

緊急서어비스 施設의 適正所要 및 配分

(A Study on an Optimal Requirement and Allocation Planning of Emergency Service Facilities)

黃 鶴*
黃 興 錫*
鄭 鎬 元**

Abstract

This paper considers urban emergency service systems that dispatch vehicles (facilities) from fixed bases with the objective of finding an optimum allocation of emergency facilities.

A case study of fire station problem of Seoul city is conducted to analyze the deployment of fire-fighting resources and develop a class of improved deployment strategies with Parametric Allocation Model (P.A.M.).

The study shows a long term plan leading to balanced fire protection for most fire hazardous districts as well as low alarm districts.

I. 序 論

우리나라의 대부분 긴급서어비스 시설(emergency service facilities)은 과거의 경험적 판단으로 그 위치 및 소요량을 결정하였다. 또한 인구 증가와 도시의 팽창으로 인한 변경된 상황에 비추어 現 시설의 배치 상황이 최적이라고 말하기는 어렵다. 本 論文에서는 現 여건을 分析하여 제한된 시설로서 최대 서어비스 効果를 얻을수 있도록 合理的인 分析模型을 수립하고 이를 서울시 消防문제에 응용하였다.

일반적으로 긴급 서어비스 시설의 배치문제는 <그림 1>에서와 같이 관련된 諸문제를 모두 고려한 綜合的인 分析이 이루어져야하나 本 研究에서는 <그림 1>의 (iv) 항에 해당하는 시설의 적정소요 및 배분에 관련된 문제에 국한하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같은 문제들에 적용할 수 있을 것이다.

- (i) 병원 Ambulance 및 경찰 구호차량 배치문제.
- (ii) 軍事정비시설 및 보급시설의 배치문제.
- (iii) 전화 및 전기의 고장수리 시설의 배치문제.

II. 研究 단계 및 이론적배경

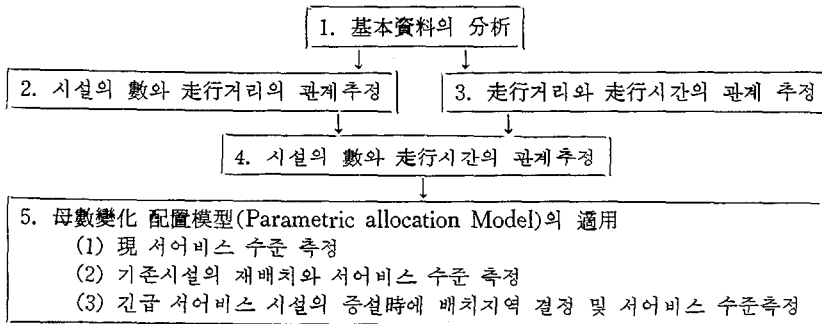
긴급 서어비스 시설의 서어비스 効果의 測定基準으로 平均走行時間(Average Response Time) 및 平均走行距離(Average Travel Distance)를 사용하고 <그림 2>에서와 같은 연구 단계를 설정하였다. 즉 기본 資料(실제 운용한결과)를 分析하여 출동거리(D) 및 출동시간(T)의 관계식을 완성(Parameter 추정)하였으며 서어비스 시설의수(N) 및 주행시간과의 관계식을 수립하고 이 관계식의 각 지역별 계수를 산정하기 위하여 실제 경험적인 자료가 부족한 D, N의 자료를 Simulation [13]에 의하여 구하였다.

*한국과학기술원 산업공학과

**인하대학교

긴 급 Service 단 계	(事件의) (發 生)		(事件의) (探 知)	(施設의) (配 置)	(現 場) (到 着)	(Service) (完 了)
	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)
연 구 범 위	기구의 조직 Service 시설 의 경제성(각 종보험) Service 시설 의 운영정책 사건예방	조기발견체계 자체 긴급배 치방안	지휘 및 통제 배치시간의지 연방지	서비스시설의 적정운영 시설의적정소 요 및 배분 1개사건 접수 시의 배치 소 요 및 대수 Reallocation	사건처리의 기술 ① Service 기술 ② 안전 ③ 교육훈련	報告 및 統計 體系 分析 및 建議
			(1) 특수 사건의 처리 방안 (2) 다른 분야에 끼치는 영향 (3) 기타			

〈그림 1〉 緊急 Service 施設의 一般의 研究 範圍



〈그림 2〉 배치문제 연구 단계

위의 결과로부터 출동시간(T) 및 서어비스 시설의 수(N)와의 관계식을 완성하고

이를 이용하여 母數變化 配置模型(Parametric Allocation Model)을 완성하였다.

위의 연구단계와 관련된 理論的 배경 및 이에 사용된 技法들은 다음과 같다.

1. 시설 數와 走行거리

면적은 거리의 제곱에 비례한다는 관계로부터 Kolesar는 Square Root Law를 다음과 같이 유도 하였다. [2, 3]

$$E(D) = K\sqrt{A/n} \dots \dots \dots \langle \text{式1} \rangle$$

여기서

$E(D)$ = 사건발생 지점으로 부터 첫번째로

가까운 시설까지의 走行거리 기대치

K = 지형에 따른 상수

A = 면적

n = 배치된 긴급서어비스 시설의 數

〈式1〉은 서어비스 요구율이 전지역에 균일하며, 거리는 Rectilinear 방식으로 측정하고 항상 n 개의 시설이 이용가능하다고 가정하고 있다.

그러나 실제 문제에서는 이와 같은 가정과 다른 경우가 많기 때문에 Kolesar[4]의 결과를 본 研究과정에서 채택하였다. 즉 면적이 A 인 지역에 사건발생이 Random하게 일어나고 이용가능한 시설의 數는 확률분포가 알려진 Stochastic process를 한다고 할때 走行거리의 기대치는 다음과 같이 된다.

$$E(D) = K\sqrt{A} \sum_{j=1}^n P_j \cdot \frac{1}{\sqrt{j}} \dots \dots \dots \langle \text{式2} \rangle$$

여기서

$P_j = n$ 개의 시설중 j 개가 이용가능한 확률
($P_0 = 0$ 라고 가정)

그리고 N 을 이용가능한 시설 數라고하면 그 기대치 $E(N)$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$E(N) = \sum_{j=1}^n j p_j \dots\dots\dots \langle \text{式 } 3 \rangle$$

$\langle \text{式 } 2 \rangle$ 에서 $\frac{1}{\sqrt{j}}$ 은 convex function 이므로 Jensen 부등식에 의하여

$$E(D) \geq K \sqrt{A} \cdot \frac{1}{\sqrt{E(N)}} \dots\dots\dots \langle \text{式 } 4 \rangle$$

여기서 이용가능한 시설의 數의 기대치는 다음 式으로 구해진다.

$$E(N) = n - (\text{利用不可能한 시설의 數의 기대치}) \\ = n - \lambda \cdot E_s \dots\dots\dots \langle \text{式 } 5 \rangle$$

여기서 $\lambda = \text{단위시간당 사건발생數}$

$E_s = \text{단위사건당 총서어비스 시간의 기대치}$

$\langle \text{式 } 5 \rangle$ 를 $\langle \text{式 } 4 \rangle$ 에 대입하면 다음과 같다.

$$E(D) \geq K \sqrt{\frac{A}{n - \lambda E_s}} \dots\dots\dots \langle \text{式 } 9 \rangle$$

우리는 $\langle \text{式 } 6 \rangle$ 의 우변을 $E(D)$ 의 개략치로 사용한다.

2. 走行거리와 走行시간

走行거리가 짧은 경우 긴급서어비스 차량은 최고속도에 도달하기 전에 목적지에 도달할 것이며 走行거리가 긴 경우 속도가 점점 증가해 최고속도에 도달했다가 감소하는 경향을 보일 것이다.

이와같은 특성으로 부터 走行시간의 기대치를 다음과 같이 모형화 할 수 있다. 먼저 주행거리가 X 일때 조건부 주행시간 $T(X)$ 는 아래와 같이 주어진다.

$$T(X) = \begin{cases} 2\sqrt{X}/a & , \text{ 만일 } X \leq 2d_c \\ V_c/a + X/V_c & , \text{ 만일 } X > 2d_c \end{cases}$$

여기서

$a = \text{가속도}$

$d_c = \text{최고속도를 얻는데 필요한 거리}$

$V_c = \text{최고속도}$

따라서 주행시간의 기대치, $E(T)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$E(T) = \int_0^{2d_c} 2\sqrt{X}/a dF_D(X) + \int_{2d_c}^{\infty} \left(\frac{V_c}{a} + \frac{X}{V_c} \right) dF_D(X)$$

여기서

$F_D(X) = \text{走行거리의 확률분포 함수}$

그런데 $T(X)$ 는 Concave function 이므로 Jensen

부등식에 의해

$$E(T) \leq \begin{cases} 2\sqrt{E(D)}/a & \text{if } E(D) \leq 2d_c \\ \frac{V_c}{a} + \frac{E(D)}{V_c} & \text{if } E(D) > 2d_c \end{cases} \dots\dots \langle \text{式 } 7 \rangle$$

$\langle \text{式 } 7 \rangle$ 의 우변을 $E(T)$ 의 개략치로 사용한다.

3. 시설의 數와 走行시간

$\langle \text{式 } 7 \rangle$ 은 赤行거리의 기대치와 赤行시간의 기대치의 관계를 나타내고 있으며 $E(D)$ 대신 $\langle \text{式 } 6 \rangle$ 을 $\langle \text{式 } 7 \rangle$ 에 대입해 정리하면 $\langle \text{式 } 8 \rangle$ 과 같이된다. [4]

$$E(T) = \begin{cases} c_1 \left(\frac{A}{n - \lambda E_s} \right)^{\frac{1}{2}}, & \text{if } E(D) \leq 2d_c \\ c_2 + c_3 \left(\frac{A}{n - \lambda E_s} \right)^{\frac{1}{2}}, & \text{if } E(D) > 2d_c \end{cases} \dots\dots \langle \text{式 } 8 \rangle$$

여기서 c_1, c_2, c_3 는 상수이다.

4. 母數變化 配置模型 (Parametric Allocation Model; P.A.M.)

긴급서어비스 시설 배치의 주요관심은 사건발생빈도가 높은지역 (High-Incidence Area)과 사건발생빈도가 낮은지역 (Low-Incidence Area) 사이에 어떠한 기준에 따라 긴급서어비스 시설을 배치시켜야 하는가 이다.

일반적으로 사건발생이 많은 지역에 많이 배치하는 것이 타당하나 사건발생이 적은 지역에도 적정수준의 서어비스를 행하여야 한다.

본 PAM 모형은 이와같은 이율배반적인 목적을 조화시키기 위하여 하나의 母數 (Parameter)를 선정해 이 변화에 따른 배치를 하는 것이다. [5, 6, 7]

이 모형은 구역별 시설의 배치수를 결정하는데 사용하나 정확한 배치 장소를 결정해 주지는 않는다. (정확한 배치 장소를 결정하는데는 Simulation이나 Siting Evaluation Model[8]을 사용할 수 있다)

이 모형을 위해 시설 數와 走行시간의 관계를 나타내는 式중 다음과 같은 일반적인 관계식을 사용한다.

$$T(n) = a \left(\frac{A}{n - \lambda E_s} \right)^b + c$$

여기서

a, b 및 c 는 지형적인 특징, 도로의 조건 및 출동시설의 속도등을 고려한 상수이다.

이와 같은 관계식을 사용한 일반적인 모형을 다음과 같이 설정한다.

$$\text{Minimize } \sum_i W_i [T_i(n_i)]^p \\ = \text{Minimize } \sum_i W_i \left[a \left(\frac{A}{n_i - \lambda E_s} \right)^b + c \right]^p$$

$$\text{Subject to } \sum_i n_i = M$$

여기서

- $W_i = i$ 지역의 가중치,
- $T_i(n_i) = i$ 지역에 n_i 개의 시설을 배치 했을때의 走行 시간의 기대치
- $n_i = i$ 지역에 배치된 시설의 數
- $M =$ 배치 시설의 총수
- $\beta =$ 母數 ($\beta > 0$)

解를 구하기 위해서는 Lagrangean Multiplier를 사용한다.

β 가 취하는 값 중 다음과 같은 세가지의 특별한 경우가 있다;

- (i) $\beta = 1$ 일 경우: 전지역에 대한 가중평균 주행시간의 최소화 정책
- (ii) $\beta \rightarrow 0$ 일 경우: 가중치에 비례하게 배치하는 정책
- (iii) $\beta \rightarrow \infty$ 일 경우: 전 지역에 주행시간의 평균치를 같게하는 정책

가중치 W_i 를 결정하는 방법으로 다음과 같이 생각할 수 있다.

긴급 서어비스를 要하는 사건이 발생했을때 인명피해나 재산피해를 고려하여 그 중요성을 몇 단계로 나눌 수 있다.

그리고 실제 발생한 사건 뿐만 아니라 앞으로의 발생 가능성에 대해서도 서어비스할 수 있도록 배치 하여야 할 것이다. 이러한 관계를 수식으로 나타내면;

가중치: $W_i = f(\text{실제 사건, 사전발생 가능성, 실제 사건과의 관계 사항};$
 $\lambda_i = i$ 지역의 이용 불가능한 시설의 수
 $= g(\lambda_{ij}, ES_{ij}) = \sum_j \lambda_{ij} \cdot ES_{ij} \dots \dots \dots \langle \text{式 9} \rangle$

발생 가능성과의 관련 사항;
 $R\lambda_i = i$ 지역의 이용 불가능한 시설의 수 증가율
 $= \sum_j (\lambda_{ij} \text{의 증가율}) \cdot ES_{ij} \dots \dots \dots \langle \text{式 10} \rangle$

여기서 $\lambda_{ij} = i$ 지역에서 j 형태의 사건 발생을,
 $ES_{ij} = i$ 지역에서 j 형태의 사건 발생시 총 서어비스시간

실제문제에 있어서 <式9>와 <式10>을 함께 고려하여 장래의 이용 불가능한 시설의 數를 가중치로 주는 것이 가장 합리적인 것으로 나타나고 있다. [12]

II. 서울지역 적용 사례

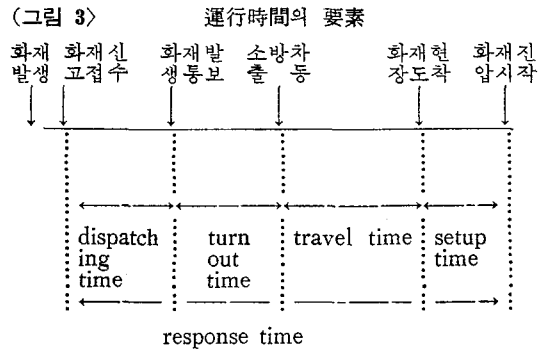
서울시의 소방업무는 70년 8월 내무부에서 서울시로 이관되어 72년 6월 소방본부가 창설되었다. 현재는 8

개의 소방서에 총 50개의 소방파출서가 운영되고 있다 P.A.M.을 이용하여 이러한 배치가 합리적인지를 분석적인 방법으로 연구하며 소방파출서 증설을 위한 장단기 계획을 수립하고자 한다.

本 연구를 위해 사용된 용어중 중요한 4가지에 대해서 설명하면 다음과 같다.

(i) 走行시간(travel time): 소방차가 출동하여 화재 현장에 도착할때까지 소요되는 시간으로 소방서 배치 효과의 측정단위로 사용한다.

(ii) 運行시간(response time): 소방서에서 화재신고를 받은후 출동하여 진화를 시작하기 직전까지의 시간을 말하며 運行시간은 <그림 3>과 같이 구성되어 있다 [9].



(iii) 利用不可能性(Unavailability, Busy) 소방서에서 화재신고를 받았을 때 즉시 소방차를 출동시킬 수 없는 경우를 말하며 소방서의 소방作業量(Work-load)의 측정기준이 된다. [1]

(vi) 총서어비스 시간의 기대치(ES): 화재신고를 받고 출동해서 진화작업을 마치고 소방서로 돌아올 때까지의 시간에 출동 소방차의 수를 곱한 것의 기대치를 말한다.

1. 基本資料의 分析

서울시 8個 소방서의 화재발생 보고서로부터 <表1>과 같이 지역별 계수를 산정하였다.

2. 시설의 數와 走行거리의 關係 추정

제한된 면적을 갖는 구역에 시설의 數 N 이 증가하면 走行거리 D 는 어느정도 줄어들 것이다. 그러나 실제 자료에 의해 (N, D) 의 관계자료를 얻기는 어렵다. 더우기 (N, D) 의 관계 자료를 얻기 위하여 시설을 실제로 增減시킬 수는 없는 것이다. 그러므로 Simulation을 통해 관계식을 수립하였다.

서울시 면적과 동일한 지역 시설의 數, N 의 변동에 따른 평균주행거리 D 를 다음과 같은 시설의 배치方法

〈表 1〉 지역別 係數

종류	면적 (km ²)	소방 출소 수	E(S ₁)			E(S ₂)			λ ₁ (件/hour)			λ ₂ (件/hour)			λ ₃ (件/hour)		
			진물화재	誤報	기타	진물화재	誤報	기타	진물화재	誤報	기타	진물화재	誤報	기타	진물화재	誤報	기타
중부성용영	34.17	8	9.894	1.031	1,890	0.013542	0.035764	0.035764	0.035764	0.035764	0.035764	0.035764	0.035764	0.035764	0.035764	0.035764	0.035764
성동	72.14	9	3.743	1.000	1.635	0.015278	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514
용산	45.19	7	7.308	1.406	3.387	0.006700	0.024306	0.024306	0.024306	0.024306	0.024306	0.024306	0.024306	0.024306	0.024306	0.024306	0.024306
영등포	127.19	9	7.640	1.390	2.810	0.011458	0.029861	0.029861	0.029861	0.029861	0.029861	0.029861	0.029861	0.029861	0.029861	0.029861	0.029861
북부	106.75	4	3.481	0.975	2.068	0.11007	0.037153	0.037153	0.037153	0.037153	0.037153	0.037153	0.037153	0.037153	0.037153	0.037153	0.037153
서부	50.64	4	4.352	0.544	1.933	0.004514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514	0.064514
강남	127.63	4	4.460	1.014	2.340	0.004514	0.032639	0.032639	0.032639	0.032639	0.032639	0.032639	0.032639	0.032639	0.032639	0.032639	0.032639
남부	63.35	5	5.530	1.290	2,600	0.00490	0.022570	0.022570	0.022570	0.022570	0.022570	0.022570	0.022570	0.022570	0.022570	0.022570	0.022570

資料: 화재발생 보고서, 1979

참고: E(S₁): 진물화재 1件당 총서비스 시간(hour)

E(S₂): 誤報 1件당 총서비스 시간(hour)

E(S₃): 기타 화재 1件당 총 서비스 시간(hour)

에 따라 구하였다.

Case 1 { 시설배치: random 하게 배치
사건: random 하게 발생

Case 2 { 시설배치: optimal 하게 배치 [13]
사건: random 하게 발생

이와 같이 구한 Data Set (N, D)로 부터 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

(i) 배치된 소방시설의 증감에 따른 効果度를 쉽게 알 수 있다.

〈表 2〉로 부터 시설을 optimal 하게 배치 했을때 약 15~33%의 走行거리가 짧아짐을 알 수 있다.

(ii) Service 효과는 〈表 2〉에서 보는 바와 같이 시설의 數가 많아질수록 효과의 증가되는 정도가 둔감해지며 Euclidean 보다 Rectilinear metric에서 그 効果度가 크게 나타난다.

METRIC	시설 배치 방법	평균주행거리: E(D) 단위: km			
		N=1	N=4	N=16	N=64
EUCLIDEAN DISTANCE	RANOOM	13.268	6.776	3.072	1.442
	ORTIMAL	8.966	4.645	2.223	1.142
COMBINED DISTANCE	RANDOM	16.932	8.656	3.910	1.808
	OPTIMAL	11.448	5.925	2.831	1.485
RECTILI- NEA DISTANCE	RANDOM	16.761	8.522	3.855	1.786
	OPTIMAL	11.574	6.148	2.893	1.485

〈表 2〉 Simulation에 의한 시설배치 결과 Simulation에서 얻은 Data(D, N)을 다음과 같은

Regression 모형에 적용시켜 각 Case 別로 係數 K를 구하였다.

$$\text{Regression Model: } E(D) = K \sqrt{A/N}$$

〈表 3〉 및 〈表 4〉는 각각의 Case에 대한 Regression 결과이다.

Case 1. (random 배치)

지역	D = K √(A/N)	
	K	R ²
1	0.773	0.985
2	0.688	0.994
3	0.719	0.996
4	0.714	0.995
5	0.720	0.994
6	0.687	0.993
7	0.677	0.966
8	0.714	0.995
전 지역	0.684	0.994

〈表 3〉 시설의 수 및 출동거리의 Regression 결과 (Random 배치시)

Case 2. (최적배치)

지역	D = K √(A/N)	
	K	R ²
1	0.522	0.999
2	0.480	0.999
3	0.494	0.996
4	0.444	0.999
5	0.447	0.994
6	0.448	0.999
7	0.475	0.996
8	0.484	0.999
전 지역	0.483	0.999

〈表 4〉 시설의 수 및 거리의 Regression 결과(최적 배치시)

3. 走行거리와 走行시간의 관계추정

走行거리 D 와 走行시간 T 의 관계를 알기 위하여 다음과 같이 4개의 모형을 선택하고 (D T)의 과거자료를 사용하여 回歸分析하였다.

모형 1: $T=C\sqrt{D}$

모형 2: $T=\alpha+\beta D$

모형 3: $T=\begin{cases} C\sqrt{D} & \text{만약 } D \leq d \\ \alpha+\beta D & \text{만약 } D > d \end{cases}$

모형 4: $T=\alpha D^\beta$

위의 4가지 모형에 대한 지역별 係數 추정치는 <表 5>과 같다.

<表 5> 回歸分析 결과

<서울시>

지역	모형 1 $T=C\sqrt{D}$		모형 2 $T=\alpha+\beta D$			모형 3 $T=\begin{cases} C\sqrt{D} & 29 D < d \\ \alpha+\beta D & 29 D \geq d \end{cases}$				모형 4 $T=\alpha D^\beta$		
	C	R ²	α	β	R ²	α	β	C	R ²	α	β	R ²
1	1.96	0.80	1.06	0.83	0.85	0.979	0.899	1.875	0.55	1.88	0.48	0.76
2	1.96	0.85	1.52	0.59	0.85	1.225	0.770	1.943	0.80	1.99	0.46	0.83
3	2.56	0.66	1.75	0.89	0.67	1.377	1.157	2.524	0.60	2.53	0.36	0.70
4	2.16	0.78	1.76	0.60	0.79	1.331	0.893	2.18	0.75	2.14	0.458	0.75
5	3.28	0.63	1.95	0.78	0.63	2.145	1.203	3.22	0.90	2.79	0.50	0.72
6	1.72	0.72	1.40	0.56	0.75	0.950	0.748	1.10	0.65	1.78	0.48	0.70
7	3.16	0.62	0.41	1.47	0.70	0.481	1.457	1.67	0.33	2.15	0.67	0.68
8	2.16	0.78	1.76	0.60	0.79	1.331	0.893	2.180	0.75	2.358	0.416	0.73
전 지역	2.38	0.81	1.16	0.99	0.85	1.179	1.008	2.180	0.59	2.12	0.51	

4. P.A.M.의 적용

서울시의 소방과출서는 물차(engine) 1대와 탱크차 1대로 구성되어 있으며 뿔 적속 소방과출서만 사다리차, 배연차, 화한차 등 특수차량을 보유하고 있다. 따라서 分析은 물차에 대해서만 行하였다.

물차에 대한 지역별 이용 불가능한 數와 평균주행시간은 <表 6>와 같다.

<表 6> 평균주행시간과 이용불가능한 engine

지역	중부	성동	용산	영등포	북부	서부	강남	남부
평균주행시간(分)	2.23	2.88	2.09	2.99	4.55	2.69	3.78	3.36
이용불가능성	0.24	0.18	0.16	0.20	0.12	0.08	0.11	0.10

資料: 화재발생보고서 (1979)

물차 배치를 위해 가중치를 주는 방법은 여러가지가 있을 수가 있으나 이용불가능한 소방관서 (λ_i) 및 그 증가율 ($R\lambda_i$)에 의한 가중치를 사용했을 경우가 가장

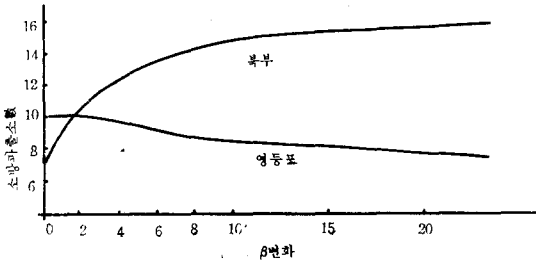
<表 7>

$n=10$ 인 경우 PAM 解 (시간단위: 분)

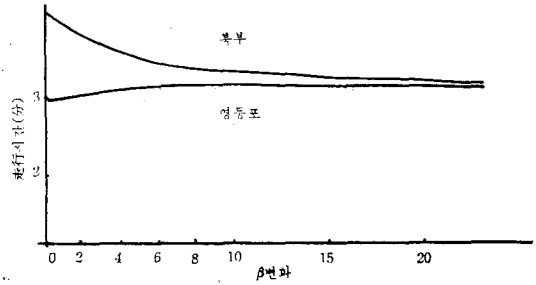
지역	$\beta \rightarrow 0$		$\beta = 1$		$\beta = 2$		$\beta = 3$		$\beta = 10$		$\beta = 30$		$\beta = 50$	
	배치數	주행시간	배치數	주행시간	배치數	주행시간	배치數	주행시간	배치數	주행시간	배치數	주행시간	배치數	주행시간
1	8.8	2.11	6.6	2.27	5.4	2.39	4.7	2.48	3.0	2.80	2.3	3.02	2.1	3.09
2	7.5	2.59	6.6	2.67	6.0	2.74	5.6	2.79	4.4	2.97	3.8	3.10	3.6	3.13
3	6.3	3.18	6.5	3.15	6.6	3.14	6.6	3.13	6.5	3.15	6.3	3.17	6.3	3.18
4	9.3	2.97	9.2	2.98	9.0	3.00	8.8	3.01	8.0	3.09	7.4	3.15	7.3	3.16
5	6.9	3.96	8.5	3.75	9.6	3.62	10.4	3.55	13.1	3.35	14.6	3.25	15.0	3.23
6	2.7	3.00	2.6	3.00	2.6	3.02	8.8	3.01	2.3	3.10	2.2	3.15	2.2	3.17
7	4.9	3.58	5.6	3.46	6.0	3.39	10.4	3.55	7.1	3.26	7.4	3.22	7.5	3.21
8	3.8	3.62	4.3	3.49	4.7	3.42	2.5	3.03	5.6	3.27	5.9	3.22	6.0	3.21

합리적인 것으로 나타나고 있으며 [12], 이를 가중치로 주었을 경우 본 모형에 의한 現 소방파출서의 최적배치는 <表 7>과 같다. ($n=10$)

화재발생율이 급격한 북부(Region)는 현재 4개보다 훨씬 많은 7個를 요구하고 있으며 이러한 결과로 부터 북부지역은 소방파출서 증설이 시급히 요구됨을 알 수



<그림 4> β 변화에 따른 배치결과 변화
($W_i = \lambda_i [1 + R\lambda_i]^n$)



<그림 5> β 변화에 따른 走行時間의 변화
($W_i = \lambda_i [1 + R\lambda_i]^n$)

있다. 면적이 비슷하나 화재 발생율과 그 증가율이 현저히 차이 나는 영등포 및 북부 지역에 있어서 모수(母數), β 의 변화에 따라 파출서의 數가 어떻게 배치되어지는지를 그림으로 나타내면 <그림 4>과 같고 走行時間의 변화는 <그림 5>와 같다.

<表 8> 소방관서 증설에 대한 시뮬레이션 결과

총 시설의 數	지역	$\beta \rightarrow 0$		$\beta = 1$		$\beta = 2$		$\beta = 3$		$\beta = 10$		$\beta = 30$		$\beta = 50$	
		배치 數	주행 시간	배치 數	주행 시간	배치 數	주행 시간	배치 數	주행 시간	배치 數	주행 시간	배치 數	주행 시간	배치 數	주행 시간
M=57	1	10.0	2.04	7.5	2.19	6.2	2.31	5.4	2.40	3.4	2.71	2.6	2.92	2.4	2.98
	2	8.5	2.51	7.6	2.58	6.9	2.65	6.4	2.70	5.0	2.87	4.3	2.99	4.1	3.03
	3	7.2	3.07	7.4	3.04	7.5	3.03	7.6	3.03	7.4	3.04	7.2	3.07	7.2	3.07
	4	10.6	2.87	10.5	2.88	10.2	2.90	10.0	2.91	9.1	2.98	8.5	3.04	8.3	3.06
	5	7.8	3.82	9.7	3.62	11.0	3.50	11.9	3.43	14.9	3.24	16.7	3.14	17.2	3.12
	6	3.0	2.90	3.0	2.90	3.0	2.91	2.9	2.93	2.7	2.99	2.5	3.04	2.5	3.06
	7	5.6	3.46	6.4	3.34	6.9	3.28	7.2	3.24	8.1	3.15	8.5	3.11	8.6	3.10
	8	4.3	3.50	4.9	3.37	5.4	3.30	5.6	3.26	6.4	3.16	6.7	3.11	6.8	3.10
M=61	1	10.7	2.00	8.1	2.15	6.6	2.27	5.7	2.36	3.6	2.66	2.8	2.87	2.6	2.93
	2	9.1	2.46	8.1	2.54	7.4	2.60	6.9	2.65	5.4	2.82	4.6	2.94	4.4	2.97
	3	7.7	3.02	8.0	2.99	8.1	2.98	8.1	2.98	7.9	2.99	7.7	3.01	7.7	3.02
	4	11.4	2.82	11.2	2.83	10.9	2.84	10.7	2.86	9.7	2.93	9.1	2.99	8.9	3.00
	5	8.4	3.76	10.3	3.56	11.7	3.44	12.8	3.37	16.0	3.18	17.9	3.09	18.4	3.07
	6	3.2	2.85	3.2	2.85	3.2	2.86	3.1	2.88	2.9	2.94	2.7	2.99	2.6	3.01
	7	6.0	3.40	6.8	3.29	7.4	3.22	7.7	3.18	8.6	3.09	9.1	3.05	9.2	3.05
	8	4.6	3.44	5.3	3.31	5.7	3.25	6.0	3.20	6.8	3.10	7.2	3.06	7.3	3.05
M=65	1	11.4	1.97	8.6	2.12	7.1	2.23	6.1	2.32	3.9	2.62	2.9	2.83	2.7	2.88
	2	9.7	2.42	8.6	2.50	7.9	2.56	7.3	2.61	5.7	2.78	4.9	2.89	4.7	2.93
	3	8.2	2.97	8.5	2.94	8.6	2.93	8.6	2.93	8.5	2.94	8.2	2.96	8.2	2.97
	4	12.1	2.77	11.9	2.78	11.7	2.80	11.4	2.81	10.4	2.88	9.7	2.94	9.5	2.95
	5	8.9	3.69	11.0	3.50	12.5	3.33	13.6	3.31	17.0	3.13	19.1	3.04	19.6	3.02
	6	3.4	2.80	3.4	2.80	3.4	2.82	3.3	2.83	3.0	2.89	2.8	2.94	2.8	2.96
	7	6.4	3.35	7.3	3.23	7.8	3.17	8.2	3.13	9.2	3.04	9.7	3.00	9.8	3.00
	8	4.9	3.38	5.6	3.26	6.1	3.19	6.4	3.15	7.3	3.05	7.7	3.01	7.8	3.00

그리고 이러한 가중치로 소방파출서 증설을 위한 Simulation의 결과는 <表 8>과 같다.

아울러 참고문헌 [13]에서 사용된 모형은 P.A.M.의 $\beta \rightarrow 0$ 특수한 경우라는 것을 알 수 있다.

이와같이 β 의 값을 적절히 결정하여 사용하면 융통성 있는 시설배치 결과를 얻을 수 있으며 장단기 정책 수립에 유용히 사용될 수 있다.

IV. 結 論

서울시의 소방파출소의 배치는 과거의 경험을 토대로 하여 배치하여 왔다. 그러나 도시의 확장과 화재가 대형화 되어가는 상황에서 제한된 예산으로 소방파출서를 증설해가는데 있어서 소방서의 최적배치는 어느 때보다도 절실히 요구되어 진다.

本論文에서는 이러한 문제를 체계적이고 해석적인 방법으로 해결하기 위하여 P.A.M.을 이용하여 현재의 배치를 분석하였는데 소방파출서 증설 및 재배치를 위한 Simulation한 결과 <表 8>은 장단기 소방계획에 이용될 수 있을 것이다.

그러나 本연구는 주로 긴급서비스 시설의 정책적인 문제에 국한하였으므로 관련된 제 문제를 모두 고려한 total system으로 계속 연구하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Chaiken, J. M., Ignall, and Walker, E. W., *Deployment methodology for fire departments*, RAND Report, R-1853-HUD, September, 1975.

2. Kolesar, P., "A model for predicting average fire engine travel time," *Operations Research*, Vol. 23, No. 4.

3. Kolesar, P., *A model for predicting average fire engine travel time*, RAND Report, R-1624-NYC, June, 1975.

4. Kolesar, P., and Blum, E. H., "Square-Root Laws for fire company travel distances," *Management Science*, Vol. 19, No. 12, 1973.

5. Rider, K. L., *A parametric model for the allocation of fire companies*, Executive summary, RAND Report, R-1646/1-HUD, August, 1975.

6. Rider, K. L., *A parametric model for the allocation of fire Companies*, RAND Report, R-1615-NYC/HUD, April, 1975.

7. Rider, K. L., *A parametric model for the allocation of fire companies*, user's Manual, RAND Report, R-1946/2-HUD.

8. Walker, W. E., *Firehouse site evaluation model: Executive Summary*, RAND Report, R-1618/1-HUD, June, 1975.

9. 내무부, 소방서 규칙에 관한 해설, 1980. 9. 11.

10. 서울특별시, 서울시 통계연보, 1975-1979.

11. 소방본부, 서울시 화재발생보고서, 1975-1979.

12. 정호원, 서울시 소방관서의 배치분석, 한국과학원 석사학위논문, 1981. 2.

13. 황홍석, 긴급서비스 시설의 적정소요 및 배분에 관한 연구, 한국과학원 석사학위 논문, 1978. 12.