

하수처리시설의 슬러지 수거 일정계획 수립 및 수거차량 경로결정

The Sludge Collection Scheduling and Vehicle Routing Strategies

김민제, 노의수, , 허은정, 최경현

한양대학교 산업공학과 (ghchoi@hanyang.ac.kr)

Abstract

We apply VRP(Vehicle Routing Problem) to sludge collection system in this study. Sewage stores of villages are located in each village around a multipurpose dam. Sludge which is produced in sewage store of village is transported from the sewage store of village to the sewage treatment plants by the special purpose vehicle such as the tank lorry.

In this paper, we propose sludge collection strategies which allocate each sewage store of village to sewage treatment plants and decide the schedule of sludge collection in order to collect sludge efficiently. The strategies aim to decrease transportation cost with deciding proposed vehicle routing and scheduling the sludge collection. When we decide route of vehicles, we consider the collection time in sewage store of village, distance between sewage store of villages and vehicle information as average velocity of vehicle, operation time of vehicle driver. We also develop the SCMS(Sludge Collection Management System) based on windows system with real data which is used in certain circumstance. And we experiment to figure out vehicle route and transportation cost throughout changing input data.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Scheduling, Sludge Collection System

1. 서론

상수원 보호를 위하여 다목적댐의 상류지역에는 마을마다 마을하수도가 설치되어 있다. 각 마을에 있는 마을하수도에 매일 하수를 저장하고 저장된 하수는 침전 과정을 거쳐 슬러지가 발생시킨다. 이 슬러지를 탱크로리 차량을 이용하여 각 마을하수도별로 할당된 하수

처리장으로 운반한다. 운반된 슬러지는 탈수처리를 하여 소각 혹은 매립할 수 있는 폐기물로 바꾼다.

마을하수도는 넓은 지역에 분포되어 있으며, 여기서 발생하는 슬러지를 탈수처리시설이 있는 하수처리장으로 운반하는데 수송비용이 많이 발생한다. 또한, 슬러지의 발생량이 마을마다 상이하기 때문에 수송비용을 최소화하는 효율적인 최적 수거전략이 필요하다.

최적 수거전략을 수립하기 위하여 수리적인 논리하에서 슬러지 수거차량의 이동경로와 마을하수도별 슬러지 수거 일정계획을 수립하는 과정이 필요하다.

본 연구에서는 차량의 평균 속도, 운행가능 시간 등과 같은 차량정보와 하수처리 시설간의 이동 거리, 마을하수도별 서비스 시간 등을 고려하여 슬러지 수거차량의 최적경로와 마을하수도별 수거일정을 수립하고, 자동화된 시스템 개발을 통하여 운영자가 필요한 데이터의 수정과 신규 데이터 입력 등을 조작하여 하수 슬러지 수거관리가 가능하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 차량경로결정문제를 이용한 응용분야에 대하여 알아본다. 3장에서는 본 연구에서 차량경로결정문제의 정의와 수리모형을 제시하고 적용된 알고리즘에 관하여 소개한다. 4장에서는 제시된 수리모형과 알고리즘을 실제 데이터로 실험한 결과와 전체적인 프로세스를 윈도우 환경의 시스템으로 구현한 결과를 보여준다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 추후 연구 과제를 제시한다.

2. 차량경로결정문제와 응용

일반적인 차량경로결정문제(Vehicle Routing Problem : VRP)는 승객 또는 화물의 수거(pickup) 및 배달(delivery)을 최소의 비용으로 수행하기 위한 수리계획 문제이다. 이러한 차량경로결정문제는 많은 연구가 이루어져 왔고 현재도 수리계획법 측면의 효율적 알고리즘 개발 부분과 함께 실제 응용 연구 및 적용 분야도 활발하게 진행되고 있다.

차량경로결정문제는 기업 및 공공분야의 재화 흐름이란 측면으로 중요하게 인식되고 있다. 이는 각종 서비스를 제공하는 기업의 입장에서는 비용의 최소화라는 측면과 서비스를 제공받는 고객의 입장에서는 서비스 만족의 극대화라는 측면에서 중요성을 가지는 것이다. 하지만 이 둘을 동시에 만족시키는 최적의 차량 경로를 결정하는 것은 다양하고 복잡한 현실적 제약에 의해 쉽지 않은 의사결정 사항이 되고 있다. 이에 많은 연구들을 통하여 다양한 환경에서 최적의 차량 경로를 결정하여 의사결정에 도움을 주고 있으며 아직도 많은 부분들이 연구되고 있는 실정이다.

본 연구의 핵심내용은 차량경로결정문제의 실제적 응용방안에 있으므로, 차량경로결정문제를 이용한 다양한 응용 연구에 대하여 정리 요약하였다.

Potvin, et al.(1989)은 VRP 알고리즘을 구현한 컴퓨터 시스템을 개발하고 캐나다 몬트리올 북부에 위치한 Bourassa 우체국의 우편 배달서비스에 적용하였다. 그리고 Hollis, et al.(2005)은 호주에 있는 우체국에 적용을 하였다. 여기에 사용된 방법은 열생성기법에 기반을 둔 알고리즘으로 Depot가 여러 개인 차량경로결정문제와 작업자 일정계획이 혼합된 문제를 풀었다. Ruiz, et al.(2004)은 첫 번째 단계에서 열거법을 통하여 차량의 경로를 구성하고 그 후 두 번째 단계에서 가능한 경로들의 집합으로부터 최적경로를 선택하는 정수계획법으로(Integer Programming) 모델링되어 풀어나갔다.

또한, 차량경로결정문제는 물류회사에도 다양하게 적용되었다. Gulay and Demet(1999)는 터키에 있는 유통회사의 경로문제를 풀기 위해 차량경로결정문제에 좋은 해를 제공하는데 잘 알려진 타부 서치 방법을 사용하여 최적해에 가까운 해를 구하였다. 그리고 차량 경로결정문제의 다른 형태인 트럭과 그에 부수적인 트레일러의 경로결정에 대한 연구도 있었다. Chao(2002)는 기본적인 차량경로결정문제로부터 변환시킨 21개의 문제들을 타부 서치 방법으로 실험하였고, Scheuerer(2004)는 새로운 발견적 해법과 타부 서치 알고리즘을 적용하여 실험하였다. Tan, et al.(2005)은 수송해야 하는 물품이 적재되어 있는 컨테이너를 수송하기 위한 수송문제에 적용하였다. 차량이 제한되어 있을 때 차량이 더 필요한 경우에 다른 회사에 아웃소싱을 줘서 해결하는 환경에 처음으로 적용하였다. 여기서는 Hybrid Multi-Objective Evolutionary Algorithm(HMOEA)을 통하여 차량경로일정과 차량수를 결정하였다. Fleischmann, et al.(2004)은 물류분야에 실시간 정보가 제공되고 의사소통시스템의 발전에 따라 요구된 차량의 경로를 결정하는 적합한 알고리즘을 개발하였다. 실제 도시의 교통상황에 대하여 계획된 주기마다 고객의 수송과 배송 요구가 시간 제약을 가지며 랜덤하게 발생될 때 실시간 정보를 이용하여 차량 경로를 구했다. Tadei, et al.(2002)은 이탈리아 북부에 위치하는 자동차 수송회사의 실제 데이터를 가지고 자동차를 운반하는 트럭인 Auto-carrier의 차량적재방법과

적재차량선택과 Auto-carrier의 차량운행경로 결정하는 문제에 적용하여 Integer Programming 형태로 모델링하고 발견적 기법으로 해를 구하였다.

차량경로결정문제는 유지보수를 위한 분야에도 적용되었다. Blakeley and Knolmajer(2003)는 Schindler Elevator 회사의 북미지역 엘리베이터 유지보수를 위한 자동화된 유지보수작업자 경로일정계획 시스템 개발하였다. 긴급 상황에 대비하기 위하여 긴급 상황이 발생한 지역에서 가까운 작업자의 위치를 데이터베이스와의 연동을 통해 파악하여 하여 주기적인 관리뿐 아니라 긴급 상황에 대한 대비도 가능한 시스템을 개발하였다. Perrier, et al(2005)은 겨울 도로의 유지보수 문제에 대하여 적용하였다. 겨울 도로 유지보수 계획은 도로가 어는 것을 방지하기 위해 화학물질을 뿌리는 차량, 눈을 녹이기 위해 소금을 뿌리는 차량, 눈을 치우는 차량, 도로와 인도의 공사를 위한 차량 등 여러 차량들의 경로와 관련이 되는 다양한 의사결정 문제를 포함한다. 여러 가지 운행제약에 따른 의사결정을 위한 최적모델을 제시하고 차량들의 경로를 구하기 위한 해법을 제시하였다. 또한 화학물질을 뿌리는 작업을 위한 경로결정문제등 여러 가지 유형을 조사하였다. Hadjiconstantinou, et al(1998)은 차량집단의 방문을 통하여 고객들에게 사고를 예방하는 유지보수 서비스를 제공하는 공익사업회사의 일정계획문제에 적용하였다. 이 문제에서는 각 Depot별로 서비스할 지리적인 위치의 한계를 결정하고 날짜별로 방문되는 고객들의 집합과 그에 따른 차량집단들의 경로를 구한다. 이러한 문제유형을 MDPVRP (Multi-Depot Period Vehicle Routing Problem)이라 한다. 고객들을 결정하는 과정은 여러 시나리오를 작성하여 발견적 방법으로 구했으며 경로를 결정하는 과정은 타부 서치 알고리즘을 통해 구했고 노드간 교환을 통한 단계를 거쳐 알고리즘의 성과를 향상시켰다.

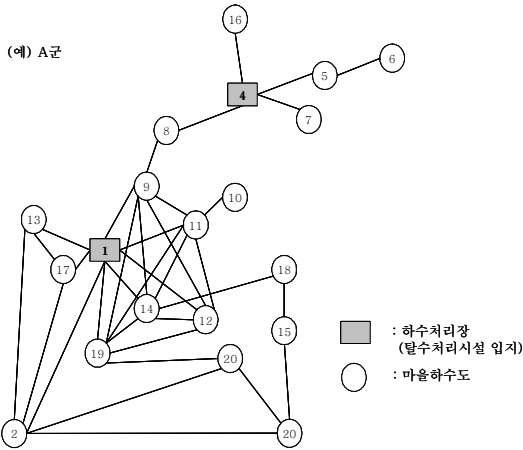
3. 수리모델 및 적용 알고리즘

앞에서 살펴본 바와 같이 차량경로결정문제를 활용하여 실제 환경에 적용한 사례가 많이 존재한다. 본 연구에서는 차량경로결정문제를 슬러지 수거 분야에 적용하여 보았다. 3장에서는 우선 적용대상이 되는 문제 환경과 해결방안에 대하여 알아보도록 한다. 그리고 경영과학에서 의사결정을 할 때 사용하는 수리계획으로 문제를 모델링한다. 그리고 제약사항을 고려하여 적용한 알고리즘으로 Clarke & Wright 알고리즘과 Modified First Fit Decreasing(MFFD) 알고리즘을 알아보도록 한다.

3.1 문제정의 및 해결방안

본 연구에서 차량경로결정문제를 적용한 슬러지 수거 분야의 환경에 대하여 알아보도록 한다. 다목적뎀 상류지역인 A군은 <그림 1>과 같은 네트워크 환경을 갖고 있다. 탈수처리시설이 입지하는 하수처리장과 마

을에서 발생하는 하수를 슬러지 형태로 변화시키는 마을하수도가 다수 존재한다. 하수처리장에서는 마을하수도에서 발생하는 슬러지를 취합하여 탈수처리를 한 후 매립을 하던지 소각을 한다. 매립과 소각은 하수처리장에서 자체적으로 하기 때문에 매립지의 위치나 소각지의 위치는 고려하지 않았다. 그리고 단위기간 중 최소 한 번 이상 슬러지 수거차량이 마을하수도를 방문하여 슬러지를 수거해야 한다는 제약이 존재한다.



<그림 1> A군의 네트워크

본 연구에서는 마을하수도별로 단위기간 중 발생하는 슬러지를 저장할 수 있는 마을하수도의 저장소가 존재한다고 가정하였다. 또한 슬러지 수거차량은 탱크로리 차량만 고려하였으며 슬러지 수거차량의 용량은 변화는 가능하지만 일정하다고 가정하였다. 대상 지역에는 슬러지 수거차량의 용량보다 단위기간동안의 슬러지 발생량이 많은 마을하수도가 존재한다. 이와 같은 경우에는 발생한 슬러지 양이 슬러지 수거차량의 용량보다 작아질 때까지 차량용량보다 초과된 슬러지를 슬러지 수거차량이 수거한 후 남아 있는 양을 대상으로 수송비용을 최소화하기 위한 경로결정을 한다. 단위기간은 변화가 가능하도록 하였다. 수송비용은 거리에 비례한다고 가정하였다. 수송비용은 다음 식 (1.1)과 같이 산출하였다. 연비는 탱크로리 차량의 종류마다 다르게 주어지며, 유류비는 일정하다고 가정하였다.

$$\text{수송비용} = \frac{\text{거리}}{\text{연비}} * \text{유류비} \quad (1.1)$$

이와 같은 상황의 해결방안을 다음과 같이 제시한다. 우선 첫 번째로 하수처리장별로 수송비용에 따라서 마을하수도를 할당하고 차량의 최적경로를 결정한다. 이를 통하여 필요한 탱크로리 차량대수를 결정하고 최적 하수 수거전략을 수립하도록 한다. 수거전략을 수립하는 방법으로는 수거차량이 방문할 마을하수

도를 결정하고 차량의 경로를 구하는 방법과 차량의 경로를 구하고 경로의 조합으로 수거전략을 세우는 방법이 있는데 본 연구에서는 차량의 경로를 구하고 경로의 조합으로 수거전략을 세우는 방법으로 접근을 하였다. 그리고 차량경로결정문제를 슬러지 수거 분야에 적용한 시스템을 개발하여 정보시스템화를 통한 운영을 제시하도록 한다.

3.2 수리모델

- 집합
 $N = \{0, 1, 2, \dots, n\}$: 마을하수도의 집합 (단, 마을하수도 0은 탈수처리시설이 있는 하수처리장)
 $N_0 = \{0, 1, 2, \dots, n, n+1\}$: 탈수처리시설이 있는 하수처리장을 포함한 마을하수도 집합
 $V = \{1, 2, \dots, v\}$: 슬러지 수거차량의 집합
 S : N 의 부분집합
- 매개변수
 c_{ij} : 마을하수도 i 에서 마을하수도 j 로 이동할 때의 수송비용
 q_i : 마을하수도 i 에서 단위당 슬러지 발생량
 Q : 슬러지 수거차량의 용량
 T : 슬러지 수거차량의 운행시간 (이동시간 + 수거작업시간, $T = 8$ 시간)
 t_{ij} : 슬러지 수거차량이 마을하수도 i 에서 마을하수도 j 사이를 이동할 때 걸리는 이동시간 (시간 = 거리/평균속도)
 s_i : 슬러지 수거차량이 마을하수도 i 에서 슬러지를 수거하는 시간
- 결정변수
 x_{ijv} : 슬러지 수거차량 v 가 마을하수도 i 와 마을하수도 j 를 이동하면 1, 이동하지 않으면 0

$$\min \sum_{i \in N_0} \sum_{j \in N_0} \sum_{v \in V} c_{ij} x_{ijv} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in N_0} \sum_{v \in V} x_{ijv} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N_0} x_{irv} - \sum_{j \in N_0} x_{rjv} = 0 \quad \forall r \in N, v \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} x_{in+1v} = 1 \quad \forall v \in V \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ojv} = 1 \quad \forall v \in V \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} q_i x_{ijv} \leq Q \quad \forall v \in V \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (t_{ij} + s_i) x_{ijv} \leq T \quad (7)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad (8)$$

$$x_{ijv} = \{0, 1\} \quad (9)$$

이 수리모델의 목적적인 식 (1)은 수송비용 최소화를 의미한다. 즉, 수송비용은 마을하수도의 방문여부와 관련되며 이를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 식 (2)는 마을하수도의 방문제약을 의미한다. 이는 모든 마을하수도는 한 번 방문해야한다는 제약이다. 식 (3)은 마을하수도별 유량보존제약을 의미한다. 마을하수도에 도착한 슬러지 수거차량은 그 지점에서 출발해야 한다는 유량보존 제약을 나타낸다. 식 (4)는 슬러지 수거차량의 도착제약을 의미한다. 이는 슬러지 수거차량은 다시 출발지점으로 돌아와야 한다는 것을 나타낸다. 또한 식 (5)는 슬러지 수거차량의 출발제약을 의미한다. 이것은 슬러지 수거차량은 출발지점에서 출발해야 한다는 것을 나타내는 것이다. 식 (6)은 마을하수도별 차량의 용량제약을 의미한다. 마을하수도에서 수거하는 슬러지양의 합은 슬러지 수거차량의 용량을 초과할 수 없다는 것을 나타낸다. 식 (7)은 슬러지 수거차량의 운행시간제약을 의미한다. 이는 슬러지 수거차량의 이동시간과 슬러지 수거작업시간을 합한 운행시간은 작업자의 운행시간을 초과할 수 없다는 것을 나타낸다. 식 (8)은 차량의 서브투어를 없애기 위한 제약식이다. 즉, 슬러지를 수거한 곳에 다시 방문하여 수거하는 상황이 발생되지 않도록 한다. 식 (9)는 결정변수의 이진변수 제약식이다.

3.3 적용 알고리즘

일반적인 차량경로결정문제를 살펴보면 본점에서 처리를 담당하는 대상노드가 정해져 있다. 그리하여 대상이 되는 노드에서의 발생량과 차량의 용량을 고려하여 차량경로를 결정하도록 하였다. 그러나 본 연구에서 적용한 슬러지 수거지역에서는 각 하수처리장에서 방문해야할 대상이 되는 마을하수도가 정해지지 않았다. 그리하여 각 하수처리장에서 슬러지를 수거해야하는 마을하수도를 할당하는 작업이 필요하다. 또한 일반적인 차량경로결정문제에서는 노드에서 필요로 하는 수량이나 노드에서 수거해야하는 수거량의 용량이 차량의 용량보다 작다는 가정이 존재한다. 그러나 본 연구에서 차량경로결정문제를 적용한 슬러지 수거 지역은 수거차량의 용량보다 슬러지의 발생량이 큰 마을하수도가 존재한다. 그리하여 연구대상이 되는 지역에 차량경로결정문제를 적용하기 위해 전처리 작업이 필요하다. 이러한 할당작업과 전처리 작업이 실행된 후에 Clarke & Wright 알고리즘을 적용하여 수거차량의 경로를 결정하고 Modified First Fit Decreasing (MFFD) 알고리즘으로 일정계획을 수립하도록 한다. 이러한 과정을 각 단계별로 표현해 보면 다음과 같다.

Stage 1. 하수처리장별 마을하수도 할당

모든 마을하수도에서 각 하수처리장까지의 거리를 비교하여 수송비가 적게 드는 가까운 하수처리장에 마을하수도를 할당한다.

Stage 2. 전처리 작업

차량의 용량보다 슬러지 발생량이 많은 마을하수도는 우선적으로 방문하여 차량의 용량만큼 수거하여 남은 슬러지양이 차량의 용량보다 적게 만든다.

Stage 3. 차량경로 결정

Clarke and Wright(Saving Method) 알고리즘을 적용하여 슬러지 수거차량의 경로를 결정한다.

Stage 4. 일정계획 수립

Modified First Fit Decreasing(MFFD) 알고리즘을 적용하여 단위기간 동안 슬러지 수거차량의 방문일정계획을 수립한다.

하수처리장에서 마을하수도까지의 거리와 마을하수도간의 거리를 최단경로를 알려주는 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘을 사용하여 구하고 모든 처리시설간의 최단거리를 고려하여 알고리즘을 적용한다. 다음은 문제에 적용한 Clarke & Wright 알고리즘의 절차이다.

Step 1. Saving Value 계산

탈수처리시설이 위치한 하수처리장에서 마을하수도 j 까지 다녀왔을 때의 거리와 출발지에서 다른 마을하수도 i 까지 다녀왔을 때의 거리를 구하고 두 마을하수도간의 거리를 구하여 차량이 두 노드를 한 번에 방문하였을 때 절약되는 거리를 구한다. 절약되는 값은 $s(i,j)$ 라고 한다. $s(i,j)$ 를 구하는 식은 다음 식 (1.2)와 같다. 1은 탈수처리시설이 위치한 하수처리장을 의미하고, $d(i,j)$ 는 i 에서 j 까지의 거리를 나타낸다.

$$s(i,j) = d(1,i) + d(j,1) - d(i,j) \quad (1.2)$$

Step 2. 내림차순 정렬하여 Saving List 생성

모든 마을하수도를 대상으로 $s(i,j)$ 를 계산하여 구하고 절약되는 값이 큰 순서대로 내림차순으로 정렬하여 Saving List를 생성한다.

Step 3. Saving List 끝까지 연결여부 검색

탈수처리시설이 위치한 하수처리장에서부터 $s(i,j)$ 값이 큰 순서대로 연결하고 차량용량 제약과 시간제약을 고려하여 가능해로 판단되면 차량의 경로에 마을하수도를 추가하고 Saving List에서 해당 마을하수도 쌍을 삭제한다. 그 후 다시 Saving List를 탐색하여 위반이 될 때까지 연결한다. 만약 위반이 되는 마을하수도가 발생되면 연결하지 않고, 다른 차량으로 수거하기 위해 출발지부터 다시 연결하도록 한다.

Step 4. 수거완료 여부 탐색

하수처리장에서 출발한 차량이 할당된 마을하수도를 모두 방문하여 슬러지 수거가 완료되었는지 여부를 탐색하여 모든 마을하수도에서 슬러지 수거가 되지 않았을 때는 다시 Step 3으로 가서 Step 3을 수행하고 슬러지 수거가 완료되었을 때는 알고리즘을 종료한다.

<그림 2>는 본 연구에 적용한 Modified First Fit Decreasing(MFFD) 알고리즘의 흐름도를 나타낸다. Modified First Fit Decreasing(MFFD) 알고리즘은 기존의 배낭 문제(Bin Packing Problem)의 해법 중에 하나인 First Fit Decreasing(FFD) 알고리즘을 수정하여 개발한 알고리즘이다.

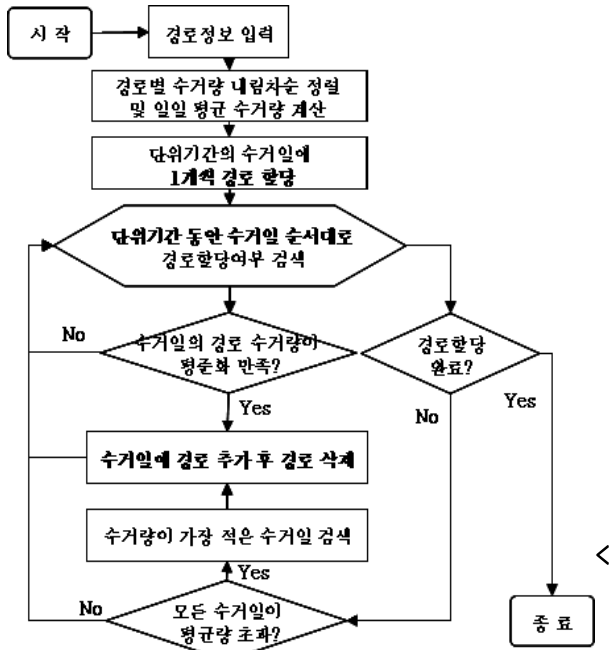


그림 2> MFFD 알고리즘의 흐름도

Step 1. 경로별 수거량 내림차순 정렬 및 평균량 계산

Clarke & Wright 알고리즘으로 발생한 경로들의 수거량을 내림차순으로 정렬하고, 일일 평균량을 계산한다. 이는 단위기간 동안 수거량을 평준화하게 수거하기 위한 전처리작업이다.

Step 2. 단위기간의 수거일에 1개씩 경로 할당

초기에 단위기간의 수거일에 정렬한 경로를 순서대로 경로를 할당하여 준다. 이점이 기존의 FFD와의 차이점이다. Bin을 수거일로 보고 단위기간 만큼 생성 후 경로를 하나씩 넣어주어 FFD 알고리즘이 가능하도록 만들어준다.

Step 3. 단위기간 동안 수거일에 경로할당검색

일일 평균 수거량 보다 커지지 않게 수거일에 순서대로 경로를 할당해준다.

Step 4. 경로할당 완료 여부 탐색

모든 경로가 수거일에 할당이 되었으면 알고리즘은 종료된다. 그렇지 않은 경우는 모든 수거일이 평균량을 초과하는지 탐색 후 Step 3으로 간다. 이때, 초과하면 수거량이 가장 작은 수거일에 경로를 할당하고 Step 3으로 간다.

4. 슬러지 수거 관리 시스템

본 절에서는 Visual C++ 6.0과 Visual Basic 6.0, MS Access 2000을 이용하여 구현한 본 연구의 산출물인 슬러지 수거차량의 운영 시스템을 보여준다. 차량의 평균 속도, 운행가능 시간 등과 같은 차량정보와 하수처리 시설간의 이동 거리, 하수처리장별 서비스 시간 등 관련정보를 입력하면 앞에서 언급한 알고리즘을 통하여 슬러지 수거차량의 방문정보와 일정계획이 표로 출력되고 지도상으로 경로가 표현된다.

시스템은 기본적으로 입력되어 있는 데이터베이스에서 하수처리시설간의 거리와 슬러지를 수정할 수 있게 하는 거리정보와 슬러지정보를 수정하는 부분이 있다. 그리고 슬러지 수거차량이 이동할 때 필요한 하수처리시설간의 최단경로를 검색하는 부분 또한 포함된다. 또한 슬러지 수거차량의 이동경로를 결정하기 위해 차량정보와 관련정보를 입력하는 부분과 슬러지 수거차량의 이동경로를 경로별로 나타내어 주는 표 형태와 대상지역에 그래픽으로 나타내는 부분으로 구성되어 있다.

시스템의 대상이 되는 슬러지 수거지역은 총 세 지역이며 각 지역별로 발생하는 슬러지의 양은 상이하 며 다른 네트워크를 가지고 있다. 본 논문에서 대상으로 한 지역은 <그림 1>에서 나타낸 A군을 대상으로 한다.

시스템은 지점간의 거리정보와 지점에서의 슬러지 발생량을 수정하는 데이터베이스 수정 부분과 지점간의 최단경로를 탐색하여 알려주는 부분과 탈수처리시설의 위치에 따른 수거차량의 최적경로와 일정계획을 결정하는 부분으로 구성되어 있다.

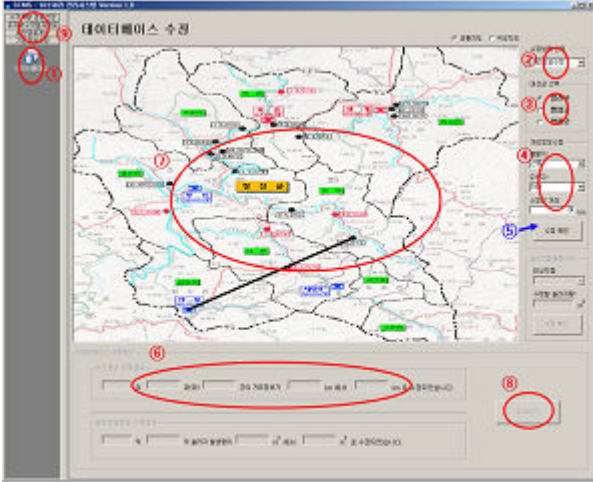
다음 절에서는 슬러지 수거 관리 시스템 화면과 구성에 관하여 알아보도록 한다.

4.1 데이터베이스 수정

(1) 거리 정보 수정

①은 데이터베이스 수정을 시작하는 부분이고, ②에서 거리정보 수정을 선택한다. ③에서 대상지역 선택하고, ④에서 출발지와 도착지를 선택하여 수정할 거리를 입력한다. ⑤를 누르면 프로그램 실행되고 ⑥에서 수정된 거리정보를 다시 확인할 수 있으며, ⑦에서 출발지

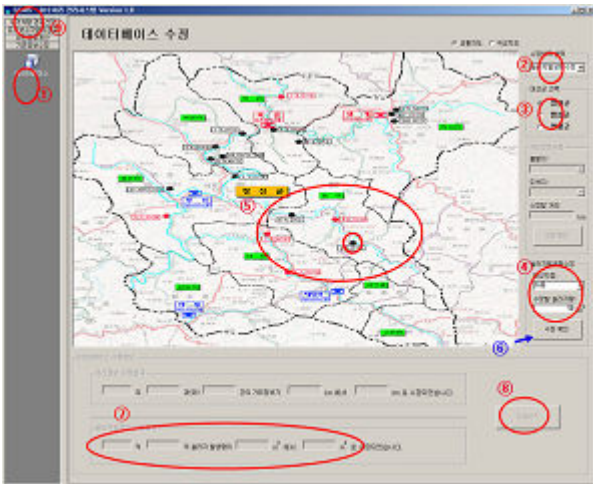
와 도착지의 위치와 거리가 지도위에 표현된다. ⑧은 다시 실험하고 싶을 때 선택하고 ⑨는 다른 메뉴로 이동하기 원할 때 선택한다.



<그림 3> 거리 정보 수정 화면

(2) 슬러지 정보 수정

①은 데이터베이스 수정을 시작하는 부분이고, ②에서 슬러지 정보 수정을 선택한다. ③에서 대상지역 선택하고 ④에서 슬러지 발생량을 변경할 대상지점을 고르면 ⑤에서 대상지점을 지도위에서 표현한다. ⑥에서 프로그램을 실행하고 ⑦에서 수정한 슬러지 발생량을 다시 확인할 수 있다. ⑧은 다시 실험하고 싶을 때 선택하고 ⑨는 다른 메뉴로 이동하기 원할 때 선택한다.

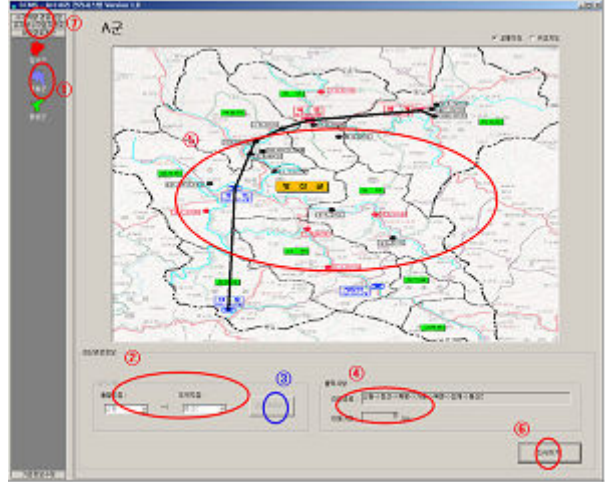


<그림 4> 슬러지 정보 수정 화면

4.2 최단경로 검색

①에서 대상지역을 선택하고 ② 출발지점과 도착지점을 고른 후, ③에서 실행버튼을 클릭하여 프로그램을 실행한다. ④에서 출발지점에서 도착지점까지 이동경로

와 이동거리 출력이 되고 ⑤에서 이동경로를 지도에서 표현한다. ⑥은 다시 실험하고 싶을 때 선택하고 ⑦은 다른 메뉴로 이동하기 원할 때 선택한다.

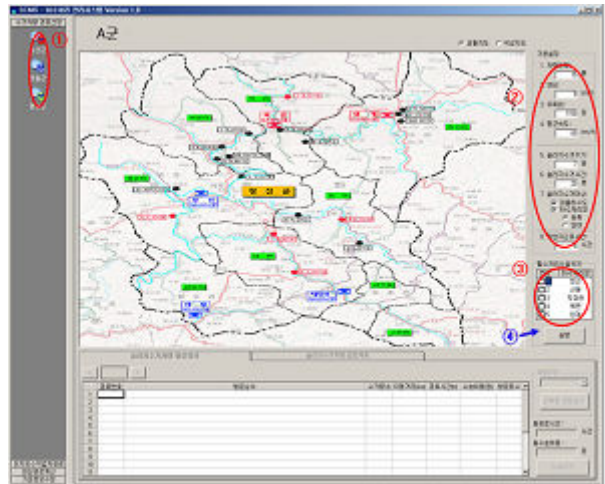


<그림 5> 최단거리 검색 화면

4.3 탈수처리시설의 위치에 따른 수거차량 경로 및 일정계획 결정

(1) 입력화면

①에서 대상지역을 선택하고 ②에서 수거차량 정보 및 작업자 정보 입력한다. ③에서 탈수처리시설을 설치하는 하수처리장 선택하고 ④에서 실행버튼을 클릭하여 프로그램을 실행한다.

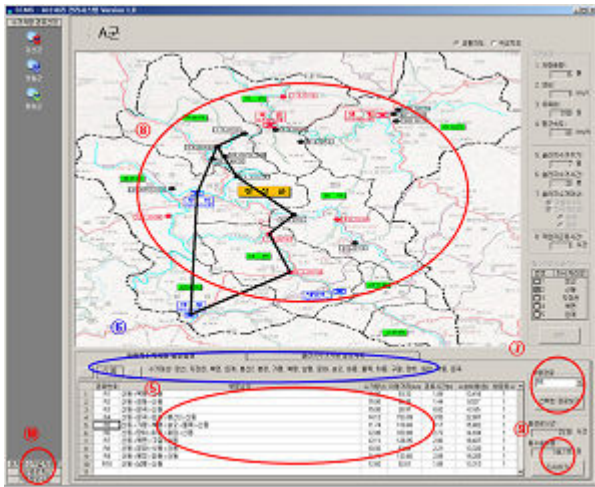


<그림 6> 차량경로결정 및 일정계획 입력화면

(2) 출력화면

⑤부분은 알고리즘에 의해 경로별 방문순서, 슬러지 수거량, 차량의 이동거리, 경로시간, 수송비용, 발생횟수의 경로정보와 수거일별 운행경로번호, 일일수거량,

일일이동거리, 일일경로시간, 일일수송비용, 일일필요 차량의 일정계획이 출력되는 부분이다. ⑥부분은 선택한 탈수처리시설에 할당된 마을하수도를 보여주는 부분이다. (화살표를 누르면 탈수처리시설이 설치된 다른 하수처리장에 할당된 마을하수도를 나타낸다.) 또한, 여기서 경로정보와 일정계획을 전환할 수 있다. ⑦은 ⑤번 부분에 출력된 경로들 중, 지도 위에 경로를 도시화할 때 콤보박스에서 원하는 경로를 선택하는 부분이다. ⑧은 ⑦에서 선택된 경로를 지도에서 보여주는 부분이다. ⑨는 다시 실험하고 싶을 때 선택하고 ⑩은 다른 메뉴로 이동하기 원할 때 선택한다.



<그림 7> 차량경로결정 및 일정계획 출력화면

5. 결론 및 추후 연구과제

A군을 대상으로 하수처리장과 마을하수도에 대하여 적재용량이 다른 차량을 사용하여 단위시간을 5일에서 마을하수도의 저장가능 기간인 10일까지 변화시키면서 최적경로를 결정하는 실험을 하였을 때 발생하는 수송비용을 비교하여 보았다. 수송비용은 앞의 식 (1.1)에서 나타난 것과 같이 계산하였으며, 유류비는 1300원, 연비는 5톤 차량은 9 km/h, 15톤 차량과 25톤 차량은 8 km/h로 가정하고 계산하였다. (※ 일별수송비 = 수송비 / 단위시간) 수송비용을 비교하기 위해 일일수송비용을 구하였다. 이에 따라 비용에 대해 분석을 하면 수거 단위시간에 상관없이 차량용량이 커질수록 일별수송비용은 감소되는 것을 알 수 있다. 또한 단위시간이 길어질수록 일별수송비용은 감소되는 것을 알 수 있다. 5일에서 10일의 단위시간 차량용량에 관계없이 단위시간이 9일일 때 가장 수송비용이 적게 나왔다. 이를 통하여 A군은 25톤 탱크로리 차량으로 9일 단위로 슬러지를 수거할 때 수송비용이 가장 적게 든다는 것을 알 수 있다.

본 연구를 통하여 슬러지 수거차량의 경로를 결정한 분야에 대해 차량용량 제약이 있는 차량경로결정문

제를 적용하여 수리적인 모델을 제시하고 알고리즘을 통해 해를 도출해내는 시스템화에 성공하였다. 그리고 슬러지수거 대상지역에서 차량경로에 따른 슬러지 수거 일정계획을 수립하였으며, 단위시간과 차량용량 변화에 따른 수송비용 비교도 하였다.

본 연구의 결과물인 슬러지 수거 관리 시스템은 다양한 수거조건으로 여러 지역에 대하여 수송비용을 비교함으로써 실제 운영계획에서 경로결정과 일정계획에 대하여 직접적으로 사용될 수 있다. 뿐만 아니라 주어진 시간에 따른 수송비용의 비교를 통하여 경제적 평가를 수행하는 절차인 LCC(Life Cycle Cost)의 중요한 요소로 측정되어 건설 분야에서도 사용할 수 있으며 유지관리 분야에서 의사결정에 중요한 정보를 제공해 줄 수 있다.

향후에는 본 연구에서의 사용한 알고리즘이 발견적 기법이므로 최적해를 보장하지 않기 때문에 Exact Algorithm 개발 필요하다. 또한, k-opt와 타부서치 등의 발견적 해법을 추가함으로써 차량경로선정 방법을 개선할 수 있을 것이다.

그리고 본 연구에서 다루지 않았지만 현실적으로 고려할 수 있는 복잡한 문제 상황이 많이 남아있다. 마을하수도 저장용량이 고정되어 있을 경우와 마을하수도마다 다를 경우에 대한 최적화 모델의 개발과 하수처리장에 설치된 탈수처리시설의 처리량을 고려한 최적화 모델의 개발에 대한 연구가 가능할 것이다. 또한 용량이 다른 탱크로리 차량이 복합적 고려된 모델에 관한 연구를 할 수 있을 것이라 생각한다. 한편 하수처리시설의 최적입지 결정문제에 관한 접근을 생각할 수 있으며 수거전략을 수립하는데 있어서 방문지 결정과 차량경로결정을 동시에 할 수 있는 통합 모델링에 대한 연구를 할 수 있을 것이라 생각한다.

참고문헌

- Blakeley, F., Bozkaya, B., Cao, B, Hall, W. and Knolmayer, J. (2003), Optimizing periodic maintenance operations for schindler elevator corporation, *Interfaces*, **33**(1), 67-79
- Chao, I. M. (2002), A tabu search method for the truck and trailer routing problem, *Computers & Operations research*, **29**, 33-51
- Clarke, G. and Wright, J. (1964) Scheduling of Vehicles form a Central Depot to a Number of Delivery Points, *Operations Research*, **12**, 568-581
- Fleischmann, B., Gnutzmann, S. and Sandvof, E. (2004) Dynamic vehicle routing based on online traffic information, *Transportation Science*, **38**(4), 420-433
- Gulay, B. and Demet, O. (1999), A tabu search algorithm for the vehicle routing problem, *Computers & Operations Research*, **26**, 255-270
- Hadjiconstantinou, E. and Baldacci, R. (1998), A

- Multi-Depot period Vehicle Routing Problem arising in the Utilities Sector, *Operational Research Society*, **49**(12), 1239-1248
- Hollis, B. L., Forbes, M. A. and Douglas, B. E. (2005), Vehicle routing and crew scheduling for metropolitan mail distribution at Australia Post, *European Journal of Operational Research*.
- Perrier, N., Langevin, A. and Campbell, J. F. (2005), A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part III : Vehicle routing and depot location for spreading, *Computers & Operations Research*
- Perrier, N., Langevin, A. and Campbell, J. F. (2005), A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part IV : vehicle routing and fleet sizing for plowing and snow disposal, *Computers & Operations Research*
- Potvin, J., Lapalme, G. and Rousseau, J. (1989), A computer system for the design of vehicle routing algorithms, *Computers & Operations Research*, **16**(5), 451-470
- Ruiz, R., Maroto, C. and Alcaraz, J. (2004), A decision support system for a real vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research*, **153**, 593-606
- Scheuerer, S. (2004), A tabu search heuristic for the truck and trailer routing problem, *Computer & Operations Research*
- Tadei, R., Perboli, G. and Croce, F. D. (2002), A heuristic algorithm for the auto-carrier transportation problem, *Transportation Science*, **36**(1), 55-62
- Tan, K. C., Lee, L. H., Zhu, Q. L. and Ou, K. (2001), Heuristic Methods for Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Artificial Intelligence in Engineering*, **15**(3), 281-295