

경제적 LCC를 위한 생산설비의 사용년수에 관한 연구†

유 일 근* · 박 원 준*

A Study of Determination on Usage Life of Production Facilities for Economic LCC †

Ilgeon Yoo* · Wonjun Park*

Abstract

This paper studies the economic replacement method for production facilities which requires huge investment but are necessary for higher productivity and competability of products. That is, the general models for the decision of economic life of properties which minimizes the total costs throughout the usage life(Life cycle costs) are generated. Main factors which make influences for the decision of economic life can be divided by three. These are the change of salvage value, repair and maintenance costs, and availability of production facilities with the passage of usage time. In this paper, the real world data for these three factors are collected and analyzed for the extraction of representative standard forms with the passage of time. And general models for economic replacement methods and optimal usage terms are presented through tables with the combination of the standard forms of these three main factors.

1. 서 론

현대 산업사회는 급속한 과학의 발달로 인하여, 고도의 기술과 설비가 요구되어지는 기술자

† 이 연구는 1992년 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과임.

* 홍익대학교 산업공학과

본 집약적인 산업화가 이루어지고 있다. 현대의 기업은 사회발전에 발맞춘 성장고도화를 위해 기술개발 및 설비의 설치와 이용에 막대한 투자를 하고 있다. 국내 제조 기업의 경우, 84년도 1조 2천 121억원의 설비투자에서 92년의 4조 5천 310억원의 평균증가율 19.1%로 투자규모가 확대되어 왔다[11,14]. 따라서 투자된 설비의 경제적이며 효율적인 이용은 기업의 필수적인 문제가

되었고, 기업은 투자를 회수하기 위해 기계의 완전 가동이나 설비교체 연구의 중요성을 인식하게 되었다. 88년부터 92년까지의 중소제조업들의 설비투자를 보면 생산능력 증대를 목적으로 한 확장투자과 품질향상 및 생산성 향상 등 대외 경쟁력 제고를 위한 생산 능력을 확충, 제조업 설비의 평균연령 노령화 및 기술 진보에 따른 기존 설비의 진부화로 인한 기존시설의 유지 및 개·보수를 위한 투자, 노령 설비의 경신, 그리고 원가 및 인건비 상승등에 대처하기 위한 생산설비의 자동화 등에 높은 투자 비중을 두고 있다[11, 13, 14]. 이것은 신규투자보다는 기존 시설의 보완·증설 등으로 생산성 향상을 도모하려는데 기인한 것으로 보이는데 적극적인 설비투자로 노령설비를 경신, 그리고 원가 및 인건비 상승등에 대처하기 위한 생산설비의 자동화 등에 높은 투자 비중을 두고 있다[11, 13, 14]. 이것은 신규투자보다는 기존 시설의 보완·증설 등으로 생산성 향상을 도모하려는데 기인한 것으로 보이는데 적극적인 설비투자로 노령설비를 교체하여 나갈 필요가 있다. 그러나 설비투자에는 막대한 자원이 소요되고 회사내의 자산 중 큰 비중을 차지하게 됨으로써 회사전체의 사황이 걸린 중대한 문제가 된다. 이렇듯 거대한 투자가 요구되어지는 생산설비에 있어서, 기업에서 요구하는 기능을 지속하면서 설비에 소요되는 비용을 최소화하기 위해서는 주어진 설비를 최초 구입후 어느정도 사용후에 교체할 것인가의 결정이 매우 중요하다. 설비의 빠른 퇴역은 해당 설비의 높은 운영비용은 요구하게 되고, 늦은 설비 퇴역도 잦은 고장 및 제품품질 저하로 인한 설비 운영비용의 증가와 진부화에 따른 수익의 상대적 감소라는 문제가 발생하게 된다. 설비의 최적 교체시점문제 이외에 교체하고자 하는 설비의 경제적 타당성을 검정해야 할 필요가 있다.

즉, 새 설비를 구입할 것인지 중고설비를 구입

할 것인지, 중고설비를 구입한다면 몇년된 설비를 구입하는 것이 경제적인지를 검토해 보아야 한다. 일반적으로 설비교체에 있어 최신설비로의 교체는 낮은 보전비용으로 높은 수익이 예상되지만 상대적으로 많은 초기 투자를 요구하게 되고, 중고 설비로의 교체는 비교적 투자 비용은 적지만 노령화로 인한 기능의 저하로 고장률의 증가와 그에 따른 보전비의 증가, 진부화등의 교체문제가 발생하게 된다. 만약 적절한 합리적인 시점에서의 적절한 설비교체가 이루어지지 않는다면 생산비용의 증가와 제품품질의 저하로 인해 기업에 잠재적 위험을 초래하게 된다. 여기에서의 합리적 시점이란 설비의 경제적 대체시기를 말하는 것으로 이렇게 설비의 경제적 대체가 이루어짐으로써 설비에 소요되는 총비용을 최소화하여 제품의 전체원가 절감과 그에따른 생산성 향상을 추구할 수 있게 되고, 다음 시점의 적절한 설비대체 여부와 기업의 경영전략을 수립할 수 있게 된다.

본 연구에서는 지금까지 연구된 이론을 토대로 하여, 실제 잔존가치의 변화와 감소하는 설비운영수입을 고려한 설비의 경제적 사용수명을 추정해 냄으로써 설비의 경제적 대체시점을 결정하는데 목적을 두고 있다. 그리고 설비의 경제적 대체시점이 결정됨으로써 전체원가 절감 및 생산성 향상과 설비의 효율적 이용을 제공하여 부족한 자본하에서의 기업 경영전략수립에 기초를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 AEC(연불등가비용)를 이용하는 방법

설비의 경제적 수명은 설비의 최적취득시기에서 그 설비의 최적퇴역시기까지의 기간을 말한다. 최적취득시기, 최적퇴역시기, 최적서비스기간

등의 결정은 일반적으로 min AEC를 사용한다.
[5]

최적퇴역시기(Optimal retirement age) - 최적취득시기(Optimal acquisition age) = 최적서비스기간(Optimal service interval) = 경제적수명(Economic Life)

$$AEC = AEM + B(A/P, i\%, n) - S_N(A/F, i\%, n) \dots\dots\dots (1)$$

- AEM = 연간 Operating Cost
- B = 설비 구입 비용
- S_N = N년된 설비의 가격

설비의 취득시나 처분시의 가격변화 자료를 기본적으로 구하고, 이 자료를 기준으로 (1)식을 이용해 실질적인 설비의 해당년도별 연불등가비용을 알게된다. 이 값을 근거로 설비 구입후 어느정도 사용후에 교체를 하여야 가장 비용이 적게 드는가를 찾을 수 있게 된다. 이 기간이 설비의 경제적 사용수명이 되고, 설비대체의 최적시기가 된다.

그러나 여기서 문제점은 설비의 사용시간 경과에 따른 가격변화의 자료를 통상 취득하기가 어렵다는데 있다. 다음의 Elfar Model을 이용해 그 가격을 추정할 수 있다.

2.2 Elfar model의 이용

AEC의 최소값을 찾는데 있어 직접적으로 모든 설비의 가격변화를 구해 설비의 경제적 대체시기를 결정하는 것이 타당하지만, 실질시장가격자료가 없거나 구하기가 매우 어려운 경우가 많다. 이때는 Elfar Model을 이용해서 각 설비의 실질 시장가격 변화를 근접하게 추정한다. 즉 어떠한 설비라도 사용기간 경과에 따른 소요비용의 변화는 측정이 가능하므로 문제 설비의 확보가능한 비용변화를 통해 적절한 T factor를 추정하

고, 이를 이용해서 시장가격자료가 없는 각 설비의 시간의 경과에 따른 해당 년도별 가격 V_x를 구하게 된다. 그러므로 구해진 가격 V_x는 감소하는 설비의 Operation Return을 이용하여 구해진 값이 된다. 그리고 각 설비의 해당년도별 가격 V_x를 설비의 취득시나 처분시의 각 년도별 초기비용과 잔존가치로 놓고 AEC를 구한다. 이렇게 구해진 AEC가 가장 작은 값을 갖는 시점이 해당 설비의 경제적 대체시기가 되는 것이다.

이러한 Elfar Model의 이용원리와 방법은 다음과 같다. 우선 설비의 가치를 이의 연도별 수입(Operation Return)에 의거한다고 가정하면 감소하는 Operation Return의 변화를 고려하기 위해 Progression rate인 T를 구할 수 있으며 기본식은 다음과 같다.

$$R_x = R_T = \frac{T^N - T^{N-x}}{T^N - 1} \dots\dots\dots (2)$$

- N = 설비의 예측수명
- x = 설비가 사용된 기간
- R_x = x년의 설비의 Operation return
- T = progression rate

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

q = 1 + i (3)

이를 이용한 V_x값은 다음과 같다.

$$V_x = V_{NEW} [C'_x(1-S) + S\{C'_x(1-(P/F, i\%, N)) + (P/F, i\%, N-x)\}] \dots\dots\dots (4)$$

- C'_x = x년의 modified condition percent factor
- S = salvage ratio = (N년후의 잔존가치/새 설비가격) = (S_N/V_{NEW})
- V_x = x년의 설비의 가치

Elfar Model을 사용하는 경우에는 T factor를

추정하기 위해 다음의 두가지 방법이 사용되어진다.[7]

(1) Ratio method

첫해의 Operation return R_1 과 $x-1$ 에서 x 사이 기간의 Operation return, R_x 의 사용비율을 고려하는 방법이다.

$$\text{Ratio} = R_x/R_1 = \frac{T^N - T^{x-1}}{T^N - 1} \dots\dots\dots (5)$$

R_1, R_x, N, x 의 값을 알거나 추정할 수 있다면, T-factor의 값은 Trial and Error Procedure에 의해 구할 수 있다. Ratio Procedure는 연간 운영수입(Annual operation return)의 추정을 필요로 하는데 이를 정확하게 추정할 수 있는 방법이 없다. 그러므로 이 방법의 변형으로 비용을 고려하는 방법인 다음의 Delta Method를 본 논문에서는 이용한다.

(2) Delta method

설비는 일정수준의 총수익 G 를 갖고, 매년 동일한 미지의 비용 α 를 갖는다고 가정한다. 첫째 말의 총수익 G 는 다음식과 같이 표시되며, 결국은 T factor를 구하기 위한 Delta ratio를 구하는 식으로 전개된다.

$$G = \alpha + P_1 + R_1$$
$$\alpha + P_1 + R_1 = \alpha + P_x + R_x$$
$$P_x - P_1 = R_1 - R_x$$

Delta term

단, $P_x = x$ 년의 설비운영비용으로 이는 R&M Cost, Down-Time loss, Production Rate Loss 그리고 Obsolescence의 합을 의미.

Delta term은 (5)식에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Delta} = R_x - R_1 \frac{T^N - T^{x-1}}{T^N - 1}$$

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

Delta ratio

$$q = 1 + i \dots\dots\dots (6)$$

Delta Method를 사용해서 설비의 경제적 사용을 평가하기 위해서는 다음의 절차에 의해 데이터의 수집, 계산 및 추정이 이루어져야 한다.

- 1) 수익의 감소분 P 를 계량화 한다.
 P 는 Repair & Maintenance Cost, Downtime losses, Production Rate loss, Obsolescence 등을 단위당 비용으로써 나타낸 것을 말한다.
- 2) Delta를 계산한다.
Delta는 첫해의 감소분 P_1 과 x 년의 감소분 P_x 사이의 차이를 말한다.
- 3) V_{NEW} 를 구하고 S_N 을 추정한다.
조사한 자료에 의해 새설비의 가격을 구하고 설비의 S_N 을 추정한다.
- 4) Delta Ratio, 즉 Δ/V_{NEW} 를 계산한다.
- 5) 설비의 예측 평균 수명을 구한다.
- 6) Trial and Error Procedure에 의해 적절한 Progression Rate T 를 측정한다.
- 7) 추정된 T 를 가지고 C'_x 를 구하고 이를 이용해 V_x 를 구한다.
- 8) 구해진 V_x 를 가지고 설비의 경제적인 사용기간등을 결정한다.

3. 연구분석

3.1 자료 수집

자료 수집은 설비 사용업체에 대한 설문지와 직접방문, 그리고 중고매매에 관련된 시장과 정보지등을 통하여 이루어 졌으며 그 중 사용년수에 따른 자료 수집이 가능한 대표적인 설비들을

선택, 분석에 이용하였다. 이렇게 수집하여 분석된 자료들은 각 설비의 사용년수별 실질잔존가치, 유지보수비, 고장 수리시간, 가동율로써 그림 1 그림 2 그림 3 그리고 그림 4로 표현되었다. 이들을 이용하여 다음 과정에서 일반설비의 경제수명모델이 작성되었다.

3.2 데이터의 분석

설비의 경제수명결정에 중요한 3가지의 요소인 시장가격, 유지보수비, 가동율을 각각 대표적인 3개의 Group으로 만들어 분석하고자하는 설비가 각 요소의 어떤 Group에 해당하는냐에 의해 해당 설비의 경제수명과 적정구입시기와 퇴역시기를 쉽게 알 수 있게 하였다. 각 Group은 최소자승법을 이용해서 일차함수로 적용하였다. 그리고 X축의 경과년도의 숫자는 각기 평균수명에 대한 10%를 의미한다.

a. 시장가격의 분석

여러 설비들을 각 년도마다 새설비가격에 대한 백분율로서 표시하여 해당 설비의 년도별 가치감소 정도를 그림 1 그림 2와 같이 나타내었다. 이러한 잔존가치의 변화가 유사한 설비들을 하나의 Group으로 묶어서 표시함으로써 몇개의 잔존가치변화만을 가지고도 나머지 잔존가치의 변화를 추정해서 알 수 있게 하였다. 잔존가치의 변화는 다음과 같이 3개의 Group으로 생각해서 대표적인 3개의 일차 함수로써 나타내었다.

Group A₁(① Lathe ② Nice ③ Generator)

$$\text{Salvage} = 0.911788 - 0.049109X$$

Group A₂(① Heel Lastar ② Toe Lastar ③ Rotary Drill ④ Motor Crane ⑤ 50T Dump Truck ⑥ Pickup Truck ⑦ Forklift)

$$\text{Salvage} = 0.845697 - 0.075055X$$

Group A₃(① Milling)

$$\text{Salvage} = 0.929318 - 0.031100X$$

b. 유지보수비의 분석

유지보수비는 작업이나 사용시간, 각 작업장의 환경등에 따라 달라질 수 있으나, 상세한 데이터를 얻기가 어렵고 계수적으로 적용하기 어렵기 때문에 동일한 조건에서 작업을 한다고 가정하고, 각 년도마다 새설비가격에 대한 유지보수비를 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 유사한 형태의 변화를 하는 설비들을 하나의 Group으로 생각해보면 다음과 같이 3개의 Group으로 생각해 볼 수 있다.

Group B₁(① Heel Lastar ② Toe Lastar)

$$\text{Repair Cost} = 0.014200 + 0.002782X$$

Group B₂(① Milling ② Nico)

$$\text{Repair Cost} = 0.000987 + 0.001127X$$

Group B₃(① Lathe)

$$\text{Repair Cost} = 0.028900 + 0.000400X$$

c. 가동율의 분석

가동율을 계수적으로 적용하는 방법은 총 매출액의 감소, 고장수리시간 만큼의 비율 증가등 여러가지로 생각해 볼 수 있으나 여러 설비 중 한개의 설비고장으로 인해 총 매출액의 감소를 초래한다고 보기는 어렵다. 따라서 가동율을 고장수리시간 만큼의 비용 증가율을 비용으로 계산하기 위해 설비의 고장수리 시간만큼 잔업으로 총당한다고 가정한다. 잔업시의 임금 계산은 평상시 임금의 1.5배를 기준으로 한다. 그리고 각 설비마다 사용 인원의 다르기 때문에 이 논문에서는 2명으로 가정을 했고 실제 회사나 공장에서 사용을 할 경우 그 인원애 맞게 고쳐서 적용할 수 있다. 연간 고장수리시간의 변화를 다음과 같이 대표적인 3개의 Group으로 분류하여 놓았다.

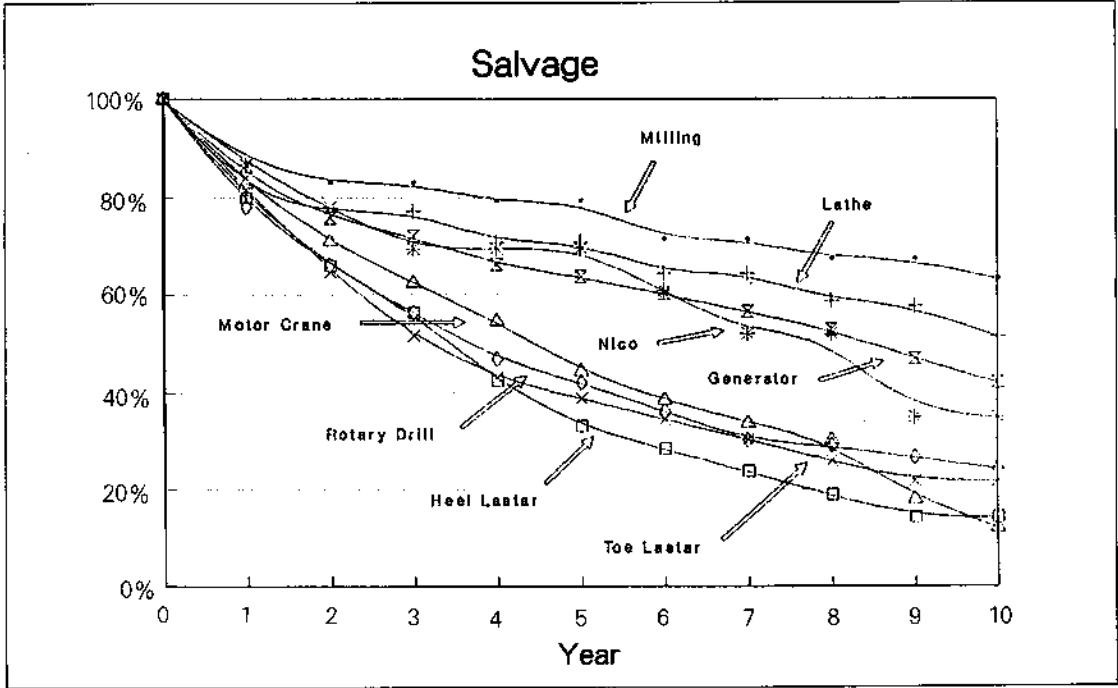


그림 1. 각 설비들의 새설비 가격에 대한 잔존가치의 변화

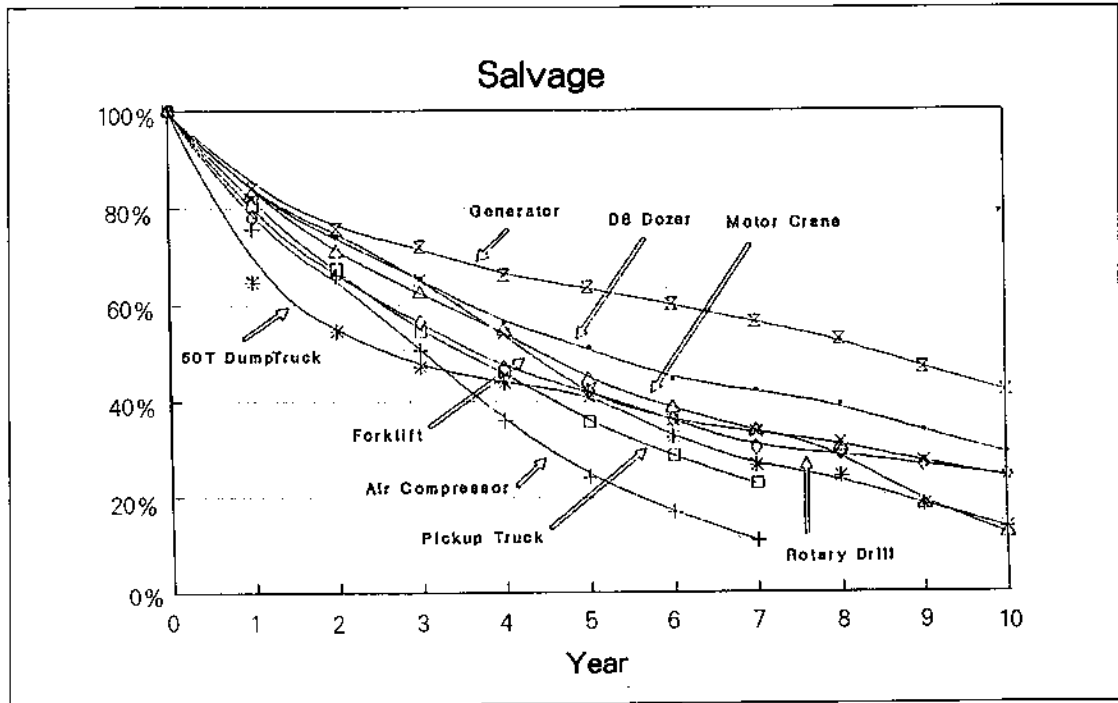


그림 2. 각 설비들의 새설비 가격에 대한 잔존가치의 변화

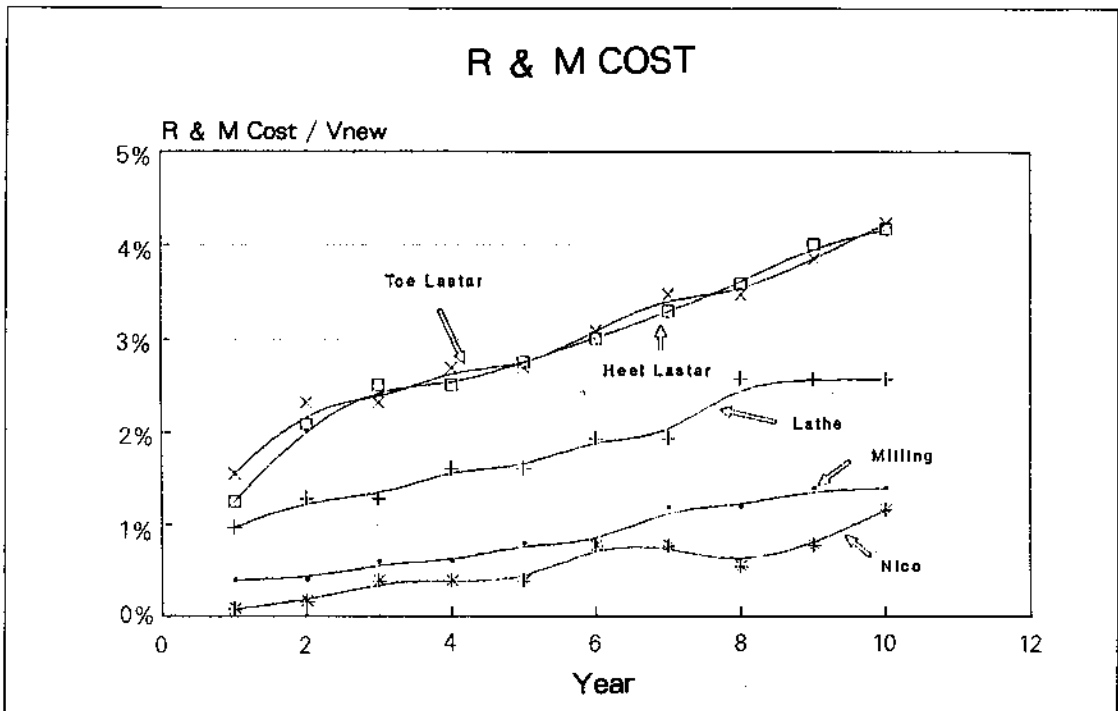


그림 3. 새 설비가격에 대한 Repair & Maintenance Cost

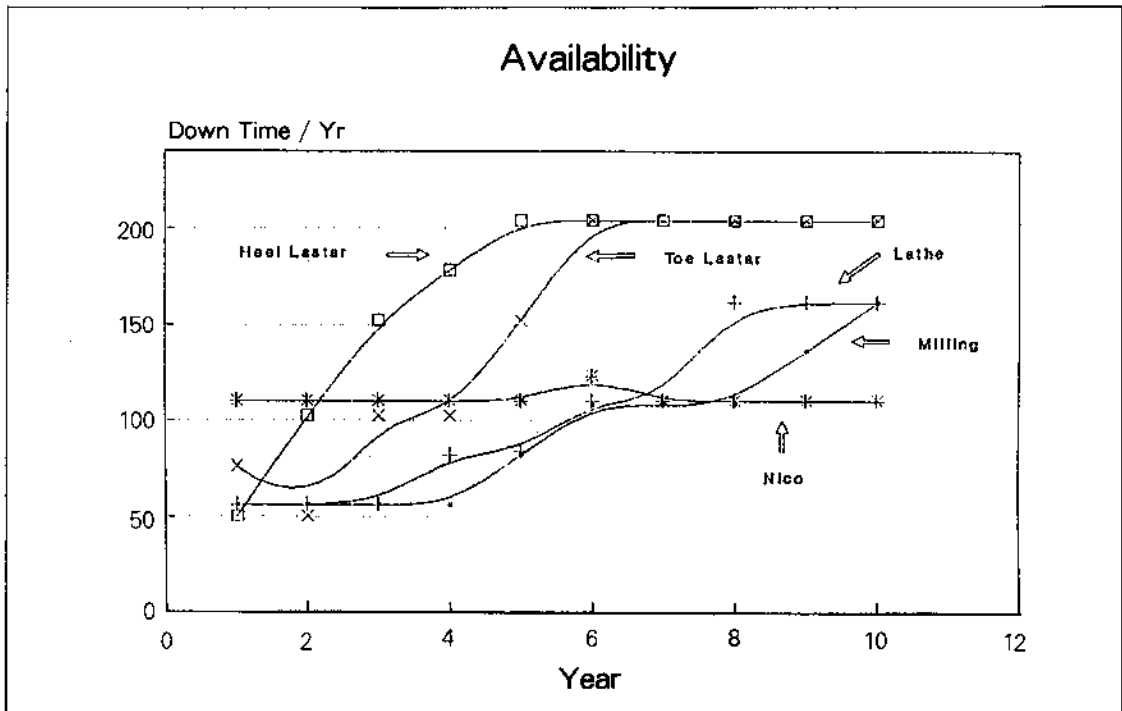


그림 4. 시간에 따른 가동율의 변화

Group C₁(① Heel Lastar ② Toe Lastar)
 Availability = 68.133333 + 16.775758X

Group C₂(① Milling ② Lathe)
 Availability = 26.866667 + 13.006061X

Group C₃(① Nico)
 Availability = 110.866667 + 0.078788X

이를 AEC에 적용시에는 V_{NEW}에 대한 비율로 환산하여 계산된다.

3.3 AEC에의 적용

설비의 연평균 비용을 구하여 설비의 경제적 취득, 대체시기를 결정하는 방법으로 각기 다른 취득 및 퇴역시기를 취하여 각 기간마다의 연평균 비용을 산출하였다. 이 연평균비용들 중 최소가 되는 기간이 설비의 최적 취득 및 퇴역시기가 되는 것이다. 본 연구에서는 새 설비의 가격에 대한 백분률로서 AEC를 구했으므로 이 방법을 사용할 경우에는 여러 요소들의 조합에 의해 경제적 대체시기를 구하고 그에따른 AEC값에 새 설비의 가격을 곱해서 사용하면 된다. AEC를 구하는 식은 다음과 같다. 여기서 ROR은 20%로 가정 했다.

$$AEC = R \& M \text{ cost} + \text{Availability} + (\text{Cost to purchase}) (A/P, 20\%, n) - (\text{Net salvage}) (A/F, 20\%, n) \dots\dots(7)$$

N_s=설비 취득 연도, N_v=설비 퇴역 연도, 사용수명(N) = N_v - N_s.

어떤 생산설비가 잔존가치는 Group A₁, R&M Cost는 Group B₁, 가동율은 Group C₁을 따른다면 이 경우의 매 년마다의 AEC는 다음과 같이 구할 수 있다. 여기에서 N_s=0는 새설비 취득을 의미하고, N_s=1은 이미 1년사용한 중고설비의 구입을 나타낸다. N_v=1은 취득년도를 기준

으로 그 차이만큼을 사용한 것을 나타낸다. 예를 들어, N_s=0, N_v=1이면 새 설비를 구입해서 사용후 설비를 파는 것을 (대체하는 것을) 의미한다.

N_s=0, N_v=1 일 때

$$AEC_{0-1} = 0.014200 + 0.002782 \times 1 + 3 \times (68.133333 + 16.775758 \times 1) \times 0.3255 / 2600 + 1 \times (A/P, 20\% 1) - (0.911788 - 0.049109 \times 1) / 1.127 \times (A/P, 20\%, 1) = 0.486064$$

N_s=0, N_v=2 일 때

$$AEC_{0-2} = \{ (0.014200 + 0.002782 \times 1) (P/F, 20\%, 1) + (0.014200 + 0.002782 \times 2) (P/F, 20\%, 2) \} (A/P, 20\%, 2) + 3 \times \{ (68.133333 + 16.775758 \times 1) (P/F, 20\%, 1) + (68.133333 + 16.775758 \times 2) (P/F, 20\%, 2) \} (A/P, 20\%, 2) \times 0.3255 / 2600 + 1 \times (A/P, 20\%, 2) - (0.911788 - 0.049109 \times 2) / 1.127 \times (A/F, 20\%, 2) = 0.382309$$

∴

N_s=0, N_v=2 일 때

$$AEC_{1-2} = 0.014200 + 0.002782 \times 2 + 3 \times (68.133333 + 16.775758 \times 2) \times 0.3255 / 2600 + (0.911788 - 0.049109 \times 1) \times (A/P, 20\%, 1) - (0.911788 - 0.049109 \times 2) / 1.127 \times (A/F, 20\%, 1) = 0.364854$$

∴ 위의 계산에서 N_s=0, N_v=1 일때 0.014200 + 0.002782 × 1항은 유지 보수비가 Group B₁을 따른다는 것을 나타내고, 3 × (68.133333 + 16.775758 × 1) × 0.3255 / 2600항은 가동율을 비용으로 나타낸 것으로 3은 2명의 작업자가 고장수리 시간만큼을 잔업함으로써 추가비용(평상시 임금의 1.5배)이 소요된다는 것을 뜻한다. 그리고

68.133333+16,775758×1항은 가동율이 Group C₁을 따른다는 것을 나타내고, 0.3255/2600은 새 설비 가격에 대한 시간당임금을 나타낸 것으로 새 설비가격 2600만원에 대한 시간당임금 3255원을 나타낸다. $1 \times (A/P, 20\%, 1) - (0.911788 - 0.049109 \times 1) / 1.127 \times (A/F, 20\%, 1)$ 항은 잔존가치에 대한 것을 나타내는 항으로서 1은 새 설비에 대한 구입가격비와 Group C₁을 따른다는 것을 나타내고, $0.911788 - 0.049109 \times 1$ 항은 새설비에 대한 파는 가격비를 타나낸다. 그리고 1.127은 중고설비의 정확한 매각가격을 구할 수 없기 때문에 조사한 자료에 의해 margin rate 12.7%를 고려한 것을 나타낸다. 또한 중고설비는 같은 연령이라도 구입가격과 판매 가격이 다르게 되는데 이때의 margin rate는 원래 같은 기능을 가진 설비라도 각 설비마다 사용

조건이나 사용정도 등에 따라 다르기 때문에 각 설비마다 구해야하지만 데이터 수집의 어려움으로 구해진 전체설비에 대한 평균 margin rate로써 12.7%를 일괄 적용시켰다. 앞서의 구해진 값 0.0486064는 새 설비의 가격에 대한 AEC의 비로써 고려하고 하는 설비의 새설비가가격을 곱하면 된다. 다시 말해서 새 설비의 가격이 1,000만원 이라면 $1,000\text{만원} \times 0.486064 = 4,860,064\text{원}$ 이 $N_a=0, N_v=1$ 일때의 AEC가 되는 것이다. 각 경우에 따른 min AEC를 정리한 것을 다음의 표 1에 나타내었다. 표 1은 설비를 구입했을 경우 경제수명결정의 3가지 요소(A, B, C)에 따라 Group별로 분류해서 V_w에 대한 비율로써 최소인 AEC를 구하고 그때의 취득, 퇴역연도를 나타낸 것이다.

표 1. 경제적 설비 대체 모형

(각 Group에 따른 Min AEC와 최적구입 및 퇴역시기, i=20%)

	C ₁		C ₂	C ₃
	A ₁	B ₁	0.271017(7 → 10)	0.237632(7 → 10)
	B ₂	0.238968(3 → 10)	0.209725(7 → 10)	0.163499(7 → 10)
	B ₃	0.261783(4 → 10)	0.231182(7 → 10)	0.184956(7 → 10)
A ₂	B ₁	0.254909(8 → 10)	0.220487(8 → 10)	0.170559(9 → 10)
	B ₂	0.226050(8 → 10)	0.191628(8 → 10)	0.140796(9 → 10)
	B ₃	0.247089(8 → 10)	0.212666(8 → 10)	0.161439(9 → 10)
A ₃	B ₁	0.284841(1 → 10)	0.258756(1 → 10)	0.229112(4 → 10)
	B ₂	0.263624(1 → 10)	0.237538(1 → 10)	0.203328(5 → 10)
	B ₃	0.288021(1 → 10)	0.261935(1 → 10)	0.225619(6 → 10)

위의 표는 얼마나 사용한 설비를 구입해서 어느정도 사용하고난 후 대체하는 것이 가장 경제적인지를 나타내는데 예를들어, A₁B₁C₁을 따를 경우 7년된 설비를 구입해서 10년째(3년사용)에 파는 것이 AEC가 0.271017로 최소값이 되어 가장 경제적인 설비대체시기가 되는 것을 나타낸다.

모든 AEC조합에서 늦게 퇴역할수록 AEC가 작은 것은 잔존가치의 변화폭이 유지보수비와 가동율 변화를 더한 것보다 더 크기 때문이다. 다시 말해서 유지보수비와 가동율이 경제적수명을 결정하는데 큰 영향을 미치지 못함을 의미한다. 즉 잔존가치가 Group A₁을 따를 경우 유지보수

비(B)의 변화와 상관없이 가동율이 C_2, C_3 를 앞 쪽으로 따른다면 이 설비의 대체시기는 7년된 설비를 구입해서 10년째(3년 사용)에 대체하는 것이 가장 경제적인 것으로 나타났다. 특히, 잔존가치의 변화가 Group A_2 를 따를 경우에는 유지보수비 B와 가동율 C가 거의 영향을 미치지 못하고 경제적 대체시기는 모두 8년이나 9년된 설비를 구입해서 10년째에 대체하는 것이 경제적인 경우로 나타났다. 그리고 잔존가치의 변화가

Group A_3 에 포함될 경우에 비교적 변화폭이 큰 가동율 C_1, C_2 를 따를 경우 변화폭이 상대적으로 작은 유지보수비의 변화를 거의 고려하지 않고 1년된 설비를 구입해서 10년째(9년사용)에 대체하는 것이 경제적인 설비대체가 되는 것이다.

$i=10\%$ 인 경우를 위와 같은 조건으로 경제적 설비대체모형을 표 2로 나타내었다. 각 Group에 따른 Min AEC값과 경제적 설비구입 및 퇴역시기는 다음과 같다.

표 2. 경제적 설비 대체 모형

(각 Group에 따른 Min AEC와 최적구입 및 퇴역시기, $i=10\%$)

	C_1		C_2	C_3
	A_1	B_1	0.214986(1 → 8)	0.180677(2 → 10)
	B_2	0.176870(4 → 10)	0.159371(3 → 10)	0.115658(7 → 10)
	B_3	0.193332(4 → 10)	0.178211(4 → 10)	0.137073(7 → 10)
A_2	B_1	0.221085(1 → 10)	0.194039(1 → 10)	0.150395(8 → 10)
	B_2	0.198986(1 → 10)	0.169424(6 → 10)	0.121499(8 → 10)
	B_3	0.222308(4 → 10)	0.190993(7 → 10)	0.142523(8 → 10)
A_3	B_1	0.206894(1 → 7)	0.181476(1 → 8)	0.153381(1 → 10)
	B_2	0.186311(1 → 8)	0.159921(1 → 10)	0.130994(2 → 10)
	B_3	0.210723(1 → 9)	0.183922(1 → 10)	0.154140(3 → 10)

$i=20\%$ 인 표 1.과 비교해 볼때 $i=10\%$ 인 경우 경제적 구입시기가 전반적으로 앞으로 이동하는 경향이 있었으며 퇴역시기도 경우에 따라서는 평균수명에 이르지 않은 경우도 발생하였다. 이는 년도가 지날수록 그 크기가 증가하는 유지보수비와 가동율의 저하비용이 이자율이 작아짐에 따라 $i=20\%$ 인 경우에 비해 그 영향력을 크게 발휘했다고 볼 수 있다. 그러므로 실제사용시에는 알맞은 이자율을 적용함으로써 그에 맞는 경제적 설비대체모형을 적용하여야겠다.

각 조합에서 새설비를 구입할 경우는 즉, $N_s=0$ 일때의 경제적 설비대체시기를 구해보면 $i=10\%$ 에서 $A_3B_1C_1$ 의 경우를 제외하고 그의 $i=20\%$ 를

포함한 모든 조합이 각 설비의 평균수명, 여기서는 $N_v=10$ 인 경우에 Min AEC값을 갖는 결과를 얻었다. 그 이유는 잔존가치의 변화량에 비해 유지보수비와 가동율의 변화량이 상대적으로 초기 비용의 변화에 비해 상당히 적기 때문에, 특히 첫해의 설비가치 감소량이 크기 때문에 설비평균수명에 이를때까지 사용하는 것이 보다 경제적인 것으로 나타났다. 이는 상대적 열화를 고려하지 않는다고 가정할때 평균수명이 경제수명에 미치지 못함을 의미한다고 볼 수 있다. 또한 이 결과는 설비매매시 야기되는 12.7%의 유통마진율이 끼치는 영향이 현실적으로 상당히 크기 때문이라고도 볼 수 있다. 즉 본 모델에 이용된 설비의

경우는 경제수명보다 조기에 퇴역되었다고 생각된다.

이상을 종합해보면 우리나라의 산업설비는 유지비와 가동률의 사용년도별 증가폭이 설비가치 감소에 비해 다소 적은 수준으로 비교적 장기간 사용할 수록 경제적이다 라는 결과를 얻을 수 있다. 또한 이와같이 평균수명에서 설비대체가 이루어지는 이유는 급속한 산업기술의 발달로 인하여 현 산업설비의 상대적인 열화와 유통마진율 등의 영향에 기인한다고 볼 수 있다.

설비의 년도별 가치변화에 대한 충분한 자료가 있을 경우에는 이상과 같은 방법으로 경제수명을 결정할 수 있으나 그렇지 못한 경우에는 Elfar Model을 이용하여 이를 추정할 수 밖에 없다. 본 연구에서는 Elfar Model을 이용한 결과와 이상의 결과를 아래와 같이 비교함으로써 자료가 충분치 못한 경우에도 경제수명을 추정할 수 있는 방법을 제시하였다.

Elfar Model을 이용한 경우 각 설비의 특정한 T factor를 구해 그에 따른 설비들의 각 년도마다의 잔존가치를 추정하게 된다. 이 값을 이용해 min AEC를 구한다. 몇개의 설비에 대해 Elfar Model을 적용하여 경제적 대체 시기를 구하여 보면 다음과 같다. 단 이에에서는 유지보수비와 가동율을 고려하지 않았다.

앞서의 연구방법에서 설명한 것과 같이 Elfar Model중 Delta Method를 이용해 T Factor를 구해보면 다음의 표 3.과 같다.

표 3. Elfar Model을 이용한 각 설비의 T Factor

	밀링	선반	Nico	Heel Lastar	Toe Lastar
T Factor	1.72	1.19	1.72	2.7	1.53

위에서 구한 T Factor를 가지고 식(3), (4)를 이용해 C'x, Vx를 구하게 된다. 몇개의 설비에 대해 구해진 C'x, Vx 값은 다음의 표 4와 같다.

표 4. 각 설비의 Modified Condition Percent Factor C'x와 Vx

Age	밀 링		선 반	
	C'x	Vx	C'x	Vx
1	0.694	2452.3	0.956	1492.2
2	0.920	2359.6	0.909	1424.6
3	0.869	2247.3	0.855	1347.1
4	0.808	2116.1	0.796	1263.1
5	0.736	1961.5	0.730	1169.6
6	0.652	1782.0	0.661	1073.1
7	0.555	1576.0	0.586	969.3
8	0.445	1344.6	0.507	861.7
9	0.325	1094.1	0.423	749.1
10	0.199	843.5	0.335	633.7
11	0.083	624.5	0.250	526.8
12	0.000	506.0	0.164	423.1
13			0.093	348.2
14			0.036	301.7
15			0.000	295.6

이때의 구해진 Vx는 설비 구입가격이 되고 margin rate 12.7%를 고려하여 설비 매각비용을 구하게 된다. 각 설비의 매각 및 구입가격을 다음의 표 5와 같다.

표 5. Elfar Model의 Vx를 이용한 설비의 매각, 구입 가격(계속) (단위 : 만원)

Age	밀 링		선 반	
	매각가격	구입가격	매각가격	구입가격
1	2176.0	2452.3	1324.0	1492.2
2	2093.7	2359.6	1264.1	1424.6
3	1994.1	2247.3	1195.3	1347.1
4	1877.6	2116.1	1120.8	1263.1
5	1740.5	1964.5	1037.8	1169.6
6	1581.2	1782.0	952.2	1073.1

표 5. Elfar Model의 Vx를 이용한 설비의 매각, 구입 가격

Age	밀 링		선 반	
	매각가격	구입가격	매각가격	구입가격
7	1398.4	1576.0	860.1	969.3
8	1193.1	1344.6	764.6	861.7
9	970.8	1094.1	664.7	749.1
10	748.4	843.5	1562.3	633.7
11	554.1	624.5	462.4	526.8
12	449.0	506.0	375.4	423.1
13			309.0	348.2
14			267.7	301.7
15			262.3	295.6

표 5를 가지고 다음의 AEC식을 이용해서 설비의 경제적 대체시기를 구한다.

$$AEC = (\text{구입 가격})(A/P, i\%, n) - (\text{순 잔존가치})(A/F, i\%, n)$$

구해진 각 설비들의 연평균비용 AEC는 표 6 표 7 과 같다.

표 6. Elfar 모델에 의해 구해진 Vx를 이용한 밀링의 i=20%일때 연불등가비용

		설 비 퇴 역 연 도									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
설	0	860	704	653	628	612	602	594	587	581	575
비	1		849	699	648	623	608	597	588	580	572
취	2			837	691	642	617	601	589	579	570
득	3				819	680	633	608	591	578	566
연	4					799	666	620	595	577	561
도	5						773	648	603	577	555
	6							740	624	579	549
	7								698	590	543
	8									643	540
	9										529

표 7. Elfar 모델에 의해 구해진 Vx를 이용한 선반의 i=20%일때 연불등가비용

		설 비 퇴 역 연 도									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
설	0	543	443	410	392	381	372	365	359	354	349
비	1		527	433	400	383	371	363	355	349	343
취	2			514	423	391	373	361	351	344	337
득	3				496	410	378	360	348	338	330
연	4					478	394	363	345	333	323
도	5						451	375	345	328	316
	6							428	345	327	310
	7								355	332	306
	8									369	308
	9										337

Elfar Model을 이용할 경우 밀링은 9년된 설비를 구입해서 10년째(1년사용)에 대체하는 것이 경제적이고, 선반은 7년된 설비를 구입해서 10년퇴역(3년사용)이 AEC가 Minimum인 경제적 설비대체가 된다.

선반의 경우, Elfar Model을 적용한 것과 앞서의 AEC를 이용한 경제적 대체시기는 7년 구입-10년퇴역으로 서로 차이가 없는 같은 결과를 나타내고 있다. 따라서 선반은 잔존가치의 변화만으로도 경제적 대체시기를 추정할 수 있으므로 유지보수비와 가동율의 변화가 설비의 경제적 대체시기 결정에 거의 영향을 미치지 않는다고 볼 수 있다. 이에 반해 밀링의 경우에는 두가지 방법의 경제적 대체시기가 많은 차이를 보이고 있다. 이에 반해 밀링의 경우에는 두가지 방법의 경제적 대체시기가 많은 차이를 보이고 있으므로 유지보수비와 가동율이 설비의 경제수명 결정에 상당히 많은 영향을 끼치고 있으므로 유지보수비와 가동율이 설비의 경제수명 결정에 상당히 많은 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다. 이는 밀링의 특성상 시간의 변화에 따른 가격의 감소가 다

른 설비에 비해 상당히 적기 때문에 가격변화의 요인이 크게 작용하지 못했기 때문이다. 따라서 밀링과 같은 설비에 대해서는 잔존가치만을 고려해서 설비의 경제적 수명을 결정해서는 안된다.

이상의 경우 유지보수비와 가동율 등을 고려하지 않음으로 인한 다소의 차이는 발견할 수 있었으나 Elfar Model을 이용한 경우에도 충분한 년도별 설비가치 자료를 사용한 것과 같이 경제적 설비대체시기를 적정히 추정해 낼 수 있음을 알 수 있다.

3.4 IOWA curve를 이용한 평균수명의 추정

생산설비의 평균수명은 설비의 운용에서 중요한 정보중의 하나이다. 이는 경험에 의해서 추정을 할 수도 있지만, 그렇지 못한 경우는 집단 설비의 생존곡선을 이용하여 그 크기를 추정해 낼 수 있다. 이 집단 설비의 생존곡선에 대한 대표적인 연구는 Winfrey(4)에 의해 만들어진 18개의 IOWA Type Survivor Curves이다. 이 곡선은 176개의 실제 산업설비의 사용연도의 경과에 따른 생존상황을 대표적인 18개의 곡선으로 표시해 놓은 것으로 이를 이용하면 어떠한 설비라도 몇개의 초기치가 주어질 때 손쉽게 그 설비의 전체적인 생존곡선을 그려낼 수 있다. 이렇게 얻어진 미지의 설비의 생존곡선에서 평균수명을 구해 낼 수 있다.

즉 생존곡선을 설비설치 초년도 100%(전부 생존)에서 출발하여 시간이 경과함에 따라 0%(전부 퇴역)까지의 곡선으로 그려냈다면 이는 다음과 같이 간단히 구할 수 있다.

$$\text{설비 평균 수명} = \frac{\text{생존곡선 아래 면적}}{100\%}$$

이에 대한 구체적인 방법과 다양한 응용사례는 생략한다.

3.5 경제적 설비대체모형에 의한 분석

회사내에 소유하고 있는 설비들을 보다 효율적으로 이용하고 비용을 줄이기 위해서는 각 설비들의 경제수명을 알아야 하고, 중고설비를 구입하게 될 경우에는 몇년사용한 설비를 구입해서 얼마간 사용해야 경제적인지의 설비경제수명을 구해서 부족한 자본하에서 대체가 급한 설비를 먼저 대체하도록 하여야 한다.

앞의 분석을 종합하면 경제적설비대체모형을 이용한 설비사용기간의 분석은 다음과 같다. 먼저 설비의 잔존가치, 유지보수비 그리고 가동율의 변화가 앞에서 제시한 각각의 대표적 분류모형의 Group중에서 어떤 형태를 따르는지를 알아 보아야 한다. 예를 들어, 밀링의 경우 잔존가치는 Group A₃, 유지보수비는 Group B₂, 가동율은 Group C₂를 따른다면 경제적 대체모형인 표 1과 표 2에 의거하여 공히 1년(평균수명의 10%)된 설비를 구입해서 10년째(평균수명의 100%)에 대체하는 것이 AEC가 각각 0.237538, 0.159921로 최소값을 갖게 된다. 이때의 AEC값은 새 설비 가격에 대한 백분률로서 나타낸 것이므로 밀링의 새 설비 가격이 1000만원이라면 경제적대체 시기의 AEC값은 1000만×0.237538=2,375,380원이 된다. 또한 새 설비를 구입하여 사용하는 경우는 앞에서 이용한 자료에 의하면 일률적으로 평균수명이 경제수명이 되었다. 이는 유지보수비와 가동율이 설비가격변화에 비해 상대적으로 작은 수준이며 더욱이 현실적으로 설비 매매시 12.7%의 유통마진율을 설비가격변화에 고려해야함으로 그 상대적 크기의 비율이 더욱 심화되었기 때문으로 사료된다. 이와 같이 모든 생산설비에 대한 경제수명과 최적사용연한은 표 1과 표2의 모형에 의거하여 간단히 구할 수 있으며 이는 생산설비의 경제적 사용에 누구나 쉽게 접근 가능하리라 생각된다.

4. 결 론

거대한 투자가 요구되는 생산설비의 효율적이용은 기업의 사활이 걸린 중요한 문제중의 하나이다. 효율적 이용이란 기능을 유지하면서 소요되는 비용을 최소화함을 의미한다. 이를 위해서 무엇보다도 설비의 경제수명의 결정과 적정 구입 및 대체시기의 추정이 중요하다.

본 연구에서는 그간 제시되어온 피상적인 경제수명의 결정방법을 보다 현실적이고 객관적인 방법으로 현 산업사회에서 쉽게 이용할 수 있도록 하였다. 즉 과거에 가정에 의해 설명된 설비의 잔존가치의 변화, 유지보수비의 변화 그리고 가

동율의 변화에 대하여 실제 데이터를 수집 분석함으로써 일반적인 형태로 모형화했고 이를 이용하여 경제수명과 대체시기를 예측할 수 있는 도표를 만들었다.

본 연구결과는 각 기업의 생산설비 사용연한 결정과 투자여부의 결정 그리고 경제성 평가에 적절한 근거를 제공할 것이며 또한 생산설비의 실질가치를 측정할 수 있고 유지보수비의 변화, 가동율의 재산상태의 측정 그리고 설비의 구입과 판매시 가격결정을 용이하게 하고 모든 설비의 효율적 이용을 위한 경영 정보를 제공하여 원가 절감은 물론 합리적 기업경영에 일조할 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. Elfar, A.A. "Valuation of Machinery and Equipment for Industrial Porperties", Iowa State University, Ames, Iowa, 1976.
2. Jorgenson, D.W., and Siebert, C.D., "A Comparison of Alternative Theories of Corporate Investment Behavior", *American Economic Review*, Sept. 1989.
3. Lynn E. Bussey. "The Economic Analysis of Industrial Projects", Prentice-Hall, 1978.
4. Marton, W., Winfery, R., and Hempstead, J. C. Engineering Valuation and Depreciation, Ames, Iowa, 1976.
5. Smith, G.W. Engineering Economy, Iowa State University, Ames, Iowa.
6. Thuesen, G.J., Fabrycky, W.J., Engineering Economy, 6th edition. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
7. Whelan, M.L., "The estimation of declining operation returns for industrial property", Iowa State University, Ames, Iowa, 1981.
8. Yoo, I.G., "The Valuation of Industrial Property with Declining Operation Returns", Unpublished thesis, Iowa State University, Ames, Iowa, 1985.
9. Yoo, I.G., "산업설비의 내용연수 분석에 관한 연구". 홍익대학교 논문집 제19집, pp551-563. 1987.
10. 경제동향, 경제기획원, 제31권 제8호, 1992. 8.
11. 기계설계, 1991~1992
12. 기은조사월보, 중소기업은행, 1988. 1~1992. 5
13. 물가자료, 1990~1992
14. 원가정보, 1990~1992
15. 설비투자계획조사, 한국산업은행 제47호, 1992. 5.
16. 월간경제동향, 제일은행, 제261호 1992. 7.
17. 월간제일경제, 제일경제연구소 제2권 제2호,

1992. 2.

투자”, 1984. 12.

18. 조사통계월보, “우리나라의 경기순환과 고정

19. 한국통계월보, 1990.

저 자 소 개



兪 日 根

1975 ~ 1979년 서울대학교
공과대학(공학사),

1980 ~ 1985년 미국 Iowa
State University 산업공학과

(공학석사, 공학박사)

1985년 한국 기계공업 진흥회 조사과장,

1986년 경기대학교 산업공학과 조교수,

1987년 ~ 현재 홍익대학교 산업공학과 부교수.

관심분야 : 경제성 공학 및 투자분석, 평가공학,
작업관리 등.



朴 元 濬

1991년 홍익대학교 산업공
학과(공학사),

1993년 홍익대학교 산업공
학과(공학석사),

관심분야 : 경제성 공학 및 투자분석.