

생명공학 분야의 “제2회 과학기술 예측” 조사 분석

함 경 수

생명공학연구소

현대 과학과 기술의 발전은 가히 혁명적이라 말할 수 있을 정도로 급격히 발전하고 있다. 장기적인 안목이 결여된 상태에서 내린 결정이 국가나 기업의 미래는 물론 개인의 삶에 어떤 영향을 주었는지를 최근에 뼈저리게 경험한 우리로서는, 한정된 자원을 활용하여 효율적인 과학기술정책을 추진하기 위해서 과거와 현재 및 미래 상황에 대한 올바른 인식을 바탕으로 전략적 기술기획을 수행해야하는 필요성을 절실히 느끼고 있다. 우리의 과학기술력 제고를 통해 새로운 지식을 창출하고 이를 바탕으로 경쟁력있는 제품과 서비스를 창출하는 등 국제경쟁력을 제고하는데 총력을 기울여야 한다. 최근에는 산업활동이 다양해짐에 따라 과학기술의 연구개발 동향도 복합화·국제화·다원화·대형화되는 경향을 보이며 국가 간의 충성없는 전쟁으로 비유되는 과학기술력 확보가 경쟁적으로 전개되고 있으므로 기술개발전략을 수립하고 과학기술 투자의 우선 순위를 결정하기 위하여, 미래에 전개될 과학기술의 발전 모형과 방향을 예상하고 아울러 우리나라의 과학기술 수준을 점검하며 선진국의 과학기술 수준과 비교하는 기술예측연구의 필요성이 높아지고 있다.

선진국의 경우를 보면 일본에서는 71년부터 매 5년마다 기술예측조사를 실시하여 '97년에는 제6회 과학기술예측 조사결과를 발표하였으며, 독일과 프랑스도 '93년과 '94년 기술예측 조사결과를 발표한 바 있고 독일은 '98년 2월 예측조사 결과를 발표한 바 있다. 영국도 조사방법의 차이는 있지만 '95년 미래의 유망한 과학기술분야를 식별하기 위해 “기술전망(Technology Foresight)” 조사결과를 발표하였다. 미국도 1990년부터 매 2년마다 5회에 걸쳐 유망기술에 대한 예측조사를 수행하여 '98년에는 미국의 미래기술(2001~2030)을 발표하였다.

우리나라에서는 '91년 개정된 과학기술진흥법 제4조에 과학기술예측 및 기술수요에 관한 규정을 신설하고 매 5년마다 중장기 기술예측조사를 실시하도록 되어 있다. 이에 따라 '93년 STEPI(KISTEP의 전신)에서는 제1회 과학기술예측조사(1995~2015)를 실시하여 “한국의 미래기술”로 발간하였으며, “연구개발을 위한 한국의 기술분류 체계”가 '94년 발표되었다. 제2회 과학기술 예측(2001~2025)을 위해 '98년 6월 기술예측위원회를 구성하고 2001~2025년 사이에 실현될 과학기술과제를 선정한 다음, 실현시기와 중요도 및 과제에 대한 의견과 기술수준 또는 격차등에 관해 과제당 100여명의 전문가 의견을 조사하는

1차 설문조사를 실시하였다. 1차 설문 응답자에게 1차 설문결과를 참조하여 수정 응답케 하고 특히 1차 결과에 동의하지 않을 경우 과제에 대한 코멘트를 조사한 2차 설문조사를 하였다. 1차와 2차에 걸친 설문조사 결과를 통계적으로 분석하였다.

생물학 분야는 생명공학, 농림수산, 보건·의료 등 3분야로 나뉘어 기술예측 조사가 실시되었다. 본 난을 통해 '98년 2회에 걸쳐 시행된 기술예측 설문결과 가운데 생명공학분야를 소개하고자 한다.

예측과제의 선정

'93년도에 수행한 「제1회 과학기술 예측조사(1995~2015년)」와 일본과 미국에서 수행한 기술예측과제 및 미래기술, 기술예측 후보과제 등 장기계획을 수립하는데 유용한 자료들을 검토하였다. 전 세계적으로 태동기에 있는 중요 기술로서 향후 생명공학 기술 분야를 주도할 것으로 예상되는 과제와 국내 고유의 현안을 해결하는데 도움이 될 수 있는 과제들을 발굴하고 도출하기 위하여, 제1차 예측과제 선정 분과위원회에서 위원별로 20~30개 과제를 추천 받아 총 192개 과제를 선정하였다. 제2차 예측과제 선정 분과위원회에서 설문조사 형식을 거쳐 192개 과제를 대상으로 조사된 중요도와 실현시기를 참고하여, 제3차 예측과제 선정 분과위원회에서 과학기술 예측(2001~2025) 대상 과제로 91개 과제가 확정되었다. 과제의 추출에 있어서는 Table. 1과 같이 프레임을 작성하여 조사대상 범위를 명확하게 하고 중요과제의 누락을 방지하도록 하였다.

프레임에서 본 예측결과

선정된 91개 과제 가운데 바이오의약 분야에 속한 과제가 30개(33.0%)로 전체의 1/3을 차지하였고, 단백질/탄수화물 분야에 포함되는 과제는 21개(23.1%)이었으며, 15개 (16.5%)가 유전자/세포 분야의 과제이었다. 이 외에도 미생물 분야 13개 (14.3%), 공정생체모방 8개 (8.8%), 생물자원분야 4개 (4.4%) 과제가 도출되었다. 총 91개 과제 가운데 50개 과제(54.9%)가 중요도 70.0 이상으로 평가되었고, 이 중에서 23개 과제(25.3%)는 응답자가 중요도 80.0 이상으로 평가하였으며, 중요도가 90.0 이상인 과제도 6개(6.6%)로 나타났다. 국내에서의 실현시기가 2010년 이내인 과제가 14개(15.4%)이고, 2011~2015년 사이가 55

Table. 1. 기술예측 과제도출 프레임

| 유전자/분자 | |
|---------|--|
| 생명현상규명 | 1. 인체염색체의 각 유전자의 지도가 해명된다. 2. 인간의 감성을 결정하는 유전언자가 밝혀진다. 5. 물리적 방법(예:X선 등)에 의한 DNA 염기서열의 직접적 결정법이 개발된다. 7. 기억의 분자기구가 해명된다 8. 고등동물(인간, 쥐)의 분화주기를 설명하는 분자기구의 전모가 해명된다. 9. 眞核세포 복제와 세포분열의 기구가 분자수준에서 해명된다. 10. 형태 형성의 분자기구가 해명되어 인위적 제어가 가능하게 된다. 11. Apoptosis의 분자기구가 명확하게 되어 세포를 자유롭게 생존 또는 제거시킬 수 있게 된다. 50. 대부분의 암관련 유전자가 동정되고, 암전이 기구가 해명된다. |
| 생체시스템 | 3. 외래유전자를 고등생물염색체의 특정위치에 삽입하는 기술이 개발된다. 4. 거대 DAN 또는 클로닝이 어려운 DNA의 재조합 기술이 개발된다. 12. 접착분자의 발현 및 접착성 제어의 분자기구가 규명되어 암, 자기면역질환, 만성 염증을 접착분자로 제어하여 조절하게 된다. 55. 다인자에 의한 유전형식을 나타내는 당뇨병, 고혈압, 동맥경화의 유전자군이 동정 되고, 분자병인론적 분류가 이루어진다. |
| 생체모방시스템 | 26. 기존의 효소보다 우수한 기능을 갖는 바이오메테릭소자(생체분자와 동일한 기능을 갖는 펩타이드 이외의 성분으로 된 안정된 분자)가 개발된다. 87. 질소를 고정하여 아미노산 등의 유용물질을 만드는 기술이 실용화된다. |
| 산업적이용 | 14. 분자진화공학적 방법에 의한 생체분자 및 세포의 기능개혁 기술이 실용화 된다. 52. 유전자를 이용한 암진단, 예측시약이 실용화된다. 57. Suicide Mechanism에 의한 유전자 치료용 벡터가 개발된다. 64. Live Vaccine에 의한 독감예방 백신이 실용화된다. 75. Taxol 합성관련 유전자가 규명되어 반합성 taxol 항암제가 실용화된다. 79. tRNA Engineering에 의한 새로운 질병치료제가 개발된다. |

| 단백질/탄수화물 | |
|----------|---|
| 생명현상규명 | 16. 아미노산 일차배열로부터 단백질 입체구조 예측기술이 개발된다. 17. 단백질 3차원이상 구조/활성 관계를 규명하는 기술이 개발된다. 31. 세포간인자에 기여하는 탄수화물의 구조와 역할이 규명된다. 32. 탄수화물의 구조와 기능이 생물학적 신호전달에 미치는 영향이 규명된다. |
| 생체시스템 | 18. 단백질 특성 기능과 연관된 구조의 Poly-peptide 설계 및 합성기술이 개발된다. 21. 효소의 Computer Molecular modeling 기술이 확립된다. 33. 탄수화물의 관련 생리활성물질의 생체 메카니즘 규명과 구조변환 및 합성기술이 개발된다. 61. 바이러스의 증식 또는 유해한 유전자의 발현을 적정수준 이하로 억제하는 기술이 개발된다. 73. 퇴행성 질환 치료 및 예방을 위한 효소 활성 저해제가 개발된다. |
| 생체모방시스템 | 34. Catalytic Antibody 제조 및 응용기술이 개발된다. 27. 효소의 성질을 닮은 키랄보조제가 개발된다. 86. 이산화탄소 고정을 통한 탄수화물 대량 생산기술이 실용화된다. 89. 조작수명(Operation Stability)이 2년 이상이고 나노미터 수준의 소형 고정적형 바이오센서가 실용화된다. |

| | |
|--------|--|
| 산업적 이용 | 20. 단백질의 생체내 Half Life 조절에 의한 새로운 치료용 단백질이 실용화된다. 22. 기상 및 초임계유체상 효소 반응 공정이 실용화된다. 23. 대부분의 화학공정이 효소를 이용한 청정생물 전환공정으로 대체된다. 24. 극한 미생물유래 효소를 이용한 생물전환기술이 널리 보급된다. 25. 폐생물 자원의 효소처리에 의한 재자원화 및 환경정화 기술이 개발된다. 28. 효소를 이용한 탄수화물 고분자 합성 기술이 실용화 된다. 29. 탄수화물에 유전자나 약물을 결합하여 전달하는 방법이 기대된다. 30. 탄수화물의 변화를 인체질환의 진단, 예방, 치료에 응용하는 기술이 개발된다. 35. Cofactor Regeneration을 이용한 생물전환기술이 실용화된다. 36. 유기용매내성, 고농도생산물내성을 갖는 생체 촉매의 이용이 화학공업공정에 보급된다. 37. 미생물독소의 변환과 이용기술이 개발된다. 53. 단일클론 항체를 이용한 암진단 및 치료기술이 개발된다. 62. 바이러스성 간염 질환치료제가 실용화된다. 63. AIDS의 새로운 치료제가 개발된다 (Integrase Target). 65. 말라리아 백신이 보급된다. 78. 경구투여 인슐린이 개발된다. 82. 곤충의 항균단백질 및 항혈전 응고 물질을 이용한 의약품이 실용화된다. 83. 해양성 미생물인 vibrio species와 각종 백신이 개발된다. |
|--------|--|

| 세포/미생물 | |
|---------|--|
| 생명현상규명 | 13. 자기와 비자기의 식별기능에 관여하는 면역담당 세포기능이 해명된다. 71. 신경세포의 성장분화 인자의 이해로 신경계 질환의 생물학적 치료가 가능해진다. |
| 생체시스템 | 74. 장내 세균을 발현벡터로 개발하여 위장관 치료제의 운반체로 이용된다. 76. 세포의 막수송, 물질변환, 에너지 변환 등의 기능을 대체하는 인공세포의 합성기술이 개발된다. |
| 생체모방시스템 | 47. 미생물 전지가 개발된다. |
| 산업적 이용 | 15. 주요 세포증식에 관여하는 요인이 완전히 파악되어 시험관내에서 필요에 따라 주요세포를 증식하여 세포에 이용하는 기술이 보급된다. 19. 재조합 당단백질을 특이적으로 생성할 수 있는 세포주와 최적 공정조건이 개발된다 38. 메탄 생산균을 이용한 메탄 생산 및 폐수 처리기술이 개발된다. 39. 유전자 재조합에 의한 난분해성 물질을 분해시킬 수 있는 미생물이 개발된다 40. 유기 고형폐기물의 미생물을 이용한 Recycling System이 구축된다. 41. 수소 생산균에 의한 수소생산 기술이 실용화 된다. 42. 미생물 및 조류에 의한 알코올 등 연료유 생산이 보급되어 전세계 연료유 생산의 10%를 점한다. 43. 광합성 세균을 이용한 CO ₂ 감축 기술이 개발된다. 44. 가축 소화기내의 미생물을 유전공학적으로 조작하여 사료의 이용율을 높이는 기술이 개발된다. 45. 식물-미생물 상호작용을 이용한 미생물 농약이 개발된다. 48. 미생물에 의해 생산된 생분해 플라스틱의 보급이 전세계 플라스틱 생산량의 10%를 차지한다. 49. 해양미생물에 대한 효소공학적 방법을 이용한 정밀화학제품 생산기술이 개발된다. |

| | |
|--|--|
| 산 업 적 이 용 | 51. 암에 유효한 생물학적 치료법이 보급된다. |
| | 58. RNA Virus의 Gene Therapy 및 Vaccine Vector에의 실용화가 이루어진다. |
| | 59. Retrovirus를 이용한 유전자요법이 실용화된다 |
| | 66. 치주 및 충치 원인균을 분리하여 예방백신이 개발된다. |
| | 72. 신경 및 뇌세포 Target이 가능한 약독화 HSV(Herpes Simplex Virus)이 개발된다 |
| 77. 골수세포 배양기술이 실용화된다. | |
| 81. 곤충배양세포를 이용하여 도입된 유용 물질 유전자의 발현에 의해 유용물질의 지속적 생산기술이 개발된다. | |

| 조직 기관 | | 집 단 |
|-----------------------|--|---|
| 생명 현상 규명 | 6. 개체의 노화기구가 해명된다. 68. 뇌의 발생, 성장과정이 분자 레벨에서 해명된다. 69. 뉴론을 다수 동시에, 장기간 연속적으로 관측하여 이를 해석하는 기술이 개발된다. 70. 알츠하이머병의 초기예방이 실험된다 | |
| 생체 시스 템 | 54. 면역시스템을 국소적으로 제어하는 방법이 보급된다. 56. 유전자 요법에 필요한 효율적인 전달법이 개발된다. 67. 분자유전학적 기법에 의한 수정란, 초기 배아 상태에서 유전학적 질환의 조기진단법이 개발된다. | |
| 생체 모방 시스 템 | 88. 생체의 에너지변환기구를 응용한 공학적 기술 (예-바이오모터 등)이 개발된다. | 85. 식량증산을 위해 광합성 기능을 비약적으로 향상시키는 기술이 개발된다 90. 전자 부품이나 컴퓨터에 사용될 수 있는 바이오칩이 개발된다. 91. 뇌기능을 모델로 하는 신논리구조의 뉴로컴퓨터가 개발된다. |
| 산 업 적 이 용 | 60. 간세포 증식에 관여하는 요인이 완전히 파악되어 시험관내에서 필요에 따라 간세포를 증식하여 치료에 사용하는 기술이 보급된다. 80. Homologous Recombination에 의한 knock-out mice 창제 및 이용기술이 개발된다. | 46. 공생 미생물과 타 생물체간의 신호전달 물질탐색과 이용 기술이 개발된다. 84. 고기능 생물 반응기를 이용한 생산기술이 실용화된다. |

개(60.4%)이었으며, 실현시기 예측결과가 2016~2020년인 과제는 21개(23.1%)인 반면, 1개 과제는 국내에서 2025년에 실현될 것으로 예측되었다.

Fig. 1은 분야별 과제 분포를 도식화 한 것이다.

주요 영역에서의 예측상황

생명과학은 생명체가 지니고 있는 복잡하고 정교한 생명현상을 해명하고 이해하는 과학인 동시에 얻어진 성과를 보건·의료, 자원의 보전과 활용, 환경, 농수산업, 공업 등 현대 산업의 각 분야에 응용하는 것을 목표로 하고 있다. 그러므로 생명과학의 연구개발을 통해 인간과 자연, 즉 우리가 살고 있는 지구와의 조화로운 공존을 도모해 나가는 것을 최우선으로 염두에 두고서, 인류의 생존기반을 확충하고 활력이 넘치면서 풍요로운

생활터전을 영위할 수 있도록 제반여건을 구축해 나가는 데 도움이 될 것으로 기대되는 연구가 적극적으로 추진되고 있다. 자연계는 다양한 생물체로 이루어져 있을 뿐 아니라 생명현상 또한 다양하다. 여러 가지 분자적 요소와 세포수준의 요소 및 이들의 상호관계로 구성된 생명현상, 생명현상의 통합체로서의 개체, 개체가 모여 형성되는 생태계와 생물권을 체계적으로 이해하기 위한 관점에서의 연구와, 다양성으로 가득 찬 생명현상의 공통적 원리를 바탕으로 통일된 현상에 대한 이해를 얻기 위한 분자수준에서의 유전자와 유전체(genome)에 관한 기능과 구조를 해명하기 위한 분석적 관점의 연구를 기초로 동·식물 개체에의 복제와 세포분열, 발생과 분화 및 형태형성, 질병과 면역, 노화와 기억 등에 이르는 생명현상에 대한 이해를 얻고자하는 방향으로 생명과학의 연구가 진전되고 있다.

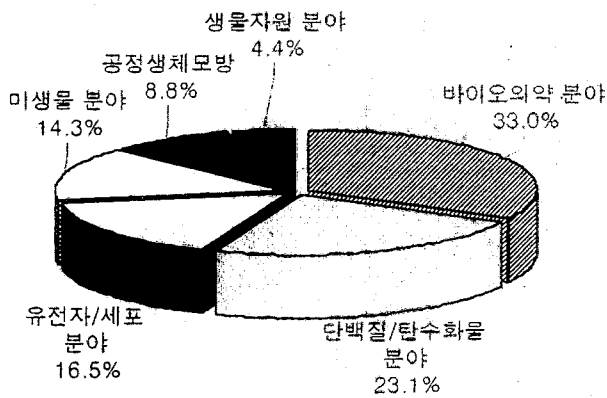


Fig. 1. 분야별 과제 분포도

유전자를 인위적으로 조작할 수 있는 유전공학기술이 1970년대 초에 창출되고 1980년대 초에는 최초의 유전공학 의약품인 재조합 인슐린의 생산 및 판매가 시작되면서 생명공학기술을 이용하는 생물산업이 새로운 산업의 한 분야를 차지하게 되었다. 생명공학 분야에서의 선진국이 미래의 산업선진국으로 부각되리라는 예측과 생명공학이 현재 인류가 당면하고 있는 보건의료, 식량, 에너지, 자원 등의 문제를 해결할 수 있는 유일한 대체산업으로서의 역할을 할 수 있을 것이라는 기대로 인해 생명공학 분야에 관련된 기술은 21세기를 선도할 새로운 기술로 인식되고 있다. 생명공학기술은 고부가가치형, 두뇌기술집약형, 탈공해형, 자원 및 에너지 절약형 기술이라는 특징을 갖고 있어 산업경제의 발전에 따라 야기되는 환경문제를 비롯하여 암이나 AIDS 등의 불치병 치료, 자원고갈에 따른 대체연료 및 대체에너지의 개발, 식량문제의 해결 등에 기여할 것으로 예상된다. 생명공학 기술을 이용하는 생물산업은 기술의 특성상 보건, 의료, 식품, 농업, 자원 및 에너지, 환경 등 다양한 분야에 걸쳐 파급효과가 크기 때문에 21세기에 경제성장을 주도할 핵심산업으로 부각되고 있으며 현재 전세계적으로 기술개발 경쟁이 집중되고 있는 분야이다.

생명공학분야의 총 91개 과제를 다음의 6개 분야로 나누어 앞으로의 기술개발 방향과 발전전망을 본 예측결과를 토대로 개 관하여 보았다.

- | |
|---|
| (1) 유전자/세포 (2) 단백질/탄수화물 (3) 미생물 (4) 바이오의약 (5) 생물자원 (6) 생물공정/생체모방 |
|---|

(1) 유전자·세포

인간의 전체 유전자에 대한 유전자 지도 작성, 물리지도 작

성, DNA 염기서열 결정 기술의 개발, 모델 미생물의 유전체 연구, informatics, 윤리적 사회적 고려, research training, 기술 개발등을 포함한 Human Genome Projects는 미국의 국립보건원(NIH)과 에너지성(DOE)에서 처음으로 계획을 수립하였으며, 이 후 지난 10년간 유럽공동체를 포함한 14개국 이상의 나라가 합류하여 그 동안 이룩한 유전체의 물리지도 작성과 염기서열의 결정에 관한 연구에서 최근에는 이와 관련된 유전체 기능 연구로 그 연구방향이 전환되고 있다. 유전체라는 용어는 75년 이상동안 사용되어 왔으며 생물체의 유전자 및 유전체 전체를 지칭하는 의미를 갖고 있는데, Genomics라는 용어는 1986년 Thomas Roderick에 의해 물리지도 작성, 염기서열 결정, 유전체 분석 등을 의미하는 말로 쓰이기 시작한 이래 10년 이상 사용되어 왔고 유전체의 물리지도 작성과 염기서열의 결정에 관한 연구에서 이와 관련된 유전체 기능 연구로 그 방향이 전환되는 시점에서 유전체 연구의 새로운 개념으로 "Functional Genomics"라는 용어가 태동하게 되었다. NHGRI(The National Human Genome Research Institute)는 단백질을 coding 하는 대부분의 염기서열을 거의 정확하게 밝힌 설계도(working draft)를 2001년도까지 만들어 낸다는 계획을 발표하였고 이 계획안은 또한 2003년까지 전체 유전체를 완벽하게 밝혀낼 것을 약속하고 있는데 이는 이전의 계획을 2년 앞당긴 것이다. Human Genome Projects를 통해 인간의 질병이나 노화 현상에 대한 원인 규명과 유전병이나 성인병의 유전자 수준에서의 진단이나 치료 등이 가능해지게 될 것으로 기대되고 있으나 해석 속도가 느리며 많은 자금과 시간이 소요될 것으로 예상된다. 국내에서는 1996년 과학기술처(과학기술부 전신) 미래원천사업으로 추진되어 이 분야의 연구가 아직은 시작단계에 있다. 국내에서 유전체 연구에 대한 중요성은 비교적 일찍부터 인식되어 관련 학술모임이 구성되고 개별 연구자 차원에서 연구노력을 통해 대내외적인 홍보가 이루어졌고 미래원천사업으로 접어들면서 '종양 관련 유전체 해석연구'는 사업단 과제로 기타 개별과제는 자유응모 과제 형태로 구분되어 추진되고 있다. 본 예측에서는 「(1) 인체 열색체의 각 유전자의 지도가 해명된다」는 중요도 지수는 92.2로 선정되어 유전자재조합 / 세포공학기술 분야에서 가장 중요도가 높았으며 인체 열색체 지도의 작성은 국내에서 2016년 이후에 실현될 것으로 예측되었고 연구를 원활히 추진하기 위한 방법으로는 응답자의 54%가 국제공동으로 과제를 수행하는 것이 바람직하다고 응답하여 여타 과제에 비해 상대적으로 국제적인 협력이 요구된다고 제안하였다.

일반적으로 국민들이 생명과학으로부터 추구하고 있는 최대의 과제는 질병의 극복과 건강한 생활을 유지하는데 초점이 맞추어지고 있다. 빠른 발전을 거듭하고 있는 질병에 관한 연구를 통해 많은 질병을 퇴치하거나 제어할 수 있게 되기를 기대하고, 평균 수명의 현저한 신장에 의한 고령화의 진전에 따라 고령자의 건강을 위한 연구로서 생체 노화의 기전에 관해 해명하고 노화를 예방하거나 제어할 수 있는 목적으로의 건강을 증진하는

데 필요한 기초적인 연구가 확대 발전하는 방향으로 연구가 추진되고 있다. 질병과 노화를 비롯한 뇌와 정신기능, 면역계와 내분비계로 대표되는 생체방어 등의 생명현상에 관한 정보가 급속도로 축적되고 있음에도 불구하고 유사 이래 인류가 축적한 지식은 미지의 현상에 비해 극히 일부분에 해당된다. 이와 같은 질병에 관한 연구를 비롯한 생명현상을 이해하려는 연구는 한편으로 생명과학의 전반적인 연구개발을 가속화시키는 원동력이 되고 있으며 뇌의 정보처리 기능을 이용한 새로운 정보처리 산업으로의 응용이 가능하므로 신산업 창출을 달성하기 위해서도 이 분야에 대한 연구가 적극적이면서 지속적으로 추진될 필요가 있다. 「(6) 개체의 노화기구가 해명된다」, 「(7) 기억의 분자기구가 해명된다」, 「(11) Apoptosis의 분자기구가 명확하게 되어 세포를 자유롭게 생존 또는 제거시킬 수 있게 된다」, 「(13) 자기와 비자의 식별기능에 관여하는 면역담당 세포의 기능이 해명된다」 등이 주요과제로 선정되었고, 중요도 지수도 83.9 이상으로 높았으며 면역세포의 기능에 대한 이해는 2015년경에, Apoptosis의 기전에 대한 규명에 의한 세포의 자유로운 조절은 2018년경에, 노화와 기억에 관한 기전의 이해는 2020년에 달성될 것으로 예측되고 있다.

(2) 단백질공학 / 탄수화물공학

생명현상의 대부분은 효소, 호르몬, 수용체 등의 단백질에 의해 이루어진다. 최근에 암의 발생과 면역계 및 바이러스성 질환에 관여하는 여러 가지 효소와 수용체 및 신호전달 단백질들이 발견되고 이들의 구조와 기능에 관한 연구를 통해 생체 내 단백질의 조절에 의해 질병을 치유할 수 있다는 가능성이 높아졌다. 20여종의 아미노산이 수십개에서 수백개가 모여 복잡한 구조를 이루는 단백질의 삼차원적 구조에 대한 연구를 통해 기능에 대한 정보를 분자수준 이하로 이해할 수 있게 되며, 이를 바탕으로 생명현상 조절제의 개발과 생체 재설계에 필요한 단백질의 기능향상과 기질에 대한 특이성을 조절할 수 있게 되었다. 이러한 단백질 개량 및 디자인 기술은 유전공학적 기법과 단백질의 folding 및 삼차구조를 예측할 수 있는 기술이 발전함에 따라 가능하게 되었는데 단백질 개량 기술은 단백질의 구조와 관련된 다양한 생물·물리·화학적 특성에 대한 이해를 바탕으로 이들을 인위적으로 변형하거나 합성할 수 있는 기술들이 개발되고 있다. 「(17) 단백질 3차원이상 구조/활성 관계를 규명하는 기술이 개발된다」는 중요도 지수가 81.3이며 2012년에 실현이 가능할 것으로 예측되었고 「(18) 단백질 특정기능과 연관된 구조의 Poly-peptide 설계 및 합성기술이 개발된다」는 중요한 과제로 2011년에 이루어 질 것이다.

효소는 미래 첨단 산업을 창출하는데 중요한 역할을 할 수 있는 자원 가운데 하나로서, 효소가 갖고 있는 특성인 고도의 정밀성과 특이성 및 선택성과 아울러 고효율성을 바탕으로 특수한 환경에서도 반응할 수 있는 장점 때문에 초기에는 주로 식품제조에 사용되었으나 근래에는 의약품 제조와 정밀 화학품 제

조 및 특수 용도의 품목을 제조하는데 사용되면서 효소의 사용 범위가 확대되었다. 최근에는 환경과 관련하여 효소가 난분해성 물질을 처리하는 특수용도로 사용되거나 화학공업을 대체하는 수준으로 발전하게 되었는데 인류의 염원인 무공해·저에너지 공정을 실현시킬 수 있고 효소의 이용을 통해 화학적 방법이나 물리적 방법에 비해 상대적으로 저렴하게 공정을 이룰 수 있다. 본 예측에서는 「(25) 폐생물자원의 효소처리에 의한 재자원화 및 환경정화기술이 개발된다」가 단백질공학 / 탄수화물공학 분야에서는 가장 중요한 과제(중요도 지수 85.8)로 선정되었고 2011년에 실현될 것으로 예측되었으며, 「(23) 대부분의 화학공정이 효소를 이용한 청정생물전환공정으로 대체된다」는 중요도 지수가 높은 과제(77.9)로 2017년에 실현될 것으로 보인다. 효소를 이용한 신공정을 개발하고 첨단산업으로서의 요건을 갖추기 위하여, 고역가를 지닌 효소원의 탐색과 더불어 신반응성, 신특이성, 신이용성이 추가된 신기능성 효소의 탐색과 이런 효소들의 대량생산기술 및 새로운 효소공정의 개발을 통해 차세대 산업을 선도할 수 있는 기술로의 개발이 추진되고 있다.

세포와 세포가 만나는 곳에 필히 당쇄가 관여하는 것으로 밝혀졌는데 당쇄는 세포간의 정보전달과 접착에 관여하고 있기 때문에 탄수화물공학을 통해 수정과 발생을 비롯한 형태형성, 항상성 유지, 감염, 증양을 포함한 인체질환 등의 생명현상을 보다 정확하게 이해할 수 있게 될 것이며, 이러한 정보의 축적으로 당쇄공학은 의약학 분야와 식품 분야를 비롯한 생물산업에의 응용을 통해 제3의 생명공학 시대를 열어 갈 것으로 기대된다. 「(32) 탄수화물의 구조와 기능이 생물학적 신호전달에 미치는 영향이 규명된다」와 「(31) 세포간 인지에 기여하는 탄수화물의 구조와 역할이 규명된다」가 중요한 과제로 선정되었고 이들의 실현시기는 2015년으로 예측되고 있다.

(3) 미생물

미생물은 그 자체가 유용생물소재를 제조하는 생체공장이다. 즉 미생물 내에는 효소라는 매우 다양한 반응 촉매들이 존재하여 이들에 의해 복잡한 대사반응이 진행된 후 최종적으로 유용산물이 생산되므로 미생물 단일세포는 마이크로규모의 생체공장이라 할 수 있다. 특히 최근 대사공학 기술의 발달로 미생물 세포 내에서 진행되는 대사경로를 인위적으로 제어할 수 있음은 물론 결과의 예측도 가능하게 됨에 따라 미생물을 이용한 생명공학기술 분야의 중요성은 더욱 증대되고 있다. 이 외에도 미생물은 현재 유용 외래 단백질을 생산하는 숙주세포로 가장 널리 사용되고 있으며 앞으로 외래 단백질 생산을 위한 주 숙주세포로서의 위치는 변하지 않을 것으로 예상된다.

지금까지 미생물을 이용한 연구는 식품, 생물, 화학, 환경공학 등 다양한 분야에서 폭넓게 진행되어 왔다. 특히 최근에는 유전자 조작을 통한 신물질 개발 및 대량 생산, 미생물을 이용한 의약품 및 유용물질의 생산, 생물자원으로부터 화학원료 및 중간체의 생산, 폐수처리, 난분해성 물질의 분해, 폐기물 처리,

음식물 쓰레기처리 등에 대한 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다.

본 예측에서는 「(45) 식물-미생물 상호작용을 이용한 미생물 농약」, 「(48) 미생물에 의해 생산된 생분해성 플라스틱의 보급 확대」, 「(39) 난분해성 물질의 분해를 위한 재조합 미생물 개발」, 「(40) 유기 고형폐기물의 미생물을 이용한 Recycling System 구축」등 환경과 관련된 기술들이 중요과제로 나타났고 실현시기는 2010년에서 2015년 사이가 될 것으로 예측되었다. 특히 「(45) 식물-미생물 상호작용을 이용한 미생물 농약」은 환경문제와 인체에 미치는 영향 등의 이유로 인하여 중요도 지수가 79.3으로 가장 높게 나타났으며 실현시기는 2010년으로 예측되었다. 「(38) 메탄 생산균을 이용한 메탄 생산 및 폐수처리기술」은 선진국과의 기술 격차가 4년으로 2009년에 실현될 것으로 예측되었으며, 「(42) 미생물에 의한 알코올 등 연료유 생산기술」 및 「(43) 광합성균을 이용한 CO2감축 기술」은 선진국과의 기술 격차는 5년, 실현시기는 2015년으로 예측되었다. 이 중에서 「광합성균을 이용한 CO2감축 기술」은 중요도 지수가 67.7로 13개의 미생물분야 기술 중 중요도에 있어서 중간 정도에 해당되었으나 지구 온난화와 연계되어 국제사회의 환경 변화에 따라 그 중요도가 변화될 것으로 예상된다. 이 외에도 「(47) 미생물 전지개발」은 중요도 지수 49.2로 매우 낮았으며 2020년경에나 실현될 것으로 예측되었다.

(4) 바이오의약

의약분야에 관련된 생명과학 기술은 매우 광범위해서 거의 모든 기술이 연관되어 있다. 고부가가치형, 두뇌 기술 집약형, 탈공해형, 자원 및 에너지 절약형 등의 제반 특성을 갖춘 생명공학은 차세대 첨단 산업으로서 제약사업과 밀접한 관계를 맺고 있으며 선진국을 비롯한 전세계의 제약 기업들이 바이오의약의 개발에 참여하고 있다. 신세대 항생제를 비롯하여 유전자 재조합 기술에 의해 생산되는 많은 제제 또는 단일클론항체가 치료제의 개발에 응용되고 있으며 유전자요법과 antisense drug, ribozyme 등과 같은 새로운 기법이 질병의 치료를 목적으로 응용되거나 시도되고 있다. 그리고 백신분야와 진단시약분야에서도 끊임없는 발전이 거듭되어 현재 개발되고 있는 백신류들은 유전공학기법, peptide 합성법, 항체 제조 및 변형방법 등을 이용할 뿐 아니라 DNA 백신, edible 백신, 세균이나 바이러스 운반체를 활용한 다가백신 등의 차세대 백신들이 연구되고 있으며 진단시약들은 단일클론항체, DNA 탐침(probe), 재조합 DNA-항원 등에 관련된 기술들이 활용되고 있다. 미국 등 선진국에서 동물실험과 임상실험을 통해 효과가 입증되고 있는 유전자 치료는 벡터와 전달법을 개발하는 과제에 대해 관심이 높았다. 생명과학 기술은 이미 암과 AIDS 연구의 핵심적 역할을 수행해왔고 다른 종류의 질환에 관한 연구에서도 핵심이 되고 있는데 최근에는 질환에 대한 연구는 빠른 진보를 거듭하여 환경과 유전적 요인에 의한 질병을 극복하기 위한 기초적인 정보가 급속

도로 축적되고 있다.

암은 선진국이나 후진국을 막론하고 대표적인 질환으로 많은 사망자를 기록하고 있으며, 우리 나라도 매년 암의 발병율이 증가되어 사망률 2위를 차지하고 있다. 지난 수십년 동안 많은 연구자들의 연구를 통해 외과적 수술로 암세포를 포함한 조직을 조직에 제거하거나 방사성 동위원소나 항암제를 사용하는 방법으로 치료효율이 개선되고 있음에도 불구하고 암의 발생은 해마다 늘어나고 있다. 암에 대한 연구를 통해 최근에는 암의 정체를 유전자 수준에서 파악하는 것이 가능하게 되어 그 성과의 일부를 암의 예방과 치료에 이용하고 있지만 향후 단백질이나 세포 수준을 비롯한 개체 수준에서의 연구를 통해 새로운 암 예방방법과 치료법 및 진단법을 개발하는 기술이 발전하게 될 것이다. 각종 암 유전자와 암 억제 유전자의 발현, 발암 유전자의 발현 기작, 세포 외로부터 세포 내로 전달되는 신호전달 체계 및 이들과 연계된 다양한 호소 수용체, 단백질 등의 상호관계가 규명되면서 이들에 의한 세포의 성장조절에 관한 정보가 축적되어 각종 암의 발병기전들이 부분적으로나마 이해되기 시작했다. 암에 대한 기초적인 연구를 바탕으로 합리적인 항암요법이나 항암제의 탐색 및 개발이 성공할 가능성이 높아지고 있다. 암의 치료 성적을 향상시키기 위해서는 기존의 치료 방법들을 개선하려는 노력이 꾸준히 진행되고 있을 뿐 아니라 암 발생에 관한 분자생물학적 이해에 근거한 전략과 새로운 유전자 전달 기술에 바탕을 둔 요법 등이 집중적으로 연구되고 있다. 암에 관련된 과제가 4개 선정되었는데 「(50) 대부분의 암관련 유전자가 동정되고, 암전이 기구가 해명된다」는 생명과학분야에 속한 91개 과제 중에서 중요도 지수(96.0)가 가장 높은 과제로 국내에서는 2020년에 달성될 것으로 예측하였으며 「(52) 유전자를 이용한 암 진단, 예측시약이 실용화된다」는 생명과학분야에서 중요도 지수(92.4)가 세 번째로 높았으며 국내에서는 2011년에 실현될 것으로 나타났다. 「(51) 암에 유효한 생물학적 치료법이 보급된다」는 중요도 지수가 91.8인 과제로 2015년 이후에 실현이 가능한 것으로 예측되었다.

생명과학기술은 감염성 질환, 자가면역 질환, 신경·정신 질환, 순환기계 질환 등의 발병 과정을 연구하고 치료법이나 치료제, 예방 방법을 개발하는데 선도적 역할을 담당하고 있으며, 제약업체들의 능동적인 참여와 정부의 적극적인 연구개발 투자로 장래의 시장은 예상보다 빠른 성장을 보일 것으로 예측되고 있다. 「(62) 바이러스성 간염 질환치료제가 실용화된다」는, 국내에서 간 질환을 앓고 있는 사람이 많고 이에 대한 국민적 관심이 높다는 현실적인 요소가 반영되어 생명과학분야에서 두 번째로 중요도 지수(93.0)가 높은 과제로 국내에서는 2010년에 달성될 것으로 예측되었다. 「(63) AIDS의 새로운 치료제가 개발된다(Interase Target)」와 「(70) 알츠하이머병의 초기 예방이 실현된다」, 「(56) 유전자 요법에 필요한 효율적인 전달방법이 개발된다」, 「(68) 뇌의 발생, 성장과정이 분자레벨에서 해명된다」는 중요한 과제로 선정되어 2011년에서 2020년 사이에 실현될

것으로 예측하고 있다. 「(53) 단일클론 항체를 이용한 암진단 및 치료기술이 개발된다」와 「(64) Live Vaccine에 의한 독감예방 백신이 실용화된다」는 중요도 지수가 각각 84.4와 83.7인 과제로 모두 2010년에 실현이 가능할 것으로 보인다. 「(55) 다인자에 의한 유전형식을 나타내는 당뇨병, 고혈압, 동맥경화의 유전자군이 동정되고, 분자병인론적 분류가 이루어진다」는 중요한 과제로 실현시기는 2015년이었다.

(5) 생물자원

생물자원이란 식물, 동물, 곤충, 미생물 등을 모두 포괄하는 것으로, 생물자원기술은 동식물이나 곤충으로부터 유용한 외약품의 개발 및 유용요소의 자원화 연구 등을 의미한다. 특히, 희귀 식물로부터 의약품의 추출, 동식물 및 곤충 유래의 유용물질 생산 또는 유전자 조작 기술을 통한 유용 단백질생산, 미생물 백신 등의 연구가 활발히 진행 중에 있다.

본 예측에서 생물자원분야는 비교적 적은 수인 4개 과제가 도출되었으며 이 중에서 「(80) Homologous Recombination에 의한 knock-out mice 창제 및 이용기술」이 중요도 지수가 66.3으로 가장 높았고, 「(81) 곤충배양체포의 유전자 조작에 의한 유용물질 생산기술」, 「(82) 곤충의 형단단백질 및 항혈전 응고물질 생산」, 「(83) 해양성 미생물인 비브리오균용 백신개발」의 중요도 지수는 각각 57.5, 56.3 및 51.2로써 중요도 지수가 타분야보다 상대적으로 낮았으며 2010년을 전후로 실현될 것으로 예측되었다.

(6) 공정생체모방

최근 선진국에서는 생체시스템의 다양한 기능들을 인위적으로 모방 응용하여 이를 공업적으로 이용하고자하는 "생체모방기술(Biomimetic Technology)"이라는 미래 첨단생명공학분야 기술개발을 위해 막대한 연구개발비를 투자하고 있다. 현재 생체모방기술을 공업적으로 이용하기 위하여 활발히 연구되고 있는 주요분야로는 "Biochip", "분자인식을 이용한 혁신적 생물분리기술", "초고감도 바이오센서" 등이 있다. 이 중에서 "Biochip" 분야의 경우 유전자 칩 또는 DNA 칩이 미국 Affymetrix사에서 상용화 됨으로써 생체모방기술을 공업적으로 이용할 수 있는 무한한 가능성을 제시해주었다. 그러나 DNA 칩 기술의 경우 원천기반기술이 모두 Affymetrix사에 의해 특허화 되어 있어 향후 약 2015년까지 후발업체가 DNA 칩을 상용화하는 것은 거의 불가능한 실정이다. 그러나 생체모방기술 분야 중에서 잠재력이 무한하면서 선진국에서도 기술개발단계에 있는 틈새(niche) 분야에 집중적인 기술개발 투자를 할 경우 선진국을 앞서는 독창적인 원천기술 확보가 가능할 것이다.

본 기술의 경우 생명공학분야에서도 첨단 기술분야로써 기술과급효과 및 활용도에 있어 잠재력은 엄청나게 크다. 그러나 기술의 특성상 국가주도의 기술개발이 요구되며 기반성 및 핵심성을 갖춘 독창적인 원천기술개발을 통해 국제 경쟁력을 갖

춘 국내 생명공학분야 미래산업 창출이 가능할 것이다.

본 예측에서는 「(85) 식량증산을 위한 광합성 기능 향상기술」, 「(86) 이산화탄소 고정을 통한 탄소화물 생산기술」, 「(87) 질소고정화를 통한 유용물질생산기술」 등 생물대사를 이용한 기술들이 중요과제로 나타났고 실현시기는 2017년 정도로 예측되고 있다. 이중에서 「(85) 식량증산을 위한 광합성 기능 향상기술」은 중요도지수가 84.2로 매우 높았으며 선진국과의 기술격차는 5년인 것으로 평가되었다. 생물자원을 이용한 유용물질의 생산에 있어서 품질과 성능이 뛰어난 제품을 생산하기 위해서는 고성능 반응기의 설계, 계측센서 개발 및 공정 모니터링, 공정 제어 등의 여러 기술들이 복합적으로 이루어져야 한다. 「(84) 고기능 생물반응기 개발기술」은 생물산업의 발전과 함께 2010년헤 이르러 실현될 것으로 예측되었으며 중요도 지수는 70.7이었으며 선진국과의 기술격차는 4년으로 나타났다.

「(91) 뇌기능을 모델로 한 뉴로컴퓨터의 개발」, 「(90) 전자 부품이나 컴퓨터에 사용될 수 있는 바이오칩 개발」, 「(89) 조작 수명이 2년 이상이고 나노미터 수준의 초소형 고정적형 바이오센서 개발」 등의 전자공학과 관련된 생체모방기술 분야의 중요도는 각각 72.1, 69.8, 60.4로 조사되었으며 기술의 난이도가 높아 2018년 이후에나 실현될 것으로 예측되었다.



함경수

- 1964-1969년 연세대학교 화학과(이학사)
- 1973-1975년 미국 노스캐롤라이나 센트럴(North Carolina Central University) 대학 대학원 (유기화학, 석사)
- 1975-1979년 미국 듀켄(Duquesne) 대학 대학원 (생화학, 박사)
- 1981-1982년 미국 위싱턴의과대학 예방의학교실 전임강사
- 1983-1986년 연세대학교 의과대학 생화학교실 조교수
- 1986-현재 생명공학연구소 책임연구원
- 1998-1999년 한국과학기술평가원 선도기술 및 생명의료분야 전문위원
- 1999-현재 생명현상 및 기능 연구 사업단 (중점국가연구개발사업) 사업단장