

시스템다이내믹스 기법을 이용한 건강도시화 정책의 사회적비용 절감효과 분석*

Applying System Dynamics Model to Estimate the Effects of Healthy City Policies on Reducing Social Cost

김은정**, 김영표***

Kim, Eun Jung, Kim, Young-Pyo

Abstract

The purpose of this paper is to estimate effects of healthy city policies on reducing social costs. The analyses were done at the cities, counties, and communities levels in 2009, and covered Seoul Metropolitan Area(SMA). For estimation of reducing social costs, it developed a system dynamics(SD) model that analyzed causal relationships between physical inactivity rates, the number of deaths, medical expenses, and total social costs. Simulation period of SD was from 2009 to 2030. Three alternatives were proposed with combinations of length of bike lanes, number of bus routes, crime rates, self-reported good health status rates, and obesity rates. The total estimated cost of physical inactivities from 2009 to 2030 was 31.9 trillion won from the future forecast without policies. As a result of simulations with three alternatives, there were economic benefit approximately from 119.7 billion won to 1.16 trillion won. This study contributed to better understanding the economic benefits of healthy cities that were associated with design of built environment and physical activity. It also emphasized the importance of healthy cities planning as one of national welfare policies.

Keywords: 건강도시, 도시환경, 신체비활동, 사회적 비용, 시스템다이내믹스
(Healthy City, Built Environment, Physical Inactivity, Social Cost,
System Dynamics)

* 이 논문은 2011년 국토연구원 기본과제(2011-38)의 내용 일부를 발췌, 수정·보완한 것임.

** 국토연구원 지역연구본부 책임연구원 (제1저자, ejkim@krihs.re.kr)

*** 국토연구원 주택토지연구본부 선임연구위원 (공동저자, kyp5208@hanmail.net)

I. 서론

최근 저출산·고령화 시대의 도래와 함께 보건·복지에 대한 관심이 갈수록 높아지고 있다. 보건·복지에 대한 높은 수준의 관심은 국민의료비의 급격한 증가를 불러와 1980년 1.4조원이었던 국민의료비는 2009년 73.7조 원으로 증가하였고, 같은 기간 GDP 대비 국민의료비는 3.7%에서 6.9%로 급격히 상승하였다(보건복지부, 2011). 고령화가 급속히 진행되는 우리나라의 현실에서 앞으로도 상당기간 동안 의료비에 대한 국가적·국민적 부담이 심해질 것으로 예견되고 있다. 그러나 이러한 국민의료비 증가에도 불구하고, 2001~2009년 동안 우리나라 성인의 비만율(19세 이상)은 29.2%에서 31.3%로, 당뇨병(30세 이상)은 8.6%에서 9.6%로, 고콜레스테롤혈증(30세 이상)은 9.1%에서 11.5% 수준으로 증가하고 있다(보건복지부, 2010).

국민의료비의 막대한 증가에도 불구하고도 우리나라의 건강수준이 호전되기는커녕 오히려 악화되고 있는 이유는 도시환경이 지역주민의 건강과 밀접하게 관련되어 있다는 다양한 연구들에서 그 단서를 찾을 수 있다. 건강의 개념이 치료적 접근에서 예방적 차원으로 변화하였고, 건강결정요인이 유전이나 보건의료환경 요인을 넘어서 도시환경의 역할을 중요시하고 있는 것이다. 즉, 이제는 시민건강을 고려한 도시계획, 교통정책, 경관관리 등을 주요 쟁점으로 한 건강도시(healthy cities) 구현 노력이 필요한 시점이다.

외국에서는 도시환경과 건강과의 관계에 대한 실증연구들이 다양하게 이루어지고 있어 그 증거들을 찾아볼 수 있다(Ewing et al., 2003; Alexia et al., 2004; Frank et al., 2004; Frank et al., 2006; Lee & Moudon, 2008). 우리나라에서도 최근 몇 년 동안 이와 관련된 연구들이 서서히 나타나고 있으나(성현곤, 2008; 이경환·안건혁, 2008; 김영 외, 2009; 김은정 외, 2010), 활발한 수준은 아니다. 특히 도시환경의 변화에 따른 시민건강 증진의 효과를 추정한 연구는 거의 없다.

이 연구의 목적은 도시환경의 개선을 위주로 한 건강도시화 정책의 사회적 비용 절감효과를 시스템다이나믹스(system dynamics, SD) 모형을 활용하여 추정하고자 한다. 지속적으로 악화되는 국민건강 수준을 개선하고, 날로 증가하는 국민의료비 부담을 감소시키는 노력으로서 건강도시화 정책의 필요성을 시사하기 위해서는 무엇보다도 정책에 따른 사회적 효용 가치를 추정해 봄으로써 정책의 효율성을 제시할 필요가 있기 때문이다. SD모형은 변수들간의 복잡한 인과관계를 효율적으로 모형화하고, 현재 추세대로 미래를 전망할 수 있을 뿐 아니라 정책효과까지 동시에 분석이 가능하므로 이 연구에서 활용하기로 한다.

II. 선행연구

이 절에서는 연구와 관련된 다양한 논의와 선행연구를 종합적으로 정리하였다. 우선 방법으로 활용되는 시스템다이내믹스의 역사와 함께 이를 도시계획에서 활용한 국내외의 연구들에 대해 살펴보기로 한다. 이후 연구내용과 관련해서는 도시계획과 건강간의 관계에 대해 그동안 논의되었던 연구들을 살펴보고, 이 연구와 직접적으로 연관되어 있는 선행연구를 소개하기로 한다.

1. 시스템다이내믹스와 도시계획

시스템다이내믹스의 역사는 1959년 MIT 학자들이 모여 시뮬레이션 언어인 다이나모(DYNAMO)를 개발하고, 포레스터(J. Forrester)가 다이나모를 활용하여 저술한 기업동학(Urban Dynamics)을 발표한 것으로 거슬러 올라간다. 이후 포레스터는 도시문제를 시스템다이내믹스 기법을 활용하여 분석한 도시동학(Urban Dynamics)을 발간하였고, 이를 계기로 시스템다이내믹스를 활용하여 공간의 문제를 해결하는 시도가 점차 나타나기 시작하였다(Forrester, 1969; 김영표 외, 2007; 문태훈, 2007). 외국에서는 시스템다이내믹스를 활용하여 환경관리, 폐기물처리, 도시성장관리, 수자원관리, 교통시스템 등 다양한 공간계획의 분야에서 적용하여 왔다(Guo et al., 2001; Stave, 2003; Dyson, 2005; Han, Wang, Lu, & Peng, 2008; Yoshitsugu, Cao, & Imura, 2009; Fong, 2009). 우리나라에서도 도시 및 지역계획에서 시스템다이내믹스 기법을 활용하여 공간정책의 파급효과를 측정하는 연구들이 꾸준히 진행되어 왔다. 주로 추진된 연구로는 지역개발사업의 파급효과 측정, 도시성장관리 정책 평가, 주택정책 개선방안, 교통의 환경에의 영향에 관한 논의, 지역균형발전 모형개발, 재정투자파급효과 시스템 개발, 지가동향예고 지표개발, 부동산정책 모형개발 등이 있다(김영표 · 정문섭, 1989; 최남희 · 김선경, 2001; 문태훈, 2002; 이만형 · 최남희, 2003; 최영출, 2005; 김영표 · 조운숙, 2006; 김영표 외, 2007; 문태훈, 2011; 이수욱 외, 2011).

시스템다이내믹스는 복잡한 현상의 문제를 상태변수, 증감변수, 보조변수, 시간변수, 상수의 다섯 가지 요소들 간의 네트워크로 구성하여 비교적 이해하기 쉽고 간단한 시스템으로 표현하는 장점을 가지고 있다. 또한 미래전망에서부터 정책의 파급효과까지 동시에 분석할 수 있으므로 군사, 정치, 사회, 경제, 환경 등 다양한 분야의 연구에 폭넓게 활용되고 있다(김영표 외, 2007). 대규모 인프라 투자, 지역 개발사업 등 도시 및 지역계획에서 시스템다이내믹스를 적극적으로 활용한다면 정책의 효율성 및 파급효과를 사전에 시뮬레이션할 수 있으므로, 사업이나 재정투자의 우선순위를 도출하는 등의 의사결정과정에서 유용하

게 활용될 수 있을 것이다.

2. 도시계획과 건강: 건강도시계획

그동안 건강의 문제는 의학 및 보건학에서 다루는 개인의 문제였으나, 최근에 들어서 건강의 개념이 치료에서 예방적 접근으로, 개인의 문제에서 커뮤니티나 도시의 문제로 변화되기 시작하였다(강은정, 2010). 외국에서는 비만이나 고혈압, 당뇨, 고지혈증, 심혈관계질환 등 각종 만성질환의 주요 원인으로 유전적 요인이나 의료환경 뿐 아니라 도시의 물리적 환경(built environment)이 결정요인으로 작용한다는 연구들이 다양하게 나타나고 있다(Poston & Foreyt, 1999; Swinburn, Egger, & Raza, 1999; Steptoe & Feldman, 2001). 이런 배경하에서 세계보건기구는 ‘물리적·사회적 환경을 개선하고 지역사회의 모든 구성원이 상호 협력하여 시민의 건강과 삶의 질을 향상시키기 위해 지속적으로 노력해 가는 도시(Hancock & Duhl, 1986)’로 정의되는 건강도시(healthy city)의 개념을 소개하였고(WHO, 2011), 유럽을 중심으로 건강도시 운동(healthy city movement)이 활발하게 추진되어 왔다). 미국에서는 건강한 커뮤니티(healthy communities) 만들기를 위해 의학 및 보건학과 도시계획이 함께 공조체제를 이루어 연구를 수행하고 있고, 토지이용, 교통계획, 가로 계획, 조정 디자인, 주택설계 등 다양한 계획 분야에서 정책을 발굴하여 추진하고 있다(김은정 외, 2010).

최근에 우리나라에서도 건강도시와 관련된 연구들이 나타나기 시작하였다. 이경환·안건혁(2008)의 연구는 서울시를 대상으로 그린환경이 개인의 보행수준과 건강수준에 미치는 영향을 분석하였고, 성현근(2008)은 도보, 자전거, 대중교통을 포함한 녹색교통이 기초체력, 비만도, 근지구력, 혈압과 심폐지구력 등의 건강에 미치는 영향을 분석하였다. 김영 외(2009)의 연구는 전문가 설문조사를 통해 건강결정요인 및 건강도시사업의 우선순위를 도출하였다. 김은정 외(2010)의 연구에서는 수도권을 대상으로 도시환경과 건강과의 연관관계를 실증적으로 분석하였고, 이에 더해 건강도시에 대한 주민인식조사를 통해 건강결정요인, 건강도시의 가치 추정 등에 대해 조사하였다.

3. 건강도시 지표

건강도시화 정책의 사회적비용 절감효과 측정을 위해서는 우선적으로 건강도시를 어떤 지표로 측정하는지에 대한 논의가 선행되어야 한다. 건강도시 지표에 대한 논의는 WHO

1) <http://www.euro.who.int/en/home>

유럽 건강도시 네트워크를 중심으로 시작되었으며, 이 연구의 선행연구인 김은정(2012)의 연구는 국내외의 관련 문헌을 총망라하여 우리나라에서 적용 가능한 건강도시 지표를 개발하고 이를 활용하여 수도권 지역에 적용하였다.

이 연구에서는 건강도시 지표 선정과정에서 우선적으로 WHO 유럽 네트워크에서 제시하는 4대 부문 53개 지표를 기반으로 하고, 국내외 문헌검토를 통해 1차 지표를 추려내었다. 이후 관련 자료와 전문가 의견을 통해 2차 지표로 여과한 후, 지표로서 적합성, 측정가

〈표 1〉 건강도시 4대 부문 20대 지표

대분류	중분류	소분류	측정 및 코딩	자료
시민 건강	사망률	사망률	인구 10만 명 당 표준화사망률 (인 / 십만인)	사망원인통계
	비만율	비만율	체질량지수(BMI)>25 인구비율(%)	지역사회건강조사
	흡연율	흡연율	흡연율(%)	
	삶의 질	주관적 건강 수준 인지율	주관적 건강수준이 양호 (좋음 또는 매우 좋음)한 인구비율(%)	
	걷기 실천율	걷기 실천율	최근 1주일간 1회 30분 이상 걷기를 주 5회 실천한 인구비율(%)	
의료 서비스	의료시설	병원 수	인구 1천 명당 병원 수(개 / 천인)	시군통계연보
		의료인력 수	인구 1천 명당 의료기관 종사 의료 인력 수(인 / 천인)	
	의료관리	건강검진율	최근 2년간 건강검진 수진율(%)	지역사회건강조사
		암 검진율	최근 2년간 암 검진율(%)	
필요의료서비스 미치료율	최근 1년간 필요의료 서비스 미치료율(%)			
환경	대기오염수준	대기오염	연간 환경기준 초과횟수(회 / 년)	대기환경연보
	녹색공간	도시공원	1인당 도시공원면적(m ² /인)	시군통계연보
	자전거이용 환경	자전거도로 연장	단위면적당 자전거도로 연장(km / km ²)	행정안전부 내부자료
	대중교통환경	버스노선 수	단위면적당 버스노선 수(개/km ²)	수도권 대중교통정보시스템
	쾌적한 주거환경	최저주거기준 미달가구비율	면적·침실·시설기준, 최저주거기준 미달가구비율(%)	국토연구원 내부자료
사회 경제	건강한 경제	소득수준	1인당 주민세 소득세할(천원/인)	행정안전부 내부자료
		재정자립도	재정자립도(%)	시군통계연보
		기초생활수급가구비율	기초생활수급가구비율(%)	
	복지적 여건	보건복지 예산비중	일반회계 중 보건·복지예산 비중 (%)	
	안전성	범죄율	인구 1천 명당 범죄발생건수(건/천인)	도시연감, 통계연보, 경찰청 내부자료

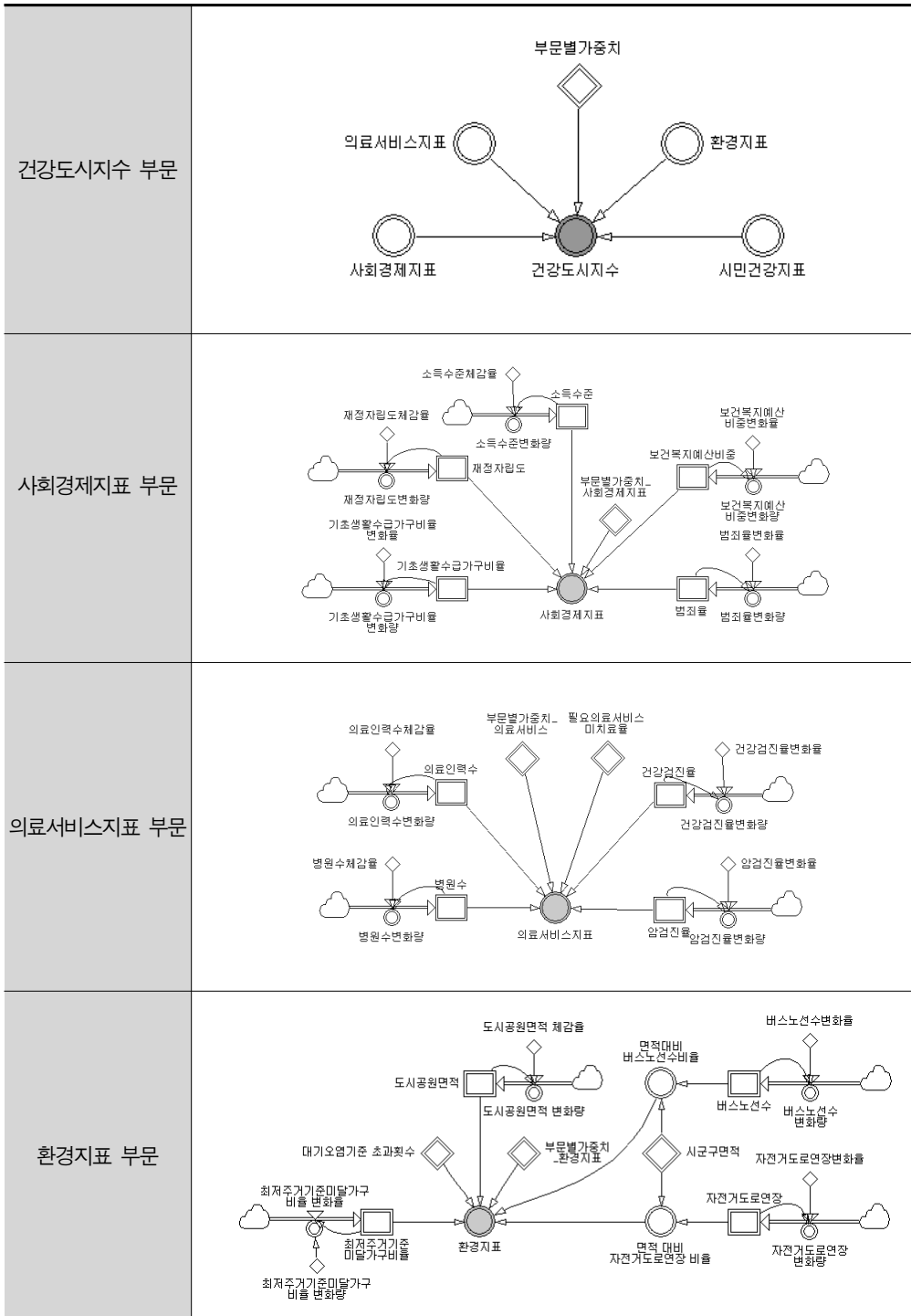
자료: 김은정(2012)의 〈표 3〉 부분 발췌.

능성, 투명성, 통제가능성, 비교가능성 등을 고려하여 최종 지표를 선정하였다. 또한 지표 간의 가중치는 전문가 설문조사와 AHP 기법을 이용하여 건강도시지수를 산정하였다. 종합하여 정리하면, 건강도시는 시민건강, 의료서비스, 환경, 사회·경제의 4대 부문에서 각 5개씩 지표를 선정하여 <표 1>과 같이 총 20개의 지표로 구성되었으며, 이 연구에서는 이를 준용하여 분석에 활용하기로 한다.

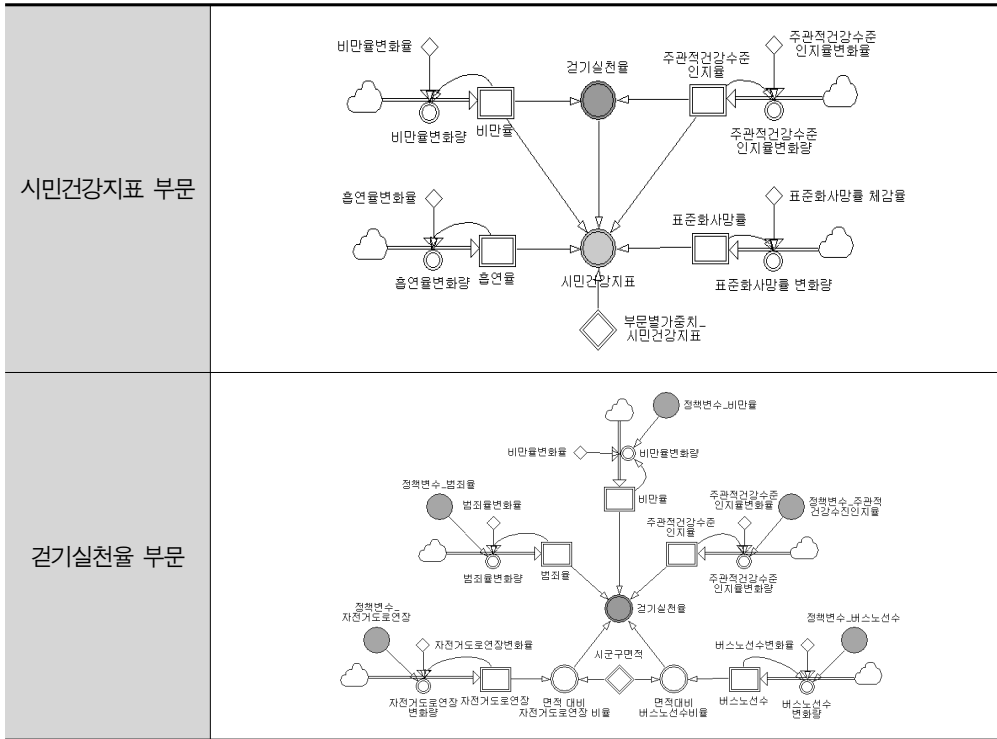
4. 건강도시화정책이 주민의 걷기실천율에 미치는 영향

김은정·김영표(2012)의 연구는 앞 절에서 정리된 건강도시의 4대 부문 20대 지표의 변화에 따른 주민의 걷기실천율에 미치는 영향을 시스템다이나믹스 기법을 통해 분석하였고, 여기서 활용된 모형의 시스템 흐름은 [그림 1]과 같다. 사회경제, 의료서비스, 환경, 시민건강으로 구성된 4대 지표 부문은 직접적인 정책 대상은 아니나 정책집행에 따른 변화를 수용하여 건강도시지수부문과 연결되는 하부 모형이다. 특히 시민건강지표 부문 중에서도 걷기실천율은 시스템 내의 20개 지표의 변화에 따른 영향을 수용하는 부문으로 직접적인 정책의 대상이다.

김은정·김영표(2012)에서는 건강도시를 구성하는 20개 지표의 변화에 따른 시민의 걷기실천율에 미치는 영향을 분석하기 위해 구축된 시스템다이나믹스 모형을 이용하여 2030년까지의 행태분석 및 세 가지 정책대안의 파급효과 분석을 실시하였다. 정책집행에 따른 시간지연(time delay)을 고려하는 것이 원칙이나, 개별 요인간 변화에 소요되는 시간이 모두 달라 분석에 고려하기 어려운 면이 있으므로, 여기서는 정책적 효과의 시간지연을 고려하지 않는 것으로 하였다. 어떠한 정책의 변화도 없이 과거와 현재의 추세대로 시뮬레이션을 통한 향후 전망치를 산출한 결과, 2009년 현재 53.27% 수준인 걷기실천율은 꾸준히 감소하여 2030년에는 47.45%로 감소할 것으로 예측되었다. 건강도시화 정책의 파급효과를 산출하기 위한 시나리오 분석에서 대안 1(2020년까지 연간 자전거도로 연장을 3% 증가시킨다고 가정), 대안 2(2020년까지 연간 버스노선수를 3% 증가시킨다고 가정), 대안 3(2020년까지 연간 자전거도로연장 3% 증가, 버스노선수 3% 증가, 범죄율 1% 감소, 주관적건강수준인지를 0.3% 증가, 비만율 3% 감소시킨다고 가정)은 각각 기본모형의 시뮬레이션에 비해 지역주민의 걷기실천율이 1.00%, 2.21%, 9.98% 증가하는 것으로 분석되었다. 이 연구는 건강도시화 정책에 따른 시민의 걷기실천율에 미치는 영향을 분석한 연구(김은정·김영표, 2012)의 후속연구로, 시민의 걷기실천율의 증가에 따른 유병률 및 사망률 감소, 의료비 절감과 생산성 증가에의 영향을 종합한 사회적 비용 절감효과를 측정하고자 한다.



(계속)



자료: 김은정, 김영표(2012)의 [그림 2], [그림 3] 발체.

[그림 1] 모형의 시스템 흐름도

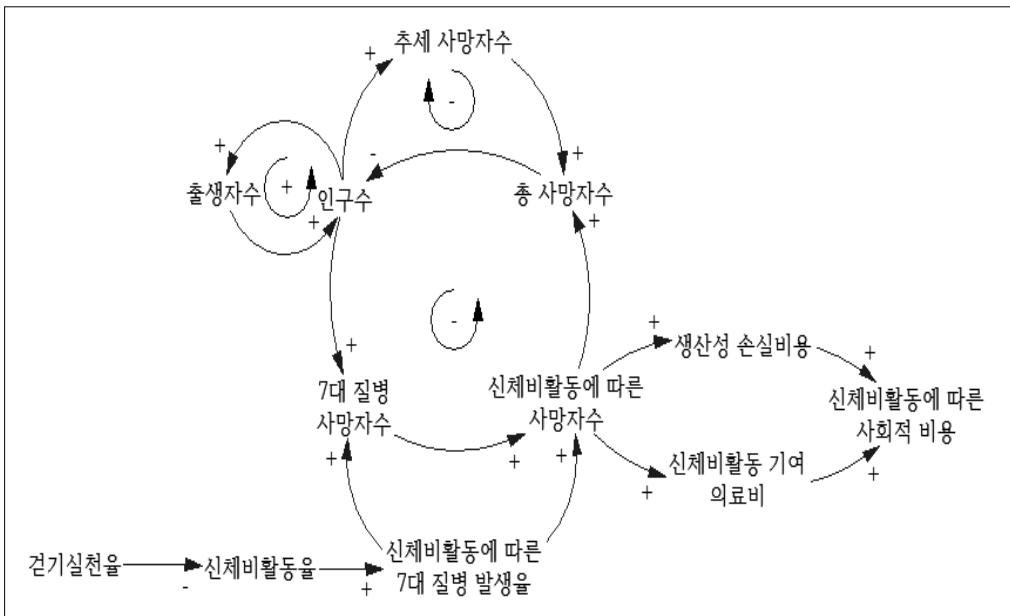
Ⅲ. 건강도시화정책의 사회적 비용 절감효과 추정모형 개발

1. 모형의 설계

부문간 서로 연계되어 있는 건강도시화 정책의 사회적 비용 절감효과를 측정하기 위해 시스템다이내믹스 기법을 활용하였다. 시뮬레이션 모형 정립의 절차로는 우선 인과관계 분석을 통한 시스템 흐름도를 작성한 후 모형을 정립한다. 이후 모형의 테스트 과정을 거치면서 안정화 시키고, 행태분석과 정책의 과급효과 분석을 실시하였다.

모형 구축을 위해 [그림 2]와 같이 인과지도를 작성하였다. 앞서 건강도시 지표 개발과 건강도시화 정책의 주민의 걷기실천율에 미치는 영향에 관한 연구가 수행되었으며, 여기서는 기 추진된 두 연구의 분석결과를 이어 받아 후속연구를 진행하고자 한다. 즉, 이 연구에

서는 건강도시화 정책 추진으로 인해 증가한 지역주민의 걷기실천율이 신체비활동을 관련 7대 질병 발생률²⁾과 이에 따른 사망자수를 감소시키는 효과와 그로 인한 직접의료비 절감 및 생산성향상 효과를 산정함으로써 나타나는 건강도시화 정책의 사회적 비용 절감효과를 추정하는데 한정하고자 한다. [그림 2]는 걷기실천율, 신체비활동을, 신체비활동에 따른 7대 질병 발생률, 사망자수, 인구수 등과 관련된 피드백 루프를 포함하며, 1개의 양(+의) 피드백 루프와 2개의 음(-)의 피드백 루프로 구성되었다.



[그림 2] 걷기실천율, 신체비활동에 따른 사망자수, 사회적 비용 간 관계의 인과지도

2. 모형의 범위 및 사용자료

건강도시화 정책을 추진하는 시간적 범위는 2009~2020년이며, 정책의 파급효과를 측정하는 시뮬레이션 기간은 2030년까지로 한다. 또한, 연구의 공간범위는 수도권이고 단위는 시군구로 하였다. 건강도시화 정책의 사회적 비용 절감효과는 화폐단위로 추정되며, 수도권 66개 시군구를 합친 비용 절감수준을 추정하였다. 모형에 사용된 기본 자료는 <표 2>와 같이, 주민등록인구통계, 인구동향조사, 국민건강영양조사, 시군통계연보, 사망원인통계, 건

2) 기존 의학계에서 신체비활동이 유발하는 만성질환은 관상동맥질환, 뇌졸중, 고혈압, 제2형 당뇨, 결장암, 유방암, 골다공증 등인 것으로 보고하고 있으므로, 이 연구에서는 이를 신체비활동 관련 7대 질병으로 보고 분석에 활용하기로 하며, 이와 관련된 세부적인 내용은 추후 시스템 흐름도 작성시 설명하기로 함

강보험통계, 경제활동인구연보 등이다. 7대 질환별 신체비활동의 상대위험비(relative risk, RR)는 Katzmarkzyk et al.(2000)의 자료를 준용하기로 한다. 모든 자료는 2009년을 기준연도로 하나, 신체비활동을 자료는 구득 가능한 2005년 자료를 활용하였다.

〈표 2〉 시스템 개발에 사용된 자료

사용자요명	연도	출처
인구수	2009	주민등록인구통계
출생자, 사망자, 초기출생률, 초기사망률, 출생률체감율, 사망률체감율	2009	인구동향조사
신체비활동율	2005	국민건강영양조사
행정구역 면적	2009	시군통계연보
7대 질환별 신체비활동의 상대위험비(RR)	-	외국논문
7대 질환별 사망자수	2009	사망원인통계
7대 질환별 의료비	2009	건강보험통계
경제활동참여율	2009	경제활동인구연보
임금수준	2009	임금구조기본통계

3. 신체비활동과 사회적 비용간의 인과관계 및 시스템 흐름

1) 신체비활동에 따른 사망자수 증가 및 인구구조 변화

신체비활동(physical inactivity)에 따른 사회적비용 절감효과 추정모형은 인구수, 특히 사망인구중 신체비활동으로 인한 사망자수의 증감에 따른 의료비와 생산성 손실비용을 추산하여 산정하였다. 사망자수는 신체비활동과 관련되는 7대 질환별 사망자수와 그 외 사망자수로 구분된다. 7대 질환별 총 사망자수에서 신체비활동성의 비교위험도와 인구기여위험도에 따라 신체비활동이 직접적으로 유발한 사망자수를 구분하였다. 신체비활동에 따른 사망자수의 직접의료비와 생산성손실비용을 합산하여 신체비활동에 따른 사회적 비용을 추정할 수 있다.

특히 여기서 주목해야할 것은 사망률의 변화이다. 신체비활동에 따른 사망자수의 변화는 신체비활동에 따른 사망률, 사망률변화율, 총사망률을 변화시키며, 변화된 총사망률은 다시 사망자수에 영향을 미치는 피드백 루프가 나타난다. 총사망률에 영향을 미치는 변수로는 초기사망률, 사망률 변화추세, 신체비활동에 따른 사망률 변화 등이 있다. 사망률 변화추세는 사망률체감율로 반영을 하고, 신체비활동에 따른 사망률은 총사망률에 누적되어서는 안 되는 변수이므로, 사망률 누적방지 매개변수를 활용하여 매년 총사망률 산정 후에 차감

하였다.

인구부문을 66개 시군구의 인구수를 핵심요소로 하고 있다. 수도권 66개 시군구별 인구수는 지역별 출생자수와 사망자수의 증감에 따라 변화되며, 여기서는 사회적 여건변화에 따른 지역 간 인구이동은 없는 것으로 가정한다. 초기출생률과 초기사망률은 2009년 인구동향조사 자료를 이용하며, 출생률체감율과 사망률체감율은 2000~2009년 간 체감율을 이용하여 산출하였다.

2) 신체비활동에 따른 질병발생 기여도

걷기실천율과 신체비활동율은 유의미한 상관성이 있어, 두 변수간의 회귀계수와 상수값을 활용하여 걷기실천율을 신체비활동율로 변환하였다³⁾. Katzmarkzyk et al.(2000)의 연구에서는 신체비활동이 주로 관상동맥질환, 뇌졸중, 고혈압, 제2형 당뇨, 결장암, 유방암, 골다공증 등을 유발하는 것으로 보고하고 있고, 이를 신체비활동 관련 7대 질환으로 보았다. 신체비활동과 관련이 있는 7대 질병의 비교위험도(relative risk, RR)⁴⁾는 기존 의학계에서 밝

〈표 3〉 신체비활동의 비교위험도 및 수도권의 인구기여위험도

구분	RR (95% CI)	PAR(%)
관상동맥질환	1.9 (1.6-2.2)	33.0
뇌졸중	1.4 (1.2-1.5)	18.0
고혈압	1.4 (1.2-1.5)	18.0
제2형 당뇨	1.4 (1.2-1.5)	18.0
결장암	1.4 (1.2-1.5)	18.0
유방암	1.2 (1.0-1.5)	9.9
골다공증	1.6 (1.2-2.2)	24.7

$$PAR = \frac{P \times (RR - 1)}{1 + P \times (RR - 1)}$$

PAR: 질병 발생에 대한 신체 비활동의 인구기여위험도
 RR: 현재 신체 비활동인구의 신체 활동인구에 대한 질병 발생의 비교위험도
 P: 전국인구 중 신체비활동 인구 비율

3) 지역사회건강조사에서는 신체비활동율(운동미실천율) 자료가 없으므로, 2005년 국민건강영양조사 자료를 대신하여 활용하였음. 미국 스포츠의학회는 운동시 산소대사량이 기초대사량 15%미만인 경우(운동 지속기간 20분미만)를 신체비활동으로 규정하고 있으므로, 이 분석에서 신체비활동은 1회당 20분 이상 지속되는 운동을 주1회 미만으로 하는 경우로 정의하기로 함

4) 치료군과 대조군의 위험도의 비를 말하며, 여기서는 신체비활동자 그룹과 신체활동자 그룹의 만성질환 발생률의 비율임. RR이 1 이하인 경우는 위험요인에 대한 노출과 질병발생이 양(+)의 상관관계를 가지고 있고, RR이 1 인 경우는 연관성이 없음을 뜻하며, RR이 1 이상인 경우는 음(-)의 상관관계를 가짐

혀진 값을 활용하기로 한다. 여기서는 수도권 주민의 신체비활동율과 비교위험도를 이용하여 인구기여위험도(population attributable risk, PAR)⁵⁾를 산출하였다. 이 연구에 활용된 신체비활동의 비교위험도와 인구기여위험도 계산식, 그리고 이에 따라 도출된 수도권 주민의 신체비활동에 따른 인구기여위험도는 <표 3>과 같다.

3) 신체비활동에 따른 유병비용(직접비용)

신체비활동과 관련된 7대 질병의 치료에 소요되는 의료비를 추계하기 위하여 2009년 건강보험통계자료 활용하였다. 총 진료비 중 수도권 성인기준 진료비를 추산하고, 인구기여위험도에 따른 신체비활동이 기여하는 의료비를 계산할 수 있다. 신체비활동이 기여한 의료비는 총 6048.3억 원이며, 이중 고혈압은 2043.1억 원, 관상동맥질환은 1342.6억 원, 뇌졸중은 1216.0억 원 수준의 의료비가 발생하였다.

4) 신체비활동에 따른 생산성 손실비용(간접비용)

신체비활동과 관련된 유병으로 조기 사망한 경우 사회 전체적으로 경제활동인구의 감소로 인한 기회비용이 발생하므로, 신체비활동 관련 조기사망의 생산성 손실비용을 추계해야 한다. 2009년 사망원인통계의 총 사망자수에서 7대 질병의 사망자수 비율에 따라 수도권의 7대 질환별 사망자수를 추산하였고, 신체비활동 관련 사망자수는 각 질환의 기여위험도(PAR)를 곱하여 산정하였다. 2009년에 수도권 성인인구 중 총 4824명이 신체비활동으로 인한 질환으로 사망한 것으로 추정할 수 있으며, 이 중 뇌졸중으로 1679명, 관상동맥질환으로 1677명, 제2형 당뇨병으로 691명이 사망했다고 추산할 수 있다.

생산성 손실비용은 신체비활동으로 사망한 인구의 평균나이, 고용률⁶⁾, 연간 평균소득, 노동소득분배율 등을 감안하여 추산하였다. 우선 조기사망에 의한 손실 연수와 연간 소득 수준을 곱하여 신체비활동 관련 조기사망의 소득손실비용을 계산할 수 있다. 분석결과 수도권 주민의 신체비활동 관련 사망인구의 평균나이는 57세이고, 이들이 65세까지 생산 활동을 한다고 가정하였다.

연간 평균 소득수준을 구하는 과정은 <표 4>와 같다. 연령별 임금수준은 임금구조기본통계조사 자료를 활용할 수 있으나, 이 자료는 상용근로자 5인 이상 사업체만 대상으로 하므로 5인 미만 사업체의 근로자 임금수준은 자료를 추산해야 한다. 이 분석에서는 몇 가지

5) 전체 인구집단에서 해당 질병발생의 전체 크기에서 위험요인이 기여하는 부분의 비율임

6) 경제활동참가율은 생산활동가능인구에 대한 경제활동인구비율로, 경제활동인구에는 구직중인 실업자가 포함되므로, 여기서는 고용률(경제활동인구에서 구직중인 실업자 제외)을 활용하는 것이 타당함

〈표 4〉 연령별 경제활동인구 및 연간 소득수준 (2009년)

연령별	총인구 ⁸⁾	고용률 ⁹⁾	경제활동인구 ¹⁰⁾			사업체규모별 로자의 연간 평균소득		연간 평균소득
			소계	5인 이상 사업체 ¹¹⁾	5인 미만 사업체	5인 이상 사업체 ¹²⁾	5인 미만 사업체 ¹³⁾	
	백만명	%	백만명	백만명	백만명	천만원	천만원	천만원
55-59세	2.66	0.66	1.74	0.31	1.43	3.30	1.58	1.89
60-64세	2.13	0.54	1.15	0.29	0.86	2.37	1.31	1.58

적정한 가정⁷⁾하에 근로자의 연간 평균소득을 추산한 결과 55~59세의 경우는 1886만원, 60~64세는 1579만원 수준이었다.

신체비활동 관련 사망인구의 평균나이인 57세 인구가 65세 까지 생산 활동을 하고, 연령별 임금구조에 근거하여 연령에 대한 소득을 달리한 임금수준을 곱하여 추산했을 때 신체비활동 관련 조기사망의 소득손실비용은 5068억 원 수준으로 나타났다. 여기서 주목해야 할 것은 소득손실비용은 생산성 손실비용의 일부에 지나지 않는다는 점이다. 소득손실비용에 노동소득분배율 0.609(국민소득 중에서 노동소득이 차지하는 정도, 2009 한국은행자료)의 역수(1.642)를 곱하여 추산하면, 연간 생산성손실비용은 총 8322.6억 원 수준이었다.

5) 신체비활동에 따른 사회적 비용(총 발생비용)

신체비활동관련 질환이 유발하는 직접 의료비 6048.3억 원과 생산성 손실비용 8322.6억 원을 합산한 신체비활동에 따른 사회적 비용은 2009년 기준으로 연간 1조 4370.9억 원에 이르는 것으로 조사되었다. [그림 3]은 신체비활동에 따른 사회적비용 절감효과부문모형의 시스템 흐름도이다.

7) 5인 미만 사업체의 근로자 임금수준은 최저임금수준과 임금구조기본통계 사이에 적절한 값을 가정하는 것이 타당할 것임. 여기서는 5인 미만 사업체 근로자의 임금수준을 최저임금수준을 기준으로 55~59세의 경우는 1.8배, 60~64세의 경우는 1.5배로 가정하기로 하였으며, 이는 5인 미만 사업체를 대상으로 하는 소규모사업체 근로실태조사 자료를 기초하여 연령별 배율을 조정하여 가정한 것임

8) 주민등록인구(2009) 자료 활용

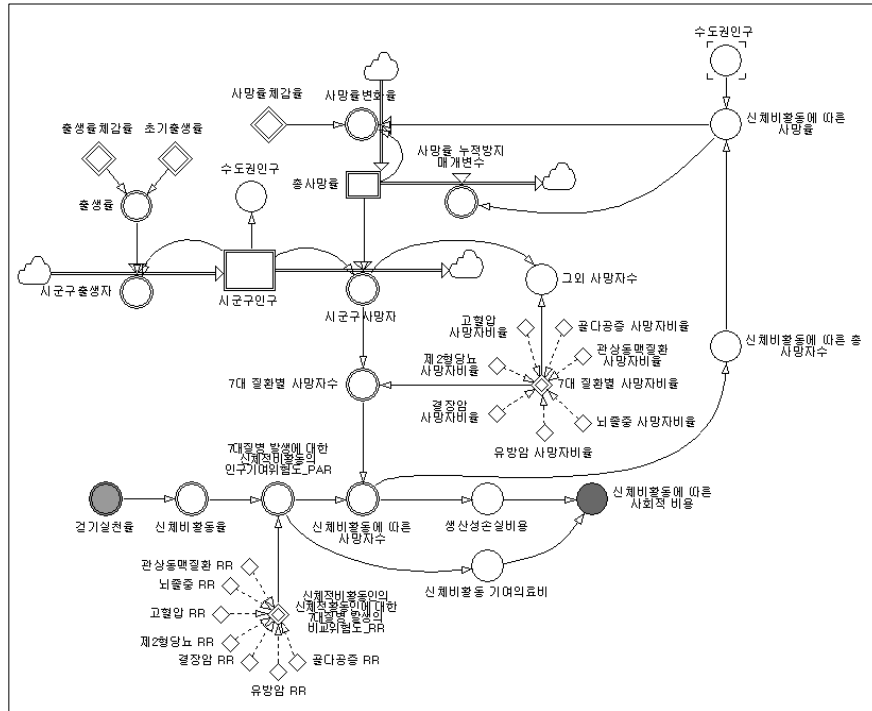
9) 경제활동인구연보(2009) 자료 활용

10) 구직중인 실업자 제외

11) 노동부 ‘임금구조기본통계조사 보고서 2009’ 자료 활용

12) 노동부 ‘임금구조기본통계조사 보고서 2009’ 자료 활용

13) 최저임금법에 따른 최저임금수준을 기준으로 55-59세의 경우는 1.8배, 60-64세의 경우는 1.5배로 가정함



[그림 3] 신체비활동에 따른 사회적비용 추정모형 시스템 흐름도

4. 모형의 정립

앞 절에서 도출된 시스템 흐름도를 방정식 형태로 변환하는 과정이 모형정립이다. [그림 3]의 모형은 <표 5>와 같이 간단한 방정식 형태로 프로그래밍 할 수 있다. 특정 시점(t)의 7대 질환별 사망자수는 그 시점(t)의 총 사망자수에서 7대 질환별 사망자비율을 곱하여 산정한다. 신체비활동율은 걷기실천율을 독립변수로 한 회귀식으로부터 계산하여 추정하였다. 또한, 7대 질병 발생에 대한 신체비활동의 인구기여 위험도(PAR)는 신체비활동 인구비율과 7대 질병의 비교위험도(RR)를 이용한 산출식에 의해 산정하였다.

신체비활동관련 사망자수는 7대 질환별 사망자수와 각 질환의 인구기여위험도(PAR)를 곱하여 산정하였다. 생산성 손실비용은 신체비활동으로 인한 사망자수와 성인의 경제활동 참여율, 성인의 평균임금수준을 곱하고, 65세(생산활동 가능 연령)에서 수도권 신체비활동 관련 사망인구의 평균나이를 빼 값을 곱하여 최종 값을 산정하였다. 신체비활동 기여의료비는 7대 질환별 의료비와 각 질환별 인구기여위험도를 곱하여 산정하였다. 최종적으로 특정 시점(t)의 신체비활동에 따른 사회적비용은 앞서 산정한 그 시점(t)의 생산성손실비용과 신체비활동 기여의료비의 합산으로 산정하였다.

〈표 5〉 신체비활동에 따른 사회적비용 절감효과모형 변수설명

변수명	관계식	함수유형
시군구별인구(t)	$\int_0^t [\text{출생자}(t) - \text{사망자}(t)] dt$	상태변수
출생자(t)	출생률(t) × 시군구별인구(t)	증감변수
출생률(t)	초기출생률 × EXP(출생률체감률 × (YEAR(TIME)-2009))	보조변수
사망자(t)	총사망률(t) × 시군구별인구(t)	증감변수
사망률변화율(t)	총사망률(t) × 사망률체감율 + 신체비활동에 따른 사망률(t)	보조변수
7대 질환별 사망자수(t)	7대 질환별 사망자비율 × 사망자(t)	보조변수
그 외 사망자수(t)	(1 - 7대 질환별 사망자 비율) × 사망자(t)	보조변수
신체비활동율(t)	$\alpha \times \text{걷기실천율}(t) + \beta$, α, β 는 각각 회귀계수, 상수값	보조변수
7대 질병 발생에 대한 신체비활동의 인구기여위험도_PAR(t)	$\frac{(\text{신체적비활동율}) \times (RR-1)}{1 + (\text{신체적비활동율}) \times (RR-1)}$	보조변수
신체비활동관련 사망자수(t)	7대 질환별 인구기여위험도_PAR(t) × 7대 질환별 사망자수(t)	보조변수
생산성손실비용(t)	신체비활동관련 사망자수(t) × 성인경제활동참여율(t) × 성인 평균임금수준(t) × (65 - 성인평균나이(t))	보조변수
신체비활동 기여의료비(t)	7대 질환별 인구기여위험도_PAR(t) × 7대 질환별 의료비(t)	보조변수
신체비활동에 따른 사회적비용(t)	생산성손실비용(t) + 신체비활동 기여의료비(t)	보조변수

IV. 건강도시화 정책의 파급효과 분석

1. 기본모형의 행태분석

어떠한 정책대안도 없이 현재 추세대로 향후 신체비활동율, 신체비활동에 따른 사망자수, 신체비활동 기여의료비, 생산성 손실비용, 신체비활동에 따른 사회적 총 비용 등 변수 간 관계를 비교하고 전망한다. 특별한 대책을 강구하지 않는 한 앞으로도 상당기간 동안 수도권외의 신체비활동율은 증가할 것으로 전망되는데, 이는 비만율과 범죄율의 변화율이 증가하기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 부록의 〈부표〉에서 2000~ 2009년간 걷기실천율 변화율 추세선이 감소하는 것도 행태분석의 결과를 뒷받침 해주는 근거이다. 신체비활동율은 '09년 54.75%에서 '30년 57.06% 수준으로 증가한다.

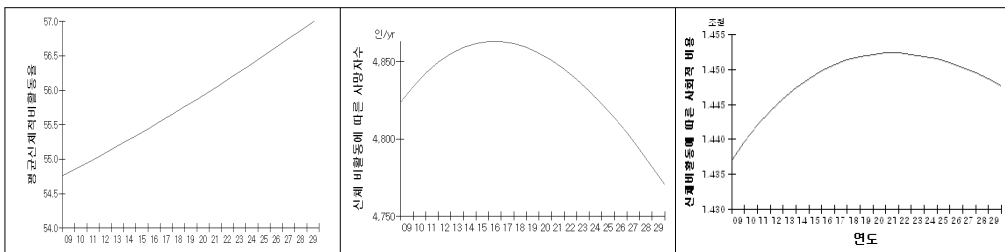
신체비활동관련 사망자수는 2016년까지는 증가하다 이후에는 감소하는데, 이는 신체비활동율의 증가로 인해 초기에는 사망자수가 늘어나나, 전체적인 인구감소의 영향으로 '16년 이

후에는 점차 감소하는 것으로 해석되었다. '09년 4824인에서 매년 지속적으로 늘어나 '16년 4863인으로 가장 높은 수준을 보이며, 이후 감소하여 '30년에는 4769인 수준으로 감소한다.

신체비활동 기여의료비는 2030년까지 꾸준히 증가하는데, 이는 걷기실천율의 감소 및 신체비활동율의 증가에 따른 현상으로 해석 가능하다. '09년 6048억 원에서 지속적으로 증가하여 '30년에는 6247억 원 수준이다.

생산성 손실비용은 2016년까지는 지속적으로 증가하다가 이후 감소하는데, 이는 신체비활동 관련 사망자수의 패턴 변화에 따른 것으로 해석되었다. '09년 8323억 원에서 꾸준히 증가하여 '16년 8390억 원 수준으로 가장 높으며, 이후 감소하여 '30년에는 8229억 원 수준으로 감소한다.

신체비활동의 경제적 비용은 지속적으로 증가하다 2021년 이후 감소하는데, 이는 신체비활동 기여의료비와 생산성 손실비용의 증감이 2016~2021년 사이에 상쇄되는 효과에 기인하였다. '09년 1조 4371억 원에서 지속적으로 증가하여 '21년 1조 4523억 원으로 가장 높은 수준을 보이며, 이후 감소하여 '30년에는 1조 4476억 원 수준이다. [그림 4]와 <표 6>에서 나타난 행태분석의 패턴변화는 <부표>의 변수들의 변화율과 체감율의 추세선을 참조하면 해석이 용이하다.



[그림 4] 주요 변수의 행태분석(2009~2030)

<표 6> 주요 변수의 행태분석(2009~2030)

연도	신체비활동율	신체비활동에 따른 사망자수	신체비활동 기여의료비	생산성 손실비용	신체비활동에 따른 사회적비용
	%	인	억원	억원	조원
2009	54.75	4824	6048	8323	1.437
2015	55.34	4861	6099	8388	1.449
2020	55.87	4855	6145	8377	1.452
2025	56.44	4822	6194	8320	1.451
2030	57.06	4769	6247	8229	1.448

2. 건강도시화 정책 시나리오 설정

모형 이용자가 설정한 정책대안이 국민건강 증진효과에 어느 정도의 영향을 미치는지를 확인하고 정책의 효과를 산정함으로써 바람직한 정책대안을 제시할 수 있다. 이 논문에서는 <표 7>과 같이 세 개의 정책대안 시나리오를 설정하고 정책의 파급효과를 추정하였다. 이는 선행연구(김은정·김영표, 2012)에서와 동일한 세 가지 시나리오이다. 정책대안 1과 2는 자전거도로 연장과 버스노선수 등 도시계획 부문의 정책요소를 감안한 것이고, 정책대안 3은 도시계획 뿐 아니라 보건 및 사회정책을 병행해서 추진한 것이다.

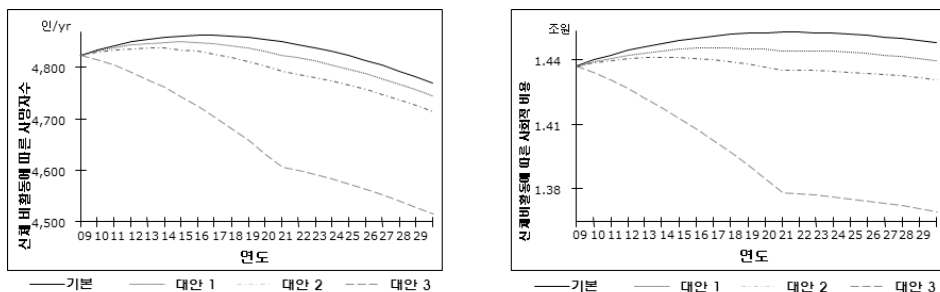
<표 7> 대안별 시나리오

사례구분	적용부문	가상 시나리오	걸기실천율 변화
기본 시뮬레이션	-	현재의 추세를 그대로 반영한 시뮬레이션	-
정책대안 1	환경지표부문	2020년까지 연간 자전거도로연장 3% 증가시킨다고 가정	+1.00%
정책대안 2	환경지표부문	2020년까지 연간 버스노선수 3% 증가시킨다고 가정	+2.21%
정책대안 3	사회경제지표부문 환경지표부문 시민건강지표부문	2020년까지 연간 자전거도로연장 3% 증가, 버스노선수 3% 증가, 범죄율 1% 감소, 주관적건강수준인지를 0.3% 증가, 비만을 3% 감소시킨다고 가정	+9.98%

자료: 김은정, 김영표(2012)의 <표 5>, <표 6> 정리.

3. 건강도시화 정책의 파급효과

세 가지 대안별 시나리오의 시뮬레이션 결과는 [그림 5]와 <표 8>에서와 같다. 우선 첫 번째 정책대안인 2020년까지 연간 자전거도로연장을 3% 증가시킨다고 가정하면, 기본모형



[그림 5] 대안의 시뮬레이션 결과 그래프

의 시뮬레이션에 비해 신체비활동율은 0.40% 감소했다. 2030년까지 신체비활동에 의한 사망인구 중 396인이 감소하는 것으로 나타났다. 이에 따른 신체비활동 기여의료비는 517억 원, 생산성 손실비용은 680억 원 수준이며, 이를 합한 사회적 비용 절감효과는 총 1197억 원 수준이다.

둘째, 정책대안 2에서 2020년까지 연간 버스노선수를 3% 증가시킨다고 가정하면, 기본모형의 시뮬레이션 결과에 비해 신체비활동율은 0.88% 감소한다. 2030년까지 신체비활동에 따른 사망인구 중 875인이 감소하는 것으로 나타났고, 이에 따른 신체비활동 기여의료비는 1147억 원, 생산성 손실비용은 1510 억 원이 감소하며, 이를 합한 총 비용 절감효과는 2657억 원 수준이다.

마지막으로 정책대안 3에서 2020년까지 연간 자전거도로연장 및 버스노선 수 3% 증가, 범죄율 1% 감소, 주관적건강수준인지율 0.3% 증가, 비만율 3% 감소시킨다고 가정하면, 정책효과로 2030년 신체비활동율은 기본모형의 시뮬레이션 결과 값에 비해 3.95%는 감소한다. 기본모형의 시뮬레이션 결과에 비해 2030년까지 신체비활동으로 사망하는 인구 중 3826인이 감소하는 것으로 나타났다. 이에 따른 신체비활동 기여 의료비는 5001억 원, 생산성 손실비용은 6592억 원이 감소하며, 이를 합산한 사회적 비용 절감효과는 총 1조 1593억 원에 이른다.

〈표 8〉 정책대안의 시뮬레이션 결과 및 정책효과

구분	신체 비활동율	신체비활동에 따른 사망자수	신체비활동 기여의료비	생산성 손실비용	신체비활동의 경제적비용
	%	만인	조원	조원	조원
대안 1	56.66	10.597	13.462	18.285	31.747
대안 2	56.18	10.549	13.399	18.202	31.601
대안 3	53.11	10.254	13.014	17.693	30.707
기본모형	57.06	10.637	13.514	18.353	31.867
대안 1 효과	-0.40	-0.040	-0.052	-0.068	-0.120
대안 2 효과	-0.88	-0.088	-0.115	-0.151	-0.266
대안 3 효과	-3.95	-0.383	-0.500	-0.659	-1.159

V. 결론

건강도시 구현을 통한 사회적 비용 절감효과 추정결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 우선, 과거와 현재의 추세대로 시뮬레이션 분석(행태분석)을 한 결과, 2030년 수도권 주민

의 신체비활동율은 57.06%로 나타났다. 기준연도인 2009년의 신체비활동율 54.75%과 비교했을 때, 수도권 주민의 신체비활동율은 증가하여 주민의 건강수준이 악화될 것으로 전망된다. 또한 신체비활동에 의한 사망자수는 2009에서부터 2030년까지 총 10만 6369인 수준이고, 신체비활동 기여 의료비는 13조 5141억 원, 생산성 손실비용은 18조 3526억 원 수준이다. 이를 합산한 신체비활동에 따른 사회적 비용은 2009~2030년 동안 31조 8667억 원 수준에 이른다. 건강도시화 정책대안의 사회적 비용 절감효과를 추정한 결과, 대안별 1197억 원 수준(대안 1)에서 1조 1593억 원(대안 3)까지의 효과가 있는 것으로 나타났다. 단일 정책이 아니라 다른 부문의 정책을 조화시켜 추진한 대안 3의 경우, 사회적비용 절감효과가 비교적 크게 나타나는 것을 확인하였다. 즉, 건강도시화 정책은 도시계획과 함께 보건 및 사회 정책도 병행하여 함께 추진된다면 큰 파급효과를 발생시킬 수 있다. 특히 자전거도로 건설이나 버스노선 수 증가와 같은 도시의 물리적 환경에 대한 정책대안은 연료 절감, 대기오염 감소 등의 경제적·환경적 파급효과에 추가로 건강도시화에 따른 사회적비용 절감효과도 발생하는 것이다.

이 연구의 학술적·정책적 기여도는 다음과 같다. 우선 학술적 기여도는 고령화시대에 서 국민의료비 부담이 꾸준히 증가하고 있고 앞으로도 급격히 증가할 것으로 예상되는 여건에서, 건강도시화 정책의 마련으로 개인적으로는 건강증진, 국가적으로는 사회적비용 감소의 효과를 실제적으로 추정하는 방법론과 근거자료를 제시했다는 점이다. 이 연구의 정책적 기여도는 건강도시화 정책에 대한 효과를 사전에 측정하고 연차별로 전망할 수 있어 시행착오 없는 바람직한 정책마련의 길라잡이 역할을 할 수 있게 된 것이다. 건강도시화 정책대안의 사회적비용 절감효과 분석을 통해 우리나라의 건강도시의 가치를 가늠할 수 있고, 건강도시 구현 전략을 포함한 다양한 도시계획적 가이드라인을 제공할 수 있게 되었다. 도시계획학, 보건학, 의학 등 다양한 분야의 요소를 포함하고 있어 완결성 높은 정책제안이 용이하고, 학제적 연구를 통한 시너지 효과가 증진되는 계기가 되었다. 이에 더해, 건강도시가 갖는 경제·사회적 효과를 측정할 수 있는 방법이 마련됨으로 인해 정책당국이 건강도시에 대한 정책을 도입할 때 근거가 되고, 국민설득의 정책 자료로 활용할 수 있게 되었다. 이를 통해 기존 보건학적 접근의 건강도시 프로그램 및 정책에 도시계획적 요소를 포함하여 다양하고 완결성이 높은 한국형 건강도시 정책 제안이 용이할 것이다.

지속적으로 악화되는 국민건강수준과 날로 증가하는 국민의료비 부담을 감소시키는 정책대안이 필요한 시점에서 건강도시화 정책은 국가가 당면한 문제의 주요한 대안이 될 수 있을 것이다. 이 연구의 결과를 근거로 하여 도시계획, 보건부문 및 사회경제 부문의 적절한 조합을 통한 국민건강 증진 및 국민의료비 경감의 대안이 마련되기를 기대한다.

【참고문헌】

- 강은정. (2010). “건강도시 구현을 위한 보건계획 방향” 『국토연구』 통권345호(2010년 7월). 국토연구원.
- 김영 · 안성진 · 박진호 · 최진도. (2009). “AHP 기법을 이용한 건강결정요소 및 건강도시사업가 중치 분석”, 『도시행정학보』 제22권 제3호, 365-387.
- 김영표 · 정문섭. (1989). 『지가동향 예고지표 개발에 관한 기초연구』. 국토개발연구원.
- 김영표 · 조윤숙. (2006). 『시스템다이내믹스 기법을 이용한 균형발전영향평가 시범모형 개발』. 국토연구원.
- 김영표 · 한선희 · 김미정 · 김호정. (2007). 『재정투자과급효과측정시스템 개발 및 국가발전지수 정립연구(I)』. 국토연구원.
- 김은정. (2012). “건강도시 지표 및 지수 개발과 수도권 지역의 적용에 관한 연구”, 『국토연구』, 제 72권, 161-180.
- 김은정 · 김영표. (2012). “시스템사고로 본 건강도시화 정책이 지역주민의 건기실천율에 미치는 영향”, 『한국 시스템다이내믹스 연구』 제13권 제2호, 25-45.
- 김은정 · 김현식 · 이승복 · 강민규. (2010). 『건강도시 구현을 위한 공간계획 및 정책방안 연구』. 국토연구원.
- 노동부. (2010). 『임금구조기본통계조사 보고서 2009』. 노동부.
- 문태훈. (2002). “도시동태모형을 이용한 도시성장관리정책의 평가”, 『한국 시스템다이내믹스 연구』 제3권 제2호: 5-27.
- _____. (2007). 『시스템사고로 본 지속가능한 도시』. 집문당.
- _____. (2011). “인구감소형 도시의 주택정책 개선방안 연구”, 『한국시스템다이내믹스연구』 제 12권 제2호: 127-151.
- 보건복지부. (2010). 『2009 국민건강통계』. 보건복지부.
- _____. (2011). 『2009년 국민의료비 및 국민보건계정』. 보건복지부.
- 성현곤. (2008). “녹색교통 이용의 건강증진효과”. 『월간교통』 제128권: 24-37.
- 이경환 · 안건혁. (2008). “근린환경이 지역주민의 건강에 미치는 영향”. 『국토계획』 제43권 제3호: 249-261.
- 이만형 · 최남희. (2003). “신행정수도의 건설과 도시동태성 분석”. 『한국 시스템다이내믹스 연구』 제4권 제1호: 69-91.
- 이수욱 · 김재환 · 유현지 · 전성제 · 황관석 · 이현지 · 신예지 · 박천규. (2011). “부동산정책

시뮬레이션 모형 개발과 정책결정지원시스템 구축(I): 정책효과분석 시뮬레이션 모형 개발을 중심으로”. 국토연구원.

- 최남희 · 김선경. (2001). “도시교통과 환경간의 동태적 관계와 정책실험논리”, 『한국 시스템다이내믹스 연구』 제2권 제2호: 97-118.
- 최영출. (2005). “시스템다이내믹스를 이용한 지역개발사업의 과급효과분석”, 『한국 시스템다이내믹스 연구』 제6권 제1호: 147-176.
- 통계청. (2010). 『경제활동인구연보 2009』. 통계청.
- 한국보건사회연구원. (2002). 『국민건강영양조사 제2기 기본보고서』. 보건복지부.
- Alexia, C., Stockard J., Doyle S., and M. Schlossberg. (2004). “Is sprawl unhealthy: A multilevel analysis of the relationship of metropolitan sprawl to the health of individuals?”, *Journal of Planning Education and Research*, Vol.24: 127-141.
- Dyson, B., and N. Chang. (2005). “Forecasting municipal solid water generation in a fast-growing urban region with system dynamic modeling”, *Water Management*, vol.25, no.7, pp.669~679.
- Ewing, R., Schmid T., Killingsworth R., Zlot A., and S. Raudenbush. (2003). “Relationship between urban sprawl and physical activity, obesity, and morbidity”, *The Science of Health Promotion*, Vol.18, No.1: 45-57.
- Fong, W., Matsumoto, H., and Y. Lun. (2009). “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: 1528-1537.
- Forrester, J. W. (1969). *Urban Dynamics*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Frank, L., Andresen, M., and T. Schmid. (2004). “Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars”, *American Journal of Preventive Medicine*, Vol.27, No.2 :87-96.
- Frank., L., Sallis, J., Conway, T., Chapman, J., Saelens, B., and W. Bachman. (2006). “Many pathways from land use to health: Associations between neighborhood walkability and active transportation, body mass index, and air quality”, *Journal of American Planning Association*, Vol.72, No.1: 75-87.
- Guo, H., Liu L., Huang, G., Fuller, G., and R. Zou. (2001). “A system dynamics approach for regional environmental planning management: A study for the Lake Erhai Basin”, *Journal of Environment Management*, Vol.61, No.1: 93-111.
- Han, J., Hayashi, Y., Cao, X., and H. Imura. (2009). “Application of an integrated system dynamics and cellular automata model for urban growth assessment: A case study of Shanghai, China”,

Journal of Environment Management, Vol.61, No.1: 93-111.

Handcock, T., and L. Duhl. (1986). *Healthy Cities: Promoting Health in the Urban Context*, WHO Europe, Copenhagen, Denmark.

Katzmarkzyk, P., Gledhill, N., and R. Shephard. (2000). “The economic burden of physical inactivity in Canada”, *Canadian Medical Association Journal*, Vol.163, No.11: 1435-1440.

Lee, C. and A. V. Moudon, (2008). “Neighborhood design and physical activity”, *Building Research and Information*, Vol.36, No.5: 395-411.

Poston, W., and J. Foreyt. (1999). “Obesity is an environmental issue”, *Atherosclerosis*, Vol.146, No.2: 201-209.

Steproe, A. and P. J. Feldman. (2001). “Neighborhood problems as sources of chronic stress: Development of a measure of neighborhood problems, and associations with socioeconomic status and health”, *Annual of Behavioral Medicine*, Vol.23, No.3: 177-185.

Stave, K. A. (2003). “A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada”, *Journal of Environmental Management*, Vol.67, No.4 : 303-312.

Swinburn, B., Egger, G., and F. Raza. (1999). “Dissecting obesogenic environments: The development and application of a framework for identifying and prioritizing environmental interventions for obesity”, *Preventive Medicine*, Vol.29, No.6: 563-570.

Wang, J., Lu, H., and H. Peng. (2008). “System dynamics model of urban transportation system and its application”, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, Vol.8, No.3: 83-89.

WHO. (2011). *Healthy Cities: Health Promotion Glossary* http://www.who.int/entity/healthy_settings/publications/en

【부록】 주요 변수의 체감율 및 변화율

인구부문의 출생률체감율과 사망률체감율은 시스템 내에서 사용되는 자료의 2000~2009의 추세현황이다. 이외의 시민건강, 의료서비스, 환경, 사회경제 부문의 체감율과 변화율은 행태분석 및 정책의 파급효과 분석을 해석하는데 참고자료로 활용되므로 <부표>에서 정리해 두기로 한다.

<부표> 체감율 및 변화율 자료

대분류	소분류		체감율 (변화율) 추세선	출처	연도
인구	출생률	조출생률(인/천인)		인구동향조사	2000~2009
	사망률가	조사망률(인/천인)		인구동향조사	2000~2009
시민 건강	사망률나	인구 십만명당 표준화사망률(인/십만인)		사망원인통계	2000~2009
	비만율	체질량지수(BMI)>25 인 인구비율(%)		국민건강영양조사다	1998~2005
	흡연율	흡연율(%)		국민건강영양조사	1998~2005
	주관적 건강수준 인지율	주관적 건강수준이 양호(좋음 또는 매우 좋음)한 인구비율(%)		국민건강영양조사	1998~2005
	걷기실천율	최근 1주일간 1회 30분 이상 걷기를 주 5회 실천한 인구비율(%)		국민건강영양조사	1998~2005
의료 서비스	병원수	인구 천명당 병원수(개/천인)		의료기관실태보고	2000~2007
	의료인력수	인구 천명당 의료기관종사 의료인력수(인/천인)		의료기관실태보고	2001~2007
	건강검진율	최근 2년간 건강검진 수진율(%)		국민건강영양조사	1998~2005
	암검진율	최근 2년간 암검진율(%)		국민건강영양조사	1998~2005
	필요의료서비스 미치료율	최근 1년간 필요의료 서비스 미치료율(%)	-	-	-

가) 인구부문모형에서의 사망률은 인구동향조사의 조사망률 자료를 활용하였음

(계속)

대분류	소분류		체감율 (변화율) 추세선	출처	연도
환경	대기오염	연간 환경기준 초과횟수(회/연)	-	-	-
	도시공원	1인당 도시공원면적(m ² /인)		공간시설통계	2005~2009
	자전거도로연장	단위면적당 자전거도로 연장(km/km ²)	-	-	-
	버스노선수	단위면적당 버스노선 수(개/km ²)	-	-	-
	최저주거기준 미달가구비율	면적·침실·시설기준, 최저주거기준 미달가구비율(%)		인구주택총조사	1995~2005
사회 경제	소득수준	1인당 주민세 소득세할(천원/인)		지방세정연감	2000~2009
	재정자립도	재정자립도(%)		통계청	2001~2009
	기초생활수급가 구비율	기초생활수급가구비율(%)		국민기초생활보장수급 자현황	2001~2009
	보건복지예산비중	일반회계중 보건·복지예산 비중(%)라)		지방세정연감	2004~2007
	범죄율	인구 천명당 범죄발생건수(건/천인)		경찰청범죄통계	2000~2007

- 나) 건강도시지표로서의 사망률은 4장에서 활용한 것과 같이 표준화사망률자료를 활용하였음. 인구부문 모형에서는 지역별 인구구조를 그대로 반영한 조사사망률 자료를 사용하고, 지표로서의 사망률은 성·연령 표준화 자료를 활용하는 것이 타당함
- 다) 모형에 활용된 개인의 건강 및 보건행태와 관련된 기본 자료는 지역사회건강조사 자료(<http://chs.cdc.go.kr/index.jsp>)를 활용하였으나, 이 자료는 1차 조사가 2008년에 시작된 것이므로 과거 추세를 살펴볼 수 없음. 이에 유사한 국내자료인 국민건강영양조사 자료(<http://knhanes.cdc.go.kr/>)를 활용하여 추세를 살펴보았음
- 라) '08년 일반회계 기능별 분류기준 변경으로 여기서는 보건·복지예산비중 대신 복지예산비중의 변화율을 활용하였음