



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

납품시간차과 다종차량을 고려한
다종제품 동적 로트크기결정 및
디스패칭



부경대학교 대학원

시스템경영공학과 석사과정

채승규

공 학 석 사 학 위 논 문

납품시간창과 다중차량을 고려한
다중제품 동적 로트크기결정 및
디스패칭



부 경 대 학 교 대 학 원

시스템경영공학과 석사과정

채 승 규

Genetic Algorithms for a Multi-product Dynamic Lot-Sizing and Dispatching Problem with Delivery Time Windows

Advisor: Prof. Woon-Seek Lee



by
Syeng-Kyu Chae

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of

Master of Engineering

System Management Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

August 2013

채승규의 공학석사 학위논문을 인준함.

2013 년 8 월



주심 공학박사 이운식 (인)

위원 공학박사 김병수 (인)

위원 공학박사 주철민 (인)

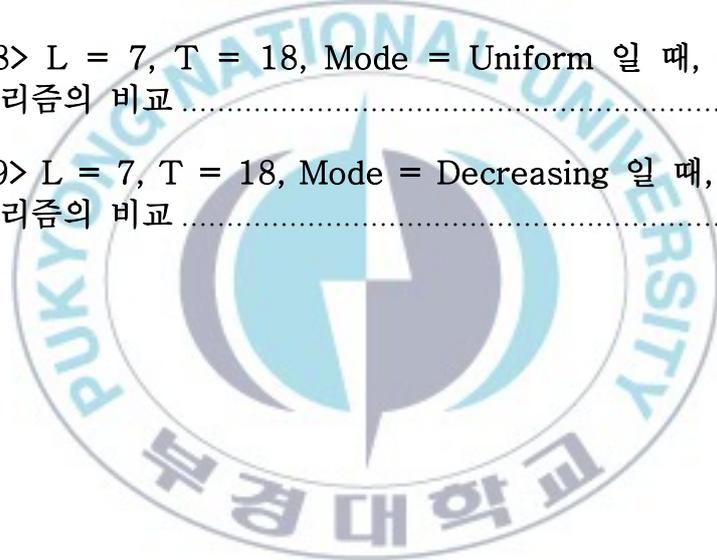
<제목 차례>

제 1 장 서론	1
1.1 연구배경	2
1.2 연구의 내용	3
제 2 장 연구 동향	6
2.1 고전적인 동적 로트크기결정 문제	6
2.2 동적 로트크기결정 및 운송계획 문제	7
2.3 납품시간차를 고려한 동적 로트크기결정 문제	9
제 3 장 최적화 모형	11
제 4 장 유전 알고리즘	15
4.1 디스패칭량(d_{ikt})과 주문량(x_{it})에 대한 Chromosome 표현	16
4.2 수송차량 할당을 위한 지역 해 탐색 알고리즘	19
4.3 차량 할당에 대한 조정 알고리즘	20
4.3 교차변이(Crossover)	22
4.4 돌연변이(Mutation)	23
4.5 Ranking 선택법을 통한 Selection	24
제 5 장 알고리즘 성능 분석	25
제 6 장 향후 연구 방향	47

<표 차례>

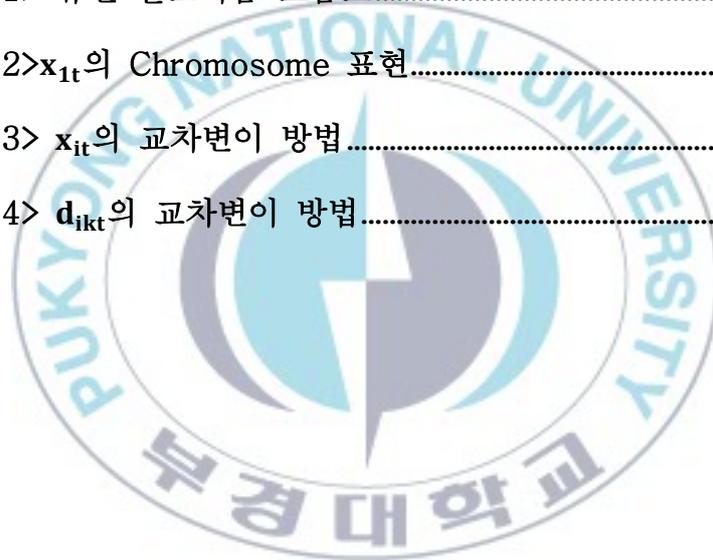
<표 5-1> Generation 횟수에 따른 유전 알고리즘의 계산시간과 최선해 비교	28
<표 5-2> $L = 3, T = 12, \text{Mode} = \text{Uniform}$ 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	29
<표 5-3> $L = 3, T = 12, \text{Mode} = \text{Decreasing}$ 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	30
<표 5-4> $L = 3, T = 15, \text{Mode} = \text{Uniform}$ 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	31
<표 5-5> $L = 3, T = 15, \text{Mode} = \text{Decreasing}$ 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	32
<표 5-6> $L = 3, T = 18, \text{Mode} = \text{Uniform}$ 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	33
<표 5-7> $L = 3, T = 18, \text{Mode} = \text{Decreasing}$ 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	34
<표 5-8> $L = 5, T = 12, \text{Mode} = \text{Uniform}$ 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	35
<표 5-9> $L = 5, T = 12, \text{Mode} = \text{Decreasing}$ 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	36
<표 5-10> $L = 5, T = 15, \text{Mode} = \text{Uniform}$ 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	37
<표 5-11> $L = 5, T = 15, \text{Mode} = \text{Decreasing}$ 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	38
<표 5-12> $L = 5, T = 18, \text{Mode} = \text{Uniform}$ 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	39

<표 5-13> L = 5, T = 18, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	40
<표 5-14> L = 7, T = 12, Mode = Uniform 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	41
<표 5-15> L = 7, T = 12, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	42
<표 5-16> L = 7, T = 15, Mode = Uniform 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	43
<표 5-17> L = 7, T = 15, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	44
<표 5-18> L = 7, T = 18, Mode = Uniform 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	45
<표 5-19> L = 7, T = 18, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교	46



<그림 차례>

<그림 1-1> 한·미·일의 기업물류비 추이 비교.....	2
<그림 1-2> 물류센터 물류 흐름도.....	4
<그림 1-3> 제조업체, 3자 물류창고, 고객 사이의 관련 이슈.....	5
<그림 4-1> 유전 알고리즘 흐름도.....	15
<그림 4-2> x_{it} 의 Chromosome 표현.....	18
<그림 4-3> x_{it} 의 교차변이 방법.....	23
<그림 4-4> d_{ikt} 의 교차변이 방법.....	23



납품시간창과 다중차량을 고려한 다중제품 동적로트키결정 및 디스패칭 문제를 위한 유전 알고리즘

채승규

부경대학교 시스템경영공학과

요 약

본 논문에서는 제3자 물류 창고에서의 다중제품의 인바운드 로트키결정 및 아웃바운드 디스패칭 문제를 고려한다. 본 연구에서 수요는 계획기간동안 매기간 동적(Dynamic)으로 발생하며 제품은 납품시간창 내에 고객에게 인도되어야 한다. 추후조달(backlogging)은 허용되지 않는다. 주문이 발생하면 각 제품은 각 다중 차량의 적재용량에 맞게 적재가 된다. 각 차량의 운송비용은 사용되는 차량의 사용대수에 비례한다.

연구의 목표는 인바운드 주문비용, 운송비용과 재고비용, 그리고 아웃바운드 디스패칭 비용을 고려한 총 비용을 최소화 하는 인바운드 로트키결정을 결정하고 아웃바운드 디스패칭 계획을 수립하는 것이다. 먼저 본 연구에서는 최적해를 찾기위한 혼합정수계획 모형을 제시하고 현실적으로 큰 규모를 가지는 문제를 풀기 위한 지역해 탐색 휴리스틱 알고리즘을 가지는 유전 알고리즘(GA1)을 제안한다. 또한 GA1의 성능을 보다 향상시키기 위해 조정 알고리즘을 추가한 새로운 유전 알고리즘(GA2)을 제안한다. 조정 알고리즘의 기본 메커니즘은 단방향적으로 제품의 일부를 이송 가능한 차량이 있는 이전 시점으로 옮기는 것이다. 마지막으로, CPLEX를 통한 계산결과와 각 알고리즘의 계산의 결과를 비교분석하고, 조정 알고리즘의 적용 여부에 따른 GA_1과 GA_2의 성능을 평가한다.

주제어: 동적로트키결정; 디스패칭; 납품시간창; 다중제품; 다중차량; 유전 알고리즘, 지역해 탐색 휴리스틱;

Genetic Algorithms for a Multi-product Dynamic Lot-Sizing and Dispatching Problem with Delivery Time Windows and Multi-vehicle Types

Syeng-Kyu Chae

*Department of Systems Management & Engineering
Pukyong National University*

Abstract

This thesis analyzes a multi-product inbound lot-sizing and outbound dispatching problem with multi-vehicle types in a third-party logistics distribution center. The product must be delivered to the customers within the delivery time window and backlogging is not allowed. Replenishing orders are shipped by several types of vehicles. The objective of this study is to determine the lot-size and dispatching schedules to minimize the total cost with the sum of inbound ordering and shipping, outbound dispatching costs over the entire time horizon. In this study, we present a mixed-integer programming model to find the optimal solution and propose a local search heuristic algorithm with a genetic algorithm (GA1) to solve large-scale problems. In addition, we suggest a new genetic algorithm (GA-2) with an adjusting algorithm to improve the performance of GA1. The basic mechanism of the algorithm is to provide an unidirectional partial move of products to available vehicles in the previous period. Finally, we analyze the results of GA1 and GA2 by evaluating the relative performance using the gap between the objective values of CPLEX and each algorithm.

Keywords: Delivery time windows; Dynamic lot-sizing; Multi-product; Multi-vehicle; Dispatching; Genetic algorithm; Local search heuristic

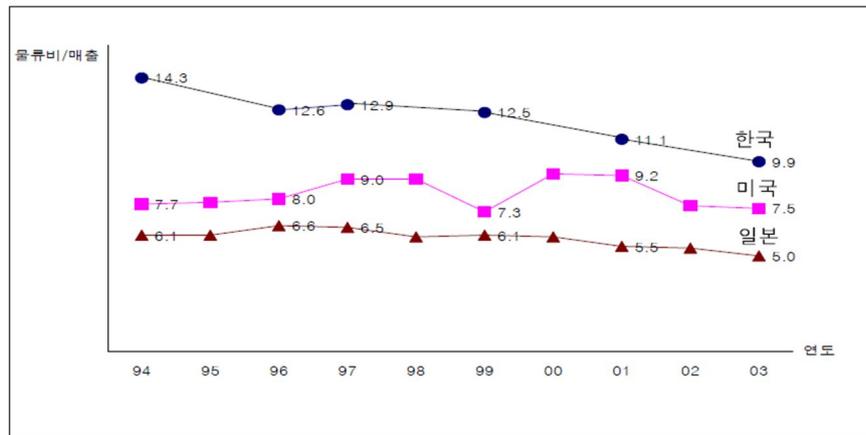
1 장. 서론

1.1 연구 배경

과거 기업경영에 있어서 제품, 가격, 판매촉진 등은 마케팅 믹스 (Marketing Mix)의 전략을 통하여 상당한 진전을 가져 왔으나 제품의 물적 유통에 대해서는 마케팅의 보조나 지원수단으로만 인식되어 왔다.

따라서 기업경영에서 제조부문의 생산성향상 활동, TQC(Total Quality Control), TPM(Total Productivity Management) 등의 기계화 및 원가관리의 합리화, 자본의 고정화에 따른 고정자산의 증대를 이루어 내었고 이로 인하여 제조원가의 절감은 점차 한계점에 부딪치게 되었다.

기업이 경영관리 대상으로 물류에 관심을 갖기 시작한 것은 지난 80년대에 들어서면서부터이다. 초기에는 물류라는 용어조차 생소했었으며, 주요 대기업들만이 물류혁신에 관심을 갖기 시작했었다. 그러나 e비즈니스의 중요부문으로 물류가 부각되고 물류정체가 기업채산성 악화 및 국가경쟁력 저하 주요 요인으로 등장, 국가 경쟁력향상의 주요 변수로 인식되면서 물류에 대한 인식이 기업의 경영을 위한 선택요소가 아니라 기업의 생존을 위한 필수요소로 전환되었다. <그림 1-1>에서 살펴보면 우리나라 기업들의 물류비용은 9.9%로 1천원의 제품을 판매하면서 평균 99원의 물류비를 지출하고 있음을 알 수 있다. 그러나 전체 매출액 중 물류비가 차지하는 비중이 일본이 5%이며, 미국은 7.5%로 선진국과의 경쟁력에 미치지 못하고 있다. 우리나라는 매년 기업물류비가 감소하고 있음을 알 수 있는데 이것은 대형 제조업체를 중심으로 물류인프라의 확충, 물류전문인력의 양성, 기업 물류의 혁신의지에 기인한 것으로 파악된다. (Cho (2006) 참조)



<그림 1-1> 한·미·일의 기업물류비 추이 비교

이러한 경영관리환경의 변화와 IT의 급격한 발전으로 인하여 고객의 성향과 요구조건이 다양해지고 세분화됨에 따라 이전의 물류관리 개념만으로는 고객들의 요구사항에 대한 변화속도를 따라가지 못하게 되었다. 이에 새로운 시장환경은 공급사슬 전체관점에서의 통합된 정보를 통해 구성요소간의 역할 규정과 관리를 위한 수단을 필요로 하게 되었으며, SCM(Supply Chain Management)은 이것을 해결하기 위한 수단으로 점점 발전하게 되었다. 더구나 SCM 도입은 정보면에서 제조업체와 협력업체간의 열린 시스템을 확보함으로써 편의주의적이었던 거래방식도 감소하게 됨으로써 비용을 최소화할 수 있는 효과를 얻을 수 있게 되었다.

그러나, 대부분의 제조 회사들이 생산 프로세스뿐만 아니라 물류 프로세스까지의 전체 프로세스를 효율화할 수 있는 전문성을 확보하지 못하고 있는 것이 현실이다. 따라서, 제품의 운송에 필요한 하역, 보관, 수출입관세 등의 물류 전문지식을 보유하고 다양한 운송 자원을 활용하며 규모의 경제를 실현할 수 있는 전문 물류대행회사의 필요성이 대두되었다. 오늘날 제3자 물류(Third-Party Logistics:3PL) 회사는 하주기업이 고객서비스 향상 및 물류비 절감 등 물류활동을 효율화할 수 있도록 공급사슬 상의 기능 전체 혹은 일부를 대행·수행하는 전문 물류회사를 의미한다. 제3자 물류가 기존의 물류 아웃소싱과 다른 점은 하주기업과 물류기업간의 관계가 거래기반관계에서 전략적 제휴관계로 전환되고, 이에 따라 서비스 내용에 있어서도 운송 및 보관 등 부분적 물류기능을 대행·제공하는 정도를 넘어서 효율적인 물류전략·계획의 제안, 통합물류서비스의 제공 등 보다 긴밀한 관계에서만 가능한 서비스까지 제공된다는 특징이 있다(Lee(2008) 참조). 실제 제3자 물류창고는 제조업체로부터 납품받은 제품의 보관과 운송을 대행하고 고객과의 계약에 따라 납품을 원하는 기간에 맞추어 보관된 제품

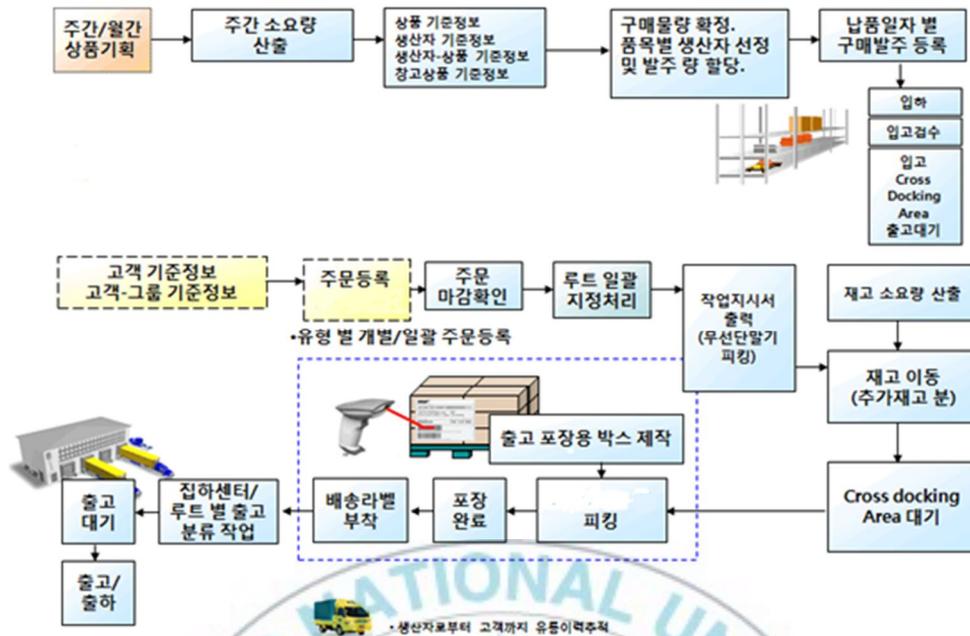
을 운송하는 역할을 수행한다. 따라서, 제3자 물류창고는 다음과 같은 의사결정의 최적화가 수반되어야 한다:

- (1) 제조업체로부터 제3자 물류창고로의 인바운드(Inbound) 공급 및 운송 문제에 대한 최적 운영전략의 수립
- (2) 제3자 물류창고로부터 고객(대리점 및 소매업체 등)으로의 아웃바운드(Outbound) 납품 문제의 최적 디스패칭(Dispatching) 전략의 수립

이러한 상황은 물품의 보충을 위한 로트크기결정(Lot-Sizing) 문제와 각각의 고객들의 수요에 대응하기 위한 주문배송(Dispatching)결정 문제들을 야기한다.

1.2 연구의 내용

<그림 1-2>에서 제3자 물류의 흐름을 보면, 생산업체로부터 납품된 완제품은 저장과 분배를 위해 제3자 물류창고로 운송되며, 보관되고 있는 일부의 제품은 고객의 수요에 따라 제3자 물류창고로부터 고객에게 분배되고 납품된다. 제3자 물류회사는 제조업체와 제3자 물류회사간의 전략적 계약 하에서 물품의 재고관리와 운송을 대행한다. 일반적인 제3자 물류회사는 대리점, 소매업체, 다양한 운송 수단 등과 같은 하류(downstream)의 공급사슬 요소들을 제조업체에게 제공한다.



<그림 1-2> 물류센터 물류 흐름도

대부분의 경우에, 제조업체로부터 제3자 물류창고로의 제품의 운송은 여러 가지의 운송 수단(차량, 트럭, 선박, 비행기 등)을 운용하게 되며 다양한 적재용량을 갖는 운송 수단의 조합은 수송비용과 제3자 물류창고에서의 공급비용과 재고비용에 영향을 미치게 된다. 그러므로, 제조업체와 제3자 물류창고 간의 물류 최적화를 위해서는 다음과 같은 공급계획이 수립되어야 한다.

- (1) 제조업체로부터 3PL 창고로 공급하는 시기
- (2) 제조업체로부터 3PL 창고로 공급되어야 하는 제품의 종류와 공급량
- (3) 운송에 사용되는 운송수단(차량, 트럭, 선박 등)

또한, 제3자 물류창고로부터 고객에게 납품되는 제품들은 고객과의 공급 계약에 의해 특정한 벌과비용(Penalty cost) 없이 납품될 수 있는 납품 허용기간을 배려 받을 수 있으며 이를 납품시간창(Delivery Time Windows)이라 하고 제품은 이 납품시간창 내에 고객에게 인도되어야 한

다. 따라서 제3자 물류창고와 고객(대리점 및 소매업체 등) 간의 물류최적화를 위해서는 다음과 같은 디스패칭 계획이 수립되어야 한다:

- (1) 3PL 창고에서 고객에게 납품하는 시기
- (2) 3PL 창고에서 고객에게 납품되어야 하는 제품의 종류와 공급량
- (3) 납품시간창 내에 요구하는 수요의 만족 여부

<그림 1-3>은 앞서 언급한 제조업체, 제3자 물류창고 및 고객 사이의 이러한 관계와 관련 이슈를 보여준다.



<그림 1-3> 제조업체, 3자 물류창고, 고객 사이의 관련 이슈

본 논문에서는 제3자 물류창고에서 다양한 운송 수단을 고려한 인바운드 로트크기결정 및 운송계획과 납품시간창을 고려한 아웃바운드 디스패칭 계획을 동시에 결정하는 동적 로트크기결정 및 디스패칭 문제들을 연구한다. 수요는 계획기간 동안 매기간 동적(Dynamic)으로 발생하는 동적 수요를 고려하고 제품은 납품시간창 내에 고객에게 인도되어야 한다. 고객과의 계약을 통한 납품시간창의 허용으로 추후조달(backlogging)은 허용되지 않는다.

2 장. 연구동향

2.1 고전적인 동적 로트크기결정 문제

유한 생산계획기간 하에서의 동적 수요를 만족시키는 단일제품에 대한 동적 로트크기결정 문제는 Wagner와 Whitin(1958)에 의해 처음으로 연구되었고 이들은 생산용량은 제한되지 않고 추후조달은 허용되지 않는 기본 모형을 다루었다. 그 이후 Wagner와 Whitin 모형을 확장시킨 많은 연구들이 이루어졌으며 이를 간단히 소개하면 다음과 같다.

Zangwill(1966, 1969)은 추후조달이 허용되는 동적 로트크기결정 문제를 분석하였으며 Sobel(1970)은 설비시동비용(Start-up Cost)을 고려한 문제를 다루었다. Baker 등(1978), Florian과 Klein(1971), Lambert와 Luss(1978), Love(1973), Swoveland(1975) 등은 Wagner와 Whitin모형을 생산용량이 제한된 여러 가지 동적 로트크기결정 문제들로 확장시켜 분석하였다. Bitan 등(1984)과 Floian 등(1980)은 동적 로트크기결정 문제의 여러 형태별 알고리즘의 복잡성(Complexity)을 분석하였다. Lee와 Denardo(1986)는 추가적인 수요정보 하에서도 변하지 않는 초기의 최적 생산량을 결정할 수 있는 연동적 계획기간(Rolling Planning Horizon)에 관한 연구를 하였다. Sung과 Lee(1994, 1995)는 설비시동비용(Start-up)을 갖는 동적 로트크기결정 문제에서 생산준비비용의 절감 효과에 관한 연구를 수행하였다.

생산용량의 제약 하에서 다중제품에 대한 동적 로트크기결정 문제들은 현장에서의 MRP시스템의 필요성에 의해 많은 주목을 받아왔다. 이 문제들을 해결하기 위한 알고리즘들은 전통적으로 다음과 같은 두 가지 범주로 분류될 수 있다.

- (1) 상대적으로 짧은 시간 내에 근사적인 실행 가능해(Approximate Feasible Solution)를 제공하는 휴리스틱 알고리즘 Lambrecht와

Vanderveken(1978), Dixon과 Silver(1981), Dogramaci등 (1981), Maes와 Wassenhove (1988) 등이 이에 속한다.

(2) 최적해에 대한 하한(Lower Bound)들을 제공하는 Relaxation Method Bahl(1983), Chen과 Thizy(1990), Eppen과 martin (1987), Kleindofer와Newson(1975), Millar와 Yang(1993), Thizy와 Wassenhove(1985), Thizy(1991), Trigeiro(1985) 등이 이에 속한다.

실제로, 두 가지 범주의 연구논문들의 접근방식들은 이론과 응용 관점에서 볼 때, 많은 부분들이 서로 유사성을 가지고 있다. Chen과 Thizy (1990)는 이와 같은 문제들이 이론적으로 NP-Hard문제임을 증명하였다. Relaxation Method들의 대부분은 Lagrangean Relaxation(Geoffrion (1974))에 기초하고 있다.

Kuik 등(1993)은 다단계의 조립공정을 거치는 다중제품에 대한 동적 로트크기결정 문제를 LP-based Heuristic, Simulated Annealing, Tabu Search 등의 휴리스틱 알고리즘을 개발하여 효율성을 비교하였다. 이운식 (1999)과 이운식 등 (2001)은 제한된 생산과 창고 용량을 갖는 동적 로트크기결정문제에서 퇴화성 제품에 대한 최적 로트크기를 결정하는 동적계획법 알고리즘을 제안하였다. 이운식과 주철민(2000) 그리고 이운식 등 (2000a, 2000b)은 각각 단일설비에서 다중제품을 일정비율로 생산하는 동적 로트크기결정 문제에 대한 생산준비비용의 절감효과 및 안정범위의 연구와 최적해의 탐색을 위한 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 최근, Van Hoesel과 Wagelmans(2001) 그리고 Chubanov 등(2006)은 생산용량이 서로 다른 동적 로트크기결정 문제에 대한 슈도폴리노미얼(Pseudo-Polynomial) 알고리즘과 FPTAS(fully polynomial time approximation cheme)를 개발하였다.

2.2 동적 로트크기결정 및 운송계획 문제

생산 및 수송 계획의 의사결정이 함께 결합된 통합 생산-수송시스템에 대한 연구를 살펴보자. 생산준비비용(Set-Up Cost)을 갖는 전통적인 동적 로트크기결정 문제에, 화물컨테이너의 사용대수에 비례하는 화물운송비용을 포함할 경우에 이 문제는 다수의 고정비용을 갖는 문제로 확장된다. 이것은 문제를 한층 복잡하게 만드는 요인으로 작용한다. Lippman(1969)은 단일제품에 대한 다수의 생산준비비용 문제를 다루었고 동적계획법을 이용한 해법을 제시하였다. Lee(1989)는 화물수송비용을 고려한 동적 로트크기결정 문제를 연구하였으나 생산 및 재고 비용은 시간에 상관없이 일정하다고 가정하였다. Diaby와 Martel(1993)은 구입과 수송을 고려한 다단계 동적 로트크기결정 문제에 대한 Lagrangian Relaxation 알고리즘을 제안하였다. 이운식(1998)과 이운식과 옥영석(1998)은 Lee(1989)의 문제를 다종의 화물컨테이너를 고려한 문제로 확장하였다. 그러나, 매기간마다 기껏해야 한 종류의 화물컨테이너를 사용할 수 있는 제한적인 문제를 다루었다. 한중환과 이운식(1999) 그리고 정한섭 등(2001)은 각각 한 종류의 컨테이너와 다종의 컨테이너를 사용하여 운반되는 다중제품의 동적 로트크기결정 및 운송계획 문제에 대한 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. Lee 등(2003)은 이운식(1998)의 문제를 확장하여, 적재용량이 다른 다종의 화물차량의 최적 조합과 생산계획을 동시에 찾을 수 있는 동적계획법에 기초한 해법을 제안하였다. Lee 등(2003)은 아웃바운드 운송계획을 고려한 2단계 구조의 동적 로트크기결정 문제를 고려하였다. Toptal 등(2003)은 인바운드 수송환경에서의 일정한 수요를 갖는 2단계 구조의 동적 로트크기결정 문제를 연구하였다. Anily와 Tzur(2005)는 적재용량이 다른 차량을 고려한 다중제품의 운송문제를 다루었으며 최적해를 찾기 위한 해법으로 동적계획법 알고리즘을 제안하였다. Lee(2004)는 최소공급량 정책을 고려하여 제3자 물류창고로 제품을 한 종류의 차량을 이용하여 공급하는 단일제품 동적 로트크기결정 문제에 대한 동적계획법 알고리즘을 제안하였다. 최근, Jaruphongsa 등(2005)은 다종의 운송 수단을 고려한 동적 로트크기결정 문제에 대한 해법으로 Polynomial Time 알고리즘을

개발하였다. Lee 등(2005)은 한중환과 이운식(1999)이 제안한 알고리즘을 개선한 휴리스틱 알고리즘을 개발하였다. Norden과 Veide (2005)는 운송용량을 초과할 경우에 운송비를 할인해 주는 운송정책 하에서의 다중제품에 대한 동적 로트크기결정 문제를 연구하였고 해법으로 Lagrangean Relaxation 알고리즘을 제안하였다.

2.3 납품시간창을 고려한 동적 로트크기결정 문제

동적 로트크기결정 문제에서 고객이 허용하는 납품허용기간인 납품시간창에 대한 연구는 Lee 등(2001)에 의해 시작되었다. Lee 등(2001)은 추후조달이 허용되지 않는 경우와 허용되는 경우에 대해 각각 $O(T^2)$ 과 $O(T^3)$ 알고리즘을 제안하였다. Jauphonga 등 (2004)은 제한된 창고용량과 납품시간창을 고려한 동적 로트크기결정 문제를 다루었다. Brahimi 등 (2006)은 생산시간창(Production Time Windows)과 생산용량 제약을 고려한 다중제품에 대한 동적 로트크기결정 문제를 다루었고 해법으로 Lagrangean 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. Hwang과 Jaruphongsas (2006)은 새로운 분해원리를 기초로 납품시간창을 고려한 동적 로트크기결정문제에 대한 $O(NT^3)$ 알고리즘을 개발하였다. Wolsey(2006)는 생산 및 납품시간창을 동시에 고려한 동적 로트크기결정 문제에 대한 Polynomial time 동적계획법 알고리즘을 제안하였고 다양한 확장문제들에 대해 연구하였다. Hwang(2007)은 Lee 등(2001)의 모형에서 추후조달이 허용되지 않는 경우에 대한 개선된 $O(\text{Max}\{T^2, NT\})$ 알고리즘을 제안하였다. 최근, Hwang과 Jaruphongsas (2008)은 Major Demand에 대해서는 납품시간창을 허용하고 Minor Demand에 대해서는 시간창을 허용하지 않는 동적 로트크기결정 문제를 다루었고 해법으로 $O(N^2T^2)$ 알고리즘을 개발하였다. 이운식(2010)은 생산과 수송이 통합된 제3자 물류환경에서 납품시간창을 고려한 동적 로트크기결정 문제에 대한 알고리즘을 제안하였다. 김병수와 이운식(2010)는 납품시간창을 허용하고 단일 운송차량을 고려하여 동

적 로트크기결정 문제의 효율적인 해를 구하기 위한 유전알고리즘을 제시하였다. 김병수와 이운식(2010)은 제한된 시간 내에 현실적으로 규모가 큰 문제에 대한 효율적인 휴리스틱 해법을 제안하였다. 김병수와 이운식(2011)은 김병수와 이운식(2010)의 연구를 확장하여 다종의 차량을 고려한 동적 공급계획과 인바운드 디스패칭에 대해 지역해 탐색방법을 포함하는 유전알고리즘을 제시하였다. 또한 최근 이운식과 김병수(2012)는 다종의 운송 방법을 고려하는 메타-휴리스틱을 제시하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 기존 연구들에서, 생산과 수송이 통합된 제3자 물류환경에서 다종차량과 납품시간창을 고려하고 다종제품을 대상으로 한 확장연구들은 문헌에 아직 나타나지 않고 있다. 따라서, 제3자 물류창고의 운영에서 필연적으로 발생하는 인바운드 공급계획과 아웃바운드 디스패칭 계획의 최적 운영전략 수립을 위한 본 연구의 수행은 매우 중요하다 하겠다. 이를 통해, 보다 실질적인 제3자 물류창고의 운영문제에 대한 이론적 근거를 제공함과 아울러 이 분야의 확장연구를 촉발시키는 촉매가 될 것으로 기대된다.

3 장. 최적화 모형

본 논문에서는 다중제품을 다루지만 모든 제품은 동일한 중량과 부피를 가지는 제품이라고 가정한다. 따라서 문제의 목적은 관련 비용을 최소화하는 아래의 두 가지 의사결정변수들을 결정하는 것이다.

x_{int} = 기간 t 에서 차량형태 n 에 의해 3PL 창고로 공급되는 제품 i 의 공급량

d_{ikt} = 기간 t 에서 제품 i 에 대한 수요 k 의 디스패칭 납품량

위의 두 가지 의사결정변수들의 결정에 의한 종속변수는 다음과 같다.

I_{it} = 제 3 자 물류창고에서 기간 t 에서의 제품 i 에 대한 재고량

또한, 본 논문에서 다루어질 최적화 모형을 효과적으로 표현하기 위해 다음과 같이 기호를 정의한다.

TD_{ik} = 제품 i 에 대한 수요 k 의 총괄 수요량

E_{ik} = 제품 i 에 대한 수요 k 의 가장 이른 납품시간

L_{ik} = 제품 i 에 대한 수요 k 의 가장 늦은 납품시간

K_{it} = 기간 t 에서 제품 i 를 구입하는데 드는 준비비용

p_{it} = 기간 t 에서 제품 i 의 단위당 구입비용

S_{it} = 기간 t 에서 제품 i 에 대한 디스패칭 준비비용

c_{it} = 기간 t 에서 제품 i 에 대한 단위당 디스패칭 비용

h_{it} = 기간 t 에서 제품 i 에 대한 단위당 재고유지비용

M_i = 계획기간 T 동안에 발생하는 제품 i 에 대한 수요의 개수

L = 다중제품의 종류

A_n = 차량 형태 n 에 대한 운송 비용

W_n = 차량 형태 n 에 대한 적재용량

본 논문에서 고려되는 제3자 물류창고의 운영에 영향을 미치는 주요 요소들로는 공급비용함수(구입비용 + 운송비용), 납품시간차, 배달비용함수, 그리고 재고유지비용함수가 있다. 우선 x_{int} 를 제품 i 에 대해 기간 t 에서 차량형태(차량의 종류) n 에 의한 3PL 창고로의 공급량으로 정의하면 관련 비용함수는 다음과 같다.

$$P_{it}(x_{int}) = K_{it}\delta\left(\sum_{n=1}^N x_{int}\right) + p_{it}\sum_{n=1}^N x_{int} + A_n\left[\sum_{i=1}^L x_{int}/W_n\right]$$

여기서 $[a]$ 는 a 를 초과하는 정수 중 가장 작은 정수이고, $\delta(\cdot)$ 는 0-1 정수변수를 의미한다. 상기의 공급비용함수는 다수의 고정비용을 갖는 오목함수가 된다.

이러한 차량의 적재용량은 제품의 운송 시 적재용량의 충족 여부에 따라 운송비용에 차이가 나타나게 된다. 실제 제3자 물류환경에서 이러한 운송비용은 상대적으로 구입비용에 비해 큰 것이 현실이다.

다음으로, 제3자 물류회사는 고객과의 계약에 의해, 특정한 벌과비용 없이 제품의 납품이 허용되는 납품허용기간을 얻을 수 있으며 이를 납품시간차이라 한다. d_{ik} 를 제품 i 에 대한 수요 k 의 양이라 할 때, d_{ikt} 는 기간 t 에서의 제품 i 에 대한 수요 d_k 의 디스패칭 납품량이라 정의한다. 제품 i 에 대한 수요 k 의 납품시간차는 가장 이른 납품시간 E_{ik} 와 가장 늦은 납품시간 L_{ik} 로 구성되는 시간구간(E_{ik}, L_{ik})로 형성되며 이 구간 내에 제품은 고객에게 반드시 인도되어야 한다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\sum_{t=E_{ik}}^{L_{ik}} d_{ikt} = d_{ik}, \quad k = 1, 2, \dots, M_i$$

$$d_{ikt} \geq 0, \quad k = 1, \dots, M_i; i = 1, \dots, L; t = E_{ik}, \dots, L_{ik},$$

$$d_{ikt} = 0, \quad k = 1, \dots, M_i; \quad i = 1, \dots, L; \quad t = 1, \dots, E_{ik} - 1,$$

$$d_{ikt} = 0, \quad k = 1, \dots, M_i; \quad i = 1, \dots, L; \quad t = L_{ik} + 1, \dots, T,$$

여기서, M_i 는 계획기간 T 동안에 발생하는 제품 i 에 대한 수요 k 의 개수를 나타내며 d_{ikt} 는 의사결정변수이다. 따라서, 납품시간창 (E_{ik}, L_{ik}) 내에서 “어떤 제품이, 언제, 얼마만큼 디스패칭 하는지?”가 중요한 의사결정의 요소가 되며 이에 따라 배달비용이 발생하게 된다. 본 연구에서 배달비용은 고정비용함수를 고려하며 그 형태는 다음과 같다.

$$S_t \delta \left(\sum_{k=1}^{M_i} d_{kt} \right) + c_t \sum_{k=1}^{M_i} d_{kt}$$

여기서 S_t 와 c_t 는 각각 기간 t 에서 3PL창고로부터 고객으로의 디스패칭 고정비용과 단위당 배달비용을 나타낸다.

상기에 정의된 파라미터, 의사결정변수 및 수식들을 사용하여 본 문제에 대한 최적화 모형은 다음과 같은 혼합정수모형으로 정형화된다.

$$(P) \quad \text{Min} \quad \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^L \left(\sum_{n=1}^N P_{it}(x_{int}) + h_{it} I_{it} + S_{it} \delta \left(\sum_{k \in M_i} d_{ikt} \right) + c_{it} \sum_{k \in M_i} d_{ikt} \right)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{n=1}^N x_{int} + I_{i,t-1} - \sum_{k \in M_i} d_{ikt} = I_{it}, \quad i = 1, \dots, L; \quad t = 1, \dots, T,$$

$$\sum_{t=E_{ik}}^{L_{ik}} d_{ikt} = TD_{ik}, \quad k = 1, \dots, M_i; \quad i = 1, \dots, L,$$

$$d_{ikt} \geq 0, \quad k = 1, \dots, M_i; \quad i = 1, \dots, L; \quad t = E_{ik}, \dots, L_{ik},$$

$$d_{ikt} = 0, \quad k = 1, \dots, M_i; \quad i = 1, \dots, L; \quad t = 1, \dots, E_{ik} - 1,$$

$$d_{ikt} = 0, \quad k = 1, \dots, M_i; \quad i = 1, \dots, L; \quad t = L_{ik} + 1, \dots, T,$$

$$x_{int} \geq 0, I_{it} \geq 0 \quad i = 1, \dots, L; n = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T,$$

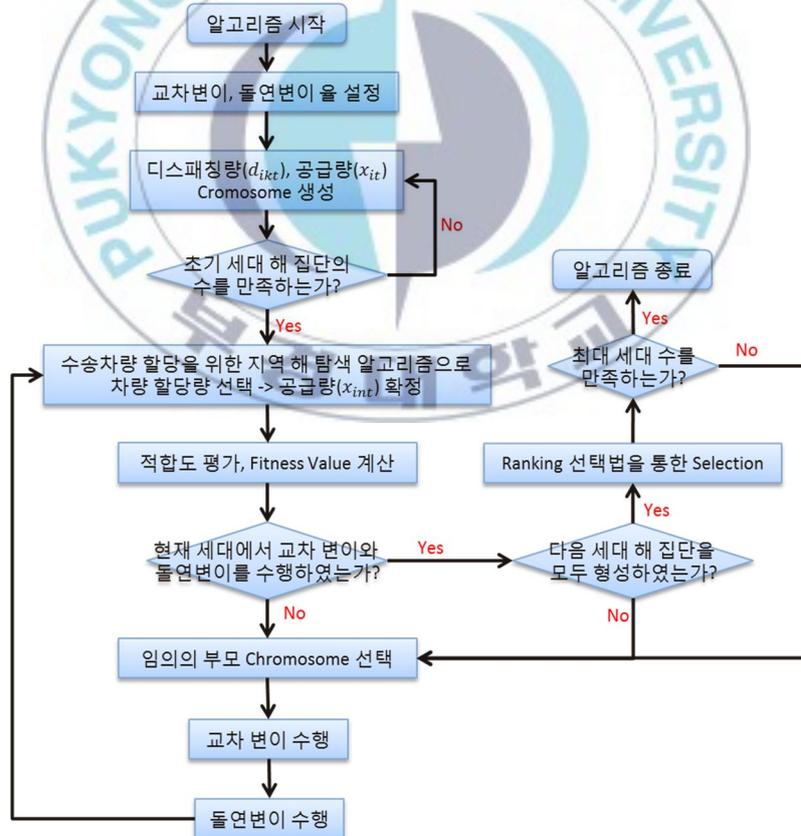
$$I_{i0} = I_{iT} = 0 \quad i = 1, \dots, L.$$

상기의 최적화 모형 (P)는 많은 수의 파라미터, 의사결정변수 및 복잡한 목적함수식을 가진다. 일반적으로 본 연구에서 다루는 최적화 모형은 NP-hard 문제로 알려져 있다. 따라서, 규모가 클 경우, 빠른 시간내에 우수한 해를 찾는 것이 중요한 이슈가 된다. 이는 OPL (Optimization Programming Language)을 이용하여 해를 찾아주는 일반적인 Solver Engine으로는 쉽고 빠르게 좋은 해를 찾기에는 무리가 있다. 그러므로 제시된 모형 (P)에 대해 보다 빠르게 우수한 해를 제공할 수 있는 탐색 알고리즘을 제시하고자 한다. 이러한 탐색 알고리즘으로 효과성 및 효율성이 우수하다고 알려진 유전 알고리즘을 제시하고자 한다.



4 장. 유전 알고리즘

본 연구에서 제안된 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)의 전반적인 흐름도는 <그림 4-1>과 같다. 먼저 알고리즘이 시작하게 되면 교차변이 비율, 돌연변이 비율, 초기 Population 수를 입력 받게 된다. 본 연구에서 교차변이와 돌연변이 비율은 각각, 60%, 10%로 하고, Population 수는 10 개로 설정하여 진행하였다. 그 후 Population 수만큼 공급량 x_{it} 와 디스패칭량 d_{ikt} 에 대한 초기 Chromosome을 생성한다. 초기 Chromosome 생성 때 x_{int} 를 생성하지 않고 x_{it} 를 생성하여 수송차량 할당을 위한 지역 해 탐색 알고리즘을 적용하는 이유에 대해서는 4.1절에서 자세하게 설명하도록 한다.



<그림 4-1> 유전 알고리즘 흐름도

공급량 x_{int} 와 디스패칭량 d_{ikt} 이 결정된 후 해집단을 벗어난 값, 즉 제약을 위반하는 해가 존재하는 지에 대한 적합도 평가를 실시하고, 제약을 벗어나는 해에 대해서는 값에 따라 수정하여 Fitness Value를 계산한다. 앞서 입력 받은 교차변이 비율과 돌연변이 비율에 따라 교차 변이와 돌연변이를 수행한다. 다음 세대 해 집단을 모두 생성할 때까지 이를 반복 수행하고 최대 세대 수의 만족 여부에 대한 내용 또한 동일하다.

4.1 디스패칭량(d_{ikt})과 주문량(x_{it})에 대한 Chromosome 표현

(1) 디스패칭량(d_{ikt})

디스패칭량에 대한 Chromosome 표현은 3차원 실수 배열을 사용한다. 디스패칭량과 관련된 다음과 같은 제약은 지켜져야 하므로 제약을 위배하지 않는 초기 Chromosome을 생성할 수 있도록 입력 값을 설정한다. 디스패칭량에 영향을 주는 제약은 다음과 같다.

$$\sum_{t=E_{ik}}^{L_{ik}} d_{ikt} = TD_{ik}, \quad k = 1, \dots, M_i; \quad i = 1, \dots, L,$$

$$d_{ikt} \geq 0, \quad k = 1, \dots, M_i; \quad i = 1, \dots, L; \quad t = E_{ik}, \dots, L_{ik},$$

$$d_{ikt} = 0, \quad k = 1, \dots, M_i; \quad i = 1, \dots, L; \quad t = 1, \dots, E_{ik} - 1,$$

$$d_{ikt} = 0, \quad k = 1, \dots, M_i; \quad i = 1, \dots, L; \quad t = L_{ik} + 1, \dots, T,$$

위 제약을 벗어나지 않는 디스패칭량의 초기 Chromosome 생성 방법은 다음과 같다.

Step 1. 제품 i 와 수요 k 에 대해 E_{ik} 와 L_{ik} 를 벗어나는 시점 t 의 d_{ikt} 의 값은 0으로 설정한다.

Step 2. 제품 i 와 수요 k 에 대해 E_{ik} 와 L_{ik} 를 벗어나지 않는 시점 t 의 d_{ikt} 의 값 중 가장 첫 번째 시점 E_{ik} 에 대해 0 부터 TD_{ik} 사이의 값을 입력한다.

Step 3. ($E_{ik} + 1$)부터 ($L_{ik} - 1$) 시점 사이의 값은 현재 입력받는 시점을 TP 라고 했을 때 0 부터 α 사이의 랜덤한 값을 입력한다. α 의 값은 다음과 같다.

$$\alpha = TD_{ik} - \sum_{t=E_{ik}}^{TP} d_{ikt}$$

Step 4. 시점 L_{ik} 의 값은 다음과 같다.

$$TD_{ik} - \sum_{t=E_{ik}}^{L_{ik}-1} d_{ikt}$$

(2) 주문량(x_{it})

주문량에 대한 Chromosome 표현은 0-1값을 가지는 2차원의 이진 배열을 사용한다. 차량 형태를 고려한 x_{int} 값의 Chromosome 표현이 아닌 x_{it} 에 대한 표현을 고려하는 이유는 다음과 같다.

- 1) 디스패칭량(d_{ikt})과 같이 3차원 실수 배열을 사용하여 표현을 하기에는 주문량에 대한 값의 상한이 존재하지 않는다. 이는 발생 가능한 해가 무수히 많게 되고 이는 해를 찾는 과정을 비효율적으로 만든다.
- 2) 주문량을 운송하기 위한 차량 형태를 선택하는 문제는 비교적 단순한 내용이므로 많은 경로를 탐색하는 것보다 효율적인 알고리즘을 미리 제시하여 연산을 줄이고 보다 빠르게 해를 탐색할 수 있는 방법을 제시한다.

주문량에 영향을 주는 제약은 다음과 같다.

$$\sum_{n=1}^N x_{int} + I_{i,t-1} - \sum_{k \in M_i} d_{ikt} = I_{it}, \quad i = 1, \dots, L; t = 1, \dots, T,$$

$$x_{int} \geq 0, I_{it} \geq 0 \quad k = 1, \dots, M_i; i = 1, \dots, L; t = L_{ik} + 1, \dots, T,$$

위 제약을 벗어나지 않는 주문량의 초기 Chromosome 생성 방법은 다음과 같다.

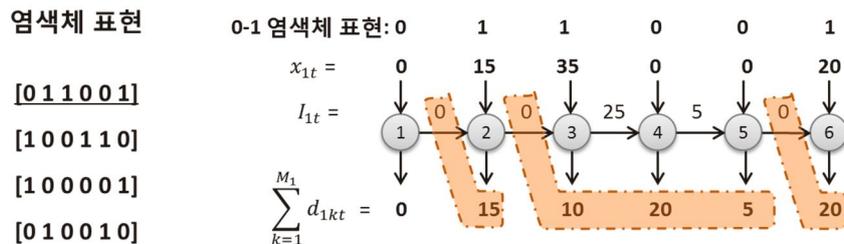
Step 1. 각 제품 i 와 각 시점 t 에 대한 각 Chromosome에 0 또는 1의 값 중 랜덤하게 하나의 값을 입력한다.

Step 2. 각 제품 i 에 대해 디스패칭량이 최초로 값을 가지는 특정 시점 p 이전에 입력된 주문량의 Chromosome이 모두 0이라면 p 시점의 주문량 Chromosome은 1의 값으로 수정한다.

이렇게 입력받은 주문량의 Chromosome값은 다음에 소개할 수송차량 할당을 위한 지역해 탐색 알고리즘과 Fitness Value를 계산하기 위해 실수 배열 값으로 Decoding 과정이 요구된다. Decoding을 위한 내용은 다음과 같다.

- 1) 0: 기간 t 때의 수송량이 0
- 2) 1: 시점 t 이후 염색체가 0이 아닌 시점이 나올 때까지의 수요에서 시점 t 의 직전 재고를 뺀 수요량을 만족하는 가장 작은 정수

즉, 제품1의 주문량 x_{1t} 의 Chromosome 표현이 [0 1 0 1 0 1]과 같다면 Decoding 된 x_{1t} 의 값은 <그림 4-2>와 같다.



<그림 4-2> x_{1t} 의 Chromosome 표현

4.2 수송차량 할당을 위한 지역해 탐색 알고리즘

차량 형태를 고려하지 않은 주문량 x_{it} 의 값이 정해졌으므로 차량 형태를 고려한 주문량 x_{int} 의 값을 계산하기 위해 다음과 같은 알고리즘을 사용한다. 주문량 x_{it} 의 값보다 작은 차량 수송량을 가진 차량 형태 n 에 대해서만 차량의 운송단위당 운송비용인 UC_{nt} 의 값을 계산하고 주문량 x_{it} 의 값보다 큰 차량 수송량을 가지는 차량 형태 n 에 대해서는 UC_{nt} 의 값을 임의의 매우 큰 수치(Big M)를 할당한다.

Step 1 :if ($x_{it} \geq W_n$) {
 차량의 운송단위당 운송비용 $UC_{nt} = A_{nt}/W_{nt}$
 } else { $UC_{nt} = \text{BigM}$ }

계산된 UC_{nt} 의 값 중 가장 낮은 값의 차량 형태를 선택한다. 동일한 UC_{nt} 의 값을 가지는 차량 형태가 2개 이상이라면 한번에 수송 가능한 차량의 양이 가장 작은 차량 형태를 선택한다. 그 후 선택된 차량의 이용 횟수를 구한 후 선택된 차량으로 수송할 양만큼 주문량에서 차감하고 이를 업데이트한다. 업데이트 된 x_{it} 의 값이 모든 차량 형태 중 가장 작은 수송량을 가지는 차량 형태보다 작다면 **Step 3**으로 아니라면 **Step 1**로 가서 다시 반복 수행한다.

Step 2 : Lowest(UC_{nt})인 차량 형태 p 를 선택

if ($x_{it} \geq W_p$) {
 시점 t 때, 차량 유형 p 의 이용 수 y_{tp} 는 다음과 같다 :
 $y_{tp} = \lfloor x_{it}/W_p \rfloor$
 update $x_{it} \leftarrow x_{it} - (y_{tp} \times W_p)$
 if ($x_{it} \geq \text{Lowest}(W_n)$) {
 go to step 1
 } else { go to step 3)
 } else { go to step 3)

Step 3의 경우 초기 주어진 주문량이 가장 작은 차량보다 작은 양이거나 다른 차량에 이미 할당이 되고 난 후 남은 자투리를 계산하는 방식이다. 먼저 UC_{nt} 값이 아닌 차량 하나의 이용 가격이 가장 작은 차량 형태를 선택하고 선택된 차량 형태가 이전에 선택된 적이 있다면 계산된 차량의 이용 수에 1을 더하고 아니라면 현재 선택된 차량의 수치를 1로 둔다.

Step3: $\text{Lowest}(A_n)$ 인 차량 형태 z 를 선택

```

if ( p = k ) {
   $y_{tp} + \lfloor x_{it}/W_z \rfloor$ 
} else {  $y_{tz} = \lfloor x_{it}/W_z \rfloor$ 

```

4.3 차량 할당에 대한 조정 알고리즘

앞서 소개한 수송차량 할당을 위한 지역해 탐색 알고리즘은 궤환 기능이 단순히 단방향으로만 작동하여 해의 산출은 용이하나, 최적해와 비교하여 볼 때 상당히 열악한 해를 제공할 수 있다. 따라서 우수한 해로 효율적으로 변환시킬 수 있는 조정 매커니즘을 제안한다.

수송비용의 절감효과를 평가하여, 비용절감이 가능한 특정 부분총괄운송점에서의 운송량의 일부를 직전 부분총괄운송점으로 옮긴다. 여기서 부분총괄운송점은 사용된 차량의 적재용량을 완전히 채우지 않고 운송된 시점을 의미한다.

Step 1: 주문량 x_{int} 에 대해 각 차량의 운송 가능량을 나눈

나머지값인 R_{int} 의 값을 구한다.

```

for ( i = 1, i < L, i + 1 ) {
  for ( t = 1, t < T, t + 1 ) {
    for ( n = 1, n < N, n + 1 ) {
       $R_{int} = x_{int} \bmod W_n$ 
       $E_{int} = W_n - R_{int}$ 
    }
  }
}

```

Step 2: 특정 시점 k 에 대해 다음과 같은 과정을 수행한다.

```

for( $t = k - 1, t > 0, t - 1$ ) {
  for( $n = 1, n < N, n + 1$ ) {
    if( $R_{ink} > E_{int}$ ) {
      if (Max( $t$ )) {
         $x_{int} + R_{ink}$ 
         $x_{ink} - R_{ink}$ 
        for( $t = \text{Max}(t), t > k, t + 1$ ) {
           $I_{it} + R_{ink}$  }
        for( $t = k, t > T, t + 1$ ) {
           $I_{it} - R_{ink}$  }
        }}
       $x'_{int} = x_{int}$ 
       $I'_{it} = I_{it}$ 
    }}

```

Step 3: if ($A_n[\sum_{i=1}^L x'_{int} / W_n] + h_{it}I'_{it} > A_n[\sum_{i=1}^L x_{int} / W_n] + h_{it}I_{it}$) {

```

for( $t = k - 1, t > 0, t - 1$ ) {
  for( $n = 1, n < N, n + 1$ ) {
     $x_{int} = x'_{int}$ 
     $I_{it} = I'_{it}$ 
  }}
else {
   $x_{int} = x_{int}$ 
   $I_{it} = I_{it}$ 
}

```

4.4 교차변이 (Crossover)

(1) 디스패칭량(d_{ikt})

두 개의 염색체 $d_1 = (d_{ikt}^1)$, $d_2 = (d_{ikt}^2)$ 를 선택하여 다음과 같이 교차변이를 수행한다.

Step 1 : 두 개의 임시행렬 $P = (p_{ikt})$, $Q = (q_{ikt})$ 을 생성 :

$$p_{ikt} = \lfloor (d_{ikt}^1 + d_{ikt}^2) / 2 \rfloor \text{ and } q_{ikt} = (d_{ikt}^1 + d_{ikt}^2) \bmod 2.$$

Step 2 : 행렬 Q 를 두 개의 행렬 Q_1 , Q_2 로 분할

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$\text{where, } \sum_{t=1}^T q_{ikt}^1 = \sum_{t=1}^T q_{ikt}^2, \text{ for } \forall k, i$$

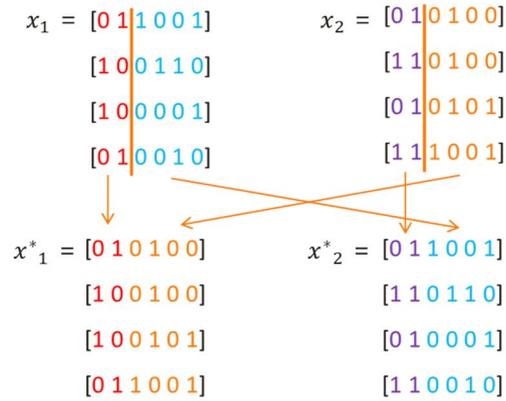
Step 3 : 다음과 같이 두 개의 자손 d_1^* , d_2^* 을 생성 :

$$d_1^* = p_{ikt} + Q_1 \text{ and } d_2^* = p_{ikt} + Q_2$$

(2) 주문량(x_{it})

주문량에 대한 교차변이는 <그림 4-3>과 같이 one cut-point 교차변이 방법을 이용하여 수행한다.

교차변이 후, 각 제품 i 에 대해 디스패칭량이 최초로 값을 가지는 특정 시점 p 이전에 입력된 주문량의 Chromosome이 모두 0이라면 p 시점의 주문량 Chromosome은 1의 값으로 수정한다. 이를 수정하지 않을 경우 제약을 벗어나고 재고가 음수값을 가지는 경우가 발생하게 된다.



<그림 4-3> x_{it} 의 교차변이 방법

4.5 돌연변이 (Mutation)

(1) 디스패칭량(d_{ikt})

디스패칭량에 대한 돌연변이 수행의 예는 <그림 4-4>와 같다.



<그림 4-4> d_{ikt} 의 교차변이 방법

동일한 납품시간창 내에 임의의 시점 t 에서 발생하는 디스패칭량 전체를 납품시간창 내 임의의 다른 시점으로 보내는 방법이다.

(2) 주문량(x_{it})

돌연변이 확률에 따라 임의의 Gene을 선택하여 Gene의 값이 0이라면 1로, 1이었다면 0의 값을 할당한다. 교차변이와 마찬가지로 각 제품 i 에 대해 디스패칭량이 최초로 값을 가지는 특정 시점 p 이전에 입력된 주문량의 Chromosome이 모두 0이라면 p 시점의 주문량 Chromosome은 1의 값으로 수정한다.

4.6 Ranking 선택법을 통한 Selection

기존 세대와 교차변이, 돌연변이 확률에 따라 생성된 자식 세대의 Fitness Value값을 낮은 순서대로 순위로 매겨서 Population의 수만큼 다음 세대의 부모해가 된다.



5 장. 알고리즘 성능 분석

제안된 유전 알고리즘에 대한 성능분석을 위해, 다음과 같은 실험조건을 설계하여 시뮬레이션 분석을 한다.

- (1) 계획기간(T)은 12, 15, 18등의 3가지로 한다.
- (2) 제품수(L)는 3, 5, 7등의3가지로 한다.
- (3) 차량 형태(N)는 3, 5, 7등의 3가지로 한다.
- (4) 납품시간창(Window)은 3, 4, 5등의 3가지로 한다.
- (5) 각 제품, 개별 수요에 대한 총수요량(TD_{ik})는 3, 5, 7, 9, 11등의 5가지로 하고, $N(\mu_{ik}, \sigma_{ik}^2)$ 를 따른다.
 - 1) 평균 μ_{ik} 는 균등분포 $U(100, 250)$ 을 따른다.
 - 2) 표준편차 σ_{ik}^2 는 50%의 확률로 μ_{ik} 와 $\mu_{ik}/5$ 를 택한다.
 - 3) 계획기간이 12일 때는 수요를 3, 5, 7을 고려하고 계획기간이 15일 때는 3, 5, 7, 9를 고려하며 계획기간이 18일때는 3, 5, 7, 9, 11을 고려하여 계획기간이 길어질수록 수요의 개수 또한 증가하도록 한다.
- (6) 각 제품, 각 시점에 따른 재고유지비용(h_{it})은 1.0의 값으로 동일하게 둔다.
- (7) 각 제품, 각 시점에 따른 준비비용(K_{it})와 디스패칭 준비비용 (S_{it})의 값은 다음과 같다.
 - 1) $K_{it} = TW_{ik}^2 \times \mu_{ik}/2$
 - 2) $S_{it} = TW_{ik}^2 \times \mu_{ik}/3$여기서 TW_{it} 는 납품시간창을 의미한다.
- (8) 각 제품, 각 시점에 따른 구매비용(P_{it})와 디스패칭 비용(c_{it})의 값은 다음과 같다.
 - 1) $P_{it} = \frac{K_{it}}{100}$
 - 2) $c_{it} = \frac{S_{it}}{100}$
- (9) 차량 적재용량(W_n)은 차량의 수 N 에 따라 다음과 같이 정한다.

1) $N = 3$: 150, 250, 350

2) $N = 5$: 150, 250, 350, 450, 550

3) $N = 7$: 150, 250, 350, 450, 550, 650, 750

(10) 운송비(A_n)는 적재용량(W_n)에 따라 다음과 같이 2가지 경우로 한다.

1) 적재용량에 비례($W_n \times 2$) - Uniform:

300, 500, 700, 900, 1100, 1300, 1500

2) 적재용량에 비례하여 감소($W_n \times 2 \times (W_n - W_n \times 0.1)$) - Decreasing:

300, 450, 630, 810, 990, 1170, 1350

적재용량에 비례하여 증가하는 경우 운송비에 관하여 다른 제약이 추가되지 않는 이상 가장 작은 적재용량을 가지는 차량이 가장 낮은 값의 운송비를 가지므로 모든 주문을 가장 작은 적재용량을 가지는 차량만을 이용해서 운송을 하게 된다. 이 경우 다양한 차량 형태를 가지는 문제를 고려하는 의미가 사라지므로 고려하지 않는다.

(11) 상기에 주어진 실험조건에 대해 3 개의 결과표본을 발생시키며 성능 분석을 위한 자료에는 3 개의 결과표본에 대한 평균으로 분석하도록 한다.

(12) 본 시뮬레이션을 위하여 사용된 컴퓨터의 사양은 다음과 같다.

CPU: intel® core™ i5 - 3570

RAM: 8192MB

Virtual Memory: 1028MB

상기와 같은 실험조건을 바탕으로, 제안된 휴리스틱 알고리즘의 효율성을 검증하기 위하여 문제 P 의 수리모형은 OPL(Optimization Programming Language)을 이용하여 모델링 하였으며, Solver Engine은 ILOG사의 CPLEX 12.5를 이용하였다. 다양한 문제들을 대상으로 한 실험에서, 실험에 사용된 컴퓨터의 사양으로 이전의 연구들보다는 보다 큰 규모의 문제들의 해를 찾을 수는 있었으나 $T = 18$ 이고 $L = 7$ 이상인 문제에 대한 최적해의 산출은 과도한 컴퓨터 계산시간의 소모와 과도한 RAM용량의 요구로 불가능하였다. CPLEX패키지에서는 본 논문에서 다루고자 하는

형태의 혼합정수계획문제를 Branch & Bound 방법을 이용하여 최적해를 구하고 있어, 이 성질을 이용하여 탐색 노드수를 500,000으로 제한시키고 그 때까지의 최선해(Best Solution)를 찾았다. 따라서, 유전 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 유전 알고리즘의 해와 문제 P 의 최선해(Best Solution)의 목적함수값의 비교, 그리고 유전 알고리즘의 해와 문제 P 의 최선해의 계산시간을 비교하였다. 목적 함수값의 비교는 아래의 기준을 이용하여 비교하였다.

$$\text{Gap 1} = \frac{(Z_{GA,1} - Z_{CPLEX})}{Z_{CPLEX}} \times 100$$

$$\text{Gap 2} = \frac{(Z_{GA,2} - Z_{CPLEX})}{Z_{CPLEX}} \times 100$$

여기서, $Z_{GA,1}$ = 조정 알고리즘 없이 제안된 유전 알고리즘으로 산출된 해의 목적함수값

$Z_{GA,2}$ = 차량 할당 후 조정 알고리즘이 적용된 유전 알고리즘으로 산출된 해의 목적함수값

Z_{CPLEX} = Branch & Bound 노드수를 500,000으로 제한하여 산출된 최선해(Best Solution)의 목적함수값

또한, 성능분석을 위한 비교 표에서 CT(Sec)와 GT(Sec)는 다음과 같이 정의하며 계산 시간의 단위는 초(Second)이다.

CT(Sec) = CPLEX를 이용하여 계산한 문제 P 의 최선해의 계산 시간

GT_1(Sec) = 조정 알고리즘을 적용시키지 않은 유전 알고리즘을 이용하여 계산한 해의 계산시간

GT_2(Sec) = 조정 알고리즘을 적용한 유전 알고리즘을 이용하여 계산한 해의 계산시간

유전 알고리즘의 Generation 횟수는 유전 알고리즘의 계산 시간과 최선해(Best Solution)의 값에 지대한 영향을 준다. 그러므로 다음과 같은 실

험을 통해 Generation 횟수 에 따른 계산시간과 최선해의 값을 비교하여 최적의 Generation 횟수를 파악한다. <표 5-1>에서와 같이 5,000번과 7,500번의 Generation을 통한 계산은 비교적 짧은 계산 시간을 가지지만 CPLEX의 Solution 값과는 차이가 크다 12,500번의 Generation을 통한 결과값은 두 가지의 데이터에서 10,000번의 Generation보다는 좋은 값을 찾았으나 전반적인 계산시간의 증가로 비효율적이라 판단하여 유전 알고리즘의 Generation 횟수는 10,000번으로 결정하였다.

<표 5-1> Generation 횟수에 따른 유전 알고리즘의 계산시간과 최선해 비교

Generation	Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	Gap 1
5,000	3	18	Uniform	3	3	3	15.5	5.40%
						4	18.3	6.85%
						5	15.5	7.39%
	5	15	Decreasing	5	3	3	10.5	2.24%
						4	24.1	1.43%
						5	26.2	1.95%
	7	12	Uniform	3	3	3	26.6	0.33%
						4	35.8	5.69%
						5	29.2	2.12%
Generation	Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	Gap 1
7,500	3	18	Uniform	3	3	3	23.2	4.70%
						4	27.5	6.26%
						5	23.3	6.43%
	5	15	Decreasing	5	3	3	15.7	1.13%
						4	36.1	0.39%
						5	39.3	0.87%
	7	12	Uniform	3	3	3	39.9	0.30%
						4	53.7	5.20%
						5	43.8	1.96%
Generation	Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	Gap 1
10,000	3	18	Uniform	3	3	3	31	4.70%
						4	36.7	5.96%
						5	31.1	6.43%
	5	15	Decreasing	5	3	3	21	1.08%
						4	48.2	0.37%
						5	52.5	-0.83%
	7	12	Uniform	3	3	3	53.2	0.29%
						4	71.6	4.95%
						5	58.4	1.87%
Generation	Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	Gap 1
12,500	3	18	Uniform	3	3	3	38.7	4.70%
						4	45.9	5.66%
						5	38.8	4.43%
	5	15	Decreasing	5	3	3	26.2	1.08%
						4	60.2	0.37%
						5	65.6	-0.83%
	7	12	Uniform	3	3	3	66.5	0.29%
						4	89.5	4.95%
						5	73.0	1.87%

<표 5-2> L = 3, T = 12, Mode = Uniform 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	Gap2-Gap1			
3	12	Uniform	3	3	3	14.7	17.3	2.11%	19.45	0.00%	-2.11%			
					4	13.1	19.3	3.55%	21.08	1.45%	-2.07%			
					5	18.2	17.3	4.09%	19.15	2.99%	-1.07%			
				5	3	12.5	16.8	0.83%	18.85	0.00%	-0.83%			
					4	11.3	16.2	4.81%	18.11	3.01%	-1.75%			
					5	12.7	21.3	4.99%	23.20	0.89%	-4.06%			
				7	3	90.5	21.3	6.34%	23.27	5.94%	-0.38%			
					4	15.4	19.2	3.33%	21.34	1.53%	-1.77%			
					5	13.3	22.8	3.96%	24.89	2.76%	-1.17%			
				5	3	3	13.8	31.4	6.33%	34.46	0.00%	-6.33%		
						4	46.1	34.3	3.71%	37.47	3.61%	-0.10%		
						5	21.5	30.0	1.87%	32.99	1.67%	-0.20%		
			5		3	52.1	41.9	0.24%	44.84	0.00%	-0.24%			
					4	67.9	29.5	4.08%	32.93	1.88%	-2.16%			
					5	32.3	26.6	6.38%	29.96	1.78%	-4.52%			
			7		3	12.0	32.0	1.65%	35.07	1.35%	-0.30%			
					4	10.9	32.8	2.47%	36.30	2.27%	-0.20%			
					5	11.0	32.4	6.44%	35.80	6.34%	-0.09%			
			7		3	3	13.8	43.6	1.12%	47.79	0.72%	-0.40%		
						4	20.2	45.9	4.43%	50.63	1.23%	-3.16%		
						5	38.7	32.5	4.57%	36.75	2.97%	-1.55%		
				5	3	51.8	53.4	1.42%	57.59	1.42%	0.00%			
					4	86.1	48.6	1.79%	53.53	0.89%	-0.89%			
					5	37.6	29.7	5.80%	34.10	3.60%	-2.12%			
				7	3	18.9	56.6	3.02%	60.75	0.52%	-2.49%			
					4	16.9	36.0	1.32%	40.69	0.00%	-1.32%			
					5	20.4	38.7	0.91%	42.81	0.00%	-0.91%			
				Average					29	31.4	3.39%	34.6	1.81%	-1.56%

성능 분석을 위한 다양한 문제 중 비교적 규모가 작은 문제를 비교한 내용은 <표 5-2>와 <표 5-3>와 같다. <표 5-2>와 <표 5-3>은 제품의 종류(L)가 3가지이고, 총 계획기간(T)은 12인 경우의 시뮬레이션 결과이다. 표에서 Solution Gap의 값이 음수인 경우는 제안된 유전 알고리즘으로 산출된 해가 노드수를 500,000으로 제한하여 산출된 최선해(Best Solution)의 값보다 좋은 경우이다. 반대로 양수인 경우는 제안된 최선해가 더 좋은 경우를 의미한다. L = 3, T = 12인 경우 Solution Gap의 평균은 운송비의 값이 Uniform일 때, GA1이 3.39%이고 GA2가 1.81%이다. 조정 알고리즘을 적용함으로 인해서 약 1.56%정도 좋은 해를 GA2가 찾아준다. Decreasing일 때는, GA1이 3.70%이고 GA2가 2.10%이다. GA1와 GA2의 차이는 -1.58%이다. CT값과 GT_1, GT_2 값은 대부분 1분 미만으로 계산에 소요되는 시간이 짧은 편이다. 또한, 문제의 규모가 비교적 작은 문제에서는 CT 값보다 GT_1값의 평균이 2초에서 7초정도

더 소요되는 것을 볼 수 있다. GT_2의 경우 조정 알고리즘에 계산이 더 소요되므로 3에서 9초 정도 더 소요된다.

<표 5-3> L = 3, T = 12, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	Gap2-Gap1		
3	12	Decreasing	3	3	3	10.0	17.2	3.71%	19.2	3.21%	-0.48%		
					4	11.0	19.3	1.50%	21.3	0.90%	-0.59%		
					5	12.4	17.0	1.05%	19.0	0.55%	-0.50%		
				5	3	8.6	16.8	2.11%	18.8	0.00%	-2.11%		
					4	10.1	16.1	4.40%	18.1	3.90%	-0.48%		
					5	8.6	21.3	5.35%	23.3	3.05%	-2.23%		
				7	3	70.7	21.7	4.02%	23.5	3.42%	-0.58%		
					4	14.0	19.2	5.92%	21.1	0.62%	-5.27%		
					5	11.4	22.9	2.15%	25.1	1.75%	-0.39%		
			5	3	3	9.3	30.8	6.40%	34.3	4.50%	-1.82%		
					4	32.7	33.9	1.00%	36.8	0.90%	-0.10%		
					5	17.0	29.6	1.88%	32.7	1.78%	-0.10%		
				5	3	43.8	41.9	4.96%	44.9	2.46%	-2.44%		
					4	58.5	29.9	6.25%	32.7	5.65%	-0.57%		
					5	30.7	26.8	5.27%	30.2	2.37%	-2.83%		
				7	3	10.1	32.0	2.24%	35.6	1.24%	-0.99%		
					4	10.8	32.1	1.91%	35.3	1.01%	-0.89%		
					5	10.2	32.1	6.25%	35.6	3.05%	-3.11%		
			7	3	3	11.6	44.0	2.49%	48.3	2.09%	-0.39%		
					4	13.5	46.2	4.94%	50.7	0.00%	-4.94%		
					5	27.3	32.1	2.15%	36.5	0.00%	-2.15%		
				5	3	45.5	54.0	3.09%	58.6	1.49%	-1.58%		
					4	79.0	48.2	6.28%	53.2	4.28%	-1.92%		
					5	33.6	29.8	6.13%	34.0	3.23%	-2.81%		
				7	3	14.2	56.8	2.65%	61.5	0.00%	-2.65%		
					4	14.4	36.4	1.50%	40.5	1.10%	-0.40%		
					5	17.1	38.2	4.36%	43.2	4.06%	-0.29%		
			Average					24	31.3	3.70%	34.6	2.10%	-1.58%

<표 5-4> L = 3, T = 15, Mode = Uniform 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	Gap2-Gap1		
3	15	Uniform	3	3	3	10.7	22.5	0.86%	24.7	0.56%	-0.30%		
					4	53.3	30.9	2.73%	33.1	1.53%	-1.18%		
					5	42.6	33.8	3.81%	36.5	2.81%	-0.97%		
				5	3	40.0	32.1	0.79%	34.6	0.69%	-0.10%		
					4	43.0	30.9	0.02%	33.1	0.00%	-0.02%		
					5	19.8	22.8	4.34%	24.9	0.74%	-3.57%		
				7	3	26.8	24.1	0.54%	26.6	0.00%	-0.54%		
					4	24.3	29.1	6.19%	31.3	1.19%	-4.94%		
					5	12.5	30.5	0.83%	32.8	0.00%	-0.83%		
				9	3	32.2	26.1	2.60%	28.6	1.30%	-1.28%		
					4	49.2	31.5	1.60%	34.0	0.00%	-1.60%		
					5	55.0	33.1	2.60%	35.5	1.30%	-1.28%		
			5	3	3	25.9	30.7	4.94%	34.7	4.14%	-0.77%		
					4	23.2	31.1	0.39%	35.2	0.00%	-0.39%		
					5	53.4	48.3	6.21%	52.8	1.61%	-4.53%		
				5	3	13.9	35.5	2.69%	39.4	1.59%	-1.08%		
					4	29.3	33.0	3.09%	37.1	1.09%	-1.98%		
					5	8.9	28.4	5.76%	32.3	4.46%	-1.24%		
				7	3	158.7	52.2	3.55%	56.5	1.85%	-1.67%		
					4	24.3	27.3	3.04%	31.2	1.44%	-1.58%		
					5	27.3	27.6	2.09%	32.0	0.00%	-2.09%		
				9	3	90.4	56.7	0.60%	61.0	0.60%	0.00%		
					4	59.2	29.6	1.90%	33.3	1.60%	-0.30%		
					5	62.7	30.0	1.80%	34.0	0.60%	-1.19%		
			7	3	3	23.9	25.1	1.95%	30.5	1.65%	-0.30%		
					4	18.3	36.9	6.29%	42.5	2.19%	-4.01%		
					5	41.2	33.9	4.93%	39.4	3.73%	-1.16%		
				5	3	63.6	46.4	0.74%	52.5	0.54%	-0.20%		
					4	53.2	46.6	0.55%	51.8	0.55%	0.00%		
					5	38.6	39.4	3.97%	45.4	0.00%	-3.97%		
				7	3	26.1	20.6	2.73%	25.8	2.33%	-0.39%		
					4	26.6	30.0	0.21%	35.5	0.00%	-0.21%		
					5	19.9	38.5	0.83%	44.8	0.73%	-0.10%		
				9	3	31.3	22.4	1.60%	27.7	0.00%	-1.60%		
					4	32.0	32.5	5.00%	38.6	3.70%	-1.25%		
					5	63.9	41.8	2.90%	47.2	0.00%	-2.90%		
			Average					39.6	33.1	2.63%	37.1	1.24%	-1.38%

<표 5-4>과 <표 5-5>는 제품의 종류(L)가 3가지이고, 총 계획기간(T)이 15인 경우의 시뮬레이션 결과이다. Solution Gap의 평균은 운송비의 값이 Uniform일 때 GA1이 2.63%이고, GA2가 1.24%의 차이를 가진다. Decreasing일 때, GA1은 2.71%을 GA2는 2.10% 값을 가진다. Solution Gap이 0%인 경우, CPLEX에서 계산된 해와 유전 알고리즘을 통해 계산된 해가 모두 최적해를 찾았다고 판단할 수 있다. 상대적으로 GA1의 계산결과에서 Solution Gap이 0%인 경우는 드물게 발생하지만 GA2즉, 조정 알고리즘을 적용한 후의 최선해 도출은 Solution Gap이 0인 경우가 자주 보인다. 계산에 소요되는 시간은 T = 12일 때보다 조금 증가하긴 하였으나

대부분 1분 미만에 계산이 된다. 마찬가지로, 문제의 규모가 비교적 작으므로 CT값과 GT_1, GT_2의 값이 큰 차이는 없다고 판단할 수 있다. 또한 문제의 규모가 조금씩 증가할 때, 계산시간의 변화가 급격하게 변화하는 경우가 간혹 발생하였다.

<표 5-5> L = 3, T = 15, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	Gap2-Gap1	
3	15	Decreasing	3	3	3	35.4	22.2	5.91%	24.9	2.31%	-3.52%	
					4	42.6	31.1	6.17%	33.7	1.57%	-4.53%	
					5	28.8	33.7	4.44%	36.0	0.00%	-4.44%	
				5	3	27.2	32.0	4.31%	34.3	2.51%	-1.76%	
					4	33.6	30.7	4.04%	33.2	0.00%	-4.04%	
					5	19.2	22.7	0.16%	25.3	0.00%	-0.16%	
				7	3	20.5	24.5	1.72%	26.6	1.42%	-0.30%	
					4	18.6	29.5	0.83%	32.2	0.00%	-0.83%	
					5	9.3	30.7	0.46%	33.0	0.00%	-0.46%	
				9	3	25.7	26.0	1.64%	28.7	0.84%	-0.79%	
					4	39.3	31.8	4.09%	33.9	0.00%	-4.09%	
					5	44.0	33.1	4.42%	35.8	0.00%	-4.42%	
				5	3	3	19.2	30.6	1.01%	34.7	0.91%	-0.10%
						4	19.5	30.4	1.10%	34.1	0.00%	-1.10%
						5	40.7	48.1	4.80%	52.6	0.00%	-4.80%
					5	3	12.9	35.4	1.14%	39.6	0.94%	-0.20%
						4	28.8	33.5	3.99%	37.3	2.59%	-1.36%
						5	7.1	28.4	4.61%	32.3	2.01%	-2.55%
			7		3	110.2	51.5	2.54%	55.6	1.24%	-1.28%	
					4	16.9	27.3	1.52%	31.1	0.00%	-1.52%	
					5	23.5	27.9	1.15%	31.9	0.55%	-0.60%	
			9		3	72.3	25.0	2.34%	29.4	1.24%	-1.09%	
					4	47.4	29.4	2.00%	33.0	1.80%	-0.20%	
					5	50.2	29.3	0.40%	33.3	0.00%	-0.40%	
			7		3	3	21.1	25.3	2.61%	30.9	0.91%	-1.68%
						4	14.8	37.3	3.30%	43.2	2.90%	-0.39%
						5	28.0	33.5	2.19%	39.2	0.59%	-1.59%
					5	3	55.8	46.9	2.79%	53.0	0.00%	-2.79%
						4	38.6	45.7	6.35%	52.0	4.35%	-1.92%
						5	32.2	38.5	0.76%	44.2	0.00%	-0.76%
				7	3	17.6	20.3	3.38%	25.6	0.78%	-2.58%	
					4	24.9	29.5	0.42%	35.5	0.00%	-0.42%	
					5	16.0	38.3	3.60%	44.3	3.10%	-0.48%	
				9	3	25.0	26.9	0.44%	32.4	0.00%	-0.44%	
					4	45.6	30.6	3.33%	36.4	2.43%	-0.88%	
					5	51.1	40.8	3.42%	46.5	1.42%	-1.97%	
Average						32.3	32.2	2.71%	36.3	1.01%	-1.68%	

<표 5-6> L = 3, T = 18, Mode = Uniform 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	Gap2-Gap1			
3	18	Uniform	3	3	3	28.3	31.0	4.70%	34.0	2.40%	-2.25%			
					4	20.6	36.7	5.96%	39.3	1.56%	-4.33%			
					5	25.1	31.1	6.43%	34.2	3.33%	-3.00%			
				5	3	22.8	19.3	0.67%	22.5	0.00%	-0.67%			
					4	133.3	36.4	0.43%	39.1	0.00%	-0.43%			
					5	11.3	29.7	4.20%	32.6	2.40%	-1.76%			
				7	3	76.4	38.9	5.72%	42.0	5.52%	-0.19%			
					4	23.2	30.1	0.63%	32.9	0.00%	-0.63%			
					5	76.8	34.5	3.43%	37.7	2.03%	-1.37%			
				9	3	41.7	42.2	2.70%	45.4	2.60%	-0.10%			
					4	27.9	32.6	3.20%	35.4	1.90%	-1.28%			
					5	92.1	37.4	6.40%	40.0	4.00%	-2.31%			
				11	3	50.0	45.7	3.70%	49.0	2.70%	-0.97%			
					4	33.5	35.4	1.60%	38.5	0.00%	-1.60%			
					5	110.6	40.6	2.30%	43.6	1.60%	-0.69%			
				5	3	3	24.5	29.4	3.26%	34.7	2.16%	-1.08%		
						4	10.7	30.4	2.29%	35.3	0.69%	-1.59%		
						5	16.6	34.3	4.86%	39.6	1.96%	-2.84%		
			5		3	18.2	29.0	6.41%	33.9	0.51%	-5.87%			
					4	42.7	35.0	0.85%	39.9	0.00%	-0.85%			
					5	86.8	50.5	0.18%	55.7	0.00%	-0.18%			
			7		3	33.2	32.7	1.04%	38.0	0.00%	-1.04%			
					4	56.2	55.9	0.76%	60.3	0.66%	-0.10%			
					5	34.2	40.9	5.98%	45.6	0.98%	-4.95%			
			9		3	39.8	35.4	0.10%	39.8	0.00%	-0.10%			
					4	67.5	60.7	4.80%	65.2	2.20%	-2.54%			
					5	141.1	44.3	5.80%	48.6	5.50%	-0.28%			
			11		3	87.8	38.5	6.00%	43.0	2.40%	-3.52%			
					4	81.0	65.8	1.60%	70.6	0.00%	-1.60%			
					5	169.3	48.1	0.30%	53.2	0.00%	-0.30%			
			7		3	3	23.7	313.8	4.88%	321.2	1.58%	-3.25%		
						4	87.4	63.2	2.90%	69.6	1.80%	-1.08%		
						5	34.9	38.5	5.94%	44.7	1.84%	-4.03%		
				5	3	48.7	40.2	0.07%	47.5	0.00%	-0.07%			
					4	30.9	24.9	1.26%	31.1	0.66%	-0.60%			
					5	91.2	30.4	3.20%	37.6	0.90%	-2.28%			
				7	3	96.5	49.6	3.58%	56.0	1.68%	-1.87%			
					4	45.6	43.6	0.33%	49.8	0.00%	-0.33%			
					5	153.3	60.2	1.92%	66.2	1.92%	0.00%			
				9	3	115.8	53.8	3.70%	60.0	0.00%	-3.70%			
					4	54.7	47.3	2.19%	54.1	0.79%	-1.39%			
					5	84.0	65.3	2.69%	72.1	0.79%	-1.89%			
				11	3	-	58.4	-	65.2	-	-0.03%			
					4	85.7	51.4	0.27%	57.9	0.00%	-0.27%			
					5	100.7	70.8	6.20%	78.1	6.10%	-0.09%			
				Average					62.2	48.1	3.08%	52.9	1.48%	-1.54%

<표 5-6>과 <표 5-7>은 제품의 종류(L)가 3가지이고, 총 계획기간(T)이 18인 경우의 시뮬레이션 결과이다. Solution Gap의 평균은 운송비의 값이 Uniform일 때 GA1이 3.03%이고, GA2가 1.48%이다. Decreasing일 때, GA1은 2.86%, GA2는 1.31%의 값을 가진다. 평균적으로 운송비의 값이 Decreasing일 때, 유전 알고리즘으로 구한 해의 값이 더 좋은 결

과를 가진다. 이러한 경향은 보다 큰 규모의 문제에서도 동일하다. 계산에 소요되는 시간은 T = 15일 때보다 10에서 20여 초 정도 증가하였으나 여전히 오랜 시간이 소요되지는 않는다. 총 계획기간이(T)이 18인 경우 CPLEX의 값보다 GA1, GA2의 값이 좋은 경우가 종종 발견되며 2에서 10초 정도 유전 알고리즘이 더 빠르게 계산을 해준다고 판단된다.

<표 5-7> L = 3, T = 18, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	Gap2-Gap1
3	18	Decreasing	3	3	3	19.4	30.7	0.31%	33.8	0.00%	-0.31%
					4	14.3	36.9	2.76%	39.6	0.00%	-2.76%
					5	19.5	30.8	5.52%	33.4	2.42%	-3.03%
				5	3	17.1	19.6	4.11%	22.4	3.91%	-0.19%
					4	681.2	36.8	-0.05%	39.6	-1.55%	-1.52%
					5	9.0	29.9	3.09%	32.9	1.39%	-1.68%
				7	3	65.9	38.8	1.51%	42.0	0.81%	-0.69%
					4	17.1	29.5	5.69%	32.8	3.59%	-2.03%
					5	64.5	34.6	1.41%	37.6	1.21%	-0.20%
				9	3	33.3	41.7	0.88%	44.4	0.88%	0.00%
					4	22.3	31.3	0.38%	34.1	0.00%	-0.38%
					5	73.7	35.5	0.99%	38.1	0.00%	-0.99%
				11	3	40.0	43.3	0.40%	45.9	0.00%	-0.40%
					4	46.8	32.5	4.31%	35.5	0.61%	-3.68%
					5	88.5	46.8	1.12%	49.4	0.72%	-0.40%
			5	3	3	18.6	29.8	1.68%	34.2	1.58%	-0.10%
					4	9.3	30.9	1.32%	35.3	0.82%	-0.50%
					5	12.6	34.5	0.80%	39.2	0.00%	-0.80%
				5	3	16.4	29.3	0.51%	33.7	0.00%	-0.51%
					4	29.7	34.7	4.12%	39.6	1.72%	-2.36%
					5	75.4	49.6	0.58%	55.0	0.00%	-0.58%
				7	3	27.4	32.0	4.54%	36.8	0.84%	-3.67%
					4	47.3	56.0	2.92%	61.2	1.92%	-0.98%
					5	33.9	40.2	2.54%	44.6	2.34%	-0.20%
				9	3	31.9	32.8	4.52%	37.5	3.32%	-1.16%
					4	54.0	50.3	4.13%	55.2	0.00%	-4.13%
					5	112.8	42.4	3.23%	46.9	2.83%	-0.39%
				11	3	70.2	34.4	4.53%	39.3	2.43%	-2.05%
					4	64.8	52.9	2.23%	57.8	1.93%	-0.29%
					5	55.4	49.6	4.98%	53.9	0.88%	-4.06%
			7	3	3	116.9	316.9	6.49%	323.1	4.69%	-1.72%
					4	76.0	64.1	1.15%	70.8	0.00%	-1.15%
					5	25.5	38.0	3.39%	45.0	2.89%	-0.49%
				5	3	36.6	40.2	1.64%	47.6	0.00%	-1.64%
					4	22.7	25.0	6.09%	32.1	4.69%	-1.34%
					5	27.6	30.4	3.04%	37.6	1.74%	-1.28%
				7	3	91.1	50.2	5.03%	56.4	2.83%	-2.14%
					4	30.8	43.9	5.80%	50.2	0.80%	-4.96%
					5	37.0	60.7	1.13%	67.7	0.53%	-0.60%
				9	3	92.7	52.6	4.03%	59.0	0.00%	-4.03%
					4	43.8	46.0	0.21%	52.9	0.00%	-0.21%
					5	167.2	53.1	4.86%	60.0	3.76%	-1.06%
				11	3	80.6	54.8	3.33%	61.7	1.03%	-2.28%
					4	168.5	49.4	2.91%	55.4	0.91%	-1.98%
					5	204.3	56.7	2.64%	63.0	0.54%	-2.09%
Average					68.7	46.7	2.82%	51.4	1.31%	-1.49%	

<표 5-8> L = 5, T = 12, Mode = Uniform 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	Gap2-Gap1			
5	12	Uniform	3	3	3	15.1	23.9	1.96%	26.8	1.46%	-0.49%			
					4	25.8	18.9	0.58%	22.5	0.00%	-0.58%			
					5	26.4	17.9	3.76%	21.5	1.86%	-1.87%			
				5	3	20.4	23.3	1.35%	26.4	1.15%	-0.20%			
					4	35.2	17.4	0.68%	20.8	0.00%	-0.68%			
					5	41.2	35.9	6.08%	39.0	0.68%	-5.36%			
				7	3	21.8	23.2	5.75%	26.6	2.15%	-3.52%			
					4	48.3	20.4	1.57%	23.5	0.97%	-0.59%			
					5	47.5	20.9	3.42%	24.4	1.92%	-1.47%			
			5	3	3	146.9	22.0	4.35%	27.3	4.15%	-0.19%			
					4	140.8	53.9	0.66%	59.8	0.00%	-0.66%			
					5	359.2	21.3	2.89%	27.3	2.19%	-0.68%			
				5	3	49.4	24.1	3.99%	30.0	0.00%	-3.99%			
					4	121.3	31.8	1.63%	37.3	0.00%	-1.63%			
					5	1252.5	44.2	-4.00%	49.4	-5.92%	-2.04%			
				7	3	124.0	32.6	3.88%	37.5	2.68%	-1.17%			
					4	80.7	35.8	1.28%	41.2	0.00%	-1.28%			
					5	64.5	18.7	2.24%	23.6	0.00%	-2.24%			
				7	3	3	309.6	58.6	3.52%	65.3	2.62%	-0.88%		
						4	856.4	39.4	-3.48%	47.4	-4.64%	-1.21%		
						5	863.5	50.4	-2.34%	58.5	-4.00%	-1.73%		
					5	3	802.9	35.9	-1.16%	43.3	-2.94%	-1.83%		
						4	574.7	60.2	-3.42%	68.3	-5.26%	-1.94%		
						5	1136.5	45.6	-1.37%	53.2	-1.67%	-0.30%		
			7		3	-	59.0	-	66.1	-	-0.18%			
					4	421.2	83.7	3.65%	90.4	2.55%	-1.07%			
					5	766.7	49.6	-5.35%	57.3	-6.96%	-1.73%			
			Average					321	35.9	1.24%	41.3	-0.27%	-1.46%	

<표 5-8>과 <표 5-9>은 제품의 종류(L)가 5 가지이고, 총 계획기간 (T)이 12 인 경우의 시뮬레이션 결과이다. Solution Gap 의 평균은 운송비 의 값이 Uniform 일 때 GA1 이 1.24%이고 GA2 가 -0.24%, Decreasing 일 때, GA1 은 1.14%, GA2 가 0.84% 값을 가진다. 계산에 소요되는 시간은 CPLEX 의 계산시간은 비교적 상당히 증가한 값을 보여준다. 실제 제품의 종류(L)가 변화함에 따라 계산 시간에 상당한 영향을 준다는 것은 다른 데이터 값에서도 파악할 수 있는 내용이다. 그러나 GT_1, GT_2 의 값은 제품의 종류(L)가 3 가지이고 동일한 총 계획기간을 가지는 규모의 문제와 계산시간을 비교해 보았을 때 증가하긴 하였으나 소폭임을 알 수 있다. 또한, 앞으로 보여지는 문제부터는 몇몇의 경우를 제외하고는 GT 의 값이 빠른 계산시간을 가지며 차량 형태가 7 종류, 수요가 7 가지, 납품시간차이 3 의 기간을 가질 때 CPLEX 는 계산에 필요한 메모리의 부족으로 해를 찾지 못하는 모습을 볼 수 있었다. <표 5-8>과 <표 5-9>에서

『-』는 CPLEX 로 최선해를 찾지 못한 경우를 의미하며 모든 표에서 동일하게 표현한다.

<표 5-9> L = 5, T = 28, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	Gap2-Gap1		
5	12	Decreasing	3	3	3	13.1	23.9	0.06%	27.0	0.00%	-0.06%		
					4	23.2	18.7	0.15%	21.9	0.00%	-0.15%		
					5	20.4	18.2	1.32%	21.1	0.62%	-0.70%		
				5	3	16.5	23.5	0.95%	26.7	0.75%	-0.20%		
					4	28.1	17.5	5.02%	21.0	3.82%	-1.16%		
					5	38.5	36.3	6.04%	39.4	2.94%	-3.01%		
				7	3	19.8	23.3	3.67%	26.3	2.47%	-1.17%		
					4	36.1	20.1	2.65%	23.2	1.95%	-0.69%		
					5	32.8	21.2	2.13%	24.5	1.93%	-0.20%		
			5	3	3	41.1	21.6	5.27%	27.6	1.37%	-3.85%		
					4	125.7	52.7	4.00%	58.6	2.10%	-1.86%		
					5	42.6	21.3	6.04%	26.5	3.94%	-2.02%		
				5	3	49.0	23.9	3.32%	29.0	2.82%	-0.49%		
					4	91.2	31.7	6.06%	36.5	4.36%	-1.63%		
					5	1562.0	44.8	-1.88%	50.5	-2.17%	-0.30%		
				7	3	96.1	31.9	1.88%	37.8	0.00%	-1.88%		
					4	279.2	35.2	1.11%	40.9	0.81%	-0.30%		
					5	143.6	19.0	3.60%	24.6	3.50%	-0.10%		
			7	3	3	224.3	57.3	5.37%	64.0	0.00%	-5.37%		
					4	793.0	38.6	-4.61%	45.8	-4.61%	0.00%		
					5	612.4	51.1	-2.01%	58.3	-2.60%	-0.60%		
				5	3	242.8	36.1	3.85%	44.4	0.00%	-3.85%		
					4	419.5	59.9	4.61%	67.8	3.81%	-0.77%		
					5	789.3	45.5	-4.82%	53.7	-5.87%	-1.11%		
				7	3	-	58.1	-	65.5	-	-0.01%		
					4	339.7	82.6	3.65%	90.5	3.35%	-0.29%		
					5	672.5	49.3	-2.70%	57.0	-3.48%	-0.81%		
			Average					260	35.7	2.11%	41.1	0.84%	-1.21%

<표 5-10> L = 5, T = 15, Mode = Uniform 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	Gap2-Gap1		
5	15	Uniform	3	3	3	241.6	20.9	0.77%	25.1	0.67%	-0.10%		
					4	40.7	27.2	4.91%	31.0	2.71%	-2.14%		
					5	36.6	23.5	2.15%	27.2	0.00%	-2.15%		
				5	3	381.9	44.7	2.47%	49.0	0.00%	-2.47%		
					4	263.2	34.9	2.19%	39.1	1.89%	-0.29%		
					5	641.6	24.1	-2.55%	28.4	-3.82%	-1.32%		
				7	3	104.6	37.7	6.14%	41.8	4.94%	-1.14%		
					4	51.9	27.5	5.27%	31.8	3.17%	-2.04%		
					5	103.5	44.4	2.95%	48.0	0.00%	-2.95%		
				9	3	55.5	40.9	3.90%	45.2	3.80%	-0.10%		
					4	62.3	29.8	5.20%	34.3	2.50%	-2.63%		
					5	124.2	48.1	2.70%	52.5	0.80%	-1.88%		
				5	3	3	665.4	32.1	-2.11%	39.0	-2.99%	-0.91%	
						4	59.9	24.3	3.89%	31.5	0.00%	-3.89%	
						5	1851.4	41.9	-0.39%	48.5	-1.39%	-1.01%	
			5		3	83.7	30.0	5.23%	36.0	3.83%	-1.35%		
					4	71.1	21.8	0.86%	29.3	0.00%	-0.86%		
					5	629.8	29.9	-0.42%	37.1	-1.91%	-1.52%		
			7		3	104.4	34.6	3.06%	40.8	1.46%	-1.58%		
					4	377.6	32.2	5.25%	38.5	3.05%	-2.13%		
					5	253.5	35.8	3.70%	41.8	1.10%	-2.57%		
			9		3	125.3	37.6	3.20%	44.6	0.00%	-3.20%		
					4	453.1	34.9	2.40%	42.0	1.70%	-0.69%		
					5	304.2	38.9	6.50%	45.9	4.30%	-2.11%		
			7		3	3	145.6	46.8	2.75%	56.9	2.55%	-0.20%	
						4	1667.0	86.0	-2.16%	95.7	-3.73%	-1.63%	
						5	471.1	87.0	1.44%	95.6	0.00%	-1.44%	
				5	3	790.9	81.6	-0.41%	90.6	-1.90%	-1.52%		
					4	879.9	47.0	-5.69%	57.3	-7.10%	-1.52%		
					5	724.7	78.1	-3.93%	88.2	-3.93%	0.00%		
				7	3	1263.3	73.1	-4.84%	82.1	-5.13%	-0.30%		
					4	1489.1	56.3	-1.37%	66.4	-1.86%	-0.50%		
					5	-	45.9	-	54.3	-	-0.66%		
			9	3	1515.9	79.3	-5.89%	88.3	-7.49%	-1.73%			
				4	1786.9	61.1	3.80%	70.0	0.00%	-3.80%			
				5	-	49.8	-	60.1	-	-0.88%			
			Average					524.2	44.2	1.50%	50.9	-0.08%	-1.53%

<표 5-10>과 <표 5-11>은 제품의 종류(L)가 5가지이고, 총계획기간(T)이 15인 경우의 시뮬레이션 결과이다. Solution Gap의 평균은 운송비의 값이 Uniform일 때 GA1이 1.50%이고 GA2가 -0.08%, Decreasing일 때, GA1은1.30%, GA2가 -0.14% 값을 가진다. 계산에 소요되는 시간은 앞서 분석된 결과표와 비슷한 경향으로 기간이 증가함에 따라 계산시간도 증가하였으나 CT값과 GT_1, GT_2값의 증가 폭은 극명하게 차이가 남을 알 수 있다. 전반적으로 ShipMode가 Uniform인 경우 계산에 소요되는 시간도 Decreasing보다 높으며 발생할 수 있는 경우의 수도 많아 높은 메모리를 요구하여 메모리 부족으로 인한 오류를 더욱 자주 발생시킨다.

ShipMode가 Uniform, 차량 형태가 7종류, 수요가 7가지, 납품시간창이 5의 기간을 가질 때 CPLEX가 해를 찾지 못한 모습을 볼 수 있었다.

<표 5-11> L = 5, T = 15, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	Gap2-Gap1			
5	15	Decreasing	5	3	3	232.3	20.6	1.73%	24.9	0.93%	-0.79%			
					4	28.1	26.7	4.94%	30.4	2.24%	-2.64%			
					5	26.2	23.8	3.30%	27.8	0.90%	-2.38%			
					3	869.0	43.9	-2.12%	47.7	-2.81%	-0.70%			
					4	55.9	34.9	6.07%	39.4	1.97%	-4.02%			
					5	30.4	24.3	5.79%	28.5	0.79%	-4.96%			
					3	91.0	38.2	0.13%	41.8	0.00%	-0.13%			
					4	37.4	27.7	5.46%	31.3	4.36%	-1.05%			
					5	100.5	44.5	0.53%	48.5	0.00%	-0.53%			
				9	3	44.4	40.1	3.38%	44.6	2.78%	-0.58%			
					4	49.9	38.4	1.79%	42.3	1.69%	-0.10%			
					5	99.4	45.8	3.49%	49.7	0.99%	-2.48%			
				3	3	102.3	31.8	3.79%	38.5	1.89%	-1.86%			
					4	458.7	24.5	3.12%	31.5	3.02%	-0.10%			
					5	1183.3	42.2	-5.40%	48.3	-6.44%	-1.11%			
					3	74.1	29.6	4.19%	35.8	2.29%	-1.86%			
					4	56.0	22.0	5.47%	28.4	1.47%	-3.94%			
					5	210.9	29.4	3.91%	36.1	0.00%	-3.91%			
					7	3	92.4	34.9	0.07%	41.5	0.00%	-0.07%		
						4	253.4	32.1	0.47%	39.6	0.00%	-0.47%		
						5	239.1	35.2	4.97%	41.8	4.07%	-0.86%		
				9	3	100.3	36.7	-2.87%	43.9	-4.13%	-1.32%			
					4	362.5	33.3	1.72%	39.4	0.00%	-1.72%			
					5	243.3	37.3	0.52%	43.6	0.52%	0.00%			
				3	3	659.9	46.6	-0.96%	55.4	-2.35%	-1.42%			
					4	1488.4	85.2	-0.05%	94.0	-1.85%	-1.83%			
					5	945.6	87.1	-4.27%	96.5	-5.71%	-1.52%			
					3	438.0	82.9	0.95%	92.7	0.00%	-0.95%			
					4	814.7	47.2	-3.69%	57.2	-4.65%	-1.01%			
					5	895.1	76.6	-0.15%	87.1	-2.05%	-1.94%			
					7	3	1138.1	72.8	-0.70%	81.8	-1.89%	-1.21%		
						4	1086.9	56.6	-0.07%	66.3	-1.37%	-1.32%		
						5	945.0	45.5	-2.98%	55.4	-2.98%	0.00%		
				9	3	1212.7	56.0	1.95%	64.8	0.55%	-1.39%			
					4	1429.5	59.1	0.68%	67.9	0.00%	-0.68%			
					5	1800.6	48.4	1.62%	56.8	0.82%	-0.79%			
				Average					497.1	43.4	1.30%	50.0	-0.14%	-1.44%

<표 5-12> L = 5, T = 18, Mode = Uniform 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	Gap2-Gap1		
5	18	Uniform	3	3	3	564.4	31.8	-3.33%	36.5	-5.07%	-1.83%		
					4	366.0	169.1	5.18%	173.6	3.58%	-1.54%		
					5	394.1	35.4	1.28%	40.7	0.00%	-1.28%		
				5	3	486.4	30.6	0.72%	35.7	0.72%	0.00%		
					4	-	19.8	-	24.3	-	-0.74%		
					5	192.8	41.7	5.23%	47.0	5.23%	0.00%		
				7	3	143.9	22.8	1.02%	27.5	0.00%	-1.02%		
					4	74.4	29.9	0.82%	34.9	0.00%	-0.82%		
					5	241.5	46.2	1.91%	51.1	0.00%	-1.91%		
				9	3	42.6	24.7	5.60%	29.2	2.70%	-2.82%		
					4	89.3	32.5	2.00%	37.7	0.00%	-2.00%		
					5	89.8	50.1	0.80%	54.6	0.00%	-0.80%		
			11	3	51.1	26.8	6.00%	31.6	4.30%	-1.63%			
				4	107.2	35.2	1.90%	39.8	1.60%	-0.30%			
				5	97.8	54.3	5.40%	59.2	0.00%	-5.40%			
			5	3	3	75.7	21.0	5.59%	29.7	4.99%	-0.57%		
					4	351.7	48.1	1.61%	55.5	1.31%	-0.30%		
					5	1216.0	53.7	-0.60%	62.5	-2.59%	-2.04%		
				5	3	279.3	56.5	0.97%	64.7	0.77%	-0.20%		
					4	-	79.3	-	87.4	-	-0.09%		
					5	343.0	36.4	4.74%	43.8	2.24%	-2.45%		
				7	3	751.8	65.9	-3.25%	74.0	-5.09%	-1.94%		
					4	1617.3	34.8	-4.30%	42.5	-5.26%	-1.01%		
					5	-	42.1	-	50.4	-	-0.83%		
				9	3	902.2	71.5	0.80%	80.3	0.70%	-0.10%		
					4	1940.8	37.7	4.00%	46.3	0.00%	-4.00%		
					5	2640.2	45.7	0.16%	53.1	0.00%	-0.16%		
			11	3	1082.7	77.6	5.10%	85.5	3.30%	-1.74%			
				4	2328.9	40.9	1.60%	49.5	1.10%	-0.49%			
				5	-	49.6	-	58.0	-	0.00%			
			7	3	3	1749.9	76.2	-1.26%	87.3	-2.94%	-1.73%		
					4	1461.6	40.7	-2.14%	51.5	-3.22%	-1.11%		
					5	1042.1	82.3	-5.45%	92.8	-6.77%	-1.42%		
				5	3	-	74.6	-	84.6	-	-0.62%		
					4	-	79.9	-	90.0	-	-0.83%		
					5	929.9	129.9	-4.38%	141.7	-6.20%	-1.94%		
				7	3	1705.6	115.6	-3.67%	127.0	-3.96%	-0.30%		
					4	1943.5	163.5	-2.88%	175.6	-2.88%	0.00%		
					5	-	153.1	-	165.7	-	0.22%		
				9	3	2046.7	125.4	3.10%	137.8	1.40%	-1.68%		
					4	2332.2	177.4	0.50%	187.4	0.00%	-0.50%		
					5	2042.1	166.1	0.23%	177.0	0.00%	-0.23%		
			11	3	2456.1	136.1	-7.47%	148.2	-8.58%	-1.21%			
				4	-	192.4	-	204.0	-	-0.56%			
				5	2750.6	180.2	-4.14%	192.1	-5.20%	-1.11%			
			Average					998.1	73.4	0.63%	81.5	-0.64%	-1.13%

<표 5-12>와 <표 5-13>은 제품의 종류(L)가 5가지, 총 계획기간(T)이 18인 경우의 시뮬레이션 결과이다. ShipMode가 Uniform인 경우 메모리 부족의 원인으로 해를 계산하지 못한 경우가 6개의 문제에서 발생되었으며 ShipMode가 Decreasing의 경우 3가지의 경우에서 발견할 수 있다. CT의 계산시간과 GT_1, GT_2의 계산시간의 평균값 차이는 더욱 극명하

계 차이가 나며 CT의 경우 계산을 위해 30분이 넘게 소요되는 경우도 종종 나타난다. Solution Gap의 평균은 운송비의 값이 Uniform일 때 GA1이 0.63%이고 GA2가 -0.64%, Decreasing일 때, GA1은0.86%, GA2가 -0.10% 값을 가진다. <표 5-12>와 <표 5-13> 정도의 문제 크기를 가지는 경우부터는 종종 Solution Gap의 값이 음수를 가지는 경우가 보이는데 이는 CPLEX에서 계산해주는 값이 탐색 노드의 한계를 넘어 최선해 (Best Solution)를 결과값으로 도출할 경우가 많아 유전 알고리즘보다 좋지 못한 값을 산출하는 경우라고 판단된다.



<표 5-13> L = 5, T = 18, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	GA 1 - GA 2			
5	18	Decreasing	3	3	3	341.2	32.2	2.42%	37.3	0.00%	-2.42%			
					4	275.2	171.7	2.30%	176.2	2.00%	-0.29%			
					5	171.8	34.6	5.15%	39.0	1.05%	-4.06%			
				5	3	68.0	30.8	3.65%	35.2	2.55%	-1.07%			
					4	32.3	19.6	3.88%	24.9	1.18%	-2.67%			
					5	132.0	40.9	3.18%	46.0	2.08%	-1.08%			
				7	3	39.9	22.8	3.02%	28.2	0.00%	-3.02%			
					4	53.9	30.0	2.13%	34.7	1.53%	-0.59%			
					5	225.7	45.3	3.50%	50.1	2.70%	-0.78%			
				9	3	34.1	28.3	0.29%	33.6	0.00%	-0.29%			
					4	71.4	32.0	0.94%	37.0	0.00%	-0.94%			
					5	71.8	46.4	3.02%	51.3	2.92%	-0.10%			
				11	3	40.9	35.7	0.51%	40.2	0.00%	-0.51%			
					4	85.7	33.2	0.60%	37.8	0.00%	-0.60%			
					5	78.2	50.1	-0.72%	55.0	-1.71%	-1.01%			
				5	3	3	58.7	21.0	1.08%	30.0	1.08%	0.00%		
						4	270.5	48.2	0.37%	55.6	0.00%	-0.37%		
						5	786.2	52.5	-0.83%	60.2	-0.83%	0.00%		
					5	3	247.2	57.0	2.61%	65.1	2.21%	-0.39%		
						4	82.5	77.5	2.67%	85.2	2.47%	-0.20%		
						5	410.0	36.1	4.42%	44.0	0.92%	-3.47%		
					7	3	1043.2	65.1	-5.52%	73.7	-6.28%	-0.81%		
						4	108.6	34.5	5.54%	42.0	5.24%	-0.29%		
						5	489.0	42.8	1.75%	50.5	1.45%	-0.30%		
					9	3	721.8	67.4	1.25%	75.2	0.95%	-0.30%		
						4	1552.6	56.1	3.88%	64.6	3.08%	-0.78%		
						5	-	54.3	-	62.8	-	-0.12%		
			11		3	866.1	42.8	1.01%	51.5	0.81%	-0.20%			
					4	1863.1	58.2	0.81%	66.9	0.00%	-0.81%			
					5	-	56.4	-	64.5	-	0.00%			
			7	3	3	1190.4	75.1	-4.73%	87.4	-4.73%	0.00%			
					4	987.6	40.1	-2.11%	51.7	-3.28%	-1.21%			
					5	1031.8	81.0	-1.61%	92.9	-3.58%	-2.04%			
				5	3	-	74.2	-	84.8	-	-0.01%			
					4	1099.3	91.0	-4.93%	102.6	-6.07%	-1.21%			
					5	1390.1	74.2	-5.57%	86.5	-7.18%	-1.73%			
				7	3	-	83.5	-	95.9	-	-0.07%			
					4	-	95.4	-	107.8	-	-1.43%			
					5	1072.2	85.6	-0.61%	96.5	-2.30%	-1.73%			
				9	3	1637.4	87.5	-0.16%	99.4	-0.46%	-0.30%			
					4	1865.7	91.3	-3.22%	101.9	-3.99%	-0.81%			
					5	1633.7	88.5	1.36%	98.6	1.36%	0.00%			
				11	3	1964.9	93.2	0.43%	105.8	0.00%	-0.43%			
					4	2200.4	104.5	1.64%	115.3	0.84%	-0.79%			
					5	-	90.8	-	102.9	-	-0.19%			
				Average					674.2	59.5	0.86%	67.7	-0.10%	-0.88%

보다 큰 규모를 가지는, 즉 제품의 종류(L)가 7개인 문제부터는 계산시간이나 Solution Gap의 값이 보다 극명하게 증가하고 차이가 나는 것을 알 수 있으나 전반적인 변화 경향은 앞에서 언급했던 내용과 비슷하므로 설명은 생략하도록 한다.

<표 5-14> L = 7, T = 12, Mode = Uniform 일 때, CPLEX와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap_1	GT_2(Sec)	Gap_2	GA_1 - GA_2		
7	12	Uniform	3	3	3	91.7	53.2	0.29%	83.9	0.00%	-0.29%		
					4	80.7	71.6	4.95%	84.3	1.15%	-3.80%		
					5	199.9	58.4	1.87%	82.8	0.00%	-1.87%		
				5	3	85.0	79.1	0.32%	74.0	0.00%	-0.32%		
					4	179.0	85.6	2.05%	78.0	0.75%	-1.30%		
					5	805.7	61.0	-1.31%	78.4	-2.79%	-1.48%		
				7	3	917.4	67.7	-6.41%	76.8	-7.44%	-1.03%		
					4	189.4	64.1	0.82%	94.1	0.00%	-0.82%		
					5	1644.5	83.4	-2.87%	83.2	-3.26%	-0.39%		
			5	3	3	1269.5	69.0	-3.74%	141.7	-4.22%	-0.48%		
					4	4143.6	77.0	-6.08%	174.3	-7.77%	-1.69%		
					5	-	102.3	-	150.0	-	0.00%		
				5	3	1146.0	78.3	-0.25%	154.1	-0.75%	-0.50%		
					4	946.7	85.5	-2.73%	162.0	-2.73%	0.00%		
					5	2451.6	92.7	-1.75%	144.5	-2.83%	-1.08%		
				7	3	-	85.1	-	155.9	-	0.00%		
					4	1147.1	80.6	-4.87%	145.6	-5.73%	-0.86%		
					5	1947.2	78.1	-5.08%	171.8	-6.22%	-1.14%		
			7	3	3	764.9	116.5	-3.04%	277.6	-3.62%	-0.58%		
					4	2060.8	170.2	-6.39%	238.8	-7.14%	-0.75%		
					5	-	151.5	-	251.0	-	0.00%		
				5	3	2581.4	155.0	-1.28%	240.4	-1.77%	-0.49%		
					4	1795.3	143.1	-5.29%	287.2	-7.09%	-1.80%		
					5	1206.6	94.5	-5.25%	253.6	-6.67%	-1.42%		
				7	3	2148.7	117.3	-5.85%	231.3	-5.94%	-0.09%		
					4	3660.0	129.6	-2.33%	261.1	-3.31%	-0.98%		
					5	3733.1	179.0	-4.38%	244.5	-4.38%	0.00%		
			Average					1466	97.4	-2.44%	163.7	-3.41%	-0.86%

<표 5-15> L = 7, T = 12, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	GA 1 - GA 2		
7	12	Decreasing	3	3	3	377.6	52.9	3.31%	57.8	0.81%	-2.48%		
					4	139.1	87.0	2.04%	91.1	0.84%	-1.19%		
					5	99.9	57.7	2.16%	62.6	0.00%	-2.16%		
				5	3	291.6	99.1	2.42%	103.4	2.12%	-0.29%		
					4	91.2	95.6	1.26%	99.7	0.00%	-1.26%		
					5	130.1	61.0	0.64%	65.4	0.00%	-0.64%		
				7	3	453.5	67.7	1.74%	72.4	1.04%	-0.69%		
					4	123.8	51.6	5.29%	56.2	4.09%	-1.15%		
					5	211.3	83.4	0.52%	87.6	0.00%	-0.52%		
			5	3	3	-	64.4	-	72.3	-	-0.09%		
					4	430.7	82.8	4.50%	91.2	4.10%	-0.38%		
					5	829.1	105.5	-4.61%	112.5	-6.23%	-1.73%		
				5	3	460.5	84.2	3.96%	91.1	1.66%	-2.26%		
					4	473.8	84.6	0.80%	92.0	0.00%	-0.80%		
					5	501.5	87.5	-4.87%	94.7	-6.39%	-1.63%		
				7	3	1417.0	91.5	-0.62%	99.9	-1.42%	-0.81%		
					4	509.2	84.9	-1.01%	93.1	-1.01%	0.00%		
					5	520.9	84.9	-0.80%	92.8	-2.29%	-1.52%		
				7	3	3	637.5	107.9	-5.92%	118.5	-6.67%	-0.81%	
						4	1717.3	156.1	-0.83%	166.9	-1.03%	-0.20%	
						5	887.1	145.6	-1.67%	157.4	-2.16%	-0.50%	
			5		3	2151.2	158.2	-1.16%	167.6	-1.85%	-0.70%		
					4	1496.1	130.1	-5.21%	141.9	-6.35%	-1.21%		
					5	1005.5	100.5	-0.11%	110.2	-0.51%	-0.40%		
			7		3	1790.5	126.1	-5.03%	137.4	-6.36%	-1.42%		
					4	3050.0	127.1	-3.72%	138.1	-5.36%	-1.73%		
					5	3110.9	170.5	-3.78%	181.0	-5.51%	-1.83%		
			Average					881	98.1	-0.41%	105.7	-1.48%	-1.05%

<표 5-16> L = 7, T = 15, Mode = Uniform 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	GA 1 - GA 2		
7	15	Uniform	3	3	3	299.2	122.6	2.52%	79.8	0.62%	-1.90%		
					4	-	108.3	-	93.5	-	0.00%		
					5	948.3	85.6	-1.11%	90.1	-2.40%	-1.29%		
				5	3	267.4	88.9	4.16%	92.4	3.56%	-0.60%		
					4	257.3	83.0	3.34%	83.1	2.84%	-0.50%		
					5	795.4	55.0	-1.90%	77.7	-2.00%	-0.10%		
				7	3	481.5	97.0	6.50%	83.8	2.90%	-3.60%		
					4	151.3	87.3	4.22%	84.2	0.52%	-3.70%		
					5	578.0	133.4	-3.14%	80.6	-4.88%	-1.74%		
				9	3	577.8	105.3	-3.40%	79.0	-4.08%	-0.68%		
					4	181.5	94.7	2.70%	93.2	1.20%	-1.50%		
					5	693.6	144.8	0.40%	99.6	0.00%	-0.40%		
			5	3	3	418.7	100.3	2.86%	176.1	2.56%	-0.30%		
					4	1031.0	106.3	-6.45%	176.8	-7.20%	-0.75%		
					5	698.5	116.5	-3.54%	147.9	-4.02%	-0.48%		
				5	3	2437.0	78.0	-4.41%	148.4	-5.94%	-1.53%		
					4	1921.3	98.9	-4.46%	178.8	-5.22%	-0.76%		
					5	821.6	85.3	-2.48%	157.0	-3.94%	-1.46%		
				7	3	792.3	71.8	-0.87%	157.6	-2.56%	-1.69%		
					4	2324.6	106.5	-1.68%	150.7	-1.97%	-0.29%		
					5	-	84.0	-	173.9	-	0.00%		
				9	3	950.7	77.9	2.70%	155.6	1.20%	-1.50%		
					4	2789.5	115.6	0.80%	156.2	0.00%	-0.80%		
					5	3192.9	91.2	-0.80%	175.9	-2.19%	-1.39%		
				7	3	3	1064.5	101.7	-6.00%	233.7	-7.03%	-1.03%	
						4	1283.2	86.4	-3.96%	275.5	-4.06%	-0.10%	
						5	2099.2	86.5	-3.44%	294.1	-5.37%	-1.93%	
					5	3	1585.5	122.5	-5.11%	277.3	-5.58%	-0.47%	
						4	-	113.5	-	296.0	-	0.00%	
						5	1220.3	96.8	-5.40%	273.2	-7.20%	-1.80%	
			7		3	853.8	95.9	-4.86%	256.2	-5.62%	-0.76%		
					4	2160.8	166.5	-0.42%	245.1	-0.82%	-0.40%		
					5	1018.5	135.4	-2.58%	251.9	-3.36%	-0.78%		
			9		3	1024.6	104.0	2.30%	276.8	0.80%	-1.50%		
					4	-	180.7	-	271.7	-	0.00%		
					5	-	146.9	-	272.6	-	0.00%		
			Average					1126.4	104.9	-1.08%	172.7	-2.23%	-0.99%

<표 5-17> L = 7, T = 15, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	GA 1 - GA 2		
7	15	Decreasing	3	3	3	460.2	122.6	0.70%	127.6	0.00%	-0.70%		
					4	-	108.3	-	113.6	-	-0.03%		
					5	251.0	85.6	6.04%	91.6	5.04%	-0.95%		
				5	3	119.2	88.9	4.63%	94.9	4.13%	-0.48%		
					4	105.7	83.0	6.41%	88.2	0.00%	-6.41%		
					5	183.4	55.0	2.76%	61.1	2.46%	-0.29%		
				7	3	163.1	97.0	6.28%	103.0	1.08%	-5.14%		
					4	314.2	87.3	3.11%	93.6	0.71%	-2.38%		
					5	1244.9	133.4	-3.37%	138.7	-4.82%	-1.52%		
			9	3	462.3	99.9	-0.55%	105.0	-2.44%	-1.94%			
				4	245.2	92.2	-2.82%	98.2	-3.60%	-0.81%			
				5	554.8	138.2	2.77%	144.4	2.57%	-0.19%			
			5	3	3	-	99.3	-	109.2	-	-1.24%		
					4	859.2	107.4	-3.21%	117.1	-5.15%	-2.04%		
					5	582.1	106.9	-1.38%	115.5	-1.68%	-0.30%		
				5	3	2030.8	81.2	-3.58%	91.5	-3.77%	-0.20%		
					4	1601.1	94.2	-4.74%	103.2	-5.41%	-0.70%		
					5	684.7	79.0	-1.74%	89.1	-2.03%	-0.30%		
				7	3	660.2	74.7	-5.98%	84.0	-7.48%	-1.63%		
					4	1937.1	107.6	-2.58%	117.5	-4.53%	-2.04%		
					5	846.4	92.3	-3.49%	101.2	-4.55%	-1.11%		
				9	3	760.6	80.6	2.13%	89.0	0.83%	-1.29%		
					4	1931.6	112.0	3.70%	122.1	1.50%	-2.17%		
					5	2554.3	96.4	-2.87%	106.3	-3.45%	-0.60%		
				7	3	3	-	98.7	-	112.8	-	-0.13%	
						4	1069.4	85.5	-6.30%	99.7	-6.67%	-0.40%	
						5	1749.3	92.1	-2.02%	105.9	-2.22%	-0.20%	
					5	3	1321.2	120.1	-0.25%	133.0	-1.65%	-1.42%	
						4	-	112.4	-	125.3	-	-1.34%	
						5	1016.9	103.0	-6.34%	115.9	-7.84%	-1.63%	
			7		3	711.5	97.8	-1.26%	111.9	-1.85%	-0.60%		
					4	1800.6	155.6	-6.04%	168.8	-6.42%	-0.40%		
					5	848.8	124.2	-0.96%	136.0	-2.35%	-1.42%		
			9	3	819.7	103.3	1.91%	115.4	0.71%	-1.19%			
				4	1964.9	113.5	-2.57%	128.2	-4.13%	-1.63%			
				5	2200.4	127.4	1.64%	140.1	0.84%	-0.79%			
			Average					1001.7	101.6	-0.62%	111.1	-1.94%	-1.27%

<표 5-18> L = 7, T = 18, Mode = Uniform 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Products	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT_1(Sec)	Gap 1	GT_2(Sec)	Gap 2	GA 1 - GA 2			
7	18	Uniform	3	3	3	962.8	86.2	-31.44%	94.0	-31.86%	-0.41%			
					4	486.0	99.6	2.91%	90.4	0.00%	-2.91%			
					5	4260.7	85.0	-4.52%	100.9	-6.33%	-1.81%			
				5	3	1160.3	92.5	-0.41%	97.2	-2.10%	-1.69%			
					4	147.9	85.3	4.58%	99.6	1.08%	-3.50%			
					5	-	85.1	-	85.8	-	0.00%			
				7	3	279.4	167.6	2.95%	84.1	2.85%	-0.10%			
					4	1216.3	133.5	-0.67%	84.4	-2.36%	-1.69%			
					5	154.0	84.4	5.10%	86.8	2.30%	-2.80%			
				9	3	335.2	181.9	6.00%	99.6	0.00%	-6.00%			
					4	759.6	144.9	-1.00%	100.0	-1.30%	-0.30%			
					5	984.8	91.6	-6.00%	100.4	-7.03%	-1.03%			
				11	3	1402.3	197.3	1.40%	105.0	1.30%	-0.10%			
					4	911.5	157.2	-4.10%	88.6	-5.63%	-1.53%			
					5	1181.7	99.3	2.20%	84.7	0.00%	-2.20%			
				5	3	3	1015.7	105.4	-0.43%	180.3	-0.83%	-0.40%		
						4	1552.0	111.2	-0.22%	192.5	-0.32%	-0.10%		
						5	-	95.2	-	166.2	-	0.00%		
			5		3	2116.1	111.2	-5.63%	190.1	-6.20%	-0.57%			
					4	3001.8	130.1	-0.19%	155.7	-0.69%	-0.50%			
					5	5800.8	172.8	-1.83%	160.2	-3.40%	-1.57%			
			7		3	3546.9	94.4	-4.27%	164.7	-4.65%	-0.38%			
					4	936.5	80.3	-0.86%	196.7	-2.05%	-1.19%			
					5	1286.8	100.5	-0.76%	197.5	-0.86%	-0.10%			
			9		3	-	102.4	-	170.4	-	0.00%			
					4	1123.7	87.1	6.50%	186.9	3.00%	-3.50%			
					5	1544.1	109.1	-3.70%	159.7	-5.05%	-1.35%			
			11		3	932.4	111.1	-5.60%	200.2	-7.30%	-1.70%			
					4	1348.5	94.5	-6.10%	200.9	-6.10%	0.00%			
					5	1853.0	118.3	4.10%	169.4	0.60%	-3.50%			
			7		3	3	4234.2	243.7	-3.78%	267.4	-5.22%	-1.44%		
						4	6440.7	145.5	-3.23%	250.0	-3.52%	-0.29%		
						5	4392.0	188.9	-5.31%	299.7	-5.69%	-0.38%		
				5	3	1087.9	121.3	-1.46%	270.0	-2.94%	-1.48%			
					4	-	190.9	-	246.2	-	0.00%			
					5	-	198.6	-	308.8	-	0.00%			
				7	3	2079.7	178.0	-2.91%	297.3	-3.59%	-0.68%			
					4	2578.4	227.9	-0.44%	279.6	-0.84%	-0.40%			
					5	-	262.7	-	249.4	-	0.00%			
				9	3	2495.6	193.1	2.30%	256.4	1.40%	-0.90%			
					4	3094.1	247.3	4.60%	269.7	4.20%	-0.40%			
					5	-	285.0	-	276.9	-	0.00%			
				11	3	3214.9	209.5	2.50%	290.3	1.60%	-0.90%			
					4	-	268.3	-	265.9	-	0.00%			
					5	-	309.3	-	260.4	-	0.00%			
				Average					1942.2	148.6	-1.38%	181.8	-2.71%	-1.06%

<표 5-19> L = 7, T = 18, Mode = Decreasing 일 때, CPLEX 와 유전 알고리즘의 비교

Items	Periods	ShipMode	Vtypes	Demand	Window	CT(Sec)	GT(Sec)	SolutionGap	GT_2(Sec)	SolutionGap	GT_1 - GT_2			
7	18	Decreasing	3	3	3	140.0	86.2	5.09%	93.0	0.00%	-5.09%			
					4	198.4	99.6	6.30%	105.9	3.30%	-2.90%			
					5	144.7	85.0	1.80%	91.8	1.10%	-0.69%			
				5	3	394.5	92.5	0.14%	100.0	0.00%	-0.14%			
					4	375.4	85.3	2.10%	91.8	1.30%	-0.79%			
					5		85.1		92.3		-0.04%			
				7	3	752.1	161.2	-2.28%	168.7	-2.57%	-0.30%			
					4	599.0	124.8	-3.86%	132.2	-3.96%	-0.10%			
					5	438.2	88.8	1.01%	95.0	0.00%	-1.01%			
				9	3	268.2	166.0	-0.89%	173.6	-2.38%	-1.52%			
					4	607.6	130.9	2.35%	138.2	2.15%	-0.20%			
					5		131.3		138.7		0.00%			
				11	3	1121.8	106.3	-0.62%	112.5	-1.42%	-0.81%			
					4	729.2	140.1	-2.59%	146.9	-3.47%	-0.91%			
					5	945.4	141.4	3.49%	148.5	1.49%	-1.97%			
			5	3	3		96.7		107.6		0.00%			
					4	1293.3	113.5	-4.57%	124.5	-5.91%	-1.42%			
					5		105.7		116.1		-0.98%			
				5	3	1763.4	119.6	-2.48%	130.1	-3.46%	-1.01%			
					4	2501.5	125.1	-1.14%	137.7	-1.14%	0.00%			
					5	4834.0	158.5	-0.89%	169.6	-2.38%	-1.52%			
				7	3	2955.8	95.3	-6.15%	106.2	-7.56%	-1.52%			
					4	780.4	74.3	-5.01%	85.7	-5.48%	-0.50%			
					5	1072.3	100.5	-2.89%	112.4	-3.28%	-0.40%			
				9	3	624.3	100.8	0.17%	113.4	0.00%	-0.17%			
					4	899.0	78.9	0.85%	91.3	0.00%	-0.85%			
					5	1235.3	103.7	1.44%	114.1	0.00%	-1.44%			
				11	3	745.9	106.3	1.26%	117.2	0.00%	-1.26%			
					4	1078.8	111.8	-1.25%	124.1	-3.13%	-1.94%			
					5	1482.4	108.1	1.98%	119.2	0.68%	-1.29%			
			7	3	3		234.3		250.9		-0.12%			
					4	5367.3	151.6	-4.18%	167.8	-4.85%	-0.70%			
					5		203.1		220.8		-0.01%			
				5	3	906.6	112.4	-1.18%	127.9	-2.66%	-1.52%			
					4	2148.7	173.6	-3.22%	189.1	-4.48%	-1.32%			
					5	3660.0	213.6	-1.01%	229.4	-1.11%	-0.10%			
				7	3	1733.1	183.5	-5.48%	199.4	-6.14%	-0.70%			
					4	0.0	223.4		240.0		-1.63%			
					5	0.0	276.5		0.0					
				9	3	1996.5	209.7	1.03%	224.5	0.73%	-0.30%			
					4	2475.3	236.2	1.40%	251.3	1.10%	-0.30%			
					5		293.1		308.3		-0.13%			
				11	3	2571.9	226.1	-1.83%	243.4	-3.60%	-1.83%			
					4		245.6		261.1		0.00%			
					5		302.2		316.7		-0.61%			
			Average						1356.7	146.9	-0.62%	151.8	-1.68%	-0.91%

제품의 수, 기간, 차량형태의 수가 증가할수록 제안된 유전 알고리즘의 성능이 평균적으로 CPLEX 에 의한 결과가 보다 우수함을 알 수 있었다. 또한 GA2 가 문제의 규모에 따라 1%에서 5%까지 GA_1 에 비해 더 우수함을 보여주었다.

6 장. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 제3자 물류 창고에서의 다중제품의 인바운드 로트크기결정 및 아웃바운드 디스패칭 문제를 고려하였다. 본 문제를 풀기위해 수리모형을 수립하였고 제안된 수리모형을 검증하기 위하여 OPL (Optimization Programming Language)을 이용하여 모델링하였으며, Solver Engine은 ILOG사의 CPLEX 12.5를 이용하여 계산에 소요된 시간과 최선해를 찾아보았다. 또한, 현실적으로 큰 규모를 가지는 문제를 풀기 위해 지역해 탐색 휴리스틱 알고리즘을 가지는 유전 알고리즘(GA)을 제안하고 GA1과 GA2의 계산시간과 최선해를 CPLEX를 통해 계산된 결과와 비교하여 제안된 유전 알고리즘의 성능을 검증하였다..

그 결과 문제의 규모가 비교적 작은 문제, 즉 제품의 개수가 3, 5개이거나 계획간이 12, 15의 경우 계산시간은 최소 5.6초에서 최대 10.2초 정도 유전 알고리즘의 계산시간이 더 길었다. 도출된 최선해에 비해 GA1의 경우 3%에서 5%정도, GA2의 경우 1%에서 3%정도의 성능 차이를 보였다. 그러나 CPLEX의 Branch & Bound 계산 방법은 문제의 규모가 증가함에 따라 탐색하는 노드의 수가 극명하게 증가하고 이는 큰 메모리 용량을 소모하게 되어 제품의 종류가 7개, 계획기간이 15기간을 넘어가면 메모리 용량 제약으로 인해 해를 찾지 못하는 경우가 발생하게 되었다.

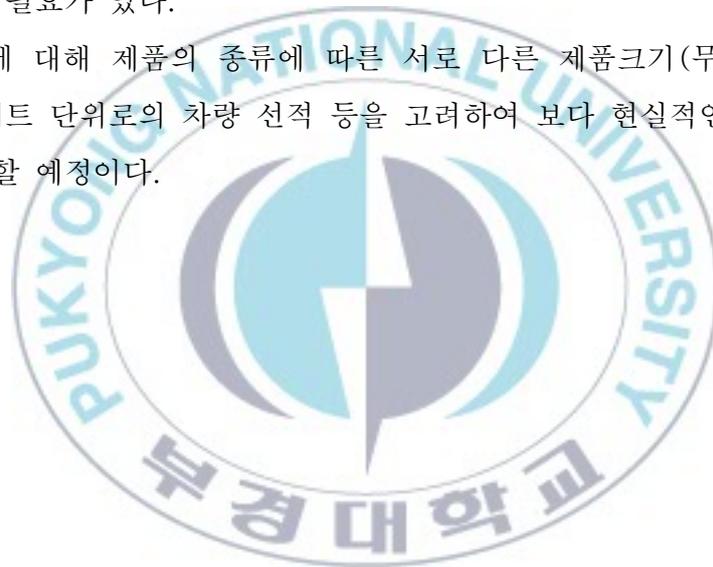
규모가 비교적 큰 문제의 경우, 계산 시간은 최소 1,500초에서 최대 2200초 정도 유전 알고리즘이 더욱 빠르게 계산해주었다. CPLEX 계산시간의 1/10정도의 시간으로 계산되며 도출된 최선해 또한 GA1은 -0.5%에서 -2.4%정도의 성능 차이를 보였다. 메모리 용량의 제약에 의해 10번의 실험 중 한 두개의 데이터에서 CPLEX는 해를 찾지 못하는 경우가 발생하였다.

결론적으로 작은 규모의 문제는 유전 알고리즘으로 제시된 방법이 최적해를 제시해주지는 못하며 상대적으로 평균 5초 정도 더 오래 걸리나 규모가 큰 문제에서는 상당히 효율적이므로 현실적인 문제, 즉 보다 복잡하

고 큰 규모의 문제는 제시된 유전 알고리즘의 방법이 좋다고 판단할 수 있다.

향후 연구과제로는 현재 유전 알고리즘의 Population, 교차변이, 돌연변이 확률을 변화시킴으로써 최선해(Best Solution)의 계산시간과 목적함수 값의 변화를 파악하여 좋은 최선해(Best Solution)를 짧은 계산시간에 제공하는 인자를 찾아 보다 효율적인 알고리즘을 개발하고자 한다. 또한, 문제 P 의 각 인자, 즉 제품수의 변화, 총 계획기간의 변화, 차량 형태의 종류 등 인자들의 변화가 목적함수와 계산시간에 어떻게 얼마나 영향을 주는지에 대한 결과 분석이 미흡한 상황이다. 그러므로 각 인자의 민감도 분석이 추가될 필요가 있다.

문제 P 에 대해 제품의 종류에 따른 서로 다른 제품크기(무게 및 부피 등)와 팔레트 단위로의 차량 선적 등을 고려하여 보다 현실적인 문제의 연구로 확장할 예정이다.



참고문헌

1. Kim, B. S. and W. S. Lee (2010), "A Genetic Algorithm for a Dynamic Lot-Sizing Problem with Delivery Time Windows", Journal of the Korean Production and Operations Management Society, Vol.21, No.4, pp.383-398
2. Kim, B. S. and W. S. Lee(2010), "A Genetic Algorithm for a Dynamic Lot-Sizing Problem with Delivery Time Windows and Freight Transportation Cost", The Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 2010 No.-, pp.1-6
3. Kim, B. S. and W. S. Lee(2011), " An Adaptive Genetic Algorithm for a Dynamic Lot-sizing and Dispatching Problem with Multiple Vehicle Types and Delivery Time Windows", J. of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 37, No.4, pp. 331-341.
4. Chen, W. H. and J. M. and Thizy(1990), "Analysis of Relaxations for the Multi-Item Capacitated Lot-Sizing Problem", Annals of Operations Research, Vol.26, pp.29-72.
5. Chandra, P. and M.L. Fisher(1994), "Coordination of Production and Distribution Planning", European j. of Operational Research, Vol.72, pp.503-57.
6. Dixon, P. and E. A.(1981), Silver, "A Heuristic Solution Procedure for the Multi-Item Single-Level, Limited Capacity, Lot-Sizing Problem", Journal of Operations Management, Vol.2, No.1, pp23-29.
7. Dogramaci, A., J. C., Panayiotopoulos, and N. R., Adam(1981), "The Dynamic Lot-Sizing Problem for Multiple Items under Limited Capacity", AIIE Transactions, Vol.13, No.4, pp.23-39.
8. Sancak, E. and F. S. Salman(2011), "Multi-item dynamic lot-sizing with delayed Transportation Policy", International Journal of Production Economics 131, pp595-603.
9. Eppen, G.D. and R. K. and Martin(1987), "Solving Multi-Item Capacitated Lot-Sizing Problems Using Variable Redefinition", Operations Research, Vol.35, No.6, pp.832-848.
10. Florian, M. and M. Klein(1971), "Deterministic Production Planning With Concave Constant Capacity Constraints", Management Science, Vol. 18, No.1, pp.12-20.
11. Florian, M. L. and J. K. and A. Rinnooy-Kan(1980), "Deterministic Production Planning : Algorithms and Complexity", Management Science, Vol.26, No.7, pp.374-384.

12. Fumero, F. and C. Vercellis(1999), "Synchronized Development of Production, Inventory, and Distribution Schedules", *Transportation Science*, Vol.3, No.3, pp.330-340.
13. Hwang, H. and K. I. Sohn(1985), "An Optimal Policy for Dynamic Transportation-Inventory Model with Deterioration Items", *IIE Transactions*, Vol.17, No.3.
14. Kleindorfer, P.R. and E. F. P. Newson(1975), "A Lower Bounding Structure for Lot-Sizing Scheduling Problems", *Operations Research*, Vol.23, No.2, pp.299-311.
15. Kuik, R., M. Salomon, L. N. Van Wassenhove, and J. Maes(1993), "Linear Programming Stimulated Annealing and Tabu Search Heuristics for Lot-Sizing in Bottleneck Assembly Systems", *IIE Transactions*, Vol.25, No.1, pp.62-72.
16. Lambert, A. M. and H. Luss(1982), "Production Planning with Time-Dependent Capacity Bounds", *European Journal of Operations Research*. Vol.9, No.4, pp.275-280.
17. Lambrecht, M. R. and H. Vanderveken(1979) "Heuristic Procedures for the Single Operation, Multi-Item Loading Problem", *AIIE Transactions*, Vol.11, No.4, pp.319-326.
18. Lee, C. Y.(1989), "A Solution to The Multiple Set-Up Problem with Dynamic Demand", *IIE Transactions*, Vol.21, No.3, pp.266-270.
19. Lee, C. Y. and V. Denardo(1986), "Rolling Planning Horizon: Error Bounds for The Dynamic Lot-Sizing Model", *Mathematics of Operations Research*, Vol.11, No.3, pp.423-432.
20. Lee, W. S. and Y. S. Ock(1998), "A Dynamic Lot-Sizing and Shipping Model with at Most one of Multiple Freight Container Types Allowed in Each Shipping Period", *J. of the Korean Society of Maintenance Engineers*, Vol.3, No.2, pp.65-82.
21. Lee, W. S. and J. H. Han(2001), "A Heuristic Algorithm for A Multi-Product Dynamic Production and Transportation Problem", *J. of the Korean Society of Maintenance Engineers*, Vol. 2001, No.4, pp.675-678.
22. Lee, W. S. and J. H. Han(2001), "A Multi-Product Dynamic Lot-Sizing and Shipping Model", *J. of the Korean Society of Maintenance Engineers*, Vol.6, No.2, pp.83-102.
23. Lee, W. S. and C. R. Sox, and S. J. Cho(2002), "A Heuristic Algorithm for a Multi-Product Dynamic Lot-Sizing and Shipping Model", *IIE Annual Conference 2002*, Orlando, U.S.A.
24. Lee, W. S. and C. R. Sox, and C. H. Kim(2002), "A Dynamic Production and Transportation Model with Heterogeneous Vehicle Types", *The 7th Annual International Conference on Industrial Engineering*, Pusan, KOREA.

25. Lee, W. S.(2009), "A Dynamic Ordering, Shipping, and Outbound Dispatching Problem with Delivery Time Windows", The Korean Institute of Industrial Engineers, Vol.2009, No.10, pp. 517-523
26. Lee, W. S and B. S. Kim(2012), "Meta-Heuristic Algorithms for a Multi-Product Dynamic Lot-Sizing Problem with a Freight Container Cost", J. of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 11, No.3, pp. 288-298.
27. Lee, W. S. and S. G. Koh and B. S. Kim. (2012), "A Genetic Algorithm for Dynamic Inbound Ordering and Outbound Dispatching Problem with Delivery Time Windows", J. of the United Kingdom. Engineering Optimization, Vol. 44, No.7, pp. 859-874
28. Love, S. F.(1973), "Bounded Production and Inventory Models With Piecewise Concave Costs", Management Science, Vol.20, No.3, pp.313-318.
29. Maes, J. and L. N. Van Wassenhove(1998), "Multi-Item Single-Level Capacitated Dynamic Lot-Sizing Heuristics: A general Review", J. of Operational Research Society, Vol.39, pp.991-100.
30. Millar, H. H. and M. Yang(1993), "An Application of Lagrangean Decomposition to the Capacitated Multi-Item Lot Sizing Problem", Computers Operations Research, Vol.20, No.4, pp.409-420.
31. Sobel, M. J.(1970), "Smoothing Start-Up and Shut-Down Costs: Concave Case", Management Science, Vol.17, No.1, pp.78-91.
32. Sung, C. S. and W. S. Lee(1994), "Rolling Schedules for a Dynamic Lot-Sizing Problem with Start-Up Costs", Engineering Optimization, Vol.22, No.2, pp.137-152.
33. Sung, C. S., and W. S. Lee(1995), "Setup Cost Reduction in a Dynamic Lot Size Model with Multiple Finite Production Rates", Engineering Optimization, Vol.24, pp.19-37.
34. Swoveland, C.(1975), "A Deterministic Multi-Period Production Planning Model With Piecewise Concave Production and Holding-Backorder Costs", Management Science, Vol.21, No.9, pp.1007-1013.
35. Thizy, J. M. and L. N. Van Wassenhove(1985), "Lagrangean Relaxation for the Multi-Item Capacitated Lot-Sizing Problem: A Heuristic Implementation", IIE Transactions, Vol.7, No.4, pp.308-313.
36. Thizy, J. M.(1991), "Analysis of Lagrangean Decomposition for the Multi-Item Capacitated Lot-Sizing Problem", INFOR, Vol.29, No.4, pp.271-283.
37. Trigeiro, W. W.(1985), "A Dual-Based Heuristic for the Capacitated Lot-Sizing Problem", PhD thesis, Graduate school of Business and Public Administration, Cornell university.

38. Wagner, H. M. and T. M. Whitin(1958), "Dynamic Version of the Economic Lot Size Model", Management Science, Vol.5, No.1, pp.88-96.
39. Zangwill, W. I.(1966), "Deterministic Multi-Period Production Scheduling Model with Backlogging", Management Science, Vol. 13, No.1, pp.105-119.
40. Zangwill, W. I.(1969), "A Backlogging Model and a Multi-Echelon Model of a Dynamic Lot Size Production System - A Network Approach", Management Science, Vol.15, No.9, pp.506-527.



논문을 마치며..감사를 전합니다.

많은 분들의 도움과 지도편달, 응원의 마음에 힘을 얻어 이렇게 논문 한편을 완성할 수 있었습니다. 늘 그렇지만 끝날 때쯤 되니 부족했던 점만 남아 비록 끝을 맺는 논문이지만 아쉬움이 많은 것 같습니다. 6년 간의 배움, 친구들의 도움, 교수님의 훈육, 저를 향한 가족들의 믿음이 이 한편에 녹아 완성된 것이니 제가 만든 논문 한편이라 말하기 부끄럽습니다.

졸업을 앞둔 진로의 길에 방황하고 있던 저에게 한 가지 길을 보여주셨고 다양한 경험과 배움을 알게 해주신 이운식 교수님께 가장 큰 감사를 드리고 싶습니다. 교수님 밑에서 연구를 진행하며 다양한 경험을 하고, 제가 방황하거나 실수를 할 때면 질타와 함께 항상 길을 제시해 주시며 곁에서 신경 써 주셔서 이렇게 마침표를 찍을 수 있었습니다. 감사합니다. 그리고 논문 진행에 많은 조언과 질타를 아끼지 않으신 김병수 교수님께도 많은 감사를 드립니다.

항상 제게 관심 가져주시고 따뜻하게 대해주신 옥영석 교수님, 교수님들 중 가장 먼저 제 이름을 기억해주시고 항상 믿어주셨던 점 감사 드립니다. IT쪽 수업을 힘겨워 하던 제게 학구열과 좌절감을 맛보게 해주신 김민수 교수님!! 이상하리만치 교수님은 소통이 너무나도 잘 되는 느낌을 받았습니다. 엄하고 어려운 교수님의 이미지가 아닌 멋진 교수님에게 수업을 들을 수 있어서 감사했습니다. 그리고 다양하고 폭넓은 수업을 들으며 경제성 공학의 김병남 교수님께 대학 수업의 난해함과 재미를 배우고, 통계의 권혁무 교수님과 김영진 교수님께 좌절감과 밤샘 공부의 경험을, 다른 전공 교수님들께 피가 되고 살이 되는 배움을 통해 오늘의 제가 있을 수 있었습니다. 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.

그리고 나와 함께 논문을 진행하며 많은 의지가 되고 힘이 되었던 중환아, 힘들 때 서로 다독여 줄 수 있었고 많은 토론으로 배울 수 있어서 고

맙다. 논문 진행 과정 중에 프로그램 작성 때문에 힘들어 할 때 내게 많은 도움과 가르침, 술 사준 기범이 형, 형이랑은 학부 2학년때부터 참 질기게도 붙어 다녔는데 항상 고마웠고 나중에 술 한잔 하자!! 논문이 막혀 힘들 때 같이 찡찡대며 수다로 스트레스 풀었던 연정아, 논문 끝났다!! 회포 풀자!! 고맙다!! 최적화 연구실 후배들아, 너희랑은 3년 정도 같이 생활 한 것 같은데 참 많은 정이 들었다. 한 명 한 명 부르기에는 너무 많다. 그래도 같이 부대끼면서 추억도 많고 즐거움도 많고 아는 것도 없으면서 그래도 선배랍시고 날 잘 믿고 따라주고 챙겨줘도 고마웠다.

마지막으로 어머님 아버님 이제 제가 학생 신분을 벗고 사회 초년생으로 세상에 첫걸음을 내딛습니다. 항상 저에게 사랑과 믿음으로 봐주시고 드린 것도 없이 받기만 하였던 제가 이제 사람 구실을 해볼까 합니다. 항상 사랑합니다. 그리고 행님아, 몇 달 후에 있을 결혼 축하해!! 부럽다!! 형수님도 축하해요!! 땡 잡았어요!!

다시 한번 제게 힘을 주신 분들께 진심으로 감사를 드리며 이것으로 저의 학교 생활을 마무리하며 정든 학교를 떠나려 합니다. 이 글을 읽으시는 모든 분들의 앞일에 성공이 가득하시길 빌겠습니다.

채승규(SyengKyu Chae) 올림