

연구개발 분야의 IT 서비스 전략: e-R&D를 중심으로

이 주 성* · 장 인 수**

목 차

| | |
|--|---|
| 요약 | 4.3 ETRI 웹기반 원격공동계측시스템 (n-R&D 사례) |
| 1. 서론 | 4.4 SK텔레콤 PaaS형 클라우드 컴퓨팅 플랫폼 구축(n-R&D 사례) |
| 1.1 연구의 목적 및 필요성 | 5. e-R&D를 통한 미래기업으로의 창조적 변화 |
| 1.2 연구 내용 | 5.1 e-R&D 사이버 클러스터 구축 |
| 1.3 연구개발 활동의 개요 | 5.2 대규모 e-R&D 프로젝트의 정부참여 |
| 2. e-R&D의 개념과 등장 배경 | 5.3 e-R&D 솔루션 소프트웨어 산업 육성 |
| 2.1 e-R&D의 개념 | 5.4 기업의 e-R&D 도입 및 확산을 통한 산업 시스템 및 비즈니스 모델의 변화 유도 |
| 2.2 e-R&D의 등장 배경 | 6. 결론 |
| 3. e-R&D 패러다임의 발전 | 참고문헌 |
| 3.1 in-silico R&D(계산과학형 R&D) | Abstract |
| 3.2 n-R&D(네트워크형 R&D) | |
| 3.3 u-R&D(유비쿼터스 R&D) | |
| 4. e-R&D 사례 및 시사점 | |
| 4.1 게이오대학 첨단생명과학연구소의 E-cell Project(in-Silico R&D 사례) | |
| 4.2 MIT Microelectronics WebLab (n-R&D 사례) | |

요약

e-R&D 활동이란 가상공간에서 인터넷 등의 네트워크나 컴퓨터 소프트웨어를 이용하여 R&D 활동을 전개해 나가는 것을 의미한다. 최근 빠른 속도의 기술변화와 다양해진 고객의 수요로 인해 기업은 생산성 향상의 문제에 직면하면서 e-R&D 필요성을 절감하고 있다. 본 논문에서는 e-R&D의 동향, 적용 사례 및 e-R&D 활성화를 위한 전략적 시사점을 살펴보고, 이를 통하여 미래기업의 e-R&D 모델과 디지털산업 육성 및 기술경쟁력 확보를 위한 e-R&D 정책을 제시하였다.

표제어: e-R&D, 연구개발 IT 서비스, 디지털 제조

접수일(2012년 8월 15일), 수정일(1차: 2012년 8월 23일), 게재확정일(2012년 8월 30일)

* KAIST 경영과학과, 교신저자, jooslee@kaist.ac.kr

** 연세대학교 정보산업공학과, janginsu@etri.re.kr

1. 서론

1.1 연구의 목적 및 필요성

각종 디지털 제품의 출현과 함께 다양한 수요층의 지속적인 관심으로 제품의 라이프사이클은 점점 짧아지고 제품에 대한 고객과 시장의 요구는 더욱 세분화되고 있다. 이에 신제품 개발을 위한 기업의 연구개발(R&D) 비용은 급격하게 증가하고 치열한 경쟁 속에서 생산비 절감의 문제에 직면하게 된 기업들은 R&D 기간과 비용을 최소화하면서 제품의 성공적 상업화 방안을 적극적으로 모색하기 시작하였다. 그러나 실험실 등 기존의 물리적이고 제한적인 작업 공간에서의 연구개발 방식만으로 R&D 생산성을 혁신적으로 제고하는 데에는 한계가 있음을 깨닫게 되었다. 그리하여 기업들은 가상공간에서의 협동 연구, 연구개발 활동의 아웃소싱, 모듈형 R&D 등 e-R&D의 활성화를 통하여 연구개발 기간을 단축하고, 신제품 개발 성공률을 획기적으로 높일 수 있게 되기를 기대하게 되었다[5].

1.2 연구 내용

본 연구에서는 기술경쟁력 혁신을 위한 미래기업의 창조적 e-R&D 활용 전략을 분석한다. 구체적으로는 e-R&D 개념과 등장배경, 추진현황 및 산업전환 사례를 살펴보고 e-R&D 활성화를 위한 전략 및 정보통신기술(Information and Communication Technology, ICT) 활용 방안을 제시한다. 이를 통하여 R&D 기획 및 관리, 기술 전략 등 기술관점의 역량과 전략경영, 마케팅, 조직개발 및 관리 등 경영능력을 복합적으로 함양할 수 있는 미래기업의 e-R&D 모델과 신산업 창출 및 기술경쟁력 확보를 위한 e-R&D 활용방안을 제시하였다.

1.3 연구개발 활동의 개요

1.3.1 연구개발 활동의 정의

연구개발 활동이란, 과학기술 지식을 축적하거나

새로운 활용법을 찾기 위하여 축적된 지식을 활용하는 조직적이고 창조적인 활동이다. 이는 사물, 기능, 현상 등에 관하여 새로운 지식을 획득하거나 기존지식을 활용한 창조적인 노력 및 탐구(시험·측정·분석 및 기계·기구·장치의 획득, 동식물의 육성, 문헌조사 등)와 연구개발을 지원하기 위한 다양한 활동을 포함한다.

1.3.2 연구개발 활동의 특성 및 중요성

소비자의 기호가 시시각각으로 변하고 글로벌 기업과 경쟁해야 하는 환경 속에서 차별화된 기술력을 통한 경쟁력의 확보는 기업의 생존과 성장의 핵심요인으로 등장하였다. 기업의 지속적인 성장을 위해서는 연구개발을 통해 소비자의 선택을 받을 수 있는 제품을 뛰어넘어 수요를 창출할 수 있는 혁신제품을 개발해야만 한다. 이러한 환경변화에 대응하여 최근 기업들은 양적 성장을 위한 설비투자에 신중을 기하는 한편 질적인 경쟁력을 제고하기 위한 연구개발 투자를 강화하고 있다. 경영환경의 불확실성이 커지고 경쟁이 심화되면서 연구개발 활동의 중요성은 점점 확대되고 있는 것이다. 그림 1은 제품을 생산할 때 연구개발 단계에서 확정되는 원가의 비율이 가장 크다는 것을 설명하는 그림으로 연구개발 투자에 있

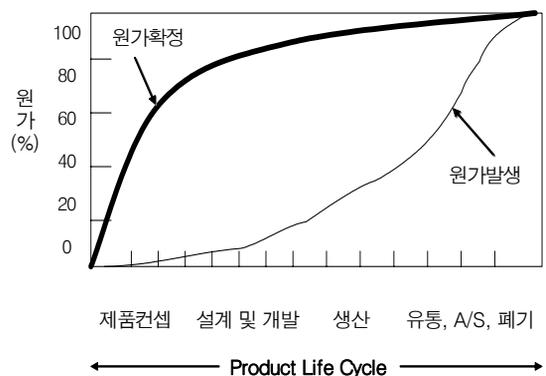


그림 1. 제품원가의 발생 및 결정과정 (조성표, 심재강, 2000)

Fig. 1. Product lifecycle and cost determination

어서 효율적이고 혁신적인 R&D 활동을 장려하는 것은 무엇보다 중요하다. 즉 혁신적 기술개발과 상업화를 위한 기업의 기술경영 전략이 필요한 것이다.

2. e-R&D의 개념과 등장 배경

2.1 e-R&D의 개념

e-R&D란 웹상의 가상공간에 R&D 체계를 갖추고, 이를 활용하여 연구개발 활동을 전개하는 것을 의미한다. e-R&D 활동은 매우 넓은 범위에 걸친 연구개발 활동을 포함하는데, 컴퓨터를 이용해 복잡한 계산을 하거나 인터넷을 통해 연구개발을 위한 정보를 찾는 것 뿐 아니라 컴퓨터 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션이나 가상 실험을 수행하는 것 등이 포함된다. 또한 인터넷 등의 네트워크를 통해 컴퓨팅 자원과 데이터를 공유하면서 여러 연구개발 조직들이 협업적으로 R&D 프로젝트를 진행하는 활동도 e-R&D에 포함된다. 이러한 e-R&D 활동은 관련 부문간, 경쟁사간 제휴와 지식 공유를 증가시키고, 연구개발자들 사이에 정보교류가 실시간으로 이루어질 수 있도록 도와줌으로써 새로운 지식 창출 시간을 크게 단축시켜 준다. 또한 R&D 활동의 아웃소싱, 모듈형 R&D 등을 활성화시켜 연구개발 기간의 단축뿐만 아니라 신제품 개발 성공률 제고 등 R&D 생산성의 혁신적인 향상을 가능하게 할 것으로 기대되고 있다[8].

2.2 e-R&D의 등장 배경

최근 컴퓨터, 반도체, 통신, 생명공학 등의 분야에 서 기술혁신이 매우 빠른 속도로 진행되고 있다. 특히 정보통신기술과 인터넷의 발전은 기업의 경영 환경과 고객의 입장에 많은 변화와 혁신을 가져 오고 있다. 고객은 원하는 정보를 더욱 쉽게 얻을 수 있고, 제품과 서비스 사양에 대한 선택 권한은 기업에

서 고객으로 점차 이동하고 있다. 세분화되고 있는 고객 및 시장의 요구는 제품의 라이프사이클을 점점 단축시키고 있으며, 고객 및 시장의 욕구에 부합하지 못하는 제품은 빠르게 도태되어 짧은 기간 동안 다양한 신제품을 개발해야 하는 기업들의 부담은 점차 증가하고 있다.

반면, 인터넷이 보편화됨에 따라 물리적인 거래비용이 크게 감소되고 시장의 효율성이 높아지면서 기업의 비대화는 오히려 비효율성의 요인이 되었다. 다운사이징(downsizing)을 통해 핵심 역량 이외의 기능은 아웃소싱을 하는 방법이 거래비용을 줄일 수 있는 방법으로 확산되고 있다.

기술의 속도화, 고도화, 컨버전스화로 한 기업이나 조직이 제품 개발을 위한 모든 기술력을 갖추는 것은 과도한 비용과 시간이 소요되는 일이 되었다. 또한 모든 원천 기술을 자체 개발하여 제품을 만드는 데는 많은 시간이 소요되기 때문에 시시각각 변하는 고객 및 시장의 요구에 쉽게 대응하지 못하게 된다. 기업들은 핵심역량을 제외한 부분들은 다운사이징하여 효율성을 극대화해야 치열한 경쟁 환경에서 살아남을 수 있게 되었다. 이러한 경영환경의 변화로 인하여 기업들은 R&D에 필요한 모든 자원과 기술력을 사내에서 공급한다는 과거의 패러다임을 버리고 다른 기업과의 전략적 제휴, 파트너십, 조인트벤처 등과 같은 협업적인 연구개발을 수행하는 open innovation 방식을 채택하기 시작했다. e-R&D 개념은 이미 인터넷 혁명 이전에 태동하였으나, 최근 이와 같은 환경 변화에 힘입어 본격적으로 활성화되고 있다.

3. e-R&D 패러다임의 발전

e-R&D의 패러다임은 e-R&D가 처음 도입되었던 때부터 지금까지 끊임없이 발전해 왔다. 그림 2에서 컴퓨터를 이용한 비즈니스 및 R&D 초기에는 in-silico R&D(계산과학형 R&D)가 주된 형태였다. 그 후 인터넷

넷의 발달로 비즈니스와 R&D 방식이 인터넷을 기반으로 이루어지는 e-전환이 이루어지면서 n-R&D(네트워크형 R&D)를 통해 연구개발 활동을 수행하게 되었고, 최근에는 u-R&D(유비쿼터스 R&D)를 위한 인프라 및 기술의 지속적인 개발이 이루어지고 있다[2].

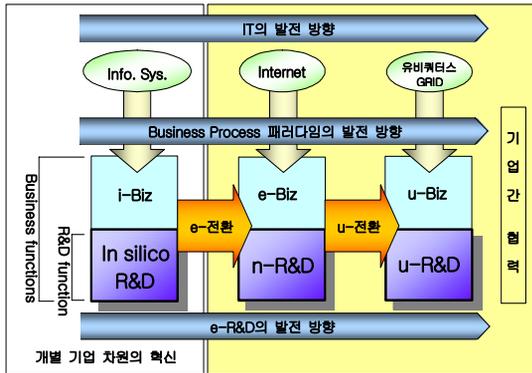


그림 2. e-R&D 패러다임의 발전
Fig. 2. e-R&D paradigm evolvement

3.1 in-silico R&D(계산과학형 R&D)

지난 20년 동안 컴퓨터 성능의 급격한 발전은 R&D 과정에 혁신적인 변화를 가져왔다. 컴퓨터의 계산 능력이나 시뮬레이션, 3차원 설계 소프트웨어 등을 활용함으로써 R&D 과정의 소요 시간 및 비용이 크게 절감되어 효율성이 향상되었다. 순수과학에서는 컴퓨팅 능력을 활용한 계산과학(computational science)이 발전하기 시작하였는데 각 분야별로 계산화학, 계산생물학, 생물정보학, 계산물리학 등이 파생되었다. 마이크로프로세서 성능의 향상과 이에 따른 다양한 고성능 시뮬레이션 프로그램의 개발로 계산과학의 가능성은 더욱 확대되어 왔다. 반도체 안에서 이루어지는 혁신이라는 의미의 in-silico R&D라는 표현은 계산과학의 특징을 잘 나타내주는 보편적인 용어로 자리매김하였다.

R&D 과정에 컴퓨터 시스템이 도입되면서 e-R&D가 시작되었다고 할 수 있으나 초기에는 네트워크상

의 연결 없이 개별적인 컴퓨터 단말기의 컴퓨팅 능력만을 이용하는 형태가 주를 이루었다. 이러한 초기 형태의 in-silico R&D는 네트워크를 통한 협업적 연구라는 개념이 결여되어 있기 때문에 진정한 의미의 e-R&D라고 할 수는 없다. 가장 보편적으로 사용되는 in-silico R&D의 유형으로는 software-based R&D가 있다.

소프트웨어는 컴퓨터가 최초 개발된 시점부터 함께 발전된 부분으로서 기초연구단계에서 제품생산까지 R&D의 거의 모든 단계에서 기초가 되는 요소이다. 대부분의 경우 소프트웨어는 R&D의 진행과정이나 소비자를 위한 가치있는 제품을 생산하기 위한 기능을 창조하는 데 핵심요소가 된다. 예로 들면, 제조공학(Manufacturing Engineering) 과정에서는 소프트웨어를 활용하여 워크스테이션 디자인, 공정 설계, 3차원적 분석, 네트워크 조작, 품질 개선 등의 모든 면에서 비용이 절감되는 효과가 있다. 소프트웨어는 특히 직원, 기술자, 그리고 경영자들이 복잡한 시스템 운영의 문제를 해결하기 위해서 협력적으로 일하는데 유용하며, 나아가 디자인에서부터 모든 제조공정의 모니터링을 가능하게 한다.

이러한 소프트웨어는 전통적 실험실 내에서는 수행하기 어려운 다양한 시뮬레이션(simulation)을 가능하게 한다. 즉 시뮬레이션은 실제 시스템을 모방한 모형을 통해 행하는 모의실험으로, 특히 컴퓨터를 이용한 모의실험이다. 시뮬레이션 기법은 다양한 상황에 따른 결과들을 쉽게 분석하게 해줌으로써 의사결정 문제에 있어서 수리적인 기법보다는 점점 더 광범위하게 이용되고 있다. 가상적인 운영 결과에 대한 즉각적인 분석 작업 및 피드백을 통해 빠르고 정확한 개발 환경을 가능하게 함으로써 전통적 시험환경의 제약을 극복하고, 개발비를 최소화시켜 제한 시간 내에 목표시장의 요구에 부합하는 최적의 제품 개발을 가능케 한다. 안전성과 효율성 및 비용절감과 시간 단축 등의 효과로 인하여 시뮬레이션은 각종 산업과 기업에 광범위하게 활용되고 있다. 시뮬레이션 기법

은 기업의 경영전략, 경제예측 등에도 활용되고 있으며, 이러한 시뮬레이션을 수행하는 솔루션은 정보전략 수립에서부터 프로젝트 관리까지 다양하다.

시스템 반도체산업은 software-based e-R&D의 좋은 예가 되고 있다. 시스템 반도체의 개발은 Front-end design, Back-end design, Mask and Fabrication, Package, Test 개발 공정으로 구성되는데 각각의 모든 공정이 software-based로 개발이 이루어진다. 또한 각 개발 공정단계에서 다음 공정으로 넘어가는 단계에서는 반드시 시뮬레이션, 검증 등의 단계를 거치게 되는데 이러한 software-based 개발은 개발 단계에서의 시행착오를 줄여 반도체 개발을 빠르게 수행할 수 있도록 할 뿐만 아니라 수백억 원이 소요되는 개발비용을 절약할 수 있도록 하는 이점이 있다.

그림 3은 반도체 개발비용에 있어서 소프트웨어의 비용을 나타낸 것으로 미세공정으로 진화할수록 수백억 원이 소요되는 반도체 개발비용에 있어서 비용, 시간, 안정성 측면을 고려하여 소프트웨어의 의존도가 점점 높아지는 것을 나타내고 있다.

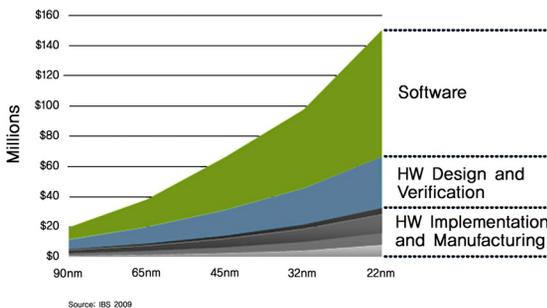


그림 3. 시스템반도체 개발비용 및 비중

Fig. 3. System semiconductor development cost

3.2 n-R&D(네트워크형 R&D)

최근의 e-R&D는 여러 지역에 분산된 컴퓨팅 자원을 네트워크로 연결하여 효율성을 극대화하는 것을 목표로 하고 있다. 초기의 in-silico R&D는 컴퓨팅 자원의 이용을 통해 R&D 과정의 효율성을 크게

향상하였지만 인터넷이 발전하기 이전에는 네트워크를 이용하여 가상실험 도구와 데이터를 공유하는 협력적 연구개발 환경은 실현되기 어려웠다.

n-R&D는 in-silico R&D가 확장 및 발전된 패러다임이다. 인터넷이 발전하면서 개별 컴퓨터에 존재하는 가상실험실들을 연결하여 소프트웨어와 데이터를 서로 공유할 수 있게 되었는데 분산된 컴퓨팅 자원과 인적 자원들을 네트워크를 통해 연결함으로써 협업적인 연구개발 환경을 제공하는 것이 e-R&D의 새로운 개념이다.

n-R&D는 user, interface, data의 요소로 구성되어 information system을 이루고 있으며 그 대표적인 예로는 PDM(Product Data Management)이 있다. PDM은 제품의 기획에서 설계·제조·인증 및 마케팅 등 제품 개발에 관련되는 모든 데이터를 일원적으로 관리하기 위한 정보시스템이다. 여기에는 관련 프로젝트 데이터, 기록 및 문서는 물론, 계획서, 기하학적 모델, CAD 도면, 이미지, NC 프로그램 등을 포함한, 각 단계별로 필요한 모든 데이터가 포함된다. PDM은 전체 회사뿐 아니라 작업 그룹들을 위해 개발되었는데, 각 공정에서의 철저한 정보 관리와 공유에 의한 기업 내 각 부서의 동시 처리의 실현으로, 제품 개발 시간을 단축하고 전사적 품질 관리를 가능하게 한다.

이렇게 e-전환을 통해 in-silico R&D에 네트워킹 개념이 포함된 n-R&D는 기존의 in-silico R&D에서 수행되던 고성능 컴퓨터에 의한 데이터관리, 처리, 분석 등에 기초하여 가상공간상에서의 협동연구, R&D 활동의 본격적 out-sourcing, 모듈형 R&D 등 새로운 유형의 R&D 활동으로 그 영역을 확장하게 되었다. 이러한 n-R&D의 발전으로 인해 R&D 생산성이 혁신적으로 증대될 것으로 기대된다.

n-R&D의 대표적인 사례는 바로 보잉사 최초로 전 과정에 걸쳐 디지털 협업을 통해 설계한 Boeing 777 기종의 개발이다. 보잉에서는 제작원가는 낮추되 성능은 높여야하는 생산효율의 문제에 직면해 있었

는데, 이것은 기존의 개발방식과는 전혀 다른 새로운 방법으로만 가능한 것이었다. 보잉은 이 문제를 전체 개발 과정을 정보통신기술을 이용한 웹 기반 업무방식으로 수행함으로써 해결할 수 있었다.

예를 들면, 처음 설계 과정에서 보잉사에서는 개념적인 설계만 하고 그 도면들을 일본으로 보내서 일본의 엔지니어들이 세부적인 설계를 하도록 했다. 그러면 일본의 설계사들은 제조를 담당하는 사람들과 제조 과정에서 생기는 문제들을 빠르게 파악하여 조기에 보잉에 알릴 수 있었다. 보잉은 이를 위해 미국에서 일본까지 연결하는 새로운 광케이블을 설치하는 등 세심한 노력을 기울였다.

신형 항공기를 설계하는 일은 대규모의 작업임에도 불구하고 제한된 공간만을 활용할 수 있다는 문제점이 있다. 그러나 디지털 도구를 이용하게 되면 단순한 문제에서부터 복잡한 문제에 이르기까지 모든 것을 살펴볼 수 있을 뿐만 아니라 다양한 분야의 전문가들을 하나로 모아줌으로써 다차원이고 다변수적인 문제들도 해결할 수 있게 해준다. 새로운 디지털 프로세스는 또한 원자재 입수, 부품 설계, 항공기 개념 설정, 그리고 부품 제작에서부터 구성 및 조립에 이르는 보잉의 전체 생산망을 조종해 준다. 이미 2만 5천 명의 종업원들이 사용하고 있는 보잉의 새로운 시스템은 이전에 사용하던 13개의 독립적인 시스템 대신에 제작에 필요한 자료를 일괄적으로 제공하고 있고 보잉의 목표는 종업원 10만 명 모두가 이 시스템을 사용하는 것이다.

현재 n-R&D는 제약회사들 간의 공동 신약 연구 개발 프로젝트에도 활발히 이용되고 있다.

3.3 u-R&D(유비쿼터스 R&D)

연구개발 활동은 주로 이론과 실험, 그리고 최근의 계산과학(computational science)을 통해 수행되어 왔다. 센서들과 시뮬레이션은 많은 정보를 산출해 낼 것이다. 이에 더해 다양한 기술들, 즉 시각

화, 통계적 분석, 데이터마이닝(data mining)은 시뮬레이션과 원래의 데이터 소스를 통해 모은 정보로부터 지식을 추출할 것이다. 여기에서 추출된 지식들은 다시 이론과학으로 피드백될 것이며, 이러한 과정을 무수히 반복할 경우 이론과 실험의 두 기둥 사이의 고전적 공동연구는 과거와 비교할 수 없을 정도의 효율성을 가지고 진보될 수 있을 것이다. 요약하면 과거와 비교할 수 없을 만큼의 데이터의 양과 이들 데이터들로부터 의미를 재형성 할 수 있는 논리체계의 구비, 그리고 이들을 뒷받침하는 막강한 컴퓨팅 능력이 갖추어 진다면 연구의 접근 방향의 새로운 패러다임이 실현될 수 있는 것이다.

3.3.1 e-R&D와 GRID

기술의 첨단화와 전문화가 더욱 심화되고, 연구개발의 규모가 커짐에 따라 협업적 연구개발 환경의 필요성은 더욱 증대되고 있다. 이런 상황에서 과학자가 원격시설에서 고가의 컴퓨팅 자원과 전용 데이터베이스에 저장된 정보에 쉽게 접근할 수 있도록, 인터넷보다 훨씬 더 강력한 하부구조를 제공하는 것이 요구된다. 이 때 데이터 발생위치에서 컴퓨팅과 저장 파워에 대한 재정적 투자를 증대하거나 또는 설계에 의한 국제적인 분산 컴퓨팅을 사용할 수 있다. 그리드는 그러한 e-R&D 비전을 실현하기 위한 아키텍처이다. 현재의 월드와이드웹(WWW)이 인터넷을 통해 자료를 공유하는 기술이라고 정의한다면, 그리드 컴퓨팅은 인터넷을 통해 텍스트 정보뿐만 아니라 컴퓨팅 파워, 데이터 저장기술, 첨단 실험장비, 심지어 인적 자원까지를 교환하고 공유 할 수 있도록 해주는 기술이다. 즉 현재의 인터넷 기술이 웹상의 여러 서버 및 컴퓨터 간에 대화를 나누는 수준이라면 그리드 컴퓨팅의 네트워크에서는 이러한 여러 자원들이 협업을 해 어떠한 결과값을 제공하게 되는 것이다.

그리드는 크게 컴퓨팅 그리드, 액세스 그리드, 데이터 그리드 등으로 나눌 수 있다. 첫 번째로 컴퓨터 그리드란, 지역적으로 분산되어 있는 컴퓨팅 파

위를 공유해 한 대의 고성능 컴퓨터처럼 사용할 수 있게 해 주는 그리드다. 현재의 컴퓨팅 그리드는 컴퓨팅 파워만을 제공하는 수많은 서버들로 구성된 서버 팜을 구성해 많은 컴퓨팅 파워가 필요한 어플리케이션을 수행하는데 도움을 주는 메타 컴퓨팅 형태를 갖는다. 그리고 액세스 그리드는 분산된 지역의 연구원들이 공동으로 프로젝트를 진행할 수 있는 협업 환경을 제공해 주는 그리드다. 즉 고속의 네트워크 인프라 위에 컴퓨터 장비, 데이터베이스, 핵 가속기, 천체 망원경과 같은 고가의 첨단 기자재뿐만 아니라 전문 인력 자원까지도 공유할 수 있는 환경을 제공해 주는 것이다. 마지막으로 데이터 그리드는 대용량의 데이터를 네트워크를 통해 공유하기 위한 그리드이다.

우리나라에서는 한국과학기술정보연구원(KISTI)을 중심으로 국제적 협업이 필요한 분야 또는 고성능의 컴퓨팅 성능을 필요로 하는 분야에 그리드를 이용한 u-R&D 적용이 활발하게 이루어지고 있다.

그간 학계 및 연구 개발 분야에서 주로 응용되던 그리드 컴퓨팅 기술과 솔루션들이 올해 들어 주요 정보통신업체들의 잇단 그리드 솔루션 개발·공급으로 인해 일반 기업 환경에 빠르게 적용되고 있다. 또한 이미 여러 기업들이 그리드화 된 제품을 사용해 스토리지 환경 및 데이터베이스 환경에 대한 가상화를 구현하고 있으며, 이를 통해 그리드 컴퓨팅은 단시간 내에 주변의 여러 기술과 접목하여 다차원적으로 진보하고 있다[6].

3.3.2 인터넷 기반 분산 컴퓨팅

인터넷 기반 분산 컴퓨팅이란, 인터넷 상으로 연결되어 있는 각각의 개인용 컴퓨터(PC)를 소프트웨어적으로 서로 연결하여 일시적으로 CPU를 이용하지 않는 동안에 작업을 수행하도록 하는 컴퓨팅 기술을 말한다. 전 세계적으로 CPU의 성능과 메모리 용량은 급격히 증가하고 있지만, 이것들의 실제 이용률은 낮다는 분석이 있다. 인터넷 기반 분산 컴퓨

팅은 이와 같은 수많은 유휴 컴퓨팅 자원을 이용할 수 있기 때문에, 이 자원을 활용하여 저렴한 비용으로 높은 효율의 슈퍼 컴퓨팅 환경을 구현하고 대용량 컴퓨팅 작업을 실행할 수 있다

인터넷 기반 분산 컴퓨팅을 이용하여 많은 프로젝트가 진행되고 있는데, 그 중 한 사례가 @Home 프로젝트이다. 이 프로젝트는 크게 대용량응용관리 서버, @Home 서버, 에이전트로 구성이 되는데 대용량응용관리서버는 @Home 시스템을 이용하여 병렬/분산처리가 필요한 응용작업을 요청하는 주체이고, 에이전트는 개인 PC에 설치되는 프로그램으로 작업의 일부를 분배받아 적절한 계산을 수행하고 그 결과를 되돌려 준다. @Home 서버는 전체시스템의 중심에서 작업의 요청과 작업분배 및 수거 등을 책임지며 에이전트 자원을 관리하는 서버로 작업분배, 인증, 에이전트 관리 등의 역할을 한다[4].

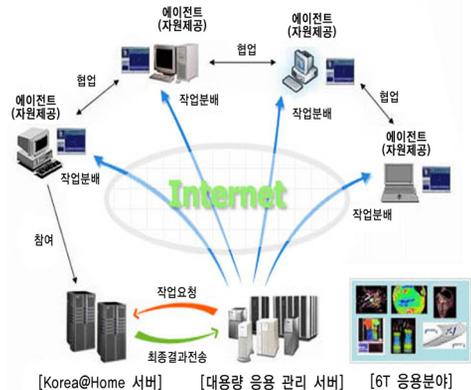


그림 4. 인터넷 기반 분산 컴퓨팅 구성도(@Home 구성도) (정보통신기술협회)
Fig. 4. Structure of internet-based distributed computing(TTA)

미국을 중심으로 영국, 독일 등 유럽에서는 우주천문, 생명공학, 나노, 기상, 금융, 인공지능, 수학, 암호학 등 다양한 응용분야에서 @Home 프로젝트가 진행 중이다. 가장 대표적인 것은 University of California at Berkeley 에서 본격적으로 시작되고 스탠포드대학교

옥스퍼드대학이 중심이 되어 참여하고 있는 SETI@Home 프로젝트로, 인터넷 기반 분산 컴퓨팅을 이용하여 다른 행성에서 송출하는 주파수 신호를 찾아 지구 밖 행성의 지적생명체 존재를 밝히는 프로젝트이다. 이 프로젝트는 지금까지 283,000년 이상의 컴퓨팅 시간을 기증받아 최고 성능이 70테라플롭스(1테라플롭스는 1초 당 1조 번 연산하는 것) 이상이며, 이것은 무려 수천억 원대의 세계 최고 수준 슈퍼컴퓨터가 처리할 수 있는 연산량과 같다. 대학 뿐 아니라 Entropia, United Devices, Parabon과 같은 여러 기업에서도 프로젝트가 진행되고 있는데, 그 중 United Devices사의 Cancer Research에서는 분산 컴퓨팅을 이용하여 100만종의 후보물질 데이터베이스에서 약 65억 개의 가상 화학분자 데이터베이스를 생성하고, 이를 암 관련 타겟 단백질과 도킹 시뮬레이션을 시행해 약 2-3만개 정도의 후보물질을 도출하는데 성공하였다. 또한 국내 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서도 슈퍼 컴퓨팅센터를 중심으로 하는 인터넷 기반 분산 컴퓨팅환경을 구축하여 대학 및 산업계와 협업을 지구환경, 고에너지물리학, 생명공학분야에서 활발한 연구 활동을 보이고 있다. 이런 환경을 통한 협업시스템의 구축 및 컴퓨팅과워 대체, 자료 공유를 통해 상당한 연구비 절감 효과를 올리고 있다.

그림 5는 물리적으로 분산되어 있는 컴퓨터들의 컴퓨팅 능력을 활용해 신약후보물질을 검색하는 작업에서의 성능 개선 및 연구기간 단축을 보여주고 있다. 총 308,310개의 후보물질에 대해 지리적으로 분산되어 있는 CPU 약 7,400개를 활용하여 2.4일만에 데이터채킹을 완료하였다. 이는 기존 WISDOMIII (Wide in Silico Docking on Malaria) 프로젝트를 추진할 당시 실험환경 성능과 비교했을 때 동시 처리량(최대 동시 활용 CPU)은 1.5배, 작업 효율성(그리드 활용률)은 2배로 향상되었음을 확인할 수 있다. 이는 최초 기대 목표를 80% 이상 초과달성할 것으로 평가되어 대응량 가상스크리닝 서비스의 목표를 충분히 만족시킨 결과로 평가되고 있다.

| | WISDOM-II | DIANE | KISTI |
|-----------------------------------|-------------|------------|------------|
| Total number of dockings | 156,407,400 | 308,585 | 308,310 |
| Estimated duration on 1 CPU | 413 years | 16.7 years | 39.0 years |
| Duration of the experiment | 76 days | 30 days | 2.4 days |
| Cumulative number of Grid jobs | 77,504 | 2,580 | 103,583 |
| Maximum number of concurrent CPUs | 5000 | 240 | 7,370 |
| Number of used Computing Elements | 98 | 36 | 127 |
| Crunching Factor | 1983 | 203 | 5937 |
| Distribution Efficiency | 39% | 84% | 81% |

그림 5. 신약개발후보 스크리닝관련 환경 성능 개선
Fig. 5. Performance improvement of the development of new pharmaceuticals screening environment

현재 우리나라는 세계 최고의 속도를 자랑하는 초고속 인터넷 망과 세계 5위에 달하는 높은 PC 보급률을 갖춘 ICT 인프라 강국이다. 이것은 인터넷 기반 분산 컴퓨팅 환경을 구축하는 데 있어 다른 국가에 비해 훨씬 적은 초기 자금으로 막대한 경제 이득을 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 또한 다른 첨단 기술에 비해 선진국과의 격차가 적은 분야이므로 지금처럼 많은 예산과 인력을 투자하고 많은 네티즌들의 프로젝트 참여가 활성화 된다면, 세계 정상 수준의 u-R&D 환경을 갖출 수 있을 것이다.

3.3.3 클라우드 컴퓨팅을 통한 e-R&D의 확산

인터넷과 정보통신기기 등의 발달은 사용자가 편리하게 정보에 접속할 수 있도록 편의를 제공하는 반면, 서비스 제공자에게는 지속적인 콘텐츠 서비스 개발 및 인프라 유지에 대한 경제적 부담을 함께 부과하기도 한다. 이에 따라 하드웨어 및 소프트웨어 등의 개발관련 리소스를 인터넷에 가상공간에 만들어 상호 접속하여 공동으로 사용할 수 있도록 하는 클라우드(cloud) 컴퓨팅이 기업에서 활발히 추진되고 있다.

클라우드 컴퓨팅은 데이터 저장·처리·네트워킹, 다양한 애플리케이션 사용 등 IT 관련 서비스를 인터넷과 같은 네트워크를 기반으로 제공하는 컴퓨팅

기술로 각광받고 있으며 클라우드 컴퓨팅을 도입하는 경우 개발관련 협력회사들이 서버, 스토리지, 네트워크, 소프트웨어 등 개발을 위한 별도의 인프라 구축 없이 가상환경에 접속하여 편리하게 다양한 서비스 개발과 테스트를 진행함으로써 신규 서비스 런칭 시 투자위험을 감소시키고 진입장벽도 낮출 수 있을 것으로 전망하고 있다.

또한, 클라우드 컴퓨팅은 아이디어만 있는 개인이나 기업들은 아무런 인프라 투자 없이 자신들이 아이디어를 현실화 시킬 수 있다. 이번 인프라가 현재와 미래 파트너들에게 모두 도움이 되는 서비스가 될 수 있을 것으로 예상되고 있다.

클라우드 컴퓨팅 사용의 실제 예를 하나 들어보자. 2007년 미국 뉴욕타임스는 1851년부터 1922년 사이의 1100만 개에 이르는 신문기사를 전자문서로 만들어 일반인에게 무료로 제공했다. 실로 엄청난 작업량이다. 이 작업을 수행하기 위해 컴퓨터나 디스크 등의 저장 장치는 하나도 구입하지 않았다. 단지 뉴욕타임즈가 이용한 것은, 아마존에서 제공하는 신축적 컴퓨팅 클라우드(EC2: Elastic Computing Cloud)이다. 상업적으로 가장 많이 사용되고 있는 아마존 서비스를 이용해, 가상 컴퓨터 100대와 1.5TB(테라바이트)의 저장 매체로 단 하루만에 1100만 개의 전자문서화 프로젝트를 끝낸 것이다. 가상화의 클라우드 환경 덕분이다.

2009년부터 HP, IBM, Amazon 사업자들은 클라우드 컴퓨팅 환경 제품을 지속적으로 출시하고 있으며 국내 통신회사인 SK텔레콤은 클라우드 컴퓨팅 환경을 콘텐츠 서비스 개발 및 제공에 본격적으로 활용하고 있다.

4. e-R&D 사례 및 시사점

4.1 게이오대학 첨단생명과학연구소의 E-cell Project(in-Silico R&D 사례)

4.1.1 개요

E-Cell(Electronic Cell)이란 생체세포와 똑같은 기

능을 할 수 있도록 객체 지향 프로그래밍 언어인 C++로 구현된 규칙기반(rule-based) 시뮬레이션 시스템이다. 일본 게이오 대학의 Tomita 교수가 주축이 되어 개발하고 있는 E-Cell은 살아있는 세포의 동적 반응을 예측하고, 세포내 분자들의 상호관계를 묘사하는 것이 그 목적이며, 대사과정의 분석뿐 아니라, 유전자 조절 과정, DNA 복사 등 세포내 여러 현상을 예측하기 위한 프로그래밍 환경을 제공한다[7].

4.1.2 배경 및 필요성

세포의 동적인 반응을 이해하기 위해서는 세포, 또는 세포 주변 환경에 가해진 변화에 대한 결과를 예측할 수 있어야 한다. 현재 여러 종의 생물체에 대한 유전체의 서열 정보가 완성되면서 많은 유전체 정보가 수집되고 있고, 생명체 내의 개별적인 대사 작용, 유전자 조절 메커니즘, 신호전이 메커니즘에 대한 많은 것이 밝혀지고 있다 하지만 생물체를 구성하고 있는 다양한 요소간의 상호작용 네트워크에 의한 동역학적 특성에 대해서는 아직 밝혀진 것이 많지 않다. 이러한 동작을 예측할 수 있는 세포 모델을 만들게 되면 세포의 동작 특성을 쉽게 예측하고 분석할 수 있게 될 뿐만 아니라, 실험실에서 유전체를 조작하는 실험을 설계하고 진행하는데 많은 정보를 줄 수 있다. 또한 수많은 요소들로 구성된 세포의 동작을 시뮬레이션 하는 프로젝트는 굉장히 많은 비용이 필요한 과제인데, 이 소프트웨어를 이용하여 과제를 수행하게 되면, 상당한 비용 절감의 효과를 얻을 수 있다.

4.1.3 시스템 구성

그림 6은 E-Cell 시스템을 이용하여 구축한 Virtual 자생 세포 모델이다. 이 virtual 세포를 E-Cell 시스템을 이용하여 시뮬레이션하면 효소의 반응이 모두 병렬로 실행되어 대사활동을 시작한다. 그래픽 인터페이스를 통하여 세포 내 다양한 물질의 증감(그림 7

“Traced substances”)과 특정 화학반응의 활성화도(그림 7 우측 “Reactor”)를 관찰할 수 있다. 또한 시뮬레이션 도중에 사용자가 개입하여 물질의 양을 조절할 수도 있고(그림 7 우측 상단 “Substance”), 모든 유전자의 발현 상태를 한눈에 볼 수도 있다(그림 7 우측 하단). 각 아이콘이 각 유전자에 대응하여 유전자의 전사량을 나타내고, 마우스를 클릭하면 특정 유전자를 간단히 knockout 할 수 있도록 되어 있다. Knockout 실험 중 세포의 움직임도 관찰할 수 있으며, 현실에서는 불가능한 실시간 knockout도 가능하다.

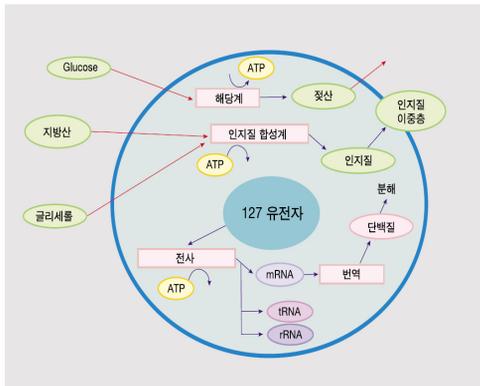


그림 6. E-Cell 기반의 “Virtual 자생 세포모델”
 Fig. 6. E-Cell based virtual cell model
 (Tomita et al., 1999)

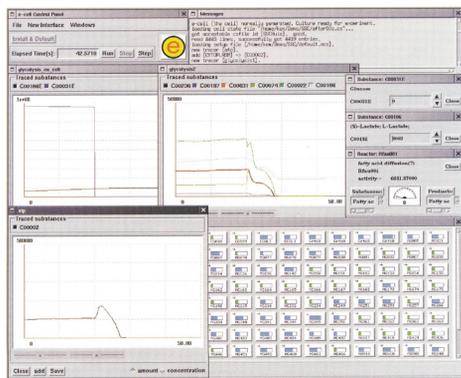


그림 7. E-Cell 시뮬레이션
 Fig. 7. Implementation of E-Cell simulation
 (Tomita et al., 1999)

4.1.4 기대효과

가상세포인 E-Cell은 여러 분야의 연구에 이용될 수 있다. 우선, 최소생물체 생성연구에서 실제 시험관 실험 설계를 위해 이용할 수 있을 뿐만 아니라 유전 공학적인 업무를 수행할 수도 있다. 예를 들면, 만약 새로운 약품을 개발하게 되었을 때 E-Cell을 이용한 시뮬레이션을 통해 미리 그 영향을 실험해 볼 수 있다. 또한 어떤 효소를 강화하면 생산물은 어느 정도나 증가시킬 수 있는지 등을 알아낼 수 있기 때문에 개발효율을 올릴 수 있고, 세포의 기능을 분석하는 데에도 이용할 수 있다. 최근에는 E-Cell을 이용하여 인간의 적혈구 세포에 대해 prototype이 완성되었고, 효소 기능을 의도적으로 저해하는 virtual 실험을 통해 유전성 빈혈증 환자의 적혈구 상태를 재현할 수 있게 되었다. 이 외에도 미토콘드리아의 모델화, 대장균의 주화성에 대한 시그널 전달계를 모델화 하는 기술을 개발하였다. 이렇게 E-Cell은 신약의 부작용이나 독성을 미리 알아보는 실험이나 윤리적 논란이 제기 되는 유전자 조작 연구 분야, 복잡한 세포 네트워크를 분석하는 과제 등에 활용됨으로써 의학발전에 획기적인 기여를 할 수 있다.

4.1.5 향후과제

최근에 사이언스나 네이처를 비롯한 많은 잡지와 신문에 게재되기 시작하면서 E-Cell 프로젝트에 대한 관심이 점점 커지고 있다. 세포 시뮬레이션의 중요성이 빠른 속도로 인식되고 있으며, 미국에서는 에너지성과 국립보건원(NIH)이 세포 모델화 프로젝트를 계획하고 있다. 그러나 세포내의 유전자적 프로세스 및 생화학적 대사활동에 대한 정보와 세포 구성요소간의 복잡한 네트워크 동작특성에 대한 분석이 턱없이 부족하여 E-Cell이 실제 세포를 충분히 반영한 모델이 되는 데에 걸림돌이 되고 있다. 또한 세포 내의 다양한 물질의 농도와 유전자의 기능이나 유전자의 활동에 대한 데이터가 충분히 확보되지 못했으며, 앞에서 언급했던 적혈구 세포처럼 세포 내

대사가 전체적으로 밝혀지는 경우는 거의 없으므로, 앞으로는 Metabolome이라고 불리는 세포 내 대사의 정량적 자료 해석이 중요한 열쇠가 될 것이다.

4.2 MIT Microelectronics WebLab (n-R&D 사례)

4.2.1 개요

WebLab은 그림 8에서와 같이 전 세계의 각 지역에서 인터넷을 통해 MIT의 실험 장비와 연결하여 데이터를 분석하고 극소전자장치(microelectronic device) 테스트를 수행할 수 있는 온라인 실험실이다. MIT 전자소자 개발팀의 Jesus del Alamo 교수가 주도하고 있는 이 프로젝트에는 1백여 명이 참여, 약 100가지의 연구 과제를 원격 실험을 통해 추진하고 있다. 실험실은 학생들에게 24시간 개방되며 MIT와 싱가포르 대학 등에서 학생들이 등록하여 실시간으로 실험을 수행하고 있다[10].

4.2.2 배경 및 필요성

학생들은 실험을 통해 실제의 장치를 사용하게 되고 결과에 대한 관찰을 하게 된다. 또한 측정값을 이론적 예상과 비교하여 한계나 설계 기준, 차이점 등을 분석하게 된다. 이러한 물리적 시스템과의 실질적인 접촉은 학생들의 호기심을 유발하고 학습동

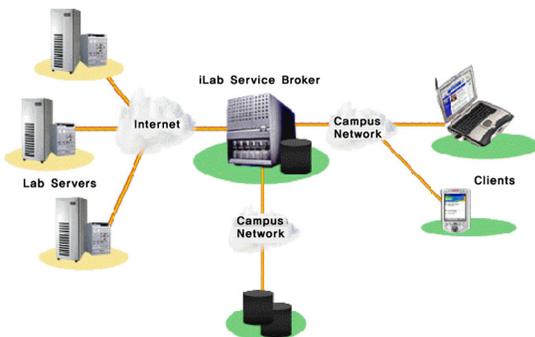


그림 8. WebLab 아키텍처
Fig. 8. WebLab architecture(icampus.mit.edu)

기를 고취할 수 있다. 이렇게 실험 실습 경험은 교육의 효과를 크게 강화시킴에도 불구하고 기존의 마이크로 전자공학 수업에서는 실험 실습을 거의 하지 않았다. 많은 학생 수와, 실험을 위한 장비, 공간, 안전 등과 같은 제약조건들이 거의 극복되지 못하고 있었기 때문이다. 결국 학생들은 실험 실습을 통해 배워야 할 부분까지도 교과서만을 통해 배우게 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Jesus del Alamo 교수는 Microelectronics WebLab을 설계하였고, 이것은 기존 실험실의 장비 부족과 같은 문제없이 학생들에게 다양한 실험 실습 경험을 제공하고 있다.

4.2.3 시스템 구성

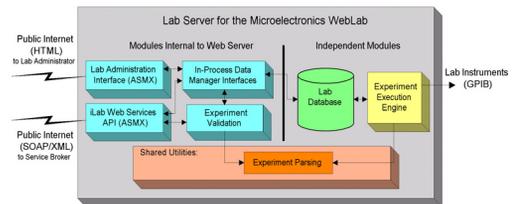


그림 9. WebLab 시스템 구성도
Fig. 9. Structure of WebLab system (Bailey and Hardison, 2006)

Microelectronics WebLab의 시스템은 그림 9와 같이 크게 web server, data storage, execution engine 의 세 단계로 나눌 수 있다. web server 부분은 바깥 사회와의 상호작용이 이루어지는 부분으로써 실험을 유효하게 하고 database 간의 상호작용을 가능하게 하는 자료를 포함하고 있다. 공유된 자료들은 검증을 위한 실험 설계 내용들을 분석하는 데 사용된다. 두 번째 단계는 database 저장 단계로 SQL database는 실험실의 자료를 저장하고 web server 단계와 execution engine 단계를 연결하며 데이터를 지속시켜준다. 또한 제출된 실험설계 결과를 execution 단계의 database 에 저장한다. 마지막 execution engine 단계는 실험실 행의 과정을 통제하는 단계이다. 전 단계의 database

에서 실험 결과를 검색하고, 낮은 단계의 custom driver를 통해서 lab의 하드웨어와 연결한다. 또한 컴퓨터 실행을 하기 위해 공유된 자료들이 실험 설계 메시지를 분석하게 된다.

이 원격교육 시스템을 통해 지금은 세계에서 가장 빠른 인터넷 속도로 학생들에게 전문적인 지식을 전달하고 있다. MIT 학생들은 최초로 del Alamo 교수의 연구팀과 컴팩의 알파 개발 그룹이 설치한 WebLab을 이용하여 최신의 미세전자 기술에 최고의 속도로 접속할 수 있으며, 실시간으로 컴팩 엔지니어들이 설계한 최신 마이크로프로세서 및 반도체에 대한 원격 측정을 할 수 있게 되었다. 학생들은 실험 후 결과를 다운로드 받아 데이터를 분석하며, 결과적으로 최신 기술을 MIT WebLab을 통해 공부할 수 있다. WebLab에서는 주당 2,000명의 사용자와 15,000회의 실험을 수용할 수 있다. 이 연구소의 학생들은 이러한 실습을 통해 지난 10년 동안 미세전자 기술 분야에서 놀라운 연구 및 학습성과를 얻을 수 있었다.

Microelectronics WebLab의 연구는 전자공학 분야 뿐 아니라, 기계공학, 토목공학, 화학공학 등 다른 분야에까지 확장되고 있다. 그 중 화학공학 분야에서, 화학 반응기를 온라인으로 조립하여 학생들로 하여금 일정 범위 내에서의 화학 반응을 연구할 수 있도록 했다. 또한 온라인상에 배치해 놓은 열교환기로 학생들은 기본적인 열역학의 원리에 대해 탐구하고 있다.

4.2.4 기대효과

WebLab은 기존의 물리적인 실험실이 가지고 있는 많은 한계들을 효과적으로 극복해낸다. 학생들은 언제 어디서나 그들이 편리한 곳에서 원하는 실험을 수행할 수 있다. WebLab은 하루 24시간 내내 접근할 수 있기 때문에 학생들이 실험실을 사용할 수 있는 시간은 훨씬 더 늘어나게 된다. 또한 학생들은 잠재적으로 안전하지 않다고 판단되는 실험 장비를 사용할 필요가 없게 된다.

WebLab만이 가지는 특성 중 가장 중요한 것은

바로 실험실의 모든 지식이 공유될 수 있다는 사실이다. 반드시 특정 기관에 의해 관리되어야 하는 기존의 연구실과는 다르게 WebLab은 항상 전 세계의 모든 사람들에 의해 유지될 수 있다. 특히, 고가의 실험 장비들을 구입하기 힘든 개발도상국의 경우, WebLab을 이용하여 제한된 비용으로 실험을 수행할 수 있게 된다. 앞에서 언급한 이 두 가지 요소들은 WebLab의 확장 뿐 아니라 잠재적으로 내재되어있는 경제적인 거대한 이익들, 그리고 모든 과학과 공학 교육의 혁신이 가능하도록 한다.

4.2.5 향후과제

앞으로의 계획은 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 첫째로, 동시에 원격지에서 실험실의 온도를 측정하는 것, 장치의 온도를 변화시키기 위하여 원격 조정이 가능한 hot-chuck을 도입하는 것, 그리고 test vector의 정의를 위한 더욱 직관적인 그래픽 인터페이스를 설치하는 것과 커패시턴스-전압 시험 기능을 추가하는 것이다. 이러한 원격 온라인 실험실은 미래 이공계 교육의 핵심 기반요소이다.

둘째로, 시뮬레이션 툴을 WebLab 플랫폼에 통합하여, 다양한 시뮬레이션을 측정과 동시에 수행할 수 있도록 하는 i-lab의 개념을 따르는 것이다. 시뮬레이션과 측정결과는 같은 인터페이스에 함께 기록될 수 있다. 또한 공동 연구 및 강의 툴을 원격리 사용자들이 화상대화를 하며 공유할 수 있도록 개발하고 있다.

셋째로, MIT 전체적으로 WebLab의 개념을 다른 공학 분야로까지 넓힐 계획이다. 이미 여러 곳의 원격리 온라인 실험실들은 현재 MIT에서 개발되고 있다. 항공우주공학과에서는 beam deformation 연구를 위한 기계구조 실험실이 건설 중에 있다. 또한 화학공학에서는 화학반응기, 온도변화기, 그리고 현미경을 기반으로 한 중합체 재결정화 실험이 설계되고 있다. 마지막으로 토목공학과에서는 흔들리는 테이블 위에 모델건축물을 설치할 수 있도록 하는 원격

모니터링 시스템이 개발 중에 있다.

4.3 ETRI 웹 기반 원격공동계측시스템(n-R&D 사례)

4.3.1 개요

한국전자통신연구원(ETRI) 시스템반도체진흥센터에서는 시스템반도체를 개발하는 영세한 팹리스회사가 반도체 개발과정에서 고가의 계측장비를 손쉽게 저렴하게 이용할 수 있도록 계측장비를 지원해주면서 공간 및 시간의 제한을 벗어나 자유롭게 사용할 수 있도록 웹기반 원격공동계측시스템을 2009년에 구축하여 산업체의 계측관련 개발지원을 해오고 있다.

4.3.2 배경과 필요성

팹리스회사가 계측장비를 사용하기 위한 가장 좋은 방법은 장비를 구입하는 것이겠지만 장비 1대에 몇 천만 원~1억 원 이상을 호가하기 때문에 영세한 팹리스회사가 개발에 필요한 모든 계측장비를 구비하는 것이 쉽지 않다. 그렇다면 이러한 고가의 계측장비를 빌려오거나 직접 지원기관을 방문을 해야만 하는데, 고가의 장비를 빌려오는 경우에는 장비 이동과정에서의 충격으로 인한 고장이나 분실 우려와 함께 계측관련 부속품을 꼼꼼히 챙겨야 하는 번잡함이 있고, 센터를 방문하는 경우에는 직접 원거리를 이동해야 하는 수고가 따른다. 이와 같이 영세한 팹리스회사의 계측기 구입 및 활용 문제, 연구 개발시간의 단축에 대한 필요성이 제기되어 ETRI에서는 원거리에서도 원격으로 접속하여 실험내용을 확인하고 분석하여 연구 개발시간을 단축할 수 있는 웹 기반 원격공동계측시스템을 구축하였다.

4.3.3 시스템 구성도

그림 10은 원격공동계측시스템의 구성도로 계측장비를 이용하고자 하는 회사에서는 계측하고자 하는 DUT를 센터에 보낸 후 인터넷을 통해 ETRI 원격



그림 10. 웹 기반 원격공동계측시스템 구성도(ETRI)
Fig. 10. Structure of web-based remote controllable test and measurement system(ETRI)

계측관련 홈페이지에 접속하면 계측관련 소프트웨어 설치 후 화면으로 계측장면과 DUT에 대한 출력화면을 모니터를 통해서 확인할 수 있다. 센터에서는 DUT의 계측과정을 CCTV를 통해서 확인하고 계측하고자 하는 포인트를 변경할 수 있을 뿐만 아니라 결과값을 원거리에 있는 자신의 모니터에서 바로 확인을 하면서 회사 내에서 연구원들과 바로 관련회의가 가능하다고 할 수 있다.

4.3.4 기대효과

사용자는 일반 인터넷 라인을 통해 홈페이지에 접속 후 바로 계측장비를 원거리에서 사용하여 계측값을 확인할 수 있기 때문에 며칠이 소요될 수 있는 개발시간을 몇 시간 또는 몇 분으로 단축할 수 있으며 수천만 원이 소요되는 구입비용 대신 저렴한 사용료만 지불하고 사용하여 개발비용을 절약할 수 있다는 장점이 있다.

웹 기반 원격공동계측시스템은 이처럼 산업계의 계측 지원뿐만 아니라 학교에서 교육용으로도 사용될 수 있다. 학교의 계측장비 및 실험 공간 등의 제한에서 벗어나 계측 및 결과에 대한 교육을 동시에 수백 명에게도 제공할 수 있는 장점이 있다.

4.3.5 향후 과제

계측장비를 이용하는 개발회사에서도 수많은 계측장비의 작동방법이나 계측범위를 알지 못하기 때문에 계측장비 사용에 대해서 안내 및 기술지원을 할 수 있는 전문 엔지니어가 지원된다면 계측장비 활용에 대한 만족도가 향상될 것이다.

그리고, 계측장비를 원격으로 이용하기 위해서는 웹서버에 접속해서 관련소프트웨어를 실행한 후에야 원격지에서 계측장비실의 환경 및 계측결과를 실시간으로 확인할 수 있다. 원격지의 유저가 원격공동계측 시스템 웹서버에 접속하는 것과 웹서버에서 각각의 모든 계측장비에게 접속할 수 있는 환경이 연결되어야 하는데 각각의 계측장비가 웹서버를 통해 결과물을 모니터로 출력하기 위해서는 계측장비별 플랫폼이 구축되어 있어야 한다. 최근에 선보이는 계측장비에는 LXI(LAN eXtentions for Instrumentation) 이라는 표준에 맞춰 계측결과를 컴퓨터 모니터로 전송할 수 있는 환경을 지원하고 있다. 계측장비 회사들 간에 컨소시엄으로 구성되어 추진되는 LXI 등 원격지 계측 환경의 표준 설정도 원격공동계측시스템의 활용에 많은 촉매 역할이 될 것이다.

4.4 SK텔레콤 PaaS형 클라우드 컴퓨팅 플랫폼 구축(n-R&D 사례)

4.4.1 개요

국내 통신회사인 SK텔레콤은 2009년부터 서비스 제공을 위한 콘텐츠 개발과 관련하여 개발 파트너사에게 PaaS(Platform as a Service)형 클라우드 컴퓨팅을 플랫폼을 구축하여 서비스 개발에 필수적인 플랫폼을 웹 형태의 가상으로 구축해주고 필요한 애플리케이션을 대여 및 사용할 수 있도록 서비스 개발환경을 제공하고 있다.

4.4.2 배경과 필요성

디지털 시대인 오늘날 인프라 구축, 비즈니스 협

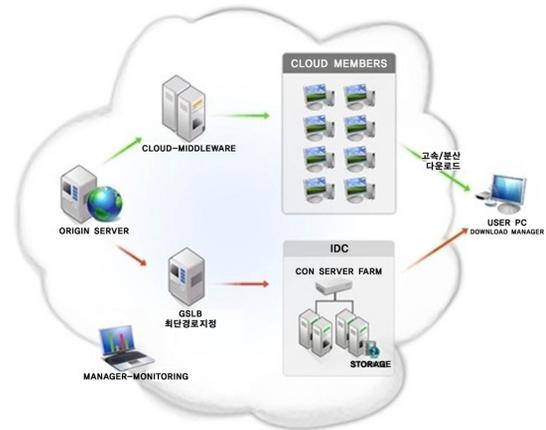


그림 11. 클라우드 컴퓨팅 환경 구성도(designlog.org)
Fig. 11. Structure of cloud computing environment (designlog.org)

업, 디지털 기기가 급속도로 증가하고 있고 실시간 데이터 스트리밍, 웹2.0 애플리케이션, 소셜 네트워킹, 모바일 거래 등의 급성장으로 현재 기반으로는 가속화되는 IT 환경을 유지하기에는 힘들다고 보고 다중 환경 변화를 충분히 감당할 수 있는 컴퓨팅 환경진화에 대한 대응안으로 급부상하고 있는 것이 바로 클라우드 컴퓨팅이라고 할 수 있다. 고객과 소비자가 요구하는 컴퓨팅 자원을 언제 어디서나 사용할 수 있도록 하나의 데이터센터에 데이터와 서비스를 집약시키고 인터넷이 가능한 컴퓨터를 포함한 모바일기기로 이 자원을 이용하도록 하는 것이다. 일반적인 클라우드 컴퓨팅 환경 구성은 그림 11과 같다.

SK텔레콤은 콘텐츠 서비스 개발과 관련하여 1만여 개의 개발파트너사와 협력하여 서비스를 제공하고 있는 상황에서 각각의 콘텐츠 개발 및 환경 구축에 대한 과도한 인프라의 비용 및 개발 시간이 소요되는 것과 관련하여 개발환경을 공용으로 사용하여 개발 프로세스를 단축하고 비용을 절감하기 위한 전략으로 클라우드 컴퓨팅 환경을 구축하였다.

4.4.3 시스템 구성도

그림 12와 같이 SK텔레콤의 클라우드 컴퓨팅환경

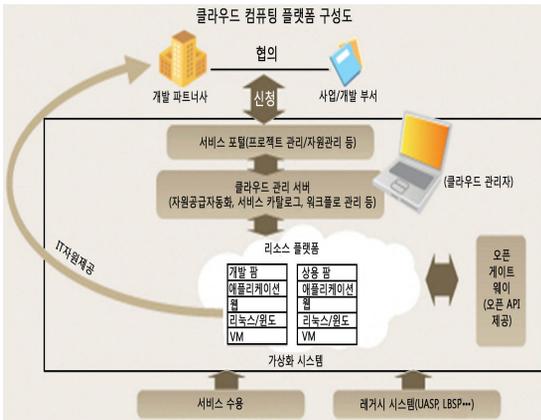


그림 12. SK텔레콤 클라우드컴퓨팅 환경 구성(전자신문)
Fig. 12. Structure of SK Telecom's cloud computing environment(etnews)

사용은 서비스 포털의 프로젝트관리에서 서비스 개발 내용과 개발 일정을 기입한다. 이어 자원관리에 들어가 프로젝트 개발서버를 사용할 것인지, 상용서버를 사용할 것인지를 등록하고 필요한 서버유형, 운영체제(OS), SW, HW 항목을 입력한다. 이때 서버는 웹서버, 웹애플리케이션서버(WAS), 데이터베이스(DB) 서버를 3단계로 구성할지, 하나의 서버에 모두 구성할지를 선택하면 된다. 또 OS는 리눅스와 윈도우의 버전 중에 선택하면 되고 SW는 주로 오픈소스를 권장하지만 DBMS의 경우 오라클 등의 제품도 이용할 수 있다. 이러한 신청 과정을 거쳐 플랫폼 서비스를 제공 받게 되면 현재 얼마만큼의 IT자원을 할당 받아 사용하고 있는지를 파악할 수 있다. 이는 포털시스템의 모니터링 코너에 들어가면 확인이 가능하다. 이곳에 들어가면 IT자원 사용량이 얼마이고 트래픽이 어느 정도인지 알 수 있다. SK텔레콤의 오픈 애플리케이션 이용을 원할 때는 오픈 API 코너에 들어가 권한 검증 후 부가 서비스 가입 정보, 단말정보, 위치정보 등을 연동할 수 있는 애플리케이션을 내려 받을 수 있다. 테스트 관리에 들어가면 코드 검증 툴 등 다양한 테스트 툴을 이용할 수 있다.

4.4.4 기대효과

SK텔레콤의 클라우드 컴퓨팅 활용은 개발에 필요한 인프라 구축 비용 등을 SK텔레콤이 부담하여 1만여 개에 이르는 파트너사들의 개발관련 인프라 구축 비용 절감을 유도하고, 개발기간을 단축하면서 협력기반을 더욱 공고히 하여 소프트웨어 개발회사의 IT 인프라 혁신을 지원할 수 있을 것으로 평가되고 있다.

4.4.5 향후 과제

클라우드 컴퓨팅은 비용절감과 업무 효율성 향상 등의 장점에도 불구하고 보안과 안정성 등의 데이터 통제 문제로 어려움을 겪고 있다. 회사 기밀이 유출될 경우 입게 되는 천문학적인 피해와 시스템 및 서비스 중단에 따른 장애도 큰 문제다. 아마존(Amazon)은 올 2월에 이어 7월에도 8시간 동안 S3 서비스가 장애를 일으켰고, 구글(Google)도 8월에 15시간 동안 서비스 중단을 보이는 등 클라우드 컴퓨팅 서비스에 대한 불신을 야기했다. 이러한 서비스 불신을 제거하고 안정성을 확보하기 위해 클라우드 컴퓨팅 서비스를 감시하는 클라우드 스테이터스(CloudStatus) 등의 서비스가 도입되고 있는 상황이며 지속적인 안전 및 보안 문제 해결이 요구되고 있다.

5. e-R&D를 통한 미래기업으로의 창조적 변화

이상에서는 e-R&D의 동향 및 적용 사례를 살펴 보았다. 본 절에서는 신산업 창출 및 기술경쟁력 확보를 위한 e-R&D 활용전략을 제시한다.

5.1 e-R&D 사이버 클러스터 구축

산업 클러스터란, 특정지역에 상호 연관관계가 높은 수평, 수직 관계의 기업과 기관이 모여 협력하며 시너지 효과를 발휘하는 산업 집적체라고 할 수 있다.

이는 특정 산업의 관련 공급 주체가 일정한 장소에 모여 정보와 지식을 공유함으로써 필요로 하는 기술을 쉽게 확보할 수 있을 뿐 아니라, 연구수행에 필요한 장비나 정보를 중복구입, 중복지원하는 실수를 막을 수 있다. 또한 중소기업에서 갖추지 못한 장비나 인력 등을 연구기관을 통해 제공 받을 수 있어 R&D 활동의 생산성을 혁신적으로 제고할 수 있다.

산업 클러스터 중 대표적인 형태가 테크노파크이다. 테크노파크는 고유가와 환율 등의 악조건과 점점 치열해지는 경쟁 환경을 기술혁신을 통해 극복하고 국가균형발전을 도모하기 위한 목적으로 세워졌다. 광주, 인천 송도, 경기 안산, 충북, 충남, 대구, 경북 등의 지역에 자리하고 있으며 공간이나 시설과 같은 하드웨어적 요소에 인력, 정보, 그리고 기술과 같은 소프트웨어적 요소가 더해져 기술혁신을 통한 산업 경쟁력 강화의 효과를 누리고 있다. 테크노파크의 출범 초기에는 창업보육, 연구개발 지원, 기업지원 등의 기능만을 내포하고 있었지만 지난 7년 동안 정부사업 수탁수행, 정책제안과 집행, 산·학·연 네트워크 구축, 지역혁신 기반 구축 등의 역할이 더해지면서 앞으로는 지역혁신사업의 거점역할을 수행할 것으로 기대된다.

이러한 테크노파크의 기능을 웹 등의 가상공간에서 이루어 질 수 있도록 한 것이 사이버 테크노파크이다. 국내에는 포항 테크노파크, 대구 테크노파크, 연세대학교 사이버 테크노파크 등을 예로 들 수 있다. 이들은 국가 경쟁력 강화 및 기업 정보화를 촉진시키고 대학기술의 체계적 관리와 기술이전의 활성화, 그리고 기술집약적인 벤처기업들의 창업을 촉진하기 위해 산·학·연·관이 공동으로 참여하여 기술혁신 거점단지를 조성한다. 연구인력·시설·자금·정보를 집적시킴으로써 기술개발과 신기술의 사업화를 촉진시키는 것을 그 목적으로 하고 있다. 이를 통해 대구 테크노파크에서만 60여 개의 업체를 보육시켰고 현재 120여 개의 업체를 창업 보육하고 있다.

이러한 사이버 테크노파크를 e-R&D 플랫폼으로 활용하기 위해서는 연구개발자들을 서로 연결시켜주고 지식, 정보, 자원을 효과적으로 공유할 수 있도록 하는 시스템을 필요로 한다. 국내에서 추진되고 있는 사이버 테크노파크는 연구인력, 주요사업, 기술자료 등에 대한 단순한 정보만 공유하고 있고 실질적인 e-R&D를 위한 활용도는 미흡한 실정이다. 현재 국가과학기술종합정보시스템을 통해 과학기술 지식, 전문인력 정보, 첨단 장비 등을 공유하려는 노력이 진행 중이며 이는 e-R&D 사이버 클러스터의 초기단계라고 볼 수 있다. 따라서 국제적인 연구인프라 연계와 원거리 연구개발 활동 및 국내외 연구진의 협업을 촉진시킬 수 있는 e-R&D 사이버 클러스터의 육성이 필요하다.

5.2 대규모 e-R&D 프로젝트의 정부참여

최근에는 E-Cell과 같은 프로그램을 이용한 세포 시뮬레이션의 중요성이 널리 인식되고 있으며, 이러한 연구를 많은 곳에서 정부 주도하에 진행하고 있다. 일본에서는 2001년 경제산업성과 신에너지산업기술 종합개발기구(NEDO)의 주도하에 생산프로세스 개발 프로젝트의 세포모델링 기술개발 그룹은 E-Cell 기술을 공업용도로 활용하고자 하고 있다. 이 프로젝트는 필요 없는 유전자를 삭제하거나, 석유화학프로세스를 대체할 수 있는 미생물을 만드는 것이 목적이며 정부가 기술개발에 박차를 가하고 있다.

미국에서도 2001년부터 에너지성(DOE)이 Microbial Cell Project의 개발을 시작했다. 이 프로젝트의 목적은 풍부하고 환경 친화적인 에너지를 찾아내는 것이다. 내부 조직과 복잡한 통제 시스템을 가지고 있는 microbial cell은 미니 화학 실험실로도 이용할 수 있고, 특정 제품을 만들거나 특수 업무를 수행하는 데에도 쓰일 수 있다. 이러한 기능들은 궁극적으로 모든 살아있는 생물체 조직의 기능을 이해하는 데에 쓰일 수 있으므로 그 파급효과는 매우 클 것이다.

이 연구를 위해서는 첨단 과학기술 지식, 분석 도구와 모델링할 수 있는 능력이 필요한데 이는 대학과 비영리기관, 산업체, 그리고 정부 기관인 에너지성이 함께 연구에 참여하여 DNA 순서, 미생물 생화학, 생리학 등과 같은 과학적 기술과 고성능 컴퓨터, 그리고 정부 실험실과 같은 장비를 서로 공유함으로써 해결할 수 있다.

E-Cell 프로젝트와 같은 대규모 e-R&D Initiative는 자금지원과 정부의 참여가 무엇보다 중요한 분야이다. 정부의 적극적인 참여 속에 이러한 e-R&D 프로젝트를 추진하게 된다면 공공성이 크고 검증된 틀을 구축할 수 있게 되며, 여러 산업에 큰 파급효과까지 기대할 수 있을 것이다[2].

5.3 e-R&D 솔루션 소프트웨어 산업 육성

e-R&D 솔루션 소프트웨어 산업은 과학기술 기반과 소프트웨어 파워를 결합하여 매우 큰 부가가치를 창출한다. 독일 프라운호퍼연구소의 가상 엔지니어링 시스템은 e-R&D 솔루션의 좋은 사례이다. 가상 엔지니어링 시스템이란 자동차, 조선, 정보통신, 가전 분야에서 제품 디자인과 설계, 공정의 최적화를 지원하는 솔루션이다. 프라운호퍼연구소는 이 분야의 세계 최고의 기술력을 가지고 있으며 자체 기술로 가상 엔지니어링 소프트웨어를 개발하여 폭스바겐, BMW, 벤츠 등에 120만 달러를 받고 제공하기도 했다[1].

e-R&D를 포함하는 엔지니어링 솔루션 소프트웨어 산업은 고도의 공학기술지식을 요구하기 때문에 그 부가가치가 더욱 크다. 오스트리아의 혁신지구에 위치한 프렉벤티스는 공항관제기관과 항공기 조종사가 교신을 주고받는 통신시스템 회사로, 전체 직원이 621명으로 규모는 작지만 세계시장의 30%를 차지하는 최고의 기업이다. 관제시스템은 승객의 생명과 직결되어 있기 때문에 한치의 오차도 허용되지 않는다. 프렉벤티스사는 완벽한 기술로 해킹, 도청 등 보안과 관련된 문제를 해결하고 시스템 고장률

0.0000047%를 자랑하며 미 항공우주국을 포함한 세계 주요 공항에 고객을 확보하고 있다. 프렉벤티스사의 성공은 전체 직원이 철저히 기술진 위주로 구성되어 있고, 매년 매출액의 12% 정도를 기술개발에 투자하여 끊임없이 기술 우위를 점하고 있기 때문으로 분석된다. 특히 항공관제용 솔루션은 첨단 항공기 성능과 운항에 관한 시뮬레이션 모델링을 위한 항공우주공학 분야의 전문지식이 소프트웨어 프로그래밍 능력 이상으로 강조된다[3].

e-R&D 솔루션 소프트웨어 산업은 이처럼 기술 하나만 가지고도 매우 큰 부가가치를 가지기 때문에 중점적 육성이 필요한 산업이다. 그러나 국내에서는 엔지니어링 솔루션의 대부분을 수입에 의존하고 있어 국제 협력 등의 산업육성 전략을 통해 빠른 시일 내에 선진국 수준으로 거듭나는 것이 절실하다. 앞서 언급된 프라운호퍼사는 2004년부터 당시 정보통신부(현 지식경제부), ETRI, 대학, 기업체와의 공동 연구를 통해 가상품질시스템, 가상시뮬레이션시스템, 가상생산시스템, 그리고 정보 보호 프로그램을 개발을 추진하였다. 이를 통해 가상 엔지니어링 솔루션의 국산화율을 올리고 신차 및 선박 제조에 드는 시간도 큰 폭으로 감소시킬 계획이었지만 현재까지도 국내 및 세계 시장업체에서의 선두권과는 많은 차이를 보이는 것이 사실이다.

가상화 시장에서의 시장 점유가 향후 클라우드 컴퓨팅 산업과도 긴밀한 관련이 있는 것으로 볼 때 향후 e-R&D 솔루션 소프트웨어 산업 육성을 위해 정부부처 간 협력체계를 구축하여 다양한 산업의 e-R&D 솔루션 기술도입 및 국산화 추진이 시급하다고 본다[2].

5.4 기업의 e-R&D 도입 및 확산을 통한 산업 시스템 및 비즈니스 모델의 변화 유도

e-R&D의 활용 및 확산은 초기 e-R&D를 구현하는 시스템을 어떻게 구축하느냐에 따라 다른 산업에

의 적용 및 그 범위를 평가할 수 있기 때문에 기업 및 정부의 추진 의지도 중요하다고 본다.

클라우드 컴퓨팅 환경 구축 및 운용을 통한 e-R&D의 확산 움직임은 현재 IT 산업계에서도 HW, SW 등 유무형 개발 환경을 공용으로 이용할 수 있도록 하는 등 개발 비용을 절감하고, 개발기간을 단축하여 최소의 비용으로 최대의 효과를 발생시키는 방향으로 기업의 비즈니스 패러다임 변화를 유도하고 있다.

의료계의 e-R&D의 도입도 의료시스템 전반에 많은 변화를 예고할 수 있다. 현재의 의료시스템에서는 환자의 기존 병력 및 진단 처방 결과를 방문한 특정 병원에서만 확인할 수가 있다. 환자에 대한 병력 및 진단 결과를 특정병원에서만 관리하는 것이 아니라 정부차원의 의료시스템을 구축하여 관리하며, 각 병원에서는 정부가 관리하는 중앙시스템에 접속하여 해당 환자의 기존 자료를 다운로드 받아서 확인할 수 있게 된다면 병원의 인프라 구축비용 및 이용자의 비용 절감뿐만 아니라 서비스 측면에서도 많은 편의를 가져올 수 있을 것이다.

6. 결론

본 연구에서는 e-R&D의 개념과 그 필요성을 인식시키고, 활용 전략을 기술함으로써 기술경쟁력 강화와 e-R&D의 활성화를 위한 정책적 시사점을 제시하였다.

e-R&D 활동이란 가상공간에서 인터넷 등의 네트워크나 컴퓨터 소프트웨어를 이용하여 R&D 활동을 전개해 나가는 것을 의미하며 최근 빠른 속도의 기술 변화와 다양해진 고객의 수요로 인해 생산성 혁신의 문제에 직면하면서 그 관심이 증대되고 있다. e-R&D는 초기에는 소프트웨어 기반의 in-silico R&D 활동이 주로 이루어져 왔고, 인터넷이 발달하게 된 이후로는 사이버 협업이 가능한 네트워크형 n-R&D 활동이 가능해졌다. 또한 향후에는 유비쿼터스 컴퓨팅 자원을 활용한 u-R&D 활동이 e-R&D의 주된 형태가 될 것으로 보인다. 게이오대학 첨단생명과학연구소의

E-Cell 프로젝트와 MIT Microelectronics WebLab, ETRI 웹기반 원격공동계측시스템, SK텔레콤 PaaS형 클라우드 컴퓨팅 플랫폼 구축의 사례를 살펴봄으로써 e-R&D를 통한 미래 기업으로의 창조적 변화 전략을 도출하였다.

본 연구에서는 세 가지 전략을 제시하였는데, 첫째로 탈중심적 연구개발 조직으로서의 e-R&D 사이버 클러스터를 구축하여 R&D 활동의 경제성을 극대화할 것을 제안하였다. 둘째로, 대규모 e-R&D 프로젝트에 정부가 적극적으로 참여하여 산·학·연·관이 공동으로 활용할 수 있는 표준화된 e-R&D 플랫폼을 개발하고 활성화할 것을 제안하였다. 이는 검증된 연구개발 결과를 산업체와 국가연구기관 전반에 제공하고 새로운 과학기술지식 창출에 큰 파급효과를 가져올 것이다. 셋째로, e-R&D 솔루션 소프트웨어 산업의 큰 잠재 부가가치를 고려할 때, 해외 선진 기업과의 기술협력을 통해 e-R&D 솔루션 국산화 및 수출기반을 육성하는 것이 중요하다. 마지막으로, 기업의 e-R&D 도입 및 확산을 통한 산업 시스템 및 비즈니스 모델의 변화를 유도하는 것이다. 이상의 정책의 성공적인 기획 및 시행을 위해서는 정부의 e-R&D 활성화를 위한 비전과 적극적인 지원이 가장 중요할 것이다.

참고 문헌

[국내 문헌]

- [1] 김현아 (2007), “‘가상 엔지니어링 솔루션 국산화 시동’... 프라운 호퍼 R&D 센터 개원”, 아이뉴스 24, 05. 17.
- [2] 박동현 (2002), “국가 e-R&D 시스템 구축 방안”, 과학기술정책연구원, 9월.
- [3] 손효림 (2007), “[세계최강 미니기업을 가다] <7> 오스트리아 프렉벤티스”, 동아일보, 01. 12.
- [4] 안성열 (2007), “@Home 프로젝트 인터넷 기반

분산 시스템”, 월간 유비쿼터스, 2월.

- [5] 이주성 (2011), “e-R&D를 통한 미래기업으로의 창조적 변화”, 기술과 경영, 3월
- [6] 장성근 (2003), Special Theme 그리드컴퓨팅, 한국정보산업연합회 정보산업지, 11-12월호.
- [7] 장성근 (1999), “컴퓨터로 생체실험 한다? ... 전자세포 ‘이셀’ 개발”, 조선일보, 12. 19.
- [8] 장성근 (2003), “e-R&D”, LG경제연구원, 『주간경제』, 제743호.
- [9] 조성표, 심재강 (2000), “공학회계”, 제2판, 명경사.

[국외 문헌]

- [10] del Alamo, J. A., L. Brooks, C. McLean, J. Hardison, G. Mishuris, V. Chang, and L. Hui (2002), “The MIT Microelectronics WebLab: a Web-Enabled Remote Laboratory for Microelectronic Device Characterization”.
- [11] Philip H. Bailey, James Hardison (2006), “iLabs Lab Server and Lab Client Design”, MIT.
- [12] Tomita, M., K. Hashimoto, and K. Takahashi (1999), “Bioinformatics”.



이 주 성 (Joosung Lee)

MIT 기술정책대학원 석사학위를 취득하고, 2005년 MIT 시스템 공학 박사학위를 취득하였다. 현재 KAIST 경영과학과 및 기술경영전문대학원에 재직 중이다. 연구분야는 기술전략, Green IT, 하이테크산업 정책이다. 저서로는 <기술경영전략 Plus> 등이 있다.



장 인 수 (Insu Jang)

승실대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 석사학위를 취득하고, 현재 한국전자통신연구원(ETRI)에 재직 중이다. 2009년부터 연세대학교 대학원 정보산업공학과 박사과정에 재학 중이며 관심분야는 기술경영정책 분야이다.

IT Service Strategy for e-R&D

Joosung Lee* · Insu Jang**

ABSTRACT

e-R&D means conducting research and development with network or computer software in cyber space. Given the rapid technology paradigm shift and diversified customer needs, companies face the problem of new product and service innovation. This paper introduces the strategic view for e-R&D status, case examples, and e-R&D service. We state e-R&D adoption stages for strengthening the industry competitiveness and IT service utilization.

Keywords: e-R&D, R&D IT Service, Digital Manufacturing

* KAIST Department of Management Science, jooslee@kaist.ac.kr

** Yonsei University Department of Information and Industrial Engineering, janginsu@etri.re.kr