

클러스터 제조 라인의 작업할당 및 물류 운영 시나리오

윤현중[†] · 김진곤 · 김정윤

대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

Job Allocation and Operation Scenario of Automated Material Handling for Cluster-Type Production System

Hyun Joong Yoon[†] · Jin Gon Kim · Jung Yun Kim

Faculty of Mechanical and Automotive Engineering in Catholic University of Daegu

Recently, to improve operating efficiency with the higher in-line rate in automated production lines, a lot of cases of grouping machines and material handling system together to form a cluster has shown frequently. This article addresses the job allocation and operation method of automated material handling for cluster-type production systems. First of all, the control problems of the automated material handling systems are classified into the control problem of inter-cluster material handling system and that of intra-cluster material handling system. Then, a distributed agent-based control scheme is proposed for the former, and an operational control procedure for the latter. Simulation experiment shows that the proposed method is efficient in reducing cycle times and improving utilization of material handling vehicles.

Keywords : Cluster-Type Production System, Automated Material Handling System, Scheduling

1. 서 론

반도체 산업은 대규모의 자동화 설비들로 이루어져 있으며, 반도체 산업의 발전은 관련 장치 산업의 발전과 밀접한 관련이 있다. 지난 십여년동안 반도체 공정 설비와 물류 설비는 무인화, 자동화 방향으로 발전해 왔다. 세계적으로 시장 가격 경쟁이 치열한 반도체 산업에서는 다량의 제품을 최소의 가격으로 공급하는 것이 가장 중요한 화두 중 하나이다. 특히 고가의 설비를 요구하는 산업의 특성상 공정 설비와 물류 설비를 자동화하고 효율을 극대화 하는 것이 중요하다. 이에 반도체 테스트 라인에서는 제조 공정의 인라인율 (in-line rate)을 높이기 위하여 공정 설비들을 클러스터링(clustering)하여 운영하는 사례가 최근 많이 보이고 있다. 여기서 인라인

율이란 제조 라인 특성에 따라 다양한 정의가 내려질 수 있으나, 본 논문에서는 인라인율을 하나의 클러스터에서 디바이스(device, 또는 파트)의 연속 공정이 이루어지는 비율의 의미로 사용하였다. 클러스터 내에서 인라인율을 높이면 클러스터 간의 물류 비용을 줄일 수 있어 물류 설비의 부하를 낮추고 제조 사이클 타임(cycle time, 디바이스가 제조 라인에 투입되어 마지막 공정을 마칠 때까지의 총 시간으로서, 공정 시간, 물류 시간, 버퍼에서 대기 시간을 모두 포함한다)을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 AGV(Automated Guided Vehicle), OHT(Overhead Hoist Transfer) 등의 자동화 물류 설비로 구성된 클러스터 제조 라인의 효율적인 물류 제어 알고리즘을 제안하는 것을 목적으로 한다.

반도체 산업의 가격 경쟁이 고조되면서 제조 경쟁력

논문접수일 : 2010년 07월 20일 논문수정일 : 2010년 09월 06일 게재확정일 : 2010년 09월 09일

[†] 교신저자 yoon@cu.ac.kr

※ 본 논문은 2010년도 대구가톨릭대학교 연구비 지원에 의한 것임.

을 높이기 위한 다양한 연구들이 학계와 산업 현장에서 진행되고 있다. 특히 반도체 제조 공정 중 가장 중요한 부분인 팹(fab)의 스케줄링에 대해서는 수많은 연구가 진행되어 왔다. 여기서 팹이라 함은 반도체 공정의 경우 웨이퍼에 패턴을 입히기 위한 공정들이 진행되는 제조 라인을 일컫는다. 팹에서 완성된 웨이퍼는 EDS(electrical die sorting) 테스트 라인에서 테스트 공정을 마친 후 패키징 라인에서 칩(chip) 형태로 패키징된다. 특히 반도체 팹에 대한 스케줄링에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔는데, Uzsoy 외(1944)는 이를 할당 규칙과 투입 규칙, 결정적 스케줄링 알고리즘, 이론적 제어 접근법, 지식 기반 접근법으로 나누었다. Wein[9]은 평균 사이클 타임을 성능 지표로 하여 6개의 투입 규칙과 12개의 할당 규칙을 평가하였는데, 시뮬레이션 결과로부터 평균 사이클 타임을 줄이는데 할당 규칙보다 투입 규칙의 영향이 더 큼을 보였다. Lu et al.[6]는 사이클 타임의 평균과 분산을 줄이기 위한 fluctuation smoothing policy를 제안 했으며, 시뮬레이션을 통하여 동일한 투입 조건하에서 제안된 방법이 사이클 타임의 평균과 표준편차를 줄이는데 효과적임을 보였다. Kim et al.[3]는 납기일을 고려한 할당 규칙을 제안하였으며, Gupta and Sivakumar[2]도 미리보기 배치 스케줄링(look ahead batch scheduling) 방법을 제안하며 납기일을 고려한 스케줄링 문제를 다루었다.

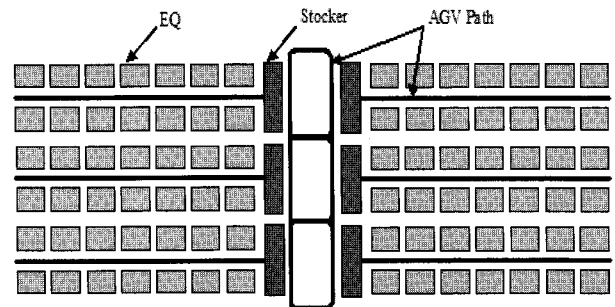
기존의 연구들은 대부분 반도체 팹의 스케줄링 문제를 다루고 있으며, 테스트 라인이나 패키징 라인에 대한 스케줄링 문제를 다룬 것은 거의 없다(Lee et al.[5]). 이는 여러 가지 이유가 있겠으나 특히 테스트 라인의 경우 제조 업체에 따라 라인의 구성이 다양한 형태로 이루어져 있고, 다양한 종류의 디바이스들이 혼재해 있어 스케줄링을 하기 어렵기 때문이다. 그러나 상기 기술했듯이 클러스터 형태의 제조 라인이 많이 이용되고 있어 이에 대한 연구가 요구된다.

2. 대상 시스템

2.1 시스템 구성

클러스터 제조 라인은 여러 종류의 공정 설비들을 클러스터 단위로 그룹핑하고 운영하는 자동화 제조 시스템의 형태를 의미하며, 생산량 극대화, 사이클 타임 최소화, 재공 최소화, 공정 설비 효율 극대화, 물류 설비 효율 극대화, 인라인을 극대화 등의 장점이 있다. <그림 1>은 6개의 클러스터로 구성된 클러스터 제조 라인의 예를 보여준다. 각 클러스터는 디바이스 가공을 위한 공정 설

비(EQ), 디바이스를 임시 저장하기 위한 스토커(stocker), 물류를 담당하는 AGV(또는 OHT)로 구성되어 있다. 물류 시스템은 크게 두 종류로 나뉘는데 스토커와 스토커 사이의 물류를 담당하는 인터 클러스터(inter-cluster) 물류와, 클러스터 내에서 물류를 담당하는 인트라 클러스터(intra-cluster) 물류가 그것이다. 물류 시스템의 효율적인 운영을 위하여 인터 클러스터 물류에서는 일반적으로 여러 개의 디바이스가 로트(lot) 단위로 묶여 반송된다. 인트라 클러스터 물류의 경우에도 로트 단위 반송이 가능하나, 공정 설비 간의 부하 밸런싱 문제를 고려할 때 일반적으로 디바이스의 낱장 반송이 더 유리하다. 다만 인트라 클러스터 물류에서 낱장 반송을 할 경우에는 인트라 클러스터 물류 부하가 과도하게 걸릴 수 있는데, 이러한 문제를 해결하기 위하여 물류 주체인 비이클(vehicle)에 여러 디바이스를 담을 수 있는 버퍼 공간을 두어 동시에 다수의 디바이스를 반송할 수 있는 물류 시스템이 이용될 수 있다. 본 논문에서는 인터 클러스터 물류는 로트 단위 반송으로 가정하며, 인트라 클러스터 물류는 다수의 디바이스를 반송할 수 있는 물류 시스템으로 가정한다.



<그림 1> AGV 물류로 구성된 클러스터 제조 라인의 예

클러스터 제조 라인의 주요 구성 설비들의 하드웨어 구성에 대한 가정은 다음과 같다.

- 1) 공정 설비(EQ)-공정 설비는 하나의 공정 스테이지(stage)를 가지고 있어 한 번에 하나의 디바이스에 대하여 공정을 진행할 수 있다. 또, 각 공정 설비는 공정 진행 전 디바이스를 저장하기 위한 버퍼와 공정 진행 후 디바이스를 저장하기 위한 버퍼를 가지고 있다.
- 2) 스토커(stocker)-스토커는 다수의 로트를 저장하기 위한 저장고와 스토커 내부에서 로트를 반송하기 위한 반송 로봇이 있다. 또, 인터 클러스터 물류 시스템과의 인터페이싱을 위한 인터 클러스터 I/O(Input/Output) 스테이지와, 인트라 클러스터 물류 시스템과 인터

페이싱을 위한 인트라 클러스터 I/O 스테이지가 있다.

- 3) 인터 클러스터 물류 시스템-인터 클러스터 물류 시스템은 스토커와 스토커 사이의 물류를 담당하며, 여러 개의 디바이스가 카세트(cassette)에 담겨 로트 단위로 반송된다. 하나의 로트에는 동일한 종류의 디바이스만 담겨질 수 있다.
- 4) 인트라 클러스터 물류 시스템-인트라 클러스터 물류 시스템은 스토커와 공정 설비 또는 공정 설비와 공정 설비 사이의 물류를 담당하며, 디바이스는 카세트에 의한 로트 반송이 아닌 날장 반송된다. 단, 인트라 클러스터 물류의 비이클은 여러 개의 디바이스를 동시에 운반하기 위한 버퍼가 존재한다.

2.2 클러스터 제조 라인의 물류 흐름

클러스터 제조 라인에서 물류의 흐름은 다음과 같이 이루어진다.

- 1) 인터 클러스터 물류 시스템 → 스토커 : 인터 클러스터 물류 시스템의 비이클이 반송된 로트를 인터 클러스터 I/O 스테이지에 올려놓으면 스토커의 반송 로봇은 로트를 집어 스토커의 저장고에 넣는다.
- 2) 스토커 → 공정 설비 : 스토커의 반송 로봇이 스토커 저장고에 있는 반송 대상 로트를 집어 인트라 클러스터 I/O 스테이지에 올려놓으면, 인트라 클러스터 물류 시스템의 비이클이 해당 로트에서 필요한 개수만큼의 디바이스를 비이클의 버퍼에 넣어 공정 설비로 반송한다. 스토커 반송 로봇은 해당 로트를 다시 스토커 저장고에 넣는다. 인트라 클러스터 물류 시스템의 비이클은 반송 대상 디바이스들을 목적 공정 설비의 버퍼에 올려놓는다. 이 때 비이클은 모든 디바이스들을 하나의 공정 설비로 반송할 필요는 없으며, 공정 설비들의 부하 밸런싱을 고려하여 여러 개의 공정 설비의 버퍼로 디바이스들을 분산시켜 반송할 수 있다.
- 3) 공정 설비 → 공정 설비 : 인트라 클러스터 물류 시스템의 비이클은 반송 대상 디바이스들이 있는 공정 설비에서 해당 디바이스들을 비이클의 버퍼에 올려놓은 후, 다음 목적 공정 설비로 이동하여 해당 디바이스들을 목적 공정 설비의 버퍼에 올려놓는다.
- 4) 공정 설비 → 스토커 : 공정 설비에 있는 디바이스들을 스토커에 넣기 위해서는 먼저 스토커 반송 로봇이 스토커 저장고에 있는 해당 로트를 인트라 클러스터 I/O 스테이지에 올려놓는다. 인트라 클러

스터 물류 시스템의 비이클은 반송 대상 디바이스들이 있는 공정 설비에서 해당 디바이스들을 비이클의 버퍼에 올려놓은 후, 스토커의 인트라 클러스터 I/O 스테이지의 로트에 넣는다. 스토커 반송 로봇은 인트라 클러스터 I/O 스테이지에 있는 로트를 저장고로 옮긴다.

- 5) 스토커 → 인터 클러스터 물류 시스템 : 스토커 내부에 있는 로트를 인터 클러스터 물류 시스템으로 보내기 위해서는 스토커 반송 로봇이 해당 로트를 인터 클러스터 I/O 스테이지에 올려놓으면 인터 클러스터 물류 시스템의 비이클이 로트를 집어 다른 스토커로 반송하게 된다.

3. 물류 운영 정책 및 알고리즘

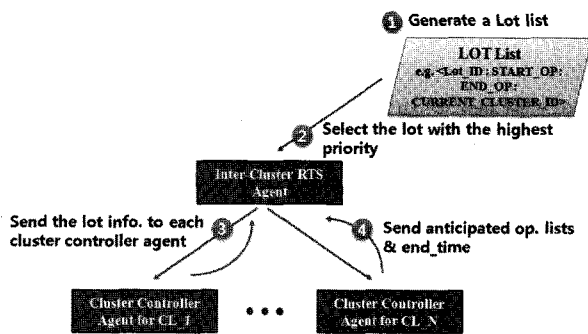
3.1 인터 클러스터 물류 운영 정책

상기 기술했듯이 클러스터 제조 라인의 특징 중 하나는 클러스터 안에서 디바이스의 가능한 모든 공정을 진행함으로써 인라인율을 높이고 사이클 타임을 낮추는 것이다. 이를 위해서 하나의 클러스터 안에는 여러 공정을 수행하기 위한 서로 다른 종류의 공정 설비들이 다수 배치된다. 클러스터에서 인라인율을 높이기 위해서는 로트의 첫 공정부터 마지막 공정까지 해당 클러스터에서 공정을 수행하는 것이 가장 이상적이다. 그러나 설비들 간의 부하 밸런싱 측면을 고려하고 설비 사용 효율을 극대화하기 위해서는 일부 공정을 다른 클러스터에서 진행하는 것이 요구될 경우도 있다. 즉, 인터 클러스터 물류 시스템의 운영 정책 문제는 1. 로트가 맨 처음 라인에 투입될 때 어느 클러스터에 할당할 것인가 하는 문제와 2. 클러스터에서 일부 공정이 완료된 로트를 다른 클러스터로 재할당 하는 문제로 나눌 수 있다.

인터 클러스터 물류에서 어떤 로트의 작업 할당을 위하여 클러스터를 선택할 때에는 다음과 같은 세 가지 사항이 고려되어야 한다. 즉, 클러스터의 스토커에서 공정 대기 로트의 재공 상태, 클러스터에서 예상되는 직 반송 비율, 공정 설비 밸런싱이 그것이다. 첫 번째로 할당 대상 로트의 예정된 진행 공정들에 대하여 각 클러스터에 공정 대기 중인 로트들의 재공 상태를 고려하여, 해당 공정을 위하여 대기 중인 재공이 작은 클러스터에 우선순위를 두어야 한다. 두 번째로, 각 클러스터에 대상 로트를 할당했을 때 클러스터 내에서의 인라인율을 고려해야 하며, 이를 위해서는 대상 로트를 각 클러스터에 할당했을 경우 몇 단계의 연속 공정까지 가능한지 예측해야 한다. 마지막으로, 각 클러스터 내에 있

는 공정 설비들의 밸런싱을 고려해야 한다. 즉, 특정 공정을 진행하는 설비가 여러 클러스터에 있는데, 서로 다른 클러스터에 있는 공정 설비들이 비슷한 이용율을 갖도록 하여 특정 클러스터에 있는 공정 설비군에 부하가 집중되는 것을 피해야 한다.

이와 같은 인터 클러스터 물류에서의 작업 할당 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 에이전트 기반의 운영 정책을 제시한다. 인터 클러스터 물류의 운영 시스템은 인터 클러스터 RTS 에이전트(Inter-cluster real-time scheduler agent), 클러스터 컨트롤러 에이전트(cluster controller agent)로 구성된다. 인터 클러스터 RTS 에이전트는 반송 대상 로트 리스트를 작성하고, 로트를 클러스터에 작업 할당하기 위한 로트 정보를 모든 클러스터 컨트롤러 에이전트로 전달한다. 이 때 클러스터 컨트롤러 에이전트는 인터 클러스터 RTS 에이전트로부터 받은 반송 대상 로트 정보와 현재 클러스터 내에 있는 공정 설비 상태, 공정 대기 로트 재공 상태 등을 고려하여 반송 대상 로트가 새로 할당될 경우 공정 처리 단계 및 예상되는 공정 완료 시점을 인터 클러스터 RTS 에이전트로 보내준다. 인터 클러스터 RTS 에이전트는 각 클러스터 컨트롤러 에이전트로부터 받은 정보를 토대로 하여 어떤 클러스터로 대상 로트를 할당할지 결정한 후 반송 명령을 내리게 된다. <그림 2>는 인터 클러스터 물류에서 작업 할당을 위한 운영 정책을 도식화 하여 보여준다.



<그림 2> 인터 클러스터 물류의 작업 할당 운영 정책

제안된 인터 클러스터 물류의 운영 정책에서 작업 할당은 다음과 같은 단계를 걸쳐 결정된다.

STEP 1 : 반송 대상 로트들의 리스트를 작성한다. 반송 대상 로트의 리스트에서 각 로트 정보는 다음과 같이 정의된다.

<LOT_ID : START_OP : END_OP : CURRENT_CLUSTER_ID>

여기서 LOT_ID는 반송 대상 로트의 식별자 번호, START_OP와 END_OP는 수행되어야 할 시작 공정 번호와 마지막 공정 번호를 의미한다. CURRENT_CLUSTER_ID는 현재 로트가 있는 클러스터 식별자 번호를 의미하며, 제조 라인에 새로 투입되는 로트의 경우 'null' 값을 갖는다.

STEP 2 : 인터 클러스터 RTS 에이전트는 반송 대상 로트 리스트에서 가장 반송 우선 순위가 높은 로트 하나를 선택한다. 특별한 우선 순위가 없는 경우에는 가장 대기 시간이 긴 로트를 선택한다.

STEP 3 : 인터 클러스터 RTS 에이전트는 선택된 로트 정보를 모든 클러스터 컨트롤러 에이전트로 보낸다.

STEP 4 : 로트 정보를 받은 클러스터 컨트롤러는 대상 로트가 할당될 경우 클러스터에서 처리할 수 있는 공정 리스트와 예상 마칩 시각 정보를 인터 클러스터 RTS 에이전트로 전달한다. 이 때 인터 클러스터 RTS 에이전트로 보내지는 정보는 다음과 같이 정의된다.

<LOT_ID : FROM_OP : TO_OP : ANTICIPATED_END_TIME>

여기서 FROM_OP와 TO_OP는 해당 클러스터에서 진행될 시작 공정 번호와 마지막 공정 번호, ANTICIPATED_END_TIME은 예상 마칩 시각을 의미한다. 여기서 FROM_OP는 항상 START_OP와 같은 값을 가지며, TO_OP는 END_OP와 다른 값을 가질 수 있다. FROM_OP, TO_OP, ANTICIPATED_END_TIME의 결정은 각 클러스터 컨트롤러 에이전트에서 3.2인트라 클러스터 물류 운영 정책에서 기술된 프로시저를 미리 가상으로 실행하여 계산한다.

STEP 5 : 인터 클러스터 RTS 에이전트는 각 클러스터 컨트롤러 에이전트로부터 정보를 받아 대상 로트를 할당할 가장 적합한 클러스터를 결정한다. 이때 로트를 할당할 클러스터는 다음의 평가 기준을 적용하여 결정한다.

- MEIL(Most Efficient In-Line) Rule : 인터 클러스터 RTS 에이전트는 각 클러스터 컨트롤러 에이전트로부터 받은 정보 중에서 END_OP가 가장 큰 클러스터를 선택한다. 즉, 가장 많은 공정 단계를 진행할 수 있는 클러스터를 선택함으로써 인라인율을 높이는 것이 목적이다.

STEP 6 : 인터 클러스터 RTS 에이전트는 반송 대상 로트를 STEP 5에서 결정한 클러스터로 할당하기 위한 반송 명령을 내린다. 반송 명령은 다음과 같이 정의된다.

<LOT_ID : FROM_CLUSTER_ID : TO_CLUSTER_ID : FROM_OP : END_OP>

여기서 FROM_CLUSTER_ID는 CURRENT_CLUSTER_ID와 같은 값을 가지며, END_CLUSTER_ID는 할당될 클러스터의 식별자 번호를 의미한다. FROM_OP와 END_OP는 할당된 클러스터에서 수행될 로트의 시작 및 마지막 공정 번호를 의미한다.

3.2 인트라 클러스터 물류 운영 정책

인트라 클러스터 물류의 작업 할당 및 운영 정책 문제는 1. 디바이스를 스토커에서 공정 설비로 반송하기 위해 어떤 로트를 선택하여 스토커의 인트라 클러스터 I/O 스테이지로 옮길 것인가 하는 문제, 2. 스토커의 인트라 클러스터 I/O 스테이지에 있는 로트들 중에서 어떤 디바이스를 선택하여 공정 설비로 할당할 것인가 하는 문제, 3. 공정 설비에서 해당 공정이 끝나 설비 버퍼에 있는 디바이스를 다음 공정 설비로 할당하는 문제, 4. 공정 설비에서 공정이 끝나 설비 버퍼에 있는 디바이스를 스토커로 회수하는 문제로 나눌 수 있다. 이 때 스토커에 있는 디바이스를 공정 설비로 반송하는 경우와 공정 설비에 있는 디바이스를 스토커로 회수하는 경우에는 반드시 해당 로트가 스토커의 인트라 클러스터 I/O 스테이지에 있어야 한다.

이와 같은 인트라 클러스터에서의 할당 문제를 보다 효과적으로 해결하기 위하여 공정 진행 여유가 있는 공정 설비가 할당 받을 디바이스를 선택하는 풀(pull) 방식의 물류 운영 정책을 채택하였다. 다음은 인트라 클러스터 작업 할당을 위한 운영 정책의 단계별 세부 사항을 보여준다.

STEP 1 : Available TO_EQP 리스트 - 인트라 클러스터 물류의 운영 시스템은 클러스터 내에 공정 진행 여유가 있는 공정 설비들의 리스트를 생성한다. 이 때 우선 순위는(가공 대기 시간)/(공정 표준 시간)의 값이 작은 공정 설비 순으로 결정된다. 여기서 가공 대기 시간은 공정 설비에서 가공을 위하여 대기하고 있는 디바이스들의 총 대기 시간을 의미하며, 공정 표준 시간은 해당 공정 설비에서의 평균 공정 시간을 의미한다.

STEP 2 : 대상 TO_EQP 선택-Available TO_EQP 리스트에서 가장 우선 순위가 높은 공정 설비를 선택하여 TO_EQP로 등록한다.

STEP 3 : 설비에 있는 디바이스 검색 및 명령 - 공정 설비에서 공정을 마친 후 버퍼에 있는 디바이스 중 다음 공정이 TO_EQP에서 진행 될 수 있는 디바이스를 선택하여 TO_EQP로 할당 명령을 내린다. 이 때 오래 대기한 디바이스를 우선적으로 할당한다. 할당 디바이스가 없는 경우 STEP 4로 진행한다. 할당 디바이스가 있는 경우 할당 디바이스 개수가 비이클의 디바이스 반

송 최대 개수보다 작으면 STEP 3으로 돌아가 반복하며, 할당 디바이스 개수가 비이클의 디바이스 반송 최대 개수와 같아지면 프로시저를 마친 후 다시 STEP 1부터 반복 수행한다.

STEP 4 : 인트라 클러스터 I/O 스테이지에 있는 디바이스 검색 및 명령 - 스토커의 인트라 클러스터 I/O 스테이지에 있는 디바이스 중 다음 공정이 TO_EQP에서 진행 될 수 있는 디바이스를 선택하여 TO_EQP로 할당 명령을 내린다. 이 때 오래 대기한 디바이스를 우선적으로 할당한다. 할당 디바이스가 없는 경우 STEP 5로 진행한다. 할당 디바이스가 있는 경우 할당 디바이스 개수가 비이클의 디바이스 반송 최대 개수보다 작으면 STEP 4로 돌아가며, 할당 디바이스 개수가 비이클의 디바이스 반송 최대 개수와 같아지면 프로시저를 마친 후 다시 STEP 1부터 반복 수행한다.

STEP 5 : 스토커에 있는 디바이스 검색 및 명령 - 스토커에 있는 로트 중 디바이스의 다음 공정이 TO_EQP에서 진행될 수 있는 로트를 선택한 후, 로트를 인트라 클러스터 I/O 스테이지로 옮기는 명령을 내리되, 오래 대기한 로트를 우선적으로 할당하고 프로시저를 마친 후 다시 STEP 1부터 반복 수행한다. 해당 로트가 없는 경우 STEP 6을 진행한다.

STEP 6 : EQP에서 인트라 클러스터 I/O 스테이지로 회수할 디바이스 검색 및 명령-공정 설비에서 해당 공정이 끝나 설비 버퍼에 있는 디바이스 중 로트가 인트라 클러스터 I/O 스테이지에 있는 디바이스를 선택한 후 회수 명령을 내린다. 이 때 오래 대기한 디바이스를 우선적으로 할당하고 프로시저를 마친 후 다시 STEP 1부터 반복 수행한다. 할당 디바이스가 없는 경우 STEP 7을 진행한다.

STEP 7 : 스토커에서 인트라 클러스터 I/O 스테이지로 반송 로트 검색 및 명령-공정 설비에서 해당 공정이 끝나 설비 버퍼에 있는 디바이스 중 로트가 인트라 클러스터 I/O 스테이지에 없는 경우 해당 로트를 스토커 저장고에서 인트라 클러스터 I/O 스테이지로 반송하기 위한 명령을 내린다. 다시 STEP 1부터 반복 수행한다.

4. 시뮬레이션

시뮬레이션에서 사용된 사례는 <그림 1>에서와 같이 6개의 클러스터로 구성된 클러스터 제조 라인을 이용한다. <표 1>은 클러스터 제조 라인에서 생산되는 로트의 공정 순서, 공정 설비 타입 및 공정 시간을 보여준다. 공정 설비는 EQT1, EQT2, EQT3의 세 가지 타입이 있다. 예를 들면 첫 번째 공정 OP1은 EQT1에서 30분 동안 공정이 진행된다. OP2, OP3, OP5는 EQT2의 설비를

공유한다. 여섯 개의 클러스터에 배치되어 있는 공정 설비 타입은 <표 2>와 같다. 예를 들면 클러스터 CL1의 경우 EQT1, EQT2, EQT3가 각각 14대, 20대, 6대 배치되어 있다. 각 클러스터는 공정 밸런싱을 고려하여 세 가지 타입의 공정 설비가 골고루 배치되어 있으나, CL3과 같이 일부 클러스터의 경우 특정 공정 설비 타입이 집중되어 배치되기도 한다. 이는 현실적으로 모든 클러스터에 속해 있는 공정 설비들의 가동률을 일정하게 높은 수준으로 맞추는 것이 불가능하고, 특히 공정 순서나 공정 시간이 변할 경우마다 공정 설비를 재배치하기 어렵기 때문이다.

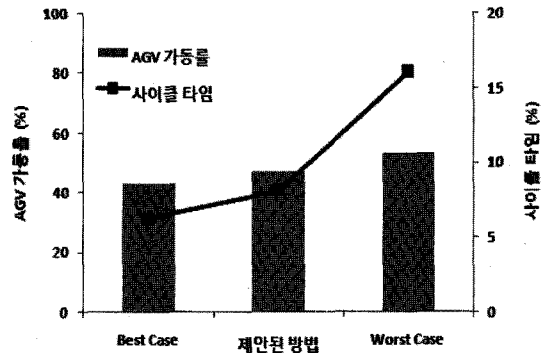
<표 1> 공정 순서

공정 번호	설비 타입	공정 시간(분)
OP1	EQT1	30
OP2	EQT2	18
OP3	EQT2	7
OP4	EQT3	11
OP5	EQT2	9

<표 2> 클러스터 내 배치되어 있는 설비 타입 대수

	# of EQT1	# of EQT2	# of EQT3
CL1	14	20	6
CL2	4	22	14
CL3	34	0	0
CL4	10	10	3
CL5	0	14	6
CL6	8	12	5

제안된 물류 운영 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 best 케이스와 worst 케이스를 비교하였다. Best 케이스는 로트를 투입할 때 인라인율을 극대화 하는 방향으로 설비 밸런싱을 고려하여 미리 정해진 최적의 순서로 투입을 하는 경우이며, worst 케이스는 인라인율이 가장 낮은 경우로 공정 설비에서 다음 공정 설비로 이송하지 않고 무조건 스톱으로 회수 한 후 다음 공정을 진행하는 경우이다. 이 때 제안된 알고리즘, best 케이스, worst 케이스 모두 제조라인에서의 단위시간당 생산량은 극대화하기 위하여 월 10만 5천개의 디바이스를 투입하는 것으로 시뮬레이션 하였다. <그림 3>은 세 가지 운영 정책을 적용할 경우 평균 사이클 타임과 물류의 부하율을 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 제안된 인터 클러스터 물류 정책 알고리즘은 best 케이스에 가까운 성능을 보여준다.



<그림 3> 시뮬레이션 결과

5. 결 론

본 논문에서는 최근 반도체 및 LCD 제조 현장에서 도입되고 있는 클러스터 제조 라인을 위한 작업 할당 및 물류 운영 방법에 관한 문제를 다루었다. 클러스터 제조 라인은 그 형태가 다양하고 운영 조건 및 운영 방법 또한 다양하기 때문에 본 논문에서 제안된 방법이 언제나 효과적이라는 보장은 없다. 그러나 클러스터 제조 라인의 형태를 취하고 있는 대부분의 제조 현장에서는 물류 운영 정책이 체계화 되어 있지 않고 다양한 휴리스틱 물들로 운영되고 있는 실정이다. 이에 본 논문에서는 이러한 클러스터 제조 라인의 물류 시스템을 인터 클러스터 물류 및 인트라 클러스터 물류로 구분하고 이들을 유기적으로 운영할 수 있는 하나의 사례를 처음으로 제안했다는데 그 의미가 있을 것이다. 추후에는 클러스터 제조 라인의 형태를 좀 더 체계적으로 정형화 하고 각 형태에 적합한 물류 시스템 운영 정책에 대한 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] Gupta, A. K. and Sivakumar, A. I.; "Job shop scheduling techniques in semiconductor manufacturing," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27(11) : 1163-1169, 2004.
- [2] Gupta, A. K. and Sivakumar, A. I.; "Optimization of due-date objectives in scheduling semiconductor batch manufacturing," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46 : 1671-1679, 2006.
- [3] Kim, Y. D., Kim, J. U., Lim, S. K., and Jun, H. B.; "Due-date based scheduling and control policies in a multiproduct semiconductor wafer fabrication facility," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 11(1) :

- 155-164, 1998.
- [4] Kim, Y. D., Kim, J. G., Choi, B., and Kim, H. U.; "Production scheduling in a semiconductor wafer fabrication facility producing multiple product type with distinct due dates," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 17(5) : 589-598, 2001.
- [5] Lee, Y. H., Ham, M., Yoo B., and Lee J. S.; "Daily planning and scheduling system for the EDS process in a semiconductor manufacturing facility," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41 : 568-579, 2009.
- [6] Lu, S. H., Ramaswamy, D., and Kumar, P. R.; "Efficient scheduling policies to reduce mean and variance of cycle-time in semiconductor manufacturing plants," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 7(3) : 374-388, 1994.
- [7] Upasani, A. A., Uzsoy, R., and Sourirajan, K.; "A problem reduction approach for scheduling semiconductor wafer fabrication facilities," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 19(2) : 216-225, 2006.
- [8] Uzsoy, R., Lee, C. Y., and Martin-Vega, L. A.; "A review of production planning and scheduling models in the semiconductor industry Part II : Shop-floor control," *IIE Transactions*, 26(5) : 44-55, 1994.
- [9] Wein, L. M.; "Scheduling semiconductor wafer fabrication," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 1(3) : 115-130, 1988.