

## Delphi와 AHP를 이용한 생명공학분야 미래유망기술의 R&D전략 수립

### Formulating R&D strategy for core technologies in biotechnology using the Delphi and the AHP

조용곤, 조근태

성균관대학교 시스템경영공학부

#### Abstract

국가개발사업 연구개발관리차원에 대한 패러다임은 객관적 연구과제의 선정·진도관리·성과관리 중심에서 기술수요조사 및 예측, 자원배분 등 사전 기획과 같은 R&D 전략수립 방향으로 변화하고 있다. 본 연구에서는 생명공학분야를 중심으로 미래 유망기술의 R&D 전략수립을 위한 절차를 제시한다. 먼저 전체과제의 중요도와 연구개발수준을 고려한 포트폴리오 구성을 위해서는 델파이방법을 사용하였다. 다음으로 앞으로 시급히 연구개발에 착수해야 할 과제들의 우선순위를 설정하기 위해 AHP방법을 사용하였다.

#### 1. 서론

산업과 기술이 발달함에 따라 국가, 부문, 또는 산업차원에서 기술 및 지식가치의 역할이 증대되고 기술보호주의가 심화되고 있다. 기술혁신이 국가 및 산업경쟁력을 좌우하는 중요한 원천으로 부각이 되고 있기 때문이다. 이에 따라, 기술수요조사 및 예측, 기술로드맵 작성, 그리고 자원배분 등 기술개발에 대한 사전기획의 역할이 점차 확대되고 있다. 특히, 국가연구개발사업 연구관리차원에서의 주요 점에 대한 패러다임 역시 객관적 연구과제의 선정·진도관리·성과관리 중심에서 기술수요조사 및 예측, 자원배분 등 사전기획과 기술이전 등 성과활용을 중요시하는 방향으로 변화하고 있는 추세에 있다.

한편, 농업관련기술은 생명공학, 메카트로닉스, 그리고 정보통신 등 타 분야의 첨단기술이 농업분야에 접목이 되면서 첨단기술에 대한 수요가 점차 증대되고 있다. 이에 따라, 연구개발비, 연구인력 및 연구시설 등 한정된 자원을 선택과 집중의 원칙에 따라 효율적·전략적으로 기술개발에 투자할 수 있는 방안을 모색할 필요가 제기되고 있다. 급변하는 농업생명기술에 적절하게 대처하기 위하여 정부에서는 농업분야 국가연구개발투자를 2001년 일반예산의 3.3%에서 2004년에는 일반예산의 5%까지 확대할 계획이지만 미래에 대한 정확한 산업 및 기술방향의 부재로 자원의 전략적·집중적 투자에 한계를 느끼고 있다.

따라서, 농업이 21세기 고부가가치의 핵심전략 산업으로 발전할 수 있도록 미래에 유망한 기술을 예측·발굴하는 등 핵심기술의 수요를 파악하고 우선순위를 설정함으로써 향후 효율적인 연구개발예산의 배분과 산업차원의 정보 공유와 공동연구를 추진할 수 있는 방안을 마련할 필요가 제기되고 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 크게 두 단계를 분석을 수행하였다. 먼저, 기술예측 방법으로 가장 광범위하게 사용되고 있는 델파이방법(Delphi Method)을 이용하여 생명공학분야의 미래유망기술의 중요도와 연구개발수준에 대한 기술예측조사를 2차에 걸쳐 실시하였다. 이 조사를 통해 우리나라 생명공학분야의 미래유망기술들의 포트폴리오를 구성하였다.

다음으로, 첫 번째 단계에서 수행한 델파이조사 결과를 기초로 최근 공공분야에서 광범위하게 사용되고 있는 다기준 의사결정방법인 계층분석방법(Antalytic Hierarchy Process: 이하 AHP)을 이용하여 생명공학분야의 미래유망기술 과제에 우선순위를 설정하는 분석을 수행하였다.

#### 2. 방법론

##### 2.1 Delphi

델파이법은 미래에 실현될 주요 기술의 실현시기와 중요도 등에 대하여 다수 전문가의 직관을 수렴하는 기술예측의 한 방법으로 선진국은 물론 우리나라에서도 과학기술예측조사를 위해 유용하게 활용되고 있는 방법이다(Linstone과 Turoff, 1975). 이 방법은 조사결과를 응답자에게 제시하여 수정 응답할 기회를 부여함으로써 다수 전문가의 의견을 수렴할 수 있고, 또한 익명성의 보장으로 자신의 의견 및 주장을 자유롭게 개진할 수 있도록 유도하여 다양한 정보를 교환할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 설문조사를 2회 시행하는 델파이법을 이용하여 예측조사를 실시하였다. 설문조사 항목은 기술에 대한 전문도, 중요도, 실현시기(국내 및 세계), 연구개발수준, 실현시기의 확신도, 기술적으로 가장 앞선 국가, 연구개발 추진주체 및 유효한 정책수단 등 8개 항목을 선정하였다.

##### 2.2 Analytic Hierarchy Process

1970년대 초반 Saaty(1980, 1983)에 의하여 개

발된 AHP는 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 雙對比較(pairwise comparison)에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는 의사결정을 지원하는 하나의 새로운 방법론이다. 이 모형은 이론의 단순성 및 명확성, 적용의 간편성 및 범용성이라는 특징으로 여러 의사결정분야에서 널리 응용되어 왔으며 이론구조 자체에 관해서도 활발한 연구가 진행되고 있다.

AHP는 일반적으로 다음과 같은 4단계의 작업으로 수행된다.

<단계 1> 의사결정문제를 상호관련된 의사결정 사항들의 계층으로 분류하여 의사결정계층을 설정한다. AHP의 적용에서 가장 중요한 단계라 할 수 있는 첫 번째 단계에서 의사결정분석자는 상호 관련되어 있는 여러 의사결정 사항들을 계층화한다. 계층이 최상층에는 가장 포괄적인 의사결정의 목적이 놓여지며, 그 다음의 계층들은 의사결정의 목적에 영향을 미치는 다양한 속성들로 구성된다. 계층 내의 각 요소들은 서로 비교 가능한 것이어야 하며, 계층의 최하층은 선택의 대상이 되는 의사결정 대안들로 구성된다.

<단계 2> 의사결정 요소들 간의 쌍대비교로 판단자료를 수집한다. 이 단계에서는 상위계층에 있는 목표를 달성하는 데 공헌하는 직계 하위계층에 있는 요인들을 쌍대비교하여 행렬을 작성한다. 쌍대비교를 통하여 상위항목에 기여하는 정도를 9점 척도를 사용하여 부여한다.

<단계 3> 고유값 계산방법을 사용하여 의사결정요소들의 상대적인 가중값을 산정한다. 이 단계에서, 판단의 일관성을 일관성 비율(Consistency Ratio: CR) 지수를 통하여 체크할 수 있다. 통상 그 비율이 10%이내에 들 경우, 해당 쌍대비교 행렬은 일관성이 있다고 본다.

<단계 4> 평가대상이 되는 여러 대안들에 대한 종합순위를 얻기 위하여 의사결정 사항들의 상대적인 가중값을 종합화한다.

### 3. 미래유망기술들의 연구개발포트폴리오

델파이 설문조사를 위한 생명공학분야의 기술과제를 선정하기 위해 문헌조사와 기술수요조사를 병행하였다. 예를 들어, 「농림기술개발사업 5년의 성과와 발전방향」(농림기술관리센터, 2000), 「21C 농업과학기술의 좌표와 정책방향」(한국농촌경제연구원, 2000), 「제2회 과학기술예측: 한국의 미래기술」(과학기술정책연구원, 한국과학기술평가원, 1999) 등을 검토하여 유망한 기술과제로 선정되어 있는 과제를 수집하였다. 이와 동시에 미래유망기술과제에 대한 수요조사도 실시하였다. 이 조사표에는 분야명, 과제명, 필요성 및 연구개발의 목표가 작성되도록 하였다. 기술개발 수요조사는 이 분야의 산·학·연 전문가를 대상으로 이메일을 사용하여 실시하였다.

이를 통해 수집된 과제는 10여명의 산·학·연 전문가를 임선하여 전문위원회를 구성하고, 그들로 하여금 수집 분류된 기술과제를 검토하도록 하였다. 이때, 분야내 중분류를 설정하여 수집된 기술과제를 해당 중분류 영역으로 분류시키고, 중분류별로 기술과제간 가능한 한 상호독립성을 유지하면서 조정하도록 하되, 중복 및 유사과제를 통합 또는 삭제하도록 하였다. 나아가, 중분야별로 제안되지

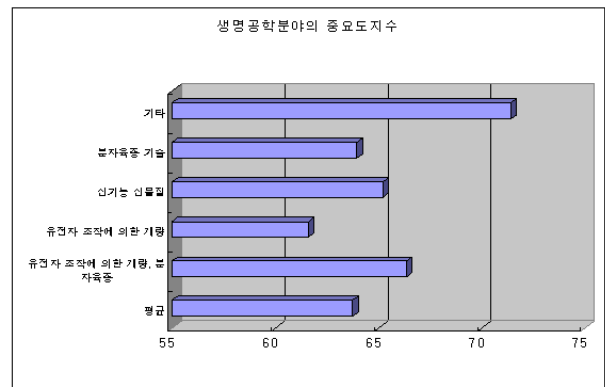
않았지만 중요하다고 판단되는 기술과제를 첨가시키도록 하였다. 이러한 과정을 통하여 델파이 조사를 위한 대안으로서 최종 기술과제를 확정하였다.

본 연구를 위한 생명공학분야의 최종 기술과제는 55개로서 '유전자 조작에 의한 개량/분자육종' 영역이 8개, '분자육종 기술' 영역이 7개, '신기능 신물질' 영역이 15개, '유전자 조작에 의한 개량' 영역이 24개, 그 외 기타가 1개로 분류되었다.

델파이 설문에는 모두 43명의 응답자중 40~49세 연령계층이 35명으로 전체 응답자의 81%를 차지했고, 이어서 50~59세 연령계층이 7명으로 16%를 차지했다. 연구경력 기간은 10~19년이 전체의 58%를 차지했으며, 이어서 20~29년이 37%를 차지했다. 응답자 분포는 연구원 9명, 기업 3명, 대학이 31명으로 대학교수가 전체의 72%를 차지했다.

### 3.1 기술과제의 중요도

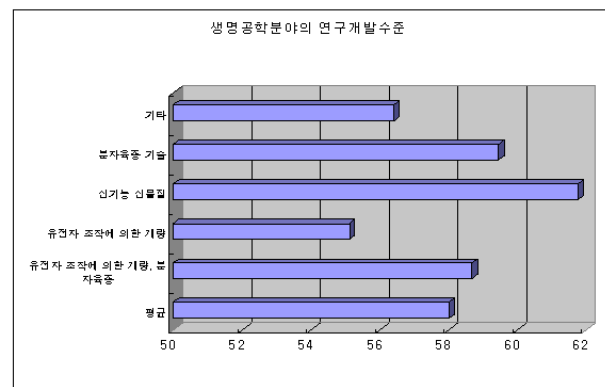
과제의 중요도지수를 적용하여 생명공학분야의 5개의 중분류를 비교하여 보면, <그림 1>과 같이 기타가 가장 높은 중요도지수를 나타내고 있지만 기타 영역의 과제가 1개로 이 영역을 제외하고 비교하면, '유전자조작에 의한 개량', '분자육종' 영역이 66.35로 가장 높았으며, 이어서 '신기능 신물질', '분자육종기술', '유전자 조작에 의한 개량' 영역의 순으로 나타났다.



<그림 1> 생명공학분야의 중요도지수

### 3.2 기술과제의 연구개발수준

연구개발수준은 <그림 2>와 같이 선진국과 비교하여 평균 58.03%수준으로 평가되었다. 선진국대



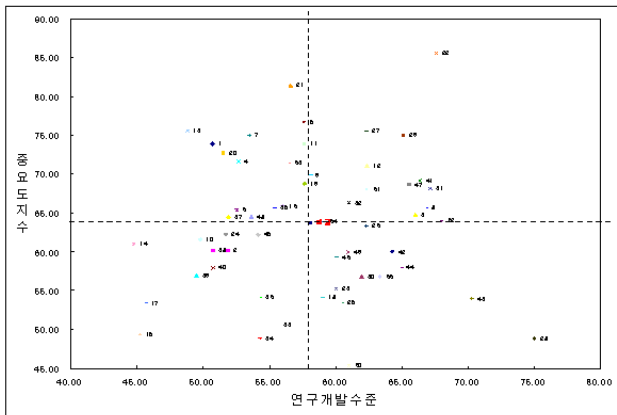
<그림 2> 생명공학분야의 연구개발수준  
비 기술수준이 다소 양호하게 나타난 영역은 신기

능 신물질이 61.77%로 가장 높게 나타났으며, 이어서 분자유종기술, 유전자 조작에 의한 개량/분자유종, 유전자 조작에 의한 개량의 순으로 나타났다.

### 3.3 연구개발 포트폴리오

과제의 중요도와 연구개발수준을 분석함으로써 핵심전략기술을 발굴하기 위하여 포트폴리오를 아래 <그림 3>과 같이 구성하였다.

생명공학분야의 평균 연구개발수준은 58.03%이며, 평균 중요도지수는 63.75로 나타났다. I 사분면에 해당하는 과제는 14개로 가장 성장 잠재력이 높은 영역으로 나타났고, II 사분면에 위치한 과제는 15개로 중요도는 높으나 연구개발 수준이 낮아 지속적인 투자가 요구는 영역으로 평가되었다.



<그림 3> 연구개발기술과제의 중요도지수-연구개발수준 포트폴리오

## 4. 미래유망기술들의 우선순위 설정

연구개발과제의 중요도-연구개발수준 포트폴리오를 근거로 전체 55개의 기술과제들을 중에서 I, II 사분면에 해당하는 기술과제들을 AHP적용대상으로 하였다. 즉, 본 연구에서는 중요도와 연구개발수준이 높은 기술과제와 중요도는 높지만 연구개발수준이 낮은 기술과제 중에서 향후 시급히 개발할 여할 할 과제들의 우선순위를 도출하고자 한다. <표 1>과 <표 2>에서 보는 바와 같이 I 사분면에 속하는 기술과제는 14개, II 사분면에 속하는 기술과제는 15개로 확정되었다.

<표 1> I 사분면의 기술과제 리스트

번호	과제명
R1	고효율 식물 조직배양 기술이 개발된다.
R2	생물반응기를 이용한 유용물질 및 식물체 대량 생산기술이 개발된다.
R3	주요 농작물 유전자원의 장기저장, 평가, 증식, 관리 기술이 개발된다.
R4	유용 단백질 생산 형질전환 동물 개발 기술이 개발된다.
R5	천연물로부터의 바이오소재가 개발된다.
R6	천연자원을 이용한 혈당조절 및 당뇨병 치료 바이오소재가 개발된다.
R7	친환경 천연 생물농약 개발 기술이 개발된다.
R8	고 효율 형질전환 기술이 개발된다.
R9	농작물로부터의 항진균성 신기능성 단백질 분리 및 기능 연구
R10	미생물 자원으로부터 유용 천연물질의 개발이 이루어진다.
R11	수입농축산물 차별화 와 검역을 위한 간편 진단 기술이 개발된다.
R12	유용균류를 이용한 대체 의약품이 개발된다.
R13	미생물 효소공학을 활용한 기능성 물질 생산 기술이 개발된다.
R14	작물의 저장성 향상을 위한 생명공학 기술이 개발된다.

<표 2> II 사분면의 기술과제 리스트

번호	과제명
R1	식물에서의 고기능성 유용 백신 생산 기술이 개발된다.
R2	내재해성 농작물이 개발된다.
R3	대사조절 유전자를 이용한 생산성 향상 농작물이 개발된다.
R4	병충해 저항성 농작물이 개발된다.
R5	2 차 대사산물 관련 유전자 발굴 및 기능성 강화 농작물이 개발된다.
R6	작물의 염기서열 및 유전자지도를 이용한 고부가 가치 유전자가 확보된다.
R7	인공 장기 생산용 형질전환 동물 개발 기술이 개발된다.
R8	유전자 재조합 미생물의 환경 안전성 확보기술이 개발된다.
R9	형질전환 실험동물 모델이 개발된다.
R10	간류용 농약의 분해 및 환경정화용 작물이 개발된다.
R11	유전자 변형 생물체와 생산물의 안전성 평가 기술이 개발된다.
R12	농작물로부터 면역억제 활성물질이 개발된다.
R13	프로테옴 분석을 통한 주요 원예작물의 유용 형질이 개발된다.
R14	친환경 유기 축산물 생산을 위한 항생제 대체 면역증강물질이 개발된다.
R15	친환경 생분해성 농업자재가 개발된다.

### 4.1 평가계층

본 연구에서는 생명공학분야의 미래유망기술의 우선순위 설정을 위한 평가대항목은 기술성, 시장성, 공공성으로 설정하였다. 각 평가대항목의 세부 항목으로 기술성에는 기술독창성, 기술파급성, 기술실현성의 세 가지 항목으로, 시장성에는 시장규모성, 시장성장성, 투자수익성의 세 가지 항목으로, 마지막으로 공공성에는 산업적파급성, 사회적 편익성 또는 영향성, 국가전략과의 부합성의 세 가지 항목으로 잡았다. 각 평가소항목의 내용은 <표 3>과 같다.

<표 3> 평가항목

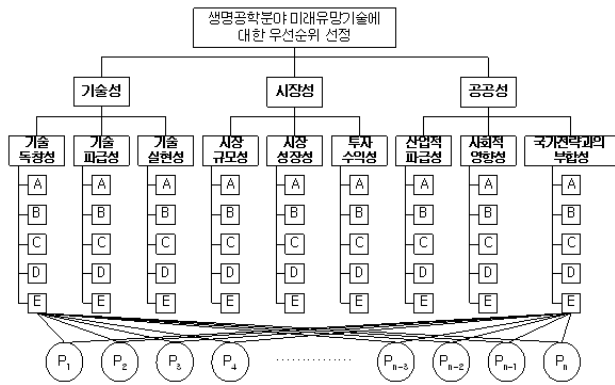
대항목	소항목	내용
기술성	기술독창성	(uniqueness) 해당 과제의 기술적 독창성의 크기로써, 이후의 연구에 기여도가 높을 것으로 예상되는 기술을 의미한다.
	기술파급성	(impact to other technology) 해당 과제에 대한 연구결과가 다른 분야 또는 기술에 미치는 영향을 의미한다.
	기술실현성	(feasibility) 현재의 기술수준 등 기타 조건을 고려할 때 해당 기술이 실현될 가능성의 크기를 의미한다.
시장성	시장규모성	(market size) 해당 과제의 기술 또는 제품의 시장규모의 크기를 의미한다.
	시장성장성	(market growth) 해당 과제의 기술 또는 제품의 시장의 잠재적 성장 가능성을 의미한다.
	투자수익성	(profitability) 해당 과제의 기술 또는 제품의 개발비에 대한 수익의 비율의 크기를 의미한다.
공공성	산업적 파급성	(impact to other industry) 해당 과제의 기술 또는 제품이 다른 산업에 미치는 영향을 의미한다.
	사회적 편익성/영향성	(impact to society) 해당 과제의 기술 또는 제품이 사회에 미치는 영향 또는 해당 과제의 기술 또는 제품에 대하여 국민이 갖는 관심의 정도와 경제적 편익성을 의미한다.
	국가전략과의 부합성	(relatedness to government policy) 해당 과제의 기술 또는 제품이 정부가 추진하고자 하는 정책과 어느 정도 일치(부합)하는가를 의미한다.

AHP에서는 평가대안의 수가 너무 많으면 쌍대비교의 횟수가 기하급수적으로 증가하기 때문에 상대측정이 불가능하여 실질적으로 AHP를 적용하기가 어렵다. 따라서, 쌍대비교평가가 곤란하다고 알려져 있는 10개 이상의 대안의 수인 경우에는 평가기준에 따라 절대비교를 통한 절대측정방법을 취하는 것이 바람직하다. 본 연구에서도 대안의 수가 10개 이상이므로 절대측정방법을 취하였다. 이러한 방법을 적용하기 위해서 각 기준에 대해 등급척도(rating scale)를 5점 척도로 구성하였다. 위와 같이 평가대안과 항목을 계층구조로 나타내면 <그림 4>와 같다.

각 평가항목 및 대안에 대한 상대적인 중요도

의 판단은 기술과제선정에 절대적 영향을 미치므로, 대상기술과제의 전반적인 특성에 대한 지식을 갖고 있는 생명공학분야의 대표적인 전문가들로 구성하였다. 이에 따라 본 연구에서는 8명의 전문가를 표본으로 전자메일을 통하여 설문조사를 실시하였다.

판단자료의 일관성 검증은 8명의 전문가 중에서 2명의 전문가는 10% 이상의 비일관성을 보여 평가대상에서 제외하였다. 수집된 설문자료는 AHP의 분석 소프트웨어인 EC2000으로 처리하였다.



<그림 4> AHP분석을 위한 계층구조

#### 4.2 평가항목의 중요도

전문가들의 설문을 통하여 평가항목들간의 중요도를 도출한 결과, <표 5>와 같이 전문가들은 평가대상항목 중에서 시장성이 0.479로 가장 중요하게 나타났다. 그다음으로는 기술성이 0.384이며, 공공성은 0.137로 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 나타났다.

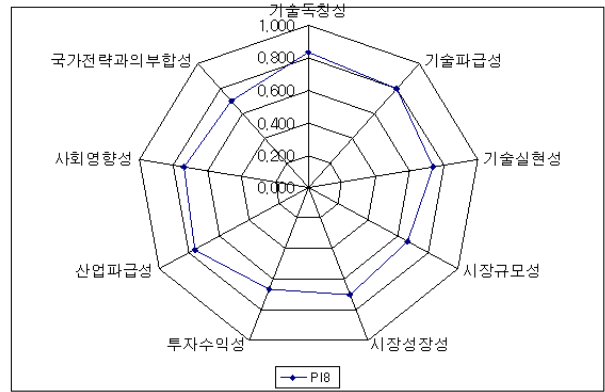
<표 5> 평가항목의 중요도 결과

평가대상항목		평가소항목	
기준	가중치	기준	가중치
기술성	0.384	기술독창성	0.152
		기술파급성	0.081
		기술실현성	0.150
시장성	0.479	시장규모성	0.079
		시장성장성	0.124
		투자수익성	0.276
공공성	0.137	산업적파급성	0.048
		사회영향성	0.038
		국가전략과의 부합성	0.051

#### 4.3 평가대안의 중요도

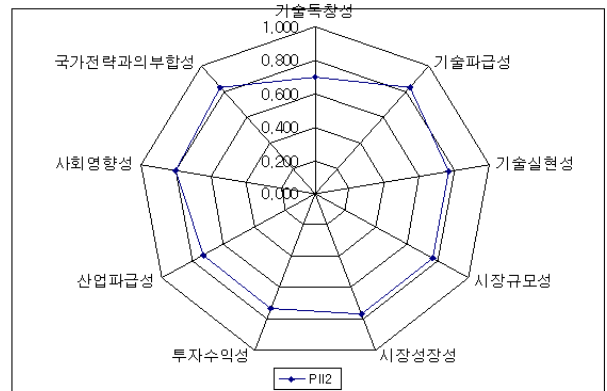
I 사분면의 기술과제들 중에서는 '고효율 형질 전환 기술이 개발된다'가 가중치 0.725로 가장 시급하게 개발해야할 과제로 나타났다. 각 평가기준에서 이 과제를 살펴보면, <그림 5>에서 보는 바와 같이 기술성 측면에서는 모든 기준이 상대적으로 높은 점수를 받았다. 시장성 측면에서 가장 중요하게 평가된 시장성장성 기준에서 높은 점수를 받았으나 다른 측면과 비교하여 낮은 점수를 받았다. 그리고 공공성 측면에서는 모든 기준에서 높은 점수를 받은 것으로 나타났다. 반면에, 우선순위가 가장 낮은 과제는 '농작물로 부터의 항진균성 신기능성 단백질 분리 및 기능 연구'가 가중치 0.550으로 나타났다.

다음으로 II 사분면의 기술과제들 중에서는 '내재해성 농작물이 개발된다'가 가중치 0.755로 가



<그림 5> P<sub>8</sub>의 각 기준에 대한 가중치

장 중요한 것으로 나타났으며(그림 6), 우선순위가 가장 낮은 과제는 '프로테옴 분석을 통한 주요 원예작물의 유용 형질이 개발된다'가 가중치 0.481로 나타났다.



<그림 6> P<sub>12</sub>의 각 기준에 대한 가중치

### 5. 결론

델파이 조사와 AHP 통해 이루어진 미래유망 기술의 중요도 결정, 연구개발수준이 높은 핵심기술 도출 및 우선순위 설정 등은 생명공학분야의 육성발전을 위한 정책적 지원대상 파악 및 국내 생명공학분야의 연구개발정책을 수립하는데 있어 어떤 기술이 우선적으로 고려되어야 하는지에 대한 중요한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- 과학기술정책연구원, 한국과학기술평가원(1999), 「제2회 과학기술예측: 한국의 미래기술」.
- 조근태(1999), 「R&D의 예측과 결정」, 자유아카데미.
- Linstone, H. A. and Turoff, M.(1975), The Delphi Method: Techniques and Applications, Addison-Wesley Publishing Company.
- 조근태, 조용근, 강현수(2003), 「계층분석적 의사결정」, 동현출판사.
- T. Saaty(1980), The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York.
- (1983), "Priority Setting in Complex Problem", IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 30, No. 3, pp. 140-155.