

Inter-loop Stocker 자동 물류시스템

조민호*

Inter-loop Stocker Automated Material Handling Systems

Minho Jo

〈Abstract〉

Less researches on AGV(Automated Guided Vehicle) path configurations have been conducted so far while more studies have been placed in determining AGV guide path directions and pick-up/drop-off station locations, and routing/dispatching/scheduling strategies. In practice plenty of concerns fall in preventing deadlock and simplifying AGV system control through an appropriate AGV path configuration. In order to meet those requirements, a new AGV path configuration, inter-loop stocker type is introduced here. The stocker serves as relaying material between loops as well as stocking material. Automated material handling systems using AGVs play an important role in semiconductor industry including TFT LCD and memory/non-memory chip. A practical example of implementing the inter-loop stocker concept successfully in the TFT LCD fab is presented in this paper.

1. 연구배경

Class 10($0.1\mu\text{m}$ 이상 사이즈의 입자(Particle)가 1m^3 내에 10개 이내이어야만 함) 까지의 고청정도 유지를 위한 고기압 환경과 공정중 공정장비로부터 스며나온 유기물 등이 반도체(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display, 메모리/비메모리 칩) Fab 라인(또는 Shop Floor)내에서 작업자들에게 쉽게 피로를 느끼게 하며 또한 장시간 작업시 피부 등 신체에 부작용을 일으킨다. 한편 4계절의 온습도 변화에 신체리듬이 적응되어 있는 인간에게 4계절 동안 언제나 일정한 온습도 역시 인간의 신체리듬을 깨뜨려 질병 등을 포함 여러 가지 부작용 등을 일으키고 있다. 이러한 열악한 Fab 내 환경이 결국은 고밀도의 작업을 요하는 작업자들

에게 작업실수와 생산성을 떨어뜨리게 한다. 더욱이 Fab 내에서 작업자가 많으면 많을수록 반도체/TFT LCD 불량률 유발하는 입자와 정전기는 증가한다.

따라서 Fab 내의 공정 및 물류의 자동화를 통해서 가급적 많은 작업자를 대체하여 이러한 문제점들을 극복해야 한다. 한편 웨이퍼의 사이즈가 12"에 이르면서 더 이상 작업자가 웨이퍼 카세트를 취급하기가 어려워지고 있다. TFT LCD에 있어서 작업자의 유리기관 운반용 카세트 취급은 카세트 무게(한 카세트당 20kg, 1로트=20매의 유리기관 기준)와 유리기관의 처짐(유리기관 사이즈의 광폭화에 기인)으로 인해 사람에게 의한 취급은 사실상 불가능하다. 따라서 위에서 언급한 이유에 더하여 취급의 어려움으로 인해서도 AGV(Automated Guided Vehicle)와 자동 Stocker(또는

* 삼성전자(반도체부문)

Automated Storage/Retrieval System)를 이용한 반도체 Fab의 물류자동화는 매우 중요하게 여겨지고 있다.

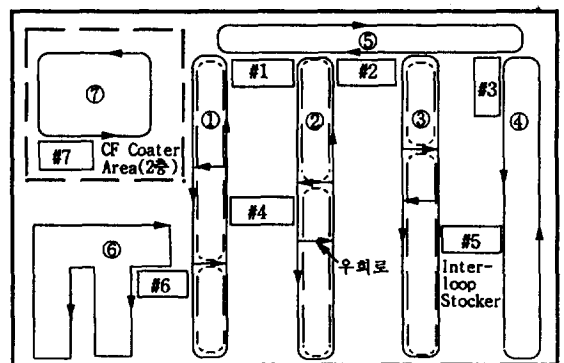
대부분의 자동 물류시스템의 연구가 AGV Guide 궤도 결정[5][7][9][14], AGV Dispatching/Routing/Scheduling[1][3][4][8][10][12][14], Pick-up/Drop-off 작업대 위치 결정[6][11][14] 등에 집중되어 왔다. AGV 교통의 혼잡성(Congestion) 최소화, AGV 제어 및 Routing의 단순화, Deadlock/Blocking 방지, AGV 시스템 고장시 Recovery(또는 Alternative) 등을 고려한 보다 근본적인 AGV 궤도 구성에 대한 연구는 극히 적었다. 그러므로 현장에서 자동 물류시스템을 적용함에 있어서 이러한 문제점들을 극복하는데 많은 노력을 기울이고 있다. 여기에서 소개되는 Inter-loop Stocker AGV 궤도구성(Path Configuration) 개념은 전통적으로 사용해 온 Intersection을 이용한 Complex 궤도방식과는 다른 뿐만 아니라 주로 반도체 Fab에서 많이 사용해 온 Bay 방식의 AGV 궤도구성 개념과도 서로 다르다. CRT 디스플레이의 대체품으로 급격한 수요와 함께 반도체 산업에서 크게 관심이 집중되고 있는 TFT LCD의 Fab에 대하여 Inter-loop Stocker 개념의 성공적인 적용 사례도 함께 본 논문에서 소개한다.

2. Inter-loop Stocker 형태

AGV 궤도구성에 대한 몇몇 연구가 있었다. Bozer와 Srinivasan[2]에서 소개된 직렬구성(Tandem Configuration)에서는 한 대의 AGV가 하나의 루프(Loop)를 담당하고 루프들간의 연결에는 Pickup/Drop-off 작업대를 사용하였다. 그러나 한 대의 AGV만을 허용하는 루프는 물류이동이 많은 중대형 생산 시스템에서는 사용이 불가능하고 한 루프에서 다른 루프로 이동시 버퍼나 자동창고에 일시 보관은 전용 연결 Pickup/Drop-off 작업대를 거쳐 한 번 더 AGV의 사용을 요하는 단점을 감수해야만 한다. 또한 AGV의 고장시 대체 AGV가 없다. 한편 Tanchoco와 Sinriech[13]는 Shop Floor 전체에 복수의 루프를 허용하지 않고 오직 하나의 루프가 모든 작업대간 물류이동을 하는데 사용되어지며 다수의 AGV를 허용한다. 그러나 이 것 역시 반도체와 같은 중대형 생산 시스템에는 적합하지 않으며 우

회가 허용되지 않으므로 AGV 고장시나 Pickup/Drop-off 시 다른 AGV 이동에 영향을 주게 된다. 이들은 모두 단순화된 AGV 궤도의 장점을 제공한다.

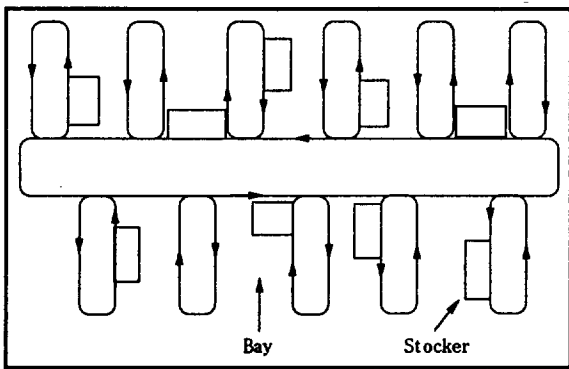
본 논문에서 소개하는 Inter-loop Stocker 방식은 단순 AGV 루프(독립된 하나의 루프)들의 집합이며 서로 다른 루프와의 연결은 내부에 자동 저장/회수/운반을 하는 로봇이 내장되어 있는 자동창고(Inter-loop Stocker라 불림)를 통해서 이루어진다(〈그림 1〉 참조). 즉 Inter-loop Stocker는 저장기능뿐만 아니라 루프간 물류연결 기능을 겸한다. 루프를 연결해주는 Inter-loop Stocker의 고장시 우회를 위해 다른 Inter-loop Stocker를 이용하면 된다. 단순 루프 안에서 우회로 설치를 통하여 AGV의 우회가 역시 가능하다(〈그림 1〉 참조). Inter-loop Stocker 형태의 가장 큰 목적은 전통적으로 사용되어온 AGV 궤도의 Intersection(Cross)을 배제하여(다시 말해서 궤도의 중첩을 배제하여) Intersection에서 발생하는 Blocking(때때로 Deadlock을 유발)과 연속주행 방해로 인해 발생하는 물류이동의 마비와 혼잡을 제거 또는 완화시키는데 있다. 루프간의 물류연결을 자동 Stocker를 통해서 하는 이유는 물류연결만을 위한 전용 Pickup/Drop-off 작업대를 루프간에 배치시 다른 루프로 물류이동과 저장의 연속 이벤트 발생시 두 번의 AGV 이동과 두 번의 Pickup/Drop-off을 수행해야하기 때문이다. 그러나 자동 Stocker가 루프와 루프 사이에 위치해 물류연결과 저장기능을 수행한다면 운반시간과, 혼잡성, 제어 측면에서 훨씬 효과적이다.



〈그림 1〉 Inter-loop Stocker형 자동 물류시스템 구성도

Inter-loop Stocker 형태는 독립된 단순 루프들의 그 자체 특성으로 인해 자연스럽게 AGV 시스템의 분산 제어를 가능하게 해준다. 각각의 단순 루프에 하나의 하부 제어서버가 담당하고 그 상위에는 하나의 중앙 제어서버가 이들 하부 제어서버를 담당할 수가 있다. 이러한 많은 장점들이 있는 반면 Inter-loop Stocker 형태에서는 한 지점에서 다른 지점으로 물류운반시 한 대 이상의 AGV를 연차적으로 사용해야만 할 때도 있다.

한편 Bay 형태 AGV 구성은 반도체 Fab에서 비교적 많이 사용되어져 왔다(〈그림 2〉참조). Bay 형태의 주요 특징은 중앙 루프를 중심으로 Bay들이 둘러져 있다. Bay와 Bay간 물류이동(Inter-bay)은 중앙 루프를 경유하여 Stocker에 전달되거나 Bay내의 장비로 옮겨진다. 비교적 단순한 구성이지만 중앙 루프에 과도한 부하가 걸리며 중앙 루프에서 문제가 생길시 대체 레도가 없다는 큰 단점이 있다. 루프와 루프는 공기압 유지를 위해 설치된 칸막이로 인해 루프간 직접 AGV 레도는 불가능하다.



〈그림 2〉 Bay형 자동 물류시스템 구성도

3. 운영전략 및 Logic

Inter-loop Stocker 개념을 이용한 자동 물류시스템의 적절한 이용을 위해 현업에서 적용된 주요 운영전략과 Logic은 다음과 같다. 운영전략과 Logic은 다분히 반도체(TFT LCD) 생산의 특성에 부합하도록 세워지고 선정되었다.

3.1. 리드시간과 텍트시간

반도체 생산에서 하나의 단위공정은 일련의 서로 다른 소단위공정들이 로봇이나 컨베이어로 연속 연결되어진 In-line 형태의 장비에 의해서 진행된다. 리드시간(Lead Time)과 텍트시간(Tact Time)은 유리기판 한 매에 대한 공정시간을 말한다. 만약 In-line 장비가 유희상태를 지속하다 새로운 로트가 도착하여 작업을 할 때는 리드시간이 적용된다. 이 때 리드시간은 그 로트의 첫번째 유리기판의 Loading 시점부터 그 유리기판 작업이 끝난 후 Unloading 작업대의 카세트에 넣어질 때까지의 시간을 말한다. 그 후 두번째 유리기판에서부터는 매 유리기판 마다 텍트시간이 적용된다. 텍트시간은 In-line 장비의 소단위공정 시간 중 가장 긴 것을 말한다. 만약 유희상태 없이 로트를 연속적으로 작업을 진행할 때는 리드시간은 적용되지 않고 텍트시간만 적용된다. 소단위공정들이 각각 분리된 Stand Alone 형태에 비해 In-line 형태의 장비를 선호하는 이유는 반도체 공정의 가장 중요한 요구사항인 입자로부터 오염 방지에 있다. 즉 밀폐된 단일의 연결형태인 In-line 장비는 입자로부터 오염을 방지해 줄 뿐만 아니라 카세트 이동시간 단축과 Loading/Unloading 횟수 절감의 효과도 얻을 수가 있다. 반면 전체 공정시간이 Bottle-neck 소단위공정에 의해서 지배되기 때문에 유연성이 떨어지는 단점을 감수해야만 한다. 아래 식들은 In-line 장비의 리드시간(LT), 텍트시간(TT), 한 카세트(로트)당 총공정 시간(TP)을 표현해 주고 있다.

$$LT = \sum_{i=1}^m \pi_i \quad \left\{ \begin{array}{l} m = \text{소단위공정수} \\ \pi_i = i\text{번째 소단위공정시간} \end{array} \right.$$

$$TT = \max(\pi_i)$$

$$TP = \left\{ \begin{array}{l} = \sum_{i=1}^m \pi_i + \max(\pi_i) \times (g-1), \\ \quad \text{공정 시작전 유희시간 존재시} \\ = \max(\pi_i) \times g, \\ \quad \text{유희상태 없는 연속 카세트 공정시} \end{array} \right.$$

∴ g = 총 유리기판수 / 로트

총공정 시간(TP)은 두 가지로 나누어져 계산이 되어야 한다. 즉 한 카세트(로트) 공정 시작 전 장비가 유휴 상태였다면 리드시간이 고려되어야 하며 유휴시간 없이 연속적으로 서로 다른 카세트의 공정이 진행될 경우 텍트시간만이 고려된다.

3.2 Routing/Dispatching

유휴 상태일 때는 AGV가 정지해 있으며 포트(Port)로부터 요청이 있을시 가장 가까운 유휴상태의 AGV가 선택이 되는 NAV Rule(Nearest Available Vehicle Rule)이 적용되었다. 이는 AGV가 움직일 때 발생하는 입자를 최소화하기 위함이다.

출발 로트가 결정되고 그 다음 목적지(장비 포트 또는 Inter-loop Stocker)가 결정되는 Push Rule이 적용되었다. 이는 가급적 Routing과 Scheduling을 단순화시키는 데 적합하기 때문이다. 한 공정이 끝나면 즉시 다음 목적지로, Stocker 경우 없이, 직송을 원칙으로 한다. 만약 다음 목적지(장비)의 포트가 모두 차거나 고장시는 그 장비가 배정된 Zone Inter-loop Stocker(이하 지역지정 Stocker)에 저장된다.

Inter-loop Stocker 내의 로트는 LWLFO(Longest Waiting Lot First Out)Rule을 따른다. 이는 반도체 막의 특성상 일정시간 지속시 물성변화에 의한 불량발생을 최소화하기 위해서다.

3.3 지역지정 Stocker

지역지정 Stocker는 일정하게 지역(Zone)을 나누어 그 안에 속한 장비들이 지정된 Stocker에 배정된다. 만약 하나의 로트가 Process Plan에 따라서 다음 장비로 운반 스케줄이 잡혀 있으나 그 장비의 모든 포트가 다른 카세트에 의해 차지해 있다면 이때 그 로트는 배정된 지역지정 Stocker에 임시저장이 될 것이다. 가장 보편화된 NS(Nearest Stocker) Rule을 사용하지 않는 이유는 TFT LCD 장비 간 텍트시간의 편차가 비교적 높아서 어떤 장비는 적은 면적을 차지하면서도 매우 높은 생산률을 가지고 있기 때문에 단순히 가장 가까이 있는 Stocker를 선택한다면 Stocker간 저장물의 심

한 편차를 초래하여 Dealock을 일으키거나 물류흐름의 효율성을 떨어뜨릴수 있다. 지역지정 Stocker 배정은 물류량과 거리를 감안하여 결정 된다.

3.4 빈 카세트 취급

반도체(TFT LCD) 장비 중 일자형의 In-line 장비는 유리기관들이 Loading 작업대에서 시작하여 공정을 거쳐 다시 Loading Station 방향으로 나오지 않고 반대 방향의 Unloading Station으로 나오기 때문에 미리 빈 카세트가 Unloading 작업대에 준비되어 있어야만 한다. 따라서 이러한 장비는 그들의 지역지정 Stocker에 일정 개수의 빈 카세트 저장을 통해서 카세트 요구에 대비해야 한다. 빈 카세트 취급은 물류시스템의 교통량 증가, 물류시스템 운영의 복잡성을 일으키는 무시못할 요소 중 하나이다.

3.5 한방향 궤도

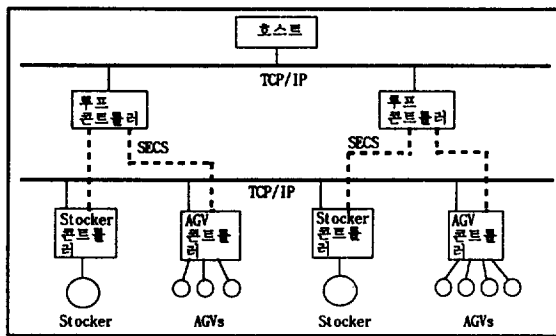
AGV Routing 및 교통제어의 복잡성을 피하기 위해 한방향(Unidirectional) 궤도가 선정 되었다. 물류량이 많은 루프에서는 우회로를 두어 한방향 궤도의 단점을 보완하였다. 방향은 시뮬레이션으로 결정되었다.

3.6 분산제어

Inter-loop Stocker 개념 자체가 독립된 단순 루프의 연속이기 때문에 각 루프를 담당하는 루프 컨트롤러(LC)를 하나씩 뚝뚝으로 분산제어가 가능하다. <그림 3>은 Inter-loop Stocker 물류시스템 제어 구성을 보여주고 있다. Stocker 컨트롤러(SC)는 Stocker내의 로트 정보 관리와 로트에 대한 저장 및 반출 관리 그리고 Stocker내의 로봇제어도 담당한다. AGV 컨트롤러(AGVC)는 AGV의 Traffic 운영, AGV의 위치 파악, 공정장비의 포트 상태정보를 담당 한다. AGVC간 및 SC간은 TCP/IP를 통해서 통신을 한다. 마찬가지로 LC와 LC간도 TCP/IP를 통해서 정보를 연결한다. 그리고 LC와 AGVC/SC간 통신은 SECS I/II를 통해서 이루어지고 있다. <그림 4>는 LC와 AGVC간 SECS통신에 의

한 반송명령(Transport)의 예를 보여주고 있다. 루프 컨트롤러는 S64F3(SECS II의 반송명령)를 통해 AGVC에 Pickup할 카세트가 놓여있는 장비의 ID와 포트 ID 그리고 카세트 ID와 함께 Drop-off할 장비의 ID 및 포트 ID 그리고 그 장비가 속한 지역지정 Stoker ID에 대한 정보를 내려준다. AGVC가 이러한 명령과 함께 필요한 정보들을 성공적으로 받을시 S64F4를 통하여 응답 메시지를 보낸다. 그리고 AGV가 모든 반송명령을 수행한 후에는 AGVC는 S64F5를 통해서 루프 컨트롤러에 완료보고를 한다.

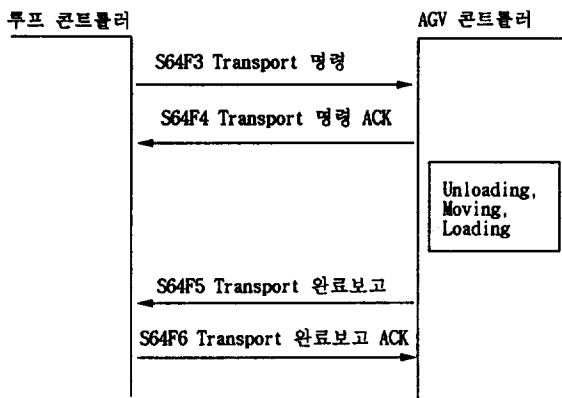
의 Input(Loading) 포트와 Output(Unloading) 포트가 각각 적어도 한 개씩 다른 로트로부터 예약되어 있지 않거나 다른 로트가 놓여 있지 않으면 Stoker에 저장 없이 직통으로 Inter-loop 물류연결이 이루어진다. 이는 Stoker의 저장여유율을 높여주고 물류 취급 시간을 줄여줄 뿐만 아니라 Stoker가 가득 찰시 야기되는 물류시스템의 Deadlock의 방지를 위해서 매우 중요하다. 지금까지 Bay형식 등에서는 반드시 로트가 일단 저장하고 나서 물류연결이 이루어짐으로써 Stoker가 가득 찰시 Deadlock 등의 문제점이 야기되었다.



〈그림 3〉 Inter-loop Stoker 자동 물류시스템 제어 구성도

4. 시뮬레이션 분석

최적의 Inter-loop Stoker 물류시스템 Layout 설계를 위해서 FACTOR/AIM을 이용한 시뮬레이션 분석이 이루어졌다. 시뮬레이션을 통해서 Throughput 분석, 알맞은 설비의 위치 및 설비의 포트 수/미케니즘 결정, Inter-loop Stoker 위치, Stoker 사이즈, Stoker 포트 수/위치/동작미케니즘 결정, AGV 탱수산정, Bottle Neck 부분파악, 우회결정, 시스템제어/Routing/Dispatching Rule 점정 등을 하였다. 〈그림 1〉에서의 물류시스템 구성은 시뮬레이션 분석결과에 의해서 얻어진 것이며 아울러 TFT LCD Fab에 적용된 것이다.



〈그림 4〉 루프 컨트롤러/AGV 컨트롤러간 SECS 통신 예

4.1 생산시스템 환경

반도체산업의 하나인 TFT LCD 생산 프로세스는 메모리/비메모리 칩 등과 같은 공정을 거치지만 특성상 몇 가지 점에서는 다른 프로세스를 갖는다. 전기적 회로의 특성을 제공하는 TFT(하단 유리기판)유리기판은 메모리 칩과 거의 비슷한 단위 프로세스들(TFT 공정)을 거치지만 CF(Color Filter)유리기판은 TFT 단위공정들에 더하여 CF Coater 단위공정을 거친다(〈그림 5〉 참조). CF Coater 공정에서는 RGB(빨강, 노랑, 파랑 삼색)을 상판(CF 유리기판)에 입힌다.

3.7 Inter-loop Stoker 물류연결 전략

한 루프에서 다른 루프로의 로트 이동은 반드시 Inter-loop Stoker를 통해서 이루어진다. 만약 Stoker

TFT와 CF 공정 이후에서는 TFT 유리기판과 CF 유리기판을 접합하는 단위공정, 접합된 유리기판 사이에 액정을 주입하는 단위공정, 제품의 크기(10.4", 11.3", 12.1", 14.2", 15.1" 등의 TFT LCD 화면 패널)

를 기준으로 유리기판을 몇 개의 패널로 절단(Scribe)하는 단위공정 등으로 이루어진 액정(L/C) 공정이 있으며 마지막으로 구동회로인 PCB 조립공정 및 배경형광등(Backlight)과 샷시조립등을 하는 Module 공정이 있다. TFT와 CF 공정 이후로는 다른 반도체 공정에는 없는 공정들이다. 여기에서는 공정 Step 수와 장비 댓수가 많고 공정이 복잡한 TFT와 CF 공정에 대해서만 시뮬레이션 분석을 하였다.

〈그림 5〉는 TFT LCD의 전체적인 공정도를 보여주고 있다. TFT 단위 공정에서 TFT가 7층 박막인 경우에 증착에서 Stripping 단위공정까지 Photo Pattern Mask만 바꾸어 가면서 7회 반복한다. 〈그림 5〉에서는 나타나지 않았지만 각 단위공정 후 검사 및 불량수리도 단위공정에 포함된다.

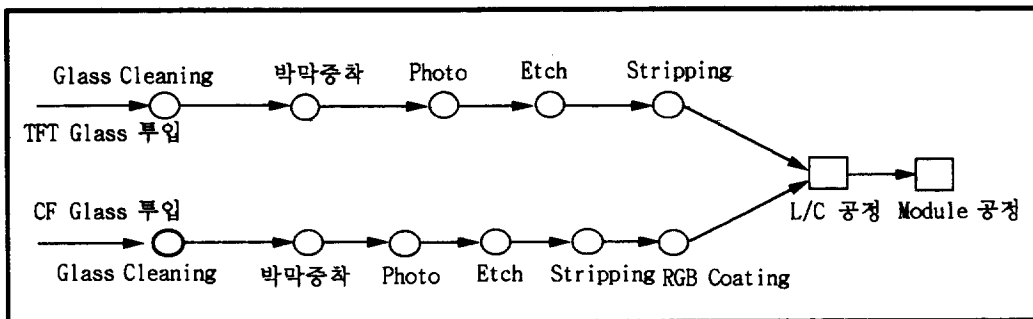
TFT/CF 공정은 총 50여 중, 250여 대의 장비를 가지고서 매월 TFT 20,000 매의 유리기판과 CF 20,000 매의 유리기판 Throughput을 목표로 물류시스템 및 공정장비가 투입되었으며 분석이 시행되었다. 1 Shift에 8시간 동안 생산이 진행되며 하루 3 Shift 교대근무이다. 각 장비들의 MTTR 및 MTBF는 과거 수년간 TPM 설비이력 데이터를 토대로 지수분포가 사용되어졌다. 시뮬레이션은 총 4개월간 연속생산을 가정하였다. 사용된 AGV의 속도는 분당 50미터이다. 각 장비의 포트 수는 2개 또는 4개이며 Inter-loop Stoker의 포트 수는 4개이다.

4.2 Layout 설명

〈그림 1〉에서 보듯이 총 7개의 단순 루프와 7개의 Inter-loop Stoker로 구성되었으며 이는 Fab의 스페이스 허용정도, 장비사이즈 및 형태, 공정흐름 등을 바탕으로 여러 개의 대안 중 시뮬레이션 결과가 가장 좋은 것을 바탕으로 부분적인 개선을 통해서 얻어진 Layout이다. Stoker 용량과 위치 역시 시뮬레이션 결과에 의해서 결정되며 공정의 흐름상 Inter-loop Stoker #1, #2, #3, #6들을 통해서 주로 루프간의 로트 연결이 이루어지며 나머지는 우회로의 성격이 강하다. 물론 모든 Inter-loop Stoker들이 저장기능을 겸하고 있다. 루프 #5는 Inter-loop Stoker #1과 #3 사이 Inter-loop Stoker #2를 거치지 않고 루프 #1과 루프 #4 사이 로트 운반을 위해서 있다. Stoker의 초기 위치는 공정의 흐름을 바탕으로 결정되지만 결국에는 시뮬레이션 결과에 의해서 최종 위치결정이 이루어진다. CF Coater와 검사기 등은 Lifter로 연결된 별도의 층에서 하나의 루프와 Stoker로 구성되어 있다. AGV 궤도의 방향 역시 초기에는 공정의 흐름을 바탕으로 결정된 후 시뮬레이션에 의해서 우회 위치와 함께 최종 결정된다.

4.3 결과분석

Inter-loop Stoker(ILS) 형식 Layout〈그림 1〉과 Bay 형식 Layout〈그림 2〉의 평균공기시간 비교에서 Inter-



〈그림 5〉 TFT LCD 공정도

loop Stocker가 더 나은 결과를 내었다(그림 6)(그림 7). 이들의 평균 Throughput은 TFT/CF 각각 20,500/20,899 (25,000매 투입), 21,120/21,950(25,600), 21,410/22,018 (26,200)이었으며 Inter-loop Stocker 방식에서 투입량이 평균 27,300매를 넘었을 때는 전체 생산시스템 Deadlock 현상이 일어났다. 이는 Photo 공정장비 등에서 공정장비 최대의 생산율을 넘어선 관계로 일정시간 이후에 기하급수적으로 누적된 재공(WIP)으로 인해 발생하였다. 따라서 매달 25,000매의 투입이 20,000매의 Throughput목표를 달성할 수 있을 뿐만 아니라 비교적 시스템의 안정성을 가져다 줄 것으로 판단되었다. Bay형식에서는 20,000매의 유리기판 생산완료 전에 Deadlock이 발생하기도 하였다. AGV는 각각 25대가 투입되었고 Bay 형식에서는 NAV Dispatching Rule이 적용되었으며 유희상태의 AGV는 정지해 있다.

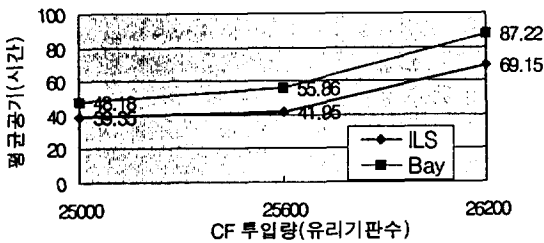
은 루프 #1, #2, #3의 단순 루프를 다시 2개의 독립된 루프로 분할한 것이다(그림 1)의 점선부분. 분할된 하나의 루프에 배정된 AGV들은 다른 분할된 루프를 넘어서 운행할 수가 없다. 그리고 나머지 4개의 운영대안들은 (그림 1)의 제안된 Layout에서 물류의 흐름양을 토대로 루프마다 다른 AGV 댓수를 투입한 것이다. 대안별로 루프 #1번부터 루프 #7번까지에 할당된 AGV의 댓수는 다음과 같다.

- 대안 #1: 5/2-2/3-2/4-2-2-1-2 (25대)
- 대안 #2: 6-4-5-3-2-1-3 (24대)
- 대안 #3: 7-5-6-3-2-1-3 (27대)
- 대안 #4: 8-6-7-3-2-1-3 (30대)
- 대안 #5: 7-5-6-2-2-1-2 (25대)

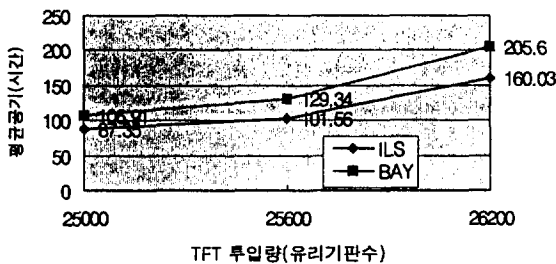
대안 #1은 보다 세분화된 루프 분할에도 불구하고 똑같이 25대가 투입된 대안 #5에 비해서 평균공기(CF:75.65 시간, TFT:148.96 시간), 평균WIP (CF:1109 로트, TFT:4709 로트), Inter-loop Stocker 들의 재공수준 모두에서 열세였다(표 1)(표 2). 대안 #2(27)와 대안 #4(30)는 대안 #5(25대)에 비해 더 많은 AGV가 투입되었음에도 불구하고 평균공기, 평균WIP, Inter-loop Stocker 재공수준에서 비슷한 결과를 보였다. 한편 대안 #5는 AGV 가동률에서도 과도히 높지도 않고 낮지도 않음을 알 수 있다(표 3). 따라서 대안 #5가 AGV 루프 운영의 안으로 선정되었다. <표 2>에서 보여준 Inter-loop Stocker 재공수준을 근거로(특히 최대재공) Inter-loop Stocker의 크기가 결정되었다.

<표 1> AGV 루프 운영대안별 평균공기/WIP

대안	평균공기(시간)		평균WIP(로트)	
	CF	TFT	CF	TFT
1	75.65	148.96	1109	4709
2	95.00	162.52	1409	5258
3	37.37	88.30	545	2725
4	39.35	87.80	574	2710
5	39.55	88.83	577	2747



<그림 6> 평균 CF 공기비교: ILS vs Bay



<그림 7> 평균 TFT 공기비교: ILS vs Bay

TFT/CF 각각 25,000매 투입을 기준으로 Inter-loop Stocker Layout(그림 1)에서 5개의 AGV 루프 운영대안을 가지고서 물류시스템 분석이 되어졌다. 대안 #1

〈표 2〉 AGV 루프 운영대안별 Inter-loop Stocker 제공수준

대안	Inter-loop Stocker 제공수준(로트)													
	1		2		3		4		5		6		7	
	평균	최대	평균	최대	평균	최대	평균	최대	평균	최대	평균	최대	평균	최대
1	25	51	74	138	2	17	116	143	145	178	27	63	12	22
2	24	55	72	148	4	25	32	74	43	73	466	471	12	33
3	11	23	28	50	1	3	9	24	6	16	6	23	6	17
4	11	21	26	51	1	4	11	22	6	22	5	14	8	16
5	12	23	27	47	1	6	10	22	7	20	6	12	8	16

〈표 3〉 AGV Loop 운영대안별 AGV 가동률

대안	루프#1	루프#2	루프#3	루프#4	루프#5	루프#6	루프#7
1	0.62/0.29	0.61/0.24	0.70/0.35	0.54	0.55	0.35	0.53
2	0.67	0.56	0.67	0.36	0.53	0.34	0.32
3	0.55	0.46	0.55	0.37	0.57	0.37	0.34
4	0.48	0.38	0.46	0.37	0.57	0.35	0.33
5	0.55	0.46	0.52	0.51	0.55	0.38	0.53

5. 결론 및 토론

실제 자동생산 시스템에서 AGV 등을 이용한 물류 시스템을 적용할 때 가장 중요한 것은 Throughput의 극대화과 더불어 생산시스템 전체를 마비시키는 Deadlock 방지 및 Routing/Dispatching/Scheduling 등에 있어서 운영의 단순화이다. 더욱이 많은 양의 재공(WIP)이 항상 Fab에 존재하는 반도체 생산에 있어서 물류 시스템 정지에 의한 장시간 동안 전체 생산의 중단은 유리기관이나 웨이퍼 상의 케미컬물질 특성변화 및 입자 오염으로 인한 불량품발생으로 매우 커다란 손실을 가져올 수 있다.

그동안 반도체(TFT LCD 및 메모리칩) 제조공정 시스템에서 AGV 등을 이용한 자동 물류시스템의 Deadlock 발생 및 운영의 복잡성 등이 자동 물류시스템이 가져다주는 효율성 이면에 문제점으로 지적되어 왔으며 물류시스템의 완전 자동화를 꺼리는 부정적 요소중 하나로 작용해왔다. 이러한 점에서 Inter-loop Stocker 개념은 AGV 궤도의 단순화, 제어의 분산화,

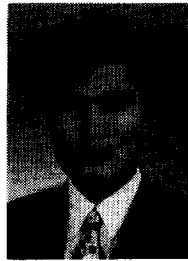
Stocker 기능의 복합화를 통해서 그러한 문제점들을 완화 시켜주었으며 현재 TFT LCD 생산시스템에서 성공적으로 적용되고 있다. 특히 제어의 분산화는 시스템 전체가 정지되는 최악의 사태를 방지해주고 있다. Inter-loop Stocker 형식과 전통적인 Bay 형식에 대한 시뮬레이션 결과에서도 보여주듯이 Inter-loop Stocker가 더 나은 Throughput을 제공하였다(물론 엄격한 비교는 어렵지만). Bay 형식을 채용하고 있는 실제 Fab에서는 특정 파트의 집중 생산시 잦은 Deadlock 등의 문제를 야기하고 있다.

AGV 루프 운영대안 분석결과에서 볼 수 있듯이 대안 #1처럼 더 많은 단순 루프로 나누는 것이 더 좋은 시스템을 제공하는 것만은 아니다. 따라서 최적화된 Inter-loop Stocker 물류시스템 구성을 위한 수리모형 수립에 대한 연구를 현재 진행하고 있다.

【참고문헌】

- [1] Blair, E., "Vehicle routing and material handling subject to stochastic demand", ORSA/TIMS Bulletin, 72, 1980.
- [2] Bozer, Y.A. and Srinivasan, M.M., "Tandem configurations for automated guided vehicle systems and the analysis of vehicle loops", IIE Transactions, 23(1), 72-82, 1991.
- [3] Co, H.C. and Arra, A., "Sequencing in flexible manufacturing systems and other short queue-length systems", Journal of Manufacturing Systems, 7(1), 1-9, 1988.

- [4] Egbelu, Pius J. and Tanchoco, J.M.A., "Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules", International Journal of Production Research, 22(3), 359-374, 1984.
- [5] Gaskins, R.J. and Tanchoco, J.M.A., "Flow path design for automated guided vehicle systems", International Journal of Production Research, 25(5), 667-676, 1987.
- [6] Goetz, W.G. and Egbelu, P.J., "Guide path design and location of load pick-up/drop-off points from an automated guided vehicle system", International Journal of Production Research, 28(5), 927-941, 1990.
- [7] Kaspi, M., and Tanchoco, J.M.A., "Optimal flow path design of unidirectional AGV systems", International Journal of Production Research, 28(6), 915-926, 1990.
- [8] Kim, Kap Hwan and Tanchoco, J.M.A., "Economical design of material flow paths", International Journal of Production Research, 31(6), 1387-1407, 1993.
- [9] Kouvelis, P., Gutierrez, G.J. and Chiang W., "Heuristic unidirectional flow path design approaches for automated guided vehicle systems", International Journal of Production Research, 30(6), 1327-1351, 1992.
- [10] Montazeri, M. and Wassenhove, L.N.V., "Analysis of scheduling rules for an FMS", International Journal of Production Research, 28(4), 785-802, 1990.
- [11] Rabeneck, C.W., Usher, J.S. and Evans, G.W., "An analytical model for AGVS design", International Industrial Engineering Conference and Societies' Manufacturing and Productivity Symposium Proceedings, 191-195, 1989.
- [12] Sabuncuoglu, I. and Hommertzheim, D.L., "Dynamic dispatching algorithm for scheduling machines and automated guided vehicles in a flexible manufacturing system", International Journal of Production Research, 30(5), 1059-1079, 1992.
- [13] Tanchoco, J.M.A. and Sinriech, D., "OSL-optimal single-loop guide paths for AGVS", International Journal of Production Research, 30(3), 665-681, 1992.
- [14] Usher, J.S., Evans, G.W., and Wilhelm, M.R., "AGV flow path design and load transfer point location", Proceedings of the 1988 IIE Conference, Orlando, Florida, 174-179, 1988.



조민호

1984년 조선대학교 산업공학과
학사
1993년 미국 Lehigh University 산업
공학과 박사
현재 삼성전자(반도체부문) 정보/생
산자동화 시스템 선임연구원
관심분야 정보통신(SI, Diagnostics,
ATM Routing/Control, AI응
용) 생산자동화(MES, 물류
시스템, Robotics)