

A Study on the Effective Health Examination Center Distribution and Space Coordination using Agent based Model

행위자 기반 모형을 활용한 효율적 검진센터 서비스배분 및 공간조정에 관한 연구

Kim, Suktae* 김석태 | Hong, Sachul** 홍사철

Abstract

Purpose: The important things in space plan of a screening center are improving the spatial awareness by space systemization and minimizing the examination time for customers, and reducing the required time of screening work and maximizing the capacity for the screening center. Therefore, we tried to solve the problem of improving spatial awareness and reducing the examination time by using the pedestrian based discrete event simulation at the minimum cost.

Methods: We have analyzed the drawbacks and the supplement points by comparing the floor plan at the time of opening and the current floor plan. Based on the analysis, we propose an improved plan which changes the location of the examination rooms and the number of services, and we also verify the improved plan based on simulation analyses. **Results:** 1) Through the analyses, we derived the drawbacks of the floor plan at the time of opening, and we realized that the current floor plan reflects the drawbacks. 2) The major reasons of the long examination time are the human traffic jam and the occurrence of queues due to unreasonable allocation of services. 3) Through the discrete event simulation analyses, it was possible to specify the place of the queues manually so as to use the given space fairly. 4) Using the discrete event simulation, it was possible to reduce the examination time and to improve the spatial awareness effectively at the minimum cost.

Implications: Although the proposed simulation methodology in this paper is an analysis of the existing screening center, we expect that the proposed methodology will be used to develop a more efficient architectural design process by pre-applying the method to the course of designing a screening center and finding the suitability of the proposed method with the matched number of services.

Keywords Health examination center, ABM, Pedestrian Simulation, Space syntax, DES

주 제 어 건강검진센터, 행위자 기반 모형, 보행자 시뮬레이션, 공간구문론, 이산사건 시뮬레이션

1. Introduction

1.1 Background and Objective

세계적으로 고령화 인구가 증가하고 건강에 대한 일반인들의 관심이 높아지는 가운데, 의료서비스와 관련한 수요가 늘어나고 있지만, 이에 대응하는 의료서비스의 폭발적인 양적

증가는 의료시장의 경쟁을 오히려 심화시키고 있는 상황으로, 경쟁력을 확보할 수 있는 미래의 수단은 질적 수준, 즉 서비스 품질의 향상이 관건이 되고 있다.

병원의 서비스 품질은 많은 선행 연구를 통해 의료기술, 가격, 서비스, 접근성 등 다양한 요인이 작용하고 있는 것으로 파악되고 있지만, 생산대비 비용과 한정된 공간문제 등으로 인하여 개선이 쉽지 않은 것이 현실이다.

병원이 제공하는 의료서비스 중 하나인 건강검진센터는 외래부를 위시한 여타의 다른 의료기능과 달리 지정된 검진과

* Professor, Ph.D, Dept. of Interior Design, Inje University
(Corresponding author: demolish@inje.ac.kr)

** Researcher, Ph.D, Inje Industry Academic Cooperation Foundation

목이 일정한 절차에 따라 진행되는 일관적인 구조를 가지고 있다.

또한 검진비가 어느 정도 일반화되어 있고 의료기술의 영향을 적게 받기 때문에, 상대적으로 환경적 서비스 품질의 영향력을 크게 받는 시설이다.

이에 본 연구에서는 검진센터의 품질개선을 위해 공간의 구조와 검진서비스의 관계라는 관점에서 문제점을 발견하고, 최소한의 비용과 시설보완을 통해 환경적 측면에서 검진서비스를 향상시킬 수 있는 방법을 모색하고자 하였다.

1.2 Research Methods and Scope

연구목표를 달성하기 위하여 다음과 같은 방법과 순서로 진행하였다.

첫 번째, 효율적인 검진서비스를 위해 필요검진과목과 표준검진 절차를 수립한다.

두 번째, 개원당시, 현재의 예시평면 2가지를 제시하고 평면의 구조적 특성을 파악한다.

세 번째, 보행자 기반 이산사건 시뮬레이션 분석을 적용하기 위한 평가지표를 설정하고, 이를 도출할 수 있는 시뮬레이션 분석도구를 구축한다.

네 번째, 시뮬레이션 분석을 통해 동선의 흐름 및 정체, 공용공간의 밀도를 파악하여 문제점을 발견하고, 개원 당시 평면에서 발견된 문제점이 현재의 평면에 경험적으로 어떻게 반영되었는가를 파악하여 비교한다.

다섯 번째, 시뮬레이션 분석을 이용하여 실의 일부배치 변경, 서비스의 조정 등으로 보완한 새로운 개선안을 설계하고, 검증 시뮬레이션 분석을 통해 개선도를 정량적으로 분석하여, 개선안의 효과를 검증한다.

이산사건 시뮬레이션도 복잡계 분석 방법론의 한 종류이므로 일정한 시간이 경과하면 자기 조직화현상이 나타나지만, 동일모델이라도 반복 시뮬레이션 할 때 마다 결과 값에 일정한 차이가 발생하게 된다. 따라서 반복시뮬레이션을 통하여 데이터를 일반화시키는 것이 신뢰도가 높아진다.

본 연구에서는 수용인원 파악을 위한 예비시뮬레이션은 1회만 수행하였고, 검증을 위한 평가는 10회 시뮬레이션을 반복하여 DB화 시키고 이를 종합한 결과를 적용하였다.

2. Research Background

2.1 Demand and Supply of Examination Services

현대 의료의 개념은 치료에서 예방으로, 대상은 환자에서 일반인(잠재적 환자)으로 확대되고 있다.

병원기능의 부속 기능이었던 검진센터는 독립기능으로 위상이 높아지고, 국가 보건정책과 맞물려 수요가 크게 증가하고 있으나, 수요를 압도하는 과도한 공급은 의료시장의 포화현상을 가져왔다.

의료시장의 경쟁강화로 인해 병원은 내외부의 환경변화에

능동적으로 대처하지 않을 경우, 경영성과의 악화로 인해 큰 위험에 직면할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 고객인 환자의 만족에 최우선을 두어야 한다. 병원의 본질적인 목적인 질병을 치료하는 것과 더불어서 진료를 받기까지의 병원에서의 과정, 즉 의료프로세스도 고객만족에 있어서 중요한 요인이다.¹⁾

고객만족의 수준에 대한 평가는 다양한 측면에서 접근할 수 있으나, 그 중 대표적으로 편리성, 품질, 가격, 등을 주요 요인으로 들 수 있다.²⁾

검진센터는 치료와는 달리 의료기술보다는 안락한 환경에서 진단을 받을 수 있는 공간환경의 영향을 크게 받는다. 특히 의료프로세스 중에서 병원의 진료 및 치료시간의 단축은 중요한 요인으로 인지되고 있다.³⁾

이는 영화관람이나 맛있는 식사라는 긍정적인 상황에서 대기하는 일반고객과는 달리 병원의 경우에는 질병치료라는 부정적인 상황에서 대기하는 환자들이기 때문에 대기시간은 만족에 더 큰 영향을 줄 수 있다.⁴⁾

병원은 경쟁력 향상을 위해 다양한 시도가 이루어지고 있으나, 비용절감과 생산성 그리고 전문적인 의료서비스에 한정되고 있는 실정이며, 병원의 고객서비스에 대한 고려는 여전히 매우 낮은 단계에 머물러 있다고 할 수 있다.⁵⁾

그러나 병원은 대기시간을 단축하는 것이 중요하다는 것을 알고 있어도 여러 가지 자원의 한계로 인하여 시설을 늘리거나, 의사나 간호사를 충원하기란 현실적으로 어려운 상황이다. 또한 시설이나 인력을 늘리기 전에 과연 얼마나 늘려야 적은 비용으로 최적의 효과를 얻을 수 있는지 분석해야 한다.⁶⁾

따라서 본 연구에서는 고객의 불만요소에 가장 중요한 요소인 대기시간의 단축과 검진동선에 대한 공간의 명료성을 목표로 하고 있다.

이에 최소한의 비용과 노력으로 편의와 효율성을 증대시킬 수 있는 방법을 공간의 구조적 환경에서 찾고자 하였다.

- 1) Han, Sangsook; Park, Sangchan; Oh, Kaeun; Bak, Wonsook; Lee, Sangchul, Developing Innovation Index of Hospital Service using 6Sigma and SERVQUAL, Journal of Korean Society for Quality Management, 41(4), 2013, pp.555-566
- 2) Dyer, R. F.; E. H. Forman, An Analytic Approach to Marketing Decision, Prentice-hall International Edition, 1993
- 3) Dansky, K. H., Miles, J., Patient Satisfaction with Ambulatory Healthcare Service : Waiting Time and Filling Time, Hospital and Health Service Administration. 42(2), 1997, pp.165-177
- 4) Park, Chankwon; Kwag, Eunjuwo, A Case Study about Managing Waiting Time for Raising Customer's Satisfaction in the Medical Service, Korean Journal of Hospital Management, 14(3), 2009, pp.132-133
- 5) Kwon, Hyunkwon, A Simulation Analysis for the Minimization of Outpatient's Waiting Time at the Enrollment and Receipt Counter in a General Hospital, Journal of Korean Society of Computer and Information, 2(1), 1997, p.98
- 6) Yeo, Hyunjin; Bak, Wonsook; Yoo, Myungchul; Park, Sangchan; Lee, Sangchul, Evaluation of Patients' Queue Environment on Medical Service using Queueing Theory, Journal of Korean Society Quality Management, 42(1), 2014, pp.71-79

2.2 Space Syntax

70년대 본격적으로 개발되기 시작한 공간구조론은 공간을 구조적 측면에서 해석하기 위한 이론들이다.

이중에서 B. Hillier에 의해 제안된 공간구문론(Space Syntax)은 공간을 각각의 단위로 분절하여 재구성하고 단위 공간간의 연결관계를 파악하여 단위공간의 위계적 특성을 파악하는 가치중립적 이론이다.

이 이론은 그 동안 수많은 연구를 통해 상당히 검증되어왔고, 의류시설과 관련한 연구에서도 다수 적용된 바 있다.

공간효율의 가치평가, 즉 공간의 합리성을 사전에 평가하기 위해서 공간구문론을 적용하기도 하였지만, 다음과 같은 몇 가지 이유로 현실적 한계를 보이고 있다.

첫 번째, 공간구문론은 공간에서의 물리적 거리에 의미를 두지 않으며, 방향전환에 따르는 공간의 인지성, 즉 심리적 거리에 중점을 두고 있다. 따라서 원칙적으로 이동거리나 단위 공간에서의 체류(서비스) 시간은 무시된다.

두 번째, 무한 자유보행을 전제로 한 것이기 때문에, 특정한 이동 시퀀스를 설정할 수 없다. 공간구문론을 발전시킨 가시성 그래프 이론(Visual Graph Analysis)에서는 관심요소(Attraction)라는 개념을 적용한 사례가 있었지만, 절차적 보행상황과는 거리가 멀다.

세 번째, 네트워크의 위상학적 구조를 토대로 하는 지극히 확률이론으로서 단위공간의 포화, 이에 따라 발생하는 대기, 사용자의 성격이나 특성 등, 변수를 부가하기 어렵다.

이러한 이유로 검진센터와 같은 목적지향적 성향이 강한 공간을 분석하기에는 여러 모로 문제점이 많았고, 실증적인 연구로 발전시키는 데도 한계를 드러내 왔다.

본 연구에서는 행위자 기반 모형(Agent based Model)이론 중 공간구문론과 많은 부분에서 개념적으로 공통점을 가지고 있는 이산사건 시뮬레이션을 이용하여 검진센터 공간분석을 수행하도록 하였다.

2.3 Agent Based Modeling & Discrete Event Simulation

형태적 측면에서 공간은 매우 복잡하기 때문에 분석이 쉽지 않다. 더욱이 사회적 관점에서 공간 내에서 활동하는 사용자들의 행태변수까지 포함된다면 관계되는 요소는 천문학적으로 많아지고 그 관계 또한 극도로 복잡해진다.

그러므로 공간에서 발생하는 사회적 현상은 복잡계의 한 형태로 인식해 볼 필요가 있으며, 본 연구에서도 공간을 복잡계 해석을 위한 시뮬레이션 분석을 통해 해결해 보고자 하였다.

공간구문론이 공간을 네트워크의 형태로 모식화시켜서 상호관계를 계산한다면, 행위자 기반 모형은 수많은 객체에 정의된 다양한 속성과 함수관계를 수학적으로 연산하는 시뮬레이션을 통하여 조직화 현상을 도출해낸다는 측면에서 차이가 있다.

최근 행위자 기반 모형은 경제, 서비스산업, 생산 및 제조, 물류, 유통, 비즈니스, 국방, 교통, 항공우주 등 다양한 분야에

서 적용되고 있으며, 최근에는 도시건축분야에서도 점진적으로 도입되고 있는 추세이다.

이 분석모형은 매우 많은 객체간의 관계를 해석해야 하므로, 컴퓨터 연산능력이 많이 의존하게 되는데 병렬프로세스와 분산 네트워크에 대한 수학적 알고리즘이 크게 기여하였다.

이러한 컴퓨팅 분석 시뮬레이션으로는 시스템 다이내믹스, 이산사건 시뮬레이션, 행동자 모델 등으로 분화되고 있으며, 대표적인 시뮬레이션 개발도구로서 Arena, NetLogo, Anylogic 등이 주로 활용되고 있다.

이 중 본 연구에서 사용된 Anylogic은 2000년에 처음 출시된 행위자 기반 모형 시뮬레이션 개발도구로서, 다양한 복잡한 분석방법론들을 유기적으로 연계할 수 있으며, 객체지향적 모델수립, 표준 UML (Unified Modeling Language) 요소지원, 현대적 GUI(Graphical User Interface) 등, 유용한 기술들을 사용할 수 있도록 하고 있다. 무엇보다 사용자가 Java코드를 통해 시뮬레이션 모델들을 확장시킬 수 있다는 장점이 있다.

3. Simulation Environment

3.1 Required Rooms and Examination Sequence

건강검진센터는 수검자에게 미치는 영향을 고려하여 정확한 검진결과를 얻기 위해 표준적인 검진절차를 정하고 있으며, 검진프로그램의 종류는 검진센터마다 운영방침과 검진상품에 따라 매우 다양하다,

검진과목이 많기 때문에 수검자는 검진순서가 명시된 수검표를 지참하고 각 검사실을 경유하는 경우가 많지만, 일부 검진센터에서는 많은 수검자를 수용할 목적으로 검진절차를 준수하지 않고 임의적으로 진행하는 경우도 있다.

그러나 비체계적 검진절차는 수검자의 편의를 존중할 수 없고, 검진과정에서 혼선을 초래할 수 있기 때문에 검진절차의 표준화와 체계화는 반드시 필요하다.

본 연구에서는 검진프로그램의 대다수를 차지하고 있는 건강보험공단 지정 기본검진을 표준검진프로그램으로 설정하였으며, 항목은 보건복지부 실시기준의 국가검진프로그램을 따르도록 하였다.

국가검진(기본)프로그램은 여성과 남성의 검진항목이 다르게 설정되어 있다. 여성검진의 경우 경로와 소요실에서 일부 차이가 있기 때문에 보다 정확한 데이터를 얻기 위하여 검진 경로에 성별 구분을 하였다.

검진절차는 한국건강검진관리협회⁷⁾에서 지정한 검진순서를 토대로 한승우⁸⁾, 송승언⁹⁾의 연구와 현재 운영 중인 검진센

7) Korean Associate of Health Promotion Official Homepage <http://www.kahp.or.kr/cms/doc.php?tkind=1&lkind=1&mkind=2>, 2018.02.03

8) Han, Seungwoo, A Study on the Spatial Composition using Circulation of Health Promotion Center in General Hospital, Master's Thesis of Hanyang University, 2008

9) Song, Seungeon, Kim, Suktae, A Study on Traffic Line Efficiency of Health Examination Centers Based on Space Syntax : Focused on the Spatial Cognition of the Testee Taking the National Examination Program, Journal of Institute of Healthcare Architecture, 18(4), 2012, pp.53-67

터의 상황과 관행을 모두 고려하여 다음 Table 1과 같이 분석에 필요한 표준검진프로그램을 설정하였다.¹⁰⁾

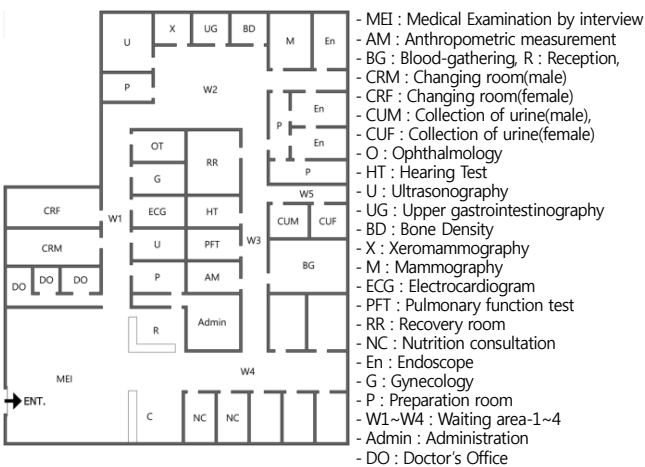
3.2 Example Health Examination Center

예시시설로 설정된 검진센터는 부산광역시 소재 P병원 검진센터로서, 증진기능은 포함되어 있지 않은 전용 검진센터이다.

이 시설은 검진센터의 영역이 명확하게 구획되어 있으며, 검사빈도가 미미한 옵션검진을 제외한 기본검진을 한 층(영역)에서 모두 받을 수 있게 되어 있다. 또한 비교적 작은 규모로서 문제점을 명확하게 도출하기에 용이하기 때문에 예시공간으로 선정한 것이다.

P병원은 2009년도에 개원하였으며, 검진센터도 함께 업무를 시작하였다. 검진센터는 최소 2012년까지 개원당시의 평면으로 운영하다가¹¹⁾ 이후 일부 검사실 배치를 변경하고 검사장비 및 인력을 보완하여 현재의 평면에 이르고 있다(Figure 1).

본 논문에서는 이후 개원당시의 평면(배치)을 Pa로, 이를 보완한 현재평면을 Pb로, 시뮬레이션을 통해 제안한 개선안 평면을 Pc로 약칭하여 기술하도록 하였다.



[Figure 1] Examination Center Floor Plan(Current)

[Table 1] Sequence of Standard Examination Program

Male	R → CRM → MEI → AM → CUM → BG → PFT →
	OT → HT → ECG → U → X → En/UG → RR →
	NC → CRM → C → Exit
Female	R → CRF → MEI → AM → CUF → BG → PFT →
	OT → HT → G → ECG → U → BD → X →
	M → En/UG → RR → NC → CRF → C → Exit

10) 병원마다 상황에 따라 일부 수정해서 사용하기도 하지만, 본 연구는 평가와 비교대비를 위해 표준프로그램을 적용한 것이다.
11) 개원당시의 평면(Pb)은 2012년도에 입수한 도면을 기준으로 한 것이다.

3.3 Structural Characteristics

예시공간으로 제시하고 있는 검진센터의 시설면적은 700.40 m²이며(평면길이 가로방향 25미터, 세로 31.6미터), 이중 공용면적은 304.72m²로서 공용면적비는 43.51%로 큰 편이다.¹²⁾

건강보험공단에서 예시한 기본검진 항목을 검진센터 내에서 모두 소화할 수 있는 검사실들과 이에 부수되는 의사실, 간호사실, 행정실이 배치되어 있으며, 이외에 옵션검사를 위한 자율신경균형검사실이 위치해있다. 다만 치과는 별도로 설치되어 있지 않아 검진프로세스에서는 제외하였다.

공간의 구조는 입구에서 분기되는 복도를 따라 반대편 복도로 되돌아 나올 수 있는 전형적인 순환(ring)형 구조이다.

공간구문론을 이용한 구조분석에서 전체공간의 위계적 중심은 동측복도(W3)이며, 그 다음은 북측복도(W2)로 나타났다.

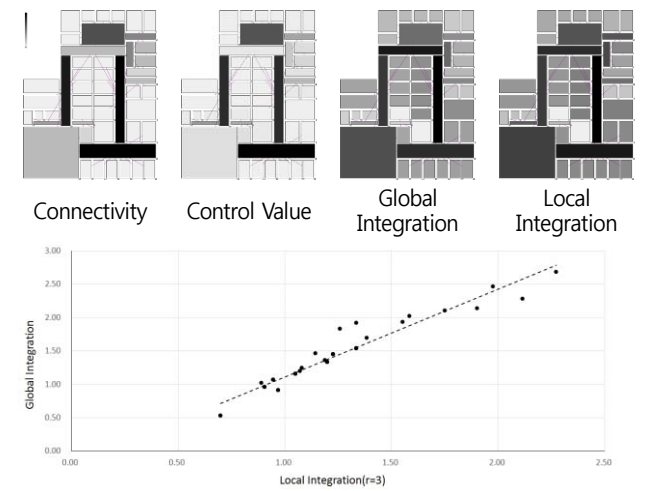
국부통합도의 경우에도 동측복도(W3)가 가장 높고 다음으로는 남측복도(W4)가 높아, 방문자들은 이 두 곳의 복도를 통해 주로 공간을 인지할 수 있는 구조로 되어 있다(Table 2).

연결도와 통제도에서도 동측복도(W3)가 높게 나타나는데, 이는 많은 실이 병렬로 연결되어 있기 때문이지만, 복도의 폭이 좁아 대기공간으로 활용되기에는 적합치 않다. 더욱이 이 W3복도는 구조상 밀도가 높을 것으로 예측되기 때문에 검진 프로세스에서 대기자가 많이 발생할 경우, 극도의 혼잡이 예상되므로 배치과정에서 충분한 고려가 필요한 곳이다.

명료도(Intelligibility)는 0.921로 비교적 높게 나타나 공간의 구조적 배치는 단순한 것으로 파악되었다.¹³⁾

[Table 2] Result of Space Syntax Analysis

Index	Connectivity	Control Value	Global Integration	Local Integration
Maximum	10.000	8.433	2.273	2.681
Minimum	1.000	0.100	0.699	
Average	2.163	1.000	1.240	



12) 복도와 대기공간, 접수공간이 해당되며, 화장실은 채노실로 간주하였기 때문에 공용면적에서 제외된 면적이다.
13) 명료도는 광역지표와 지역지표간의 상관관계를 의미한다. 본 연구에서는 많은 연구들의 관행에 따라 깊이 3의 국부통합도와 전체통합도간의 피어슨 적률상관계수를 명료도로 설정하였다.

3.4 Work Flow

국가건강보험공단 2015건강검진통계연보에 의하면 검진 대상자 중 남자는 53.184%이지만, 실제 수검자는 54.128%로 나타나있다. 따라서 시뮬레이션에서는 남자 54.128% 대 여자 45.872%의 비율로 방문하는 것으로 남녀 비율을 설정하였다.

에이전트(수검자)의 발생은 상황에 따라 차이가 있으나, 수검자가 1분에서 2분 간격으로 검진센터에 도착하여 검진접수를 하는 것으로 설정하였으므로 에이전트가 모두 시뮬레이션 공간에 등장하는 것은 설정된 에이전트의 최대값(최대 수용 수검자수)에 따라 달라진다.

내시경과 위장조영은 수검자가 선택하는 것으로 하였으며, 이에 대한 정확한 통계자료가 없기 때문에 인터넷 정보에 의거하여 5명중 1명(20%)이 위장조영(UG)을, 나머지는 위내시경(En)을 받는 것으로 설정하였다.

내시경 검사 이후의 회복실(RR)은 수면내시경 수검자들에게만 해당되는 경로이다. 이 또한 인터넷 정보에 의해 4명중 1명(25%)이 선택하는 것으로 하였다.

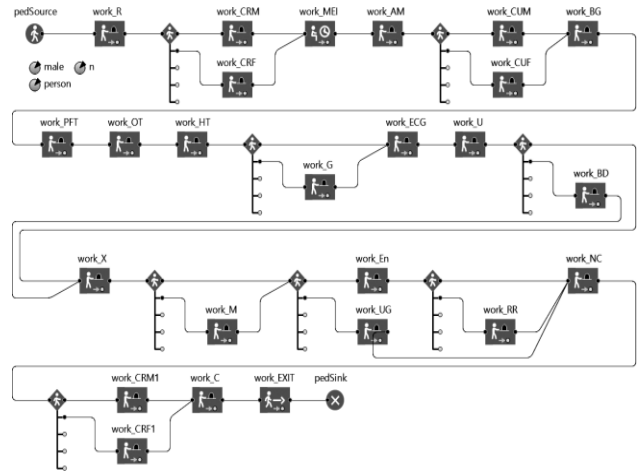
서비스 수는 갱의실 락커 각 30개씩, 회복실의 침상수 20개로 하고, 안과 및 채혈은 동시 3인, 위내시경은 동시 2인, 신체계측은 동시 2인으로 설정하였다.

실별 검사시간은 정지희¹⁴⁾의 연구를 참조하였으며, 서비스 수와 검사시간을 종합하면 [Table 3]과 같이 정리될 수 있다. 그리고 수검절차의 네트워크 구조를 다이어그램으로 표현하면 [Figure 2]와 같다.

[Table 3] Number of Services and Taking Time by Examination

Agent	Code	serv.	Description	Std	Min	Max
Work_R	R	3	Reception		2	3
Work_MEI	MEI	n	Medical Examination by interview	2-3	2	3
Work_CrM	CR	30	Changing Room(Male)		5	10
Work_CrF	CR	30	Changing Room(Female)		8	13
Work_AM	AM	1	Anthropometric Measurement		2	3
Work_BG	BG	3	Blood-Gathering		1.5	3
Work_CUm	CUM	4	Men's Toilet	4+5	1	1.5
Work_CUf	CUF	4	Ladies' Room		2	3
Work_OT	OT	3	Ophthalmology	4	3	5
Work_HT	HT	3	Hearing Test	2	2	3
Work_ECG	ECG	1	Electrocardiogram	3	2.5	4
Work_PFT	PFT	1	Pulmonary Function Test	3	2.5	3.5
Work_X	X	1	Xeromammography	2	2	3
Work_M	M	1	Mammography	5	4	6
Work_U	U	1	Ultrasonic	10	8	12
Work_G	G	1	Gynecology	5	3	7
Work_En	En	2	Endoscope	7.5	5	10
Work_RR	RR	1	Recovery Room	ok	25	35
Work_NC	NC	1	Nutrition Consultation		2	3
Work_BD	BD	1	Bone Density	4	3	5
Work_UG	UG	1	Upper Gastrointestinography	10	8	12

14) Jung, Jeehee, A study on the space plan of a health examination center based on environmental psychological behavior, Master's Thesis, Hanyang University, p37



[Figure 2] Work Flow Chart

3.5 Setting the Evaluation Index

공간의 성능과 문제점을 파악하고 대안을 도출하기 위해서는 평가목적에 부합하는 평가지표가 필요하다. 본 연구에서는 대기자수, 에이전트 존속시간(수검자별 소요검진시간), 존속시간의 분포, 3가지 지표를 제시하고 시뮬레이션을 과정에서 데이터를 실시간 추출하였다.

1) Number of Queue

각 검진실은 검사에 따르는 서비스 시간을 갖게 된다. 검진실 내에 비어 있는 서비스가 없는 경우 대기열(queue)이 발생하게 되는데, 이때 대기장소를 인접한 공간에 대기형태에 따라 선형(linear) 또는 면형(area)으로 지정해주게 된다.

대기열의 수가 늘어나게 되면 대기에 소모되는 시간이 늘어나므로 총검진시간이 증가하게 된다. 이에 각 시간별, 검진실별 대기열(대기자)의 수를 추적하였다.

대기자 수는 시간에 따라 유동적이므로 x축은 검진실, y축은 시간으로 데이터 테이블을 설정하여, 10초 단위로 갱신(recurrence)하는 방식으로 추출하여 DB화한 후, 이를 바탕으로 검진실별 평균 대기자 수, 최대 대기자 수를 도출하였다.

2) Agent Lifetime

시뮬레이션 공간 내에서 에이전트는 최대 에이전트의 수(수용인원)에 도달할 때 까지 분당 1-2명씩 발생시키게 되는데, 에이전트가 발생할 때마다 에이전트별로 시간변수를 정의하여, 최초 값에 현재(발생) 시간을 저장하였다가, 워크플로우를 마치고 출구에서 에이전트가 소멸(sink)될 때 현재 시간에서 저장되어 있던 발생시간 변수를 제외한 값을 에이전트 존속시간으로 계산하였다. 그러므로 각 에이전트 마다 도착번호가 부여되고 여기에 존속시간, 즉 각 에이전트의 총 검진시간이 기록된다.

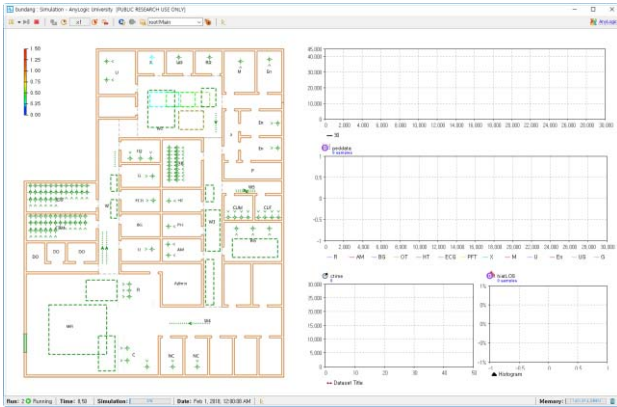
다만 에이전트별로 확률적으로 검진시퀀스와 항목수가 다르기 때문에 출발번호와 도착번호는 일치하지는 않는다.

3) Distribution of Agent Lifetime

검진이 종료된 에이전트의 존속시간을 50개의 단위(interval)로 구분하여 구간별 백분율(%)로 히스토그램을 작성하도록 하였다.

에이전트의 최대 존속시간은 가역적이기 때문에 구간의 간격은 매회 달라지지만, 검진시간의 분포를 전체적으로 파악할 수 있고, 구간별 평균시간에 에이전트의 수를 곱한 후 이를 모두 합해서 추산하면, 총 검진시간을 검증하는데 활용할 수 있다는 이점이 있다. 이는 위에 언급한 에이전트별 존속시간을 히스토그램 전용변수에 저장하고, 히스토그램 그래프와 연동하는 방식으로 구현하였다.

위의 지표를 산출하는 이산사건 시뮬레이션은 Anylogic 8.2.3(university edition)¹⁵⁾을 이용하여 지표산출 프로그램을 코딩하였다. 최종적으로 구축된 분석프로그램의 인터페이스는 다음 [Figure 3]과 같다.¹⁶⁾



[Figure 3] Programed Analysis Application

4. Pedestrian based Simulation

4.1 Estimation of Capacity

일반적으로 공복상태에서 검진이 이루어지기 때문에 오전 중에 검진을 마칠 수 있어야 한다. 그 이전에 검진업무를 시작하기도 하지만 보통은 8시에 검진이 시작된다고 감안한다면 가급적 5시간(18,000초) 내에 업무가 마감될 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

분석대상 검진센터의 적정 수용능력을 가능해보기 위하여 에이전트의 수(수용인원)를 각각 10에서 100까지 10간격으로 변경하면서 구간별로 시뮬레이션을 수행하였다.

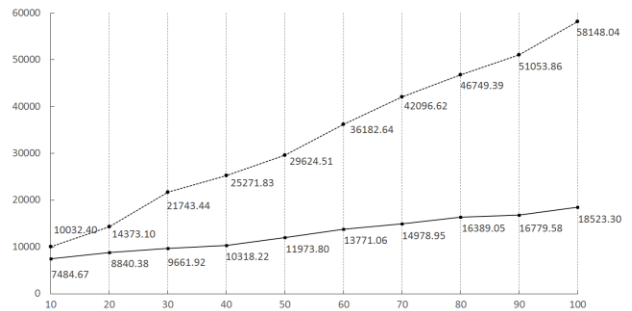
시뮬레이션 결과 Pa(개원당시 평면)에서는 수용인원을 10명으로 설정했을 때, 모든 수검자가 검진을 마치는 데 까지 10,032.40초(2시간 47분 12초)가 소요되며, 30명일 때 21,743.44초(6시간 2분 23초)로서 30명에 도달하기 전, 이미

업무시간 내 수용인원을 넘어섰다. 100명일 때는 무려 58,148.03초(16시간 9분 8초)가 소요되는 것으로 나타났다.

결국 오전시간에 검진업무를 끝내기 위해서는 실질적으로 30명 이하만 수용가능한 수준인 것이다(Figure 4).

Pb(현재 평면)의 경우에는 10명일 때, 74,84.67초(2시간 4분 44초), 30명일 때 9,661.92초(2시간 41분 2초)로 10,000초를 넘어서지 않았으며, 100명을 수용해도 18,523초(5시간8분 43초)로 업무시간 내에 수용이 가능한 것으로 나타났다.

Pa가 왜 이렇게 긴 시간이 소요되었으며, 이를 보완한 Pb에서는 시간단축효과가 크게 나타났는지를 파악하여 보았다.



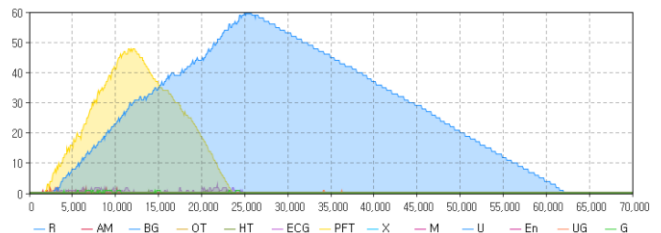
[Figure 4] Inspection Time by Number of Persons to be Admitted

4.2 Status Analysis

1) Analysis of Complement Time's Floor Plan - Pa

시뮬레이션을 통해 검진과목별 대기열의 수를 시계열로 파악하여 보면, Figure 5와 같이 초반기 12,000초 근처까지는 폐기능검사(PFT) 대기열(queue)이 50명 수준까지 크게 상승하고, 이후 25,000초까지는 초음파검사(U)의 대기자가 60명 가까이 증가되는 것을 알 수 있다(Figure 5).

초음파검진 대기자가 해소되는데까지는 63,000초까지 시간이 소요되어 폐기능 검사(PFT)와 초음파검사(U)에서의 대기가 전체 검진시간 증가에 주원인이 되고 있는 것으로 나타났다.



[Figure 5] Queue Time Series Analysis by Examination -Pa

이는 [Figure 6]의 히트맵을 통해서도 파악할 수 있는데, 좌측도와 같이 공간구문론 분석에서 밀도가 가장 높을 것으로 예상되는 좁은 동측복도(W4)에 대기의 발생이 집중됨에 따라 극도의 혼잡이 발생할 수 있는 상황인 것으로 파악되었다.

반면에 면적이 넓은 접수로비(W0/MEI) 복측 대기공간(W2)의 밀도는 매우 낮게 나타나 활용이 되지 않고 있다. 이는 복도(W4)를 따라 배열되어 있는 수검절차 중 폐기능 검사실

15) Anylogic Official Homepage : <http://www.anylogic.com>

16) 위의 지표는 직관분석을 위하여 시뮬레이션 과정에서 이벤트 발생시 데이터 출력을 통하여 그래프로 나타낼 수 있도록 하였다.

[Table 4] 서비스 변경에 따른(대안에 대한) 검진시간 증감

Increase	Pb (existing)	Primary Readjustment					Secondary Readjustment				
		PFT+1	PFT+1	PFT+1	PFT+1	PFT+1	HT+1, U+1				
Decrease		-	OT-1	BG-1	BG-1, OT-1	En-1	AM-1, BG-2, OT-1, En-1				
		max	19,032.10	19,081.44	19,055.44	19,302.97	19,028.04	19,502.83	19,480.85	19,166.80	17,729.57
05.17:12	05.18:01		05.17:35	05.21:43	05.17:08	05.25:03	05.24:41	05.19:27	04.55:30	04.57:54	
min	17,284.97	16,398.32	17,108.76	17,334.40	17,021.06	16,602.04	17,469.85	16,304.99	15,351.78	15,717.70	
	04.48:05	04.33:18	04.45:09	04.48:54	04.43:41	04.36:42	04.51:10	04.31:45	04.15:52	04.21:58	
avg	18,198.61	17,833.99	17,850.42	18,269.95	17,988.86	18,492.53	18,208.40	18,102.44	16,892.33	17,067.85	
	05.03:19	04.57:14	04.57:30	05.04:30	04.59:49	05.08:13	05.03:28	05.01:42	04.41:32	04.44:28	
Std.Dev	497.78	928.05	604.33	600.97	608.91	962.75	585.31	856.06	769.16	601.45	
Variation	-	-364.62	-348.20	71.34	-209.75	293.92	9.78	-96.17	-1,306.29	-1,130.76	
		-00.06:05	-00.05:48	00.01:11	-00.03:30	-00.04:54	00.00:10	-00.01:36	-00.21:46	-00.18:51	
Peak	PFT	HT	OT,HT,EC	HT	HT	HT	AM				
Service	AM	2	2	2	2	2	1	1	1	1	
	BG	3	3	3	2	2	3	1	1	1	
	PFT	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
	OT	3	3	2	3	2	3	2	2	2	
	HT	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
	ECG	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
	U	3	3	3	3	3	3	4	4	4	
	En	3	3	3	3	3	2	2	2	2	
	Sum	17	18	17	17	16	17	14	15	15	16

4.3 Solution for Improvement -Pc

Pb(현재평면)는 Pa(개원당시평면)를 상당시간 운영하면서 경험으로 얻어진 문제로 해결책을 마련한 것이며, 보행자기반 이산사건 시뮬레이션을 통해 충분히 예견이 가능한 것들이었다.

이에 Pa설계과정 또는 Pb로 변경하기 전의 상황을 가정하고 시뮬레이션 검증 방법을 이용하여 Pb이상의 평면을 계획할 수 있었는지를 파악하여 보았다.

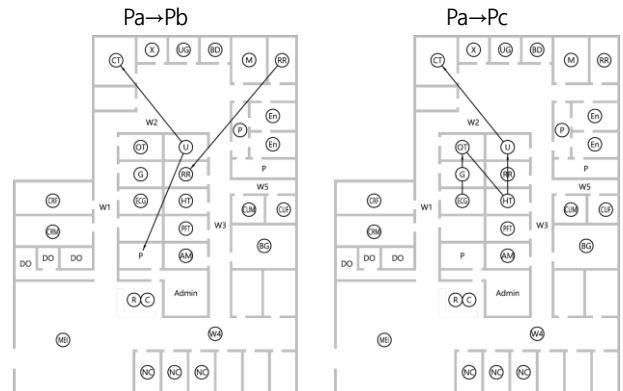
다만 비용문제와 공간적 한계를 고려하여 Pb와 같이 Pa의 구조에서 크게 벗어나지 않는 한도 내에서 보완을 하였다. 따라서 벽체를 재구획하거나 검진실의 서비스 수(인력의 증가)에 변화를 주지 않는 한도 내에서 조정하도록 하였다.

또한 건축적 설비를 요구하거나 대형장비가 설치된 검사실의 위치변경은 지양하였다. 따라서 위장조영촬영실(UG), 골밀도 측정실(BD), 부인과(M),화장실(채뇨)의 위치도 고정시키고 개선안을 도출하였다.

1) Network Readjustment by Sequence

우선 복잡하게 얽혀있는 공간의 네트워크 구조를 해결하기 위해서 표준검진절차에 따라 검사실을 일부 교환하는 방식으로 재조정하였다. 특히 중앙부의 실들은 물리적으로는 인접하여 있으나, 절차와 관계없이 배치되어 연계성이 극히 불량하다.

이에 Figure 9의 우측도와 같이 U를 CT의 위치로, ECG를 G 위치로, G를 OT위치로, OT를 HT위치로, 순환배치하고, RR을 원래(최초안)위치로 옮긴 후 여기에 HT를 추가하였다. Pa→Pb로 변경한 현재의 변경(Figure 9 좌측도)과 비교하였을 때, 이동 규모에 있어서는 큰 차이가 없는 수준이다.



[Figure 9] 대안의 설정과 실배치 조정

2) 1st Service Readjustment

W4복도에 혼잡과 병목을 발생시킨 폐기능 검사실(PFT)에 검사장비(인력)를 1대 추가 배치하게 되면, 대기열의 최고점은 OT, HT, ECG로 분산되지만, 모두 W4복도에 인접된 검사실들이기 때문에 병목 감소효과는 일어나지 않는다.

이러한 병목으로 [Table 4]에 나타난 바와 같이 전체 검진시간은 불과 364.62초(6분 5초) 정도 밖에 감소하지 않는다. 이는 인력의 증원에 대하여 얻는 대가로서는 그다지 효율적이지 않은 것이다.

반면에 대기열이 발생하지 않는 안과(OT)에서 1명을 빼서 폐기능검사(PFT)로 이동시킬 경우에 345.2초(5분 48초)의 감소로 큰 변동이 없으므로 OT에서 인력을 절약하는 것이 용이하며, 동일하게 대기열이 발생하지 않는 채혈실(BG)도 1인을 감소시켜도 검진시간에 큰 변화를 주지 않는다.

이를 종합하면 BG와 OT에서 각각 1개씩 총 2개의 서비스

가 감소되어도 PFT에 1개만 추가시켜준다면 검진시간은 71.34초만 증가되므로 1개의 서비스(인력)을 확보할 수 있는 것이다.

Pb에서 3개로 증설하였던 내시경실을 다시 2개소로 줄여도 3분 30초(96.75초)만 증가하므로 추가된 내시경실이 검진업무시간의 단축에는 도움이 되지 않는다.

차라리 Pb조정과정에서 내시경실을 늘리기 위해 복도를 사이에 두고 분리된 회복실(RR)을 확보된 내시경실로 이동시키는 것이 수검자의 편의 측면에서는 합리적이다.

반면에 Pb에서 2개소 추가 설치하였던 초음파(U)를 1개 더 추가하여 4개로 늘리는 것은 상당부분 효과가 있는 것으로 파악되었다. 다만 장소적으로 분리된 초음파실을 준비실과 서로 교환하여 모으는 조치가 필요하다.

Pb에서 W4복도에 발생하는 정체문제가 해결되지 않았는데, 검진절차 중 첫 번째 검진인 신체계측실의 서비스 수를 1개로 축소하면 대기열이 이곳으로 몰리게 된다. 최고 피크타임에는 50명까지도 상승하게 되는데, 이는 첫 검사실이므로 넓은 로비에서 대기가 가능하기 때문에 편의성과 공간활용도 측면에서는 훨씬 유리하다.

신체계측(AM)의 서비스를 감소시켰을 때 W4복도의 정체가 발생하지 않는 이유는 수검자가 1~2분 간격으로 도착하여 환복과 문진표 작성을 하게 되는데, 문진표작성과 환복(갱의실)은 제공되는 서비스 수가 많기 때문에, 도착한대로(1~2분 간격) 바로 수검에 들어가게 되는 데다가, 바로 이어지는 신체계측(AM), 채혈(BG)의 서비스가 충분하여 정체가 폐기능검사(PFT)에 집중되었던 것이다.

폐기능검사(PFT)를 늘리면 대기열이 청력검사(HT)에 집중되고, 청력검사(HT)를 늘리면 안과(OT)와 심전도(ECG)로 몰리는 연쇄반응이 나타나기 때문에 이 곳(폐기능검사)에 인력을 계속 투입하면서 서비스 수를 늘리는 것은 효과가 없다.

신체계측(AM)에서는 2~3분 간격으로 수검자를 처리할 수 있으므로, 일단 로비에 대기시키고 적절한 수만큼 수검절차에 투입하는 것이 바람직하다. 또한 신체계측(AM)에 정체를 유도하면 채혈실에 여유가 생기므로 채혈실의 서비스를 하나 더(3→1) 줄일 수 있는 여지가 생긴다. 다만 전체 검진시간이 증가하기 때문에 현재 분산되어 있는 한곳으로 모은 초음파검사실(U)에 서비스를 하나 더 추가하고 청력검사(HT) 서비스도 1개소 추가하면 검사시간을 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

이를 종합하면, 소요시간 대비 서비스 수를 절약할 수 있는 검사실의 서비스 5개(AM-1, BG-2, OT-1, En-1)를 감소시키고, 2개소(HT+1, U+1)를 증가시키면, 전체검진시간에 큰 영향을 주지 않으면서 총 3명의 인력을 확보함과 동시에 W4복도의 정체를 해결할 수 있는 것이다.

반복시뮬레이션 검증결과 서비스(인력)는 3개가 줄었지만 전체 검진시간은 평균 10초 밖에 늘지 않았다.

3) 2nd Service Readjustment

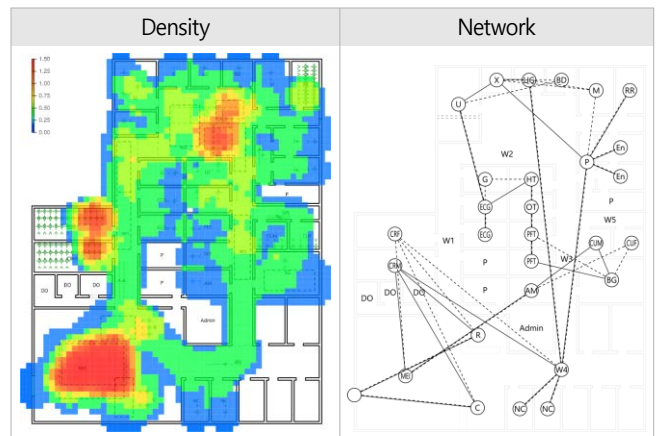
1단계의 조정으로 서비스의 측면에서는 유의미한 효과를

얻을 수 있지만, 검진시간을 더욱 단축시키기 위해 감소시킨 3개의 인력(서비스)을 재배치하는 2단계 조정을 모색하였다.

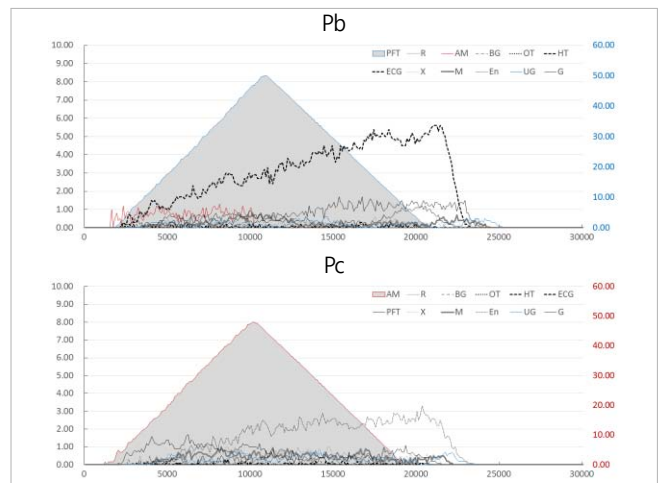
1단계 조정안 시뮬레이션 결과 후반부에 대기열이 발생하는 서비스는 폐기능검사(PFT), 심전도검사(ECG), 두 검사실이다. 따라서 PFT를 하나 늘리는 방안, ECG를 하나 늘리는 방안, 둘 다 늘리는 방안 모두 3가지 경우를 설정하여 시뮬레이션 하였다.

[Table 4](Secondary Readjustment)에 나타난 바와 같이 PFT를 하나 추가시켰을 때는 평균 96.17초(1분 36초) 밖에 감소효과가 없는 반면, ECG를 하나 추가시킬 경우에는 1,306.29초(21분 46초)의 감소효과가 있었다. 그리고 둘 다 추가시킬 경우에는 1,130.76초(18분 51초)로 오히려 ECG만 추가할 때보다 감소효과가 작은 것으로 나타났다.

오차범위 내의 값이므로 큰 의미는 없지만, 확실한 것은 폐기능검사(PFT)의 추가는 도움이 되지 않는다는 것을 확인한 것이다. 차라리 서비스 수(인력)를 절약하는 것이 나으므로, 최종적으로 ECG만 하나 추가시켜¹⁹⁾ 2명의 인력을 절약함과 동시에, 20분 정도의 검진업무시간 단축의 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단, 결정하였다.



[Figure 10] Density Heat map and Spatial Network - Pc



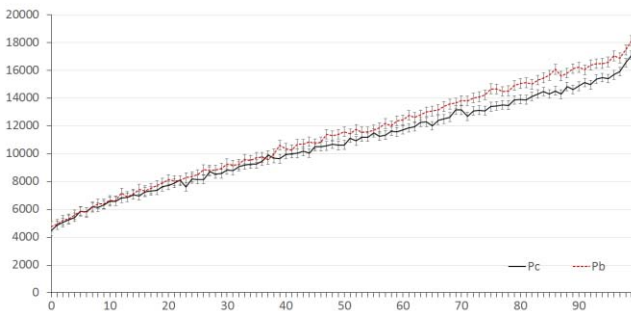
[Figure 11] Variation of Queue by Time Series

19) AM, OT1, En에서 각 1개, BG에서 2개 등 5개를 감소시키고, HT, U, ECG를 각 1개씩 3개를 증가

4.4 Verification of Floor Plan Improvement - Pc

최종 검증시뮬레이션 결과 수검자 1인당 최소 검진시간은 3,988.75초(1시간 6분 29초)로 Pa에 비하여 9분 22초 감소하였으며, 최대시간은 18,367.13초(5시간 6분 7초)로 13분 46초 단축되었다.

결론적으로 2명의 인력(서비스)을 줄였음에도 불구하고, Figure 12와 같이 평균 수검시간은 10,712.12초(2시간 58분 32초)로 Pb(현재 평면)보다 10분 15초 줄어드는 효과가 있는 것으로 나타났다.



[Figure 12] Average Sink Time by Agent

또한 [Figure 10]의 우측도 같이 수검자 밀집지역도 복도가 아닌 대기공간 쪽으로 이동되어 복도에서 병목이나 혼잡상황이 나타나지 않는 효과를 거두었으며, 우측도와 같이 공간의 네트워크 구조가 간결하고 명료하여 족음을 알 수 있다.

5. Conclusion

이상으로 보행자기반 이산사건 시뮬레이션을 통해 서비스가 과도한 검사실과 부족한 검사실, 그리고 혼잡이 예상되는 대기장소를 발견할 수 있었다. 또한 이를 보완하여 검증 시뮬레이션을 수행함으로써 개선후 효과를 직관적면서도 정량적으로 파악할 수 있음을 증명하였다.

연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫 번째, 개원 당시의 평면을 분석한 결과 나타난 문제점의 일부는 현재 운영 중인 평면에 반영된 것으로 나타났다. 현재 평면은 시뮬레이션 분석 없이 실제 운영과정에서 얻어진 경험에 의한 것이므로, 시뮬레이션 분석이 사전에 문제를 먼저 발견하는데 유용한 도구로 활용될 수 있음을 보여주는 것이다.

두 번째, 검진시간이 길어지는 가장 큰 원인으로는 부적절한 서비스의 배분으로 인한 과도한 대기열의 발생이다. 이는 서비스 수의 보완만으로도 검진시간을 크게 단축시킬 수 있다.

세 번째, 네트워크 구조 및 시뮬레이션 분석을 병행하여 최소한의 변경을 전제로 하는 개선안을 계획하였다. 이를 통해 검진시간을 추가적으로 단축시킬 수 있었다

네 번째, 대기열의 발생장소를 조정하여 복도의 밀집(혼잡)

을 해소할 수 있었으며, 보다 편리한 장소에서 대기를 인위적으로 유도하여 공간활용 밀도를 균질하게 제어할 수 있다.

결론적으로 이산사건 시뮬레이션을 이용한 공간계획 과정에서는 검진시퀀스에 따른 공간인지편의성과 동선의 길이, 대기열의 발생 장소를 모두 고려해야 하는 것이다.

위의 시뮬레이션 방법론은 기존의 검진센터에 대한 연구이지만, 검진센터를 비롯하여 방문목적성이 강한 공간의 설계과정에 사전 적용하여 서비스 수와 네트워크 관계와 매칭하면서 적정성을 찾는다면, 리스크를 대폭 줄인 건축공간계획을 수행할 수 있을 것으로 본다.

더욱이 행위자 기반 모형에 관한 실증적 적용과 후속 연구가 지속적으로 이루어진다면, 건축 설계 프로세스에 있어서 보다 보편적인 가이드라인을 발견할 수 있을 것으로 기대한다.

Acknowledgements: This work was supported by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government(NRF-2015R1D1A3A0108824)

References

- Dansky, K. H., Miles, J., 1997, Patient Satisfaction with Ambulatory Healthcare Service : Waiting Time and Filling Time, Hospital and Health Service Administration, 42(2), pp.165-177
- Dyer, R. F.; E. H. Forman, 1993, An Analytic Approach to Marketing Decision, Prentice-hall International Edition
- Han, Sangsook; Park, Sangchan; Oh, Kaeun; Bak, Wonsook; Lee, Sangchul, 2013, Developing Innovation Index of Hospital Service using 6Sigma and SERVQUAL, Journal of Korean Society for Quality Management, 41(4), 555-566
- Han, Seungwoo, 2008, A Study on the Spatial Composition using Circulation of Health Promotion Center in General Hospital, Master's Thesis of Hanyang University
- Jung, Jeehee, 2011, A study on the space plan of a health examination center based on environmental psychological behavior, Master's Thesis, Hanyang University, p37
- Kwon, Hyunkwon, 1997, A Simulation Analysis for the Minimization of Outpatient's Waiting Time at the Enrollment and Receipt Counter in a General Hospital, Journal of Korean Society of Computer and Information, 2(1), p.98
- Park, Chankwon; Kwag, Eunju, 2009, A Case Study about Managing Waiting Time for Raising Customer's Satisfaction in the Medical Service, Korean Journal of Hospital Management, 14(3), pp.132-133
- Song, Seungeon, Kim, Suktae, 2012, A Study on Traffic Line Efficiency of Health Examination Centers Based on Space Syntax : Focused on the Spatial Cognition of the Testee Taking the National Examination Program, Journal of Institute of Healthcare Architecture, 18(4), pp.53-67
- Yeo, Hyunjin; Bak, Wonsook; Yoo, Myungchul; Park, Sangchan; Lee,

Sangchul, 2014, Evaluation of Patients' Queue Environment on Medical Service using Queueing Theory, Journal of Korean Society Quality Management, 42(1), pp.71-79

Korean Associate of Health Promotion Official Homepage

<http://www.kahp.or.kr/cms/doc.php?tkind=1&lkind=1&mkind=2>, 2018.02.03.

접수 : 2018년 03월 05일
1차 심사완료 : 2018년 05월 07일
게재확정일자 : 2018년 05월 07일
3인 익명 심사 필