Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 18, No. 10, October 2013 www.ksci.re.kr
http://dx.doi.org/10.9708/jksci.2013.18.10.141

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 T를 충족시키면서, 응급시설 수 p를 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_1기준으로 포함-배제 원칙을 적용하여 p_1이 커버하는 영역을 삭제하였을 때 남은 노드들 중에서 최대로 커버하는 노드를 p_2로, p_1, p_2 커버 영역을 삭제시 최대로 커버할 수 있는 노드를 p_3로 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. 서 론

한 도시에 n개의 구역 $N_i, (i=1,2,\cdots,n)$이 존재하고, 두 구역 N_i와 N_j간 거리 d_{ij}를 알고 있다고 하자. 만약, 응급상황이 발생하였을 때 임의의 응급구조시설 S_j에서 응급환자 수송차량이 임의의 구역 N_i까지 도착하는데 허용되는 최대 소요시간 T 는 준수하여야만 주민의 생명을 지킬 수 있다고 가정하자. 이 경우, 이 도시 주민 모두를 만족시키도록 응급시설 p를 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].

$$\text{minimize } Z = \sum_j X_j \tag{1}$$

$$\text{s.t} \quad a_{ij} X_{ij} \geq 1, \text{ for } all \ i$$

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

where

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

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

Z: 응급시설 대수

주어진 거리 행렬 데이터 D의 거리 (또는 시간)를 a_{ij}로 치환한 행렬 데이터 A에 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_i와 v_j간의 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**		

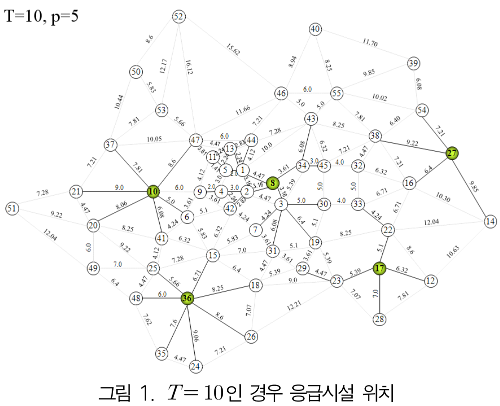


그림 1. $T=10$인 경우 응급시설 위치
Fig. 1. Emergency Facility Location for $T=10$

표 2는 Dawei et al.[10]에서 인용된 12-노드 망이다. 이 망은 12개의 블록 $(b_1,b_2,\cdots,b_{12})$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	9.3	13.3	12.4	8.4	3.6	3.1	8.7	3.3	12.1	9.6	11	7.9	102.7
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**	0	**1**	**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	4.65	13.3	6.2	0	3.6	3.1	8.7	0	0	0	0	0	39.55
B	0	0	0	0	0	3.1	8.7	3.3	12.1	0	11	7.9	46.1
C	0	0	0	0	0	0	0	0	12.1	9.6	11	7.9	40.6
D	0	0	0	0	1.8	3.1	0	3.3	12.1	4.8	5.5	0	30.6
E	4.65	13.3	12.4	0	3.6	3.1	8.7	1.65	12.1	0	0	0	59.5
F	9.3	13.3	12.4	8.4	3.6	0	8.7	0	0	0	0	0	55.7
G	0	0	12.4	8.4	0	0	8.7	0	12.1	0	0	7.9	49.5

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 적합한지 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 etal.'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. $T=2$인 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	350	250	250	300	250	250	350	400	250	350	200	450	250	400	250	250	400	200	400	6300
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	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
4	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
5	1	1	1	1	1	0	0	1	1	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
7	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
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	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	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	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	6
12	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	7
13	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	6
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	7
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	7
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	7
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	5
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	4
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	4
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	6
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	5

III. 한정된 응급시설 개수 위치 결정 알고리즘

응급시설의 설치는 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_i와 n_j간의 최단거리 데이터 L 행렬에 대해 $l(i,j) \le T$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_j는 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 갖는 노드 i가 된다.

Step 4. $p \ge 2$에 대해서는 $\sum_{j=1}^{n} a_{ij}$가 큰 상위 5개 (Top 5) 노드를 선택한다. $p=k$인 경우 5개 노드 각각에 대해 $p_1, p_2, \cdots, p_{k-1}$의 $a_{ij} > 0$인 열을 모두 삭제하였을 경우 $\max(\sum_{j=1}^{n} a_{ij})$ 값을 갖는 노드 i를 p_k로 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_1과 p_2가 커버하는 범위 C는 식 (2)와 같으며, $p=3$인 경우 p_1, p_2와 p_3가 커버하는 범위는 식 (3)과 같이 계산된다.

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

$$\begin{aligned} C(p_1+p_2+p_3) &= C(p_1) + C(p_2) + C(p_3) - [C(p_1 \cap p_2) \\ &\quad + C(p_2 \cap p_3) + C(p_3+p_1)] + C(p_1 \cap p_2 \cap p_3) \end{aligned} \tag{3}$$

이와 같이 $p \ge 2$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.

$$N_G[4] = \begin{Bmatrix} 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,15,34,41, \\ 42,44,47 \end{Bmatrix} = 1,508$$

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

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

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

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

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.

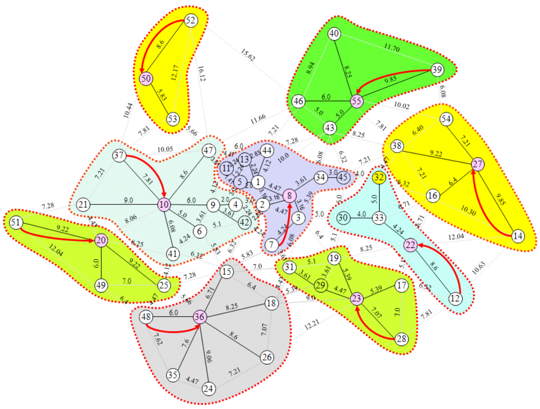


그림 2. $T=10$의 응급시설 위치
Fig. 2. Emergency Service Location for $T=10$

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

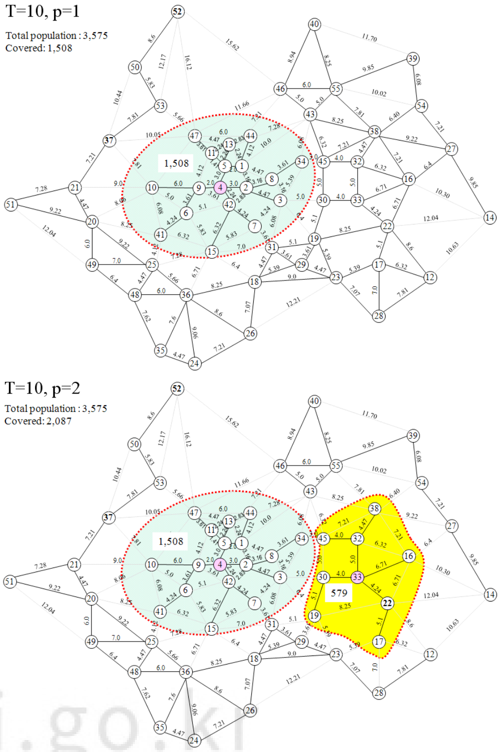
순서	$\delta(G)$ 노드 (n_i)	$N_G(n_i)$	선택
1	$\delta(G)=10$ $d_G(10)=2$	$N_G(10)=\{n_9,n_{13}\}$ $d_G(9)=4,\ d_G(13)=5$	$p_1=n_{13}$
2	$\delta(G)=21$ $d_G(21)=2$	$N_G(21)=\{n_{16},n_{20}\}$ $d_G(16)=5,\ d_G(20)=5$ n_{16} 선택시 $d_G(19)=0$	$p_2=n_{20}$
3	$\delta(G)=12$ $d_G(12)=2$	$N_G(23)=\{n_7,n_{11}\}$ $d_G(7)=4,\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

표 1의 데이터에 대해 $1 \le p \le 5$ 범위로 제안된 알고리즘을 적용하는 방법은 표 6과 같으며, 결과는 그림 3에 제시되어 있다. $p=5$인 경우, 제안된 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 $1 \le p \le 3$ 범위에 제안된 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. $T=10, 1 \le p \le 5$인 경우 55-노드 망의 응급시설 위치
Table 6. Emergency Facility Location with $T=10, 1 \le p \le 5$ for 55-Node Network

	순위	노드	커버 주민수	최적해
$p=1$	1 2 3 4 5	n_4 n_9 n_8 n_1 n_3	1,508 1,453 1,434 1,390 1,384	n_4
	p_1	p_2	계	최적해
$p=2$	$n_4(1,508)$ $n_9(1,453)$ $n_8(1,434)$ $n_1(1,390)$ $n_3(1,384)$	$n_{33}(579)$ $n_{33}(579)$ $n_{36}(554)$ $n_{33}(518)$ $n_{36}(554)$	2,087 2,032 1,988 1,908 1,938	n_4, n_{33}
	p_1,p_2	p_3	계	최적해
$p=3$	$n_4,n_{33}(2,087)$ $n_9,n_{33}(2,032)$ $n_8,n_{36}(1,988)$ $n_1,n_{33}(1,908)$ $n_3,n_{36}(1,938)$	$n_{36}(428)$ $n_{36}(428)$ $n_{17}(495)$ $n_{36}(501)$ $n_{10}(432)$	2,515 2,460 2,481 2,409 2,370	n_4,n_{33},n_{36}
	p_1,p_2,p_3	p_4	계	최적해
$p=4$	$n_4,n_{33},n_{36}(2,515)$ $n_9,n_{33},n_{36}(2,460)$ $n_8,n_{36},n_{17}(2,481)$ $n_1,n_{33},n_{36}(2,409)$ $n_3,n_{36},n_{10}(2,370)$	$n_{17}(284)$ $n_{17}(284)$ $n_{10}(432)$ $n_{10}(397)$ $n_{22}(381)$	2,799 2,744 2,913 2,806 2,751	$n_8,n_{36},$ n_{17},n_{10}
	p_1,p_2,p_3,p_4	p_5	계	
$p=5$	$n_4,n_{33},n_{36},n_{17}(2,799)$ $n_9,n_{33},n_{36},n_{17}(2,744)$ $n_8,n_{36},n_{17},n_{10}(2,913)$ $n_1,n_{33},n_{36},n_{10}(2,806)$ $n_3,n_{36},n_{10},n_{22}(2,751)$	$n_{21}(236)$ $n_{21}(236)$ $n_{27}(304)$ $n_{17}(222)$ $n_{55}(239)$	3,035 2,980 3,219 3,028 2,990	
최적해	$\{n_8,n_{36},n_{17},n_{10},n_{27}\}$			



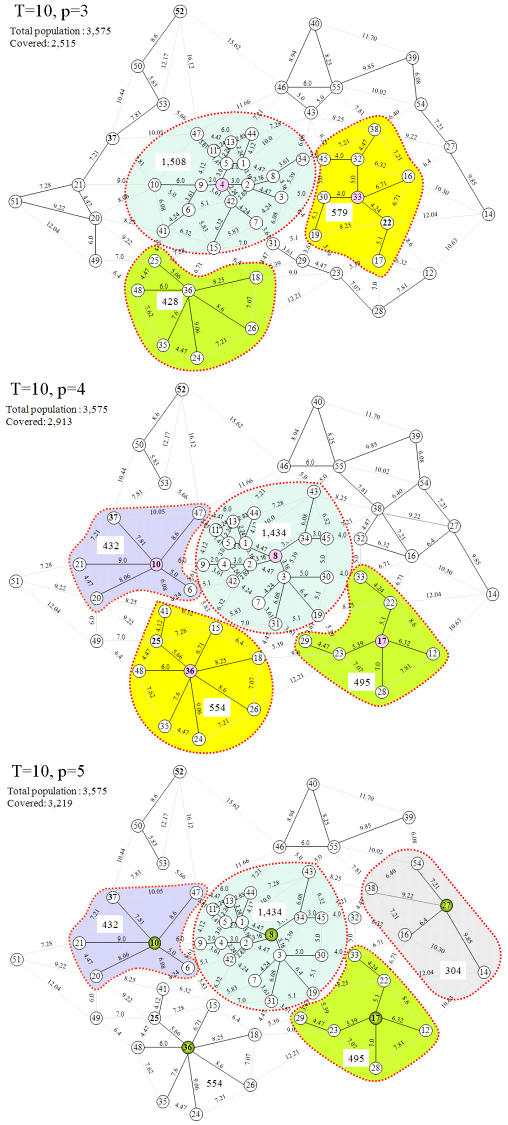


그림 3. $T=10,\ 1\le p\le 5$의 응급시설 위치
Fig. 3. Emergency Service Location with $T=10$, $1\le p\le 5$

표 4의 21-노드 망에 대해 $1\le p\le 4$ 범위에 제안된 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, 제안된 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. $T=6,1\le p\le 3$인 경우 12-노드 망의 응급시설 위치
Table 7. Emergency Facility Location with $T=6,1\le p\le 3$ 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_1	p_2	계	최적해
$p=2$	$E(59.5)$	$C(28.5)$	88.00	C,F
	$F(55.7)$	$C(40.6)$	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_1,p_2	p_3	계	최적해
$p=3$	$E,C(88.00)$	$F(17.7-4.65=13.05)$	101.05	B,C,F or C,D,F
	$F,C(96.30)$	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. $T=2,1\le p\le 4$인 경우 21-노드 망의 응급시설 위치
Table 8. Emergency Facility Location with $T=2,1\le p\le 4$ 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_1	p_2	계	최적해
$p=2$	$n_{14}(2,300)$	$n_5(1,950)$	4,250	n_{14},n_5 or n_{15},n_5 or n_{16},n_5
	$n_{15}(2,300)$	$n_5(1,950)$	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_1,p_2	p_3	계	최적해
$p=3$	$n_{14},n_5(4,250)$	$n_{13}(1,100)$	5,350	n_{14},n_5,n_{13} or n_{15},n_5,n_{13}
	$n_{15},n_5(4,250)$	$n_{13}(1,100)$	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_1,p_2,p_3	p_4	계	최적해
$p=4$	$n_{14},n_5,n_{13}(5,350)$	$n_3,n_6,n_7,n_{11}(550)$	5,900	n_{20} n_5 n_7 n_{13}
	$n_{15},n_5,n_{13}(5,350)$	$n_3,n_6,n_7,n_{11}(550)$	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	

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 T만을 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. Mihalis, "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 컴퓨터과학과 (석사)
1998년 ~ 2001년 :
경상대학교 컴퓨터과학과 (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