

시스템다이내믹스 기반의 다세대 확산 수요 예측 : 이동통신 가입자 수요 예측 적용사례

송희석* · 김재경**

Forecasting Multi-Generation Diffusion Demand based on System Dynamics : A Case for Forecasting Mobile Subscription Demand

Hee Seok Song* · Jae Kyung kim**

Abstract

Forecasting long-term mobile service demand is inevitable to establish an effective frequency management policy despite the lack of reliability of forecast results. The statistical forecasting method has limitations in analyzing how the forecasting result changes when the scenario for various drivers such as consumer usage pattern or market structure for mobile communication service is changed. In this study, we propose a dynamic model of the mobile communication service market using system dynamics technique and forecast the future demand for long-term mobile communication subscriber based on the dynamic model, and also experiment on the change pattern of subscriber demand under various scenarios.

Keywords : Forecasting, Mobile Service Demand, System Dynamics, Sensitivity Analysis, Multi-Generation Diffusion Model

Received : 2017. 06. 06. Revised : 2017. 06. 28. Final Acceptance : 2017. 06. 28.

* Department of Global IT Business in Hannam University, e-mail : hssong@hnu.kr

** Corresponding Author, Department of Global IT Business in Hannam University, 133, Ojungdong, Daedukgu, Daejeon, 34430,
Tel : +82-42-629-7684, e-mail : drj@hnu.kr

1. 서 론

이동통신 서비스는 스마트폰의 보급 및 확산, 통신기술의 세대 진화 과정을 통해 급격한 트래픽 증가를 경험하였다. 이동통신 서비스는 제한된 주파수 자원을 기반으로 이루어지기 때문에 중장기 이동통신 트래픽을 사전에 예측하여 필요한 주파수를 확보하는 등의 준비는 필수 불가결한 일이다. 특히 수년 내 5G의 상용화, UHD 및 SUHD급의 고화질 방송으로의 전환 등 미래 이동통신 트래픽의 증가가 확실시 되는 가운데, 이러한 트래픽의 폭증에 대비하여 제한된 주파수 자원에 대한 효율적인 관리와 보급 확대가 어느 때 보다 절실한 상황이다. 미래 중장기 이동통신 서비스 수요의 예측은 복잡적이고 다양한 불확실성이 내재되어 있어 예측결과의 신뢰성부족 문제가 제기됨에도 불구하고 효과적인 주파수 관리 정책 수립을 위해서는 피할 수 없는 일이다.

미래 중장기 이동통신 수요 예측을 위한 방법은 다양하게 존재하나 몇 가지의 설명변수를 이용하여 미래 트래픽을 예측하는 데는 한계가 존재하기 때문에 이제까지의 예측 방법들은 대부분 확산모형 또는 시계열 자료에 근거한 통계적 예측 방법이 적용되어왔다. 이들 통계적 예측방법은 이동통신 서비스에 대한 소비자 이용패턴이나 시장의 구조 등 다양한 동인들에 대한 시나리오가 달라질 경우, 예측결과가 어떻게 변화하는지를 분석하는 데는 한계를 지닌다[Kim and Choi, 2009]. 이에 본 연구에서는 시스템다이내믹스 기법을 활용하여 이동통신 서비스 시장을 동태적 모델로 구성하고 이에 기반한 미래 중장기 이동통신 가입자 수요를 예측할 뿐 아니라, 다양한 시나리오 하에서 가입자 수요의 변화양상을 실험해 보기로 한다. 한편 기술적으로 정교하고 복잡한 방법이라고 해서 예측의 정확성이

높아지는 것은 아니다. 이는 정확한 예측을 위해 기술적으로 더 많은 설명변수를 추가할수록 더 많은 가정들이 내포되기 때문이다. 따라서 시스템다이내믹스 모형을 개발할 때 가급적 최소의 중요한 동인만을 추출하여 단순화된 모형을 구성하는 것을 기본 원칙으로 한다. 본 연구는 시스템다이내믹스에 기반하여 이동통신 서비스의 기술적 진화를 고려하는 예측 모형을 개발하는데 있으며 구체적인 연구목표는 다음과 같다. 첫째, 향후 10년간 누적 가입자 수를 예측하기 위한 시스템다이내믹스 모형을 개발하여 통계적 예측결과와 비교하여 모형을 검증해보는 것이다. 제시한 모형에서는 4G에서 5G로의 세대 진화를 고려하여 모형을 개발한다. 둘째, 개발된 모형을 각종 정책변수들이 변화되었을 때 가입자 수요 예측이 어떻게 달라질 수 있는지를 민감도 분석을 통해 확인하기로 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저 제 2장에서는 다세대 확산수요 예측을 위한 기존연구와 수요 확산과정을 시스템다이내믹스로 모형화한 연구문헌들을 조사하며, 제 3장에서는 시스템다이내믹스 기반의 이동통신 가입자 수요예측 방법과 이동통신 수요예측을 위한 시뮬레이션 모형을 제시하며, 제 4장에서는 시뮬레이션 모형의 타당성 검증 결과를 제 5장에서는 민감도 분석 결과를 요약한다. 마지막으로 제 6장에서는 시스템다이내믹스 기반의 다세대 확산수요 예측 방법을 이동통신 수요예측에 적용한 결과와 시사점을 정리하고 향후 연구방향을 제시한다.

2. 기존 연구

2.1 다세대 확산수요 예측 연구

본 장에서는 시스템다이내믹스 기반의 다세대 확산수요 예측 모형 개발을 위해 기존의 확산수요 예측에 관한 문헌을 살펴보기로 한다. 다세대 확산

제품이나 서비스의 수요를 예측하는데 가장 널리 활용되어 온 모형은 Norton and Bass[1987]에 의해 제시된 모형이다. 이 모형은 오직 외부요인인 매스미디어 커뮤니케이션과 내부 요인인 구전효과에 의해서만 확산이 이루어지는 Bass의 단일제품 확산모형에 비해 기존세대와 신세대 간의 대체 및 확산효과를 고려하고 있는 점이 다르다. 그러나 이 모형 또한 시간에 따라 신세대 제품이 확산되는 것을 기본 전제로 하고 있으며 소비자의 이용행태나 기업의 마케팅 변수들을 고려하지 못하고 있다는 단점이 지적되어왔다. 이러한 단점을 극복하기 위해 다양한 마케팅 변수를 다세대 확산모형에 반영하고자 한 시도가 나타났는데, Kamakura and Balasubramanian[1988], Padmanabhan and Bass[1993], Danaher et al.[2001] 등의 연구가 그러한 예이다. Kamakura and Balasubramanian[1988]는 가격요소를 모형에 반영하는 방법으로 가격이 잠재시장(Market potential)에 영향을 주는 모형과 가격이 확산율(Rate of diffusion)에 영향을 주는 모형을 각각 제시한 바 있다. Padmanabhan and Bass[1993]는 다세대 제품에 대한 최적의 가격전략을 탐색한 바 있으며, Danaher et al.[2001] 다세대 모형을 기반으로 마케팅 믹스의 효과를 반영하는 셀룰러폰 수요예측모형을 제시하고 다세대 확산에서 가격의 역할을 규명한 바 있다. 또한 Speece and MacLachlan[1995]는 구세대와 신세대 간 가격경쟁을 반영하기 위해 성장항목과 가격요인을 다세대 모형에 포함한 바 있으며, Kim et al.[2005]은 효용을 극대화하기 위한 고객의 선택행위를 제품확산 과정에 반영하는 선택기반의 대체 확산모형을 제안한 바 있다. 이 외에도 총인구, 가격, 광고비용, 소득 등의 외생변수에 의해 잠재시장규모가 달라질 수 있음을 반영한 모형으로 Niu[2006], Nguyen and Shi[2006], Duval and Biere[2002] 등이 있다. 이와 같이 기존연구에서 제시한 모형들은 통계학에 기반한 모형들로 소비자 이용

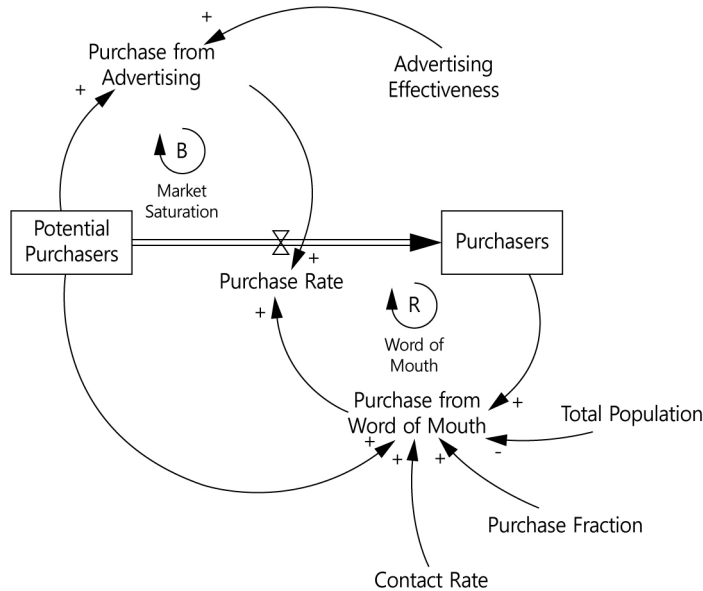
행태 또는 시장구조에 대한 새로운 변수가 추가되었을 때 어떻게 수요가 달라지는지를 설명하는데는 한계가 있다.

2.2 확산과정을 시스템다이나믹스로 모형화한 연구

Bass[1969]의 기본 확산모형은 혁신의 시장 확산과정을 전염병의 확산처럼 자연적인 과정으로 전제하여 혁신수요와 모방수요, 포화수준 등 간단한 파라미터만을 이용하여 수요확산을 예측할 수 있다는 장점을 가진다. Bass의 기본적인 확산모형은 <Figure 1>과 같은 방식으로 시스템다이나믹스 모형으로 표현할 수 있다고 하였다.

이 모형은 잠재구매자(Potential Purchasers), 구매자(Purchasers) 두 개의 저장변수와 구매율(Purchase Rate)이라는 한 개의 유량변수로 구성되어있다. 구매율은 혁신층의 구매를 유도하는 광고구매와 다수층의 모방구매를 유도하는 구전구매라는 두 개의 보조변수의 상호작용에 의해 결정된다. 광고구매는 광고효과성의 영향을, 구전구매는 총 인구(Total Population), 구매비율(Purchase Fraction), 접촉률(Contact Rate), 잠재구매자, 구매자의 영향을 각각 받게 된다. 이 모형은 구매자가 증가하면서 더 많은 구전구매를 유발하여 구매율을 증가시켜 더 많은 구매자가 생기는 강화 피드백구조(구매자 → 구전구매 → 구매율 → 구매자)와 잠재구매자가 많으면 광고구매 효과가 증가하여 구매율도 증가하게 되지만, 이는 다시 잠재구매자를 감소시키는 효과를 초래하는 음의 피드백구조(잠재구매자 → 광고구매 → 구매율 → 잠재구매자)를 포함하고 있다. 본 연구에서도 이동통신 세대별로 가입자 수의 확산과정을 예측하는데 이와 같은 방식으로 모형을 구성할 수 있다.

Bass의 확산모형은 혁신의 확산과정을 통제



Potential Purchasers = INTEG(-Purchase Rate, Total Population-Purchasers) (Units : Persons.)
 Purchasers = INTEG(Purchase Rate, 0) (Units : Persons.)
 Purchase Rate = Purchase from Advertising+Purchase from Word of Mouth (Units : Persons/Year.)
 Purchase from Advertising = Advertising Effectiveness×Potential Purchasers (Units : Persons/Year.)
 Purchase from Word of Mouth = Contact Rate×Purchase Fraction×Potential Purchasers (Purchasers/Total Population) (Units : Persons/Year.)

<Figure 1> System Dynamics Model for Diffusion Process

할 수 있는 가격, 광고비용, 구조적요인 등의 의사결정 변수들을 무시한다는 점에서 한계가 지적되고 있다[Milling 1996; Maier 1998]. 이러한 의사결정 변수를 모형에 반영하는 방법은 다양한 연구자에 의해 제시되고 있다. Ribinson and Lakhani[1975]는 확산모형에 가격을 고려한 수정된 모형을 제안한 바 있다. 이 모형을 이용하면 혁신의 확산과정에서 이윤을 최대화하는 최적가격의 결정이 가능해지며 가격의 점진적인 확산은 확산속도를 가속화하게 된다. 이외에 의사결정변인들을 모형에 반영하는 방법으로 Maier [1998]의 연구가 있다. Maier[1998]는 Bass의 확산모형을 토대로 상기의 여러 요소를 보완하는 모형을 구성하는 것은 다양한 변인간의 상호작용과 동적특성으로 인해 복잡성이 높아지므로 시스템다이내믹스를 활용하는 방법이 가장 효과

적임을 지적한 바 있다. 이 연구에서는 가격, 광고, 품질 등 의사결정 변수를 혁신수요와 모방수요를 결정하는 모수인 알파와 베타 값과 연계하여 동적 모형을 구성하는 아이디어를 제안하였다. 즉, 가격, 광고, 품질 등의 변인이 구매확률효과에 영향을 주고, 구매확률효과가 알파 및 베타 계수에 영향을 주는 방식으로 모형을 구성한 바 있다. 이외에도 MIT 대학에서는 확산모형에 의사결정 변수중 하나인 가격요소를 반영하는 과정에서 가격이 구매가능 인구에 영향을 주고, 구매가능 인구가 잠재고객에게 영향을 주는 방식으로 시스템다이내믹스 모형을 구성한 바 있다.

한편, Bass의 기본 확산모형[1969]의 또 다른 문제로 지적되는 것은 한 개의 혁신 또는 하나의 독점시장을 대상으로 함으로써 반복구매 또는 신세대 제품에 의한 대체 등을 모형에 고려하지

못하고 있다는 점이다[Maier 1998]. 이를 보완하기 위해 세대 간 교체를 포함한 확산모형이 제시되고 있다[Norton and Bass, 1987; Speece and MacLachlan, 1995; Kim et al., 2005; Niu, 2006; Nguyen and Shi, 2006; Duval and Biere, 2002; Kim and Choi, 2009; Kreng and Wang, 2013]. 새로운 방식의 수요를 예측하기 위해서는 기존 상품과의 관계를 고려해야 한다. 이는 새로이 등장하는 기술의 특성에 따라 신규 수요의 발굴 또는 기존 가입자들의 전환 양상이 다르기 때문에 신제품의 특성을 파악할 필요가 있다는 것이다. 기존 제품과 신제품의 경쟁 등을 고려하기 위해 본 연구에서는 Bass 확산모형의 변형인 Norton and Bass[1987]의 다세대(multi-generation) 확산모형을 이용한다. 세대 간 대체를 반영한 확산모형이 동일한 시장 내에서 경쟁을 반영한 확산모형과 다른 점은 대체모형에서는 두 세대 제품 간 시차가 존재한다는 점과, 경쟁모형에서는 경쟁으로 인해 채택률(Adoption rate)이 줄어드는데 반해 세대 간 대체모형에서는 후속세대 제품에 대한 채택률이 이전세대 제품에 비해 더욱 크게 나타난다는 점이다. 본 연구에서는 세대 간 진화가 포함된 다세대 확산모형을 시스템다이내믹스 모형으로 개발하기 위해 Maier[1998], Sterman[2000]의 시스템다이내믹스 기반의 세대 간 대체를 반영한 확산모형을 벤치마킹하여 이 모형에 각종 의사결정 변수를 추가하는 방식으로 모형을 구성하기로 한다.

3. 시스템다이내믹스 기반의 이동통신 수요예측 방법

본 연구는 시스템다이내믹스를 기반으로 향후 10년간의 중장기 이동통신 가입자 수 예측에 목표를 두고 있으며 이를 위해 다음과 같은 절차와 방법으로 연구를 진행하기로 한다. 우선 기존 이

동통신 트래픽 예측과 관련된 문헌 조사를 통해 트래픽 예측결과를 리뷰하고 트래픽의 증감을 유발한 요인들을 분석하기로 한다. 이렇게 추출된 요인들은 본 연구에서 시스템다이내믹스 모형을 구성하는 동인이 될 것이다. 둘째, 미래 이동통신 서비스 시장을 구성하는 동인들이 추출되면 이들 간의 인과관계를 살펴보고 어떤 피드백 구조가 존재하는지를 규명하게 된다. 셋째, 동인들 간의 인과관계와 피드백 구조가 파악되면 이에 기반하여 저유량도(Stock-flow diagram)를 작성하게 되는데 이때 기존 문헌조사를 통해 다양한 피드백 구조가 어떻게 시스템다이내믹스 모형으로 표현될 수 있는지를 벤치마킹함으로써 저자에 의한 주관적인 모형개발을 피하고 모형 구성의 객관성을 높이고자 한다. 넷째, 모형이 구성되면 기존의 통계적 예측결과와 비교함으로써 모형을 검증하고, 차이가 나는 부분은 모수값을 조정하는 방법으로 튜닝을 실시하게 된다. 마지막으로 모형이 검증되면 다양한 사용자 이용행태의 변화에 따른 민감도 분석을 실시하여 가입자 수요의 변화를 조사하고, 각종 동인들이 어떻게 상호작용하여 이러한 결과가 나왔는지를 분석하게 된다.

3.1 과거 통신 트래픽 증감 원인분석

여기에서는 우리나라를 포함하는 세계 각국의 통계 및 예측 자료를 토대로 기술발전과 사회경제적 요인에 의한 트래픽 증가 요인들을 살펴본다. 가입자 예측은 주파수 활용계획의 기본이 되기 때문에 국가차원에서 발간되는 연구보고서들이 있으며, 학술적 차원에서 개발된 예측모형도 있다. 또한 기업체에서는 예측 결과 위주의 보고서를 발간하는데 이들 자료들을 면밀히 살펴보는 것이 필요하다. 또한 이를 바탕으로 트래픽 증가 원인을 살펴본다. 통계 및 예측 자료는

트래픽의 발생 추이, 기술 별 가입자 숫자 추이, 사용자 별 트래픽 발생 추이와 콘텐츠 별 트래픽 발생 추이 등을 포함한다.

문헌조사 결과 지금까지 국내외 통신 트래픽의 지수적 증가를 유발한 대표적인 이벤트들의 공통점은 다음과 같은 세 가지로 요약될 수 있다. 첫째는 통신속도의 진화이다. 인터넷의 경우 메가급 통신기술이 개발되어 출시되었을 때 또는 기가급으로 진화하는 과정에서 급격한 인터넷의 보급이 이루어져왔으며, 이동통신의 경우에도 2G에서 3G, 4G로의 기술적 세대교체를 경험하면서 급격한 트래픽 증가를 유발한 바 있다. 둘째는 저렴한 요금제이다. 전문가들은 인터넷이 급속히 보급된 원인 중 하나로 정액 요금제를 꼽고 있다. 또한 이동통신에 있어서도 무제한 요금제가 출시되면서 트래픽의 급격한 증가를 경험하고 있다. 마지막 트래픽 증가 동인으로 지적되는 것은 사용성이 높은 디바이스나 사용환경의 출현이다. 인터넷이 1969년 탄생했음에도 불구하고 1990년대 초반 까지 사용이 미미하다가 90년대 이후 급격한 증가를 보인 주된 이유는 월드와이드웹의 탄생 및 대중화에 기인한다. 또한 사용자 편의성을 증대시킨 애플의 스마트 폰 보급이 이동통신 트래픽 급증에 중요한 요인이었음은 누구나 인정하는 사실이다. 따라서 이들 세 가지 요인이 시스템다이내믹스 모형 개발 시 고려되어야 할 것이다.

3.2 관심 연구문제의 정의

지금까지 우리나라 정보통신 분야의 시장성장은 소비자주도로 이루어지기 보다는 요금제, 통신서비스의 진화, 고화질 서비스 등 정책적 변수가 시장성장을 견인해 왔다. 따라서 본 연구의 시스템다이내믹스 모형에서도 다양한 정책적 변수가 소비자 이용행태에 영향을 주고 궁극적으

로는 가입자 수요를 변화시키는 것으로 모형을 구성하기로 한다. 본 연구에서는 다음과 같이 다양한 정책변수의 변화가 가입자 수요에 미치는 영향을 관심 연구문제로 정의하고 이에 대한 분석이 가능한 시스템다이내믹스 모형을 개발하는 것을 목표로 한다.

첫째는 5G 서비스 개시시기 변화에 따른 가입자 수의 변화를 예측하는 것이다. 보다 구체적으로 다양한 정책변수에 대한 시나리오 하에서 5G 서비스의 개시시기가 당겨지거나 늦추어졌을 때 가입자 수는 어떻게 변화할 것인가의 문제이다. 두 번째와 세 번째 관심 연구문제는 신세대 이동통신 서비스의 요금 및 품질에 대한 상대적 매력도의 변화에 따라 미래 가입자 수 예측이 어떻게 달라지는지를 파악하는 것이다. 이동통신기술 표준을 승인하는 ITU-R은 2015년 6월 WP 5D 회의(미국 샌디에이고)에서 5G 이동통신의 정식 명칭을 IMT-2020으로 확정된 바 있으며, 5G 네트워크의 성능목표로 기존 대비 10배 향상된 100 Mbps의 체감 전송속도와 8K UHD와 같은 고화질 비디오 서비스의 안정적 운영을 제시한 바 있다[ITU, 2015]. 그러나 5G 서비스의 초기에는 이러한 성능목표에 대한 불확실성이 존재한다. 또한 5G 서비스 개시와 함께 제시된 성능목표가 달성되더라도 5G 서비스의 요금이 기존 4G 서비스 대비 매력을 가지지 못한다면 초기 가입자 증가가 둔화되고 인당 트래픽에도 부정적인 영향을 미치게 될 것이다. 따라서 5G 이동통신 서비스의 요금 및 품질에 대한 소비자가 인식하는 상대적 매력도의 변화에 따라 미래 가입자 수 예측이 어떻게 달라지는지를 파악하는 것도 중요한 분석대상이 된다. 결국 본 연구에서는 4G 서비스에서 5G 서비스로의 세대교체 과정에서 5G 서비스의 개시시기, 4G 대비 상대적 품질과 가격 등이 이동통신 가입자 수에 얼마나 영향을 미치는지를 살펴보는 것을 최종 목표로 한다.

3.3 이동통신 트래픽 증감에 영향을 미치는 동인 추출

여기에서는 트래픽 증감 원인분석 결과를 바탕으로 동인을 추출하고 인과루프를 발견한다. 방송통신위원회와 한국전자과학회의 연구보고서[홍인기 외, 2011]에 의하면 이동통신 트래픽 증감에 영향을 미치는 요인은 인프라기술 측면, 단말기술 측면, 사회문화적 측면, 거시경제적 측면, 정책 및 제도 측면의 요인으로 구분된다고 보고하고 있다. 먼저 인프라기술 측면에서는 인프라 통신 속도의 진화, 주파수 효율의 증가, 네트워크 구축비용 및 통신비용 절감, 통화품질 향상, M2M 및 모바일 클라우드와 SUHD 등 신규서비스의 확산이 트래픽 증감의 직접적인 요인으로 정리하고 있다. 단말기술 측면에서는 기능성 단말의 출시, 맞춤형 단말, 단말 속도의 향상, 콘텐츠 다양화, 보안기술의 진화 등을 그리고 사회문화적 측면에서는 개인화, 휴대성과 이동성 강조, 개인정보 보호 강조, 인당 보유 단말의 증가, 인구 구성의 변화를 트래픽 증감의 주요 요인으로 지적하고 있다. 또한 거시경제적 측면에서는 통신사 경쟁 심화, 통신 사업의 글로벌화, 광대역 통신비용의 절감을 그리고 정책 및 제도 측면에서는 망개방 정책, 요금 인하, 요금제 다양화, 무제한 요금제, 단말기 보조제, 번호이동성, 망 중립성, 주파수 면허 등을 트래픽 증감의 주요 요인으로 보고하고 있다.

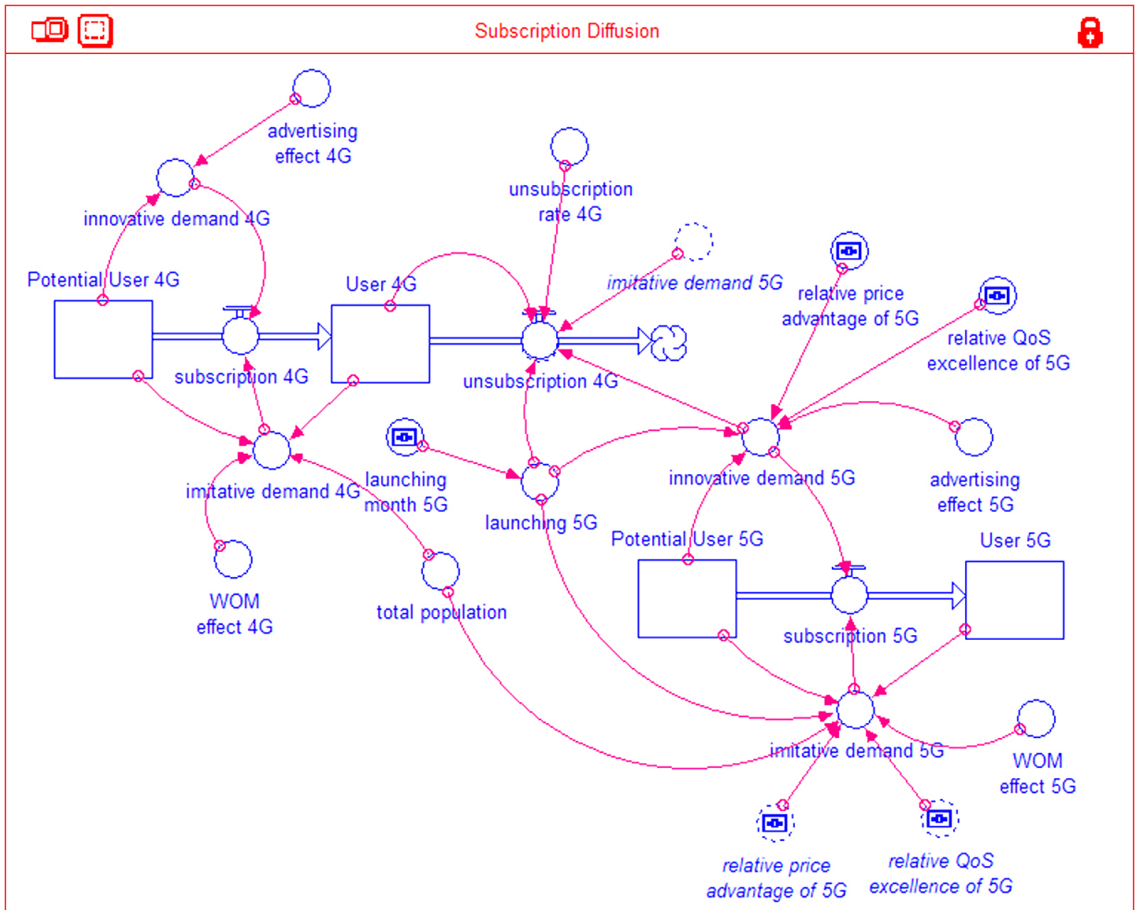
이러한 동인들을 토대로 이동통신 서비스시장의 피드백구조를 살펴보면 다음과 같이 정리될 수 있다. 첫째는 이동통신 가입자 루프이다. 이동통신 가입자는 통신속도의 진화, 저렴한 요금제, 사용성이 높은 디바이스나 사용환경의 출현 등에 영향을 받아 증가하게 되며 궁극적으로 이용자 수의 증가는 트래픽에 영향을 미치게 된다. 둘째는 사용자 이용행태 즉 이용시간과 관련된

루프이다. 사용자 이용시간은 인당트래픽을 증가시키는 직접요인이기 때문에 이는 인당 트래픽 루프라고 볼 수도 있다. 요금제의 변화와 관련된 이용자 구성형태의 변화나 SUHD급 화질의 출현 등 사용 콘텐츠의 고품질화 등의 변화로 사용자 이용시간이 길어지면 인당 트래픽이 증대하게 되고 이는 결국 트래픽 증가에 영향을 미치게 된다. 셋째, 진화된 통신서비스의 출현은 기존세대 서비스의 가입자 감소를 유발하고 대체를 촉진하게 되는데 이러한 대체루프가 모형에 반영되어야 한다. 본 연구에서는 이동통신 가입자 수요 예측을 최종 목표로 하고 있기 때문에 상기 세 가지 피드백 구조 중 트래픽 루프를 제외하고 모형을 구성하기로 한다.

3.4 시뮬레이션 모형개발

본 연구에서는 5G 개시시기, 4G 대비 5G 서비스의 상대적 가격 및 품질(QoS : Quality of service)에 대한 매력도 등을 주요 정책변수로 선정하고 이들이 4G 및 5G 서비스의 가입자 수에 미치는 영향을 모형화하는 것을 목표로 하고 있다. 따라서 이들 정책 변수가 어떤 방식으로 가입자 수의 증감에 영향을 줄 수 있는지의 인과관계를 사전에 분석함으로써 정책변수의 개입지점을 적절히 설계할 필요가 있다. 5G 서비스 개시 시기는 5G 서비스의 혁신수요와 모방수요를 당기거나 늦추게 되어 5G 서비스 가입자 수 증감에 영향을 미치게 되며, 5G 서비스 가입자 수 증감은 4G 서비스의 해지자 수 증감에 영향을 미치게 된다. 상대적 가격 및 품질에 대한 매력도 또한 5G 서비스 개시시기와 같이 동일한 방식으로 가입자 시스템의 동인에 영향을 준다.

이러한 정책변수의 개입지점 설계 내용과 세대별 가입자 확산모형을 기반으로 가입자 시스템에 대한 보유량도를 구성하면 <Figure 2>와 같다.



<Figure 2> Stock-Flow Diagram for Subscription System of Mobile Service

이 모형은 각각 4G와 5G의 잠재이용자(Potential Users) 및 이용자(Users)를 포함하는 네 개의 저장변수와 4G와 5G의 가입률(subscription)과 4G의 해지율(unsubscription)을 포함하는 세 개의 유량변수로 구성되어있다. 4G와 5G의 가입률은 혁신층의 구매를 의미하는 혁신수요(innovative demand)와 다수층의 모방구매를 의미하는 모방수요(immitative demand)라는 두 개의 보조변수의 상호작용에 의해 결정된다. 혁신수요는 잠재이용자와 광고효과(advertising effect)의 영향을, 모방수요는 총인구(total population), 구전효과(WOM effect), 잠재이용자, 이용자의 영향을 각각 받게 된다. Bass의 기본 확산모형은 혁신의 확산과정을 통제할 수

있는 가격, 품질 등의 의사결정 변수들을 무시한다는 점에서 한계가 지적되고 있다[Milling, 1986; Maier, 1995]. 본 연구의 목적을 달성하기 위해서는 상대적 가격 매력(relative price advantage of 5G), 상대적 품질 매력(relative QoS advantage of 5G), 5G 개시시기(launching month 5G) 등 각종 정책변수를 확산모형에 반영할 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 정책변수가 가입자 증감에 중요한 원인이라는 점에서 이들 변수가 혁신수요와 모방수요에 직접 영향을 미치는 것으로 모형에 반영하기로 한다.

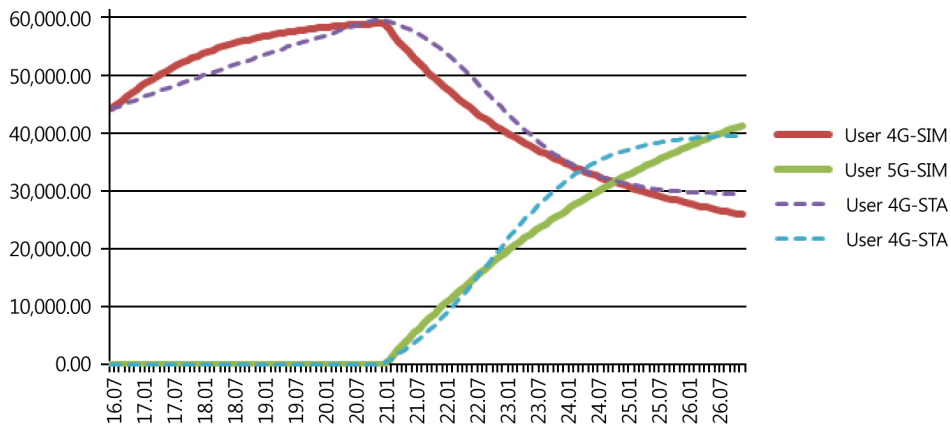
가입자시스템은 잠재이용자가 많으면 광고효과로 인한 혁신수요가 증가하여 가입률도 증가하

게 되지만, 이는 다시 잠재이용자를 감소시키는 효과를 초래하는 음의 피드백구조(잠재이용자 Δ \rightarrow 혁신수요 Δ \rightarrow 가입률 Δ \rightarrow 잠재이용자 ∇)를 포함하고 있다. 또한 이용자가 증가하면서 더 많은 구전효과에 의해 모방수요를 유도하여 가입률을 증가시켜 더 많은 이용자가 생기는 강화 피드백구조(이용자 Δ \rightarrow 모방수요 Δ \rightarrow 가입률 Δ \rightarrow 이용자 Δ)와 이용자의 증가는 잠재이용자를 감소시키게 되어 모방수요를 둔화시키는 음의 피드백구조(이용자 Δ \rightarrow 잠재이용자 ∇ \rightarrow 모방수요 ∇ \rightarrow 가입률 ∇ \rightarrow)를 동시에 포함하게 된다. 한편 4G에서 5G 서비스로의 세대 대체는 5G 서비스의 혁신수요와 모방수요의 증가가 4G 서비스의 해지를 촉진하게 되는 방식으로 모형에 반영하였다. 즉 5G 서비스에 대한 혁신수요와 모방수요가 강할수록 4G 서비스에 대한 해지 또한 증가하는 형태로 모형을 구성하였다.

4. 모형의 타당성검증

본 연구에서 구축된 중장기 이동통신 가입자 예측을 위한 시스템다이내믹스 모형을 검증하기 위한 방법은 기존 통계적 분석방법에 의해 산출된 중장기 예측치와 비교하고 기존 예측치와 유사한

예측결과를 나타내도록 모형의 각종 모수를 튜닝하는 방식을 사용하였다. 먼저 타당성 검증을 위해 시뮬레이션 모형 수행기간을 2016년 7월부터 10년간으로 지정하고 기간단위는 월별로 설정하였다. 통계적 예측에서와 마찬가지로 5G 서비스의 개시 시기는 2021년 1월로 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다. <Figure 3>은 월별 누적 가입자 수의 추이를 통계적 예측치와 비교하여 보여주고 있다. 그림에 나타난 것처럼 시뮬레이션 결과치와 통계적 예측치는 유사한 형태의 그래프로 나타나고 있다. 다만 통계적 예측치에서 4G와 5G 누적 가입자 수는 2024년 4월을 기점으로 역전되는 것으로 되어 있으나, 시뮬레이션 모형의 결과값에서는 2024년 11월이 되어 역전되는 것으로 나타나있다. 통계적 예측치와 시뮬레이션 결과 값에 있어서 근소한 차이가 발생하고 있지만, 본 연구의 목적은 각종 정책변수의 변경에 따른 트래픽 예측값의 상대적 변화를 관찰하는데 목적이 있기 때문에 약간의 차이는 문제가 되지 않을 것으로 판단하였다. 4G와 5G 총 가입자 수 측면에서도 월별 누적 가입자 추이가 단조증가 함수의 형태를 보여주고 있으며, 공격적 예측 시나리오 하에서 보다 기울기가 높게 나타나 총 가입자 수 측면에서도 본 연구모형이 타당한 것으로 평가하였다.



<Figure 3> Trend of Cumulative Subscription by Month

5. 민감도 분석

여기에서는 다양한 정책변수의 변화가 이동통신 가입자 수에 미치는 영향을 민감도 분석을 통해 실험한 결과를 제시한다. 각 정책변수가 가질 수 있는 값에 대한 시나리오는 5G 서비스에 대한 미래 가입자 수요를 얼마나 높은 수준으로 예측할 것인지를 관점에 따라 보수적 예측 시나리오, 중도적 예측 시나리오, 공격적 예측 시나리오로 구분하였으며 그 내용은 <Table 1>과 같다.

<Figure 4>는 나머지 정책변수들을 중도적 예측 시나리오로 두고, 5G 서비스의 개시시기 변화에 따른 민감도 분석결과를 나타내고 있다. 그림에서 1번 선은 중도적 예측 시나리오(2021년 1월 개시), 2번 선은 공격적 예측 시나리오(2020년 7월 조기 개시), 3번 선은 보수적 예측 시나리오(2021년 7월 지연개시)의 민감도분석 결과이다. <Figure 4>의 (a)와 (b)를 살펴보면, 중도적 예측 시나리오 하에서 4G 가입자 수는 5G 서비스 개시 시기인 2021년 1월에 59,089천명으로 정점을 찍고 하락하기 시작하여 2026년 12월에는 26,040천명이 되는 것으로 나타났으며, 5G 이용자 수는 개시 이후 지속 증가하여 2026년 12월에는 41,459천명이 되는 것으로 나타났다. 공격적 예측 시나리오 하에서 4G 가입자 수는 5G 서비스 개시 시기인 2020년 7월에 58,775천명으로 정점을 찍고 하락하기 시작하여

2026년 12월에는 25,170천명이 되는 것으로 나타났으며, 5G 이용자 수는 개시 이후 지속 증가하여 2026년 12월에는 43,241천 명이 되는 것으로 나타났다. 한편, 보수적 예측 시나리오 하에서 4G 가입자 수는 5G 서비스 개시 시기인 2021년 7월에 59,307천명으로 정점을 찍고 하락하기 시작하여 2026년 12월에는 27,057천 명이 되는 것으로 나타났으며, 5G 이용자 수는 개시 이후 지속 증가하여 2026년 12월에는 39,491천 명이 되는 것으로 나타났다.

<Figure 4>의 (c)와 (d)는 나머지 정책변수들을 중도적 예측 시나리오로 두고, 5G 서비스의 상대적 가격인식 변화에 따른 민감도 분석결과를 나타내고 있다. 그림에서 1번 선은 중도적 예측 시나리오(4G와 유사한 가격으로 인식), 2번 선은 공격적 예측 시나리오(4G 대비 30% 저렴한 것으로 인식), 3번 선은 보수적 예측 시나리오(4G 대비 30% 비싼 것으로 인식)의 민감도분석 결과이다. 중도적 예측 시나리오 하에서 4G 가입자 수는 5G 서비스 개시 시기인 2021년 1월에 59,089천명으로 정점을 찍고 하락하기 시작하여 2026년 12월에는 26,040천명이 되는 것으로 나타났으며, 5G 이용자 수는 개시 이후 지속 증가하여 2026년 12월에는 41,459천명이 되는 것으로 나타났다. 공격적 예측 시나리오 하에서 4G 가입자 수는 5G 서비스 개시 시기인 2021년 1월에 59,089천명으로 정점을 찍고 하락하기 시작하여 2026년 12월

<Table 1> The Value of Policy Variables According to the Scenarios

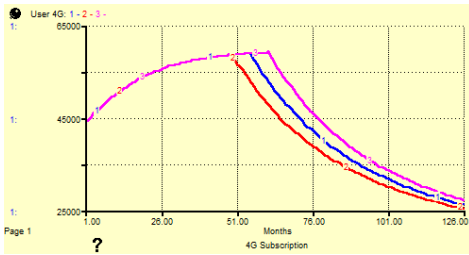
Policy	Scenarios		
	Passive	Neutral	Active
Launching time of 5G service	6 Months delay of launching	Launching in Jan of 2021	Launching in 6 Months early
Relative attractiveness of price	30% lower in Relative attractiveness of price	Perceive similar with 4G in Relative attractiveness of price	30% higher in Relative attractiveness of price
Relative attractiveness of QoS	30% lower in Relative attractiveness of QoS*	Perceive similar with 4G in Relative attractiveness of QoS*	Perceive similar with 4G in Relative attractiveness of QoS*

*QoS : The degree to which potential customers perceive regarding network coverage, signal noise, crosstalk, disconnection despite of the evolution towards next high-speed and high-capacity network.

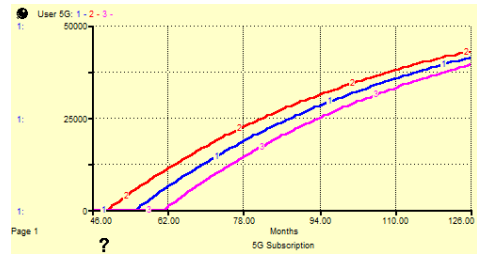
에는 23,234천명이 되는 것으로 나타났으며, 5G 이용자 수는 개시 이후 지속 증가하여 2026년 12월에는 47,108천명이 되는 것으로 나타났다. 한편, 보수적 예측 시나리오 하에서 4G 가입자 수는 5G 서비스 개시 시기인 2021년 1월에 59,089천명으로 정점을 찍고 하락하기 시작하여 2026년 12월에는 30,596천명이 되는 것으로 나타났으며, 5G 이용자 수는 개시 이후 지속 증가하여 2026년 12월에는 33,450천명이 되는 것으로 나타났다.

<Figure 4>의 (e)와 (f)는 나머지 정책변수들을 중도적 예측 시나리오로 두고, 5G 서비스의 상대적 품질인식 변화에 따른 민감도 분석결과

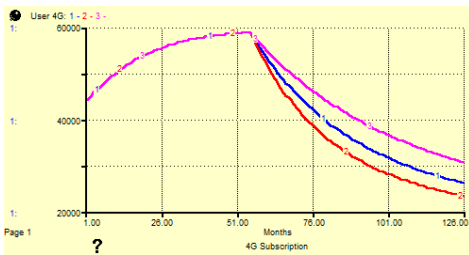
를 나타내고 있다. 그림에서 1번 선은 중도적 예측 시나리오(4G와 유사한 QoS로 인식), 2번 선은 공격적 예측 시나리오(4G 대비 30% 우수한 QoS로 인식), 3번 선은 보수적 예측 시나리오(4G 대비 30% 저하된 QoS로 인식)의 민감도분석 결과이다. 가입자 수 측면에서 5G 서비스의 상대적 품질인식에 대한 민감도분석 결과는 상대적 가격인식에 대한 민감도분석 결과와 일치한다. 이는 가입자 서브시스템에 대한 모형구축시 가격과 품질 모두 혁신수요와 모방수요에 영향을 주어 궁극적으로 가입자 수를 변화시키는 것으로 동일하게 모형화 하였기 때문이다.



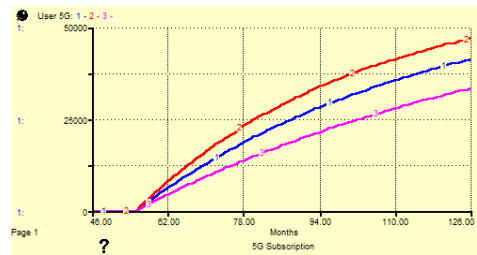
(a) 5G launching-4G subscription



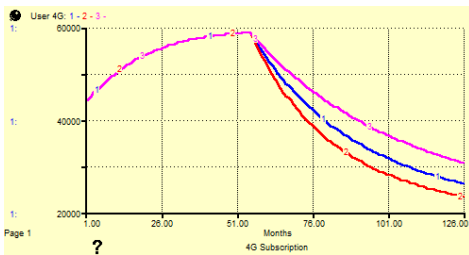
(b) 5G launching-5G cum. subscription



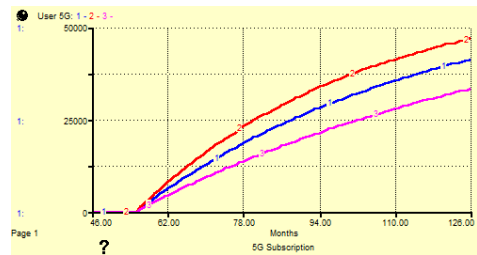
(c) 5G pricing-4G subscription



(d) 5G pricing-5G cum. subscription

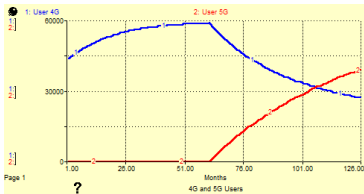


(e) 5G QoS-4G subscription

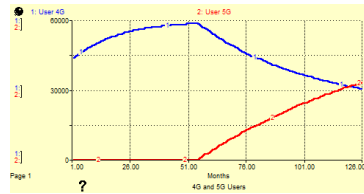


(f) 5G QoS-5G cum. subscription

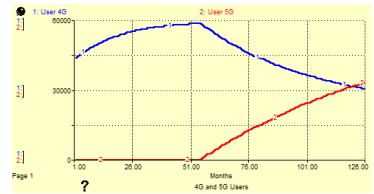
<Figure 4> Sensitivity Analysis on the Change of Policy Variables(unit : Thousand)



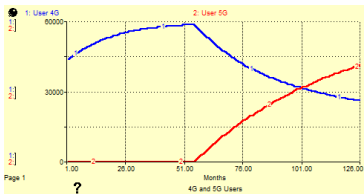
(a) 5G launching-passive



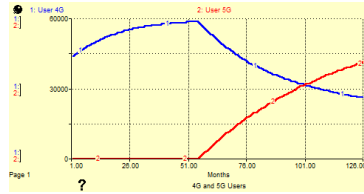
(d) 5G pricing-passive



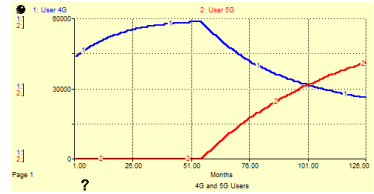
(g) 5G QoS-passive



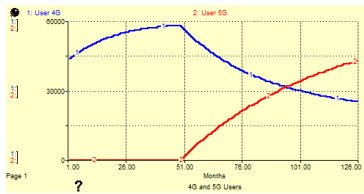
(b) 5G launching-neutral



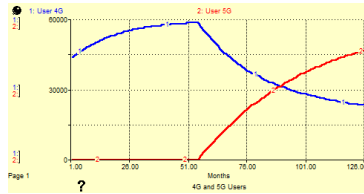
(e) 5G pricing-neutral



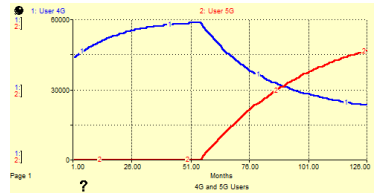
(h) 5G QoS-neutral



(c) 5G launching-active



(f) 5G pricing-active



(i) 5G QoS-active

<Figure 5> Comparing Description of 4G and 5G(unit : Thousand)

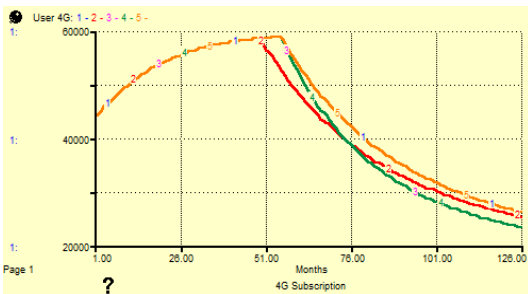
<Figure 5>는 각 정책변수의 변화에 따라 4G와 5G 이용자 수가 어떻게 달라지는지를 동시에 비교하여 나타내고 있다. 그림에서 (a)(b)(c)는 5G 서비스의 개시시기 변화에 따라 4G와 5G 이용자 수가 어떻게 달라지는지를 동시에 비교하여 나타내고 있다. 그림에서 1번 선은 4G 이용자 수, 그리고 2번 선은 5G 이용자 수에 대한 민감도분석 결과이다. 보수적 예측 시나리오 하에서 4G 이용자 수와 5G 이용자 수가 역전되는 시기는 2025년 5월로 나타났으나, 중도적 예측 시나리오 하에서는 2024년 11월에, 공격적 예측 시나리오 하에서는 2024년 5월에 각각 이용자 수가 역전되는 현상이 나타났다.

그림의 (d)(e)(f)는 5G 서비스의 상대적 가격인식 변화에 따라 4G와 5G 이용자 수가 어떻게 달라지는지를 동시에 비교하여 나타내고 있다. 그림에

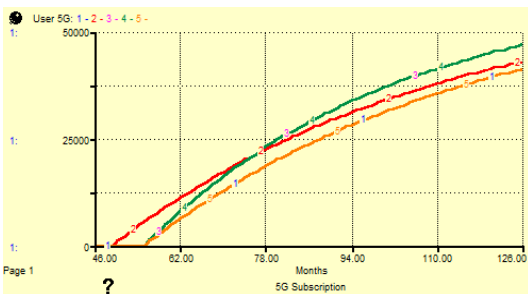
서 1번 선은 4G 이용자 수, 그리고 2번 선은 5G 이용자 수에 대한 민감도분석 결과이다. 보수적 예측 시나리오 하에서 4G 이용자 수와 5G 이용자 수가 역전되는 시기는 2026년 7월로 나타났으나, 중도적 예측 시나리오 하에서는 2024년 11월에, 공격적 예측 시나리오 하에서는 2023년 12월에 각각 이용자 수가 역전되는 현상이 나타났다. 그림의 (g)(h)(i)는 5G 서비스의 상대적 품질인식 변화에 따라 4G와 5G 이용자 수가 어떻게 달라지는지를 동시에 비교하여 나타내고 있으며 그 결과는 상대적 가격인식의 경우 동일하게 나타났다.

<Figure 6>은 세 가지 정책변수들이 가입자 증감에 미치는 영향을 상대적으로 비교하기 위해 민감도분석을 수행한 결과이다. 그림에서 1번 선은 세 가지 정책변수 모두 중도적 예측 시나리오 값으로, 2번 선은 5G 개시시기 만 공격적 예

측 시나리오 값으로(5G 서비스 6개월 조기개시), 3번 선은 5G 상대적 가격매력도 만 공격적 예측 시나리오 값으로(4G 대비 5G 가격매력도 30% 증가), 4번 선은 5G 상대적 품질매력도 만 공격적 예측 시나리오 값으로(4G 대비 5G QoS 매력도 30% 증가) 각각 설정하여 민감도분석을 수행한 결과이다. <Figure 6>의 (a)와 (b)를 살펴보면, 5G 서비스 개시시기를 앞당기는 것(2번선) 보다 5G 서비스의 상대적 가격매력도 또는 품질매력도를 높이는 것이 장기적으로 5G 서비스의 가입자를 더 급격히 증가시키는(4G 서비스 가입자를 더 급격히 감소시키는) 정책인 것으로 나타났다.



(a) 4G cum. subscription(unit : Thousand)

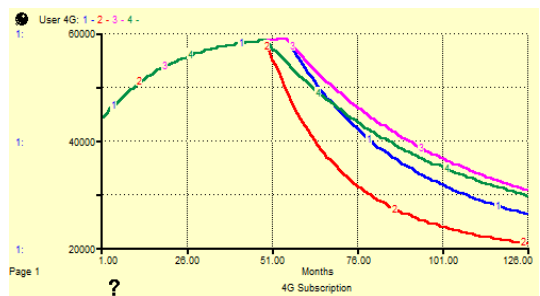


(b) 5G cum. subscription(unit : Thousand)

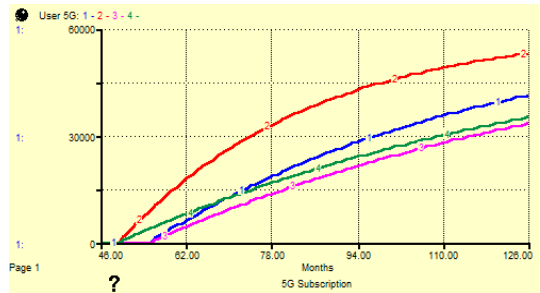
<Figure 6> Sensitivity Analysis According to the Change of Each Policy Variable

<Figure 7>은 세 가지 정책변수들의 조합에 의한 민감도분석 결과를 나타내고 있다. 그림에서 1번 선은 세 가지 정책변수 모두 중도적 예측

시나리오 값으로, 2번선 은 세 가지 정책변수 모두를 공격적 예측 시나리오 값으로, 3번 선은 가격매력도 만을 보수적 예측 시나리오 값으로, 4번 선은 품질매력도를 보수적 예측 시나리오 값으로 그리고 5G 개시시기를 공격적 예측 시나리오 값으로(5G 서비스의 상대적 품질매력도가 낮은 상황에서 5G 서비스를 개시했을 경우) 각각 설정하여 민감도분석을 수행한 결과이다.



(a) 4G cum. subscription(unit : Thousand)



(b) 5G cum. subscription(unit : Thousand)

<Figure 7> Sensitivity Analysis According to the Combination of Each Policy

<Figure 7>의 (a)와 (b)를 살펴보면, 네 가지 정책변수 모두 중도적 예측 시나리오 값으로 설정하였을 때는(1번 선) 2026년 12월 가입자가 41,459천명이 되었으나, 네 가지 정책변수 모두를 공격적 예측 시나리오 값으로 설정할 경우(2번 선), 2026년 12월 가입자가 53,278천명으로 크게 증가하는 것으로 나타났다. 또한 5G 서비스의 상대적 가격매력도가 낮은 상황에서(3번 선)와 5G 서비스의

상대적 품질매력도가 낮은 상황에서 5G 서비스를 개시했을 경우(4번 선)에는 네 가지 정책변수 모두 중도적 예측 시나리오 값으로 설정하였을 경우(1번 선)보다 장기적으로 가입자 증가에 나쁜 영향을 주는 것으로 나타났다. 따라서 5G 서비스가 고속, 대용량의 진화된 통신 인프라라는 사실만을 고려하여 요금제와 서비스품질에 대한 문제를 등한 시 한다면 가입자 증가에 악영향을 줄 수도 있다는 사실을 명심해야 한다.

6. 결론 및 시사점

본 연구에서는 시스템다이내믹스에 기반한 다세대 확산수요 예측 방법을 제시하고 미래 이동통신 가입자 수요를 예측하는데 본 방법을 적용하여 그 유용성을 확인하였다. 이동통신 가입자 수요 예측 분야는 4G에서 5G로의 세대 진화를 고려해야 하기 때문에 다세대 확산수요 예측의 대표적 응용분야라 할 수 있다. 본 연구에서는 개발된 시스템다이내믹스 모형을 기존 통계적 예측결과와 비교하여 모형을 검증하였으며, 5G 서비스 개시시기 (launching month 5G), 4G 대비 5G 서비스의 상대적 가격(relative price advantage of 5G) 및 품질에 대한 매력도(relative QoS advantage of 5G) 등 세 가지 각종 정책변수가 변화되었을 때 가입자 수 예측이 어떻게 달라질 수 있는지를 민감도 분석을 통해 확인하였다.

민감도분석 결과, 다른 정책변수 값을 중도적 예측 시나리오 값으로 설정한 상태에서 상대적 가격매력도만을 공격적 예측 시나리오 값으로 설정할 경우, 2023년 12월에 5G 가입자 수가 4G 가입자 수를 추월하게 된다. 가입자 수 측면에서 가장 빨리 5G 가입자 수가 4G 가입자 수를 추월하게 되는 경우는 상대적 가격 및 품질 매력도를 향상시키는 경우로 나타났다(2023년 12월). 세 가지 정책변수들이 가입자 증감에 미치는 영향을

상대적으로 비교하기 위해 민감도분석을 수행한 결과에서는 5G 서비스 개시시기를 앞당기는 것보다 5G 서비스의 상대적 가격매력도 또는 품질매력도를 높이는 것이 장기적으로 5G 서비스의 가입자를 더 급격히 증가시키는(4G 서비스 가입자를 더 급격히 감소시키는) 정책인 것으로 나타났다. 한편 세 가지 정책변수들의 조합에 의한 민감도분석 수행결과 세 가지 정책변수 모두를 공격적 예측 시나리오 값으로 설정할 경우, 2026년 12월 가입자가 53,278천명으로 크게 증가하는 것으로 나타났다. 또한 5G 서비스의 상대적 품질매력도가 낮은 상황에서 5G 서비스를 개시했을 경우에는 네 가지 정책변수 모두 중도적 예측 시나리오 값으로 설정하였을 경우보다 장기적으로 가입자 증가에 나쁜 영향을 주는 것으로 나타났다. 따라서 5G 서비스가 고속, 대용량의 진화된 통신 인프라라는 사실만을 고려하여 요금제와 서비스품질에 대한 문제를 등한 시 한다면 가입자 증가 및 트래픽 증가에 악영향을 줄 수도 있다는 사실을 명심해야 한다.

본 연구는 정책연구라는 실무적 관점의 의의를 가지지만 학술적 측면에서도 기존 가입자 예측에서 통계적 예측 방법이 주류로 활용되고 있는 가운데 시스템다이내믹스를 보완적으로 활용하여 정책변수의 변화에 따른 민감도 분석을 위한 새로운 방법을 시도하였다는 점과 다세대 확산수요를 시뮬레이션 모형으로 구현하였다는 점에서 의의를 가진다. 향후연구로써 본 연구에서는 4G에서 5G로의 세대 진화만을 고려하여 이동통신 서비스 가입자 수요를 예측하였다. 그러나 4차 산업혁명과 함께 보다 다양한 통신 방식과 지능형 디바이스가 출현할 것이 예상되므로 향후 경쟁 및 대체제품을 고려한 시스템다이내믹스 모형이 개발된다면 보다 정확한 수요예측이 가능할 뿐 아니라 보다 흥미로운 민감도 분석이 가능해질 것으로 보인다.

References

- [1] Bass, F. M., "A New Product Growth for Model Consumer Durables", *Management Science*, Vol. 15, No. 5, 1969, pp. 215-227.
- [2] Danaher, J., Hardie, B. G. S., and Putsis, W. P., "Marketing-mix variables and the diffusion of successive generations of a technological innovation", *J. Mark. Res.*, Vol. 38, 2001, pp. 501-514.
- [3] Duval, Y. and Biere, A., "Product diffusion and the demand for new food products", *Agribusiness*, Vol. 18, No. 1, 2002, pp. 23-36.
- [4] Hong, I., "A study on additional spectrum forecast for mobile broadband, Korea communication commission, 2011.
- [5] ITU, Recommendation ITU-R M.2083-0, IMT Vision-Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, Sep. 2015.
- [6] Kamakura, N. and Balasubramanian, S., "Long-term view of the diffusion of durables : a study of the role of price and adoption influence processes via tests of nested models", *Int. J. Res. Mark.*, Vol. 5, 1988, pp. 1-13.
- [7] Kim, S. W. and Choi, K. H., A Dynamic Analysis of Technological Innovation Using System Dynamics, POMS 20th Annual Conference, 2009.
- [8] Kim, W. J., Lee, J. D., and Kim, T. Y., "Demand forecasting for multigenerational products combining discrete choice and dynamics of diffusion under technological trajectories", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 72, No. 7, 2005, pp. 825-849.
- [9] Maier, F. H., "New product diffusion models in innovation management—a system dynamics perspective", *System Dynamics Review*, Vol. 14, No. 4, 1998, pp. 285-308.
- [10] Milling, P. M., "Modeling innovation processes for decision support and management simulation", *System Dynamics Review*, Vol. 12, No. 3, 1996, pp. 221-234.
- [11] Nguyen, D. and Shi, L., "Competitive advertising strategies and market-size dynamics : a research note on theory and evidence", *Management Science*, Vol. 52, No. 6, 2006, pp. 965-973.
- [12] Niu, S. C., "A piecewise-diffusion model of new-product demands", *Operations Research*, Vol. 54, No. 4, 2006, pp. 678-695.
- [13] Norton, J. A. and Bass, F. M., "A diffusion theory model of adoption and substitution for successive generations of high-technology products", *Management Science*, Vol. 33, No. 9, 1987, pp. 1069-1086.
- [14] Padmanabhan, V. and Bass, F. M., "Optimal pricing of successive generations of product advances", *Int. J. Res. Mark.*, Vol. 10, No. 2, 1993, pp. 185-207.
- [15] Speece, M. W. and Maclachlan, D. L., "Application of a multi-generation diffusion model to milk container technology", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 49, 1995, pp. 281-295.
- [16] Sterman, J., *Business Dynamics : Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Boston : Irwin McGraw-Hill, 2000.
- [17] Victor B. K. and Wang, B. J., "An innovation diffusion of successive generations by system dynamics—An empirical study of Nike Golf Company", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 80, No. 1, 2013, pp. 77-87.

■ 저자소개



Hee Seok Song

He holds a bachelor's degree in business administration from Korea University and a master's and doctoral degree from Korea Advanced Institute of Science and Technology. He has been working for Daewoo Electronics and Daewoo Information System for 15 years. His areas of interest include CRM and Data Mining, ubiquitous business, business models, and social networks.



Jae Kyung Kim

He received his Ph.D. in MIS from the University of Nebraska-Lincoln in 2009 and is currently a Professor in the Department of Global IT Management at Hannam University. He published Expert Systems with Applications, Omega, and Decision Support Systems. His research interests include IT services, business models, e-business, knowledge management, and human-machine interaction.