

# 시스템다이내믹스를 활용한 청소년 비만의 비선형 시뮬레이션: 청소년 건강행태 온라인 조사 자료 활용

이한나<sup>1</sup> · 박은숙<sup>1</sup> · 유재국<sup>2</sup> · 윤은경<sup>3</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 일반대학원 간호학과, <sup>2</sup>국회입법조사처 경제산업조사실, <sup>3</sup>경희대학교 간호과학대학·동서간호학연구소

## Non-linear System Dynamics Simulation Modeling of Adolescent Obesity: Using Korea Youth Risk Behavior Web-based Survey

Lee, Hanna<sup>1</sup> · Park, Eun Suk<sup>1</sup> · Yu, Jae Kook<sup>2</sup> · Yun, Eun Kyoung<sup>3</sup>

<sup>1</sup>College of Nursing Science, Kyung Hee University, Seoul

<sup>2</sup>National Assembly Research Service, Seoul

<sup>3</sup>College of Nursing Science · East-West Nursing Research Institute, Kyung Hee University, Seoul, Korea

**Purpose:** The purpose of this study was to develop a system dynamics model for adolescent obesity in Korea that could be used for obesity policy analysis. **Methods:** On the basis of the casual loop diagram, a model was developed by converting to stock and flow diagram. The Vensim DSS 5.0 program was used in the model development. We simulated method of moments to the calibration of this model with data from The Korea Youth Risk Behavior Web-based Survey 2005 to 2013. We ran the scenario simulation. **Results:** This model can be used to understand the current adolescent obesity rate, predict the future obesity rate, and be utilized as a tool for controlling the risk factors. The results of the model simulation match well with the data. It was identified that a proper model, able to predict obesity probability, was established. **Conclusion:** These results of stock and flow diagram modeling in adolescent obesity can be helpful in development of obesity by policy planners and other stakeholders to better anticipate the multiple effects of interventions in both the short and the long term. In the future we suggest the development of an expanded model based on this adolescent obesity model.

**Key words:** Adolescent, Obesity, Nonlinear dynamics

## 서 론

### 1. 연구의 필요성

비만은 인류의 건강을 위협하고 세계 경제에도 영향을 미치는 '신

종 전염병'으로 그 심각성이 인식되고 있다[1]. 세계 비만연맹에서는 현재의 비만 인구 증가 추세가 지속된다면 2015년에는 전 세계적으로 약 7억명, 2025년에는 전 세계 인구의 3분의 1이 비만 환자가 될 것이라고 예측하고 있다[2]. 비만으로 인한 문제는 성인뿐만 아니라 청소년기에도 나타나고 있는데, 청소년 시기에 발생한 비만은 지방

주요어: 청소년, 비만, 비선형적 역동 모델

\*이 논문은 2014년도 한국연구재단의 지원에 의해 수행되었음(과제번호: NRF-2014R1A1A2057237).

\*This study was supported by the National Research Foundation of Korea in 2014 (NRF-2014R1A1A2057237).

Address reprint requests to : Yun, Eun Kyoung

College of Nursing Science, Kyung Hee University, 26 Kyunghedae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02453, Korea

Tel: +82-2-961-2348 E-mail: ekyun@khu.ac.kr

Received: March 5, 2015 Revised: March 22, 2015 Accepted: July 1, 2015

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NoDerivs License. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0>)  
If the original work is properly cited and retained without any modification or reproduction, it can be used and re-distributed in any format and medium.

세포의 크기뿐만 아니라 지방세포 수 자체가 증가하는 특성을 가지고 있어 비만 청소년의 80% 정도가 성인 비만으로 이행할 확률이 높고, 성인 시점에 발생하는 비만보다 심각한 고도비만으로 전이될 가능성이 크다[3]. 비만은 만성 대사성질환, 암·당뇨병 등 각종 성인병의 원인이 되며[4], 우울, 자존감 저하, 사회적 고립과 같은 정서적인 문제뿐만 아니라 삶의 질에도 악영향을 미친다[5]. 2009년 우리나라에서 비만과 관련된 만성질환 치료비용으로 사용된 금액은 약 10조 7000억원으로, 전체 진료비 약 39조원의 27%를 차지하는 것으로 나타나 비만으로 인한 국민전체의 사회적 부담과 보건학적 위험이 커지고 있음을 알 수 있다[6]. 이러한 이유로, 청소년 비만을 개인의 문제를 넘어 시급히 해결해야 할 국가 사회적 문제로 간주하고 그 해법을 찾아야 한다는 데 각계의 의견이 모아지고 있다.

지금까지 국내 청소년 비만 문제에 대응하기 위해, 정부와 학계에서는 청소년 비만의 실태와 원인을 다각도로 분석하고 다양한 비만 관리 프로그램을 실행하고 비만퇴치를 위한 홍보와 캠페인을 실시하는 등의 관리대책을 마련하였다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 국내 18세 이하 청소년 비만율은 1981년 1.4%였던 것이[7], 2001년에 약 8.6%로 2014년에는 10.1%로 점차 증가하고 있는 것으로 확인되었다[8]. 국내에서 실시된 비만 연구는 주로 청소년 비만과 관련된 실태와 영향요인을 파악하거나[9] 비만 관리를 위한 중재적 연구[10] 등에 집중되어 있다. 방법론 측면에서 살펴보면, 대부분의 선행 연구에서는 비만이라는 현상을 결과로 정의하고, 청소년 비만에 미치는 특정 요인 혹은 요인 간의 상호작용을 원인변수로 설정하여 이러한 원인변수가 비만이라는 결과에 미치는 일방향적인 영향력을 분석하는 방법을 주로 활용하였다. 그러나 청소년 비만은 특정한 요인에 의해 일방향으로 발생하는 문제가 아니라, 소아청소년기를 통해 오랜 기간에 걸쳐 다양한 개인적, 사회적 요인 등이 복합적으로 상호연관되어 발생한 문제라고 볼 수 있다. 그러므로 청소년 비만을 단선적이고 일방향적으로 분석하던 기존의 방식으로부터 청소년 비만을 역동적이고 연속적인 문제로 새롭게 정의하고, 다양한 변수들의 상호인과관계로 발생하는 복잡성을 근거로 미래 현상을 예측하고 구현할 수 있는 비선형적 접근방법이 필요하다.

청소년의 비만은 비만을 일으키는 시스템의 영역 안에서 발생한 복잡한 현상이기에, 단순히 에너지를 제한하거나 격한 운동으로 에너지를 소비하는 단편적인 접근으로는 해결할 수 없는 문제이다. 이미 선진국의 전문가들은 비만을 만성질환, 기후 변화, 전쟁, 식량난 등과 함께 현재 인류가 직면하는 복잡한 문제로 인식하였고, 이러한 복잡계의 특성을 가진 현상의 비선형적 동태성을 파악하고 문제를 진단하고 해결하는데 있어서 시스템다이나믹스 방법이 적합하다고 하였다[11]. 비만문제를 시스템적 분석으로 접근한 국외의 연구를 살펴보면, 영국의 Foresight 비만 시스템지도에서는 성인의 비만현

상을 심리, 생리를 포함한 신체시스템과 사회 환경시스템을 포함하여 비만에 미치는 요인 간의 인과관계와 정책 개입의 시사점을 분석하였으며[12], 미국에서는 시스템다이나믹스 모델링을 통해 초등학교 비만 인구가 시간의 흐름과 비만 예방 중재에 따라 어떻게 변화되어왔는지를 분석한 모형을 개발하였다[13].

시스템다이나믹스는 1960년대 MIT의 Forrester 교수에 의해 개발되어 사회시스템을 포함한 모든 시스템의 역동적인 변화 메커니즘을 비선형적인 피드백 구조로 파악하고, 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 재분석함으로써 시스템의 복잡성과 진화과정을 규명하는 방법이다[14, 15]. 시스템 다이나믹스는 변수들 간의 연속적인 인과관계를 현실적으로 모형화하고, 시뮬레이션을 통해 동태적인 변화과정을 분석하는 방법이다. 인과관계를 종합한 인과지도와 변수들의 상태 및 변화량을 표시한 저장-유량 다이어그램을 작성하고, 과거 데이터를 적용하여 현실적인 계수 값을 도출한다. 또한 외부 환경요인의 변화나 경영자의 전략방향에 따라 시나리오를 구성하고 시나리오별 결과를 시뮬레이션 할 수 있다[15]. 이와 같이 시스템다이나믹스는 시스템 사고와 시뮬레이션 모델링을 이용하여 정성적 분석과 정량적 분석을 동시에 수행할 수 있으며, 시스템 모델링을 통해 범위적 결과값을 도출할 수 있고, 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 반복적인 연산을 수행함으로써 시간의 흐름에 따른 변화의 예측이 가능하게 한다. 또한 현실세계와 매우 흡사하게 관련 변수들을 논리적으로 구성하여 컴퓨터상에서 구현함으로써 새로운 영향변수들이 파악될 경우 그 변수들을 시스템 모델 내부에 추가할 수 있는 장점이 있다[16].

간호, 의료계에서 발생하는 수많은 현상과 건강행위, 질병, 회복 과정은 복잡한 비선형 역동성의 특성을 가지고 있는 바, 이러한 시스템적 접근 방법은 간호, 의료계의 미해결 난제를 진단하고 해결방안을 도출하는데 효율적인 방법으로 활용될 수 있을 것이다. 이에 본 연구는 그 동안 정부와 학계의 노력에도 해결되지 않고 점차 악화되는 양상을 나타내는 청소년 비만문제에 대한 정책평가와 중재개발을 위한 초기 접근으로서, 시스템다이나믹스 방법론을 활용하여 비만이라는 현상을 역동적으로 해석하고 구조화한 청소년 비만 시뮬레이션 모델을 개발하여 모의실험을 수행하고자 한다. 이를 통하여 시간의 흐름에 따른 비선형적인 청소년 비만추세의 변화를 예측하고, 청소년 비만 예방 및 관리를 위한 중재와 정책이 활용될 수 있는 기초자료로 활용하며, 미래 예측 방법론의 간호연구 분야에의 적용가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 연구 목적

본 연구에서는 시스템다이나믹스 방법론을 이용한 국내 청소년 비만 모델을 개발하여 다차원적인 요인으로 인한 청소년기 비만 추세

변화를 예측함으로써, 우리나라 청소년 비만 예방을 위한 중재 및 정책 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 한다. 본 연구의 구체적 목적은 다음과 같다.

첫째, 청소년 비만과 관련된 요인들의 인과 순환적 피드백 구조를 바탕으로 청소년 비만 시스템다이나믹스 모델을 개발한다.

둘째, 청소년 건강행태 온라인 조사 자료를 이용한 시뮬레이션을 통해 청소년 비만 시스템다이나믹스 모델을 검증한다.

셋째, 정책 시나리오 시뮬레이션을 통해 청소년 비만 추세를 예측하고, 청소년 비만관리를 위한 중재개발의 기초 근거를 제시한다.

## 연구 방법

### 1. 연구 설계

본 연구는 청소년 비만에 영향을 미치는 요인 간의 인과관계를 중심으로 비만예측모델을 개발하고, 비만 관리를 위한 중재적 대안의 장기적 효과를 측정하기 위해 시스템다이나믹스 방법론을 적용한 연구이다. 본 연구에서는 모델의 타당성을 검증하기 위해 ‘청소년 건강행태 온라인조사’의 데이터를 활용하였다. 시스템다이나믹스 연구 절차에 따라 문제의 정의, 인과지도 작성, 저장 유량 흐름도 작성, 모델의 검증, 모의 실험 등의 순서로 진행하였다[14,15].

### 2. 연구 절차

#### 1) 인과 관계 확인

인과지도는 정성적인 분석을 통해 변수 간의 인과관계를 표현하는 것이다. 청소년 비만 인과지도를 바탕으로 청소년에 미치는 변수 간의 인과관계를 확인하고 모델링의 범위를 설정하였다. 청소년 비만 인과지도는 2013년 6월부터 2013년 10월까지 국내외 문헌 및 각종 국가 통계자료를 고찰하여 청소년 비만에 영향을 미치는 변수들을 파악하고, 변수들 간의 인과관계를 분석하여 작성되었다[17].

#### 2) 저장 유량 흐름도(Stock Flow Diagram [SFD]) 작성

저장 유량 흐름도는 인과지도를 바탕으로 변수들 간의 영향관계를 컴퓨터 상에서 시뮬레이션 할 수 있도록 정량화 하는 단계이다. 변수들은 특성에 따라 저장(stock)변수, 유량(flow)변수, 보조변수(auxiliary), 상수(constant)로 구분하여 사용된다.

본 연구에서는 인과지도를 기초로 청소년 비만 시스템다이나믹스 모델의 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 SFD를 개발하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 모델 개발과 분석을 위해서 Vensim DSS 5.0를 사용하였다. 모델 개발을 위해 저장(stock)변수, 유량(flow)변수, 보조변수 등을

설정하였다. 저장변수는 행위의 결과로 저장되는 변수를 의미하며 수준변수라고도 한다. 시간에 따른 저장변수의 변화율이 유량변수의 값이 되며, 유량변수는 수준변수의 값을 변화시키는 역할을 한다[14]. 또한 유량 변수의 계산식을 단순화시키기 위해 보조변수를 이용하였으며, 이러한 흐름변수나 보조변수는 함수식을 활용하여 변수와 변수들 간의 관계를 정의하였다.

청소년 비만 모형을 검증하기 위하여 제1차(2005년)부터 9차(2013년)까지의 청소년 건강행태온라인조사 원시자료를 이용하였다. 청소년건강행태온라인조사는 질병관리본부, 보건복지부, 교육과학기술부가 한국 청소년의 비만, 식습관, 신체활동 등 14개 영역의 건강행태를 파악하기 위해, 중학교 1학년에서 고등학교 3학년 학생을 대상으로 실시하는 익명성 자기 기입식 온라인 조사이다. 본 연구를 위한 비만 모델링의 범위는 13세에서 19세의 남녀 청소년이며, 대상자 수는 1차부터 9차까지 총 664,343명이었다. 본 연구의 모델에 활용되는 청소년 비만에 영향을 미치는 변수의 자료는 선행 연구와 전문가 타당도를 근거로 하였다. 전문가는 간호학과 교수 1인과 시스템 다이나믹스 전문가 1인, 박사과정생 2인으로 구성되었다. 우리나라 아동 청소년 비만에 영향을 미치는 요인을 사회경제적 요인, 생활습관, 가족력, 심리사회적 요인으로 구분한 선행 문헌[9]을 근거로 구분하였다. 생활 습관 요인의 하부 요인에는 식습관, 신체활동, 수면이 포함되었다. 식습관 요인으로는 긍정적인 식습관 보다 고열량, 저영양의 음식 섭취가 에너지 불균형을 유발하고, 비만에 영향을 준다는 선행 연구[18]를 근거로 최근 7일동안 탄산음료 섭취 빈도, 패스트푸드 섭취 빈도, 라면 섭취 빈도, 과자섭취빈도를 포함하였다. 신체활동 요인으로는 최근 7일 동안 신체활동을 하루 동안 모두 합했을 때 60분 이상 한 날 수, 근력강화운동 횟수를 포함하였다. 수면요인으로는 수면으로 인한 피로 회복 정도도 잠을 잔 시간이 피로회복 정도에 충분하다고 생각하는 정도를 5점 척도로 한 점수로 ‘매우 충분하다’가 1점, ‘충분하다’가 2점, ‘그저 그렇다’가 3점, ‘충분하지 않다’가 4점, ‘전혀 충분하지 않다’가 5점으로 계산하였다. 정서적 요인으로는 스트레스 정도가 포함되었으며, 도구는 5점척도이며 평상 시 스트레스의 정도가 적을수록 점수가 높은 것을 의미한다. 사회경제적 요인으로는 가구풍요도가 포함되며, 가구 풍요도 산출방법은(Health behavior in school-aged children, WHO 기준) 자동차 보유 대수(0~2점), 본인 방 소유여부(0~1점), 가족여행 횟수(0~3점), 컴퓨터 보유대수(0~3점)를 합산하여 0~2점이면 하위계층, 3~5점이면 중산층, 6~9점이면 상위계층으로 구분하였다. 교육환경적 요인으로는 학습목적으로 지난 주 중 하루에 앉아서 보낸 시간이 포함되었으며 자료는 시간 및 분을 직접 입력한 것을 분으로 환산한 것으로 계산하였다. 자료 분석을 위하여 Stata 13.0 프로그램을 사용하였다. Vensim DSS 5.0 프로그램에서 변수의 수식을 정의하기 위해 위의 자료를 각 년도 별로 평

균값을 도출한 뒤 그래프 함수(Look up)를 사용하여 표현하였다.

### 3) 모델의 최적화 및 검증

시스템다이내믹스 모델화 초기에 최종모델을 어떻게 검증할 것인가 판단해야 하며, 모델의 검증은 일반적으로 모델의 시뮬레이션 예측 값과 과거 실적자료와 비교하여 검증한다. 시뮬레이션 결과가 과거 실적자료와 유사한 행태를 보이면 타당성이 있다고 판단할 수 있으며 과거 실적자료가 부족한 경우에는 전문가집단의 의견이나 사용자그룹의 의견을 참고하여 결정하게 된다. 본 연구에서는 모델 구축 후 시뮬레이션을 통해 개발된 모델을 최적화(optimization) 하였다. 최적화란 특정 변수들의 값과 그 동태적 변화 혹은 이를 통하여 전체 모델의 동태적 변화와 그 동태적 값을 목표 혹은 목표함수(payoff function)에 부합하도록 적합(fitting)하는 과정이다[19].

### 4) 모의 실험 분석

시스템다이내믹스는 구축된 모델의 시뮬레이션을 통하여 다양한 변화를 분석할 수 있다[15]. 이러한 특성으로 인하여 국가정책 개발, 대외문제, 새로운 제도와 정책의 채택에 따른 영향분석에 많이 활용되고 있다. 본 연구에서는 청소년 비만에 영향을 미치는 관련 변수의 수준을 각각 20% 향상시키는 모의 실험 시나리오를 설정하고 모의 실험 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 도출된 청소년 비만의 추세를 계량적으로 예측하고 분석하였다.

## 3. 윤리적 고려

본 연구에서 모델 개발을 위해 사용된 ‘청소년 건강행태 온라인 조사’ 자료는 질병관리본부 연구윤리심의위원회의 승인을 받아 수행된 것이며, 원시자료 사용은 해당기관에 공식적으로 자료 요청하여 학술연구용으로 승인을 받은 후 사용하였다. 본 연구는 기관 IRB의 심사면제 승인(IRB No. KHSIRB-14-082)을 받고 수행하였다.

## 연구 결과

### 1. 인과 관계 확인

국내 청소년 비만 인과지도에서 나타난 변수 간의 인과 관계를 확인하고[17] 본 모델링의 범위를 설정하였다. 청소년 비만에 영향을 미치는 요인은 생리적 요인, 식습관요인, 신체활동요인, 수면요인, 정서적 요인, 사회경제적 요인, 교육환경요인이었으며, 이 중 청소년 비만 예방 및 관리 정책을 실현할 수 있는 영향요인을 중심으로 모델링을 실시하였다. 본 모델에 포함된 변수는 생리적 영역을 제외하

고 식습관요인, 신체활동요인, 수면요인, 정서적 요인, 사회경제적 요인, 교육환경요인이 포함되었다.

## 2. 저장 유량 흐름도(Stock Flow Diagram) 작성

저량 유량 흐름도 단계에서는 저장변수, 유량변수, 보조변수, 그래프 함수를 사용하여 모델을 설계하였다(Figure 1).

### 1) 저장(stock)변수

본 연구에서는 청소년 집단을 정상, 과체중, 비만체중의 세 그룹으로 분류하고 이를 저장(stock)변수로 설정하였다. 그룹의 분류는 International obesity Task Force (IOFT)의 아시아-태평양지역지침[20]에 따라 체질량지수  $23 \text{ kg/m}^2$  미만은 정상체중,  $23 \sim 25 \text{ kg/m}^2$  은 과체중,  $25 \text{ kg/m}^2$  이상은 비만으로 정의하였다. 기본 모델에서 정상, 과체중, 비만의 세 가지 저장변수는 서로 인접한 다른 저장변수로 전환되는 것을 기본축으로 하였다. 즉, 비만에 영향을 미치는 변수들에 의한 체중변화로 전이 확률이 발생하며, 이로 인해 정상, 과체중, 비만의 어느 한 군에서 다른 군으로 청소년 인구가 전환되는 것을 기본 가정으로 하였다.

### 2) 유량(flow)변수

정상에서 과체중으로 전이되는 확률을 전이확률 1 (p1), 과체중에서 비만으로 전이되는 확률을 전이확률 2 (p2), 비만에서 과체중으로 전이되는 확률을 전이확률 3 (p3), 과체중에서 정상으로 전이되는 확률을 전이확률 4 (p4)라고 정의한다. 이는 각각의 저장변수에서 다른 저장변수로 변화하는 변화율이며 서브스크립트(subscript)로 설정하였다. 서브스크립트는 하나의 변수와 수식이 다른 차원의 개념을 나타낼 수 있게 만들어 준다[19]. 총 6개의 미만의 영향요인에 대한 각각의 확률요인의 식은 확률변동(xProc) (TIME) 확률계수(xProC)의 곱으로 표현하며 전이 확률은 이들 각각의 변수들의 확률요인을 모두 더한 것으로 설정하였다.

## 3. 모델의 최적화 및 검증

저량유량 흐름도를 통해 개발한 모델의 최적화는 먼저 정상-과체중-비만군으로 전환되는 전이확률에 대한 6개의 변수들을 개별적으로 최적화 한 후, 전체를 통합하여 최적화하는 단계적인 방법으로 모델을 안정화하였다. 개발된 청소년 비만 시스템다이내믹스 모델의 타당성을 평가하기 위하여 모델의 시뮬레이션을 통해 도출되는 청소년 비만 예측치와 실제 통계자료와의 일치도를 비교, 평가하였다(Figure 2). 이를 위해 청소년 건강행태 온라인조사 자료에서 추출



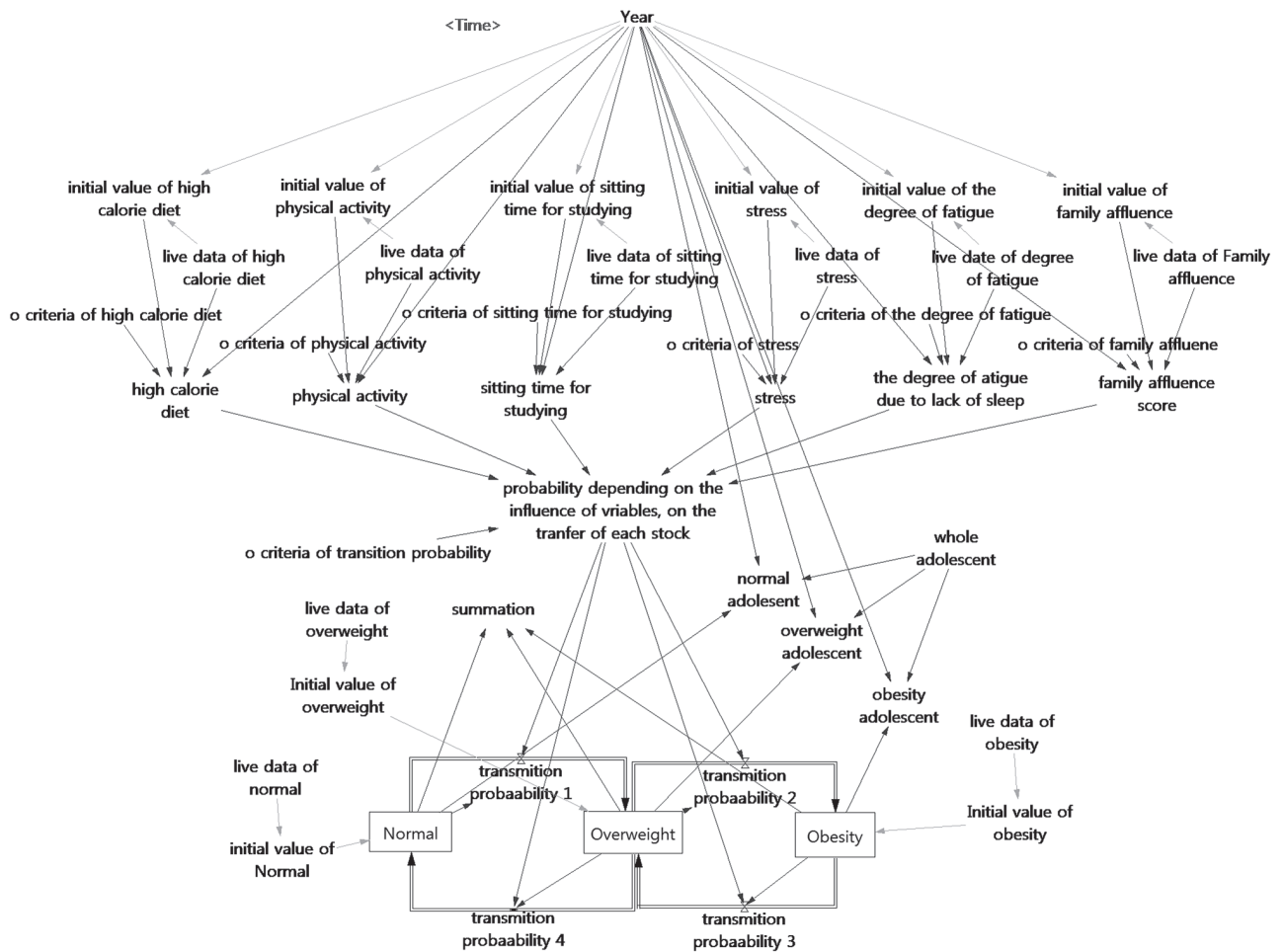


Figure 1. Basic stock flow diagram of adolescent obesity.

한 6가지 비만 영향 요인 데이터를 개발된 모델과 접목하고, 컴퓨터 시뮬레이션 시간의 축을 실제 데이터가 존재하는 2005년부터 2014년까지로 설정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 청소년 비만 시스템 다이나믹스 모델과 실제 자료의 정상, 과체중, 비만인구 추세그래프가 거의 일치하는 것으로 나타나 본 모델의 타당도가 검증되었다.

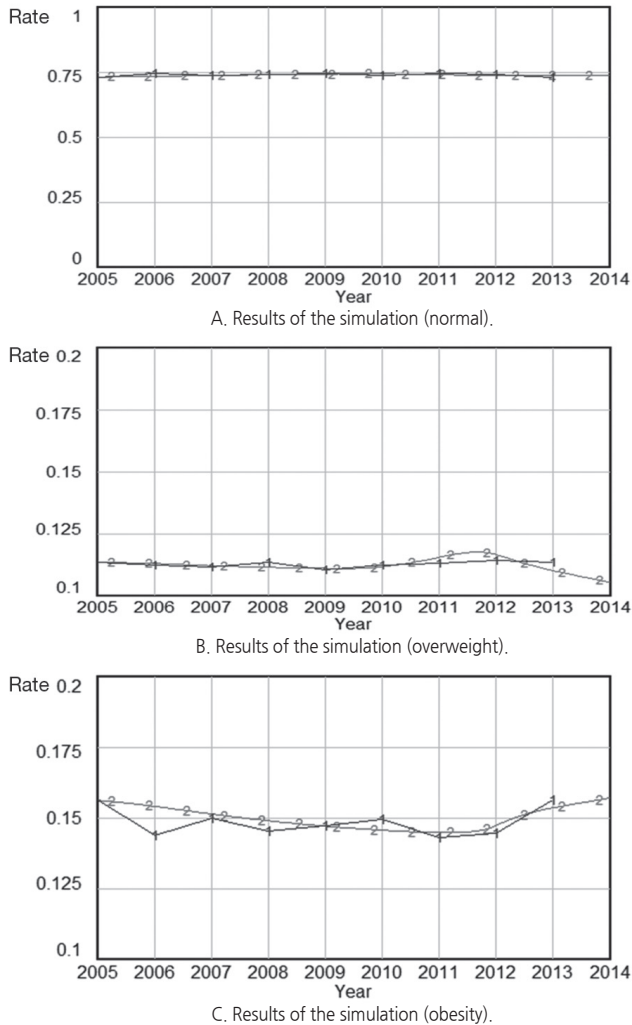
모델의 최적화 검증 후, 청소년 비만의 미래 행태 변화 분석을 위해 시뮬레이션 시간의 축을 비만인구를 예측하고자 하는 시점까지 연장하여 설정하였다. 본 연구에서는 시나리오 데이터의 축적 및 모델이 안정화 되는 상태를 고려하여 2025년까지로 시뮬레이션의 시간적 범위를 설정하였다. 비만 예측 시뮬레이션 결과, 우리나라 청소년의 비만행태는 과체중 비율은 감소하는 반면 비만률은 점차 증가하는 것으로 나타났다(Figure 3).

#### 4. 모의 실험 분석

청소년 비만 관리를 위한 다양한 중재 개입 시나리오 별 파급 효

과를 분석하기 위하여 청소년 비만에 영향을 미치는 관련 변수의 수준을 각각 20% 향상시키는 모의 실험 시뮬레이션을 통해 2025년까지의 국내 청소년 비만의 추세를 계량적으로 예측하고 분석하였다(Figure 4). 모의 실험 시뮬레이션을 실시하는데 있어, 비만에 영향을 미치는 요인에 일체의 중재를 개입하지 않는 기본 원상태(Status Quo)에서는 시뮬레이션 결과, 그래프가 편평한 상태가 된다.

본 연구에서 모의 실험 시나리오는 청소년의 스트레스, 피로회복율, 가구 풍요도, 식생활 개선 비율, 신체활동을 각각 현 상태보다 20%씩 증가시킨 5개의 가상의 실험상태를 적용하고 이러한 조건에서 청소년 비만 추세가 어떻게 변화하는지 분석하였다. 현재 상태의 조건을 그대로 유지하는 기본 원상태 시뮬레이션 결과, 우리나라 청소년의 과체중과 비만을 포함한 비만률은 2025년을 기준으로 18.2% 나타났다. 청소년의 스트레스, 피로회복율, 가구 풍요도, 식생활 개선 비율, 신체활동을 각각 현 상태보다 20%씩 증가시킨 모의실험을 적용한 결과, 피로회복율 20% 상승시키는 실험에서 청소년 비만율이 현재부터 2025년까지 지속적으로 감소하다 2025년에



1=Base line of secondary data; 2=Base line of simulation.

Figure 2. Validation of the model.

는 청소년 비만율이 8.2%로 나타났다. 피로회복은 청소년 비만을 감소시키는 가장 유의미한 영향요인인 것으로 확인되었으며, 다음으로 식습관 개선(13.2%), 가구 풍요도(14.1%), 신체활동(17.6%) 순으로 나타났다. 반면, 스트레스를 20% 증가하는 모의실험에서는 비만율이 18.9%로 나타나 기본모형에 비해 상승하는 추세로 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

## 논 의

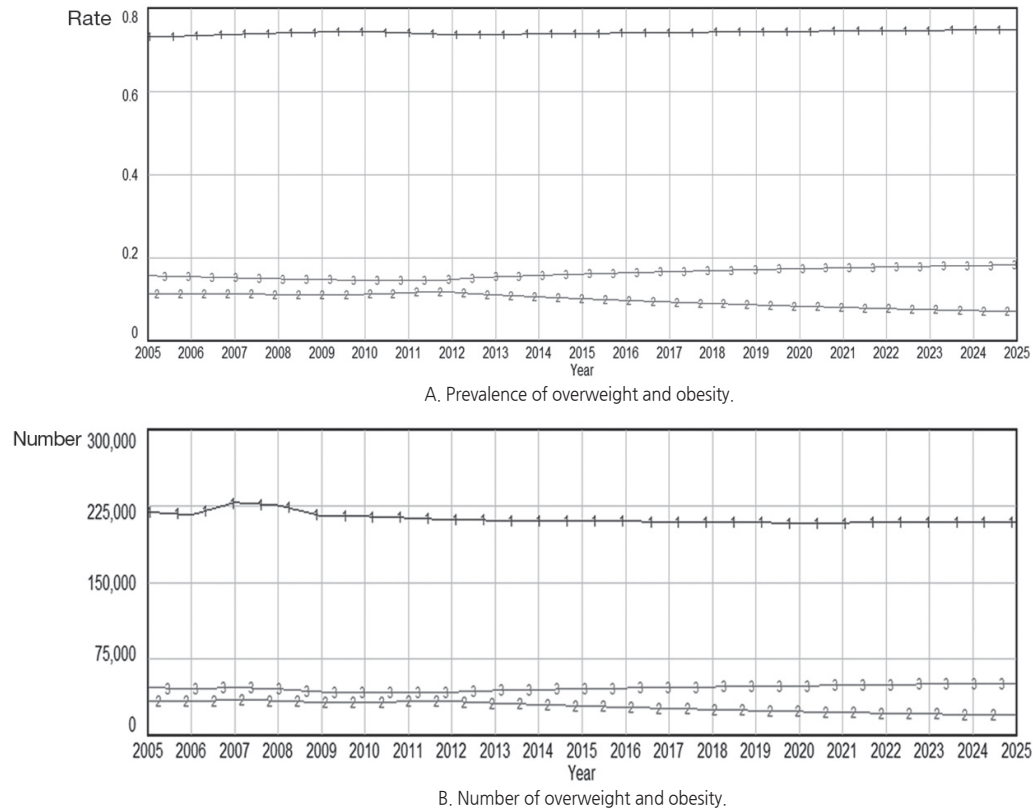
본 연구는 국가사회적 문제로 인식되고 있는 국내 청소년 비만에 관한 예측모델을 개발하고 가상의 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 중재도입의 효과를 분석함으로써, 청소년 비만의 효율적인 중재 도입 계획에 도움이 되는 기초 정보를 제공하고자 시도되었다. 이러한 접근법으로 본 연구에서는 시스템다이나믹스 방법론을 적용하여 청소년

비만이라는 관심 현상이 발생하는데 관련이 있는 다양한 요인들의 복잡한 영향력을 파악하고, 청소년 비만에 대한 미래 추세변화를 확인하고자 하였다.

본 연구에서는 시스템 다이나믹스 비만 모델을 개발하는 데 있어 정상체중, 과체중, 비만의 세 가지 저장변수가 서로 다른 저장변수로 전환되는 피드백을 모델 개발의 기본 축으로 설정하였다. 이러한 모델링 기법은 당뇨병[21], 보건 의료 시스템[22]을 설명하고 예측하는데 있어 시스템다이나믹스 방법론을 이용하여 질병의 결과가 아니라 경과 과정에 초점을 두고 모델을 구축한 선행 연구와 유사하다. 여기에 전통적인 통계 분석 방법과 본 연구와의 차별점이 존재하는데, 본 연구에서는 비만을 결과적인 현상으로 정의하고 문제를 파악하려는 것이 아니라 정상체중에서 과체중, 비만으로 진행하거나 역행하는 연속적이고 역동적인 변화의 추이에 초점을 맞춘 데에 있다. 이러한 모델링은 비만에 영향을 미치는 변수를 통제하는 수준에 따라 모델에서 지정한 저장변수가 상호 영향을 주고 받으면서 연속적으로 변화하는 비선형적 행태를 구체적으로 도출해 낼 수 있으며, 이를 근거로 각 단계에서 도출된 다양한 위험요인에 대해 보다 실질적인 예방과 중재 정책을 제시할 수 있는 이점이 있다[21].

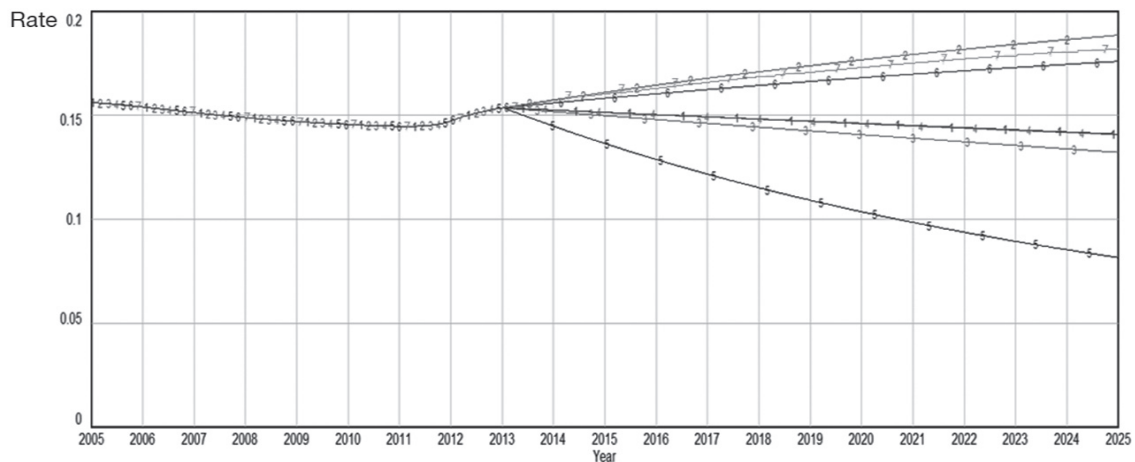
본 연구에서는 선행 연구의 청소년 비만의 인과지도를 바탕으로 하여[17], 정책적 중재 개입이 가능한 변수들을 중심으로 모델을 구축하였다. 본 연구에서 포함한 비만에 영향을 미치는 요인은 생활습관 요인인 식습관, 신체활동, 수면과 정서적요인, 사회·경제적 요인, 교육·환경적 요인으로, 이는 아동 청소년 비만의 관련요인을 사회경제적 요인, 생활습관, 가족력, 심리사회적요인 등으로 구분한 선행 연구와 유사한 결과이다[9]. 본 연구에서는 각 요인들의 변화에 따라 청소년 비만율이 변화하는 것을 파악할 수 있으며, 이러한 역동적인 변화의 확인을 통해 청소년 비만의 위험요인을 예측하여 해결 방안을 마련하는데 도움이 될 것이다. 추후에는, 정상, 과체중, 비만으로의 상호전이확률에 영향을 미치는 중요 요인들의 인과관계를 정교화하여 저장변수간의 변화에 영향을 미치는 효과를 단계별로 산출하고 이를 정상, 과체중, 비만군간의 개별적인 비만 예방과 관리를 위한 중요 변수로 활용하는 후속 연구가 더 필요할 것으로 여겨진다.

시스템 다이나믹스 모델링에서는 실제 데이터가 없어도 모델 개발이 가능하지만, 모델의 현실성을 부여하기 위해 다양한 분석 방법을 적용할 수 있으므로[19], 본 연구에서는 시뮬레이션 모델의 예측값과 청소년건강행태 온라인조사 자료의 추정값의 일치도 검증 등을 통해 모델 타당도를 검증하였다. 모델개발 과정에서는 2005년부터 2013년까지의 664,343명 청소년의 빅데이터를 적용함으로써 기초모델에서 결정되지 않은 상수(Parameters; 모수)를 산출하였다. 세부 상수를 적용하여 시뮬레이션한 결과, 모델에서 구현한 예측값과 실제 데이터가 유사한 형태를 나타냈음을 확인하였다. 이와 같이 현실 데이



1=Base line of normal adolescent; 2=Base line of overweight adolescent; 3=Base line of obesity adolescent.

Figure 3. Prediction of overweight and obesity adolescent in 2025.



1=Socioeconomic factor; 2=Emotional factor; 3=Dietary habits; 4=Environment of education factor; 5=Sleep factor; 6=Physical activity; 7=Base line of obesity.

Figure 4. Results of scenario simulation.

터를 투입하여 모델 안정화 작업을 시행하면서 점진적으로 모델을 개발하는 방식이 본 모델의 현실성과 타당성을 높이는데 영향을 끼쳤다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 시간의 흐름에 따른 비만의 추세를 분석하기 위해 9년간의 종단적 국가 통계 데이터를 활용하였으나, 보다 정교한 예측을 위해 실제 관측치와 생리적 지표가 포함된

임상자료를 활용하는 방법을 고려해 볼 필요가 있다고 사료된다.

시뮬레이션의 일차적 목적은 미래에 일어날 사실에 대한 설명 및 구현으로[19], 본 연구를 통해 개발된 모델은 2025년까지 우리나라 청소년 비만 인구의 추세를 예측하였다는데 의의가 있다. 분석 결과, 현재와 같은 상황이 주어진 조건하에서, 2025년까지 우리나라

청소년 비만 인구는 지속적으로 상승하는 추세를 나타내는데, 이는 현 상태가 지속될 경우 2030년까지 전세계 성인의 20%가 비만 인구가 될 것이라는 선행 연구 결과[23] 및 전 세계 비만율은 지속적으로 증가할 것이라는 연구 결과[24]와 유사하다. 시뮬레이션 결과, 국내 청소년 비만율이 더욱 악화되는 현상을 보일 것으로 예측되는 바, 이에 대한 보다 적극적인 대응이 절실히 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 청소년 비만관리를 위한 효과적인 간호중재 방안 개발의 기초를 마련하고자, 청소년 비만에 영향을 주는 요인들에 대해 영향력을 20%씩 증가하는 가상의 시나리오에 대한 모의실험을 실시하였다. 현실세계에서 실제로 영향 요인을 20%로 증가하는 것은 실현하기 어려운 과제이므로, 모의실험 시뮬레이션을 통하여 영향 요인의 변화에 따른 청소년 비만 추세를 시각적으로 확인하였다는 데에 의의가 있다고 볼 수 있다. 시스템다이나믹스 연구에서는 모의실험을 통해 정책이나 대안의 선택에 따라 달라지는 시뮬레이션 결과를 확인 할 수 있는데, 이러한 점은 공공복지, 의료, 에너지 수급, 자원관리, 인구문제 등의 다양한 사안을 분석하고 정책을 결정하는데 도움이 되고 있다. 미국의 NIH (National Institute of Health)에서도 시스템다이나믹스 방법론을 공중보건이나 의료보건 정책에 적용하고 있으며, 그 유용성이 점차 확인되고 있다[22]. 시스템다이나믹스 방법론을 이용하여 향후 도입하고자 하는 정책을 비교 분석하는 것은 비용 측면에서도 효율적이므로[15], 간호 중재의 효과를 예측하고 대안을 선택하는 방법으로 간호연구에서도 시스템 다이나믹스 방법론의 적용을 고려해 보는 것이 필요하다.

스트레스를 20% 증가시키는 시나리오를 적용한 모의 실험 결과, 청소년 비만율은 기본 비만 예측 추세보다 증가하는 것으로 나타났다. 이는 스트레스가 비만을 악화시키는 요인이라고 확인한 선행 연구 결과와 유사한 결과이다[25,26]. 특별히 청소년기는 스트레스에 대한 대처능력이 미숙하기 때문에 청소년 비만 예방 및 관리에 있어 스트레스 관리에 대한 체계적이고 지속적인 프로그램이 포함되어야 할 필요가 있으므로[17], 향후 스트레스 관리에 대한 정책 및 프로그램 등이 필요함을 시사한다. 이와 더불어 피로 회복률을 증가시키는 시나리오를 적용한 경우 청소년 비만율이 감소하는 것으로 나타나 피로회복이 청소년의 비만 예방에 효과적임을 확인하였다. 따라서, 청소년의 스트레스, 피로회복을 예방하기 위한 정책이 필요함을 시사한다. 비만으로 청소년은 외모변화에 대한 인식이 증가되고, 이것이 신체상 불만족을 증가하여 우울 등을 유발하며, 이로 인해 다시 스트레스를 증가시켜 에너지 과잉축적을 발생시키므로[17], 비만과 스트레스는 상호 영향을 미치는 순환적인 구조를 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 시스템다이나믹스는 기존의 단선적이고 정태적인 연구 방법에 비해 순환적인 인과관계에 기초하고 있으며, 정태적인 분석이 아닌 동태적인 분석을 수행할 수 있다는 점에서 유용하다고

할 수 있다[14]. 따라서, 본 모델을 바탕으로 향후 스트레스와 비만 간의 악순환의 피드백 루프를 반영하고 비만에 영향을 미치는 요인 간의 피드백을 정교화하는 후속 연구가 필요함을 시사한다.

가구풍요도를 20%로 증가시키는 모의실험에서는 청소년의 비만이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 부모의 경제적 상태가 자녀의 비만율과 유의한 상관관계가 있다고 보고한 선행 연구[27]와 유사한 결과이다. 부모의 경제적 상태는 식습관이나 생활 습관 등에 영향을 미치며, 소수민족사회의 식품 환경, 사회인구학적 요인과 학교 상황 등이 자녀의 비만을 악화시키는 요인이 되므로[28] 소득이나 지역 등 경제적 상태를 고려한 비만 관리 정책이 선별적으로 필요함을 알 수 있다.

식생활 개선비율을 20%로 증가시키는 모의실험에서는 비만 청소년의 비율이 기본 모형의 비만율보다 낮아지는 것으로 나타났다. 식습관 중 과일, 야채 등의 섭취가 비만을 예방하는데 효과적이며, 고열량 고지방 음식을 피하도록 권고한 것과 같이[1], 청소년의 비만 예방을 위해 식습관 개선을 고려해야 함을 알 수 있다. 그러나 성인을 대상으로 비전염성질환 예방을 위한 식습관 중재에 대한 체계적 문헌고찰 연구에서는 식이상답, 전화 연락, 프로그램 등의 간호를 적용하였을 때, 대부분의 연구에서 투자 비용 대비 만족할 만한 이익을 가져오지 못하는 것으로 확인되어[29], 비만 예방 및 관리를 위한 대안 정책 및 프로그램을 시행하기 전 모의 실험 시뮬레이션 하여 비용 대비 높은 효과를 얻을 수 있는 정책을 확인하는 것이 도움이 될 것으로 사료된다. 그러나 본 모델은 청소년 비만 모델의 초기 모델로 모의 실험으로 대안 정책의 비용 효율성을 판단하는 것은 한계가 있으므로, 추후 확장된 모델을 통해 비용효과적인 건강 중재 개입 요인을 파악할 수 있을 것으로 기대한다.

신체활동을 20% 증가시키는 시나리오를 적용한 경우 청소년 비만율은 감소하는 것으로 나타나 신체활동은 비만율을 낮추는 요소를 확인할 수 있었다. 프랑스와 스웨덴의 지역사회를 대상으로 시행한 연구에서도 신체활동 등의 비만 프로그램 적용이 청소년의 비만율을 낮추는데 크게 기여한 것으로 나타나[1], 국내에서도 다양한 형태의 운동 유도 정책이 필요할 것으로 사료된다. 특히, 청소년에게 신체활동의 증진할 수 있는 환경조성을 위해 교통, 사회기반시설, 교육 등의 요소를 통합적으로 고려하는[30] 정책적 접근이 필요할 것이다.

비만에 영향을 미치는 전체 변수를 각각 20%씩 증가하는 모의실험 결과, 피로회복이 청소년 비만율을 낮추는 가장 유효한 요인으로 확인되었으며, 다음으로 식습관 개선, 가구 풍요도, 신체활동 증가 순으로 나타났다. 반면, 스트레스를 20% 증가하는 경우 비만이 기본 모형보다 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 청소년의 피로회복, 식습관 개선 등에 초점을 맞춘 건강 중재 개발과 정책개발



이 청소년 비만 예방을 위해 중점적으로 고려되어야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

## 결론

본 연구는 시스템다이내믹스 연구 절차에 따라 문제 정의, 인과지도 작성, 저장 유량 흐름도 작성, 모델의 검증, 모의실험 분석의 순서로 진행하였다. 청소년 비만 인과지도를 바탕으로 청소년에 미치는 변수간의 인과관계를 확인하고, 이 중 청소년 비만 예방 및 관리 정책을 실현할 수 있는 영향요인을 중심으로 vensim DSS 5.0 프로그램을 이용하여 저장 유량 흐름도를 작성하였다. 개발된 모델의 타당성을 평가하기 위하여 모델의 시뮬레이션을 통해 예측되는 청소년 비만 예측값과 모델 개발용 통계자료와의 일치도를 비교, 평가하였다. 2005년부터 2014년까지 모델의 예측값과 실제 통계자료의 일치도를 근거로 본 모델의 타당도가 검증되었다. 우리나라 청소년 비만 추세를 시뮬레이션 하였을 때, 우리나라 청소년의 비만율은 2025년까지 상승하는 것으로 나타났다. 청소년 비만에 영향을 미치는 각 요인들을 각각 20%씩 증가시킨 시나리오 모의실험결과, 피로회복이 청소년 비만율을 낮추는데 가장 유의한 영향을 미치는 요인으로 확인되었으며, 다음으로는 식습관 개선, 가구 풍요도, 신체활동 순으로 나타났다.

본 연구는 국내 청소년 비만을 복잡한 특징을 갖는 메타문제로 재해석하고자 하였으며, 복잡성을 갖는 다양한 간호 문제 연구에 대해 시스템다이내믹스 방법론의 활용하여 목표변수의 비선형적 행태 변화를 예측함으로써 미래 예측 방법론의 간호연구 적용가능성을 확인하였다는데 의의가 있다. 본 연구에서는 빅데이터를 활용하여 모델의 현실화를 개선하고 모의 실험을 통해 우리나라 청소년 비만 예방을 위한 건강 중재 및 정책 개발의 방향성을 모색하고자 하였다. 본 연구에서 개발한 모형이 청소년 비만예측을 위한 초기모형으로 비용적인 측면의 정책의 효과를 분석하는 데에는 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서 개발된 청소년 비만 모델을 근거로 하여 성별, 연령, 지역, 다양한 변수를 추가로 고려하고, 비만에 영향을 미치는 변수간의 인과관계를 세분화하고 피드백 관계를 확장한 추후 연구를 제언한다.

## REFERENCES

1. Alwan A, Armstrong T, Bettcher D, Branca F, Chisholm D, Ezzati M, et al. Global status report on noncommunicable diseases 2010. Geneva, CH: World Health Organization; 2011.
2. Guilbert JJ. The world health report 2002: Reducing risks, promot-

- ing healthy life. Education for Health (Abingdon, England). 2003; 16(2):230. <http://dx.doi.org/10.1080/1357628031000116808>
3. The NS, Suchindran C, North KE, Popkin BM, Gordon-Larsen P. Association of adolescent obesity with risk of severe obesity in adulthood. JAMA: Journal of the American Medical Association. 2010;304(18):2042-2047. <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2010.1635>
4. World Health Organization. Global health risks: Mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Geneva, CH: Author; 2009.
5. Keating CL, Moodie ML, Swinburn BA. The health-related quality of life of overweight and obese adolescents: A study measuring body mass index and adolescent-reported perceptions. International Journal of Pediatric Obesity. 2011;6(5-6):434-441. <http://dx.doi.org/10.3109/17477166.2011.590197>
6. Oh YS. Analysis on the risk factors of national health insurance. Seoul: Audit and Inspection Research Institute; 2012.
7. Park YS, Lee DH, Choi JM, Kang YJ, Kim CH. Trend of obesity in school age children in Seoul over the past 23 years. Korean Journal of Pediatrics. 2004;47(3):247-257.
8. Ministry of Education, Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention. The tenth Korea youth risk behavior web-based survey. Osong: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2014.
9. Lim HJ, Park HR, Koo HK. A study on the obesity situation of youth and children and policy measures. Seoul: National Youth Policy Institute; 2009.
10. Kim OH, Park JK. The effects of participation in exercise and nutrition education program on physical fitness, dietary habits and nutrition intake status for adolescents. The Korean Journal of Obesity. 2012;21(3):158-165. <http://dx.doi.org/10.7570/kjo.2012.21.3.158>
11. Finegood DT, Merth TD, Rutter H. Implications of the foresight obesity system map for solutions to childhood obesity. Obesity (Silver Spring, Md). 2010;18(Suppl 1):S13-S16. <http://dx.doi.org/10.1038/oby.2009.426>
12. Vandenbroeck P, Goossens DJ, Clemens M. Tackling obesities: Future choices? Building the obesity system map. London, UK: Government Office for Science; 2007.
13. Lan TS, Chen KL, Chen PC, Ku CT, Chiu PH, Wang MH. An investigation of factors affecting elementary school students' BMI values based on the system dynamics modeling. Computational and Mathematical Methods in Medicine. 2014;2014:575424. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/575424>
14. Kim DH, Moon TH, Kim DH. System dynamics. Seoul: Dae Young Co.; 2001.
15. Sterman JD. Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world. Boston, MA: McGraw-Hill Education; 2000.
16. Forrester JW. Industrial dynamics: After the first decade. Management Science. 1968;14(7):398-415.

- <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.14.7.398>
17. Lee B, Kwon OJ, Choi KN, Lim C, Noh KR, Lee JY, et al. Model of knowledge map for science and analysis of knowledge map examples: Energy, dementia, obesity of adolescent, chemical substances' spill. Daejeon: Korea Institute of Science and Technology Information; 2013.
  18. Power ML, Schulkin J. The evolution of obesity. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press; 2009.
  19. Ventana Systems. Vensim: Modeling guide, ventana systems. Kim KC, Jung KY, Choi J, Kim H, Kim SW, translator. Seoul: Seoul Economic Management Publisher; 2007.
  20. World Health Organization Western Pacific Region. The Asia Pacific perspective: Redefining obesity and its treatment. Sydney, AU: Health Communications Australia Pty Limited; 2000.
  21. Jones AP, Homer JB, Murphy DL, Essien JD, Milstein B, Seville DA. Understanding diabetes population dynamics through simulation modeling and experimentation. *American Journal of Public Health*. 2006;96(3):488-494.  
<http://dx.doi.org/10.2105/ajph.2005.063529>
  22. Homer JB, Hirsch GB. System dynamics modeling for public health: Background and opportunities. *American Journal of Public Health*. 2006;96(3):452-458.  
<http://dx.doi.org/10.2105/ajph.2005.062059>
  23. Kelly T, Yang W, Chen CS, Reynolds K, He J. Global burden of obesity in 2005 and projections to 2030. *International Journal of Obesity*. 2008;32(9):1431-1437.  
<http://dx.doi.org/10.1038/ijo.2008.102>
  24. Finkelstein EA, Khavjou OA, Thompson H, Trogdon JG, Pan L, Sherry B, et al. Obesity and severe obesity forecasts through 2030. *American Journal of Preventive Medicine*. 2012;42(6):563-570. <http://dx.doi.org/10.1016/j.amepre.2011.10.026>
  25. De Vriendt T, Moreno LA, De Henauw S. Chronic stress and obesity in adolescents: Scientific evidence and methodological issues for epidemiological research. *Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases*. 2009;19(7):511-519.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.numecd.2009.02.009>
  26. Jee YJ, Kim YH. Factors influencing obesity among adolescent: Analysis of 2011 Korean youth risk behavior survey. *Korean Journal of Obesity*. 2013;22(1):39-49.  
<http://dx.doi.org/10.7570/kjo.2013.22.1.39>
  27. Oh IH, Cho Y, Park SY, Oh C, Choe BK, Choi JM, et al. Relationship between socioeconomic variables and obesity in Korean adolescents. *Journal of Epidemiology*. 2011;21(4):263-270.  
<http://dx.doi.org/10.2188/jea.JE20100099>
  28. Li Y, Robinson LE, Carter WM, Gupta R. Childhood obesity and community food environments in Alabama's Black Belt region. *Child: Care, Health and Development*. 2015;41(5):668-676.  
<http://dx.doi.org/10.1111/cch.12204>
  29. Cobiac LJ, Vos T, Veerman JL. Cost-effectiveness of interventions to promote fruit and vegetable consumption. *PLoS One*. 2010;5(11):e14148.  
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0014148>
  30. Sacks G, Swinburn B, Lawrence M. Obesity policy action framework and analysis grids for a comprehensive policy approach to reducing obesity. *Obesity Reviews*. 2009;10(1):76-86.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-789X.2008.00524.x>