

## 반도체 물류 제어를 위한 dispatching logic 개발

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

<sup>1</sup>경원대학교 테크노경영공학과, 경기도 성남시 수정구 복정동 산65

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

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

### Abstract

본 논문은 유사한 기능을 가지는 동종의 장비들이 그룹을 형성하고 있는 반도체 제조라인에서 설비의 현재 및 미래 정보를 이용하여 실시간 dispatching을 수행하는 핵심 logic들을 개발하고 그 효과를 보인다. 이때 반송 장비의 가용성 및 미래의 계획 정보도 함께 고려한다.

### 1. 서론

반도체 산업은 대규모 투자가 필요한 장치 산업으로서, 장비의 효율적 사용을 위하여 웨이퍼 및 glass의 실시간 운영 통제가 중요하다. 반도체 제조 라인의 실시간 운영 통제를 위한 제어시스템은 상위 계층의 scheduling 및 dispatching 기능과 하위 계층의 물류 운영 통제 기능 및 단위 장비의 제어 기능으로 이루어진다.

상위 계층의 기능 중 현재 사용되고 있는 기존의 dispatcher는 의사 결정 시점(load 및 unload request를 처리하는 시점)에서 설비의 가용성 여부는 고려하지만 미래의 계획 정보는 고려하지 않는다. 특히 bay 간 이동의 경우, 인접 bay에 있는 장비를 구체적으로 지정하지 않고 인접 bay의 stocker 까지만 결정하고 있다. 이로 인하여, 전체 가공 시간이 길어지며, 반송장비의 사용도가 늘어난다. 따라서 반송장비의 가용성 여부뿐만 아니라 미래의 계획을 고려할 필요가 있으며, bay 간 이동의 경우 인접 bay에 있는 장비까지 구체적으로 결정할 필요가 있다.

본 논문은 유사한 기능을 가지는 동종의 장비들이 그룹을 형성하고 있는 반도체 제조라인에서 설비의 현재 및 미래 정보를 이용하여 실시간 dispatching을 수행하는 핵심 logic들을 개발하고 그 효과를 보인다. 이때 반송 장비의 가용성 및 미래의 운반 계획 정보도 함께 고려한다.

### 2. LAD(Look-Ahead Dispatcher)

반도체 제조 라인의 운영 통제를 위한 제어 시스템은 <그림 1>과 같이 상위 계층의 MES(Manufacturing Execution System), 하위 계층의 MCS(Material Control System), 그리고 단위 장비 컨트롤러로 구성되는 계층적인 구조를 띠고 있다.

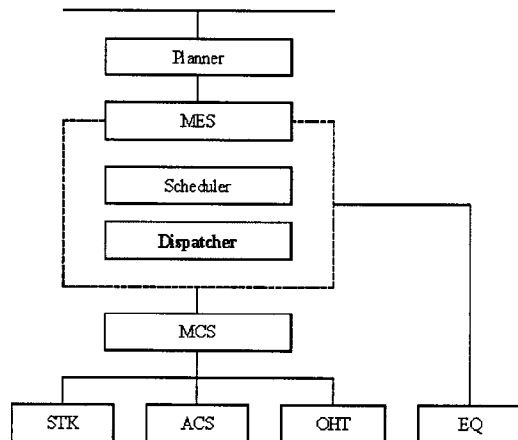


그림 1. 반도체 제조 라인의 제어시스템 구조.

MES는 제조장비와 가공 정보를 보관하여 제어 측면의 생산관리를 담당하며, 공정의 선후 관계와 가공 장비 및 시간을 결정하는 scheduler와 가공이 끝난 lot의 다음 장비를 선택하는 dispatcher로 구성된다. Scheduler는 공정 수순에 맞는 lot의 장비를 결정하며, dispatcher는 현재 시점에서 변동된 가용한 자원(장비, AGV, stocker 등)을 고려하여 실시간으로 결정한다. Dispatcher에 의한 결과는 scheduler에 의해 결정된 schedule에 대한 rescheduling 과정의 적용으로 볼 수 있다. 이외에도 lot의 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 lot의 출발지와 목적지를 바탕으로 그 사이의 이동 경로를 생성한다. AGV, Stocker(STK), OHT/OHS 등은 각자의 컨트롤러를 따로 가지고 있어, 각각의 고유한 역할을 수행하게 된다. EQ(Equipment)는 설비를 의미한다.

장비에서 lot(wafer 및 glass를 담은 cassette)의 가공이 완료되었을 때, 가공 완료된 lot이 다음 공정 가공을 위하여 장비를 선택하고, 선택된 장비로 이동하기 위하여 반송 장비를 요청하는 *unload request*가 발생한다. 장비의 선택은 다음 공정 가공이 가능한 장비들로 구성된 그룹 내에서 이루어진다. 이러한 그룹은 bay 형태의 설비 배치인 경우 동일 bay 내에 있거나 또는 다른 인접 bay에 있을 수 있다. Room 형태의 배치에서는 동일 구역 내에 존재한다.

한편, unloading 작업을 완료하여 장비의 port가 가용하게 되었을 때, 이 port가 다음 가공을 위하여 lot을 선택하고 반송 장비를 요청하는 *load request*가 발생한다. 선택 대상이 되는 lot은 이전 공정 장비들로 이루어진 그룹 내에서 현재 가공중이거나 또는 stocker 내에서 현재 대기 중인 lot이다. Unload request의 발생 경우와 마찬가지로 이전 공정 장비 그룹은 bay 형태의 설비 배치인 경우 동일 bay 또는 인접 bay에 있을 수 있으며, room 형태의 배치에서는 동일 구역 내에 존재한다.

본 논문에서는 동일한 기능을 가진 장비들이 그룹을 형성하고 있는 제조 환경에서 look ahead 정보를 활용하여 unload request 및 load request를 처리하는 logic을 개발한다. 이때 intra bay(bay 내) 및 inter bay(bay 간) 반송, 또는 구역 내의 반송에서 AGV 등과 같은 반송 장비에 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.  $TF_i$ ,  $TB_i$ ,  $TA_i$ ,  $TS_i$ ,  $TG_i$ , 값들은 look ahead에 의해서 구해진다. Look ahead의 대상 범위로 IN 정보로는, POM에서 가공중, POM의 port에서 AGV 대기중, AGV 위에서 운반중, 그리고 Unloading 중인 lot을 고려하며, OUT 정보로는 Port에서 가공 대기중(waiting lot), 현장비에서 가공중, Port에서 AGV 대기중, 그리고 Loading 중인 lot을 고려

한다. 여기서 POM(Previous Operation Machine)은 lot의 이전 step 공정을 위한 장비, NOM(Next Operation Machine)은 다음 step 공정을 위한 장비를 나타내며 보통 동일 기능의 장비들이 여러 대 모여 그룹을 형성하고 있다.

#### Notations:

- $TF_i$  : 장비  $i$ 의 모든 port가 full이 되는 시간
- $TB_i$  : 장비  $i$ 의 blocking 발생시간
- $TA_i$  : 장비  $i$ 의 port가 가용해지는 시간
- $TS_i$  : 장비  $i$ 의 starvation 발생시간
- $TG_i$  : 장비  $i$ 의 AGV 도착시간
- $PT_i$  : 장비  $i$ 의 가공시간
- $ET_w$  : 공차 운행시간
- $LT_w$  : 적재 운행시간

### 3. URL(Unload Request Logic)

URL은 현재 장비에서 가공을 마친 lot이 다음 가공을 위하여 NOM 그룹 내에서 장비를 선택하는 과정이다. 즉, 카세트의 모든 wafer 또는 glass의 가공이 완료되었을 때 가공을 마친 lot이 다음 step 가공을 위하여 동일 bay 또는 인접 bay에 있는 NOM 그룹 장비 내에서 목적지 장비(port 포함)를 선택한다.

Look ahead 정보를 사용하여 목적지 장비를 선정하는 기준은 현재의 lot이 도착 장비에서 가공이 완료되는 시간과 blocking에 의한 lot의 대기시간, AGV 점유시간, 그리고 stocker 점유시간을 고려하여 이들의 가중합을 합한 시간을 최소화하는 것이다.

Lot이 NOM 그룹의 장비  $i$ 에 도착하는 경우, 관련된 시간들을 몇가지 정의한다. 즉,  $CT_i$ 는 lot이 장비  $i$ 에 도착하여 가공이 완료되는 시간,  $GT_i$ 는 장비  $i$ 에 도착할 때까지의 lot의 AGV 점유시간,  $WT_i$ 는 장비  $i$ 에서의 lot의 대기시간,  $ST_i$ 는 장비  $i$ 에 도착할 때까지의 lot의 stocker 점유시간, 그리고  $TT_i$ 를 장비  $i$ 에서의 가공 완료시간에 lot의 대기시간, AGV 점유시간, 그리고 stocker 점유시간의 가중합으로 정의한다. 가중치  $\alpha, \beta, \gamma$ 는 각 시간의 중요도를 의미하며 정략적으로 결정한다. 즉,

$$TT_i = CT_i + \alpha GT_i + \beta WT_i + \gamma ST_i$$

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

그러면 목적지 선정 기준은  $TT_i$ 를 최소화하는 장비를 선택하는 것이다.

Blocking에 의한 lot의 대기시간 종류는 해

당 lot이 목적지에서 blocking 당하여 대기하는 시간, 임의의 lot이 목적지에서 blocking 당하여 대기하는 시간, 그리고 임의의 lot이 출발지에서 blocking 당하여 대기하는 시간들이 있다. Lot 대기시간은 이러한 세 가지 유형의 blocking에 의한 대기시간들을 합한 것이다.

AGV 점유시간은 lot의 AGV 요청에 대하여 AGV가 대응하는 시간의 합이다. 즉, 공차 이동시간, loading 시간, 장비 또는 stocker 간 운행시간, unloading 시간을 합한 시간이다. AGV 점유시간에 빈 AGV가 생길 때까지 기다리는 대기시간을 합하면 AGV 대응시간이 된다.

NOM 그룹 장비에 lot을 보내는 방법을 생각해 보면, 첫째, NOM 그룹이 동일 bay 내에 있을 경우에는 현재 장비에서 stocker를 점유하지 않고 NOM 그룹 장비로 직접 보내는 방법과 stocker를 점유하여 보내는 방법이 있다. Stocker를 점유하는 경우는 NOM 그룹 장비가 현재 시간에 가용하지 않을 때 적용하며 stocker에서 일정시간 대기한 후 목적지로 향한다. 둘째, 동일 bay가 아닌 인접 bay에 있는 NOM 그룹 장비로 가기 위해서는 stocker를 점유해야 한다. 이때 현재 장비에서 stocker를 점유하여 바로 목적지로 보내는 방법과 도착지에서의 blocking 발생 방지를 위하여 stocker에서 일정시간 대기한 후 보내는 방법이 있다.

현재 장비  $i$ 에서 가공 완료된 lot이 AGV를 호출하여 가용한 AGV가 할당되어 NOM 그룹의 임의의 장비  $j$ 로 출발했다고 하자. NOM 그룹이 동일 bay에 있는 경우에는 NOM 그룹 장비로 직접 가고, 인접 bay에 있는 경우에는 stocker를 점유하여 바로 NOM 그룹 장비로 간다고 하자. 그러면 AGV가 NOM 그룹 장비  $j$ 에 도착하는 시간,  $TG_j$ 의 유형에 따라 다음의 몇가지 경우로 나눌 수 있다.

(1)  $TG_j \geq TS_j$  및  $TA_j \leq TG_j < TS_j$ 인 경우

AGV 출발시간을  $T_{NOW}$ 로 두면,  $TG_j \geq TS_j$ 인 경우는  $TT_j = TG_j + PT_j + \alpha GT_j$ 이며,  $TA_j \leq TG_j < TS_j$ 인 경우는  $TT_j = TS_j + PT_j + \alpha GT_j$  이다. 따라서  $TG_j \geq TS_j$  및  $TA_j \leq TG_j < TS_j$ 인 경우는  $TT_j = \text{Max}(TS_j, TG_j) + PT_j + \alpha GT_j$ 로 표현된다.

(2)  $TF_j \leq TG_j < TA_j$  인 경우

이 경우는 현재의 lot이 NOM 그룹 장비  $i$ 에서 blocking 당하는 경우이다.  $\Delta T_1$ 은 현재

의 lot이 NOM 그룹 장비  $j$ 의 가용한 port가 생길 때까지 기다리는 시간이다.

지금 출발지에서의 blocking 발생 예정 시간,  $TB_s$ , 가  $TB_s > T_{NOW} + \Delta T_1$  이면 AGV 출발을  $\Delta T_1$ 만큼 늦춘다. 그러면  $TT_j = TS_j + PT_j + \alpha GT_j$  가 된다. 그렇지 않다면 다음의 세가지 대안을 고려한다.

대안 1: Blocking 발생을 감수하고 장비로 직접 보냄

이 대안은 NOM 그룹 장비가 동일 bay에 있을 때 적용한다. 출발지 또는 도착지에서의 blocking 발생을 감수하고 목적지 장비로 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.  $TT_j$ 는  $TS_j + PT_j + \alpha GT_j + \gamma(T_{NOW} + \Delta T_1 - TB_s)$  가 된다.

대안 2: Stocker를 점유하여 바로 목적지로 보냄

이 대안은 NOM 그룹 장비가 인접 bay에 있을 때 적용한다. 출발지 또는 도착지에서의 blocking 발생을 감수하고 인접 bay에 있는 목적지 장비로 stocker를 점유하여 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.  $TT_j$ 는  $TS_j + PT_j + \alpha GT_j + \gamma(T_{NOW} + \Delta T_1 - TB_s)$  와 같다.

위에서  $GT_j$ 는 AGV 출발이  $T_{NOW}$ 가 아닌 다른 시간일 때, lot이 stocker를 점유하여 목적지까지 도착하는데 필요한 AGV 점유시간이다.  $(T_{NOW} + \Delta T_1 - TB_s)$ 의 의미는 대안 1의 경우와 동일하다.

대안 3: Stocker를 점유하여 대기한 후 목적지로 보냄

이 대안은 NOM 그룹 장비가 동일 bay와 인접 bay에 있을 때 모두 적용할 수 있다. 출발지에서 blocking이 발생되는 시점에서 출발지를 떠나 stocker로 간다. Stocker에서 도착지의 blocking 발생을 방지하는 시간동안 대기한

후 목적지로 향한다. 이 대안은 출발지 및 도착지에서 blocking은 방지하지만, AGV 점유 시간 및 stocker 점유시간은 증가한다.  $TT_i = \text{Max}(TS_i, TG'_i) + PT_i + \alpha GT'_i + \gamma ST_i$ , 단,  $ST_i = (T_{NOW} + \Delta T_1 - TB_s - (GT'_i - GT_i))^+$  이다.

위에서  $TG'_i$ 는 lot이 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 port가 생길 때까지 대기하는 시간이 발생할 수 있다.

(3)  $TG_i \leq TF_i$  인 경우( $TG_i$ 가 구역 d에 속하는 경우)

이 경우는 현재의 lot이 NOM 그룹 장비를 차지함으로써 여기로 오고자 하는 미래의 임의의 lot이 blocking 당하는 경우이다. 이 경우,  $TB_s > T_{NOW} + \Delta T_2$  이면  $TT_i = TS_i + PT_i + \alpha GT_i$ 가 된다. 그렇지 않다면 다음의 세 가지 대안을 고려한다.

대안 1: Blocking 발생을 감수하고 장비로 직접 보냄

이 대안은 NOM 그룹 장비가 동일 bay에 있을 경우에 적용한다. 출발지 또는 도착지에서 blocking 발생을 감수하고 목적지 장비로 lot을 직접 보낸다.

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 경우에는 임의의 lot이 목적지에서 대기하는 시간이며,  $T_{NOW} + \Delta T_2 - TB_s$  일 경우에는 현재의 lot이 목적지에서 대기하는 시간이다.

AGV 출발시간을  $T_{NOW} + \Delta T_2$ 로 두면 도착지에서 blocking 발생을 방지한다. 그러면 출발지에서의 blocking 발생으로 인한 대기시간은  $T_{NOW} + \Delta T_2 - TB_s$ 가 된다.

대안 2: Stocker를 경유하여 바로 목적지로 보냄

이 대안은 NOM 그룹 장비가 인접 bay에 있을 때 적용한다. 도착지에서 blocking 발생을 감수하고 인접 bay에 있는 목적지 장비로 stocker를 경유하여 직접 보낸다.

출발지 장비에서의 AGV 출발시간을  $TB_s$ 로 둘 때 AGV가 목적지 장비에 도착하는 시간에 따라 다음의 두가지 경우가 발생가능하다.

(경우 1)  $TF_i \leq TG'_i < TA_i$

이 경우는 목적지 장비에서 현재의 lot이 blocking 당하는 경우이다. 여기서  $TA'_i = TA_i + PT_i$ ,  $TS'_i = TS_i + PT_i$ 이며, 목적지 장비에서 현재의 lot이 blocking 당하여 대기하는 시간,  $\Delta T_1$ 은  $\Delta T_1 = TA_i - TG'_i$ 이다.

(경우 2)  $TG'_i < TF_i$

이 경우는 현재의 lot이 목적지 장비의 port를 차지함으로써 미래에 여기로 도착할 예정인 임의의 lot을 blocking하는 경우이다. 여기서 목적지 장비에서 임의의 lot이 blocking 당하여 대기하는 시간,  $\Delta T_2$ 는  $TA_i - TB'_i = TA_i - TF_i$ 이다.

대안 3: Stocker를 경유하여 대기한 후 목적지로 보냄

이 대안은 NOM 그룹 장비가 동일 bay와 인접 bay에 있을 때 모두 적용할 수 있으며,  $TF_i \leq TG_i < TA_i$  인 경우와 유사한 결과이다.  $TT_i = \text{Max}(TS_i, TG'_i) + PT_i + \alpha GT'_i + \gamma ST_i$ ,  $ST_i = (T_{NOW} + \Delta T_2 - TB_s - (GT'_i - GT_i))^+$  이다.

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

LRL은  $T_{NOW}$ 에서 현재 장비  $M$ 의 가용해진 port가 다음 가공을 위하여 lot을 선택하는 과정(Lot Selection Procedure)이다. 다음 가공 lot은 POM 그룹 장비들에서 현재 가공중인 lot들과, stocker에서 현장비로 오고자 대기하고 있는 lot들 중에서 선택된다.

POM 그룹 장비에서 현재 가공중인 lot을 선택하는 경우, POM에서 가공을 마치면 바로 AGV를 호출하여 현재 장비의 port로 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,  $T1$ 이 달라진다. 즉,  $T1 = (TG_M - TS_M)^+$ 으로 구해진다. 여기서  $TS_M$ 은 현재 장비의 starvation 시작시간이다. 한편, POM 그룹 장비에서 가공을 마친 lot이 port를 떠나지 않고

계속 점유하고 있으면, 이 장비로 오는 미래의 임의의 lot을 blocking할 수 있다. 이러한 blocking이 발생하기 이전에 lot을 떠나게 할 필요가 있으며, POM 그룹 장비들에서 blocking이 발생하는 시간,  $T_{B_i}$ 의 차이(빠르고 늦음)는 lot을 port로부터 떠나게 해야 하는 긴급한 정도의 차이가 된다. 따라서, POM 그룹의 각 장비들에 대해  $T_2 = T_{B_i} - \text{Min} T_{B_i}$ 를 구해 lot 선택 기준으로 삼는다.

한편, stocker로부터 lot을 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 lot을 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 loading을 완료하는 event들 중 첫번째 event의 발생시간,  $T_{NET}$ 까지의 차이로 구해진다. 즉,  $T_3 = T_{NET} - T_{NOW}$ 가 된다.

이와 같이, 가용해진 port의 load request를 처리하기 위해서,  $TT_i$ 를 최소로 하는 장비를 선택한다. 선택 결과는 POM 그룹의 장비 또는 stocker가 될 수 있다. 즉,  $TT_i = \alpha GT_i + \beta_1 T_1 + \beta_2 T_2 - \gamma T_3$ 이다.

## 5. 결론

본 논문은 유사한 기능을 가지는 동종의 장비들이 그룹을 형성하고 있는 반도체 제조라인에서 RTLAD(Real Time Look Ahead Dispatcher)를 위한 핵심 logic인 URL 및 LRL을 개발, 제시하였다. 이때 반송 장비의 가용성 및 미래의 계획 정보를 함께 고려하였다.

추후의 연구 과제로는 bay 및 room 형태 뿐만 아니라, stocker in line 방식의 설비 배치 형태에 적용될 수 있는 보다 정교한 logic의 개발과, MCS와의 통합 방안 개발 등을 들 수 있다.

## Acknowledgement

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.

(KRF 2002 042 D00136)

## 참고문헌

서정대, 장재진, 구평희 (2003), 반도체 및 LCD 제조 공정의 AGV controller 개발, 대

한산업공학회지, 29(1), pp. 1 13.

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.

Koo, P. H., Jang, J., and Suh, J. (2002), Determination of the number of vehicles in a dynamic transportation system, *The Fourth Asia Pacific Conference on Industrial Engineering and Management Systems(APIEMS)*, Taipei, pp. 577 580.

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. (2002), Development of a Look ahead AGV controller for a clean bay operation, *7th International Conference on Industrial Engineering*, Busan, pp. 148 151.