

반도체 라인 물류시스템에서의 할당문제 기반 차량 배차 Assignment Problem Based Vehicle Dispatching for a Semiconductor FAB

김병인, 신재준, 정상원

Byung-In Kim, Jaejoon Shin, Sangwon Jeong
포항공과대학교 산업경영공학과/제품생산기술연구소
(bkim, redguy, pheonix@postech.ac.kr)

Abstract

This paper considers the vehicle dispatching problem in the automated material handling system (AMHS) of a large scale semiconductor fabrication line, which consists of 18 bays, 468 equipments and uses more than 130 overhead hoist transporters (OHT). We propose an assignment problem based vehicle dispatching approach to take advantage of simultaneous vehicle reassignment based on up-to-date system status. The proposed approach compares favorably with the shortest travel distance first rule and with the reassignment based rule which was recently proposed by the authors, in the number of vehicles required and the average lead time.

1. 연구개요

반도체 생산 라인에서 자동물류시스템 (AMHS: Automated Material Handling System)은 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. AMHS는 프로세스 설비간에 웨이퍼를 운반하는 기능을 담당한다. 즉 어떤 설비에서 프로세스가 끝나면 다음 프로세스 설비로 웨이퍼를 운반한다. 반도체 제품에 따라서는 600 개 이상의 프로세스를 거치는 제품도 있다. AMHS를 구성하는 기술에는 AGV(Automated Guided Vehicle), RGV(Rail Guided Vehicle), OHT(Overhead Hoist Transport), CFT(Continuous Flow Transport) 등이 있는데 [5], 본 연구에서는 300mm FAB 라인부터 점차 중요성이 증가하고 있는 OHT 시스템에 대한 차량배차문제를 다룬다.

OHT 시스템에서는 AGV 시스템에서와 마찬가지로, 유도경로 설계 (flow path 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), 유희 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 AMHS의 효율성에 지대한 영향을 줄 수 있는 중요한 결정사항이다. 사용하는 배차규칙에 따라 필요로 하는 차량대수 및 반송시간 (lead time)이 달라질 수 있다. 본 연구에서는 차량대수를 최소한으로 하고 평균 반송시간 및 반송시간의 분산을 줄이는 것을 목적으로 한다. 연구문헌에 나타나 있는 대표적인 AGV/OHT 차량 배차 규칙들은 Ganesharajah et al. [2]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 하였다더라도 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 유희상태에서 이동하고 있는 중이다. 이때 그림과 같이 유도경로의 윗부분에 새로운 작업이 발생한다면 그 작업에서 가장 가까이에 있는 유희 차량인 V2가 그 작업에 할당된다. 하지만 약간의 시간이 흐른 시간 t_2 에서의 상황은 t_1 에서의 결정을 바꾸는 것이 더 효율적임을 보인다. 시간 t_2 에서는 V1이 작업을 마치고 유희상태가 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.

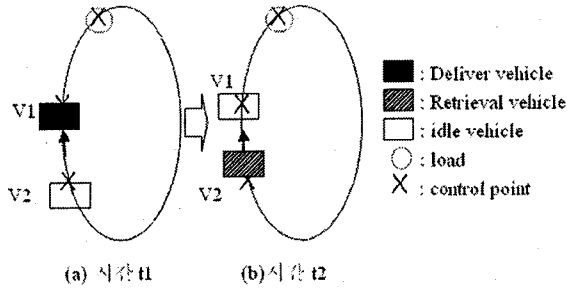


그림 1. 시간변화에 따른 시스템 변화

위와 같은 관찰에 근거하여 저자들은 최근에 재할당기반 차량배차 방법론을 제안하였는데, 제안된 방법은 전통적으로 가장 많이 사용되는 배차 규칙인 Shortest Travel Distance First(STDF)과 연구문헌에 나타나 있는 다른 재할당기반 배차규칙들과 비교하였을 때 적은 수의 차량을 가지고도 짧은 평균 반송시간을 얻는 우수한 결과를 보였다. 보다 자세한 내용은 [1,3]에 기술되어 있다.

기존에 저자들이 제안한 방법에서 어떤 작업에 대한 차량의 재할당은 다음과 같이 발생한다. 어떤 차량이 delivery 작업(웨이퍼를 산고 운반하여 내려놓는 작업)을 끝낼 때, 먼저 아직 차량에 할당되지 않은 운반작업(운반되기 위해 차량을 기다리는 웨이퍼)이 있는지 찾아보고, 그런 작업이 있다면 그 작업 중 가장 가까이 있는 작업을 선택하여 retrieve 작업(웨이퍼를 싣기 위하여 이동하는 작업)을 수행하게 된다. 모든 웨이퍼가 이미 다른 차량에 할당이 되었다면, 그 웨이퍼들 중에서 아직 차에 실리지 않고 기다리고 있는 웨이퍼들 중 기존에 할당된 차량보다 현재 delivery작업을 끝낸 차량이 더 가까이 있는 웨이퍼가 있는지 확인한다. 그런 웨이퍼들이 있다면 그 중 재할당을 하였을 때 가장 큰 이득을 얻을 수 있는 웨이퍼를 선택하여 운용가능해진 차량에 할당하고 기존에 할당된 차량으로부터는 할당 웨이퍼작업을 없애고 다른 작업에 운용가능할 수 있도록 한다.

기존에 저자들이 제안한 방법은 다른 규칙들에 비해 우수한 결과를 내었으나 아직 개선의 여지가 있다. 기존의 방법에서는 어떤 차량이 운용 가능해졌을 때 어떤 하나의 wafer 운반작업에 얼마나 이득이 있느냐에 근거해

재할당이 이루어지고 생길 수 있는 재할당은 많아야 한번이기 때문에 근시안적인 결정이 될 수 있다.

본 연구에서는 한번에 한번 수행하는 재할당 개념을 확장하여 모든 차량-작업(웨이퍼) 할당 관계를 동시에 고려하여 동시에 여러 개의 재할당을 할 수 있는 방법을 제안하고 적용한다.

2. 할당문제(Assignment Problem) 기반 차량배차 및 재할당

차량배차 및 재할당 문제는 할당문제(Assignment Problem)로 자연스럽게 모델링 될 수 있다. 아래 식 (1)-(4)는 차량배차 및 재할당문제를 위한 모델이다. 여기서 index i 에 해당하는 것은 웨이퍼 운반 작업인데, 어떤 결정 시점에서 여기에 해당하는 작업은 시스템에 발생하였으나 아직 차량에 실리지 않은 모든 작업을 포함한다. 즉, 이미 차량에 할당이 된 작업들도 아직 실리지 않았다면 여기에 포함되는 것이다. 모델에서 사용되는 index j 는 delivery 작업을 수행하고 있지 않은 모든 차량을 포함한다. 즉, 어떤 작업에 할당되어 retrieve 하러 가는 차량도 여기에 해당이 된다.

할당문제 기반 차량배차 및 재할당 방법의 기본 개념은 결정시점에서 가장 최근의 시스템 정보(차량의 위치 및 wafer의 위치)를 이용하여 차량-작업 할당을 전체 시스템 관점에서 다시 한다는 것이다.

$$\text{Let } x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if load } i \text{ is assigned to vehicle } j \\ 0 & \text{if not,} \end{cases}$$

$$c_{ij} = \text{cost of matching load } i \text{ with vehicle } j$$

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad \text{for } i=1,2,\dots,n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad \text{for } j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

$$x_{ij} = \text{binary, for all } i \text{ and } j \quad (4)$$

차량 수와 작업 수가 일치하지 않을 때는 가상의 차량이나 작업을 만들어 수가 일치하도록 모델링하는 것은 잘 알려진 방법이다. 할당문제는 헝가리안 알고리즘을 이용하면 쉽게 풀 수 있다 [6].

위 모델에서 결정되지 않은 것은 비용함수 c_{ij} 설정에 관한 것이다. 가장 간단하고 자연스러운 방법은 c_{ij} 를 차량 j 에서 운반작업의 시작지점까지의 거리 (t_{ij} 로 명명함)로 설정하는 것일 것이다. 하지만 t_{ij} 만을 사용하면 어떤

차량에서 같은 거리에 있지만 기다린 시간이 다른 두개의 운반작업을 구분할 수 없게 된다. 같은 거리에 있는 경우 기다린 시간이 많은 작업이 우선권을 가지는 것이 공정할 것이다. 이와 같은 논리에 의해 식 (5)와 같이 비용함수를 계산하도록 하였다.

$$c_{ij} = w1*(MaxWaitTime - WT_i) + w2*t_{ji} \quad (5)$$

where, WT_i = waiting time of load i at the decision making moment

$MaxWaitTime$ = constant value greater than any possible WT_i (example value = 1000)

t_{ji} = distance from vehicle j to the starting location of load i

$w1, w2$ = weight parameters

가중치 $w1$ 과 $w2$ 를 적절히 조절하면 식의 첫째 항목과 둘째 항목의 단위가 일치하지 않은 문제도 자연스럽게 해결할 수 있다. 다음 절에 보이는 실험결과는 $w1=1, w2=10$ 을 사용한 것이다. 이 가중치는 여러 번의 선행 실험을 통해 얻었다.

다음으로 남은 문제는 재할당하는 의사결정 시점을 언제로 할 것이냐에 관한 것이다. 즉, 언제 할당문제를 만들고 그 문제의 해를 구하여 차량을 재할당할 것이냐의 문제이다. 본 연구에서는 의사결정시간을 최근에 제안되었던 재할당 기반 차량배차와 마찬가지로 어떤 차량이 delivery 작업을 마치고 다른 작업에 이용 가능한 상태가 되었을 때로 설정하였다.

3. 적용 실험 결과

본 절에서는 반도체 라인에 앞 절에서 제안한 할당문제 기반 차량배차 방법을 적용한 결과를 STDF 규칙 및 저자들에 의해 최근에 제안된 재할당 기반 차량배차규칙을 적용한 결과와 비교하여 그 효율성을 보인다.

차량배차 규칙에 따른 성능분석을 위해 AutoMod를 이용한 시물레이션을 수행하였다. OHT 시스템은 AutoMod의 power and free system으로 구현하였다. 시물레이션은 그림2와 같은 라인에 적용하였는데 이는 [1,3]에서 사용한 반도체 공정 라인과 유사한 것으로 가로길이는 90 m 세로길이는 100 m 가량되고, 18개의 bay로 이루어져 있고 각 bay당 26개의 프로세스 설비가 있다. 중앙통로에 6개의 stocker가 있으며 설비에서 설비까지 직반송이 가능한 시스템이다. 발송하는 운반작업은 지수분포로 발생되는데 24시간에 평균 100,000개의 작업이 발생하도록 하였다. 자세한

layout은 [1,3]에 기술되어 있다.

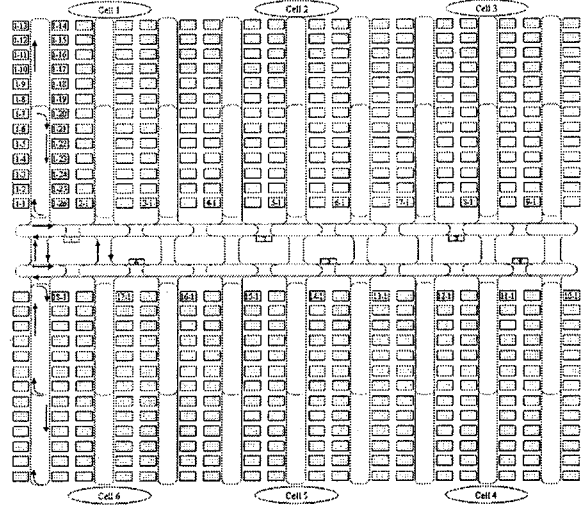


그림2. 반도체 라인 layout

시물레이션은 차량대수 130대에서 170대까지 5대씩 증가하며 STDF, 재할당 기반의 차량배차, 그리고 본 논문에서 제안하는 할당 기반 차량배차 규칙을 적용하도록 하였다. 각 시물레이션은 1시간의 예비시간(warm-up)후 24시간의 데이터를 수집하도록 하였으며 10회 반복하도록 하였다.

표 1에 STDF, 재할당 기반 차량배차규칙, 할당문제 기반 차량배차 규칙을 적용한 결과를 보인다. 시스템에 135대의 차량을 투입하였을 때의 평균반송시간은 사용규칙에 따라 각각 135.9초, 132.9초, 109.3초를 보인다. 또한 평균 대기 작업 수(Qsize)는 78.0, 74.7, 47.3이다. 즉, 할당문제 기반의 차량배차 규칙을 적용하였을 때 AMHS의 효율성이 다른 차량배차규칙을 적용했을 때에 비교하여 월등히 좋음을 알 수 있다.

80 퍼센트의 차량가동율을 내기 위해 할당문제 기반 차량배차 규칙을 사용할 때는 149대의 차량이 필요한 반면, 재할당기반 규칙을 사용할 때는 152 대가 필요하고 STDF를 사용할 때는 162대가 필요했다. 또한 해당되는 차량대수를 투입했을 때의 평균 반송시간을 비교했을 때 할당문제 기반, 재할당 기반, STDF 순서로 커짐을 알 수 있다. 즉, 할당문제 기반 차량배차규칙을 적용하였을 때 다른 규칙에 비해 적은 수의 차량을 투입하고도 짧은 평균 반송시간을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

시스템내에 투입된 차량의 수가 적을 때, 즉 각 차량에 할당되는 작업의 수가 많아질 때 할당문제 기반 차량배차 규칙이 재할당 기반 차량규칙에 비해 특별히 우수한 결과를 보인다.

표1. 규칙 적용 실험 결과

	Num of vehicles	130	135	140	145	150	155	160	165	170
STDF	Qsize (each)	79.2	78.0	78.4	78.5	76.4	69.0	54.5	45.3	41.5
	Avg Lead Time(sec)	137.0	135.9	135.8	135.8	133.9	127.1	114.9	107.5	103.8
	Lead Time Std Dev(sec)	50.5	45.4	42.5	40.8	39.8	38.8	35.8	32.7	30.9
	Vehicle Idle (%)	0.0	0.1	0.3	0.8	2.7	7.8	17.4	25.0	29.3
재할당 기반 배차 규칙	Qsize (each)	78.6	74.7	66.9	53.3	43.6	39.8	37.9	36.7	35.6
	Avg Lead Time(sec)	136.3	132.9	126.2	114.5	106.2	103.0	101.4	100.3	99.5
	Lead Time Std Dev(sec)	50.0	43.7	39.0	33.4	29.1	27.5	27.1	27.0	26.9
	Vehicle Idle (%)	0.0	0.7	3.7	10.5	18.8	23.2	26.7	29.6	32.4
할당 문제 기반 배차 규칙	Qsize (each)	52.0	47.3	43.9	41.4	39.5	38.1	37.0	36.0	35.2
	Avg Lead Time(sec)	113.4	109.3	106.3	104.2	102.6	101.3	100.4	99.6	98.9
	Lead Time Std Dev(sec)	38.7	34.0	31.5	30.0	29.2	28.7	28.4	28.1	27.9
	Vehicle Idle (%)	3.9	8.1	12.6	17.0	20.9	24.3	27.4	30.2	32.7

그렇게 되는 이유는 다음과 같이 설명될 수 있다. 각 차량에 할당되는 작업의 수가 많을 때는 유휴 차량이 거의 발생하지 않기 때문에 재할당 기반 규칙으로는 재할당 되는 경우가 자주 발생하지 않게 된다. 하지만 할당기반 차량배차 규칙을 적용할 때는 유휴차량이 있건 없건 어떤 차량이 delivery 작업을 마쳤을 때는 전체적으로 재할당이 발생할 수 있기 때문에 많은 개선을 이룰 수 있다. 보다 자세한 실험결과는 [4]에 기술되어 있다.

4. 결론

본 논문에서는 재할당 기반 차량배차 규칙을 확장시켜서 할당문제 기반 차량배차규칙을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 방법은 동시에 여러 개의 재할당이 일어날 수 있도록 하여 시스템 전체의 효율을 향상시키고자 하였다. 제안된 할당문제 기반 배차규칙은 STDF와 재할당 기반 차량배차규칙과 비교하였을 때 필요한 차량대수, 평균반송시간 및 반송시간의 분산측면에서 모두 탁월한 성능을 보였다. 제안된 차량배차규칙 방법은 어떤 AMHS 시스템에도 쉽게 적용가능하다.

참고문헌

- [1] 김병인, 신재준, 오승진, 정무영, 채준재, 이수정, "반도체라인 자동물류시스템에서의 재할당 기반 차량 배차", 2006 대한산업공학회/한국경영과학회 춘계공동학술대회지, 대전, 2006.5.19-20.
- [2] Ganesharajah, T., N.G. Hall, and C. Sriskandarajah, "Design and operational issues in AGV-served manufacturing systems," *Annals of Operations Research*, Vol. 76 (1998), pp. 109-154.
- [3] Kim, B.-I., S. Oh, J. Shin, M. Jung, J. Chae, and S. Lee, "Effectiveness of Vehicle Reassignment in a Large Scale Overhead Hoist Transport System," *International Journal of Production Research* (in press, 2006)
- [4] Kim, B.-I., J. Shin, S. Jeong, and J. Koo, "Effective OHT Dispatching Based on the Hungarian Algorithm for a Large Semiconductor Fab," Working Paper, 2006
- [5] Nazzari, D. and D.A. Bodner, "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.
- [6] Papadimitriou, C.H. and K. Steiglitz. *Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*, Dover Publications, Inc., Mineola, New York, pp. 248-255, 1998