

시스템 다이내믹스를 이용한 학령기 아동의 성장모형

Development of a System Dynamics Model for Growth of School-Age Children

이영희* · 홍경자**

Yi, Young-Hee* · Hong, Kyung-Ja**

Abstract

A system dynamics model is developed to investigate policies for the school-age child weights and heights.

The model is based upon the system dynamic model of Soonhee Lee(2003), the purpose of which was policy analysis for obese control of adult people. Although the purpose and target people are different, the main structure can be applied to in the same way. Besides the carbohydrate, protein, and fat material, the new model covers hormone and heights with new input mechanisms for foods and activities.

The simulation results matches well with the average school-age children in Korea with the average inputs data (foods and activities). The model can be used for various purposes such as policy analyses, care plan for obese children, etc.

Keywords: 학령기 아동, 성장, 시스템다이내믹스

(school-age children, growth, system dynamics))

* 서울대학교 간호대학원 박사과정 (제1저자, youngheeyi@hanmail.net)

** 서울대학교 간호대학 교수 (공동저자, hky0504@snu.ac.kr)

I. 서론

성장과 발달은 보통 하나의 단위로서 일컬어지며 한 개인의 일생 동안 일어나는 수많은 변화들의 총체를 말하는데, 성장 발달의 전체 과정은 동적인 과정으로 내분비선, 유전적, 체질적, 환경적 및 영양학적인 영향의 연속적인 순서에 따른다(김영혜, 남혜경, 2003). 일반적으로 아동의 성장발달은 연령별 특성에 따라 분류하여 설명되어지며, 성장 발달의 유형을 보면 일정하고 예측 가능한 양식이 있다. 그러나 성장 발달의 순서가 확정되고 정확함에도 불구하고, 각 아동의 성장률은 매우 다양하다. 즉, 발달순서는 예상 가능하지만 정확한 시기는 그렇지 않다. 그러므로 아동의 개인차를 인정하는 범위 내에서 성장률이 규정되어야 한다. 또한 각각의 아동은 자신들만의 고유 속도로 성장하지만 현저한 차이를 보이는 경우에는 발달상의 중대한 문제가 있거나 또는 극복하는 과정에 있음을 짐작할 수 있다.

정상적인 성장 발달을 위해서는 우선 각 아동의 고유하고도 개별적인 성장을 고려하여 성장을 예측하여야 한다. 그러나 현재 기초 자료가 되는 체위관련 조사연구가 매우 부족한 상태이거나 아동의 성장발달 상태를 측정하기 위해 현재 이용되고 있는 성장 표준치나 영양 권장량 등의 지침은 정태적인 방법을 사용하여 정해진 것으로 아동의 매우 복잡하고 역동적인 성장상태를 설명하기에는 한계가 있다. 예를 들어, 우리나라의 경우 지난 40 여 년간 국민표준체위의 추이를 보면 모든 남녀 연령별 표준인의 신장과 체중이 상당히 향상되었으나(한국영양학회, 2000), 한편 대중매체의 영향과 식습관 및 활동습관의 변화로 인해 아동의 비만율이 급격히 증가하면서 아동비만이 사회문제로 부상하고 있다. 서울시 교육청의 자료에 의하면 비만 초·중·고등학생의 수가 2004년 10.91%(15만 7218명)에서 2005년에는 12.22%(17만 4506명)로 2만 명 가량 증가하였고, 이 중 초등학생의 비만율은 11.25%로 높은 수준을 보였는데(서울신문, 2006. 3월 30일), 이는 1980년대에 비해 10배가량 증가한 상태이다. 아동기의 비만은 성인이 되어서도 지속될 확률이 크고 고지혈증, 당뇨병과 같은 만성 합병증을 동반하는 경우가 많으며(Guo et al., 1994), 또한 도덕성 및 자아개념이 발달하는 시기에 있는 학령기 아동의 경우, 비만은 아동의 자아 존중감 상실, 우울감, 부정적인 신체상, 대인관계 장애 등과 같은 정신 심리적인 문제를 일으킬 수 있다(Dietz, 1986). 즉, 아동비만은 단순히 외모상의 문제 뿐 아니라 성인 비만으로 발전될 확률이 높고, 심리적인 문제와 더불어 각종 성인병의 유병률과도 관련이 있는 심각하고도 중요한 아동의 건강 문제이므로 조기 치료의 필요성이 강조된다(이동환, 1996; 이홍규, 1990; 김사름, 박혜련, 1995). 그러나 아동비만의 치료를 위해서는 성장 발달의 차이와 연관시켜야 한다는 것이 이미 제시되어왔지만 성장과 관련하여 어떻게 적용해야 하는지는 연구된 바가 아직 없다(대한비만학회, 1995). 또한 현재 우리나라에서 행해지는 대부분의 성장 발

달에 대한 연구는 횡단적 연구로서 성장발달 연구가 충분히 이루어지지 못하고 있는 실정이다 (대한영양학회, 2000).

그러므로 아동 성장의 양적이고 역동적인 특성을 통합할 수 있는 방법으로써 시스템 다이내믹스를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션은 유용한 도구라고 생각된다. 시스템 다이내믹스 방법론은 시간의 흐름에 따른 순환의 인과관계를 설명할 수 있고 이에 따른 피드백 구조모형을 만들 수 있으며, 더욱이 피드백 구조 모델에 따른 컴퓨터 시뮬레이션은 능동적 학습을 증진하고 추론과 문제해결, 의사결정 기술을 개발하고 실제 생활상황에서 정보 적용을 가능하게 한다. 따라서 모형을 이용한 아동의 성장에 대한 추적을 통해 성장과 관련되어 발생하는 건강문제를 효과적으로 인식하게 하며, 아동에게 직접 도움을 줄 수 있는 실질적 연구 결과를 도출하는 것이 필요하다.

아동이 정상적으로 성장 발달을 하여 건강한 성인이 되게 도움을 주는 것이 우리 사회가 해야 할 일이다. 최근 정부가 비만관리를 국가 보건정책의 주요 목표 중 하나로 정하여 식생활 개선과 운동·신체 활동량 증가, 비만치료 및 관리 서비스 제공 등을 포함한 종합적인 비만예방 및 관리대책을 수립해 추진키로 하는 것도 같은 맥락이라 하겠다.

본 연구는 만 6세에서 12세까지의 학령기 아동을 대상으로 성장에 영향을 미치는 요인들간의 동태적 상호관계를 파악하여 바람직한 학령기 아동의 성장모형을 구축하기 위해 시도되었다. 학령기에는 아동의 완만한 성장이 꾸준히 지속되면서 장기와 각 조직이 커짐과 동시에 그 기능이 충실해지고 골격의 발달도 현저하게 이루어진다. 신체 크기에 비해 학령기 아동의 열량 요구는 감소하지만 청소년기의 증가될 성장에 대비하여 에너지는 저장되며, 균형 있는 성장 발달을 위해서는 영양, 수면 및 휴식, 운동 및 활동의 조화가 필요하다. 따라서 향후 적정한 성장을 위한 올바른 식습관과 활동습관의 관리에 활용되도록 시스템 다이내믹스를 이용한 모형구축을 통해 다양한 성장결과를 분석하고자 한다.

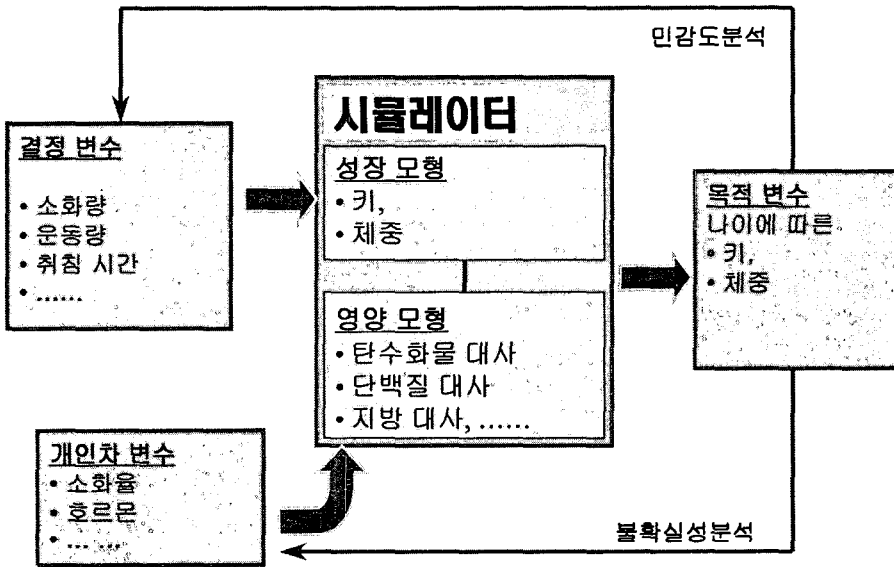
구체적인 연구목적은 다음과 같다.

- 1) 학령기 아동의 성장에 영향을 미치는 요인에 관한 인과관계를 알아보고, 요인들의 인과 순환적 피드백 구조 모형을 만든다.
- 2) 요인들의 인과 순환적 피드백 구조를 바탕으로 시스템 다이내믹스 모델을 구축한다.
- 3) 시스템 다이내믹스 모델의 시뮬레이션 결과 나타난 다양한 성장 결과를 분석한다.

II. 방법론

여기에서 사용하는 방법은 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 문제를 이해하고 적절한 해를

구하는 방법으로, 이에 활용되는 시뮬레이터는 다음 그림과 같이 개념적으로 요약할 수 있다.



[그림 1] 시뮬레이터 개요

체중이나 신장의 성장이 사람에 따라 개인차가 존재하는 것이 사실이나, 근본적인 작동 메커니즘은 동일할 것이라는 가정이다. 즉, 동일한 음식을 섭취하였다 하더라도 섭취되는 양은 사람마다 개인차를 보일 것이다. 그러나 그 작동원리는 같고 개인차는 소화 비율이라는 상수의 값으로 나타난다는 것으로 가정될 수 있다.

이러한 논리는 모델의 활용 측면에서는 매우 중요하지만 하나의 모델로 상수로 나타나는 입력자료의 값에 따라 우리나라 아동의 평균을 나타내는 모델은 물론, 저 체중아 등과 같은 특수 그룹, 더 나아가 각각 개인에 대한 모델로 표현될 수 있다는 것을 의미한다.

Ⅲ. 모델 설명

1. 모델의 구성

전체 모델은 다음과 같이 7 개의 모듈로 구성되어 있다.

체중 및 신장 모듈: 체중과 신장을 정의하는 모듈로 출력 변수들로 이루어져 있다.

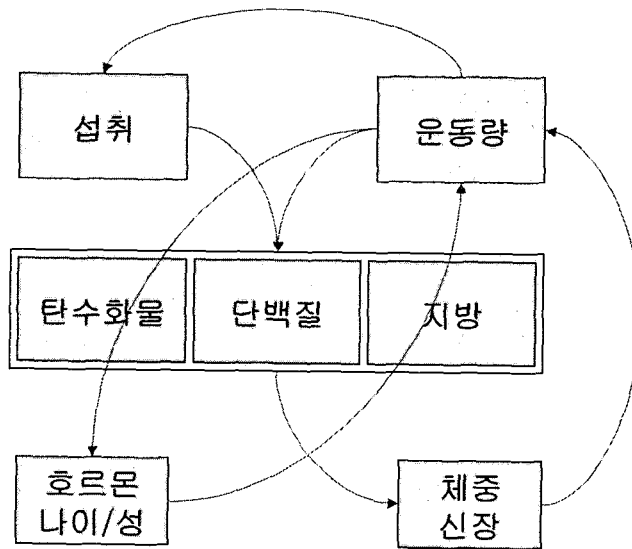
섭취 모듈: 섭취하는 총 음식량으로 탄수화물, 단백질 및 지방의 양을 분 단위로 정의하며 주로 입력 기능을 수행한다.

운동량 모듈: 운동량을 계산하는 모듈로서 입력 기능은 물론 나이에 맞는 운동량을 산출하도록 되어 있다.

탄수화물 모듈, 단백질 모듈 및 지방 모듈: 탄수화물 / 단백질 / 지방 대사를 나타내는 모듈이다.

호르몬 및 나이 모듈: 호르몬의 기능을 정의하는 모듈이다.

다음 그림은 위에서 설명한 각 모듈간의 상관관계를 나타낸 것이다.



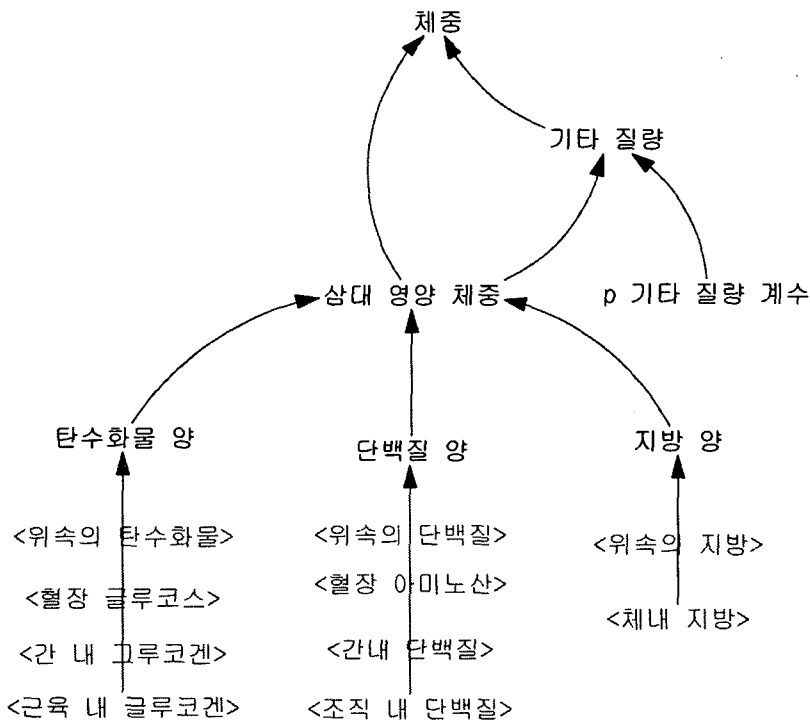
[그림 2] 전체 모델의 구성

이상의 모듈 중 탄수화물, 단백질, 지방 모듈은 이순희(2003)의 시스템 다이내믹스 모델

을 근거하여 작성하였고, 섭취, 운동량, 체중은 본 논문의 목적에 맞게 새로 구성하여 작성하였으며, 호르몬과 나이는 새로 추가하였다. 따라서 여기에서는 체중 및 신장, 섭취, 운동 등의 모듈에 대해서 자세히 설명하고, 탄수화물, 단백질, 지방에 대해서는 소화, 저장 및 이용이라는 항목으로 간단히 설명하였다.

2. 체중 및 신장 모듈

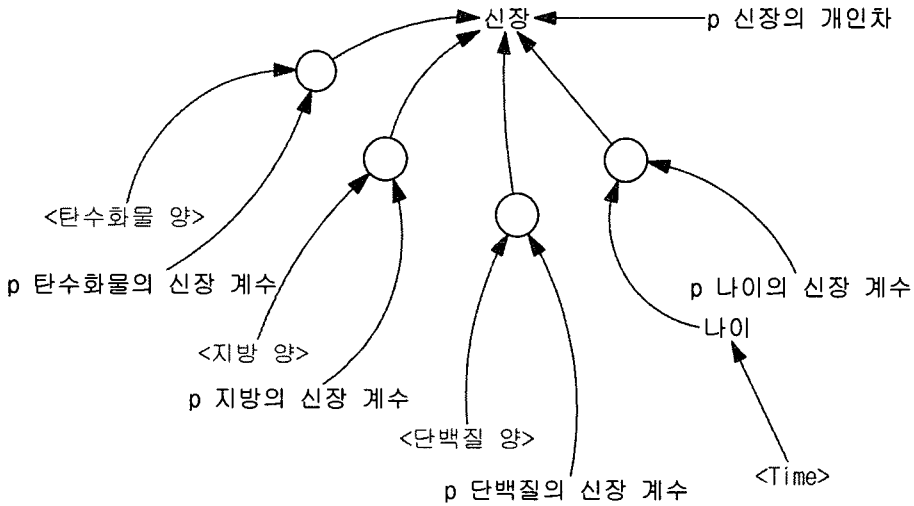
체중은 신체를 구성하는 물질의 합으로 나타낼 수 있다. 모형에서는 신체를 구성하는 물질을 탄수화물, 지방, 단백질 및 기타로 구분하였다.



[그림 3] 체중에 대한 모델

탄수화물, 단백질, 지방으로 구성되는 체중을 상대 영양 체중으로, 기타 물질로 구성되는 체중을 기타 체중으로 명명하였다. 기타 체중의 대부분은 수분으로 구성되므로 그 양은 상대 영양으로 구성되는 체 물질에 비례하게 될 것이며 p 기타 질량 계수가 그 비례상수를 의미한다.

신장은 체중과 반드시 Linear 관계는 아니다. 뼈를 구성하는 칼슘의 양과도 밀접한 관계가 있을 것이나, 현재의 모델에는 칼슘에 대한 부분이 제외되어 있으므로 다음 그림과 같이 단백질, 지방, 탄수화물의 함수로 표시하였다. 이들의 상관관계 (나이까지 포함)는 캘리브레이션 기법을 활용하여 만들었다.

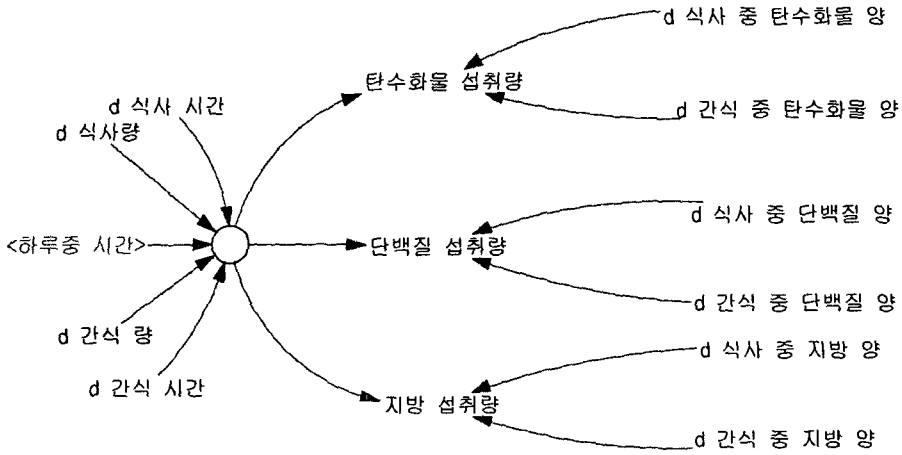


[그림 4] 신장에 대한 모델

3. 섭취 모듈

아동의 섭취량은 우리가 다룰 수 있는 의사결정 변수인 외생 변수로 취급할 수도 있고, 체중이나 운동량의 함수인 내생 변수로도 취급할 수 있다. 여기에서는 정책적 분석을 수행하기 위해 외생 변수로 취급하기로 하였으며, 다음 그림과 같이 하루 세끼의 식사와 간식으로 구분하여 입력할 수 있도록 하였다.

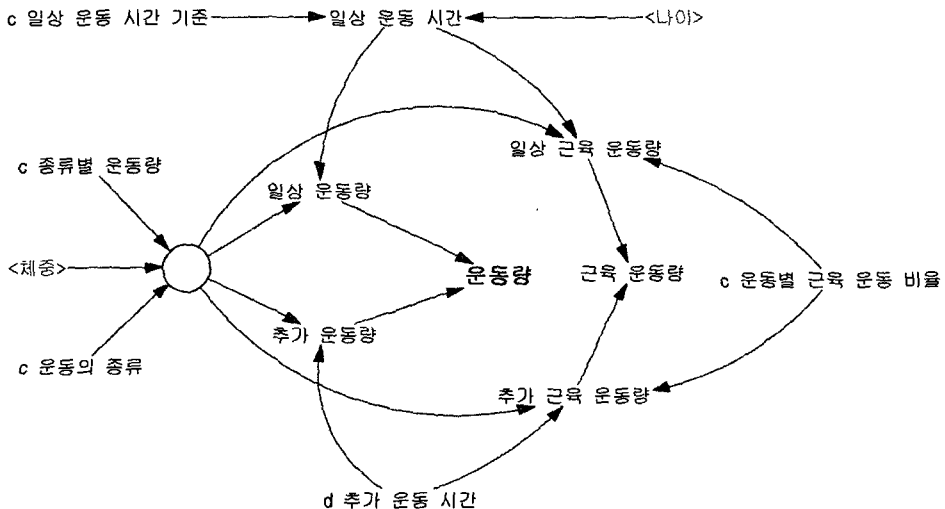
즉, 완성되는 시뮬레이터는 섭취량을 입력 값으로 받아들이며, 세끼의 정식 식사 및 간식의 시간과 식사 내용(식사 중 각 영양분의 양) 등을 시뮬레이션 전에 결정하여야 한다.



[그림 5] 섭취에 대한 모델

4. 운동량

운동량은 다음 그림과 같이 일상 운동과 추가 운동으로 구분하여 모델화 하였으며, 일상 운동은 나이에 따라 변하는 것으로 가정하였다. 각 운동도 유산소 운동과 근육으로 구분하여 근육의 발달 정도도 시뮬레이터 모델 안에 포함시켰다. 이 운동량은 각 영양소를 태우는 역할도 하지만 호르몬에도 작용하게 된다.

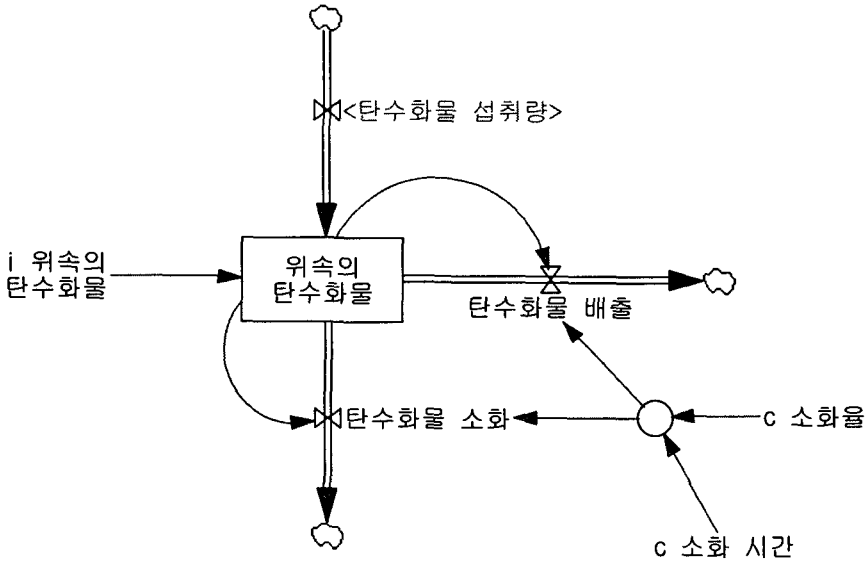


[그림 6] 운동량에 대한 모델

5. 탄수화물, 단백질 및 지방의 소화

일단 음식물이 섭취되면 다음 그림과 같이 대부분은 소화가 되지만, 일부는 소화되지 않고 그대로 배출되기도 한다. 그 비율에 해당하는 소화율은 개인적 특성을 반영하게 될 것이다. 참고로 탄수화물 소화 및 탄수화물 배출에 대한 식은 다음과 같다.

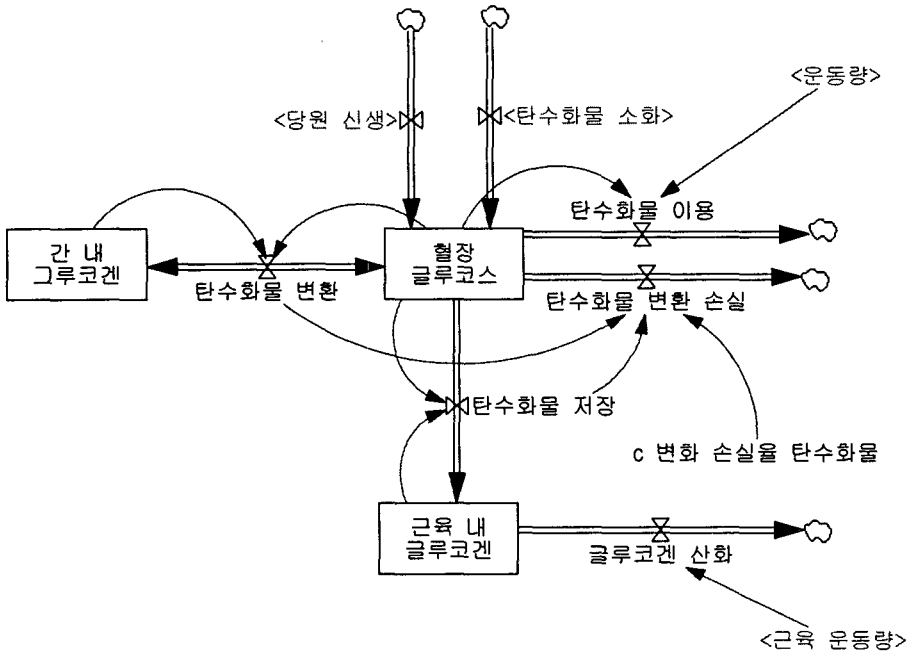
$$\begin{aligned} \text{탄수화물 소화} &= \text{위속의 탄수화물} \cdot c \text{ 소화율} / c \text{ 소화 시간} \\ \text{탄수화물 배출} &= \text{위속의 탄수화물} \cdot (1 - c \text{ 소화율}) / c \text{ 소화 시간} \end{aligned}$$



[그림 7] 탄수화물 소화에 대한 모델

6. 탄수화물, 단백질 및 지방의 이용 및 저장

일단 소화된 영양분은 혈액 속에 있게 되며 혈액을 타고 영양분의 특성에 따라 간, 근육 등에 저장되거나 다시 혈액으로 녹으면서 화학 반응을 일으키게 되며, 이 과정에서 에너지가 손실되기도 한다. (보다 자세한 사항은 이순희 (2003) 참조)



[그림 8] 탄수화물의 이용 및 저장에 대한 모델

IV. 모델 검토

모델의 검증은 크게 다음과 같은 두 가지로 구분할 수 있다.

- 모델의 건전성 검토: 모델의 구성이 모델 작성자의 논리를 제대로 반영하고 있는가?
- 논리의 타당성 검토: 모델 작성자의 논리가 올바른가?

본 논문에서는 모델 논리에 대한 검증으로는 우리나라 표준 값과 비교하는 방법을 사용하였으며 (보다 자세한 검증은 추후에 이루어 질 것임), 모델의 건전성에 대해서는 다음과 같은 3 가지 Formal 방법을 사용하였다.

- 단위 검토
- TIME STEP에 대한 민감도 분석
- 모델의 주요 변수에 대한 검토

● 단순한 형태에 대한 시나리오 분석

4.1 시간관련 변수의 정의

모델에는 시뮬레이션의 기초 구성 변수인 Time, Initial Time, TIME STEP 이외에도 Year 라는 Time Base 와 하루 중 시간이라는 Cycling Time을 사용하고 있으며 다음 표에 자세히 정의하였다.

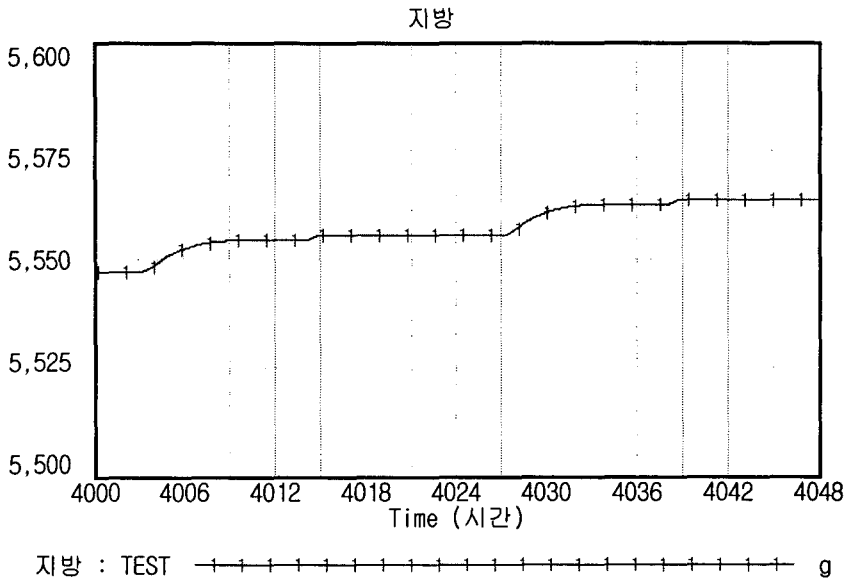
[표 1] 시간 관련 변수

| 변수 이름 | 값 혹은 단위 | 비고 |
|-----------|--------------------------|--------------|
| Time | 시 | |
| TIME STEP | 0.0625 시간 | 1.5 분 |
| Year | Time Base(6,0.000114155) | Time Base |
| 하루 중 시간 | Time QUANTUM(Time,24) | Cycling Time |

시간(Time)의 단위는 시로 결정하였는데, 체중이나 신장의 조절이 식이요법에 많이 좌우 되고 식이요법 중의 하나가 식사시간이기 때문에 시 단위의 시간이 필요하기 때문이다. 같은 이유로 TIME STEP은 분 단위까지 내려가야 하는데, 참고로 가장 작은 자연시간이 소화 시간으로 30분 정도이고 이 수치의 1/10까지 TIME STEP이 정의되어야 한다. 식사 시간 및 운동이 하루를 주기로 이루어 지기 때문에 하루 중 시간이라는 주기를 갖는 시간 단위가 필요하고 시뮬레이션 기간이 총 6 년이므로 연 단위의 TIME BASE가 필요하였다.

4.2 국내 아동 평균 값과의 비교

다음 그림은 시뮬레이션 값 (1)과 우리나라 아동의 평균값(2)과 비교한 것이다. 그림에서 보듯이 시뮬레이션 값과 국내 아동 평균값은 거의 일치한다.



[그림 14] 시뮬레이션 결과(지방의 48시간 변화)

V. 결론

성장기 아동에 대한 신장 및 체중에 관한 시스템다이내믹스 모델을 완성하였다. 시뮬레이션 결과 식사 및 운동량에 대한 성장기 아동 평균값을 입력하였을 경우 성장기 아동의 평균 신장 및 체중이 출력되었으며, 탄수화물, 지방 및 단백질과 관련된 변수들의 행태가 합리적 범위 내에서 움직였다. 이러한 점으로 보아 현재까지 개발된 시스템다이내믹스 모형은 성장기 아동의 성장에 대해 잘 묘사하고 있다고 볼 수 있다.

그러나 성장기 아동의 다양한 문제를 해결하기 위한 모델로 활용하기 위해서는 개인 특성, 혹은 그룹 특성을 감안한 모델이 되어야 하고 이를 위해서는 다음과 같은 작업이 더 이루어 져야 한다.

- 개인 특성 혹은 그룹 특성을 나타내는 변수의 도입
- 실례 분석을 통한 모델이 타당성을 갖는 범위 연구
- 정책 변수의 발굴과 함께 정책 변수의 모델에의 반영

[참고문헌]

- 김사름 · 박혜련. (1995). 국민학교 고학년 아동의 비만 정도 및 관련 행동 연구. 「한국식생활문화학회지」 제10권 1호 : 19~28.
- 김영혜 · 남혜경. (2006). 「아동간호학」 서울: 현문사.
- 대한비만학회. (1995). 「임상비만학」 서울: 고려의학.
- 이동환. (1996). 비만의 진단과 관리. 「소아과학회지」 제39권 8호 : 1055~1065.
- 이순희. (2003). 「시스템 다이내믹스를 이용한 비만인의 에너지 균형 모델 개발」 중앙대학교 박사학위 논문.
- 이흥규. (1990). 비만과 관련된 질환. 「한국영양학회지」 제23권 1호 : 34~28.
- 서울신문. (2006). 학생 10명 중 1명 뚱보(3.30).
- 한국영양학회. (2000). 한국인 영양권장량(제 7차 개정).
- Dietz, W.H. (1986). Prevention of childhood obesity. *Medical Clinics of North America*. Vol.33, No.4 : 823-833.
- Guo S, Chumlea, WC., Roche, AF., Gardner, JD., & Siervogel, RM. (1994). The predictive value of childhood mass index values for overweight at age 35y. *Am J Clin Nutr*. Vol.59 : 810-819.