

국부 통계조사자료를 이용한 자산별 경제적 감가상각추정에 대한 연구

조진형*[†] · 오현승** · 이세재* · 서정열*

*국립금오공과대학교 산업시스템공학과

**한남대학교 산업경영공학과

Estimating Economic Service Life of Assets by Using National Wealth Statistic

Jin-Hyung Cho*[†] · Hyun-Seung Oh** · Sae-Jae Lee* · Jung-yul Suh*

*Dept. of Industrial & Systems Engineering, Kumoh National Institute of Technology

**Dept. of Industrial & Management Engineering, Hannam University

The purpose of computing economic depreciation value is to find valuation of assets closely in line with market prices. The valuation of industrial assets are called Engineering Valuation. The two representative techniques for such valuation are Hulten-Wyckoff Method, which estimates real value using regression equations, and T-factor Method devised at Iowa State University. The two are all empirical methods for computing service life (duration period).

In this paper, we derived the service life by empirical methods using national wealth statistics, and also by more conventional methods such as original group method and retirement method. The results from each method are compared with one another. We also computed economic service life from these results. In S. Korea where amount of asset value statistics is still insufficient, the most effective method for empirically computing economic service life turns out to be the one using national wealth statistics. In addition, we also present economic relationship between depreciation value computed by using Hulten-Wyckoff Method and depreciation value computed by using T-factor Method.

Keywords : National Wealth Statistics, Hulten-Wyckoff, T-factor, Service Life

1. 국부통계와 자본스톡의 개념

국부통계는 경제학 용어로 자본스톡(capital stock)이라 하고, 산업공학 용어로는 가치평가(valuation)이며, 특히 산업자산에 관한 가치평가를 평가공학(engineering valuation)이라 한다.

자본(capital)의 의미가 경제학에서와 경영학(회계학)에서는 서로 전혀 다르게 쓰이고 있음이 특이하다. 경영

학에서는 자본(capital, net worth)을 대차대조표(B/S)상의 대변에 위치하는 것으로 자본(capital) = 자산(assets) - 부채(liabilities)로 나타낼 수 있는 반면에, 경제학에서는 소비재와 대별되는 자본재(capital goods)를 뜻하는 것이며, 생산요소(factor of producible)로서의 자본스톡(capital stock)은 내구적(durable)이고 재생산 가능(reproducible)해야 하며, 유형(tangible)이어야 한다.

이러한 경제학적 의미에 있어서는 자본스톡을 실제로

[†] 교신저자 joy@kumoh.ac.kr

※ 금오공대 교내연구비 지원.

측정하려고 할 때는 회계학상의 정의와 분류를 이용하는데 이는 첫째, 조사대상의 기업이나 기타 조사단위가 회계의 계정과목별로 자본스톡이 분류되어 있고 둘째, 내구성(durable) 들을 정의에 따라 측정하기 위해 규정을 정할 때 일반적으로 재무제표규칙을 따르고 있기 때문이다[6-12].

따라서 자본스톡을 회계학 상으로 구분할 때는 유형고정자산(tangible fixed assets)에 해당되며, 여기에 재생산가능(reproducible)이란 것을 고려하면 유형고정자산 중 토지(land)들을 제외한 건물(building), 구축물(structure), 기계장치(machinery and equipment), 선박(ships), 차량 및 운반구(cars and delivery equipment)가 자본스톡에 해당된다고 볼 수 있다.

여기서, 형태를 가지고 있고 만질 수 있는 유형고정자본(tangible capital)과 구별되는 것으로 무형자본(intangible capital)을 말할 수 있다. 무형자본에 대한 투자는 유형자본의 질과 생산성을 높이기 위하여 이루어진다. 따라서 무형자본이 유형자본 안에 체화(embodied)되게 된다. 유형자본의 가치를 무형자본의 가치와 독립적으로 구하는 것은 매우 힘든 일이다. 무형자본에 대한 투자도 유형자본처럼 1년 이상의 수명을 가지고 있을 수 있다. 즉, 유형자본의 질을 1년이란 기간 이상 동안 향상시킬 수 있게 되는데, 무형자본의 투자가 축적되면 자본스톡을 이루게 된다. 이러한 무형자본스톡의 증가는 유형고정 자본의 질적 향상을 가늠하는 척도가 될 수 있으며, 기술진보를 간접적으로 측정하는 수단이 된다. 한편, 무형자본은 비인적 무형자본과 인적 무형자본으로 구분할 수 있으며, Kendeick(1961)은 인적자본은 그 자체를 사거나 팔 수 없다는 점이 비인적자본과 구별되는 가장 기본적인 차이라고 설명하였다.

비인적 무형자본은 생산기술이나 생산방법에 대한 지식을 향상시키기 위하여 이루어지는 지출 또는 새로운 체화나 새로운 생산 공정을 개발하기 위하여 지출되는 투자로 이어지는 자본을 말한다. 오늘날 이러한 자본에 대한 투자는 R&D 지출에 포함되어 있다.

인적 무형자본은 교육과 훈련의 증가와 건강의 향상, 안전(safety)의 강화로 소득증가의 원천이 될 수 있다. 따라서 이들에 대한 비용을 투자라고 할 수 있으며, 이러한 투자들로 이루어진 자본을 인적무형 자본이라고 한다[13].

자본스톡(capital stock)의 개념과 추계범위는 이용목적에 따라 상이하나 여기서 말하고자하는 자본 스톡의 정의는 협의의 의미로 자본스톡을 정의한 Mamalakis(1992)의 정의에 따른 것인데, 다음의 조건을 충족하는 자산을 자본으로 본다.

첫째는 생산수단(means of production)의 기준으로 생

산활동에 사용가능하며, 실제로 사용되어 일련의 서비스를 생산하여 할뿐만 아니라 소비자들에게 간접적으로 도움이 되어야 한다는 조건이고, 둘째는 생산수단(produced means of production)의 기준으로 자본 그 자체가 생산물일 뿐만 아니라 재생산 가능해야 한다는 조건이며, 셋째는 내구성(durability)의 기준으로 여러 회계기간에 걸쳐 생산을 위한 투입요소로서의 서비스를 제공해야 한다는 조건이다.

이러한 조건을 충족한 자본을 대상으로 추계되는 자본관련 통계는 크게 자본스톡 통계와 자본흐름 통계로 구분된다. 자본스톡(capital stock)은 일정 시점(이를테면, 특정 연도 말 현재)에 존재하는 자본량이고, 자본흐름(capital flow)은 일정기간 사이(이를테면, 특정 연도 1년 동안)에 자본의 변화량 내지 이동량을 나타낸다. 경제가 일정한 기간 동안 투자(=자본유량)를 통해 증가되어 축적한 자본의 양은 자본저량(capital stock)을 의미한다[6-12].

또한 자본스톡에 대비되는 개념으로 자본흐름(capital flow)이 있다.

2. 자본스톡 추계 방법

자본스톡은 총자본스톡, 순자본스톡으로 나누어 추계하고 그 개념은 다음과 같다.

2.1 총자본스톡(gross capital stock)

총자본스톡은 다음과 같이 적어도 세 가지 방법으로 추계할 수 있다.

첫째는 영구재고법(PIM : Perpetual Inventory Method)이다. 가장 보편적으로 이용되는 방법으로서 과거의 자본형성을 누계하고 내용년수가 만료된 자산의 가액을 차감하여 추계하는 방법이다. 이때 고정자본향성 및 처분예상가액(scrap values)은 당해연도가격과 기준년도 가격으로 평가된다.

둘째는 직접조사법(survey method)이다. 이 방법은 기업들이 현재 사용하고 있는 모든 자산의 역사적 가격, 즉 취득가격과 이들이 설치되거나 건설된 일시 들에 관한 자료를 수집하고, 이렇게 조사된 자산들을 당해 연도 가격이나 기준년도 가격으로 재평가하는 것이다.

셋째는 영구재고법과 직접조사법의 절충형이라고 할 수 있는 고정자산대차대조표(the balance if fixed assets) 작성방법이다.

과거 계획경제 국가들에서 기업들은 지속적으로 각자의 고정자본자산의 유출 및 유입을 나타내는 재고목록을 작성하여 정기적으로 중앙통계기관에 보고 하였고,

통계기관에서는 보고된 계수들을 합산하여 총자본스톡을 구하였다.

비록 이 국가들이 계획경제체제를 포기하였지만 이 중 일부 국가들은 여전히 고정자산대차대조표를 작성하고 있다. 기업들의 보고 내용이 정확하다면 이 방법은 이상적인 영고재고법이 될 수 있는데, 그 이유는 일반적인 영구재고법에서 사용하고 있는 추정 폐기율을 실제 폐기율로 대체할 수 있기 때문이다.

마지막으로 일부 자산의 총자본스톡은 통계기관이 입수한 자산에 대한 물가정보와 함께 자산의 수량을 기재한 행정기록 자료를 이용하여 추계할 수 있다.

행정기록 자료를 수시로 입수할 수 있는 자산들에는 자동차, 선박, 민간항공기, 주택 및 상업용 건물이 있다. 주택 및 기타 건물은 보통 자본스톡 중 가장 큰 부분을 점유한다. 주택 및 기타 건물의 스톡추계치가 행정기록에 의존하는 경우 총스톡 추계치의 오차는 상당히 축소될 수 있을 것이다[6-12].

2.2 순자본스톡(net capital stock)

순자본스톡은 자산가액을 순액으로 기록하는 기업의 대차대조표와 매우 비슷한 개념이다.

그러나 기업회계에서 사용한 순자산 가액 평가방법과 국민계정에서 이용하는 평가방법 간에는 차이가 있다. 중요한 차이점은 기업회계에서는 역사적 가치(historic prices) 평가방법을 사용하고 있는데, 이 방법은 자본스톡을 각기 다른 연도의 가격으로 평가하게 된다.

국민계정의 순자본스톡은 보통 총자본스톡에서 고정자본소모(감가상각) 누계액을 차감하여 구한다.

또한 순자본스톡은 자산의 사용년도 별 자산효율성표와 할인율을 이용하여 구한 사용년도 별 자산가격표를 사용하여 고정자본소모를 고려할 필요도 없이 직접적으로 추계할 수도 있다.

순자본스톡 추계치를 얻을 수 있는 두 가지 정보 출처들이 있다. 먼저 보험회사들은 화재나 기타 재해로 인한 각종 손해에 대비해 보험에 든 상업용 재산의 당해연도가격을 기록한다.

하지만 자산들에 대한 순자본스톡이 낮게 평가될 수 있다. 보험가액을 낮게 책정하는 일은 자동차나 선박과 같이 자산의 손실 위험도가 높은 경우에는 드문 편이다. 이런 종류의 자산에 대한 보험가액은 현실적인 순자본스톡 추계치가 될 수 있고 다른 방법으로 추계한 순자본스톡의 교차검증을 하는 데에도 이용할 수 있다.

또 하나는 한 기업의 시장가치 추정치는 주식 수에 주가를 곱하여 산출할 수 있으며, 동 기업이 소유한 유형고정자산의 순액은 여기에서 부채를 차감한 금융자산

의 가액과 토지, 귀중품 및 비생산무형자산의 시장가액을 차감하여 구할 수 있다.

문제는 이와 같은 방법은 상장된 기업부분에만 적용할 수 있으며, 또한 일부 국가에서는 이러한 상장기업의 자본스톡 비중이 극히 미미하다는 것이다. 또한 기업의 주가는 미래수익 기대치에 영향을 많이 받을 수 있는 문제점도 있다. 따라서 동 방법은 유용한 추계방법이 될 수 없다.

따라서 언급한 두 가지 방법 외 직접조사방법을 통해 총자본 스톡을 직접적으로 추계할 수는 있지만, 순자본스톡을 직접 추계하는 것은 바람직하지 않다. 왜냐하면 고정자본소모를 추계하는 방법이 일관성 있게 사용되어야 하지만 기업회계에서는 다양한 감가상각방법이 이용되고 있고, 기업회계 즉 재무회계는 감가상각이 투자회수(capital recovery)를 목적으로 한 할당과정(allocation process)에 불과하기 때문이다[6-12].

3. 고정자본소모(감가상각)

기업회계에서는 정기적으로 고정자본소모, 즉 감가상각이라고 하는 것을 보고한다. 그러나 대부분의 기업들이 이익을 자산의 역사적 가치(historic price)에 의거하여 계산하므로, 여러 연도의 가격이 적용되어 산출되게 된다. 인플레이션이 발생한 경우 역사적 가격을 이용한 감가상각액 추계는 상당한 과소계상 문제를 초래한다.

또한 대부분의 국가들은 기업들이 여러 가지 감가상각방법을 사용하는 것을 허용하고 있으므로 기업들이 보고하는 스톡과 감가상각액을 단순히 합산하여 총스톡이나 감가상각액을 추계할 수는 없다.

기업들은 종종 납세액을 최소화하는 감가상각방법을 채택하기 때문에 기업회계 보고서에서의 감가상각액은 국민계정에서의 경제적 개념의 감가상각액과 차이가 발생하게 된다. 마지막으로 많은 국가들이 “가속감가상각방법”을 투자 촉진 수단으로 사용하고 있기 때문에, 그 결과 보고되는 감가상각액은 실제의 자산가액의 하락을 정확히 반영한다고 볼 수 없다.

이러한 문제점에도 불구하고 일부 국가에서는 기업들이 보고한 감가상각액을 국민계정에 이용하고 있으나, 이러한 추계치는 SNA(system of national account : 국민계정)에서 정의한 고정자본소모의 대략적인 근사치로 볼 수 없다.

국민계정에서 고정자본소모는 총자산액에 감가상각률을 적용하여 직접적으로 구하거나, 사용년도 별 자산가격표를 이용하여 추계한 순자본스톡을 이용하여 간접적으로 구할 수 있다[6-12].

따라서 감가상각은 두 가지의 체제가 있다고 할 수 있다. 즉 투자회수를 목적으로 한 할당과정(allocation process)인 재무적 감가상각(financial depreciation)이 있고, 다른 하나는 시장가를 반영하는 경제적 감가상각(economic depreciation)이 있다. 본 연구에서는 경제적 감가상각이 주 관심사이다.

4. 순자본스톡과 감가상각

4.1 감가상각의 추계방법

1954년 Terborgh[4]의 연구이후 많은 사람들에 의해 부분적이거나 혹은 종합적으로 경제적 감가상각율의 추정에 관한 시도가 이루어져 왔다. 그러나 무엇보다도 자료의 부족으로 실증적 추정을 시도할 때에는 많은 어려움을 겪고 있다. 여기서는 이 이중 가장 널리 쓰이고 있는 Hulten and Wykoff[28, 29]의 Box-Cox 모형과 Elfal[21]와 Whelan[45]의 T-factor방법을 중점적으로 다루고자 한다.

4.2 Hulten-Wykoff 모형

Hulten and Wykoff는 경제적 감가상각의 측정 시 인플레이션을 포함하여 여러 고려사항을 수용하면서도 이들의 계량모형(econometric model)에서는 ‘레몬문제’와 생존확률문제 등을 고려치 않는 순수한 시장가격을 바탕으로 한 price-oriented 방법을 채택하고 있다. 또한 Hulten-Wykoff는 Box-Cox 모형을 이용했다[8, 28, 29.] 여기서 ‘레몬문제’란, 중고시장에 내어놓은 중고품은 소유주가 성능이 나빠거나 잦은 고장으로 말썽을 부리는 기계를 내놓기 때문에, 같은 모델의 기계를 만족스럽게 사용하고 있는 다른 소유주가 느끼는 가치는 중고시장에서 형성되는 시장가에 반영이 되지 않는다는 것이다. 그리고 생존확률문제는 특정한 유형자산의 중고가격을 자산의 폐기확률 분포를 이용하여 관측된 가격을 수정하는 것으로 예컨대 5년이 경과한 어떤 자산의 가격이 100원이고 이 자산이 5년 이내에 폐기될 확률이 20%라면, 이 자산의 5년 후 중고가격은 $0.2 \times 0 + 0.8 \times 100 = 80$ 원으로 수정 계산하는 것이다.

Hulten and Wykoff는 다음과 같은 Box-Cox 지수변화 모형을 이용하여 계량경제학적 방법으로 실질가격곡선을 추정하였다. 자산의 가격 Q_i 는 다음과 같이 결정된다.

$$Q_i^* = \alpha + \beta S_i^* + \gamma T_i^* + \epsilon_i, \text{ for } i = 1, \dots, N \quad (1)$$

$$\text{단, } Q_i^* = \frac{Q_i^{\theta_1} - 1}{\theta_1}, S_i^* = \frac{S_i^{\theta_2} - 1}{\theta_2}, T_i^* = \frac{T_i^{\theta_3} - 1}{\theta_3}$$

$$\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$$

Q_i : 자산의 가격(market transaction price of asset)

S_i : 자산의 연령(age of asset)

T_i : 시점(year)

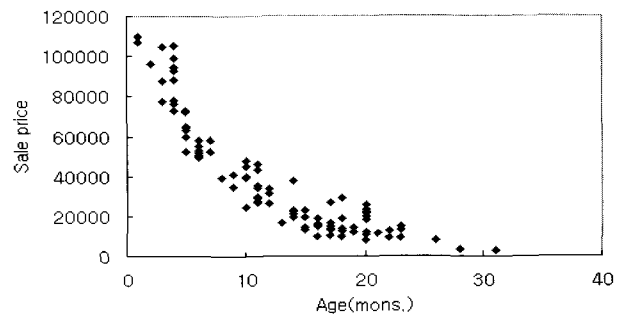
여기서 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ 는 Box-Cox형의 power family이다. 특히 $\theta = (0, 1, 1)$ 일 때(θ_1 은 0에 수렴) Box-Cox 모형은 semi-log 형태를 가진다. $\theta = (1, 1, 1)$ 이면 식 (1)은 선형식을 나타낸다. $\theta = (1, 3, 1)$ 이면 기하감소(geometric decay) 형태가 된다.

식 (1)의 회귀식에서 연령과 가격(age-price)의 관계를 살펴보면, 자산의 연령 S_i 의 계수인 β 는 자산연령에 따른 연간 가격변화율 즉, 경제적 감가상각률이 된다.

<예제> Dozer의 감가상각 측정

블도저의 102개의 데이터(<Figure 1>에 표시)를 가지고 Hulten-Wykoff의 Box-Cox모형을 이용해서 각 모수들을 추정했다.

그 결과는 <Table 1>에 수록되어 있다.



(unit : 1978 constant price(\$))

<Figure 1> Market Price of Vintage Dozer

<Table 1> Estimated Price of Vintage Dozer by Hulten-Wykoff Model

(unit : 1978 year constant price(\$))

Age	Prices	Age	Prices
1	115125.9	11	33284.1
2	100402.6	12	29623.8
3	88055.3	13	26385.0
4	77496.5	14	23515.8
5	68375.5	15	20971.1
6	60446.4	16	18712.1
7	53521.6	17	16705.1
8	47453.5	18	14920.4
9	42121.7	19	13332.4
10	37426.4	20	11918.3

4.3 T-factor 방법

T-factor 방법은 Marston[26]에 의해 개발된 감가상각율의 측정방법을 개선시킨 것이다. T-factor 방법은 T값의 측정방법에 따라 비율방법과 델타방법이 있다[21, 45].

4.3.1 비율방법

Marston[26]은 현가법에 의한 비용접근법으로 모형을 만들었다. 식 (2)는 연간 감가상각액이 균등하게 할당되고 있음을 보여준다. 즉, 식 (2)는 연간 운영수익(operation return)이 일정하다는 가정을 나타내고 있다.

$$V_x = (V_{new} - V_s) \times \frac{(1+i)^N - (1+i)^x}{(1+i)^N - 1} + V_s \quad (2)$$

- V_x : x 년 경과 후의 자산가치
- V_{new} : 자산의 취득가
- V_s : 잔존가
- i : 연간 할인율
- N : 자산의 내용년수(probable life of the unit in years)
- x : 자산의 경과년수(age)

이에 반해 T-factor방법에서는 자산의 시간경과에 따라 물리적 효율의 감소와 함께 해당자산으로 인해 발생하는 운영수익도 감소한다는 사실을 고려한 모형이다. 운영수익이 일정하다는 가정을, 시간의 경과에 따라 운영수익이 감소한다는 가정으로 변화시킨 것인데, 그 운영수익의 감소율을 식 (3)과 같이 모수 T를 사용하여 추정하는 것이다.

T-factor는 다음과 같이 정의된다[18, 19, 35, 45].

$$R_x = R_1 \frac{T^{N-x} - T^{N-1}}{T^{N-1}} \quad (3)$$

여기서 추정된 T의 값을 사용하여 식 (2)의 $\frac{(1+i)^N - (1+i)^x}{(1+i)^N - 1}$ 에 해당되는 계수 C'_x 을 만들면 식 (4)와 같다.

$$C'_x = \frac{q^{N-x-1}(T+iT^{x-N}) - q^{-1}(T+i) - q^{N-x} + 1}{q^{N-x-1}(T+iT^{N-x}) - q^{-1-x}(T+i) - q^{N-x} + q^{-x}} \quad (4)$$

- $q = i + 1$
- R_x : $(x-1)$ 년과 x 년 동안의 1년간 운영수익(세금 부과 후)
- T : 운영수익의 감소분을 나타내는 progression rate ($0 < T < \infty$)

그리고 자산의 x 년 경과 시 자산의 가치인 V_x 의 계산식은 다음과 같다.

$$V_x = V_{new} [C'_x(1-S) + S\{C'_x(1-(P/F, i\%, N)) + (P/F, i\%, N-x)\}] \quad (5)$$

- S : 잔존비율 V_x/V_{new}
- C'_x : x 년 경과 시 수정된 조건요소백분율 (modified condition present factor at age x)

4.3.2 델타방법

델타방법 사용하는 경우 T-factor는 다음과 같다.

$$R_x = G - K - P_x \quad (6)$$

- G : 연간 총수익(annual gross revenue)
- K : 연간 총비용(the sum of the annual costs for a given year)
- P_x : x 년의 측정 가능한 운영비용(measurable operating costs)
- R_x : x 년의 운영수익(operation return)

식 (6)으로부터 델타(차이)에 의한 T값은 다음의 식 (7)으로부터 구할 수 있다.

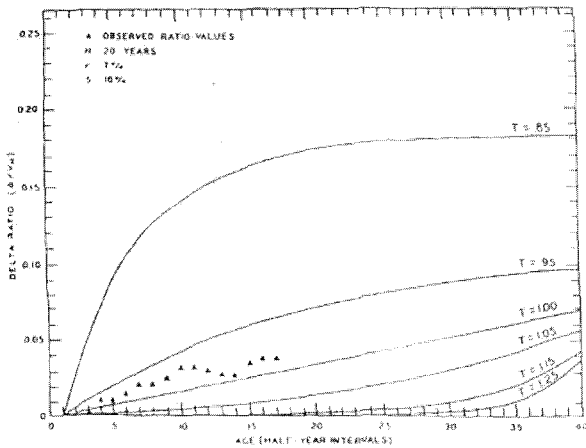
$$R_1 - R_x = \Delta = R_1 - R_1 \frac{T^{N-x} - T^{x-1}}{T^{N-1}} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta}{V_{new}} = \frac{(q^N - S)(T^{x-1} - 1)(T - q)(i)}{T^N(Tq^{N-T} - q^{N+1}) + (iq^N)} \quad (8)$$

- i : 실질 연간 할인율
- q : $(1+i)$
- T : T-factor($0 < T < \infty$)
- x : 자산의 경과년수
- V_{new} : 설비의 신품 취득가
- R_1 : 첫 해의 운영수익

T의 값을 식 (7)에 의해 시행착오법으로 추정할 수 있으나 $\Delta(R_x - R_1)$ 의 값은 경우마다 값이 제각각이므로 델타비율(Δ/V_{new})를 일반화하면 식 (8)과 같다. 그리고 T값은 Whelan[45]에 의해 정리된 표준곡선에 의해 추정할 수 있다. 따라서 이 표준곡선을 사용하면 <Figure 2>에서 보는 바와 같이 불도저의 T추정치는 0.96~0.98 정도다.

델타방법도 T값 추정 이후의 절차는 비율방법과 같이 식 (4)와 식 (5)에 의해 경과된 설비의 가치(V_x)를 추정할 수 있다.



<Figure 2> 표준곡선

<예제> Dozer의 감가상각추정

1978년도 산 불도저의 신품가격은 \$165,000이다. 할인은 7%이다. 내용년수는 20년으로 산정했다[45]. 데이터는 앞의 2)에서 사용한 <Figure 1>의 데이터를 사용했다. T-factor 비율방법에서는 T값을 식 (3)에 의해 시행착오 방법으로 추정한다. 추정된 값은 0.91이다. $\hat{T}=0.91$ 을 식 (4)와 식 (5)를 이용하여 산정한 불도저의 사용년도에 따른 연도별 불도저의 중고가치는 <Table 2>에 수록되어 있다.

<Table 2> Estimated Price of Vintage Dozer by Ratio Method of T-factor

(unit : 1978 year constant price(\$))

age	Prices	age	Prices
1	145474	11	34213
2	127878	12	29183
3	112050	13	24969
4	97844	14	21522
5	85129	15	18800
6	73783	16	16770
7	63702	17	15398
8	54785	18	15250
9	46950	19	15100
10	40116	20	15000

4.4 Box-Cox(Hulten-Wykoff) 모형과 T-factor 방법의 비교

T-factor 방법과 Box-Cox 모형에 의한 회귀방법에 의한 분석방법은 기업의 내부와 외부자료의 사용이라는 관점에서 출발부터 다르다. T-factor 방법은 T값의 추정을 내부 운영수익으로 구하고, 할인율도 기업내부에서

정한다. 그와 반면에 Box-Cox 모형은 기업내부의 자료나 임의로 정해야 하는 할인율과 같은 가정 설정도 없이 순수하게 시장가에 의존하고 있다[18, 19, 35, 45].

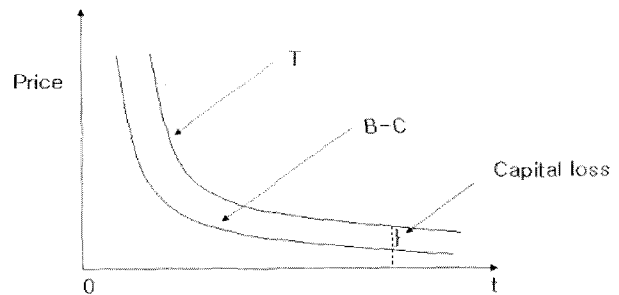
두 모형의 감가상각률을 비교하면 다음과 같은 결과를 도출할 수 있다.

4.4.1 Box-Cox 모형에 의한 감가상각률(B-C)과 T-factor에 의한 감가상각률(T)이 같은 경우

두 모형의 감가상각률이 동일하다는 것은 기업에서 투자분석 시 채택한 할인율이 시장의 균형점(equilibrium)에서 형성된 할인율과 같다는 것을 뜻한다. 이는 해당 설비에 대한 기업의 투자행위 및 운영이 시장원리에 부합한다고 볼 수 있다.

4.4.2 B-C가 T보다 큰 경우

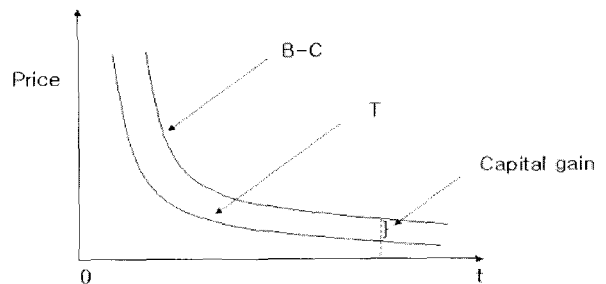
이 경우는 아래 <Figure 3>에 있는 바와 같이, 설비의 수익률(rate of return)이 시장에서 형성한 할인율보다 낮다는 것이다.



<Figure 3> Comparison between two Vintage Asset Price (capital loss)

4.4.3 B-C가 T보다 작은 경우

<Figure 4>에서와 같이 이 설비는 기업의 수익률이 할인율보다 높다. 즉 이 설비의 경제효율성은 타 설비(자산)에 비해 높다. 이 설비가 운용되는 산업분야들은 타 산업분야에 비해 더 많은 성장을 했을 것이다.



<Figure 4> Comparison between two Vintage Asset Price (capital loss)

<예제> 두 모형 결과의 비교

앞에서 분석된 <Table 1>과 <Table 2>는 Box-Cox 모형과 T-factor 모형에 의한 불도저의 중고자산가치의 추정치다. 두 방법의 차이를 알아보기 위하여 두 모형에 대한 대응치 차의 검정을 하기 위하여 다음과 같이 t-검정을 하였다.

단, 대응치의 차이는 <Figure 3>에서의 곡선 B-C와 T와의 차이이기도 하다((B-C) - T).

$$\begin{cases} H_0: \delta = 0 \\ H_1: \delta \neq 0 \end{cases}$$

검정결과 $t_0 = -3.2364$ ($P=0.00043$)이므로 두 추정치는 차이가 있고 감가상각이 다르다고 볼 수 있다. 특히 t값이 마이너스인 것은 시장가격을 사용한 Box-Cox 모형의 감가상각률 추정치가 더 작다는 것을 나타낸다. 즉, 불도저에 대한 투자행위 및 운영이 <Figure 3>와 같이 양도손실(capital loss)을 나타낸다고 할 수 있다. 할인율 7%도 시장균형점의 수익률보다 낮다고 할 수 있다.

5. T-factor 방법과 경제적 내용년수

T-factor 방법은 경제적 내용년수(average service life : ASL)를 바탕으로 경제적 감가상각의 추정이 이루어진다. 다시 말하면 경제적 내용년수의 산정은 자산의 폐기에 관한 자료에 의해 작성된다. 산업자산이 폐기되는 원인은 여러 가지가 있을 수 있으나 다음 원인 중 하나 또는 복합적인 원인에 의해 발생된다[14].

- 첫째, 물리적 훼손(wear and tear from use)
- 둘째, 기술상의 변화(technological obsolescence)
- 셋째, 경영상의 변화(management policy)

이와 같은 여러 원인으로 산업자산은 계속하여 사용할 수 없는데 이들의 수명을 정확히 추정한다는 것은 감가상각률 측정이나 경제적 내용년수 측정을 위하여 대단히 중요하다.

산업자산의 수명을 추정하기 위한 수명분석 과정은 크게 설비수명분석(life analysis) 과정과 설비수명추정(life estimation) 과정으로 구분된다. 설비수명분석 과정이란 해당 자산의 폐기 상황에 대한 사실적 자료를 분석하여 자산가치 감소의 특성을 수학적으로 또는 도식적으로 측정하는 기법이다. 설비수명분석 과정의 목적은 자산의 미래 폐기 형태를 예측할 수 있는데 필요한 정보를 제공하는 것이다. 설비수명추정 과정이란 설비수명분석에 의하여 구해진 결과를 이용하여 경제적인 추세, 기

술상의 변화 정도, 경영상의 변화 등을 고려하여 산업자산의 정확한 미래 폐기 형태를 추정한다. 이러한 설비수명분석 과정은 산업자산의 폐기 형태에 따른 연도별 또는 나이별 자료를 알 수 있을 때는 보험적 방법을 사용하고 연도별 자료가 주어지지 않을 때는 비보험적 방법을 사용한다.

5.1 비보험적 방법

비보험적 방법으로는 Simulated Plant Record(SPR) 법, Computed Mortality(CM) 법, Turnover 방법이 사용된다[35]. SPR법이란 산업자산의 연도별 폐기 자료가 주어지지 않을 경우, Iowa형 생존곡선(Iowa type survivor curve)을 이용하여 산업자산의 생존모형을 임의적으로 추정한다. White[47]는 산업자산의 잔존가치와 기간별 감손율을 이용하여 설비자산의 생존모형을 추정하였다. CM법[49]이란 산업자산의 생존모형이 부분적으로 파악되지 않을 때 이를 보충하여 완전한 생존모형을 추정하는 것을 말한다. Turnover 방법[48]은 산업자산의 연간 폐기율(annual retirements), 연말 잔존액(annual balances), 연간 구입액(annual additions)을 이용하여 산업자산의 생존모형을 추정한다. 즉, 산업자산들의 설치와 폐기가 이루어지며 일정수를 유지할 때까지의 자산의 일회전 기간을 기준으로 자산의 수명을 추정하는 방법이다. 이러한 Nonactuarial 방법에 의하여 산업자산의 생존모형이 추정되고 평균 사용년수(ASL : Average Service Life)와 경제적 감가상각률이 구해진다. 그러나 Nonactuarial 방법은 산업자산의 설치와 폐기에 대한 연도별 자료가 주어지지 않았을 경우에 사용하는 차선의 방법이라 할 수 있다.

5.2 보험적 방법

정확한 산업자산의 생존모형을 추정하기 위해서는 보험적 방법을 사용하여야 한다. 산업자산의 생존형태는 수명표(life table)로 집약될 수 있으며 이를 위해서는 Original group 방법, Composite original group 방법, Multiple original group 법, Annual rate 방법(Retirement rate 법), Individual unit 법 등이 사용된다.

5.2.1 Original Group(OG) 법

이 방법은 연도별 폐기율을 구하고 이를 이용하여 생존곡선을 구하는 방법으로, 전체 초기 설치대수가 폐기될 때까지의 자료가 완벽하지 못할 경우에는 토막곡선이 얻어진다.

5.2.2 Retirement(RR) 법

RR법은 OG법이 각 설치 년도의 설비를 시간의 경과

에 따라 생존율을 구하는 것과는 달리 각기 다른 다수의 설치년도 설비 폐기자료(고루)를 이용하여 폐기율(Retirement rate)을 만들고 이를 이용하여 생존율을 구하는 방법이다. 폐기율(RR)은 다음과 같이 구한다.

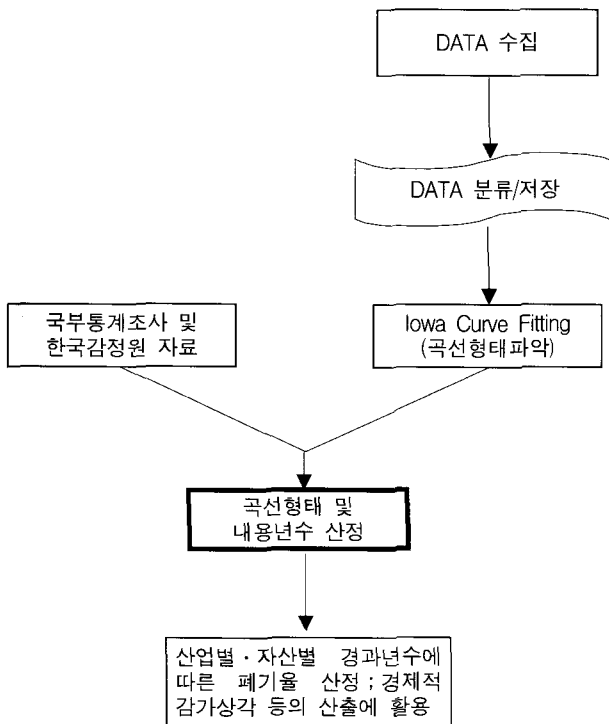
$$RR = \frac{\text{property retired during the } x\text{th age interval}}{\text{property surviving at the beginning of the } x\text{th age interval}}$$

이에 근거한 생존율(Survival rate)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Survival rate} &= 1 - \text{retirement rate} \\ &= \frac{\text{property retired during the } x\text{th age interval}}{\text{property surviving at the beginning of the } x\text{th age interval}} \end{aligned}$$

다수의 동종의 설비(Vintage group property)는 사용기간이 경과함에 따라 폐기되는 설비가 존재하게 된다. 이 폐기되는 설비 외에 계속 사용되는 설비의 생존율을, 즉 초기의 100%부터 말기의 0%까지의 과정을 시간에 따라 곡선으로 표시한 것을 생존곡선(Survivor curve)이라 하며 설비의 종류에 따라 다양한 생존곡선을 갖게 된다(좀 더 상세한 사항에 대해서는 참고문헌[8]을 참조하라).

6. 제약된 조건 하에서 경제적 내용년수의 산출(국가전체의 경우)



<Figure 5> 경제적 내용년수(ASL) 산출법

우리나라는 산업화의 역사가 짧아서 우리나라 기업의 역사가 일천하기 때문에 50년 정도의 수명을 가지는 설비/자산에 대한 data는 충분할 수가 없다(충분한 data는 평균내용년수의 2배 이상이 필요함). 따라서 경제적 내용년수(ASL) 산출법은 <Figure 5>의 flowchart에 따라 이루어진다[8].

6.1 국부통계자료에 의한 내용년수 추정

- (1) 국부통계조사 결과로부터 주어진 자산집단 A에 속한 자산들의 취득연도를 파악한다.
- (2) 그러면 국부통계 조사시점을 기준으로 각 자산이 생존해온 기간을 계산할 수 있다.
- (3) 그 다음 누적 생존기간 별로 그에 해당하는 각 자산가치를 합하여 그 총합을 구한다. 가령 어떤 자산 a가 국부통계 조사시점에 3년을 생존해왔으면 a의 자산가치를 0, 1, 2, 3년도 별 생존자산가치 총합에 더하는 것이다.
- (4) 이렇게 하여 가장 오래된 자산부터 가장 최근의 자산(0년도)까지 해당되는 자산가치의 합을 각각 구한다. 이 결과로 만들어진 그래프는 일종의 감소하는 곡선모양이 된다.

이 방법의 문제점은 국부통계조사시점 이전에 폐기된 자산의 기록이 반영되지 않아 정확성을 떨어뜨릴 수 있다는 것이다. 그러나 이 방법은 전반적인 생존곡선모양을 검정하는데 자주 쓰이고 있다.

6.2 작업의 제약사항

- (1) 우리나라 기업의 역사가 일천하기 때문에 50년 정도의 수명을 가지는 건물·구축물에 대한 data는 충분할 수가 없다(충분한 data는 평균내용년수의 2배 이상이 필요함). 따라서 본 현장연구에서는 폐기 건축물의 폐기 유형만 파악할 뿐 내용년수는 국부 통계와 한국감정원[9]의 내용년수를 적용하였다.
- (2) 차량운반구의 경우 상식에 어긋난 폐기자산(예를 들면, 2년 미만에서 폐기)에 대해서는 사고에 의한 파괴 등 보다 충분한 정보에 의해 처리되어야 하는데 이런 정보는 획득하지 못했다. 이 때문에 자산의 내용년수 추계가 지나치게 짧게 나올 수 있다.
- (3) 한국은행 총고정자본형성 자료는 자산분류로 건물·기타구축물·운수장비·기계류로 되어있고, 산업별로는 자산별 자료를 산업별 비중에 따라서 강제 배분하여 작성되고 있는 실정이다. 따라서 자산별·산업별 매트릭스 자료가 불가능하다. 따라서 본 연

구에서는 자산별 분류에만 국한하여 폐기율을 구하였다.

- (4) 기업을 대상으로 자료를 수집했기 때문에 건축물의 교각 등 주요 항목은 자료수집이 불가능했다. 건물(철근·철골)의 결과를 원용하기로 했다.
- (5) 선박(자료 수: 11개)과 공구기구 및 비품(학교 등 샘플링 대상이 편협하게 되어있음)은 분석에서 제외 했다.
- (6) 본 연구는 총고정자본형성 자료의 제약성 때문에 산업별은 분류치 못하고, 자산별 분류만 가능하여 건물·건축물·기계장치·차량운반구로 자산 분류하여 폐기율을 산정하였다[6].

6.3 폐기율법에 의한 자산별 Iowa곡선과 ASL의 추정결과

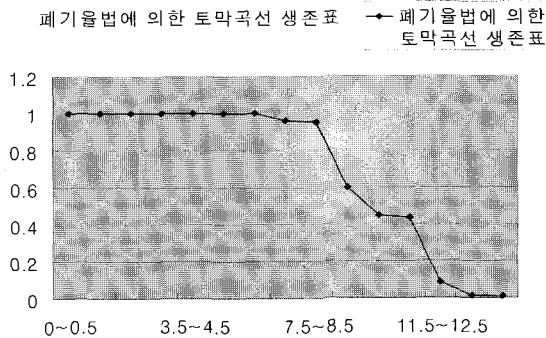
<Table 3>국부통계에 기초한 자산들의 ASL

자산종류	도출된 IOWA 곡선	ASL	사용된 자료크기
건물	R_3	50년	138
건축물	R_3	30년	106
기계장치	L_3	10년	1,338
차량운반구	S_3	8년	1,993

7. 경제적 내용연수 평가(개별기업의 경우) C제과 경제적 내용연수 계산

폐기 자료(vintage자료)를 바탕으로 폐기율법에 의해 토막곡선을 구했다.

<Figure 6> Iowa Type curve L_5 를 활용하여 목측법에 의해 경제적 평균 내용연수(Average Service Life)가 11.3년이다. 그러나 11.3년은 폐기된 자산의 경제적 내용연수이므로 현재 존재하고 있는 설비의 경제적 내용연수는 ASL의 Probable life가 된다.



<Figure 6> C제과 토막곡선 생존표

C제과가 보유하고 있는 기계설비 중 취득년도의 식별이 가능한 data의 빈도 분포는 <Table 4>와 같다. <Table 4>의 빈도를 가중치로 하여 현재 사용 중인 설비의 경제적 내용연수를 <Table 4>의 3, 4열의 계산 결과에 의해 경제적 평균 내용연수가 13.38610년이 된다.

<Table 4> 현재 사용 중인 기계 설비의 경제적 내용연수 산정

취득년도	빈도	기대나이	빈도 × 기대나이
79	2	21.44202	42.88404
80	29	20.42368	592.28672
81	4	19.41447	77.65788
82	22	18.41637	405.16014
83	3	17.92246	53.76738
84	6	16.94773	101.68638
85	4	15.99524	63.98096
86	0	15.06449	0.00000
87	25	14.59260	364.81500
88	1	13.58819	13.58819
89	0	12.62336	0.00000
90	27	11.94244	322.44588
91	33	11.57714	382.04562
92	10	11.36532	113.65320
93	29	11.33343	328.66947
94	22	11.30300	248.66600
95	26	11.30000	293.80000
96	30	11.30000	339.00000
97	37	11.30000	418.10000
98	4	11.30000	45.20000
99	2	11.30000	22.60000
총계	316		4230.00686
			평균연수 : 13.38610

본 연구에서는, 국부통계 Tape 1977, 1987, 1997의 3개 국부통계 Tape에 의해 <Table 5>, <Table 6>, <Table 7>로 빈도분석도 하였다. 이를 복합적 그림으로 나타내면 <Figure 7>과 같이 되는데, 그림에서 보는 바와 같이 직관적 판단에 의해서도 최근 1997의 자료는 설비의 내용연수가 과거에 비해 길어지고 있는 추세를 판별할 수 있다.

RR법에 결과는 약 11년이며, 사용 중인 설비의 Probable Life는 13.4년이다. 1977년 국부통계와 1987년 국부통계는 조사시점설비의 최대나이(age)가 20년 미만이지만 1997년의 국부통계에서는 30년 정도가 된다. 이는 RR법에 의한 L_5 단지 통계청공통조사에서 나온 L_3 곡선을 사용하던지 ASL은 13~14년에 가깝다는 추정을 할 수 있다. 그러므로 C제과의 설비의 경제적 평균 내용연

수는 13으로 보는 것이 타당함을 알 수 있다.

취득년도가 불명확한 처분자산이 많아서 사용 중인 설비의 data를 생존곡선의 stub curve 계산에 삽입하지 못했다. 이는 충분한 data로서 추정에 의한 객관성을 본 연구에서는 완벽하게 부여하지 못한다는 한계를 가지고 있다.

<Table 5> 기업은행 77년도 국부통계 <Table 6> 산업은행 87년도 국부통계

빵, 과자류 제조설비(123119)			빵, 과자류 제조설비(123118)		
취득 년도	빈도 수	누적 대수	취득 년도	빈도 수	누적 대수
60	5	5	70	26	26
65	2	7	75	15	41
66	3	10	76	6	47
67	3	13	77	7	54
68	11	24	78	6	60
69	5	29	79	14	74
70	18	67	80	10	84
71	26	93	81	22	106
72	31	124	82	21	127
73	32	156	83	25	152
74	26	182	84	42	194
75	45	227	85	37	231
76	12	239	86	35	266
77	36	275	87	45	311

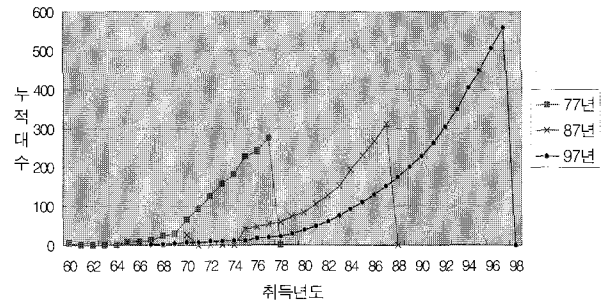
<Table 7> 97년 기준 국부통계

취득 년도	빈도 수	누적 대수	취득 년도	빈도 수	누적 대수
67	2	2	82	12	61
68	1	3	83	15	76
69	2	15	84	16	92
70	2	17	85	18	110
71	1	28	86	21	131
72	2	10	87	20	151
73	1	11	88	23	174
74	1	12	89	27	201
75	1	13	90	26	227
76	3	16	91	34	261
77	3	19	92	42	303
78	3	21	93	45	348
79	8	29	94	55	403
80	9	38	95	44	447
81	11	49	96	58	505
			97	54	559

(승수제외)

빵, 과자류 제조설비(161514)

국부자료(77년, 87년, 97년)



<Figure 7> 국부자료

8. 결 론

우리나라에서는 경제적 내용년수(ASL)를 산정하기 위한 Iowa Curve작성에 필요한 자료가 충분치 못하다. 이런 “제약적” 상황에서는 자산이 대분류된 경우든 소분류된 경우든 실제 데이터(field data)와 함께 국부통계자료의 참고적 병행방법이 매우 유용함을 경험적으로 입증하고 있다.

자산의 탄생과 소멸(birth and death)이 기록된 Vintage 자료를 추적하고 이에 대해 초기그룹(OG)법과 폐기율(RR)법을 적용하여 경제적 내용년수를 산정하는 작업이 계속적으로 이루어져야 한다.

이러한 Vintage 자료의 추적은 비단 T-factor 방법에만 필요한 것이 아니다. Hulten-Wyckoff 모델에 의한 경제적 감가상각의 추정에도 필수적인 것이다. 앞으로 이에 관련된 연구와 작업이 계속되어야 한다.

한편, 우리나라의 국부의 규모가 너무 방대해져서 직접법으로 인한 국부조사가 힘들어지는 관계로 1997년 이후 국부통계조사는 영구재고법(PIM)에 의한 간접조사방법이 직접조사방법을 대체하려고 하고 있다. 이러한 PIM 방법에 의한 자산의 Vintage자료 추적은 필수적이다.

참고문헌

- [1] 통계청; 광공업센서스, 각 년도.
- [2] 통계청; 광공업통계조사보고서, 각 년도.
- [3] 통계청; 국부통계조사보고서, 1968, 1977, 1987, 1997.
- [4] 김재원, 조진형, 김용섭; “한국제조업의 산업별·규모별 자본구조”, 한국개발연구원, 1984.
- [5] 서재환; “우리나라의 자본소득 추계기법에 관한 고찰”, 통계청 경제통계국 통계분석과(미출간 내부자료), 2000.
- [6] 오현승, 조진형; “국부통계간접추계 기법개발 및

- 자산"에서 '유형고정자산의 경제적 내용년수 산정', 서울대학교 경제연구소, 2000.
- [7] 조진형; 자본스톡의 기업규모별 시계열 추계에 관한 고찰, 금오공과대학교 논문집, 4, 1983.
- [8] 조진형, "경제적 감가상각의 측정방법 및 활용에 관한 연구," 한양대학교 대학원, 박사학위논문, 1996.
- [9] 조진형, 오현승; "유형 고정 자산의 경제적 내용년수 산정에 관한 연구", 한국 감정원 감정 평가 연구소, 1997.
- [10] 조진형, 오현승; "제과업의 유형고정자산(설비)의 경제적 내용년수 산정", C제과, 금오공대 지역산업경영연구소, 2000.
- [11] 조진형, 오현승; "반도체 제조 기계/설비의 경제적 내용년수 산정", D반도체, 금오공대 지역산업경영연구소, 2005.
- [12] 조진형, 오현승; "석유화학공업의 유형고정자산의 경제적 내용년수 산정", C화학, 금오공대 지역산업경영연구소, 2006.
- [13] 한국은행, 국민계정해설, 1991.
- [14] American Gas Association & Edison Electric Institute, An Appraisal of Methods For Estimating Service Lives of Utility Properties, AGA & EEI, 1942.
- [15] 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.
- [16] Couch, F. V. B, Jr.; "Classification of Type O Retirement Characteristics of Industrial Property," Unpublished M.S. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1957.
- [17] Cowles, H. A.; "Prediction of Mortality Characteristics of Industrial Property Groups," Unpublished Ph.D. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1957.
- [18] Cowles, H. and Elfar, A.; "Valuations of Industrial Property : A Proposed Model," *Engineering Economist*, 23 (3), 1978.
- [19] Cowles, H. and Marston, M., "Estimation of Declining Operation Returns," *Engineering Economist*, 31(2), 1986.
- [20] Dandekar, M., "Investigation the Product Life Cycle Concepts : An Application to Capital Recovery", Evaluation within the Telephone Industry, Unpublished Ph.D. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1987.
- [21] Elfar, A., "Valuations of Machinery and Equipment for Industrial Properties," Ph. D dissertation (unpublished), Iowa State University, 1976.
- [22] Fisher, J. C. and Pry, R. H.; "A Simple Substitution Model of Technological Change," *Technological Forecasting and Social Change*, 3 : 75-88, 1971.
- [23] Fitch, W. C., "Conceptual Framework for Forecasting the Useful Life of Industrial Property," Proceedings of the Iowa State University Regulatory Conference, Ames, Iowa, 1984.
- [24] Jones, P., Zydiak and Hopp, W.; "Capital Asset Valuation and Depreciation for Stochastically Deteriorating Equipment," *Engineering Economist*, 38(1), 1992.
- [25] Henderson, A. J.; "The Weibull Distribution and Industrial Property Mortality Experience," Unpublished M.S. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1965.
- [26] Henderson, A. J.; "Actuarial Methods for Estimating Mortality Parameters of Industrial Property," Unpublished Ph.D. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1968.
- [27] Hoover, H. M.; "Industrial Property Life Analysis with an Analog Computer," Unpublished M.S. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1967.
- [28] Hulten, C. and Wykoff, F., "Economic Depreciation and the Taxation of Structures in the United States Manufacturing Industries : An Empirical Analysis, The Measurement of Capital," edited by D. Usher, The University of Chicago Press, 1980.
- [29] Hulten C. (editor), Depression, Inflation and Taxation of Income from Capital, The Urban Institute Press, 1981.
- [30] Jenson, S. D.; "An Investigation of the Simulated Plant Record (SPR) Balances Life Analysis Model," Unpublished Ph.D. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1983.
- [31] Kateregga, K. A.; "Technological Forecasting Models in Capital Recovery," Unpublished Ph.D. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1987.
- [32] Kimball, B. F.; "A System of Life Tables for Physical Property Based on the Truncated Normal Distribution," *Econometrica*, 15 : 342-360, 1947.
- [33] Krane, S. A., "Analysis of Survival Data by Regression Techniques," *Technometrics*, 5 : 161-174, 1963.
- [34] Lamp, G. E.; "Dispersion Effects in Industrial Property Life Analysis," Unpublished Ph.D. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa,

- 1968.
- [35] Marston, A., Winfrey, R., and Hemstead, J. C.; "Engineering Valuation and Depreciation," Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1979.
- [36] Nichols, R. L.; "The Moment-Ratio Method of Analyzing Industrial Property Experience," Unpublished M.S. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1961.
- [37] Ocker, A. C.; "Life Cycle Approach to Depreciation Analysis," Proceedings of the Iowa State University Regulatory Conference, Ames, Iowa, 1983.
- [38] Oh, H. S., "The Selection of Growth in Technological Forecasting," *Journal of Korean OR/MS Society*, 16(1) : 120-134, 1991.
- [39] Oh, H. S.; "The Selection of Technological Forecasting Models in Life Analysis," Unpublished Ph.D. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1988.
- [40] Oh, H. S., and Moon, G. J.; "A Comparison of Technological Growth Models," *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 22(2) : 51-68, 1994.
- [41] Samuelson, P.; *Economics*, 9th McGraw-Hill, 1973.
- [42] Scigliano, J. M.; "An Evaluation of the Weibull Distribution as Estimation Industrial Property Mortality," Unpublished M.S. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1965.
- [43] Usher, D., ed.; "The Measurement of Capital," The University of Chicago Press, 1981.
- [44] Ward, H.; "The Measurement of Capital," OECD, 1976.
- [45] Whelan, M.; "The Estimation of Declining Operation Returns for Industry Property," Ph. D dissertation(unpublished), Iowa State Univ., 1981.
- [46] White, B. E.; "Economic Forces of Retirement," Proceedings of the Iowa State University Regulatory Conference, Ames, Iowa, 1986.
- [47] White, R. E.; "The Multivariate Normal Distribution and the Simulated Plant Record Method of Life Analysis," Unpublished M.S. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1968.
- [48] Winfrey, R.; "Statistical Analysis of Industrial Property Retirement," Revised edition : ERI Bulletin 125, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1967.
- [49] Winfrey, R. and Kurtz, E. B.; "Life Characteristics of Physical Property," ERI Bulletin 103, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1931.
- [50] Wolf, F.; "Forecasting Force of Mortality," Proceedings of the Iowa State University Regulatory Conference, Ames, Iowa, 1985.