

역물류네트워크를 이용한 생활폐기물 처리 효율화 방안 - D광역시를 중심으로

(An Efficient Methodology for Daily Waste Treatment Using Reverse Logistics Network: Focused on D Metropolitan City)

윤 영 수^{1)*}, 진 성²⁾
(YoungSu Yun and Xing Chen)

요 약 본 연구에서는 특정 D 광역시를 대상으로 생활폐기물 처리과정에 대한 역물류 (Reverse logistics: RL)네트워크를 구성하고 이를 효율화하기 위한 방법론을 개발했다. 현재 D 광역시에 속한 8개 기초자치단체들은 각 기초자치단체별로 자체적인 RL네트워크를 구성하여 생활폐기물을 처리하고 있다. 그러나 현재와 같은 방법은 운영상의 비효율적인 측면이 있으며, 이를 개선하기 위해 새로운 개선방안을 마련했다. 사례연구에서는 D 광역시 8개 기초자치단체에서의 운영자료를 기초로 하여 기존운영방식과 개선방안에 대한 비교분석을 실시하였으며, 그 결과 개선방안이 기존운영방식보다 더 효율적이라고 분석되었다.

핵심주제어: 공급망경영, 역물류, 생활폐기물 처리

Abstract In this paper, a methodology for effectively treating daily waste at D metropolitan city is considered using reverse logistics(RL) network. Currently, eight district offices at D metropolitan city are treating their daily wastes using each RL network. However, unfortunately, current method has a weakness such as inefficiency of RL network operation. Therefore, we propose a revised method for improving the inefficiency. In case study, we compare the performances of the current and revised methods using various real-life data. The analysis result shows that the revised method outperforms the current method.

Key Words: Supply chain management, Reverse logistics network, Daily waste treatment

1. 서 론

공급망경영(Supply chain management)은 두 가지 주요한 물류 구성요소를 가지고 있다. 그 하나인 순방향물류(Forward logistics: FL)는 기업의 원자재 조달에서부터 생산, 유통을 거쳐 최종적으로 고객에게 제품이 전달되는 물류 구조를 가지고 있다. 이와 반대로 역물류(Rreverse logistics: RL)는 고객이 사용한 제품(혹은 하자가 있는 제품)을 수집 후 재사용이 가

* Corresponding Author

이 논문은 2014학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음

Manuscript received March 27, 2015 / Revised April 10, 2015 / Accepted April 10, 2015

1) 조선대학교 경영학부, 교신저자(ysyun@chosun.ac.kr)

2) 조선대학교 경영학과

능한 제품, 재가공이 필요한 제품, 폐기해야 할 제품 등으로 분류 한 후, 이를 물류센터, 재가공센터, 폐기센터 등으로 보내는 물류 구조를 가지고 있다.

FL의 경우에는 기존의 많은 연구들을 통해 그 효율성 분석 및 개선방안이 마련되어 왔다[1-3]. 하지만 RL의 경우에는 1990년대 말까지도 기업들의 주된 관심 영역이 아니었다. 왜냐하면 당시까지만 하더라도 기업은 “어떻게 하면 품질 좋고 가격이 저렴한 제품을 생산하여 고객에게 신속하게 전달하느냐?”에 관심이 집중되어 있었기 때문이다. 하지만 2000년대 들어서면서 부터 기업의 FL에 대한 관심사는 RL에 대한 관심사로 옮겨가게 된다. 왜냐하면, 제품을 구매하는 고객들이 이제는 품질, 가격 뿐만 아니라 사용 후 제품의 처리과정에서 발생하는 재사용, 재활용, 매립, 소각 등에 관심을 가지게 되었고, 중앙정부 및 지방자치단체(이하 지자체)들도 지역 주민들로부터 발생하는 생활폐기물의 처리에 있어서 환경적 유해 측면에 보다 많은 관심을 가지게 되었기 때문이다. 특히 EU(European Union)의 경우 자국에서 판매되는 전자제품에 대해 환경관련 규제인 RoHS(Restriction of the use of hazardous substances in electrical and electronic equipment, 전기전자제품 유해물질 사용제한 지침)와 WEEE(Waste electrical and electronic equipment, 폐가전제품의 의무재활용에 관한 규제)를 시행하고 있어서 RL에 대한 관심사는 앞으로도 더욱 더 증가할 것으로 판단된다. 따라서 최근 들어 RL에서 발생하는 네트워크의 효율성 분석 및 그 개선방안에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다. [4-10]. 하지만 이러한 RL네트워크 관련 기존 연구들은 기업 경영 측면에서 수행된 경우가 대부분이며, 중앙정부 및 지자체들에서 발생하는 RL네트워크 관련 연구들은 거의 수행되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 특정 지자체에서 발생하는 RL네트워크 흐름을 분석하고 이를 개선하기 위한 연구를 진행하고자 한다. 즉 특정 지자체의 지역주민들로부터 수거되는 생활폐기물 처리과정의 RL네트워크 흐름을 살펴보고 그 문제점을 분석하며, 이를 개선하기 위한 방법론을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

지자체의 생활폐기물 처리에 관한 기존연구들을 살펴보면 다음과 같다. Cho[11]은 강원지역의 생활폐기물 수거방식에 대한 개선안을 제시하였다. 즉 강원도의 직영방식에 의한 생활폐기물 수거방식보다 민

간위탁에 의한 수거방식이 더 효율적이라고 분석하였다. 이와 비슷한 연구로는 Yoo and Jung[12]가 수행한 서울시 생활폐기물 수집, 운반 대행체제 개선방안에 대한 연구가 있다. Go[13]는 생활폐기물 처리의 효율성에 관한 요인을 분석하여 인력, 예산, 장비를 효율적으로 운영하기 위한 방법론을 제시하였다. 이와 비슷한 연구가 Kang and Kim[14], Yoo et al.[15]에 의해 수행되었다. Kang and Kim[14]의 연구는 기초자치단체에서 발생하는 생활폐기물 처리에 관한 서비스의 상대적 효율성 정도를 결정하는 요인을 분석하였고, Yoo et al.[15]은 서울시 생활폐기물 처리 효율화를 위한 민관협력형 모델을 제시하였다. Song[16]은 경기도의 일부 기초자치단체를 대상으로 생활폐기물 관리 체계개선을 위한 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 생활폐기물 수집, 운반 및 처리비용에 대한 원가절감 방안을 제시하였다. 생활폐기물을 원가절감 차원에서 접근한 또 다른 연구는 Yoo et al.[17]에 의해 수행되었다. 이들은 서울시를 사례로 들어서 생활폐기물 수거 대행 민간업체의 적정영업규모를 결정하는 방법론을 제시하였다.

위에서 언급된 연구들의 특징을 요약해 보면, 생활폐기물 수거방식 개선에 관한 연구[11-12], 처리 효율성에 관한 연구[13-14, 17], 수집, 운반에 있어서 원가절감 방안에 관한 연구 [15-16] 등으로 구분할 수 있다.

RL네트워크 전반에 걸친 효율성을 분석한 기존연구들을 살펴보면 다음과 같다. Min et al.[4]은 고객의 버림을 받은 사용 후 제품을 초기수집지점(Initial collection point)에서 수집한 후 중앙회수센터(Centralized return center)로 보낸다. 중앙회수센터는 수집된 제품을 분류하여 재사용이 가능한 제품은 초기수집지점으로 보내 재판매가 되도록 하였고, 수리가 필요한 제품은 수리센터(Repair center)로 보내는 RL네트워크를 설계하였다. 설계된 RL네트워크는 혼합정수계획법(Mixed integer programming: MIP)에 의해 수리 모형화되었고, 이를 유전알고리즘(Genetic algorithm)을 통해 해결하였다. Kim et al.[5]은 서울시 성동구를 대상으로 생활폐기물 수집을 위한 수거차량의 운행경로를 이용해 총 운행거리를 최소화하기 위한 휴리스틱 접근법을 제시하였다. Srivastava[6]는 고객으로부터 회수되는 사용 후 제품을 수집하여 이를 회복센터(Recovery center)로 보낸 후, 회복센터

에서 재사용 여부를 판단하여 재사용이 가능한 제품은 재판매를 위해 1차 혹은 2차시장(First or second market)으로 보내고, 그렇지 못한 제품은 폐기센터로 보내는 RL네트워크를 설계하였다. Lee et al.[7]는 사용 후 제품의 재사용을 위한 RL네트워크를 설계하였다. 이들의 연구에서는 부산지역을 대상으로 제품수송 경로에 따른 총비용 최소화를 목적으로 제품생산 공장, 유통소매점, 재사용을 위한 회복센터로 구성된 RL네트워크를 제시하였다.

위에서 언급된 RL네트워크 전반에 걸친 효율성을 분석한 기존연구들의 특징을 요약해 보면, 고객에 의한 사용 후 제품의 재사용여부에 따라 분류할 수 있다. 즉 Min et al.[4]와 Srivastava[6]의 연구는 사용 후 제품의 재사용여부를 고려한 RL네트워크를 설계하였지만, Kim et al.[5]과 Lee et al.[7]의 연구는 이를 고려하지 않았다.

지금까지 기존연구들을 지자체의 생활폐기물 처리에 관한 연구들과 RL네트워크 전반에 걸친 효율성을 분석한 연구들로 구분하여 살펴보았다. 앞서서도 언급하였듯이 전자의 연구들은 주로 수거방식, 처리효율성, 원가절감 차원에서 다루어 졌으며, 후자의 연구들은 사용 후 제품의 재사용여부에 따른 RL네트워크에 대해 주로 다루어 졌다. 하지만 전자의 연구들 대부분은 생활폐기물 처리과정에서 발생하는 RL네트워크의 설계 및 분석을 다루는 연구들이 아니며, 후자의 경우에도 Kim et al.[5]의 연구를 제외하고는 지자체 혹은 공공기관에서 발생하는 RL네트워크에 대한 분석은 전혀 이루어지지 않았다. Kim et al.[5]의 연구도 생활폐기물 수거를 위한 수거차량의 운행 경로를 통한 총 운행거리 최소화를 다루고 있기 때문에 생활폐기물 처리에서 발생하는 RL네트워크 전체를 다루고 있는 논문은 아니다. 따라서 본 연구에서는 생활폐기물 수집 및 처리과정에서 발생하는 RL네트워크 전체를 분석하고 이를 바탕으로 그 개선방안을 마련하고자 한다. 이러한 연구는 아직까지 기존 연구들에서 시도해 보지 못한 연구분야이며, 만일 이러한 연구를 통해 기존운영방식보다 개선방안이 더 우수한 결과를 가져올 경우, 실제 많은 중앙정부 및 지자체들에게 생활폐기물의 효율적 처리방안을 제시할 수 있어서 그 적용효과는 상당할 것으로 판단된다. 본 연구는 다음과 같이 구성된다. 먼저 1장에서는 연구의 배경 및 필요성을 언급하였고, 기존연구들

의 비교분석을 통해 연구진행의 목적을 제시하였다. 2장에서는 특정 지자체를 대상으로 지역주민들로부터 수거되는 생활폐기물의 처리과정에서 발생하는 운영상의 문제점을 살펴보고, 기존 운영방식과 개선방안에 대한 RL네트워크를 제시한다. 3장에서는 개선방안 실행을 위한 수리적 모형을 제시하고, 4장에서는 생활폐기물을 실제로 처리하고 있는 특정 지자체를 대상으로 기존운영방식과 개선방안에 대해 수행도를 측정하고 비교분석을 실시한다. 또한 수행도 측정에 영향을 미치는 요인들에 대한 민감도 분석(Sensitivity analysis)을 함께 실시한다. 5장은 결론으로서 연구진행 과정에 대한 전체적인 요약과 연구진행에 있어서 적용상의 한계점 및 향후 진행방향 등을 제시한다.

2. D광역시 생활폐기물 처리를 위한 기존운영방식 및 개선방안

본 장에서 D광역시를 특정 지자체로 고려한다. 따라서 D광역시에서 발생하는 생활폐기물을 처리하는 기존운영방식을 살펴보고 이를 바탕으로 개선방안을 마련한다. 또한 기존운영방식 및 개선방안에 대한 RL네트워크를 설계한다.

2.1 기존운영방식에 따른 RL네트워크 설계

D광역시는 총 8개 기초자치단체(동구, 서구, 남구, 북구, 중구, 수성구, 달서구, 달성군)로 구성되어 있다. 각 기초자치단체별로 발생하는 생활폐기물은 각 기초자치단체별로 처리하고 있으며 기존의 운영방식은 다음과 같다. 먼저 각 기초자치단체 지역주민들로부터 발생하는 생활폐기물은 수집/운반업체를 통해 수집한다. 수집된 생활폐기물은 공공생활자원회수센터로 보내어 분리, 선별과정을 거친다. 이 과정에서 재활용이 가능한 생활폐기물은 재활용업체로 보내고, 재활용이 불가능한 생활폐기물은 소각 및 매립업체로 각각 보낸다. 각 기초자치단체별 생활폐기물 발생량, 각 단계별 처리업체 및 센터 수는 Table 1과 같으며, 각 업체 및 센터의 실제 위치는 Ministry of Environment[18] 자료를 참조하면 된다. Table 1을 살펴보면, 각 기초자치단체별 수집/운반업체(Collection

Table 1 Daily waste treatment-related data at D metropolitan city*

	Total Amount (ton/day)	Method (ton/day)	No. of collection company	of	No. of pub. res. rec. center	No of recycl. company	No. of inciner. company	of	No. of reclam. company
Juong-gu	188.4	Reclam. 90.2 Inciner. 13.8 Recycl. 84.4	4						
Dong-gu	352.6	Reclam. 123.2 Inciner. 58.6 Recycl. 170.8	20		1				
Seo-gu	253.3	Reclam. 84.5 Inciner. 33.2 Recycl. 135.6	5			10			
Nam-gu	217.1	Reclam. 69.2 Inciner. 42.5 Recycl. 105.4	4						
Buk-gu	436.3	Reclam. 159.6 Inciner. 58.3 Recycl. 218.4	4		1	2			
Susung-gu	415.1	Reclam. 140.3 Inciner. 44.3 Recycl. 230.5	2						
Dalseo-gu	587.4	Reclam. 184.9 Inciner. 88.9 Recycl. 313.6	8			8	1		
Dalsung-gun	233.6	Reclam. 62.8 Inciner. 21.1 Recycl. 149.7	8		1	19			1

* Ministry of Environment [18]

company)는 해당 지역의 생활폐기물을 수집하며, 수집된 생활폐기물은 해당 기초자치단체의 공공생활자원회수센터(Public resource recovery center)로 수송한다. 하지만 중구, 서구, 남구, 수성구, 달서구의 경우에는 해당 지역에 공공생활자원회수센터가 개설되어 있지 않기 때문에 이들 지역에서 발생한 생활폐기물은 공공생활자원회수센터가 개설되어 있는 인근 지역으로 수송하여 처리한다. 같은 개념으로 재활용업체(Recycling company)가 해당 지역에 개설되어 있지 않는 경우에도 인근 지역으로 수송하여 처리한다. 하지만 소각 및 매립업체(Incineration and reclamation companies)의 경우에는 D광역시 소재 기초자치단체 중에서 오직 달서구와 달성군만이 개설되어 있기 때문에 이들 지역으로 전량을 보내서 처리하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 방식으로 생활폐기물을 처리하고 있으며, 이러한 단계별 처리과정을 RL네트워크로 표현하면 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 괄호 안의 숫자는 해당 업체 및 센터의 수를 의미한다.

이상과 같이 D광역시 8개 기초자치단체들은 해당 지역에서 발생하는 생활폐기물을 처리하고 있지만

현실적으로 다음과 같은 운영상의 문제점이 발생한다. 첫째, 8개 기초자치단체 각각은 해당 지역에서 발생하는 생활폐기물을 해당지역 소재 수집/운반업체를 통해 수집한 후 이를 해당지역에 소재하는 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 매립업체, 소각업체로 보내서 처리하여야 한다. 하지만 Table 1에서 보듯이 서구, 북구, 달서구, 달성군의 경우 복수의 재활용업체가 해당 지역에 존재한다. 따라서 이들 복수의 업체로 생활폐기물을 어떻게 배분할 것인가의 문제가 발생한다.

일반적으로 재활용이 가능한 생활폐기물은 그 종류에 따라 특정 재활용 처리시설만을 이용해야 하지만 타 광역시 소재 재활용업체들과 마찬가지로 D광역시에 속해 있는 재활용업체들도 거의 비슷한 형태의 처리시설을 가지고 있기 때문에 어느 업체로 생활폐기물을 보내든지 관계없이 재활용 처리는 가능하다[18]. 결국 생활폐기물은 재활용업체의 처리특성과 관계가 없기 때문에 이들 업체로의 효율적 배분이 중요한 문제가 된다. 둘째, D광역시 8개 기초자치단체들은 각 지역별로 발생하는 생활폐기물을 해당 지역에서 처리하여야 한다. 하지만 Table 1에서 보듯

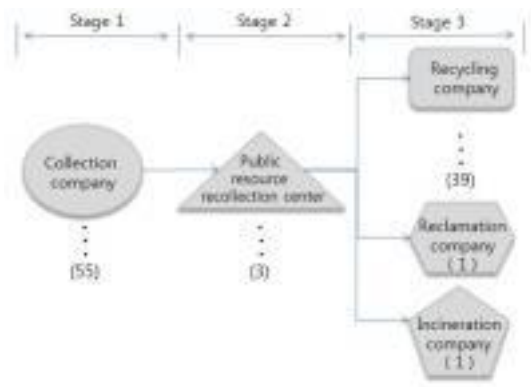


Fig. 1 RL network for conventional method

이 8개 기초자치단체들은 해당 지역에 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 매립업체, 소각업체 모두를 가지고 있지 않다. 따라서 특정 지역에서 발생하는 생활폐기물을 전부 처리하기 위해서는 타 지역에 개설되어 있는 센터 혹은 업체로 보내야 한다. 결국 8개 기초자치단체들은 각 지역별로 독자적인 RL네트워크를 구축하고 관리할 수 없게 되며, 생활폐기물 처리를 위한 RL네트워크 각 단계에서 발생하는 비용 또한 각 지역별로 독자적으로 처리하기가 어려워진다. 이러한 문제점은 생활폐기물 처리를 위한 RL네트워크를 8개 기초자치단체들이 어떻게 관리, 운영하느냐에 따라 해결할 수 있을 것이다.

2.2 개선방안에 따른 RL네트워크 설계

2.1절에서 살펴본 것과 같이 D광역시 소재 8개 기초자치단체들은 각 지역별로 발생하는 생활폐기물을 처리하는데 있어서 두 가지의 문제점이 발생하였다. 여기서는 이러한 문제점을 개선하기 위한 방법론을 제시한다.

먼저 첫 번째로 지적된 문제점인 복수의 재활용업체로 생활폐기물을 효율적으로 배분하는 문제는 배분시 발생하는 총비용 측면에서 접근하면 해결 가능하다. 즉 복수의 재활용업체로 생활폐기물을 배분할 때 발생하는 비용인 수송비용, 처리비용, 고정비용의 합인 총비용을 구한 후 이 총비용이 최소가 될 수 있도록 재활용업체를 선정하여 배분하는 것이 하나의 방법이다. 여기서 수송비용은 이전 단계인 공공생활자원회수센터에서 재활용업체로 생활폐기물을 보낼 때 발생하는 비용이며, 처리비용은 재활용업체에

서 생활폐기물을 처리할 때 발생하는 비용이고, 고정비용은 생활폐기물 처리를 위해 필요한 재활용업체를 개설 및 운영하는데 필요한 비용을 말한다. 본 연구에서는 전체 재활용업체 중에서 하나의 업체만을 선정하여 개설하고 개설된 한 군데의 재활용업체는 이전단계에서 보내어진 생활폐기물 전량을 받아서 처리하는 방법을 사용한다. 같은 의미로 공공생활자원회수센터도 현재 세 군데(동구, 북구, 달성군)의 지역만 개설되어 운영되고 있기 때문에 이들 공공생활자원회수센터도 한 군데만 개설하여 이전단계에서 보내어진 생활폐기물 전량을 받아서 처리하는 방법을 사용한다. 결국 Fig. 1의 Stage 2와 Stage 3에서 개설되는 복수의 공공생활자원회수센터와 재활용업체를 각각 하나의 센터와 업체만 개설하는 방안을 사용한다. 이와 같이 공공생활자원회수센터와 재활용센터를 각 단계에서 한군데만 개설하여 운영하는 것이 가능한 것은 소각업체 및 매립업체의 경우에도 현재 한군데만 개설되어 운영되고 있으며, 이전 단계에서 수송되는 전량의 생활폐기물을 처리하고 있기 때문이다.

이상을 종합해 보면 먼저 각 기초자치단체별로 발생하는 생활폐기물을 각 기초자치단체별로 운영중인 Stage 1의 수집/운반업체들을 통해 수집한 후 이를 Stage 2에서 개설되는 한 군데의 공공생활자원회수센터로 전량을 보낸다. 공공생활자원회수센터는 수집된 생활폐기물을 분류한 후 재활용, 소각, 매립여부를 판단하여 Stage 3에서 개설되는 한 군데의 재활용업체, 소각업체, 매립업체로 각각 전량을 보내서 처리하는 구조를 가지게 된다.

RL네트워크 각 단계에서 하나의 센터 혹은 업체만을 개설하여 운영하는 것이 복수의 센터 혹은 업체들을 개설하여 운영하는 것 보다 더 효율적이라는 연구는 이미 Kwak[19], Yun[20]에 의해 수행되었다. Yun[20]의 연구에서는 가상의 환경을 고려하여 제품재판매를 위한 RL네트워크를 구축하였으며, 구축된 RL네트워크 각 단계에서 단일 센터만을 개설하는 경우와 복수의 센터 개설을 허용하는 경우에 대해 총비용 측면에서 비교연구를 수행하였다, 다양한 수행도 분석을 통해 단일 센터만을 개설하여 운영하는 것이 복수의 센터를 개설하여 운영하는 경우 보다 총비용 측면에서 훨씬 더 효율적이라고 분석하였다.

두 번째로 지적된 문제점인 8개 기초자치단체들

각각의 독자적인 RL네트워크 구축의 어려움은 이미 2.1절 마지막에서 언급되었던 대로 생활폐기물 처리를 위한 RL네트워크를 8개 기초자치단체들이 어떻게 관리, 운영하느냐에 따라 해결될 수 있을 것이다. 현실적으로 각 기초자치단체별로 독자적인 RL네트워크를 구축할 수 없기 때문에 전체 8개 기초자치단체를 통합적으로 운영/관리할 수 있는 주체를 선정하는 방안이 하나의 대안이 될 것이다. 본 연구에서는 8개 기초자치단체가 속한 D광역시가 그 주체가 되어 운영/관리하는 방안을 제시한다. 즉 D광역시가 8개 기초자치단체에서 발생하는 모든 생활폐기물의 처리과정을 연결하는 RL네트워크를 구축하고 이를 효율적으로 운영/관리하는 방안을 마련하는 것이다. 이러한 통합적 운영/관리방안을 시행할 경우 각 기초자치단체는 자체적인 RL네트워크 구축에 필요한 인력과 비용을 절감할 수 있을 것이다.

위에서 제시된 두 가지 개선방안은 결국 8개 기초자치단체에서 발생하는 모든 생활폐기물의 처리를 D광역시가 담당하고, D광역시는 생활폐기물 처리과정을 연결하는 RL네트워크 각 단계에서 한 군데의 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체만을 개설하여 운영하고, 운영상에서 발생하는 수송비용, 처리비용, 고정비용을 합한 총비용을 최소화시킬 수 있도록 방안을 마련하는 것으로 요약할 수 있겠다. Fig. 2는 이러한 개선방안에 대한 RL네트워크를 설계한 것이다.

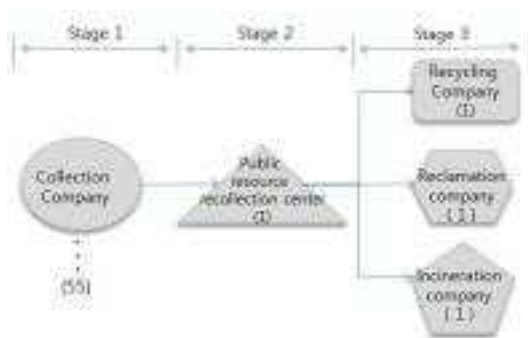


Fig. 2 RL network for revised method

3. 수리모델 설계

II장에서 제시한 기존운영방식과 개선방안의 RL네트워크를 해결하기 위해서 수리모델을 설계한다. 기존운영방식과 개선방안에 대한 RL네트워크는 II장 마지막 부분에서 언급한 것과 같이 어떤 방식으로 운영하느냐에 따라 발생하는 총비용을 각각 구한 후, 구해진 총비용이 기존운영방식과 개선방안 중에서 어느 쪽이 더 유리한가를 비교하여 판단하면 된다. 총비용은 i) RL네트워크 각 단계에서 발생하는 생활폐기물 처리비용, ii) RL네트워크 각 단계 간 생활폐기물을 수송할 때 발생하는 수송비용, iii) RL네트워크 각 단계에서 센터 및 업체를 개설하고 운영하는 데 소요되는 고정비용의 합으로 결정한다. 따라서 총비용을 구성하는 처리비용, 수송비용, 고정비용을 어떻게 구할 것인가를 결정해야 한다. 본 연구에서는 다음의 방법을 사용한다.

3.1 처리비용 산정방식

생활폐기물 처리비용은 두 가지 방식을 함께 사용한다. 먼저 생활폐기물을 수집/운반하는 업체들의 경우에는 Table 1의 각 기초자치단체별 생활폐기물 총발생량(톤/일)을 단위당 수거/운반비용 (105,798원/톤)에 곱하여 결정하고, 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체들의 경우에는 Table 1의 각 기초자치단체별 생활폐기물 총발생량(톤/일)을 단위당 처리비용 (223,501원/톤)에 곱하여 결정한다[18]. 이와 같이 두 가지 방식으로 비용을 다르게 고려하여 처리하는 이유는 수집/운반업체의 경우에는 주 업무가 생활폐기물의 수집 및 운반이지만, 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체의 경우에는 생활폐기물을 처리하는 것이 주 업무이기 때문이다.

3.2 고정비용 산정방식

고정비용은 RL네트워크 각 단계별로 업체 및 센터를 개설하는데 소요되는 비용과 개설 후 생활폐기물 처리를 위한 인력 및 설비운용 등에 필요한 비용의 합을 의미한다. 하지만 처리비용 산정방식과는 다르게 고정비용의 경우에는 구체적인 산정방식을 확인할 수 없기 때문에 본 연구에서는 일정한 범위에서 랜덤하게 발생하는 값을 사용한다. 이를 위해 균등분

포 U(200,000,000원/년, 400,000,000원/년)를 이용하며, 구해진 결과값은 일일 기준으로 환산하여 사용한다. 발생된 값은 Table 2에 제시되어 있다.

3.3 수송비용 산정방식

수송비용은 두 가지 방식을 함께 사용한다. 첫 번째 방식은 수송을 위해 사용되는 차량을 이용하여 생활폐기물을 실제 수송하는데 소요되는 유류비를 계산하는 것이고, 두 번째 방식은 유류비를 제외하고 생활폐기물을 수거하고 수송하는데 필요한 비용인 ‘톤당 수거/수송비용 단가’를 구한 후 이를 해당 업체 혹은 센터에서 수송하는 생활폐기물 수송량을 곱하여 수거/수송비용을 구하는 것이다.

첫 번째 방식의 유류비는 다음과 같이 계산된다.

$$\text{유류비} = \text{수송시 발생하는 실제 주유비} * 2(\text{왕복}) * \text{수송횟수}$$

예를 들어 중구지역-수집/운반업체 1 (실제 주소: 중구 공평동 13-14)에서 동구지역-공공생활자원회수

센터 1 (실제 주소: 동구 불로동 866-9)로 47.1톤의 생활폐기물을 수송할 경우의 유류비를 계산하면 다음과 같다. 먼저 실제 주유비는 Naver의 지도검색 서비스[21]를 이용하여 실제 이동거리에 따른 정확한 비용을 확인하여 사용한다. 중구지역-수집/운반업체 1에서 동구지역-공공생활자원회수센터 1까지의 실제 주유비는 1,279원(5톤 트럭 사용, 경유 사용, 유가 1,354원/L(2015.1.13일 기준), 연비 6km/L 기준, 가장 빠른 경로 이용)이다. 수송횟수는 중구지역-수집/운반업체 1에서 보내는 생활폐기물량이 47.1톤임으로 5톤 트럭 기준으로 10회(5톤 만차수송(Truckload) 9회, 나머지 2.1톤은 부분적재수송(Less than truckload) 1회)를 수송해야 한다. 결국 유류비는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{유류비} &= 1,279\text{원} * 2(\text{왕복}) * 10(\text{회}) \\ &= 25,580\text{원} \end{aligned}$$

두 번째 방식에서 톤당 수거/수송비용 단가는 총 팔원가를 생활폐기물 발생량으로 나누어서 구하게 된다. 구체적인 방식은 다음과 같다[22].

Table 2 Fixed cost for each company and center (unit: won/day)

	Dong-gu	Seo-gu	Buk-gu	Dalseo-gu	Dalsung-gun
Pub. res. rec. center 1	963,826		652,069		739,251
Recycling company 1		935,360	966,551	648,873	1,039,068
Recycling company 2		568,520	704,992	978,793	877,067
Recycling company 3		604,719		632,796	690,587
Recycling company 4		862,182		834,215	868,303
Recycling company 5		1,064,384		891,931	942,955
Recycling company 6		635,450		726,294	834,224
Recycling company 7		852,353		959,660	1,024,916
Recycling company 8		898,092		1,026,233	835,360
Recycling company 9		1,025,643			997,986
Recycling company 10		654,493			766,596
Recycling company 11					690,767
Recycling company 12					721,372
Recycling company 13					855,610
Recycling company 14					938,931
Recycling company 15					1,003,063
Recycling company 16					813,171
Recycling company 17					898,249
Recycling company 18					699,886
Recycling company 19					592,699
Incineration company 1				826,707	
Reclamation company 1					820,743

- . 톤당 수거/수송비용 단가 = 총괄원가 / 생활폐기물 발생량
- . 총괄원가 = 운영원가 + 일반관리비(통상적으로 운영원가의 5%) + 이윤(통상적으로 운영원가와 일반관리비를 합한 금액의 10%)
- . 운영원가 = 노무비 + 경비
- . 노무비 = 직접노무비 + 간접노무비
- . 경비 = 감가상각비 + 수리수선비 + 보험료 + 세금 및 공과금 + 기타경비

예를 들어 이러한 방식으로 구해진 톤당 수거/수송비용 단가가 3,949원일 경우 중구지역-수집/운반업체 1에서 동구지역-공공생활자원회수센터 1로 47.1톤의 생활폐기물을 수송할 경우의 수거/수송비용은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{수거/수송비용} &= 47.1 \text{ 톤(생활폐기물 수송량)} * \\ & 3,949 \text{ 원 (톤당 수거/수송비용 단가)} \\ & = 185,998 \text{ 원} \end{aligned}$$

결국 첫 번째 방식에서 구한 유류비 25,580원과 두 번째 방식에서 구한 수거/수송비용인 185,998원을 합한 비용인 211,578원이 중구지역-수집/운반업체 1에서 동구지역-공공생활자원회수센터 1로 47.1톤의 생활폐기물을 수송할 경우의 총 수송비용이 된다. 이렇게 두 가지 방식으로 구분하여 비용을 구하는 것은 유류비를 제외한 다른 항목들(직접노무비, 간접노무비, 감가상각비, 보험료 등)의 금액은 8개 기초자치단체에 속한 각 센터 및 업체들에게 공통적으로 적용될 수 있는 비용들이지만 유류비는 수송경로와 수송 거리에 따라 상당한 차이를 보이고 있기 때문이다.

수리모델을 설계하기 이전에 본 연구에서 고려되어야 하는 가정은 다음과 같다.

- 기존운영방식의 경우 RL네트워크 각 단계에서 업체 및 센터가 특정 지역에 개설되지 않는 상황이 발생한다. 이러한 상황이 발생하는 해당지역은 지리적으로 가장 근접한 인근지역에 개설된 업체 및 센터를 이용하여 생활폐기물을 수송 처리한다. 따라서 중구지역의 경우 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체가 개설되지 않기 때문에 인근지역인 북구지역에서 개설된 공공생활자원회수센터, 재활용업체를 이

용하고, 소각 및 매립은 각각 유일하게 개설되는 달서구지역과 달성군지역의 업체를 이용한다. 같은 방식으로 동구지역은 북구지역의 재활용업체, 달서구지역의 소각업체, 달성군지역의 매립업체를, 서구지역은 북구지역의 공공생활자원회수센터, 달서구지역의 소각업체, 달성군지역의 매립업체를, 남구지역은 달성군지역의 공공생활자원회수센터, 달서구지역의 재활용업체, 소각업체, 달성군지역의 매립업체를, 북구지역은 달서구지역의 소각업체, 달성군지역의 매립업체를, 수성구지역은 동구지역의 공공생활자원회수센터, 달성군지역의 재활용업체, 매립업체, 달서구지역의 소각업체를, 달서구지역은 달성군지역의 공공생활자원회수센터, 달성군지역의 매립업체를, 달성군지역은 달서구지역의 소각업체를 이용한다.

- 각 지역별로 발생하는 생활폐기물은 RL네트워크 각 단계별 모든 업체(혹은 센터)에서 전량 처리 가능하다. 따라서 이전단계에서 수송되는 생활폐기물 총량은 다음단계에서 수송받는 생활폐기물 총량과 같게 된다. 다만 각 단계별로 개설되는 업체 (혹은 센터)의 수가 상이할 경우에는 생활폐기물 수송은 다음의 절차를 따른다. 만일 이전 단계에서 복수의 업체 (혹은 센터)가 개설되고 다음 단계에서 한 곳의 업체 (혹은 센터)가 개설되는 경우, 생활폐기물 수송은 총수송량을 이전단계에서 개설된 복수의 업체(혹은 센터)에 균등하게 분배한 후 다음단계에서 개설된 한 곳의 업체(혹은 센터)로 각각 수송하게 된다. 예를 들어 중구지역의 경우 생활폐기물 총 수송량 188.4톤은 네 군데의 수집/운반업체가 균등하게 배분하여 한 업체당 47.1톤을 다음 단계에서 개설되는 한 군데의 공공생활자원회수센터로 각각 수송하게 된다. 반대의 경우로 이전 단계에서 한 곳의 업체(혹은 센터)만 개설되고 다음 단계에서 복수의 업체(혹은 센터)가 개설되는 경우, 생활폐기물 수송은 이전단계에서 개설된 한 곳의 업체(혹은 센터)에서 총 수송량을 다음 단계에서 개설된 복수의 업체(혹은 센터) 수 만큼 나눈 후 이들 복수의 업체(혹은 센터)로 각각 수송하게 된다.
- 수송비용은 2.1절의 기존운영방식과 2.2절의 개선

방안에 따라 다르게 계산된다. 기존운영방식의 경우에는 해당지역에 이미 개설된 업체 및 센터와 사전에 지정된 인근 업체 및 센터를 이용하고 이들 업체 및 센터 간의 수송비용은 실제 위치를 기준으로 계산한다. 하지만 개선방안의 경우에는 RL네트워크에서 공공생활자원회수센터, 재활용센터, 소각업체, 매립업체가 각 단계에서 하나씩만 개설되어야 하며, 개설된 한 곳의 센터와 업체로 생활폐기물 전량을 수송할 경우에 발생하는 수송비용을 계산한다.

- 생활폐기물의 단위(톤)당 수거/운반비용 및 처리비용은 2.1절의 기존운영방식과 2.2절의 개선방안에 상관없이 RL네트워크 각 단계에서는 어떤 업체 및 센터가 개설되더라도 전부 동일하다.

이상과 같은 비용산정방식과 고려되어야 할 가정에 근거하여 D광역시의 생활폐기물을 처리하기 위한 수리모델을 개발한다. 먼저 수리모델에 사용될 인수(Index), 모수(Parameter), 의사결정변수(Decision variable)는 다음과 같다.

인수:

- a : 수집/운반업체 ($a \in A$)
- b : 공공생활자원회수센터 ($b \in B$)
- c : 재활용업체 ($c \in C$)
- d : 소각업체 ($d \in D$)
- e : 매립업체 ($e \in E$)

모수:

- $PubF_b$: 공공생활자원회수센터 b 의 고정비용
- $RecF_c$: 재활용센터 c 의 고정비용
- $IncF_d$: 소각업체 d 의 고정비용
- $LfiF_e$: 매립업체 e 의 고정비용
- $ColH$: 수집/운반업체의 단위당 수거/운반비용
- $PubH$: 공공생활자원회수센터의 단위당 처리비용
- $RecH$: 재활용업체의 단위당 처리비용
- $IncH$: 소각업체의 단위당 처리비용
- $LfiH$: 매립업체의 단위당 처리비용
- $ColPub_{ab}$: 수집/운반업체 a 에서 공공생활자원회수센터 b 로 보내는 수송비용
- $PubRec_{bc}$: 공공생활자원회수센터 b 에서 재활용센터 c 로 보내는 수송비용
- $PubInc_{bd}$: 공공생활자원회수센터 b 에서 소각업체 d 로 보내는 수송비용

$PubLfi_{be}$: 공공생활자원회수센터 b 에서 매립업체 e 로 보내는 수송비용

- Cc_a : 수집/운반업체 a 의 처리용량
- Pc_b : 공공생활자원회수센터 b 의 처리용량
- Rc_c : 재활용업체 c 의 처리용량
- Ic_d : 소각업체 d 의 처리용량
- Lc_e : 매립업체 e 의 처리용량

의사결정변수:

- xp_b : 만일 공공생활자원회수센터 b 가 개설되면 1, 그렇지 않으면 0
- xr_c : 만일 재활용업체 c 가 개설되면 1, 그렇지 않으면 0
- xi_d : 만일 소각업체 d 가 개설되면 1, 그렇지 않으면 0
- xl_e : 만일 매립업체 e 가 개설되면 1, 그렇지 않으면 0

위에서 설정된 인수, 모수, 의사결정변수를 이용하여 수리모델을 설계하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 minimize \ z = & ColH \sum_a Cc_a + \\
 & \sum_b (PubF_b \cdot xp_b) + PubH \sum_b (Pc_b \cdot xp_b) + \\
 & \sum_a \sum_b (ColPub_{ab} \cdot xp_b) + \\
 & \sum_c (RecF_c \cdot xr_c) + RecH \sum_c (Rc_c \cdot xr_c) + \\
 & \sum_b \sum_c (PubRec_{bc} \cdot xr_c) + \\
 & \sum_d (IncF_d \cdot xi_d) + IncH \sum_d (Ic_d \cdot xi_d) + \\
 & \sum_b \sum_d (PubInc_{bd} \cdot xi_d) + \\
 & \sum_e (LfiF_e \cdot xl_e) + LfiH \sum_e (Lc_e \cdot xl_e) + \\
 & \sum_b \sum_e (PubLfi_{be} \cdot xl_e)
 \end{aligned} \tag{1}$$

subject to

$$\sum_b xp_b = 1 \tag{2}$$

$$\sum_c xr_c = 1 \tag{3}$$

$$\sum_d xi_d = 1 \tag{4}$$

$$\sum_e xl_e = 1 \tag{5}$$

$$\sum_a Cc_a - \sum_b (Pc_b \cdot xp_b) = 0 \tag{6}$$

$$\sum_b (Pc_b \cdot xp_b) - (\sum_c (Rc_c \cdot xr_c) + \sum_d (Ic_d \cdot xi_d) +$$

$$\sum_e (Lc_e \cdot xl_e) = 0 \tag{7}$$

$$xp_b, xr_e, xi_d, xl_e = \{0, 1\}, \forall b \in B, \forall c \in C, \forall d \in D, \forall e \in E \tag{8}$$

수식(1)은 수집/운반업체에서 발생하는 수거/운반 비용, 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체에서 발생하는 고정비용, 처리비용, 수송비용의 총합을 최소화하는 목적함수를 표현하고 있다. 이러한 목적함수는 수식 (2)에서 (8)까지의 제약하에서 최소화되어야 한다. 수식 (2)는 고려되는 공공생활자원회수센터들 중에서 오직 하나의 센터만 개설되어야 한다는 제약이다. 같은 의미로 수식 (3), (4), (5)는 재활용업체, 소각업체, 매립업체가 각각 하나만 개설되어야 한다는 제약이다. 수식 (6)은 전체 수집/운반업체들에서 처리되는 생활폐기물 총량은 RL네트워크 다음단계에서 개설되는 공공생활자원회수센터의 전체 처리용량과 같아야 한다는 제약이다. 같은 의미로 수식 (7)은 공공생활자원회수센터의 전체 처리용량 합이 RL네트워크 다음단계에서 개설되는 재활용업체, 소각업체, 매립업체에서의 처리용량 총합과 같아야 한다는 제약이다. 수식 (8)은 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체의 개설여부를 결정하는 제약이다.

이상에서 제시한 수리모델은 MIP 형태로 표현되며, II장 2.2절에서 제시한 개선방안에 적용한다.

4. 사례연구

사례연구에서는 II장 2.1절에서 제시한 기존운영방식과 2.2절에서 제시한 개선방안의 효율성을 비교분석한다. 이를 위해 D광역시 8개 기초자치단체들의 생활폐기물 처리과정에서 사용된 2012년 기준 실제자료[18]를 활용한다. 기존운영방식에서는 Fig. 1에서 제시한 RL네트워크를, 개선방안에서는 Fig. 2에서 제시한 RL네트워크를 기초로 하고, Table 1, Table 2, III장에서 제시한 가정과 처리비용, 고정비용, 수송비용의 계산방식을 적용한다. 이러한 방식을 통해 구해진 데이터를 활용해 기존운영방식의 해를 구하고, 개선방안의 경우에는 III장에서 제시한 수리모델에 적용하고, MIP를 해결할 수 있는 Lindo[23]를 통해 그

해를 구한다. Table 3와 Table 4는 기존운영방식과 개선방안에 대한 실험결과를 보여주고 있다.

Table 3 Computation result of conventional method (unit: won)

	Transp. cost	Treat. cost	Fixed cost
Juon-gu	1,624,351	104,147,520	0
Dong-gu	3,066,512	194,917,280	963,826
Seo-gu	2,214,677	140,024,240	8,101,197
Nam-gu	2,332,907	120,012,880	0
buk-gu	3,677,709	241,186,640	2,323,612
Susung-gu	4,021,686	226,762,918	0
Dalseo-gu	7,476,391	324,714,720	7,525,502
Dalsung-gun	2,608,255	129,134,080	17,650,803
Sum.	27,022,488	1,480,900,278	36,564,940

Table 3에서 수송비용의 경우, 예를 들어 중구지역의 수송비용 1,624,351원은 다음과 같이 계산된다. 중구지역의 생활폐기물 총발생량 188.4톤은 중구지역 수집/운반업체 네 군데에서 각각 47.1톤으로 나누어지고 이를 북구지역 공공생활자원수집센터 1로 각각 수송한다. 북구지역 공공생활자원수집센터 1에서는 188.4톤을 처리하여 이 중 84.4톤은 42.2톤(=84.4/2)으로 나누어 북구지역 재활용업체 1, 2로 각각 수송하고, 13.8톤은 달서구지역 소각업체 1로 수송한다. 나머지 90.2톤은 달성군지역 매립업체 1로 수송한다. 이러한 방식으로 수송을 할 경우에 발생하는 유통비와 수거/수송비용을 전체적으로 합하면 Table 3의 1,624,351원이 된다.

처리비용의 경우, 예를 들어 중구지역의 총 처리비용 104,147,520원은 다음과 같은 방식으로 계산된다. 중구지역 생활폐기물 총 발생량 188.4톤은 먼저 중구지역의 네 군데 수집/운반업체에서 각각 47.1톤씩 처리되기 때문에 그 비용은 총 19,932,323원 (= 47.1톤 * 4(업체수) * 105,798원(톤당 수거/운반비용))이 된다. 두 번째 단계인 북구지역 공공생활자원회수센터 1에서는 총비용 42,107,588원(= 188.4톤 * 223,501원(톤당 처리비용)), 마지막 단계인 북구지역 재활용업체 1, 2에서는 총비용 18,863,484원 (= 42.2톤 * 2(업체수) * 223,501원), 달서구지역 소각업체 1에서는 3,084,314원 (= 13.8톤 * 223,501원), 달성군지역 매립업체 1에서는 20,159,790원 (= 90.2톤 * 223,501원)이 되어 결국 중구지역 전체에서 발생하는 생활폐기물

Table 4 Computation result of revised method

(unit: won)

	Transp. cost		Transp. cost
	Collection company	Buk-gu - Pub. res. rec. center 1	Dalsung-gun - Recyc. company 16
Juong-gu	813,994		4,601,448
Dong-gu	1,502,521		
Seo-gu	1,108,676		1,654,792
Nam-gu	927,508		
Buk-gu	1,807,253		6,253,800
Susung-gu	1,745,045		
Dalseo-gu	3,296,338		
Dalsung-gun	1,730,422		
Sum.	12,931,757		12,510,040
	Treat. cost		Fixed cost
Juong-gu	104,147,520		
Dong-gu	194,917,280		
Seo-gu	140,024,240		
Nam-gu	120,012,880		
Buk-gu	241,186,640	Pub. res. rec. center 1	652,069
Susung-gu	226,762,918		
Dalseo-gu	324,714,720	Inciner. company 1	826,707
Dalsung-gun	129,134,080	Recycling company 16	813,171
		Reclam. company 1	820,743
Sum.	1,480,900,278		3,112,690

을 처리하기 위한 비용의 합계는 104,147,520원 (= 19,932,343원 + 42,107,588원 + 18,863,484원 + 3,084,314원 + 20,159,790원)이 된다.

고정비용의 경우, Table 2를 이용하여 계산한다. 즉 동구, 서구, 북구, 달서구, 달성군지역들의 경우에는 개설되는 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체들의 고정비용의 합을 구하면 되고, 나머지 지역인 중구, 남구, 수성구지역은 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체가 개설되지 않기 때문에 그 비용의 합이 0이다.

Table 4의 개선방안의 결과에서 총 수송비용 25,441,797원 (= 12,931,757원 + 12,510,040원)은 8개 기초자치단체 모두에서 발생하는 생활폐기물 전량을 북구지역의 공공생활자원회수센터로만 수송할 경우에 발생하는 비용 12,931,757원과 북구지역의 공공생활자원회수센터에서 달성군지역의 재활용센터 16, 매립업체 1, 달서구지역의 소각업체 1로 각각 수송할 때의 발생하는 비용 12,510,040원을 합한 것이다. 처리비용의 경우에는 총 비용 1,480,900,278원이며, 고정비용의 경우에는 북구지역의 공공생활자원회수센터

1, 달성군지역의 재활용센터 16, 매립업체 1, 달서구지역의 소각업체 1만 개설되기 때문에 이들 센터 및 업체의 개설에 필요한 비용만을 계산하여 합하면 된다.

Table 3와 Table 4의 각 비용을 분석해 보면, 먼저 수송비용의 경우는 기존운영방식은 총 27,022,488원이고, 개선방안은 총 25,441,797원이 되어 개선방안이 1,580,691원(약 5.9%) 더 절감되는 것을 알 수 있다. 이러한 차이는 기존운영방식의 경우에는 8개 기초자치단체에 속한 수집/운반업체들이 미리 정해진 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체로 생활폐기물을 수송하게 되지만 개선방안의 경우에는 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체가 RL네트워크 각 단계별로 오직 한 군데만 개설되고 개설된 센터 및 업체로만 수송을 하게 되기 때문이다. 구체적으로 살펴보면, 수송거리측면에서는 기존운영방식이 개선방안보다 짧지만, 수송경로측면에서는 기존운영방식이 개선방안보다 훨씬 더 복잡하게 된다. 결국 이러한 수송거리와 수송경로의 차이 때문에 전체적으로 보면 개선방안이 기존운영

방식보다 비용이 더 절감되는 효과를 볼 수 있다.

고정비용의 경우는 기존운영방식은 총 36,564,940 원이고, 개선방안은 총 3,112,690원이 되어 개선방안이 33,452,250원(약 91.5%) 더 절감되는 것을 알 수 있다. 이러한 비용의 차이는 기존운영방식의 경우에는 8개 기초자치단체들 지역에 존재하는 모든 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체를 개설해야 하지만 개선방안의 경우에는 RL네트워크 각 단계별로 오직 한 군데의 센터와 업체만을 개설하기 때문이다. 결국 전체 고정비용 측면에서 보면 개선방안이 기존운영방식보다 훨씬 더 비용절감 효과를 볼 수 있는 것으로 판단된다. 처리비용의 경우에는 기존운영방식과 개선방안 모두 동일한 비용(1,480,900,278원)을 가지는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 RL네트워크 각 단계별로 어떤 업체 및 센터가 개설되더라도 동일 단계에서의 생활폐기물 단위당 처리비용은 동일하다는 III장 수리모델 설계에서 제시한 가정에 근거하고 있다.

기존운영방식과 개선방안에 대한 RL네트워크 운영 상황은 Fig. 3와 Fig. 4에 제시되어 있다. 기존운영방식의 경우 Fig. 3에서 보는 것과 같이 각 기초자치단체별로 존재하는 모든 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체가 개설되며, 수집/운반업체에서 이들 모든 센터 및 업체들로 사전에 결정된 수송경로를 통해 수송을 하고 있기 때문에 RL네트워크에서 각 업체와 센터 간 수송거리는 비교적 짧지만, 수송경로가 상당히 복잡하게 된다. 이와는 반대로 개선방안의 경우 Fig. 4에서 보는 것과 같이 RL네트워크 각 단계에서 한 군데의 공공생활자원회수센터, 재활용업체, 소각업체, 매립업체만 개설되며, 수집/운반업체에서 이들 개설된 센터 및 업체로만 수송을 하기 때문에 RL네트워크에서 각 업체와 센터 간 수송경로는 비교적 단순하지만 수송거리는 길어지게 된다. 결국 RL네트워크 운영에 있어서 기존운영방식과 개선방안의 이러한 차이는 수송거리와 수송경로의 차이, 각 업체 및 센터의 개설유무 차이를 야기 시키며, 이로 인해 수송비용, 고정비용의 차이가 발생하게 된다.

이상과 같은 분석을 종합하여 보면, 수송비용, 처리비용, 고정비용을 합한 총비용은 기존운영방식이 1,544,487,706원이고 개선방안이 1,509,454,765원이 되어 개선방안이 35,032,941원(약 2.3%) 더 절감되는 것

을 알 수 있다.

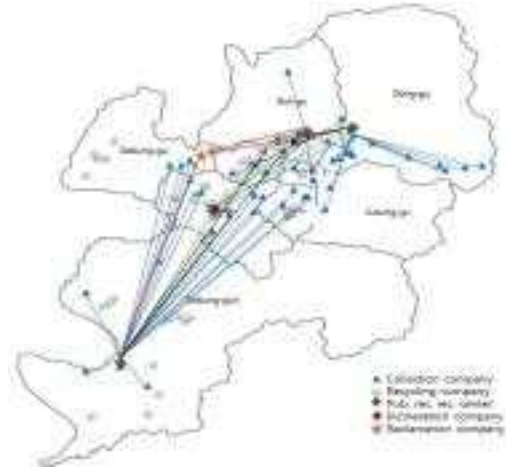


Fig. 3 RL network operation of conventional method



Fig. 4 RL network operation of revised method

비록 기존운영방식과 개선방안의 총비용 간 차이가 크지 않지만 이러한 결과는 1일 기준으로 비교된 결과이기 때문에 만일 1년(299일 = 365일/년 - 66일(일요일 및 국경일), 2012년 기준)을 운영한다면 개선방안이 기존운영방식보다 10,474,849,359원(= 35,032,941원 * 299일) 더 절약되는 것을 알 수 있어 개선방안이 상당한 효율성을 나타낸다고 볼 수 있다.

4.1 민감도 분석

Table 3, Table 4, Fig. 3, Fig. 4의 비교분석을 통

해 기존운영방식보다 개선방안이 더 효율적이라고 분석되었다. 기존운영방식과 개선방안의 가장 큰 차이점은 기존운영방식의 경우에는 D광역시 8개 기초자치단체의 모든 센터 및 업체를 개설하여 운영하는 것이고, 개선방안의 경우에는 RL 네트워크 각 단계에서 오직 한 군데의 센터 및 업체만을 개설하여 운영하는 것이다. 따라서 개선방안의 경우 개설되는 한 군데의 센터 및 업체는 기존운영방식에서 개설되는 모든 센터 및 업체들의 생활폐기물 처리용량을 동일하게 가지며 처리할 수 있어야 한다. 이것이 가능한 것은 이미 III장 가정에서 언급하였기 때문이다. 하지만 이러한 가정이 좀 더 현실적으로 인정받기 위해서는 개선방안에서 개설되는 오직 한 군데의 센터 및 업체들의 처리능력이 더 확장되어야 할 것이다. 일반적으로 처리능력의 확장을 위해서는 시설 및 설비의 확장, 인력의 확충이 전제되어야 하며, 이를 위해서는 각 센터 및 업체의 고정비용 증가가 불가피할 것이다. 따라서 개선방안에서 개설되는 복구-공공생활자원회수센터 1, 달성군-재활용센터 16, 달서구-소각업체 1, 달성군-매립업체 1의 고정비용을 일정수준까지 지속적으로 증가시켜 보고 이러한 증가폭에 따른 총비용이 어느 정도 수준까지 도달했을 때 기존운영방식의 총비용과 상쇄(Trade-off) 되는지를 확인해 볼 필요가 있을 것이다. Fig. 5는 개선방안에서 개설되는 센터 및 업체의 고정비용을 지속적으로 상승시켜보았을 때 총비용이 어느 정도까지 상승하는지를 보여주고 있다.

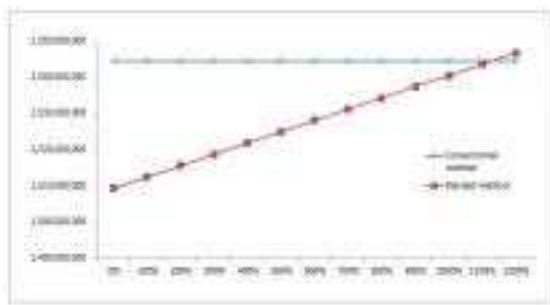


Fig. 5 Total cost comparison for increasing fixed cost between conventional method and revised method.

Fig. 5를 살펴보면, 개선방안에서 고정비용을 100%씩 상승시켰을 때 총비용도 지속적으로 상승하는 것

일 알 수 있다. 이러한 상승폭은 고정비용이 약 1,100%(약 11배 증가)가 되었을 때 개선방안의 총비용이 기존운영방식의 총비용과 거의 일치하며, 더 이상의 고정비용 상승은 개선방안이 기존운영방식보다 총비용 측면에서 더 비효율적이라는 것을 알 수 있다. 따라서 만일 개선방안과 같이 RL네트워크 각 단계에서 오직 한 군데의 센터 및 업체만을 개설하여 운영하며, 개설된 센터 및 업체가 기존운영방식과 같이 모든 생활폐기물을 처리할 수 있는 충분한 능력을 갖추지 못할 경우에는 개설되는 센터 및 업체의 고정비용의 증가를 통해 충분한 능력을 갖추도록 해야 한다. 본 연구에서 사례로 제시한 D광역시 8개 기초자치단체의 경우에는 이러한 충분한 처리능력을 갖추도록 하기 위해서 개설되는 각 센터 및 업체의 고정비용 증가는 최대 약 1,100%(약 11배)이내가 되어야 한다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 D광역시 8개 기초자치단체들에서 발생하는 생활폐기물을 처리하기 위한 기존운영방식을 살펴보고 그 개선방안을 마련하는 것이 목적이다. 먼저 기존운영방식의 경우에는 현재 각 기초자치단체 별로 발생하는 생활폐기물을 수집/운반업체를 통해 수집한 후 이를 공공생활자원회수센터로 보낸다. 공공생활자원회수센터에서는 수집된 생활폐기물을 분류한 후 재활용이 가능한 생활폐기물은 재활용업체로 보내서 재활용을 하고, 그렇지 못한 생활폐기물은 소각업체와 매립업체로 각각 보내서 처리하고 있다. 기존운영방식에서는 생활폐기물 처리를 위한 RL네트워크에서 각 지역별로 복수의 업체가 개설되는 상황이 발생한다. 이 경우에는 생활폐기물을 어떻게 하면 복수의 업체들에게 효율적으로 배분하여야 하는지에 대한 문제점이 발생한다. 또한 각 지역별로 센터 혹은 업체가 개설되지 않은 경우가 있으며, 이를 해결하기 위해서 센터 혹은 업체가 개설되어진 인근지역으로 생활폐기물을 수송해서 처리해야 하며, 이렇게 인근 지역에서 생활폐기물을 처리할 경우에는 각 지역별로 독자적인 RL네트워크를 구축하기가 어려운 문제점이 있다. 이상과 같은 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서는 개선방안을 마련하였다. 개선방안에서

는 RL네트워크 각 단계별로 한 군데의 센터 및 업체만을 개설하여 운영하고, 기존의 8개 기초자치단체 각각이 그 운영 주체가 되는 것이 아니라 이들 기초자치단체를 총괄하는 D광역시가 운영주체가 되도록 하였다.

본 연구에서 제시한 개선방안의 효율성을 확인하기 위해 D광역시 8개 기초자치단체에서 발생하는 생활폐기물의 처리를 위한 각종 실제자료를 활용하여 기존운영방식과의 비교분석을 실시하였다. 비교분석 결과는 고정비용, 수송비용 측면에서 개선방안이 기존운영방식보다 더 효율적이라고 나타났다. 또한 개선방안에서 개설되는 센터 및 업체의 고정비용을 지속적으로 증가시킬 경우에 총비용 측면에서 기존운영방식과의 민감도분석을 실시하였다. 민감도 분석 결과는 개선방안에서 고정비용의 지속적 증가로 인해 총비용 또한 지속적으로 증가하게 되며 이러한 증가폭이 고정비용의 약 1,100%(약 11배) 이내가 될 때까지는 개선방안이 기존운영방식보다 유리하다고 분석되었다. 하지만 본 연구는 다음과 같이 몇몇 한계점을 가지고 있다. 첫째, 기존운영방식과 개선방안의 비교를 위해 가능하면 실제자료를 사용하였지만 고정비용은 가상의 데이터를 사용하였다. 둘째, 개선방안에서는 RL네트워크 각 단계별로 오직 한 군데의 센터 및 업체만을 개설하여 운영하고 있기 때문에 개설되지 못한 다수의 센터 및 업체들을 어떻게 처리할 것인지에 대한 방법론을 제시하지 못하였다. 셋째, 본 연구는 D광역시를 대상으로 하였기 때문에 그 연구결과를 타 광역시에 그대로 적용하기에는 무리가 따른다. 왜냐하면 각 광역시 마다 기초자치단체의 수와 규모가 다르고, 개설되어지는 센터 및 업체의 수도 다르며, 그 운영방식 또한 상이하기 때문이다. 이상과 같은 적용상의 한계점에도 불구하고 본 연구는 기존의 다루지 않았던 지역의 생활폐기물 처리과정에 대한 RL네트워크를 구성하고 이를 효율적으로 해결하기 위한 하나의 방법론을 제시하였다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있겠다.

Reference

- [1] D. J. Thomas and P. M. Griffin, "Coordinated Supply Chain Management," *European Journal of Operational Research*, Vol. 94, No. 1, pp. 1 - 15, 1996.
- [2] C. Charalambous and K. S. Hindi, "Applying GAs to Complex Problems: The Case of Scheduling Multi-stage Intermittent Manufacturing Systems," *International Conference on Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications*, Vol. 2-4, pp. 467-471, 1997.
- [3] R. B. Handfield and E. L. Nichols, "Introduction to Supply Chain Management," Prentice Hall, 1999.
- [4] H. Min, H. J. Ko and C. S. Ko, "A Genetic Algorithm Approach to Developing the Multi-echelon Reverse Logistics Network for Product Returns," *Omega*, Vol. 34, No. 1, pp. 56-69, 2006.
- [5] J. D. Kim, H. S. Choi and D. H. Lee, "A Case Study on the Stochastic Vehicle Routing in a Refuse Collection System," *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol. 7, No. 2, pp. 57-65, 2007
- [6] S. K. Srivastava, "Network Design for Reverse Logistics," *OMEGA*, Vol. 36, No. 4, pp. 535-548, 2008.
- [7] J. E. Lee, M. Gen and K. G. Rhee, "Case Study on Reverse Logistics for Product Reuse System," *Spring Joint Conference of Korea Management Science Society and Korea Industrial Engineering Society*, pp. 533-540, 2009.
- [8] Y. S. Yun, M. Gen and R. K. Hwang, "Adaptive Genetic Algorithm to Multi-stage Reverse Logistics Network Design for Product Resale," *Information: An International Interdisciplinary Journal*, Vol. 15, No. 12, pp. 6117-6138, 2012.
- [9] Y. S. Yun, "Analysis of Regionally Centralized and Decentralized Multistage Reverse Logistics Networks using Genetic Algorithm," *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 19, No. 4, pp. 87-104, 2014.
- [10] J. E. Lee, "Study on Reducing Logistics Costs and Inventory Control System according to Facilities Integration in the Closed-Loop

Supply Chain Environment,” Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, Vol. 19, No. 5, pp. 81-90, 2014.

[11] K. K. Cho, “The Effective Supply Method of the Public Service on the Local Autonomy Times,” Korean Association of Applied Economics, Vol. 3, No. 2, pp. 46-76, 2001.

[12] K. Y. Yoo and J. A. Jung, “Improvement in Contracting-out System for Solid Waste Collection in Seoul,” Working Paper, Seoul Development Institute, pp. 1-128, 2011

[13] S. H. Go. “On the Measurement of Local Municipality Solid Waste Treatment Efficiency: DEA Approach,” Journal of Korean Association for Policy Studies, Vol. 16, No. 3, pp. 209-231, 2007.

[14] E. S. Kang and J. S. Kim, “The Effect of Local Autonomy on Efficiency in the Provision of Environmental Services: The Case of Waste Disposal,” The Korean Association for Local Government Studies, Vol. 12, No. 4, pp. 159-181, 2008.

[15] K. Y. Yoo, J. A. Jung and H. H. Yoon, “A Study on Optimum Business Size of Solid Waste Hauler on the Basis of Collection Cost in Seoul,” Seoul Urban Research, Vol. 11, No. 1, pp. 111-125, 2010.

[16] S. M. Song, “A Study on the Improvement of Solid Waste Management System,” Master Thesis, Hanyang University, 2014.

[17] K. Y. Yoo and B. S. Kim, “Public-private Partnership to Encourage Material Recycling at the Local Level,” Working Paper, Seoul Development Institute, 2010.

[18] Ministry of Environment, “Treatment Status of Daily Wastes at Domestic Areas on 2012,” Ministry of Environment, 2013.

[19] J. M. Kwak, “Efficiency Analysis of Daily Wastes Treatment by Private Company,” Working Paper, Daegu Kyongbuk Development Institute, 1998.

[20] Y. S. Yun, “Evaluating Reverse Logistics

Networks using Genetic Algorithm Approach,” Journal of the Korean Society of Supply Chain Management, Vol. 13, No. 1, pp. 113-128, 2013.

[21] Naver, “Naver Map Search Service,” 2014.

[22] Korea Contracting-Out Management Institute, “A Study on the Integrated Costs for Classification and Collection of Daily Wastes,” Working Paper, Korea Contracting-Out Management Institute, 2013.

[23] Lindo, www.lindo.com, 2015



윤영수 (YoungSu Yun)

- 정회원
- 대구대학교 산업공학과 학사
- 건국대학교 산업공학과 석사, 박사
- Waseda University 정보생산시스템연구과 박사
- 현재: 조선대학교 경영학부 교수
- 관심분야: 유전알고리즘, SCM, 생산최적화



진성 (Xing Chen)

- 정회원
- 중국 서북제2민족대학교 경영학과 학사
- 전남대학교 무역학과 석사
- 현재: 조선대학교 경영학과 박사과정
- 관심분야: SCM, 생산최적화