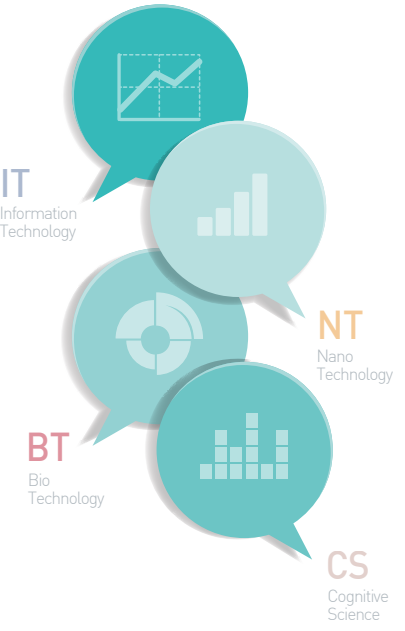
# 2013년도 융합기술수준평가

## (11대 분야)

2013. 6




미래창조과학부 융합연구정책센터 KIST

# 요 약 문

## Ⅰ. 기술수준평가 개요

- 1차 국가융합기술 발전 기본계획('09~'13) 상의 11대 융합기술에 대한 목표 대비 기술별 달성도를 평가하고, 우리나라 융합기술 수준을 진단 및 발전추이를 파악
  - (NT-BT) ① 나노바이오센서, ② 약물전달
  - (BT-IT) ③ 바이오센서칩, ④ 바이오인포매틱스, ⑤ 바이오컴퓨터, ⑥ 생체인식/보호, ⑦ 휴먼인터페이스
  - (IT-NT) ⑧ 나노일렉트로닉스, ⑨ 나노포토닉스, ⑩ 나노센서/MEMS, ⑪ 양자컴퓨터
- 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용

## Ⅱ. 추진체계

- 평가의 일관성을 유지하고 1차 대비 기술수준 향상도를 평가하기 위해 1차 국가융합기술 발전 기본계획의 11대 융합기술 분류와 평가 체계를 준용함
  - 11대 기술분야별 전문가로 융합기술수준평가위원회를 구성하여 기술수준 평가를 수행
  - 융합기술수준평가위원회는 기술수준을 평가하고 평가결과를 검토, 분야별 기술동향 조사·분석

## Ⅲ. 평가방법 및 내용

- 융합기술수준 평가 및 분석으로 우리나라와 최고 기술국의 현 기술수준 및 기술수준 변화정도를 비교하고 상대적인 기술수준 분석
- 주요 내용

  ① 기술별 기술개발의 필요성 및 주요 내용

  ② 11대 융합기술 기술수준조사(최고기술 보유국, 국내 기술수준 평가)

  ③ 1차 융합기술 발전 기본계획의 기술별 목표 달성도 조사

  ④ 기술확보 및 추격방안 분석

# Ⅳ. 기술수준평가 결과

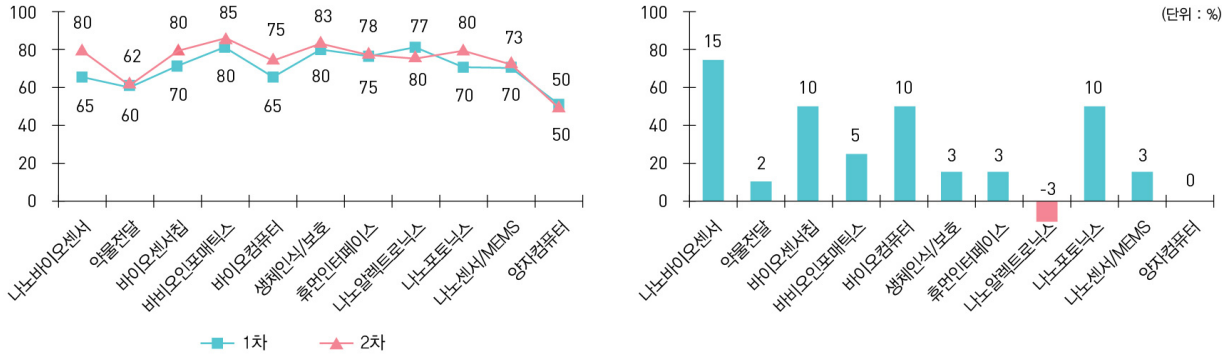
〈2차 융합기술수준평가결과〉

(단위: %)

| 구분 | 나노 바이오 센서 | 약물 전달 | 바이오 센서칩 | 바이오 인포 매틱스 | 바이오 컴퓨터 | 생체 인식/ 보호 | 휴먼 인터 페이스 | 나노 일렉트 로닉스 | 나노 포토 닉스 | 나노 센서/ MEMS | 양자 컴퓨터 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1차평가 ('05년) | 65 | 60 | 70 | 80 | 65 | 80 | 75 | 80 | 70 | 70 | 50 |
| 2차평가 ('13년) | 80 | 62 | 80 | 85 | 75 | 83 | 78 | 77 | 80 | 73 | 50 |
| 기술향상도 | 15 | 2 | 10 | 5 | 10 | 3 | 3 | −3 | 10 | 3 | 0 |

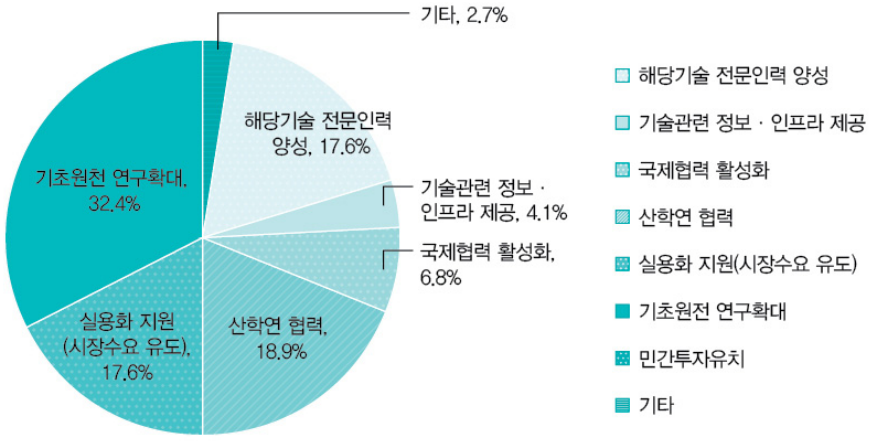
- 2차 융합기술수준평가 결과, 1차 융합기술수준평가결과 대비 9대 분야에서 기술수준이 향상
  - » 나노일렉트로닉스 분야는 기술수준이 하락하였고, 양자컴퓨터 분야는 1차와 동일한 수준으로 평가
- 1차 융합기술수준평가에서는 기술수준이 50~80%로 평가되었으나, 2차 평가결과 50~85%로 최대 기술수준이 5% 정도 향상
  - » 평균 융합기술수준은 1차 평가결과 69.5%에서 2차에는 74.8%로 기술수준이 5.3% 정도 향상

〈융합기술수준평가 결과분석〉



- 분야별로는 BT-IT(80.2%)〉NT-BT(71.0%)〉IT-NT(70.0%) 순으로 평가
- 기술수준 향상도는 BT-IT(8.5%)〉NT-BT(6.2%)〉IT-NT(2.5%) 순으로 평가
- 나노바이오센서 분야의 기술수준 향상도가 가장 큰 것으로 나타났으며, 나노일렉트로닉스 분야는 1차 대비 기술수준이 낮아진 것으로 분석
- 우리나라 융합기술이 최고기술을 추격·확보하기 위한 필수요건에 대해 설문한 결과, '기초원천 연구확대'가 필요하다는 응답이 전체의 32.4%로 가장 높게 나타남

〈최고기술 추격 및 확보를 위한 필수요건〉




# V. 결론 및 시사점

- 2차 융합기술수준평가의 주요한 목적은 제1차 국가융합기술 발전 기본계획('09~'13) 상의 목표 대비 기술별 달성도를 평가하고, 2차 기본계획('14~'18)의 추진방향 및 전략을 수립하고자 함
  - 1차 국가융합기술 발전 기본계획에서 제시된 목표는 50~80%(평균 69.5%) 이던 기술수준을 70~90%로 향상시키는 것이었으나, 2차 평가결과 기술 수준이 50~85%(평균 74.8%)로 목표에 도달하지 못한 것으로 조사되었음
  - 2차 국가융합기술 발전 기본계획에서는 중점 융합기술을 선정하고 기술수준 향상 목표를 설정하여 중점 투자계획을 제시하는 등 전략적인 접근이 바람직

- ‘2차 국가융합기술 발전 기본계획’에서는 국가 융합기술 전반을 포괄할 수 있는 재분류 체계를 마련하고, 융합기술수준평가의 객관성 및 연구개발투자의 적절성 확보하기 위한 체계 마련이 필요함
  - 국가 융합기술의 기술수준에 대한 객관적인 평가를 지속적으로 수행하여, 기술 및 분야 맞춤형 연구개발 전략의 수립은 물론 중장기 국가융합기술 발전 기본계획 수립 등에 활용함으로써 국가 정책의 효과성과 효율성을 강화해야 할 것으로 판단됨
- 뿐만 아니라 우리나라가 최고기술을 추격 및 확보하기 위해서는 기초·원천연구 확대를 위한 지속적인 투자와 산학연 협력, 해당기술 전문인력 양성 등 분야별 차별화된 전략 수립 노력이 필요함

# 목차


Ⅰ. 기술수준평가 개요 ····· 1

Ⅱ. 추진일정 및 체계 ····· 2

Ⅲ. 평가방법 및 내용 ····· 4

Ⅳ. 기술수준평가 결과 ····· 6

1. 나노바이오센서 ····· 12
2. 약물전달 ····· 16
3. 바이오센서칩 ····· 20
4. 바이오인포매틱스 ····· 23
5. 바이오컴퓨터 ····· 26
6. 생체인식/보호 ····· 29
7. 휴먼인터페이스 ····· 33
8. 나노일렉트로닉스 ····· 36
9. 나노포토닉스 ····· 40
10. 나노센서/MEMS ····· 44
11. 양자컴퓨터 ····· 48

Ⅴ. 결론 및 시사점 ····· 51

[붙임1] 기술분야별 융합기술수준평가 작성지침 ····· 55

[붙임2] 융합기술수준평가위원회 명단 ····· 203

# Ⅰ. 기술수준평가 개요

## 개요

- 1차 국가융합기술 발전 기본계획('09~'13) 상의 목표달성 여부 파악
  - » 선진국 대비 원천융합기술 수준 검토를 통해 국내 융합기술의 향상 수준 파악
  - » 1차 기본계획에 제시된 목표치 '07년 50~80% → '13년 70~90%
- 1차 국가융합기술 발전 기본계획 상의 11대 융합기술*에 대한 목표 대비 기술별 수준의 달성도 평가하고, 우리나라 수준을 진단 및 발전추이를 파악
  - » '05년도 융합기술수준 평가** 실시 이후, 동일 분야 융합기술의 기술 수준 변화추이를 분석
  - » 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
  - » 기술수준평가는 분야별 최고 기술구국 대비 상대적 기술수준 및 국제비교를 통해 우리나라의 기술수준을 진단하고 변화추이를 파악
  - » 기술분야별 전문가 합의에 의한 방법으로 융합기술수준평가를 수행

* NT-BT(①나노바이오센서, ②약물 전달), BT-IT(③바이오센서칩, ④바이오인포매틱스, ⑤바이오컴퓨터, ⑥생체인식/보호, ⑦휴먼인터페이스), IT-NT(⑧나노일렉트로닉스, ⑨나노포토닉스, ⑩나노센서/MEMS, ⑪양자컴퓨터)

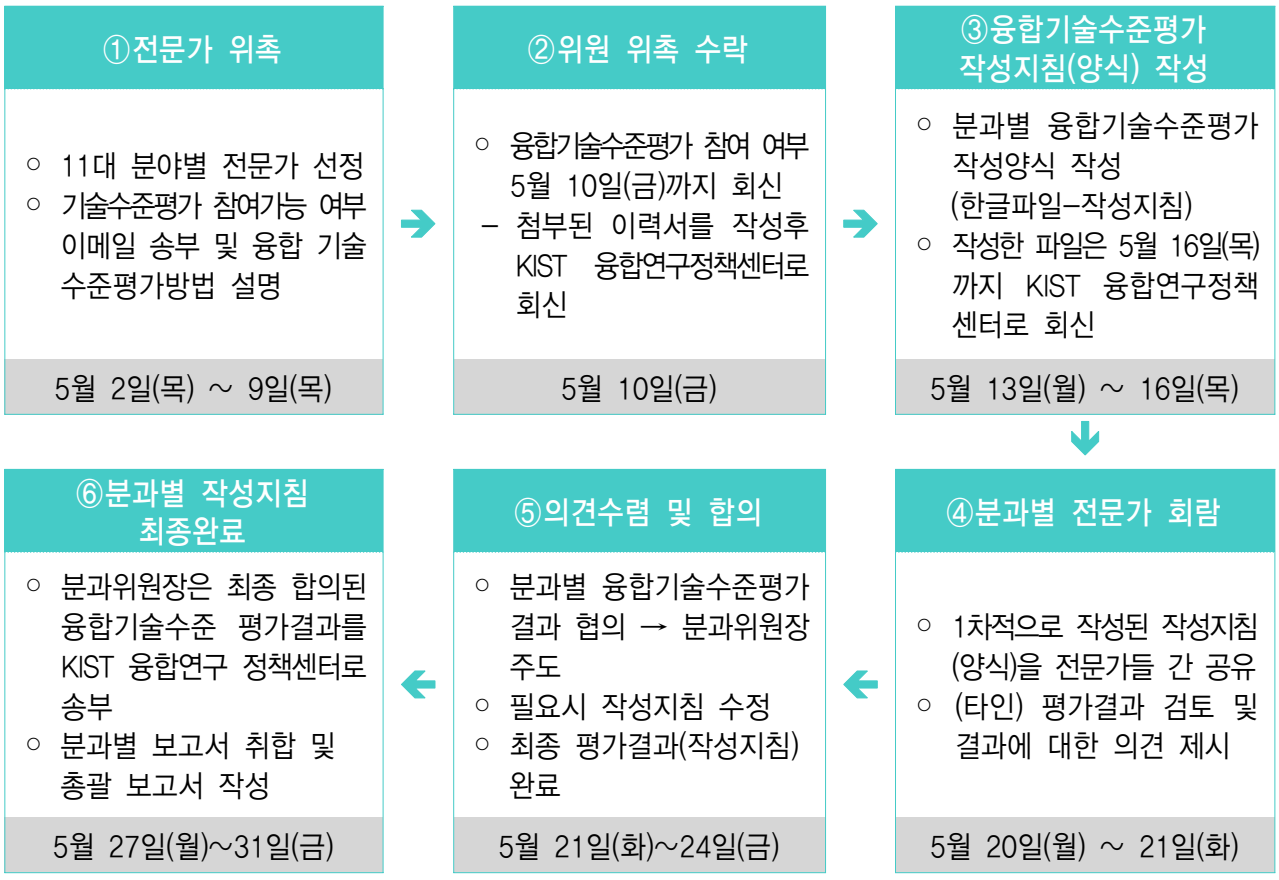
** 정보통신부 융합기술기획위원회 자체 분석자료, IT 기반 융합기술 발전전략, 2005

# Ⅱ. 추진일정 및 체계

## 추진일정

- 융합기술수준평가 계획(안) 수립(4월 중순)
- 융합기술수준평가 작성양식 확정(4월 말)
- 기술분야별 전문가 섭외(5월 초)
- 기술분야별 원고 작성(5월 중순)
- 분과별 평가결과 회람 → 의견수렴 및 합의(5월 말)
- 융합기술수준평가 보고서 완료(5월 말 ~ 6월 초)

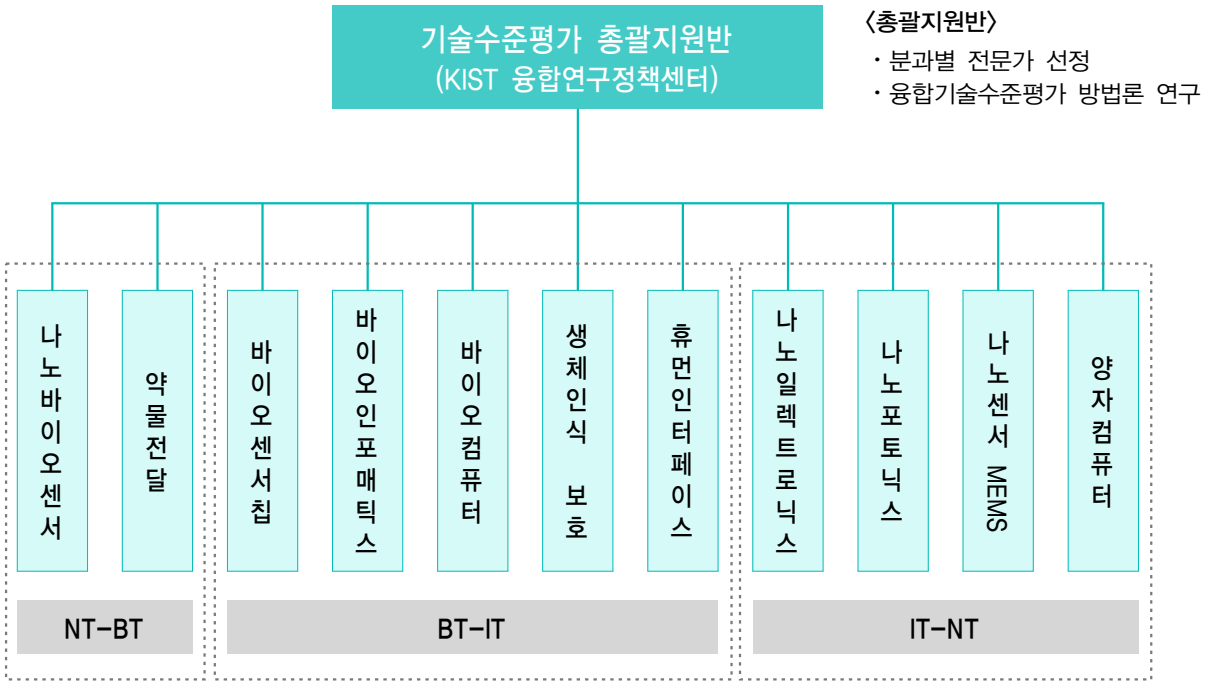
〈그림 1. 융합기술수준평가 추진일정〉



## 추진체계

- 11대 기술분야별 전문가로 구성
  - 기술분야별 3~4인씩 총 34인으로 과학기술전문가 선정
- 융합기술수준평가위원회는 기술수준평가 및 평가결과 검토, 기술동향조사·분석

〈그림 2. 융합기술수준평가 추진체계〉




〈융합기술수준평가위원회〉
· 기술분야별 전문가 3~4인씩 총 34인(11대 분야)으로 구성
· 분과장 선임 ➜ 융합기술수준 평가결과 검토 및 협의 주도

# Ⅲ. 평가방법 및 내용

## 평가대상 기술

- 1차 국가융합기술 발전 기본계획('09~'13)에 제시된 분야별 11개 기술분야

〈표 1. 11대 융합기술분야〉

| 구분 | 기술분야 | |
|---|---|---|
| NT-BT분야 | ① 나노바이오센서 | ② 약물전달 |
| BT-IT분야 | ③ 바이오센서칩 | ④ 바이오인포매틱스 |
| | ⑤ 바이오컴퓨터 | ⑥ 생체인식/보호 |
| | ⑦ 휴먼인터페이스 | |
| IT-NT분야 | ⑧ 나노일렉트로닉스 | ⑨ 나노포토닉스 |
| | ⑩ 나노센서/MEMS | ⑪ 양자컴퓨터 |

## 평가방법

- 1차 융합기술수준평가에서 추진되었던 전문가 합의방식을 활용하여 최고 기술보유국 대비 국내 기술수준 및 최고의 기술수준에 도달하기 위해 필요한 시간 등을 조사하여 평가
  - » 1차 기술수준평가의 평가대상인 11대 분야를 그대로 준용하고 동일한 방법론(전문가 합의)을 적용하여 2차 기술수준평가의 신뢰성 제고
  - » 우리나라와 최고 기술국의 현 기술수준 및 기술수준 변화정도의 비교와 함께 상대적인 기술수준 분석

## 평가내용

- 기술개요 및 주요 내용
  - » 기술개발 필요성 및 기술내용

- 11대 융합기술 기술수준조사
  - 최고 기술 보유국
    - 최고기술수준 보유기관
    - 연구개발단계 및 기술수명주기
    - 기술개발 소요기간
    - 기술별 주요 내용(현황 및 전망)
  - 국내 기술수준 평가
    - 국내 최고기술 보유기관
    - 연구개발단계 및 기술수명주기
    - 기술개발 단계
    - 기술개발 소요기간
    - 기술별 주요 내용(국내 현황 및 전망)
- 1차 융합기술 발전 기본계획의 기술별 목표 달성도 조사
  - 선진국 대비 기술수준 수준 및 향상도
  - 분야별 기술수준 및 격차 분석
- 기술수준평가 결과를 바탕으로 기술확보 및 추격방안 분석

# Ⅳ. 기술수준평가 결과

| 분야 | 기술명 | 최고기술 보유국 | 최고기술 보유기관 | 국내 기술수준 | | | 기술수준 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 최고기술보유기관 | 연구개발단계 | 기술수명주기 | 1차 ('05) | 2차 ('13) |
| NT-BT | 나노바이오센서 | 미국, 유럽 | Harvard University(미국) | 서울대학교, KAIST | 응용연구 | 성장기 | 65% | 80% |
| | 약물전달 | 미국 | Massachusetts Institute of Technology(MIT, 미국) | KIST | 응용연구 | 성장기 | 60% | 62% |
| BT-IT | 바이오센서칩 | 미국 | Harvard University(미국) | 서울대학교, 삼성종합기술원, KAIST | 응용연구 | 도입기 | 70% | 80% |
| | 바이오인포매틱스 | 미국 | 국가생물정보센터 (NCBI, 미국) | 국가생명연구자원정보센터 (KOBIC) | 기초연구 | 성장기 | 80% | 85% |
| | 바이오컴퓨터 | 미국, 영국 | California Institute of Technology(미국) | 서울대학교 | 기초연구 | 도입기 | 65% | 75% |
| | 생체인식/보호 | 미국, 프랑스, 일본 | 기술종류에 따라 산재 | 연세대학교 생체인식연구센터, ETRI | 응용연구 | 성장기 | 80% | 83% |
| | 휴먼인터페이스 | 미국 | Microsoft Corporation(미국), Carnegie Mellon University(미국) | 삼성전자, ETRI, KAIST, KIST | 응용연구 | 성장기 | 75% | 78% |
| IT-NT | 나노일렉트로닉스 | 미국 | Georgia Institute of Technology (미국) | 성균관대학교 | 기초연구 | 도입기 | 80% | 77% |
| | 나노포토닉스 | 미국, 일본, 스웨덴 | Lund University(스웨덴) | 기술종류에 따라 산재 | 응용연구 | 도입기 | 70% | 80% |
| | 나노센서/MEMS | 미국, EU, 일본 | 기술종류에 따라 산재 | 기술종류에 따라 산재 | 응용연구 | 도입기 | 70% | 73% |
| | 양자컴퓨터 | 미국, 영국, 일본 | MIT(미국), Harvard University(미국) | 서울시립대학교, KAIST, SK텔레콤 | 기초연구 | 도입기 | 50% | 50% |
| 최대치~최저치(평균값) | | | | | | | 50~80% (69.5%) | 50~85% (74.8%) |

## 기술수준평가 결과분석

- 2차 융합기술수준평가 결과, 1차 융합기술수준평가결과 대비 9대 분야에서 기술수준이 향상
  - 나노일렉트로닉스 분야는 기술수준이 하락하였고, 양자컴퓨터 분야는 1차 평가와 동일한 수준으로 평가
- 1차 융합기술수준평가에서는 기술수준이 50~80%로 평가되었으나, 2차 평가결과 50~85%로 최대 기술수준이 5% 정도 향상
  - 평균 융합기술수준은 1차 평가결과 69.5%에서 2차에는 74.8%로 기술수준이 5.3% 정도 향상

- 2차 융합기술수준평가 결과, 우리나라 융합기술수준은 11대 기술분야 중 9대 분야에서 1차 융합기술수준평가보다 기술수준이 향상된 것으로 평가됨
- 2차 융합기술수준평가 분석결과 11대 전 분야의 기술수준 평균은 74.8%이며, 분야별 기술수준이 50~85% 사이에 분포함
  - 1차 융합기술수준평가*와 비교해 보았을 때 평균 기술수준이 약 5.3% 향상된 것으로 분석됨

    * 1차 융합기술수준평가: 평균 69.5%(50 ~ 80%)

〈표 2. 융합기술수준평가결과〉

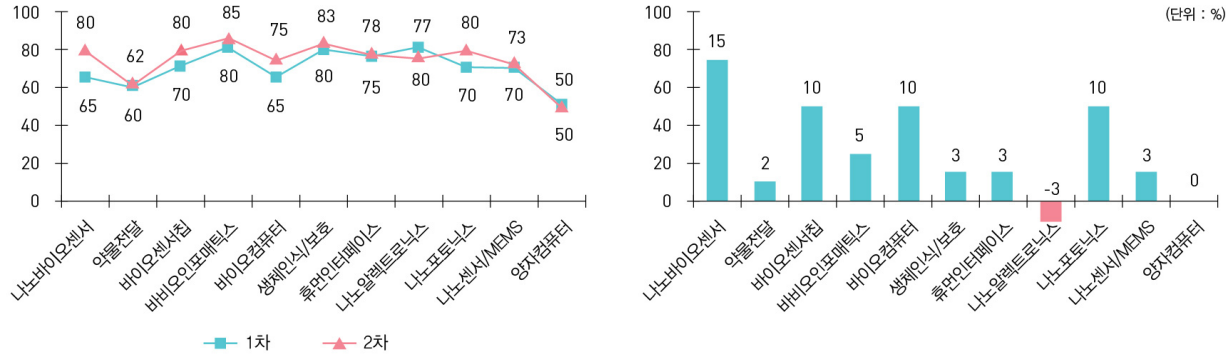
(단위: %)

| 구분 | 나노 바이오 센서 | 약물 전달 | 바이오 센서칩 | 바이오 인포 매틱스 | 바이오 컴퓨터 | 생체 인식/ 보호 | 휴먼 인터 페이스 | 나노 일렉 트로 닉스 | 나노 포토 닉스 | 나노 센서/ MEMS | 양자 컴퓨터 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1차 평가 ('05년) | 65 | 60 | 70 | 80 | 65 | 80 | 75 | 80 | 70 | 70 | 50 |
| 2차 평가 ('13년) | 80 | 62 | 80 | 85 | 75 | 83 | 78 | 77 | 80 | 73 | 50 |
| 기술 향상도 | 15 | 2 | 10 | 5 | 10 | 3 | 3 | -3 | 10 | 3 | 0 |

- 11대 분야 중 최고기술국 대비 기술수준이 가장 높은 분야는 바이오인포매틱스 분야(85%)이며, 약물전달(62%)과 양자컴퓨터(50%) 등은 기술수준이 상대적으로 낮은 것으로 평가됨

- 나노일렉트로닉스 분야는 1차 융합기술수준평가 대비 기술수준이 3% 낮아졌으며, 양자컴퓨터는 1차 평가와 동일한 50% 기술수준을 유지함

〈그림 3. 융합기술수준평가 결과분석〉




## 분야별 기술수준평가 결과분석

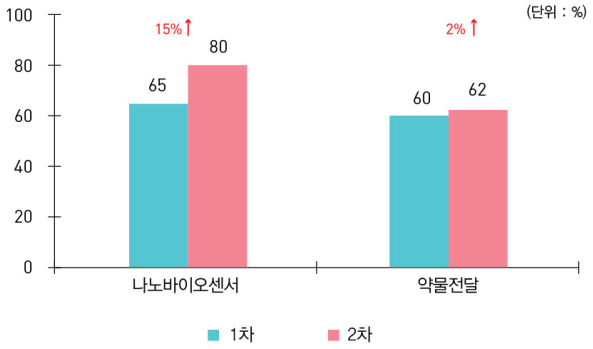
- 분야별로는 BT-IT(80.2%)〉NT-BT(71.0%)〉IT-NT(70.0%) 순으로 평가
- 기술수준 향상도는 BT-IT(8.5%)〉NT-BT(6.2%)〉IT-NT(2.5%)순으로 평가
- 나노바이오센서 분야의 기술수준향상도가 가장 높게 나타났으며, 나노일렉트로닉스 분야는 1차 대비 기술수준이 낮아진 것으로 분석

- (NT-BT) 2차 융합기술수준평가 결과, 나노바이오센서와 약물전달 분야의 경우 1차 융합기술수준(62.5%) 대비 8.5% 정도 향상되어 평균 71.0% 기술수준으로 평가됨
  - » 특히 나노바이오센서 분야는 65%에서 80%로 큰 폭으로 기술수준이 향상됨

〈그림 4. 분야별 기술수준평가 결과분석(NT-BT)〉

(단위: %)

| 구분 | 1차 | 2차 | 기술수준 향상도 |
|---|---|---|---|
| 나노바이오 센서 | 65 | 80 | 15 |
| 약물전달 | 60 | 62 | 2 |
| 평균 | 62.5 | 71.0 | 8.5 |

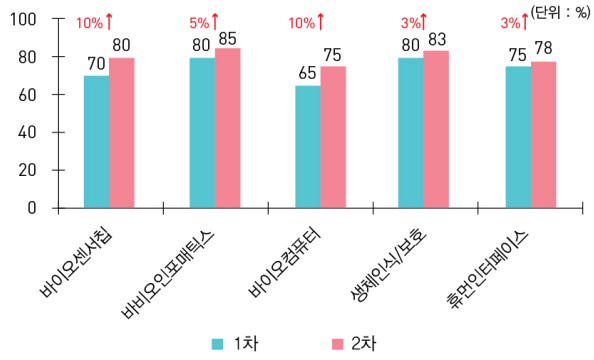



- (BT-IT) 2차 융합기술수준평가 결과 바이오센서칩, 바이오인포매틱스, 바이오컴퓨터, 생체인식/보호 및 휴먼인터페이스 분야의 경우 1차 융합기술수준(74.0%) 대비 6.2% 정도 향상되어 평균 80.2% 기술수준으로 평가됨
  - 바이오센서칩과 바이오컴퓨터 분야가 각각 10% 기술수준이 향상된 반면 생체인식/보호 및 휴먼인터페이스분야는 3%로 상대적으로 기술수준 향상도가 낮은 것으로 분석됨

〈그림 5. 분야별 기술수준평가 결과분석(BT-IT)〉

(단위: %)

| 구분 | 1차 | 2차 | 기술수준 향상도 |
|---|---|---|---|
| 바이오센서칩 | 70 | 80 | 10 |
| 바이오인포매틱스 | 80 | 85 | 5 |
| 바이오컴퓨터 | 65 | 75 | 10 |
| 생체인식/보호 | 80 | 83 | 3 |
| 휴먼인터페이스 | 75 | 78 | 3 |
| 평균 | 74.0 | 80.2 | 6.2 |



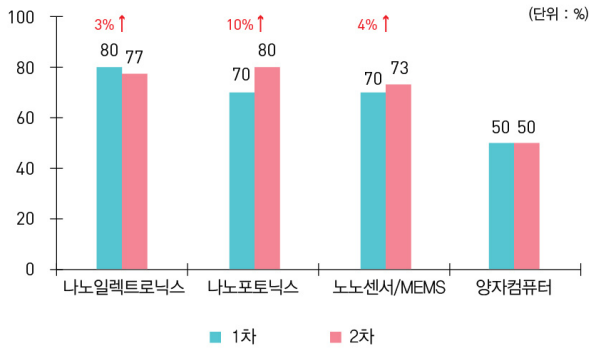

- (IT-NT) 2차 융합기술수준평가 결과 나노일렉트로닉스, 나노포토닉스, 나노센서/MEMS 및 양자컴퓨터 분야의 경우 1차 융합기술수준(67.5%) 대비 2.5% 정도 향상되어 평균 70.0% 기술수준으로 평가됨

- 나노일렉트로닉스 분야는 1차 평가 대비 기술수준이 3% 정도 낮아졌으며, 양자컴퓨터 분야의 경우 1차 평가와 동일 수준을 유지함
- 나노일렉트로닉스 분야는 기초 및 응용연구가 동시에 이루어지고 있어 R&D 투자금액이 큰 선진국과의 격차를 좁히기에 어려움이 큰 것으로 분석되었으며, 양자컴퓨터 분야의 경우도 기초과학 연구성격이 강하여 타 분야 대비 R&D 투자가 부족하다는 의견이 제시됨
- 특히 나노일렉트로닉스 분야의 경우, 분야의 다양성·광범위성으로 인하여 발전속도가 낮은 영역에 대한 영향으로 전체적인 기술 수준이 하향된 것으로 분석됨

〈그림 6. 분야별 기술수준평가 결과분석(IT-NT)〉

(단위: %)

| 구분 | 1차 | 2차 | 기술수준 향상도 |
|---|---|---|---|
| 나노일렉트로닉스 | 80 | 77 | -3 |
| 나노포토닉스 | 70 | 80 | 10 |
| 나노센서/MEMS | 70 | 73 | 3 |
| 양자컴퓨터 | 50 | 50 | 0 |
| 평균 | 67.5 | 70.0 | 2.5 |
| 평균 | 74.0 | 80.2 | 6.2 |

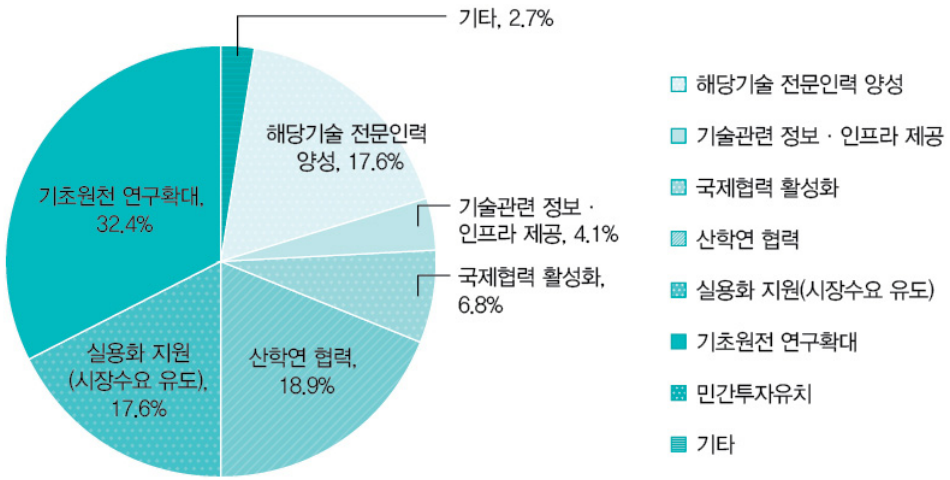


## 최고기술을 확보 및 추격을 위한 필수요건

- 우리나라 융합기술이 최고기술을 추격 및 확보하기 위한 필수요건에 대한 설문한 결과, '기초원천 연구확대'가 필요하다는 응답이 전체의 32.4%로 가장 높게 나타남
  - '산학연 협력'(18.9%), '해당기술 전문인력 양성' 및 '실용화 지원'(각 17.6%) 등의 순으로 나타남
  - 이외에도 기초기술개발에 대한 지원과 함께 생물, 의학자, 컴퓨터 공학자와의 대형 협업연구의 지원이 필요하다는 의견과 진정한 전문가 중심의 대학연구센터 설립이 필요성이 기타 의견으로 제시됨

〈그림 7. 최고기술을 확보 및 추격을 위한 필수요건〉

| 구분 | 빈도 | 백분율 |
|---|---|---|
| 해당기술 전문인력 양성 | 13 | 17.6% |
| 기술관련 정보 · 인프라 제공 | 3 | 4.1% |
| 국제협력 활성화 | 5 | 6.8% |
| 산학연 협력 | 14 | 18.9% |
| 실용화 지원(시장수요 유도 등) | 13 | 17.6% |
| 기초원천 연구확대 | 24 | 32.4% |
| 민간투자유치 | 0 | 0.0% |
| 기타 | 2 | 2.7% |



# 1 나노바이오센서

## 기술개발 필요성

- 바이오센서 기술은 반도체, 전자공학, 화학공학, 분자생물학, 유전공학, 재료공학 등 과학 전반에 걸친 기술의 집약체인 미래형 융합기술로 의료, 진단, 환경, 제약분야 등으로의 응용범위가 넓고, 시장성도 매우 큼
  - » 바이오센서의 세계 시장 규모는 2009년 기준 약 67억 달러로 연평균 성장률이 11.5%에 이르며, 국내 시장 규모는 2007년 약 500억 원 정도로 형성되어 있어 시장선점을 위한 기술개발 필요성이 높아지고 있음
- 최근에는 바이오센서 기술의 성능향상 및 스마트 기능 부여를 위한 나노바이오센서(나노기술이 접목된 바이오센서)의 개발 필요성이 대두되고 있음

## 기술내용

- 바이오센서란 특정한 물질에 대한 인식기능을 갖는 생물학적 수용체가 전기·광학적 트랜스듀서와 결합, 생물학적 상호작용 및 인식반응을 측정 가능한 신호로 변환하여 극미량의 생화학 물질을 선택적으로 감지할 수 있는 소자를 말함
- 센서를 구성하는 부품들은 바이오 물질을 포함한 여러 가지 물질에 반응하는 receptor, transducer, detector로 이루어져 있고 각 부분에 나노 기술이 집적되어 있음
  - » Sensor matrix는 bioreceptor와 같은 특정 물질에 대한 감지소재로서 효소, 항체, 항원, 멤브레인, 수용체, 세포, 조직 및 DNA 등과 nanotube, nanobeads, nanorods 및 graphene 등 다양한 나노물질을 융합하여 성능개선이 가능함
  - » Transducer는 반응 시 발생하는 신호를 전달하는 소자로서 전류, 산화-환원, 발색, 광학, 형광, 압전 등의 다양한 물리적 현상을 나노기술과 접목하여 성능을 개선할 수 있음
- 나노바이오센서란 sensor matrix 혹은 transducer 중 하나 혹은 모두를 나노기술을 통해 개선하여 감지 성능을 향상시키는 것을 의미함

## 국외 기술동향

- 바이오센서는 U-헬스케어의 핵심적인 부품으로 관련 기술에 대한 개발이 활발히 진행 중에 있음
  - 바이오센서의 시장은 Home diagnostics 분야가 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 이를 충족하기 위한 간편한 측정 방법인 최소 침습형 측정기술, 모바일 기술 연동 등이 중요한 이슈로 부각됨
  - U-헬스케어형 바이오센서 개발이 가능할 경우 기존 시장대비 10배 이상의 시장 파급력이 있을 것으로 기대됨
  - Home diagnosis 바이오센서 기술에서 요구하는 바이오센싱 민감도 향상, 비표지 측정기술, 생체적합성, 비특이 결합의 최소화, 극소 크기 등을 향상시키기 위해서는 나노바이오센서의 개발이 중요함
- 미국 대학을 중심으로 나노바이오센서 연구가 활발히 진행 중임
  - 하버드 대학 Lieber 그룹에서는 실리콘 나노와이어(SiNWs)를 이용하여 기존 FET형 센서와 비교하여 고감도의 표면 전하변화 측정이 가능한 고감도, 실시간 전기적 바이오센서를 구현함
  - 노스웨스턴 대학 Van Duyne 연구팀은 bead lithography 기술을 이용하여 일정한 금속 패턴을 만들었으며, 이를 이용하여 알츠하이머 진단용 바이오센서 활용성과를 창출함

## 국내 기술동향

- 국내의 경우 기초연구가 활발히 진행되고 있으며 지난 몇 년간 나노분야의 적극적인 투자로 다양한 분야에서 가능성이 발굴되었으나, 상용화로의 연계는 어려운 실정임
- 또한 국내의 경우 바이오센서에 대한 산업기반 부족으로 인하여 기술 수준은 해외에 비해 크게 뒤쳐져 있음
  - 의료분야의 연구는 활발히 추진되고 있으나 상대적으로 환경, 물, 식품 분야의 연구는 미약한 수준임

- 2009년 말 바이오센서의 주요 응용분야에서 글로벌 최상위 11개 기업의 비중이 52.6%에 이르나, 국내 기업은 전무하고, 관련 국내 기업(인포피아, 에스디, 아이센스, 올메디큐스, 아이소텍, KMH, 한국바이오 시스템 등)의 매출 총합은 2,000억 원 정도에 불과함

- 그러나 나노분야에 대한 과감한 투자로 인해 나노바이오센서는 최고 기술 수준에 근접한 것으로 판단됨

- 대학 및 연구소 등에서 나노바이오센서 개발연구가 활발히 추진 중이며, 초고감도 초소형 바이오센서가 구현되고 있음

  - 국내외적으로 다양한 나노바이오센서 기술이 활발한 반면, 혈액 시료를 측정할 수 있는 시료 전처리 기술과의 결합이 취약한 상태임

  - 시료 전처리와 나노바이오센서의 결합이 가능하기 위해서는 마이크로플루이딕스, 페이퍼 칩 등의 활용이 필요함

## 적용분야 및 기대효과

- 맞춤의료, 나노독성학, 세포학, 조직공학, 환경학 등 미래 신기술의 다양한 분야에 이용될 수 있을 것이 기대됨

  - 분자 진단분야 기업의 기술과 대학과 연구소 기반의 나노 기술의 접합하여 의료 분야를 넘어 환경, 물, 식품 등에 응용하면 큰 시장을 창출할 수 있을 것으로 판단됨

- 바이오센서의 가장 중요한 응용분야인 의료분야에서의 파급효과가 클 것으로 예상되며, 시장 및 관련 산업의 성장이 기대됨

  - 의학과 생명과학의 비약적인 발전을 가져올 것으로 판단됨

  - 진단산업 전반의 시장 활성화가 가능하며, 의료비 절감, 맞춤형 신약개발이 활성화 될 것으로 기대됨

  - 질병 진단 및 치료 등의 의료분야 뿐 아니라, 다양한 기능성 물질의 개발, 유해 바이오물질의 실시간 모니터링 등 실생활에 밀접한 산업의 성장 및 삶의 질 향상에 기여할 것이 기대됨

## 최고기술 확보 및 추격을 위한 필수요건

- 최근 국내의 나노기술의 발전과 더불어 적극적인 투자, 다양한 기관의 집중적인 연구를 통하여 선진국와의 기술격차를 줄여나가고 있음
  - » 기존 연구 역량을 바탕으로 기술개발이 이루어진다면, 혁신적 원천기술의 개발과 확보가 가능하며 이를 통해 바이오센서 분야의 기술격차를 줄일 수 있을 것으로 기대됨
- 나노바이오센서에 대한 적극적인 투자를 통해 고부가가치 기술을 개발함으로써 관련 산업의 잠재력을 끌어올리는 것이 시급함
  - » 혈당센서의 경우에서 알 수 있듯이 최근 국내 몇 개의 기업이 성공적으로 시장에 진입하였으나 양산기술에 의존하고 있으므로, 원천기술 확보를 위한 지속적인 투자 확대가 필요함

# 2 약물전달

## 기술개발 필요성

- 약물의 효능을 유지·향상시키면서 효과적인 약물 투여가 가능하도록 하는 약물 전달 시스템의 개발은 환자의 신체적·정신적 고통과 불편함을 감소시키는 동시에 의료비용을 절감할 수 있음
- 최근에 세계적으로 주목받고 있는 단백질 의약품, 핵산의약품, 세포 치료제 등의 바이오의약품의 경우, 체내 안정성이 낮아 투여빈도가 높으며 질환부위로의 전달 효율이 낮기 때문에 약물전달 기술개발의 필요성이 강조되고 있음

## 기술내용

- 약물전달 기술은 최대의 치료 효과를 내기 위해 약물의 전달 및 방출을 제어하는 기술을 총칭하는 것으로, 약물의 부작용을 감소시키고 효능을 극대화하여 필요한 양의 약물을 효과적으로 전달함으로써 환자의 편의성을 향상시킴
- 약물전달 기술은 약물 개량을 통한 전달제어 기술과 약물전달 시스템으로 구분함
- 약물 개량분야는 약물의 물리, 화학, 생물학적 성질을 개선함으로써 약물의 지속시간, 생체이용률을 개선시키는 기술을 말함
  - Drug - polymer conjugate : 약물을 고분자에 접합하여 체내 잔류 시간을 늘려 약물의 투여 횟수를 줄임으로써 환자의 편의성을 극대화하는 기술
  - Sustained drug depot system : 고분자 나노입자 등에 약물을 충진하여 체내에서 약물이 서서히 방출되도록 하여 환자의 편의성을 극대화하는 기술
  - Poor soluble drug - polymer conjugate : 용해도가 낮은 약물을 친수성 고분자에 접합시켜 약물의 흡수성을 높임으로써 약효를 극대화 하는 기술
  - 표적 인자 및 생물소재 활용 기술 : 약물의 독성과 부작용 감소를 위해 약물 작용 위치에 특이적인 분자 표적을 발굴하고, 작용부위에 약물을 효과적으로 전달 및 약물 방출속도 조절이 가능한 생물 소재를 발굴하고 활용하는 기술

- 약물전달 기술은 BT-NT 융합을 통한 경구약물전달, 흡입형 약물전달, 경피 약물전달, 안구 내 약물전달, 비강흡입형 약물전달, 약물전달용 임플란트 등 다양한 전달 시스템을 사용하여 약물 투여 방법을 개선하는 기술을 말함
  - Targeted DDS : 약물을 질환부위로만 선택적으로 전달하여 부작용을 방지하고 최소한의 약물로 최대한의 약효가 나타나도록 하는 기술

## 국외 기술동향

- 약물전달 시스템의 세계 시장 규모는 약 1,066억 달러 정도(2008년 기준)로 선진 제약기업 R&D 예산의 약 15% 정도가 DDS 관련 연구에 투자되고 있으며, 약물전달 시스템 및 바이오의약품과 관련된 연구가 활발히 진행되고 있음
- 약물개량 기술동향
  - 의약용 단백질에 polyethylene glycol(PEG)와 같은 생체 친화적 고분자로 수식함으로써 단백질 분해 효소에 의한 분해를 줄이고, 분자량 증가를 통한 신장에서 배설 감소로 혈중 유지시간을 증가시키는 제품들이 US FDA 허가를 받고 시판 중에 있음
  - 치료용 단백질에 알부민이나 인간항체 Fc 영역을 융합하여 혈중 반감기와 생체 이용률을 향상된 다양한 치료용 단백질들이 개발되고 있고, 항체 Fc 공학을 이용한 혈중 안정성과 생체 이용률을 향상시키기 위한 노력이 미국의 대규모 제약회사를 중심으로 활발히 진행되고 있음
- 표적 인자 및 생물 소재 활용 기술동향
  - 약물에 암세포 항원을 특이적으로 인지하여 높은 친화도로 결합이 가능한 항체, 펩타이드, 압타머를 암세포 사멸인자로 사용할 수 있는 약물(저분자 합성 치료제, 치료용 단백질, MRI 조영제 등)에 접합시켜 약물을 원하는 작용 부위로 이동시켜 진단 및 치료효과를 극대화시키는 연구가 활발히 추진되고 있음
  - 특정 물리적 조건(온도, pH)에 반응하는 다양한 생체 적합 고분자재료를 발굴·활용하는 연구를 통해 약물을 특정 조건, 특정 위치에서 선택적으로 방출하는 시스템을 개발하고 잇음
  - 서방형 항암제를 위해 hydroxyapatite를 항암제(platinum complex)와 혼합한 인공뼈 치환체가 개발됨

- 약물전달 디바이스 기술동향
  - 환자들에게 무통증으로 약물을 전달시키는 마이크로니들을 이용한 약물 전달 연구가 추진되고 있음
  - 미세량의 약물을 저장할 수 있고 외부로부터 무선 전기신호를 수신할 수 있는 칩을 체내에 이식하여 인슐린 등의 의약품을 제어·방출할 수 있는 생체내 칩 이식을 통한 약물전달 시스템이 개발되었음
  - 대상 약물들이 저분자 합성화합물로부터 펩타이드, 치료용 DNA, siRNA/microRNA, aptamer, 단백질, 항체, 바이러스, 세포, 세포의 구성미세요소와 같은 바이오의약품들을 위한 맞춤형 전달 시스템 기술개발이 추진되고 있음

## 국내 기술동향

- 최근 들어 벤처기업, 대형 제약회사, 대학 간의 공동연구를 바탕으로 기반기술 중심의 약물전달 시스템 개발연구가 활발히 진행되어 일부 제품들이 임상시험 단계에 도달함
- 바이오의약 분야는 국내 대기업들이 바이오의약사업에 투자를 확대하면서 국내 바이오산업 각광을 받고 있으나 바이오씨밀러에 편중된 발전으로 효과적인 약물전달을 위한 약물개량에 관한 연구는 미진함
  - 세계적인 생산규모의 동물세포 배양을 통한 치료용 항체 및 단백질 의약품 제조시설을 구축한 셀트리온과 최근에 삼성바이오로직스, SK Chemical, 한화 Chemical 등의 대기업들이 바이오의약사업에 투자를 확대하면서 국내 바이오산업이 진일보한 상태이고 국내 제약산업이 성장 동력을 얻고 있음
- 약물전달은 제약회사를 중심으로 1990년대 초반부터 DDS의 중요성을 인식하여 연구개발을 본격적으로 추진하였으나, 상당 부분이 난용성 화학의약의 가용화 기술개발에 집중되어 있음
- 표적인자 및 생물 분야는 적극적인 정부 지원으로 관련 연구가 활발하게 진행되고 있어 선진국의 기술수준에 상당히 근접해 있음

## 적용분야 및 기대효과

- 약물전달 기술은 의료 분야뿐만 아니라 향후 식품과 화장품산업에 적용될 수 있는 기술임
- 약물전달 시스템 분야의 세계 시장은 2017년에 이르면 1,984억 달러 규모로 전망되어 성공적 약물전달 기술개발을 통해 미래 성장동력 산업으로 발전을 기대할 수 있음
  - » 약물전달 기술은 신약 개발 프로세스에 비해 개발기간이 짧은 편이며 부가가치 창출이 가능한 미래 성장동력으로 국가 경쟁력 향상에 크게 기여할 수 있을 것임
  - » 효과적 약물전달 기술개발을 통해 약물 투여 용량과 횟수를 줄임으로써 의료비용을 획기적으로 절감하고, 경제적인 치료로 국민복지 실현에 기여할 수 있음
  - » 최근의 약물전달 기술개발 연구는 다학제 간 융합연구를 바탕으로 추진되고 있기 때문에 학문적, 기술적, 산업적 파급효과가 상당히 클 것으로 기대됨

## 최고기술 확보 및 추격을 위한 필수요건

- 국내 의약산업은 선진국의 대규모 제약회사에서 개발되어 특허 만료시점이 임박한 의약품을 생산하는 바이오씨밀러 단백질 의약품이나 동일 활성 성분(active ingredient) 저분자 합성 복제 의약품 제조에 초점이 맞추어져 있음
  - » 효과적인 약물전달을 위한 약물개량 연구들이 일부 수행되고 있으나 선진국에 비해 상당히 미진한 상태이기 때문에 기초 원천연구 확대를 통한 연구 활성화와 제도적 지원이 요구됨
- 체내 반감기가 짧고 전달이 어려운 단백질, 핵산, 세포 치료제 등의 바이오의약품 맞춤형 약물전달 시스템을 성공적으로 개발하게 된다면 초기 단계에 있는 약물전달 세계 시장에 조기에 진입할 수 있을 것으로 기대됨
  - » 약물전달 시스템을 기반으로 하는 글로벌 의약품을 개발한다면 국제적 수요 창출, 국내 제약 산업의 경쟁력 강화 및 세계적 제약회사로의 성장에 크게 기여할 수 있을 것임

# 3 바이오센서칩

## 기술개발 필요성

- 바이오센서칩은 DNA, 단백질, 세포, 신경 등의 생체분자를 분석함으로서 질병의 발현 및 진행정도를 정확하게 파악할 수 있는 기술임
  - » 진단칩의 개발을 통해 각종 질병, 암 등의 검진이 가능하여 치료보다는 예방의학으로 개념으로, 의료비를 절감 및 치료의 효과도 높일 수 있도록 발전되고 있어 사회적 의료비용 절감측면에서 필요성이 매우 높은 기술임
- 고령화 사회에서의 빠른 진단·처방 및 신약 개발을 위한 바이오센서칩 개발이 시급함

## 기술내용

- 바이오센서칩 기술은 생체정보를 전기적, 광학적, 기계적 및 기타 신호로 검출하는 센서로 생체샘플을 처리하고 가공할 수 있는 유체제어기술, 미세전자기계시스템기술이 칩 위에 결합되어 이루어지는 기술임
- 바이오센서칩 기술의 핵심은 집적화 및 다양한 센서 기능의 구현에 있음
  - » 랩온어칩 기술은 MicroTAS 개념과 기능을 작은 칩 상에서 구현한 것으로 시료채취 기술, 랩온어칩 재료 및 제작기술, 센서 및 검출기술, 칩 집적화 기술, 랩온어칩 바이오 응용기술 등 다양한 요인이 복합됨
  - » 전기기계 변환기술 기반의 마이크로나노기반 전기기계 센서 기술, DNA, 단백질, 세포, 신경 등과 같은 생체 물질을 어레이화하는 마이크로 어레이 기술, 생체정보를 전기적 신호로 검출하는 전기화학 센서 기술 등이 있음

## 국외 기술동향

- 바이오센서 기술은 광학적, 전기적, 기계적 방법 등을 이용하여 감도가 점점 향상되고 있어 조기 진단을 위한 기술로 발전되고 있으나 전체적인 기술이 융합되어 시장에 나올 수 있는 바이오센서칩으로의 개발은 상대적으로 느리게 진행되고 있음

- 다양한 기술을 기반으로 한 바이오센서칩 기술개발이 이루어지고 있음
  - 제약 회사를 고객으로, 다양한 생리활성물질 스크리닝용 랩온어칩 플랫폼 기술개발이 추진되고 있음
  - 진단 분야의 경우 주로 DNA분석 시스템이 연구되고 있으나 최근 항체 등의 단백질을 활용한 면역 분석 시스템도 개발이 진행되고 있음
  - 나노기술과 광학기술이 겸비된 랩온어칩 측정 및 검출기술, 인체의 장기 기능을 모사한 장기온어칩 기술 등이 개발되고 있음
  - 에이질런트사는 각종 바이오칩 및 분석 시스템 시장에서 측정기로서 그 영역을 확보한 상태이며 분석기와 관련되어 BT가 강세를 보이고 있는 미국 중심의 다국적 회사들이 시장을 선점하고 있음

## 국내 기술동향

- 대학 및 연구소를 중심으로 각종 연구 사업이 추진되어 바이오센서에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으나 지속적인 연구개발의 추진 및 원천기술에 대한 지적 재산권의 확보가 요구됨
- 현재 기업을 통한 사업화·제품화는 미진한 편이나 삼성과 LG 등 대기업을 중심으로 한 기술개발을 추진하고 있으며, 정부에서도 연구사업에 대한 적극적인 투자를 지속하고 있어 선진국에 비해 기술적으로 우위를 점하는 부분들이 많아지고 있음
- 아직까지 관련 시장이 성숙되지 않아 국내 시장이 크지는 않지만, 잠재적 성장 가능성이 높기 때문에 대기업, 중소기업에서는 바이오세선칩과 관련한 연구가 활발히 추진되고 있음

## 적용분야 및 기대효과

- 바이오센서칩은 다양한 질병에 대한 신속하고 정확하게 진단할 수 있는 기술로서 조기 진단기, 대용량 생체분석 기술, 생체건강 모니터링 기술 등의 응용분야가 있음
  - 초고속 유전자 분석기술, 세포분석 기술 등에도 응용이 가능하여 질병진단 뿐만 아니라 생화학 및 의학연구에 있어서도 매우 다양한 제품군을 형성할 수 있을 것으로 예상됨

- 바이오센서칩 기술을 상용화할 경우 임상의학 및 수의학 분야, 자가진단분야, 제약산업 및 연구용 시장, 분석기기, 환경분야, 약물전달 기기 분야, 마이크로 반응기 분야에 적용가능함

- 바이오센서칩 기술은 향후 새로운 기술혁명을 주도할 수 있는 분야로 사회 전반으로의 파급효과가 크기 때문에 향후 국가의 성장동력으로의 연구가 절실히 필요한 분야임
  - IT-BT-NT 등의 융합기술을 통한 바이오칩 개발은 시장의 진입장벽이 존재하나 시장에 진입을 하게 되면 first mover로서의 성장이 가능한 영역임
  - 고령화 사회 및 Well-being · 건강, 안전한 삶에 대한 기대에 의해 바이오 및 바이오센서칩에 대한 시장은 급격히 증가할 것으로 예상됨

## 최고기술 확보 및 추격을 위한 필수요건

- 관련 개발기술의 내수시장 확보 및 기술이전 활성화를 위한 산학연의 노력과 함께 상용화를 위한 제도의 단순화, 정부의 지속적인 지원이 필요함
  - 다양한 기술과 경험을 가진 신진 우수인력이 지속적으로 충원되고 있으나, 국내 대학 및 연구소가 보유한 우수기술의 사업화를 위한 정부의 투자는 미비한 실정임. 궁극적으로 원천기술 확보를 위한 적극적인 투자가 필요함

# 4 바이오인포매틱스

## 기술개발 필요성

- 바이오인포매틱스는 바이오 빅데이터 omics를 이용하여 새로운 생물, 의학 영역을 발전시키는 중요한 기술임
  - » 바이오 빅데이터를 이용하여 현재의 생물·의학 지식을 접목한다면 지금까지와는 차원이 다른 연구를 수행할 수 있으므로, 바이오인포매틱스의 발전은 의학, 농학, 축산학, 약학, 생물학 분야의 기반기술로서 활용가능성이 높음
- 세계적으로 체외 진단시장의 규모는 최근 5년 사이('07~'12년) 46.7억 달러에서 77.6억 달러로 급성장하고 있으며, 연평균 성장률이 11%에 육박함에 따라 향후 질병 전이와 예후 검사시장만으로도 약 10억 달러 이상의 시장 규모가 전망됨

## 기술내용

- 바이오인포매틱스는 Systems Biology와 Omics로 대변되는 총체적이고 정량적이며 네트워크 형태로 새롭게 이해되고 있는 생명과학 연구의 중심에 위치함
- 현대 생물학 및 의학의 필수기술을 포함하고 있으며, 알고리즘과 분석법이 중요함
  - » DNA RNA 그리고 단백질 서열의 데이터베이스화 및 분석법
  - » RNA와 단백질의 유전체 분석기술
  - » 종의 완전유전체 분석기술
  - » NGS 기술 기반의 GWAS, epigenetic regulation 분석기술
  - » 히스톤 변이 프로파일링 분석법 개발
  - » 대용량의 데이터 관리·분석을 위한 환경성질환 통합 후성유전체 DB구축
  - » 다차원 오믹스 데이터의 네크워크 기반 통합 분석 프레임워크 개발
  - » 네트워크 바이오 마커의 발굴기술 개발
  - » 생물·의학자와 협업을 통한 새로운 치료법, 신약개발, 새로운 작물 개발

## 국외 기술동향

- 미국의 대규모 제약회사, 시퀀싱 및 칩생산 회사, 컴퓨터 생산회사 등이 바이오인포매틱스 분야의 선두 주자로서 세계 시장을 선도하고 있음
  - 대기업들이 Next generation sequencing 분야에서 3세대 시퀀싱 기술을 주도하면서 국제 연구의 방향을 결정하고 있음
  - 2000년도 Oscar Gruss & Son Inc. 자료에 따르면, 세계적으로 Bio informatics 제품 및 서비스를 제공하는 업체는 약 50여 개로, Genomics와 관련 연구 기법의 폭발적인 성장과 유용한 분석 도구 및 DB의 부족으로 관련 업체 간의 인수·합병 및 업무 제휴 등의 활동이 매우 활발한 것으로 나타나고 있음
- 최근 바이오인포매틱스 기술의 발전으로 omics 데이터 처리 단계에서 실질적인 응용연구 단계로 변화하고 있음
  - 종합적인 omics 연구는 여러 유전체, 후성유전체, 단백질체 정보를 종합하여 상호 관계 정보를 이용하여 표현 형질 특성 규명
  - 집단 유전체, 후성 유전체 연구 : 소수의 셀을 비교·분석하는 대신 다수의 집단의 omics 정보를 측정하여 연구
  - 종합적인 omics 정보로 새로운 품종을 개발하는 연구
  - 종합적인 omics 정보로 질병의 특성을 규명하여 치료법/신약 개발에 응용
  - 대용량 생물정보를 저장, 비교분석, 연구협력을 위한 IT 기술의 개발

## 국내 기술동향

- 국내의 경우도 선진의 기술개발 트렌드와 비슷하지만 연구 인력이 매우 부족하고, 기술개발을 위한 연구 지원이 부족한 실정임
- 국내는 약 30개의 바이오인포매틱스 회사(주로 벤처로 구성)와 약 10개의 연구센터로 구성되어 있으며, 아직 바이오산업이 성숙되지 않은 국내 바이오산업의 특성상 바이오인포매틱스 산업구조 또한 취약한 실정임
  - 바이오산업은 식품, 발효, 화장품 첨가물 등의 저기술에 집중되어 있고, 유전체나 단백체를 이용한 바이오인포매틱스 기술개발은 초기 단계임

- 이즈텍(주), 스몰소프트(주) 등의 소프트웨어 개발 중심 바이오인포매틱스 회사가 어려움을 겪고 있을 정도로, 한국 특유의 소프트웨어 산업의 취약점을 바이오인포매틱스 기술도 그대로 답습하고 있음

## 적용분야 및 기대효과

- 바이오인포매틱스는 Systems Biology와 omics로 대변되는 총체적이고 정량적이며, 타 기술들과 긴밀하게 융합하여 발전하는 학문임
  - 21세기 생물학의 급속한 발전으로 인류의 질병극복과 정보기술, 생명과학, 의학, 약학 분야의 발전이 기대됨
  - 바이오인포매틱스는 세포 전체의 정보로부터 현재 지식을 넘어서는 가설을 마이닝하여 모든 생물 관련 분야(의학, 약학, 축산학, 농학 등)의 새로운 연구를 가능하게 하는 기반기술로 다양한 분야에 응용가능하고, 파급효과가 매우 큰 새로운 융합학문임
- 개인 맞춤형 진단 및 치료의 개념과 함께 최근 개발된 NGS(Next-Generation Sequencing) 기술 등의 High throughput 기술의 발전은 GWAS 분석 등 대용량 빅데이터의 생성을 가능케 함
  - 이를 활용한 다양한 분석법의 개발과 활용은 차세대 진단 의료시장의 활발한 투자와 신규 창업의 기반이 될 것으로 기대됨

## 최고기술 확보 및 추격을 위한 필수요건

- 차세대 서열 분석(NGS) 기술의 괄목할 만한 성장으로 개인 유전체 정보에 대한 접근이 가능해짐에 따라 맞춤형 진단·예측 및 치료로 활용할 수 있는 체계적이고 장기적인 대책을 마련하고, 지속적인 투자를 통해 기술적 완성도를 제고해야 함
- 후성유전체는 DNA methylation, Histon modification, small RNA 등 다양한 차원의 데이터가 포함되어 있기 때문에 이를 통합한 다차원 네트워크 분석기술 및 이를 기반으로 하는 환경성 질환의 맞춤 진단기술 개발 필요함

# 5 바이오컴퓨터

## 기술개발 필요성

- 반도체 기반의 디지털컴퓨터의 병렬성과 집적도, 에너지 소모의 한계를 극복하고자 DNA 분자와 같은 바이오 분자의 특성을 이용하여 기존의 반도체에서 구현하기 어려운, 전혀 새로운 정보처리를 수행할 수 있는 바이오컴퓨터 기술개발의 필요성이 대두
- 환경 및 상황에 따라 정보가 처리되고 제공되는 방식은 현재 아이폰에서 제공하는 '시리'와 같이 근미래에 활용될 것이며, 현재 IT 분야의 차세대 주력산업으로의 발전이 기대됨
- 초병렬적 생화학 반응을 이용하여 반도체를 이용한 컴퓨터 기술의 한계를 극복하고 스마트 박테리아를 활용하여 난치병 질환에 대한 진단 및 치료가 가능함

## 기술내용

- 바이오컴퓨터는 뇌의 정보처리 시스템을 모방한 컴퓨터나 반도체 대신에 DNA, RNA 등의 핵산이나 단백질 등 바이오 분자를 이용한 컴퓨터로 이를 매체로 사용하여 정보를 저장하고 조작하는 기술임
  - » DNA 분자를 이용한 초병렬 연상메모리 구현, 초병렬 기계학습 알고리즘 구현, 뇌에 존재하는 뉴런수(1011)과 시냅스의 수(1014) 만큼의 초거대수의 입자들 간 상호작용을 모델링하여 뇌를 닮은 인지정보 처리의 원리를 이해하고 모사하여 활용하는 인공지능기술을 뜻함
- 핵산, 단백질을 이용하여 현재의 실리콘기반의 컴퓨터와 결합하는 하드웨어적 연구와 새로운 로직을 이용하여 정보처리를 수행하는 소프트웨어적 연구로 크게 나눌 수 있음
  - » 하드웨어적 연구는 생물분자 또는 유기분자를 이용하는 단일기능의 분자소자 연구가 주를 이루고 있으며, 소프트웨어적 연구는 뇌의 정보처리를 모방하는 방식으로 연구가 진행되고 있음

» 핵산이나 단백질 등을 이용한 메모리 소자, 연산소자, 스마트 박테리아를 이용한 난치병의 진단 및 치료, 신경망을 이용한 연산 소자 등의 개발연구가 진행 중임

## 국외 기술동향

- DNA 분자컴퓨팅은 최근 나노기술과 접목되어 DNA Nano- technology로 발전하고 있음
  - » DNA 분자의 생체특성을 이용하여 전자컴퓨터의 도움을 받지 않고 직접 바이오 데이터를 분석하는 Wet Analysis 기술로 활용되어 DNA 분자컴퓨팅에 기반한 Biochip 기술로 발전될 가능성이 큼
- 현재 미국을 중심으로 핵산을 이용하여 정보를 저장하고 처리하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 일본의 경우는 유기/바이오분자를 이용하여 전자이동, 전자전달의 연구가 활발히 진행되고 있음
  - » Stanford 대학에서는 세포 내에서 정보의 저장, 연산 및 전달 기능을 갖춘 바이오컴퓨터를 개발하였으며 DNA 내의 염기의 방향성을 이용하여 rewritable DNA storage, bacteria를 이용한 cell-to-cell 통신 및 biological internet을 연구 중임
  - » 이스라엘 연구팀은 m-RNA, protein, ATP 등을 표지자로 사용하여 질병을 진단하고 치료할 수 있는 나노 컴퓨터를 개발함

## 국내 기술동향

- 바이오 기술개발사업을 통하여 바이오전자소자에 대한 과제가 9년 간 지속적으로 투자되었고 이를 통하여 바이오메모리, 바이오트랜지스터의 원리 및 concept proof용 소자가 개발되었음
  - » 현재 단순한 물질의 대체가 아닌 새로운 정보처리 원리를 제안하고, 생체시스템을 모방한 소자로 진화하고 있음
- 서울대에서는 DNA based computer 개발을 위해 DNA 컴퓨팅모델 개발, hybridization을 이용한 정리의 증명(theorem proving), DNA 자기조립 특성을 이용한 문장 생성모델 등의 연구가 진행되고 있음

## 적용분야 및 기대효과

- 바이오컴퓨팅은 IT-BT-NT의 이종 기술 간 융합으로 신개념의 컴퓨터 분야에 적용 가능한 미래유망 기술 분야임
  - » 초병렬적 컴퓨팅이 가능한 초슈퍼 컴퓨터 개발
  - » 맞춤형 진단, 약물전달 등의 치료가 가능한 스마트 바이오 산업 개척
  - » 뇌신경망 시스템을 응용한 인공 지능 컴퓨터 개발
- IT, BT, 의학산업에 파급효과가 클 것으로 기대됨
  - » 바이오컴퓨터 관련 기술(하드웨어적 측면)이 완료되면, 현재 silicon based solid state 전자산업이 생물물질을 이용하여 개발되는 단계로 발전할 것임
  - » 현재 바이오물질이 아닌 유기물질로는 상당히 많은 연구진척이 기대되고 있어 미지의 생물물질을 이용한 전자소자의 개발은 향후 새로운 전자소자의 발전을 제공할 것이라 사료됨

## 최고기술 확보 및 추격을 위한 필수요건

- 바이오컴퓨터 연구가 오랜 기간 지속되었지만, 산업화가 되지 않고 있는 가장 큰 이유는 현재 solid state 하드웨어상에서 이진법의 틀이 확고하고 초고밀도로 개발되고 있어 solution based 다진법 접근, fuzzy한 바이오적인 정보처리 방식이 접목이 되지 못하고 있다고 판단됨. 따라서 이를 대체할 수 있는 혁신적 연구 성과를 얻기 위해서는 적극적이고 지속적인 R&D 지원이 필요함
- 정보가 방대해지고 고차원적인 정보처리가 요구되어지면서 생체시스템 즉, DNA의 정보저장 능력, 단백질의 전자전달능력, 신경세포의 신호저장능력을 모방해야 할 것으로 판단되므로 이에 대한 원천기술을 확보한다면 세계적 수준의 기술력을 보유할 수 있을 것으로 기대됨

# 6 생체인식/보호

## 기술개발 필요성

- 생체인식 기술은 신분확인, 범죄자 검색, 출입국 관리, 출입통제, 금융·회계, 기기인증, 헬스케어, 사회복지 등 다양한 목적으로 사용되고 있으며 향후 신원확인을 위한 궁극적인 기술수단이 될 것으로 기대됨
  - » 생체정보를 이용하여 생활에서 편리하게 이용할 수 있는 장점도 있지만, 사생활 침해의 위험성이 증가할 수 있으므로 기술발전에 따른 새로운 보호대책이 필요함
- 전자상거래, 사이버 출입관리 보안통제 등에서 높은 보안이 요구되고 있으며 응용분야가 확대됨에 따라 적용기술의 고도화가 요구되고 있음
  - » 최근 모바일 보안이 확대됨에 따라 모바일 환경에서 높은 수준의 생체인증 기술이 요구되고 있음
  - » 세계 각국이 생체인식 기술을 출입국 관리 및 공공 안전강화 등 국가보안 기술로 활용함에 따라 수요 증대 및 기술의 성장이 요구되므로 궁극적으로 원천기술 확보가 시급함
  - » IBG(International Biometric Group)가 예측한 2012년 세계 생체인식 산업의 시장 규모는 65억 8,120만 달러이며, 2013년에는 78억 4,670만 달러, 2014년에는 93억 6,890만 달러로 매년 22% 이상 성장할 것으로 전망되어 국내 기술의 비약적 발전이 요구됨

## 기술내용

- 생체인식이란 개인의 신체 일부로부터 평생불변과 만인부동의 특성을 갖는 특징을 찾아 이를 자동화된 수단으로 등록 및 저장하여 제시한 바이오정보와 비교·판단하는 기술임
  - » 지문, 얼굴, 홍채, 망막, 정맥, 손 모양, 귀 모양, 걸음걸이, 음성, 서명 등 개인이 가지고 있는 다양한 생물학적 또는 행동학적 특징을 기반으로 개인을 인증하는 기술

- 생체인식을 위한 핵심 기술분야는 6개 정도로 구분할 수 있으며 그와 관련기술이 개발되고 있음
  - 지문인식 기술 : 광학 및 반도체 센서 기술, 모바일 카메라에 의한 인식기술
  - 얼굴인식 기술 : 적외선 카메라 및 모바일 카메라에 의한 인식 기술
  - 홍채인식 기술 : 전용장치에 의한 인식 기술, 모바일 환경에서의 인식 기술
  - 장문인식 기술 : 모바일 카메라에 의한 인식 기술
  - 나이 및 성별 인식 기술 : 일반 카메라 및 모바일 카메라에 의한 인식 기술
  - 기타 관련기술 : 생체정보를 획득하는 센서 기술과, 얻어진 생체정보를 처리하고 동일여부를 판단하는 영상처리 기술, 그리고 이들을 활용한 응용시스템 기술

## 국외 기술동향

- 지문인식 분야는 개발비용이 저렴하고 보안성이 우수하여 세계 바이오인식 시장의 48%의 점유율을 나타내고 있으나 최근에는 전자여권 도입에 따라 얼굴인식 및 홍채인식 기술의 보급이 확대되고 있는 추세임. 향후 DNA・다중바이오 인식 등과 같은 첨단 신기술로 발전할 것으로 예상됨
  - 2013년 생체인식 세계 시장 규모는 78억 4,670만 달러로 매년 22.3%의 성장이 예측되고 있음
  - 2009년을 기준, 주된 응용분야는 신분확인(39.3%), 범죄자식별(24.6%), 출입통제(17.7%), 시스템접근제어(13.8%)등으로 조사됨
- 다양한 생체인식/보호 기술개발은 다양한 주체・분야에서 추진되고 있음
  - 기업을 중심으로 얼굴인식, 홍채인식, 지문인식 분야에 대한 기술이 개발되었음
  - 지문센서, 카메라 등 바이오정보 입력 장비 및 칩셋 등 HW 제조 기술과 실시간 다중검색을 위한 서버 기술 등이 상용화 단계에 이르고 있음
  - 미국 등의 선진국은 생체인식 기반의 보안 기술에 적극적으로 투자하고 있으며, 국내에 비하여 높은 기술력을 확보하고 있어 2~3년 이내에 기존 제품 대비 우수한 성능의 제품을 상용화할 수 있을 것으로 보임

## 국내 기술동향

- 세계 생체인식 시장의 상당 부분은 공공분야이나 국내는 상대적으로 공공의 수요가 취약하며, 업체 간의 과다경쟁, 원천특허의 미비 등의 문제로 경쟁력이 취약한 편임
- 지문인식 위주의 단일 생체인식에서 얼굴·홍채 등의 융합을 통한 다중 생체인식 기술로 발전하고 있으며, 원거리 생체인식 기술도 시도되고 있음
  - » 국내 생체인식 산업은 지문인식 분야가 90% 이상의 비중을 차지하고 있어, 새로운 시장의 창출이나 원천기술 개발에 다소 취약한 편임
  - » 한국전자통신연구원에서는 고성능 생체정보 서비스 시스템 기술개발 관련 연구를 수행하고 있으며, 한국정보통신기술협회는 생체인식 표준화를 위한 활동을 전개하는 등 다양한 분야로의 기술개발이 추진되고 있음
- 국내 생체인식 시장 또한 기술수요의 지속적인 증대로 매년 고성장이 가능할 것으로 기대됨
  - » 국내 생체인식 시장을 제품 및 시스템별로 구분하여 보면, 출입통제기나 근태관리기와 같은 물리적 접근제어 부문이 2008년 1,079억 원으로 전체 시장의 70.2%를 차지하고 있는 것으로 나타남
  - » 현금인출기나 무인발급기, 금융이나 의료부문, 기기 및 시스템 접근 제어 등과 같은 논리적 접근제어 분야가 64억 원으로 4.2%, 경찰청 AFIS나 전자여권, 주민증 진위 확인시스템 등과 같은 공공부문이 392억 원으로 25.5%를 차지한 것으로 조사됨
  - » 내수와 수출을 포함한 국내 생체인식 업체의 매출규모는 2010년 865억 원이며, 2011년에는 1,110억 원으로 2014년까지 27.5%의 연평균 성장이 전망됨

## 적용분야 및 기대효과

- 최근에는 다양한 생체인식 관련 제품들이 등장하고 있으며, 활용분야도 점점 증가하는 추세임
  - » 생체인식 센서기술의 경우 소형화하고 가격을 저렴화 하는 방향으로 연구가 진행되고 있으며, 지문, 손, 혈관, 얼굴, 홍채, 서명, 음성 등 현재 널리 사용되고 있는 기술 외에 DNA, 걸음걸이, 열상 정보 등의 미래 생체인식 기술이 새롭게 출현할 것으로 전망됨

- 모바일 지문, 모바일 홍채인식의 경우 세계적으로 최초의 시도이므로 관련 연구에 따른 양질의 논문과 지적 재산권을 기대할 수 있고, 향후 우려되는 외국의 모바일 접촉식 지문인식의 특허 공세에 대한 대책이 될 수 있을 것으로 기대됨
  - 임베디드 플랫폼 기반의 제품 소형화는 스마트폰, 스마트패드, 스마트카메라, 출입통제장치, 자동차, POS, ATM, 휴대형 개인인증기기 등에 탑재 가능하며, 모바일 전화기 사용자가 지속적으로 증가하고 있으므로 관련 분야는 성장 가능은 더욱 커질 것으로 보임
  - 휴먼인식 기반의 차세대 생체인식 기술은 카메라, 센서, 컴퓨터 서버 및 저장 장치, 네트워크, 지능형 시스템, 정보보호 산업 등과 깊은 연관성을 가지고 있어 IT 전반에 대한 기술적·경제적 파급효과가 지대할 것으로 예측됨

## 최고기술 확보 및 추격을 위한 필수요건

- 생체정보의 보호를 위해서는 기술에 관한 정부차원의 법적절차가 준비되어야 하며, 이는 과학기술의 발전을 저해하지 않으면서 조화로운 해결책이 되어야 함
  - 신체인식 정보는 특징값만이 추출되어야 하고 개인의 인식과 명시적인 동의가 있어야 하며, 계속적인 견제와 감시도 필요함
- 국내 기술수준은 부문별로 세계적 수준에 도달한 분야도 있으며 뒤쳐진 분야가 혼재하여 이에 대한 균형이 필요함. 세계적 수준에 도달한 기술의 경우에는 세계 1위 기술이 될 수 있도록 적극적인 지원책이 강구되어야 할 것으로 생각됨
  - 모바일 내장 카메라에 의한 지문인식과 장문인식, 모바일 홍채인식 기술과 전용기기에 의한 홍채인식 기술, 정맥인식 기술 등은 국내 기술이 세계적으로 유일하고 선도적이므로 확실한 고지 선점을 위한 노력이 필요함
  - 지문 입력을 위한 반도체식 센서 기술, 얼굴인식, 초소형 IC칩 상에서 동작하는 고효율 인식 알고리즘을 탑재한 Match on Card와 같은 칩셋 등의 설계기술, DNA 등과 같은 첨단 바이오 인식 알고리즘에 대한 원천기술 등은 전무하거나 선진국에 비해 다소 미흡한 수준이므로, 이에 대한 기술개발 노력이 필요함
  - 향후 지적재산권에 대한 문제를 사전에 회피할 수 있는 기술적, 전략적 전략을 마련하여야 할 것임

# 7 휴먼인터페이스

## 기술개발 필요성

- 휴먼인터페이스 분야는 기능 중심만의 소프트웨어의 부족한 경쟁력을 높여주고 더 나아가 기술 자체 만으로서도 부가가치가 크기 때문에 기술개발의 필요성이 점차 높아지고 있음
- 해외 선진사례와 비교하여 보았을 때, 국내의 Natural User Interface(NUI) 연구는 상대적으로 부진함
  - » 세계적 수준의 국내 IT 상품의 국제 경쟁력 유지를 위해서는 NUI 연구에 대한 정부 지원이 절실히 요구됨
  - » 최근 멀티모달 및 NUI가 도래하고 있고 이들이 다양한 컴퓨팅 플랫폼에 사용되고 있으므로 이와 관련한 기초, 시스템 및 통합 기술이 필요함

## 기술내용

- 기존의 컴퓨터 시스템의 단순한 입출력 기능에서 벗어나 사람의 행동 및 의도에 따라 사용자와 컴퓨터가 상호작용을 할 수 있는 인터페이스, 제품 및 서비스 개발
- 과거 개인용 컴퓨터를 위한 전통적인 사용자 인터페이스의 틀을 벗어나 다양한 형태의 기기, 다양한 사용환경, 다양한 애플리케이션에 대응하기 위한 사용자 친화적인 형태의 모든 새로운 인터랙션 방식의 연구를 진행 중임
  - » 표면 사용자 인터페이스 : 멀티터치 인터랙션, 압력 및 근접 인식 활용 인터랙션, 표면 근처 2.5차원 공간 인터랙션, 자유 곡면 기반 인터랙션 등
  - » 제스처 인터페이스 : 근거리 손가락 제스처 인터랙션, 원거리 신체 움직임 인식 인터랙션, 머리 및 시선 인식 인터랙션, 비기계적 햅틱 피드백 등
  - » 웨어러블 인터페이스 : 초소형 기기용 입출력 인터페이스, 음성/청각 중심 인터페이스, 신체 운동 감지 기반 인터페이스, 패브릭 기반 인터페이스 등

## 국외 기술동향

- 테이블탑 스케일의 표면 사용자 인터페이스에 대한 연구는 1990년대 일본 소니 연구소에서 추진되었으며, 최근 구글 글래스로 대중의 관심을 끌고 있는 웨어러블 인터페이스 연구는 1980년대부터 미국 MIT를 중심으로 상당 수준 진행되고 있음
  - » 표면 인터페이스, 제스처 인터페이스, 웨어러블 인터페이스 등 NUI 연구의 대부분을 미국, 일본의 대학 및 연구소가 주도하고 있음
  - » 주요 기술로는 NUI, 3차원 인터액션(Kinect, Leap 등), 음성 및 지능형 인터페이스와 Cloud 컴퓨팅 활용, Big Data 및 Crowd Sourcing(스마트폰의 인터액션 클라이언트화) 기술 등이 있음
- 제품 및 서비스 개발단계부터 UI/UX의 중요성이 강조되면서 사용자 중심의 인터페이스를 개발할 수 있는 환경이 조성되고 있음
  - » 다양한 센서를 이용한 사용자의 행동분석 및 의도 파악을 위한 산학연 공동연구가 활발히 추진 중임

## 국내 기술동향

- 국내에서는 NUI 구현을 위한 요소기술 연구에만 집중되어 있어, 새로운 NUI 개념 개발을 포함한 NUI 자체에 대한 연구는 선진국에 비하여 현저히 부족하며 이에 대한 정부 지원도 미약함
  - » 핵심 요소 기술(예: 개별 인식 기술)에 치중
  - » 인터액션 디자인의 필요성 인식 단계
- 스마트폰, 스마트 TV 등 IT 시장을 국내 기업들이 주도하고 있는 만큼 NUI 기술에 대한 수요가 커짐에 따라 삼성, LG 등 대기업들이 NUI 연구개발에 적극적인 투자를 시작하고 있음

## 적용분야 및 기대효과

- IT 관련 다양한 융복합 기기에 적용가능한 기술분야임
  - » 스마트폰, 태블릿 컴퓨터, 등 모바일 단말기

- 스마트 TV를 포함한 홈 엔터테인먼트 기기
- 자동차 (네비게이션, A/V 시스템을 포함한 사용자 인터페이스)
- 스마트 홈, 스마트 공간

- 새로운 사용자 인터페이스 기술은 차별화된 사용자 경험을 가능하게 할 것이며, 상품의 세계 시장 경쟁력 유지 및 향상에 기여할 것으로 기대됨
- NUI 연구는 타 기술을 종합하여 실현하는 과정을 거치게 되므로 바이오, 나노, 의료·생체 기술 등 타 분야에 응용이 가능하고, 상용화를 촉진하는 효과를 기대할 수 있음

## 최고기술 확보 및 추격을 위한 필수요건

- 사용자 중심의 스마트 기기 개발을 위해 휴먼인터페이스 분야에 대한 관심이 증가하고 있으나, 아직까지 휴먼인터페이스 기술을 하나의 독립된 연구 분야·기술로 판단하기 보다는 다른 분야에 종속된 분야로 바라보는 것이 적절하기 때문에 휴먼인터페이스 기술이 기술적 독립성을 갖출 수 있는 평가방법에 대한 연구가 사전에 수행되어야 할 것임
- 새로운 NUI 연구는 창의적인 연구 환경에서 장기적 연구를 필요로 하므로 기업보다는 대학과 연구기관이 주도적으로 추진하는 것이 바람직한 것으로 판단됨

# 8 나노일렉트로닉스

## 기술개발 필요성

- 다양한 소재의 융복합을 통해 새로운 개념의 에너지 변환현상을 관찰·규명하고 이를 기반으로 독창적이고 차별화된 에너지 소자를 구현하는 것은 미래 에너지 산업에 있어 매우 중요한 패러다임이라 할 수 있음
- 서로 상이한 에너지 변환 메커니즘을 갖는 소재들을 하나의 소자에 융복합화하는 연구는 초기 단계 수준으로 주로 과학기술 선진국에서 관련 연구가 진행되고 있으나, 국내에서는 선진국의 연구를 답습하는 수준으로 국가 경쟁력 확보를 위해서는 도전적인 연구가 필요함
- 최근 전기·전자 산업 기술은 아이폰으로 대표되는 새로운 패러다임의 전환과 나노기술을 바탕으로 하는 IT-ET-BT 기술이 융합된 유비쿼터스 사회로 빠르게 진화함에 따라, 기존 기술의 성능개선을 뛰어넘어 새로운 패러다임으로의 전환이 가능한 신소재 및 신소자의 개발이 요구되고 있음

## 기술내용

- 나노일렉트로닉스는 응용기술 개발을 위한 기반·기초과학 연구의 성격을 가지고 있으며, 활용범위가 매우 광범위함
- 압전 반도체 소재에 물리적인 힘을 가해 얻어진 출력 전압을 이용하여 전자소자의 자가구동을 구현하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 바이오, 화학적, 광학적, 자기적, 기계적인 특성과 결부시켜 플렉시블 자가발전 센서로의 응용성이 높아지고 있음
  - » 또한 온도, 압력, 가스, 바이오물질 등이 압전소재의 압전 특성을 변화시켜 출력전압의 변화를 통해 발전소자 자체가 센서가 되는 일체형 센서 구조가 연구되고 있음
- 새로운 전자소자 구현을 위하여 기존 반전도성과 광여기의 coupling에 의한 optoelectronics 분야의 연구뿐만 아니라 압전성과 반전도성의 coupling에 의한 piezotronics, 압전성과 광여기의 coupling에 의한 piezo-photonics 분야에 대한

연구가 활발히 진행되고 있으며, 최근에는 압전성-반전도성-광여기의 coupling에 의한 신개념 융합 소자인 piezotronics 분야의 개념이 정립되고 있음

- piezotronics 소자는 압전 반도체 소재에 물리적 에너지를 인가하여 생기는 압전 전위를 이용하여 광특성(전자와 홀이 결합하여 생성되는 광자(photon)의 생성 조절)과 반도체 특성 (전하 및 캐리어의 흐름을 조절)을 조절할 수 있는 신개념 융합소자를 뜻함

## 국외 기술동향

- 미국을 중심으로 한 나노일렉트로닉스 기술은 에너지 변환과 관련된 내용이 주를 이룸
  - 2011년 미국 캘리포니아 대학 및 뉴저지 주립대, 싱가포르 ASTR 연구소에서는 광전/강유전체 융합소재를 이용하여 향상된 성능의 태양전지, 발광소자, UV 검출기 제조에 대한 특허를 출원하여 광전/강유전체 물질들을 이용한 다양한 소자로의 응용 가능성을 보여주었음
- 압전현상과 결합된 에너지 변환에 대한 연구가 활발히 진행 중이나 개념정립의 초기단계임
  - 인체와 CMOS 기술의 융합에 의한 새로운 piezotronics 개념 제시
  - n-ZnO와 p-GaN 하이브리드를 통한 stress에 의한 발광 효율 향상
- 자가발전 센서를 기반으로 한 나노센서 분야의 연구가 선진국을 중심으로 진행 중이며 초기 연구단계(개념정립)임
  - 자가발전 센서는 2001년 이스라엘의 I. Willner 그룹이 독일 그룹과 합작하여 화학적 에너지를 전기-화학적 에너지로 변화시킴으로서 Enzyme 기반 Biosensors을 제시하였음
  - 2011년 미국 Lawrence Livermore National Lab의 Y. M. Wang 그룹은 세계 최초로 전력이 필요하지 않은 센서 플랫폼을 제안함

## 국내 기술동향

- 나노일렉트로닉스 분야는 전반적으로 개념정립 단계로서 발전가능성이 매우 높은 기술영역으로 평가되고 있으나 기술수준은 초기 개념도입 단계임
- 한국전자통신연구원, 한국과학기술연구원 등 정부출연연구소와 서울대, 성균관대, 이화여대, 연세대, 포항공대, 한양대, KAIST 및 삼성전자종합기술원 등에서 태양광과 열전소자를 통합한 소자 제작에 대한 연구 검토가 진행 중이고, 일부 태양광과 새로운 에너지원으로 주목받고 있는 압전 소자를 접목하려는 연구가 시도되고 있음

## 적용분야 및 기대효과

- 나노일렉트로닉스 연구는 기초과학의 성격이 강하며, 신개념의 에너지 및 에너지 변환 소자로 적용가능한 기술임
  - Piezotronics 연구는 기존의 반도체 소자가 가지는 기능적 한계를 넘어서 다양한 입력 신호에 의해 구동이 가능한 반도체 소자를 개발함으로써 향후 LED, 센서, 광전지, 태양전지, 광자검출기 등에 폭넓게 응용이 가능함
  - 가까운 미래 시장은 개인적인 휴대성의 폴리머 기반의 플렉시블 전자소자와 밀접한 관계가 있음에 따라 piezotronics를 이용한 고출력 발전소자의 개발 시 플렉시블 전자소자의 에너지원 및 다기능 센서(생체신호 감지 등)로의 활용이 가능할 것으로 기대됨
  - 센서 제작 관련 기반기술은 차세대 광전/전자소자용 공통기반 기술에 해당하는 것으로 이와 관련된 소자에도 적용가능함
- 나노기술과 에너지 기술의 융합을 통해 관련 산업의 원천기술 확보와 함께 국내외 차세대 에너지 하베스팅 시장으로의 파급효과가 매우 클 것으로 기대됨

## 최고기술 확보 및 추격을 위한 필수요건

- 나노일렉트로닉스는 분야의 다양성으로 기술 수준에 있어 폭넓은 스펙트럼을 가지고 있으나 대부분의 기술이 개념정립 단계 수준이며 특히 국내 나노일렉트로닉스 관련 연구는 극히 미약한 수준이어서 적극적인 R&D 지원을 통한 기술 수준 향상 노력이 필요함
- 분야의 특성상 기초연구 및 응용연구 지원이 동시에 이루어져야 하므로, R&D 투자금액이 큰 선진국과의 기술격차를 좁히기 위해서는 선택과 집중의 측면에서 기초 원천 분야의 지원확대가 우선적으로 추진되어야 할 것임

# 9 나노포토닉스

## 기술개발 필요성

- 나노포토닉스는 타 기술과의 접목을 통해 기존 소자의 획기적 성능 향상 및 신개념 소자를 개발할 수 있는 기반기술로서 미래 유망기술 분야로 평가됨
- 나노포토닉스를 크게 세 가지 분야(태양전지, LED, plasmonics)로 구분하여 조사를 진행함
  - » 태양전지는 세계적으로 연평균 50% 이상의 성장을 지속하고 있으며 2015년에는 메모리 반도체 시장을 추월할 것으로 예상되어, 차세대 성장동력으로의 발전이 기대됨
  - » LED는 기존 광원에 비해 에너지 효율이 높고 수명이 길어 친환경 측면에서 이상적인 광원으로 각광받고 있으며 에너지 절약, 탄소가스 배출 감소 등으로 고유가 상황에 대처할 수 있기 때문에 국가 전략적인 차원에서 기술개발 노력이 필요함
  - » Plasmonics 기술은 빛에 대한 빠른 반응 특성과 회절한계 이하의 광집속 특성으로 인해 기존 전자소자와 광소자의 한계를 뛰어넘는 융합적 기술로 종래의 기술 및 산업에 큰 변화를 가져올 수 있으며, 특히 전자산업에 대한 의존도가 높은 국내의 경제구조에는 위협인 동시에 기회요인으로 작용할 것임

## 기술내용

- 나노 태양전지 기술은 나노공정 및 나노재료를 부분적·전면적으로 채택하여 태양전지를 구현한 기술을 의미하고 대표적으로는 염료감응형, 양자점 기반, 나노선 태양전지가 있음
- 나노기반 LED 기술은 나노광학 기반 원천기술을 이용한 광추출 효율 향상기술과 나노구조 LED를 통한 내부양자 효율 향상기술로 구성됨
  - » 광추출 효율 향상기술은 다시 나노구조 패터닝 공정 기술, 광결정 응용 기술, 표면 플라즈몬 응용 기술 등으로 구분됨

- 내부양자 효율 향상기술은 나노막대 무분극 LED 성장 기술과 나노 피라미드 어레이 LED 성장 기술로 구분됨

- 나노포토닉스는 근본적으로 빛과 물질의 상호작용을 다루는 분야로 금속 표면 및 금속 나노 입자에서 발생되는 plasmonics 효과에 의한 강한 전자기장 증강 현상은 빛과 물질의 상호작용을 극대화할 수 있는 중요한 기술적 수단을 제공함

## 국외 기술동향

- 나노 태양전지 기술 가운데 염료감응형 태양전지 분야에서의 세계 최고 수준 에너지변환 효율은 국내 화학연구원 연구팀과 스위스 EPFL Gratzel 연구팀이 공동으로 개발한 약 12.3%이며, 상용화 수준의 태양전지 기술로 발전하고 있음

- 나노기반 LED 기술의 나노패터닝은 주로 AAO, 나노임프린트 리쏘그라피, 레이저 간섭 리쏘그라피, micro 구면체를 이용한 패턴 형성을 통해 연구되고 있음

- 현재 주로 연구되고 있는 Plasmonics 기술은 5가지 정도로 요약됨
  - 장거리 플라즈몬 도파로 관한 연구 : 캐나다 Ottawa 대학과 Spectalis사, Southern Denmark 대학
  - 나노스케일 플라즈몬 도파로 및 수동 광소자 관련 연구 : 영국 Bath 대학, 덴마크 Aalborg 대학
  - 나노 플라즈몬 기반 능동 광소자 관련 연구 : California 공대, Stanford 대학 등
  - 나노 플라즈몬 안테나 : 프랑스 Louis Pasteur 대학
  - 표면 플라즈몬 센서 소자 : 일본 JST, JAIST, 이탈리아의 Megna Graecia 대학, Pavia 대학, TASC 국립연구소, CalMED s.r.l. 공동연구 그룹

## 국내 기술동향

- 나노 태양전지 기술은 크게 두 분야로 나뉘어 연구가 진행되고 있음
  - 국내 염료감응형 태양전지 기술은 화학연구원, 성균관대학교 등에서 활발한 연구가 진행되고 있으며, 세계적 수준의 기술 수준을 보유함
  - 나노와이어 기반의 태양전지 분야에서의 국내 기술 수준은 선진국과 비교하였을 때 다소 차이가 있는 것으로 조사되며 현재 미국, 스웨덴이 주도하고

있는 나노와이어 태양전지 기술은 13%대의 높은 광전변환효율을 보유하고 있으나 국내에서는 약 8%대에 머물러 있음

- 그러나 국내의 경우, 무촉매/무패턴 나노선 대면적 합성기술을 신규로 개발함으로써 향후 충분한 경쟁력을 보유할 수 있을 것으로 판단됨

- 나노기반 LED 기술은 기본적으로 세계 기술동향과 일치함
  - 나노패터닝은 주로 AAO, 나노임프린트 리쏘그라피, 레이저 간섭 리쏘그라피, micro 구면체를 이용한 패턴 형성을 통해 연구개발되고 있음
  - 나노패터닝 이외에도 CVD 등을 이용해 LED 소자 위에 ZnO, MgO 등의 나노 구조를 성장해서 광추출 효율을 높이는 연구가 진행되고 있음
  - 나노구조 LED의 경우, MOCVD를 이용한 나노막대 LED 성장에 대한 연구개발이 이루어지고 있으며 나노구조의 기하학적 크기 및 모양을 조절함으로써 사출되는 광의 파장을 조절하는 기술과 여러 파장의 광을 모아 백색광을 만드는 기술이 시도되고 있음

- Plasmonics 기술도 국외 기술동향과 일치하여 발전되고 있음
  - 장거리 플라즈몬 도파로 관한 연구 : ETRI, 성균관대, 한양대
  - 나노스케일 플라즈몬 도파로 및 수동 광소자 관련 연구 : 성균관대와 ETRI 공동연구 그룹, KAIST
  - 나노 플라즈몬 기반 능동 광소자 관련 연구 : 고려대
  - 나노 플라즈몬 안테나 : 서울대와 연세대의 공동연구 그룹
  - 표면 플라즈몬 센서 소자 : ETRI

## 적용분야 및 기대효과

- 분야별로 다양한 산업이 활성화되어 있으나 현재 개발 중인 기술들이 산업현장에 적용되기 위해서는 충분한 시간이 필요함
  - 나노기반 LED 원천기술 확보와 국내 LED 기업의 경쟁력 향상을 통해 조명시장의 세계적인 리더쉽을 갖는 것을 물론, 농수산 등 신시장을 개척할 수 있는 원동력을 갖게 될 것으로 기대됨

- 나노포토닉스 기술은 산업으로의 활용가능성이 높기 때문에 원천기술 개발 시 기술·경제적 효과가 높을 것임
  - 이종의 태양전지의 융합을 통하여 초고효율이면서도 가격 경쟁력을 갖춘 융합형 태양전지를 개발하게 되면 향후 신재생 에너지 시장의 주도권을 확보할 수 있을 것임
  - 거대한 잠재력을 가지고 있는 국내 시장경험을 바탕으로 해외 진출 전략을 마련한다면 세계 시장 점유율을 높일 수 있음
  - 국내 LCD 기업 및 자동차 기업의 경쟁력 강화에도 크게 기여하여 관련 제품의 수출 증대 효과도 클 것으로 기대됨

## 최고기술 확보 및 추격을 위한 필수요건

- 나노포토닉스 기술은 에너지 산업과 연계하여 성능과 활용도를 획기적으로 향상시킬 수 있으므로 국내외에서 활발한 연구개발이 추진 중에 있음. 따라서 기술 선점을 위한 전문인력 양성과 원천기술 확보를 위한 R&D가 병행되어야 하며, 연구개발 분야에 대한 투자가 좀 더 적극적으로 이루어져야 할 것임
- 국가적 차원에서 원천 특허를 위한 기술개발을 모색하여야 하며, LED 선진국의 시장 진입장벽 강화 움직임에 대응하기 위한 국제표준 선점 노력과 특허 공세에도 능동적으로 대응해 나가야 할 필요가 있음

# 10 나노센서/MEMS

## 기술개발 필요성

- 나노소재와 나노기술을 응용할 경우 기존의 물리 및 화학 센서의 한계를 극복하고 소형화, 저전력화, 및 가격절감의 효과를 기대할 수 있기 때문에 나노센서 기술 개발에 대한 필요성이 점차 높아지고 있음
- MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)는 신기술 분야이나 소형, 경량, 고기능, 저비용화를 핵심 이념으로 하고 있어 기존 제조산업 패러다임 변화에 최적의 해결 방안으로 주목받고 있으며, 저비용 대량생산과 저소비전력 등이 차별화 요소로 작용하고 있기 때문에 미래 유망기술로써 원천기술 개발의 필요성이 높음

## 기술내용

- 나노센서란 나노기술과 MEMS 기술이 접목되어 정보를 획기적으로 감지하거나 데이터처리, 자동보정, 자가진단, 의사결정 등의 신호처리가 내장된 지능형 센서 기술을 뜻함
- 센서는 광의 세기, 온도, 압력 등 목적하는 양을 효과적으로 검출하여 얻어진 신호를 전기적 신호로 변화하는 과정이 필요하기 때문에 변환기능을 가진 물질 또는 소자의 단독·복수의 조합으로 구성됨
  - » 나노센서 기술이란 나노소재, 나노 공정기술 및 MEMS 기술과 반도체 대량생산 기술을 접목하여 온도, 습도, 압력, 기울기, 가스 등 물리, 화학적 신호를 감지하는 센서의 성능을 극대화하고 센서를 보다 소형화, 소비전력을 극소화함과 동시에 대량생산을 통해 성능 대비 센서의 단가를 획기적으로 감소시키는 것에 관한 전반적인 기술을 뜻함
  - » 나노센서에 의해 감지된 신호를 바탕으로 소자 또는 시스템의 동작을 제어 또는 발생시키는 엑츄에이터 기술도 포함됨

## 국외 기술동향

- 선진국을 중심으로 나노센서/MEMS 분야에 대한 기술개발이 활발히 진행 중임
  - IBM에서는 2012년 말부터 5년 이내에 컴퓨터에 인간이 가지는 오감(청각, 후각, 촉각, 미각, 시각) 센싱의 기능을 부여하는 것을 목표로 연구개발을 추진함
  - 미국, 유럽, 일본 등은 1980년대 초반부터 민수 및 군사기기, 운송, 의료 등의 응용을 목적으로 연구 프로젝트를 진행하고 있으며 특히 2000년대에 들어서는 바이오, 복지, 광통신, 무선부품용 핵심 소자 분야에 집중 투자가 이루어지고 있음
  - 최근 미국에서는 시장 변화에 따라 ①극소형 제품의 가격 경쟁력을 위한 제조 및 패키징 기술개발, ②제품 개발의 가속화와 효율성 증대를 위하여 설계 및 시뮬레이션 CAD에 관심이 모아지고 있으며, ③기존의 자동차, 의료 및 센서 이외의 시장 확대를 위해 microfluidics /microvalve 등을 이용하여 물리적 환경과 접촉되는 새로운 분야를 개척해 나감
  - 미국에서의 MEMS 연구를 반도체 공정을 이용한 Lithography 기반 MEMS로 정의한다면, 일본의 경우에는 Mechatronics가 가미된 마이크로머신(기존의 크고 비싼 기계가 할 수 있는 많은 일을 마이크로머신이 대신할 수 있다는 생각에서 출발)으로 정의하여 MEMS 개발을 추진하고 있음
- 미국에서는 대학 및 연구소를 중심으로 관련 기술의 첨단분야 연구가 진행 중임
  - NASA에서는 가스 감지가 필요한 모든 분야에 적용가능한 화학센서 어레이 기반의 스마트칩을 개발 중이며 일부 시제품을 선보이고 있음
  - 미국 하버드 대학에서는 종이 위에 구현이 가능한 센서어레이 기술개발 중이며, 저렴한 단가의 센서 개발에 주력함
  - 미국 일리노이주립대학에서는 패치형태로 피부에 부착이 가능하며 심장박동을 감지하는 심장 관련 질병진단이 가능한 센서를 개발하였고 향후 여러 가지 질병 진단이 가능한 센서를 개발 중에 있음

## 국내 기술동향

- 센서 수요 증대와 첨단화 추세에 따라 세계 센서 시장은 급성장 중이나 국내 산업 경쟁력은 매우 취약함
  - 근본적인 문제는 나노센서 기술을 적극적으로 수용하여 기술을 활용, 제품 생산이 가능한 산업체의 부재함에 있음
  - 미국, 유럽연합(독일, 스위스 등), 일본 등 일부 선진국만이 대부분의 센서 기반기술을 확보하고 있는 반면 국내는 낮은 기술력으로 인해 첨단센서를 생산하지 못하고 있어 국내 수요의 대부분을 수입에 의존함
  - 국내에서도 나노소재, 나노공정기술 및 MEMS 기술을 기반으로 하여 나노센서 제조 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나, IT-NT 분야의 나노센서 개발 기술의 경우 소규모 사업으로 진행되어 소재, 소자, 시스템 및 데이터베이스화에 이르기까지의 융합연구는 매우 부족한 실정임

## 적용분야 및 기대효과

- 정보화 사회에서 다양한 정보의 습득을 위해 다양한 분야에서 센서의 활용도가 매우 높아질 것으로 기대됨
  - 가스 분자 감지가 필요한 모든 분야, 자동차 산업, 보안 산업, 로봇 산업 등
- 자동차, 로봇 등 타산업의 혁신제품 개발을 위해서는 첨단센서가 필수적이므로 센서산업의 고도화는 다양한 타 분야의 산업육성을 활성화, 확대할 수 있음
  - MEMS 적용분야로는 정보·통신, 자동차, 컴퓨터/OA/전자/가전, 의료·환경, 군사·항공 분야로 다양하며, 모든 분야가 MEMS의 기반으로 하고 있기 때문에 국내외 산업 발전을 이끌어갈 잠재적인 성장요소가 될 것임
- 현재 전 세계적으로 다양한 MEMS 응용제품이 출시되는 초기 시장단계를 거치고 있으며, 앞으로는 MEMS 기술과 VLSI의 접목으로 응용분야의 급격한 확대와 시장 규모의 비약적인 성장이 예상됨
  - MEMS 산업은 새로운 비즈니스 창출, 고용증대 및 신규 산업 부문으로의 응용 다양화 등을 통해 5년 이내에 약 100억 달러 규모의 거대한 시장을 형성할 것으로 전망됨에 따라 핵심기술 선점 시 경제효과가 매우 클 것으로 기대됨

## 최고기술 확보 및 추격을 위한 필수요건

- 중소기업 중심의 첨단센서 및 MEMS 분야는 기술력 부족과 가격경쟁력 열위로 장기적인 기술개발이나 적극적인 투자보다는 수입에 의존하려는 경향이 강함. 이를 극복하기 위해서는 대학과 연구소를 통해 다양한 연구개발 노력이 추진되어야 하며, 개발된 기술을 지속적으로 기술이전 하여 산업계로 연계될 수 있는 지원 프로그램이 마련되어야 할 것임
- 또한 센서 및 MEMS 기술을 필요로 하는 기업에 고도의 생산설비를 지원해주는 체계가 R&D 과제와 병행되어야 할 것임

# 11 양자컴퓨터

## 기술개발 필요성

- 양자컴퓨터는 데이터 처리를 수행하기 위해 중첩(superposition)과 얽힘(entanglement)과 같은 양자 역학적 현상을 동작원리로 하는 기술로써, 기존의 슈퍼컴퓨터가 접근할 수 없는 계산속도로 의약품 개발, 신재료 개발 및 물리·화학분야의 아주 복잡한 문제를 단시간 내에 해결할 수 있는 새로운 패러다임을 제공함
- 현재 선진국에서도 양자컴퓨터와 관련하여 기초단계의 연구가 진행 중에 있어 지속적인 연구 및 기술개발을 통해 원천기술을 확보할 경우 새로운 성장동력을 제공할 수 있을 것임

## 기술내용

- 양자컴퓨터는 가장 기본이 되는 큐비트(qubit)를 구현하기 위한 양자 역학적 현상을 제어할 수 있는 기계장치를 만드는 것과 양자 상태를 이용하여 새로운 데이터 처리 알고리즘을 개발하는 것으로 분류할 수 있음
  - » 필요한 세부 기술로는 “0”과 “1”상태를 동시에 가질 수 있는 큐비트 구현 기술, 프로세서 제작기술, 양자시스템 제작기술, 데이터 전송기술 및 큐비트를 이용한 양자 알고리즘 개발기술 등이 있음

## 국외 기술동향

- (미국) CIA, NAS, NASA, ARDA, ARO, DARPA 등의 국가 기관을 중심으로 연구를 수행하고 있으며, ARDA의 경우 2005년에 양자 정보 과학 분야를 5대 중점 분야 중 하나로 선정하여 연구하고 있음
  - » MIT, 스탠포드, 칼텍 등의 최고 수준 대학에서도 많은 연구결과를 발표하고 있음
  - » IBM, HP, Bell 연구소 등에서도 양자컴퓨터와 관련하여 활발한 연구가 진행되고 있으며 마이크로소프트사가 대규모 연구 인력을 모집하고 있음

- (유럽) 양자역학 자체에 대한 연구를 지속적으로 수행하여 온 인재가 많기 때문에 미국보다 연구비 규모가 적음에도 불구하고 미국과 더불어 양자정보기술 분야를 주도하고 있으며, 특히 양자통신 분야에서 주도적인 역할을 수행하고 있음
  - » 최근 빛보다 빠른 입자 발견, 힉스 입자 흔적 발견 등과 같이 흥미로운 실험 결과들을 계속 발표하고 있는 유럽 입자 물리학 연구소 CERN(Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire)이 입자물리학 관점에서 실험적 양자역학 분야의 독보적인 성과를 창출하고 있음
- (일본) 2000년 양자역학과 정보통신기술의 접목을 위한 연구회 지원을 시작으로 2001년에는 일본 총무성의 정책으로 양자 정보통신 기술의 연구개발을 시작함
  - » 다른 국가들과는 달리 Fujitsu, NEC, NTT, Toshiba, Mitsubishi 등 기업 연구소에서도 다양한 연구를 진행하고 있으며 이를 통해 초전도 소자 큐비트 연구에서 가장 앞선 결과를 창출함
- 이미 100 Mbps의 속도로 양자 암호키를 100km 전송할 수 있는 기술이 유럽, 일본, 중국 등에서 시현되었으며, 2011년 캐나다의 D-Wave사는 미국의 대표적인 방위산업체인 록히드마틴사에 세계 최초로 추정되는 상용 양자컴퓨터를 1500만 달러에 판매한 실적이 있음

## 국내 기술동향

- 우리나라는 지난 20여 년간 디지털 정보기술 강국을 지향해 왔지만, 양자 정보과학 연구 투자는 부족한 상태이며, 양자 정보통신 기술은 기초연구 수준임
  - » KAIST의 경우 포토닉 크리스탈 및 VCSEL기반의 high-Q cavity 제작기술을 확보하여 단광자 생성 및 제어기술을 확보하였고, SK 텔레콤은 이온 트랩을 이용한 양자 기반기술을 연구 중에 있음
  - » 시립대·고려대 공동연구팀은 양자점을 이용한 단전자 구속 및 이들에 대한 물리적 현상에 대한 연구를 수행하고 있음
  - » KIST의 경우 InAs 양자점을 기반으로 하는 단광자 발생기 및 결합양자점 성장기술을 바탕으로 하는 qubit 생성기술을 위한 기반기술을 확보하고 있음

## 적용분야 및 기대효과

- 미래 정보화 사회에서 양자컴퓨터 기술은 다양한 분야로의 활용이 가능함
  - 대용량 계산을 매우 짧은 시간에 가능케 하는 컴퓨터의 개발
  - 추론, 학습, 인지 등 인간지능을 닮은 컴퓨터의 개발을 통해 스스로 진화하는 컴퓨터의 개발
  - 도청이 원천적으로 불가능한 양자암호기술의 상용화
  - 군사적으로 매우 중요한 암호해석용 컴퓨터의 개발
  - 대용량 계산이 필요한 바이오, 나노분야에서 획기적으로 계산시간을 감소시킴으로써 관련 분야의 발전속도를 증강시킬 수 있음
- 양자컴퓨터의 개발은 반도체 나노 소자 및 초전도체를 이용하기 때문에 반도체 산업 및 광통신 분야로의 파급효과가 클 것으로 기대되며 향후 동 분야의 고용창출에도 기여할 것임

## 최고기술 확보 및 추격을 위한 필수요건

- 미국의 저명한 Market Research Media는 2015~2020년 양자 정보통신 기술의 세계 시장 규모를 260억 달러, 연평균성장율(CAGR)이 10.4%에 달해 상당히 빠른 속도로 발전할 것으로 전망함에 따라 퀀텀 기술의 시대에 여타 선진국에 비해 뒤떨어지지 않으려면 양자컴퓨터 관련 기술의 조기 확보가 요구됨
- 현재 국내에서는 전문 인력 및 연구비가 부족하고 상용화까지 오랜 기간이 소요되며, 지원 기관의 무관심 등 선진국에 비해 연구 지원이 매우 부족한 실정이므로 선진국과의 기술격차를 좁히기 위해서는 정부의 적극적인 투자와 관심이 필요함

# Ⅴ. 결론 및 시사점

- 2차 융합기술수준평가의 주요한 목적은 제1차 국가융합기술 발전 기본계획('09~'13) 상의 목표 대비 기술별 달성도를 평가하고, 2차 기본계획('14~'18)의 추진 방향 및 전략을 수립하고자 함
  - 1차 국가융합기술 발전 기본계획에서 제시된 목표는 50~80%(평균 69.5%) 이던 기술수준을 70~90%로 향상시키는 것이었으나, 2차 평가결과 기술수준이 50~85%(평균 74.8%)로 목표에 도달하지 못한 것으로 조사되었음
- '2차 국가융합기술 발전 기본계획'에서는 국가 융합기술 전반을 포괄할 수 있는 재분류 체계를 마련하고, 융합기술수준평가의 객관성 및 연구개발투자의 적절성 확보하기 위한 체계 마련이 필요함
  - 국가 융합기술의 기술수준에 대한 객관적인 평가를 지속적으로 수행하여, 기술 및 분야 맞춤형 연구개발 전략의 수립은 물론 중장기 국가융합기술 발전 기본계획 수립 등에 활용함으로써 국가 정책의 효과성과 효율성을 강화해야 할 것으로 판단됨
  - 2차 국가융합기술 발전 기본계획에서는 중점 융합기술을 선정하고 기술수준 향상 목표를 설정하여 중점 투자 계획을 제시하는 등 전략적인 접근이 바람직
- 뿐만 아니라 우리나라가 최고기술을 추격 및 확보하기 위해서는 기초·원천연구 확대를 위한 지속적인 투자와 산학연 협력, 해당기술 전문인력 양성 등 분야별 차별화된 전략 수립 노력이 필요함

# 붙임

1. 기술분야별 융합기술수준평가 작성지침

2. 융합기술수준평가위원회 명단

# 붙임1 기술분야별 융합기술수준평가 작성지침

## 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

### 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 정석 / 고려대학교 기계공학부 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-3290-3352 | E-mail) | sidchung@korea.ac.kr |



### 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 나노바이오센서 |
|---|---|

### 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 바이오센서는 반도체, 전자공학, 화학공학, 분자생물학, 유전공학, 재료공학 등 과학 전반에 걸친 기술의 집약체인 미래형 융합기술임<br>◦ 바이오센서는 각종 질병의 진단과 예측 등의 의료 분야와 신약개발 분야, 식품 가공 분야, 군사 분야 등 다양한 분야에 응용할 수 있으나, 90% 정도가 의료용 바이오센서에 집중되어 개발되어 있음<br>◦ 바이오센서의 세계 시장규모는 2009년 기준 약 67억 달러로 연평균 성장률이 11.5%에 이르며, 국내 시장규모는 2007년 약 500억원 정도로 형성되어 있음<br>◦ 바이오센서는 미국, 유럽, 일본과 같은 선진국에서 국내보다 훨씬 앞서 연구를 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| | 수행하여 기술편차가 크고, 관련 산업의 규모 역시 차이가 나타나므로 바이오센서 분야의 기술력 확보를 위해서는 새로운 방향의 접근이 필요함<br>◦ 나노바이오센서 분야는 최근 국내의 나노기술의 발전과 투자, 다양한 기관의 집중적인 연구를 통하여 해외 기술과의 격차를 줄이고 있어, 기존 연구 역량을 바탕으로 기술개발이 이루어 질 경우 혁신적 원천 기술의 개발과 확보가 가능하며 이를 통해 바이오센서 분야의 기술격차를 확실히 줄일 수 있으리라 기대됨 |
| 기술내용 | 1) 나노바이오센서의 정의<br>◦ 바이오센서 : 특정한 물질에 대한 인식기능을 갖는 생물학적 수용체가 전기/광학적 트랜스듀서와 결합, 생물학적 상호작용 및 인식반응을 측정 가능한 신호로 변환하여, 극미량의 생화학 물질을 선택적으로 감지할 수 있는 소자<br>◦ 바이오센서의 구조 :<br>– sensor matrix : bioreceptor와 같은 특정 물질에 대한 감지물질<br>– transducer : 반응 시 발생하는 신호를 전달<br>◦ 나노바이오센서란 상기 sensor matrix 혹은 transducer 중 하나 혹은 모두가 나노기술에 의해 개선되어 감지 성능을 향상시키는 것을 의미<br><br>2) 나노바이오센서의 기술현황<br>◦ 효소(enzyme), 항체(antibody), 항원(antigen), 멤브레인(membrane), 수용체(receptor), 세포(cell), 조직(tissue) 및 DNA 등과 nanotube, nanobeads, nanorods 및 graphene 등의 다양한 나노물질을 융합하여 sensor matrix 성능을 개선할 수 있음<br>◦ 전류, 산화–환원, 발색, 광학, 형광, 압전 등의 다양한 transducer에 유사한 나노물질을 융합하여 transducer의 성능을 개선할 수 있음<br><br>3) 최근 기술 동향<br>◦ 시스템의 가격, 감도의 변화 해결, 제작의 용이성 확보, 잡음간섭 해결, 물질 또는 화학성분 탐지의 특이성 향상 등 기술적으로 연구해야 할 분야가 많음<br>◦ 특히 소형화, 저가격 대중화, 안정성 및 신뢰성 확보, 휴대성 확보 등의 연구에 많은 투자가 이루어지고 있음<br>◦ 나노입자, 나노선, 탄소나노튜브, 그라핀 등 나노 물질을 이용한 바이오센서들에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있음<br>◦ 동시에 여러 가지 성분을 검출할 수 있는 마이크로 어레이에 대한 연구도 활발함 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| 최고기술수준 보유 국가 | 미국, 유럽, 일본, 중국 |
|---|---|
| 최고기술 보유 기관* | ◦ 미국 : Purdue Univ, Harvard Univ, UCLA, Princeton Univ, UCSD, North western Univ, Stanford Univ, Georgio Tech |

| | |
|---|---|
| | ◦ 중국 : Hunan Univ, Xiangtan Univ<br>◦ 유럽 : Lund Univ, Univ of Tubingen, Technische Univ Munchen<br>◦ 일본 : 소니 |
| **연구개발단계<br>( 13년 기준)** | **□ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구**<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| **기술수명주기<br>( 13년 기준)** | **■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기**<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발<br>소요시간** | **5 ~ 10 년** |
| **기술동향** | ◦ 바이오센서는 해외의 많은 연구기관과 기업에 의해 높은 수준으로 기술개발이 이루어져왔으며, 실제 다양한 응용분야에 적용되어 왔지만 여러 가지 기술적인 한계가 있어 고도화된 고부가가치 바이오센서의 필요성이 대두되어 왔음<br>◦ 바이오센서의 성능 향상 및 선택성, 민감도, 신뢰도 증가가 실현된 고부가가치 바이오센서 개발을 위하여 나노기술을 접목한 나노바이오센서 기술의 개발이 국내외 다양한 연구기관에서 활발하게 진행되어 왔음<br>◦ 많은 기초적인 연구성과를 이용하여 실제 응용분야에 적용하려는 시도가 다양하게 이어지고 있으나, 상용화 및 실제 응용분야 적용을 위해서는 새로운 개념의 신기술 개발이 필요함<br>◦ 향후 10년 내에 크게 성장할 것으로 기대하는 바이오센서 시장에서, 고부가가치의 창출을 가능하게 할 새로운 개념의 원천기술 개발과 확보가 필요함 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td colspan="4">서울대학교, KAIST, 연세대학교, UNIST, 고려대학교, 성균관대학교 등</td></tr>
<tr><td rowspan="2">국내 기술수준</td><td colspan="4">80 %</td></tr>
<tr><td colspan="4">〈1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td colspan="4">◦ 바이오센서의 기술수준은 관련 기업과 산업의 부족, 연구의 짧은 역사 등으로 인하여 해외 최고수준의 50~60% 정도에 불과하지만, 나노바이오센서는 국내 나노기술에 대한 과감한 투자와 연구개발로 인해 70% 이상, 심지어는 80% 까지 따라잡았다고 판단됨.</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td colspan="4">■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td colspan="4">■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td colspan="4">5 ~ 10 년</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td colspan="4">◦ 국내는 바이오센서에 대한 산업기반 부족으로 인하여 바이오센서 분야의 기술이 해외에 비해 많이 뒤쳐져 있음<br>* 2009년 말 바이오센서의 주요 응용 분야에서 글로벌 Top 11개 기업의 비중이 52.6%에</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| | 이르며 이 중 국내 기업은 전무하고, 국내 기업 (인포피아, 에스디, 아이센스, 올메디큐스, 아이소텍, KMH, 한국바이오 시스템 등) 의 매출 총합은 2,000억 원 대에 불과한 실정임<br>◦ 하지만 나노분야에 대한 과감한 투자로 인해, 나노바이오센서는 최고 기술 수준에 꽤 근접한 것으로 판단됨<br>◦ 특히 양자점, 나노선, 나노튜브 등 다양한 나노물질에 대한 연구는 세계 최고수준에 다다른 분야도 꽤 많이 있으며 최근 관련 분야의 우수한 연구진들이 대거 귀국하여 국내 연구수준을 또한 끌어올리고 있음<br>◦ 따라서 나노바이오센서에 대한 과감한 연구투자를 통하여 고부가가치 기술을 개발함으로써, 관련 산업의 잠재력을 끌어올리는 것이 시급함<br>◦ 다만, 관련 분야에 대한 중국 기술력의 빠른 성장이 앞으로 가장 심각한 위협이 될 수 있음 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 바이오센서의 가장 중요한 응용분야인 의료분야에서 큰 파급효과와 시장의 성장을 가져올 것으로 예상되며, 관련 산업의 성장이 기대됨. 특히 의학과 생명과학의 비약적인 발전을 가져올 것으로 판단됨

◦ 질병 진단 및 치료 등의 의료분야 뿐 아니라, 다양한 기능성 물질의 개발, 유해 바이오물질의 실시간 모니터링 등 실생활에 밀접한 산업의 성장 및 삶의 질 향상에 기여할 것이 기대됨

◦ 맞춤의료, 나노독성학, 세포학, 조직공학, 환경학 등 미래 신기술의 다양한 분야에 이용될 수 있을 것이 기대됨

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 전누리 / 서울대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-880-7111 | E-mail) | sidchung@korea.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 나노바이오센서 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 나노바이오센서는 융합기술로서 응용분야가 의료, 진단, 환경, 제약 등 광범위하고 시장성도 매우 큰 중요한 분야 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 센서를 구성하는 부품들이 바이오 물질을 포함한 여러가지 물질에 반응하는 receptor, transducer, detector 로 만들어져있고 나노 기술이 여러 가지 부분에서 integration 되어있음 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| 최고기술수준 보유 국가 | **미국, 유럽, 일본** |
|---|---|

| | |
|---|---|
| 최고기술 보유 기관* | - |
| 연구개발단계 ( 13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 ( 13년 기준) | □ 도입기 □ 성장기 ■ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 3 년 |
| 기술동향 | - |

## 4. 국내 기술수준

| | |
|---|---|
| 국내 최고기술 보유 기관* | 여러 대학과 연구소 |
| 국내 기술수준 | 80 % |

〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉

| | | | |
|---|---|---|---|
| ① 나노바이오센서 | 65% | ⑦ 휴먼인터페이스 | 75% |
| ② 약물전달 | 60% | ⑧ 나노일렉트로닉스 | 80% |
| ③ 바이오센서칩 | 70% | ⑨ 나노포토닉스 | 70% |
| ④ 바이오인포매틱스 | 80% | ⑩ 나노센서/MEMS | 70% |
| ⑤ 바이오컴퓨터 | 65% | ⑪ 양자컴퓨터 | 50% |
| ⑥ 생체인식/보호 | 80% | | |

| | |
|---|---|
| 평가근거 | - |

| | |
|---|---|
| 연구개발단계<br>( 13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기<br>( 13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발<br>소요시간 | 5 년 |
| 국내 기술동향 | ◦ 활발한 기초연구가 이루어지고 있고 지난 몇 년간 나노분야의 투자에 의해서 많은 가능성이 발굴되었음<br>◦ 하지만 아직은 상용화로 연결된 경우는 많이 없음<br>◦ 원천기술 확보가 중요함으로 지속적인 투자가 필요함<br>◦ 혈당센서의 경우에서 볼 수 있듯이 최근 국내 몇 개의 기업이 성공적으로 시장에 진입하였으나 원천기술이 없고 양산기술에 의존하여 미래 성장을 위하여 새로운 원천기술 확보를 위하여 투자 확대가 필요<br>◦ 의료분야의 연구가 많이 되어있으나 환경, 물, 식품 등 분야의 연구는 아직 미약함 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 씨젠과 같은 분자 진단분야의 히든챔피언 기업의 기술과 대학과 연구소 기반의 나노 기술의 접합하여 의료 분야를 넘어서 환경, 물, 식품 등에 응용하면 큰 시장을 창출할 수 있을 것 같음

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
- 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
- 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용

* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
- 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
- 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
- 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사

* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉


| 성 명/소 속 | 김민곤 / 광주과학기술원 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 062-715-3330 | E-mail) | mkim@gist.ac.kr |


## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 나노바이오센서 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 현장 질병 진단, 식품/환경 안전 모니터링 등 다양한 분야에 응용성이 높은 바이오센서의 성능향상, 스마트 기능 부여를 위해 나노바이오센서(나노기술이 접목된 바이오센서)의 개발이 필요함 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 바이오-나노입자 접합체<br>◦ 생체분자 결합 및 반응을 측정할 수 있는 나노구조체 기반 신호변환 소자<br>◦ 생체시료의 전처리 및 바이오센싱이 가능한 미세유체 소자 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준<br>보유 국가 | 미국 |
| 최고기술<br>보유 기관* | 하버드 대학 |
| 연구개발단계<br>( 13년 기준) | □ 기초연구 □ 응용연구 ■ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기<br>( 13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발<br>소요시간 | 10 년 |
| 기술동향 | ◦ 하버드 대학 Lieber 그룹에서는 실리콘 나노와이어(SiNWs)를 이용하여 고감도, 실시간 전기적 바이오센서를 구현하였다. FET(field-effect transistor)형 바이오센서에서 source와 drain을 나노와이어로 연결하여 준 나노 FET 센서는 기존 FET형 센서와 비교하여 고감도의 표면 전하변화 측정 가능하였다.<br>◦ 노스웨스턴 대학 Van Duyne 연구팀은 소위 bead lithography 기술을 이용하여 일정한 금속 패턴을 만들었으며, 이것을 이용하여 알츠하이머 진단용 바이오센서 활용에 대한 연구결과를 발표하고 있다.<br>◦ 혈당센서를 포함하여 현재 바이오센서의 시장은 10조원 규모이다. 금 나노입자를 적용한 바이오센서와 같이 일부 분야에 나노기술이 접목되어 상용화 되어 있다.<br>◦ 바이오센서는 U-헬스케어의 핵심적인 부품이라 할 수 있다. 바이오센서의 시장은 home diagnostics 분야가 가장 큰 비중을 차지 할 것이며, 이를 충족하기 위해 간편한 측정 방법, 최소침습형 측정기술, 모바일 기술 연동 등이 중요할 것이다. 이를 통하여 U-헬스케어형 바이오센서 개발이 가능할 경우 기존 시장대비 10배 |

| | |
|---|---|
| | 이상의 시장 파급력이 있을 것으로 기대된다. 이와 같은 home diagnosis 바이오센서 기술에서 요구하는 바이오센싱 민감도 향상, 비표지 측정기술, 생체적합성, 비특이 결합의 최소화, 극소 크기 등을 만족하기 위하여 나노-바이오센서의 개발이 중요할 것으로 예상된다. |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>전자통신연구원, 광주과학기술원, 한국생명공학연구원, 서울대학교, KIST, KAIST 등</td></tr>
<tr><td>국내 기술수준</td><td>80 %<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 나노소자 및 나노입자 개발 기술력이 높은 반면 바이오 분자 적용 능력이 상대적으로 떨어지고 있음</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>□ 기초연구 □ 응용연구 ■ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>□ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
</table>

| 기술개발 소요시간 | 10 년 |
|---|---|
| 국내 기술동향 | ◦ 다수의 대학 및 연구원 등에서 나노-바이오센서 개발 연구가 활발히 진행되고 있으며, 초고감도 초소형 바이오센서가 구현되고 있다.<br>◦ 국내외적으로 다양한 나노-바이오센서 기술이 활발한 반면, 혈액 시료를 측정할 수 있는 시료 전처리 기술과의 결합이 취약한 상태이다. 시료 전처리와 나노-바이오센서의 결합이 가능하기 위해서는 마이크로플루이딕스, 페이퍼 칩 등의 활용이 필요하다. |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | □ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 진단산업 전반의 시장 활성화가 가능하며 의료비 절감, 맞춤형 신약개발이 활성화될 것으로 기대된다.

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 윤성호 / 국민대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-910-4763 | E-mail) | yoona@kookmin.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 약물전달 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 약물전달 기술은 최대의 치료효과를 내기 위해 약물의 전달 및 방출을 제어하는 기술을 총칭하는 것으로, 약물의 부작용을 줄이고 효능을 극대화시켜 필요한 양의 약물을 효과적으로 전달하는 기술임<br>◦ 이러한 약물 전달 기술은 ①약물 개량을 통한 전달제어 기술과 ②약물전달시스템으로 크게 구분하여 볼 수 있음<br>◦ 최근 제약기업들은 새로운 생물학적 제제 후보물질들을 체내에 전달하는 새로운 전략으로 활발히 도입하고 있으며 이로 인하여 약물전달 기술이 제약기업들에게 제품력 확대를 위한 가치 있는 연구개발 분야로 인식되고 있음<br>◦ 또한 신약 개발보다 적은 연구 자본으로 고부가가치 제품개발을 통한 상용화 모색이 필요함<br>◦ 약물전달 원천기반 기술을 확보할 경우, 개발된 신약의 적용 범위가 광범위하며 신약뿐만 아니라 화장품 및 식품 등의 타 분야에 적용 가능함 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| | ◦ 향후 약물전달 기술은 항암제, 단백질의약품, 유전자전달 조직공학의 핵심기술로 발전하여 그 응용성과 범용성이 광대한 기술로 개발이 필요함 |
| 기술내용 | ◦ 약물 개량 : 약물의 물리, 화학, 생물학적 성질을 개선함으로써 약물의 지속시간, 생체이용률을 개선시키는 기술<br>◦ 약물전달 시스템 기술 : BT-NT 융합을 통한 경구약물전달, 흡입형 약물전달, 경피 약물전달, 안구 내 약물전달, 비강흡입형 약물전달, 약물전달용 임플란트등의 다양한 전달 시스템을 사용하여 약물 투여 방법을 개선하는 기술 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국 |
| 최고기술 보유 기관* | ALZA Corporation(약물전달 시스템 기술 기반업체) |
| 연구개발단계 ( 13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 ( 13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 7 년 |
| 기술동향 | ◦ 약물 개량 기술 : 란스톤은 proton pump inhibitor인 lansoprazole을 함유하는 약품으로 최근 fluorine원자 치환으로 지용성을 높여 PPI 중 생체이용률이 80% 이상으로 가장 높고 작용개시 속도를 향상시켜 증상을 신속하게 소실시킨다는 연구가 발표되었음. 이와 같이 최근 기존 약물의 C-H 그룹을 C-F로 변형하여 |

| | |
|---|---|
| | 약물의 체내흡수를 획기적으로 향상하여 약물전달을 최고화하는 기술개발이 진행되고 있음. 유기합성을 통하여 구현될 수 있으나 매우 복잡한 반응으로 최근 NADH-dependent Cytochrome P450과 같은 효소를 이용하여 선택도를 향상하는 연구개발이 추진되고 있음<br>◦ 약물 전달시스템의 개발 : 대상 약물들이 저분자 합성화합물로부터 펩타이드, 치료용 DNA, siRNA/microRNA, aptamer, 단백질, 항체, 바이러스, 세포, 세포의 구성미세요소와 같은 바이오의약품들을 위한 맞춤형 전달시스템 기술 개발이 추진되고 있음 |

## 4. 국내 기술수준

| 국내 최고기술 보유 기관* | 바이오신약장기사업단(약물전달시스템기반) |
|---|---|
| 국내 기술수준 | 50 % |

〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉

| | | | |
|---|---|---|---|
| ① 나노바이오센서 | 65% | ⑦ 휴먼인터페이스 | 75% |
| ② 약물전달 | 60% | ⑧ 나노일렉트로닉스 | 80% |
| ③ 바이오센서칩 | 70% | ⑨ 나노포토닉스 | 70% |
| ④ 바이오인포매틱스 | 80% | ⑩ 나노센서/MEMS | 70% |
| ⑤ 바이오컴퓨터 | 65% | ⑪ 양자컴퓨터 | 50% |
| ⑥ 생체인식/보호 | 80% | | |

| | |
|---|---|
| 평가근거 | ◦ 약물 개량 기술 : 40%<br>◦ 약물 전달 시스템 기술 : 60% |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능 |

| | |
|---|---|
| | 성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | **9 년** |
| **국내 기술동향** | ◦ 국내 대기업들이 바이오 의약사업에 투자를 확대하면서 국내 바이오산업 각광을 받고 있으나 바이오씨밀러에 편중된 발전으로 효과적인 약물전달을 위한 약물개량에 관한 연구가 미진함<br>◦ 약물전달 시스템 연구 분야는 수원대, 경희대, 한양대, 고려대, 포항공대, 서울대 등 국내의 다수 연구진에 의하여 NT-BT융합을 기반으로 활발하게 추진되어 왔음.<br>– 대표적으로 나노 입자 안에 있는 공기구멍에 항암제를 넣고 이 나노입자 겉면을 코팅할 수 있는 나노 껍질을 만든 후 천연 미네랄 인산칼슘으로 만든 이 나노 껍질은 약물이 암세포에 도달할 때까지 밖으로 새지 않도록 막아주는 시스템을 개발하였으며 이러한 전달체는 특히 암세포에 도달하면 암세포의 낮은 pH 수치 때문에 자연스럽게 분해되는 특성이 있어, 필요한 곳에서만 정확히 약물을 방출하는 기술을 중심으로 개발되었음 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| **□ ① 해당기술 전문인력 양성** | **□ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등)** |
| **□ ② 기술관련 정보·인프라 제공** | **■ ⑥ 기초원천 연구 확대** |
| **□ ③ 국제협력 활성화** | **□ ⑦ 민간투자 유치** |
| **■ ④ 산학연 협력** | **□ ⑧ 기타( )** |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 약물전달시스템(DDS) 분야의 글로벌 마켓 매출액이 오는 2017년에 이르면 1,984억 달러 규모에 도달할 것이라는 전망으로 성공적 약물전달 시스템 개발을 통해 대한민국의 먹거리 산업을 창출할 수 있을 뿐만 아니라, 약품의 가격 인하에 기여하여 국민의 의료비용 절감을 통한 국민복지 실현이 가능함

◦ 약물전달시스템은 향후 식품과 화장품산업에 응용 적용될 수 있는 기술임

◦ Fluorine Chemistry에 의한 약물개량 기술이 성공적으로 개발된다면 기존에 많이 상용화되어 있는 약품의 변형을 통하여 신약에 관한 원천기술을 확보할 수 있으며 바이오시밀러가 아닌 방법으로 저가의 신약을 확보할 수 있어 약품의 가격인하에 기여할 수 있음

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 한세광 / 포항공과대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 054-279-5387 | E-mail) | skhanb@postech.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 약물전달 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 약물전달시스템(drug delivery system, DDS)은 기존의 약물이나 새로운 바이오의약품의 효능을 극대화하고 부작용을 최소화하여 필요한 양의 약물을 질환부위에 효과적으로 전달함으로써 환자의 편의성을 향상시키기 위해 필요함. 특히 최근에 세계적으로 주목받고 있는 단백질 의약품, 핵산의약품, 세포 치료제 등의 바이오의약품의 경우 체내 안정성이 낮아 투여 빈도가 높으며, 질환부위로의 전달 효율이 낮아 약물전달시스템 기술 개발의 필요성이 강조되고 있음 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 최근에 BT, IT, NT 융합기술을 이용한 바이오의약품 전달시스템 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있음. 약물전달시스템은 크게 아래와 같이 5가지 기술로 분류할 수 있음<br>① Targeted DDS : 약물을 질환부위로만 선택적으로 전달하여 부작용을 방지하고 최소한의 약물로 최대한의 약효가 나타나도록 하는 기술 |

| | |
|---|---|
| | ② Drug – polymer conjugate : 약물을 고분자에 접합하여 체내 잔류 시간을 늘려 약물의 투여 횟수를 줄임으로써 환자의 편의성을 극대화하는 기술<br>③ Sustained drug depot system : 고분자 나노입자 등에 약물을 충진하여 체내에서 약물이 서서히 방출되도록 하여 환자의 편의성을 극대화하는 기술<br>④ Poor soluble drug – polymer conjugate : 용해도가 낮은 약물을 친수성 고분자에 접합시켜 약물의 흡수성을 높임으로써 약효를 극대화 하는 기술<br>⑤ BT, IT, NT 융합기술 기반 약물전달 디바이스 시스템 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| **최고기술수준 보유 국가** | **미국** |
| **최고기술 보유 기관*** | Massachusetts Institute of Technology (MIT), Langer Lab. |
| **연구개발단계 (13년 기준)** | **□ 기초연구 □ 응용연구 ■ 개발연구**<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| **기술수명주기 (13년 기준)** | **□ 도입기 □ 성장기 ■ 성숙기 □ 쇠퇴기**<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | **5 년** |
| **기술동향** | ◦ 약물전달시스템의 2008년 세계시장규모는 약 1,066억 달러 정도로 선진 제약기업 R&D 예산의 약 15% 정도가 DDS 관련 연구에 투자되고 있음.<br>– 특히 세계 제약 시장의 주도권이 기존의 화학의약에서 단백질 의약품, 핵산 |

| | |
|---|---|
| | 의약품, 세포 치료제 등의 고부가가치 바이오의약품으로 넘어감에 따라 다국적 제약회사들을 중심으로 난용성 화학의약의 가용성 제형 개발 연구보다는 바이오의약품의 효능 극대화 및 환자 편의성 증대를 위한 약물전달시스템 개발 연구가 활발히 진행되고 있음.<br>– 단백질, 핵산, 세포 등을 이용한 바이오의약품은 경구제형으로의 개발이 어려워 대부분 주사제형으로 개발되고 있으나 체내 반감기가 짧고 특정 질환부위로의 전달이 어려워 효능을 극대화하고 환자 편의성을 높이기 위한 약물전달시스템 개발이 특히 중요함<br>– 최근에는 유전자 재조합 기술을 이용한 단백질을 사용하였던 1세대 바이오의약품에서, 아미노산 배열 변화 및 PEGylation을 이용하여 치료효능을 향상시킨 2세대 바이오의약품을 거쳐, NT, BT, IT의 융합기술을 적용한 nanomedicine을 개발하여 약효를 극대화하고 환자의 편의성을 증대시키기 위한 3세대 바이오의약품 개발 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있음 |

## 4. 국내 기술수준

| | |
|---|---|
| 국내 최고기술 보유 기관* | **한국과학기술연구원 (KIST)** |
| 국내 기술수준 | **75 %**<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ① 나노바이오센서 | 65% | ⑦ 휴먼인터페이스 | 75% |
| ② 약물전달 | 60% | ⑧ 나노일렉트로닉스 | 80% |
| ③ 바이오센서칩 | 70% | ⑨ 나노포토닉스 | 70% |
| ④ 바이오인포매틱스 | 80% | ⑩ 나노센서/MEMS | 70% |
| ⑤ 바이오컴퓨터 | 65% | ⑪ 양자컴퓨터 | 50% |
| ⑥ 생체인식/보호 | 80% | | |

| | |
|---|---|
| 평가근거 | ◦ 국내 약물전달시스템은 2007년 기준 세계 7위 수준의 우수한 기술력을 확보하고 있으며 선진국가의 기술격차가 작은 편임. 또한 협동연구 체제가 구축되어 국제적으로 관련 전문연구자의 인프라가 비교적 두텁게 확보되어있음 |
| 연구개발단계 ( 13년 기준) | □ 기초연구 □ 응용연구 ■ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |

| | |
|---|---|
| 기술수명주기<br>( 13년 기준) | □ 도입기 □ 성장기 ■ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발<br>소요시간 | 5 년 |
| 국내 기술동향 | ◦ 국내 약물전달시스템 시장은 2005년 약 2조원에서 2015년 약 10조원 규모로 성장할 것으로 전망됨<br>◦ 국내의 제약회사를 중심으로 1990년대 초반부터 DDS의 중요성을 인식하여 연구개발에 본격적으로 추진하였으나, 상당부분이 난용성 화학의약의 가용화 기술개발에 집중되었음<br>– 최근에는 벤처기업, 대형제약회사, 대학 간의 공동연구를 바탕으로 기반 기술 위주로 바이오의약품에 대한 약물전달시스템 개발 연구가 활발히 진행되고 있음<br>– 바이오의약품 전달 기술개발은 주로 지속성 단백질 전달시스템이나 유전자 치료제 전달시스템을 중심으로 개발되고 있으며 일부 제품들이 임상시험에 진입하였음<br>– 그러나 일반 의약품에 비하여 비용부담이 크고 제품으로의 성과를 내는 것이 어려워 경쟁력이 미미한 수준임. 따라서 다양한 약물전달시스템 기술을 접목한 글로벌 바이오신약을 개발하여 세계시장 진출을 목표로 연구를 추진할 필요가 있음 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건우선순위 선택

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | □ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 최근의 약물전달시스템 개발연구는 다학제간 융합연구를 바탕으로 하고 있기 때문에 학문적, 기술적, 산업적 파급효과가 상당히 클 것으로 기대됨

◦ 특히, 체내 반감기가 짧고 전달이 어려운 단백질, 핵산, 세포 치료제 등의 바이오의약품 맞춤형 약물전달시스템을 성공적으로 개발하게 된다면 초기 단계에 있는 세계 시장에 조기 진입할 수 있을 것으로 판단됨. 이러한 약물전달시스템을 기반으로 하는 글로벌 의약품 개발을 통하여 국제적 수요창출, 국내 제약 산업의 경쟁력 강화 및 세계적 제약회사로의 성장에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대됨

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 정상택 / 국민대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-910-5769 | E-mail) | sjung@kookmin.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 약물전달 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 약물전달 기술은 의약품의 효능 극대화와 부작용 최소화를 목표로 한 약물 설계, 제형 및 투여 방법 최적화 기술임<br>◦ 고령화 사회 진입에 따라 효과적인 질병 진단과 치료에 대한 수요가 급속도로 증가하고 있으나 약물의 투여로 인한 부작용과 불편함이 질병 치료에 제한 요소로 작용하고 있음<br>◦ 생활수준 향상과 함께 복지에 대한 요구가 확산되고 있는 시점에서, 고가의 약물 효능을 유지 혹은 향상시키면서 투여 용량과 빈도를 줄이고, 편리하게 약물 투여가 가능하게 하는 효과적인 약물전달 시스템 개발은 환자의 신체적/정신적 고통과 불편함을 경감시킴과 동시에 의료비용 절감을 통한 국민복지 실현에 필수적임 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 약물 개량 기술 : 약물의 물리, 화학, 생물학적 성질을 개선함으로써 약물의 지속시간, 생체이용률을 개선시키는 기술 |

| | |
|---|---|
| | ◦ 표적 인자 및 생물 소재 활용 기술 : 약물의 독성과 부작용 감소를 위해 약물 작용 위치에 특이적인 분자 표적을 발굴하고, 작용부위에 약물을 효과적으로 전달하고 약물 방출속도 조절이 가능한 생물 소재를 발굴하고 활용하는 기술<br>◦ 약물 전달 디바이스 기술 : BT-NT 융합을 통한 다양한 디바이스를 사용하여 약물 투여 방법을 개선하는 기술 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국 |
| 최고기술 보유 기관* | Massachusetts Institute of Technology |
| 연구개발단계 ( 13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 ( 13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 5 년 |
| 기술동향 | ① 약물 개량 기술 :<br>◦ 10년 전의 Erythropoietin, Interferon 등의 Cytokine (면역신호전달 단백질)류의 의약품들 위주에서 최근에는 질병 작용인자에 대한 특이성과 혈중 반감기 (반감기 약 3주)면에서 탁월한 치료용 항체, 항체 Fc 융합 단백질 의약품들이 급속도로 성장하고 있음 |

| | |
|---|---|
| | ◦ 전세계 매출액 기준 가장 큰 10대 바이오 의약품들 중 6개가 치료용 항체 (infliximba, bevacizumab, rituximab, adalimumab, trastuzumab, ranibizumab)이고 2010년 기준 가장 매출액이 높은 바이오 의약품이 항체 Fc-융합 단백질인 etanercept (Enbrel□)로 단일 품목 매출액이 7.2 billion $에 달함<br>◦ 의약용 단백질에 polyethylene glycol (PEG)와 같은 생체 친화적 고분자로 수식함으로써 단백질 분해 효소에 의한 분해를 줄이고, 분자량 증가를 통한 신장에서 배설 감소로 혈중 유지 시간을 증가시키는 제품들이 US FDA 허가를 얻어 시판중임.<br>◦ 치료용 단백질에 알부민이나 인간항체 Fc 영역을 융합하여 발현함으로써 Fc 수용체에 의한 세포 재순환 기작을 이용하고 혈중 반감기와 생체 이용률을 향상된 다양한 치료용 단백질들이 개발되고 있고, 항체 Fc 공학을 이용한 혈중 안정성과 생체 이용률을 더욱 더 향상시키기 위한 노력들이 미국 거대 제약회사들 중심으로 활발하게 진행되고 있음<br>◦ 기존의 저분자 화학 합성의약품의 약동학적 성질, 용해도, 생체 이용률을 향상시키기 위해 다양한 작용기 (functional group)들로 약물 유도체 화합물들을 합성하거나 수용성 고분자 접합을 이용해 용해도를 높이는 연구들도 활발히 수행되고 있음<br>◦ 하나의 예로 전세계적으로 가장 많이 시판 되는 상위 10개 의약품 중 Atovastatin (Lipitor□; Pfizer), Rosuvastatin (Crestor□; AstraZeneca), Fluticasone (Advair□; GlaxoSmithKline)들이 불소 (fluorine) 원자를 포함하고 있고 불산화 (fluorination)을 할 경우 많은 경우 지질친화도, 극성, pKa 등의 물리화학적 성질들과 생체 이용률들을 개선할 수 있음<br>◦ 위치 공간 특이적으로 작용기로 치환된 합성의약품 유도체 약물 제조를 위해서 화학촉매나 효소를 활용한 합성방법들에 대한 다양한 연구들이 수행되고 있음<br><br>② 표적 인자 및 생물 소재 활용 기술 :<br>◦ 암세포나 감염된 세포와 같이 문제가 있는 특정 세포나 특정 부위에 약물을 분포시킴으로써 효능을 극대화 시키고 부작용을 최소화 하는 기술로 다양한 표적인자, 생물 적합성 고분자, 나노재료등이 다양하게 이용되고 있음<br>◦ 약물에 암세포 항원을 특이적으로 인지하여 높은 친화도로 결합이 가능한 항체, 펩타이드, 압타머를 암세포 사멸인자로 사용될 수 있는 약물 (저분자 합성 치료제, 치료용 단백질, MRI 조영제 등)에 접합 시켜 약물이 원하는 작용 부위로 이동시켜 진단 및 치료효과를 극대화시키는 연구들이 활발히 수행되고 있음<br>◦ 특정 물리적 조건 (온도, pH)에 반응하는 다양한 생체 적합 고분자재료들을 발굴하고 활용하는 연구들을 통해 약물을 특정 조건, 특정 위치에서 선택적으로 방출하는 시스템들이 개발되고 있음<br>◦ 하이드로젤 (Hydrogel)에 의한 서방형 제형으로 dextran이나 hyaluronic acid 에 가교제로 하이드로젤을 형성하고 단백질을 충진하여 약물을 서서히 방출하는 서방형 제제들이 개발되고 있음<br>◦ 넓은 표면적을 가진 나노 입자의 경우 많은 양의 약물을 효과적으로 전달하기 위한 수단으로 이용 가능하고, 약물전달체로 nanosphere, nanoparticles, nanotube 등이 다양하게 이용되고 있음 |

| | |
|---|---|
| | ◦ 서방형 항암제를 위해 hydroxyapatite를 항암제 (platinum complex)와 혼합한 인공뼈 치환체가 개발되었음<br><br>③ 약물 전달 디바이스 기술 :<br>◦ 환자들에게 통증을 느끼게 하지 않는 1 $\mu$ m 정도 크기의 미세 바늘을 통해 생성된 피부에 구멍을 통하여 약물을 전달시키는 마이크로니들을 이용한 약물 전달 연구가 활발히 수행되고 있음. 마이크로니들로 피부에 구멍을 낸 후 약물이 피부를 통해 스며들게 하거나 약물이 코팅된 마이크로니들을 피부에 삽입하여 약물을 체내에서 용해시키거나 생체 적합성 고분자와 약물을 융합함으로써 제조된 마이크로니들을 피부 내 삽입하여 용해시키는 방법들이 이용되고 있음<br>◦ 미세량의 약물을 저장할 수 있고 외부로부터 무선 전기신호를 수신할 수 있는 칩을 체내에 이식하여 인슐린과 등의 의약품을 제어 방출 할 수 있는 생체내 칩 이식을 통한 약물 전달 시스템이 개발되었음<br>◦ 치료용 단백질 등의 의약품 분자 크기와 유사한 pore size를 갖는 나노사이즈막을 이용하여 바이오 의약품을 장기간 방출할 수 있는 디바이스가 개발되었음. Pore size 크기를 조절함으로써 방출 속도 제어가 가능함 |

## 4. 국내 기술수준

| | |
|---|---|
| **국내 최고기술 보유 기관*** | – |
| **국내 기술수준** | **60 %**<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ① 나노바이오센서 | 65% | ⑦ 휴먼인터페이스 | 75% |
| ② 약물전달 | 60% | ⑧ 나노일렉트로닉스 | 80% |
| ③ 바이오센서칩 | 70% | ⑨ 나노포토닉스 | 70% |
| ④ 바이오인포매틱스 | 80% | ⑩ 나노센서/MEMS | 70% |
| ⑤ 바이오컴퓨터 | 65% | ⑪ 양자컴퓨터 | 50% |
| ⑥ 생체인식/보호 | 80% | | |

| | |
|---|---|
| **평가근거** | ◦ 약물 개량 기술 : 40%,<br>◦ 표적 인자 및 생물 소재 활용 기술 : 80%,<br>◦ 약물 전달 디바이스 기술 : 60% |
| **연구개발단계 ( 13년 기준)** | □ **기초연구** ■ **응용연구** □ **개발연구**<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |

| | |
|---|---|
| 기술수명주기<br>( 13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br><br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발<br>소요시간 | 7 년 |
| 국내 기술동향 | ◦ 세계적 생산규모의 동물세포 배양을 통한 치료용 항체 및 단백질 의약품 제조 시설을 구축한 셀트리온과 최근에 삼성바이오로직스, SK Chemical, 한화 Chemical 등의 대기업들이 바이오의약사업에 투자를 확대하면서 국내 바이오산업이 진일보한 상태이고 국내 제약산업이 성장 동력을 얻고 있음<br>◦ 선진 제약회사들과 연구기관들은 약물전달을 개선함으로써 효능을 향상시키고 부작용을 줄이는 약물 개량(바이오베터 의약품 개발) 연구를 활발히 진행하고 있지만, 국내 의약산업은 선진 거대 제약회사에서 개발되어 특허 만료시점이 임박한 의약품을 생산하는 바이오씨밀러 단백질 의약품이나 동일 활성 성분(active ingredient) 저분자 합성 복제 의약품 제조에 초점이 맞추어져 있고, 효과적인 약물전달을 위한 약물개량 연구들이 일부 수행되고 있으나 선진국에 비해 상당히 미진한 상태임. 기초 원천 연구 확대를 통한 연구 활성화와 강력한 제도적 지원이 절실함<br>◦ 국가차원의 지원으로 표적인자 및 생물 소재 활용 기술에 대한 연구 개발이 활발하게 진행되고 있고 선진국의 기술에 상당히 근접해 있다고 사료됨. 삼양사, 한미약품, 종근당 등의 국내 생명공학 연구 기업과 제약회사들, KIST, 화학연구원 등에서 국가연구기관들, 대학 연구실들에서 표적 지향 약물 전달 기술, 다양한 나노입자 제조기술, 미세캡슐화, 하이드로젤, 리포좀 등의 약물 운반체 제조 및 활용기술들이 개발되고 있고 선진국에 기술이전 사례들이 보고되고 있음. 다양한 표적인자 및 생물 소재 활용 기술들이 제품 개발로 이어질 수 있도록 실용화 지원책이 필요하다고 사료됨<br>◦ 약물전달 디바이스 연구 분야는 국가 연구사업 지원으로 국내 벤쳐회사들 중심으로 연구가 진행되고 있음. 선진국에서도 약물 전달 디바이스 분야는 초기 연구 단계이므로 국내와 선진국간의 기술적 차이가 아주 크지는 않으며 원천연구 확대가 필요한 분야라고 사료됨 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| ■ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 고령화 사회 진입으로 의료수요가 급속도로 증가하고 있는 시점에서 효과적인 약물전달 시스템 개발 연구는 치료 효능을 개선하고 약물 투여로 인한 부작용을 감소함으로써 치료 효과를 극대화 할 수 있고, 투여방법 개선을 통해 환자의 육체적, 정신적 고통을 줄임으로써 국민보건에 기여할 것임

◦ 효과적 약물전달 시스템 개발을 통해 고가의 약물 투여 용량과 투여 횟수를 줄임으로써 의료비용을 획기적으로 절감하고, 경제적인 치료로 국민복지 실현에 기여

◦ 약물전달 기술은 물리, 화학, 생물, 화학공학, 생물공학, 재료공학, 약학, 의학, 수의학 등의 협업연구가 필요하며 다양한 분야에 높은 응용성을 보임. 따라서 다양한 분야에 학문적 파급효과가 아주 크고 인력 양성면에서도 탁월함

◦ 약리 작용 메커니즘 규명, 타깃발굴, 타깃검증, 전임상, 임상, 허가로 이어지는 신약 개발 프로세스에 비해 약물 전달 기술은 개발 시간이 짧은 편이며 높은 부가가치 창출이 가능한 미래 성장동력으로 국가 경쟁력 향상에 크게 기여할 것임

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 강지윤 / 한국과학기술연구원 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-958-6747 | E-mail) | jykang@kist.re.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 바이오센서칩 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 의학의 발달로 수명이 연장되고 사회가 저출산 고령화됨에 따라 건강한 노년을 보내기 위한 사회적 요구가 증대되고 있고 이로 인한 노령인구의 의료비 지출은 의료보험에 있어 상당한 문제가 되고 있다. 따라서 현대 의료의 개념은 치료보다는 예방의학으로 개념을 변화하여 의료비를 절감하고 치료의 효과도 높일 수 있도록 발전되고 있다. 따라서 건강상태를 저가로 모니터링하고, 질병의 유무를 정확하면서도 초기에 진단할 수 있는 조기진단 기술개발이 중요해 지고 있으며, 생체시료를 분석하여 생체에 대한 정보를 알아내는 바이오센서칩 기술은 그러한 기술을 개발하는데 있어 더욱 역할이 커지고 있다. |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 바이오센서칩 기술은 생체정보를 전기적, 광학적, 기계적 및 기타 신호로 검출하는 센서로 생체샘플을 처리하고 가공할 수 있는 유체제어기술, 미세전자기계시스템기술이 칩 위에 결합되어 이루어지는 기술이다. |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국 |
| 최고기술 보유 기관* | MIT, Harvard University |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 5 년 |
| 기술동향 | ◦ 바이오센서 기술은 광학적, 전기적, 기계적 방법 등을 이용하여 감도가 점점 향상되고 있어 조기진단을 하기 위한 기술이 진보되고 있으나 전체적인 기술이 융합되어 시장에 나올 수 있는 바이오센서 칩으로 개발은 더디게 진행되고 있다. 기술은 빠르게 발전하고 있으나 실제 시장에 필요로 하는 제품으로 적용하기에는 아직 시장이 크게 형성되어 있지 못하고 초기에 개발하려고 했던 point-of-care 시스템 기술이 기존 진단장비와 의료보험 혹은 법제 등에 막혀 그 실효성을 잃고 있고, 실제 존재하지 않는 시장을 가상하여 기술을 개발하다 보니 실제 시장을 창출하고 있지 못하기 때문이다.<br>◦ 그럼에도 불구하고 꾸준히 벤쳐기업 수가 증가하고 있고 BioSite 등과 같은 제품들이 나오면서 그 벽을 서서히 허물어 가고 있고 다양한 형태로 기술개발이 가능한 랩온어칩 혹은 미세유체기술이 더욱 다양하게 발전하고 있어 곧 이러한 기술이 조기진단 뿐만 아니라 랩오토메이션 등의 시장을 창출하여 시장이 급격하게 성장할 것으로 예측된다. |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>서울대학교, KAIST, 삼성종합기술원</td></tr>
<tr><td>국내 기술수준</td><td>85 %<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 발표논문의 양과 질에 있어 세계 최고수준의 논문이 발간되고 있으며, 바이오센서 기술의 경우 세계최고 수준의 민감도를 보이는 기술들을 보유하고 있는 기관들이 상당수 있음</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>□ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>8 년</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td>◦ 국제적으로 아직 시장이 성숙되지 않아 국내 시장도 아직 작은 편이나 잠재적 성장가능성이 워낙 크기 때문에 대기업 및 중소기업에서 많은 연구를 하고 있는</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| | 중이다. 그러나 아직 뛰어난 몇몇의 벤처기업을 제외하고는 아직 상업화에 성공한 사례가 많지 않은 상황이다. 그러나 삼성, LG 등 대기업에서도 적극적으로 기술을 개발하고 있고 정부에서도 상당히 많은 연구 사업에 투자하고 있어 국제적으로 두각을 나타내는 기술을 상당수 보유하고 있는 학교 및 연구소들이 많아지고 있다. 이처럼 선진국에 비해 기술적으로 우위를 점하는 부분들이 많아지고 있어 향후 이 부분에 경쟁력의 우위를 확보할 수 있을 것으로 예상된다. |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | □ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 바이오센서칩은 다양한 질병에 대한 신속하고 정확하게 많은 양을 진단할 수 있는 기술로서 조기진단기, 대용량 생체분석 기술, 생체건강 모니터링 기술 등의 응용분야가 있으며, 더 나아가 초고속 유전자 분석기술, 세포분석 기술 등에도 응용이 가능하여 질병진단 뿐만 아니라 생화학 및 의학연구에 있어서도 매우 다양한 제품군을 형성할 수 있을 것으로 예상된다.

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 박제균 / KAIST | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 042-350-4315 | E-mail) | jekyun@kaist.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 바이오센서칩 - 랩온어칩 기술을 중심으로 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 바이오센서 및 칩 기술은 사용자에 대한 편의성을 증진시키고 기존 분석기술과 차별성을 갖는 소형, 저가의 검출기술을 겸비하여 다양한 센서 및 시료 전처리 기술이 집적화시킨 형태로 발전되고 있다. 이러한 기술을 상용화하기 위해서는 수 나노리터에 해당하는 적은 양의 생체/환경 시료를 단위 소자 상에서 다루기 위한 미세유체공학(micro/nanofluidics) 이 주요한 요소기술로서 인식되고 있다. 따라서 미세유체공학의 새로운 첨단 융합기술을 기반으로 최근 발전하고 있는 생체모방 센서, 생물 및 의학 연구용 미세유체 칩, 조직/장기 기능을 구현한 랩온어칩 등의 미세종합분석시스템(micro total analysis system, MicroTAS) 또는 랩온어칩 기반, 핵심기술의 연구개발이 필요하다. |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 랩온어칩 기술은 MicroTAS 개념과 기능을 작은 칩(chip) 상에서 구현한 것이다. 시료채취 기술, 랩온어칩 재료 및 제작기술, 센서 및 검출기술, 칩 집적화 기술, 랩온어칩 바이오 응용기술 등 다양한 융합요인이 복합되어 이루어져야 한다. |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국 |
| 최고기술 보유 기관* | Harvard University, Fludigm, Agilent 등 |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 5 년 |
| 기술동향 | ◦ 제약 기업을 고객으로 다양한 생리활성물질 스크리닝 용 랩온어칩 플랫폼 기술이 개발되고 있음<br>◦ 진단 분야의 경우 주로 DNA분석 시스템이 많이 연구개발 되고 있으나 최근 항체 등의 단백질을 활용한 면역 분석 시스템도 개발이 진행되고 있음<br>◦ 랩온어칩 재료기술 측면에서 유리, 플라스틱, 종이 등을 활용한 다양한 제품이 연구개발 되고 있음<br>◦ 나노기술과 광학기술이 겸비된 랩온온칩 측정 및 검출기술이 개발되고 있음<br>◦ 인체의 장기 기능을 모사한 장기온어칩 기술이 개발되고 있음 |

## 4. 국내 기술수준

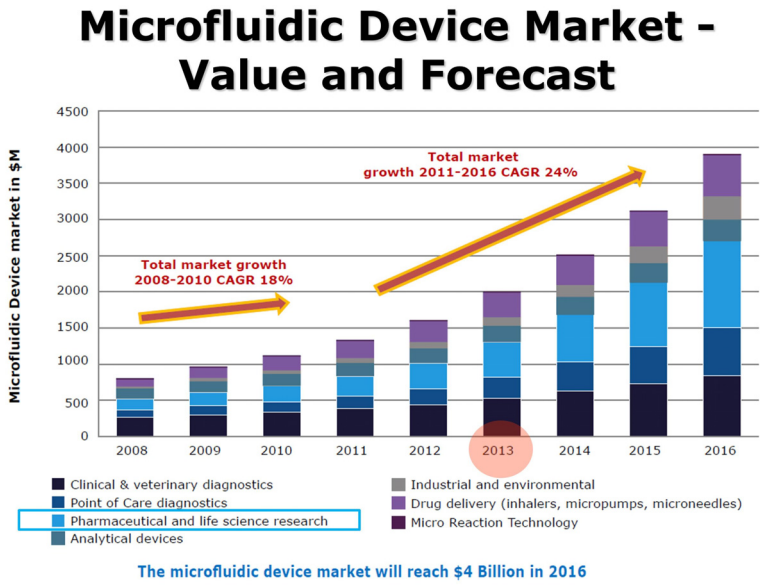
<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>KAIST, 서울대학교, 삼성종합기술원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">국내 기술수준</td><td>80 %</td></tr>
<tr><td>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 국제 MicroTAS 학회에 발표되는 한국인의 논문을 기준으로 양적(발표논문 수), 질적 수준(구두발표) 반영</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>□ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>9 년</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td>◦ 다양한 기술과 경험을 가진 신진 우수인력이 지속적으로 충원되고 있는 반면 정부의 투자는 미미한 실정임. 미국 및 유럽 시장 대비 대학 및 연구소가 보유한 우수 기술의 산업화가 상대적으로 미흡한 결과를 보여주고 있음. 관련 개발 기술의 내수시장 확보 및 기술이전 활성화를 위한 산학연의 노력과 함께 상용화에 필요한 법제도 절차의 단순화와 정부의 지속적인 지원이 절실히 요구되는 실정임</td></tr>
</table>

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | □ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 바이오센서칩 (랩온어칩) 기술의 경우 개발 상용화 시 임상의학 및 수의학 분야, 자가진단분야, 제약산업 및 연구용 시장, 분석기기, 환경분야, 약물전달기기 분야, 마이크로반응기 분야 등 관련분야 및 산업에 파급되는 효과가 매우 클 것으로 예측되고 있음




*(Ref. Source: Emerging Markets for Microfl uidic Applications report, Yole Développement, 2011)*

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 이정훈 / 광운대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-940-8372 | E-mail) | jhlee@kw.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 바이오센서칩 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 바이오센서칩은 DNA, 단백질, 세포, 신경 등의 생체분자를 분석함으로써 질병의 발현 및 진행정도를 정확하게 파악할 수 있도록 함. 이러한 진단칩의 개발을 통해 질병 및 암등의 검진이 가능함. 또한 고감도 생체 분자 감지 기술 개발을 통해 생체 대사의 규명이 가능하면 새로운 타겟 및 신약 발굴이 가능하게 되어 이를 위한 센서 기술 개발이 절실히 요구됨. 고령화 사회에서의 빠른 진단 및 처치, 신약개발을 위해 빠르고 정확하며 고속 병렬 처리를 위한 바이오센서의 개발이 시급함 |
|---|---|
| 기술내용 | 1. 광학센서 : 생체정보를 광학적 신호로 검출하는 센서<br>2. 마이크로나노기반 전기기계센서 : 전기기계 변환 기술을 이용하여 생체신호를 기계적-전기적 방식으로 변환 및 검출하는 센서<br>3. 마이크로 어레이 : DNA, 단백질, 세포, 신경 등과 같은 생체 물질을 어레이화 하며 광학적인 방법을 통해 분석하는 분석법 |

| | |
|---|---|
| | 4. 전기화학 센서 : 생체 정보를 전기적 신호로 검출하는 센서<br>◦ 바이오센서칩은 위와 같이 크게 4가지의 범위로 나눌 수 있으며 민감도 향상, 빠른 감지, 정확성, 병렬처리를 통한 빠른 진단 등을 목적으로 그 기술이 개발 중에 있음 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국 |
| 최고기술 보유 기관* | 정부(NIH) 주도로 각 연구기관 및 대학, 병원이 IP확보<br>마이크로어레이 및 분석기 기술은 agilent사 등의 다국적 기업이 선두 기관임 |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 5～10 년 |
| 기술동향 | ◦ 바이오칩 시장의 특성은 기존의 우리나라의 성장 동력이었던 반도체 및 디스플레이 산업과는 다름. 반도체 및 디스플레이 시장은 동일한 제품의 대량생산 및 규모의 경제에 의한 경쟁력이 중요하지만 바이오칩 시장은 다양한 응용분야에 따른 맞춤형 기술 개발이 주를 이루며 상대적으로 긴 연구기간과 투자가 병행되는 시장임<br>◦ 에이질런트사는 각종 바이오칩 및 분석 시스템 시장에서 측정기로서 그 영역을 확보한 상태이며 분석기와 관련되어 BT가 강세를 보이고 있는 미국 중심의 다국적 |

| | |
|---|---|
| | 회사들이 시장을 선점하고 있음. 특히 제약 및 바이오 관련 회사와의 기술 연계 및 이에 의한 제품개발의 특성을 보이고 있음 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>삼성기술원, LG기술원, 대학 및 연구소 (KIST, ETRI등)<br>혈당센서 분야 (아이센스)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">국내 기술수준</td><td>70 %</td></tr>
<tr><td>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 1차 기술수준과 비교하여 연구적인 측면의 국내 기술 수준이 일부 향상되었음. 하지만 여전히 기술의 제품화 및 연구수준에 있어서 선도자(first mover)가 아닌 빠른 추격자(fast follower) 수준으로 파악됨</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>□ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>5～7 년</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| 국내 기술동향 | ◦ 대학 및 연구소를 중심으로 각종 연구 사업이 진행되어 다양한 바이오센서에 대한 연구가 진행되었음. 하지만 추가적인 연구의 진행 및 원천 기술에 대한 연구를 통한 IP의 확보가 요구됨. 또한 기업을 통한 상품화가 미진함 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 바이오칩기술은 향후 새로운 기술혁명을 주도할 수 있는 분야로 사회전반에 파급효과가 크고, 향후 국가의 성장 동력으로 그 연구가 절실히 필요한 분야임

◦ 특히 IT-BT-NT 등의 융합 기술을 통한 바이오칩의 개발은 시장의 진입 장벽이 존재하나 일단 시장에 진입을 하게 되면 first mover로서 성장이 가능한 영역임

◦ 이제까지 대한민국의 성장 동력이었던 반도체 및 디스플레이 등 IT산업의 한계 도달 및 IT강국 기술국으로서 새로운 성장 모멘텀이 필요하고 고령화, Well-being/건강, 안전한 삶에 대한 기대감으로 의해 바이오 및 바이오센서칩에 대한 시장은 급격히 증가할 것으로 예상됨

◦ 진단칩의 개발을 통해 DNA, 단백질, 세포, 신경 수준에서의 생체 분자의 감지는 빠른 진단 및 처치를 가능하게 할 뿐만 아니라 새로운 생체 대사 규명이 가능하도록 하여 새로운 질병의 진단 및 신약발굴이 가능할 것으로 예상됨

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 김영주 / 한국생명공학연구원 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 042-879-8118 | E-mail) | yjkim8@kribb.re.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 바이오인포매틱스 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 현재 3,000 종 이상의 생명체가 시퀀싱이 이미 끝났거나 현재 진행 중이며, 단백질의 구조 정보는 신약의 합성과 함께 매우 중요한 정보가 되었다. 방대한 생물학적 데이터가 집적되어 컴퓨터를 이용한 데이터베이스화, 통계분석, 알고리즘 개발, 소프트웨어 개발이 절실히 요구된다. |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 현대 생물학 및 의학의 필수 기술을 포함하고 있으며, 그 알고리즘과 분석법이 중요하다.<br>1. DNA RNA 그리고 단백질 서열의 데이터베이스화 및 분석법<br>2. RNA와 단백질의 유전체분석<br>3. 종의 완전유전체 분석<br>- 바이러스, 고생물<br>- 유핵염색체 |

| | |
|---|---|
| | – 유핵종 : 곰팡이, 유인원<br>– 인간의 유전체와 질병<br>◦ Systems Biology와 Omics로 대변되는 생물정보학 혹은 바이오인포 매틱스는 총체적이고 정량적이며, 네트워크 형태로 새롭게 이해되는 생명과학연구의 중심에 위치하고 있다. |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국, 유럽, 일본 |
| 최고기술 보유 기관* | 미국 NCBI (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/) |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 5 년 |
| 기술동향 | ◦ 20세기 화학과 물리학의 발전은 문명의 발전, 우주 및 핵 개발을 가능하게 하였으며 이제 기초발전단계를 벗어난 응용, 성숙의 단계에 들어가고 있다. 21세기에는 생물학/의학이 20세기 화학과 물리학의 역할을 담당할 전망이다. 아직 목표가 정해지지 않은 미지의 지적 바다에서 데이터 홍수 속에 패러다임 이동이 계속해서 일어나고 있다. |

| | |
|---|---|
| | ◦ 거대 제약회사, 거대 시퀀싱 및 칩생산 회사, 컴퓨터 생산회사 등의 숫자나 규모는 당연 세계 1위이며, 특히 Next generation sequencing 분야에서 3세대 시퀀싱 기술을 리드하면서 국제 연구의 방향을 좌지우지하고 있다.<br>◦ 바이오인포매틱스의 발전은 암, 유전병 등의 난치병치료 같은 의료 분야와 환경, 에너지, 신소재 분야에 큰 파급효과를 가져올 수 있다. 이러한 바이오인포매틱스는 생물학의 발전하고 성숙됨에 따라 향후 큰 발전이 예상된다. |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>KOBIC (미래창조과학부 국가생명연구자원정보센터)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">국내 기술수준</td><td>85 %</td></tr>
<tr><td>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 정량적 최고치인 미국 NCBI와 비교 시 데이터의 분석력, 칩데이터, 시퀀싱 데이터의 데이터베이스화 기술은 90% 정도이나 인프라구축 능력 및 국제기술개발 경쟁력, 종다양성 전문가 기술수준은 75% 수준이기 때문에 그 평균인 85%로 계산한 것임</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>□ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| | 성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 6 년 |
| 국내 기술동향 | ◦ 국내 산업은 약 30개의 바이오인포매틱스 회사(주로 벤처로 구성), 약 10개의 연구센터로 구성되어 있으며 아직 바이오산업이 성숙되지 않은 한국바이오 산업의 특성상 바이오인포매틱스 산업구조 역시 취약하다고 볼 수 있다. 바이오 산업 역시 식품, 발효, 화장품 첨가물 등의 저기술에 집중되어 있고 유전체나 단백체를 이용한 바이오인포매틱스 기술 개발은 초등단계라고 보여짐<br>◦ 이즈텍(주), 스몰소프트(주) 등의 소프트웨어 개발 중심 바이오인포매틱스 회사가 매우 어려움을 겪고 있어 한국 특유의 소프트웨어 산업의 취약점을 바이오인포매틱스 기술도 그대로 답습을 하고 있음. 즉, 소프트웨어는 하드웨어에 끼워져 있는 공짜상품이라는 시장 전반에 깔려져있는 심리가 우수한 바이오인포매틱스의 발전을 저해하는 가장 큰 요인이라고도 할 수 있음 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| ■ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| ■ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | □ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 컴퓨터공학 분야, 의료의학 분야, 신약 개발 분야, 농축산임업 분야, 발효식품 분야 등에 활용 가능하다.

◦ 바이오인포매틱스는 Systems Biology와 Omic로 대변되는 총체적이고 정량적이며, 타 기술들과 긴밀하게 융합발전하는 학문이다. 21세기 생물학의 급속도 발전에 따라 인류의 질병극복과 정보기술의 발전, 생명과학, 의학, 약학 분야의 큰 발전이 예상된다.

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 이준석 / 한국과학기술연구원(KIST) | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-958-5092 | E-mail) | junseoklee@kist.re.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 바이오인포매틱스 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | 1. 질환에 대한 분자생물학적 빅데이터의 출현<br>◦ 다양한 질병의 발생과 그 병인의 상관관계 연구는 분자생물학의 발달로 다양한 세포성장인자, 암억제인자, 세포사멸인자, 세포사멸억제인자 및 이들과 연관된 신호전달계 규명 등으로 진행되고 있음<br>◦ 질환의 병인이 되는 생체 대사과정의 분자생물학적 변화에 대한 체계적인 대용량 정보를 처리하기 위한 기반 연구 필요성 대두<br>◦ 차세대 서열 분석(Next-Generation Sequencing, NGS) 기술의 괄목할 만한 발전으로 개인 유전체 정보에 대한 접근이 가능해짐에 따라 맞춤형 진단/예후예측/치료로 활용할 수 있게 체계적이고 장기적인 대책이 필요함<br>◦ 최근 NGS 및 프로테오믹스 기술 발전은 후성유전학 연구의 패러다임을 바꾸고 있으며 NSC 등 연구 저널에서는 향후 20년간 생명과학 및 의약 산업에서의 발전을 주도할 핵심 기술이 될 것으로 전망 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| | ◦ 유전체 데이터와 후성유전학적 변이의 데이터베이스화를 통해서 신규 매커니즘과 바이오 마커, 신약 후보를 도출하는 것이 가능할 것으로 예상됨<br>◦ 최근 NGS와 프로테오믹스 기술을 이용하여 생산되는 데이터는 기존의 단순 염기서열장비나 단일 단백질의 질량분석 장비와 크게 달라 유전체/단백체 서열정보가 수백 기가바이트(GB)에 달하는 대용량 데이터로 이들의 분석 및 저장/관리 측면에서 획기적인 발전이 필요함<br>◦ 후성유전체는 DNA methylation, Histon modification, 그리고 small RNA 등 다양한 차원의 데이터가 포함되는데 이들을 통합한 다차원 네트워크 분석 기술이 필요하며, 이를 기반으로 환경성 질환의 맞춤 진단 기술개발이 필요함<br>◦ 다양한 환경성질환의 타겟 바이오마커들을 동시에 발굴할 수 있는 후성유전체 분석 기술 개발이 중요함<br>◦ 환자 개인의 세포/조직 검사를 기반으로 하는 정밀검진과 동시에 최적의 보조요법 치료의 방향을 제시할 수 있는 융·복합 핵심기술 개발이 필요함<br>◦ 환자 개개인마다 특정 환경오염물질 대한 질환상태가 다르기 때문에 치료제 투여 전 반드시 환자의 생체 조직시편에서 각 조직/세포를 회수한 후, 여러 바이오마커를 조사하여 적절한 최적의 치료법을 선택해야 함<br>◦ 세계적으로 체외 진단시장의 규모는 최근 5년 사이 (2007～2012년) 46.7억달러 규모에서 77.6억불 시장으로 급성장하고 있으며, 연평균 성장률이 11%에 육박함. 앞으로 질병 전이와 예후 검사시장만으로도 약 10억 달러 이상의 시장 규모가 예측됨 |
| **기술내용** | 1. NGS 기술 기반의 GWAS, epigenetic regulation 분석기술<br><br>2. 히스톤 변이 프로파일링 분석법 개발<br>◦ 특정 크로모좀 위치의 히스톤–DNA 복합체 분리기술 확립을 통해 분석이 필요한 지역의 히스톤 정제 기술<br>◦ 텐덤 질량분석 기술을 활용한 히스톤 변이 프로파일링 기법의 표준, 최적화 기술<br><br>3. 대용량의 데이터 관리 및 분석을 위한 환경성 질환 통합 후성유전체 DB 구축<br>◦ DNA 서열 mapping, de novo assembly, mass spectra 기반 서열검색 등의 차세대 분석 알고리즘 개발<br><br>4. 다차원 오믹스 데이터의 네크워크 기반 통합 분석 프레임웍 개발<br>◦ 다차원 오믹스 데이터의 통합적 분석을 위한 생체정보의 통합 정보 인프라 구축 및 통계/전산학적 분석기술 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국 |
| 최고기술 보유 기관* | NIH (National Institute of Health) |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | - |
| 기술동향 | ◦ 2000년 Oscar Gruss & Son Inc. 자료에 따르면*, 전 세계적으로 Bioinformatics 제품 및 서비스를 제공하는 업체는 약 50여 개로 Genomics와 관련 연구기법의 폭발적인 성장과 유용한 분석 도구 및 DB가 부족하기 때문에 그들 간 인수/합병 및 업무 제휴 등의 활동이 매우 활발한 것으로 나타나고 있음. 그리고 고객 DB를 포함한 Bioinformatics 도구와 서비스의 전체시장은 수년 이내로 20억 달러를 넘어설 것으로 전망하고 있음<br>* Jason Reed, "Biotechnology Review: Trends in Commercial Bioinformatics," Oscar Gruss & Son Inc., 2000. 3. |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>국가 생명자원 정보센터 KOBIC</td></tr>
<tr><td rowspan="2">국내 기술수준</td><td>80 %</td></tr>
<tr><td>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>-</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br><br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>□ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br><br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>-</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td>-</td></tr>
</table>

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| ■ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| ■ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | □ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 개인 맞춤형 진단/치료의 개념과 함께 최근 개발된 NGS 등의 High throughput 기술의 발전은 GWAS 분석 등의 대용량 빅데이터의 생성을 가능하게 하였다. 이를 활용한 다양한 분석법의 개발과 활용은 차세대 진단 의료 시장의 활발한 투자와 신규 창업의 기반이 될 것으로 기대한다.

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 김 선 / 서울대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-880-7280 | E-mail) | sunkim.bioinfo@snu.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 생물정보학 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 생물정보학은 바이오 빅데이터 omics를 이용하여 새로운 생물, 의학 영역을 발전시키는 중요한 기술이다.<br>◦ 특히 다음의 두 가지 측면에서 중요성이 논의되고 있다. 첫째, 바이오 빅데이터 omics는 세포 전체에서 생물인자의 활동을 측정한 데이터로 활성화된 모든 요소를 빠짐없이 측정할 수 있다는 점에 그 중요성이 있다. 둘째, 세포 전체에서 측정한 데이터로부터 현재 우리의 지식을 넘어서는 새로운 가설을 마이닝할 수 있다. 지금까지는 아무리 경험이 많은 과학자나 의학자도 본인의 지식 범위 내에서만 가설을 세워 연구를 수행하였으나, 바이오 빅데이터를 이용하고 현재의 생물/의학 지식을 접목하면 지금까지와는 차원이 다른 연구를 수행할 수 있다. 따라서 생물정보기술의 발전은 의학, 농학, 축산학, 약학, 생물학 등 에서 혁명적인 발전을 이룰 수 있게 하는 기반기술이다. |
|---|---|

| | |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 게놈 프로젝트<br>◦ 각 인자들의 omics 데이터 처리 분석<br>◦ 여러 omics 데이터를 통합 분석<br>◦ 네트워크 바이오 마커의 발굴기술 개발<br>◦ 생물/의학자와 협업을 통한 새로운 치료법, 신약개발, 새로운 작물 개발 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준<br>보유 국가 | 미국 |
| 최고기술<br>보유 기관* | Broad Institute |
| 연구개발단계<br>( 13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기<br>( 13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발<br>소요시간 | - |
| 기술동향 | ◦ 최근 생물정보 기술의 발전으로 omics 데이터 처리 단계에서 실질적인 응용연구 단계로 변화하고 있다.<br>– 종합적인 omics 연구 : 여러 유전체, 후성유전체, 단백질체 정보를 종합하여 상호 관계 정보를 이용하여 표현 형질 특성 규명 |

| | |
|---|---|
| | – 집단 유전체, 후성 유전체 연구 : 소수의 셀을 비교 분석하는 대신 다수의 집단의 omics 정보를 측정하여 연구<br>– 품종개량 연구 : 종합적인 omics 정보로 새로운 품종을 개발하는 연구<br>– 특정 질병을 종합적으로 연구 : 종합적인 omics 정보로 질병의 특성을 규명하여 새로운 치료법/신약 개발에 응용<br>– 대용량 생물정보를 저장, 비교분석, 연구협력을 위한 IT 기술의 개발 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>–</td></tr>
<tr><td rowspan="2">국내 기술수준</td><td>60 %</td></tr>
<tr><td>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 게놈 프로젝트 : 90%<br>◦ 각 인자들의 omics 데이터 처리 분석 :70%<br>◦ 여러 omics 데이터를 통합 분석 : 50%<br>◦ 네트워크 바이오 마커의 발굴기술 개발 : 50%<br>◦ 생물/의학자와 협업을 통한 새로운 치료법, 신약 개발, 새로운 작물 개발 : 40%</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>□ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>□ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| | 성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | - |
| **국내 기술동향** | ◦ 국내도 해외 기술동향과 동일하나 연구 인력이 매우 부족하고, 기술 개발을 위한 연구 지원이 부족하여 기술 동향을 선도하는데 많은 어려움이 있음 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| ■ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | □ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | ■ ⑧ 기타(기초 기술개발을 지원해야 하고, 동시에 생물, 의학자, 컴퓨터공학자와의 대형 협업 연구가 이루어지도록 지원 되어야 함.) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 생물정보학은 세포 전체의 정보로부터 현재 지식을 넘어서는 가설을 마이닝하여 모든 생물 관련 분야(의학, 약학, 축산학, 농학, 등)의 새로운 연구를 가능하게 하는 기반 기술로 그 응용 분야가 방대하고, 파급 효과가 매우 큰 새로운 융합 학문임

◦ 참고로 모든 기술의 발달은 technology hype cycle 단계(http://en.wikipedia.org/wiki/Hype_cycle)를 거치는데 생물정보는 이미 disillusionment 단계를 지난 것으로 생각됨

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉


| 성 명/소 속 | 구은회 / 한국세라믹기술원 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-3282-2478 | E-mail) | ehkoo@kicet.re.kr |


## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 바이오컴퓨터 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| | |
|---|---|
| 기술개발 필요성 | ◦ 초병렬적 생화학 반응을 이용하여 반도체를 이용한 컴퓨터 기술의 한계 극복 가능<br>◦ 스마트박테리아와 같은 난치병을 이용하여 난치병 질환에 대한 진단 및 치료 가능<br>◦ 신경망 모사한 바이오 컴퓨터를 이용한 인공 지능 실현 |
| 기술내용 | ◦ 바이오컴퓨터는 사람의 뇌의 정보처리 시스템을 모방한 컴퓨터나 반도체 대신에 DNA, RNA, 등의 핵산이나 단백질 등 바이오 분자를 이용한 컴퓨터 기술로서 이를 매체로 정보를 저장하고 조작하는 기술임<br>◦ 이와 같은 핵산이나 단백질 등을 이용한 메모리 소자, 연산소자, 스마트 박테리아를 이용한 난치병의 진단 및 치료, 신경망을 이용한 연산 소자 등이 개발 연구 진행 중임 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국, 이스라엘 |
| 최고기술 보유 기관* | Stanford University |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 7 년 |
| 기술동향 | ◦ Stanford 대학에서 세포 내에서 정보의 저장, 연산, 전달 기능을 갖춘 바이오 컴퓨터를 개발하였음. 이는 연산을 위해 DNA 및 RNA를 사용하여 “Trans-criptor”라 불리는 biological transistor를 개발하였으며 이를 이용하여 질병의 진단 및 이를 치료하기 위한 약물 전달이 가능할 것이라 발표함. 또한 DNA 내의 염기의 방향성을 이용하여 rewritable DNA storage, bacteria를 이용한 cell-to cell 통신 및 biological internet을 연구 중임(2012년, 2013년)<br>◦ Israel 연구팀은 인체 내에 질병을 진단하고 치료할 수 있는 나노 컴퓨터를 개발하였다고 발표함. 즉 질병을 진단하기 위해 m-RNA, protein, ATP 등을 표지자로 사용, 질병을 진단하고자 하였음 (2011.7)<br>◦ Hibrew 대학에서는 iodine 분자dp 의해 작동되는 DNA-based logic gate를 최초로 개발하였다고 발표함 (2010년 8월) |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>서울대</td></tr>
<tr><td>국내 기술수준</td><td>75 %<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ DNA를 이용한 단위소자 개발 단계이며 이는 최고수준의 연구기관이 수행하는 단위소자의 융합을 이용한 복합소자 개발 연구단계와 비교해 볼 때 다소 차이가 있음</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>■ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>10 년</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td>◦ 서울대에서 DNA based computer 개발을 위해, DNA 컴퓨팅모델 개발, hybridization을 이용한 정리의 증명 (theorem proving), DNA 자기조립 특성을 이용한 문장 생성모델 등의 연구가 진행되고 있음</td></tr>
</table>

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| ■ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 초병렬적 컴퓨팅이 가능한 초슈퍼 컴퓨터 개발

◦ 맞춤형 진단, 약물 전달 등의 치료가 가능한 스마트 바이오 산업 개척

◦ 뇌신경망 시스템을 응용한 인공 지능 컴퓨터 개발

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉


| 성 명/소 속 | 장병탁 / 서울대 컴퓨터공학과 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 880-1833 | E-mail) | btzhang@bi.snu.ac.kr |


## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 바이오컴퓨터 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 현재의 반도체 기반의 디지털컴퓨터는 병렬성과 집적도 및 에너지 소모에 있어서 한계에 부딪히고 있다. DNA 분자와 같은 바이오분자 매체는 그 물질 자체의 특성을 이용하여 기존의 반도체에서 구현하기 어려운 전혀 새로운 정보처리를 수행할 수 있다. |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ DNA 분자를 이용한 초병렬 연상메모리 구현, 초병렬 기계학습 알고리즘 구현, 뇌에 존재하는 뉴런수(10^11)와 시냅스의 수(10^14) 만큼의 초거대수의 입자들 간의 상호작용을 모델링함으로써 뇌를 닮은 인지정보처리의 원리를 이해하고 모사하여 활용하는 인공지능기술 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국, 독일, 일본, 영국 |
| 최고기술 보유 기관* | MIT, Caltech, Google, Max-Planck Institute, Tech. Univ. of Munich, Tokyo Univ., Univ. of Southhampton |
| 연구개발단계 (13년 기준) | ■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 7 년 |
| 기술동향 | ◦ DNA 분자컴퓨팅은 최근 나노기술과 접목되어 DNA Nanotechnology로 발전하고 있음. 또한 DNA 분자의 생체특성을 이용하여 전자컴퓨터의 도움을 받지 않고 직접 바이오데이터를 분석하는 Wet Analysis 기술로서 활용되어 DNA 분자컴퓨팅에 기반한 Biochip 기술로 발전될 가능성이 큼 |

## 4. 국내 기술수준

| | |
|---|---|
| 국내 최고기술 보유 기관* | 서울대학교 |
| 국내 기술수준 | 80 % |

<table>
<tr><td></td><td>
〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ DNA 컴퓨팅 분야의 초기부터 국내연구진에 의해서도 논문이 발표되었으며(1998년도 Genetic Programming Conference 논문, 2002년도 DNA Computing Conference 및 2004년도 Biosystems 저널 논문), 그 후 꾸준히 동 분야 핵심 학회와 저널에 논문을 발표하고 있음. 최근 미국공군연구소(AFOSR)로부터 3년 과제 수주(2012-2015)</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br><br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br><br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>10 년</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td>◦ 세계적인 기술수준도 아직 초기 단계에 있는 새롭고 혁신적인 기술인 점을 고려할 때, 국내의 IT 기술의 강점과 NT 및 BT 분야의 관심을 집중시켜 연구할 경우 세계적 수준으로 발돋움할 가능성이 큼</td></tr>
</table>

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| ■ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| ■ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 분자컴퓨팅 자체로서 분자진단 Biochip 분야, DNA 분자기반 초병렬 지능형 나노컴퓨터, 분자컴퓨팅 모사한 새로운 컴퓨팅 기술로서 IT 분야의 Neuromorphic 기계학습 및 인공지능 분야, 빅데이터 분석 수퍼컴퓨팅 분야

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 민준홍 / 중앙대학교 융합공학부 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-820-5348 | E-mail) | junmin@cau.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 바이오컴퓨터 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| | |
|---|---|
| 기술개발 필요성 | ◦ 무기물중심, 이진법 기반으로 개발된 현재의 컴퓨터는 방대한 자료의 이동 및 저장, 복잡한 상황판단 등 고차원의 정보처리가 요구되고 있음. 고차원의 정보처리를 위해서는 단순한 옳고 그름이 아닌 인간의 생각방식을 모방해야 하며, 바이오물질을 이용하여 이러한 인간의 뇌 또는 생각을 구현하고자 하는 취지에서 개발되기 시작하였다.<br>◦ 환경과 상황에 따라 정보가 처리되고 제공되는 방식은 현재 아이폰에서 제공하는 "시리"와 같이 가까운 미래에 적극 활용될 것으로 사료되며, 현재 IT산업의 차세대 주력 먹거리로 집중적 연구가 필요함 |
| 기술내용 | ◦ 현재 바이오컴퓨터의 연구는 핵산과 단백질을 이용하여 현재의 실리콘기반의 컴퓨터와 결합하는 하드웨어적 연구와 새로운 로직을 이용하여 정보처리를 수행하는 소프트웨어적 연구로 크게 나눌 수 있음. 하드웨어적 연구는 생물분자 또는 유기분자를 이용하는 단일기능의 분자소자연구가 주를 이루고 있으며, 소프트웨어적 연구는 뇌의 정보처리를 모방하는 방식으로 연구가 진행되고 있음 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준<br>보유 국가 | 미국, 영국 |
| 최고기술<br>보유 기관* | Caltech<br>European Bioinformatics Institute |
| 연구개발단계<br>( 13년 기준) | ■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기<br>( 13년 기준) | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발<br>소요시간 | 15 년 |
| 기술동향 | ◦ 1990년부터 뇌의 특성을 모방하기 위한 단일분자 전자소자가 일본에서 연구되기 시작했으며 1980년대 후반부터 핵산을 이용하여 정보를 저장하거나, 정보를 처리하는 로직게이트의 원리가 발표되기 시작하였음<br>◦ 최근에는 핵산, 단백질을 이용하여 정보를 증폭하거나 연산하는 연구가 시작되었으며, 기능의 단순성에서 벗어나 다기능 융합소자로 개발되고 있음<br>◦ 바이오컴퓨터 연구가 수십년간 연구를 하면서, 산업화가 되지 않고 있는 가장 큰 이유는 현재 solid state 하드웨어상에서 이진법의 틀이 너무 확고하고 초고밀도로 개발되고 있기 때문에 solution based 다진법 접근 또는 fuzzy한 바이오적인 정보처리 방식이 접목이 되지 못하고 있다고 생각됨<br>◦ 하지만 정보가 점점 방대해지고 단순한 수치계산이 아닌, 고차원적인 정보처리가 요구되어지면 생체시스템 즉, DNA의 정보저장 능력, 단백질의 전자전달능력, 신경세포의 신호저장능력을 모방해야 할 것으로 판단됨 |

| | |
|---|---|
| | ◦ 현재는 미국을 중심으로 핵산을 이용하여 정보를 저장하고 처리하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 일본의 경우는 유기/바이오분자를 이용하여 전자이동, 전자전달의 연구가 활발히 진행되고 있음 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>서강대학교</td></tr>
<tr><td>국내 기술수준</td><td>70 %<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 단백질을 이용하여 바이오메모리 원리가 수년전에 이미 개발되었고 이를 현 solid state 전극에 적용하여 응용할 수 있는 단계에 진입하였음<br>◦ 최근에는 단백질과 핵산을 조합하여 복합기능을 보유한 물질을 이용하기도 함</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>□ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
</table>

| 기술개발 소요시간 | 20 년 |
|---|---|
| 국내 기술동향 | ◦ 대학을 중심으로 기초연구를 수행하고 있음<br>◦ 바이오기술개발사업을 통하여, 바이오전자소자에 대한 과제가 9년간 투자되었고, 이를 통하여, 바이오메모리, 바이오트랜지스터의 원리 및 concept proof용 소자가 개발되었음<br>◦ 현재 단순한 물질의 대체가 아닌 새로운 정보처리 원리를 제안하고 생체시스템을 모방한 소자로 진화하고 있음<br>◦ 하지만 solution 기반 정보저장 및 처리방식으로 현 기술에 연착륙하기 힘들기 때문에 패러다임의 변혁이 요구됨 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| ■ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 바이오컴퓨터 관련 기술(하드웨어적 측면)이 완료되면 현재 silicon based solid state 전자산업이 생물물질을 이용하여 개발되는 단계로 발전할 것임. 현재 바이오물질이 아닌 유기물질로는 상당히 많은 연구진척이 기대되고 있는바 미지의 생물물질을 이용한 전자소자의 개발은 향후 새로운 전자소자의 발전을 제공할 것이라 사료됨

◦ IT, BT, 의학산업에 파급효과가 클 것임

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 김재희 / 연세대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-2123-2869 | E-mail) | jhkim@yonsei.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 생체인식/보호 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 생체인식의 기술은 최근 전자상거래, 물리적 또는 사이버 출입관리 보안 통제 등에서 높은 보안이 요구됨에 따라 그 응용분야가 넓게 확대되어 적용 기술의 고도화가 절실히 요구되고 있다. 특히, 최근 모바일 보안이 확대됨에 따라, 모바일 환경에서 높은 수준의 인증 기술로 모바일 생체인식이 새로이 요구되고 있다. |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 지문인식 기술 : 광학식 및 반도체 센서 기술, 모바일 카메라에 의한 인식 기술<br>◦ 얼굴인식 기술 : 적외선 카메라 및 모바일 카메라에 의한 인식 기술<br>◦ 홍채인식 기술 : 전용 장치에 의한 인식 기술, 모바일 환경에서의 인식 기술<br>◦ 장문인식 기술 : 모바일 카메라에 의한 인식 기술<br>◦ 나이 및 성별 인식 기술 : 일반 카메라 및 모바일 카메라에 의한 인식 기술 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국, 한국, 중국, 독일, 프랑스 |
| 최고기술 보유 기관* | 기술 종류에 따라 산재 되어 있음 |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 ■ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 2～3 년 |
| 기술동향 | 1. 지문인식 기술 : 모바일 응용을 위해 반도체 지문센서 기술, 내장 모바일 카메라에 의한 비접촉식 지문인식 기술 등이 필요해짐에 따라 이 분야에서 향후 치열한 특허 및 기술경쟁이 예상됨<br>2. 얼굴인식 기술 : 모바일 카메라에 의한 얼굴인식은 현 성능의 획기적인 향상이 요구되고 있으며, 별도 얼굴인식 전용장치에 의한 응용에는 적외선 카메라에 의한 인식기술이 응용분야를 확대되고 있음<br>3. 홍채인식 기술 : 전용 장치에 의한 인식기술은 상당한 수준에 있으나 모바일 환경에서의 인식기술은 새로운 개념을 필요로 하는 도입기임<br>4. 장문인식 기술 : 모바일 카메라에 의한 인식기술 역시 도입기임<br>5. 나이 및 성별 인식 기술 : 일반 카메라 및 모바일 카메라에 의한 인식기술은 그 응용성이 점차 확대되고 있는 분야임 |

| | |
|---|---|
| | ◦ 요컨대 별도 전용장치에 의한 생체인식기술은 어느 정도 기술수준이 안정화에 도달해가고 있으나, 휴대폰 환경의 생체인식기술, 특히 자체 카메라를 사용하는 경우, 조명, 배경, 흔들림, 연산제약, 인식대상의 자세 및 위치 변화 등 많은 기술 개발이 요구되고 있다. 향후 모바일에서의 생체인식은 실존에 의한 고도의 보안성, 신체이용에 의한 편리성, 자체카메라 사용에 의한 경제성으로 인해 응용성에 매우 큰 파급효과가 기대된다. |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>연세대학교 생체인식연구센터, ETRI</td></tr>
<tr><td>국내 기술수준</td><td>모바일 80%, 기타 70 %<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 국내외 연구 현황, 산업 현황에 의거</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>□ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
</table>

| 기술개발 소요시간 | 2 년 |
|---|---|
| 국내 기술동향 | ◦ 모바일 내장카메라에 의한 지문인식과 장문인식, 모바일 홍채인식은 국내 기술이 세계적으로 유일하고 선도적임<br>◦ 지문입력을 위한 반도체식 센서기술은 전무. 애플은 이러한 센서 기술을 포괄적으로 확보하여 향후 특허 전쟁이 예고됨<br>◦ 전용기기에 의한 홍채인식은 국내기술이 세계적 수준<br>◦ 얼굴인식 기술은 국제수준에 미흡 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 본 연구는 전자상거래, 모바일인증 등 논리적 보안은 물론, 출입통제, 신원 확인 등의 물리적 보안에서도 신뢰도 높고 편리한 개인 인증 수단으로 활용될 수 있다.

◦ 모바일지문, 모바일홍채인식은 세계최초로 연구수행을 통해 동 분야의 선도적 국제논문과 지적재산권을 기대할 수 있고, 조만간 문제가 될 소지가 있는 외국의 모바일 접촉식 지문인식의 특허공세에 대한 최상의 대책이 될 수 있다(전자신문, 2012. 9. 24. 종합 p.2).

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 정봉현 / 한국생명공학연구원 바이오융복합연구소장 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 042-860-4442 | E-mail) | chungbh@kribb.re.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 생체인식/보호 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| | |
|---|---|
| 기술개발 필요성 | ◦ 일상생활에서 널리 사용되고 있는 사용자 인증방식인 패스워드나 PIN, 열쇠 등은 높은 보안성능을 제공하지 못하고 있다. 생체인식은 개인별로 차이가 있는 사용자 고유의 생체정보를 이용하기 때문에 분실 및 도난 등의 문제가 없어 기존방법에 비해 높은 보안성능을 제공할 수 있다.<br>◦ 생체인식기술이 발달하면서 개인의 생체정보보호에 관한 관심도 높아지고 있다. 생체정보는 개개인의 신체적인 정보와 직접적으로 연관된다는 점에서 매우 민감하기 때문이다. 생체정보를 이용하면 생활에서 편리하게 이용할 수 있는 장점도 크나, 기술의 발전에 따른 사생활침해의 위험성이 증가할 수 있으므로 기술발달을 고려한 새로운 보호대책이 필요하다. |
| 기술내용 | ◦ 생체인식이란 개개인으로부터 평생불변과 만인부동의 특성을 갖는 특징을 찾아 이를 자동화수단으로 등록하여 제시된 정보와 비교 /판단하는 것으로 요약될 수 있다. 현재까지 연구된 생체인식방법으로는 얼굴모양, 홍채, 망막, 정맥, 지문, |

| | |
|---|---|
| | DNA 등의 신체적 특성을 이용한 방법과 서명, 음성, 걸음걸이 등의 행동학적 특성을 이용하는 방법으로 분류할 수 있다.<br>◦ 생체정보보호를 위해서는 정부차원의 입법절차가 있어야 하며, 이러한 방법은 과학기술 발전을 저해하지 않으면서 조화로운 해결책이 되어야 한다. 신체인식 정보는 특징 값만 추출되어야 하고 개인의 인식과 명시적인 동의가 있어야 한다. 또한 계속적인 견제와 감시도 필요하다. |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| **최고기술수준 보유 국가** | **미국, 유럽** |
| **최고기술 보유 기관** | **–** |
| **연구개발단계 ( 13년 기준)** | **□ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구**<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| **기술수명주기 ( 13년 기준)** | **■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기**<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | **10 년** |
| **기술동향** | ◦ 시장동향 : 생체인식시장은 2013년 70억 달러의 시장규모로 매년 약 20% 이상 고성장할 것으로 예측된다. |

| | |
|---|---|
| | ◦ 산업동향 : 미국 Technology Recognition Systems사는 안면 열상법을 이용한 인식기술을 개발하였다. 영국 Neurodynamics Biometics는 적외선을 이용한 안면 영상기술을 개발하였다. 미국 Recognition Systems사는 손모양을 분석하는 출입통제 시스템을 개발하였다. 독일 BERGDATA AG는 다중 인식기술을 이용한 제품을 개발하였다.<br>◦ 향후전망 : 최근 다양한 생체인식 제품들이 등장하고 있으며, 활용분야도 점차 늘어가는 추세다. 생체인식센서기술은 소형화, 저렴화를 목적으로 연구가 진행되고 있으며, DNA, 걸음걸이, 열상 정보 등 미래생체인식기술이 주로 연구되고 있다. 또한 단일 생체인식기술의 단점을 보완하기 위해 여러 생체정보를 동시에 활용하는 다중생체인식으로 발전해 나가고 있으며, 개인정보 유출을 방지하기 위한 보안연동제품의 개발이 활발히 이루어지고 있다. |

## 4. 국내 기술수준

| 국내 최고기술 보유 기관* | 한국전자통신연구원 |
|---|---|
| 국내 기술수준 | 85 % |

〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉

| | | | |
|---|---|---|---|
| ① 나노바이오센서 | 65% | ⑦ 휴먼인터페이스 | 75% |
| ② 약물전달 | 60% | ⑧ 나노일렉트로닉스 | 80% |
| ③ 바이오센서칩 | 70% | ⑨ 나노포토닉스 | 70% |
| ④ 바이오인포매틱스 | 80% | ⑩ 나노센서/MEMS | 70% |
| ⑤ 바이오컴퓨터 | 65% | ⑪ 양자컴퓨터 | 50% |
| ⑥ 생체인식/보호 | 80% | | |

| | |
|---|---|
| 평가근거 | ◦ 생체인식기술의 필요성이 높아짐에 따라 관련부문의 특허가 지속적으로 증가하고 있으며, 대기업에 의한 공격적인 투자로 인해 선진국과의 격차가 줄어들고 있다. |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계 |

| | |
|---|---|
| | 성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | **12 년** |
| **국내 기술동향** | ◦ 시장동향 : 국내기술수요가 높아 국제시장과 마찬가지로 매년 고성장이 가능할 것으로 기대된다.<br>◦ 산업동향 : 한국전자통신연구원에서는 고성능 생체정보 서비스 시스템 기술개발 관련 연구를 수행하고 있으며, 한국정보통신기술협회는 생체인식 표준화를 위한 활동을 전개하고 있다.<br>◦ 향후전망 : 생체인식기술의 중요성을 인식하고 활발한 연구개발이 진행되는 만큼 선진국과의 기술격차를 단기간에 줄일 것으로 예상되며, 우리나라의 선도적 IT 기술을 바탕으로 한 창조적 기술 및 제품 개발을 통해 세계시장진출이 가능할 것으로 기대한다. |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 최근에는 다양한 생체인식 관련 제품들이 등장하고 있으며, 그 활용분야도 점점 증가하는 추세이다. 생체인식 센서기술은 점차 소형화 및 가격인하 방향으로 연구되고 있으며, 지문, 손, 혈관, 얼굴, 홍채, 서명, 음성 등 현재 널리 사용되고 있는 기술 이외에 DNA, 걸음걸이, 열상 정보 등의 미래생체인식 기술이 새롭게 출현할 것이다.

◦ 또한 단일 생체인식기술의 단점을 보완하기 위해 여러 개의 생체정보를 동시에 활용하는 다중 생체인식으로 발전해 나갈 것이며, 개인 정보 유출 방지 등의 이점을 가진 보안연동 제품의 출현 및 전용 하드웨어 칩이 개발되어 휴대전화, 자동차, 총포류, 장난감 등에 탑재될 것으로 기대된다.

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
- 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
- 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용

* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
- 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
- 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
- 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사

* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 김학일 / 인하대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 010-6336-7385 | E-mail) | hikim@inha.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 생체인식/보호 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 2001년 미국의 911 테러사태 이후 각국은 자국의 안전과 국민의 생명보호를 위하여 생체인식 기술을 활용한 전자여권, 전자주민증 등을 적극적으로 도입하고, 인터넷 전자상거래 및 해킹보안을 위한 개인인증에 있어서도 가장 편리하고 안전한 방법인 생체인식기술의 필요성이 증가되고 있음 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 생체인식(Biometrics)이란 개인의 신체일부로부터 평생불변과 만인부동의 특성을 찾아 이를 자동화수단으로 등록·저장하여 제시한 바이오정보와 비교/판단하는 기술임<br>◦ 현재까지 상용화된 바이오인식 기술로는 지문·얼굴·홍채·망막·정맥 등의 신체적 특성을 이용한 방법과 서명·음성·걸음걸이 등의 행동학적 특성을 이용하는 방법으로 분류됨<br>◦ 관련기술로는 생체정보를 획득하는 센서기술과 확보된 생체정보를 처리하고 동일 여부를 판단하는 영상처리기술, 그리고 이들을 활용한 응용시스템기술로 구분됨 |

| | |
|---|---|
| | ◦ 최근 모바일 장치산업에 편승한 모바일 생체인식기술이 부각되고 있고, CCTV 시스템과 융합되어 범죄수사 분야에 활용되고 있음<br>◦ 따라서 정보보안 뿐만 아니라 물리융합보안 및 범죄수사 등 다양한 분야에 적용 가능함 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| **최고기술수준 보유 국가** | **미국, 영국, 일본, 프랑스** |
| **최고기술 보유 기관*** | **NEC(일본) : 얼굴인식, 크로스매치(미국) : 지문인식**<br>**사프란(프랑스) : 홍채인식, 캠브리지 대학(영국) : 홍채인식** |
| **연구개발단계 ( 13년 기준)** | **□ 기초연구 □ 응용연구 ■ 개발연구**<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| **기술수명주기 ( 13년 기준)** | **□ 도입기 □ 성장기 ■ 성숙기 □ 쇠퇴기**<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | – |
| **기술동향** | ◦ 전 세계 바이오 인식시장에서 지문인식이 48%의 시장점유율을 차지하며 개발비용이 저렴하고 보안성이 우수하여 단일 바이오인식 기술이 각광을 받고 있음. 하지만 최근에는 전자여권 도입에 따라 얼굴인식 및 홍채인식 기술의 보급이 확대되고 있는 추세이며, 향후에는 DNA · 다중바이오 인식 등과 같은 첨단신기술로 발전할 것으로 예상됨 |

| | |
|---|---|
| | ◦ 특히 해외에서는 지문센서, 카메라 등 바이오정보 입력 장비 및 칩셋 등 HW 제조 기술과 실시간 다중검색을 위한 서버기술 등이 상용화 단계에 이르고 있음<br>◦ 특히 일본에서는 한국이 기술특허를 갖고 있는 정맥인식기술을 활용한 손가락 정맥 또는 손등정맥 기술을 특화하여 금융권에 급속히 확산되고 있음<br>◦ 미국의 크로스매치는 Live 다중지문 입력센서 기술을 보유하여 전세계 대부분 국가의 주요공항에 설치된 출입국간소화 시스템에 적용되고 있음<br>◦ 미국의 사노프와 프랑스의 사프란(사젬모포) 등은 6미터 원거리에서 홍채인식을 수행할 수 있는 기술을 상용화하고 있음<br>◦ 다수의 영국회사들은 홍채인식 및 걸음걸이 인식기술을 상용화하여 CCTV 기반의 지능형 영상보안기술에 적용하고 있음 |

## 4. 국내 기술수준

| 국내 최고기술 보유 기관* | 연세대학교 생체인식연구센터 |
|---|---|
| 국내 기술수준 | **88 %**<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ① 나노바이오센서 | 65% | ⑦ 휴먼인터페이스 | 75% |
| ② 약물전달 | 60% | ⑧ 나노일렉트로닉스 | 80% |
| ③ 바이오센서칩 | 70% | ⑨ 나노포토닉스 | 70% |
| ④ 바이오인포매틱스 | 80% | ⑩ 나노센서/MEMS | 70% |
| ⑤ 바이오컴퓨터 | 65% | ⑪ 양자컴퓨터 | 50% |
| ⑥ 생체인식/보호 | 80% | | |

| | |
|---|---|
| 평가근거 | ◦ 지문, 얼굴, 홍채, 정맥 인식 등 다양한 종류의 생체인식분야의 센서기술, 알고리즘 기술, 응용시스템 기술 등은 국외 최고기술 수준 보유기관들과 비교할 때 기술수준이 90%에 조금 못 미침. |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 □ 응용연구 ■ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계 |

| | |
|---|---|
| | 성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | - |
| **국내 기술동향** | ◦ 국내 바이오인식 시장을 제품 및 시스템별로 살펴보면, 출입통제기나 근태관리기와 같은 물리적 접근제어 부문이 2008년 1,079억 원으로 전체시장의 70.2%를 차지하고 있는 것으로 나타남. 현금인출기나 무인발급기, 금융이나 의료부문, 기기 및 시스템 접근 제어 등과 같은 논리적 접근제어 분야가 64억 원으로 4.2%, 경찰청 AFIS나 전자여권, 주민증 진위 확인시스템 등과 같은 공공부문이 392억 원으로 25.5%를 차지한 것으로 조사됨<br>◦ 국내 지문인식업체는 국제 성능평가 경진대회(FVC)에서 세계 10위권 에 진입하여 한국의 지문인식 알고리즘 등 S/W의 우수성을 입증 받은 바 있음. 우리나라 기술수준은 '09년 말 기준, 지문인식, 정맥인식 등 일부 기술에서는 우위를 점하고 있으나, 초소형 IC칩 상에서 동작하는 고효율 인식알고리즘을 탑재한 Match on Card와 같은 칩셋 등 설계기술, DNA 등과 같은 첨단 바이오 인식 알고리즘에 대한 원천기술 등에서는 다소 선진국에 비해 미흡한 실정임 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| ■ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | □ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 본 기술은 기존의 패스워드, 공인인증서 등과 같이 개인의 신원을 확인하는 방법들의 망각 또는 도용의 위험을 최소화하면서 동시에 편리성을 보장할 수 있는 기술이기 때문에, 현대 정보사회에서의 오프라인, 온라인 신원확인 방법으로 정보보호산업에 적용될 수 있음

◦ 최근 국내에서는 법무부의 외국인 출입국관리 서비스, 내국인 출입국 간소화 서비스 등에 적용되고 있으며, 향후 전자주민증 사업, 금융권 개인인증 서비스로 적용될 것으로 기대됨.

◦ 본 생체인식 (또는 바이오인식) 기술은 보안성과 편리성을 모두 제공하는 유일한 개인인증 기술로서 모바일 기반 전자거래 및 CCTV기반의 지능형 영상감시, 법죄수사 등 다양한 분야에 적용되어 국가의 안전과 국민의 생명보호를 위해 활용될 것으로 기대됨

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 유장희 / 한국전자통신연구원 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 042-860-1324 | E-mail) | jhy@etri.re.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 생체인식/보호 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| | |
|---|---|
| 기술개발 필요성 | ◦ 세계 각국이 생체인식을 출입국 관리 및 공공의 안전강화 등 국토보안 기술로 활용함에 따라 그 수요가 급속히 증가하고 성장과 진화를 거듭하고 있음<br>◦ IBG(International Biometric Group)가 예측한 2012년 세계 생체인식 산업의 시장 규모는 65억 8,120만 달러이며, 2013년에는 78억 4,670만 달러, 2014년에는 93억 6,890만 달러로 매년 22% 이상 성장할 것으로 예측되고 있음<br>◦ 생체인식 기술은 신분확인, 범죄자검색, 출입국 관리, 출입통제, 금융/회계, 기기 인증, 헬스케어, 사회복지 등 다양한 목적으로 사용되고 있으며, 향후 신원확인을 위한 궁극적인 기술수단이 될 것으로 예측되고 있음 |
| 기술내용 | ◦ 생체인식(Biometrics)은 지문, 얼굴, 홍채, 망막, 정맥, 손 모양, 귀 모양, 그리고 걸음걸이, 음성, 서명 등 개인이 가지고 있는 다양한 생물학적 또는 행동학적 특징을 기반으로 개인을 인증하는 기술임 |

| | |
|---|---|
| | ◦ 전자신분증(전자여권, 선원신분증, 운전면허증 등)을 위한 생체인식 스마트카드 및 MoC (Match on Card), 생체인식 센서 및 모바일기기 경량 알고리즘, 사용자 친화형 생체인식(출입국관리, 출입통제, 원거리 인식 등) 기술의 개발<br>◦ 지문인식 위주의 단일 생체인식에서 검색(1:n) 기반의 얼굴, 귀 모양, 걸음걸이 등 CCTV 환경에서 사람 식별 및 검색을 위한 원거리 다중 생체인식/휴먼인식 또는 소프트 생체인식(Soft-Biometrics) 기술의 개발 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국, 프랑스, 일본 |
| 최고기술 보유 기관* | MortphoTrust USN (구, L1-Identity Solutions), Google, Cognitec, NEC |
| 연구개발단계 ( 13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 ( 13년 기준) | □ 도입기 □ 성장기 ■ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 2 년 |
| 기술동향 | ◦ 2013년 생체인식 세계시장규모는 78억 4,670만 달러로 매년 22.3%의 성장이 예측되고 있으며, 2009년 기준, 응용분야는 신분확인 (39.3%), 범죄자식별 (24.6%), 출입통제(17.7%), 시스템접근제어(13.8%) 등임<br>◦ 얼굴인식(Viisage, Identix), 홍채인식(Iridian), 지문인식(Identix, Bioscrypt) 분야의 |

| | |
|---|---|
| | 대표업체들이 인수합병을 통해 MortphoTrust USN이라는 거대 생체인식기업을 탄생시켰으며, 세계 최고수준의 기술을 보유하고 있음<br>◦ 애플은 지문인식 H/W에 특화된 오센텍을 인수하였으며, 생체인식 기술을 모바일 기기 등 임베디드 플랫폼 또는 스마트 단말에 탑재 가능하도록 경량화, 센서의 소형화 및 전용 하드웨어 칩 기술의 개발이 진행되고 있음<br>◦ 지문인식 위주의 단일 생체인식에서 얼굴, 귀 모양, 걸음걸이 등 CCTV 환경에서 사람식별 및 검색을 위한 원거리 휴먼인식 또는 소프트 생체인식(Soft-Biometrics) 기술의 개발이 시도되고 있음<br>◦ 미국 FBI는 스피드게이트, 계단, 통로 등 비교적 얼굴검출이 용이한 구역에 설치된 CCTV 카메라로부터 촬영되는 불특정 다수의 얼굴영상을 검출하여, 테러 및 범죄 예방을 위한 얼굴인식 시스템 개발을 진행할 계획임<br>◦ 미국 등 선진국은 생체인식기반의 보안기술에 많이 투자하고 있으며, 국내기술에 비하여 높은 기술력을 확보하고 있어 2～3년 이내에 기존 제품에 비해 성능이 매우 우수한 상용제품 출현이 예측됨 |

## 4. 국내 기술수준

| | |
|---|---|
| **국내 최고기술 보유 기관*** | **슈프리마 (지문), 아이리텍 (홍채인식), ETRI (얼굴인식), 테크스피어 (정맥)** |
| **국내 기술수준** | **80 %**<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉<br>① 나노바이오센서 65% ⑦ 휴먼인터페이스 75%<br>② 약물전달 60% ⑧ 나노일렉트로닉스 80%<br>③ 바이오센서칩 70% ⑨ 나노포토닉스 70%<br>④ 바이오인포매틱스 80% ⑩ 나노센서/MEMS 70%<br>⑤ 바이오컴퓨터 65% ⑪ 양자컴퓨터 50%<br>⑥ 생체인식/보호 80% |
| **평가근거** | ◦ 국내의 경우 지문 및 손등정맥 인식분야에서 세계적 수준(95% 이상)의 기술을 보유하고 있으나 지문센서 (70% 이하), 지정맥인식 (70% 이하), 홍채인식 (85% 이하), 얼굴인식 (80% 이하), 망막, 손모양, 귀모양, 음성, 서명, 걸음걸이 인식 등의 기술(70% 이하)에 대하여는 미흡하여 평균 수준은 80% 이하로 판단됨 |
| **연구개발단계 ( 13년 기준)** | **□ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구**<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |

| | |
|---|---|
| 기술수명주기<br>( 13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발<br>소요시간 | 4 년 |
| 국내 기술동향 | ◦ 내수와 수출을 포함한 국내생체인식 업체의 매출규모는 2010년 865억 원이며, 2011년에는 1,110억 원으로 2014년까지 27.5%의 연평균성장이 전망됨<br>◦ 지문인식 위주의 단일 생체인식에서 얼굴/홍채 등과의 융합을 통한 다중 생체인식 기술로 발전하고 있으며, 원거리 생체인식 기술도 개발되고 있음<br>◦ 국내생체인식산업은 지문인식 분야가 90% 이상 시장비중을 차지하고 있어, 새로운 시장의 창출이나 원천기술 개발에 다소 취약한 실정임<br>◦ 전 세계 생체인식 시장의 상당부분은 공공분야이나 국내는 상대적으로 공공의 수요가 취약하며, 업체 간 과다경쟁, 원천특허의 미비 등 많은 현안이 있음 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 최근 생체인식의 응용은 지문인식 위주의 출입통제에서 범죄자 식별, 금융보안, 출입국 관리 등 개방형 네트워크 기반의 시스템으로 그 적용분야가 확대되고 있으며, 주요 응용분야는 신분확인(39.3%), 범죄자 식별(24.6%), 출입통제(17.7%), 시스템접근제어(13.8%) 등 비중임

◦ 임베디드 플랫폼 기반의 제품 소형화는 스마트폰, 스마트패드, 스마트카메라, 출입통제장치, 자동차, POS, ATM, 휴대형 개인인증기기 등에 탑재 가능하며, 전 세계에 40억 명 이상의 모바일 전화기 사용자는 지속적으로 증가하여, 커다란 성장 잠재력을 가지고 있는 시장임

◦ 최근 CCTV의 보급이 확산됨에 따라 CCTV에서 획득된 얼굴정보를 분석하여 영상감시, 유통 및 광고 업체에서 얼굴정보 기반의 출입자성향을 파악하고자 하는 기술들이 개발되고 있으며, 유통 및 마케팅, 엔터테인먼트 등 새로운 분야의 시장창출이 기대됨

◦ 휴먼인식 기반의 차세대생체인식기술은 카메라, 센서, 컴퓨터 서버 및 저장장치, 네트워크, 지능형 시스템, 정보보호 산업 등과 많은 연관성을 가지고 있어 IT 전반에 대한 기술적/경제적 파급효과가 지대할 것으로 예측됨

◦ 차세대 생체인식 및 영상보안의 핵심기술인 원거리 휴먼인식 기술의 확보를 통하여 안전한 사회환경 구축을 위한 토대 마련 및 범죄자 검색, 미아 찾기, 거주자 보호 등에 효과적으로 활용될 것으로 기대됨

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 김정현 / 고려대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-3290-3196 | E-mail) | gjkim@korea.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 휴먼인터페이스 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 휴먼인터페이스 분야는 기능중심의 소프트웨어 부족경쟁력을 높여주고 더 나아가 기술자체만으로도 부가가치가 큼. 특히 최근 멀티모달 및 Natural User Interface가 도래하고 이들이 다양한 컴퓨팅 플랫폼에서 사용되어, 이에 관련 된 기초, 시스템 및 통합 기술 필요 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 인터액션 디자인 및 모델링<br>◦ 인터페이스 입력/인식 요소 기술 및 센서/센싱<br>(음성, 터치, 제스처, 시선, 3차원 몸동작, 손/팔동작, 트래킹 등)<br>◦ 인터페이스 출력 요소 기술 및 기기<br>(HMD, Stereoscopic display, Holography, Tactile/Haptic, Direcitonal Sound 등)<br>◦ 사용성 및 UX 평가<br>◦ 멀티모달 융합 (Redundant, Alternative, Composed 등) |

| | |
|---|---|
| | ◦ 기기/플랫폼/사용자/상황 별 Customization<br>(Embedded, Large Display, Elderly, Surface, Mobile 등)<br>◦ NUI/Multimodal 인터액션 위한 시스템 소프트웨어<br>(OS support, Middleware, Cloud Support, Crowd Sourcing 등)<br>◦ Usability/UX를 위한 소프트웨어 공학<br>◦ 가상/증강/혼합현실 및 Telepresence<br>◦ 적응형 인터페이스 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준<br>보유 국가 | 미국 |
| 최고기술<br>보유 기관* | MS, Google, MIT Media Lab, Georgia Tech, CMU |
| 연구개발단계<br>(13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 ■ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기<br>(13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 ■ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발<br>소요시간 | 1～2 년 |
| 기술동향 | ◦ Natural User Interface<br>◦ 3차원 인터액션 (Kinect, Leap 등)<br>◦ 음성 및 지능형 인터페이스 및 Cloud 컴퓨팅 활용<br>◦ Big Data 및 Crowd Sourcing(스마트폰의 인터액션 클라이언트화) |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>삼성전자</td></tr>
<tr><td rowspan="2">국내 기술수준</td><td>75 %</td></tr>
<tr><td>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 국내기술수준은 소수 분야에서 세계수준이나 휴먼 인터페이스 관련 인력이나 연구 인프라가 부족하며 소프트웨어의 핵심요소로서의 인식이 매우 부족<br>◦ 요소기술 (컴퓨터 비전, 음성 등)은 상당한 수준에 이르렀으나 이를 통합하여 안정적으로 HCI에 응용한 기술은 부족</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>■ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>3～4 년</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td>◦ 핵심 요소기술 (예: 개별 인식 기술)에 치중<br>◦ 인터액션 디자인의 필요성 인식 단계</td></tr>
</table>

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| ■ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| ■ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | ■ ⑧ 기타(진정한 전문가 중심의 대학 연구 센터 설립, 현 대학 연구센터 제도는 비 전문가들이 많이 개입) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 차세대게임, 디지털콘텐츠, 인터액티브 소프트웨어 전반 (스마트폰 앱, 클라우스 서비스, 가전 등)

◦ 사용성 및 UX 증대를 통한 소프트웨어 산업전반의 경쟁력 제고

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 이기혁 / 한국과학기술원 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 042-350-3557 | E-mail) | geehyuk@gmail.com |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 휴먼인터페이스 (세부기술명: Natural User Interfaces (NUI)) |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 스마트폰, 스마트TV, 자동차 등 일상기기들이 컴퓨터화됨에 따라 다양한 환경과 플랫폼에서 다양한 애플리케이션과의 인터랙션을 지원하기 위한 새로운 사용자 인터페이스 패러다임으로서 NUI의 연구가 미국, 일본 등을 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 해외의 선진연구사례와 비교하여 국내의 NUI 연구 활동이 상대적으로 부진하다. 세계 일류를 달리고 있는 국내 IT 상품의 국제 경쟁력 유지를 위하여 NUI 연구에 대한 정부 지원이 절실히 요구되고 있다. |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 과거 개인용 컴퓨터를 위한 전통적인 사용자 인터페이스의 틀을 벗어나 다양한 형태의 기기, 다양한 사용 환경, 다양한 애플리케이션에 대응하기 위한 자연스럽고 사용자 친화적인 형태의 모든 새로운 인터랙션 방식의 연구를 통칭하며, 현재 연구의 중심이 되고 있는 주제로서 아래의 예가 있다.<br>– 표면 사용자 인터페이스 : 멀티터치 인터랙션, 압력 및 근접 인식 활용 인터랙션, 표면 근처 2.5차원 공간 인터랙션, 자유 곡면 기반 인터랙션 등 |

| | |
|---|---|
| | – 제스처 인터페이스 : 근거리 손가락 제스처 인터랙션, 원거리 신체 움직임 인식 인터랙션, 머리 및 시선 인식 인터랙션, 비 기계적 햅틱 피드백 등<br>– 웨어러블 인터페이스 : 초소형 기기용 입출력 인터페이스, 음성/청각 중심 인터페이스, 신체 운동 감지 기반 인터페이스, 패브릭 기반 인터페이스 등 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국, 일본 |
| 최고기술 보유 기관* | MS Research, CMU, 동경대학교 |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 5 년 |
| 기술동향 | ◦ 비교적 최근에 멀티터치 인터페이스, MS Kinect 등이 대중화 되면서 NUI라는 용어가 널리 인식되기 시작하였으나 NUI 연구는 이보다 훨씬 긴 역사를 가지고 있다. 1982년에 이미 최초의 멀티터치 장치가 학회에 발표되었고, MS Kinect 기술 역시 컴퓨터 그래픽스 분야에서는 전혀 새로운 기술은 아니다. 테이블탑 스케일의 표면 사용자 인터페이스에 대한 연구도 1990년대에 일본 소니 연구소에서 이미 진행되었고, 최근 구글 글래스로 대중의 관심을 끌고 있는 웨어러블 인터페이스 연구도 1980년대부터 미국 MIT를 중심으로 상당 수준으로 진행되었다. 이러한 분야를 리드하는 연구자들은 그들의 연구가 20년은 지나야 빛을 보는 |

| | |
|---|---|
| | 경우가 많다고 주장하는 데, 이는 국내 연구자 및 기획자들에게 시사하는 바가 크다. 현재 최고 수준 국가의 NUI 연구는 10년에서 20년의 연구전통을 바탕으로 진행되고 있다는 점이다. 이 연구기간은 단순히 NUI를 구현하기 위한 요소기술 개발만을 위한 시간이 아니며 새로운 NUI 개념을 창조할 수 있는 창의적 연구방법, 사용자 이해 및 만족을 위한 연구방법과 이러한 연구방법이 실행될 수 있은 연구 인프라 및 전통의 차이를 의미한다. 국내 NUI 연구와 세계최고기관의 NUI 연구를 비교할 때 단순히 Kinect와 비슷하거나 보다 우월한 성능의 장치를 국내에서도 개발했다는 것으로 국내기술수준을 세계적수준으로 평가하고 자신하는 실수를 범해서는 안 된다.<br>◦ 앞 페이지에서 정리한 표면 인터페이스, 제스처 인터페이스, 웨어러블 인터페이스 등 NUI 주제의 대부분은 미국과 일본의 대학 및 연구소가 리드하고 있다. |

## 4. 국내 기술수준

| | |
|---|---|
| **국내 최고기술 보유 기관*** | **KAIST, ETRI, KIST** |
| **국내 기술수준** | **75 %**<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ① 나노바이오센서 | 65% | ⑦ 휴먼인터페이스 | 75% |
| ② 약물전달 | 60% | ⑧ 나노일렉트로닉스 | 80% |
| ③ 바이오센서칩 | 70% | ⑨ 나노포토닉스 | 70% |
| ④ 바이오인포매틱스 | 80% | ⑩ 나노센서/MEMS | 70% |
| ⑤ 바이오컴퓨터 | 65% | ⑪ 양자컴퓨터 | 50% |
| ⑥ 생체인식/보호 | 80% | | |

| | |
|---|---|
| **평가근거** | ◦ 사용자 인터페이스 연구의 경우, 타 연구 분야와 달리 성능치와 같은 정량적인 지표로 평가하기 어렵다. 최고수준 국가의 연구가 10년 이상 진행되었다는 것을 고려하고 그간의 연구단계와 국내 상황을 비교하여 평가한다. |
| **연구개발단계 (13년 기준)** | **□ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구**<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| **기술수명주기 (13년 기준)** | **□ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기**<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계 |

| | |
|---|---|
| | 성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | **5 년** |
| **국내 기술동향** | ◦ 스마트폰, 스마트TV 등 IT시장을 국내기업들이 리드하고 있는 만큼 NUI 기술에 대한 수요는 크고, 이에 따라 삼성, LG 등 대기업들이 NUI 연구 개발에 적극적인 투자를 시작하고 있다.<br>◦ 그러나 새로운 NUI 연구는 창의적인 연구개발 환경에서 장기적 연구를 필요로 하므로 기업보다는 대학과 연구기관이 주도하여야 하나 NUI 연구에 대한 정부 지원이 타 연구 분야에 비해 미약하다.<br>◦ 현재 국내연구는 NUI 구현을 위한 요소기술의 연구에만 편중되어 있고 새로운 NUI 개념개발을 포함한 NUI 자체에 대한 연구 활동은 선진국에 비해 현저히 부족하고 이에 대한 정부지원도 미약하다. |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| ■ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | □ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 적용 산업 또는 분야
- 스마트폰, 태블릿 컴퓨터, 등 모바일 단말기
- 스마트 TV를 포함한 홈 엔터테인먼트 기기
- 자동차 (네비게이션, A/V 시스템을 포함한 사용자 인터페이스)
- 스마트 홈, 스마트 공간

◦ 기대효과

- 스마트폰, 스마트TV 등 IT 상품들의 기술이 성숙기에 들어서고 기능의 차별성이 적어지고 있어 사용자 경험측면에서의 차별화가 더욱 중요해지고 있음. 새로운 사용자 인터페이스 기술은 차별화된 사용자 경험을 가능하게 할 것을 기대되며 이러한 상품의 세계시장 경쟁력 유지 및 향상에 기여할 것임
- NUI 연구는 기본적으로 애플리케이션의 요구사항과 사용자 이해에서 출발하여 개념을 개발하고 필요 기술을 종합하여 실현하는 과정을 거치게 되어 바이오 기술, 나노 기술, 의료/생체 기술 등 타 분야 기술의 새로운 응용 가능성을 개발하고 상용화를 촉진하는 효과를 기대할 수 있음

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 윤상민 / 국민대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-910-4645 | E-mail) | smyoon@kookmin.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 휴먼인터페이스 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ HCI 기술은 사용자가 더 편리하게 사용할 수 있는 컴퓨터 시스템을 설계하고 평가하기 위한 분야로써, 다양한 디바이스 및 센서가 발전함에 따라 사용자 중심의 인터페이스에 관한 연구 및 개발이 요구되고 있음 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 기존의 컴퓨터 시스템의 단순 입출력 기능에서 벗어나 사람의 행동 및 의지에 따라 사용자와 컴퓨터가 상호작용을 할 수 있는 인터페이스, 제품, 서비스 개발이 필요하다.<br>◦ 이를 위해 다중센서를 이용하여 사용자행동 분석 및 의도를 파악할 수 있는 기술개발, 입출력장치를 매개로 디지털 기기와 사용자간의 데이터 전송방식 및 UI 디자인개발, UX 기반 사용자중심의 인터페이스 및 효율적인 가시화 기술개발에 초점을 맞추어 기술이 개발되고 있다. |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국 |
| 최고기술 보유 기관* | – |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 □ 응용연구 ■ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 1.5 년 |
| 기술동향 | ◦ 제품 및 서비스 개발단계에서부터 UI/UX의 중요성이 강조되면서 최대한 사용자 중심의 인터페이스를 개발할 수 있는 환경이 마련되고 있다. 뿐만 아니라, 다양한 센서를 이용한 사용자 행동분석 및 의도 파악을 위한 서비스에 산학연 공동연구가 활발하게 이루어지고 있다. |

## 4. 국내 기술수준

| | |
|---|---|
| 국내 최고기술 보유 기관* | – |
| 국내 기술수준 | 85 % |

<table>
<tr><td></td><td>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 스마트기기를 중심으로 휴먼인터페이스에 관한 중요성이 부각되고 있으며 이에 대한 서비스 개발연구가 활발히 이루어지고 있음</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>□ 기초연구 □ 응용연구 ■ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>□ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>2.5 년</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td>◦ 사용자중심의 스마트기기를 개발하기 위하여 휴먼인터페이스 기술 개발에 대한 관심이 증가하고 있으나 아직까지 휴먼인터페이스 기술을 하나의 독립된 연구분야 또는 기술로 바라보기보다는 다른 분야에 종속된 분야로 바라보는 것이 현실이다. 또한, 휴먼인터페이스 기술에 대한 평가방법에 대한 연구 또한 필요하다.</td></tr>
</table>

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| ■ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | □ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 앞으로 개발될 모든 디지털기기에서는 휴먼인터페이스에 대한 고려가 우선되어야하며 이를 바탕으로 한 다양한 서비스가 제공될 것으로 예상된다. 단순히 입력 및 출력 방식에 대한 연구에서 벗어나 사용자 행동 및 의도 파악, 더 나아가서는 감정 파악을 통해 각각의 사용자에 따라 다양한 서비스를 제공할 수 있는 인터페이스로 발전될 것으로 예상된다.

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 김상우 / 성균관대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 031-290-7376 | E-mail) | kimsw1@skku.edu |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 나노일렉트로닉스 (piezophototronics) |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 우리 주변의 생활환경에는 빛, 열, 기계적(바람, 파도, 음파, 미세진동 등), 자기, 화학, 바이오와 같은 다양한 형태의 에너지원이 존재함. 이처럼 주변에 존재하는 다양한 에너지원을 수확하여 사용가능한 에너지로 변환시키는 것이 전 세계적인 에너지 수급 문제와 미래 산업 발전에 있어 중요한 문제임<br>◦ 과학기술발달로 인해 다양한 에너지원을 수확하기 위한 소자들이 이상적으로 설계되고, 관련된 기술들이 보고되고 있음. 예를 들어 태양광을 이용한 태양전지는 무기물의 PN 접합, 유기물 박막 또는 헤테로 접합과 같은 방식으로 개발되고 있고, 기계적 에너지원을 이용한 발전은 전자기 유도 또는 압전 효과의 원리를 기반으로 설계되고 있음<br>◦ 하지만 이러한 기술들은 하나의 에너지원에 집중하여 연구되어 다양한 에너지원이 존재하는 실제 환경에서 어떠한 특성을 나타내는지에 대한 연구는 전무한 상황임<br>◦ 예를 들어 빛이 있는 상황에서 기계적인 에너지원 또는 자기적 에너지원이 주어 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| | 졌을 때, 재료의 밴드갭 변화, 내부 캐리어 흐름의 변화 및 계면 특성 변화와 같은 연구는 선진국을 중심으로 몇몇 연구그룹에서만 진행되고 있음<br>◦ 주변에 존재하는 다양한 에너지원을 효과적으로 사용하기 위해서는 서로 상이한 에너지 변환 특성을 갖는 다양한 소재의 융복합을 통해 새로운 개념의 에너지변환 현상을 관찰 · 규명하고 이를 기반으로 독창적이고 차별화된 에너지소자를 구현하는 것이 미래 전세계 에너지 산업에 있어 매우 중요한 패러다임이 될 것임<br>◦ 서로 상이한 에너지변환 메커니즘을 갖는 소재들을 하나의 소자에 융복합하는 연구는 초기단계이며, 주로 과학기술 선진국에서 연구되고 있고 국내에서는 선진국의 연구를 답습하는 수준에 머물러 있어 미래 에너지 분야 국가 경쟁력 확보를 위해 도전적인 연구가 절실히 필요함 |
| 기술내용 | ◦ 우리 주변에 존재하는 빛 · 기계적(바람, 파도, 음파, 미세진동 등) · 자기 에너지와 같은 다양한 형태의 에너지원을 효과적으로 이용하기 위해 서로 상이한 에너지 변환 특성을 갖는 다양한 소재의 융/복합을 통해 전자기적 · 광학적 · 기계적 특성을 상호 보완적으로 사용하여 새로운 개념의 에너지 변환 현상을 관찰 · 규명하고 이를 기반으로 독창적이고 차별화된 에너지 소자 구현<br>◦ 나노구조로 제어된 압전 또는 강유전 소재와 광학재료의 융합을 통해 반도체 고유의 전기적 · 광학적 특성을 modulation 시킴으로써 지금까지 볼 수 없었던 새로운 물리적 현상 관찰 및 규명<br>◦ 압전 및 강유전 특성으로 인해 융합구조 내부에 생성되는 포텐셜에 의해 계면에서 발생되는 energy band modulation 현상을 관찰하고 메커니즘을 규명<br>◦ 융합구조 내부에 존재하는 엑시톤 또는 charge carrier의 거동 · 수송특성 변화를 관찰 · 분석하고, 이러한 기반 원천 연구를 바탕으로 기존에 구현되지 못했던 신개념 에너지소자 구현에 적용 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국 |
| 최고기술 보유 기관* | Georgia Tech. |
| 연구개발단계 ( 13년 기준) | ■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초 · 응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |

| | |
|---|---|
| 기술수명주기<br>( 13년 기준) | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br><br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발<br>소요시간 | 10 년 |
| 기술동향 | ◦ 2007년~2008년 미국 Battery energy alliance사는 광전-강유전 특성을 갖는 물질을 이용하여 전자기방사를 통한 에너지발전소자 제작 방법에 대한 특허를 출원, 연이어 동일한 원리를 이용하여 Arkema Inc. 사에서 유연한 특성을 갖는 광전필름 제조에 관한 특허를 등록함<br>◦ '08년 미국 Georgia 공대의 Z. L. Wang 그룹이 세계에서 최초로 DSSC 태양전지와 ZnO nanorod 기반의 나노전력발전소자(nanogenerator)의 융합소자를 발표. 단순히 광전, 압전 에너지변환 특성이 독자적으로 구동되는 기술이 아닌 각각의 에너지변환 특성이 상호보완작용을 하는 에너지변환 시스템을 제시함. 또한 해당기술에 대한 특허를 확보하면서 태양광/압전 에너지변환에 대한 기술을 주도하고 있음<br>◦ 2011년 미국 캘리포니아 대학 및 뉴저지 주립대, 싱가포르 ASTR 연구소에서는 광전/강유전체 융합소재를 이용, 각각 향상된 성능의 태양전지, 발광소자, UV 검출기 제조에 대한 특허를 출원하여 광전/강유전체 물질들을 이용한 다양한 소자로의 응용 가능성 보여줌<br>◦ 서로 상이한 에너지변환 특성에 대한 연구는 태양광/열전, 태양광/풍력 등 각각의 에너지변환 메커니즘이 개별적으로 구동하는 에너지변환 시스템에 대한 연구로부터 최근 태양광/압전, 태양광/강유전체 등과 같이 압전, 강유전체로부터 발생하는 포텐셜에 의한 반도체 물질간의 커플링 특성에 관한 연구가 보고된 후로 한 소자 내에서 서로 상이한 에너지가 상호보완작용을 하는 융합형 에너지변환 시스템중심의 연구로 변화함<br>◦ 따라서 소자내부에서의 서로 다른 에너지변환 메커니즘의 상호작용에 따른 다양한 물리적현상에 대한 이해가 중요해지기 시작했으며, 이와 관련된 기술개발 특허들이 미국 등 과학기술 선진국을 중심으로 최근 급격히 출원되고 있는 상황임 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>성균관대</td></tr>
<tr><td>국내 기술수준</td><td>80 %<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 최근 발표된 논문의 질적 수준 비교</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>10 년</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td>◦ 현재 전 세계적으로 개념이 정립되는 단계로 기초물성 및 기반기술 확보를 통해 원천기술을 확보함으로써 세계연구흐름을 선도할 수 있는 국가기술로 발전할 수 있으며, 향후 LED, 광전지, 태양전지, 광자검출기 등에 폭넓게 응용이 가능함<br>◦ 한국전자통신연구원, 한국과학기술연구원 등 정부출연연구소와 서울대, 성균관대, 이화여대, 연세대, 포항공대, 한양대, KAIST 및 삼성전자종합기술원 등에서 태양광과 열전소자를 통합한 소자제작에 대한 연구검토가 진행 중이고, 일부 태양광과 새로운 에너지원으로 주목받고 있는 압전소자를 접목하려는 접근이 시도되고 있음</td></tr>
</table>

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| ■ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 나노기술과 에너지기술의 융합을 통해 관련 산업의 원천기술 확보와 국내·외 차세대 에너지 하베스팅 시장에 대해 매우 큰 파급 효과를 나타낼 수 있을 것으로 기대됨. 또한 새로운 형태의 에너지 하베스팅 소자의 구현은 나노에너지소자 뿐만 아니라 나노전자소자, 나노광소자, 나노바이오소자 등 다양한 나노테크놀로지 분야에서 획기적인 기술도약이 예상되며, 국가산업발전에 큰 영향을 미칠 것으로 예상됨

◦ 차세대 에너지 하베스팅 소자의 소재·공정 제어 및 메커니즘 규명은 재료·화학·물리·전자 분야의 학문적인 융합연구가 필수불가결한 요소로 융합기술에 대한 높은 과학적지식을 겸비한 고급인력 양성에도 크게 기여할 것으로 기대됨

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉


| 성 명/소 속 | 강종윤 / KIST | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-958-6722 | E-mail) | cykang@kist.re.kr |


## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 나노일렉트로닉스 (나노 piezotronics) |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 최근 전기/전자 산업 기술은 아이폰으로 대표되는 새로운 패러다임의 전환과 나노기술(Nanotechnology, NT)을 바탕으로 IT-ET-BT 기술이 융합된 유비쿼터스 사회로 빠르게 진화하고 있으며, 미래 전자산업 사회로의 전환을 위해 기존 전기/전자기기들의 성능개선이 아닌 새로운 패러다임 전환이 가능한 신소재 및 신소자의 개발이 절실히 요구되고 있음 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 새로운 전자소자구현을 위하여 기존 반전도성과 광여기의 coupling에 의한 optoelectronics 분야의 연구뿐만 아니라 압전성과 반전도성의 coupling에 의한 piezotronics, 압전성과 광여기의 coupling에 의한 piezo-photonics 분야에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 최근에는 압전성-반전도성-광여기의 coupling에 의한 신개념 융합 소자인 piezotronics 분야의 개념이 정립되고 있음<br>◦ piezotronics 소자는 압전 반도체 소재에 물리적 에너지를 인가하여 생기는 압전 전위를 이용하여 광특성(전자와 홀이 결합하여 생성되는 광자(photon)의 생성 조절)과 반도체 특성(전하 및 캐리어의 흐름을 조절)을 조절할 수 있는 신개념 융합소자임 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준<br>보유 국가 | 미국 |
| 최고기술<br>보유 기관* | Georgia Tech. |
| 연구개발단계<br>(13년 기준) | ■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기<br>(13년 기준) | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발<br>소요시간 | 10 년 |
| 기술동향 | ◦ 압전 나노 제너레이터에 대한 연구가 활성화 됨<br>◦ piezotronics에 대한 개념이 제시(Adv. Mater., 2012 24, 280)<br>◦ 인체와 CMOS 기술의 융합에 의한 새로운 piezotronics 개념 제시(Adv. Mater., 2012 24, 4632)<br>◦ 나노 와이어 piezotronic FET 기술 제시(Nano Lett., 2008, 8, 3035)<br>◦ Piezopotential에 의해 쇼트키 장벽 변화 기술 제시(ACS Nano, 2010, 4, 1234)<br>◦ n-ZnO와 p-GaN 하이브리드를 통한 stress에 의한 발광효율향상(Nano Lett., 2011, 11 (9), 4012)<br>◦ Piezoelectric core-shell nanowire를 활용한 photovoltaic 기술(Nano Lett., 2010, 10 (4), 1108)<br>◦ Piezotronics 및 piezo-phototronics에 대한 연구는 전세계적으로 매우 초기 단계이며 개념정립 단계임 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>성균관대</td></tr>
<tr><td>국내 기술수준</td><td>80 %<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 최근 발표된 논문의 질적 수준 비교</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>10 년</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td>◦ 나노 구조체를 이용한 piezotronics 연구는 현재 전세계적으로 개념 정립 단계로서 기초물성 및 기반기술 확보를 통해 신소재개발 원천 기술을 확보함으로써 세계 연구흐름을 선도할 수 있는 국가기술로 발전할 수 있으며, 향후 LED, 광전지, 태양전지, 광자검출기 등에 폭넓게 응용이 가능함</td></tr>
</table>

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| ■ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ Piezotronics 연구는 기존의 반도체소자가 가지는 기능적 한계를 넘어 다양한 입력신호로 구동이 가능한 반도체소자의 출현을 가능하게 하여 향후 LED, 센서, 광전지, 태양전지, 광자검출기 등에 폭넓은 응용이 가능함

◦ Piezo-phototronics 하이브리드 나노구조체 연구개발을 통하여 기존 조명기기의 효율 향상과 고감도 UV sensors, 고효율 LED 및 solar cell 개발에 크게 기여할 것이며, 신개념의 전자소자개발로 원천특허 확보 및 세계시장선점이 가능함

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 백정민 / UNIST | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 052-217-2324 | E-mail) | jbaik@unist.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 나노일렉트로닉스 (자가구동 전자소자(센서)) |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 최근 안전 및 환경 관련 기술 등 전략적 기술의 중요성이 부각되면서 현장센싱이 가능하고 다양한 환경 인자에 대한 실시간 모니터링 기술의 중요성이 점점 강조되고 있다. 기존의 많은 센서는 외부 에너지원을 필요로 하는 반면 최근 고유가 시대로 인한 에너지절약 및 환경보호 등 국제문제가 대두되고 휴대기기 사용이 급증하고 있어 배터리가 필요하지 않는 센서기술개발이 점점 중요해지고 있다. |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 압전 반도체 소재에 물리적인 힘을 가해 얻어진 출력전압을 이용해 전자소자의 자가구동에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 특히 바이오, 화학적, 광학적, 자기적, 기계적인 특성과 결부되어 플렉시블 자가발전 센서로의 응용성이 높아지고 있다.<br>◦ 이와는 반대로 온도, 압력, 가스, 바이오물질 등이 압전소재의 압전 특성을 변화를 통해 얻어진 출력전압변화를 통해 발전소자 자체가 센서가 되는 일체형 센서구조가 연구되고 있다. |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국 |
| 최고기술 보유 기관* | Georgia Tech. |
| 연구개발단계 ( 13년 기준) | ■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 ( 13년 기준) | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 10 년 |
| 기술동향 | ◦ 자가발전기반 센서는 2001년 이스라엘의 I. Willner 그룹이 독일그룹과 합작하여 화학에너지를 전기-화학적 에너지로 변화시켜 Enzyme 기반 Biosensors을 제시하였음(Am. Chem. Soc., 2001, 123, 10752-10753)<br>◦ 미국 Georgia 공대의 Z. L. Wang 그룹이 세계최초로 압전 나노전력발전소자(nano-generator)를 이용한 자가발전 카본 나노튜브 기반 수은이온센서를 2011년에 개발했으나 전력발전을 위해 기계적인 운동이 필요하다는 단점이 있음(Adv. Mater. 2012, 24, 280-285)<br>◦ 또한 Z. L. Wang 그룹에서 Triboelectric 발전소자를 이용하여 수은센서 및 자기센서를 개발하였음(ACS Nano, 2012, 6 (11), pp 10378-10383)<br>◦ ZnO 나노선의 압전 특성을 이용한 바이오센서가 제작됨(EEnergy Environ. Sci., 2013,6, 494-499)<br>◦ 미국 Lawrence Livermore National Lab의 Y. M. Wang 그룹은 세계최초로 전력이 필요하지 않은 센서플랫폼을 제안하였다. 이 논문에서는 나노선의 일부분만 유기 |

| | |
|---|---|
| | 용매에 노출시켜 dipole moment를 발생시키고 나노선과 금속전극사이에 존재하는 쇼트키 배리어의 크기가 변화되어 노출된 나노선과 노출되지 않은 나노선 사이에서 전기적 전하를 발생시켜 0.27%까지의 에탄올을 감지할 수 있음을 보여주었음(Adv. Mater. 2011, 23, 117.121)<br>◦ 자가발전기반 센서에 대한 연구는 전세계적으로 기초단계로 개념정립이 필요하며 우리나라는 독자적 기술력을 거의 보유하지 못한 실정임 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td colspan="4">성균관대</td></tr>
<tr><td rowspan="2">국내 기술수준</td><td colspan="4">70 %</td></tr>
<tr><td colspan="4">〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉<br>
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td colspan="4">◦ 최근 발표된 논문의 질적 수준 비교</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td colspan="4">■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td colspan="4">■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| | 쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | **10 년** |
| **국내 기술동향** | ◦ 발전소자를 이용한 자가구동 전자소자는 현재 전세계적으로 개념 정립 단계로서 국내의 경우 독자적인 기술력은 거의 보유하지 못한 실정임. 향후 기초물성 및 기반기술 확보를 통해 신소재 개발 원천기술 확보함으로써 세계 연구흐름을 선도할 수 있는 국가 기술로 발전할 수 있으며 향후 센서, LED, 광전지, 태양전지, 광자 검출기 등 전자소자뿐만 아니라 다양한 응용성을 가질 수 있음 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| **■ ① 해당기술 전문인력 양성** | **□ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등)** |
| **□ ② 기술관련 정보·인프라 제공** | **■ ⑥ 기초원천 연구 확대** |
| **□ ③ 국제협력 활성화** | **□ ⑦ 민간투자 유치** |
| **□ ④ 산학연 협력** | **□ ⑧ 기타( )** |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 가까운 미래시장은 개인성, 휴대성, 폴리머 기반의 플렉시블 전자소자와 밀접한 관계에 있음. 이러한 시점에서 piezotronics를 이용한 고출력발전소자 개발 시 플렉시블 전자 소자의 에너지원 및 다기능 센서(생체신호 감지 등)로 활용이 가능할 것으로 기대됨. 특히 소형 휴대용 다기능 센서 개발을 통한 대기오염 물질 모니터링, 소형 로봇, 개인 안전 등 다양한 분야로 응용이 가능함

◦ 센서제작 관련 기반기술은 차세대 광전/전자소자용 공통기반 기술에 해당하는 것으로 이와 관련된 소자에도 적용이 가능함

◦ 발전소자 제작기반 기술은 압전, 강유전 등의 기초과학 학문과 크게 연관이 있으며 이에 기초한 발전 소재개발은 로봇공학, 자동차, 선박 등 자가발전에너지가 필요한 모든 분야와 연결되어 있음

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 최경진 / 울산과학기술대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 052-217-2337 | E-mail) | choi@unist.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 나노포토닉스/나노태양전지 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 전 세계적인 에너지 자원의 수요증가로 인해 안정적인 에너지원 확보의 중요성이 증가되고 온실가스 증대에 따른 기후변화가 전 세계의 위협요소로 대두되면서 청정 에너지원 확보를 통한 지속 가능한 발전에 대한 요구가 높아지고 있음. 태양에너지는 풍력, 조력 발전과 달리 지역의 제약이 없고 원자력발전과 같이 규모의 제약이 없으며 생산과정에서 온실가스 발생이 없는 무한 청정에너지자원임<br>◦ 특히 태양전지는 빛에너지를 전기에너지로 변환시키는 소자로 가장 현실적인 신재생에너지원으로 인식되고 있으며 세계적으로 연평균 50% 이상 성장하고 있음. 이러한 성장추세가 지속된다면 2015년에는 메모리반도체시장을 추월할 것으로 예상됨. 특히 반도체 LCD 산업과 유사한 측면이 많아 대량생산체제를 구축한다면 반도체 디스플레이 산업 이후 차세대 성장 동력으로 육성이 가능할 것으로 전망됨<br>◦ 태양전지는 빛을 흡수하는 광흡수층의 소재에 따라 실리콘, 화합물, 유무기, 적층형 등으로 구분되고, 이 중 전체 태양전지 시장의 85% 이상을 차지하고 있는 결정질 실리콘은 모듈 효율이 높고 성능이 매우 안정적임. 하지만 결정질실리콘태양전지는 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| | 전체 모듈 가격에서 실리콘 기판의 재료비 비중이 매우 높고 최근의 원소재 부족으로 인해 상대적으로 모듈가격이 높다는 단점이 있음<br>◦ 화석연료 발전단가와 태양광 발전단가가 같아지는 Grid parity는 대략 2015년을 전후로 달성될 것으로 전망됨(Stephen O'Rourke/ Deuchsche Bank). 그러나 결정형실리콘태양전지의 높은 원재료 비용으로 인해 화석연료와 경쟁가능한 수준인 $0.4/W 이하의 태양전지는 실리콘 태양전지가 아닌 3세대 나노기술에 기반을 둔 신개념 나노구조 태양전지 기술로 달성될 것으로 전망됨 |
| 기술내용 | ◦ 나노태양전지 기술에는 나노공정 및 나노재료를 부분적 또는 전면적으로 채택하여 태양전지를 구현한 기술을 의미하고 대표적으로 염료감응형, 양자점 기반, 나노선 태양전지 등이 있음<br>◦ 염료감응형 태양전지 (DSSC) 기술은 1991년 스위스 EPFL의 Gratzel 연구팀에 의해 발명되었다. DSSC 구조는 TCO 기판에 수십nm 크기의 TiO2 나노입자를 10 마이크론 내외의 두께로 코팅한 후, 태양빛을 흡수하는 염료를 TiO2 표면에 loading 하고 최종적으로 전해질 용액을 주입함으로써 소자제작이 완성됨. 제작 공정 및 원재료의 가격이 상당히 저렴하여 기존 실리콘 태양전지에 비해 제조단가가 약 1/5 수준으로 초저가의 차세대 태양전지로 부각되고 있음<br>◦ 나노선 태양전지 기술은 기판의 단결정성과 무관하게 고품질의 단결정 나노선을 성장할 수 있고 특히 나노선 코어-쉘 구조의 경우 광여기된 전자-전공이 공간적으로 아주 짧은 영역에서 분리되어 charge recombination을 아주 효과적으로 제어할 수 있으며 나노선의 고유한 1차원 형태로 인해 그 자체로 우수한 반사방지막 특성을 지니고 있어 저가이면서 초고효율 태양전지 기술로 발전가능성이 무한한 연구 분야에 해당됨<br>◦ 나노선 태양전지/DSSC 융합과 같은 이종소자간 융합형 태양전지 기술은 지금까지 시도되지 않은 독창적인 기술로 가격경쟁력을 가지고 있는 태양전지의 텐덤화를 통해 신개념 초고효율 태양전지를 구현하는 기술임. 본 기술은 전 세계적으로 개념정립 단계에 있어서 초기에 집중적인 연구개발이 이루어지면 원천기술 확보가 가능한 분야에 해당되고 시장경제측면에서 경쟁력을 확보할 수 있는 신 성장 분야임 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 스위스, 미국, 스웨덴 |
| 최고기술 보유 기관* | 스위스: EPFL, 미국: UC-Berkeley, 스웨덴: Lund University |
| 연구개발단계 ( 13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구 |

| | |
|---|---|
| | 개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 3 년 |
| 기술동향 | ◦ DSSC가 상용화기술로 발전하기 위해서는 현재 10% 내외로 머물러 있는 광전변환 효율을 15% 이상으로 발전시켜야 하고 염료나 전해질의 장기안정성이 확보되어야 함. 현재 세계최고수준의 에너지변환 효율은 국내 화학연구원 연구팀과 스위스 EPFL Gratzel 연구팀이 공동으로 개발한 약 12.3%로 상용화수준으로 태양전지 기술이 발전하고 있음<br>◦ 실제 응용 가능한 소자개념으로의 반도체 나노선 태양전지 기술은 미국 UC-Berkely의 Javey 교수팀이 개발한 CdTe/CdS p-n 접합 나노선 태양전지로 약 6% 내외의 비교적 높은 광전변환효율이 보고되며 최근 스웨덴 Lund 대학교 연구팀이 III-V 화합물 반도체인 InP 나노선을 MOCVD 및 나노임프린트 기술로 합성하여 13.8%의 초고효율 태양전지 제작에 성공하였음<br>◦ 앞서 기술한 바와 같이 나노선 태양전지 기술은 나노패터닝 기술 또는 나노 탬플릿 구조를 활용하여 비교적 높은 효율을 가지는 태양전지 시현에 성공하였음. 그러나 나노패터닝 또는 탬플릿 구조체는 고가이면서 대면적화가 어려운 기술에 해당하기 때문에 본 기술이 본격적으로 상용화기술로 발전하기 위해서는 추가적인 효율향상 기술과 더불어 저렴하고 단순한 공정기술이 선행되어야 함. 또한 사용 원재료가 인체 및 환경에 유해한 Cd 등의 중금속을 포함하고 있어 상용화에 큰 문제점을 안고 있어 기존의 실리콘 및 III-V 화합물 반도체에 기반을 둔 나노와이어 태양전지 등에 대한 관심이 증가하고 있는 추세임 |

## 4. 국내 기술수준

| | |
|---|---|
| 국내 최고기술 보유 기관* | 화학연구원, 성균관대학교, 광기술원, 울산과학기술대학교 |
| 국내 기술수준 | 85 % |

<table>
<tr><td></td><td>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉<br><table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ DSSC 분야의 경우 국내외 기술수준격차는 거의 없으나 나노선 또는 양자점 기반의 태양전지는 최고기술수준의 대략 80% 정도에 해당함</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>□ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>5 년</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td>◦ 국내 DSSC 기술은 화학연구원, 성균관대학교 등에서 활발하게 연구되고 있으며 기술수준은 세계수준과 거의 차이가 없는 것으로 평가됨<br>◦ 나노와이어 기반의 태양전지 분야에서 국내기술은 선진국과 비교할 때 다소 차이가 있음. 현재 미국 또는 스웨덴이 주도하고 있는 나노와이어 태양전지 기술은 13% 대의 높은 광전변환효율을 보유하고 있으나 국내에서는 약 8% 대에 머물러 있음. 그러나 국내기술은 외국과 달리, 무촉매/무패턴 나노선 대면적 합성기술을 신규 개발하여 향후 충분히 경쟁할 수 있을 것으로 판단됨</td></tr>
</table>

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 태양전지 산업

◦ 나노태양전지 분야는 아직 본격적으로 시장에 진입하지 않은 기술들로 집중적인 연구개발이 이루어지면 원천기술 획득의 가능성이 높은 분야에 해당함

◦ 특히 이종의 태양전지의 융합을 통하여 초고효율이면서 충분한 가격경쟁력을 가지는 융합형 태양전지를 개발하게 되면 향후 신재생에너지 시장의 주도권을 확보할 수 있을 것으로 분석됨

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 김종규 / 포스텍 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 054-279-2149 | E-mail) | kimjk@postech.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 나노포토닉스 / 나노 기반 LED |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ LED는 기존의 광원에 비해 에너지효율이 높고 수명이 길어 친환경 측면에서 이상적인 광원으로 각광받고 있으며, 에너지절약, 탄소가스 배출감소와 고유가상황에 대처할 수 있어 중요성이 점차 커지고 있음<br>◦ LED는 Display용 BLU(Backlight Unit)로부터, 자동차, 전광판, 조명 등 다양한 분야에 사용되고 있으며 응용분야가 점차 확대되고 있어 큰 고부가가치를 창출하는 산업임<br>◦ 따라서 국가전략적인 차원에서 원천특허 기술개발을 모색해야 할 때임. 또한 LED 선진국의 시장진입장벽강화 움직임에 대응하기 위한 국제표준선점과 특허공세에 능동적으로 대응해 나가야 할 필요가 있음<br>◦ 반도체 LED를 조명용 백색광원으로 사용하기 위해서는 먼저 최대의 내부양자효율을 얻기 위한 고품질의 질화물계 반도체 박막 성장 기술, 다양한 LED 구조 설계와 소자공정의 최적화를 통한 외부 발광효율을 극대화하여야 함 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| | ◦ InGaN/GaN LED 구조의 경우 내부분극현상, 결정결함 및 quantum confined Stark effect (QCSE) 등으로 인해 내부양자효율 향상에 한계가 존재함. 또한, 소자구조와 공기의 굴절률 차이로 인해 내부 전반사에 의하여 활성층에 생성된 빛이 외부로 방출될 때 손실되고 있음<br>◦ LED효율을 결정하는 내부양자효율과 광추출효율의 근본적인 제한요인을 극복하고 개선하기 위해서는 나노기술의 적용이 필수적임 |
| 기술내용 | ◦ 나노기반 LED 기술은 크게 2가지로 나노광학 기반 원천기술을 이용한 광추출 효율향상기술과 나노구조 LED를 통한 내부양자 효율향상 기술로 구성됨<br>◦ 나노광학기반 원천기술을 이용한 광추출 효율의 향상<br><br>1. 나노구조 패터닝 공정 기술<br>– LED의 발광층인 multi quantum well (MQW) 영역에서 생성된 빛이 방출될 경우, 소자와 외부공기, 외부 봉지재인 에폭시, sapphire 기판 등과의 경계에서 전반사가 지배적으로 발생하여 LED의 광추출효율은 불과 수 %로 매우 낮음<br>– 이를 해결하기 위해 소자표면 및 sapphire 기판을 나노임프린트 리쏘그라피, AAO (anodized aluminum oxide), Polystyrene sphere 등을 이용해서 나노 패터닝 할 경우 패턴에 의한 난반사 현상으로 인하여 전반사된 빛의 반사경로를 바꾸거나 진행되는 빛의 입사각을 보정하는 효과로 광의 추출효율을 향상시키는 것이 탁월함<br>2. 광결정 응용 기술<br>– Photonic crystal(광결정) 기술을 이용하여 발광다이오드와 외부와의 주기적인 굴절률 차이를 이용한 광 추출효율 극대화를 통해 고효율 발광다이오드를 개발할 수 있음<br>3. 표면 플라즈몬 응용 기술<br>– LED의 내부양자효율은 금속 표면에 생성되는 표면플라즈몬 효과를 활용할 경우 크게 향상 가능<br>– LED 표면이나 내부양자우물 근처에 수십 나노미터 크기의 금속입자 등을 종류, 크기, 주기성 등을 고려하여 적절하게 배치하고, 표면 플라즈몬 효과와의 상호작용을 조절하여 효율극대화 달성 가능<br><br>◦ 나노구조 LED를 통한 내부양자효율 향상 기술<br>1. 나노막대 무분극 LED 성장 기술<br>– 사파이어 기판 패터닝을 통한 선택성장 (Slected area growth)를 통해 나노막대 형태의 GaN 나노막대를 성장하고 무분극 방향 (m-plane)으로 활성층을 성장하는 기술<br>– 기존의 분극 방향 성장에 의한 문제점 (내부양자효율 감소, 효율 드룹 문제 등)을 원천적으로 해결할 수 있는 기술<br>2. 나노 피라미드 어레이 LED 성장 기술<br>– 사파이어 기판 패터닝을 통한 선택성장 (Slected area growth)를 통해 나노 |

| | |
|---|---|
| | 막대 형태의 GaN 나노 또는 마이크로 피라미드 등의 다차원 LED를 성장하는 기술<br>– 패턴의 배열, 패턴의 기하학적 크기 및 모양에 따라 우선적으로 성장되는 결정학적 면과 활성층의 밴드갭이 달라지게 되므로, 다색발광 고효율 LED의 구현이 가능한 기술 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| **최고기술수준 보유 국가** | **일본, 스웨덴** |
| **최고기술 보유 기관*** | **스웨덴:** Lund University, **일본:** Sophia University |
| **연구개발단계 (13년 기준)** | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| **기술수명주기 (13년 기준)** | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | **5 년** |
| **기술동향** | ◦ 나노패터닝은 주로 AAO, 나노임프린트 리쏘그라피, 레이저 간섭 리쏘그라피, micro 구면체를 이용한 패턴형성을 통해 연구개발되고 있음<br>◦ 나노패터닝 이외에도 CVD 등을 이용해 LED 소자 위에 ZnO, MgO 등 나노구조를 성장해서 광추출 효율을 높이는 연구가 진행되고 있음<br>◦ 나노구조 LED의 경우, 주로 분자선증착법 (Molecular beam epitaxy)을 이용한 |

| | |
|---|---|
| | 나노막대 LED 성장에 대한 연구 개발되고 있으며, 나노구조의 기하학적 크기 및 모양을 조절함으로써 사출되는 광의 파장을 조절하는 기술과 여러 파장의 광을 모아 백색광을 만드는 기술이 시도되고 있음 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>삼성전자, LG 이노텍</td></tr>
<tr><td>국내 기술수준</td><td>70 %<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 세계적인 연구 그룹에서는 이미 시제품을 생산하고 있으나, 국내 최고 기술 보유 기관에서는 연구 개발 단계에 머물러 있음</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>□ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
</table>

| 기술개발 소요시간 | 5 년 |
|---|---|
| 국내 기술동향 | ◦ 기본적으로 세계기술동향과 일치함<br>◦ 나노패터닝은 주로 AAO, 나노임프린트 리쏘그라피, 레이저 간섭 리쏘그라피, micro 구면체를 이용한 패턴 형성을 통해 연구 개발되고 있음<br>◦ 나노패터닝 이외에도 CVD 등을 이용해 LED 소자 위에 ZnO, MgO 등의 나노구조를 성장해서 광추출 효율을 높이는 연구가 진행되고 있음<br>◦ 나노구조 LED의 경우, MOCVD를 이용한 나노막대 LED 성장에 대한 연구 개발이 이루어지고 있으며, 나노구조의 기하학적 크기 및 모양을 조절함으로써 사출되는 광의 파장을 조절하는 기술과 여러 파장의 광을 모아 백색광을 만드는 기술이 시도되고 있음 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| ■ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 조명용 LED 시장의 예측값은 매년 증가하고 있으며, 이는 새로운 시장이 계속 열리고 있음을 의미함

◦ 새로운 나노기발 LED의 원천기술 확보와 국내 LED 기업의 경쟁력 향상을 통해 조명시장의 세계적인 리더십을 갖는 것을 물론 농수산 등 새로운 시장을 개척할 수 있는 원동력을 갖게 될 것으로 기대됨

◦ 거대한 잠재력을 가지고 있는 국내시장 개척의 경험을 바탕으로 해외에 진출하는 전략으로 세계시장 점유율을 높일 수 있을 것으로 기대됨

◦ 국내 LCD 및 자동차 기업의 경쟁력 강화에도 크게 기여할 것으로 예측되며, 이들 제품의 수출증가 효과가 클 것으로 기대됨

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 길상근 / 수원대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 010-3344-2456 | E-mail) | skgil@suwon.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 나노포토닉스 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| | |
|---|---|
| 기술개발 필요성 | ◦ Surface plasmon 현상은 1957년에 처음 예견된 이후 연구가 제한적으로 이루어져 왔으나, 2000년을 전후하여 나노포토닉스 영역의 응용 가능성이 크게 주목 받으면서 최근에는 다학제 연구가 활발히 진행되고 있음<br>◦ 기존의 광결정 및 실리콘포토닉스 기술의 경우 전자소자의 속도한계와 광소자의 크기한계로 인해 나노 스케일의 소자를 구현하기 어려움<br>◦ Plasmonics 기술은 빛에 대한 빠른 반응속도와 회절한계 이하의 광집속 특성으로 인해 기존 전자소자와 광소자의 한계를 뛰어넘는 융합적 기술로 종래의 기술 및 산업 판도에 큰 변화를 가져올 수 있으며, 특히 전자산업에 대한 의존도가 높은 국내의 경제구조에 위협과 동시에 기회요인을 제공할 것임 |
| 기술내용 | ◦ 나노포토닉스는 근본적으로 빛과 물질의 상호작용을 다루는 학문인데 금속 표면 및 금속 나노 입자에서 발생되는 plasmonics 효과에 의한 강한 전자기장 증강 현상은 빛과 물질의 상호작용을 극대화할 수 있는 중요한 기술적 수단을 제공함 |

| | |
|---|---|
| | ◦ Plasmonics 기술은 일반적으로 표면 플라즈몬 폴라리톤(SPP) 또는 국소 표면 플라즈몬 공명(LSPR) 특성에 기반한 기술을 의미함<br>◦ Plasmonics에서 나타나는 전하밀도와 전자기파의 긴밀한 상호유도 효과는 전자와 빛의 직접적 상호작용을 이용한 새로운 개념의 소자구현의 가능성을 제시함<br>◦ 이러한 특성으로 인해 빛의 회절한계를 극복한 나노 스케일의 광집속이 가능하게 되어 나노포토닉스의 소자의 실현이 가능함 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | **미국, 캐나다, 덴마크, 영국, 이탈리아, 이스라엘, 프랑스, 일본, 한국** |
| 최고기술 보유 기관* | **캐나다 Ottawa 대학과 Spectalis사, Southern Denmark 대학, 미국 California 대학, 영국 Bath 대학, 덴마크 Aalborg 대학, Stanford 대학, 이스라엘 Tel Aviv 대학과 미국 Georgia 주립대, 미국 Norfolk 주립대와 Perdue 대학, Cornell 대학, 프랑스 Louis Pasteur 대학, 일본 JST와 JAIST, 이탈리아의 Megna Graecia 대학, Pavia 대학, TASC 국립연구소, CalMED s.r.l., 한국 ETRI** |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | ■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | **10 년** |
| 기술동향 | 1. 장거리 플라즈몬 도파로 관한 연구 :<br>– 캐나다 Ottawa 대학과 Spectalis사는 과거 장거리 플라즈몬 도파로에 기반한 광통신 소자에 관심이 많았으나 최근에는 센소소자 응용에 더 큰 관심을 보이고 있음 |

| | |
|---|---|
| | – Southern Denmark 대학 연구그룹이 2005년 장거리 플라즈몬 금속 도파로 주변에 Wheatston bridge 구조형태로 금속 도파로를 추가 배치하여 도파로를 따라 진행하는 광출력을 측정할 수 있는 방법을 제시함<br>2. 나노스케일 플라즈몬 도파로 및 수동 광소자 관련 연구 :<br>– 미국 California 대학에서 2008년 금속 표면과 반도체 실린더 구조 사이에서 매우 강한 구속 효과에 비해 비교적 낮은 전송손실을 갖는 나노스케일 광도파 특성을 발견함<br>– 영국 Bath 대학에서 2005년 주기적 나노입자 구조를 적용한 플라즈몬 도파로에 테이퍼 광섬유를 접속시켜 광섬유와 플라즈몬 도파로 간에 75% 정도의 결합 효율을 달성함<br>– 덴마크 Aalborg 대학에서 2006년 금속 표면에 V자 형태의 홈이 형성된 채널 플라즈몬 도파로를 이용하여 10㎛ 이하의 크기를 갖는 플라즈모닉스 기반 Y-splitter, Mach-Zehnder 간섭계, Ring 공진기를 구현하였음<br>3. 나노 플라즈몬 기반 능동 광소자 관련 연구 :<br>– California 공대 연구그룹은 2007년 플라즈모닉스를 이용한 완전광 변조기를 구현하였으며, 이를 다시 발전시켜 2009년 plasmonic MOS modulator (plasMOSter)를 제안함<br>– Stanford 대학에서 2009년 1㎛ 정도 크기를 갖는 공진기 구조에서 100 GHz 이상의 구동이 가능한 전기광학 플라즈모닉 변조기 관련 이론적 연구결과를 발표함<br>– 이스라엘 Tel Aviv 대학과 미국 Georgia 주립대는 2003년 공동연구를 통해 빛의 파장보다 훨씬 작은 나노 구조에서 발생되는 표면 플라즈몬의 증폭효과를 이론적으로 입증하고 이를 spaser라 명명함<br>– 2009년에는 미국 Norfolk 주립대와 Perdue 대학, Cornell 대학의 공동연구 그룹이 금 코어와 염료가 도핑된 실리카 셀로 구성된 44nm의 나노입자에서 spaser의 특성을 구현한 바 있음<br>4. 나노 플라즈몬 안테나 :<br>– 프랑스 Louis Pasteur 대학에서 1998년 150nm의 정사각형 구멍이 주기적으로 뚫린 금속박막 구조에서 생성된 표면 플라즈몬과 격자구조 사이의 공명 결과를 발표함<br>5. 표면 플라즈몬 센서 소자 :<br>– 일본 JST와 JAIST의 공동연구 그룹은 2006년 금 나노 입자가 부착된 항체와 항원으로 구성된 새로운 증감제를 이용하여 인간 융모성 생식선 자극호르몬을 즉각적으로 검출할 수 있는 매우 민감한 면역크로마토그래피법을 개발하였음<br>– 2008년 이탈리아의 Megna Graecia 대학, Pavia 대학, TASC 국립연구소, CalMED s.r.l. 공동연구 그룹은 유전체 광결정 구조와 금속 나노도파로 구조를 이용하여 실리카 나노입자, CdSe 양자점, 단일층 유기화합물 분자 등을 비표지 방식으로 10~200개 분자 수준까지 매우 민감하게 검출할 수 있는 바이오센서용 나노소자를 개발하였음 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>ETRI, 성균관대, 고려대, 서울대, 연세대</td></tr>
<tr><td rowspan="2">국내 기술수준</td><td>85 %</td></tr>
<tr><td>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 국내 연구자들의 플라즈모닉스 분야 연구 참여가 세계적으로 그리 늦지 않은 편이며 몇몇 영역에서는 이미 세계적인 연구 성과를 거두고 있음. 하지만 외국 연구기관에서 제안한 개념 및 아이디어의 구현 연구에 치중하고 있어 연구개발 초기 단계에 맞게 독자적인 기술 기반 확보가 미흡하고 융합적 협력연구 기반은 취약한 편임</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>10 년</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| 국내 기술동향 | 1. 장거리 플라즈몬 도파로 관한 연구 :<br>– ETRI 연구그룹이 장거리 플라즈몬 도파로에서 1dB/cm 이하의 세계 최저 광전송 손실 기록을 달성하였고, 도파로를 구부릴 경우 급격한 손실 증가가 발생되는 문제를 해결하고 2mmm의 구부림 반경에서도 광손실 변화가 미미한 고유연성 장거리 플라즈몬 도파로를 자체 원천기술로 개발한 바 있으며, 이 기술들을 바탕으로 수 Gbps급 chip-to-chip 유연성 광연결 모듈을 성공적으로 구현함<br>– 성균관대, 한양대, ETRI는 공동연구로 장거리 플라즈몬 도파로에 기반한 센서소자 구현 연구를 수행하고 있음<br>2. 나노스케일 플라즈몬 도파로 및 수동 광소자 관련 연구 :<br>– 성균관대와 ETRI 공동연구 그룹은 최근 마이크로스케일 광섬유와 나노스케일 플라즈모닉스 도파로를 효율적으로 광결합하기 위한 연구를 수행함<br>– KAIST에서 2010년 은 기판 위에 형성된 1차원 반도체 광결정 나노빔 구조에서 모드 볼륨 약 λ 3/1000을 갖는 저손실 플라즈몬 공진기 구조에 대한 연구결과를 발표함<br>3. 나노 플라즈몬 기반 능동 광소자 관련 연구 :<br>– 고려대에서 2010년 유리기판에 형성된 반도체 나노디스크에 은을 전면적으로 증착하여 덮은 구조에서 whispering-gallery 모드에 의해 여기되는 회절한계 이하의 모드 볼륨 크기를 갖는 플라즈모닉 레이저를 구현하였음<br>4. 나노 플라즈몬 안테나 :<br>– 서울대와 연세대의 공동연구 그룹은 2006과 2007년에 걸쳐 금속 박막에 형성된 슬릿들의 면적비에 비해 많은 양의 전자기파가 통과하는 특성을 THz 대역에서 실험적으로 확인하고 투과 특성에 있어서 슬릿 모양에 따른 공명 특성이 존재한다는 기존 이론을 입증함<br>5. 표면 플라즈몬 센서 소자 :<br>– ETRI에서 표면 플라즈몬 공명 현상을 이용한 이미지 바이오 센서를 국내 최초로 개발하였으며, 단백질 분석과 플라스틱 칩을 사용한 SPR 이미징 센서 개발 연구를 수행하였음 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 적용산업
  – 평판 디스플레이, 이미징, LED/OLED, 태양전지, 센서, 데이터 저장, 광연결, 광기기, 의료 산업 등

◦ 적용분야
  – 광학, 분광학, 화학, 금속학, 재료학, 생물학, 전자공학, 분야 등

◦ 기대효과
  – 광기술과 전자기술의 융합적 영역인 프라즈모닉스 기술의 실용화는 기존 산업구조의 급격한 재편을 초래할 것으로 전망됨
  – 미래의 파괴적 기술 기반이 될 신개념 융합소자 아이디어의 발굴 가능성
  – 광–전자 융합기술에 기반한 새로운 소자, 부품, 시스템, 서비스 시장의 발생

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 장호원 / 서울대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 010-9907-5846 | E-mail) | hwjang@snu.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 나노센서/MEMS |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 나노소재와 나노기술을 응용할 경우 기존 물리 및 화학 센서의 한계를 극복하고 소형화, 저전력화, 및 가격절감의 효과를 가져올 수 있음 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 나노소재, 나노공정기술 및 MEMS 기술과 반도체 대량생산 기술을 접목하여 온도, 습도, 압력, 기울기, 가스 등 물리, 화학적 신호를 감지하는 센서의 성능을 극대화하고 모바일 컨버전스 시대에 맞게 센서를 보다 소형화하며 소비전력을 극소화와 동시에 대량생산을 통해 성능 대비 센서단가를 획기적으로 감소시키는 것에 관한 전반적인 기술<br>◦ 나노센서에 의해 감지된 신호를 바탕으로 소자 또는 시스템의 동작을 제어 또는 발생시키는 엑츄에이터 기술 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준<br>보유 국가 | 미국, 일본, 유럽 |
| 최고기술<br>보유 기관* | NASA, IBM, MIT, UIUC |
| 연구개발단계<br>( 13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기<br>( 13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발<br>소요시간 | 5 년 |
| 기술동향 | ◦ NASA에서는 가스 감지가 필요한 모든 분야에 적용 가능한 화학센서 어레이 기반의 스마트칩을 개발 중이며 일부 시제품을 선보이고 있음. 스마트 센서어레이는 환경, 제조업, 식품, 의료, 군사, 교육 등 매우 광범위한 적용분야를 가지고 있으며 최근 휴대폰에 장착이 가능한 센서어레이를 개발 중에 있음<br>◦ IBM에서는 지난해 말 (2012.12) 5년 이내에 컴퓨터에 인간이 가지는 오감(청각, 후각, 촉각, 미각, 시각) 센싱의 기능을 부여하는 것을 목표를 연구개발을 개시하였다고 발표하였음<br>◦ 미국 하버드 대학에서는 종이 위에 구현이 가능한 센서어레이 기술 개발이 한창이며, 저렴한 단가의 센서개발이 가능하게 되면 아프리카 등 후진국의 삶의 질 향상에 큰 도움이 될 것으로 사료됨<br>◦ 미국 일리노이주립대학에서는 패치형태로 피부부착이 가능하며, 심장박동을 감지하는 심장관련 질병진단이 가능한 센서를 개발하였고 향후 여러 가지 질병 진단이 가능한 센서를 개발 중에 있음 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>한국과학기술연구원</td></tr>
<tr><td>국내 기술수준</td><td>70 %<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 선진국 대비 4-5년 정도의 gap이 있음<br>– 구체적인 예: 휴대폰에 장착 가능한 화학센서 구현의 경우 미국은 2008년에 한국은 2012년에 기술이 개발됨</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>□ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>7 년</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td>◦ 국내에서도 나노소재, 나노공정기술 및 MEMS 기술을 기반으로 하여 나노센서 제조기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나, IT-NT 분야의 나노센서 개발 기술의 경우 소규모 사업으로 진행되고 소재, 소자, 시스템 및 데이터베이스화에 이르기까지 융합연구가 매우 부족한 실정임. 보다 근본적인 문제는 나노센서 기술을 적극적으로 수용하여 기술을 활용, 제품 생산이 가능한 산업체가 부재함</td></tr>
</table>

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 가스 분자 감지가 필요한 모든 분야(Military environments, toxicology, industrial processes, environmental toxins, and pollutants, space station/space shuttle air quality, medicine/body functions, food processing, mobile applications)

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 김종백 / 연세대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02-2123-2812 | E-mail) | kimjb@yonsei.ac.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 나노센서/MEMS |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 저전력소모, 소형화, 그리고 기능면에서 현재정보시스템의 한계를 뛰어 넘을 수 있는 IT-NT 융합기술임. 미래 IT 및 헬스, 로봇, 자동차, 건물 등의 경쟁력을 좌우할만한 광범위한 응용 기술로서 그 파급효과가 매우 큰 기술임 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 센서란 물리, 화학 및 바이오 등의 정보를 감지·취득하여 관측자나 시스템에서 읽을 수 있는 신호로 변환하는 정보 소자나 장치를 뜻함. 광의 세기, 온도, 압력 등 목적하는 양을 효과적으로 검출하여 얻어진 신호를 전기적 신호로 변화하는 과정이 필요하기 때문에 변환기능을 가진 물질 또는 소자의 단독 혹은 복수의 조합으로 구성됨<br>◦ 인간의 오감에 의해 주위의 상태와 모습을 알게 되는 것처럼 센서는 시스템에서 감각기관의 역할을 함<br>◦ 나노기술이나 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 기술이 접목되어 정보를 획기적으로 감지하거나 데이터처리, 자동보정, 자가진단, 의사결정 등의 신호처리가 내장된 지능형센서로 연구의 첨단화가 시도되고 있음 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준<br>보유 국가 | 미국, EU, 일본 |
| 최고기술<br>보유 기관* | 미국: University of California, Stanford University, University of Michigan<br>EU: ETH Zurich (Switzerland), Delft University (Netherland),<br>Fraunhofer Institute (Germany)<br>일본: University of Tokyo, Tohoku University |
| 연구개발단계<br>( 13년 기준) | ■ 기초연구(나노센서) ■ 응용연구(MEMS) □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기<br>( 13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발<br>소요시간 | 5 ~ 10 년 |
| 기술동향 | ◦ 센서기술은 산업별로 적용되어 기존 제품과 서비스를 첨단화함으로써 제품기능을 향상시키거나 새로운 비즈니스를 창출할 수 있는 잠재력으로 인해 많은 선진국들이 개발에 주력하고 있는 기술임<br>◦ 자동차, 모바일기기, 로봇, 환경, 국방/보안, 의료기기, 가전기기, 산업/계측기기 등 다양한 분야에 적용되고 있으며 최근 스마트폰에 고화질카메라, 모션센서, 지자기센서, 마이크로폰 등 10여개 이상이 탑재되고 바이오/의료기기, 지능형물류, USN 등 새로운 분야로 센서의 적용이 확대되고 있음<br>◦ 센서산업은 타 산업 적용 및 융합을 통해 기존의 가치를 획기적으로 증대시키는 가치향상산업, 차세대 성장산업, 수출유망 부품산업, 선진국 주도형산업, 첨단지식산업 등의 특징을 가짐 |

| | |
|---|---|
| | ◦ MEMS 기술을 이용한 센서의 상용화가 먼저 이루어지고 있으며 향후 나노소재를 활용한 고감도화, 고성능화 센서의 연구 및 산업화가 이루어 질 전망임. 나노소재 응용 센서의 경우 신뢰성, 재현성 및 반복성에 대한 기술력 확보가 이루어져야 하나, 아직까지 이에 대한 뚜렷한 해결방안은 나오지 않은 상태임 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td colspan="4">서울대학교(나노센서), KIST(바이오센서), 연세대학교(MEMS) 등</td></tr>
<tr><td>국내 기술수준</td><td colspan="4">70 %<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td colspan="4">◦ 정량적 최고치와 비교 시, 해당 기술 수준이 70%에 해당</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td colspan="4">■ 기초연구(나노센서) ■ 응용연구(MEMS) □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td colspan="4">■ 도입기 (유해가스센서, 바이오 센서 및 지능형센서 등) ■ 성장기 (광센서, 모션센서, 압력 센서 등 단품센서) □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
</table>

| 기술개발 소요시간 | 10 ~ 15 년 |
|---|---|
| 국내 기술동향 | ◦ 세계 센서시장은 센서사용의 급증과 센서의 첨단화 추세에 따라 급성장 중이나 국내산업 경쟁력은 매우 취약함<br>◦ 미국, 유럽연합(독일, 스위스 등), 일본 등 일부 선진국만이 대부분의 센서기반 기술을 확보하고 있음. 특히, 낮은 기술력으로 첨단센서를 거의 생산하지 못해 국내수요의 대부분을 수입에 의존함<br>◦ 국내 대학, 연구소 등의 연구력은 우수한 편이나, 이를 상용화하기 위한 기업의 의지는 미약함(국내기업은 첨단센서에 대한 기술력 부족과 일반센서의 가격경쟁력 취약으로 장기적인 기술개발이나 투자보다는 수입에 의존하려는 성향이 강함.) |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| ■ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 자동차 산업 : 자동차의 센서사용이 최근 200여개('05년 100여개)로 확대. 전 세계적인 환경·안전규제의 강화에 따른 친환경·고안전 자동차 기술 개발 및 이에 대응하여 첨단 센서기술 필요. 자동차의 소비 트렌드 변화에 따라 센서적용 확대 예상

◦ 보안 산업 : CCTV를 중심으로 한 감시용 보안센서 분야, 인증용 보안센서 분야(대형건물은 약 20,000개의 센서 사용)

◦ 로봇 산업 : 로봇산업은 부품에 대한 해외 의존도가 매우 높아 완제품의 국제경쟁력 강화를 위한 로봇용 핵심 센서부품의 국산화는 의미가 큼. 또한 로봇부품은 소형, 경량, 고기능, 다기능, 고출력 등 타 산업과 차별화된 요구사양으로 기존센서에 적용이 어려워 나노/MEMS 센서의 개발이 수반되어야 함

◦ 자동차, 로봇 등 타산업의 혁신제품 개발을 위해서 첨단센서가 필수적이므로 센서산업의 고도화는 다양한 타 분야의 산업육성을 활성화 또는 확대시킬 수 있음

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 문승언 / 한국전자통신연구원 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 042-860-5603 | E-mail) | semoon@etri.re.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 나노센서/MEMS |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ MEMS 기술은 아직 주류가 형성되어 있지 않은 신기술 분야이나 소형, 경량, 고기능, 저비용화를 핵심이념으로 하고 있어 기존 제조산업 패러다임 변화에 최적의 해결 방안으로 주목받고 있으며, 저비용 대량생산과 저소비전력 등이 차별화 요소로 작용하고 있음 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ MEMS형 관성센서<br>◦ MEMS형 마이크로폰<br>◦ MEMS형 오실레이터/공진기<br>◦ MEMS형 압력센서<br>◦ MEMS형 환경센서 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국, EU, 일본 |
| 최고기술 보유 기관* | ST Micro, Knowles Acoutic, Bosch, ADI, e2v |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 2 년 |
| 기술동향 | ◦ 미국, 유럽, 일본 등은 1980년대 초반부터 민수 및 군사기기, 운송, 의료 등의 응용을 목적으로 대대적인 연구 프로젝트를 진행하고 있으며 특히 2000년대에 들어서는 바이오, 복지, 광통신, 무선부품용 핵심 소자 분야에 집중투자가 이루어지고 있음<br>◦ 최근 미국에서의 기술개발은 시장변화와 밀접한 관계를 갖고 있으며, 최근 기술개발 지원이 시작된 세가지 기술 흐름은 첫째, 극소형 제품의 가격경쟁력을 위한 제조 및 패키징 기술개발, 둘째, 제품개발의 가속화와 효율성 증대를 위하여 설계 및 시뮬레이션 CAD에 관심이 모아지고 있으며, 마지막으로 기존의 자동차, 의료 및 센서 이외의 추가시장 확대를 위해 microfluidics/microvalve 등을 이용하여 물리적 환경과 접촉되는 새로운 분야를 개척해 나감<br>◦ 미국, 일본과 비교하면 제품의 소형화보다는 소형품을 생산하기 위한 효과적인 방법에 대한 연구가 활발하여 제품의 소형화에 대한 기술은 미국, 일본에 뒤떨어져 있음 |

| | |
|---|---|
| | ◦ 미국에서의 MEMS 연구를 반도체 공정을 이용한 Lithography 기반 MEMS로 정의할 수 있다면, 일본의 경우는 이것에 더하여 Mechatronics가 가미된 마이크로머신(기존의 크고 비싼 기계가 할 수 있는 많은 일을 마이크로머신이 대신할 수 있다는 생각에서 출발)으로 정의하여 MEMS 개발을 추진하고 있음 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>바른전자, BSE, 파트론, ETRI</td></tr>
<tr><td>국내 기술수준</td><td>80 %<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 일천한 연구 경력과 부족한 기술력으로 최근 상용 제품들이 나오는 단계로 신뢰성 등을 검증하는 단계임</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>□ 기초연구 □ 응용연구 ■ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
</table>

| 기술개발 소요시간 | 5 년 |
|---|---|
| 국내 기술동향 | ◦ 국내에서 마이크로머시닝 기술을 연구하기 시작한 것은 1980년대 후반이며, 표준과학연구원과 한국과학기술연구원, 경북대 등에서 실리콘 에칭에 관한 기초적인 실험이 시작되었고 실리콘 마이크로머시닝을 이용한 압력센서에 관한 연구개발도 함께 시작되었음<br>◦ MEMS 제품의 국내시장은 구체적인 시장규모 파악이 현재로서는 불가함(대부분의 회사에서 개발단계이며, 대기업과 벤처기업이 공동으로 휴대 단말기용 고주파 제품, 광통신용 부품 및 모듈, 적외선 이미지 센서, 반도체 검사용 프로브 카드 등을 개발 및 상용화하고 있는 상황임)<br>◦ 현재까지 국내 MEMS 연구는 연구기간이 일천하여 대학 및 대기업을 중심으로 압력센서, 유량센서, 가속도계 등 단순 센서부품과 DMD 디스플레이, pick-up, 기초적인 저장장치 등의 연구가 수행되었으며, 첨단가전제품을 출시하고 있는 선진국에 비해 비교적 기술난이도가 낮은 분야를 위주로 연구개발 투자가 이루어졌음 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | ■ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| □ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 현재 전세계적으로 다양한 MEMS 응용제품이 출시되는 초기 시장단계를 거치고 있으며, 앞으로는 MEMS 기술과 VLSI의 접목으로 응용분야의 급격한 확대와 시장 규모의 비약적인 성장이 예상됨

◦ MEMS 산업은 새로운 비즈니스 창출, 고용증대 및 신규 산업 부문으로의 응용 다양화 등을 통해 앞으로 5년 내에 약 100억 달러 규모의 거대한 시장을 형성할 것으로 전망됨

◦ 주요 분야로 정보·통신, 자동차, 컴퓨터/OA/전자/가전, 의료/환경, 군사/항공 분야가 있으며, 모든 분야가 MEMS의 기반을 형성하고 있으며, 이 분야의 전망에 영향을 미치는 다양한 요소들은 산업관련 기술 발전을 이끌어갈 잠재적인 성장 요소가 될 것임

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉


| 성 명/소 속 | 박용욱 / 남서울대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 010-3797-6411 | E-mail) | pyw@nsu.ac.kr |


## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 양자컴퓨터 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 양자컴퓨터는 데이터 처리를 수행하기 위해 중첩(superposition)과 얽힘(entanglement)과 같은 양자 역학적 현상을 동작원리로 기존의 슈퍼컴퓨터가 접근할 수 없는 계산속도로 의약품 개발, 신재료 개발 및 물리/화학분야의 아주 복잡한 문제를 단시간 내에 해결할 수 있는 기존과는 다른 동작 원리로서 연산의 새로운 패러다임을 제공함 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 양자컴퓨터를 개발하는 것은 가장 기본이 큐비트(qubit)를 구현하기 하여 양자 역학적 현상을 제어할 수 있는 기계장치를 만드는 것과 양자 상태를 이용하여 새로운 데이터처리 알고리즘을 개발하는 것으로 분류할 수 있다. 필요한 세부 기술을 살펴보면 "0"과 "1" 상태를 동시에 가질 수 있는 큐비트(qubit) 구현 기술, 프로세서 제작기술, 양자시스템 제작기술, 데이터전송기술 및 큐비트를 이용한 양자알고리즘 개발기술 등이 있음 |

| | |
|---|---|
| | ◦ 현재 기술적으로 양자컴퓨터를 구현하기 위해 필요한 기술로는 decoherence가 긴 qubit 개발과 양자상태를 제어 할 수 있는 초기화 기술 및 확장성(scalability)이 높은 qubit 제작 기술 등이 요구됨 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국, 일본, 영국, 중국 |
| 최고기술 보유 기관* | MIT, Harvard, D-Wave, AT&T, NEC |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 15 년 |
| 기술동향 | ◦ 현재 미국은 MIT, 칼텍 등의 대학에서 양자컴퓨터에 필요한 기술을 연구하고 있으며, 다수의 논문을 발표하고 있음. 또한 IBM, AT&T, HP 등 유명 기업체도 양자컴퓨터 제작 연구가 진행되고 있고 미국의 NASA, ARDA 등 국가기관에서도 연구가 다수 진행되고 있는 것으로 알려져 있으나 대부분은 비공개로 진행되고 있음<br>◦ 2011년 캐나다 기업인 D-Wave에서 첫 번째 상용화 양자컴퓨터인 D-wave one을 출시하였고 이 제품은 양자 128개의 프로세서가 장착된 양자컴퓨터로 미국 전투기 제작업체인 록히드 마틴에서 구매하였음 |

| | |
|---|---|
| | ◦ 유럽의 경우 미국보다 오랜 시간 양자역학에 대한 연구를 수행하여 현재 미국과 비슷한 연구수준을 보유하고 있으며 유럽 입자물리학 연구소 CERN이 양자역학 분야에서 세계적인 수준의 연구결과를 발표하고 있음<br>◦ 일본의 경우 2001년 총무성의 양자 정보통신 기술개발 지원으로 NEC, NTT, Mitsubishi 등 많은 기업연구소에서 양자 기술을 연구하고 있고 최근 일본국립 정보통신기술 연구소(NICT)에서 양자상태의 빛을 증폭시켜 손실없이 공간 이동시키는 데 성공하여 양자 컴퓨터와 양자 통신 등에 기반이 되는 기술을 개발하였음<br>◦ 중국은 다른 선진국에 비해 양자컴퓨터 기초기술개발이 늦었지만 국가 핵심 연구과제로 선정하여 산학협동으로 기반 양자 기술을 개발하였고 중국과학원이 상업용 광섬유 통신망과 양자 라우터 통신망에 대한 연구를 수행하여 양자 암호화 망 및 통신 실험을 활발히 진행하고 있음 |

## 4. 국내 기술수준

| | |
|---|---|
| **국내 최고기술 보유 기관*** | **서울대학교, KAIST, SK 텔레콤** |
| **국내 기술수준** | **50 %**<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉<br>① 나노바이오센서 65% ⑦ 휴먼인터페이스 75%<br>② 약물전달 60% ⑧ 나노일렉트로닉스 80%<br>③ 바이오센서칩 70% ⑨ 나노포토닉스 70%<br>④ 바이오인포매틱스 80% ⑩ 나노센서/MEMS 70%<br>⑤ 바이오컴퓨터 65% ⑪ 양자컴퓨터 50%<br>⑥ 생체인식/보호 80% |
| **평가근거** | ◦ 현재 국내는 학계 및 산업체에서 기초, 기반 양자 연구를 수행하여 결과를 다수의 특허 등록 및 연구 논문으로 발표하고 있는 상황임 |
| **연구개발단계 ( 13년 기준)** | **■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구**<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| **기술수명주기 ( 13년 기준)** | **■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기**<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계 |

| | |
|---|---|
| | 성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | **20 년** |
| **국내 기술동향** | ◦ 현재 국내의 양자컴퓨터 관련 연구개발은 기초기술을 개발하는 수준에 있음<br>◦ 다수의 연구자들이 연구결과를 발표하고 있는 상황으로 최근 서울대는 일본연구진과 공동연구를 통해 양자상태의 빛을 증폭시켜 손실 없이 공간 이동시키는 데 성공하였음. 양자상태의 빛에 정보를 실어 보낼 경우 속도가 빠른데다 정보의 손실이 없어 양자통신과 양자컴퓨터 등의 개발에 기여할 것으로 기대되고 있음<br>◦ KAIST의 연구팀은 NMR qubit 구현에 관한 연구를 수행하였으며, 산업체 중에서 SK 텔레콤은 이온트랩을 이용한 양자 기반 기술을 연구 중에 있음 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 양자컴퓨터의 개발은 반도체 나노소자 및 초전도체를 이용하기 때문에 반도체 산업 분야 및 광통신 분야로의 파급효과가 클 것으로 기대되며 향후 동 분야의 고용창출에도 기여 할 것으로 사료됨

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉



| 성 명/소 속 | 최원준 / KIST | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 02)958-5783 | E-mail) | wjchoi@kist.re.kr |



## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 양자컴퓨터 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 전자 혹은 단광자의 얽힘 상태를 이용하여 표현되는 다중 양자 신호 상태는 현재 디지털 컴퓨터에서 사용되는 0과 1로 이루어진 이진연산을 다중화/병렬화 할 수 있다.<br>◦ 다중 병렬처리 계산을 가능케 하는 다중 양자상태 기반의 양자컴퓨터는 암호연산, 대용량 계산을 가능케 함으로써 나노기술과 바이오기술 등 신기술개발에 필요한 기술이다. |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 기존의 디지털신호에 기반한 컴퓨터의 경우 신호 '0'과 '1'에 기반하여 연산으로 선형연산만이 가능하나 전자나 혹은 광자의 양자적 성질에 근간한 다양한 양자상태를 구현하는 경우 다양한 basis를 기반으로 하는 연산이 가능하다.<br>◦ 양자상태를 근간으로 하는 양자연산은 동시에 다중처리가 가능한 장점이 있어 고도의 암호계산이나 혹은 대용량 계산이 가능하다. |

| | |
|---|---|
| | ◦ 양자연산을 위해서는 전자 혹은 광자를 이용한 양자상태를 생성, 유지, 결합하거나 이동 및 검출하는 기술 개발이 필수적이다.<br>◦ 양자상태를 생성하는 기술이 개발되는 경우 이를 이용하여 다양한 연산이 가능한 연산자의 개발이 필요하다.<br>◦ 기존의 컴퓨터에서와 마찬가지로 양자상태의 저장 및 재사용 기술 개발이 필요하다. |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| **최고기술수준 보유 국가** | **영국, 독일, 미국, 일본** |
| **최고기술 보유 기관*** | **캠브리지대학, 뷔츠브르그대학, 스탠포드대학, 동경대학** |
| **연구개발단계 (13년 기준)** | **■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구**<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| **기술수명주기 (13년 기준)** | **■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기**<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | **10 년** |
| **기술동향** | ◦ 양자컴퓨터에 대한 이론적 연구는 오래전에 충분히 진행되어 왔음<br>◦ 양자상태로 생성하기 위해서는 단전자 혹은 단광자를 생성/유지하는 기술이 관건임<br>◦ 양자컴퓨터에 필수적인 양자상태의 생성 및 유지를 위해 많은 연구가 진행되고 있으나 현재까지 기초적인 연구단계에 머물러 있음 |

| | |
|---|---|
| | ◦ 단전자 혹은 단광자 생성/유지 및 이들을 이용한 양자얽힘 상태는 현재 반도체 기반의 양자점이 주류를 이루고 있음<br>◦ 반도체 양자점을 이용한 양자상태는 저온에서 유지되는 특성이 있어 이를 극복해야 하는 문제점이 있음<br>◦ 양자상태를 이동시키거나 혹은 측정하는 기술은 매우 초보적인 단계임<br>◦ 양자상태를 이용한 기초적인 양자연산기 개발에 관한 연구 역시 초보적인 수준임<br>◦ 현재 상태에서 사용되는 컴퓨터와 비교할 때 양자컴퓨터에 관한 세계적인 연구는 매우 기초적인 것으로 파악됨 |

## 4. 국내 기술수준

<table>
<tr><td>국내 최고기술<br>보유 기관*</td><td>KIST, 시립대, KAIST</td></tr>
<tr><td>국내 기술수준</td><td>50 %<br>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 양자상태 생성을 위한 반도체 양자점 및 이를 이용한 단전자 구속 및 단광자 발생에 관한 기초연구가 시립대/고려대, KIST 등에서 연구되고 있으나 매우 적은 관련 연구로 인해 상대적으로 낮은 연구 실적이 배출되고 있음</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| | 성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| **기술개발 소요시간** | **15 년** |
| **국내 기술동향** | ◦ 시립대/고려대 공동연구팀은 양자점을 이용한 단전자 구속 및 이들에 대한 물리적 현상에 대한 연구를 수행하고 있음<br>◦ KIST의 경우 InAs 양자점을 기반으로 하는 단광자 발생기 및 결합양자점 성장기술을 바탕으로 하는 qubit 생성기술을 위한 기반기술을 확보하고 있음<br>◦ KAIST의 경우 포토닉 크리스탈 및 VCSEL기반의 high-Q cavity 제작기술을 확보하여 단광자 생성 및 제어기술을 확보하고 있음<br>◦ 전체적으로 단전자 및 단광자 측정기술의 확보가 관건으로 판단됨 |

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| ■ **① 해당기술 전문인력 양성(2순위)** | □ **⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등)** |
| □ **② 기술관련 정보·인프라 제공** | ■ **⑥ 기초원천 연구 확대 (1순위)** |
| □ **③ 국제협력 활성화** | □ **⑦ 민간투자 유치** |
| □ **④ 산학연 협력** | □ **⑧ 기타(　　)** |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ 대용량 계산을 매우 짧은 시간에 가능케 하는 컴퓨터의 개발
◦ 추론, 학습, 인지 등 인간지능을 닮은 컴퓨터의 개발을 통해 스스로 진화하는 컴퓨터의 개발이 가능함
◦ 도청이 원천적으로 불가능한 양자암호기술의 상용화가 가능함
◦ 군사적으로 매우 중요한 암호해석용 컴퓨터의 개발이 가능함
◦ 대용량 계산이 필요한 바이오, 나노분야에서 획기적으로 계산시간을 감소시킴으로써 관련분야의 발전속도를 증강시킬 수 있음

# 2013년도 11대 융합기술수준평가 작성지침

* 목 적 : 1차 국가 융합기술 발전 기본계획 상의 목표달성 여부 파악
  - 목표대비 기술별 달성도를 평가하고 국내 기술수준 진단
  - 융합기술수준평가 결과는 '2차 국가 융합기술 발전 기본계획' 수립에 활용
* 내 용 : 11대 기술분야별 융합기술수준조사
  - 최고 기술 보유국(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 국내 기술수준 평가(기술개발 단계 및 기술별 주요내용)
  - 선진국 대비 기술 수준 및 향상도 조사
* 방 법 : 기술분야별 전문가 합의를 통해 융합기술수준평가를 수행

## 〈작성자 인적사항〉


| 성 명/소 속 | 안도열 / 서울시립대학교 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 연 락 처 | TEL) | 010-8625-7695 | E-mail) | dahn@uos.ac.kr |


## 1. 기술수준평가 개요

| 기술분야 | 양자컴퓨터 |
|---|---|

## 2. 기술개요 및 주요 내용

| 기술개발 필요성 | ◦ 양자역학적 원리에 의거하여 연산속도의 천문학적인 향상이 가능할 뿐 아니라 퀀텀시뮬레이션을 통해 아주 복잡한 문제를 단시간 내에 해결할 수 있어 ICT의 새로운 패러다임을 제공함 |
|---|---|
| 기술내용 | ◦ 양자컴퓨터, 양자알고리즘 그리고 양자시뮬레이션의 구현 및 실행을 위해 가장 기본이 되는 양자비트(qubit)를 구현하는 기술, 프로세서 구현기술, 시스템 구현 기술, 오류 정정 기술 그리고 양자 전송기술등을 포함함. 양자비트의 구현이란 양자수가 잘 정의된 두 가지 양자상태를 생성하고 이 상태를 임의로 정확하게 읽고 쓸 수 있도록 제어하는 양자적 정보처리 기술을 의미함. 유망기술로는 광자, 양자점, 초전도체, 중성원자, cavity QED, 이온덫, NMR, Si:P 등을 이용한 기술들이 있음 |

## 3. 최고기술수준 보유국

| | |
|---|---|
| 최고기술수준 보유 국가 | 미국, 일본, 영국, 호주, 중국, 싱가폴 |
| 최고기술 보유 기관* | MIT, Harvard, D-Wave |
| 연구개발단계 (13년 기준) | □ 기초연구 ■ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구 |
| 기술수명주기 (13년 기준) | □ 도입기 ■ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨 |
| 기술개발 소요시간 | 10 년 |
| 기술동향 | ◦ 미국은 CIA, NAS, NASA, ARDA 등 국가기관을 중심으로 공개, 비공개 연구가 이루어지고 있다. 이 중 ARDA의 경우 2005년에 양자정보 과학 분야를 5대 중점 연구 분야 중 하나로 선정하여 연구한 바가 있다.<br>◦ ARO(Army Research Office), DARPA(Defence Advanced Research Project Agengy), 공군 연구소, 해군연구소 등 국방 관련기관들이 연구비를 지원하거나 자체 연구하고 있다.<br>◦ NSA, CIA, DARPA 등 국가안보기관을 통한 지원금은 발표되지 않아 가늠하기 어려우나 10여 년 전에 공식적으로 발표한 연구비만 연간 2,000만 불을 상회하고 있다.<br>◦ 기업 연구소의 경우 IBM, HP, Bell 연구소 등에서 활발히 연구하고 있으며 마이크로소프트사가 대규모 연구 인력을 모집하고 있다.<br>◦ 대학 연구소의 경우 MIT, 스탠포드, 칼텍 등 최고수준 대학들이 연구 하고 있으며 그에 따른 많은 연구 결과들이 발표 되고 있다. |

| | |
|---|---|
| | ◦ 유럽의 경우 이전부터 양자역학 자체에 대한 연구를 계속해온 인구가 많았기 때문에, 미국보다 연구비 규모가 작음에도 불구하고 미국과 더불어 양자정보 기술 분야를 주도하고 있으며, 특히 양자통신 분야에서 앞서고 있다. 최근 빛보다 빠른 입자 발견, 힉스 입자 존재 흔적 발견 등과 같이 흥미로운 실험 결과들을 계속 발표하고 있는 유럽 입자물리학 연구소 – CERN(Conseil Europeen pour la Recherche Nucleaire)이 입자물리학 관점에서 실험적 양자역학 분야에서 독보적인 결과를 보이고 있다. 또한 QUIE2T 설립을 통해 EU 소속 국가들의 양자 관련 연구 전반에 있어서 긴밀한 공조를 이루고 있다. 또 영국, 프랑스, 독일, 오스트리아 등의 각 나라에서도 정부주도 양자정보 기술과제가 이루어지고 있으며 스위스, 네덜란드, 스웨덴, 핀란드 등도 정보통신 기업이나 대학에서 양자정보전송과 양자컴퓨터 연구가 활발히 진행되고 있다.<br>◦ 일본은 2000년 2월부터 '양자역학적 효과를 정보통신기술에 어떻게 적용하고 그 미래 전망에 관한 연구회'가 우정성에서 개최되어 양자 정보통신기술에 대한 연구개발 동향 등의 보고서가 2002년 6월에 작성 되었다. 이를 통해 2001년부터 일본 총무성의 정책으로 양자정보통신 기술의 연구개발을 시작한바 있다. 최근에는 FIRST program을 통해 양자프로젝트를 지원하고 있으며 다른 국가와는 다르게 Fujitsu, NEC, NTT, Toshiba, Mitsubishi 등 기업 연구소에서도 활발한 연구를 진행하고 있으며 이를 통해 초전도소자 큐비트 연구에서 가장 앞서 있는 실정이다.<br>◦ 중국은 후발주자이기는 하지만, 2005년 경 National Basic Research Program of China인 국가프로젝트의 일환으로 양자암호 시스템 개발에 주력하였고, University of Science and Technology of China와 산학 협동으로 이미 개발 초기단계를 거쳤다. 또한 안전을 보장하는 양자 암호화 망 통신 시험을 활발히 진행하여, 중국과학원 양자정보 중점실험실이 베이징 왕퉁공사의 상업용 광섬유 통신망과 독자개발 양자 라우터로 통신망을 구축하여 복수 지점 간 암호키 분배를 시행했다.<br>◦ 이미 100 Mbps의 속도로 양자 암호키를 100km 전송할 수 있는 기술이 유럽, 일본, 중국 등에서 시현되었으며 2011년 캐나다의 D-Wave 사는 미국의 대표적인 방위산업체인 록히드마틴사에 세계 최초로 추정되는 상용 양자컴퓨터를 1500만 달러에 판매하였다 [출처: http://www.dwavesys.com/en/dw_homepage.html]. 이 양자컴퓨터는 전 세계의 어떤 암호시스템도 실시간으로 해킹이 가능할 것으로 예측되고 있다.<br>◦ 미국의 저명한 Market Research Media는 2015-2020년 사이의 양자정보통신 기술의 세계시장 규모를 260억 달러, 연평균 성장률 (CAGR)이 10.4%에 달해 상당히 빠른 속도로 세계시장이 형성될 것으로 전망하고 있습니다. 이러한 퀀텀 기술의 시대에서 여타 선진국에 뒤떨어지지 않기 위해서는 R&D 능력의 조기 확보가 요구되고 있다. |

## 4. 국내 기술수준

| | |
|---|---|
| 국내 최고기술 보유 기관* | 서울시립대, KAIST, 표준연구소, SK텔레콤 |
| 국내 기술수준 | 50 % |

<table>
<tr><td></td><td>〈1차 국가 융합기술 발전기본계획 상의 기술수준 평가결과〉
<table>
<tr><td>① 나노바이오센서</td><td>65%</td><td>⑦ 휴먼인터페이스</td><td>75%</td></tr>
<tr><td>② 약물전달</td><td>60%</td><td>⑧ 나노일렉트로닉스</td><td>80%</td></tr>
<tr><td>③ 바이오센서칩</td><td>70%</td><td>⑨ 나노포토닉스</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>④ 바이오인포매틱스</td><td>80%</td><td>⑩ 나노센서/MEMS</td><td>70%</td></tr>
<tr><td>⑤ 바이오컴퓨터</td><td>65%</td><td>⑪ 양자컴퓨터</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>⑥ 생체인식/보호</td><td>80%</td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>평가근거</td><td>◦ 서울시립대학교 연구팀의 경우 퀀텀프로세서 관련 등록된 원천특허 US 7,665,850 등 다수의 특허와 1998년 이후 퀀텀컴퓨터 관련 100여 편 이상의 SCI 논문을 발표하고 있음</td></tr>
<tr><td>연구개발단계<br>( 13년 기준)</td><td>■ 기초연구 □ 응용연구 □ 개발연구<br>기초연구: 특수한 응용 또는 사업을 직접적인 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연구<br>응용연구: 기초연구의 결과로 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 하에 새로운 과학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구<br>개발연구: 기초·응용연구 및 실제경험으로부터 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품 및 장치를 생산하거나 이미 생산 또는 설치된 것을 실질적으로 개선하기 위한 체계적 연구</td></tr>
<tr><td>기술수명주기<br>( 13년 기준)</td><td>■ 도입기 □ 성장기 □ 성숙기 □ 쇠퇴기<br>도입기: 기술의 잠재적 가치만 인정되고 기술의 응용분야와 개발비용도 불확실하거나, 기술을 생산에 적용하더라도 기술개발자가 기술을 독점하여 기술개발 주체만이 제품생산을 할 수 있는 단계<br>성장기: 점진적으로 기술의 가격이 상승하며, 기술의 복잡성으로 인해 기술개발자와 기술 격차가 적은 기업으로만 기술이전이 가능<br>성숙기: 선진기업간에 기술이전이 활발해지고 기술도 표준화·일반화되면서 후발기업으로 이전됨. 따라서 기술의 이전가치가 낮아지게 됨에 따라 기술 이전이 활성화 됨<br>쇠퇴기: 이 단계에서는 기술가치의 하락이 급격히 이루어지며 후발기업 간의 기술이전이 활성화됨</td></tr>
<tr><td>기술개발<br>소요시간</td><td>10 년</td></tr>
<tr><td>국내 기술동향</td><td>◦ 우리나라는 지난 20여 년 디지털 정보기술 강국을 지향해 왔지만, 양자 정보과학 연구투자는 빈약한 상태이며, 양자정보통신기술은 기초연구 수준에 있는 단계이다.<br>◦ 현재까지 우리나라에서 진행되는 양자정보통신의 각 기술은 기초연구 수준에 머물러 있으며, 대부분 물리학계에서 연구를 주도하여 이론적이고 물리학적 측면에서 진행되는 양자정보이론연구가 이루어지고 있다.<br>◦ 실험적 분야에서는 KAIST의 이순칠 교수팀에서 NMR 큐빗구현에 관한 연구가 진행되었으며 서울시립대학교의 안도열 교수팀에서 반도체 큐빗에 대한 연구가 진행된 되었으며 표준과학연구소에서 선형광학에 기초한 광큐빗에 관한 연구가 진행되었다. SK텔레콤은 이온트랩에 의한 큐빗구현을 연구중에 있다.</td></tr>
</table>

## 5. 우리나라가 해당 최고기술을 확보·추격하기 위한 필수요건

| | |
|---|---|
| □ ① 해당기술 전문인력 양성 | □ ⑤ 실용화 지원(시장수요 유도 등) |
| □ ② 기술관련 정보·인프라 제공 | ■ ⑥ 기초원천 연구 확대 |
| □ ③ 국제협력 활성화 | □ ⑦ 민간투자 유치 |
| ■ ④ 산학연 협력 | □ ⑧ 기타( ) |

## 6. 적용산업 또는 분야 및 기대효과

◦ QICT 연구개발이 성공적으로 이루어질 경우 2025년 16.4억 달러의 수출과 2만 2천여명의 고용창출 효과가 기대된다.

## 붙임2 융합기술수준평가위원회 명단

| 순번 | 기술구분 | 성명 | 소속 | 직급 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 나노바이오센서 | 정석 | 고려대학교 | 교수 |
| 2 | | 전누리 | 서울대학교 | 교수 |
| 3 | | 김민곤 | 광주과학기술원 | 교수 |
| 4 | 약물전달 | 윤성호 | 국민대학교 | 교수 |
| 5 | | 한세광 | 포항공과대학교 | 교수 |
| 6 | | 정상택 | 국민대학교 | 교수 |
| 7 | 바이오센서칩 | 강지윤 | 한국과학기술연구원 | 박사 |
| 8 | | 박제균 | 한국과학기술원 | 교수 |
| 9 | | 이정훈 | 광운대학교 | 교수 |
| 10 | 바이오인포매틱스 | 김영주 | 한국생명공학연구원 | 박사 |
| 11 | | 김 선 | 서울대학교 | 교수 |
| 12 | | 이준석 | 한국과학기술연구원 | 박사 |
| 13 | 바이오컴퓨터 | 구은회 | 한국세라믹기술원 | 팀장 |
| 14 | | 장병탁 | 서울대학교 | 교수 |
| 15 | | 민준홍 | 중앙대학교 | 교수 |
| 16 | 생체인식/보호 | 김재희 | 연세대학교 | 교수 |
| 17 | | 정봉현 | 한국생명공학연구원 | 센터장 |
| 18 | | 김학일 | 인하대학교 | 교수 |
| 19 | | 유장희 | 한국전자통신연구원 | 박사 |
| 20 | 휴먼인터페이스 | 김정현 | 고려대학교 | 교수 |
| 21 | | 이기혁 | 한국과학기술원 | 교수 |
| 22 | | 윤상민 | 국민대학교 | 교수 |
| 23 | 나노일렉트로닉스 | 김상우 | 성균관대학교 | 교수 |
| 24 | | 강종윤 | 한국과학기술연구원 | 박사 |
| 25 | | 백정민 | UNIST | 교수 |
| 26 | 나노포토닉스 | 최경진 | UNIST | 교수 |
| 27 | | 김종규 | 포항공과대학교 | 교수 |
| 28 | | 길상근 | 수원대학교 | 교수 |
| 29 | 나노센서/MEMS | 장호원 | 서울대학교 | 교수 |
| 30 | | 김종백 | 연세대학교 | 교수 |
| 31 | | 문승언 | 한국전자통신연구원 | 박사 |
| 32 | 양자컴퓨터 | 박용욱 | 남서울대학교 | 교수 |
| 33 | | 최원준 | 한국과학기술연구원 | 박사 |
| 34 | | 안도열 | 서울시립대학교 | 교수 |