

# 기술수준평가를 위한 성장곡선 모형의 적용 적합도 및 기술변화 패턴 비교에 관한 연구

박병무 \*, 박주찬 \*\*

## I. 서론

과학기술기본법 제14조 2항에서 “정부는 과학기술의 발전을 촉진하기 위하여 국가적으로 중요한 핵심기술에 대한 기술수준을 평가하고 해당 기술수준의 향상을 위한 시책을 세우고 추진하여야 한다”라고 정하고 있다(미래창조과학부, 2015). 국가적으로 중요한 핵심기술에 대한 정의 및 선정은 변동적이어서 논의의 여지가 많다. 예를 들면 우리나라의 수산 및 해양 관련 사항을 주관하는 해양수산부의 경우에는 관련법에 의해 해양수산과학기술의 발전을 촉진하기 위해 기술수준평가(technology level assessment 혹은 measurement)를 시행해야 함을 명기하고 있다(해양수산부, 2014). 이렇듯, 연구개발(R&D) 관련 각 부처는 부처소관 산업 혹은 기술분야 중심의 핵심기술을 염두에 두고 있다. 또한 기술 혹은 기술수준에 대한 평가 및 분석은 국가 차원에서만 중요하고 필요한 것은 아니다. 민간 부문의 기술개발 및 획득 차원에서도 매우 중요한 분야 중의 하나이다. 기술개발 전략 수립과 R&D투자 우선순위 설정, 기술예측 및 기술로드맵 수립 등을 위해서는 기술수준평가가 선행되어야 한다.

우리나라의 경우 기술수준평가를 연구 차원에서 시작한 것은 대체로 1990년대 초반으로 알려져 있으며, 주로 정부출연의 정책연구기관에서 수행하였다. 처음에는 매우 단순한 형태의 선진국대비(100 기준) 우리의 수준을 특정연도별로 조사하여 비교정태적 접근방식으로 분석을 하였으며 박병무(2007)는 기존 방식의 문제점을 제기하면서 동태적 접근방식으로서의 전환을 처음으로 시도하였다. 성장곡선 모형(growth curve model; 이하 ‘모형’이라 부름)의 개념을 적용하여 기술수준평가 자체는 물론 기술의 변화 정도와 이를 토대로 한 기술수준의 미래예측의 가능성을 제시하였다. 궁극적으로 기술수준평가 비교대상 연구주체(예: 경쟁대상 혹은 선진 국가) 및 기술변화에 대한 추가적인 비교분석과 연구의 가능성을 보여 주었다. 이후 국가 차원의 기술수준평가에서 한국과학기술기획평가원(KISTEP) 등 일부 연구진을 통해 부분적으로 박병무의 제안 방식을 시도하여 성과를 이루게 되었다

이 연구에서는 그동안 모형을 적용한 동태적 기술수준평가에서 가장 범용적으로 활용되어 온 Gompertz모형에 머무르지 않고 Weibull모형의 적용을 추가로 시도하여 두 모형 적용결과의 논의를 도출하였다(김완민 외, 2015). 또한 적용 결과를 토대로 시범적인 차원에서 비

\* 박병무, 부경대학교 시스템경영공학부/기술경영대학원 교수, barkpm@pknu.ac.kr

\*\* 박주찬, 부산테크노파크 정책기획단 산업정책팀 연구원, marine59@naver.com

교 상대국(최고기술보유국)과의 동일 분야 기술변화의 패턴에 대한 본질적 유사성과 상이점에 대해서 최초로 논의를 시도한다. 자료의 제한적 조건 관계로 이 연구에서는 시범적으로 생명체 특성이 상대적으로 강하다고 전제하는 수산과학기술 분야와 대조적으로 무생물적 특성이 상대적으로 강하다고 전제하는 건설엔지니어링 분야에 대한 한국과 최고기술보유국의 기술변화(수준) 패턴을 분석한다.

## II. 모형에 대한 논의

### 2.1 개요

성장곡선 이론은 생명체의 성장 패턴 혹은 변화 형태를 찾기 위한 노력의 일환으로 오래 전부터 사례분석 결과를 토대로 발전되어 왔다(Panik, 2014). 최근에는 성장곡선 이론은 기술의 발전 혹은 기술수준의 변화 형태를 이해하는 데에 적용되어 오고 있다(박용태, 2007; 유지연, 2013). 국내의 경우, 최근 국가 차원에서 KISTEP 등을 중심으로 모형을 적용한 전반적인 기술수준 평가가 시행되어 오고 있다(변순천 외, 2008; 김병수 외, 2009, 2010; 한민규 외, 2010; Kim, 2010; 유지연, 2012; 박병무 외 2013; 김완민 외, 2015). 다양한 기술 분야를 대상으로 제한된 모형의 적용이 이루어져 왔으며, 적용 결과에 대한 통계적 유의성 혹은 타당성은 비교적 긍정적인 것으로 평가되고 있다.

기술은 궁극적으로 무형의 지식 형태가 본질이다. 통상 기술은 개별적인 특성을 지닌 세부기술로 구성이 되기도 한다. 기술나무(technology tree)라고 부르는 위계적 구조 시스템으로 구성된다. 해당 기술의 수준평가 대상 범위에는 통상 기술 관련 아이디어, 인력 및 기타 하부시스템(infra-structure) 등을 고려한 잠재력 등이 포함될 수도 있다(정근하 외, 2001). 박병무 외(2013)는 특정 기술의 수준평가를 측정하기 위하여 특정 시점에서의 시현 가능한 기술성능을 중심으로 비교 대상 혹은 시점을 정하여 상대적으로 평가하는 방식을 사용하였다.

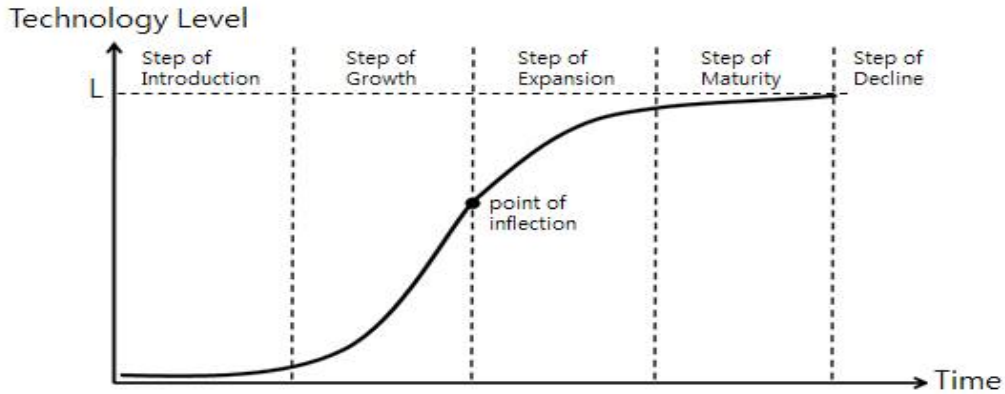
모형의 적용은 실제 자료(data)를 통하여 곡선추정(curve fitting)을 하는 것으로 모형의 모수추정(parameter estimation)을 통해 기술수준 및 기술수준 격차를 파악하는 것을 가능하게 한다.

### 2.2 이론적 배경

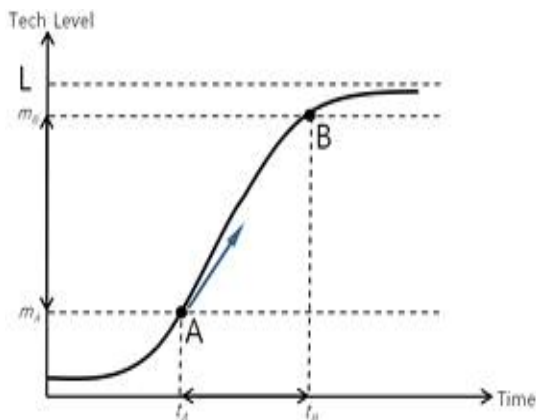
기술성장 곡선은 통상 Sigmoid 함수 형태를 지니는 것으로 S-커브라 부르기도 한다(Panik, 2014). 기술성장 곡선은 일반적으로 한 세대(generation) 혹은 패러다임(paradigm)의 기술 아이디어가 창출되고 구체화되어 개발 단계로 이어지는 기술수명주기(technology life cycle)를 따라 기술적 성능이 어떤 양상과 수준으로 변화하는가를 보여 준다.

<그림 1>은 특정 기술이 도입기에 이어 성장기 단계까지는 비교적 급속한 속도로 발전하다가 변곡점에 도달한 이후인 확장기부터는 발전의 속도가 상대적으로 완만해지면서 점진적으로 성숙기에 이르러 궁극적으로 해당 세대기술의 정점에 이르게 됨을 보여 준다(박용태, 2007; 박병무 외, 2013). 성장이론(growth theory)에서는 이러한 정점을 이론적 한계점(L)이

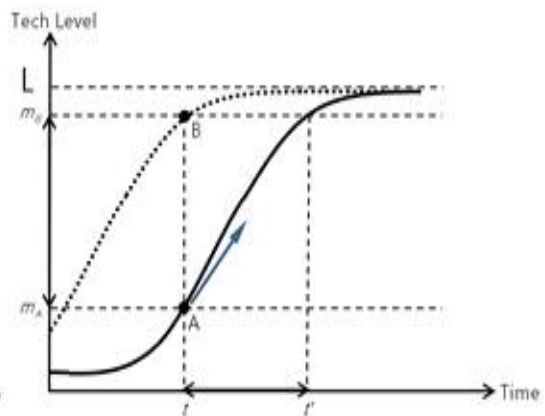
라 정의한다.



<그림 1> 기술성장 곡선과 수명주기



<그림 2> 기술수준 비교A



<그림 3> 기술수준 비교B

<그림 2>는 기술 보유 주체가 둘(A, B)인 경우, 각각 기술수준의 격차를 수준( $m_B - m_A$ ) 및 시간( $t_B - t_A$ )으로 나타낸 경우이다. <그림 3>에서는  $t$ 시점에서의 A와 B의 기술 궤적 위치는 각각 실선과 점선으로 표시되는 성장곡선에 의해 나타난다.  $t$ 시점에서의 A와 B의 기술수준의 격차는  $(m_B - m_A)$ 이며, A의 기술수준이 B의 기술수준에 도달하기 위해서는  $t'$ 시점까지 가야 한다. 이 경우 만약 A와 B의 기술의 변화 궤적이 시차를 두지만 형태는 동일하다면 두 곡선을 겹치면 하나의 성장변화 궤적을 보이게 된다.

## 2.3 실증적 논의

기술수준평가를 통한 기술 자체의 실질적인 위치와 변화 궤적을 파악하는 것은 중요하며 이는 본질적으로 변화의 속도와 방향을 파악하는 것이다. 특정 기술수준의 향상을 위한 시책 수립과 추진을 위해서는 우리의 기술변화와 관심국가의 해당 기술변화를 동태적 관점에서 이해하고 분석해야 한다.

모형을 활용한 동태적 기술수준 평가는 시점별 위상분석과 시점간의 변화상황 파악을 가

능하게 한다. 시점별 상대적 위상분석은 성장곡선 상의 위치 파악으로 가능하며, 시점간의 변화 상황은 변화율(1차 미분인 곡선의 기울기) 추산으로 가능하다. 이렇게 되면 변화의 속도와 방향 그리고 과정을 파악할 수 있다(박병무, 2007). 모형의 적용은 시계열 자료가 비선형일 경우 쉽게 사용할 수 있으며, 시계열 자료가 많은 경우에는 정확도가 높아진다. 또한, 여러 개별기술의 특성에 따라 기본적인 곡선함수의 식을 변형 내지 확장하여 다양한 함수의 형태를 만들어낼 수 있다.

그러나 기술발전의 이론적 한계값(L)에 대한 전문가의 지식과 정보가 현실적으로 한계가 있을 수 있다는 점을 염두에 두어야 한다. 기술발전의 속도가 빠르고 성공의 위험성이 높은 첨단기술의 경우에는 L을 추정하는 것이 현실적으로 한계적일 수 있다. 기술의 변화 속도뿐만 아니라 기술의 혁신에 영향을 미치는 사회경제시스템도 무척 빠르게 변화하는 불확실성을 간과해서는 안된다(김병수 외, 2009).

<표 1>은 이 연구에서 시범적용하는 Gompertz 및 Weibull 모형의 특성을 소개한 것이다. 두 모형은 모두 익히 알려져 있는 Logistic모형과는 대조적으로 변곡점을 중심으로 좌우 비대칭의 특성을 가지고 있어서 상대적으로 일반화 가능성이 크다고 할 수 있다. 본 연구에서 추가적으로 추정시도하는 Weibull모형 적용에 대한 논의는 Ritz & Streb(2013) 및 Panik(2014)을 참조하였다. Weibull모형은 Weibull(1951)이 소개한 모형으로 생존분석과 신뢰성 공학 분야에서 널리 사용되고 있다. 이 모형은 Logistic 및 Gompertz 모형에 비해 변곡점의 위치 설정이 상대적으로 유연하다는 특성이 있다. 실제 사례적용은 김완민 외(2015)가 처음이다.

<표 1> Gompertz & Weibull 모형

Model	Key Features
Gompertz	<ul style="list-style-type: none"> <li>functional formula : <math>f(t) = L \cdot e^{-c \times e^{-bt}}</math></li> <li>inflection point : <math>t = \ln(c) / b</math></li> <li>asymmetric at inflection point</li> </ul>
Weibull	<ul style="list-style-type: none"> <li>functional formula : <math>f(t) = L \cdot e^{-b(\ln t - \ln c)}</math></li> <li>inflection point : <math>t = c</math></li> <li>asymmetric at inflection point</li> </ul>

Variables and parameters : **f(t)** = technology growth level at t, **L** = theoretical maximum technology level, **t** = time, **b** = shape parameter, **c** = location parameter

※출처: Ritz & Streb(2013).

### III. 기존 사례연구 검토

#### 3.1 개요

동태적 접근개념에 의한 기술성장 모형을 통한 국내 기술수준평가의 최초 연구는 박병무(2007)로 김인호 외(1999)의 자료를 원용하여 Logistic 및 Gompertz 모형을 8개 특정 소분류 기술 단위에 시범적으로 적용하였다. 이어서 10개 건설엔지니어링 분야, 수산과학기술 분

야에 적용하였다. 이를 통해 모형의 동태적 특성을 활용하여 미래 시점에서의 기술수준을 예측하는 방안을 제안하였으며, 경주식 분석(racing oriented analysis) 기법 활용과 기술수준 경쟁력 지수 개발의 가능성을 제시하였다(박병무 외, 2010, 2013).

KISTEP의 연구팀들은 국가 차원에서 다양한 시점과 관련 분야에 대해 기술수준평가를 시행하고 있다. 대표적으로 변순천 외(2008)와 김병수 외(2009)는 90개 중점과학기술 분야를 대상으로 Logistic 및 Gompertz 모형을 적용하였다. 김병수 외(2010), 한민규 외(2010), 유지연(2012) 등은 각각 해양과학, 바이오칩·센서, 그리고 정보전자기술 분야에 대해서 동일한 두 가지 모형을 적용하여 기술수준을 평가하였다(<표 2> 참조). 김병수 외(2009, 2010)는 기술수준의 지속적인 변화 양상을 결정하는 정책인자(변수)들에 대한 논의를 포함하였으나 기술수준과 정책인자 사이의 상관관계에 대한 동태적 변화에 대한 분석은 시행하지 않았다.

기존의 사례연구들은 실제 기술수준의 다양한 변화를 반영하는 가능한 기술성장 모형에 대한 심층적 논의 및 시도는 하지 않았다. 과학기술 분야에 대한 기술수준평가의 경우, Logistic 및 Gompertz 모형의 활용에서 벗어나지 못하는 한계점을 보이고 있다(김병수 외, 2010).

<표 2> 동태적 과학기술수준평가 사례연구 비교

연구	평가대상	적용모형	참고
박병무 외(2007)	8개 기술	Logistic* Gompertz	김인호 외(1999)의 8개 소분류별 기술 : 이동통신, 표시소재, 자동차, 반도체, 시스템소프트웨어, 특수기능소재, 세공공학
변순천 외(2008)	90개 중점과학기술 (364개 세부기술)	Pearl, Gompertz	과학기술에 측조사(2007)
김병수 외(2009)	90개 중점과학기술 (364개 세부기술)	Pearl, Gompertz	-
한민규 외(2010)	바이오칩·센서기술	Pearl, Gompertz	2008년 기술수준평가 대상
박병무 외(2010)	10개 건설엔지니어링 분야	Gompertz	빌딩, 건설재료, 도로, 철도, 수자원, 플랜트, 토목구조, 지반, 건설안전, 토질 및 기초
김병수 외(2010)	해양과학기술	Pearl, Gompertz	중분류(27) 분석
유지연 (2012)	정보전자 (15개 중점기술, 57개 세부기술)	Peal, Gompertz	KISTEP(2008, 2010) 기술수준평가 중 정보전자 분야
박병무 외(2013)	수산과학기술	Gompertz	대분류(6), 중분류(12), 소분류(34) : 기술수준평가 및 예측
김완민 외(2015)	3개 수산과학기술	Logistic* Log-Logistic Log-Normal Gompertz Weibull	유해생물제어 수산환경복원 어군탐색

※ Logistic 모형은 Pearl 모형과 동일함. 김완민 외(2015)를 제외한 선행연구들은 모형의 추정 결과에 대한 심층 비교·검토는 하지 않았으며, 대체로 Gompertz 모형의 적용 결과를 분석에 주로 사용하였음.

## IV. 모형 추정결과와 논의

### 4.1 대상 분야 및 자료

이 연구에서의 시범적인 기술수준평가 대상은 수산과학기술과 건설엔지니어링 기술 분야이다. 수산과학기술 분야는 대체로 대상이 생명체적 성격이 상대적으로 강한 분야로 간주할 수 있으며, 건설엔지니어링 기술분야는 대조적으로 생명체적 성격이 상대적으로 약한 분야로 간주할 수 있다. 두 분야에 대한 각각의 10개 분류 세부분야의 최고기술보유국과 한국의 기술수준평가를 기술성장곡선 모형을 통해 추정하였다(<표 3> 참조).

두 기술 분야의 경우, 정량적이고 객관적인 자료(data)를 확보하는 것은 불가능하기 때문에 대체방안으로 관련 분야의 국내 전문가 패널을 통한 설문응답 방법(expert panel questionnaire survey method)을 통해 확보한 자료를 활용하였다<sup>1)</sup>. 설문항목의 내용은 한국과 최고기술보유국의 설문시점(현재) 및 미래시점(3년 후), 각각 기술수준의 정량적 수치를 이론적 상한치(L) 100 기준으로 문의하였으며, L값의 도달시기를 문의하였다. 또한 응답 해당기술의 기술수명주기 상의 단계를 선택하도록 하였다. 건설엔지니어링기술 분야의 설문시점은 2007년이며, 수산과학기술 분야는 2010년이다.

수산과학기술 분야의 경우, 10개 분류분야로 자원생태, 자원보존, 자원조성, 유해생물제어, 수산환경복원, 수산환경관리, 양식시스템, 유전공학, 생물육종 및 생물학적 위해 분야가 설정되었다. 이 분야들은 분류의 명칭으로 볼 때 대체로 생물학적 특성이 상대적으로 많이 반영되는 것으로 간주하였다. 건설엔지니어링 분야의 경우에는 10개 분류분야로 빌딩, 건설재료, 도로, 철도, 수자원, 플랜트(기계설비), 토목구조(교량), 지반, 건설안전 및 토질 및 기초(터널) 분야가 설정되었다. 이 분야들은 명칭으로 볼 때 대체로 생물학적 특성이 상대적으로 반영될 수 없는 것으로 간주하였다. 전문가들의 분야별 응답의 수는 수산과학기술 분야의 경우 8~18, 건설엔지니어링기술 분야의 경우 11~24개로 아주 많은 경우는 아니나 모형 추정에 있어서 결정적인 문제가 되는 경우는 아닌 것으로 판단하였다.

1) 수산과학기술 분야의 전문가 설문응답 관련 자료의 정리 내용은 박병무 외(2013)를 참조할 것. 건설엔지니어링 분야의 경우는 박병무(2010)을 참조할 것.

<표 3> 수산과학기술 및 건설엔지니어링기술 분류 및 (전문가)응답수

단위 : 개

	분류	응답수		분류	응답수
수산 과학 기술	1. 자원생태	15	건설 엔지니어링 기술	1. 빌딩	11
	2. 자원보존	13		2. 건설재료	18
	3. 자원조성	15		3. 도로	20
	4. 유해생물제어	9		4. 철도	20
	5. 수산환경복원	8		5. 수자원	10
	6. 수산환경관리	8		6. 플랜트(기계설비)	12
	7. 양식시스템	18		7. 토목구조(교량)	25
	8. 유전공학	13		8. 지반	12
	9. 생물육종	14		9. 건설안전	24
	10. 생물학적 위해	15		10. 토질및기초(터널)	12

자료출처: 박병무 외(2013) 및 박병무(2010)

## 4.2 추정결과 및 논의

모형의 추정은 비선형 형태의 모형을 실제의 자료에 적용하기에 적합한 것으로 최근 알려져 있는 통계 소프트웨어 'R'을 사용하였다. 추정된 모수(parameters)의 값을 적용하여 모형의 적합결여 검정(lack-of-fit test)에서 얻은 Akaike 정보기준 지수(Akaike's Information Criterion: AIC)의 값과 추정잔여표준오차(estimated residual standard error)를 토대로 한 p-값을 통해 모형의 적합도 여부를 판정하였다<sup>2)</sup>. AIC는 적용 모형의 결과를 설명력과 간명성 차원에서 적용 결과를 비교할 때 독립변수가 많은 모형이 설명력 면에서 유리하기 때문에 이를 상쇄하는 측면에서 모형의 간명성(혹은 절약성)을 동시에 살펴 봄을 뜻한다. 두 측면의 종합적 지수인 AIC 값이 낮을수록 해당 성장곡선 모형의 적합도가 상대적으로 더 적절한 것으로 해석한다. 또한 p-value가 높을수록 통계적 관점에서 해당 성장곡선 모형의 적합도가 상대적으로 더 적절한 것으로 해석한다<sup>3)</sup>.

수산과학기술 분야와 건설엔지니어링기술 분야에 대한 Gompertz 및 Weibull 모형을 적용한 결과 전반적으로 최고기술보유국 및 한국의 경우 모두 수산과학기술 분야의 적합도 수준이 건설엔지니어링기술 분야의 경우에 비해 상당히 높은 것으로 나타났다(<표 4,5> 참조). 자료의 제한적 어려움이 있기는 하나, 생물학적 특성이 상대적으로 많이 나타나는 수산과학기술 분야의 모형 적합도가 높은 이유가 기술의 성장 모양 자체가 생물학적 특성을 근간으로 하기 때문이 아닌가 하는 시사점을 제시한다.

수산과학기술 분야의 경우 최고기술보유국 및 한국에서의 10개의 기술 분야에서 Weibull 모형은 모두 적합도가 통계적으로 유의하였다. 그러나 Gompertz모형은 최고기술보유국의

2) 추정 모형의 적합성 검정은 정확하게 표현한다면 적합성 결여 검정(lack of fit test)이라고 할 수 있다. 즉, 적합성 결여를 대안가설( $H_A$ )로 설정하여 대안가설이 채택되지 않는 경우 적합한 것으로 판단하는 것이다.

3) Ritz & Strebig, 2013, pp.97-8. 이 연구에서는 적합성의 판단 기준으로서 통계적 확률 값(p-value) 0.05(5%)를 채택하였다.

경우에는 자원생태, 자원보존, 자원조성, 수산환경관리 및 양식시스템, 유전공학 5개의 기술 분야에서, 한국의 경우에는 자원생태, 자원보존 및 유전공학 3개의 기술 분야에서 통계적으로 유의하지 않은 결과가 나왔다. 이 결과는 이 논문에서 처음 제기한 Weibull모형의 변곡점의 위치 설정이 상대적으로 유연한 특성이 어느 정도 반영된 것임을 시사한다고 할 수 있다. 또한 최고기술보유국 및 한국 모두의 경우 Weibull모형의 적용 적합도 지수인 AIC값이 Gompertz의 경우에 비해 낮게 나타나 수산과학기술 분야의 경우, Weibull모형의 적용이 보다 적절할 수 있음을 시사하고 있다.

건설엔지니어링기술 분야에 대한 두 모형의 적용 결과와 적합도 여부는 수산과학기술 분야에 비해 상대적으로 더욱 다양한 시사점을 제시한다. 최고기술보유국의 경우에는, 빌딩과 토목구조(교량) 분야는 Weibull모형이 적합한 것으로 나타났다. 그러나 지반, 건설안전 및 토질 및 기초(터널) 세 분야의 경우에는 두 모형 모두 적용 적합도가 매우 낮은 것으로 나타났다. 또한 플랜트(기계설비) 분야는 유일하게 Gompertz모형의 적합도가 Weibull모형에 비해 높은 것으로 나타났다. 건설재료, 도로, 철도 및 수자원 4개 분야는 두 모형이 모두 적합한 것으로 분석된다. 한국의 경우는 빌딩, 도로, 철도, 토목구조(교량), 지반 및 건설안전 6개 분야에서 Gompertz모형의 적용 부적합 판정이 나왔다. 특이한 것은 플랜트(기계설비) 분야의 경우만은 최고기술보유국의 경우처럼 Gompertz모형만이 적용 적합한 것으로 나타났다. 건설재료, 수자원 및 토질 및 기초(터널) 3개 분야만이 두 모형의 적용이 적합한 것으로 분석되었다.



<표 4> 수산과학기술 분야 모형적용 결과

분석대상	Model	최고기술보유국				한국			
		모수	추정값	적합성		모수	추정값	적합성	
				AIC	p-값			AIC	p-값
1. 자원생태	Gompertz	b	1.1367e-01	428.1113	0.0181*	b	9.3380e-02	500.0533	0.0372*
		c	5.3733e+98			c	1.9995e+81		
	Weibull	b	465.28357	408.0645	0.7109	b	455.71125	480.8787	0.8815
		c	2007.37890			c	2010.80718		
2. 자원보존	Gompertz	b	9.0127e-02	365.2782	0.0001*	b	9.8527e-02	425.7938	0.0259*
		c	1.1606e+78			c	7.6786e+85		
	Weibull	b	425.79482	340.7591	0.2408	b	398.9106	406.7289	0.8143
		c	2006.46285			c	2011.2667		
3. 자원조성	Gompertz	b	8.3656e-02	473.0130	0.0330*	b	8.2289e-02	520.0872	0.0901
		c	3.6434e+72			c	4.5323e+71		
	Weibull	b	401.4432	451.8889	0.9400	b	376.39965	500.5884	0.9801
		c	2007.7307			c	2011.07258		
4. 유해생물제어	Gompertz	b	1.0930e-01	272.5413	0.4242	b	1.0454e-01	292.9826	0.5822
		c	1.0139e+95			c	1.5268e+91		
	Weibull	b	401.2645	266.6159	0.9472	b	361.7992	283.4911	0.9922
		c	2007.5543			c	2011.3351		
5. 수산정복원	Gompertz	b	9.8592e-02	262.5140	0.4371	b	9.1739e-02	275.6109	0.6249
		c	5.0611e+85			c	1.0414e+80		
	Weibull	b	411.2294	255.7615	0.9501	b	353.7978	267.9233	0.9929
		c	2008.6698			c	2011.7521		
6. 수산환경관리	Gompertz	b	1.1343e-01	223.8513	0.0176*	b	1.0894e-01	264.5928	0.2176
		c	3.5767e+98			c	9.5978e+94		
	Weibull	b	441.57775	211.2559	0.3570	b	435.33089	253.5926	0.9351
		c	2007.44187			c	2011.37887		
7. 양식시스템	Gompertz	b	1.2410e-01	494.3918	0.0020*	b	1.3207e-01	600.4271	0.1939
		c	6.5175e+107			c	2.0782e+115		
	Weibull	b	509.43371	472.5421	0.5108	b	403.9181	590.3228	0.8485
		c	2007.69992			c	2012.0946		
8. 유전공학	Gompertz	b	8.8621e-02	406.1150	0.0043*	b	1.0158e-01	423.7855	0.0030*
		c	8.5002e+76			c	3.9796e+88		
	Weibull	b	418.22732	389.5105	0.3078	b	449.12749	398.2833	0.6304
		c	2008.28946			c	2012.03457		
9. 생물육종	Gompertz	b	7.8030e-02	412.0564	0.0935	b	1.0797e-01	451.2826	0.0655
		c	2.1921e+67			c	9.1599e+93		
	Weibull	b	495.3853	388.5948	0.9516	b	456.60904	434.6661	0.8594
		c	2006.3075			c	2009.73338		
10. 생물학적위해	Gompertz	b	7.7339e-02	427.0273	0.0737	b	8.9531e-02	478.6508	0.4476
		c	6.2899e+66			c	6.5610e+77		
	Weibull	b	487.25522	405.8726	0.9967	b	406.01936	462.6689	1.0000
		c	2006.70664			c	2008.83570		

※ 참고 \*는 유의수준 5%에서 유의하지 않음

<표 5> 건설엔지니어링기술 분야 모형적용 결과

분석대상	Model	최고기술보유국				한국			
		모수	추정값	적합성		모수	추정값	적합성	
				AIC	p-값			AIC	p-값
1. 빌딩	Gompertz	b	8.6475e-02	277.7948	0.0017*	b	1.1011e-01	318.9969	0.0001*
		c	2.9785e+74			c	4.0153e+95		
	Weibull	b	638.78648	247.8452	0.6859	b	493.73852	291.7459	0.0892
		c	2004.04205			c	2006.18288		
2. 건설재료	Gompertz	b	1.0354e-01	491.9670	0.3045	b	8.9793e-02	550.2076	0.4218
		c	3.6345e+89			c	6.6914e+77		
	Weibull	b	592.76943	472.1073	1.0000	b	458.65340	531.0813	0.9999
		c	2004.63096			c	2005.50708		
3. 도로	Gompertz	b	1.1013e-01	536.9164	0.1659	b	1.0702e-01	559.4172	0.0041*
		c	1.7425e+95			c	7.8118e+92		
	Weibull	b	496.48595	519.7316	0.9244	b	357.0817	538.1088	0.2409
		c	2002.50194			c	2003.7541		
4. 철도	Gompertz	b	6.3913e-02	573.4161	0.1120	b	7.6673e-02	655.6844	0.0317
		c	6.3792e+54			c	2.4889e+66		
	Weibull	b	477.6381	556.5027	0.9695	b	405.61569	630.7378	0.9436
		c	2001.9671			c	2005.31623		
5. 수자원	Gompertz	b	4.6462e-02	267.9572	0.4835	b	6.3325e-02	308.9171	0.0698
		c	2.5353e+39			c	4.7351e+54		
	Weibull	b	443.5327	258.5298	0.9960	b	414.0293	286.4037	0.9667
		c	1999.9841			c	2004.8895		
6. 플랜트 (기계설비)	Gompertz	b	9.5003e-02	296.0650	0.0884	b	1.4969e-01	325.5179	0.0823
		c	6.2234e+81			c	1.4773e+130		
	Weibull	b	1128.77	332.1319	0.0000*	b	1104.704	421.2408	0.0000*
		c	1906.59			c	567.552		
7. 토목구조 (교량)	Gompertz	b	9.3847e-02	748.5587	0.0120*	b	9.8722e-02	795.7099	0.0034*
		c	1.1857e+81			c	5.6757e+85		
	Weibull	b	491.05958	729.6468	0.7465	b	361.09987	769.6308	0.7721
		c	2003.36258			c	2005.70032		
8. 지반	Gompertz	b	1.3723e-01	296.5400	0.0120*	b	1.2414e-01	361.5721	0.0348*
		c	7.2691e+118			c	7.0714e+107		
	Weibull	b	-1465.783	353.0162	0.0000*	b	-493.82276	348.2090	0.4834
		c	115.590			c	2006.11921		
9. 건설안전	Gompertz	b	9.4131e-02	598.1209	0.0000*	b	9.6860e-02	694.5808	0.0291*
		c	1.9044e+81			c	1.2119e+84		
	Weibull	b	-900.747	720.0089	0.0000*	b	-401.09996	671.3815	0.7882
		c	1743.011			c	2005.50900		
10. 토질 및 기초 (터널)	Gompertz	b	9.8638e-02	256.6719	0.0005*	b	1.0209e-01	407.5311	0.6400
		c	6.7386e+84			c	3.1831e+88		
	Weibull	b	-1514.749	298.7715	0.0000*	b	-492.0864	400.1754	0.9869
		c	200.083			c	2005.4006		

※ 참고 \*는 유의수준 5%에서 유의하지 않음

## V. 기술변화 형태의 동질성 검증 논의

### 5.1 개요

이 장에서 논의하는 내용은 그동안 기술수준평가 및 기술예측 관련 분야에서 실증적으로 다루어지지 않았던 것으로 아직은 일반적으로 검증되지 않은 가설이다. 여기서는 다음과 같은 전제를 한다.

(1) 글로벌 지식기반 사회의 급속한 전개에 따라 각국의 기술의 내용은 기술 자체의 속성의 동일성은 물론 변화형태의 동일성 혹은 유사성이 심화되고 있다.

(2) 특히 기술의 속성에 있어서 생물체적 특성이 직간접적으로 강할수록 각국의 기술의 특성은 동일하거나 유사하다.

(3) 전문가들의 전문적 지식과 판단에서도 글로벌 표준(global standard)적 성격의 동질성이 심화되고 있다.

### 5.2 가설 설정과 검증방식

앞 절의 가정을 토대로 다음과 같은 가설을 설정한다. 가설의 검증 대상은 이 연구에서는 최고기술보유국과 한국의 특정 기술 분야에 대한 두 모형의 모수 추정과 이로 인한 적용 적합성 수준이 모두 통계적으로 유의하게 나온 기술 분야로 제한하였다. 그 결과 수산과학기술 분야의 경우에는 유해생물제어, 수산환경복원, 생물육종 및 생물학적 위해 4개 분야가 선정되었으며, 건설엔지니어링기술 분야의 경우는 건설재료 및 수자원 2개 분야가 선정되었다 (<표 4,5> 참조).

(가설)

귀무가설( $H_0$ ) : 최고기술보유국의 기술변화 형태와 한국의 기술변화 형태는 같다.

대립가설( $H_1$ ) : 최고기술보유국의 기술변화 형태와 한국의 기술변화 형태는 같지 않다.

가설에 대한 검증 방식은 최고기술보유국과 한국의 해당 기술분야에 대한 각각의 모형 추정식을 통한 둘 사이의 동일성 검증(equivalence test)으로 완전모형(full model)과 축소모형(reduced model) 사이의 F-값 검정을 통해 분석한다. 완전모형이란 최고기술보유국의 모형 추정식과 한국의 모형 추정식을 각각 변곡점을 중심으로 일치(이동)시켜 추정하는 것이다. 축소모형이란 두 나라의 자료 값을 하나의 자료로 가정하고 모형을 추정하는 것이다.

<표 6> 선정 기술군의 최고기술보유국과 한국의 기술변화 형태 일치성 분석

기술분야		모형	F-값	P-값	기술변화 형태 일치여부
수산과학기술	유해생물제어	Gompertz	1.4711	0.2448	일치(Ho 채택)
		Weibull	0.1372	0.8723	
	수산환경복원	Gompertz	0.0563	0.9453	일치(Ho 채택)
		Weibull	0.2636	0.7701	
	생물육종	Gompertz	13.9273	0.0000	불일치(Ho 기각)
		Weibull	0.2878	0.7511	일치(Ho 채택)
	생물학적위해	Gompertz	5.4588	0.0068	불일치(Ho 기각)
		Weibull	2.1926	0.1211	일치(Ho 채택)
건설엔지니어링	건설재료	Gompertz	1.9780	0.1422	일치(Ho 채택)
		Weibull	6.2883	0.0024	불일치(Ho 기각)
	수자원	Gompertz	11.6407	0.0001	불일치(Ho 기각)
		Weibull	0.5897	0.5598	일치(Ho 채택)

\*F-test 결과에 의한 p-value 기준 0.05(5%) 적용

### 5.3 가설 검증 결과

<표 6>은 앞 절에서 선정 논의한 6개 기술분야(수산과학기술 분야 4개, 건설엔지니어링 기술 분야 2개)에 대한 한국과 최고기술보유국의 기술변화 형태의 동일성 여부를 검증한 결과를 정리한 것이다. 모형의 적용 적합도가 통계적으로 유의하다고 판단되는 6개 분야에 대한 Gompertz모형의 적용을 통한 동일성 검증에서는 6개 분야 중 3개 분야인 유해생물제어, 수산환경복원, 그리고 건설재료 분야가 통과하였다. 한편 Weibull모형 적용을 통한 동일성 검증에서는 건설재료 분야를 제외한 나머지 5개 분야가 통과하였다.

검증결과를 토대를 이 연구에서는 수산과학기술 분야에서의 최고기술보유국과 한국의 기술변화 형태는 시간적인 격차는 존재하나 기술의 발전 경로와 형태는 크게 다르지 않을 수 있다는 시사점을 얻었다. 또한 건설엔지니어링기술 분야의 경우에도 일부에 제한되는 경우 이기는 하나 최고기술보유국과 한국 사이의 기술변화의 형태가 크게 다르지 않을 수 있는 가능성도 발견하였다. 특히, 건설엔지니어링기술 분야 중 수자원 분야는 전반적인 수산과학 기술 분야의 특성과 유사함을 시사하고 있는 것도 주목할 점이다.

## VI. 결론

### 5.1 요약

성장곡선 이론은 애초 생명체의 성장 유형이나 변화 형태에 초점을 맞추어 식물이나 미생물 대상의 실증적 차원에서 사례분석에 기초를 두고 있다. 이후 기술혁신 이론에서도 기술의 수명주기 소개와 함께 기술의 성장곡선 모형 적용이 시도되어 왔다. 이 연구는 생물체적 성격이 강한 수산과학기술 분야와 이와는 대조적으로 무생물체적 성격이 강한 건설엔지니어링 분야에 대한 Gompertz 및 Weibull 모형의 적용을 통해 적용 적합도를 살펴 보았다.

Gompertz모형의 소개 및 적용은 최근까지 국내의 기술수준 변화에 대한 실증 분석에서

광범위하게 이루어져 왔으나, 이는 다양한 특성을 각기 지닌 여러 기술 분야의 적용에 제한적인 어려움이 있음을 제기한다. 따라서 이 연구에서는 상대적으로 적용의 유연성이 가능한 Weibull모형의 시범적 적용시도를 꾀하였다. 그리고 이를 토대로 최고기술보유국과 한국의 일부 동일 기술군의 성장형태 동일성 검증을 시도하였다. 그 결과 생물체적 성격이 강한 수산과학기술의 경우 Weibull모형이 상대적으로 적합도에 있어서 통계적으로 유의하게 나오고 있음을 발견하였다. 또한 두 모형의 적용 적합도가 상대적으로 유의한 일부 기술군의 경우 최고기술보유국의 기술변화 형태와 한국의 기술변화 형태는 시차를 두고는 있으나 동일한 변화과정을 보이고 있음을 발견하였다.

## 5.2 시사점 및 제언

성장곡선 모형을 적용한 동태적 접근에 의한 기술수준평가 방식은 유용한 정책적 및 이론적 시사점을 제시한다. 특정 해당 기술의 위상분석이 가능하여 시점간의 변화상황 파악이 가능하다. 즉, 변화의 속도, 방향, 그리고 과정(궤적)을 파악할 수 있다. 비교상대의 끊임없는 움직임(moving target)을 가정하는 경우, 더욱 실효성이 있다. 그리고 시계열 자료가 비선형의 특성을 가질 때 쉽게 사용할 수 있다. S-curve는 다양한 기술영역에서 일관되게 비교적 높은 설명력과 예측력을 보이고 있다.

현실적으로는 객관적인 정량자료의 부재 혹은 취득의 어려움으로 많은 경우 전문가의 지식과 정보에 의존하게 되는 데 정보(자료)의 정확도 확보에 어려움이 있을 수 있다. 기술발전 속도가 빠르고 성공의 위험성이 높은 경우, 해당 세대의 기술의 정점(한계점, L)을 정확하게 추정하는 것은 사실상 불가능할 수도 있다. 기술의 변화 형태는 해당 기술의 특성에 크게 의존할 것으로 판단되며, 기술의 환경 요인에 의해서 크게 영향을 받을 수도 있다. 따라서 성장모형을 적용한 기술수준의 평가는 기존의 사례연구처럼 통일되거나 극히 제한된 모형에 의존하여 시행하는 것은 많은 불확실성과 부정확성을 담보로 한다. 따라서 기술수준평가의 분석은 평가대상 기술 각각의 정의 및 특성, 그리고 환경요인 등을 사전에 면밀하게 검토하고 이에 적합한 모형을 적용하는 것이 필요하다.

## 〈참고문헌〉

### (1) 국내문헌

- 김병수 외(2009), “기술성장곡선 모형에 기반한 기술수준평가방법론 연구”, 한국과학기술기획평가원.
- 김병수 외(2010), “해양과학기술 기술수준 및 파급효과 분석연구”, 한국해양과학기술진흥원 · 한국과학기술기획평가원.
- 김완민 외(2015), “성장곡선 모형 적용을 통한 기술수준평가 사례 연구: 특정 수산과학기술 분야를 중심으로”, 「수산경영론집」, 제46권, 제3호, pp.103-118; 2015년 12월.
- 김인호 외(1999), “우리나라의 주요 과학기술 수준조사”, 한국과학기술기획평가원.
- 미래창조과학부(2015), “과학기술기본법”, 과학기술정책과 02-2110-2523, 시행 2015.7.01.
- 박병무(2007), “동태적 기술수준 측정 방법에 대한 이론적 접근: 차세대성장동력 기술의 사례분석”, 「기술혁신학회지」, 제10권, 제4호, pp.654-686.
- 박병무 외(2010), “과학기술 수준평가 이론 및 방법론 개발에 관한 연구”, 한국과학기술기획평가원.
- 박병무(2010), “건설교통 기술수요 및 기술수준 조사”, 한국건설교통기술평가원.
- 박병무 외(2013), “수산과학기술 기술수준 평가”, 국립수산과학원 · 부경대학교.
- 박용태(2007), “차세대 기술혁신을 위한 기술지식 경영”, 개정2판, (주)생능출판사.
- 변순천 외(2008), “기술성장곡선 모형을 활용한 동태적 기술수준평가 방법”, 「Issue Paper 2008-13」, 한국과학기술기획평가원.
- 유지연(2012), “동태적 기술수준평가 방법론과 기술성장곡선에 기반한 기술예측”, 「경영과학과 박사학위 논문」, 한국과학기술원.
- 정근하 외(2001), “중장기 과학기술예측 조사결과의 국제비교 연구-한국, 일본, 독일을 중심으로”, 한국과학기술기획평가원.
- 한민규 외(2010), “기술성장곡선 모형에 기반을 둔 기술수준평가 결과 및 시사점-바이오 칩 · 센서기술을 중심으로”, 「기술혁신학회지」, 제13권 제2호, pp.252~281.
- 해양수산부(2014), “해양수산과학기술육성법 제정안 및 농림수산식품과학기술육성법 개정안” .

### (2) 국외문헌

- Kim, Byong Soo(2010), “A Case of forecast-based technology evaluation and its implications,” *INT. J. TECHNOLOGY AND PLANNING*, Vol 6, No.4, pp.317-325.
- Panik, Michael, J.(2014), *Growth Curve Modeling : The Theory and Applications*, Preface and Chapter 3, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Ritz, C. & Strebig, J.(2013), *drc : Analysis of dose-response curve data*. R package version 2.3-96.
- Weibull, W.(1951). "A Statistical Distribution Function of Wide Applicability," *Journal of Applied Mechanics* Vol.18, pp.291-297.