

# A Study on the Estimation of Average Service Life for New Technology Products-in Case of Solor-cell

Jin-Hyung Cho\* · S. J. Lee\* · H. S. Oh\*\*\* · S. S. Baek\* · O. J. Kim\* · B. K. Kim\*  
K. S. Jeong\* · S. H. Park\* · D. C. Kwon\* · J. H. Ko\*\* · J. H. Ryu\*\* · S. C. Shim<sup>†</sup>\*\*

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

\*\*Department of Consulting, Graduate School Kumoh National Institute of Technology

\*\*\*Dept. of IME, Hannam University

## 신기술 제품의 ASL 추정-솔라셀 사례 중심으로

조진형\* · 이세재\* · 오현승\*\*\* · 백성선\* · 김옥재\* · 김병극\*  
조경수\* · 박상훈\* · 권대철\* · 고재호\*\* · 유지현\*\* · 심성철\*\*<sup>†</sup>

\*금오공과대학교 산업공학부

\*\*금오공과대학교 컨설팅대학원

\*\*\*한남대학교 공과대학 산업경영공학과

Until now, because a new product (or facility) launched in market has been retired from one year of age, we can have had ASL by stub-curve method by Iowa curve. Recently, many innovative products with important role in market like display and solar-cell etc. are more durable and, what are better, they have the constant variance in ASL because of their good quality. Of course, there are some ones like smart mobile phone with relatively big dispersion in ASL. Estimating ASL of products like display and solar-cell etc., the new approach is needed. In this paper a new method applied traditional Iowa curve with accelerated reliability test (indoor/outdoor) etc. is proposed.

**Keywords** : Life Analysis, Life Estimation, Iowa Type Survivor Curves, ASL(Average Service Life)

## 1. 서 론

기업에서의 설비 도입은 기업회계에서 수익성 지출(revenue expenditure)이 아닌 자본적 지출(capital expenditure)이며, 사업자의 유형고정자산이 된다. 이는 1968년 유엔이 국제적으로 통일된 국민통계를 작성키 위해 마련한 국민계정체계(SNA, system of national accounts) 상 유형고정 자본형성(tangible fixed capital formation)이 되고, 여러 해

걸쳐서 축적이 되면 자본스톡이 된다. 이는 한 국가로서는 국부(national wealth)이기도 하다. 하지만 최근 시장에 런칭되는 혁신제품들은 품질이 좋아 내구성(내용연수)의 향상과 일정성(constancy)을 가지고 있어 지금까지의 가치평가, 평가공학의 방법에서 새로운 전개 필요하다. 즉 시장런칭 초기부터 폐기되는 제품들의 Vintage 자료들에 의한 토막곡선(stub-curve)으로 경제적 내용연수(ASL)를 구하는 것이 용이하지 않다는 것이다. 더구나 우리나라와 같이 Vintage 자료가 부족하여 제한적 평가공학 방법론의 향상이 요구되었고, 되고 있는 환경에서는 더욱 그러하다 하겠다.

Received 14 November 2014; Finally Revised 18 November 2014;  
Accepted 18 November 2014

<sup>†</sup> Corresponding Author : sejongmot@hanmail.net

예를 들면, 2012년 신재생에너지공급 의무화제도가 도입되면서부터, 태양광 발전설비의 설치가 발전사업자 중심으로 증가하고 있다. 도입의 증가는 태양광 발전설비의 자산관리상 중요도가 증가되고 있음을 의미한다. 태양광 발전설비는 실리콘웨이퍼의 재료적 특성과 함께 품질향상에 따른 내용연수의 증대와 일정성을 가지고 있어 유효한 폐기 Vintage 자료의 확보가 용이하지 않다는 것이다. 또한 태양광 발전설비는 산업적으로 도입된 역사가 짧기 때문에 경제적 내용연수 추정에 대한 연구가 부족하고, 핵심 소자인 솔라셀(solar-cell)의 수명에 대한 연구도 부족하다.

본 연구의 목적은 태양광 발전설비와 같이 품질향상에 따른 내용연수의 증대와 일정성을 가지고 있어 유효한 폐기 Vintage 자료의 확보가 용이하지 않는 신기술제품의 경제적 내용연수 추정에 대해 고찰하고, 그 추정 모형을 제시하고자 한다.

## 2. 경제적 내용연수 추정에 관한 이론적 배경

### 2.1 경제적 내용연수(ASL)

내용연수는 사전적 정의에 의하면, ‘고정자산의 이용 가능 연수’로 되어 있다. 또한 산업 등 현장에서 이루어진 자산들의 평균사용연수(ASL : Average Service Life)를 경제적 내용연수라 한다. 역사적 관점에서 내용연수의 개념은 미국 Marston[12, 13]이 자산의 경제적 가치 산정하기 위한 공학 경제적(engineering economic) 연구에서 출발하여 자산에 대한 경제적 내용연수의 개념을 정립하였다.

이후 미국 IRS가 1981년 조기원가회수제도(ACRS : accelerated cost recovery system)를 도입하면서 기존 경제적 내용연수의 개념이던 조세상 내용연수는 경제적 개념이 없는 (기업)회계 상의 내용연수의 개념으로 가게 되었다[8].

내용연수 산정을 위한 관점에서 경제적 내용연수는 시간경과에 따른 사후적(ex post) 관점을 가졌다. 과거의 정보를 바탕으로 경제적 내용연수를 산정한다는 의미이다. 반면 조세상 내용연수의 경우 사전적(ex ante) 개념이다. 새로운 자산에 대하여 사전에 내용연수가 지정되어 있어 야하는 특성을 말한다.

그리고 물리적 내용연수와 경제적 내용연수를 구분한다. 물리적 내용연수는 자산의 신뢰성 측면의 수명을 의미하고 경제적 내용연수는 자산이 경제적 가치를 제공할 수 있는 연한을 의미한다. 기업회계 측면에서는 회계적 내용연수가 있다. 기업입장에서 경제적 내용연수를 추종할

것으로 생각되지만 오히려 조세상 내용연수를 따라 가는 경향이 짙다.

자산의 가치가 감소되는, 즉 경제적 내용연수가 감소되는 원인은 다른 것이 있을 수 있으나 일반적으로 다음 원인 중 하나 또는 복합적 원인에 의해 발생된다.

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

OECD 보고서[14] 등에 따르면 상황에 따라서 자산의 경제적 내용연수가 증가할 수도 있다. 최근의 생산품은 품질이 좋아져서 물리적 내용연수가 증가하는 추세이다. TPM 등 관리기술의 성장과 기여도 한몫을 하고 있다. 대응적(reactive), 예방적(preventive), 예측가능한(predictive) 관리로 이어지는 관리기술의 발전과 또 이를 아우르는 선행적(proactive) 관리는 이를 대변해 주고 있다. 미국 보잉사의 MRO(maintenance, repair and operations) 시스템도 한 예이다. 최근에 설비 운용 중 발생한 결함을 감지, 관찰하고 이로부터 결함 성장을 예측하는 고장예지 및 관리기술(PHM, prognostics and health management)이 많은 주목을 받고 있다. 결함 감지를 통해 고장이 임박한 결함에 대해서만 수리를 행하면 되므로 결과적으로 유지보수 횟수를 상당히 감소시키는 효익과 물리적 내용연수를 연장시키는 결과를 가져온다.

본 연구에서는 경제적 내용연수를 구하는데 널리 활용되는 아이오와곡선(iowa curves) 방법을 사용한다.

아이오와형 생존곡선은 Marston, Winfrey와 Kurtz에 의해 18개의 기본형이 개발되었다. 이 생존곡선은 폐기곡선(frequence curve)의 형태에 따라 Mode가 평균 100%보다 왼쪽에 있는 6개의 L형(left-modal), Mode가 평균 100%에 있는 7개의 S형(symmetrical-modal) 및 Mode가 평균 100%보다 오른쪽에 있는 5개의 R형(right-modal)으로 구분된다. 그 후 설비의 폐기가 초기에 많이 이루어지는 형태 O형(origin-modal) 4가지가 추가되어 모두 22개의 생존곡선이 만들어 졌다[13].

설비들의 ASL을 추정하기 위한 생존형태 분석과정은 크게 설비수명분석(life analysis) 과정과 설비수명추정(life estimation) 과정으로 구분된다.

설비수명분석 과정이란 설비들의 중고 자산 자료를 분석하여 자산 가치 감소의 특성을 수학적으로 또는 도식적으로 표현하게 된다. 설비수명추정 과정이란 설비수명분석에 의하여 구해진 결과를 이용하여 경제적인 추세, 기술상의 변화 정도, 경영상의 변화 등을 고려하여 설비 자산의 정확한 생존모형을 추정한다.

## 2.2 자본스톡

자본스톡(capital stock)은 UN이 발간한 『System of National Accounts 1993』의 내용에 대차대조표의 핵심 통계로서 국부(national wealth)를 나타내는 것이다[14].

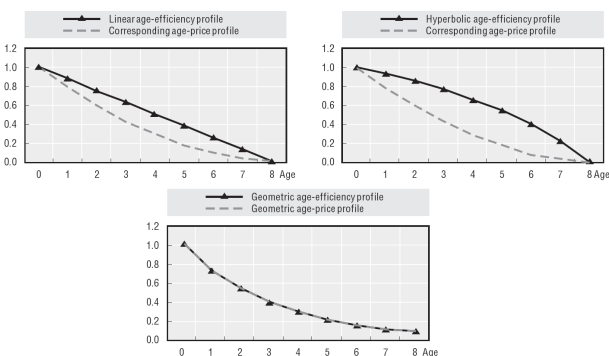
총자본스톡(gross capital stock)은 재취득가의 개념이므로 추정 시 물가배율과 시간경과에 따른 폐기(retirement, disposal)의 자료가 중요하다. 순자본스톡(net capital stock)은 자산의 현재 가치의 개념으로 재조달가라 할 수 있다. 순자본스톡을 산출하는 방법은 연령-가격 함수(age-price profile)를 함수를 적용할 수 있고, 감가상각의 자료가 중요하다. 즉 총스톡에서 감가상각을 제한 것이다. 생산자본스톡(productive capital stock)은 연령-효율 함수(age-efficiency profile)에 따른 생산효율 감소를 보정한 스톡이다. 각 용어에 대한 OECD의 정의[1]는 아래와 같다.

총자본스톡; Gross Capital Stock : 과거에 투자되어 현재 잔존해 있는 자산의 스톡을 현재기간의 신품 자본재 취득가격으로 재평가한 것

순자본스톡; Net Capital Stock : 과거에 투자되어 현재 잔존해 있는 자산의 스톡에서 감가상각을 보정한 스톡. 자본재를 대차대조표 기록시점에 취득한 것처럼 평가함.

생산자본스톡; Productive Capital Stock : 과거에 투자되어 현재 잔존해 있는 자산의 스톡에서 생산효율 감소를 보정한 스톡

생산자본스톡은 자본의 수량 및 생산 측면과 직접 관련되며 자본서비스를 측정하기 위한 중간단계가 된다. 만일 연령-효율함수와 연령-가격함수가 동일하다면 두 스톡의 측정치는 일치한다. 다른 예로 6개월 경과된 자동차는 생산효율이 전혀 줄지 않았더라도 중고시장에서 20% 할인된 가격으로 매각될 것이다. 이러한 현상이 연령-효율함수와 연령-가격함수를 구별해주는 예가 된다. <Figure 1>



<Figure 1> Age-Efficiency and Corresponding Age-Price Profiles[15]

은 두 가지 함수를 표시한 그래프로, 자동차의 예는 두 번째 그래프로 설명할 수 있다[1].

## 2.3 감가상각

감가상각과 관련된 내용연수의 산정은 평가공학(engineering valuation)의 한 분야로 경제적 감가상각, 재무적 감가상각과 세제상 감가상각으로 구분해 볼 수 있다.

경제적 감가상각은 자산이 사용되어짐에 따라, 시장가격으로 그 가치가 하락되는데 이 하락분을 나타낸 것이다. 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{연령-가격함수} : y_t = f(t), (t : \text{년도}, y_t : t\text{년의 가격})$$

이 관계식은 Hulten과 Wykoff에 의해 산출되었으며, 특히 통계학자 Box와 Cox의 변환 모형에 의해 발전되었다[6]. 이 식에서 주요한 데이터는 Vintage 자산의 취득가와 경과연수에 따른 중고시장가이다.

Hulten과 Wykoff는 왜곡을 가져올 수 있는 문제로서 소위 ‘배와 레몬의 문제’-중고시장에 매각하는 것은 사용하기 싫었던(레몬) 자산이므로, 좋은 것(배)은 시장에 팔지 않으려고 하는 태도와 행위가 시장가 왜곡을 가져옴을 지적했다.

재무적 감가상각은 AICPA(American Institute of Accountants, 미국공인회계사협회)에 의한 정의는 ‘감가상각 회계란 유형 자본재 자산에 대해 추정된 내용연수 동안에 잔존가를 제외한 가치를 체계적이고 합리적인 방법으로 분배하고자 하는 회계의 시스템’이다. AICPA는 감가상각에 대하여 ‘이것은 할당의 과정이지 가치평가의 절차는 아니다. 특정연도에 대한 감가상각은 고려되는 시스템의 총액 중에서 그 연도에 할당되어지는 부분이다. 이 할당의 몫으로 그 해에 일어날 수 있는 사항들을 적절하게 설명할 수 있지만, 일어날 수 있는 모든 사항들을 효과적으로 측정할 수는 없다.’고 설명하고 있다.

세제상 감가상각은 감가상각액을 현실 시장가와 일치시키는 정책을 갖는 나라와 그렇지 하지 않는 나라로 구분할 수 있다[7, 9]. 먼저 시장가와 일치하지 않는 감가상각 정책을 가지는 나라는 미국, 영국, 우리나라 등이 있고, 일본, 독일은 시장가와 일치하는 감가상각을 추구하고 있다.)

이러한 부기의 장부가(book value)가 자산의 시간적 가치를 반영하지 못하고 있고, 이를 근간을 하는 시장가와 일치하지 않는 감가상각의 상황에서는 정확한 경제적 가치를 구현하기 힘들다. Hulten과 Wykoff에 의해 구해지는

1) 미국의 재무성 산하의 국세청(IRS)는 조세상의 내용연수를, 상무성 산하의 BEA는 경제적 내용연수를 각기 다르게 발표하고 있다.

자산항목에서는 경제적 내용연수 산정이 가능하나, 우리나라는 폐기자산에 대한 빈티지 자료가 부족하기 때문에 이마저도 어려운 상황이다. 이런 이유로 2000년 통계청의 도움으로 빈티지 폐기자료를 모아 폐기율법에 의한 경제적 내용연수 산정한 사례가 있다[17].

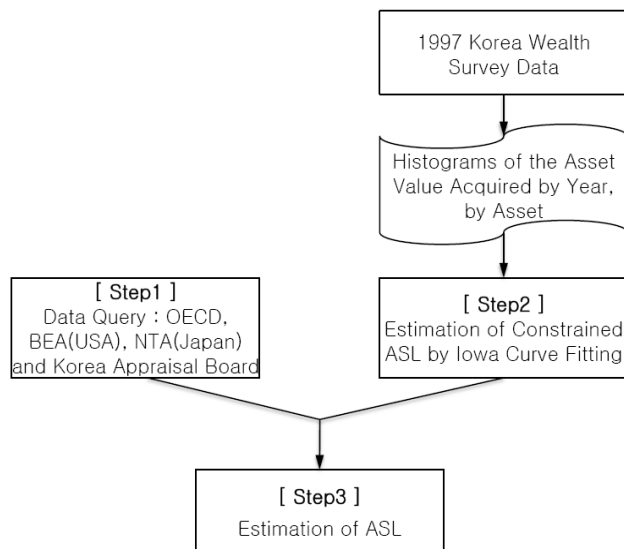
### 3. 제약적 데이터 환경에서 ASL 추정

#### 3.1 국부통계자료 활용 모형 수립

우리나라는 1968년 제1회 국부통계조사 때는 ‘경제적’ 개념의 내용연수를 추구하였다. 2000년 이후부터는 통계청과 한국은행을 중심으로 실제 아이오와곡선을 추정해 오고 있다[2, 17]. 현재로서 우리나라에서 내용연수의 추정 방안은 다음의 4가지 사항을 바탕으로 작성되어야 한다.

첫째, 마지막 국부통계의 직접조사이었던 1997년 국부통계(1999년 11월 발간)의 자료를 바탕으로 자산별 내용연수를 추정하는 것이다. 둘째, 자산 대분류로 부정기적으로 조사가 되고 있지만 폐기자료를 바탕으로 하는 통계청, 한국은행 등의 내용연수를 참조해야 한다. 특히 아이오와곡선의 형태는 참조가 필요하다[4, 16]. 셋째, 경제적 내용연수를 추구하는 미국 BEA(Bureau of Economic Analysis) 및 일본 국세청 및 BEA 자료를 참조해야 한다. 넷째, 한국감정원 등의 현장 경험과 실증 자료를 참조해야 한다.

이러한 추정방안의 가지고 작성한 ASL의 추정 절차는 <Figure 2>와 같고, 다음 장에서 이 절차에 따른 철근콘크리트조 단독주택에 대한 추정사례를 제시하였다[4, 16].

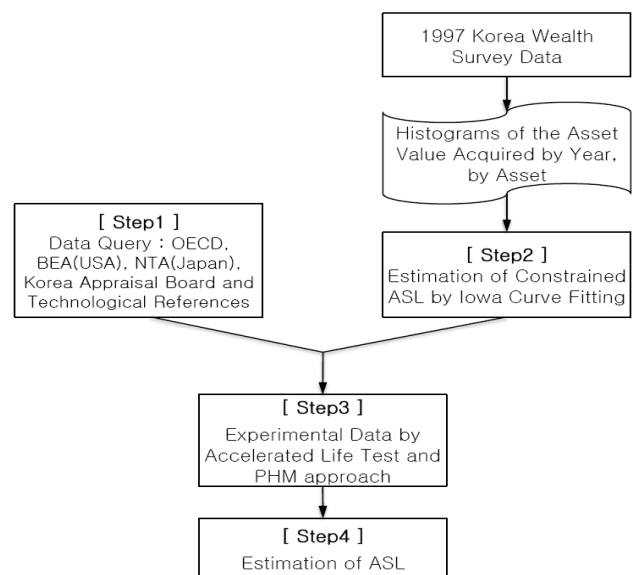


<Figure 2> ASL Estimation Flow Under Restricted Data

#### 3.2 신기술 제품의 ASL 추정 모형 수립

신기술 제품의 ASL 추정모형이 별도로 필요한 가장 직접적인 이유는 신기술이라서 그 동안 축적된 Vintage 자료가 없기 때문이다. 또한 Vintage 자료를 축적하기까지 많은 시간을 기다려야하기 때문이다. 과거 생산된 제품은 사용개시 후 그 다음해부터 폐기가 발생할 수 있고, 그러한 사례가 있어 Vintage 자료 확보가 수월했다. 그러나 발전된 기술이 적용된 신기술 제품은 수명 또한 길기 때문에 상당히 긴 기간 후에 폐기 데이터를 확보 가능할 것이다. 따라서 ASL추정을 위해 Vintage 자료를 대신할 자료의 확보가 필요가 하다.

제 3.1절의 ASL 추정 사례에 비추어 신기술 제품의 ASL 추정은 관련기술의 수명을 예측할 수 있는 기술자료의 수집과 가속수명시험과 같은 실험 데이터가 필요하다. 또 수집된 자료와 PHM 접근을 통한 고찰이 포함되어야 한다. 따라서 솔라셀 등과 같은 신기술 제품의 ASL 추정 절차는 <Figure 3>과 같이 나타낼 수 있다. 전형적인 ASL 추정사례와 비교하면 관련기술 자료를 수집하는 절차와 실험을 통해 수집된 자료에 대한 고찰하는 절차가 추가된 모델이다. 따라서 신기술 제품의 ASL을 추정할 때는 관련 기술분야 전문가의 협력이 필수적이다.



<Figure 3> ASL Estimation Flow for New Technologies

Step 1 : OECD, BEA, 일본국세청, 한국감정원 및 관련 기술 자료 분석

신기술 제품의 수명 데이터가 선진국은 이미 확보되었을 가능성이 있기 때문에 조사가 필요하고, 특히 제품이 포함되는 대분류 자산에 대한 수명 데이터가 ASL을 추정

하는 데 중요한 자료가 된다. 그리고 신기술에 대한 참고문헌 조사를 통해 전반적인 기술적 수명에 대한 정보를 수집할 수 있다. 관련기술 문헌을 분석할 때는 객관적 타당성을 가진 자료를 확보하는 것이 중요하기 때문에 관련 논문이나 공공 또는 공익적 단체가 발간한 보고서를 참조한다.

**Step 2 : 아이오와곡선 Fitting에 의한 제약적인 ASL 추정**

이 스텝은 국부통계자료를 활용한 제약적 ASL 단계와 동일하다. 신기술 제품이라 할지라도 관련 수명특성을 활용하여 아이오와 곡선을 선택할 수 있고, 제약적이긴 하나 수명에 대한 예측이 가능하다.

**Step 3 : 가속수명시험, PHM 접근 등 실험 자료와 함께 고찰**

기존 제약적 ASL 추정 모델과 비교하여 추가된 단계로 가속수명시험과 같은 실험적인 접근과 PHM을 비롯한 관리공학적인 접근을 통해 수명을 예측하는 단계이다. 가속수명시험은 실험설계가 중요하며, 국제적 공인기관의 시험방법이 있는 경우는 객관성 확보하기에 유리하다. 예컨대 솔라셀의 가속수명시험은 IEC 및 UL의 시험 방법이 있으며, 국내에도 IEC의 규격을 따라 지상용 박막 태양광 모듈의 수명에 관련된 시험을 진행하고 있다[10]. IEC 61215 시험의 경우 옥외노출시험, 열점 내구성 시험, UV 시험, 온도 사이클 시험, 결로-동결 시험 등의 가속수명시험을 실시토록하고 있다[5].

**Step 4 : ASL 추정**

각 선행 단계에서 추정된 수명 데이터를 감안하여 신기술 제품에 대한 ASL을 추정한다. Step 1의 문헌적 조사를 통한 기술적 수명 데이터, Step 2의 국부통계자료를 활용한 제약적 수명 데이터, Step 3의 실험을 통해 확보된 데이터를 통해 수명을 추정한다. 데이터가 확보되지 않는 단계가 있을 수도 있으며, 데이터 중에서 수명이 짧은 데이터를 더 비중을 두고 추정할 필요가 있다. 이 점은 제약적인 ASL이라는 것이 실제 내용연수보다 작은 수치가 된다는 것을 염두에 둔 것이다.

**4. 제약적 데이터 환경에서 ASL 추정 사례**

**4.1 국부통계자료 활용 모형 수립 사례**

**Step 1 : OECD, BEA, 일본국세청, 한국감정원 자료 조사**

일본국세청이 제시한 철근콘크리트조 단독주택의 내용연수는 47년이고, 건축 역사가 오랜 미국의 BEA 자료

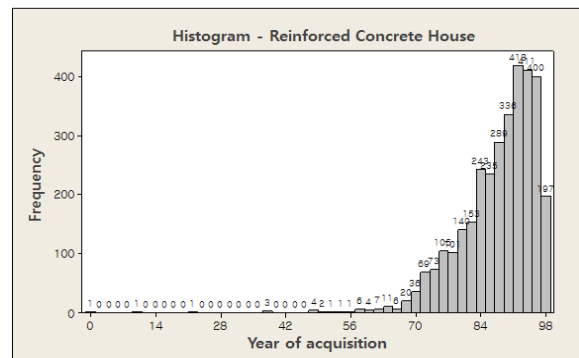
의 단독주택은 80년까지 ASL를 추정하고 있다.

우리나라 통계청 발표 주거용 건물의 내용연수는 44년이다.) 철근콘크리트조 단독주택의 기능상의 평균수명은 1999년 발간 한국감정원 내용연수표 작성 시 참여했던 건설전문가에 의하면 50년 이상으로 제안되었다.

**Step 2 : 아이오와곡선 Fitting에 의한 제약적인 ASL 추정**

아이오와곡선은 소수의 빈티지자료가 있으면 토막곡선(stub-curve)에 의해 생존곡선의 형태를 추정할 수 있으나, 국부통계자료는 폐기시기와 폐기액이 없기 때문에 이 방식대로는 추정이 불가능하다. 따라서 아이오와곡선 Fitting에 의한 제약적인 ASL 추정방법을 사용한다.

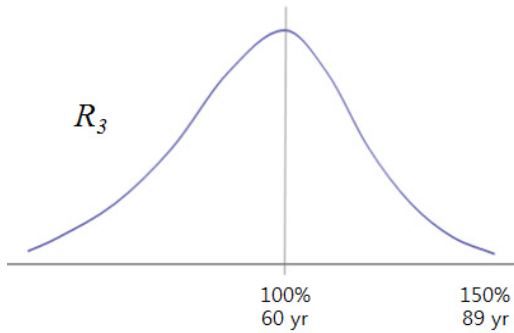
1997년 국부조사 시 철근콘크리트조 단독주택의 1901년부터 1997년 말까지 연도별 취득한 자산 중 생존해 있는 주택 수를 <Figure 4>로 나타내었다. 1997년을 기준으로 철근콘크리트조 단독주택의 최대 연령은 1989년이다. 국부통계자료의 단독주택 생존연령의 구배(slope)가 아이오와 유사하게 이루어지거나 그 보다는 급하다 할지라도 확인된 최장 생존연령은 그 다음 해 혹은 가까운 시일에 폐기될 연령이라 보는 것은 무리가 없다.



<Figure 4> Histogram of Reinforced Concrete House

철근콘크리트조 단독주택의 경우 아이오와곡선 R3-Type을 따르고, 예측수명이 아이오와곡선과 비슷하게 나온다고 가정하면, 최장 수명 자산의 예측수명을 내용연수의 150% (생존율 1%)로 하여 제약적인 ASL을 구할 수 있다.) 내용연수의 150%가 1989년인 그래프를 이용하여 비례식(100 : 150 = x : 89)으로 내용연수의 100%를 구하면 제약적인 ASL이 60년이 된다. 이 경우의 폐기 곡선은 <Figure 5>과 같이 그려질 수 있다.

- 2) 통계청, '1997~2006 국부통계', 2008(이 통계는 간접조사 방식으로 전환, 자산분류를 단순화한 통계이다[20]).
- 3) 자산별 아이오와곡선의 추정예는 건물(철근)은 R3, 건축물은 R3, 기계장치는 L3, 차량운반구는 S3이고, 아이오와곡선에서 1% 잔존을 고려하면 R3는 150%, L3는 190%, S3는 155%이 타당하다[2, 17].



<Figure 5> Frequency Curve of Reinforced Concrete House

Step 3 : ASL 추정

Step 1, 2의 결과들을 참고하여 최종적으로 해당 자산의 ASL 추정한다. 철근콘크리트조 단독주택의 경우 우리나라의 과거는 경제적으로 빈국이었고, 경제발전이 급격하게 이루어진 점 등을 감안하여 자산축적과 경제적 능력 등의 제반 환경 변인을 고려해야 한다. 이러한 의미에서 현장에서 많은 경험이 축적된 1999년과 2013년 간행된 한국감정원의 유형고정자산 내용연수표를 존중해서 ASL을 추정하여야 한다[11].

4.2 신기술 제품의 경제적 ASL 추정 사례

Step 1 : OECD, BEA, 일본국세청, 한국감정원 및 관련 기술 자료 분석

솔라셀과 관련 내용연수를 참조 가능한 자료는 찾으면 BEA의 ‘송전, 배전 및 산업 장비’의 경우 33년을 정하고 있다. 캐나다의 경우 ‘전력시설’은 23년의 내용연수를 정하고 있다[1].

영국의 환경단체인 CAT(Centre for Alternative Technology)가 공개한 자료에 따르면 솔라셀 모듈의 경우는 아직 설치한 역사가 일천하여, 설치 연한이 긴 예로써 설치 후 13년이 경과한 모듈 들의 출력을 조사했는데, 연간 0.7%의 출력 감소가 있었다고 한다. 따라서 원래의 출력보다 20% 정도 감소하는 데는 25년 정도라고 발표하였다[3].

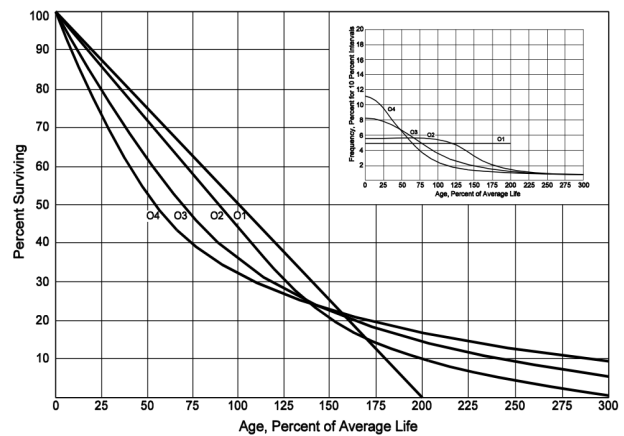
국내 연구로는 1986년 전남 여수 하화도에 설치된 65kW 태양광 발전소에 조사를 통해 사용기간 25년 된 PV모듈의 전력 감소율이 17.9%, 전압 감소율이 1.9%라고 하였다[18]. 전력 감소율 기준으로 20% 미만이면 사용 가능하다고 판단할 수 있기 때문에 내용연수는 25년 이상이 된다.

태양광 발전설비 수명에 대한 국제적 또는 국가적 기준은 마련되지 않았으며 솔라셀 또는 PV(Photovoltaics)모듈 생산자가 보증하는 수명에 따라 수명이 한정되어 지고 있는 상황이다. 일반적으로 판매되는 PV모듈은 20년 사

용 보증이 주류를 이루고 있다.

Step 2 : 아이오와곡선 Fitting에 의한 제약적인 ASL 추정

솔라셀의 경우 도입이후 기간이 짧아 충분한 자료가 축적되지 않았고, 따라서 폐기율에 대한 빈티지자료를 구할 수 없는 상태이다. 하화도 사례에서 초기의 10% 수준의 수명저하가 발생한 이후 25년간은 아주 작은 량의 감소만 이루지는 속성이 발견되었다[18]. 따라서 아이오와곡선의 O형(origin-modal)의 생존곡선 형태임을 유추할 수 있다. <Figure 6>을 참조하면 솔라셀의 생존곡선은 O4형에 가까운 형태이다.



<Figure 6> O-Type Iowa Frequency Curve

한편 PV모듈의 80%를 20년간 성능 보장하는 제품이 주류를 이루고 있기 때문에 평균수명(100%)을 비례식(20년 : 80% = x년 : 100%)으로 구하면 25년이 된다.

Step 3 : 가속수명실험, PHM 접근 등 실험자료와 함께 고찰

Step 1에서 수집된 기술 자료들을 통해 솔라셀의 수명이 20~25년 정도라는 사실을 확인할 수 있다. Step 2에서 아이오와곡선 O형을 적용하는 것이 타당함을 [부록]의 실험자료를 통해서도 확인된다. 그리고 솔라셀의 평균수명이 25년으로 추정된 것은 Step 1의 결과와 유사한 결론이다.

한편, 솔라셀의 수명을 고려할 때 태양광 발전설비라는 전체 자산을 고려해야 한다. 즉, ASL 추정에서는 하나의 부분품이 아닌 전체 자산의 경제적 가치를 고려하여 추정하는 것이 바람직하다. 따라서 자산 단위인 태양광 발전설비의 경제적 관점을 솔라셀의 경제적 수명 추정에 고려하지 않을 수 없다는 것이다.

관련 실험은 [부록]을 참조.

#### Step 4 : ASL 추정

솔라셀의 경우 Step 2와 Step 3에서 ASL을 추정할 충분하지는 않지만 취득한 정보와, Step 1에서 확인한 자료를 바탕으로 솔라셀의 ASL을 추정하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 ASL(혹은 경제적 내용연수)을 20년으로 제안하고자 한다.

## 5. 결론

본 연구는 솔라셀 등의 신기술 자산에 대한 ASL를 추정하기 위한 방법을 찾기 위해 문헌조사와 실험을 병행하였다. 그 결과 신기술 자산에 적용 가능한 추정 절차(<Figure 3>)를 도출하였다. 이 절차에 따라 솔라셀의 ASL을 추정할 결과로 20년을 제안하였다.

이 연구를 통해 신기술 제품의 ASL 추정 시 적용할 수 있는 추정 절차를 제안하였고, 신기술에 특징에 따른 아이오와곡선의 선택이 이루어져야 하며, Fitting을 통한 예측수명 곡선의 산출을 통해 적절한 ASL이 도출될 수 있음을 제안하였다.

문헌조사를 뒷받침하는 실험과정은 방법적 관점에서 추정 절차를 수행한 것으로 볼 수 있으며, 솔라셀 수명 가속실험으로는 불충분하였던 점이 본 연구의 한계이며, 이 점에 대한 후속연구가 필요하다.

## Acknowledgement

1. This study is results of the “Leaders in INdustry-university Cooperation(LINC)” Project, supported by the Ministry of Education and the National Research Foundation of Korea (NRF).
2. We appreciate to LG Electronics for offering light sources (PLS 1.8kW) in test chamber.
3. We appreciate to Sung-san eng. for providing Solar-cell test equipment.
4. We thank to Mr. Jun-ho Park and Mr. Byeong-Chan Lee for assisting in experiment.

## References

- [1] Bank of Korea Economic Statistics Division, Measuring Capital-OECD Manual 2009 : Second edition, Bank of Korea, 2010.
- [2] BOK Economic Statistics Department, Application of Service life by Asset on Estimating Capital Stock, Bank of Korea, 2011.
- [3] Centre for Alternative Technology(CAT), How long do solar electric PV panels last?, <http://info.cat.org.uk/questions/pv/life-expectancy-solar-PV-panels> (2014-08-19).
- [4] Cho, J.H., Oh, H.S., Lee, S.J., and Suh, J.Y., Estimating Economic Service Life of Assets by Using National Wealth Statistic. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2007, Vol. 30, No. 4, p 170-181.
- [5] Displaybank, International Standard of Solar-cell Module Authentication-IEC 61215 and IEC 61646, [https://www.displaybank.com/\\_kor/research/display\\_dynamics\\_view.html?id=4064](https://www.displaybank.com/_kor/research/display_dynamics_view.html?id=4064), 2009, (2014-11-03).
- [6] Hulten, C.(ed.), Depreciation Inflation and the Taxation of Income from Capital, Urban Institute Press, 1981.
- [7] Hyun, J.K., Current Status and Policy Direction of Depreciation, Korea Institute of Public Finance, 1994.
- [8] Jang, K.H., Taxation of Major Countries-USA(I), Korea Institute of Public Finance, 2009.
- [9] Kim, J.Y., Song, J.Y., and Kim, T.H., Service life Analysis on Depreciation Assets of Major Countries, Korea Institute of Public Finance, 2012.
- [10] Kim, K.S. et al., Suggestion of Long-term Life Time Test for PV Module in Highly Stressed Conditions. *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 2010, Vol. 30, No. 5, 2010.
- [11] Korea Appraisal Board, Service life Table of Tangible fixed assets, 1999, 2013.
- [12] Marston, A. and Agg, T.R., *Engineering Valuation*, New York : McGraw-Hill Book Company Inc., 1936.
- [13] Marston, A. et al., *Engineering Valuation and Depreciation*, Iowa State University Press, 1982.
- [14] OECD, Measuring Capital OECD Manual, OECD, 2001, 2003.
- [15] OECD, Measuring Capital OECD Manual 2nd edition, OECD, 2009.
- [16] Oh, H.S. and Cho, J.H., An Estimation of ASL by National Wealth Survey data of Korea. *Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2013.(unpublished)
- [17] Oh, H.S., Cho, J.H., and Jeong, K.S., Estimation of Retirement rate on Tangible fixed assets by Industry and Asset, Development Methode of Indirect estimation in National Wealth, p 29-102, Institute Economics Research of Seoul National University, 2000.
- [18] Park, N.C., A Study on the Reliability of Crystalline

Silicon Photovoltaic Module Under Different Temperature and Humidity Conditions, Ph.D. thesis, Graduate School of Korea University, 2013.

[19] Seo, S.K., Minitab Reliability Analyses, Eretec Inc., 2004.

[20] Subcommittee on Economic Statistics 1, Improvement

of Tangible fixed assets Estimation(Agenda 2012-29), National Statistical Committee, 2012.

[21] Usher, D.(ed.), The Measurement of Capital : An Empirical Analysis, The University of Chicago Press, 1980.

[22] Ward, H., The Measurement of Capital, OECD, 1976.



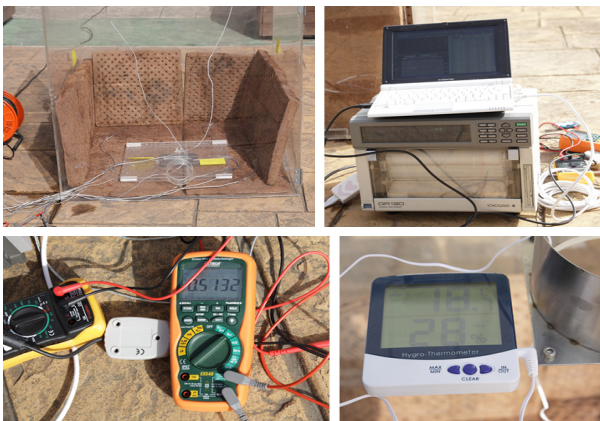
[부록]

**솔라셀의 온도 및 습도 가속환경 실험**

**1.1 실험의 목적 및 방법**

본 실험의 목적은 신기술 제품의 경제적 수명예측을 위한 과정의 하나로, 문헌조사를 통해 수집된 내용과 비교 검토하기 위한 실험이다. 실험은 태양광 발전용 솔라셀의 Ambient Control을 통해 발전 효율의 변화를 통해 수명예측의 비교 정보를 얻기 위한 목적이다. 그래서 Chamber(클린룸)과 GEP 녹화매트를 배치하고 솔라셀을 설치한 뒤, 온도와 습도를 변화시켜 가며 전력을 측정하고 이 결과를 토대로 솔라셀의 기대수명에 대한 기본 지식을 확인 및 축적하고자 한다.

실험의 방법은 두께 8mm의 아크릴 판을 이용해 90×90×90cm 크기로 제작된 실험용 챔버에 두께 50mm, 가로 세로가 400×400mm의 GEP 녹화매트를 바닥재를 설치하고, 그 위에 두 장의 아크릴판을 간격을 두고 겹친 뒤 솔라셀을 녹화매트 위에 설치하였다. GEP 녹화매트는 코코넛 껍질로 구성되어 있으며 수분흡수 능력이 뛰어나 습한 환경 조성에 적합하여 설치하였다. 솔라셀은 15.6cm<sup>2</sup> 크기의 단결정 솔라셀이다. 실험방법과 장비의 실물 <Figure A1>에 나타내었다.



<Figure A1> Experimental Methods and Environment (Outdoor)

온도의 측정은 실험용 챔버의 6개 지점에 각각 TC (thermo-coupler)를 설치, 데이터레코더를 이용, 랩탑 컴퓨터와 연결하여 측정하였다. 전압의 측정은 무선 데이터 송신이 가능한 멀티미터를 이용해 컴퓨터와 연결하여 측정데이터를 기록하였다.

옥외 실험 결과의 검증을 위하여 실내에 실험 챔버를

설치하여 그림자가 발생하지 않으며, 온도제어가 용이한 실험환경, <Figure A2>를 구축하였다. 실내 챔버 환경에서는 광원의 폭(span)이 넓지 않아서 빛이 집중되는 중심부 작은 면적에 위치한 솔라셀에서만 옥외환경과 동일한 결과를 확인할 수 있었다. 따라서 실내 인공광원을 이용한 실험 결과로 옥외 실험결과를 신뢰할 수 있음을 확인하였다.



<Figure A2> Indoor Experimental Environment

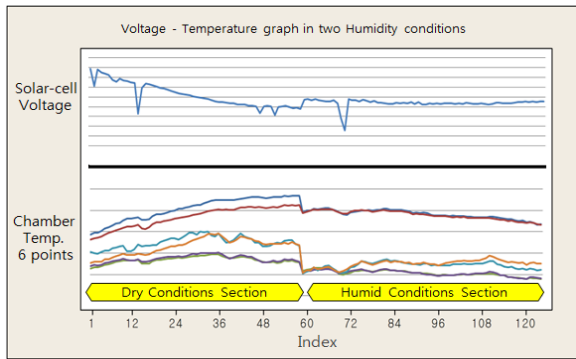
**2. 실험 결과 및 분석**

**2.1 습도에 따른 솔라셀에 대한 영향 분석**

습도의 조건은 건조한 조건과 습한 조건을 분리하여 <Table A1>에 나타낸 일정으로 솔라셀의 전압을 측정하였고, 그 전압 측정결과는 시계열도로 <Figure A3>과 같이 측정되었다. 건조한 조건과 습한 조건에 따른 전압차가 눈으로 볼 때 확인되는 것처럼 보이나, 분석 결과 습도에 따른 차이는 나타나지 않고 온도에 따른 변화인 것으로 확인되었다.

<Table A1> Testing Conditions

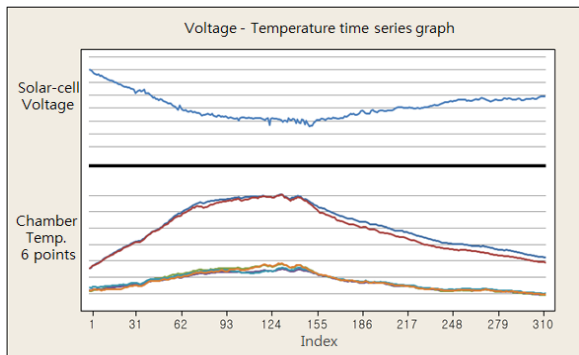
Conditions	Humidity	Testing time	Interval
Dryness	26~28%	14:00~15:00	1 min.
Humid	60~70%	15:00~16:00	1 min.



<Figure A3> Voltage Temperature Graph in Two Humidity Conditions

### 2.2 온도에 따른 솔라셀에 대한 영향 분석

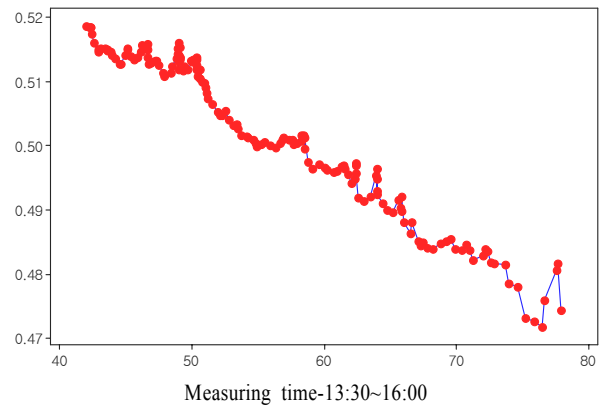
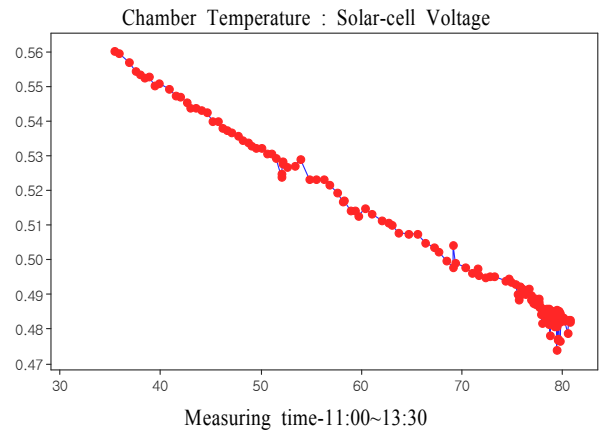
실험용 챔버환경에서 온도와 전압의 측정은 11:00부터 16:00까지 5시간 동안, 측정간격을 1분으로 기록하였다. 그 결과는 <Figure A4>로 나타내었다. 챔버의 온도는 13:30까지 추세적으로 상승하고, 그 이후 추세적으로 하락하였고, 전압은 온도 변화와 반대의 경향을 확인할 수 있었다.



<Figure A4> Voltage Temperature Time Series Graph

온도와 전압과의 좀 더 명확한 관계를 알아 보기위해 13:30분을 중심으로 전후를 나누어 산점도를 그리고, 회귀분석을 실시하였다. <Figure A5>의 산점도상의 전압과 온도와의 관계는 선형에 가까울 정도로 가시적으로 반비례 관계가 드러났다.

회귀분석 결과는 <Table A2>과 같다. 두 회귀분석의 결과를 보면 각각의 R<sup>2</sup>값은 99.2%와 96.5%로 상당히 유의한 회귀식이 도출 되었고, 상수항과 기울기 모두 유의한 결과를 얻었다. 따라서 솔라셀 환경의 온도가 증가할수록 발전되는 전압은 감소하고 온도가 감소하면 전압은 증가한다는 것을 알 수 있다.



<Figure A5> Temperature-Voltage Scatterplot

<Table A2> Regression Analysis

Time	Variable	Coefficient	SE Coef	T	P
10:00 ~13:30	Constant	0.616240	0.000831	741.93	0.000
	Temp.	-0.00167432	0.00001218	-137.44	0.000
	S = 0.00210690 R <sup>2</sup> = 99.2% Adj. R <sup>2</sup> = 99.2%				
13:30 ~16:00	Constant	0.571656	0.001058	540.17	0.000
	Temp.	-0.00124214	0.00001852	-67.06	0.000
	S = 0.00231864 R <sup>2</sup> = 96.5% Adj. R <sup>2</sup> = 96.5%				

### 3. 실험결과 고찰

실험에서 솔라셀의 온습, 가속 환경을 설치하여 습도의 영향이 거의 없음을 그리고 온도와 발전효율은 반비례 관계임을 밝혔다. 솔라셀의 설치환경에서 온도상승은 효율뿐만 아니라 수명에도 유사한 영향을 줄 것일 가정할 수 있다. 태양광을 그대로 받는 솔라셀의 특성상 온도상승은 수명에 큰 영향을 줄 것이다.