

중소 바이오연료 기업의 물류 문제 해결을 위한 진화적 알고리즘 기반 배송 방법론

김수환 · 류준형[†]

동국대학교 경주캠퍼스 창의융합공학부
38066 경상북도 경주시 동대로 123
(2018년 9월 28일 접수, 2018년 11월 6일 수정본 접수, 2018년 11월 13일 채택)

An Evolutionary Algorithm based Distribution Methodology for Small-scale Biofuel Energy Companies

Soo whan Kim and Jun-Hyung Ryu[†]

Department of Creative Conversion Engineering, Dongguk University, 123, Dongdae-ro, Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do, 38066, Korea
(Received 28 September 2018; Received in revised form 6 November 2018; accepted 13 November 2018)

요 약

본 논문은 중소 바이오 연료 기업의 공급 사슬 망이 기존 화석연료업체와 경쟁하기 위해, 최소의 비용으로 수요에 대응할 수 있는 공급 계획을 수립할 수 있는 방법론을 제안한다. 최소비용으로 공급하기 위해 수요처들 사이의 최적 경로와 공급량을 동시에 고려하여 공급 계획을 수립하였다. 이렇게 수립된 모델의 해를 계산하기 위해 진화론적 방법을 이용하였다. 제안된 방법론을 이용할 때 중소기업의 어려움을 고려하여 과도한 투자비의 부담이 큰 상용 소프트웨어 대신 문제고유의 특성을 고려하여 최적 경로를 계산할 수 있다. 서울의 각 지역별로 바이오 연료를 공급하는 사례를 통해 제안된 방법을 수치적으로 설명하였다.

Abstract – Most biofuel companies are in a small scale with short experience of operating the entire supply chain. In order to compete with existing fossil fuel competitors, renewable companies should be more responsive to demand. It is financially important to reflect this in the decision supporting system of the company. This paper addresses an evolutionary algorithm based methodology for the distribution problem of renewable energies. A numerical example was presented to illustrate the applicability of the proposed methodology with some remarks.

Key words: Renewable energy, Distribution problem, Ant colony optimization

1. Introduction

화석연료의 과도한 사용으로 인한 지구온난화 때문에 최근 기후 변화 문제가 심각해졌고 이를 해결하기 위해 재생에너지를 도입하여 화석연료를 대체하려고 하고 있다[1]. 바이오매스를 기반으로 한 바이오 연료는 다음의 두 가지 측면에서 여러 재생에너지원들 중에서 특히 중요하다고 할 수 있다. 첫째, 바이오 연료는 석유를 직접 대체할 수 있어[2] 새로운 에너지원의 도입에 따른 설비 투자 변경 비용이 적게 소요된다. 둘째, 화석연료와 유사한 탄소 기반의 에너지원이면서도, 사용에 따른 이산화탄소 배출량이 증가하지 않는 탄소중립(Carbon Neutral)적 성격으로 이산화탄소 배출량 저감에 기여할 수 있다[3].

이러한 장점들을 가지고 있음에도 불구하고, 국내의 경우 바이오 연료를 포함한 실질적 재생에너지의 사용 비중은 빠르게 증가하지 못하고 있다. 재생에너지의 비중을 확대하기 위해서는 기존 화석연료 기업들만큼 재생에너지 기업이 경쟁력을 가지고 있어야 한다. 기업의 경쟁력은 원재료 구매, 생산, 운송, 판매 등 전체 영역을 모두 포함해서 결정된다. 즉 바이오연료 기업의 전체 가치 사슬망(Value Chain)의 경쟁력 확보가 중요하다. 바이오 연료 기업의 경쟁력 확보를 위해서는 우선적으로 바이오 연료의 경제성 확보가 중요하다. 기본적으로 우수한 성능의 제품을 개발하고, 이를 저렴한 가격으로 생산할 수 있어야 한다. 이렇게 생산된 바이오 연료를 저렴한 비용으로 적기에 여러 곳에 위치한 고객들에게 공급할 수 있는 물류 체계까지 갖추어야 한다. 특히 바이오연료 제품 공급 사슬망 중에서 제품 저장소(warehouse)나 생산 공장에서 소매상에 연결되는 판매 네트워크를 구축하는 것이 중요하다[4].

중요성을 강조하는 것은 쉽지만, 그 중요성을 개별 기업의 정책에 반영하는 것은 매우 어려운 문제이다. 특히 바이오연료 기업은 대

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: jhryu@dongguk.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

부분 새로 만들어진 신생 기업인 경우가 많다. 신생 업체는 이미 오랜 기간 동안 경험을 통해 안정된 공급사슬망을 갖춘 기업과 비교하여 많은 어려움을 가지고 있다. 공급망을 구축하는 것은 많은 시간과 비용을 필요로 하는 것은 물론이며, 여러 시행 착오를 통하여 구축되는 경우가 많기 때문이다[5].

새롭게 공급 사슬망을 구축하기 위해서 현실성 있는 방안을 수립해야 한다. 소규모 산업체의 경우 초기 자본이나 역량이 기존 대기업과 대비하여 부족한 경우가 많다. 소규모의 공급 사슬망도 제대로 역할을 수행하기 위해서는 가장 필요한 것이 가능한 많은 소비자들이 제품을 사용할 수 있게 하여야 한다. 이를 통해 수요의 변화에 적극적으로 대응할 수 있다. 하지만 초기 자본의 충분하지 못하기 때문에 처음부터 넓게 분포된 소비자들에게 공급할 수 있는 대규모의 공급 사슬망을 갖출 수는 없다. 현실적인 방안은 일부 지역들에 진출하여 소비자들의 반응을 보고, 이렇게 창출된 수요에 빠르게 대응하는 과정을 통하여 공급 사슬망을 확대시켜야 한다.

물류 측면에서 특정 지역들에서 다른 지역들보다 수요가 증가할 때, 여기에 먼저 대응할 수 있기 위해서는, 물류 측면에서 자체적인 의사 결정을 할 수 있는 의사결정체계를 구축하고 있어야 한다. 체계적으로 문제를 정리하고, 합리적인 방법으로 그 문제의 해(solution)를 구하여야 한다.

문제의 해를 구하기 위한 현재까지 알려지 가장 바람직한 체계는 의사 결정(Decision-making) 문제를 수학적으로 재구성(Mathematically Formulation)해서 그 수학 모델의 최적해를 구하고, 실제 사례에 적용하는 것이다. 이를 통해 시행 착오를 최소화하면서 빠른 시간 내에 경쟁력을 갖출 수 있을 것이다.

바이오연료 기업이라고 해서 무조건 바이오연료 생산에만 관심을 두는 것이 아니라, 기업의 활동을 극대화할 수 있는 의사 결정 체계(Decision-making framework)를 갖출 수 있어야 한다. 중소기업의 경우 상용화된 알고리즘이 구현된 상업용 프로그램을 구매하여 이용하는 것보다, 기업 상황에 적합하게 조정되고, 구매 가격도 저렴한 계산 체계를 구축하는 것이 바람직하다.

2. Literature Review

공급 사슬망에 대한 많은 연구들이 있었지만, 중소형 공급 사슬망을 어떻게 최적으로 운영할 것인가에 대해서는 연구가 제대로 진행되지 못했다. 중소 에너지 기업과 같은 소규모 기업에서 생산자가 물류 중간 단계 조직을 개별적으로 가지지 못한다. 즉 생산에서 소매 판매소까지 같이 한 번에 고려해야 한다[6]. 최종 판매가 진행되는 소매점들의 수는 일반적으로 생산 공장이나 물류 저장소의 수보다 매우 많을 수 밖에 없다. 다수의 차량을 사용하여 출발지에 있는 상품들을 소매점들에게 배송할 때 최소 비용을 사용하여 배송 경로를 구성하는 문제를 고려해야 한다.

이와 관련하여 기존 연구에서 가장 연관된 분야는 차량경로문제(Vehicle Routing Problem, VRP)[7]라 할 수 있다. VRP 문제들 중에서 특히 각 고객들의 요구량과 배달 트럭의 용량을 설정한 문제 형태를 차량 운송 경로 문제(Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP)[7]라고 한다.

한편 CVRP 문제는 순회 외판원 문제(Travelling Salesman Problem, TSP)[8]와 상자 채우기 문제(Bin Packing Problem)[9]를 동시에 고려한 형태라고 할 수 있다. 차량경로문제는 N개의 판매소에 C의 용

량을 가진 트럭으로 최소 거리 또는 최적의 경로를 찾는 의사결정 문제이다. 각 차량은 하나의 물류창고에서 출발하면 최소 하나의 지점을 방문한 후 물류창고로 돌아가는 경로를 설정한다. 한 지점의 수요량은 전량 모두 단일 차량으로 공급하며, 한 차량에 할당된 판매점의 수요의 합은 트럭의 용량을 초과하지 않아야 한다. 각 차량의 용량은 동일하며, 창고와 지점간 이동시 발생하는 비용은 각 트럭이 경로를 따라 이동시 발생하는 거리의 합이다. 용량 차량경로문제는 각 차량의 거리 비용의 합과 차량의 수를 최소화하는 것을 목적으로 한다.

차량경로문제는 조합 최적화(Combinatorial Optimization) 문제의 한 가지 분야로 구분 지을 수 있다. 이 문제는 문제의 크기가 커질수록 계산 시간이 지수적으로 증가하는 NP complete[7]한 성격을 가지고 있다[11,12]. 이러한 형태의 문제를 해결할 수 있는 방법론으로는 최적 해법(Exact Optimization Method)과 경험적 해법(Heuristic method)로 크게 두가지로 구분 할 수 있다. 최적 해법은 가능한 모든 경로를 탐색하여 조사하는 방법으로 문제의 크기에 따라 최적 해를 구하는 시간이 매우 오래 걸린다. 발견적 해법은 모든 경우의 수를 직접 찾지 않고, 다양한 지역적 탐색(Local Search) 기법을 사용하여 여러 가지 해들의 정보를 지능적으로 활용하여, 그 중에서 가장 우수한 해를 가장 빠른 내에 얻는 것을 말한다. 경험적 해법은 최적 해에 근사한 답을 찾으며, 최적 해법보다 좀 더 빠르고 효율적으로 근사 값을 얻을 수 있다.

2-1. 차량 경로 문제

차량 경로 문제는 차량이 방문할 목적지들의 방문하는 순서를 정하는(Sequencing) 부분도 고려해야 하며, 그 목적지들이 필요로 하는 수요의 수량의 합도 고려해야 한다. 전자에 대해서는 잘 알려진 순회외판원문제(Traveling Salesman Problem, TSP)가 순서를 최소화하는데 직접 적용할 수 있을 것이다. 후자에 대해서는 정해진 대상들의 수요를 적절하게 나누어 합하는 Bin Packing의 한 방식으로 구분 지을 수 있다. 따라서 TSP나 bin packing의 개별적 문제에 비해 훨씬 어려운 문제라고 할 수 있다. VRP 문제가 현실 상황에서는 그 용량에 제한이 되어 있다는 것이 일반적이며, 이러한 문제를 제약된 차량 운송 경로 문제(Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP)[10]라고 구분 지을 수 있다.

관련 연구들에 대해서 처음에는 제한된 용량을 가진 차량으로 모든 고객 지점에 배달하는 경로를 찾는 것에 관심을 가졌다. Dantzig와 Ramser[7]가 하나의 지점(depot)에서 출발과 도착을 하여, 고객들에게 배달하는 경로를 최소화하는 방법에 관심을 가졌다. 용량 제한이 있는 차량경로문제도 또한 NP-hard 문제이기 때문에 많은 연구들이 본 문제의 해를 찾기 위해 경험적 해법을 주로 사용했다. 하지만 경험적 해법은 새로운 문제를 해결하기 위해서는 매번 그 문제에 대하여 새로운 해결법을 개발해야 한다. 또한 적용된 방법을 통해서 얻어진 해가 반드시 우수한 결과를 얻을 수 있다고 보장할 수는 없다. 이에 대한 대안으로, 메타휴리스틱 기법을 적용시켜 최적의 해를 찾기 위해 연구들이 늘어나고 있다. 개미군집(Ant Colony) 알고리즘(Bullnheimer et al., 1999)[13], 유전자 알고리즘(Baker & Ayechev, 2003; Berger & Barkaoui, 2003)[14], 타부 탐색 알고리즘(Gendreau et al., 1994; Gendreau et al., 1999)[15,16] 등이 대표적이다.

차량경로문제의 해법 관련하여, Magnanti[17]는 조합적 특성을

갖고 있는 차량경로문제를 해결하는 혼합정수계획법(Mixed Integer Programming, MIP)에 기반한 수학 모델을 제시하였다. Laporte[18]는 차량경로문제의 최적해를 구하는 Clarke and Wright algorithm, sweep algorithm, Christofides-Mingozzi-Toth two-phase algorithm, tabu search algorithm 등의 여러 방법론들의 장단점을 비교하고, 근사값을 구하는 알고리즘을 제안하였다. 차량경로문제의 최적해를 구하는 과정은 Lenstra와 Rinnooy Kan[19]의 연구에서 지적하였듯이, 수요 지점의 수가 늘어날수록 계산 시간이 매우 급격하게 증가하고, 계산 장치의 성능과 많은 용량(resource)이 늘어난다고 알려져 있다.

Clarke와 Wright[20]는 각 차량이 서로 다른 다수의 지점을 거쳐서 창고로 돌아오는 것보다 한 대의 차량이 다른 지점을 모두 방문하고 돌아오는 경우 이동 거리가 최소화시키는 saving 알고리즘을 제시했다. Reimann et al.[21]은 Saving 알고리즘으로 초기 경로를 구성한 후 Sweep 알고리즘을 이용하여 임의로 여러 개의 하위 문제로 나누어 각각의 분할된 문제를 다시 Saving 알고리즘과 지역 탐색을 사용하여 차량경로문제를 해결하는 방법을 제안하였다. Goldberg와 Lingle[22]는 순환 외판원 문제에 유전 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)를 적용하였고, Bullnheimer et al.[23]은 차량경로문제에 개미 군집 최적화(Ant Colony Optimization, ACO)을 처음으로 적용하였다. Donati et al.[24]은 차량경로문제에 시간 제약을 해결 하기 위해 개미 군집 최적화 방법을 활용하여 차량 이동 횟수와 시간을 최소로 하는 것을 목적 함수로 하였다. 그렇지만 교통 조건에 따라 값이 크게 변하는 특징을 보였다. 국내에서는 홍명덕 외[25] 연구진이 개미 군집 최적화 방법을 다양한 지점에 있는 고객의 배달 시간과 각 고객의 요구량을 모두 만족하며 최소 이동 경로를 찾는 방법을 제안하였다. 고준택 et al.[26]은 차량경로문제에 이분 시드 검출 방법 휴리스틱 알고리즘을 제안하였고, 3단계로 구성되어 비교적 빠른 시간 내에 최적 근사값을 찾아내었다. 본 논문에서는 여러 메타 휴리스틱 방법 중에서 개미 군집화 방법에 대해 집중하겠다.

2-2. 개미 군집 최적화 방법

개미 군집 최적화 방법은 처음에는 개미 시스템(Ant System, AS)이라 명명하여 자연 속 개미들의 움직임을 모방하여 개미가 군락에서 먹이를 찾아갈 때 분비하는 페로몬을 이 다음에 거쳐가는 개미들이 페로몬의 농도와 정보를 활용해서 더 나은 경로를 구축하게 되는 원리를 메타 휴리스틱 알고리즘에 활용한 것으로 Colormi et al.[27]가 제안하였다. 이후 개미 시스템을 바탕으로 보다 여러가지 조합 문제의 해를 구하기 위해 개미 군집 최적화 방법(Ant Colony Optimization, ACO)을 Dorigo et al.[28]이 제안했다.

Bullnheimer et al.[29]는 개미 군집 최적화 방법을 활용 하여, 인공 개미를 통해 경로를 설정한 후 지역 탐색을 하는 기법을 제안했다. Gambardella et al.[30]은 개미 군집을 독립적으로 두개로 나누어 경로를 찾고 또 각 개미 군집이 차량 운행 거리와 차량 수를 최적화 해서 정보를 교환하는 시스템(Multiple Ant Colony System for VRPTW, MACS-VRPTW)을 제안 했다. Colormi and Dorigo[31]은 Job-shop scheduling 문제에 개미 시스템을 적용하여 매개변수 설정에 따른 솔루션 값을 비교 분석한 결과를 내었지만 최대 개미 수는 2천마리로 제한되었다. Cordon et al.[32]은 TSP 문제에 개미 시스템을 적용하는 경우에 페로몬 누적 량을 다르게 하여 가장 좋은 결과와 가장 나쁜 결과에 따라 페로몬을 누적 방법 세 가지의 결과를 비교분

석 하였다. Stutzle et al.[33]은 MAX-MIN Ant System을 TSP 문제에 적용해서 페로몬 업데이트 중에 각 지점에 페로몬의 양을 최대치와 최소치의 한계를 두어 지역 해로 수렴 되는 것을 방지했다. Gambadella et al.[34]은 일반적인 개미 시스템에서 보다 새로운 페로몬 업데이트 방식이 적용된 하이브리드 개미 시스템(Hybrid Ant System, HAS)-QAP을 제안하고 메타 휴리스틱 알고리즘 하이브리드 유전 알고리즘, 타부 서치, 시뮬레이티드 어닐링 등과 비교분석 하였다. Geem et al.[35]은 개미 군집 최적화의 성능을 향상 시키는 방법으로 파라미터 값의 중요성을 언급하고 개미 시스템의 성능을 요구 사항에 따라 시스템을 제어하고 향상 시킬 수 있는 파라미터들의 조합법에 대한 연구를 하였다.

2-3. 상자 채우기 문제

상자 채우기 문제는 다양한 크기를 갖는 유한 개의 항목들을 가능한 적은 상자들로 채우는 것이다. 여기서 각 상자는 일정한 용량을 갖는다. 상자 채우기 문제는 NP-Hard 문제의 한 분류에 속하며, 문제의 크기가 커질 수록, 다항 시간(Polynomial time) 이내에 최적해를 찾아낼 수는 없다고 알려져 있다.

상자 채우기 문제를 해결하는 간단한 휴리스틱(경험법칙) 방법으로 FF (First Fit), FFD(First Fit Decreasing), BF (Best Fit), 그리고 BFD (Best Fit Decreasing)의 4가지 방법이 있다[36]. FF는 상자를 순서대로 검사해 가면서 해당 항목을 채울 수 있는 첫번째 상자에 채운다. FFD는 항목을 내림차순 정렬을 한 후 FF를 수행한다. BF는 모든 상자를 검사해서 각 상자에 항목을 채울 경우 남은 영역이 가장 적은 상자에 채운다. BFD는 항목을 내림차순 정렬을 한 후 BF를 수행한다.

3. 중소 바이오연료 기업의 물류 운송 문제

차량 운송 경로 문제는 무작위의 N 개 도시의 위치와 각 도시간의 비용이나 거리가 주어졌을 때 모든 도시를 단 한번만 방문하고, 처음의 출발점으로 돌아오는 최소 거리를 구하는 최적화 문제이다. 기존의 각 도시는 일정한 요구량(Demand)을 가지고 있고, 차량은 일정한 용량(Capacity)을 가지고 있다. 이 문제의 형태를 벤치마킹하여 본 논문에서 다루려는 중소 바이오연료 기업의 물류 문제는 다음과 같이 서술할 수 있다.

지리적으로 서로 다른 위치에 있는 N 개의 고객이 존재하고, 각 고객 i 는 q_i 의 수요량을 갖는다. 기업에서 이동 경로 상에 K 대의 차량이 있고, 각 차량의 최대 용량은 Q , 이동거리는 최대 L 로 제한되어 있다. 모든 차량은 물류창고 한 지점에서 출발해서 모든 고객을 한 번에, 또 한 지점은 한 차량을 통해 필요한 수요량을 공급해야 한다.

n 개의 지점과 각 지점은 좌표 i, j 와 요구량 d_i 을 가지는 것으로 가정하자. 이 때 창고를 의미하는 첫번째 지점 0과 n 개의 지점을 포함하여 V 라고 한다.

최적의 차량 대수를 K 라고 하고, 이 차량의 용량은 C 로 제한한다. 모든 지점을 한번씩 또 한 대의 차량만 방문해야 하고, 모든 차량은 시작점과 종료를 같은 곳에서 해야 한다. 차량의 적재 가능한 용량이 정해져 있다. 연구[7]은 이러한 제약조건을 만족하면서 비용을 최소화시키는 경로를 찾는 다음의 모델을 제안하였다.

n: Number of Places to visit
 $V = \{0, 1, \dots, n\}$, 0 mean depot
 $i, j = 0, 1, 2, \dots, n$ Customer Coordinates
 K: Number of vehicle
 C: Vehicle Capacity
 d_i : Demand of customer (i)
 $x_{ij} \begin{cases} 1; & \text{if the point passes 'i' to point 'j'} \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases}$
 u_i : load of the vehicle after visiting customer i

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1, \text{ for all } j \in V \setminus \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1, \text{ for all } i \in V \setminus \{0\} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0} = K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{j0} = K \quad (5)$$

$$u_i - u_j - Cx_{ij} \leq C - d_j, \forall i, j \in V \setminus \{0\}, i \neq j, d_i + d_j \leq C \quad (6)$$

$$d_i \leq u_i \leq C, \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (7)$$

$$x_{ij} = \{0, 1\} \forall i, j \quad (8)$$

식 (1)은 총 이동거리를 최소화 하는 목적 함수식이다. 식 (2)와 (3)은 모델을 구축하는데, 모든 수요 지점은 한 대의 차량으로 각각 한 번씩만 방문을 해야함을 뜻한다. 식 (4)와 (5)는 각 트럭은 출발점으로 다시 돌아와야 한다는 조건을 표현한다. 식 (6)과 (7)은 각 차량의 최대 적재 가능한 용량에 제약된다는 것을 뜻한다. 식 (8)은 이진 변수중의 하나를 선택하게 하여, 출발점을 포함하지 않는 경로를 생성하지 않게 한다.

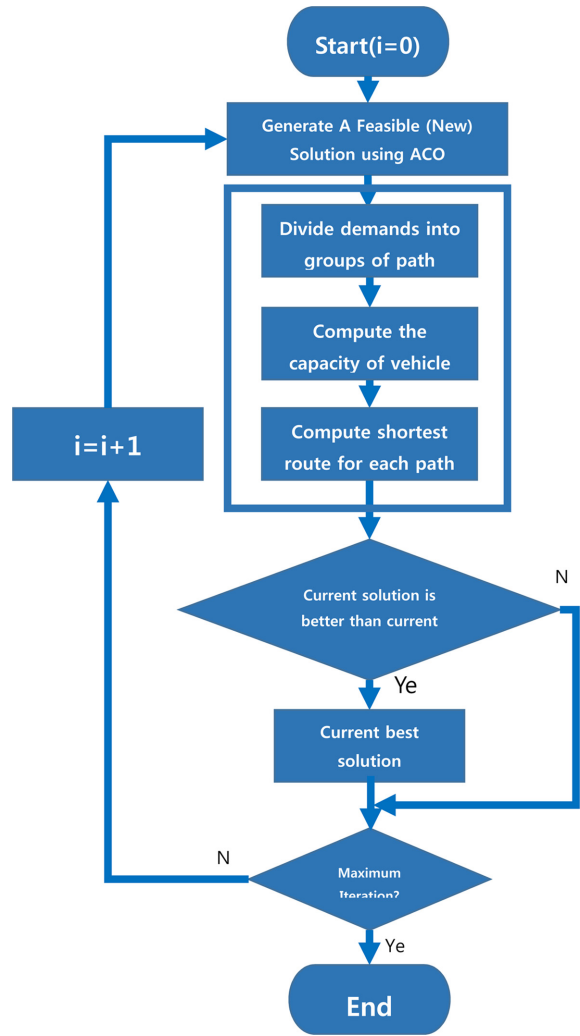


Fig. 2. The proposed computation decision flow.

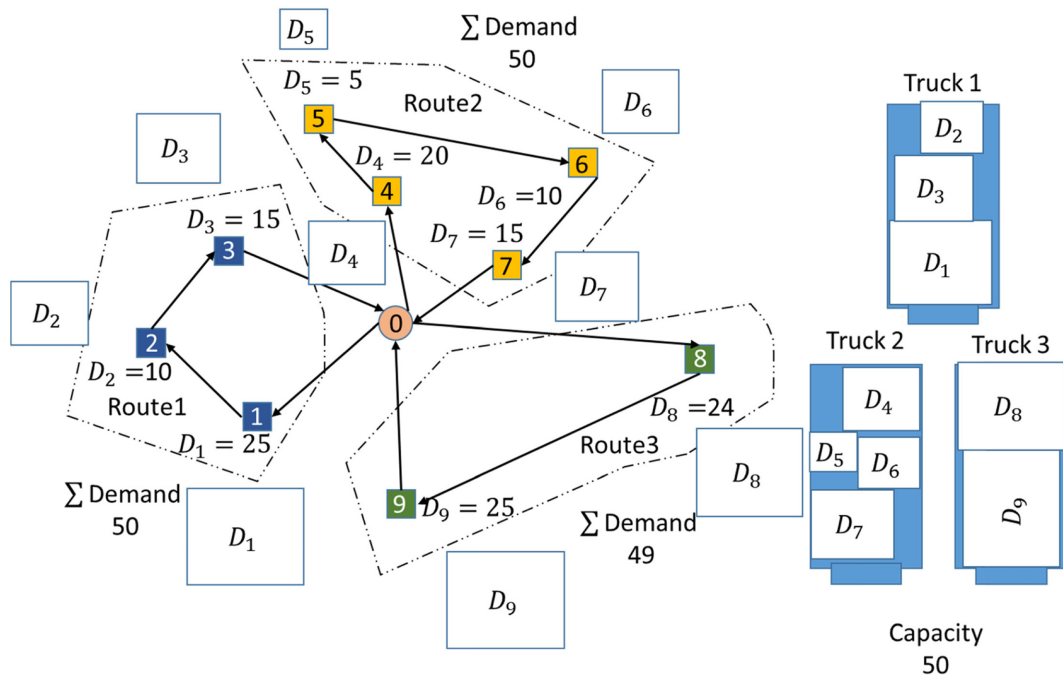


Fig. 1. Example illustration of Renewable Energy Distribution Problem.

바이오연료의 물류 문제는 Fig. 1과 같이 도식화 할 수 있다.

Fig. 1은 재생에너지 운송 네트워크의 전형적인 사례를 그림으로 보여주고 있다. 즉 각각의 수요량을 가진 아홉 곳의 수요처가 분포되어 있는 네트워크에 바이오연료를 공급해야 한다. 여기서 운송 차량의 1회 운송량에 제약되는 가운데 운송 비용을 최소화하면서 최단 시간에 공급할 수 있는 운송계획을 수립하는 것이 중요하다. 즉 고객이 필요로 하는 시기에, 최소 비용으로 제품을 공급할 수 있어야 한다는 원칙이 바이오연료 기업에서도 적용되어야 한다는 것이다.

본 논문에서 재생에너지 물류 문제를 해결하기 위한 계산 방법론으로 Fig. 2에 나타내었다. 처음 알고리즘이 실행되면 ACO를 사용하여 기본적 제약조건을 만족시키는 최초 해를 생성한다. 이 최초 해의 각각의 경로를 따라 진행되는 Demand의 합을 구한다. 그리고 이를 운송하기 위한 차량의 용량을 계산한다. 그리고 이렇게 나누어진 수요처들을 운송하기 위한 최단 경로를 계산한다. 사용되는 차량의 Capacity를 넘지 않으며, 그 경로가 이전 경로와 비교하여, 짧은 경로일 경우 현재 단계 i에서 최적해로 선정된다. 최대 반복횟수까지 이러한 과정을 반복하면서, 더 좋은 해를 찾는다. 또한 더 이상 이전 해와 최적 해의 차이가 크지 않다고 판단이 된다면 계산된 최적 해의 경로와 길이와 그룹이 최종 최적해가 된다.

4. Numerical Example

본 논문에서 제시한 방법론의 응용 가능성을 다음의 사례를 통해 구체적으로 설명하겠다.

차량용 바이오 연료를 한국의 서울 특별시에 공급하고자 한다. 서울 전체 지역이 판매 주유소들이 있어야 하겠지만, 아직은 초기

라, 이 제품을 판매하는 주유소는 많지 않아서 각 구에 1군데 정도 있다. 이 주유소들의 위치와 현재 수요들은 Table 1에 정리되어 있다. 바이오 연료 생산 기업의 입장에서는 이 수요처들의 추가 주문량만큼을 바로 배송해야 한다. 하지만 제품을 공급하기 위해서는 아직 물류 네트워크가 아직 정착되지 않은 단계이므로 소수의 운송 트럭만이 준비되어 있다. 제품의 판매 빈도 및 수량이 각 수요처 별로 각 time period 마다 서로 다르다. 다시 말하면 Table 1에 나열되어 있는 수요는 고정된 것이지만 실제로는 각 수요처 별로 매번 다른 수요량을 요구할 수 있다. 이렇게 매 번 다른 수요가 생길 경우에는 최단 시간 내에, 최소 비용으로 공급할 수 있는 공급 물류 네트워크를 구축해야 한다.

여기서 중소기업이기 때문에 초기 투자비에 여유가 없다. 따라서 물류 의사 결정 체계에 기존 수학적 방법에 기반한 최적화 알고리즘을 비싼 가격에 도입할 수 없다. 따라서 진화적 알고리즘에 따라 이 기업의 상황을 최적으로 정리할 수 있어야 한다.

본 논문에서 제안한 방법을 MATLAB로 구현되어, E5-2687W CPU @ 3.10GHz, 32GB RAM 환경 하에서 실행되었다. Table 1에 제시된 자료는 서울에 있는 25개 구청의 위치를 x, y 좌표로 표시하였으며 Demand는 서울시 전체인구에서 각 구가 차지하는 비율을 환산하여 선정했다.

Fig. 3은 중구청을 중심으로 CVRP를 수행했을 때 Best Route와 필요한 트럭 수를 보여주고 있다.

Table 2에 나와 있는 각 개별 트럭은 중구를 시작으로 하여 Bin Packing Problem으로 차량의 Capacity와 각 구청의 Demand를 고려하여 그룹화 되어있는 구청들을 순회한 결과이다.

Table 2는 출발지를 바꾸어 가며 CVRP를 수행 했을 때 어느 구청에서 출발하면 Best Route가 가장 짧게 나오는 지와 또 필요한 트럭 수, 마지막으로 MATLAB이 계산하는데 걸린 시간을 정리하였다.

Fig. 4는 Table 2에 나와있는 각 구청 별 최단 경로(Best Route)를 그래프로 비교하였다. ACO 알고리즘의 특성상 어느 정도의 우수한 값이 찾아지면, 그 주변에서 크게 변하지 않는 결과를 보여주었다.

서울에 있는 각 구청의 위치와 각 사이 거리로 CVRP를 수행하였다. Depot의 위치를 각 25개의 구청 별로 모두 수행 했을 때 가장

Table 1. Geographical location lists of demands

Office	x-coordinate	y-coordinate	Demand (unit)
1	296	198	50
2	250	232	20
3	220	399	60
4	198	338	50
5	342	72	60
6	303	124	40
7	326	56	40
8	153	314	50
9	386	170	50
10	160	248	50
11	130	370	50
12	149	429	30
13	206	219	40
14	193	150	60
15	105	330	50
16	79	261	70
17	329.5	333.5	60
18	368	295	40
19	313	398	50
20	404	337	70
21	322	252	40
22	277	253	20
23	323	226	40
24	430	300	50
25	265	303	30

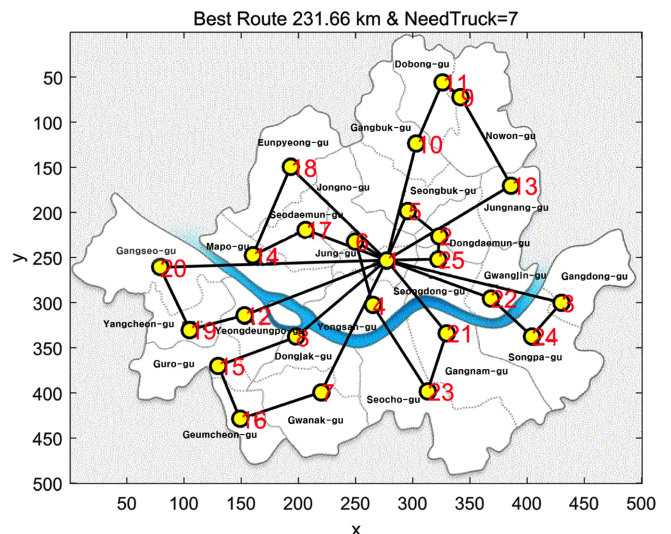


Fig. 3. CVRP starting on Jung-gu Office.

Table 2. Route of CVRP on seven trucks

Truck Number	Route					
Truck1	1	25	2	5	1	
Truck2	1	3	24	22	1	
Truck3	1	21	23	4	6	1
Truck4	1	8	15	16	7	1
Truck5	1	10	11	9	13	1
Truck6	1	12	19	20	1	
Truck7	1	17	14	18	1	

Table 3. The optimal distance for each customer, the number of trucks needed, and the MATLAB calculation time calculated by CVRP

Office	Best Route (km)	Truck (#)	Calculation time (sec)
1	296.85	8	43.0
2	234.68	7	41.1
3	357.85	8	43.1
4	295.1	8	42.2
5	432.65	8	43.2
6	360.02	8	41.9
7	415.29	7	41.8
8	330.24	8	42.0
9	376.15	8	42.3
10	333.09	8	42.7
11	378.05	8	42.7
12	394.18	7	41.2
13	319.43	8	41.7
14	356.51	8	43.0
15	365.93	8	43.0
16	425.04	9	44.1
17	361.8	9	43.8
18	358.08	8	41.8
19	333.11	8	43.2
20	303.18	10	44.3
21	303.18	8	42.2
22	231.66	7	41.4
23	291.05	8	41.7
24	374.92	8	42.7
25	275.02	7	41.6

짧은 경로로 배송을 할 수 있는 구는 성북구가 나왔다. 중구에서 출발했을 경우 거리는 231.66 km가 나왔고, 필요한 트럭 수는 7대로 나왔다. 필요한 트럭 수가 적은 트럭 7대를 기준으로 하면 조건에 충족하는 구의 수는 5개가 나왔다. 이 중에서 총 거리가 가장 짧은 구는 종로구로 234.68 km가 나왔다. 이를 보아 거리가 조금 늘어나게 되지만 트럭 대수를 줄이는 방향으로 DEPOT의 위치를 배치해도 합리적인 선택이 될 수 있음을 알 수 있게 되었다.

5. Discussion

바이오연료를 많이 사용하기 위해서는 제품을 저비용으로 생산할 수 있는 기술적 발전도 필요하지만, 보다 더 많은 고객들에게, 더 빠른 시간 내에, 더 저렴한 비용으로 공급할 수 있어야 한다. 하지만 바이오연료 기업들은 대부분 소규모이어서, 이러한 공급사슬

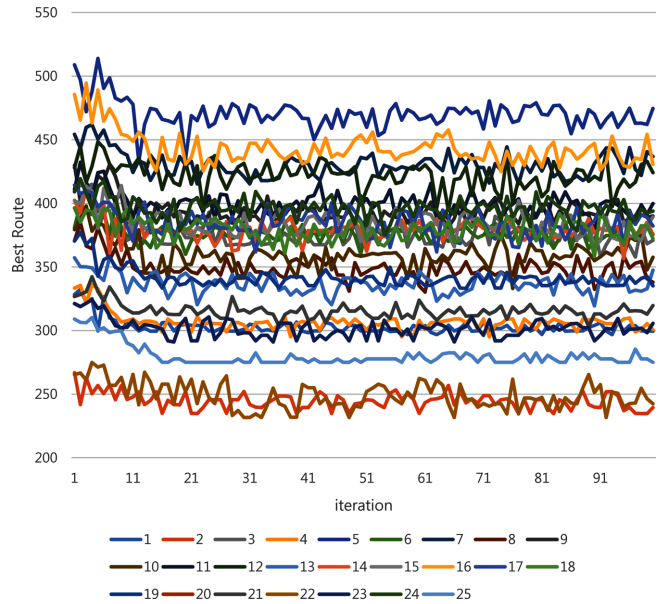


Fig. 4. CVRP Result of best route in iteration.

망의 물류 대응 체계를 구축하기 위해 많은 투자를 할 여력이 없다. 따라서 비용은 최소화하면서 대응을 높일 수 있는 방안을 찾는 것이 실제 기업의 생존에 큰 영향을 끼친다.

ACO 알고리즘을 이용하여 용량 제한이 있는 차량경로문제의 해를 찾는 알고리즘을 제안하였다. 이전의 연구들은 한 차량으로 배송해야 하는 고객들을 그룹화 하는데 ACO알고리즘을 이용한 반면, 본 연구에서는 배달 지점의 순서들을 선정할 때 ACO 알고리즘과 Bin Packing Problem에서 tabu search를 적용되었다는 것에서 기존 연구들과 다른 점이다.

실험결과 기존의 ACO 알고리즘들보다 좀 더 우수한 결과가 나왔지만 배달할 지점이나 용량과 같은 문제의 크기가 커질 경우 계산 시간이 다른 결과보다 비교적 많이 소요되는 것이 개선해야 할 것이다. 계산시간을 감소시키는 것과 함께 ACO에서 사용되는 여러 가지 매개 변수(parameter) 등 외에 방법론이나 데이터 셋을 효율적으로 배열하고 설정하는 등 추가 연구가 필요하다.

바이오연료가 실제 현장에서 기존 화석연료의 대안이 되기 위해서는 많은 부분들에서 화석연료와 경쟁할 수 있을 만큼 개선이 되어야 한다. 이를 위한 많은 연구들이 계속될 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 산업통상자원부의 재원으로 엔지니어링개발연구센터

(과제번호: N0000990)와 동국대학교 Research Fund 2017에 의해 재정 지원되었습니다.

References

1. IEA, "Technology Roadmap : Biofuels for Transport," (2011).
2. Kim, J. K., "The Status of Sustainable Biofuels Policy and Development," *Ind. Eng. Chem.*, **16**(2), (2013).
3. Oh, Y. T., "A Study on the Usability of Used Vegetable oil as a Diesel Substitute in Diesel Engine," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B.*, **22**(4), 481-488(1998).
4. Kim, S. W., "An Analysis on the Actual Status of SMEs and Supply Chain in Renewable Energy Sectors," *KOSBI*(2010).
5. Park, J. Y., "Operations and Supply Chain Management," Aid-book(2012).
6. Kang, K. H., Lee, B. K. and Lee, Y. H., "A Review of Current Status and Analysis in Supply Chain Modeling," *JKIIE*, **30**(3), 224-240(2004).
7. Danzig, G. B. and Ramser, J. H., "The Truck Dispatching Problem," *MANAGE SCI*, **6**(1), 80-91(1959).
8. Schrijver, A., "On the History of Combinatorial Optimization (Till 1960)," *Handbooks Oper. Res. Management Sci.*, **12**, 1-68 (2005).
9. Gilmore, P. C. and Gomory, R. E., "A Linear Programming Approach to the Cutting-Stock Problem," *Oper. Res.*, **9**(6), 849-859(1961).
10. Garey, M. R. and Johnson, D. S., "Computers and Intractability; A Guide to the Theory of NP-Completeness," W. H. Freeman and Company, San Francisco(1979).
11. Lenstra, J. K. and Rinnooy Kan, A. H. G., "Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems," *Networks*, **11**(2), 221-227(1981).
12. Savelsbergh, M. W. P., "Vehicle Routing and Computer Graphics," *CEMC*, Amsterdam(1984).
13. Bullnheimer, B., Hartl, R. F. and Strauss, C., "An Improved Ant System Algorithm for the Vehicle Routing Problem," *Ann. Oper. Res.*, **89**, 319-328(1999).
14. Baker, B. M. and Ayechev, M. A., "A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem," *Comput. Oper. Res.*, **30**, 787-800(2003).
15. Gendreau, M., Hertz, A. and Laporte, G., "A Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem," *Management Sci.*, **40**(10), 1276-1290(1994).
16. Gendreau, M., "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands and Customers," *Oper. Res.*, **40**(3), 469-477(1996).
17. Magnanti, T. L., "Combinatorial Optimization and Vehicle Fleet Planning: Perspectives and Prospects," *Networks*, **11**(2), 179-213 (1981).
18. Laporte, G., "The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms," *Eur. J. Oper. Res.*, **59**(3), 345-358(1992).
19. Lenstra, J. K. and Rinnooy Kan, A. H. G., "Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems," *Networks*, **11**(2), 221-227 (1981).
20. Clark, G. and Wright, J. W., "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points," *Oper. Res.*, **12**(4), 568-581(1964).
21. Reimann, M., Doerner, K. and Hartl, R. F., "D-ants: Savings Based Ants Divide and Conquer the Vehicle Routing Problem," *Comput. Oper. Res.*, **31**(4), 563-591(2004).
22. Goldberg, D. and Lingle, R., "Alleles, Loci, and The Traveling Salesman Problem," *ICGA*, 154-159(1985).
23. Bullnheimer, B., Hartl, R. F. and Strauss, C., "Applying the Ant System to the Vehicle Routing Problem," *Meta-Heuristics*(1997).
24. Donati, Alberto V., et al., "Time Dependent Vehicle Routing Problem with a Multi Ant Colony System," *Eur. J. Oper. Res.*, **185**(3), 1174-1191(2008).
25. Hong, M. D., Yu, Y. H. and Jo, G. S., "An Ant Colony Optimization Heuristic to solve the VRP with Time Window," *The KIPS Transaction partB 17B*, 5(2010).
26. Ko, J. T., Yu, Y. H. and Jo, G. S., "The Bisection Seed Detection Heuristic for Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem," *J. Intell. Inform. Syst.*, **15**(1), 1-14(2009).
27. Colomi, A., Dorigo, M. and Maniezzo, V., "Distributed Optimization by Ant Colonies," *ECAL*, MIT Press Bradford Books, Cambridge, 134-142(1991).
28. Dorigo, M. and Gambardella, L. M., "Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, **1**(1), 53-66(1997).
29. Bullnheimer, B., Hartl, R. F. and Strauss, C., "Applying the Ant System to the Vehicle Routing Problem," *MIC97*, 1-12(1997).
30. Gambardella, L. M., Taillard, E. and Agazzi, G., "MACS-VRPTW: A Multiple Ant Colony System for Vehicle Routing Problems with Time Windows," *New Ideas in Optimization*. McGraw-Hill, London, UK, 63-76(1999).
31. Colomi, A., Dorigo, M. and Maniezzo, V., "Ant System for Job-shop Scheduling," *Belgian Journal of Operations Research*, 1-14(1994).
32. García, Oscar Córdón, I. Fernández de Viana, Francisco Herrera, "Analysis of the Best-worst Ant System and its Variants on the TSP," *Mathware Soft Comput.*, **9**(3), 177-192(2002).
33. Stützle, T. and Hoos, H., "The Ant System and Local Search for the Traveling Salesman Problem," *IEEE Conf. Evol. Comput.*, 308-313(1997).
34. Gambardella, L. M., Taillard, E. and Agazzi, G., "MACS-VRPTW: A Multiple Ant Colony System for Vehicle Routing Problems with Time Windows," *New Ideas in Optimization*. McGraw-Hill, London, UK, pp.63-76(1999).
35. Geem, Z.-W. and Sim, K.-B., "Parameter-setting-free Harmony Search Algorithm," *Appl. Math Comput.*, **217**(8), 3881-3889(2010).
36. Johnson, D. S., Demers, A., Ullman, J. D., Garey, M. R. and Graham, R. L., "Worst-case Performance Bounds for Simple One-Dimensional Packing Algorithms," *Siam. J. Comput.*, **3**(4), 299-325(1974).
37. Vester, J., "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Two-Dimensional Loading Constraints," *Erasmus University, Rotterdam*(2015).