

# 엔지니어링 Modeling & Simulation 기술의 국가 경쟁력 분석

An Evaluation of the Global Technology Competitiveness on Engineering Modeling & Simulation

한유리(Yuri Han)\*, 김재성(Jaesung Kim)\*\*

목 차	
I. 서론	IV. 연구결과
II. 이론적 배경	V. 토의
III. 연구방법	VI. 결론 및 정책적 시사점

## 논문 요약

제조혁신 기술로서 엔지니어링 모델링 & 시뮬레이션(이하, Eng. M&S) 기술은 제조패러다임을 바꿀 대안기술로 주목되고 있으며, 해당분야 국가수준에서의 기술정책 육성을 위해 경쟁력 분석이 우선적으로 선행되어야 한다. 이를 위해 제조업에서 Eng. M&S가 갖는 의미를 고찰하고, 기존에 정립된 특허, 논문 계량 분석 경쟁력 평가모형을 기반으로 Eng. M&S 기술적 특성을 반영한 시장 관점에서 지표를 추가하여 Eng. M&S 기술에 대한 각국의 경쟁력을 도출을 시도하였다. 또한 모형의 통계적 검증을 통해 기존 계량정보 기반 평가모형보다 다양한 정보에 의한 높은 설명력을 확인하였고, 이에 따라 추가된 시장지표의 유용성을 확인할 수 있었다.

Eng. M&S 기술경쟁력 분석 결과, 한국의 경쟁력은 최고기술보유국가인 미국대비 절반 수준으로 7개 주요국 중 가장 낮게 평가되었으며, 도출된 결과를 기반으로 경쟁국들의 정책적 노력에 대해 논의하였다. 본 연구를 통해 설계역량이 현저히 낮다고 평가된 한국 제조환경에 맞는 Eng. M&S 기술 육성 정책 수립이 필요하며, 보다 근본적인 차원에서의 해당 기술 활용을 촉구하는 바이다.

**Keyword** : 모델링 & 시뮬레이션, 기술경쟁력, 특허논문 계량분석, 시장성, 제조혁신정책

\* 과학기술연합대학원대학교 과학기술경영정책전공 석사과정, 한국과학기술정보연구원 가상설계센터 학생연구원, yurihan@kisti.re.kr, 042-869-5430

\*\* 과학기술연합대학원대학교 과학기술경영정책전공 전임교수, 한국과학기술정보연구원 가상설계센터 센터장, jaesungkim@kisti.re.kr, 042-869-0913

## I. 서론

지난 2016 세계경제포럼(WEF)에서 ‘4차 산업혁명’이란 화두가 던져지며, 국제적으로 제조업 중심의 경제성장에 대한 중요성이 재조명되고, 제조업 안정화를 위한 노력이 진행되고 있다(김승현·김만진, 2016). 차세대 제조혁명(NMR) 혹은 차세대 생산혁명(NPR) 등에서 비롯된 4차 산업혁명에 대한 논의의 중심은 ICT를 결합한 제조업 혁신에 있으며, 이는 선택이 아닌 국가생존과 연결된 필수 요소로 자리 잡게 되었다(김승현·김만진, 2016; OECD, 2016). 오늘날의 제조환경 또한 많은 변화를 겪고 있다. HPC 등 하드웨어 자원 및 IoT 등 최신기술의 발전에 따라 재화나 서비스의 수준이 인간의 상상력을 넘어가고 있으며, 전통적인 방법으로는 주어진 시간과 비용, 그리고 더 복잡해진 제조환경 내에서 소비자에 맞는 제품을 구현해내기가 점점 불가능해지게 됨에 따라 제조 환경 및 제조 기술 패러다임이 급격하게 변화하고 있다.

현 제조 환경과 더불어 ‘The Next Manufacturing Revolution(NPR)’의 다양한 새로운 디지털 기술 및 프로세스를 제조기술과 융합한다는 관점에서 볼 때(Lavery et al., 2013), 엔지니어링 모델링 & 시뮬레이션(Engineering Modeling & Simulation, 이하 Eng. M&S) 기술은 차세대 제조혁신 실현을 위한 핵심기술로서 언급되고 있다(Deloitte, 2015). Eng. M&S는 제품 설계 시 물리적 실험을 대신해 컴퓨터상에서 여러 조건에 대한 실험을 필요한 만큼 무한히 반복하여 최적의 의사결정을 가능하게 함으로써 불필요한 시제품 제작 및 오류를 최소화하여 비용 및 시간을 획기적으로 절감시키는 기술로, 급변하는 제조 패러다임에의 안정적인 진입 및 차세대 제조혁신 선도를 위해 가장 필요하고 중요한 기술 중 하나라고 볼 수 있다. 이미 GE와 같은 글로벌 제조기업들은 Eng. M&S 기술을 개발 프로세스 전반에 적용하여 시장 선점에 나서는데 제조업 적용에서의 그 기술적 가치가 점점 높아지는 추세이다(박길수, 2015).

한편, 우리나라의 제조업은 최근 53년 만에 마이너스 성장을 겪는 등 위기를 맞이했으며(김승현·김만진, 2016), 그 근본적인 이유는 그동안 선진국 기술의 모방 및 국산화 위주의 제조방식을 채택해왔기 때문이라고 평가되고 있다. 본 연구에서는 제조업의 위기가 고착되고, 설계 역량이 부족한 우리나라(이정동, 2015)의 한계를 극복할 기술로서 Eng. M&S 기술을 다루고자 한다. 제조역량 확보를 위한 중요한 기술임에도 불구하고 현재 Eng. M&S 관련 정책연구는 미비한 실정이며, 보다 체계적인 기술육성 및 보급을 위해서는 우선적으로 국내·외 M&S 기술력 수준에 대한 진단이 필요한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 관련 특허 및 논문정보를 활용하여 Eng. M&S 기술경쟁력을 보다 객관적으로 분석하고, 이를 통한 정책적인 시사점을 제시하고자 한다. 본 연구 결과는 추후 관련 기술 육성을 위한 정책 수립의 기반 자료로서 활용될 것으로 기대한다.

본 절에 이어, 2 장에서는 Eng. M&S가 제조혁신에서의 역할 및 의미와 분석방법에 관한 선행연구를 살피고, 3 장에서는 분석방법에 대해 소개한다. 이어 4 장에서는 특허 및 논문 계량분석을 통해 도출된 각국의 경쟁력 분석결과에 대해 설명하고, 5 장에서는 결과에 대해 논의하며, 마지막 장은 결론 및 정책적 시사점을 제시한다.

## II. 이론적 배경

### 1. 모델링 & 시뮬레이션

#### 1) 엔지니어링 M&S의 학술적 정의

모델링 & 시뮬레이션(Modeling & Simulation, M&S)에 대한 학술적인 정의와 관련하여, SCIENCE(1992) 지는 일찍이 “컴퓨터 시뮬레이션은 과학의 제 3의 가지(the 3rd branch of science)” 라고 표현하며, 현대과학에 있어 필수응용학문분야로서의 M&S의 역할 및 중요성에 대해 다룬 바 있다. 이러한 M&S는 그 자체로 명백한 지식체계를 갖춘 하나의 분야로 인식되어 왔으며, 여러 학자들의 다양한 관점에 의해 정의되는 등 학술적인 체계 정립에 대한 시도가 꾸준히 이어져오고 있다.

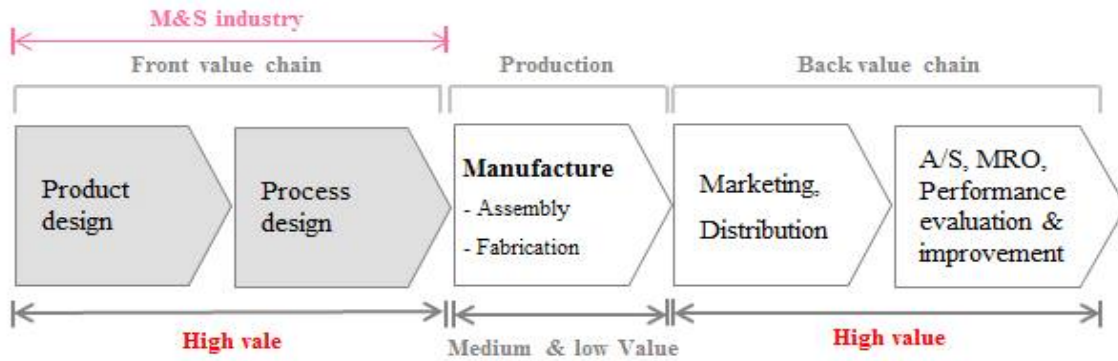
Banks(2009)에 따르면, M&S는 모델과 그 모델을 이용하여 해석, 실험, 혹은 훈련이 가능한 모든 분야를 아우를 수 있는 다학제적 특징을 가지고 있다. 여기서 ‘모델(Model)’이란 ‘실제 혹은 가상의 사례에 대한 이벤트나 물체 또는 시스템을 대변하는 것’으로 정의되며, ‘시뮬레이션(Simulation)’은 “수학적 혹은 상징적인 모델을 이용하는 시스템의 동작을 설명하는 응용수단”을 의미한다. 이러한 맥락에서 미 국방부(Department of Defense in US, DoD)는 M&S를 “시스템, 개체, 현상 및 프로세스를 나타내는 물리적, 수학적, 논리적 형태(Model)를 통계적 혹은 반복적으로 구현하는 수단”으로 정의하고 있으며, 이러한 개념은 현재까지 가장 일반적으로 통용되고 있다. (DoD in US, 1994)

한편, 미국연구재단(National Science Foundation, NSF)은 엔지니어링 관점에서 M&S 기술의 중요성을 강조하였다. NSF(2006)에 따르면, M&S는 “엔지니어링 시스템의 모델을 수립하고 이를 사용하여 물리적인 사건이나 반응을 계산 방법을 사용하여 예측하는 것”으로, 엔지니어들은 설계과정에서 M&S 기술을 통해 설계(design) 변경이 가능하고, 그에 따른 즉각적인 결과를 확인할 수 있으며, 값비싼 프로토타입을 만들거나 위험을 발생시키지 않고, 여러 대안들(alternatives)과 선택사항들(options)을 비교·평가할 수 있다.

#### 2) 엔지니어링 M&S를 통한 제조경쟁력 확보

엔지니어링 M&S 기술을 제조업에 결합하면 실제 모델 대신 디지털 공간에서 가상 프로토타입을 통해 최적 제품설계가 가능해진다. 제조업에서의 엔지니어링 M&S는 제품수명주기 중 개발 초기 단계에 적용되며, 이와 관련하여 제조 엔지니어링 내 M&S 기술의 적용 범위는 (그림1)과 같이 정의된다.(김명일 외, 2017) 제조업에서의 Eng. M&S는 시제품 제작과정 없이 가상(digitalized) 공간에서 제품 및 공정

에 대한 모델을 구현하고(Modeling) 공학해석(Simulation)을 수행하는 것으로, CAD (Computer-Aided Design) 및 CAE (Computer-Aided Engineering)를 사용하는 기술로 정의할 수 있다.



(그림 1) 제조 엔지니어링 서비스에 따른 제조업 가치사슬 내 M&S 산업 범위(김명일 외, 2017)

제조기업들은 M&S 기술 적용을 통해 다음과 같은 여러 이점을 얻는다: (1) 실제 물리적 모형을 만들어 실제 테스트 및 실험을 기반으로 한 R&D 활동을 대체할 수 있으므로 실험에 따르는 시간 및 비용을 절감하며, (2) 제품 설계 단계에서 제품 최적화를 위한 여러 정보를 제공함으로써 제품성능을 향상시키고, (3) 무엇보다 초기 설계단계에서 빠른 의사결정을 가능하게 함으로써 최종 제품비용 및 출시일 또는 효율적 생산 관리 및 시스템 최적화를 가능하게 하는 등 M&S는 전반적인 기업성과에 크게 기여할 수 있다.

이렇듯 Eng. M&S에 기반을 둔 제품설계기술은 직접적으로 제조기업의 설계역량을 향상시켜주는 수단으로 작용한다. Eng. M&S는 제품개발비용 및 시간의 획기적인 절감은 물론 일자리 창출 등 국가 경제 부흥에 바탕이 되는 핵심 기술이며, 활용여부는 제조기업의 경쟁력을 좌우하는 필수 요소로 인식되고 있다. (안연식·문송철, 2014; 김명일 외, 2017)

특히 4차 산업혁명이 이끄는 ICT 기반의 제조패러다임의 변화에 맞추어 Eng. M&S 기술은 제품개발 및 설계기술에 대해 기존의 시행착오 방식에서 데이터 기반의 가상설계·검증 방식을 채택함에 따라 전통적인 제조방식을 진부화시키는 ‘와해성 혁신수단’으로 언급되고 있으며(김명일, 2017; 김상태, 2015), Deloitte, BCG, McKinsey와 같은 주요 글로벌 컨설팅사에서 차세대 제조혁신을 위한 핵심 기술로 제시되는 등 제조기업의 기반기술로서의 중요성이 증대되고 있다.

### 3) 국내 M&S 기술 역량 진단에 대한 기존 연구

앞서 언급한 바와 같이, 국가적 수준에서 시의적으로 중요한 M&S 기술을 전략적으로 육성시키기 위해서는 우선적으로 자국의 기술력에 대한 진단이 필요하다. 우

수한 기술력을 확보하기 위해서는 막대한 투자가 이루어져야 하는데, 이 투자가 적절하게 이루어지기 위해서도 확보해야 할 기술의 분석과 평가가 먼저 실시되어야 하는 것이 바람직하기 때문이다.(권영주, 1995)

20여 년 전, 과학기술정책연구원(STEPI)에 의해 수행된 “설계 및 엔지니어링 국제경쟁력 분석” 연구에서는 이미 선진국들은 보편적으로 설계/엔지니어링 산업에 컴퓨터를 이용한 설계(CAD) 및 엔지니어링(CAE) 방식을 적극적으로 개발 및 도입함으로써 설계/엔지니어링 생산성 및 신뢰성의 획기적인 향상과 새로운 제품 및 시스템 개발이 가속화되고 있는 반면, 우리나라는 당시 선진국의 기술을 모방하고 습득하는 단계이며, 기술이 상대적으로 낙후된 수준이라고 평가하였다. (권영주, 1995)

제품 및 제작 환경이 점점 복잡해짐에 따라 설계/엔지니어링 역량은 갈수록 중요한 역할을 하게 될 것으로 전망되지만 우리나라는 해당 기술력이 선진국에 비해 매우 저조한 것으로 나타났다. 그러나 기존의 연구 결과를 그대로 활용하기에는 최신 기술 및 현 상황을 반영하지 못한다는 한계가 존재하기 때문에, 이를 갱신할 새로운 연구가 필요한 시점이다.

## 2. 기술경쟁력 평가 방법

### 1) 기존 M&S 기술경쟁력 평가방법의 고찰

기술경쟁력평가 또는 기술수준평가는 과학기술 또는 산업기술 등을 대상으로 국가, 산업, 기업 등 복수의 주체에 대하여 비교·평가하는 것으로 비교상대가 존재하거나 비교시점이 존재할 때, 비교대상간의 상대적인 기술역량의 크기를 비교하여 측정하는 것이다.(김대기, 2014) 과거 공업기술수준의 평가는 제품 및 산업에 대한 평가나 국제동향 파악에 따른 정성적인 평가 위주로 이루어져 왔는데, 우리나라의 엔지니어링 M&S의 기술경쟁력 분석 관련 선행 연구의 경우에도 전문가 의견에 따른 정성적인 결과를 제시한 수준이다.(권영주, 1995) 이러한 전문가 평가법 중 보편적으로 활용되는 델파이법의 경우 익명성을 보장으로 전문가들의 객관적 판단이 이루어질 수 있다고는 하지만 실제로는 대부분의 참여자들이 평균 수치를 확인 한 후 비슷한 값을 제시하기 때문에 오히려 신뢰도가 뛰어나지 않다는 의견도 많으며, 시간이나 비용이 많이 소요되는 단점이 있다고 평가된다.(박용태, 2014) 이러한 기존 연구결과를 보완하기 위해서는 보다 계량적 접근법에 근거한 분석이 필요하다.

### 2) 기술경쟁력 평가의 계량적 접근

정량적 평가 측면에서, 기술경쟁력의 측정은 기술의 “축적된 지식”이라는 관점에서 고려되어야 한다(Archibugi·CoCo, 2005). 특허권은 산출측면에서 기술활동을 반영한다. 이는 연구개발 활동의 중간생산물을 나타낼 수 있는 비교적 정확한 지표로 고려되며, 기술혁신 활동의 투입-산출의 복잡한 특성을 포함하기 때문에 풍부한 정보를

내포한다. (이공래, 1997; Pavitt·Patel, 1988) 또한, ‘기술’은 ‘실용적 목적으로 조직된 지식체계라고 정의될 수 있으며, 새로운 기술적 지식은 혁신에 의해서 증명된다. 혁신과 특허는 각각 기술적 영역과 밀접하게 관련되어 있으며, 이러한 관계는 특허가 기술진보 및 새로운 기술의 출현에 대한 적합한 지표로 사용될 수 있다는 점을 시사한다. (Dror, 1989) 또한 축적된 지식 관점에서 고려할 수 있는 또 다른 방법은 과학적 산출물인 논문 정보를 사용하는 것이다. 이것은 공공 지표의 투입과 밀접하게 연관된 산출 지표로 고려될 수 있다고 평가된다. (Archibugi & Coco, 2005)

특허정보는 산업 및 과학기술활동의 혁신지수로서(윤인식 외, 2011), 국가혁신역량을 측정하기 위한 확실한 지표로 활용되어 왔으며(Archibugi·CoCo., 2005), 논문정보는 특허와 함께 서지정보를 이용한 실증적 연구결과는 관련 분야의 효과적인 과학기술정책을 수립하는데 큰 역할을 할 것이다(Guo and Sheffield, 2008; Schultze and Stabell, 2004, Akhavan et al, 2016). 이러한 점을 고려하여 특정 기술에 대해 국가나 산업의 경쟁력을 측정할 때, 과학적(기초연구), 기술적(실용화) 측면을 모두 고려하는 것이 보다 정확한 분석을 가능하게 할 것이다.

### 3) 통합 기술경쟁력 평가모형의 대두

특허나 논문정보를 활용하여 특정 기술에 대한 국가 간의 수준 혹은 경쟁력 차이를 분석한 최근 연구들은 몇 가지 특정 지표를 활용하여 지표 특성에 따른 국가별 차이를 제시하는 연구가 지배적인 것으로 나타났다(윤문섭·이우형, 2003; 박정규·허은영, 2003; 박현우·김기일, 2007; 정하교·황규승, 2008; 박승 외, 2010; 주시형·여운동, 2012; 구기관 외, 2012; 구영덕 외, 2012; 조성도 외, 2013; 김중찬 외, 2015; 김찬중 외, 2015; 이호신 외, 2007; 안은영, 2014). 이러한 이슈를 해결하기 위하여 특허 및 논문을 모두 활용한 기술경쟁력 분석의 필요성이 대두되기 시작하였으며, 대표적인 개별 지표들을 통합한 ‘통합 기술수준 평가모형’에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. (keit, 2009; keit, 2011; 서규원, 2011; Cho, 2014; 조일구, 2014)

그 중, 조일구(2014)의 연구의 경우 소프트웨어분야에서 특허 및 논문 정보를 모두 고려한 기술수준 평가모형을 제안하였는데, 기존 모델의 다중공선성 문제를 보완한 대표적 지표들만을 사용하였으며, 기존 수행된 델파이 조사결과와 비교해본 결과 기존 방법론을 대체할 수 있을 정도로 상관관계가 유의한 것으로 평가되었다.

## III. 연구 방법

### 1. 기술경쟁력 평가모델 설정

#### 1) M&S 특성을 반영한 기술경쟁력 모델에 대한 고찰

상기 소개된 선행연구들 중, 조일구(2014)에서 제시하는 ‘통합기술수준평가모형 (Composite TLE(Technology Level Evaluation))’ 모형은 본 연구의 대상기술인 Eng. M&S 기술의 ‘CAD’ 및 ‘CAE’와 관련된 기술의 상위 개념인 소프트웨어(SW) 분야에 대한 기술경쟁력 평가방법으로서, Eng. M&S 분야 기술력 평가에 가장 부합하며 통계적 방법을 통해 검증된 모형이라는 점을 고려하여 해당 모형을 기반으로 기술경쟁력 분석을 진행하고자 한다.

다만, 분석에 앞서 M&S와 같이 모호한 기술적 특성상 특허 및 논문 내에서 분류 체계가 존재하지 않을 경우 관련 특허 및 논문 정보를 정확하게 획득하는데 어려움이 있을 수 있음을 고려하였다. 따라서 해당 분야를 명확히 대변할 수 있는 고유 지표에 대해 추가적으로 탐색하였으며, 이러한 노력의 일환으로 기술경쟁력에 대한 다음의 정의에 주목하였다. 이는 곧 기술경쟁력은 산업차원에서의 경쟁력을 반영하는 점을 시사한다: “기술경쟁력(technical competitiveness)은 기술측면의 국제경쟁력(international competitiveness)을 나타내는 것으로 경쟁기업이나 경쟁국가에 비해 재화 및 용역을 보다 저렴하고 우수한 품질로 생산하거나 신제품을 개발하여 생산하고 판매하는 능력으로 정의된다.” (이공래, 1997)

## 2) Eng. M&S 경쟁력 측정의 시장측면에서의 접근에 대한 고찰

시장적 측면에서 경쟁력을 판단할 때 경쟁우위의 개념을 적용하면, 이는 ‘산업 내에서 수익성, 시장점유율, 성장성, 투자수익률 등에서 장기적으로 다른 기업을 능가하는 것’을 뜻한다. 이 때, 시장점유율(market share)은 시장에서 달성된 경쟁위치(competitive position)를 반영한다. 수익성과 시장점유율의 관계를 분석한 수많은 연구결과는 시장점유율이 높은 기업은 그렇지 않은 기업에 비해 투자수익율이 보다 높게 나타나는 점을 밝혀왔으며, 기업은 수익성을 증가시키기에 앞서 시장점유율 증가가 선행되어야 한다고 평가되어왔다. (이경환, 2001)

이와 관련하여, 서란주·김진수(2011)는 기업의 기술혁신(특허활동)과 시장점유율이 기업가치에 미치는 영향에 대해 연구한 결과, 특허 및 시장 모두 기업가치에 정비례하며, 기업가치 향상을 위해서는 지속적인 기술혁신을 추구함과 더불어 시장점유율을 증가시킴으로써 기술혁신 효과가 증대될 수 있음을 주장하였다. 이러한 관점에서 산업에 대한 경쟁력을 측정할 때 가장 대표되는 지표로서 ‘시장점유율’의 사용을 고려해 볼 수 있다.

Eng. M&S의 산업범위는 재화와 서비스를 모두 아우르는 형태로, M&S 관련 상품은 ‘엔지니어링 Software(SW)’로서 모델링은 CAD 관련 제품군, 시뮬레이션은 CAE 관련 제품군으로 명확히 구분되며, 서비스 산업으로는 ‘엔지니어링 지식 서비스’로 분류된다. 이를 기반으로 SW를 제작/공급하거나 서비스의 형태로써 판매하는 시장을 형성하고 있으며, 대표적인 엔지니어링 SW 기업으로는 ANSYS, Dassault Systemes 사 등이 있다. 제조기업들은 이러한 SW를 구매하여 직접 사용하거나 컨설팅 서비스 등을 이용할 수 있는데, 이 때, 해당 제품 및 서비스 기업의 매출로 대

변되는 시장점유율이 높을수록 저렴하고 우수한 품질의 제품이나 서비스를 제공할 가능성이 높을 것이며, 이는 곧 기업의 경쟁력, 혹은 나아가 국가경쟁력으로 이어질 수 있다.

### 3) Eng. M&S 기술경쟁력 평가모델 구축 : STM TLE

이러한 맥락에서 기존 과학/기술 데이터 기반의 TLE 모형을 시장적 측면에서 공신력 있는 데이터에 기반하여 보다 객관적으로 보완할 수 있음을 가정하였다. 앞서 살펴본 시장점유율 측정 지표는 대표적으로 “판매량 기준 시장점유율”, “매출액 기준 시장 점유율”, “상대 시장 점유율” 등이 있는데(Marketing Metrics), 이 중, M&S 시장의 경우 국가적 차원의 전체 산업수준에서 다루기엔 매우 작은 규모라는 점을 고려하여 경쟁국들 간의 비교가 용이한 상대적 시장 경쟁력 평가 지표를 사용하고자 한다. 이 때, 상대적 시장점유율 지표는 투자수익과 매출수익과의 정의 관계에 있다고 검증된 바 있다. (이경환, 2001)

이에 따라, 본 연구에서는 ‘Composite TLE’(조일구, 2014) 모형에 상대적 시장점유율 지표를 추가하여 과학적, 기술적, 산업적 관점을 대변하는 특허-논문-시장의 3가지 측면에서 M&S 경쟁력 분석을 수행하고자 하며, 이를 “SMT TLE(Science, Technology, Market TLE)” 로 정의한다. 본 모형을 기반으로 주요 경쟁국과 우리나라 Eng. M&S 기술경쟁력을 비교하며, 기존 TLE 모형과 새로운 SMT TLE 모형을 비교분석을 통한 평가모델 검증과 더불어 국내 엔지니어링 M&S 관련 정책 수립을 위한 시사점을 도출하고자 한다.

## 2. 연구 프로세스

1단계	기술경쟁력 평가모델 수립
2단계	기술분류체계 작성 및 검색키워드 추출
3단계	특허 / 논문 / 시장 개량정보 도출 및 선별
4단계	기술경쟁력평가 모형의 지표 가중치 설정
5단계	기술경쟁력평가를 위한 통계분석 수행
6단계	결과 검증 및 결론

(그림 2) Eng. M&S 기술경쟁력 평가 점수화 연구 프로세스

Cho & Park(2014)의 연구에 따르면 특허 및 논문 정보를 활용한 기술경쟁력 평가 과정을 6 단계의 프로세스로 정립한 바 있으며, 이는 IT 분야의 기술경쟁력 평가 연구에 활발히 활용되어 오고 있다. (조일구 & 이증만, 2014; 조일구, 2015) 본



연구에서는 이를 토대로 시장정보 추가를 고려하여 <그림 2>와 같이 연구 프로세스를 재정리하였다. 1단계, Eng. M&S 경쟁력 측정에 적합한 지표 및 모델을 설정하고, 2단계, Eng M&S 분야에서 10년 이상의 경험을 가진 전문가 집단과 Eng. M&S 기술을 분류하고 검색용 키워드를 구성하였다. 3단계, USPTO의 출원/공개 특허 및 SCOPUS에 등록된 서지 정보를 이용하여 분석 데이터 구축 및 정제를 실시하였으며, 4단계, 각 지표의 가중치를 도출하기 위해 AHP 분석을 수행하였다. 5단계, 분석 데이터의 기초통계 데이터에 대해 안정화 작업을 실시하였으며, 이를 통해 개별 지표 수치를 산정하고 여기에 지표 가중치를 각각 곱한 값을 표준화하여 최종 기술 경쟁력 점수를 도출하였다. 마지막으로, 결과 및 시사점을 제시하였다.

### 1) 분석대상

Eng. M&S는 크게 모델링(Modeling) 파트와 시뮬레이션(Simulation) 파트로 나뉜다. 본 연구에서는 관련 분야에 10년 이상 경험이 있는 전문가 풀을 구성하여 회의를 통해 기술트리를 도출하였으며, 이에 기반하여 ‘Geometry Modeling’, ‘Meshing’, ‘Solving’ 단계를 정의하여 세부 키워드를 도출하였다. 관련 용어들의 일부를 <표 1>에 정리하였으며, 표 아래 단계별로 간략한 설명을 기술하였다.

<표 1> Eng. M&S의 기술 분류 및 관련 키워드

Technology	classification	process	Related keywords
Engineering Modeling & Simulation	Modeling	Geometry Modeling	Wire-frame Modeling, Surface Modeling, Solid Modeling, Half-space, topological method, CSG, B-rep, Feature-based...
		Meshing	Mesh topology first, Nodes first, Adapted mesh template, mesh smoothing, topology decomposition, node connection, grid-based, geometry decomposition, triangulation, quadrilateral, tetrahedron, hexahedron...
	Simulation	Solving	Structural Analysis, Fluid Dynamics analysis, FEM, FDM, FVM, DSMC, LBM, SPH, PIC, PPM, PEM, LES, DNS...

“Computational geometry modeling”이란 “컴퓨터 기반의 표현, 분석, 합성(설계) 및 2차원 및 3차원 형상의 컴퓨터 제어 제조” 라고 정의되며(Forrest, 1971), 컴퓨터 상에서 복잡한 물체나 상황의 움직임이나 성장 등을 실험하기 위해 사용하는 형상 모델생성 과정을 일컫는다. 메쉬 생성(Meshing)은 선행 단계에서 만들어진 모델의 그래픽 형태에 따라 다각형 혹은 다면체의 형태로 그 모델을 쪼개는 것이다. 이것은 격자(mesh) 하나당 계산식을 부여하여 개념 이미지(concept image)의 전체 수치를 도출하기 위한 전처리(preprocessing) 과정으로 통용된다. (K. Ho-Le, 1988) 마

지막으로 Solving(해석)은 대상 물체, 사건 등을 모사하는 컴퓨터 모델에 대해 여러 가지 조건을 부여하여 예측, 평가하는 방법과 기술을 일컫는다. 일반적으로 구조해석(Structure analysis)과 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)로 구분되며, 주요 분석기법으로는 Finite Element Method(FEM), Finite Difference Method(FDM), Finite Volume Method(FVM) 등이 대표적이다.

## 2) 데이터 수집

본 연구에서는 분석 DB로 미국특허청(USPTO)이 제공하는 데이터베이스를 사용하였다. 미국특허는 지금까지 국제 기술을 비교하는데 널리 사용되어 왔는데, 편중됨 없이 세계 각국에서 등록하여 각국의 특허상황을 평가하는데 상대적으로 공평하며(Narin et al. 1992), 특히 미국특허청에서 제공하는 DB에는 관련된 모든 인용정보가 포함되어 있기 때문에 인용지표를 사용함에 있어 적절하다고 평가되기 때문이다(Hall, 2004). 논문의 경우 엔지니어링 분야 저널이 다양한 scopus DB를 이용하였으며, 제조혁신정책을 보유하고 있는 주요국 중 한국, 미국, 일본, 프랑스, 독일, 영국, 중국, 7개 국가를 비교 대상국으로 설정하고 2001년부터 2016년까지 최근 16년간의 데이터를 추출하였다. 새로이 반영하는 시장점유율 분석을 위해서는 글로벌 시장분석 전문기업이 제공하는 공식적인 보고서 내의 2016년 기준의 시장규모 실측 데이터를 사용하였다. <표 2>

<표 2> 데이터 수집 개요

	특허	논문	시장
대상기술	엔지니어링 모델링 & 시뮬레이션		
대상국가	한국, 미국, 일본, 프랑스, 독일, 영국, 중국		
대상기간	2001.1.1.~2016.12.31. (출원일 기준)	2001.1.1.~2016.12.31. (출판일 기준)	2016년
대상 DB/data	USPTO (A1, B1, B2)	SCOPUS	시장보고서*
분석 데이터 수	907	2,551	7개국 대상

\* CAD: BIS Research (2017) Global Computer-Aided Design(CAD) Market - Analysis and Forecast(2017-2023)

\* CAE: Grand View Research (2017) Computer Aided Engineering(CAE) Market Analysis

## 3) Eng. M&S 기술경쟁력 평가모델: SMT TLE

조일구·이중만(2014)에 따르면, 통합 기술경쟁력 평가모델인 ‘Composite TLE’ 모델은 ‘Patent AMC’ 모델과 ‘Paper AC’ 모델로 구성되며, 여기에 ‘Market S’ 모델을 추가함으로써 본 연구의 평가모델인 ‘SMT TLE’ 를 정의할 수 있다. 특허기반 모델의 경우 특허활동도(PAI), 특허시장력(PMI), 특허영향력(PCI) 지표로 구성되고, 논문기반 모델은 논문활동도(BAI), 논문영향력(BCI) 지표로 구성되며, 시장기반 모

델은 시장점유율(MSI) 지표로 대변된다. 각 모델은 다음의 식 (1) ~ (4)에 따라 계산되며, 이 때, W, T, V, Z는 각 모델별로 도출된 가중치 벡터들을 나타낸다. 각 지표들에 대한 자세한 설명은 아래 <표 3>에 정리하였다.

$$\text{Patent AMC} = W \times P' = (W_1 \times \text{PAI}) + (W_2 \times \text{PMI}) + (W_3 \times \text{PCI}) \quad (1)$$

$$\text{Paper AC} = T \times B' = (T_1 \times \text{BAI}) + (T_2 \times \text{BCI}) \quad (2)$$

$$\text{Market S} = V \times S' = (\text{MSI}) \quad (3)$$

$$\text{SMT TLE} = Z \times U' = (Z_1 \times \text{Patent AMC}) + (Z_2 \times \text{Paper AC}) + (Z_3 \times \text{Market S}) \quad (4)$$

<표 3> 각 모델별 평가지표 설명 (조일구 · 이중만, 2014, 재구성)

모델	평가지표	지표설명
Patent AMC	특허활동도 (PAI)	· (절대적) 특허 출원건수 · PAI = 특정국가 특허출원수 ÷ 전체 특허출원수 · Patent Activity Index
	특허시장력 (PMI)	· 특허 패밀리 건수 · PMI = (특정국가 평균특허 Family 국가수/특정국가 특허출원건수) ÷ (전체 Family 국가수/전체 특허출원건수) · Patent Market-power Index
	특허영향력 (PCI)	· 피인용 특허등록건수 · PCI = (특허국가 피인용특허수/특허국가 특허등록건수) ÷ (전체 피인용특허수/전체 특허등록건수) · Patent Citation Index
Paper AC	논문활동도 (BAI)	· (절대적) 논문 게재건수 · BAI = 특정국가 논문수 ÷ 전체 논문수 · Bibliometric Activity Index
	논문영향력 (BCI)	· 피인용 논문수 · BCI = 특정국가 논문인용수 ÷ 총 논문인용수 · Bibliometric Citation Index
Market S	시장점유율 (MSI)	· 상대 시장점유율(%) · MSI = 특정국가 시장점유율(\$) ÷ 최고 경쟁국의 시장점유율(\$) · Market Share Index

### 3) 가중치 설정

기술경쟁력 평가에 고려되는 상기의 개별지표들과 각 모델이 갖는 중요도는 상대적으로 다를 수 있으며, 이에 대한 우선순위를 설정하여 보다 정확한 접근을 유도해야 할 필요가 있다. 각 지표의 가중치를 부여하는 방법으로 요인분석법 등 데이터에 근거한 방법이 있지만, 앞서 살핀 바와 같이 기술경쟁력에 사용되는 지표 및 모델 수가 많지 않아 시도가 어려우며, 특히 제조혁신의 수단으로 고려되는 Eng. M&S 기술의 시대적/기술적 특성을 반영하기 위해서는 정성적 방법에 의한 가중치 설정이 보다 정확한 결과를 유도할 것이다. 이에 따라 본 연구에서는 정성적 변수를 서로 비교하여 우선순위를 도출하는 방법으로 가장 보편적으로 통용되는 계층적

분석법(Analytic Hierarchy Process, APH)을 통해 지표별 가중치를 설정하였다.

가중치 분석을 위해 학계 및 연구기관에 소속된 Eng. M&S 및 계량분석 관련 전문가 12명을 대상으로 워크숍을 통한 설문을 실시하여 각 개별지표 및 모델에 대한 AHP 분석을 실시하였으며, 결과를 <표 4>에 정리하였다.

<표 4> AHP를 통해 도출된 모델별/지표별 가중치

모델유형	개별지표 (global / local)
SMT TLE (1.000)	PAI (0.116 / 0.356)
	Patent AMC (0.325)
	PMI (0.075 / 0.232)
	PCI (0.134 / 0.412)
	Paper AC (0.287)
	BAI (0.061 / 0.214)
Market S (0.388)	BCI (0.226 / 0.786)
	MSI (0.388 / 1.000)

#### 4) 데이터 안정화 및 표준화

서규원(2011)은 기술수준을 측정하는 지표에 대해 표준의 변동성과 왜곡된 분포를 보완 또는 방지하기 위해 적합한 변환을 해야 하며, Re-scaling 방법을 통해 표준화를 해야 한다고 제안하였다. 본 연구에서는 특허, 논문, 시장에 대한 원본 데이터(raw data)에 대해서는 제곱근 변환법(Root Square Transformation)을 실시한다. 데이터 비교 용이성 확보를 위해서는 계산된 평가모델 값을 ‘최고수준 국가의 점수 값 대비 특정국가의 기술수준 값’으로 표준화하는 방법을 채택한다. (조일구·이중만, 2014; 조일구, 2015)

## IV. 연구 결과

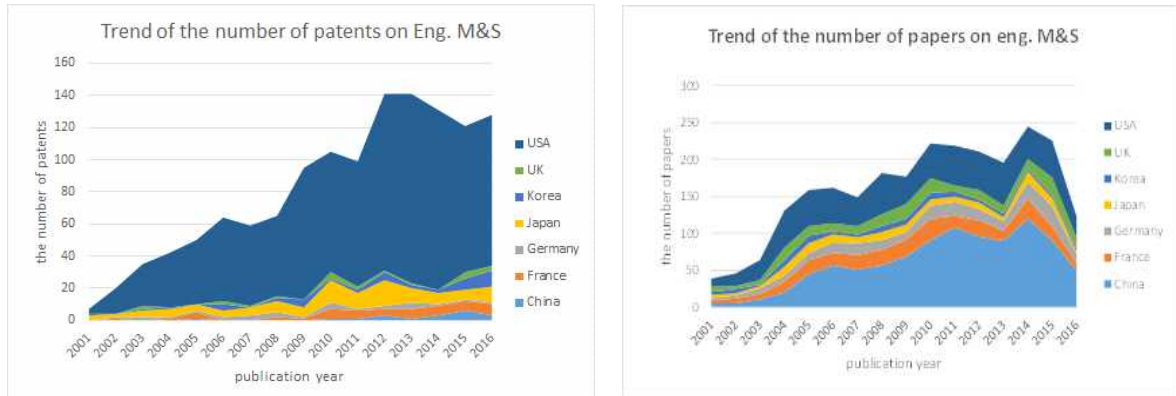
### 1. 기초통계분석을 통한 Eng. M&S 현황분석

#### 1) Eng. M&S 관련 특허 및 논문 생산추이

엔지니어링 M&S 분야의 2001~2016년의 16년간의 특허를 등록/공개수 추이는 2000년대 후반까지 서서히 증가하다가 2008년 이후 급격히 증가하는 양상을 띄며, 특히 주요국들의 제조혁신수립·발전 시기인 2011~2013년 사이에 다시 한 번 빠르게 성장한 것을 시사한다. 나라별로는 미국특허청 DB 특성에 따라 미국의 자국 내 출원이 가장 많은 것으로 나타났으며, 다음으로 일본, 프랑스, 한국 순으로 나타났다.

논문의 경우 2003년 급격한 성장세와 함께 2010년까지 계단식 성장추이를 나타낸 반면, 2010년대 이후 성장이 미세하게 감소하기 시작하여 최근 논문 수는 2000년대 초반 수준으로 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 엔지니어링

M&S 관련 기술의 경우 기술수명주기측면에서 기술의 이론적인 면은 최근 논문수가 감소함에 따라 성숙기에 접어든 것으로 보이며, 실용화 단계로서의 기술은 아직 성장 중인 것으로 사료된다. (그림 3)



(그림 3) Eng. M&S의 USPTO 특허(좌) 및 SCOPUS 논문(우) 추이 (2001~2016)

## 2) Eng. M&S 시장

분석에 앞서, Eng. M&S 기술의 핵심인 CAE 시장을 살펴보면 2015년 세계 CAE 산업 시장규모는 5,237백만 달러였으며, 2016년부터 2025년까지 연평균 9.6%씩 증가하여 2017년 CAE 산업 시장은 6,091백만 달러, 2025년 CAE 산업 시장은 12,178백만 달러로 성장 할 것으로 추정되고 있는 만큼 대규모의 시장 확대가 예상되고 있다. (BIS, 2017) 그 중, 분석에 사용된 데이터는 7개 주요국의 2016년 시장점유율 대상이며, 다음의 <표 5>에 시장데이터를 비롯한 기술경쟁력 분석에 사용되는 원시데이터를 정리하였다.

<표 5> STM TLE 모델의 개별 지표에 대한 원시 데이터(raw data)

국가	Patent			Paper		Market(MSI) (mil\$)		
	PAI	PMI	PCI	BAI	BCI	M&S	CAD	CAE
한국	32	79	131	92	599	374.1	247.5	126.7
미국	711	1,040	4,894	668	6,162	2,966.3	2191.9	774.4
일본	76	184	293	132	944	835.5	485.9	349.6
프랑스	34	146	94	270	2,312	647.9	354.6	293.3
독일	22	56	168	213	1,804	1,354.7	776.5	578.2
영국	15	55	95	209	1,202	875.8	431.5	444.3
중국	17	44	23	967	2,357	929.6	733.4	196.2
합계	907	1,604	5,698	2551	15,380	7,983.9	5221	2763
평균	129.6	229.1	814.0	364.4	2,197.1	1,140.6	745.9	394.7

## 2. Eng. M&S 기술경쟁력 결과

### 1) STM 기반 Eng. M&S 기술경쟁력

<표 6>은 앞서 제시된 기초 통계결과와 가중치를 바탕으로 STM TLE 모델에 기반하여 세부 모델별 기술경쟁력 점수를 도출하였으며, 향후 기존 모델과의 비교를 위해 특히 및 논문 이를 최고기술보유국 대비 해당국의 비중으로 나타내었다.

<표 6> Eng. M&S 기술경쟁력 (STM TLE 기반)

		※ 최고기술보유국 = 100 (%)							
구분	분석모델	한국	미국	일본	프랑스	독일	영국	중국	평균
M&S		51.0	100.0	61.4	60.5	76.2	68.4	58.7	<b>68.0</b>
Geometry Modeling	STM TLE	54.5	100.0	65.9	58.9	67.2	70.2	59.8	<b>68.1</b>
Meshing		43.8	100.0	71.8	70.5	89.2	80.6	41.1	<b>71.0</b>
Solving		52.9	100.0	66.8	68.8	87.4	77.3	57.8	<b>73.0</b>

<표 6>의 결과에 따라, M&S 전체 기술력은 미국이 가장 높았으며, 독일, 영국, 프랑스 등 유럽 국가들이 뒤를 이었다. 그 중, 독일이 미국대비 76.2 % 로 미국과 약 23.8 %의 격차를 나타내며 2위에 등록되었고, 영국이 7개 국가의 평균과 비슷한 68.4 % 수준으로 3위를 차지하였다. 다음으로 일본과 프랑스가 미국 대비 약 39 % 정도로 서로 비슷한 수준이었으며, 중국이 58.7 %를 차지하며 뒤를 이었고, 한국은 미국과의 격차가 절반 가까이 차이는 결과를 보이며 Eng. M&S의 기술경쟁력이 가장 낮은 것으로 나타났다.

한편, 기술별로 경쟁력을 비교한 결과는 특히 미국이 Eng. M&S의 전 분야에서 가장 경쟁력 있는 국가임을 반증한다. 전체 경쟁력 2위를 차지한 독일은 그 중 특히 Meshing과 Solving을 아우르는 시뮬레이션 분야가 우세한 것으로 보인다. 영국의 경우 독일과는 반대로 Geometry Modeling 기술경쟁력이 강점인 것으로 분석되며, 전통적으로 CAD 기술이 발달되어 있음을 유추할 수 있다. 일본은 Solving 분야보다 Modeling 기술이 더욱 우세하여 영국과 비슷한 강점을 지닌 것으로 파악되며, 일본과 비슷한 수준이었던 프랑스는 나머지 분야에서 평균 정도의 수준을 나타내었다.

7개 주요국 중, 평균보다 매우 저조한 경쟁력을 보이는 중국과 한국은 세 분야에서 모두 비슷한 수준으로 나타났으며, 특히 Meshing 분야의 경우는 나머지 국가들의 경우 Meshing 분야에서 강세를 보이는 추이와 반대로 미국 대비 60 % 가까이 뒤쳐지는 등 기술경쟁력이 매우 낮은 것으로 분석되었다. Meshing 기술은 M&S 활용과정에서도 병목현상을 일으킨다고 평가되는 고급기술이며, 이러한 결과는 다루

기 어려운 기술일수록 엔지니어링 역량차이를 확연히 나타내는 것을 시사한다.

## 2) 기술경쟁력 모델 간 비교에 따른 강점 및 취약점 탐색

### (1) 기존 모델과의 비교 : STM TLE - Composite TLE

앞서 살핀 M&S 기술경쟁력은 과학적, 기술적, 시장적 측면을 모두 고려하여 도출한 결과였다. Eng. M&S 시장지표가 제외된 경쟁력 결과와의 비교를 위해 다음에 제시되는 <표 7>의 결과를 분석해보고자 한다.

<표 7> Eng. M&S 기술경쟁력 (TLE 및 STM TLE 비교)

		※ 최고기술보유국 = 100 (%)							
구분	모델	한국	미국	일본	프랑스	독일	영국	중국	평균
M&S	Composite TLE	68.8	100.0	70.9	76.3	86.1	84.5	61.9	78.4
	STM.TLE	<b>51.0</b>	<b>100.0</b>	<b>61.4</b>	<b>60.5</b>	<b>76.2</b>	<b>68.4</b>	<b>58.7</b>	<b>68.0</b>

먼저 양 모델 비교 결과, 가장 두드러지는 점은 미국 대비 격차 수준이 모델에 따라 약 10 %에서 많게는 15 % 이상 차이가 난다는 점이다. 이 때, 기존 Composite TLE 모델은 우리나라가 중국보다 약 7 % 앞서고 있는 반면, STM 모델에서는 반대로 7 % 이상 뒤처지면서 순위가 바뀐 점을 주목할 수 있다. 이러한 차이점에 대해 보다 객관적으로 분석하기 위해서는 각 모델에 대한 심층적인 결과 분석이 필요하다.

### (2) 기술 - 과학 - 시장 측면에서의 경쟁력 비교

#### ① 기술적 측면 : Patent AMC

<표 8>은 특허기반 모델인 'Patent AMC'에 대한 국가-기술별 비교결과이며, STM TLE 보다 점수가 전반적으로 높은 것으로 나타났다. 현재 미국, 영국, 독일에 의해 선도되고 있으며, 이는 관련 기업들의 왕성한 혁신활동을 시사한다. 한편, 통합기술경쟁력 모델 수준에서는 모두 1위였던 미국은 모델링 기술의 특허 점수가 상대적으로 저조하게 나타났다. 특허 측면에서의 모델링 분야 선두자는 현재 영국과 일본인 것으로 판단된다. 우리나라는 여전히 하위권이지만, 미국 대비 약 80 % 수준의 기술적 경쟁력을 보유하고 있는 것으로 파악되며, 반면 중국의 경우 약 60 % 수준의 매우 낮은 경쟁력을 나타낸다.

〈표 8〉 Eng. M&amp;S 기술경쟁력 - 기술적 측면 (특허)

※ 최고기술보유국 = 100 (%)

모델	구분	한국	미국	일본	프랑스	독일	영국	중국	평균
	M&S	78.4	100.0	79.0	80.2	94.4	94.5	59.1	83.7
Patent AMC	Geometry Modeling	78.9	87.9	91.4	76.6	76.9	100.0	52.9	80.7
	Meshing	52.9	98.0	84.9	83.1	100.0	99.2	24.0	77.5
	Solving	77.6	100.0	71.8	81.6	94.4	86.9	60.6	81.8

## ② 과학적 측면 : Paper AC

논문을 기반으로 경쟁력을 분석한 'Paper AC' 모델의 경우, 전반적으로 최고경쟁국인 미국 대비 수준이 절반에 미치는 등 매우 낮은 경쟁력을 나타냈다. 특히 한국은 과학적 측면에서 미국의 32 % 수준의 경쟁력을 보였고, 특히 Meshing 기술은 25 % 수준에 그치는 등, 이는 곧 기반 기초기술 부재로 연결되어 궁극적으로 설계에 관한 기반 기술이 매우 부족함을 시사한다. 반면 중국의 경우 특히 시뮬레이션 부분에서 매우 높은 경쟁력을 나타내고 유럽국들은 상대적으로 낮은 경쟁력을 보인다와 같이, 전반적으로 특허와는 반대 양상을 띄고 있다. <표 9>

〈표 9〉 Eng. M&amp;S 기술경쟁력 - 과학적 측면 (논문)

※ 최고기술보유국 = 100 (%)

모델	구분	한국	미국	일본	프랑스	독일	영국	중국	평균
	M&S	32.3	100.0	40.1	61.7	54.5	46.3	72.5	58.2
Paper AC	Geometry Modeling	42.7	100.0	32.6	59.8	37.3	55.7	68.3	56.6
	Meshing	25.2	100.0	43.6	66.3	58.5	32.4	52.2	54.0
	Solving	24.9	100.0	43.7	58.8	64.2	47.0	89.9	61.2

## ③ 시장 측면 : Market S

각국의 시장점유율은 미국을 100 %로 보았을 때, 2위인 독일조차 미국의 70 %에도 미치지 못하는 수준으로 파악되며, 중국, 영국, 일본 등이 그 뒤를 잇는 것으로 나타났다. 모델링을 반영하는 CAD 시장의 경우 미국이 절대적 우위에 있으며, 독일과 중국이 미국 대비 60 % 수준으로 그 뒤를 잇는다. 한편 Meshing 및 Solving 기술을 포함하는 시뮬레이션에 대한 CAE 시장은 독일이 미국과 15 % 차이를 보이며 강력한 SW 시장을 쥐고 있는 것으로 파악된다. 한편, 영국과 일본의 경우 국가 규모에 비해 CAE 시장에서 강세를 보이고 있으며, 중국의 경우 CAD 시장보다 상대적으로 작은 규모의 시장점유율을 보유한 것으로 분석된다. 그러나 우리나라의 경우 미국 대비 30 % 수준으로 가장 저조한 시장력을 나타내는 바이다. <표 10>



<표 10> Eng. M&S 기술경쟁력 - 시장 측면 (시장점유율)

		※ 최고기술보유국 = 100 (%)							
모델	구분	한국	미국	일본	프랑스	독일	영국	중국	평균
Market S	M&S	35.5	100.0	53.1	46.7	67.6	54.3	56.0	59.0
	Modeling	33.6	100.0	47.1	40.2	59.5	44.4	57.8	54.7
	Simulation	40.4	100.0	67.2	61.5	86.4	75.7	50.3	68.8

현재까지 STM TLE를 구성하는 각 모델에 기반하여 결과를 분석하였다. 전반적으로 결과는 미국 > 유럽국가 및 일본 > 한국 중국 순으로 경쟁력의 크기를 그로 평가할 수 있다. 중국의 경우 특히 경쟁력이 취약한 반면, 우리나라는 논문과 시장 경쟁력이 매우 저조한 것으로 평가된다. 그렇다면 각 세부 모형들이 통합평가모형을 얼마나 잘 설명하는지, 다시 원점으로 돌아가 기존 경쟁력 모델과 어떤 차이점이 있는지, 어떤 모형이 실제 경쟁력과 더 부합하는 지에 대해 몇 가지 통계기법을 활용하여 탐색해보고자 한다.

### 3. Eng. M&S 기술경쟁력 평가모델 - STM TLE의 통계적 검증

#### 1) 지표 간 다중공선성 확인

다음은 SMT TLE 모델의 개별지표 간 중복되는 지표가 있는지 확인하기 위해 국가별/연도별로 도출된 112개 세트의 지표 데이터를 구성하여 토대로 분산팽창계수(variance inflation factor, VIF)를 이용한 통계검증을 실시하였다. 그 결과 모두 VIF 값이 10 미만으로 다중공선성은 나타나지 않았으며, 이를 통해 개별지표의 고유성을 확인 할 수 있다. <표 11>

<표 11> STM TLE 모델의 개별지표 간 다중공선성 분석 결과

Variables	PAI	PMI	PCI	BAI	BCI	MSI
VIF	2.03	2.17	1.43	2.79	1.48	2.83

#### 2) 기술경쟁력 평가모델 간 상관관계 분석

모형 간의 설명력을 도출하기 위해 통계기법을 적용하기에 앞서, 기술별로 경쟁력 결과가 다른 점을 고려하여 상관분석 수행 시 기술에 따라 다른 설명력을 가질 수 있다는 가정을 하였다. 이에 따라 아래와 같이 5 개의 데이터세트를 구성하여 각각에 대해 분석하고자 한다. 이 때, 각 모형에 대한 수치들은 비교의 용이성을 위해 상기에 제시된 기술경쟁력 결과값들과 같은 형태로, 0 에서 100 까지 위치한 표준화된 값들을 활용하였다. 이 분석 시에서는 특히 새로 추가된 시장지표를 중심으로

분석결과를 활용하고자 한다. 상관분석의 방법으로는 소표본 시 활용되는 비모수적 접근법인 spearman을 통해 rho 값을 도출하고자 한다.

- 국가(7개국) × 기술분야(3개 모두) = 21개 데이터 세트
- 국가(7개국) × M&S (1개) = 7개 데이터 세트
- 국가(7개국) × Modeling (1개) = 7개 데이터 세트
- 국가(7개국) × Meshing (1개) = 7개 데이터 세트
- 국가(7개국) × Solving (1개) = 7개 데이터 세트

### (1) 국가(7개국) × 기술분야(3개 모두)

이 분석은 M&S 기술이 세부 기술 분야와는 상관없이 21개 세트로 도출된 전체 결과를 대상으로 했을 때의 지표간의 상관성을 파악하기 위함이다. 아래 <표 12> 와 같이, Paper AC 모형 외에 나머지 모형 모두 99.9 % 의 높은 신뢰수준에서 통계적으로 좋은 설명력을 가진다고 나타났다. 특히 Market S과 STM TLE 간 설명력이 0.96 이상이며, Patent AMC와 Composite TLE 모델 간 설명력은 0.93 이상을 차지함에 따라 각 상위모델과 가장 관련이 깊은 세부모델과의 관계라 평가할 수 있다. 한편, 비교 대상인 Composite TLE와 STM TLE 사이에도 높은 상관성이 나타났다. <표 12>

<표 12> 기술경쟁력 평가모델 간 상관분석결과 - 7개국 \* 3개 분야 모두일 경우 (M&S 전반)

	Patent AMC	Paper AC	Market S	Composite TLE	STM TLE
Patent AMC	1.000	0.238	0.708	0.932	0.826
Paper AC	0.238	1.000	0.464	0.392	0.437
Market S	0.708***	0.464*	1.000	0.774	0.962
Composite TLE	0.932***	0.392	0.774***	1.000	0.894
STM TLE	0.826***	0.437*	0.962***	0.894***	1.000

p<0.05\*, p<0.01\*\*, p<0.001\*\*\*

### (2) 국가(7개국) × M&S (1개)

다음은 Eng. M&S 최종 경쟁력을 대상으로 상관분석을 실시한 결과이다<표12>. 이 중, Patent AMC는 Composite TLE와 STM TLE 모델과 모두 높은 설명력을 가지고 있는 것으로 나타났으며(p<0.01). 시장지표인 Market S의 경우 STM TLE에 대해 설명력을 가지는 것으로 나타났다(p<0.05). 이 때, Composite TLE와 STM TLE 간에 매우 높은 상관성이 있음이 관측되었다. <표 13>

〈표 13〉 모델 간 상관분석결과 - 7개국 \* M&S

	Patent AMC	Paper AC	Market S	Composite TLE	STM TLE
Patent AMC	1.000	0.321	0.536	0.964	0.893
Paper AC	0.321	1.000	0.714	0.357	0.429
Market S	0.536	0.714	1.000	0.607	0.786
Composite TLE	0.964**	0.357	0.607	1.000	0.929
STM TLE	0.893**	0.429	0.786*	0.929**	1.000

p<0.05\*, p<0.01\*\*, p<0.001\*\*\*

**(3) 국가(7개국) × Modeling (1개)**

앞서 살핀 M&S 모델과 마찬가지로 Composite TLE와 Patent AMC 간의 상관성과 STM TLE와 Market S 간의 상관성이 확인되었으나, 나머지 모델 간의 상관성은 매우 낮거나 통계적으로 유의미하지 않는 것으로 나타났다. 〈표 14〉

〈표 14〉 기술경쟁력 평가모델 간 상관분석결과 - 7개국 \* Modeling

	Patent AMC	Paper AC	Market S	Composite TLE	STM TLE
Patent AMC	1.000	-0.321	0.429	0.857	0.679
Paper AC	-0.321	1.000	0.107	0.071	0.071
Market S	0.429	0.107	1.000	0.500	0.929
Composite TLE	0.857*	0.071	0.500	1.000	0.750
STM TLE	0.679	0.071	0.929**	0.750	1.000

p<0.05\*, p<0.01\*\*, p<0.001\*\*\*

**(4) 국가(7개국) × Meshing**

Meshing 분야의 경우에도 Patent AMC와 Market S는 Paper AC를 제외한 모든 모델에 대해 높은 설명력을 가지며, 특히 Composite TLE 모델과 STM TLE 모델에서 높은 지수를 나타낸다. 양 모델 또한 서로 높은 설명력을 가지고 있는 것으로 나타남에 따라 시장지표의 유용성을 고려할 수 있다.(p<0.01) 〈표 15〉

〈표 15〉 모델 간 상관분석결과 - 7개국 \* Meshing

	Patent AMC	Paper AC	Market S	Composite TLE	STM TLE
Patent AMC	1.000	0.214	0.857	0.857	0.893
Paper AC	0.214	1.000	0.571	0.571	0.464
Market S	0.857*	0.571	1.000	0.929	0.964
Composite TLE	0.857*	0.571	0.929**	1.000	0.964
STM TLE	0.893*	0.464	0.964**	0.964**	1.000

p<0.05\*, p<0.01\*\*, p<0.001\*\*\*

(5) 국가(7개국) × Solving (1개)

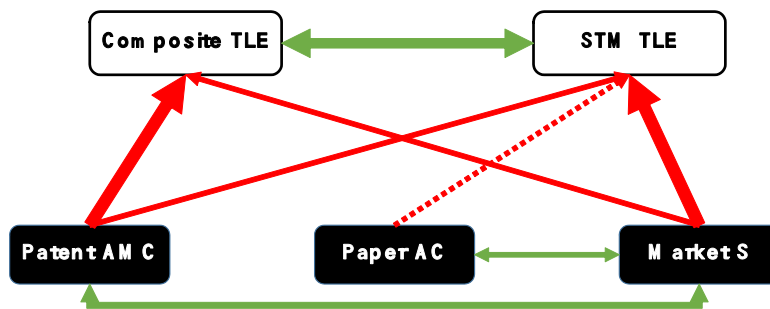
마지막으로 Patent AMC와 Market S 모델 각각 모두 Composite TLE 및 STM TLE 모델과 높은 설명력을 나타냈다. 또한 Composite TLE와 STM TLE 모델의 상호 간의 설명력도 높은 수준인 것으로 분석된다. <표 16>

<표 16> 기술경쟁력 평가모델 간 상관분석결과 - 7개국 \* Solving

	Patent AMC	Paper AC	Market S	Composite TLE	STM TLE
Patent.AMC	1.000	0.393	0.821	0.964	0.893
Paper.AC	0.393	1.000	0.536	0.536	0.607
Market.S	0.821	0.536	1.000	0.750	0.964
Composite.TLE	0.964**	0.536	0.750**	1.000	0.857
STM.TLE	0.893*	0.607	0.964**	0.857*	1.000

p<0.05\*, p<0.01\*\*, p<0.001\*\*\*

앞서 살펴본 바와 같이, Eng. M&S 경쟁력을 분석함에 있어 특허, 논문, 시장기반의 세 가지 모델이 STM TLE 모델을 얼마나 설명하고 있으며, STM TLE 모델과 기존의 Composite TLE 모델 간 관계에 대해 통계적 기법을 통해 분석해보았다. 기술적 특성에 따라 몇 가지 유형의 결과를 정성적으로 종합하여, 다음의 시사점을 얻을 수 있다: (1) Composite TLE 모델을 설명하는 변수로는 Patent AMC가 가장 큰 설명력을 가진다; (2) STM TLE 모델에 대해서는 Market S가 가장 큰 설명력을 가진다; (3) Patent AMC와 Market S는 상호대체/보완적 관계에 있다; (4) Composite TLE 모델과 STM TLE 모델 또한 상호대체/보완적인 관계에 있다; (3) 그러나 STM 모델은 시장, 특허, 논문지표를 고루 반영하는데 반해 Composite TLE 모델은 특허정보로만 설명된다; (4) 또한 새로운 Market 지표는 Composite TLE 모델을 상당히 설명할 수 있다; (5) Paper AC와 Market S는 상호보완적 관계에 있다. (그림 4)



(그림 4) 5가지 유형의 모형별 상관관계 모식도

도출된 시사점에 따라, STM TLE는 Eng. M&S를 설명하는데 기존의 논문-특허 기반의 모델보다 다양한 정보를 고루 반영하여 현상 설명이 가능한 것으로 판단되며 이에 대한 다양한 관점에서 논의가 가능해진다. 이에 따라 제시된 Market S는 Eng. M&S 기술

경쟁력 분석에 있어 의미가 크다고 할 수 있다.

#### IV. 토의

본 장에서는 Eng. M&S 경쟁력 평가를 통해 도출된 시사점을 정리하고자 한다. 첫째, 경쟁력 점수와 관련하여 미국이 모든 분야에서 최고기술보유국이며, 절대 우위에 있음을 확인하였다. 미국은 일찍이 제조업 경쟁력 회복정책인 국가첨단제조전략(2012)을 수립하며, 그 일환으로 M&S 관련 제조혁신기관인 DMDII를 운영하며 산업적 활용을 촉진하고 있다. 미국의 경우 제조기업의 57.3 %가 이미 M&S를 활용하고 있으며, AberdeenGroup 등 민간연구기관에서는 제조 전반에 걸친 Eng. M&S 활용의 필요성을 강조하며, 도입의 중요성을 넘어 타 ICT 분야와 융합하여 더욱 효율적인 활용방안을 모색하고 있는 수준에 이르렀다. (Pequin, 2015; Woo, 2016)

또한, M&S 경쟁력 상위에 위치하는 유럽 내에서는 중소 제조기업의 M&S 활용 확대를 위한 공공-민간협업체 기반의 M&S 지원 프로젝트(FORTISSIMO\*, '13)를 추진하고 있다. 또한 글로벌 컨설팅 그룹 BCG는 독일의 「Industry 4.0」, 「Factories of the Future」 구현을 위한 필수적인 9개의 기술 중 하나로 시뮬레이션을 설정하는 등(IITP, 2016) 제조혁신을 위한 핵심수단으로써 Eng. M&S 개발보급에 힘쓰고 있다. 산업적으로는 Dassault나 Siemens와 같은 글로벌기업들 또한 '13년에 CAE 개발사들을 인수하며, 산업 내 M&S의 활용을 가속화하고 있으며, 기존의 CAE 중심에서 실감형 가상화, 제조 빅데이터 분석 등으로 그 활용 영역을 넓히는 추세이다.

일본의 경우 특히 Modeling 역량은 우수하게 나타났으나 Solving 분야는 상대적으로 미흡한 것으로 나타났다. 그러나 2015년 6월에 발표된 과학기술 이노베이션 종합전략 2015에서, 고정밀 고속 시뮬레이션 및 해석에 의한 최적설계기술 개발을 새로운 제조시스템 구축을 위한 중점추진 과제로 설정하는 등 첨단제조를 위한 세계 최고수준의 시뮬레이션을 위한 국가적인 기술 육성에 힘쓰고 있는 상황이다. (KISTI, 2016; IITP, 2016)

가장 낮은 점수를 차지한 중국의 경우는 이미 선진국에서 발달된 CAD보다는 CAE 기술 중심의 설계기술 육성에 힘쓰고 있는 것으로 보인다. 그러나 중국산 CAD인 CAXA의 경우 제품완성도는 낮지만 보조금 지원, 저가가격 경쟁력 등으로 자국 시장 내의 점유율을 확대하고 있다. 더불어 중국제조 2025를 수립하며, 4대 과제 중 하나인 IT제조업 융합분야의 주요지표로 '디지털 R&D 설계 도구 보급률'을 설정하고 시뮬레이션 설비 첨단산업용 SW 산업을 중점 육성산업으로 설정하였다. 중국은 제조혁신을 위한 수단으로 M&S를 정확히 인지하고 있으며, 향후 ICT 산업 활성화를 위해 더욱 공격적인 투자가 이루어질 것으로 보인다.(KOTRA, 2015)

그러나 우리나라는 시장관점에서의 경쟁력이 미국의 1/3로 제일 뒤처지는 한편, M&S 세부기술 중, Meshing 기술역량이 절대적으로 부족함을 나타냈다. 또한 한국은 논문 경쟁력 또한 부족한 것으로 평가되며, 이를 통해 기반 설계 역량이 아직까지도 매우 저조한 수준인 것으로 평가할 수 있다. 생산성 향상, 제품공정혁신의 Key인 설계역량은 취약하고, 값비싼 비용, 전문 인력 및 인식부족 등으로 국내 제조 중소·중견기업의 8.2 %만이 전산수치해석 소프트웨어를 활용하고 있는 실정이며, 이와 관련된 정책 또한 미비한 상황이다. (김명일, 2017)

이러한 상황에서 중국의 선방은 국내 M&S 기술의 산업적 적용에 있어 위협으로 다가올 수 있다. 앞서 살펴본 기술경쟁력 점수비교 결과에 제시되었듯이 Composite TLE로만 분석했을 경우보다 시장성을 함께 고려하였을 때 한국의 경쟁력 점수가 20 점 가까이 현저히 감소했으며, 순위 상 중국에게 밀려 7개 국가 중 가장 경쟁력이 떨어지는 국가로 전락하는 것을 확인하였다. 이러한 시장지표의 투입은 Eng. M&S 경쟁력을 결정하는데 상당한 영향을 끼치는 것으로 파악되었으며, 기존 모델에 대해서도 설명력이 높은 수준으로 통계적으로도 유의한 결과를 통해 그 유용성 또한 검증되었다. 이는 자국의 경쟁력 있는 시장은 기술의 M&S의 산업적 적용을 가능하게 하는 가장 좋은 수단으로 작용할 수 있음을 시사한다. 이러한 관점에서 국가적 차원에서 제조업 적용을 위해 적극적인 기술 육성책을 실시하고 있는 신흥 제조 강국 중국에 밀린다면, 국내 Eng. M&S 시장력이 더욱 약화될 수 있으며, 이는 국내 관련 기술력의 저성장을 야기시키고 궁극적으로 제조혁신 수단으로서의 산업적 적용에 있어서도 큰 걸림돌이 될 것이다.

상당한 기술력과 시장구조를 형성하고 있는 선진국을 따라잡는 후발국으로서, 또한 중국과 같은 신흥강국이 관련 기술에 적극적으로 투자하는 등 해당 분야 기술력을 국가적으로 키워나가는 상황에서 자국의 기술력이 부족한 우리나라의 경우 궁극적 목표인 Eng. M&S를 제조업 전반에 녹여내기란 쉽지 않다. 제조업 기반 국가로 향후 차세대 제조 패러다임을 적극적으로 준비해야 하는 상황에서 그 핵심 수단으로서 M&S 활용 가치에 대해 국가 전반적인 인식제고가 필요하며, 정부차원에서 적절한 기술 육성 및 산업 보급과 관련된 정책 수립에 힘써야 할 때이다.

## V. 결론 및 정책적 시사점

본 논문에서는 과학, 기술, 시장적 3 가지 측면에서 주요 지표들로 구성된 기술경쟁력 평가모델을 바탕으로 제조혁신 관점에서 주요국의 Eng. M&S 기술경쟁력을 평가하였다.

4차 산업혁명은 제조업의 제조 방법과 가치 사슬에 큰 변화를 가져오고 있으며, M&S는 새로운 제조 패러다임에 대처하기 위한 혁신의 핵심 기술 중 하나이다. M&S 기술 및 산업 육성 및 제조와의 결합을 통해 국민 경제를 활성화하고 제조

경쟁력을 향상시키는 노력이 필요하다. 이러한 4차 산업혁명에의 대응책을 마련하는 것은 우리나라의 성장 동력인 제조업에 있어서 필수불가결한 상황이며, 국내 제조기업들이 Eng. M&S 기술을 잘 활용하여 제조경쟁력을 갖출 수 있는 인프라를 구축해야 할 때이다. 이와 관련하여 논의된 결과를 종합하여 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

Eng. M&S 경쟁력이 높은 국가일수록 일찍부터 관련 국가적 차원에서 정책적 인프라를 구성하고 나아가 민간 중심의 협의체를 통해 제조업의 Eng. M&S SW 활용을 적극 지원해왔다. 다른 한편으로는 기술적 측면에서 우리나라보다 기술경쟁력이 낮은 중국의 경우에도 규모의 경제를 바탕으로 시장을 장악하고 있는 것으로 나타났다으며, 더불어 최근 설계역량을 강조하며 제조혁신을 위한 새로운 정책의 주요 사업 중 하나로 M&S를 설정하는 등 관련 기술육성에 주력하고 있는 추세이다.

최근 선진국들은 경제성장에서 제조업의 중요성을 재조명하며, 제조업의 국내생산과 혁신에 초점을 두고 있다. 또한 설계기술보다는 생산기술을 기반으로 한 국내 제조업이 그동안 우리와 비슷한 제조 전략을 추구해온 중국에 위협을 받으면서 생산기술 중심의 산업구조에 변화를 주어야할 상황이다. 생산기술은 중국 등 신흥국에 밀리고, 기초기술은 기술 종속적인 상황을 맞이하여, 한국 제조업은 설계기술을 가장 효율적으로 빠르게 획득할 수 있는 도구 중 하나인 Eng. M&S를 잘 활용하는 것이 중요한 시점이다.

제4차 산업혁명에의 대응책을 마련하는 것은 우리나라의 성장 동력인 제조업에 있어서 필수불가결한 상황이며, 그 중 하나의 방법으로 국내 제조기업들이 Eng. M&S 기술을 잘 활용하여 제조경쟁력을 갖출 수 있는 인프라를 구축해야한다. 관련하여 Eng. M&S 기술경쟁력 점수에 기반하여 논의된 경쟁국들의 정책사례를 통해 다음과 같은 정책적 시사점을 도출하였다.

첫째, Eng. M&S를 제조혁신 수단으로 정확히 인지하고 이를 위한 정책마련이 시급하다. 국가적 차원에서 정부와 민간이 함께 해결할 수 있는 과제가 발굴되도록 정부의 전략 방향을 설계하고, 이를 위해 Eng. M&S 관련 정책을 중점적으로 추진, 관리하는 담당기관 또는 조직을 구성할 필요가 있다. 둘째, 정부차원에서 기술의 육성도 중요하지만, 우리나라 현 주소를 반영하는 것이 무엇보다 중요하다. 이를 위해 해당 기술의 발전과 확산을 위한 컨소시엄을 운영하며, 다양한 분야의 제조기업의 의견을 수용할 수 있도록 정부가 적극적으로 지원에 나설 필요가 있다. 다시 말해, 한국의 제조환경에 맞는 정책을 통해 근본적인 차원에서의 활용을 확대해 나갈 필요가 있으며, 이를 위해 우리나라의 제조환경에 따른 Eng. M&S 활용실태분석 등의 추가 연구를 통해 보다 현실적인 대안 마련이 필요할 것으로 사료된다.

마지막으로 본 연구에서는 선행연구 고찰을 통해 논문 특히 시장적 측면을 반영한 계량적 접근을 활용하여 Eng. M&S 기술경쟁력을 위한 평가방법론을 새롭게 정의하여 국가 수준에서의 경쟁력 평가를 시도하였다. 제시된 모델의 검증 결과, 기존의 모델과의 상호보완 및 대체가 가능하며, 나아가 다양한 관점으로부터 더 많은

정보를 통해 보다 정확히 설명될 수 있음을 확인하였다. 그러나 해당 연구결과는 전문가 의견을 고려하지 않고, 계량 분석적 접근만으로 시도하였으며 사용되는 지표 가중치에 따라 연구결과가 달라질 수 있는 한계점이 있다. 하지만, 분류체계가 마련되어 있지 않은 신기술 분야 등의 기술경쟁력 파악에 있어 본 연구는 매우 의미 있는 결과물이라고 볼 수 있으며, 관련분야 기술육성 정책에 활용될 것으로 기대한다.



## 참고 문헌

- IITP (2016), 「주요 선진국의 4차 산업혁명 정책동향」, 해외 ICT R&D 정책동향(2016-04호).
- keit, (2009), 「특허정보를 활용한 IT 기술수준조사 보고서」, 한국산업기술평가관리원.
- keit, (2011), 「2011년도 계량정보(논문·특허)를 활용한 우리나라 IT 기술경쟁력 분석 보고서」, 한국산업기술평가관리원.
- Kotra (2015), 「육성에서 혁신으로: '중국제조 2025' 전략과 시사점」, KOCHI자료 15-007.
- 구기관 외 (2012), “국내외 신재생에너지 기술 경쟁력 분석-태양광·연료전지를 중심으로”, 「신재생에너지」, 8(3): 30-37.
- 구영덕 외 (2012), “LED 지식 맵 구성을 위한 지식재산권 기반 기술 경쟁력 분석”, 「한국전자통신학회논문지」, 7(5): 955-960.
- 권영주 (1995), “설계·엔지니어링 기술개발동향과 국제경쟁력”, 「과학기술정책동향」: 96-105.
- 김대기 외 (2014), “특허정보를 활용한 에너지 하베스팅 기술의 기술경쟁력 분석”, 「기술혁신학회지」, 17(1): 25-44.
- 김명일 외 (2017), “모델링 및 시뮬레이션 서비스 산업 분류 및 현황 분석”, 「한국산학기술학회논문지」, 18(3): 185-198.
- 김상태 (2015), “와해성 혁신의 관점에서 본 CAE의 미래”, 「대한기계학회논문집 C」, 3(2): 149-154.
- 김승현·김만진 (2016), 「차세대 생산혁명을 대비한 제조업 혁신정책과 도전과제 보고서」, STEPI, 정책연구 2016-20.
- 김종찬 외 (2015), “특허분석을 이용한 기술전략수립”, 「한국지능시스템학회논문지」, 26(2): 141-146.
- 김찬중 외 (2015), “특허 지표 분석을 통한 국내 윤활유 제조 기술 평가”, 「Korean Chem. Eng. Res.」, 54(3): 332-339.
- 김호윤 외 (2016), 「엔지니어링 모델링 & 시뮬레이션 산업동향」, 한국과학기술정보연구원.
- 박길수 (2015), “제품개발 경쟁력 끌어 올리는 통합 3D 설계 및 시뮬레이션”, Cad & Graphics, 2015.11: 32.
- 박용태 (2012), 「차세대 기술혁신을 위한 기술지식 경영」, 국립중앙도서관: 238-239.
- 박정규, 허은녕 (2003), “미국 특허자료를 통한 연료전지 기술수준 분석”, 「한국기술혁신학회 2003년 추계학술대회 수록 논문집」: 387-399.
- 박현우·김기일 (2007), “특허정보를 통한 PMP 연구동향과 기술경쟁력 분석”, 「한국콘텐츠학회논문지」, 7(9): 117-126.
- 서규원, (2011), “특허지표를 활용한 기술수준평가 연구방법론의 개발 및 적용”, 「ISSUE PAPER 2011-14」.
- 서란주, 김진수 (2011), “기술혁신, 시장점유율 및 기업가치 간의 관계분석”, 「산업경제연구」, 24(5): 3211-3226.
- 안연식·문송철 (2014). “국내 소프트웨어 산업 구조의 개선에 대한 제안”, 「Journal of

- Information Technology Applications & Management」, 21(1): 165-176.
- 안은영 (2014), “논문 질적평가를 통한 KIGAM 세계수준 후보연구실 기술수준 평가”, 「자원 환경지질」, 47(3): 227-235.
- 윤문섭, 이우형 (2003), “IT 및 BT 분야의 기술수준평가 및 정책적 시사점”, 과학기술정책연구원 「연구보고」: 1-92.
- 윤인식 외 (2011), “한국특허정보를 통한 기술활동성, 혁신성 및 생산성 평가”, 「정보관리연구」, 42(2): 151-165.
- 이경환 (2001), “제조기업의 경쟁력 제고를 위한 성과측정에 관한 연구”, 「경영논집」, 35-2(3): 305-340.
- 이공래 (1997), 「한국 산업의 기술경쟁력」, 과학기술정책관리연구소(현 과학기술정책연구원, STEPI).
- 이정동 (2015), 「축적의 시간'(지식노마드)」 Part I (pp.23-56) 서울대학교 공과대학,
- 이호신 외 (2007), “SCI 논문 분석을 통한 주요국의 나노기술 연구개발 동향”, 「2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집」: 1552-1553.
- 정하교, 황규승 (2008), “특허정보를 활용한 항공기반산업의 기술경쟁력 분석”, 「경영과학」, 25(2): 111-127.
- 조성도 외 (2013), “생명공학분야 특허정보를 활용한 한·중·일 기술경쟁력 및 기술-산업연계 구조분석”, 「기술혁신연구」, 21(1): 141-163.
- 조일구, 이충만 (2014), “특허 및 논문 계량정보 분석을 통한 소프트웨어 부문에서의 국가 기술수준 분석방법론 제안”, 「Journal of Information Technology Applications & Management」, 22(1): 1-15.
- 주시형, 여운동 (2012), “특허지표를 활용한 녹색기술 국가경쟁력 분석”, 「2012 한국기술혁신학회 학술대회 수록 논문집」: 89-102.
- Akhavan et al. (2016), “Major trends in knowledge management research: a bibliometric study”, *Scientometrics*, 107(3): 1249-1264.
- Archibugi, Coco (2005), “Measuring technological capabilities at the country level: A survey and a menu for choice”, *Research Policy*, 34(2005): 175-194.
- Banks (2009), “What is Modeling and Simulation?”, *Principles of Modeling and Simulation: A Multidisciplinary Approach*.
- Cho, I., Park M., (2014), “Technological-level evaluation using patent statistics: model and application in mobile communications”, *Cluster Computing*: 2015-18(1): 259-268.
- Deloitte (2015), *Advanced Technologies Initiative Manufacturing & Innovation*, Deloitte.
- DoD(Department of Defense, US) (1994), “DoD Modeling and Simulation(M&S) Management”, Department of Defense DIRECTIVE, 5000.59.
- Dror (1989), “Technology Innovation Indicators”, *R&D Management*, 19(3): 243-249.
- Guo and Sheffield (2008), “A paradigmatic and methodological examination of knowledge management research: 2000 to 2004”, *Decision Support Systems*, 44: 673-688.

- Lavery et al., (2013), The Next Manufacturing Revolution: Non-Labour Resource Productivity and its Potential for UK Manufacturing, lavery/pannell.
- National Science Foundation(NSF) (2006), Simulation Based Engineering Science Final report, National Science Foundation.
- OECD (2016) Enabling the next production revolution the future of manufacturing and services interim report, Paris: Meeting of the OECD Council at Ministerial Level.
- Parvitt,K. Patel, P., (1988), “THE INTERNATIONAL DISTRIBUTION AND DETERMINANTS OF TECHNOLOGICALACTIVITIES”, Oxford Review of Economic Policy, 4(4): 35-55.
- Pequin, R. (2015), "Achieving product development success through a consolidated simulation platform", AberdeenGroup Report.
- Schultze, Stabell (2004), “Knowing What You Don’t Know? Discourses and Contradictions in Knowledge Management Research”, Journal of Management Studies, 41(4): 549-573.
- Science (1992), “The Third Branch of Science Debuts”, Science, 256(5053): 44-47
- Woo, T. (2016), "Simulation in the Internet of Things(IoT), AberdeenGroup Report.

한유리

과학기술연합대학원대학교(UST)에서 과학기술경영정책학 석사과정에 재학 중으로 현재 한국과학기술정보연구원(KISTI) 캠퍼스 가상설계센터에서 수학 중이다. 관심분야는 4차 산업혁명 및 제조혁신 정책, 모델링 & 시뮬레이션 및 HPC 기술의 산업적용, 특허/논문 계량분석, 소셜 네트워크 분석 등이다.

김재성

POSTECH에서 “생산공학(CAD/CAM)”으로 석사학위를 취득하였으며, 동대학원에서 박사학위를 받았다. 현재 한국과학기술정보연구원 가상설계센터 센터장으로 근무 중이다. 주요저서는 슈퍼컴퓨팅 산업체지원 글로벌 동향, 엔지니어링 모델링 & 시뮬레이션 산업 동향 등이 있으며, 주요 연구 분야는 가상설계, 슈퍼컴퓨팅, 제조혁신 정책 등이다.