

보로노이 다이어그램을 적용한 공공서비스의 관할구역 설정에 대한 연구
- 서울 강남 지역¹⁾의 소방서를 사례로 하여 -

김재원* · 강지훈** · 이의영* · 강용진***

Study on the Service Area Determination of the
Public Facilities Applying Voronoi Diagrams
- Case Study of the Fire Services in Gangnam-Gu, Seoul¹⁾ -

Jae-Won Kim* · Jeehoon Kang** · Euiyoung Lee* · Yongjin Kang***

요 약

본 연구의 목적은 지리적 접근성이 떨어지는 행정 편의적 입지 및 관할 구역 설정 대신 과학적이고 합리적인 입지 및 관할 구역 설정의 준거를 마련하는 데 있다. 그리고 이 준거를 통해 시설물의 입지 연구를 위한 보다 실질적이고 합리적인 기본 공간 단위를 제안하는 데 있다. 본 연구에서는 새로운 과학적, 합리적 기준으로 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram)의 기법을 이용하였다. 이 기법은, 새로운 관할구역을 제안할 수 있는 모델을 선정·구현하고, 모델의 현실성을 제고하기 위해 그 모델을 변형·응용하며, 변형·응용 방안 중 어떤 것이 가장 현실성과 적합성이 뛰어난지 상호 비교하여 평가한다. 이러한 절차를 통해 얻어진 결과는 관할 구역 설정의 객관화와 시설물 입지 연구를 위한 기본 공간 단위의 마련에 이용될 수 있다.

주요어 : 보로노이 다이어그램, 가중치 적용 보로노이 다이어그램, 도로망 보로노이 다이어그램, 관할구역, 공공서비스, 소방

ABSTRACT : The purpose of this article is to set up the scientific and reasonable norm of location and service area determination instead of the pro-administrative lacking availability, so as to propose more practical and reasonable standard of space unit for the location of

* 대원외국어고등학교 3학년

** 서울대학교 전기컴퓨터공학부 1학년

*** 대원여자고등학교 교사

1) 서울 강남 지역은 서초구, 강남구, 송파구, 강동구로 한정한다.

facilities. This article has accepted the method of Voronoi Diagram as a new scientific and reasonable criteria. The article chooses and realizes a model that can propose a new service area, transform and apply to improve its reality, and assesses which has more reality and compatibility by comparing the models. The result from this procedure can be adapted in objectification of the service area determination and formation of the standard space unit.

Keywords : voronoi diagram, multiplicatively weighted voronoi diagram, network analyst voronoi diagram, service area, public service, fire service

1. 서 론

1. 연구 목적

최근 정부의 역할에 대한 국민들의 기대 수준이 높아지면서 소방 행정, 치안 행정, 공중 보건 등 국민과의 대면 접촉이 많은 공공 서비스의 품질에 대한 관심이 증대되고 있다. 공공서비스의 품질은 여러 측면에서 평가되고 있지만 그 중에서도 대면 접촉이 많은 공공 서비스는 실제 수요자인 지역 주민과의 접근성이 중요하다.

공공 서비스는 이동의 주체가 누구인가를 통해 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 우체국, 보건소 등과 같이 수요자가 찾아오는 성격이 강한 소비자 중심의 공공 서비스와 소방서, 경찰서 등과 같이 공급자가 찾아가는 성격이 강한 공급자 중심의 공공 서비스로 나누어 볼 수 있다. 공공서비스의 접근성은 이동의 주체가 누구인가에 따라 접근성의 분석이 달라지는데, 후자의 경우 출동의 기동성, 효율성, 최단 시간 화 등이 중시된다. 이 경우 공공 서비스 시설물의 입지 문제뿐만 아니라 그

공공 서비스 시설물이 맡고 있는 관할구역 설정 문제가 중요하다.

그동안 시설물 입지와 관련하여 관할 구역 조정 및 재설정에 대한 연구는 1980년대 이후 활발히 진행되어 왔다.(Goodchild, 1979; Openshaw, 1984; Rushton, 1989; Fotheringham, et. al., 1995; Murray, 1997) 지리적 공간 단위의 설정은 초기 입지 데이터 구축뿐만 아니라 접근도 및 입지 분석 결과에도 직접적인 영향을 미칠 수 있다.(Openshaw, 1984; Fotheringham, et. al., 1995) 시설물의 최적 입지는 공간 단위 설정의 기준, 통합 정도 등에 따라 상이하게 되기 때문에, 이러한 입지의 상이성을 해결하기 위해서 다양한 입지 분석 알고리즘의 적용 및 개발이 필요한 것이다.(Murray and Gottsegen, 1997).

특히, 공간 단위 개념에 기초한 시설물 입지 연구의 한 예로서 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram) 방법이 많이 사용되어 왔다. 보로노이 다이어그램은 그 자체뿐만 아니라 다양한 접근 방법을 이용한 Voronoi Diagram의 응용 기법들 역시 함께 제시되어 왔다.(Suzuki and Drezner, 1996; Ohsawa and Imai, 1997; Okabe and Atsuo

Suzuki, 1997; Ohsawa, 1999; Okabe, et. al., 2000; Ahn et. al., 2004).

공공 서비스 시설물의 입지, 관할구역, 기본 공간단위 등의 결정은 주로 도시 계획의 일부로 이루어지고 있으며, 수요자와의 접근성을 고려하지 않은 경우가 많다. 실제로 소방시설이나 치안시설의 설치에 관련한 법률 등을 보면, 인구수나 면적, 또는 행정구역의 계층(시·군·구)에 따라 새로운 시설물을 설치할 것을 규정하고 있으며, 지역단위의 인구밀도 등의 실질적인 수요를 고려하지 않은 경우가 대다수이다. 따라서 행정편의에 따라 임의적으로 배치되고 있는 공공 서비스 시설의 입지 선정에 대해 지리학적 측면에서의 접근과 연구가 절실하다고 판단된다. 그러나 서울과 같은 대도시의 경우, 지가 상승이나 토지 수용의 어려움 등으로 새롭게 시설물을 신설하거나 위치를 이동하는 것이 쉽지 않다. 이러한 상황 속에서 가장 현실적인 방안은 기존의 입지를 그대로 두고, 접근성을 증대시키기 위한 방법을 모색하는 것이 바람직하다. 입지를 고정한 상태에서 소비자와의 접근성을 높일 수 방법은 관할 구역을 조정, 재설정하는 것이라고 본다.

본 연구에서는 소방서를 사례로 하여, 공급자 중심의 공공 서비스의 관할구역을 설정하는 데 있어서 바람직한 기준을 제안하고, 그 기준에 따라 보로노이 다이어그램을 적용하여 소방서의 관할구역을 분석하여, 효율적인 관할 구역의 설정 방법을 밝히고자 한다.

2. 연구 방법

공공 서비스 기관의 현 관할 구역을 분석하고, 보로노이 다이어그램을 적용한 관할 구역의 설정을 위해 ArcGIS를 이용했다. 소방방재청과 서울특별시소방방재본부의 자료들(소방방재청, 2006; 서울특별시소방방재본부, 2006)을 바탕으로 소방파출소들의 위치좌표와 관할구역범위를 shp파일로 제작하였다. 관할 구역 범위가 설정된 기준에 부합하는지 확인하기 위하여 각 소방파출소 별로 관할구역 내에서 가장 먼 수요지점이 되는 관할 구역 외곽의 테두리 상의 점을 뽑아 거리를 측정하고 비교했다.

관할구역을 구획하기 위한 방법으로 제시한 보로노이 다이어그램의 적용은 미국 일리노이 대학교 어바너-섐페인 대학의 지리학과 Mu Lan 교수가 개발한 WVD20 프로그램(Mu. L., 2004)을 사용하였다. 각 소방파출소의 위치 좌표 값을 WVD20 프로그램에 입력한 다음, 이 프로그램에서 각 도형의 선을 도출하고, 이 선을 ArcGIS상에서 다시 도형으로 변환하여 사용하였다. 이를 분석을 하는 과정에서는 위에서 현 관할구역을 분석할 때 사용한 방법과 동일한 방법을 사용하였다.

거리 함수를 달리한 적용방법 중 하나로 제시한 가중치 적용 보로노이 다이어그램(Multiplicatively Weighted Voronoi Diagram)의 적용은 위에서 사용한 WVD20 프로그램을 동일하게 사용하였고, 도로망 보로노이 다이어그램(Network analyst Voronoi Diagram)의 적용은 일본 동경대학교 도시계획과 Okabe 교수가 개발한 ArcGIS 툴인

SANET(Okabe, 2006)을 사용하였다. 분석 방법은 역시 위와 동일하다.

분석 과정에서 정량 분석에서 수치데이터를 자료화하거나 평균, 표준편차 값 등을 비교·분석하는 데에는 MS Excel과 MS Visual Studio 6.0을 사용하였다. 응용 방안 중에서 좋은 방법이 어떤 것인가를 밝히기 위해서는 위의 단계에서 구한 최장거리들의 표준편차 / 평균값을 구하여 편차를 상호 비교함으로써 확인했다.

3. 연구 지역

연구 지역으로는 서울 서초구의 서초소방서, 강남구의 강남소방서, 송파구의 송파소방서, 강동구의 강동소방서 산하의 소방파출소 22개를 삼았다.

소방 수요가 적은 지역의 경우, 소방 책임이 한 소방서로 몰리는 경우가 거의 생기지 않는다. 따라서 이러한 지역의 경우 관할구역을 어떻게 설정하느냐가 소방력 배치의 효율성 여부에 크게 작용하지 않는다고 볼 수 있다. 이러한 지역들의 경우 오히려 어느 정도 양 만큼의 소방력을 배치해야 유효 소방력이 없을지 등에 대한 연구가 더 효과적일 것이다. 반면, 소방 수요가 많은 지역의 경우, 조금만 관할구역 설정이 잘못되어 있어도 한 소방서로 소방 책임이 집중될 수 있는 경우가 많다. 연구 지역으로 설정한 서울 서초구·강남구·송파구·강동구는 건물의 고층화, 지하화, 집적화가 급격히 이루어져 소방 서비스의 수요가 큰 지역으로 판단된다.

제한적으로 연구 대상 지역을 설정해야 하는 상황 속에서, 위와 같은 이유로 관

할구역 설정 연구가 효율을 최대한 발휘할 수 있는 지역이 위의 네 곳이기 때문에, 위의 네 지역을 연구 대상 지역으로 선택하게 되었다.

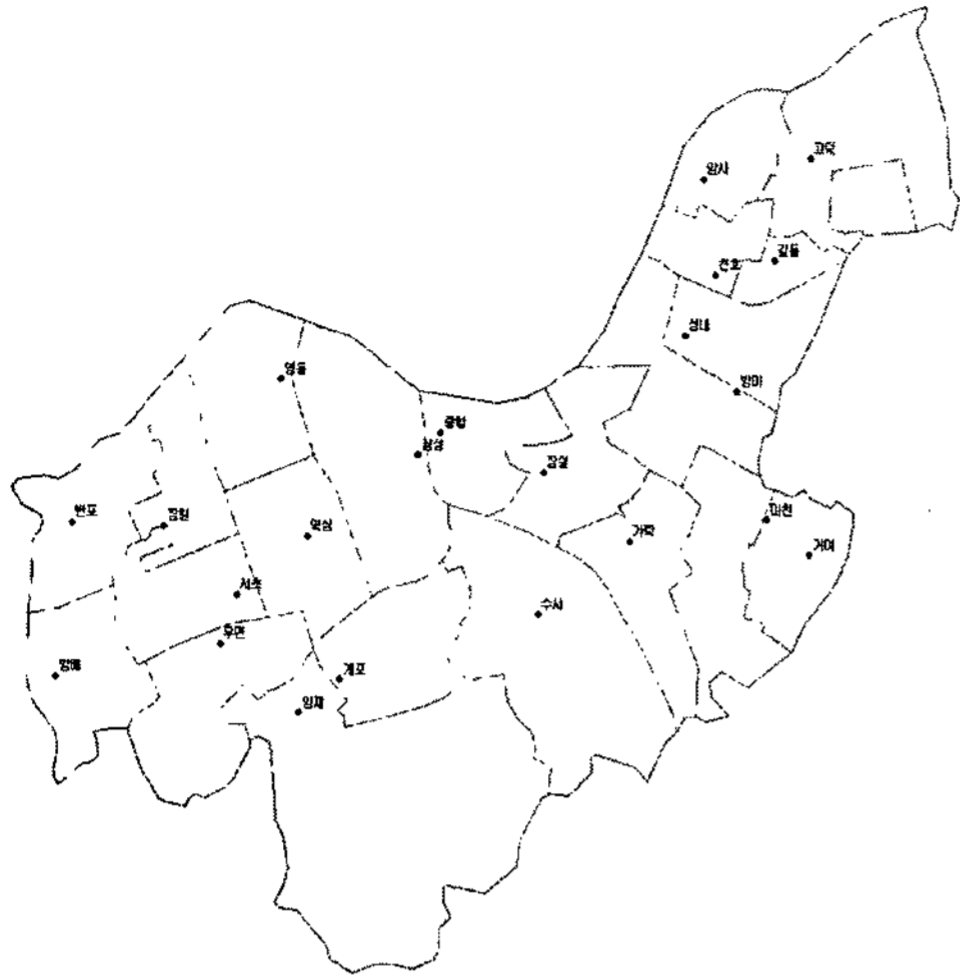
2. 현재의 소방서 관할 구역의 설정

1. 현재 소방기관 시스템의 전반적 현황

현재 소방기관의 설치는 소방기본법 3조에 의거, 대통령령에 의해 정해지고 있다. 2007년 3월 16일 현재 소방기관의 설치에 적용되는 대통령령은 2006년 6월 30일에 일부 개정된 제 19586호 「지방소방기관 설치에 관한 규정」이다. 이 영에서는 소방서와 119안전센터의 설치기준이 규정되어 있다.

서울특별시의 소방서 및 소방파출소의 설치와 관할구역의 설정에 대해서는 현재 서울특별시 행정기구 설치조례(제 4357호, 2006. 1. 1.)와 서울특별시 행정기구 설치조례 시행규칙(제 3462호, 2006. 1. 1.)에 규정되어 있다. 재해신고는 소방방재본부와 종합방재센터를 두어 담당케 하고 있다. 재해대응은 이 본부의 통제를 받는 각급 소방서와 각급 소방서의 통제를 받는 소방파출소(현 119안전센터)에 의해 이루어진다. 이 때 각 재해를 담당하는 소방파출소의 지정은 그 소방파출소의 관할범위규정에 의거해 이루어진다. 소방파출소의 관할범위규정 역시 서울특별시 행정기구 설치조례 시행규칙에 규정되어 있다.

현재 서울 내 소방서 및 소방파출소의 관할범위를 소방방재청에 문의한 결과 번



[그림 1] 서초구, 강남구, 송파구, 강동구 내의 소방서와 관할구역 표시

지별로 관할범위가 나누어져 있는 자료를 얻을 수 있었다. 구한 자료 중에서 조사 대상인 서초, 강남, 송파, 강동구에 대한 관할범위만을 취하여 영역별로 나눠 그림으로 나타낸 것은 [그림 1]과 같다.

2. 현재의 관할구역 설정 기준

현재 관할범위를 구성하는 원칙은 몇

개의 동 단위 행정 단위를 합치는 것이다. 예를 들면 종합운동장 소방파출소의 관할범위는 잠실본동, 잠실1,2,5,7동이다. 몇 개의 동 단위 행정 단위를 합쳐서 관할범위를 구성한 것은 별다른 고려 없이 단순히 행정상의 편의를 위한 것으로 보인다. 하지만 여기에는 몇 가지 예외가 있다.

첫 번째 예외는 마천, 거여 소방파출소 등지와 관련된 것이다. 일단, 마천 소방파출소는 다른 소방파출소들과 달리 자신이 관할하는 범위 내에 소방파출소가 위치하고 있지 않다.([그림 2] 참고)

두 번째 예외는 길동과 상일동은 길동 소방 파출소의 관할 구역에 속하는데, 거여 소방 파출소의 관할에 있는 명일동을 사이에 두고 두 동이 떨어져 있다는 것이다. 이렇게 관할구역을 설정할 경우, 출동을 하는데 있어서 자신의 관할구역이 아닌 것을 지나가야 하는 상황이 발생할 수 있다. 이렇게 한 중심지가 관할하는 구역이 2개 이상으로 나뉘어져 있는 경우는 상식적으로도 적합하지 않고 출동의 현실성·효율성 양쪽 면에서 모두 좋지 않은 결과를 내놓을 수 있다.([그림 3] 참고)



[그림 2] 예외적인 경우 1(마천, 거여)



[그림 3] 예외적인 경우 2(길동, 고덕)

세 번째 예외는 서초구의 경우이다. 서초구의 경우 번지 단위까지 나누어 경계를 세분한 지역도 있는데, 이것도 거리나 효율성의 고려 측면에서 라기보다는 행정단위의 경계가 산에 있는 경우가 있어 행정단위대로 나눌 경우 산을 여러 소방파출소에서 담당하는 경우가 생기기 때문에 그런 것으로 보인다.

결론적으로 현재의 관할구역 설정은 거리·효율성·치안에 필요한 실질적 원칙에 대한 고려가 없이 단순히 행정구역 단위를 기준으로 함으로써 효율성·현실성 저하 등의 문제점이 드러나고 있다.

3. 보로노이 다이어그램을 적용한 소방서 관할 구역의 설정 방안

1. 소방서 관할 구역의 새로운 설정 원칙

소방업무가 치안과 관련된 공공 서비스임을 고려하여 관할구역을 설정하는 데 있어서 타당한 기준을 모색하였다. 본 연구에서는 치안과 관련된 정책 수립은 최악의 상황에 대한 최선의 대비를 중요시하는 점에 착안하여, 임의의 관할구역 내에서 도달하는 데 가장 시간이 오래 걸리거나 거리가 먼 지점까지의 거리가 최소화되도록 관할구역을 설정하는 것이 가장 합리적이라는 결론을 내렸다

‘최악의 상황에 대한 최선의 대비’라고 규정된 위의 원칙을 따르기 위해서, 본 연구는 다음과 같은 두 가지의 세부 원칙을 제시한다.

1. 임의의 소방파출소와 그 소방파출소가 관할하는 구역 내의 임의의 점간

의 거리 중 최장거리에 대해서, 모든 소방파출소의 최장거리들 중 최댓값을 최소화한다.

2. 1항을 만족할 경우, 최장거리들의 평균값과 편차 값을 최소화한다.

1항은 위에서 설명한 ‘최악의 상황에 대한 최선의 대비’ 조건을 충족시키기 위한 것이다. ‘관할하는 구역 내의 임의의 점간의 거리’를 최장거리를 찾는 대상으로 삼은 것은, 소방파출소와 소방수요점 모두를 임의로 설정하기 위함이다. 이렇게 양쪽 모두를 임의의 상황으로 설정한 상태에서의 최장거리는 곧 발생 가능한 모든 최악의 상황을 고려한 결과값으로 생각할 수 있다.

2항은 최악의 상황에 대한 최선의 대비 방법, 즉 최장거리의 최댓값의 최소화가 충족되는 경우가 여럿일 경우, 모든 소방파출소의 효율성이 균등하게 제고되는 것이 유리하다는 측면을 고려한 것이다.

위에서 지적한 현실성, 효율성 등이 고려되지 않은 기준에 비해, 여기서 새로 제시된 원칙은 최악의 상황에 대해 최선의 대비를 할 수 있어야 한다는 현실적인 고려가 부가되었을 뿐만 아니라 모든 소방파출소의 효율성 제고를 균등하게 한다는 점에서 더욱 타당한 관할구역 구획의 원칙이라 할 수 있다.

2. 보로노이 다이어그램을 적용한 관할 구역의 설정

- 1) 최장거리 최소화의 원칙과 보로노이 다이어그램

최장거리 최소화의 원칙을 실제 관할구

역의 구획에 적용하기 위하여 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram, 이하 VD)을 사용하였다.

먼저 거리 함수 δ 를 생각하자. 임의의 두 점 x,y 사이의 거리가 $\delta(x,y)$ 로 주어진다 고 하고, δ 는 임의의 점 a,b,c 에 대해 $\delta(a,b)=\delta(b,a)$ 을 만족한다고 하자.

위에 의해 임의의 점 a,b 에 대해 $\delta(a,b)\geq 0$ 임을 알 수 있으며, 이는 우리가 알고 있는 최소한의 거리의 개념이다. 이러한 거리의 개념을 유클리드 거리 함수(Euclidean Distance Function)이라 부른다.

이제 평면에서의 거리를 정의하자. $a=(a_x,a_y)$,라 할 때,

$$\delta_2(a,b) = \sqrt{(a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2}$$

라 정의하면 δ_2 는 위에서 정의한 거리함수의 조건을 만족하게 된다.

VD를 그리기 위해서는 모든 점들의 집합 P 와 중심점들의 집합 $C\subset P$ 이 필요하다. 본 연구에서 필요한 VD를 그리기 위해 정의한 집합 P 는 서초, 강남, 송파, 강동 4개 지역 내의 모든 점들의 집합이고, C 는 22개의 소방파출소의 위치의 집합이다.

$C=\{c_1,c_2,\dots,c_k\}$ 라 할 때, VD는 P 를 k 의 집합 P_1,P_2,\dots,P_k 로 분할하되 임의의 i 에 대해 다음 조건을 만족하도록 하는 것이다.

$$P_i \text{의 임의의 원소 } t \text{에 대해, } \delta(P_i,t) = \min(j,\delta(P_j,t))$$

즉, P 의 각 점들을 가장 가까운 C 의 원소와 연관시키는 것이다.

VD가 최장거리 최소화 원칙을 만족

시키는 최장거리를 최소화하는 분할임은 다음을 통해 알 수 있다. VD의 최장거리를 가지는 원소를 p_v , p_v 와 p_v 에서 가장 가까운 C 의 한 원소를 c_v , 둘 사이의 거리를 d_v 라 하자. 결론을 부정하여 최장거리가 더 작은 분할이 있다면, 그 분할에 대해 모든 점에서 어떤 C 의 한 원소까지의 거리가 d_v 보다 작아야 한다. 그러나 p_v 에 대해 C 의 임의의 원소까지의 거리는 d_v 이상이므로, 임의의 분할에 대해 최장거리는 d_v 이상이다. 이러한 모순은 결론을 부정한 데에서 나오므로, 귀류법에 의해 VD보다 최장거리가 더 작은 분할은 존재하지 않는다.(최장거리가 같은 분할은 가능함.)

2) 현 관할구역과 보로노이 다이어그램을 이용한 관할 구역의 정량적 분석 및 상호 비교

(1) 현 관할구역의 정량적 분석

현 관할구역과 VD가 각각 얼마나 최장거리 원칙에 부합하고 있는지를 알아보기 위해서 정량적 분석을 실시하였다.

관할구역 내부에 위치하고 있는 소방파출소에서부터 최장거리에 있을 수 있는 가능성이 있는 점들은 모두가 그 관할구역을 이루는 도형의 변상에 위치하고 있기 때문에, 이 위의 점들을 도출하여 이들 중의 최장거리를 찾는다. 현 관할구역을 GIS 데이터로 처리하여, 각 소방파출소 별로 관할구역 내에서 가장 먼 수요지점이 되는 관할구역 테두리 상의 점을 뽑아 거리를 측정한 결과는 <표 1>과 같다.

<표 1>을 근거로 할 때, 22개 소방파출소 관할구역 도형 내의 최장거리들 중에

<표 1> 현 관할구역 구분에 대해, 소방파출소로부터 가장 멀리 떨어져 있는 관할구역 내 지점까지의 거리

소방서	파출소	최장거리 (단위:m)	소방서	파출소	최장거리 (단위:m)
강남	삼성	3248.35	송파	마천	3714.34
	영동	2265.57		잠실	2775.63
	역삼	1954.34		거여	1720.41
	수서	3600.65		종합	2529.31
	개포	3072.39		방이	3102.09
서초	반포	2427.33	강동	가락	3434.84
	방배	2022.67		성내	3350.27
	양재	5015.62		천호	1748.67
	서초	2446.92		고덕	3465.44
	잠원	2914.03		암사	2234.82
	우면	2945.47		길동	3014.76

서 최댓값은 서초소방서 양재소방파출소의 5015.62m 이다. 이는 2006년 서울특별시 소방방재본부에서 발간한 소방통계연감에서도 지적한 내용과 일치한다.(8km로 서울 관내에서 가장 먼 지점이라고 나와 있음 : 여기서 거리가 다른 것은 연감의

거리는 도로망 거리인 반면 연구결과 값의 거리는 유클리드 거리 함수의 직선거리이기 때문이다.) 22개 소방파출소 관할구역 내의 최장거리들의 평균값을 구해보면 2863.82m가 된다.

(2) 보로노이 다이어그램의 구성 및 정량적 분석

WVD20 프로그램을 통해 얻은 선과 이를 ArcGIS 상에서 처리한 도형은 [그림 4], [그림 5]와 같다. 앞에서 설명한대로 VD가 최장거리 원칙의 구현에 적합한 방법임을 실질적으로 확인하기 위해 정량적 분석을 실시하였다. 이 정량적 분석의 결과 값은 <표 2>와 같다. <표 2>를 근거로 하여 22개 소방파출소의 점들을 이용한 VD 도형 내의 최장거리들 중에서 최댓값은 강남소방서 양재소방파출소의 5015.60m 이다. 물론 이 값은 앞서 소개한 현 관할구역 최장거리들의 최댓값에서는 별 개선편점을 보이지 않지만, 다른 관할구역들을 고려해 봤을 때 전체적으로 보아서는 임



[그림 4] 보로노이 다이어그램 선



[그림 5] 보로노이 다이어그램 도형

의의 지점으로부터 소방서까지의 거리가 짧아지는 등 충분한 개선을 이루었다고 판단할 수 있다. VD를 이용한 관할구역의 구성이 현 관할구역 구성 방법보다 최장거리 최소화 원칙을 지키는 데 더 효율적으로 이용할 수 있다는 것이다.

<표 2> VD에 따른 관할구역 구분에 대해, 소방파출소로부터 가장 멀리 떨어져 있는 관할구역 내 지점까지의 거리

소방서	파출소	최장거리 (단위:m)	소방서	파출소	최장거리 (단위:m)
강남	삼성	2286.07	송파	마천	2425.47
	영동	2403.46		잠실	2071.51
	역삼	2234.10		거여	2893.17
	수서	4654.24		종합	1853.16
	개포	4654.57		방이	1913.95
서초	반포	1858.16	강동	가락	3482.06
	방배	2937.13		성내	2071.46
	양재	5015.60		천호	1566.29
	서초	1405.10		고덕	3465.82
	잠원	2403.59		암사	1722.68
	우면	2945.55		길동	1708.91

4. 거리 함수를 달리한 보로노이 다이어그램의 적용 방법

기존 보로노이 다이어그램의 적용 과정은 단순 유클리드 거리 함수를 거리 함수로 사용하였다. 하지만 거리 함수의 조작을 통하여 좀 더 현실성 있고 타당한 결과를 내놓을 수 있다고 생각하여, 점에 가중치를 적용한 거리 함수를 사용한 보로노이 다이어그램(Multiplicatively Weighted Voronoi Diagram, 이하 MWVD)과 도로망 거리 함수를 이용한 보로노이 다이어그램(Network analyst Voronoi Diagram, 이하 NVD)

을 사용하는 방안을 제안한다.

VD, MWVD, NVD는 셋 모두 보로노이 다이어그램의 기본 원리를 따르고 있으므로, 최장거리 원칙의 1항은 모두 충족시키고 있다고 할 수 있다. 최장거리 원칙의 2항에 어느 모델이 더 적합한가를 통해, 어떤 모델이 관할구역 설정에 더욱 타당한지 가려내었다.

1. 가중치 적용 보로노이 다이어그램 (Multiplicatively Weighted Voronoi Diagram, MWVD)

1) 가중치 적용 보로노이 다이어그램의 정의적 설명

소방서의 관할구역은 지리학의 기본개념에 비추어 볼 때 기능지역에 해당한다고 볼 수 있다. 기능지역은 그 구획부터가 중심지의 성격에 의해 규정되므로, 관할구역의 범위나 형태 등도 당연히 그 중심지의 성격을 따를 수밖에 없다.

위의 VD는 최장거리 최소화의 원칙을 구현하였으나 위와 같은 기능지역의 중심지 특성을 반영하지 못했다는 문제점이 있다. 이 문제점에 착안하여, 최장거리를 최소화하되, 거리함수를 조작하여 사용함으로써 최장거리의 최소화를 이룩함과 동시에 그 중심지의 특성을 반영하여 도시 전체의 관점에서의 효율성을 추구하도록 하는 방법을 모색하였다.

그 중심지의 특성을 반영하는 가중치를 $weight(a)$ 라고 할 때, 거리 함수는 다음과 같이 주어지게 된다.(단, $a \in C$)

$$\delta_M(a,b) = \frac{\sqrt{(a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2}}{\text{weight}(a)}$$

이 경우에는 $\delta_M(a,b) = \delta_M(b,a)$ 가 성립하지 않을 수도 있다.

2) 가중치 적용 보로노이 다이어그램의 구성과 실제 사례지역에의 적용 및 분석

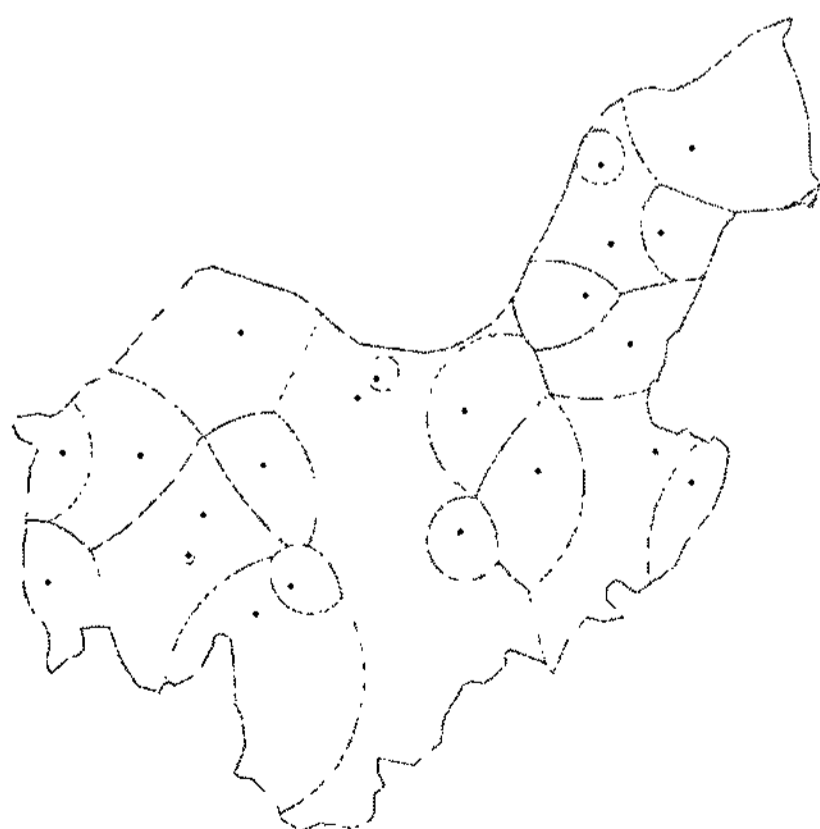
이렇게 할 경우 가중치로 무엇을 두느냐가 관건이 된다. 우리가 얻은 데이터에서 각 소방서의 인원 및 차량 보유 현황을 이용하여 가중치를 구하려고 하였으나, 각 소방파출소마다 큰 차이를 보이지 않는 점을 보아 가중치로 의미 있는 변수가 아니라고 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 수요와 공급이라는 두 가지 측면에서 가중치를 적용하기로 하였다.

공급 측면의 가중치 데이터로는 출동량의 수를 사용하였다. 위에서 설명한 바와 같이, 재해신고는 소방방재본부와 종합방재센터에서, 재해대응은 이 본부의 통제를 받는 각급 소방서와 각급 소방서의 통

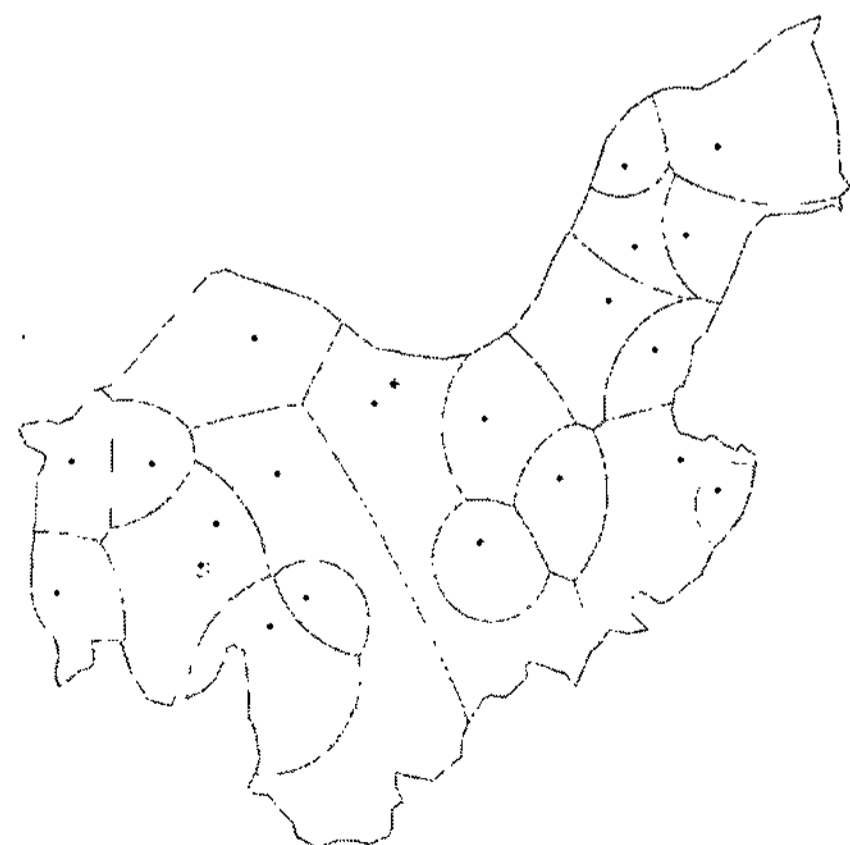
제를 받는 소방파출소(현 119안전센터)에서 담당한다는 점을 참고하여, 소방방재본부와 종합방재센터에서 각급 소방파출소에 하달하는 출동명령의 수를 파악하여 자료 값으로 사용하였다.

한편, 수요 측면의 가중치 데이터로는 소방대상물의 수를 사용하였다. 소방대상물이란 재난 및 안전관리기본법 제 26조와 같은 법의 시행령 제 32조에 지정된 특정관리대상시설을 뜻하는 것이다. 구체적으로 특정관리대상시설에 지정되는 시설로는 10년 이상 경과된 교량, 육교 및 토목공사장 등 시설물과 15년 이상 경과된 공동주택 및 다중이용건축물, 건축공사장 등 건축물을 들 수 있다. 이들 시설물들은 소방 관련 사건이 일어날 잠재적 가능성이 있는 것으로 보고 안전점검의 대상이 된다.

공급 데이터를 이용하여 WVD20 프로그램을 통해 얻은 선과 이를 ArcGIS 상에서 처리한 도형은 [그림 6], 그 값들은 <표 3>, 수요 데이터를 이용한 도형은 [그림 7], 그 값들은 <표 4>와 같다. 나중에 상호 비교를 위해서 거리는 일반 유클리드



[그림 6] 공급 자료를 이용한 MWVD 도형



[그림 7] 수요 자료를 이용한 MWVD 도형

<표 3> 공급 자료를 이용한 MWVD에 따른 관할구역 구분에 대해, 소방파출소로부터 가장 멀리 떨어져 있는 관할구역 내 지점까지의 거리

소방서	파출소	최장거리 (유클리드)	최장거리 (가중치)
강남	삼성	9143.68	886936.76
	영동	3088.76	284166.19
	역삼	1972.73	114418.20
	수서	1065.40	23438.82
	개포	1156.62	31228.64
서초	반포	1615.53	53312.50
	방배	1892.35	54878.17
	양재	4200.28	193212.69
	서초	3858.48	254659.74
	잠원	2518.59	143559.63
	우면	144.12	1297.11
송파	마천	6498.58	454900.46
	잠실	2071.17	105629.56
	거여	2302.21	135830.45
	종합	545.22	25625.21
	방이	2199.64	118780.50
	가락	2463.26	105920.37
강동	성내	1665.60	66624.16
	천호	4849.29	247313.65
	고덕	3466.12	107449.58
	암사	711.02	10665.37
	길동	1751.53	56048.99

<표 4> 수요 자료를 이용한 MWVD에 따른 관할구역 구분에 대해, 소방파출소로부터 가장 멀리 떨어져 있는 관할구역 내 지점까지의 거리

소방서	파출소	최장거리 (유클리드)	최장거리 (가중치)
강남	삼성	7228.30	16943126.29
	영동	3523.43	8826181.23
	역삼	7828.22	17746577.37
	수서	1719.00	1294404.59
	개포	1658.20	1512275.29
서초	반포	1731.94	2002126.11
	방배	1892.60	1815007.94
	양재	3017.34	3373381.85
	서초	3858.61	6582789.73
	잠원	1582.18	1833745.22
	우면	205.97	64674.15
송파	마천	4120.05	5743356.61
	잠실	2006.23	2840819.87
	거여	1123.62	920246.68
	종합	101.79	35627.78
	방이	1778.00	2377184.23
	가락	2085.55	1799827.14
강동	성내	2644.34	4810058.77
	천호	1865.80	3013274.08
	고덕	3465.90	3420839.30
	암사	1547.08	1301097.23
	길동	3427.38	4126570.63

거리 함수를 이용한 것과 여기에 가중치를 곱한 값인 가중치 적용 방법의 거리함수에 의거한 거리 모두를 표에 실었다.

2. 도로망 보로노이 다이어그램(Network analyst Voronoi Diagram)

1) 도로망 보로노이 다이어그램의 정의적 설명

일반적으로 소방 출동은 도로를 따라

이루어진다. 따라서 기존의 방법대로 유클리드 거리 함수를 적용하여 거리를 계산하고 이를 이용하여 보로노이 다이어그램을 구성하는 것은 현실과 맞지 않는 것이라 할 수 있다. 따라서 도로망을 통해 이동하는 거리를 고려하여 보로노이 다이어그램을 구성하는 도로망 보로노이 다이어그램을 통해 타당한 관할구역의 범위를 제안하고자 하였다.

도로망에서의 두 정점의 거리는 정점 사이의 최단거리로 정의할 수 있다. 즉, δ

$M(a,b)$ (도로망에서의 a,b 의 최단거리) 라 하자. 이렇게 정의하면 앞에서 밝혔던 거리함수의 기본 조건에 합치한다. 따라서 이 거리함수를 이용하여 보로노이 다이어그램을 구성하고 분석해 보았다.

2) 도로망 보로노이 다이어그램의 구성과 실제 사례지역에의 적용 및 분석

실제 사례지역에 적용하고 분석하는 데에는 MWVD를 분석하는 데 사용한 방법과 동일한 방법을 사용하였다. 본 연구는 원래 사례지역을 서울 강남구, 서초구, 송파구, 강동구로 하였으나, SANET 툴 자체의 용량 한계에 의해 이번 절에 대해서만 송파구와 강동구를 사례지역으로 하였다. 송파구와 강동구에도 전체 사례지역 내의 소방파출소 개수인 22개의 절반인 11개의 소방파출소가 있는데다가 본 연구 자체가 경향성을 파악하는 데 중점을 두었으므로, 연구 결론의 도출에는 큰 문제가 없



[그림 8] 송파구와 강동구의 도로 정보를 이용한 NVD 도형

을 것이라고 판단하였다.

SANET 툴을 이용하여 구축한 NVD의 결과는 [그림 8]과 같다. 그림에서 점들은 각 소방파출소를 의미한다. 같은 색으로 칠해진 도로에 인접한 건물들은 같은 소방파출소의 관할범위에 있게 된다. 굵은 빨간색 선은 기존 동 단위 행정구역에 해당한다.

위에서 다른 구역들을 분석할 때와는 달리 여기서는 도형이 구성되지 않으므로, 다른 방법으로 테두리에 해당하는 점들을 뽑은 뒤 그 관할구역 내의 최장거리를 도출했다. 이 방법을 통해 도로망 보로노이 다이어그램 도형 내에서 각 소방파출소로부터 가장 먼 수요지점이 되는 점을 뽑아보면, <표 5>와 같다.

<표 5> 송파구와 강동구의 도로 정보를 이용한 NVD에 따른 관할구역 구분에 대해, 소방파출소로부터 가장 멀리 떨어져 있는 관할구역 내 지점까지의 거리

소방서	파출소	최장거리 (단위:m)	소방서	파출소	최장거리 (단위:m)
송파	마천	4255.00	강동	성내	2995.95
	잠실	2662.52		천호	2341.08
	거여	1187.74		고덕	4328.95
	종합	2388.82		암사	1563.13
	방이	2593.35		길동	2297.50
	가락	3720.71			

5. 가중치 적용 보로노이 다이어그램(MWVD)과 도로망 보로노이 다이어그램(NVD)의 효율성 비교

최장거리 원칙의 2항에 어느 모델이 좀

더 부합하는가를 확인하기 위해 각 모델의 최장거리 값의 산포도를 비교하였다. VD와 현 관할구역은 똑같이 유클리드 거리 함수를 사용했지만, MWVD와 NVD는 거리함수를 다르게 사용한 도형을 이용하여 최장거리를 측정한 것이므로, 표준편차 값만을 가지고 단순히 비교하는 것은 타당하지 않다. 거리함수가 다른 면을 통일시키기 위해 22개 최장거리 값들의 평균으로 22개 최장거리 값들의 표준편차 값을 나누어 비교의 척도로 사용하였다.

1. 가중치 적용 보로노이 다이어그램 (MWVD)의 값에 대하여

위 네 가지 경우에 대해서 22개 소방파출소의 최장거리 값들의 (표준편차/평균) 값을 구해보면 <표 6>과 같다.

<표 6> (표준편차 / 평균)을 기반으로 한 현재 관할구역 구분과 VD, MWVD(공급과 수요)에 따른 관할구역 구분 비교

	(표준편차 / 평균)값
현 관할구역	0.27
VD	0.39
MWVD 공급 데이터를 가중치로 사용	1.24
MWVD 수요 데이터를 가중치로 사용	1.13

가중치를 적용하였을 때 최적화되지 않고 평균값이나 최댓값이 최적화 전보다 크게 나오는 이유는 위의 편차 값을 보면 도출해낼 수 있다. 한 소방파출소의 가중치가 지나치게 커서 가중치를 적용하면 가중치를 적용하지 않았을 때보다 지나치

게 모든 소방 수요가 몰리게 되는 것이다. 실제로 살펴보면, 공급 데이터를 가중치로 사용했을 때 최장거리의 최댓값을 갖는 강남소방서 역삼소방파출소의 출동량 값이 다른 소방파출소들보다 많이 크며, 수요 데이터를 가중치로 사용했을 때 최장거리의 최댓값을 갖는 강남소방서 삼성소방파출소의 출동량 값이 다른 소방파출소들보다 많이 크음을 확인할 수 있다.

강남소방서 삼성소방파출소의 경우 강남소방서의 직할대로서 강남소방서 본청과 같은 곳에 위치하고 있다. 직할대이므로 다른 소방서에 비해 많은 소방 장비를 가지고 있고, 따라서 다른 소방파출소의 관할구역에서 일어난 사건인 경우에도 파견되어 출동하는 경우가 빈번하다고 한다. 하지만 이 직할대의 위치 역시 소방서와 소방파출소 배치 상의 행정 편의에 의한 것이지 실제 수요량을 고려하지 않은 것임을 감안할 때, 이렇게 한쪽으로 소방 수요가 몰려서 나오는 결과 값을 분석해 보면서 실질적인 직할대의 배치 역시 필요하다는 점을 나타낼 수 있다.

2. 가중치 적용 보로노이 다이어그램 (MWVD)와 도로망 보로노이 다이어그램(NVD) 비교

MWVD와 NVD를 비교하기 위해 사례지역을 송파, 강동으로만 한정했을 때의 값을 도출했다. 사례지역을 송파소방서, 강동소방서 관할 구역으로 한정했을 때, 현 관할구역, VD, MWVD, NVD의 (표준편차 / 평균)값을 비교하면 <표 7>과 같다.

NVD는 VD, MWVD에서 한계점으로 지

<표 7> (표준편차 / 평균)을 기반으로 한 MWVD (공급과 수요), NVD에 따른 관할구역 구분 비교

	(표준편차 / 평균)값
MWVD 공급 데이터를 가중치로 사용	0.96
MWVD 수요 데이터를 가중치로 사용	0.62
NVD	0.37

적되었던 최장거리의 표준편차 값 최소화의 실패를 해결한다. VD, MWVD와 비교했을 때 최장거리의 표준편차 값에 우세를 보인다는 것을 알 수 있다. NVD가 VD, MWVD와 동일 원리에서 최장거리 최소화의 원칙을 구현하고 있음을 고려할 때, NVD가 보다 더 나은 관할구역 설정 방법을 보여주고 있음을 나타내는 것이라 할 수 있다.

6. 결론 및 제언

대면접촉이 많은 공공서비스는 실제 수요자인 지역 주민과의 접근성이 중요하기 때문에, 공공서비스 시설물의 입지 및 관할권 설정은 과학적이고 합리적 기준에 근거해야 한다.

하지만, 대표적으로 대면접촉이 많은 공공서비스인 소방 파출소의 입지와 관할권 설정을 조사해본 결과, 소방 시설물의 관할권 설정에는 단순한 행정구역 단위를 기준으로 삼았다. 이러한 설정은 단순한 행정편의를 고려한 것일 뿐, 합리적이고 과학적인 기준에 근거한 것이라고 보기 힘들다.

따라서 본 연구에서는 소방 치안이 최

악의 상황에 대비해야 한다는 전제 하에, 이에 합당한 세부 원칙을 세우고, 이를 적용·응용하였다. 본 연구는 이의 적용을 위해 보로노이 다이어그램을 이용하였으며, 이를 이용한 효율적 관할 구역 설정의 방안을 연구한 결과, 얻어낸 사실은 다음과 같다.

첫째, 유클리드 거리 함수를 사용한 보로노이 다이어그램의 적용만으로도 현 관할구역보다 더 합리적인 관할구역을 도출할 수 있었다. 더 합리적이라는 사실은, 최악의 상황에 대한 최선의 대비에 더 효율적임을 정량적 분석에 근거한 최장거리 비교를 통해 확인함으로써 증명할 수 있었다.

둘째, 보로노이 다이어그램의 적용 시 유클리드 거리 함수가 아닌 다른 거리 함수를 이용하여 이 구현을 더욱 최적화할 수 있는 방법을 모색하였다. 도로망 보로노이 다이어그램과 가중치 적용 보로노이 다이어그램이 그것이다. 두 방법 모두 위에서 설명한 최악의 상황에 대한 최선의 대비가 가능해야 한다는 원칙을 지키고 있음은 첫째 과정 속에서 증명한 사실이다.

따라서 이 과정에서는 소방파출소 간의 최장거리의 표준편차를 줄이는 것이 가장 합당한 구획이라는 다른 원칙을 정하고 이를 역시 정량적 분석을 통해 확인하였다. 확인결과, 본 연구는 도로망 보로노이 다이어그램이 가중치 적용 보로노이 다이어그램을 적용한 것 보다 우세한 결과를 내놓은 것을 확인할 수 있었다.

셋째, 가중치 적용 보로노이 다이어그램을 수행하는 과정 속에서 과도하게 넓은 관할구역을 갖는 소방파출소가 출현하

는 것을 발견할 수 있었다. 이 사실을 통해 각 소방파출소의 잠재 처리 능력을 고려하지 않는 관할구역 설정의 문제점과 수요량에 맞게 배분되지 않은 처리 능력에 문제를 제기할 수 있었다.

다만 기술적 한계로 인해 도로망 보로노이 다이어그램을 구축하는 데 있어서 송파구, 강동구로 그 사례지역을 제한했던 점이나, 보로노이 다이어그램을 발전시키는 모델을 구성하는 데 있어서 도로망 거리 함수를 이용하면서 가중치 값을 적용하는 이른바 가중치 적용 도로망 보로노이 다이어그램(Multiplicatively Weighted Network analyst Voronoi Diagram)을 기술상의 한계로 구성하지 못했던 점, 도로망 보로노이 다이어그램을 다루는 데 있어서 도로망 거리 뿐만 아니라 도로의 장애물, 소방차의 접근 편의성 등을 함께 고려할 수 없었던 점 등은 본 연구의 아쉬운 점으로 남긴다.

사 사

(글쓴이: 강용진)

학생들은 2년 전에 삼성전자에서 공모하는 휴먼테크 논문상을 준비하고 있었습니다. 해당 논문은 당시 서울과학고등학교 2학년에 재학중이던 강지훈(현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 1학년), 류원하(현재 한국과학기술원 1학년) 학생이 시작하고, 대원외국어고등학교 2학년에 재학중이던 김재원 학생(현재 3학년 재학중)이 뒤에 합류하여 준비했던 것입니다. 그 논문의 제목은 '3차 산업 입지 선정

문제에의 Multiplicatively Weighted Voronoi Game의 적용 및 전략 개선'이었습니다. 그러던 중 김재원 학생과 이의영 학생이 학교 지리 수업을 통해 자신들이 준비하던 논문의 완성도가 GIS를 활용할 때 높아질 수 있다고 깨달아 지리과 지도교사였던 본인에게 도움을 청했습니다.

학생들이 도움을 청했을 때, 교육의 패러다임이 교사 중심의 수업에서 학습자 중심의 수업으로 바뀌고 있는 시점에서 논문 지도야 말로 최고의 학습자 중심의 수업이라는 생각이 들어 수락했습니다.

논문을 준비하는 2년이라는 세월이 받아들이는 사람에 따라 그 길이가 다르게 느껴지겠지만, 내신, 수능, 논술을 한꺼번에 공부해야하는 수험생에게 덧붙여진 논문의 부담은 불가능에 대한 도전이었다고 할 수 있습니다.

한계에 맞닥뜨릴 때마다 많은 분들의 헌신적인 도움을 받았습니다. 논문의 큰 틀은 서울대학교의 신정엽 교수님의 꼼꼼한 자문을 받았습니다, 경희대학교 GIS실의 박지만 선생님은 GIS 도구의 사용법을 친절하게 교육해 주셨습니다. 한국교원대학교의 김영훈 교수님은 많은 참고 문헌을 찾아주시고, 조언과 격려를 아끼지 않으셨습니다. 도로망 보로노이 다이어그램의 적용 프로그램은 동경대학교의 오카베 교수님의 허락을 받아 사용했습니다. 대한지리학회의 이민부회장님께서 대한지리학회 2007년 연례학술대회에서 영광스럽게 논문 발표를 할 수 있는 기회를 주셨습니다. 경상대학교의 기근도 교수님께서 논문을 꼼꼼히 검토해주시고 논문 게재를 위해 자신의 일처럼 애써주셨습니

다. 이렇게 많은 분들의 도움이 있었기에 이 논문은 ‘할 수 있는 일’이 되어 여기 까지 오게 되었습니다.

논문의 완성도가 높아서 학회에서 특별히 수록을 허락했다고 생각하지 않습니다. ‘학생들 스스로 주제를 정하고, 자료를 구하며, 논리를 추구해 간 현장 학습의 결과’로서의 가치를 높이 샀을 것이라고 짐작할 뿐입니다.

어려운 결단을 내려주신 한국GIS학회 김은형 회장님 이하 회원님 모두에게 감사드립니다.

참고문헌

- 이희연, 2000, 공공시설물 입지선정에 있어서 다기준평가기법의 활용에 관한 연구, 대한지리학회지 제 35권 제 3호, pp.37-454.
- 이희연, 김은미, 1997, GIS기법을 활용한 은행 입지분석에 관한 연구 - 서울시 강남구를 사례로 하여, 한국GIS학회지 제 5권 제 1호, pp. 11-26.
- 소방방재청, 소방정책본부, 2006, 지방소방조직편람.
- 서울특별시소방방재본부, 2006, 소방방재통계연보.
- Ahn, H-K, Cheng, S-W., Cheong, O., Golin, M., and Oostrum, R., 2004, Competitive facility location: the Voronoi game, Theoretical Computer Science, Vol. 310, pp. 457-467.
- Fotheringham, S. A., Densham, P. J., and Curtis, A. 1995. The zone definition problem in location-allocation modeling, Geographical Analysis, Vol. 27. pp. 60-77.
- Goodchild, M. F. 1979, The aggregation problem in location-allocation, Geographical Analysis, Vol. 11, pp. 240-255.
- Mu L., 2004, Polygon characterization with the multiplicatively weighted Voronoi diagram. The Professional Geographer 56, pp. 223-239.
- Murray, A. and Gottsegen, J. M. 1997, The influence of data aggregation on stability of p-median location model solutions, Geographical Analysis, Vol. 29. pp.200-213.
- Ohsawa, Y. and Imai, A. 1997, Degree of locational freedom in a single facility euclidean minimax location model, Location Science, Vol. 5, pp. 29-45.
- Ohsawa, Y. 1999, A geometrical solution for quadratic bicriteria location models, European Journal of Operational Research, Vol. 114, pp. 380-388.
- Okabe, A. and Suzuki, A. 1997, Locational optimization problems solved through Voronoi diagrams, European Journal of Operational Research, Vol. 98, pp. 445-456.
- Okabe, A., Boots, B., Sugihara, K., and Chin, S-N., 2000, Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams, Wiley, Chichester.
- Okabe, A., Okunuki, K-I., and Shiode, S. 2006, The SANET Toolbox: New Methods for Network Spatial Analysis, Transactions in GIS, Vol. 10, pp. 535-550.
- Openshaw, S. 1984, The Modifiable Area Unit Problem, Concepts and Techniques in Modern Geography, No. 38.
- Rushton, G. 1989. Applications of location model, Annals of Operations Research, Vol. 18. pp. 25-42.
- Suzuki, A. and Drezner, Z. 1996, The p-center location problem in an area, Location Science, Vol. 4. pp. 69-82.