

2017
여름호

제 24권 제 2호(통권 76호)

매거진 인물

- **신 현 기** (주)두산정보통신 상무

특집 클라우드 컴퓨팅 기술

- Editorial – 클라우드 컴퓨팅 기술
- 우리나라 클라우드 산업 발전방향
- 클라우드 컴퓨팅 보안위협에 따른 대응전략
- 클라우드 시장의 변화를 선도하는 GPU인스턴스 서비스 소개

IE PRACTICE & 기업포럼

- 다중선행회귀분석을 이용한 무선통신기기의 품질검사 효율화
- 4차 산업혁명 시대, 제조업 스마트화 어떻게 추진할 것인가
- 기술로드맵의 연구 동향 : 기술과 시장을 어떻게 연계할 것인가?

IE ACADEMY

- 졸업생이 보는 산업공학 전공 : 강점과 한계 그리고 산업공학 교육의 발전방향
- 미국 텍사스 주립대학 : Texas A&M University – Corpus Christi
- 산업공학과 신입 교수 소개

대한산업공학회





발행인 | 이태억
편집인 | 고성석
등록일 | 1994년 10월 5일
등록번호 | 강남바-00028
발행 | 2017년 6월 30일
발행처 | 대한산업공학회
06150 서울특별시 강남구
테헤란로 327, 509호
(역삼1동, 빅토리아 빌딩)
전화 | 02) 527-3095, 3096
팩스 | 02) 527-3162
홈페이지 | kie.org
E-mail | kie_master@nate.com
담당 | 정효경
인쇄 | 대성종합인쇄

편 · 집 · 위 · 원 · 회

(가나다 순)

성명	소속
고성석 (위원장)	건국대학교 산업공학과 교수
김민수	정보통신산업진흥원 박사
김상국	한국과학기술정보연구원 박사
김서연	삼성SDS 수석보
박재현	인천대학교 산업경영공학과 교수
서은석	서울대학교 공학전문대학원 교수
설현주	충남대학교 군사학부 교수
신광섭	인천대학교 동북아물류대학원 교수
윤장혁	건국대학교 산업공학과 교수
이동희	한양대학교 산업융합학부 교수
이미림	홍익대학교 경영학과 교수
장영재	KAIST 산업및시스템공학과 교수
정태수	고려대학교 산업경영공학부 교수
주현택	삼성SDS 전자·제조컨설팅팀 수석

IE 매거진은 한국간행물윤리위원회 실천요강을 준수합니다.
IE 매거진에 게재된 내용은 무단 복제해서 사용할 수 없습니다.

C · O · N · T · E · N · T · S

▶▶▶ 매거진 인물

06

신현기

(주)두산정보통신 상무



▶▶▶ 특집 | 클라우드 컴퓨팅 기술

11

Special Editorial : 클라우드 컴퓨팅 기술

고성석 건국대학교 산업공학과 교수(편집위원장)

12

Special Edition 1

우리나라 클라우드 산업 발전방향

전준수 정보통신산업진흥원 본부장

18

Special Edition 2

클라우드 컴퓨팅 보안위협에 따른 대응전략

김형국 건국대학교 산업공학과 박사과정

22

Special Edition 3

클라우드 시장의 변화를 선도하는 GPU인스턴스 서비스 소개

최원준 INsoft 기술이사



▶▶▶ IE PRACTICE & 기업포럼

- 26 다중선형회귀분석을 이용한 무선통신기기의 품질검사 효율화
이 동 희 한양대학교 산업융합학부 교수
- 30 4차 산업혁명 시대, 제조업 스마트화 어떻게 추진할 것인가
주 현 택 삼성SDS 전자·제조컨설팅팀 수석
- 37 기술로드맵의 연구 동향 : 기술과 시장을 어떻게 연계할 것인가?
금 영 정 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과 교수

▶▶▶ IE ACADEMY

- 44 졸업생이 보는 산업공학 전공 : 강점과 한계 그리고 산업공학 교육의 발전방향
김 덕 환 한국에너지기술연구원 선임연구원
- 48 미국 텍사스 주립대학 : Texas A&M University – Corpus Christi
Jangwoon Park, Byung Cheol (Bruce) Lee, Anjin Chang, Jinha Jung, Junho Yeom, and Dugan Um Department of Engineering,
Texas A&M University – Corpus Christi, Corpus Christi, TX, USA
- 52 산업공학과 신입 교수 소개





신 현 기

(주)두산정보통신 상무



국내 가장 오래된 기업으로 알려진 두산그룹의 토탈 IT 서비스를 제공하는 회사인 (주)두산정보통신의 신현기 상무를 모시고 그 동안 산업공학 전공자들의 진출했던 IT 분야에서 산업공학의 현재를 살펴보는 시간을 갖고 산업공학의 미래와 이를 위한대응에 대한 고민을 하는 기회를 가져보았다.

Q 현재 근무하고 계시는 (주)두산정보통신에 대해서 간단히 설명해 주십시오.

A (주)두산정보통신은 1974년 설립된 동양전산기술(주)를 모태로 1994년 그룹사 전산실을 합병하면서 탄생한 회사로 최근 빠르게 진행되는 다양한 환경변화 속에서 우수한 인재와 탁월한 기술력을 바탕으로 IT를 통한 고객 비즈니스 경쟁력을 강화하는것으로써, 이를 통해 고객이 높은 성장과 이익률을 창출 할 수 있도록 선도하자는 비전을 가지고 두산 그룹의 대부분의 계열사의 정보시스템을 구축 및 관리하고 있습니다. 현재 인원은 국내 450명, 해외 200명 정도를 포함한 약 650명 정도의 정규 인원이 근무하고 있으며 주로 그룹 내부의 계열사를 대상으로 업무를 수행하고 그룹 외부의 일은 하고 있지 않습니다. 해외 인력은 주로 해외 현지 채용을 기본으로 하고 있으며, 국내 본사에서 모든 부분을 조정, 관리하기 보다는 최대한 자율권을 보장하는 정책을 추진하고 있습니다. 구체적으로 2011년 7월에 (주)두산정보통신 미국법인을 조지아주 Suwanee에 설립하였고, 같은해 11월에 (주)두산정보통신 중국법인을 베이징에, 2014년에 (주)두산정보통신 유럽법인을 영국에 세우고, 체코에 지점을 개설하였습니다. 그리고 두산그룹의 국제적인 진출과 맞추어 해외 진출을 계속 추진되고 있습니다.

Q (주)두산정보통신이 수행하고 있는 주요 업무에 대해서 말씀해 주십시오.

A (주)두산정보통신은 전 세계 두산 계열사를 대상으로 하지 만 실제 수행하는 업무를 크게 세가지 부문 즉 IT 컨설팅 및 시스템 구축, 업무시스템, IT 인프라 운영 등으로 나누어 볼 수 있습니다.

IT 컨설팅 및 시스템 구축이란 IT를 통해 비즈니스의 경쟁력을 확보하고 가치를 증대할 수 있도록 IT 수준진단, 전략수립 및 구현방향 등을 제시하고, 고객 비즈니스에 최적화된 IT의 도입 및 운영컨설팅 서비스를 제공하는 업무이며, 이러한 업무 수행시 (주)두산정보통신의 업무는 주로 PMO 역할이 강하며 실제 업무 수행시 외부의 업체와 협업을 통해 업무를 수행하고 있습니다.

업무 시스템 운영 부문은 두산그룹 공통시스템과 계열사 고유업무 시스템에 대한통합 운영 및 유지보수, 개선 서비스를 제공하는 업무로서 그룹의 해외사업 확장에 따라 해외계열사 서비스를 확대하고 있으며, 지속적인 글로벌 어플리케이션 운영서비스의 비용 및 서비스 품질 경쟁력 확보노력을 통해, 계열사가 핵심 경쟁 분야에 역량을 집중할 수 있도록 기여하고있습니다.

마지막으로 IT 인프라 운영 업무는 그룹의 IT 인프라를 효과적으로 관리하기 위해 데이터센터 및 네트워크 서비스,

인터넷전화, 재해복구 서비스를 포함하고 있습니다. 그리고 글로벌 권역별 거점 데이터 센터운영 및 IT 클라우드서비스 확산을 통해 비용 및 안정성 측면의 IT 통합운영시너지를 실현해 나가고있습니다.

Q ICT 분야가 매우 빠르게 변화하고 있는 것으로 알고 있는데, 현장에서 체험하고 계시는 ICT에 대해서 말씀해 주십시오.

A 현대사회의 ICT 기술의 발전 속도는 우리가 지금껏 겪어보지 못한 상황으로 나아가고 있습니다. 이러한 ICT 기술에 대한 대응이 한 기업의 흥망성쇠, 국가의 미래를 좌우하는 가장 중요한 요소라고 전문가들은 이야기하고 있습니다. 최근 각광을 받고 있는 AI, AR/VR, 빅데이터, 스마트팩토리 등은 새로운 개념이 소개된 지 얼마되지 않는 상황에서 사회의 큰 변혁을 일으키는 기술로 성장한 상태입니다.

현재 상황에 대해서 간단히 말씀드리면 두산그룹 차원에서도 이러한 기술에 대한 관심이 매우 높습니다. 그리고 이러한 기술을 적용하기 위한 노력을 꾸준히 진행되고 있습니다. 두산 그룹의 주축인 두산중공업의 경우는 스마트팩토리 구축을 위해 많은 노력을 하고 있으며 현재 많은 진척을 보이고 있습니다. 체계적인 스마트팩토리 구축을 위해 세계적인 컨설팅 업체의 도움을 받아 25개의 실천과제를 도출하고 전략적인 측면과 프로세스 설계 및 하드웨어적인 부분은 두산중공업 자체 역량을 동원하여 진행하고 있고, 시스템적인 측면은 (주)두산정보통신이 중추적인 역할을 담당하고 있습니다.

하지만 이러한 새로운 기술을 실제 산업현장에 적용하는 것은 간단한 문제가 아닙니다. 비록 많은 기술적 진보가 이루어졌지만 실제 산업 현장에 적용하기 위해서 많은 기술적, 경제적, 사회적 검증이 필요하기도 하고 또한 기존 프로세스의 많은 변화가 이루어져야 하기 때문에 변화 관리에 대한 세심한 정책적 전략이 필요합니다. 이러한 측면에서 저희 두산그룹은 이러한 기술을 선제적으로 도입을 하는 모험을 택하는 프론티어 전략보다는 많은 실패와 성공사례의 연구를 통해 최대한 위험 요소를 없애는 안정 추구형 전략을 채택하고 있습니다.



Q 많은 학생들이 (주)두산정보통신과 같은 회사에 취업을 원하고 있습니다. 귀 회사에서 산업공학 전공자가 할 수 있는 업무는 무엇이며, 취업을 하기 위해서는 어떤 준비가 필요하시다고 생각하십니까?

A 저희 회사와 비슷한 일을 하는 회사가 삼성SDS, LG-CNS, SK C&C와 같은 회사가 있습니다. 이 분야는 산업공학 전공하는 학생들이 가장 많이 진출했던 분야이면서도 회사 입장에서 산업공학 출신자들이 두각을 나타내고 매우 유용한 학문이라는 것을 알고 있습니다. 이러한 측면에서 보면 저희 회사와 같은 이러한 업종에서 산업공학 출신이 할 수 있는 업무는 회사의 거의 모든 업무 영역이라 할 수 있습니다.

그러나 저희 회사에 입사하는데 산업공학 출신이 유리한 것 만은 아닙니다. 제가 회사 인사 업무를 관장하기 않기 때문에 취업에 관한 정확한 이야기는 할 수는 없지만 제가 채용을 위해 면접을 보고 회사 업무를 수행하면서 느낀 부분을 통해 이야기 해 보면, 저는 중요한 요소로 합리적 사고, 인성, 전문성으로 나누고 싶습니다. 그리고 모두 다 중요하지만 굳이 가중치를 두면 5:3:2정도일까 합니다. 이는 취업 뿐만 아니라 회사 생활에 있어도 비슷하게 중요한 요소라 할 수 있습니다.

이 모든 부분에 대한 평가는 그리 쉽지 않습니다. 하지만 저희 회사 경우는 인성을 평가하기 위해 DCAT 입사 시험을 두고 있습니다. 이 시험을 통해 기존의 두산그룹 임직원의 평균을 기준으로 지원자의 인성을 평가하고 이를 입사 평가에 반영하다고 알려져 있습니다. 그리고 요즘 매스컴에서 취업준비자들이 스펙을 쌓기 위해 많은 노력을 쏟아 붓고 있다고 이야기하고 있습니다. 그러나 저는 현실



에 동떨어져 있다고 생각하실지 모르지만, 회사에서 전문가를 채용하는 것이 아니라 회사에서 업무와 교육을 통해 전문가로 탄생한다고 생각합니다. 이르기 위해서 중요한 것은 전문성 보다는 합리적인 사고를 갖춘 인재가 더 필요하다고 생각합니다. 이는 제가 채용 면접 볼 때 가장 중점을 두고 보는 요소이기도 합니다. 회사의 업무란 항상 의사결정의 과정이며 또한 각 개인의 임무가 있지만 이는 전체속에서 함께 어우러져 나아가야 합니다. 이러한 상황을 슬기롭게 헤쳐나가기 위해서는 합리적인 사고가 필요합니다. 이는 단순한 학습이 아니라 끊임없는 연습이 필요하며 스스로 주체적으로 사고할 수 있는 능력이 필요하다고 합니다. 그러기 위해서는 다양한 사람들과 협업과 꾸준한 독서가 매우 중요하지 않을 까 합니다.

Q 지금의 산업공학 교육과 연구가 나아가야 할 올바른 방향에 관한 제언 사항을 말씀해 주십시오.

A 학교를 떠난 지 오래된 사람으로써 산업공학을 위해 끊임없이 고민하고 열정을 가진 교수님들과 학생들의 노력에 누가 될까 조심스럽니다.

그리고 학교의 현재 교육과정에 대한 정보가 거의 없는 상황이라 제가 느끼는 대로 말씀드릴까 합니다. 제가 지금까지 사회생활을 하면서 느낀 점은 기본의 중요성입니다. 최신 트렌드를 충분히 반영한 교육 과정 그리고 4차 산업 혁명을 주도할 융합 인재 양성을 위한 다양한 교과목의 개발 등에 중요성은 많은 매체와 전문가들에 의해서 이야기하고 있지만 이에 대한 기본 가정은 탄탄한 기초에 있으며, "Back to Basic"란 표어가 다시 필요해지는 시대라 생각합니다.

보통 현업에 종사하는 사람에게 대학 교육의 문제점이 무엇이라고 물어보면 "쓸만한 인재"가 부족하다고 합니다. 바로 현업에 투입할 수 있는 인재를 만들 수 있는 시스템을 만들었으면 한다는 이야기입니다. 하지만 저는 학교에서 기업이 원하는 수준으로 양성은 한계가 존재할 수 밖에 없으며, 전문가로의 성장은 기업의 역할이라 생각합니다. 따라서 학교는 전문가 성장할 수 있는 기초 역량을 갖추 수 있는 시스템을 구축하고 학생들에게는 학교 뿐 아니라 다

양한 경험을 체험할 수 있는 기회를 제공해 줄 수 있도록 했으면 좋겠습니다.

그리고 많은 교수님들도 다양한 산학 과제를 통해 현업들과의 다양한 생생한 경험들을 축적하고 이를 학생들과 공유할 수 있는 환경이 조성되는 것도 매우 중요하다고 생각합니다.

Q 산업공학 후배들에게 이런 기회를 통해서 특별히 해주고 싶은 말씀을 부탁드립니다.

A 요즘 스펙을 쌓기 위해 다양한 공부를 한다고 들었습니다. 3종이나 6종이니 하는 이야기가 많이 들립니다. 물론 현재의 상황을 보면 충분히 이해됩니다. 하지만 이러한 사이에 가장 중요한 것을 놓치고 있지 않나 싶습니다. 자신의 전공에 대한 공부. 제 학창시절을 돌이켜 보면 그때는 가장 중요했던 것이 전공 공부였지 않나 싶습니다. 그리고 그 때의 공부가 현재의 나를 만들어준 원동력이었지 않나 싶습니다. 그래서 후배들에게 다른 것 보다 전공에 대한 공부, 기본에 대한 충실함에 대해서 고민해 보았으면 합니다.

그리고 현업의 일은 협업을 기본으로 합니다. 성공적인 협업을 위한 다양한 능력이 요구됩니다. 각자의 전문적 능력을 바탕으로 소통 능력, 공동의 목표를 위한 열정 등이 필요합니다. 이러한 능력을 위해서 다양한 경험만큼 좋은 것을 없습니다. 이러한 경험을 쌓을 수 있는 기회를 많이 가졌으면 합니다.

마지막으로 독서를 많이 했으면 합니다. 미래의 시대는 전문적 지식과 인문학적 소양을 가진 인재가 이끌어 간다고 합니다. 특히 산업공학은 이에 가장 적합한 전공이라 생각합니다. 이러한 전공의 잇점을 최대한 살리는 방법은 독서만큼 좋은 것이 없다고 합니다.

저는 지금껏 산업공학을 선택한 것에 대한 자부심을 가지고 있습니다. 후배님들도 전공에 대한 자부심을 가지고 자신의 발전과 사회 발전에 중요한 인재가 되어 주셨으면 좋겠습니다. *ie 매거진*

■ 인터뷰 : 고성석 IE 매거진 편집위원장(간국대학교 교수)



이 력 서

출 생

- 1962년 10월, 56세(무녀독남)

성 장

- 1991년 결혼, 자녀(1녀, 대졸)
- 1980년 서울 고등 학교 졸업
- 1984년 한양대학교 산업공학 졸업
- 1989년 한양대학교 산업공학과 대학원 졸)
- 1989년 만기 제대(18개월 방위)



직 장

- POSCO(1989. 2, RIST) 경영과학실
- LG 소프트웨어(1990)
- FA개발실(LG전자/화학/개발, 한진/삼양사 등), SDS(1996)
- 컨설팅(PI : 삼성전자 & ISP : 서울대,국세청,행정자치부, BCTOC, 인천신공항, 삼성전자 등)

두 산

- CIO Office(2000. 9. 21, 정보전략팀)
- 정보통신(2001. 1 정보전략팀, 정보화 부문장, 경영지원부문장)
- CIO Office(2006.10. 정보전략팀, 임원진급(2008)
- 정보통신(2008. 3. 공통서비스 & C&SI사업부, IMS사업부(2011), 제조서비스 사업부(2014)

성격/취미/꿈

- 논리적/실질적/인간적/육하는 성격/남에게 피해 주는 것, 남으로 부터 피해 받는 것 싫어 함
- 음주(소주 2~3병)
- 취미 : 음악(Old 팝&가요), 저렴한 맛집 Tour(강북 중심)
- 미래희망(퇴직 후) : 만두집 운영

조직운영

- 즐거운 직장
- 고객으로 부터 존중/인정 받는 조직/팀장님들 스타 만들기(최강 Performance 팀)
- 권위주위가 없는 조직

▶ 클라우드 컴퓨팅 기술



11

»» **Special Editorial** 클라우드 컴퓨팅 기술

고 성 석 건국대학교 산업공학과 교수(편집위원장)

12

»» **Special Edition 1**

우리나라 클라우드 산업 발전방향

전 준 수 정보통신산업진흥원 본부장

18

»» **Special Edition 2**

클라우드 컴퓨팅 보안위협에 따른 대응전략

김 형 국 건국대학교 산업공학과 박사과정

22

»» **Special Edition 3**

클라우드 시장의 변화를 선도하는 GPU인스턴스 서비스 소개

최 원 준 INsoft 기술이사

클라우드 컴퓨팅 기술



고 성 석 · 건국대학교 산업공학과 교수(편집위원장)

이번 특집은 최신 기술이지만 이제는 우리 사회의 한 가운데 서 있는 클라우드에 대한 이야기를 해 보고자 한다. 몇 년전까지만 해도 보통 학회나 모임의 기념품으로 USB 메모리스틱이 주를 이루었다. 하지만 요즘은 대부분이 클라우드를 사용하여 메모리스틱이 유용성이 많이 축소되었다. 이렇게 클라우드 기술은 우리의 생활에 편리함을 제공함을 넘어 국가 및 사회 전반의 변혁을 주도하고 제4차 산업혁명의 주요 키워드라 할 수 있는 개방, 융합, 협업을 가능하게 하는 핵심인프라로 자리잡고 있다.

이번 특집은 클라우드 기술과 컴퓨팅에 대한 이론적인 내용보다는 클라우드 기술과 산업의 현황을 위주로 독자들이 쉽게 다가갈 수 있도록 구성하였다.

첫 번째 주제는 클라우드에 대한 전반적인 현황과 발전 방향을 다루고 있다. 현재 주요 시장과 기업을 중심으로 한 국내외 클라우드 시장에 대해서 살펴보고 미국 영국을 중심으로 한 주요 국가별 클라우드 정책에 대한 내용을 조사 분석하였다. 이러한 조사 내용을 바탕으로 4가지 주요 극복 과제를 제시하였고 이에 대한 대응 방안을 제안하고 있다.

두 번째 주제는 우리가 클라우드를 이용하고자 할 때 가장 우려하는 부분인 클라우드 보안에 대해서 다루고자 한다. 클라우드 서비스의 대표적 보안 문제점으로는 보안 및 데이터 유출, 서비스 안정성과 가용성 등이 있는데, 이에 대한 주요 사례 및 보안 이슈를 분석하고 이를 극복하기 위한 표준화 및 보안 가이드라인 제정 등에 대한 노력을 소개하고 있다.

마지막 주제는 기술적인 부분에 대한 이야기로 클라우드의 성능 향상을 위한 GPU(Graphical Processing Unit) 컴퓨팅의 도입에 대한 내용을 소개한다. GPU 컴퓨팅의 도입은 기존 클라우드 컴퓨팅 서비스의 영역을 미디어 처리 애플리케이션뿐만 아니라 Machine Learning, Deep Learning과 같은 고성능 컴퓨팅 애플리케이션까지도 운영할 수 있는 서비스를 제공할 수 있다고 한다.

클라우드 컴퓨팅은 최신 기술임에도 불구하고 가트너가 ICT 분석틀인 Hype Cycle을 분석해 보면 거의 완성된 기술이라 한다. 즉 우리 주위에서 클라우드를 적용하고 있는 것을 너무 쉽게 찾아볼 수 있다. 이러한 상황에서 우리는 이제 “클라우드를 넘어”를 진지하게 고민해 보아야 하는 시점이지 않을까 생각해 본다. 비록 Edge Computing에 대한 이야기가 나오고 있지만, *이제*

Special Edition 1

우리나라 클라우드 산업 발전방향



전 준 수 · 정보통신산업진흥원 본부장

1. 서론

세계적으로 ICT 비용절감, 업무혁신을 위해 정보시스템을 자체 구축 및 사용하는 방식에서 서비스 형태로 이용하는 클라우드 컴퓨팅이 확산 중이다. 클라우드가 최초 등장한 2000년대 후반에는 클라우드가 현재와 같이 산업 및 기업에 전 방위적으로 도입될 지 예상하지 못하였으나, 현재는 IoT, Big Data 등 새로운 ICT 기술을 실현시킬 수 있는 핵심 인프라로 국가 및 사회 전반의 변혁을 주도하고 개방, 공유, 소통 및 협업을 가능케 하는 중요 산업으로 발전해가고 있다.

이와 관련하여 국내에서도 클라우드 도입 및 이용확산을 위해 '클라우드 종합계획 수립(2009년)', '클라우드 기반 중앙부처 정보자원 통합(2011년)' 등 공공 및 민간부문의 클라우드 도입을 추진하였으나 하드웨어 중심으로 한정된 도입 및 이용 중에 있으며 이에 따라 선진국에 비해 국내 클라우드 산업이 위축되고 있는 실정이다.

더구나 미국, 영국, 중국 등 주요국은 클라우드의 중요성을 인식하고, 공공부문의 업무 혁신과 자국 기업의 경쟁력 강화를 위해 클라우드 정책을 펼치고 있다. 미국과 영국은 우수한 자국의 클라우드 기업을 바탕으로 공공부문의 업무 혁신을 도모하고 있으며, 후발 주자인 중국은 자국 클라우드 기업의 육성에 초점을 맞추고 있다.

이에 우리나라도 클라우드의 중요성을 인식하고 세계 최초로 '클라우드 컴퓨팅 이용자 보호를 위한 법률(이하 클라우드 컴퓨팅법)'(2015년 3월)을 제정하고, 클라우드 이용자 보호를 위한 '클라우드 서비스 활성화를 위한 정보보호대책'(2015년 9월) 및 체계적인 클라우드 산업 육성을 위해 '제1차 클라우드 컴퓨팅 발전 기본계획(2016년~2018년)'을 수립 및 발표하여 법·제도적

인 기반을 마련한 바 있다.

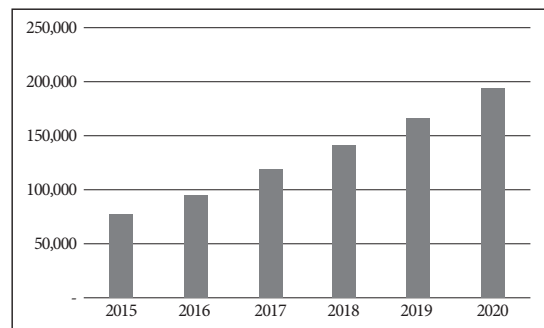
따라서 본 연구에서는 국내외 클라우드 시장 및 정책적 동향을 살펴보고 국내 클라우드 활성화를 위한 방안을 정책적 측면에서 다각도로 살펴보고자 한다.

2. 국내외 클라우드 산업동향 분석

2.1 세계 클라우드 산업동향

세계 클라우드 시장은 아마존, MS 등 주요 클라우드 선도기업이 위치하고 있는 미국 시장 및 기업을 중심으로 시장을 주도 중이며, 적극적인 정부의 육성 의지와 기업의 투자를 추진하고 있는 중국 클라우드 시장이 급성장 중에 있다.

전세계 퍼블릭 클라우드 서비스 시장 규모는 2020년 1,950억 달러에 이를 것으로 전망하는데, 이는 2015년 시장규모인 965억 달러의 두 배를 넘어서는 규모에 해당되며 2015년부터 2020년까지 5년 동안 연평균 성장률 20.4%를 기록할 전망이다. 좀 더 세부적으로 살펴보면 SaaS 및 PaaS를 포함한



〈그림 1〉 세계 공공 클라우드 서비스 시장 전망
(2015~2020, 백만 달러), IDC 2016

는 클라우드 소프트웨어가 2015년 전체 퍼블릭 클라우드 시장의 83.7%를 차지했고, 나머지 16.3%를 IaaS가 차지하는 것으로 나타났다. 성장 측면에서는 IaaS(Infrastructure as a Service) 및 PaaS(Platform as a Service) 시장이 SaaS 시장 보다 빠른 속도로 성장하면서 시장에서의 비중을 확대중인 것으로 나타났다.

기업별로 보면 전 세계 클라우드 컴퓨팅 시장은 Amazon이 주도하고 있으며 최근 MS와 IBM, Oracle 등이 후발 주자로서 성장을 가속화하고 있는 형국이다. 이러한 배경에는 해외 클라우드 시장이 보안이나 안정성 등의 측면에서 사용자를 신뢰를 얻은 결과 성장 추진력을 확보한 것이 크게 작용한 것으로 보인다. 또한 지속적으로 IaaS와 SaaS 서비스가 출시되거나 기존의 서비스를 업그레이드 하는 방향으로 서비스가 전개중인 상황

에서 소프트웨어 정의 네트워크(SDN)나 소프트웨어 정의 데이터센터(SDDC) 관련 서비스들이 출시되고 있으며, 아마존, 구글, MS 뿐만 아니라, IBM, SAP 등도 클라우드 서비스 사업 모델을 활발하게 추진하고 있다.

각국이 클라우드 서비스 제공자의 가격인하 경쟁, 대규모 투자, 빅 데이터 및 사물인터넷 등 클라우드 융합을 위한 기술 전략을 마련 중인 가운데 미국은 클라우드 컴퓨팅 시장에 진출하기 위한 클라우드 서비스 제공자들의 경쟁이 치열하게 전개중이며, 또한 대형 클라우드 서비스 제공자들과 핵심 클라우드 기술을 보유하고 있는 기업의 M&A가 활발하게 진행 중인 상황이다. 현재로 보아서 전 세계 퍼블릭 클라우드 서비스 시장은 연평균 20% 이상의 성장을 보일 것으로 예상되며, 기존의 IaaS, PaaS, SaaS 모델 이외의 다양한 형태의 클라우드 시장이 형성

<표 1> 해외 클라우드 SaaS 주요 제공자 현황

구분	주요내용
Oracle	- 사용자 : 400,000 고객들과 Fortune 100대 기업의 100개 기업에게 서비스. 300,000의 중소기업 고객 보유 - 데이터 센터에서 클라우드에 이르기까지, Oracle은 비즈니스 혁신을 막는 복잡성을 없앨 뿐만 아니라, 엔지니어들이 신속하게 신뢰적으로 보안성 있게 관리할 수 있도록 지원
SAP	- 사용자 : 188개 국가의 263,000 이상 고객 - 대기업과 중견기업을 겨냥하고 있는, SAP Business ByDesign은 완벽하게 통합된 제품으로서 재무, 인적 자원, 판매, 조달, 고객 서비스와 공급망을 비롯한 기업 전체 분야를 담당할 수 있다. 이 제품은 전문적인 서비스, 제조와 도매 유통에 적용할 수 있음.
Cobweb	- 사용자 : 전세계 6,000개 기업의 150,000 사용자 - Cobweb은 유럽에서 기업용 통합 클라우드 솔루션의 최대 사업자. 본사의 목표는 모든 비즈니스 범위에서 클라우드-기반 커뮤니케이션의 유용성을 제공함에 있음.
MuleSoft	- 사용자 : 150,000개 이상의 개발 업체, 3,200개 이상의 제조 업체와 글로벌 500대 기업의 35%가 고객 - MuleSoft은 클라우드 및 사내 환경에서 SaaS와 기업 애플리케이션을 연결하기 위하여 가장 널리 사용되고 있는 통합 플랫폼을 제공하고 있음.
Salesforce	- 사용자 : 250만~ 사용자 당 125불 또는 개월 당 1,500불의 38억 달러 매출에 근간한 수치 - 15년 전에 설립된, Salesforce는 SaaS 산업의 개척자로 부상하였음. - Salesforce는 CRM의 선두 기업. 광범위한 데이터베이스 지식은 견고한 비즈니스 데이터베이스를 구축하기 위한 핵심 장점으로 여겨지고 있음.
Akamai	- 사용자 : 95개 국가에 있는 1,200개 이상 네트워크내의 160,000개 서버. 글로벌 500대 기업의 1/3이 고객 - Akamai Web Performance Solutions과 Akamai Cloud Networking Solutions은 특정 제3자가 사용하도록 설계되어서, 두 제품 모두가 사업자 별 기능을 제공할 수 있으며 모든 시스템 및 기기들과 호환되도록 설계됨.
CA Technologies	- 사용자 : 글로벌 표준 500대 기업의 절반 이상. 상위 20개 글로벌 은행과 25개 대형 정부 기관이 사용 - 클라우드의 SaaS 솔루션으로 구형 솔루션들을 통합하는 것에 초점을 맞추면서, 최근 CA Technologies는 그 Enterprise Mobility Management 솔루션을 출시하여, 자사의 모바일 솔루션을 확실히 개선하고자 하고 있음.
Adobe	- 사용자 : 230만의 Creative Cloud 유료 가입자와, 표준 50대 기업의 2/3 이상이 Adobe Marketing Cloud를 이용하고 있으며 여기에는 상위 20개 인터넷 소매업자들 중 17개, 상위 10개 일반 은행들 중 10개, 상위 5개 미디어 기업들 중 5개와 상위 5개 자동차 생산업체들 중 5개가 포함됨. - Adobe의 클라우드는 주로 Omniture 제품에 의해 정의됨. 그러나 그 품목 내에서 이 제품의 상대적인 우위와 회사 내 Omniture의 영향을 감안하면, Adobe는 확실히 성공한 기업 대상 클라우드 모델을 확보하고 있음. Adobe의 과제는 클라우드 분야의 다른 사업 부문을 이러한 핵심 제품 이상으로 확대하고 발전시키는 데에 있을 것임.
Microsoft	- 사용자 : 10억 개 이상의 기기에 설치됨. - Gartner는 6억 3,000명의 비즈니스 사용자로 추정 - Microsoft의 임무와 가치는 전 세계의 사람들과 기업들이 자신의 완전한 잠재력을 실현하도록 지원함에 있음.

<표 2> 국내 클라우드 산업현황

구분	2014	2015	전년대비 성장률
클라우드 시장 규모	5,239억원	7,644억원	46.30%
국내 클라우드 기업수	258개	356개	36.80%
국내 클라우드 이용 규모	11만 9,000개	17만 2,000개	44.50%

출처 : 클라우드산업 실태조사, 미래창조과학부, 2015.

될 것으로 전망된다.

2.2 국내 클라우드 산업동향

우리나라의 경우 2015년 정부의 클라우드 진흥법 시행과 기업의 클라우드 투자 확대 등 긍정적인 시장 분위기에 힘입어 21.8%의 성장률을 보였고, 이후 클라우드 시장은 향후 5년간 연평균 19%로 성장해 2019년 3,500억원 규모에 이를 것으로 전망된다.

국내 IT 및 SW 기업도 클라우드 시장에 적극 진출하여 2014년 대비 95개가 증가한 353개가 비즈니스를 진행 중에 있으며, 클라우드 이용 기업도 2014년 대비 52,000개가 증가하여 2015년 171,000개사가 클라우드를 이용하는 것으로 조사되었다. 이는 클라우드 이용이 ICT 기업 중심에서 금융, 방송 및 공공 등 다양한 분야로 확대되고 있다는 것을 의미하며 앞으로 교육, 의료 등 다양한 산업에서 클라우드 이용이 확대될 전망이다.

또한 일부 국내 SaaS 기업은 글로벌 진출이 용이한 클라우드 특성을 고려하여 글로벌 클라우드 기업으로 성장하기 위해 아

마존, 구글 등 글로벌 플랫폼을 활용해 중국, 일본 등 해외 시장 진출을 강화 중이며, 일부 스타트업은 처음부터 국내 서비스가 아닌 글로벌 서비스를 목표로 SaaS를 개발 중이다.

국내 클라우드 시장의 확대 전망에 따라 아마존, MS 등 글로벌 클라우드 선도 기업도 한국 클라우드 시장에 적극적으로 진입하고 있으며, 국내 클라우드 기업과 치열한 경쟁이 예상되는 상황이다. 더구나 최근 아마존이 전 세계 5번째로 서울에 리전(클라우드 서비스를 안정적으로 제공하기 위한 하나 이상 복수의 데이터센터)을 발표하는 등 공공 및 민간 부문에 적극적인 행보를 보이고 있다.

우리나라는 세계 최고 수준의 IT 인프라를 보유하고 있음에도 불구하고 IT 산업의 판도를 바꾸고 있는 클라우드 컴퓨팅을 적극적으로 활용하고 있는 글로벌 기업들에 비해 국내 기업들의 활용도는 턱없이 낮은 수준이다. 2015년 시스코와 IDC의 조사에 의하면 국내 기업 10곳 중 4곳은 클라우드 컴퓨팅에 대한 전략 자체가 없는 것으로 나타났다. 이는 클라우드 컴퓨팅에 최적화 된 비즈니스 전략을 갖고 있는 곳이 거의 없다고 봐도 무방할 것이다.

클라우드 컴퓨팅에 대한 이해와 운영 현황을 토대로 평가한

<표 3> 국내 클라우드 SaaS 주요 제공자 현황

구분	주요내용
한글과컴퓨터	- SaaS 서비스를 회사의 핵심 역량으로 지정. 주요 제품으로는 사용자 PC에 별도의 오피스 프로그램을 설치하지 않더라도 웹 브라우저를 통해 오피스 서비스를 제공하는 쉹크프리와 스마트폰 또는 태블릿을 이용하여 이동 중에도 오피스 문서를 보고 편집 할 수 있는 쉹크프리 모바일 등이 있음. - 또한, 독자적 클라우드 플랫폼 기술 기반 위에 웹오피스, 한컴오피스, e-book 저작도구 등을 통합한 '넷비스'를 제공하여 SaaS 시장을 공략
영원원소프트랩	- MS 클라우드 '애저'에 ERP 패키지를 그대로 올리는 방식에서 벗어나 고객이 필요한 서비스에 맞춰 과금하는 SaaS 형태로 제공 - 향후, SaaS 클라우드 서비스가 전체 매출의 15%를 차지할 것으로 전망
더존비즈온	- 스마트A 클라우드 에디션과 아이큐브 클라우드 에디션 등 클라우드 ERP 제품군을 보유하고 있으며, 기존 ERP 시스템에 클라우드 기술을 접목한 ERP 2을 통해 매출 상승 시도
핸디소프트	- 가상화 전문업체 티론과 함께 SaaS 그룹웨어를 개발 중이며, 다양한 애플리케이션을 온라인으로 제공하는 클라우드 서비스 플랫폼인 핸디피아 SaaS 플랫폼 출시 ※핸디피아 플랫폼 : 멀티테넌트로 개별적 서버에서 클라우드 서비스를 제공하는 기존 방식과 달리 하나의 서버를 통해 다수의 사용자가 서비스를 이용 - SaaS 형태의 플랫폼 비즈니스를 진행하고, 향후 플랫폼에 다양한 서비스를 더해 독립적인 Public 서비스 사업으로 확대해 나간다는 계획임. - 또한, 플랫폼 검증에 위해 자사의 협업 솔루션을 SaaS 기반으로 전환
티론	- 다양한 문서, 그래픽 편집 솔루션, 인터넷 브라우저 등 다양한 SW를 단말기에 직접 설치하지 않아도 클라우드 컴퓨팅 기술을 이용해 인터넷 연결만으로 자유롭게 사용할 수 있는 엘클라우드 제공

클라우드성숙도를 살펴보면 미국(34%), 중남미(29%), 영국(27%) 등 클라우드 컴퓨팅 선진 국가들에 비하여 우리나라는 현격히 떨어지는 것을 알 수 있다. 클라우드 컴퓨팅 성숙도의 세계 평균 25%에 비해 우리나라의 경우 18%에 불과한 것이 현재의 상황이라 할 것이다. 하지만 우리나라의 클라우드 컴퓨팅을 도입한 기업은 구축 앱1개당 도입 이전 대비 비용이 16억원 가량 절감한 것으로 나타났으며, 우리나라의 기업들 중 최적화된 클라우드 전략을 갖춘 기업들의 경우 평균적으로 IT비용을 77% 절감하였고, IT 서비스 및 앱 운용시간을 99%감소하는 큰 효과를 본 것으로 조사됨에 따라 클라우드 컴퓨팅을 도입한 효용이 무척 높다는 것을 알 수 있다.

3. 주요 국가별 클라우드 지원 정책동향

3.1 미국

미국은 'Cloud First Policy' 정책으로 공공 부문에 클라우드 컴퓨팅을 우선 도입 및 추진중이다. 2010년 미국 연방정부는 공공기관을 중심으로 한 클라우드 우선 정책인 'Cloud First Policy'를 발표하여, 연평균 800억 달러 규모의 국가정보화 예산의 25%를 클라우드 컴퓨팅 도입에 활용하도록 권고하고 다양한 부처 및 공공기관에 글로벌 사업자의 클라우드 컴퓨팅 서비스를 도입하였다. 연방 정부의 정보 자산 등급을 상, 중, 하로 구분하여 중, 하등급의 정보 자산에 민간 클라우드 적용을 허용하였으며, 미 재무부가 중앙 부처 중 최초로 주요 웹사이트를 아마존의 클라우드 서비스로 이관한 바 있다. 현재 미국 중앙 정보국(CIA)은 아마존 웹서비스(AWS)와 10년간 6억 달러 규모의 클라우드 구축 계약을 체결하였으며, IBM이 미국 캘리포니아주와의 계약을 통해 '캘 클라우드(Calcloud)'를 통한 IaaS 구

축으로 컴퓨팅, 스토리지, 네트워크, 재해 복구(DR)의 프라이빗 클라우드 구축을 시작하였다. 또한 LA, 뉴욕, 마이애미 등은 각각 구글, IBM, MS와 계약하여 현재는 다양한 공공기관에서 민간 클라우드를 이용 중이다.

또한 NIST(미국 국립 표준 기술 연구소, National Institute of Standards and Technology)는 미국 정부 기관 내 안전하고 효과적인 클라우드 컴퓨팅 도입을 촉진하기 위하여 '클라우드 컴퓨팅 기술로드맵'(2014년 10월)을 수립한 바 있는데 클라우드 컴퓨팅 기술로드맵은 호환성(Interoperability), 이동성(Portability), 보안표준(Security Standards), 가이드라인(Guidelines), 기술성(Technology) 등을 최우선 요구 사항으로 하고 있다.

공공부문에 선제적으로 클라우드 컴퓨팅을 도입하는 'Cloud First Policy'의 효과로 민간 클라우드 사업자들은 정책의 뒷받침과 스스로의 자구책에 의하여 글로벌 클라우드 강자로 부상하였으며, 치열한 입찰 경쟁 속에 보안 등 자체서비스를 강화하여 글로벌 클라우드의 강자로 자리매김하고 있다.

3.2 영국

영국은 데이터 보안 분류 체계를 간소화하여 공공 부문에 클라우드 컴퓨팅을 적극적으로 도입하기 위해서 G-클라우드 정책을 수립하고 공공 기관을 대상으로 클라우드를 도입중에 있다. 2009년 영국 정부는 IT 인프라 비용 효율화를 위해 공공기관을 대상으로 한 클라우드 서비스 도입 필요성을 처음으로 제기하였는데 그 일환으로 공공기관들이 민간기업의 클라우드 서비스를 거래할 수 있도록 클라우드 서비스 쇼핑 포털 'Cloud Store'를 개설하였다.

클라우드 컴퓨팅으로 인한 비용 절감 효과를 영국 정부의 전

<표 4> 미국 정부의 클라우드 서비스 도입을 통한 기대효과

비즈니스 가치	기대효과	기존 환경
효율성 (Efficiency)	정부자산 이용의 효율성 제고(서버 이용률(server utilization)을 60~70% 이상까지 끌어올릴 수 있음) - 수요 통합(aggregated demand) - 시스템 통합 활성화(예: 데이터센터 통합) - 앱 개발 및 관리, 네트워크, 엔드유저의 생산성 제고	자산 이용률 저조(서버 이용률이 30% 미만) - 수요 분화(fragmented demand) - 시스템 중복 - 관리 시스템 취약
기민성 (Agility)	신뢰성 높은 업체의 클라우드 서비스 구매 - 서비스 용량을 필요에 따라 즉시 늘리거나 줄일 수 있음 - 긴급상황 시 민첩한 대응 가능	신규 서비스용 데이터센터 구축에 많은 시간이 소요됨 - 기존 서비스 용량을 늘리는 데 많은 시간이 소요됨
혁신성 (Innovation)	자산 소유(asset ownership)에서 서비스관리(service management)로 무게중심 이동 - 민간분야의 혁신성 도입 - 기업문화 향상 - 새로운 기술과의 연계성 강화	자산 관리에 치중 - 민간분야에 비해 혁신성 저조 - 리스크 방어적 문화 중심

공공 기관으로 확대하기 위해 'Cloud First Policy'(2013년 5월)를 발표하고, 공공기관들이 대민 IT인프라 구축시 클라우드 서비스 도입을 고려하는 것을 의무화하였다. 그 결과 2,000개 기업(이중 80% 중소기업)의 1만 9,553개 서비스가 클라우드 스토어에 등록하는 결과를 창출하였으며, 더 나아가 정부 부처별 전산실을 클라우드로 개선하는 것이 아니라 부처별 맞춤형 시스템을 도입하기에 까지 이르렀다. 2011년 클라우드 전략 수립 이후 2016년 현재까지 절감액이 약 2,000억 원에 달하는 것으로 예상되며, 4~5년 만에 클라우드 이용률이 40% 수준에 도달하는 것을 목표로 하고 있다.

영국 내 각 사무처는 공공기관의 클라우드 도입을 지원하기 위해 2014년 4월 기준에 6단계로 분류되어 있던 데이터 보안 분류체계를 3단계로 간소화하였는데 영국 정부의 데이터 보안 분류체계는 변경 전 일급기밀정보(Top Secret), 중요기밀정보(secret), 기밀정보(Confidential), 접근제한정보(Restricted), 보호정보(Protect), 비기밀정보(unclassified)로 구성되어 있었다. 영국 정부가 데이터 보안 분류 체계를 변경 후 일급기밀정보(Top Secret), 중요기밀정보(secret), 공공 데이터 (Official)로 3단계로 바뀌게 되었다.

영국은 데이터 보안 분류 체계를 정비하면서 분류 대상 데이터의 90% 이상이 'Official'로 분류될 수 있도록 고려하여 기준을 수립하였으며, 데이터 보안 분류 체계가 바뀐 이후 실제로 공공 데이터 대부분은(93%) 가장 낮은 수준인 'Official' 등급으로 분류되었는데 공공 기관이 민간 클라우드 사업자의 클라우드 서비스로 이전함으로써 해서 민간기업의 공공 클라우드 시장 진출이 활성화는 효과를 낳았다. 공공기관 역시 효과적인 클라우드 서비스 구축이 가능해져 클라우드 컴퓨팅이 가지는 효율적인 자원 사용이 가능해 진 것도 또 다른 효과라 할 것이다.

3.3 기타 국가

유럽은 '유로 클라우드 프로젝트'를 통해 유럽 연합 차원의 체계적인 클라우드 확산을 추진하고 영국, 프랑스 등 일부국가에 시범 적용을 거쳐 유럽 전역으로 확산시킬 목적으로 클라우드 컴퓨팅 표준화와 클라우드 인증, 안전 및 공정계약, 파트너십 제휴 등에 주력하고 있다.

일본은 공공부문에 클라우드를 선제적으로 도입하는 '가스미가세키 프로젝트'를 추진하였으며, 지자체를 대상으로 클라우드 시스템을 대대적으로 도입, 2021년까지 모든 정부 정보시스템의 클라우드화를 통해 운영비용 30% 절감, 지자체 정보시스템 클라우드화 촉진하는 정책을 발표하여 추진중에 있다.

<표 5> 해외 국가별 공공부문 클라우드 컴퓨팅 도입 사례

구분	주요내용
미국	- 민원처리 : 산림청, 증권거래위원회, 사회보장국 등 - 정보관리 및 제공 : 국방정보시스템국, 국립항공우주국, 연방지리정보위원회, 국가기록원 - 행정 및 협업 : 육군 체험센터, 국립해양대기청, 농무부, 국립표준원, 통계국, 국제개발처 - IT 자원 제공 : 에너지부, 재무부, 위험 및 안전 구조조정국, 국토안보부 - 백업/복구 및 재난 대응 : 해군해병대, 국토안전부, 연방긴급사태관리국, 플로리다 주 마이애미 시 - 의료 : 보건국 - 대국민정보제공 : 미국사회안전국, 농무부
영국	- 파일공유시스템 : 영국국제개발부, 영국문화원, 법무부, 산업경제부
일본	- 전자조달시스템 : 지바현 및 42개 지자체 - 주민정보 및 세부 : 가나가와현 산하 14개 자치 단체 - 자원공유 및 데이터 백업, 연동 : 지자체
싱가포르	- 이메일 시스템 : OnelnBox 포털 사이트, 교육부 - 정보제공 : 청소년올림픽위원회
중국	- 개발환경 제공 : 중국 우시 지방 정부(소프트웨어 파크) - 특허 지원 : 국가지식재산권국 - 재난방지시스템 : 국제전자비즈니스센터 - 헬스케어 서비스 : 동일 지방정부

중국은 베이징, 상하이, 선전, 항저우, 무시 등 5개 도시에서 클라우드 컴퓨팅 시범사업을 추진하고, 공공 클라우드 컴퓨팅 서비스 플랫폼 건설과 빅데이터 서비스, 솔루션 계획 및 보급을 중점 지원하기 위해 '클라우드 컴퓨팅 제13차 5개년 계획'(2014년 8월)을 발표한 바 있다.

싱가포르는 '아시아 태평양 클라우드 컴퓨팅 허브' 구축을 위한 각종 육성 정책을 시행 중이며, 세계 최초로 데이터 센터 파크(DCP, Data Center Park) 구축, 'Productivity and Innovation Credit'을 통해 클라우드 컴퓨팅과 관련된 기업의 활동에 세제 혜택을 부여하고 있다.

4. 우리나라 클라우드산업 발전전략

국제분석협회(IIA)의 발표내용에 따르면 클라우드에서 언제든지 간편하고 빠르게 실행할 수 있는 서비스형 분석 서비스를 채택하는 기업이 늘어날 것으로 예상하였으며, 컨설팅 업체인 캡제미니는 사물인터넷 데이터가 증가하면서 클라우드 기반 서비스형 분석이 인기를 끌 것이며 자체 빅데이터 인프라를 구축하는 것보다 외부 서비스를 선호하는 기업이 증가할 것으로 예상한 바 있다. 이는 클라우드 방식의 빅데이터 서비스를 고려할 경우 데이터 보안과 서비스 공급업체가 파산했을 때 발생할 수 있

는 문제에 대한 대책을 강구해야 함을 의미한다. 결국 안정적인 서비스 수준 확보와 데이터 손실을 방지하기 위해 서비스 공급 업체와의 긴밀한 협조가 필요하다는 것인데 클라우드 서비스 사용을 결정한 기업의 경우 퍼블릭 클라우드에 배치할 어플리케이션과 데이터를 분류하고, 중요성에 따라 다른 클라우드나 기업 내부에 복제본을 만들 수 있도록 백업 장치를 두어야만 한다. 하지만 결국 데이터 자원을 효율적으로 활용할 수 있고, 에너지를 절감할 수 있으며, 환경보호 측면에도 장점이 있는 클라우드 서비스 방식으로 가는 것이 최선의 길이 될 것이다.

클라우드 컴퓨팅 서비스가 본격적인 성장단계로 진입하기 위해서는 광범위한 시장에서의 수요 확산이 필요하다. 사용자들은 클라우드 서비스의 여러 장점들에 대해 공감하면서도 서비스의 안정성, 데이터의 보안성 등에 대한 우려로 도입을 주저하고 있는 실정이다. 클라우드 서비스 활성화의 장애요인으로 선결되어야 할 문제점으로는 다음과 같은 것들이 있다.

첫째, 클라우드 서비스의 안정성에 대한 우려이다. 이용자 측면에서 안정성은 가용성과 밀접한 관련이 있어서 공급자가 중단 없이 서비스를 제공할 수 있는가의 문제이다. 2008년 아마존의 S3 서비스, 구글의 앱 엔진 및 G메일의 장애사례는 누구에게나 언제든지 일어날 수 있다는 것을 보여주는 좋은 사례이다. 따라서 클라우드 서비스에서 중요한 것은 연중 가용성을 극대화하여 안정적으로 서비스를 제공하는 것이라 할 것이다.

둘째, 데이터의 보안성 및 기밀성에 대한 불안감이다. 사용자들은 자신들의 핵심 데이터와 정보를 외부의 서버에 저장하는데 대한 우려를 가지기 마련이다. 분산컴퓨팅과 가상화를 통해 IT 자원의 효율성을 극대화 시키는 클라우드 컴퓨팅 특성상 사용자들은 자신의 핵심 데이터가 어디에 저장되어 있고, 어떻게 관리되고 있는지 알 수 없기 때문에 더 심각한 우려와 불안감을 가질 수밖에 없다.

셋째, 클라우드 서비스 도입 효율성에 대한 객관적인 검증이 부재하다는 것이다. 공급자는 일반적으로 클라우드 서비스 도입에 따른 투자수익률 측면의 효과를 부각시키나, 정작 이용자가 납득할 수 있는 수준의 계량적 데이터를 제시하지는 못하기 때문이다. 이는 클라우드 서비스가 국내에서 사업화된 사례가 많지 않다는 데에도 기인한다. 클라우드 서비스 도입에 따른 객관적, 계량적 효과성을 제시하지 못한다면 이용자는 클라우드 서비스 도입을 주저할 것이 분명하다.

넷째, 법·제도 및 표준화 등의 클라우드 서비스 활성화를 위한 기반환경이 미비하다. 클라우드 컴퓨팅 포럼이 2009년 7월 8일 구성되어 클라우드 서비스의 민간 표준화 활동을 전개하고

있고, 정부 관련 부처를 중심으로 법·제도에 대해 연구 중에 있지만 표준화 및 법제도의 정비에는 이제 시작 단계로서 민·관의 포괄적 협력을 통해 조속한 시일 내에 클라우드 서비스 활성화를 위한 기반을 조성하여야 할 것이다.

우리나라 클라우드 산업을 한 단계 도약시키기 위해서는 클라우드 컴퓨팅 활성화 과제로 선택과 집중을 통한 차별적 경쟁우위 확보가 필요하다. 우리나라의 클라우드 컴퓨팅 관련 기술은 미국과 비교하면 약 4년 정도 기술 격차가 존재하기 때문에 국내 클라우드 컴퓨팅을 활성화하기 위해서는 국내 클라우드 기술 강화의 노력이 필요한 것이다. 제한적 기술력을 지닌 국내 클라우드 사업자로서는 글로벌 IT기업과는 차별화된 서비스를 제공하여야 하는데 이를 위해서는 클라우드 서비스를 적용할 수 있는 분야를 선별하고 분야별로 특화된 클라우드 서비스 모델 개발 및 사업화에 역량을 집중해야 할 것이다. 초기 단계에서는 파급력이 큰 공공 분야부터 시범사업을 실시, 서비스 운영 메커니즘 및 노하우에 대한 정보를 공유함으로써 민간 기업이 자생할 수 있는 시장 여건을 조성할 필요가 있으며 이를 통해 분야별 특화된 클라우드 서비스의 성공경험이 밑거름이 되어 이중산업 간 대규모의 융합 클라우드로 진화하여 규모의 경제를 달성함으로써 글로벌 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 전망된다. **ie** 미래경제

■ 약력 | 전 준 수

□ 학력

• 2003년 전남대학교 공학박사

□ 경력

• 2005년~2006년 한국전자통신연구원
• 2006년~2008년 한국정보사회진흥원
• 2008년~2009년 전자거래진흥원
• 2009년~현재 정보통신산업진흥원 본부장

□ 관심분야

• Applications : IoT, AI, Cloud Computing, RFID, Smart Antenna

Special Edition 2

클라우드 컴퓨팅 보안위협에 따른 대응전략



김 형 국 · 건국대학교 산업공학과 박사과정

1. 서론

클라우드 서비스는 인터넷 기반으로 IT자원의 일부 또는 전체를 아웃소싱하는 형태이므로 보안문제에서 자유롭기에는 한계가 존재한다. 클라우드 서비스의 대표적 보안 문제점으로는 보안 및 데이터 유출, 서비스 안정성과 가용성 등이 있으며 기업들이 클라우드 서비스를 도입하여 이용하기 위해서는 이러한 문제점들이 우선적으로 해결되어야 함이 당연하다.

정보통신산업진흥원에 따르면 민간기업의 30.6%, 공공기관의 33.3%가 클라우드 컴퓨팅 서비스를 도입할 때 데이터 보호를 가장 중요하게 생각하는 것으로 조사되었다.

클라우드 서비스는 사용자 개인정보 및 기업 데이터에 기밀성을 보장해주어야 하는데 주요 데이터에 대한 기밀성 보장과 유출방지를 위해서는 암호화 방식을 적용해야 하며 클라우드의 특성상 대용량 데이터를 가동함으로써 전체 암호화시 시스템 가용성이 떨어질 수밖에 없는 어려움이 존재한다. 여기서 클라우드 보안의 어려움이 발생하는 것이다.

더구나 다수의 사용자 데이터가 혼재되어 있는 클라우드 컴퓨팅 서비스 환경 특성상 데이터 및 사용자에 대한 인증과 권한 관리가 필요하며, 이는 사용자의 인증에 사용되는 기술이 필요함

을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 국내외 클라우드 보안정책 동향, 클라우드 서비스 사업자의 이용자 보호 서비스, 클라우드 SaaS 보안 침해 사고 사례 분석을 통해서 SaaS 서비스 도입 및 전환시 적절한 접근방식을 도출하는 것을 살펴보고자 한다.

2. 클라우드 SaaS 환경에서의 보안침해 사례 및 보안 이슈 분석

클라우드 컴퓨팅의 보안사고는 클라우드 컴퓨팅을 도입하려는 잠재적 기업이나 사업자들에게 보안에 대한 우려를 심화시켰으며, 클라우드 시장이 급성장하는 추세에서 중요한 화두로 제기되고 있다. 클라우드 컴퓨팅을 활성화하고 관련 산업을 육성하기 위해서는 이용자들에게 클라우드를 안정하게 이용할 수 있다는 신뢰감을 심어 줄 필요가 있는데 국내는 클라우드 컴퓨팅이 이제 막 시작되는 단계이므로 클라우드 컴퓨팅에 대한 보안 우려는 물론이고 클라우드 컴퓨팅을 어떻게 활용해야 하는지에 대한 인식도 부족한 상황이라 퍼블릭 클라우드를 이용하기 보다는 데이터 센터 내에 물리 서버를 두고 이용하는 것을 더 선호하는 경향이 있다.

아래의 <표 1>에서는 클라우드 컴퓨팅 서비스에 관련된 보안

<표 1> 클라우드 컴퓨팅 보안사고 사례

클라우드 서비스	보안사고 사례
구글	- 태국의 ISP를 이용한 세션 하이재킹 공격 발생 - 2011년 2월, 50만명의 이용자가 메시지 및 주소록이 사라지는 사고 발생
마이크로 소프트	- 2010년 12월, 서비스 환경 설정 오류로 인하여 기업 정보가 타인 열람
아마존	- 2011년, 아마존의 가산 서버 임대 서비스(EC2)에 가명으로 가입 후 가상 서버를 대여해 소니 플레이스테이션 네트워크 해킹
애플	- 2014년 유명 여배우들의 계정이 해킹으로 탈취되어 사진 누출 - 2012년 iCloud, Gmail, Twitter 계정 분석으로 기자의 계정 탈취 및 모든 개인 자료 삭제

VMWare	- 2012년 VMWare Image에 Crisis 악성 코드 삽입
Dropbox	- 2012년 이용자 이메일 명단 유출 및 스팸 전송
에버노트	- 2013년 2월 백도어 활동, 서버의 수집 정보 은닉 장소로 에버 노트 이용
Vaserv.com	- 2009년 6월 가상화 플랫폼(Hyper-VM)에 대한 제로데이 공격으로 10만 고객사 웹사이트 삭제
ZenDesk	- 2013년 2월 ZenDesk 시스템 해킹을 통한 개인 정보 유출
Dream Host	- 2012년 1월 Dream Host DB 해킹으로 인한 개인 정보 유출
KT	- 유클라우드 서버 스위치와 스토리지 조작등으로 인한 서비스 장애
어도비	- 290만 명 개인 정보 유출

사고들이 발생하였으며, 이러한 보안 사고는 클라우드 컴퓨팅을 서비스하는 기업과 클라우드 컴퓨팅을 사용하는 이용자들에게 막대한 피해를 주고 있음을 보여준다.

이와 관련하여 클라우드 SaaS 환경에서 보안 관련 주요 취약점은 <표 2>와 같다. <표 2>에서 검토한 보안 이슈들은 기업들이나 기관들이 SaaS 서비스를 이용할 때 데이터 보안의 신뢰성을 확보하기 위하여 충족하여야 할 요구사항 및 그와

관련한 신뢰성 확인방법을 제시하는 것이라 볼 수 있다.

이상의 자료를 통해 살펴볼 때 그간 정부에서 시스템 보안을 위해 취해온 각종 기술적 정책, 예를 들어 망분리, 방화벽, 가상 사설망 등으로는 클라우드 SaaS 환경에서의 보안을 완전히 커버하지 못하는 것으로 해석할 수 있다.

3. 클라우드 컴퓨팅 표준화 동향 및 보안 가이드라인

<표 2> 클라우드 컴퓨팅의 주요 취약점

보안 위협	위협 내용
서비스 오용	- 서버 봇넷화 - 알려지지 않은 서비스 - 악성코드 호스팅 - API 의존성
서비스 남용	- 서비스 불법 과다사용 - 시스템 부하를 주어 가용성 위협
보안 체계 위협	- 불충분한 인증 - 부적절한 권한부여 - 불충분한 감사 - 모순된 암호화 - 소프트웨어 라이선스 크랙
애플리케이션 위협	- 익명의 접근 - 재사용 가능한 토큰이나 비밀번호 - 비유연한 접근 제어 - 부적절한 권한부여 - 제한된 모니터링과 로깅기능
관리 시스템 위협	- 프로필 정보 유출 - 연계성의 위협 - 운영상 실수 - 에러처리 실수 - 불충분한 재난 복구
가상화 위협	- 가상화 취약점 위협 - Malware 공격 - 정보 유출 - 인증되지 않은 자의 자원 접근 - 인증된자의 권한 상승

3.1 국내 표준화 동향

국내에서는 2010년 클라우드 컴퓨팅 표준화 포럼이 설립되어 민간수요 기반의 글로벌 경쟁력을 지닌 핵심 표준 개발과 단체표준 및 국가표준 추진을 위한 표준화 활동이 진행되고 있으며, 현재는 기술과 서비스의 상호호환성을 보장받을 수 있는 표준에 근거한 보안 정책 수립이 필요한 상황이다.

퍼스널 클라우드 보안프레임워크의 주요 내용을 살펴보면 클라이언트와 포털서비스 제공자간의 사용자 인증은 아이디, 패스워드, X.509 증명 등의 다중요인(Multi-factor)을 이용하여 생성된 토큰(Token)으로 서비스 사용 요청을 진행한다. 또한 제3자의 인증기관, 예를 들어 정부기관 또는 공인 인증기관을 통하여 사용자 정보 노출 없이 사용자 인증과 사용자 중심 서비스 제공하도록 되어 있으며, 제3자의 감사를 위해 사용자 혹은 서비스 제공자와의 계약/위임을 통해 사용자 개인 정보 및 데이터의 위·변조 여부 등을 감사하고 결과를 사용자와 서비스 제공자에게 전송하도록 되어 있다.

사용자 서비스 포털은 다양한 클라우드 서비스를 가상 개인네트워크를 통해 융합 서비스를 제공받을 수 있는 환경을 제공하여야 하며 클라우드 서비스 제공자는 XACML과 SPML을 이용하여 포털서비스 제공자간의 사용자 정보 및 인증 정보를 공유하도록 되어 있다.

이와 관련하여 국립전파연구원(RRA)은 2013년 클라우드 서비스 제공자 입장에서 보안 가이드라인과 개인정보보호 가이드라인을 개발하여 2014년 방송통신국가표준으로 제정하였으며, 2014년에는 퍼스널 클라우드 서비스 개인정보보호 가이드라인 표준을 개발한 바 있다.

3.2 해외 표준화 동향

클라우드 보안과 관련된 국제 표준화 동향은 ISO/IEC JTC1 SC27과 ITU-T SG13, SG17에서 기술표준을 개발하고 있으며, 클라우드 전자정부 보안에 필수적인 요소로서 표준에 반영되어야 할 항목에 대해서는 표준화 추진 기구를 통해 표준화에 반영하기로 하였다.

먼저 JTC1의 SC27 주요내용을 살펴보면 정보기술 보안을 위한 일반적 방법과 기술에 대한 표준화, 암호화 알고리즘의 표준화, 정보기술 시스템 보안 서비스를 위한 일반적 요구명세, 보안 기술 및 메커니즘 개발, 문서 및 표준을 지원하는 관리 개발을 하는 그룹 등 가이드라인 및 지침을 개발 중이다. ITU-T의 SG13에서는 클라우드 컴퓨팅 관련 용어 정의, 분류체계, 유스케이스 외에 요구사항과 기능, 클라우드 컴퓨팅의 참조 구조 및 이를 위한 기능적 요구사항, 클라우드 자원 관리를 위한 요구사항 및 갭 분석, 텔코 관점에서의 클라우드 컴퓨팅의 주요 이점 분석 등을 개발 중이다. 마지막으로 ITU-T의 SG17은 클라우드 컴퓨팅에서의 위협 요인과 보안 요구사항을 정립중이다.

이와는 별도로 미국 클라우드 보안인증체계(FedRAMP)를 살펴볼 필요가 있는데 보안인증 가이드라인의 대표적인 체계인 FedRAMP는 클라우드 제품 및 서비스에 대한 보안평가, 허가, 지속적 모니터링을 위해 도입한 표준화된 보안 평가 및 인증 프로그램으로써 보안 요소적인 측면에서 FedRAMP에는 보안 평가 항목별 보안요소들이 세분화되어 있어 미시적 보안평가가 용이하다는 장점이 있다.

3.3 클라우드 컴퓨팅 보안 인증제도

다양한 클라우드 보안 장치들이 도입됨에도 불구하고 보안에 대한 불안감으로 인해 클라우드 컴퓨팅으로의 전환을 주저하는 사용자들이 많다는 점을 고려한다면 시스템에 제대로 된 보안장치가 마련되어 있음을 관련 인증을 통해 입증시켜 주는 것이 보안에 대한 우려를 해소하는 한 방법이 될 수 있을 것이다.

클라우드 보안 인증 제도는 클라우드 시장을 활성화하기 위해서 클라우드 서비스 제공업체가 제공하는 서비스의 수준을 보장

하기 위해 필요한 서비스 체계를 구축하였는지 점검하고, 일정 수준 이상의 클라우드 서비스에 인증을 부여하는 제도를 의미한다. 앞서 언급한 바와 같이 클라우드 서비스 산업 전반에 대한 불안감을 해소하고, 서비스의 품질을 향상시켜 클라우드 서비스를 더 활성화하고자 하는 제도이며, 현재 국내외에서 제도를 표준화하기 위한 연구를 추진 중에 있다.

2012년 1월 방송통신위원회에서 클라우드 서비스 인증제를 발표하였으며, 서비스 사업자로는 KT사가 최초로 클라우드 서비스 인증을 획득한 이래로 많은 기업들이 앞다투어 이를 취득하고 있는데 현재 국내 클라우드 관련 인증 제도로는 ASP 인증제도, GS(S/W품질) 인증제도, 녹색 인증제도가 있다.

ASP 인증제도는 ASP 솔루션 인증을 통하여 부적절한 솔루션에 의해 ASP 산업 전반에 대한 불안감을 해소하고 솔루션의 품질 향상에 도움을 주고자 개발된 것으로 2006년부터 2년 간 ASP 인증제도가 시행되었고, GS(S/W품질) 인증제도를 위해 한국정보통신기술협회(TTA)를 품질시험, 인증기관으로 지정하여 엄격한 테스트와 공정한 시험등 일련의 테스트 절차를 거쳐 TTA의 품질인증 받은 S/W 제품에 한해 GS(Good Software) 마크를 부여하는 제도를 도입한 바 있다. GS 마크는 제품의 신뢰도 증가, 국가적 차원의 지원을 통하여 S/W 유통을 활성화하는데 그 목적을 두고 있으며, 현재 GS마크는 모든 소프트웨어 제품에 적용되고 있다.

또한 녹색인증은 자원 및 환경위기를 극복하고 신 국가발전 기반의 저탄소 녹색성장을 지향하며 녹색산업 투자에 집중하기 위하여 도입되었다.

우리가 관심을 가지는 분야는 클라우드 서비스 협회(KCSA)에서 추진 중인 우수 클라우드 서비스 인증제도인데 클라우드 서비스의 품질, 보호, 기반 제공 분야를 심사하여 인증 중에 있다.

국내 클라우드 서비스 인증제도의 목적은 클라우드 서비스 산업 전반에 대한 불안감을 해소하고 체계적인 클라우드 서비스 인증을 통한 클라우드 서비스에 대한 안전성, 신뢰성, 지속성을 제고하고자 하는 것이다. 즉, 클라우드 서비스 및 사업자의 품

<표 3> 한국 클라우드 서비스 협회 심사영역

서비스 품질	- 가용성(Availability) - 성능(Performance) - 확장성(Scalability)
서비스 정보보호	- 데이터 관리(Data Management) - 보안(Security)
서비스 기반	- 서비스 지속성(Continuity) - 서비스 지원(Support)

질 수준, 안정성 및 보안성 등을 평가·인증하여 서비스의 품질 향상을 통한 클라우드 서비스를 활성화하기 위함이다.

클라우드 서비스 인증 대상은 클라우드 기술을 활용하여 하드웨어, 소프트웨어 등 IT 자원을 서비스하는 업체이며 한국 클라우드 서비스 협회(KCSA) 심사의 기준은 다음의 <표 3>과 같다.

4. 클라우드 컴퓨팅 보안전략

기업과 사용자에게 신뢰를 얻으려면 클라우드 서비스는 안정적이고 투명하게 운영할 수 있는 환경을 갖추어야 하며 개인 정보, 법적 문제에 해결 전략이 필요하다.

기밀유지/개인정보 보호, 규정준수, 거버넌스, 위험요소 관리, 가용성, 무결성과 같이 6가지의 요구사항을 충족해야 하는데 이들 요구사항은 상호 배타적이지는 않다.

신뢰성 요구 사항으로는 규정준수, 거버넌스, 위험 요소 관리, 가용성, 무결성, 기밀유지 및 개인 정보 보호가 있는데 이를 자세히 살펴보면 <표 4>와 같다.

아래의 <표 4>에서 살펴본 바와 같이 효과적인 클라우드 보안관리를 위해서는 컴플라이언스(Compliance)가 비즈니스 활동에 있어서 최우선으로 고려되어야 한다는 것을 알 수 있다. 효과적인 컴플라이언스를 하기 위해서는 지속적이고 일관성

을 고려한 정보보호 전략을 수립해야 하며, 최고 경영층의 정보보호 활동에 대한 의지 반영 및 참여를 유도하고, 전사적 자원을 체계적으로 종합한 정보보호 관리 이행 및 실천이 필요하다.

또한 클라우드드는 기존의 기술을 융합하여 사용하기 때문에 클라우드에 관련된 기존의 소프트웨어 인증제도와 클라우드 특성을 고려하여 인증제도를 새로 개설하여 제정하는 것이 바람직하며 이를 위해 클라우드 협회와 정부 단체는 클라우드 인증제도를 활성화하여 클라우드를 도입하고자 하는 사용자와 기업에게 신뢰를 얻고 클라우드 시장이 넓어질 수 있도록 기여할 수 있을 것이다. 

■ 약력 | 김 형 국

□ 학력

• 2004년 경북대학교 경제학박사

□ 경력

• 2002년 영진전문대학교
• 2003년~2009년 한국전자거래진흥원
• 2009년~현재 정보통신산업진흥원

□ 관심분야

• Cloud Computing, 3D Printing, E-Government, E-Commerce

<표 4> 클라우드 신뢰성 요구사항

규정 준수	- 기업은 법률상, 계약상 특정 요구사항을 충족할 수 있고 업계 표준과 규정을 준수 해야 함. - 컴퓨팅 환경은 SLA를 충족하고 사업부와 고객이 기대하는 성능 수준을 만족
거버넌스	- 컴퓨팅 환경에 대한 모니터링과 보고, 관리 정책, 절차 및 제어 적용, IT 리소스를 사용하고 관리하는 사람들의 책임, 의무, 결정 권한 수립 등이 포함 - 효과적인 거버넌스를 위해서는 관리 측면에서 컴퓨팅 환경을 명확하게 파악하고 직원을 대상으로 컴퓨팅 환경의 사용에 관한 교육을 실시해야 하며 책임 소재를 명확히 해야 함.
위험 요소 관리	- 컴퓨팅 환경과 관련된 위험은 그 유형을 막론하고 직접적인 위협부터 업무 중단, 다른 원인으로부터 파생된 위험에 이르기까지 다양함. - 클라우드를 도입하는 조직에서는 공급업체의 수능 능력과 기술적량을 신중하게 따져야 함.
가용성	- 리소스는 필요할 때 이용할 수 있어야 하고, 운영 중단이나 장애 발생 시 복구할 수 있어야 함. - 사용자는 리소스를 액세스할 수 있어야 하고, 인프라스트럭처, 애플리케이션, 정보등 모든 종류의 컴퓨팅 리소스는 적절하게 백업하고 빠르게 복구할 수 있어야 함.
무결성	- 정보 및 기타 자산의 무결성을 유지하기 위해서는 세 가지 안전장치가 필요 • 액세스 보안을 통해 권한 있는 사람과 시스템만 지정된 정보 와 애플리케이션을 사용할 수 있도록 함. • 정보시스템에서 처리하는 트랜잭션은 완벽성을 보증할 수 있어야 하며, 이는 네트워크나 시스템에 많은 장애 지점이 존재할 수 있는 경우에도 포함. • 매개 변수와 허용된 작업을 정의하고 적용함으로써 정보 자체에 대한 무단 변조 행위를 가능한 차단해야 함.
기밀 유지 / 개인 정보 보호	- 법적 요구에 따라 의료 및 재무 기록과 같은 PII(Personally Identifiable Information)을 보호하고 금융 정보, 영업 기밀, 기타 지적 재산 등의 상거래 데이터가 유출되지 않도록 예방해야 함. - 관련 정보를 수집하고 사용하는 방법과 관련하여 기존 고객, 잠재 고객, 비즈니스 파트너 및 직원의 기대 사항을 충족 시켜야 함.

Special Edition 3

클라우드 시장의 변화를 선도하는 GPU인스턴스 서비스 소개

(R 영역에서의 클라우드 기반 GPU 적용방안)



최 원 준 · INsoft 기술이사



너무나 멀리 있는 그대.....

기존의 클라우드 서비스에 식상해 있는 우리에게 새로운 매력덩어리가 다가오고 있는데 ‘GPU on Cloud’ 서비스가 바로 그것이며 이번 기고를 통하여 그 매력을 간략하게나마 소개하고자 한다. 특히 IE 엔지니어들이 관심 있어하는 R 분석, Machine Learning, Deep Learning 분야 담당자들의 경우 보다 많은 관심을 가져봐도 좋을듯하다.

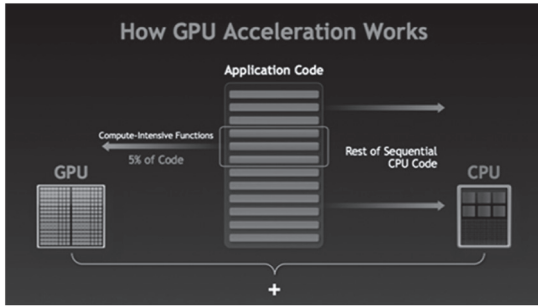
지난 2017년 5월 7일부터 12일까지 미국 California 주의 San Jose 에서는 GPU 기술에 대한 세계적인 관심과 열기가 어느 정도인지를 가늠할 수 있는 GTC Conference(NVIDIA 주최)가 열렸다. 전세계 각국에서 Artificial Intelligent, Deep Learning, Machine Learning, Big Data, 자율주행 그 외 다양한 GPU 적용 분야의 엔지니어, 교수, 업체 관계자들이 참석하여 GPU 확산 적용으로 인해 바뀌어질 새로운 세상을 미리 맛보는 무척 인상 깊은 시간이었다.

혹시나 본 기고를 접하는 IE 엔지니어들 가운데서 GPU라

는 개념이 무척 생소할 수도 있다는 생각에 이를 간단히 설명하고 계속 이어가도록 하겠다. 과연 GPU란 무엇인가? 1990년대 초기부터 까지만 해도 그래픽카드의 의미는 단순히 CPU의 연산 결과를 그림이나 글자 신호로 변환하여 모니터로 출력하는 어댑터와 같은 하드웨어로 인식되고 사용해왔는데 1990년대 중반 이후부터 멀티미디어 콘텐츠, 특히 게임 시장이 큰 주목을 받으면서 단순했던 그래픽카드의 역할도 점차 변하기 시작한다. 보다 현실적인 입체감을 부여하고자 3D 그래픽 기반의 각종 광원 효과 및 질감 표현 기법이 큰 발전을 이루게 된다. 이러한 고성능을 요구하는 Image Processing 작업들을 직렬처리에 강한 CPU 만으로 처리하기에는 버겁기 때문에 이를 도와줄(Acceleration) 3D 그래픽 연산 전용의 프로세서, 즉 GPU(Graphics Processing Unit)가 개발되어 그래픽카드에 탑재되기에 이르게 된다. 결국 GPU란 고성능 그래픽 처리/연산을 위한 전용 프로세서라고 이해하면 될듯하다.

그렇다면 과연 GPU 컴퓨팅이란 무엇일까? GPU 컴퓨팅이란 CPU와 함께 GPU를 사용하여 범용 과학 및 엔지니어링 어플리케이션의 처리 속도를 향상시키는 연산처리 환경을 말한다. 이 분야에서 꾸준한 노력을 제공해온 NVIDIA가 5년 전에 최초로 선보인 GPU 컴퓨팅은 병렬처리를 요구하는 다양한 산업





곳곳에 적용되어 현재 전세계적으로 수백만의 사용자로 하여금 GPU 컴퓨팅 분야에서 독보적인 벤더로서 선택되고 있는 상황이다.

조금 더 기술적으로 표현하자면 GPU 컴퓨팅이란 CPU + GPU의 조합으로서 최적의 컴퓨팅 Power를 제공하는 연산방식을 제공하는데 일단 CPU는 직렬 처리에 최적화된 몇 개의 코어로 구성된 반면, GPU는 병렬 처리용으로 설계된 수 천 개의 보다 소형이고 효율적인 코어로 구성된다. 임의의 애플리케이션 코드에서 직렬로 수행하는 것이 효율적인 부분은 CPU에서 실행하고 병렬적으로 수행되는 것이 효율적인 부분은 GPU에서 실행한다는 처리구조로 접근하게 된다.

이처럼 Heavy한 병렬처리에 최적의 성능을 보장하는 GPU 컴퓨팅은 Big Data, R 분석, Machine Learning, Deep Learning과 같은 분야에서 이제 옵션이 아닌 필수가 되어가고 있으며 이미 많은 기업체, 연구소, 학교에서 GPU 기반의 분산 병렬처리를 적용하여 업무를 진행하고 있는 상황이다.

하지만 GPU 기반의 병렬처리 플랫폼을 구성하고자 할 때 고민해야 하는 문제가 있다. 쓸쓸하게도 문제는 돈이다. 비싸도 너무 비싸다. NVIDIA DGX-1 Appliance의 경우 대략 미화로 \$160,000정도. 거의 한화로 2억정도 규모의 비용이 요구된다. OEM 서버 형태로 NVIDIA 그래픽카드를 장착한 GPU 서버를 구입한다 해도 7, 8천에서 1억정도의 도입비용을 예상해야 한다.

자 이제 앞에서 언급했던 무미건조한 클라우드에 GPU가 어떤 변화를 선도하고 있는지 살펴보고자 한다. 세계적으로 클라우드 비즈니스/서비스를 선도하고 있는 아마존 웹 서비스의 경우 EC2(Elastic Compute Cloud) 플랫폼에 클러스터 AWS GPU(Cluster GPU) Instance라는 새로운 서비스를 제공함으로써 사용자들로 하여금 Image Rendering이나 미디어 처리 애플리케이션뿐만 아니라 Machine Learning, Deep Learning과 같은 고성능 컴퓨팅 애플리케이션까지도 운영할

수 있는 서비스를 제공하고 있다. 특히 GPU를 사용하여 애플리케이션 개발이 가능하도록 제공하는 Deep Learning 개발 Frameworks(MXNet, Caffe, TensorFlow, Theano, Torch)도 함께 제공하고 있어 사용자의 부담을 많이 줄여주고 있다.

그리고 또 하나의 장점이라면 이런 성능 상의 장점 외에도 자체적으로 컴퓨팅 클러스터를 구매하고 구성하고 운영하는 복잡성과 비용의 부담을 덜어주는 것도 크다고 본다.

다음은 AWS EC2 플랫폼에서 제공하고 있는 GPU Instance의 구성 및 기능을 보여준다. 크게 P2와 G2 인스턴스로 구분되는데 P2는 범용 GPU 컴퓨팅 애플리케이션을 대상으로하며 G2는 그래픽 집약적 애플리케이션에 최적화되어있다.

〈P2 Instance〉

- 고주파수 인텔 제온 E5-2686v4(Broadwell) 프로세서
- 2,496개의 병렬 처리 코어와 12GiB의 GPU 메모리가 장착된 고성능 NVIDIA K80 GPU
- GPUDirect™ 지원(피어 투 피어 GPU 통신)
- 배치 그룹 내에서 최대 20Gbps의 집계 네트워크 대역폭으로 Amazon EC2 Elastic Network Adaptor를 사용하는 향상된 네트워킹 제공
- 추가 비용 없이 기본적으로 EBS 최적화

〈G2 Instance〉

- 고주파수 인텔 E5-2670(샌디 브릿지) 프로세서
- 1,536개 CUDA 코어 및 4GB 비디오 메모리가 장착된 고성능 NVIDIA GPU
- 각 GPU는 최대 8개의 실시간 HD 동영상 스트림(720p@30fps) 또는 최대 4개의 실시간 풀HD 동영상 스트림(1080p@30fps)까지 지원하도록 설계된 내장 하드웨어 비디오 인코더를 제공

〈P2 Instance〉

모델	GPU	vCPU	메모리(GiB)	GPU 메모리(GiB)
p2.xlarge	1	4	61	12
p2.8xlarge	8	32	488	96
p2.16xlarge	16	64	732	192

〈G2 Instance〉

모델	GPU	vCPU	메모리(GiB)	SSD 스토리지(GiB)
g2.2xlarge	1	8	15	1×60
g2.8xlarge	4	32	60	2×120

- 전체 운영 체제 또는 선택한 렌더링 대상에 대해 지연 시간이 짧은 프레임 캡처 및 인코딩을 지원함으로써 고품질의 대화형 스트리밍 환경 제공

이상으로 GPU 서비스를 제공하는 클라우드 서비스에 대해 AWS 예들 들어 살펴보았다.

이제는 IE 엔지니어들에게 큰 관심을 받고 있는 R 분석영역에서 gpuR 패키지를 통한 GPU 적용에 대해 소개하고자 한다. 만약 필요한 경우 P2 인스턴스와 같은 클라우드 환경에서 GPU 서비스를 통한 R 분석도 얼마든지 가능한 얘기이다.

빅데이터 분석이라는 키워드가 시장에 나오면서 어쩌면 가장 인기 있는 통계 소프트웨어 중 하나인 R은 풍부한 통계 모델, 데이터 처리 도구, 강력한 시각화 능력을 제공하는 많은 장점을 가지고 있다. 그러나, 데이터의 양이 증가함에 따라 R의 메모리 사용과 연산 모드는 R이 처리할 수 있는 확장성에 제한을 주게된다.

첫 번째, 메모리 관점에서 R은 인-메모리(In-memory) 연산 모드를 사용한다. 모든 데이터는 메인 메모리(RAM)에서 처리하고자 한다. 분명, R의 장점은 높은 연산 효율과 속도이지만 R이 처리할 수 있는 문제의 크기(<RAM)는 매우 제한되어 있는 상황이다.

두 번째, R 코어는 기본적으로 싱글-스레드(Single-thread) 프로그램이다. 따라서, 모던 멀티-코어 프로세서에서 R은 모든 컴퓨팅 코어를 효율적으로 사용할 수 없다. 만약 R이 260개의 컴퓨팅 코어를 갖는 Sunway CPU에서 작동한다면, 싱글-스레드 R은 단지 컴퓨팅 파워의 1/260만을 활용하여 다른 259/260의 컴퓨팅 코어를 낭비하고 있는 셈이 되는 것이다.

이러한 R 분석에서의 컴퓨팅 제약사항들을 해결하기 위해 병렬 컴퓨팅 기술(R 2.14부터 'Parallel' 패키지 지원)이 대략 2년전부터 R 분석영역에 꾸준히 발전되었고 이제는 GPU를 기반으로 하는 병렬 컴퓨팅까지도 지원되기에 이르렀다.

GPU는 최근 많은 계산(단순계산)이 요구되는 작업을 고성능으로 처리해야 하는 경우에 더욱 인기를 얻고 있다. 이러한 장점에, R에서의 GPU의 사용은 매우 제한되어 있었다. 불가능한 것이 아님에도 저 수준 인터페이스 작업에 익숙하지 않은 프로그래머들에게 OpenCL이나 CUDA는 아직까지는 어렵게 느껴진다. 이러한 상황에서 복잡한 GPGPU 코드를 추상화하는 R의 고 수준 프로그래밍에 대한 바인딩을 생성하는 개발 환경의 제공은 R 분석가들에게 GPU를 쉽게 활용할 수 있는 길을 열어주기에 이르렀는데 이에 대한 핵심 아이디어를 제공하는 것이 바로 'gpuR'이라는 패키지이다.

'gpuR' 패키지는 다음 세 가지 중요한 장점을 제공한다.

- 모든 GPU에 대해 적용이 가능하다.
- CUDA/OpenCL을 추상화하여 기존의 R 알고리즘에 쉽게 통합할 수 있다.
- 객체가 GPU에서 지속 될 수 있도록 copy/compute 함수를 분리한다.

기본적으로 'gpuR' 패키지는 GPU가 장착된 분석 서버를 보유하고 있는 R 분석가가 GPU 컴퓨팅 파워를 활용할 수 있도록 범용적으로 개발되었다(참고: GPU 적용을 가능케 하는 gputools, cudaBayesreg, HiPLARM, HiPLARb, gmatrix와 같은 몇몇 패키지들이 존재하지만 이들은 모두 NVIDIA GPU에 국한되어 있다는 단점이 존재한다).

이처럼 OpenCL에 기반한 백엔드(Backend)는 모든 R 분석가들이 GPU 하드웨어의 혜택을 누릴 수 있도록 자동 튜닝된 OpenCL 커널을 보유한 ViennaCL 선형 대수 라이브러리 형태로 제공되며 헤더는 RViennaCL 패키지에 간편하게 리패키지(Repackage)되어 있다.

이제 간단한 예를 통한 gpuR 패키지 활용에 대해 소개하고 이 글을 마치고자 한다.

'gpuR' 패키지는 모든 R 분석가들이 matrix 또는 vector를 캐스팅(Cast)하여 프로그래밍에 집중할 수 있도록 하는 명시적 클래스와 메서드를 포함하는 S4 객체 지향 개발 환경을 제공한다.

아래에서 사용된 matrix 객체는 원하는 함수가 호출될 때마다 GPU가 계산하는 RAM 내부의 행렬을 가리키게 되며 이는 객체의 메모리를 복사하는 R의 기본적인 습관을 없애준다.

그리고 gpuMatrix와 gpuVector 클래스에 대하여 GPU RAM에 상주하는 객체를 가리키는 동반자 클래스인 vclMatrix와 vclVector 클래스가 함께 제공된다. 이처럼 R 분석가는 데이

```

1 library(gpuR)
2 ORDER = 1024
3
4 A = matrix(rnorm(ORDER^2), nrow=ORDER)
5 B = matrix(rnorm(ORDER^2), nrow=ORDER)
6 gpuA = gpuMatrix(A, type="double")
7 gpuB = gpuMatrix(B, type="double")
8
9 C = A %*% B
10 gpuC = gpuA %*% gpuB
11
12 all.equal(C, gpuC[])
13 [1] TRUE
    
```

```

1 library(pryr)
2
3 # Initially points to same object
4 x = matrix(rnorm(16), 4)
5 y = x
6
7 address(x)
8 [1] "0x16177f28"
9
10 address(y)
11 [1] "0x16177f28"
12
13 # But once modify the second object it creates a copy
14 y[1,1] = 0
15
16 address(x)
17 [1] "0x16177f28"
18
19 address(y)
20 [1] "0x15fbb1d8"

```

터가 호스트(Host)로 복귀해야 하는 시기를 아래와 같이 명시함으로써 호스트와 디바이스 간에 불필요한 데이터 전송을 피함으로써 성능을 현저히 끌어올릴 수 있게 된다.

아래 처음 세 개의 행렬은 이미 GPU 메모리에 존재하여 데이터 전송이 GEMM 호출에서 일어나고 반환된 행렬은 GPU 메모리에 남아있게 되는데 이 경우 'vclD' 오브젝트는 여전히 GPU RAM에 상주하게 된다. 이와 같이, 요소 별 덧셈 호출 또한 데이터 전송 없이 직접 GPU에서 일어나게 함으로서 성능적인 장점을 얻게 된다.

정리하자면 'gpuR' 패키지는 가능한 많은 R 분석가들이 GPU

```

1 vclA = vclMatrix(rnorm(10000), nrow = 100)
2 vclB = vclMatrix(rnorm(10000), nrow = 100)
3 vclC = vclMatrix(rnorm(10000), nrow = 100)
4
5 # GEMM
6 vclD = vclA %*% vclB
7
8 # Element-wise addition
9 vclD = vclD + vclC

```

컴퓨팅을 할 수 있도록 개발되었고 'gpuR' 패키지를 사용하는 목적은 현재와 미래의 알고리즘에 GPU 가속에 대한 혜택을 보다 쉽게 부여하고자 함이다.

현재 'gpuR' 패키지는 CRAN에서 다운로드 할 수 있으며 Github를 방문하면 기존의 이슈와 Wiki 페이지(설치에 대한 기본적인 도움 포함)를 포함한 개발 버전을 얻을 수도 있음을 참고하길 바란다.

이제 R 분석과 같은 고성능 병렬 컴퓨팅(High Performance Parallel Computing)을 요구하는 경우 GPU 적용을 통한 최적화를 고려해보야 할 시점이라고 사료되며 특히 클라우드 환경에서 제공되는 GPU 서비스를 통해서 보다 효율적이며 고성능의 분석업무가 가능해지리라 본다. 

■ 약력 | 최 원 준

□ 학력

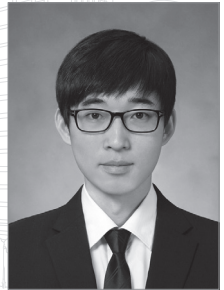
- 1993년 명지대학교(산업공학 학사)
- 1995년 명지대학교(산업공학 석사)
- 1999년 Pennsylvania State University, State College, PA (박사수로 (Ph.D Candidate))

□ 경력

- 1999년~2004년 AT&T 연구소(미국) Database Support Services
- 2004년~2008년 Oracle Corp(미국) Consulting & Education Delivery
- 2009년~2011년 Bank of America(미국) Database Engineering
- 2011년~2013년 ADP(미국) Database & System Architecture
- 2013년~2015년 Samsung SDS SDS ICT 인프라센터 인프라 아키텍처 그룹
- 2015년~현재 INsoft 기술이사



다중선회귀분석을 이용한 무선통신기기의 품질검사 효율화



이 동 희 / 한양대학교 산업융합학부 교수

1. 배경

RF중계기(radio frequency repeater)는 기지국(Base Transceiver Station)의 신호를 무선으로 수신하여 증폭 후 휴대전화와 같은 단말기(Mobile Station)에 전송하는 역할을 하는 통신기기로 기지국의 신호를 받는 수신기와 이를 단말기에 전송하는 송신기로 구성된다. 기지국으로부터 받는 신호를 down link라고 하고, 중계기에서 상태를 기지국으로 보내는 신호를 up link라고 한다. 통상적으로 기지국을 보호하기 위하여 up link 신호를 이용하여 중계기가 정상적으로 작동하고 있는지 확인한다. 이는 <그림 1>과 같이 표현할 수 있다.

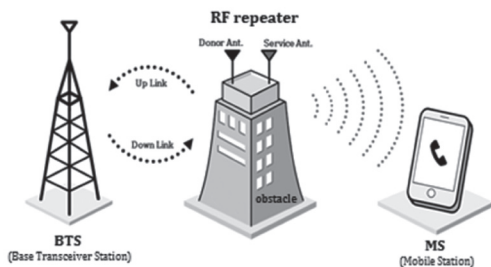
필자는 RF중계기를 생산하는 기업과 함께 RF중계기의 품질 검사를 효율화하는 연구를 수행하였다. 해당 기업에서 생산되는 RF중계기는 내수용과 수출용으로 구분되는데 이에 따라 품질검사가 달라진다. 국내의 경우에는 통신사가 단일 밴드를 사용하기 때문에 품질검사 항목의 수가 비교적 적고 검사에 소요되는 시간과 비용 또한 가격 경쟁력에 영향을 미치지 않는 수준이다. 반면에 수출용의 경우에는 동일한 통신사 네트워크임에도 불구하고 지역마다 사용하는 밴드가 달라 중계기에 밴드선택기능(band selective function)이 추가된다. 따라서 수출용 RF중

계기는 시험 수와 검사 항목 수가 같은 내수용 RF중계기와 달리 검사 항목 수의 최대 12배 반복적인 시험 과정을 수행해야 하는 단점이 있다. 이 과정은 작업 소요 시간과 생산 비용을 증가시키는 주 원인이 되어 RF중계기의 가격 경쟁력을 저하시키는 결과를 초래한다. 최근 내수 시장이 포화되어 해외 진출에 대한 필요성이 커지면서 이러한 가격 경쟁력 저하 문제에 대한 해결이 더욱 필요한 실정이다.

2. 다중회귀분석을 이용한 품질검사 효율화 : 아이디어

효율화의 기본 아이디어는 품질검사를 위한 예측 모델을 만들어 이를 이용하여 품질검사를 대체하는 것이다. 이러한 개념은 반도체 분야의 가상계측(virtual metrology)과 유사하다. 품질검사의 항목과 관련있는 변수를 인자로 선정하여 회귀모형을 만들어 품질검사의 결과를 예측하는 방식이다. 본 사례의 경우, 전체 품질검사 항목 가운데 일부의 항목에 대해서만 검사를 수행하고 이 검사결과를 회귀모형에 입력하여 나머지 미검사 항목의 결과를 예측하는 방식을 채택하였다. 즉, 검사 항목은 회귀모형의 독립변수에 해당하며 미검사 항목은 반응변수에 해당한다. 본 글에서는 검사 항목은 실제로 계측되는 변수이므로 계측변수로 명명하며, 미검사 항목은 회귀모형을 통해 예측되는 변수이므로 예측변수로 명명한다.

이과정에서 핵심적인 부분은 전체 품질검사 항목 가운데 계측변수를 선정하는 부분이다. 기존 반도체 공정의 가상계측 관련 연구를 조사한 결과 계측변수 선택의 과정에서는 엔지니어의 경험을 토대로 변수를 선택하되 단계적 선형회귀, 의사결정나무, 유전 알고리즘을 이용하였다. 또한 가상계측을 위한 예측 모델을 수립하기 위해 선형회귀, 주성분회귀, 부분 최



<그림 1> Concept of Radio Frequency Repeater

〈표 1〉 Data of 25 RF repeaters

Variable RF repeater no.	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{21}	...	x_{113}
1	70.57	70.32	69.51	74.43	...	9.44
2	70.12	69.89	68.9	74.33	...	10.07
3	70.19	70.03	69.49	74.26	...	9.53
4	70.25	69.65	68.9	74.78	...	10.39
5	70.08	70.03	70.01	74.07	...	10.04
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25	71.06	69.7	69.79	75.29	...	8.71

소 제곱회귀, 로지스틱회귀 등을 이용하였다([1]; [2]; [3]). 본 사례의 경우, 회귀모형 수립 시, 예측변수 간의 다중공선성(multicollinearity) 문제가 빈번하게 발생하여 회귀계수 추정치의 오차를 유발함을 발견했다. 이에 필자는 선형계획법(linear programming)을 활용하여 다중공선성 문제를 해결하고자 하였다. 제안된 방법의 절차는 아래와 같다.

첫 번째 단계로 예측변수 선정을 위한 data를 수집한다. m 개의 검사 항목 별로 n 개의 밴드에 해당하는 각각의 data를 수집한다. 총 mn 개의 변수에 대한 data를 수집하며 이는 아래와 같이 정의된다. 예를 들어 x_{23} 은 2번째 검사 항목 값을 밴드 3에서 측정한 값이다.

$$\begin{matrix} x_{11}, x_{12}, x_{13}, \dots, x_{1n} \\ x_{21}, x_{22}, x_{23}, \dots, x_{2n} \\ \vdots \\ x_{m1}, x_{m2}, x_{m3}, \dots, x_{mn} \end{matrix}$$

두 번째 단계로 수집된 data를 바탕으로 mn 개의 변수를 예측변수와 예측변수로 구분한다. 이때 두 가지 사항을 고려한다. 먼저 다중공선성 문제를 해결하기 위해 최대한 예측변수 간의 상관관계가 낮도록 예측변수를 선정한다. 예측변수들 간에 상관관계가 높으면 추정된 회귀 계수의 큰 오차가 발생하기 때문이다. 두 번째로 각 검사 항목별로 하나 이상의 밴드를 반드시 실제로 측정하도록 한다. 이는 RF중계기의 품질검사 성적서에 기재되어야 하는 필수사항이 때문이다. 예를 들면, 검사 항목 1의 세 가지 밴드 x_{11} , x_{12} , x_{13} 중 변수 x_{11} 가 예측변수로 선정되면 x_{12} 와 x_{13} 은 예측변수가 된다.

결과적으로 두 가지 조건을 만족하는 식을 식 (1)과 같이 정의할 수 있다. 여기서 변수 값이 1인 것은 예측변수가 되고 0인 것은 예측변수가 된다. 목적함수에서 $|c_{ij}, kl|$ 는 변수 x_{ij} 와 x_{kl} 간 상

관 계수의 절대값을 나타낸다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \sum_{ij} \sum_{kl} |c_{ij}, kl| x_{ij} x_{kl} (ij \neq kl; i, k=1, 2, \dots, m; j, l=1, 2, \dots, n) \\ & \text{subject to } \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \text{ for } i=1, 2, \dots, m \\ & \quad x_{ij}, x_{kl} = 0 \text{ or } 1 \end{aligned} \quad (1)$$

이 후 단계에서는 선정된 예측변수들에 대해 다중공선성이 허용할만한 수준인지 검증하고 회귀분석의 기본 가정(예를 들어, 잔차 정규성 가정)을 검토한다. 다음 장에서는 제안된 아이디어를 활용하여 RF중계기의 품질검사 효율화를 진행한 사례를 소개한다.

3. 다중회귀분석을 이요한 품질검사 효율화 : 사례

본 사례연구에서 다루는 RF중계기의 경우 검사 항목이 11개($m=11$), 밴드가 3개($n=3$)로 구성되어 총 33회의 품질검사를 수행해야 한다. 하지만 제안된 아이디어를 이용하면 11개의 예측변수를 이용하여 22개의 변수를 예측하는 모델을 수립하므로 총 11회의 검사만 수행하면 된다. 본 사례연구에서는 11개 검사 항목에 대해 밴드 수가 3개(Band1~Band3)인 RF중계기를 분석 대상으로 하였다. 〈표 2〉는 33개 변수에 대한 data의 일부를 보여준다.

정의된 33개의 변수 중 예측변수를 선정한다. 이 때 검사 항목 별로 존재하는 3개의 변수 가운데 최소 1개를 예측변수로 선정해야 한다. 이를 위한 가장 단순한 방법 중 하나로 모든 검사 항목에 대해 하나의 Band 내 전체 변수를 예측변수로 선정하는 방법이 있다. 본 연구와의 비교를 위해 Band 1에 해당하는 변수를 대상으로 다중공선성을 계산해 보았다. 〈표 2〉는 이의 결과를 보여준다.

〈표 2〉 VIFs by choosing variables of Band 1 as the metrology variables

Variable	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{41}	x_{51}	x_{61}	x_{71}	x_{81}	x_{91}	x_{101}	x_{111}
VIF	5.80	6.26	2.96	1.37	1.56	1.59	1.66	3.01	3.35	5.19	3.39

<표 3> Classification of metrology variables and predicted variables

Inspection no. Band	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Band1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
Band2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Band3	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1

<표 4> VIFs by choosing metrology variables according to Table 4

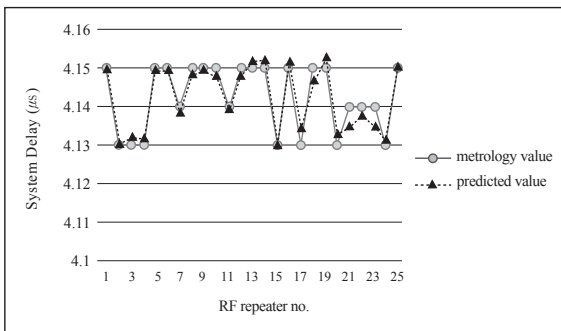
Variable	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{43}	x_{52}	x_{61}	x_{71}	x_{83}	x_{93}	x_{101}	x_{113}
VIF	3.73	2.37	3.26	1.29	1.19	1.59	2.75	1.66	2.56	1.54	2.25

계산 결과 x_{11} , x_{21} , x_{101} 총 3개의 변수가 VIF 값이 5 이상인 결과가 나왔다. 따라서 단순히 특정 밴드를 선택하여 계측변수를 선정하면 다중공선성 문제가 발생하며 이로 인해 최종 예측 모델의 큰 오차 발생 가능성이 예상된다.

이에 앞서 제안한 선형계획법을 활용하여 계측변수를 선정하였다. 검사 항목별로 1개의 밴드에서 계측변수가 선정되어야 하는 조건이 제약식에 포함되어 있고, 다중공선성 문제를 해결하기 위해 계측변수간의 상관계수의 합이 최소가 되도록 목적식을 구성하였다. <표 3>과 같이 계측변수를 선정하였으며 1에 해당하는 변수가 계측변수이고 0에 해당하는 변수가 예측변수이다.

계측변수 11개에 대하여 VIF를 계산하여 변수 간의 다중공선성 진단을 실시하였다. <표 4>에서 11개 변수 모두 5 미만으로 다중공선성이 허용 가능한 수준임을 확인하였다.

선정된 계측변수를 독립변수로 하여 예측변수 22개에 대한 회귀모형을 추정하였다. 그 결과 대부분의 회귀모형이 통계적으로 유의함을 발견했다. <그림 2>는 이 가운데 5번째 항목의 첫번째 band에 대한 회귀모형의 실측값과 예측값을 보여준다. 실측값과 예측값의 차이가 작아서 해당 회귀모형이 유의함을 보여준다.



<그림 2> Predicted values and metrology values for $\hat{x}_{51}$

4. 맺음말

본 글에서는 무선통신기기의 품질검사 효율화를 위한 아이디어를 제시하고 사례연구를 수행하였다. 선형계획법을 통하여 계측변수를 선정하고 다중공선성 검증을 통하여 그 정당성을 확보한 뒤, 다중선형 회귀분석을 이용하여 나머지 변수를 예측하는 모델을 수립하였다. 사례연구로 검사 항목 수가 11, 밴드 수가 3으로 총 33회의 품질검사를 수행해야 하는 수출용 RF중계기에 대해 알고리즘을 적용하였다. 선정된 계측변수의 다중공선성의 진단결과 11개 모두 5 미만으로 예측 모델로의 적용이 가능 수준임을 확인하였으며, 예측 모델 수립 결과 대부분의 예측변수의 R^2 는 0.8 이상으로 모델의 설명력이 우수함을 확인하였다.

본 논문에서는 한정된 수출용 RF중계기 공정 및 제품 확보의 제약으로 검사 계측 데이터를 활용하여 진행하였으나 이후 수출용 통신기기 공정의 발전으로 공정 프로세스 데이터 수집이 가능하다면 예측 모델을 수립 시 시간 및 비용 절감을 극대화 시킬 것으로 예상된다.

후속 연구 과제로는 첫째, 유의하지 않은 예측 모델에 대한 활용방안을 개발할 필요가 있다. 본 논문의 사례연구에서 일부 모델 설명력이 낮았으며 F -test 결과 유의하지 않음을 확인했다. 우선적으로 이러한 모델은 예측변수를 계측변수로 재지정해서 실제로 계측을 하는 것을 검토할 수 있다. 이로 인해 계측 비용이 늘어나는 단점이 있으나, 계측변수가 늘어나게 됨으로 기존의 예측모델의 모델 설명력을 높일 수 있는 장점이 있다. 둘째, 본 논문에서 제안한 선형계획법을 활용하여 변수를 선정하는 방법을 무선통신기기뿐만 아니라 다양한 변수 선택의 문제 상황에 적용하여 그 적합성을 확인하는 연구를 제안한다. 셋째, 일부 검사 결과 데이터로 나머지 검사 결과를 예측하는 기법을 무선통신기기뿐만 아니라 다른 제품의 검사 시스템에 적용하여 그 효과를 추가 검증하는 연구가 필요하다. 마지막으로 해당 연구에서 제안하는 아이디어를 각 실제 산업 현장에서 최적화하는 연

구 과정을 제안한다. 이는 제품의 품질검사 시 발생하는 불필요한 인력 및 생산 비용의 발생의 문제를 해결하여 기업의 규모의 경제를 달성함과 동시에 세계 시장에서 가격 경쟁력을 확보하는데 이바지할 것으로 기대한다. **ie**

참 고 문 헌

- [1] Kang, P., Lee, H., Cho, S., Kim, D., Park, J., Park, C., Doh, S. (2009), A virtual metrology system for semiconductor manufacturing. *Expert Systems with Applications*, 36(10), 12554-12561.
- [2] Kim, B., Yum, B. (2010), Development of Virtual Metrology Models in Semiconductor Manufacturing Using Genetic Algorithm and Kernel Partial Least Squares Regression. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 23(3), 229-238.
- [3] Cho, S., Kang, P., Kim, D., Lee, H., Doh, S. (2011), Virtual metrology for run-to-run control in semic-

onductor manufacturing. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2508-2522.

본 원고는 『대한산업공학회지』에 투고된 논문을 축약하여 편집위원장의 허가를 얻어 게재함.

■ 약 력 | 이 동 희

□ 학 력

- 2006년 포항공과대학교 산업경영공학과(공학사)
- 2011년 포항공과대학교 산업경영공학과(공학박사)

□ 경 력

- 2011년~ 2014년 삼성전자, System LSI 사업부, 품질팀, 책임연구원
- 2014년~ 현재 한양대학교 산업융합학부 교수

□ 관 심 분 야

- 품질공학, 공정최적화, 서비스품질공학



4차 산업혁명 시대, 제조업 스마트화 어떻게 추진할 것인가

주 현 택 / 삼성SDS 전자·제조컨설팅팀 수석



1. 머리말

연이은 뉴스 기사나 각종 보고서를 통해 '4차 산업혁명'은 대중적 주제가 되었다. 기계, 전기, 전자 기술 발전에 따른 산업혁명에 이어서 산업과 기술융합으로 지능화 된 4차 산업혁명 시대에 진입하고 있다는 것이다. 제조 영역을 넘어 가치사슬 전반의 다양한 사물이 네트워크로 연결되고 소통하면서 지능화 시스템으로 전환하는 소비, 제조 및 서비스 전반의 혁신이 밀려오고 있다. 산업 현장에 사물 인터넷(Internet of Things) 적용이 확대되어 종전에 기대하기 어려웠던 수 많은 데이터와 정보 활용이 가능해지고, 빅데이터(Big-Data)와 인공지능(Artificial Intelligence) 기술을 기반으로 광범위한 정보를 활용한 즉각적인 의사결정이 가능해질 것이다. 로봇(Robot) 기술은 보다 숙련된 수준에서 인간과 상호작용하여 맞춤형 생산을 지원하며, 가상 물리 시스템(Cyber-Physical System)을 통해 현실의 공간과 가상의 공간이 동기화 된 상태로 상호작용하게 된다. 이러한 변화의 선두에서 앞서 산업혁명을 리드했던 독일, 영국, 미국 등 제조강국들은 다시 한번 4차 산업혁명의 기회를 선점하기 위한 주도권 경쟁에 나서고 있다. 제조업 주도권을 후발국에게 넘기게 됨으로써 경제성장 위기를 경험했던 이들이 스마트 기술과 산업 융합이라는 새로운 전략에 집중하고 있는 것이다.

제조업 스마트화는 4차 산업혁명 시대에 대응하여 제조환경과 가치사슬이 정보통신기술과 융합함으로써 종전의 기계화 자동화 수준을 넘어 스마트 한 제조업으로 전환하는 것을 의미한다. 본고는 제조기업 중심의 관점에서 미래의 변화에 대한 대처 방안을 생각해 보는데 주안점을 두고자 한다. 특히, 본고에서 기업의 스마트화 전환은 한국 제조업의 여건과 상황을 고려하여 4차 산업혁명 시대를 대비하도록 제조환경과 가치사슬 운영을 혁신하는 것으로 한정하여 논의할 것이다. 아직까지 국

내 대다수 제조기업은 정보화 투자에 어려움을 겪고 있다. 한국은 2014년 현재 중소기업 사업체수 123,661개로 전체 제조업 사업체의 99.4%를 차지하고 있다. 중소기업이 차지하는 위상은 종사자수 253만 명(77.4%), 부가가치 창출 260조 원(51.2%)에 이르는 규모로서 한국경제에서 그 역할이 중요한 한편 대다수 중소기업은 4차 산업혁명을 대비함에 있어서 투자 여력과 추진 인력 부족을 체감하고 있는 것으로 조사되어 변화 적응에 취약한 것으로 나타나고 있다. 한국의 '제조업 혁신 3.0' 전략은 2020년까지 1만 개 공장의 스마트화를 추진하는 것을 목표로 하고 있는데, 앞으로 글로벌 경쟁에 뒤지지 않을 수준의 스마트화 기업을 어떻게 확산할 것인가는 큰 도전과제라 할 수 있는 부분이다. 1만 개 기업은 2014년 중소기업 수 12만 3천여개, 대기업업을 포함한 전체 제조업 수 12만 4천여개를 기준으로 볼 때 8%에 해당한다.

본고는 현장 기업이 가시적 성과를 실현하며 변화할 수 있도록 제조기업을 위한 몇 가지 이해를 공유하고 스마트화 준비 방향에 대한 제언을 전달하고자 한다. 본론의 내용은 '제조업 스마트화 추진을 위한 이해'로서 1) 제조업 스마트화 목표 설정, 2) 스마트화 기술의 성숙도, 3) 스마트화 추진을 위한 기업 역량 요소를 중심으로 이해를 공유하고, 기업의 '준비 방향'으로서 전형적인 정보화 수준의 제조기업을 가정하여 점진적 추진 로드맵을 통해 제언을 전달하는 것으로 구성하였다.

2. 제조 스마트화 추진을 위한 이해

2.1 제조기업 스마트화 목표 설정

제조업 스마트화에 대해 기업이 우선적으로 생각할 부분은 명확하고 실행가능한 목표 설정이다. 4차 산업혁명 스마트공장 같은 주제에 대한 우려를 극복할 수 있도록 이상과 현실의 차이

를 이해하고, 기업 고유의 상황에 맞는 목표 수준을 찾아가는 것이 매우 중요하다.

제조업 스마트화는 다양한 산업에서 구현을 시도하고 있다. 여러 선도사례는 제조운영에 실시간 피드백이 가능한 자동화를 적용하고 가상과 실제의 세계가 상호 동기화 되어 소통하는 이상적인 모습을 시연함으로써 혁신을 체감하게 한다. Adidas社의 Speed Factory는 고객이 원하는 스타일, 재질, 색상에 맞추어 맞춤형 운동화를 로봇을 통해 생산하도록 자동화 함으로써 고객 니즈에 대한 대응력과 생산성을 크게 향상할 수 있음을 보여준다. GE社가 Brilliant Factory라 명명한 스마트공장은 사물 인터넷과 빅데이터 분석 솔루션을 적용하여 제품의 품종과 생산량이 자동적으로 조절되고 설비의 돌발적인 정지를 예방하도록 한다. 특히 클라우드 기반 분석 플랫폼으로 Predix 솔루션은 항공기 엔진이나 발전소 터빈과 같은 제품에 수 많은 센서를 부착하여 데이터를 수집하고 성능향상, 예지보전서비스 등에 연계하여 서비스 영역을 스마트화 할 수 있음을 보여주고 있다.

한편, 선도기업들의 이러한 사례가 매우 혁신적이기는 하지만 가치사슬과 기술 영역의 완전한 통합은 여전히 어려운 난제에 속한다. 고객이 원하는 제품과 서비스의 기획-설계-생산-유통-판매-서비스 전 생명주기 과정과 센서-구동기-단위설비-워크센터-공장-기업의 수직적 영역이 정보통신기술(ICT)을 기반으로 완벽히 통합된 모습을 갖추기 위해서는 다양한 이해관계자의 협업과 이기종 기술의 통합과 같은 어려움을 극복하여야 한다. GE, Siemens 등 여러 기업들은 선도적으로 신기술을 활용하여 자사 제조환경을 스마트공장으로 구현함으로써 스스로 생산효율과 제조 경쟁력을 강화하고, 동시에 산업솔루션으로 스마트공장 플랫폼을 확보한다는 경쟁전략을 취하고 있다. 자동차, 전자 산업의 선두주자들은 지난 수십년간에 걸쳐 공정 자동화 및 제조실행/품질/설비 관리 전반의 정보시스템 구축에 지속적으로 투자함으로써 제조 데이터에 대한 실시간 가시성과 데이터 활용 능력을 강화해 왔다. 중요 설비와 공정을 대상으로 실시간 모니터링 하고 변동사항을 조기 감지하도록 함으로써 품질과 생산능력의 혁신하고 있다. 꾸준한 자동화 정보화 과정을 통해 앞선 수준의 제조 스마트화를 달성해 가고 있는 것이다. 산업을 선도하는 여러 기업에 있어서도 사물인터넷을 기반으로 가치사슬 혹은 제조운영의 스마트화를 완성하는 것은 여전히 중요한 도전과제로 남아 있다.

제조기업의 스마트화 목표설정은 자동화 장비의 도입이나 생산 운영 관리 시스템(MES) 도입도 중요하겠으나 보다 분명한 목적이 전제되어야 한다. 기업이 속한 산업에서 대기업과 가치

〈표 1〉 제조업 스마트화 기회 영역과 목표 설정

영역	스마트화
개발	- 제품 설계 및 개발 단계에서 시제품 제작전 디지털 제품 시뮬레이션을 통해 양산 검증 - 생산 기계/설비 및 공정 프로세스 설계 디지털화 - 소비자 요구에 대응한 맞춤형 제품 개발(제품, 서비스 디자인 참여와 피드백) - 제품설계-제조-서비스 영역 간 데이터 연계 및 피드백 체계 구축
생산	- 고객 실수요에 실시간 연계한 생산계획 변경 검토 및 대응 - 다수 제조공장을 대상으로 통합 생산계획을 적용한 동적 공급망 운영 - 생산 설비, 물류 장비 실시간 모니터링을 통한 예지보전 - 안전하고 인간 중심적인 작업 환경 구현 - 설비-자재-관리 시스템 간 실시간 정보교환에 기반한 제조 유연성 및 에너지 효율 제고
유통	- 제품 판매 및 생산 실적과 연계한 재고운영 모니터링 및 재고수준 최적화 - 실시간 자동 수발주, 물류 비용 분석을 통한 물류 최적화 - 판매 제품에 대한 사용자 경험 데이터 수집 및 선순환 체계 구축 - 제품에 대한 다양한 사후 서비스 제공, 환경 친화적 제품 회수

사슬 연계를 강화하는 방향, 스스로 다양한 고객 채널을 확대하고 고객 맞춤형 제품 개발을 스피드화 하는 방향 등 스마트화의 중점 추진방향이 설정되어야 하는 것이다. 전체적으로 완성된 이상적 모델을 무조건 추종하기 보다는 자신의 취약점을 서둘러 보완하고 차별화된 경쟁력을 확보하기 위한 방향과 중점영역을 설정하여야 한다. 고객 맞춤형 생산으로 시장 대응력을 높이고, 친환경 에너지 효율을 높여야 하는 등 현실적으로 당면하고 있는 문제인식과 동반하여 기업 고유의 변화 대응 로드맵을 준비하는 것이 시행착오를 줄이고 경쟁력을 쌓아가는 방안이 될 것이다. 〈표 1〉은 제조기업의 개발, 생산, 유통 등 영역에서 정보통신기술을 활용한 스마트화 목표를 제시하고 있다. 기업은 자사의 상황에 맞추어 보다 구체적인 내용으로 목표를 기술하고 스마트화 범위를 확대해 나가는 전개방식을 취하는 것이 필요하다. 기업은 고유의 스마트화 추진 시나리오를 완성하여 투자 대비 효과를 극대화 하고 성공 경험을 축적하는 가운데 지속적 추진력을 확보할 수 있게 될 것이다. 정부의 스마트공장 확산 전략을 보면 앞으로 업종별 모델공장이 지속 늘어날 것으로 예상되므로 추종기업 측면에서는 시행착오를 줄이는 방안으로 이를 참고하는 것이 도움 될 수 있다.

2.2 스마트화 기술 성숙도

제조기업은 스마트화를 위한 요소기술의 성숙도에 대해 이해할 필요가 있다. 현시점의 이해뿐만 아니라 급속한 변혁의 과정에 순응하기 위한 측면에서 산업에 적용 가능한 기술발전성에 대해 어느 정도 지속적인 관심이 요구된다. 전통적으로 ISO, IEC로 대표되는 국제표준화기구에서의 표준화 활동은 제조현장 데

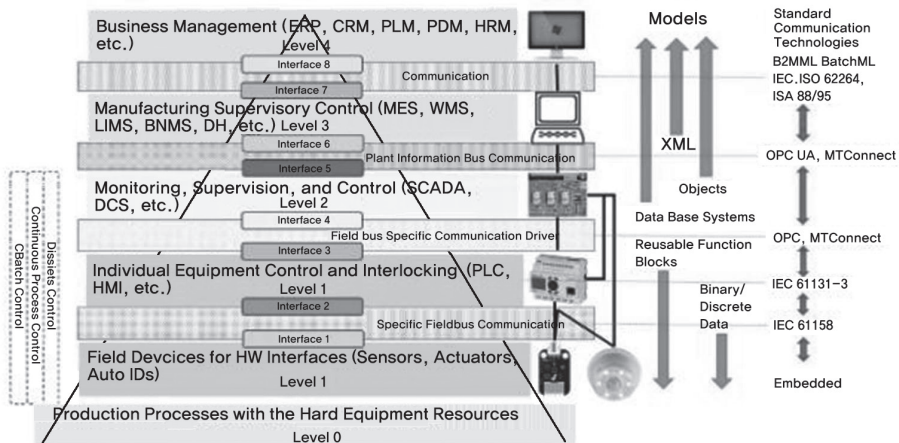
이터와 산업기기 및 시스템의 상호 운용성 확보에 초점을 두어 왔다. 한편, 스마트 제조환경의 기반이 되는 사물 인터넷과 관련하여 OneM2M과 IIC(Industrial Internet Consortium) 두 그룹이 표준화에 앞서고 있으며 제조현장에서 요구하는 실시간성, 안전성, 보안성 요건을 갖추기 위한 기술개발은 여전히 진행 중이다. 다양한 제조환경에 적용할 수 있는 기술개발과 표준의 완성에는 수년의 기간이 소요될 수 있다. 가상 물리 시스템(CPS)과 PLM, SCM, MES 등 정보시스템 기술을 이용해서 공장 전체를 디지털화 하는 기술 또한 상호 통합의 어려움이 존재한다. 제품과 제조설비 계층에서부터 공정 프로세스, 정보시스템 각 계층이 연계되는 프로토콜과 인터페이스를 표준화 하고 데이터에 대한 거버넌스 체계가 정립되어 있어야 한다. 따라서, 공장 전체를 디지털화 하는 표준이 완성되기를 기다리는 것보다 현실적으로 산업계에서 선도적으로 적용되고 있는 정보모델과 방법론을 참고하여 기업에 적용하도록 하는 방식이 유리한 선택이 될 것이다.

2014년 미국 NIST는 CPS에 대한 지식을 체계화 하고 다양한 산업에서 CPS를 개발 구현할 수 있도록 전문가 집단의 논의를 확대한 워크그룹(CPS Public Working Group)을 만들었으나 아직까지 전체적 관점을 정의한 프레임워크 조차 정립되지는 않은 상황에 있다. 해당 워크그룹은 CPS에 관한 기본적인 개념과 고유의 관점을 프레임워크로 정의하고 CPS 개발과 관련한 다양한 아이디어와 연구결과가 통합되도록 하고자 한다. 현재 워크그룹의 분과는 참조 아키텍처, 사이버보안 및 프라이버시, 타이밍 & 동기화, 데이터 상호 운용, 유즈케이스 등을 다루고 있다. 스마트제조와 관련한 요소기술 동향은 ie매거진 23권

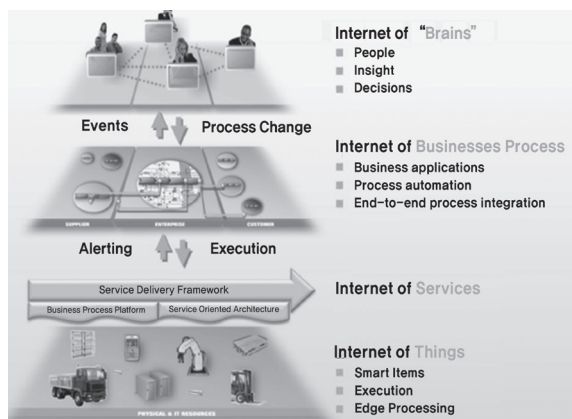
1호의 '스마트제조 주요 기술 연구 동향'(강형석, 노상도)을 참고하기 바란다.

산업용 사물 인터넷은 산업 현장의 센서, 설비, 기계장치, 응용시스템 등이 상호 연결되어 데이터를 수집하고 교환하는 기술이다. 이 기술을 기반으로 산업의 빅데이터 분석과 제조활동의 스마트한 판단이 가능해지게 되는데 높은 정확성과 실시간성이 요구되는 산업현장의 상황과 기존 시스템 환경 하에서의 전체적인 데이터 통합을 고려할 때 적용상 여러 난점이 존재하는 것이 현실이다. 산업용 사물 인터넷의 확대는 전통적인 정보시스템 영역과 산업현장의 오퍼레이션 영역이 연동 확대됨을 의미한다. 오퍼레이션 영역은 센서와 설비가 정확한 시점에 정확히 연동되어야 한다. 수백, 수천에 이르는 데이터 단말에서 수십 개 시스템이 정확한 시점에 동기화 상태로 운용하고 데이터 지연이나 유실이 발생해서는 안된다. 제조 현장에서 주요 공정의 통신장애와 데이터 오류 등으로 인한 영향은 심각한 피해를 야기할 수 있는 것이다. Intel, CISCO 등 다수 IT 기업이 이러한 난점을 극복하기 위한 제품 개발에 협력하고 있다. 또한, IIC(Industrial Internet Consortium)이나 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers), AVnu 얼라이언스(타임 센서티브 네트워킹의 정보처리 상호운용에 대한 컨소시엄)같은 기관들이 IIoT의 표준을 정립하기 위해 노력 중이다. IIC는 2017년 2월 다양한 산업에서 사물이 상호 연동하도록 구현하는데 참조하기 위한 '연결성 프레임워크(IIoT Connectivity Framework : IICF)'를 발표하였다.

제조업 스마트화를 완성하기 위해서는 고객 수요와 공급을 연결하는 가치사슬의 정보통신기술을 활용한 수평적 통합과 단위



<그림 1> 정보통신기술의 계층적 통합(2013, Stamatis Karnouskos, CPS in manufacturing Workshop report)



〈그림 2〉 미래 제조 환경(2013, Stamatis Karnouskos, CPS in manufacturing Workshop report)

부품 및 장치에서 정보시스템에 이르는 수직적 통합이 필요하다. 〈그림 1〉은 제조 공정의 최하위에 속한 센서, 구동기 등의 디바이스에서부터 단위 설비, 복합 설비군, 생산 운영 관리 시스템(MES), 연구개발 및 마케팅 영역의 비즈니스 정보시스템 계층의 데이터 연계와 기능 연결을 나타낸다. 제조업 스마트화는 사물 인터넷을 통해 더 많은 센서와 설비 등이 네트워크를 기반으로 연결하여 스마트한 피드백이 가능해 지도록 구현하는 것으로 전체적 정보시스템 구조, 기술구조에 대한 아키텍처 청사진을 기반으로 체계적으로 완성해 나가는 과정이 뒷받침 되어야 한다. 미래 제조 환경의 최종적인 모습은 〈그림 2〉와 같이 사업 고유의 가치사슬 프로세스 상에서 다양한 사물과 개체가 인터넷을 통해 연결되고 자동화 된 정보전달과 적시 판단을 통해 지능화된 상황으로 묘사될 수 있다.

한편, 국가별 제조업 스마트화 추진상황을 살펴볼 때 한국은 글로벌 선도 수준의 산업별 스마트공장 플랫폼 확보에 집중된 노력이 필요하다. 한국은 부분적으로 공정 자동화가 적용된 여러 중소기업과 일정 수준 정보시스템 기반 생산관리를 적용 중인 중소·중견기업들을 중심으로 스마트공장을 보급 확산하는 정책을 추진하고 있다. 또한 친환경, 에너지, 스마트카, 의료기기 등 지능형 소재 부품을 중심으로 상용화를 촉진한다는 측면에서 신사업의 소프트파워 연계를 강조하고 있다. 한국의 경우 대기업을 중심으로 가치사슬이 연계된 중소기업 제조 스마트화에 비중을 두고 있어 스마트화 정책방향이 대기업 추종형에 집중될 가능성을 보이고 있다. 애플리케이션, 플랫폼, 디바이스 세부분야 기술로드맵을 통해 스마트공장 관련 기술개발이 진행되고 있고 업종별 확산을 위한 모델공장 구축을 주요 사업으

로 추진하고 있어 나름의 성과를 기대하도록 하고 있기는 하나 글로벌 경쟁에 앞서가기 위한 수준의 산업별 스마트공장 플랫폼 확보에 있어서는 난관이 예상된다. 산업 현장의 데이터 연동과 빅데이터 활용, 제조공정 모델링과 시뮬레이션 등 다양한 요소 기술에 있어 선진국과 기술 격차가 존재하고 상당 부분 외산 기술에 의존하는 상황이므로 주력 산업에 속한 주요 기업, 솔루션 기업, 학계와 정책당국의 협업을 통한 집중된 해소 노력이 필요할 것이다. 중국의 '중국제조 2025'의 방향을 살펴보면 정밀 공작기계 및 로봇, 신에너지 자동차, 신소재, 고성능 의료기기 등 10대 핵심산업을 선정하고 스마트 제조를 중점 프로젝트로 추진하는 등 한국과 유사한 전략 방향을 취하고 있다. 미국 또한 제조 공정 혁신과 첨단 소재 개발을 위한 연구를 확대하고자 첨단 제조업 R&D를 정책적으로 지원하고 민간투자 전체 규모를 확대하고 있다. 이와 같이 주요 국가별 정책의 기본 틀은 유사점을 가지고 있는 한편 구체적인 접근 방법과 실행에 있어 차이가 있으므로 결국 실행력의 차이가 국가 간 우위 수준을 만들어 나가게 될 것으로 본다.

정부는 스마트공장 수준을 고도화 하기 위한 노력으로 2015년 '스마트공장 기술개발 로드맵'과 기술 영역별 개발 목표를 설정하고 20년까지 선진국 대비 90% 수준 이상의 기술력을 확보하고자 기술개발 사업을 추진하고 있다. 〈표 2〉는 정보시스템(애플리케이션), 데이터 통합 운용을 위한 플랫폼, 센서 및 디바이스 네트워크 등 주요 기술영역의 기술과 개발 목표로서 향후 고도화 과정의 기술적 지원을 이해하는데 참고할 수 있을 것으로 생각한다.

한편, 국가별 제조업 스마트화 추진상황을 살펴볼 때 한국은 글로벌 선도 수준의 산업별 스마트공장 플랫폼 확보에 집중된 노력이 필요하다. 한국은 부분적으로 공정 자동화가 적용된 여러 중소기업과 일정 수준 정보시스템 기반 생산관리를 적용 중인 중소·중견기업들을 중심으로 스마트공장을 보급 확산하는 정책을 추진하고 있다. 또한 친환경, 에너지, 스마트카, 의료기기 등 지능형 소재 부품을 중심으로 상용화를 촉진한다는 측면에서 신사업의 소프트파워 연계를 강조하고 있다. 한국의 경우 대기업을 중심으로 가치사슬이 연계된 중소기업 제조 스마트화에 비중을 두고 있어 스마트화 정책방향이 대기업 추종형에 집중될 가능성을 보이고 있다. 애플리케이션, 플랫폼, 디바이스 세부분야 기술로드맵을 통해 스마트공장 관련 기술개발이 진행되고 있고 업종별 확산을 위한 모델공장 구축을 주요 사업으로 추진하고 있어 나름의 성과를 기대하도록 하고 있기는 하나 글로벌 경쟁에 앞서가기 위한 수준의 산업별 스마트공장 플랫폼

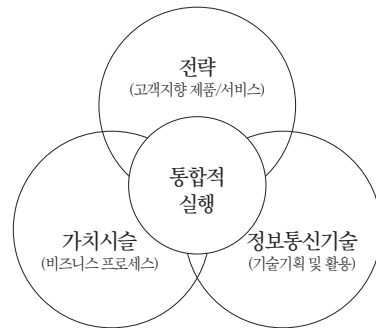
확보에 있어서는 난관이 예상된다. 산업 현장의 데이터 연동과 빅데이터 활용, 제조 공정 모델링과 시뮬레이션 등 다양한 요소 기술에 있어 선진국과 기술 격차가 존재하고 상당 부분 외산 기술에 의존하는 상황이므로 주력 산업에 속한 주요 기업, 솔루션 기업, 학계와 정책당국의 협업을 통한 집중된 해소 노력이 필요할 것이다. 중국의 '중국 제조 2025'의 방향을 살펴보면 정밀 공작기계 및 로봇, 신에너지 자동차, 신소재, 고성능 의료기기 등 10대 핵심산업을 선정하고 스마트 제조를 중점 프로젝트로 추진하는 등 한국과 유사한 전략 방향을 취하고 있다. 미국 또한 제조 공정 혁신과 첨단 소재 개발을 위한 연구를 확대하고자 첨단 제조업 R&D를 정책적으로 지원하고 민관투자 전체 규모를 확대하고 있다. 이와 같이 주요 국가별 정책의 기본 틀은 유사점을 가지고 있는 한편 구체적인 접근방법과 실행에 있어 차이가 있으므로 결국 실행력의 차이가 국가 간 우위 수준을 만들어 나가게 될 것으로 본다.

정부는 스마트공장 수준을 고도화 하기 위한 노력으로 2015년 '스마트공장 기술개발 로드맵'과 기술영역별 개발목표를 설정하고 2020년까지 선진국 대비 90% 수준 이상의 기술력을 확보하고자 기술개발 사업을 추진하고 있다. <표 2>는 정보시스템(애플리케이션), 데이터 통합 운용을 위한 플랫폼, 센서 및 디바이스 네트워크 등 주요 기술영역의 기술과 개발 목표로서 향후 고도화 과정의 기술적 지원을 이해하는데 참고할 수 있을 것으로 생각한다.

2.3 스마트화 추진 역량 요소

기업이 자기 주도적으로 지속적인 제조 스마트화를 추진하기 위해서는 다양한 역량 확보가 필요하다는 점을 인식하여야 한다. 전략과 조직 등 다양한 관점에서 역량요소를 정의할 수 있겠으나 <그림 3>과 같이 기본적으로 전략, 가치사슬 혁신, 정보통신기술 적용, 정보화 과정에 대한 통합 실행 측면에서 필요 역량이 확보되어야 한다.

첫째, 전략적 추진역량으로서 스마트화의 관점을 고객 중심에서 출발하여 제품과 서비스의 혁신을 고려하고 스마트화 추진 범위와 목표를 명확히 설정하여 이를 추진할 수 있는 리더십을 갖추어야 한다. 제품에 대한 기술적 향상 공정기술의 향상이 중요하기는 하나 기술 향상에 한정된 방향설정은 고객 창출의 한



<그림 3> 제조업 스마트화 추진 역량

<표 2> 스마트공장 기술개발 로드맵(2015. 산업부 보도자료 요약)

구분	개념 및 역할	주요 기술	개발 목표
애플리케이션	• MES, ERP 등 기존 솔루션과 공장운영 관리 연계 정보 통합 및 분석 제공	• 수요 맞춤형 공정 및 운영 최적화 기술 • 예측 기반 품질 및 설비 고도화 기술 • 인간 중심 안전 및 작업 지원 기술 • 지능형 유통 및 조달 물류 기술	• 다품종 유연생산 등 미래 제조환경에 활용되는 애플리케이션 개발
플랫폼	• 수집된 정보를 애플리케이션이 활용할 수 있도록 가공·처리 • 디바이스/센서와 애플리케이션 매개 역할	• 빅데이터 분석 • 가상물리시스템(CPS) • 팩토리 자원 모델링/시뮬레이션 • 생산 프로세스 제어/관리 • 클라우드 등	• 공장 내외의 다양한 장비에 ICT 기술을 접목하여 공장 운영관리를 지원할 수 있는 범용 오픈 IoT 플랫폼 개발
디바이스/네트워크	• 기존 설비 등에서 정보를 수집하고 애플리케이션에 전달하는 장치 • 공정 단계, 작업자 위치, 작업환경, 에너지 소비량 등 생산관련 정보 수집 전달	• 스마트공장 산업 네트워크 기술 • 인지형 스마트 센서 기술 • 이종 연동형 산업용 게이트웨이 기술	• 공장 내 다양한 환경에 적용 가능한 다기능 센서, 고신뢰 유무선 통신 및 장치 개발
상호운용성/보안	• 스마트공장 구성요소 간 연동시 데이터/서비스 간의 상호 운용성 보장을 위한 통신/인터페이스 규격 및 구성요소 기술 • 상호 연동시 기능 안전성, 가용성, 신뢰성, 보안성 제공을 위한 기술	• 스마트공장 관련 표준화 기술 • 악성코드의 실행 및 확산 방지 기술 • SW 신뢰성, 보안성 검증 기술 • 데이터 보호 및 원격관리 기술 등	• 공장 내 정보 유출을 방지하고 실행 환경의 불법 접근을 차단하는 가상화 기반의 Tamper-proof (변경방지) 기술 개발

계에 직면하게 될 수 있다. 기존 정보화 방향과 차별화 되지 않은 목표설정은 제조 스마트화의 리더십이 발휘되기 어렵고 기업 임직원 전반의 혁신에 대한 공감 형성에 장애가 될 수 있다. 스마트화 목표에 대해 구체적인 비즈니스 케이스를 정의하여 구체적인 변화모습을 제시하고 이를 추진하도록 하는 것이 효과적일 것이다. 독일은 다른 국가들에 비해 일찍 제조업 스마트화를 추진하였음에도 불구하고 기업들의 새로운 산업혁명에 대한 개념 이해 부족과 제품/기술 중심의 사고로 인해 시행착오를 경험하였다. 국내 중소기업 또한 인력부족 등 다양한 어려움에 직면하고 있어 기업의 자구적 노력과 함께 업종 내 성공사례 등을 통해 선도기업과 역량이 교류될 수 있는 정책적 지원이 강화되어야 할 것으로 생각한다.

둘째, 가치사슬 혁신 역량으로서 제조 영역 뿐만 아니라 개발, 구매, 물류, 서비스 등을 제조와 스마트하게 연결할 수 있는 프로세스 혁신 역량과 거래선과의 협업을 통해 프로세스 효율을 높일 수 있는 네트워크 역량이 뒷받침되어야 한다. 중소기업의 경우 대기업과 수직적 프로세스 통합을 완성하고 다수 협업 채널을 형성하여 비즈니스 연계를 강화하는 것이 중요하다. 직접적인 유통 거래선을 확보하고 있는 기업은 수요-공급체계를 긴밀히 연결하여 제조 스마트화의 기반을 구축할 수 있어야 한다. 제조 영역에 한정하여 제품 생산의 자동화 지능화에 집중한다면 설비효율, 품질향상 등 성과를 기대할 수는 있겠지만 시장 수요에 대응한 맞춤형 생산이나 서비스 혁신의 성과로 확장하기 어렵다. 이러한 영역은 기술적 엔지니어링 역량을 넘어서 마케팅, 프로세스 혁신 역량이 요구되는 것이다.

셋째, 정보통신기술 적용역량으로서 비즈니스 영역과 정보시스템 및 정보기술을 연계할 수 있도록 아키텍처에 기반하여 로드맵을 수립, 솔루션 적용을 위한 공급자와 파트너십, 기술 도입 후 운영 등의 역량을 갖추어야 한다. 대다수 기업이 정보통신 기술에 대한 역량을 아웃소싱을 통해 공급자에 의존하고 있으나 고유의 주도력을 발휘할 수 있는 기획 관리 역량이 확보되지 않을 경우 정보화 실행에 있어 위험에 노출될 가능성이 커지게 된다. 부품 제작, 조립, 패키징, 운반, 품질관리 등 다양한 제조영역의 활동을 데이터를 통해 실시간 연결하고 피드백 할 수 있는 체계를 갖추기 위해서는 고유의 업 특성을 반영하여 공급자가 기술 구현을 완성할 수 있도록 해당 기업의 주도적 역할과 참여가 필요하다.

넷째, 지속적인 정보화 과제 추진을 위한 통합 실행역량으로서 전략, 가치사슬, 정보통신기술 영역을 종합화 하고 조율하여 추진할 수 있는 전사적 자원투자, 변화관리, 의사소통 역량

이 확보되어야 한다. 제조업 스마트화는 한정된 기간에 완성되는 성과라 하기보다는 사업 환경변화에 선제적으로 대응하는 노력으로서 지속적 조율을 통한 통합실행이라 할 수 있다. 추진기업은 제조업 스마트화를 위하여 추진위원회 혹은 혁신팀 산하의 전담조직을 사무국으로 하는 조직화를 검토할 필요가 있다. 전담조직은 임직원에 대해 4차 산업혁명의 변화와 회사의 추진방향에 대해 교육하고 제조현장과 가치사슬 영역의 추진목표에 대응한 과제 실행의 사무국 역할을 담당하여야 한다.

‘기초수준의 스마트화를 달성하면 충분하다’, ‘설비자동화 혹은 응용솔루션 공급업체의 도움으로 기업은 현장 운용 인력이 확보되면 충분하다’는 생각에 머물러서는 지속적 성과를 기대하기 어려울 것이다. 단기의 성과에 집착하거나 추진과정에서 방향성의 혼선이 발생하지 않도록 하여야 한다. 또한, 시장에 새로운 가치를 제공할 수 있는 준비를 지속적으로 보강하여야 한다는 점이 중요하다.

3. 제조 스마트화 준비 방향

2015년 중소기업청의 중소기업 정보화 수준조사 결과에 따르면 응답기업 경영층의 62.7%가 정보화에 대한 관심과 의지를 갖고 있는 것으로 나타났다. 종사자 규모 별로는 종사 규모가 클 수록 정보화에 대한 관심이 높았고 업종별로는 정보통신, 지식 서비스, 제조, 건설, 도소매업 순으로 나타났다. 한편, 중소기업들의 스마트공장에 대한 인지도를 파악한 결과 들어본 적이 없다는 응답이 88.1%, 스마트공장은 현장에 도입한 중소기업은 5.3%로 응답하였다. 중소기업의 스마트화 준비는 아직 인식도 제고와 체계적인 지원이 필요하다고 판단되는 대목이다.

지난 2015년 6월 민관합동의 스마트공장 추진단이 설립되면서 스마트공장 인증체계를 마련하는 등 스마트화 수준을 객관화할 수 있도록 하는 성과가 있었다. 개별 기업은 스마트공장 운영체제와 같은 참조모형을 참고하여 고유의 목표와 실행 로드맵을 준비하여야 한다. 스마트공장 지원사업 프로그램에 참여하는 등 전문가의 도움을 받아 실행력을 내재화 할 수 있는 방안을 마련해야 한다. <표 3>과 같은 기본형을 토대로 영역을 세분화 하여 로드맵을 추가적으로 구체화 할 수 있다. 예를 들면, 제조 프로세스 영역을 공정관리, 품질관리, 설비관리 등으로 세분화 하고 공정관리 현 수준에 대해 당일생산계획에 기초한 생산지시와 대공정의 실시간 실적집계를 연계하는 목표와 달성 기간을 정의하는 것이다.

무엇보다도 제조기업 스스로 주체적인 입장에서 스마트화 추

<표 3> 제조 스마트화 로드맵 수립(예시)

구분	현재	중기(~3년)	장기(~5년)
전략	• 현 비즈니스 운영 효율화	• 가치사슬 인접 연계 강화 • 산업 내 협업 확대	• 새로운 비즈니스 모델 • 산업 내 선도자 역할
프로세스	• 고객 수요-공급 연계 정립 • 생산 계획-실행 운영 프로세스 정립	• 제품/설비/공정 등 상호 연계 프로세스 정립 • 엔지니어링 협업 구축	• 제품 및 서비스 전반의 생명주기 피드백 프로세스 정립
시스템	• 데이터 수집, 연결 확대 • 자동화 및 모니터링 적용	• 실시간 모니터링 및 분석 • 주요 영역 지능화 적용 (상황인식 및 피드백)	• 가상 물리 시스템 모형에 기반한 수직/수평적 통합 • 제조시스템 실시간 최적화 (자율적 상황인식 및 시스템 구성 모듈 협업)

진의 경험과 노하우를 축적하게 된다면 글로벌 경쟁에 뒤지지 않는 발전적인 기업이 확산될 것으로 생각한다.

4. 맺음말

본고를 통해 산업에 속한 기업과 여러 독자들에게 가시적인 변화를 이끌어 가는데 도움이 되고자 지식과 이해를 전달하였다. 제조 기업의 스마트화 목표설정에 대해서는 해당 기업 고유의 경쟁상황과 사업전략과 연계하고 스마트화 영역을 세분화 한 접근을 제안하고, 현재 기술발전이 지속 중인 상황에서 스마트화 기술의 성숙도를 이해하는 동시에 필요 기술을 적시 활용하는 접근이 필요함을 강조하였다. 점진적 실행을 위해 로드맵을 준비하도록 제안하는 등 여러 의견을 제시하였으나 저자의 한정된 관점과 전달에 대해서는 여러 전문가들의 심화된 관심과 추가 기고가 독자 여러분들께 도움이 될 수 있으리라 생각한다.

글로벌 경제의 불확실성과 한국 경제의 난관 속에서 한국 제조기업이 가진 열정과 끈기가 4차 산업혁명의 원동력으로 발휘되기를 고대하며 독자 여러분의 건승과 발전을 기원합니다. **ie** 매거진

- [4] 백종현, 스마트공장 국내의 표준화 동향, IE Magazine 2016년 봄호.
- [5] 강형석, 노상도, 스마트제조 주요 기술 연구 동향, IE Magazine 2016년 봄호.
- [6] 이규택, 이진재, 스마트공장 R&D 로드맵 소개, 한국산업 기술평가관리원, PD ISSUE REPORT NOVEMBER 2015 VOL 15-11.
- [7] 정봉주, 조현보, 신동민, 스마트 제조와 3C, 대한산업공학회 춘계공동학술대회집, 2016.

참 고 문 헌

- [1] 통계청, 중소기업정보화 수준조사, 2015.
http://kosis.kr/common/meta_onedepth.jsp?vwcd=MT_OTITLE&listid=398_39801
- [2] PLANTCockpit project, Cyber-physical systems in manufacturing and productionworkshop report, pp. 18-19, 2013.
- [3] 백수현, 스마트 제조의 글로벌 현주소와 표준화 방향, 한국과학기술기획평가원 Issue Paper 2016-03, 2016.

■ 약 력 | 주 현 택

□ 학 력

- 고려대학교(경영학 박사)
- 서울대학교(산업공학 석사)
- 한양대학교(산업공학 학사)

□ 경 력

- 삼성SDS에서 사업기획, 전략기획 부서에 근무하였으며, 2002년부터 컨설턴트로서 대통령비서실, 특허청 등 공공 부문 정보화 전략계획 컨설팅을 수행하였고 2007년부터 삼성관계사 등 전자/제조업 고객사 대상으로 정보화 혁신 컨설팅을 수행하고 있다.

기술로드맵의 연구 동향 : 기술과 시장을 어떻게 연계할 것인가?

금 영 정 / 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과 교수



1. 산업 및 시장의 급격한 변화, 그리고 기술기획

기술 혁신 이론의 여러 모형 중 가장 기본적인 모형이 선형 모형(linear model)이다. 이는 다시 두 가지로 나누어지는데, 시장 견인형 모형(market-pull model)과 기술 주도형 모형(technology-push model)이 바로 그것이다. 시장 견인형 모형은 혁신의 원천을 고객(시장) 관점에서 정의하는 관점을 견지하고 있으며, 고객이 어떤 제품을 원하는가에서 혁신이 출발한다고 간주한다. 반대로 기술 주도형 모형은 혁신의 원천을 기술에서부터 찾는 관점을 견지하고 있다. 즉 기술의 발전이 새로운 기술 및 성능 향상을 주도하며, 이러한 기술의 발전에 기반해 새로운 제품이나 기술을 만들어 놓으면 시장 수요는 그 이후에 창출할 수 있다는 관점이다. 최근 산업 현장을 들여다보면 기술 주도형 혁신이 산업을 지배한다고 봐도 과언이 아닐 것이다. 대부분의 혁신이 기술기반 제품 혹은 기술기반 서비스를 통해서 고객에게 제공되고 있다. 게다가 단일 기술이 아니라 수십가지의 기술이 융합되어 하나의 서비스에 녹아있는 형태로 제공되고 있기 때문에, 기업 현장에서는 기술을 이해하는 것이 무엇보다 중요한 활동 중 하나일 것이다.

그러나 기술 주도형 혁신만으로는 시장에서 성공하기 어렵다. 더구나 지금과 같이 기술의 속도가 고객의 요구사항을 따라 갈 수 없는 경우에는 더더욱 그러하다. 따라서 기술주도형 관점에서 기술을 개발했다라도, 이를 통해 시장 수요를 적극적으로 창출하고, 이로부터 발생한 고객 수요를 통해 다시 시장 견인형 모형을 결합하는 발전적 형태로 기술기획을 진행하는 것이 바람직하다.

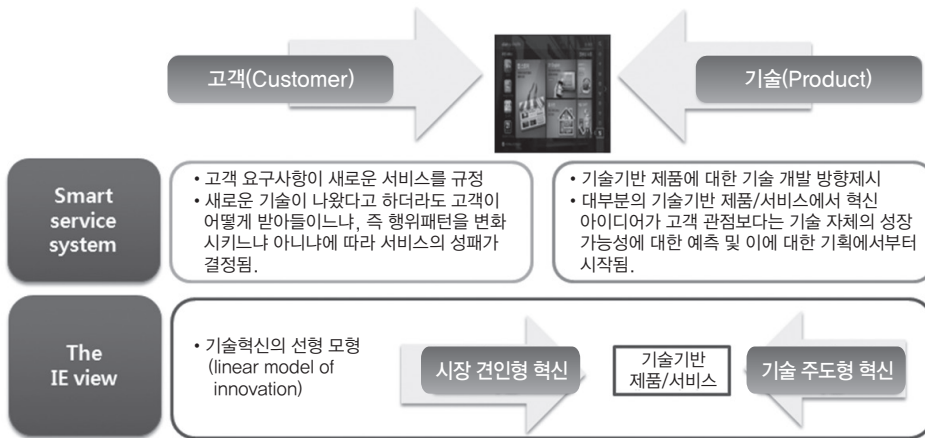
최근의 기술기획이 동시에 두 가지 모형을 동시에 활용해야 하는 이유는 자명하다. 최근 산업현장의 주요 화두인 스마트 서

비스를 예를 들어 생각해 보자. 스마트 서비스 시스템은 자발적 재구성(self-reconfiguration)을 통해 스마트한 관리를 수행하도록 설계된 서비스 시스템을 의미한다[1]. 여기서 자발적 재구성이란 다양한 의미를 포함하고 있는데, 시스템을 자발적으로 진단하고 개선하여 최적화하기 위한 활동을 포함한다고 볼 수 있다.

즉 스마트 서비스에서의 “스마트함”은 데이터를 통해 현재의 시스템 상황을 진단하고 이를 개선하고 예측하기 위한 활동을 선행적으로 수행할 수 있는 능력을 의미한다[1-2]. 이러한 이유로 스마트 서비스의 기획은 기본적으로 기술적 관점을 포함해야 한다.

서비스 시스템이 자발적 재구성(self-reconfiguration)을 통한 스마트한 관리를 수행해야 하는 상황에서 기술의 역할이 필수 불가결하기 때문이다[1, 3]. 스마트 서비스 시스템의 가장 중요한 부분인 상시 모니터링-진단 및 예측-문제해결로 이어지는 알고리즘을 작동시키기 위해서는 시스템의 상태를 끊임없이 확인하기 위한 기술적 접근이 필수적이기 때문이다. 그러나 스마트 서비스 기획에서 고객의 역할 역시 간과되어서는 안 된다.

스마트 서비스 시스템의 설계 및 창출에 있어 그 목적과 결과물을 정의하는 것은 다름 아닌 고객이기 때문이다. 다양한 컨텍스트에서의 고객 요구사항은 스마트 서비스 그 자체를 정의하며, 특히 스마트 서비스 시스템의 등장으로 인해 고객이 스스로 행위 패턴을 변화시키고 이를 스마트 서비스 시스템에 재요구한다는 점에서 고객의 역할은 매우 중요할 것이다. 즉, 최근의 불확실성이 높은 기업 현장에서는 <그림 1>과 같이 고객과 기술의 관점을 모두 고려한, 시장 견인형 혁신과 기술 주도형 혁신이 통합된 형태로 기술기획이 이루어져야 한다.



<그림 1> 기술 주도형 혁신과 시장 주도형 혁신의 결합

2. 기술기획의 주요 도구로서의 기술로드맵

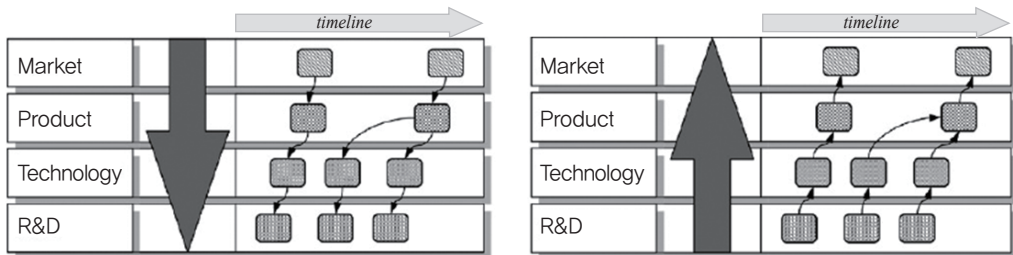
이렇듯 혁신의 기획에는 기술 주도형 혁신과 시장 견인형 혁신이 동시에 고려되어야 한다. 특히 최근 비즈니스 현장과 같이 기술적 요인과 시장적 요인이 복합적으로 작용하는 경우에는 더욱 그러하다. 이렇듯 기술적 요인과 시장적 요인을 동시에 고려할 수 있는 대표적인 기술기획 방법이 바로 기술로드맵이다.

기술로드맵은 오랫동안 기술기획의 주요 도구로 활용되어 왔다. 기술로드맵은 향후 시장 및 기술에 대한 예측을 바탕으로 미래수요를 충족하기 위한 필요기술과 제품을 예측하고, 이를 통해 최선의 기술대안을 선정하는 기술기획 방법이다. 즉, 현재 우리가 어디에 있는가(where are we now?)라는 질문에서 출발하여 우리가 어디로 가야 하는가(where do we want to go?)에 답하기 위해, 어떻게 목표에 도달할 것인가(how can we get there?)를 탐색하는 과정이다[4].

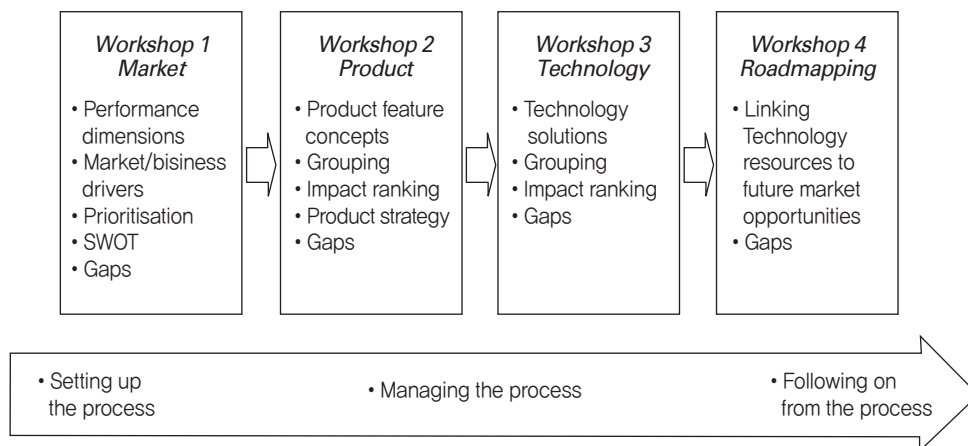
기술로드맵의 중요한 강점 중 하나가 기술 주도형 혁신과 시장 견인형 혁신을 동시에 고려할 수 있다는 점이다. 기술로드맵

의 각 영역이 시장, 제품, 기술로 구성되어 있기 때문에 시장과 기술 양쪽을 모두 고려한 균형 있는 기술기획이 가능하기 때문이다. 실제로 기술로드맵의 개발 과정은 <그림 2>와 같이 시장의 변화를 먼저 예측하고 이러한 시장의 변화에 대응할 수 있는 기술을 찾기 위한 시장 주도형 로드매핑 과정과, 현재 기업이 보유한 기술에 관련하여 해당 기술의 미래를 예측하고, 이에 대응하기 위한 기술을 개발하고 이에 따른 시장을 창출하기 위한 기술 주도형 로드매핑 과정이 있다.

기술기획을 위한 타 방법론과는 달리, 기술로드맵에 대한 논의는 학계가 아닌 실무현장에서 시작되었다. 1970년대 Motorola에서 시작된 기술로드맵은 기술과 시장을 연계하는 효과적 수단이자, 단순하면서도 유연한 접근 방식이라는 매력 때문에 타 기업으로 손쉽게 전파되었다. Motorola는 이후 출현기술(Emerging Technology) 로드맵으로 중장기 기술진보를 예측하기도 하였으며, ERMS(Enterprise Roadmap Management System)을 구축하여, 현재도 가장 진화된 형태의 로드맵을 활용하고 있는 기업이기도 하다.



<그림 2> 시장 주도형 로드맵(좌)과 기술 주도형 로드맵(우)[5]



<그림 3> T-plan 개요[6]

그럼에도 실무에서 기술로드맵을 개발하기는 여전히 쉽지 않다. 큰 규모의 기업에서는 기술기획을 전문적으로 수행하기 위한 로드맵 전담팀이 구성되어 있는 것이 일반적이지만, 중소 규모의 기업에서는 기술로드맵을 개발하고 관리하는 것이 상당히 어렵다. 특히 기술로드맵의 개발에 있어서는 기술과 시장을 모두 잘 아는 전문가의 참여가 필수적이기 때문에, 인력과 시간의 제약 조건 때문에 특히 어려운 상황이다.

이러한 문제 때문에 기술로드맵을 쉽고 빠르게 개발하기 위한 T-plan(The T-plan, fast-start approach)은 3년에 걸친 연구 프로그램의 결과로 개발되었다. 다양한 산업 분야에 걸쳐 다양한 유형의 기업과 협업을 통해 다수의 기술로드맵을 도출하고, 그 결과로 가장 쉽고 빠르게 기술로드맵을 개발하기 위해서 그 프레임워크 및 프로세스를 규정한 것이다. T-plan에 따르면 기술로드맵 작성을 위해서는 네 번의 워크샵이 필요하다. 시장을 분석하기 위한 워크샵, 시장과 제품을 연계하여 분석하고 제품 대안을 파악하기 위한 워크샵, 제품과 기술을 연계하여 기술 대안을 파악하기 위한 워크샵, 마지막으로 이들을 최종적으로 하나의 차트로 연계하고, 기술과 자원 수준을 고려하여 최종적으로 로드맵을 그리는 과정이다.

3. 기술로드맵의 주요 연구 동향

기술로드맵 연구는 2000년대 이전에는 기술기반 제품을 기획하기 위한 다양한 사례연구 중심으로 이루어져 왔다. 즉, 각 기술 분야별로 중장기 기술개발을 위한 기술로드맵이 산업별, 기술별로 다양한 형태로 개발되어 온 것이다. 일반적으로 기술

로드맵은 기업 수준에서 개발되는 로드맵과 산업 수준 혹은 국가 수준에서 개발되는 로드맵으로 나뉘어지는데, 기업 수준에서 개발되는 로드맵의 경우 보안 문제 때문에 공개되는 경우가 극히 드물며, 산업 기술로드맵의 경우 해당 산업의 관련 기술들에 대한 예측 및 기획의 목적으로 산업계 전문가들의 협업을 통해 개발되어 공개되는 것이 일반적이다.

기본적으로 기술로드맵에 대한 주요 연구 및 개발 동향을 살펴보면 해당 기간에 제품이나 서비스가 어떠한 기술을 주도적으로 활용해 왔는지를 파악하는 데 도움을 줄 수 있다. 특히 특정 기업 내부적으로 기획/개발하는 기술로드맵이 공개가 어렵기 때문에 대부분의 공개 로드맵은 산업기술로드맵의 형태를 띠고 있다. 이러한 점을 고려하면, 기술로드맵의 산업별 동향을 살펴보면 해당 산업을 주도하는 기술군을 쉽게 예측하고 추측할 수 있다. 한 예로, 2000년대 후반 서비스가 산업을 주도하는 중요 혁신 원천으로 고려되기 시작하면서 서비스를 효과적으로 기획하기 위한 수단으로도 기술로드맵이 적극적으로 활용되었다[7]. 즉, 기술기반 서비스를 효과적으로 기획하고 개발하기 위해서는 어떤 관점에서 기술로드맵을 개발해야 하는가를 주로 다룬 서비스 로드맵이 주로 연구되었다. 예를 들면 Martin & Daim의 2002년 연구에서는 서비스 산업에서의 기술로드맵 개발을 위해 미션·목표·서비스 개요(서비스 발의)-서비스 특성·서비스 효과성 측정으로 연계되는 계층적 의사결정 모델을 제안하여 기술로드맵의 원형으로 활용하기도 하였다[7]. 이후, 제품과 서비스가 통합된 제품-서비스 시스템(Product-Service System, PSS)이 사회적 관심을 받기 시작하자, 제품과 서비스의 통합이 어떠한 형태로 주로 일어나는지 그 유형을 분류하

고 이를 기술기획 단계에 반영하기 위해서 어떻게 기술로드맵이 수정되어 활용되어야 하는가에 관련한 연구가 진행되기도 하였다[8].

기술로드맵의 보다 최근 연구를 살펴보자. 기술로드맵의 최근 연구동향은 크게 두 가지로 나뉘어질 수 있다. 첫 번째 유형은 도메인 특화(domain-specific) 정보를 활용하여 사례연구를 중심으로 수행되는 연구 영역이다. 이러한 연구들은 산업을 주도하는 기술들의 주요 동향을 분석하는 동시에 향후 몇 년간 어떤 기술이 주도적으로 성장할 것이며 어떤 기술을 개발하는 것이 좋은지에 대한 정보를 담고 있다. 최근 수행된 대표적인 연구는 5G 기술에 대한 기술로드맵[9], 창의적 산업(creative industry)에 관련한 기술로드맵[10], 스마트 시스템의 전략적 표준화에 대한 기술로드맵 연구[11] 등을 들 수 있다.

두 번째 유형은 기술로드맵을 비즈니스 현안에 맞춘 다양한 요구사항과 연계하여 새로운 구축 방식을 제안하는 연구들이다. 이러한 연구들은 기술로드맵 구축에 있어 다양한 관점의 창의적 연계 방식을 제안함으로써 기술로드맵 연구에 대한 이해의 폭을 넓히는 데 기여하는 연구들이다. 이러한 연구 동향에 포함되는 다수의 연구들을 다시 다음과 같은 두 가지 기준으로 나누어 살펴보고자 하자.

첫 번째, 데이터 관점에서 기술로드맵과 연계를 수행하고 있는 연구들이다. 기술로드맵의 경우 기술, 제품, 서비스에 대한 흐름을 분석하고, 개발을 위한 최적의 대안을 선정하는 데 있어 전문가의 의견을 매우 중요하게 고려한다. 기술로드맵의 작성과정이 대부분 전문가 기반 워크숍으로 구성되어 있는 것을 고려할 때 이는 매우 자연스러운 일이다. 그러나 빅데이터의 시대가 도래하면서 많은 의사결정을 데이터에 기반해 객관적이고 분석적으로 접근하기 위한 다양한 노력이 이루어지고 있으며, 기술로드맵 관련 연구에서도 마찬가지로 어떠한 데이터를 기술기획에 반영하는 것이 필요한가에 대한 논의가 적극적으로 이루어지고 있다[12-14].

기술로드맵의 작성을 위해 특허분석이 매우 활발하게 활용되어 왔는데, 이는 특허가 특정 기업, 산업, 또는 국가의 기술력을 대표할 수 있는 효과적인 대응 지표로 널리 활용되어 왔기 때문이다. 2010년 이전까지만 해도 특허분석은 기술로드맵 작성 뿐 아니라 기술기획의 발굴 및 예측을 위한 매우 효과적인 분석 도구로 각광받아 왔다. 그러나 특허만으로 기술 대안을 발굴하는 것은 기술 중심적 사고, 다시 말하면 기술 주도형 기획의 관점이다. 이는 일부 혁신적 고객에게는 효과적일 수 있으나, 기술수용주기 상의 전기 다수(early majority)로 넘어가 일반 대중에

게까지 확산되기 위해서는 고객의 요구사항을 적절히 수용하는 것 역시 필요하다. 이러한 관점에서 보았을 때, 기술기획 과정은 특허 분석만을 포함하는 것이 아니라 고객의 기술적 기대 수준 및 기술 준비도(technology readiness index)를 함께 고려하는 것이 요구된다.

이러한 이유로 기술로드맵의 작성 과정에서 특허와 함께 고객의 관점을 포함할 수 있는 효과적인 데이터 원천을 발굴하는 것은 기술로드맵 연구 및 실무의 중요한 과제라고 할 수 있다. 실제로 기술로드맵 작성을 위해 고객의 요구사항이나 서비스의 트렌드를 파악하기 위한 데이터 원천이 최근 기술로드맵 작성에 활용되어 왔다. 다만 현재까지 활용된 데이터 원천은 고객 요구사항이나 온라인마켓 플레이스에서 제공되는 서비스의 명세서 등이 활용되는 수준에 그치고 있다[13]. 물론 고객 요구사항이나 서비스 명세서와 같은 대량의 비정형 데이터가 실제로 기술기획에 효과적으로 사용될 수 있다. 그러나 기술기획에서 실제로 필요한 것은 미래 시장의 변화를 예측하고, 이러한 미래 시장의 변화에 대응하게 될 고객의 반응을 파악하기 위한 데이터라는 것을 고려할 때, 기존에 존재하는 제품 및 서비스를 사용한 후 작성되는 고객 요구사항이나, 현존하는 제품 또는 서비스의 특징을 기술하는 서비스 명세서는 능동적(proactive)인 관점에서의 기술기획을 지원하기는 다소 부족한 실정이다.

이러한 한계를 극복하고자 최근에는 일부 연구에서 미래지향적 데이터(futuristic data)라고 부르는 데이터를 활용하기도 한다[14-15]. 일부 연구에서는 미래 예측을 위한 Foresight 2.0에 주목하고, 이를 지원하기 위한 다양한 데이터 원천을 몇 가지로 구분하였다[14]. 여기서 소개된 데이터 원천은 1) Databases/Wikis, 2) Prediction Markets, 3) Social Rating System, 4) Collaborative Scenarios이다. 추후 이를 기반으로 하여 데이터 원천이 보다 확대되기도 하였는데 Gartner, McKinsey, MIT Technology Review, Kurzweil Accelerating Intelligence, Next Big Future 등과 같은 기술기반 블로그 및 매거진이 주요 미래지향적 데이터의 범주로 포함되었다[15]. 디지털 시대의 협업 네트워크를 통해 많은 데이터가 생겨나고 소비되는 현실에서, 기술의 미래를 예측하기 위한 미래지향적 데이터를 활용하는 것은 기술기획 현장에서 매우 중요한 활동이 될 것이다.

두 번째, 프로세스 관점에서 기술로드맵과의 연계를 수행하고 있는 연구들이다. 즉, 기술로드맵의 작성 과정을 다양화하고, 이 과정에서 다양한 방법론을 연계하는 연구들이 이 범주에 속한다. 이 중 최근 연구 비중이 상당히 높은 연구 분야가 시나리오 기반 기술로드맵의 개발에 관련한 연구이다. 기술의 발

전 속도가 빠르며 고객 요구사항이 급변하여 불확실성이 극도로 높은 시장 환경에서 기술기획의 방향이 확장성 및 유연성을 높이는 시나리오 기반 접근으로 진행되는 것은 매우 자연스러운 일이다. 이러한 관점에서의 연구의 대표적인 예시로, 다양한 시나리오를 고려하기 위한 퍼지 인지 지도(Fuzzy Cognitive Map, FCM)를 활용한 기술로드맵 작성 방법[16], 외부 환경에의 취약점(vulnerability)를 진단하고 대응하기 위한 ANP 기반 기술로드맵 연구[17], 시나리오 요인 간 영향을 고려하는 교차영향분석(Cross Impact Analysis, CIA) 기반 기술로드맵[18] 등이 적극적으로 제안되고 있다. 또한 앞에서 언급했던 미래지향적 데이터에 기반한 시나리오 작성 방법에 관한 연구도 활발하게 진행되고 있으며[19], 이러한 연구들에 기반해 개발된 다양한 시나리오들이 기술로드맵에 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 맺음말

지금까지 우리는 기술로드맵의 특성 및 주요 연구동향에 대해서 살펴보았다. 기술로드맵은 복잡하고 불확실성이 높은 기술기획 환경에서 기술주도형 혁신과 시장견인형 혁신을 동시에 지원할 수 있다는 점, 그 작성방법이 비교적 간단하며 표준화되어 있다는 점에서 매우 효과적인 기술기획 도구로 활용될 수 있다는 점에서는 이견이 없을 것이다.

향후 복잡한 산업 환경에서 기술로드맵을 보다 효과적으로 활용하기 위해서는 다음과 같은 세 가지 관점을 견지해야 할 것이다. 첫째, 기술혁신이 매우 빠르게 일어나고 시장 경쟁이 보다 치열해지면서, T-plan과 같은 표준화된 프로세스를 통해 기술로드맵을 작성하는 것을 넘어 기술로드맵을 작성하기 위한 창의적이고 효과적인 프로세스를 고민해야 한다. 이는 복잡한 방법론이나 복잡한 데이터를 활용해야 한다는 의미가 아니다. 기술로드맵의 작성 과정에서 다양한 의사결정이 일어날 수 있다는 것을 인식하고, 현장에서 중요한 의사결정 문제들을 기술로드맵 작성 과정에 포함시키는 것이 중요하다는 것이다. 실제로 기술로드맵의 작성 과정(technology roadmapping process)은 기술기획의 결과물로 나온 로드맵의 결과 그 자체보다 훨씬 중요한 의미를 가진다. 이 이유는 실제로 기술로드맵의 작성 과정이 기술기획의 거의 전 단계를 모두 포함하기 때문이다. 기업 및 산업 현장에서 향후 10년을 이끌어 갈 주요 핵심동력이 무엇인지에 대한 고민에서부터 시작해서, 해당 기술이 미치는 파급효과를 정성적/정량적으로 분석하고, 이를 시장의 변화로까지

연계하는 방법에 대한 고민 등이 복합적으로 녹아들어 있기 때문이다. 따라서 기술로드맵의 결과물 그 자체에 집착하기보다는, 정확하고 면밀한, 그리고 통찰력 있는 분석을 제공할 수 있는 프로세스를 설계하는 것이 더욱 필요한 것이다. 기술로드맵의 최근 연구들이 지속적으로 기술기획에 도움을 줄 수 있는(단순하지만 의미 있는) 새로운 데이터를 발굴하여 이를 기획에 연계하기 위한 방법들을 다루고 있는 것은 이러한 이유 때문이다.

둘째, 기술의 사회적 영향을 충분히 파악해서 이를 기획 단계에 포함해야 한다. 이미 기술적 완성도가 매우 높은 현재의 시장 환경에서 기업이 고민해야 하는 것은 단순한 기술의 성능 향상에 있는 것이 아니라 기술이 현실적으로 삶에 들어왔을 때 발생할 수 있는 다양한 시나리오를 고민하여 이를 기술기획에 포함시키는 것이다. 즉, 기획의 대상 및 범위를 사회적 측면으로 확대해서 이에 대응할 수 있는 다양한 옵션을 제품개발에 포함시켜야 한다. 예를 들어 자율주행 자동차의 단계적 확대 과정에서 발생할 수 있는 사회적/제도적 문제를 선형적으로 파악하여, 이들을 해결하기 위한 문제를 기획 과정에서 고려해야 제품 출시 이후에 발생할 수 있는 다양한 문제들에 대한 대응이 가능하다.

마지막으로, 잘 알려진 것처럼 기술로드맵은 작성 그 후가 매우 중요하다. 즉 로드맵을 구축하고 나서 이를 효과적으로 활용하여 기술개발을 수행하고, 외부환경이 변화했을 경우 이를 즉각적으로 반영하여 전사적 커뮤니케이션에 활용해야 한다. 이는 로드맵의 개발 단계에서 다양한 시나리오를 고려하는 것과는 다른 문제이다. 실제로 로드맵을 만든 이후 이를 반복하여 수정하고 적용하는 절차를 지속적으로 거쳐야 하며, 이는 로드맵이 살아 있는(alive) 상태로 만드는 중요한 역할을 한다. 그러나 이와 관련된 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다. 실제로 로드맵의 형태나 작성 과정에 관해서는 상당히 많은 연구가 수행되고 있으며 실무에서도 로드맵의 작성에 관한 많은 활동이 수행되고 있으나, 로드맵 작성 그 이후의 관리에 대해서는 논의가 미흡한 것이 사실이다. 앞에서 언급한 이러한 세 가지 관점을 충분히 고려한다면, 복잡하고 빠르게 변화하는 시장 환경에 대응하기 위한 기술로드맵을 보다 효과적으로 개발하고 활용할 수 있을 것이다. 

참 고 문 헌

- [1] Barile, S., & Polese, F. (2010), Smart service systems and viable service systems : Applying systems theory to service science. Service Science, 2(1-2),

- 21-40.
- [2] Lim, C. H., Maglio, P. P., Kim, K. J., Kim, M. J., & Kim, K. H. Toward smarter service systems through service-oriented data analytics, (2016), IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics(pp. 936-941). IEEE, 2016.
- [3] Ifm, IBM(2008), Succeeding through Service Innovation : A Service Perspective for Education, Research, Business and Government. Cambridge : University of Cambridge Institute for Manufacturing.
- [4] Phaal, R., & Muller, G.(2009), An architectural framework for roadmapping : Towards visual strategy. Technological Forecasting and Social Change, 76(1), 39-49.
- [5] Vishnevskiy, K., Karasev, O., & Meissner, D. (2016), Integrated roadmaps for strategic management and planning. Technological Forecasting and Social Change, 110, 153-166.
- [6] Phaal, R., Farrukh, C. J., & Probert, D. R. (2004), Technology roadmapping-a planning framework for evolution and revolution. Technological forecasting and social change, 71(1), 5-26.
- [7] Martin, H., & Daim, T. U. (2012), Technology road-map development process (TRDP) for the service sector : A conceptual framework. Technology in Society, 34(1), 94-105.
- [8] Geum, Y., Lee, S., Kang, D., & Park, Y. (2011), Technology roadmapping for technology-based product-service integration : A case study. Journal of Engineering and Technology management, 28(3), 128-146.
- [9] Lee, J., & Kwak, Y. (2016), 5G Standard Development : Technology and Roadmap. Signal Processing for 5G : Algorithms and Implementations, 561-576.
- [10] Abbasi, M., Vassilopoulou, P., & Stergioulas, L. (2017), Technology roadmap for the Creative Industries. Creative Industries Journal, 10(1), 40-58.
- [11] Ho, J. Y., & O'Sullivan, E. (2017), Strategic standardisation of smart systems : A roadmapping process in support of innovation. Technological Forecasting and Social Change, 115, 301-312.
- [12] Jin, G., Jeong, Y., & Yoon, B. (2015), Technology-driven roadmaps for identifying new product/market opportunities : Use of text mining and quality function deployment. Advanced Engineering Informatics, 29(1), 126-138.
- [13] Geum, Y., Lee, H., Lee, Y., & Park, Y. (2015), Development of data-driven technology roadmap considering dependency : An ARM-based technology roadmapping. Technological Forecasting and Social Change, 91, 264-279.
- [14] Schatzmann, J., Schäfer, R., & Eichelbaum, F. (2013), Foresight 2.0-Definition, overview & evaluation. European Journal of Futures Research, 1(1), 1-15.
- [15] Kim, J., Han, M., Lee, Y., & Park, Y. (2016), Futuristic data-driven scenario building: incorporating text mining and fuzzy association rule mining into fuzzy cognitive map. Expert Systems with Applications, 57, 311-323.
- [16] Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. (2016), Technology road-map through fuzzy cognitive map-based scenarios : the case of wind energy sector of a developing country. Technology Analysis & Strategic Management, 28(2), 131-155.
- [17] Lee, C., Kim, J., & Lee, S. (2016), Towards robust technology roadmapping : How to diagnose the vulnerability of organisational plans. Technological Forecasting and Social Change, 111, 164-175.
- [18] Lee, H., & Geum, Y. (2017), Development of the scenario-based technology roadmap considering layer heterogeneity : An approach using CIA and AHP. Technological Forecasting and Social Change, 117, 12-24.

- [19] Kim, J., Han, M., Lee, Y., & Park, Y. (2016), Futuristic data-driven scenario building: incorporating text mining and fuzzy association rule mining into fuzzy cognitive map. Expert Systems with Applications, 57, 311-323.

■ 약력 | 금 영 정

□ 학력

- 2004년 KAIST 산업공학과(공학사)
- 2013년 서울대학교 산업공학과(공학박사)

□ 경력

- 2004년~2007년 삼성SDS 삼성정보전략실
- 2013년~2014년 서울대학교 지식창출연구센터
- 2014년~현재 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과 교수

□ 관심분야

- 기술경영, 특허분석, 기술기반 서비스 혁신, 제품-서비스 시스템



졸업생이 보는 산업공학 전공 : 강점과 한계 그리고 산업공학 교육의 발전방향



김 덕 환 / 한국에너지기술연구원 선임연구원

1. 시작하면서

대한산업공학회 교육분과에서는 2017년 춘계 공동학술대회에서 산업공학 교육의 발전방향을 모색하기 위해 '산업공학과 졸업생의 진로 및 산업공학 교육발전 방향'이라는 주제로 특별세션을 개최하였다. 본 특별 세션은 산업공학과 졸업생으로 패널을 구성하여 산업공학과 졸업생이 졸업 후 어떠한 업무를 담당하고 있는지, 산업공학 전공자의 강점과 한계점이 무엇인지에 대해 자유롭게 논의하였다. 아울러 산업공학 전공 후배들이 학교에서 배우고 왔으면 업무 수행에 도움이 될 내용에 대해서도 이야기를 나누었다. 이 글에서는 이러한 특별세션을 준비하게 된 배경과 실제로 논의된 내용을 정리하고자 한다.

2. 특별세션 추진배경

최근 산업계의 가장 큰 화두는 '4차 산업혁명'이다. 4차 산업혁명은 '혁명'이라고 불리는 것 자체에서부터 산업 전반의 근본적인 변화를 일으키고 새로운 요소들이 경쟁력으로 작용함을 의미한다. 기존의 산업혁명은 증기기관의 발명을 통해 인간의 노동력을 대체하였고(1차 산업혁명), 전기 기술의 발달을 통해 대량 생산을 가능하게 하였으며(2차 산업혁명), IT 기술의 발달을 통한 산업의 자동화(3차 산업혁명)를 달성하였다. 4차 산업혁명은 현재 진행 중이므로 다양한 관점의 해석이 존재하겠지만 공통적으로 언급되는 것이 ICT 기술의 발달을 통한 산업 그 자체의 지능화이다. 지능화라는 것은 산업에서의 가치사슬에서 컴퓨터가 인간의 의사결정 중 일부를 대체하게 되는 것으로 해석할 수 있다.

산업공학도 이러한 산업의 변화와 더불어 발전되어 왔다. 증기기관을 통한 산업이 본격화됨에 따라 산업공학이라는 학문도

태동하였고, 대량생산에서의 생산 효율성과 품질을 동시에 달성하기 위한 방안이 연구되었다. 그리고 산업의 자동화와 더불어 제조공학, IT 기술의 연계 등에 대한 주제가 다루어지기 시작했다. 이제 4차 산업혁명이 다가옴에 따라 산업공학도 새로운 발전 방향을 모색해야 할 시기가 도래하였다. 먼저 4차 산업혁명 시대에서 산업공학의 역할이 더욱 중요해질 것이다. 4차 산업혁명의 핵심으로 언급되는 기술들이 IoT, Big Data, AI인데, 이들을 효과적으로 활용하기 위해서는 산업공학의 강점이라 할 수 있는 확률, 통계, 최적화 기법 등이 바탕이 되어야 한다. 즉, 산업공학 전공자가 4차 산업혁명에서 중요한 역할을 담당할 수 있음을 의미한다. 아울러 4차 산업혁명의 키워드가 산업 자체의 '지능화'임을 고려하면, 4차 산업혁명 시대의 새로운 경쟁력은 컴퓨터가 내리는 의사결정이 아닌 인간이 판단해야 하는 의사결정 문제에 대한 창의적 사고이며, 이는 곧 인재의 역량이 더욱 중요해짐을 의미한다. 결론적으로 4차 산업혁명에서 필요한 핵심 지식을 가진 창의적 인재를 길러내는 것이 산업공학 발전의 한 방향이 될 것이다.

이와 같이 산업구조가 변화함에 따라 필요한 인재상도 변화하고 있으며, 이러한 인재를 길러낼 교육에 대한 방향성도 달라져야 한다. 그렇다면 교육의 변화 방향은 어떻게 수립할 수 있을까? 교육 발전방향을 수립하는 과정 또한 산업공학적 관점에서 본다면 인재를 활용하는 산업계의 요구 사항이 가장 중요한 VOC(Voice of Customer)가 될 것이다. 제품을 개발, 생산할 때 고객의 요구를 가장 먼저 반영하듯이, 교육을 통해 인재를 길러낼 때도 인재를 활용하는 산업에서의 요구를 반영하는 것이 당연하다.

이러한 배경에서 4차 산업혁명 시대에 요구되는 인재상을 살펴해보기에 앞서 산업공학과 전공자가 각 분야에서 현재 어떠한 업무를 담당하고 있으며, 산업공학 전공자의 강점과 한계점을 정리



분야	성명	소속	출신/전공분야
출연연 정책수립	최상진	한국에너지기술연구원 글로벌 전략 연구실	부산대/최적화
제조업 생산관리	정유인	아주대 공학연구소(전, 삼성전자)	카이스트/스케줄링
R&D 기획	전용웅	한국보건산업진흥원	동국대/인간공학
R&D 수행	윤주성	한국생산기술연구원 스마트 제조기술 그룹	포스텍/제조공학
대기업 개발관리	이진규	LG 디스플레이 상무	카이스트/M&S

하는 것이 필요하다. 그리고 이로부터 산업에서 요구하는 인재상을 육성하기 위한 교육의 발전방향에 대해 탐색해 볼 필요가 있다. 이를 위해 금번의 특별세션에서는 학교를 제외한 연구소, 기업 등에서 활약하고 있는 산업공학과 졸업생으로 패널을 구성하여 자유로운 토의를 진행하였다. 자칫 딱딱해진 분위기에서 피상적인 논의만 이루어지는 것을 피하기 위하여 패널 토의를 토크 콘서트의 형태로 진행하면서 가급적이면 졸업생들이 생각하는 진솔한 이야기를 이끌어내고자 하였다. 아울러 특별세션에 참석한 청중들과도 자유롭게 대화하면서 의견을 나누는 시간을 가졌다. 본 특별세션에서는 다양한 의견을 듣기 위하여 패널들의 출신학교, 현재 소속을 가급적 다르게 구성하고자 하였다. 본 패널토의에 참석한 패널은 다음과 같다.

3. 산업공학 전공자의 강점

먼저 각 패널이 활약하고 있는 분야에서 산업공학과 전공자로서 가지는 장점에 대해 토의하였다. 한국에너지기술연구원의 최상진 박사는 한국에너지기술연구원에서 기술 이전, 정책, 연구 품질, 기업협력, 글로벌 전략 등의 다양한 분야에서 근무해왔다. 이러한 과정에서 새로운 업무를 접할 때 산업공학 전공자로서의 강점이 있다고 밝혔다. 즉, 기존에 경험해보지 못한 새로운 업무 분야에 대해서도 체계적인 접근을 통해 업무에 보다 쉽게 적응할 수 있었다고 한다. 아무래도 산업공학의 학문 자체가 문제를 체계적으로 재구성하고 체계적인 접근을 시도하는 것이다 보니 산업공학을 전공하면서 체득한 체계적 접근이 새로운 업무에 적응하는 데 용이하다는 것이다. 아울러 다양한 업무를 수행하면서 많은 사람들과 의사소통을 하게 되는데 산업공학 출신이 이러한 의사소통에서 아무래도 강점이 있다고 밝혔다. 의사소통의 과정에서 논의되는 이슈를 체계적인 관점에서 접근할 수 있으므로 소통이 용이하다는 것이다.

LG 디스플레이의 이진규 상무는 현재 제조업의 프로세스 혁신을 위한 업무를 수행하고 있다. 이러한 업무를 수행하기 위하여 인터뷰 등을 통해 다양한 부서의 사람들의 의견을 수렴하는 경

우가 많으며 이러한 경험을 통해 폭넓은 시야를 확보할 수 있다고 한다. 그리고 프로세스 혁신과 관련해서는 시스템, 프로세스, Work Flow 등의 개념에 기본 지식을 가진 산업공학 전공자가 유리하다고 언급하였다.

한국생산기술연구원의 윤주성 박사는 현재 중소기업에 대한 기술 컨설턴트 역할을 수행하며 산학연 협력 R&D를 주도하고 있다. 윤주성 박사는 산학연 협력 연구수행을 위한 조정자(Facilitator)로서 산업공학 전공자가 강점이 있다고 언급하면서 문제를 체계화하고 해결하는 능력이 타 전공에 비해 탁월함을 강조하였다. 아울러 산학연 협력을 위해 산업계 및 학계의 전문가들과 소통하는 기회가 많은데, 여러 교과목 중에서도 특히 시스템 분석 및 설계 등 모델링 기법들이 의사소통을 위한 도구로 효과적으로 활용됨을 언급하였다.

정유인 박사는 최근까지 삼성전자의 시스템 기술팀에서 근무한 경험이 있다. 정유인 박사가 근무한 삼성전자의 시스템 기술팀에서는 산업공학 전공자들로 팀이 구성되어 있으며 현업의 문제를 개선하기 위하여 산업공학에서 배운 다양한 기법들이 업무에 직접 도움이 된다고 하였다. 마지막으로 한국보건산업진흥원의 전용웅 박사는 인간공학을 전공하고 뇌파 신호처리에 대한 R&D를 수행하다가 최근에는 R&D 경영을 위한 정책 개발 업무를 담당하고 있다. 전용웅 박사는 산업공학 전공자들의 최대 강점으로서 다양한 분석 Tool에 대해 이해도가 높아 적절한 분석 Tool을 활용한 의사소통 능력을 들었다.

지금까지의 논의된 내용을 요약해보면 산업공학 전공자의 강점은 크게 두 가지 키워드로 정리할 수 있다. 첫 번째는 'System'이다. 산업공학 전공자들은 시스템이라는 개념에 대해 이해도가 높으며 이를 바탕으로 다양한 문제에 대해 체계적 사고 및 접근이 가능하다는 것이다. 산업 환경에서의 다양한 문제 상황을 시스템이라는 관점에서 바라보면 문제를 단순화시킬 수 있고, 이로부터 문제 상황을 풀어줄 실마리를 찾을 수 있다. 즉, 시스템에 대한 이해가 있어야 문제 상황을 시스템의 시각에서 바라볼 수 있고, 이러한 접근을 통해 시스템적인 사고가 가능하다.

두 번째 키워드는 'Communication'이다. 여기서 'Communi-

cation, 소통이라는 것은 단순히 자신의 생각을 말 또는 글로 잘 표현하는 것을 의미하는 것뿐만 아니라 다양한 지식 배경을 가진 사람들과 공통된 시각을 가질 수 있음을 의미한다. 많은 패널들이 언급한 바와 같이 산업공학에서는 정성적, 정량적 분석 기법을 많이 배우게 된다. 단순하게는 차트를 그리는 것부터 복잡하게는 정량적 통계분석에 이르기까지 산업공학 전공자는 교과과정 및 과제수행을 통해 다양한 경험을 하게 된다. 이러한 분석 기법은 배경지식이 다른 사람이 의사소통을 원활하게 해줄 수 있는 매개체로 작용하게 된다. 이러한 분석 기법에 대한 이해는 앞서 언급한 시스템적인 사고와 더불어 문제 상황을 객관적이면서 간략하게 이해하는데 도움을 주고 이는 곧 의사소통을 잘하는 비결이 될 수 있다.

4. 산업공학 전공자의 한계

이어서 산업공학 전공자로서의 한계에 대해서 패널들의 의견을 수집하였다. 먼저 제기된 의견이 산업공학 전공자의 조직 내 역할에 대한 부분이다. 산업공학이라는 학문의 목적 자체가 기존의 산업에 대해 효율성 및 효과성을 높이는 것이기 때문에, 산업공학 전공자가 활약할 수 있는 분야도 기존의 산업분야에서 조직의 효율성 및 효과성을 높이는 기능인 경우가 대부분이다. 이러한 기능은 일반적으로 조직의 핵심 기능이라기보다는 핵심 기능을 지원하는 인프라 기능에 속하는 경우가 많다. 이러한 특성 때문에 산업공학 전공자는 다양한 인프라 기능을 수행할 수 있으나, 조직의 핵심기능과 관련된 강점을 확보하는 데 어려움이 있다. 또한 핵심 기능이 아닌 인프라의 기능으로 여겨짐에 따라 상대적으로 직업의 안정성, 대우 등에서 일부 불리하게 작용할 수 있는 가능성이 있다. 이러한 문제 때문에 일부 패널은 산업공학 학문의 정체성을 확고하게 정립하고, 정립된 정체성을 잘 홍보하는 것이 필요하다고 언급하였다.

두 번째로 산업공학 전공자가 본인이 속한 산업 환경에서 생존하고 성장하기 위해서는 사회 진출 후 지속적으로 Domain Knowledge를 확보하는 것이 필요하다. 앞에서 이야기한 바와 같이 산업공학 전공자는 시스템 사고에 대한 역량을 갖추고 있다. 하지만 각 산업의 Domain Knowledge가 없으면 시스템적 사고에 근거한 경쟁력을 발휘할 수 있는 기회를 얻을 수 없다. 타 전공의 전공자에 비해 완벽한 Domain Knowledge를 가질 수는 없더라도 기본적인 의사소통을 위한 공학적 지식 등 Domain Knowledge를 갖추는 것이 필요하다.

마지막으로 산업공학 전공자의 장점인 다양한 분석기법에 대한

이해가 오히려 모든 문제 해결에 여러 가지 분석기법을 과도하게 사용하려는 역작용이 생길 수도 있다는 우려도 제기되었다. 체계적인 접근과 분석 기법의 활용이 진정한 효과를 발휘하게 위해서는 문제 상황에 대한 이해가 균형 있게 유지되어야 함을 지적한 것이다. 이는 앞서 언급한 Domain Knowledge의 문제와도 연결되는데, 문제 상황을 정확히 이해하고, 적절한 분석기법과 체계적 해법을 제공하기 위해서는 Domain Knowledge를 가지는 것이 선행되어야 함을 의미한다.

이상에서 살펴본 세 가지의 한계는 결국 하나의 키워드로 정리 가능하다. 산업공학 전공자가 지속적으로 자신의 역량을 키우고 사회에서 활약하기 위해서는 해당 산업분야의 Domain Knowledge를 확보하는 것이 중요하다. 앞서 이야기한 것처럼 산업 환경의 문제 상황을 해결하기 위해서는 Domain Knowledge와 시스템적 사고 역량을 균형감 있게 갖추는 것이 필요하다. Domain Knowledge와 시스템적 사고를 동시에 가진 인재가 되기 위해 Domain Knowledge를 어느 정도 가진 타 전공자가 졸업 후 시스템적 사고 역량을 습득하는 것과 시스템적 사고 역량을 가진 산업공학 전공자가 졸업 후 Domain Knowledge를 습득하는 것을 비교해 볼 필요가 있다. 개개인의 역량, 산업 환경의 Domain Knowledge의 깊이 등에 따라 두 가지 방식에 필요한 노력은 다를 것이다. 하지만 한 가지 분명한 것은 시스템적 사고역량이 행동방식의 문제라면 Domain Knowledge는 배우고 익혀야 하는 지식의 문제라는 것이다. 지식의 전수라는 교육의 측면을 생각해본다면 Domain Knowledge에 대한 교육은 산업공학 교육의 발전방향을 수립하는데 하나의 방향성이 될 수 있다. 비록 다양한 산업 환경의 모든 Domain Knowledge를 교육과정에서 완벽하게 다루기는 힘들더라도 졸업 후 Domain Knowledge를 배우는 과정의 진입장벽을 낮춰줄 수 있는 기여가 가능할 것이다.

5. 산업공학 교육의 발전방향

산업공학 관련 논의 내용을 바탕으로 산업공학 교육의 향후 발전 방향에 대한 토의가 이어졌다. 먼저 산업공학 전공자의 강점인 문제 상황 이해, 체계적 접근, 의사소통 능력을 지속적으로 유지하기 위하여 현재도 산업공학 전공에서 많이 이루어지고 있는 팀 프로젝트를 지속적으로 강화하는 것이 필요하다는 의견이 제기되었다. 사회에서의 대부분 업무가 혼자서 수행하는 것이 아니라 팀 프로젝트와 같은 형태로 이루어지는 경우가 많기 때문에 학교에서 교육과정의 일환으로 이러한 협력 형태에 익숙해지는 것이 필요하다는 것이다. 아울러 팀 프로젝트를 통해 문제를 해결하는



과정에서 산업공학의 장점을 체험하게 됨으로써 교육의 효과를 생각해볼 수 있다. 하지만 학생으로서 느끼는 팀 프로젝트의 불합리함을 극복하기 위한 방안도 함께 검토되어야 한다는 지적도 있었다. 팀 프로젝트의 역할 분담과 팀의 성격이 개인의 성격으로 연결되는 문제 등에서 대해서는 교육 일선에 있는 교수들의 고민이 지속되어야 한다.

아울러 산업공학에서 배우는 다양한 전공지식이 산업 및 조직에서 언제 어떻게 활용되는지를 졸업 후에 깨닫게 된다는 의견이 제기되면서, 학교에서 먼저 큰 그림을 이해하고 전공지식을 쌓는 것이 더욱 효과적이었을 것이라는 지적이 있었다. 즉, 각 전공 과목에서 배우는 산업공학 방법론의 활용 목적, 가치사슬 상에서의 활용단계 등에 대한 이해가 선행되고 나서, 해당 방법론을 배우는 것이 해당 방법론을 이해하는데도 도움이 되고 졸업 후에도 이를 활용할 수 있는 단초가 될 수 있다. 이에 대한 발전방향으로 전공과목 첫 시간에 이를 학생들에게 알려줄 수 있는 기회를 마련하는 것이 필요하다는 의견이 제기되었다.

세 번째는 산업공학 전공자들이 졸업 후 Domain Knowledge를 습득하는 과정의 진입장벽을 낮추기 위해 산업공학 전공의 일환으로 다른 산업에 대한 기초 지식을 배울 수 있는 교과목이 필요하다는 의견이 있었다. 산업공학 교육과정의 전공 입문 교과목에서 다양한 산업의 특성에 대한 개론을 가르쳐 주는 것이 필요하다는 것이다. 이와 더불어 타 전공의 개론 과목을 산업공학의 전공으로 인정해주는 것도 하나의 방안이 될 수 있다.

마지막으로 설득의 기술에 대한 교육이 필요하다는 의견이 제기되었다. 앞서 이야기한 커뮤니케이션이 다양한 사람들과의 시각을 맞추고 문제 상황을 논의할 수 있는 자세를 갖추는 것이라면 여기서 이야기하는 설득의 기술은 문제 상황의 대안을 제시하여 의사결정을 하는 과정에 대한 문제라 할 수 있다. 패널들의 언급을 요약하자면 산업현장에서 흔히 쓰이는 '1 page report'와 같은 형태의 커뮤니케이션 방법에 대해 익숙해질 필요가 있으며, 이 과정에서 자신의 생각을 논리적으로 압축하여 상대방에게 전달하는 설득의 기술을 익힐 필요가 있다는 것이다. 이러한 의견의 연장선상으로 교육과정에서 많은 양의 리포트를 학생에게 요구하기 보다는 '한 장'에 축약된 리포트를 쓰게 하는 것이 도움이 될 것이라는 의견이 있었다.

6. 맺으며

이번에 개최된 특별세션에서는 산업공학 졸업생이 자신의 현재 업무를 바탕으로 산업공학 전공자의 강점과 한계를 살펴보고,

향후 산업공학 교육의 발전방향에 대해 모색해보았다. 이번 특별세션은 교육과정의 발전방향을 교육을 담당하는 교수의 입장이 아니라 교육을 받는 학생의 입장을 대변할 수 있는 졸업생들이 진행했다는 점에서 기존의 논의와는 차별화되는 시도였다. 비록 100분 정도의 짧은 시간 동안 사회자를 포함한 6명의 산업공학 졸업생이 나눈 이야기가 전체의 입장을 대변하기는 어렵다고 하더라도 이러한 시도는 산업공학 교육의 발전을 위해 분명 필요한 과정일 것이다. 앞으로도 유사한 형태의 논의가 이루어져야 하며, 교육현장으로 피드백 되기 위해서는 학교에서 교육을 담당하는 교수들의 참여도 활발해져야 할 것이다. 마지막으로 각자 바쁜 와중에도 산업공학 교육의 발전방향을 논의해보자는 취지에 선뜻 참석해준 패널과 세션에서 좋은 의견을 제시한 교수와 학생들에게도 감사의 말씀을 전한다. **ie**



■ 약력 | 김덕환

- 학력
 - 포항공과대학교 신소재공학과/산업경영공학과 학사(복수전공)
 - 포항공과대학교 산업경영공학과 박사
- 경력
 - 2009년~2012년 국방기술품질원 선임연구원
 - 2012년~현재 한국에너지기술연구원 선임연구원
- 관심분야
 - 연구품질, R&D Management

미국 텍사스 주립대학 : Texas A&M University – Corpus Christi

Jangwoon Park, Byung Cheol (Bruce) Lee, Anjin Chang, Jinha Jung, Junho Yeom, and Dugan Um
Department of Engineering, Texas A&M University – Corpus Christi, Corpus Christi, TX, USA

1. Texas A&M University–Corpus Christi (TAMU–CC)

텍사스 A&M 대학교(Texas A&M University)는 미국 텍사스주 칼리지 스테이션(College Station)에 위치한 주립대학으로 A&M 또는 TAMU라고도 부른다. TAMU는 텍사스주를 대표하는 연구중심 대학이자 텍사스주의 첫 번째 공립 교육기관으로 1876년에 텍사스 농업 및 기계대학(Agricultural and Mechanical College of Texas)로 시작하였다. 텍사스 A&M 대학은 10개의 단과 대학과 18개의 연구기관을 통해 150개 이상의 과정을 제공하고있는 미국내에서도 상당히 규모있는 대학이다.

2017년 US News 미국 대학 평가 기준으로 74위(National Universities) 그리고 미국에서도 가장 기부금을 많이 받는 대학 6위(하버드, 예일, 스탠포드, 프린스턴, MIT 다음)로 선정되었다. 등록 학생 수는 2016년 가을 학기 기준 56,255명, 교직원 수는 2,700명에 달하며, 그동안 무려 320,000명의 졸업생을 배출한 역사를 가진 명문 대학이다. 텍사스 A&M 대학교–Corpus Christi(TAMU–CC)는 텍사스 A&M 시스템에 속해있는 총 9개 대학들중 코퍼스 크리스티(Corpus Christi)에 위치한 TAMU의 분교(satellite university)이다. TAMU–CC의 설립연도는 1947년이며, 위치는 멕시코 걸프만에 인접한 섬에 자리잡고 있어, 미국에서도 독특한 Island University 이다<그림 1>.

TAMU–CC는 5개의 단과 대학(Science and Engineering, Nursing and Health Sciences, Business, Education and Human Development, and Liberal Arts)로 구성되어 있고, 대략 80개의 degree program들 (학부 및 대학원)을 제공하고 있다. 등록 학생 수는 2017년 기준 학부생 9,960명, 대학원생



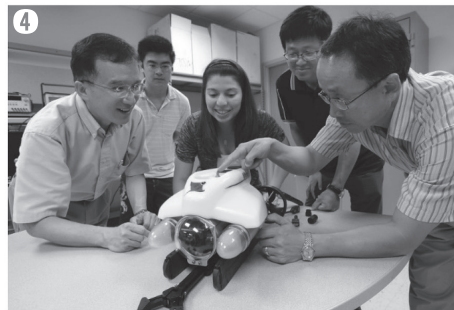
<그림 1> TAMU–CC 캠퍼스 전경



<그림 2> TAMU–CC 캠퍼스 내 학생들과 Palm trees

2,242명 규모이다<그림 2>.

텍사스주는 지역적으로 멕시코와 접경해있어 타주에 비해서 히스패닉계 인구비중이 높은 편인데, TAMU–CC 전체 학생의 40% 이상이 히스패닉 인구로 구성되어 있다. 그래서 TAMU–



<그림 3> TAMU-CC의 다양한 교육 및 연구

①marinebiology ②nursing ③unmanned aerial system ④under water robotics

CC는 미국 대학들 중 Hispanic Serving Institution(HSI)으로 분류되어있고, minority를 대상으로 하는 미국 정부과제들에 지원할수있는 자격을 갖고있다. 한편, TAMU-CC는 학교의 연구능력 강화를 통해 emerging research university 등급으로의 도약을 준비하고있다.

학교내 Research, Commercialization and Outreach Administration(RCO)를 통해 교수들의 미국 정부과제(예 : NSF, NIH, DoD) 제안서 작성지원,미국 특허 출원지원, 연구실적 홍보, 그리고 크고 작은 교내 연구비 지원 프로그램들을 제공하고 있으며,신규 임용된 교원에게는 초기 정착 연구지원비(startup support)도 적절하게 제공하고 있다 (TAMU-CC 연구관련)<그림 3>.

2. Unmanned Aerial System(UAS) 연구 특성화 대학

TAMU-CC는 미국 내에서도 무인 항공 시스템(Unmanned Aerial System) 관련 연구를 선도하는 우수 연구 기관이다. 특히, 미국 연방항공청(Federal Aviation Administration)에서 미국 전역에 걸쳐 6곳 밖에 지정되지 않은 무인항공 시스템 특화 연구기관 중 한곳이며, 무인 항공 시스템 하드웨어 및 소프트웨어 개발, 농업 및 해양 응용 분야에 특화된 무인 항공기 기반 원격탐

사 연구 개발에 대한 전체 역량을 집중하고 있다. 뿐만 아니라 대학 내 텍사스 지역 무인 항공기 관련 인허가 및 기술 지원 센터인 Lone Star UAS Center(LSUASC)가 TAMU-CC 내에 설립되어 있으며, 2016년 11월에는 미국 내 전역에서 교수 및 연구원들이 자유롭게 무인항공기로 비행을 하고 데이터를 취득할 수 있는 미국 연방 인증(Certification of Authorization)을 취득한 몇 안되는 연구기관 중 하나이다. 현재 TAMU-CC에서는 무인 항공 시스템 플랫폼 개발 및 개량을 위한 기계공학, 전기 전자공학, 컴퓨터 공학을 융합하는 연구가 진행되고 있으며, 최종적으로 무인항공 시스템으로 획득한 원격탐사 자료를 효율적으로 처리하는 공간 정보공학 연구가 활발히 진행되고 있다. 2017년 현재 고해상도 광학 카메라, 다분광 센서(SlantRange 3P), 라이다(Riegl VUX-1 Long Range) 등과 같은 다양한 원격탐사 센서가 고정익과 회전익 무인 항공기에 융합되어 운영되고 있다. 특히, 농업 산업이 Texas 주 경제에 기여하는 부분이 큰 만큼, Texas A&M AgriLife 농업연구센터와 무인 항공 시스템으로 획득된 초고 해상도 원격탐사 자료의 농업 활용에 관한 협업 연구들(농작물 생장성 향상, 병충해 방지를 위한 품종 개발, 제한된 수자원 환경에 특화된 품종 개발 등)을 활발하게 진행해 오고 있다. 지금 현재 정진하 박사, 장안진 박사, 염준호 박사를 주축으로 하는 Unmanned System Laboratory(USL)에서 TAMU-CC의 무인 항공 시스템 연구를 주도하고 있으며, 무인



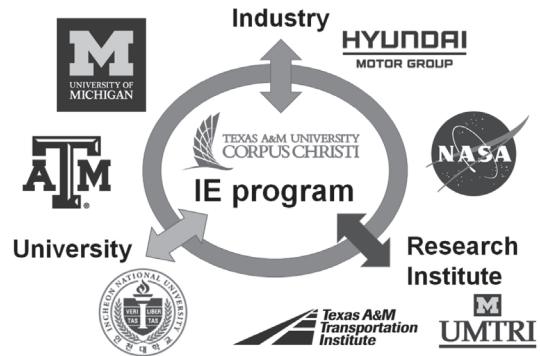
<그림 4> 무인 항공 시스템을 연구 중인 TAMU-CC 연구진
왼쪽에서부터 정진하 교수, 장안진 박사, 염준호 박사

항공 시스템을 기반으로 하는 원격탐사 기술을 농업뿐만 아니라 토목공학, 해양학 등과 같은 다양한 분야로 적용하는 연구도 추진 중이다(그림 4).

3. Industrial Engineering Program

TAMU-CC는 공과대학에서는 현재 3개의 undergraduate degree program(Mechanical Engineering, Electrical Engineering, and Mechanical Engineering Technology)을 제공하고 있고, 저변 지역의 꾸준히 증가하는 공학인 재수요를 만족시키기 위해 다양한 공학 프로그램 개발에 힘쓰고 있다. 특히 최근 5년 동안 공학 학생 수가 40% 이상의 급격한 성장세를 보여 기존의 공학관외에 현재 새로운 제 2공학관의 건설도 진행중이고, 2018~2019학년을 목표로 Industrial Engineering과 Civil Engineering이 신규 프로그램으로 발족하게될 예정이다. 이외에 Texas A&M system 내의 다른 캠퍼스와의 교류 또한 활발히 진행중이어서 온라인 중심의 공학 교육 프로그램의 개발에도 많은 노력을 기울이고 있다.

새롭게 시작되는 IE program에 필요한 교수진으로 이병철 교수(Purdue University, 2013, Industrial Engineering 박사졸)가 2015년, 박장운 교수(POSTECH, 2013, 산업경영공학박사 졸업)가 2016년에 각각 부임하였고, 향후 산업공학 영역 전반에서 우수한 교수님들을 선별해서 충원할 계획에 있다. 현재 TAMU-CC 산업공학 분야에서는 이병철교수가 cognitive ergonomics 관련연구를, 박장운 교수가 physical ergonomics 관련연구를 수행하고 있으며, 주요 연구 주제로서는 자동화 시스템에 대한 신뢰도 이해 및 증진, Driving simulator를 이용한 자율주



<그림 5> TAMU-CC IE program의
인간공학 관련 연구 네트워크

행 시스템에 대한 운전자 행동, 자동차 시트적 합성측정 시스템 개발, 정보과 부하(information overload)의 인간 학습능력에 대한 영향, 3차원 visualization model의 최적화 정보 전달 시스템 개발등을 진행중에 있다. 특히 앞서 언급한 Texas A&M AgriLife와 학교에 인간공학 연구 장비로 STISIM driving simulator, SMI eye tracking system, VICON motion capture system, 그리고 BIOPAC physiological measurement system 등을 갖추고 있으며 현재 신축중인 제 2공학관과는 별도로 올 9월에 완공 예정 인공학 실험관의 완공에 따라 다양한 인간 공학 실험이 가능한 실험실도 갖출 예정이다. TAMU-CC의 IE 프로그램은 다방면의 산학연 연계 시스템을 구축하여 다양한 인간공학관련 연구들을 수행하고 있다(그림 5). 특히, 미국 대학들중 인간공학연구를 선도하고 있는 Texas A&M Univ.-College Station과 University of Michigan과의 연구를 활발히 진행중이며, 또한 세계적인 자동차 인간 공학 연구소로 알려진 Texas A&M Transportation Institute과 University of Michigan Transportation Research Institute과도 공동연구를 수행하고있다. 이 외에 앞서 언급한 무인 항공기 관련해서 무인 항공제어 시스템 디자인 연구도 계획중이며, 농업분야에 있어서도 3차원 phenotyping 모델의 최적 데이터 시각화 방법개발도 진행중에 있다. 최근에는 한국의 기업과도 활발한 공동연구를 수행하고 있다.

아울러, 미국 남부 걸프만 해변의 열대 휴양지의 날씨와 연간 300일 이상의 일조량을 바탕으로 최첨단 센서기술을 도입한 교량자 거주단지를 건설중에 있으며, 이는 단지 경제적 목적 뿐만 아닌 실버산업 관련 다양한 연구를 할수있는 Sensor-



<그림 6> Padre Island National Seashore
(reference: www.nps.gov)



<그림 7> 코퍼스 크리스티 전경 및 미해군 항공모함
USS LEXINGTON(관람용)

basedaging in placetest bed를 구축중이며, 이를 통한 여러 고령자 관련 인간 공학 연구를 진행할 예정이다.

4. 텍사스 남부 한인 과학자 모임

Korean-American Scientists and Engineers Association(KSEA)는 과학과 기술분야에서 활동하고 있는 한국계 미국인들 또는 미국에 거주하는 한국인 과학자들의 활동과 경력개발을 돕기 위해 창설된 기관으로써 대한민국과 미국간의 국제교류를 활성화하고 과학과 기술의 발전을 도모하는데 그 목적을 두고 있다(홈페이지 : <https://kseaa.org/>). 텍사스에는 이미 Austin 지부가 활동하고 있으나 남 텍사스에 있는 유수의 대학들과 전문인력들과의 네트워크에 어려움이 있어 왔기에 지역 한인 및 과학기술에 종사하는 분들의 활동을 돕기 위해 KSEA-Texas Coastal Bend(KTCB)가 2017년 3월 11일 창설되었습니다. 여기에는 현재 Texas A&M University-Corpus Christi, Texas A&M University-Kingsville, 그리고 University of Texas at Rio Grande Valley 등 3개 대학이 주축이 되어 활동하고 있으며 약 40여명의 전문인력이 남 텍사스지역에서의 역량을 확대하기 위해 힘쓰고 있는 가운데 엄두간 교수가 초대 회장으로 섬기고 있다.

5. 코퍼스 크리스티(Corpus Christi)

마지막으로 TAMU-CC가 위치한 코퍼스 크리스티 도시는 텍사스주 동남부 해안에 위치한 텍사스주의 대표적 휴양도시이다. 도시는 텍사스 휴스턴에서 멕시코방향으로 차로 4시간, 달라스에서는 차로 약 7시간 정도의 거리에 위치해 있다. 날씨는 여름이 길고, 일년 내내 온화하기 때문에 겨울에 눈이 오는일이 거의 없다. 특히, 코퍼스 크리스티는 바다경관이 아름다운데, 예

를 들어, Padre Island National Seashore는 국립해안으로 지정되어 보호되고 있으면서 또한 세계에서 유일하게 자동차로 60~70miles 까지 드라이브할 수 있는 긴 해변이다(그림 6). 이외에도 다양한 해상 스포츠를 즐길 수 있어, 텍사스주의 많은 청년들이 방학이나 휴가때 방문하는 텍사스의 대표적인 휴양도시이다. 20세기들어 서부근해에서 석유개발이 이루어지면서 도시는 급격히 성장하였는데, 인구는 2015년 기준 약 32만 명으로 추정되며, 주요산업은 오일 정유산업, 간호, 그리고 관광/휴양산업이 발달되어있다. (그림 7)은 코퍼스 크리스티시의 전경이며, 관람용으로 전시되어있는 USS LEXINGTON 항공모함이다. 볼거리 뿐만아니라 다양한 미국 텍사스-멕시코 퓨전 음식들(줄여서 Tex-Mex)과 싱싱한 해산물들을 직접맛볼 수 있는 먹거리도 풍부한 도시이다. TAMU-CC의 보다 자세한 소개는 학교 홈페이지(<http://www.tamucc.edu/>)를 참고 해주시길 바라며, IE program에 대해 궁금하신 사항이 있으시면 박장운 교수(Jangwoon.park@tamucc.edu)에게 문의 주시길 바랍니다. 감사합니다. 



산업공학과 신임 교수 소개



■ 김 성 준 / 조선대학교 산업공학과 교수

안녕하십니까. 올해 3월부터 조선대학교 산업공학과 조교수로 재직 중인 김성준입니다. 이렇게 IE 매거진 지면을 통해 대한산업공학회 회원님들께 인사드리는 기회를 주셔서 감사합니다. 저는 한양대학교 산업공학과에서 2006년과 2013년에 학사와 박사(석박통합) 학위를 받았습니다. 이후 미국 조지아텍(Georgia Institute of Technology)에서 1년 4개월의 박사 후 과정을 거쳐, 두산중공업 전략기획총괄 산하 Data 분석팀에서 약 2년간 근무하였습니다. 학위 및 박사 후 과정 동안에 가속(수명/열화) 시험 및 분석법을 중심으로 품질/신뢰성공학 이론 및 응용연구를 수행하였고, 전 직장에서는 데이터 기반 제조회사(Digital Factory) 및 운영혁신(Operational Excellence) 지원업무와 발전 플랜트에서 얻어지는 운전센서 데이터를 분석하고 최적화하는 모형의 연구개발 업무를 수행하였습니다.

현재 재직 중인 조선대학교에서는 품질공학, 신뢰성공학, 실험계획, 데이터마이닝 과목을 담당하고 있습니다. 아직 미흡한 점이 많지만 그동안 제가 받은 가르침과 사랑을 되새기면서 학생들이 어떤 문제를 접하더라도 자신있게 대처하고 본인이 희망하는 진로에 용기있게 도전할 수 있도록 역량을 쌓아주고 다양한 경험을 제공하기 위해서 최선을 다하고자 합니다. 저의 주요 관심분야는 (1) 다양한 제약조건과 시장의 Time-to-market에 유연하게 대응하는 신뢰성 시험 및 평가 방법의 개발 및 응용연구와 (2) 대규모 다차원 데이터를 갖는 시스템의 상태기반 감시 및 운영효율화 방법 개발입니다. 이를 통해서, R&D, 제조, 운영 및 유지보수에 이르는 산업시스템의 생애주기에서 발생하는 데이터의 가치를 극대화하고, 유용한 해법과 통찰을 제공하는 것을 목표로 하고 있습니다.

앞으로 교육과 연구 과정에서 선배회원님들께 많은 가르침과 조언을 구하겠습니다. 잘 부탁드립니다. 감사합니다.





■ 손 영 두 / 동국대학교 산업시스템공학과 교수

안녕하세요, 올해 3월에 동국대학교 산업시스템공학과에 새로 부임하게 된 손영두입니다. 새로운 환경에서 정신없이 지내다보니 어느덧 한 학기가 마무리되는 시기가 되었습니다. 아직많은 것을 경험하기에는 짧은 기간이지만, 학과 교수님들께 여러 가지를 배우고 학생들과 함께 수업시간을 만들어가며 즐거운 마음으로 첫 번째 학기를 보냈습니다.

간단히 제 소개를 먼저 드리겠습니다. 저는 포스텍 물리학과 학사, 산업경영공학과 석사를 거쳐 서울대학교 산업공학과에서 박사학위를 받았습니다. 박사학위 기간 동안에는 커널 기반의 베이지안 학습 방법론을 개발하고, 그러한 방법론들을 실제 금융 시장에서 얻은 데이터에 적용하여 수치적인 문제를 해결하는 연구를 수행하였습니다.

현재는 박사학위 기간 중의 연구 주제를 확장하여, 새로운 학습기반 알고리즘의 개발과 그를 통하여 여러 분야에서 발생하는 문제를 해결하는 연구를 진행하고 있습니다. 특히 다양한 학습 알고리즘들이 빠른 속도로 발전되고 있는 현실에 힘입어, 학습 알고리즘이 활발히 적용되기 시작한 제조, 설계, 재료, 바이오 등의 다양한 공학 분야 및 금융, 마케팅 등의 경영 분야의 문제를 해결하기 위한 알고리즘을 개발하는 연구를 진행하고 있습니다. 개인적인 욕심으로는 분야를 더욱 확장하여 심리학, 역사 등 인문 및 사회과학의 문제 및 관심사들을 잘 분석하고 해결할 수 있는 학습 기반 알고리즘을 만드는 것을 꿈꾸고 있습니다.

지금의 제가 있기까지 지도교수님을 비롯하여 너무나 많은 분들의 도움을 받았습니다. 앞으로 제가 받은 이러한 도움들에 대한 감사함을 잊지 않고 늘 다른 분들과 함께하며 도움을 드릴 수 있는 삶을 살 수 있도록, 특히 한국 산업공학 분야에 기여할 수 있도록 노력하겠습니다. 앞으로 여러 선후배 교수님들 및 산업공학 분야 관계자 분들의 많은 관심과 조언 부탁드립니다. 감사합니다.





■ 최 예 림 / 경기대학교 산업경영공학과 교수

안녕하세요. 2017년 1학기에 경기대학교 산업경영공학과에 조교수로 임용된 최예림입니다. 저는 서울대학교 산업공학과에서 학사와 박사를 받았고, 네이버의 선행 기술연구 조직인 네이버랩스에서 data scientist로 근무하였습니다.

학위과정 중인공지능을 이용한 무인 이동체 운용기술, 컨텍스트엔진 개발, 인간 상태 및 행위 추론기법과 같이 산업전반에 인공지능을 응용하는 연구들을 수행하였습니다. 구체적으로, 초기에는 SVM(support vector machine), HMM(hidden Markov model) 등의 shallow learning 기법을 개선하여 다양한 타입의 요인으로 구성된 빅데이터로부터 인간의 상태 및 행동을 모사하는 모델 개발에 초점을 맞춰 연구하였으며, 후기에는 CNN(convolutional neural network)에 기반한 deep learning 기법을응용하여 스마트디바이스에서 수집된 데이터로부터 사용자의 컨텍스트를 추론하는 연구를 수행하였습니다. 네이버랩스에서도 기존의 연구방향을 그대로 이어받아 스마트웨어 러블기기에서 수집된 센서데이터 분석을 통한 사용자 상황추론 기법개발에 참여하였습니다.

인공지능은 인류 전반의 다양한 문제를 해결하는 데에 성공적으로 적용되고 있으며 계속해서 발전하고 있습니다. 최근 machine learning 기법의 발달은 인공 지능 중 추론분야에서의 비약적인 발전을 가져왔습니다.

특히, 데이터의 축적/알고리즘의 발달/연산속도의 증가를 기반으로 가능해진 deep learning은 기존 모델들을 성능 측면에서 압도하여 한동안 의문이 야기되었던 인공지능의 실제 문제에 적용을 가능하게 하고 있습니다. 저는 인간으로부터 생성된 다양한 형태의 데이터를 분석하여 인간과 유사한 혹은 인간보다 우수한 수준의 판단을 할 수 있는 모델 개발에 관심을 갖고 계속해서 연구해 나갈 계획을 갖고 있습니다.

