

한정된 응급시설의 최적위치 문제

이 상 운*

Optimal Location Problem for Constrained Number of Emergency Medical Service

Sang-Un, Lee *

요 약

본 논문은 여러 구역으로 분할된 도시에서 응급환자가 발생하였을 때 이에 대처하기 위한 최대 허용 도착시간 T 를 충족시키면서, 응급시설 수 p 를 한정시켰을 때 최대한의 주민수를 커버할 수 있는 응급시설의 최적 위치를 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 이 문제는 일반적으로 두 구역 간 소요시간이 최대허용 도착시간이내이면 1로, 그렇지 않으면 0으로 하는 정수계획법으로 변환시키고, 선형계획법 도구를 활용하여 해를 구한다. 본 논문은 $p=1$ 인 경우 최대로 커버하는 노드로 결정하며, $p \geq 2$ 인 경우 최대한으로 커버할 수 있는 노드 상위 5개를 p_1 기준으로 포함-배제 원칙을 적용하여 p_1 이 커버하는 영역을 삭제하였을 때 남은 노드들 중에서 최대로 커버하는 노드를 p_2 로, p_1, p_2 커버 영역을 삭제시 최대로 커버할 수 있는 노드를 p_3 로 결정하였다. 이들 5개 기준 노드 집합 들 중에서 최대로 커버하는 노드 집합을 최적의 응급시설 위치로 결정하였다. 제안된 알고리즘을 12-노드 망, 21-노드 망과 Swain의 55-노드 망에 적용한 결과 최적해를 쉽고 빠르며, 정확하게 결정할 수 있었다.

▶ Keywords : 응급시설, 최대 허용 도착 시간, 포함-배제원칙

Abstract

This paper proposes an EMS algorithm designed to determine the optimal locations for Emergency Medical Service centers that both satisfy the maximum ambulance response time T in case of emergency and cover the largest possible number of residents given a limited number of emergency medical services p in a city divided into different zones. This methodology generally applies integer programming whereby cases are categorized into 1 if the distance between two zones is within the response time and 0 if not and subsequently employs linear programming to obtain the optimal solution. In this paper, where $p=1$, the algorithm determines a node with

•제1저자 : 이상운

•투 고 일 : 2013. 08. 06. 심사일 : 2013. 08. 19. 게재확정일 : 2013. 08. 27.

* 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 (Dept. of Multimedia Eng., Gangneung-Wonju National University)

maximum coverage. In cases where $p \geq 2$, the algorithm selects top 5 nodes with maximum coverage. Based on inclusion-exclusion method, this selection entails repeatedly selecting a node with the maximum coverage when nodes with lower numbers are deleted. Among these 5 selected nodes, the algorithm selects a single node set with the greatest coverage and thereby as the optimal EMS location. The proposed algorithm has proven to accurately and expeditiously obtain the optimal solutions for 12-node network, 21-node network, and Swain's 55-node network.

▶ Keywords : Emergency service location, Maximum allowable arrival time, Inclusion-exclusion principle

I. 서론

한 도시에 n 개의 구역 N_i , ($i = 1, 2, \dots, n$)이 존재하고, 두 구역 N_i 와 N_j 간 거리 d_{ij} 를 알고 있다고 하자. 만약, 응급상황이 발생하였을 때 임의의 응급구조시설 S_j 에서 응급환자 수송차량이 임의의 구역 N_i 까지 도착하는데 허용되는 최대 소요시간 T 는 준수하여야만 주민의 생명을 지킬 수 있다고 가정하자. 이 경우, 이 도시 주민 모두를 만족시키도록 응급시설 p 를 최소로 몇 곳에 설치하는 것이 가장 효율적인가를 판단해야만 한다[1]. 또 다른 경우로, 예산상의 이유로 충분한 응급시설 개수를 설치하지 못하는 경우도 발생한다. 이 경우 정책적으로 결정된 응급시설 개수에 대해 어느 곳에 설치해야 만족하는 주민 수를 최대로 할 수 있는가의 문제가 제기될 수 있다[2].

본 논문은 예산상의 이유로 한정된 응급시설 개수가 결정되었을 때, T 범위를 만족시키는 주민수를 최대한으로 할 수 있는 응급시설 위치를 결정하는 알고리즘을 제안한다.

한 도시에 거주하는 모든 주민을 만족시키도록 응급시설을 몇 곳에 설치하는 것이 가장 효율적인가에 대한 해를 구하는 방법은 선형계획법 (Linear programming, LP), 집합피복 (Set covering), 중앙값 방법 (p -Median method), 중심점 방법 (p -Center method)이 있다[3]. 중앙값과 중심점 방법은 모든 구역간의 최단거리의 최대값이 $t_{ij} \leq T$ 가 되도록 응급시설의 위치를 이동시키는 방법이다. 반면에, 선형계획법과 집합피복은 식 (1)과 같이 정수계획법 (Integer programming, IP)을 적용하여 $t_{ij} \leq T$ 이면 1로, $t_{ij} > T$ 이면 0으로 치환한다[1].

$$\begin{aligned} & \text{minimize } Z = \sum_j X_j & (1) \\ & \text{s.t. } a_{ij} X_j \geq 1, \text{ for all } i \end{aligned}$$

$$X_j = 0, 1 \text{ for all } j$$

where

$$X_j = \begin{cases} 0, & \text{만약, 구급차가 } j \text{ 지역에 없는 경우} \\ 1, & \text{만약, 구급차가 } j \text{ 지역에 있는 경우} \end{cases}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & t_{ij} > T \\ 1, & t_{ij} \leq T \end{cases}, \quad t_{ij} = \frac{1}{v_{ij}} \times d_{ij}$$

Z : 응급시설 대수

주어진 거리 행렬 데이터 D 의 거리 (또는 시간)를 a_{ij} 로 치환한 행렬 데이터 A 에 대해 기존 알고리즘은 선형계획법 (Linear programming, LP), 집합피복 (Set covering), 중앙값 방법 (Median method), 중심점 방법 (Center method)으로 해를 구하였다. 집합피복 문제의 정확한 해 (exact solution)를 다항시간에 구하는 알고리즘은 아직 알려지지 않아 NP-완전 (Non-deterministic Polynomial-complete)에 속하는 문제이다[4-7]. NP-완전 문제는 미국 클레이 수학재단에서 100만불의 상금을 제시한 21세기에 풀어야 할 7개 문제 중 첫 번째인 "P=NP?"이다[8]. 반면에, 선형계획법은 단순히 선형계획법 패키지 (도구)를 적용하여 해를 구하는 방법으로 최적화 문제를 푸는데 일반적으로 사용되고 있다[9].

한정된 응급시설 개수를 설치할 경우 최적의 설치 위치를 결정하는 알고리즘은 Greedy Add, Particle Swarm Optimization (PSO), 선형계획법 등을 적용하고 있으나 수학 지식이 없는 일반인이 적용하기는 쉽지 않다[10,11].

본 논문은 한정된 응급시설 개수를 최적으로 설치하는 알고리즘을 제안한다. 2장에서는 관련 연구와 문제점을 고찰한다. 3장에서는 포함-배제원칙을 적용한 한정된 응급시설 개수를 최적으로 설치하는 위치를 구하는 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안된 알고리즘의 적용성을 검증한다.

II. 관련연구와 문제점

표 1은 Swain이 제시한 55개 노드에 대한 데이터이다

[2,12]. 여기서 각 노드의 위치는 직각좌표로 제시되어 있어 인접한 두 노드 v_i 와 v_j 간의 거리는 유클리드 거리 (Euclidean Distance) $l(v_i, v_j) = \sqrt{[v_i(x) - v_j(x)]^2 + [v_i(y) - v_j(y)]^2}$ 로 구할 수 있다. 표 1의 데이터에 대해 Church와 ReVelle(2)는 선형계획법 (Linear programming)을 사용하여 $T=10$ 에 대해 응급시설 개수를 5개 설치할 경우 인구수를 최대한 커버할 수 있는 위치로 그림 1과 같이 결정하였다. 여기서 {32,39,40,46,49,50,51,52,53,55}의 인구수 356명을 커버하지 못해 전체 인구수 3,575명중 3,219명을 커버하는 결과를 얻었다.

표 1. Swain의 55-노드 망
Table 1. The Swain's 55-Node Network

노드	인구수	위치좌표		노드	인구수	위치좌표	
		x	y			x	y
1	120	32	31	29	62	19	38
2	114	29	32	30	61	27	41
3	110	27	36	31	60	21	35
4	108	29	29	32	58	32	45
5	105	32	29	33	57	27	45
6	103	26	25	34	55	32	38
7	100	24	33	35	54	8	22
8	94	30	35	36	53	15	25
9	91	29	27	37	51	35	16
10	90	29	21	38	49	36	47
11	88	33	28	39	47	46	51
12	87	17	53	40	44	50	40
13	87	34	30	41	43	23	22
14	85	25	60	42	42	27	30
15	83	21	28	43	41	38	39
16	82	30	51	44	40	36	32
17	80	19	47	45	39	32	41
18	79	17	33	46	37	42	36
19	79	22	40	47	35	36	26
20	77	25	14	48	34	15	19
21	76	29	12	49	33	19	14
22	74	24	48	50	33	45	19
23	72	17	42	51	32	27	5
24	70	6	26	52	26	52	24
25	69	19	21	53	25	40	22
26	69	10	32	54	24	40	52
27	64	34	56	55	21	42	42
28	63	12	47	계	3,575		

T=10, p=5

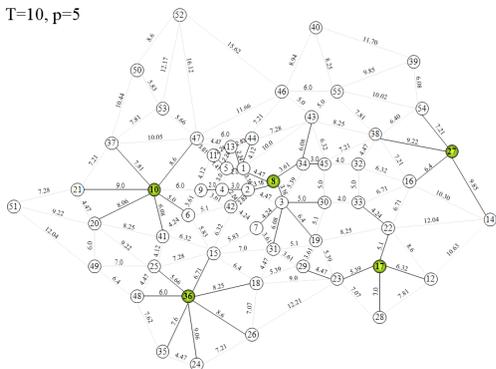


그림 1. T=10인 경우 응급시설 위치
Fig. 1. Emergency Facility Location for T=10

표 2는 Dawei et al.[10]에서 인용된 12-노드 망이다. 이 망은 12개의 블록 (b_1, b_2, \dots, b_{12})으로 구성된 도시에 응급시설 후보 위치가 7곳 (A, B, C, D, E, F, G)이 존재한다. 여기서 거리 $l(i, j) = 6$ 이면 만족도는 "1", $l(i, j) = 8$ 이면 만족도는 "0"이 되며, $l(i, j) = 7$ 이면 만족도는 "0.5"이다.

표 2. Dawei et al.의 12-노드 망
Table 2. The Dawei et al.'s 12-Node Network

$l(i, j)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
인구	93	133	124	84	36	31	87	33	121	96	11	79	1027
A	7	4	7	9	1	3	5	8	8	10	12	13	-
B	13	11	11	10	8	6	4	6	2	8	4	5	-
C	16	14	14	13	12	10	10	8	5	6	2	5	-
D	12	10	11	12	7	5	8	4	3	7	7	10	-
E	7	5	5	8	4	5	1	7	3	10	10	12	-
F	3	3	1	4	6	8	4	10	8	13	12	11	-
G	10	8	6	4	9	10	4	12	5	14	8	3	-

만족도	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	0.5	1	0.5	0	1	1	1	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1
C	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
D	0	0	0	0	0.5	1	0	1	1	0.5	0.5	0
E	0.5	1	1	0	1	1	1	0.5	1	0	0	0
F	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
G	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	인원수
A	465	133	62	0	36	31	87	0	0	0	0	0	395
B	0	0	0	0	0	31	87	33	121	0	11	79	461
C	0	0	0	0	0	0	0	0	121	96	11	79	406
D	0	0	0	0	18	31	0	33	121	48	55	0	306
E	465	133	124	0	36	31	87	165	121	0	0	0	595
F	93	133	124	84	36	0	87	0	0	0	0	0	57
G	0	0	124	84	0	0	87	0	121	0	0	79	495

표 2의 데이터에 대해 Dawei et al.[10]는 $p = 1, 2, 3$ 에 대한 응급시설 위치를 Hybrid Particle Swarm Optimization (Hybrid_PSO)과 Greedy_Add 알고리즘을 적용하여 표 3과 같이 제시하였다.

표 3의 $p = 3$ 에서 Hybrid_PSO 알고리즘은 응급시설 위치를 C, D, F로 위치시킬 경우 만족 인원수는 102.70으로 모든 주민수를 만족시킬 수 있었다.

Storbeck과 Vohra(11)는 표 4의 21-노드 망에 Natural Slack Covering (NSC) 알고리즘을 적용하여 $T = 2, p = 4$ 의 조건에 대한 해를 $p = \{5, 11, 13, 20\}$ 으로 결정하여 총 인구수 6,300명 모두를 커버하는 위치를 찾았다.

지금까지 살펴본 3개의 데이터 모두 서로 다른 알고리즘들을 적용하고 있어 어떤 알고리즘이 모든 경우에 적합하지 알 수 없으며, 수학적인 전문지식이 없는 일반인들은 적용하기가 쉽지 않다.

3장에서는 쉽게 적용할 수 있으며, 이들 3개 데이터 모두에 적용할 수 있는 단일화된 알고리즘을 제안한다.

표 3. Dawei et al.12-노드 망의 응급시설 위치
Table 3. Emergency Service Facility Location for Dawei et al.'s 12-Node Network

p	알고리즘	응급시설 위치	최대 만족 인원수
1	Hybrid_PSO	E	59.50
	Greedy_Add	E	55.70
2	Hybrid_PSO	C, F	96.30
	Greedy_Add	B, E	80.05
3	Hybrid_PSO	C, D, F	102.70
	Greedy_Add	B, E, F	93.10

표 4. T=2인 경우 Storbeck 21-노드 망
Table 4. T=2 for Storbeck 21-Node Network

노드	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	계
주민수	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300	400	250	300	300	400	250	400	250	400	200	400	1600
1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
4	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
6	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
7	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
8	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
9	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
11	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
12	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	7
13	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	7
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	7
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	5
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	4
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4

III. 한정된 응급시설 개수 위치 결정

알고리즘

응급시설의 설치 가능한 모든 주민을 만족시키도록 충분히 설치하는 것이 가장 이상적이다. 그러나 현실적으로는 예산 부족으로 인해 모든 주민을 만족시키지 못하는 경우가 발생한다. 이 경우에 설치 가능한 p의 개수가 정책적으로 결정되었을 경우 가능한 최대한의 주민을 만족시키는 위치를 결정하는 것이 최선책이다. 본 장에서는 최대한의 도착 시간 (또는 거리) T의 조건을 만족하면서 p의 개수가 주어졌을 경우 p의 최적의 위치를 찾는 알고리즘을 다음과 같이 제안한다.

- Step 1. 주어진 두 노드 n_i 와 n_j 간의 최단거리 데이터 L 행렬에 대해 $l(i,j) \leq T$ 는 1로, $l(i,j) > T$ 는 0으로 치환하는 0-1 정수계획법을 적용한다. 여기서, 행렬의 i행은 응급시설 후보 위치를, j열은 주민이 거주하는 노드들을 의미한다.
- Step 2. 행렬 값 a_{ij} 에 대해 $a_{ij} = l(i,j) \times pop_j$ 를 계산한 행렬 A를 생성한다. 여기서 $l(i,j) = 0,1$ 이며, pop_j 는 j번째 노드에 거주하는 주민 수이다. A 행렬의 각 행 (응급시설) i에 대한 합 $\sum_{j=1}^n a_{ij}$ 를 구한다.
- Step 3. $p=1$ 인 경우 최적의 위치는 $\max(\sum_{j=1}^n a_{ij})$ 값을

찾는 노드 i가 된다.

Step 4. $p \geq 2$ 에 대해서는 $\sum_{j=1}^n a_{ij}$ 가 큰 상위 5개 (Top 5) 노드를 선택한다. $p=k$ 인 경우 5개 노드 각각에 대해 p_1, p_2, \dots, p_{k-1} 의 $a_{ij} > 0$ 인 열을 모두 삭제하였을 경우 $\max(\sum_{j=1}^n a_{ij})$ 값을 찾는 노드 i를 p_k 로 결정한다. 5개 노드 각각의 합 중에서 최대값을 가진 노드를 $p=k$ 의 해로 결정한다.

Step 4에서 Top 5 노드를 대상으로 최적의 위치를 결정하는 이유는 다음과 같다. 0-1 정수계획법 행렬에서 만약, $p=2$ 인 경우 p_1 과 p_2 가 커버하는 범위 C는 식 (2)와 같으며, $p=3$ 인 경우 p_1, p_2 와 p_3 가 커버하는 범위는 식 (3)과 같이 계산된다.

$$C(p_1 + p_2) = C(p_1) + C(p_2) - C(p_1 \cap p_2) \tag{2}$$

$$C(p_1 + p_2 + p_3) = C(p_1) + C(p_2) + C(p_3) - [C(p_1 \cap p_2) + C(p_2 \cap p_3) + C(p_3 \cap p_1)] + C(p_1 \cap p_2 \cap p_3) \tag{3}$$

이와 같이 $p \geq 2$ 에 대해서는 포함-배제 원칙이 적용되기 때문에 Top 5의 5개 노드 각각의 교집합의 크기를 알 수 없어 Top 1 노드가 반드시 최적의 해라고 할 수 없다. 따라서 5개 노드에 대해 계산을 하여 그 중에서 최대로 커버하는 노드를 결정하는 방법을 적용한다. 만약, 최대 인원수 커버 노드를 선택하는 방법을 단순히 적용하면 다음과 같이 {4,33,36,23,21}의 5개 위치를 결정할 수 있으며, 이 경우 {12,14,27,39,40,43,46,49,50,52,53,54,55}의 13 노드 567명을 커버하지 못해 3,575명 중 3,008명만을 커버하여 좋은 결과를 얻지 못한다.

$$N_G[4] = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,15,34,41\} = 1,508$$

$$\{42,44,47\}$$

$$N_G[33] = \{16,17,19,22,30,32,33,38,45\} = 579$$

$$N_G[36] = \{18,24,25,26,35,36,48\} = 428$$

$$N_G[23] = \{23,28,29,31\} = 257$$

$$N_G[21] = \{20,21,37,51\} = 236$$

IV. 실험 및 결과 분석

참고로, 표 1의 55-노드 망과 표 4의 21-노드 망에 대해 모든 주민수를 커버할 수 있는 응급시설의 개수를 구하였다. 55-노드 망에 대해서는 모든 주민 3,575를 $T=10$ 이내에

만족시킬 수 있는 응급시설의 개수는 $p=9$ 이며, 그림 2에 제시하였다. 표 4의 21-노드 망 데이터에 대해 모든 주민수를 커버하려면 표 5와 같이 $p=4$ 가 필요하다. 이는 최소 차수 (minimum degree, $\delta(G)$)노드의 이웃 노드 (Neighbourhood, $N_G(n_i)$)들 중에서 최대차수 노드를 선택하고 이 노드와 이웃 노드들을 삭제하는 방법으로 구할 수 있다. 단, 해당 노드의 인접 노드를 삭제시 차수가 0인 노드가 발생하면 다음 노드를 선택하는 방법을 적용하였다.

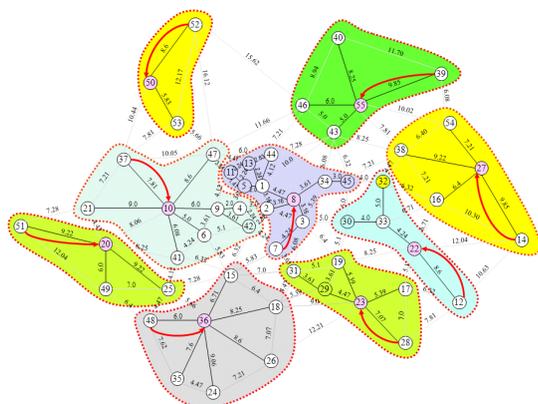


그림 2. $T=10$ 의 응급시설 위치
Fig. 2. Emergency Service Location for $T=10$

표 5. 21-노드 망의 원전 커버 응급시설 위치
Table 5. Full Cover Emergency Service Location 21-Node Network

순서	$\delta(G)$ 노드 (n_i)	$N_G(n_i)$	선택
1	$\delta(G) = 10$ $d_G(10) = 2$	$N_G(10) = \{n_9, n_{13}\}$ $d_G(9) = 4, d_G(13) = 5$	$p_1 = n_{13}$
2	$\delta(G) = 21$ $d_G(21) = 2$	$N_G(21) = \{n_{16}, n_{20}\}$ $d_G(16) = 5, d_G(20) = 5$ n_{16} 선택시 $d_G(19) = 0$	$p_2 = n_{20}$
3	$\delta(G) = 12$ $d_G(12) = 2$	$N_G(23) = \{n_7, n_{11}\}$ $d_G(7) = 4, d_G(11) = 3$	$p_3 = n_7$
4	$\delta(G) = \{1, 2, 4, 5\}$ $\forall, d_G(n_i) = 3$	$p_4 = n_1 \text{ or } n_2 \text{ or } n_4 \text{ or } n_5$	
Full Cover 응급시설 위치		$\{n_{13}, n_{20}, n_7, n_{11}\}, \{n_{13}, n_{20}, n_7, n_{11}\}$ $\{n_{13}, n_{20}, n_7, n_4\}, \{n_{13}, n_{20}, n_7, n_5\}$	

표 1의 데이터에 대해 $1 \leq p \leq 5$ 범위로 제한된 알고리즘을 적용하는 방법은 표 6과 같으며, 결과는 그림 3에 제시되어 있다. $p=5$ 인 경우, 제한된 알고리즘은 Church와 ReVelle[2]가 제시한 그림 1과 같이 $n_8, n_{10}, n_{17}, n_{27}, n_{36}$ 의 동일한 위치를 얻었다.

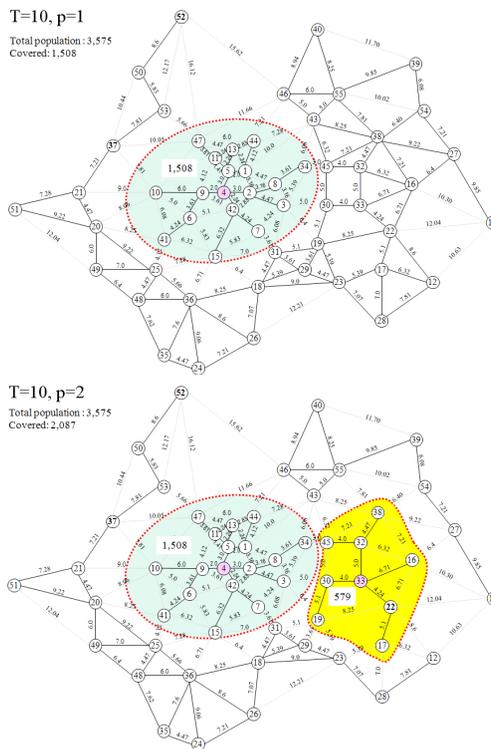
표 2의 12-노드 망 데이터에 대해 $1 \leq p \leq 3$ 범위에 제

안된 알고리즘을 적용한 결과는 표 7과 같다. 표 7은 Dawei et al.[10]이 제시한 표 3의 Hybrid_PSO 알고리즘과 동일한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

표 6. $T=10, 1 \leq p \leq 5$ 인 경우 55-노드 망의 응급시설 위치

Table 6. Emergency Facility Location with $T=10, 1 \leq p \leq 5$ for 55-Node Network

	순위	노드	커버 주민수	최적해	
$p=1$	1	n_4	1,508	n_4	
	2	n_9	1,453		
	3	n_5	1,434		
	4	n_1	1,390		
	5	n_3	1,384		
$p=2$	p_1	n_4	계	최적해	
	p_2	n_{33}			
	계	2,087			
	$n_4(1,508)$	$n_{33}(579)$			2,087
	$n_4(1,453)$	$n_{33}(579)$			2,032
$p=3$	p_1, p_2	n_4, n_{33}	계	최적해	
	p_3	n_{36}			
	계	2,515			
	$n_4, n_{33}, n_{36}(2,087)$	$n_{36}(428)$			2,515
	$n_4, n_{33}, n_{36}(2,032)$	$n_{36}(428)$			2,460
$p=4$	p_1, p_2, p_3	$n_4, n_{33}, n_{36}, n_{17}$	계	최적해	
	p_4	n_{11}			
	계	2,799			
	$n_4, n_{33}, n_{36}, n_{17}(2,515)$	$n_{11}(284)$			2,799
	$n_4, n_{33}, n_{36}(2,460)$	$n_{11}(284)$			2,744
$p=5$	p_1, p_2, p_3, p_4	$n_4, n_{33}, n_{36}, n_{17}, n_{10}$	계	최적해	
	p_5	n_{21}			
	계	3,035			
	$n_4, n_{33}, n_{36}, n_{17}, n_{10}(2,799)$	$n_{21}(236)$			3,035
	$n_4, n_{33}, n_{36}, n_{17}(2,744)$	$n_{21}(236)$			2,980
최적해	$\{n_8, n_{10}, n_{17}, n_{27}, n_{36}\}$				



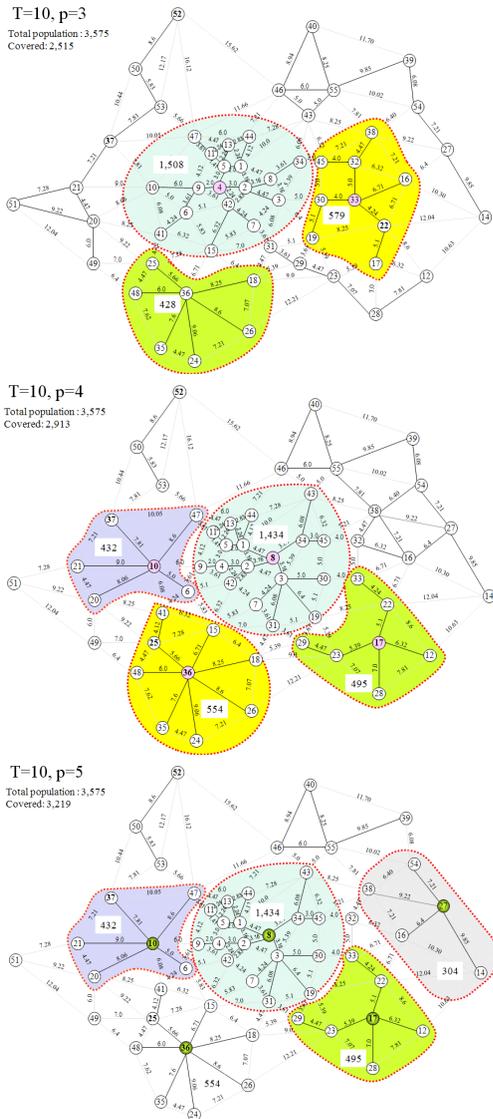


그림 3. $T = 10, 1 \leq p \leq 5$ 의 응급시설 위치
Fig. 3. Emergency Service Location with $T = 10, 1 \leq p \leq 5$

표 4의 21-노드 망에 대해 $1 \leq p \leq 4$ 범위에 제한된 알고리즘을 적용한 결과는 표 8과 같다. Storbeck과 Vohra[11]는 $p = 4$ 에 대한 해를 $p = \{5, 11, 13, 20\}$ 으로 결정하여 총 인구수 6,300명 모두를 커버하는 위치를 찾았다. 반면에, 제한된 알고리즘은 표 7에서 $\{n_{13}, n_{20}, n_7, n_5\}$ 을 찾았으며, 표 6에서는 $\{n_{13}, n_{20}, n_7, n_1\}, \{n_{13}, n_{20}, n_7, n_2\}, \{n_{13}, n_{20}, n_7, n_4\}, \{n_{13}, n_{20}, n_7, n_5\}$ 또는 $\{n_{13}, n_{20}, n_7, n_5\}$ 의 4개를 찾았다.

표 7. $T = 6, 1 \leq p \leq 3$ 인 경우 12-노드 망의 응급시설 위치
Table 7. Emergency Facility Location with $T = 6, 1 \leq p \leq 3$ for 12-Node Network

	순위	노드	커버 주민수	최적해	
$p = 1$	1	E	59.5	E	
	2	F	55.7		
	3	G	49.5		
	4	B	46.1		
	5	C	40.6		
$p = 2$	p_1		p_2	계	최적해
	E(59.5)		C(28.5)	88.00	
	F(55.7)		C(40.6)	96.30	
	G(49.5)		E(26.3)	75.80	
	B(46.1)		E(33.95)	80.05	
	C(40.6)		F(55.7)	96.30	
$p = 3$	p_1, p_2		p_3	계	최적해
	E, C(88.00)		F(17.7 - 4.65 = 13.05)	101.05	
	F, C(96.30)		B or D(6.4)	102.70	
	G, E(75.80)		C(20.6 - 1.65 = 18.95)	94.75	
	B, E(80.05)		F(17.7 - 4.65 = 13.05)	93.10	
	C, F(96.30)		B or D(6.4)	94.75	

표 8. $T = 2, 1 \leq p \leq 4$ 인 경우 21-노드 망의 응급시설 위치
Table 8. Emergency Facility Location with $T = 2, 1 \leq p \leq 4$ for 21-Node Network

	순위	노드	커버 주민수	최적해	
$p = 1$	1	n_{14}	2,300	n_{14} OR n_{15} OR n_{16}	
	1	n_{15}	2,300		
	1	n_{16}	2,300		
	4	n_{12}	2,200		
	5	n_{20}	2,100		
$p = 2$	p_1		p_2	계	최적해
	$n_{14}(2,300)$		$n_5(1,950)$	4,250	
	$n_{15}(2,300)$		$n_5(1,950)$	4,250	
	$n_{16}(2,300)$		$n_5(1,950)$	4,250	
	$n_{12}(2,200)$		$n_5(1,700)$	3,900	
	$n_{20}(2,100)$		$n_5(1,950)$	4,050	
$p = 3$	p_1, p_2		p_3	계	최적해
	$n_{14}, n_5(4,250)$		$n_{13}(1,100)$	5,350	
	$n_{15}, n_5(4,250)$		$n_{13}(1,100)$	5,350	
	$n_{16}, n_5(4,250)$		$n_{13}(850)$	5,100	
	$n_{12}, n_5(3,900)$		$n_{13}(1,100)$	5,000	
	$n_{20}, n_5(4,050)$		$n_7(1,150)$	5,200	
$p = 4$	p_1, p_2, p_3		p_4	계	최적해
	$n_{14}, n_5, n_{13}(5,350)$		$n_3, n_6, n_7, n_{11}(550)$	5,900	
	$n_{15}, n_5, n_{13}(5,350)$		$n_3, n_6, n_7, n_{11}(550)$	5,900	
	$n_{16}, n_5, n_{13}(5,100)$		$n_6, n_7, n_{11}(800)$	5,900	
	$n_{12}, n_5, n_{13}(5,000)$		$n_{20}(1,000)$	6,000	
	$n_{20}, n_5, n_7(5,200)$		$n_{13}(1,100)$	6,300	
				n_{20} n_5 n_7 n_{13}	

12-노드, 21-노드와 55-노드 망에 대해 기존의 연구 결과와 제안된 알고리즘의 성능을 비교한 결과는 표 9에 요약하여 제시하였다. 기존의 알고리즘은 전체 주민수를 커버하기 위한 응급시설의 개수에 초점을 맞춘 반면에, 제안된 알고리즘은 주민수를 최대로 최대로 커버할 수 있는 제한된 응급시설의 개수를 찾고자 하였다. 12-노드와 21-노드 망에 대해서는 총 주민수를 커버하는 응급시설 개수는 기존의 최적 알고리즘과 동일한 개수를 구할 수 있었다. 55-node 망에 대해서는 5개까지의 응급시설 개수로 최대로 커버하는 주민수를 구하였다.

표 9. 알고리즘 성능 비교
Table 9. Compare with Performance of Algorithms

망	조건	기존 알고리즘	제안 알고리즘
12-node (102.70명)	$T = 6, p = 1$	Hybrid-PSO: 59.50명 Greedy_Add: 59.50명	59.50명
	$T = 6, p = 2$	Hybrid-PSO: 96.30명 Greedy_Add: 80.05명	96.30명
	$T = 6, p = 3$	Hybrid-PSO: 102.70명 Greedy_Add: 93.10명	102.70명
21-node (6,300명)	$T = 2, p = 1$	-	2,300명
	$T = 2, p = 2$	-	4,250명
	$T = 2, p = 3$	-	5,350명
	$T = 2, p = 4$	NSC:: 6,300명	6,300명
55-node (3,575명)	$T = 10, p = 1$	-	1,508명
	$T = 10, p = 2$	-	2,087명
	$T = 10, p = 3$	-	2,515명
	$T = 10, p = 4$	-	2,913명
	$T = 10, p = 5$	-	3,219명
	$T = 10, p = 9$	3,575명	-

V. 결론 및 추후 연구과제

본 논문은 한 도시의 모든 주민들을 만족시킬 수 있는 응급시설의 개수를 결정하는 문제가 아닌, 예산 부족으로 인해 한정된 응급시설 개수만을 설치할 경우 최대로 주민들을 만족시킬 수 있는 위치를 결정하는 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 포함-배제 원칙을 적용하여 최대로 커버하는 노드 상위 5개에 대해 해당 노드가 커버하는 영역을 삭제하였을 때 다음으로 최대로 커버하는 노드를 선택하는 방법을 적용하였다. 이들 상위 5개 노드 집합들 중에서 최대로 커버하는 노드 집합을 최적의 응급시설 위치로 결정하였다.

제안된 알고리즘을 12-노드 망, 21-노드 망과 55-노드 망에 적용한 결과 모든 망에 대해 최적의 위치를 찾을 수 있음을 보였다.

제안된 알고리즘은 이해하기 쉽고, 엑셀을 활용해도 쉽게 적용할 수 있기 때문에 일반적으로 활용할 수 있는 알고리즘임을 알 수 있다.

본 논문에서는 응급시설의 위치를 결정함에 있어 단순히 최대로 커버할 수 있는 주민수나 도달거리 T 만을 고려하였다. 따라서, 추후 본 알고리즘을 실제 응급시설 설치분야에 적용하여 추가로 고려할 요인은 없는지 연구할 예정이다.

참고문헌

[1] M. S. Daskin and E. H. Stern, "A Hierarchical Objective Set Covering Model for Emergency

Medical Service Vehicle Deployment", *Transportation Science*, Vol. 15, No. 2, pp. 137-152, May, 1981.

[2] R. Church and C. ReVelle, "The Maximal Covering Location Problem", *Journal of Regional Science*, Vol. 32, No. 1, pp. 101-118, Jan. 1974.

[3] R. Z. Farahani and M. Hekmatfar, "Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

[4] L. Carsten and Y. Mihalik, "On the Hardness of Approximating Minimization Problems", *Journal of the ACM*, Vol. 41, No. 5, pp. 960-981, Sep. 1994.

[5] V. Chvatal, "A Greedy Heuristic for the Set-Covering Problem", *Mathematics of Operations Research*, Vol. 4, No. 3, pp. 233-235, Aug. 1979.

[6] R. M. Karp, "Reducibility Among Combinatorial Problems", *Complexity of Computer Computations*, New York: Plenum, pp. 85-103, 1972.

[7] Wikipedia, "List of NP-complete Problems", http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_NP-complete_problems, Wikipedia Foundation Inc., 2013.

[8] K. J. Devlin, "The Millennium Problems: The Seven Greatest Unsolved Mathematical Puzzles of Our Time", Basic Books, 2002.

[9] R. J. Vanderbei, "Linear Programming: Foundations and Extensions", 3rd ed., *International Series in Operations Research & Management Science*, Vol. 114, Springer Verlag, 2008.

[10] L. Dawei, L. Yanjie, and W. Li, "Model and Algorithms for Emergency Service Facility Location Problem", *International Conference on Services Science, Management and Engineering (IITA)*, pp. 15-19, IEEE Computer Science, Jul. 2009.

[11] J. E. Storbeck and R. V. Vohra, "A Simple Trade-off Model for Maximal and Multiple Coverage", *Geographical Analysis*, Vol. 20, No. 3, pp. 220-230, Jul. 1988.

- [12] D. Serra and C. ReVelle, "Surviving in a Competitive Spatial Market: The Threshold Capture Model", *Journal of Regional Science*, Vol. 39, No. 4, pp. 637-650, Feb. 1999.

저 자 소 개



이 상 운(Sang-Un, Lee)

1983년 ~ 1987년 :

한국항공대학교 항공전자공학과 (학사)

1995년 ~ 1997년 :

경상대학교 컴퓨터공학과 (석사)

1998년 ~ 2001년 :

경상대학교 컴퓨터공학과 (박사)

2003.3 ~ 현 재 :

강릉원주대학교 멀티미디어공학과 부교수

관심분야 : 소프트웨어 프로젝트 관리,

소프트웨어 개발 방법론,

소프트웨어 신뢰성,

그래프 알고리즘

e-mail : sulee@gwnu.ac.kr