

■ 論 文 ■

혼합정수계획법 및 GIS를 활용한 유류저장탱크의 입지선정

Oil Tank Location Problem Solving with Mixed Integer Programming & GIS

최 기 주

(아주대학교 환경·도시공학부
교통공학전공 부교수)

김 속 희

(아주대학교 교통공학과 박사과정)

신 강 원

(아주대학교 교통공학과 석사과정)

목 차

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위 및 특징

II. 입력자료와 적용모형

1. 기본 입력데이터
2. 적용모형

III. 모형의 적용

1. 권역별 후보지 선정
2. 최종입지선정

IV. 결론 및 향후과제

참고문헌

Key Words : P-Median heuristic method, MIP Method, TransCAD, GAMS, 입지선정

요 약

본 논문은 유류저장탱크의 최적입지를 선정하기 위한 GIS와 OR 통합적용기법을 제시하며, P-Median heuristic method와 MIP method가 모두 유류저장탱크의 최적입지 선정 문제에 적용될 수 있음을 실증하였다. 또한, 두 접근 방식에 의해 확인된 결과들은 동일하였다. P-Median heuristic method와 MIP method를 풀이하는데 필요한 최단거리 매트릭스를 계산해내기 위해 GIS기반 도로망과 해운네트워크를 구축·결합하였으며, 두 접근방법을 통해 우리나라의 최적 유류저장탱크의 입지를 선정한 결과 권역별로 군산항, 여수항, 부산항, 옥계항이 선정되었다. 위와 같이, 본 연구를 통해 GIS와 P-Median heuristic method, MIP method의 적용은 실증되었으며, 유사한 연구 또한 GIS와 OR의 통합적용을 통해 수행될 수 있을 것이다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

현재 우리나라의 어업용유류 시장은 WTO 등의 외부조건에 의해 저가일 때 구입하여 적기에 공급할 수 있는 전략이 요구되고 있는 실정이다. 이와 같은 외부환경을 고려하여 볼 때 대규모 유류저장탱크의 설치는 필수적이라 할 수 있다.

기본적으로 이러한 공공성격의 시설물은 소비자측면에서 수요를 효과적으로 포함할 수 있는 지점에 위치해야 하며, 운영측면에서 생산지로부터 소비지로 공급되기까지 지출되는 비용이 최소가 되도록 해야 한다. 그러나, 이러한 시설물의 설치를 어디에 해야 할 것인가에 대한 판단의 근거는 명확하지 않다. 이를 위해 시간의 흐름을 고려한 동태적 접근방법, 설비용량제한이 있는 경우의 접근방법, 서비스에 대한 수요가 확실적인 경우의 접근방법 등 다양한 방법론이 제시되고 있으나, 이는 결국, 수요 및 공급의 변화에 따른 대응부족 및 최단경로 산정의 어려움의 문제점을 가진다. 따라서, 본 연구를 통해 대규모 네트워크에 적용 가능한 GIS와 OR 통합적용기법을 제시하였으며, 그 결과를 기존의 혼합정수계획법(MIP: Mixed Integer Programming)을 통해 산출된 것과 비교하여 제시된 기법을 검증하였다.

2. 연구의 범위 및 특징

입지선정 시 고려되어야 할 사항은 목적함수, 네트워크의 형태(정적·동적), 시설물의 개수, 후보지의 위치(노드·링크)이다.

본 연구는 유류저장탱크의 입지를 결정하는 것으로 수요지와 시설물간의 평균거리를 최소화하는 목적함수를 가지며, 이를 위한 입력자료로서 예측결과 수요량이 가장 높은 2005년의 정적인 네트워크와 수요량을 가진다. 한편, 시설물의 개수는 많을수록 서비스가 좋아지지만, 경제적인 여건 등을 고려한 운영자의 판단을 통해 4개의 유류저장탱크의 입지를 선정하는 것으로 결정되었다. 또한, 후보지의 위치는 무한대의 후보지를 가지는 링크상의 위치가 아닌 노드(수협의 조합노드)에 위치한다.

이와 같은 고려사항을 기반으로, 본 연구에서는

GIS를 이용한 휴리스틱 P-Median 알고리즘의 풀이를 통해 대규모 네트워크상에서의 입지선정방법을 제시하였으며, 제시된 기법의 검증을 위해 기존의 혼합정수계획법을 모델링할 수 있는 GAMS를 이용해 산출된 결과와 비교하였다.

본 연구의 특징은 기존 혼합정수법을 이용한 입지선정방법과 달리 GIS를 이용하여 입지문제를 해결했다는 점으로 GIS를 이용한 이유는 다음과 같이 요약된다.

첫째, 휴리스틱 P-Median 알고리즘 및 혼합정수계획법에 동일하게 적용되는 시설물과 수요자간의 최단경로는 알고리즘 풀이의 핵심자료로 특히 대규모 네트워크에서의 최단경로의 산정은 GIS 기반의 결과가 요구되며, 이는 기존연구를 통해 문제점으로 지적된 바 있다(이승재 외 2인, 2000).

둘째, 기존의 혼합정수계획법을 통한 방법은 수요량이나 교통망속성과 같은 입력자료들이 변화하였을 때의 대응에 제약이 있으나, GIS를 통해서는 속성값의 수정, 추가, 삭제가 쉽게 수행되어 알고리즘의 적용이 용이하다.

II. 입력자료와 적용모형

1. 기본 입력데이터

유류저장탱크의 입지를 선정하기 위한 기본 입력데이터로는 첫째, 예측된 면세유류의 수요량, 둘째, 알고리즘 풀이를 위한 거리 및 수요량을 속성값으로 가지는 우리나라의 육상 네트워크 및 해운 네트워크이다.

면세유류의 수요예측을 위해 현재 수협의 사업권역(경인권역, 군산권역, 여수권역, 부산권역, 동해권역)별 인구(인), 어가(호), 어선(톤), 판매고(톤)를 독립변수로 하는 지수형 회귀모형을 사용하였으며, 비용을 최소화하는 알고리즘의 적용을 위해 수요예측치 중 가장 높은 값을 나타냈던 2005년의 수요량(조합별 수요+업종별 수요량)을 적용하였다.

여기서, 각 권역은 현재 수협의 사업소와 사업현실을 반영하여 분류된 것으로 수요예측결과는 권역별/조합별로 제시될 수 있으나, 권역별로 제시하면 <표 1>과 같고 각 조합별로 제시하면 <그림 1>과 같다.

권역별로는 부산권역이 가장 높은 유류수요량을 가지며, 조합별로는 여수조합이 가장 높은 것으로 분석되었다.

〈표 1〉 2005년 권역별 예측수요량

서비스권역	수요량(Drum)
경인권역	96,534
군산권역	516,604
여수권역	1,491,308
부산권역	2,245,413
동해권역	790,661
합 계	5,140,520



〈그림 1〉 2005년 수요량을 이용한 주제도

그러나, 위와 같이 예측된 수요량을 기반으로 적정 입지를 구하기 위해서는 후보지간 최단경로를 구하기 위한 전국규모의 교통망 DB가 필수적인 요소이다.

따라서, 대규모의 교통망 DB를 기반으로 하는 계산과 속성 추가 및 수정 등이 용이한 GIS를 이용하였으며, 많은 시간/경제적 제약조건을 고려하여 본 연구팀이 1999년에 참여한 '항만 기본계획 재정비용역'시에 사용한 교통망을 이용하여 최적입지를 선정하고자 하였다. 그러나, KMI의 교통망은 육상교통망 중심으로 본 논문에서의 주요흐름의 대상인 유류의 이동은 해운네트워크를 이용하므로 이를 새로 구축하여 입지 선정 작업시에 활용하였다.

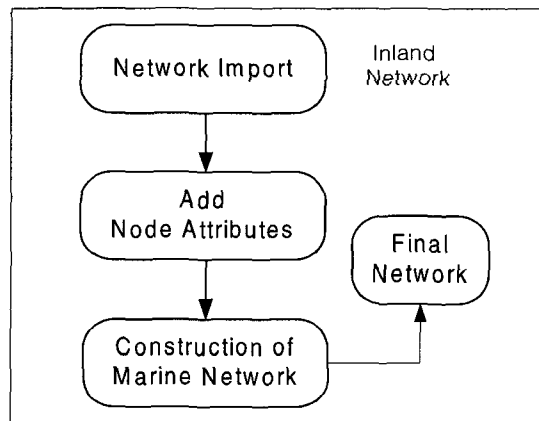
모든 해운네트워크의 고려는 현황자료가 부족한 실정

이므로 유류저장탱크의 후보지가 될 수 있는 수협의 조합 중 해안에 인접한 조합들을 기반으로 네트워크를 구축하였다.

이러한 네트워크의 구축은 교통분석용 GIS 패키지인 TransCAD를 이용하였으며, 분석네트워크 구축과정은 〈그림 2〉와 같이 1)육상교통망 중심인 KMI의 2005년 네트워크 Import, 2)Node데이터에 60개의 수협의 조합속성 추가, 3)축척을 이용하여 해운네트워크 구축(Vertex node & Link)의 순으로 수행하였다.

〈표 2〉는 유류저장탱크의 후보지가 될 수 있는 수협의 조합으로 노드 ID, 위도, 경도, 수요예측량을 속성값으로 가지도록 별도의 노드 Layer로 구축하였다.

위와 같이 조합의 속성을 추가한 노드 중 해안에 위치한 조합들에 한해 유류의 해안이동을 고려하기 위해 TransCAD를 이용하여 링크(LINK)와 중간노드(VERTEX)를 추가하여 조합별 해운네트워크를 구축하였다.

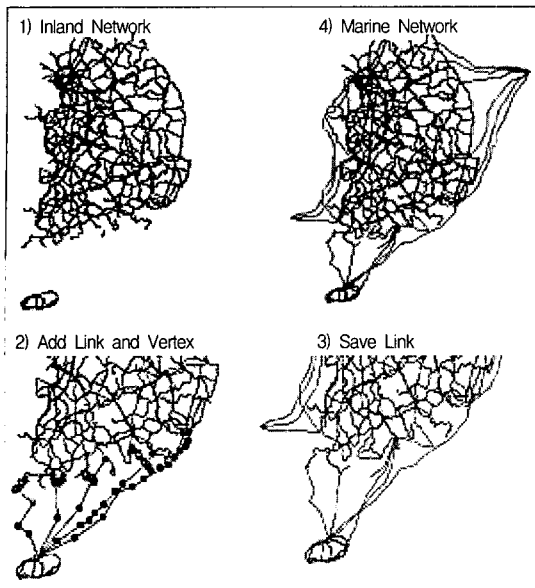


〈그림 2〉 최종네트워크 구축과정

〈표 1〉 속성 추가노드

구 분	속성추가노드
경인권역	인천 외 3개 조합
군산권역	군산 외 9개 조합
여수권역	여수 외 22개 조합
부산권역	부산 외 7개 조합
동해권역	울산 외 14개 조합

1) 한국해양수산개발연구원(KMI).



〈그림 3〉 해운네트워크 구축과정

〈그림 3〉은 해운네트워크를 구축하는 과정을 나타낸 것으로, 구축 전 네트워크에서 해운네트워크를 구축한 후의 최종 네트워크를 만들기까지의 과정을 보여준다.

위와 같은 과정을 통해 입지선정을 위한 기본 입력 자료인 수요 예측량과 네트워크를 구축하였다.

2. 적용모형

입지선정문제(Facility Location Problem)는 평균거리 최소화문제(Median Problem), 최대통행거리 최소화문제(Center Problem), 포함문제(Covering Problem)로 분류할 수 있다(Larson, 1981).

본 연구에서 사용한 입지선정방법은 포함문제(Covering Problem)와 평균거리최소화문제(Median Problem)가 근간을 이루고 있어 이에 대한 적용의 근거 및 방법을 기술하였으며, 실제 이를 적용할 수 있는 TransCAD와 GAMS의 구조 및 특징을 요약하였다.

1) 모형의 구조

(1) 포함문제(Covering Problem)

저유를 공급받기를 원하는 고객에게 서비스를 제공하는 것은 현재 고객이 위치하고 있는 곳과 유류저장

탱크 시설물 사이의 최단거리에 의존한다고 볼 수 있다.

즉, 저유를 공급받는 고객들은 일반적으로 가장 가까운 시설물을 이용하게 된다. 유류저장탱크 시설물의 서비스를 받기를 원하는 수요자가 유류저장탱크 시설물이 커버할 수 있는 주어진 거리 내에 있다면 저유 공급을 받는 고객들이 만족을 한다고 간주하고, 거리가 어떤 임계치를 초과한다면 만족을 하지 못한다고 간주되어진다. 이를 기본으로 커버리지 문제의 수식을 이끌어내면, 수요노드 i 를 서비스하고, 커버할 수 있는 후보지 시설물 노드 j 의 subset은 N_i 이다.

이 집합은 또한 이진상수 a_{ij} 로 정의되어질 수 있는데, 한 시설물이 후보지 j 에서 수요노드 i 에서 수요자들을 커버할 수 있다면 1의 값을 가지고, 그렇지 않으면 0의 값을 얻는다. 즉, 수요노드들은 수요노드와 시설물 사이의 거리가 최단경로가 커버리지 거리와 같거나 작다면 커버되어진다고 말할 수 있으며, 본 논문에서의 서비스공급권역은 경인사업소, 군산사업소, 여수사업소, 울산사업소, 부산사업소로 5개의 공급서비스 권역으로 나누어져있다.

따라서, 각 서비스공급권역 내에서 후보지가 선정이 되며, 알고리즘과 마찬가지로 서비스 공급권역별로 1개 내지 2개의 후보지를 선정하였으며, 동일서비스 권역내에서 2개 이상의 후보지가 선정된 경우는 후보지별 커버리지 거리를 선정한 후 커버리지 문제 알고리즘을 이용하여 커버되는 수요노드(조합)를 선정하였다.

(2) 휴리스틱 P-Median 알고리즘

Median Problem은 어떤 지역에 설치할 시설의 수가 정해져 있는 경우, 그 시설물을 사용하고자 하는 수요자(Customer)의 평균거리(시간 혹은 비용)를 최소화하는 적정 위치를 결정하는 방법이다.

이러한 P-Median Problem은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

목적함수

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [h_i \cdot d_{ij} \cdot Y_{ij}]$$

제약조건식

$$\sum_j Y_{ij} = 1 (\text{모든 } i \text{에 대하여})$$

$$\sum_j X_j = P$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad (i \neq j, \text{ 모든 } i, j \text{에 대하여})$$

$$X_j = 0 \text{ or } 1 \quad (\text{모든 } i \text{에 대하여})$$

$$Y_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad (\text{모든 } i, j \text{에 대하여})$$

여기서,

h_j : 노드 i 의 수요량

d_{ij} : 노드 i, j 사이의 최소거리

P : 시설물의 수

이러한 P-Median Problem은 수요량과 최단경로 매트릭스 데이터를 고려하여 최적입지를 선정할 수 있으나, 결정하여야 할 유류저장탱크의 개수는 총 4개이므로 단일의 시설물을 선정하는 것과는 속도문제에 있어 조금 차이가 있다.

본 논문에서의 알고리즘 적용은 대규모 네트워크상인 우리나라 전체에서 총 4개의 저유시설의 입지를 선정하고자 하는 것이 목적이므로, 휴리스틱(Heuristic)한 방법을 이용하였다.

이러한 알고리즘을 이용하는 이유는 수많은 후보지 노드들 중 한 개 혹은 여러 개의 시설물을 선정함에 있어 더 빠르게 적지를 선정하기 위해서이다.

휴리스틱 P-Median 알고리즘은 먼저 하나의 시설물을 선정하는 일반적인 1-Median 알고리즘을 통해 선정된 후 휴리스틱하게 최소의 비용을 가지는 지점을 적정입지로 선정하는 흐름을 가진다.

아래는 Myopic Algorithm으로 휴리스틱 P-Median 알고리즘을 간단하게 소개하겠다.

[Step 1] $k=0$ 으로 초기화함.

(k 는 현재까지 저유소 입지로 선정된 시설물들의 수를 count) 그리고, $X_k=0$, 공집합으로 정의(X_k 는 알고리즘의 각 단계에서 저유소 입지로 선정된 k 개의 저유소 시설물들로 주어질 것임)

[Step 2] k 를 증가시킴. 시설물로 선정된 저유소 시설물들의 수를 count함.

[Step 3] X_{k-1} 의 집합에 들어 있지 않은 각 후보노드 j 에 대해 $Z_j^k = \sum h_i d(i, j \cup X_{k-1})$ 을 계산함. 노드 j 에서 k 번째 시설물로 먼저 $k-1$ 시설물이 주어진다면, X_{k-1} 의 집합은 먼저 선정된 시설물이며, P-median 목적함수의 값으로 Z_j^k 가 주어짐을 나타냄.

[Step 4] 목적함수 Z_j^k 를 최소화하는 노드 $j^*(k)$ 을 찾는다.

즉 $j^*(k) = \operatorname{argmin}_j \{Z_j^k\}$ 먼저 $k-1$ 시설물들이 선정되어지고, k 번째 시설물에 대한 최적의 입지로 $j^*(k)$ 가 주어짐을 나타냄. 집합 X_k 를 얻기 위해 X_{k-1} 집합에 노드 $j^*(k)$ 을 추가함. 즉, $X_k = X_{k-1} \cup j^*(k)$ 로 설정함.

[Step 5] $k=P$ 이면(i.e., 선정된 P 개의 저유소 시설물의 수) 멈춤. X_P 의 집합은 myopic 알고리즘의 해, $k < P$ 이면, step 2로 돌아감.

2) 사용패키지 : TransCAD 및 GAMS

본 논문에서 후보지 및 최적입지를 선정하는데 사용한 패키지는 휴리스틱 P-Median 알고리즘을 이용하는 TransCAD와 혼합정수계획법으로 모델링된 스크립트를 사용할 수 있는 GAMS이다.

2가지의 도구를 동시에 사용하는 목적은 결과의 상호 검증을 위해서이다. TransCAD는 여러 가지 막강한 분석 기능과 응용기술을 가진 GIS Package이고, GAMS는 선형, 비선형, 정수계획법과 혼합정수계획법, 최단경로 등의 최적해를 구하는데 많이 사용되어지고 있는 프로그램이다. 이들 2가지 분석도구에 대한 간단한 소개와 적지분석과정은 다음과 같다.

(1) TransCAD

유류저장탱크 적정입지 선정을 위해 사용한 GIS 패키지인 TransCAD는 광범위한 분석과 응용을 위해 교통체계의 특징과 시설물을 계획, 관리, 분석할 수 있다. 또한 지리정보체계로서의 모든 특징을 보유하고 있으며, 효율적인 교통/시설물 계획 및 수요예측, Logistics, Routing, Operations Research, 데이터 모형, 수치지도 제작, 지리 데이터베이스 관리 등을 위해 특별히 설계되었다.

유류저장탱크시설의 위치를 선정하기 위해 본 논문에서 사용한 TransCAD의 기능은 Logistic Menu의 Facility Location으로 운영적, 재정적, 추가적인 제약 조건을 감안하여 입지를 선정할 수 있다. TransCAD에서 위치선정을 위해 적용된 알고리즘은 휴리스틱 P-Median Algorithm이며, 수행을 위한 입력 데이터는 다음 3가지이다.

- ① 시설물 지리정보(공급지=후보지).
- ② 수요조합 지리정보(수요지).
- ③ 최단경로 매트릭스

후보지와 수요지에 대한 지리정보는 Point Layer로 표현되어야 하며, 적지분석을 위한 핵심입력 자료인 최단경로 매트릭스는 일반적으로 각 시설물과 클라이언트 사이의 거리와 시간을 계산함으로써 구축할 수 있다. 이러한 배경으로 노드간 최단경로 매트릭스의 구축과 후보지와 시설물의 속성값 수정은 공간데이터와 데이터베이스의 추가 및 속성이 용이한 GIS 패키지인 TransCAD를 이용하였으며, 시설물집합과 후보지 집합을 만든 후 휴리스틱 P-Median 알고리즘을 적용하였다.

TransCAD에서는 알고리즘을 적용하기 위해 몇 가지 사항을 선택해야 하는데, 이는 TransCAD의 FLP Dialog Box에서 가능하다. 선택 가능한 항목으로는 아래와 같이 크게 5가지가 있다.

- ① Number of New Facilities
알고리즘을 통해 얻어낼 수 있는 적지의 수
- ② Objective
적지선정의 목적(비용의 최소화 등)
- ③ Matrix file
후보지간 최단경로 매트릭스
- ④ Facilities Setting
시설물이 포함된 레이어와 선택집합
- ⑤ Client Setting
수요자가 포함된 레이어와 선택집합

이러한 항목을 선택한 후 모듈을 실행하면, 최종 결과물로 결정된 시설물의 위치와 각 시설물별로 배정된 수요지에 대한 서비스비용이 나타나며, 이러한 결과는 프리젠테이션 된 주제도로 표현된다. 위와 같은 흐름으로 최초 권역별 후보지 선정과 최종 입지선정 시 TransCAD를 이용하였다.

(2) GAMS

GAMS는 전략적으로 Modeler의 요구에 부합한 관계 데이터베이스 이론과 수리계획모형 등의 모든 아이디어를 통합하여 최적해를 구하기 위해 개발되었다.

기본적으로 GAMS 모형의 표현은 사용자 또는 컴퓨터에 의해 쉽게 이해될 수 있는 형식을 갖추고 있으며, 모형의 표현은 간결하고, 정밀한 수학적 표현으로 이루어져 있다.

GAMS는 BDMLP, CONOPT, CPLEX, DECIS, MINOS, OSL 등의 세부모듈로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 혼합정수계획법(MIP)의 해를 구하는 모듈인 CPLEX을 이용하여 최적의 입지를 선정하였다.

GAMS 프로그램의 기본구조는 크게 3부분으로 구성되어 있다. 모형에 적용되는 데이터를 선언하고 정의하는 Data 부분과 변수를 선언하고 적용할 목적함수를 정의하는 Model부분, 최적해를 구하는 Solution 부분으로 나누어져 있다. 본 연구에서는 최적의 입지를 선정하기 위해 작성된 모델구조를 보다 세부적으로 정리하면 다음과 같다.

• 데이터 설정 및 정의부분

- i : 수요노드
- j : 후보노드
- k : 결정변수 (Y_{ij})
- g : 결정변수 (X_j)

• 파라미터 선언 및 정의부분

- $B(i)$: 수요노드 i 의 수요량
- $TABLED(i, j)$: i 와 j 간의 거리
- Scalars P : 선정할 시설물의 개수
- Parameter $C(i, j)$: "수요량 times 거리" 매트릭스

• 변수선언부분

- $Y(i, j)$: 수요노드 i 가 후보노드 j 에서 서비스 공급여부에 대한 결정변수 선언
- $X(j)$: 후보노드 j 가 입지로 선정되는지의 여부를 결정하는 결정변수 선언
- Z : 목적함수 선언

• 수식 및 모델정의 부분

- Facility : 목적함수 정의
- Allocate(i) : 결정변수 $Y(i, j)$ 에 대한 함수정의
- Locate(i) : 결정변수 $X(i)$ 에 대한 함수정의

(목적함수)

$$\text{Facility } Z = E = \text{SUM}((i, j), C(i, j) * Y(i, j));$$

(제약조건)

$$Allocate(i) \dots SUM(j, Y(i, j)) = E = DV ;$$

$$locate(i) \dots SUM(j, X(j)) = E = P ;$$

• 최적해를 구하는 SOLVE 부분

Model location / all /;

: MIP 기법을 이용하여 목적함수 Z를 최소화하는 입지선정

(Solve location minimizing Z using MIP)

III. 모형의 적용

1. 권역별 후보지 선정

유류저장탱크의 최종입지를 선정하는데 있어 후보지를 선정하는 작업은 문제풀이의 핵심이라고 할 수 있다. 따라서, 여러 가지 요소들을 고려하여 후보지를 선정하였다.

그러나, 이러한 후보지의 선정은 알고리즘의 적용을 통해 타당성을 지니는 정량적인 판단의 근거도 있어야 하는 반면, 여러 현실 여건도 고려해야 하므로 먼저 수요예측치를 고려할 수 있는 휴리스틱 P-Median 알고리즘을 사용하는 TransCAD를 이용하여 권역별 1차후보지를 선정 한 후, 물동량 및 항구의 입지 조건 등의 현실여건을 제약조건으로 하여 1차후보지 중 최종후보지를 선정하는 것을 큰 흐름으로 하였다.

1) 수요량을 이용한 1차후보지 선정

수요예측치를 고려하여 후보지를 선정하는 것은 장래의 유류수요를 고려한다는 점에서 보다 타당하며 TransCAD를 통해 휴리스틱 P-Median 알고리즘의 적용하여 후보지를 선정할 수 있다²⁾. 한편, 휴리스틱 P-Median 알고리즘 적용을 위해서는 네트워크의 비용을 저항으로 하는 최단경로를 구하여야 하는데, 이는 GIS기반의 TransCAD를 통해 이루어졌으며, 최단경로의 구축 후 알고리즘의 적용을 위해 TransCAD의 메뉴인 "Facility Location"을 이용하였다. 이렇게 선정된 1차 후보지는 시설물 집합(유류저장탱크 후보지)과 수요자 집합(저유를 공급받을 조합)이 동일하

〈표 3〉 1차 후보지 선정결과

구 분	1차 후보지
경인권역	용진·인천
군산권역	군산·신안
여수권역	여수·목포
부산권역	부산·통영
동해권역	포항·속초·옥계

다고 보고 보다 넓은 범위에서 선정된 것으로, 모든 수요자 집합이 후보지가 될 수 있다.

그 결과는 〈표 3〉과 같으며, 권역별로 2개 이상의 1차 후보지를 선정하였는데 그 이유는 많은 후보지에서 1개의 최종후보지를 선정하기 위함이다. 동해권역은 각 후보지간 비용이 비슷하여 3개의 후보지를 선정하였다.

2) 최종후보지 선정

수요예측치만을 기반으로 후보지를 선정할 경우, 현실적인 제약 조건인 물동량 및 항구조건을 고려할 수 없어 불합리한 점이 있다.

따라서, 물동량을 통한 후보지의 현장심사 및 전문가 집단의 의견을 수렴하여 1차 후보지 중 최종후보지를 선정하였다.

먼저, 예측된 물동량³⁾의 양을 근거로 물동량이 많은 곳을 권역별 후보지를 선정하면 〈표 4〉와 같다.

1차 후보지와 물동량기준 후보지의 교집합으로 최종후보지를 선정할 수 있으나, 동해권역의 울산항은 항구조건⁴⁾을 만족하지 않아 동해권역은 1차 후보지를 최종후보지로 결정하였다. 이와 같은 흐름으로 최종후보지를 선별하였으며, 그 결과는 〈표 5〉와 같다.

〈표 4〉 물동량 기준 후보지 선정결과

구 분	물동량기준 후보지
경인권역	인천·평택
군산권역	군장(군산+장항)·대산
여수권역	여수·광양·목포
부산권역	마산·부산
동해권역	울산·포항

2) 소규모 네트워크에서 확인된 사항임.

3) KMI, 항만기본계획재정비 유류물동량 예측모형, 1999.

4) 유류저장탱크는 5,000톤급 유류선박의 출입이 가능하도록 8m 이상의 수심을 확보하여야 함.

〈표 5〉 권역별 최종후보지

구 분	최종 후보지
경인권역	인천
군산권역	군산
여수권역	여수·목포
부산권역	부산
동해권역	포항·속초·옥계

2. 최종입지선정

본 논문의 최종 목표는 후보지간 서비스 매트릭스(최단경로 매트릭스)를 이용하여 최소비용을 가지는 4개의 입지를 유통저장탱크 설치의 적지로 선정하는 것이다. 따라서, 아래 그림과 같이 최종 결정된 서비스 권역별 후보지를 Facility(공급)로 하고 소속 조합들을 Customer(수요)로 하여 최종 입지를 선정하였다.

한편, 최종입지를 선정하기 위해 기존의 5개 권역 중 경인권역과 군산권역을 통합하였는데, 이는 결정되어야 할 입지가 경제성을 고려하여 4개로 한정되어 있고, 다른 권역에 비해 수요량⁵⁾이 적을 뿐 아니라, 군산항과 인천항 모두 두 서비스권역내의 모든 조합에 서비스가 가능하다는 점 때문에 두 권역을 통합하였다.

이와 같은 권역의 통합은 후보지선정과정에서부터 수행될 수 있으나, 현재 수협의 사업은 각 권역별로 나뉘어 수행됨을 고려하여 후보지는 각 권역별로 선정하였다.

또한, 총 4개의 권역내에서의 최종입지 선정과정은 1차 후보지 선정작업과 동일한 흐름을 가지나, 시설물집합과 수요자집합이 서로 상이하다. 예를 들어 여수권역의 최종입지를 선정한다면, 서비스권역별 최종후보지인 목포와 여수가 시설물 집합(Facility Set)이 되고, 나머지 23개의 여수권역 조합들이 저유를 공급받는 수요자집합(Customer Set)이 된다. 이와 같은 최종입지 선정시의 시설물집합과 수요자집합은 〈표 6〉과 같으며, 이를 기반으로 서비스권역별 최종입지를 선정하였다.

전술한 바와 같이 최종입지선정의 과정에서는 후보지선정시에 사용하였던 GIS를 이용한 방법과 제시된 방법에 따른 결과의 비교검증을 위해 GAMS를 이용한 혼합정수계획법의 풀이결과를 제시하였다.

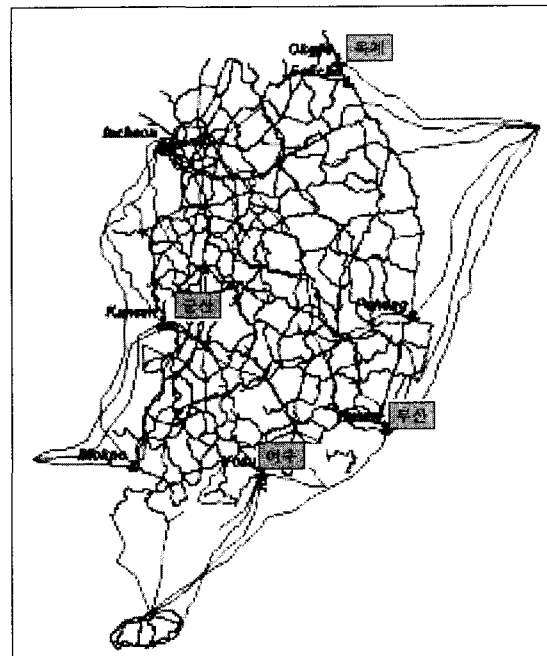
〈표 6〉 시설물집합과 수요자집합

구 분	Facility	Customer
경인/군산	인천·군산	경인·군산권역조합 (14개 조합)
여수권역	여수·목포	여수권역조합 (23개 조합)
부산권역	부산	부산권역조합 (8개 조합)
동해권역	포항, 속초, 옥계	동해권역조합 (15개 조합)

1) GIS를 활용한 선정결과

GIS를 통한 입지선정의 결과는 1차 후보지의 선정과정과 동일하지만, 전술한 바와 같이 각 권역별 시설물집합과 수요자집합이 서로 달라 최종후보지로 선정된 입지만이 최종입지로 선정될 수 있다.

위와 같은 환경에서 TransCAD를 통해 휴리스틱 P-Median 알고리즘을 적용하였으며, 〈그림 4〉와 같이 경인/군산권역에서는 군산항이 선정되었으며, 여수권역에서는 여수항, 부산권역에서는 부산항, 동해권역에서는 옥계항이 선정되었다.



〈그림 4〉 최적입지선정결과(TransCAD)

5) 경인권역은 1.87%, 군산권역은 10.04%, 〈표 1〉 참조.

2) 혼합정수계획법을 통한 선정결과

전술한 바와 같이 TransCAD를 이용하여 적지를 선정 후 결과의 상호 검증을 알아보기 위해 수리계획 모형인 GAMS를 사용하였다.

GAMS를 이용하여 적정입지를 선정하기 위해서, P-Median 알고리즘을 혼합정수계획법의 수리모형으로 모델링하여 Script를 작성하였으며, 이러한 Script를 바탕으로 각 서비스 권역별 최종후보지 중 4개소를 선정하였다.

이 때 휴리스틱 P-Median 알고리즘과 동일하게 최단거리와 수요데이터가 요구되는데, 최단거리 데이터는 TransCAD를 이용하여 구축된 것을 이용하였다.

〈표 7〉과 〈표 8〉은 서비스권역 중 경인/군산 권역의 최적 입지 선정결과를 나타내며, 결정변수 Y_{ij} 와 X_j 에 따른 결과들을 간단하게 테이블로 정리를 하였다. 여기서, 결정변수 Y_{ij} 가 1의 값을 가질 경우, LEVEL의 값이 1을 나타낸다. 이는 경인, 군산권역의 모든 조합들이 군산에서 공급받음을 나타낸다.

〈표 8〉은 경인/군산권역에서 LEVEL의 값으로 1을 가지는 군산이 최적입지로 선정이 되었음을 나타내고 있다.

표와 같이 각 서비스 권역별로 GAMS를 이용하여 풀이한 결과, 최적입지로 군산, 여수, 부산, 옥계가 선정이 되었다. 선정된 최적입지는 TransCAD를 이용하여 선정된 입지와 동일함을 알 수 있다.

〈표 7〉 경인/군산권역 결정변수 Y_{ij} 의 결과

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
화성·군산	.	1	+INF	.
김제·군산	.	1	+INF	.
부안·군산	.	1	+INF	.
고창·군산	.	1	+INF	.
영광·군산	.	1	+INF	.
용진·군산	.	1	+INF	.
군산·군산	.	1	+INF	.
서천·군산	.	1	+INF	.
강화·군산	.	1	+INF	.
당진·군산	.	1	+INF	.
인천·군산	.	1	+INF	.
서산·군산	.	1	+INF	.
보령·군산	.	1	+INF	1.74E+04
신안·군산	.	1	+INF	.

〈표 8〉 경인/군산권역 결정변수 X_j 의 결과

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
화성	.		+INF	70138.53
김제	.		+INF	3.45E+06
부안	.		+INF	3.48E+06
고창	.		+INF	3.45E+06
영광	.		+INF	3.41E+06
용진	.		+INF	.
군산	.	1	+INF	.
서천	.		+INF	.
강화	.		+INF	6.38E+05
당진	.		+INF	6.97E+05
인천	.		+INF	3.46E+05
서산	.		+INF	8.45E+05
보령	.		+INF	8.85E+05
신안	.		+INF	8.70E+05

IV. 결론 및 향후과제

본 논문을 통해 GIS와 OR의 통합적용기법을 제시하였으며, 휴리스틱 P-Median 알고리즘과 혼합정수계획법(MIP)에 의한 풀이가 모두 입지선정에 적용될 수 있음을 실증하였다. 제시된 기법은 기존의 혼합정수계획법을 적용하는데 있어 문제점으로 지적되었던 최단경로를 GIS를 기반으로 산출시키고, 수요 및 공급의 변화에 대응할 수 있는 입지선정방법으로 휴리스틱 P-Median 알고리즘을 사용한다.

또한, 제시된 기법의 검증을 위해 기존의 혼합정수계획법을 수리계획모형인 GAMS를 이용해 모델링시켜 그 결과를 제시된 기법의 결과와 비교하였으며, 두 기법 모두 동일한 입지인 군산항, 여수항, 부산항, 옥계항을 선정하였다.

본 논문에서 적지선정을 하기 위한 과정을 검토해보면,

- 1)먼저, GIS(TransCAD)를 이용하여 유류의 해상이동을 고려할 수 있는 해운네트워크를 구축하였으며,
- 2)시설물 집합인 후보지를 선정함에 있어 휴리스틱 P-Median 알고리즘을 GIS에 적용하여 권역별로 1차로 선정 후,
- 3)현실적인 제약조건(물동량, 항구의 조건)을 고려하여 권역별 최종후보지를 선정하였다.
- 4)최종입지의 결정은 시설물집합은 최종후보지로, 수요자집합은 권역별 조합으로 하여 GIS에 휴리스틱

P-Median 알고리즘을 적용하여 권역별 최적입지를 선정하였다. 5) 또한, 결과의 검증을 위해 수리 모형인 GAMS를 이용하였으며, 수행결과 두 모형의 결과치는 동일했다.

향후, 대규모 네트워크에서 적지를 선정할 경우 GIS의 이용은 불가피할 것이다.

그러나, 본 분석에서 사용된 정적네트워크는 유류 공급에 따른 최단경로의 선정시 교통혼잡과 같은 통행저항이 게재되어 있지 않고, 정확한 해로의 교통상황을 묘사하지 못한 한계점을 가지고 있다.

또한, 두 기법의 동일결과 도출은 소규모 네트워크상에서도 검증되었으나, 대규모네트워크에서 결정입지의 수에 따라 변화되는지에 대한 문제는 검증되지 않았다.

이와 같은 점을 보완한다면, 본 논문에서 제시한 GIS와 휴리스틱 P-Median 알고리즘을 이용한 적지 선정방안은 여러 입지선정문제에 쉽게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 오세창(1998), "배송중심지의 위치선정을 위한 연구", 대한교통학회지 제 18권 제 4호.
2. 이승재 외 2인(2000), "퍼지이론을 이용한 물류단지 입지 및 규모결정에 관한 연구", 대한교통학회지 제 18권 제 1호.
3. Caliper(1996), "Transportation GIS Software Routing and Logistics with TransCAD".
4. DASKIN, Mark S.(1995), "Network and Discrete Location", John Wiley & Sons.
5. Francis, R. L. and L. F. McGinnis, Jr., and J. A. White(1992), "Facility Location and Layout: Analytical Approach", Prentice Hall.
6. Larson, R. C. and A. R. Odoni(1981), "Urban Operation Research", Prentice Hall.

✉ 주 작성자 : 최기주

✉ 논문투고일 : 2001. 6. 19

논문심사일 : 2001. 9. 6 (1차)

2001. 9. 27 (2차)

심사판정일 : 2001. 9. 27