

## 제조설비의 기술진부화에 따른 경제적 내용연수 추정

조진형\*<sup>†</sup> · 오현승\*\* · 임택\* · 정수일\* · 이종엽\* · 김병극\*

\*금오공과대학교 산업공학부

\*\*한남대학교 산업경영공학과

## The Estimation of Economic Service Life on Manufacturing Equipments Which It Follows in Technological Obsolescence

Jin-Hyung Cho\*<sup>†</sup> · Hyun-Seung Oh\*\* · Taek Lim\* · Su-Il Jung\* · Jung-Youp Lee\* · Byung-Keug Kim\*

\*Division of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

\*\*Department of Industrial Engineering and Management, Hannam University

Engineering valuation is a specialized discipline requiring expert knowledge and judgment, which scientifically estimates the economic value of industrial properties. By industrial properties, we mean engineering structures such as mines, factories, buildings, machines, and other industrial facilities as well as facilities of public enterprises. Particular industrial properties can have longer economic life if their performance is excellent and they are still suitable for current manufacturing needs. If not, its economic life will be shorter.

As speed of technological progress becomes rapid, life-cycle and development period of a product is becoming shorter. In an industry characterized by rapid development of technology, industrial properties can become obsolescent faster. Even if they are in good working order, they could be no longer suitable for manufacturing new products based on radically different technology. In our research, we apply engineering approach to estimating functional economic life by factoring in technological obsolescence in such an industry.

**Keywords** : Average Service Life, Technological Obsolescence, Valuation

### 1. 서론

최근 기술 발달 속도가 빨라짐에 따라 제품의 수명주기와 개발기간이 단축되고 있고, 개발기간 중에 신기술과 부품을 적용함에 따른 설계상의 문제와 신뢰성을 보증하기 위한 시간이 부족한 경우 등 경영 전반을 떠나 제조 환경만 보더라도 급변하고 있다. 이에 대한 대처는 시스템적 접근

이어야 하고 상황적합적 접근(contingency approach)이어야 하며[21], 시장니즈의 급격한 제품 혁신<sup>1)</sup>요구와, 시차(time lag)는 있지만 그에 따른 제조공정의 혁신도 요구되어지고 있다[2, 20, 31, 35]. 다수의 동종 설비(vintage group property)는 사용기간이 경과함에 따라 기능상의 내용연수는 충분히 여력이 있으나, 수요 기술이나 신뢰성에 미치지 못해 폐기되는 설비가 존재하게 된다. 이와 같이 기술진부

논문접수일 : 2011년 03월 07일      게재확정일 : 2011년 03월 11일

<sup>†</sup> 교신저자 joy@kumoh.ac.kr

※ 본 논문은 금오공과대학교 연구지원에 의해 연구된 논문임.

1) 기술 혁신(innovation)은 Utterback and Abernathy[35]에 의하면 제품과 공정으로 나누어진다고 한다. 제품 혁신이 먼저 이루어지고, 공정 혁신이 뒤이어 이루어진다는 것 등 혁신에 관한 전반적이고 체계적인 동태적 과정(dynamic process)을 제시하고 있다.

(technological progress)가 빠른 산업은 기술진부화(technological obsolescence)에 의한 자산수명이 문제가 될 수 있다는 것이다[3, 4, 24, 32].

따라서 본 연구에서는 기술진보가 빠른 반도체 산업의 예를 들면서 기술진부화에 따른 경제적 내용연수의 변화 추이 분석과 추정에 대해 논하고자 한다.

## 2. 기술진부화에 의한 제조 설비의 내용연수 추정 모형-반도체 공정을 중심으로

기술진부화에 의한 제조 설비의 내용연수 추정 모형은 먼저 기술진부화 등의 환경변화가 없는 일반적인 경제적 내용연수(ASL, average services life)를 추정하는 것부터 시작이 된다. 노말한 상태에서 추정된 ASL을 기반으로 기술예측(technological forecasting)에 의한 상황 변화의 정보를 충분히 수집하고 숙지한 후, 이를 바탕으로 기존의 Iowa곡선을 변형 적용시킴으로써 기술진부화에 의해 변화된 제조 설비의 새로운 ASL을 산정할 수 있다. 다음과 같이 3단계의 과정을 밟아갈 것으로 사료된다[7, 8, 9, 11, 12, 13].

**Step 1** : 기술진부화에 의해 급격한 제조설비의 폐기(retire)가 일어나지 않는 현재 상황의 ASL 추정한다. Iowa curve상으로는 OG법(original group method), 폐기율법 등에 의해 토막곡선(stub curve)을 구하고 그의 연장으로 목적적으로 추정된다. 물론 컴퓨터 프로그램이나 타 방법으로도 추정하기도 한다[9, 13, 28, 36, 37].

**Step 2** : 제품 수명주기에 관한 자료, 기술예측 자료, 동업 기관지(trade journal)의 정보, 기업의 현장 엔지니어 등으로 구성된 Panel토의<sup>2)</sup>에 의해 향후 기술 예측을 시행한다[10, 19, 21, 22, 23, 30].

**Step 3** : Step 1과 Step 2에서 도출된 결과 및 자료에 의해 새로운 적합 Iowa curve를 규명하여 기술진부화에 따른 새로운 제조 설비의 ASL을 추정한다[1, 5, 8, 14, 15, 17, 18].

## 3. 기술진부화에 따른 내용연수 추정 모형 작성을 위한 사례

### 3.1 Step 1 : 기술진부화에 의해 급격한 제조설비의 폐기(retire)가 일어나지 않는 현재 상황의 ASL 추정

<표 1> 일반기계 및 장비의 물가 배율(2005년 기준)

연도	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
물가배율	0.780	0.892	0.863	0.888	0.869	0.856	0.871
연도	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
물가배율	0.937	1.000	1.002	1.010	1.130	1.112	1.112

불변 가격화하기 위한 물가 배율 작성은 급변하는 경제 환경을 감안하여(세분류 시, 지나친 Bias를 줄이기 위한) 산업 대분류의 도매물가 지수를 사용하였다.

OG법(original group method)를 활용하여 경제적 내용연수를 산정기 위해, D업체의 폐기 Data를 사용한 경과연도표와 토막곡선 생존표는 <표 2>, <표 3>과 같다.

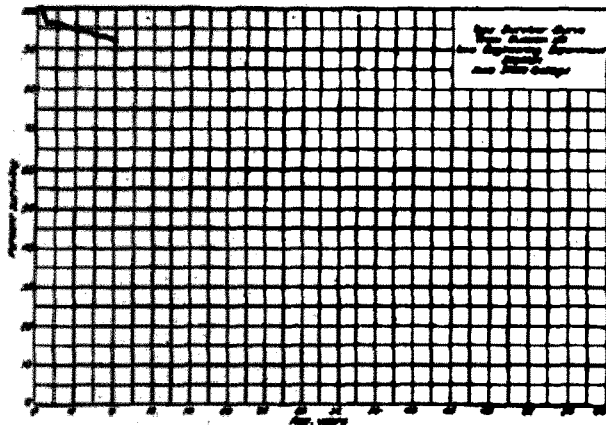
<표 2> 경과연도표

설치년도	연중 설치된 총대수	경과연도													
		괄호 밖 숫자 : 각 연초의 생존대수 괄호 속 숫자 : 각 연중의 폐기대수													
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1997	20	20(0)	20(0)	20(0)	20(0)	20(0)	20(0)	20(5)	15(12)	3(1)	2(0)	2(2)	0(0)	0(0)	0(0)
1998	277		277(13)	264(0)	264(0)	264(0)	264(0)	264(0)	264(1)	263(2)	261(6)	255(2)	253(0)	253(1)	252(0)
1999	64			64(4)	60(0)	60(0)	60(0)	60(0)	60(7)	53(2)	51(0)	51(0)	51(0)	51(0)	51(0)
2000	110				110(1)	109(0)	109(0)	109(1)	108(0)	108(0)	108(0)	108(0)	108(0)	108(0)	108(0)
2001	30					30(4)	26(0)	26(0)	26(0)	26(0)	26(0)	26(0)	26(0)	26(0)	26(0)
2002	421						421(3)	418(0)	418(0)	418(10)	408(2)	406(0)	406(0)	406(0)	406(0)
2003	55							55(0)	55(0)	55(0)	55(0)	55(0)	55(0)	55(0)	55(0)
2004	104								104(0)	104(0)	104(0)	104(0)	104(0)	104(0)	104(0)
2005	130									130(1)	129(0)	129(0)	129(0)	129(0)	129(0)
2006	102										102(0)	102(0)	102(0)	102(0)	102(0)
2007	43											43(0)	43(0)	43(0)	43(0)
2008	28												28(0)	28(0)	28(0)
2009	39													39(0)	39(0)
2010	8														8(0)
연도별 총생존대수	1431	20(0)	297(13)	348(4)	454(1)	483(4)	900(3)	952(6)	1050(20)	1160(16)	1246(8)	1281(4)	1305(0)	1344(1)	1351(0)

<표 3> OG법(1998~2002년)의 토막곡선 생존표

나이	생존대수	폐기대수	생존율
0	902	0	100.00000%
0.5	877	25	97.22838%
1	877	0	97.22838%
2	877	0	97.22838%
3	866	11	96.00887%
4	864	2	95.78714%
5	857	7	95.01109%
6	854	3	94.67849%
7	852	2	94.45676%
8	846	6	93.79157%

토막곡선 <그림 1>을 그린 후 Iowa 곡선에 의한 목측법은 L3에 Fitting 되며, ASL은 13년으로 추정된다. 즉, 기술진부화에 의해 급격한 제조설비의 폐기(retire)가 일어나지 않는 현재 상황의 ASL 추정을 했다.



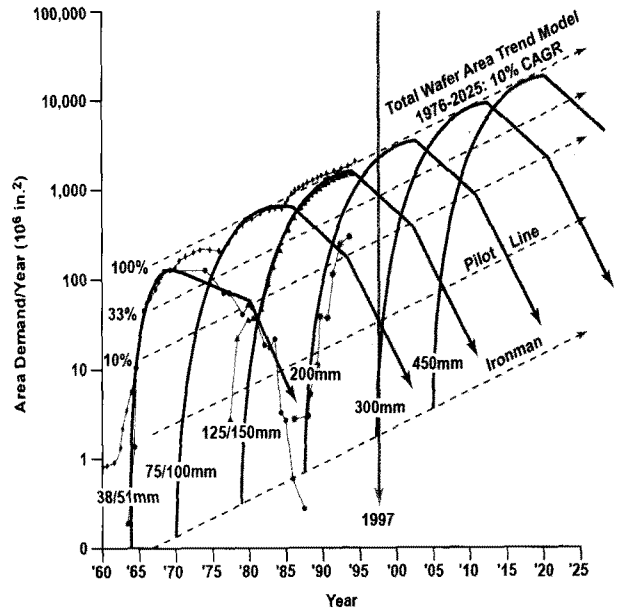
<그림 1> 초기그림법에 의한 토막곡선

3.2 Step 2 : 기술진부화에 관한 정보 수집

반도체 산업에서도 기술진부화 현상이 일어나고 있다. 반도체 산업에서 웨이퍼 크기는 <그림 2>에서 볼 수 있듯이 약 10년을 주기로 150mm에서 200mm로, 200mm에서 300mm로 1.5배씩 확대되어 왔으며 이는 반도체 산업의 지속적인 수익성 향상과 산업성장의 기

2) 토론집단(discussion group)을 패널 멤버와 청중으로 나누고 먼저 소정의 문제에 대해 패널 멤버인 각 분야의 전문가로 하여금 토론하게 한 다음 청중과 패널 멤버 사이에 질의응답을 하도록 하는 토론 형식. 많은 사람이 토론에 참여할 수 있으며 비교적 성과가 큰 것이 특징이다. 또한, 이 기법은 델파이 법과 함께 수요 예측 기법의 하나로써도 활용되고 있다.

반이 되어왔다. 과거 200mm 웨이퍼에서 300mm 웨이퍼로 전환할 당시 전환과정이 성공적이었음에 비추어 이제 원가 절감과 생산성 향상 목표 달성을 위한 차세대 450mm 웨이퍼 도입의 필요성이 대두하게 되었다[10, 23].



<그림 2> Wafer 제품수명주기(life cycle)[23]

사례분석대상 기업의 현장 엔지니어와의 Panel토의에 의해 향후 5년 후인 2015년에는 대폭적인 폐기(retire)가 발생한다는 것을 파악했다.

설비측면에서 한 단계 늦게 가는 비메모리 공정을 보더라도 8인치(200mm) 웨이퍼와 병행되고 있는 Low-Tech의 수요와 공급이 High-Tech 수요와 공급인 12인치(300mm) 웨이퍼의 처리가 확대 정착됨으로 설비 기능은 유효하지만 기술진보에 의해 설비가 폐기(retire)되는, 즉 기술진부화에 의하여 길어도 향후 5년 이내면 (2015년 내) 급격한 설비 대체 현상을 보일 것이다.

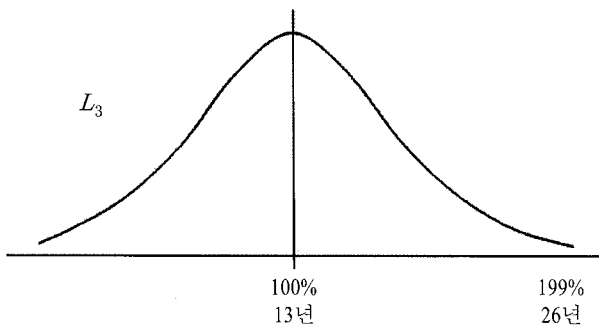
웨이퍼의 크기가 10년을 주기로 150mm에서 200mm로, 200mm에서 300mm로, 300mm에서 450mm로 확대 되는 것을 볼 수 있는데, 최근 450mm의 급격한 기술진보로 현재 450mm를 초기 생산하는 기업도 있다. 만약 200mm에서 300mm로의 전환이 아니라 200mm에서 450mm로 급격한 전환이 된다면 설비의 내용연수는 더욱 짧아 질 수 있게 된다.

즉, 200mm에서 300mm로의 기술진보에 의한 반도체용 웨이퍼 생산 설비의 내용연수를 추정할 때 Fitting되는 Iowa 곡선과는 달리, 200mm에서 450mm로 급격하게 전환된다면 내용연수가 더 짧은 새로운 Iowa 곡선으로 Fitting 될 수도 있다[8, 24, 25, 26, 27, 29, 33].

### 3.3 Step 3 : 기술진부화에 따른 새로운 제조 설비의 ASL 추정

#### 3.3.1 L3의 Percent Surviving Curve

선행 연구 결과[8, 9] 일반적 우리나라의 산업설비가 L3형이므로 내용연수는 Iowa곡선 L3에 준하며, ASL은 Step 1에서 추정된 바와 같이 13년이다. 또한, L3 Iowa 곡선표[28]에는 Percent Surviving이 1.2840\*<sup>8</sup>에 240%까지 생존 가능성을 제시하고 있다. ASL이 13년이면, 240%에 해당되는 연수는 31.2년이며, Percent Surviving이 1%일 때는 199%까지 생존가능성이 있다고 Iowa 곡선은 보여주고 있고, ASL이 13년이므로 이에 해당하는 연수는 26년이다<그림 3>.



<그림 3> L3의 Percent Surviving Curve

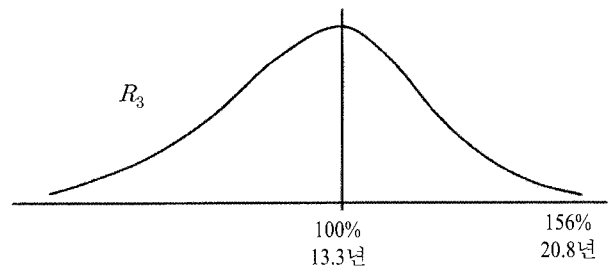
Step 2에서 논의된 바와 같이 <그림 2> Wafer의 수명주기 기술예측 자료 등과, 사례분석대상 기업의 현장 엔지니어와의 Panel토의에 의해 향후 5년 후인 2015년에는 대폭적인 폐기(retire)가 발생할 것이라는 것이 파악되었다. 5년 후에 대폭적인 폐기현상은 동종 설비에서 상대적 긴 수명을 가지는 설비의 내용연수 26년(Percent Surviving 1%, ASL 199%)에 20% 정도 감하는 20.8년이 동종 설비에서 상대적 긴 수명을 가지는 설비의 내용연수가 되며, 이를 추정 과정에 포함했다. 즉, L3형에서 Percent Surviving이 1%인 현재의 내용연수가 26년에서 20%가 감해진 20.8년으로 내려간다는 것이다.

#### 3.3.2 Iowa곡선 L형과 R형과의 관계

만약 ASL 100%가 13년이고, Percent Surviving이 1%이며 20.8년(20.8/13 = 160%)에 근접하는 Iowa곡선은 우측편이 긴 꼬리를 가지는 L형 Iowa곡선 대신에 우측편이 짧은 꼬리를 가지는 R형이 된다고 볼 수 있다. 즉, 시행착오법에 의해 R형은 R3형으로 Fitting이 되고, R3형에서 생존률이 1%인 것은 ASL 100%가 13.3년이며, ASL 156%가 20.8년이 된다(<표 4>, <그림 4>).

<표 4> Percent Surviving and Probable Lives

Type curve	Percent Surviving	Probable life (percent of average life)
L <sub>3</sub>	1%	199%
R <sub>3</sub>	1%	156%



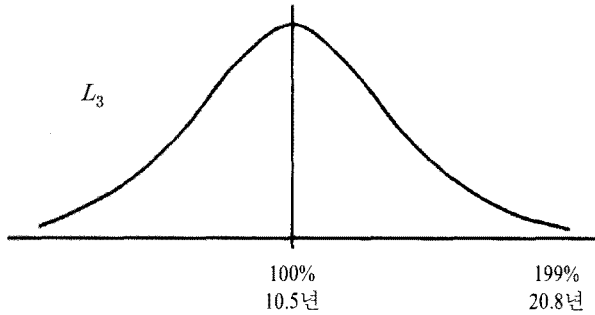
<그림 4> R3의 Percent Surviving Curve

기술진부화에 의해 정상적 폐기 스케줄을 가지지 않는 제조 설비는 단순히 R형으로 바뀌어진다고 단언할 수도 있지만, 설비의 100% ASL을 추정하는데 있어서는 동종 설비들이 평균적으로 얼마의 내용연수를 유지한 후 폐기(retire)되는 것이 추정의 중심 관점이다. 즉, 기술진부화에 의해서 교체 주기가 짧아진다는 것은 단순히 내용연수가 길어지는 공정 구조의 전환 시점에서 해당 설비들을 일괄적으로 폐기(retire)하는 것이 아니라, 이러한 기술진보가 빠른 산업 분야에서는 공정운영을 설비의 최대 가동률로 운영할 가능성이 높고, 또한 최대 효율을 지향하는 제조 공정에서는 시장의 Needs 라든가 생산성, Line Balancing에서 조금이라도 미치지 못하는 경우에는 곧장 Mismatching 설비가 되어 폐기(retire)되는 것이 일반적이다.

기술진부화에 의한 제조 환경에서는 상대적으로 긴 수명을 가지는 설비의 내용연수가 짧아지는 것이 아니라 해당 설비 전체의 내용연수가 평균적으로 짧아질 가능성이 지배적이라는 것이다. 이를 ASL 추정에 가정하고자 한다. 여기에다 실제 제조 공정상에서는 설비의 배와 레몬 문제<sup>3)</sup> 등 여러 요인을 감안할 때 Percent Surviving 1%인 ASL이 20.8년이 되는 L형 곡선에서 경제적 내용연수를 추정하는 것이 설비의 자산 가치 평가에 타당하다고 사료된다.

3) 설비가 특화되어 있을 경우에는 경과 연수가 오래된 설비라도 성능이 좋고 생산에 적합하면 사용 연수가 길어진다. 그 반대의 경우는 사용연수가 짧아지고 매각/폐기의 시점이 빨라지는 것이 보통이다. 이런 것을 자산 가치평가에서는 배와 레몬의 문제라고 한다. 즉, 맛있는 배는 소유하려고 하고, 맛이 없는 레몬은 처분하려고 하는 상황을 뜻하는 것이다.

따라서, R<sub>3</sub>곡선의 생존율 1% 때의 내용연수 20.8년을 L<sub>3</sub>곡선으로 이전하여 보면, L<sub>3</sub>경우는 기술진부화에 의해 내용연수가 평균 20% 줄어든 경우 ASL 100%는 10.5년으로 산정된다<그림 5>.



<그림 5> L<sub>3</sub>의 Percent Surviving Curve

#### 4. 결 론

현재 국부통계[7, 8] 등 자료에 의하면 제품수명 주 기상 반도체 주 설비가 11년~15년 임에도 불구하고 현재 8인치(200mm) Wafer와 병행되고 있는 Low-Tech의 수요와 공급이 High-Tech 수요와 공급인 12인치(300mm) Wafer의 처리가 확대 정착됨으로(2010년 현재 Wafer size는 450mm까지 확대되고 있음) 설비기능은 유효하지만 기술진보에 의해 설비가 폐기(retire)되는, 즉 기술진부화에 의하여 길어도 향후 5년 이내면(2015년 내) 급격한 설비 대체 현상을 보일 것이다.

본 연구사례 분석 결과도 OG법에 의한 Iowa 곡선 목적법은 약 13년을 가리키고 있다. 하지만, 전문 동업 기관지의 기술예측에 의한 기술진부화에 의해 20% 이상 내용연수가 감해질 것으로 판단될 경우 사례의 제조설비 경제적 평균 내용연수인 ASL(average service life)은 10.5년으로 추정됨이 타당하다는 것이다.

본 연구에서는 내용연수 산정에 있어 아주 초보적인 단계이지만, 설비 기술예측(technological forecasting)이라 할 수 있는 기술진부화를 예측하여 제조 설비 부문에 대해서 내용연수 삭감을 시도했다는 점이 특별하다고 할 수 있다.

기술예측에 의한 설비의 내용연수 증감에 대한 연구는 앞으로도 현장에서 보다 더 많이 도입되어야 된다고 사료되고, 이를 위해 해당 산업구조의 변화 추이, 생산설비의 진화 추이 등에 대한 정보의 확보와 그에 따른 공정기술 확보가 보다 더 심층적으로 이루어져야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] 금오공대, 한남대 편저, 통계분석을 위한 Minitab의 활용, 글누리, 2010.
- [2] 김길선 역(M. A. Schilling 저); “기술경영과 혁신전략 (Strategic Management of Technological Innovation)”, Mcgraw-Hill, 2nd ed., 2008.
- [3] 김원경; 신뢰도공학의 이론과 실제, 교우사, 2005.
- [4] 서순근; “Minitab 신뢰성 분석”, 이레테크, 2006.
- [5] 서재환; “우리나라의 자본스톡 추계 기법에 관한 고찰”, 통계청 경제통계국 통계분석과(미출간 내부자료), 2000.
- [6] 송치영; “한국의 자본스톡 추계”, 서울대학교, 1987.
- [7] 오현승, 조진형; “유형고정자산의 경제적 내용연수 산정에 관한 연구”, 한국감정원 감정평가연구소, 1997.
- [8] 오현승, 조진형; “유형고정자산의 산업별·자산별 폐기율 추계, 국부통계간접추계 기법개발 및 시산”, 서울대학교 경제연구소, 2000.
- [9] 오현승, 조진형 외; “반도체 제조설비의 경제적 내용연수 산정”, 한국산업경영시스템학회, 2007.
- [10] 이현 외; “차세대 웨이퍼 생산시스템에서의 실시간 스케줄링 시스템 아키텍처”, 한국산업경영시스템학회, 2010.
- [11] 조진형 외; “국부통계조사 간접방법에 대한 대안 제시 : 영구재고법을 중심으로”, 한국산업경영시스템학회, 2005.
- [12] 조진형; “자본스톡의 기업 규모별 시계열 추계에 관한 고찰”, 금오공과대학교 논문집, 4, 1983.
- [13] 조진형, 오현승; “제조업의 유형고정자산(설비)의 경제적 내용연수 산정”, (주)크라운제과, 금오공과대학교 지역산업경영연구소, 2000.
- [14] 통계청, “OECD 자본축적”, 통계청 통계분석과, 2001.
- [15] 통계청, “국부통계 간접추계기법 개발을 위한 2001년 폐기율 추정 결과”, 경제통계국 통계분석과(내부보고서), 2002.
- [16] 한국은행; “국민계정해설”, 1991.
- [17] 한국은행; “OECD 자본스톡 매뉴얼”, 경제통상국, 2002.
- [18] 현진권; “유형고정자산의 경제적 감가상각 추정, 한국조세연구원, 1996.
- [19] Chambers, J. C. et al.; “How to Choose the Right Forecasting Technique,” *Harvard Business Review*, 1971.
- [20] Elfar, A. A. E.; “Valuation of Machinery and Equipment for Industrial Properties,” *Iowa State University*, Ames, Iowa, 1976.
- [21] Hicks, H. G.; “The Management of Organizations,” 3rd ed., Mcgraw-Hill, 1976.
- [22] Hicks, P. E.; “Industrial Engineering and Management,”

- Mcgraw-Hill, 1994.
- [23] ICE Co.; "ICE Eng'g, Cost Effective IC Manufacturing," 1998~1999, ICE Co., P7-2(ISBN 1-877750-60-3).
- [24] Kaplan, R. S. and Atkinson, A. A.; "Advanced Management Accounting," 2nd ed., Prentice-Hall International, Inc., 1982.
- [25] Kececioglu, Dimitri.; "Reliability and Life Testing Handbook 1 and 2," PTR Prentice Hall, 1994.
- [26] Lawless, J. F.; "Statistical Models and Methods for Lifetime Data," 31-44, John Wiley and Sons, Inc., NY. 1982.
- [27] Lewis, E. E.; "Introduction to Reliability Engineering," John Wiley and Sons, NY. 1987.
- [28] Marston, A., Winfrey R., and Hempstead J.; "Engineering Valuation and Depreciation," Iowa State University Press, 1982.
- [29] Nelson, W.; "A Survey of Methods for Planning and Analyzing Accelerated Test," IEEE Tran. on Elec. Ins., 9(1) : 12-18, 1974.
- [30] North H. Q. and Donald L.; "Probes' of The Technological Future," *Harvard Business Review*, 1970.
- [31] Payne, F. W. (ed.); "Advanced Technologies," The Fairmont Press Inc., 1985.
- [32] Samuelson, P.; "Economics," 9th edition, Mcgraw-Hill, 1973.
- [33] Tobias, P. A. and Trindade, D. C.; "Applied Reliability," Chap.7.2, Van Nostrand Reinhold Co., NY. 1986.
- [34] Usher, D. ed., The Measurement of Capital, The University of Chicago Press, 1981.
- [35] Utterback, J. M. and Abernathy, W. J.; "Dynamic Model of Innovation," *Omega*, 3, 1975.
- [36] Whelan, M.; "The Estimation of Declining Operation Returns for Industry Property," Ph. D. dissertation(unpublished), Iowa State Uni., 1981.
- [37] Winfery, R.; "Statistical Analysis of Industry Property Retirement," Revised edition : ERI Bulletin 125, Iowa State Uni., 1967.