



아주대학교
AJOU UNIVERSITY

추격형에서 선도형으로의 산업구조 전환을 위한 개념설계 기술

2021.12.07. 아주대학교 시스템공학과 교수 이중윤 (기고)

세계적 상황 - 4차 산업혁명 도래

지금은 4차 산업혁명 시대라는 말이 점차 일상적인 용어가 되고 있습니다. 대통령 직속 4차산업혁명위원회에서는 다음 그림에 표현한 바와 같이 1차 산업혁명부터 4차 산업혁명에 이르기까지 산업혁명 주기가 점점 빨라지며, 기술이 사회, 경제, 산업 등 인간사회에 미치는 영향의 범위와 충격량은 점증해왔다고 보고하고 있습니다.

4차 산업혁명 시대는 복잡한 시스템 개발 역량 필요

현재 진행 중인 4차 산업혁명 시대는 모든 시스템들이 점점 스마트화(지능화)되면서 서로 연결되고 있습니다. 이는 모든 시스템들이 점점 복잡해진다는 의미입니다. 복잡하다는 말은 연결점이 많고 서로 얽혀 있는 상태를 나타냅니다. 즉 초연결 시대에 개발해야 할 시스템은 더 지능화되어 있으며, 서로 더 많이 연결되어 있습니다. 이러한 복잡하고 지능화된 시스템을 개발하는 능력이 4차 산업혁명 시대에 필요한 능력입니다.

우리나라 상황 1- 풍요 속 불안

'4차산업혁명위원회'에서 제공하는 '대정부 권고안'에 의하면 우리나라는 현재 '풍요 속 불안'인 상태라고 합니다. 경제적 관점에서 국민소득 3만 달러, 경제규모 세계 10위권이며, 사회적 관점에서는 세계 최고의 안전성과 기대수명을 이루고 있습니다. 또한 문화적 관점에서 BTS를 비롯한 음악분야, 오징어게임을 비롯한 영화분야 등에서도 세계 최고 수준을 달성하고 있습니다. 경제적, 문화적 관점에서 우리나라는 그야말로 역사상 세계 최고 수준의 풍요를 누리고 있습니다. 그럼에도 불안한 이유는 무엇일까요? 위에서 언급한 '대정부 권고안'에 따르면 불안의 뿌리는 '일자리'입니다. 현재의 일자리뿐만 아니라 미래의 일자리를 생각할 때 현재의 불안은 더해집니다.

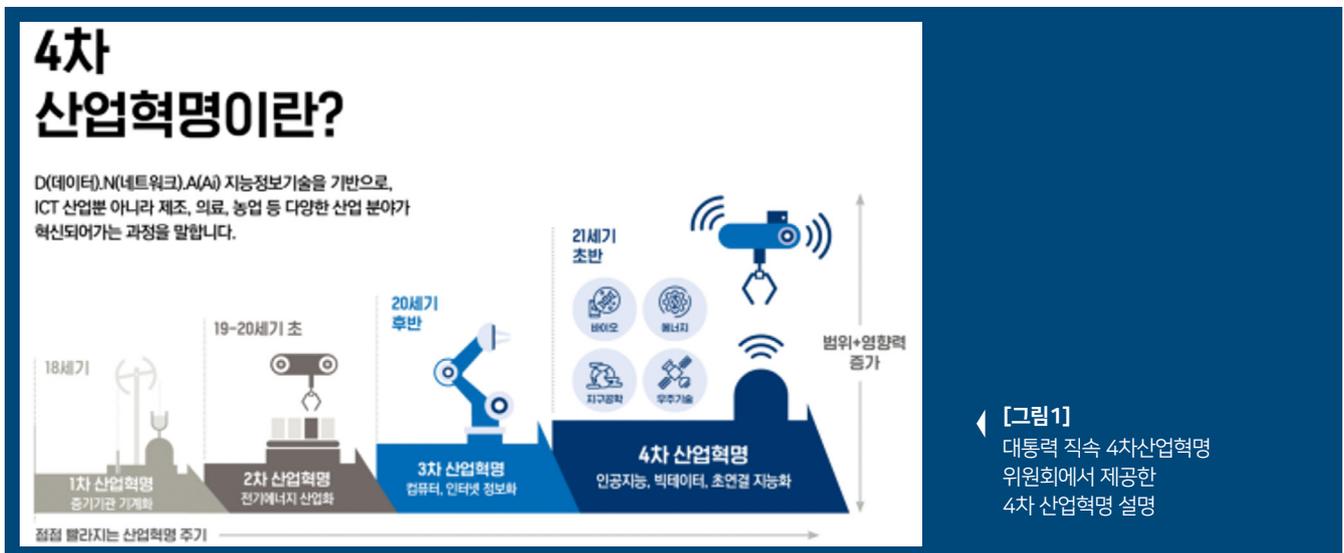
4차 산업혁명은 산업구조를 근본적으로 바꾸면서 일자리 또한 구조적으로 변화시키고 있습니다. 이는 어떤 변화를 말하는

것일까요? 4차 산업혁명은 세계적인 현상이며, 우리나라도 피해갈 수 없습니다. 오히려 그 변화의 선두에 서 있다고 생각하는 사람도 많습니다. 이 4차 산업혁명 시대에는 주로 어떤 일자리가 생겨나고 어떤 사람이 필요할까요? 필자는 일자리 불안의 핵심 요인을 다음 2가지로 생각합니다.

일자리 불안의 이유 1 - '플랫폼 노동'의 증가

일자리 불안을 야기하는 구조적인 변화 중 하나는 고용형태의 변화입니다. 기존에는 기업 중심 고용형태가 대부분이었으나, 일자리의 상당 부분이 새로 등장한 플랫폼 중심 고용형태로 변하고 있습니다. 플랫폼 노동이란 웹사이트나 스마트폰 애플리케이션(앱) 등 온라인 플랫폼을 이용해 일하는 것을 의미합니다. 배달의민족, 요기요, 쿠팡이츠 같은 디지털 플랫폼을 기반으로 이뤄지는 노동을 뜻합니다. 한국고용정보원에서는 '플랫폼 노동'을 디지털 플랫폼의 중개를 통해 일자리를 구하며, 단속적(1회성, 비상시적, 비정기적) 일거리 1건당 일정한 보수를 받으며, 고용계약을 체결하지 않고 일하면서 근로소득을 획득하는 근로 형태라고 정의하고 있습니다. 플랫폼 노동은 배달 노동자 뿐만 아니라 택배 노동자, 가사서비스 노동자 등이 있으나, 세계적으로 보면 엔지니어링 분야를 포함한 다양한 분야로 확장하고 있습니다.

이와 같이 플랫폼 노동의 증가 현상은 국내에서도 점점 더 많은 분야로 확장될 것입니다. 플랫폼 중심 고용형태의 특징은 고용 지속성은 낮으면서 능력 및 수요에 따른 경쟁은 가속화한다는 것입니다. 그 결과 플랫폼 노동이 늘어갈수록 전체적으로 일자리 불안은 증가합니다. 그렇다면 이러한 일자리 불안을 해소할 수 있는 방법은 무엇일까요? 플랫폼 노동의 증가를 억제하고 기업고용을 장려하는 것도 하나의 방법입니다. 하지만 새로운 변화를 제약하는 것은 플랫폼 노동 증가를 지연시키는 것이지 근본적인 조치가 될 수 없습니다. 따라서 이를 해소하기 위해 플랫폼 노동자가 생계에 불안을 느끼지 않도록 생계 지속성을 보장할 수 있는 국가적 조치가 마련되어야 일자리 불안을



근본적으로 낮출 수 있습니다. 이는 본고의 주제가 아니어서 여기서 줄입니다.

일자리 불안의 이유 2 - '추격형 산업구조'의 경쟁력 상실

일자리 불안을 야기하는 구조적인 변화 중 다른 하나는 추격형(Fast Follower) 산업구조의 경쟁력 상실입니다. 추격형 산업구조란 선진 시스템의 설계를 참조하여 개발, 생산 및 판매하는 산업을 의미합니다. 이는 새로운 시스템을 개발할 때 발생할 수 있는 실패비용을 줄일 수 있다는 점에서 매우 효과적인 전략입니다. 특히 낮은 인건비에 기반한 가격경쟁력을 무기로 하는 우리나라는 추격형 산업 전략으로 빠르게 성장해 왔습니다. 반면 선도형(First Mover) 산업구조란 추격형 산업구조에 대비되는 구조로, 기존에 없는 시스템을 선도적으로 개발, 생산 및 판매하는 산업을 의미합니다. 그래서 부가가치가 높은 신시장을 창출하여 세계 시장을 선도하는 산업구조를 의미합니다. 즉, 추격형 산업은 부가가치가 낮으며, 선도형 산업은 부가가치가 높습니다.

최근 우리나라의 경제력 상승에 따라 국내 인건비도 지속적으로 증가하고 있습니다. 따라서 추격형 산업구조로는 더 이상 인건비를 감당하기 어려운 상황이 되었습니다. 그 결과 경쟁력이 낮아진 국내 사업장은 더 낮은 인건비를 찾아 해외로 이전하면서 일자리가 불안하게 되었습니다.

일자리 문제 근본적 해결방안 - 선도형 산업구조로 전환

우리나라의 경제력이 상승함에 따라 인건비가 증가하게 되면, 말단부품 생산자에서 최종제품 생산자에 이르기까지 공급망에 있는 모든 개별 기업이 구매하는 재료비도 같이 증가하게 됩니다. 인건비와 재료비 상승, 즉 투입 원가의 상승을 기업이 감당할 수 없을 때 기업이 취할 수 있는 방안은 인건비가 낮은 해외로 공장을 이전하거나 사업모델을 고부가가치형으로 전환해야 합니다. 만약 회사나 공장을 해외로 이전한다면 이는 곧 일자리가 줄어드는 결과가 됩니다. 따라서 저부가가치 영역인 추격형 산업구조를 고부가가치 영역인 선도형 산업구조로 전환시키는 것이 일자리 불안을 근본적으로 해결하는 방법입니다. 즉 기존에 없는 새로운 시스템을 자체적으로 개발, 생산 및 공급하는 산업구조로 전환해야 합니다.

선도형 산업구조로 전환에 필요한 능력 - 개념설계 능력 (시스템 생명주기 관점에서의 선행단계 엔지니어링 능력)

시스템엔지니어링 분야 국제표준(ISO/IEC/IEEE 24748-1)에서는 다음 그림과 같이 시스템 개념이 최초로 생성되고, 개발, 생산, 운용 및 지원 후 수명이 다되면 폐기되는 과정을 '시스템 생명주기(system life cycle)' 모델로 제시하고 있습니다.



[그림2] 시스템 생명주기 모델 예시
(출처: ISO/IEC/IEEE 24748-1)

시스템 생명주기 모델을 구성하는 단계 중에서 개념단계와 개발단계가 시스템을 만드는 단계, 즉 '엔지니어링 단계'입니다. 엔지니어링 단계 중 앞쪽 단계인 '개념' 단계의 핵심 활동은 이해관계자 요구사항을 수집하고 이에 적합한 운용개념을 개발 및 분석하여 해결방안(solution)을 정의하는 것으로, '개념설계'라고 합니다. 또한 엔지니어링 단계 중 뒤쪽 단계인 '개발' 단계의 핵심 활동은 정의된 해결방안(solution)에 대한 상세설계, 구현, 통합 및 검증하는 활동입니다. 추격형 산업구조에서는 엔지니어링 단계의 뒤쪽 단계인 상세설계 이후 활동이 중심이 되며, 선도형 산업구조에서는 첫 단계인 '개념설계' 활동이 중심이 됩니다. 특히 **신시장을 창출하기 위해 기존에 없는 새로운 시스템에 대한 '개념설계'가 중요합니다.** 즉, **선도형 산업구조로 전환하는 데 필요한 능력은 기존에 없는 새로운 시스템에 대한 '개념설계' 능력이 핵심역량**이며 이 부분이 우리나라 산업에서 부족한 부분입니다. 새로운 시스템이라고 하더라도 개념설계가 완료된 이후 단계인 상세설계부터는 우리가 이미 잘하고 있는 부분이며, 기존 시스템에 대한 상세설계 능력으로 잘 수행할 수 있습니다.

- 생명주기의 앞쪽 단계일수록 설계자유도가 높으며 창의력을 자유롭게 발휘할 수 있는 고부가가치 단계

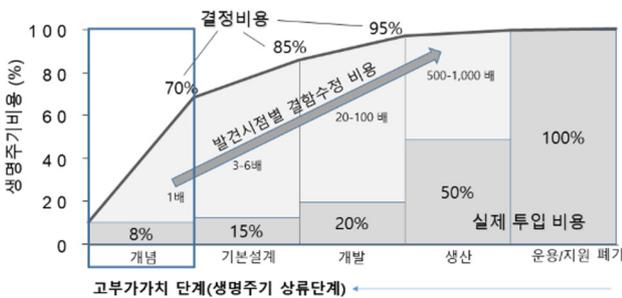
시스템 생명주기 모델에서 각 단계에는 해당 분야에 종사하는 산업이 형성되어 있습니다. '공중이동 무인자동차'를 예로 들면 '공중이동 무인자동차'라는 새로운 개념을 수립하는 개념설계 사업(우리나라에서는 개념설계 컨설팅 사업이라고도 함), 개념설계 결과를 반영하여 상세설계 사업, 구현, 통합 및 검증 과정을 거쳐 공중이동 무인자동차를 만드는 개발 사업, 무인자동차 생산 사업(부품 관련 사업 포함), 무인자동차 운용 서비스 사업, 무인자동차 지원 사업[지도서비스 등 자동차 사용 지원 사업, 무인자동차 유지보수(정비) 사업], 무인자동차 폐기 사업 등이 있습니다. 항공우주, 조선, 국방, 철도, 플랜트, 에너지, 의료, 식품, 재료, 미용, 장난감 등 다른 응용분야도 마찬가지로 생명주기 모델 각 단계별로 관련 산업이 형성되어 있습니다.

이 생명주기 단계의 일반적 특징 중 하나는 앞쪽 단계에 위치한 산업일수록 고부가가치 산업이며, 뒤쪽 단계일수록 부가가치가 낮다는 것입니다. 통상 앞쪽 단계 산업일수록 투입인력의 단위시간당 단가가 높습니다. 왜냐하면 앞쪽 단계일수록 더 많은 지식이 요구되며, 이러한 지식을 갖춘 인력은 인건비가 높기 때문입니다. 그런데 앞쪽 단계일수록 새로운 개념, 창의성을 자유롭게 펼칠 수 있으며 시스템이 일생 동안 발휘하는 효과성의 대부분은 개념단계에서 결정됩니다. 따라서 앞쪽 단계에서는 투입하는 단위당 인건비가 높음에도 불구하고 가장 높은 부가가치를 창출하는 것입니다. 이 내용을 그래프를 활용하여 설명하면 보다 명확해 집니다. 다음 그림은 미국방획득대학교(DAU)에서 연구한 결과를 국제시스템엔지니어링협회

(INCOSE) 핸드북에 수록한 것을 재인용하여 번역한 것입니다. 이 그림에서 '개념'단계에 실제로 투입하는 비용은 총생명주기비용의 8%에 불과하지만, 이 단계에서 결정하는 비용은 총생명주기비용의 70%에 이른다든 연구결과를 나타내고 있습니다. 즉, 앞쪽 단계일수록 작은 투입비용으로 중요한(부가가치가 큰) 의사결정을 수행합니다. 이를 간단히 말하면 앞쪽 단계 활동일수록 고부가가치 활동이 된다는 의미입니다.

-생명주기의뒤쪽단계일수록설계자유도는낮아지며,결합 수정 비용은 기하급수적으로 증가

다음 그림은 시스템 결함을 발견하여 수정하는 비용이 뒤쪽 단계로 갈수록 기하급수적으로 커져 개념단계의 결함 수정 비용에 비해 최대 1,000배에 달한다는 것을 나타내고 있습니다.



[그림3] 시스템 생명주기 단계별 투입비용과 결정비용 비교 (출처: 미국방위특대학교(DAU))

-선도형 산업구조란 창의성을 기반으로 도전적인 기술개발이 중심이 되는 산업구조

선도형 산업구조로 전환한다는 것은 다른 나라가 만들어 놓은 좋은 제품 및 서비스 개념을 벤치마킹하여 상세설계 이후 단계부터 자체 개발 및 생산·운영하던 추격형 산업에서 이전에 없던 새로운 제품 및 서비스 개념을 개발하는 유형으로 산업의 중심이 바뀌는 것을 의미합니다. 개념설계 중심으로 산업구조가 바뀐다고 하더라도 상세설계 및 생산단계의 산업은 가격 경쟁력을 고려하여 필요시 외주 전략을 선택할 수 있습니다. 결론적으로 선도형 산업구조란 생명주기의 후행단계 중심에서 선행단계 중심, 즉 고부가가치 활동 중심으로 산업구조가 바뀌는 것을 의미합니다. 이와 같이 산업구조가 고부가가치 활동 중심으로 전환되면 개념단계 엔지니어링 역량이 높아지면서 이전에 없는 새로운 시스템을 우리나라가 직접 개발하여 완전히 새로운 시장을 창출할 수 있습니다.

- 우리나라 여러 산업에서 개념설계 역량 확보를 위한 전략 수립 필요

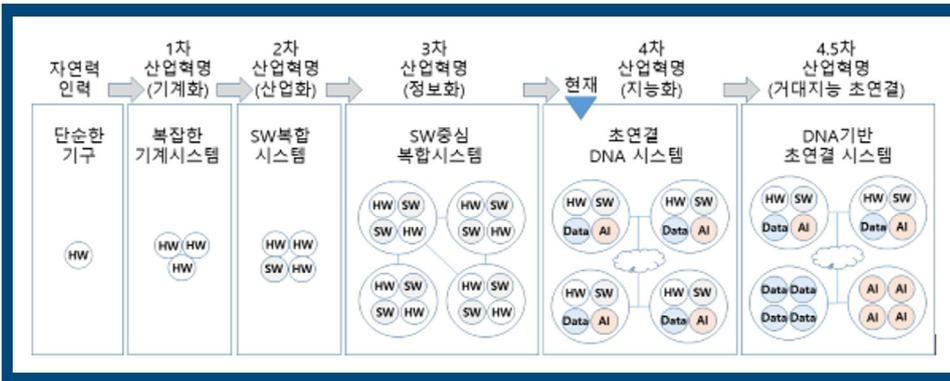
국가차원의 산업구조 고도화라는 필요가 절실해지기 전에, 짧게는 10년 길게는 20년 전부터 항공우주, 자동차, 철도,

조선, 국방, 플랜트, 에너지 등 대형복합 시스템을 개발하는 산업을 중심으로 개념설계 수행 역량을 키워야 한다는 목소리가 지속적으로 제기되어 왔습니다. 예를 들어 2010년대 중순에 발생한 조선해양플랜트 산업 위기의 핵심 요인은 개념설계[해당 산업에서는 FEED(Front End Engineering and Design)라고 함] 역량이 부족하여 정확한 견적가를 추산하지 못함으로써 과열 경쟁이 가능하였고, 저가로 사업을 수주한 경우에는 사업적 타당성이 부족한 사업을 수주한 것이라 아무리 노력해도 대형 손실을 야기하는 결과가 발생했습니다. 당시에는 개념설계 역량 부족을 핵심 원인 중 하나로 분석하여 개념설계 역량 향상이 필요하다는 보도가 많았습니다. 이러한 필요에 따라 각종 산업에서 개념설계 역량을 향상하기 위해 노력해오고 있으며 산발적 성공사례에 대한 보고가 있음에도 불구하고, 전체적으로는 신시장을 개척할 수 있는 도전적 연구개발을 기피하고 있다는 인식이 팽배한 것이 현실입니다. 이는 여전히 개념설계 역량이 부족함을 반증하고 있습니다. 결국 시장 스스로 개념설계 역량을 확보하고, 선도형 산업구조로 변화되기에는 앞으로 얼마나 더 많은 시간이 필요할지 모릅니다. 따라서 급변하는 기술환경 변화 속에서 살아남기 위해서는 국가전략 수준의 개념설계 역량 확보 대책이 긴요합니다.

우리나라 상황 2 - 4차 산업혁명 시대에 대응하기 위해 데이터, 네트워크, 인공지능(DATA, NETWORK, AI)의 첫 자리를 축약하여 DNA라 함) 기술을 활용하는 새로운 시스템 개발 능력 확보 필요

4차 산업혁명 시대에는 개념설계 능력이 더욱 중요합니다. 4차 산업혁명 시대에는 DNA 기술을 포함한 신기술을 응용하여, 기존에 없는 완전히 새로운 시스템을 개발하여 새로운 시장을 개척해야 경쟁력을 가집니다. 그야말로 전례 없는 '완전한 새로운 시스템'이 필요합니다. 일부는 기존 시스템에 DNA 기술을 접목하는 방식으로 개발할 수 있습니다. 이 경우에도 새로운 시스템의 운용개념을 새로 정의해야 합니다. 즉 기존 시스템에 신기술을 접목하는 경우에도 새로운 시스템 개발과 같이 개념설계 단계를 거쳐야 합니다.

그림은 HW/SW 기술과 DNA 기술의 관점에서 필자가 생각하는 시스템의 진화 개념을 산업혁명의 단계에 따라 제시한 것입니다.이 그림의 첫 번째 단계에서 단순한 기구란 돌도끼, 마차 등 인력 및 동물의 힘을 활용하는 기계를 의미하며, (1) 1차 산업혁명 시대의 복잡한 기계시스템이란 증기기관을 활용한 기차나 자동차, 공장 등을 의미합니다. (2) 2차 산업혁명 시대의 SW 복합시스템이란 전기에너지 및 기계의 단순 동작을 제어하는 프로그램을 활용하는 시스템을 포함합니다. (3) 3차 산업혁명 시대, 즉 정보화 시대의 SW 중심 복합시스템이란 시스템 기능이 HW보다 SW에 의해 대부분 수행되는 복합시스템을 말합니다. (4) 현재 단계를 의미하는 4차 산업혁명 단계에서는 DNA



[그림4]
HW/SW 기술과 DNA 기술의 관점에서 시스템 진화 개념

기술을 활용하는 개별 시스템의 연결이 급격히 증가되어 초연결 스마트 시스템들이 등장하는 것으로 구분하였습니다. 이러한 구분은 이제 일반화된 구분입니다. 하지만 필자는 이 구분에 한 단계를 추가하여 보았습니다. 즉 조금 더 진화된 미래에는 DNA 기능이 국가 수준 또는 세계 수준에서 중앙집중화된 플랫폼으로 발전하고, 개별시스템은 거대 인공지능 플랫폼과 거대 데이터 플랫폼에 접속하여 초연결이 극대화된다고 보고, '거대지능 초연결' 단계를 4.5차 산업혁명으로 추가하였습니다.

이 단계에서는 시스템 개별로 분산된 데이터와 인공지능 기능이 계통별로 집대성되어 응용영역의 구분없이 활용가치가 증가할 것입니다. 이러한 효용가치 증가 속성으로 인해 응집하는 경향이 증가하고, 데이터와 인공지능이 응집되면 국가 및 세계 수준에서 초연결된 거대 복합시스템(System of Systems, SoS)이 등장할 것입니다. 이는 시스템 각각이 지능화되고 연결되는 4 단계 대비 상위 수준의 시스템이 등장한 것으로 볼 수 있습니다. 이때는 산업의 개념이 전혀 다르게 변할 것으로 생각하여 별도로 구분할 필요가 있다고 생각합니다. 하지만 거대지능 초연결 복합시스템은 동종 지능계통을 집대성한 시스템이어서 5차로 구분하지 않고 4.5차로 구분하였습니다. 한마디로 4차 산업혁명 초입에서 이미 또 다른 차원의 기술진화를 예측할 수 있을 정도로 기술환경은 급격히 진화하고 있습니다. 이와 같이 급변하는 기술환경에서 새로운 시스템을 주도적으로 개발할 수 없다면 산업 경쟁력을 유지할 수 있을까요?

데이터, 네트워크, 인공지능(DNA) 등의 신기술을 활용하는 새로운 시스템을 개발하는 핵심역량 역시 개념설계 능력

우리나라에서 4차 산업혁명 시대를 맞이하여 DNA 기술의 중요성을 인식하고, 모든 산업(응용) 영역별로 이에 대해 대대적인 노력을 경주하고 있습니다. 하지만 앞서 논한 바와 같이 새로운 시스템을 개발하는 핵심 능력인 개념설계 능력 없는 새로운 시스템을 성공적으로 개발하기가 어렵습니다. 시스템의 규모가 작다면 한두 사람의 천재성과 노력으로 새로운 시스템을 성공적으로 개발할 수 있습니다. 하지만 현대 시스템은 매우 복잡합니다. 특히 DNA 기술을 기반으로 하는 초연결 시대의 시스템 복잡성은 몇 사람의 천재성으로 해결하기는 매우 어려우며, 체계적인 엔지니어링 활동으로 문제를 정의하고 해결할 수 있습니다. 이와 같이 새로운 시스템을 성공적으로

개발하는 기술이 하나의 학문으로 집대성되어 있는데 이를 '시스템엔지니어링(systems engineering, SE)'이라 합니다.

시스템을 성공적으로 개발하는 기술 - 시스템엔지니어링 (Systems Engineering, SE)

국제시스템엔지니어링협회(INCOSE)에서 정의한 바에 따르면 시스템엔지니어링은 새로운 시스템을 성공적으로 개발하기 위한 학제융합적인 개발방법입니다. 시스템엔지니어링 기술은 1900년대에 미국의 벨연구소에서 태동하여, 새로운 국방시스템 및 우주시스템을 성공적으로 개발하기 위한 기술로 활용되며 발전해 왔습니다.

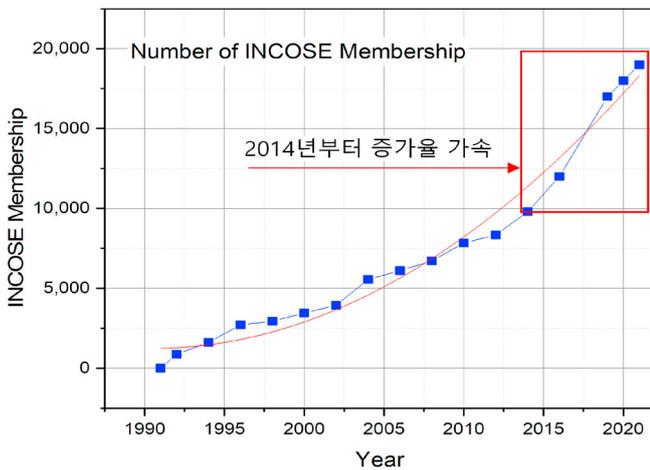
시스템엔지니어링의 핵심 내용 - 개념설계(상류) 단계의 '시스템 수준 설계' 활동과 상세설계 이후(하류) 단계의 '개발관리' 활동

시스템엔지니어링 주요 활동은 생명주기 상류의 '개념설계' 활동과 하류 활동인 상세설계 이후 '개발관리' 활동으로 구분하여 설명할 수 있습니다. 새로운 시스템 개발의 성패를 결정하는 단계는 개념설계 단계라고 하였습니다. 개념설계 단계의 주요 활동은 요구사항 정의와 시스템 수준 설계(다른 말로 '시스템 아키텍처 설계')입니다. 또한 그 후 하류단계에서는 상세설계, 구현, 통합 및 검정 활동을 종합적으로 관리하는 '개발관리'가 주요 업무입니다.

시스템엔지니어링(SE) 발전 양상

국제시스템엔지니어링협회(INCOSE) 홈페이지(www.incose.org)에서는 '시스템엔지니어링'을 새로운 시스템을 성공적으로 창조하는 핵심기술이라고 하며, 시스템 개념, 아키텍처 및 설계를 책임진다고 서술하고 있습니다.

국제시스템엔지니어링협회(INCOSE)의 회원수는 설립원년인 1991년 이후 오늘까지 지속적으로 회원이 증가하고 있습니다. 특히 2014년 이후부터는 더 빠르게 증가하고 있는데, 필자는 그 이유를 디지털화의 영향으로 복잡성이 더욱 증가하면서 시스템엔지니어링에 대한 세계적 관심이 더욱 커진 결과로 추정합니다. 전체 회원은 약 19,000명 수준이며, 약 80개 국가에 분포하지만 대부분의 회원들은 미국, 영국, 프랑스 및 호주 등의 선진국이 대부분을 차지합니다. 이는 고부가가치 산업을 주도한



[그림5] 국제시스템엔지니어링협회 회원 증가 추세
(출처: www.incose.org)

선진국에서 개념설계의 중요성을 인지하고 있기 때문에 나타나는 자연스러운 현상입니다.

우리나라의 시스템엔지니어링(SE) 교육 및 기술교류 활동 현황 - 매우 낮은 수준

아쉽게도 우리나라 국제시스템엔지니어링협회(INCOSE)의 금년도 회원 수는 9명에 불과합니다. 이는 전체 회원수 19,400명 대비 0.05% 수준입니다. 이는 우리나라 산업 전반에서 갖고 있는 시스템엔지니어링에 대한 관심도를 보여주는 것으로 세계 10위의 경제규모를 생각할 때 지나치게 낮다고 볼 수 있습니다.

- 한국의 시스템엔지니어링(SE) 학위과정 설치 대학교는 아주대학교가 유일

Wiki¹에 수록된 시스템엔지니어링 학위 프로그램이 있는 대학교의 수는 유럽에 70개, 미국에 99개, 그 외 대륙에 132개로, 총 321개의 대학이 있습니다. 인접 국가인 일본과 중국의 경우를 보면 일본은 게이오대학을 비롯한 4개 대학, 중국은 칭화대를 비롯한 3개 대학에서 시스템엔지니어링 학위과정을 개설하고 있습니다. 이에 비해 한국에서 시스템엔지니어링 학위 프로그램이 있는 대학교는 아주대학교가 유일하며, 최근 KAIST, 고려대학교, 육해공군사관학교에서 시스템엔지니어링 관련하여 한두 과목을 개설하고 있는 수준입니다.

우리나라 산업현장의 시스템엔지니어링(SE) 적용 현황 - 고부가가치 상류단계 활동인 개념설계 보다 하류단계인 상세설계 이후 단계의 개발관리에 치중

항공우주, 국방, 철도, 원자력 등을 비롯한 우리나라의 여러 산업에서도 시스템엔지니어링을 적용하려는 노력을 많이 해오고 있습니다. 하지만 개념설계에 중점을 두기 보다는 대부분 개발관리, 즉 요구사항관리, 형상관리, 비용관리, 일정관리 등에 중점을 두고 있습니다. 대규모 투자가 일어나는 상세설계 이후

단계에서 시스템엔지니어링의 핵심 업무는 이러한 개발관리가 맞습니다. 하지만 선도형 산업구조로 전환하기 위해서는 도전적이고 창의적인 개념을 개발, 분석, 정의할 수 있는 개념설계 역량을 향상 시키는 것이 중요합니다.

충실한 개념설계에 기반하지 않은 개발관리 활동은 산업 현장에서 불필요한 덧일로 인식 팽배

여러 산업에서 시스템엔지니어링 기술을 적용하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있으나, 개념설계의 충실도가 낮은 상태에서 개발관리 활동을 수행하는 경우에는 개발관리 활동의 실효성이 떨어지는 문제점이 발생합니다. 그 이유는 개발관리 활동의 기반이 되는 시스템 아키텍처를 사전에(상세설계 이전에 선행하여) 명확하게 개발하고, 이 시스템 아키텍처를 중심으로 상세설계 이후 단계의 개발관리를 수행해야 실효성이 발생하기 때문입니다.

최근 우리나라 여러 산업현장에서는 시스템엔지니어링의 범위 자체를 개발관리에 한정해서 인식하고, 그러한 인식하에서 계약하고 실시하는 경우가 점점 더 많아지고 있습니다. 시스템 아키텍처가 불명확한 상태에서 개발관리를 수행하는 경우, 대부분 개발 활동을 뒤따라가면서 개발정보를 종합하여 개발관리 산출물을 만드는 덧일을 수행하는 형태로 진행하게 됩니다. 즉 시스템 개발 프로젝트에서 엔지니어들이 개발관리 업무를 실제 시스템 개발에 필요한 필수적인 업무가 아니라, 불필요한 일인데 규정 또는 협약 때문에 할 수 없이 수행하는 덧일로 인식하게 됩니다.

한번 더 강조하면, 사업책임자는 자신이 정의한 개발 프로세스에 따라 실제 개발관리를 수행하는 것과 별도로, 협약에 정의된 시스템엔지니어링 과업을 이행하기 위해 개발 활동을 뒤따라가면서 개발 산출물을 정리하는 형식으로 시스템 엔지니어링 수행 산출물을 개발하는 경우가 많습니다. 필자는 이러한 현상이 우리나라의 여러 산업에서 만연되어 있다고 생각합니다.

이러한 문제점을 타개하기 위해서는 첫째, 개념설계 결과물인 시스템 아키텍처를 올바르게 개발해야 하고, 둘째, 사업책임자는 시스템 아키텍처를 이해하고 활용할 수 있는 능력이 있어야 하며, 셋째, 시스템 아키텍처를 활용하여 상세설계 이후 단계의 설계, 구현, 통합 및 검증 활동 등을 포함하는 개발업무에 대한 개발관리 계획서인 시스템엔지니어링관리계획서(Systems Engineering Management Plan, SEMP)를 효과적으로 수립 및 실행할 수 있어야 합니다. 이러한 상황인식은 필자가 20년 이상 다양한 산업을 경험하면서 얻은 개인적 판단입니다. 또한 위 세가지 타개방안이 현실에서 작동할 수 있으려면 사업책임자를 포함한 몇몇 엔지니어들의 의지만으로는 지속적 성과를 거두기가 부족하며 다음에 설명하는 시스템엔지니어링 도구를 포함한 지원 환경구축이 필요합니다.

¹Wiki : https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_systems_engineering_universities

개념설계를 잘하면, 하류단계 개발관리의 기준이 되는 시스템 아키텍처 확보 가능

개념설계의 주요 내용은 시스템 수준의 설계 내용입니다. 즉 시스템 수준과 상세 수준을 구분하여 시스템 수준의 설계를 수행한다는 의미입니다. 시스템 수준의 설계 결과를 '시스템 아키텍처'라 합니다. 이 시스템 아키텍처는 하류단계, 즉 상세설계 이후 단계에의 개발 목표를 할당하는 설계입니다. 또한 시스템 아키텍처는 상세설계 이후의 모든 설계정보를 통합하며 설계변경을 관리하기 위한 기준을 제공합니다. 즉 하류단계 개발관리를 잘하기 위해서도 개념설계를 잘 수행해야 하며, 그 결과로 개발관리의 기준이 되는 시스템 아키텍처를 확보할 수 있습니다.

개념설계 실효성을 높이려면 프로세스(P), 방법(M), 도구(T) 및 환경(E), 즉 PMTE 구축 필요

시스템엔지니어링의 권위자 중 한명인 James N. Martin은 시스템엔지니어링 역량을 구비하기 위해서는 프로세스(P), 방법(M), 도구(T) 및 환경(E), 즉 PMTE의 각 요소를 상호 적합하게 구현해야 한다고 주장했습니다. 다음은 PMTE의 각 요소가 상호 적합하게 지원하는 엔지니어링 체계를 구축하기 위하여 필자가 제안하는 방법입니다.

첫째, 산업별(또는 응용도메인별), 엔지니어링 체계의 기본 틀 (framework)인 엔지니어링 생명주기(engineering life cycle) 단계 및 단계별 완료기준을 정의합니다. 엔지니어링 생명주기 단계와 단계별 완료기준은 새로운 시스템 개발 사업의 기술적 위험과 투자 위험을 분산시켜, 개념설계 단계에 도전적인 과제를 시도할 수 있도록 유도합니다. 그뿐만 아니라 선도형 산업구조로 전환하기 위한 핵심역량인 개념설계 역량 향상에 초점을 둔 투자를 가능하게 합니다.

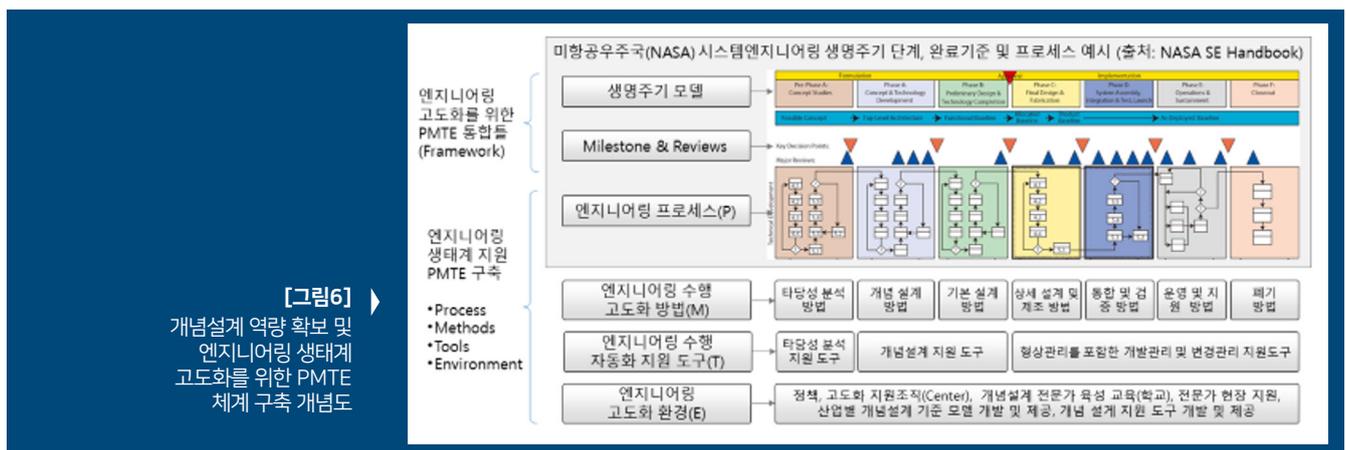
둘째, 각 산업별로 개념설계 수행 프로세스(P), 방법(M) 및 도구(T)를 개발하여 제공합니다. 필자가 20년 이상 여러 산업에서 개념설계 역량 확보를 위해 협력적 노력을 같이 수행한 결과, 개념설계 역량 확보는 쉽지 않습니다. 특히, 엔지니어들이 직접 실효성을 느끼기는 매우 어렵습니다. 여러 산업에서 각종 조직들이 나름대로 개념설계 역량을 확보하기 위한 노력을 해오고 있으나, 개념설계 결과물은 실물로 보이지 않고 말

그대로 개념적, 추상적이어서 그 품질에 대한 판단이 쉽지 않습니다. 또한 개념설계 수행 프로세스(P), 방법(M) 및 도구(T)가 적합하게 구비되지 않아서 실효성이 매우 낮은 경우가 많습니다. 즉 여러 산업 분야에서 스스로 개념설계 역량을 확보하는 것이 쉽지 않습니다. 따라서 이 개념설계 역량 확보를 위해서는 정부가 주도하여 개념설계 진입장벽을 낮출 필요가 있습니다. 즉 정부주도로 산업별 개념설계 수행 프로세스(P), 방법(M) 및 도구(T)를 제공하는 표준화된 플랫폼을 개발하여 지속적으로 지원할 필요가 있습니다.

[그림 6]은 미항공우주국(NASA)에서 수행하고 있는 시스템 엔지니어링 생명주기 단계와 단계별 완료기준 및 엔지니어링 프로세스 그림을 활용하여 엔지니어링 고도화 방안을 제시한 것입니다. 그림의 윗 부분에 엔지니어링 고도화를 위하여 산업별로 PMTE를 통합하기 위한 기준틀(Framework)을 제정하는 부분을 별도로 구분하였습니다. 이는 산업별로 생명주기 단계를 다르게 구분할 필요가 있으며, 그에 따라 완료기준도 달라지기 때문입니다. PMTE 통합틀(Framework) 아래 부분에는 산업별로 수립된 생명주기 단계별 완료기준을 충족시키기 위한 프로세스(P), 방법(M) 및 도구(T)를 제공하며, 지원조직 및 교육을 포함한 환경(E)도 적합하게 제공함을 나타내고 있습니다. 즉 본고의 핵심 주제인 개념설계 수행에 적합한 PMTE를 구비해야 개념설계 역량을 확보하여 선도형 산업구조로 전환할 수 있다는 의미입니다. 시스템이 더 복잡하고 개발 난이도가 높을수록 개념단계를 더 세분화하여 위험을 분산시킵니다. 그림에 나타난 미항공우주국(NASA)에서 개발하는 시스템도 개발난이도가 높기 때문에 개념단계(상류단계)를 타당성분석, 개념설계, 기본설계의 3단계로 구분하여 운영하면서 개발 위험을 분산시키고 있습니다. 상류단계의 세분화에 대한 내용은 본고의 주제가 아니어서 여기서 줄입니다.

정부주도 개념설계 지원체계인 '개념설계 플랫폼' 개발 및 '개념설계 지원센터' 구축 필요

개념설계 수행 프로세스(P), 방법(M) 및 도구(T)를 제공하는 지원체계를 '개념설계 지원 플랫폼'이라고 하겠습니다. 이 '개념설계 지원 플랫폼'을 통하여 개념설계 동안 사용하는 언어,



즉 '시스템 수준', '아키텍처', '운영관점', '기능관점' 등과 같은 개념설계 언어를 빠르게 정착시킬 수 있습니다. 또한 이 플랫폼에서는 다양한 개념설계 모범사례를 개발 및 제공하여, 유사 응용시스템에 대한 개념설계를 따라 수행할 수 있는 학습 기회를 제공할 수 있어야 합니다. '개념설계 지원 플랫폼'을 통해 개념설계 수행의 진입장벽을 낮추면, 산업분야별로 개념설계 활동이 일반적인 업무가 될 것입니다. 이와 같이 개념설계 활동을 일상적으로 수행하는 상태에 도달해야 도전적인 새로운 시스템 개발 시도가 많아지며, 고부가가치의 새로운 시스템 개발 산업이 중심이 되는 산업 생태계를 구축할 수 있습니다. 이 '개념설계 지원 플랫폼'을 운영하는 조직을 편의상 '개념설계 지원 센터'라 하겠습니다. 이 '개념설계 지원 센터'는 각 산업별(응용영역별)로 적합한 개념설계 프로세스(P), 방법(M) 및 도구(T)를 즉 '개념설계 지원 플랫폼'을 개발하고 특정 시스템의 개념설계 현장에 적합하게 플랫폼 활용을 지원하는 서비스를 지속적으로 제공하는 역할을 수행해야 합니다. 개념설계 진입장벽을 낮추기 위해서 우리나라 엔지니어들이 쉽게 사용할 수 있는 방법과 도구를 제공하는 것이 특히 중요합니다.

선도형 산업구조 전환 기반인 아키텍트 양성을 위한 시스템엔지니어링 교육 확대 필요

장기적으로 산업별로 개념설계 역량 향상을 위하여 시스템 엔지니어링 교육을 확대해야 합니다. 개념설계 수행 프로세스(P), 방법(M) 및 도구(T)가 모두 마련되어 있다고 하더라도 이를 활용하여 개념설계를 수행하는 사람은 엔지니어입니다. 시스템에 대한 개념설계의 핵심 결과물은 시스템 아키텍처(System Architecture)라하며, 시스템 아키텍처를 설계하는 엔지니어를 시스템 아키텍트(System Architect)라고 합니다. 선도형 산업구조로 바꾸는 핵심 과업 중 하나는 산업별로 시스템 아키텍트를 육성하는 것입니다. 극소수의 국내 대기업에서는 자체적으로 아키텍트를 육성하는 전문화된 사내교육이 있으나, 산업구조를 바꾸기 위해서는 국가차원에서 국내 주요 대학에 시스템엔지니어링 학위 과정을 적극적으로 확대할 필요가 있습니다. 하지만 장기적 정책과 별도로 단기효과를 거두기 위해 '개념설계 지원 교육센터' 등을 설립하여 당장의 개념설계 교육 수요를 발굴하고 지원할 필요가 있습니다.

결론 - 선도형 산업구조로 전환을 위한 제언

선도형 산업구조 정의: "고부가가치 단계인 개념설계 역량 확보를 통해 DNA 기술 등의 신기술과 융합된 완전히 새로운 제품 및 서비스 개발을 선도함으로써 기존에 없는 새로운 시장을 창출하는 산업구조" (DNA 기술 등의 전문분야 신기술 발전방안은 본고에서 다루지 않음)

선도형 산업구조로 전환하기 위해 국가가 주도적으로 산업별 개념설계 역량을 확보하려면 다음 과업을 수행해야 합니다.

- 산업별로 선도형 산업구조로 고도화를 위한 방안으로 산업별 개념설계 역량 향상에 필요한 정책 및 규정 보완
- 산업별로 개념설계 수행에 필요한 프로세스(P), 방법(M) 및 도구(T)를 제공하는 산업별 '개념설계 지원 플랫폼'을 개발 및 제공
- 산업별 응용영역별 미래개념 개발 및 하향식(Top-Down) 미래 복합시스템(SoS) 정의 방법개발
- 산업별(응용 시스템별) 전형적인 개념설계 사례 개발
- 산업별(응용 시스템별) 개념설계 교육 소요 발굴 및 지원
- '개념설계 지원 플랫폼'의 활용 직접 지원 서비스 제공

정부는 우선 이러한 과업을 전담 수행하는 '개념설계 지원 센터'를 설립하고, 장기적으로 개념설계 전문기술을 교육하는 시스템엔지니어링 학위 과정을 국내 주요 대학에 적극적으로 확대 신설하는 노력이 필요합니다.



이중운 교수, 아주대학교

첨단 시스템 공학,
Smart System Architecture Design,
Capability Engineering(JCIDS)

다쏘시스템의 3DEXPERIENCE 플랫폼은 12개 산업에 서비스를 제공하는 브랜드 애플리케이션을 강화하고 풍부한 산업 솔루션 익스피리언스 포트폴리오를 제공합니다.

3DEXPERIENCE 기업인 다쏘시스템은 인류의 진보를 위한 촉매제입니다. 다쏘시스템은 현재와 미래의 지속가능한 혁신을 상상할 수 있는 가상 세계를 기업과 사람들에게 제공합니다. 3DEXPERIENCE 플랫폼 및 애플리케이션으로 실제 세계의 '버추얼, 익스피리언스 트윈'을 구현함으로써 고객의 혁신, 학습 및 생산의 경계를 넓힙니다. 2만여 명의 직원으로 구성된 다쏘시스템은 140개 이상의 국가의 모든 산업 분야에서 29만개 이상의 크고 작은 기업 고객에게 가치를 제공하고 있습니다 자세한 내용은 www.3ds.com을 참조하세요.

