

## Gordon 모형을 이용한 DNA칩 기술수준의 국제비교분석

박수동\* · 홍순기\*\* · 김승동\*\*\* · 정근하\*\*\*\* · 한성구\*\*\*\*\*

### ( 목 차 )

1. 서 론
2. DNA칩 관련 시장 및 연구동향
3. 기술수준의 개념과 평가방법
4. DNA칩의 기술수준분석
5. 결 론

**Summary:** The main purpose of this study is to measure and compare the state of the art (SOA) of DNA chips of Korea, Japan and the United States using Gordon's scoring model. From the comparison, Korea's SOAs of DNA chip were estimated to be 70% and 62% of those of the United States in terms of functional and technical parameters, whereas Japan's SOAs were 79% and 77%, respectively.

The results of this study could be applied to the strategic technology planning for narrowing the technology gap, and used as one of the key criteria for resource allocation in national R&D programs and the fundamental information to formulate the biotechnology policy for the Korean government.

\* 성균관대학교 시스템경영공학부 박사과정(trozmol@matire.skku.ac.kr)

\*\* 성균관대학교 시스템경영공학부 교수(hongsk@yurim.skku.ac.kr)

\*\*\* 성균관대학교 시스템경영공학부 박사과정(dong@oesus.skku.ac.kr)

\*\*\*\* 한국과학기술평가원 책임연구원(khchung@kistep.re.kr)

\*\*\*\*\* 한국과학기술평가원 선임연구원(hsg@kistep.re.kr)

## 1. 서론

우리나라는 그 동안 국가차원의 적극적이고, 지속적인 연구개발사업의 추진과 민간차원의 활발한 기술개발 노력에 힘입어 과학기술수준이 지난 30여년 동안 비약적으로 높아졌다. 한국과학기술평가원(1999)의 “우리나라의 주요 과학기술수준조사”에 의하면, 우리나라의 전반적인 과학기술수준은 1994년에 비해 1999년에 70%의 향상을 이룩하였다. 또한 그 동안의 과학기술발전을 통해 일부 전략분야에서는 선진국 수준에 근접하는 제조기술을 확보하게 되었으며, 반도체, 가전, 철강, 조선, 섬유, 자동차 등의 주력분야에서는 세계시장에서 상당한 경쟁력을 갖게 되었다.

1973년 Cohen과 Boyer에 의해 유전자재조합(recombinant DNA)기술이 소개된 이후로 “농업의 발명이래 가장 위대한 과학적 혁명”으로까지 묘사되는 등 생명공학은 학문에서뿐만 아니라 농업, 의약산업에서 전자산업에 이르기까지 산업 응용에 있어서도 무한한 잠재력을 지닌 21세기의 핵심기술이 될 것으로 예견되었다(안두현 외, 1998). 또한 지난 2000년 6월 26일, 1990년부터 수행된 인간게놈프로젝트(Human Genome Project: HGP)의 연구결과를 통하여 약 30억 쌍에 달하는 인간 유전체 염기서열의 1차 초안이 발표되었고, 이는 과학사의 한 획을 긋는 사건으로 바이오혁명을 가속화하는 하나의 분기점이 되었다.

이제 포스트게놈(post genome)시대의 중요한 과제 중 하나는 단순히 유전자를 찾아내기만 하는 것이 아니라, 각 유전자의 기능을 밝히는 것이다(functional genomics). 이 분야의 핵심도구로 사용되는 것이 바로 DNA칩이다. DNA칩이란 유전자의 이중나선구조에서 특정한쪽 사슬만 떼어 손톱 만한 크기의 유리나 실리콘기판 위에 미세 집적시켜 놓은 것으로서, 이 칩에 검사대상자의 유전자를 반응시켜서 유전자 질환의 유무와 특성 등을 진단할 수 있는 도구이다. 따라서 DNA칩은 얼마나 많은 유전자 정보를 적은 비용으로 집적시킬 수 있는냐가 하나의 관건이다.

본 논문의 목적은 기술수준의 평가방법에 대한 일반적인 고찰과 함께, 우리나라 DNA칩의 기술수준<sup>1)</sup>이 어느 정도인지를 세계 최고수준인 미국, 일본과 비교하여, 동 기술과 관련된 정부 및 민간차원의 기술개발전략수립에 도움을 주고자 하는 것이다. 최근 유전체관련 기술능력을 국제비교한 연구<sup>2)</sup>에서는 DNA칩 제작 및 활용기술의 경우 UniGene 발굴기술은 선

---

1) DNA칩의 기술수준은 단순히 그 자체의 기술수준 뿐만 아니라 그와 관련된 장비들의 기술수준 또한 분석할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서 다루는 기술수준은 DNA칩만의 기술수준이 아니라 진단칩, Microarrayer, Scanner, cDNA microarray image analyzer 등을 포함한 DNA칩 시스템의 전반적인 기술수준을 의미한다.

진국 (미국)의 0~20%, cDNA칩 제작 및 탐색기술은 40~60%, Oligo-칩 제작기술은 0~20% 수준인 것으로 나타났다. 본 논문에서는 DNA칩의 기술을 기능모수와 기술모수로 좀 더 세분화하여 한국, 일본, 미국의 기술수준을 비교분석하고자 한다. 이러한 분석을 수행하게 되면, 다른 나라와 비교하여 어떤 기술이 우수하고, 어떤 기술이 취약한지를 파악할 수 있으므로, 장기적인 관점에서 기업 또는 국가차원에서 예산을 배분하여, 관련된 전략 또는 정책을 수립하는데 많은 도움을 얻을 수 있다. 이를 위해 2절에서는 DNA칩 관련 시장 및 연구동향을 살펴보고, 3절에서는 기술수준의 개념과 평가방법을 검토하고, 4절에서는 한국, 일본, 미국의 DNA칩 기술수준을 비교분석하고, 5절에서는 요약과 함께 본 논문의 한계 및 활용방안을 제시한다.

## 2. DNA칩 관련 시장 및 연구동향

### 2.1 시장동향

바이오칩은 소형 기판 위에 DNA나 단백질 등의 생화학물질을 집적시킨 고도의 생체정보 감지소자이다. 그 중에서 DNA칩은 수백~수만 종의 유전자에 대응하는 DNA 이중나선구조의 한쪽을 현미경 슬라이드 등의 기판 위에 미소량을 정렬하여 고정화시킨 것이다. 현재 세계 바이오칩 시장은 DNA칩 중심으로 형성되고 있는데, DNA칩이 전체 시장의 90%를 차지하고 있다. <표 1>은 바이오칩의 종류별 특성과 용도를 요약한 것이다.

<표 1> 바이오칩의 종류

종류	특성 및 내용	용도
DNA칩	수많은 DNA 편단을 소형기판 위에 배열	특정 유전자(질병관련 유전자 등)의 존재유무 확인
단백질칩	각기 다른 단백질과 결합하는 항원이나 항체들을 배열	항체·항원과의 반응검사
Lab칩	생화학적인 분석·처리과정을 집적	실험시 분석·처리과정 스크리닝

자료: 구분관·복득규 (2000)

2) 한국생명공학연구원 (2000) 인간유전체연구사업단의 전문가 직관에 의한 평가 결과임.

인체의 유전자 정보가 저장되어 있는 DNA칩을 이용할 경우 한번에 수천 가지 유전자의 특성을 읽어냄으로써 질병의 조기 진단과 치료가 가능해지고, DNA칩의 실용화가 본격적으로 이루어지면 개인의 유전자 변이나 이상 여부를 쉽게 진단할 수 있게 될 것이다<sup>3)</sup>. 이러한 DNA칩의 보편화는 방대한 양의 유전정보를 빠르게 저장하고 처리할 수 있도록 하는 바이오인포메틱스 (bioinformatics)의 발전으로 점차 가속화될 전망이다. 이에 따라 유전적 요인에 의한 발병 가능성이 높은 심장병, 고혈압, 간암, 노인성 치매 등의 잠재적인 질환자의 경우 유전자 진단을 통해 조기에 치료할 수 있게 될 것이다. 또한 DNA칩은 세균 감염여부 검사, 신약개발, 유전자의 기능연구, 항생제 내성검사 등 다양한 분야에서 활용될 것으로 예상되고 있으며, 건강진단센터에서 개인 건강검진용으로라도 사용될 것이다 (정승태, 2000).

2000년 DNA칩의 세계시장규모는 3억 달러로 추정되며, 2006년에는 12억 달러에 이를 것으로 예상되고 있다. 이 분야의 선두주자인 미국의 Affymetrix사는 2000년 약 20만 개의 칩을 판매한 것으로 추정되며, 매출액은 1억 9천만 달러이며, 현재 약 60%의 시장점유율을 보이고 있고, 현재 회사가치는 30억 달러에 이르고 있다. 2001년 우리나라의 생명공학관련 정부예산은 3,308억원으로, 이 중에서 DNA칩 관련 예산규모는 정확히 알 수는 없으나 DNA칩 개발 자체연구 및 컨텐츠 (응용분야)에 대한 연구비의 일부와 바이오 벤처를 포함한 민간기업의 연구비를 합치면 약 300억원 규모로 추정된다 (정근하 외, 2001).

## 2.2 연구동향

무한한 성장과 고부가가치를 실현할 DNA칩이 유망 신사업으로 부상함에 따라 선진 기업들의 개발경쟁 또한 가열되고 있다. 그 중에서 Affymetrix는 DNA칩 개발경쟁에서 두각을 나타내고 있는 기업이다. Affymetrix는 컴퓨터칩 제조기술을 사용하여 암, 에이즈 등과 관련된 유전자를 밝혀내는 DNA칩을 개발함으로써 동 분야에서 선두를 달리고 있다. 그밖에 Hyseq, Cellomics, CIPHERgen, Biosystem 등이 DNA칩 분야에서 치열한 각축을 벌이고 있는 가운데 국내 바이오 벤처들도 DNA칩 개발에 뛰어들었다.

DNA칩 관련 국내연구는 최근 2~3년 사이에 급증하여, 현재 10여 개의 벤처회사가 DNA칩 관련 연구개발에 몰두하고 있다. 이들 중 대부분이 질병진단을 위한 유전자변이검색 (genetic variation detection)용 DNA칩을 개발하고 있으며, 일부 회사 및 연구소에서 유

---

3) DNA칩을 이용한 유전자 진단과정을 간략히 설명하면, 먼저 검사대상자의 혈액이나 정자 등에서 유전자를 추출해 유전자의 이중사슬을 분리시킨 다음 아주 작은 조각으로 절단한다. 그리고 이 작은 조각을 DNA칩 위에 올려놓게 되면 DNA칩에 내장된 정상 유전자의 한쪽 염기배열과 검사대상자의 다른 한쪽 DNA 염기들이 반응하면서 이중사슬이 형성된다. 바로 이때 형성되는 DNA의 이중나선구조가 칩 표면에 형광물질로 표시되게끔 처리하여, 형광색으로 표시된 DNA 염기의 위치와 결합정보를 이용하여 검사대상자의 유전자 정보와 질환 등에 대해 진단할 수 있다 (정승태, 2000).

전자발현연구 (gene expression profiling)용 DNA칩을 제작하고 있다. 그리고 학교와 일부 대기업을 중심으로 기반기술연구를 진행하고 있다.

### 3. 기술수준의 개념과 평가방법

#### 3.1 기술수준의 개념

기술수준은 분석자의 목적에 따라 다양하게 정의될 수 있다. Schmookler (1966)는 기술을 산업생산과 관련된 지식의 사회적 보유라고 정의하면서 기존기술을 활용하는 정도가 한 국가의 노동인구에 그 기술이 보급되는 분포를 합산해서 표시될 때 이를 그 국가의 기술능력 또는 기술수준이라고 정의한다. 개념적으로 생산공장의 설비용량과 비슷한 기술능력은 한 국가의 가장 중요한 경제적 자원 중 하나이다. 따라서 기술능력의 증가율은 장기적인 경제성장률의 한계를 결정하는 가장 중요한 요인이라고 할 수 있다.

寸木俊昭 (1974)는 기술수준을 기업이 어떤 제품 혹은 제품군을 생산할 때에 사용하는 물적 제시설과 인적 재능력의 총체라고 정의하고 있다. 이때, 물적 제시설이라는 것은 이른바 생산수단의 체계를 지칭하고, 인적 재능력이라는 것은 인적 요소의 힘 즉, 연구원의 능력, 노동자의 자질 및 경험을 지칭한다.

Ken Research (ケン-リサーチ, 1976)는 인간 및 인간사회가 직면하는 외적인 제약조건에 대응하거나 극복하기 위한 수단인 기술이 이러한 대응 혹은 극복하는 정도를 수량화한 것을 기술수준이라고 정의하고 있다. 이에 따르면 기술수준은 기술과 그 성과의 수요자인 사회의 입장에서 측정해야 한다.

일본의 과학기술과 경제의회 (1983)는 과학기술수준을 “과거의 과학기술활동의 축적 또는 성과로서 현재 도달하고 있는 수준”으로 정의하였다. 예를 들면, 현재 생산하고 있는 원료, 부품, 제품, 시스템, 공장, 공정 등의 성능, 품질, 시장점유율 등의 지표를 분석하면 현재 도달한 기술수준의 상대평가가 가능하다. 이 경우 현재 보유하고 있는 과학기술이 자주기술인가 도입기술인가는 문제되지 않는다.

Martino (1993)는 기술수준이란 요구되는 기능을 얼마나 잘 수행하는가를 정량적으로 나타낸 것이라고 하였다. 개별기술의 수준 측정치는 효과의 측정치 (measure of effectiveness)라고도 한다. 이는 기술이 목적으로 하는 기능을 수행하는 능력과 문제를 해결하는 능력을 측정하기 때문이다. 이러한 특성을 확인한 다음 기술수준을 나타내는 단일 또는 복수의 측정치를 선정해서 지표화하게 된다.

Gordon (1981)은 기술수준과 관련된 과거의 연구결과들을 검토한 후, 기술수준측정을 충족시키는데 필요한 5가지 기준을 다음과 같이 제시했다. 첫째, 여러 분석가가 동일한 기술을 대상으로 기술수준을 추정할 때 같은 값에 도달할 수 있어야 한다. 둘째, 기술수준은 이상적으로 지수형태 (form of index)가 바람직하며, 동 지수는 기준값 (지수작성의 기준 년도와 동일한 개념)을 토대로 작성되어야 한다. 이렇게 되면 동 지수는 기준값에 대한 현 기술수준의 근접성 (proximity)을 나타내고, 또한 분석가에게 유용한 수치를 제공하게 된다. 셋째, 동 접근방법은 기술분류의 어느 수준 (any level of technological aggregation)에서도 적용될 수 있다. 넷째, 기술이란 특정한 단일목적 또는 복수목적의 달성을 위해 개발되는 것이므로, 동 기술의 각종 모수들과 이를 토대로 한 기술수준지수는 목적을 달성하는데 있어 동 기술의 우수성을 반영하지 않으면 안된다. 다섯째, 기술수준은 기술간의 비교를 용이하도록 하기 위해 단위가 없는 (dimensionless) 형태이어야 한다.

이상과 같이 기술수준의 개념에 관한 다양한 고찰을 통하여 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 기술수준은 다양하게 정의될 수 있다. 둘째, 대상기술의 개별적 성능을 나타내는 지표는 그 지표에 대한 판단 기준이 미리 준비되어 있는 경우에만 수준지표로서 유용하고, 모든 기술에 관해 공통적인 특성을 갖는 수준지표가 존재한다면 이것은 사회에 대한 기술의 효율을 나타내는 지표 외에는 없다는 점이 기술수준의 기본적인 한계이다. 셋째, 기술을 대상으로 할 것인지 또는 기술접근을 대상으로 하는 것인지를 구분해야 한다. 단일 기술접근을 다룰 때는 동 기술접근이 다른 기술접근과 어떻게 구분되는 지를, 기술을 다룰 때는 같은 기능을 수행하는 다른 기술과 어떻게 다른지를 명확히 해야 한다. 넷째, 기술의 측정치는 그 기술이 수행하는 기능과 연관되어 있으므로 기술이 그러한 기능을 얼마나 잘 수행하는가를 정량적으로 나타낸 것이 기술수준이다.

### 3.2 기술수준 평가방법

기술수준 평가방법은 접근방법에 따라 크게 조직기술혁신체제 (Corporate Innovation System: CIS)적 접근방법, 기술의 효율성 분석에 의한 접근방법, 기능모수/기술모수를 대상으로 점수제모형 (scoring model)을 사용하는 접근방법으로 분류할 수 있다 (장진규 외, 1998).

조직기술혁신체제적 접근방법은 기술혁신의 투입·변환·산출의 프로세스를 분석함으로써 기업목표를 달성하기 위한 기술전략수립 및 기술경영의 의사결정에 필요한 요구정보를 객관적이고 체계적으로 제공하려는 시도이다. 조직의 기술개발활동을 체계적으로 이해하기 위해서는 투자·인력 등의 투입지표와 특허와 같은 직접적인 성과지표를 작성하고, 나아가

과학기술의 광범위한 사회·경제적 파급효과를 지표화해서 나타내는 것이 바람직하다. 기술의 효율성 분석을 통한 기술수준 접근방법은 총요소생산성 (total factor productivity: TFP) 측정을 이용하는 방법, 기술스톡 (technology stock) 측정을 이용하는 방법, 기업성과에 대한 기술개발투자의 기여도를 이용하는 방법으로 구분할 수 있다. 이러한 방법들은 기술개발 투입과 산출간의 효율성을 비교하여 기업의 성과에 대한 기술의 기여도를 측정하는 것이다.

기능모수/기술모수를 대상으로 점수제모형을 사용하는 접근방법은 기술을 바라보는 주체에 따라 기술수준을 평가하는 방법이다. 기능모수 (functional parameter)는 기술이 사용자의 요구를 만족시키는 정도를 측정하는 모수이고, 기술모수 (technical parameter)는 사용자가 바라는 효용을 얻기 위해 설계자가 제어하는 모수이다. 예를 들어, DNA칩의 기능모수로는 정확성, 다양성 등이 있는데, 이러한 모수는 DNA칩의 사용자가 직접 관심을 갖는 모수들이다. DNA칩의 기술모수로는 칩 제조기술, 칩 분석기술 등이 있는데, 이들 모수는 사용자가 바람직한 특성을 얻도록 설계기술자가 변화시켜야 하는 모수들이다. 종합적인 기술수준이 한 가지 모수보다는 여러 모수의 조합으로 표현되고 복합 측정치 모형을 구축하는데 특별한 분석방법이 없을 때 점수제모형이 사용된다. 이러한 점수제 측정모형에는 대표적으로 Martino 모형과 동 모형의 제약된 형태인 Gordon 모형이 있다.

조직기술혁신체제적 접근방법과 기술의 효율성 분석을 통한 접근방법은 경쟁국과의 비교를 위해서 공식적으로 발표되는 통계 이외에도 기업의 내부정보를 많이 필요로 하기 때문에 본 사례연구에서는 적용하기가 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 기능모수/기술모수의 개념과 점수제모형을 이용하여 한국, 일본, 미국의 DNA칩의 기술수준을 비교분석하고자 한다.

### 3.3 기술수준 측정모형

특정 기술 또는 제품의 종합적인 기술수준을 측정하기 위해서 점수제모형 (scoring model)을 구축할 때 항상 야기되는 문제의 하나는 요인의 특성치가 클수록 또는 작을수록 기술수준을 높게 하는지를 판단하는 것이다. 일반적인 점수제모형에서 전자의 경우는 분자에 해당하고, 후자의 경우는 분모에 해당한다. 또 다른 문제의 하나는 요인들의 특성이 더해야 하는 것인지 또는 곱해야 하는 것인지를 결정하는 것이다. 어떤 요인이 매우 중요하기 때문에 꼭 포함되어야 하는 절대요인 (overriding factor)라면, 이 요인은 점수제모형에서는 “곱하기” 형태로 표시된다. 따라서 특정 제품이 이러한 요인이 없어 “0”을 받게 되면 그 제품의 기술측정치는 자동적으로 “0”이 된다. 반면에 “더하기” 형태로 표시되는 요인들은 교환 가능한 요인 (tradable factor)으로서, 그 값이 “0”이 되어도 그 제품의 기술측정치는 “0”이

되지 않는다. 또한 일부 요인들은 그룹핑이 되어 다른 요인과 “곱하기” 형태로 표시되기도 한다. 소문자는 각 요인의 가중치를 나타낸다. Martino (1993)는 이상의 내용들을 고려하여 식(1)과 같은 일반적인 기술수준 측정모형을 제시하였다.

$$\text{기술수준} = \frac{A^a B^b (cC + dD + eE)(fF + gG)^y (1 + hH)^x}{(iI + jJ)^w (1 + kK)^v} \quad \text{식 (1)}$$

식(1)에서 분자의 대문자는 그 값이 커지는 것이 바람직한 요인을 나타내며, 분모의 대문자는 그 값이 커지는 것이 바람직하지 않은 요인을 나타낸다. A와 B는 절대요인을 나타내며, C, D, E, F, G, I, J는 교환가능한 요인을 나타낸다. H와 K는 교환될 수 없고 또 그룹의 부분도 될 수 없는 요인으로서 항상 모형에 나타나는 것은 아니다. H는 중요도가 낮은 요인 (not overriding)으로서, 없으면 “0”을 부여하고, 있으면 전체점수를 증가시키는 성격의 요인이다. 따라서 그 값이 “0”이라도 전체점수를 “0”으로 하지 않은 특성이 있다. K의 경우 바람직하지 못한 요인이나 K가 없어도 전체점수에는 영향을 미치지 않고, 있게 되면 점수를 낮추는 특성이 있다.

식(1)의 기술수준 측정모형은 다양한 형태로 나타날 수 있다. Gordon 등 (1981)은 절대요인 한 가지를 제외한 모든 요인들을 교환가능한 요인으로 간주하면서 식(2)와 같은 제약된 (constrained) 형태의 점수제모형을 제시하였다. 이 모형을 이용하면 특정 제품의 기술수준 (state of the art: SOA)을 다른 제품의 기술수준과 비교할 수 있다.

$$M_i = 100 \frac{C_i}{C^*} \left[ K_1 \frac{X_{1i}}{X_1^*} + K_2 \frac{X_{2i}}{X_2^*} + \dots + K_N \frac{X_{Ni}}{X_N^*} \right] \quad \text{식 (2)}$$

식(2)에서  $M_i$ 는  $i$ 번째 제품의 종합적인 기술수준이고,  $N$ 은 모형에 사용되는 요인의 개수,  $X_{Ni}$ 는  $N$ 번째 요인의 값이고,  $C_i$ 는 절대요인의 값이다.  $X_N^*$ 와  $C^*$ 는 각각  $N$ 번째 요인과 절대요인의 기준값 (reference value)으로서, 이론적인 상한값이 될 수도 있고, 초과할 수 없는 다른 기준값이 될 수도 있다.  $K_N$ 은  $N$ 번째 요인의 가중치이다.

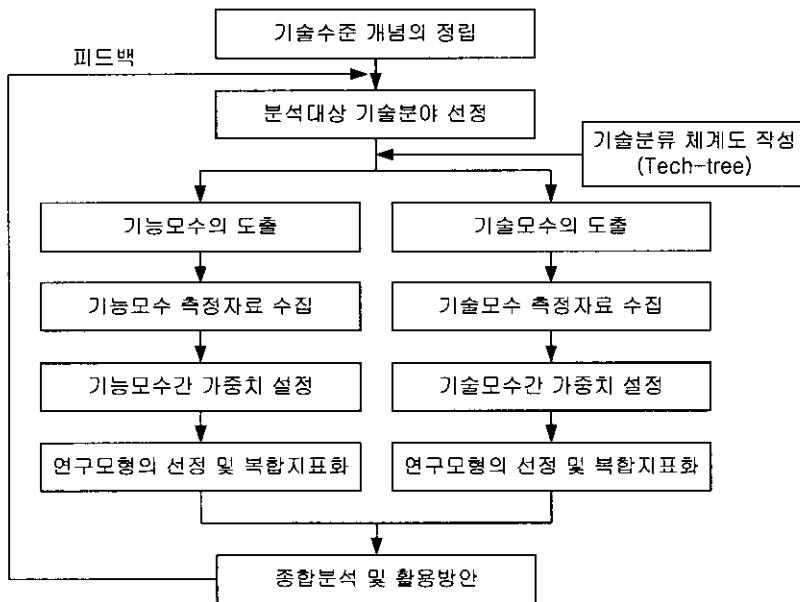
앞에서 언급했듯이, Gordon 등 (1981)의 식(2) 모형은 Martino (1993)의 식(1) 모형의 제약식으로서, 그 특징을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 절대요인과 여타 요인들의 선형결합을 곱한 형태이며, 절대요인은 한 개만 존재한다. 둘째, 여타 요인들은 “더하기” 형태로 되어 있어 교환의 가능성 (tradable)을 고려한다. 셋째, 요인들의 단위가 다른 점을 조정하여 공통의 척도로 나타내기 위한 표준화 방법으로서, 각 제품의 요인값을 기준 제품의 요인값으로 나누는 방법을 택한다. 요인의 값이 증가할 때 SOA값을 감소시키는 경우 역수를 취한다.



## 4. DNA칩의 기술수준분석4)

### 4.1 분석절차

점수제모형을 이용한 일반적인 기술수준 측정절차는 크게 요인도출, 가중치부여, 모형구축의 3단계로 구성된다. <그림 1>은 본 논문의 기술수준평가 체계도를 나타낸 것이다.



<그림 1> 기술수준평가 체계도

일반적으로 바이오칩을 개발하기 위해서는 바이오기술과 반도체기술, 광학기술, 소프트웨어기술 등의 융합이 필요하다. 특히, 소형 칩위에 DNA, 생체분자 등의 생화학 물질을 선택적으로 집적시키는 초미세배열 (microarray)기술은 필수라고 할 수 있다. 또한 칩 분석에서 나오는 미세 신호를 신속하고 정확하게 감지하는 생체신호 감지기술 및 신호처리를 위한 소

4) 본 사례연구는 한국과학기술평가원 (KISTEP)과 저자들이 공동으로 수행한 「우리나라의 주요 유망제품에 대한 핵심 요소 기술수준평가에 관한 연구」중에서 DNA칩 부분만을 요약·발췌한 것이다.

소프트웨어기술 등도 중요하다.

본 논문에서는 DNA칩의 기술수준분석을 위하여 동 분야의 전문가 10명으로 구성된 기술수준평가 소위원회를 거쳐 기능모수와 기술모수를 각각 도출하였다. 기능모수 (대분류)의 경우 다양성, 경제성, 정확성, 편리성의 4개를 도출하였고, 기술모수 (대분류)의 경우 원료제조 기술, 칩 제조기술, 칩 분석기술, 데이터 처리기술, 칩 장비기술의 5개를 도출하였다.

DNA칩의 기술수준평가 소위원회를 거쳐 도출한 기능모수와 기술모수를 바탕으로 설문서를 작성하여, 그들에게 설문서를 배포하여 총 6개의 설문서를 회신받았다. 기술모수의 경우 모든 모수를 상대평가하였고, 기능모수의 경우 cDNA칩 spot 개수를 제외한 모든 모수를 상대평가하였다. 상대평가지 상대적으로 기술수준이 가장 높은 미국을 100으로 하여 한국과 일본의 기술수준을 평가하였다. 그러나 실측치를 요구한 cDNA칩 spot 개수의 경우 상대평가한 응답자와 실측치를 기입한 응답자가 모두 있었는데, 이는 국가별 비교대상 재원이 정확히 정해져 있지 않았기 때문이다. 그 결과 실측치를 기입한 경우에는 그 값에 있어 많은 차이가 났다. 이 경우, 실측치를 상대평가로 환산하여 계산하였다. 자료처리는 기본적으로 6명의 설문응답자들의 전문도 (degree of expertise)가 같다는 가정 하에 모수별 가중치와 점수를 산술평균하는 방식을 취했다.

마지막으로 각국 DNA칩의 종합적인 기술수준을 비교분석하기 위한 모형으로 앞에서 설명한 Gordon 등 (1981)의 식(2) 모형을 이용하였다. 그 이유는 첫째, DNA칩의 경우 절대요인과 중요도가 낮은 요인이 뚜렷이 구분되지 않았으며 둘째, 요인들 사이의 상호작용의 구조를 명백하게 파악할 수 없었으며, 셋째 표본의 크기가 작아 표준화를 할 수 없었기 때문에 표본가운데 하나를 기준값으로 설정하는 동 모형을 선택하게 되었다. 따라서 DNA칩의 기술수준은 각 모수들의 가중합 (weighted average) 만으로 구성된다. 그리고 각 모수들의 기준값들은 상대적으로 기술수준이 가장 높은 미국을 100으로 하여 분석하였다.

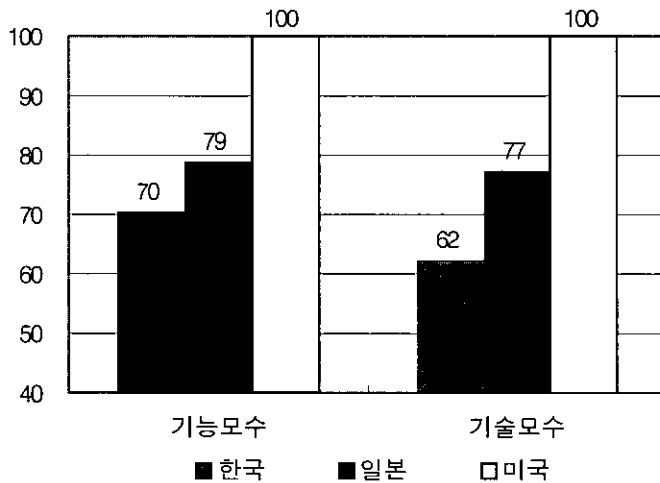
## 4.2 분석결과

### 4.2.1. 종합적인 기술수준

<표 2>와 <표 3>은 DNA칩 기능모수와 기술모수의 모수별 가중치와 점수를 종합하여 나타낸 것이다. 기능모수의 경우 정확성 (32)의 가중치가 가장 높게 나타났고, 기술모수의 경우 Data 처리기술 (24)의 가중치가 가장 높게 나타났다. <그림 2>는 <표 2>와 <표 3>의 자료를 토대로 한국, 일본, 미국의 DNA칩의 기능모수와 기술모수별 종합수준을 분석한 결과를 나타낸 것이다. 한국과 일본은 기능모수와 기술모수의 모든 면에서 미국에 비해 매우 낮은 수준임을 알 수 있다. 특히 한국은 기술모수 (62)의 수준이 매우 낮음을 알 수 있다.

<표 2> DNA칩 기능모수의 가중치와 점수

대분류	가중치	중분류	가중치	소분류	가중치	단위	한국	일본	미국
다양성	22	Arraying 기술의 다양성	19	-	-	상대평가	46	71	100
		Scanning 기술의 다양성	16	-	-	상대평가	48	69	100
		연구용 cDNA칩	33	Spot 수	43	상대평가	58	82	100
				사용목적별 분류정도	57	상대평가	57	73	100
				가중치 합계	100				
		Oligo-칩 (사용목적별 분류정도)	32	-	-	상대평가	46	64	100
가중치 합계	100								
경제성	24	Scanner/Arrayer 비용	54	구입비용	46	상대평가	85	90	100
				유지비용	54	상대평가	77	83	100
				가중치 합계	100				
		DNA칩 구입비용	46	-	-	상대평가	73	80	100
가중치 합계	100								
정확성	32	재현성	58	-	-	상대평가	79	80	100
		민감도	42	-	-	상대평가	75	78	100
		가중치 합계	100						
편리성	22	Arrayer 장비의 운영	22	-	-	상대평가	84	88	100
		Scanner 장비의 운영	25	-	-	상대평가	83	86	100
		데이터처리	32	-	-	상대평가	68	82	100
		DNA칩 내용물의 주문생산의 용이성	21	-	-	상대평가	59	71	100
		가중치 합계	100						
가중치 합계	100								



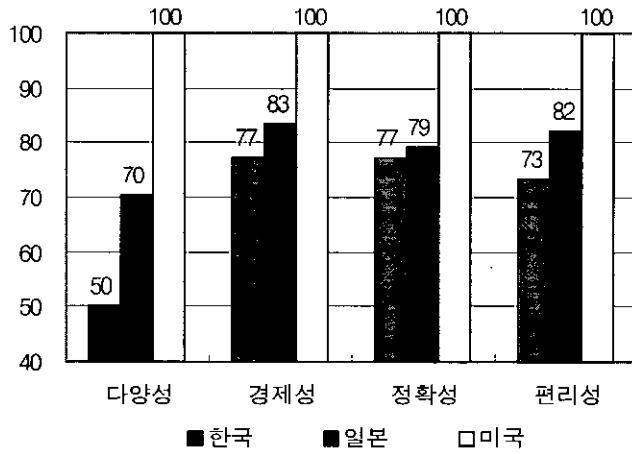
<그림 2> DNA칩의 종합적인 기술수준

<표 3> DNA칩 기술모수의 가중치와 점수

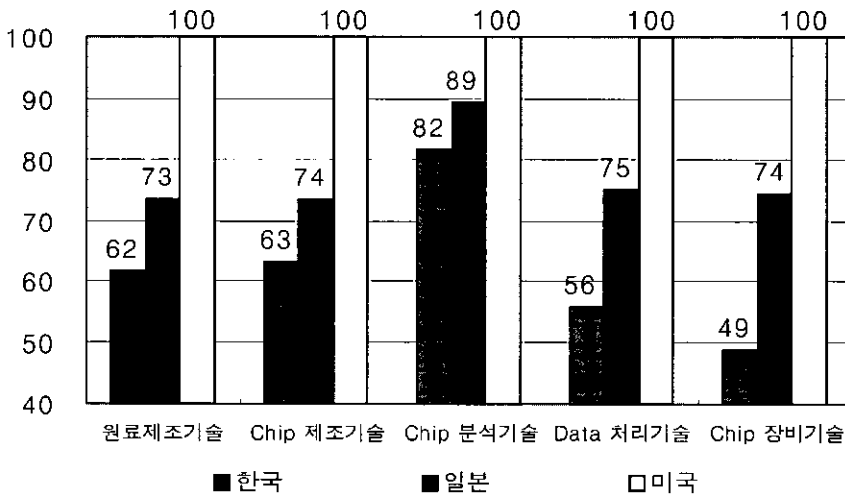
대분류	가중치	중분류	가중치	단위	한국	일본	미국
원료 제조기술	18	cDNA library 제조 및 검색기술	27	상대평가	69	91	100
		올리고뉴클레오타이드 제조기술	24	상대평가	66	71	100
		형광염료 제조기술	18	상대평가	35	50	100
		Target sample 제조기술	18	상대평가	85	85	100
		Slide glass 제조기술	13	상대평가	43	59	100
		가중치 합계	100				
칩 제조기술	20	Probe 설계/선별기술	26	상대평가	72	78	100
		Printing 기술	21	상대평가	74	79	100
		In-situ 합성기술	28	상대평가	40	63	100
		Quality control 확립기술	25	상대평가	71	78	100
		가중치 합계	100				
칩 분석기술	20	Target labeling 기술	31	상대평가	77	88	100
		RNA 증폭기술	37	상대평가	78	88	100
		Hybridization	33	상대평가	91	93	100
		가중치 합계	100				
Data 처리기술	24	영상분석용 S/W기술	23	상대평가	50	75	100
		Data mining용 S/W기술	33	상대평가	58	73	100
		Data 처리 및 변환기술	25	상대평가	52	76	100
		데이터베이스 구축기술	19	상대평가	64	78	100
		가중치 합계	100				
칩 장비기술	18	Spotting 장비 제조기술	20	상대평가	51	73	100
		Signal detection 장비 제조기술	25	상대평가	53	75	100
		Hybridization station 제조기술	11	상대평가	40	63	100
		Liquid handling 장비 제조기술	12	상대평가	37	72	100
		DNA 합성장비 제조기술	13	상대평가	52	75	100
		DNA 증폭장비 제조기술	10	상대평가	52	77	100
		DNA 추출장비 제조기술	10	상대평가	52	87	100
		가중치 합계	100				
가중치 합계	100						

#### 4.2.2. 세부요인별 기술수준

<그림 3>은 DNA칩의 기능모수별 수준을 비교한 것으로, 한국과 일본의 기술수준이 전반적으로 미국에 비해서 매우 낮음을 알 수 있다. 특히 한국은 다양성 (50) 측면이 매우 낮게 나타났는데, 이는 Arraying 기술의 다양성 (46), Scanning 기술의 다양성 (48), Oligo-칩의



<그림 3> DNA칩의 기능모수별 수준



<그림 4> DNA칩의 기술모수별 수준

사용 목적별 분류정도 (46)가 매우 낮기 때문에 이러한 결과가 나타났다.

<그림 4>는 DNA칩의 기술모수별 수준을 비교한 것으로 한국과 일본이 전반적으로 미국에 비해서 매우 낮은 수준임을 알 수 있다. 특히 한국은 칩 장비기술 (49)과 Data 처리기술 (56)이 매우 낮게 나타났다. 이는 칩 장비기술의 경우, Liquid handling 장비제조기술 (37)과 Hybridization station 제조기술 (40)이 매우 낮게 나타났기 때문이고, Data 처리기술의 경우 영상분석용 S/W기술 (50)과 Data 처리 및 변환기술 (52)이 매우 낮게 나타났기 때문이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 Gordon의 점수제모형을 이용하여 우리나라 DNA칩의 기술수준이 선진국과 비교해볼 때, 2000년 현재 어느 정도 위치에 있는가를 기능모수와 기술모수로 구분하여 살펴보았다.

DNA칩의 모수별 가중치를 분석한 결과, 기능모수의 경우 정확성 (32)이 가장 높게 나타났고, 기술모수의 경우 Data 처리기술 (24)이 가장 높게 나타났다. 3개국 DNA칩의 기술수준을 분석한 결과, 우리나라와 일본의 DNA칩 기술수준은 미국을 100으로 했을 때, 기능모수의 경우 각각 70과 79로 나타났으며, 기술모수의 경우 각각 62와 77로 나타났다. 특히, 우리나라는 기능모수의 경우 DNA칩의 다양성 (50)이 매우 낮게 나타났고, 기술모수의 경우 칩 장비기술 (49)과 Data 처리기술 (56)이 매우 낮게 나타났다.

본 논문에서 수행한 DNA칩의 기술수준분석결과는 선진국과의 기술수준격차 (technology gap)를 해소하기 위한 전략적 기술기획 (strategic technology planning)과정에 핵심적 요소로 적극 반영될 수 있고, 선정된 기술개발 프로그램들간의 자원배분을 위한 자료 평가기준으로 활용될 수 있다. 그리고 정부의 전략적 기술개발정책수립의 기초자료로 활용될 수 있다. 또한 기술수준은 특정 시점에 도달한 기능적 능력 (functional capability)이므로 이를 연도별로 구하면 기술수준의 미래예측이 가능하며, 기술모수별 각국의 연구개발비용 자료를 구하면 기술수준을 향상시키는데 소요되는 연구개발비를 개략적으로 구할 수 있다.

총체적인 기술수준을 분석하는데는 분석모형, 요인의 선정, 실측자료의 여부, 자료의 가용성, 측정치의 이질성, 결과의 해석 등에서 여러 가지 문제를 안고 있다. 이 가운데 몇 가지를 지적하여 그 개선점을 제안하면 다음과 같다. 첫째, Gordon 모형은 Martino의 일반적인 점수제모형의 제약식이다. 즉, 절대요인을 하나로 가정하고, 나머지 요인들은 선형결합을 취하여 곱한 것이므로, 모수들 간의 상호작용을 제대로 반영하지 못할 수 있다. 이를 개선하기 위해서는 전문가의 도움을 받아 기술의 연관구조를 이론적으로 파악해야 한다. 그리고 Martino의 일반적인 점수제모형을 사용하는 것이 바람직하다. 둘째, 요인의 측정치가 전문가의 주관적 판단에 의한 상대평가이므로 객관성이 결여될 수 있다. 가능한 한 실측치 자료를 구하도록 노력해야 한다. 상대평가자료는 대부분 명목척도 (ordinal scale)이므로, 이를 비율척도 (ratio scale)처럼 사용해서는 안 된다.

그 동안 기술수준 측정에 관한 많은 연구가 있었다. 그러나 요인별 측정치의 비교자료로는 매우 유용한 반면, 기술마다 특성과 내용이 달라 보편적으로 사용될 수 있는 종합적인 기술

수준 측정모형의 개발은 아직은 만족할 만한 수준에 이르고 있지 않다. 따라서 종합적인 기술수준지표를 사용할 때는 여러 가지 제약이 있다라는 점을 간과해서는 안 된다.

### 〈참 고 문 헌〉

- 구본관·복득규 (2000), “바이오 혁명의 파장과 대응,” 『Biotechnology Web Magazine』 6월호, 생명공학연구원.
- 김인호·정근하 외 (1999), 「우리나라의 주요 과학기술수준조사」, 한국과학기술평가원.
- 안두현, 한성구 (1998), “생명공학산업의 기술혁신,” 『과학기술정책』 1월호, 과학기술정책연구원, pp. 30-46.
- 정근하·김인호 외 (2001), 「우리나라의 주요 유망제품에 대한 핵심요소 기술수준평가에 관한 연구」, 한국과학기술평가원.
- 정승태 (2000), “DNA칩,” 『Biotechnology Web Magazine』 8월호, 생명공학연구원.
- 장진규 외 (1998), 「기술수준 평가기법 개발에 관한 연구」, 한국전력공사.
- 寸木俊昭 (1974), 技術水準의 考察, 『經營志林』.
- ケン-リサーチ, 『技術水準의 모델화 研究』, 1976.
- Gordon, T. J., Munson, T. (1981), “A Proposed Convention for Measuring the State of the Art of Products of Process,” *Technological Forecasting and Social Change*, 20, pp. 1-26.
- Martino, J. P. (1993), *Technological Forecasting for Decision Making*, McGraw Hill, New York.
- Schmookler, J. (1966), *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press.