

반도체 및 LCD 생산시스템에서 현재 및 미래의 상태 정보를 활용한 AGV 운영 전략

서정대¹ · 장재진²

¹경원대학교 산업공학과 / ²한국의국어대학교 산업정보시스템공학부

An AGV control policy reflecting the current and future status information of a semiconductor and LCD production shop

Jungdae Suh¹ · Jaejin Jang²

Facilities are getting more automated and informative in modern manufacturing systems, especially in semiconductor and LCD plants. These systems keep a great deal of such information on its current and near-future status as the arrival time and job completion time of their parts.

This paper presents an efficient policy for AGV and part routing using information on the future status of the system where AGVs are playing a central role for material handling. Efficient control of AGVs is very important because AGV systems often become the bottleneck and limit the total production capacity of a very expensive plant. The cell controller records the future events chronologically in Next Event Schedule, and uses this list to determine to which place the AGVs and parts to be sent.

1. 서론

제조 시스템에서 제조 장비는 점차로 자동화되어 가고 있고, 이에 부응하여 물류 장비도 robot이나 AGV(Automatic Guided Vehicle)와 같이 점점 자동화되어 가고 있는데, FMS, 반도체 제조 라인, LCD 제조 라인 등이 그 예가 될 수 있다. 이러한 고도로 자동화된 시스템은 최신 컴퓨터 정보 기술을 이용하여 또한 고도로 정보화가 되어 있다. 최근의 제조 시스템에서는 인건비의 상승과, 가공물의 대형화, 오랜 시스템 가동시간(24시간/일) 등으로 이러한 자동화에 대한 투자가 증가하고 있는데, 반도체와 LCD 공정에서는 clean 환경에 대한 기술적 요구 사항 등이 또한 자동화, 정보화의 중요한 추가 요인이 된다.

일반적으로 이러한 시스템에는 거대한 투자가 필요한데, 제조 시스템의 효율적 운영은 제조 경쟁력에 크게 기여한다. 특히 수요가 공급을 초과하고 신규 경쟁자가 시장에 나타나기 전까지의 짧고 급박한 상황에서는 제조 시스템의 신규 건설은 오랜 시간이 소요되어 그 대응이 효율적이지 못한 데 비하여 software적인 대응은 좋은 대안이 된다. 특히 최근에는 반도체나 LCD 제조 공정 기술이 점차로 성숙되고 보편화되고 있는

데, 이에 따라 제품의 수율과 함께 제조 생산성은 그 경쟁력의 중요한 부분을 차지하고 있다.

한편, 이러한 자동화 시스템은 인간 중심의 시스템에 비하여, 그 유연성(flexibility)이 부족하고, 지능(intelligence)도 부족하므로, 그 제어 방법에 매우 세심한 주의가 필요하다. 특히 자동화 시스템에 대해서는 사람과 시스템의 접촉 기회가 작아지므로, 시스템 운영에 대한 면밀한 관찰이 더욱 중요하게 된다.

본 논문은 AGV의 물류 capacity가 그 제조 시스템의 생산성에 매우 중요한 역할을 하는 제조 시스템에서 AGV에 의한 물류 흐름의 개선에 초점을 맞춘다. 본 연구는 설비 투자가 약 1조원 가까이 소요되는 LCD와 반도체 제조 공장을 참조로 하는데, 이러한 제조 시스템에서는 물류의 개선을 위하여 추가의 AGV를 투입하여도 traffic congestion으로 인하여 소기의 효과는 기대하기 어려운 상황에 있다. 이러한 경우의 가장 좋은 대안은 AGV 사용 요구량을 줄이는 것이 될 것이다.

본 논문에서 제안하는 LACP(Look-ahead AGV Control Procedure)는 AGV의 travel-to-load와 travel-to-unload 시간을 줄여서 제조 시스템의 생산성을 높인다. 더욱 구체적으로, LACP는 부품의 가공이 완료되었을 때에, 이 부품이 다음으로 갈 곳이 다음 가공 설비인지, 또는 central buffer로 표시되는 임시 저장소인지를

결정(destination selection procedure)하며, 또한 각 설비의 input buffer에 가용한 자리가 생겼을 때에, 새로운 부품을 이전의 가공 설비에서 갖고 와야 할지, 또는 central buffer에서 갖고 와야 할지(source selection procedure)를 결정한다.

본 논문은 LCD 제조 현장을 참조하였으나, 같은 개념이 반도체 공장, FMS 현장, 또는 AGV가 물류의 핵심 역할을 담당하고 있는 하역 부두나 기타의 제조/서비스 현장에 사용될 수 있다.

2. Clean Bay에서의 작업

본 논문에서 참조된 제조시스템은 여러 개의 clean bay로 구성된 LCD 라인이다. 점차로 가볍고 얇은 화면 장치에 대한 요구로 LCD에 대한 수요는 점차 늘고 있다. LCD의 기본 공정은 cleaning, deposition, photo, ADT test, etching, strip, and ACI test로서 이는 반도체 공정과 비슷하다. 각 bay에서 각 유리는 몇 개의 설비를 거치게 된다. 이러한 전체의 공정은 몇 단계를 반복하여 필요한 수만큼의 층을 구성하게 된다. 대부분의 bay에는 하나의 AGV loop와 이를 이용하는 복수 개의 AGV가 있고 각 AGV loop는 이동 거리를 줄이기 위한 by-pass가 있다(<그림 1> 참조). 근래까지는 단방향 AGV가 많이 사용되었으나, 최근에는 양방향 AGV가 많이 사용되고 있다.

각각의 설비는 하나의 buffer(local queue)를 갖고 있고, 각 bay에는 central buffer가 부품의 임시 저장 기능을 제공한다. 일반적으로 큰 buffer가 제조에 도움을 주나, clean space의 건설, 운영 비용을 줄이기 위하여 최소한의 공간만 각 설비와 bay에 주어져 buffer의 용량은 매우 제한적이다. 또한 더 넓은 공간은 AGV의 운행 거리를 증대시킨다.

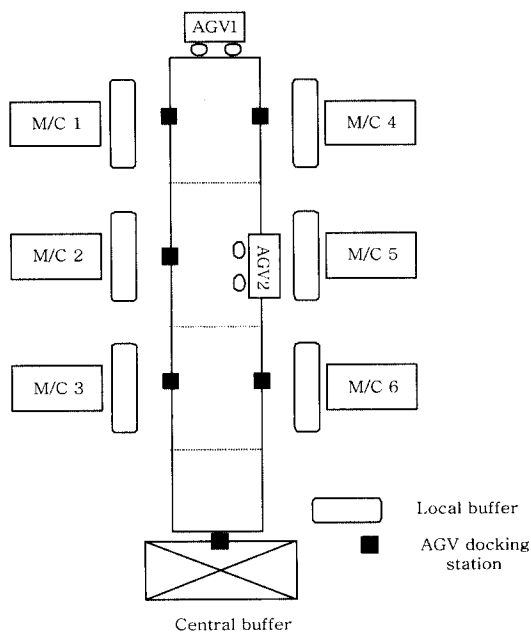


그림 1. LCD와 반도체 생산을 위한 Bay.

일반적으로 central queue를 갖는 것이 제조 시스템의 생산성 증대를 위해서 여러 개의 local queue를 갖는 것보다 유리하다. 그러나 부품의 이동을 고려하면, local queue의 사용이 더욱 필요할 수 있다. 일반적으로 central queue의 사용은 다음의 증가를 초래한다.

- (i) AGV 운행 시간(time for travel-to-loading and travel-to-unloading)
- (ii) Central queue의 주변 설비 사용
- (iii) AGV 교통량. 이는 AGV path나 loading and unloading port에서 다른 AGV의 운행을 방해할 수 있다.

각각의 유리가 현재는 cassette에 넣어져서 운반이 되고 있으나, 앞으로 점차 그 크기가 커지면, 각각의 유리가 개별적으로 운송이 될 것으로 기대가 되며, 이러한 경우에는 bay 내부의 물류의 이동이 더욱 중요한 비중을 차지할 것이다.

3. 기존의 연구

제한된 수의 AGV를 물류 이동 장비로 사용하는 시스템에서는 part의 이동 요구를 모두 만족시키지 못해 많은 경우에 AGV가 bottleneck이 된다. AGV 시스템의 효율성에 영향을 주는 요인들은 AGV routing 및 scheduling 문제 외에도 많은 요인들이 있다.

AGV routing을 위해 Taghaboni-Dutta and Tanchoco(1995)는 dynamic 접근 방법을 제시하고 simulation을 사용하여 effectiveness를 구했다. 여러 개의 non-overlapping closed loop으로 구성되어 있고 각 loop은 하나의 vehicle에 의해 서비스되는 AGV 시스템에서 Lin and Dgen(1994)은 source로부터 destination까지 다른 active travel schedule을 방해하지 않고 가능한 한 빠른 route를 찾고자 했으며, 이를 위해 두 개의 policies를 제시하고 서로 비교했다. FMS 환경에서 AGV routing을 위해 Ulusoy and Bilge(1993)는 AGV routing을 전반적인 scheduling 활동들과 통합하여 다루었다. 전체 문제를 두 개의 부분 문제로 나누어 먼저 machine scheduling과 vehicle scheduling 문제의 해를 구해 전체 문제를 위한 반복 heuristic 기법에 이를 이용하였다. Langevin *et al.*(1996)은 FMS 환경에서 AGV의 dispatching, conflict-free routing, 그리고 scheduling을 위한 새로운 기법을 제시했다. 전통적인 방법처럼 각 문제들을 순차적으로 푸는 대신 통합하는 방식으로 dynamic programming을 적용하여 해를 구하고 결과를 분석했다. 그리고 state space의 크기를 줄이기 위해 세 가지 dominance criteria를 사용했다. 그리고 Smith and Sarin(1992)은 유연 제조 환경에서 AGV의 dispatching과 routing을 위한 실시간 프로그램을 개발했다. AGV는 양방향 guide path를 따른다고 가정하고 여러 가지 주어진 조건들에서 사용될 AGV와 그에 따른 경로를 결정하고 몇 가지 실험 결과를 제시했다.

본 논문에서 제안하는 절차는 Look-Ahead 기법을 사용한다. Look-Ahead 기법은 현재의 현장 정보와 더불어 가까운 미래의

상태 정보를 예측(또는 계산)하여 사용하거나, 현재 부품의 목적지, 또는 그 다음의 목적지의 정보를 이용한다.

현재까지의 대부분의 절차는 어떠한 구체적인 의사결정 시점에서 그 시스템의 장기적인 평균 반응에 대한 정보를 사용하는 한계를 지니고 있다. 그러나 최근의 자동화, 정보화된 현장에서는 현장의 실시간 정보를 제공하여 주고, 미래의 정보까지도 look-ahead를 할 수 있게 한다. 일반적으로 look-ahead는 부품이 현재의 공정을 맡을 설비의 다음 방문 설비를 고려하는 공간상의 look-ahead가 주로 연구되었다. 그러나 근래에 미래의 상태를 look-ahead하여 그 정보를 사용하는 연구가 점차로 많이 이루어지고 있다.

Koulamas and Smith (1988)는 복수 개의 설비를 동시에 관리하는 작업자에게 설비가 동시에 서비스를 요청하지 않게 하는 부품의 loading 전략을 look-ahead 기법을 이용하여 제시하였다. Zeestraten (1990)은 routing flexibility가 있는 job shop에서 최소 makespan 문제를 해결하기 위하여 평균 cycle 시간의 두 배 정도의 시간 내의 시스템의 미래 상태 정보를 이용하여 일반 절차보다 새로운 절차가 항상 나은 결과를 제공함을 보였다. Glassey and Wang (1991)은 개별 부품이 배치 단위로 처리될 수 있도록 기계가 부품의 도착을 기다리는 배치 생산 시스템을 고려하여, 미래의 부품 도착이 배치 크기를 초과할 때까지 부품의 도착을 기다리는 최소 배치 크기 정책을 제안하였다. Engell, Kuhn and Moser (1990)은 one-step look-ahead 방법을 이용하여 대기중인 부품을 고르는 절차를 제시하였다. 여기서는 본 설비의 다음 방문지가 되는 설비의 작업량을 고려하였다. Doulgeri, Hibberd and Husband (1987)는 non-delay schedule을 생성한 후, look-ahead 기법을 이용하여 여러 자원의 충돌을 예방하는 방법을 제안하였다. 여기서는 non-delay schedule에 대하여 full enumeration을 하였다. Vepsalainen and Morton (1987)은 tardiness minimization problem에 대하여, Apparent Tardiness Cost (ATC) rule 이라고 하는 dispatching rule을 제시하였다. 여기서는 look-ahead factor를 이용하여 현장의 복잡도를 반영하였다. Smith and Stecke (1996)는 기계가 실제로 가용해질 때까지 부품이 들어가 고자 할 입력 버퍼의 선택을 미루는 룰을 모델화하였다. Jang and Suh(2000)는 여러 대의 기계들로 구성된 단일 스테이션(single-station), 단일 스테이지(single-stage)의 생산 시스템에 대하여 FCFA(First Come First Assigned), FCFS(First Come First Served), 그리고 3-step look-ahead 룰을 사용하여 그 적용 효과를 제시하였다. Chand, Traub, and Uzsoy (1997)는 미래의 부품의 도착을 고려하여, 하나의 설비에서 전체 부품 completion time을 최소화하는 rolling horizon procedures를 제안하였다.

4. Look-Ahead AGV Control Procedure (LACP)

4.1 기본 개념

LACP는 AGV에 의해서 설비 간의 부품 운송이 이루어지는

제조 시스템에서 부품의 routing을 위한 절차이다. LACP는 어느 부품의 가공이 완료되었을 때에 이 부품의 다음 이송 목적지(destination)를 결정하거나, 설비의 local buffer에서 하나의 부품이 떠났을 때, 이 빈 곳으로 보내져야 하는 다음 부품(그리고 이들 부품이 현재 위치하고 있는 출발 설비, 즉 source)을 결정한다. 또한 LACP는 이와 동시에, 이들의 운송을 위한 AGV 호출 시간도 함께 결정한다. 여기서 목적지와 출발 설비는 가공 설비, 또는 bay 내부에서 모든 부품이 공용으로 사용할 수 있는 임시 저장소(central buffer)이다.

LACP의 목적은 bay 내에서 AGV의 이동량을 줄여 제품의 flow time을 줄이고, throughput을 증가시키는 것이며 이를 위하여 LACP는 look-ahead를 통하여 얻어진, 가까운 미래의 부품들의 작업 완료 시간과 부품들의 도착 시간 등의 정보를 이용한다. LACP는 실제로 bay 내부의 물류가 bottleneck이 되는 시스템에서 유용하게 사용될 수 있는데, 현재의 반도체 관련 업계의 일반적인 경향은 점차 wafer와 LCD glass의 크기가 커져서 bay 내부의 물류의 중요성이 더욱 증가하고 있는 실정이다. LACP는 크게 destination selection procedure와 source selection procedure로 구성되어 있다.

한 설비에서 부품이 가공 완료되고 다음 가공을 위한 설비(next operation machine)의 buffer가 가용하지 않을 때 destination selection procedure가 사용된다. 이 절차는 부품의 목적지를 next operation machine과 central buffer 중에서 선택한다. 만일 next operation machine의 local buffer가 가용하면 이 부품은 이 local buffer를 예약하고 즉시 AGV를 호출한다. 그러나 next operation machine의 local buffer가 가용하지 않으면 현재의 설비에서 가공을 마친 부품은 (i) 현재 시간에 AGV를 불러 next operation machine으로 출발하든가, (ii) 현재의 설비에서 어느 정도 대기한 후 AGV를 호출하여 next operation machine으로 가든가 또는 (iii) 임시 저장을 위하여 바로 AGV를 호출하여 central buffer로 가는 것 중 하나를 선택한다.

한편 어느 설비의 local buffer에 추가로 가용한 공간이 생기면 여기로 오고자 하는 부품들 중 하나를 선택하는 source selection procedure가 사용된다. 부품의 source로는 central buffer와 previous operation machine(즉, 현재 설비에서 가공중인 부품의 다음 공정)이 방금 buffer가 가용해진 설비(들)들이 고려된다. 만약 central buffer에 저장중인 부품들 중 하나가 선택되면 이 부품은 가용해진 buffer로 보내지기 위하여 즉시 AGV를 호출한다. 만약 previous operation machine에서 부품이 선택되면 이 부품은 즉시 목적지의 buffer 공간을 예약하며, previous operation machine에서 자신의 가공이 끝날 때 바로 AGV를 호출한다.

부품이 central buffer를 많이 쓰게 되면 bay 내부의 AGV 이용 요구량과 통행량, 그리고 central buffer의 사용 요구량 등이 증가되어 제조 시스템의 처리 능력이 줄고 재고와 제품의 flow time이 증대된다. Destination selection과 source selection에 따른 효과들이 <표 1>에 나타나 있다.

표 1. Destination selection과 source selection의 효과

	Decision	Merit	Demerit
Destination Selection	To central buffer	출발지에서의 No blocking	AGV 사용량의 증대 Central buffer 자원의 추가 사용 Guide path의 혼잡도 증대
	To next machine	AGV 사용량의 감소	출발지에서의 blocking 가능성
Source Selection	From central buffer	Local buffer의 starvation 방지	AGV 사용량의 증대 Central buffer 자원의 추가 사용 Guide path의 혼잡도 증대
	From previous machine	AGV 사용량의 감소	출발지에서의 blocking 가능성

4.2 기본 가정

본 논문에서 개발된 LACP는 LCD 제조 공정을 우선 적용 대상으로 하며, 다음과 같은 시스템 환경을 대상으로 개발되었다. 반도체 공정은 일반적으로 하나의 AGV가 여러 개의 cassette (부품)를 운반하므로 별도의 scheduling 문제가 고려되어야 한다.

- (1) 하나의 bay에서 주어진 공정을 담당할 수 있는 설비는 오직 하나이다. 실제로 같은 bay에 복수 개의 같은 설비가 존재할 수 있으나, 본 연구에서는 LACP의 기본적인 특징에 초점을 맞추어 대상 범위를 축소한다.
- (2) 한 설비는 동시에 한 개의 부품만 가공한다. 본문에서 하나의 부품은 하나의 cassette를 말한다. 하나의 cassette에는 여러 장의 glass 또는 wafer가 있고, 많은 가공 설비들이 각각의 glass 또는 wafer 단위로 작업을 처리하므로, 실제로는 하나의 설비에 복수 개의 부품이 있을 수 있으나, 본 논문에서는 논의의 간편성을 위하여 동시에 하나의 부품만 가공하는 것으로 가정한다. 이 가정은 실제로 LACP를 현장에 적용할 때에 쉽게 수정될 수 있다.
- (3) 모든 설비에서 input buffer와 output buffer는 분리하여 사용하지 않으며, 가공 동안에 부품은 buffer space를 차지하고 있다. 실제 시스템에서는 LCD 제조 장비 등의 대형화로 input buffer와 output buffer를 분리하여 운영하는 경우가 많이 있으나, 본 연구에서는 통합된 buffer만 고려하였다.
- (4) 각 설비는 하나의 local buffer를 갖고 있으며, 각 local buffer는 loading과 unloading을 위하여 한 개의 AGV docking station을 갖고 있다. 일반적으로 clean room에서는 건설, 운영 비용의 절감을 위하여 local buffer에 많은 공간을 할당하지 않는다.
- (5) Bay의 central buffer는 1개이며 용량은 충분히 크다. 그리고 bay로 들어가고 나오는 모든 부품들은 이 central buffer를 경유한다.
- (6) AGV나 설비의 고장 등의 돌발적인 일이 일어나지 않는다.
- (7) AGV 충전 시간은 고려하지 않는다. 대체로 AGV는 loading과 unloading 중에 동시에 충전을 한다.

또한 LACP는 look-ahead 정보를 사용하는데, look-ahead를 하는 정도는 LACP의 복잡도에 큰 영향을 미치게 된다. LACP에서 사용하는 look-ahead 정도는 4.3절에서 설명된다. 일반적인 경우를 모두 고려하는 look-ahead 절차는 매우 복잡할 수 있으므로, 본 연구의 LACP는 다음과 같은 가정과 원칙으로 운영된다.

- (1) 부품의 목적지는 그 부품의 가공이 끝난 시점에 destination selection procedure에 의해서 결정한다. AGV를 호출하기 위한 시간도 이때에 결정된다. 이 경우의 하나의 예외적인 경우는, 부품의 목적지가 source selection procedure에 의하여 결정되는 경우이다. Source selection procedure는 부품이 buffer를 떠나, 이곳에 빈 여유 공간이 생길 경우에 수행된다. Source selection procedure는 source machine과 부품을 결정하면, 즉시 목적지 buffer를 예약하나, 다만 AGV 호출은 실제로 현재의 설비에서 이 부품의 가공이 끝난 후 실시한다.
- (2) AGV 호출시 가장 가까운 가용한 AGV가 할당되고, buffer의 queue discipline으로는 FCFS가 사용된다.
- (3) 미래 시점에서 가용한 AGV 운행 시간은 정확히 계산되지 않으며 LACP는 예측값을 이용한다.
- (4) AGV blocking은 일반적으로 상세한 path planning에서 고려하는데, LACP에서는 이를 고려하지 않는다. 또한 AGV 충전도 고려하지 않는다.

LACP에서 사용된 기호들은 다음과 같다.

- T_0 : 현재시간
 P : 방금 가공을 끝마친 부품
 M : 방금 P 의 가공을 마친 설비(destination selection procedure 경우) 또는 방금 P 가 local buffer를 떠나 이곳에 여유 공간이 생긴 설비(source selection procedure)
 N : P 의 다음 가공 설비(destination selection procedure에서만 사용됨)
 B_m : 설비 m 의 local buffer
 C : central buffer

- PI : M 에 도착되는 부품의 집합 (destination selection procedure에서만 사용됨)
- PO : M 에서 가공을 마치고 떠나기를 기다리는 부품의 집합
- W_m : 설비 m 에서 가공을 기다리고 있는 부품
- O_m : 설비 m 에서 가공중인 부품 (O_m 은 W_m 과는 다른 부품임)
- TB_m : 설비 m 의 추정된 blocking 개시 시각
- TAM : 설비 m 의 추정된 buffer 가용 개시 시각
- TS_m : 설비 m 의 추정된 starvation 개시 시각
- SM_m : 부품이 다음으로 m 으로 오려고 하는 설비의 집합
- PT_{pm} : 부품 p 의 설비 m 에서의 가공시간
- CT_{pm} : 부품 p 의 설비 m 에서의 가공 종료 시각
- TR_{mn} : 설비 m 에서 설비 n 으로의 AGV 주행 시간
- T_L : loading (buffer에서 AGV로의 운송) 시간
- T_U : unloading (AGV에서 buffer로의 운송) 시간
- TI_m : 설비 m 으로 첫번째로 도착하는 부품의 도착시각
- TC_m : central buffer에서 설비로의 가장 빠른 부품 도착시각
- EB_m : 설비 m 의 buffer의 빈 buffer 공간(이것은 시간의 함수임)
- T_p : 부품 p 의 운송을 위한 AGV 호출시간

<그림 2>는 위에서 정의된 일부 변수들을 보여 주고 있다.

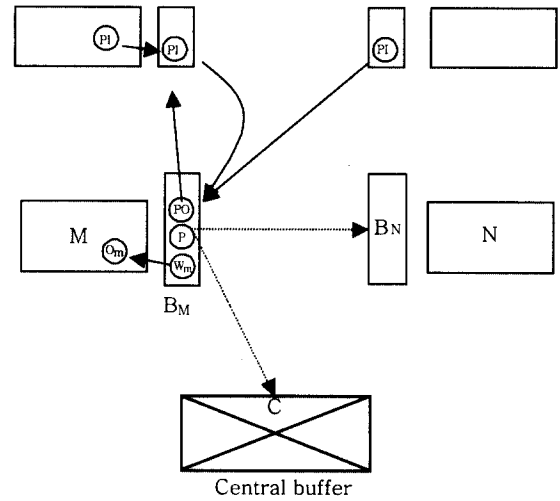
Routing 문제와 더불어 AGV 시스템의 효율적인 운영을 위해서는 path planning (Kim, 1991), deadlock avoidance (Lawley et al., 1997; Viswanadham et al., 1990; Wysk et al., 1994), 그리고 control software design과 같은 영역의 문제들에 대한 분석이 필요하다. 그러나 이러한 문제들은 각각이 또 다른 독립된 큰 문제들로서 본 연구에서는 다루지 않는다.

4.3 상세 절차

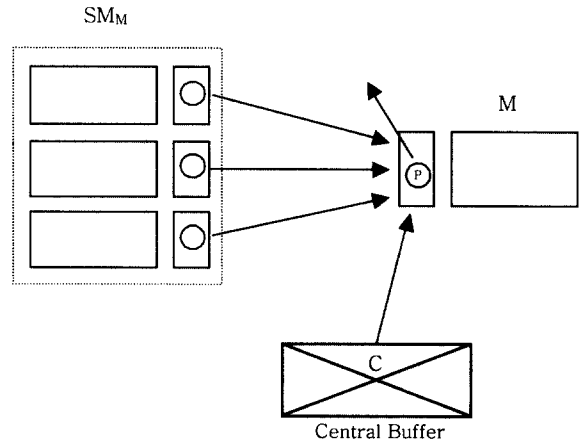
4.3.1 Destination selection procedure

현재 시각, T_0 에 설비 M 에서 부품 P 의 가공이 완료되었다고 하자. P 의 모든 작업들이 완료되었으면 P 는 central buffer를 통하여 bay를 떠난다. 그렇지 않으면 P 는 다음 요소 작업을 위하여 next operation machine인 N 으로 가야 한다. 이때 N 의 buffer, B_N 이 가용하면, 즉 B_N 에 다른 부품에 의해 점유되거나 예약되지 않은 공간이 있으면, P 는 B_N 을 예약하고 T_0 시점에서 AGV를 호출한다(단, 여러 가지 상황을 종합적으로 고려하여 T_0 보다 얼마간 후에 P 가 AGV를 부르는 것을 LACP에서는 배제하지 않는다).

한편 LACP는 B_N 이 가용하지 않을 때 P 를 즉시 central buffer, C 로 보내는 대신 look-ahead 개념을 적용하여 N 과 central buffer, C 사이에서 P 가 다음 목적지를 선정하게 한다. 즉, P 는 즉시 C 로 가는 것이 아니라 B_M 에서 어느 정도 기다리더라도 곧바로 N 으로 갈 수 있는지를 결정하며 AGV를 호출하는 시간도 같이 결정한다. 시각 T_0 에서 B_N 이 가용하지 않다고 가정하자. 이때 P 를 즉시 C 로 보내지 않고 B_N 이 가용해진 후에 N 으로 보내기 위해 B_M 에서 기다리게 할 경우에 다음 세 개의 제약 조건을



(a) Destination selection



(b) Source selection

(실선 화살표는 결정된 목적지를, 점선 화살표는 가능한 목적지를 나타냄)

그림 2. Clean bay에서의 part 이동.

고려할 필요가 있다.

(1) 출발지에서의 blocking 방지 제약 조건

P 가 B_M 을 계속 차지하고 있으면, P 가 다음에 B_M 으로 오고자 하는 다른 부품들을 blocking할 수 있다. 따라서 M 의 관점에서 볼 때, P 는 blocking이 발생하는 시간 이전에는 B_M 을 떠나주어야 한다. M 에서 blocking이 발생하는 예상 시간 TB_M 은 T_0 시점으로부터 미래의 사건들을 look-ahead하여 M 으로 들어올 예정인 부품들과 M 에서 다른 곳으로 나가고자 하는 부품들을 고려하여 결정한다.

지금 <그림 3>처럼 설비 M 의 buffer의 총용량이 4이고, $T = 0$ 에서 $P1$ 과 $P2$ 가 buffer를 점유하고 있다고 생각하자. 그러면 T_0 에서 B_M 의 가용한 용량, EB_M 은 2가 되고, $T = 10$ 에서 $P3$ 가 도착하고 $T = 20$ 에서 $P4$ 가 도착하면 $EB_M = 0$ 이 된다. 이와 같이 할 때에, $T = 50$ 에서 새로운 $P6$ 가 도착하면 B_M 이 더

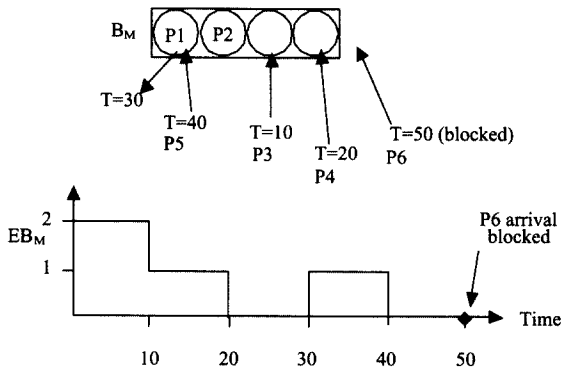


그림 3. PI 유형 part들과 PO 유형 part들을 look-ahead하여 blocking 시간(◆)을 결정하는 예.

이상 가용하지 않기 때문에 P6는 block되며 M에서 blocking이 발생하는 예상 시간, T_{B_M} 은 50이 된다.

출발지의 blocking 방지 조건에서, B_M 으로 들어오려는 부품들, P는 B_M 을 예약한 모든 부품들을 포함한다. 이러한 부품들은 현재 시점 T_0 에서 반드시 B_M 에 있어야 되는 것은 아니다. 이 PI 부품들은 central buffer, AGV, 다른 설비의 local buffer에 있거나 또한 이전 설비에서 가공중일 수도 있다. LACP는 PI가 B_M 을 예약한 후에 AGV를 할당하므로, 어떠한 주어진 시간에는 PI 부품에 대한 AGV 할당이 언제 이루어질지, 또는 언제 AGV가 이 부품을 운송하게 될지의 결정이 아직 되어 있지 않을 수도 있기 때문에 PI에 속한 부품이 M에 도착하는 정확한 시간은 미리 알 수 없다. 또한 실제 AGV에 의한 운송시에 AGV path segment의 실제 상황도 불확실하다. LACP는 T_0 에서 P에 대한 routing결정을 할 때 PI에 속한 부품들의 추정된 미래 도착 시간들을 사용한다.

B_M 에서 나가는 부품들, PO로는 본 설비에서 가공을 마치고 아직 buffer에 있는 부품들을 고려한다. T_0 에 B_M 에서 아직 가공 대기 상태에 있는 부품들, W_M 은 아직 M의 출발 시각과 AGV 호출 시각이 결정되지 않았으므로 고려하지 않는다.

P가 T_{B_M} 이전에 B_M 을 떠나기 위해서는 AGV 운행 시간과 loading 시간을 고려하여, P는 늦어도 식 (1)에서 구한 T_1 시점 이전에 AGV를 호출해야 한다.

$$T_1 = \max\{0, T_{B_M} - T_L - TR_{XM}\} \quad (1)$$

여기서 TR_{XM} 은 AGV가 임의의 지점 X에서 M으로 이동하는 데 걸리는 추정 시간이다. 본 논문에서는AGV가 M과 C의 중간 지점에서 출발하는 것으로 가정한다. 그리고 AGV는 호출 즉시 X에서 출발할 수 있는 상태에 있다는 것을 가정한다.

설비 M에서 blocking 방지 제약조건을 만족시키는 P의 AGV 호출 시간을 T_{PIM} 이라 하면 T_{PIM} 은 식 (2)와 <그림 4(a)>에서와 같이 T_0 와 T_1 사이의 시간이 되어야 한다.

$$T_{PIM} \in [T_0, T_1] \quad (2)$$

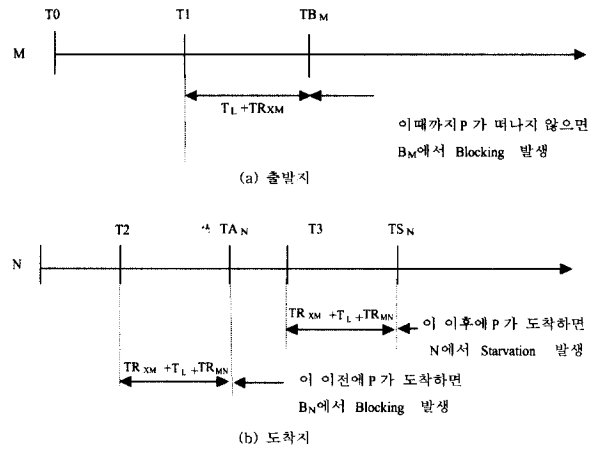


그림 4. M과 N에서 T_1, T_2, T_3 의 계산.

(2) 도착지에서의 blocking 방지 제약 조건

P가 N으로 너무 일찍 출발하면 B_N 의 상태에 따라서 P가 N에서 blocking당할 수 있으므로, P는 일정한 시간 이후에 M을 출발하여야 한다.

이 절차에서는 B_N 을 점유 또는 예약한 부품들을 고려하는데, B_N 이 이들에 의하여 모두 점유되어 있으면 blocking이 발생될 수 있다. Blocking이 발생한 경우, 현재 B_N 을 점유하고 있는 부품들 중 하나가 미래의 어느 시점에서 이곳을 떠나게 되면 (즉, AGV에 loading을 완료하면) 이 시점이 T_{A_N} , 즉 설비 N의 buffer가 가용해지는 시간이 된다. 이 T_{A_N} 시점부터 B_N 은 부품을 받을 수 있게 된다. 즉, P는 빨라야 T_{A_N} 이후에 B_N 에 unloading할 수 있다. 여기서 B_N 을 떠나는 부품으로는 가공이 완료된 부품과 현재 가공중인 부품을 고려한다. 아직 가공 대기중인 부품과 B_N 을 예약하고 있는 부품(B_N 의 현재 상태와는 관계없이)은 장시간 후에야 설비를 떠나므로 고려하지 않는다.

T_2 를 B_N 이 가용해질 때에 맞춘 P의 AGV 호출 시간이라 하면 이는 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$T_2 = \max\{0, T_{A_N} - TR_{XM} - T_L - TR_{MN}\} \quad (3)$$

여기서 TR_{XM} 은 식 (1)의 경우와 같이 AGV가 임의의 지점 X에서 M으로 이동하는 데 걸리는 추정 시간이며, TR_{XM} 값은 식 (1)의 경우와 동일하게 계산한다. 마찬가지로 AGV는 호출 즉시 X지점에서 출발할 수 있는 상태에 있다는 것을 가정한다.

(3) 도착지에서의 starving 방지 제약 조건

P는 B_N 이 가용하면 그때부터 이곳으로 올 수 있다. 그러나 바로 N으로 오지 않고 계속 B_M 에 있을 경우, N에서는 더 이상 가공할 부품이 없어 starving 현상이 발생할 수 있다. 따라서 N의 관점에서 볼 때, P는 늦어도 N에서 starving이 발생하는 시간, T_{S_N} 이전까지 B_N 으로 와 주어야 한다. N에서 starving이 발생하는 예상 시간, T_{S_N} 은 T_{B_M} 과 마찬가지로 T_0 시점으로부터 미래의 event들을 look-ahead하여 B_N 으로 들어올 예정인 부

품들과 B_N 에서 다른 곳으로 가고자 하는 부품들을 고려하여 결정한다. 들어올 예정인 부품으로는 이 buffer를 이미 예약하였거나 이전 설비에서 현재 가공중인 부품들이 있다. 나갈 예정인 부품들로는 N 에서 현재 가공이 완료된 부품이 있으며, N 에서 현재 가공중인 부품과 가공을 대기중인 부품을 같이 고려한다.

T_3 를 N 의 starving을 막기 위한 AGV 호출 시간이라 하면 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$T_3 = \max\{0, TS_N - TR_{XM} - T_L - TR_{MN}\} \quad (4)$$

여기서 TR_{XM} 은 식 (1), 식 (3)의 경우와 같으며, AGV는 호출 즉시 X 지점에서 출발할 수 있는 상태에 있다는 것을 가정한다.

TR_{XM} 또는 TR_{XN} 은 미래에 발생할 AGV의 이동에 대한 추정시간으로, 현재 시점에서는 미래의 X 의 정확한 위치를 추정할 수밖에 없다. 따라서 TR_{XM} 또는 TR_{XN} 을 사용하는 TB_M , TA_N , 그리고 TS_N 들도 추정시간이 되며, 이로 인하여 T_1 , T_2 , 그리고 T_3 역시 추정시간이 된다. 이때 X 의 위치를 어느 지점으로 설정하는가에 따라 P 의 목적지와 AGV 호출 시간 결정에 영향을 미친다.

지금 T_1 을 생각해 보자. T_1 은 TR_{XM} 에 영향을 받으며, 출발지에서의 blocking 방지 조건과 관련된 uncertainty의 영향을 줄이기 위해서는, T_1 은 가능한 한 이른 시각이 되어야 하며, 이는 다시 말해 TR_{XM} 은 최대값이 되어야 함을 의미한다. 지금 설비 m 에서 가장 멀리 떨어진 설비(central buffer 포함)를 D_m 이라고 하면, $X = D_m$ 이 된다. 마찬가지로 T_2 계산시 uncertainty의 영향을 줄이기 위해서는 TR_{XM} 은 최소값이 되어야 하며, $X = M$ 이 된다. T_3 의 경우, TR_{XM} 은 최대값이 되어야 하고 $X = D_m$ 이 된다. 위의 경우들은 uncertainty에 대한 영향을 최소로 하고자 하는 가장 보수적인 입장에서의 X 의 위치 결정 방법들이라고 볼 수 있다.

설비 N 에서 blocking과 starving 방지 제약 조건을 만족시키는 P 의 AGV 호출 시간을 $T_{P/N}$ 이라 하자. $T_2 \leq T_3$ 라면 $T_{P/N}$ 은 식 (5)와 같이 되어야 한다. 한편, 비어 있는 buffer에 하나의 부품이 도착하여 buffer의 마지막 가용한 공간이 없다면, 이 buffer는 blocking이 된다. 이 때, 이 마지막 부품의 가공이 종료될 때까지 다른 부품들이 buffer를 떠나지 않으면, 이 설비는 이 때부터 starvation이 시작되어 $T_3 < T_2$ 가 된다. 이 경우 $T_{P/N}$ 은 식 (6)과 같이 된다. <그림 4(b)>에 T_2 와 T_3 의 계산과정이 나와 있다.

$$T_{P/N} \in [T_2, T_3] \quad \text{if } T_2 \leq T_3 \quad (5)$$

$$T_{P/N} = T_2 \quad \text{if } T_3 < T_2 \quad (6)$$

Destination selection procedure에서는 $T_{P/M}$ 과 $T_{P/N}$ 을 동시에 고려하여 P 의 목적지와 AGV 호출 시간을 결정한다. $T_{P/M}$ 과 $T_{P/N}$ 을 식 (2), (5), (6)과 같이 구하여 표시해 보면 <그림 5>와 같이 다섯 가지 경우로 구분된다. 각 경우에 대하여 P 의 목적지와 P 의 가장 빠른 AGV 호출 시간(TE_P), 그리고 P 의 가장 늦

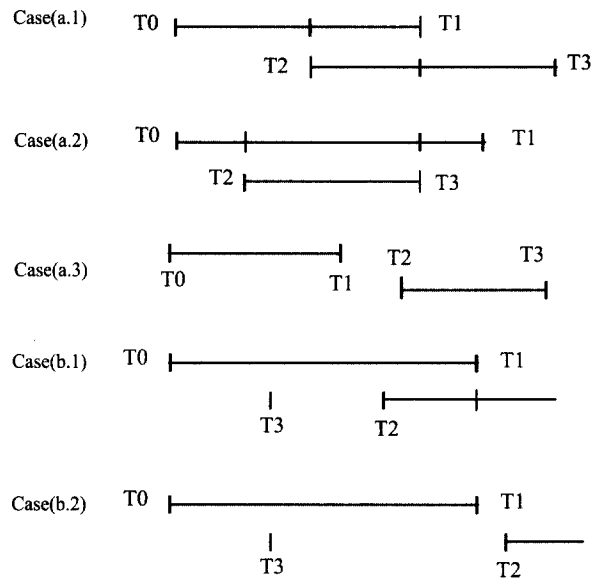


그림 5. P 의 목적지와 AGV 호출 시간 결정.

은 AGV 호출 시간(TL_P)을 결정한다.

(a) Case 1: $T_2 \leq T_3$

(a.1) $T_2 \leq T_1$ and $T_1 \leq T_3$

P 의 목적지 = N , $T_P \in [T_2, T_1]$

(a.2) $T_2 \leq T_2$ and $T_3 < T_1$

P 의 목적지 = N , $T_P \in [T_2, T_3]$

(a.3) $T_1 < T_2$

P 의 목적지 = C , $T_P = T_0$

이 경우는, 도착 설비의 buffer가 가용할 때까지 부품이 현재의 설비에서 기다리면, 현재의 설비에서 blocking이 발생하므로 현재 시간에 부품은 central buffer로 보내진다.

(b) Case 2: $T_3 < T_2$

이 경우는 도착 설비에서 starvation이 발생한다.

(b.1) $T_2 \leq T_1$

P 의 목적지 = N , $T_P = T_2$

(b.2) $T_1 < T_2$

P 의 목적지 = C , $T_P = T_0$

이 경우는, Case 1의 (a.3)의 경우와 같다.

Destination selection procedure를 정리하면 다음과 같다.

Destination selection procedure

(1) T_1 , T_2 , 그리고 T_3 를 계산한다.

(2) P 의 목적지와 AGV 호출 시간(T_P)을 계산한다.

Case 1: $T_2 \leq T_3$

($T_2 \leq T_1$ and $T_1 \leq T_3$)이면 목적지 = N ,

$T_P \in [T_2, T_1]$.

$(T2 \leq T1 \text{ and } T3 < T1)$ 이면 목적지 = N ,
 $T_p \in [T2, T3]$.
 $(T1 < T2)$ 이면 목적지 = $C, T_p = T0$.
 Case 2 : $T3 < T2$
 $(T2 \leq T1)$ 이면 목적지 = $N, T_p = T2$.
 $(T1 < T2)$ 이면 목적지 = $C, T_p = T0$.

4.3.2 Source selection procedure

Destination selection procedure는 가공 완료된 부품이 목적지와 AGV 호출 시간을 결정하는 것인 데 반하여, source selection procedure에서는 가용해진 buffer 공간이 부품과 부품의 출발 장소를 선택하는 과정이다. Source selection procedure에서는, 설비의 buffer, B_M 이 가용하게 되었을 때 (즉, 실제로 부품이 운반되어 나갔을 때), 이전 설비, SM_M 에서 가공중인 부품에 대하여 현재의 설비에 도착하는 시간이 가장 빠른 부품을 선택한다 (AGV 가용 상황도 고려한다). 단, 이렇게 선택한 경우, 현재의 설비가 starvation을 경험하게 되고, 또한 central buffer로부터 현재의 설비로 오고자 하는 부품이 설비로부터 오고자 하는 부품보다 먼저 도착할 수 있으면, central buffer의 부품을 선택한다. 이 과정이 <그림 2(b)>에 나타나 있다.

지금 $T0$ 시점에서 설비 M 의 buffer에 있는 부품을 AGV에 loading 완료하여 buffer 공간이 추가로 가용해졌다고 하자. 이 때 가용해진 이 buffer 공간을 미리 예약한 부품이 없다면 B_M 은 다음에 B_M 으로 올 예정인 부품들 중 하나를 SM_M 에서 선택한다.

SM_M 의 부품 중, 가장 빨리 M 으로 도착하는 시간을 TI_M 이라 하면 TI_M 은 식 (7)과 같이 구할 수 있다. 이때 미래의 시점에서 SM_M 에서 부품들이 가공이 완료되는 시간들은 미래의 event들을 look-ahead해서 알 수 있다.

$$TI_M = \min_{m \in SM_M} \{ CT_{O_m} + TR_{Xm} + T_L + TR_{mM} + T_u \} \quad (7)$$

여기에서 O_m 은 m 설비에서 현재 가공을 받고 있는 부품이고 X 는 m 과 C 의 중간 지점으로 한다. TI_M 은 SM_M 의 각 부품에 대하여 작업의 종료 시간에 previous operation machine에서 M 으로 오는 데 걸리는 시간을 합한 시간 중 가장 최소값이다. 만약 $SM_M = \emptyset$ 이면 $TI_M = \infty$ 가 된다.

Central buffer에서 M 으로 가고자 기다리는 부품이 있어 이를 선택할 경우, 부품은 FCFS 룰로 선택되며 선택된 부품이 M 으로 도착하는 예상 시간, TC_M 은 식 (8)과 같다.

$$TC_M = T0 + TR_{XC} + T_L + TR_{CM} + T_u \quad (8)$$

여기서 TR_{XC} 는 AGV가 지점 X 에서 C 로 이동하는 데 걸리는 시간이다. X 는 C 에서 가장 가까운 AGV의 위치이다. Central buffer에서 M 으로 가고자 기다리는 부품이 없으면 $TC_M = \infty$ 로 둔다.

설비의 starvation 시작 시각, TS_M 은 look-ahead에 의하여 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

$$TS_M = CT_{PM} + \sum_{p \in W_M} (PT_{pM}), \quad B_M \text{에 가공중인 부품이 있는 경우} \quad (9)$$

$$= T0, \quad \text{그 외 경우}$$

TI_M 이 TC_M 보다 작거나 TI_M 이 TS_M 보다 작으면 B_M 은 previous operation machine에 있는 부품을 선택한다.

B_M 의 source selection procedure에 의해 previous operation machine에서 가공이 완료되기 전에 미리 선택된 부품은 previous operation machine에서 가공이 완료될 때 destination selection procedure 과정을 수행하지 않고 곧바로 M 으로 가기 위해 AGV를 호출한다.

Source selection procedure는 다음과 같다.

Source selection procedure

- (1) TC_M , TI_M 그리고 TS_M 을 계산한다.
- (2) $(TI_M < TC_M)$ or $(TI_M < TS_M)$ 이면 SM_M 에 있는 설비 중에서 부품을 선택.
 AGV는 부품의 가공이 완료되면 호출함.
 그렇지 않으면 central buffer로부터 부품을 선택. AGV 호출 시간 = $T0$ 이다.

5. Simulation 실험

5.1 Simulation 모형

반도체 또는 LCD 생산시스템에서 bay 내의 물류 흐름을 통제하는 LACP의 성능을 simulation을 통해 측정한다. Simulation의 대상이 되는 bay는 <그림 1>과 같다. 부품 종류는 5가지이며, 각 부품은 bay 내에서 3가지 종류의 작업이 수행된다. 각 부품은 bay에 Gamma(2, 2.63)의 inter-arrival time 분포를 갖고 도착한다. 부품 종류별로 거쳐야 하는 설비와 설비별 가공시간은 각각 <표 2>와 <표 3>에 나타나 있다. 기타의 simulation 조건은 다음과 같다.

- 설비 대수 = 6
- 설비당 buffer의 용량 = 3
- AGV 대수 = 2
- AGV 속도 = 1 m/sec
- Loading/Unloading 시간 = 0.75 min
- Bay 길이 = 20 m

표 2. Simulation에 사용된 부품의 유형들

부품 유형	가공경로(설비 번호)
A	1 → 5 → 3
B	4 → 2 → 6
C	2 → 3 → 5
D	1 → 4 → 5
E	6 → 3 → 2

5.2 변수 및 성능평가 지수들

<표 4>에 Simulation에 사용된 변수의 수준들과 그에 해당되

표 3. 설비별 가공시간

설비	1	2	3	4	5	6
가공시간	4.0	4.6	3.6	3.4	4.2	4.4

표 4. Simulation 변수 및 수준들(각 수준의 실제 값)

실험 변수	수준들
M/C processing time multiplier	1.00 (4.0분, 4.6분, 3.6분, 3.4분, 4.2분, 4.4분) 1.25 (5.0분, 5.75분, 4.5분, 4.25분, 5.25분, 5.5분) 1.50 (6.0분, 6.9분, 5.4분, 5.1분, 6.3분, 6.6분) 1.75 (7.0분, 8.05분, 6.3분, 5.95분, 7.35분, 7.7분)
AGV 성능 지수	0.8 (1.25 m/sec) 0.9 (1.11 m/sec) 1.0 (1.00 m/sec) 1.1 (0.91 m/sec) 1.2 (0.83 m/sec)

는 실제값들이 나와 있다. Machine processing time multiplier는 설비 가공 시간에 곱하는 수로서 값이 커질수록 가공 시간이 오래 걸린다. 즉, 1.25는 1.00에 비해 25% 만큼 가공시간이 길다는 의미이다. Machine processing time multiplier는 machine utilization과 관련이 있으며, machine processing time multiplier가 커질수록 machine utilization이 높게 된다. AGV 성능 지수는 AGV의 속도를 나타내는 지표로서 값이 커질수록 AGV 성능이 좋아 빨리 이동할 수 있다. 즉, 성능지수가 1.0일 때의 속도를 1m/sec로 두면 1.1일 때의 속도는 $1/1.1 = 0.91$ m/sec가 된다.

본 Simulation에서는 bay 내에서 routing을 위하여 LACP를 적용한 경우와, LACP를 적용하지 않고 현재의 도착지의 buffer 상황만 참조하는 경우의 성과를 측정, 비교한다. Simulation에 사용된 측정 지표는 다음과 같다.

- Average flow time
- AGV utilization
- Central buffer의 평균 재고 수준
- Central buffer의 최대 재고 수준

여기서 average flow time은 부품이 시스템 내의 central buffer로 처음 들어왔을 때부터 최종 가공을 마치고 central buffer에 다시 들어올 때까지 소요된 시간을 뜻한다. Central buffer의 최대 재고 수준은 생산 기간 동안 central buffer에 쌓인 부품의 최대 개수를 의미하며, 이는 central buffer의 최대 용량을 결정하는 것과 관련되어 있다.

본 논문에서 simulation은 event 중심의 object oriented 기법에 의하여 수행되었으며 코드는 C++로 작성되었다. 전체 수행 시간은 365일(525600분)이다.

5.3 결과

Simulation 결과는 부록에 첨부되었다. 부록에서 각 machine

그림 6. LACP에 의한 Average flow time의 감소.

utilization level에서 AGV 성능 지수가 0.8과 0.9인 경우, LACP를 적용하지 않으면 average flow time이 1468.79~29943.52분, AGV utilization이 0.9247~0.9950이 되어 정상적인 물량 처리가 불가능함을 알 수 있다. 그러나 동일한 조건에서 LACP를 적용하게 되면 average flow time의 경우 65.32~24.73분으로 줄어 들고, AGV utilization의 경우는 0.7515~0.7383으로 줄어들어 물량 처리가 가능하게 된다. 즉, 이는 같은 의미로 LACP를 적용함으로써 보다 넓은 범위를 cover할 수 있다는 뜻이 된다.

Part의 average flow time의 비교 결과가 <그림 6>에 나타나 있다. <그림 6>의 (a)는 LACP를 적용하기 전(before)과 LACP를 적용한 후(after)의 average flow time의 변화를 나타내고 있다. X축 값을 나타내는 2가지 숫자 조합에서 앞의 숫자는 machine processing time multiplier(1~1.75)를, 뒤의 숫자는 AGV 성능 지수(1.0~1.2)를 나타낸다. <그림 6>의 (b)는 LACP를 적용함으로써 average flow time이 줄어드는 reduction ratio를 나타낸다. LACP를 적용하기 전의 average flow time을 FT_B , LACP를 적용한 후의 그것을 FT_A 라 하면 average flow time의 reduction ratio는 $(FT_B - FT_A) / FT_B$ 로 구한다. <그림 6>에서 LACP는 부품의 average flow time을 줄인다는 것을 알 수 있다. Average flow time의 reduction ratio는 AGV 속도가 느릴수록, 그리고 설비 가공 시간이 커질수록 (machine utilization이 높을수록) 더욱 커진다.

AGV utilization의 결과가 <그림 7>에 나타나 있다. LACP는 AGV utilization을 줄인다는 것을 <그림 7>은 보여 준다. AGV utilization의 reduction ratio는 설비 가공시간이 커질수록, 그리고 AGV 속도가 느릴수록 커진다.

<그림 8>은 central buffer의 평균 재고 수준을 나타내고 있

그림 7. LACP에 의한 AGV utilization의 감소.

그림 9. LACP에 의한 Central buffer의 최대 재고 수준의 감소.

줄임을 알 수 있다. 즉, LACP를 적용함으로써 필요한 central buffer의 용량을 줄일 수 있다. 부록에서 reduction은 거의 100%까지 가능함을 알 수 있다. <그림 9>에서 central buffer의 최대 재고 수준의 reduction ratio는 AGV 속도가 낮을수록 커진다는 것을 알 수 있다.

위의 결과들을 요약, 정리하면 다음과 같다.

- (1) LACP는 AGV 속도가 0.8과 0.9일 때에도 생산을 가능하게 한다. 즉, LACP는 동일한 AGV fleet size를 가지고 더욱 넓은 bay 영역을 cover할 수 있다.
- (2) LACP는 부품의 flow time을 줄인다. Reduction은 AGV 속도가 느릴수록, 그리고 설비 가공시간이 커질수록 더욱 커진다.
- (3) LACP는 AGV utilization을 줄인다. Reduction은 설비 가공시간이 커질수록, 그리고 AGV 속도가 느릴수록 커진다.
- (4) LACP는 central buffer의 평균 재고 수준을 줄인다. Reduction은 AGV 속도가 느릴수록 커진다.
- (5) LACP는 central buffer의 최대 재고 수준을 줄인다. Reduction은 100%까지 가능하며 AGV 속도가 낮을수록 커진다.

그림 8. LACP에 의한 Central buffer의 평균 재고 수준의 감소.

다. LACP는 central buffer의 평균 재고 수준을 줄인다는 것을 <그림 8>은 보여 주고 있다. Central buffer의 reduction ratio는 AGV 속도가 느릴수록 커짐을 알 수 있다.

Central buffer의 최대 재고 수준 결과가 <그림 9>에 나타나 있다. <그림 9>에서 LACP는 central buffer의 최대 재고 수준을

6. 결론

본 논문에서는 반도체 wafer 또는 LCD glass를 생산하는 시스템에서 현재 및 미래의 정보를 활용하여 효율적으로 AGV를 통제하는 LACP(Look-ahead AGV Control Procedure)를 개발하고 그

적용 효과를 보였다. LACP는 AGV가 물류 이동 장비로 주요한 역할을 하며 시스템의 생산성에 직접적으로 영향을 미치는 생산시스템에 적용할 수 있다.

최근의 발전된 생산 시스템은 고도로 자동화되고 정보화되어 있어 생산시스템 controller는 이전에 비해 더욱 많은 정보를 사용할 수 있다. 특히 시스템 내에서 가까운 미래에 무엇이 발생할 것인가와 관련된 정보는 시스템 통제를 위해 효과적으로 사용될 수 있다. 이러한 정보의 추가 사용으로 부품의 flow time 및 AGV utilization 등이 줄며, 그 결과 시스템의 생산성이 향상됨을 simulation을 통하여 알 수 있었다.

추후의 연구 과제로는 uncertainty를 고려하는 문제와 path planning procedure와 결합하는 연구 등으로 확장될 수 있다.

참고문헌

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.

Doulgeri, Z., Hibberd, R. D., and Husband, T. M. (1987), The Scheduling of Flexible Manufacturing System, *CIRP*, 36(1), 343-346.

Engell, S., Kuhn, T., and Moser, M. (December, 1990), On Decentralized On-line Scheduling of FMS, *Proceedings of the 29th IEEE Conference on Decision and Control*, Part 1, Honolulu, Hawaii, 125-127.

Glassey, C. R., and Wang, W. W. (1991), Dynamic Batching Heuristic for Simultaneous Processing, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 4(2), 77-82.

Jang, J., Suh, J., and Liu, C. R. (2000), A Look-Ahead Routing Procedure for Machine Selection in a Highly Informative Manufacturing System (HIMS), *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Accepted with minor revision.

Kim, C. (1991), The Operation of an Automated Guided Vehicle System in

a Manufacturing Job Shop, Ph.D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, IN, U.S.A.

Koulamas, C. P., and Smith, M. L. (1988), Look-Ahead Scheduling for Minimizing Machine Interference, *International Journal of Production Research*, 26(9), 1523-1533.

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.

Lawley, M., Reveliotis, S., and Ferreira, P. (1997), Design Guidelines for Deadlock-Handling Strategies in Flexible Manufacturing Systems, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 9(1), 5-30.

Lin, J. T., and Dgen P.-K. (1994), An algorithm for routeing control of a randem automated guided vehicle system, *International Journal of Production Research*, 32(12), 2735-2750.

Smith, T., and Sarin, S. (1992), Program for dispatching and routing AGVs, *Computers & Industrial Engineering*, 23, 187-190.

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.

Taghaboni-Dutta, F., and Tanchoco J. M. A. (1995), Comparison of dynamic routing techniques for automated guided vehicle system, *International Journal of Production Research*, 33(10), 2653-2669.

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

Vepsalainen, A. P. J., and Morton, T. E. (1987), Priority Rules for Job Shops with Weighted Tardiness Costs, *Management Science*, 33(8), 1035-1047.

Viswanadham, N., Narahari, Y., and Johnson, T. (1990), Deadlock Prevention and Deadlock Avoidance in Flexible Manufacturing Systems Using Petri Nets, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 6(6), 712-723.

Wysk, R., Yang, N., and Joshi, S. (1994), Resolution of Deadlocks in Flexible Manufacturing Systems: Avoidance and Recovery Approaches, *Journal of Manufacturing Systems*, 13(2), 128-138.

Zeestraten, M. J. (1990), The Look Ahead Dispatching Procedure, *International Journal of Production Research*, 28(2), 369-384.

부록. Simulation 결과

Level	Average Flow Time			AGV Utilization			Avg Central Buffer Inventory			Max Central Buffer Inventory		
	Before	After	Ratio	Before	After	Ratio	Before	After	Ratio	Before	After	Ratio
1.00-0.8	22943.52	24.73	0.9992	0.9950	0.7383	0.2580	5795.33	0.33	0.9999	11395	7	0.9994
1.00-0.9	9928.62	24.11	0.9976	0.9487	0.7187	0.2425	1927.3	0.30	0.9998	4613	8	0.9983
1.00-1.0	26.98	23.74	0.1201	0.7196	0.7063	0.0184	20.78	0.29	0.6357	59	8	0.8644
1.00-1.1	24.71	23.50	0.0493	0.7099	0.6960	0.0196	0.45	0.28	0.3833	25	7	0.7200
1.00-1.2	23.67	23.18	0.0205	0.6942	0.6821	0.0174	0.33	0.26	0.2246	17	8	0.5294
1.25-0.8	25427.73	30.64	0.9988	0.9914	0.7445	0.2491	4967.52	0.43	0.9999	10801	13	0.9988
1.25-0.9	12007.99	29.96	0.9975	0.9713	0.7228	0.2558	2301.25	0.38	0.9998	4911	14	0.9971
1.25-1.0	68.02	29.61	0.5646	0.7547	0.7097	0.0596	7.29	0.37	0.9495	165	10	0.9394
1.25-1.1	31.04	29.38	0.0534	0.7197	0.6992	0.0285	0.63	0.35	0.4373	32	8	0.7500
1.25-1.2	30.63	29.18	0.0475	0.7050	0.6886	0.0232	0.63	0.35	0.4475	61	9	0.8525
1.50-0.8	23233.39	39.74	0.9983	0.9892	0.7487	0.2431	4539.31	0.82	0.9998	10057	17	0.9983
1.50-1.9	10093.05	39.16	0.9961	0.9692	0.7335	0.2432	1948.96	0.77	0.9996	4493	15	0.9967
1.50-1.0	72.01	39.34	0.4537	0.7815	0.7207	0.0778	6.81	0.83	0.8783	172	15	0.9128
1.50-1.1	43.86	39.01	0.1105	0.7523	0.7104	0.0558	1.68	0.80	0.5242	60	13	0.7833
1.50-1.2	40.85	38.42	0.0596	0.7360	0.6991	0.0501	1.20	0.73	0.3893	32	11	0.6563
1.75-0.8	24425.67	67.01	0.9973	0.9995	0.7718	0.2278	4700.24	4.11	0.9991	9531	39	0.9959
1.75-0.9	1468.79	65.32	0.9555	0.9247	0.7515	0.1873	270.69	3.86	0.9857	830	46	0.9446
1.75-1.0	149.80	64.81	0.5673	0.8507	0.7376	0.1329	19.58	3.80	0.8060	154	31	0.7987
1.75-1.1	71.40	63.30	0.1135	0.8090	0.7273	0.1009	5.11	3.55	0.3055	66	30	0.5455
1.75-1.2	66.20	63.22	0.0450	0.7896	0.7159	0.0933	4.22	3.55	0.1602	45	28	0.3778