

납기지연시간 단축을 위해 AGV 시간을 고려한 작업할당 방법

김근형* · 고효현* · 백준걸*

*고려대학교 산업경영공학과

A AGV time-oriented Job Dispatching Methodology for Preventing the Tardiness

Geun-Hyung Kim* · Hyo-Heon Ko* · Jun-Geol Baek*

*School of Industrial Management Engineering, Korea University

Abstract

Customers are generally requiring a variety of products, earlier due date, and lower price. A manufacturing process needs the efficient scheduling to meet those customer's requirements. This study proposes the novel algorithm named MJA(Minimum Job completion time and AGV time) that increases the performance of machines and AGV(Automated Guided Vehicles) in many kinds of job types. MJA optimizes the bottleneck of machines and efficiency of AGV with considering two types of dispatching at the same time. Suggested algorithm was compared with existing heuristic methods by several simulations, it performed better for reducing the time of tardiness.

Keywords : Dispatching Rules, Scheduling, Automated Guided Vehicles, Minimum Slack

1. 서론

최근 기업들은 고객중심의 기업운영을 하고 있다. 고객들은 시대가 흐를수록 더욱 다양한 제품, 빠른 납기와 저렴한 가격을 요구하고 있다. 기업은 빠르게 변화하는 경영환경에 발맞추기 위해 한층 더 효과적이고 효율적인 경영활동을 중요하게 부각한다. 기업의 경영활동은 급변하는 환경변화에 신속히 대처하고 다른 기업들과의 경쟁에서 우위를 차지하기 위해 많은 노력 중이다.

기업은 경쟁력 확보를 위해서 시장의 변화와 다양한 요구에 신속히 대응하고, 고객에 대한 맞춤형 재화와 서비스의 제공이 필수가 되었다. 생산능력을 갖추기 위해 기업은 시설 및 설비에 대한 투자와 생산관리의 개

선에 노력하고 있다. 하지만 제조 산업의 경우, 시설 및 설비에 대한 투자는 넓은 용지확보와 많은 구축비용이 필요하며 개선을 위한 장기간의 시간이 소요된다. 그러나 생산효율을 위한 생산관리는 큰 투자 없이 단기간에 효과를 얻을 수 있고, 시장 변화에 신속한 대응이 가능하다. 따라서 투자를 통한 개선활동도 중요하지만 관리를 통한 생산 효율 증대가 기업에게는 더욱 절실하다.

생산관리에서도 생산효율을 위해 생산성 증대와 납기 단축을 통한 작업효율을 향상시키는 일정계획(Scheduling)이 매우 중요하게 대두되고 있다. 즉, 동일한 작업이 더 빠른 시간에 처리될 수 있도록 하는 효율적인 일정계획이 요구되고 있다(Lee, 2009).

† 본 논문은 2011년도 2단계 두뇌한국(BK)21 사업에 의하여 지원되었음.

† 교신저자: 백준걸, 서울특별시 고려대학교 공과대학 산업경영공학과

M · P: 010-5699-5978, E-mail: jungeol@korea.ac.kr

2011년 10월 20일 접수; 2011년 12월 22일 수정본 접수; 2011년 12월 23일 게재확정

하지만 기업은 비효율적인 할당(Dispatching)으로 인해, 다양한 관리와 노력에도 불구하고 작업투입 대비 실질적 효과를 크게 거두지 못하고 있다.

생산 공정은 제품의 흐름에 따라 분류된다. 한 제품에 따라 직선적인 형태로 대량생산에 사용되는 흐름공정(Flow shop)과 다양한 제품을 단속적인 시간간격마다 소규모 로트(Lot)로 생산하는 단속공정(Job shop)이 있다.

단속공정은 제품의 종류가 다양하고 흐름경로가 상이한 공정으로 물류자동화를 위한 자원배치가 어렵기 때문에 비경제적인 경우가 많다. 따라서 흐름공정에 비해 비작업시간의 관리가 더욱 중요하다. 비작업시간은 지연시간, 이동시간, 검사시간 등으로 구성된다. 지연시간은 자원의 사용이 가능하지만 이전 공정이 완료되지 않거나(Starving), 이전 공정이 완료되었지만 자원의 사용이 불가능하여 대기(Blocking)하는 시간이다. 검사시간은 품질규격의 관리를 위한 시간이며, 이동시간은 공정순서에 의해 다음 자원으로 이동하는 시간이다. 기업은 작업지연의 원인이 되는 비작업시간의 단축을 위해 효율적 생산관리가 필요하다. 특히, 유휴시간은 지연시간의 대부분을 차지하므로 합리적이고 효과적인 일정계획에 의하여 줄여야 한다. 또한 이동시간은 AGV와 같은 물류장비와 지연 및 대기시간 내에 작업물을 운반하는 등의 방법으로 줄일 수 있다(Bae, 2006).

유휴시간 단축을 위한 일정계획에서의 할당은 대기 중인 작업의 우선순위를 정하는 작업할당과 작업배치 후 AGV를 선택하는 AGV할당으로 나눌 수 있다.

작업할당은 적절한 작업배치를 통해 작업의 대기시간을 단축하는 역할을 한다. 공정 목적에 적합한 작업배치는 공정시간을 줄이기 위해 생산성 향상이나 유휴시간의 단축으로 납기를 최소화하여 고객만족의 효과를 얻을 수 있다.

AGV할당은 빠른 자재 공급과 이동거리를 고려한 적절한 할당을 통해 기계의 유휴시간을 줄이는 역할을 한다. 동일 운송수단을 필요로 하는 대기 작업이 여러 개가 있을 때, 운송수단의 획득여부에 따라 작업의 대기시간과 운반시간으로 인해 작업지연의 정도가 달라진다. 작업지연을 줄이기 위해서 생산 공정은 적절한 자원 배치를 통해 공정의 대기시간 및 운반시간과 같은 비작업시간을 줄이기 위한 적절한 할당규칙이 필요하다.

작업할당과 AGV할당은 서로의 목적 달성을 위해 중요한 역할을 수행한다. 그리고 두 가지의 할당은 기업의 생산효율 향상과 고객만족이라는 공통된 목표를 가진다. 하지만 생산공정에서는 납기 만족을 위해 가공에 필요한 소요시간을 기반으로 작업 투입을 수행하였고, 대기시간이나 운반시간과 같은 비작업시간은 고려하지

않았다. 따라서 작업 입력은 효과적이나 산출부분에서 운송수단을 획득하지 못하여 대기하는 작업으로 인해 적체현상을 겪고 있다. 다양한 운송수단과 제품 특성은 복잡한 작업흐름을 가중시켜 고객 납기 준수를 더욱 어렵게 하고 있다. 납기만족을 위해 생산 공정은 비작업시간을 줄이는 것과 동시에 납기 준수가 가능한 효과적인 작업할당 방법을 필요로 하게 되었다. 특히, 납기는 지연으로 인한 비용발생과 고객만족의 실패로 기업경쟁력을 약화시키기 때문에 납기지연 시간을 최소화하기 위한 많은 연구가 진행되었다.

Egbelu and Tanchoco(1984)의 연구는 AGV 수행도가 할당규칙에 의해 영향 받음을 입증한 최초의 논문 중 하나로 여러 가지 할당 규칙을 비교하였다.

Montazeri and Wassenhove(1990)는 납기를 기준으로 한 여러 가지 할당 규칙들을 연구하였다. 기계의 여러 할당 규칙 중에서 S/O(least Slack per remain Operation)가 가장 우수한 규칙이라고 결론을 내렸지만 AGV의 할당 규칙에 대한 고려는 없었다.

Sabuncuoglu and Hommertzhaim(1992)은 모의실험을 통해 부품이 시스템에 머무는 평균시간에 대하여 기계와 AGV의 일정계획을 평가하였다. 모의실험 결과 가장 우수한 할당규칙은 기계의 경우 SPT(Shortest Process Time) 규칙이었으며, AGV는 LQS(Largest Queue Size) 규칙으로 나타났다.

Sabuncuoglu and Hommertzhaim(1993)은 모의실험을 이용해 다양한 시스템 환경에서 여러 납기 기준에 대하여 기계와 AGV의 할당규칙을 평가하였다. 모의실험 결과는 작업시간이 일양분포(Uniform Distribution)일 경우, 우수하다고 평가할만한 규칙은 없었으며, 지수분포(Exponential Distribution)인 경우에 기계는 MOD (Minimum Object Distance)가 그리고 AGV는 LQS가 평균 지연 시간을 최소화하는 할당 규칙으로 나타났다.

Liao and Lin(1998)는 자원이 제약된 단속공정에서의 작업준비시간(setup time), 납기(due date), 작업배치(labour assignment) 등을 고려하여 평균납기지연시간을 단축시키는 연구를 하였다.

위의 연구들에서는 생산시스템을 위한 작업할당 규칙에 관한 연구와 물류시스템을 위한 AGV할당 규칙에 관한 연구가 분리되어 있었다. 따라서 하나의 공정에서 분리된 두 가지 할당은 서로 상관관계를 갖지 못한다. 각자 목적에 적합한 할당일지라도 서로간의 영향을 미치기 때문에 조화가 중요하다. 이를 보완하기 위해 작업할당과 AGV할당이 가장 적절한 조화를 찾는 연구들이 진행되었다.

Park and Ro(1997)는 작업의 할당규칙의 경우 하나

의 배치에 대한 총 처리 시간을 최소화 할 수 있다고 알려진 LPT(Longest Processing Time) 규칙을 기본으로 하여 부품의 납기 지연 가능성을 타진해 작업의 우선순위를 결정하였다. 또한, AGV는 운반해야 할 부품의 납기 지연 가능성을 고려한 LQS 규칙을 적용하였다. 실험을 통해 작업할당과 AGV할당은 각각 성능이 좋은 알고리즘을 선택하여 두 가지 할당을 모두 고려하였다.

Lee(2005)는 Job의 특성변화에 따른 기계와 AGV 작업배정규칙에 관한 연구를 하였으며, Lee(2009)는 기계와 AGV의 동적 작업배정규칙을 비교한 연구를 하였다. 두 논문 모두 실험은 기계와 AGV의 각각 3가지 작업배정규칙을 조합한 9가지의 규칙으로 진행하였다.

이상의 연구들에서 제시한 할당방법은 하나의 공정 내에서 작업할당과 AGV할당의 가장 적절한 조화를 찾는다. 하지만 두 가지 할당은 여전히 각자의 목적달성을 위해 따로 분리되어 있다. 분리된 할당은 하나의 공정 내에서 작업할당 후의 AGV할당으로 연결하는 과정에서 부조화를 발생시킨다.

따라서 본 연구는 작업투입 시점에서 작업할당과 AGV할당, 두 가지를 동시에 고려한 새로운 알고리즘 MJA(Minimum Job completion time and AGV time)를 통해 할당규칙을 세운다. 할당방법은 작업투입 시점부터 각 작업(job)은 어떠한 AGV를 이용하여 어떠한 기계로 배치되어야 할지를 동시에 고려하여 두 가지 할당의 부조화를 없앤다. 즉, 작업투입 단계에서 이미 기계와 AGV의 할당을 함으로써 AGV의 이동시간을 단축시키고, 기계의 유휴시간을 줄여 효율을 높인다. 또한 할당순서를 유휴 기계와 AGV를 실시간으로 찾아 결정하기 때문에 병목현상의 문제가 발생하지 않는다.

우선순위규칙은 납기여유시간을 이용하는 MS(Minimum Slack)를 변경한 새로운 알고리즘을 제시한다. 따라서 본 연구는 AGV 시간을 고려한 새로운 알고리즘을 이용하여 납기 지연을 단축시키는 작업할당 방법을 제안한다.

2. AGV 시간을 고려한 작업할당 방법

2.1 문제정의

작업할당(Job dispatching)시 기계($m=1, 2, \dots, M$)와 AGV($a=1, 2, \dots, K$)의 스케줄을 동시에 고려하여 납기 지연시간의 최소화를 위한 본 연구의 문제 상황은 Figure 1.과 같다.

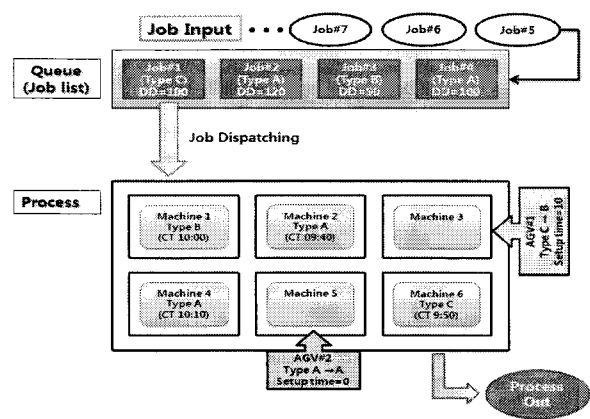


Figure 1. 전체 작업공정의 흐름

전체 작업공정은 다양한 작업의 $type(y=A, B, \dots, Z)$ 이 존재하는 Job shop 공정으로 작업환경을 다양하게 조절이 가능하다. 단, Figure 1.에서는 문제정의와 실질적인 예제를 쉽게 이해하기 위해 단순한 Job shop 공정을 표현하였다. Figure 1.에서는 작업준비시간(setup time)이 존재하는 AGV를 이용하여 M대의 동일한 기계로 이루어진 생산 공정에서의 납기($d_j=DD$)를 고려한 작업할당 문제를 다룬다.

작업($j=1, 2, \dots, N$)은 연속적으로 Queue(Job list)로 투입(Job input)된다. 대기 중인 작업들은 우선순위규칙을 통해 순서를 결정하고 대기 중인 AGV를 이용하여 유휴 기계로 이동한다. 기계에서 공정(Process)이 완료된 작업은 할당된 AGV를 이용하여 Process Out으로 이동하여 작업이 종료된다.

작업 j 는 다양한 type이 존재하며, 작업이 투입될 때 작업마다 서로 다른 납기를 가지고 연속적으로 작업이 대기하는 Queue에 추가된다. 이 때 type은 각 type별로 상이한 작업시간(p_y)이 존재하며, AGV는 모든 type의 운송이 가능하다. 단, AGV를 이용할 때 type의 변경에 따른 작업준비시간이 존재한다. 일반적인 제조공정에서는 type변경에 따라 AGV에 신기 위해 틀의 변경을 위한 작업준비시간이 필요하다. AGV는 K대의 종류가 있고, 이동거리(m) 당 이동시간(s)은 동일하다고 가정한다. 그리고 완료된 작업에 우선할당을 하며, 완료된 작업이 2개 이상을 경우 납기가 빠른 작업부터 이동한다. 대기 중인 AGV가 2대 이상인 경우에 가까운 위치에 있는 AGV를 우선할당 받는다. 기계는 M대의 동일한 형태로 이루어지며, 모든 type의 업무를 수행할 수 있다.

위와 같은 생산 공정에서의 연구 목표는 납기를 고려하여 실시간으로 각 작업별로 가장 적절한 기계, 그리고 운송수단을 판단하여 작업할당 규칙을 세움으로

써 납기지연 시간을 단축시키는 것이다. 많은 기존연구에서는 납기지연 시간을 단축하기 위해서 작업할당의 우선순위를 정한다. 여러 알고리즘의 비교를 통해 결정된 할당규칙을 통해 작업투입을 하며, AGV는 이동거리를 고려한 알고리즘들 중 가장 효율적인 알고리즘을 통해 할당된다. 반면, 본 연구는 작업할당과 AGV할당을 구분하지 않고, AGV의 이동시간을 고려하여 작업할당 시 한 번에 결정하는 방법을 제안한다. 그리고 작업할당 시 AGV의 이동시간과 작업준비시간을 고려함으로써 작업완료 후 대기 중인 작업을 빠른 시간에 이동하기 때문에 이동시간 뿐만 아니라 기계의 유휴시간도 단축되어 공정효율이 높아진다. 이를 통해 전반적인 작업의 생산속도의 향상과 납기지연시간의 단축이 가능해진다.

본 연구의 우수성을 검증하기 위해서 기존연구와의 비교 척도가 필요하다. LM(lateness Max), TT(total tardiness)는 일정계획에서 납기지연을 비교하기 위해 많이 사용되지만, 본 연구에서는 작업 수의 제한 없이 작업이 연속적으로 들어오기 때문에 사용할 수 없다. 따라서, 본 연구의 비교척도는 Ko(2008)가 제시한 평균 납기지연시간을 사용하며, 식(1)과 같이 목적함수를 표현한다.

$$Min(\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{j=0}^n Max(C_{jm} - d_j, 0)) \quad (1)$$

단, j : 작업의 인덱스

C_{jm} : 작업 j 가 기계 m 에서 완료시간

d_j : 작업 j 의 납기

m : 기계의 인덱스

n : 총 작업의 수

식(1)에서 $Max(C_{jm} - d_j, 0)$ 는 작업의 납기지연 시간 나타내는 것이며, 지연시간의 총 합을 작업의 수(n)로 나누어 평균납기지연 시간을 표현하였다.

본 연구에서 정의한 목적함수와 병렬 기계 공정 환경은 Pinedo(2002)에 의하면, 작업할당의 순서 결정은 NP-hard 문제로 모든 경우의 수를 전부 확인해야 최적해를 찾을 수 있다. 일반적으로 NP-hard의 문제는 휴리스틱 기법인 탐색기반 할당과 규칙기반 할당에 기초한 연구들이 제시되었다. 본 연구도 휴리스틱 기법을 활용한 작업할당 규칙을 제안한다. 그러나 탐색기반 할당은 전체 최적화를 위해 많은 탐색 시간이 필요하다.

특히, 대기 작업이나 병렬 기계가 증가하면 휴리스틱 기법이 탐색해야 하는 조합이 기하급수적으로 증가하여 계산 시간도 크게 증가한다. 하지만 규칙기반 할당

은 비교적 간단하면서 빠른 시간 안에 할당이 가능하여 본 연구와 같이 복잡한 할당 조건에서 실시간 작업 할당에 적합하다. 따라서 본 연구의 작업할당방법은 규칙기반 할당으로 제안한다.

작업할당은 평균납기지연 시간을 단축하기 위해서 Figure 2.의 작업할당의 절차에 따라 진행된다.

Queue에 대기 중인 작업들은 작업완료시간(Job Completion time)과 AGV 시간을 모두 고려한 새로운 할당 방법인 MJA를 이용하여 각 작업별로 가장 효율적인 기계와 AGV를 찾아준다. 이 때 작업완료시간은 이전 작업의 완료시간, 작업대기시간, Process time 그리고 작업이동시간의 총합이다. 그리고 AGV 시간은 AGV의 이동시간과 작업준비시간을 계산한 값이다.

MJA를 통해 현재 각 작업에 적합한 기계와 AGV를 찾은 후, 작업의 우선순위를 결정한다. 우선순위는 여유시간이 짧은 것부터 작업하는 MS(Minimum Slack)에서 변형된 작업할당 규칙을 사용한다. 우선순위 규칙에 따라 대기 중인 작업들은 순서대로 정해진 AGV를 이용하여 정해진 기계로 이동된다. 단, 유휴 기계와 AGV가 있는 경우에만 우선순위에 따라 작업할당을 받을 수 있다. 이에 대한 자세한 설명은 Table 1. 작업할당 규칙의 Example를 통해 이해하기 쉽게 표현하였다.

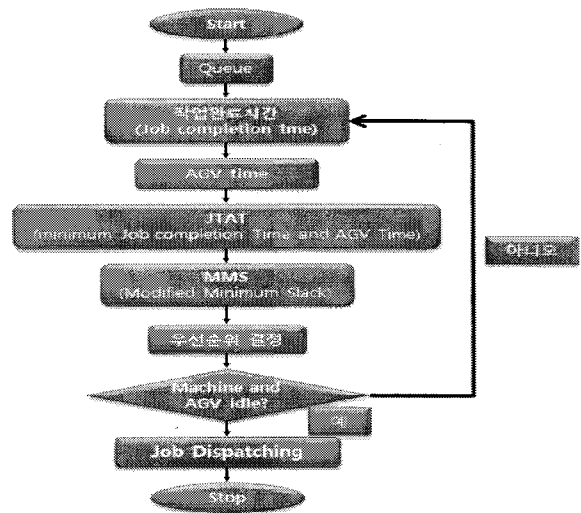


Figure 2. Job dispatching의 과정

2.2 작업완료시간(Completion Time)

작업완료시간(C_{jm})은 작업이 Queue에 도착하여서부터 기계에서 작업을 완료하여 Process out까지 가는데 걸리는 총 시간이다.

C_{jm} 은 현재 배치될 작업들이 각각 어떠한 기계를

이용할 때 가장 효율적인지를 계산한다. 실시간으로 대기 중인 작업들은 각 기계들의 이전 작업이 완료되는 시간과 AGV 이동시간을 고려하여 계산한다. 이를 통해 각 작업에 가장 적합한 기계를 찾아주어 기계의 사용효율을 높여 납기 지연 시간을 단축시킨다. C_{jm} 에 대한 계산은 다음 식 (2)와 같다.

$$C_{jm} = r_m + w_I + v_{Im} + p_y + E[w_O] + v_{mO} \quad (2)$$

단, r_m : $\max(b_m, t)$

b_m : 기계 m 에서 이전작업이 완료되는 시간

t : 현재시간

w_I : Queue에서의 작업대기 시간

v_{Im} : Queue에서 기계까지의 이동시간

p_y : type y 의 작업시간

v_{mO} : 기계에서 Process out까지의 이동시간

$E[w_O]$: 작업완료 후 기계에서의 대기시간에 대한 추정치. 다음 식 (3)과 같다.

$$E[w_O] = \frac{1}{m+1} \left\{ \left(\sum_{i=1}^M v_{im} \right) + v_{mO} \right\} \quad (3)$$

C_{jm} 의 계산방법은 기계에 작업이 투입 가능한 시점을 알기 위해서 기계에 이전작업이 완료되었다면 현재 시간(t)을, 아직까지 작업 중이라면 이전작업이 완료되는 시간(b_m)을 선택하여 r_m 을 구한다. 그리고 i 번째 기계에서 작업이 완료된 이후 Queue에서 운송수단을 때까지 기다리는 시간(w_I), 운송수단이 도착하여 Queue에서 기계(m)까지 이동하는데 걸리는 시간(v_{Im}), 작업 j 의 작업시간(p_y), 작업완료 후 운송수단이 기계(i)에 올 때까지 대기하는 시간($E[w_O]$), 도착한 운송수단을 이용하여 기계에서 Queue로 이동하는데 걸리는 시간(v_{mO})의 총 합을 C_{jm} 으로 표현한다.

$E[w_O]$ 는 현재 계산시점에서 기계에서 작업이 완료되었을 때 운송수단의 위치를 알 수 없기 때문에 기계에서의 대기시간은 추정치를 이용한다. 기계와 AGV의 활용을 높여 $E[w_O]$ 시간을 단축시킴으로써 본 연구의 목적인 납기 지연시간이 단축된다.

2.3 AGV(Automated Guided Vehicles) 선정

2.2에서는 작업이 어떠한 기계를 이용할 때 더 효율적인지를 계산하였으며, 2.3에서는 작업이 어떠한 AGV를 사용할 때 더욱 효율적인지를 계산한다.

AGV 할당에 대한 기존연구들은 작업할당 후 작업들의 AGV 사용을 좀 더 효율적으로 개선하기 위한 연구들이 많이 제시되었다. 하지만 이러한 연구들은 AGV의 이동거리만을 고려하고 동선의 원활함을 생각할 수밖에 없다. 이와 달리 본 연구는 작업할당의 과정에서 AGV의 할당을 함께 계산하기 때문에 작업의 type을 고려하여 AGV의 이동거리를 줄일 뿐만 아니라 작업준비시간도 단축시킨다. 동일한 type의 작업들을 효과적으로 모아주고 동일한 AGV로 이동시킴으로써 생산시간을 단축시키고 물류의 효율을 높여준다. 이러한 AGV를 사전에 배치해줌으로써 작업완료 후 대기시간($E[w_O]$)을 단축시킨다. 그리고 완료된 작업을 기계에서 빠르게 Process out으로 작업 완료하여 다음 작업의 투입이 빨리될 수 있도록 만들어주기 때문에 기계의 효율도 올라가고 납기 위반도 줄어든다. 이러한 시간 단축을 위한 $v_{m\hat{m}}$ 을 찾기 위한 계산은 다음 식 (4)와 같다.

$$\hat{m} = \operatorname{argmin}(r_{m_1} + S, r_{m_2} + S, \dots, r_{m_M} + S) \quad (4)$$

단, $m_j = a_j$ 일 때, $S=0$

$m_j \neq a_j$ 일 때, $S \neq 0$

$v_{m\hat{m}}$: 현재 이동할 기계(m)와 다음으로 이동할

기계(\hat{m})까지의 이동시간

S : AGV의 작업준비시간

시간을 단축하기 위한 방법은 AGV의 작업준비시간을 최소화하고 AGV 이동거리를 줄여야 한다. 작업준비시간을 줄이기 위해서는 작업완료시 기계에 있는 작업type과 현재 대기 중인 작업type이 동일한 AGV를 찾아 작업준비시간이 발생하지 않도록 해준다. 이를 통해 하나의 기계에는 작업 type의 변경이 줄어들기 때문에 AGV도 규칙적인 이동이 가능해진다.

식 (4)에서 $v_{m\hat{m}}$ 는 AGV가 각 기계로 이동 후 다음 이동될 기계(\hat{m})와의 이동거리와 작업준비시간을 고려하여 계산한다. \hat{m} 는 각 기계에서 r_m 과 작업준비시간(S)의 합이 가장 짧게 걸리는 기계이다. 이 때 작업준비시간을 줄이기 위해서 현재 기계에 작업 중인 작업의 type(m_j)과 AGV의 이전 작업 type(a_j)이 동일한 AGV를 찾는다.

기계(\hat{m})가 결정되면 정해진 AGV가 현재 이동할 기계위치에서 다음으로 이동할 기계까지의 이동시간 $v_{m\hat{m}}$ 을 계산할 수 있다. 이 과정을 통해 \hat{m} 로 이동하기 위해 가장 적절한 AGV가 선정된다. 작업할당시점부터 이동시간을 고려하여 AGV의 선정을 하기 때문에

본 연구는 작업완료 후의 대기시간(w_o)을 줄여 납기지연시간 단축에 중요한 역할을 한다.

2.4 MJA(Minimum Job completion time and AGV time)을 이용한 기계의 할당

본 연구는 작업 j 가 현재 어떤 기계와 AGV를 활용할 때 작업완료시간 C_{jm} 이 단축되는지, AGV의 활용을 높여 이동시간과 작업준비시간의 절감으로 AGV 효율의 향상을 위한 v_{mm} 을 모두 고려한다. 두 개의 변수를 작업할당 시 동시에 고려하기 위해 C_{jm} 과 v_{mm} 을 각각 하나의 measure로 본다. 두 개의 다른 measure는 matching을 통해 하나의 index로 표현하기 위해 정규화를 시킨다. 정규화 된 두 변수는 합하여 하나의 새로운 index인 W_{jm} 으로 생성된다. W_{jm} 을 구하기 위한 계산은 식 (5)와 같다.

$$W_{jm} = \exp\left(-\frac{v_{mm}}{k_1 v}\right) + \exp\left(-\frac{C_{jm}}{k_2 C}\right) \quad (5)$$

단, k_1, k_2 : 조절계수

위 식 (5)는 지수분포를 이용하여 $\Phi(0 \sim 1)$ 사이 값이 되도록 정규화 하였으며, 짧은 시간이 소요될수록 W_{jm} 의 값은 커지므로 1에 가까워진다. 조절계수(k_1, k_2)는 C_{jm} 과 v_{mm} 중 어느 것에 더 비중을 두느냐에 따라 실험결과에 차이가 발생하므로 비교를 위해서 사용했다. 그리고 제조공정의 공정시간, 이동거리등의 작업환경에 따라 차이가 있으므로 상황에 가장 적합한 값을 찾는 것이 좋다.

W_{jm} 는 대기 중인 각 작업별로 M대의 기계의 수량만큼 생성된 값이다. 각 작업은 M개의 W_{jm} 중 가장 적합한 기계 m^* 를 찾는다. m^* 에 대한 식 (6)은 아래와 같다.

$$m^* = \operatorname{argmax}(W_{j1}, W_{j2}, \dots, W_{jM}) \quad (6)$$

식(6)은 W_{jm} 값이 가장 큰 값을 가지게 되는 기계를 m^* 라 한다. m^* 을 통해 결정된 기계가 대기 중인 작업 j 의 가장 효율적인 기계로 선정된다.

대기 중인 각각의 작업들은 2.3의 과정을 통해 AGV가 선정되고, 2.4의 과정을 거쳐 기계가 선정이 된다. 이렇게 AGV와 기계를 선정하는 할당방법을 MJA라고 칭한다.

2.5 MMS(Modified Minimum Slack)를 이용한 작업의 우선순위 결정

위의 과정을 통해 Queue에 있는 모든 작업들은 기계와 AGV가 결정된다. 이제 Queue에 있는 작업 중에서 어떤 작업 순서대로 할당을 할 것인가에 대한 우선순위를 결정한다. 우선순위를 결정하기 위해서 본 연구에서는 납기 여유시간이 가장 짧은 작업을 기준으로 하는 MS(Minimum Slack)을 이용한다. MS는 납기에서 작업시간을 뺀 때 작업 여유시간이 가장 짧은 작업부터 우선적으로 할당하는 규칙이다.

하지만 본 연구는 MJA를 통해 얻은 m^* 을 이용한다. MS에서 작업시간을 C_{jm^*} 로 변형한 작업 여유시간 MMS를 사용한다. MMS에 대한 식 (7)은 아래와 같다.

$$MMS = d_j - C_{jm^*} \quad (7)$$

MMS가 작을수록 작업 여유시간이 얼마 남지 않은 것이므로 우선순위가 높다. 이것을 이용하여 작업 j 들의 우선순위를 정한다.

우선순위가 정해져도 모든 작업이 할당되는 것은 아니다. 정해진 할당 순서, 기계의 사용가능 여부, 운송수단의 사용가능 여부를 고려하여 현시점에 작업할당이 가능한지를 판단하여 모두 만족하는 작업만 작업배치가 결정된다. 다음 조건을 만족하지 못하는 작업들은 다음 계산시점에 새로 들어온 작업과 함께 다시 계산되어진다.

그리고 작업할당 규칙을 Figure 1.의 상황을 예제로 표현했다. 예제는 Table 1.과 같다.

Table 1. 작업할당 규칙 Example

Job 번호	Job type	AGV 번호	AGV idle	기계 번호	기계 idle	MM S
#1	C	#3	O	#4	X	②
#2	A	#2	O	#3	O	①
#3	B	#1	X	#2	O	④
#4	A	#3	O	#3	O	⑥
#5	C	#3	O	#5	O	⑤
#6	A	#2	O	#5	O	③

※ 작업할당이 확정된 작업의 우선순위

1. MMS①(Job#2)
2. MMS⑤(Job#5)

Table 1.의 상단메뉴 및 기호표시는 Figure. 1과 일치한다. 우선순위는 MMS를 기준으로 납기여유가 짧은 작업부터 기계와 AGV가 idle한 작업만이 작업할당이 된다. 작업별로 작업할당의 여부의 자세한 설명은 다음과 같다. 순서는 MMS가 짧은 순이다.

- ① (Job#2) : MMS가 가장 작으므로 AGV#2와 Machine#3을 우선할당 된다. 그리고 AGV와 Machine 모두 idle하기 때문에 1순위로 작업을 할당받는다.
- ② (Job#1) : MMS가 두 번째 작다. MJA 알고리즘을 통해 AGV#3와 Machine#4가 결정되어 있다. 그러나 Machine이 idle하지 않기 때문에 작업할당을 받지 못한다.
- ③ (Job#6) : Job#6의 AGV#2는 idle 하지만 위의 1순위로 할당받은 Job#2가 동일한 AGV를 사용하기 때문에 작업할당이 취소된다.
- ④ (Job#3) : AGV#1이 idle하지 못하므로 할당받지 못한다.
- ⑤ (Job#5) : AGV와 Machine이 모두 idle하기 때문에 2순위로 작업할당을 받는다.
- ⑥ (Job#4) : AGV와 Machine 모두 idle하지만 Machine#3은 Job#2, AGV#3은 Job#5에 먼저 할당되어 할당받지 못한다.

Table 1의 예제를 통해 Job#2와 Job#5만이 작업할당이 결정된다. 나머지 작업들은 다음순서에 동일한 방법을 통해 추가로 투입된 작업들과 우선순위 과정을 통해 작업할당이 된다.

2.6 MJA 작업할당규칙을 이용한 전체 작업 공정의 절차

Figure. 2의 과정을 통해 결정된 작업할당을 포함한 전체 작업공정의 절차를 단계적으로 정리하면 다음과 같다.

[전체 작업공정의 절차]

- Step 0 : (Job 도착) 도착한 작업은 Queue에 대기
- Step 1 : (작업완료시간 계산) 2.2과정을 통해 각 기계별로 작업완료 시간을 계산
- Step 2 : (AGV 할당) 2.3과정에서 AGV의 이동시간과 작업준비시간을 고려하여 적절한 AGV를 결정
- Step 3 : (MJA 기계할당) 2.2와 2.3에서 계산된 작업완료시간과 AGV 시간을 고려하여 가장 적절한 기계를 결정

Step 4 : (우선순위 결정) MMS 규칙에 따라 작업할당 가능 여부와 우선순위를 결정

Step 5 : (작업투입) 작업할당이 가능한 작업만이 우선순위가 높은 순으로 작업투입

Step 6 : (작업이동) MJA에서 결정된 AGV를 이용하여 이미 선정된 기계로 이동

Step 7 : (공정시작) 작업 type에 맞는 작업공정 실시

Step 8 : (Process out) 공정완료된 작업은 AGV를 이용하여 Process out로 이동하여 최종 작업완료

3. 실험 및 결과 분석

3.1 실험 대안 설정

본 연구는 연속적으로 발생하는 작업들을 기계에서 납기 지연 시간을 단축시키기 위한 효율적인 작업할당 규칙을 제안한다. 이전 연구에서는 작업할당 시 기계와 AGV를 실시간으로 동시에 고려한 연구는 없었다. 따라서 제안된 알고리즘에 대한 객관적인 성능 평가를 위해 납기 단축이 목적인 기존의 우수한 작업할당 규칙과 동일한 환경에서 비교를 하였다.

휴리스틱 기법들 중 가장 많이 사용되고 있으며, 본 연구의 목적과 동일한 납기와 관련된 할당규칙들과 비교를 했다. 먼저 작업시간이 짧은 작업부터 작업할당하는 SPT (Shortest Process Time), 납기가 짧은 작업부터 우선할당을 하는 EDD(Earliest Due Dates), 그리고 납기여유시간이 짧은 작업부터 할당하는 MS(Minimum Slack)와의 비교실험을 하였다.

따라서 이상의 비교대안 알고리즘 SPT, EDD, MS를 이용하여 본 연구에서 제안한 MJA의 성능 평가를 시행하였다. 성능 평가를 위해 목적함수는 식(1)에서 제시한 평균납기 지연 시간을 비교 척도로 하였다. 다양한 제조공정에서의 비교를 위해 여러 가지 조건에서 실험을 하였다.

3.2 실험 설계

본 연구는 평균납기 지연 시간을 단축하기 위한 기계와 AGV를 동시에 고려한 작업할당 규칙을 검증하기 위하여 다음과 같은 실험 환경을 설정한다.

실험은 동일한 조건에서 SPT, EDD, MS, MJA 네 가지의 알고리즘을 비교한다. 실험 조건은 Table (2)와 같이 설계한다. 성능평가를 위해 200,000시간 동안 완료된 작업의 평균 납기 지연 시간을 비교하였다. 200,000시간은 본 실험에서 평균 300~800개 정도의 작업을

완료할 수 있는 시간으로 네 알고리즘을 비교하기에 충분한 시간이다.

실험에서 제시하는 공정은 다양한 작업상황을 위해 Type, 기계, AGV의 수를 Low, Medium, High 각 3가지 씩 총 27가지의 실험을 하였다. Type은 2개, 4개, 8개로 다양한 Type의 실험을 통해 Type변경이 납기에 미치는 영향을 확인한다. 기계는 모든 작업이 가능한 동일한 기계가 2대, 4대, 8대로 기계의 수에 따라 AGV 할당에 대한 차이를 분석한다. 그리고 AGV는 2대, 4대, 8대로 AGV의 수에 따른 작업완료 후 대기시간(w_0)의 차이를 본다. AGV는 모든 type의 작업을 운송 가능하며, 작업 type 변경 시 작업준비시간이 발생한다.

작업준비시간은 U[5~15]로 한다. 단, Type이 변하지 않을 경우에는 AGV의 준비 시간이 존재하지 않으므로 작업준비시간은 0으로 한다.

작업투입시간은 Hopp and Spearman(2008)에 의하면 식 (7)과 같이 이용률은 1보다 작아야 한다. 식 (7)을 근거로 작업투입시간은 $\lambda=100$ 인 지수분포로 Queue에 투입된다. 그리고 납기는 공정시간에 $\lambda=50$ 만큼의 여유 시간을 더하여 투입한다.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \leq 1 \tag{7}$$

단, ρ = Utilization
 λ = arrival rate
 μ = effective production rate

본 연구는 실시간으로 발생하는 작업에 대하여 효율적인 기계투입과 운송수단의 이동시간 단축을 이용하여 납기지연 시간의 단축을 확인하기 위한 것이다. 따라서 시뮬레이션을 통해 정해진 작업시간 동안의 평균 납기지연시간에 대하여 평가한다.

다양한 제조환경에서의 효과를 입증하기 위해 실험 환경은 Type의 수(Z), AGV의 수(K), 기계의 수(M)을 다양하게 수정하며 시뮬레이션 하였다. 여러 상황에서 정해진 작업시간내의 완료된 작업의 수, w_0 와 평균납기지연시간의 비교를 통해 알고리즘의 성능을 검증한다.

3.3 실험 결과 및 분석

3.2에서 제시한 실험 조건을 기준으로 다양한 작업상황을 위해 Type, AGV, 기계의 수를 Low/Medium/High로 구분하여 조합한 총 27가지의 경우를 통해 실험하였다. 또한 랜덤 변수들이 실험에 끼치는 영향을 배제하기 위해 각 case별 20회의 실험 후 평균을 사용하였다.

MJA의 성능을 평가하기 위해서 SPT, EDD, MS 알고리즘의 완료된 작업의 수, w_0 , 평균납기지연시간을 측정하여 비교하였다.

Table 3.은 Type과 기계의 수의 변화에 따른 완료된 작업의 수, w_0 , 평균납기지연시간을 나타낸 실험 결과이다. AGV는 Type과 기계의 상관관계를 알아보기 위해 Low, Medium, High 3가지의 평균을 이용하여 고정하였다. 실험 결과를 보면 대부분의 완료된 작업의 수는 SPT가 EDD와 MS보다 많은 작업을 완료하였다. 반면 평균납기지연시간은 완료된 작업의 수와 달리 EDD와 MS는 SPT보다 짧은 평균납기지연시간을 보였다.

SPT는 공정시간이 짧은 작업부터 우선적으로 할당하기 때문에 납기를 기준으로 하는 EDD와 MS에 비해 더 많은 작업을 완료하였다. 반면, 평균납기지연시간은 납기가 짧은 작업부터 작업할당을 하는 EDD와 납기여유시간이 짧은 작업부터 할당하는 MS가 SPT보다 결과가 좋게 나타났다.

MJA의 경우는 9가지 모든 경우에서 세 가지 알고리즘(SPT, EDD, MS)보다 많은 작업이 완료되었고, w_0 와 평균납기지연시간은 가장 짧은 결과를 보였다. 특히,

Table 2. 실험 데이터

실험인자	데이터	
총 작업시간	200000	
Type의 수	Low	2 where, Random Integer from 1 to 2
	Medium	4 where, Random Integer from 1 to 4
	High	8 where, Random Integer from 1 to 8
작업시간	Type A = EXP($\lambda = 50$), Type B = EXP($\lambda = 80$), Type C = EXP($\lambda = 70$), Type D = EXP($\lambda = 100$), Type E = EXP($\lambda = 60$), Type F = EXP($\lambda = 90$), Type G = EXP($\lambda = 75$), Type H = EXP($\lambda = 95$)	
작업준비시간	U[5~15]	
AGV의 수	Low	2
	Medium	4
	High	8
기계의 수	Low	2
	Medium	4
	High	8
작업투입 시간	$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \leq 1$ where, EXP($\lambda = 100$)	
납기	Processing time + EXP($\lambda=50$)	
실험횟수	총 540회(각 20회)	

Table 3. The Comparisons of Job Dispatching Simulations(AGV=Average)

	SPT			EDD			MS			MJA		
	Completed Job	w_0	Mean Tardiness	Completed Job	w_0	Mean Tardiness	Completed Job	w_0	Mean Tardiness	Completed Job	w_0	Mean Tardiness
Type=Low 기계=Low	409	30.74	49.85	403	29.31	49.04	406	29.01	48.73	411	29.09	48.58
Type=Medium 기계=Low	374	32.16	53.07	365	30.93	51.18	365	30.95	51.22	401	29.27	48.92
Type=High 기계=Low	365	32.36	53.88	357	31.34	51.68	358	31.03	51.50	365	30.88	51.27
Type=Low 기계=Medium	633	23.28	39.50	620	21.53	35.29	625	21.38	34.97	652	18.93	29.70
Type=Medium 기계=Medium	589	24.85	42.77	579	23.17	39.15	582	23.03	38.98	639	20.12	31.10
Type=High 기계=Medium	578	25.01	44.05	570	23.50	40.22	574	23.40	40.10	593	22.24	36.64
Type=Low 기계=High	757	15.41	32.23	741	12.77	25.25	747	12.68	25.01	798	9.14	16.21
Type=Medium 기계=High	728	17.25	35.02	717	13.83	27.26	724	13.71	26.89	790	9.23	16.50
Type=High 기계=High	712	17.71	36.79	702	14.16	28.65	707	14.04	28.23	752	10.05	21.37

Type의 수가 Low에서 Medium으로 늘어나면 SPT, EDD, MS는 평균납기지연시간의 5~11%로 큰 증가폭을 보이지만 MJA의 경우 1~5%로 증가폭이 작다. 증가폭이 작다는 것은 MJA의 Type 수가 늘어났을 때 다른 알고리즘에 비해 AGV 할당을 효과적으로 하고 있는 것을 알 수 있다.

적절한 AGV 할당은 작업준비시간과 이동시간을 단축하여 다양한 Type의 공정에서 좋은 결과를 가진다.

그리고 Type의 수가 High인 경우는 대기 중의 Type과 공정 중의 Type이 일치하는 경우가 적다. 따라서 MJA의 작업준비시간이 많이 발생하여 평균납기지연시간의 증가율이 높게 나타났다. 그러나 MJA의 평균납기지연시간은 AGV의 이동시간을 줄임으로써 모든 결과에서 가장 작은 수치를 보여주었다. MJA는 유휴 기계와 AGV를 실시간 검색하여 할당함으로써 기계의

유휴시간을 줄인다. 이를 통해 작업완료시간이 단축되어 가장 많은 작업이 완료되었다. 또한 같은 Type의 작업을 검색하여 작업준비시간을 최소화하고, AGV의 이동시간을 줄여 작업완료 후의 기계에서의 대기시간을 단축한다.

이와 같이 MJA가 좋은 결과를 얻기 위해서는 작업 대기시간을 줄이는 것이 중요하다. 대기시간은 연구의 목표인 평균납기지연시간 단축을 위해 실질적으로 시간 단축에 가장 큰 영향을 미친다.

Figure 3.은 Type과 기계의 변화에 따른 결과를 그림으로 보인다. Type의 수가 증가할 때 평균납기지연시간은 증가하고 기계의 수가 증가하면 평균납기지연시간은 감소된다. 그리고 Figure 3.을 통해 w_0 와 평균납기지연시간은 상관관계가 있는 것을 알 수 있다.

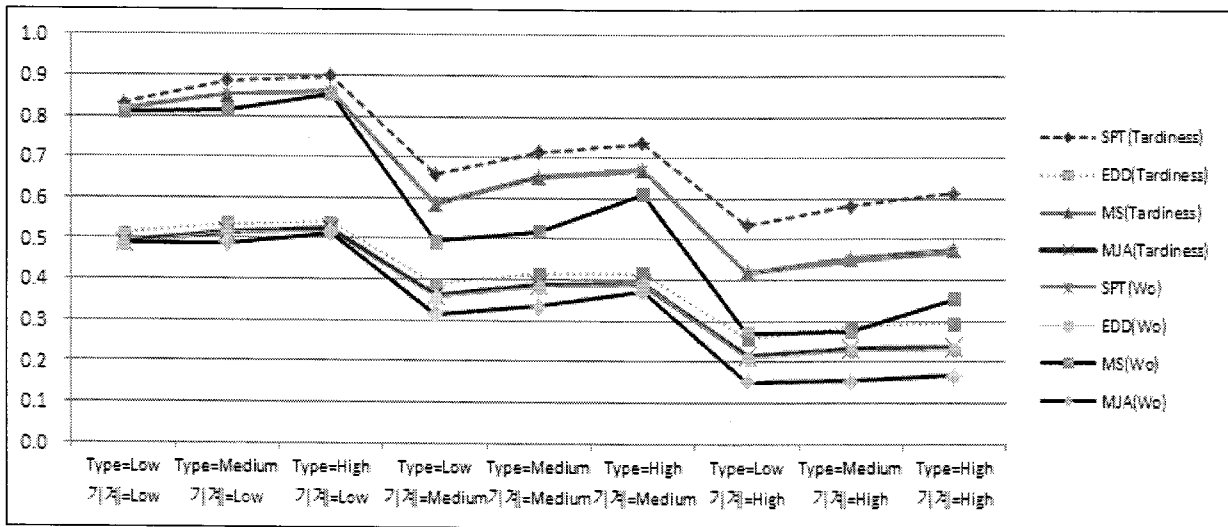


Figure 3. The comparisons of Job dispatching simulations(AGV=Average)

Table 4. The Comparisons of Job Dispatching Simulations(Machine=Average)

	SPT			EDD			MS			MJA		
	Completed Job	w_0	Mean Tardiness	Completed Job	w_0	Mean Tardiness	Completed Job	w_0	Mean Tardiness	Completed Job	w_0	Mean Tardiness
Type=Low AGV=Low	488	28.73	50.13	480	25.81	46.36	484	25.68	46.20	551	20.72	38.42
Type=Low AGV=Medium	599	23.14	40.53	588	21.20	36.53	592	21.02	36.24	620	19.05	31.50
Type=Low AGV=High	616	22.27	39.00	605	20.37	34.95	598	20.29	34.87	635	18.17	29.88
Type=Medium AGV=Low	435	30.43	52.24	427	28.22	50.33	430	28.12	50.19	544	22.26	38.84
Type=Medium AGV=Medium	563	24.75	43.62	553	22.64	39.20	557	22.56	39.03	610	19.54	32.17
Type=Medium AGV=High	609	21.89	39.10	595	19.99	33.92	595	19.97	33.89	624	18.75	30.38
Type=High AGV=Low	421	31.61	53.54	418	29.65	51.07	420	29.60	51.02	505	24.73	42.85
Type=High AGV=Medium	551	25.03	44.91	543	23.00	40.18	546	22.82	39.94	570	21.06	36.43
Type=High AGV=High	596	22.83	39.49	586	20.34	34.61	590	20.23	34.52	583	20.27	34.87

식 (2)에서는 w_0 의 실제 값을 알 수 없기 때문에 추정치($E[w_0]$)를 이용하여 계산하였다. 실험을 통해 실제 값을 비교한 결과는 w_0 의 변화에 따라 평균납기지연시간도 동일하게 변하는 것을 볼 수 있다. 그리고 w_0 의 감소는 AGV의 이동시간과 작업준비시간의 단축으로 얻을 수 있는 결과이므로 MJA가 다른 알고리즘보다 효과적으로 할당을 하고 있는 것을 보여준다.

Figure 3.의 결과에서 w_0 는 평균납기지연시간을 단축하는데 중요한 역할을 가지며, 본 연구의 목표달성을

위해 감소해야할 가장 중요한 비작업시간 중 하나이다.

Table 4는 Type과 AGV의 변화에 따른 완료된 작업의 수, w_0 , 평균납기지연시간을 나타낸 실험 결과이다. 기계는 Type과 AGV의 상관관계를 알아보기 위해 Low, Medium, High 3가지의 평균을 이용하여 고정하였다.

Table 4를 보면 MJA의 모든 결과가 다른 알고리즘에 비해 좋게 나타났다. 특히, AGV의 수가 Low에서는 AGV의 수가 부족하여 모든 알고리즘에서 평균납기지연시간이 길었다. 그리고 Low에서 Medium으로 변경

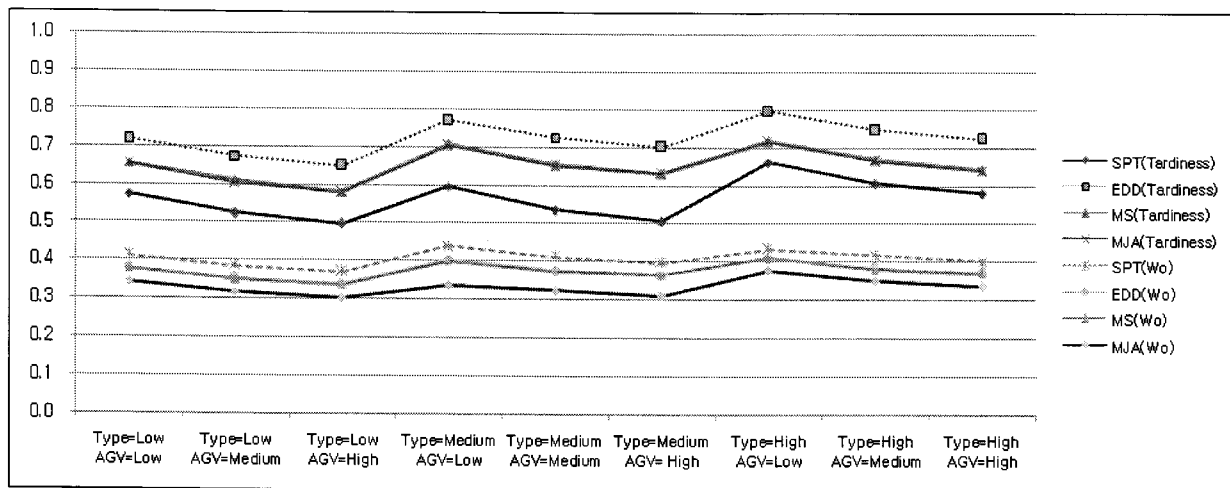


Figure 4. The Comparisons of Job Dispatching Simulations(Machine=Average)

하였을 때는 w_0 의 감소 폭이 크게 나타났다. 하지만 Medium에서 High로 변경하였을 때는 MJA의 감소율이 3~5%로 다른 알고리즘들이 5~12%감소한 것에 비해 확연한 차이를 보인다. 감소율이 작은 것은 MJA의 경우 Medium(AGV)에서 적절한 AGV만을 이용하여 효율적인 할당으로 공정이 잘 관리되고 있기 때문이다. 그러므로 AGV의 수가 많지 않더라도 적절한 할당을 통해 평균납기 지연시간의 관리가 가능하다.

Figure 4의 결과를 보면 네 가지 알고리즘 모두 Figure 3과 같이 w_0 와 평균납기 지연시간은 상관관계를 가지는 것을 볼 수 있다. 이는 w_0 가 본 연구에서 평균 납기 지연시간에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

대기시간의 감소가 가지는 의미는 AGV 시간의 단축만이 아니다. 대기 중인 작업의 빠른 이동을 통해 기계가 유휴해지고 다음 작업의 투입시간이 단축된다. 이는 기계 전체의 회전을 향상과 AGV의 효율성 확대의 의미를 가진다. 이 결과를 통해 전체 생산성 증가와 평균 납기 지연시간 단축의 원인을 파악 할 수 있다.

27가지의 모든 실험결과에서 본 연구에서 제안한 AGV 시간을 고려한 작업할당 알고리즘이 다른 작업할당 알고리즘보다 생산량은 증가하고 평균납기 지연시간이 작게 나타났다. 특히, Type의 수가 증가할 때 본 연구에서 제안한 작업할당 방법은 다른 알고리즘에 비해 납기 지연의 폭이 상당히 작았다. 이것은 다양한 Type이 존재하는 job shop의 작업공정에서 더욱 좋은 효과를 얻을 것으로 해석된다. 그리고 MJA는 AGV의 효율적인 할당을 통해 작업준비시간과 이동시간의 단축으로 적절한 수의 AGV만으로도 효과적인 작업운용이 가능하다.

4. 결론 및 추후연구

기업은 고객들의 다양한 특성에 맞추고 빠른 요구변화에 신속한 대응이 가능한 작업할당 방법이 필요하다. 본 연구는 다양한 작업이 가능한 Job shop 환경에서의 기계와 AGV의 효율을 동시에 고려하여 생산성 향상과 빠른 납기를 위한 MJA 작업 할당방법을 제안하였다.

MJA는 기계와 AGV의 할당을 동시에 고려하여 기계의 효율향상과 AGV의 운용을 작업투입부터 고려하여 이동거리와 작업준비시간을 단축하는 작업할당이다.

MJA는 작업완료시간과 AGV 시간의 두 가지 measure를 matching하여 하나의 Index를 만든다. 새로운 Index는 MJA 우선순위 규칙을 통해 작업할당을 하였다. MJA는 SPT, EDD, MS와 동일 조건에서 비교 평가하였다. 실험은 다양한 작업 type, 기계의 배치, AGV 대수의 변화가 가능한 제조환경을 고려하여 평균납기 지연시간의 단축을 확인하였다. 또한 평균납기뿐만 아니라 w_0 의 감소가 납기 지연에 미치는 영향을 확인하였다.

MJA는 기업에서 요구하는 job shop공정에서의 생산성 확대와 빠른 납기를 통해 가격인하와 고객 요구를 충족시킨다. 특히, 납기여유가 작은 공정에서도 병목현상 없이 효율적으로 작업을 할당한다. 그리고 다른 알고리즘에서 문제가 되는 다양한 Type의 작업을 생산하는 혼류생산방식에서의 납기위반을 줄이는데 많은 도움이 될 것이다.

그리고 AGV할당은 작업할당 시 동시에 고려함으로써 AGV의 이동시간과 작업준비시간을 단축하였다. 이를 통해 작업은 공정에서 대기하는 시간을 줄였고, 기계의 유휴시간을 줄여 작업의 회전을 높여 생산량의

증가와 평균납기지연시간의 단축을 동시에 달성하게 되었다.

기존 연구에서는 본 연구와 같이 작업과 AGV의 할당을 동시에 고려한 연구는 없었다. 따라서 본 연구는 두 가지 목적을 작업투입 시점에서 동시에 만족하는 획기적인 제안을 하였다. 특히, 다양한 제조환경에서 기계와 운송수단들의 물류환경을 개선하고 생산효율을 극대화를 통해 기업의 이익과 고객만족을 모두 달성할 수 있다.

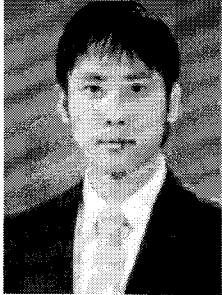
하지만 MJA는 작업투입 시점에서의 기계와 AGV의 실시간 정보를 고려하여 작업할당을 하는 것으로 제한적이다. 그러므로 작업투입 후에도 AGV의 배치를 실시간 검색을 하는 추가적인 운용이 필요하다. 실시간 AGV의 운용은 이동시간 단축과 유휴 기계와 AGV의 빠른 할당을 통해 더 많은 대기시간을 줄일 수 있을 것으로 기대한다.

5. 참 고 문 헌

- [1] Lee, S. W., (2009), A Comparative Study of Dynamic Dispatching Rule for Machine and AGV of Flexible Manufacturing System, Korean Society of Industrial Application, Vol. 12, No.1, pp19-25.
- [2] Bae, S. Y., (2006), The Information of Dispatching Rules for Improving Job Shop Performance, Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering, Vol. 29, No. 4, pp.107-112.
- [3] Egbelu, P.J., and Tanchoco, J. M. A., (1984), Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules, International Journal of Production Research, Vol 22, No. 3, pp.359-374.
- [4] Montazeri, M. and Wassenhove, L.N., (1990), Analysis of Scheduling Rules for an FMS, International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 4, pp.785-802.
- [5] Baker, K. R., (1974), Introduction to Sequencing and Scheduling, John Wiley & Sons Inc., New York, Ch.2-8.
- [6] Sabuncuoglu, I, and Hommertzheim, D. L., (1992), Experimental investigation of FMS machine and AGV scheduling rules against the mean flow time criterion, International Journal of Production Research, Vol. 30, No. 6, pp.1617-1635.
- [7] Sabuncuoglu, I, and Hommertzheim, D. L., (1993), Experimental investigation of due-date scheduling problem : evaluation of machine and AGV scheduling rules, International Journal of Production Research, Vol. 5, Iss. 4, pp.301-323.
- [8] Liao, C. -J. and Lin, H. -T., (1998), A case study in a dual resource constrained job shop, International Journal of Production Research, Vol. 36, No. 11, pp3095-3111.
- [9] Park, Sung. Hyun., and Ro, In. Kyu, (1997), A Study on Machine and AGV Dispatching in Flexible Manufacturing Systems, Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering, Vol. 20, No. 43, pp.81-89.
- [10] Lee, S. W., Kim, H. S., Cho, S. Y., (2004), A Study on Dynamic Scheduling in Flexible Manufacturing System Environment, Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering, Vol, 27, No. 2, pp.17-23.
- [11] Ko, H. Y., Kim, J. H., Baek, J. G., (2008), Study on Dispatching with Quality Assurance, Journal of Korean institute of industrial engineers, Vol. 34, No. 1, pp.108-121.
- [12] Pinedo, M. (2002), Scheduling Theory, Algorithms, and Systems Second Edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- [13] Hopp. W. and Spearman. M. (2008), Factory Physics, Third Edition, Mcgraw-Hill Higher Education.

저 자 소 개

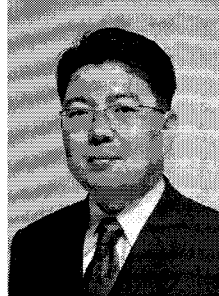
김 근 형



인하대학교 산업공학과 학사 취득.
현재 고려대학교 대학원 산업공학과 석사과정 중.
관심분야 : 생산관리, Scheduling, SCM, CRM, 데이터마이닝 등

주소: 서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 산업공학과

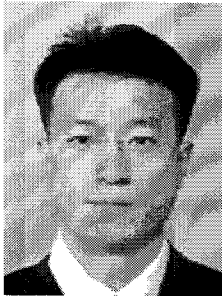
백 준 결



고려대학교 산업공학과 박사. 현재 고려대학교 산업경영공학과 부교수.
관심분야 : 지능형 이상 진단, 첨단 공정제어(APC), 데이터마이닝(Data Mining) 응용, 시뮬레이션 등

주소: 서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 산업공학과

고 효 현



고려대학교 산업공학과 석사, 고려대학교 산업공학과 박사
관심분야 : 생산관리, e-Business, APC

주소: 서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 산업공학과