

[Research Paper]

소방활동을 위한 밀폐공간 UWB 무선통신 측위성능 평가

김동현[†] · 김충일^{*}

전주대학교 소방안전공학과, ^{*}㈜코어센스

The Evaluation of UWB Wireless Communication Position Determination Function in an Enclosed Space for Fire Fighting

Dong-Hyun Kim[†] · Chung-II Kim^{*}

Dept. of Fire Safety Engineering, Jeonju Univ., ^{*}Coresense Ltd.

(Received September 18, 2017; Revised October 13, 2017; Accepted October 20, 2017)

요 약

밀폐된 공간에서 통신인프라가 파괴될 경우, 긴급 유·무선 통신환경을 구축하여 화재진압 및 소방관 위치확인 등을 통한 보다 안전한 재난대응환경 확보가 필요하다. 본 연구에서는 Ultra-Wide Band (UWB) 무선통신망을 이용하여 밀폐된 실내 통신환경을 구축하기 위해 6가지 실내환경에 대해 단일 UWB 통신모듈에 대한 통신측위 성능평가를 최대 20 m까지 측정하였다. UWB 통신주파수 각 대역별 6개 채널에 대한 실내환경 통신거리 측정 결과, 개방공간(평균 15.5 m, 최대 20 m), 복도(평균 17.33 m, 최대 20 m), 실내집기류 존치 실내(평균 15.3 m, 최대 20 m), 수직계단(평균 4.33 m, 최대 6 m), 방화문 폐쇄 수평공간(평균 6.5 m, 최대 17 m)으로 나타났다. 이중 7번 채널인 6489.6~1081.6 MHz 주파수 대역에서 통신성능과 거리성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이에 UWB 통신모듈을 20m 간격으로 설치하고 멀티채널을 이용할 경우 밀폐공간에서 통신환경 구축이 가능한 것으로 판단된다.

ABSTRACT

The absence of fire fighters' connection to communication can bring about increased loss of life due to errors and delays in rescue and actions and danger to their own safety. Therefore, when communication infrastructure has been destroyed in an enclosed space, it is necessary to set up an emergency wire or wireless telecommunication environment to fire fighting and to secure safer environment to deal with the disaster by checking the location of fire fighters. In this research, for the establishment communication environment in an enclosed inside using Ultra-Wide Band (UWB) wireless communication network, the performance of communication position determination of a single UWB communication module was evaluated regarding 6 kinds of indoor surroundings. When the communication distance in an indoor environment of each 6 channels bandwidth of UWB communication frequency was measured, the results were as follows: the open space (Ave. 15.5 m, Max. 20 m), the corridor (Ave. 17.33 m, Max 20 m), inside retaining home furnishings (Ave. 15.3 m, Max. 20 m), vertical stairs (Ave. 4.33 m, Max. 6 m), horizontal space with a closed fire door (Ave. 6.5 m, Max. 17 m). It was also found out that the communication function and the distance function were best in the frequency range from 6489.6 to 1081.6 MHz by 7 Ch. Accordingly, the establishment of communication environment in an enclosed space is judged to be possible when UWB communication module is set up at 20 m apart and multiple channels are used.

Keywords : Fire Safety, Disaster Telecommunication, Ultra-Widw Band (UWB), Enclosed Space, Wireless Telecommunication

1. 서 론

소방대상물의 고층화와 대형화와 이용자의 과밀화로 인해 화재 및 재난발생시 많은 인명피해가 발생할 수 있다. 우리나라는 기존 Trunked Radio System (TRS) 음성통신망을 이용한 재난상황관리의 한계점을 벗어나기 위해 2015년 음성·문자·영상 등 멀티서비스가 가능한 Public Safety-

Long Term Evolution (PS-LTE) 기술방식을 활용한 전국 재난안전통신망 구축을 계획한 바 있다. 하지만 LTE 망을 이용한 통신환경 또한 밀폐된 실내 환경에서는 통신서비스가 지원되지 못하며 재난망 단독으로 구축할 경우에는 자가망 구축을 위한 추가적인 시설 설치 및 유지관리 등의 문제로 막대한 사업비가 소요되는 단점이 있다. PS-LTE의 전국의 약 90% 통신권역 확보를 이루기 위해서는 약 2조원에 가

[†] Corresponding Author, E-Mail: 72donghyunkim@jj.ac.kr, TEL: +82-63-220-2233, FAX: +82-63-220-2056

© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

까운 사업비 예산과 함께 향후 유지관리 예산상 막대한 예산투입이 필요한 것으로 보고된 바 있다.⁽⁸⁾ 재난환경에서의 통신인프라는 밀폐된 공간에서도 통신이 가능하도록 구축하는 것이 구조임무를 수행하는 소방관의 안전과 함께 화재진화활동에 필수적이라 할 수 있다. 이에 화재현장, 붕괴현장 등 재난 및 극한 상황에서 화재를 진압하고 요구조자를 탐색, 구조하는 방재 및 안전관련 정보통신 솔루션들이 몇몇 연구되어진 바 있다.^(1,2) 김영덕⁽³⁾ 등은 밀폐공간에서 Wi-Fi기반 통신연결방안에 대한 기초연구를 수행한바 있으며 실내환경 및 밀폐공간에서 전파 및 투과에 관한 실험연구를 실시한 바 있다.^(4,6) 재난현장에서의 통신환경 구축은 유선방식보다는 사용편이성과 이동성이 좋은 무선방식의 긴급 통신인프라 구축이 보다 효과적이다. 하지만 무선통신 기술은 물리적 특성상 공기 중으로 신호를 전파하기 때문에 감쇠, 충돌, 단절, 전파간섭 등의 통신장애가 발생할 수 있다. 특히, 화재현장과 같이 고온과 농연환경과 실내 밀폐된 구조와 장애물들로 인해 통신장애가 더욱 발생할 수 있다.⁽³⁾ 후쿠시마 원전사고지역의 로봇활용에 있어서도 외부통신과의 연결문제에 의해 원격조정장애가 발생된 사례가 있다.⁽⁷⁾ Ultra-Wide Band (UWB)는 수 GHz이상의 전송 주파수대역을 사용하여 초광대역, 단거리 구간에서 저전력으로 많은 양의 디지털 데이터를 전송하는 기술로서 국제 표준 802.15.3a UWB는 20미터 이내의 근거리에서 무선통신을 이용해 초당 100 Mbps 이상의 속도로 데이터를 전송할 수 있고 거리 측정도 가능하다.⁽¹⁰⁻¹²⁾ UWB 유무선기지국 모듈과 무선통신모듈은 실내 화재 발생 시 기존의 통신 기반이 작동 불능이 되었을 경우 소방대원과 지휘소간의 통신 라인의 확보와 소방대원의 위치 파악을 위한 장비로서 통신신호 활성화가 유효한지 판단을 할 수 있도록 개발되었다. 통신확보와 함께 통신주파수 응답속도 측정을 통해 소방대원과 지휘소간 이격거리 측위가 가능하여 소방대원의 위치파악이 이용하도록 설계되었다.

본 연구에서는 먼저 기존 무선통신의 종류에서 밀폐환경에 대한 통신망 구축에 적용하지 않은 UWB 통신방식에 대한 측위 성능평가를 실시하고자 한다. 개방공간의 UWB 통신측위 기준치 측정환경을 포함하여 밀폐된 실내 복도, 밀폐된 장애물이 존재하는 실내공간, 계단, 방화문 및 유리문 닫힘 상태 등 총 6개 실내 환경에 대해 통신성능을 평가하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장비

밀폐공간에서의 UWB 통신 측위분석을 위하여 개발한 Figure 1의 Ultra wide band (UWB) 무선통신모듈은 실내 화재 진압시 유무선 기지국 모듈로부터 안정적인 통신망 확보와 소방관의 위치 측위를 위한 장비이다. Figure 1의 (a)는 UWB 무선모듈과의 통신을 위한 기지국 모듈이며 (b)는

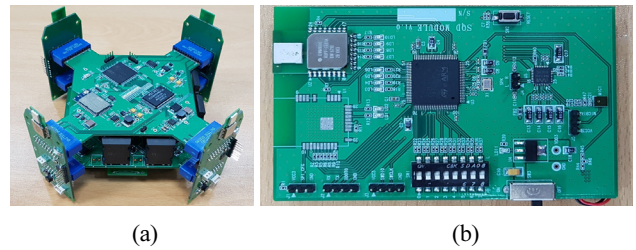


Figure 1. UWB wireless telecommunication module: (a) UWB radio repeater, (b) UWB module.

Table 1. Main Specifics of UWB Wireless Telecommunication Module

| Item | Specification |
|---------------------------|------------------------------|
| RF Band | 3.5 GHz to 6.5 GHz |
| Data Rates | 110 kbps, 850 kbps, 6.8 Mbps |
| Network | Rs-232, Spi, i2c etc |
| Weight | 52 g |
| Accuracy of Distance Unit | 1 cm |

소방대원과의 통신을 위한 UWB 무선모듈이다. UWB 무선통신모듈의 주요 사양은 Table 1과 같으며, Table 3과 같이 무선통신주파수 대역(RF band) 3.5 GHz부터 6.5 GHz까지에서 표준채널 1,2,3,4,5,7의 총 6개의 표준주파수 채널과 499.2 MHz부터 1331.2 MHz까지의 대역폭을 지원한다. 그리고 유무선 기지국모듈로부터 송신한 데이터 패킷은 무선통신모듈에서 전송받는 시간을 Time of Flight (TOF)로 계산함으로써 거리정보를 산출할 수 있다. 그리고 거리측정을 위해 130 byte의 데이터 패킷을 전송하는데 전파의 반사나 데이터 송수신시 발생하는 오류가 없이 성공적으로 모든 데이터가 수신된 거리측정 성공률을 계산하도록 하며 시도 횟수가 적을수록 통신 환경 및 성능이 높다고 판단한다.

2.2 실험조건 및 실험방법

Figure 2는 UWB 무선모듈의 신호 측위계측을 위한 실험으로 실외 개방공간을 비교대상 시험지로 하고 실내는 통로, 밀폐된 장애물이 존재하는 실내공간, 계단, 방화문 및 유리문 닫힘 상태로 총 6개의 공간을 설정하였다. 6개 공간의 환경 조건은 Table 2와 같다. Figure 3은 수직계단에서의 측위를 위한 측면도로써 계단참에 UWB 무선중계기를 설치하고 층마다 UWB 모듈을 설치하여 측정하였다. UWB 무선모듈의 측위는 모듈의 측위성능 해상도가 cm단위까지 측정할 수 있어 무선모듈 중계기로부터 20 m까지 cm 단위로 신호측정을 하였다. 수평공간에서는 무선모듈을 바닥에 설치하고 계단과 같은 수평-수직 공간인 복도와 계단이 이어지는 환경에서는 계단참에 무선모듈을 설치하여 무선통신모듈과 통신 신호측정을 하였다. 일반건물에서는 복도에서 실내 공간과의 구획이 내화벽 또는 간이벽으로 이루어

Table 2. Test Environment in Each 6 Sectors for UWB Test

| Sector | Width (m) | Length (m) | Height (m) | Obstacle |
|-------------------|-----------|------------|------------|--|
| Open Space | - | - | - | None |
| Pathway | 2.5 | 32 | 2.4 | None |
| Indoor Room | 6.2 | 12.5 | 2.4 | Arranged Normal OA Furniture with 1.5 m Height |
| Stairs | 2.4 | 5.0 | 20 | Concrete Stairs |
| Glass Door | 1.8 | - | 2.1 | Between Pathway and Office Room |
| Fire Door (steel) | 1.8 | - | 2.1 | Between Pathway and Office Room |



Figure 2. Sectors for capacity test of UWB telecommunication module.

져 있고 출입문은 보통 유리문과 방화문으로 설치되어 있다. 따라서 복도와 구획된 공간과의 상호통신 시험을 위해 유리문과 방화문을 닫고 통신 측위 실험을 진행하였다. 6 개 공간환경에서 UWB 신호 측위에 사용된 주파수는 Table 3과 같이 UWB 표준 주파수 6채널(1 ch, 2 ch 3 ch, 4 ch, 5 ch, 7 ch)을 사용하였으며 각 주파수별 밴드범위를 함께 명시하였다. 따라서 Table 3의 주파수별로 모듈간 계산된 거리 정보와 실제 거리 정보간의 차이와 거리측정 성공률로 평가하여 성능을 고찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 개방 공간

개방공간에서의 측위 측정은 장애물이 없는 야외의 평지 개방공간에서 실험하였다. 이 실험은 아무런 방해를 받

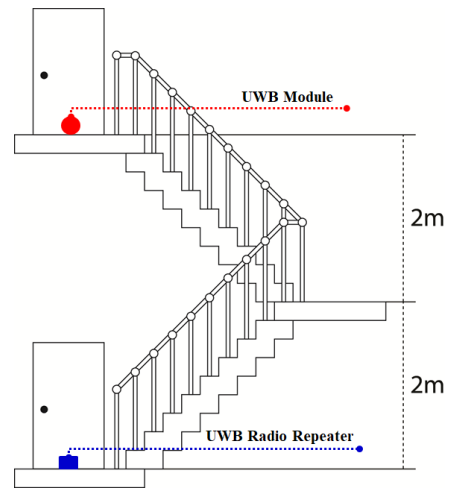


Figure 3. A lateral view of stairs sector with installed UWB module.

Table 3. The Caption Comes Before (MHz)

| Channel | Centre Frequency | Band |
|---------|------------------|---------------|
| 1 | 3494.4 | 3244.8-3744 |
| 2 | 3993.6 | 3774-4243.2 |
| 3 | 4492.8 | 4243.2-4742.4 |
| 4 | 3993.6 | 3328-4659.2 |
| 5 | 6489.6 | 6240-6739.2 |
| 7 | 6489.6 | 5980.3-6998.9 |

지 않는 공간에서 진행하고 있기 때문에 이후 거리측정과 통신 성능을 테스트하기 위한 기준 실험이 된다. 거리 측정은 cm단위의 정확도를 보였다. 장애물이 없는 개방공간에서의 측위측정 결과, Figure 4에서 보이는 바와 같이 2, 5, 7번 채널은 20 m까지 거리 측정이 가능하였고 거리측정이 가능할 때 거리 측정 시도횟수는 6~10번에 성공하였다. 이때 시도횟수를 기준으로 이후 통신 및 거리측정 성능을 판단하였다.

3.2 복도

밀폐된 공간내 복도는 장애물이 없는 공간 환경에서 측위측정을 실시한 결과, Figure 5에서 보이는 바와 같이 2, 5,

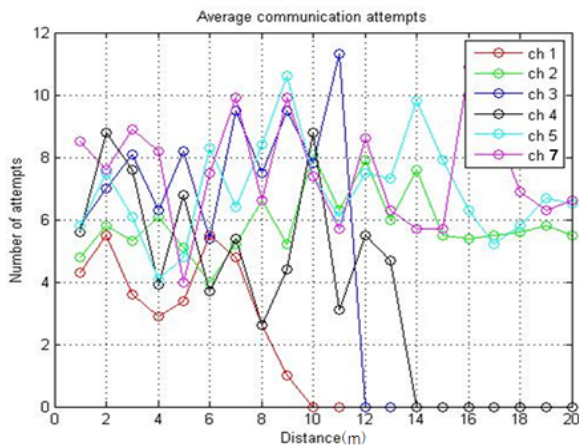


Figure 4. Result of TOF measurement for UWB at open sector.

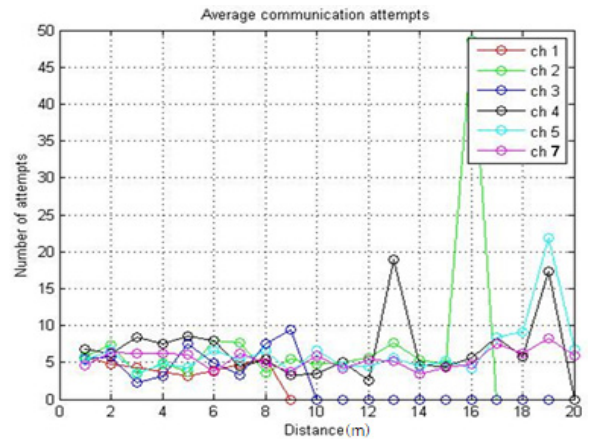


Figure 6. Result of TOF measurement for UWB at office sector in enclosed indoor.

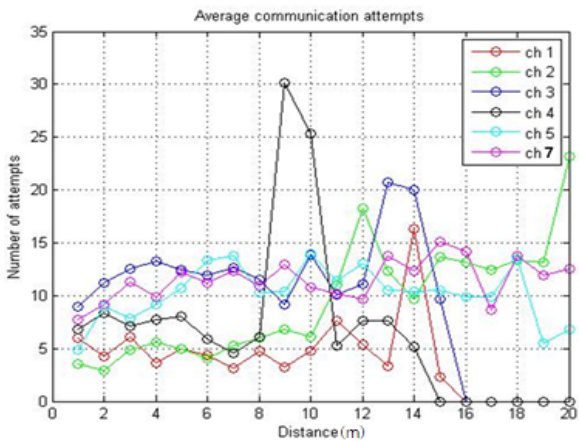


Figure 5. Result of TOF measurement for UWB at pathway sector in enclosed indoor.

7번 채널은 20 m까지 거리측정이 가능했지만, 1, 3번 채널의 거리측정 가능 실제 거리가 개활지에 비하여 약 5 m 정도 늘어났으며 4번 채널은 개활지와 비슷한 성능을 보여주었다. 또한 20 m까지 측정이 가능했던 2,5,7번 채널의 측정 시도 횟수가 10~15에 분포하기 때문에 통신환경이 개방공간보다 상대적으로 신호성능이 저하된 것으로 나타났다.

3.3 사무실

밀폐된 공간내 각종 가구와 집기류가 존재하는 사무실 실내 환경에서 측위측정을 실시한 결과, Figure 6과 같이 5, 7번 채널은 개활지와 비슷한 측정 성능을 보여주고 있으며 1, 2, 3 채널에서는 전반적으로 측정 성능이 떨어지고 있음을 확인하였다. 하지만 4번 채널만은 반대로 측정 성능이 향상되었다. 4번 채널은 약 1 GHz 대역폭을 가지고 있으며 높은 대역폭일 때 장애물을 피해 거리측정 통신 성공률이 높아졌다. 또한 측정 가능 거리가 줄어들 때 시도횟수가 순간적으로 높아지는 현상을 발견하였는데 이는 거리 측정이 불가능해질 때 발생하는 오류가 많아졌기 때문인 것으로 확인하였다.

Table 4. Distance and Number for UWB Contacting Between UWB Radio Repeater and Module

| (a) Distance of TOF Measurement | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Test No. | 1 ch | 2 ch | 3 ch | 4 ch | 5 ch | 7 ch |
| 1 | 205 | 193 | 164 | 197 | 165 | 203 |
| 2 | 482 | 468 | 429 | 450 | 431 | 433 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 448 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (b) Trying Number for Contacting Between UWB Radio Repeater and Module | | | | | | |
| Test No. | 1 ch | 2 ch | 3 ch | 4 ch | 5 ch | 7 ch |
| 2 | 6.4 | 11.2 | 5.2 | 7.1 | 10.9 | 7.1 |
| 4 | 4.2 | 9.7 | 37.4 | 5.6 | 12.6 | 9 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.7 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

3.4 수직계단

수직계단은 밀폐된 공간이며 피난시 활용되고 있는 피난계단에서 측위측정을 실시하였다. Figure 3에서 제시된 바와 같이 실험환경을 모사한 계단 한 층을 내려가기 한 계단참간의 높이는 2 m로 UWB 모듈을 계단참에 설치하여 측정하였다. 측위측정 결과, Table 4와 같이 7번 채널만이 수직 아래로 6 m 지점까지 거리 계산을 수행하였지만 실제 6 m에 미치지 못하는 4.5 m의 측정 결과가 나타났으며 모든 채널에 대하여 측정 가능 높이는 4 m까지 가능한 것으로 판단된다.

3.5 유리문 및 방화문

밀폐된 공간내에서 복도와 철근콘크리트 벽구조로 구획된 사무공간과 유리문과 방화문이 설치된 환경에서 측위측정을 실시하였다. 8 mm 두께인 강화유리문과 1.5 mm 두께

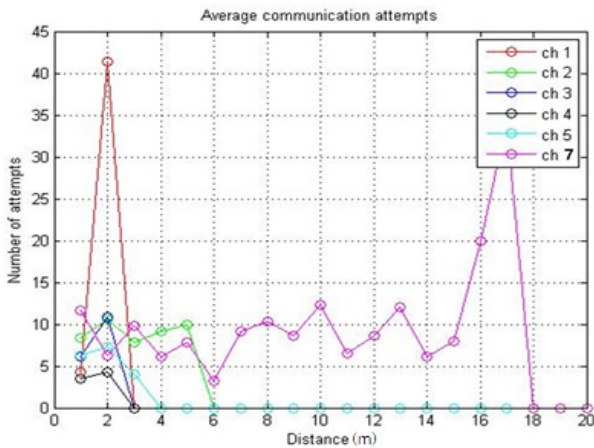


Figure 7. Result of TOF measurement for UWB at office and pathway sector with closed glass door.

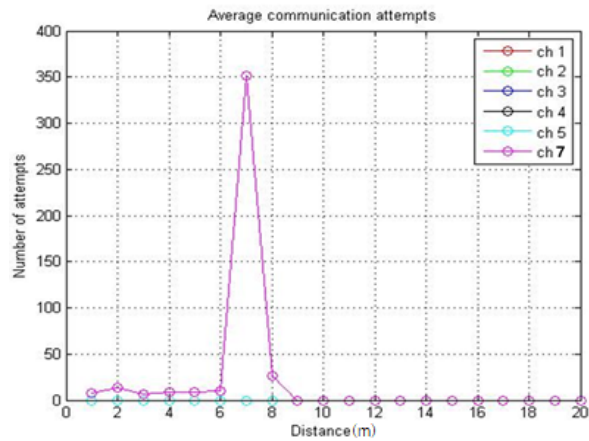


Figure 8. Result of TOF measurement for UWB at office and pathway sector with closed fire door.

의 철판으로 제작된 갑종방화문으로 각각 구획된 공간에서 시험실시한 결과, Figure 7, 8과 같이 유리문과 방화문 모두에서 1-5번 채널은 최대 5 m 이후 거리측정은 불가능 하지만, 7번 채널에서 유리문은 17 m까지 방화문은 10 m까지 거리 측정이 가능하였다. 하지만 실제 거리정보와 측정 거리와의 차이가 2 m 이상 나타나고 있는데 이는 유리문과 방화문이 전파 장애물이 되어 UWB 전파의 멀티패스 현상을 발생시키기 때문에 실제 거리보다 더 멀리 전파가 돌아서 송수신되는 현상이 발생하는 것으로 해석할 수 있다.

위 6가지 환경에서의 실험결과, Figure 9와 같이 전체적으로 주파수 6489.6 MHz, 대역폭 1081.6 MHz의 7번 채널의 통신성능과 거리측정성능이 가장 우수한 것으로 나타났으며 동일한 폐쇄공간에서도 장애물 존재할수록 통신 시도 횟수가 점차 커지게 되며 통신 성능 및 측정 가능 거리는 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 소방관 및 이동대피 주요 통로 중 하나인 비상계단에서의 통신도달거리가 다른 환경에 비해 현저히 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에

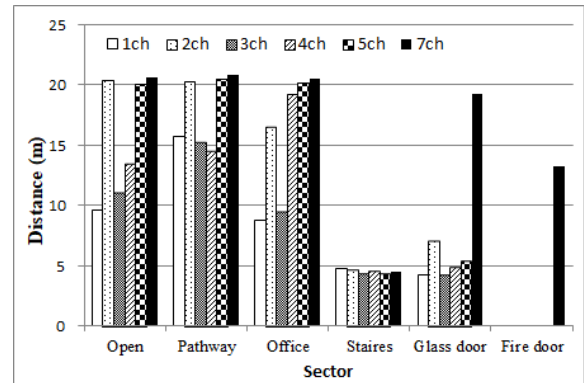


Figure 9. Result of telecommunication distance for UWB in each 6 sectors.

서는 유무선기지국 모듈은 약 20 m마다 배치하여 무선통신모듈과 통신과 거리측정을 하였지만 실제 거리와 TOF를 이용하여 측정된 거리정보의 오차는 약 50 cm 내외로 발생하는 것으로 나타났다. 이는 추후 실내환경 측정분석 실험 데이터를 축적하여 분석된 보정값을 사용하면 거리 오차를 줄이면 될 것으로 판단된다.

4. 결 론

화재 및 재난발생시 소방관 및 구조구급대원의 즉각적인 대응과 활동이 이루어져야 인명피해를 최소화할 수 있다. 하지만 통신인프라가 파괴될 경우, 밀폐된 공간에서는 Trunked Radio System (TRS, 주파수공용통신) 및 Long Term Evolution (LTE) 통신망을 이용한 통신연결이 불가능하다. 소방관의 통신연결 부재는 구조, 대응활동의 오류 및 지연으로 인한 인명피해의 증가와 소방관 안전에도 위험을 가져올 수 있다. 본 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 단거리 구간에서 저전력으로 많은 양의 디지털 데이터를 전송하는 UWB무선통신망을 이용하여 밀폐된 실내 통신환경을 구축하기 위한 개발한 단일 UWB 통신모듈에 대한 통신측위 성능평가를 실시하였다.
- 2) 6개 실내환경에서 실험한 결과, 주파수 6489.6 MHz, 대역폭 1081.6 MHz의 7번 채널의 통신성능과 거리측정성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.
- 3) UWB 통신모듈의 간격은 20 m 내에서 통신 및 거리 측정이 가능함을 보여주고 멀티채널을 이용할 경우 밀폐공간에서 통신환경 구축이 가능한 것으로 판단된다.
- 4) 특히, 계단에서의 통신거리가약 5 m로 건물높이 2층 단위로 통신모듈이 구성되어야 함을 밝혀내었다.

본 논문은 일정한 환경에서 실험을 진행하였지만 추후 실내 화재 상황에서의 열과 연기 상황에서 실험을 진행하여 UWB 통신망의 활용가능성 연구와 함께 다른 통신주파수와의 성능비교 연구 및 소방대원 측위기술 등의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 소방청 연구과제 “재난현장 스마트스쿼드 시스템 개발(과제번호: MPSS-소방안전-2015-75)” 연구사업지원을 받아 수행되었으며 관계제위께 감사드립니다.

References

1. Y. D. Kim, Y. G. Kim, S. H. Lee, J. H. Kang and J. An, “Portable Fire Evacuation Guide Robot System”, Proceedings of IEEE/RSJ IROS, pp. 2789-2794 (2009).
2. Y. D. Kim, J. H. Kang, D. H. Sun, J. I. Moon, Y. S. Ryuh and J. An, “Design and Implementation of User-Friendly Remote Controllers for Rescue Robots Used at Fire Sites”, Proceedings of IEEE/RSJ IROS, pp. 377-382 (2010).
3. Y. D. Kim, S. Kwon, H. J. Kim and J. W. Park, “A Fundamental Study on Wi-Fi Based Communication Methods for Enclosed Spaces”, Journal of Korea Society of Hazard Mitigation, Vol. 15, No. 6, pp. 237-242 (2015).
4. K. Song, “Transmission and Reflection Characteristics Measurements at the 60GHz for the Various Obstacles”, The Journal of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences, Vol. 12, No. 1 pp. 25-32 (2007).
5. M. S. Jung, S. H. Bae and B. S. Lee, “Analysis of Building Material Reflection and Transmission Characterization for ISM band”, Proceedings of 2002 Autumn Symposium, Korean Institute of communications and Information Sciences, pp. 212-215 (2002).
6. S. B. Oh, S. K. Kim, S. W. Jee, C. H. Lee, H. G. Kim and S. H. Sakong, “A Study on the Response Characteristics of Fire Frequency 447 MHz and 2.4 GHz”, Proceedings of 2011 Autumn Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 31-34 (2011).
7. N. Keiji, K. Seiga, O. Yoshito, O. Kazuki, Y. Kazuya, T. Satoshi, N. Takeshi, Y. Tomoaki, K. Eiji, F. Mineo and K. Shinji, “Emergency Response to the Nuclear Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants Using Mobile Rescue Robots”, Journal of Field Robotics, Vol. 30, No. 1, pp. 44-63 (2013).
8. Ministry of Public Safety and Security, “Verification of Test-bed Result for Disaster Telecommunication Network Construction”, Policy Resource of Ministry of Public Safety and Security 28. Jul. 2014 (2014).
9. M. P. Wylie-Green, P. A. Ranta and J. Salokannel, “Multi-band OFDM UWB Solution for IEEE 802.15. 3a WPANs”, Proceeding of Advances in Wired and Wireless Communication, 2005 IEEE/Sarnoff Symposium, IEEE, pp. 102-105 (2005).
10. T. Gigl, G. J. Janssen, V. Dizdarevic, K. Witrisal and Z. Irahhauthen, “Analysis of a UWB Indoor Positioning System Based on Received Signal Strength”, Proceeding of Positioning, Navigation and Communication, 2007, 4th Workshop, IEEE, pp. 97-101 (2007).
11. Y. Gu, A. Lo and I. Niemegeers, “A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 11, No. 1, pp. 13-32 (2009).