

## 반도체 물류 제어 시스템을 위한 RTLAD(Real Time Look Ahead Dispatcher) 핵심 기법 개발

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

<sup>1</sup>경원대학교 산업정보시스템공학과, 461-701 경기도 성남시 수정구 복정동 산65

<sup>2</sup>부경대학교 산업공학과, 608-739 부산시 남구 용당동 산100

<sup>3</sup>Department of Industrial and Manufacturing Engineering., University of Wisconsin-Milwaukee, 3200 North Cramer St., Milwaukee, WI 53201-0413, U.S.A.

### Abstract

반도체 및 LCD 제조 라인의 물류 제어 시스템을 위하여 시스템의 현재 및 미래의 look ahead 정보를 사용하고 반송장비의 운반 상황을 동시에 고려하면서 디스패칭(dispatching) 과정을 수행하는 RTLAD(Real Time Look Ahead Dispatcher)를 위한 핵심 기법들을 개발한다.

특히, 베이(bay) 내에서 로트의 가공이 완료되었을 때 다음 스텝 공정을 위하여 목적지 장비를 실시간으로 결정하는 절차를 제시하며, 동시에 목적지 장비까지의 반송장비를 선택하는 절차를 제시한다. 목적지 장비 결정 과정에서 반송장비의 상황을 함께 고려한다.

### 1. 서론

반도체 및 LCD 제조 현장은 일반적으로 베이(bay)로 구성되어 있으며 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 논문은 유사한 기능을 가지는 동종의 장비들이 그룹을 형성하고 있는 반도체 및 LCD 제조라인에서 설비의 현재 및 미래 정보를 이용하여 실시간 디스패칭을 수행하는 핵심 로직들을 개발하고 그 효과를 보인다. 이를 위한 절차들로서 로트의 목적지를 결정하는 MSP(Machine Selection Procedure)와 로트의 운반장비를 결정하는 VSP(Vehicle Selection Procedure)를 개발한다. 로트가 장비에서 가공을 완료하거나, stocker를 통해 베이로 새로이 투입되었을 때 다음 가공을 위한 목적지 장비를 결정한다. 목적지 장비는 로트의 다음 스텝 가공이 가능한 장비들 중에서 선택한다.

목적지 장비 결정 과정에서 반송장비의 가용성 및 출발지로부터 도착지까지의 운반시간, 그리고 미래의 운반 계획 정보 등 반송장비의 상황을 함께 고려하며, 이 과정에서 반송장비

가 복수개의 로트를 동시에 운반하는 복수 적재(multi-load) 기법을 개발, 적용한다. 이렇게 함으로써 운반 예정 로트의 목적지 장비에의 도착시간을 결정할 수 있으며 이를 통해 목적지 장비를 결정하게 된다.

현재 사용되고 있는 기존의 디스패칭 방식은 목적지 장비를 결정하는 부분(MES)과 반송장비의 선택 및 경로 결정 기능(MCS)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 실시간 통합 디스패칭 절차를 제시한다.

실시간 look ahead 통합 디스패칭의 기대효과로는 로트의 flow time의 감소, 납기 준수에 따른 로트의 makespan의 감소, 그리고 처리할 로트가 부족해 장비가 유힘해지는 run down 현상의 감소와 이에 따른 장비 가동율의 향상 등을 들 수 있다.

### 2. RTLAD

장비에서 로트(웨이퍼 및 유리기판을 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.

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 대기 중인 로트이다. 본 논문에서는 동일한 기능을 가진 장비들이 그룹을 형성하고 있는 제조 환경에서 look ahead 정보를 활용하여

unload request 및 load request를 처리하는 로직을 개발한다. 이때 intra-bay 또는 구역 내의 반송에서 AGV 등과 같은 반송장비에 대한 가용성 및 미래 계획도 함께 고려한다.

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.

- $TB_i$  : 장비  $i$ 의 blocking 발생시간
- $TA_i$  : 장비  $i$ 의 버퍼가 가용해지는 시간
- $TS_i$  : 장비  $i$ 의 starvation 발생시간
- $PT_{ij}$  : 장비  $i$ 의 로트  $j$ 의 가공시간
- $DT_{ij}$  : 장비  $i$ 에서의 로트  $j$ 의 출발시간
- $AT_{ij}$  : 장비  $i$ 에로의 로트  $j$ 의 도착시간
- $TG_{kj}$  : 반송장비  $k$ 에의 로트  $j$ 의 할당시간
- $TR_{mn}^k$  : 반송장비  $k$ 의 장비  $m$ 에서 장비  $n$ 으로의 운행시간

여기서  $TF_i$ ,  $TB_i$ ,  $TA_i$ ,  $TS_i$ ,  $TG_i$  값들은 look-ahead에 의해서 구해진다.

### 3. MSP(Machine Selection Procedure)

MSP는 현재 장비에서 가공을 마친 로트가 다음 스텝의 가공을 위하여 NOM 그룹 내에서 장비를 선택하는 과정이다. 즉, 캐리어의 모든 웨이퍼 또는 유리기관의 가공이 완료되었을 때 가공을 마친 로트가 다음 스텝 가공을 위하여 NOM 그룹 장비 내에서 목적지 장비(포트 포함)를 선택한다. 목적지 장비를 선택하는 과정에서 반송장비의 가용성 및 운행시간 등 반송장비의 상황을 동시에 고려한다.

목적지를 선정하기 위해 먼저 목적지 후보장비를 결정한다. 지금  $CM_j$ 를 로트  $j$ 의 목적지 후보장비 집합이라 하면  $CM_j$ 는 다음의 두가지 조건을 만족시키는 장비들이다.

조건 1: 로트  $j$ 의 다음 스텝 가공이 가능한 장비.

조건 2:  $DT_{SL} < TB_S$  and ( $AT_{DL} < TF_D$  또는  $AT_{DL} > TA_D$ )

지금 장비  $S$ 에서 로트  $L$ 의 가공이 완료되었다고 하자. 그러면  $L$ 은 다음 가공을 위하여 목적지를 결정해야 한다. 지금  $L$ 의 출발지를  $S$ , 도착지를  $D$ 로 둔다. 다음 절의 VSP의 운반장비 할당 방법을 사용하여 가장 빨리 할당될

수 있는 운반장비  $V$ 를 사용하여  $L$ 을 운반했을 때 운반장비가 할당되는 시간,  $TG_{VL}$ ,  $L$ 이  $S$ 를 출발하는 시간,  $DT_{SL}$ 과  $D$ 에 도착하는 시간,  $AT_{DL}$ 을 구한다. 운반장비의 운행시간은  $TR_S^V + LT + TR_{SD}^V + UT$ 가 된다.

$L$ 이  $D$ 에 도착할 때  $D$ 의 버퍼가 가용하지 않아  $L$ 은 운반장비 위에서 대기해야 한다. 대기해야 하는 시간은  $TA_D - AT_{DL}$ 이다. 이러한 경우 출발지에서  $L$ 의 출발을 지연시키는 것이 가능하다면 그렇게 함으로써  $D$ 에서의 대기시간을 회피할 수 있다.

지금 임의의 새로운 운반장비  $V'$ 이 있어  $TG_{VL}$  시점에 로트  $L$ 에 할당될 수 있으면 다음의 두가지 조건을 검사한다.

$$TG_{VL} + TR_S^V + LT \leq TB_S \quad (1)$$

$$TA_D \leq TG_{VL} + TR_S^V + LT + TR_{SD}^V \quad (2)$$

(1)은 출발지에서 blocking이 발생하기 전에  $L$ 의 적재를 완료하여  $S$ 를 떠나야 하는 조건이고, (2)는  $D$ 의 버퍼가 가용한 후  $L$ 이  $D$ 에 도착해야 하는 조건이다. 이러한 조건을 만족시키는 운반장비가 여러 개 존재할 경우  $D$ 에 도착하는 시간이 가장 빠른 운반장비를 선택한다.

이처럼 운반장비의 할당을 늦추어 임의의 새로운 운반장비  $V'$ 이 할당되어 출발지에서 blocking이 발생하는 시간,  $TB_S$  이전에  $L$ 의 적재를 완료하여  $S$ 에서 출발시킬 수 있으며  $D$ 에는  $TA_D$  이후에 도착시킬 수 있을 경우 이  $D$ 를  $L$ 목적지 후보장비,  $CM_L$ 에 포함한다. 이 경우 출발지에서  $L$ 이 지연되는 시간은  $DT_{SL} - DT_{SL}'$ 이다.

현재 베이 내에서 가공중이며 미리 예약된 목적지가 없는 상태에서 look-ahead에 의하여 완료시간이 알려져 있는  $n$ 개의 로트들 중에서 임의의 로트  $j$ ,  $j=1, \dots, n$ 를 생각해 보자. 로트  $j$ 의 가공완료시간을  $TC_j$ 라고 하면 로트  $j$ 는  $TC_j$ 에서 다음 공정을 위하여 NOM 그룹 내에서 목적지 장비를 선정한다.

지금 로트  $j$ 가 임의의 장비  $i \in \text{NOM}$ 를 목적지로 선정하여  $i$ 에 도착한 후 가공이 완료되는 시간을  $CT_{ij}$ 라고 하면

$$CT_{ij} = \sum_{k=1}^K PT_{ik} + \min \{ (TC_j + TT_{ij}), TS_i \} + PI$$

가 된다. 위 식에서  $\sum_{k=1}^K PT_{ik}$ 는 장비  $i$ 의 버퍼에 기존에 있던  $K$ 개의 가공대기 로트들의 가

공시간의 합이다.  $TT_{ij}$ 는 로트  $j$ 의 가공완료시  
입의의 반송장비가 할당되어  $i$ 까지 로트를 운  
반하는데 소요되는 시간이다.

로트  $j$ 의 목적지를 가장 빠른 가공완료시간  
을 가지는 장비로 선정할 경우 목적지  $D_j$ 는

$$D_j = \min_i CT_{ij}, i \in \text{lot } j \text{의 NOM}$$

으로 구해진다.

#### 4. VSP(Vehicle Selection Procedure)

로트의 가공이 완료되어 목적지 장비를 결  
정할 때 로트의 운반을 위하여 운반장비에서의  
새로운 운반시간을 결정한다. 운반시간을 결정  
할 대상 운반장비는 현재 유희(idle)하거나 또  
는 현재 운행 중이라도 버퍼에 여유가 있어 복  
수개의 로트를 운반할 수 있는 장비들이다. 본  
논문에서는 2개의 버퍼를 가지고 있는 운반장  
비를 대상으로 한다.

운반장비를 선택하는 기준은 일반적으로 사  
용되는 'nearest vehicle' 대신 대상 로트를 미래  
의 시점에 목적지에 가장 빨리 도착시킬 수 있  
는 운반장비를 사용한다. 운반장비를 선택하는  
것은 운반장비의 가용한 운반시간대 내에서 해  
당 로트의 운반시간대를 결정하는 것이다.

먼저 용어를 정의한다. 운반시간대는 운반  
장비 버퍼의 운반 스케줄에서 운반 예정 로트  
가 할당된 시간대로 정의하고 가용시간대는 기  
존의 운반시간대와 운반시간대 사이의 가용한  
운반시간대로 정의한다.

새로운 운반시간대를 결정하기 위해서 먼저  
각 운반장비의 운반 스케줄의 가용시간대에 대  
하여 다음의 조건1, 조건2를 확인한다.

조건1: 운반가능조건: 새로운 운반시간대가 삽  
입됨에 따라 변경될 수 있는 후행 운반시  
간대를 조정된 다음 가용시간대 내에서 로  
트의 운반이 가능해야 한다.

조건2: 목적지 장비의 가용성 & 후행 운반시  
간대와의 비중첩(non-overlapping) 조건: 목  
적지 장비의 버퍼가 가용한 이후에 로트가  
도착해야 하며, 이때 후행 운반시간대에  
중첩이 되지 않아야 한다.

위의 조건1, 조건2는 가용시간대 내에 운반  
시간대를 삽입할 수 있는 최소한의 필요조건이  
다. 조건1과 조건2를 만족하면 고려하는 운반  
시간대 내에 운반장비의 다른 버퍼에 미리 계  
획되어 있는 다른 운반시간대가 있는지 확인한  
다. 다른 버퍼에 기존의 운반시간대가 있으면  
이 운반시간대와 새로운 운반시간대와의 연결  
가능 여부를 확인한다. 연결이 가능하면 새로

운 운반시간대에 대하여 조건1, 조건2를 다시  
확인하고 연결 유형에 따라 기존의 운반시간대  
에 필요한 연결 조건들인 연결조건1, 연결조건  
2를 검사한다.

연결조건1: 연결 운반시간대의 blocking 및  
starvation 방지 조건

연결조건2: 연결 운반시간대의 후행 운반시간  
대와의 비중첩 조건

지금 로트  $L$ 이 운반장비  $G$ 에 의해  $S$ 에서  $D$   
로 운반된다고 가정하고 로트  $L$ 의 새로운 운  
반시간대  $W_L$ 이 가용시간대  $[T1, T2]$  내에 삽입  
되는 경우를 생각해 보자.  $W_L$ 이  $[T1, T2]$  내에  
삽입될 경우  $W_L$ 의 후행 운반시간대들 중 가장  
빨리 시작되는 후행 운반시간대를  $W_j$ 라 하고  
시작시간을  $T2$ 라고 하자. 이때  $W_j$ 는  $p$ 에 있는  
로트를  $q$ 로 이동시킨다고 하자. 그러면  $W_j$ 는  
공차운행시간  $TR_{pq}$ 를 포함하게 된다. (만약  $p$ 와  
 $q$ 의 위치가 동일하면  $TR_{pq} = 0$  이다.) 그리고  
 $W_L$ 의 선행 운반시간대를  $W_i$ 라 하자.

이제 새로운 운반시간대  $W_L$ 이  $W_i$ 와  $W_j$  사  
이에 삽입되면  $W_j$ 의 공차운행시간이  $TR_{pq}$ 에서  
 $TR_{Dq}$ 로 변경된다. 그러면  $W_j$ 의 시작시간  $T2$ 는  
 $T2' = T2 + TR_{pq} - TR_{Dq}$ 로 조정된다.

$W_L$ 이  $[T1, T2]$  내에 삽입되기 위해서는 식  
(3)과 같이 운반가능조건을 만족해야 한다.

$$T2' - T1 > TR_{pS} + LT + TR_{SD} + UT \quad (3)$$

로트  $L$ 은 목적지 장비  $D$ 의 버퍼가 가용해  
지는 시간,  $TA_D$  이후에 목적지 장비에 도착해  
야 한다. 즉,  $T2' - UT > TA_D$  이다.

위의 식을 만족시키는 범위 내에서  $[T1, T2]$   
내에서 가능한 한  $W_L$ 을 앞으로 당긴다. 즉,  $W_L$   
의 시작시간을  $SW_L$ 이라 하면

$$SW_L = \begin{cases} T1 & \text{if } T1 + TR_{pS} + LT + TR_{SD} > TA_D \\ TA_D - (TR_{pS} + LT + TR_{SD}) & \text{if } T1 + TR_{pS} + LT + TR_{SD} < TA_D \end{cases}$$

$SW_L$ 을 위의 식처럼 하여  $W_L$ 을 조정했을 때  
후행 운반시간대  $W_j$ 와 중첩이 일어나지 않아야  
한다. 이 때  $W_j$ 의 시작시간은  $T2$ 에서  $T2'$ 으로  
변경된 상태이다.

가용시간대 내에 운반장비의 다른 버퍼에  
기존의 운반시간대가 존재하는 경우 새로운 운  
반시간대와 동시에 multi-load 운반이 가능한지  
의 여부를 결정한다. 이를 위하여 기존 운반시  
간대와 새로이 삽입되는 신규 운반시간대가 서  
로 연결이 가능한지의 여부를 판단한다. 두개  
의 운반시간대가 서로 연결이 가능하기 위해서

는 다음의 두가지 조건이 만족되어야 한다.

- (i) 경로 연결: 가용시간대  $[T1, T2]$  내에서 기존 운반시간대들 중 하나와 신규 운반시간대의 경로가 연결된다. 지금  $r(W_L)$ 을  $W_L$ 의 경로라고 하면  $r(W_L) \subseteq r(W_a)$ , 또는  $r(W_a) \subseteq r(W_L)$ 이면 두 운반시간대  $W_L$ 과  $W_a$ 는 경로가 연결된다.
- (ii) 기존 운반시간대와의 비중첩:  $[T1, T2]$  내에서 신규 운반시간대와 연결된 기존 운반시간대와의 다른 운반시간대와는 중첩되지 않는다.

$[T1, T2]$  내에서 위의 두가지 조건을 만족시키는 운반시간대가 복수개 존재하면 그 중에서 가장 빠른 시작시간을 가지는 운반시간대를 선택한다. 위의 두가지 조건을 만족하면서 운반시간대의 연결이 가능한 형태로 연결경우1과 연결경우2를 들 수 있다. 연결경우1은 ( $W_L$ 의 종료시간 <  $W_a$ 의 종료시간)인 경우이며 연결경우2는 ( $W_L$ 의 종료시간 >  $W_a$ 의 종료시간)인 경우이다.

연결되는 기존 운반시간대  $W_a$ 와 여기에 연결된 다른 기존 운반시간대에 대하여 연결조건1과 연결조건2를 검사한다.

연결조건1: blocking 및 starvation 발생 방지

운반시간대  $W_a$ 를 비롯하여 여기에 연결된 기존의 다른 운반시간대들이 뒤로 밀렸을 때 다음과 같은 두가지 상황이 발생하지 않아야 한다. 즉, (i) 장비의 blocking 발생 시점 이후에 적재 함. (ii) 장비의 starvation 발생 시점 이후에 하역 함.

연결조건2: 후행 운반시간대와의 비중첩

연결된 운반시간대의 마지막 운반시간대인  $W_b$ 와 인접한 후행 운반시간대  $W_c$ 가 중첩되지 않아야 한다. 만약 연결 운반시간대가 없다면  $W_a$ 와 후행 운반시간대와의 중첩 여부를 확인한다.

## 5. 결론

본 논문은 반도체 및 LCD 제조라인에서 look ahead 정보를 이용하여 실시간 디스패칭을 수행하는 핵심 로직들을 개발, 제시하였다. 이를 위한 절차들로서 로트의 목적지를 결정하는 MSP(Machine Selection Procedure)와 반송장비의 상황을 고려하여 로트의 운반장비를 결정하는 VSP(Vehicle Selection Procedure)를 개발하여 통합 적용하였다. 이때 반송장비가 복수개의 로트를 동시에 운반하는 복수 적재 기법을 개발,

적용하였다.

추후의 연구 과제로는 베이 및 립 형태 뿐만 아니라, stocker-in-line 방식의 설비 배치 형태에 적용될 수 있는 보다 정교한 로직의 개발과, 스케줄링 모듈과의 통합 방안 개발 등을 들 수 있다.

## Acknowledgement

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.

(KRF-2003-042-D20136)

## 참고문헌

- 구평희, 서정대, 장재진 (2003), 반도체 Intra-Bay 물류시스템에서의 차량 배치, *산업공학(IE Interfaces)*, 16(Special), 93-98.
- 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.
- Jang, J., Suh, J., and Liu, C.R. (2001), 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. 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.
- Krishnamurthy, N. N., Batta, R. B. and Karwan, M. H. (1993), Developing conflict-free routes for automated guided vehicles, *Operations Research*, 41(6), 1077-1090.
- 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.
- 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.