

# 건축 프로그래밍 과정에서 자원배분의 타당성 검증을 위한 사용자 다이내믹스의 제안

김석태  
인제대학교 실내건축학과

## Proposal of Occupant Dynamics for Validating the Feasibility of Resource Allocation in the Space Programming Process

Suk-Tae Kim  
Dept. of Interior Architecture, Inje University

**요약** 효율적이고 최적화된 건축공간을 구축하기 위해서는 설계 전단계에서 자원배분에 따른 면밀한 규모산정 작업이 필요하다. 이러한 추상적 사전작업은 사용자의 흐름에 따라 복잡성과 변동성이 크기 때문에 단순 계산방식으로는 한계에 직면하게 된다. 이에 본 연구에서는 시스템 다이내믹스를 이용한 자원배분 시뮬레이션 분석 방법을 제안하였다. 대구모 건강검진센터를 예시로 하여 검사실을 stock, 처리능력을 flow로 정의하였으며, 정방향과 역방향의 리소스 리밸런싱을 통해 최적안을 도출하고자 하였다. 3개의 실시간 지표를 토대로 흐름을 조정한 결과 자원의 수까지 줄이지는 못했지만, 6개의 자원의 재배치를 통해 처리시간 및 병목 대기현상을 최대 18%수준으로 감소시킨 것으로 나타났다.

**Abstract** Meticulous estimation of resource allocation is essential in the design phase to establish a rational and optimized architectural space. Abstract preliminary tasks of this nature face limitations with simple calculation methods due to the complexity and variability associated with user flow. In this study, a resource allocation simulation analysis method based on system dynamics is proposed. Using a large-scale health examination center as an example, examination rooms are defined as stocks, and processing capacities are defined as flows. The aim was to derive an optimal solution through forward and backward resource rebalancing. Adjusting the flow based on three real-time indicators did not reduce the number of resources, but the reallocation of six resources resulted in a significant decrease in processing time and bottleneck time by up to 18%.

**Keywords** : System Dynamics, Health Examination Center, Space Program, Architecture Space, Dynamic System

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

건축공간은 설계 전 충분한 조사를 바탕으로 단위공간들의 규모를 산정하고 기능별로 조닝하는 스페이스 프로그래밍 과정을 거치는 것이 일반적이다.

설계자는 스페이스 프로그램 작업으로 기준면적을 얻어낼 뿐만 아니라, 이를 통해 단위공간마다 점유하는 직원인력수, 소요 시설 장비, 더 나아가 대기 및 이동 등의 공용공간 등의 규모도 추산할 수 있다.

보통은 사용자(수용인) 수를 기초로 단위공간의 면적을 산정하지만, 사용자는 이동과 군집적 흐름에 따라 각

이 논문은 2018년 정부(교육과학기술부) 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (NRF-2019R1I1A3A01058657)

\*Corresponding Author : Suk-Tae Kim(Inje University)

email: demolishr@inje.ac.kr

Received November 27, 2023

Accepted January 5, 2024

Revised January 4, 2024

Published January 31, 2024

단위공간의 소요 면적에 많은 유동적인 변수를 발생시킨다.

스페이스 프로그램 작업에는 산술적 계산 또는 엑셀을 이용한 단순 데이터베이스 등이 활용되지만, 이러한 유동성까지 계산하기에는 한계가 있다.

예를 들면, 스페이스 프로그래밍 시트 작업에서 수식에 자기 자신(변수)이 참조되거나 서로 다른 수식이 서로를 참조하는 상황과 자주 마주치게 된다. 이 경우 계산이 무한대로 진행되어 결과를 얻을 수 없는 순환참조 오류가 발생하게 된다.

또한 단위공간의 최대, 최소상태를 파악하기 어렵기 때문에 문제파악이 쉽지 않고, 개략적인 평균값이나 단위면적당 인원수와 같이 부정확한 데이터에 의존하여 스페이스 프로그램을 작성하게 된다.

결국 수리적 모델로는 시간적 흐름에 따른 현상 파악에 한계가 있음을 있다. 이러한 관점에서 시뮬레이션을 이용한 계산모델이 대안이 될 수 있으나, 스페이스 프로그래밍은 아직 실제적 형상이 도출되지 않은 추상적 단계에서의 작업이므로 목적에 부합하는 직관적 시뮬레이션 분석방법론이 필요해진다.

이에 본 연구에서는 동적시스템 분석이론 중의 하나인 시스템 다이내믹스를 활용하여 스페이스 프로그래밍 최적화를 위한 기초데이터 도출 방법론을 개발하고자 하였다.

### 1.2 방법 및 범위

본 논문은 검진센터의 스페이스 프로그램 구축 상황을 예시로 설정하여 기초데이터의 도출 및 검증 과정을 설명하였다.

의료(서비스)인력은 검사장비의 수와 검사실의 면적을 산출하기 위한 가장 기초적인 변수가 되므로, 의료인력을 기초자원(resource)으로 설정하여 기준을 삼아 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 분석을 통해 최적 배분안을 도출하였다.

배분은 각 단위검사실의 사용자 부하를 모니터링하기 위한 3개의 지표를 제한하고, 이를 측정하는 기능을 구축한 후, 의료인력의 조정(리밸런싱)에 따라 단위 공간(검사실)별 사용자(수검자)의 부하와 균질도를 측정하는 방식으로 진행하였다.

이를 위해 2장에서 시스템 다이내믹스의 개념과 분석 방법을 소개하고, 3장에서 검증 대상으로 검진센터를 예시하고 지표를 설정하였으며, 4장에서 시뮬레이션 결과의 리밸런싱을 통해 개선효과를 분석하였다.

## 2. 시스템 다이내믹스

### 2.1 시스템 다이내믹스의 활용

시스템 다이내믹스(System Dynamics; SD)는 1961년 미국 MIT교수 Jay W.Forrester의 저서 “Industrial Dynamics”을 통해 처음 알려졌다[1].

이 이론은 초기에는 주로 정책설계나 의사결정 도구로 쓰이다가 이후 지구환경 분석모델, 운송 및 토지 사용, 자원관리를 비롯하여 질병 및 보건 분야까지 적용 범위를 넓혀가고 있다. 최근 십수 년 동안에는 애플리케이션 간 연동 컴퓨팅이 용이해지면서 GIS와 연계한 연구[2,3] 등 다양한 동적 분석이론의 토대가 되기도 하였다.

SD는 시스템에 대한 단선적 사고에서 벗어나 동적시스템의 구조와 행동을 모델링 할 수 있는 시물레이션 분석방법론으로, 분석은 ①문제의 정의, ②인과 지도(Causak Loop Diagram, 이하 CLD) 작성, ③정량적 분석, ④시물레이션의 순서로 진행한다.

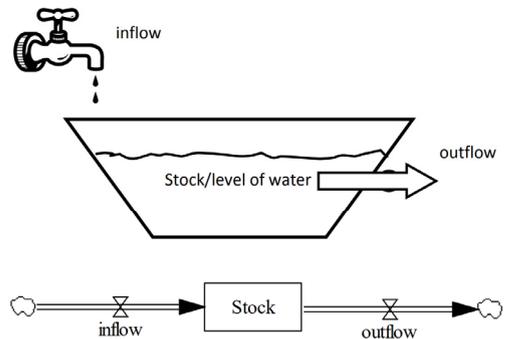
### 2.2 개념과 분석 알고리즘

SD는 저장(stock)과 유량(flow) 두 가지 개념으로 이루어진 상당히 단순한 구조로 이루어져 있다.

Fig. 1[4]과 같이 저장(stock)은 물을 담아두는 물탱크의 수량을, 유량(flow)은 물탱크를 연결하는 관과 물의 흐름을 조절하는 밸브로 표현할 수 있다.

배관의 연결구조와 각 배관을 통과하는 유량으로 각 저장의 양을 측정하여 시간별 결과를 도출한다.

이러한 시물레이션 과정에서 상태변화는 연속적이지만 모델을 해석하기 위한 기본 방정식은 시간분할(time-slicing) 접근법에 의한 수치적분(numerical



$$Stock(t) = \int_{t_0}^t [inflow(s) - outflow(s)] ds + Stock(t_0)$$

Fig. 1. The bathtub metaphor for stock and flow

integration)으로 변수를 추적한다[5].

이를 각 검사실(단위공간)의 기본단위 입출입량 측정으로 정의한다면 Fig. 2와 같이 인과관계를 나타낼 수 있으며, 각 Flow는 Sliderbar를 이용해 시뮬레이션 과정에서 값을 조정할 수 있게 하였다.

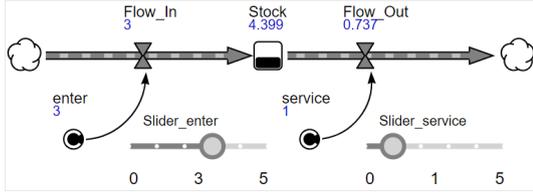


Fig. 2. Basic structure of System Dynamics

### 2.3 건축 프로그래밍과 시스템 다이내믹스

SD는 동적시스템 분석이론 중에서도 비교적 오랜 역사가 있으나, 아직 건축계획 분야에 적용된 사례는 상당히 드물다.

건설프로젝트[6]와 관련하여 현장관리, 자재관리에 적용된 사례가 일부 있었으며, 비교적 건축계획과 관련 있는 연구로는 BIM과 같은 건축 정보 관련 연구[7,8]에서의 의사결정에 SD의 적용을 시도한 기초연구가 있었다.

SD가 DES나 ABM과 같은 동일 계열의 동적 분석이론과 비교하여 건축적 활용도가 떨어지는 이유는 Stock과 Flow로만 표현되는 매우 단순하고 추상적인 구조이기 때문에, 건축과 사용자의 복잡한 상호관계를 표현할 수단이 부족하다는 문제에 기인하는 것으로 보인다. 그러나 건축계획 초기 단계 또한 추상적 상태이므로, 인과지도(CLD)화 시킬 수 있다면 모델링의 단순함과 간편함이 오히려 적용성을 극대화할 수 있을 것이다.

## 3. 시뮬레이션 설계

### 3.1 가상환경 설정

본 연구는 건축설계를 위한 프로그래밍 단계에서 SD의 분석 및 검증 능력을 파악하기 위한 토대 연구이므로, 가급적 사용자의 이동 시퀀스가 명료한 공간을 실험 대상으로 선정하였다.

계획된 동선으로 사용자를 유도하는 대표적 시설로는 전시, 의료, 교육 공간 등이 있으며, 특히 의료공간은 동선계획에 있어 단위공간의 규모와 연결 관계가 중요한 데이터로 활용되곤 한다. 이에 본 연구에서는 의료공간

중 동선 및 시퀀스가 상대적으로 단순명료한 검진센터를 예시공간으로 선택하였다.

SD는 매우 많은 요소의 상호관계에서 창발 현상(emergent phenomena)을 도출하는 복잡계 분석방법론 중의 하나인 만큼 이론적으로 자율 이동 공간도 분석이 가능하겠지만, 단계별 인과관계를 보다 명확히 추적하기 위하여 검진센터를 선택한 것이다.

실험에 사용된 가상의 검진센터는 병원과 독립된 시설이면서 모든 검사가 검진센터 내에서 이루어진다는 전제로 하였다. (연구에 예시된 공간은 실제의 대형 병원에 부속된 전문 검진센터이다.)

부지선정이나 평면계획이 도출되기 전의 추상적 단계에서의 프로그래밍 작업을 전제로 하므로, 검진 항목 및 순서(검진상품)와 규모(희망 일일 수용인원) 데이터만으로 각 검진실의 규모와 의료자원의 수를 산정하는 시뮬레이션을 구축하였다.

검진 항목과 순서는 한국 건강 공단에서 지정한 국가 기본검진을 토대로 한 선행연구[9]를 참조하여 Fig. 3과 같이 구성하였다.(검사실 코드는 Table 2 참조)

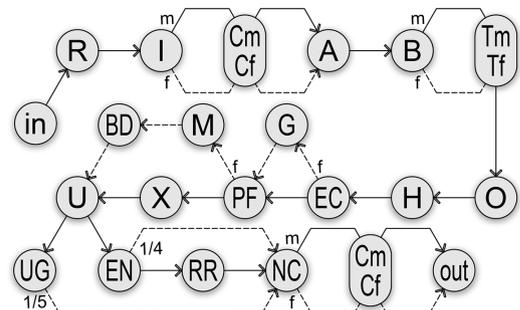


Fig. 3. Health Screening Sequence Applied in the Simulation

검진 항목별 검사소요 시간은 각 검사실의 부하와 흐름(처리과정)에 큰 영향을 미치는 요소이다. 검사 소요 시간 또한 연구의 범위에서 벗어나므로 별도로 연구하지는 않고 또 다른 선행연구[10]의 자료를 인용하였다.

각 검사항목(검사실)별 검사소요(service) 시간과 의료자원(resource)의 초기값은 Table 1과 같다.

여기에서 초기값(init. value)은 예시된 검진센터의 실제 인력배치 현황을 토대로 설정한 것이다.

본 시뮬레이션은 설계단계 이전의 사전계획을 세우기 위한 것이므로 기존의 인원 배치 정보는 필요 없을 수 있지만, 분석 방법이 자원의 검증 또는 재배분 기능이 있는가, 개선 효과를 정량적으로 측정할 수 있는가를 파악하

기 위해 현재 배치 인원을 초기값(정성적 예상값)으로 설정한 것이다.

Table 1. Setting conditions for simulation

room name	code	service time(min)	resources (init value)
Reception	R	uniform(2.0, 3.0)	3
Interview	I	uniform(2.0, 3.0)	2
Changing Room	male	Cm	uniform(5.0, 8.0)
	female	Cf	uniform(8.0, 13.0)
Anthropometry	A	uniform(2.0, 3.0)	2
Blood Gathering	B	uniform(2.0, 3.0)	2
Collection Urine	male	Tm	uniform(1.0, 1.5)
	female	Tf	uniform(2.0, 3.0)
Ophthalmology	O	uniform(3.0, 5.0)	2
Hearing Test	H	uniform(2.0, 3.0)	1
Electrocardiogram	EC	uniform(5.0, 10.0)	2
Gynecology	G	uniform(5.0, 10.0)	1
Pulmonary Function	PF	uniform(2.5, 3.5)	2
XRay	X	uniform(2.0, 3.0)	1
Mammography	M	uniform(5.0, 10.0)	1
Bone Density	BD	uniform(3.0, 5.0)	1
Ultra Sound	U	uniform(8.0, 12.0)	1
UGI	UG	uniform(8.0, 12.0)	1
Endoscope	EN	uniform(5.0, 10.0)	5
Recovery Room	RR	uniform(30.0, 35.0)	>22
Nutrition Consultation	NC	uniform(2.0, 3.0)	1
Result Explanation	R	uniform(2.0, 3.0)	3

### 3.2 시뮬레이션과 구축 개념

시뮬레이션은 순수 SD만으로 구축하였다. 단위(unit)는 분(minute)으로, 수검자 남녀 비율 6:4로 하여 남자와 여자의 동선을 구분하였다. 여성의 경우 부인과(G), 유방촬영(M), 골밀도 검사(BD)를 추가로 거치게 된다. 또한 탈의실(wCm, wCf)과 채뇨실(Tm, Tf)에서 분기되며 소요 시간도 차이가 있다. 그리고 인용 논문[10]과 같이 위장조영술 검사의 선택 비율 20%, 수면내시경 선택 비율을 25%로 설정하였다.

이를 기반으로 최종 구축된 SD 시뮬레이션의 CLD는 Fig. 4와 같다.

CLD에서 검사실의 대기는 저장(stock)으로, 다음 검사실로 이동하기 위한 서비스 처리 과정은 유량(flow)으로 정의하였다.

각 플로우는 리소스(인력= int  $r$ )에 비례하고 검사에 소요되는 시간(time  $T$ )에 반비례하므로 검사실(Code)의 Flow는  $r/T$ 로 정의할 수 있다.

검진 처리 목표 인원은 60명으로, 1시간 안에 60명이 평균 1분 간격으로 도착하여 순차적으로 검진 절차를 시작하는 상황으로 상정하여, 최초 inFlow의 유량을 설정하였다.

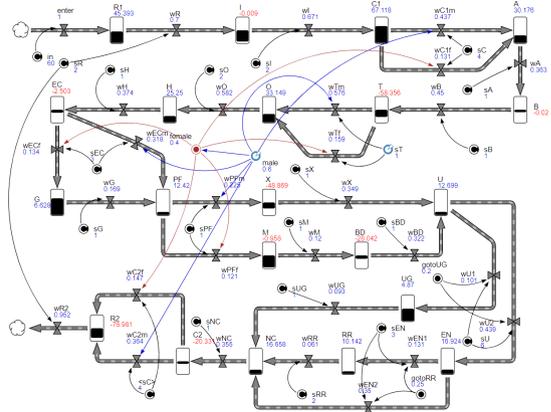


Fig. 4. System Dynamics Simulation Diagram

### 3.3 지표 시각화 및 관찰 방법

검진 과정에서 자원의 적정 배분을 관찰하기 위해 시뮬레이션 과정에서 3개의 지표를 시계열 그래프로 표시하도록 프로그래밍하였다.

반복 시뮬레이션 과정에서 이 지표들을 실시간으로 모니터링하면서 개별 리소스를 조정하여, 모든 검사실(stock)에 과부하가 발생하지 않으면서도 전체의 흐름이 원활해질 수 있는 자원(resource)의 수를 찾는 방식으로 최적 안을 추적하였다. 세 가지 지표는 다음과 같다.

#### 3.3.1 누적 저장( $CS_{stock}$ )

검사실별 사용자(수검자)의 부하를 파악할 수 있도록 부하 누적량을 표시한 것(Fig. 5의 b)으로, 저장(stock)에서 추출한다.

이 지표는 0을 기준으로 하여 증감이 관찰되며, 현실 세계에서는 실제로 마이너스(-) 부하는 발생하지 않으나, SD의 개념에서는 자원의 활용에 여유가 발생하는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 따라서 마이너스 부하는 전체적인 흐름(지연)에 영향을 주지는 않지만, 불필요한 자원 소모로도 읽힐 수 있다.

지속적인 플러스(+)는 부하의 누적을 의미한다. 검사실의 기본 용량(처리능력) 이하의 값만 유지한다면 사용자 흐름에 큰 영향을 주지는 않지만, 과도한 누적은 전체 처리시간 지연에 악영향을 미치게 된다.

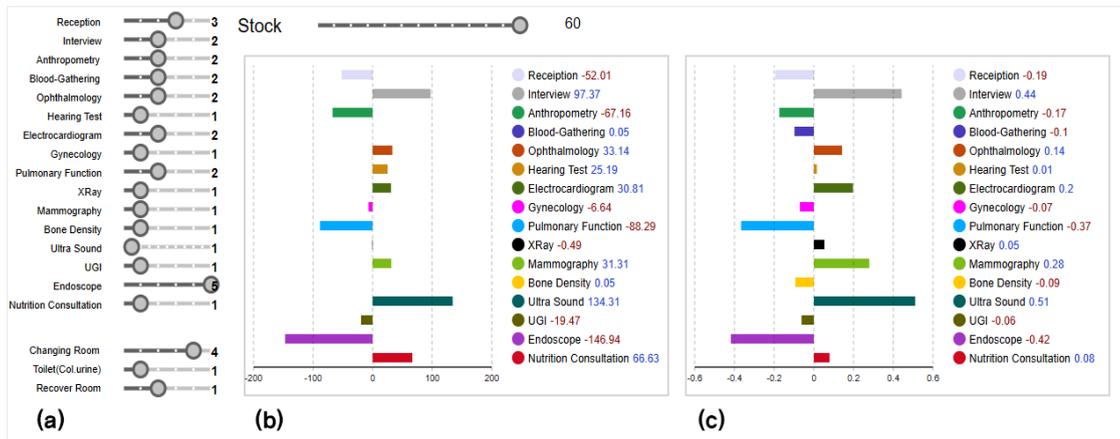


Fig. 5. Interface for Metric Measurement and Resource Variable Adjustment

### 3.3.2 실시간 유입-유출계( $NF_{flow}$ )

각 저장(stock)에 유입-유출되는 유출입량(net flow)의 크기를 실시간으로 모니터링하는 지표로서 수평 막대 그래프(Fig. 5의 c) 형식으로 표시하였다.

이 값이 지속적으로 플러스(+)가 되면 저장(stock)에 부하가 계속 누적되고, 반대로 마이너스가 되면 점진적으로 저량이 감소하게 된다.

즉, 검사실로 유량의 입출이 비등해야 저장(부하)을 일정하게 유지할 수 있는 상태가 되므로 시뮬레이션 과정에서 항상 0에 값을 근접시킬 수 있도록 각 플로우의 자원 수를 조정해야 한다.

$CS_{stock}$ (b)과  $NF_{flow}$ (c)의 모니터링 그래프와 조정 슬라이더(a) 인터페이스는 Fig. 5와 같이 구성하였다.

### 3.3.3 $NF_{flow}$ 에 대한 시계열 기록 그래프

이를 지표라고 보기는 어렵지만 시뮬레이션 시작 시간을 0에서 240까지 분 단위로 측정하여 기록한  $NF_{flow}$ 의 시계열 선형그래프(line chart)이다.

$NF_{flow}$ 가 실시간 관찰 지표인 반면, 이는 시계열 데이터셋(dataset) 기록이라는 점에서 차이가 있다.

이 데이터셋은 시간별 흐름에 따른 증감을 관찰할 수 있도록 한 것으로, 자원의 수를 슬라이더로 조정하는 과정에서 조정 전후 값을 비교할 수 있고, 기록 데이터로부터 최대, 최소를 추출하여 조정 전후의 효율을 정량적으로 계산(비교)하는 용도로도 사용된다.

## 4. 분석 및 리밸런싱

### 4.1 초기 안에 대한 시뮬레이션 결과

Fig. 6은 초기 안(자원 초기값)에 대한 각 검사실의 유출입량(net flow)의 변화를 시계열로 표시한 것이다.

그래프를 살펴보면 각 검사실의 부하량 변화를 파악할 수 있는데, 안과(O)의 누적값이 가장 크고 내시경(EN)은 계속 마이너스의 값을 유지하여 부하가 발생하지 않음을 알 수 있다.

즉, 안과는 서비스 처리 인력을 증가시켜야 하고 반대로 내시경은 인력을 줄여도 됨을 의미한다.

초음파검사실(U)의 경우 최대 유출입량(net flow)은 0.71이며, 누적 부하량(저량)은 134.28이다. 인력자원 초기값이 1이므로 240분 동안 최대 13,428%의 부하가 걸리는 것으로 볼 수 있다.

전체 검사실의 유출입량 중앙값(median)은 0.2(최대 0.83, 최소 -0.42, 유출입차 1.25)이고, 누적 유출입량 중앙값은 2.37이다.

하지만 검사실의 처리능력을 조정하는 플로우는 선행 플로우와 후속 플로우가 상호 연결이 되어 있기 때문에 특정 플로우의 조정은 선행과 후속 플로우에 영향을 미치게 된다.

예를 들어, 당해 검사실의 부하(즉, 저장)를 감소시키기 위해 플로우의 자원(처리량)을 증가시키면 선행 검사실의 부하는 줄어들게 되고, 후속 플로우의 부하는 증가하게 된다. 특히 검사 시간이 짧은 플로우의 리소스 증가는 더욱 많은 사용자를 후속 작업으로 진행하기 때문에 후속 검사실의 부하를 크게 폭증시킬 수 있다.

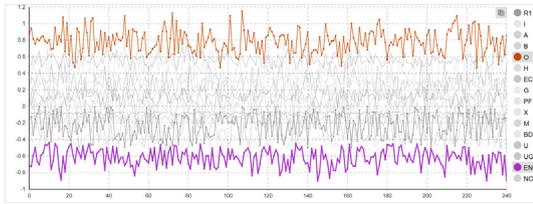


Fig. 6. Flow in the Initial Simulation Stage (x=time, y=flow)

Fig. 7은 U(초음파) 검사에 대한 부분 다이어그램(CLD)으로서 리밸런싱 과정을 설명하기 위하여 선행 플로우인 X선(X) 및 골밀도(BD), 후속 플로우인 조영촬영(UG) 및 내시경(EN)을 함께 예시한 것이다.

초음파의 부하(Stock\_U)는 X선 검사의 처리능력(inFlow\_X)과 골밀도 처리능력(inFlow\_BD)에 의해 유입되고, 초음파검사의 처리능력, 즉 (outFlow\_U)로 유출된다. 다만 조영촬영(20%)과 내시경(80%)으로 확률적으로 분기하기 때문에 두 개의 플로우를 통해 일정 비율 유출된다. 따라서 초음파검사실(U)의 저장량을 0에 근접하게 조정하고자 한다면, X, BD, U, 3개의 자원(리소스량)을 함께 조정해야 하며, 이러한 조정은 후속 검사인 UG와 EN에 다시 영향을 미치게 되므로 리밸런싱 과정에서 후속 플로우의 영향을 함께 모니터링하면서 조정해야 한다.

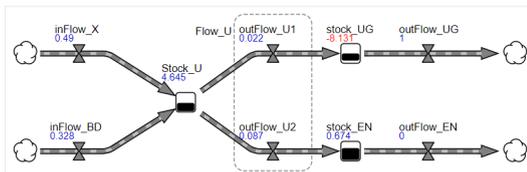


Fig. 7. Adjacent flow in the ultrasound laboratory

#### 4.2 전진 계산에 의한 리밸런싱 과정 예시

리밸런싱은 전절에 기술한 개념과 같이 검진시작(in)에서 검진 종료(out)까지 절차에 따라 전진 계산하면서 자원의 수를 조정해 나간다.

다음 Fig. 8은 앞의 X, BD, U, UG, EN의 자원을 조정 과정에서 모니터링되는 시계열 그래프를 예시한 것이다.

전진 계산에 의해 여기까지 조정을 마쳤다면 선행 플로우 X, BD는 리밸런싱 되어 0에 수렴된 상황일 것이다. 즉 조정 대상 U의 앞 단계까지는 InFlow와 OutFlow의 균형이 잡힌 상태이다.

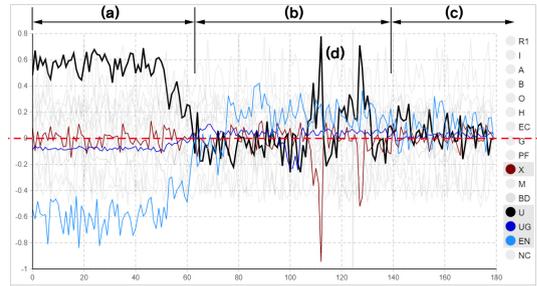


Fig. 8. Rebalancing Process(x=time, y=stock)

(a)구간은 리밸런싱 이전의 단계로 U의 부하가 크게 걸리고 있지만 EN은 마이너스 부하, 즉 공회전(idle)이 자주 발생하는 상황이다. 후속 플로우 X는 별도의 조치 없이도 약간의 마이너스 수준에서 이미 0에 근접해 있음을 알 수 있다. 따라서 X의 조정은 뒷순위로 보류해도 된다.

(b)구간은 outFlow\_U의 자원을 증가시켜 stock\_U의 저장량을 감소시키는 과정으로, U의 플로우가 증가하면서 후속 EN의 부하가 증가하는 상황이다.

(d)는 약간의 여유가 있는 X의 자원을 한 개만 더 증가시켰을 때의 상황으로, U의 부하가 급증하고 반대로 X의 공회전이 심해지는 문제가 발생하므로 최종적으로 X는 조정이 필요 없다.

초음파검사(U)를 중심으로 직접 연결된 4개의 플로우의 자원을 조정하여 (c)구간과 같이 최대한 inFlow와 otFlow의 균형을 잡아 나가며, 동일한 방법으로 최초 플로우(in)부터 최종 플로우(out)까지 조정해 나간다.

#### 4.3 역진 계산 검증 및 잉여 자원 분석

순방향으로 리밸런싱을 하면, 유출입량이 지속적으로 마이너스를 기록하여 부하가 최소값 이하로 떨어지는 경우가 있다. 이는 자원의 낭비가 될 수 있으므로 후속 플로우에서 조정하여 여유 자원을 줄이는 방법을 모색해 볼 수 있다. 이는 전진 계산 리밸런싱 만큼의 조정 효과를 볼 수는 없으나 최적 안을 도출하기 위한 미세조정 및 재조정 검증 과정이다.

예를 들어, 폐기능검사(PF) 이후 남성과 여성으로 분기하여 남성은 0.6의 확률로 X(service time 2-3)로 진행하고, 여성은 0.4의 확률로 M(service time 5-10)과 BD(service time 3-5)를 경유한 후 U에서 합류하게 되는데, 확률상 X의 처리가 빠르므로 X의 여유시간(공회전)이 길어지게 된다. 이러한 여유는 전체 처리의 지연을 발생시키지는 않지만, 여성(M과 BD)의 부하만 증가하지

않는다면 X의 자원을 절약하여 선행검사 PF로 자원을 사용(재배치)할 수도 있다.

즉 프로세스의 전진 계산에 의해 조정된 후, 역진으로 정밀하게 보완할 수 있음을 보여준다.

이러한 검증 절차를 거쳐 최종적으로 조정된 자원의 배치는 Table 2와 같이 정리할 수 있다.

Table 2. Resource adjustment results

room name	code	init	adjust	increase
Reception	R	3	2	-1
Interview	I	2	2	
Anthropometry	A	2	1	-1
Blood Gathering	B	2	1	-1
Ophthalmology	O	2	2	
Hearing Test	H	1	1	
Electrocardiogram	EC	2	3	+1
Gynecology	G	1	1	
Pulmonary Function	PF	2	1	-1
XRay	X	1	1	
Mammography	M	1	1	
Bone Density	BD	1	1	
Ultra Sound	U	1	6	+5
UGI	UG	1	1	
Endoscope	EN	5	3	-2
Nutrition Consultation	NC	1	1	
Total		28	28	±0

#### 4.4 리밸런싱 후 개선 효과

Fig. 9는 초기 안에 대한 누적 부하량을 나타낸 것이다. 앞에서 언급한 바와 같이 최대 부하량의 증가는 처리 지연을 심화시키고 과도한 마이너스 부하는 자원의 낭비를 초래한다.

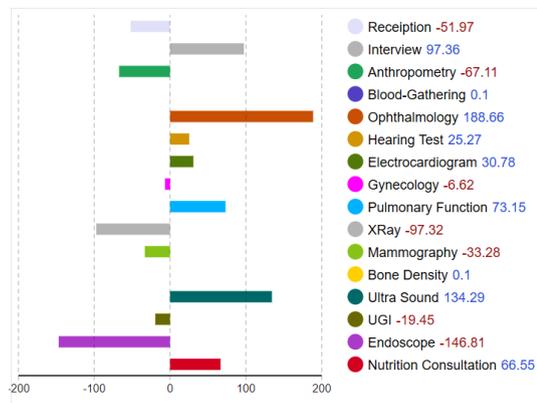


Fig. 9. Cumulative stock for 240 minutes before adjustment

리밸런싱 작업에 의해 자원을 재배치한 결과, 조정안의 누적 부하량은 Fig. 10과 같이 각 검사의 부하의 과도한 누적이나 전체 흐름에서의 지연이 거의 사라졌다.

다만 X선 검사(X)에 상당한 마이너스 부하(여유 또는 자원낭비)가 발생하고 있지만 처리 지연(병목)에 영향을 주는 것은 아니며, X선 검사의 초기 자원 수가 1이어서 더 줄일 수는 없으므로 문제가 되지 않는다.

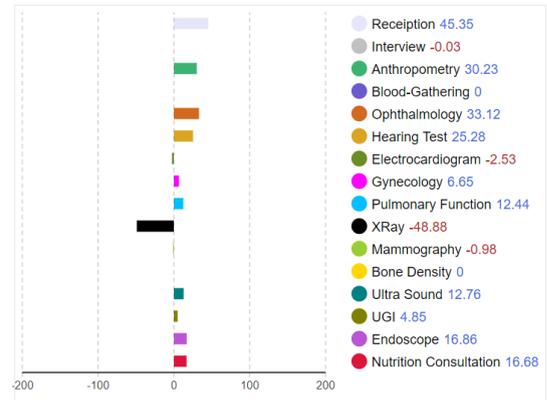
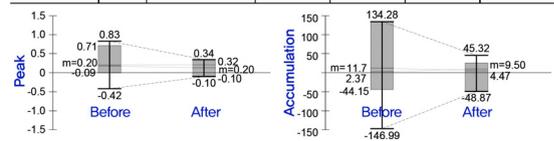


Fig. 10. Cumulative stock for 240 minutes after adjustment

조정 전후의 결과를 비교한 Table 3을 살펴보면 모든 검사실의 유출입량 중앙값은 0.2로 변동은 없으나 최대값이 0.83에서 0.34로 0.49감소하였고, 최소값은 -0.42에서 -0.10로 0.32만큼 증가하여, 최대와 최소의 격차가

Table 3. Comparison before and after adjustment

		max	min	max-min	median	
Before	peak	0.83	-0.42	1.25	0.20	
	per resource	0.71	-0.09	0.80	0.17	
	accumulation	134.28	-146.99	281.27	2.37	
After	peak	0.34	-0.10	0.44	0.20	
	per resource	0.32	-0.10	0.42	0.13	
	accumulation	45.32	-48.87	94.19	9.50	
Increase	peak	-0.49	0.32	-0.80	0.00	
	per resource	-0.39	-0.01	-0.38	-0.05	
	accumulation	-88.96	98.12	-187.08	7.13	
		per resource	-108.98	-4.72	-104.26	-7.23



크게 감소(1.25→0.44)한 것으로 나타났다. 또한 최소 -146.99에서 최대 134.28이던 누적 유출입량도 최소 -48.87에서 최대 45.32로 크게(최대 88.96~최소 98.12) 개선되었다.

처리지연(흐름)에 가장 큰 장애(병목)를 주는 자원(resource) 당 누적량도 최대 134.28에서 25.30으로 18.84% 수준으로 감소하여, 자원의 리밸런싱이 유출입량 균형에 큰 영향을 미쳤음을 증명하고 있다.

#### 4.5 한계와 극복방안

시스템 다이내믹스는 기본 개념상 선형 플로우부터 순차적으로 실행되는 것이 아닌 시스템 전체가 동시에 작동하기 때문에 설계안(평면)이 실제화되었을 때의 구체적 검증도구로는 한계가 있을 수 있다. 이때는 DES와 같이 실체를 바탕으로 하는 시뮬레이션 분석이 필요할 수 있다.

또한 저량이 마이너스를 가지는 문제도 현실 건축공간을 모델링 하기에 개념적으로 이질감이 있다.

보강 연구결과 Fig. 11과 같이 저량의 값을 실시간 모니터링해서 마이너스 부하가 발생하면 선형 플로우를 차단하는 CLD를 구상해볼 수 있으나, 추상 단계에서 지나치게 복잡한 CLD가 발생하게 되고, 이는 오히려 적용성을 떨어뜨리거나 오류(실수)를 발생시킬 소지를 키울 수 있다.

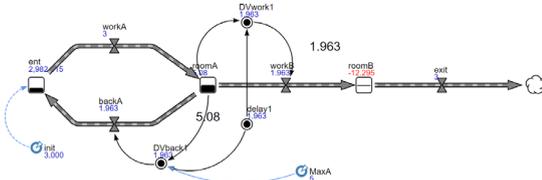


Fig. 11. A method for constructing a CLD that avoids the occurrence of negative stock.

### 5. 결론

최적화 스페이스 프로그래밍을 위하여 시스템 다이내믹스 시뮬레이션을 구축하고 동적시스템 분석을 수행한 결과, 최적 의료자원(서비스)의 수를 도출할 수 있었으며, 이는 초기값의 오류를 발견하는 방법으로도 활용될 수 있음을 파악하였다. 서비스 자원(인력)의 수는 면적이나 소요 검사 장비와 밀접한 관련이 있으므로 스페이스 프로그램 구체화 작업에서 기초자료로 충분히 활용될 수 있을 것이다.

또한 시스템(검진센터)의 운영 기간 내의 최대, 최소 부하를 도출하여 리스크를 발견할 수 있었다. 부하의 지나친 누적은 검진 프로세스의 처리시간 지연을, 지나친 감소는 자원의 낭비를 의미하므로 예산의 분배 및 운영의 의사결정 과정에서도 과학적인 근거데이터를 마련해 줄 수 있을 것이다.

이러한 일련의 동적 건축시스템 분석방법론은 사회적 관점에서의 현실성을 보다 확대하고, 아울러 다양한 리스크에 대한 사전검토 기술 발전에 기여할 것으로 기대한다.

SD는 지극히 추상화된 이론이므로 DES나 ABM과 같은 복잡계 시뮬레이션을 연동하여, 분석의 구체성을 향상시키고, 문제의 인과관계를 보다 명확히 추적하는 후속연구를 진행할 예정이다.

### References

- [1] J. J. Lee, Y. H. Lee, "The Impact of RFID Implementation in Supply Chain Dynamics", *Proceedings of Korean Institute of Industrial Engineers 2010 Spring Academic Conference*, pp.515-322, May. 2010
- [2] Fong, W. K., Matsumoto, H., Lun, Y. F., "Application of System Dynamics model as decision making tool in urban planning process toward stabilizing carbon dioxide emissions from cities", *Building and Environment*, Vol.44, No.7, pp.1528-1537. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.010>
- [3] Xu, Z., & Coors, V., "Combining system dynamics model, GIS and 3D visualization in sustainability assessment of urban residential development" *Building and Environment*, Vol.47, pp.272-287. 2012 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.012>
- [4] Shepherd, S. P., "A review of system dynamics models applied in transportation", *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, Vol.2, No.2, pp.83-105. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/21680566.2014.916236>
- [5] Brailsford, S. C., Hilton, N. A., "A comparison of discrete event simulation and system dynamics for modelling health care systems". pp.1-18. 2001. retrieved from [https://eprints.soton.ac.uk/35689/1/glasgow\\_paper.pdf](https://eprints.soton.ac.uk/35689/1/glasgow_paper.pdf)
- [6] Leon, H., Osman, H., Georgy, M., Elsaid, M., "System dynamics approach for forecasting performance of construction projects", *Journal of Management in Engineering*, 04017049(open access).. Vol.34, No.1, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000575](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000575)
- [7] Thompson, B. P., & Bank, L. C., "Use of system dynamics as a decision-making tool in building design and operation", *Building and Environment*,

Vol.45, No.4, pp.1006-1015. 2010.

DOI: <https://doi.org/10.1016/i.buildenv.2009.10.008>

- [8] Ngowtanasuwan, G., Hadikusumo, B. H., "System dynamics modeling for BIM adoption in Thai architectural and engineering design industry", *Construction Innovation*, Vol.17, No.4, pp.457-474. 2017  
DOI: <https://doi.org/10.1108/CI-03-2016-0018>
- [9] S. T. Kim, "A Study on Optimizing the Space Planning of a Health Examination Center using Resources and Queue Management Simulation Technology", *Journal of the Korea Institute of Spatial Design*, Vol.16, No.5, 2021  
DOI: <https://doi.org/10.35216/kisd.2021.16.5.381>
- [10] S. T. Kim, "A Study on Improving the Spatial Services of Health Examination Centers Utilizing Pedestrian-based Discrete Event Simulation", *Journal of the Korean Institute of Interior Design*, Vol.27, No.5, pp.53-68, 2018  
DOI: <https://doi.org/10.14774/JKIID.2018.27.5.053>
- 

김 석 태(Suk-Tae Kim)

[정회원]



- 1993년 2월 : 국민대학교 대학원 건축학과 (건축학석사)
- 2008년 8월 : 한양대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1993년 1월 ~ 1999년 10월 : 주식회사 서울건축 설계실 (건축사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 인제대학교 실내건축학과 교수

<관심분야>

환경디자인, 공간구조학, 컴퓨터시뮬레이션