $T_{NET}$ 까지의 차이로 구해진다(<식 (12)>).

$$T_3 = T_{NET} - T_{NOW} \quad (12)$$

이와 같이, 가용해진 포트의 load request를 처리하기 위해서, 위의 값들을 고려하여  $TT_i$ 를 식 (13)과 같이 구성하고,  $TT_i$ 를 최소로 하는 장비를 선택한다(<그림 8>). 선택 결과는 POM 그룹의 장비 또는 stocker가 될 수 있다.

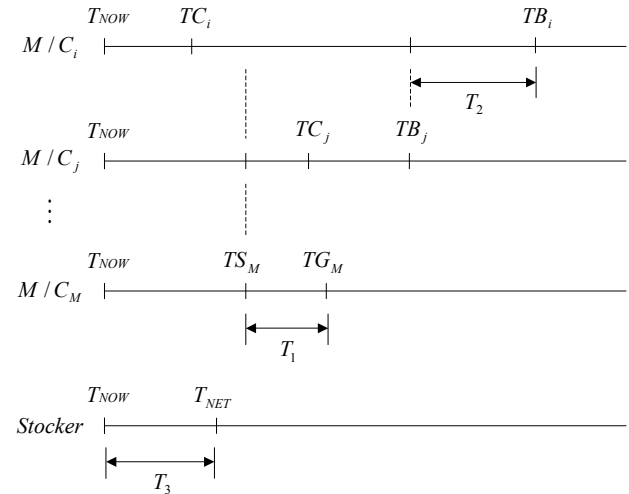


그림 8. Load request logic을 위한  $T_1, T_2, T_3$ 의 계산.

$$TT_i = \alpha GT_i + \beta_1 T_1 + \beta_2 T_2 - \gamma T_3 \quad (13)$$

$$\alpha + \beta_1 + \beta_2 + \gamma = 1, 0 \leq \alpha, \beta_1, \beta_2, \gamma \leq 1$$

여기서  $\alpha, \beta_1, \beta_2, \gamma$  값은 URL에서와 같이 각 시간에 대한 중요도의 비중으로서 정책적으로 결정한다.

#### 5. AGV 선택

로트의 이동을 위해서 본 논문에서는 AGV가 사용되는 환경을 가정한다. 로트에 특정 AGV가 할당되면 이동을 위해 필요한 운반시간대가 AGV의 운반 스케줄에 등록된다. 운반시간대는

다음의 몇가지 시간들, 즉, 선택된 AGV가 공차(empty) 상태로 된 다음 호출한 로트가 있는 장비로 가는 공차 운행시간, 적재 시간, 출발지에서 목적지까지의 운행시간, 그리고 하역시간의 합으로 구성된다. 출발지와 목적지로는 가공 장비 및 stocker 모두 가능하다.

현재 장비  $i$ 에서  $j$ 로 갔다가  $j$ 에서 하역 후 빈차로 대기하다가  $j$ 에서  $k$ 로 공차로 갔다가 적재  $l$ 로 가서 하역하는 AGV  $g$ 의 운반 스케줄이 있다고 하자(<그림 9>). 이때  $m$ 에서  $n$ 으로의 새로운 AGV 요청량이 발생할 경우, 이에 대한 운반시간대를 구한다.

지금  $Z_{gp}^s, Z_{gp}^f$ 를 AGV  $g$ 의 운반 스케줄에서 운반시간대  $p$ 의 시작시간과 종료시간으로 두고  $Z_{gp}$ 와  $Z_{gq}$ 를 인접한 운반시간대라고 하자. 그러면 이때  $ET_{jm} + T_L + LT_{mn} + T_U + ET_{nk} - ET_{jk} \leq Z_{gq}^s - Z_{gp}^f$ 을 만족시키는 제일 빠른 시간대가  $Z_{gp}$ 와  $Z_{gq}$  사이로 구해지면 새로운 운반시간대  $Z_{gr}$ 을  $Z_{gp}$ 와  $Z_{gq}$  사이에 위치시킨다(<그림 10>). 이때  $Z_{gr}^s$ 와  $Z_{gr}^f$ 는 식(14)와 같다.

$$\begin{aligned} Z_{gr}^f &= Z_{gp}^s + ET_{jk} \\ Z_{gr}^s &= Z_{gr}^f - ET_{nk} - (ET_{jm} + T_L + LT_{mn} + T_U) \end{aligned} \tag{14}$$

이 경우  $Z_{gp}^f$ 와  $Z_{gr}^s$  사이의 여유시간이 있다면 또다른 임의의 AGV 요청에 여유시간을 할당할 수 있다. 이러한 과정을 모든

AGV에 대하여 실시하여 가장 빨리 할당되는 AGV를 선택한다.

### 6. 실험 및 결과

본 논문에서는 Jang *et al.*(2001)에서 제시된 시스템 환경을 대상으로 시뮬레이션을 수행한다. 제품의 종류는 5가지이며 생산 경로는 제품마다 모두 다르다. 베이 내의 장비 그룹은 6종류이며, 그룹당 한 대 이상의 장비로 구성된다. 모든 장비는 입력과 출력을 위해 두 개 이상의 포트를 가지고 있다. 제품은 stocker를 통해서 베이 간 이동을 한다. 베이 내의 AGV는 두 대이며 양방향 이동이 가능하다.

본 연구에서 제시하는 LAD의 성능을 평가하기 위하여 현재 일반적으로 사용되고 있는 방법인 longest idle port 선택 방법(즉,  $Max(T_{NOW} - TA_i)^+$  인 장비 선택, 본 논문에서는 SD로 표시함.)과 비교, 분석한다. LAD의 URL에서의  $\alpha, \beta, \gamma$  값은 각각 1/3로 두고 LRL에서의  $\alpha, \beta_1, \beta_2, \gamma$  값은 각각 1/4로 두어 각 자원의 제약 정도를 동등하다고 가정하였다. 성능 평가를 위해 사용된 측정 지표로는 평균 리드타임, 평균 및 최대 WIP 수준, 그리고 평균 가용 AGV 대기시간 등이다. 시뮬레이션을 위한 코드는 C++로 작성되었으며 각 실험 조건별로 180일씩 4회 반복 수행되었다.

<그림 11>~<그림 14>는 AGV 부하율과 공정 부하율의 변화에 따른 평균 리드타임, 평균 및 최대 WIP 수준, 그리고 평균 가용 AGV 대기시간의 변화 및 감소율(reduction ratio) 변화를 나

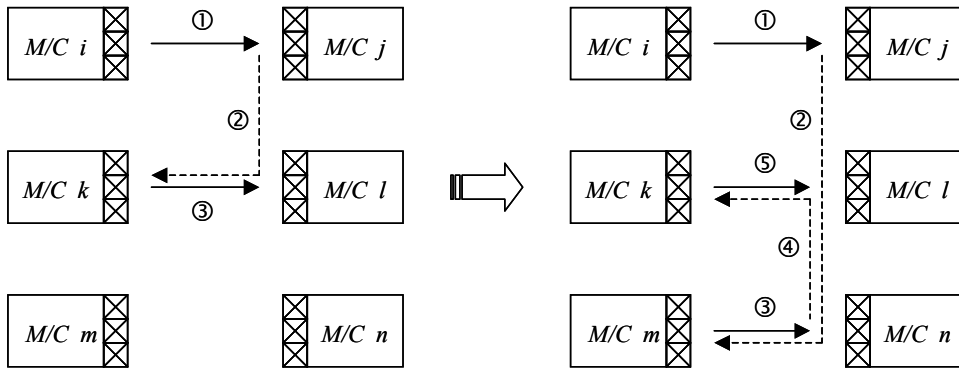


그림 9. 새로운 요청 처리.

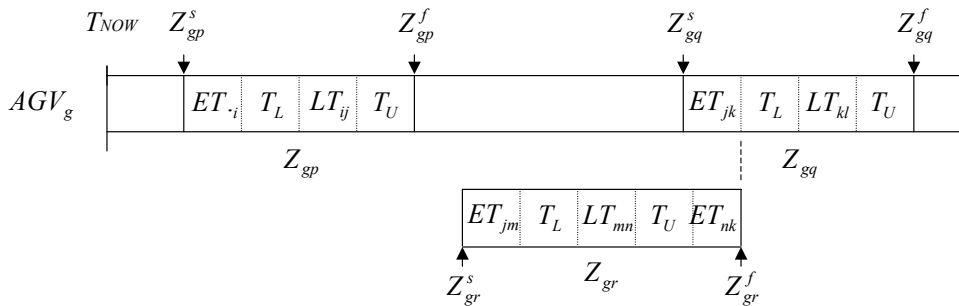


그림 10. AGV  $g$ 의 운반 스케줄.

타내고 있다. 특별히 평균 리드타임에 대한 실험 결과값은 <표 2>에 나타내었다. 실험 시 AGV 부하율은 운반량이 일정한 상태에서는 AGV의 속도를 조정해서 변경하며 가로축에 나타나 있다. 그림에서 범례는 공정 부하율을 나타내며 각각 55%, 70%, 85%, 100%에 대응한다.

<그림 11>에서 평균 리드타임은 AGV 부하율과 공정 부하율이 커질수록 감소율이 더욱 높아짐을 알 수 있다. 즉, AGV가 물류 이동시간의 bottleneck이 되거나 또는 장비의 가공시간이 커져 장비 가동률이 높아질수록 좋은 결과를 가져 온다. 특히 AGV 부하율이 작으면 AGV 부족으로 인한 blocking과 starvation의 가능성이 적어져서 시스템의 수행도에 AGV가 미치는 영향이 적기 때문으로 분석된다.

평균 및 최대 WIP 수준은 <그림 12>, <그림 13>에 나타나 있으며 평균 리드타임과 마찬가지로 AGV 부하율이 커질수록 감소율이 높아지는 것을 알 수 있다. 특히, 최대 WIP 수준의 감소율은 거의 90% 이상까지 가능함을 보여주고 있다. 이는 stocker 등 WIP의 보관을 위해 필요한 설비 용량을 대폭 줄일 수 있음을 의미한다.

<그림 14>는 평균 가용 AGV 대기시간의 감소율을 나타내고 있으며, AGV 부하율과 공정 부하율이 커질수록 감소율이 높아짐을 알 수 있다. 특히, 평균 가용 AGV 대기시간은 70% 이상의 감소율이 가능함을 보여주고 있다. 이는 그만큼 빨리 제품의 이동 요청에 응할 수 있어, 결국 평균 리드타임을 줄이는 효과를 가져오게 된다.

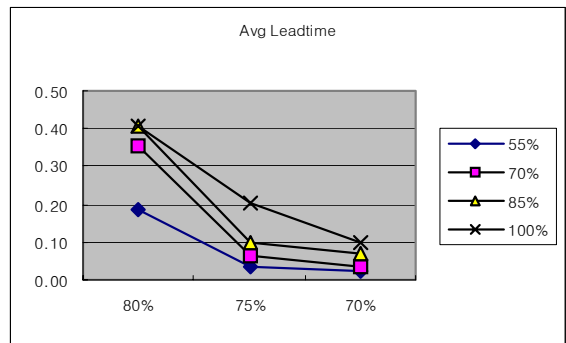
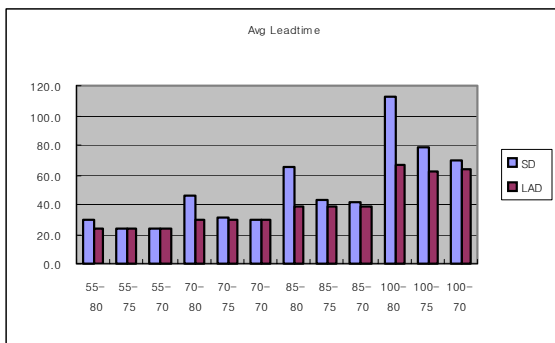


그림 11. 평균 리드타임 및 감소율 변화.

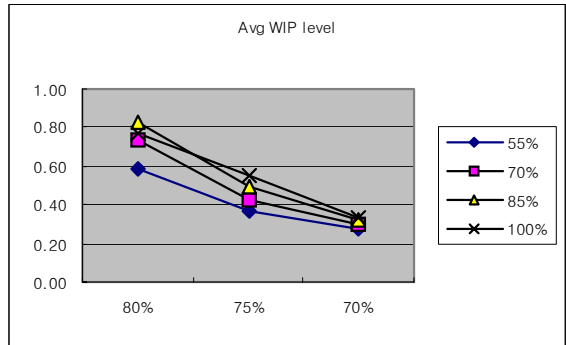
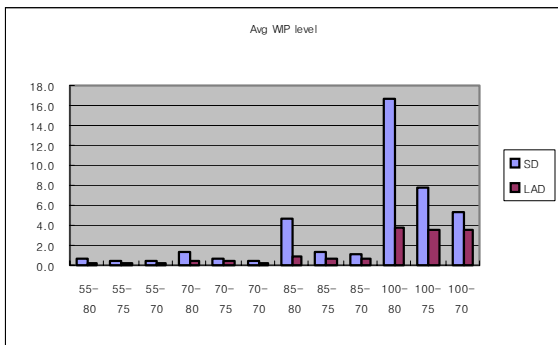


그림 12. 평균 WIP 수준 및 감소율 변화.

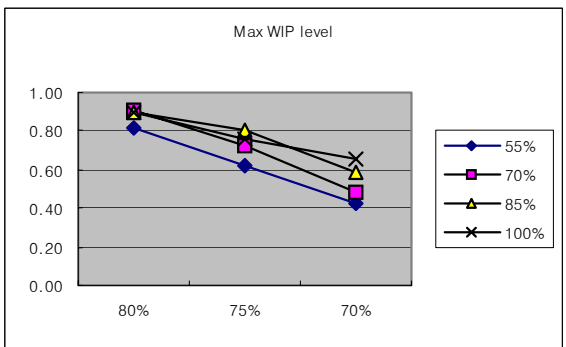
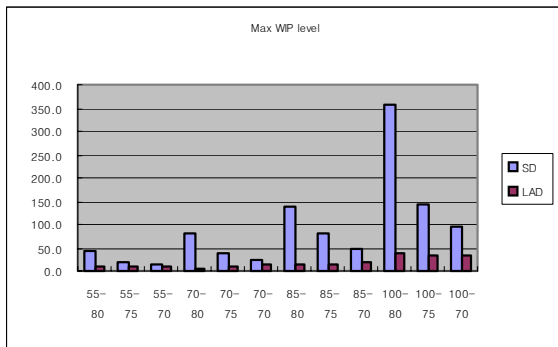


그림 13. 최대 WIP 수준 및 감소율 변화.



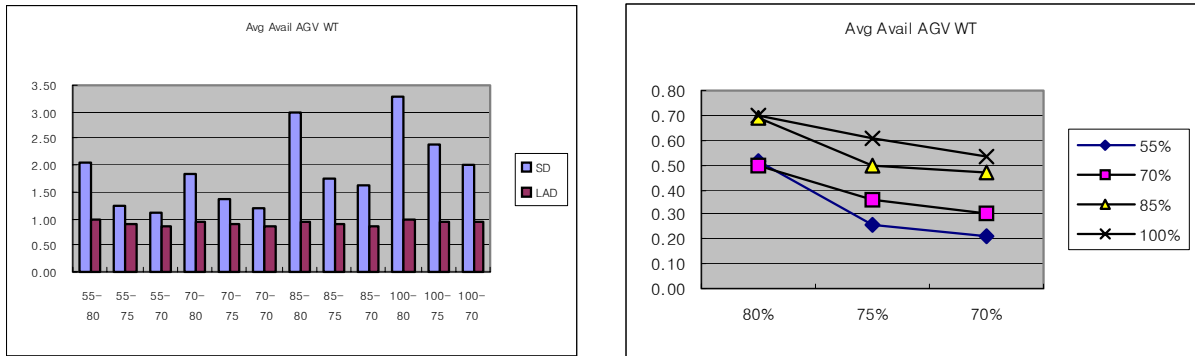


그림 14. 평균 가용 AGV 대기시간 및 감소율 변화.

표 2. 평균 리드타임의 실험 결과값

공정 부하율(%)	AGV 부하율(%)	SD	LAD
55	80	28.9787	23.5756
55	75	24.2533	23.3466
55	70	23.7152	23.1448
70	80	45.5199	29.4276
70	75	31.1987	29.1612
70	70	29.9699	28.9526
85	80	65.6627	38.8135
85	75	42.2866	38.1867
85	70	41.3155	38.4075
100	80	112.9804	66.9016
100	75	77.9011	62.1426
100	70	69.8539	63.0878

## 7. 결론

본 논문은 유사한 기능을 가지는 동종의 장비들이 그룹을 형성하고 있는 반도체 및 LCD fab에서 LAD를 위한 핵심 로직인 URL과 LRL을 개발, 제시하고 그 효과를 보였다. 이때 intra-bay 뿐만 아니라 inter-bay 흐름도 고려하였으며, look ahead에 의한 AGV의 가용성 및 미래의 운반 계획 정보도 함께 고려하였다. 시뮬레이션을 통하여 LAD는 평균 리드타임, 평균 및 최대 WIP 수준, 평균 가용 AGV 대기시간 등을 줄이는 효과를 가져옴을 보였다. 특히, AGV 부하와 공정 부하율이 높을 경우 좋은 결과를 보여줌을 알 수 있었다.

본 논문에서 제시된 로직은 추후로는 베이 형태뿐만 아니라, room(free zone) 또는 stocker-in-line 배치 형태에 적용될 수 있으며, 복수 적재기법을 개발하여 MCS(arterial Control System)와 통

합될 수 있도록 확장될 예정이다.

## 참고문헌

Chung, S.-H. and Huang, H.-W. (2002), Cycle time estimation for wafer fab with engineering lots. *IIE Transactions*, 34, 105-118.

Fowler, J.W., et al.(2002), Optimal batching in a wafer fabrication facility using a multiproduct G/G/c model with batch processing. *International Journal of Production Research*, 40(2), 275-292.

Gartland, K., et al.(2000), Scheduler/dispatcher user requirements. *International SEMATECH*, Technology Transfer # 00063966A-TR.

Jang, J., Suh, J., and Ferreira, P. (2001), An AGV routing policy reflecting the current and future state of semiconductor and LCD production lines. *International Journal of Production Research*, 39(17), 3901-3921.

Kim, C.W., Tanchoco, J.M.A., and Koo, P.H. (1999), AGV dispatching based on workload balancing, *International Journal of Production Research*, 37(17), 4053-4066.

Koo, P.H. and Jang, J. (2002), Vehicle Travel Time Models for AGV Systems under Various Dispatching Rules. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 14(3), 249-261.

Langevin, A., Lauzon, D. and Riopel, D. (1996), Dispatching, Routing, and Scheduling of Two Automated Guided Vehicles in a Flexible Manufacturing System. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 8, 247-262.

Liao, D.Y., et al. (1996), Daily scheduling for R&D semiconductor fabrication. *IEEE transactions on semiconductor manufacturing*, 9(4), 550-561.

Lu, S. C. H., et al. (1994). Efficient scheduling policies to reduce mean and variance of cycle-time in semiconductor manufacturing plants. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 7(3), 374-388.

Oboth, C., Batta, R. and Karwan, M. (1999), Dynamic conflict-free routing of automated guided vehicles. *International Journal of Production Research*, 37, 2003-2030.

Suh, J., Jang, J., and Koo, P. H. (2003), Development of a Look-ahead AGV controller for a clean bay operation. *International Journal of Industrial Engineering*, 10(4), 547-554.

Ulusoy, G. and Bilge, U. (1993), Simultaneous scheduling of machines and automated guided vehicles. *International Journal of Production Research*, 31(12), 2857-2873.

**서정대**

서울대학교 산업공학과 학사  
 서울대학교 산업공학과 석사  
 서울대학교 산업공학과 박사  
 현재: 경원대학교 산업정보시스템공학과 교수  
 관심분야: 생산 및 물류시스템 설계, 분석,  
 운영

**장재진**

서울대학교 산업공학과 학사  
 서울대학교 산업공학과 석사  
 UC Berkeley 산업공학과 석사  
 Purdue University 산업공학과 박사  
 현재: University of Wisconsin-Milwaukee 부교수  
 관심분야: optimization, production systems  
 control and maintenance

**구평희**

한양대학교 산업공학과 학사  
 Purdue University 산업공학 석사  
 Purdue University 산업공학 박사  
 현재: 부경대학교 산업공학과 조교수  
 관심분야: 생산 및 물류시스템, TOC, AGVS  
 설계/운영