
신제품 개발과정의 디지털화와 현실반영 정확도 관리에 대한 탐색적 연구

Exploratory Research on the Fidelity Management and the Digitalization of New Product Development Process

임채성* · 김우봉**

<목 차>

- I. 서론
- II. 문헌
- III. 연구 방법
- IV. 사례 연구 결과
- V. 사례를 통해 본 경영 이슈
- VI. 결론

Abstract : There has been rapid diffusion of digital innovation technology(DIT) such as 3 D CAD, CAE, simulation software which enable firms to see the future results of intended product designs through 3 D diagram and simulated results. This technology helps firms to reduce trial and error process by solving later stage problems in earlier stages. The DIT being the technology reflecting the real world, as a tool representing the simplified form of the real world, the degree of reflecting the real world (fidelity) is important in utilizing the DIT. This study is an exploratory research examining the process of reviewing the fidelity of the DITs and developing the complementary process necessary for utilizing the DIT with 'not good enough' fidelity. This study could draw

* 건국대학교 경영대학 부교수(foot@konkuk.ac.kr)

** 건국대학교 경영대학 교수(wbkim@konkuk.ac.kr)

out, from its case study, an exploratory hypothesis about the process of developing the complementary process. In the process, there is an analysis of the corresponding relationship between the actual data and the output data of the DIT, e.g. simulated result. Then the input data or output data are adjusted on the basis of the analysis of the corresponding relationship so that the discrepancy between the actual data and the expected interpretation of the output data, through the adjustment, of the DIT, can be reduced. This process is sometimes accompanied by the process of generating experimental data, which reflect the unique situation of the product development process of a company, to be put to the data base of DIT. The complementary process is the process requiring knowledge sharing and adjustment activities across different divisions. This study draw outs implications for effective management of the fidelity of DIT tools.

Key Words : digital innovation management, fidelity management, 3 D CAD, simulation

I. 서 론

1990년대 들어 제품 디자인 기술의 디지털화가 크게 진전되었다. 후지모토 (Fujimoto 2007)는 제품을 특정 매체에 투영되어 있는 디자인 정보로 이해하고 신제품 개발 과정은 ‘부가가치가 담긴 디자인 정보를 창조하고 타당성을 확인’하는 과정으로 본다. 후지모토 와 같이 디자인 중심으로 신제품 개발을 이해하는 입장에서는 1990년대의 신제품 개발 과정이 근본적인 변화를 겪고 있는 것으로 볼 수 있다. 디자인 정보를 창조하고 타당성을 확인 하는 과정이 과거에 종이 도면 위주의 설계 과정으로부터 컴퓨터상의 소프트웨어를 활용한 과정으로 대체되고 있기 때문이다.

신제품 디자인을 디지털 그래픽 정보로 표현하고 해석하는 도구에는 CAD(Computer Aided Design), CAM(Computer Aided Manufacturing), CAE(Computer Aided Engineering), PDM(Product Data Management), PLM(Product Life Cycle Management), 시뮬레이션 소프트웨어 등이 있다. 본 연구는 3D(dimension) CAD, CAM, CAE, PDM, PLM, 시뮬레이션 소프트웨어와 같은 디지털 도구를 디지털 혁신 도구(DIT: digital innovation tools, 이하에서 부터는 DIT로 부르기로 한다)로 정의하기로 한다.¹⁾

신제품 개발과정은 새로운 디자인(설계)이 계획되고 설계도면(혹은 배합공식 배열 도

면)으로 표현되고 구체적인 프로토타입(prototype, 원형)이 제작되고 시험되고, 시장의 반응을 미리 점검하는 과정으로 정의한다면 DIT는 이 과정에서 디자인 정보를 창조하고 유지하고 전달하는 도구의 역할을 한다.

신제품 개발에 있어 DIT의 활용은 중요한 위치를 점한다. Griffin(1998)은 'Overview of PDMA survey on best practices'라고 하는 보고서에서 미국 380개 기업 조사결과를 보고하고 있는데 디자인, 분석 및 원형 뜨기(prototyping) 과정을 자동화하기 위한 엔지니어링 도구(CAD, CAE 등)가 널리 쓰이고 있음을 논의하고 있다. 2003-4년에 실시된 PDMA의 조사 결과에서도 최상의 성과를 내고 있는 그룹은 다른 그룹에 비해 엔지니어링/디자인 도구를 더욱 더 많이 쓰고 있는 것으로 밝히고 있는 바 이에 CAD, CAE 등의 DIT가 포함되어 있다(Adams and Boike 2004). DIT는 신제품 개발과정에서의 시행착오를 줄일 수 있는 설계물을 반영할 뿐 아니라 과거에 축적된 실험 결과, 시행착오의 경험을 신제품 설계과정에 반영하게 한다. 즉 DIT를 통해 설계에 있어 전문가시스템(expert system)을 보다 적극적으로 활용하게 하였고 네트워크상에서 분산된 컴퓨터로 신제품 개발 과정을 협업할 수 있는 분산협업시스템의 활용이 가능하게 하였다 (김주용 외 2005).

한국에서도 3D CAD 활용이 크게 확대되고 있다. 3D CAD는 1990년대 후반 들어 해석 및 시뮬레이션 기능을 포함하고 있고 확대되는 추세를 보이고 있는바 2008년 현재 3D CAD를 사용하는 설계자의 비중이 70% 수준에 이르고 있다 (타케다, 임채성 2008). 또한 해석 및 시뮬레이션 기술의 활용도 최근 급속히 확장되고 있다. 김주용 외(2005)는 해석 및 시뮬레이션 기술의 확산에 대한 조사 결과를 보여주고 있는바 중소기업에 있어 CAD 및 해석 및 시뮬레이션 소프트웨어 활용이 최근 들어 확산되어 있음을 보여주고 있다. DIT의 특징은 신제품의 개념 설계 및 상세 설계 단계에서 신제품이 완성되어야 확인 가능한 3D의 입체적 모습, 제품의 성능에 대한 내용을 미리 확인해 볼 수 있다는 점이다. 지금까지 DIT는 혁신 과정을 개선할 수 있는 유용한 도구라고 하는 점이 잘 알려져 있고, 이를 활용하기 위해서는 어떠한 프로세스가 필요한지에 대한 논의는 풍부히 이루어져 왔다 (Bessant and Tidd 2007; Schilling 2008; Whyte 2002; D'Adderio 2001; Baba and Nobeoka 1998). DIT는 현실을 디지털로 반영하는 도구이고 현실에 대한 단순

1) CAD의 경우 2D를 포함시키지 않는 이유는 2D CAD 설계 도면은 완성될 대상의 실제 모습과 시각적인 면에서 차이가 크고, 설계를 바탕으로 완성될 대상의 실제 모습의 문제점을 사전에 점검하게 하는 기능이 떨어지기 때문이다. DIT 기술을 시각화와 사전점검을 중심으로 분석하고자 하는 본 연구는 3D CAD는 2D CAD에 비해 시각화, 사전점검 기능면에서 큰 차이가 있다고 하는 입장에서 2D를 DIT의 범주에서 배제하였다.

화된 가정을 바탕으로 이루어진 도구라는 점에서 DIT가 현실을 정확히 반영하고 있는지를 점검하는 과정이 필요하다. 국내외 문헌 가운데 현실반영정확도를 점검하는 과정을 경영의 영역과 관련하여 논의하고 있는 문헌은 거의 없다고 할 수 있다.

DIT는 현재 개발 중인 제품의 성능을 사전에 점검해 본다는 면에서 실험(experimentation)과 유사한 점이 있다. 실험은 실험 대상의 성능을 일정한 조건 하에서 사전 점검해 보는 것이기 때문이다. DIT는 일정한 조건을 반영한 디지털 모델(소프트웨어로 구현)을 바탕으로 대상의 성능을 사전 점검한다는 면에서 디지털 실험을 수행하는 도구의 성격을 갖고 있다고도 할 수 있다.

툼키(Thomke 2003, p.99)는 혁신 과정에서의 ‘실험에 의한 학습’의 중요성을 강조하면서, 실험에 영향을 미치는 여러 요인 가운데 실험의 현실 충실도(fidelity)와 실험의 교란 요인(noise)을 제시하고 있는데 이는 실험이 점검하고자 하는 현실을 충실히 반영 할수록, 실험이 교란 요인에 의해 방해되지 않고 실험 모델이 의도된 대로 이루어질수록 실험을 통한 사전 점검의 학습이 효과적으로 이루어질 수 있음을 논하고 있다. 본 논문에서 논하는 ‘현실을 반영하는 정확한 정도’는 톼키의 실험의 현실 충실도(fidelity)와 유사한 개념이라고 하겠다 (보다 자세한 정의 및 내용은 섹션 II에서의 논의 참조).

3D CAD 및 해석 및 시뮬레이션 기술은 3D CAD 및 해석 및 시뮬레이션 기술과 같이 최근 급속도로 확산 되고 있는 신기술은 조직내에서 새로운 과정을 통하여 효과적으로 활용될 때 그 의의가 있다.

	I	II	III
조직적	도입하지 않음	도입. 완벽한 현실 반영 정확도 기대 없음. 효과적 사용위한 프로세스 개발	완벽한 현실 반영 정확도 기대
개인적	사용하지 않음	사용. 완벽한 현실 반영 정확도 기대 없음. 효과적 사용위한 프로세스 개발	완벽한 현실 반영 정확도 기대
	불신적 접근	절충적 접근	맹신적 접근

<그림 1> DIT에 대한 접근

3D CAD 및 시뮬레이션 기술의 효과적인 활용을 위해서는 조직 내에서의 새로운 과정의 형성이 필요한 바 이 가운데는 이러한 기술의 정확성을 점검하고 활용하기 위한 과

정이 필요할 것으로 보인다. 이러한 과정이 없을 경우 이들 기술의 정확성을 맹목적으로 기대하거나 불신하는 현상이 나타나게 된다. 노담(Northam 2006)은 오스트랄리아의 군당국이 비행 시뮬레이터를 구입할 때 공급자가 공급이 가능한 제품보다 높은 수준의 현실 반영 정확도 (fidelity)를 요구하는 문제점을 지적하고 있다. 3 D CAD 및 시뮬레이션 등을 구입하는 고객은 이들 기술이 현실적으로 달성할 현실 반영 정확도에 대해 맹목적으로 믿거나 불신하거나 하는 자세를 취하기 보다는 현실 반영 정확도를 확인하고 현실 반영 정확도가 고객 입장에서 만족할 만한 것인지 판단하고 만족스럽지 못할 경우 이를 효과적으로 활용할 수 있는 과정의 개발이 필요할 것으로 보인다. 본 연구는 [그림 1]에서의 절충적 접근을 다루기로 한다 ([그림 1]에서 V). 따라서 본 연구의 목적은 다음과 같은 질문 “DIT의 현실 반영 정확도를 확인하고 현실 반영 정확도가 만족스럽지 못할 경우 이를 효과적으로 활용할 수 있는 개발 과정은 어떤 것이 있는가?”에 대해 탐색적 가설을 도출하는 것이다. 이하에서는 문헌 연구를 실시한 후 연구방법을 소개하고 사례 연구 결과를 논한 후 결론을 맺기로 한다.

II. 문 헌

신제품 개발 과정에서의 디지털화는 제조과정의 디지털화, 과학활동의 디지털화가 진전된 시기와 비슷한 시기에 이루어졌다. 제조 과정의 디지털화는 e-manufacturing (rapid manufacturing) 혹은 digital manufacturing이라고 불리운다. 이는 3D 설계를 도면을 기계에 전달하면 플라스틱 부품 혹은 금속 부품을 제조하는 것을 의미한다.²⁾ 이는 주로 자동차 및 항공 산업의 사례에서 발견할 수 있다 (박동현 외 2001, p.254-257; 민성기 1999; Dodgson et al., 2005, p.170). 돛슨 등(Dodgson et al. 2005, p.170)은 digital manufacturing의 가장 앞선 사례로 보잉을 들면서 CATIA³⁾를 이용해서 컴퓨터상의 3D 입체 공간에서 미리 가공하고 조립해보고 하는 과정을 미리 시행해 보고 신제품 및 공정의 문제점을 미리 확인하고 개선하고 있음을 논한다. 또한 신제품 개발 과정에서 사용되는 CATIA가 제조 부서에서도 활용되어 신제품 개발 과정과 제조과정이 통합되어 있고, 하청업체까지도 CATIA를 매개로 통합되어 있음을 논하고 있다. 디지털화된 공공 과학

2) <http://www.techweb.com/encyclopedia/defineterm.jhtml?term=rapidmanufacturing> 의 정의를 바탕으로 필자 재 정리 2008. 1.10 접속.

3) Dassault Systemes의 CAD 디자인 소프트웨어.

활동은 e-science라고 불리우기도 하는데, 이는 주로 원자력, 고에너지 물리학, 지진예측 등 대규모 과학 분야에서 일어나고 있다. 이는 인터넷을 매개로 과학연구 자료를 공유하는 방식으로 연구를 수행하는 것으로 주로 공공 연구 프로젝트 형태로 추진되고 있는 것이다 (Dodgson et al. 2005, p.91).

e-science와 내용은 비슷하나 조금 다른 맥락에서 신제품 개발 과정에서의 e-R&D가 논의되기도 한다. 이의 대표적인 예를 화학 산업에서 찾을 수 있는데 컴퓨터상에서 화학 요소의 결합의 결과를 미리 점검해 보는 조합화학(combinatorial chemistry)을 e-R&D의 예로 제시할 수 있다.(박동현 외 2001, p.222).

이와 같은 연구개발 과정의 디지털화는 혁신과정에 있어서의 새로운 패턴의 출현을 의미한다. 로스웰(Rothwell 1994)은 1~5세대 혁신과정을 논하는데 5세대 과정은 시스템 통합과 네트워킹 모델을 강조하는 모델이다. 5세대 과정에서 전자도구키트(electronic tool kit)라고 표현하기도 하는 DIT 기술이 활용되는 점이 4세대 이하의 혁신과정과 다른 세대 과정과 구분되는 점이다. 이는 (i)사용자 생산자 공급업자 간에 연계된 캐드 시스템(linked CAD systems)을 쓰는 것 (ii)쾌속 조형(rapid prototyping)⁴⁾ 기술을 쓰는 것 (iii)프로토타이핑 대신에 시뮬레이션 모델링을 쓰는 것⁵⁾ (iv)설계에 있어 전문가 시스템(expert systems)을 쓰는 것을 포함한다.

밀러와 모리스(Miller and Morris 1999)는 4세대 R&D를 논하는데 4세대 R&D는 기업내부의 과정이 통합될 뿐 아니라 외부 과정과도 통합되고 동시 병행 개발 과정이 강화되는 흐름을 보인다. 이러한 면은 로스웰의 주장과 유사한 점이 이 있다. 4세대 R&D는 연구개발 과정의 디지털화와 긴밀히 관련되어 있다. 예를 들어 밀러와 모리스(Miller and Morris 1999, p.128-135)의 경우 신제품 개발을⁶⁾ 위해 소비자가 드러내는 욕구는 물론이고 잠재된 욕구를 반영하는 개발을 논하였는데 이 과정은 마케팅과 연구개발과정이

4) 쾌속 조형기술은 '소프트웨어 공학 방법론'이라고도 말할 수 있다. 쾌속 조형기술은 임의형상 제작을 이용하여 물체를 자동으로 설계하는 것을 뜻한다. 이 기술은 1980년대부터 이용할 수 있게 되었으며 모델과 원형부품을 생산하는데 주로 이용되었다. 오늘날에는 많은 부분에서 응용되고 있으며 심지어는 상대적으로 적은 수량의 제조품질부품을 제조해내기도 한다. 어떤 조각가는 정교한 예술 작품을 위해 복잡한 모양을 만드는데 이 기술을 사용한다(자료: wikipedia[www.wikipedia.com])

5) 예: 컴퓨터에 바탕을 둔 디자인과 시뮬레이션 기술은 개발자로 하여금 '전자에 바탕을 둔 휴리스틱' [electronics-based heuristics]를 가능하게 한다.

6) 저자들은 이를 마케팅 과정으로 논하고 있으나 이는 마케팅의 4P 가운데 제품(product)과 관련한 소비자 욕구를 점검하고 반영하는 부분에 대한 논의로써 이는 신제품 개발 과정의 일부로 이해할 수도 있다.

함께 이루어진다. 특히 이러한 과정이 인터넷과 결합될 때 사용자와 생산자간에 지식채널(knowledge channel)이 형성되어 사용자 경험의 데이터는 동시적으로 멀리서도 모아질 수 있고 혁신과정에 반영될 수 있음을 논하고 있다 (Miller and Morris 1999, p.128-135). 이는 신제품 개발에 관한 디자인 정보가 디지털로 상호 교환됨으로서 가능한 것이다.

1990년대 들어 신제품 개발 과정에 영향을 미치는 가장 큰 변화 중의 하나는 3D CAD의 발달로 기존에 기술혁신 과정에서 도면을 그리거나 실험을 하거나 하는 과정들에 대해 컴퓨터를 매개로 해 현실에 가까운 3D 모양의 시각적인 표현이 가능하게 되었다는 점이다. 3D CAD가 출현하기 전에는 신제품 디자인 정보의 디지털화는 기존의 text 및 수치, 기호 정보를 디지털화하거나 2D(2차원) 그래픽 정보로 디지털화하는 것이었다. 개발하고 있는 신제품에 대한 2D의 디지털 그래픽 정보와 text 및 기호는 주로 전문가들만이 이해 가능하다. 즉 2D의 디지털 그래픽 정보는 설계 도면이기에 설계 도면을 이해할 수 있는 훈련을 받은 사람만이 설계 도면을 통해 완성될 제품의 입체적인 모습을 머리에 그릴 수 있게 된다. 3D로 작성된 신제품 설계도는 컴퓨터상에서 입체적으로 보여줄 수 있기에 비전문가 혹은 소비자라도 설계 정보를 이해하고 전문가와 설계 상세 내용에 대한 의견 교환이 가능하게 되었다. 3D CAD는 디지털 시각화 도구의 일부에 지나지 않고 이밖에 다양한 디지털 시각화 도구가 존재한다.⁷⁾ 3D CAD는 과거에는 설계중인 제품이 완성되어야 확인할 수 있는 입체적인 모습을 미리 확신해 볼 수 있게 한다는데 의의가 있다.

와이트(Whyte 2002)는 디지털 시각화가 유용하게 쓰이는 면으로 디지털 시각화 자료를 원형(prototype)으로 활용하기, 모델을 작업 및 사용자 관점에서 조정하기 등을 지적하고 있다.⁸⁾ 와이트(Whyte 2002, p.54-72)는 이와 같은 디지털 시각화를 가설현실(virtual reality)이라는 개념으로 논한다. 또한 자신의 영역분야에서 작업한 것을 시각화함으로써 다른 사람이 볼 수 있도록 하여 문제나 충돌을 찾아 낼 수 있고 제품 디자인의 숨겨진 구조나 약점을 발견할 수도 있게 되기도 한다고 논하고 있다(Whyte 2002, p.65).

신제품 개발 과정에 영향을 미치는 또 하나의 변화는 1990년대 들어 해석 및 시뮬레

7) 시각화 도구로서는 3D CAD외에 CAE, CAM과 같이 제품의 형상 및 형상에 대한 분석 결과를 시각화하는 도구, 작업 흐름 계획 및 프로젝트 스케줄을 시각화하는 도구, 해석 및 시뮬레이션 결과를 시각화하는 도구가 있다. 이를 뒷받침하는 보완적 기술로서 인트라넷 및 ERP(프로젝트 진척정도, 자원배분상황, 작업 flow정보), 이메일 및 화상회의 등 커뮤니케이션 도구, 데이터베이스 등이 있다.

8) 보다 자세히 언급하자면 디지털 시각화 자료를 원형(prototype)으로 활용하기, 모델을 작업 및 사용자 관점에서 조정하기, 디지털 시각화(digital visualization) 도구를 전체 도구의 하나로 보기, 구조화된 디지털 시각화 방법론 개발하기, 기존의 모델링 노력 결과를 재사용하는 기회를 갖기, 내부 역량 및 숙련을 개발하기, 소프트웨어 공급자와 일하기이다 (Whyte 2002, p.134).

이전 기술의 신제품 개발 과정에의 활용이 많아졌다는 점이다. 이러한 해석 및 시물레이션 기술은 현실을 단순화한 모델을 바탕으로 하고 있는데 특정 모델의 계수(parameter)가 바뀐다면 어떤 변화가 있는지를 탐색하는 조작(manipulation)이 가능하게 되어 있다 (Dodgson et al. 2005, p.242). 이는 현재 개발하고 있는 제품에 대한 계수를 해석 및 시물레이션 모델의 계수로 넣어 그 결과를 사전 점검해 볼 수 있게 되는 것을 의미한다. 이러한 변화는 과거에 도면으로 표현된 제품 아이디어를 나중에 점검할 수 있던 것을 사전에 점검해 볼 수 있는 것을 의미한다. 개발 중의 제품이 어떤 성능을 갖게 되고 어떤 모습이 될 것인지를 알기 위해서는 실제로 자원(원자재, 인력)을 투입하여 모형(mock up)을 만들어 보고 시험 해 보아야 알 수 있는데 이러한 해석 및 시물레이션 기술은 이를 미리 확인해 볼 수 있게 하기 때문이다.

DIT를 시각화(visualization) 및 모사(play)와 관련하여 정리하자면 다음과 같다. 즉 3D CAD의 경우는 입체적으로 보여주는 면에서 현실에 가까운 시각화를 실현하는 도구이다. 또한 완성된 제품의 모습을 컴퓨터상으로 입체적으로 확인해 보고 몇 개의 부품을 입체적으로 조립해 볼 수 있게 하여, 설계 내용을 사전 점검하도록 하는 모사의 역할을 하는 도구이다. 3D CAD는 시각화의 기능 위주의 도구라고 할 수 있다. 반면 시물레이션 소프트웨어의 경우에는 시각화하는 정도가 큰 소프트웨어와 시각화 정도가 낮은 소프트웨어가 공존한다. 시물레이션 소프트웨어는 모사의 기능 위주의 도구라고 할 수 있다.

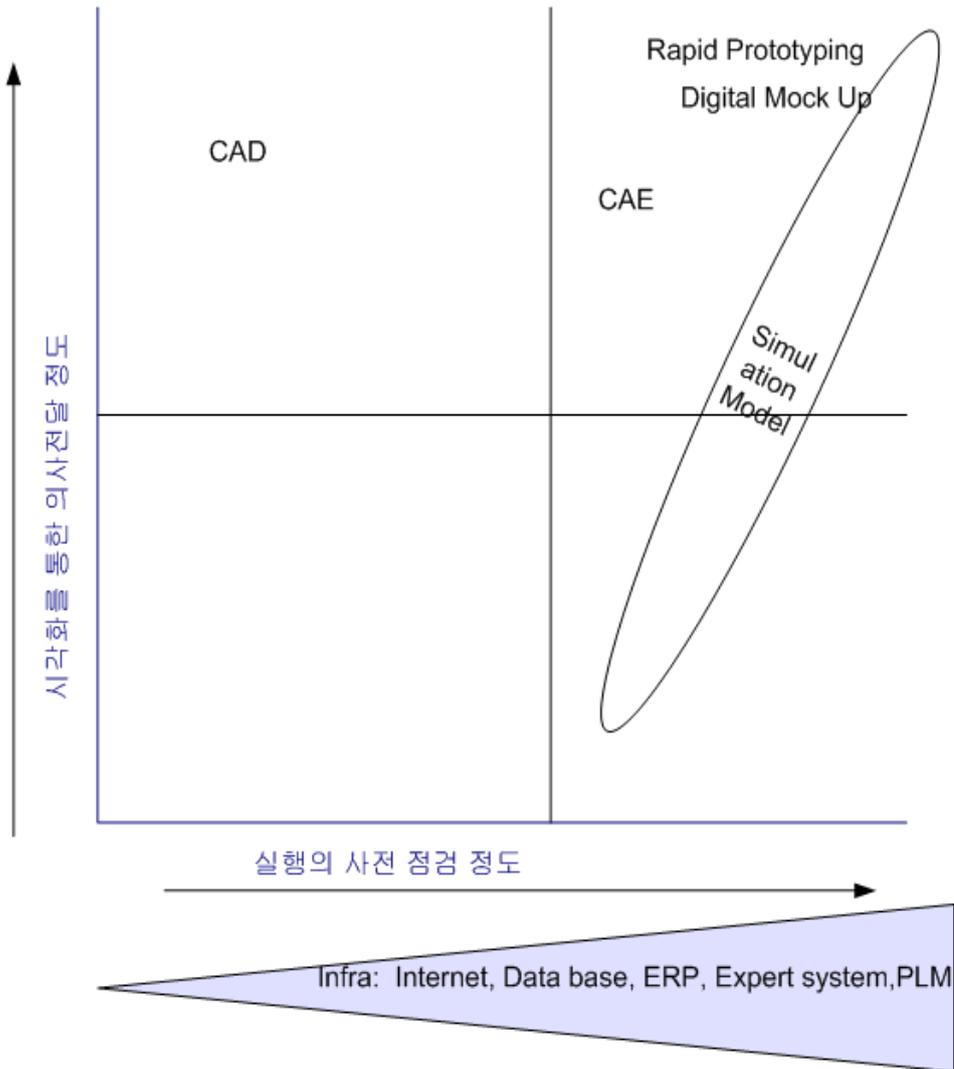
이러한 DIT 가운데 3D CAD의 경우 네트워크 데이터 베이스 등의 인프라에 의존하는 경우가 많지 않으나 CAE 및 시물레이션 도구의 경우 네트워크, 데이터 베이스, PDM, PLM 등의 인프라에 의해 의존하는 경우가 높다. 이를 그림으로 표현하면 아래와 같다.

모사는 2000년대를 전후 하여 혁신과정의 새로운 과정으로 등장하고 있다. 슈라지(Schrage 2000), 톰키(Thomke 2003)를 중심으로 모사에 대한 두가지 논의를 소개해 본다. 첫째는 DIT를 활용하지 않은 모사에 대한 논의이다. 이는 실제로 자원을 투입하여 실행하되 자원을 소규모로 투입하고 실행하는 것이다. 실행에서 실패를 경험하고 빠르게 학습하여 개선해나가는 접근의 중요성을 강조한다. 즉 기획단계에서의 신중함 보다는 일단은 아이디어를 실행해서 실패해보는 것을 강조하는 접근이다. 이에 대한 가장 대표적인 사례로 IDEO라는 디자인 전문회사가 언급된다.⁹⁾ IDEO의 경우 아이디어가 있으면 쉽게 만들 수 있는 원형 혹은 간편한 약식의 원형을 만들어 동료 혹은 관련 되는 이해관계자와의 상호작용을 통해 실패하고 혹은 개선하는 과정을 통해 제품을 개발하는 것이다. 두

9) Schrage (2000), 톰키(Thomke 2003).

번째는 디지털 도구를 활용하는 것이다. 이미 논의한 바와 같이 DIT를 활용한 모사이다. 해석 및 시뮬레이션은 실제로 개발하는 과정을 거치는 것처럼 모사된 과정을 디지털로 실행해보고 점검함으로써 실제로 자원을 투입해서 개발을 해야만 확인이 가능했던 부분을 미리 점검해 볼 수 있게 한다. 본 연구는 위에 언급한 두가지의 모사 기능 중에서 DIT를 활용한 모사 기능에 초점을 맞추어 논의를 전개하고 있다.

<그림 2> DIT가 제공하는 기술 기회



자료: 필자 작성

DIT는 현실에 존재하는 정보를 디지털정보로 전환시키고 현실에 존재하는 인과 관계를 디지털 모델의 인과관계로 투영시키는 기술이라는 면에서 현실을 디지털의 세계로 투영하는 거울의 역할을 하는 기술이다. DIT를 통한 사전 점검은 DIT를 통해 현실과 유사한 조건 하에서 ‘디지털로 구현된 현실을 작동’해본다는 면에서 디지털 실험의 성격을 갖고 있다. 즉 DIT에 현실에 대한 어떤 정보(소재, 부품성능, 실험정보)를 투입하는가, 제품이 작동하는 환경 조건에 대한 가정, 작업이 이루어지는 과정에 대한 가정이 어떻게 현실과 가깝게 설정될 수 있는가에 따라 그 결과가 현실을 어느 정도 정확히 반영하는가가 결정되게 된다. DIT에 의한 모사는 DIT의 조립, 해석 및 시뮬레이션 기능을 이용해 현재의 작업 결과를 사전에 예측해 보는 것이라고 한다면 현실 반영 정확도는 모사 결과와 실제결과와 부합하는 정도를 의미한다고 할 수 있다. 현실 반영 정확도가 높을수록 DIT 작업으로 사전 점검한 내용을 실제로 다시 점검하는 일이 줄어든다. 현재 디자인하고 있는 제품의 성능에 대해 DIT가 산출한 수치(변수명: DT)와 실제 완성한 제품을 시험했을 때 나온 수치(변수명: AT)가 차이가 없다면 현실반영정확도¹⁰⁾가 1이라고 할 수 있다. DIT는 현실을 모사하는 기술이라는 면에서 현실을 완전히 대체하지 않는 한 현실 반영 정확도는 1이 될 수는 없다.

완전한 현실 반영 정확도를 구현하지 못하는 DIT가 존재할 때 “DIT의 현실 반영 정확도를 확인하고 현실 반영 정확도가 만족스럽지 못할 경우 이를 효과적으로 활용할 수 있는 개발 과정은 어떤 것이 있는가?”라고 하는 본 연구의 핵심 질문이 의미있는 질문이 된다. 이러한 질문은 시뮬레이션 소프트웨어를 활용한 신제품 개발 성능 시뮬레이션, 신제품 수리 시뮬레이션, 신제품 조종 시뮬레이션 등이 발전되어 있는 항공 산업에 있어 익숙하게 제기되는 질문이다 (Northam 2006). 항공 산업에서는 현실 충실성(fidelity)이라는 용어로 현실반영 정확도를 논의한다. 노담(Northam 2006)은 시뮬레이션 소프트웨어가 완벽한 현실 충실성(fidelity)을 구현하고 있지 못함을 지적하고 완벽한 현실 충실성(fidelity)을 구현하는 소프트웨어에 대한 집착 보다는 시뮬레이션 소프트웨어의 사용 목적, 시뮬레이션 소프트웨어가 요구되는 성능을 구현하기 위해 달성해야 할 현실 충실성(fidelity), 현실 충실성(fidelity)과 요구되는 성능 간의 비용 관련성 등을 고려하여야 함을 논하고 있다.

DIT 기술은 현실을 시각적으로 표현할 뿐 아니라 현실에서 일어날 수 있는 일을 단순화하여 디지털 환경에서 미리 실행해 보는 기술이라는 면에서 현실을 반영하는 거울과

10) $1 - [|DT - AT| / AT]$.

같은 기술이라고 할 수 있다. 거울이 투명하여 현실을 있는 그대로 반영한다면 거울을 통해 거울에 비친 현실을 착오 없이 판단할 수 있으나 투명정도가 떨어질 때 현실에 대한 판단은 착오가 일어날 수 있다. 이 부분에 대한 경영 이슈에 대해 지금까지 해외 및 국내 논문에 있어 논의가 충분히 이루어져 있지 않음이 확인 되어 국내 기업을 대상으로 탐색적 연구를 하게 되었다.

Ⅲ. 연구 방법

국내 기업의 경우 DIT 기술의 활용이 2000년대 전후반에 급속히 확산되었다 (김우봉 외 2007). 이 가운데 가장 대표적인 소프트웨어가 3D CAD인데 이는 2000년대 전후반에 중소기업에 중심으로 확대되었다. 대기업의 경우는 그 이전부터 활용해 오고 있었다. 따라서 가장 최근에 DIT 기술 활용의 변화를 겪은 기업군이 중소기업군이라고 보아 이들 기업을 중심으로 연구를 수행하였다. 중소기업을 대상으로 신제품 개발 연구를 하려고 하면 개념 정의를 명확히 할 필요가 있다. 신제품이란 ‘세상에 최초’로서의 신제품의 개념이 아니고 ‘기업에 최초’로의 신제품의 개념이다.

<표 1> 인터뷰 질문 및 업체수

	1차 파일럿 연구	2차 본격 연구
인터뷰 질문	-DIT에 의한 데이터 생성 및 처리 현황) -DIT 사용에 따른 기술 개발 관련 부서의 문제 해결 방식의 변화 및 부서간 상호작용 방식의 변화 -DIT 사용의 결과를 점검하고 피드백하는 것이 필요한 지 여부	-해석 및 시뮬레이션 도구의 정확도를 점검하는 과정에 대해 질문 -점검 과정의 관리 차원 (담당자 수준, 경영자 수준 등)
주요 발견 사항	-CAE를 통한 해석 및 시뮬레이션 소프트웨어를 통하여 현재 개발 중인 제품 디자인이 후속단계에서 일으킬 문제를 사전 점검하기 위해서 해석 및 시뮬레이션 도구의 정확도를 점검하는 것이 중요하다는 것을 발견함	-정확도 점검 및 보완적 과정에 대한 상세한 내용 발견 -정확도 점검 및 보완적 과정 존재하는 기업 3개 업체 발견
방문업체수	2개 중소기업	13개 중소기업
분석단위	제품 중심의 사업부 단위 혹은 디지털 톨 도입 부서 단위(주로 설계실 혹은 연구소)	제품 중심의 사업부 단위 혹은 디지털 톨 도입 부서 단위(주로 설계실 혹은 연구소)

본 연구의 연구 방법은 탐색적 사례 분석 접근이다. 각종 문헌을 바탕으로 탐색적 예측 가설을 세우고 사례를 통해 이에 부합하는 패턴이 나타나는 지 확인하고 이를 바탕으로 가설을 조정하거나 정련하는 방식의 탐색적 가설을 도출하는 방식의 패턴맞추기(pattern matching) 법을 활용한 연구를 수행한다. 활용하는 자료는 특허데이터, 인터뷰 자료 및 신문 등의 간접 자료를 활용하는 방법으로 수행한다. 기업 방문 연구는 두 단계로 나누어 수행되었다. 1단계는 파일럿 연구이다. 1단계에서는 DIT 개발 및 활용에 있어 선도적일 것으로 기대되는 국내에서의 선도적인 기업체인 자동차 휴대폰 제조업체, 자동차 1차 하청 업체를 방문하였다. 파일럿 인터뷰 과정을 통해 회로 설계 및 형상 설계와 관련한 소프트웨어가 활발히 적용되는 것을 알게 되었고 이에 따라 전자 및 기계 산업에 종사하는 업체가 활발히 적용한다는 것을 확인하게 되었다. 사례 분석 대상은 전자 산업 가운데는 가장 신제품 개발 속도가 빠른 산업 중의 하나인 휴대폰 산업을 선정했다. 또한 기계 산업에는 신제품 개발의 디지털화 혹은 시뮬레이션과 관련하여 선도 산업으로 간주되는 항공 산업을 선정했다.

파일럿 방문 기업에는 DIT 도구의 사용에 따른 기업내부의 신제품 개발 프로젝트에서의 과정과 관리 방식의 변화에 대한 질문을 하였다. 인터뷰를 통해 DIT를 사용하는 기업 가운데는 해석 및 시뮬레이션 소프트웨어를 통하여 현재 개발 중인 제품 디자인이 후속단계에서 일으킬 문제를 사전 점검하기 위해서 해석 및 시뮬레이션 도구의 정확도를 점검하는 것이 중요하다고 생각하는 기업이 있음을 발견 할 수 있었다. 2 단계에서는 휴대폰사업 및 항공 산업에 속하는 13개 중소기업을 선정해서 방문하여 해석 및 시뮬레이션 도구의 정확도를 점검하는 과정에 대해 질문을 하여 응답 내용을 중심으로 가설을 세워나가는 방식으로 탐색적 연구를 진행하였다. 기업체에 대한 인터뷰 결과 13개 업체 가운데 현실반영 정확도 관리를 중요한 이슈로 이에 대한 응답을 한 업체가 3곳이고 신제품 개발을 위한 설계 기능이 없어 (3D 등의 DIT 도구 활용은 함) 해석 혹은 시뮬레이션이 불필요한 기업이 4개 업체, DIT의 해석 및 시뮬레이션 기능을 활용하나 DIT의 현실 반영 정확도가 높거나 제품 디자인이 단순하여 현실 반영 정확도 관리 필요성이 없는 기업이 2개, 기타 기업이 4개 업체이었다.¹¹⁾ 현실 반영 정확도 관리가 중요하다고 응답한 기업의 공통점은 다음 두 가지이다: (i) 신제품 개발을 위한 설계 기능이 있는 기업 (ii) 해석 혹은 시뮬레이션 도구의 현실반

11) 4개 업체는 다음과 같다: (i) 시뮬레이션 도구를 쓰고 있으나 반영 정확도 이슈로 제기하지 않은 업체 (ii) 사용경험 초기단계여서 현실반영 정확도 문제를 인지하지 못한 기업 (iii) 인터뷰 오류로 인터뷰 대상자가 시뮬레이션 부분에 대한 기술을 이해하지 못한 경우의 기업 (iv) 시뮬레이션 도구를 제품 개발 후 점검 측정과정으로 활용하는 기업.

영 정확도가 만족스럽지 못한 상황에 직면한 기업이라는 점이였다. 연구 대상 기업의 규모가 크면 클수록 신제품 개발 과정의 디지털화를 점검하는 과정이 복잡하고 분석단위도 커지게 된다. 따라서 과정의 분석 단위는 대기업의 경우는 제품 중심의 사업부 단위 혹은 디지털 톨 도입 부서 단위(주로 설계실 혹은 연구소)를 중심으로 보고자 하였다. 방문 연구는 한 업체당 최소 1차례 이상 방문, 방문 후 확인전화 1~3회를 통해 연구개발에 대한 분석이 이루어지도록 하였다. 방문 연구는 2005년 5월부터 2007년 2월에 걸쳐 실시되었다.

IV. 사례 연구 결과

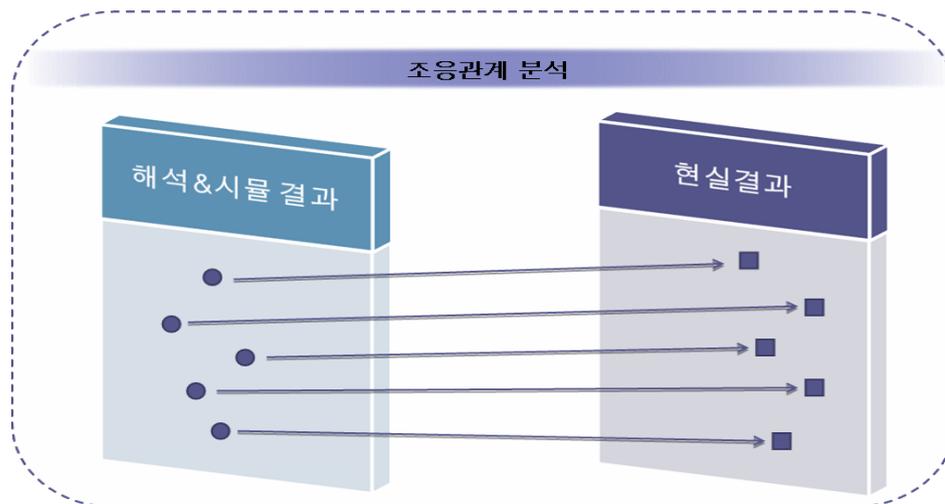
1. DIT 기술의 등장과 경영 이슈: DIT 기술에 대한 현실반영 정확도 관리

본 연구에서 인터뷰한 13개 업체 가운데 DIT의 현실반영 정확도 관리를 중요한 이슈로 응답을 한 3개 기업을 분석해 보았다. 먼저 DIT에 의한 사전 점검 결과가 만족스럽지 않자 이에 대한 대응을 포기했던 기업 C의 경우를 가지고 분석결과에 대한 논의를 시작하기로 한다. 기업 C는 고객사의 휴대폰에 들어가는 안테나를 개발하는 업체인데 전자파 방사 해석 소프트웨어를 2004년 말에 구입하였다. 이 회사는 고객사가 개발하고 있는 휴대폰 안에 자신이 개발하고자 하는 안테나가 배치되었을 때 다른 부품으로 말미암아 전파가 방해 받는 정도를 사전에 점검하고자 하였다. 시뮬레이션 결과와 실제 완성된 휴대폰 모델로 시험한 결과와 많은 차이가 존재함을 알게 되었다. 결국 연구원들은 이 소프트웨어를 쓰지 않으려고 했다. 왜냐면 시뮬레이션 결과를 믿을 수 없기 때문이었다. 이러한 문제는 결국 만족스럽지 못한 시뮬레이션 결과를 활용하는 보완적 과정을 개발할 수 있는 엔지니어가 입사 하면서 해결되게 되었다. 이에 대해 보다 상세히 논의해 보자면 아래와 같다.

2. 보정 접근¹²⁾

2.1. 사례 기업 C

기업 C에 입사한 엔지니어는 안테나 관련 전파 분야(radio frequency)에 체계적으로 교육 받고 많은 경험을 가진 인력이었다.¹³⁾ 이 엔지니어의 접근은 다음과 같다. 휴대폰에 들어갈 내장 안테나가 주변의 부품으로 인해 전파를 방해받는 정도를 점검하고자 주변 부품에 대한 변수와 안테나에 대한 변수의 수치를 넣어 시뮬레이션을 해 보고 이를 실제 시험 결과가 비교해 보았다. 그 결과 많은 차이가 났다. 그래서 주변 부품에 대한 변수를 입력할 때 실제휴대폰에 들어가지 않는 부품(예: 즉 나무의 재질로 된 부품)의 변수 값을 입력하여 시뮬레이션 해 보았다. 이 가운데 가장 시뮬레이션 결과와 실제 시험 결과가 가장 차이가 적은 경우의 가상의 주변 부품에 대한 변수 값을 찾았다. 이후 가상의 주변 부품에 대한 변수 값이 입력된 상태에서 시뮬레이션을 함으로써 높은 현실 반영 정확도를 얻을 수 있게 되었다.¹⁴⁾ 이와 같은 유사 시뮬레이션을 개발하는데 약 1년이 소요되었다.



<그림 3> 조응관계를 이용한 보정 접근

12) 현실 결과치와 DIT 실행 결과치의 차이 해석하여 조정.

13) 2007.1.18 연구소장 및 이사 인터뷰.

14) 2008. 3.5. 담당자 인터뷰.

이 보완적 과정의 개발은 개발 팀 차원(5명 규모)에서 팀 장 주도하에서 이루어졌다. 기업의 경우 경영진은 현실반영 정확도에 대한 관리에 있어 구체적인 지표를 제시하지는 않았지만 개발 팀 차원에서의 현실 반영 정확도의 개선이 기업 차원에서 많은 비용을 절감시킨다는 것을 알고 있었기에 적극 지원했다.

이 기업의 경우 시뮬레이션 소프트웨어 사용 목적은 개발과정의 비용 단축이라고 할 수 있다. 이 기업의 신제품 개발 활동을 기존 핸드폰 개선 제품 개발활동과 새로운 종류의 핸드폰을 개발활동으로 구분한다면, 이러한 현실반영정확도 관리가 중요한 경우는 새로운 종류의 핸드폰을 개발하는 경우이다. 즉 기존 모델과 유형이 다른 핸드폰을 개발할 때는 개발 비용이 많이 들고 위험성이 크다. 개발 과정에서 비용이 많이 드는 이유는 디자인이 잘 못 되면 핸드폰 제작과 관련한 금형 제작비용이 많이 발생하게 되기 때문이다. 현실 반영 정확도가 높아져 핸드폰의 안테나 디자인이 잘못된 점을 미리 점검할 수 있는 정도가 높으면 높아질수록 비용은 많이 절감될 수 있고 더 나아가 시행착오를 줄임에 따른 개발 기간 단축 효과도 누릴 수 있게 된다.

2.2. 사례 기업 I

기업 I는 휴대폰용 디스플레이 유닛을 개발하는 업체이다. 이 회사는 휴대폰 소지자가 버튼을 누르면 LCD화면에 정보가 나타나게 하는 부품을 개발하고 조립의 일부 공정을 담당하는 업체로 개발업무는 회로개발 및 제조기법 개발이다.

이 회사가 개발하는 제품에 있어 LCD 화면에 나타나는 정보 및 스크린의 밝기에 대한 품질이 중요하다. 이 회사는 회로를 결합하여 조립된 디스플레이유닛의 밝기¹⁵⁾를 시뮬레이션 소프트웨어를 통해 점검하고자 하였다. 이 회사의 경우 시뮬레이션 소프트웨어를 쓰는 목적은 소프트웨어를 통한 점검을 통해 제품 개발 기간을 단축하는데 있었다. 만약 만족스럽지 못한 밝기를 구현하는 디스플레이 유닛을 개발할 경우 재작업을 해야 하고 이로 인해 이 회사에서 가장 중요한 경쟁 우위의 원천으로 생각하는 제품 개발 속도에 있어 뒤지는 결과를 야기하게 된다.¹⁶⁾ 이 회사의 경우 처음 시뮬레이션 패키지를 들여왔을 때는 시뮬레이션 결과가 경험치 및 실제 시험 결과와 크게 차이가 나는 문제에

15) 이를 휘도라고 한다. 이는 물체의 표면에서 관측자 쪽으로 어느 정도의 빛이 오고 있는지를 나타내는 심리물리량을 의미한다.

16) 이 회사의 경우 신제품 개발 기간(개발부터 초도 생산까지 소요되는 기간)이 1998년과 비교하여 50% 수준으로 줄어들었음. 이는 기업의 기술력의 향상과 디지털 장비 및 소프트웨어에의 투자를 통해 가능한 것으로 기업 측은 밝히고 있음. (2007. 1. 26. 연구소장 인터뷰)

직면했다. 이 문제 원인이 시뮬레이션 패키지가 가정하고 있는 기자재와 기업 I가 쓰고 있는 기자재가 차이가 나는데 기인한다고 보고 기자재를 바꾸었다. 특히 기업 I가 쓰는 기자재가 좋지 않은 것을 쓰기 때문이 아닌가 하고 좋은 기자재를 들여서 실험을 해보았다. 그 결과 자꾸 단가가 올라가게 되어 문제의 해결책은 큰 진전이 없는 상태에 이르게 되었다. 이를 해결하는 방법으로 시뮬레이션을 할 때 경험치 및 실제 치수데이터와 차이가 나는 점을 감안하여 출력 결과치를 일정하게 조정해주는 방식으로 해석하는 방법을 터득하게 되었다. 이를 학습하는 과정에서 여러 시행착오를 거치게 되었다.

현실의 관측치와 시뮬레이션 결과에 따른 예측치가 다른 것은 시뮬레이션 도구에 있는 변수가 현실에 영향을 미치는 변수를 충분히 반영하고 있지 못하기 때문이다. 즉 예를 들면 디스플레이 모듈의 밝기(휘도)에 대한 시뮬레이션 도구는 다음과 같은 영향 요인을 반영하고 있지 못하다. 즉 도광판(빛이 지나가는 판)의 에칭¹⁷⁾에 있어 한쪽으로 쏠리는 정도, 도광판의 패턴, 디스플레이 모듈에 들어가는 3개 LED의 칸텔라 수준(광도: 광원에서 얼마만큼 강한 빛을 내고 있는가를 나타내는 물리량) 등이다. 이들 여러 영향 요인의 조건에 따라 시뮬레이션 결과가 얼마나 현실과 차이가 나는지를 분석하여 영향 요인의 조건에 따라 시뮬레이션 결과를 조정하여 해석함으로써 현실결과의 예측 정확도를 높일 수 있었다. 이러한 과정은 화학, 물리, 전자 관련 지식이 필요한 과정으로 특정 개인 엔지니어 차원에서 관리되기 어려운 과정이다. 이 기업의 경우 현실 반영 정확도를 연구소장 차원에서 관리하고 있는데 이 기업의 경우 시뮬레이션 패키지 예측 결과의 오차 정도를 현재 a % 수준에서 향후 b % 수준으로 줄이는 계획을 갖고 있었다.¹⁸⁾

이러한 보완적 과정의 개발은 연구소 차원에서 관리된다. 이 기업의 경우 현실반영 정확도 관리에 있어 중역 경영진(연구소장) 차원에서 직접 관리하기 때문이다. 최고 경영자는 전략적인 면에서 스피디한 제품 개발로 기회를 선점하는 것을 중요하게 여기고 있고 디지털 도구에의 투자는 빠른 제품 개발력을 확보하기 위해서 필요한 것이기 때문에 디지털 도구에의 투자에 적극적으로 지원하는 입장에 있다. 연구소장은 기업 내부에 현실 반영 정확도를 점검하지 않고 시뮬레이션 결과를 맹신하는 문제점을 지적하고 이를 개선하는 것이 기술력을 높이는데 중요하다는 점을 인지하고 있을 정도로 현실 반영 정확도에 대한 중요성을 인지하고 있다.

이상의 사항을 정리하자면 다음과 같다. 해석이나 시뮬레이션 DIT 도구의 현실 반영 정확도가 1이라고 한다면 DIT가 현실을 100% 정확히 반영하고 있으므로 DIT 도구로

17) etching: 판의 부식된 상태.

18) 2007. 1.26 연구소장 인터뷰.

모사한 내용을 실제로 점검해야 할 필요성이 없게 된다. 그러나 DIT의 현실 반영 정확도가 1인 DIT는 거의 존재하지 않는다. 따라서 DIT의 현실 반영 정확도가 만족스러운지 확인하고 만족스럽지 못할 경우 이를 보완하기 위한 보완적 과정을 개발해야 한다. 따라서 도출된 탐색적 가설은 '현실 반영 정확도를 점검한 결과가 만족스럽지 않을 경우, DIT의 실행 결과 나온 출력 결과(데이터 수치 및 패턴 등)와 현실의 결과(현실 데이터 수치 및 패턴 등)의 조응관계를 분석하여 시뮬레이션 결과로 현실의 결과를 예측하는 방법을 개발하여 현실에서의 예측의 정확성을 높인다'이다. 사례 기업 C의 경우에는 DIT 도구에의 변수 투입 수치를 조작하는 방식으로, 사례 기업 I의 경우에는 출력 결과 수치를 조정하는 방식으로 예측의 정확성을 높였다. 이와 같이 현실을 반영하는 소프트웨어 도구를 사용하여 분석한 결과가 현실과 맞지 않을 경우 이를 조정하는 접근을 보정적 접근이라고 하기로 하자.

3. 투입물 추가 투입과 보정 병행 접근

사례 기업 J는 C, I에 비해 시뮬레이션 결과치와 현실결과와의 차이가 큰 기업이다. C, I 기업에서 사용한 시뮬레이션 소프트웨어는 전자 기술 관련 소프트웨어로 해당 기업이 시뮬레이션 하고자 하는 기술 분야의 내용을 사전 점검하기 위해 개발된 소프트웨어이다. 반면 J 기업에서 사용한 시뮬레이션 소프트웨어는 해당 기술 분야를 위해 개발된 것이 아니어서 시뮬레이션 결과가 현실 결과와 차이가 많이 났다. 기업 J가 생산하는 제품은 섬유강화복합재료(FRP: Fiber Reinforced Polymer Composite Materials)인데 플라스틱에 유리섬유를 혼합하여 내열성 및 강도를 보완한 신소재이다. 시뮬레이션은 섬유강화복합재료의 물질적 특성을 사전 점검하기 위해 활용된다. 섬유강화복합재료의 경우 구조 해석 소프트웨어가 없어 금속용 구조해석 소프트웨어(아바쿠스)를 구입해서 사용하게 되었다. 외국에서 아바쿠스를 사올 때 해석용 데이터베이스 대신에 섬유강화복합재료 관련 부분 데이터베이스를 구해 달라고 판매 업체에 부탁하여 그 데이터베이스를 아바쿠스의 데이터베이스로 활용하였다. 이를 위해 추가적으로 컴퓨터 프로그램을 짜는 작업(응용모듈)을 했다.

이 회사의 경우 해석 및 시뮬레이션결과가 현실 결과와 차이가 있을 경우 보정하는 방식으로 접근하는데 한계가 있다. 왜냐면 해석 및 시뮬레이션 소프트웨어의 데이터베이스가 이 회사의 작업환경이나 소재와 다른 조건에서의 데이터를 바탕으로 만들어진 것이어서 시뮬레이션에 투입되는 데이터베이스의 일부를 바꾸어 줄 필요성이 있기 때문이다. 이

회사는 데이터베이스에 자신의 회사에서 쓰는 재료의 섬유 각도, 섬유 소재, 섬유 배치 등에 따른 강도 등의 실험치(인터뷰시 표현을 ‘백데이터’로 표현)에 대한 데이터를 생성하고 이를 추가적으로 아바쿠스의 데이터베이스에 넣고 시뮬레이션을 실행하는 방식을 쓰게 되었다. 시뮬레이션 결과에 대해 보정하는 방식을 적용하여 보고 일정한 조응의 패턴을 얻어 내기 어려울 경우 다시 또 추가적으로 투입 데이터를 넣고 조응 패턴 분석을 통해 보정을 시도한다. 이는 투입물 추가 투입과 보정 접근을 병행하는 방식이라고 할 수 있다.¹⁹⁾

이상 결과로 앞서 세운 탐색적 가설을 다음과 같이 수정할 수 있겠다. 즉 ‘현실 반영 정확도를 점검한 결과가 만족스럽지 않을 경우, DIT의 실행의 조건 및 결과와 현실의 결과와의 조응관계를 분석하여 DIT 결과로 현실의 결과를 예측하는 방법을 개발하여 DIT결과를 활용한 현실에서의 예측의 정확성을 높인다, 단 DIT의 데이터베이스 정보가 조응 관계를 분석하기에 충분하지 못한 경우에 추가적으로 데이터를 생성하여 투입한 후 조응관계를 분석하여 예측의 정확성을 높인다.’

J 기업의 경우 보완적 과정은 생산부 차원에서 개발되는데 기업 중역 차원에서 관리되고 있었다. 인터뷰 과정에서 이 과정에 대해 가장 잘 아는 사람으로 기업 중역(상무)이 소개되었고 인터뷰에 응한 기업 중역은 기업 전체적인 과정에서 이루어지는 과정에 대한 상세한 설명을 제공하였다. 기술 개발 과정은 실험 데이터를 생성하고 관리하는 사내 연구소와의 협력 과정을 통해 이루어진다. 이 기업의 경우 시뮬레이션 도구의 도입 목적은 시뮬레이션을 통해 공정을 단축함으로써 개발 기간을 단축하는데 있다. J 기업의 경우에는 소재를 제작하는 과정이 다양한 유리섬유 및 플라스틱을 조합해보고 물성을 테스트 해보는 과정으로 이루어지는데 시뮬레이션을 통해 사전 점검함으로써 물성을 테스트 해 보는 과정을 줄일 수 있게 되어 연구개발 과정의 개발 기간을 단축시킬 수 있게 된다. 이 기업의 경우는 DIT를 활용하기 위한 현실 반영 정확도의 구체적인 수치가 경영진 차원에서 제공될 정도로 상세한 차원에서의 관리는 이루어지고 있지 않다. 그 이유는 DIT를 이용한 점검 결과가 현실과의 차이가 많이 나고 소재의 배합의 다양한 조합에 따라 해석의 차이 정도가 달라지기 때문에 정확한 구체적 목표 수치를 도출하는 것이 거의 불가능하기 때문이다. 이 기업은 현실 반영 정확도를 개선하기 위한 보완적 과정의 관리가 중역 경영진 차원에서 이루어지고 있는 경우이다. 이 사례에서의 독특한 점은 DIT의 도입이 추가적인 기술 개발 작업(소프트웨어 응용 모듈 개발) 및 데이터 베이스 생성 작업이 병행되어 이루어졌다는 점이다.

19) 2007. 1. 19 연구소 * 실장 인터뷰. 1.22 ** 상무 인터뷰.

4. 탐색적 가설의 점검—시물레이션 특허 분석

지금까지 논의된 세가지 사례를 바탕으로 탐색적 가설을 도출되었다. 이러한 탐색적 가설은 기업의 조직적 차원에서 일어나고 있는 과정에 대한 가설이다. 그러나 이러한 과정이 DIT를 실행해 사전 점검해 보고 그 결과가 현실과 얼마나 차이가 나는 것인가를 점검하고 이에 대해 보정하는 과정은 일반 엔지니어링 기술 영역에 존재할 수도 있다. 이를 점검하기 위해 국내 특허 가운데 시물레이션 실행 결과를 보정하는 과정에 대한 특허가 존재하는지를 검토하기로 하였다. 즉 ‘시물레이션’의 결과(데이터 수치 및 패턴 등)와 현실의 결과(현실 데이터 수치 및 패턴 등)와의 차이가 존재하는 경우에 시물레이션의 결과와 현실의 결과와의 조응관계를 분석하여 차이를 보정하는 방법을 개발하는 과정이 존재하는 지를 살펴보는 것이다. 이를 위해 한국에서 국내 기업에 의해 출원된 특허 가운데 “보정” “설계” “시물레이션” “개발”이 제목과 초록 모두에 포함되어 있는 특허를 검색하였다. 시물레이션과 보정과의 관계를 탐구하는 특허를 찾아보기 위해 “시물레이션”과 “보정”을 검색어로 넣었다. 이들 특허는 신제품 개발 과정과 관련된 특허여야 한다는 면에서 “설계”와 “개발”이라는 검색어를 넣었다. 그 결과 총 136개로 집계되었다. 136개 특허의 초록을 읽어 가며 이 가운데 탐색가설과 가장 관련성이 높은 특허를 찾았다. 즉 시물레이션 결과의 실제 차이를 보정하는 방법에 대한 특허를 찾아 보았다.

그 결과 아래 표에 제공되어 있는 “적층복합모듈의 제조방법”을 찾을 수 있었다. 이는 신제품 개발과 직접적으로 관련된 특허는 아니지만 시물레이션 소프트웨어에 있어 탐색적 가설과 관련하여 점검할 수 있는 있는 특허라고 볼 수 있다. 이는 소결체의 외부형상 또는(및) 내부수축율분포를 시물레이션하여 모델링하는 단계; 상기 모델링된 소결체의 변형부분을 보정하기 위한 보정패턴을 설계하는 단계; 생산된 제품의 소성변형이 기준치를 벗어나는 경우에는 상기 보정패턴을 설계하는 단계로 되돌아가 반복하는 단계로 특허가 제시되어 있다. 이는 즉 시물레이션 모델링의 결과 보정 패턴을 설계한 결과와 실제 적용 결과가 차이가 있을 경우 시물레이션 결과와 현실 결과와의 조응관계를 분석 하고 조정(보정)하는 재설계하는 과정을 거치는 것을 보여준다. 보정 패턴을 설계한다는 것은 시물레이션하여 모델링 한 수치와 모델링된 소결체의 변형 부분(현실 관측치) 수치와의 차이가 존재할 때 그 차이에 일정한 패턴이 존재하는지를 분석하고 이를 바탕으로 보정 패턴을 설계한다는 것을 의미한다. 이상 시물레이션 결과가 현실과 맞지 않을 경우 이를 보정하는 과정이 시물레이션을 활용한 제조방법의 사례에 존재함을 확인할 수 있었다.

<표 2> 특허 “적층복합모듈의 제조방법”

출원 년도	발명의 명칭	상태	출원인	초록
1998	적층복합모듈 의 제조방법	등록	삼성전기주 식회사	본 발명은 적층복합모듈의 제조방법에 관한 것이며, 그 목적하는 바는 적층복합모듈을 구성하는 재료 각각의 소성수축율과 모듈의 내부형상을 이용하여, 소성후의 상태를 시뮬레이션을 통해 모델링함으로써, 소성후 변형 상태를 알아내고 이를 보정하기 위한 보정패턴을 모듈내부에 형성하여 소결체의 소성변형을 줄일 수 있는 적층복합모듈의 제조방법을 제공하는데 있다.상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은 2가지 이상의 소자를 내부에 형성하는 적층복합모듈을 제조하는 방법에 있어서, 모듈형성을 위해 사용되어지는 재료의 소성수축율을 얻는 단계; 상기 얻어진 각 재료의 수축율과 모듈형성시 재료간의 접촉면적을 이용하여 평균수축율을 구하는 단계; 상기 얻어진 재료들의 소성수축율, 재료들간의 평균수축율 및 목적하는 모듈의 내부형상을 이용하여 소성후의 예상되는 소결체의 외부형상 또는 / 및 내부수축율분포를 시뮬레이션하여 모델링하는 단계; 상기 모델링된 소결체의 변형부분을 보정하기 위한 보정패턴을 설계하는 단계; 및 상기 설계된 보정패턴을 적용하여 제품을 생산하며, 생산된 제품의 소성변형이 기준치를 벗어나는 경우에는 상기 보정패턴을 설계하는 단계로 되돌아가 반복하는 단계;를 포함하는 적층복합모듈의 제조방법에 관한 것을 그 요지로 한다.

이 특허의 내용은 사례 C,I,J와 공통점을 갖고 있다. 즉 시뮬레이션 결과치와 현실에서의 관측치와 차이가 있는지를 점검하고 차이를 줄이기 위해 시뮬레이션 결과치와 현실에서의 관측 결과와 일정한 조응관계(상기 특허의 경우 ‘보정패턴’에 해당) 분석을 바탕으로 보정하는 과정이 존재한다는 점이 공통점이다. 따라서 본 연구에서 도출한 탐색적 가설과 유사한 내용은 엔지니어링 기술 영역에서 발견될 수 있는 내용이라고 판단된다. 본 연구와 특허의 기술 내용과 다른 점은 보정 과정이 조직적인 차원에서 어떻게 이루어지고 관리되는 가를 천착 한 점이라고 하겠다.

V. 사례를 통해 본 경영 이슈

앞의 논의에서 DIT 도구를 외부에 구매할 때 이들 DIT의 완벽한 현실 반영 정확도를 기대하기 보다는 DIT의 사용 목적, DIT가 요구되는 성능을 구현하기 위해 달성해야할 목표 현실 반영 정확도를 정의하고 그 목표에 충실하게 활용하는 보완적 과정을 개발하는 것이 중요하다고 논의한 바 있다. 앞의 사례를 종합적으로 정리해보고 경영 이슈를 도출하자면 다음과 같이 논할 수 있다.

목표 현실 반영 정확도는 ‘현실반영 정확도의 한계 증가 (marginal increas)에 따른 기대 효과>현실반영 정확도의 한계 증가 (marginal increas)에 따른 기대 비용’인 경우에 타당성을 갖게 될 것이다. 목표 현실 반영 정확도가 타당하다고 판단되는 경우에 [그림 4]의 후속 현실 반영 정확도 관리 과정은 시작되게 된다. 목표 현실 반영 정확도는 DIT 사용 목적에도 영향을 받을 것으로 보인다. <표 3>은 다양한 DIT의 사용목적에 밝히고 있다. 목표 현실 반영 정확도는 DIT의 실행결과와 실제 시험 결과와 차이가 나는 정도가 높을수록 정의하기 어렵다. 차이가 나는 정도는 DIT의 모델과 투입 변수가 실제 시험 조건에서의 복잡한 변수를 충분히 반영하지 못하고 있을 경우에 발생한다. J 기업의 경우가 대표적인 경우라고 할 수 있는데 섬유강화복합재료의 섬유 각도, 섬유 소재, 섬유 배치에 따라 시뮬레이션 결과와 실제 시험 결과와의 차이가 다양하게 나타나는데 DIT 모델은 이들에 대한 변수를 다 반영하고 있지 못하여 이들 변수 수치 입력이 허용되어 있지 않다. C 기업의 경우도 휴대폰에 들어가는 안테나의 경우 안테나 주변의 부품 배합에 따라 전파가 방해받는 정도가 다른데 DIT 도구는 이들 주변 부품 배합에 대한 변수를 다 반영하고 있지 못하여 이들 변수 수치 입력이 허용되어 있지 않다. 이 두 기업의 경우 보완적 과정을 개발한다고 할 때 어느 정도까지 개선할 수 있을 지가 불분명하다. 보완적 과정을 개발하는 과정에서 점검해야 할 복잡한 변수가 많아 보완적 과정을 개발한 결과 얼마나 높은 현실반영 정확도를 실현할 수 있을지가 불분명하다(<표 3> 참조). 따라서 보완적 과정 개발에 있어서 이러한 경우 경영진은 목표 현실 반영 정확도(target fidelity) 수준을 설정하는 대신 목표 현실 반영 정확도 개선 수준(target marginal fidelity improvement)을 제시하는 접근을 취할 수 밖에 없다.

보완적 개발 과정은 앞의 사례를 바탕으로 만든 탐색적 가설을 중심으로 정리할 수 있다. 앞선 만든 탐색적 가설을 다시 한 번 써보자. ‘현실 반영 정확도를 점검한 결과가 만족스럽지 않을 경우, DIT의 실행의 조건 및 결과와 현실의 결과와의 조응관계를 분석

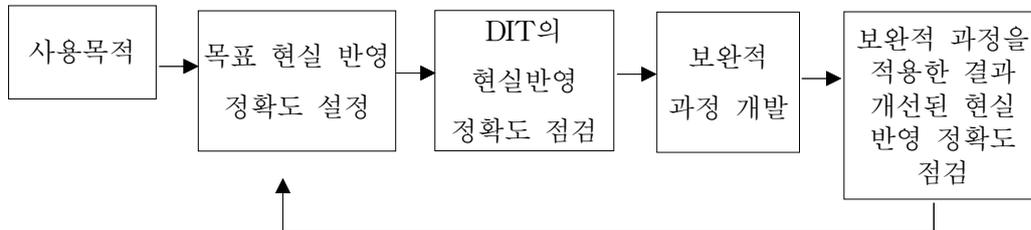
하여 DIT 결과로 현실의 결과를 예측하는 방법을 개발하여 DIT 결과를 활용한 현실에서의 예측의 정확성을 높인다, 단 DIT의 데이터베이스 정보가 조응 관계 분석하기에 충분하지 못한 경우에 추가적으로 데이터를 생성하여 투입한 후 조응관계를 분석하여 예측의 정확성을 높인다.' DIT의 실행의 조건 및 결과와 현실의 결과와의 조응관계를 분석하는 방법은 다음과 같다. 첫째 입력해야 할 변수에 원래 넣어야 할 값이 아닌 임의의 다른 값 (예: C 기업의 경우 주변 부품에 대한 변수를 입력할 때 실제휴대폰에 들어가지 않는 부품의 변수 값을 입력하여)을 찾는 방식이다, 임의의 값은 시뮬레이션 결과와 실제 시험 결과가 가장 차이가 적은 경우의 값이다. 이 값을 넣어 시뮬레이션을 하는 방식으로 현실반영정확도를 높이게 된다. 이는 투입변수의 값을 조작하는 접근이다. 둘째는 여러 영향 요인의 조건에 따라 시뮬레이션 결과가 얼마나 현실과 차이가 나는지를 분석하여 영향 요인의 조건에 따라 시뮬레이션 출력 결과를 조정하여 해석함으로써 현실 결과의 예측 정확도를 높이는 방식이다. 이는 출력 변수의 값을 조정하여 해석하는 접근이다 (예: I 기업). 이와 같은 접근은 보정 접근이라고 한다. J 기업에서와 같이 시뮬레이션을 수행할 때 시뮬레이션 데이터베이스에 충분한 데이터가 있지 않을 경우에는 추가적인 데이터를 생성해서 투입한 후 조응관계를 분석하여 DIT 실행 결과치로 현실의 결과치를 예측하는 방법을 개발하여 DIT 결과를 활용한 현실에서의 예측의 정확성을 높인다. 이는 투입물 추가 투입과 보정을 병행하는 접근이다.

보완적 개발 과정에서는 시험 조건의 여러 변수(예: 주변부품과 관련된 변수, 소재의 특성과 같이 DIT 모델에서 고려되지 않은 변수)를 분석하기 위해서는 설계 부서와 다른 부서 (예: 소재 및 주변 부품에 대한 지식을 갖고 있는 부서)와의 데이터가 공유되고 협력되어야 할 필요성이 크다. 사례에서 보면 시뮬레이션 결과 해석에 학제적 접근이 필요한 점 (C 기업의 경우 전과 방해 시뮬레이션 결과치 해석 시에 나무 부품 등의 영향을 분석해야 함, I 기업의 경우 시뮬레이션 결과 해석에 화학, 물리, 전자 등의 지식을 적용해야 함)을 볼 수 있었는데 이는 단위 부서 차원에서 해결하기 어려운 것이다. 이를 위해서는 내부 여러 부서간 협력 및 외부 조직과의 협력이 가능한 조직구조나 협력 프로세스 개발이 중요할 것으로 보인다. 외부 조직의 경우 외부 부품 공급업자와의 협력은 물론 외부 DIT 공급업자 혹은 연구기관과의 협력이 필요할 것이다²⁰⁾²¹⁾. DIT 실행결과에 보완적 과정을 적용하여 예측한 출력 결과와 현실의 실험 관측치와의 차이를 점검하여 만

20) 예: J 기업의 경우 DIT 공급업자로부터 시뮬레이션 위한 별도 데이터 베이스 요청.

21) 시뮬레이션을 위한 실험 데이터 베이스 활용을 위해 외부 연구기관의 실험 측정치에 대한 정보의 협조가 필요할 수도 있다.

족할 만한 수준이라고 판단되면 그 단계에서 작업이 중단되거나 만족스럽지 않을 경우에는 추가적인 현실 반영 정확도 관리 과정의 실행을 고려하게 된다. 목표 현실 반영도 정확도를 설정하고 ‘현실반영 정확도의 한계 증가 (marginal increas)에 따른 기대 효과> 현실반영 정확도의 한계 증가 (marginal increas)에 따른 기대 비용’ 인 경우에 보완적 과정을 개발하는 과정을 지속하게 될 것으로 보인다.



<그림 4> 사례를 통해 본 현실 반영 정확도 관리 과정

<표 3> 사례별 현실반영 정확도 관리 현황

사례	사용목적	목표 현실반영 정확도	보완적 프로세스 개발	보완적 과정을 적용한 결과 개선된 현실 반영 정확도 점검
C 실패	안테나 전파방해 점검 (비용절감)	불명확	없음	없음
C	안테나 전파방해 점검 (비용절감)	불명확	개발함	점검활동존재. 정확한 수치로 점검하기 어려움.
I	디스플레이유닛의 밝기 점검 (개발 기간단축)	명확	개발함	점검활동 존재
J	소재의 물질적 특성 점검 (공정단축을 통한 개발 기간단축)	불명확	개발함	점검 활동존재. 정확한 수치로 점검하기 어려움

경영진의 입장에서는 목표 DIT 수준 결정 및 보완적 개발 과정을 관리하기 위한 전략 및 경영관리 프로세스의 개발이 필요하다. 특히 내부 여러 부서간 및 외부 협력이 가능한 조직구조나 협력 프로세스 개발이 중요할 것으로 보인다. 이를 위해서는 경영진의 DIT 현실 반영 정확도의 관리의 중요성을 인지하고 관리하는 것이 필요하다. 위의 세 기업 사례는 경영진의 적극적인 관심과 지원 아래 현실 반영 정확도 관리가 이루어지고 있음을 보여주고 있다. 현실반영정확도 관리는 DIT를 통한 신제품 비용절감 및 개발 기

간 단축을 기하는 데 중요한 영역이 될 수 있는바 신제품 개발 능력 향상 전략 차원에서 관리될 필요성이 있다고 보인다.

VI. 결 론

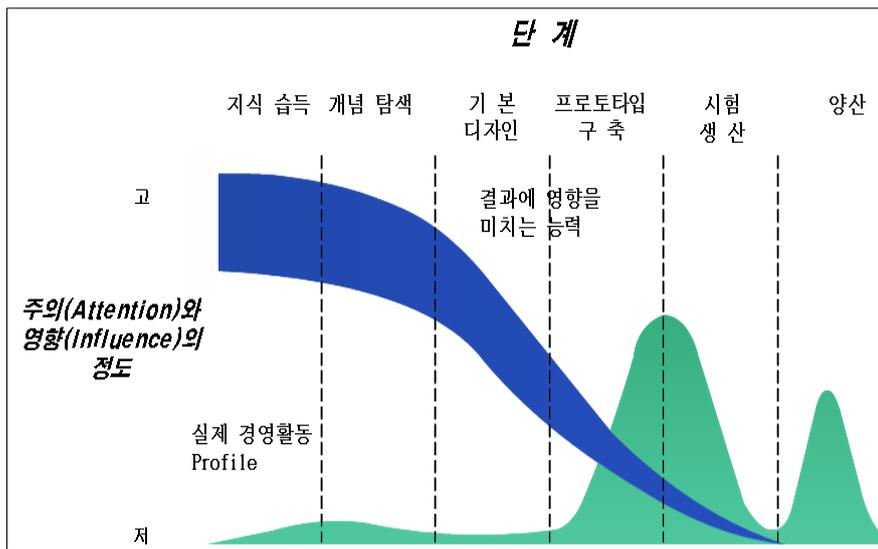
휠라이트와 클락(Wheelright and Clark 1992)은 로버츠(Roberts 1977)을 인용하면서 신제품 개발과정에 있어 경영자의 관심은 초기 보다는 나중 단계 즉 프로토타입 구축, 시험 생산 단계에 집중되는 경우가 많은데 이 단계에서는 경영자가 영향을 미칠 수 있는 정도에 한계가 있음을 지적한다 ([그림 5] 참조). 경영자의 관심을 초기 단계에 두어 신제품 개발 과정을 관리한다면 경영자의 영향력을 보다 더 크게 발휘할 수 있음을 논한다. DIT는 신제품의 개념탐색 및 기본 디자인 단계에서 사전 점검을 하게 함으로써 경영자가 영향력을 발휘할 수 있도록 도와주는 도구라고 할 수 있다. DIT 기술이 보다 더 발전함에 따라 향후 DIT를 활용한 경영자의 보다 효과적인 신제품 개발 과정을 개발할 여지는 커진다고 할 수 있다. 본 연구는 DIT의 효과적 활용에 필수적인 현실 반영 정확도 관리에 대한 이슈를 다루어 보았다.

본 연구는 DIT가 완벽한 현실 반영 정확도를 제공할 수 없기 때문에 DIT 실행 결과가 만족스럽지 못한 경우에 기업이 어떻게 대응해 가는지를 탐색적 가설을 도출하는 입장에서 살펴 보았다. 그 결과는 현실 반영 정확도를 점검한 결과가 만족스럽지 않을 경우, DIT의 실행 조건 및 결과와 현실의 결과와의 조응관계를 분석하는 방식으로 DIT 결과로 현실의 결과를 예측하는 방법을 개발하여 DIT결과를 활용한 현실에서의 예측의 정확성을 높이되, 필요에 따라서는 DIT의 데이터베이스의 데이터를 추가적으로 보완한 후 조응관계를 분석하여 예측의 정확성을 높인다는 탐색적 가설을 도출할 수 있었다. 이 보완적 과정 개발의 접근은 (i)보정 접근과 (ii) 투입물 추가 투입과 보정을 병행하는 접근, 두 가지가 존재함을 확인할 수 있었다.

이상의 연구를 바탕으로 경영 이슈를 정리하자면 DIT 도구에 대해 완벽한 현실 반영 정확도를 기대하기 보다는 DIT의 사용 목적, DIT가 요구되는 성능을 구현하기 위해 달성해야할 현실반영 정확도를 정의하고 현실 반영 정확도가 만족할 만한 수준에 도달하였는지를 점검하고 그 목표에 충실하게 활용하는 보완적 과정을 개발하는 것이 필요하다고 하겠다. 경영진은 목표 현실 반영 정확도 수준을 사전에 설정할 수 있는 경우는 사

전에 설정하지만 목표 수치를 사전에 설정할 수 없는 경우는 목표 현실 반영 정확도(target fidelity) 수준을 설정하는 대신 목표 현실 반영 정확도 개선치(target marginal fidelity improvement)를 제시하는 접근을 취할 필요가 있는 것으로 보인다. 이를 위해서는 내부 여러 부서간 및 외부 협력이 가능한 조직구조나 협력 프로세스 개발이 중요할 것으로 보인다. 현실반영정확도 관리는 DIT활용을 통한 신제품 비용절감 및 개발 기간 단축을 기하는 데 중요한 영역이 될 수 있는바 신제품 개발 전략 차원에서 관리될 필요성이 있다고 보인다.

<그림 5> 신제품 개발 과정에서의 경영자 관심의 타이밍과 영향



자료: Roberts(1977)

DIT 활용을 위한 보완적 과정의 개발 관리 이슈는 DIT를 매개로 한 신제품 개발 과정의 디지털화가 발달 될수록 더욱 중요성이 커질 것으로 보인다. 세계적으로 DIT의 활용은 1990년대 들어 급속히 확산되고 있다. DIT 활용의 확산은 신제품 개발 과정의 디지털화의 차원에서 이해 될 필요가 있고 더 나아가서는 혁신과정의 디지털화 차원에서 이해될 필요가 있다 (Dodgson et al. 2005). 신제품 개발 과정의 디지털화는 혁신과정을 근본적으로 바꾸는 공정 혁신(process innovation)이라고 할 수 있다. 이러한 근본적인 공정 혁신의 변화 과정에 대한 대응은 기업 전체적인 상위 경영진 차원에서 모색되어야 할 것이다. 경영진 차원에서는 다양한 수준의 현실 반영 정확도를 가지는 DIT 가운데 기업에 요구되는 만족할 만한 수준의 현실 반영 정확도를 갖는 DIT를 탐색하고 확보하

여 활용하는 것이 중요할 것으로 보인다. 만약 만족할 만한 수준의 현실 반영 정확도를 갖지 못한 DIT의 경우에는 현실반영 정확도를 어느 정도 올리는 것이 필요한지를 확인하고 이를 위한 지속적인 개선이 이루어지도록 관리할 필요성이 있다.

본 연구의 학문적 의의는 다음과 같다. 기존의 DIT 확산에 따른 혁신과정에서의 사전 점검(혹은 모사[play])의 중요성을 논의한 연구(Schrage 2000; Thomke 2003; Dodgson et al. 2005)에 의하면 DIT 기술을 활용한 사전 점검활동의 중요성이 검증하고 있음을 보여주고 있다. DIT의 현실반영 정확도가 어느 수준에 있느냐가 사전 점검 활동의 유용성에 영향을 미친다. 그러나 현실 반영 정확도 관리의 이슈에 대해서는 아직 논의가 활성화되어 있지 않다. 본 연구는 현실 반영 정확도를 갖고 있는 DIT 도구를 활용하기 위해 어떠한 보완 과정이 존재할 수 있는지를 밝히고 이러한 과정이 주는 경영적 시사점을 도출한 데 그 의의가 있다고 하겠다.

이러한 보완적 과정의 개발 능력은 기술능력(technological capability)의 일부를 구성하는 새로운 능력이라 할 수 있다. 보완적 과정을 개발하지 못하는 기업은 DIT 기술이 제공하는 기회, 즉 DIT를 이용한 사전 점검 기회를 충분히 활용하지 못하게 되고 신제품 개발 과정에서 일어날 수 있는 시행착오의 축소, 신제품 개발 기간의 단축 등의 기회를 놓치게 되어 신속한 제품 개발을 통한 비용 절감을 할 수 있는 기술능력을 구축하는 기회를 잃게 될 것이다.

향후 연구과제는 우선 본 논문에서 도출된 탐색가설을 보다 많은 기업체를 대상으로 점검하는 것이라고 하겠다. 탐색 가설을 점검하기 위해서 기업체 가운데 시뮬레이션 및 해석 기술을 사용하는 업체를 대상으로 설문 분석을 하되 목표 현실 반영 정확도 설정 여부 및 방식, 보완적 개발 과정의 유형, 보완적 개발 과정에서 드러나는 조직간 조정, 상위경영자의 역할, 보완적 개발 과정에 대한 전략적 관리 이슈에 대한 분석을 할 필요가 있다. 이와 관련된 연구주제는 향후 보다 깊은 탐색이 필요한 분야이다.

본 연구는 탐색적 연구이고 주로 중소기업 방문 인터뷰를 통한 사례 분석이 중심이 되었다는 점에서 한계를 가지고 있다. 본 연구에서 논의한 탐색적 가설의 검토는 보다 넓은 대기업, 중소기업 군을 대상으로 이루어질 필요가 있다고 보여진다.

사의(acknowledgement)

“이 논문은 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.” 건국대 글로벌 기술혁신 경영 연구소 세미나에서 유용한 코멘트를 해 주신 성백서 교수님을 비롯한 여러 경영대 교수님께 감사드린다.

참고문헌

- 김우봉, 임채성, 김한주 외 6인 (2007), 한국 중소기업의 IT R&D 패턴의 변화와 기술혁신경영 전략 및 정책 시사점, 정보통신연구진흥원.
- 김주용 외 (2005). 제품개발 프로세스혁신을 위한 정보화 활용전략, 중소기업정보화경영원.
- 디지털 타임즈 신문 (2004) “기획-디지털디자인경쟁력(10)”, 1월 12일.
- 박동현 (2002), 국가 e-R&D 시스템 구축 방안 연구, 과학기술정책연구원, p.116.
- 박동현, 배영자, 송위진, 엄미정 (2002), e-비즈니스의 확산과 산업혁신과정의 변화, 과학기술정책연구원.
- 배영자 (2001,) e-비즈니스의 확산과 혁신과정의 변화: 전자산업, 과학기술정책연구원.
- 손현호 (2004) “변화에 강한 조직만이 살아남는다. 관리(정보)의 혁신: 재영솔루션”, 핸드폰 부품 부품소개 산업진흥원 홍보자료, 6월.
- 타케다 요코, 임채성 (2008) 3차원 정보기술이 제품 개발에 미치는 영향에 관한 한·중·일 비교 조사 CAD & Graphics 2008. 5.
- Adams, M. and D. Boike (2004), PDMA Foundation CPAS Study reveals new trends, Visions Vol. XXVIII: No.3, July, Pages 26-29.
- Baba,Y and K Nobeoka (1998) Towards knowledge-based product development: the 3-D CAD model of knowledge creation, *Research Policy* Volume 26, Issue 6, February 1998, Pages 643-659.
- Becker, J., Kugeler, M. and M. Rosemann (2003) *Process Management: A Guide for the Design of Business Processes*, Springer.
- Bessant, J. and Tidd, T. (2007), *Innovation and Entrepreneurship*, Wiley.
- D’Adderio, L. (2001) Crafting the virtual prototype: how firms integrate knowledge and capabilities across organisational boundaries, *Research Policy* Volume 30, Issue 9, December 2001, Pages 1409-1424.
- Dodgson, M., Gann, D. and A. Salter (2005) *Think, Play, Do: innovation, technology, and organization*, Oxford University Press.
- Dunning, J. H. (1997) *Governments and the macro-organization of economic activity: a historical and spatial perspective*’ *Governments, Globalization and International Business*, London: Oxford University Press.
- Ernst, D. and D. O’conner (1992). *Competing in the Electronics Industry: the experience of newly industrialising economies*, Paris: OECD.
- Ernst, D. (1999) How globalization reshapes the geography of innovation systems. DRUID

- conference on national innovation systems, industrial dynamics.
- Ernst, D. and B. Lundvall (1999) *Information technology in the learning economy—challenges for developing countries’ Evolutionary Economics and Spatial Income Inequality*, London: Edward Elgar Press.
- Ernst, E. (2006) “Innovation Offshoring”, East–West Center, Honolulu, No. 10.
- Fischer, M. (2004) “Information Technology in Construction–What’s ahead?”, slide presentation at <http://www.stanford.edu/~fischer> 2007. 3. 20 accessed.
- Fujimoto, T. (2007) “Architecture based comparative advantage” *Evolutionary Institution Economic Review* 4(1) 55–112.
- Gates, B. (1999) “Business and the Speed of Thought. using a digital nervous system”, Financial Times: 4 part pre–print series.
- Hey, T. and Trefethen, A. (2003) “The Data Deluge: an e–science perspective”, *Grid Computing: making the Global Infrastructure a Reality* (in F. Berman, G.Fox, and T. Hey), Chichester: Wiley.
- Howells, J. (1995) “Going global: the use of ICT networks in research and development”, *Research Policy*, Vol. 24, No. 2, p.169–84.
- Kim, W. C. and r. mauborgne (2000) “Building an Innovation”, *Harvard Business Review*, May–June.
- KIPRIS (http://www.kipris.or.kr/new_kipris/index.jsp)
- Kobrin, S. J. (1997) “The architecture of globalization: state sovereignty in a networked global economy”, *Governments, Globalization and International Business* (J. H. Dunning), London: Oxford University Press.
- Koontz,H. and C. O’Donnel (1976) *Management—a systems and contingency analysis of managerial function*, Tower Press
- Kunz, J. C., Levitt, R. E. and Y. JIN (1998) “The Virtual Design Team: A Computational Simulation Model of Project Organizations”, *Communications of the Association for Computing Machinery(CACM)*, 41 (11), November, p.84–91.
- Lefebvre, L. A. and E. Lefebvre (2000) “Virtual enterprises and virtual economy: manifestations and policy challenges”, *International Journal of Technology Management*, 20(1–2): p.58–71.
- Lundvall, B. (1992) *National Systems of Innovation*, London and New York: Pinter publisher.
- Martin Fischer and John Kunz (2004) “The Scope and Role of Information Technology in Construction”, CIFE Technical Report #156, STANFORD UNIVERSITY, Feb.
- McDonough, E. F. I. and D. Cedrone (2000) “Meeting the challenge of global team management”, *Research–Technology Management*, 43(4): p.12–17.
- Miller and Morris (1999) *Fourth Generation R&D: Managing Knowledge, Technology, and*

- Innovation*, New York Chichester: John Wiley & Sons.
- Morrison, P., Midgley, D. and J. Roberts (2002) “The Nature of Lead Users and Measurement of Leading Edge Status”, mimeo.
- National Institute of Technology Management (NITM) and Fraunhofer Institute (2003) ‘Strategic Management for SMEs Navigating in Turbulent Times’, Presentation Slide at http://www.ucd.ie/nitm/assets/downloads/fraunhofer_seminars/sep_17_03.
- National Research Council (1999) *Advanced Engineering Environments*, Phase 1, Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (2000) *Design in the New Millennium, Advanced Engineering Environments*, Phase 2, Washington, DC: National Academy Press.
- Nelson, R. (1993) *National Innovation Systems: a comparative analysis*, New York: Oxford University Press.
- Patel and Pavitt (1991) “Largest firms in the Production of the Worlds’ Technology”, *Journal of International Business Studies*, Vol. 22
- Montana, P. J. and B. H. Charnov (2000) *Management*, Barron’s, p.106.
- Perez, C., and L. Soete (1988) “Catching-up in technology: entry barriers and windows of opportunity”, *Technical Change and Economic Theory* (In Dosi), London: Pinter Publishers.
- Hayes, R. H., Wheelwright, S. C. and K. B. Clark (1988) *Dynamic manufacturing*, Free Press New York.
- Roberts, EB (1977) “Generating Effective Corporate Innovation”, *Technology Review*, October
- Schilling, M. (2008) *Strategic Management of Technology*, McGrawHill; New York.
- Schrage, M. (2000) *Serious Play*, Harvard Business School Press.
- Senker, J. and W. Faulkner (1996) “Networks, tacit knowledge and innovation’ Technological Collaboration” causes and consequences. R. Coombs, P. Saviotti and V. Walsh. Aldershot, Edward Elgar.
- Stopford, J. (1994) *Building regional networks: Japanese investments in Asia*, manuscript, London Business School.
- Subirana, B. and P. Carvajal (2000) “Transaction streams: theory and examples related to confidence in internet-based electronic commerce”, *Journal of Information Technology*, 15: p.3-16.
- Thomke and Fujimoto (2000) “The Effect of ‘Front-Loading’ Problem Solving on Product Development Performance, “ *Journal of Product Innovation Management* 17, 2000.
- Thomke, S. (2001) “Enlightened Experimentation: The New Imperative for Innovation”, *Harvard Business Review*, Feb.

- Thomke, S. (2003) *Experimentation Matters*, Harvard Business School Press
- Tidd, J., Bessant, J. and K. Pavitt. (2001) *Managing Innovation*, London: Wiley
- Utterback, J. (1974) "Innovation in industry and diffusion of technology", *Science*, 183: p.658-62.
- Von Hippel, E. (1977) "The Dominant Role of the User in Semiconductor and Electronic Subassembly Process Innovation", *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-24(2), p.60-71.
- von Hippel, E. (1978), "A Customer-active Paradigm for Industrial Product Idea Generation", *Research Policy*, 7, pp.240-66.
- von Hippel, E. (1988), *The Sources of Innovation*, Oxford: Oxford University Press
- von Hippel, E. (1994) "Sticky Information and the Locus of Problem Solving : Implications for Innovation", *Management Science*, 40, p.429-39.
- von Hippel, E. and R. Katz (2002) "Shifting Innovation to Users Via Toolkits", *Management Science*, 48(7): p.821-33.
- Wheelwright, SC. and Kim B. Clark (1992) *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality*, Free Press
- Whyte, J. (2002) *Virtual Reality and the Built Environment*, Architectural Press.
- Wikipedia (<http://www.wikipedia.org/>)

□ 투고일: 08. 03. 07 / 최종 수정본 접수일: 08. 12. 23 / 게재확정일: 08. 12. 24