

■ 論 文 ■

Set Covering과 Minisum 기법을 활용한 시설물
최적위치 선정에 관한 연구

(119 구급대 위치선정사례에의 적용)

A Optimal Facility Location Using Set Covering and Minisum

(Application to Optimal Location of 119 Eru)

오 세 창

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

김 정 민

(아주대학교 환경건설교통공학부 박사과정)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 내용
- II. 기존 연구 검토
 - 1. 기존 Location Theory 및 적용사례
- III. 연구 대상 및 연구방법 설정
 - 1. 연구 대상
 - 2. 연구 방법
- IV. 모델 적용 결과
 - 1. SCLM과 P-median Minisum Location Problem 적용
 - 2. SCLM과 수정 P-median Minisum Location Problem 적용
 - 3. 적용결과 비교
- V. 결론 및 향후 연구과제
참고문헌

Key Words : 최적위치선정, 통행시간 최소화, 위치선정기법, 사고갓은지점, 119구급대 Location Theory, SCLM, Minisum Location Problem, black spot, 119ERU

요 약

교통사고 발생시 119구급대의 신속한 사고현장 도착이 사고심도 감소에 가장 중요한 역할을 한다. 교통사고가 발생하여 부상자가 심정지후 4분이 경과하면 뇌손상이 시작되고 10분이 경과하면 사망할 가능성이 높은 것으로 조사되고 있다. 이에 따라 119구급대의 설치 고려시 교통사고 발생지역까지 통행시간을 고려하여 위치를 결정할 필요가 있다. 본 논문에서는 119구급대의 위치를 결정하는 방안에 대해서 기존 location theory를 검토하여 SCLM과 minisum location theory를 상호활용하는 방안을 모색하였다. 또한 기존 minisum location theory를 적용할 경우 최대통행시간(λ)보다 통행시간이 증가하는 경우가 발생할 수 있는 문제점을 개선한 수정 minisum location theory를 제안한다. 수정 minisum location theory를 적용할 경우 모든 수요를 최대거리(λ)내에 도착하면서 수요량과 통행시간에 대해서 최적화된 119구급대의 위치를 알 수 있다.

Quick accident spot reaching of 119ERU is the most important role in decrease of accident depth. If 4 minutes of wounded person pass after cardiac arrest, brain damage is begun. and If 10 minutes of wounded person pass after cardiac arrest, possibility to die rises. Accordingly, when establish 119ERU, need to consider travel time to traffic accidents spot. This treatise groped a facility location problem using SCLM and minisum location problem mutually. And existent minisum location problem has a problem that maximum travel time exceed λ . ERU to need in present situation and also can reduce average travel time. so this treatise propose modified minisum location problem. In case applying modified minisum location theory, 119ERU can arrive all demand and that is optimized about demand and travel time. Can minimise figure of 119 first aids to need in present situation applying this way, and also can reduce average passing time. Finally, this way can minimise figure of 119ERU to need in present situation and also can reduce average travel time.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

시설물 설치 시 시설물의 위치를 결정하는 것은 가장 중요한 위치를 차지한다. 시설물의 위치에 따라 같은 수요를 처리함에도 통행시간 및 통행비용이 달라질 수 있기 때문이다. 이와 마찬가지로 119구급대의 위치 또한 중요한 부분을 차지한다. 또한 119구급대의 경우 부상자 발생 시 신속한 현장 도착을 요하므로 기존의 시설물의 설치와는 차별화 되어야 한다.

교통사고의 경우 사망자의 30% 이상이 초기 응급조치 지연 등에 의하여 사망한 경우이고 교통사고를 포함한 외상사고 사망자의 70%가 24시간 이내에 사망하였으며 사망자 중 대부분이 초기 4시간 이내에 사망하는 것으로 나타났다.

초기 4시간 이내 사망자 중 대부분은 효율적인 응급조치로 사고 심도를 감소시킬 수 있으며 그 중에서도 119구급대의 빠른 현장 도착이 가장 중요한 감소요인이다.

구급차의 운영전략 목적은 구급차의 특성상 응급구조요청시 지역내 구급차의 대기장소부터 환자 발생장소까지 가장 신속하게 움직여야 한다는 것이다. 최적의 조건으로는 4분 이내에 현장에 도착할 수 있도록 하는 것이다.¹⁾ 이러한 시간적 제약조건은 어떤 원인으로 인하여 심정지가 발생하였을 때 4분 이내에 심폐소생술이 실시되면 완전소생의 기회가 높으나, 4~6분 이상 혈액순환이 안된다면 뇌에 손상이 갈 가능성이 크고, 6분 이상 이러한 상태가 계속되면 거의 대부분의 경우 뇌의 기능이 완전히 정지되고 생명을 잃게 되기 때문이다.²⁾ 이러한 조건을 만족 시키기 위해서는 구급차의 대기장소가 지역적인 여건에 적합하게 고려되어야 한다.

본 연구는 기존 Location Theory를 검토하고 샘플 도시를 대상으로 현재 119구급대 및 교통사고현황을 살펴보고 Location Theory를 바탕으로 119구급대의 위치의 설정에 대한 방법론을 검토하여 교통사고 발생 시 빠른 현장 도착을 위한 방안을 모색하고자 한다.

2. 연구의 내용

1) 연구의 범위

본 논문은 기존의 Set Covering Location Model

(SCLM)과 Minisum Location Problem을 활용하여 시설물의 위치선정에 적합한 방법론을 선정하는 것이 그 목적이다. 시설물의 종류에 따라 위치선정에 적합한 방안은 달라질 수가 있으므로 본 논문에서는 119구급대의 최적 위치선정에 적용하여 적합한 방법론을 선정하도록 한다.

119구급대의 최적위치 선정에 적용되는 대상지역은 경기도 안산시로 정하였다. 또한 네트워크 분석 시 수요는 안산시에서 '04~'05년에 발생한 교통사고를 토대로 설정한다.

2) 연구 수행절차

119구급대의 최적위치를 선정하기 위해서 우선 기존 location theory 및 적용사례를 검토하여 기존 119구급대의 최적위치를 선정하기 위한 그 사례와 방법에 대하여 조사하고, 대상지역의 '04~'05년에 발생한 교통사고자료를 토대로 수요지점 및 수요지점의 수요량을 선정한다.

그 후에, 본 연구에 적용할 위치선정기법을 선정하고 선정결과를 검토할 기준을 마련한다.

마지막으로 대상지역에 위치선정기법을 적용하여 119구급대의 최적위치선정에 적합한 기법을 선정한다.

II. 기존 연구 검토

1. 기존 Location Theory 및 적용사례

1) Facility Location Problem Model

Facility Location Problem Model은 각 모델의 최적화 기준에 의거하여 Minisum Location Problem, Minimax Location Problem, Covering Location Problem으로 크게 나뉜다.

Covering Location Problem은 다시 Set Covering Location Problem과 Maximum Covering Location Problem으로 나누어진다.

(1) Minisum Location Problem

Minisum Location Problem은 평균 행동을 최적화하며 일반적으로 평균통행시간 또는 거리를 최소화한다. 필요한 시설물의 개수를 사전에 미리 결정해야 하며 P개의 시설물이 필요한 경우의 model은 식(1)과 같다.

1) Furbuss RL, Smith J, Wuertz DR(1989), Principles of EMS Systems, p19.

2) 대한심장학회 부정맥연구회, <http://arrhythmia.circulation.or.kr/>

목적함수: $\text{Min} \sum_{i=1}^n h_i(t_{ij}X_{ij})$
 제약조건: $\sum_{j=1}^n X_{jj}=P$
 $\sum_{j=1}^n X_{ij}=1(X_{ij} \leq X_{jj}, X_{ij}=0 \text{ or } 1)$ (1)

h_i : 지점 i 의 수요량
 t_{ij} : 지점 i 와 j 사이의 거리(또는 통행시간)
 $X_{ij}=1$: j 에 설치된 시설물이 i 지점에 서비스를 제공하는 경우
 0 : j 에 설치된 시설물이 i 지점에 서비스를 제공하지 않는 경우

목적함수를 제약조건 하에서 선형계획모형(Linear programming model)에 의해 계산한 최적해가 최적 위치가 되며 Minisum Location Problem의 최적 위치를 median이라고 한다.

(2) Minimax Location Problem

Minimax Location Problem은 최악의 경우에 가능한 행동을 최적화하며 일반적으로 최대거리 또는 시간을 최소화한다.

Minisum Location Problem의 경우에는 각 지점의 수요가 고려되나, Minimax Location Problem의 경우에는 수요가 고려되지 않는 차이점이 있는 반면 필요한 시설물의 개수를 사전에 미리 결정해야 하는 점은 같다.

m 개의 시설물이 필요한 경우의 model은 식(2)와 같으며 최적 위치로 선정된 지점을 center라 지칭한다.

목적함수: $\text{Min} Q$
 제약조건: $\sum_{j=1}^n t_{ij}X_{ij} \leq Q$
 $\sum_{j=1}^n X_{jj} = m$
 $\sum_{j=1}^n X_{ij}=1(X_{ij} \leq X_{jj}, X_{ij}=0 \text{ or } 1)$ (2)

t_{ij} : 지점 i 와 j 사이의 거리(또는 통행시간)
 $X_{ij}=1$: j 에 설치된 시설물이 i 지점에 서비스를 제공하는 경우
 0 : j 에 설치된 시설물이 i 지점에 서비스를 제공하지 않는 경우

(3) Set Covering Location Problem (SCLM)

1971년 Toregas가 개발한 모델로 모든 수요지점을 커버할 수 있는 최소한 시설의 수 산출한다. 시설물이 커버할 수 있는 최대거리를(λ)를 사전에 미리 결정해야 하며 model은 식(3)과 같다.

목적함수: $\text{Min} \sum_{i=1}^n X_i$
 제약조건: $\sum_{i=1}^n a_{ij}X_i \geq 1 (X_i=0 \text{ or } 1)$ (3)

$a_{ij}=1$: 지점 i 와 j 사이의 거리가 λ 이하인 경우
 0 : 지점 i 와 j 사이의 거리가 λ 보다 큰 경우
 $X_i=1$: j 에 설치된 시설물이 i 지점에 서비스를 제공하는 경우
 0 : j 에 설치된 시설물이 i 지점에 서비스를 제공하지 않는 경우

목적함수를 제약조건 하에서 선형계획모형(Linear Programming model)으로 풀게 되면 어떤 지역에 필요한 최소의 시설의 수를 얻게 되며 이때 얻어진 시설의 수는 모든 수요지점에 서비스를 제공할 수 있는 시설의 개수가 된다.

하지만, 모든 수요지점을 커버해야하는 제약조건 때문에 시설의 수를 과다 산출 할 수 있는 경우도 있다.

(4) Maximum Covering Location Problem (MCLM)

SCLM의 단점을 보완하기 위하여 '74년 Church와 ReVelle에 의해 개발되었으며 제한된 개수의 시설로 일정지역에 서비스를 제공할 때 각 수요와 시설의 최대거리(λ) 등을 고려하여, 가장 많은 수요지점이 시설을 이용할 수 있게 시설의 적정위치를 결정한다.

SCLM의 경우는 model의 결과물로서 시설물의 필요 개수가 결정되나, MCLM의 경우는 시설물의 개수를 사전에 미리 결정해야 하는 차이가 있다.

P 개의 시설물이 필요한 경우의 model은 식(4)와 같다.

목적함수: $\text{Max} \sum_{j=1}^n h_j Z_j$
 제약조건: $\sum_{i \in N_j} X_i \geq Z_j$
 $\sum_{i \in N_j} X_i = P(X_i=0 \text{ or } 1, Z_j=0 \text{ or } 1)$ (4)

- h_j : 지점 j 의 수요량
- N_{ij} : 지점 i 와 j 사이의 거리가 λ 이하인 시설물의 위치 i 의 집합
- $X_i=1$: 시설물이 i 지점에 설치된 경우
 0 : 시설물이 j 지점에 설치되지 않은 경우
- $Z_j=1$: 수요지점 j 가 어떤 시설물로부터 커버 되는 경우
 0 : 수요지점이 어떤 시설물로부터 커버되지 않는 경우

텍사스 州 오스틴에서 MCLM을 활용하여 EMS (Emergency Medical System)을 구축한 결과 3백40만 달러의 건설비용과 연간 운영비('84) 1백20만 달러를 절약하였고 EMS의 수요가 증가하였음에도 불구하고 평균 반응시간이 감소하는 효과를 보였다.³⁾

2) Probabilistic Model

Probabilistic Model은 기존의 facility location problem model에 시설물이 서비스를 제공하지 못할 확률을 반영한 모델이다. 이를 구급차의 최적위치선정에 반영할 때에는 구급차가 출동중이어서 수요에 반응하지 못할 확률로 해석할 수 있다.

(1) Maximum Expected Covering Location Problem (MEXCLP)

'83년에 Daskin은 MCLM에 수요 발생 시 구급차량이 반응하지 못할 가능성을 반영하여 MEXCLP 모델을 제안하였다. 모든 구급차량은 동일한 확률(busy fraction: 수요에 반응하지 못할 확률)을 지니는 것으로 가정된다.

$busy\ fraction = \frac{\text{total estimated duration of calls for all demand point}}{\text{total number of available ambulances}}$

이 model은 구급차량이 수요에 반응하지 못할 확률을 감안하여 최대한으로 서비스할 수 있는 수요의 기댓값을 산출하게 된다.

태국 방콕시에 MEXCLP 모델을 적용한 사례를 살펴보면 구급차량 수가 21대인 상황에서 구급차량 수를 15대로 감소시켜도 평균 반응시간 및 서비스를 제공받는 수요의 기댓값에는 차이가 없다는 계산결과를 보였다.⁴⁾ 구급차량의 수를 감소시켜도 현재의 서비스 만족도를 유

지할 수 있다는 것은 운영비용 등의 비용을 절감할 수 있음을 의미한다.

(2) Maximum Availability Location Problem (MALP)

Probabilistic Model의 종류로 '89년에 Revelle와 Hogan이 제안한 MALP은 신뢰도 α 를 준수하면서 최대한으로 서비스 할 수 있는 수요 값을 산출한다.

3) Model 비교

앞서 살펴본 location theory model들을 비교하면 <표 1>과 같다.

4) 국내 적용사례 고찰

국내에서 구급차량의 위치 선정에 location theory를 활용한 연구는 아직 시작단계에 머물러있다. 안무업 외 3인(1993)은 location theory를 활용하여 원주시내 구급차량의 대기장소의 적정위치를 분석하였다. 기본적으로 SCLM과 수정 Minisum 기법을 사용하였지만 수요를 모두 1로 가정하는 수요를 고려하지 않은 모형이었다.

본 논문에서 기본적인 SCLM과 Minisum 기법을 사용하는 것은 동일하나 실제 교통사고자료를 활용하여 주요 사고핫은지점을 수요지점으로 사용하였고 각 지점의 수요를 고려하여 구급차량의 위치를 선정하였다.

<표 1> location theory model 비교

Model	장단점		특이사항
Minisum Location Problem	장점	평균통행시간 최소화, 수요량 반영	시설물의 개수를 미리 결정해야함
	단점	최대통행시간 최소화 못함	
Minimax Location Problem	장점	최대통행시간 최소화	
	단점	수요량 미반영	
SCLM	장점	한계비용(거리,시간) 반영 모든 수요지점 커버	최적화된 시설물의 개수 산출
	단점	평균통행시간 최소화 못함, 수요량 미반영, 시설의 수 과다산출 가능성 존재	
MCLM	장점	제한된 시설물로 커버되는 수요량 최대화	오스틴 적용사례
	단점	커버하지 못하는 수요지점 존재	
Probabilistic Model	특이 사항	서비스를 제공하지 못할 확률 반영, 방콕시 적용사례	

3) David J. Eaton 외 4, 'Determining Emergency Medical Service Vehicle Dployment in Austin, Texas', Interfaces, 1985
 4) Fujiwara 외 2, 'Ambulance deployment analysis: A case study of Bangkok', European Journal of Operational Research, 1987

구급차량 이외의 시설물에 location theory를 적용한 예로 오세창(1998)은 단일가중평균에 의하여 Minisum Location Problem과 Minimax Location Problem을 결합하여 시설물의 적정 위치를 선정하였다. 가상의 네트워크에 각각 다른 4가지의 수요패턴에 결합모형을 적용 분석한 결과 수요가 집중적으로 발생하는 곳에 시설물을 설치할 필요가 있음을 확인하였다. 유정훈 외 2인(2008)은 수정 Minisum 기법을 사용하여 천연가스버스의 기중점에 대해서 천연가스 충전소의 적정위치를 분석하였다.

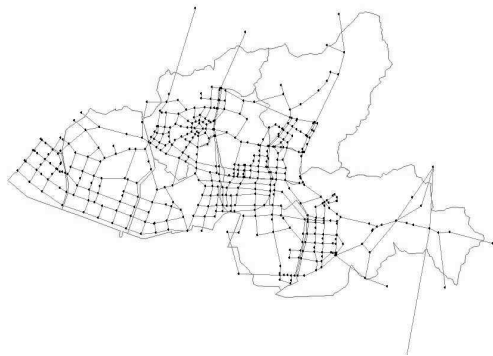
III. 연구 대상 및 연구방법 설정

1. 연구 대상

1) 분석 네트워크 설정

본 논문은 시설물의 위치선정 문제를 119구급대의 최적 위치 선정에 적용하여 적합한 위치선정 방안에 대한 연구가 목적이다. 시설물 위치선정 기법인 SCLM과 minisum location problem을 적용할 대상으로는 경기도 안산시를 선정하였다. 적용에 사용될 안산시 네트워크는 서울 시정개발연구원에서 분석 시 사용되는 수도권 네트워크에서 안산시 지역을 사용하였으며 해당 네트워크의 링크 및 노드는 <그림 1>과 같다.

해당 네트워크의 링크는 705개, 노드는 472개로 구성되어 있다. 링크에는 링크의 길이 정보가 기본적으로 입력되어 있어 추후 통행비용 산정에 활용하였다. 해당 네트워크의 노드는 시설물(119구급대)이 위치할 수 있는 후보지점인 동시에 수요(교통사고)가 발생할 수 있는 지점으로 가정하였다.



<그림 1> 안산시 네트워크

2) 수요지점 및 시설물후보지점 선정

각 노드에서 발생하는 수요는 안산시에서 발생한 교통사고를 토대로 산출하였다. 이를 위해서 '04~'05년도에 안산시에서 발생한 4,870여건의 교통사고자료를 수집하였으며 이 중 위치정보를 파악할 수 있는 2,973건의 교통사고자료를 분류하였다.

2,973건의 교통사고자료를 바탕으로 사고찾은지점 선정기준 등을 활용하여 본 논문에서는 최종적으로 20개의 사고찾은지점으로, 시설물 후보지점을 superiority rule을 활용하여 472개의 노드 중 11개로 축소 설정하여 활용하였다.

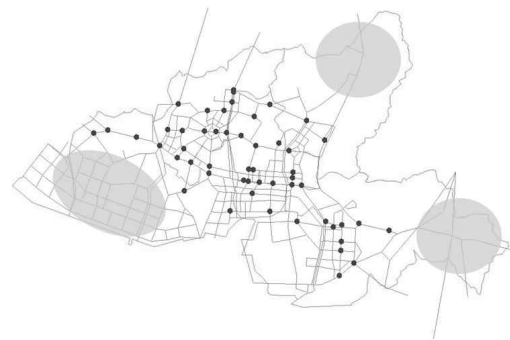
사고찾은지점을 선정하기 위한 1차 기준으로는 건설교통부의 '3차 사고 찾은 곳 개선사업 업무편람'에 명시되어 있는 사고찾은지점 선정기준을 활용하였다.

사고찾은지점 선정기준에 의해서 <그림 2>와 같이 52지점의 사고찾은지점이 선정되었다. 하지만 음영으로 표시된 부분에서는 사고찾은지점이 선정되지 않는 단점이 있다.

119구급대의 경우 안산시 전지역에 서비스가 제공될 수 있어야 한다는 점에서 지역적인 분포를 고려하여 음영으로 표시된 부분에서는 연간 2건 이상인 지점을 기준으로 30지점을 추가로 선정하였다.

<표 2> 사고찾은지점 선정기준

구분		선정기준
행정 구역	특별시	7건 이상 / 1년
	광역시	7건 이상 / 1년
	일반시	5건 이상 / 1년
	기타	3건 이상 / 1년
도로 형태	교차로	차량 정지선 후방 30m 이내까지
	횡단보도	차량 정지선 전후방 30m 이내까지
	단일로	시가지 반경 100m 이내 기타, 고속도로 반경 200m 이내



<그림 2> 사고찾은지점 선정

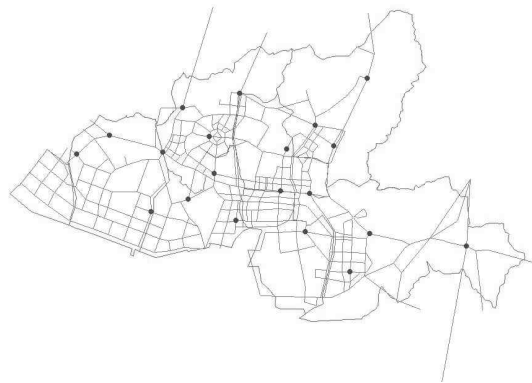
따라서 선정된 사고찾은지점 총 82지점이며 각 사고
찾은지점의 위치는 <그림 3>과 같다.

82개의 사고찾은지점을 모두 수요지점으로 설정할 경우
총 11개의 119구급대의 후보지점과 82개의 사고찾은지점
을 모두 고려하여 119구급대의 위치를 선정하여야 한다.
이럴 경우, P-median Minisum Location Problem을
선형계획법으로 풀이 시 고려해야할 변수 $X_{ij}(j)$ 에 설치된
시설물이 i 지점에 서비스를 제공할지에 대한 여부)의 수가
 $902(11*82)$ 개가 된다.

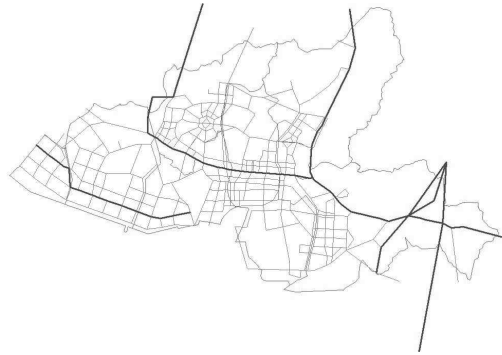
따라서 본 논문에서는 82개의 사고찾은지점 중 랜덤
하게 20개의 사고찾은지점을 수요지점으로 설정하였다.
선정된 20개의 수요지점은 <그림 4>와 같다.



<그림 3> 2차 선정 사고찾은지점



<그림 4> 수요지점 설정



<그림 5> 국도구간

는 주로 거리를 산정한다. 하지만 도로위계별 제한속도
의 차이 때문에 노드간의 최단거리를 갖는 경로와 최단
통행시간을 갖는 경로는 차이를 보이게 된다.

본 논문에서 각 노드를 연결하는 링크의 통행비용은 통
행시간으로 산정하였다. 각 링크의 통행시간 산정에는 기
존 네트워크에 적용되어 있는 링크의 길이와 링크의 위계
에 따른 제한속도를 반영하여 통행시간을 산정하였다.

각 링크의 위계는 국도와 시군도로 분류하였으며 링
크의 통행속도는 실제 안산시 도로의 제한속도를 감안하
여 국도의 경우 80kph, 시군도의 경우 50kph로 선정
하였다.

구급차량이 실제 운행시 일반차량들의 정체에 영향을
받아 제한속도 이하로 통행하거나 긴급자동차로 분류되
기 때문에 제한속도 이상으로 통행할 수 있지만 이 두가
지의 경우를 고려하여 구급차량의 통행속도를 추정하
는데에는 어려움이 있기 때문에 본 논문에서는 위 두가지
의 경우를 배제하고 통행시간은 주어진 값에서 변하지
않는 것으로 가정하였다.

<그림 5>에서 굵은 선으로 표시된 링크가 국도 구간
으로 제한속도를 80kph로 산정하였으며 이외의 링크는
시군도 구간으로 제한속도를 50kph로 산정하였고 통행
시간은 네트워크 링크의 길이에 제한속도를 나누어서 산
출하였다.

또한 119구급대의 최대통행시간(λ)는 교통사고가 발
생하여 사상자의 심정지 후 뇌손상이 발생하기 시작하는
4분으로 설정하였다.

2. 연구 방법

1) 통행비용 산정

119구급대의 위치를 선정할 때 링크의 통행비용으로

2) Superiority Rule 활용

앞서 설명한 바와 같이 본 논문에서는 Superiority
Rule을 활용하여 119구급대 후보지점을 기존 472개 노

드에서 11개 노드로 축소하였다. Superiority Rule은 coverage matrix의 행을 비교하여 어느 행이 더 우월한지 판단하여 우월한 행만을 남기고 matrix를 축소하는 기법이다.

또한 이 기법은 119구급대 후보지점 수는 축소하면서 전체를 모두 커버할 수 있는 119구급대의 수는 변하지 않는다.

Superiority Rule을 적용하기 위해서는 각 119구급대 후보지점에서부터 수요지점까지의 통행시간 matrix를 구한 다음 각 통행시간이 최대통행시간(λ)인 4분보다 작은지를 비교하여 <그림 6>과 같은 coverage matrix로 변환을 하여야 한다. matrix의 값이 1이면 통행시간이 4분보다 작은 경우이다.

그 다음 coverage가 가장 큰 후보지점을 선택하고 다른 후보지점의 coverage가 가장 큰 후보지점에 포함될 경우 포함되는 후보지점을 모두 삭제한다. 이는 시설물의 위치를 고려할 때 최대한 coverage가 많은 후보지점을 선택하는 것이 효율적이기 때문이다. 이를 반복하여 남아있는 후보지점이 없다면 중지한다.

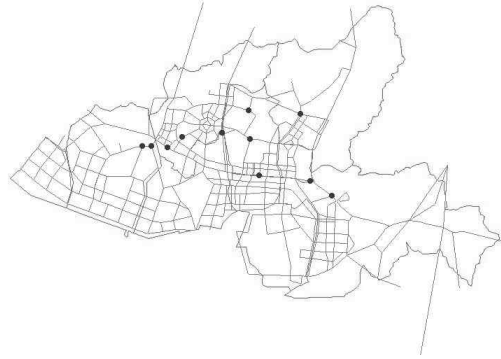
<그림 7>과 같이 4번 후보지점의 coverage가 가장 크므로 선택하도록 하고 1번, 2번, 5번의 coverage가 4번의 coverage에 포함되므로 1번, 2번, 5번 지점을 삭제한다. 그 다음 큰 3번 후보지점을 선택하고 남아있는

	a	b	c	d	E
1	1	1	1	0	0
2	0	0	1	1	0
3	1	0	0	1	1
4	1	1	1	1	0
5	0	0	1	0	0

<그림 6> coverage matrix

	a	b	c	d	E
1	1	1	1	0	0
2	0	0	1	1	0
3	1	0	0	1	1
4	1	1	1	1	0
5	0	0	1	0	0

<그림 7> coverage matrix 행 삭제



<그림 8> 119구급대 후보지점

후보지점이 없으므로 중단한다.

본 논문에서는 Superiority Rule을 적용하여 기존 472개의 119구급대 후보지점을 11개의 119구급대 후보지점으로 축소하였다. 선정된 시설물 후보지점은 <그림 8>과 같다.

3) 적용 모델 선정

교통사고 발생시 119구급대가 시설물의 위치에서 대기 중이라는 가정 하에 기존 모델 중 적용 모델을 선정하기 위해 다음과 같은 기준을 정립하였다.

- ① 모든 수요지점에 최대통행시간 내에 서비스 가능
- ② 전체 시스템의 효율성 최적화
- ③ ①,②번 기준을 모두 만족하여야 하며 위의 두가지 기준이 상충하였을 경우 ①번 기준을 우선시 한다.

①번 모든 수요지점에 최대통행시간 내에 서비스가 가능해야 한다는 기준은 119구급대와 같은 공공서비스의 경우 네트워크 전반에 서비스가 공급이 가능해야하며 최대통행시간내에 서비스가 가능해야 한다는 것은 앞서 설명한바와 같이 사상자의 생존율을 높이기 위하여 필요한 기준이다. ②번 기준 시스템의 효율성을 최적화해야 한다는 기준은 119구급대의 총 출동시간을 단축시키는 의미로써 시설물의 위치선정에 당연하다. ③번 기준은 두가지의 대안을 비교할 때 ①번 기준을 충족하는 대안을 우선 선정한다는 것을 의미하는 것을 의미하는 것으로 구급대의 경우 최대통행시간안에 도착 할 수 있는가 없는가에 따라 생존율에 차이가 발생하기 때문에 선정하였다.

이와 같은 기준을 만족하는 모델로는 SCLM과 Minisum Location Problem을 들 수 있다. 기존 SCLM의 경우

시설물의 위치를 선정함에 있어 시설물이 서비스 할 수 있는 최대통행시간(λ)을 반영하여 모든 수요지점에 서비스를 제공하면서 시설물의 수(P)를 최소화할 수 있어 ①번 기준을 만족한다. 하지만 수요지점에서 발생한 수요의 양과 거리 및 통행시간 등의 통행비용을 최적화하지 못하는 단점을 가지고 있다.

반면에 Minisum Location Problem의 경우 수요지점의 수요의 양과 거리 및 통행시간 등의 통행비용을 반영하여 최적화된 시설물의 위치를 산정할 수 있기 때문에 ②번 기준을 만족한다. 하지만 초기 시설물의 수(P)의 적정 값을 정하는 기준이 없으며 시설물이 서비스 할 수 있는 최대통행시간(λ)을 반영할 수 없는 한계를 가지고 있다.

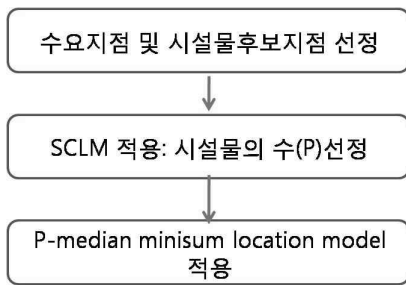
따라서 본 논문에서는 SCLM과 Minisum Location Problem의 장단점을 상호 활용하여 시설물의 위치를 선정하는 방안을 고안하였다. 먼저 주어진 수요지점에 대하여 SCLM을 적용하여 적정 시설물의 수(P)를 선정하였다. 그 다음 SCLM의 결과물을 Minisum Location Problem에 반영하여 수요와 통행비용을 최소화 하는 시설물의 위치를 산정하였다.

적용하는 방안은 Minisum Location Problem의 적용방법에 따라 두 가지로 분류하였다.

(1) CASE 1 : SCLM과 P-median Minisum Location Problem 적용

첫 번째 방안은 <그림 9>와 같이 먼저 Superiority Rule을 활용하여 시설물의 후보지점을 축소한다. 그 후 SCLM을 적용하여 시설물의 수(P)를 산출한 다음 이 시설물의 수(P)를 P-median Minisum Location Problem에 반영하여 시설물의 최종위치를 선정한다.

P-median Minisum Location Problem 적용 시 최대통행시간(λ)을 반영할 수 없기 때문에 최종 선정된 시



<그림 9> CASE 1 적용 절차

설물의 위치와 수요지점의 통행시간이 최대통행시간(λ)을 초과할 수 있는 단점이 있다.

(2) CASE 2 : SCLM과 수정 P-median Minisum Location Problem 적용

두 번째 방안은 <그림 10>과 같이 먼저 SCLM을 통하여 시설물의 수(P)를 산출한 다음 수정 P-median Minisum Location Problem을 적용한다.

수정 P-median Minisum Location Problem 은 기존 모델에서 최대통행시간(λ)을 반영할 수 없는 점을 개선하기 위해서 각 수요지점을 최대통행시간(λ)내에 서비스 할 수 있는 시설물 후보지점에 대하여 적용하였다.

이와 같이 수정된 P-median Minisum Location Problem은 식(5)와 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{목적함수: } & \text{Min } \sum_{i=1}^n h_i(t_{ij}X_{ij}) \\
 \text{제약조건: } & \sum_{j=1}^n X_{ij}=P \\
 & \sum_{i=1}^{N_j} X_{ij}=1 \quad (X_{ij} \leq X_{jj}, X_{ij}=0 \text{ or } 1) \\
 & N_j = \{i \in I \mid t_{ij} \leq \lambda\}, j \in J
 \end{aligned} \tag{5}$$

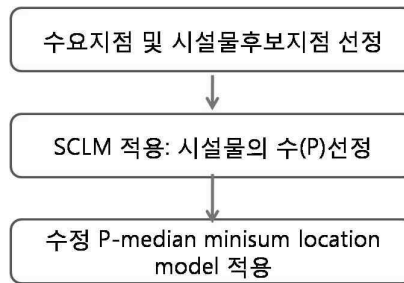
h_i : 지점 i 의 수요량

t_{ij} : 지점 i 와 j 사이의 거리(또는 통행시간)

$X_{ij}=1$: j 에 설치된 시설물이 i 지점에 서비스를 제공하는 경우

0 : j 에 설치된 시설물이 i 지점에 서비스를 제공하지 않는 경우

식(5)에서 밑줄친 부분이 수정된 부분이다. $N_j = \{i \in I \mid t_{ij} \leq \lambda\}, j \in J$ 에서 N_j 는 수요지점 i 와의 통행시간이 최대거리(λ)이하인 시설물 후보지점 j 의 집합이다.



<그림 10> CASE 2: 적용절차

4) 각 노드간 통행시간 계산

각 노드간 통행시간은 TransCAD Package의 Multiple path 기능을 활용하여 산정하였다. 이 기능을 활용하여 계산된 각 노드간 통행시간은 최단 통행시간을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \text{평균통행시간} &= \frac{\sum_{i=1}^{10} (\text{mintij} * \text{수요}_i)}{\sum_{i=1}^{10} \text{수요}_i} \\ &= 752.9 / 371 = 2.03(\text{분}) \end{aligned}$$

IV. 모델 적용 결과

1. SCLM과 P-median Minisum Location Problem 적용

1) coverage matrix 변환

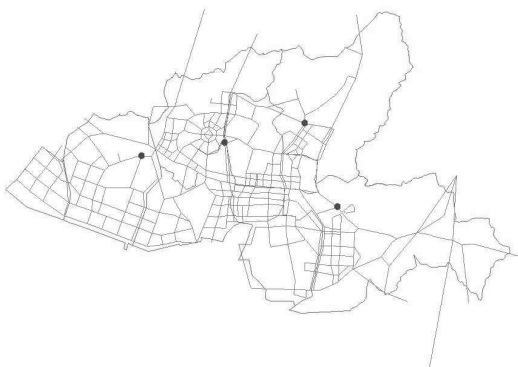
119구급대 후보지점 11지점과 수요지점 20지점의 통행시간을 TransCAD를 통해서 산출하였다.

산출된 통행시간을 최대통행시간(λ) 4분과 비교하여 4분 이내일 경우 1로 변환하고 그렇지 않을 경우에는 0 또는 빈칸으로 변환하여 coverage matrix를 완성한다.

2) SCLM 적용

축소된 119구급대 후보지점 및 수요지점을 대상으로 SCLM적용 결과 시설물의 수(P) 4개이며 해당 119구급대의 위치는 <그림 11>과 같다.

SCLM을 적용하여 구한 4개의 119구급대 위치의 20개의 수요지점에 대한 최대 통행시간은 3.7분이다. 평균 통행시간은 119구급대와 수요지점간의 통행시간 중 최소값을 찾은 후 수요지점의 수요량을 곱한 Minisum을 다시 총 수요량으로 나누어서 산출하였다. 이와 같이 SCLM을 적용한 결과 결정된 시설물의 위치에 따른 평균통행시간은 2.03분이다.



<그림 11> SCLM 결과 119구급대 위치

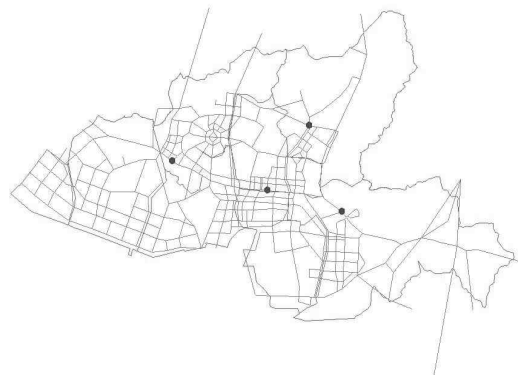
3) P-median location problem 적용

20개의 수요지점을 대상으로 11개의 119구급대 후보지점 중 minisum(수요*통행시간)을 갖게 되는 4개의 119구급대 위치를 선정하였다.

선정 결과 시설물의 위치는 <그림 12>와 같다.

총 평균 통행시간은 1.83분으로 SCLM을 적용하여 결정한 시설물의 위치보다 9.85% 감소하였다. 그러나 20개의 수요지점 중 2개의 수요지점의 119구급대까지의 통행시간이 각 3.7분, 3.4분에서 각 4.7분, 4.6분으로 증가하여 총 수요의 6.74%를 커버하지 못하는 것으로 분석되었다.

이는 모든 수요를 최대통행시간인 4분 이내에 커버해야 하는 119구급대의 특성을 고려해볼 때 119구급대의 위치선정 시 P-minisum Minisum Location Problem은 적합하지 않다는 것을 나타낸다.

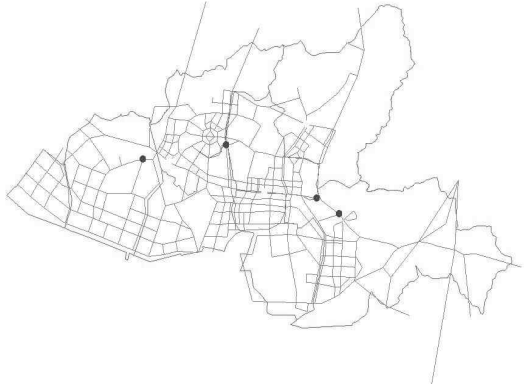


<그림 12> P-median Minisum 결과 119구급대 위치

2. SCLM과 수정 Median Minisum Location Problem 적용

1) 수정 P-median Minisum Location Problem 적용

이 방안은 4.1절에서 적용한 방안과는 SCLM을 적용하는 부분까지는 동일하나 P-median Minisum Location Problem적용 시 수요지점을 최대통행시간(λ) 4분 이내



<그림 13> 수정 Median Minisum 결과 119구급대 위치

에 커버할 수 있는 119구급대 후보 지점만을 대상으로 적용한다는 점에서 차이가 있다.

수정된 모델을 적용하여 도출된 119구급대의 각 위치는 <그림 13>과 같다.

모든 수요지점을 모두 4분 이내에 커버할 수 있는 것으로 나타났으며 평균통행시간은 1.98분으로 SCLM 적용 결과에 비해 2.5%감소하였다.

3. 적용결과 비교

본 절에서는 앞서 적용한 2가지 방안의 결과를 각 평균통행시간, 최대 통행시간, 최대통행시간(λ) 4분 내에 커버되는 수요지점 및 수요량 측면에서 비교하였다.

각 방안별로 SCLM을 적용하여 선정된 119구급대의 위치일 경우의 평균통행시간과 Minisum Location problem을 적용하여 최종 선정된 시설물의 위치일 경우의 평균통행시간을 각 비교하여 평균통행시간이 감소한 수치를 산정하였다. 또한 최종 시설물의 위치와 수요지점간의 최대 통행시간 및 4분 이내에 커버되는 수요지점의 수요량을 계산하였다.

기존의 P-median Minisum Location Problem을 적용하였을 경우에 평균통행시간은 2.03분에서 1.83분으로 9.85% 감소하였지만 최대 통행시간이 4.7분으로 증가하여 모델 선정 시 정립한 기준(①번 기준)에 부합하지 않는 문제점이 있다.

이를 개선한 수정 P-median Minisum Location Problem을 적용하였을 경우에는 평균통행시간이 1.98분으로 기존의 P-median Minisum Location Problem을 적용하였을 경우보다 다소 증가하였지만 최대통행시간이 3.8분으로 모든 수요지점을 100% 커버할 수 있는

<표 3> 적용결과 비교

CASE		1	2
수요(지점수)		20	20
공급(지점수)		11	11
평균통행시간 (분)	SCLM	2.03	2.03
	minisum	1.83	1.98
	변화량(%)	-9.85	-2.50
최대통행시간 (분)	SCLM	3.8	3.8
	minisum	4.7	3.8
	변화량(%)	24.68	0
4분내 커버 수요%(분)	SCLM	100	100
	minisum	93.26	100
	변화량(%)	-6.74	0

것으로 나타나 모델 선정 기준에 부합한다.

119구급대와 같이 응급환자가 발생한 현장에 최대통행시간(λ)내에 도착을 요하는 시설물의 위치를 선정할 경우에는 기존의 P-median Minisum Location Problem을 적용할 경우 수요지점까지의 통행시간이 최대통행시간(λ)를 초과할 수 있는 문제점이 발생한다. 따라서 이를 개선한 수정 P-median Minisum Location Problem을 적용하여 모든 수요지점을 최대통행시간(λ)내에 도달하면서 평균통행시간을 감소시키는 방안이 적합한 것으로 판단할 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

시설물을 설치함에 있어 시설물의 위치를 결정하는 것이 가장 중요하다. 시설물의 위치를 결정하는 방안으로 location theory가 사용되어 왔다. location theory는 목적함수 및 제약조건에 따라 Minisum Location Problem, Minimax Location Problem, SCLM, MCLM, MEXCLP, MALP 등으로 나누어진다.

그 중 본 논문에서는 SCLM과 Minisum Location Problem을 활용하여 119구급대의 위치를 결정하는데 적합한 방안을 모색하였다. SCLM의 경우 현 수요지점을 모두 최대통행시간(λ)내에 서비스할 때 119구급대의 수를 최소화 할 수 있으나 수요지점의 수요량 및 통행시간을 반영할 수 없는 단점이 있다.

반면에 Minisum Location Problem의 경우 수요지점의 수요량과 통행시간을 반영하여 119구급대의 위치를 최적화 할 수 있지만 119구급대의 적정 개수를 구할 수는 없다. 따라서 본 논문에서는 119구급대의 위치를 결정함에 있어 SCLM을 활용하여 119구급대의 수를 결정할 다음 Minisum Location Problem을 적용하여

119구급대의 위치를 최종 적용하였다.

또한 기존의 Minisum Location Problem을 적용할 경우 119구급대와 수요지점과의 통행시간이 최대통행시간(λ)를 초과할 수 있는 문제점이 나타났다. 따라서 본 논문에서는 최대통행시간(λ)내의 119구급대의 후보 지점만을 고려하여 시설물의 위치를 결정하는 수정 Minisum Location Problem을 제안하였다.

두 모델을 안산시 네트워크에 적용한 결과 기존의 모델에서 평균통행시간은 16.7% 감소하였지만 최대통행시간이 두 배로 증가하여 최대통행시간(λ)내에 모든 수요를 커버할 수 없는 문제점을 보였다. 하지만 수정된 모델을 적용한 결과 평균통행시간은 감소하면서 모든 수요지점을 최대통행시간(λ)내에 커버 할 수 있는 것으로 나타났다.

본 논문에서는 교통사고 발생시 119구급대가 대기 중이라는 가정 하에서 시설물의 위치를 결정하는 방안을 모색하였다. 하지만 실제로 교통사고 발생시 119구급대가 이미 다른 사고현장에 출동하여 수요에 반응할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 이에 따라 향후에는 119구급대가 수요에 반응할 수 없는 확률을 반영한 시설물의 위치를 결정하는 방안에 대해서 연구가 필요하다.

또한, 구급차량은 통행우선권을 가지나 실제 운영시에는 도로의 혼잡에 대한 영향을 완전히 피하기는 어려운 실정이다. 하지만 이러한 영향을 고려하여 구급차량의 지체를 반영할 수 있는 적당한 기준이 현재는 마련되어 있지 않아 본 논문에서는 링크의 지체에 따른 영향은 고려하지 않았다. 추후, 구급차량의 지체에 대한 영향을 고려할 수 있는 방안 또한 연구가 필요하다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제59회 학술발표회(2008. 10.24)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다

참고문헌

1. 안무업 외 3인(1993), 원주시내 구급차 대 기소의 적정 위치 선정과 후송로 구축, 대한 응급의학회지, 제4권 1호, pp.67~77.
2. 오세창(1998), 배송중심지의 위치선정을 위한 연구, 대한교통학회지, 제16권 제4호, 대한교통학회, pp.213~218.
3. 유정훈·이무영·오세창(2008), 공간적 접근성 및 통행비용을 고려한 천연가스 충전소 최적 입지선정 모형, 대한교통학회지, 제26권 제3호, 대한교통학회,

pp.145~153.

4. 탁병연(1992), 도시내 응급진료센터의 적 정 위치 선정, 연세대학교, 석사학위논문.
5. 삼성교통안전문화연구소(2006), 중소도시 교통안전 진단 안산시.
6. 한국보건산업진흥원(2005), 응급의료 기본 계획 수립 및 응급의료 운영체계 평가.
7. Armann Ingolfsson 외 2(2008), Optimal Ambulance Location with Random Delays and Travel Times, Health care Management Science 11, pp.262~274.
8. Baker CC 외 2(1980), Epidemiology of t rauma deaths. Am J Surg 140, pp.55~150.
9. Constantine Toregas 외 3(1971), The Location of Emergency Service Facilities, Operations Research 19, pp.1363~1373.
10. David J. Eaton 외 4(1985), Determining Emergency Medical Service Vehicle Deployment in Austin. Texas, Interfaces 15(1), pp.96~108.
11. Fujiwara 외 2(1987), Ambulance deployment analysis, European Journal of Operational Research 31, pp.9~18.
12. Luce Brotcorne 외 2(2003), Ambulance location and relocation models, European Journal of Operational Research 147, pp.451~463.
13. Michael O. Ball 외 1(1993), A reliability Model Applied to Emergency Service Vehicle Location, Operations Research 41, pp.18~36.
14. Furbuss RL, Smith J, Wuertz DR(1989), Principles of EMS Systems, ACEP Press, p.19.
15. 대한심장학회 부정맥연구회, <http://arrhythmia.circulation.or.kr/>

♣ 주 작성자 : 오세창
 ♣ 교신저자 : 김정민
 ♣ 논문투고일 : 2008. 7. 18
 ♣ 논문심사일 : 2008. 8. 28 (1차)
 2009. 4. 15 (2차)
 2009. 6. 1 (3차)
 ♣ 심사관정일 : 2009. 6. 1
 ♣ 반론접수기한 : 2009. 12. 31
 ♣ 3인 익명 심사필
 ♣ 1인 abstract 교정필