

퀀텀정보통신기술의 연구개발 로드맵에 관한 연구

이문기*, 박성택**, 권문주***
성균관대학교 경영대학*, 충북대학교 경영대학**, 정보통신산업진흥원***

A Study on the R&D Roadmaps of Quantum Information and Communication Technology

Mooki Kyle Rhee*, Seong Taek Park**, Moon-Ju Kwon***

School of Business, Sungkyunkwan University*

School of Business, Chungbuk National University**

National IT Industry Promotion Agency***

요약 퀀텀정보통신기술(QICT)은 현재 사용 중인 컴퓨터는 물론 앞으로 개발될 디지털 기반의 컴퓨터로는 해결하기 어려운 많은 문제에 대한 답을 제공해 줄 수 있는 잠재력을 지니고 있다. QICT는 엄청난 규모의 연구개발비 투자가 이루어지며 세계 유명 연구기관들이 앞 다투어 연구에 매진하는 핵심영역 중의 하나이다. 효율적인 연구개발을 이끌어가기 위해서는 이해관계자들이 모두 이해할 수 있는 기술적 로드맵이 필요하다. 로드맵은 연구개발결과물의 상업화로 전환을 촉진시키고, 다양한 연구접근방법에서 생겨날 수 있는 갈등을 줄이고 시너지 효과를 창출하는데 필요한 방향 제시 역할을 해준다. 본 연구에서는 QICT에 관한 간략한 로드맵과 함께 QICT가 우리나라 산업에 미칠 수 있는 잠재력과 경제적 기여도에 대해 논의해보고자 한다.

주제어 : 퀀텀정보통신, 퀀텀컴퓨터, 로드맵, 퀀텀프로세서

Abstract Quantum information and communication technology(QICT) holds out tremendous promise for efficiently solving some of the most difficult problems that are intractable on any present or future conventional computer. QICT is one of the most active research areas of modern science, attracting substantial funding that supports research groups at internationally leading academic institutions. To facilitate the progress of QICT research towards the commercialization, a roadmap needs to be formulated, providing some direction for the field with specific technical goals and elucidating interrelationships between approaches for synergistic solutions to obstacles within any one approach. In this paper, we suggest a brief version of roadmap for QICT research and give a discussion about the potential contribution of QICT in Korea industry.

Key Words : Quantum Information and Communication, Quantum computer, Roadmap, Quantum processor

1. 서론

퀀텀(양자라는 말로 번역되어 사용됨)이란 무엇인가

를 나눌 수 있다고 할 때 에너지의 가장 작은 덩어리를 말한다. 예를 들어 전자기장의 퀀텀은 광자(light quantum, 광양자)를 말한다. 퀀텀 수준의 소립자에서

Received 8 June 2014, Revised 16 July 2014

Accepted 20 September 2014

Corresponding Author: Moon-Ju kwon (National IT Industry Promotion Agency)

Email: mjkwon@nipa.kr

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

발생하는 퀀텀현상(quantum effect)은 우리 눈으로 관찰 가능하고 이해할 수 있는 자연의 법칙과는 상당한 괴리를 보인다. 보통 물질은 질량이 있고 위치를 차지하며 운동에너지나 위치에너지를 가진다고 알고 있으며, 이런 물질의 운동을 예측하고 실험으로 확인함으로써 그 속성을 이해할 수 있다. 그렇지만 퀀텀현상을 보이는 소립자들은 자체적으로 온도나 색상, 굵기도 가지지 않으며 위치와 운동량의 정확한 값을 동시에 가질 수도 없다. 퀀텀현상을 보이는 소립자에 대한 설명을 하기 위해서는 확률개념이 필요하다.

퀀텀은 입자이면서 파동의 성질을 지니며, 관측행위를 시도하면 경로를 포함한 퀀텀의 상태가 영향을 받아 변하기 때문에 관측하지 않았을 때와 관측했을 때의 경로가 동일하다는 확신을 가지지 못한다. 또한 퀀텀현상을 보이는 소립자는 상식적으로 불가능하지만 벽을 뚫고 지나가기도 한다. 벽으로 가로막아도 입자와 파동의 두 속성을 지니기 때문에 어떤 방법을 통했는지는 알 수 없으나 벽을 뚫고 지나가는 경우가 발생한다. 이런 파동의 속성은 중첩(포개지는 현상, superposition)으로 연계되는데, 중첩을 통해 퀀텀현상을 일으키는 소립자들은 동시에 두 가지 이상의 상태로 존재하는 상황[1]을 연출하기도 한다.

이런 중첩현상은 반도체 제조공정에서 나타나기도 한다. 반도체 내부 전류가 흐르는 회로의 두께가 줄면 반도체 크기가 줄어 같은 재료를 가지고 더 많은 반도체를 만들 수 있다. 예를 들어 선풍이 10나노 줄어든다면 같은 재료를 가지고 만들 수 있는 반도체 숫자가 2배 가까이 늘어난다. 크기가 작으면 전력 소비도 줄고 데이터 처리 속도도 빨라진다. 그러나 10나노 이하 반도체는 물리적으로 만들기가 어려운데, 이 경우 회로를 통해 지나가는 전자들이 서로 충돌하는 간섭현상, 즉 중첩현상이 발생하여 반도체가 제대로 작동하기 어려워진다는 것이다[2].

중첩과 함께 퀀텀현상을 구성하는 또 하나의 흥미로운 속성은 얽힘(entanglement)과 원격이동이다. 얽힘이란 입자들끼리 상호작용 후에 상태들이 서로 연관되어서 한 입자에 대한 측정이 그 입자뿐만 아니라 다른 입자들의 상태에도 영향을 주게 되는 현상을 말한다. 퀀텀현상 중의 하나인 원격이동은 “모르는 퀀텀상태의 공간 이동”이다. 다만 입자가 실제로 움직이는 것이 아니고 단지 한 입자의 상태가 공간상 떨어져 있는 다른 입자로 전이되

는 현상을 말한다.

퀀텀정보통신기술(퀀텀ICT)은 이와 같은 퀀텀현상의 속성인 중첩과 얽힘을 활용하여 비약적인 계산능력의 개선과 순간적인 원거리 이동을 시도해 보고자 하는 새로운 연구영역이다. 디지털 세계는 0과 1로 구성되며, 이런 정보를 담은 신호, 즉 비트를 조작하여 필요한 연산을 수행한다. 디지털컴퓨터의 비트 10개는 2의 10제곱인 1,024개의 수 중에서 단 하나만을 나타내지만, 비트(퀀텀ICT에서는 큐비트라고 부름)가 10개인 퀀텀컴퓨터는 1,024개의 숫자 모두를 단 한 번에 계산할 수 있는 잠재력을 보유한다. 즉, 퀀텀시스템으로 계산을 한다면 계산 자원이 늘어남에 따라 계산공간이 지수적으로 늘어난다. 여러 개의 계산을 동시에 할 수 있는 이유는 그것이 상태의 중첩 속에서 운영되기 때문이다.

퀀텀물리학이론이 등장한지는 100년이 가까이 되었지만, 실제 IT분야에의 관심을 끌게 된 것은 1994년 피터 쇼어가 제시한 퀀텀정보이론에 근거한 소인수분해 알고리즘 때문이다. 소인수분해는 인터넷 상에 많이 사용되는 공개키 암호방식에 흔히 사용되는데, 이는 현재의 해법으로는 소인수분해를 하고자 하는 숫자가 커지면 계산에 소요되는 시간이 지수적으로 증가하기 때문이다. 그런데 피터 쇼어[3]는 퀀텀현상을 기반으로 하는 신 개념의 컴퓨터 구축이 이론적으로 가능하다면, 암호분야에 쓰이는 소인수분해 문제는 단 시간 내에 풀릴 수 있음을 증명하였다.

소인수분해가 아닌 퀀텀이론을 활용한 암호체계는 이보다 훨씬 앞선 1984년 IBM의 베넷과 몬트리올대의 브라사드가 퀀텀물리학을 이용해 발명한 바 있지만, 실질적으로 기존의 소인수분해 문제를 단 시간 내에 해결할 수 있는 방법이 없었기 때문에 학술적인 가치 외에는 별다른 관심을 끌지 못했다. 누구도 새로운 방식을 실용화할 이유가 없었기 때문이다.

물론 새로운 정보통신기술이 단지 금융거래의 핵심기반인 암호를 해독할 수 있는 도구로만 활용된다면 그 가치는 미미할 것이다. 그러나 소인수분해 문제를 풀 수 있게 하는 퀀텀컴퓨터나 퀀텀프로세서의 등장은 전혀 새로운 산업의 창출을 가능하게 한다. 퀀텀현상을 활용한 기술은 지금의 정보통신기술과는 전혀 다르며 실제 해결할 수 있는 문제의 수학적 특성이나 구조도 아직 명확하게 밝혀진 바 없다. 그렇지만 퀀텀정보통신은 국가의 산업

경쟁력은 물론 국가안보 강화에도 필수적인 인프라 역할을 한다. 더구나 이 분야는 엄청난 파급효과로 인해 관련 기술의 공유나 국가 간 협업 등은 생각하기도 어렵다. 글로벌 콘텐츠 기업이자 뉴스메이커인 CNN 머니도 퀀텀 정보통신기술을 새로운 5대 기술 분야에 선정할 정도로 그 잠재력은 무한하다고 평할 수 있다.

퀀텀ICT분야의 핵심기반기술 연구에 소요되는 개발 시간, 연구 초기 선진국의 집중 지원 등으로 이 시점에서도 이미 선진국과는 엄청난 기술격차를 보이고 있다. 핵심기술에 대한 상당한 선점이 인정되고 있는 선진국의 경우 연구개발과 지원에 더욱 박차를 가하고 있어 기술 격차는 더욱 심화될 것으로 전망되어 국가차원의 역량결집이 시급한 실정이다. 이에 본 연구는 융복합 인프라로서의 퀀텀정보통신기술의 연구개발 필요성을 논의하고, 효율적인 산업화를 위한 R&D 로드맵 제시에 주요 목적이 있다.

2. 퀀텀ICT에 대한 연구개발 필요성

퀀텀정보통신은 타 산업의 가치를 향상시키는 차세대 성장산업으로 지금까지 상상할 수도 없었던 최첨단과학을 기반으로 하는 극소수 선진국만의 첨단지식산업의 특징을 지닌다. 개별 소비자를 위한 상품이나 서비스를 창출하는데 기여하기 보다는 타 산업에의 적용 및 융합을 통해 기존의 가치를 획기적으로 증대시키는 가치 향상산업의 특징이 부각됨으로써 차세대 성장산업이자, 전후방 효과가 큰 인프라 산업으로 첨단기술 집약적 산업으로 앞으로의 융복합 완성제품의 기능과 성능을 좌우하는 절대적인 선진국 주도형산업으로 성장할 것으로 기대된다. 전 방위적인 산업 고도화와 기술 경쟁력, 제품경쟁력 확보를 위해서는 퀀텀정보통신분야의 핵심기반기술 개발이 절실하다. 국방, 보안, 의료기기, 가전 분야의 산업 고도화와 국가기술경쟁력 제고를 위해 관련 기술개발과 산업화가 절실하다.

산업간 경계가 무너지고 IT와 주력제조업, 통신과 금융, 의료와 바이오 등 이종산업간 융합이 확산됨에 따라 새로운 제품과 산업영역이 창출되고 있다. 예를 들어 우리 주변 환경에서 흔히 볼 수 있는 센서는 융합의 핵심메개체로서 부품 또는 모듈로 내재화되어 他산업의 제품·

서비스 및 공정을 혁신하거나 새로운 부가가치를 창출하고 있다. 즉, 센서와 같은 B2B 부품은 각 산업별로 적용되어 기존 제품과 서비스를 첨단화함으로써 제품과 서비스의 기능을 향상시키고 이전에는 볼 수 없었던 비즈니스 창출에 기여하는데, 퀀텀정보통신기술의 기여도는 지금의 반도체 산업 수준을 넘어서는 상상을 초월하는 수준으로 예상된다.

예를 들어 미국의 컴퓨터 제조업체 IBM이 “5년 안에 컴퓨터가 인간처럼 촉각 시각 청각 미각 후각 등의 오감(五感)을 갖게 될 것”이라는 전망을 제시하고 있다. 인간의 오감을 인지하고 교감하기 위해서는 이를 소프트웨어 형태로 형상화하고 오감의 변화과정을 시뮬레이션할 수 있는 엄청난 계산력을 필요로 한다. 기존의 IT기술로는 실험실에서조차 조작이 불가능하다. 흔히 논의하는 4세대 스마트 센서와 같은 기술은 논리제어 및 처리, 메모리, 통신기능을 동시에 가진 차세대 센서로 정의되지만 퀀텀 현상을 인지하고 통제할 수 있는 기능이 인프라로 제공되지 않으면 실용화가 거의 불가능할 것으로 전망된다. 지금도 최상급의 슈퍼컴퓨터로도 극히 초보적인 수준의 오감측정이 가능한 수준인데, 기존의 이론이 아닌 우리 오감으로는 측정되지 않는 전혀 새로운 접근방법인 퀀텀정보기술을 채택하지 않고서는 여전히 실험실 내에서의 연구로 그칠 가능성이 높다.

아직 퀀텀ICT분야에서 퀀텀암호기술 분야를 제외하고는 상품과 서비스가 자유롭게 거래하는 방식의 경쟁은 존재하지 않는다. 퀀텀ICT분야에서 퀀텀암호기술 분야를 제외하고는 상품과 서비스가 자유롭게 거래하는 방식의 경쟁은 존재하지 않는다. 퀀텀방식의 연산을 가능하게 하는 물리적 기기인 퀀텀프로세서는 아직 활발한 상거래를 불러일으킬 정도의 연구가 확립되지 못한 상태이기 때문이다[4]. 연구개발결과가 일정 수준에 도달할 경우 퀀텀정보통신기술은 국가안보와 경제구조에 엄청난 파급효과를 불러일으킬 것으로 전망하고 있다. 우선 퀀텀암호기술은 도청을 원천적으로 봉쇄할 수 있는 커뮤니케이션 네트워크 구축에 필수적 기술이며, 퀀텀 컴퓨터 및 관련 기기는 새로운 무기개발과 적군의 커뮤니케이션 네트워크를 무력화시킬 수 있는 역할을 한다.

국가 경제적 차원에서 보더라도, 퀀텀ICT는 신약, 신물질, 신소재, 의료기기 개발속도를 가속화시켜 우리 삶의 모든 것을 뒤바꾸어 놓을 수 있다. 역사적으로 그 유

래를 찾기 힘든 기술혁신의 결과는 글로벌 경제구조를 바꾸고, 한 산업을 송두리째 파괴시키고 그 대신 새로운 산업분야를 일시에 창조하는 경제적 게임 체인저(game changer) 역할을 하게 된다[5].

한편 퀀텀정보통신분야가 산업으로서의 성장을 가로막는 가장 큰 장애물은 초기에 투입되어야 하는 연구개발비 규모가 무척 크다는 사실이다. 이론적인 연구가 마무리되고 연구실내에서의 수작업을 통한 시제품이 마무리된다 하더라도 양산에 필요한 기술 개발에는 또 다시 큰 규모의 투자가 필요할 가능성이 높다. 기존의 대형 IT 기업에서도 퀀텀정보통신분야에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있지만, 순수한 퀀텀정보통신기술에의 투자는 크지 않은 상황이다. 산업적으로 성숙되어 있지 않고 구체적으로 어떤 상품들이 개발될 수 있는지에 대한 명확한 근거가 없기 때문에 수익성 측면에서 대규모 투자를 정당화하기가 쉽지 않기 때문이다.

따라서 국가가 이러한 분야를 책임질 수밖에 없는데, 예를 들어 일본은 2001년 퀀텀정보통신 네트워크 구축을 위한 국가차원의 프로젝트를 시작하였고, 2009년부터 FIRST라는 연구지원제도를 통해 퀀텀통신 및 퀀텀정보처리 분야에 집중적인 투자를 감행하고 있다. 싱가포르도 퀀텀암호통신 및 퀀텀컴퓨터 개발 분야에 매년 1,300억 원 이상의 예산을 투입하고 있으며, 중국도 후발주자 이기는 하나 2005년부터 국가프로젝트 일환으로 관련 분야에 많은 관심을 기울이고 있다[6].

3. 퀀텀ICT분야 개략적 로드맵

모든 R&D 프로젝트는 수행하고자 하는 과제의 범위 설정이 가장 중요하다. 과제의 범위는 미래시장에 대한 예측을 바탕으로 미래수요를 충족시키기 위해 기업 또는 산업차원에서 향후 개발하여야 할 필요기술과 제품을 예측하여 최선의 기술 대안을 선정하는 기술기획을 토대로 한다. 기존의 중장기계획은 단지 기술개발 자체만을 위해 수립되어왔던 반면 기술로드맵은 시장 수요에 대한 요구로부터 필요한 기술을 도출함으로써 국가경제에 직접적으로 기여할 수 있는 기술개발의 가이드라인으로 활용 가능하다[7].

여러 가지 정의가 있겠지만 로드맵은 해결책이 아닌

국가와 산업 또는 소비자의 잠재적 요구에 의해 추진되는 것이 일반적이다. 따라서 로드맵의 목적은 기술개발의 전략적 중장기 목표를 달성하기 위한 일종의 이정표를 제시하고, 핵심기술의 파악을 통하여 "선택과 집중"이라는 측면에서, 경쟁력 강화를 위한 기업 및 산업계 기술 전략 수립의 지침을 제시하며 기술개발투자 결정시 안내지도 역할을 함으로써 위험요소를 경감하는데 기여한다[7]. 기본적으로 로드맵은 해당분야의 산·학·연·정책 전문가들이 해당분야의 비전을 공유하며 기술에 대한 폭넓은 공감대를 형성할 수 있는 기회를 제공하고 로드맵 작성과정에서 전문가 네트워크를 자연스럽게 형성하여 향후 효과적인 연구기획을 위한 기반 조성에도 기여한다.

물론 퀀텀정보통신의 기술적 로드맵은 미국과 유럽에서 이미 수차례 발표된 바 있지만, 산업적 응용은 미미하다[8]. 퀀텀정보화 기술은 매우 다양하고도 복잡한 엔지니어링 기술과 기존 IT의 지원이 필수적인데, 이에 대한 논의도 아직 활성화되어 있지 못하며 기술적인 내용에 집중하고 있어 관련분야 전문가 외에는 이해가 거의 힘든 상태이다.

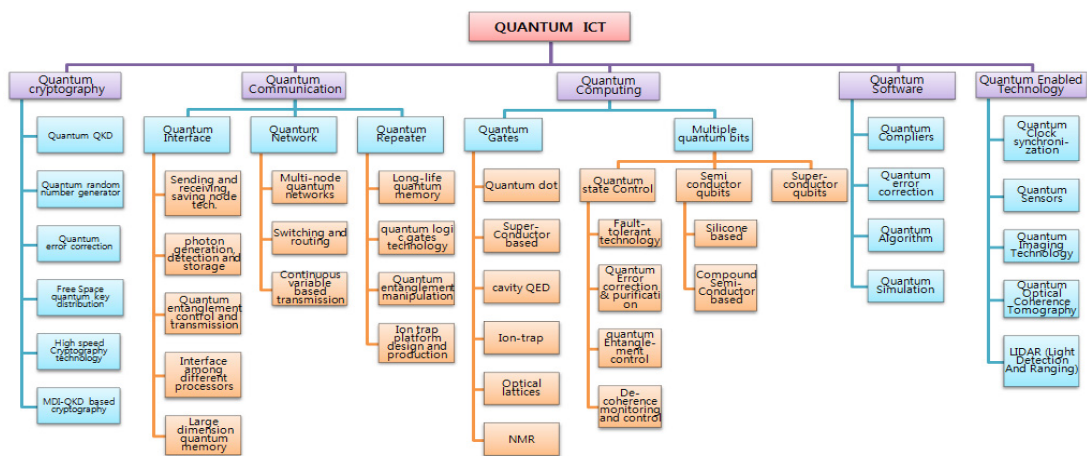
퀀텀정보통신분야는 기본적으로 현실세계에서 쉽게 관찰하거나 이해할 수 있는 내용을 담고 있지 않다. 극도의 미시적 세계를 대상으로 함으로 인해 해당 분야의 최고전문가 외에는 기초적 기술은 물론 로드맵에 포함시켜야 하는 웬만한 내용에 대한 이해도 퀀텀정보통신분야에 대한 학습을 거치지 않고서는 이해하기가 쉽지 않다.

본 연구에서는 이를 감안하여 본격적인 R&D연구를 위한 로드맵보다는 잠재적 소비자 또는 기술개발 요구자 또는 정책전문가 입장에서 기술발전의 틀을 이해할 수 있을 정도의 기술개발 로드맵의 구조를 제시해 보고자 한다. 다양한 퀀텀ICT분야의 기술은 [Fig. 1]에서와 같이 (a) 퀀텀암호, (b) 퀀텀 통신 및 네트워크, (c) 퀀텀 컴퓨팅, (d) 퀀텀 소프트웨어, (e) 퀀텀기반 파생기술 등으로 분류해 볼 수 있다. 이들 다섯 가지 분야 각각에는 다양한 퀀텀이론과 세부연관기술이 포함되어 있다.

예를 들어 퀀텀암호기술분야에는 퀀텀 QKD, 퀀텀난수창출기술, 오류수정 기술, 자유공간 퀀텀키분배, 고속도 암호전달기술, MDI-QKD 기반 암호기술 등의 세부분야 및 기술이 자리 잡고 있다. 이처럼 퀀텀 ICT 분야는 다양한 분야에서의 전혀 새로운 접근과 실험정신을 요구한다.

<Table 1> Roadmap for Quantum ICT

Research Areas	Technology	Planning Horizon		
		within 4 years	within 5 to 8 years	after 9 years
Quantum Computing	Quantum Gates	Quantum dot, Super-Conductor based quantum gates, Cavity QED, NMR Ion-trap, Optical lattices,		
	Multiple Quantum Bits		Fault-tolerant technology, Quantum Error correction & purification, Quantum Entanglement control Decoherence monitoring and control, Semi-conductor qubits, Super-conductor qubits	Quantum Computer
Quantum Software		Quantum Simulation	Quantum error correction, Quantum algorithm	Quantum Compiler
Quantum Communication	Quantum Interface	Sending and receiving, saving node tech. photon generation, detection and storage Quantum entanglement, control and transmission	Interface among different processors	Large dimension quantum memory
	Quantum Network		Multi-node quantum networks, Switching and routing	Continuous variable based transmission
	Quantum Repeater	Quantum entanglement manipulation	Long-life quantum memory, quantum logic gates technology Ion trap platform design	
Quantum Cryptography		Quantum QKD Quantum random number generator Quantum error correction	Free Space quantum key distribution	High speed Cryptography MDI-QKD based cryptography
Quantum Enabled Technology			Quantum Sensors, Quantum Imaging Technology	Quantum Optical Coherence Tomography



[Fig. 1] Quantum Information and Communication Technology

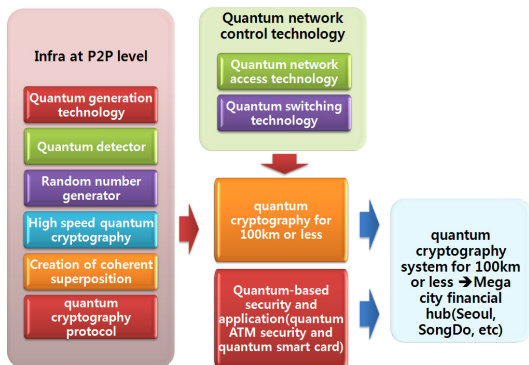
자원과 인력이 부족한 우리나라가 이와 같이 다양한 퀀텀 ICT 분야를 균형 있게 발전시킬 수는 없겠지만, 이들 세부기술분야를 연차 별로 발전단계를 제시해 볼 수는 있다. 싱가포르와 같이 퀀텀암호기술분야에 연구개발 노력을 기울일 수도 있고 또는 퀀텀통신분야에 주력할 수도 있으나 인접분야에 대한 기본적인 이해는 요구된다.

<Table 1>은 [Fig. 1]의 퀀텀 ICT분야의 기술 발전단계를 4년 이내, 5년에서 8년 이내, 8년 이상 소요되는 분야 등으로 구분하여 정리한 것이다. 대학 및 연구소에 대한 국가의 연구개발비 지원이 4년 단위로 이루어지는 경우가 많아 이를 고려하여 기간을 구분하였다.

이와 더불어 본 연구에서는 상용화 가능성을 우선적으로 고려하여 퀀텀암호기술, 퀀텀컴퓨팅, 퀀텀통신 및 네트워크기술, 퀀텀 소프트웨어 등의 분야에서 우리나라 산업에 큰 파급효과를 불러일으킬 일부 분야에 대한 산업화를 위한 개략적 개발 로드맵을 제시해 보고자 한다.

(1) 퀀텀암호화기술

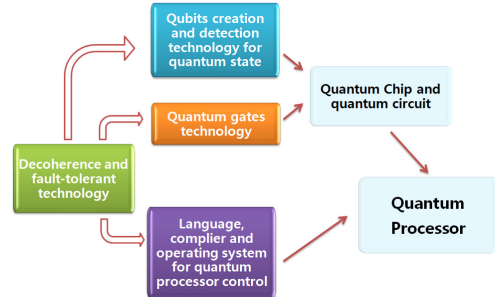
상용화 측면에서 가장 가능성이 높으며 이미 몇 개의 선두기업들이 상용화된 서비스를 제공하고 있다. 퀀텀암호화기술은 100km내외의 대도시 내에서의 암호교환시스템과 거리에 대한 제한 없는 시스템으로 구분될 수 있다. 전자의 경우 복잡한 퀀텀프로세서나 리피터의 지원 없이도 가능한 초보단계의 암호화 기술이다. 상용화가 가능한 100km내외의 기술개발을 위한 프로세스를 구조화하면 다음과 같다.



[Fig. 2] Roadmap for quantum cryptography technology for 100km or less distance

(2) 퀀텀프로세서 기술

퀀텀ICT의 대부분의 기술영역에서 퀀텀프로세서는 필수적인 개발항목이다.



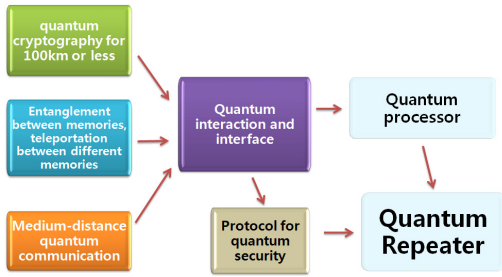
[Fig. 3] Roadmap for quantum processor

퀀텀디바이스, 퀀텀리피터, 퀀텀네트워크 등 응용규모가 커지면 퀀텀프로세서가 필수적인 부품으로 요구된다. 실질적 수준의 퀀텀게이트나 퀀텀칩을 응용단계로 업그레이드 시킨 퀀텀프로세서가 요구된다. 기술개발을 위한 프로세스를 구조화하면 [Fig. 3]과 같다.

(3) 퀀텀네트워크 - 리피터 기술

P2P수준의 퀀텀키 교환은 얽힘 없이도 가능하나, 여러 사람 간의 퀀텀커뮤니케이션은 얽힘(entanglement)을 구현할 수 있는 기술을 기반으로 하는 것이 바람직하다. 단순히 암호키 교환 수준을 넘어서 훨씬 복잡해 보이는 상황을 전제로 퀀텀커뮤니케이션을 통해서 산업적 기반을 구축할 수 있기 때문이다. 이 경우 기존의 IT산업이나 기술로서는 경제성이나 편의성이 비교될 수 없기 때문이다. 상당히 떨어져 있는 지역 간의 퀀텀정보의 전달 메커니즘의 개발에 필요한 퀀텀리피터의 개발이 요구된다.

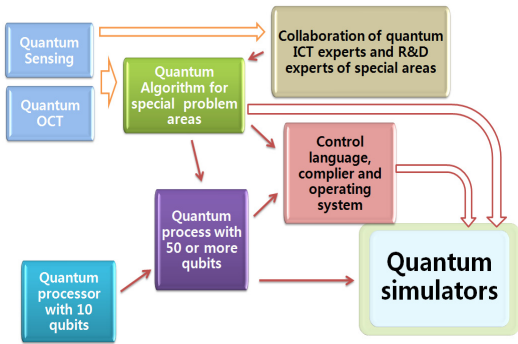
퀀텀리피터의 개발에는 오류수정 기능, 얽힘 상태 광자의 생성 및 순화, 퀀텀상호작용과 인터페이스, 보안을 위한 프로토콜, source, interface, detector의 개발, 그리고 퀀텀 정보의 단기간 저장을 위한 퀀텀메모리의 개발이 전제가 되어야 한다. 리피터의 핵심은 많은 수의 퀀텀중계 링크의 연결과 확장에 있으므로 source, interface, detector에 대한 기술개발이 전제되어야 한다.



[Fig. 4] Roadmap for quantum repeater

(4) 킴시물레이터 기술

킴컴퓨터의 용도가 고작 암호해독과 관련 수학문제에 대한 해를 구하는 정도에 그친다면 누구도 엄청난 규모의 연구비를 투자하지 않았을 것이다. 상업적인 측면에서도 킴시물레이션은 소인수 분해와 같은 킴알고리즘 개발영역보다는 잠재적 수요가 훨씬 많을 것이다. 킴 물리 시스템의 시물레이션은 킴시스템의 진화과정을 시물레이션 하여 어떤 형태나 결과가 나타날 것인가를 예측하는데 목적이 있기 때문에, 특이한 킴효과를 관찰하고 산업적으로 활용하고자 할 때 필요한 나노테크놀로지 디바이스의 개발에는 킴시물레이터의 개발이 전제가 된다.



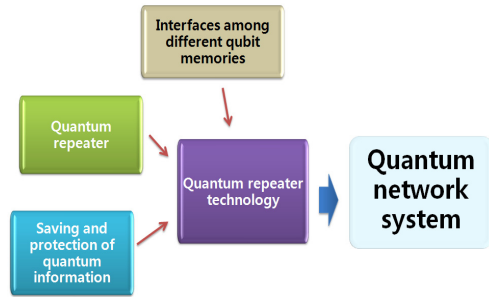
[Fig. 5] Roadmap for quantum simulator

50-100개 정도의 큐비트를 이용한 킴컴퓨터로 운영이 가능하며 현존하는 슈퍼컴퓨터의 성능과는 비교할 수 없을 정도로 효율적이다. 킴시물레이터의 상용화는 킴정보통신산업의 초석이 될 수 있을 뿐만 아니라, 새로운 아이디어 창출과 개발의 기폭제가 될 수 있다. 대규모 킴컴퓨터의 등장이 한동안 지연되더라도 새로운 산업

을 일으킬 수 있는 역할을 하기에 충분하기 때문이다.

(5) 킴네트워크와 킴컴퓨터 기술

킴암호화기술과 함께 킴네트워크는 기존의 IT기술을 넘어서는 새로운 커뮤니케이션 도구를 창출하게 된다. 기존의 기술적 규모의 경제로는 도달할 수 없는 새로운 커뮤니케이션 장치가 바로 [Fig. 6]의 킴네트워크 기술이다.



[Fig. 6] Roadmap for quantum network system

다양한 형태의 정보를 극도의 효율성으로 교환 가능한 네트워크의 등장이 기대된다. 그렇지만 상용화가 가능한 킴컴퓨터는 지금 시점에서는 논의할 의미가 별로 없을 정도로 기본적인 구조에 대한 논의조차 제시되고 있지 않다.

4. 연구개발 2단계 계획 및 기대효과

4.1 연구개발의 2단계 계획의 수립

국방, 보안, IT인프라의 특성을 모두 지닌 킴정보통신산업은 기반기술, 부품, 장비산업으로서 우선 기술에 대한 이해가 부족하고 장기간의 투자를 요하게 되어 대기업이든 벤처기업이든 간에 민간의 투자가 거의 없는 실정이다. 특히, 다양한 기술접목, 장기간의 개발기간, 성공가능성을 담보하기 어려운 킴컴퓨터 등의 개발은 민간이 주도적으로 이끌어가기에는 상당한 위험성이 내포되어있다. 지금 우리가 접하고 있는 IT산업도 초기에는 다양하면서도 서로 관계가 없을 것 같은 여러 분야에서 그 씨앗이 태동했다고 볼 수 있다. 소비자의 요구가 다양해지면서 새로운 IT기술이 등장하고 융합과 복합화과정

을 거치면서 지금과 같은 다양한 기능을 자랑하는 부품과 제품, 서비스가 등장하게 되었다.

따라서 퀀텀정보통신분야의 연구개발 투자도 핵심기반기술과 응용·상용화기술의 단계로 진행되는 것이 바람직할 것이다. 1단계는 퀀텀정보통신기술의 핵심기반기술에 대한 연구개발 투자가 이루어져야 하며, 1단계에서 경쟁력이 확보된 신기술을 기반으로 2단계에서 응용·상용화기술에 대한 연구개발투자가 계획되어야 할 것이다. 우선 1단계 연구개발계획에 포함될 핵심기반기술을 제시하면 다음과 같다.

(1) 단일포톤 생성 및 검출기술

단일 광자에 정보를 부여·획득하는 퀀텀정보 분야에서 단일광자 생성기술은 한 개의 광자를 임의의 원하는 시간에 발생하는 것으로, 퀀텀암호 및 송수신 기술에서 양자 키 분배를 구성하는 핵심기술이다. 단일광자 생성 방식에는 레이저 펄스를 감쇄해서 사용하는 유사 단일광자(Single Photon) 생성방식, 단일광자 생성기를 직접 사용하거나 양자 얽힘에 의한 쌍광자를 생성하는 실제 단일광자(Real Single Photon Source) 생성방식이 있다[9].

현재까지 알려진 단일 광자 검출에 사용되는 주요 기술은 PMT, APD 및 초전도체 기반 검출 기술 등이며, 측정 과정에 따라 가시광 영역에서는 PMT와 APD, 통신과 장대역에서는 APD와 초전도체 기반 검출 기술이 주로 응용되고 있다. 퀀텀 암호화 시스템에서 상용화 단계에 가장 가까운 광섬유 기반 시스템에서, access network과 backbone network을 고려할 때 가장 유망한 기술은 APD 및 초전도 기반 단일 광자 검출 기술이며, 이 중 APD 기반 단일 광자 검출기는 이미 상용화된 제품이 있으며, 초전도 기반 단일 광자 검출 기술은 해외 선두 그룹에서 실험실 수준으로 구현되고 있다[10].

(2) 퀀텀상태 생성 및 검출 기술

퀀텀정보통신의 가장 기본이 되는 퀀텀비트(qubit)를 구현하는 기술로 퀀텀 프로세서 개발에 필요한 선행기술이다. 퀀텀비트의 구현이란 양자수가 잘 정의된 두 가지 양자상태를 생성하고 이 상태를 임의로 정확하게 읽고 쓸 수 있도록 제어하는 퀀텀정보처리 기술을 의미한다.

유망기술로는 광자, 반도체양자점, 초전도체, 중성원자, cavity QED, 이온트랩, NMR, Si:P, 다이아몬드 N센터

등을 이용한 기술이 있으며 아직 특정한 유망기술이 대두되고 있지 않기 때문에 각각의 대상에 대한 병렬 연구가 필요하다.

두 가지 잘 정의된 퀀텀상태를 보이는 양자계는 많이 있으나 실용적인 비트로 쓸 수 있을 정도로 오랜 동안 그 상태를 지속하며 자유롭게 읽고 쓸 수 있는 양자계는 흔치 않다. 이는 비트로 사용되는 양자계와 주변과의 상호작용으로 인한 결어긋남이 주원인이며, 또한 이 비트를 조작하는 게이트 작용이 정확하게 이루어지지 않는 것도 원인이 된다.

실용적인 퀀텀프로세서를 구현하기 위해서는 경제성(scalability)도 좋아야 한다. 퀀텀정보통신기술이 빨리 발전하지 못하는 까닭은 현재의 나노기술이 이를 뒷받침할 수준이 못되기 때문이다. 따라서 퀀텀정보기술과 나노기술은 상호보완적인 입장에서 동반 발전이 예상된다. 주로 관련되는 나노기술로는 스핀을 조작하는 자기공명법, 단일 스핀 측정, 단전자 측정, 극저온 퀀텀 현상 측정, 단일광자 생성 및 측정 기술 등이 있다. 1단계에서는 광자계, 반도체 양자점, 이온트랩 그리고 초전도 기반 퀀텀상태 생성 및 검출 기술에 대한 기술 개발을 진행한다.

(3) 퀀텀알고리즘 및 퀀텀시뮬레이터 기술

퀀텀통신을 위한 퀀텀 알고리즘 기술은 넓은 의미에서 퀀텀 정보 또는 이진 정보를 퀀텀 정보 처리 시스템을 이용하여 전송하는 기술로 퀀텀 채널 또는 고전 통신 채널을 통해 정보를 전송하는 기술을 의미한다.

퀀텀 물리 시스템의 시뮬레이션은 퀀텀시스템의 진화 과정을 시뮬레이션 하여 어떤 형태나 결과가 나타날 것인가를 예측하는데 목적이 있기 때문에, 특이한 퀀텀효과를 관찰하고 산업적으로 활용하고자 할 때 필요한 나노 테크놀로지 디바이스의 개발에는 퀀텀시뮬레이터의 개발이 전제가 된다.

20-30개 내외의 큐비트 기반의 프로세서를 기반으로 관련 융복합분야의 전문가들이 협업을 통해 국방과학, 나노기술, 의학, 제약, 생화학 등 분야에 적용될 수 있는 퀀텀시뮬레이터를 개발한다. 융복합 연구개발이 요구되는 응용기술분야이다.

(4) 2단계 연구 개발계획

1단계 핵심기반기술의 성공적인 개발은 다음과 같은

2단계 연구개발사업으로 이어진다.

- **퀀텀암호화기술** - 이미 몇 개의 선두기업들이 상용화된 서비스를 제공하고 있지만, 2단계에서는 100km내외의 대도시 내에서의 암호교환시스템이 상용화되어 일반 고객들도 안심하고 금융서비스를 사용할 수 있는 서비스를 개발한다. 단순히 실험실과 실험실을 연결하는 수준이 아니라 실제 대형글로벌 금융기관, 그리고 이들 기관의 개인고객에게 해당 서비스를 판매할 수준의 상용화된 기술을 개발한다.
- **퀀텀 센서 및 계측기술** - 1단계에서 개발된 기술을 활용하여 퀀텀 초정밀 센서, 퀀텀 이미징 전송기, 퀀텀 OCT(Optical Coherence Tomography) 등 나노기술 개발, 바이오/의료 분야의 고성능 진단·측정분야에 혁신적인 생산성 증대를 가져다 줄 다양한 센서 및 계측기의 개발과 상용화를 추진한다.
- **퀀텀프로세서 기술** - 퀀텀ICT의 대부분의 기술영역에서 퀀텀프로세서는 필수적인 개발항목이다. 퀀텀디바이스, 퀀텀리피터, 퀀텀네트워크 등 응용 규모가 커지면 퀀텀프로세서가 필수적인 부품으로 요구된다. 1단계에서 실험실 수준의 퀀텀게이트나 퀀텀칩을 응용하여 50개 내외의 큐비트를 기반으로 하는 프로세서를 개발한다.
- **퀀텀시뮬레이터 기술** - 퀀텀 물리 시스템의 시뮬레이션은 퀀텀시스템의 진화과정을 시뮬레이션 하여 어떤 형태나 결과가 나타날 것인가를 예측하는데 목적이 있기 때문에, 특이한 퀀텀효과를 관찰하고 산업적으로 활용하고자 할 때 필요한 나노 테크놀로지 디바이스의 개발에는 퀀텀시뮬레이터의 개발이 전제가 된다. 20-30개 내외의 큐비트 기반의 프로세서를 기반으로 관련 융복합분야의 전문가들이 협업을 통해 국방과학, 나노기술, 의학, 제약, 생화학 등의 분야에 적용될 수 있는 퀀텀시뮬레이터를 개발한다. 융복합 연구개발이 요구되는 응용 기술 분야이다.

4.2 연차별 국가차원의 예상투자비용

앞에서 제시한 수준 정도의 퀀텀정보통신분야 경쟁력 확보를 위해서는 국가차원의 연구개발투자가 요구된다.

본 연구에서 퀀텀정보통신 연구개발에 대한 투자는 총 8년 동안으로 한정하기로 한다. 퀀텀정보통신 연구개발 육성사업에 대한 비용은 1단계와 2단계로 구분하여 산정하고자 한다.

1단계 연구개발 사업의 경우 4개 분야를 선정하여 각 분야별로 대학 혹은 연구기관에 연간 각각 55억 원(4년간 총 220억 원)의 연구개발비를 책정하는 것으로, 연간 총 220억 원을 지원한다. 이중 실험실 및 장비구축비용이 센터 당 4년간 총 115억 원이며, 유지관리비가 4년 총 20억 원, 센터 운영 및 교육지원비가 4년간 80억 원으로 구성된다. 개별 연구센터가 구축해야 할 실험실 및 장비구축비용의 내역은 다음과 같다. 단, 실험실 및 장비구축은 연구개시 첫해에 도입하나 비용은 4년에 균등 분할하여 지출하는 것으로 가정한다.

클린룸 및 냉동시설	- 30억 원
퀀텀 설계 장비	- 5억 원
퀀텀 프로세스 장비	- 50억 원
퀀텀 테스트 및 성능평가 장비	- 30억 원

2단계 연구개발 사업에서는 산업적으로 가장 유망한 2개 기술 분야를 선정하여 센터 당 연간 100억 원, 4년간 총 400억 원을 지원하며(이 경우 산업계의 대응연구비로 연간 100억 원씩 4년 400억 원 지원 전제), 기반기술분야로의 지속적인 지원이 필요한 2개 기술 분야에는 산업계의 대응연구비 없이 연간 50억 원을 4년간 지원한다. 산업적으로 유망한 기술 분야의 선정은 연구실적, 글로벌 수요, 외국 경쟁기관의 연구동향 등을 감안하여 평가, 결정한다. 산업화를 위한 기술개발연구는 기업 또는 민간 연구소의 100% 대응연구비 수주를 전제로 하며 국고는 장비구축 및 연구센터 물적 시설의 구축 및 보수비용으로만 사용된다. 2단계 연구기간에는 퀀텀 프로세스 장비에 대한 투자를 증대시키며, 기존연구시설의 업그레이드에도 투자비용이 소요된다. 각 연구센터 당 4년 예산내역은 다음과 같다.

상업화 기술개발센터 예산 내역: (4년, 800억 원) 클린룸 및 냉동시설 - 40억 원 퀀텀 설계 장비 - 80억 원 퀀텀 프로세스 장비 - 400억 원 퀀텀 테스트 및 성능평가 장비 - 120억 원 시설 및 장비·유지관리비용 - 80억 원 교육비 지원 - 40억 원 연구센터 운영비 - 40억 원
--

기반기술개발센터 예산 내역: (4년, 200억 원) 클린룸 및 냉동시설 - 20억 원 퀀텀 설계 장비 - 20억 원 퀀텀 프로세스 장비 - 40억 원 퀀텀 테스트 및 성능평가 장비 - 20억 원 시설 및 장비·유지관리비용 - 20억 원 교육비 지원 - 40억 원 연구센터 운영비 - 40억 원
--

이들 비용을 합산하여 8년간의 투자규모를 연도별 분야별로 정리하면 <Table 2>와 같다.

4.3 경제적 파급효과

퀀텀정보통신분야에 대한 연구개발투자로 인해 기대할 수 있는 산업적 가치는 관련기술의 개발과 응용을 통해 창출한 시장의 부가 가치를 편익으로 산정할 수 있다.

그러나 B2B성격을 띠는 퀀텀정보기술의 특성상 일반 소비자를 대상으로 하는 타 상품과 같이 시장예측을 통한 수요창출효과는 추정하는 것이 불가능하다. 미국에서

발표된 퀀텀정보통신산업의 규모도 기본적으로 연구비 추정 액을 합산한 것에 불과하다[4]. 본 연구에서는 가치 창출보다는 여러 산업에서 퀀텀정보기술의 활용을 통해 기대되는 국가적 차원의 비용 절감영역만을 살펴보고자 한다.

(1) 퀀텀암호화 및 보안기술

유럽의 경우 퀀텀암호화 분야의 연구는 이제 일반화 될 정도로 상당한 연구실적을 구축하고 있다. 이제 해당 분야의 연구는 다른 정보통신분야의 연구와 경쟁을 통해 야만 연구비를 받을 수 있을 만큼 일반화되어 있다는 의미이다. 특히 금융서비스의 경우 퀀텀암호화기술은 개인의 정보보안차원에서 각광을 받을 것으로 예상된다[5].

실질적으로 암호를 가로채어 해독한 뒤 개인의 예금 계좌에 접근하는 일이 발생할 가능성은 높지 않지만, 글로벌 금융기업의 경우 고액예금을 맡기는 개인에 대한 퀀텀정보보호 서비스는 금융기업의 브랜드 이미지 제고와 함께, 이를 사용하는 소비자에게 동일한 수준의 보안 서비스를 제공하고 있다는 이미지를 줄 수 있다.

글로벌 퀀텀정보보호서비스를 제공하는 기업이 아무런 관련기술을 보유하고 있지 못한 우리나라에 직접 금융기관을 대상으로 서비스를 제공한다면 상당한 수익을 기대할 수 있을 것이다. 더불어 국방관련기관 및 군부대, 국가 안보 및 산업기밀 관련 정보를 취급하는 기관 간의

<Table 2> Annual R&D Expenses(planning horizon: 8 years, unit = 0.1 billion won)

	Investment Areas	First 4 Years				Second 4 Years				Total
		Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	Year 8	
Research Facility, Tools and Equipments	Clean Room and Quantum freezer	120	120	120	120	30	30	30	30	600
	Quantum Design Tools	20	20	20	20	50	50	50	50	280
	Quantum Process Tools and Facility	200	200	200	200	220	220	220	220	1,680
	Quantum Tester and Performance Evaluator	120	120	120	120	70	70	70	70	760
	Facility and Equipment Maintenance	20	20	20	20	50	50	50	50	280
	Total	480	480	480	480	420	420	420	420	3,600
Manpower Training and Operations of Research Center	Training Expenses	40	40	40	40	40	40	40	40	320
	Operating Expenses for Research Center	40	40	40	40	40	40	40	40	320
	Total	80	80	80	80	80	80	80	80	640
Total		560	560	560	560	500	500	500	500	4,240

커뮤니케이션에 이와 같은 퀀텀정보보호서비스를 사용한다면 비용 절감규모는 더욱 커지게 된다.

국산 네트워크 장비가 외면당하는 데에는 국산 장비에 대한 낮은 인지도 및 신뢰성과 안정성 부족에 대한 불안감이 그 원인으로 작용하고 있는데, 수백만 명의 고객을 대상으로 하는 네트워크장비의 경우 내구성과 신뢰성에 대한 경험적 담보 없이 단순한 기술수준만으로 해당 장비를 도입하지 않는다. 퀀텀정보기술을 기반으로 하는 네트워크 장비의 경우 아직 어느 나라도 상용화된 상품이 시장에 출시된 바 없으며 동등한 조건에서 시작할 수 있으므로 새로운 산업으로서의 미래가치는 무한하다.

(2) 퀀텀 센서 및 계측기술

퀀텀 센서 및 계측기술이 상용화되면 스마트 센서사업은 대변혁이 일어날 것이다. 개별 소비자를 대상으로 하는 센서분야는 큰 변동이 없을 것이나, 융복합분야를 이끌어가는 나노, 바이오, 정보통신, 다차원 스마트센서, 차세대 에너지 소자·생산에서는 엄청난 혁신기술이 등장할 것이다. 구체적인 적용분야는 상용화의 목표시장에 따라 달라지겠지만, 상용화가 가능할 경우 융복합관련 연구는 퀀텀기술을 활용한 센서 및 계측기 없이는 수행 자체가 불가능하며, 가능하다 하더라도 연구개발비용이나 소요시간 그리고 생산성 측면에서 비교할 수 없는 정도의 경쟁력 상실로 이어진다. 국내 대학병원 및 국책기술연구기관, 대기업 연구소 등은 대부분 이런 기기의 보유를 융복합 연구의 인프라 정도로 생각할 것이다.

(3) 퀀텀시뮬레이터 기술

퀀텀시뮬레이터는 연구개발분야에서 항상 논의되고 있는 융복합연구개발의 핵심도구이다. 논리적으로 기존 영역 간 칸막이를 허무는 과감하고 이질적인 기술간 융합 시도는 기술혁신뿐만 아니라 산업계 지도를 송두리째 바꿔놓는 결과로 이어진다는 것은 명확한데, 퀀텀시뮬레이터를 이를 지원하는 인프라 역할을 한다. 다양한 분야 별로 퀀텀시뮬레이터 개발이 요구되는데, 가장 수요가 많은 곳은 신약개발일 것이다.

정부의 국내 신약개발 부문 R&D 지원 예산은 2009년 교과부, 지경부, 복지부 합산 금액기준으로 약 1,000억 원 수준이며, 민간 제약기업 연구비를 5,000억 원 정도로 가정하면 우리나라의 신약개발비 총액은 다국적 제약회사

인 Pfizer의 연간 연구비 약 7조원의 약 1/10에 불과한 6,000억 원 수준이다[11]. 신약개발 전문 퀀텀시뮬레이터의 상용화를 통해 신약개발의 속도를 제고함으로써 생산성 향상을 통해 연간 10% 이상의 비용절감이 가능할 것이다. 물론 기 개발된 신약개발 퀀텀시뮬레이터를 구입해도 될 것이겠지만[12], 국방보안분야의 퀀텀기술과 같이 이런 기술과 관련서비스를 판매하고자 하는 퀀텀시뮬레이터 개발기업은 없을 것이다.

퀀텀시뮬레이터는 대형병원에서의 맞춤형 질병치료에도 효과적으로 사용된다. 단백질 생성, 세균 및 바이러스 배양 등 다양한 진단분야에 퀀텀시뮬레이터를 개발함으로써 고가의 맞춤형 진료서비스 제공이 가능해질 것이다. 특히 연구중심의 대학병원, 연구중심대학, 대기업 연구소, 국책연구기관 등이 핵심 수요처가 될 것으로 전망된다.

(4) 퀀텀프로세서 기술

상온에서의 사용이 일반화 되는 실용적 퀀텀컴퓨터의 등장은 10년 이상 기다려야 할 것이다. 그러나 소인수분해와 같이 매우 단순하나 해의 도출에 엄청난 시간이 요하는 다양한 의사결정문제의 해결을 위한 퀀텀프로세서와 관련 알고리즘에 대한 수요는 50개의 큐비트를 활용할 수 있을 때가 되면 폭증할 것으로 전망된다.

수천만 개 또는 수억 개의 변수가 영향을 미치는 대규모 의사결정문제도 짧은 시간 안에 응용 가능한 대안 도출이 가능한데, 연간 매출액이 몇 조원에 이르는 대기업들은 대당 50억 원짜리 퀀텀프로세서도 개인이 PC를 구입하는 정도의 투자에 불과하기 때문에 상당한 수요를 예상할 수 있다. 아마도 매출액 상위 100대 기업들이 퀀텀프로세서와 관심분야의 전략수입용 알고리즘에 큰 관심을 보이게 될 가능성이 높다.

5. 결론

퀀텀정보통신산업의 전망은 그 어떤 분야보다도 융복합분야의 선두로서 전망이 뚜렷하다고 평가할 수 있다. 기존의 융복합연구의 어려움을 기업, 연구소, 대학 등 연구주체의 역량 취약과 주체 간의 연계 부족, 하부구조의 취약 등에 기인하다는 평가도 있지만 이중 핵심은 하부

구조의 취약이다. 혁신체계의 인프라에 대한 구조적 문제를 해결하지 않는 R&D투자 확대는 오히려 비효율적인 시스템을 확장시킬 가능성만 증대시킬 뿐이다.

최근 우리나라도 퀀텀정보통신 또는 퀀텀컴퓨터, 퀀텀 암호가 새로운 화두로 떠오르고 있다. 2012년 4월 지식경제부에서 발표한 차세대 IT 10대 핵심기술에 퀀텀정보통신기술이 포함되어 있는 것도 이를 반영하는 좋은 사례이다. 그러나 국내에서는 관련분야의 필요성 및 가능성이 강조되어 왔으나 대부분의 연구가 퀀텀암호통신 분야에 국한되어 있으며 물리학에 근거한 퀀텀 광학 및 반도체 물성 분야를 제외하고는 퀀텀정보 이론의 기반이 거의 없는 상태로 아직 퀀텀정보이론 및 퀀텀정보통신의 기초 단계에 머물러 있는 수준이다(안도열, 2012).

퀀텀정보기술의 상업적 응용에 많은 투자를 하고 있는 미국과 캐나다의 경우, 퀀텀암호기술 분야는 이미 상용화가 거의 마무리된 단계이다. 예를 들어 캐나다의 D-웨이브사는 미국의 방위산업체인 록히드 마틴사에 퀀텀 컴퓨터 판매를 판매한 바 있으며, 미국의 MagicQ 테크놀러지사, 스위스 제네바대학에서 출범한 idQuantique사, 프랑스의 SmartQuantum사, 호주의 Quintessence Lab사 등은 상용화된 퀀텀암호시스템을 시장에 이미 출시한 바 있다. 미국의 MagicQ는 100-140km간의 도시 내 통신을 가능하게 하는 퀀텀암호시스템을 제공하며, idQuantique사는 퀀텀암호시스템인 “Cerberis”라는 서비스와 함께 다양한 퀀텀 디바이스를 판매하고 있다.

아직 상용화를 위한 집약적 R&D 노력조차 보이지 않고 있는 우리 현실에 비추어 선진제국과의 기술격차는 매우 크다고 평가할 수밖에 없다. 계획에 불과하지만 중국도 2016년에는 해킹이 불가능한 퀀텀정보통신을 위한 세계 최초의 퀀텀통신위성을 쏘아 올릴 계획을 수립 중임을 발표한 바 있다[13]. 이제 융·복합 상품의 핵심기술이자 글로벌 산업구조를 일거에 바꾸어 버릴 수 있는 파급효과를 나타낼 수 있는 퀀텀정보통신기술에 대한 체계적인 R&D 투자 및 실행계획이 절실한 시점이다.

REFERENCES

[1] Newsletter of Korea Institute Advanced Study, "New Era of the World that Quantum Information

Science and Quantum Computer can open, Korea Institute Advanced Study, 2007.
 [2] Chosun-Ilbo, Published Article, May 3, 2013.
 [3] Colin, P.W. Explorations in Quantum Computing, Second Edition, Springer, 2011
 [4] Market Research Media, Quantum Computing Market Forecast 2015-2020, 2012.
 [5] Kwon, M.J., R. Kim, S-T Park, T.U. Kim, A Study on the Industrial Applications of Quantum Information Processing and Communication, Digital Policy and Management, 2013, 11(7), pp. 173-84.
 [6] Ministry of Science, ICT & Future Planning(2011). A Report on Trend Analysis of Patents and Technology(R&D on Quantum Information and Science and Technology, 2011.
 [7] Advanced Research and Development Activity, A Quantum Information Science and Technology Roadmap Part 1: Quantum Computation Version 1.0, Report of the Quantum Information Science and Technology Experts Panel, 2002(available electronically at: <http://qist.lanl.gov>)
 [8] Spiller, T.P. & W.J. Munro, Towards a Quantum Information Technology Industry, Hewlett-Packard Development Company, L.P. 2005.
 [9] Ahn, D.Y.(2012). Technological Trend and Market Forecasting of Quantum Information and Communication Industry, HaYeon Publishing, Seoul, 2012.
 [10] Subcommittee on Quantum Information Science, A Federal Vision for Quantum Information Science, Executive Office of the President National Science and Technology Council, 2009.
 [11] Samsung Economic Research Institute, Business Strategy of Bio-Tech Companies, 2003.
 [12] http://www.pharmaqbd.com/simulation_modeling_pharma_aerospace, 2013.
 [13] YonhapNews, Published Article, June 21, 2013.

이 문 기(Rhee, Moonki Kyle)



- 2012년 2월 : 홍익대학교 과학기술 대학 기계정보공학과(공학학사)
- 2014년 2월 : 성균관대학교 경영학과 Asia MBA(경영학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 대학원 경영학과 박사과정 재학 중
- 관심분야 : 공급망관리, ICT전략
- E-Mail : kylerheen@naver.com

박 성 택(Park, Seong Taek)



- 2003년 8월 : 충북대학교 경영대학원 (경영학석사)
- 2010년 2월 : 충북대학교 경영정보학과(경영학박사)
- 2011년 7월 ~ 2012년 6월 : 성균관대학교 경영연구소 박사후연구원
- 2014년 1월 ~ 현재 : 충북대학교 경영정보학과 연구교수

- 관심분야 : 특허가치평가 및 특허경영, 공급망관리 등
- E-Mail : solpherd@cbnu.ac.k

권 문 주(Kwon, Moon Ju)



- 2004년 8월 : 성균관대학교 경영대학원 (경영학석사)
- 2009년 2월 : 성균관대학교 경영학과(경영학박사)
- 2000년 1월 ~ 현재 : 정보통신산업진흥원 수석연구원
- 관심분야 : IT/SW산업정책, IT/SW 인력양성, IT/SW R&D기획 등

- E-Mail : mjkwon@nipa.kr