

## 반도체 라인 자동물류시스템에서의 재할당 기반 차량 배차 Reassignment Based Vehicle Dispatching for a Semiconductor FAB

김병인\*, 신재준\*, 오승진\*, 정무영\*, 채준재\*\*, 이수정\*\*

\*포항공과대학교 산업경영공학과/제품생산기술연구소

(bkim, redguy, halmea, myjung@postech.ac.kr)

삼성전자 메카트로닉스연구소 (junjae.chae, sujeing.lee@samsung.com)

### Abstract

본 논문은 Overhead Hoist Transport(OHT)를 운반 장비로 사용하는 반도체 생산 라인 자동물류시스템에서의 차량배차문제를 다룬다. 고려하는 반도체 라인은 18 개의 bay 와 6 개의 stoker 로 구성되며 160 대 이상의 OHT 를 가진다. 자동물류시스템은 최소한의 OHT 대수로 하루 100,000 건의 웨이퍼를 이동시켜야 하며 반송시간과 편차를 최소화하여야 한다. 전통적인 차량배차규칙에서는 차량이 어떤 작업에 할당되면 그 관계가 변하지 않는 반면, 본 연구에서는 시스템 상황의 변화에 따라 차량을 작업에 재할당하는 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안된 방법을 shortest travel distance first 규칙과 비교한 결과, 필요한 OHT 대수, 반송시간과 반송시간의 편차 측면에서 획기적인 효율성 향상을 보였다.

### 1. 연구개요

자동물류관리시스템(AMHS: Automated Material Handling System)은 1974년 스웨덴의 볼보(Volvo) 공장에서 AGV(Automated Guided Vehicle)가 사용된 이후 사회의 여러 분야에서 사용이 확산되고 있으며 물류시스템의 중요한 요소로 인식되고 있다(Ganesharajah et al., 1998). 특히 반도체나 LCD 제조 라인과 같은 대규모 설비로 구성된 생산시스템에서의 자동물류관리시스템은 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. AMHS에서 사용되는 기술로는 유도경로를 따라 움직이는 AGV(Automated Guided Vehicle), 고정된 경로를 따라 직선 운동만을 하는 Rail Guided Vehicle(RGV), 천장에 부착된 레일을 따라 움직이는 Overhead Hoist Transport(OHT)와 컨베이어를 사용하는 Continuous Flow Transport(CFT) 등이 있다 (Nazzari 과

Bodner, 2003).

본 연구에서는 300mm FAB 라인부터 점차 중요성이 증가하고 있는 OHT시스템에 대한 차량배차문제를 다룬다. OHT 시스템에서는 AGV 시스템에서와 마찬가지로, 유도경로 설계(flowpath design), 적재 및 하역지점의 위치 설정, 버퍼 크기 및 위치결정, 차량 대수 결정 등의 설계 문제와 차량배차규칙(dispatching rule), 경로 계획(routing planning), 운행관리(traffic management), 유휴 OHT 위치선정 등의 운영 통제 문제를 해결하여야 한다. 운행관리 문제로는 충돌(collision) 방지, 교착상태(deadlock) 해결 등의 문제가 있다.

본 연구에서 중점을 두는 분야는 운영 통제 문제 중 차량배차규칙에 관한 것이다. 어떤 차량배차규칙을 사용할 것인가는 전체 자동물류관리시스템의 효율성에 지대한 영향을 줄 수 있는 중요한 결정사항이다. 연구문헌에 나타나 있는 대표적인 AGV/OHT 차량 배차 규칙들은 Ganesharajah 등(1998)에 잘 정리되어 있다. 이러한 규칙들은 이해하기 쉽고 적용하기가 용이하다는 장점 때문에 실제 산업현장에서 많이 사용되고 있다.

그러나 기존의 차량배차 규칙들은 차량과 작업간에 정적인(static) 관계를 유지한다는 한계가 있다. 즉, 차량배차 규칙에 의하여 어떤 작업에 배차된 차량은 전체 시스템의 상황변화에 상관없이 할당된 그 작업을 수행하게 된다. 시간의 흐름에 따라 새로운 작업이 생성되고 차량들의 위치와 상태(status)가 변화하기 때문에 시스템의 상황은 변화하게 된다. 따라서 어떤 차량이 현재 작업을 마치는 시점에서 다음 작업을 선택할 때 그 상황에서 차량배차규칙에 의거하여 최선의 선택을 하였더라도 시간의 흐름에 따라 보다 나은 차량배차를 할 수 있는 여지가 있을 수 있다. 그림 1이 그와 같은 예를 보인다. 시간  $t_1$ 에서 차량 V1은 자신이 실어 온 제품을 내려 놓는 작업을 수행하고 있고 V2는

아무 작업도 할당되지 않은 유휴상태에서 이동하고 있는 중이다. 이때 그림과 같이 유도경로의 윗부분에 새로운 작업이 발생한다면 그 작업에서 가장 가까이에 있는 유휴 차량인 V2가 그 작업에 할당된다. 하지만 약간의 시간이 흐른 시간 t2에서의 상황은 t1에서의 결정을 바꾸는 것이 더 효율적임을 보인다. 시간 t2에서는 V1이 작업을 마치고 유휴상태가 되어 다른 작업을 수행할 수 있게 되는데 이때 V2에 할당된 작업을 대신하여 수행한다면 그 작업의 기다리는 시간을 감소시킬 수 있을 것이다. 즉, 차량과 작업간의 관계가 시스템 상황에 따라 역동적으로 맺어질 수 있다면 시스템 성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

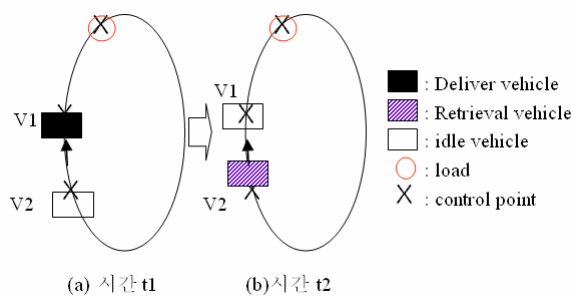


그림1. 시간변화에 따른 시스템 변화

본 연구에서는 위의 관찰에 착안하여 기존의 차량 배차 규칙의 한계점을 개선할 수 있는 재할당 (reassignment) 기반의 역동적인 (dynamic) 차량배차규칙을 제안하고 반도체 생산라인의 시뮬레이션 모델에 적용하여 그 효율성을 보인다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서 재할당 기반의 차량배차규칙에 대한 기존연구를 고찰하고 3절에서는 본 연구에서 고려하는 반도체 라인의 구성에 대해 설명한다. 4절에서는 제안된 재할당 기반의 차량배차규칙을 기술한다. 5절에서는 시뮬레이션 결과를 보이고 6절에서 결론을 맺는다.

## 2. 기존연구

Egbelu 와 Tanchoco (1984), Ganesharajah 등(1998), Le-Anh 과 de Koster (2006)에서 요약정리하고 있는 바와 같이 AGV 차량배차규칙에 관한 연구는 활발히 진행되어 왔으나 재할당 기반의 역동적인 차량배차규칙에 관한 연구는 그 잠재되어 있는 효과에 비해 연구가 많이 진행되지 않고 있다.

저자들이 알고 있는 한에서는 Hodgson 등(1987)이 RULE로 명명한 배차규칙이 재할당 개념을 가진 최초의 규칙이다. RULE에서는 차량이 물건을 싣기 위해 목적지로 이동하는 동안

각 교차점에서 자신이 목적으로 하는 작업보다 나은 작업이 있는지를 검사해 보고 그런 작업이 있다면 목적지를 바꿀 수 있도록 한다. 그들은 AGV 1대로 이루어진 시스템을 이용하여 RULE의 우수성을 보였다.

Bozer와 Yen(1996)은 두 가지의 재할당 기반의 배차규칙 modified shortest travel time first (MOD STTF)와 bidding-based dynamic dispatching (B<sup>2</sup>D<sup>2</sup>)을 제안하였다. 그들은 차량 수 3, 5, 8, 15대를 갖는 시스템을 시뮬레이션 하여 shortest travel time first (STTF) 보다 재할당 기반 배차규칙들이 우수함을 보였다. 실험결과 반송시간(lead time)측면에서 B<sup>2</sup>D<sup>2</sup>이 MOD STTF보다 우수한 결과를 보였다.

Le-Anh 와 de Koster (2005)는 물류창고 사례를 이용하여 차량배차규칙들의 성능을 비교하였다. 그들이 테스트한 7개의 규칙들 중 엄밀한 의미에서 재할당 기반의 배차규칙은 nearest vehicle first with vehicle reassignment and cancellation (NVC\_RC) 뿐으로 Bozer와 Yen(1996)의 MOD STTF와 유사하다. 실험결과 반송시간 측면에서 NVC\_RC가 7개의 규칙 중 가장 우수한 결과를 보였다. 그들의 연구에서 사용된 시스템의 차량 수는 5대였다.

저자들이 파악한 재할당 기반의 차량 배차 규칙에 관한 기존 연구는 이상이 전부이다. 일반적인 차량배차규칙에 관한 연구가 방대하게 이루어진 것에 비해 재할당 기반의 차량배차규칙은 놀라울 정도로 연구가 진행되지 않았다. 또한 이루어진 연구들에서도 최대 15대의 차량이 포함된 시스템만 고려되었을 뿐 많은 차량 수를 가진 시스템에 대한 연구보고는 없다. 본 연구에서 고려하는 시스템은 160대 이상의 차량을 포함하는 반도체 라인이다.

## 3. 본 연구에서 고려하는 반도체 라인의 구성

본 연구에서 고려하는 반도체 라인은 그림2와 같다. 이 layout은 가상적인 것이지만 차량배차규칙에 따른 반도체 라인의 OHT시스템 성능을 평가해 볼 수 있는 충분히 복잡한 구조를 갖고 있다.

Layout은 다음과 같이 구성되어 있다. Bay내의 통로 폭은 3m, 중앙통로의 폭은 10.5m, 설비간 간격은 1m, 설비 폭은 2m이다. 그림에서 보이는 바와 같이 하나의 Bay에는 26개의 설비가 있고 세 개의 Bay들이 모여 하나의 cell을 구성한다. 그림에서 1-1, 1-2 등으로 표현된 사각형은 설비를 나타내고 중앙통로에 1,2,3,4, 5,6의 번호를 갖는 사각형은 stocker를 나타낸다.

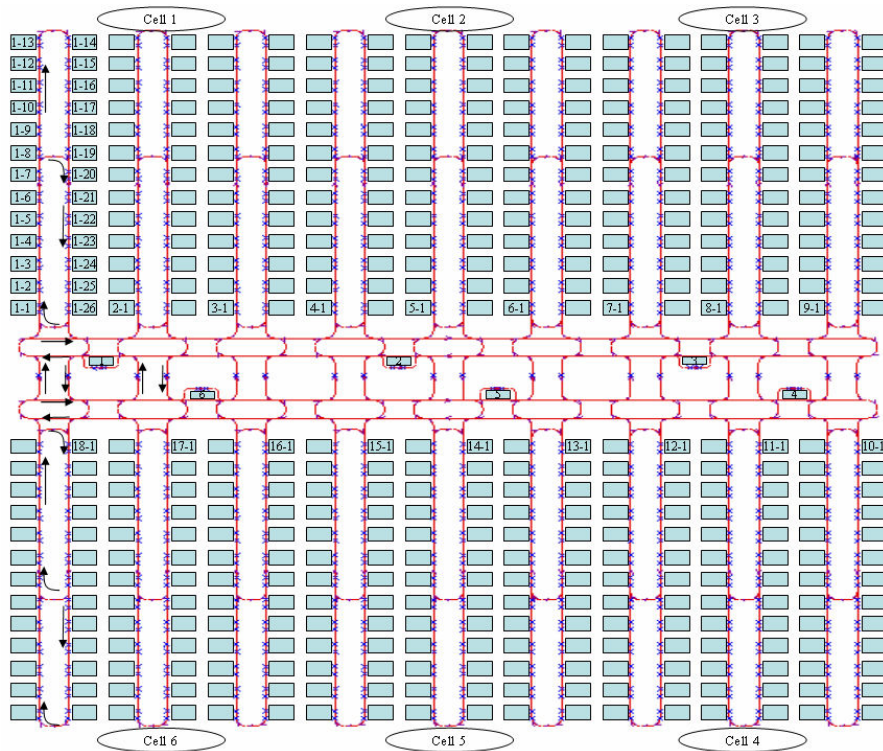


그림2. 반도체 라인 layout

설비와 stocker에 연결되어 있는 x 표시는 적재 및 하역지점을 나타내고 있는데, 차량운행방향으로 첫 번째 x는 차량이 제품을 내려놓는 하역지점이고 두 번째 x는 제품을 싣는 적재지점이다. 차량이 움직이는 유도경로는 단 방향(one-way)이며 그림에 표현된 방향으로 움직인다.

반도체 공정에서 설비간에 이동이 되는 웨이퍼(wafer)는 FOUP(front-opening unified pod)라는 컨테이너에 담겨서 움직이게 되기 때문에 물류를 담당하는 차량의 관점에서 보면 FOUP이 이동의 기본단위가 된다. 설비간에 이동하여야 할 FOUP은 24시간에 100,000회 발생하게 되며 발생간격은 지수분포(0.864초)를 따름을 가정한다. 발생하는 FOUP의 이동 형태는 한 Bay의 설비에서 같은 Bay내의 다른 설비로 이동되는 Bay내 반송, 같은 Cell내에 있는 설비들이지만 서로 다른 Bay에 속한 설비 간에 이동이 되는 Bay간 반송, 서로 다른 Cell에 속한 설비 간에 이동이 되는 Cell간 반송, 설비와 중앙의 stocker 간에 이동이 되는 Stoker반송 등 4가지로 나누어지며 전체에서 차지하는 비율은 각각 30%, 30%, 30%, 10%이다.

사용되는 OHT차량은 한 개의 FOUP을 실을 수 있는 것(capacity=1)으로 가정한다. 직선구간

이동속도는 2m/초이며 굴곡구간의 이동속도는 0.5m/초이고 가감속도는 0.5m/초<sup>2</sup>로 가정한다. 설비에서 적재와 하역을 하는데 소요되는 시간은 각각 10초이다. OHT는 천장에 부착된 레일에서 전기가 지속적으로 공급되기 때문에 AGV에서와 같은 배터리 충전과 같은 요소는 고려하지 않아도 된다. 차량이 유휴(idle)상태가 되었을 때 어디에 정차를 시킬 것인가는 하나의 또 다른 중요한 연구주제가 될 수 있다. 하지만 본 연구에서 고려하는 layout에서는 유휴차량이 어떤 위치에서 정차되면 그 위치를 지나가야 하는 다른 차량들을 막는 효과가 발생되기 때문에 유휴차량을 정차시키지 않고 순환시키는 것을 가정한다.

위에서 기술한 OHT로 구성된 자동물류시스템이 추구하는 목표는 하루 동안에 발생하는 FOUP(load)을 모두 처리하고 평균 반송시간(FOUP이 발생해서 목표설비에 도착하기까지의 시간) 및 반송시간의 표준편차를 줄이는데 있다. 차량의 목표 가동률은 70%이며 필요한 차량 수를 최소화하는 것 또한 중요한 목표이다.

#### 4. 재할당 기반의 차량배차 규칙

본 연구에서 제안하는 재할당 기반의 차량배차규칙에서는 load(FOUP)가 발생하면 유휴한 차량 중 가장 가까운 차량을 할당한다. 유휴한 차량이 없으면 유휴한 차량이 생길 때까지 기다렸다가 그 차량에 할당된다. 이 부분은 shortest travel distance first(STDF) 혹은 closest 규칙과 같다. 그러나, 어떤 차량 OHT1이 작업을 마치고 가용해지는 시점(예. 그림 1의 (b)와 같은 경우)에서 다른 차량 OHT2에 이미 할당된 load를 자신(OHT1)에게 재할당함으로써 시스템 차원에서 이득이 된다면 OHT2에 할당된 load를 가져올 수 있도록 하는 부분이 기존의 규칙들과 다른 점이다. 이때에 시스템 차원의 이득이 된다는 것은 load의 반송시간이 줄어드는 것을 의미한다.

재할당할 수 있는 load는 아직 차량에 실리기 전인 상태의 load이다. 즉, 그 load에 차량이 할당되어 있지만 아직 그 차량이 load까지 도착하지 않아서 기다리고 있는 상태이다. 이렇게 FOUP(load)을 싣기 위하여 움직이는 차량을 retrieval 차량이라 하고 FOUP에 도착하여 싣기 시작하는 차량을 delivery 차량이라 한다. FOUP을 싣고 목적지까지 이동하여 하역을 마칠 때까지 delivery 차량의 상태를 유지하고 하역을 마친 시점에서 그 차량은 유휴상태가 된다.

어떤 차량이 유휴상태가 되어 주변에 있는 load를 할당 받고자 하는 시점에서 고려대상이 되는 retrieval 작업(job)을 수행하고 있는 차량이 여러 대일 경우에 어떤 차량의 retrieval 작업을 취소 시키고 그 load를 새로운 차량에 할당할지 결정하기 위하여 식 (1)을 개발하였다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max}_{i, o_i - d_i > 0} \{(\alpha_1(\alpha_2 o_i - d_i) + \alpha_3 z_i) / v + \alpha_4 WT_i\} \quad (1) \\
 & \text{where } \rho_i = \text{distance from the assigned vehicle to the load} \\
 & d_i = \text{distance from the newly available vehicle to the load} \\
 & z_i = \text{distance from the load's departure location to its} \\
 & \quad \text{destination location} \\
 & \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4 = \text{weight parameters} \\
 & v = \text{vehicle speed} \\
 \\
 & \text{Type I: } \alpha_1 = 1, \alpha_2 = 0, \alpha_3 = 0, \alpha_4 = 0, v = 1: \quad \text{Max}_{i, o_i - d_i > 0} (-d_i) \quad (2) \\
 & \text{Type II: } \alpha_1 = 1, \alpha_2 = 1, \alpha_3 = 0, \alpha_4 = 0, v = 1: \quad \text{Max}_{i, o_i - d_i > 0} (o_i - d_i) \quad (3) \\
 & \text{Type III: } \alpha_1 = -1, \alpha_2 = 0, \alpha_3 = 1, \alpha_4 = 0, v = 1: \quad \text{Max}_{i, o_i - d_i > 0} (d_i + z_i) \quad (4) \\
 & \text{Type IV: } \alpha_1 = 1, \alpha_2 = 1, \alpha_3 = 1, \alpha_4 = 0, v = 1: \quad \text{Max}_{i, o_i - d_i > 0} (o_i - d_i + z_i) \quad (5) \\
 & \text{Type V: } \alpha_1 = -1, \alpha_2 = 0, \alpha_3 = 1, \alpha_4 = 1, v = v: \quad \text{Max}_{i, o_i - d_i > 0} ((d_i + z_i) / v + WT_i) \quad (6)
 \end{aligned}$$

식 (1)에서  $o_i$ 는 load  $i$ 에서 할당된 차량  $i$ 까지의 거리를,  $d_i$ 는 load  $i$ 에서 새로이 유휴상태가 된 차량까지의 거리를,  $z_i$ 는 load  $i$ 의 출발지에서 도착지까지의 거리를,  $WT_i$ 는 load

$i$ 가 발생한 이후 현재까지 기다린 시간을 나타내고,  $v$ 는 차량의 속도를 의미한다. 식 (1)은 가중치  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 와 차량의 속도  $v$ 의 값에 의해서 식 (2)~(6)에서 예를 보인 대로 다양한 수식을 표현할 수 있다. 식 (2)는 차량이 유휴상태가 되면,  $o_i - d_i > 0$ 을 만족하는 (즉, load와 기존 차량과의 거리가 새로이 load에 할당될 수 있는 차량과의 거리보다 클 때), load 중에서 유휴차량에 가장 가까운 차량을 찾는 것이고, 식 (3)은  $o_i - d_i$ 를 최대화하는 load  $i$ 를 찾아서 그 load에 할당된 차량  $i$ 의 retrieval 작업을 취소시키고, load  $i$ 를 유휴 차량에 재할당한다. 식 (4)은 차량과 load와의 거리뿐만 아니라 load의 목적지까지의 거리도 고려해 총 반송시간이 긴 것을 선택하는 것이다. 식 (5)는 식 (3)에 목적지까지의 거리를 함께 고려한 것이다. 식 (6)은 load와 차량과의 거리를 차량의 속도로 나누어 시간으로 환산하고 여기에 지금까지 차량을 기다린 시간을 더한 값을 이용한다. Load가 차량을 기다리는 시간을 고려한 이유는 차량으로부터 멀리 떨어져 있는 load가 기다리는 시간이 지나치게 많아지는 것을 방지하기 위함이다.

### 5. 시뮬레이션 실험결과

본 절에서는 반도체 라인에 재할당 기반 차량배차 규칙을 적용한 결과를 shortest travel distance first (STDF) 규칙을 적용한 결과와 비교하여 그 효용성을 보인다. STDF는 단순하여 이해와 적용이 쉽고 탁월한 생산성을 보이는 규칙으로 가장 널리 사용되는 차량배차규칙 중의 하나이다.

차량배차 규칙에 따른 성능분석을 위해 AutoMod를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구에서 고려하는 시스템은 AutoMod의 path mover system과 power and free system으로 구현이 가능하나 시뮬레이션 시간에서 power and free system이 수습 배 빠르기 때문에 power and free system을 사용하였다.

시뮬레이션은 차량대수 160대에서 170대 까지에 각 대수에 대해 10회 반복하여 실시하였다. 표1은 STDF 규칙을 사용한 결과를 보이고 표2-6은 제안된 재할당 기반의 차량 배차 규칙을 사용한 결과를 보인다. 목표가동률 70%를 도달하기 위해서 STDF는 170대의 차량이 필요한 반면 재할당 기반 차량배차규칙은 161-162대의 차량을 필요로 한다. 목표가동률에서의 반송시간에서도 제안된 차량배차규칙을 사용하였을 때 평균 5초 이상 적었다. 또한 반송시간의 편차에서도 STDF보다 매우 우수한

결과를 내었다. 예를 들어 Bay간 반송의 경우 재할당 기반 차량배차규칙 Type V를 적용하였을 때는 반송시간의 표준편차가 9.9초이지만 STDF를 적용하였을 때는 19.2초였다. 반송시간이 줄어드는 것은 생산성 향상에 큰 도움을 주고, 반송시간의 편차가 줄어드는 것은 그 시스템의 예측성 및 제어성을 높일 수 있는 중요한 의미를 가진다.

표 2-6에서는 사용하는 수식 형태에 따른 재할당 기반의 차량배차규칙 결과를 보인다. 전반적으로 차량대수와 평균 반송시간 및 반송시간의 편차에서 유사한 결과를 보였으나 수식 형태에 따라 근소한 차이를 보였다. 먼저 반송시간 측면에서는 Type II와 Type IV가 다소 우수한 결과를 보였다. 이는 수식에서  $o_i - d_i$  를 고려함으로써 재할당으로 인한 거리의 단축을 적극적으로 유도한 결과로 해석할 수 있겠다.

반송시간의 편차 측면에서는 Type V가 가장 우수한 결과를 보였다. Type V에서는 load의 기다린 시간  $WT$ 와 목적지까지의 거리  $z$ 를 고려함으로써 각 load의 전체 반송시간을 줄이고자 하였다. 그 결과 Cell간 반송 등의 거리가 먼 load들에 우선권이 주어져서 긴 거리의 반송시간을 줄이는 효과가 발생하였다. 차량대수 162일 때 Cell간 반송에서 Type V의 경우가 반송시간 124.1초, 반송시간 편차 16.1초로 가장 짧다.

제안된 재할당 기반 차량배차규칙은 Bozer와 Yen(1996), Le-Anh 와 de Koster (2005) 등이 제안한 재할당 기반 규칙들과 비교하여서도 우수한 결과를 보였다. 보다 자세한 내용은 Kim 등 (2006)에 기술되어 있다.

표 1. Shortest Travel Distance First(STDF) 규칙 적용결과

차량 대수		160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
평균대기 load 수		54.3	52.5	51.6	49.9	48.9	48.0	47.1	46.6	46.0	45.3	<b>44.8</b>
반송 시간 (초)	전체	113.4	111.8	111.0	109.5	108.6	107.9	107.1	106.7	106.1	105.5	<b>105.1</b>
	Bay내 반송	82.3	80.7	79.9	78.4	77.5	76.7	75.9	75.4	74.8	74.2	<b>73.9</b>
	Bay간 반송	119.3	117.7	116.9	115.3	114.5	113.7	112.9	112.5	111.9	111.3	<b>110.9</b>
	Cell간 반송	138.6	137.0	136.1	134.6	133.7	133.0	132.1	131.7	131.2	130.5	<b>130.1</b>
	Stocker반송	113.0	111.8	111.2	110.1	109.6	109.0	108.6	108.2	107.9	107.4	<b>107.2</b>
반송 시간 표준 편차 (초)	전체	33.9	33.4	33.1	32.6	32.2	32.0	31.7	31.6	31.4	31.2	<b>31.0</b>
	Bay내 반송	24.3	23.4	23.0	22.1	21.6	21.0	20.4	20.3	19.9	19.4	<b>19.2</b>
	Bay간 반송	26.7	26.0	25.7	24.8	24.4	24.1	23.7	23.5	23.2	22.9	<b>22.8</b>
	Cell간 반송	28.2	27.7	27.4	26.7	26.1	25.7	25.5	25.1	25.0	24.8	<b>24.5</b>
	Stocker반송	18.1	17.8	17.4	16.9	16.8	16.4	16.4	16.1	16.1	15.8	<b>15.9</b>
차량 상태 (%)	Deliver	48.2	47.9	47.5	47.2	47.0	46.7	46.4	46.1	45.9	45.6	<b>45.3</b>
	Idle	19.9	21.5	22.4	23.9	25.0	25.9	26.9	27.7	28.5	29.3	<b>30.0</b>
	Retrieval	31.9	30.7	30.0	28.9	28.1	27.4	26.7	26.2	25.7	25.1	<b>24.7</b>

표 2. Type I을 이용하여 재할당 기반 차량배차규칙 적용결과

차량 대수		160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
평균대기 load 수		38.7	38.4	<b>38.2</b>	37.9	37.7	37.5	37.3	37.1	36.9	36.7	36.5
반송 시간 (초)	전체	100.7	100.5	<b>100.2</b>	100.1	99.8	99.6	99.5	99.3	99.2	99.0	98.9
	Bay내 반송	69.1	68.9	<b>68.7</b>	68.5	68.3	68.1	67.9	67.8	67.6	67.5	67.3
	Bay간 반송	106.7	106.5	<b>106.2</b>	106.0	105.8	105.6	105.5	105.3	105.1	105.0	104.9
	Cell간 반송	125.9	125.7	<b>125.4</b>	125.3	125.1	124.9	124.7	124.6	124.4	124.2	124.1
	Stocker반송	101.5	101.4	<b>101.2</b>	101.1	100.9	100.8	100.6	100.6	100.3	100.2	100.1
반송 시간 표준 편차 (초)	전체	27.4	27.3	<b>27.2</b>	27.1	27.0	27.0	26.9	27.0	26.8	26.8	26.8
	Bay내 반송	11.6	11.3	<b>11.3</b>	11.1	10.7	10.8	10.4	10.6	10.1	10.0	9.9
	Bay간 반송	17.2	17.2	<b>16.9</b>	16.9	16.8	16.7	16.6	16.6	16.3	16.3	16.3
	Cell간 반송	19.4	19.4	<b>19.2</b>	19.1	19.0	18.9	18.9	18.8	18.6	18.6	18.6
	Stocker반송	8.0	7.9	<b>7.8</b>	7.2	7.6	7.2	7.4	7.1	7.0	6.9	6.9
차량 상태 (%)	Deliver	48.8	48.5	<b>48.1</b>	47.9	47.6	47.3	47.0	46.7	46.4	46.2	45.9
	Idle	28.9	29.5	<b>30.1</b>	30.7	31.2	31.8	32.3	32.8	33.3	33.9	34.3
	Retrieval	22.3	22.1	<b>21.8</b>	21.5	21.2	21.0	20.7	20.5	20.3	20.0	19.8

표 3. Type II 를 이용하여 재할당 기반 차량배차규칙 적용결과

차량 대수	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	
평균대기 load 수	37.9	<b>37.6</b>	37.4	37.1	36.9	36.8	36.6	36.4	36.2	36.0	35.8	
반송 시간 (초)	전체	99.8	<b>99.6</b>	99.4	99.2	99.1	98.9	98.7	98.6	98.5	98.3	98.2
	Bay내 반송	68.3	<b>68.2</b>	67.9	67.8	67.6	67.4	67.2	67.1	66.9	66.7	66.6
	Bay간 반송	105.8	<b>105.6</b>	105.4	105.1	105.0	104.9	104.7	104.6	104.4	104.3	104.1
	Cell간 반송	125.0	<b>124.8</b>	124.6	124.4	124.3	124.1	123.9	123.8	123.6	123.5	123.3
	Stocker반송	101.1	<b>100.9</b>	100.7	100.5	100.5	100.3	100.2	100.1	99.9	99.7	99.7
반송 시간 표준 편차 (초)	전체	26.8	<b>26.8</b>	26.7	26.6	26.6	26.5	26.5	26.5	26.4	26.4	26.4
	Bay내 반송	10.0	<b>9.9</b>	9.6	9.5	9.3	9.3	9.0	8.8	8.7	8.5	8.3
	Bay간 반송	16.4	<b>16.5</b>	16.2	16.0	16.0	15.9	15.9	15.9	15.7	15.8	15.6
	Cell간 반송	18.7	<b>18.6</b>	18.6	18.5	18.4	18.3	18.2	18.2	18.0	18.1	18.0
	Stocker반송	7.7	<b>7.4</b>	7.5	7.1	7.1	6.8	6.6	7.1	6.5	6.2	6.6
차량 상태 (%)	Deliver	48.7	<b>48.3</b>	48.1	47.8	47.5	47.2	46.9	46.6	46.4	46.1	45.8
	Idle	29.4	<b>30.0</b>	30.6	31.2	31.7	32.3	32.8	33.3	33.8	34.3	34.8
	Retrieval	21.9	<b>21.6</b>	21.3	21.1	20.8	20.6	20.3	20.1	19.8	19.6	19.4

표 4. Type III 를 이용하여 재할당 기반 차량배차규칙 적용결과

차량 대수	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	
평균대기 load 수	38.7	38.3	<b>38.0</b>	37.7	37.5	37.2	36.9	36.7	36.6	36.3	36.1	
반송 시간 (초)	전체	100.4	100.1	<b>99.9</b>	99.6	99.4	99.1	99.0	98.8	98.7	98.5	98.3
	Bay내 반송	69.0	68.6	<b>68.4</b>	68.2	67.9	67.6	67.4	67.3	67.1	67.0	66.7
	Bay간 반송	106.3	106.0	<b>105.8</b>	105.5	105.3	105.1	104.9	104.7	104.6	104.4	104.1
	Cell간 반송	125.5	125.2	<b>125.0</b>	124.7	124.5	124.2	124.0	123.9	123.8	123.6	123.4
	Stocker반송	102.0	101.8	<b>101.5</b>	101.3	101.1	100.8	100.7	100.5	100.5	100.2	100.1
반송 시간 표준 편차 (초)	전체	26.3	26.3	<b>26.2</b>	26.0	26.0	26.0	25.9	25.9	25.8	25.8	25.7
	Bay내 반송	8.9	8.5	<b>8.3</b>	7.7	7.7	7.3	7.3	7.4	6.9	6.5	6.4
	Bay간 반송	15.5	15.4	<b>15.3</b>	15.1	15.1	15.0	14.8	14.8	14.7	14.6	14.4
	Cell간 반송	18.0	18.0	<b>17.8</b>	17.5	17.4	17.4	17.2	17.2	17.2	17.1	16.9
	Stocker반송	6.6	6.5	<b>6.3</b>	5.9	5.8	5.7	5.5	5.4	5.3	4.9	5.2
차량 상태 (%)	Deliver	48.6	48.3	<b>48.0</b>	47.7	47.4	47.1	46.8	46.6	46.3	46.0	45.8
	Idle	29.0	29.7	<b>30.3</b>	30.9	31.5	32.1	32.6	33.1	33.7	34.2	34.7
	Retrieval	22.4	22.0	<b>21.7</b>	21.4	21.1	20.8	20.5	20.3	20.1	19.8	19.5

표 5. Type IV 를 이용하여 재할당 기반 차량배차규칙 적용결과

차량 대수	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	
평균대기 load 수	37.9	<b>37.7</b>	37.4	37.2	37.0	36.9	36.6	36.4	36.2	36.1	35.9	
반송 시간 (초)	전체	99.9	<b>99.7</b>	99.5	99.3	99.1	99.0	98.9	98.7	98.5	98.4	98.2
	Bay내 반송	68.4	<b>68.2</b>	68.0	67.8	67.6	67.5	67.3	67.1	66.9	66.8	66.6
	Bay간 반송	105.9	<b>105.7</b>	105.5	105.3	105.1	105.1	104.9	104.6	104.5	104.4	104.2
	Cell간 반송	125.1	<b>125.0</b>	124.7	124.6	124.3	124.3	124.0	123.9	123.7	123.6	123.4
	Stocker반송	101.0	<b>100.8</b>	100.6	100.5	100.5	100.3	100.2	100.1	99.9	99.8	99.6
반송 시간 표준 편차 (초)	전체	26.6	<b>26.5</b>	26.4	26.4	26.3	26.3	26.3	26.2	26.2	26.2	26.1
	Bay내 반송	9.3	<b>9.2</b>	9.0	8.8	8.5	8.5	8.3	8.2	8.1	7.7	7.5
	Bay간 반송	16.0	<b>15.8</b>	15.8	15.7	15.5	15.5	15.4	15.3	15.2	15.3	15.0
	Cell간 반송	18.3	<b>18.2</b>	17.9	18.0	17.9	17.9	17.8	17.8	17.7	17.7	17.4
	Stocker반송	6.7	<b>6.9</b>	6.7	6.8	6.5	6.2	6.3	6.1	5.6	6.1	5.9
차량 상태 (%)	Deliver	48.7	<b>48.4</b>	48.1	47.8	47.5	47.2	47.0	46.7	46.4	46.2	45.9
	Idle	29.4	<b>30.0</b>	30.5	31.1	31.7	32.2	32.7	33.2	33.7	34.2	34.7
	Retrieval	21.9	<b>21.6</b>	21.3	21.1	20.8	20.6	20.4	20.1	19.9	19.7	19.4

표 6. Type V 를 이용하여 재할당 기반 차량배차규칙 적용결과

차량 대수	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
평균대기 load 수	38.7	38.3	<b>38.1</b>	37.7	37.5	37.2	37.0	36.8	36.6	36.4	36.2
반송 시간 (초)	전체	100.5	100.2	<b>100.0</b>	99.7	99.5	99.3	99.1	98.9	98.7	98.6
	Bay내 반송	70.2	69.9	<b>69.6</b>	69.3	69.1	68.8	68.7	68.4	68.2	68.0
	Bay간 반송	106.3	105.9	<b>105.7</b>	105.5	105.3	105.1	104.9	104.6	104.5	104.3
	Cell간 반송	124.5	124.3	<b>124.1</b>	123.8	123.6	123.4	123.3	123.1	123.0	122.9
	Stocker반송	101.9	101.7	<b>101.6</b>	101.2	101.1	100.9	100.8	100.6	100.4	100.2
반송 시간 표준 편차 (초)	전체	25.4	25.3	<b>25.3</b>	25.2	25.1	25.1	25.1	25.0	25.1	25.0
	Bay내 반송	11.1	10.9	<b>10.6</b>	10.2	10.0	9.8	9.5	9.4	9.1	9.1
	Bay간 반송	14.9	14.7	<b>14.5</b>	14.3	14.4	14.1	14.0	14.1	14.0	13.9
	Cell간 반송	16.4	16.2	<b>16.1</b>	16.0	15.9	15.9	15.7	15.7	15.8	15.7
	Stocker반송	6.0	5.3	<b>5.3</b>	4.4	4.6	4.8	4.4	3.8	4.1	4.2
차량 상태 (%)	Deliver	48.6	48.3	<b>48.0</b>	47.7	47.4	47.1	46.9	46.6	46.3	46.1
	Idle	29.0	29.7	<b>30.3</b>	30.9	31.5	32.0	32.6	33.1	33.6	34.1
	Retrieval	22.4	22.0	<b>21.7</b>	21.4	21.1	20.8	20.6	20.3	20.1	19.8

6. 결론

본 연구에서는 잠재되어 있는 효율성이 지대함에도 불구하고 지금까지 연구자들의 충분한 관심을 받지 못한 재할당 기반의 차량배차규칙의 효율성을 보였다. 이를 위해 Overhead Hoist Transport(OHT)를 운반 장비로 사용하는 반도체 생산 라인 자동물류시스템을 위한 재할당 기반 차량배차규칙을 개발하고 시뮬레이션을 통하여 STDF 규칙과 비교하였다.

고려대상인 반도체 라인에서, 목표가동률 70%를 도달하기 위해서 STDF는 170대의 차량이 필요한 반면 재할당 기반 차량배차규칙은 161-162대의 차량을 필요로 하였다. 필요한 차량대수의 감소는 비용절감뿐만 아니라 생산성에도 영향을 미친다. 반도체 라인과 같이 제한된 공간에서의 물류시스템에서는 차량 즉 자원을 증가시킨다고 해서 생산성이 지속적으로 증가되는 것은 아니다. 좁은 공간에 많은 대수의 차량을 투입하게 되면 오히려 교통지체현상이 발생하여 생산성이 감소하는 효과를 낼 수도 있다. 따라서 최소한의 차량대수로 최선의 생산성을 낼 수 있는 시스템을 만들면 향후 더 많은 작업 부하가 걸릴 때 교통지체현상을 최소한으로 하면서도 추가적인 차량을 투입할 수 있는 여지를 만들 수 있게 된다.

또한 반송시간 및 반송시간의 편차가 괄목할만하게 감소되었다. 반송시간의 감소는 물류시스템의 생산성향상에 도움이 되고 편차의 감소는 물류시스템의 예측성 및 제어성 증가에 도움이 된다.

제안된 재할당 기반의 차량배차규칙은 이해하기 쉽고 적용하기 용이하며 robust 하여 많은 AGV/OHT 시스템에 적용 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] Bozer, Y. A., and Yen, C.-K., "Intelligent dispatching rules for trip-based material handling systems," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 15, No. 4 (1996), pp. 226-239.

[2] Egbelu, P. J., and Tanchoco, J. M. A., "Characterization of automated guided vehicle dispatching rules," *International Journal of Production Research*, Vol. 22, No. 3 (1984), pp. 359-374.

[3] Ganesharajah, T., Hall, N. G., and Sriskandarajah, C., "Design and operational issues in AGV-served manufacturing systems," *Annals of Operations Research*, Vol. 76 (1998), pp. 109-154.

[4] Hodgson, T. J., King, R. E. and Monteith, S. K., "Developing control rules for an AGVS using Markov Decision Processes," *Material Flow*, Vol. 4 (1987), pp. 85-96.

[5] Kim, B.-I., Oh S., Shin J, Jung, M., Chae J., and Lee, S., "Effectiveness of Vehicle Reassignment in a Large Scale Overhead Hoist Transport System," *International Journal of Production Research* (accepted, 2006)

[6] Le-Anh, T. and De Koster, M. B. M., "On-line dispatching rules for vehicle-based internal transport systems," *International Journal of*

- Production Research*, Vol. 43, No. 8(2005), pp. 1711-1728.
- [7] Le-Anh, T. and De Koster, M. B. M., "A review of design and control of automated guided vehicle systems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 171(2006), pp. 1-23.
- [8] Nazzari, D. and Bodner, D. A., "A simulation-based design framework for automated material handling systems in 300mm fabrication facilities," *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, Chick, S., Nchez, P. J. S., Ferrin, D., and Morrice, D. J. (eds.), pp. 1351-1359, 2003.