

일반거리 및 3-D GIS 기반의 차량운송계획모델의 비교연구

A Comparative Study on l_p -Distance and 3-D GIS Based VRP Model

황 홍석*, 최 배석

* 동의대학교 정보산업공학과

Tel : +82-51-890-1657, Fax : +82-51-890-1619

E-mail : hshwang@dongeui.ac.kr

Abstract

물류센터의 위치선정문제 및 차량운송계획문제 등 물류시스템계획문제에서 거리산정문제를 매우 중요한 문제이며 물류비용의 주요 요인이 되고있다. 지금까지의 거리산정문제는 기하학적거리 및 지역도로와 교통조건을 고려한 일반거리, l_p -Distance, 등의 방법들을 활용하고 있다. 최근에는 GIS(Geographical Information System)기반에서의 2차원 평면상의 GIS거리(2-D 거리)를 사용하는 방법을 많이 활용하고 있다. 이러한 방법은 지형적인 여건과 고도차이에 따른 실제거리와는 많은 차이가 있다. 본 연구에서는 이러한 2D기반의 디지털 맵을 3-D 기반의 디지털 맵으로의 변환을 통해 2D GIS 거리산정 방법을 확장하여 3-D기반의 GIS거리산정 방법을 개발하였다. 이러한 3가지의 거리산정 방법; l_p -Distance, 2-D 기반의 GIS거리산정 방법 및 3-D기반의 GIS거리산정 방법을 부산지역의 차량운송계획문제(VRP)에 응용하고 그 결과를 비교 분석하였다.

Keyword : Travel Distance, 3-D GIS Distance, GIS VRP

1. 개요

차량운송계획문제는 물류센터에서 취급되는 화물의 운송화물의 수요, 특성, 및 물류센터의 위치 등의 문제(Location Problem)와 운송지점간의 거리산정 방법 등에 따라 많은 차이가 있다. 이를 위하여 먼저 운송지점간의 거리 산정 문제는 기존의 평면상의 거리산정 방법으로 기하학적 거리 산정방법인 l_p -Distance 방법과 최근의 GIS-Distance(황 홍석, 2001, 2002)를 주로 많이 사용하고 있다. 그러나 실제 현장 여건을 고려할 경우 평면상의 거리산정 문제는 두 지점간의 고도의 차이 등으로 거리의 차이가 크게 나타남을 볼 수 있다.

본 연구에서는 이러한 문제를 보완하기 위하여 GIS기반에 3차원 거리산정 방법을 개발하고 이를 적용 차량운송계획 문제에 적용하는 과정을 보였다. 물류센터에서 지역내의 수요자를 서비스하기 위하여 각 물류센터별 최적 운송담당을 위한 영역할당과 각 물류센터에서의 운송 계획을 수립하는 3차원 거리를 고려한 차량화물운송계획문제를 구현하였다. 이를 위해 다음과 같이 크게 2-단계 접근방법을 사용한다.:

1) GIS기반에서 3차원 거리산정 알고리즘 개발(3-D GIS-Distance)

2) 물류센터 별 (Clustering Problem)을 위하여 GIS시스템에 기존의Set-Covering문제를 보완한 Stochastic Set-Covering문제로 정식화하며, 물류센터별 서비스영역할당문제를 위한 Set Clustering 알고리즘을 개발하여 적용한다.

3) 3-D GIS-Distance기반에서 Tabu Search방법을 이용한 차량운송계획문제를 다루었다.

이를 기존의 평면거리 기반에서 Saving알고리즘, Tabu Search방법, 및 유전자알고리즘을 이용한 차량운송계획(Dongueui VRP Solver)와 GIS기반의 GIS기반의 VRP문제를 적용한 결과와 각각 비교하여 보였다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 차량 운송도로의 현장 여건을 고려한 GIS상에서 Geo-DataBase를 기반으로 한 GIS내에서 3차원 위치 정보를 활용한 거리산정 방법과 차량운송시스템의 기본 이론을 응용하고 이를 구현하기 위하여 부산지역 디지털 맵과 ArcLogistic을 연계한 전산 프로그램을 개발하였다.

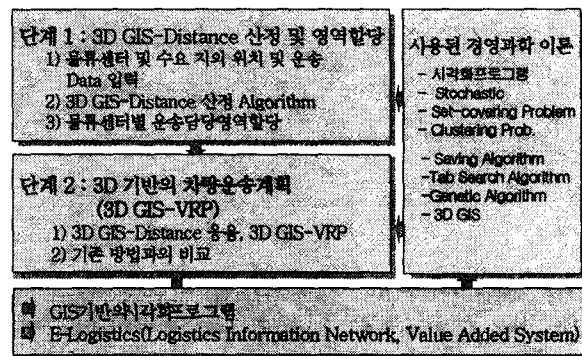


그림 1. GIS기반의 통합 차량 운송시스템

2. 평면거리 기반의 차량운송계획방법

본 연구에서는 다음과 같은 기존의 기존의 평면거리 방법에서 실무에 응용 가능하도록 3차원 거리 기반의 차량운송계획 문제를위하여 응용프로그램을 개발하여 사용하였으며 이를 다음과 같은 기존의 두가지의 평면거리기반의 차량운송모델의 결과와 비교하여 보였다. 물류시스템계획에 활용할 수 있는 일반적인 거리 산정방법은 거리산정에 고려되는 요인들에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다 :

- 맨하탄거리(Manhattans's Distance),
- 시간거리(Time Distance)
- 실측거리(Physical Distance)
- lp -Distance
 - 직선거리(Euclidean Distance)
 - 직각거리(Rectilinear Distance)

즉 두 지점 $A(x, y)$ 및 $B(a_i, b_i)$ 에 위치한 두 지점간의 거리를 이동구간의 도로환경요인 p 값을 고려한 거리산정 공식을 정의하면 아래와 같다.

$$d(A, B) = (|x - a_i|^p + |y - b_i|^p)^{\frac{1}{p}} \text{ -----(1)}$$

기존의 평면거리 기반의 차량운송계획모델을 들면 다음과 같다 :

1) Dongeui GA-VRP Solver(황홍석, 2002) : 이는 Saving Algorithm 및 유전자알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용한 차량운송계획모델로서 차량의 용량, 대수 및 시간제약 등을 고려한 모델로서 GUI-Type 프로그램이다. 본 방법은 단일 물류센터 문제의 차량경로계획을 수립하기 위하여 차량 종류별, 차량대수, 및 운반능력, 및 물류센터의 공급능력 등을 고려한 차량경로계획을 수행하는 프로그램으로서, 차량운송계획에 고려되는 거리산정의 문제는 lp -Distance를 이용하였다. 본 방법에서 사용된 차량경로계획을 위한 수리모델은 Golden, B. & Bodin, T.에 의해 제시된 모델을 개선하여 사용하였으며 최적 해를 쉽게 구하기 위하여 유전자알고리즘(Genetic Algorithm)중 Crossover를 통해 초기 해를 결정하는 방법을 개선하여 적용하였다. 또한 객체 지향적 프로그래밍기법(Object Oriented Programming)을 통해 다 물류센터의 최적 차량운송 프로그램을 GA를 이용하여 차량운송계획을 수립하도록 하였다. 그림 2는 3단계 모듈들을 통합한 통합차량경로계획 S/W인 Dongeui GA-VRP Solver는 Window System 환경 하에서 실행되도록 개발되었다.

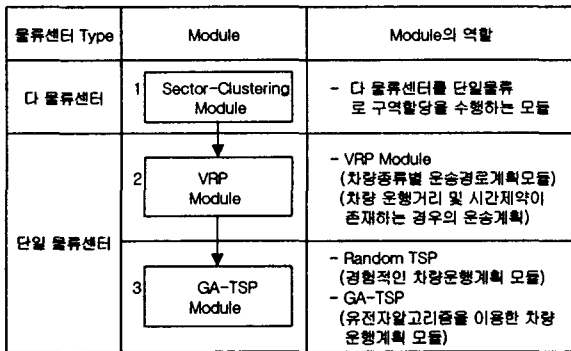


그림 2. Dongeui GA-VRP Solver의 구성도

이를 C 택배회사의 최적경로계획 문제에 응용하고 그 결과를 그림 3과 같이 보였다. C 택배회사는 그림 6에서와 같이 부산 지역에 3개소의 물류센터 지점(북구지점, 진구지점, 사하구 지점)을 두고 총 20개소의 수요자에게 운송서비스를 하고 있다. 본 예제에서 북구지점의 주요 결과를 비교하면 다음과 같다 :

- 거리산정 parameter $p=0.5$ 경우
 - 최적경로 : 0-5-14-11-2-1-0

- 총 운송거리 : 65 km
- 거리산정 parameter $p=2.5$ 경우
 - 최적경로 : 0-5-14-11-1-2-0
 - 총 운송거리 : 26.3 km

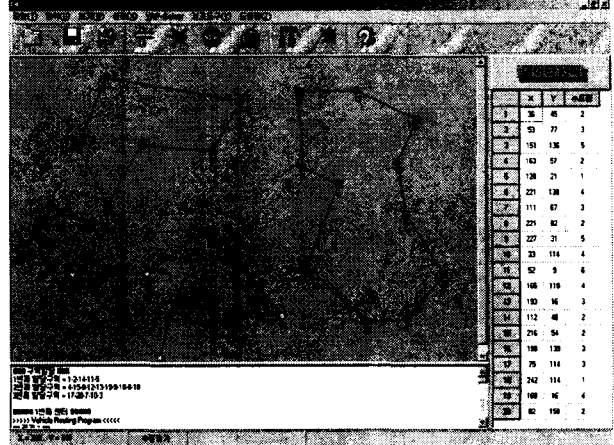


그림 3. Dongeui VRP Model에 의한 차량운송계획결과 (C 택배회사의 예)

본 시스템은 GUI-Type 프로그래밍방법을 사용하여 Window Program으로 개발하여 사용자들이 쉽게 활용할 수 있도록 개발되었으며 운송능력 등을 고려하여 사용자 위주의 활용하기 쉽도록 개발되었다. 그러나, 표 1에서와 같이 물류센터 및 수요지의 위치 표시를 X, Y 좌표 계를 사용하고 각 위치간의 평면 거리산정은 lp -Distance를 사용하기 때문에 현실성이 결여되는 단점이 있다.

표 1. lp -Distance의 p 값에 따른 최적경로 비교 (부산지역의 C 택배회사의 북구지점의 예:)

차량운송경로 계획방법	최적 경로	총 주행 거리(km)	비 고
1. Dongeui VRP Solver $p=0.5$	0-5-14-11-2-1-0	65.0	lp -Distance 사용
2. Dongeui VRP Solver $p=1.0$	0-5-14-11-1-2-0	37.4	
3. Dongeui VRP Solver $p=1.5$	0-5-14-11-1-2-0	30.3	
4. Dongeui VRP Solver $p=2.0$	0-5-14-11-1-2-0	27.6	
5. Dongeui VRP Solver $p=2.5$	0-5-14-11-1-2-0	26.3	

2) GIS 기반의 차량운송계획(황홍석, 조규성, 2001) 실제의 차량운송계획을 위해 앞서 제시된 방법들을 토대로 부산지역 Geo-DataBase와 연계된 GIS 환경에서 주소입력을 통한 위치 선정, 차량경로설정과 스케줄링 최적화가 가능하도록 개발된 ArcLogistics GIS-VRP를 이용하였다. ArcLogistics GIS-VRP는 Tabu Search를 이용하여 시간이 제약된 차량경로문제해법을 GIS환경에서 구현할 수 있도록 개발되었다. 그림 4는 ArcLogistics GIS-VRP의 화물운송계획을 위한 nfbtpsxj 및 수요자의 위치를 GIS화면에 표시하고 있다.

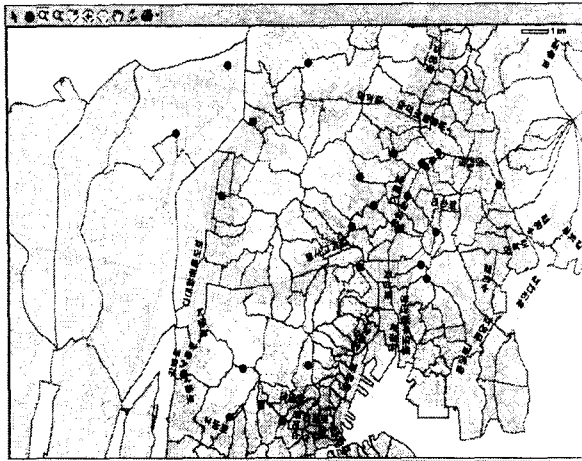


그림 4. GIS기반의 물류센터 및 수요자 Data입력 결과

차량운송계획문제에서는 GIS환경을 고려하여 이의 응용에 필요한 여러 가지 레이어(Layer)들의 정보들을 하나의 디지털 맵을 구성하여 사용하였으며 또한 화물 운송경로문제를 해결하기 위해서 ArcLogistics Routing SW를 사용하고 지형 및 도로 자료를 데이터베이스화한 Geo-DataBase로부터 거리와 시간을 산출한다. 다음과 같은 과정에 따라 GIS에서 화물 운송계획을 수립한다 :

- 1) 화물 운송 지역을 GIS환경에서 물류센터 및 수요지 주소를 입력하여 GIS상에서 위치를 표시한다. 또한 지형 및 각 도로 Geo-DataBase를 이용하여 GIS-Distance를 적용한 각 운송 구간의 거리를 산정 한다.
- 2) Tabu Search방법으로 최적 운송계획 및 운송시간을 산정 한다.

위의 과정을 위한 전산프로그램을 개발하고 그림 5와 같이 C 택배회사의 차량운송계획문제에 적용하고 결과를 보였다. 차량운송경로계획을 위한 평면거리기반의 방법들을 사용하여 최적 차량운송경로계획을 산정 하는 방법을 C 택배회사의 최적경로계획 문제에 응용하고 그 결과를 표 3과 같이 비교 요약하였다.

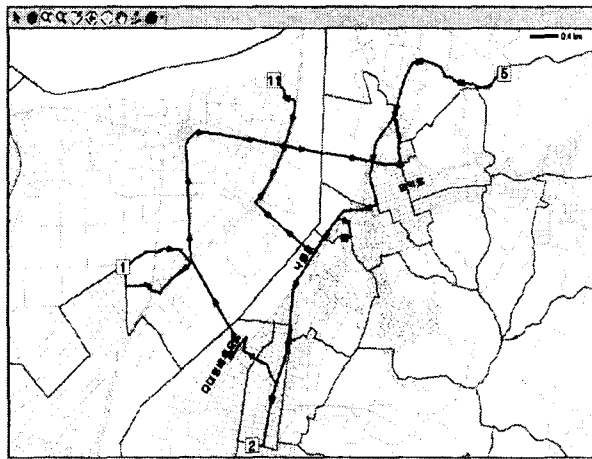


그림 5. GIS기반의 차량운송계획 사례 (C 택배 부산영업소 경우)

표 2의 내용을 보면, Dongeui VRP Solver의 경우 보다 ArcLogistics GIS-VRP의 경우는 총 주행거리가 더 많다. 이는 GIS-Distance를 토대로 실제 도로 지형을 고려하여 때문이다.

표 2. 최적경로계획 방법의 응용결과 비교 (부신지역의 C 택배회사의 북구지점의 예:)

차량운송경로 계획방법	최적경로	총 주행거리(km)	비 고
1. Dongeui VRP Solver p=2.5 경우	0-5-14-11-1-2-0	26.3	lp-Distance 사용
2. ArcLogistics GIS-VRP	0-2-1-5-11-0	39.4	2-D GIS Dist. 사용

이러한 두 가지 방법들은 모두 평면거리기반의 모델로서 실제 3차원의 문제에서 두 지점간의 고도를 고려한 거리를 산정 하여 사용할 경우와 많은 차이가 예상된다. 이를 위하여 다음과 같이 3-D GIS-Distance를 산정 하는 방법을 사용하였다.

3. 3-D GIS거리 기반의 3-D GIS VRP

본 연구에서는 다음과 같은 평면거리기반의 방법의 거리 산정의 오차를 보완하여 실제 운송계획문제에 응용 가능하도록 3차원 거리기반의 차량운송계획모델, 3-D GIS-VRP를 제안하였다. 현재의 GIS Visualization 기술들은 대부분 2차원 평면만을 지원하나 차세대 GIS는 3차원 공간에서의 분석 가능하도록 발전되고 있다(ESRI, 2002). 여기서 지리정보시스템(GIS)의 공간데이터는 크게 벡터데이터(Vector Data)와 래스터 데이터(Raster Data)로 구분되며, 원시데이터로부터 벡터데이터를 얻기 위해서는 좌표변환기, AutoCad, 그리고 ArcInfo 등의 S/W를 이용하여 2차원 data를 먼저 획득하고 이에 고도 값을 입력함으로써 3-D data를 획득하였다(ArcInfo, 2002). 이를 위하여 2-D GIS Data에서 Elevation Data를 추가하기 위하여 ArcGIS 3-D Analyst(ESRI, 2002)를 이용하였다. 각 중간지점(Intersection Point)의 고도 Data로부터 두 가지 가상 표면, Raster Surface 와 TIN(Triangulated Irregular Network) Surface로 그림 7과 같이 3차원 도로 data를 생성한다.

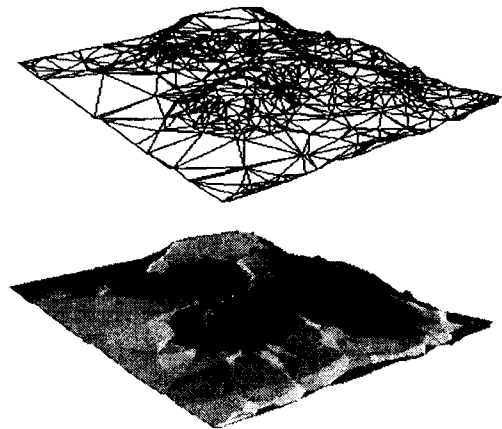


그림 6. Raster 및 TIN Surface

TIN은 그림 7과 같이 고도 Data를 가지는 Node들로서 연결된 3각형 Network이다.

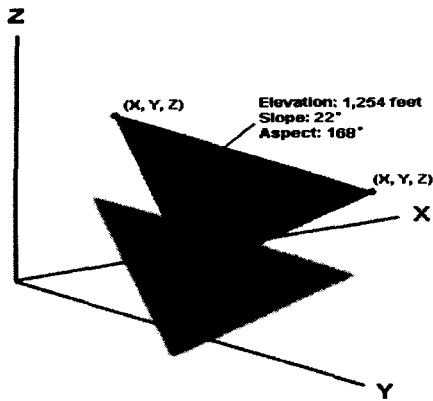


그림 7. 3차원 Data를 가지는 지점 표시

여기서 두 지점간의 3-D GIS Distance를 산정하기 위하여 다음과 같이 A, B 두 지점간의 3-D Data로부터 경사도(Slope)를 산정하고 2-d GIS Distance를 이 경사를 고려하여 보정하여 3-D GIS Distance를 구한다.

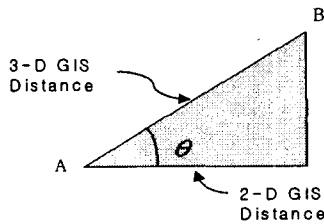


그림 8. 3차원 거리 산정을 위한 Slope

각도 및 Percent 경사는 다음과 같다 :

$$\text{Degree of Slope} = \theta,$$

$$\text{Percent of Slope} = \frac{\text{수직거리}}{\text{수평거리}}$$

위의 C 택배회사의 2D GIS기반의 차량운송계획의 예를 3D Map으로 변환 한 3-D GIS Distance기반의 차량운송계획의 결과를 그림 9와 같이 표시하였다.

최적경로 : 0-11-5-2-1-0, 총 주행거리 : 42.3 km

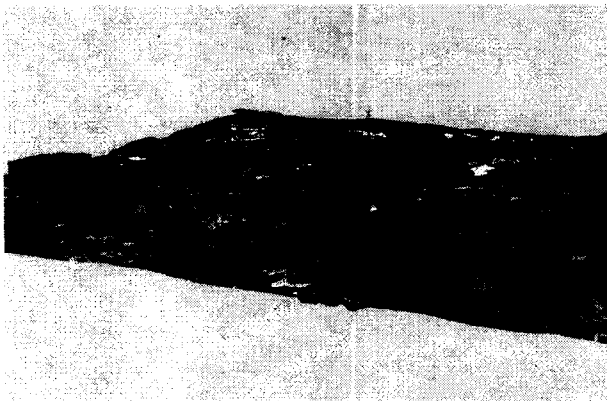


그림 9. 3D Map으로 변환한 결과(북구지점 예:)

표 2의 2-D 거리기반의 Dongeui VRP Solver(p=2.5 경우) 와 ArcLogistics GIS-VRP를 응용한결과와 비교하면 적정 운송경로와 총 주행거리가 많은 차이가 있음을 알 수있다. 이는 거리 산정 방법의 차이와 실제 지형여건 및 도로의 특성(단일로, 교량, 좌 우회전 및 기타 도로의 특성)을 고려한 경우 (GIS기반)와 기하학적 거리산정(lp-Distance)방법을 사용한 결과로 나타난 오차로 볼 수 있다. 위의 3가지 방법 중 본 연구에서 제안한 3-D GIS Distance기반의 차량운송계획이 가장 적절한 비법이라고 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 본 연구에서는 이러한 2-D기반의 디지털 맵을 3-D 기반의 디지털 맵으로의 변환하고 2-D GIS 거리산정 방법을 확장하여 3-D기반의 GIS거리산정 방법을 개발하고 부산지역의 C 택배회사의 차량운송계획문제에 적용하고 그 결과를 표 3과같이 비교하여 보였다.

표 3. 최적경로계획 방법의 응용결과 비교 (부산지역의 C 택배회사의 북구지점의 예:)

차량운송경로 계획방법	최적경로	총 주행거리(km)	비고
1. Dongeui VRP Solver p=2.5 경우	0-5-14-11 -1-2-0	26.3	lp-Dist. 사용
2. ArcLogistics GIS-VRP	0-2-1-5 -11 -0	39.4	2-D GIS Dist. 사용
3. 3-D GIS-VRP	0-11-5-2 -1-0	42.3	3-D GIS Dist. 사용

실 지형여건과 도로의 특성들을 고려하고 지금까지의 평면기반의 거리산정방법으로부터 고도차를 고려한 3-D GIS거리산정방법을 응용한 차량운송계획의 결과가 가장 적절한 방법이었으며 앞으로 더욱 실용화 할 수 있도록 확장 연구될 것이다.

† 본 연구는 2003년도 동의대학교 교내 연구비 지원으로 수행되었다.

참고문헌

- [1] "ArcGIS 3-D Analgesist : Three-dimensional Visualization, Topographic Analyse, and Surface Creation", An ETRI White Paper, Jan., 2002.
- [2] ENNUI Tutorial, HTTP://www.intersys21.com/2002
- [3] ArcInfo Manual(GRID, TIN, etc), http://www.cadland.co.kr/, 2002.
- [4] ESRI Inc., "ArcView Network Analyst", An ESRI White Paper, 1998.
- [5] 황 홍석, "GIS기반의 실시간 통합화물운송시스템 계획에 관한 연구", 경영과학, Vol. 19, No.2(2002. 11.), pp.75 - 78.
- [6] 황 홍석, 조 규성, "서비스수준을 고려한 GIS기반의 차량운송시스템", 경영과학, Vol. 18, No.2, (2001), pp.125-134.