

장치장 점유율을 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 장치 위치 결정 전략 최적화

(Optimization of Stacking Strategies Considering Yard Occupancy Rate in an Automated Container Terminal)

손민제[†] 박태진[†]
(Minje Sohn) (Taejin Park)

류광렬^{††}
(Kwang Ryel Ryu)

요약 본 논문은 자동화 컨테이너 터미널의 장치장에서 장치 위치 결정 전략을 다목적 진화 알고리즘(MOEA: Multi-Objective Evolutionary Algorithm)을 이용해 최적화하는 방안을 제안한다. 장치장의 해측과 육측 생산성은 서로 상충하기 때문에, 이 둘을 동시에 최대화하는 것은 불가능하다. 대신 본 논문에서는 MOEA를 이용해 파레토 최적해 집합(Pareto optimal set)을 구하였다. 초기 실험 결과 장치장의 컨테이너 점유율이 높은 어려운 문제의 경우, MOEA의 집단이 지역 해에 쉽게 빠지는 것을 확인하였다. 이에 본 논문에서는 난이도가 다른 두 개의 문제를 동시에 최적화함으로써 집단의 다양성을 유지하는 방안을 제안하였으며, 실험 결과 제안 방안이 단일 문제만 해결하는 방안에 비해 동일한 비용으로 더 좋은 전략을 얻을 수 있음을 확인하였다.

· 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음
· 이 논문은 2010 한국컴퓨터종합학술대회에서 '장치장 점유율을 고려한 자동화 컨테이너 터미널의 장치 위치 결정 전략 최적화'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : 부산대학교 컴퓨터공학과
terpg@pusan.ac.kr
parktj@pusan.ac.kr

^{††} 종신회원 : 부산대학교 컴퓨터공학과 교수
krryu@pusan.ac.kr
논문접수 : 2010년 8월 9일
심사완료 : 2010년 9월 30일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제11호(2010.11)

키워드 : 자동화 컨테이너 터미널, 장치장, 장치 위치 결정 전략, 최적화, 다목적 진화 알고리즘

Abstract This paper proposes a method of optimizing a stacking strategy for an automated container terminal using multi-objective evolutionary algorithms (MOEAs). Since the yard productivities of seaside and landside are conflicting objectives to be optimized, it is impossible to maximize them simultaneously. Therefore, we derive a Pareto optimal set instead of a single best solution using an MOEA. Preliminary experiments showed that the population is frequently stuck in local optima because of the difficulty of the given problem depending on the yard occupancy rate. To cope with this problem, we propose another method of simultaneously optimizing two problems with different difficulties so that diverse solutions can be preserved in the population. Experimental results showed the proposed method can derive better stacking policies than the compared method solving a single problem given the same computational costs.

Key words : Automated Container Terminal, Stacking Yard, Stacking Strategy, Optimization, Multi-Objective Evolutionary Algorithm

1. 서론

컨테이너 터미널의 장치장은 외부트럭에 의해 반입된 수출 컨테이너와 선박에서 내려진 수입 컨테이너는 선박에 실리거나 외부 트럭에 의해 반출되기 전까지 임시로 머무르는 공간이다. 장치장에는 크레인과 장치공간의 두 가지 주요 자원이 있으며, 컨테이너의 장치 위치 결정은 크레인의 작업 계획과 함께 컨테이너 터미널의 작업 생산성에 영향을 미치는 중요한 문제 중 하나이다. 이에 기존 연구[1-3]는 장치장으로 들어오거나 장치장 내에서 다른 위치로 옮겨지는 컨테이너를 위한 간단한 규칙 기반의 장치 위치 결정 방안들을 제안하였다. 기존 연구[4]는 장치 위치 결정 시 고려할 수 있는 다양한 요소들을 가중 취합하여 장치 위치를 결정하였으며 온라인 탐색 알고리즘을 이용해 여기에 사용되는 가중치를 동적으로 최적화 하였다.

일반적으로 컨테이너 터미널에서는 선박에 컨테이너를 싣고 내리는 해측 작업이 트럭에 의해 컨테이너가 반출입되는 육측 작업보다 더 중요시된다. 그러나, 앞서 언급한 기존 연구들은 이들 두 종류의 작업의 가치를 동일하게 취급하거나, 두 종류의 작업에 대한 평가결과를 단순 가중 취합하여 장치 위치 결정 전략을 평가하였다. 그러나 이들의 상대적인 중요성은 터미널마다 다르며 정확한 값을 결정하는 것 또한 매우 어렵다. 이에 본 논문에서는 다목적 진화 알고리즘(MOEA: Multi-Objective Evolutionary Algorithm)을 이용해 장치 위

치 결정 전략을 최적화하여 다양한 가중치 조합에 대한 파레토 최적해 집합(Pareto optimal set)을 구했다. 초기 실험 결과에서 작업 물량이 많아 장치장의 컨테이너 점유율이 높은 어려운 문제의 경우 MOEA의 집단이 충분한 다양성을 유지하지 못하고 지역 최적해로 수렴하였다. 이에 본 논문에서는 쉬운 문제와 어려운 문제를 한번의 MOEA 수행에 동시에 해결하는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 시스템을 이용한 실험결과 제안 방안이 단일 문제를 해결하는 방안에 비해 집단의 다양성을 더 잘 유지하여 어려운 문제의 경우 동일한 계산비용으로 더 좋은 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

다음 장은 컨테이너 터미널의 장치 위치 결정에 대해 설명하며, 3장에서는 MOEA를 이용한 장치 위치 최적화 방안에 대해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 시스템을 이용한 실험결과를 제시하고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 논한다.

2. 자동화 컨테이너 터미널의 장치 위치 결정

2.1 자동화 컨테이너 장치장

자동화 컨테이너 터미널은 크게 안벽(quay), 장치장(yard), 배후지(hinterland)로 이루어진다. 터미널 내의 주요 하역 장비로는 선박에 컨테이너를 싣거나 내리는 안벽 크레인(QC), 장치장에 컨테이너를 장치하거나 꺼내는 장치장 크레인, 이 두 크레인 사이에서 컨테이너를 운반하는 내부이송 차량이 있다. 본 논문에서 대상으로 하는 자동화 컨테이너 터미널은 내부 이송차량과 장치장 크레인으로 자동화 장비인 AGV(Automated Guided Vehicle)와 ASC(Automated Stacking Crane)를 각각 사용한다.

배후지에서 반입된 수출 컨테이너나 선박에서 양하된 수입 컨테이너는 적하되거나 반출되기 전까지 장치장에 보관된다. 일부의 양하 컨테이너는 다른 선박에 적하되기도 하며, 이런 작업을 환적이라 한다. 장치장은 여러 개의 블록(block)으로 구성되며, 하나의 블록은 컨테이너를 쌓을 수 있는 다수의 스택(stack)으로 구성된다. 자동화 컨테이너 터미널에서는 일반적으로 자동 영역과 수동 영역을 구분하기 위해 그림 1과 같이 블록이 안벽과 수직으로 배치되며, 블록의 양 끝에는 ASC와 내/외부 차량 사이에 컨테이너 교환이 이루어지는 HP(Handover Point)가 있다. 본 논문의 대상 장치장에는 각 블록에 교차가 불가능한 두 개의 ASC가 있으며, 이중 해측 ASC는 선박에 의해 요청된 작업을, 육측 ASC는 외부 트럭에 대한 작업을 담당하여 처리한다고 가정하였다.

장치장에는 선박을 위한 양하와 적하, 외부 트럭을 위한 반입과 반출 작업이 있다. 여기에 추가로 리포지션

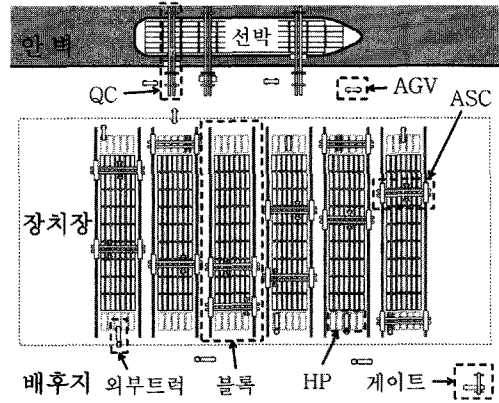


그림 1 자동화 컨테이너 터미널의 예

(reposition), 재취급과 같은 부수 작업이 있다. 적하나 반출 시 대상 컨테이너 위에 다른 컨테이너가 쌓여 있다면, 이 컨테이너를 먼저 치워야 하는데, 이러한 작업을 재취급 작업이라 한다. 또한 ASC의 교차가 불가능하므로 한 ASC가 다른 ASC의 작업이 끝나기를 기다려야 하는 크레인 간섭이 발생할 수도 있다. 이러한 재취급과 크레인 간섭은 장치장 생산성에 나쁜 영향을 미친다. 특히, 크레인 간섭은 HP에서 멀리 떨어진 위치에 컨테이너를 장치하거나 꺼내는 경우 자주 발생한다. 리포지션 작업은 간섭을 줄이기 위해 대상 컨테이너를 현재 놓인 위치보다 목적지에 더 가까운 임시 위치로 이동하는 작업이다.

2.2 장치 위치 결정 전략

장치 위치 결정이란 장치장에 컨테이너를 적치하는 모든 작업에 대해 그 적치 위치를 결정하는 것이다. 이를 위해 블록의 모든 가용 스택을 개별 평가하여 가장 평가값이 가장 좋은 위치를 장치 위치로 선택할 수 있다. 기존 연구[4]는 이를 위한 평가 기준들을 정의하고 이 기준들의 가중취합 형태로 평가함수를 구성하였다. 하지만 모든 작업에 동일한 평가함수를 사용하였으며, 재취급과 리포지션 작업의 경우 간단한 규칙으로 장치 위치를 결정하였다. 이에 기존 연구[5]는 재취급 작업에 대해서도 장치 위치 결정 규칙을 구성하여, 작업에 따라 다른 평가함수를 적용하였다. 본 논문은 리포지션 작업용 장치 위치 결정 규칙을 추가하여 표 1과 같이 총 7개의 장치 위치 결정 규칙을 사용하였다. 장치 위치 평가 요소로는 표 2의 7개를 사용하며, 이 중 E와 T를 제외한 나머지는 [5]에서 사용한 것과 동일하다.

새로운 작업이 발생하면 다음 절차에 따라 장치 위치를 결정한다. 양하나 반입 작업이 발생하면 우선 $R_1 \sim R_3$ 을 이용해 대상 컨테이너의 장치 위치를 결정한다. 이때 컨테이너의 이동 거리가 멀다면 리포지션 작업을

표 1 작업의 종류에 따른 장치 위치 결정 규칙

작업 종류	장치 위치 결정 규칙
일반 작업	수입 $R_1 = w_1D_{10} + w_2D_{from} + w_3H + w_4E + w_5S$
	수출 $R_2 = w_6D_{10} + w_7D_{from} + w_8H + w_9E + w_{10}G + w_{11}S + w_{12}P$
	환적 $R_3 = w_{13}D_{10} + w_{14}H + w_{15}E + w_{16}G + w_{17}S$
재취급 작업	수입 $R_4 = w_{18}D_{10} + w_{19}D_{from} + w_{20}H + w_{21}E + w_{22}S$
	수출 $R_5 = w_{23}D_{10} + w_{24}D_{from} + w_{25}H + w_{26}E + w_{27}G + w_{28}S$
	환적 $R_6 = w_{29}D_{10} + w_{30}D_{from} + w_{31}H + w_{32}E + w_{33}T + w_{34}S$
리포지션 작업	수입 $R_7 = w_{35}D_{10} + w_{36}D_{from} + w_{37}H + w_{38}E + w_{39}T + w_{40}G + w_{41}S$
	수출
	환적

표 2 장치 위치 결정 요소

결정 요소	정의
D	컨테이너 이동 거리 (유입거리와 유출거리)
H	스택의 컨테이너 적재 단수
E	해당 스택이 빈 스택인지 여부
T	리포지션 작업에 대해 해당 스택에 임시 적치 중인 컨테이너가 있는지 여부
S	컨테이너 적치 시 블록의 가용 공간 변화
G	스택에 적치된 컨테이너 그룹 정보를 통한 재취급 발생 예측값
P	컨테이너의 반출 시점에 따른 지역 선호도

추가로 생성하고, R_6 이나 R_7 을 통해 이 작업의 임시 위치를 결정한다. 적하나 반출 작업의 경우 해당 컨테이너 위에 다른 컨테이너가 쌓여 있다면 R_4 나 R_5 를 사용해서 재취급 작업을 생성한다. 만약 적하나 반출 작업의 이동 거리가 멀다면 여기서도 마찬가지로 리포지션 작업을 추가 생성한다. 추가로, 재취급 발생의 빈도를 줄이기 위해 동일 스택에는 수입, 수출 컨테이너를 함께 쌓지 않았다.

3. 장치 위치 결정 전략 최적화

2장에서와 같이 장치 위치 결정 규칙은 평가 요소들의 가중 취합으로 구성된다. 본 논문에서는 MOEA를 이용해 각 평가 요소들의 가중치를 결정한다.

3.1 다목적 최적화 문제

해의 평가값이 두 개 이상이며, 서로 대립한다면, 모든 평가값을 동시에 최대화 또는 최소화하는 단일 해를 구하는 것은 불가능하다. 이런 문제를 다목적 최적화 문제(MOP: Multi-objective Optimization Problem)라고

하며, 최소화 문제를 가정하면 식 (1)과 같으며, 여기서 x 는 n 차원의 결정 변수 벡터이다.

$$\min f(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)\} \quad (1)$$

해 a 와 또 다른 해 b 사이에 식 (2)의 조건이 만족할 경우 해 a 가 해 b 를 지배(dominate)하며 어떠한 해에 의해서도 지배되지 않는 해를 비지배해(nondominated solution)라 한다.

$$a < b, \text{ if } (\forall i: f_i(a) \leq f_i(b)) \wedge (\exists i: f_i(a) < f_i(b)) \quad (2)$$

이러한 MOP는 MOEA를 통해 목적 함수들의 비중 변화에 따른 비지배해의 집합인 파레토 프런트(Pareto front)를 구할 수 있으며, 사용자는 여기서 자신의 필요에 따라 알맞은 해를 선택할 수 있다.

3.2 MOEA를 이용한 장치 위치 결정 전략 최적화

MOEA에서 하나의 해는 그림 2와 같이 41개 가중치와 15개 P 의 평가값의 총 56개의 실수로 구성된다. 해의 평가를 위해 그림 3의 시물레이션 시스템을 구현하였으며, 이 시스템은 하나의 해인 장치 위치 결정 규칙을 미리 생성해둔 양/적하, 반출/입 작업들에 적용하여 평균 AGV 지연 시간과 평균 외부 트럭 대기 시간을 측정한다. 물량 생성은 배의 도착 시간에 따라 양/적하 물량을 먼저 생성하고 적하 물량은 배 도착 전 7일 동안 반입되고 양하 물량은 배 도착 후 7일 동안 반출되거나 적하(환적)되도록 하였다. 시물레이션은 빈 장치장에서 시작하여 일정 기간 동안 크레인 시물레이션 없이 진행한 후 그 이후의 작업에 대해 크레인의 물리적 동작까지 고려하여 AGV 지연과 외부 트럭 대기 시간을 수집하였다.

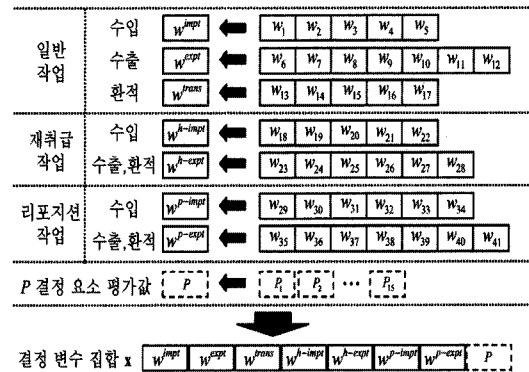


그림 2 결정 변수의 구성

3.3 복합문제 해결에 의한 집단의 다양성 유지

시물레이션 중 아래의 상황이 발생하면 시물레이션은 더 이상 진행할 수 없기에 해당 규칙의 평가값으로 매우 큰 값을 반환하고 시물레이션을 마친다.

1. 컨테이너 적치가 가능한 후보 스택이 없는 경우
2. 다음 선박 입항 이전에 현재 선박의 작업을 완료하지 못하는 경우

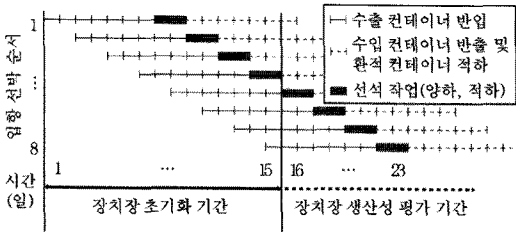


그림 3 장치장 시뮬레이션 과정

이런 상황은 선박의 평균 양/적하 작업 수가 많아 장치장의 점유율이 높은 경우 MOEA의 초기 집단에서 빈번하게 관찰된다. 문제는 초기 집단에서 시뮬레이션의 실패로 인해 대부분 해가 매우 큰 평가값을 가진 상황에서 평가값이 좋은 일부 나머지의 해가 전체 집단으로 퍼져 집단이 빠른 속도로 다양성을 잃고 지역 최적해로 수렴하는 것이다.

본 논문에서는 물량이 많은 문제와 적은 문제를 한번의 MOEA 실행으로 동시에 해결함으로써 이러한 문제에 대처하였다. 원래 대상 문제는 두 개의 최적화 목표를 가지고 있지만, 각 해를 이 두 가지 문제에 대해 각 한번씩 두 번의 시뮬레이션을 통해 평가함으로써 대상 문제의 최적화 목표는 네 개로 늘어난다. 이는 해 하나의 평가를 위해 약 두 배의 계산 부담이 드는 단점이 있지만, 물량이 많은 문제에 대해 매우 나쁜 평가를 받은 해의 경우에도 쉬운 문제에 대해 좋은 평가를 받을 기회를 주어 해당 해가 집단 내에 살아남을 가능성을 높여준다. MOEA의 특성 상, 한 해가 두 목적 함수에 대해 매우 나쁜 평가값을 가져도 다른 두 목적 함수에 대해 다른 해들보다 좋은 평가값을 가지면 이 해는 비지배해가 된다. 결국, 이러한 방법은 어려운 문제에 대해 좋은 결과를 보인 일부 해가 빠르게 집단 전체로 퍼지는 것을 막아 집단의 다양성 유지에 도움이 된다.

4. 실험 및 결과

대상 문제의 해결을 위해 NSGA-III[6]를 사용하였으며, 복합문제 해결에 의한 알고리즘의 성능향상을 확인하기 위해 물량이 다른 두 가지 문제를 생성하여 실험하였다. 해의 다양성을 유지하기 위해 두 문제를 탐색에 동시에 고려한 (1)복합 문제를 고려한 방법과 이에 대한 비교 대상으로 한 가지 문제만 탐색에 고려하는 (2)단일 문제를 고려한 방법에 대해서 서로 비교 실험하였다.

알고리즘의 성능 평가 지표로 HVR(Hyper Volume

Ratio)[7]을 사용하였다. HVR은 파레토 프런트가 지배하는 영역의 비율을 계산한 값으로 그 영역이 넓으면 해당 파레토 프런트의 품질이 우수하다고 할 수 있다. 아래 식 (3)은 HVR을 나타낸다.

$$HVR = 1 - \frac{HV(PF_{seek})}{HV(PF_{true})}, HV(PF) = volume \left(\bigcup_{i=1}^{n \text{ of } PF} v_i \right) \quad (3)$$

v_i 는 i 번째 해가 지배하는 영역의 면적 또는 부피를 나타낸다. PF_{true} 와 PF_{seek} 는 각각 실제 최적 파레토 프런트와 알고리즘이 구한 파레토 프런트를 의미한다. HVR은 0에서 1사이 값을 가지며 작을수록 해당 파레토 프런트의 품질이 좋음을 의미한다.

표 3은 실험 설정 값을 나타낸다. 블록은 20피트 크기의 컨테이너 기준으로 세로 41베이, 가로 10행, 스택당 5단까지 컨테이너를 쌓을 수 있으며, 물량은 최대 장치장 점유율이 약 63% 정도의 어려운 문제 하나와 약 30% 정도의 쉬운 문제를 생성하였다. 또한 복합 문제는 단일 문제보다 두 배의 평가 비용이 필요하므로 공정함을 위해 실험에 소요되는 평가 회수를 동일하게 설정하였다.

표 3 실험 설정

설정 요소	설정 값	
블록 크기	20 피트 컨테이너 기준 41 베이 10 행 5 단	
선박 당 생성	어려운 문제	양/적하 각각 300~250 개
작업 물량	쉬운 문제	양/적하 각각 150~100 개
환적 물량 비율	양하 물량 중 30%	
결정 변수	56 개 실수	
목적 함수	2 개 또는 4 개 실수	
개체군 크기	100 개체	
평가 횟수	총 100,000 번 평가	

나머지 NSGA-II 설정은 [6]에서와 같은 설정을 사용하였다. 문제별로 각각 10번의 실험을 수행하여 HVR값을 평균하였다. HVR을 계산하기 위해서는 실제 최적 파레토 프런트인 PF_{true} 를 알아야 하는데, 이를 위해서 모든 실험에 대해서 생성되는 모든 해 중에서 비지배해들의 집합을 PF_{true} 로 가정했다.

그림 4는 두 가지 문제에 대해 단일 문제를 해결하는 경우와 복합 문제를 해결하는 경우의 HVR 변화 추이를 보이고 있다. 그림 4(a)에 의하면 쉬운 문제에서 두 방안의 최종적인 해의 품질은 비슷해 보인다. 그러나 문제가 쉽기 때문에 단일 문제를 해결하는 방안이 복합 문제를 해결하는 방안보다 수렴 속도가 더 빠르다. 그림 4(b)의 어려운 문제의 경우 단일 문제를 해결하는 방안의 경우 진화 초기에 조기 수렴하여, 대략 100 세대부터

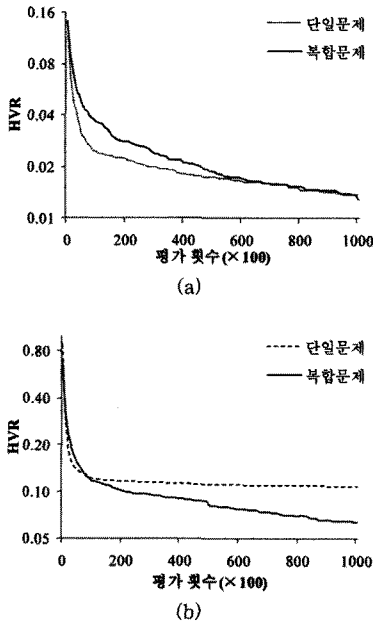


그림 4 HVR 변화: (a) 쉬운 문제, (b) 어려운 문제

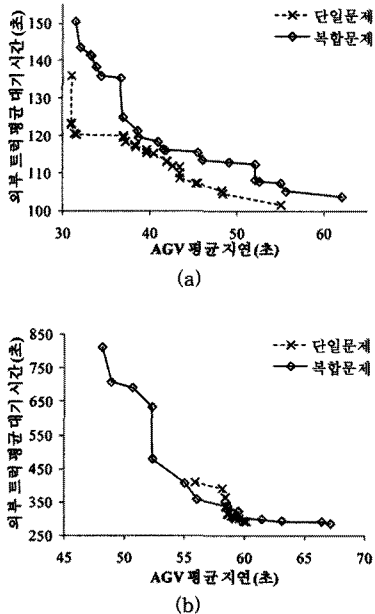


그림 5 최종 파레토 프론트: (a) 쉬운 문제, (b) 어려운 문제

는 탐색의 개선이 거의 일어나지 않는 것을 확인할 수 있다. 그러나 복합 문제를 해결하는 방안의 경우 전 세대에 걸쳐 꾸준히 HVR이 좋아짐을 확인할 수 있다.

그림 5는 두 방안 별로 10번의 실험 동안 얻어진 모든 해들의 파레토 프론트를 구해 표시한 것이다. 그림 5(a)를 보면 쉬운 문제에 대해서는 단일 문제를 고려한

방법이 해의 수렴 정도가 더 좋으나 다양성 측면에서는 나뉘음을 알 수 있다. 그림 5(b)의 어려운 문제의 경우 단일 문제를 해결하는 방안은 평가값의 입장에서 매우 좁은 영역의 장치 위치 결정 전략만을 찾아낼 수 있었다. 상대적으로 복합 문제를 고려한 방안의 경우 훨씬 다양한 장치 위치 결정 전략을 찾아낸 것을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 자동화 컨테이너 터미널의 장치장에서 장치 위치 결정 전략을 최적화하기 위해 난이도가 서로 다른 두 개의 문제를 동시에 고려하여 탐색하는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 시스템을 통한 실험 결과에서 단일 문제를 고려하는 것보다 난이도가 다른 다수개의 문제를 동시에 고려하는 방법이 더 좋은 성능을 보였으며, 이를 통해 여러 문제를 탐색에서 동시에 고려함으로써 탐색이 지역 해에 빠지는 문제를 해결해 줄 수 있음을 확인하였다.

향후 연구로 탐색 시 동시에 고려할 문제들의 난이도 차이를 조절할 필요가 있다. 또 탐색 세대 변화에 따라 문제의 난이도를 점진적으로 높이는 방법을 고려할 수도 있다.

참고 문헌

- [1] M. B. Duinkerken, J. J. M. Evers, and J. A. Ottjes, "A Simulation Model for Integrating Quay Transport and Stacking Policies on Automated Container Terminals," *Proc. of the 15th European Simulation Multiconference*, pp.909-916, 2001.
- [2] R. Dekker, P. Voogd, and E. van Asperen, "Advanced methods for container stacking," *OR Spectrum*, vol.28, pp.563-586, 2006.
- [3] J. H. Yang, and K. H. Kim, "A grouped storage method for minimizing relocations in block stacking system," *Jour. of Intelligent Manufacturing*, vol.17, no.4, pp.453-463, 2006.
- [4] Y. H. Kim, T. J. Park, and K. R. Ryu, "Dynamic Weight Adjustment Algorithms for Deriving Stacking Policies of Automated Container Terminals," *Proc. of the KINPR Fall Conference 2007*, pp.255-256, 2007. (in Korean)
- [5] M. J. Son, T. J. Park, and K. R. Ryu, "Optimizing Stacking Policies of Automated Container Terminals Using Multi-objective Evolutionary Algorithm," *Proc. of the KIISS Fall Conference 2009*, pp.187-193, 2009. (in Korean)
- [6] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, "A Fast Elitist Multi-objective Genetic Algorithm: NSGA-II," *IEEE Trans. on Evolutionary Computation*, vol.6, pp.182-197, 2002.
- [7] D. A. V. Veldhuizen and G. B. Lamont, "Multi-objective Evolutionary Algorithm Test Suites," *Proc. of the ACM symposium on Applied computing*, pp.351-357, 1999.