

화이트 스페이스를 활용한 슈퍼 와이파이 시설의 효율적 배치를 위한 공간 입지 모델링

이건학* · 김감영**

Spatial Location Modeling for the Efficient Placements of the Super WiFi Facilities Utilizing White Spaces

Gunhak Lee* · Kamyoun Kim**

요약 : 본 연구는 차세대 '정보 고속도로'로 각광받고 있는 슈퍼 와이파이 네트워크의 도입을 위한 효율적 시설 물 배치에 대해 논의하고 있다. 슈퍼 와이파이는 기존 TV 방송의 유휴 주파수 대역인 화이트 스페이스를 활용함으로써 보다 넓은 지리적 서비스 범위를 가지기 때문에 인구 저밀도 지역이나 산간 지역에 대한 인터넷 접근성의 격차를 해소하는데 중요한 기능을 할 수 있다. 본 연구의 목적은 슈퍼 와이파이에 대한 체계적이고 효율적인 공간 계획을 탐색하는데 있으며, 이를 위해 전라남도 구례군을 대상으로 최적 입지 커버링 모델들을 적용하였다. 사례 분석 결과, 상이한 입지 모델(LSCP, MCLP)에 따른 최적화된 슈퍼 와이파이 입지 지점들을 도출할 수 있었으며, 시설물 수에 따른 커버리지 상쇄효과, 한계 커버리지와 같은 슈퍼 와이파이 네트워크 구축에 있어 유의미한 분석 결과들을 도출할 수 있었다. 본 연구의 결과는 향후 도시내 무선 네트워크의 확장이나 지역 무선 인프라 시설 구축에 슈퍼 와이파이를 도입하고자 하는 의사결정자에게 매우 유용한 참고 자료로 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 슈퍼 와이파이, 화이트 스페이스, 셋커버링 입지 모델, 최대커버링 입지 모델, 공간 입지 모델링

Abstract : This paper addresses the efficient facility placements to adopt a super WiFi network, taking significant considerations as the next generation 'information highway'. Since the super WiFi has a wider geographic coverage by utilizing the white spaces of TV broadcasting which are empty and available frequencies for the wireless communications, it would play an important role in releasing digital divide of the internet access for low populated or mountainous areas. The purpose of this paper is to explore systematic and efficient spatial plans for the super WiFi. For doing this, we applied optimal location covering models to Gurye-gun, Jeonlanamdo. From the application, we presented optimal locations for super WiFi facilities and significant analytical results, such as the tradeoff between the number of facilities and coverage and marginal coverage for establishing super WiFi network. The results of this research would be usefully utilized for decision makers who wish to adopt a super WiFi, to extend wireless networks in a city or build a regional infrastructure of wireless facilities.

Key Words : Super WiFi, White space, Location Set Covering Problem, Maximal Covering Location Problem, Spatial location modeling

* 서울대학교 사회과학대학 지리학과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography, Seoul National University), gunhlee@snu.ac.kr

** 경북대학교 사범대학 지리교육과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography Education, Kyungpook National University), kamyounkim@knu.ac.kr

1. 연구 배경 및 목적

모바일 정보통신 기기의 급속한 보급은 무선 인터넷 서비스에 대한 수요를 계속 증가시키고 있으며, 이로 인해 한정된 무선 주파수 대역에 대한 효율적인 이용과 배분에 대한 관심이 크게 증대되고 있다. 저비용으로 국민에게 보편적인 무선 인터넷 서비스를 제공할 수 있다는 장점으로 인해 근거리 무선 통신 기술인 IEEE 802.11, 일명 ‘와이파이(Wireless Fidelity: WiFi)’를 통한 무선 인터넷 인프라 구축이 대내외적으로 활기를 띠고 있다. 하지만 와이파이 무선 전파의 특성상 짧은 서비스 거리와 지리적 커버리지로 인해 인구가 희박하거나 정보통신 인프라 시설이 제대로 갖춰져 있지 못한 농어촌 지역에 대해서는 접근성의 제한을 가지고 있다.

최근 새로운 대안으로 TV의 화이트 스페이스(TV white space: TVWS)를 이용한 ‘슈퍼 와이파이(Super WiFi)’ 서비스가 전 세계적으로 각광받고 있다. TV 화이트 스페이스는 TV 방송용으로 분배된 대역에서 사용하지 않고 비어 있는 유휴 주파수 대역을 의미한다. 전파의 특성이 1GHz 이상의 고주파수에 비해 서비스 커버리지가 넓고 투과율이 좋아 공공 안전, 지역 정보 제공 서비스, 슈퍼 와이파이 등의 다양한 영역에 활용될 수 있다(최성웅 외, 2011). 슈퍼 와이파이의 경우, 기존의 와이파이와 거의 비슷한 방식으로 통신하지만, 2.4GHz나 5GHz 대역폭의 와이파이에 비해 700MHz의 주파수를 사용하기 때문에 지리적 범위가 기존 와이파이에 비해 3~4배(많게는 수 킬로미터), 커버리지는 16배 이상 확장될 수 있을 뿐 아니라 건물 투과율이 탁월해 원격지나 장애물이 많은 지역에 전파를 효과적으로 전달할 수 있는 장점이 있다(최동석, 2011).

대외적으로도 슈퍼 와이파이에 대한 상용가능성과 성장 잠재력에 대한 인식을 토대로 미국, 영국, 일본 등 몇몇 선진국들은 관련 기술 기준과 상용화를 위한 제도적 마련을 위해 재빠르게 움직이고 있다. 세계에서 가장 최초로 시도하고 있는 미국의 경우, 2011년 미국 연방통신위원회(FCC)가 화이트 스페이스의 슈

퍼 와이파이 활용을 승인하면서, 2013년에 전국에 무료 인터넷 서비스를 제공하기 위한 슈퍼 와이파이 기반의 공공 와이파이(Public WiFi) 서비스 구축을 본격적으로 추진하기로 결정하였다(한국일보, 2013. 2. 6). 우리나라 역시 이에 대한 중요성을 인식하여 2011년 말, 방송통신위원회는 TV 화이트 스페이스 활용 계획을 확정하면서 2014년 슈퍼 와이파이 서비스의 상용화를 추진하고 있다(디지털데일리, 2011. 11. 26). 이를 위해 현재 상용화와 기술 기준에 대한 많은 논의가 진행되고 있으며, 특히 2012년 대선 후보자들의 핵심적 기술 공약으로 대두되는 등 국민적 관심이 점차 고조되고 있다(한겨레, 2012. 12. 17).

‘정보 고속도로’로 불리는 슈퍼 와이파이는 인구 저밀도/산간 지역의 공공 와이파이로서의 기능뿐 아니라 지자체의 공공 안전, 스마트그리드, 교통 활용, IT 등 유관 산업과 영역에 있어 무한한 잠재력을 가지고 있다. 이러한 확장성과 시장 잠재력을 가진 슈퍼 와이파이를 효과적으로 구축하기 위해서는 이와 관련된 기술 기준 마련, 주파수 분배, 전파환경 DB 구축, 기존 TV 대역 서비스에 대한 보호 기준 마련 등 다양한 측면들이 고려되어야 할 것이다. 이와 더불어 실행적 측면에서 중요한 이슈 중 하나는 슈퍼 와이파이 구축에 필요한 효율적인 공간 계획이라 할 수 있다. 국내외적으로 최근 몇 년 사이 폭발적으로 증가하는 와이파이존(WiFi Zone) 구축 사례에서 볼 수 있듯이, 체계적인 공간 계획에 기반하지 않고 도시의 난개발처럼 무분별하게 난립하여 설치되었을 때의 이용자의 불편과 사회적, 경제적 비용의 감수는 이미 체험적으로 알고 있다(김문구·박종현, 2007; 이건학, 2012a). 따라서 본 연구에서는 세계 무선 시장을 선점할 수 있고, 신산업을 창출할 수 있는 전략적 인프라로서 슈퍼 와이파이에 대한 체계적이고 효율적인 공간 계획을 탐색하고자 한다. 보다 구체적으로는 ‘유비쿼터스 정보통신 환경을 통한 지역 발전 및 활성화’이라는 공공의 목적을 달성하기 위한 최적의 슈퍼 와이파이 입지를 제시하고자 한다. 이를 위해 관련 시설물, 즉, 슈퍼 와이파이 기술이 적용된 AP(Access Point)에 대한 최적화된 공간 배치를 제시할 수 있어야 하며, 여러 시나리오에 기반한 최적 입지 모델을

적용할 것이다. 또한, 이러한 공간 최적화 모델을 바탕으로 특정 사례 지역에 대한 실제적인 공간 솔루션을 제시할 것이다. 특히, 전 국토의 전 국민이 누구나 이용할 수 있는 무료 인터넷 서비스 실현이라는 형평성 차원에서 정보 접근성에서 소외되고 초고속 인터넷 인프라가 취약한 지역들에 초점을 맞춰 적용할 것이다.

2. 선행 연구

와이파이와 관련된 연구는 다양한 측면에서 이루어져 오고 있지만, 대개는 와이파이 기술 자체에 대한 기술공학적인 접근이 많으며, 와이파이 무선 인프라 시설에 대한 공간적 맥락이나 접근성에 대한 공간 분석 연구는 많지 않다(이건학, 2012a). 본 연구에서 초점을 맞추고 있는 공간 분석적 연구로는 해외 사례의 경우, Jones and Liu(2006), LaMarca *et al.*(2004), Byers and Kormann(2003), Kwon and Lee(2009), Grubestic and Murray(2004), Lentz(2003), Kamarkis and Kinkerson(2005) 등이 있으며, 도시나 대학 캠퍼스 지역에서의 와이파이 AP의 공간적 분포나 토지 이용에 따른 밀집도 차이 등에 대한 기술적 접근(descriptive approach)이 공통적이라 할 수 있다. 한편, 외국 연구에 비해 국내 연구는 상대적으로 많지 않으며, 홍일영(2010)은 서울과 수도권의 일부 지역에 대해 이진학(2012a)은 대학 캠퍼스 주변을 대상으로 AP 분포에 대한 공간 분석적 해석을 보여주고 있다.

일반적인 무선 인터넷 시설에 대한 최적 입지와 관련하여서는 무수히 많은 연구가 있지만, 정보통신의 급속한 기술적 진보 특성에 따라 와이파이 시설에 특화된 입지 분석 연구는 최근에서야 찾아볼 수 있다. 특히, 본 연구의 맥락과 밀접히 연관되는 연구들로는 Lee and Murray(2010), Shillington and Tong(2011), Agustin-Blas *et al.*(2011), Landa-Torres *et al.*(2011), Manjarres *et al.*(2012) 등이 있는데, 도시형의 와이파이 기반 무선 네트워크 구축과 관련된 입지 모델과 해결 방법에 대한 논의라는 특징이 있다. 특히,

Lee and Murray(2010)와 Shillington and Tong(2011)의 연구는 와이파이 기반의 도시 무선 메쉬 네트워크(citywide wireless mesh network)에 대한 최적화 모델을 소개하고 있으며, 방법론적으로 최대커버링 모델(Maximal Covering Location Problem: MCLP)을 적용하고 있다. 이러한 도시 무선 메쉬 네트워크는 지역에 무료 인터넷 서비스를 제공하기 위한 공공 와이파이의 한 모델로 간주할 수 있으며, 최근 미국을 비롯한 세계 여러 나라의 지자체에서 채택하고 있는 도시형 무선 네트워크 아키텍처라 할 수 있다(Branscome *et al.*, 2005; Lehr *et al.*, 2006). 한편, 국내에서는 이진학(2012b)이 대학 캠퍼스 내에서의 AP에 대한 최적 입지 솔루션을 보여주고 있으며, 이를 위한 입지 모델로 다수준 셋커버링 모델(Multi Level-Location Set Covering Problem: ML-LSCP)을 적용하고 있다.

도시형 무선 메쉬 네트워크의 특성은 각 와이파이 AP간의 무선 통신을 통해 원거리의 지역에서도 무선 인터넷에 대한 접근이 가능하도록 하는 것으로 와이파이 서비스의 지리적 범위를 기존 와이파이존보다 확장시킬 수 있어 인구 과소 지역에 대한 인터넷 접근성을 높일 수 있는 하나의 대안이 될 수 있다. 하지만 여전히 AP간의 무선 통신 거리는 본 연구에서 다루고자 하는 슈퍼 와이파이에 비해서는 월등히 차이가 나기 때문에, 경제적 측면에서 슈퍼 와이파이는 훨씬 더 효율적인 아키텍처라 할 수 있다. 또한 슈퍼 와이파이 기술 역시 메쉬 네트워크를 결합하여 보다 넓은 지리적 범위로 확장될 수 있는 가능성도 포함하고 있다. 더욱이 TV 화이트 스페이스의 주파수 대역의 특성상 지형 조건이나 인공 장애물 등의 무선 환경에서도 기존의 와이파이 네트워크보다 훨씬 좋은 데이터 통신 품질을 보장할 수 있다. 이러한 맥락에서 본 연구는 최근 대내외적으로 학계 및 정치권, 일반 수요자에게서 많은 관심을 받고 있으며, 신성장 동력 산업으로 각광을 받고 있는 가장 첨단 무선 네트워크를 구축하기 위한 실제적 공간 계획을 다루고 있다는 점에서 기존의 연구와는 차별화될 수 있을 것이다.

3. 기술 동향

현재 보편적으로 가장 많이 사용되고 있는 무선 인터넷 기술은 3G, 4G와 같은 이동 통신망과 근거리 무선 통신기술(Wireless Local Area Network: WLAN)인 와이파이가(Wireless Fidelity: WiFi)라 할 수 있다. 3G와 4G의 경우 뛰어난 모바일 이동성이나 유비쿼터스 서비스 제공이 가능하다는 장점을 가지는 반면, 주파수 면허를 통한 이용 제한, 상대적으로 낮은 데이터 전송 속도, 기존 이동 통신사들의 독점적 사용 등으로 인해 공공 인터넷이나 IT 기반의 무선 통신 서비스 활용에 제한이 있는 단점이 있다. 반면, 와이파이 기반의 무선 통신은 비면허 주파수 대역을 사용하여 공적인 활용성이 높고, 데이터 전송 속도가 높으며, 모바일 앱을 비롯한 다양한 서비스 애플리케이션의 활용가능성이 높은 장점이 있다. 다만 기술적 제약으로 인해 서비스에 대한 접근이 지리적으로 매우 제한되어 있으며, 비면허 대역폭 사용에 따라 주위의 무선 환경에 따라 데이터 통신 품질에 의존적일 수 있다는 단점이 있다.

와이파이의 폭넓은 범용성에도 불구하고, 와이파이에 기반한 무선 인터넷 서비스 영역은 와이파이 기술의 핵심적 특성에 의해 크게 제한받고 있다. 다시 말해, 와이파이 기술은 무선 AP로부터 100m 이내의 근거리 지역에 대한 무선 네트워크 서비스를 위해 디자인되었기 때문에 고속의 무선 인터넷 통신을 가능하게 해주지만 서비스의 지리적 범위가 제한될 수 밖에 없다. 이에 대한 대안으로 최근 ‘슈퍼 와이파이(Super WiFi)’라 불리는 TV의 화이트 스페이스

(white space)에 대한 이용이 크게 관심을 받고 있다. TV 화이트 스페이스는 TV 방송용으로 분배된 대역에서 사용하지 않고 비어 있는 유휴 주파수 대역을 의미한다. 다시 말해, 기존의 아날로그 방송이 디지털 방송으로 전환됨에 따라 기존의 방송용 주파수가 54MHz~806MHz에서 54MHz~698MHz로 대역폭이 줄어들어 따라 일부 주파수들이 유휴 대역으로 남게 된 것이다. 2.4GHz나 5GHz 대역폭의 기존 와이파이에 비해 700MHz의 저주파수 대역을 사용하기 때문에 지리적 범위가 기존 와이파이에 비해 3~4배(맞게는 수 킬로미터), 커버리지는 16배 이상 확장될 수 있을 뿐 아니라 건물 투과율이 탁월해 원격지나 장애물이 많은 지역에 전파를 효과적으로 전달할 수 있는 장점이 있다(최동석, 2011).

한편, 무선 인터넷 통신을 위한 지리적 커버리지의 확장성에 대한 또 다른 기술적 진보는 광대역 무선 통신기술(Wireless Metropolitan Area Network: WMAN)로 미국 인텔사가 개발한 IEEE 802.16 기술 표준인 와이맥스(World Interoperability for Microwave Access: WiMax)가 있다. 기존의 와이파이의 낮은 지리적 커버리지를 보완하여 광역 도시권 무선통신 기술로 개발된 와이맥스는 고정형 와이맥스(fixed WiMax, IEEE 802.16d라 불림)와 모바일 와이맥스(mobile WiMax, IEEE 802.16e라 불림)로 분류될 수 있는데, 모바일 와이맥스의 경우 우리나라에서는 한국전자통신연구원(ETRI)와 삼성전자가 개발하여 2006년에 3G 이동통신의 6번째 기술 표준으로 채택된 와이브로(WiBro)와 같다고 할 수 있다. 와이파이 및 슈퍼 와이파이, 와이맥스, 와이브로 등은 고속의 무선 인터넷 서비스를 제공한다는 공통점이 있지

표 1. Wi-Fi 프로토콜에 따른 대역폭 및 전송 속도

프로토콜	대역폭	전송속도	도달거리
IEEE 802.11b	2.4GHz	최대 11Mbps	~100m
IEEE 802.11g	2.4GHz	최대 54Mbps	~50m
IEEE 802.11a	5GHz	최대 54Mbps	~50m
IEEE 802.11n	2.4GHz 또는 5GHz	최대 600Mbps	~50m
IEEE 802.11af	500MHz 또는 700MHz	15~20Mbps	1.6km~3.2km

출처: Dolezalek, 2011

만 기술적으로는 엄연히 다른 것들이라 할 수 있다. 와이브로(모바일 와이맥스)는 4세대 LTE(Long Term Evolution)¹⁾와 더불어 기지국 간 핸드오프(hand-off)가 가능한 이동통신 기술의 대체재로 인식될 수 있으며, 슈퍼 와이파이와 와이맥스는 상대적으로 저렴한 비용과 넓은 지리적 커버리지로 인해 라스트마일(last mile)²⁾의 광역 접근이나 무선 인터넷의 백본 네트워크로 기능할 수 있다. 정보통신 서비스의 주체(이동통신사, IT 업체)나 각국의 무선통신 정책에 따라 현실의 적용과 상용화에 있어 다양한 선택이 있을 수 있지만, 넓은 지리적 커버리지, 투과율, 전송 속도에서 매우 우수한 방송용 주파수대(700MHz)의 사용³⁾, 비면허 주파수 정책, IT 기반의 신산업 창출의 잠재성을 가지는 슈퍼 와이파이는 타 기술에 비해 상용가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 특히, 최근 우리나라를 비롯하여 많은 선진국들이 인터넷에서 소외된 지역과 계층을 위한 공공 와이파이 서비스의 기반으로 슈퍼 와이파이의 도입을 본격화하고 있다는 점은 향후 무선통신 시장을 선도할 기술로 슈퍼 와이파이의 적용가능성이 매우 높음을 시사하고 있다.

화이트 스페이스를 이용하는 슈퍼 와이파이를 구현하기 위한 기술적 요구 사항으로는 기존의 방송사업자들의 방송 신호를 감지하고 유휴 주파수를 찾아 비면허 장비들이 주파수의 간섭을 받지 않으면서 통신할 수 있는 간섭 회피 방법이 있다. 간섭 회피 방법에는 크게는 스펙트럼 센싱 방법과 데이터베이스 방

식이 있는데, 스펙트럼 센싱 방식은 주변의 주파수 이용 현황을 자동으로 감지하여 이용가능한 주파수 대역을 확인하여 채널을 확보하는 것으로 인지 무선(cognitive radio) 기술이라 할 수 있다. 반면, 데이터베이스 방식은 고정된 기기의 위치 정보(GPS 수신기 내장)를 바탕으로 사용가능한 TV 채널에 대한 정보를 전용 데이터베이스 시스템에서 얻어 가용한 채널 리스트를 확보하는 것이다(최성웅 외, 2011).

또 한가지 기술적 요구 사항은 안테나 높이의 제한이다. 슈퍼 와이파이의 고정형 기기의 송신 안테나는 지상으로부터 30미터 이내에 설치되어야 하며, 평균 지상고도에서 높이가 76미터 이상인 지점에는 송신 안테나를 설치할 수 없는 제약이 있다.

슈퍼 와이파이가 향후 무선 인터넷의 시장 점유와 유비쿼터스의 공공 무선 네트워크 및 혁신 서비스 창출을 위한 가장 현실적 기술로 각광받음에 따라 우리나라를 비롯하여 미국, 영국, 일본 등 세계 여러 선진국들에서 슈퍼 와이파이를 구축하려는 노력이 한창 진행 중이다. 이들 국가들의 주요 동향을 살펴보면 먼저 미국의 경우, 연방통신위원회가 2010년 9월, 국가 브로드밴드 계획(National Broadband Plan: NBP)의 일환으로 '슈퍼 와이파이' 용도로 화이트 스페이스 사용을 허가하는 최종 정책을 발표하고, 2011년 최종 승인함으로써 기업, 정부 기관, 사용자들에게 경제적으로 저비용의 브로드밴드 서비스를 위한 무선 데이터 네트워크로 선정하여 추진하고 있다. 2009년 현

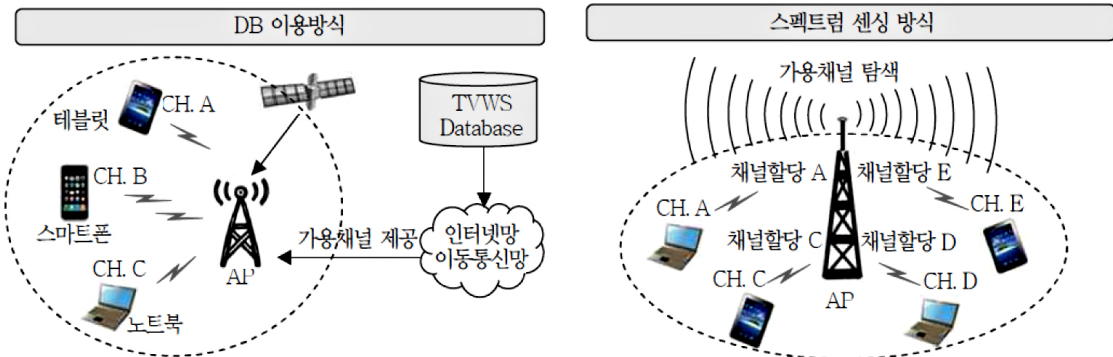


그림 1. 간섭 회피 방식
출처: 최성웅 외, 2011, p.72

재 5개 지역에서 슈퍼 와이파이, 센서 네트워크, 스마트 그리드, 헬스케어 등 다양한 광역 커버리지 모델의 시범 서비스도 수행하였다. 영국 역시 영국 통신청(Ofcom)은 2009년 전파 측정조사 및 유휴 대역 산정을 실시하고 기술 기준 초안을 수립하여 2010년부터 세부 정책을 수립 중에 있다. 간섭 회피 방식으로 스펙트럼 센싱, DB 접속 방식을 모두 허용하되 DB 접속 방식으로 정책을 우선적으로 진행하고 있으며 MS, 삼성전자, BBC, 노키아 등의 컨소시엄을 구성하여 실험을 추진하고 있다(최동석, 2011). 일본은 총무성을 중심으로 일본 각지에 지자체, 공공기관, 민간이 참여하는 '화이트 스페이스 특구'를 통해 시범 서비스를 수행하고 있고, 미국보다 늦게 시작되었지만 슈퍼 와이파이를 통한 브로드밴드 서비스의 광역 실현보다 지역 활성화나 신산업 창출을 위한 활용에 집중하고 있다(정근호, 2011). 국가적 차원의 노력 외 Google이나 MS와 같은 민간 IT 기업은 보다 적극적인 화이트 스페이스에 대한 활용 요구와 투자 의지를 보이고 있어, 기존의 배타적 권리를 행사해오던 이동통신사와 무선 시장 경쟁에 본격적으로 뛰어들기 시작했다. 다시 말해 IT 업체들은 주파수를 개방한 슈퍼 와이파이를 통해 저가의 무선 브로드밴드 서비스 뿐 아니라 이를 활용한 다양한 서비스 및 애플리케이션을 제공할 수 있을 것이라는 기대를 가지고 있다.

4. 연구 방법론

화이트 스페이스를 활용한 슈퍼 와이파이는 공공 무료 인터넷 실현을 위한 현실적 대안이라 할 수 있으며, 이에 따라 본 연구에서는 과학적인 공간 최적화(spatial optimization) 방법론을 적용하여 슈퍼 와이파이의 AP에 대한 현실의 최적화된 공간 배치를 제시하고자 한다.

이를 위해 다양한 형태의 입지 시나리오가 가능하지만, 본 연구에서는 확장된 지리적 커버리지를 가지는 슈퍼 와이파이의 특성을 고려하여 크게 두 가지의 입지 모델을 적용한다. 첫 번째 모델은 Toregas

et al.(1971)에 의해 처음으로 소개된 셋커버링 입지 모델(Location Set Covering Problem: LSCP)이다. LSCP는 특정한 지리적 범위 내에 모든 수요가 커버될 수 있도록 시설물의 수를 최소화하는 것을 목적으로 한다. LSCP는 다수준 셋커버링 문제(Multi-level LSCP)(Toregas, 1970), 백업 커버링 모델(backup covering model)(Hogan and ReVelle, 1986), 기대 커버링 모델(expected covering model)(Daskin, 1983) 등 다양한 확장형 모델들이 존재하며, 전형적인 LSCP를 수식화하면 다음과 같다.

I : 합역된 수요 포인트 셋(i 로 인덱싱)

J : 시설물 입지의 잠재적 후보지 셋(j 로 인덱싱)

d_{ij} : 수요 포인트 i 와 시설물 입지 후보지 j 와의 거리

D_i : 시설물의 지리적 커버리지

$N_i = \{j | d_{ij} \leq D_i\}$: 수요 포인트 i 를 커버하는 모든 시설물의 후보지 셋

결정변수:

x_j : 시설물이 j 에 위치한다면 1, 그렇지 않다면 0

y_i : 수요 포인트 i 가 커버된다면 1, 그렇지 않다면 0

목적함수: 최소화 $Z = \sum_{j \in J} x_j$

제약조건식:

$$1) \sum_{j \in N_i} x_j \geq 1, \forall i \geq 1$$

$$2) x_j = 0, 1, \forall j \geq 1$$

목적함수 Z 는 입지할 시설물의 수(광의적으로는 총 설치 비용)을 최소화시키는 것이 입지 목적임을 명시하고 있다. 제약조건식 1)은 모든 수요 포인트 i 가 적어도 하나의 시설물의 의해서 커버될 수 있도록 하며, 제약조건식 2)는 결정변수가 0과 1의 바이너리의 정수를 가지도록 제약한다.

두 번째 적용할 입지 모델은 Church and ReVelle(1974)에 소개된 최대커버링 입지 모델(Maximal Covering Location Problem: MCLP)이다. MCLP는 주어진 시설물의 개수로 지역 수요를 최대한 커버할 수 있도록 하는데 이는 제한된 예산을 통한 입지 계획이라는 현실성을 반영할 수 있는 모델이라 할 수 있다. 즉, 모든 지역의 수요를 커버하는 시설물은 대상

지역의 지리적 범위에 따라 물리적으로 불가능할 수 있으며, 이 경우 제한된 예산 범위 내에서 서비스 할 수 있는 지역 수요를 최대화시키는 대안적 접근이 될 수 있다. 전형적인 MCLP의 수식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

목적함수: 최소화 $Z = \sum_{i \in I} a_i y_i$

제약조건식:

1) $\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i, \forall i \in I$

2) $\sum_{j \in J} x_j \geq p$

3) $x_j = 0, 1, \forall j \in J$

4) $y_i = 0, 1, \forall i \in I$

목적함수 Z는 시설물에 의해 커버되는 총 수요를 최소화시키는 것이 입지 목적임을 명시한다. 제약조건식 1)은 수요 포인트 i에서 지리적 커버리지 내에 시설물DI 입지했을 때만 수요 포인트 i가 커버되도록 한다. 제약조건식 2)는 설치하고자 하는 시설물의 수(광의적으로는 설치 비용)를 정의한다. 제약조건식 3)과 4)는 결정변수가 0과 1의 바이너리의 정수를 가지도록 제약한다. MCLP 기반의 슈퍼 와이파이 입지 모델링은 LSCP 기반의 입지 모델보다 현실적인 여건을 좀 더 반영할 수 있으며, 특히 슈퍼 와이파이 AP의 개수(고정된 예산과 같은 개념)에 따라 달라지는 무선 네트워크 구성과 지리적 커버리지를 보여줌으로써 계획이나 정책 결정자가 보다 유연한 의사결정 도와 줄 수 있을 것이다.

한편, 화이트 스페이스를 이용하는 슈퍼 와이파이는 일반적으로 두 가지 기술 표준과 관련될 수 있는데, 한 가지는 도시형의 소출력 서비스 모델(IEEE 802.11af WLAN: Wireless Local Area Network)이며, 나머지 하나는 보다 광역의 커버리지(약 33Km)를 가질 수 있는 광역 커버리지 서비스 모델(IEEE 802.22 WRAN: Wireless Regional Area Network)이다. 슈퍼 와이파이라고 일컬어지는 것은 대개 후자를 의미하지만, 화이트 스페이스를 활용한 광역 무선망이라는 맥락에서는 두 가지를 다 고려할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 슈퍼 와이파이의 기술적 특성을 고려하여 입지 모델에 적용할 것이며, 특히 지리적 커버리지

는 구축하고자 하는 기술에 따라 입지 모델의 커버리지 패러미터에 유연하게 적용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 슈퍼 와이파이의 입지적 특성을 만족시키는 슈퍼 와이파이 AP 최적 입지에 대한 선형정수계획법(integer linear programming) 모델을 개발하고, 지리정보시스템(GIS)과 최적화 툴(optimization tool)을 통해 모델을 구현할 것이다. 보다 구체적으로 사례 지역에 공간 데이터 구축 및 입지 공간의 재현을 위해 대표적인 상업적 GIS 소프트웨어인 ESRI ArcGIS 9.3을 이용하고, 입지 문제를 해결하기 위한 최적화 툴로는 선형 및 선형정수 프로그래밍의 정확한 최적해를 도출할 수 있는 IBM CPLEX 12.0을 이용한다. 선형정수계획법을 푸는 CPLEX의 알고리즘은 선형정수문제를 트리 구조로 분해하고 상하한값으로 한정하여 완화된 선형계획법(linear programming relaxation)으로 최적해를 찾아가는 분기한정법(branch and bound)과 평면분할법(cutting planes)을 혼합한 분기분할법(branch and cut)을 사용한다.

5. 사례 연구

1) 사례 지역 및 데이터

슈퍼 와이파이의 도입으로 즉각적으로 혜택을 볼 수 있는 사람들은 시장으로부터 멀리 떨어져 있는 농촌 지역이나 인터넷 시설에 대한 최소요구치를 만족하지 못하는 인구 희박 지역에 거주하기 때문에 기존 인터넷 기술에 의해서 적절하게 서비스를 받지 못하고 있는 사람들이다(Microsoft, 2012). 공공 측면에서 이러한 지역에 슈퍼 와이파이를 보급하여 정보 접근을 향상시킬 수 있고, 이를 통하여 정보 접근에 대한 형평성(equity) 향상을 기대할 수 있다. 물론, 도시와 같은 인터넷 수요가 높은 인구 밀집 지역에 대한 슈퍼 와이파이의 확장성도 고려할 수 있으나, 대체로 도시권은 상업적 이윤을 추구하는 이동통신사의 자발적 시장 참여를 통해 무선통신 인프라 시설이 집중되어 있기 때문에 재집중을 통한 정보 격차의 심화보다 상

대적으로 인터넷 취약 지역에 대한 보편적, 공공적 서비스 실현이 보다 시급하다 할 수 있다. 슈퍼 와이파이 도입의 배경 역시 공공 와이파이, 공공 인터넷 서비스 실현에 우선적으로 초점을 두고 있다. 한편, 국내의 경우 TV 화이트 스페이스 이용에서 가장 중요하게 고려해야 하는 것은 TV 방송이다. 국내의 TV 방송 허가는 방송국 송신파의 커버리지를 확인한 후 적정한 방송구역을 선정하여 시·군·구 행정구역 단위로 이루어지고 있다(최성웅 외, 2011). 이러한 측면들을 종합적으로 고려할 때, 본 연구에서는 인터넷 이용률이 낮은 인구 밀도가 희박한 농촌 지역에 속하는 군을 사례 분석 대상 지역으로 선정하였다. 방송통신위원회·한국인터넷진흥원(2012)의 인터넷 이용실태 조사 결과에 따르면, 전국 시도 중 인터넷 이용률이 가장 낮은 시도는 전라남도로, 2012년 기준으로 전체의 이용률은 68.5%이고, 읍면부의 이용률은 59.1%이다. 이를 바탕으로 전라남도 군 중 인구가 가장 작은 구례군을 사례 지역으로 선정하였다. 2010년 인구총조사 기준 구례군의 총인구 22,419명이고 인구 밀도 51명/km²이다. 인구 밀도는 50명/km²인 곡성군 다음으로 적다.

한편, 본 연구에서 사용할 LSCP과 MCLP를 포함하여 입지모델은 수요와 후보지를 어떻게 재현하느냐에 따라 모델의 분석 결과가 달라진다(Kim and Murray, 2008; Murray *et al.*, 2008). 따라서 슈퍼 와이파이에 대한 수요와 후보지를 현실에 가깝도록 재현할 때 LSCP와 MCLP는 보다 현실적인 결과를 제시할 수 있다. 본 연구에서는 사례 지역에 거주하는 모든 인구를 슈퍼 와이파이에 대한 수요라고 가정하고, 인구 데이터로 2010년 인구총조사 자료를 이용한다. 인구총조사 자료는 읍면과 같은 행정 단위로 집계하여 인구를 제공하는데, 한 단위 지역에 인구가 균등하게 분포한다고 가정할 수 없고 읍면 공간 단위의 크기는 슈퍼 와이파이 시설의 커버리지(1.6km~3.2km)보다 훨씬 크기 때문에 수요의 재현으로 적합하지 않다. 연구 지역의 수요를 보다 현실적으로 재현하기 위하여 대시메트릭 영역 인터플레이션(area interpolation) 기법을 활용하였다(이상일·김감영, 2007). 이 기법은 보조 정보를 이용하여 새로운 공간 단위에 대

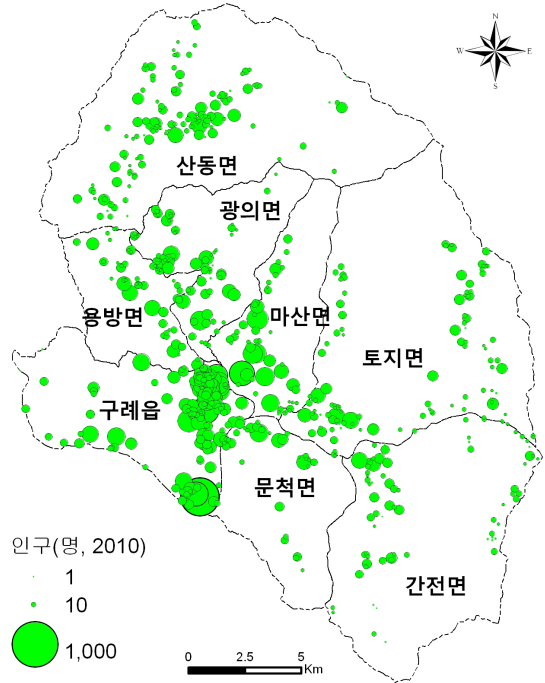


그림 2. 대시메트릭 영역 인터플레이션을 이용하여 재현한 수요의 공간적 분포

한 속성 값을 추정하는 방법이다. 대시메트릭 영역 인터플레이션을 수행하기 위한 보조 정보로 환경부에서 제공하는 1:25,000 중분류토지피복도(2007년 12월 10일 기준)를 활용하였다. 중분류 토지이용 중 주거, 공업, 상업, 위락시설, 공공시설지역에만 인구가 거주하고 그 밖의 토지이용을 보이는 지역에는 거주하지 않는다고 가정하고 바이너리 방법(binary method)를 적용하여, 토지이용 폴리곤별 인구를 추정하였다. 그림 2는 이러한 과정을 통하여 재현된 수요의 공간적 분포를 보여주고 있다. 또한 인구가 거주하는 토지이용 폴리곤의 중심점을 잠재적 슈퍼 와이파이 시설 입지 후보지로 간주하였다.

2) LSCP를 적용한 슈퍼 와이파이 입지 최적화

500MHz 또는 700MHz의 대역폭을 갖는 화이트 스페이스를 이용한 슈퍼 와이파이의 도달거리는 약 1.6km에서 3.2km 정도인 점을 감안하여(Dolezalek,

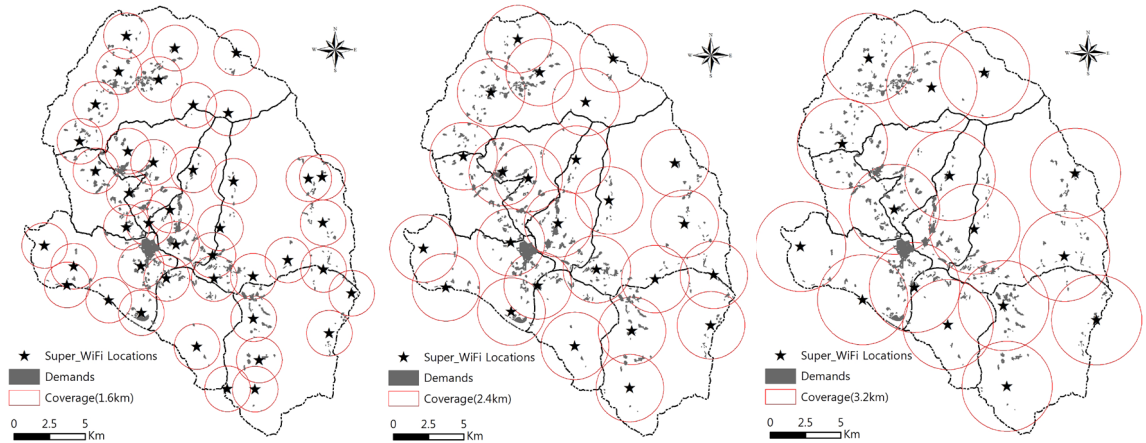


그림 3. LSCP 적용 결과: 시설의 입지와 커버리지

2011), LSCP와 MCLP에서 시설물의 지리적 커버리지의 임계값으로 1.6km, 2.4km, 3.2km를 각각 적용하였다. 개별 시설물 후보지에서 해당 임계값을 갖는 버퍼를 형성한 후 수요의 중심점이 버퍼 내에 있으면, 수요가 서비스 받을 수 있는 것으로 간주하여 집합 N_i 를 계산하였다. 이를 바탕으로 LSCP의 코드를 생성한 후 CPLEX를 이용하여 최적해를 산출하였다. 한편 슈퍼 와이파이의 커버리지 결과와 비교를 위하여 일반 와이파이의 도달거리인 100m를 적용하여 사례 지역을 서비스하는데 필요한 시설물의 개수를 산출하였다.

그림 3은 커버리지 기준으로 LSCP를 적용한 결과를 보여주고 있다. 먼저 슈퍼 와이파이의 도달범위를 1.6km로 상정하였을 때, 사례 지역의 모든 수요를 만족시키기 위해서는 42개의 시설이 필요하다. 2.4km로 좀 더 커버리지를 늘릴 경우 25개, 3.2km로 늘릴 경우 16개만으로 사례 지역의 모든 수요를 충족할 수 있다. 이 결과는 슈퍼 와이파이를 도입할 경우 100m의 도달거리를 가정한 일반 와이파이의 경우보다 적은 수의 시설만으로 효과적으로 무선 인터넷 서비스를 제공할 수 있음을 알 수 있다. 한편, 그림 3에서 슈퍼 와이파이가 반드시 인구 밀집 지역에 위치하는 것은 아님을 알 수 있는데, 이는 다중 시설물의 입지의 경우 조합 특성에 기인한 것이다. 즉, 단일 시설물에

있어서는 인구 수요가 가장 많은 곳이 최적 입지 지점으로 선정되지만, 다중 시설의 입지에 있어 목적 함수(총 인구 수요)를 가장 최대화하는 입지 배열은 대체로 수요가 많은 곳에 시설물들이 선정되지만, 수요 분포의 특성에 따라 각 단일 시설물의 커버리지가 반드시 최대화되지 않을 수 있다.

3) MCLP를 적용한 슈퍼 와이파이 입지 최적화

모든 수요를 충족시키는 것이 예산의 부족 등으로 현실적이지 않을 수 있고, 나머지 10%의 수요를 충족시키는데 일반적으로 비용이 많이 들기 때문에, 이를 서비스하기 위하여 상당히 많은 수의 시설물이 필요하다. 따라서 슈퍼 와이파이의 도입에 있어 보다 현실적 조건에서는 입지시킬 시설물의 개수를 제한하는 MCLP 모델이 보다 효율적일 수 있다. LCSP가 시설물의 개수를 설정하지 않고, 모든 수요를 충족시키는 최소한의 시설물의 개수를 해로 산출하기 때문에 시설물의 커버리지를 설정하는 것 이외에 다른 어떠한 파라미터의 설정을 요구하지 않는 반면, MCLP는 입지시킬 시설물의 개수를 사전에 지정해 주어야 한다. 시설물의 가격과 예산 상황 등에 대한 정보가 없는 상태에서 적절한 시설물의 개수를 결정하는 방법 중 하나는 각 커버리지에 대하여 시설물의 개수를 1개에

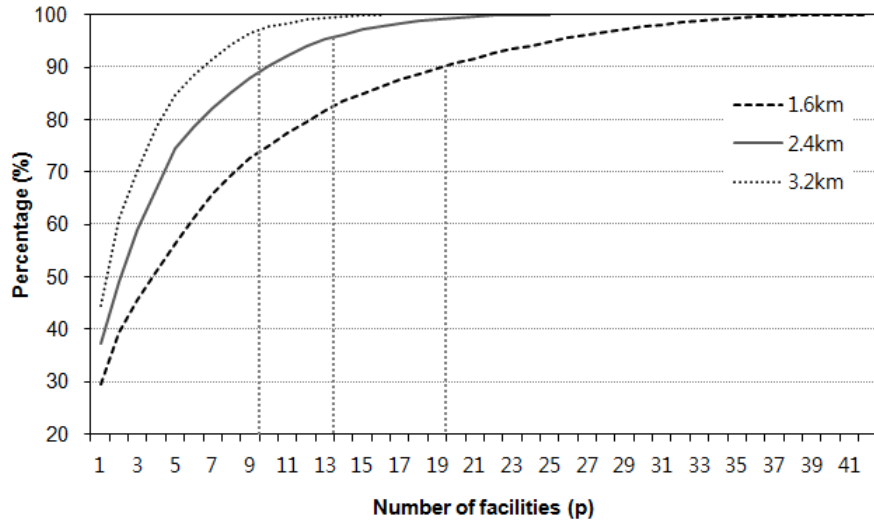


그림 4. 슈퍼 와이파이 시설 개수와 커버리지 관계

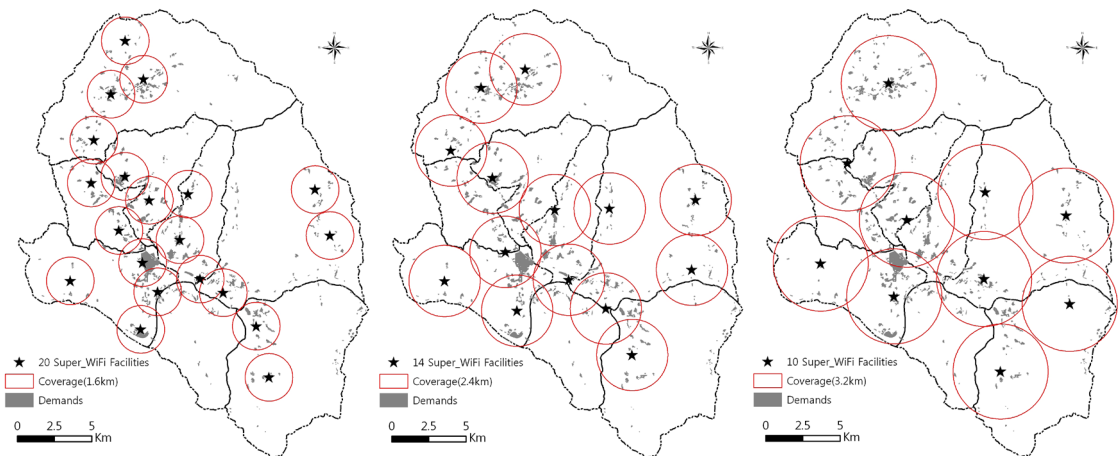


그림 5. MCLP 적용 결과: 시설의 입지와 커버리지

서부터 최대 LSCP의 해까지 증가시키면서 MCLP를 풀어 커버되는 인구의 비율관계를 파악하는 것이다. 시설물의 개수가 증가하면 한계 커버리지(marginal coverage), 즉 새로운 시설물의 추가에 의해서 추가적으로 늘어나는 커버리지는 줄어들기 때문에(Daskin, 1995), 한계 커버리지의 변화 관계를 통하여 적절한 수의 시설물의 개수를 결정할 수 있다.

그림 4는 각 슈퍼 와이파이의 도달거리에 대하여 시설물의 개수와 커버되는 인구 비율 관계를 보여주

고 있다. 그림에서 보는 것처럼, 커버리지 곡선의 기울기가 점차 완만해지는 것을 통하여 한계 커버리지가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 적절한 시설물의 개수를 결정하는 기준으로 한계 커버리지가 1% 미만인 시점을 상정하였다. 슈퍼 와이파이의 도달거리가 3.2km라고 했을 때, 11개부터 한계 커버리지가 1%보다 작아, 적절 시설물의 개수는 10으로 결정하였다. 10개의 시설만으로 전체 수요의 97.77%를 커버할 수 있었다. 다시 말해서 새롭게 추가된 나머지 6개

시설이 단지 2.23%밖에 커버하지 못한다는 것을 의미한다. 이는 경제적인 측면에서 보면 매우 비효율적이다. 슈퍼 와이파이의 도달 범위를 2.4km로 가정했을 경우, 15개부터 한계 커버리지가 1%보다 작아 14개 시설이 적절하다. 이 경우, 14개의 시설만으로 전체 수요의 96.32% 커버할 수 있었다. 마지막으로 슈퍼 와이파이의 도달범위가 1.6km인 경우, 20개의 시설로 전체 수요의 90.78%를 커버할 수 있었다. 즉, LSCP에서 제시된 시설물의 개수보다 절반 이상 적은 수만으로도 대부분의 수요를 충족시킬 수 있었다. 그림 5는 각각 슈퍼 와이파이의 도달범위가 1.6km, 2.4km, 3.2km인 경우 시설물의 개수를 20, 14, 10로 설정하여 MCLP를 풀어 얻은 시설물의 공간적 분포 및 서비스 영역을 보여주고 있다. 그림에서 보는 것처럼, 대부분의 수요 밀집이 서비스 영역 안에 놓인 것을 알 수 있다.

6. 결론

차세대 정보 고속도로라 지칭될 수 있는 슈퍼 와이파이는 우리나라의 무선 인터넷 인프라의 핵심적 역할을 할 것으로 기대되며, 적어도 기존의 유선 및 와이파이 기반의 무선 인터넷 네트워크에 대한 효과적인 보완재로 대내외적으로 관심이 급증하고 있다는 것은 부인할 수 없다. 특히, 교통 및 정보통신 인프라에 대한 공공재로서의 수요가 높은 우리나라의 경우, 슈퍼 와이파이가 갖는 다양한 잠재력 중 인구 저밀도 지역에 대한 공공 인터넷 서비스, 공공 치안, 응급 시스템, 스마트 그리드 등 공공 와이파이의 기능이 더욱 기대되는 바이다. 따라서 본 연구는 슈퍼 와이파이의 도입의 시급성과 필요성에 대한 인식을 바탕으로 슈퍼 와이파이의 보다 효율적인 입지 계획을 위한 공간 솔루션을 제시하고 있다.

본 연구에서 적용된 입지 계획은 사례 지역에 대한 수요를 모두 커버할 수 있는 최적 슈퍼 와이파이 시설물 입지(LSCP)와 구축에 드는 비용과 같은 보다 현실적인 조건을 고려하여 주어진 예산에서 최대의 서비

스가 제공될 수 있는 시설물 입지(MCLP)이다. 인구가 희박하고 인터넷 이용률이 저조한 전라남도 구례군을 대상으로 입지 모델링을 수행하였으며, 무선 신호의 세기에 따른 상이한 커버리지의 조건을 감안한 결과, 커버리지가 클수록 적은 수의 AP 시설이 필요하며, LSCP의 경우 16개(3.2km 커버리지)에서 최대 42개(1.6km)로 구례 지역에 대해 슈퍼 와이파이의 광대역 서비스를 제공할 수 있음을 확인하였다. 한편, MCLP의 결과는 보다 현실적인 솔루션을 보여주고 있는데 1.6km 커버리지를 가정할 경우 LSCP의 결과보다 절반이 적은 20개의 AP 설치로 전체의 약 90%를 커버할 수 있음을 보여주고 있다. 이는 공공 시설이 전 지역민에 대해 서비스하기를 원하는 형평성 차원에서는 한계 비용이 높더라도 2배에 가까운 시설물의 확충이 필요하지만, 적은 비용으로 많은 수요를 포괄할 수 있는 효율성이 강조될 수 있는 계획이나 의사결정에서는 MCLP의 결과에 대한 활용성이 보다 더 높다는 것을 시사하고 있다.

본 연구에서 제시되고 있는 입지 솔루션들은 송신 안테나의 고도 제한이나 방송허가구역에 대한 배제, 채널 배분, 지형 고도, 자연적 장애물 등과 같은 슈퍼 와이파이 AP 설치에 있어서 기술적, 환경적 특성을 직접적으로 고려하지 않은 한계를 가지고 있지만, 슈퍼 와이파이의 공간적 배치에 대한 거시적 프레임워크와 입지 계획에 있어 방법론적 적용가능성을 보여주고 있다는 점에서 그 의의가 크다고 할 수 있다. 또한 사례 분석에서 드러나는 것처럼 구체적인 최적 입지 사이트들과 입지 계획에 따른 적절한 시설물의 수, 그리고 도입할 시설물의 수에 따른 한계 커버리지 등의 다양한 분석 결과는 향후 슈퍼 와이파이의 도입에 관련된 의사결정자에게 매우 유용하고 유연한 실증적 참고 자료로 활용될 수 있을 것이다. 향후 보다 정교하고 현실적인 슈퍼 와이파이의 입지 모델링을 위해서는 송신 안테나 설치의 고도 제한, 자연적 요건 등 보다 현실적 제약 조건들을 포함하는 수리적 입지 모델의 개발과 적용이 필요할 것이며, 인터넷 접근이 낮은 인구 저밀 지역뿐 아니라 기존 와이파이가 밀집되어 있는 도시에 대한 보완적 무선통신 네트워크 계획, 나아가 국토 전체에 대한 공공 무선통신 인프라

구축을 위한 연구들도 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

주

- 1) 노키아와 소니에릭슨이 주도하고 있는 것으로 WCDMA (광대역코드분할다중접속)의 진화라 할 수 있으며, 다운로드(100Mbps), 업로드(50Mbps)의 전송 속도를 가진다. 엄밀하게는 국제전기통신연합(International Telecommunication Union: ITU)의 4세대 이동통신 규격에서 정의하는 저속 이동시 1Gbps, 고속 이동시 100Mbps에 이르지 못하기 때문에 흔히 3.9G라 일컬어지며, 좀 더 진화된 기술인 LTE Advanced가 4G의 이동통신 표준으로 선정되었다.
- 2) 정보통신 인프라와 최종 사용자 환경(예, 가정의 인터넷 수신 장비) 사이의 마지막 접점이 되는 1마일을 의미함.
- 3) 와이맥스는 미국은 2.5GHz, 아시아에서는 2.3GHz를 승인받아 사용하고 있다.

참고문헌

김문구·박종현, 2007, “국내 공중 무선랜의 비확산 요인 분석,” ETRI.

디지털데일리, 2011, 제주서 TV유휴대역 활용한 와이파이 이 서비스(11월 16일).

방송통신위원회, 2011, 2.4GHz 와이파이 혼신 최소화를 위한 가이드라인(1월 18일).

방송통신위원회·한국인터넷진흥원, 2012, 2012년 인터넷 이용실태 조사.

석용호, 2012, “표준 기술동향-TV 화이트 스페이스에서 Wi-Fi 표준화 동향,” 한국정보통신기술협회, 140, 90-94.

이건학, 2012a, “대학 캠퍼스 주변의 와이파이 지리,” 한국도시지리학회지, 15(2), 51-66.

이건학, 2012b, “와이파이 기반 U-캠퍼스 구축을 위한 커버리지 분석과 최적 입지 모델링,” 한국지도학회지, 12(2), 47-58.

이상일·김감영, 2007, “GIS-기반 대시메트릭 매핑(dasy-metric mapping) 기법을 이용한 서울시 인구밀도 분포의 재현,” 한국지도학회지, 7(2), 53-67.

정근호, 2010, 슈퍼 WiFi 실현가능성으로 주목 받는 White Space 최근 현황과 향후 전망, KT경제경영연구소.

최동석, 2011, TV 유휴대역을 활용한 슈퍼와이파이 추진 동향, KT 경제경영연구소.

최성웅·조상인·강규민·홍현진·정병장·박승근, 2011, “TV 화이트 스페이스 이용 기술기준 동향,” 전자통신동향분석, 26(4), 68-78.

한겨레, 2012, 전국 어디서나 쓸 수 있는 와이파이 아날로그 TV 주파수 전환해 실현(12월 1일).

한국일보, 2013, 미국, 무선인터넷 무료화 추진(2월 6일).

홍일영, 2010, “WiFi의 공간분포와 이용특성,” 한국지도학회지, 10(1), 55-64.

Agustin-Blas, L. E., Salcedo-Sanz, S., Vidales, P., Urueta, G., and Portilla-Figueras, J. A., 2011, Near optimal citywide WiFi network deployment using a hybrid grouping genetic algorithm, *Expert Systems with Applications*, 38(8), 9543-9556.

Branscome, J., Van Wazer, L., Murray, P., Boone, E., Corea, P., Fallon, C., et al., 2005, *Connected and on the go: Broadband goes wireless*. Wireless broadband access task force, Federal Communications Commission, 1-113.

Byers, S. and Kormann, D., 2003, 802.11b access point mapping, *Communications of the ACM*, 46(5), 41-46.

Church, R. L. and ReVelle, C., 1974, The maximal covering location problem, *Papers of the Regional Science Association*, 32(1), 101-118.

Daskin, M., 1983, A maximum expected covering location model: Formulation, properties, and heuristic solution, *Transportation Science*, 17, 48-70.

Daskin, M., 1995, *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*, Wiley-Interscience.

Dolezalek, H., 2011, *The outlook for super Wi-Fi*, www.processor.com.

Grubestic, T. H., and Murray, A. T., 2004, “Where” matters: location and Wi-Fi access, *Journal of Urban Technology*, 11(1), 1-8.

Hogan, K. and ReVelle, C., 1986, Concepts and applications of backup coverage, *Management Science*, 32, 1434-1444.

- Jones, K. and Liu, L., 2007. What Where Wi: An analysis of millions of Wi-Fi Access points, in *Proceedings of 2007 IEEE Portable: International Conference on Portable Information Devices*.
- Kamarkis, T. and Nickerson, J.V., 2005, Connectivity maps, measurements and applications, in *Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Science*, Hawaii, USA.
- Kim, K. and Murray, A.T., **Enhancing spatial representation** in primary and secondary coverage location modeling, *Journal of Regional Science*, 48(4), 745-768.
- Kwon, Y. and Lee, H-K, 2009, Wifi hotspots in 100 U.S. cities and policy implications, 정보통신학회 2009년 정기학술대회 논문집.
- LaMarca, A., Hightower, J., Smith, I., and Consolvo, S., 2005, Self-mapping in 802.11 location systems, in *Proceedings of the Seventh International Conference on Ubiquitous Computing UBICOMP*, 87-104.
- Landa-Torres, I., Gil-Lopez, S., Del Ser, J., Salcedo-Sanz, S., Manjarres, D., and Portilla-Figueras, J. A., 2011, A grouping harmony search approach for the citywide WiFi deployment problem, in *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, Cordoba.
- Lee, G. and Murray, A. T., 2010, Maximal covering with network survivability requirements in wireless mesh networks, *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(1), 49-57.
- Lehr, W., Sirbu, M., and Gillett, S., 2006, Wireless is changing the policy calculus for municipal broadband, *Government Information Quarterly*, 23, 435-453.
- Lentz, G., 2003, 802.11b *Wireless Network Visualization and Radiowave Propagation Modeling*, Dartmouth College, Hanover.
- Manjarres, D., Landa-Torres, I., Gil-Lopez, S., Del Ser, J., and Salcedo-Sanz, S., 2012, A heuristically-driven multi-criteria tool for the design of efficient open WiFi access networks, in *Proceedings of the 17th Annual International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks*, Barcelona.
- Microsoft, 2012, *Super Wi-Fi technologies*, UN Millennium Goals.
- Murray, A. T., O'Kelly, M. E., and Church, R. L., 2008, Regional Service Coverage Modeling, *Computers and Operations Research*, 35, 339-355.
- Shillington, L. and Tong, D., 2013, Maximizing wireless mesh network coverage, *International Regional Science Review*, 34(4), 419-437.
- Toregas, C., 1970, *A covering formulation for the location of public service facilities*, M.S. Thesis.
- Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., and Bergman, L., 1971, The location of emergency service facilities, *Operations Research*, 19(6), 1363-1373.
- 교신: 김감영, 702-701, 대구광역시 북구 산격3동 1370, 경북대학교 사범대학 지리교육과(이메일: kamyoungkim@knu.ac.kr, 전화: 053-950-5861, 팩스: 053-950-6808)
- Correspondence: **Kamyoung Kim, Department of Geography Education**, Kyungpook National University, 1370 Sangyeok 3-dong, Buk-gu, Daegu, 702-701, Korea (e-mail: kamyoungkim@knu.ac.kr, phone: 82-53-950-5861, fax: 82-53-950-6808)
- 최초투고일 2013. 3. 14
수정일 2013. 4. 11
최종접수일 2013. 4. 17