Premium Report 제81호
(2021. 03. 31)

양자정보통신 동향과 정보통신공사업 전망

KICI 한국정보통신산업연구원

작 성 자 : 황석현 연구원
내용 문의 : T - (031) 231-3445 / E - hsh@kici.re.kr

1 양자정보통신 개요(1)

- **(양자정보통신 개념)** 양자역학적 특성을 정보통신 분야에 적용해 보안, 초고속 연산 등 기존 정보통신의 한계를 극복할 수 있는 차세대 정보통신 기술

  - **(양자통신)** 파장이나 진폭 등으로 통신하는 일반적인 통신과는 달리 빛의 최소 단위인 광자(photon)에 정보를 실어 보냄

    - 광자(빛)의 편광이나 위상차에 **양자 불확정성과 양자 비가역성**을 이용하여 통신에 사용할 경우 완벽한 보안 가능

    - 특별한 조건에서 **양자 얽힘**을 이용하여 초고속 통신 가능

  - **(양자센싱)** 측정 대상에 대한 미세한 양자 위상 변화(Quantum Phase Accumulation)를 정밀하게 측정

    - 양자비트(Qubit)는 0,1의 양자 상태로 이루어진 two-level system이지만 0과 1을 **양자의 중첩성을** 이용하여 중첩 시킨 다음 0 상태와 1 상태의 상대적인 위상 변화를 측정하여 고해상도 이미지 획득

  - **(양자컴퓨팅)** 현대 컴퓨터는 0,1의 값을 갖는 비트를 기본으로 데이터를 처리하지만, 양자컴퓨터는 0과 1의 중첩 상태를 가지는 양자비트(Qubit)를 이용

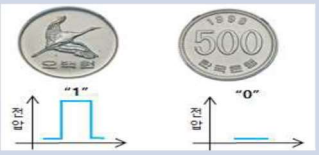
    - 비트와 다르게 수가 늘어나면 연산 가능한 공간이 **지수적으로 증가**하는 양자비트의 성질과 양자비트 간의 상호 작용인 **양자 얽힘**을 사용하면 **양자 병렬 처리**가 가능하게 되고 이를 통해 연산 속도의 엄청난 향상이 가능

1 양자정보통신 개요(2)

● 양자정보통신에 사용되는 양자 특성

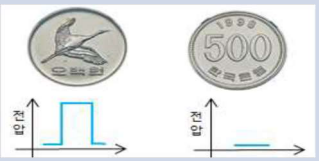
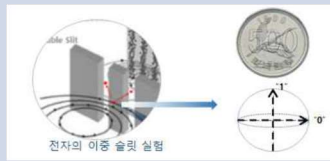
➢ **불확정성(통계적 해석)**

서로 교환 가능하지 않은 물리량(예: 위치와 운동량)을 함께 측정할 때 두 물리량을 동시에 정확히 측정할 수 없는 성질

현실세계 : 모든 상태값이 확정적임	양자 : 상태값이 확률로서 존재
	

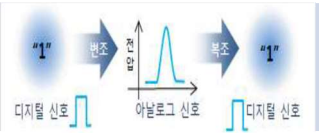
➢ **중첩성(여러 상태가 동시에 존재)**

양자정보처리 기본 단위인 양자비트(Qubit)는 "0" 또는 "1"에 해당하는 상태를 가지면서 중첩 상태의 선형 결합도 형성할 수 있는 성질

현실세계 : 중첩성은 존재하지 않음	양자 : 관측 전에는 두가지 상태가 공존
	

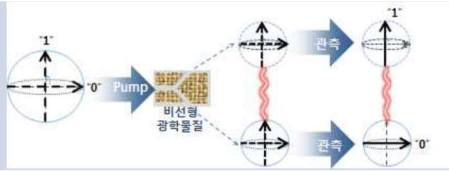
➢ **비가역성(측정 이후 환원 불가)**

양자 상태 측정은 시간에 대해서 되돌릴 수 없는 과정으로 관측 후에는 이전 상태로의 복원이 불가능

현실세계 : 변조를 통해 원래 상태로 환원 가능	양자 : 관측 후 확정된 상태는 이전상태로 환원 불가
	

➢ **얽힘(양자 상태 간의 특수한 상관관계)**

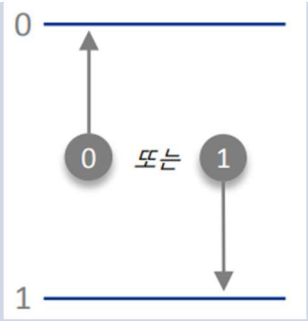
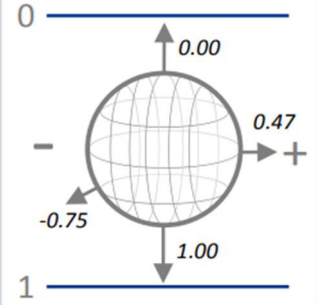
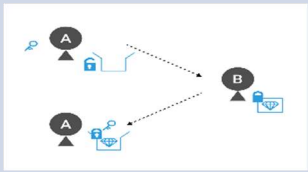
무한대의 원격지에서도 하나의 입자 상태값이 변경되면, 다른 쪽의 양자 상태값도 즉각적으로 변동하는 특성

현실세계 : 없음	양자 : 얽힘 상태의 양자쌍은 서로가 반대인 상태값을 가지는 특수한 관계
-	

※ 자료: IITP(2018.12), ICT R&D 기술로드맵 2023

1 양자정보통신 개요(3)

- 정보통신의 발전은 크게 두 가지 문제를 해결하는 과정
  - **(컴퓨팅 파워)** 정보교환을 어떻게 더 빠르고, 정확하고, 효율적으로 할 것인가
  - **(보안)** 어떻게 정보를 보호할 것인가
- 기존 정보통신(전기통신, 광통신 등)과 양자정보통신 비교

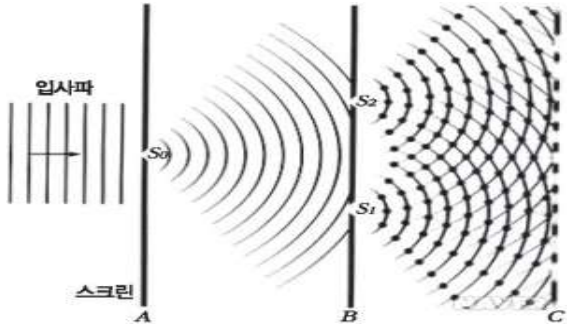
	기존 정보통신		양자통신	
정보처리 방식		- 0과 1로 구성된 이진법으로 정보처리 - 2비트의 정보를 전송할 때, '00', '01', '10', '11' 총 네가지 경우가 존재		- 0과 1을 중첩하여 동시 다발적으로 정보처리 - 고전통신의 2비트 정보의 경우 중첩을 사용해 1양자비트로 전송 가능
전력 소모량		- 세계 1위 슈퍼컴퓨터의 전력 소모량 : 세종시의 0.5배(15MW)		- D-Wave 양자 컴퓨터의 전력 소모량 : 0.025MW (1/600배)
보안		- RSA 암호는 컴퓨팅 성능에 따라 해킹 가능성 존재		- 양자 불확정성, 비가역성을 이용해 해킹 가능성 차단

1 양자정보통신 개요(4)

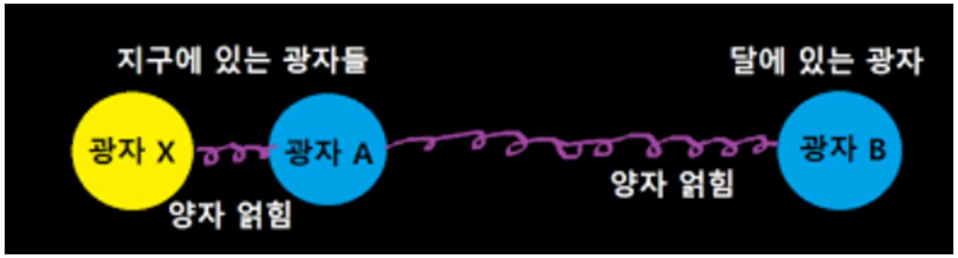
※ 참고사항

- 양자역학
  - **(개념)** 연속하는 성질을 갖는 물질(파동)과 불연속하는 성질을 갖는 물질(입자)은 다르다는 고전 역학의 개념을 깨고, 두 성질을 동시에 갖는 물질(양자)를 발견함으로써 시작
  - **(양자의 종류)** 광자(Photon)의 발견을 시작으로, 전자, 원자, 중성자 등이 발견
  - **(양자 얽힘)** 파동-입자 이중성(Wave-Particle Duality)를 바탕으로 시작된 양자역학에서 발견된 양자의 특별한 성질로서, 양자상태에 있는 어떤 두 입자는 한 입자에 상태가 결정되면 나머지 입자의 상태가 결정되는 상관관계
  - **(양자정보통신의 등장)** 고전역학으로 부터 출발한 기존 디지털 기술의 한계(속도, 보안)를 뛰어넘기 위해 **양자 얽힘**을 기본으로 한 양자정보통신이 등장

<토머스 영의 이중슬릿 실험>



<양자 얽힘 설명>



2 양자정보통신 기술수준

- 미국과 유럽이 기초원천, 응용, 사업화 등 최고 기술을 보유하고 있으며, 우리나라의 기술수준은 **최고 기술보유국(미국)대비 73.0%로, 약 4.0년의 기술격차**를 가지는 것으로 평가됨
  - 이동통신, 소프트웨어 등 10대 **기술분야 평균(1.3년, 83.5%) 보다 2배 이상 뒤쳐져** 있으며, 10대 기술분야 중 가장 기술격차가 큰 분야인 기반SW・컴퓨팅(1.8년, 77.3%)에 비해서 약 2.2년 뒤짐
  - 미국(100%) > 유럽(94.7%) > 일본(88.9%) > 중국(84.7%) > 한국(73.0%)

구분	기술수준		최고기술 보유국
	상대수준(%)	격차(년)	
양자통신	82.5	2.7	미국
양자센싱	72.5	3.2	미국
양자컴퓨팅	66.3	5.8	미국
전체(합계)	73.0	4.0	미국

※ 자료: IITP(2017), ICT R&D 기술수준조사보고서

3 주요국의 양자정보통신 정책동향(1)

- **한국**
  - 양자정보통신 중장기 추진전략('14.12월, 미래창조과학부)을 수립하여 국가 차원의 양자정보통신 분야 기술개발, 인력양성 및 기반 조성의 필요성 강조
  - 양자정보통신기술 개발 및 산업화 촉진에 관한 법률안 발의('17.1월)
  - **NIA에서 '20년에 이어 '21년에도 양자암호통신 시범인프라 구축 · 운영 사업 공모**

    * 2020년 123억원 내외, 2021년 118억원 내외

- **미국**
  - '08.12월, 양자정보과학비전 수립을 통해 산발적으로 추진되던 양자정보과학 연구개발을 통합하여 일관된 목표를 수립하는 등 미국의 양자정보기술개발을 위한 정책 마련
  - '16.7월 '발전하는 양자정보과학(백악관보고서)'는 기술발전을 저해하는 요인 분석 및 이를 토대로 한 미국의 추진방향을 제시
  - 최근 미국은 '양자컴퓨팅 연구법' 법률(안)을 추진 중으로 상용 수준의 양자정보통신 기술을 개발하기 위해 **5년간 8,000억 원 이상의 예산을 집중 투자 예정**

    * '국가 양자 이니셔티브(NQI)' 법률(안)도 추진 중이며, 이는 양자기술을 심화하고 연구인력을 양성하며 대규모 연구시설을 마련하는 등 제시한 5대 목표 달성을 통해 양자산업 육성 추진

3 주요국의 양자정보통신 정책동향(2)

- **유럽**
  - 제 2차 양자혁명에 대비하기 위하여 EU 회원국 간 선언적 합의문을 체결하고 R&D 투자를 강화하여 '35년 이후까지 확보해야 할 양자정보통신 기술의 로드맵을 제시
  - Quantum Flagship 프로그램 중간보고서('17.2월)를 통해 제2차 양자혁명의 최선두 그룹으로 유럽을 포함하기 위하여 양자기술을 향후 10년간의 전략적 연구 의제로 설정
  - Quantum Flagship 프로그램을 통해서 **'18년부터 10년간 10억 유로(약 1조 3천억) 규모의 양자 기술 개발** 프로그램 착수
  - QuantERA 프로그램은 폴란드의 NSC에 의해 설계된 **EU 소속의 26개국 32개 연구기관 네트워크**로 양자 기술 관련 국제 공동연구를 지원

- **중국**
  - 13차 5개년 국가 과학기술혁신 계획('16년~'20년)에서 '국가 전략적 요구와 연관된 기본 연구' 에 '양자 제어' 분야를 포함하여 양자 정보 과학에 대한 우선순위를 강화
  - 기존 컴퓨터에 비해 연산 능력이 100만 배 이상 빠른 양자 컴퓨터를 개발한다는 목표로 '국립 양자정보 과학 연구소' 를 설립하는 절차에 착수('17.8월, **약 14조원**)

4 양자정보통신 시장동향 및 규모(1)

- **(해외 기업투자 증가)** 세계 각 국의 정부 뿐 아니라 AT&T, NTT, 도이치텔레콤, IBM, Intel, Google, MS 등 글로벌 대기업들의 R&D 투자가 크게 증가하면서 **향후 시장에서의 주도권을 확보하려는 경쟁이 치열**

  - 기술 진입장벽이 높고 경제·사회적 부가가치가 매우 클 것으로 예상됨에 따라 세계 각국 여러 기관의 **핵심기술 확보 및 조기 시장 진출을 위한 경쟁 중**

- **(시장성장에 대한 기대)** Gartner 등 글로벌 시장조사 전문기관들의 전망치는 다소 다르나 멀지 않은 **미래에 본격적인 시장이 형성될 것과 20% 이상의 폭발적인 성장**이 기대된다는 점은 공통적

  - **유·무선 양자암호통신 시장을 시작**으로 센서(IoT 기기)와 컴퓨터 시장이 형성되면서 양자컴퓨터 시장이 가장 큰 규모를 이룰 것으로 전망

  - 양자암호통신 시장은 **'26년까지 100.2%의 연평균증가율**을 보이며 매우 빠르게 성장할 것으로 예상

4 양자정보통신 시장동향 및 규모(2)

● **시장현황 및 전망**

➢ **(세계시장)** '25년까지 **연평균 약 41.2%로 성장**하여 약 319억불 규모 예상

➢ **(국내시장)** 아직 기술개발 단계로 시장은 미미한 수준이며 각 분야별 기술이 성숙되는 시기에 시장이 형성될 것으로 전망

<양자정보통신 기술 분야별 세계 시장전망>

(단위 : 백만달러, 십억원)

구분		2021	2022	2023	2024	2025	CAGR
양자통신	세계	1,957	2,482	3,385	6,759	12,266	106.5%
	국내	39	48	66	132	239	69.7%
양자센싱	세계	506	691	943	1,283	1,746	36.4%
	국내	7	10	14	20	28	41.1%
양자컴퓨팅	세계	5,940	7,672	10,462	13,831	17,882	30.6%
	국내	84	112	159	217	290	35.0%
합계	세계	8,403	10,845	14,790	21,873	31,894	41.2%
	국내	129	170	239	369	557	44.4%

※ 자료: IITP(2018.12), ICT R&D 기술로드맵 2023

5 양자정보통신이 가져올 변화

- 현재는 암호화에 필수적인 비밀키 교환에 집중. 향후 양자센서/컴퓨터 등 양자 기기간 정보전송으로 확대
  - 초기에는 보안에 민감한 데이터가 요구되는 **금융, 국방, 행정망** 등에 사용되고, 궁극적으로는 **장거리 광섬유 및 위성 링크를 기반으로 하는 안전한 글로벌 통신 네트워크**로 활용
- 양자센서는 고정밀 데이터를 제공함으로써 **의료, 국방, 자율주행, 측량** 등 다양한 분야의 비약적인 발전에 기여
  - 양자얽힘 상태 또는 양자얽힘 상태가 있는 고효율 양자 광원을 측정하는 기술이 소자 형태로 제작되어 양자통신 및 양자정보 기술을 실용화 단계로 이끌 것으로 전망
- **디지털 컴퓨터의 한계분야 돌파기능 기술**로서, **양자컴퓨터를 미래 핵심기술**로 지목
  - 물질의 근본원리 규명, 화학분자구조 계산, 신양 및 에너지 분야의 새로운 물질설계 등 디지털 컴퓨터로 불가능한 과학과 기술을 구현

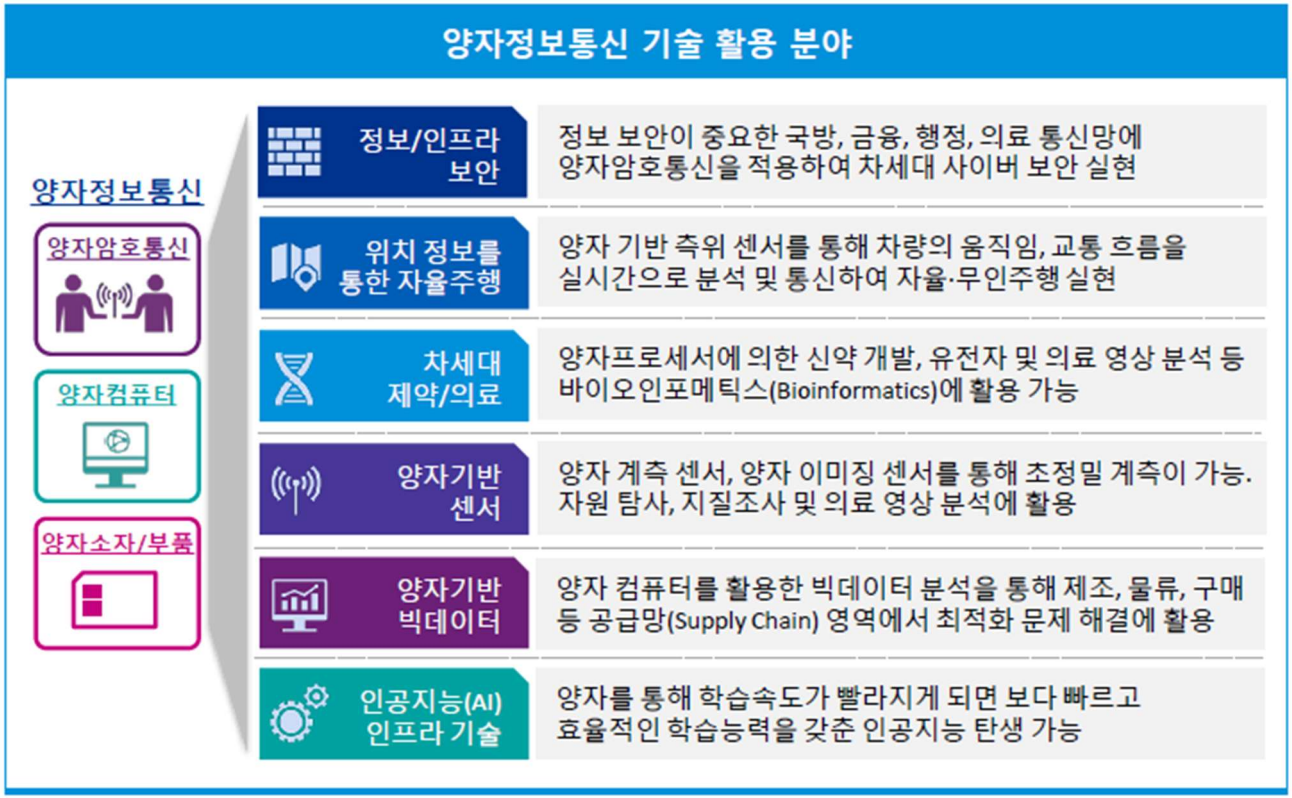
양자정보통신 시대 도래에 따른 시사점

Understanding	ICT 패러다임을 바꿀 수 있는 양자정보통신 이해도 제고	• 양자정보통신 파급력 및 신시장의 경쟁 역학에 대한 이해 필수
Corporate Strategy	양자정보통신 기술 확보를 위한 정교한 전략 수립	• 국내 기업의 양자 기술 확보를 위한 R&D, M&A, 기술제휴 등 필요
	ICT 기업의 포트폴리오 다각화 기회	• 새로운 성장동력으로 부상하는 양자 시장에서의 비즈니스 기회 포착
Government Policy	기술 선도국과의 격차 줄이기 위한 정책 강화	• 국내 양자정보 관련 정부 지원 및 투자 정책 실행의 가속화 시급
	양자정보통신 기술 표준화 · 인증 제도 마련	• 양자 기술의 인증 절차와 상업화를 위한 표준화 담당 기구 및 제도 필요

※ 자료: 삼정KPMG(2017.11), 양자정보통신, ICT의 새로운 미래

6 정보통신공사업 전망(1)

- **새로운 사업의 기회(1/2)**
  - 4차 산업혁명에서 대두되는 대부분의 첨단기술과 관련된 정보통신공사업 인프라의 고도화
  - 특히, 양자암호통신 인프라 구축은 정보통신공사와 직접적인 관련이 있으며, 주목해야 할 분야



6 정보통신공사업 전망(2)

● **새로운 사업의 기회(2/2)**

➢ 양자정보통신 시장의 시작을 알리는 **양자암호통신 시장이 급속히 성장**하면서, **대규모 통신망 구축 및 양자암호통신 인프라 구축** 등 정보통신공사업계에도 파급효과가 상당할 것으로 예상

- '21.1월 중국은 베이징부터 상하이까지 **2,000km나 되는 유선망**을 양자암호통신을 통해 구축. 700개의 노드를 이용하여 중국 베이징, 지난, 허페이, 상하이 등 거점 도시 4개를 해킹의 위협없이 통신하는데 성공

- **무선 양자암호통신**은 중국이 '17년 베이징에서 **7,600km** 떨어진 오스트리아 빈까지 대륙 간 통신에 성공함

➢ 유・무선 양자암호통신을 시작으로 앞으로 확대될 양자정보통신 시장에서 **스마트시티 인프라 고도화, 자율주행 인프라 고도화** 등 **다양한 분야의 정보통신공사업 수요가 발생**할 것으로 예측