

반도체 제조설비의 경제적 내용연수 산정

오현승*[†] · 김종수* · 서정열** · 조진형**

*한남대학교 산업경영공학과
**금오공과대학교 산업시스템공학과

A Study on the Estimation of Economic Service Life on Semiconductor Equipments

Hyun-Seung Oh*[†] · Chong-Su Kim* · Jung-Yul Suh** · Jin-Hyung Cho**

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

The estimation of mortality characteristics of industrial property is an important adjunct to engineering valuation and depreciation estimation. Once the important of depreciation estimation is determined, it is desirable to understand the processes upon which these estimates are based. The Iowa type survivor curves are a set of generalized retirement dispersion models. These curves were based on analysis of actual retirement experience and represent typical retirement behavior patterns likely to be encountered. The retirement rate of Iowa type survivor curves on the semiconductor equipments in Korea industry was estimated by the life estimation process. In this paper, estimates of service lives based on directly observed data of the domestic semiconductor equipments are presented.

Keywords : Life Analysis, Life Estimation, Iowa Type Survivor Curves

1. 서 론

현재와 같은 치열한 시장경쟁에서 생존하기 위하여 기업이 적절한 유형고정자산을 취득하는 투자 활동은 기업의 중요한 의사결정 활동 중 하나이다. 그러나 인건비, 재료비 등의 다른 형태의 지출과 달리 유형고정자산의 취득비용은 단순히 그 해에 발생한 지출로 간주되어서는 안 되고 자본화 되어야한다. 즉, 유형고정자산의 취득비용은 일정한 내용연수 동안 매년 취득비용 중 일부가 비용으로 발생된 것으로 계상하여 총수입에서 공제 되어야 한다. 이렇게 유형고정자산의 초기비용을 자산의 내용연수 동안 체계적으로 연간비용으로 할당하는

것을 감가상각이라 한다. 특히, 자산의 감가상각 정도는 기업에서 창출하는 재화 또는 서비스의 원가를 산정하는 중요한 요인이므로 정확히 산출되어야 한다. 일반적으로 감가상각 추정에 있어서 가장 중요한 사항은 자산의 내용연수와 감가상각방법, 잔존가치 등 이다. 여기서 감가상각이란 유형고정자산의 실제 시장가격을 반영한 경제적 의미의 감가상각이어야 한다. 일반적으로 기업 회계에서 사용하는 세법상 감가상각은 경제적 감가상각과는 별개의 개념이다. 우리나라에서는 1995년에 대폭 개정된 감가상각 정책으로 인하여 세법상 감가상각은 경제적 의미의 감가상각과는 거리를 갖게 되었다[7]. 자산의 내용연수와 경제적 감가상각률을 추정하기 위

[†] 교신저자 hsoh@hannam.ac.kr

* 이 논문은 2007년도 한남대학교 학술연구 조성비 지원에 의하여 연구되었음.

해서는 자산 종류별로 생존형태를 정확히 분석하여야 한다. 동일한 종류의 자산이라도 폐기되는 시점은 서로 다르므로, 시간경과에 따라 자산의 가치가 감소되는 추세를 보여주는 생존형태는 매우 중요한 기초 통계자료가 된다. 미국에서는 일찍이 자산별 생존형태를 파악하는 것의 중요함을 인식하고, 1930년대에 Iowa 주립대학을 중심으로 자산별 생존형태를 분석하여 18개 형태로 분류하였다. 이 생존곡선은 아직까지 자산 관련 연구에 대한 매우 중요한 기초자료로 활용되고 있으며, 이에 따른 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다[11, 12].

그러나 우리나라의 경우는 아직까지 그러한 실증연구가 부족하여, 자산별 폐기함수에 관한 연구 없이 법인세법상 규정되어 있는 자산별 내용연수를 사용하고 있다. 특히 우리나라 자본스톡의 추계에 유용하게 사용되는 통계청의 국부통계조사 자료에서도 총 자산의 감가상각률을 구하기 위해 세법상의 내용연수를 그대로 사용하고 있다. 그러므로 엄격한 의미에서 국부통계조사 자료에 있는 순자산액은 세법상 감가상각을 반영한 것이지 경제적 감가상각을 반영한 것은 아니라고 할 수 있다. 따라서 우리나라 유형고정자산의 경제적 내용연수를 정확히 측정하기 위해서는 자산 종류별로 폐기분포를 정확히 파악하여야 한다[1, 2, 4, 5]. 본 연구의 목적은 기술진보가 급격한 반도체 업종의 제조설비에 대한 폐기율을 산정하고, 폐기분포의 형태와 평균내용연수를 제시하고자 한다.

2. 생존곡선의 분석

2.1 생존함수(Survivor function)의 분석

동일한 설비라 할지라도 각각의 사용연수는 같지 않으며 동일한 종류의 많은 설비가 있을 때 각각의 사용연수는 일정하지 않고 널리 분산된다. 이러한 설비의 생존형태는 폐기도수곡선(retirement frequency curve), 폐기곡선(retirement curve) 및 폐기율곡선(retirement rate curve)으로 표현된다. 확률변수 X 를 폐기되는 시간을 나타낸다면 누적분포함수(Cumulative distribution function : c.d.f)는

$$F(x) = P(X \leq x)$$

이고 이를 폐기함수(retirement function)라 한다. 그러나 자산설비의 설비수명분석에서는 보조적인 함수형태로 변환하여

$$S(x) = 1 - F(x) = P(X > x)$$

를 사용하며 이를 생존함수(Survivor function) 또는 생존

곡선(Survivor curve)이라 부르며, 어느 시점까지 설비가 사용될 확률을 의미한다. 일반적으로 설비수명분석에서 확률변수 X 는 음의 값을 가질 수 없으므로 $S(0) = 1.0$ 이라 가정한다.

확률밀도함수(Probability density function : p.d.f)는

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} = -\frac{d[S(x)]}{dx}$$

이며 이를 폐기도수함수(retirement frequency function)라 부른다.

순간고장률(instantaneous failure rate)은

$$h(x) = \frac{f(x)}{S(x)} = -\frac{[\log S(x)]}{dx}$$

이며 이를 폐기율(retirement rate)이라 한다. 폐기율이란 $X = x$ 에서 아직 폐기되지 않았는데 $X < (x + dx)$ 에서 폐기될 확률을 의미하며 이는 신뢰성공학에서 사용되는 고장률(hazard rate)과 유사한 개념이다.

폐기율은 확률변수 X 의 함수로 표현되어

$$H(x) = \int_0^x h(u) du = -\log[S(x)]$$

이며 이를 폐기율 함수(retirement rate function)라 한다.

2.2 생존곡선에 의한 내용연수 추정 방법

일반화된 생존곡선이란 생존율의 초기치를 100%로 하여 시간의 경과에 따라 이에 대응하는 생존율을 나타내며, 또한 수명에 대하여는 초기 설치 설비의 평균수명을 100%로 하여 각 경과연수를 이에 상응한 백분율로 나타낸 것이다. 생존곡선이 작성되면 이와 관련된 폐기도수곡선, 잔존기대수명, 예측수명곡선 등의 관계를 알아볼 수 있다.

따라서 설비자산의 평균내용연수(ASL : Average Service Life)는

$$ASL = \frac{\text{Area under survivor curve}}{100\% - \text{surviving}}$$

이 된다. 이러한 원리를 이용하면 처음 설치한 설비자산의 수명, 즉 100%에서의 수명 이외에도 연도별로 기대수명의 계산이 가능하다. 만일 X 년도에서 생존한 자산의 잔존기대수명(remaining expectancy : E_X)을 구하고자 할 때에는 다음의 식에 의거하여 계산한다.

$$E_X = \frac{\text{Area to the right of the age } X}{\% - \text{surviving at the age } X}$$

이러한 계산으로 각 경과연수 마다 잔존기대수명과 예

측수명을 산출할 수 있으며, 이를 일반화하면 다음 식과 같다.

$$ASL = \frac{S_0(\frac{1}{4}) + S_1(\frac{3}{4}) + S_{1\frac{1}{2}}(1) + \dots}{100\% - surviving}$$

$$E_N = \frac{S_N(\frac{1}{2}) + S_{N+1}(1) + S_{N+2}(1) + \dots}{N\text{시점에서의 생존율}}$$

여기서 S_N : N 시점에서의 생존율(%)

2.3 Iowa형 생존곡선

Iowa형 생존곡선(Iowa Type Survivor curve)이란 미국 Iowa State University에서 1935년에 발표한 것으로, 모든 일반 설비의 생존곡선을 대표적인 18가지 형태의 생존곡선으로 표현한 것이다. 이 생존곡선은 176개의 다양한 종류의 설비들에 대한 생존곡선을 조사·연구한 결과로 만들어졌다[14, 15]. 즉 모든 설비들의 생존곡선들을 유사한 종류의 형태로 구분하고, 이를 모두 18가지의 형태로 구분하였다. 그 결과 18가지의 초기 Iowa형 생존곡선을 만들었으며, 추후에 이와는 다른 종류의 형태 4가지를 추가하고, 여기에 직선형 생존곡선과 기존의 생존곡선을 혼합하여 모든 설비의 생존형태를 대표할 수 있는 31개의 Iowa형 생존곡선을 완성하였다[15]. 이 생존곡선은 실증 자료에 의한 결과로 현재에도 그 타당성이 재차 입증되고 있다[3, 13].

초기의 18개 Iowa형 생존곡선은 폐기도수곡선의 특징에 따라 분류하였는데, 폐기곡선의 모우드(mode), 즉 최빈치가 평균 내용연수와 비교하여 어느 쪽으로 치우쳐 있는가에 따라 구분한다. 즉 모우드가 평균수명의 왼쪽에 치우친 것을 L(Left)형으로, 평균 내용연수와 일치하는 것을 S(Symmetrical)형, 오른쪽으로 치우친 것을 R(Right)형으로 구분하였다. 이러한 분류에 의한 생존곡선의 형태는 크게 L형, S형, R형, O형의 4가지 군으로 나누어지고, L형에는 $L_0, L_1, L_2, L_3, L_4, L_5$ 의 6가지 형태가 있으며, S형에서는 $S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ 의 7가지 형태, 그리고 R형에서는 R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 의 5가지 형태가 있다. 그리고 1967년에 추가된 4가지 생존곡선의 형태는 설비의 폐기가 초기에 상대적으로 많이 이루어지는 형태로 이를 α (Origin)형이라고 한다. O형에는 O_1, O_2, O_3, O_4 의 4가지 형태가 있다[8, 9].

실제로 어떤 설비에 대한 사용기간에 따른 폐기 내력을 처음부터 끝까지 기록하는 것은 어렵고 따라서 구하기도 힘들다. 그러나 설비를 운영하기 시작한 초기의 일정기간에 대한 폐기 기록은 작성이 가능하다. 이러한

경우 초기의 폐기 내력을 Iowa형 생존곡선에 맞추어 확장하여 그 이후의 생존곡선의 형태를 찾아낼 수 있고, 그에 의거해 평균 내용연수 그리고 잔존설비의 잔존기대수명 등을 구할 수 있다. 이와 같이 Iowa형 생존곡선은 불완전한 초기자료를 이용해 완전한 생존곡선을 만들어 내는 도구로 이용할 수 있다. 이때 초기의 몇 개의 자료로 구해진 불완전한 짧은 곡선을 토막곡선(Stub curve)이라 한다.

3. 국내 반도체 제조설비의 생존분석

3.1 국내 반도체 제조설비의 폐기자산

1997년부터 2007년까지 국내 반도체 제조설비의 폐기자료 296개와 사용 중인 고정자산 목록에 있는 6,897를 분석한다. 경상가격의 처분가와 취득가는 <표 1>의 통계청의 물가 배율표를 이용하여 불변가격으로 전환하여 산정한다.

<표 1> 물가 배율표(2000년 기준)

연도	1997년	1998년	1999년	2000년
물가배율	0.96	1.038	1.019	1.0
연도	2001년	2002년	2003년	2004년
물가배율	0.913	0.866	0.833	0.845
연도	2005년	2006년	2007년	2008년
물가배율	0.847	0.839	0.836	-

폐기자산 중에 폐기시 처분가가 발생한 경우는 그 설비가 중고기계로 사용 가능하다는 가정을 할 수 있다. 따라서 수정 경과연수의 계산은 다음과 같다.

- 1) 취득가와 처분가를 불변가격화 한다(2000년 가격).
- 2) 각 폐기자산의 경제적 내용연수(수정 경과연수)는 다음과 같이 산정한다.

$$\text{처분가/취득가} = A \text{ 라 하고,}$$

$$\text{경과연수} = \text{처분일} - \text{취득일이라 하면,}$$

$$\text{수정 경과연수} = \text{경과연수} / (1-A)$$

- 3) 각 설비의 경제적 내용연수는 수정 경과연수를 반올림하여 산정한다.

국내 반도체 제조설비의 자산 목록에 있는 6,897개 설비와 폐기자산 296개를 포함 총 7,193개에 대한 폐기자료는 <표 2>와 같다.

3.2 반도체 제조설비의 폐기율 추정

반도체 제조설비의 내용연수를 추정하기 위해서는 수

<표 2> 반도체 제조설비의 설치 및 폐기에 관한 자료

설치년도	연중 설치된 총대수	경과연도										
		괄호밖 숫자 : 각 연초의 생존대수					괄호속 숫자 : 각 연중의 폐기대수					
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1997	53	53(0)	53(0)	53(0)	53(0)	53(0)	53(5)	48(5)	43(30)	13(10)	3(0)	3(0)
1998	1867		1867(0)	1867(0)	1867(0)	1867(0)	1867(0)	1867(0)	1867(5)	1862(4)	1858(44)	1814(23)
1999	397			397(0)	397(0)	397(0)	397(0)	397(0)	397(9)	388(36)	352(22)	330(22)
2000	775				775(0)	775(0)	775(0)	775(0)	774(1)	773(1)	772(2)	770(2)
2001	196					196(0)	196(0)	196(0)	196(3)	193(6)	187(0)	187(0)
2002	1489						1489(0)	1489(0)	1489(2)	1487(42)	1445(18)	1427(2)
2003	185							185(0)	185(0)	185(1)	184(0)	184(0)
2004	561								561(0)	561(8)	553(0)	553(0)
2005	615									615(0)	615(0)	615(0)
2006	796										796(0)	796(8)
2007	259											259(0)
연도별 생존대수		53(0)	1920(0)	2317(0)	3092(0)	3288(0)	4777(5)	4957(6)	5512(50)	6077(108)	6765(86)	6938(35)

명분식(Life Analysis)이 필요하며, 수명분석 방법에는 보험적 방법(Actuarial methods)와 비보험적 방법(Non-actuarial methods)가 있다. 비보험적 방법은 자산의 연도별 설치와 폐기에 관한 자료 수집이 불가능할 때 사용하는 차선의 방법이고, 보험적 방법은 연도별 설치 및 폐기에 관한 정보가 있는 경우에 사용하는 방법이다. 그 대표적인 방법으로는 초기그룹법(Original group method), 폐기율법(Retirement rate method), 개별 자산법(Individual unit method) 등이 있다[10]. 반도체 제조설비의 연도별 폐기 자산에 대한 자료가 수집되었기 때문에 초기그룹법을 사용한다.

<표 2>의 폐기 자료를 활용하여 초기그룹법을 적용한 생존곡선은 <표 3>과 같다.

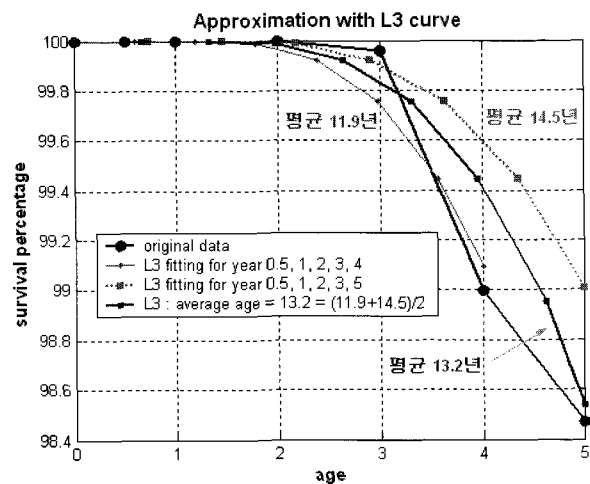
<표 3> 초기그룹법(1998~2002년)의 생존곡선

나이	생존대수/폐기대수	생존율(%)
0.5	4777/0	100.0000
1	4777/0	100.0000
2	4777/0	100.0000
3	4775/2	99.95813
4	4729/46	98.99519
5	4704/25	98.47184

<표 3>의 생존곡선의 결과를 Iowa 생존곡선에 fitting 한 결과, L_3 형 생존곡선이 가장 적합한 것으로 분석되었다[6].

3.3 반도체 제조설비의 평균내용연수 추정

반도체 제조설비의 평균내용연수를 추정하기 위해 컴퓨터 프로그램<부록 1>을 사용한 결과 <그림 1>과 같이 분석되었다. 생존곡선 fitting의 적합도는 연도별로 구해진 자료의 생존율과 L_3 형 생존곡선의 생존율이 얼마나 차이가 나는지 계산하여 이 값의 제곱합을 척도로 사용한다. <표 3>과 <그림 1>에서 보는 바와 같이 3년에서 4년으로 넘어가면서 생존율 감소가 커지다가, 5년째 자료에서 생존율 감소가 크게 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이 경우 4년째 자료가 유효하고 5년째 자료는 전반적인 추세에서 벗어난 예외적인 경우로 간주하고, 0.5년, 1년,



<그림 1> 생존곡선 fitting

2년, 3년, 4년도만 포함하여 최적 L_3 형 생존곡 선을 분석하면, 평균수명은 11.9년으로 추정된다. 반대로 4년째 자료가 예외적인 것이고 5년째 자료가 유효하다면, 0.5년, 1년, 2년, 3년, 5년도만 포함하여 최적 L_3 형 생존곡 선을 도출하면, 평균수명은 14.5년으로 추정된다. 따라서 구해진 평균수명의 평균치를 구하면 반도체 제조설비의 평균내용연수는 13.2년으로 추정된다.

4. 결 론

설비자산의 생존형태를 정확히 파악하기 위해서는 특정 집단의 자산이 설치되어 폐기될 때까지의 시계열적인 자료가 필요하다. 그러나 현재 우리나라에는 이러한 시계열적인 자료가 축적되어 있지 않고, 자료를 생성하려고 해도 자료 생산의 비용과 시간이 많이 소요되어 이러한 자료의 확보는 요원하다.

본 연구에서는 국내 반도체 제조설비의 296개의 폐기 자료에 전체 고정자산 목록 6,897개를 포함하여 총 7,193개를 분석에 사용하였다. 분석된 국내 반도체 제조설비를 Iowa 생존곡선으로 검출한 결과, $L_3 - 13.2$ 형이 가장 적합한 것으로 나타났다. 즉, 국내 반도체 제조설비의 생존형태는 L_3 이고 평균 내용연수는 13.2년으로 추정된다.

반도체 업종의 특성상 기술 진보가 빠르기 때문에 기술 진부화에 따른 자산의 수명도 문제 될 수 있으나 분석 결과, 다른 산업 설비의 생존형태와 큰 차이는 없는 것으로 분석되었다.

참고문헌

- [1] 오현승, 조진형; “산업설비의 수명분석”, 한국산업경영시스템학회 추계학술대회논문집, 대전산업대학교, 대전 : 1-6, 2000.
- [2] 오현승, 김중수, 조진형; “국내 산업설비의 폐기율 추정”, 산업경영시스템학회지, 25(4) : 79-85, 2002.
- [3] 오현승, 이한교, 김경택; “설비 생존곡선 추정을 위한 혼합형 Weibull 함수의 적용”, 산업경영시스템학회지, 30(1) : 66-73, 2006.
- [4] 조진형, 오현승; “우리나라 제조업에 있어서 영구채 고법에 의한 가치평가에 관한 연구”, 한국산업경영시스템학회 추계학술대회 논문집, 금오공과대학교, 구미 : 489-494, 2001.
- [5] 조진형, 박상훈, 김명수, 오현승, 정경수, 서보철; “국부통계조사 간접방법에 대한 대안 제시”, 산업경영시스템학회지, 29(3) : 43-54, 2006.
- [6] 조진형, 서정열, 오현승; “반도체 제조 기계/설비의 경제적 내용연수 산정”, (주)동부하이텍, 2007.
- [7] 한국감정원; 유형고정자산의 내용년수법, 1999.
- [8] Couch, F. V. B. Jr.; “Classification of Type O Retirement Characteristics of Industrial Property,” M.S. thesis, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, U.S.A., 1957.
- [9] Cowles, H. A.; “Prediction of Mortality Characteristics of Industrial Property Groups,” Ph.D. Dissertation, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, U.S.A., 1957.
- [10] Marston, A., Winfrey, R., and Hemstead, J. C.; “Engineering Valuation and Depreciation,” Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1979.
- [11] OECD; Methods Used by OECD Countries to Measure Stocks of Fixed Capital, Paris, 1993.
- [12] OECD; Manual on Productivity Measurement: A Guide to the Measurement of Industry Level and Aggregate Productivity Growth, Paris, 2000.
- [13] 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., 1988.
- [14] Winfrey, R., and Kurtz, E. B.; Life Characteristics of Physical Property, ERI Bulletin 103, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, U.S.A., 1931.
- [15] Winfrey, R.; “Statistical Analysis of Industrial Property Retirement,” Revised edition: ERI Bulletin 125, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, U.S.A., 1967.

<부 록 1>

평균수명계산용 컴퓨터프로그램(PERL 언어 사용)

```
@life = (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50);
@surv = (
    100.00000, 100.00000, 99.99965, 99.98571, 99.92003,
    99.75597, 99.44760, 98.95304, 98.23067, 97.22244,
    95.82788);

@survdata = (100, 100, 100, 100, 99.95813, 98.99519,
    98.47184);

@points1 = (0, 0.5, 1, 2, 3, 4);
@points2 = (0, 0.5, 1, 2, 3, 5);
@points = (0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5);

$asl1 = calcASL(@points1);
$asl2 = calcASL(@points2);

printf "ASL = %5.1fn," 0.1 * (int(0.5 + 10 * ($asl1 +
    $asl2) / 2));

sub calcASL {
    my @pts = @_;
    my $a = 100;
    print join(' ', @pts), "\n";
    $m = $ARGV[0]; $stop = $ARGV[1]; $done = 0;
    $prev = 100;

    while (($m <= $stop) && (!$done)) {

        $val = 0;
```

```
        for $i (0..$#pts) {
            $val+ = ($survdata[$i] - l3($pts[$i]/$m))**2;
        }

        if ($m==$ARGV[0]) { $prev=$val; }
        elsif ($val>$prev) {
            $done=1;
            #print "m = ", $m-0.01, "residual error = $prev\n";
            $a=$m-0.01;
            for $ix (0..$#pts) {
                print l3($pts[$ix]/$a), " ";
            }
            print "\n";
        }
        else { $prev = $val; }

        $m+ = 0.01 if (!$done);
    }
    return ($a);
}

sub l3 {
    my ($x) = @_;
    my $xa;
    $x/ = 0.05;
    {$xa = int $x;}
    #print "xa = $xa x = $x x-xa =", $x-$xa, "\n";
    if ($xa == $x) {return ($surv[$xa]);}
    else {
        return((1 - ($x - $xa)) * ($surv[$xa]) + ($x-$xa) *
            ($surv[$xa + 1]));
    }
}
}
```