

위험물 수송차량관제를 위한 GIS기반의 USN 전파경로손실 연구

김진택

경북대학교 지역정보학과 박사과정

Research of USN Radio Wave Propagation Loss to command Hazardous material vehicle based on GIS

Kim Jin-Taek

Department of Interdisciplinary Program in Geographic Information,
Kyungpook National University

1. 서론

2005년도 소방방재청 통계¹⁾에 따르면 총 71건의 위험물 사고가 발생하였으며 이 중 70건(99%)이 제4류 위험물(인화성액체)에 의해 발생한 것으로 나타났다. 전체사고 가운데 이동탱크나 운반하는 과정에서의 사고가 다수를 차지하였고, 특히 무허가 시설과 법적인 시설설치 기준을 지키지 않은 곳에서 사고가 다발하였다. 구체적인 사고사례로서 지난 대구달성터널에서 발생한 군부대 폭발물 수송차량의 폭발사고로 상당한 재산피해가 발생했다. 이 사고가 만약 도심내에서 발생하였다면 인명피해 등 막대한 손실뿐만 아니라 사회적으로 큰 문제를 야기할 수 있을 만큼의 큰 사고였다. 한편, 인구나 건물 밀집지역에서의 유조차, 유해화학차등의 위험물 수송차량에 대한 통행은 법적으로 금지되어 있는 상황이나 이에 대한 실질적인 감시나 확인은 불가능하여 안전하게 통제할 수가 없는 형편이다. 더욱이 이러한 재난에 취약한 사회현상을 재난관리 측면에서 근본적으로 해결하기는 어려운 상태로서 “언제, 어디서” 발생될지 모르는 환경에 대비하기 위하여 사전 예방이나 대응대비책을 마련하는 것이 최선의 방안으로 제시되고 있다.

최근 유비쿼터스 컴퓨팅은 무선환경상의 감지체계구현이라는 측면에서 재난예방에 접목될 수 있는 것으로 평가받고 있다. 특히 재래시장등과 같이 재난에 취약한 지역에서의 재난감시나 작전통제등에 효율성이 있는 것으로 연구¹⁾되고 있으며, 그 기반이 되는 중소규모 USN(Ubiquitous Sensor Network)이 U-City의 도시 안전서비스 분야에서 시범형태로의 구축이 추진되고 있다.

그러나 도시 기반 서비스로서의 센서 네트워크를 구축에는 무선전파통신의 특성으로 인하여 소요 비용상의 문제와 효율성의 측면에서 고려가 필요하다. 몇몇 RF통신 프로

-
- 1) * USN 망이 구축된 경계 지역 내에서는 RF 모듈을 통하여 데이터 송수신을 가능하게 함으로써 기존의 CDMA망을 이용한 차량위치 추적에서 발생하던 회선비용 및 특정 위험상존지역 내에서의 관리 방안을 해결
* 재난 및 사고의 파급효과가 큰 위험물에 대해서는 방재시스템과 연계되어 위험물 적재물의 종류 및 양 등을 관리하고 실시간 추적하기 위한 원격 감시기능 필요

토콜로서 USN의 효율성을 높이고자 시도하는 연구들이 진행되었으나 전파의 제약사항인 지형, 건물, 거리 등의 공간요인을 배제한 상태이며 단순 평면상에서의 시뮬레이션 수준에 머무르고 있는 실정이다. 이로 인하여 USN 구성시 육감과 시행착오를 거듭하며 부분별적으로 중계기를 설치하여 USN을 구축하고 있고, 이는 망 유지비용을 증가시키는 요인으로 작용하고 있으며, 더욱이 설치지역의 미관 손상과 자연환경이 훼손되는 결과를 초래하고 있다. 이는 비용대비 망 효율성의 낭비적 요인뿐만 아니라 향후 지형지물의 환경변화시에 극심한 통신장애를 일으킬 잠재요인이 되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 RF전파이론과 지리적입지방 법론을 통하여 재난 취약지역의 USN 네트워크 구축시 센서위치의 결정 및 커버리지를 최대화 할 수 있는 전파경로손실 예측 방법론을 제시하고자 한다.

연구범위는 USN 망의 구성에 있어서는 수송차량의 상태²⁾를 감지하여 송신하는 수송차량용 센서노드, 센서노드의 자료를 게이트노드로 중계하는 중계노드와 그의 자료를 관제센터로 전송하는 싱크노드(게이트웨이), 차량의 출입을 감지하기 위한 RF Tag 및 RF Reader로 한정하였다. 또한 USN 망의 RF 전파대역은 3가지가 있지만 국내에서 대부분 이용되고 있고 세계적으로 표준으로 통용되는 2.4GHz로 정하였다. 그리고 연구의 용이성과 완성도를 높이기 위하여 대상 연구지역은 경북대학교로 선정하였다. USN 망 설계를 위한 연구의 방법은 일반적인 격자망을 구성하여 센서노드와 중계노드를 일률적으로 배치하는 기존 방식과는 달리 RF 전파이론과 USN 입지특성모델을 기초로 하여 GIS 공간분석으로 최적의 USN을 설계하고자 한다. 연구 수행에는 지형도 등 각종 수치지도, ArcGIS9.1 소프트웨어, 전산장비 등이 이용된다.

2. USN(Ubiquitous Sensor Network) 일반

2.1 USN 전파환경의 전파 특성

2.1.1 이동통신 무선망 : 셀(Cell)

통상 “Cell”이란 기지국에서 전파를 발사하여 통화가 가능한 영역을 말하며, 일반적으로 서비스를 제공하는 기지국에 대한 모든 위치에서 측정된 결과를 도면으로 표시하여 망 시설의 신설, 추가 등을 위하여 활용된다. 기지국을 중심으로 셀의 반경이 같다고 가정하였을 때 셀은 정삼각형, 정사각형, 정육각형, 다각형 등으로 표현할 수 있으며, 기지국과 기지국사이에 서로 겹치거나 또는 겹치는 공간 없이 평면을 커버할 수 있다. 이동통신 시스템에서는 한 개 이상의 Cell Site를 가져야 되고, 그 셀들간이 셀을 주고 받을 수 있는 능력을 가져야만 된다. 셀의 모형 중에서 정육각형이 시스템을 설계하는데 개념적으로 가장 적합하며 인접 기지국간의 채널간섭 및 셀 확장시 주파수 간섭의 최소화 등의 이점이 있어 셀의 표준으로 사용되고 있다²⁾.

2.1.2 전파경로손실과 수신감도

전파경로손실은 전파가 송신안테나에서 방사되어 수신안테나에 도달할 때까지 전파되는 동안의 감쇄량이다. 전파의 특성상 직진경로뿐만 아니라 반사나 회절에 의하여 전파되므로 자유공간상의 전파경로와 건물, 언덕 같은 차폐물이 있는 전파경로는 경로손실 값이 크게 다르게 나타날 수 있고³⁾⁴⁾⁵⁾, 전파경로손실계산은 예측 및 분석하고자 하는 주파수대역과 전파서비스 반경에 따라 달리 적용된다. 이러한 것으로 Mega 셀, Macro 셀, Micro 셀, Pico 셀로 구분³⁾하여 연구되고 있다. 본 연구와 관련 있는 마이

2) 차량상태(정상, 충돌, 전복, 응급, 누출), 기상상태, 위험물 종류 및 수량 등

3) Mega 셀은 서비스 반경이 100~500Km이고, Macro 셀은 서비스 반경이 35Km 이내로서 가입자 분포밀도가 적은 경우이며, Micro 셀은 서비스 반경이 1Km 이내로 대도시 같은 가입자 분포밀도가 높은 경우에 적용되고, 단말기의 이동속도는 최대 차량속도로 제한된다. Pico 셀은 반경이 50m 이내로 실내에서 서비스되는 경우이다.

크로 셀은 전송 영역이 좁기 때문에 가시거리 통신이 주로 이루어 지며 송신 안테나가 높고 서비스하는 영역이 넓어 회절파나 반사파에 의해 통신이 많이 이루어지는 매크로 셀과는 차이가 있다. 마이크로 셀에서의 전파 전파는 가시적인 직접파와 회절파 및 반사파에 의해 통신이 되고 있고 모든 방향으로 유사한 크기의 경로손실을 가지므로 Coverage area가 대체로 원형이다.

전파의 전파도달영역을 표현하기 위해서는 기본적으로 주파수, 송신기 송신전력, 송·수신안테나 이득이 필요하다. 전파의 전달경로에서 가장 이상적인 것은 자유공간상의 장애물이 없는 가시선상의 경로이다. 일반적으로 이상적인 전파의 수신전력 공식은 다음과 같다.

$$\cdot \text{수신전력} : Pr = PtG1G2\left(\frac{c}{4\pi fd}\right)^2$$

· G1 - 송신안테나 이득, G2 - 수신안테나 이득, f - 주파수, d - 송수신사이의 거리, c - 광속(3×10^8), Pt - 송신측 출력(전력)

예를 들면 송신출력(Pt : 10mWatt)을 수신감도⁴⁾로 표현하면 Pr = 10dBm이다. 그러나 전파의 경로손실을 거치면 수신감도는 급격하게 떨어지며, USN에서의 RF 대역의 최소 수신감도는 -94dBm 이상이나 권장되는 최소 수신감도는 -85dBm이상적이다⁶⁾.

2.1.3 RF 전파 예측모델

무선전파는 지형의 다양한 형태와 복잡한 환경에 의해 많은 간섭을 받게 되므로 특정장소의 이론적 수신전계강도와 실측 수신전계강도 사이에는 상당한 차이가 있기 때문에, 이 오차를 최소로 하기 위해서는 현장실측결과를 근간으로 한 실험적 전파 예측 모델을 만들어 무선통신 시스템에 활용해야 할 필요가 있다. USN은 기존 RF 통신망과는 달리 소출력이며, 국제적인 ISM(Industrial, Scientific, Medical)대역인 2.4GHz를 사용하며 국지적으로 센싱화된 데이터통신을 목적으로 한다는데 큰 차이가 있다. 이러한 USN 만의 특성은 전파예측모델을 적용하는 측면에서도 차이를 뒤야 할 것이다. 즉 2.4GHz RF 대역은 가시적인 환경이 가장 좋은 환경이므로 자유공간 모델을 가시권에 서의 적용모델로 활용하고, 비 가시지역에서의 예측에는 2.4GHz 대역의 성능이 우수할 뿐만 아니라 지형지물의 특성을 수식에 잘 적용된 경험적 모델인 Cost-231 모델을 활용한다.

2.2 USN

유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network: USN)란 “필요한 모든 사물 또는 장소에 전자 Tag(RFID)를 부착하고 이를 통하여 사물의 인식정보는 물론 주변의 환경정보까지 탐지(sensing)하여 이를 실시간으로 네트워크에 연결하여 정보를 관리하는 것”을 의미한다⁷⁾. USN은 정보통신부 IT839 정책의 3대 인프라 가운데 하나로서 그 중요성이 날로 증가되고 있고 U-City의 기반시설로써 응용가능성이 큰 것으로 연구되고 있다. 이러한 USN의 요소기술로는 크게 사물과 환경인지에 사용되는 센서노드기술과 데이터전달을 위한 네트워킹기술, 전달 받은 데이터를 정보로 가공하여 서비스하기 위한 응용기술 등으로 크게 구분되어진다. 이 가운데 USN의 기반이 되는 센서노드기술은 RF Tag등 RF모듈, 센서, 센서노드운영체제로 구성되어지며, 네트워킹 기술은 센서노드간의 중계뿐만 아니라 BcN 등의 기간통신망과 연결을 위한 기술이며, 응용기술은 분야에 따라 다양하지만 ONS(Object Naming Services)⁵⁾등을 포함한 미들웨어기술이 있다.

일반적으로 USN은 자신의 주변정보를 감지하고 전달하는 센서노드와 여러 센서로부

4) $10\log Pt = 10\log 10mW = 10dBm$, * dBm : 1[mW]단위의 전력을 dB스케일로 나타낸 절대값

5) 사물의 정보파일이 어디에 있는지 연결시키는 기능으로, 현재 인터넷상의 DNS에 해당

터 정보를 전달받아 전송하는 중계노드와 인터넷이나 기간망과의 접속을 위한 최종노드인 싱크(Sink)로 구성된다[Figure-1].

USN 망의 RF 특성에 대해 IEEE 802.15.4는 Low-Rate WPAN에서 저전력, 저비용으로 낮은 전송율과 전송 거리가 비교적 짧은 무선 개인영역 네트워크 기기에 적합하도록 기술규격을 제시하였다. 따라서 USN은 타 네트워크와 비교할 때 하드웨어적인 제약조건들이 크다고 할 수 있다. 즉 지역적으로 노드들이 밀집된 환경, 제한된 에너지, 작은 대역폭, 낮은 전송 속도, 노드 유실의 빈번함 등이다.

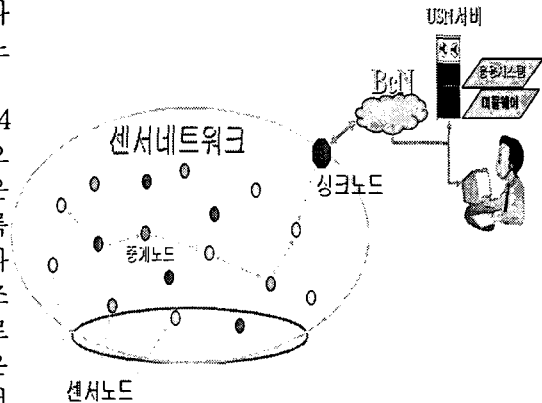


Figure 1. The Configuration of USN

일반적인 이동통신시스템의 무선망설계는

무선망 투자부문이 전체시스템 투자비용의 60%이상을 차지하고 있기 때문에 경제성이며 신뢰성 있는 기지국 및 중계기등 치국방식을 어떻게 구성 및 설정하느냐에 따라서 무선통신품질에 많은 영향을 미친다[2]. 그러나 무선통신에 있어서 전파 전파의 특성이 동적이고 불확실하기 때문에 적합하게 설계된 중계망 영역은 있을 수 없다. 즉 센서노드나 중계노드의 위치나 방향에 따라 작은 변화요인이 신호의 세기와 중계노드간 링크의 통신 품질에 있어 극심한 차이를 일으킬 수 있기 때문이다8).

따라서 USN 망의 설계에 있어서 완전한 망이 아닌 효율적인 무선망으로의 설계방법론이 제시될 필요가 있다. 또한 무선 망의 설계시에 가장 우선적으로 고려하여야 할 부분은 전파 감쇄 특성이다. 100%커버리지를 만족하기 위한 소요 기지국 수와 최적 위치를 파악하기 위해서는 반드시 정확하게 전파 감쇄 특성을 파악해야만 하기 때문이다9). 통상 USN 망의 설계에 있어서 지형지물의 요소를 반영하기 보다는 사용하는 RF단말의 전파 세기에 따라 도달범위를 계산하고 격자망의 형태를 구성하여 공백영역이 생기지 않도록 중계노드를 획일적으로 배치하고 있는 실정이며, 이런 방법론에 따르면 연구지역에 대한 중계노드는 약 27개가 소요되는 것으로 계산되어진다.

중계노드의 위치선정은 USN 서비스 지역에 대한 응용되는 용도에 대한 분석과 예측이 수반되어 수행되어야 한다. 또한 공간을 매질로 하는 RF 전파의 특성이 반영될 수 있도록 지형 및 지물의 영향권도 같이 고려되어야 한다. 이와 같은 제반 조건들을 충족하여 USN 망을 설계하여야 하며, 중계노드의 위치선정의 정확성을 높이고 동시에 통신 음영지역의 최소화할 수 있도록 RF 이론의 셀(Cell)기법을 도입하여 효율적으로 구성하여야 한다. 그러나 앞 절에서 논의한 바 있던 USN 망 설계에 필요한 지형분류나 중계노드의 입지 선정에 대한 기준이 명확히 연구된 것이 없는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 USN의 전파특성 및 응용목적을 감안하여 [Table-1]과 같이 입지조건을 제시한다.

Table 1. The specific character of allocation for route-node on USN

USN 전파특성 및 응용목적	입지특성	비 고
① 2.4Ghz 대역으로서 가시환경에 성능 최대	가시성	
② 인근 중계노드와의 전송 품질	전송 효율성	간섭 및 음영 최소화
③ 저전력 기반 및 비상배터리 소비의 최소화	전력공급 안정성	
④ 센서네트워크 구성의 용이	인공구조물	건물옥상, 가로등
⑤ 저비용 고효율의 구성	중심 위치	
⑥ 위험물 수송차량관리	도로망	연구 응용 특성

3. GIS기반의 USN 망 설계

연구지역내의 USN 망 설계를 위한 전파의 전파범위 예측 등을 위하여 지형고도, 건물, 가로등, 도로 등을 수집하고 용도에 맞게 분류 및 가공하고, 아울러 USN의 RF특성을 탐색하고 망 설계를 수행하였다.

3.1 USN 망 설계를 위한 특성 모델

중계노드의 통신반경은 RF 출력의 세기에 따라 크기가 정하여진다. 중계노드의 RF 단말의 출력은 10mW이며, 수송차량에 탑재될 센서노드의 RF단말의 출력은 1mW이다. 그리고 주파수는 각 2.4Ghz이고 안테나의 이득은 3dB이다. 본 연구에서 중계망을 설계하기 위한 기본적인 통신반경의 계산은 자유공간모델에 의해 산출되었으며, 권장되는 최소 수신감도(-85dBm)를 충족하고자 한 결과 기본중계망에 있어서의 중계기간 통신반경은 400m이며, 중계기의 수신 반경은 200m가 타당한 것으로 나타났다. 한편 연구지역에서 비가시지역의 예측분석시 적용되는 빌딩평균높이는 8.5m, 빌딩중심거리는 40m, 도로의 평균폭은 10m이며, 안테나의 높이는 중계노드는 지형고도에서 1m 높은 수치를 적용했고 수송차량용 센서노드는 2.5m를 적용하였다.

3.2 기본적인 USN 중계망 구성

연구지역내의 효율적인 USN 중계망을 구성하기 위해서는 기본적인 중계망을 우선 설계할 필요가 있다. 즉 기본 중계망을 근본 자료로 하여 지형조건, 입지조건 등을 이용하여 전파 통신 가능범위를 탐색하고, 전파 음영지역과 간섭지역 등을 최소화 할 수 있는 최적의 망을 설계할 수 있는 것이다.

USN 중계노드의 최초 위치기점(RF Tag Reader 위치)으로 중계노드 간 통신거리(400m), 수송차량노드와 중계노드의 통신거리(200m)를 반경으로 동심원을 이용한 티센 다각형(thiessen polygon)을 작성하였다[Figure-2].

연구지역내의 셀은 14개로서 기본 중계노드의 설치장소도 14곳이며, 중계노드의 중심 위치가 연구권역을 벗어난 것이 7개소로서 중계망을 조정하였을 때 최초 위치기점의 중계노드를 제외하고는 많은 변화가 있을 것으로 예상된다.

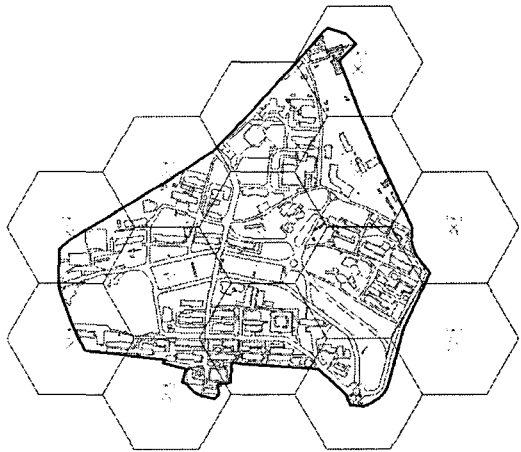


Figure 2. A oundation of Cell for USN

3.3 위험물 수송차량관제용 USN 중계망 설계

기본적인 USN 중계망을 이용하여 위험물 수송차량관제와 같이 특정 목적에 따른 입지조건을 적용하여 분석함으로써 용도에 맞는 최적의 무선통신망을 설계할 수 있다.

본 연구의 USN 중계망을 최적화하기 위해서는 전파예측모델 뿐만 아니라 USN 중계노드의 입지선정 특성(가시성, 중심위치, 전력공급안정성, 인공구조물, 도로망 등)이 반영되어야 한다. 또한 지형의 특성에 따라 전파예측모델이 가시지역과 비가시지역에 따라 달리 적용되어야 하며, 이에 본 연구에서는 가시지역에서는 자유공간 예측모델, 비가시지역에서는 Cost231 예측모델을 각각 적용하고자 한다.

USN 중계망의 최적화 설계를 위해 전파이론과 입지조건을 기반으로 GIS의 공간연

산기능을 이용하여 분석을 수행하며, 입지조건에 따른 분석 수행과정은 [Figure-3]과 같으며, 그 결과는 [figure-4]와 같다. 이의 중계노드의 수가 12개소만 입지하여도 연구 지역을 충분히 커버링할 수 있는 것으로 나타났다.

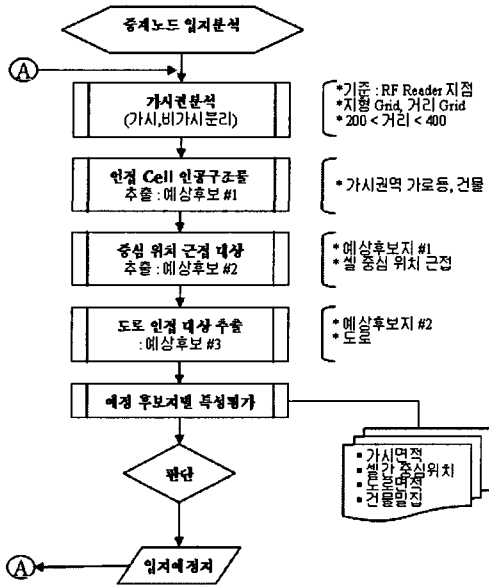


Figure 3. The process of allocation analysis

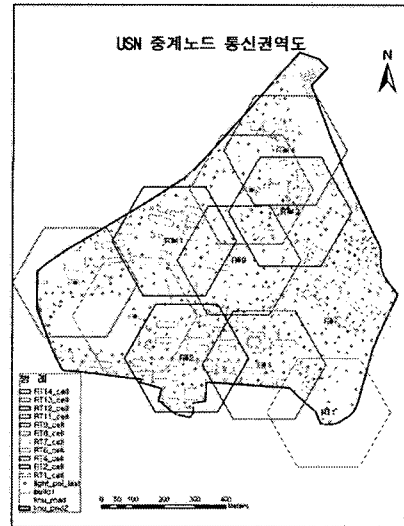


Figure 4. The Map of Cell for USN

3.4 위험물 수송차량관제용 USN 전파경로손실 측정

위험물 수송차량의 센서노드에서 송신하는 차량상태정보를 효과적으로 취득하기 위해서는 전파의 음영지역이나 감쇄지역을 정확히 예측하고 이에 대한 대책을 마련해야 한다. 그를 위해서는 전파의 경로손실을 측정하여 활용할 수 있다. 본 연구에서는 가시공간에 대하여는 자유공간 전파 경로손실공식을 적용하고, 건물 등의 지형지물로 인한 비 가시공간상에는 도심에서의 전파 감쇄특성을 잘 예측하는 Cost-231경로손실공식으로 각기 USN의 중계노드 통신권역을 분석하였다 [Figure-5].

USN 전파의 경로손실은 건물들이 밀집한 곳에서 그 수치가 높았으며, 도로의 폭이 넓은 지역이나 개방지에서는 상대적으로 손실이 적었다. 전계강도는 -103dBm ~ -30dBm까지 분포하며, 중계셀간의 거리가 넓거나 큰 건물이 가로막고 있는 곳에는 최소수신감도(-94dBm) 이하의 전파음영지역이 존재하였다.

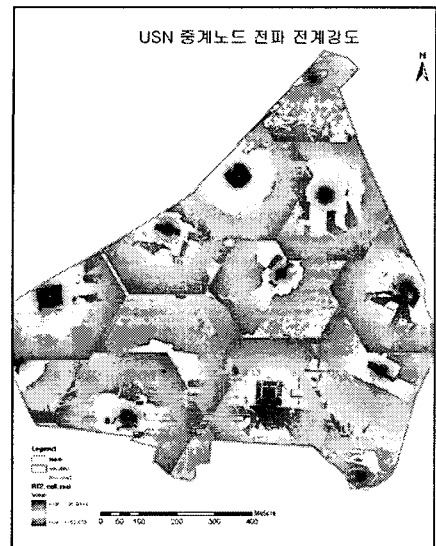


Figure 5. The Map of Propagation loss on Cell for USN

4. 결 론

USN은 IT839의 3대 기반기술 가운데 하나로서 국내·외적으로 추구하고 있는 유비쿼터스 세상의 핵심 기반시설이다. 본 연구는 재난관리분야에서 유비쿼터스 컴퓨팅 응용으로 접목될 가능성이 있는 위험물 수송차량관제를 효과적으로 수행하기 위하여, 그 기반시설인 USN에 대한 설계기법을 개발하고 전파경로손실을 제시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, GIS의 입지분석기능을 이용하여 USN 설계방법론을 개발하였다. 즉 기본적인 USN의 Cell을 가정하고, 중계노드의 입지 위치적인 특성(가시성, 중심위치, 전력공급안정성, 인공구조물, 도로망 등)을 정성적으로 평가하여 GIS도구로서 분석함으로써 용도에 맞는 최적의 무선통신망을 설계할 수 있었다.

둘째, USN의 노드배치에 있어서 일반적인 격자(Grid)방식보다는 육각형 Cell 모형에 근거한 지리적 입지분석 후에 배치한 방법론이 USN구축비용과 관리적인 면에서 효율적임을 배치노드수의 변화(27⇒14⇒12)에서 나타났다.

셋째, USN에 대한 시뮬레이션을 통하여 전파의 음영지역과 감쇄지역을 판단할 수 있었다. 연구지역의 전계강도는 -103dBm ~ -30dBm까지 분포하며, 건물이 밀집하거나 중계셀간의 거리가 넓은 지역에는 최소수신감도(-94dBm)이하의 전파음영지역이 존재하였고, 도로의 폭이 넓은 지역이나 개방지에서는 상대적으로 전파의 품질이 양호(-85dBm이상)하였다.

향후 연구과제로는 USN환경에서 중계노드가 센싱 데이터를 효율적으로 전송할 수 있는 라우팅에 대한 GIS적인 방법론을 개발하고자 한다.

참고문헌

- 1) 소방방재청, 2006, 위험물사고 사례집, 소방방재청
- 2) 김충남, 2003, 차세대 이동통신 실무기술, 진한도서
- 3) ITU-R Assembly, 1995, VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz (Question ITU-R 203/3), ITU-R P.370-7, Geneva, 1-33
- 4) ITU-R Assembly, 1999b, Propagation effects relating to terrestrial land mobile service in the VHF and UHF bands(Question ITU-R 203/3), ITU-R P.1406, Geneva, 1-10
- 5) ITU-R Assembly, 2001, Prediction Procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.7GHz(Question ITU-R 208/3), ITU-R P.452-10, Geneva, 1-36
- 6) Chipcon Inc, 2004, CC2420 IEEE 802.15.4/ 2.4GHz RF Transceiver Datasheet, Chipcon Inc CC2420 Product Description
- 7) 박승창, 남상엽, 류영달, 이기혁, 김완석, 2005, 유비쿼터스 센서네트워크 기술, Jinhan M&B
- 8) IEEE Standard, 2003, IEEE Std 802.15.4™-2003(Part 15.4 : Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS)), IEEE
- 9) 임종태, 2002, WCDMA Radio Network Planning Issues, 한국전자파학회지 전자파 기술 vol.13 no.4