

## 인구동태 마이크로 시뮬레이션 기술동향

Trends in Micro Simulation Technologies for Population Dynamics

안창원 (C.W. Ahn)	분석소프트웨어연구실 전문위원
최민석 (M.S. Choi)	미래사회연구실 선임연구원
배유석 (Y.S. Bae)	분석소프트웨어연구실 책임연구원
백의현 (E.H. Paik)	분석소프트웨어연구실 책임연구원
최은정 (E.J. Choi)	분석소프트웨어연구실 선임연구원
김기호 (K.H. Kim)	분석소프트웨어연구실 책임연구원

\* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신-방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음(10047117, 실시간 인구현황 파악 및 전망과 경제·사회 현상의 분석·예측을 위한 분산 병렬 다차원 인구 마이크로 시뮬레이션 기술 개발).

2000년대 후반에 들어서, 경제·사회현상을 분석, 예측하기 위한 마이크로 시뮬레이션(Micro Simulation) 기술이 미래 핵심기술로 등장하고 있다. 마이크로 시뮬레이션을 적용하면 각 분야별 쟁점 과제에 대한 다차원 정책실험을 수행할 수 있으며, 이를 통하여 중장기적인 전략설정과 더불어 단기적인 정책수립에 대한 의사결정이 가능해진다. 복잡한 사회현상의 본질을 파악하고 여러 가지 정책적 대안을 실험해 볼 수 있는 마이크로 시뮬레이션 기술을 소개하고, 저출산, 고령화 등 사회변화에 선제적으로 대응하는 정책적 대안을 실험할 수 있는 인구동태 마이크로 시뮬레이션 기술현황과 개발방향을 소개한다.

### 소프트웨어 기술동향 특집

- I. 서론
- II. 마이크로 시뮬레이션
- III. 인구 마이크로 시뮬레이션 모형
- IV. 행위자 기반 모델링 및 시뮬레이션 도구
- V. 결론

## I. 서론

우리 사회는 저출산, 고령화 문제 해소를 주요한 국정 과제로 삼고 있다. 한 국가사회의 인구문제는 거의 모든 국가정책의 기반이 되며, 인구변화는 정치, 경제, 사회 전반의 영역에 크고 작은 영향을 미친다.

일례로, 2013년 초에 발표된 자료에 의하면 국내 고혈압, 당뇨 유병자 규모가 현재 천만명을 넘어섰다고 한다. 의료비 부담은 상당수 가구가 빈곤으로 추락하거나 빈곤에 머물게 하는 원인이 되고 있다[1].

2010년의 경우 재난적 의료비(재난적 의료비는 소득 대비 의료비 비중이 가구의 생활수준을 위협할 정도를 의미, 여기서는 소득 대비 10% 기준을 사용) 발생비율이 저소득층 가구(1~3분위)의 30.6%, 전체 가구의 16.3%에 달하는 것으로 보고되었다.

고령화로 인한 질병구조가 변화되고 있어, 보다 능동적이고 선제적인 의료정책의 대응과 건강보험 정책의 변화가 요구되지만, 그간 의료정책은 인구구조 변화에 대비한 장기적 시각의 정책을 도모하지 못했다.

또한 사회보장 정책수립 시, 임신, 출산, 양육, 소득, 고용, 교육 등 국민 개개인의 특성을 반영한 정확한 인구현황 및 전망을 통하여 단기, 중기, 장기 사회보장 서비스 수요를 예측하고 관련 정책을 추진해야 한다.

하지만 거의 모든 분야에서 정부정책이 미래 우리사회 인구구조 변화에 대한 보다 정확한 탐색 없이 수립되고, 집행과정에서 뒤늦은 수정/변경으로 당초 정책목표와는 동떨어진 결과를 낳는 경우를 반복적으로 경험하게 된다.

2000년대 후반에 들어서, 복잡한 경제-사회현상을 분석, 예측하기 위한 마이크로 시뮬레이션 기술이 최근 컴퓨팅 능력의 확대로 다양하게 시도되고 있다.

마이크로 시뮬레이션을 적용하면 각 분야별 쟁점과제에 대한 다차원 정책실험을 수행할 수 있으며, 이를 통하여 중장기적인 전략설정과 더불어 단기적인 정책수립

에 관한 의사결정이 가능해진다.

근래 디지털화의 가속화로 데이터는 기하급수적으로 증가하고 있으며, 데이터의 활용이 정부 3.0을 구현하기 위한 핵심 이슈로 부각하고 있다. 대용량의 데이터를 저장하고, 처리·분석하는 가장 주된 목적은 의사결정자에게 정확한 정보를 제공하여 정책수립과 실행조치의 적확성을 향상시키는 것이다.

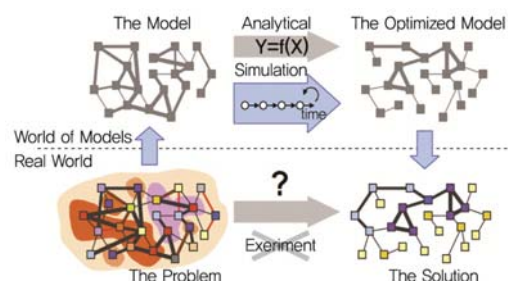
본고에서는 복잡한 사회현상의 본질을 파악하기 위한 마이크로 시뮬레이션 기술을 소개하고, 저출산, 고령화 등 사회변화에 선제적으로 대응하는 정책적 대안을 실험할 수 있는 인구동태 마이크로 시뮬레이션 기술현황 및 개발 방향을 소개한다.

## II. 마이크로 시뮬레이션

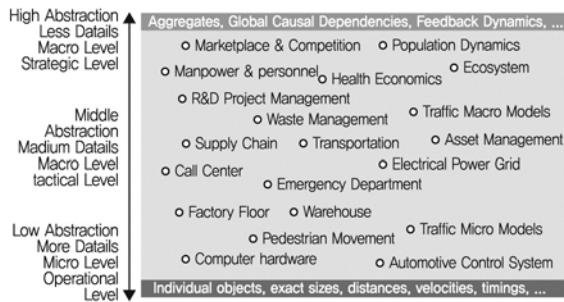
모델링 및 시뮬레이션은 현실세계에서 일어나는 문제를 분석하고 해결하는 방법이다. 실세계를 대상으로 원형을 만들고 실험을 하는 것은 비용이 매우 클 뿐만 아니라 실험 자체가 불가능한 경우가 대부분이다.

반면에 모델링은 현실을 추상적 모형으로 모사하고 분석하여 모형에서 해결책을 찾기 때문에 비용 면에서 매우 유리하다. (그림 1)과 같이 모델링은 분석적 모형을 이용하는 경우와 시뮬레이션을 이용하는 경우로 구분할 수 있다.

시간의 흐름에 따라 동적으로 변화하는 복잡한 문제



(그림 1) Analytical(Static) and Simulation(Dynamic) Modeling



(그림 2) 추상화 수준에 따른 시뮬레이션 응용분야

를 분석하기 위해서는 시뮬레이션 방법이 컴퓨팅 능력의 비약적인 발전으로 가능한 대안으로 등장하고 있다 [2].

전 세계의 날씨는 경제든 그 어떤 복잡한 시스템이라도 그것을 이해하기 위한 유일한 방법은 모형을 이용하는 것이며, 엄밀한 접근을 위해서는 모형화(modeling)를 통한 분석이 매우 중요하다. 특히 시뮬레이션을 통한 동적 분석은 결과론적인 인과/상관관계를 파악하는 것에 그치는 것이 아니라, 시간에 따른 동적인 변화를 파악할 수 있어 우리가 살아가고 있는 실세계를 이해하는데 필수적인 도구가 된다.

(그림 2)는 추상화 수준에 따라 시뮬레이션 모델링이 효율적으로 적용될 수 있는 문제영역을 보여준다[2].

Guy Orcutt이 1957년 발표한 논문에서 마이크로 시뮬레이션 모형은 개별적인 입력과 출력을 가지고 서로 상호작용하는 다양한 유닛(Unit)으로 구성되어 있어, 주어진 외부 조건과 정부정책으로 인한 변화를 탐색하는데 사용될 수 있다고 주장하였다[3].

이와 같은 새로운 접근 방법은 컴퓨팅 능력의 부족과 활용 가능한 데이터의 제한으로 초기에는 활용되지 못하였으나, 컴퓨팅 기술의 괄목할만한 진보와 데이터의 축적, 그리고 정보의 공유로 인해 마이크로 시뮬레이션 기술의 활용이 점증하고 있다. 2005년도에 ‘국제 마이크로 시뮬레이션 협회(International Micro-simulation Association)’를 설립하기에 이르렀으나, 비약적인 컴퓨팅 기술 발전과 데이터 가용성에도 불구하고 마이크로

시뮬레이션 프로젝트는 여전히 많은 시간과 대규모 자원의 투자를 요구한다.

마이크로 시뮬레이션은 사람 또는 차량과 같은 개별 유닛 단위를 기반으로 시스템을 구성하고 유닛 단위의 상호 작용을 관찰하여 전체 시스템을 이해한다. 유닛은 개별적이고 자율적이며, 유닛 간의 상호작용은 확률 모형에 의해 행태가 결정된다.

마이크로 시뮬레이션은 사람, 가족, 차량, 기업 등과 같은 개별 유닛 수준으로 동작하는 모델링 기법이며, 개별 유닛은 일련의 속성(개인의 경우, 성별, 나이, 결혼 여부, 임금 등)을 가진 독립적인 개체로 일부 속성값은 확률적인 규칙에 따라 시간이 지남에 따라 상태가 변이한다.

일반적으로 마이크로 시뮬레이션을 적용하기 위해서는 많은 수의 샘플(유닛)이 필요하다. 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 구체적인 초기 조건이 요구되며, 전체 시스템의 특성을 반영하기 위해서는 모든 속성값 조합에 대해 충분한 수의 샘플(유닛)이 필요하며, 유닛 수에 따라 필요한 저장공간의 크기, 데이터 분석을 통한 모형 개발, 그리고 시뮬레이션 수행시간도 급격히 증가한다.

마이크로 시뮬레이션의 종류는 다양한 차원에서 구별이 가능하다. 주로 산술적 모형과 행태적 모형 또는 정태적 모형과 동태적 모형으로 구분할 수 있다.

산술적 마이크로 시뮬레이션은 세금, 수익, 임금의 변화에 대응한 분배와 예산변화를 추정하기 위해 활용되며 정책변화에 따른 개인의 행태적 반응은 무시한다. 이에 반해 행태적 마이크로 시뮬레이션은 정책변수의 수정에 따른 개개인의 행태변화를 고려한다.

정적 마이크로 시뮬레이션 모형은 시간상에서 특정 시점 또는 몇 개의 시점에 대해서만 분석을 수행할 뿐, 시간에 따라 변화를 일으키는 과정은 모델링하지 않는다. 한편 동적 마이크로 시뮬레이션 모형은 매 시점마다 개별 유닛에 정의되어 있는 특성값을 갱신하며, 확률적 또는 결정적 알고리즘을 기반으로 모형을 구축한다[4].

### III. 인구 마이크로 시뮬레이션 모형

마이크로 시뮬레이션은 1957년 미국의 Orcutt에 의해 처음 그 가능성이 제기된 이후 1990년대 이후부터 1) 컴퓨팅기술의 비약적인 발전과 2) 분석 가능한 미시 데이터의 축적 증가, 그리고 3) 미시적 차원의 정책 분석 필요성 증대 및 가능성 인식으로 인해 미국과 캐나다, 영국, 호주 등의 소위 선진국들을 중심으로 발전해 왔다.

(그림 3)에서 보는 바와 같이, 미국의 Urban Institute에서 최초로 DYNASIM I과 II를 개발했으며, 이후 코넬 대학의 CORSIM과 캐나다 통계청의 DYNACAN과 스웨덴의 SVERIGE가 만들어지는데 영향을 주었다. 미국에서는 이후 POLISIM과 DYNASIM III로 이어졌다. 한편, 영국의 LIFEMOD를 시작으로 해서 유럽 각국에서 다양한 마이크로 시뮬레이션 모형이 개발되었다. 또 유럽의 모형들을 호주의 DYNAMOD와 APPSIM의 개발에 영향을 주었다.

미시(Micro) 인구 시뮬레이션은 기존의 전통적인 거시(Macro) 인구 시뮬레이션과 다음 2가지 관점에서 구별된다. 대상 인구에 대한 합산된 데이터가 아니라 개인 단위 수준으로 처리되며, 평균 예측치가 아니라 반복적인 무작위 실험을 기반으로 결과를 산출한다.

1990년대 OECD 국가를 중심으로 정책이 유발하는 인구변화 및 경제적인 변화를 연구하기 위해 다양한 마이크로 인구 시뮬레이션 모형이 개발되었으며, 국가별

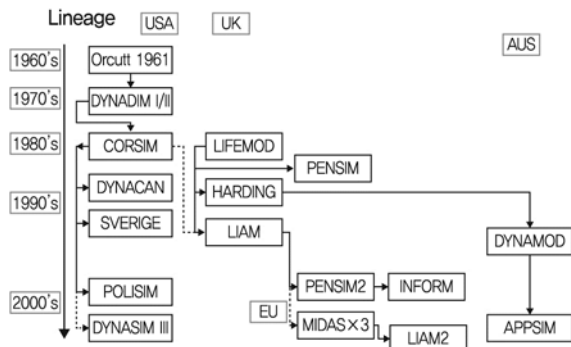
〈표 1〉 주요 국가별(인구) 마이크로 시뮬레이션 모형 개발현황[5]

국 가	마이크로 시뮬레이션 모형
미국	DYNASIM I/II/III, CORSIM, CBOLT, FEM, MINT, PENSIM, POLISIM, PRISM, PSG
캐나다	LifePaths, DYNACAN, DEMOSIM, DEMOGEN, SPSPD/M, POHEM, XEon, HealthPaths
영국	IFS Model, INFORM, LIFEMOD, Long Term Care Model, PENSIM1/2, SAGE, LIFEMOD, SimBritain
아일랜드	Dynamic Model, SMILE, LIAM I/II
프랑스	DESTINE I/II, GAMEO
독일	MICSIM, MicMac, Sfb3
이태리	ANAC, CAPP_DYN, DYNAMIC TUSCAN, DYNAMITE, LABORsim, MIND, Tdymm, Italian Cohort
네덜란드	MEDYMAS, SADNAP
벨기에	MIDAS, Pensions Model
스위스	UrbanSimE(FP7 SustainCity)
오스트리아	FAMSIM
스웨덴	IFSIM, MICROHUS, SESIM, SVERIGE, MiMESIS, MOSES, Swedish Cohort
노르웨이	MOSART1/2/3
체코	Czech Republic Model
슬로베니아	DYPENSI(SIPEMM)
호주	APPSIM, DYNAMOD I/II, HARDING, HouseMod, Melbourne Cohort
뉴질랜드	MIDAS
일본	INAHSIM, PENMOD, Japanese Cohort
브라질	BRALAMMO
대한민국	MMESP, KMAP, KIPFSIM

시뮬레이션 모형은 〈표 1〉과 같다.

여러 국가의 모형 중에서 미국과 캐나다, 영국, 호주, 일본 모형을 소개하고자 한다[6].

미국은 마이크로 시뮬레이션을 세계에서 가장 먼저 마이크로 시뮬레이션 모형을 개발해서 사용했으며 여러 기관에서 다양한 모형을 개발해서 실제 이용하고 있다. 특히, 다른 국가에서 개발한 모형의 원형으로서 거의 모든 모형에 영향을 주고 있다. 다만, 이들 모형에 대한 공개자료가 부족해서 세부적인 개발내용까지 파악하기 어렵다는 단점이 있다.



(그림 3) 마이크로 시뮬레이션 모형의 발전과정

캐나다는 통계청을 중심으로 마이크로 시뮬레이션 모형을 지속적으로 개발해오고 있다. 캐나다 연방정부와 지방정부의 공무원들이 통계청이 개발한 마이크로 시뮬레이션 모형을 이용해서 정책분석을 실시할 수 있도록 별도의 정책분석 모형을 개발해서 교육하고 있다. 다양한 모형뿐만 아니라 모형 개발을 위한 별도의 언어까지 포함한 개발 패키지를 함께 개발해서 운영하고 있다는 점에 다른 국가들보다 앞서 있다. 모형 개발과 정책분석 지원, 그리고 개발 패키지 지원 등은 본 연구개발 과제에서 마이크로 시뮬레이션 모형 개발과 함께 시뮬레이션 플랫폼을 구축한다는 점에서 벤치마킹해야 할 필요가 있는 대상이다.

유럽에서는 영국이 선도적으로 그리고 지속적으로 다양한 모형을 개발해서 발표하고 있다. 그 중에서도 SAGE 모형의 경우, NetLogo 구현된 간단한 모형이 공개되어 있어 참고할 만하다.

호주의 마이크로 시뮬레이션 역사는 현재 캔버라 대학의 NATSEM(National Center for Social and Economic Modelling)을 설립한 Ann Harding 교수의 연구에 기초하고 있다. 1993년에 센터를 설립하고 20여 년간 호주 마이크로 시뮬레이션 모형을 지속적으로 개발하고 있다. 호주 NATSEM은 개방적인 정책을 취하고 있어, 마이크로 시뮬레이션에 관한 다양한 자료를 공개하고 있다.

일본의 마이크로 시뮬레이션 모형은 20여 년 전부터 시작되었지만 우리나라와 마찬가지로 널리 사용되고 있지 않다. 일본과 우리나라의 사회구조와 가족문화가 비슷하다는 점을 감안할 때 우리 현실을 반영한 모형을 개발하는데 좋은 참고자료가 된다.

## 1. 미국의 마이크로 시뮬레이션

### 가. DYNASIM

DYNASIM은 마이크로 시뮬레이션 분야의 창시자인

Orcutt와 'Urban Institute' 동료들이 개발한 마이크로 시뮬레이션의 효시라고 할 수 있는 모형이다.

출생, 사망, 이민 유입/전출, 혼인/재혼/이혼, 자녀의 독립, 교육, 장애, 노동시장 참여, 직업 변경, 연금 수령, 은퇴, 사회복지 급여 수령 등의 생애주기 이벤트를 포함하고 있다.

초기 모형에서는 위의 이벤트들이 하나의 모형에서 작동했지만, DYNASIM2에서는 가족 및 수입 이력 모형(FEH: Family and Earnings History Model)과 직업 및 사회복지 이력 모형(JBH: Job and Benefit History Model)로 구분해서 구성되었다.

### 나. CORSIM

미국의 코넬 대학에서 1987년부터 개발하기 시작한 마이크로 시뮬레이션 모형이다. 미국 사회보장청(US Social Security Administration)의 업무를 보조하기 위해 개발된 것으로, DYNASIM과 DYNASIM2의 구조를 기본 골격으로 사용했다.

1960년 미국 센서스 데이터 중 공개된 180,000명의 마이크로 데이터를 기본 데이터로 사용하고 있으며, 약 1,100개의 수식과 7,000개의 파라미터를 사용하는 매우 복잡한 모형이다. 개인의 자산/채무에 모듈도 포함하고 있다.

## 2. 호주의 마이크로 시뮬레이션

### 가. DYNAMOD

DYNAMOD는 호주에서 개발한 마이크로 시뮬레이션 모형으로, 약 50년 후의 상황을 예측하는 것을 목표로 하고 있다. 실제 활용 가능한 최소 버전은 DYNAMOD2인데, 1986년 센서스 데이터의 1%를 기본 데이터로 사용하고 있으며, DYNASIM2의 구조를 기본 골격으로 사용하였다.

시뮬레이션 단위를 월 단위로 하여 연속시간에 근접하게 시뮬레이션이 이루어졌으며, 생존 함수(survival function)를 사용해서 이벤트가 발생할 시점을 추정하는 것이 특징적이다.

#### 나. APPSIM

2005년부터 호주의 13개 정부기관으로부터 재원을 지원받아 캔버라 대학의 NATSEM에서 개발한 모형이다. 2010년 3월에 베타 버전을 공개했고, 현재 업그레이드 작업을 진행하고 있다.

APPSIM은 2001년의 센서스 데이터의 1% 샘플, 즉 188,000명의 샘플을 마이크로소프트사의 액세스 데이터베이스에 저장하고, 멜버른 대학교에서 2001년부터 실시하고 있는 HILDA(The Household, Income and Labour Dynamics in Australia) 패널조사의 5년간 데이터를 기반으로 상태 변화의 확률을 결정하는 모수(Parameter)를 추정해서 MS 엑셀 스프레드시트로 저장한 후에 2050년까지의 호주 전체 인구를 예측한다.

### 3. 캐나다의 마이크로 시뮬레이션

#### 가. LifePaths

LifePaths는 1994년부터 개발된 캐나다 인구 및 가구의 통시적 변화를 분석하기 위한 마이크로 시뮬레이션 모형으로, 캐나다 통계청의 다른 마이크로 모형의 근간이 된다.

LifePaths는 다른 인구통계 마이크로 시뮬레이션 모형과 마찬가지로 생애주기를 일련의 사건(event)들의 집합으로 정의하고 있다. LifePaths의 출력파일은 개인이나 가구별 최종 상태와 상태 이력 등에 관한 데이터베이스 형태로 구성된다.

LifePaths는 배우자 선택에 있어 열린 모형(open model)을 채택하였다. 기존의 개체들 중에서 하나를 선택하여 배우자 관계를 설정하는 것이 아니라, 결혼상태만 변경

하는 것으로 가정한다. 이에 반해 닫힌 모형(closed model)은 기존 개체들 중 하나를 배우자로 선택하여 관계를 설정하기 때문에 배우자 선택에 대한 모형의 연동이 요구된다.

LifePaths의 기준 연도는 1972년이다. 1872년에 태어난 사람부터 1971년에 태어난 사람까지 각각 0세부터 99세까지의 인구구성을 바탕으로 1972년부터 현재 그리고 향후 50년을 예측한다.

#### 나. DYNACAN

DYNACAN은 캐나다 연방정부에서 캐나다 연금관리 정책수립을 보조하기 위해 마련한 마이크로 시뮬레이션 모형이며, 1994년에 연방 정부에서 개발사업 심사를 통과한 후에 5년 계획으로 진행된 프로젝트이다.

미국 코넬 대학에서 개발한 CORSIM 2.0을 기본 모형으로 채택하였고, 캐나다에 적합한 데이터베이스를 구축하고 시뮬레이션 모형을 수정하는 작업을 시작해서 1998년에 버전 1.0을 완성하였다.

DYNACAN의 목적은 캐나다 연방정부의 연금정책이 캐나다 국민과 그 가정에 미치는 영향을 분석하는 것이었으며, 장기적으로는 연금을 고려한 캐나다 가구의 은퇴 소득을 추정하는 것이었다.

LifePaths에서와 마찬가지로 DYNACAN의 기본 단위는 개인과 가구이며, 기업이나 산업은 포함하고 있지 않다. 시뮬레이션의 개인 샘플은 1971년 인구센서스의 1%를 추출한 총 213,000명이다. 각 개인의 생애주기는 십여개의 이벤트로 구성되어 있다. 기본적인 시뮬레이션 기간은 1971년부터 2030년까지 60년간이지만 그 기간을 2100년까지 확장할 수 있다.

### 4. 일본의 마이크로 시뮬레이션

INAHSIM은 1986년부터 개발이 시작된 마이크로 시뮬레이션 모형으로 1986년 초기 버전에서는 인구와 가구

의 기본적인 변화, 즉 출생과 사망, 혼인과 이혼 등의 인구변화 모듈만을 포함하고 있었다.

2005년의 2차 버전으로의 업데이트를 통해 기존 모듈에 건강, 경제활동 상태, 수입 등의 모듈이 추가되었으며, 2008년의 가장 최신 버전에서는 공적 연금 모듈까지 확장되었다.

INAHSIM의 최신 버전(v3.7)에서는 인구모듈(출생, 사망, 결혼, 이혼, 국제이동)을 비롯해서 건강상태(change in need for long-term care), 고용상태(change in employment status), 소득 추정(estimating earnings), 연금 수급자의 연금 수령액 결정(determining pension benefit and benefit adjustment), 자녀의 독립 및 귀환(leaving or returning home), 노부모 봉양(living with elderly parents), 요양시설 이용(entering an institution), 연금 납입 및 납세(pension contribution and taxation)의 모듈이 포함되어 있다.

## 5. 영국의 마이크로 시뮬레이션

SAGE(Simulating Social Policy for an Ageing Society) 모형은 영국정부의 지원으로 1999년 11월에 발표된 모형이다.

SAGE NetLogo 모형은 영국 가구패널조사(BHPS: British Household Panel Survey)의 1991년 데이터를 기준 데이터로 사용하고 있으며, 이 데이터에는 총 5,500 가구의 136,000명의 개인에 관한 정보를 포함하고 있다.

이 모형은 사망 모듈부터 시작해서 출생, 출가, 이혼, 동거 중단, 동거 시작, 결혼, 연령 증가, 이혼 또는 동거 종료 후 귀가, 모든 에이전트의 귀가, 아이의 귀속 모듈로 구성되어 있다.

## IV. 행위자 기반 모델링 및 시뮬레이션 도구

행위자 기반 모델링 및 시뮬레이션(ABMS: Agent-

Based Modeling & Simulation) 도구는 다이나믹한 복잡계(complex system)를 모델링하고 시뮬레이션하여 특정한 패턴을 보이는 창발(emergence) 현상을 관찰하기 위한 강력한 도구이다.

현재 미국 아르곤 국립 연구소의 Repast HPC처럼 대규모 시스템에 적합한 계산 능력을 제공하는 ABMS를 개발하는데 많은 관심이 집중되고 있으며, 군중 행위(crowd behavior), 도시 시뮬레이션(urban simulation), 교통 흐름(traffic flow), 공급 체인(supply chain) 등의 소셜 시뮬레이션(social simulation)이나 최적화 문제(optimization problems) 등을 해결하는데 많이 사용되고 있다. <표 2>는 대표적인 행위자 기반 모델링 & 시뮬레이션 도구 4가지를 비교 분석하였다[7].

NetLogo는 가장 배우기 쉽고 사용하기 쉽지만 대규모 복잡한 모형에는 사용하기 부적합하며, MASON은 Repast보다 시뮬레이션 속도가 빠르지만 사용자 기반이 적다. SWARM은 프로그래밍하기가 쉽지 않고 사용자 기반이 점점 줄어들고 있음을 알 수 있다.

### 1. SWARM

SWARM은 복잡계를 위한 멀티에이전트 시뮬레이션 도구로, 행위자의 상호작용과 창발적으로 발생하는 집합적인 행위를 시뮬레이션하는 데에 유용하다.

SWARM은 복잡 적응계의 멀티 에이전트 시뮬레이션을 위해 1994년 산타페 연구소(Santa Fe Institute)에 의해 개발되었으나, 1999년 이후로 비영리 SWARM 개발자 그룹에 의해 유지되어 왔다.

SWARM 시스템에서 SWARM은 시뮬레이션을 위한 기본 유닛으로, 스케줄에 따른 액션을 수행하는 행위자의 집합으로, 행위자들은 다른 행위자의 SWARM에 내포될 수 있는 구조로 계층적인 모델링을 지원한다. SWARM에서는 모형을 생성하고 분석하고 디스플레이 하며 실험을 제어하기 위해 재사용 가능한 컴포넌트의

〈표 2〉 주요 ABMS 시뮬레이션 도구 비교

	SWARM	RePast	MASON	NetLogo
License	GPL	GPL	GPL	Free, but not open source
Documentation	Patchy	Limited	Improving, but limited	Good
User base	Diminishing	Large	Increasing	Large
Modeling language(s)	Objective-C, Java	Java, Python	Java	NetLogo
Speed of execution	Moderate	Fast	Fastest	Moderate
Support for graphical user interface development	Limited	Good	Good	Very easy to create using "point and click"
Built-in ability to create movies and animation	No	Yes	Yes	Yes
Support for systematic experimentations	Some	Yes	Yes	Yes
Ease of Learning and Programming	Poor	Moderate	Moderate	Good
Ease of Installation	Poor	Moderate	Moderate	Good
Link to geographical information System	No	Yes	Yes	Yes

〈자료〉: Gilbert, 2008.

객체지향 라이브러리를 제공한다.

인공적인 삶(Artificial Life)에 영향을 받아 SWARM은 생물학적인 현상을 관찰하기 위한 메커니즘을 추론을 시작으로 생물학적 시스템(biological system)을 연구하기 위해 설계되었다. 또한, SWARM은 생물학적 시스템 모델링 외에 인류학, 컴퓨터 사이언스, 생태학, 경제학, 지리학, 정치과학 목적을 위한 모형을 개발하기 위해 사용되었다.

Ascape나 Repast 등 많은 도구들이 SWARM의 영향을 받아서 개발되었다.

## 2. RePast

Repast는 2000년 시카고 대학에서 개발이 시작되어 현재는 아르곤 국립 연구소(ANL: Argonne National Laboratory)에서 확장개발 및 유지보수되고 있는 행위자 기반 시뮬레이션 도구로, 범용적인 개발도구인 Repast Symphony와 고성능 시스템을 위한 Repast HPC(High Performance Computing)의 2가지 버전이 계속적으로 업데이트 관리되고 있다.

현재까지의 최종 버전은 2014년 6월에 릴리즈된 Repast Symphony 2.2와 Repast HPC 2.0 버전이다. Repast Symphony는 Java, Groovy, ReLogo 등 다양한 언어를 이용한 모델링과 객체지향 모형 개발을 지원한다. 또한, Repast Symphony는 GUI 기반의 상호작용적인 시뮬레이션 수행환경을 제공하며, 행위자(Agent)와 행위자가 영향을 미치는 공간(Projection)을 하나의 컨텍스트(Context)로 정의하여 행위자 기반 모델링을 지원한다.

## 3. MASON

MASON(Multi-Agent Simulation of Neighborhoods or Networks)은 조지 메이슨 대학(George Mason University)의 Evolutionary Computation Laboratory과 Center for Social Complexity의 공동 프로젝트로 진행되었다.

자바로 만들어졌으며, 속도가 빠르고 확장이 용이한 이산 사건 멀티 에이전트 시뮬레이션 라이브러리로, 모형 라이브러리 및 선택 사항인 2D/3D 시각화 도구를 포



함한다.

주요 특징으로는 100% 자바로 구현되어 있으며, 빠르고, 이식성이 좋고 매우 작으며, 모형의 추가, 삭제, 변경이 손쉬우며, 시각화와 완전히 분리되어 있다. 모형은 체크포인트 기능이 제공되어 복구될 수 있으며, 동적으로 다른 플랫폼으로 이식될 수 있고, 플랫폼에 제약이 없어 항상 동일한 결과를 제공한다. 출력 결과에 대하여 스냅샷이나 동영상, 차트, 그래프, 출력 데이터 스트림을 생성할 수 있다.

#### 4. FLAME

FLAME(Flexible Large-scale Agent Modeling Environment)은 하나의 시뮬레이션 환경에서 폭넓은 범위의 행위자 모형과 비행위자 모형을 허용하기 위해 영국 쉐필드 대학의 Simon Coakley의 주도하에 개발되었다.

이후 STFC Rutherford Appleton Lab과 협력하여 MPI와 OpenMP를 사용하는 HPC 시스템상에서 대규모 행위자 시뮬레이션을 지원하도록 확장되었고, 쉐필드 대학의 Paul Richmond에 의해 대규모 에이전트로 구성된 복잡계 시스템을 3D로 시뮬레이션하기 위해 NVidia CUDA 기반의 FLAMEGPU가 개발되었다.

조직 배양(tissue culture)이나 신호 전달(signaling pathways) 등의 의학과 생물학에 주로 사용되었으며, 재정 모델링(financial modeling)을 위한 EURACE 프로젝트에도 사용되었다.

FLAME 기반의 EURACE 경제 모형은 대규모 복잡계 모형으로 노동시장, 소비상품 시장, 투자상품 시장, 신용시장, 재정시장, 회사 재무관리 역할(Firm's financial management role), 정부(Government), 유로셋 (Eurosat)의 8개의 모듈로 구성되어 있다.

#### 5. GAMA

GAMA(GIS and Agent-based Modeling Architec-

ture)는 IRD(Institute of Research for Development) 연구소를 중심으로 GIS를 연계한 다양한 프로젝트에 사용된 시뮬레이션 도구이다.

지리적인 데이터와 GIS를 통합하여 시간, 공간, 행위를 포함하는 다수준 모델링을 지원한다. 또한, 모델링을 위한 GAML(GAMA Modeling Language) 언어와 GUI 기반의 통합적 개발환경인 IDE를 제공하며, 2D/3D 기반의 시뮬레이션 시각화 도구를 제공한다.

현재 버전 1.6.1까지 개발되었으며, ESSA(European Social Simulation Association) 2012에서는 GAMA에 관한 튜토리얼을 진행하였다. 2013년 10월에 배포한 1.6 버전에서는 대규모 모형을 위한 성능 향상과 GAML 언어의 단순화 및 버그를 수정하였다.

#### V. 결론

“인간은 미래를 생각하는 유일한 동물”이라고 한 대니얼 길버트의 말처럼, 인간은 늘 미래를 생각해왔다. 과거에 대한 기록인 역사가 미래를 비추는 거울이라고 하는 역설이 우리에게 당연하게 받아들여지는 것은 우리의 모든 행동이 궁극적으로는 다가오는 미래를 알고자 함이라는 것을 반증하는 것이다.

최근 빅데이터에 대한 관심이 증폭되는 것도 마치 빅데이터가 미래를 알려주는 마법 구슬처럼 묘사되고 있기 때문이다. 디지털화의 가속화로 데이터는 기하급수적으로 증가하고 있다. 대용량의 데이터를 저장하고, 처리 분석하는 가장 주된 목적은 의사결정자에게 인사이트(Insight)와 포어사이트(Foresight)를 제공하여 정책 수립과 실행조치의 적확성을 향상시키는 것이다.

보다 정확한 정부정책을 수립하고 집행하기 위해 필요한 정보화 체계 구축방향 및 실행전략으로 빅데이터가 주목을 받고 있으나, 뉴턴의 기계론적 사고체계로 인해 미래의 복잡한 변화를 탐색하는 부분은 간과되고 있다.

활용할 수 있는 데이터(Data)로부터 예측 모형(Predictive

Models)을 찾아내고, 모형을 활용한 시뮬레이션을 기반으로 의사결정 분석(Decision Analysis)을 수행하는 일련의 연계 활동이 지속적으로 반복되어야 한다.

최근 기획된 유럽의 'FuturICT' 프로젝트는 초대규모 모델링/시뮬레이션 기술개발이 주요 목적으로 국가적 현안을 해결하기 위한 시도로 우리에게 좋은 참조 모형이 된다.

## 약어 정리

ABMS	Agent-Based Modeling & Simulation
ANL	Argonne National Laboratory
BHPS	British Household Panel Survey
ESSA	European Social Simulation Association
FEH	Family and Earnings History Model
FLAME	Flexible Large-scale Agent Modeling Environment
GAMA	GIS and Agent-based Modeling Architecture
GAML	GAMA Modeling Language
HILDA	The Household, Income and Labour Dynamics in Australia
IRD	Institute of Research for Development
JBH	Job and Benefit History Model
MASON	Multi-Agent Simulation of Neighborhoods or Networks
MASS	Multi-Agent Simulation Suite

NATSEM	NATIONAL center for Social and Economic Modelling
SAGE	Simulating Social Policy for an Ageing Society

## 참고문헌

- [1] 윤희숙, “고령화를 준비하는 건강보험 정책의 방향,” KDI, 경제동향, 2013.
- [2] A. Borshchev and A. Filippov, “From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools,” *International Conf. Syst. Dynamics Soc.*, no. 22, July 2004.
- [3] G.H. Orcutt, “A New Type of Socio-Economic System,” *The Review of Economics and Statistics*, vol. 39, no. 2, May 1957, pp. 116-123.
- [4] L. Brown and A. Harding, “Social modeling and public policy: Application of microsimulation modeling in Australia,” *J. Artificial Soc. Social Simulations*, vol. 5, no. 4, 2002.
- [5] J. Li, “Dynamic Microsimulation for Public Policy Analysis,” Doctoral Dissertation, Maastricht University, 2011.
- [6] S. Ravulaparthi and K. G. Goulias, “Forecasting with Dynamic Microsimulation: Design, Implementation, and Demonstration,” University of California Transportation Center Working Paper, UCTC-FR-2011-07, May 2011.
- [7] M. Abdou, L. Hamill, and N. Gilbert, “Designing and building an agent-based model,” *Springer Netherlands*, 2012, pp. 141-165.