Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering
Vol. 33, No. 4, pp.167－177, December 2010.

기술성장곡선을 활용한 생존모형 개발

오현승*† · 조진형**

*한남대학교 공과대학 산업경영공학과
**금오공과대학교 산업공학부

Development of Survivor Models Using Technological Growth Models

Hyun-Seung Oh*† · Jin-Hyung Cho**

*Department of Industrial and Management Engineering, Hannam University
**Division of Industrial Engineering, Kumoh Institute of Technology

Recent competitive and technological changes during the past decade have accelerated the need for better capital recovery methods. Competition and technology have together shortened the expected lives of property which could not have been forecasted several years ago. Since the usage of technological growth models has been prevalent in various technological forecasting environments, the various forms of growth models have become numerous. Of six such models studied, some models do significantly better than others, especially at low penetration levels in predicting future levels of growth. A set of criteria for choosing an appropriate model for technological growth models was developed. Two major characteristics of an S-shaped curve were elected which differentiate the various models; they are the skewness of the curve and underlying assumptions regarding the variance of error structure of the model.

Keywords : Technological Growth Models, Capital Recovery Methods

1. 서 론

최근의 첨단 생산시스템에서의 자동화된 설비들은 물리적 훼손보다는 기술상의 진부화나 새로운 기술과의 경쟁력이 설비교체의 가장 큰 원인이 되고 있다. Fitch[13]와 Wolf[37]는 설비교체의 원인들을 개별화시킴으로써 적절한 생존모형을 구하고자 하였다. White[35]는 경제적인 원인들을 고려함으로써 가장 경제적인 생존모형을 구할 수 있다고 예를 들어 제시하였다. Dandekar[10]는 생존모형 개발시 사용수명 뿐만 아니라 연대기적인 시간을 고려하여야 한다고 주장하였으며, 제품수명주기(Product life cycle)를 고려한 생존모형을 제안하였다.

Oh[26, 27]는 기술예측모형(Technological forecasting model)을 이용한 생존모형을 제시하고 설비의 자산 감소형태에 따른 각각의 기술예측모형을 선정하는 절차를 제안하였다. 이에 새로운 첨단설비들의 생존형태를 추정하기 위하여 기술의 성장 형태를 고려한 생존모형이 고려되기 시작하였다.

2. 기술예측모형의 개요

기술예측모형이란 산업에서 요구하는 기술의 발전이 시간에 따라 규칙적인 방식으로 변화한다는 가정 하에

논문접수일 : 2010년 11월 16일 논문수정일 : 2010년 11월 25일 게재확정일 : 2010년 12월 01일
† 교신저자 교신저자 hsoh@hnu.kr
※ 이 논문은 2010년도 한남대학교 교비학술연구 조성비 지원에 의하여 연구되었음.

시간이 경과함에 따른 기술 발전의 경향을 추정하는 수리적인 모형이다. 따라서 기술예측 방법은 직관적 예측이 아닌 일정 형식을 갖춘 여러 기술예측 기법들이 개발 되어져 왔다. Wissema[36]는 직관적인 기술예측 방법이 계량적이고 체계적인 기술예측 방법보다 예측력이 나쁘다고 단정지을 수는 없으나 계량적이며 객관적인 방법에 의한 기술예측 방법이 더 우수하다고 주장하였다. Balachandra[4]는 정성적 방법으로는 Expert opinion법과 Brain storming법이 가장 유용하고, 정량적 방법으로는 추세적외삽법(Trend extrapolation)이 가장 유용하다고 연구하였다. 추세적외삽법이란 성장곡선모형(growth curve)과 대체곡선모형(substitution curve)을 말한다.

성장곡선모형은 생물학에서 먼저 사용된 곡선으로 미국의 생물학자 Pearl[29]이 생물기관의 성장은 시간이 지남에 따라 일정한 형태를 갖는다는 사실을 발견하여 그 곡선 이름을 성장곡선이라 명명하였으며, 곡선의 형태가 S자와 유사하다고 하여 S곡선이라고도 한다. Lenz[21]는 기술의 성장형태가 식물의 성장곡선과 유사한 형태임을 발견하여 기술의 성장 또는 기술의 대체에 S곡선을 사용하기 시작하였다. 일반적인 성장곡선의 성질은 초기에는 증가율이 완만하다가 곧 급격하게 증가하여 포화상태에 이르면 다시 증가 속도가 완만해지는 것으로 이러한 성질을 갖는 모든 곡선을 성장곡선 또는 S곡선이라 한다.

2.1 대칭적 성장곡선모형(Symmetric Growth Models)

(1) Pearl growth curve

Pearl 성장곡선[28]은 일반적으로 로지스틱(logistic curve)이라고 일컬어지는 성장곡선모형의 기본식으로 표시된다. 이 곡선은 Pearl이 생물기관의 성장에 관한 연구에서 찾아낸 곡선으로 다음과 같다.

$$Y(t) = \frac{L}{1+\alpha e^{-\beta t}} \quad (1)$$

여기서 $Y(t)$ = t시점에서의 성장률,

L = 성장의 상한 값,

t = 관측시점,

$\alpha(\alpha > 0)$ = 위치 모수,

$\beta(\beta > 0)$ = 형태 모수.

위 식 (1)에서 곡선의 형태는 α와 β에 의하여 그 형태가 결정되며 β에 값에 의하여 곡선의 기울기가 결정된다. 즉 β의 값이 클수록 곡선의 기울기가 급해져 상한값에 빨리 도달한다. 이곡선은 t가 -∞에서 0의 값을 갖게 되며 +∞에서 L의 값을 갖게 되고, $Y(t) = \frac{L}{2}$에서 변곡점이 발생하여 변곡점에 대하여 대칭인 형태가 된다[27].

(2) Fisher-Pry model

기술의 대체 또는 기술 확산은 초기 단계에서 지수적 성질에 의해 기술이 대체되며 그 형태는 S곡선 형태를 따른다고 설명되며, Fisher와 Pry[12]에 의해 개발된 모형은 다음과 같이 표현된다.

$$Y(t) = \frac{1}{2}[1+\tanh a(t-t_0)] \quad (2)$$

여기서 $Y(t)$ = t시점에서의 성장률,

$\tanh$ = hyperbolic tangent 함수,

a = 초기의 연간 기술 성장의 절반,

t = 관측시점,

t_0 = 신기술이 50%까지 확산된 시점.

위 식 (2)은 다음의 대체 곡선모형으로 변환 할 수 있다.

$$\frac{Y(t)}{1-Y(t)} = e^{2a(t-t_0)} \quad (3)$$

따라서 위 식 (3)의 Fisher-Pry 모형은 Pearl 모형과 추정 과정만 다를 뿐 Pearl 모형과 같은 형태로 변형된다[27].

(3) Mansfield-Blackman model

Mansfield[22]는 신기술의 확산률 결정요인에 관한 연구에서 신기술을 채택하는 기업 수의 변화율 즉, 기술의 대체율로써 기술대체 곡선을 설명하였다. Blackman[5] 은 Mansfield의 모형을 기초로 하여 기술의 대체과정을 예측하는 모형을 만들었는데 두 모형의 근본적인 차이는 없다. 따라서 이들 두 모형을 합하여 Mansfield-Blackman 모형이라 하며 다음과 같이 표시된다.

$$\ln\left[\frac{Y(t)}{L-Y(t)}\right] = \ln\left[\frac{Y_0(t)}{L-Y_0(t)}\right] + \alpha(t-t_1) \quad (4)$$

여기서 $Y(t)$ = t시점에서의 시장 점유율,

L = 신기술이 대체할 수 있는 시장의 상한 값,

a = 대체율을 결정하는 상수,

$Y_0(t)$ = t_1시점에서의 시장 점유율

t_1 = 신기술이 등장하는 최초 시점.

만약 $\ln[\frac{Y_0(t)}{L-Y_0(t)}]$-$\alpha t_1$을 β_0로 α를 β_1으로 치환하면 위의 식은 [27],

$$\ln[\frac{Y(t)}{L-Y(t)}] = \beta_0 + \beta_1 t \tag{5}$$

로 변환시킬 수 있으며, 이는 Fisher-Pry 모형의 상한 값을 1로 간주했을 때와 같다.

(4) Bass model

Bass[6, 7]는 신제품의 채택 집단을 혁신자와 모방자 집단으로 나누어서 이들 집단들의 신기술 채택에 대하여 누적함수 보다는 시간에 대한 미분계수를 이용하여 성장곡선모형을 다음과 같이 제시하였다.

$$S(t) = pm + (q-p)Y(t) - \frac{q}{m}[Y(t)]^2 \tag{6}$$

여기서 $S(t)$ = t시점에서의 예측 판매량,
$Y(t)$ = t시점까지의 누적 판매량,
p = 기술혁신계수,
m = 잠재 수요,
q = 모방계수.

Bass 모형은 Oh[27]에 의하면 로지스틱 곡선으로 변형되어 Pearl 곡선과 같은 형태로 변형할 수 있다.

2.2 비대칭적 성장곡선모형(Non-Symmetric Growth Models)

(1) Gompertz curve

Gompertz 성장곡선[8]은 사망률에 대한 규칙을 연구하면서 고안해 낸 곡선으로 다음과 같이 표시된다.

$$Y(t) = L \cdot e^{-G \cdot e^{-kt}} \tag{7}$$

여기서 $Y(t)$ = t시점까지 달성된 기술성장 수준,
L = 기술성장 수준의 상한 값,
t = 관측시점,
G, k(G, k > 0) = 모형의 모수.

Pearl 성장곡선과 유사하게 Gompertz 곡선에서도 음의 무한대에서 0의 값을 가지며 양의 무한대에서 L의 값을 갖는다. 또한 이 곡선식을 t에 대하여 2차 미분하여 0의 값을 취하면 Pearl 성장곡선은 $\frac{L}{2}$인 시점에서 변곡점이 나타나게 되나 Gompertz 성장곡선 모형은 $Y(t) = \frac{L}{e}$을 나타내는 $t = \ln\frac{M}{k}$ 시점에서 변곡점을 갖게 된다[27].

따라서 Gompertz 곡선은 변곡점에 대하여 비대칭인 곡선 형태가 되며 변곡점까지는 급격히 증가하고 변곡점이 지난 후는 증가율이 둔화되는 특성을 갖는다. Gompertz 곡선의 장점은 로지스틱곡선이 분수로 표시되어 모수의 추정이나 수학적 조작이 불편한데 비하여 Gompertz 곡선은 분수항이 없어 수학적 조작이 간편하여 응용이 쉽고 왜도성(skewness)이 있어 현실을 비교적 잘 반영시킬 수 있다.

(2) Floyd model

Flody[14]는 산업에서의 기술 개발에 대한 성장형태를 설명하기 위하여 개선되는 산업별 기술능력의 성장경향을 예측하였다. 여기에서 기술의 향상 능력을 종속변수로 하여 추정하였다. Flody는 특정한 성능 목표를 달성하는데 시도할 수 있는 기술의 수는 제한되어 있으며 이들 중 일부가 성공한다고 가정한다. 따라서 기술능력은 가능한 모든 기술들이 발전된 이후에 도달될 수 있는 상한이 존재하여야만 Flody의 모형이 적용될 수 있으며 다음과 같다.

$$P(Y,t) = 1 - \exp[\frac{-0.6941(C_1 t + C_2)}{F + \ln(F-1) + C_2}] \tag{8}$$

여기서 $P(Y,t)$ = 시간 t에서 달성될 기술 능력의 성장 경향,
L = 기술성장 경향의 상한 값,
Y = 새로운 기술성장 경향의 수준,
Y_C = 경쟁회사의 기술성장 경향의 수준,
C_1, C_2 = 상수,
$F = (1-\frac{Y_C}{L})/(1-\frac{Y}{L})$.

Sharif and Uddin[32]은 기술대체 예측에 이용 가능한 수학적 모형을 적용하는 절차를 개발하였는데 이는 Flody의 모형을 약간 변형한 것이다. 변형된 모형의 형태는 다음과 같다.

$$\ln[\frac{Y}{L-Y}] + \frac{L}{L-Y} = C_1 + C_2 t \tag{9}$$

여기서 L = 시장점유율의 상한 값,
Y = t시점의 대체 상품의 시장 점유율,
C_1, C_2 = 상수.

위의 식 (9)은 Mansfield-Blackman 모형을 변형한 Flody 모형이다. Mansfield-Blackman의 모형에서는 시간에 관계없이 모방계수를 가정하고 있는데 비하여 Flody 모형에

서는 $\frac{L}{L-Y}$ 항은 시간이 지연되는데 대한 시간 감소 계수를 허용하기 위하여 추가되는 항이다.

(3) Sharif-Kabir model

Sharif and Kabir[30]는 다양한 조건하에서도 기술의 대체곡선을 예측하기 위한 일반화된 수학적 모형을 개발하였다. Flody 모형은 예측치를 과소하게 평가하고 있는 반면 Mansfield-Blackman 모형과 Fisher-Pry 모형은 예측치를 과대하게 평가하는 경향을 보인다. 따라서 정확한 예측치는 위에서 구한 두 극한 값들 사이에 존재하게 된다. 이에 Sharif와 Kabir는 Flody 모형과 Mansfield-Blackman 모형을 선형으로 결합하여 다음과 같은 모형을 만들었다.

$$\ln\left[\frac{Y}{L-Y}\right] + \alpha\left[\frac{L}{L-Y}\right] = C_1 + C_2 t \tag{10}$$

여기서 $\alpha = 1$이면 Flody 모형,
$\alpha = 0$이면 Mansfield-Blackman 모형,
$\alpha = 1$이고 $L = 1$이면 Fisher-Pry 모형.

위의 식 (10)에서 $\frac{L}{L-Y}$의 항은 지연요소를 의미하며 α는 0과 1사이의 값을 가질 수 있으며, 이 때 완만한 S자 형태의 곡선을 구하게 되며 α의 값에 따라 가장 최적의 예측에서부터 최악의 경우의 예측치 값을 얻게 된다.

(4) Weibull growth curve

Weibull 성장곡선[34]은 산업재의 수명분포를 예측하기 위하여 경험에 의해 발견된 분포형태이다. Weibull 분포는 그 이용 범위가 확장되어 자극과 반응시간과 같은 생물학적 현상 등에 적용되어져 왔으며, Sharif and Islam[31]은 기술예측을 위한 모형으로서 Weibull 성장곡선을 제안하였다.

$$Y(t) = \mathrm{L} - \mathrm{L} \cdot e^{[-(\frac{t}{\alpha})^{\beta}]} \tag{11}$$

여기서 $Y(t)$ = t시점에서의 성장률,
L = 기술성장의 상한 값,
$\alpha(\alpha > 0)$ = 위치 모수,
$\beta(\beta > 0)$ = 형태 모수,

기술적으로 성장하는 경우에 상한 값 L은 전체의 값보다 적거나 같은 어느 원하는 값을 갖게 된다. α와 β의 서로 다른 값에 따라 Weibull 분포의 확률밀도함수와 누적분포함수는 달라진다. α와 β의 값이 함께 곡선의 완급을 결정하게 되며 β값으로 곡선의 형태를 결정하게 된다.

3. 기술성장곡선의 분석

기술성장곡선을 기술예측에 적용하기 위해서는 어느 모형이 가장 기술예측에 적합한 모형인가를 분석하여야 한다. 기술성장곡선의 기술예측 능력은 실증적 자료에 의해 현실성이 있는 것으로 입증 받고 있지만[3, 19, 24], 이 모형이 기술의 성장과정 변화에 대한 설명과 기술성장에 관련된 인과변수에 의한 기술변화의 정보는 제공하지 못하는 것으로 평가 된다. 그러나 기술성장곡선은 예측 정확도가 높으면서도 비교적 적은 시계열 자료로 장기 예측이 가능하므로 첨단장비나 자동화 살비의 수명예측에 사용될 수 있다[20, 33]. 이러한 성장곡선 모형은 왜도성과 모수 추정 방법에 따라 선형 성장곡선 모형과 비선형 성장곡선 모형으로 구분하여 분석한다[2, 27].

3.1 선형 성장곡선 모형

(1) 선형화 된 Fisher-Pry model

Fisher-Pry 성장곡선을 선형화 하면 다음과 같이 변환된다,

$$\ln\left[\frac{Y(t)}{L - Y(t)}\right] = \beta_0 + \beta_1 t + \epsilon(t) \tag{12}$$

여기서 $\epsilon(t) \sim i.i.d.\ N(0, \sigma^2)$.

(2) 선형화 된 Gompertz curve

Gompertz 성장곡선을 선형화 하면 다음과 같이 변환된다.

$$-\ln[-\ln(\frac{Y(t)}{L})] = \beta_0 + \beta_1 t + \epsilon(t) \tag{13}$$

여기서 $\epsilon(t) \sim i.i.d.\ N(0, \sigma^2)$.

(3) 선형화 된 Weibull growth curve

Weibull 성장곡선을 선형화 하면 다음과 같이 변환된다,

$$\ln[-\ln(\frac{L-Y(t)}{L})] = \beta_0 + \beta_1 t + \epsilon(t) \tag{14}$$

여기서 $\epsilon(t) \sim i.i.d.\ N(0, \sigma^2)$.

모형 분석의 자료로 과거의 시계열 자료 [2]가 이용되며 분석절차 방법으로는 최소자승법이 가장 많이 이

용되고 있다. 이 방법은 추정된 예측치와 실측치와의 잔차(residual)들의 제곱 값이 최소가 되도록 하는 것이다. 성장곡선 모형들의 상한 값이 주어진 경우 성장곡선들은 간단히 선형화 될 수 있으며 선형화된 성장곡선은 선형 최소자승법에 의해 모수를 추정한다[15, 17].

3.2 비선형 성장곡선 모형

(1) Pearl growth curve

$$Y(t) = \frac{L}{1+\alpha e^{-\beta t}} + \epsilon(t) \tag{15}$$

여기서 $\epsilon(t) \sim i.i.d.\ N(0,\sigma^2)$.

(2) Gompertz growth curve

$$Y(t) = L \cdot e^{-G \cdot e^{-kt}} + \epsilon(t) \tag{16}$$

여기서 $\epsilon(t) \sim i.i.d.\ N(0,\sigma^2)$.

(3) Weibull growth curve

$$Y(t) = \mathrm{L} - \mathrm{L} \cdot e^{[-(\frac{t}{\alpha})^\beta]} + \epsilon(t) \tag{17}$$

여기서 $\epsilon(t) \sim i.i.d.\ N(0,\sigma^2)$.

상한 값이 미지인 경우는 과거의 시계열 자료에 의해 상한 값과 모수를 동시에 추정해야 하므로 모수 추정은 비선형 최소자승법을 이용한다[11]. 따라서 수치해석 방법인 Gauss-Newton[16] 방법 또는 Marquradt's Compromise[23] 방법 등에 의하여 추정한다.

4. 기술성장곡선의 분석 결과

최적의 기술성장곡선을 선정하기 위하여 과거 기술수준에 대한 시계열 자료를 이용하여 추정된 모수를 반영한 성장곡선 모형의 예측치와 실측치 차이인 잔차분석을 한다. 구해진 시계열 자료에 의하여 예측력이 가장 좋은 성장곡선 모형의 선정은 수정된 평균제곱오차(MEE: Mean estimate error)가 최소가 되는 모형을 선정한다[18].

$$\mathrm{MEE} = \sum_{i=1}^{N} \frac{[Y(t)-y(t)]^2}{N} \times 1000 \tag{18}$$

여기서 $Y(t)$ = 실측치,
$y(t)$ = 예측치.

4.1 Kruskal-Wallis 검정

추정된 각 성장곡선 모형에 관하여 비모수적인 Kruskal-Wallis 검정[9]을 한 결과가 <표 1>과 같다.

<표 1> Kruskal-Wallis 검정 결과

성장수준	검정치	p 값
5%	12.22	0.0318*
10%	13.08	0.0486*
25%	14.71	0.0717
50%	8.97	0.1102
75%	5.36	0.3731

* : 유의수준 5%.

검정결과 성장수준이 낮을 때는 분석된 6개의 모형 간에 차이가 있으나 성장수준이 높아질수록 각 모형 간에 차이가 없는 것으로 분석된다.

4.2 Tukey 검정

성장수준이 낮을 때는 각 모형 간에 차이가 있으므로 첨단장비나 자동화 설비의 수명예측을 위해 최선의 모형을 선정하고자 Tukey 검정[25]을 한다.

(1) 기술예측 5% 수준에서의 검정 결과

<표 2> 기술예측 5% 수준에서의 각 모형간의 Turkey 검정 결과

모 형	LFP	LGZ	LWB	PL	GZ	WB
LFP(54.26)	-	5.78	83.91	20.85	2.51	81.71
LGZ(48.47)		-	89.70 *	26.63	3.27	87.49
LWB(138.2)			-	63.07	86.42	2.20
PL(75.10)				-	23.36	60.80
GZ(51.74)					-	84.22
WB(136.0)						-

LFP : 선형화된 Fisher-Pry 모형
LGZ : 선형화된 Gompertz 모형
LWB : 선형화된 Weibull 모형
PL : Pearl 모형
GZ : Gompertz 모형
WB : Weibull 모형
* : 유의수준 5%

Tukey 검정치는 88.714 이므로 <표 2>에서 보는 바와 같이 선형화된 Weibull 모형은 선형화된 Gompertz 모형

보다 예측에 따른 오차가 크다고 할 수 있다.

(2) 기술예측 10% 수준에서의 검정 결과

<표 3> 기술예측 5% 수준에서의 각 모형간의 Turkey 검정 결과

모 형	LFP	LGZ	LWB	PL	GZ	WB
LFP(56.26)	-	20.21	22.90	23.76	23.70	27.73
LGZ(34.47)		-	43.10	43.97	3.49	47.94
LWB(79.57)			-	0.86	46.59	4.84
PL(80.43)				-	47.46	3.97
GZ(32.97)					-	51.43
WB(84.41)						-

LFP : 선형화된 Fisher-Pry 모형
LGZ : 선형화된 Gompertz 모형
LWB : 선형화된 Weibull 모형
PL : Pearl 모형
GZ : Gompertz 모형
WB : Weibull 모형
* : 유의수준 5%

Tukey 검정치는 75.31 이므로 <표 3>에서 보는 바와 같이 Kruskal-Wallis 검정과는 다르게 각 모형 간에 차이가 없는 것으로 분석되었다. 일반적인 curve fitting과 달리 기술 수준의 예측에서는 Weibull 모형과 선형화된 Weibull 모형 [1]이 가장 예측력이 낮게 나타났기 때문에 최적의 성장곡선을 추정하기 보다는 조사 된 기술성장곡선을 활용하여 특정 기술예측 모형을 선정하는 방법을 제시한다.

5. 기술성장곡선의 선정 및 프로그램 개발

어떠한 특정 기술성장곡선을 이용하여 생존모형을 선정할 때는 다음의 두 가지 관점에서 고려한다. 첫째, 주어진 자료의 일반적인 분포의 형태(Degree of skewness)를 고려하고, 둘째, 주어진 자료의 오차항의 분산 형태(Error structure)를 고려한다[2, 27].

5.1 일반적인 분포의 형태

분포의 일반적인 형태에 따른 생존모형 선정을 용이하게 하기 위하여 logistic 모형(Pearl 성장곡선 또는 선형화된 Fisher-Pry model)에 관하여 다음과 같이 logistic 선형변환을 한다.

$$L(t) \equiv \ln\left(\frac{Y(t)}{1-Y(t)}\right) \tag{19}$$

만약 주어진 자료가 logistic 모형일 경우, 식 (19)에 의한 결과는 직선으로 나타나지만 Gompertz 모형은 원점에 대하여 convex 형태로 주어진다. 반면에 Gompertz 모형은 아래와 같이 Gomperz 선형변환을 한다.

$$G(t) \equiv -\ln\{-\ln[Y(t)]\} \tag{20}$$

만약 주어진 자료가 Gompertz 모형일 경우에는, 식 (20)에 의한 결과는 직선으로 나타나지만 logistic 모형은 원점에 대하여 concave 형태로 주어진다. 따라서 주어진 자료들을 식 (19)와 식 (20)에 의하여 선형 변환하여 식 (19)에 의하여 직선 형태를 갖게 되면 logistic 모형이 선정되어야 하고, 식 (20)에 의하여 직선 형태를 갖게 되면 Gompertz 모형들이 선정되어야 한다.

5.2 오차항의 분산형태

예측오차에 의한 생존모형 선정은 부정확하므로 오차항의 형태에 따른 모형 선정 절차를 개발한다. 주어진 자료의 오차항의 형태를 관찰하기 위하여 3점 이동평균 법에 의한 의사 잔차(pseudo-residuals)를 구하기 위하여 다음과 같은 식을 이용한다.

$$R(t) \equiv Y(t) - \frac{1}{3}[Y(t-1) + Y(t) + Y(t+1)] \tag{21}$$

식 (21)에 의한 의사 잔차를 구하면 비선형 모형인 Pearl 성장곡선이나 Gompertz 성장곡선은 오차항의 형태가 시간에 따라 일정한 값을 갖게 되며, 선형화된 Fisher-Pry 성장곡선이나 선형화된 Gompertz 성장곡선은 변곡점에서 최대값을 갖는 증가 형태를 갖게 된다. 따라서 주어진 자료들의 일반적인 분포 형태가 구해지면 식 (21)에 의한 오차항의 분산 형태를 구하여 비선형 모형과 선형 모형을 구분할 수 있으므로 주어진 자료에 가장 적합한 모형을 선정할 수 있다[2].

5.3 컴퓨터 프로그램 개발

생존모형을 선정하는데 필요한 PC용 SAS 프로그램의 종류는 아래와 같으며 자세한 내용은 <부록>과 같다.

(1) TRANS.PLT : 자료의 선형화를 위한 프로그램
(2) RESIDUAL.PLT : 의사 잔차를 도식화하는 프로그램

(3) PEARL : Marquardt 방법을 이용하여 Pearl 성장곡선의 모수를 추정하는 프로그램
(4) LINFISHER : 회귀분석을 이용하여 선형 Fisher-Pry 성장곡선의 모수를 추정
(5) GOMPZ : Marquardt 방법을 이용하여 Gompertz 성장곡선의 모수를 추정
(6) LINGOMPZ : 회귀분석을 이용하여 선형 Gompertz 성장곡선의 모수를 추정

6. 결 론

유형고정자산의 생존형태에 대한 분석은 설비자산 연구와 정책입안에 매우 중요한 기초 자료로 활용된다. 이러한 중요성 때문에 미국에서는 설비자산별 폐기분포에 대한 연구가 1930년대부터 시작되었다. 그러나 우리나라에서는 설비자산별 폐기자료가 극히 제한되어 설비자산별 생존형태에 대한 실증적 연구가 미비한 상태이다.

본 연구에서는 첨단 설비자산의 생존형태를 측정하기 위하여 필요한 첨단 설비자산별 폐기자료가 확보되지 않은 현실에서 제한된 설비자산의 생존자료를 바탕으로 설비자산의 생존모형을 추정하는 방법을 제시하였고 그 절차는 다음과 같이 요약할 수 있다.

Fitting을 고려하여 주어진 자료에 가장 적합한 생존모형을 선정하는 절차는 아래와 같다. 첫째, 주어진 자료에 대하여 선형변환을 하여 logistic 선형변환식에 의해 직선으로 나타나면 Pearl 성장곡선이나 Fisher-Pry 성장모형을 선정한다. 만약 Gompertz 선형변환식에 의해 직선으로 나타나면 Gompertz 성장곡선이나 선형화된 Gompertz 성장모형을 선정한다.

둘째, 주어진 자료에 대하여 3점 이동 평균 법에 의한 오차 분석의 형태가 시간에 따라 일정한 값을 갖게 되면 Pearl 성장곡선이나 Gompertz 성장곡선을 선정하고 시간에 따라 증가하는 값을 갖는 형태를 취하면 선형화된 Fisher-Pry 성장모형이나 선형화된 Gompertz 성장모형을 선정한다.

Forecasting을 고려하여 주어진 자료에 가장 적합한 생존모형을 선정하는 절차는 아래와 같다.

첫째, 주어진 자료들을 logistic 선형변환식이나 Gompertz 선형변환식에 의해 선형변환을 하여 도식화한다. 둘째, 주어진 자료가 logistic 선형변환식에 의해 직선으로 나타나면 Pearl 성장곡선을 선정하고, Gompertz 선형변환식에 의해 직선으로 나타나면 Gompertz 성장모형을 선정한다.

참고문헌

[1] 오현승, 이한교, 김경택; "설비 생존곡선 추정을 위한 혼합형 Weibull 함수의 적용", 산업경영시스템학회지, 30(1) : 66-73, 2007.
[2] 오현승, 김종수, 이한교, 임동순, 조진형; "기술 발전에 따른 생존모형 선정", 산업경영시스템학회지, 32(4) : 184-191, 2009.
[3] Ayres, R. U.; "The Future of Technological Forecasting," *Technological Forecasting and Social Change*, 30 : 4960, 1989.
[4] Balachandra, R.; "Perceived Usefulness of Technological Forecasting Technique," *Technological Forecasting and Social Change*, 16 : 157, 1980.
[5] Blackman, A. W.; "The Market Dynamics of Technological Substitutions," *Technological Forecasting and Social Change*, 6 : 41-63, 1974.
[6] Bass, F. M.; "A New Product Growth Models for Consumer Durables," *Management Science*, 15 : 215-227, 1989.
[7] Bass, F. M., Trichy, V. K., and Dipak, C. J.; "Why the Bass Model Fits without Decision variables," *Marketing Science*, 13(3) : 203-223, 1994.
[8] Booth, H.; "Transforming Gompertz's Function for Fertility Analysis : The Development of a Standard for the Relational Gompertz Function," *Population Studies*, 38 : 495-506, 1984.
[9] Conover, W. J.; Practical Non-parametric Statistics, 2nd Edition, John Wiley and Sons, 1980.
[10] Dandekar, M.; "Investigation the Product Life Cycle Concepts : An Application to Capital Recovery, Evaluation within the Telephone Industry," Ph. D. Dissertation, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, U.S.A., 1987.
[11] Elant, R. C. and Johnson, N. L.; Survival Models and Data Analysis, New York : John Wiley and Sons, Inc., 1980.
[12] Fisher, J. C. and Pry, R. H.; "A Simple Substitution Model of Technological Change," *Technological Forecasting and Social Change*, 3 : 75-88, 1971.
[13] Fitch, J. C.; "Conceptual Framework for Forecasting the Useful Life of Industrial Property," Proceedings of the Iowa State University Regulatory Conference, Ames, Iowa, U.S.A., 1984.
[14] Flody, A. L.; "A Methodolo효 For Trend Forecasting of Figures of Merit," Edited by J.R. Bright, Englewood Cliffs, New Jersey : Prantice Hall, Inc., 1986.

[15] Goldfeld, S. M. and Quandt, R. E.; "Some Test for Homoscedasticity," *Journal of the American Statistical Association*, 60(310) : 539-547, 1965.

[16] Hartley, H. O.; "The Modified Gauss-Newton Method for Fitting Non-linear regression Function by Least Squares," *Technometrics*, 3(2) : 269-280, 1961.

[17] Hayes, J. G.; Numerical Approximation to Functions and Data, University of London, The Athlone Press, 1970.

[18] Krane, S. A.; "Analysis of Survival Data by Regression Techniques," *Technometrics*, 5 : 161-174, 1963.

[19] Lakani, H.; "Diffusion of Environment-Saving Technological Change : A Petroleum Refining Case Study," *Technological Forecasting and Social Change*, 7(1) : 33-35. 1975.

[20] Lawless, J. F.; Statistical Models and Methods for Lifetime Data, New York : John Wiley and Sons, Inc., 1982.

[21] Lenz, R. C. Jr.; Technological Forecasting Report ASD-TDR-62-114, Aeronautical Sysyems Divisions, Wright=Patterson Air Forcs Base, Ohio, 1962.

[22] Mansfield, E.; Industrial Research and Technological Innovation : An Econometric Analysis, New York; W.W. Northon and Company, Inc., 1968.

[23] Marquardt, D. W.; "An Algorithm for Least Squares Estimation of Nonlinear Parameters," *Journal of Society for Industrial and Applied Mathematics*, 11 : 431-441, 1963.

[24] Martino, J. P.; Technological Forecasting for Decision Making, Elsevier, New York, U. S. A., 1975.

[25] May, J. M.; "Extended and Corrected Tables of the Upper Percentage Points of the Studentized Range," *Biometrica*, 39 : 192-193, 1952.

[26] Oh, H. S.; "The Weibull Distribution As An Estimator of Generalized Survivor Curves," M. S. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, U. S. A., 1986.

[27] Oh, H. S.; "The Selection of Technological Forecasting Models in Life Analysis," Ph. D. Dissertation, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, U. S. A., 1988.

[28] Pearl, R.; The Biology of Population, New York ; Alfred A. Konpf. 1925.

[29] Pearl, R. and Reed, L. J.; "A Further Note on the Mathematical Theory of Population Growth," *Proceeding of the National Academy of Science*, 8 : 365-368, 1922.

[30] Sharif, M. N. and Kabir, C.; "A Generalized Model For Forecasting Technological Substitution," *Technological Forecasting and Social Change*, 18 : 353-364, 1976.

[31] Sharif, M. N. and Islam, M. N.; "The Weibull distribution as a General Model for Forecasting Technological Change," *Technological Forecasting and Social Change*, 18 : 247-256, 1980.

[32] Sharif, M. N. and Uddin, G. A.; "A Procedure for Adapting Technological Forecasting Models," *Technological Forecasting and Social Change*, 7 : 99-106. 1975.

[33] Tingyan, X.; "A Combined Growth Model for Trend Forecasts," *Technological Forecasting and Social Change*, 8 : 175-186, 1990.

[34] Weibull, W.; "A Statistical Distribution Function of Wide Applicability," *Journal of Applied Mechanics*, 18 : 293-297, 1951.

[35] White, B. E.; "Economic Forces of Retirement," Proceedings of the Iowa State University Regulatory Conference, Ames, Iowa, 1986.

[36] Wissema, J. G.; "Trends in Technology Forecasting," *R and D Management*, 12(1) : 36, 1982.

[37] Wolf, F.; "Forecasting Force of Mortality," Proceedings of the Iowa State University Regulatory Conference, Ames, Iowa, 1985.

<부 록>

1. TRANS.PLT

```
OPTIONS nodate;
OPTIONS PS = 60;
DATA mydata;
     INFILE 'a : example.dat';
     INPUT year fy;
RUN;
DATA logistic;
     SET mydata;
     IF fy > = 1.0 THEN fy = 0.99999;
     IF fy < = 0.0 THEN DELETE;
     LNlog = LOG(fy/(1.0-fy));
RUN;
PROC PRINT DATA = logistic;
TITLE 'Linear logistic plot';
RUN;
PROC PLOT DATA = logistic;
     PLOT LNlog*yea r= '*';
TITLE;
RUN;
DATA gompertz;
     SET mydata;
     IF fy > = 1.0 THEN fy = 0.99999;
     IF fy < = 0.0 THEN DELETE;
     LNgom = -LOG(LOG(1.0/fy));
RUN;
PROC PRINT DATA = gompertz;
TITLE 'Linear gompertz plot';
RUN;
PROC PLOT DATA = gompertz;
     PLOT LNgom*year = '*';
TITLE;
RUN;
```

2. RESIDUAL.PLT

```
OPTIONS nodate;
OPTIONS PS = 60;
DATA mydata;
     INFILE 'a:example.dat';
     INPUT year fy;
     lagone = LAG(fy);
     lagtwo = LAG(fy);
     differ1 = lagone-fy;
     differ2 = lagtwo-lagone;
     differ = (differ1-differ2)/3;
RUN;
PROC PLOT DATA = mydata;
     PLOT differ*year = '*';
TITLE 'Residual plot';
RUN;
```

3. PEARL

```
OPTIONS nodate;
OPTIONS PS = 60;
%LET N = 1967;
DATA mydata;
     INFILE 'a:example.dat';
     INPUT year fy;
     IF fy > = 1.0 THEN fy = 0.999999;
     IF fy < = 0.0 THEN DELETE;
     year = year-&N + 1;
RUN;
PROC NLIN BEST = 10
METHOD = MARQUARDT;
     PARMS palpha = 100.0 pbeta = 0.1;
     p1 = EXP(-pbeta*year);
     p2 = 1.0/(1.0 + palpha*p1);
     MODEL fy = p2;
          DER.palpha = -p1*p2*p2;
          DER.pbeta = palpha*year*p1*p2;
          OUTPUT OUT = pearl
                 PREDICTED = ppearl;
TITLE 'Estimation of Pearl growth curve';
RUN;
DATA compearl;
     MERGE pearl mydata;
     BY year;
     year = year+&N-1;
RUN;
PROC PRINT DATA = compearl;
     ID year fy;
     VAR ppearl;
RUN;
PROC PLOT DATA = compearl;
     PLOT fy*year = 'o'
ppearl*year = '*'/OVERLAY;
RUN;
```

4. LINFISHER

```
OPTIONS nodate;
OPTIONS PS = 60;
%LET N = 1967;
DATA mydata;
      INFILE 'a:example.dat';
      INPUT year fy;
      year = year-&N + 1;
RUN;
DATA lnfisher;
      SET mydata;
      IF fy > = 1.0 THEN fy = 0.999999;
      IF fy < = 0.0 THEN DELETE;
      Lnlog = LOG(fy/(1.0-fy));
RUN;
PROC REG DATA=lnfisher;
      ID year fy;
      MODEL Lnlog = year;
            OUTPUT OUT = fisher
                   PREDICTED = pfisher;
TITLE 'Estimation of linearized Fisher-Pryv';
RUN;
DATA comfp;
      MERGE fisher mydata;
      BY year;
      predic t= EXP(pfisher)/(1.0+EXP(pfisher));
      year = year + &N-1;
RUN;
PROC PRINT DATA = comfp;
      ID year fy;
      VAR predict;
RUN;
PROC PLOT DATA = comfp;
      PLOT fy*year = 'o'
predict*yea r = '*'/OVERLAY;
RUN;
```

5. GOMPZ

```
OPTIONS nodate;
OPTIONS PS = 60;
%LET N = 1967;
DATA mydata;
      INFILE 'a:example.dat';
      INPUT year fy;
      IF fy > =1.0 THEN fy = 0.999999;
      IF fy < = 0.0 THEN DELETE;
      year = year-&N + 1;
RUN;
PROC NLIN BEST = 10
METHOD = MARQUARDT;
      PARMS gompg = 10.0 gompk = 0.1;
      g1 = -gompk*year;
      g2 = EXP(g1);
      g3 = -gompg*g2;
      g4 = EXP(g3);
      MODEL fy = g4;
            DER.gompg = -g2*g4;
            DER.gompk = gompg*year*g2*g4;
            OUTPUT OUT = gompez
                   PREDICTED = pgompez;
TITLE 'Estimation of Gomperz growth curve';
RUN;
DATA comgompz;
      MERGE gompez mydata;
      BY year;
      year = year + &N-1;
RUN;
PROC PRINT DATA = comgompz;
      ID year fy;
      VAR pgompez;
RUN;
PROC PLOT DATA = comgompz;
      PLOT fy*year = 'o'
pgompez*year = '*'/OVERLAY;
RUN;
```

6. LINGOMPZ

```
OPTIONS nodate;
OPTIONS PS = 60;
%LET N = 1967;
DATA mydata;
      INFILE 'a:example.dat';
      INPUT year fy;
      year = year-&N + 1;
RUN;
DATA lngompez;
      SET mydata;
      IF fy > = 1.0 THEN fy = 0.999999;
      IF fy < = 0.0 THEN DELETE;
      Lngom = -LOG(LOG(1.0/fy));
```

```
RUN;
PROC REG DATA = lngompez;
     ID year fy;
     MODEL Lngom = year;
          OUTPUT OUT = gompez
               PREDICTED = pgompez;
TITLE 'Estimation of linearized Gompertz';
RUN;
DATA comgom;
     MERGE gompez mydata;
     BY year;
     predict = 1.0/EXP(EXP(-pgompez));
     year = year + &N-1;
RUN;
PROC PRINT DATA = comgom;
     ID year fy;
     VAR predict;
RUN;
PROC PLOT DATA = comgom;
     PLOT fy*year = 'O'
predict*year = '*'/OVERLAY;
RUN;
```