

휴대용 RFID 리더기를 활용한 분실 의료자산 최적 검색 경로 결정과 천정 고정식 리더기 설치위치 선정 방안 연구

김각규*† · 조성진* · 윤봉규*

A Study on Optimal Searching Path Using Handheld RFID Reader and Deployment of a Stationary Reader to Maximize the Efficiency of the Search Process for Missing Medical Assets

Gak-Gyu Kim* · Sung-Jin Cho* · Bong-Kyu Yun*

■ Abstract ■

Being able to quickly locate valuable medical equipment is critical inside hospitals. In order to utilize limited budget and resources efficiently, accurate locating or tracking is required in many fields. In this research, we focus on how to find the location of missing assets by using RFID in real time indoors to track equipment. When equipment needs to be searched, the purpose of a RFID device is to minimize the time, investment cost and effort spent searching for the equipment. Thus, this research presents a mathematical model of using RFID (both handheld reader and stationary reader) for efficient asset location. We derive the expected time of locating RFID-tagged objects in a multi-area environment where hand-held RF readers are used. We then discuss where to deploy stationary RF readers in order to maximize the efficiency of the search process.

Keyword : RFID, Handheld Reader, Stationary Reader, Medical Assets, Hospital, Optimal Searching Path

논문접수일 : 2012년 10월 01일 논문게재확정일 : 2012년 12월 12일

논문수정일(1차 : 2012년 11월 26일)

* 국방대학교 군사운영분석학과

† 교신저자

1. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification) 기술은 최근 산업의 각 분야에서 매우 주목받고 있다. 1948년 RFID 기술이 소개된 이후[14], 이와 관련한 연구 및 기술개발은 빠르게 성장하였다. 대규모 의료시설, 창고형 마트, 항만, 물류센터 심지어 국방분야에서도 물품의 공급자들에게 RFID 호환성을 요구한다. 미국 식품의약국(Food and Drug Administration)은 제약회사들에게 의약품의 복제를 막기 위해 RFID 사용을 권장하고 있고[13, 15]. 동물 사육 및 가공업자들 역시 국내 가축의 병력을 추적함으로써 그 위험성을 관리한다[1]. 또한 국제 항만회사들은 RFID 장치를 활용하여 항구에 입·출항하는 배들의 적하물 이력을 관리하고 있다. 최근 병원에서는 환자의 진료기록 관리 및 병원내 의료자산의 입·출고 관리, 상태가 위독하거나 고령, 장애로 인해 위치확인이 필요한 환자위치확인, 병원에서 보유하고 있는 의료자산의 위치를 파악하는 데까지 RFID 기술을 활용하고 있다[6, 7].

그러나 대부분은 다수의 RFID 장비를 도입하여 관리하고자 하는 자산에 태그(tag)를 부착하고, 이를 위한 고정식 리더기를 모든 실내에 몇 개씩 설치하거나 또는 주요 문, 코너 등이 아닌 곳에 설치하여 불필요한 비용을 낭비하는 경우가 발생하고 있다. RFID 장비를 제작/판매하는 회사조차도 고객에게 많은 장비를 설치하는 것을 권장함으로써 효율성보다는 수익을 올리는데 더 많은 관심을 갖고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 병원내 분실된 자산의 위치를 단시간 내에 파악하기 위하여 RFID 리더기 중 휴대용 리더기의 효율적 탐색방법을 제시하고, 추가적으로 천정 고정식 리더기 가용시 최적 설치위치를 제안한다.

본문은 제 2장에서 위치추적 기술에 대한 제고와 기존연구 고찰을 하고, 제 3장은 연구의 목적, 대상 문제, 방법 등에 대한 개요를 설명한다. 제 4장에서는 휴대용 리더기를 활용하여 분실자산을 탐색할 때 효율적인 휴리스틱 방안에 대한 수리모형과 천

정 고정식 리더기의 설치 위치에 대한 수리모형을 수립한다. 제 5장은 수치실험 및 분석을 실시하고 제 6장은 결론 및 향후 연구방향을 제안한다.

2. 위치추적 기술 제고 및 기존연구 고찰

지금까지는 물체의 위치를 추적하는 기술로 GPS(Global Positioning System)[8], 네트워크 센서(network sensor), 초음파(ultrasonic), 적외선(infrared) 장비 등을 연구하고 활용하였다. 이러한 기술들은 그들의 장비로부터 받은 다양한 정보를 통합하고 분석하여 위치에 대한 정보를 제공한다. GPS는 두 개 이상의 인공위성으로부터 받은 신호의 시간차이로부터 물체의 위치 정보를 확인하지만 기술상 실내보다는 실외 환경에서 보다 적합하다[11]. 실제로 고가도로나 건물 등 층이 구분되는 곳에 위치하였을 경우 그 위치파악의 한계를 보여준다. 적외선 장비는 사물의 위치파악의 정확성은 높으나 태그를 부착해야하는 위치가 반드시 물체의 겉표면에 있어야 하고 가림막이나 캐비닛, 벽과 같은 장애물에 매우 취약하다[16].

초음파 기술을 포함한 앞에서 언급한 위치 추적 기술의 가장 큰 문제점은 실내에서 정확하고 효과적인 위치추적을 위해 상당히 발전된 기술과 많은 비용이 요구된다는 것이다[11]. 이에 비하여 상대적으로 저가의 RFID는 실내공간에서 자산의 위치를 추적하는데 보다 효율적인 기술이 될 수 있다. 자산이 실내에서 분실되었거나 위치가 조정되어 찾기 힘든 경우 태그가 부착되어있고 RFID 전자기장 내에 위치하고 있다면 RFID 태그와 리더기의 콘솔(console) 장비의 정보를 활용하여 보다 쉽게 위치를 알아 낼 수 있다.

RFID 기술이 병원 등 실내 환경에 적용되어 연구를 하게 된 본격적인 시기는 2000년 중반 이후로써 Emory and Leslie[3]는 미해군 의료센터에서 MAS-CAL이라고 명명하는 RFID 장비로 환자와 병원 관계자, 의료자산을 관리함으로써 갑작스런 사고에

대한 대비를 강화하는 방안을 소개하였다. Haleh et al.[6]은 수동형 RFID 장비로 Hartford 병원에서 의료자산에 대한 모니터링을 한 결과 바코드를 사용했던 이전보다 관리 및 위치추적이 훨씬 쉽고 수월해짐으로써 장비에 대한 분실을 방지하고, 위치 파악의 노력 절감효과가 크다는 연구 결과를 보여주었다. Patrid and Dominique[12]는 RFID 기술을 활용하여 환자에 대한 정보, 혈액관리, 의약품 등에 대한 위조방지, 의료기구 및 환자, 병원 관계자의 위치 파악, 의료기구의 도난 방지 등 병원을 스마트하게 관리하는 방안을 제시하고 있다. In et al.[7]은 약물주입 펌프(infusion pump), 침구류, 휠체어 등 2,500여종의 의료자산에 대하여 2D 바코드로 보강된 능동형 RFID 시스템을 소개하고 있다.

이와 같이 기존의 연구들은 RFID 기술을 병원환경에 적용하여 인원관리, 자산관리 등 효율성을 향상시킨 것을 주로 소개하고 있으나 분실된 자산에 대하여 추적 방안과 천정 고정식 리더기의 최적 설치위치 등 시간과 비용에 대한 효율화 방안에 대해 연구가 미흡한 실정이다.

3. 연구개요

병원에서 환자를 위한 약물주입 펌프(infusion pump), 환자용 침구, 휠체어 등과 같은 이동소요가 큰 수많은 의료 자산의 위치를 파악하고 분실시에 빠르게 추적하는 것[7]은 제 2장에서 언급한 것과 같이 병원관리의 효율성과 비용절감 측면에서 중요한 문제이다. 따라서 본 연구는 병원과 같은 실내 환경에서 RFID 장비를 활용하여 분실 자산에 대해 어떻게 효과적이고, 적은 비용으로 관리할 것인가 방안을 제시한다.

의료 자산의 위치파악을 위해서는 RFID 리더기의 기능에 따른 특성을 이해하고 활용하는 것이 중요하다. 리더기의 종류는 다음의 3가지 방식이 있다[9].

- 1) 휴대용 리더기
- 2) 천정 고정식 리더기
- 3) 통행지역 고정식 리더기

하지만 본 연구는 연구범위를 병원시설 전체를 대상으로 하지 않고 하나의 방으로 이루어진 특정 공간으로 제한함으로써 주로 문이나 주요 복도에 설치하는 통행지역 고정식 리더기를 제외하겠으며, 탐색자가 이동하면서 분실물의 위치를 탐지할 수 있는 휴대용 리더기와 주어진 방의 천정에 설치하는 천정 고정식 리더기만을 활용함을 미리 밝힌다.

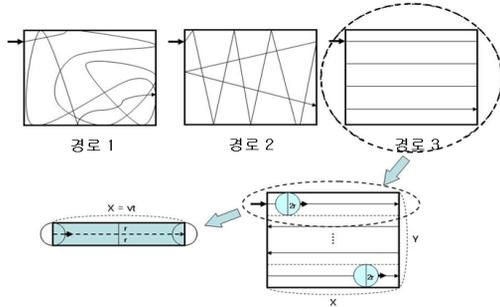
연구는 다음 두 가지 접근방법으로 단계화하여 수학적 모형을 정립하고 모형에 대한 전개 및 실험을 하였다. 첫째, 휴대용 리더기를 사용하여 다양한 환경에서 RFID 태그가 내장된 물품의 위치를 추적하는 탐색방법을 기대시간에 대한 수리모형으로 정립한다. 일반적으로 분실물이 발생하였을 때 탐색자의 탐색패턴은 같은 공간이라 할지라도 사람들이 자주 다니거나 원래 분실자산이 있을 가능성이 높은 곳을 먼저 탐색한다는 가정 하에 탐색방법을 분실물이 있을만한 가능성과 탐색자의 이동거리를 고려하여 4가지 휴리스틱 방안을 제시하였고, 이 중 보다 효과적인 탐색경로를 찾는다. 둘째, 추적과정의 효율성을 극대화하기 위해 실내 천정 고정식 리더기의 최적 설치 위치를 알아본다. 휴대용 리더기를 들고 있는 탐색자는 주어진 공간 안에 천정 고정식 리더기를 설치함으로써 탐색시간을 절약하는 효과를 볼 수 있으며, 여기서 천정 고정식 리더기의 설치 위치에 따라 탐색 기대시간 또한 변화가 있음을 확인할 것이다.

4. 수리모형

4.1 탐색 기대시간에 대한 일반 수리모형

병원 내 하나의 방으로 된 공간에서 분실물을 찾을 때, 그 방의 가로, 세로 길이를 X , Y 라고 하자. 방 전체에서 분실 자산을 찾을 확률이 동일하다면 [그림 1]과 같이 여러 가지의 탐색경로를 생각할 수 있으며, 그 중 경로 3은 경로 1과 2에서처럼 지나간 곳을 다시 중복해서 탐색함으로써 탐색시간이 지연되는 것을 방지하여 가장 효율적인 방안이라 생각

할 수 있다.



[그림 1] 실내공간의 가능한 탐색경로

휴대용 리더기의 센서 감지 반경이 r , 탐색자의 탐색중 이동속도가 v_1 일 때, 방 전체를 탐색하는데 소요되는 최소 시간(T_e)은 다음과 같다.

$$T_e = XY/2rv_1 \quad (1)$$

식 (1)은 탐색자가 [그림 1]의 경로 3을 따라 이동하였을 때 걸린 시간과 동일하다. 따라서 이번 연구에서는 물건을 찾을 확률이 동일한 공간에서 탐색자의 탐색패턴은 경로 3을 따르는 것으로 가정한다.

T_e 는 하나의 방 전체를 탐색하는데 소요되는 시간일 때, t 시간 내에 분실물을 찾을 확률은 다음과 같다.

$$p(t) = 1/T_e, \quad 0 < t < T_e \quad (2)$$

동일한 조건에서 물품을 찾기 위한 기대시간은

$$E[T] = 1/2 \times T_e \quad (3)$$

이다. 추가적으로 고려해야할 것은 휴대용 리더기의 물체 감지 반경 r 이다. 방 전체에 분실물을 찾기 위한 기대시간을 $g(r)$ 이라 하였을 때, r 이 충분히 클 경우 리더기가 분실물을 감지하여 찾았다는 신호를 보내는 시간은 식 (1)로부터 상대적으로 빨라짐을 알 수 있다. 하지만 r 이 충분히 크다는 가정을

하였으므로 리더기의 탐지 이후 탐색자가 분실물을 찾아야하는 별도의 시간이 필요할 것이다. 예를 들어 분실물이 캐비닛 안에 들어있을 경우 리더기가 탐지를 했다하더라도 탐색자가 눈으로 식별이 불가능하여 주변을 다시 찾는 경우를 고려해야한다. 이때 걸리는 추가시간을 $h(r)$ 이라 하면, $h(r)$ 은 리더기 탐지반경 r 에 영향을 받는다.

$$g(r) = 1/2 \times T_e + h(r) \quad (4)$$

즉 식 (4)로부터 r 이 증가하면, 리더기에 의해 대략적 위치를 파악하는 시간은 줄어드는 반면, 탐색자가 직접 물품을 찾는 시간은 증가하는 것을 알 수 있다.

수리모형을 보다 현실에 맞게 구체적으로 표현하기 위하여 앞에서 언급한 하나의 방을 N 개의 부분공간(sub-section)으로 나누고 각 부분공간에 번호를 부여하면 [그림 2]와 같이 표현할 수 있다.

출입문 →	1	2	3		
					
		N-2	N-1	N	

[그림 2] 하나의 방을 N 개로 나눈 부분공간

RFID 태그가 부착되어 있는 분실물이 부분공간 i 에 있을 확률을 \bar{P}_i 라 하고, P_i 를 \bar{P}_i 확률이 높은 순으로 재배열한 것이라 하면 $P_1 > P_2 > \dots > P_N$ 이 된다. 다시 말하면 탐색자는 일반적인 인간의 탐색패턴에 따라 분실물이 있을 확률이 큰, 낮은 번호를 부여한 부분공간부터 먼저 확인한다. t_e 는 하나의 부분공간을 탐색하는데 걸리는 시간이라 하고, 이때 부분공간의 가로 너비와 세로 높이를 각각 x 와 y 라고 하자. 또한 $O_i = j$ 에서 i 를 탐색자가 부분공

간 j 를 방문하는 순서라 하고, $d_{j-1,j}$ 를 부분공간 $j-1$ 에서 j 로 가는 최단거리라고 하자. 이 때 실제로 분실물이 i 번째 부분공간에 있다고 하면 Tag 를 분실물의 위치를 나타내는 확률변수(random variable)라 할 때,

$$E[T|Tag = i] = \sum_{j=1}^i \frac{d_{O_{j-1},O_j}}{v_1} + \frac{t_e}{2} + (i-1) \times t_e + h(r) \quad (5)$$

식 (5)에 의해 휴대용 리더기를 이용하여 주어진 실내공간 내 태그가 부착된 자산을 찾는 데 소요되는 기대시간은 다음과 같다.

$$E[T] = \sum_{i=1}^N P_i \times E[T|Tag = i] \quad (6)$$

따라서 다음과 같이 각 탐색경로에 대한 태그된 물품들을 탐색하는데 소요되는 시간을 산출할 수 있다.

<목적함수>

$$Min_{o_1, o_2, \dots, o_N} \sum_{i=1}^N P_i \times \left(\sum_{j=1}^i \frac{d_{O_{j-1},O_j}}{v_1} + (i-1) \times t_e + \frac{t_e}{2} \right) + h(r)$$

<제약식>

$$\begin{aligned} O_i &\neq O_j, & \text{for } i \neq j \\ 1 &\leq O_i \leq N, & \text{for } i = 1, \dots, N \\ O_i &: \text{정수}, O_0 &: \text{최초위치} \end{aligned} \quad (7)$$

이 문제의 최적해는 부분공간을 방문하는 최적 순서벡터 (o_1, o_2, \dots, o_N) 의 최소시간으로 주어진다. 이 문제는 방 하나의 전체공간을 N 개로 나누어 찾아다니는 경우 $N!$ 개의 경로 계산이 필요한 전형적인 NP (non polynomial time)-hard이다[4]. 따라서 제시된 최적화 문제를 풀기위하여 탐색순서를 미리 결정하여 반복을 최소화하는 네 가지 휴리스틱 방안을 제안한다.

4.2 휴대용 리더기를 이용한 4가지 휴리스틱 탐색경로 방안

제시하는 4가지 휴리스틱 탐색방안은 일반적으로 물건을 탐색할 때 인간은 분실물이 있을 확률이 높은 곳이나 이동거리를 최소화하여 탐색하려는 행동패턴에 기초한다. 따라서 첫 번째 휴리스틱 방안은 나머지 세 방안과 탐색에 대한 기대시간 비교를 위하여 분실자산이 있음직한 위치에 대한 정보의 활용을 무시하는 진부한 탐색방법을 고려하였다. 즉 [그림 1]의 경로 3과 동일한 방법으로 방 전체를 탐색한다. 두 번째 휴리스틱 방안은 잃어버린 물품이 있을만한 가능성이 높은 곳, 즉 주로 사람들이 많이 이용하는 장소를 먼저 탐색하는 방법이다. 예를 들어 의료자산을 잃어버린 경우 진료실에서 분실물을 찾으려면 동일 공간이라 할지라도 진료를 주로 하는 위치에 있을 경우가 높으므로 진료책상이나 그 주변을 먼저 찾아보는 방안이다. 세 번째 휴리스틱 탐색방안은 두 번째와 같은 개념으로 분실물이 위치할 가능성이 높은 곳을 먼저 탐색하지만, 두 방안의 차이점은 부분공간 사이를 이동시 탐색자가 다음 찾을 부분공간으로 휴대용 리더기를 작동하지 않고 빠르게 이동하느냐 아니면 시간이 조금 더 소요되더라도 부분공간 사이를 이동하면서 탐지를 계속함으로써 우연치 않게 분실된 물품을 찾아 시간과 노력을 절약하느냐의 차이이다. 마지막으로 네 번째 휴리스틱 방안은 다음 탐색공간으로 이동시에 확률과 거리를 모두 고려하는 방법이다. 이 전략에서는 탐지확률이 높은 곳과 이동거리가 짧은 곳 사이에 무엇을 선택하는 것이 유리한가 가중치를 부여하여 판단할 수 있다.

4.2.1 휴리스틱 방안 1의 기대시간 수리모형

휴리스틱 방안 1은 현재 부분공간을 탐색하는 동안 다른 부분공간에 위치한 물품이 탐지되는 것을 방지하기 위하여 제 3.1절의 t_e 를 다음과 같이 재정의 한다. 즉, \bar{R} 를 경로 3의 방법으로 부분공간을 탐색했을 경우 좌우로 움직이는 반복횟수라 하고, 부

분공간 탐지시간 t_e 를 정리하면 다음과 같다.

$$t_e = \frac{x}{v_1} \times \bar{R} \quad (8)$$

이 때, $\bar{R} = y/2r$ (\bar{R} 는 소수자리를 올림하여 가장 가까운 정수). 따라서 휴대용 리더기로 주어진 전체 실내공간을 탐색하여 물품을 찾는 데 걸리는 기대시간은 다음과 같다.

$$E^1[T] = \sum_{i=1}^N \bar{P}_i \times \left((i-1) \times t_e + t_e \times \frac{1}{2} \right) \quad (9)$$

4.2.2 휴리스틱 방안 2의 기대시간 수리모형

휴리스틱 방안 2는 부분공간 사이 이동시 리더기 탐지를 무시하는 경우로, 일반적으로 분실물을 찾을 때 천천히, 탐색과 상관없이 위치를 이동할 때 빠르게 움직이는 행동패턴을 반영하여, 부분공간 사이를 이동할 경우 속도 v_2 ($v_1 < v_2$)를 적용한다. $d_{(i,j)}$ 를 탐색이 끝나고 나오는 부분공간 i 와 탐색을 하러 들어가는 부분공간 j 사이의 거리라고 하면, 이 때 전체 실내공간을 탐색하여 분실물을 찾을 기대시간은

$$E^2[T] = \sum_{i=1}^N P_i \times \left(\sum_{j=1}^i \frac{d_{(j,i)}}{v_2} + (i-1) \times t_e + t_e \times \frac{1}{2} \right) \quad (10)$$

4.2.3 휴리스틱 방안 3의 기대시간 수리모형

휴리스틱 방안 3은 휴리스틱 방안 2와 달리 우연치 않게 분실물을 발견하는 경우를 고려한 것으로 두 부분공간 사이의 이동속도를 v_1 과 동일하게 고려한다. 따라서 X 를 i 번째 부분공간에서 탐지하였을 경우라 하고, Y 를 부분공간 이동 중에 탐지한 경우라 할 때, N 개로 나누어진 전체 방에서 물품을 찾을 기대시간은, Bayes' 정리[5]에 의하여

$$\begin{aligned} E^3[T] &= \sum_{j=0}^1 \sum_{i=1}^N E(T|X=i, Y=j) \cdot P(X=i, Y=j) \\ &= \sum_{i=1}^N E(T|X=i, Y=0) \cdot P(X=i, Y=0) \end{aligned}$$

$$+ \sum_{i=1}^N E(T|X=i, Y=1) \cdot P(X=i, Y=1) \quad (11-1)$$

Z 를 탐색자가 부분공간 s ($s=1, \dots, N$)로 이동하는 상태라 정의하면

$$\begin{aligned} E^3[T] &= \sum_{i=1}^N E(T|X=i, Y=0) \cdot P(X=i, Y=0) \\ &+ \sum_{s=1}^N \sum_{i=1, s \neq i}^N E(T|X=i, Y=1, Z=s) \\ &\cdot P(X=i, Y=1, Z=s) \end{aligned} \quad (11-2)$$

한 부분공간에서 잃어버린 물품이 발견되었을 때 기대시간을 알고 있으므로

$$\begin{aligned} E^3[T] &= \sum_{i=1}^N P_i \times \left((i-1) \times t_e + t_e \times \frac{1}{2} \right) \\ &+ \sum_{s=1}^N \sum_{i=1, s \neq i}^N E_{is}[T] \cdot P_{is} \\ &= \sum_{i=1}^N P_i \times \left((i-1) \times t_e + t_e \times \frac{1}{2} + \sum_{i=1, s \neq i}^N E_{is}[T] \cdot P_{is} \right) \end{aligned} \quad (11-3)$$

$E_{ij}[T]$ 는 부분공간 i 와 j 사이를 이동하는 동안 분실물을 발견할 기대시간이며, P_{ij} 는 그 확률이다.

4.2.4 휴리스틱 방안 4의 기대시간 수리모형

휴리스틱 방안 4는 탐지확률이 높은 곳과 이동거리가 짧은 곳 사이에 무엇을 선택하는 것이 유리한가 가중치를 부여하여 판단할 수 있다. 탐색자가 부분공간 i 에 있다고 가정하였을 때 J_i 는 탐색자가 아직 통과하지 않은 부분공간들의 집합(index set)이다. 다음 탐색할 부분공간 j^* 은 다음과 같다.

$$j^* = \operatorname{argmin}_{j \in J_i} \left(\frac{q_j}{\sqrt{\sum (q_j - \bar{q})^2 / (N-1)}} + \lambda \cdot \frac{d_j}{\sqrt{\sum (d_j - \bar{d})^2 / (N-1)}} \right) \quad (12)$$

식 (12)에서 $q = 1/p$ 이고, λ 는 거리에 대한 가중치이다. \bar{q} 는 기하평균으로 $\bar{q} = (q_1 \cdot \dots \cdot q_N)^{1/N}$ 이며, \bar{d} 는 산술평균으로 $\bar{d} = \frac{1}{N} \sum d_i$ 를 말한다. 식 (12)을 통해 확률과 거리 사이의 상대적으로 다른 척도를 균형있게 표준화하였다. 이로부터 휴리스틱 방안 4의 기대시간은 다음과 같다.

$$E^4 [T|\lambda] = \sum_{i=1}^N P_{j_i} \times \left(\sum_{k=1}^i \frac{d_{(j_{k-1}, j_k^*)}}{v_2} + (i-1) \times t_e + t_e \times \frac{1}{2} \right) \quad (13)$$

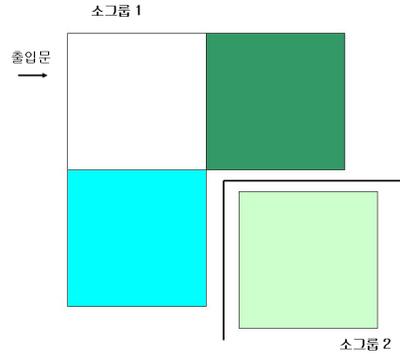
휴리스틱 방안 4의 특이한 사례는 $\lambda = \infty$ 일 때, 휴리스틱 방안 1과 같으며, $\lambda = 0$ 일 때 휴리스틱 방안 2와 같은 결과가 나오고, $\lambda = 1$ 일 때 거리와 확률을 동일하게 고려하게 된다. 탐색시간을 최소화하는 λ^* 에 대하여 제 5.2.3절에서 좀 더 알아보도록 한다.

4.3 휴대용 및 고정식 리더기 모두 사용시 기대시간 수리모형

천정 고정식 리더기를 방 안에 추가적으로 설치 가능 할 때, 이 리더기가 휴대용 리더기보다 방안 어딘가에 있을 분실물에 대하여 보다 빨리 넓은 범위에서 탐지한다면 탐색해야 하는 부분공간의 크기는 작아져서 탐색자의 시간과 비용은 절약된다. 따라서 이번 절에서는 탐색하려는 방에 고정식 RFID 리더기가 설치되어있다고 가정하자.

방 전체공간을 [그림 3]과 같이 $M(M \leq N)$ 개의 작은 소그룹(sub-groups)으로 나눌 수 있고, 이 때 소그룹은 한 개 이상의 부분공간으로 된 집합이다. 소그룹을 나누는 기준은 천정 고정식 리더기의 탐지반경에 따라 결정되며, 탐지이후의 분실물을 찾을 때까지 휴대용 리더기를 이용하는 시간이 더해진다. S_m 을 소그룹 $m(1 < m < M)$ 에 포함된 부분공간의 집합이라 하면, 소그룹 m 내에서 분실물을 찾

기 위한 확률은 $P_m = \sum_{i \in S_m} p_i$ 이다. 이 때 p_i 는 i 번째 부분공간에 물품이 있을 확률이 된다.



[그림 3] 하나의 방을 M개로 나눈 소그룹

분실물이 소그룹 m 에 있을 때 분실물을 찾기 위해 소요되는 시간을 $E(T_m | Tag1 = m)$ 로 정의하고, $Tag1$ 을 분실물이 있을 소그룹을 말하는 확률변수라 할 때, 천정 고정식 리더기가 설치된 방에서의 탐지 기대시간 $E[T]$ 는 다음과 같다.

$$E[T] = \sum_{m=1}^M P_m \times E(T_m | Tag1 = m) \quad (14)$$

휴대용 리더기만으로 탐색하는 경우와 다르게 천정 고정식 리더기를 설치할 경우 추가적인 비용이 필요하다. 따라서 천정 고정식 리더기의 추가 설치비용이 분실물을 찾는 탐색시간을 줄여 노동력에 대한 비용대 효과 측면과 효율성을 확인 후 더 나은 방안을 택해야 할 것이다.

5. 수리모형에 대한 실험 및 분석

5.1 2x2 부분공간 실험 및 분석

5.1.1 휴대용 리더기만을 활용한 실험

탐색자는 병원의 의료자산을 찾기 위하여 휴대용 리더기를 이용하며, 휴대용 리더기의 탐지 반경 r 은 1미터이다. 탐색간 이동속도 v_1 는 0.5m/s이고, 탐색

없이 다음 부분공간으로 빠르게 이동시 속도 v_2 는 1m/s이다. 분실물을 찾기 위한 전체 방의 크기는 $16 \times 16m^2$ 이며, $8 \times 8m^2$ 의 네 개의 부분공간으로 나누어 실험한다. 또한 각각의 부분공간에서 RFID 태그가 부착된 물품을 찾을 수 있는 확률은 <표 1>과 같다. 확률은 인간행동평가(human motion estimation)[2, 10]에 의하여 사전에 주요 병원 내 근무자의 활동내역을 파악하여 실제 확률을 파악할 수 있으나 본 연구에서는 제시한 휴리스틱 방법의 효율성을 평가하는 것으로 가정에 의해 <표 1>과 같이 적용한다.

<표 1> 각 부분공간에서 분실물이 존재할 확률

부분공간 1	부분공간 2	부분공간 3	부분공간 4
5%	50%	25%	20%

의료시설 내 하나의 방으로 이루어진 전체공간을 2×2 로 나누어 탐색자의 가능 이동경로를 보면 총 24개이며 이중 <표 1>을 적용 시에는 $2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ 순으로 찾았을 때 가장 효율적이고 기대 탐색 시간은 식 (7)에 의하여

$$\begin{aligned}
 E[\bar{T}] & \quad (15) \\
 &= \sum_{o_1, \dots, o_4} P_i \times \left(\sum_{j=1}^i \frac{d_{o_j \rightarrow o_j}}{v_1} + (i-1) \times t_e + \frac{t_c}{2} \right) \\
 &= 92.3
 \end{aligned}$$

이 된다. 분실물을 찾을 때 방을 N 개의 임의의 부분공간으로 나누었을 경우 $N!$ 만큼의 수동적 계산을 통하여 결과를 확인하여야 한다. 실험에서와 같이 부분공간을 4개로 나누었을 경우 $4!$ 만큼 계산하여 결과를 얻은 것이 한 예이다. 그러나 위 결과 자체 4장에서 제시한 높은 확률을 따라 탐색 시의 경로와 일치하는 것을 알 수 있으므로 휴리스틱 방안들 중 최적의 방안을 찾아 불필요한 반복계산을 줄일 수 있다. 물론 차후에 실험을 통해 설명하겠지만 확률이 높은 곳을 우선 방문한다고 해서 반드시 최선의 방법이라 단정 지을 수 없다.

5.1.2 휴대용 및 천정 고정식 리더기 모두를 활용한 실험

휴대용 리더기와 천정 고정식 리더기를 모두 이용하여 태그가 부착된 분실물을 탐지하기 위한 기대 시간은 식 (14)과 같다. 식 (14)으로부터 최적값을 찾기위한 수식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

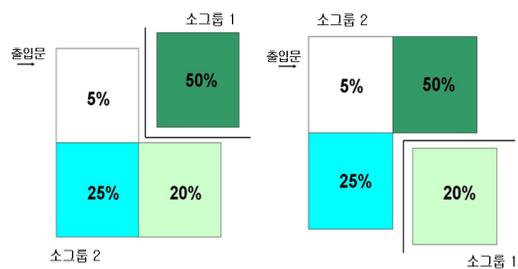
$$E[T] = \sum_{m=1}^M P_m \times \left(\sum_{i=1}^4 \frac{P_i}{P_m} \times \left(\sum_{j=1}^i \frac{d_{o_j \rightarrow o_j}}{v_1} + (i-1) \times t_e + \frac{t_c}{2} \right) \right)$$

<s.t.>

$$\begin{aligned}
 &O_i \neq O_j, \quad \text{for } i \neq j \quad (16) \\
 &1 \leq O_i \leq N, \quad \text{for } i = 1, \dots, N \\
 &O_i : \text{정수}, O_0 : \text{최초위치}
 \end{aligned}$$

천정 고정식 리더기의 설치위치에 따라 분실물을 탐지하는 시간이 영향을 받는다. 실험에서는 가능한 설치 위치를 다음 두 가지로 나누어 고려한다.

- 1) [그림 4](a)에서와 같이 가장 높은 확률을 가진 소그룹에 설치하는 경우와
- 2) [그림 4](b)에서와 같이 최초 탐색시작 위치로부터 가장 먼 곳에 설치하는 경우이다.



(a) 확률이 가장 높은 곳에 설치 (b) 가장 먼 곳에 설치

[그림 4] 천정 고정식 리더기 설치 가능 위치

각각의 경우 천정 고정식 리더기가 분실물에 대하여 탐지를 하면 탐색자는 해당 소그룹 1로 바로 이동하여 탐색을 실시하고, 반면에 탐지를 하지 않았을 경우 소그룹 2에 대하여서만 탐색을 실시하면 된다.

<표 2> 전체공간 크기별 평가결과

(단위 : 시간(초))

크기	휴대용	휴대용 및 고정식		시간 절약 (%)
		확률 높은 곳	먼 곳	
16×16m ²	92.30	61.30	64.06	33.6
24×24m ²	200.30	130.30	136.59	34.9
32×32m ²	349.90	224.90	236.33	35.7
40×40m ²	541.10	345.10	363.26	36.2

<표 2>는 실내공간의 크기를 다양하게 변화시킬 경우 실험결과 값을 보여주고 있다. 실내공간 16×16m²인 장소에서 휴대용 리더기만을 이용하여 탐색한 경우와 비교하였을 때 천정 고정식 리더기를 추가 설치하여 탐색을 하면 33.6%의 시간절약이 가능하다. 두 종류 리더기 모두를 사용하고 설치 위치만 확률이 높은 곳과 먼 곳으로 나누어 평가하면 확률이 높은 곳에 설치하였을 경우가 보다 효율적이었다. 천정 고정식 리더기의 수가 제한적이라면 천정 고정식 리더기의 효과는 설치위치와 확률분포에 영향을 받음을 알 수 있다.

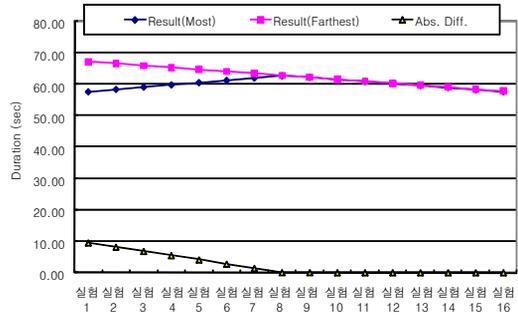
5.1.3 확률의 변화에 따른 휴리스틱 방안 변화 및 천정 고정식 리더기 최적 설치 위치 선정 실험

본 절은 앞에서 제시한 휴리스틱 방안들과 천정 고정식 리더기의 설치 위치 변화가 실제 어느 정도 영향을 주는지 알아보기 위하여 먼저, 가장 높은 부분공간 확률이 P_2 에 있을 경우에 대하여 부분공간의 확률을 조금씩 변화시키면서 4가지 시나리오에 대한 결과를 알아보고, 이어서 가장 높은 부분공간 확률이 P_1 에 있을 경우 동일하게 부분공간의 확률을 조정된 4가지 시나리오에 대한 실험을 구성하였다.

5.1.3.1 가장 높은 부분공간 확률이 P_2 에 있을 경우

시나리오 1(<부록 A> 참조)은 무엇이 탐색시간에 영향을 주는가를 판단하기 위하여 확률을 다양

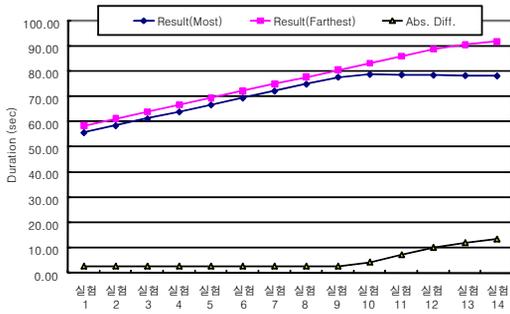
하게 변화시켰다. 즉, 확률의 크기 분포를 두 가지로 나누어 $\bar{P}_3 > \bar{P}_4$ 와 $\bar{P}_3 < \bar{P}_4$ 인 경우를 보았다. [그림 5]는 두 번째와 세 번째 확률의 차이가 작아지면 탐색시간의 차이도 줄어들고 있다. 실험 9~실험 13의 결과는 천정 고정식 리더기가 먼 곳에 설치되었을 경우 더 효과적이라는 결과가 나왔지만 그 차이가 매우 작아 구분할 수 없을 정도이며, 따라서 시나리오 1의 경우 천정 고정식 리더기를 확률이 높은 곳에 설치하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다. 탐색경로는 모든 사례에서 확률이 높은 곳부터 우선적으로 탐색하는 결과를 보였다.



[그림 5] 시나리오 1 수치실험 결과

<부록 A>의 시나리오 2는 부분공간의 확률이 점차 비슷해질 경우이다. [그림 6]의 결과 시나리오 2의 모든 경우 분실물을 찾을 확률이 높은 곳에 천정 고정식 리더기를 설치하는 것이 유리하게 나왔다. 탐지에 대한 기대시간은 부분공간 1의 확률이 가장 낮을 경우 천정 고정식 리더기의 설치위치에 따라 일정한 탐지시간 차이를 보이고 있으나, 부분공간 1의 탐지확률이 부분공간 4의 탐지확률 보다 향상되면 확률이 높은 곳에 천정 고정식 리더기를 설치하면 매우 효과적인 결과를 가져온다. 특이한 점은 탐지확률이 비슷하게 변할수록 탐색자의 최적 탐색경로는 최초위치 출입문에서 가까운 거리부터 탐색을 하는 것이 효과적이라는 결과를 보여주었다. 즉, 실험 10~14의 탐색경로는 확률의 크기에 상관없이 1 → 3 → 4로 나왔다(부분공간 2는 천정 고정식 리더기 설치로 이동경로에 포함되지 않음).

이와같은 결과로 제 4장의 휴리스틱 방안 4에서 언급하였듯이 탐색경로 결정에는 확률뿐만 아니라 거리도 영향을 줄을 알 수 있다. 보다 자세한 내용은 제 5.2절에서 언급한다.



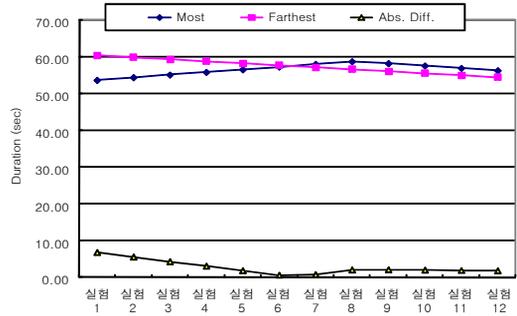
[그림 6] 시나리오 2 수치실험 결과

<부록 A>의 시나리오 3과 시나리오 4는 부분공간 2과 부분공간 3의 확률을 변화시키면서 변화의 추이를 보는 것으로 이전의 시나리오들과 비슷하게 천정 고정식 리더기를 가장 확률이 높은 곳이나 설치하는 것이 출입문으로부터 가장 먼 곳에 리더기를 설치하는 것보다 효과적이라는 결과를 보여준다.

지금까지의 결과를 보면, 모든 경우에 확률이 높은 곳에 천정 고정식 리더기를 설치하는 것이 유리하였으나 확률이 가장 높은 부분공간을 방의 출입문에 가장 가까운 곳으로 옮길 경우에 동일한 결과가 나오는지 아래에서 추가하여 실험하였다.

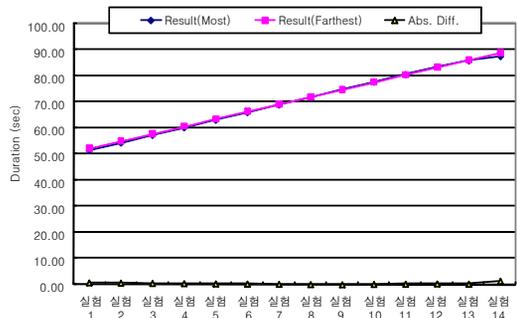
5.1.3.2 가장 높은 부분공간 확률이 P_1 에 있을 경우

<부록 B>의 시나리오 5부터 시나리오 8까지도 시나리오 1~시나리오 4와 마찬가지로 각 부분공간의 확률변화가 어떻게 탐지 기대시간에 영향을 주는가 확인해 보았다. 시나리오 5의 확률변화 데이터를 적용한 결과인 [그림 7]은 실험 7부터 고정식 리더기를 문으로부터 가장 먼 곳에 설치하는 것이 효과적임을 알 수 있다. 고정식 리더기가 설치되어 있지 않은 곳의 탐색자 최적 탐색경로는 확률의 순서와 일치하였다.



[그림 7] 시나리오 5 수치실험 결과

<부록 B>의 시나리오 6은 최대 확률과 최소 확률의 차이가 점점 줄면서 부분공간의 각 확률들이 비슷해지는 경우이다. [그림 8]에서와 같이 최대 확률이 줄어들어 따라 고정식 리더기가 멀리 설치되었을 때 탐지 기대시간은 조금씩 더 줄어든다. 실험 13과 실험 14의 기대시간에서 최대 확률에 고정식 리더기를 설치하는 것이 유리한 것으로 결과가 도출되나 그 시간차이가 1초 이내로 무시해도 무방할 시간차이이므로 결국 시나리오 6역시 가장 먼 곳에 고정식 리더기를 설치하였을 경우 좀 더 효과적이다.



[그림 8] 시나리오 6 수치실험 결과

시나리오 7과 시나리오 8은 각 부분공간에서 확률이 차지하는 비중의 중요성을 보여준다. 가장 먼 곳의 확률이 20% 이상일 경우 고정식 리더기를 먼 곳에 설치하는 것이 유리하다.

이상에서와 같이 가장 높은 부분공간의 확률이 어디에 위치하느냐에 따라 고정식 리더기의 설치 위치를 변경해야 함을 실험을 통해 확인할 수 있었으

며, 휴대용 리더기의 탐색경로도 거리와 확률에 따라 그 순서가 달라지는 것을 알 수 있었다.

5.2 MATLAB을 활용한 수치해석

본 절에서는 실내공간의 구조를 세분화하여 실제 병원의 실내 공간활용에 좀 더 근접한 상태로 실험을 한다. 제 2장에서 언급한 것처럼 실내공간을 N 개로 나누면 $N!$ 개의 탐색경로에 대하여 모두 고려하여야 하므로 MATLAB을 활용하여 수치해석을 하였다.

5.2.1 MATLAB 코드에 대한 신뢰성 검증

NP-hard 문제의 실험을 위해 MATLAB의 휴리스틱 방안들에 대하여 직접 코딩한 내용의 신뢰성을 위하여 다음과 같이 결과값에 대한 검증을 실시하였다.

<표 3> 시뮬레이션 신뢰성 검증비교

	최적해			MATLAB 결과값		
	휴대용	확률 높은곳	먼곳	휴대용	확률 높은곳	먼곳
실험 1	105.4	64.90	70.83	112.3	63.95	73.98
실험 2	102.1	64.90	67.53	100.5	62.32	65.69
실험 3	92.30	61.30	64.06	93.47	61.93	65.69
실험 4	82.50	57.70	60.60	82.98	57.93	57.52
실험 5	72.70	54.10	57.13	72.95	53.65	55.38
실험 6	58.98	46.42	49.53	57.01	45.86	47.55

<표 3>은 시나리오 1의 실험 데이터를 활용하여 MATLAB으로 수리식을 코딩한 결과값이다. 최적해와 시뮬레이션 결과의 차이가 0.36%로 구현한 코드는 NP-hard 문제의 근사해로써 결과가 유효하다고 할 수 있다. 따라서 다음의 3×3 실험에서는 MATLAB을 이용한 값으로 실험을 분석한다.

5.2.2 MATLAB을 활용한 3×3 부분공간 실험

탐색자가 현실에 보다 유사한 3×3으로 나누어진 방에서 분실물을 빠른 시간 내에 찾으려면 탐색경

로를 어떻게 해야할 것인가 확인하기 위해 부분공간의 확률을 변화시켜보고 제 4장에서 제시한 휴리스틱 방안들을 활용하여 실험 및 분석한다.

<표 4>의 시나리오 9는 일반적인 병원내 하나로 된 방을 3×3 부분공간으로 나누고 확률은 인간의 행동패턴에 맞게 지정하였으며, 네 가지 실험으로 구분하여 각 부분공간의 활용도를 조정하였다. 또한 각 실험별 부분공간의 크기를 2미터로부터 2미터씩 증가시켜 20미터까지 확장하여 실험함으로써 거리에 따른 휴리스틱 방안의 변화를 확인한다. 계산은 앞에서 설명한바와 같이 MATLAB 2010a로 실행하였으며, Intel Core Duo CPU E8500 3.16GHz LG-PC에서 실행하였고, 1000회 반복하여 나온 결과를 사용하였다.

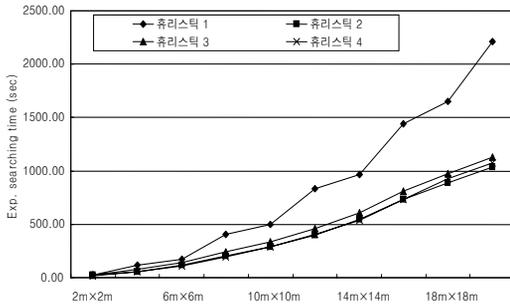
[그림 9]는 휴대용 리더기를 사용하여 분실물을 탐지하는데 실험 1부터 4에 대하여 휴리스틱 방안들 중 최소시간 결과를 보여준다. 휴리스틱 방안 2와 3의 탐색경로는 8 → 2 → 3 → 9 → 7 → 1 → 4 → 5 → 6이며, 이와 비교하여 휴리스틱 방안 4의 탐색경로는 2 → 3 → 8 → 9 → 7 → 1 → 4 → 5 → 6이다. 다수의 부분공간으로 방을 나누어 탐색시 탐색경로는 휴리스틱 방법들에 따라 분명히 차이가 있음을 확인할 수 있다. 다시 말하면 다음 탐색 부분공간을 결정하기 위한 탐색경로를 찾을 경우 이동거리가 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 부분공간의 크기가 증가함에 따라 제시된 상황에서 분실물을 찾기 위한 최소기대시간은 휴리스틱 방안 4로부터 방안 2로 바뀌는 것을 볼 수 있다. 즉, 부분공간의 크기가 점차 증가함에 따라 부분공간 사이의 거리보다는 확률에 따라 탐색하는 것이 효과적임을 알 수 있다. [그림 9]는 휴리스틱 방안 2를 실험 4에 적용한 결과가 실험 1에 적용한 결과보다 두 배 빠른 것을 보여준다. 다시 말하면 분실물의 있을 가능성 정보가 분명할 경우 탐색에 소요되는 시간은 현저하게 줄어든다는 것이다.

5.2.3 이동거리와 확률의 관계 λ

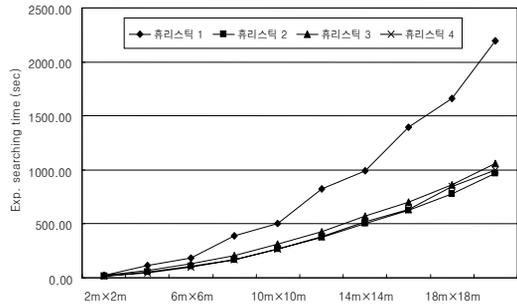
식 (12)의 이동거리와 확률관계에서 가장 최적화

〈표 4〉 시나리오 9의 부분공간 내 확률 분포

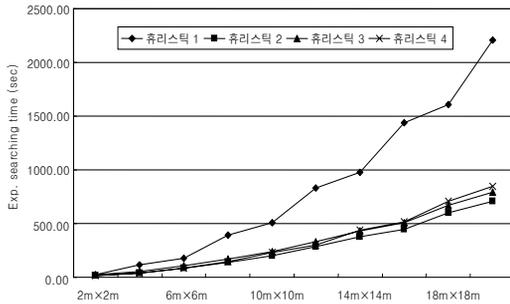
실험 1	부분공간 No.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1.85%	22.22%	18.52%	1.85%	1.85%	1.85%	11.11%	25.93%	14.81%
실험 2	부분공간 No.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0.96%	24.04%	19.23%	0.96%	0.96%	0.96%	9.62%	28.85%	14.42%
실험 3	부분공간 No.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0.39%	27.56%	15.75%	0.39%	0.39%	0.39%	3.94%	43.31%	7.87%
실험 4	부분공간 No.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0.30%	21.28%	6.08%	0.30%	0.30%	0.30%	3.04%	63.83%	4.56%



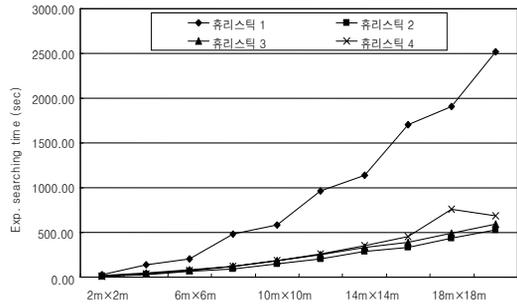
(실험 1)



(실험 2)



(실험 3)



(실험 4)

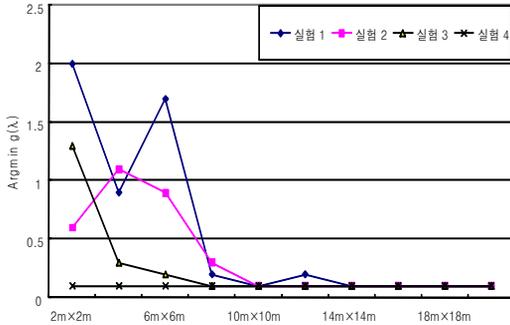
〈그림 9〉 시나리오 9의 실험별 결과

된 λ 를 얻기 위해 $E^4[T|\lambda]$ 에 대하여 λ 를 0.1부터 0.1씩 증가시켜서 2까지 계산하였다. λ^* 는 $E^4[T|\lambda]$ 의 값을 최소로 만드는 λ 이다.

$$\lambda^* = \operatorname{argmin}_{\lambda} E^4[T|\lambda] \quad (17)$$

[그림 10]은 휴리스틱 방안 4에 시나리오 9의 실험 1~실험 4를 적용하였을 때 λ^* 결과 그래프이다. 그래프는 각 부분공간 크기가 증가함에 따라 λ 의 최적값이 작아지는 것을 보여준다. 결국 시나리오 9에서와 같이 기대 탐지시간은 부분공간의 크기가

증가하면 부분 공간의 확률이 더욱 민감하게 반응함을 알 수 있다.



[그림 10] 거리에 따른 λ^* 의 변화

6. 결론 및 향후 연구방안

본 연구는 병원에서 RFID 기술을 이용하여 어떻게 효율적이며 적은 비용으로 의료자산의 위치를 찾을 것인가 알아보았다. 기존연구는 병원에서 환자의 진료기록 관리 및 병원내 의료자산의 입·출고 관리, 상태가 위독하거나 고령, 장애로 인해 위치확인이 필요한 환자위치 파악 등 단순히 RFID를 활용하여 시스템관리를 강화할 수 있다는 내용이었던 것과 달리, 이번 연구의 성과는 분실 의료자산을 효율적으로 찾기 위한 탐색경로를 알아보고 천정 고정식 리더기를 추가 설치시 어디에 설치하는 것이 물체 식별에 유리하고 비용절감의 효과까지 가져올 수 있는지 확인 할 수 있었다는 점이다. 특히 분실물이 발생하였을 때 RFID 장비를 활용하여 탐색자의 탐색경로를 안내함으로써 탐색시간, 노력 그리고 투자비용을 얼마나 감소하는가를 정량적으로 확인할 수 있는 수리모형을 제시하였다. 또한 제시한 휴리스틱 방안들을 활용하여 전형적인 NP-hard 문제인 이번 실험에 대하여 반복 계산수를 최소화하고 최적해를 구할 수 있었다. 수치실험의 결과로부터 분실물의 찾을 확률이 부분공간의 어느 곳이 높은가에 따라 천정 고정식 리더기의 설치 위치를 달리해야한다는 것과 휴대용 리더기의 탐색경로는 주로

확률이 높은 곳부터 우선순위를 두어야하나 경우에 따라 이동거리 역시 고려해야 할 사항임을 알 수 있었다. 또한 부분공간의 크기가 증가할 기대시간은 확률에 보다 민감해 지는 것도 확인할 수 있었다.

향후 연구방향으로는 이번 논문이 자산의 위치추적을 한정된 하나의 공간에 국한하여 연구한 것에 대하여 그 범위를 확장하여 병원전체에 대한 분실 자산의 효율적 위치추적 연구가 필요하다. 이를 위해 천정 고정식 리더기와 더불어 통행지역 고정식 리더기를 추가한 최적 탐색경로와 설치위치가 고려되어야 한다. 또한 지금까지 직사각형 모양의 실내 공간에 대하여 고려하였으나 보다 다양한 실내모양과 몇 가지 장애요인을 포함한 실험을 함으로써 현실성을 높이는 노력이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Athanasios, S.V., Z.P. Charalampos, B.S. Alexander, A.N. Vaseleios and M.X. Eftychia, "A complete farm management system based on animal identification using RFID technology," *Computers and electronics in agriculture*, Vol.70(2010), pp.380-388.
- [2] Cristian, S., K. Atul, L. Zhiguo, and M. Dimitris, "Discriminative Density Propagation for 3D Human Motion Estimation," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, (2005) pp. 390-397.
- [3] Emory, A.F. and A.L. Leslie, "MASCAL : RFID Tracking of Patients, Staff and Equipment to Enhance Hospital Response to Mass Casualty Events," *AMIA Symposium Proceedings*, (2005), pp.261-265.
- [4] Garey, M.R. and D.S. Johnson, *Computers and intractability : a guide to the theory of NP-completeness*, New York : WH Freeman and Company, 1979.

- [5] George, C. and L.B. Roger, *Statistical Inference*, 2nd ed. CA : Duxbury(THOMSON LEARNING), 2002.
- [6] Haleh, H., R. Raymond, and E. John, "Passive RFID Asset Monitoring System in Hospital Environments," *Proceedings of the IEEE Bioengineering Conference*, (2006), pp.217-218.
- [7] In, K.M., B.K. Allen, W.C. Peter, P.M. Katherine, and W.E. Daniel, "Active RFID System Augmented With 2D Barcode for Asset Management in a Hospital Setting," *IEEE International conference on RFID*, (2007), pp.205-211.
- [8] John, S., G. F. Brian, H. P. Philip, and B.V. John, *Global positioning system : A field guide for the social sciences*, 1st ed. Oxford : Blackwell Publishing Ltd, 2003.
- [9] Klaus, F., *RFID Handbook : Fundamentals and applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication*, 3rd ed. United Kingdom : Wiley and Sons, 2010.
- [10] Ioannis, K. and M. Dimitris, "Model Based Estimation of 3D human Motion," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.22(2000), pp.1453-1459.
- [11] Ni, L.M., Y. Liu, Y.C. Lau, and A.P. Patil, *LANDMARC : indoor location sensing using active RFID*, in Proc. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, (2003), pp.407-415.
- [12] Patrik, F. and G. Dominique, "Building a Smart Hospital using RFID technologies," *European Conference on eHealth*, (2006), pp. 1-14.
- [13] Rob, A.B. and H.V.D. Karel, "A heuristic to manage perishable inventory with batch ordering, positive lead-times, and time-varying demand," *Computer and Operations Research*, Vol.36(2009), pp.3013-3018.
- [14] Stockman, H., "Communication by Means of Reflected Power," *Proceedings of the IRE*, (1948), pp.1196-1204.
- [15] US Food and Drug Administration, *Radio frequency Identification Feasibility Studies and Pilot Programs for Drugs*, The Daily Journal of the US Government, 2010.
- [16] Want, R., A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons, "The Active Badge Location System," *ACM Transactions on Information Systems*, Vol.40, No.1(1992), pp.91-102.

