

의료분야 3D프린팅 비즈니스 시장규모 예측 연구 : 치과 분야를 중심으로

김민관* · 이정우** · 김영명*** · 이기광**** · 한창희*****

Market Prediction Methodology for a Medical 3D Printing Business : Focusing on Dentistry

Min Kwan Kim* · Jungwoo Lee** · Young Myung Kim*** · Kikwang Lee**** · Chang Hee Han*****

Abstract

Recently, 3D printing technology has been considered as a core applicable technology because it brings many improvements such as the development of medical technology, medical customization, and reducing production cost and shortening treatment period. This research suggests a market prediction framework for medical 3D printing business. As an immature market situation, it is important to control some uncertainty for market prediction such as a customers' conversion rate. So we adopt decision making tree (DMT) model which used to choose an optimal decision making among diverse pathway. Among medical industries this paper just focuses on dentistry business. For predicting a 5 year period trend expected market size, we identified some replaceable denture procedure by 3D printing, collected related data, controlled uncertain variables. The result shows that medical 3D printing business could be a market of 28.2 billion won at 1st year and in the end of fifth year it could become on a scale of 61.1 billion won market.

Keywords : 3DPrinting, Business-ICT Convergence, Decision Making Tree Model, Market Prediction

Received : 2016. 05. 17. Revised : 2016. 06. 29. Final Acceptance : 2016. 06. 29.

※ This work is supported by the research fund of Hanyang University(HY-2015-G).

* First Author, Senior Researcher, Institution of Knowledge Services, Hanyang University, e-mail : toughmk@hanyang.ac.kr

** Co-Author, Researcher, Institution of Knowledge Services, Hanyang University, e-mail : jungwoolee@hanyang.ac.kr

*** Co-Author, Director, KT Creative Economy Initiative Promotion Project, e-mail : young-myung.kim@kt.com

**** Co-Author, Associate Professor, Department of Business Administration, Dankook University, e-mail : kiklee@dankook.ac.kr

***** Corresponding Author, Professor, Department of Business Administration, Hanyang University, 55 Hanyangdaehak-ro, Sangnok, Ansan, Kyeonggi-do, 15588 Korea, Tel : +82-31-400-5634, Fax : +82-31-400-5591, e-mail : chan@hanyang.ac.kr

1. 서 론

3D프린팅이란 각종 소재(플라스틱, 금속 생체 소재 등)를 사출해 3차원의 실물로 구현할 수 있는 기술이다[Gross et al., 2014; Kim et al., 2014; Lee, 2016]. 최근 3D프린팅은 제조, 의료 등 국가 산업 전반에 신성장동력을 제공할 수 있는 핵심 기술로 부상하였다[Lee, 2016]. 이같은 추세에 정부도 2014년 “3D 프린팅 전략기술 로드맵”을 발표하고, 핵심 활용분야로 치과용 의료기기, 인체 이식 의료기기, 맞춤형 치료물, 스마트 금형, 콘텐츠 등 10대 분야를 선정·육성계획을 수립하였다[Ministry of Science, ICT and Future Planning et al., 2014]. R&D 측면에서 3D프린팅 기술은 그 활용성이 높게 평가되어 많은 연구를 통해 다양한 산업분야로의 적용이 모색되고 있다[Pfister, 2004; Bose et al., 2012]. 이렇듯 3D프린팅은 창조적 혁신의 수단으로서 다양한 활용이 가능하지만, 그 중에서도 의료분야는 가장 효과적인 활용분야로 기대되고 있다[Jakab et al., 2006; Hockaday et al., 2012; Lee, 2016]. 그 이유는 생명과 관련한 의학기술의 발전뿐만 아니라, 고가 의료기기의 대중화를 이끌어낼 수 있다는 기대 때문이라고 할 수 있다. 또한, 맞춤형 대량생산의 특성을 가짐으로써 환자별 맞춤형 치료가 가능해지고 치료물 생산의 비용감소와 치료기간의 단축이 가능하다[Deloitte, 2015; Im, 2015]. 이러한 상황에서 의료분야 3D프린팅 활용이 주목받기 시작하였으나, 실용화 단계로 놓고 보자면, 아직은 대학이나 대형병원에서의 연구 및 실험 차원에서만 이루어지고 있다. 실제 의료 차원에서는 일부 의료분야인 치과나 재활의학과와 중소규모 병원과 기공소의 도입에 그치고 있어 아직까지는 이렇다 할 시장이 형성되지 않고 있다[Im, 2015]. 그러나 3D프린팅이 향후 의료분야의 핵심 서비스 중 하나가 될 가능성이 높다는 전망과 함께 의료분야 3D프린

팅의 시장규모 예측이 큰 관심사가 되고 있다[Hong, 2008]. 그렇지만 의료용 3D프린터 등의 기기제품이나 관련 소프트웨어 판매량 분석을 통한 산업시장규모 현황은 보고되고 있으나 3D프린팅 기술 도입결과로서의 소비자시장규모 예측은 전무한 상황이다[Hong, 2008].

이에 본 연구는 의료분야 3D프린팅 보급에 따른 시장규모 예측분석을 하고자 한다. 본 연구에서는 의료용 3D프린팅 기술이 접목된 혁신 의료기술이 현 의료기술을 얼마나 대체할 것인가를 고려하여 경제적 가치를 예측하는 방안을 개발하였다. 신기술을 수용하는 것은 소비자에게는 위험을 감수해야함을 의미하기 때문에 의료용 3D프린팅 기술의 성능이 좋다고 할지라도 기존 기술을 대체하는 것은 불확실성을 내재하고 있다. 따라서 이와 같은 대체기술이 가진 불확실성을 예측모형에 반영하기 위해 의사결정나무모형을 방법론으로 활용하여 시장규모를 추정하는 방안을 제안하였다. 현실적인 의료용 3D프린팅 비즈니스 상황에 기반한 연구 프레임워크를 구축하고, 이를 토대로 향후 5년 기간에 대한 시장규모 예측 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 이론적 배경

2.1 3D프린팅 비즈니스

일반적으로 3D프린팅 시장의 비즈니스 유형은 크게 네 가지로 분류되고 있다[Kim, 2015]. 첫째는 3D프린터, 3D스캐너 등의 기기나 프린팅 소재를 생산, 판매하는 하드웨어 영역과 둘째는 3D스캐닝, 3D모델링 관련 애플리케이션과 같은 소프트웨어 영역이 있다. 앞선 두 가지 비즈니스 모두 생산된 제품을 판매하는 방식의 전통적인 비즈니스 영역이다. 다음 두 가지 비즈니스는 응용 비즈니스 영역인데, 세 번째인 서비스로서의 제조(Manufacturing as a Service)는 개인과 기업

대상으로 온라인 기반의 3D모델링(디자인, 엔지니어링)서비스 및 3D프린팅 서비스를 통해 수익을 올리는 비즈니스 형태이다. 이는 기업의 신속한 R&D를 지원하기 위한 비즈니스 형태로 이동형 3D프린팅 장비실 기반의 프로토타입 개발 서비스 자체를 비즈니스하는 형태이다. 넷째는 콘텐츠 마켓 플레이스로 3D모델링 데이터를 거래하는 전자상거래 형태의 비즈니스이다[Kim, 2015]. 콘텐츠 마켓 플레이스 비즈니스는 플랫폼 비즈니스로서 Amazon, iMaterialise 등이 사업자와 소비자를 이어주는 플랫폼 비즈니스를 영위하고 있다. 앞서 언급한 전통적인 방식의 하드웨어 및 소프트웨어 비즈니스는 3D프린팅 산업에서 성숙시장으로 분류되고 있다. 응용산업분야인 서비스로서의 제조(MaaS)와 콘텐츠 마켓 플레이스는 3D프린팅 산업의 주도권을 갖기 위한 하드웨어 및 소프트웨어 회사간 플랫폼 경쟁의 각축장이 되어가고 있다[Kim, 2015].

2.2 의료분야 3D프린팅 비즈니스

범용분야에서의 3D프린팅 비즈니스는 앞서 언급한 것처럼 3D프린터의 대중화에 힘입어 급속도로 발전하고 있다. 의료분야에 도입되고 있는 3D프린팅 기술은 의료기기(3D스캐너, 3D프린터)와 같은 하드웨어 제품을 비롯하여 소프트웨어(3D모델링, 3D프린팅, 환자이력관리, 시술결과 시뮬레이터 등) 제품을 포함하고, 추가적으로 하드웨어 및 소프트웨어 제품에 대한 전문적인 지원서비스가 총 결합된 제품-서비스 통합시스템(PSS)[Park et al., 2011; Park et al., 2015] 형태를 보이고 있다. 이러한 융합특성으로 인해 의료분야에 적용되는 3D프린팅 기술은 가격정책 상 서비스 제공 수익이 계속 발생하는 구조를 갖게 됨으로 제품-서비스 통합시스템 비즈니스가 가능하다. 이에 따라 가격정책으로서 솔루션 판매와(일시금 납부) 같은 가격모델은 현실적

로 고려하기 어렵다. 의료용 3D프린팅 기술은 3D스캐닝, 3D모델링과 같은 프로세스에 전문 인력의 고도화된 서비스지원이 필수적으로 동반되어야 한다. 또한 3D프린터 노즐과 같은 다소 고장확률이 높은 부품에 대한 유지관리 및 3D프린팅 소재의 공급 등이 지속적으로 이루어져야 한다. 이런 이유로 판매방식보다 월 단위 혹은 연 단위로 과금을 책정하는 서브스크립션(subscription) 방식이나 사용량부과(pay per use) 방식으로 이루어지는 게 일반적이다. 이 방식은 최근 클라우드 서비스(SaaS, PaaS, IaaS)와 같은 IT영역에서 일반적으로 나타나는 가격정책 모델이다. 사용량 부과 방식은 1회 사용량 혹은 일정단위에 대한 금액을 지정하여 소비한 만큼 가격을 지불하는 합리적인 가격모델로 볼 수 있다[Christof et al., 2009].

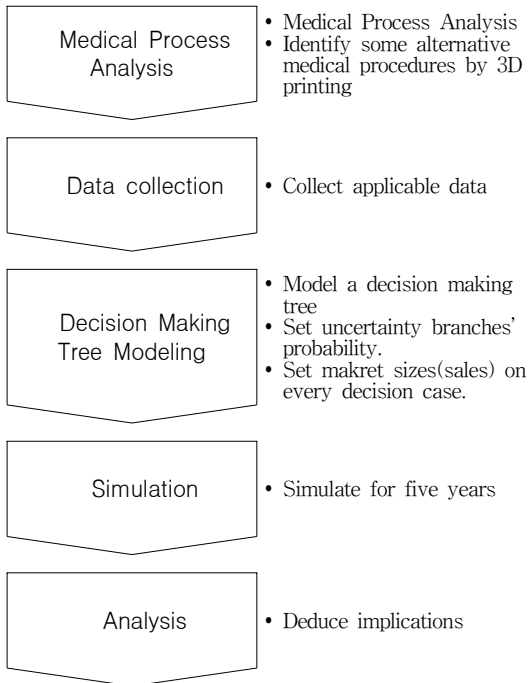
<Table 1> 3D Printing Business and Pricing Model

	Business Type	Pricing Model
General 3D printing Business	H/W sales	<ul style="list-style-type: none"> • sales • maintenance
	S/W sales	<ul style="list-style-type: none"> • sales • pay per use • for free
	Manufacturing as a Service (MaaS)	<ul style="list-style-type: none"> • sourcing contract • pay per use • subscription
	Contents Marketplace	<ul style="list-style-type: none"> • pay per print
Medical 3D printing Business	Product Service Systems(PSS) sales	<ul style="list-style-type: none"> • pay per use • subscription

<Table 1>은 앞서 설명한 일반적 3D프린팅 비즈니스와 의료용 3D프린팅 비즈니스를 분류한 것이다. 본 연구에서는 의료용 3D프린팅의 비즈니스의 특성과 그에 따르는 현실성 및 불확실성을 연구모형에 반영하여 향후 5년간의 시장규모를 예측하고자 한다.

3. 연구 프레임워크

의료분야 3D프린팅 비즈니스 시장규모 예측 분석을 위한 연구 프레임워크는 다음 <Figure 1>과 같다.



<Figure 1> Research Framework

3.1 의료프로세스 분석

의료프로세스 분석이란 3D프린팅 기술이 적용 가능한 의료술을 탐색하고, 해당 의료술에서 3D프린팅을 도입하여 대체가능한 의료절차를 식별하는 것이다. 대체가능한 의료절차 즉, 3D프린팅 기술이 적용된 개별 의료절차는 기존 의료프로세스의 일부 의료절차를 대체할 것으로 예측된다. 예를 들어 치과분야에서 환자의 치아구조에 대한 인상채득 의료절차는 3D스캐닝 기기를 통한 인상채득 절차로 대체될 수 있으며, 기공소에 위탁하여 생산하는 치료물(틀니 등)의 제조와

같은 절차는 3D프린팅을 통한 치료물 출력으로 대체될 수 있다. 즉, 이 과정은 기존 의료기술의 '개별 의료프로세스'에서 '3D프린팅 적용(대체)가능 의료절차'를 식별하는 과정이다. 치과 전체의 의료프로세스와 의료절차 정보는 건강보험심사평가원(<http://www.hira.or.kr/>) 웹사이트에 게시된 의료분야별로 발행된 '급여기준 및 심사사례집' 문헌을 통해 확인이 가능하다[Health Insurance Review & Assessment Service, 2014]. 이러한 의료프로세스 중 대체 가능한 의료 절차는 의료분야 3D프린팅 논문과 보고서를 통해 식별한다.

3.2 데이터 수집

대체기술로서의 의료용 3D프린팅 도입에 따른 경제적 가치를 예측하기 위해서는 방법론으로 사용하는 의사결정나무의 모델링 단계에서 활용할 정량적 데이터를 수집해야 한다. 데이터로는 의료프로세스별 시술횟수와 시술가격이 필요하다. 이러한 기초 데이터로 다음 단계의 모델링의 확실노드와 불확실노드 설계가 이루어진다.

이전 단계와 마찬가지로 건강보험심사평가원에서 데이터 수집이 가능하다. 건강보험심사평가원은 환자들이 과도한 의료비청구에 피해 받지 않도록 다양한 의료정보(의료비, 피해사례 등)를 공개하고 있는데, 해당기관 웹사이트에 게시된 의료분야별 '급여기준 및 심사사례집' 문헌에서 개별 의료절차에 해당하는 의료비 데이터를 수집할 수 있다[Health Insurance Review & Assessment Service, 2014]. 또한 의료절차별 시술횟수 데이터는 건강보험심사평가원에서 운영하는 보건의료 빅데이터 개방 시스템(<http://open-data.hira.or.kr/>)에 가입 후 진료행위통계 섹션에서 해당 의료절차를 검색 후 엑셀파일 형태로 다운로드할 수 있다[Welfare & Medical Big Data Sharing System].

3.3 의사결정나무 모델링

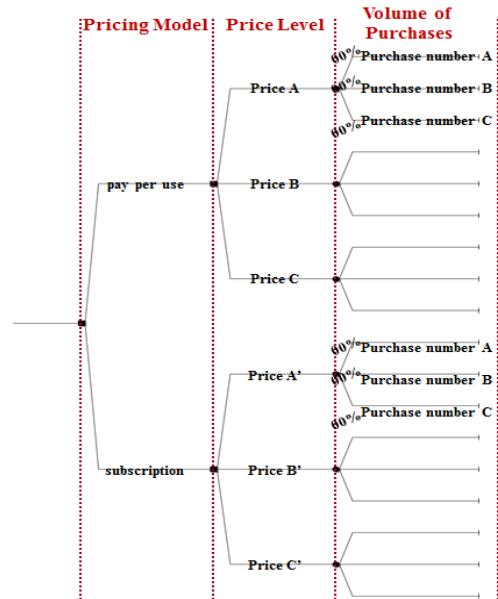
3.3.1 의사결정나무

과파적 혁신기술로서의 3D프린팅은 그것이 지닌 가격절감, 속도향상, 치료효과 증대와 같은 장점을 통해 기존 의료기술을 점진적으로 대체해나갈 것으로 전망된다[Richard D’Aveni, 2015]. 의료용 3D프린팅 기술의 시장규모 예측은 기존 의료기술에 대한 대체적 특성과 가격수준에 따른 시장수요 등과 같은 불확실 요인들을 고려해야만 하는데, 기존 시장예측 방법론들은 불확실성을 고려하지 않는다는 한계가 존재한다. 따라서 본 연구는 그 대안으로서 의사결정나무 모형을 시장예측 방법론으로서 활용하였다. 일반적으로 의사결정나무 모형은 불확실성을 고려한 의사결정 문제의 최적대안을 선택하기 위한 방법론으로 사용되고 있으나[Kim et al., 2009], 본 연구에서는 시장예측 방법론으로 변형 하였다.

의사결정나무 모형을 사용하기 위해서는 실제 문제에 대한 모델링이 중요하다. 의사결정 나무의 모델링은 (1) 의사결정 대안 및 불확실 사건의 명확화, (2) 의사결정 마디 구성시 상호배타적 성질과 완전 포괄적인 성질 유지, (3) 사건 발생의 시간적 순서 고려, (4) 대안의 평가시점 지정, (5) 최종 평가액을 계산하여 최적 대안을 결정하는 절차로 이루어진다[Kim et al., 2009]. 본 연구에서는 (5)의 최종 평가액을 시장규모(기대 매출액)로 치환하여 예측을 수행하는 단계로 변형하였다. <Figure 2>는 의사결정나무 모델링 절차를 따라 구성된 일반화된 의료용 3D프린팅 시장예측 모형이다.

3.3.2 의사결정 마디 구성

시간적 순서를 고려하여 의사결정마디를 구성한다. 첫 번째 의사결정 마디인 가격정책은 이론적 배경에서 분석하였듯이 제품-서비스 통합시



<Figure 2> Prediction Model based on Decision Making Tree

스템(PSS)의 솔루션을 판매하는 형태의 수익모델로서 사용량 부과(pay per use)나 서브스크립션(subscription) 가격모델로 구분된다. 아직까지 미성숙시장이라는 상황에서 3D프린팅 솔루션에 대한 고액의 판매가나 서브스크립션(subscription) 가격을 임의의 값으로 정하는 것은 다소 비현실적인 결과를 낼 수도 있다. 따라서, 의료절차 1회 시술별 의료비 데이터를 확보하였기 때문에 이와 사용량 부과(pay per use) 방식을 매칭하여 사용하는 것이 분석에 적합하다고 판단하였다. 두 번째 의사결정마디인 가격수준은 의료 서비스의 가격 기준으로 가정한다. 3D로 대체되는 단계의 단가를 기준으로 하여 고수준(현재 의료비와 동일한 가격), 중수준, 저수준으로 나눌 수 있다.

3.3.3 불확실성 마디 구성

시술/구매정도는 3D프린팅으로 대체가능한 기준의 수요이며, 곧 기대수요를 뜻한다. 이러한 기대수요는 확률적 가정에 기초하여 설계해야 한다. 본 연구모형에서의 기대수요는 두 가지 불확실성

이 내포된다. 첫 번째는 전환 불확실성이다. 기본적으로 시간의 흐름에 따라 전환 가능한 기대수요에 변화가 존재할 것이라는 가정이다. 시장도입 1년차에 기존 의료절차의 기존 수요가 모두 3D프린팅 수요로 100% 전환될 수 없음은 너무나 당연한 사실이다. 이러한 한계 전환율을 연도별 범위형태로의 제시가 필요하다고 판단하였다. 예로 1년차에 기존 수요에서의 한계 전환율은 20%~50%로의 구간 값으로 가정될 수 있다. 2년차에는 30%~60%로 올라갈 것으로 가정할 수 있다. 두 번째로 서비스 가격수준 차이에 따른 반영된 한계 전환율이 발생확률을 정의하는 것이다. 기존 수요 중 1차 년도에 전환되는 비율은 가격수준마다 다르게 체감될 것인데, 고수준의 가격에서는 한계 전환율 최대치가 달성될 확률이 낮을 것이지만 저수준의 가격에서는 한계 전환율 최대치가 달성될 확률이 높다고 볼 수 있다. 이러한 두 가지의 불확실성에 대한 수치는 3D프린팅 관련 전문가들의 검토를 통해 설정하였다.

3.4 시뮬레이션

연구모형을 토대로 5개년의 각 연차별 시뮬레이션을 수행하고, 데이터를 통합하여 그래프를 통해 시간의 변화에 따른 예상 시장규모의 변화를 확인한다. 시뮬레이션 결과는 2014년 데이터의 의료비기준과 시술횟수를 기준(고정치)으로 삼았다.

본 연구에서는 스프레드시트에서 의사결정나무를 만들고 분석할 수 있는 Michael Middleton 교수에 의해 개발된 TreePlan이라는 툴을 활용하여 의사결정나무 시뮬레이션을 수행하였다. TreePlan은 MS Excel 기반 하에 확장기능을 제공하는 툴로 의사결정나무를 작성할 수 있고, 로직에 따라 각 마디의 모든 기대성과를 도출해준다[Frederick and Mark, 2008].

3.5 경제성 분석

시뮬레이션 결과와 기존의 시장통계 데이터(시장규모, 점유율 등)를 비교하여 의료용 3D프린팅 도입에 따른 시장규모 변화를 입체적으로 제시한다.

4. 사례분석 : 치과분야의 적용

3D프린팅 도입이 이루어진 의료분야 중 가장 활성화되어 있는 치과분야는 고도로 정교화 된 3D프린팅 상품이 출시되어 있고, 이를 실제 병원이나 치기공소에서 도입한 사례들이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 현실적용에 적합하다고 판단되는 치과분야에 적용하고자 한다.

4.1 의료프로세스 분석

건강보험심사평가원 자료인 <Figure 3>에서 확인할 수 있듯, 치과분야의 의료행위는 기본진료, 검사, 기능검사, 영상진단 및 방사선치료, 투약 및 조제, 주사, 마취, 처치 및 수술, 치과처치 수술, 치과보철 등 약 11가지 행위가 시행되고 있다. 이 중 의료용 3D프린팅 기술 도입이 이루어진 분야로 '치과 보철(Dental Prosthesis)' 분야가 있다. 치과 보철분야는 의치(완전틀니, 부분틀니), 금관치료, 임플란트 등이 있다. 틀니생산은 3D프린팅 기술이 가장 발전이 된 분야 중 하나이다. 3D 프린팅의 소재로서 금관은 아직 발전이 진행 중인 상황이며, 임플란트는 어버트먼트라는 지대주를 제작하는 것으로 잇몸 내에 삽입하는 장치이다. 인체내 삽입술은 바로 상업화되기에는 충분한 임상실험이 필요하며, 제도적인 장벽 또한 존재한다. 따라서 본 연구에서는 치과보철 중 의치(틀니)에 대한 의료프로세스 분석만을 수행한다.

의치(틀니)는 완전틀니와 부분틀니로 나누어진다. 먼저 의치(완전틀니)의 진료 단계 <Table

Treatments of Dentistry	Basic Examination	Examination(Basic Examination ,Emergency Examination)
	Examination	Specimen (Antibody), Pathology Examination(Tissue)
	Functional Test	Electromyography, Electroneurography, Teeth Examination, Occlusal Analysis
	Diagnostic imaging, Radiotherapy	Plain Radiograph, Magnetic Resonance Imaging
	Medication, dispensing	Discharged Patient Dispensing
	Injection	Intra-Muscular(Iy) (injection), Phleboclysis, Arterial Injection
	Anesthesia	Anesthesia(Intravenous Anesthesia), Nerve Block
	Physiotherapy	Basic Physical Therapy, Other Physiotherapy(Infrared Light)
	Treatment, Surgery	Basic Surgery
	Dental Treatment Surgery	Periodontal Disease, Treatment, Posttreatment, Periodontal Tissue Treatment
Dental Prosthesis	Complete Denture, Resin Phase, Dental Implant	

<Figure 3> 11 Treatments of Dentistry

2>는 A. 진단 및 치료 계획, B. 인상채득, C. 악관 관계채득, D. 납의치 시적, E. 의치장착 및 조정 등의 5단계의 프로세스를 거친다. 이중 'C. 악관 관계채득', 'D. 납의치 시적' 등이 의료용 3D프린팅 기술이 도입되면 대체가능한 절차이다. <Table 3> 의치(부분틀니)의 진료 단계는 A. 진단 및 치료 계획, B. 인상채득, C. 금속구조물시적, D. 악관 관계채득, E. 납의치 시적, 바. 의치장착 및 조정 등의 6단계 프로세스를 거친다. 이중 'C. 금속구조물시적', 'D. 악관관계채득', 'E. 납의치 시적' 등이 역시 의료용 3D프린팅 기술로 대체 가능한 분야로 식별·분석하였다.

4.2 데이터 수집

본 연구에서는 의료용 3D프린팅 기술의 예상

가격 데이터로 선정하기 위해 3D프린팅이 적용되지 않은 현재 치과의료 단계 별 서비스 가격을 기준으로 분석한다. 앞서 소개한 건강보험심사평가원의 2014 치과분야 급여기준 및 심사사례집에서 의치(완전틀니, 부분틀니)에 대한 데이터를 수집하였다.

<Table 2>의 완전틀니 데이터 의료프로세스 내 대체가능 의료절차인 C. 악간관계채득(164,300원)과 D. (219,070원)의 합계는 383,370원으로 전체 비용의 35.8%이다. 이 2개 의료절차의 의료비 합계가 의료용 3D프린팅 기술로 대체됐을 때 이용가격의 상한선(시술횟수 당 이용가격)이다.

<Table 3>의 부분틀니 의료프로세스에서는 C. 금속구조물시적(378,976원)과 D. 악간관계채득(109,479원), E. 납의치시적(108,170원)이 대체가

<Table 2> Complete Dentures Data

Medical Process (Complete dentures)	Average Price (₩)	Applicability of 3D printing Technology
A. Diagnosis and Treatment Planning	164,300	N
B. Impression Taking	248,835	N
C. Jaw Record Taking	164,300	Y
D. Try-in Wax Denture	219,070	Y
E. Placement of Complete Dentures and Adjustment	273,835	N
Total Sum	1,070,340	C+D = ₩383,370

〈Table 3〉 Partial Denture Data

Medical Process (Partial denture)	Average Price (₩)	Applicability of 3D printing Technology
A. Diagnosis and Treatment Planning	157,696	N
B. Impression Taking	178,034	N
C. Try-in Metal ceramic Structure	378,962	Y
D. Jaw Record Taking	109,479	Y
E. Try-in Wax Denture	108,170	Y
F. Placement of Partial Denture and Adjustment	352,335	N
Total Sum	1,284,676	C+D+E = ₩596,611

〈Table 4〉 Replaceable Procedure Data

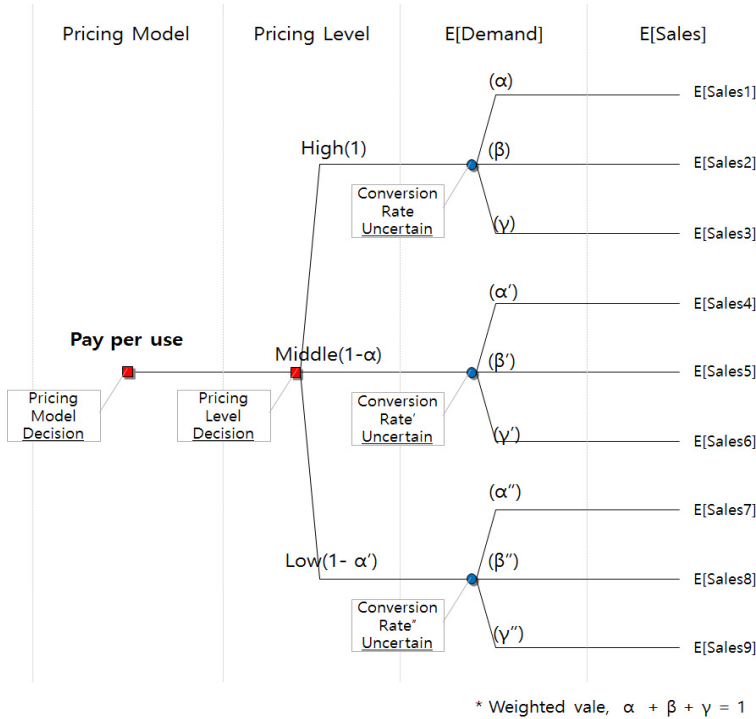
	Alternative medical procedure	Number of Patients	Number of Treatments	Average Number of Treatments
Complete Dentures	Jaw Record Taking	69,038	89,728	89,522 (about 90,000)
	Try-in Wax Denture	68,662	89,315	
Partial Denture	Try-in Metalceramic Structure	103,327	126,955	126,677 (about 126,000)
	Jaw Record Taking	103,255	127,139	
	Try-in Wax Denture	102,425	125,938	

능한 의료절차이다. 이 비용의 합계는 596,611원으로 전체 비용의 46.4%이다. 이 역시 의료용 3D 프린팅 기술로 대체했을 때 환자에게 받을 수 있는 1회 이용가격의 최대 상한선이다.

최종적인 매출액 규모를 예측하기 위해 기대수요인 시술횟수 데이터가 필요하다. 보건 의료 빅데이터 개방 시스템 내에서 각 의료절차별 ‘환자수’와 ‘시술횟수’ 데이터가 제시되어 있다. 〈Table 4〉는 의료용 3D프린팅 기술로 대체가능한 의료절차의 데이터를 합산결과표이다(2014년 기준). 완전틀니 의료프로세스 중 악관관계체득 시술은 연간 89,728회가 남의치 시적 시술은 89,315회 시술되었다. 본 연구에서는 이들 시술횟수를 시물레이션의 편의상 시술횟수 평균치를 올림하여 약 90,000회로 반영하였다. 마찬가지로 부분틀니 의료프로세스의 금속구조물시적, 악관관계체득, 남의치시적 단계의 평균 시술횟수를 약 126,000회로 반영하였다.

4.3 의사결정나무 모델링

수집한 데이터를 기반으로 의사결정나무 예측 모델링을 수행한다. 첫 번째로 의사결정 대안 및 불확실 사건의 명확화 단계이다. 완전틀니와 부분틀니 각각의 의사결정나무 모형을 구성하였다. 각각의 의사결정나무 모형은 〈Figure 4〉의 형태로 나타내며, 판매방식-가격수준-기대수요 단계로 형태를 구성하였다. 판매방식은 의사결정마디로 선행연구에서 의료용 3D프린팅 비즈니스는 제품-서비스 통합시스템 형태로 그 수익모델로서 사용량부과(pay per use)와 서브스크립션(subscription)이 가능하나, 본 연구에서는 수집 데이터의 특성상 사용량부과(pay per use) 방식을 단일 판매방식으로 택일하여 진행하였다. 의사결정마디인 가격수준은 앞서 확인한 완전틀니 3D프린팅 적용기술의 최대 의료비인 383,370원과 부분틀니 부분 최대 의료비인 596,611원을 기준으로 삼았다. 가격수준은 고수준(1), 중수준(1-a), 저수준(1-a')



<Figure 4> Decision-Making Tree based 3D Printing Market Prediction Model

로 의사결정마디로 선정하고 또 다시 분화하였다. 기대수요는 시술횟수와 한계전환율의 곱에 다시 한계전환율의 가격수준에 따른 발생가능확률 가중치의 곱으로 나타내었다. 가격수준별로 전환율을 각기 다르게 구성하는데, 이 전환율은 불확실성을 가지므로 3D프린팅 관련 전문가의 자문을 통해 결정하게 된다. 기대 매출액은 가격수준과 기대수요의 곱으로 나타내는 것이다.

4.4 시뮬레이션

앞서 모델링한 시장예측 모형은 완전틀니와 부분틀니 각각에 대해 5개년씩 시뮬레이션을 수행하였다. 가격수준은 물가상승률을 반영하지 않았고, 그 비율도 고정시켰다. 그러나 불확실성을 가진 전환율은 연차별로 전환율의 변화폭을 설정하였다. <Table 5>가 고려된 연도별 한계전환율 범위를 나타내는데, 이 한계전환율 도출은 전문가

자문을 통해 보수적인 결과를 낼 수 있는 수치들로 결정하였다.

<Table 5> Conversion Rate setting(During 5 Years)

Conversion Rate	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Max	50%	60%	70%	80%	90%
Middle	25%	30%	40%	50%	60%
Min	10%	20%	30%	40%	50%

시뮬레이션을 통해 모든 의사결정 가지(연도별 9개씩)에 대한 개별 기대 매출액이 도출되게 된다. 역산과정[Kim et al., 2009]을 통해 시장규모 예측을 수행하는데 가격수준별 3개의 개별 기대 매출액에 대해 전환율 가중치곱의 합을 구하는 방식으로 3가지 가격수준에서의 기대 매출액을 구한다. 도출된 3개의 기대 매출액 값 중 가장 큰 기대 매출액을 당해연도의 최종 기대 매출액으로 판단할 수 있다.

4.4.1 완전틀니 시장예측 시뮬레이션

TreePlan을 통해 모형화 된 의사결정나무 기반의 치과분야 3D프린팅 시장규모 예측 모델에 완전틀니 데이터를 삽입하여 5차 년도의 시뮬레이션을 수행하였다. <Table 6>은 1차 년도 완전틀니 시장규모예측 시뮬레이션 결과이다. 사용량 부과(pay per use) 판매방식으로 가정하고, 가격수준을 현재의료비와 동일가격(고수준), 중수준의 가격(75%), 저수준의 가격(50%)으로 결정하였다. 각각의 가격수준에서 1차년에 예상되는 한계 전환율(최대 50%, 중간 25%, 최저 10%)과 현재시장수요를 곱하여 기대수요(E.)를 구한다. 기대수요(E.)와 가격수준(B.)를 곱한 값이 개별 기대매출액(F.)이다. 이러한 기대매출액(F.)에는 한계 전환율이 발생할 확률의 불확실성이 고려되어야 하기 때문에 가중치값(G.)을 곱하였다. 가격수준별 기대매출액(F.)과 가중치곱의 합을 통해 최종적으로 3개의 합산 기대

매출액(E.)을 구할 수 있다. 합산 기대 매출액(E.) 중 가장 큰 규모의 금액인 중간 가격수준(75%)에서의 합산 기대매출액인 약 89억 2천 8백만 원이 최대로 달성할 수 있는 시장규모로 예측되었다.

마찬가지 방식으로 2차 년도부터 5차 년도까지 시뮬레이션을 수행하였다. 2차 년도의 기대 수익은 약 111억 2천 7백만 원, 3차 년도는 약 137억 1천 5백만 원, 4차 년도는 약 163억 3백만 원, 5차 년도는 약 193억 2천 2백만 원이 예측값이 도출되었다.

4.4.2 부분틀니 시장예측 시뮬레이션

부분틀니 역시 마찬가지로 방식으로 시뮬레이션을 수행한다(<Table 7> 참조). 그 결과 값으로 1차 년도는 약 194억 5천 만 원, 2차 년도는 약 240억 5천만 원, 3차 년도는 약 296억 4천 4백만 원, 4차 년도는 약 352억 3천 7백만 원, 5차 년도는 약 417억 6천 3백만 원이라는 시장규모 예측값을 도출하였다.

<Table 6> Market Prediction Simulations for Complete Dentures(Year 1)

Time Period	Price		C. Current Demands	Demands			Prediction	
	A. Price Level Decision	B. Price(W) [= 383,370×A]		D. Conversion Rate	E. Expected Demands [= C×D]	F. Expected Sales(W) [= B×DE]	G. Weighted Conversion Rate on each Price Level	E. Total Sum of Expected Sales(W) [= Σ(F×DG)]
Year 1	100%	383,370	90,000	50%	45,000	1,725,165,000	10%	4,312,942,500
				25%	22,500	8,625,825,000	20%	
				10%	9,000	3,450,330,000	70%	
	75%	287,528		50%	45,000	12,938,737,500	50%	8,928,016,403
				25%	22,500	6,469,368,750	30%	
				10%	9,000	2,587,747,500	20%	
	50%	191,685		50%	45,000	8,625,825,000	80%	7,634,046,810
				25%	22,500	4,312,912,500	15%	
				10%	9,000	1,725,165,000	5%	

<Table 7> Market Prediction Simulations for Partial Denture(Year 1)

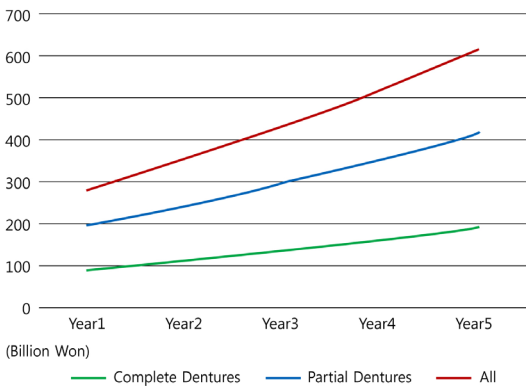
Time Period	Price		C. Current Demands	Demands			Prediction	
	A. Price Level Decision	B. Price(W) [= 596,611×A]		D. Conversion Rate	E. Expected Demands [= C×D]	F. Expected Sales(W) [= B×E]	G. Weighted Conversion Rate on each Price Level	E. Total Sum of Expected Sales(W) [= Σ(F×G)]
Year 1	100%	596,611	126,000	50%	63,000	37,586,493,000	10%	12,779,407,620
				25%	31,500	18,793,246,500	20%	
				10%	12,600	7,517,298,600	70%	
	75%	447,458		50%	63,000	28,189,854,000	50%	19,450,999,260
				25%	31,500	14,094,927,000	30%	
				10%	12,600	5,637,970,800	20%	
	50%	298,305		50%	63,000	18,793,215,000	80%	16,631,995,275
				25%	31,500	9,396,607,500	15%	
				10%	12,600	3,758,643,000	5%	

4.4.3 시뮬레이션 결과 종합

앞서 설계한 모형과 수집 데이터를 기반으로 의치분야 의료용 3D프린팅 기술도입에 따른 5년간의 시장규모(기대 매출액)을 <Table 8>과 같이 산출하였다. <Figure 5>를 통해서 확인할 수 있듯 치과 의료행위 중 전체 의치(완전틀니+부분틀니) 부분에서 ‘금속구조물시적’, ‘악간관계채득’, ‘납의치시적’ 등의 절차가 의료용 3D프린팅 기술이 적용되어 점진적으로 대체되어질 경우, 1차년도 : 약 283억 원, 2차년도 : 약 351억 원, 3차년도 : 433억 원, 4차년도 : 515억 원, 5차년도 : 약 611억 원 등의 기대매출액이 예측되었다. 예측결과가 우리나라 전체 치과 시장규모인 연간 약 8조 원(통계청 “기능별-재원별 국민의료비 지출” 2013년 기준)에 비하면 그다지 큰 규모는 아니나, 이는 보수적인 수치가 도출된 결과로 이해할 수 있다.

<Table 8> Simulation Results(unit : billion won)

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Complete Dentures	8.9	11.1	13.7	16.3	19.3
Partial Denture	19.4	24.0	29.6	35.2	41.8
All	28.3	35.1	43.3	51.5	61.1



<Figure 5> Market prediction trend

4.5 경제성 분석

본 연구는 전체 의료분야 및 치과분야의 통계 데이터(시장규모, 점유율 등)와 비교하여 의료용 3D프린팅 도입에 따른 시장규모 변화를 분석하였다. 앞서 도출된 의치(완전틀니, 부분틀니) 부분의 예상 시장규모가 약 282억 원(1차년도)에서 약 611억 원(5차년도)로 예측된다는 점은 전체 외래치과 진료비인 약 8조 원(통계청 “기능별-재원별 국민의료비 지출” 2013년 기준) 대비 큰 부분이라 할 수는 없다. 그러나 의치가 전체 치과 의료비 항목 중에서 차지하는 비중[Kim et al., 2012]을 감안하여 분석해볼 수 있다. 예를 들어 현재 3D프린팅이 적용 가능한 치과 의료분야는 보철과 치아교정 등이 있고, 이중 보철은 의치(틀니), 금관치료, 임플란트 등의 의료분야로 구분할 수 있다. 3D프린팅이 적용 가능한 의료항목들만 놓고 볼 때 이들 중 의치가 차지하는 의료비 지출 규모는 11.6%에 해당한다[Kim et al., 2012]. 따라서 의치 차지 비중인 11.6% 외에 나머지 의료분야(금관치료, 임플란트, 치아교정 등)에 의사결정 모형으로 예측한 내용과 유사한 방식으로 의료용 3D프린팅 기술이 도입된다고 가정하면, 단순비율 계산으로도 연간 기대수익은 1차년도에 최소 2,256억 원까지 예상되며, 5차년도에는 최소 약 5,258억 원까지 예상이 가능하다. 마찬가지로 3D프린팅이 치과 전체 영역에서 적용될 수 있다면, 치과 전체 영역 중 의치가 차지하는 비율이 5.6%[Kim et al., 2012]이므로 단순비율을 적용하여 1차년도에 최소 5,035억 원까지 예상이 가능하며 5차년도에는 최소 1조 892억 원 규모까지 예상가능하다.

실제로 의료용 3D 프린팅 기술 도입이 활성화되어 보편화되면 더 많은 수요를 불러일으켜 기존 시장규모의 크기를 훨씬 웃도는 규모적 성장을 이룰 수 있다는 것도 배제할 수 없다. 따라서 2013년

기준 치과 의료시장 규모인 8조 원 또는 그 이상인 치과 의료분야에서 의료용 3D프린팅이 대체가능한 시장규모가 될 수 있다. 나아가서는 2013년 기준의 전체 의료시장규모 102.9조 원(통계청 “GDP 대비 국민의료비 추이” 자료)[Ministry of Health & Welfare & Institution of Medical Welfare in Yonsei University, 2015] 시장에서 시뮬레이션 결과치인 7%(치과분야에서 전체 시장규모 대비 의료용 3D프린팅 기술의 시장규모예측치의 비중)의 시장점유율을 가져간다고 할 경우, 전체 의료분야에서 최소한 7조 2천억 원에 이르는 경제적 가치를 가진다고 나타낼 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 의료용 3D프린팅 기술의 도입에 따른 시장규모 변화를 예측하기 위해 예상 가능한 기대수익을 의사결정나무 모형을 사용하여 분석해보았다. 기본적인 분석의 대상을 치과분야 중 3D프린팅 도입이 가능한 보철(의치, 크라운, 임플란트 등) 분야로 선정하고 관련 의료프로세스 분석과 각 단계에서 발생하는 판매방식, 가격 수준, 기술횟수 등의 데이터를 수집하여 객관적으로 예측하였다. 예측 시뮬레이션 결과 치과분야의 의치(완전틀니, 부분틀니) 부문에서 3D프린팅 기술이 기존시장을 점진적으로 대체할 것으로 기대되는 예상 시장규모가 약 293억 원(1차 년도)에서 약 611억 원(5차 년도)로 나타났다.

본 연구는 최적 의사결정 대안을 선택하는 방법론인 의사결정나무 모형을 변형하여 신기술이나 서비스의 수요를 예측하는 방법론으로 제시하였다. 또한 불확실성을 고려한 경제성 분석을 시도했다는 점에서 학문적 가치가 있다고 하겠다. 기존 예측 방법론들이 수요예측에 있어서 미래 불확실성을 반영하지 못하고 있으나, 이 연구에서 전환율이라는 불확실성 변수를 고려한 예

측을 수행하였다. 또한, 실무적 가치로서 의료산업에 미치는 파급영향 등을 분석하기 위한 기초적인 자료로 활용될 수 있다. 추가적으로 본 연구방법론과 모형을 활용하여 의료분야 이외에 3D프린팅이 적용될 수 있는 산업을 분석할 수도 있다.

한계점으로는 전환율을 정성적으로 반영하였다는 점이다. 이 부분에 있어서는 3D프린팅 산학연 전문가들의 검증을 통해 객관성 부여에 노력하였으나, 보다 과학적인 전환율 도출이 시도되어야 하겠다. 또한 물가상승률과 기술횟수의 미래증가분 등은 반영하지 못했다는 한계가 존재한다. 후속 연구를 통해 시나리오분석 모델이나 Bass 모형과 같은 방법론과 접목한다면 더욱 정교하고 의미 있는 결과를 보여줄 것이라고 생각된다.

References

- [1] Frederick, S. H. and Mark, S. H., Introduction to Management Science, (1st ed.), McGrawHill, 2008.
- [2] Health Insurance Review & Assessment Service, 2014 Dentistry Salary criteria & Examination Case, (1st ed.), 2014.
- [3] Ministry of Health & Welfare & Institution of Medical Welfare in Yonsei University, Korea Institute for Health and Social Academy, 2013 National Health Expenditure & National Health Account, (1st ed.), 2015.
- [4] Ministry of Science, ICT and Future Planning, Ministry of Trade, Industry and Energy, Roadmap of the strategy for 3D printing technology, Report on the 3D printing-2014 year (1st ed.), 2014.
- [5] Bose, S., Roy, M., and Bandyopadhyay, A.,

- “Recent advances in bone tissue engineering scaffolds”, *Trends Biotechnol*, Vol. 30, 2012, pp. 546-554.
- [6] Christof, W., Arun, A., Benjamin, B., and Jochen, S., “Business Models in the Service World”, *Journal IT Professional*, Vol. 11, No. 2, 2009, pp. 28-33.
- [7] Deloitte, “Convergence of 3D Printing and Medical Technology”, *Deloitte Anjin Review*, No. 4, 2015, pp. 54-61.
- [8] Gross, B. C., Erkal, J. L., Lockwood, S. Y., Chen, C., and Spence, D. M., “Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences”, *Analytical Chemistry*, Vol. 86, No. 7, 2014, pp. 3240-3293.
- [9] Hockaday, L. A., Kang, K. H., Colangelo, N. W., Cheung, P. Y. C., Duan, B., Malone, E., Wu, J., Girardi, L. N., Bonassar, L. J., Lipson, H., Chu, C. C., and Butcher, J. T., “Rapid 3D printing of anatomically accurate and mechanically heterogeneous aortic valve hydrogelscaffolds”, *Biofabrication*, Vol. 4, 2012.
- [10] Hong, J.-S., Kim, T.-K., and Im, D.-O., “A Study on a Long-term Demand Forecasting and Characterization of Diffusion Process for Medical Equipments”, *Institute of Industrial Engineers*, 2008, pp. 442-450.
- [11] Im, S.-Y., “3D Printing Technology Convergence in Medical Industry”, *Science and Technology Policy*, Vol. 25, No. 7, 2015, pp. 10-13.
- [12] Jakab, K. R., Damon, B., Neagu, A., and Forgacs, G., “Three-dimensional tissue constructs built by bioprinting”, *Biorheology*, Vol. 43, 2006, pp. 509-513.
- [13] Kim, H.-S., Kim, M.-K., and Shin, H.-S., “Expenditure in ambulatory dental care and factors related to its spending”, *Journal of Health Policy and Administration*, Vol. 22, No. 2, 2012, pp. 207-224.
- [14] Kim, J.-S., “3D Printonomics, From centralized production to the reintroduction of craftman”, *Dong-A Business Review*, No. 173, 2015, pp. 74-83.
- [15] Kim, S.-H., Jung, B.-H., Park, M.-K., Park, J.-S., Ki, M.-R., and Pack, S.-P., “Status and Prospect of 3D Bio-Printing Technology”, *KSBB Journal*, Vol. 30, No. 6, 2015, pp. 268-274.
- [16] Kim, S.-H., Yeo, K.-B., and Kim J.-K., *Decision Making Analysis and Applications*, (2nd ed.), Yeongji-Munhwa, 2009.
- [17] Lee, S.-H., “Prospect for 3D printing Technology in Mdecal, Dental, and Pediatric Dental Field”, *J Korean Acad Pediatr Dent*, Vol. 43, No. 1, 2016, pp. 93-108.
- [18] Park, A.-R., Jin, D.-S., and Lee, K.-J., “Exploratory Case Study for Key Successful Factors of Prodcuy Service System”, *Intelligence and Information Systems*, Vol. 17, No. 4, 2011, pp. 255-277.
- [19] Park, G.-W., Kim, Y.-S., Kim, S.-H., and Park, K.-T., “PSS Design Based on Service Encounter Technology : Focused on Universal Design”, *Korean Journal of Business Administration*, Vol. 28, No. 8, 2015, pp. 2165-2185.
- [20] Pfister, A., Landers, R., Laib, A., Hubner, U., Schmelzeisen, R., and Mulhaupt, R., “Bio-functional Rapid Prototyping for Tissue en-

- gineeringApplications : 3D Biplotting versus 3D Printing”, *Journal of Polymer Science : Part A : Polymer Chemistry*, Vol. 42, No. 3, 2004, pp. 624-638.
- [21] Richard, D’Aveni, “The 3-D Printing Revolution”, *Harvard Business Review*, 2015, pp. 32-40.
- [22] Welfare & Medical Big Data Sharing System, “<http://opendata.hira.or.kr>”, Health Insurance Review & Assessment Service.

■ 저자소개



김민관

현재 한양대학교 지식서비스연구
 구소 책임연구원으로 재직 중
 이며, 한양대학교에서 경영학
 학사, 경영학 석사, 경영학 박사
 를 취득하였다. 주요 관심분야
 는 비즈니스모델, 인터넷서비스, 디지털 생태계
 등이다.



이정우

현재 한양대학교 지식서비스연구
 구소 연구원으로 재직 중이다.
 국민대학교 졸업 후, 숭실대학
 교 SW특성화대학원에서 공학
 석사(소프트웨어)를 취득하였고,
 2015년부터 한양대학교 일반대학원 경영컨설팅
 학과에서 박사과정 중에 있다. 주요 관심분야는
 데이터 과학, 비즈니스 인포매틱스, 디지털 비즈
 니스 등이다.



김영명

현재 KT 창조경제추진단장(상
 무)로 재직 중이며, 포항공대
 (POSTECH) 컴퓨터공학과 겸
 직교수로 활동하였다. 성균관대
 학교 산업공학과를 졸업하고,
 한국과학기술원(KAIST) 산업공학 석사, 경영공
 학 박사학위를 취득하였다. 주요 관심분야는 의사
 결정 방법론, IT 기획, 기술경영 등이다.



이기광

한양대 산업공학과에서 학사,
 한국과학기술원 산업공학과에
 서 석사 및 박사 학위를 취득하
 였다. LG전자 UMTS시스템연
 구소 선임연구원 및 동사 마케팅
 전략그룹 과장을 거쳐 현재 단국대학교 경영학
 부 부교수로 재직하고 있다. 주요 관심분야는 의
 사결정론, 정보 및 기술가치 분석, SCM 등이다.



한창희

한양대학교 경영학부 교수로 재
 직 중이다. 한양대학교 산업공
 학과에서 학사, KAIST 산업공
 학과에서 석사, KAIST 경영공
 학과에서 박사학위를 취득하였
 다. Rutgers University에서 교환교수 및 Georgia
 Institute of Technology 초빙연구원을 역임하였으
 며 현대정보기술, 오픈타이드에서 컨설팅을 수행
 하였다. 주요 관심분야는 ICT융합서비스, 전략 의
 사결정 분석, 기술혁신 등이다.