

크레인 작업의 불확실성을 고려한 AGV 배차

최이, 박태진, 류광렬

부산대학교 컴퓨터공학과

부산광역시 금정구 장전동 산30 부산대학교 공과대학 컴퓨터 공학과

Tel: +82-51-510-{3531, 2453}, Fax: +82-51-510-2431, E-mail: {choilee, parktj, krriu}@pusan.ac.kr

요약

자동화 컨테이너 터미널에서 안벽크레인, AGV (Automated Guided Vehicle)와 같은 하역장비의 작업은 수 많은 요인에 영향을 받으며, 이로 인해 각 장비의 작업시간을 정확하게 추정하는 것은 거의 불가능하다. 작업시간의 불확실성은 AGV 배차를 어렵게 만들고 작업효율을 떨어뜨리는 주요 원인이다. 본 논문에서는 이러한 불확실성에 대처하기 위하여 확률적 시뮬레이션 기반 AGV 배차 알고리즘을 제안한다. 제안 방안은 AGV를 배차할 때, 이후 일정 기간 동안의 AGV 작업에 대해 확률적 시뮬레이션을 여러 번 반복하여 수행하고 평가 값을 평균함으로써 불확실성의 영향을 줄인다. 확률적 시뮬레이션을 위해 크레인 작업시간의 불확실성을 간단한 확률함수로 모델링하고 그에 따라 크레인 작업시간을 결정한다. 또한 AGV 작업시간을 가감속, 간섭을 고려하여 추정한다. 시뮬레이션 실험을 통해 제안방안을 검증한 결과 안벽크레인의 지연이 감소함을 확인하였다.

주제어:

확률적 시뮬레이션; 불확실성; AGV 배차; 자동화 컨테이너 터미널

1. 서론

자동화 컨테이너 터미널에서 컨테이너 하역작업은 안벽크레인(QC; Quay Crane), 무인이송차량(AGV; Automated Guided Vehicle), 무인 장치장 크레인(ASC; Automated Stacking Crane)에 의해 수행된다. QC는 컨테이너를 컨테이너 선에 싣고 내리며 AGV는 QC와 장치장 사이에서 컨테이너를 운반한다. 장치장은 수입 컨테이너를 터미널 외부로 반출하거나 또는 반입된 수출 컨테이너를 선박에 적재하기 전까지 임시로 보관하는 장소이다. 장치장에는 ASC가 있어 장치장 내부의 컨테이너 운반 및 AGV와 컨테이너 교환을 담당한다.

컨테이너 하역작업에 있어 QC는 선박으로부터 직접 컨테이너를 내리고 싣는 장비이므로 가장 중요한 자

원이라 할 수 있다. QC의 작업 생산성은 컨테이너 선의 하역 작업 시간을 결정하며 이는 곧 컨테이너 터미널의 생산성에 직결한다. 이와 같은 이유로 컨테이너 터미널에서는 QC의 작업 생산성 향상을 위해 고성능의 QC를 도입하고 있다. 그러나 QC의 작업 생산성 향상은 QC 자체의 성능을 향상시키는 것만으로는 충분하지 않다. QC는 단독으로 작업하는 것이 아니라 AGV 및 ASC와 연동하여 작업하기 때문이다. 특히, QC와 직접 컨테이너를 교환하는 AGV의 작업은 QC의 작업생산성에 매우 큰 영향을 미친다.

컨테이너 터미널에서는 다수의 AGV를 동시에 운용하며 따라서 각 AGV에 컨테이너 운반작업을 할당하는 과정이 필요하다. QC의 작업생산성을 향상시키기 위해서는 AGV가 QC에 제때 도착하여 QC로부터 수입 컨테이너를 실어가거나 수출 컨테이너를 전달함으로써 QC 작업의 지연을 최소화해야 한다. 따라서 AGV에 작업을 할당 할 때에는 QC의 작업지연을 고려하여 이를 최소화 할 수 있도록 작업을 할당해야 한다. 또한 다수의 AGV가 멈추지 않고 지속적으로 작업을 수행하기 위해서는 AGV 한 대에 작업을 할당 하는데 너무 긴 시간이 걸려서는 안 된다.

AGV 작업 할당 문제는 AGV의 운영과 관련한 주요 문제 중의 하나로서 많은 연구가 앞서 수행되었다. 기존 연구 중에는 AGV 작업 할당 문제를 수식화하고 정수계획법을 이용하여 최적 해를 구하려는 시도가 있었다. 그러나 Ganesharajah, Hall, and Sriskandarajah [1]의 연구에서 밝힌 바에 의하면 가장 간단한 모델에서도 계산복잡도가 NP-hard로 실시간 연산이 불가능하다. 이와 같은 이유로 AGV의 전체 작업 일정을 계획하기보다는 현 시점으로부터 일정 기간 이내의 작업을 AGV에 할당하는 배차(dispatching) 알고리즘이 주로 연구되고 있다.

Naso and Turchiano [2]가 제안한 GMCA(Genetically optimized Multicriteria Algorithm)는 공장에서 사용하는 AGV를 대상으로 최단시간/거리(STT/D; Shortest Travel Time/Distance)와 같은 간단한 단일 휴리스틱을 둘 이상 사용하여 AGV에 할당할 후보 작업들을 평

가한다. 개별 휴리스틱의 평가를 취합하여 최종적인 평가를 도출한 후 가장 좋은 평가를 받은 후보작업을 AGV에 할당한다. 단일 휴리스틱의 평가값을 취합하기 위한 가중치의 최적 조합을 찾기 위해 유전자 알고리즘(Genetic algorithm)을 이용한 탐색을 전처리 과정에서 수행한다. Kim and Bae [3]는 컨테이너 터미널에서의 AGV 배차 문제를 혼합정수계획법(Mixed-integer programming)으로 수식화하여 분석모델을 도출한 후, 모델의 조건을 완화함으로써 최적 해에 근접한 해를 실시간에 연산할 수 있는 LADP(Look Ahead Dispatching Procedure)를 고안하였다. 그러나 두 연구 모두 정적인 작업환경을 가정하고 있으며 AGV 사이의 물리적인 간섭이나 가감속 운동은 고려하지 않았다. 또한 AGV를 제외한 다른 장비(Work station, QC, ASC 등)의 작업은 최적화되어 있는 것으로 가정하였다.

실제 컨테이너 터미널에서 AGV의 작업환경은 매우 동적이고 변화가 심하다. 특히 QC, AGV, ASC와 같은 장비의 작업시간에는 여러 가지 원인에 의해 불확실성이 존재한다. 예를 들어 QC의 작업시간은 바람, 운전자의 숙련도, 컨테이너의 무게, 컨테이너의 적재위치에 영향을 받는다. ASC의 작업시간은 QC와 마찬가지로 바람, 컨테이너의 장치위치, 무게 등에 영향을 받으며 다른 ASC와의 간섭, 작업 대상 컨테이너 위에 놓인 다른 컨테이너를 치우는 재취급 작업 등에 의해 작업시간이 변한다. 심지어 AGV의 작업시간 또한 다른 AGV 사이의 간섭, 차체의 가감속 운동, 주행경로 등에 영향을 받는다. 이러한 불확실성은 배차를 어렵게 만들고 AGV의 작업효율을 떨어뜨린다.

본 논문에서는 이러한 불확실한 환경에서 AGV를 효과적으로 배차하기 위해 확률적 시뮬레이션 기반 AGV 배차방안(DISS; AGV Dispatching algorithm based on Stochastic Simulation)을 제안한다. 제안방안은 각 후보 작업을 확률적 시뮬레이션을 이용하여 평가한다. 작업환경의 불확실성을 반영하기 위해 QC와 ASC의 작업시간의 확률적 모델을 정의하여 시뮬레이션에 적용하며 AGV의 작업시간 또한 간섭 및 가감속을 고려하여 추정한다. 각 후보 작업에 대해 확률적 시뮬레이션을 여러 번 반복하여 수행하고 QC 작업 지연의 평균을 취함으로써 불확실한 환경이 평가에 미치는 영향을 줄인다. 실시간 제약을 만족하기 위해서는 이와 같은 배차과정을 수 초에서 수십 초 내에 완료해야 하며 이를 위해 이벤트 기반의 고속 시뮬레이션 방안을 고안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 안벽에서의 AGV의 작업 흐름에 대해 설명한다. 3장과 4장에서는 확률적 시뮬레이션 기반 AGV 배차 알고리즘과 후보 작업 평가를 위한 확률적 시뮬레이션 방안을 소개한다. 5장에서는 제안방안을 검증하기 위한 실험 설정을 설명하고 결과를 분석한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. 안벽에서의 AGV 작업 흐름

2.1 자동화 컨테이너 터미널

자동화 컨테이너 터미널에서 컨테이너 하역작업 공간은 크게 안벽, 에이프런, 장치장의 세 영역으로 나눌 수 있다. 그림 1은 본 논문의 대상 터미널의 레이아웃을 그림으로 나타낸 것이다. 안벽은 컨테이너 선이 정박하는 곳으로 다수의 안벽크레인이 정박 중인 컨테이너 선으로부터 수출입 컨테이너를 내리고 싣는다. 안벽으로부터 육지 쪽으로 더 떨어진 곳에 장치장이 위치한다. 장치장은 여러 개의 블록(block)으로 구성되어 있으며 각 블록마다 ASC가 있다. QC와 장치장 블록에는 AGV와 크레인 사이의 컨테이너 교환을 위한 TP(Transfer Point)가 있다. AGV는 안벽과 장치장 사이의 에이프런 영역을 통해 주행하며 컨테이너를 운반한다.

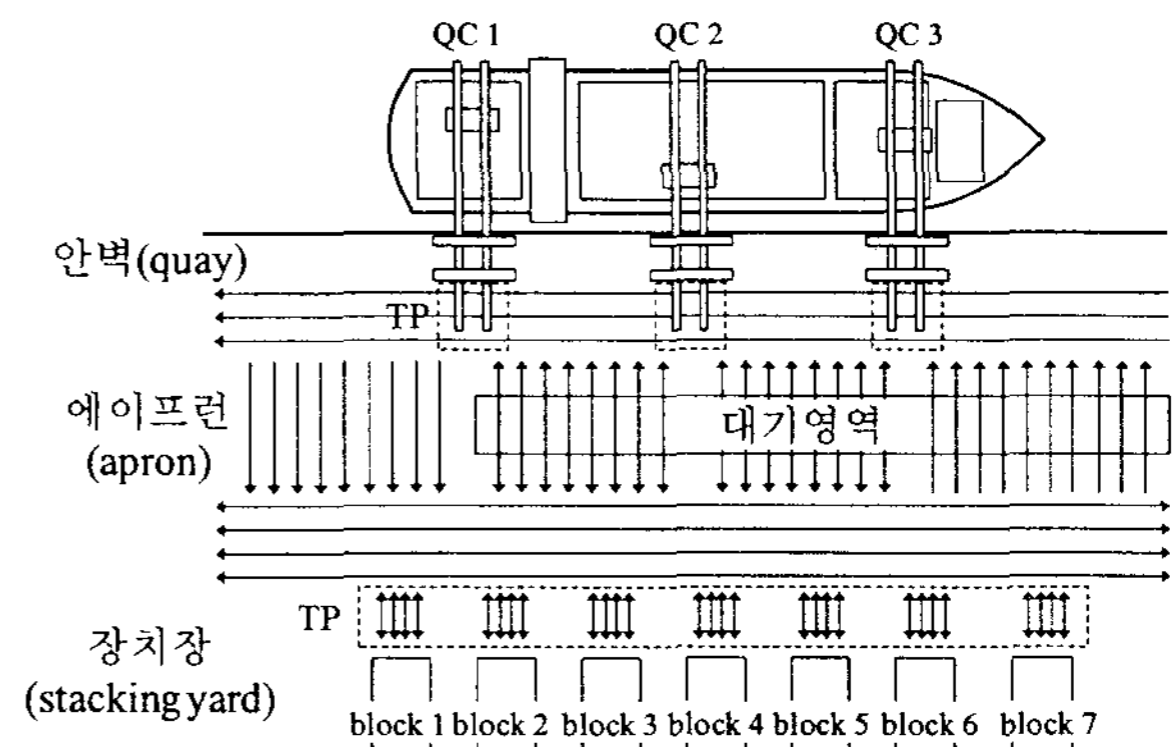


그림 1 - 자동화 컨테이너 터미널

2.2 AGV의 작업 흐름

AGV의 작업은 양하작업과 적하작업으로 구분된다. 양하작업 시에는 QC가 내린 수입 컨테이너를 받아 지정된 블록으로 운반한다. 적하작업 시에는 수출 컨테이너를 보관 중인 장치장 블록에서 ASC로부터 컨테이너를 넘겨 받은 후 지정된 QC로 운반한다. AGV의 작업은 무부하 주행, 상차, 부하주행, 하차의 네 단계로 이루어진다. 예를 들어, 적하작업의 경우 블록의 TP까지 무부하 주행을 한 후, ASC가 컨테이너를 상차하면 컨테이너를 배에 적재할 QC의 TP로 부하주행을 시작한다. QC의 TP에서는 QC가 컨테이너를 하차할 때까지 대기하고 하차가 끝나면 다음 작업을 수행한다. 단 QC로 주행하는 경우 QC의 TP에 정차할 수 있는 AGV의 수가 제한되어 있으므로 TP에 정차 중인 다른 AGV가 있는 경우 운반 중인 컨테이너를 적재할 순서가 될 때까지 그림 1의 대기 위치에서 대기한다.

안벽에서 QC의 작업은 컨테이너 선의 선적 계획에 맞추어 미리 계획된 순서에 따라 진행된다. QC는 주어진 작업계획에 따라 순서대로 컨테이너를 싣고 내린다. 따라서 AGV를 배차할 때에는 QC의 작업순서

에 고려하여 AGV가 순서대로 도착할 수 있도록 작업을 할당해야 한다. 특히 적하작업의 경우 AGV의 도착 순서가 QC의 작업순서와 일치하지 않을 경우 AGV는 자신이 운반 중인 컨테이너를 QC가 작업할 차례가 될 때까지 대기영역에서 대기해야 하며 QC 또한 이번에 처리할 컨테이너가 도착할 때까지 대기하게 된다. 반면 양하작업의 경우 AGV는 공차 상태로 QC로 주행한다. 따라서 대상 컨테이너를 운반할 AGV가 도착하지 않은 경우, 같은 QC의 다른 작업을 위해 대기 중인 다른 AGV가 있다면 그 AGV가 컨테이너를 대신 운반할 수 있으므로 적하의 경우처럼 AGV의 도착 순서에 대한 제약이 심하지 않다.

3. 확률적 시뮬레이션 기반 AGV 배차 알고리즘

본 장에서는 확률적 시뮬레이션 기반 AGV 배차 알고리즘(DISS)에 대해 설명한다. DISS는 각 AGV가 매번 작업을 완료할 때마다 다음에 수행할 작업을 할당한다. 배차에 앞서 DISS는 l (예견길이; look-ahead length), s (표본크기; sampling size), c (후보작업 수; number of candidates)의 세 가지 인자를 입력받는다. AGV가 작업을 완료한 후 새로운 작업을 요청하면 DISS는 AGV에 할당되지 않은 작업 중에서 후보 작업을 선정한 후, 각 후보 작업을 평가하여 가장 평가가 좋은 작업을 AGV에 할당한다. 후보작업을 평가하기 위해 DISS는 우선 주어진 후보작업을 AGV에 할당한 후 이후 l 개의 작업이 완료될 때까지 AGV의 작업에 대해 확률적 시뮬레이션을 수행하고 QC의 작업 당 평균 지연을 측정한다. 이와 같은 시뮬레이션을 s 번 반복하여 수행한 후 측정된 QC 지연을 평균하여 QC의 작업 당 평균 지연시간의 기대값을 추정하고 이를 평가에 사용한다. 그림 2는 DISS의 구체적인 알고리즘을 나타낸다. 알고리즘의 수행시간은 g, c, l, s 에 비례하여 증가한다.

배차 대상 AGV A_i 에 대해 다음을 수행한다.

Step 1. g 개의 QC에 대해 각 QC 별로 c 개의 후보작업을 선택하여 후보작업 집합 C 에 추가

Step 2. C 의 모든 원소 C_k 에 대해

Step 2-1. C_k 를 A_i 에 할당하고, 이후 l 개의 작업이 완료될 때까지 AGV 작업에 대해 확률적 시뮬레이션을 수행하고 QC의 작업 당 평균지연 시간을 측정

Step 2-2. Step 2-1을 s 회 반복한 후 QC의 작업 당 평균 지연 시간을 평균 계산

Step 3. QC의 작업 당 평균 지연시간의 평균이 가장 작은 C_k^* 를 A_i 에 할당

그림 2-DISS 알고리즘

2장에서 설명한 바와 같이 각 QC는 주어진 작업 계획에 따라 마감시간이 앞선 작업부터 순서대로 처리하며 작업 대상 컨테이너를 운반할 AGV가 도착하지 않은 경우 AGV가 도착할 때까지 대기한다. 따라서 한 대의 QC에 대해서는 마감시간이 빠른 작업을 우선 AGV에 할당할수록 QC의 대기시간을 줄이고 AGV의 불필요한 대기도 줄이는데 유리하다. 그러나 각 QC 사이에는 이러한 우선순위가 존재하지 않으므로 어떤 QC에 우선순위를 둘지에 대한 결정이 필요하다. 이와 같은 이유로 DISS는 각 QC 별로 마감시간이 가장 앞선 c 개의 작업을 후보작업으로 선택한다. 다음 장에는 DISS를 실시간에 적용하기 위해 고속으로 확률적 시뮬레이션을 수행하는 방안에 대해 설명한다.

4. AGV 작업 시뮬레이션 알고리즘

DISS에서 후보작업 평가를 위한 시뮬레이션은 고속 시뮬레이션을 위해 이벤트 기반으로 동작한다. 또한 확률적 시뮬레이션을 위해 QC와 ASC 작업의 불확실성을 모델링하고 시뮬레이션 중 QC와 ASC의 작업시간을 확률적으로 결정한다. 마지막으로 AGV의 가속속 운동 및 AGV 사이의 간섭을 반영하기 위해 최이, 박태진, 류광렬의 연구에서 제안한 AGV 주행 시간 추정알고리즘을 사용하여 AGV의 주행시간을 추정한다[4].

4.1 이벤트 기반 AGV 작업 시뮬레이션

AGV 배차 결과를 평가하기 위한 시뮬레이션은 실시간 제약을 만족하기 위해 이벤트 단위로 AGV 및 다른 장비의 동작을 재현한다. AGV, QC, ASC의 작업 단계에 따라 이벤트를 정의하고 발생시각이 가장 앞선 이벤트부터 처리한다. 이벤트 처리 시에는 발생한 이벤트에 맞추어 각 장비의 상태를 변경하고 그에 따른 후속이벤트를 생성한 후 발생시각을 계산한다. AGV, QC, ASC의 작업 이벤트는 표 1과 같이 정의한다.

$E_1 \sim E_6$ 은 AGV의 작업과 관련한 이벤트이며 $E_7 \sim E_{10}$ 은 QC 및 ASC의 작업 이벤트이다. 예를 들어 시간 t 에 E_1 에 의해 적하 작업을 할당 받은 AGV는 E_2 를 생성하고 발생시간은 $t+1$ 이 된다. 이후 E_2 를 처리할 때에는 AGV에 주행경로를 할당한다. 목적지가 장치장 블록인 경우에는 후속 이벤트로 E_6 을 생성하고 QC인 경우에는 E_3 을 생성한다. 후속 이벤트의 발생시간은 E_2 의 발생시간 $t+1$ 에 목적지까지의 주행시간을 더하여 계산한다. 또한 E_2 이벤트에 의해 AGV가 목적지를 향해 출발하면 AGV가 정차하고 있던 TP가 비워지므로 이곳으로 주행하기 위해 대기중인 다른 AGV를 출발시키기 위해 QC TP이면 E_4 를 장치장 TP이면 E_2 를 추가로 생성한다.

QC의 경우 적하 작업은 E_7, E_9, E_8, E_{10} 의 순서로 수행된다. 만약 E_7 이 발생하였을 때, 컨테이너를 전달할

AGV가 도착하지 않았다면 QC는 대기상태가 되어 후속 이벤트 E₉는 발생하지 않는다. 이후 AGV가 QC에 도착하여 E₆이 발생하면 후속 이벤트 E₉를 생성하며 E₇의 발생시간 t₇부터 대상 AGV의 도착 이벤트 E₆의 발생시간 t₆ 사이의 차가 QC의 지연시간이 된다. 반대로 QC의 양하 작업은 E₇, E₁₀, E₈, E₉ 순서로 수행되며 E₈의 발생 시점까지 AGV가 도착하지 않으면 QC에 작업이 생긴다.

시뮬레이션 중 AGV 배차는 마감시간 우선처리(EDF; Earliest deadline first)방식을 따른다. AGV 경로 설정은 가능한 모든 경로 중에서 AGV 주행시간 추정알고리즘[4]을 이용하여 추정된 주행시간이 가장 짧은 경로를 AGV에 할당한다.

표 1- 각 장비의 작업 이벤트

| 이벤트 | 이벤트 설명 | 가능한 후속이벤트 |
|-----------------|-----------------|---|
| E ₁ | AGV 배차 | E ₂ |
| E ₂ | AGV 경로설정 | E ₂ , E ₃ , E ₄ , E ₆ |
| E ₃ | 대기영역 도착 | E ₄ |
| E ₄ | QC로 주행가능 여부 검사 | E ₅ |
| E ₅ | 대기영역 출발 | E ₂ , E ₆ |
| E ₆ | TP 도착 | E ₉ |
| E ₇ | QC/ASC 무부하 주행완료 | E ₉ , E ₁₀ |
| E ₈ | QC/ASC 부하 주행완료 | E ₉ , E ₁₀ |
| E ₉ | TP 상/하차 완료 | E ₁ , E ₂ , E ₇ , E ₈ |
| E ₁₀ | 선박/블록 컨테이너 적재완료 | E ₇ , E ₈ |

4.2 크레인 작업의 불확실성 모델링

QC 및 ASC의 작업 시간은 무/부하 주행시간과 TP, 선박/블록에서의 컨테이너 적재시간으로 구성된다. 본 논문에서는 QC 및 ASC의 작업시간의 불확실성을 정규분포(normal distribution)로 가정한다. 시뮬레이션 중 QC의 무/부하 주행시간은 정규분포 $N(\mu_{QT}, \sigma_{QT})$ 을 따르며 컨테이너 적재시간은 정규분포 $N(\mu_{QH}, \sigma_{QH})$ 에 따라 결정된다. ASC의 무/부하 주행시간 T_{ASC} 는 식 (1)과 같이 ASC의 주행시간은 순수 주행시간과 재취급 작업 및 다른 ASC와의 간섭으로 인한 지연의 합으로 계산한다. 순수주행시간은 m 을 최소로, M 을 최대로 가지는 균일분포(uniform distribution)을 따른다고 가정하며 지연시간은 정규분포를 따른다고 가정한다. 마지막으로 ASC의 적재시간 역시 QC와 마찬가지로 정규분포 $N(\mu_{AH}, \sigma_{AH})$ 에 의해 확률적으로 결정된다.

$$T_{ASC} = U(m, M) + N(\mu_D, \sigma_D) \quad (1)$$

5. 실험 및 결과 분석

5.1 실험 설정

제안방안의 성능은 시뮬레이션 실험을 이용해 검증하였다. 실험에 사용한 시뮬레이터는 0.1초 단위로 터미널의 상황을 갱신할 수 있다. AGV의 좌표, 방향, 속도, 가속도를 0.1초 단위로 갱신하며 AGV 사이의 물리적 간섭 또한 반영된다. QC와 ASC의 작업시간은 4장에서 설명한 불확실성 모델을 따라 결정한다. 즉, DISS의 확률적 시뮬레이션의 크레인 작업 불확실성 모델은 작업환경의 불확실성을 완벽히 반영한다고 가정하였다.

대상 터미널로는 선석이 하나 있고 QC 3대, 장치장 블록이 7개 있는 터미널을 가정하였다. AGV의 사양은 표 2와 같으며 QC, ASC의 성능은 표 3과 같다. QC는 평균적으로 시간 당 컨테이너를 50개 처리 가능하다. ASC의 순수주행시간은 $U(1.8 \text{ s}, 36.9 \text{ s})$ 에 따르며 평균적으로 시간 당 약 23.4개의 컨테이너를 처리할 수 있다.

표 2-AGV 사양

| 직진속도 | 회전속도 | 가속도(가속) | 가속도(감속) |
|------|------|----------------------|----------------------|
| 4m/s | 2m/s | 0.64m/s ² | 1.55m/s ² |

표 3-QC 및 ASC 사양

| | 평균 | 표준편차 |
|----------|------|------|
| QC 주행시간 | 26 s | 5.2 |
| QC 적재시간 | 10 s | 2 |
| ASC 주행지연 | 30 s | 15 |
| ASC 적재시간 | 10 s | 2 |

대상 터미널은 9대의 AGV를 이용하여 적하 작업을 수행 중인 것으로 가정하였으며 컨테이너를 100개 처리할 때까지의 QC의 컨테이너 당 평균 지연을 측정하였다. 세 가지 서로 다른 QC 작업계획에 대해 각각 열 번 실험하여 결과를 평균하였다.

비교방안으로는 무작위할당(Random), 마감시간 우선할당(EDF), 정적 시뮬레이션 기반 AGV 배차(DIDS; AGV Dispatching algorithm based on Deterministic simulation)의 성능을 제안방안과 비교하였다. 무작위할당 방안은 후보작업 중 하나를 무작위로 할당한다. 마감시간 우선할당 방안은 QC 작업계획의 마감시간이 가장 빠른 작업을 할당한다. 정적 시뮬레이션 기반 AGV 배차 방안은 각 후보 작업에 대해 정적인

환경을 가정한 시뮬레이션을 수행하고 QC 지연이 가장 짧은 작업을 AGV에 할당한다. 제안방안의 경우 예견길이 l 과 표본크기 s 를 변경해가며 실험하였으며 후보작업 수 c 는 고정값 1을 사용하였다.

5.2 실험 결과

표 4는 비교방안 Random과 EDF의 QC 지연시간을 측정된 결과이다. 선적 계획에 따라 정해진 QC의 마감시간은 작업 중 발생할 수 있는 지연이나 다른 장비의 작업을 고려하지 않고 결정되므로 그에 따라 작업을 할당할 경우 불확실한 작업환경에서는 오히려 무작위로 작업을 할당하는 것보다 QC의 지연이 늘어나는 경향을 보인다.

표 4 - Random과 EDF의 QC 지연 측정결과

| | QC 지연시간(sec/box) |
|--------|------------------|
| Random | 40.88 |
| EDF | 41.08 |

표 5는 예견 길이 l 의 변화에 따른 제안방안(DISS)과 정적 시뮬레이션 기반 배차 방안(DIDS)의 성능 변화를 비교한 것이다. 표 6은 표 5의 결과를 EDF 방안에 대한 QC 지연 감소율을 나타낸 것이다. 제안방안의 경우 표본크기는 20을 사용한 경우이다. 두 방안 모두 예견 길이가 길어질수록 QC 지연이 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 불확실성을 감안하는 제안 방안이 감안하지 않는 DIDS보다 일관되게 나은 성능을 보였다. 예견 길이가 5인 경우에는 감소폭이 작거나 오히려 지연이 증가하는 경향이 있다. 그 이유는 AGV의 수가 9대이므로 AGV에 작업을 할당할 때 다른 8대의 AGV는 이미 작업을 수행하는 상태가 된다. 이러한 작업들은 새로 할당된 작업보다 먼저 완료할 확률이 높으며, 따라서 예견길이 9보다 작은 경우, 후보 작업을 완료하기 전에 평가 시뮬레이션이 종료하므로 후보 작업에 대한 정확한 평가를 할 수 없기 때문이다. 이와 같은 이유로 제안방안을 적용할 때에는 예견길이를 AGV의 수보다 큰 값을 사용해야 한다.

표 5 - 예견 길이에 따른 QC 지연 측정결과(sec/box)

| l | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DISS ($s=20$) | 43.70 | 38.81 | 35.02 | 31.20 | 31.54 | 30.37 |
| DIDS | 40.34 | 36.82 | 38.48 | 32.69 | 32.83 | 31.71 |

표 6 - 예견 길이에 따른 QC 지연 감소율(%)

| l | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| DISS ($s=20$) | -6.4 | 5.5 | 14.8 | 24.0 | 23.2 | 26.1 |
| DIDS | 1.8 | 10.4 | 6.3 | 20.4 | 20.1 | 22.8 |

그림 3과 4는 각각 예견길이와 표본크기 변화에 따른 제안방안의 성능 변화를 보여준다. 예견길이와 표본크기를 변화시켜가며 QC 지연의 최소, 1사분위수, 중간값, 3사분위수, 최대값, 평균을 표시하였다. 그림 3의 경우 표본크기는 20으로 하였으며, 그림 4의 경우 예견길이는 20으로 하였다. 예견길이와 표본크기가 늘어날수록 QC의 지연이 감소하며 감소폭이 점차 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로 표본크기 또한 큰 값을 사용할수록 QC의 지연이 감소하지만 예견길이를 증가시키는 경우에 비해 감소폭은 작다. 또한 예견길이와 표본크기가 증가할수록 QC 지연시간의 변화가 작아져서 보다 안정적인 성능을 보인다.

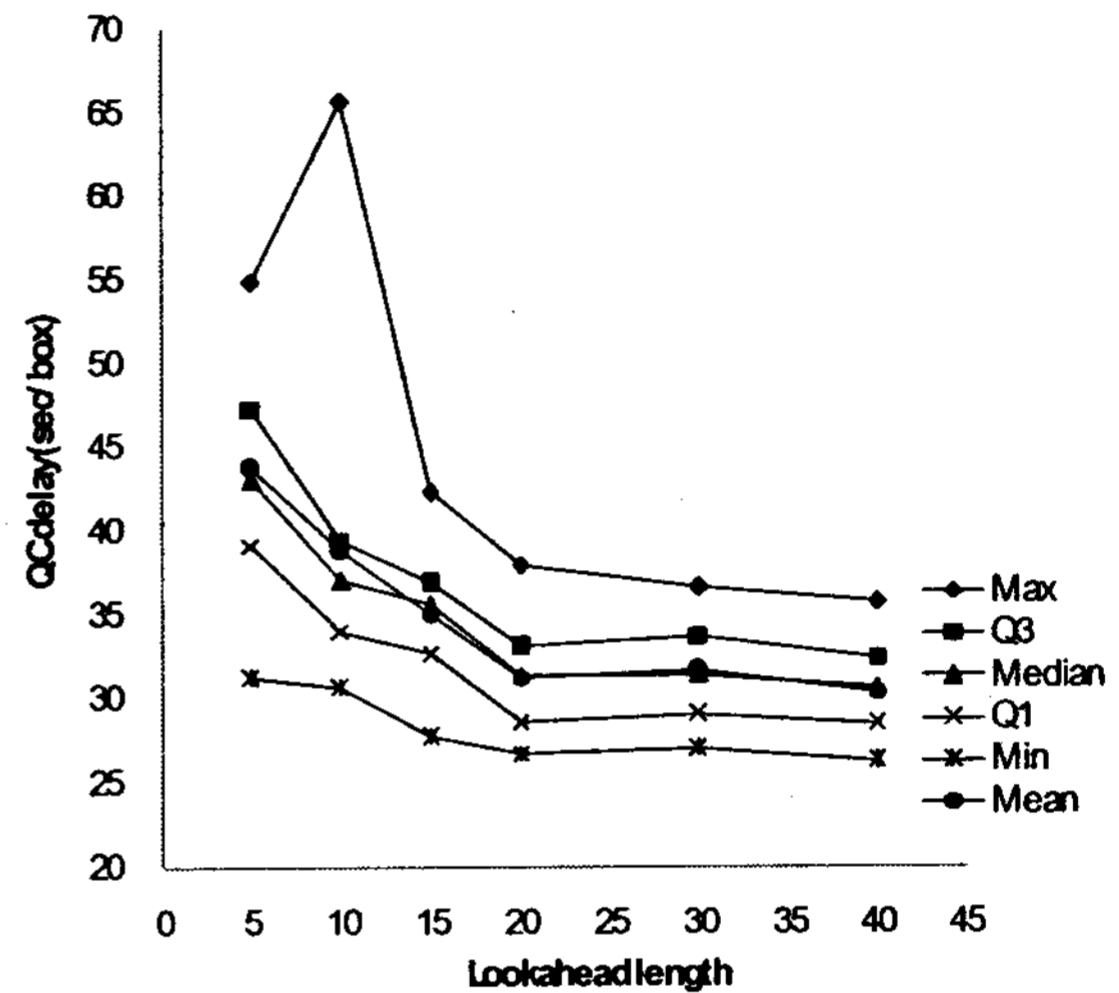


그림 3 - 예견길이에 따른 QC 지연시간의 변화

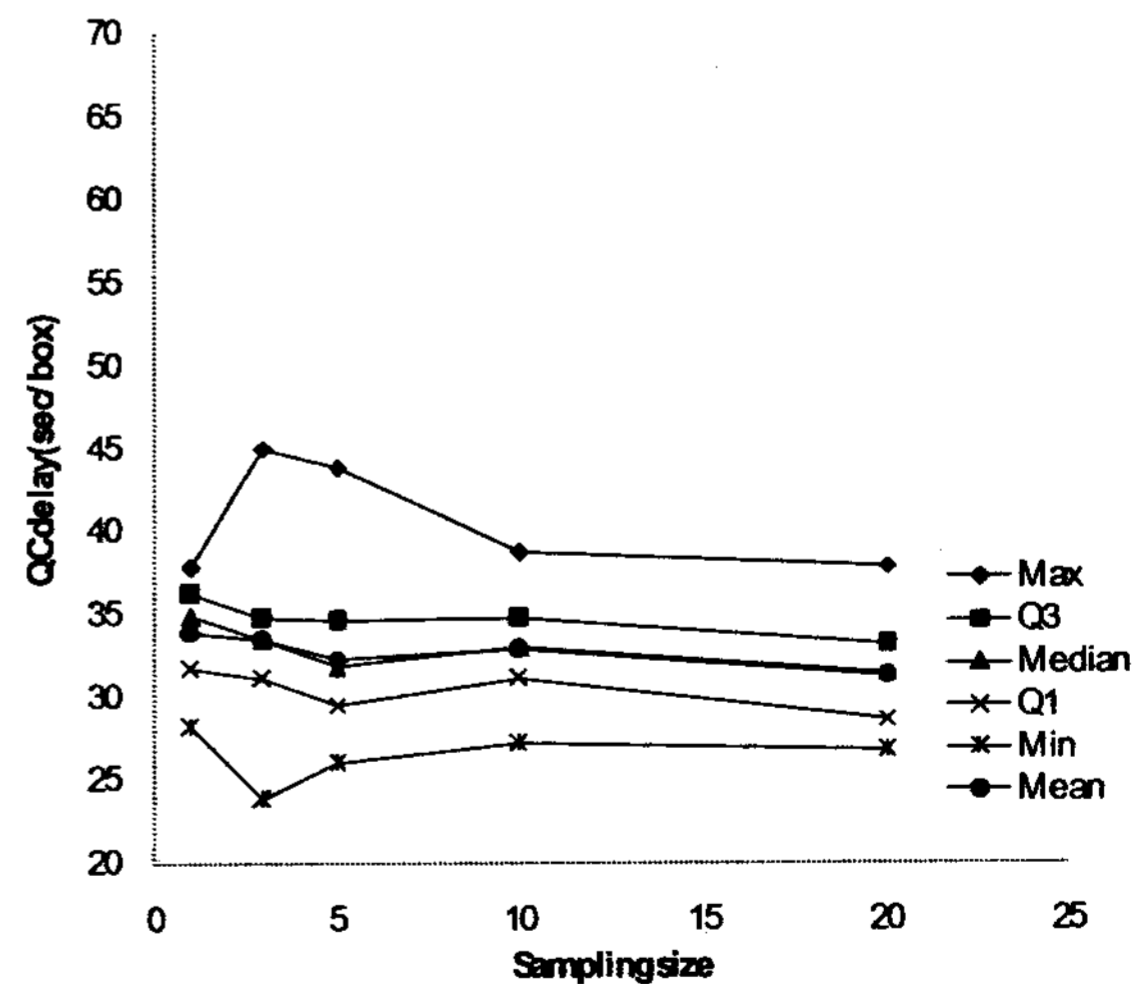


그림 4 - 표본크기에 따른 QC 지연시간의 변화

알고리즘 수행시간의 경우 3.2GHz 펜티엄 4 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였을 때, 가장 시간이 많이 걸린 경우인 DISS ($l=40, s=20$)의 경우 한 대의 AGV를 배차하는데 약 24초가 걸렸다. 실제 컨

테이너 터미널에서 QC나 ASC가 컨테이너를 하나 처리하는데 1분 이상 걸리는 것을 감안할 때, 실시간 적용이 충분히 가능한 것으로 판단된다.

6. 결론 및 향후 연구

AGV를 배차함에 있어 불확실한 작업환경은 AGV의 작업 효율을 떨어뜨리고 QC 작업에 지연을 발생시키는 주요한 원인이다. 본 논문에서는 불확실한 작업환경에서 QC의 작업생산성을 높이기 위해 확률적 시뮬레이션 기반 AGV 배차 알고리즘을 제안하였다. 제안 방안은 QC와 ASC의 작업시간의 불확실성을 간단한 정규분포로 모델링하고 이를 이용한 확률적 시뮬레이션을 고안하였다. AGV를 배차할 때 각 후보 작업에 대해 확률적 시뮬레이션을 반복하여 수행하고 평가를 평균함으로써 불확실한 환경이 평가에 미치는 영향을 줄이고자 하였다. 제안방안을 시뮬레이션 실험으로 검증한 결과 불확실성이 존재하는 작업환경에서의 성능 개선을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 QC 및 ASC 작업의 불확실성을 정규분포를 따르는 매우 단순한 모델로 가정하였다. 그러나 실제 터미널에서의 작업 불확실성은 수많은 요인에 영향을 받아 매우 복잡한 분포를 따른다. 따라서 보다 복잡한 불확실성 모델을 사용하는 경우의 제안방안의 성능을 확인할 필요가 있다. 더 나아가 불확실성 모델의 변화에 따라 제안방안의 성능이 어떻게 영향을 받는지에 대한 실험 및 분석이 필요하다.

또한 본 논문의 실험에서는 실제 환경과 시뮬레이션의 동일한 불확실성 모델을 따른다고 가정하여 실험하였지만 실제 환경의 불확실성을 정확하게 모델링하기는 거의 불가능하다. 따라서 환경과 시뮬레이션의 불확실성 모델이 다른 경우 제안방안의 성능이 어떻게 변화하는지 대한 연구가 추가로 요구된다.

Acknowledgments

본 논문은 교육인적자원 지방연구중심대학육성사업(차세대물류IT기술연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

References

- [1] Ganesharajah, T., Hall, N. G., and Sriskandarajah, C. (1998). "Design and operational issues in AGV-served manufacturing systems," *Operational Research*, Vol. 76, pp. 109-154.
- [2] Naso, D. and Turchiano, B. (2005). "Multicriteria meta-heuristics for AGV dispatching control based on computational intelligence," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, Vol. 35, No. 2, pp. 208-226.
- [3] Kim, K. H. and Bae, J. W. (2004). "A look-ahead

dispatching method for automated guided vehicles in automated port container terminals," *Transportation science*, Vol. 38, No. 2, pp. 224-234.

- [4] 최이, 박태진, 류광렬 (2006). "가감속을 고려한 교착없는 AGV 주행경로설정", *한국항해항만학회지*, 제 30권, 10호, pp. 855-860.