

성장곡선 모형 적용을 통한 기술수준평가 사례 연구: 특정 수산과학기술 분야를 중심으로 †

김완민 · 박주찬¹ · 박병무^{2*}

부경대학교 경영대학 경영학부, ¹부산테크노파크 정책기획단
²부경대학교 공과대학 시스템경영공학부

Case Study on Measuring Technology Level Applying Growth Curve Model: Three Core Areas of Fishery Science and Technology

Wan-Min Kim, Ju-Chan Park¹ and Pyeng-Mu Bark^{2*}

Department of Business Administration, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea

¹Industry Policy Team, Policy Planning Agency, Busan Techno-Park, Busan, 47046, Korea

*²Department of Systems Management & Engineering/Graduate Program of Management of
Technology, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea*

Abstract

The purpose of this paper is to discuss possibilities of applying growth curve models, such as Logistic, Log-Logistic, Log-Normal, Gompertz and Weibull, to three specific technology areas of Fishery Science and Technology in the process of measuring their technology level between Korea and countries with the state-of-the art level. Technology areas of hazard control of organism, environment restoration, and fish cluster detect were selected for this study. Expert panel survey was conducted to construct relevant panel data for years of 2013, 2016, and a future time of approaching the theoretical maximum technology level. The size of data was 70, 70 and 40 respectively.

First finding is that estimation of shape and location parameters of each model was statistically significant, and lack-of-fit test using estimated parameters was statistically rejected for each model, meaning all models were good enough to apply for measuring technology levels.

Second, three models other than Pearl and Gompertz seemed very appropriate to apply despite the fact that previous case studies have used only Gompertz and Pearl. This study suggests that Weibull model would be a very valid candidate for the purpose.

Received 12 October 2015 / Received in revised form 7 December 2015/ Accepted 9 December 2015

†이 논문은 2013학년도 부경대학교 연구년(II) 교수 지원사업에 의하여 연구되었음(C-D-2013-0908).

*Corresponding author : 051-629-6488, barkpm@pknu.ac.kr

Third, fish cluster detect technology level is relatively higher for both Korea and a country with the state-of-the-art among three areas as of 2013. However, all three areas seem to be approaching their limits(highest technology level point) until 2020 for countries with the state-of-the-art. This implies that Korea might have to speed up her research activities in order to catch up them prior to 2020.

Final suggestion is that future study may better apply various and more appropriate models respectively considering each technology characteristics and other factors.

Keywords : Fishery science and technology level, Measuring technology level, Dynamic approach by growth curve models, Technology life cycle and its growth stageparticipation

I. 서 론

기술은 기술수명주기(technology life-cycle)를 따라서 변하는 연속적인 특성을 갖는다. 기술변화를 파악하기 위한 방법 중 하나인 기술수준평가는 실질적으로는 다수의 특정 시점들을 기준으로 이루어진다. 기술의 경쟁상대에 대한 기술격차와 기술추격의 개념은 동태적인 성격이 강하다. 여기서 동태적이라 함은 목표물을 포함한 모든 것은 끊임없는 움직임(moving target oriented dynamics)을 수반함을 의미한다. 동태적 의미의 기술수준평가에서는 해당 기술의 각 분석대상(예를 들면 각 국가들)의 기술성장 패턴(곡선) 상의 위치와 이를 통한 상호간 격차, 그리고 기술변화의 정도(속도)를 파악하는 것이 가능하다. 이 가능성은 또한 미래 시점에서의 기술수준을 평가할 수 있도록 한다.

우리나라의 수산업은 최근 연평균 약 10%의 수준으로 성장하는 산업이지만, 정부의 수산업 분야에 대한 정책적 및 재정적 지원이 농림, 식품 및 해양산업 분야에 비해 상대적으로 충분하지 않다(Lee & An, 2014). 수산업을 미래 성장동력 분야의 하나로 발전시키기 위해서는 수산업의 미래전략 산업화를 추진하여 첨단기술과의 융복합, 미래형 산업기반 구축 등의 차원에서 수산업 분야의 기술수준 제고를 위한 지원확대가 필요하다. 이를 위해서는 수산과학기술 분야의

기술수준평가 결과를 토대로 기술수준 향상을 위한 시책을 세울 필요가 있다. 한편, 우리나라의 경우 과학기술정책 수립시 과학기술기본법에 의거 국가적으로 중요한 핵심 과학기술 분야의 기술수준평가를 시행토록 규정하고 있다. 또한 관련법에 의거 수산과학기술 분야의 기술수준평가를 시행하도록 의무화하고 있다.

본 연구의 목적은 수산과학기술 분야 중 성장곡선 모형들의 적용 가능성이 상대적으로 높은 세 가지 특정 분야의 사례분석을 통해 결과의 활용 가능성을 시범적으로 모색하는데 있다. 이를 위해서 관련 선행연구들을 조사하여 비교·검토한 후 적용 가능한 사례분석 결과들을 적용하고 적용 결과를 검토한다.

성장곡선 모형은 이론 및 실증적으로 생명체의 변화 혹은 성장의 패턴 분석 연구로부터 출발하여 진화하였다(Panik, 2014). 본 연구에서는 기술수준평가 대상으로 유기체적 성장패턴에 가깝다고 유추되는 유해생물제어, 수산환경복원, 그리고 어군탐색 분야를 선정하였다. 본 연구는 세 분야를 대상으로 성장곡선 모형들의 모수값을 추정하여 곡선의 형태를 알아보고 적합결여검정(lack-of-fit test)을 실시하여 성장곡선 모형의 활용 적합성을 살펴본다. 모형의 추정 결과를 토대로 2013년 및 2016년의 해당 기술의 기술수준을 평가하며 2010년과 2020년에 대한 과거 수준 추정 및 미래 수준 예측을 해 본다. 2013년 및

2016년 시점은 본 연구의 자료수집 측면에서 전문가들의 실질적인 응답결과를 반영하기 위한 것이다. 2010년 및 2020년 시점은 과거 및 미래 시점의 시간 간격을 10년 단위로 보기 위함이다.

II. 동태적 기법에 기반한 성장곡선 모형

1. 개요

기술은 무형의 지식 형태이며 대부분의 기술은 여러 가지 특성을 지닌 각각의 세부기술로 구성되기도 하며, 평가대상 범위에 기술관련 아이디어, 인력 및 인프라를 고려한 잠재력 등이 포함될 수 있는 등 그 대상과 범위가 다양하다 (Chung, et al., 2001). 그리고 기술수준이란 “특정 시점에서 특정 기술의 성능을 측정치로 나타내는 것”으로 특정의 비교대상 또는 현재와 비교시점을 상대적으로 평가하는 개념이다(Bark, et al., 2013). 기술수준평가는 기술개발 전략의 수립이나 연구개발투자 우선순위를 설정하기 위해서 필요하며, 기술예측 활동을 토대로 도출된 미래 유망기술에 대하여 기술수준 평가를 수행하고 실행계획 차원에서 기술로드맵을 수립할 수 있다¹⁾.

기술성장곡선 모형을 통한 동태적 접근은 객관적이고 시계열적인 자료가 존재하지 않는 경우, 이를 대체하는 방법으로 일차적으로 평가대상 분야의 기술전문가를 패널로 구성된 설문조

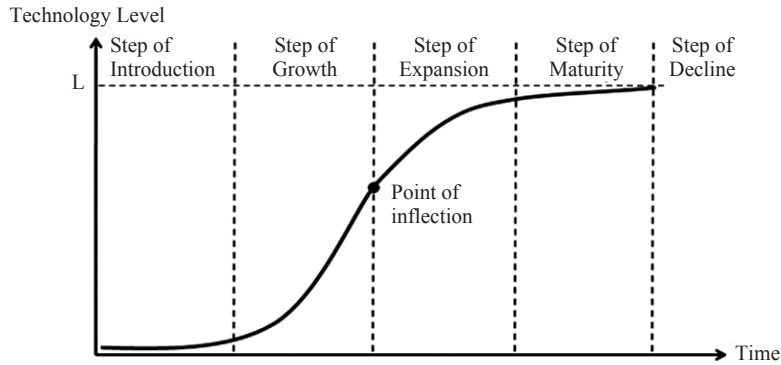
사를 실시하고 그 응답 값을 입력한 패널 데이터를 활용하여 곡선적합(curve fitting)을 실시하는 것이다. 성장곡선의 모수추정(estimation of parameter)을 통해 곡선의 형태와 위치를 파악한다. 복수의 피평가 대상(예: 국가, 기업 등 기술개발 주체)에 대한 추정결과를 얻을 수 있는 경우, 비교 시점별 기술수준과 기술수준 격차 등을 절대적 및 상대적 관점에서 파악할 수 있다²⁾.

2. 이론적 배경

기술성장 곡선은 한 세대(one generation) 혹은 패러다임(paradigm)에 해당하는 새로운 기술에 대한 아이디어가 창출되어 개발로 이어지는 기술수명주기(technology life cycle)를 따라 어떤 양상으로 기술적 성능이 개선되고 발전하는가를 보여주는 곡선이다³⁾.

Fig. 1은 특정 기술의 수명주기에 따른 한 세대 혹은 패러다임 동안의 변화 혹은 성장 과정을 통한 기술발전 단계와 성장곡선의 관계를 나타낸다. 도입기에는 기술의 변화 속도가 매우 완만하나 성장기까지는 점진적으로 그 속도가 빨라진다. 변곡점을 지나면 확장기에 돌입하며 변화 속도는 성장기에 비해 느려진다. 이어서 성숙기에 이르면 기술수준 자체는 거의 정점에 도달하며 변화 속도는 매우 완만해진다. 단기적 관점에서 보면 해당 기술수준의 단계가 성숙기 후반에 도달하게 됨에 따라 해당 기술발전의 이론적 한계점(L)에 도달하게 된다. 이어서 다음 세대(next

- 1) 과학기술기본법 제14조 ②항에 의하면 “정부는 과학기술의 발전을 촉진하기 위하여 국가적으로 중요한 핵심기술에 대한 기술수준을 평가하고 해당 기술수준의 향상을 위한 시책을 세우고 추진하여야 한다” 라고 규정하고 있다(Ministry of Science, ICT and Future Planning, 2015). 또한 해양수산과학기술육성법 제정안 및 농림수산물과과학기술육성법 개정안 제13조 ②항에서 “해양수산부장관은 해양수산과학기술의 발전을 촉진하기 위하여 중요한 핵심기술의 기술수준에 대하여 평가를 하고 그 기술수준의 향상을 위한 시책을 수립·추진하여야 한다” 라고 규정하고 있다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2014).
- 2) 기술수준의 정확한 표현은 이론적으로 기능모수와 기술모수의 값과 단위로 구성된다. 실제로는 기술수준평가의 대상인 기술의 범위가 하나의 모수 값으로 표현하기 불가능한 경우가 더욱 일반적이다. 우리나라의 경우, 일반적인 기술수준평가 결과 값의 표현은 비교대상 혹은 이론적 상한치를 100으로 기준하고 상대적인 값으로 대체한다. 기술격차의 경우에는 일반적으로 격차시간(예: 년 단위)으로 표현한다. 본 연구에서는 기술수준 자체는 해당기술의 한 세대 기준으로 이론적 상한치를 100으로 가정한다. 또한 이를 보완하기 위해 기술의 발전단계 표기를 병행한다.
- 3) 통상 Sigmoid 함수 형태를 지니는 것으로 알려져 있다. 일명 ‘S-Curve’ 라고도 부른다(Panik, 2014).



Source : Bark, et al., 2010, p.42.

Fig. 1. Level of Technology Development and Growth Curve.

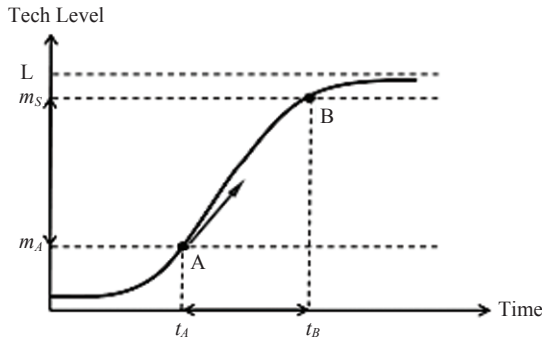


Fig. 2. Comparison of Technology Level 1.

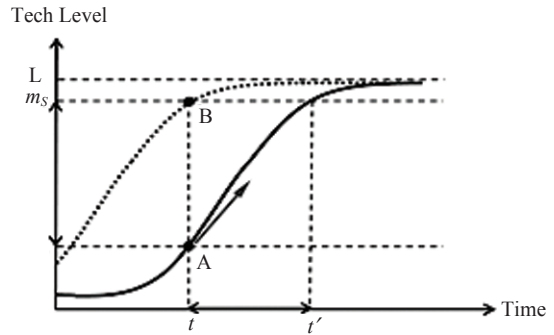


Fig. 3. Comparison of Technology Level 2.

generation)에 해당하는 새로운 기술의 출현에 따른 새로운 성장곡선을 따르는 일종의 대체곡선을 생각해야 한다. 중장기적으로는 이런 경우 까지 모두 포함하는 의미의 성장곡선을 논의하기도 한다(Park, 2007).

기술발전 단계와 기술수준과의 관계는 대부분 그 기술의 발전이 그리는 궤적에 의해 결정될 것이다. 즉, 성장곡선의 구체적 형태에 의해 기술수준의 값들이 결정된다고 할 수 있다.

특히 Fig. 1에서처럼 성장기 후반부의 변곡점까지의 경과시간과 그 때의 기술수준은 성장곡선의 구체적 형태와 밀접한 관계에 있다(Bark, et al., 2013).

Fig. 2는 해당 특정기술 보유 주체가 둘(A, B)인 경우를 나타낸다. 같은 기술이지만 임의의 특

정 시점을 기준으로 볼 때 B가 보유한 기술의 발전단계와 기술수준이 A의 그것들에 비해 높은 것으로 나타난다. 기본전제는 A를 기준으로 한 기술수준과 시점이라는 점이다. 즉, t_A 시점에서의 A(A가 보유한 특정기술, 이하 같은 의미의 표현을 씀)의 기술수준을 B의 기술수준과 비교하면 기술수준 자체는 $(m_B - m_A)$ 만큼 차이가 나고 있음을 보인다. 또한, A의 입장에서 해당 시점 기준으로의 환경 및 조건에 변화가 없다면 B의 기술수준에 도달하기 위해서는 $(t_B - t_A)$ 만큼의 시간이 더 필요함을 나타낸다.

Fig. 3은 Fig. 2를 보다 입체적으로 정리한 것이다. t 시점에서의 A와 B의 기술궤적 위치는 사실상 각각 실선과 점선으로 표시되는 성장곡선에 의해 나타나게 된다. t 시점에서의 A와 B의 기

술수준의 격차는 수준 자체로는 $(m_B - m_A)$ 이며, A의 기술수준이 B의 기술수준에 도달하기 위해서는 t' 시점까지 가야만 한다. 하지만 실제의 세계에서 B의 기술수준은 t' 시점에서는 해당 세대 수명주기상의 정점, 즉 이론적 기술한계점(L)에 거의 도달할 수도 있다.

기술성장곡선 모형을 활용한 동태적 기술수준 평가 방법의 장점은 첫째, 기술들의 시점별 위상분석과 시점간의 변화상황 등의 파악이 가능하다는 점이다. 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(Bark, 2007a, 2007b). 둘째, 시계열 자료가 비선형일 경우 쉽게 사용할 수 있는 예측기법이며, 시계열 자료가 많은 경우에는 예측력이 높아진다는 점이다. 실제로 지금까지의 실증자료를 보면, S-curve는 다양한 기술영역에서 일관되게 비교적 높은 예측력을 보여주고 있다. 셋째, 기술의 세대교체가 일어나는 경우 즉, 대체곡선에도 적용이 가능하다는 점이다. 마지막으로, 여러 개별기술의 특성에 따라 기본적인 곡선함수의 식을 변형 내지 확장하여 다양한 함수의 형태를 만들어낼 수 있다는 점이다.

단점으로는 기술발전의 이론적 한계값(L)에 대한 전문가의 지식과 정보가 현실적으로 한계가 있을 수 있다는 점이다. 특히 기술발전의 속도가 빠르고 성공의 위험성이 높은 첨단기술의 경우에는 L을 정확하게 추정하는 것이 사실상 불가능할 수도 있다. 모형의 특성상 L을 정확히 알지 못한다면 다른 과정을 정상적으로 수행해도 설명력이 크게 떨어지는 것이 불가피하다(Park, 2007).

또한 단기적인 추정에는 적합하다고 볼 수 있지만 관찰된 값으로부터 관찰되지 않은 미래의 값을 추정한다는 측면에서 한계가 있다. 더구나 최근에는 기술의 변화 속도뿐만 아니라 기술의

혁신에 영향을 미치는 사회경제시스템도 무척 빠르게 변화하고 있기 때문에 불확실성이 존재한다(Kim, et al., 2009).

본 연구에서 검토할 성장곡선 모형에 대한 논의는 Ritz & Strebig(2013), Seber & Wild(1989) 및 Panik(2014)을 참조하였다(Table 1 참조). 소개한 성장곡선 모형들의 공통된 특징은 추정해야 할 모수가 두 개라는 점이다. Table 1에서 설명하는 것처럼 두 개의 모수는 각각 성장곡선의 형태를 결정하는 모수인 형태모수(shape parameter)와 변곡점에 도달하는 시간을 결정하는 모수인 곡선의 위치모수(location parameter)이다. 결과적으로 형태모수는 기술의 변화추이 혹은 형태를 결정하며 위치모수는 변곡점의 시간적 위치를 결정한다. 변곡점을 중심으로 좌·우 대칭의 특성을 지니는 모형들은 Logistic, Log-Logistic 및 Log-Normal 모형들이다. Gompertz 및 Weibull 모형은 좌·우 비대칭의 특성을 지닌다.

좌·우 대칭의 특성을 대표적으로 나타내는 Logistic 모형은 1838년 Verhulst가 장기(organ) 혹은 인구(population)의 성장을 묘사하면서 경험에 의해 도출된 것으로 알려져 있다. Robertson(1908)은 화학물질의 자연적 현상인 분해속도를 관찰하면서 생화학 물질의 자연적인 성장과정을 이 모형으로 설명하였다. 이 모형은 모형 자체의 단순성으로 인해 기술의 성장곡선 추정에 대표적으로 많이 적용되었다. 하지만 좌·우 대칭의 특성이 너무 강하여 현실적으로 기술의 변화 혹은 성장 패턴을 잘 반영하는지에 대한 심층적인 검토는 거의 없었다(Bark, 2007a, 2007b).

Logistic 모형에서의 시간 변수인 t 를 로그의 형태로 변형한 것이 Log-Logistic 모형이다. 이 모형은 약물(drug) 혹은 독성물질(toxin)이 인체에 작용하는 반응곡선을 도출하는 데에 주로 활용되고 있다. Brian & Cousens(1989)는 이 모형의 발전된 형태를 통해 기준치 이하의 복용이 긴 강증진에 미치는 효과(hormetic effect of low dosages)를 찾아내었다. Log-Normal 모형은 Log-

Table 1. Growth Curve Models

Model	Key Features
Logistic	<ul style="list-style-type: none"> functional formula : $f(t) = \frac{L}{1 + e^{-b(t-c)}}$ inflection point : $t=c$ symmetric at inflection point
Log-Logistic	<ul style="list-style-type: none"> functional formula : $f(t) = \frac{L}{1 + e^{-b(\ln(t) - \ln(c))}}$ inflection point : $t=c$ symmetric at inflection point
Log-Normal	<ul style="list-style-type: none"> functional formula : $f(t) = L(\Phi(b(\ln(t) - \ln(c))))\phi$, Φ is cumulative normal distribution function inflection point : $t=c$ symmetric at inflection point
Gompertz	<ul style="list-style-type: none"> functional formula : $f(t) = L \cdot e^{-c \cdot e^{-bt}}$ inflection point : $t = \frac{\ln c}{b}$ asymmetric at inflection point
Weibull	<ul style="list-style-type: none"> functional formula : $f(t) = L \cdot e^{-b(m(t-c)^m)}$ inflection point : $t=c$ asymmetric at inflection point

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

Source : Ritz & Strebig (2013), pp.58~59, pp.68~80 and pp.138~144.

Logistic 모형과 매우 흡사하다. 다만, 두 모형은 곡선의 양극단(tails)에서 다른 형태를 보인다. 국내의 경우, Choi, et al.(2000)가 인구성장 예측에 Log-Normal 모형을 적용한 사례가 있다.

좌 · 우 대칭 가정을 완화한 비대칭 모형의 대표적인 모형은 Gompertz 모형이라고 할 수 있다. 이것은 Gompertz(1825)가 연령별 사망률을 구하기 위해서 제안한 모형으로 알려져 있다. 이 모형은 Wright(1926)가 성장곡선 모형으로 사용한 바 있으며, Medawar(1940)는 닭심장의 성장을 추정하기 위해 이 모형을 사용하기도 하였다. 기술의 성장곡선 모형으로 국내에서는 대표적으로 가장 많이 활용되고 있다.

Weibull 모형은 Weibull(1951)이 소개한 모형으로 생존분석과 신뢰성 공학 분야에서 널리 사용되고 있는 것으로 알려져 있다. 이 모형은 Logistic 모형이나 Gompertz 모형에 비해 변곡점의 위치 설정이 유연하다는 특성이 있다. 국내의 경우, Jin, et al.(2013)가 천연가스의 수요 전망에 활용한 사례가 있다.

3. 사례연구 비교검토

동태적 접근개념에 의한 기술성장 모형을 통한 국내 기술수준평가의 최초 연구는 Bark(2007a, 2007b)으로 Kim, et al.(1999)의 자료를 원용하여 Logistic 모형과 Gompertz 모형을 8개 특정 소분류 기술 단위에 시범적으로 적용하였다. 이후 연구의 내용을 개선 · 발전시켜 10개 건설엔지니어링 분야에 적용하였으며, 이어서 수산과학기술 분야에 적용하였다(Bark, et al. 2010; Bark, et al., 2013). 이를 통해 기술성장 모형의 동태적 특성을 활용하여 미래 시점에서의 기술수준을 예측하는 방안을 제안하였으며, 이를 통해 경주식 분석기법(racing oriented analysis) 활용과 기술수준 경쟁력 지수개발의 가능성을 제시하였다.

한국과학기술기획평가원(Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning: KISTEP)의 연구팀들은 국가차원에서 다양한 시점과 관련 분야에 대해 기술수준평가를 시행하

고 있다. 대표적으로 Byeon, et al.(2008)와 Kim, et al.(2009)는 90개 중점과학기술 분야를 대상으로 Logistic 모형과 Gompertz 모형을 적용하였으며, Kim, et al.(2010), Han, et al.(2010), Ryu(2012) 등은 각각 해양과학, 바이오칩·센서, 그리고 정보전자기술 분야에 대해서 동일한 두 가지 모형을 적용하여 기술수준을 평가하였다(<Table 2> 참조). Kim, et al.(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.

이러한 연구들의 경우 실제 기술수준의 다양한 변화를 반영하는 가능한 기술성장 모형에 대한 비교·검토 관련 논의는 시도하지 않았다. 또한 Logistic 모형과 Gompertz 모형의 적용에 국한된 한계점을 보이고 있다(Kim, et al., 2010).

그러나 앞에서 논의한 것처럼 이 두 성장곡선 모형 이외에도 다양한 형태의 성장곡선 모형이

존재할 수 있으며, 이들에 대한 적용 및 결과에 대한 검토 및 분석은 필요하다⁴⁾.

Ⅲ. 사례분석 대상

분석대상 분야는 유해생물제어(hazard control of organism), 수산환경복원(environment restoration), 그리고 어군탐색(fish cluster detect) 분야이다(Table 3 참조). 이 세 가지 소분류 분야는 수산과학기술 분야의 대부분류 기준으로는 각각 수산환경과 어업생산에 해당하는 분야이다⁵⁾. 유해생물제어 및 수산환경복원 분야는 해당 기술분야의 정의에 따르면 대체로 생명체적인 유기적인 특성이 강하다. 어군탐색 분야는 상대적으로 유기적인 특성과 무기적인 특성이 혼합되어 있다.

본 연구에서 사용한 원자료(raw data)는 Bark, et al.(2013)에서 추출한 것이다. 수산과학기술 분야 전체 전문가 총 895명으로 구성된 전문가 패널을 활용한 전문가용 설문응답 방식을 통하

Table 2. Comparison on Case Study for Dynamic Technology Level Evaluation

Author	Technology	Model	Reference
Bark(2007a,b)	8 technology areas	Logistic* Gompertz	8 small category areas by Kim et al.(1999): mobile telecommunication, automobile, system software, etc.
Byeon, et al.(2008)	90 key technology areas	Pearl, Gompertz	National Science & Technology Foresight, 2007
Kim, et al.(2009)	same above	Pearl, Gompertz	-
Han, et al.(2010)	bio-chip sensor technology	Pearl, Gompertz	KISTEP National Technology Assessment, 2008
Bark, et al.(2010)	10 construction engineering areas	Gompertz	building, construction materials, road & rail, water resources, plant, etc
Kim, et al.(2010)	ocean science & technology	Pearl, Gompertz	27 middle class category technology areas
Ryu(2012)	information & electronics technology (15 key technology areas & 57 specified technology areas)	Peal, Gompertz	KISTEP National Technology Assessment, 2008, 2010
Bark, et al.(2013)	fisheries science & technology	Gompertz	6 top class, 12 middle class, 34 small class category technology areas

* Logistic model is equivalent to Pearl model. Previous studies did not compare and analyze estimated results by two models, but mostly used results from Gompertz model.

- 4) 성장곡선의 다양한 모형에 대한 소개는 Seber & Wild(1989), 제7장과 Panik(2014)을 참조하면 된다.
- 5) 분류체계의 결정과정에 대해서는 Bark, et al.(2013)의 제3장(pp.12-19) 및 부록B(pp.165-170)를 참조하면 된다. 5차에 걸친 수산과학기술 분야 전문가 패널 검토를 거친 후에 관계기관 공동회의를 거쳐 최종 확정을 하였으며 소요기간은 2012년 10월부터 2013년 2월까지 약 4개월이다.

Table 3. Case analysis object of Fishery Science

Large Categories	Medium Categories	Small Categories	Detailed Contents
fisheries environment	environment maintenance-restoration	hazard control of organism	red tide, jellyfish, green algae, shellfish-toxin plankton, control technology of invasive species
		environment restoration	disposal of deposits, restoration of mud flat, restoration of marine forests, development of Zostera marina bed
fisheries production	fishing gears and methods	fish cluster detect	instrument development for swarming, herding, and gathering of fish population, behavior of fish population, individual fish behavior, fish behavior to the net shape, investigation of fishing process, analysis on motor ability of fishes

Source : Bark, et al.(2013), pp.24~25.

Table 4. Summary of Dynamic Technology Level Evaluation

Division	Main Contents	Period
classification	- expert panel review & meetings with related organizations - 6 top class, 12 middle class, 34 small class category technology areas	2012.10.11 - 2013.02.06
expert panel survey	- degree of expertise - degree of importance - technology level • 3 year point : current(2013), future(2016), expected year of reaching theoretical limit(L=100) • name and absolute level of the country with the state-of-the-art - key questionnaires : technology level, time & technology life-cycle stage - 895 respondents → 191 answered(multiple answer), 447(respondents areas)	2013.03.01 – 2013.04.30
technology areas selected for this study	- hazard control of organism(large category: fisheries environment) : 70 respondents - environment restoration(large category: fisheries environment : 70 respondents - fish cluster detect(large category: fisheries production) : 40 respondents	degree of expertise(10 Likert Scale) 9.00 9.63 9.25 respectively degree of importance(5 Likert Scale) 3.8 4.3 and 3.3 respectively

여 최종적으로 191명의 복수응답을 통해 447개의 설문응답을 달성하였다. 이 중 본 연구의 사례 분석대상인 세 분야에 대한 응답 수는 각각 70, 70 및 40개이다(Table 4 참조).

주요 설문항목의 내용은 우선 평가대상의 기술보유 주체를 한국과 최고기술보유국가로 정했으며, 조사시점은 2013년(현재)과 2016년(3년 후), 그리고 이론적 상한치 도달시점이다. 응답

내용의 정확도를 높이기 위해서 응답자의 전문도와 응답 기술분야의 상대적인 중요도에 대한 설문을 포함하였다⁶⁾. 또한 응답 해당기술의 기술수명 주기상의 단계를 선택하도록 하였다. 기술수준에 대한 응답은 해당기술의 수명주기상 이론적인 한계값을 100으로 설정할 경우 각각의 해당 기술수준은 어느 값에 해당하는지를 적도록 하였다.

6) 해당 분야에 대한 전문가 응답의 전문도는 10점 척도 기준으로 모두 9점 이상으로 비교적 높은 것으로 파악되었다. 세 분야의 수산과학기술 분야에서 차지하는 상대적인 중요도는 5점 척도 기준으로 각각 3.8, 4.3 및 3.3이었다.

IV. 성장곡선 모형 분석

1. 분석개요

이 연구에서 사용한 성장곡선모형 적용 및 결과 분석도구는 통계 소프트웨어인 “R”이다⁷⁾. 이는 비선형 형태의 기술성장곡선 모형을 실제의 자료에 적용하는 데에 적합한 도구로서 이를 활용하여 우선 전문가 패널의 응답 자료를 Logistic, Log-Logistic, Log-Normal, Gompertz, Weibull 5개 성장곡선 모형들에 적용하여 각 곡선모형의 모수를 추정하였다⁸⁾. 그리고 해당 수산과학기술 3개 소분류 분야인 유해생물제어, 수산환경복원 및 어군탐색 분야별로 각각의 기술성장곡선 모형에 대한 모수를 비선형회귀분석을 통해 추정된 후 성장곡선 모형이 자료에 적합하지 추정 결과에 대한 적합성 여부를 검정하였다⁹⁾.

적합성 여부를의 정도는 적합결여 검정(lack-of-fit test)에서 얻은 Akaike 정보기준 지수(Akaike's Information Criterion: AIC)값과 추정잔여표준오차(estimated residual standard error)를 토대로 한 p-value를 통해 판단한다. AIC는 적용모형의 결과를 설명력과 간명성의 측면에서 나타내는 지수이다. 모형의 적용 결과를 비교할 때 독립변수가 많은 모형이 설명력 면에서 유리하기 때문에 이를 상쇄하는 측면에서 모형의 간명성(혹은 절약성)을 동시에 살펴보는 것이다. 두 측면의 종합적 지수인 AIC 값이 낮을수록 해당 성장곡선 모형의 적합도가 상대적으로 더 적절한 것으로 해석한다. 또한 p-value가 높을수록 통

계적 관점에서 해당 성장곡선 모형의 적합도가 상대적으로 더 적절한 것으로 해석한다¹⁰⁾.

2. 분석 결과

수산과학기술 분야 중 성장곡선 배경 및 이론이 상대적으로 적합하게 적용될 것으로 판단한 소분류 기준 세 분야에 대한 각각의 성장곡선 모형 모수의 추정값과 추정된 모수값을 적용한 모형들의 적합성 여부는 Table 5에서 보는 것과 같다. 우선 각각의 모형에 대한 모수추정의 통계적 유의성은 모수 추정값에 대한 p-value가 모두 0.00에 가깝게 나타나 유의하였다. 추정 곡선모형의 적합성 여부는 두 가지 특성을 보였다. 하나는 대체로 한국의 경우에 적용한 곡선모형의 적합성 여부가 최고기술보유국의 경우에 비해 상대적으로 다소 유의성이 높았다¹¹⁾. 또한 최고 기술보유국 및 한국의 두 경우 모두 5개의 성장곡선 모형의 적합성 여부는 대체로 적합하였다. 다만, 그동안 기존의 연구에서 공통적으로 사용되어 온 Gompertz 모형의 적합도 여부가 다른 모형들의 경우에 비해 상대적으로 통계적 유의성이 낮았다. 다른 비대칭 비선형 모형인 Weibull 모형의 적합도 여부에 대한 p-value는 Gompertz 모형의 그것에 비해 상대적으로 높았다. 그 이유는 Weibull 모형의 경우, 변곡점의 위치 설정이 상대적으로 유연하기 때문인 것으로 보인다. 그러나 5개 모형 모두 통계적으로는 적합성이 유의한 것으로 판명되었다.

분석대상 세 분야 중 2013년 현재 기준 최고기술보유국과 우리나라의 기술수준이 상대적으로 높은 분야는 어군탐색 분야이다. 최고기술보유국의 기술수준 추정값은 77.7~85.0이며, 같은

7) 본 연구에서는 R 통계패키지 사용에 관한 내용은 R Package, Version 3.1.1 (<http://www.R-project.org>)를 참조하였다.

8) 5개의 성장곡선 모형을 비교분석하는 연구는 이 연구가 국내에서는 처음이며 그동안 과학기술 분야에 대한 성장곡선 모형 적용은 거의 모두 Logistic 모형과 Gompertz 모형의 경우이었다(이 논문 Table 2 참조).

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

10) Ritz & Strebig, 2013, pp.97 - 98.

11) 전문가 패널의 응답에 의하면 유해생물제어, 수산환경복원 및 어군탐색 분야의 최고기술보유국가는 각각 미국, 미국 및 노르웨이인 것으로 나타났다.

Table 5. Statistical Results of Parameter Estimation and Lack-of-Fit Test

Subject of analysis	Model	Country with the state-of-the-art level				Korea				
		parameter	Estimate	lack-of-fit test		Parameter	Estimate	lack-of-fit test		
				AIC	p-value			AIC	p-value	
hazard control of organism	Logistic	b	-0.2269	266.2591	0.9641	b	-0.2284	282.0524	0.9987	
		c	2008.9945			c	2013.4060			
	Log-Logistic	b	-440.2344	266.2580	0.9642	b	-461.8019	282.0660	0.9987	
		c	2008.7930			c	2013.4473			
	Log-Normal	b	229.6923	265.6293	0.9854	b	270.9317	281.1676	0.9998	
		c	2007.9418			c	2013.3838			
	Gompertz	b	0.1093	272.5413	0.4242	b	0.1045	292.9826	0.5822	
		c	1.0139E+95*			c	1.5268E+91			
	Weibull	b	-401.2646	266.6159	0.9472	b	-361.7992	283.4911	0.9922	
		c	2007.5543			c	2011.3351			
	environment restoration	Logistic	b	-0.3420	256.7463	0.8995	b	-0.2269	266.9883	0.9984
			c	2011.2939			c	2013.9855		
Log-Logistic		b	-693.1876	256.7905	0.8969	b	-454.6286	267.0013	0.9983	
		c	2011.3286			c	2013.9911			
Log-Normal		b	287.7172	254.7688	0.9822	b	271.1857	266.5341	0.9994	
		c	2010.1874			c	2013.9536			
Gompertz		b	0.0986	262.5140	0.4371	b	0.0917	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			
fish cluster detect		Logistic	b	-0.3169	231.5310	0.9961	b	-0.2812	259.5537	0.9972
			c	2009.0588			c	2011.7082		
	Log-Logistic	b	-580.4675	231.7001	0.9950	b	-582.2862	259.4937	0.9974	
		c	2008.4995			c	2011.7852			
	Log-Normal	b	326.3754	231.0785	0.9982	b	351.0848	259.0007	0.9987	
		c	2008.2218			c	2011.7622			
	Gompertz	b	0.0873	243.5908	0.3621	b	0.1029	269.7467	0.6252	
		c	3.6405E+75			c	3.6320E+89			
	Weibull	b	-746.3264	234.2522	0.9451	b	-483.0589	260.1587	0.9944	
		c	2008.8554			c	2010.1485			

* 1.0139E + 95 means 1.0139×10^{95} .

시기 우리나라의 수준 추정값은 58.5~67.5이다. 상대적으로 가장 낮은 분야는 수산환경복원 분야이다. 각각 최고기술보유국은 64.0~72.3, 우

리나라는 44.4~51.9이었다. 유해생물제어 분야의 경우에는 최고기술보유국이 71.3~75.3, 우리나라가 47.4~53.7이다(Table 6 참조¹²⁾).

12) 2020년의 기술수준을 예측하는 배경은 국립수산과학원(NIFS)은 '세계 일류 수산연구기관' 으로의 도약을 위한 구체적인 목표로 '2020년 선진국 대비 90% 수산과학 기술력 확보' 라는 목표를 설정한 것에 따른 것이다(Cho, et al., 2010, p.205). 2010년의 기술수준 추정(시뮬레이션) 시도는 Bark, et al.(2013)에서는 전문가 패널 조사를 당시의 현재 시점(2013년)과 향후 3년 후(2016년)에 국한하여 실시한 것에 대한 검토 차원이다.

Table 6. Technology level of the country with the state-of-the-art and korea(2013, 2016)

Subject of analysis	Model	Country with the state-of-the-art level technology				Korea			
		2010년	2013년	2016년	2020년	2010년	2013년	2016년	2020년
hazard control of organism	Logistic	55.7	71.3	83.1	92.4	31.5	47.7	64.4	81.9
	Log-Logistic	56.6	71.5	82.9	92.1	31.2	47.4	64.2	81.8
	Log-Normal	59.3	71.8	82.1	91.5	32.4	47.9	63.8	81.3
	Gompertz	67.4	75.3	81.5	87.6	42.7	53.7	63.5	74.1
	Weibull	54.1	71.4	83.1	92.0	28.0	47.6	64.9	81.0
environ ment restoration	Logistic	39.1	64.2	83.3	95.2	28.8	44.4	61.2	79.7
	Log-Logistic	38.7	64.0	83.3	95.2	28.9	44.4	61.1	79.5
	Log-Normal	48.9	65.6	79.7	91.9	29.7	44.9	60.9	79.2
	Gompertz	64.6	72.3	78.5	85.0	42.2	51.9	60.8	70.8
	Weibull	46.7	66.2	80.0	90.6	25.6	44.8	62.2	79.0
fish cluster detect	Logistic	57.4	77.7	90.0	97.0	38.2	59.0	77.0	91.1
	Log-Logistic	60.7	78.6	89.7	96.5	37.4	58.7	77.2	91.5
	Log-Normal	61.4	78.1	89.6	97.2	37.9	58.5	77.0	92.4
	Gompertz	81.0	85.0	88.2	91.6	58.6	67.5	75.0	82.6
	Weibull	52.0	80.7	93.2	98.4	35.5	60.4	78.2	91.0

Note : Based on the theoretical limit(L) which is 100. Technology levels in 2010 and 2020 are estimated.

Table 7. Stage of technology development of the country with the state-of-the-art and korea

Subject of analysis	Model	Country with the state-of-the-art level technology				Korea			
		2010년	2013년	2016년	2020년	2010년	2013년	2016년	2020년
hazard control of organism	Logistic	2.6	3.2	3.7	4.1	1.9	2.4	2.9	3.6
	Log-Logistic	2.6	3.2	3.7	4.1	1.9	2.3	2.9	3.6
	Log-Normal	2.7	3.2	3.6	4.0	1.9	2.4	2.9	3.6
	Gompertz	3.0	3.3	3.6	3.9	2.2	2.5	2.9	3.3
	Weibull	2.6	3.2	3.7	4.1	1.8	2.4	2.9	3.6
environ ment restoration	Logistic	2.1	2.9	3.7	4.2	1.9	2.3	2.8	3.5
	Log-Logistic	2.1	2.9	3.7	4.2	1.9	2.3	2.8	3.5
	Log-Normal	2.4	3.0	3.5	4.1	1.9	2.3	2.8	3.5
	Gompertz	2.9	3.2	3.5	3.7	2.2	2.5	2.8	3.2
	Weibull	2.3	3.0	3.5	4.0	1.8	2.3	2.8	3.5
fish cluster detect	Logistic	2.7	3.4	4.0	4.3	2.1	2.7	3.4	4.0
	Log-Logistic	2.8	3.5	4.0	4.3	2.1	2.7	3.4	4.0
	Log-Normal	2.8	3.4	4.0	4.3	2.1	2.7	3.4	4.1
	Gompertz	3.6	3.7	3.9	4.0	2.7	3.0	3.3	3.6
	Weibull	2.5	3.6	4.1	4.4	2.0	2.8	3.5	4.0

Note : Technology development stages are classified by beginning stage((0~1.5), growing stage(1.6~2.5), expanding stage((2.6~3.5), and maturing stage(3.6~4.5). Numerical values for 2010 and 2020 are estimated by the formula 'Development Stage= 1.353 + 0.01191*(technology level of corresponding year) + 0.0001909*((technology level of corresponding year)²' (Bark, et al., 2013, p.97).

3년 후인 2016년에는 최고기술보유국의 경우 어균탐색 88.2~93.2, 수산환경복원 78.5~83.3, 유해생물제어 81.5~83.1로 분석되었으며, 우리나라의 경우에는 각각 75.0~78.2, 수산환경복원 60.8~62.2, 유해생물제어 63.5~64.9로 분석되었다.

Table 7은 Table 6에서 보인 해당기술 분야 각각의 기술수준 값에 대응하는 기술의 발전단계를 나타낸 것이다. 어균탐색 분야의 경우, 최고기술보유국은 2013년까지 확장기를 거쳐 2020년에는 성숙기 말기에 도달하는 것으로 추정된다. 우리나라의 경우에는 2016년까지 확장기를 거쳐 2020년에는 성숙기에 돌입할 것으로 보인다. 수산환경복원 분야에서는 최고기술보유국의 경우 2016년 확장기를 지나 2020년에는 성숙기에 돌입할 것으로 보이며, 우리나라의 경우에는 2016년에 확장기 초기를 거쳐 2020년에는 성숙기 초기에 돌입할 것으로 보인다. 유해생물제어 분야에서는 최고기술보유국은 2016년 성숙기 초기에 돌입하여 2020년에는 성숙기 중기에 도달할 것으로 보인다.

우리나라의 경우는 2020년까지 성숙기 초기에 도달할 것으로 보인다. 분석결과 세 분야의 기술변화의 속도를 가장 보수적으로 추정하는 모형은 Gompertz 모형인 것으로 나타났다. 2013년 기준으로 이전의 기술수준 추정평가 결과가

다른 추정모형의 적용에 비해 상대적으로 높게 나타났으며, 2013년 이후부터는 상대적으로 낮게 예측되어 기술변화의 속도가 상대적으로 가장 늦은 것으로 분석되고 있다.

이러한 분석 결과는 성장곡선 모형의 적용시 Gompertz 모형을 활용하는 경우에는 향후의 기술수준 예측값이 상대적으로 절하될 수 있음을 시사한다. 또한 같은 비대칭 모형 중의 하나인 Weibull 모형을 적용할 경우, 대칭 모형들의 추정 기술수준 값에 비교적 근사하면서 Gompertz 모형 적용 경우에 비해 변화의 폭이 상대적으로 큰 것으로 분석된다(Fig. 4부터 Fig. 9까지 참조).

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 유해생물제어 분야에서 최고기술보유국과 우리나라의 기술수준의 변화 형태를 2005년부터 2025년까지 5개 모형별로 추정하여 본 것이다. 왼쪽부터 오른쪽까지의 각각의 점들은 2010, 2013(현재), 2016 및 2020년 특정시점에서의 모형별 기술수준 추정값을 나타낸 것이다. Fig. 6과 Fig. 7은 수산환경복원 분야의 경우이며, Fig. 8과 Fig. 9는 어균탐색 분야의 경우이다.

세 분야에 대한 5개 성장곡선 모형별 추정결과 비교에 따르면 두 가지 특징이 발견된다. 하나는 최고기술보유국의 경우가 우리나라의 경우에 비해 모형별 추정결과의 편차가 상대적으로 큰 것으로 보인다. 다른 하나는 세 분야 중 유

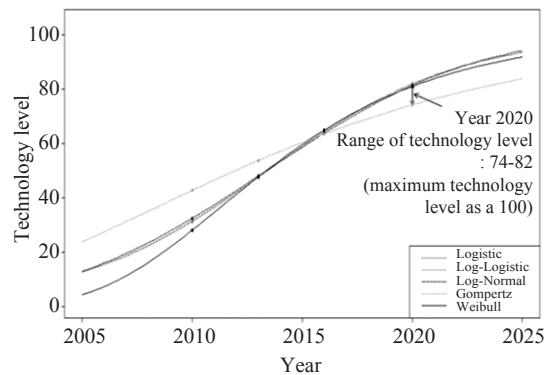
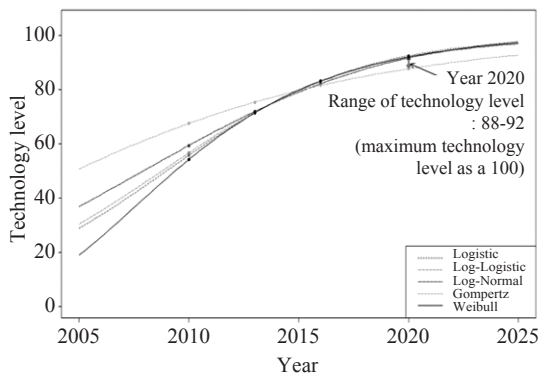


Fig. 4, 5. Growth curve between the country with the state-of-the-art and Korea in the area of hazard control of organism.

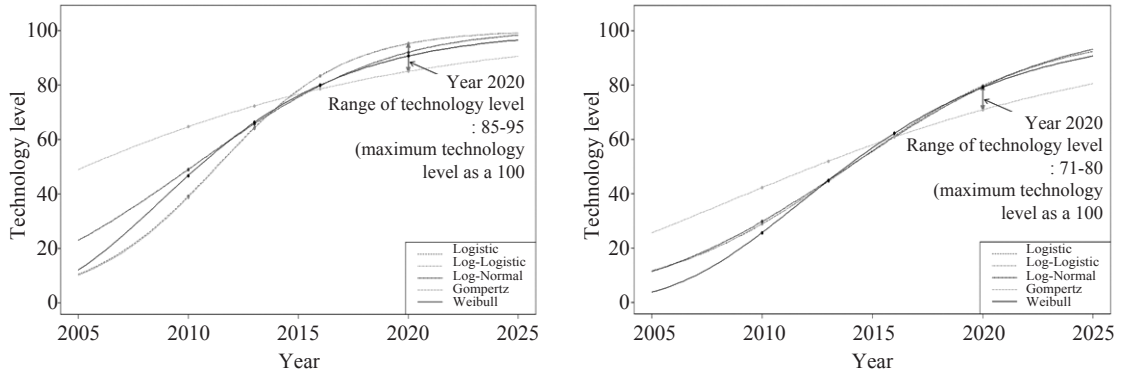


Fig. 6, 7. Growth curve between the country with the state-of-the-art and Korea in the area of environment restoration.

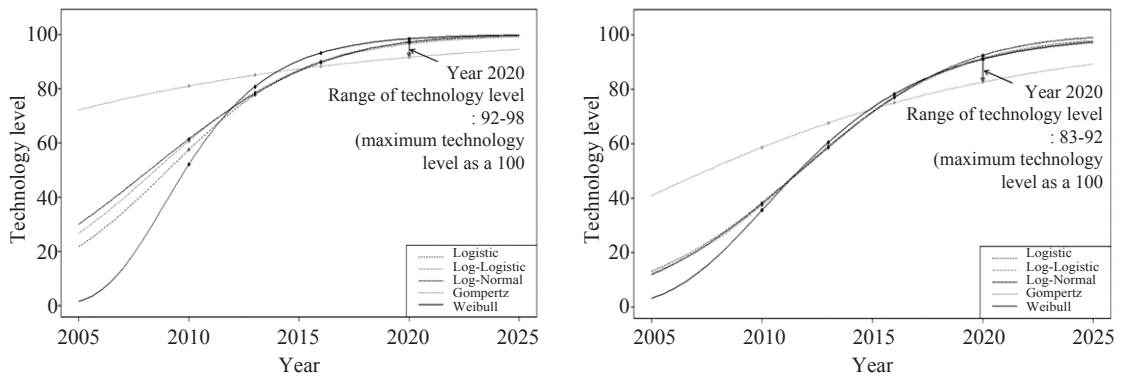


Fig. 8, 9. Growth curve between the country with the state-of-the-art and Korea in the area of fish cluster detect.

기적 특성이 상대적으로 약한 어군탐색 분야의 경우에는 모형별 편차의 크기가 더욱 크다.

V. 결 론

성장곡선 모형의 적용은 유기적인 특성을 지니는 대상에 대한 시도로부터 시작이 되었다 (Panik, 2014). 따라서 성장곡선 모형의 적용 가능성에 대한 시도는 실증연구에서도 유기적 성격이 강한 기술분야에 대한 사례연구로부터 우선되어야 한다. 수산과학기술 분야 중 유해생물 제어, 수산환경복원 및 어군탐색 세 분야의 경우는 유기적인 성격이 상대적으로 강하다. 따라서 성장곡선 모형의 적용 가능성 및 적절성이 상대

적으로 높은 분야이다.

유해생물제어, 수산환경복원 및 어군탐색 세 분야를 대상으로 5개의 성장곡선 모형의 적용 결과 형태모수와 위치모수의 추정 값에 대한 통계적 유의성은 모두 통과하였다. 또한 추정된 모수를 적용한 모형의 적합도에 대한 통계적 유의성도 모두 통과되었다. 모형의 적합도에 관한 모형별 비교분석 결과 대칭 변곡점의 특성을 지닌 Logistic, Log-Logistic 및 Log-Normal 모형과 비대칭 변곡점의 특성을 가지면서 변곡점에 대한 제약이 유연한 Weibull 모형이 상대적으로 Gompertz 모형에 비해서 적합도 검정 결과가 양호한 것으로 나타났다.

5개의 성장곡선 모형을 적용한 결과, 분석대

상 기간인 2010년부터 2020년 사이에 기술수준이 상대적으로 높은 분야는 최고기술보유국 및 우리나라 모두 어군탐색 분야인 것으로 분석되었다. 최고기술보유국의 기술수준은 2016년에 이론적 상한값(100) 대비 90에 이르게 되며 기술의 발전단계로는 성숙기 중반에 도달하여 이후 2020년까지는 쇠퇴기 직전 단계까지 발전할 것으로 예측된다. 따라서 최고기술보유국의 이 분야 기술은 이미 차세대 기술의 적용 단계로 이동할 가능성이 크다고 생각된다. 대조적으로 우리나라의 해당 분야 기술수준과 발전단계는 2016년까지 80에 다소 못 미치는 확장기 중반 단계에 머물 것으로 보여 최고기술보유국과의 기술차이(격차)는 질적인 측면에서 상당히 큰 것으로 추정된다.

어군탐색 분야에 이어 기술수준이 다음으로 높은 분야는 최고기술보유국 및 우리나라 모두 유해생물제어 분야이며, 수산환경복원 분야의 기술수준이 최고기술보유국 및 우리나라 모두 상대적으로 가장 낮은 것으로 분석되었다. 수산환경복원 분야의 기술발전(변화)의 속도는 유해생물제어 분야에 비해 상대적으로 빨라서 최고기술보유국과 우리나라의 경우 모두 2020년에는 두 분야의 기술수준 및 발전단계가 거의 비슷해질 것으로 분석되었다. 그러나 두 분야의 경우, 최고기술보유국의 기술수준 및 발전단계는 2020년까지 90을 상회하여 성숙기 중반 단계까지 이동할 것으로 보이는 반면, 우리나라의 경우는 80 정도로서 성숙기 돌입 직전단계에 머물 것으로 보인다. 결론적으로 이 두 분야의 경우에도 최고기술보유국의 경우에는 2020년 이전에 다음 세대의 기술단계로 이동할 것으로 보인다.

성장곡선 모형을 통한 동태적 접근방식의 기술수준평가는 기존의 기술수준평가가 다루지 못한 시간의 흐름에 따른 차세대 기술 단계로의 상향이동을 감지할 수 있다. 또한 기술변화의 속도와 방향에 대한 평가대상 주체별 추정을 가능하게 하여 추정결과를 비교·분석할 수 있다. 따

라서 해당 기술 분야의 기술수준 향상을 위한 시책을 세우고 추진하기 위한 기본적이고 일차적인 정보를 제공할 수 있다. 또한 신기술의 발굴이나 개발을 유도하는 데에 유효한 자료로서 활용될 수 있다.

이 연구는 기존의 기술수준평가 실증연구에서는 적용이 시도되지 않았던 Weibull 모형이 Gompertz 모형 못지않은 추정결과를 보여 주었음을 입증하였다. 이것은 기존의 사례연구들이 모두 공통적으로 Gompertz 모형만을 적용한 것에 대한 새로운 가능성을 제시한 것이다. 특정평가대상 기술의 속성이나 특성에 따른 기술의 변화 형태는 다양할 수 있다. 향후 기술의 특성별로 적용이 가장 적합한 성장곡선 모형을 찾아내는 노력이 요구된다.

마지막으로 기술의 변화는 기술 자체의 특성에 따른 것이기는 하지만, 해당 기술의 관련 주체가 위치한 환경, 제도, 정책 및 전략 등에 따라서 형태모수와 위치모수의 값은 다양하게 추정될 수 있다. 따라서 다양한 모수 추정값을 결정하는 인자들은 실질적으로 어떤 것이며, 이러한 인자들의 영향력은 시간의 흐름에 따라 어떻게 변화하는지에 대한 심층적이고 체계적인 연구가 궁극적으로 필요하다. 이러한 연구의 결과는 최종적으로 기술수준의 향상 및 새로운 기술의 개발 시책에 실효성 있는 대안을 제시할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Bark, P. M. (2007a), "A Theoretical Approach and Its Application for a Dynamic Method of Estimating and Analyzing Science and Technology Levels : Case Application on Ten Core Technologies for the Next Generation Growth Engine," *The Korea Technology Innovation Society*, 10:4, 654-686.
- Bark, P. M. (2007b), *A Theoretical Approach and Its Application for a New Method of Measuring and Analyzing Science and Technology Level*, Report

- 2007-17, Science & Technology Policy Institute.
- Bark, P. M. et al. (2010), *A Study on Science and Technology Level Appraisal with a New Approach and Development of Related Theory*, Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning.
- Bark, P. M., Kim, W. M., Jang, D. H., Yi, C. G., Park, J. O., Hwang, J. B., Park, J. C., Lee, H. Y., Kim, J. C. and An, S. J. (2013), *Technology Level Assessment of Fishery Science and Technology*, National Fisheries Research & Development Institute Pukyong National University.
- Brain, P. and Cousens, R. (1989), "An Equation to Describe Dose Responses Where There is Stimulation of Growth at Low Doses," *Weed Research*, 29, 93-96.
- Byeon, S. C., Ryu, J. Y. and Son, S. H. (2008), *A Dynamic Technology Assessment Level Using a Technology Growth Curve Model*, Issue Paper 2008-13, Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning.
- Cho, H. S. et al. (2010), *A Study on R&D Master Plan for Korea National Fisheries Research & Development Institute*, National Fisheries Research & Development Institute, TechnologyValue Corporation.
- Choi, J. H., Choi, B. H., Yang, W. S. and Kim, E. E. (2000), "Population Forecasting System Based on Growth Curve Models," *Korea Journal of Population Studies*, 23 (1), 197-215.
- Chung, K. H. et al. (2001), *International Comparison Study on the Result of Science and Technology Foresight : Case of Korea, Japan, and Germany*, Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning.
- Gompertz, B. (1825), "On the Nature of the Function Expressive of Human Morality, and on a New Mode to Determining the Value of Life Contingencies," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 115, 513-585.
- Han, M. K., Kim, B. S., Ryu, J. Y. and Byeon, S. C. (2010), "Technology Level Evaluation Based On Technology Growth Model and Its Implication? In Case of Biochip and Biosensor Technology," *The Korea Technology Innovation Society*, 13:2, 252-281.
- Jin, J. H. and Kim, J. S. (2013) "Forecasting Natural Gas Demand Using Nonlinear Model," *The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 50 (3), 399-408.
- Kim, B. S. et al. (2009), *A Study on Dynamic Method of Estimating Technology Levels Based on the Technology Growth Model*, Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning.
- Kim, B. S. et al. (2010), *A Study on Technology Capacity and Impact of Marine Science & Technology*, KISTEP & KIMST.
- Kim, B. S. (2010), "A Case of Forecast-based Technology Evaluation and Its Implications," *International Journal of Technology and Planning*, 6:4, 317-325.
- Kim, I. H., Chung, K. H. and Chung, H. S. (1999), *A Study on the Science and Technology Level in Korea*, Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning.
- Lee, J. R. and An, S. J. (2014), *Comparative Analysis of Fishery R&D between Korean and Japan after Mass Earthquake in East Japan*, Issue Paper 2014-12, KISTEP.
- Medawar, P. B. (1940), "Growth, Growth Energy, and Ageing of the Chicken's Heart," *Proc. Soc. London*, 129, 332-355.
- Ministry of Science, ICT and Future Planning (2015), *The Framework Act On Science and Technology*, Science and Technology Policy Bureau, 02-2110-2523, enforce 2015.7.01.
- MOF (2014), *Act on the Promotion of Science and Technology for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries*, Ministry of Oceans and Fisheries.
- Panik, Michael, J. (2014), *Growth Curve Modeling : The Theory and Applications*, Preface and Chapter 3, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Park, Y. T. (2007), *Management of Technological Knowledge for Next Generation Innovation*, 2nd ed.,

- Life & Power Press.
- Ritz, C. and Strebjg, J. (2013), *DRC : Analysis of Dose-Response Curve Data*, R. Package Version, 23-96.
- Robertson, T. B. (1908), "On the Normal Rate of Growth of an Individual and Its Biochemical Significance," *Roux' Arch, Entwicklungsmech, Organismen*, 25, 581 – 614.
- Ryu, J. Y. (2012), *Dynamic Technology Level Evaluation Methodology and Forecasting based on Technology Growth Curve*, Ph. D. Dissertation, Department of Management Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST).
- Seber, G. A. F. and Wild, C. J. (1989), *Nonlinear Regression*, New York: Wiley & Sons, 325~339.
- Weibull, W. (1951), "A Statistical Distribution Function of Wide Applicability," *Journal of Applied Mechanics* 18, 291 – 297.
- Wright, S. (1926), Book Review, *Journal of American Statistical Association*, 21, 493 – 497.
- R package, version 3.1.1 (<http://www.R-project.org>)