

디지털 트윈 기술 기반의 제품 설계 소개

Introduction to Design of Products based on Digital Twin Technology

1. 서론

최근에 데이터를 기반으로 하는 제품 디자인의 새로운 패러다임이 등장하면서 설계 과정은 점점 더 디지털화되고 있다. 예를 들어, 디지털 디자인 패키지 (CAD, FEA, CAE, CAM 등)의 범용 응용 프로그램을 통해 가상의 공간(virtual space)에서 제품의 모델링과 해석, 설계, 제조가 가능해졌다. 시장에 출시된 스마트 제품들은 Internet of Things(IoT) 기술을 통해 제품 사용과 관련된 데이터가 실시간으로 ‘클라우드(cloud)’로 전송되고 제품 사용자에게 대한 정보, 사용 패턴, 제품 성능 등에 관한 방대한 양의 데이터가 축적되고 있다.

가상/디지털 공간에서는 제품 형상의 모델링, 거동 해석을 통한 제품의 성능의 최적화 과정이 이루어지고 실제/물리적 공간(physical space)에서는 제품이 최종 사용자(end user)에 의해 사용되면서 제품의 성능, 거동 및 사용자와의 상호 작용은 센서 및 액추에이터에 의해 제어된다. 가상의 공간과 실제 공간에서의 제품은 각각의 공간에서 서로 분리되어 구축되고 업그레이드되면서 두 공간 사이의 큰 간극이 발생함에도 불구하고, 제품 생애 주기(설계, 생산, 사용, 폐기 등의 제품 개발의 전 과정) 동안 도출되는 방대한 데이터는 제대로 활용되지 못하고 있어 제품 설계 과정의 비효율성이 여전히 존재한다.

이러한 두 공간 사이의 간극을 감소시키기 위한 방법으로 최근 디지털 트윈(Digital Twin)이 관심을 받고 있다. 디지털 트윈은 물리적 실체와 똑같은 디지털 복제품을 의미하며 실제 공간에서의 복잡한 시스템의 거동을 가상의 공간에서 다중물리, 멀티스케일, 확률적 시뮬레이션을 통해 실제 공간에서의 현상을 구현해 내는 기술을 의미한다. 디지털 트윈은 가상의 제품, 실제 제품, 그리고 가상의 제품과 실제 제품을 이어주는 링크로 구성되며, 두 공간에서의 양방향 상호작용을 통해 가상공간과 실제 공간을 동기화하는 결과를 얻게 된다. 실제 제품은 가상의 제품에 의해 만들어진 가이드라인을 따라 실시간 거동을 능동적으로 제어할 수 있으며, 반대로 가상의 제품은 물리적 제품의 실제 상태를 반영하여 실 제품과 더 유사해지는 결과를 얻게 된다.

디지털 트윈의 강점은 제품의 생산 및 관리에 국한되지 않는다. 제품 설계 부서와 생산 공장 간 거리가 먼 업종, 세계 각지에 생산 공장이 분포한 업종, 유행에 민감한 다품종 소량 생산 품목이어서 지속적 디자인 업그레이드 작업이 필요한 업종 등은 모두 디지털 트윈 방식으로 큰 혜택을 볼 수 있다(삼성전자 뉴스룸 기사, 2016). 우리나라는 제조업 중심으로 발전해 왔고 여전히 제조



노 유 정

부산대학교 기계공학부

업이 산업 분야의 많은 부분을 차지하는 만큼 디지털 트윈의 중요성을 크므로 국내기업들의 차별화와 생존을 위해 꼭 연구·발전시켜야 하는 개념이다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고 디지털 트윈 기술은 국내 대기업에서 주로 복잡한 시스템의 오류 진단, 성능 예측, 유지 보수를 위해 이제 도입되는 초기 개발 단계이며, 제품 설계 단계에서 디지털 트윈 기술이 사용된 사례는 거의 전무한 실정이다.

그러므로 설계 및 제조공정의 디지털화가 점점 증가하는 4차 산업혁명 시대에 국제적인 경쟁력을 갖추기 위해서는 제품 설계과정과 디지털 트윈 기술을 결합하여 가상의 공간과 실제 공간에서 축적되는 방대한 양의 데이터는 실시간으로 축적하고 지속적으로 업데이트하면서 가상 모델과 실제 모델간의 동기화가 가능한 디지털 트윈 기술을 적용한 데이터 기반설계 방법개발이 필요하다.

2. 제품 생애 주기와 데이터

제품 생애 주기(Product lifecycle)에 대한 개념은 1950년 Dean에 의해 처음 제안되었으며(Dean, 1950) 이후 Levitt의 제품 마케팅 전략 조사에 사용(Levitt, 1965)되었다. 제품 생애 주기는 처음에는 시장으로의 출시에서 제품의 폐기 과정을 포함했으나, 이후 생물학적 생애 주기와 유사한 개념을 도입하여 도입, 성장, 성숙 및 쇠퇴의 4단계로 나누었다. 이러한 4단계는 제품의 수요 분석, 설계, 제조, 판매 및 보수와 수리에서부터 재활용에 이르기까지 전체 프로세스를 포괄하는 제품 수명주기로 최근 재정의(Ryan and Riggs, 1996) 되었다.

특정 제품 생애 주기가 제조업체의 관점에서 보면, 수요자 요구분석(demand analysis), 개념 생성(concept generation), 설계(design), 생산과 출시(manufacturing and delivery), 사용(use) 및 재활용과 폐기(reuse and disposal)와 관련된 모든 프로세스를 의미한다. 각각의 제품 생애 주기 단계에서는 관련 활동을 수행하고 관련 직원 및 부서를 수반하며 많은 양의 데이터를 생성한다(Tao et al., 2018a).

개념 생성 : 고객의 요구, 시장 정보, 투자 계획 및 기타 데이터를 기반으로 신제품 또는 제품 설계 개선의 개념은 제품의 심미성뿐만 아니라 및 주요 기능까지 정의된다. 이 단계에서는 인터넷상의 의견, 불만 및 비디오 등 다양한 고객 요구 사항, 제품 판매량, 고객 만족도, 투자 계획 등의 시장 정보와 같은 다양한 데이터를 처리해야 한다.

제품 설계 : 제품 개발팀은 디자인 데이터와 아이디어를 교환하고 공유함으로써 제품 설계 작업을 공동으로 완료한다. 제품 설계에 관련된 데이터에는 제품 기능 및 외관 설명, 제품 구성, 설계 매개 변수 및 테스트 데이터 등이 포함되며, 유사 제품의 과거 오류 데이터조차도 제품 설계를 향상시키는데 사용될 수 있다.

원재료 조달 : 이 단계에서 구매자는 재고, 견적, 대체품, 잠재적 자재 공급 업체 또는 부품을 분석하여 적절한 자재/부품 조달 계획을 수립한다. 이 단계에서 고려되는 데이터에는 원자재의 유형, 수량, 성능 및 가격, 거리, 재고 등과 같은 공급 업체 데이터와 같은 제조업체의 데이터가 포함된다.

제조 : 설계 사양에 따라 원재료 또는 부품을 가공 또는 조립하여 품질 테스트를 거쳐 제품을 검사한다. 이 단계에서 동적 제조 실행 프로세스를 모니터링하고 관리해야 한다. 따라서 생산 요소의 속성, 성능, 매개 변수 및 공정 조건(예 : 인간-기계-재료-환경)은 실시간으로 수집되어 생산 프로세스를 모니터링하기 위해 기록된다.

운송 : 생산이 완료되면 제품은 시장 수요 및 주문에 따라 판매 지점으로 운송되며, 동시에 제품을 판매한 후 사용자에게 배달된다. 제품을 정확하고 빠른 시일 안에 운송하기 위해서는 재고 데이터, 주문 데이터, 위치 데이터 등을 토대로 물류 계획을 최적화해야 한다.

판매 : 이 단계에서는 주문 데이터, 고객 데이터, 재고 데이터 및 공급 업체 데이터를 기반으로 제품 출시 및 마케팅이 수행된다. 판매 과정에서 고객의 기호, 선호하는 그룹(성별, 연령대 등), 주문과 기타 정보들은 제품 설계, 생산, 물류 및 판매 등 전 과정에서 효율성을 향상시킬 수 있다.

사용 : 사용자 설명서의 정보를 바탕으로 고객은 정상적으로 제품을 사용할 수 있다. 사용 과정에서 제품 상태 데이터, 작동 환경 데이터, 사용자 행동 데이터와 같은 많은 양의 데이터가 생성되며, 이 데이터는 제품 유지 보수 및 수리뿐만 아니라 제품 설계 개선에도 사용될 수 있다.

사후관리 : 이 단계는 제품 유지 보수, 서비스 및 수리를 담당한다. 제품 사용에서 얻은 데이터를 기반으로 적절한 유지 보수 및 서비스 솔루션이 생성되며, 이는 제조업체에 전송되면서 결과적으로 사용자에게 효율적이고 정확한 서비스가 제공된다. 이 프로세스에서 오류 데이터 및 원인, 유지 관리 데이터, 구성 요소 품질 및 상태 데이터는 기록 및 관리하여 제품 수명 및 기타 제품 고장을 예측한다.

재활용 / 폐기 : 제품을 재활용 할 때 개별 구성 요소의 나머지 가치를 분석하여 제품 상태 데이터 및 과거 유지 관리 데이터를 기반으로 언제, 어떻게, 어디서, 무엇을 재활용 또는 폐기할지 결정한다. 제품 재활용 혜택을 극대화하려면 재활용 및 해체 비용, 재사용 가능한 상태, 가치 및 구성 요소의 남은 시간을 고려해야 한다.

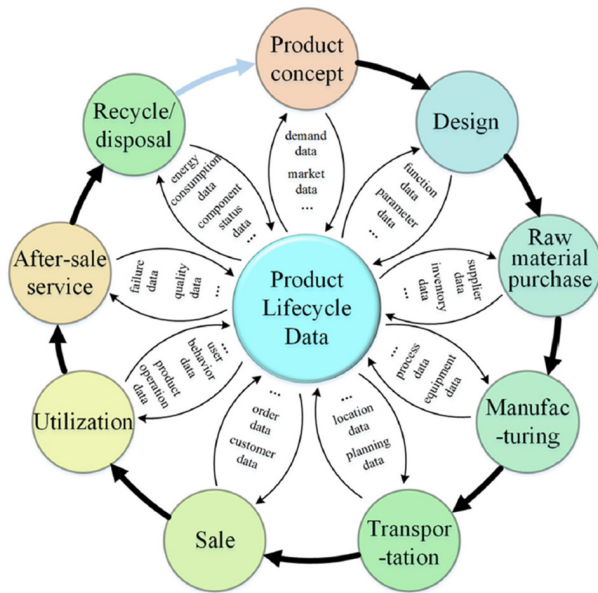


그림 1 제품 생애주기 데이터(Tao et al. 2018a)

제품 생애 주기에서 이러한 방대한 양의 다양한 데이터가 존재하지만, 기존의 Product Lifecycle Management (PLM) 기반의 제품 설계와 생산과정에서는 아래와 같은 문제점으로 인해 제품 생애 주기 데이터 활용이 어려운 한계점을 가지고 있다.

제품 생애 주기의 각 단계에서 목적과 업무가 다르기 때문에 여러 단계에서 생성된 데이터가 분리되어 있고 각 단계 간의 데이터 공유되지 못하는 경우가 많다.

제품 생애 주기에서 생성된 데이터는 중복된 데이터가 많아 중복된 데이터로 인해 많은 자원과 데이터 공유 문제가 발생할 수 있다.

전체 제품 수명주기 동안 빅 데이터 분석과 다양한 활동 간의 상호 작용 및 반복은 상대적으로 부족하므로 대용량 데이터 분석 과정과 실제 제품의 생산 과정과의 연동이 어렵다.

빅데이터 분석은 가상 모델의 데이터보다는 물리적 제품 데이터의 분석에 중점을 두고 있는 반면 가상 데이터의 활용률은 상대적으로 낮다.

반면, 디지털 트윈 기술은 위와 같은 문제를 해결할 수 있는 특징을 가지고 있다. 디지털 트윈 기술의 구현은 제품 생애 주기에서 가상공간과 물리적 공간 간의 정보 교환을 통해 두 공간의 누락된 정보를 보완하고, 두 공간의 유사성을 향상시킴으로써 제품 생애 주기 전체에서 다양한 활동을 최적화 할 수 있다. 디지털 트윈의 가상공간에서 다양한 활동은 시뮬레이션, 모니터링, 최적화와 검증을 통해 실제로 구현된다. 그러므로 기존 PLM 기반의 제품 설계나 생산과정과는 달리 데이터가 분리되거나 공유되지 않는 문제는 발생하지 않는다.

3. 디지털 트윈 기술 및 응용분야

디지털 트윈의 개념은 2003 년에 PLM(Product Lifecycle Management)에 대한 Grieves에 의해 소개되었다 (Grieves 2014). 그러나 그 당시 디지털 트윈의 개념은 기술의 한계 때문에 충분히 성숙하지 못했다. 하지만, 최근 데이터 수집과 처리 기술, 시뮬레이션 기술 및 기타 여러 관련 기술들이 활발하게 개발되면서 디지털 트윈 개념은 보다 성숙하고 구체화되고 있다. 산업계와 학계에서는 여러 가지 방식으로 디지털 트윈을 정의하지만 일반적으로 디지털 트윈은 물리적 모델, 과거 데이터와 현재 실제 데이터를 사용하여 해당 제품의 수명을 반영할 수 있는 시스템 또는 제품의 복잡한 거동(다중물리, 멀티스케일, 확률적 거동 등)을 모사하는 통합된 시뮬레이션으로 정의된다(Glaessgen and Stargel 2012).

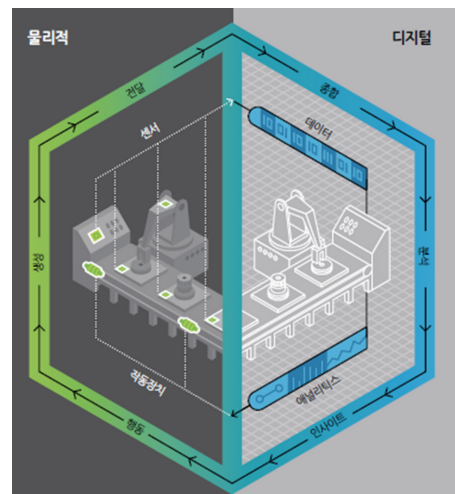


그림 2 디지털 트윈 개념도(Parrott, A, Warshaw, L., 2018)

디지털 트윈의 개념은 처음 제품 또는 장비의 사전 진단 및 건강관리(prognostics and health management, PHM)에 처음 사용되었다. 이후 최근에는 Tuegel(2011)은 항공기의 구조적 수명을 예측하기 위해 디지털 트윈을 적용하였으며, Seshadri와 Krishnamurthy(2017)는 항공기의 구조 건강 관리(structural health management, SHM)를 위해 디지털 트윈을 기반으로 한 손상 특성화 방법을 제안했으며, 이를 통해 손상 위치, 크기 및 방향을 예측하는데 큰 진보를 보였다. Gockel(2012)은 실시간으로 순차적 손상을 찾는 비행 상태 평가를 하는 ADT(Airframe Digital Twin)를 제안했고, 항공기 외에도 제너럴 일렉트릭(General Electric)은 제품의 유지보수를 더욱 정확하게 하기 위해 디지털 트윈을 이용한 제품의 건전성 예측과 평가에 대한 연구를 수행하고 있다.

최근 제조 기술에 새로운 IT를 적용함에 따라 스마트 제조 시대가 도래하게 되었다. 스마트 제조는 물리적인 세계와 정보화 세계의 통합과 융합을 실현하기 위해 지능형 생산 및 지능형 관리를 실현한다. 예를 들어, Tao와 Zhang 등(2017)은 디지털 트윈 작업 현장(digital twin shop-floor, DTS)의 개념을 제안하고 DTS의 특성, 아키텍처, 시스템 구성, 작동 메커니즘 및 핵심 기술을 상세하게 연구하였다. Vachálek(2017) 등은 산업 생산 라인에서 디지털 트윈의 적용을 조사하고 그 우월성을 분석했고, Knapp(2017) 등은 적층 가공에서 디지털 트윈을 적용하여 제품 구성 요소의 특성 및 서비스 가능성에 대한 예측을 연구했다. 최근에 Söderberg(2017) 등은 디지털 트윈 기술을 이용하여 최종 제품에서의 형상 보증(geometry assurance)에 대한 연구를 하였으며, DXC 회사는 제조 효율성과 유연성을 향상시키기 위해 디지털 트윈 모델을 구축하려는 시도를 하고 있다.

또한, 일부 연구자들은 엔지니어링 최적화에서 디지털 트윈의 응용을 연구했다. Rosen(2015) 등은 장비 작동 최적화에 디지털 트윈 어플리케이션을 도입했고, Battaia(2017) 등은 실제 세계에서 성능을 최적화하기 위해 펌프의 디지털 트윈을 만들었으며, Gabor(2016) 등은 시스템 동작을 최적화하기 위해 복잡한 시스템을 위한 디지털 트윈의 아키텍처 프레임 워크를 개발하였다.

위에서 언급 한 디지털 트윈 응용 프로그램은 주로 생산 단계 및 제품 후 단계에 머물러 있으나, 제품 생애 주기의 첫 번째 단계인 설계단계에서 디지털 트윈을 접목하려는 시도는 거의 없었다. 최근 제품 설계와 생산, 관리하는

소프트웨어 개발회사인 다쏘(Dassault)는 지속적으로 제품 설계에서의 디지털 트윈의 잠재력을 지적하고 있다. 또한 설계 단계에서 제품 디지털 트윈 모드를 설정할 수 있는 경우 관련 디자인 데이터, 마케팅 데이터, 사용자 경험 데이터 등을 제품 디지털 모드에 통합 할 수 있으므로 생산 단계 및 생산 후 단계에서 더 나은 서비스를 제공할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

4. 디지털 트윈 기반의 제품 설계

4.1 기존 설계 방법

전통적인 제품 설계 프로세스는 개인의 전문 지식과 경험을 중심으로 한다. 설계 엔지니어는 가치있는 데이터를 식별하고 유용한 정보로 변환하며 관련 지식을 사용하여 데이터를 이해하는데 자신의 경험에 크게 의존한다. 설계 엔지니어는 설계의 효율성을 높이기 위해 실제로 입력 데이터의 품질을 향상시키기 위해 관찰, 설문조사, 포커스 그룹 등을 활용하며, 설계의 타당성과 유용성을 지속적으로 증명하기 위해 다양한 테스트를 수행해야 한다. 하지만, 이러한 전통적인 설계 방법은 제품과 관련된 방대한 데이터를 수용하기에 부적합하므로 데이터를 직접적으로 활용하여 설계하기가 어렵다. 또한, 전통적인 설계 방법은 높은 수준의 조직, 명확성과 일관성에 의해 구조화된 정보를 처리하기 위해 개발되었으므로 비정형화되고 정의되지 않은 모델이나 포맷을 가진 데이터를 처리하기에 부적합하며, 새로운 환경 변화에 따라 실시간으로 변하는 데이터에 대해 신속하게 반응할 수 없다는 한계점이 존재한다.

반면 현대의 제품 설계는 고객을 중심으로 생각하고 고객 참여를 제품 설계 과정에서 적극적으로 개입하도록 하는 추세가 강해지고 있다. 제품 설계 과정은 점점 더 시뮬레이션 등을 통해 가상화되고, 연결되어 있고, 시각화되는 추세이다. 따라서 현재는 빅데이터 중심의 제품 설계 과정과 스마트 팩토리과 클라우드 기술을 결합한 클라우드 생산(cloud manufacturing)이 가능해졌다. 그러나 이러한 프로세스에는 여전히 몇 가지 문제점이 있다. 예를 들어, 대용량 데이터 기반 제품 설계 프로세스는 주로 가상 모델의 데이터가 아닌 물리적 데이터 분석에 중점을 둔다. 즉, 제품 물리적 공간과 가상 공간 간의 유사성

이 일반적으로 부재한다. 또한, 클라우드 제조 기반 프로세스는 빅데이터 분석과 다양한 활동 사이의 상호 작용 및 반복이 없어 실시간 변화에 신속하게 대응하기 어렵다는 문제점이 있다.

4.2 디지털 트윈 기반 설계

디지털 트윈 기반 설계를 위해서는 먼저 가상공간과 물리적 공간의 데이터 간의 통합과 교환이 가능하도록 하는 디지털 트윈 시스템 구축(4.2.1)과 각각의 공간에서 도출된 다양한 데이터의 전처리와 후처리를 하는 데이터 수명주기 관리(4.2.2)가 필요하다. 이렇게 구축된 디지털 트윈 시스템과 데이터 수명 주기 관리로부터 도출된 유용한 정보는 개념설계와 상세설계 단계에서 설계 엔지니어가 합리적인 의사결정을 내리는데 도움을 줄 수 있으며, 가상 검증 단계를 통해 제품 검증을 빠른 시간 안에 효율적으로 수행 가능하므로 모든 설계 과정이 순차적이면서 유기적으로 수행됨으로써 제품 설계 전 과정의 효율성을 향상시킬 수 있다.

4.2.1 디지털 트윈 시스템 구축

디지털트윈 프레임워크 개발을 위해서는 먼저 제품 생애주기의 모든 단계에서의 데이터 정리가 필요하다. 그러므로 제품에 관한 시스템 모델, 물리적 모델의 3차원 모델 구성, 유한요소 해석 등의 시뮬레이션 기반 모델의 성능 분석, 제품의 재료에 대한 정보, 실제 공간에서의 모델의 성능 측정, 사용자의 제품 사용 기록, 제품 고장/결함 데이터, 마케팅데이터 등 다양한 종류의 데이터를 분류하고 통합하고 저장하는 과정 등이 필요하다.

이렇게 정리된 데이터는 가상공간과 물리적 공간을 이어주는 디지털 트윈을 통해 두 개의 공간 내에서 데이터가 실시간 양방향으로 통합되어야 하므로 데이터 간 통신 체계 구축이 필요하다. 데이터 통신체계는 크게 경계프로세싱, 통신 인터페이스, 경계보안으로 구성되어 있는데, 경계인터페이스를 통해 신호와 데이터가 처리되고 전달되며, 센서와 프로세스 기록의 저장하고 통신장비 고유의 통신 규약을 보다 이해하기 쉬운 데이터 규약으로 변환하고 네트워크 통신양도 줄여주는 역할을 하게 된다(Parrott, A., Warsaw, L., 2018). 통신 인터페이스는 센서 기능으로부터 통합 기능으로의 정보 전달을 돕고, 경계보안에서는

방화벽, 암호화, 사용 기기의 인증 등을 통해 데이터의 안정성과 보안을 확보할 수 있다.

4.2.2 데이터 생애주기 관리

데이터 수명주기 관리에서는 데이터 수집(collection), 통합(integration), 정제(cleaning), 분석(analysis)과 마이닝(mining) 과정을 포함하는 데이터 전주기 과정을 수행하는 것을 의미한다. 우선, 물리적 공간과 가상 공간에서의 데이터 수집과 통합 과정이 필요하며, 각 데이터에서 포함된 오류/이상신호를 감지하고 이를 제거하는 기법 개발이 필요하며, 필터링된 데이터로부터 군집화, 데이터 차원 축소를 통해 데이터 분석을 위한 데이터 전처리 과정이 필요하다. 데이터 전처리 과정 이후, 데이터 마이닝을 통해 주요 인자들을 도출하고 다양한 머신 러닝 기법을 활용한 빅데이터 분석을 통해 제품의 성능과 유지보수 시간 등의 예측이 필요하다.

4.2.3 디지털 트윈 기반 설계

디지털 트윈 시스템이 구축되면, 개념 설계는 설계자가 전체 제품의 향후 설계 방향을 결정할 필요가 있는 제품 설계 프로세스의 첫 번째이자 가장 중요한 단계이다. 이 단계에서 설계 엔지니어는 신제품의 개념, 심미성 및 주요 기능을 정의하며, 고객 만족, 제품 판매, 제품 경쟁력, 투자 계획 및 기타 많은 정보와 같은 다양한 종류의 데이터를 처리해야 한다. 이러한 데이터는 방대한 양을 포함하는 것은 물론, 흩어져 있는 경우가 많아 이를 처리하기 어렵다. 그러므로 제품의 물리적 공간에서 모든 종류의 데이터를 수집하여 모든 정보를 쉽게 통합할 수 있는 디지털 트윈 기술을 사용하여 단일 정보 소스를 갖는 특성으로 변환함으로써 제품의 개선이 어디에서 이루어져야 하는지 파악할 수 있다. 또한 디지털 트윈은 실제 제품의 충분한 매핑을 통해 실시간 전송 데이터를 사용하여 클라이언트와 설계엔지니어들 간의 의사소통을 투명하고 신속하게 만들 수 있으며, 고객의 피드백을 충분히 활용하여 고객이 이전 제품에서 경험한 문제점을 신제품에서는 충분한 개선이 이루어지게 할 수 있다. 디지털 트윈 기반의 개념설계 단계에서는 기존의 개념설계 기법인 공리설계(axiomatic design), TRIZ, 강건설계(robust design), 적정설계(adaptable design) 개념을 통합하여 불필요한 설계 복잡성을 줄이거나 불확실성에 덜 민감하면서도 다양한 외

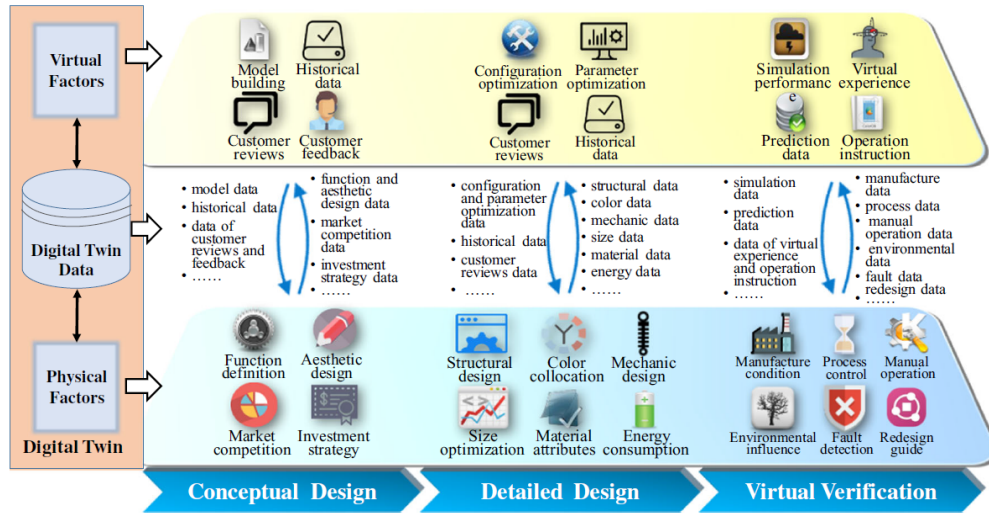


그림 3 디지털 트윈 기반의 설계 과정(2018a)

부 환경변화에 적응성이 높은 제품 설계가 가능하다.

개념 설계를 마친 후 다음 단계는 상세 설계이다. 이 단계에서 설계자는 제품 프로토 타입의 설계 및 구성은 물론 상업 생산에 사용되는 도구 및 장비의 개발을 완료해야 한다. 설계 엔지니어는 이전 단계를 토대로 제품 기능 및 외관, 제품 구성, 설계 매개 변수 및 테스트 데이터를 포함하는 제품 설계 방식을 더욱 세분화해야 한다. 상세 설계 단계에서는 제품 프로토 타입이 원하는 성능을 얻을 수 있도록 반복적인 시뮬레이션 테스트가 필요하다. 기존의 상세설계 단계에서는 실시간 데이터 및 환경 영향 데이터가 없기 때문에 시뮬레이션 테스트의 효과는 분명하지 않지만, 디지털 트윈 기술은 물리적인 모델에 대한 수명 주기 데이터를 활용하여 제품의 물리적 거동 분석은 물론, 물리적 거동에 영향을 미치는 환경 평가 역시 가능하다는 장점이 있다.

마지막 단계는 가상 검증이다. 전통적인 모델에서, 설계 계획의 유효성과 타당성은 제품 설계를 마친 후에 제조 과정까지 평가될 수 없다. 이러한 이유로 인해 전통 설계는 생산 주기를 연장할 뿐만 아니라 시간과 비용을 크게 증가시킨다. 설계 엔지니어가 디지털 트윈 모델을 사용할 경우 제품의 부품이나 시스템의 품질은 디지털 트윈 모델에서 오류교정과 예측에 의해 실제 생산되기 전까지 예측 가능하다.

디지털 트윈 기반의 가상 검증은 장비, 환경, 재료, 고객의 신체적 특성 및 지난 세대의 과거 이력 데이터를 최대한 활용할 수 있다. 이 방법은 설계 결함이 있는지 여부를

테스트하고 원인을 찾은 다음 재설계 과정이 빠르고 편리하게 진행 가능하며, 지루한 검증과 테스트를 피함으로써 설계 효율성을 크게 향상시킬 수 있다. 게다가 디지털 트윈은 제품의 거동을 모사하는 것뿐만이 아니라 실제 시스템과 관련된 솔루션을 제안할 수 있다. 즉, 보조 시스템을 최적화하는 운영과 서비스를 제공할 수 있으며 가상 모델을 기반으로 물리적 거동을 예측가능하다. 따라서 설계 엔지니어는 디지털 트윈 기술을 사용하여 프로토 타입에 대한 시뮬레이션 테스트를 효과적으로 적용하고 가능한 한 실제 제품의 실제 성능을 정확하게 예측할 수 있는 시뮬레이션 시나리오를 만드는 것도 가능하다.

6. 결론

최근 IoT, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 분석 기술 등 새로운 기술의 등장으로 인해 빅데이터를 기반으로 하는 제조가 가능해지면서 제조비용은 낮추면서 동시에 효율적인 제조가 가능하게 되었다. 하지만, 제품 전체 생애 주기 관점에서는 제조는 일부분에 해당되고, 제품 생애 주기 전체 데이터를 활용한 제품 설계에 대한 연구는 아직 활발히 이루어지지 않고 있다. 제조 회사에서는 여전히, 제품 설계, 생산, 사용과 폐기 과정에서의 데이터는 분리되어 있고, 물리적 데이터와 시뮬레이션 데이터는 독립적으로 사용되고 있으며, 제품 검증 과정에서 일부분만 활용되고 있는 실정이다.

디지털 트윈 기술은 물리적 제품과 가상의 제품으로부터 도출된 데이터의 상호교환과 업데이트를 통해 제품에 대한 충실도(fidelity)를 향상시켜 더욱 정확한 성능 검증을 가능하게 할 수 있으며, 이러한 기술을 설계에 적용할 경우 제품의 설계 과정이 체계적이고, 설계 엔지니어의 합리적인 의사 결정을 가능하게 하므로 제조와 제품의 유지보수 관리 과정에서 디지털 트윈을 사용하는 것보다 훨씬 제조비용을 감소시키는 효과를 더 줄 수 있다.

하지만, 아직까지 디지털 트윈 기반의 설계 기술을 개념 정립 단계이므로 향후 디지털 트윈 기반의 설계 기술의 효율성을 높이기 위해서는 아래 내용과 같은 연구가 더욱 심도있게 이루어져야 한다.

1) 소비자 정보, 마케팅, 재료 원가, CAD/CAE 모델, 도면, 장비, 사용 패턴, 사용년수, 제품 파손 등 제품 생애 주기 과정에서 발생하는 다양한 데이터를 축적하고, 정리하고 통합하는 과정이 필요하다. 이를 위해서는 제조 회사에서 방대한 양의 데이터를 보관할 수 있는 데이터베이스를 구축하고, 디지털 트윈 기술의 구현을 위해 데이터 간 전송과 업데이트를 위한 데이터 통신 시스템 구축도 필요하다.

2) 다양한 소스로부터 수집된 데이터는 데이터의 유형과 양이 모두 다르고, 데이터의 중복성과 오류, 누락 등 데이터의 질을 관리하는 것이 필요하므로 데이터 유형이나 특성에 따라 데이터 전처리 과정에서 데이터 필터링, 데이터 차원 축소, 군집화 등 정확한 데이터 분석을 위한 전처리 과정이 체계적으로 수행되어야 한다.

3) 디지털 트윈 시스템과 데이터 전처리와 분석, 제품 설계, 그리고 제조와 사용, 폐기까지의 전 과정은 다양한 형태의 데이터를 포함하고 있고, 데이터에 특성에 맞는 분석 기술과 설계 기술이 요구되므로 각각의 과정을 유기적으로 연계하여 제조와 설계의 효율성을 높일 수 있는 데이터 기반 설계 시스템 구축이 필요하다.

제품 설계 과정에서 설계비용은 전체 제품 비용의 극히 일부분에 해당되지만, 설계가 제품 전체 비용에 미치는 영향은 막대하다. 그러므로 제품에 대한 데이터를 기반으로 한 설계는 설계 과정의 효율성은 물론, 제조 비용의 감소, 나아가 제품의 유지보수 관리 비용 감소와 제품의 품질 개선 효과까지 얻을 수 있다. 제조업 기반의 국내 산업 환경 특성을 고려해 볼 때 데이터를 기반으로 한 혁신적인 설계 패러다임이 필요하며, 디지털 기반 설계

기술 개발은 생산 위주의 제조 방식에서 고부가가치의 산업으로 탈바꿈 할 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- Battaia, O., A. Dolgui, and N. Guschinsky (2017) Decision support for design of reconfigurable rotary machining systems for family part production, *International Journal of Production Research*, 55, pp.1368-1385.
- Dean, J. (1950) Pricing policies for new products, *Harv Bus Rev.*, 28, pp.45-53.
- Gockel, B. T., A. W. Tudor, M. D. Brandyberry, R. C. Penmetsa, and E. J. Tuegel. (2012) Challenges with structural life forecasting using realistic mission profiles.” *Proc. 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Struct. Dyn. Mater. Conf. 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Struct. Conf. 14th AIAA*, Honolulu, HI, USA, pp. 1813.
- Gabor, T., L. Belzner, M. Kiermeier, M. Beck, and A. Neitz (2016) A simulation-based architecture for smart cyber-physical systems, *IEEE International Conference on Autonomic Computing* 374-379.
- Glaessgen, E. H., and D. Stargel (2012) The digital twin paradigm for future NASA and US air force vehicles.” *53rd Struct. Dyn. Mater. Conf. Special Session: Digital Twin*, Honolulu, HI.
- Grieves, M. (2014) Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication, *White paper*.
- Levitt, T. (1965) Exploit the product life cycle, *Harv Bus Rev.*, 43, pp.81-94.
- Rosen, R., G. V. Wichert, G. Lo, and K. D. Bettenhausen (2015) About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing, *IFAC-PapersOnLine*, 48, pp. 567-572.
- Ryan C, Riggs, W. E. (1996) Redefining the product life cycle: the five-element product wave. *Business Horizons*, 39(5), pp.33-40
- Seshadri B. R., and Krishnamurthy T. 2017. “Structural Health Management of Damaged Aircraft Structures Using the Digital Twin Concept.” doi: 10.2514/6.2017-1675.
- Söderberg, R., K. Wärmefjord, J. S. Carlson, and L. Lindkvist

- (2017) Toward a digital twin for real-time geometry assurance in individualized production, *CIRP Annals-manufacturing Technology*, 66, pp.137-140.
- Tao, F., Cheong, J., Zhang, M., Zhang, H., Sui, F. (2018a) Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data, *Int J Adv Manuf Technol*, 94, pp.3563-3576.
- Tao, F., Sui, F., Liu, A., Qi, Q., Zhang, M., Song, B., Guo, Stephen, C.Y., Nee, A.Y.C. (2018b) Digital twin-driven product design framework, *International Journal of Production Research*, <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1443229>.
- Tuegel, E. J., A. R. Ingrassia, T. G. Eason, and S. M. Spottswood. 2011. Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin." *International Journal of Aerospace Engineering*, pp.1-14.
- Parrott, A., Warsaw, L. (2018) Industry 4.0 and the digital twin : Manufacturing meets its match (<https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html>)
- Vachálek, J., L. Bartalský, O. Rovný, D. Šišmišová, M. Morháč, and M. Lokšík (2017) The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept, *IEEE International conference on process control*, pp.258-262.
- <https://news.samsung.com/kr/?p=306247>, 2016년 11월 16일 기사. 