

# 반도체 물류 제어 시스템을 위한 반송장비의 다중적재를 고려한 실시간 통합 디스패칭 로직

서정대<sup>1\*</sup> · Bruce Faaland<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경원대학교 산업정보시스템공학과 / <sup>2</sup>School of Business, University of Washington

## A Real Time Integrated Dispatching Logic for Semiconductor Material Flow Control Considering Multi-load Automated Material Handling System

Jungdae Suh<sup>1</sup> · Bruce Faaland<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Kyungwon University, Gyeonggi-do 461-701, Korea

<sup>2</sup>School of Business, University of Washington, Seattle, WA 98195-3200, USA

A semiconductor production system has sophisticated manufacturing operations and needs high capital investment for its expensive equipment, which warrants efficient real-time flow control for wafers. In the bay, we consider material handling equipment that can handle multiple carriers of wafers. The dispatching logic first determines the transportation time of each carrier to its destination by each unit of transportation equipment and uses this information to determine the destination machine and target carrier. When there is no available buffer space at the machine tool, the logic allows carriers to stay at the buffer of a machine tool and determine the delay time, which is used to determine the destination of carriers in URL. A simulation study shows this dispatching logic performs better than the procedure currently in use to reduce the mean flow time and average WIP of wafers and increase efficiency of material handling equipment.

**Keywords:** Dispatching, Scheduling, URL, LRL, Semiconductor

### 1. 서론

반도체 라인은 크게 메모리와 LCD(Liquid Crystal Display), 그리고 비메모리 라인으로 구성되어 있으며 대규모 투자가 필요한 장치 산업으로서, 장비의 효율적 사용을 위하여 웨이퍼(wafer) 및 유리기판(glass substrate)과 같은 반도체 물류의 실시간 운영 통제가 중요하다.

반도체 제조 라인의 실시간 운영 통제를 위한 제어시스템은 상위 계층의 스케줄링(scheduling) 및 디스패칭(dispatching) 기능과 하위 계층의 물류 운영 통제 기능 및 단위 장비의 제어 기

능으로 이루어진다. 상위 계층의 기능 중 현재 일반적으로 사용되고 있는 디스패처(dispatcher)는 의사 결정 시점(unload 및 load request를 처리하는 시점)에서 설비의 가용성 여부와 같은 현재의 상태 정보는 고려하지만 설비 및 로트와 관련된 미래의 상태 정보는 고려하지 않는다. 특히 AGV 등과 같은 반송장비에 대한 고려는 디스패처에 의한 의사 결정이 완료된 후 별도로 이루어진다. 이로 인하여 디스패처에 의한 결정이 제대로 시행되지 못하는 등 전체적으로 효율적인 결정이 이루어지지 못하고 있다.

본 논문은 베이(bay) 내에서 유사한 기능을 가지는 동종의

이 논문은 2005년 LG연암문화재단의 지원을 받아 수행된 연구임.

\* 연락처 : 서정대, 461-701 경기도 성남시 수정구 북정동 산65 경원대학교 산업정보시스템공학과, Tel : 031-750-5369, Fax : 031-750-5273,

E-mail : jdsuh@kyungwon.ac.kr

2007년 6월 20일 접수; 2008년 1월 29일 수정본 접수; 2008년 4월 18일 게재 확정.

장비들이 그룹을 형성하고 있는 반도체 제조 라인에서 설비의 현재 및 미래 정보를 이용하여 실시간 디스패칭을 수행하는 핵심 로직들을 개발하고 그 효과를 보인다. 여기에는 가공이 완료된 로트가 다음 가공을 위하여 목적지 장비를 선정하는 과정과 하역이 완료되어 가공하게 된 장비 버퍼가 다음 가공을 위하여 로트를 선정하는 과정이 포함된다. 이 과정에서 반송장비의 가공성 및 출발지로부터 도착지까지의 운송시간, 그리고 미래의 운행 스케줄 정보 등 반송장비의 상황을 함께 고려하며, 반송장비의 목적지 도착 시 발생할 수 있는 로트의 지연시간을 고려하여 목적지 장비 및 로트를 결정한다.

현재 사용되고 있는 기존의 디스패칭 방식은 목적지 장비를 결정하는 기능(MES : Manufacturing Execution System)과 반송장비의 선택 및 경로 결정 기능(MCS : Material Control System)이 서로 분리되어 있어 반송장비의 사정에 따라 MES 결정이 제대로 실행되지 못하는 문제점이 있다. 이에 대한 해결책으로 통합 스케줄링의 필요성이 제기되고 있으며, 본 논문에서는 디스패칭 부분에 대한 통합으로서 look-ahead 정보에 의한 반송장비 결정과 가공장비 및 로트 결정을 동시에 수행하는 실시간 통합 디스패칭 절차를 제시한다.

## 2. 연구배경

반도체 제조 라인(fab)은 여러 개의 베이들로 구성되어 있으며, 각 베이는 유사한 기능을 가지는 동종의 장비들로 이루어져 있다.

반도체 제조 시스템은 재진입 흐름(re-entrant flow)의 특성을 지니고 있다. 하나의 제품이 생산되기 위해서는 각 제품은 유사한 공정들로 구성된 각 레이어(layer)의 장비들을 반복적으로 거쳐야 한다. 메모리는 대략 20~30, LCD는 4~6 레이어로 이루어진다. 웨이퍼 및 유리 기판은 카세트에 담겨져 로트(lot)를 구성하며, 이러한 로트는 필요한 레이어 만큼 각 단위 공정을 거치게 된다.

반도체 제조 공정은 크게 전공정(fab 또는 front-end)과 후공정(module 또는 back-end)으로 나뉘어지고 대략 85% 이상의 자원이 전공정에서 사용된다. 300개 이상의 단위 공정으로 구성된 전공정은 절연체와 비절연체의 패터를 가공함으로써 웨이퍼 전자회로를 만들어간다. 알려진 바와 같이 fab의 특성은 랜덤 수율, 낮은 장비 유연성, 다양한 장비 특성, 재진입 흐름 구조, 혼류 생산(Uzsoy *et al.*, 1992) 등이 있다.

반도체 제조 라인의 물류 이동을 위한 반송장비로는 OHT(Over-Head Transport)/OHS(Over Head Shuttle), AGV(Automatic Guided Vehicle), 스토커 등이 있으며 이들은 그 운영 통제 시스템의 배치 형태에 영향을 받는다. 베이 형태는 공정의 기능별로 동일한 기능을 수행하는 장비들을 그룹화하여 배치시킨 형태로서 베이 내의 반송을 위해 주로 AGV 또는 OHS가 사용되며 베이 간의 반송에는 주로 스토커 또는 OHS가 사용된다. 반송장비들은 다중 적재와 양방향 운행이 가능하며 이에

따라 효율적으로 이동 대상 물류를 선정하는 문제와 이동 경로를 설정하는 문제 등이 중요한 과제가 된다. 특히 다중적재로 인해 운행거리와 반송장비의 대응시간이 줄어드는 효과가 있다.

반도체 및 LCD 제조 시스템은 시스템이 가지고 있는 다양한 특성들로 인하여 그 운영과 통제에 많은 어려움이 존재한다. 1980년대 부터 1990년대 초반까지의 반도체 스케줄링에 대한 연구는 주로 로트 투입, 애로 공정 스케줄링, 배치(batching), 그리고 납기 스케줄링 등 주로 단위 기능에 초점이 맞추어져 있었다. 1990년대 중반 이후에 Uzsoy *et al.*(1992) 등에 의해 반도체 생산관리의 어려움과 특징들이 정확히 진단되기 시작하면서 이러한 단위 기능들을 통합해서 다루는 연구가 보편화되었다.

로트 투입 방법은 주로 공기와 생산량을 이용하여 애로 공정의 기아(starving) 현상을 최소화하는데 초점이 맞추어져 왔다(Glassey and Resende, 1988; Wein, 1988; Lou and Kager, 1989). 이들은 라인 전체 WIP을 결정하고 목표 공기를 결정한다는 의미에서 신규 로트 투입의 중요성을 강조하였다. 이들 대부분의 연구들은 개념적으로 좋은 아이디어를 제공하고 있지만 반도체 현장의 미세한 요구사항을 고려하지 않으므로 실제 현장 적용에는 사실상 어려움이 있다.

애로 공정 스케줄링을 위해서 많은 연구들이 수리적인 방법과 휴리스틱을 이용한 방법으로 진행되었는데, 주로 마스크 사용, 준비 교체 시간 등 공정의 미세한 모델링에 대해 연구되었다(Lu *et al.*, 1994). 이들은 라인 전체의 성능을 애로 공정 장비가 결정한다는 사실을 지적하고 애로 공정 장비의 스케줄링에 대해 연구하였다.

SemaTech의 많은 현장 엔지니어들에 의해 작성된 스케줄러/디스패처 요구사항에 의하면(Gartland *et al.*, 2000), 스케줄러의 가장 중요한 기능으로서 생산량과 납기 만족에 대한 적절한 최적화를 언급하고 있다. 그 외에도 현장의 복잡한 제약들 즉, 장비의 다운, PM, 비정규 공정 로트 처리, 작업자의 개입 그리고 반송 시간 및 장비 상태의 고려 등 미세한 사항에 대한 고려를 요구하고 있다.

최근에는 보다 복잡한 fab 스케줄링을 위해서 Vargas-Vilamil *et al.*(2003)은 3개의 계층적 단계로 이루어진 접근 방법을 도입했다. 이 연구는 복잡한 fab의 스케줄링을 다루는 방법에 대한 좋은 아이디어를 제공하지만, 여러 제품을 하나의 제품으로 모델링함으로써 제품 준비교체 시간이나 배치 등의 미세한 모델링을 어렵게 한다.

반도체 fab의 물류 이동의 제어 역시 시스템의 성능에 큰 영향을 미치는 부분으로서 지금까지 많은 연구가 이루어져 왔다. 특히 AMHS의 운영 통제와 관련되어 반송장비 디스패칭, 경로 계획, 트랙픽 관리, 유틸 AGV 위치 선정, 그리고 교차 회피 등의 문제들이 다루어져 왔다. 최근에는 TOC 개념을 적용한 베이 간 차량의 배치 정책과 복수의 픽업과 배달 스테이션을 가지는 시스템에서 대기 모델을 이용하여 부품의 대기시간과 차량 크기를 구하는 기법이 제시되었다(Koo *et al.*, 2005).

차량의 운행과 관련되어 TW(time window) 개념을 적용한 연구로서 Taillard *et al.*(1997)은 TW가 있는 VRP 문제에 대해 최적 알고리즘과 여러 가지 휴리스틱 접근방법들을 분류하고 비교했다. Ferland and Fortin(1989)은 전체 비용을 줄이기 위해 고객 쌍의 TW를 조정하는 sliding TW 문제를 제시하고 이를 풀기 위해 휴리스틱 접근방법을 사용했다. 한편, STW(soft time window)와 관련하여 Sexton and Choi(1986)는 적재와 하역 장소가 있는 단일차량 문제에 STW를 접목하고 이를 해결하였으며 Koskosidis *et al.*(1992)는 STW를 가지는 VRP 문제를 풀기 위해 고객을 차량에 할당하는 방법을 사용했다. 보다 최근에는 Chiang and Russell(2004)이 STW 제약을 갖는 VRP를 위한 tabu search 메타 휴리스틱 방법을 제시했다.

Fab 내의 물류 이동의 제어를 위해 시스템의 상태 정보를 look-ahead 하여 이를 이용하여 경로를 결정하는 연구들도 진행되어 왔다. Smith and Stecke(1996)는 look-ahead에 의하여 기계가 실제로 가용해질 때까지 부품이 들어가고자 할 입력 버퍼의 선택을 미루는 정책을 모델화했으며 Engell *et al.*(1990)는 1 단계 look-ahead 방법을 이용하여 대기 중인 부품을 고르는 절차를 제시하였다. Jang *et al.*(2001b)은 여러 대의 기계들로 구성된 단일 스테이션, 단일 스테이지 생산 시스템에 대하여 3 단계 look-ahead 룰을 사용하여 그 적용 효과를 제시했으며, Chand *et al.*(1997)는 미래의 부품 도착을 고려하여 하나의 설비에서 전체 부품의 완료 시간을 최소화 하는 rolling horizon 절차를 제안하였다. 또한 Jang *et al.*(2001a)은 look-ahead 개념을 LCD 공정에서의 부품 경로를 구하기 위하여 적용하여 그 적용 결과를 보였으며, Suh *et al.*(2003)은 AGV의 확률적 운행 시간 모형을 적용한 look-ahead 경로 룰을 사용하여 양방향 루프 시스템에서 AGV의 운영에 필요한 컨트롤러를 위한 기법을 제시했다.

### 3. RTID(Real Time Integrated Dispatching)

가공장비에서 로트의 가공이 완료되었을 때, 가공 완료된 로트가 다음 스텝 공정의 가공을 위하여 장비를 선택하고, 선택된 장비로 이동하기 위하여 반송장비를 요청하는 하역 요청(unload request)이 발생한다. 한편, 하역(unloading) 작업을 완료하여 장비의 버퍼(장비의 port)가 가용하게 되었을 때, 이 버퍼가 다음 가공을 위하여 로트를 선택하고 반송장비를 요청하는 적재 요청(load request)이 발생한다. 하역 요청 및 적재 요청이 발생했을 때 이를 처리하기 위해서는 가공장비 및 로트의 선택과 더불어 AGV, OHT 등과 같은 반송장비 및 반송시간의 선택이 이루어져야 한다.

본 논문은 베이 내에서 동일한 기능을 가진 장비들이 그룹을 형성하고 있는 반도체 제조 환경에서 로트의 하역 요청 및 버퍼의 적재 요청을 처리하기 위하여 시스템의 상태 정보를 활용하여 실시간으로 목적지 장비와 가공 대상 로트를 선택하는 RTID(Real Time Integrated Dispatching)를 제시한다. 이 과정

에서 다중 적재 반송장비와 반송 시간을 선택하는 과정을 개발하여 이를 목적지 장비와 가공대상 로트 선택 과정에 통합시킨다.

본 논문은 대상 시스템에 대하여 다음과 같은 가정을 전제로 하며 관련된 용어와 기호를 정의한다.

- 베이 간에 걸쳐있는 베이 간 장비는 고려하지 않는다. 즉, 가공장비 간의 물류 이동은 베이 내에서 발생하며, 인접 베이로의 로트 이동은 스토커를 경유한다.
- 반송장비 제어는 하위시스템인 ACS에서 담당하며, 반송장비 충돌(conflict)이 발생할 경우 반송장비의 step-aside 기능을 사용하여 회피할 수 있다.
- 반송장비는 최종 작업 위치에서 다음 호출을 위하여 대기한다.

ATZ(Available Time Zone) : 반송장비 버퍼의 운행 스케줄에서 로트 운반을 위한 반송 시간 할당이 가능한 가용시간대

TTW(Travel Time Window) : 반송장비 버퍼의 운행 스케줄에서 운반 예정 로트가 할당된 반송시간대

NOM(Next Operation Machine) : 로트의 다음 스텝 공정의 가공이 가능한 장비

POM(Previous Operation Machine) : 로트의 이전 스텝 공정의 가공이 가능한 장비

LDT(Lot Delay Time, 로트지연시간) : 가공장비에서 도착된 로트와 그와 연결된 모든 로트들의 처리가 지연되는 시간의 합.

$TB_i$  : 장비  $i$ 의 봉쇄 발생 시간

$TL_i$  : 장비  $i$ 의 버퍼 가용 시간

$TS_i$  : 장비  $i$ 의 기아 발생 시간

$TR_{mm}$  : 장비  $m$ 에서 장비  $n$ 으로의 반송장비 운행 시간

$W_l$  : 로트  $l$ 의 TTW

$LT$  : 적재 시간

$UT$  : 하역 시간

$TC_{ij}$  : 장비  $i$ 에서의 로트  $j$ 의 가공완료 시간

$PT_{ij}$  : 장비  $i$ 에서의 로트  $j$ 의 가공 시간

$TD_{ij}$  : 장비  $i$ 에서의 로트  $j$ 의 출발 시간

$TA_{ij}$  : 장비  $i$ 에서의 로트  $j$ 의 도착 시간

$TV_{vj}$  : 반송장비  $v$ 에 로트  $j$ 가 할당되는 시간

가공장비에서 장비의 봉쇄(blocking)가 발생하는 시간, 장비의 버퍼가 가용해지는 시간, 그리고 장비의 기아가 발생하는 시간 등은 시스템의 현재 및 미래의 상태 정보를 look-ahead 하여 구하며 Jang *et al.*(2001) 및 Suh *et al.*(2003)의 절차를 참고한다.

#### 3.1 반송장비 및 반송시간 결정

본 절에서는 가공이 완료된 로트 또는 가공 예정인 로트의 운반을 위하여 반송장비와 반송시간을 결정하는 과정을 제시

한다. 반송장비는 복수개의 로트를 운반할 수 있으며 반송장비의 선택 시 반송장비의 가용성 및 운반상황 그리고 미래의 운행 스케줄에 관한 정보를 활용하여 가장 효율적인 반송장비와 반송시간을 선택한다.

반송의 대상이 되는 로트는 가공장비의 버퍼에 있거나 또는 스토커에서 대기하고 있다. 반송시간을 결정할 대상 반송장비는 현재 유힬(idle)한 상태로 정지해 있거나 또는 현재 운행 중이라도 버퍼에 여유가 있어 복수개의 로트를 운반할 수 있는 장비들이다. 본 논문에서는 2개의 버퍼를 가지고 있는 반송장비를 대상으로 한다. 로트는 반송장비의 버퍼에 적재되어 운반된다. 반송장비의 각 버퍼는 운반 예정 로트에 대하여 운행 스케줄을 작성하여 유지한다.

반송장비를 선택하는 기준으로 대상 로트를 미래의 시점에 목적지에 도착시켜 가장 빨리 가공을 완료할 수 있게 하는 반송장비를 선택한다. 반송장비를 선택하는 것은 반송장비의 가용한 반송시간대 내에서 해당 로트의 반송시간대를 결정하는 것을 의미한다.

3.1.1 ATZ 확인

반송장비 버퍼의 운행 스케줄에서 ATZ가 주어졌을 때 새로운 TTW를 삽입할 수 있는지의 여부를 확인한다.

지금 로트  $L$ 이 반송장비  $V$ 에 의해 가공장비  $S$ 에서 가공장비  $D$ 로 운반된다고 가정하고 로트  $L$ 의 새로운 TTW,  $W_L$ 이 ATZ  $[T_1, T_2]$  내에 삽입되는 경우를 생각해 보자<Figure 1>.  $W_L$ 이  $[T_1, T_2]$  내에 삽입될 경우  $W_L$ 의 선행 TTW를  $W_a$ ,  $W_L$ 의 후행 TTW를  $W_b$ 라 하고 시작시간을  $T_2$ 라고 하자. 그리고  $W_a$ 는 임의의 위치에서  $p$ 로,  $W_b$ 는  $q$ 에서 임의의 위치로 로트를 이동시킨다고 하자. 그러면  $W_b$ 는 공차운행시간  $TR_{pq}$ 를 포함하게 된다.

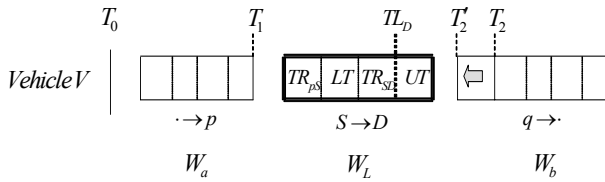


Figure 1.  $W_L$ 이  $[T_1, T_2]$  내에 포함되는 경우의 운행 스케줄

이제  $W_L$ 이  $W_a$ 와  $W_b$  사이에 삽입되면  $W_b$ 의 공차운행시간이  $TR_{pq}$ 에서  $TR_{Dq}$ 로 변경된다. 그러면  $W_b$ 의 시작시간  $T_2$ 는  $T_2'$ 으로 조정되며  $T_2' = T_2 + TR_{pq} - TR_{Dq}$ 이 된다.

이때 새로운  $W_L$ 이  $[T_1, T_2]$  내에 삽입되기 위해서는 식 (1)를 만족해야 한다. 즉, 변경된 ATZ  $[T_1, T_2']$  내에  $W_L$ 이 포함될 수 있어야 한다.

$$T_2' - T_1 > TR_{ps} + LT + TR_{SD} + UT \quad (1)$$

이와 함께 로트  $L$ 은 목적지 장비  $D$ 의 버퍼가 가용해지는 시간,  $TLD$  이후에 목적지 장비에 도착해야 한다. 즉,  $T_2' - UT > TLD$  조건을 만족시키는 범위 내에서  $[T_1, T_2]$  내에서  $W_L$ 의 시작시간은 가능한 한 전방으로 결정한다. 즉,  $W_L$ 의 시작시간을  $SW_L$ 이라 하면  $SW_L$ 은 식 (2)와 같이 결정된다.

$$SW_L = T_1 \quad \text{if } T_1 + TR_{ps} + LT + TR_{SD} > TLD$$

$$= TLD - (TR_{ps} + LT + TR_{SD}) \quad \text{if } T_1 + TR_{ps} + LT + TR_{SD} < TLD \quad (2)$$

3.1.2 경로 연결

ATZ 내에 반송장비의 다른 버퍼에 이미 기존의 다른 TTW가 존재하는 경우 새로운 TTW와 동시에 다중 적재 운반이 가능한지의 여부를 결정한다. 이를 위하여 먼저 기존 TTW들과 새로이 삽입되는 신규 TTW가 서로 경로 연결이 가능한지의 여부를 조사한다. TTW의 경로는 로트의 운반을 위해 반송장비가 거쳐야 하는 장비들의 순서로 정의한다.

지금  $r(W_i)$ 를  $W_i$ 의 경로라고 하고  $r(W_i) = (M_1 \ll M_2 \ll \dots \ll M_m)$ 으로 표현하자. 그러면 이는 로트의 운반을 위해 반송장비가  $M_1, M_2, \dots, M_m$ 을 순서대로 거쳐야 함을 나타내며  $M_1$ 에서 적재  $M_m$ 에서 하역이 이루어짐을 나타낸다. 이제  $r(W_i)$ 에서  $M_1$ 과  $M_m$ 중 최소한 하나의 장비를 포함하면서 연속적인 장비 순서로 구성되는  $r(W_i)$ 의 부분집합을  $r(W_i)_s$ 라 하자. 그러면  $r(W_i)_s$ 는 식 (3)처럼 표현된다.

$$r(W_i)_s = (M_1 \ll M_2 \ll \dots \ll M_k), k \leq m \quad \text{또는}$$

$$= (M_r \ll M_{r+1} \ll \dots \ll M_m), r \geq 1 \quad (3)$$

그리고 경로  $r(W_i) = (M_{i1} \ll M_{i2} \ll \dots \ll M_{im})$ 과  $r(W_j) = (M_{j1} \ll M_{j2} \ll \dots \ll M_{jm})$ 이 있을 때 경로 접속(concatenation)  $r(W_i) \cdot r(W_j)$ 를 식 (4)와 같이 정의하자. 경로 접속 시 두 경로에서 공통되는 부분은 중복되지 않도록 한다.

$$r(W_i) \cdot r(W_j) = (M_{i1} \ll M_{i2} \ll \dots \ll M_{im} \ll M_{j1} \ll M_{j2} \ll \dots \ll M_{jm}) / r(W_i) \cap r(W_j) \quad (4)$$

지금 ATZ 내에 다른 TTW들, 즉,  $W_1, W_2, \dots, W_u$ 가 존재한다고 하자. 그러면 새로운  $W_L$ 이 ATZ 내에서 기존의 TTW들과 연결되기 위해서는 다음의 식 (5)의 조건을 만족해야 한다. 즉,  $W_L$ 의 경로 중 일부 또는 전부가 기존의 TTW들의 경로와 연결되어 거쳐야 하는 장비의 순서가 일치해야 한다.

$$r(W_L)_S \subseteq (r(W_1) \cdot r(W_2) \cdot \dots \cdot r(W_u))_S \quad (5)$$

3.1.3 연결형태에 따른 TTW 수정

새로운  $W_L$ 와 기존의  $W_i, i=1, \dots, u$ 들이 연결될 때 연결되는 형태에 따라서  $W_i$ 의 시작시간과 종료시간이 변경될 수 있다. 지금  $W_i$ 의 시작시간을  $SW_i$ , 종료시간을  $FW_i$ , 적재시작시간을  $T_L(W_i)$ , 하역시작시간을  $T_U(W_i)$ 라고 하고  $SW_i'$ 와  $FW_i'$ 는 각각 연결된 이후 변화된  $W_i$ 의 시작 시간과 종료 시간이라 하자. 그리고  $r(W_L) = (M_{L1} \ll M_{L2} \ll \dots \ll M_{Lm})$ ,  $r(W_i) = (M_{i1} \ll M_{i2} \ll \dots \ll M_{im})$ ,  $i=1, \dots, u-1$ 라고 하고  $W_L$  및  $W_i$ 의 적재위치를 각각  $M_{LL}, M_{iL}$ 이라고 하자. 이때  $W_L$  및  $W_i$ 의 하역위치는 각각  $M_{Lm}, M_{im}$ 이다. 그리고  $W_i$ 의 공차 출발위치를  $p$ 라고 하자. 그러면  $W_L$  및  $W_i$ 의 적재위치와 하역 위치에 따라 다음과 같은 연결 형태들이 가능하다.

(1)  $M_{iL} \ll M_{LL}$  연결형태

$W_L$ 의 로트 적재를 위해서  $T_L(W_L)$  시점부터  $LT$  시간만큼  $M_{LL}$  위치에서  $W_i$ 의 로트가 AGV 버퍼에서 대기해야 한다. 이에 따라  $W_i$ 의 길이가  $LT$  만큼 후방으로 늘어나며  $FW_i' = FW_i + LT$ 로 변경된다. 이때  $SW_i$ 의 변화는 없으며  $WT$ 는  $LT$  및  $UT$  시간에 대응하는 로트의 반송장비에서의 대기시간이다.

(2)  $M_{LL} \ll M_{iL}$  연결형태

$W_i$ 를 위한 공차 출발위치가  $p$ 이기 때문에  $W_i$ 의 공차운행시간은  $TR_{pM_{iL}}$ 이며 이는  $W_L$ 의 로트 적재를 위해서  $W_L$ 의 공차운행시간, 적재시간, 그리고 적재운행시간의 합과 대응할 수 있도록 조정되어야 한다. 즉,  $TR_{pM_{iL}}$ 은  $TR_{pM_{iL}} + LT + TR_{M_{LL}M_{iL}}$ 로 변경되어야 한다. 이때  $p$ 의 위치에 따라 변경되는  $TR_{pM_{iL}}$ 의 길이가 달라진다(Figure 2).

첫째 :  $p \ll M_{LL}$ 인 경우,  $TR_{pM_{iL}}$ 의 길이는  $W_L$ 의 적재시간,  $LT$ 만큼 늘어나며 이에 따라  $W_i$ 는  $LT$ 만큼 전방으로 늘어나게 된다. 따라서 이 경우에는  $SW_i' = SW_i - LT$ 로 변경된다.

둘째 :  $M_{LL} \ll p \ll M_{iL}$  경우,  $W_L$ 의 적재를 위해서 빈 AGV가  $M_{LL}$ 로 갔다가 다시  $p$ 로 되돌아 와야 하기 때문에  $TR_{pM_{iL}}$ 의 길이는  $TR_{pM_{iL}} + LT + TR_{M_{LL}p}$ 만큼 늘어난다. 이때  $TR_{pM_{iL}} = TR_{M_{LL}p}$ 이기 때문에  $W_i$ 는  $2TR_{pM_{iL}} + LT$ 만큼 전방으로 늘어나게 된다.

셋째 :  $M_{iL} \ll p$  경우는 위의 둘째 경우와 마찬가지로  $W_L$ 의 적재를 위해서 빈 AGV가  $M_{iL}$ 을 거쳐서  $M_{LL}$ 로 갔다가 다시  $M_{iL}$ 로 되돌아 와야 하기 때문에  $TR_{pM_{iL}}$ 의 길이는  $TR_{M_{iL}M_{LL}} + LT + TR_{M_{LL}M_{iL}}$ 만큼 늘어난다. 마찬가지로  $TR_{M_{iL}M_{LL}} = TR_{M_{LL}M_{iL}}$ 이기 때문에  $W_i$ 는  $2TR_{M_{iL}M_{LL}} + 2TR_{M_{LL}M_{iL}} + LT$ 만큼 전방으로 늘어나게 된다.

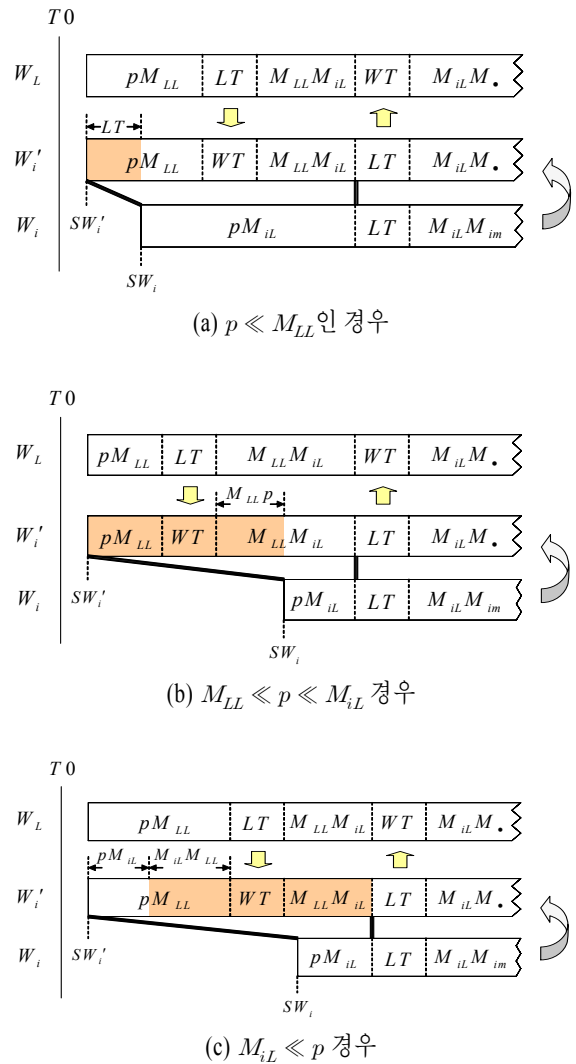


Figure 2.  $M_{LL} \ll M_{iL}$  경우의 연결형태.

이상의 세 가지 경우에 의해  $SW_i'$ 는 식 (6)과 같이 변화된다.

$$\begin{aligned}
 SW_i' &= SW_i - LT, \quad p \ll M_{LL} \text{인 경우} \\
 &= SW_i - 2TR_{pM_{iL}} - LT, \quad M_{LL} \ll p \ll M_{iL} \text{ 경우} \\
 &= SW_i - 2TR_{M_{iL}M_{LL}} - LT, \quad M_{iL} \ll p \text{ 경우}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

(3)  $M_{LL} = M_{iL}$  연결형태

이 경우는 동일한 장비에서  $W_i$ 와  $W_L$ 의 적재가 이루어지며  $W_i$ 와  $W_L$  중 어떤 것을 먼저 수행하는가에 따라 다음 두 가지 경우가 가능하다. 이 경우  $p$ 의 위치는 영향을 미치지 않는다.

우선  $W_i$ 의 적재를 먼저 수행하는 경우를 살펴보자. 그러면  $W_i$ 의 적재작업이 완료된 후  $W_L$ 의 적재작업이 시작된다. 그 결과  $W_L$ 의 적재시간,  $LT$ 만큼  $W_i$ 의 로트가 기다림으로써 전체  $W_i$ 의 시간이  $LT$ 만큼 후방으로 늘어난다. 즉,  $FW_i' = FW_i + LT$ 가 된다. 이 경우는 연결형태 1의 경우와 동일한 결과이다.

한편,  $W_L$ 의 적재를 먼저 수행하는 경우에는  $W_i$ 의 적재시간에 맞추어  $W_L$ 의 적재시작시간이  $T_L(W_L) = T_L(W_i) - LT$ 와 같이 결정되고,  $W_i$ 의 공차운행시간  $TR_{pM_L}$ 이  $W_L$ 의 공차운행시간  $TR_{pM_{LL}}$ 과 적재시간을 합한 것과 대응하게 된다. 즉, 전체  $W_i$ 의 길이는  $LT$ 만큼 전방으로 늘어나며 이에 따라  $W_i$ 의 시작시간은  $LT$ 만큼 전방으로 당겨지게 된다. 즉,  $SW'_i = SW_i - LT$ 가 된다. 이 경우는 연결형태 2의 첫째 경우와 동일한 결과이다.

#### (4) $M_{Lm} \ll M_{im}$ 연결형태

$W_L$ 의 로트 하역을 위해서  $T_U(W_L)$  시점부터  $UT$ 만큼  $M_{Lm}$  위치에서  $W_i$ 의 로트가 AGV 버퍼에서 대기해야 한다. 이에 따라  $W_i$ 의 길이가  $UT$  시간만큼 후방으로 늘어나며  $FW'_i = FW_i + UT$ 로 변경된다. 이때  $SW_i$ 의 변화는 없다.

#### (5) $M_{im} \ll M_{Lm}$ 연결형태

$M_{Lm} \ll M_{im}$  경우와 반대로  $W_i$ 의 로트 하역을 위해서  $T_U(W_i)$  시점부터  $UT$ 만큼  $W_L$ 의 로트가 대기해야 하며 이때  $W_i$ 의 길이의 변화는 없다.

#### (6) $M_{Lm} = M_{im}$ 연결형태

동일한 장비에서  $W_i$ 와  $W_L$ 의 하역이 이루어지며  $W_i$ 와  $W_L$  중 어떤 것을 먼저 수행하는가에 따라 두 가지 경우가 가능하다. 즉,  $W_L$ 의 로트 하역을 먼저 처리하는 경우에는 전체  $W_i$ 의 길이는  $UT$ 만큼 후방으로 늘어나며  $FW'_i = FW_i + UT$ 로 변경된다. 이 경우는 연결형태 4의 경우와 동일하다. 반면에  $W_i$ 의 하역을 먼저 처리하면 연결형태 5의 경우와 같이  $W_i$ 의 길이의 변화는 없다.

#### (7) $M_{im} = M_{LL}$ 연결형태

동일한 장비에서  $W_i$ 의 하역과  $W_L$ 의 적재가 이루어지며  $W_i$ 와  $W_L$  중 어떤 것을 먼저 수행하는가에 따라 두 가지 경우가 가능하다.  $W_i$ 의 로트하역을 먼저 수행하는 경우는 연결형태 5에서  $M_{LL}$ 이  $M_{im}$ 에 대응하는 경우로서  $W_i$ 의 길이의 변화는 없다. 반면에  $W_L$ 의 로트하역을 먼저 수행하는 경우는 연결형태 1에서  $M_{im}$ 이  $M_{LL}$ 에 대응하는 경우로서  $W_i$ 의 길이가  $LT$ 만큼 후방으로 늘어나며  $FW'_i = FW_i + LT$ 로 변경된다. 이러한 경우는 가공장비의 버퍼가 더 이상 가용하지 않아 가공장비의 버퍼에 있는 로트를 먼저 AGV로 적재해야 AGV의 다른 로트를 가공장비로 하역할 수 있는 경우에 해당한다.

#### (8) $M_{Lm} = M_{LL}$ 연결형태

동일한 장비에서  $W_L$ 의 하역과  $W_i$ 의 적재가 이루어지며  $W_L$ 과  $W_i$  중 어떤 것을 먼저 수행하는가에 따라 두 가지 경우가 가능하다.  $W_i$ 의 로트적재를 먼저 수행하는 경우는 연결형태 4

에서  $M_{iL}$ 이  $M_{Lm}$ 에 대응하는 경우로서  $W_i$ 의 길이가  $UT$ 만큼 후방으로 늘어나며  $FW'_i = FW_i + UT$ 로 변경된다. 반면에  $W_L$ 의 로트하역을 먼저 수행하는 경우는  $W_i$ 의 공차운행시간이  $W_L$ 의 하역작업을 위한 시간  $UT$ 를 포함하는 시간으로 조정되어야 한다. 즉, 전체  $W_i$ 의 길이는  $UT$ 만큼 전방으로 늘어나며 이에 따라  $W_i$ 의 시작시간은  $UT$ 만큼 전방으로 당겨지게 된다. 즉,  $SW'_i = SW_i - UT$ 가 된다.

#### 3.1.4 연결 조건

$W_L$ 이 새로이 연결됨으로 인하여 기존에 존재하는 TTW들의 시작시간과 종료시간이 변할 수 있음을 제 4.3장에서 보여 주고 있다. 이때  $W_L$ 의 삽입으로 인하여 변경된 새로운 운반 스케줄이 가능한 운반 스케줄이 되기 위해서는 다음의 두 가지 연결 조건을 만족해야 한다.

##### (1) 중첩 방지

새로운 운반 스케줄을 구성하고 있는 TTW들이 서로 중첩되지 않아야 한다. 즉, 식 (7)의 조건을 만족해야 가능한 운반 스케줄이 되며 새로운  $W_L$ 은 기존의 TTW들과 연결되어 삽입될 수 있다. 단, 이때  $W_{i-1}$ 과  $W_i$ 는 서로 경로 연결이 되어 있지 않은 상태인 경우에 한해서 위의 조건을 적용한다.

$$FW_{i-1}' \leq SW'_i, i = 1, \dots, u \quad (7)$$

##### (2) 봉쇄 및 기아 발생 방지

$W_L$ 의 도입으로 인하여 이와 연결된  $W_i$ 를 비롯하여 여기에 연결된 기존의 다른 TTW들이 뒤로 밀렸을 때 출발지 장비의 봉쇄 발생 시점 이후에 적재하거나 장비의 기아 발생 시점 이후에 하역하는 상황이 발생하지 않아야 한다. 출발지 장비에서 예정된 로트의 적재가 지연될 경우 이 장비로 오고자 하는 임의의 다른 로트를 봉쇄할 수 있다. 또한 도착지 장비에서 예정된 로트의 하역이 지연될 경우 이 장비에서 더 이상 가공할 로트가 없음으로 인하여 기아 현상이 발생할 수 있다. 지금  $W_i$  내에서 적재 및 하역 작업이 수행되는 장비를 각각  $S, D$ 라고 할 때 봉쇄 및 기아의 발생을 방지하기 위해서는 식 (8)의 조건들이 만족되어야 한다.

$$\begin{aligned} T_L(W_i) + LT &\leq TB_s, i = 1, \dots, u \\ T_U(W_i) + UT &\leq TS_L, i = 1, \dots, u \end{aligned} \quad (8)$$

만약  $W_i$ 와 연결되어 있는 다른 TTW가 있다면 이들에 대해서도 위의 조건들을 검사한다.

#### 3.1.5 MLVSL(Multi-Load Vehicle Selection Logic)

다중 적재 운반을 고려한 반송장비와 반송시간을 결정하는 MLVSL을 제시한다.

- Step 1 : (ATZ 확인) 반송장비 버퍼의 운반 스케줄에서 각 ATZ에 대해서 다음 step 2~step 4 과정을 수행하여 목적지에 로트를 가장 빨리 도착시킬 수 있는 TTW를 선택한다.
- Step 2 : (경로연결)  $W_L$ 을 구성한다. 이때 기존의 TTW와 연결이 필요하면 이를 처리한 다음  $W_L$ 을 구성한다.
- Step 3 : (연결형태에 따른 TTW 수정)
- 3.1 :  $W_L$ 과 연결된  $W_i$ 의 경로를  $W'_i$ 로 수정한다.
  - 3.2 :  $W_i$ 와 경로연결된 기존의 TTW들이 있으면 이들 역시 수정한다.
- Step 4 : (연결조건 검사)
- 4.1 : 비충족 조건 :  $FW'_{i-1} \leq SW'_i, i = 1, \dots, u$  여부를 확인한다.
  - 4.2 : 봉쇄, 기아 발생 방지 조건 : 경로 수정되는 TTW들에 대하여 봉쇄 및 기아 방지 여부를 확인한다.

### 3.2 목적지 장비 및 로트 선정

본 절에서는 가공장비에서 로트의 가공이 완료되었거나, 가공장비 버퍼가 비게 되었을 때 실시간 디스패칭 과정을 수행하는 로직을 제시한다. 이것은 가공장비에서 로트의 가공이 완료되어 하역 요청이 발생했을 때 목적지 가공장비와 반송장비를 선택하는 URL(Unload Request Logic)과 가공장비의 버퍼가 가용해져 적재 요청이 발생했을 때 로트를 선택하는 LRL(Load Request Logic)로 구성된다.

본 논문에서 제시하는 목적지 선정 원칙은 현재 시점에서 가용한 장비뿐만 아니라 전체적인 관점에서 현재 장비의 버퍼가 가용하지 않는 장비도 목적지로 선정할 수 있게 한다. 즉, 지금 현재의 대상 로트뿐만 아니라 시스템 내의 다른 로트들까지도 같이 고려하여 전체적으로 가장 빨리 완료할 수 있게 하는 장비를 목적지 장비로 선정한다. 이를 위하여 현재의 로트를 다음 공정 가공장비로 보냈을 때 현재 로트의 예정가공 완료시간과 다른 로트들의 로트지연시간의 합을 계산한다.

마찬가지로 적재 요청에 의해 로트를 선택할 경우에도 전체적인 관점에서 현재 스토커에서 대기중인 로트뿐만 아니라 이전 스텝 공정 장비에서 현재 가공중인 로트 중에서 선택할 수 있게 한다.

#### 3.2.1 도착지 및 출발지 봉쇄 발생

지금  $T_0$  시점에서 장비  $S$ 에서 로트  $L$ 의 가공이 완료되었다고 하자. 그러면 가공이 완료된  $L$ 의 다음 스텝 가공을 위한 목적지를 설정해야 한다. 지금  $L$ 의 NOM 중에서 임의의 장비  $D$ 를 도착지 장비로 설정하여  $L$ 을 보내는 경우를 생각해 보자. 반송장비 및 반송시간은 제 4장의 MLVSL을 사용하여 결정하며 이때 도착지 장비 버퍼의 가용성 조건은 완화시켜 적용하는 경우를 생각해 보자. 그러며  $L$ 의 출발시간과 도착시간에 따라 다음의 경우들이 발생할 수 있다.

#### (1) 도착지 장비에서 봉쇄 발생

로트  $L$ 이 도착지 장비의 버퍼에 도착했을 때 버퍼가 가용하지 않아 로트  $L$ 이 도착지 장비에서 봉쇄를 당하는 경우가 발생할 수 있다. 지금 로트  $L$ 을 반송장비  $V$ 를 사용하여  $S$ 에서  $D$ 로 운반할 때  $V$ 가  $L$ 에 할당되는 시간,  $TV_{VL}$ ,  $L$ 이  $S$ 를 출발하는 시간,  $TD_{SL}$ , 그리고  $L$ 이  $D$ 에 도착하는 시간,  $TA_{DL}$ 이 주어졌다고 한다. 그러면 반송장비  $V$ 의 운행소요시간은  $TR_S + LT + TR_{SD} + UT$ 가 된다. 여기서  $TR_S$ 는 반송장비  $V$ 가 임의의 장소에서  $S$ 로 올 때까지 걸리는 시간이다.  $L$ 이  $D$ 에 도착할 때  $D$ 의 버퍼가 가용하지 않아  $L$ 이 반송장비 위에서 대기해야 하는 시간은  $TL_D - TA_{DL}$ 이다.

본 논문은  $L$ 의 도착지 버퍼가 가용하지 않을 때  $L$ 이 버퍼가 가용한 다른 장비나 스토커로 이동하는 대신 버퍼가 가용해질 때까지 반송장비 위에서 계속 대기하는 것을 고려한다. 이때  $V$ 에  $L$ 과 같이 운반중인 또 다른 임의의 로트가 있거나 또는  $V$ 를 사용하고자 계획되어 있는 또 다른 로트들이 있을 경우 이 로트들의 처리가 지연될 수 있다.

#### (2) 출발지 장비에서의 봉쇄 발생

로트  $L$ 의 가공이 완료되었을 때 NOM 중의 장비로 바로 보낼 경우 도착지에서 봉쇄가 발생한다면 출발지 장비에서 바로 출발하지 않고 도착지 장비의 버퍼가 가용해질 때  $L$ 이 도착될 수 있도록 출발지에서  $L$ 의 출발을 지연시키는 것을 고려한다. 이렇게 함으로써 도착지에서 발생할 수 있는  $L$ 의 대기시간을 회피할 수 있다.

지금 도착지 장비의 버퍼가 가용해지는 시간,  $TL_D$ 가 주어졌을 때 식 (9)의 조건을 만족하는 새로운  $TV'_{VL}$ 을 구한다. 식 (9)는  $D$ 버퍼가 가용한 후  $L$ 이  $D$ 도착해야 하는 조건으로 반송장비가 목적지에 도착했을 때 도착지 장비의 버퍼가 가용해야 한다는 조건이다. 새로운  $TV'_{VL}$ 이 구해지면 이 시점에 반송장비  $V$ 를 로트  $L$ 에 할당한다.

$$TV'_{VL} \geq TL_D - TR_S - LT - TR_S \quad (9)$$

이처럼 출발지에서 출발을 늦추어 도착지 장비에서의 봉쇄를 방지할 수 있다. 이렇게 하는 이유는 도착지 장비에서  $L$ 의 대기시간과  $L$ 과 연결된 다른 로트들의 지연시간을 줄이기 위한 것이다.

#### 3.2.2 연결그룹 구성

로트  $L$ 의 운반을 위하여  $W_L$ 을 새로이 설정하면  $W_L$ 을 포함하여 새로운 반송장비 운행스케줄이 구성된다. 지금  $W_L$ 을 포함하여 새로이 구성된 반송장비 운행스케줄을 구성하고 있는 TTW를  $W_i, i = 1, \dots, n$ 라고 하고, 이들 TTW들의 집합을  $W = W_1, W_2, \dots, W_n$ 라 하자. 여기서  $W$ 내의  $W_i, i = 1, \dots, n$ 들은 시작시간이 빠른 순서대로 일련번호를 가지도록 한다.

그러면 반송장비 운행스케줄의  $W_i, i = 1, \dots, n$  들은 이들의 시작시간과 종료시간에 따라 다음과 같이 그룹들로 분류될 수 있다.

$$W = G_1 \cup G_2 \cup \dots \cup G_w, \quad G_i \cap G_j = \phi, \quad \forall i \neq j, \quad (10)$$

and  $i, j = 1, \dots, w$

여기서  $G_i$ 를 연결그룹으로 정의하고  $G_i$ 를 구성하는  $W_i, i = 1, \dots, n$ 들의 인덱스 집합을  $GI_i = i1, i2, \dots, in_i$ 라고 정의하자. 그리고 각  $GI_i$ 는 다음 식 (11), 식 (12) 조건이 만족될 수 있도록 구성한다.

$$FW_{j|j \leq k-1} > SW_k \quad \text{where } j, k \in GI_i \quad (11)$$

$$FW_j \leq SW_k \quad \text{where } j \in GI_i, k \in GI_{i+1} \quad (12)$$

그러면 각 연결그룹은 서로 연결된 TTW들로 구성되며 연결 그룹 간에는 TTW가 서로 연결되지 않는다. 식 (11)은 그룹 내에서 TTW가 연결되는 조건이며, 식 (12)는 그룹 간에 TTW가 서로 분리되는 조건이다.

### 3.2.3 로트지연시간

반송장비는 복수개의 로트를 운반할 수 있기 때문에 현재의 로트  $L$  이외에도 또 다른 로트들을 운송 중일 수 있다. 지금 또 다른 로트,  $l$ 을 운송 중이라고 가정하자. 그러면 반송장비가 도착지에서 대기함에 따라  $l$ 이  $l$ 의 목적지에 예정된 시간보다 늦게 도착하게 되어  $l$ 의 가공 시작 시간과 종료 시간이 지연될 수 있다. 또한 이미  $l$ 과 연결된 또 다른 로트가 있다면 이 로트 역시 예정된 시간보다 처리가 지연될 수 있다. 즉,  $W_L$ 이 지연 되면  $W_L$  이후에 나타나는 TTW들의 시작시간과 종료시간이 지연될 수 있다.

지금 연결그룹  $G_i$ 가 있어  $G_i = W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{in_i}$ 로 구성되며  $G_i$ 의 지연시간을  $DG_i$ 라고 하자. 그러면  $G_i$ 가 지연되면  $G_i$ 를 구성하는 TTW들이 지연되며, 모두 동일한 시간이 지연된다고 가정하면  $DG_i$ 는 식 (13), 식 (14)와 같이 계산된다. 이때  $DT_{DL}$ 은 로트  $L$ 이 도착지 장비  $D$ 에서 대기함으로써 하역이 지연되는 시간으로 정의한다.

$$DG_i = (DT_{DL} - \sum_{k=1}^{i-1} (SW_{(k+1)1} - FW_{kn_k})) \times n_i \quad (13)$$

where  $i > 1$

$$DG_i = DT_{DL} \times n_1 \quad \text{where } i = 1 \quad (14)$$

식 (13)에서  $SW_{i1}$ 은  $G_i$ 의 시작시간으로서  $G_i$ 를 구성하는 첫 번째 TTW의 시작시간이며,  $FW_{in_i}$ 는  $G_i$ 의 종료시간으로서  $G_i$ 를 구성하는 마지막 TTW의 종료시간이다. ( $SW_{(i+1)1} - F$

$W_{in_i}$ )는  $G_i$ 와  $G_{i+1}$ 사이의 여유시간이다.

한편, 도착지 장비의 상황에 따라 연결그룹 내의 TTW들은 서로 다른 지연시간을 가질 수 있다. 지금  $G_i$  내의 TTW  $W_{ij}, j = 1, \dots, n_i$ 에 의해 운반되는 경우를 생각해 보자. 이때  $W_{ij}$ 는 로트  $l$ 을 장비  $m$ 으로 운반하는 TTW라고 가정하자. 그리고 로트  $l$ 이 로트  $L$ 의 지연에 의해 예정된 도착시간보다 늦은 시간  $TA_{ml}$ 에 장비  $m$ 에 도착할 때 장비  $m$ 에서 로트  $k$ 가 가공중이며 또한 장비  $m$ 의 버퍼에서 가공을 대기중인 로트들이 있으며 이들의 집합을  $R$ 이라고 하자. 그러면 로트  $l$ 의 장비  $m$ 에서의 예정가공완료시간,  $TC_{ml}$ 은 식 (15)와 같이 구할 수 있다.

$$TC_{ml} = \max(TC_{mk} + \sum_{j \in R} PT_{mj}, TA_{ml} + DT_{ml} + UT) + PT_{ml} \quad (15)$$

즉, 예정가공완료시간은 도착지 장비에서 현재 가공이 진행 중인 로트의 가공 완료시간과 도착지 장비의 버퍼에서 가공을 대기 중인 로트들의 가공시간들을 합한 것과 로트의 하역을 완료하는 시간 중 최대값에 로트의 도착지 장비에서의 가공시간을 합한 값으로 구해진다.

따라서 운반된 로트  $l$ 이 목적지에 늦게 도착됨에 따라 로트  $l$ 의 처리가 지연되는 시간은  $abs(TA_{ml} + DT_{ml} + UT - TC_{mk} - \sum_{j \in R} PT_{mj})$ 와 같이 되며  $W_{ij}$ 의 지연시간을  $DG_{ij}$ 라고 하면

$$DG_{ij} = FW_{ij} + (DT_{DL} - \sum_{k=1}^{i-1} (SW_{(k+1)1} - FW_{kn_k})) - TC_{mk} - \sum_{j \in R} PT_{mj} \quad (16)$$

로 구할 수 있다. 따라서 반송장비 운행스케줄의 전체 TTW에서 지연되는 로트지연시간  $LDT$ 는 식 (17)과 같이 구해진다.

$$LDT = \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^{n_i} DG_{ij} \quad (17)$$

### 3.2.4 스토커 경우

지금 로트  $L$ 을 NOM 중의 장비로 바로 보내지 않고 스토커  $K$ 로 보냈다가 나중에 NOM 장비의 버퍼가 가용하게 되었을 때 스토커로부터 로트를 선택하는 경우를 생각해 보자. 그러면 목적지에서의 로트지연시간은 방지할 수 있지만 목적지까지의 반송시간이 길어져 로트  $L$ 의 가공 시작이 늦어질 수 있다. 이 경우 목적지까지의 운반에 추가로 소요되는 시간  $ADT$ 는 식 (18)과 같다.

$$ADT = TR_{SK} + (1/2) TR_{NK} + TR_{KD} - TR_{SD} + UT + LT \quad (18)$$



여기서  $N$ 은 스토커로부터 가장 멀리 떨어져 있는 가공장비의 지수이며  $(1/2)TR_{NK}$ 는 스토커에 있는 로트를 목적지 장비로 옮기기 위해 가용한 반송장비가 스토커로 이동하는 평균거리를 나타낸다.

스토커를 경유하게 되면 목적지까지의 운행에 추가로 소요되는 운반시간 외에도 반송장비의 사용량이 증가하며 스토커의 평균 및 최대 재고 수준 또한 높아지게 된다. 결국 로트지연 시간이  $ADT$  보다 작다면 비록 도착지에서 대기하더라도 로트를 NOM 장비로 바로 보내는 것이 정당화될 수 있다. 따라서 로트지연시간이  $ADT$  보다 작으면 로트  $L$ 의 목적지 장비는 NOM 장비가 된다.

### 3.2.5 로트 선택 절차

가공장비의 버퍼에 있는 로트의 적재가 완료되어 버퍼가 용해되고 이 버퍼를 미리 예약하고 있는 다른 로트가 없으면 가용해진 버퍼는 다음 가공을 위해 로트를 선택하게 된다. 선택 대상이 되는 로트는 현재 스토커에서 대기 중인 로트들과 현재 POM에서 가공 중인 로트들이다. 선택 기준은 이러한 로트들 중 로트지연시간을 고려하여 가용해진 버퍼에 도착하여 가장 빨리 가공을 완료할 수 있는 로트를 선택한다.

지금 가공장비  $M$ 의 버퍼  $B$ 가 가용해졌다고 하면  $B$ 가 로트를 선택하는 과정은 다음과 같다.

- (1) 선택 대상 로트들에 대하여 목적지인 장비  $M$ 의 버퍼  $B$ 까지의 운반을 위하여 여러 반송장비의 ATZ 중에서 가장 빠른 TTW를 설정한다. 설정되는 TTW의 시작시간은 운반할 로트가 POM에서 가공 중인 로트일 경우는 로트의 종료시간 이후, 스토커에서 대기 중인 로트인 경우는  $T0$  이후 시간이 될 수 있도록 설정한다. 이렇게 설정되는 TTW는 기존의 TTW 사이에 삽입될 수도 있고 또는 기존의 TTW와 연결될 수도 있다.
- (2) 설정된 TTW를 이용하여 선택 대상 로트  $l$ 을 운반할 경우 로트  $l$ 의 장비  $M$ 에서의 예정가공완료시간  $TC_{Ml}$ 을 식 (19)처럼 계산한다.

$$TC_{Ml} = \max(TC_{Mk} + \sum_{j \in R} PT_{Mj}, TA_{Ml} + UT) + PT_{Ml} \quad (19)$$

이 때 TTW가 기존의 TTW와 연결될 경우는 연결 이후에 나오는 TTW가 밀리는 로트지연시간을 고려한다. 이 시간을  $\Delta T$ 라고 하면  $TC_{Ml}$ 에  $\Delta T$ 를 더한 시간을 최소로 하는 로트를 다음 가공 로트로 선택한다.

### 3.3 RTID 절차

본 논문에서 제시하고자 하는 RTID 절차는 제 3.1장에서 제

시된 MLVSL과 제 3.2장에서 제시된 개념을 적용하여 하역 요청을 처리하는 URL, 그리고 적재 요청을 처리하는 LRL로 구성된다.

#### (1) URL

Step 1 : 장비  $S$ 에서 가공이 완료된 로트  $L$ 의 NOM의 각 장비  $m$ 에 대하여

1.1 :  $m$ 을 도착지로 설정하여 MLVSL을 사용하여  $W_L$ 을 설정한다.

1.2 :  $W_L$ 에 의하여  $L$ 을 운반할 때  $m$ 의 버퍼가 가용하면  $TC_{mL}$ 을 계산한다.

1.3 :  $m$ 의 버퍼가 가용하지 않으면

(i)  $m$ 에서 반송장비가 대기할 경우

(ii) 출발지  $S$ 에서 출발을 늦추는 경우에 대해서 각각  $TC_{mL}$ 과  $LDT$ 를 계산한다.

1.4 :  $m$ 의 rating  $R_m$ 을 구한다. 즉,

$$R_m = \min(TC_{mL} + LDT)$$

Step 2 :  $L$ 의 목적지 후보장비  $CM$ 을 결정한다. 즉,

$$R_{CM} = \min_{m \in NOM}(R_m)$$

Step 3 :  $L$ 의 목적지  $T$ 를 결정한다. 즉,  $R_{CM} - TC_{(CM)L} \leq ADT$ 이면  $T = CM$ , 아니면  $T = Stocker$ 로 둔다.

#### (2) LRL

Step 1 : 가용해진 장비  $M$ 의 버퍼  $B$ 의 선택 대상이 되는 각 로트  $l$ 에 대하여

1.1 :  $B$ 를 도착지로 설정하여 MLVSL을 사용하여  $W_l$ 을 설정한다.

1.2 :  $l$ 의  $M$ 에서의 예정가공완료시간  $TC_{Ml}$ 과 로트지연시간  $\Delta T$ 를 구한다.

Step 2 :  $L = \{l | \min_l(TC_{Ml} + \Delta T)\}$ 인 로트  $L$ 을 다음 가공 로트로 선택한다.

## 4. 실험 및 결과

### 4.1 시물레이션 모형

MLVSL을 통합한 RTID의 성능을 측정하기 위하여 본 논문에서는 다음과 같은 시스템 환경에서 시물레이션을 수행한다. Fab은 전체 3개의 블럭과 2개의 레이어로 구성되며 각 블럭에는 수행해야 할 공정이 하나 이상 존재한다. <Table 1>에 각 블럭과 레이어에 따른 수행 공정의 종류, 그리고 <Table 2>에 각 블럭별 가공장비, 수행 가능한 공정, 그리고 가공시간이 나타나 있다.

제품은 두 가지 종류가 생산되며 각 제품은 서로 다른 프로세스 흐름을 가진다. 각 제품의 수요량은 서로 동일하며 가공은 로트 단위로 처리된다. 로트는 25장의 웨이퍼로 구성되며

월 평균 4,500개가 처리되는 것을 기준으로 한다. 로트는 중앙 버퍼의 역할을 하는 스토커를 통해서 베이 내로 이동한다. 베이 내의 AGV는 2대이며 양방향 이동이 가능하고 성능에 따라 이동 속도에 차이가 난다. 장비와 장비 간의 거리는 4m이며 적재 및 하역 시간은 각각 0.75분(45초)이다.

Table 1. 각 블럭과 레이어에 따른 수행 공정의 종류

Block \ Layer	Block1	Block2	Block3
Layer1	C1, C2	D1, D2	E1, E2
Layer2	C1, C2	D1, D2	E1, E2

Table 2. 각 블럭별 가공장비, 수행 가능한 공정, 그리고 가공시간

Block	Machine	Operation	시간(분)
Block1	M0, M1	C1, C2	3.0, 7.0
Block2	M2, M3	D1, D2	2.5, 5.5
Block3	M4, M5	E1, E2	4.0, 6.0

RTID의 성능을 평가하기 위하여 다음의 세 가지 통제 정책에 대하여 각각의 성과를 측정, 비교한다.

정책 1 : (SP : Simple Policy) 기존의 정책으로서 가공장비의 버퍼가 가용하면 디스패칭 룰(longest idle port)을 사용하여 목적지를 선정하며, 가용하지 않으면 스토커로 보낸다. 로트 선택은 현재 스토커에서 대기하고 있는 로트 중에서 FCFS 룰을 사용하여 선택한다. 반송장비 선택은 nearest vehicle rule 을 사용한다.

정책 2 : (RSP : Revised SP) 개선된 SP로서 목적지 가공장비의 버퍼가 가용하지 않더라도 스토커 도착 이전에 버퍼가 가용해지면 가공장비로 보낸다. 로트 선택은 POM의 로트들과 스토커에 있는 로트들을 비교해서 선택한다. 반송장비는 현재 가용한 장비와 미래에 도착할 장비 중 선택하며 목적지에서 반송장비가 대기하는 경우는 고려하지 않는다. 이는 시스템의 look-ahead 정보를 활용한 정책이다.

정책 3 : (RTID) 본 논문에서 제시된 RTID(MLVSL, URL, LRL)를 사용하여 반송장비 및 목적지 장비, 그리고 추후 가공 로트를 결정한다.

통제 정책에 대한 성능 평가를 위해서 본 논문에서 사용된 측정지표로는 로트의 평균 흐름 시간, 평균 재공 수준, 평균 반송장비 이용도, 그리고 평균 쓰루풋 등이 있다. 쓰루풋은 주어진 시간 내에 프로세스가 생산할 수 있는 산출물로서 사이클 시간의 역수로 정의된다. 여기서 사이클 시간은 로트의 시작과 종료 사이에 경과된 시간을 의미하기 때문에 쓰루풋은 흐름 시간을 측정함으로써 간접적으로 측정될 수 있다.

시뮬레이션을 위해 사용된 변수들로는 반송장비 성능과 가공장비 성능이 있으며 <Table 3>에 그 수준들이 나타나 있다. 반송장비 성능은 사용되는 반송장비의 성능을 나타내며 반송장비의 운행 속도로 표현한다. 반송장비의 운행속도는 0.5m/sec ~ 1m/sec 사이로 설정하며 0.5m/sec인 경우는 인접 가공장비간 이동시간은 8초가 소요되며, 1m/sec인 경우는 4초가 소요된다. 가공장비 성능은 가공장비의 가공 능력을 나타내며 신형장비, 중간장비 A, 중간장비 B, 그리고 구형장비로 구분한다. 신형장비에 비해 중간장비 A는 15%, 중간장비 B는 30%, 그리고 구형장비는 45%의 가공시간이 더 소요된다.

시뮬레이션은 이산 사건(discrete event) 기반의 시뮬레이션 기법에 의해 수행되었으며 코드는 C++로 작성되었다. 각 실험 조건별로 365일(525,600분) 동안 수행되었다.

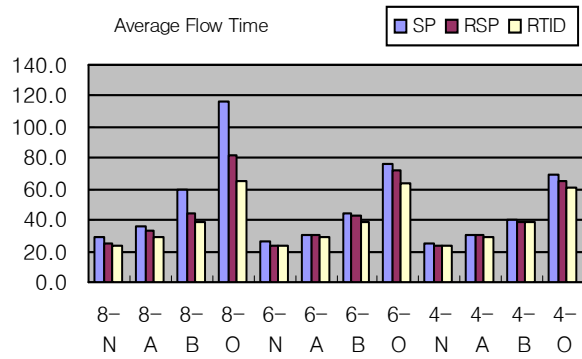
Table 3. 시뮬레이션 변수 및 수준들

반송장비 성능지수	Speed	가공장비 성능지수	Capacity Modifier
8	0.50m/sec	N(신형장비)	1.00
6	0.67m/sec	A(중간장비A)	1.15
4	1.00m/sec	B(중간장비B)	1.30
		O(구형장비)	1.45

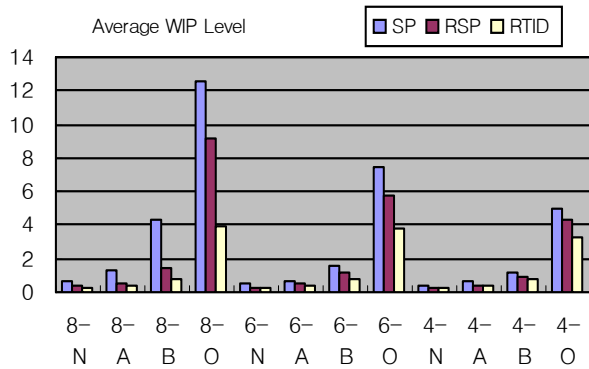
## 4.2 결과

시뮬레이션 결과는 <Figure 3>, <Figure 4>에 나타나 있다. <Figure 3>은 3가지 정책에 대하여 측정지표들이 반송장비 성능지수와 가공장비 성능지수의 변화에 따라 어떻게 변화하고 있는지를 나타내고 있다. <Figure 3>에서 X축은 반송장비 성능지수와 가공장비 성능지수의 조합을 나타내며, 앞의 지수는 반송장비 성능지수, 뒤의 지수는 가공장비 성능지수에 대응한다. <Figure 3>에서 평균 흐름 시간, 평균 재공 수준, 평균 반송장비 이용도는 정책 3, 정책 2, 정책 1 순서로 그 값이 작아지며 평균 쓰루풋은 그 값이 증가함을 보여주고 있다. 즉, RTID를 적용한 정책 3이 가장 우수한 결과를 가져오는 물류 흐름 통제 전략임을 알 수 있다.

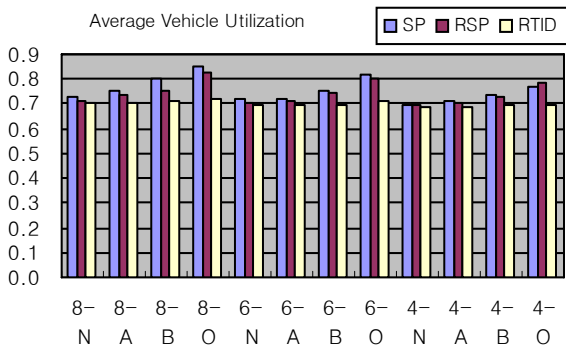
<Figure 4>는 정책 2와 정책 3 간에 평균 흐름 시간, 평균 재공 수준, 그리고 평균 반송장비 이용도 값이 줄어드는 감소율(reduction ratio)과 평균 쓰루풋 값이 커지는 증가율(increasing ratio)을 나타내고 있다. <Figure 4>에서 X축은 반송장비 성능지수, Y축은 감소율 또는 증가율, 그리고 범례는 가공장비 성능지수를 나타낸다. 감소율 또는 증가율을 구하기 위해, 정책 A를 적용했을 때의 측정 지표의 값을 VA, 정책 B를 적용했을 때의 값을 VB라고 하면 감소율은  $(VA-VB)/VA$ , 그리고 증가율은  $(VB-VA)/VA$ 로 구한다. <Figure 4>에서 가공장비 성능지수가 커질수록(즉, 가공장비의 가공 시간이 커질수록, 또는 설비가동율이 높을수록) 그리고 반송장비 성능지수가 낮을수록(즉, 반송장비의 속도가 느릴수록) 평균 흐름 시간과 평균 반송



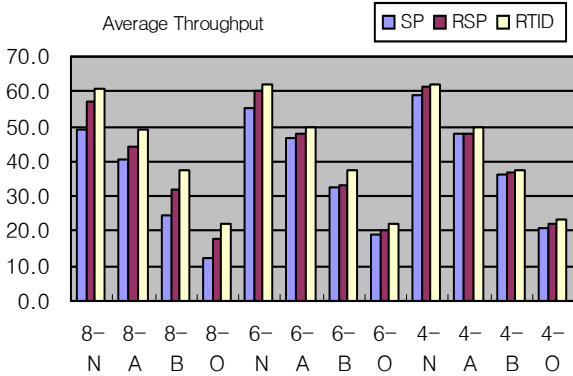
(a)



(b)

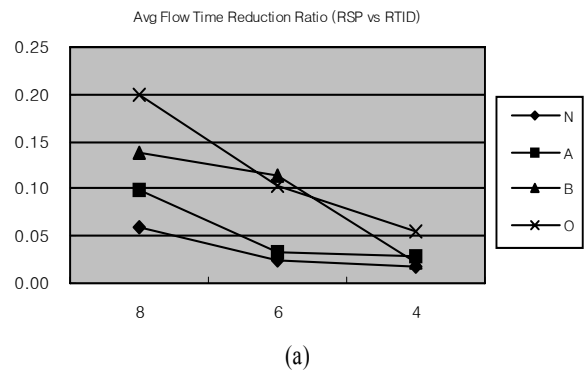


(c)

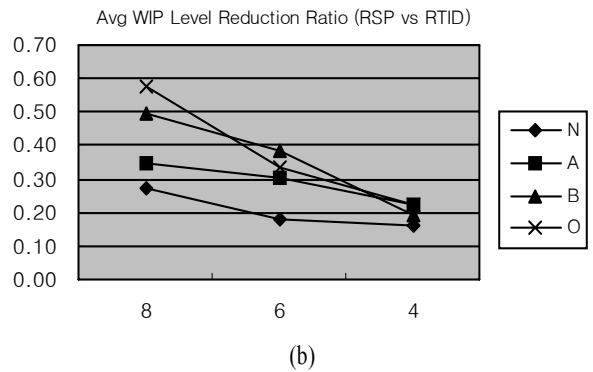


(d)

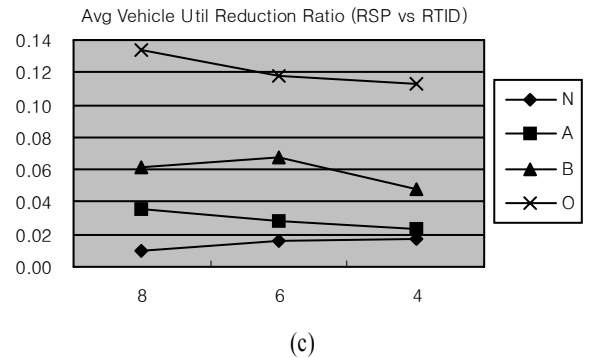
Figure 3. (a)평균 흐름 시간, (b)평균 재공 수준, (c)평균 반송장비 이용도, (d)평균 쓰루풋



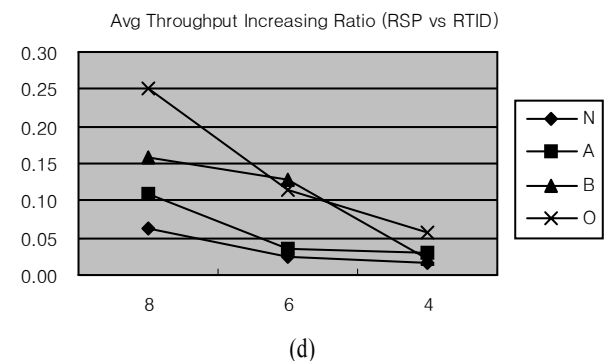
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 4. RSP와 RTID 정책 간의 감소율 및 증가율 비교 : (a) 평균 흐름 시간 감소율, (b)평균 재공 수준 감소율, (c)평균 반송장비 이용도 감소율, (d)평균 쓰루풋 증가율

장비 이용도의 감소율, 그리고 평균 쓰루풋의 증가율이 더욱

높아짐을 알 수 있다. 한편, 평균 제공 수준은 반송장비 성능지수가 낮아질수록 그 감소율은 높아지지만, 가공장비 성능지수에는 큰 영향이 없는 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문은 유사한 기능을 가지는 동종의 장비들이 베이 내에서 그룹을 형성하고 있는 반도체 제조라인에서 반송장비의 상황을 동시에 고려하면서 실시간 통합 디스패칭을 수행하는 RTID의 핵심 로직들을 개발, 제시하였다.

특히, 베이 내에서 로트의 가공이 완료되었을 때 가공이 완료된 로트의 다음 스텝 공정을 위한 목적지 장비를 실시간으로 결정하는 절차(URL)와 로트의 적재가 완료되어 버퍼가 가용해졌을 때 가용해진 버퍼가 다음 가공을 위한 로트를 결정하는 절차(LRL)를 제시하였으며, 이 과정에서 다중 적재가 가능한 반송장비의 상황을 동시에 고려하여 운반에 사용될 반송장비 및 목적지 장비까지의 반송시간을 선택하는 절차(MLVSL)를 개발하여 이를 URL과 LRL에 통합 적용하였다.

또한 URL과 LRL 개발 과정에서 로트가 장비에 도착했을 때 장비 버퍼가 가용하지 않아 로트의 하역이 가능하지 않을 경우 버퍼가 가용해질 때까지 도착장비에서 기다리는 경우를 고려함으로써 라인 전체적인 관점에서 가장 효율적인 방법을 제시하고자 하였다.

추후의 연구 과제로는 베이 및 림 형태의 배치 뿐만 아니라, 차세대 450mm 반도체 라인 및 대형화된 유리기관을 다루는 차세대 LCD 설비 배치 형태에 적용될 수 있는 보다 정교한 로직의 개발과, 상위 스케줄링 모듈과의 통합 방안 개발 등을 들 수 있다.

## 참고문헌

- Bahri, N., Reiss, J., Doherty, B. (2001), A comparison of unified vs. segregated automated material handling systems for 300mm fabs, *IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing Conference*, 3-6.
- Chand, S., Traub, R., and Uzsoy, R. (1997), Rolling Horizon Procedures for the Single Machine Deterministic Total Completion Time Scheduling Problem with Release Dates, *Annals of Operations Research*, **70**, 115-125.
- Engell, S., Kuhn, T., and Moser, M. (1990), On Decentralized On-line Scheduling of FMS, *Proceedings of the 29th IEEE Conference on Decision and Control*, Honolulu, Hawaii, 125-127.
- Ferland, A., Fortin, L., (1989), Vehicle scheduling with sliding time windows, *European Journal of Operational Research*, **38**, 213-226.
- Gartland, K., Godding, G., Hodges, B., Muzumbar, N., Hohkibara, S., Kono, S., Honma, M., Inoue, G. (2000), Scheduler/dispatcher user requirements. *International SEMATECH, Technology Transfer # 00063966A-TR*.
- Glassey, C. R. and Resende, M. G. C. (1988), Closed-loop job release control for VLSI circuit manufacturing, *IEEE Transactions on semiconductor manufacturing*, **1**(1), 36-46.
- Jang, J., Suh, J., and Ferreira, P. (2001a), 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.
- Jang, J., Suh, J., and Liu, C. R. (2001b), A Look-Ahead Routing Procedure for Machine Selection in a Highly Informative Manufacturing System, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, **13**(3), 287-308.
- Koo, P.-H, Jang, J. and Suh, J. (2005), Vehicle dispatching for highly loaded semiconductor production considering bottleneck machines first, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, **17**(1), 23-38.
- Koskosisidis, Y. A., Powell, W. B., Solomon, M. M., (1992), An optimization-based heuristic for vehicle routing and scheduling with soft time window constraints, *Transportation Science*, **26**(2), 69-85.
- Lou, S. X. C. and Kager, P. W. (1989), A Robust production control policy for VLSI wafer fabrication, *IEEE Transactions on semiconductor manufacturing*, **2**(4), 159-164.
- Lu, S. C. H., Ramaswamy, D., and Kumar, P. R. (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.
- Sexton, T.R. and Choi, Y., (1986), Pickup and delivery of partial loads with soft time windows, *American Journal of Mathematical and Management Science*, **6**, 369-398.
- Smith, T. M. and Stecke, K. E. (1996), On the Robustness of Using Balanced Part Mix Ratios to Determine Cycle Part Input Sequences into Flexible Flow Systems, *International Journal of Production Research*, **34**(10), 2925-2942.
- 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.
- Taillard, E., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J.-Y., (1997), A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows, *Transportation Science*, **31**(2), 170-186.
- Uzsoy, R., Lee, C. Y. and Martin-vega, A. L. (1992), A review of production planning and scheduling models in the semiconductor industry part1 : system characteristics, performance evaluation and production planning, *IIE Transactions*, **24**(4), 47-60.
- Vargas-Vilamil, F. D., Rivera, D. E. and Kempf, K. G. (2003), A hierarchical approach to production control of reentrant semiconductor manufacturing lines, *IEEE Transactions on control systems technology*, **11**(4), 578-87.
- Wein, L. M. (1988), Scheduling semiconductor wafer fabrication, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, **1**(3), 115-130.