건설장비 수명결정 모델

The Life Expectancy Making Model for Construction Equipment

이용수* · 김철민**

Lee, Yongsu · Kim, Cheol Min

Abstract

Life analysis is conducted for economic analysis of equipment or facilities. The purpose of life analysis is to predict future indicators for scrapping construction equipment, and establish and utilize a wide variety of business strategies according to data predictions. First, this study shows the methods to figure out average life, life expectancy and life prediction of construction equipment and the analysis of life making methods, using survival curves. Second, the study proposes and examines the life expectancy making model depending on revenues and expenses. The result of the study reveals that the economic life of the same equipment varies with expenses, revenues and the initial cost. The life expectancy making model for construction equipment reflects respective management status for equipment and will help efficient management for companies.

Keywords : *engineering economy, economic life, life analysis, stub curve, survival curve, revenue, expense*

요 지

장비나 설비의 경제성 분석을 위해 실시되는 수명분석의 목적은 현 자산의 미래 폐기 지표를 예측하여, 예측자료에 의거한 여러 경영전략을 수립하여 활용하는 데 있다. 본 연구에서는 1) 생존곡선을 사용하여 건설장비의 평균수명, 기대수명, 예측수명을 구하는 방법과 생존곡선에 의한 수명결정방법을 분석하여 제시하였고 2) 수익과 비용에 의한 수명결정 모델을 제안하고 이를 검증해 보았다. 연구 결과, 동일한 장비라고 하더라도 비용, 수익, 초기투자비에 따라 경제수명이 다르게 나타날 수 있음을 알게 되었다. 본 연구에서 제안한 건설장비 수명결정 모델은, 장비의 개별적 경영상황을 반영할 수 있는 수명결정 모델로서, 회사경영합리화를 위해 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 경제성공학, 경제수명, 수명분석, 토막곡선, 생존곡선, 수익, 비용

1. 서 론

1.1 연구의 배경

장비나 설비의 경제성 분석을 위해 실시되는 수명분석의 목적은 현 자산의 미래 폐기 지표를 예측하여, 예측자료에 의거한 여러 경영전략을 수립하여 활용하는 데 있다. 예를 들어 잔존수명에 의한 미래 수익의 크기결정이나 대체시점 결정 또는 사업전체의 타당성 분석 등이 여기에 해당된다. 또한, 자산의 효율적 운영, 장비(설비)대체와 예비 장비의 배치, 유지관리를 위한 정비계획 작성, 기업의 유형 자산에 대한 경제적 운용과 경제성 평가에도 기여할 수 있다.

수명분석에서는 주어진 가격과 예측수명에 근거한 계산을 진행하게 되는데, 예측수명으로 사용되는 자료로는 경험에 의한 추정 또는 세법상의 수명 등이 일반적으로 사용된다. 이 가운데 세법상의 수명은 세금부과라는 조건 때문에 비교적

짧게 추정된 수명으로 정확한 수명이라고 보기는 어려운 부분이 있고, 그 밖의 수명도 정확한 수명이라고 보기는 어려운 실정이다. 결과적으로 장비에 대한 잔존수명을 예측하는 것이 장기 경영계획수립과 사업타당성 등을 결정할 수 있는 중요 의사결정 요소임에도 불구하고, 현실을 반영한 수명결정이 쉽지 않은 과제임을 알 수 있다.

1.2 기존 문헌 조사 및 분석

품셈에 제시된 내용시간과 연간표준가동시간은 건설장비의 수명과 밀접한 관계가 있고, 감가상각비와 정비비 및 관리비 결정의 기본 자료가 된다. 연간표준가동시간이 줄어들게 되면 감가상각기간이 증가하게 되고 장비수명이 늘어나게 되는 효과가 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 허영기(2008)는 표준품셈의 기계경비 산정 현실화를 위한 자료를 조사하고 분석하여 연간표준가동시간 현실화를 제안하였다. 이중석(2007)

*정회원 · 교신저자 · 광주대학교 공과대학 토목공학과 교수 (E-mail : ysl@gwangju.ac.kr)

**광주대학교 보건복지교육대학 언어심리치료학부 교수 (E-mail : kimcm@gwangju.ac.kr)

도 연간 표준가동시간에 대한 연구를 진행하여 기상조건에 따른 보정수치를 제시하였다. 상기 연구들은 내용시간과 연간표준가동시간의 개선이나 현실화를 위한 연구였으나, 장비의 수명결정을 직접적인 연구주제로 다루지는 않았다.

오현승 외(2007)는 반도체 제조설비에 대해 경제적 내용연수를 결정하고 측정하는 방법을 연구하여 제안하였고, 오현승 외(2009)는 석유화학 제조설비에 대한 경제적 감가상각률 산정방법에서 폐기를 추정에 의한 Iowa 생존곡선 분석방법을 적용한 결과를 제시하였다. 이한교 외(2007)는 설비 생존곡선 추정을 위해 weibull함수를 적용하는 방법을, 오현승 외(2002)는 국내 산업설비의 폐기를 추정에 관한 연구를 발표하였다. 상기 연구들은 설비의 수명연구에 Iowa 생존곡선, 생존곡선의 변형된 형태인 weibull함수, 폐기를 함수 등 다양한 방법이 사용되고 있음을 보여주고 있다. 본 연구에서도 이 가운데 폐기율과 Iowa 생존곡선을 적용해 보고자 한다.

장비수명과 관련하여 장비의 개별적인 상황을 반영한 수명 연구는 미미하거나 없는 것으로 조사되어 이에 관한 연구가 필요함을 알게 되었다.

1.3 연구의 범위와 목적

사용중인 장비의 폐기와 존속여부는 수명분석이나 신규장비 구입시기와도 밀접한 관계가 있고, 이 외에도 경제동향, 정부의 정책결정, 경영조직의 정책결정, 최종 의사결정자의 판단, 기술적인 진보에 의한 서비스의 양과 질 문제, 장비의 현재 상태 등 판단을 위해 고려해야 할 사항이 적지 않다.

본 연구에서는 이 가운데 경제성에 근거한 수명분석 방법을 중심으로 연구를 진행하였으며 기존의 수명분석 방법을 건설장비에 적용하여 그 결과를 분석하고, 장비의 개별적 경영상황을 반영할 수 있는 수명결정 방안을 제시하는 것을 연구의 목적으로 한다.

2. 관련규정 및 장비수명

2.1 국내 규정

국내에서 “건설기계”라 함은 건설공사에 사용할 수 있는 기계로서 대통령령에 의해 정하고 있다. 건설기계에 관한 국내 규정은 건설기계관리법(2011), 한국건설기술연구원에서 주관하는 건설공사 표준품셈(2011) 등이 있다. 또한, 지방세법(2012)과 법인세법시행령(2012)에는 건설기계의 세금과세 업무를 위해 경제적 내용년수 및 내용년수별 잔가율표를 제공하고 있으며, 한국감정원의 유형고정자산 내용년수표(1999)도 경제적 내용년수를 업종별로 구분하여 수록하고 있다.

2.2 건설장비 수명

건설장비의 수명은 크게 물리적 수명, 서비스 수명, 경제 수명으로 분류할 수 있다. 물리적 수명은 장비나 설비가 기계적으로 작동할 수 있고 사용가능한 시점까지의 수명이다. 서비스 수명은 수리비와 운영비가 증가하기 때문에 사용할 수 있는데도 불구하고 폐기하는 시점까지의 수명이고, 경제 수명은 장비의 사용에 수반되는 총비용을 최소화하는 사용기간을 의미한다. 일반적으로 경제 수명, 서비스 수명, 물리적 수명 순으로 수명기간이 길게 나타난다.

표 1. 지방세법과 표준품셈 간의 수명 비교 (부분)

	종류	지방세법	표준품셈
1	굴삭기	8	7.14
2	로우더		7.14
3	지게차		7
4	덤프트럭		5.36~7.14
5	콘크리트 파니셔		8
6	콘크리트펌프		6
7	스크레이퍼	10	8.57
8	모우터그레이더		10
9	콘크리트믹서트럭		7
10	아스팔트 파니셔		8
11	아스팔트 살포기		8
12	불도우저	12	8.57
13	타워크레인		6
14	로울러		10
15	노상안정기		9
16	콘크리트 뱃칭 플랜트		11
17	아스팔트 믹싱 플랜트		9~11
18	공기압축기		10
19	준설선		10

품셈에 정의된 “내용시간”은 정산을 목적으로 도입되었으나 기술적으로 사용가능한 물리적 수명이라고 보기는 무리가 있다. 지방세법의 “내용년수”는 과세표준을 결정하기 위한 목적으로 도입된 것으로 정확한 수명이라고 보기는 어려운 실정이다. 표준품셈에 제시된 내용시간을 연간표준가동시간으로 나눈 기간과 지방세법에 나와 있는 내용년수를 정리하여 표 1에 비교 제시하였다. 일부, 기간이 일치하는 장비도 존재하지만 대부분의 경우 세법에 제시된 내용년수가 표준품셈보다 길게 규정되어 있다. 세법이 감가상각을 통해 연간비용을 조정해 주는 역할을 하기 때문에 지방세법의 내용년수는 경제수명의 역할을 하고 있다고 볼 수 있다.

3. 생존곡선에 의한 수명결정

경제성에 의한 장비수명을 분석하기 위해서는 장비의 생존에 관한 분석 자료가 요구된다. 이 자료를 근거로 생존곡선을 작성하게 되는데 생존곡선 작성에 요구되는 자료는 연도별로 설치된 장비의 수, 폐기된 장비의 수와 나이, 각 연도에 보유하고 있는 장비의 수 등이다. 이 자료를 근거로 수명표, 생존율, 서비스 기간, 평균수명, 기대수명, 예측수명을 계산하게 된다. 수명분석에는 보험통계적인 방법(actuarial method)이나 회전율법(turnover method)을 사용한다. 기존의 경제성 분석에서는 보험통계적인 방법을 주로 사용하고 있으며, 이는 다시 초기그룹법(original group method)과 폐기율법(retirement rate method)으로 나뉘어진다.(유일근, 2002)

본 장에서는 건설장비의 수명결정을 위해 폐기이력을 이용하여 생존곡선을 결정하는 방법과 토막곡선을 이용하여 평균수명, 기대수명, 예측수명을 구하는 방법을 살펴보았다. 또한, 수명분석에 적용된 생존곡선의 합리성을 분석해 보았다.

3.1 수명분석을 위한 생존곡선

장비나 설비 등의 구입은 실질적으로 연초가 될 수도, 연말이 될 수도 있다. 이러한 이유로 반년관례(half year convention)라는 방법을 사용하는데, 구입년도 말에 구입시기와 상관없이 해당 장비의 나이를 1/2년으로 산정하는 것이다. 즉, 연말에 계산되는 장비의 나이 뒤에 0.5가 붙게 된다.

폐기빈도곡선은 특정 장비군에 대한 폐기이력을 추적하여 작성하게 된다. 우선 조사된 자료를 기초로 수명표를 작성하고 수명표의 자료를 토대로 생존율, 서비스 기간(년), 생존백분율[%]을 구하게 된다. 표 2는 수명분석을 위해 자주 교체 또는 대체를 해야 하는 특성을 갖는 임의의 장비(장비점검 및 수리에 사용하는 공구)를 대상으로 구성한 사례이다.

나이는 장비 구입 후부터 시작되며, 생존대수는 폐기된 장비를 제외한 숫자이다. 표 2의 사례는 구입 첫 해에 1대가 폐기되었고, 둘째 해에도 1대, 셋째 해에는 2대, 일곱째 해에는 모두 폐기되었음을 보여준다.

생존대수는 각 년도 초기의 숫자를 나타내고, 폐기대수는 각 년도말의 숫자를 나타낸다. 폐기대수가 생존대수와 다르게 표에 반쯤 걸쳐진 상태로 표시되어 있는 것은 이러한 차이를 표현하기 위함이다.

표 2. 수명표, 생존율, 서비스기간, 생존백분율 (사례)

구분	나이	생존대수	생존율 [%]	폐기대수	서비스기간	생존백분율 [%]
1	0	10	100			
2	0.5	9	90	1	4.75	95
3	1.5	8	80	1	8.5	85
4	2.5	6	60	2	7	70
5	3.5	5	50	1	5.5	55
6	4.5	3	30	2	4	40
7	5.5	1	10	2	2	20
8	6.5	0	0	1	0.5	5
					Σ32.25	

생존율은 생존 대수를 총장비수로 나눈 값이다. 서비스기간은 평균장비수를 기간에 맞게 조정한 값이다. 예를 들어, 첫 해(반년관례에 의하면 0.5년)의 평균장비수는 $(10+9)/2=9.5$ (대)가 된다. 보유한 평균장비 수는 서비스를 할 수 있는 기간으로 볼 수 있기 때문에 반년관례에 의해 $9.5/2=4.75$ (년)이 서비스 기간이 된다. 둘째 해부터는 정상적인 1년이 되므로 관련된 두 나이의 생존대수를 합한 후 나누는 $(9+8)/2=8.5$ (년)으로 계산된다. 생존곡선을 이용하여 생존 백분율을 구할 수도 있는데 생존곡선 아래의 면적이 서비스 기간이 된다. 그림 1에서 실선으로 표시된 부분은 생존율이고 점선의 막대로 표시된 부분은 생존백분율이다. 예를 들면, 0년과 0.5년 사이의 생존 백분율은 두 생존율의 평균값인 95%가 되기에 해당 구역에 이와 같은 내용을 점선으로 표시하였다.

평균 서비스 수명(ASL)은 생존곡선 아래에 있는 전체 면적(ΣF_i)을 초기 생존율인 100%로 나누어서 구한다.

$$ASL = \frac{\sum F_i}{100} \quad (1)$$

그림 1. 생존곡선 사례

표 2에 제시한 장비의 평균 서비스 수명을 계산해 보면 다음과 같다.

$$\frac{95 \times \frac{1}{2} + 85 \times 1 + 70 \times 1 + 55 \times 1 + 40 \times 1 + 20 \times 1 + 5 \times 1}{100} = 3.225[\text{년}]$$

기대수명은 동일한 원리를 사용하여 구한다. x 년도에 폐기되지 않고 사용 중에 있는 장비의 평균잔존기대수명(E_x)을 구하려고 한다면, x 년 경과 이후의 생존곡선면적(F_x)을 x 년의 생존율(S_x)로 나누면 된다.

$$E_x = \frac{F_x}{S_x} \quad (2)$$

예를 들어, 표 2에서 0.5년이 경과된 장비들의 평균잔존기대수명을 계산해 보면 다음과 같다($S_{0.5}=90\%$, $F_{0.5}=0.5$ 년 이하 생존백분율의 합계).

$$E_{0.5} = \frac{85 + 70 + 55 + 40 + 20 + 5}{90} = \frac{275 \% \text{년}}{90 \%} = 3.06 \text{년}$$

평균수명과 기대수명을 구하는 일반적인 방법은 다음과 같다.

$$\text{평균수명} = \left[S_0 \times \frac{1}{4} + S_1 \times \frac{3}{4} + S_{1\frac{1}{2}} \times 1 + S_{2\frac{1}{2}} \times 1 + \dots \right] / 100 \quad (3)$$

$$\text{기대수명}_n = \left[S_n \times \frac{1}{2} + S_{n+1} \times 1 + S_{n+2} \times 1 + \dots \right] / S_n \quad (4)$$

S_n : 각 시점의 생존율[%]

0.5년이 경과한 시점의 장비에 대해 식(3)과 식(4)를 이용하여 평균수명과 기대수명을 계산하여, 식 (1) 및 식 (2)를 통해 구해진 것과 동일한 결과를 얻었다.

$$\text{평균수명} = \left[100 \times \frac{1}{4} + 90 \times \frac{3}{4} + 80 + 60 + 50 + 30 + 10 \right] / 100 = 3.225$$

$$\text{기대수명}_{0.5} = \left[90 \times \frac{1}{2} + 80 + 60 + 50 + 30 + 10 \right] / 90 = 3.0555 \approx 3.06$$

예측수명(probable life)은 기대수명에 경과년수(나이)를 더한 값이다. 앞의 계산사례처럼 0.5년이 경과한 시점에 폐기되지 않고 사용중인 장비의 예측수명은 $3.06+0.5=3.56$ 년이 된다(표 3 참조). 표 2에 제시된 장비를 대상으로 나이에 따른 기대수명과 생존곡선 면적을 식 (2)를 사용하여 구한 후, 기대수명과 예측수명을 계산한 결과를 표 3에 제시하였다.

표 3. 생존곡선에 의한 기대수명과 예측수명계산 (사례)

구분	나이	생존율 [%]	평균수명 (년)	생존곡선면적 (F_x)	기대수명 (년)	예측수명 (년)	예측/평균 (%)
1	0	100	3.225	322.5	3.225	3.225	100
2	0.5	90		275	3.06	3.56	110.4
3	1.5	80		190	2.375	3.875	120.2
4	2.5	60		120	2	4.5	139.5
5	3.5	50		65	1.3	4.8	148.9
6	4.5	30		25	0.833	5.333	165.4
7	5.5	10		5	0.5	6	186.1
8	6.5	0		0	0	6.5	201.6

계산결과 첫 해의 기대수명은 평균수명과 동일하지만 시간의 경과와 함께 기대수명이 점진적으로 감소하게 됨을 볼 수 있다. 2.5년이 경과한 시점에서 폐기되지 않고 사용중인 장비의 기대수명은 2년이 되고, 5.5년 동안 사용중인 장비의 잔존기대수명은 0.5년이 된다.

아래의 3.2장에서는 불완전한 폐기기록과 이러한 자료를 토대로 이후의 생존곡선 형태를 유추하여 평균수명, 기대수명 등을 구할 수 있는 토막곡선 방법을 살펴보고자 한다. 토막곡선(stub curve)은 초기그룹법이나 폐기율법을 이용하여 구한다.

3.2 Iowa 생존곡선과 토막곡선

Iowa 생존곡선은 176개의 다양한 종류의 설비들에 대한 폐기빈도를 조사하고 이를 18가지 형태의 생존곡선으로 표현한 것이다. Iowa주립대에서 1935년에 처음 발표한 후 1967년 4가지를 추가하여 총 22개의 생존곡선이 있는데, 경험치에 의한 조사결과로서 현재 국내에서도 많은 설비나 장비의 수명분석에 이용되고 있다(오현승 외(2002, 2007)).

그림 2. IOWA 생존곡선 (L형)

초기에 발표된 18개의 생존곡선은 폐기빈도곡선의 특징에 따라 분류되는데, 폐기곡선의 봉우리가 평균수명과 비교하여 어느 쪽에 치우쳐져 있는가에 따라 구분된다. 즉, 봉우리가 왼쪽으로 치우쳐져 있는 것을 L(left)형, 평균수명과 유사한 형태를 보이는 것을 S(symmetrical)형, 오른쪽으로 치우쳐져 있는 것을 R(right)형으로 구분하였다. 추가적으로 발표된 생존곡선은 설비의 폐기가 초기에 상대적으로 많은 형태에 대한 것으로 이를 O(origin)형이라고 한다. L형은 다시 6가지, S형은 7가지, R형은 5가지, O형은 4가지 형태로 세분화 된다.

초기그룹법은 각 장비의 시간경과에 따른 생존율을 구한 후 이를 통해 생존곡선을 구하는 방법이고, 폐기율법은 여러 설치년도에 폐기자료를 고루 이용하여 폐기율을 만든 후 이를 이용하여 생존율을 구하는 방법이다.

3.2.1 초기그룹방법을 이용한 수명분석

초기그룹방법을 이용하여 생존곡선을 찾아내기 위해서는 장비에 대한 설치와 폐기자료가 필요하다. 자료가 불충분할 경우 원하는 장비의 생존곡선을 유추하기 위해서는 세분화된 Iowa형 생존곡선에 현재까지 얻어진 토막곡선을 겹쳐서 적절한 생존곡선의 형태를 얻어내거나, 필요할 경우 눈짐작으로 매끄러운 확장을 하는 작업이 필요하다.

초기그룹방법으로 수명분석을 실시하는 방법을 살펴보기 위해 표 4에 ($n \sim n+7$)년까지의 자료를 제시하였다. 해당 자료는 수명분석을 위해 자주 교체 또는 대체를 해야 하는 특성을 갖는 임의의 장비(장비점검 및 수리에 사용하는 공구)를 대상으로 구성한 것으로서 표 2는 표 4의 첫 해(n)에 해당되도록 구성하였다. 장비를 도입한 첫 해(n 년)부터 매 년 일정한 규모의 장비가 도입되었고, 자료 대상기간은 7년이다. 제 2열의 장비 수는 매년 구입한 장비 수이며 표 안에 괄호로도 표기된 숫자이다. 표 안에 아래첨자처럼 표기된 숫자는 해당 기간에 폐기된 장비 수를 의미한다. 이를 통해 $n+3$ 년에 15대의 장비를 구입하여 첫 해($n+3$ 년)에 1대를 폐기하였고 그 다음해($n+4$ 년)에는 년 초에 생존한 14대 가운데 2대를 폐기하였음을 보여준다. 총계는 해당년도 초에 생존해 있는 장비의 수와 폐기된 장비의 수를 나타내며 해당 년도에 구입한 장비의 수는 포함되지 않는다.

단일 자료를 사용할 때보다는 몇 개의 자료를 함께 사용하여 나온 결과가 더 신뢰성을 준다. 표 4에 제시된 ($n \sim n+3$)년 사이의 자료를 사용하여 동일 나이에 대한 생존대수

표 4. 장비의 설치와 폐기자료

년도 구분	장비 수	(00) n	(01) n+1	(02) n+2	(03) n+3	(04) n+4	(05) n+5	(06) n+6	(07) n+7
n	10	(10) ₁	9 ₁	8 ₂	6 ₁	5 ₂	3 ₂	1 ₁	
n+1	8		(8) ₁	7 ₁	6 ₂	4 ₁	3 ₂	1 ₀	1
n+2	9			(9) ₀	9 ₁	8 ₁	7 ₂	5 ₀	5
n+3	15				(15) ₁	14 ₂	12 ₃	9 ₁	8
n+4	12					(12) ₁	11 ₂	9 ₁	8
n+5	10						(10) ₂	8 ₁	7
n+6	10							(10) ₀	10
n+7	12								(12)
총계	86	1	9 ₁	15 ₃	21 ₅	31 ₇	36 ₁₃	33 ₄	39

와 생존율을 구해보았다. 동일나이는 대각선 방향의 자료를 합하면 된다. (n~n+3)년 사이에는 모두 42대(10+8+9+15=42)의 장비가 구입되었다. 또한 구입한 첫 해에만 모두 3대(1+1+0+1=3, 괄호 옆 아래첨자의 수)의 장비가 폐기되었다. 따라서 다음해의 장비생존대수는 39대(9+7+9+14=39)가 된다. 세 번째 해의 장비생존대수는 34대(8+6+8+12=34)가 된다. 생존율은 각 해의 장비생존대수를 첫 해의 생존대수로 나누어서 구하였다. 이러한 계산결과를 표 5에 정리하여 제시하였다.

표 5. 생존대수에 의한 생존율
(n~n+3년 기준)

나이	생존대수	생존율
0	42	100%
0.5	39	92.9%
1.5	34	80.9%
2.5	26	61.9%
3.5	21	50%

구해진 생존율은 완성된 생존율이 아니기 때문에 본 연구에서는 매끄러운 확장방법을 적용하였다. 즉, 50%의 생존율을 기점으로 잔존기간동안 대칭적인 형태를 나타낼 것으로 유추하였다. 표 6의 생존율 칸에 제시된 숫자 가운데 3.5년까지의 숫자는 위의 계산결과를 토막곡선으로 사용한 데이터이고 그 이후의 부분은 토막곡선을 기초로 유추한 부분이다. 0년의 평균값은 0년에서부터 0.5년 사이의 평균값을 의미하기 때문에 (100+92.9)/2=96.45가 된다. 면적은 첫 해만 반년 관련 때문에 평균값에 0.5를 곱한 값이 된다. 생존곡선면적은 나이에 따른 면적을 적분한 값이다. 6.5년도의 면적과 생존곡선면적이 같음을 볼 수 있고 5.5년도에는 6.5년과 5.5년의 면적의 합(3.55+13.25=26.8)인 16.8이 생존곡선 면적이 된다. (표 6 참조) 생존곡선 면적을 가지고 기대수명(식 4)을 계산하고 예측수명(=기대수명+나이)을 계산하였다.

계산 결과, 4.5년이 경과된 시점에서 폐기되지 않고 사용중인 장비는 1.2년의 수명을 더 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 표 3의 결과와 표 6에 제시된 결과의 수명차이는 단일자료와 복합자료에 의해 발생된 것이다.

표 6. 초기그룹법에 의한 기대수명과 예측수명 결과
(표 4의 n~n+3년 기준)

나이	생존율	평균값	면적	생존곡선 면적	기대수명	예측수명
0	100.00	96.45	48.23	351.78	3.52	3.52
0.50	92.90	86.75	86.75	303.55	3.27	3.77
1.50	80.90	71.25	71.25	216.80	2.69	4.19
2.50	61.90	55.95	55.95	145.55	2.35	4.85
3.50	50.00	44.05	44.05	89.60	1.79	5.29
4.50	38.10	28.75	28.75	45.55	1.20	5.70
5.50	19.40	13.25	13.25	16.80	0.87	6.37
6.50	7.10	3.55	3.55	3.55	0.50	7.00
7.50	0.00	0.00	0.00			7.50

3.2.2 폐기율법을 이용한 수명분석

폐기율법은 여러 설치년도의 폐기자료를 이용하여 폐기율

을 만든 후, 이를 근거로 생존율을 구하는 방법이다. 폐기율(R) 산정에는 아래의 식을 사용한다.

$$R = \frac{Z_x}{S_x} \quad (5)$$

Z_x : x 나이동안 누적폐기대수

S_x : x 나이의 초기 생존대수

$$\text{생존율} = 1 - \text{폐기율} \quad (6)$$

폐기율법을 이용하여 생존곡선과 평균수명을 구하기 위해서는 폐기자료를 이용하여 폐기율을 만들어야 한다. 앞의 표 4에 제시된 자료를 가지고, 먼저 동일나이의 자료를 분류하였다. (n~n+3)년 사이의 기간에는 모두 42대의 장비가 구입되었다. 0~0.5년 사이에는 모두 3대의 장비가 폐기되었고 0.5~1.5년 사이에 폐기된 장비는 5대이다. 표 7에 나이간격을 기준으로 폐기대수와 누적폐기대수가 정리되어 있다. 폐기율은 식 (5)에 의해 누적폐기대수를 초기생존대수(42)로 나누는 값이고 생존율은 식 (6)에 의해 구한 것이다.

표 7. 폐기율법에 의한 생존율 계산결과
(표 4의 n~n+3년 기준)

나이간격	폐기대수	누적폐기대수	폐기율	생존율
0~0.5	3	3	0.0714	0.9286
0.5~1.5	5	8	0.1905	0.8095
1.5~2.5	5	16	0.3809	0.6191
2.5~3.5	4	21	0.5	0.5

폐기율법은 초기그룹법과 다른 방법으로 생존율을 계산하지만 두 방법을 통해 얻어진 결과는 동일하다. 생존율을 이용하여 기대수명(식 (4))과 예측수명을 계산하는 것은 초기그룹법과 같은 방법을 사용하기 때문에 계산결과는 표 6과 동일하다.

3.3 생존곡선에 의한 수명결정 분석

생존곡선을 이용한 수명분석방법을 통해 장비자산에 대한 평균수명을 계산할 수 있었으며 시간의 경과에 기초한 예측수명과 잔존기대수명을 추정할 수 있었다. 추정된 잔존수명은 자산의 효율적 운영 및 장기경영계획 수립 등에 중요한 의사결정 요소로 활용될 수 있다. 건설장비 가운데 자주 교체 또는 대체를 해야 하는 장비의 경우, 생존곡선을 이용한 수명분석 방법은 유용한 의사결정 정보를 제공해 줄 수 있다고 판단된다.

생존곡선은 통상 폐기빈도곡선에 의거하여 작성된다. 이는 폐기빈도곡선의 특징이 생존곡선의 형태, 기대수명, 예측수명 등을 결정하는 데 매우 중요한 역할을 한다는 것을 의미한다. 한편, Iowa형 생존곡선은 설비들에 대한 폐기자료를 기초로 만들어진 수명분석 방법이기 때문에 설비와는 다른 조건에서 운영되는 건설장비에는 적용하기 어려울 수도 있다. 사용기간이 상대적으로 길고 개별보유량이 많지 않은 중장비가 여기에 해당된다. 국내 건설중장비의 경우, 노후화 된 장비들이 적지 않고 세법에 지정된 내용연수를 초과하여 사용되는 사례도 적지 않다.

또한, 대규모 투자를 지속적으로 할 수 있는 설비업체와는 달리 개별 장비에 대한 유지보수를 투자로 보고 있는 국내 건설장비업의 특성과 경영환경을 고려 할 방법도 필요하다. 회사의 경영상황에 따라서는 보유한 유형자산을 처분하여 투자자산으로 회계처리 해야 할 경우도 발생한다. 따라서, 폐기 자료에 기초한 생존곡선 외에도 장비운영상황이나 경영상황을 반영할 수 있는 수명결정 방법도 필요하다고 판단된다. 4 장에서는 수익과 비용에 기초한 수명특성을 제시해 보고자 한다.

4. 수익과 비용에 의한 수명 특성

장비 구입 후 발생하는 수익과 비용은, 회사의 경영상황이나 건설시장이 처해 있는 환경 또는 장비자체의 조건에 의해 변화된다. 장비에 대한 각 년도의 수익 대비 비용 경사는 다양한 형태로 나타날 수 있는데 임의의 장비에 대해 가로축을 연간수익으로 세로축을 연간비용으로 표시하여 조합해 보고 그 가운데 5가지를 선택하여 그림 3에 예시하였다.

그림 3. 연간 수익비용경사 (일부 사례)

그림 3의 첫 번째 그림은 비용보다 수익이 두 배정도 발생한 경우를 예시한 것이고 두 번째 그림은 수익보다 비용이 두 배 들어간 경우를 예시한 것이다. 각 그래프에 제시된 각도 δ 는 수익대비 비용을 의미하는 연간 수익비용경사특성이다. 그림 3에 예시된 그래프들을 그림 4와 같이 연결하면 장기간에 걸쳐 발생할 수도 있는 비용누적곡선을 얻게 된다.

그림 4에는 두 개의 각도 δ 와 β 가 표시되어 있다. 각도 δ 는 그림 3에서 설명한 바와 같이 연간수익($Ic_1 \sim Ic_5$)에 대한

그림 4. 비용누적곡선과 비용수익경사

비용($E_1 \sim E_5$)특성을 나타낸 것이다. 각도 β 는 누적된 수익에 대한 비용특성을 나타낸다. 즉, $\tan \delta_i$ 는 특정년도(i)에 발생된 비용경사특성이며, $\tan \beta_i$ 는 특정년도(i)까지 누적된 비용경사특성이다.

누적비용경사특성을 표현하기 위해 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$P_i = \tan \beta_i \quad (7)$$

P_i 를 계산하여 각 년도의 수익 폭에 따른 비용경사특성을 예시하면 그림 5와 같다.

그림 5. 연간비용특성과 비용특성합수

구해진 P_i 에 대해 단순회귀분석을 사용하면 해당 장비에 대한 비용특성합수(y_e)를 얻을 수 있다(schub, 1997).

$$y_e = ax + b \quad (8)$$

a : 비용특성합수의 상승계수, b : 비용특성합수의 상수
 x : 연간 수익의 합

임의의 시기까지 총비용(y)을 계산하기 위해서는 함수 (8)을 임의의 시기까지 적분하면 된다. 적분결과 얻어진 함수는 다음과 같다.

$$y = \frac{ax^2}{2} + bx + c \quad (9)$$

c : 적분상수

식 (9)에서 $x=0$ 이 되면 $y=c$ 가 된다. 수학적으로 적분상수(c)는 원래 임의의 수를 의미하나 본 공식에 사용된 적분상수(c)는 장비의 구입비용 같은 일회성 초기투자비용을 의미할 수 있다. 식 (9)는 이미 발생한 수익과 비용특성이 반영된 이차함수로서 그림 6에 제시한 것과 같이 곡선으로 나타난다.

식 (9)를 x 로 나누게 되면, 총비용을 총 수익으로 나눈 것과 같게 되어 전체기간에 대한 비용특성 값($\tan \gamma$)을 얻을 수 있다.

$$\tan \gamma = \frac{y}{x} = \frac{a}{2}x + b + \frac{c}{x} \quad (10)$$

식 (10)을 미분하여 계산한 값이 0이 된다는 것은 투자비용과 비용특성상승계수 값이 한계점에 이르렀다는 의미이며,

그림 6. 총비용누적곡선

이러한 관점에서 볼 때 장비의 사용에 수반되는 총비용을 최소화하는 사용기간인 경제수명에 도달했다고 할 수 있다. 경제수명에 도달했을 때까지의 총수익은 x_{op} 가 된다(그림 6 참조). 식 (10)을 x 에 대해 한 번 미분하여 식을 정리하면 다음과 같다(Bronstein, 1987).

$$x_{op} = \sqrt{\frac{2c}{a}} \quad (11)$$

총수익은 비용을 투자한 이후 최근의 마지막 사용년도까지 벌어들인 총수익이다. 연 평균수익(E)은 총수익(x_n)을 사용기간(n)으로 나누어 구하면 된다.

$$E = \frac{x_n}{n} \quad (12)$$

식 (12)을 통해서 임의의 해(i)동안 벌어들인 평균수익(x_i)을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x_{(i)} = n_{(i)}E \quad (13)$$

식 (11)의 x_{op} 를 식 (10)에 대입하여 정리하면, 이상적인 사용기간 안에서 최저 총비용을 의미하는 최저 비용특성 값($\tan\gamma_{min}$)을 얻을 수 있다. 이는 그림 6에서 총비용함수(y)와 접선 1의 만남을 통해 확인 할 수 있다.

$$\tan\gamma_{min} = b + \sqrt{2ca} \quad (14)$$

한편, 국내 표준품셈에서는 건설기계 내용년수 종료시의 잔존가치를 10%로 규정하고 있기 때문에 이를 그림 6의 비용축에 0.1C로 표시하였다. 0.1C에서 총비용함수(식 9)의 접선을 구하면 파선으로 표시된 선 2가 되고 비용특성 값은 $\tan\gamma_{10\%}$ 가 된다. $\tan\gamma_{10\%}$ 를 적용할 경우 총비용함수와 접선이 만나는 접점이 앞으로 옮겨지게 되어 건설장비의 경제수명이 단축되고 예상총수익이 감소하는 결과를 가져오게 된다. 본 연구에서는 총수익과 수명기간에 줄 수 있는 부정적인 영향을 최소화 한다는 관점에서 식 (14)의 $\tan\gamma_{min}$ 을 적용하는 것으로 하였다.

경제성 측면에서 볼 때, 장비의 이상적인 사용기간은 전체적인 총비용특성이 최소화되는 기간까지를 의미한다. 다시 말해, 초기투자비용에 대해 수익과 비용이 균형을 깨고, 비용이 수익보다 많아지게 되는 시점까지가 이상적인 사용기간에 해당된다. 이처럼 자산의 사용에 수반되는 총비용을 최소화

하는 사용기간을 2장에서 경제수명(x_{op})으로 정의하였다. 서비스 수명은 경제수명을 통과한 시점부터 시작된다고 할 수 있다. 그림 6의 총비용누적곡선에서 총비용함수가 급격하게 증가하는 부분까지를 서비스 수명의 한계점이라고 볼 수 있다.

총비용함수는 초기투자비 외에도 매년 발생하는 수익과 비용의 영향을 받기 때문에, 장비운용실적에 따라 다른 함수를 얻게 된다. 이러한 함수 특성을 이용하여 5장에서는 총비용함수 특성을 반영한 건설장비 수명결정 방법을 제안해 보고자 한다.

5. 총비용함수 특성에 의한 수명결정 방안

5.1 주요 요소와 프로세스 구성

비용과 수익을 기반으로 제 4장에서 얻어진 주요 요소를 표 8에 정리하였고, 총비용함수에 기초한 장비수명 결정 프로세스를 그림 7에 제시하였다.

개별 장비에 대해, 초기투자비(c)와 매년 수익 및 비용을 기록한 자료를 가지고, 회귀분석을 이용하면, 총비용함수를 얻을 수 있다. 구해진 총비용함수는 해당 장비의 특성이 반영된 고유함수이기 때문에 다른 장비에서 구해진 함수와는 구별되어야 한다. 총비용함수(식 9)는 장비의 수명결정에 사용된다.

식 (8)과 식 (9)를 통해 경제수명과 이 시기까지 예상되는 총수익(식 11)을 구할 수 있다. 연평균 수익(식 12), 일정기간 예상 수익(식 13), 최저비용특성(식 14)을 구하고 나면 수명결정에 필요한 요소가 갖추어진 것이다.

표 8. 수익과 비용기반의 주요 요소

식	요소	설명
-	a	회귀분석을 통한 비용특성함수의 상승계수
-	b	회귀분석을 통한 비용특성함수의 상수
-	x	연간 수익
-	c	적분상수, 일회성 초기투자비
(8)	y_e	수익과 비용에 의한 비용특성 함수
(9)	y	임의의 시기에 대한 총비용함수
(10)	$\tan\gamma$	(경제수명에 대한) 비용특성 값
(11)	x_{op}	경제수명 도달시의 예상 총 수익
(12)	E	연 평균 수익
(13)	x_i	임의의 기간에 대한 예상 총 수익 (평균)
(14)	$\tan\gamma_{min}$	최저 비용특성 값

식 (12)와 식 (13)은 현재의 경영상황에 대한 비교지표로 활용될 수 있다. 예상된 년 간 평균수익에 미달되는 장비는 폐기대상으로 분류 될 수 있으며, 이 가운데 일정한 기간 동안에도 예상수익에 도달하지 못한 장비는 우선 폐기 대상으로 분류된다. 폐기대상으로 분류된 장비는 매각처리 대상으로, 기업회계기준에 의해 예상처분가액을 투자자산으로 회계처리하면 된다. 표 8의 요소는 목표지표로도 활용될 수 있다. 매 년 요구되는 평균수익(식 12)은 단기 목표, 누적수익(식 13)은 중기 목표라고 할 수 있다. 경영전전성을 유지하기 위해서는 수익과 비용이 균형을 이루어야 한다. 비용과 수익간의 균형 달성에 사용할 수 있는 기준지표는 최저 비용특성값(식 14)이다. 즉, 식 (12), 식 (13), 식 (14)를 통해

```

graph TD
    A[초기투자비, 년간 수익 및 비용 자료] --> B[총비용합수 식 9]
    B --> C[경제수명과 예상 총수익 결정 식 11]
    C --> D1[연평균수익 식 12]
    C --> D2[일정기간 예상 수익 식 13]
    C --> D3[최저비용특성 식 14]
    D1 --> E1{연 수익}
    D2 --> E2{일정기간실수익}
    D3 --> E3{실제 비용 특성}
    E1 --> F[신규자료와의 비교]
    E2 --> F
    E3 --> F
    F --> G[예상자료와 신규자료 비교]
    G --> H[비교 확인을 통한 경영자료 확보, 개선방법 수립, 경비수명 결정]
    H --> A
  
```

5.2 사례 검증 및 분석

원편에 제시된 년 간 수익과 비용에 관한 부분이다.

장비 A, B, C, D는 유사한 사양의 장비(굴삭기)이다. 장비 A의 경우 7년간, 장비 B의 경우 8년간, 장비 C와 D의 경우는 6년간의 실적자료를 연구사례 대상으로 사용하였다. 네 개의 장비를 총수익의 우선으로 나열하면, A, B, C, D 순이고, 년 평균 수익에 따라 나열하면 A, C, B, D 순서가 된다. 운영실적과 비용을 정리하여 연간비용특성을 식 (8)을 사용하여 계산하였고 단순회귀분석을 통해 구한 비용 특성함수를 그림 9에 함께 제시하였다. 장비가격은 2011년도 기준으로 9700만원으로 산정하였다.

그림 9. 비용특성함수 계산결과 (사례)

예상 총수익(x_{op})과 년 평균 수익(E) 을 계산하는 방법을 제시해 보면 다음과 같다. 년 평균 수익은 장비 A의 경우, 총수입(960492천원)을 사용기간(7년)으로 나눈 값이 된다(그림 9 참조).

$$x_{op} = \sqrt{(97000/3E-8)} = 2542964.15 \approx 2542964 \text{ (천원)}$$

$$E = 690492/7 = 98641.71429 \approx 98642 \text{ (천원)}$$

예상 총수익을 년 평균수익으로 나눈 값이 경제수명이 된다.

$$2542964/98641 = 25.77999006 \approx 25.8 \text{ (년)}$$

A, B C, D 장비에 대해 동일한 방법으로 계산을 하고 그 결과를 표 9에 정리하였다.

A 장비에 대한 계산결과, 예상되는 총 수익은 25억, 예측된 경제수명은 25.8년, 이를 지속시키기 위한 연 평균 예상 수익은 9천8백만원 정도로 예측되었다. B 장비와 C 장비의 경우 예상 총 수익은 약 14억 정도로 예측되었으나, 경제수명과 연 평균 예상수익은 다르게 나타났다. 경제수명이 장비 B의 경우 약 18년, 장비 C의 경우는 약 16년 정도로 예측되었는데, 장비 B의 경우 7.5년을, 장비 C의 경우는 5.5년을

그림 8. 대상장비 리스트 (일부)

표 9. 굴삭기 사례검증 계산 예 (부분편집)

장비	a	b	x_{op} [천원]	경제수명 [년]	E [천원]
A	3E-08	0.1314	2542964	25.8	98641
B	1E-07	0.1286	1392838	17.9	77922
C	1E-07	0.1216	1392838	16.2	86014
D	5E-07	0.1782	622896	12.9	48323

가동한 상태를 기준으로 하였기 때문에, 기대수명은 각각 10.4년과 10.7년이 된다. 실적이 가장 저조했던 장비 D의 경우, 예측된 경제수명 약 13년 동안의 예상 총수익이 6억 2천만원 정도이다. 또한 이를 지속하기 위한 년 평균예상수익 역시 장비 A의 절반 정도로 예측되었다. 예측된 결과는 기존의 수익과 비용 및 초기비용을 기초자료로 활용하여 얻어진 결과이기 때문에, 향후 실적자료에 따라 변화될 수 있다.

각 장비들이 제시된 연평균 예상수익을 일정기간 동안 도달하지 못할 경우 폐기 대상으로 분류된다. 이 가운데 가장 짧은 기대수명과 낮은 총수익을 제공하는 장비는 매각처리 대상으로 분류될 수 있다. 잔존수명이 가장 적게 남은 것으로 예측된 장비 D는 향후 2~3년 사이에 개선실적이 나타나지 않을 경우 경영적 판단을 거쳐 매각하여 투자자산으로 회계처리 될 수 있다.

본 연구에서 얻어진 경제수명은 표 1에 제시한, 지방세법과 표준품셈의 기간과는 많은 차이를 보이고 있다. 지방세법이나 표준품셈에 제시된 기간을 초과하여 사용되고 있는 노후화된 중장비들이 폐기되지 않고 사용되는 이유를 감가상각이나 세금조건 만을 가지고는 설명하기가 어려웠던 것이 사실이다.

본 연구에서 얻어진, 수익과 비용 등의 경영상황을 조건으로 예측된 경제수명은 노후화 된 중장비의 존재현실을 수치적 결과로 보여주고 있다는 점에서 주목할 만한 결과로 사료된다. 또한, 장비 업체별로 장비의 수명이 다를 수 있는 이유 가운데 하나가 장비의 운영실적에 따른 수익과 비용 및 초기투자비용을 보여주고 있다.

6. 결론 및 전망

장비수명 추정과 결정을 위해서는 모든 상황에 대한 종합적인 고려가 필요하다. 모든 상황에는 경제동향, 정부 혹은 경영조직의 정책결정, 자산의 현재조건, 자산에서 얻을 수 있는 서비스의 질이나 미래에 대한 기대치, 의사결정자의 판단 및 기술적 진보 상황 등이 포함된다. 본 연구에서는, 건설장비의 수명결정에 사용할 수 있는 두 가지 방법을 제시하였다. 경제성 공학에서 사용하는 생존곡선을 이용한 수명분석 방법과 본 연구에서 제안한 장비의 수익과 비용 특성을 반영할 수 있는 수명결정 방법이다.

3장에서 제시한 방법은 구입과 폐기와 관련된 수치가 통계적 의미가 있을 정도의 수량이 있는 장비의 수명결정에 적용할 수 있으나, 국내 건설장비 현실과는 맞지 않는 측면이 있다. 한편, 장기간 사용하지만 수량이 적고 자료(세법이나 품셈)에 의존한 폐기가 이루어지기 어려운 국내 건설중장비 현실에는 4장에서 제안한 수익과 비용에 의한 수명결정 방법이 보다 유용할 것으로 판단된다.

비용특성의 상승계수(a)와 상수(b)는 매년 발생하는 수익과 비용의 변화특성을 반영한다. 이 계수와 상수는 미래의 경영결과에 따라 변화 될 수 있지만, 현재까지 누적된 정보를 기초로 작성된 비용특성함수를 완전히 변화시키기는 쉽지 않을 것으로 판단된다. 장비를 사용한 기간이 증가할수록, 새로 이룩한 특정 년도의 경영성과가 비용특성함수에 미치는 영향은 줄어들게 된다. 시간의 경과와 함께 새로운 변수가 기존함수에 미치는 영향이 줄어들기 때문에 본 연구에서 제시한 모델이 장비의 수명결정을 위한 자료로 활용될 수 있다고 판단된다.

연구 결과, 동일한 장비라고 하더라도 비용, 수익, 초기투자비에 따라 경제수명이 다르게 나타날 수 있음을 알게 되었다. 구해진 경제수명은 법인세법이나 표준품셈에 제시된 비현실적인 짧은 수명과는 달리 노후화 된 중장비의 수명분석에도 적용할 수 있는 것으로 나타나, 관련연구가 부족한 장비 수명결정 분야에 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

향 후, 본 연구에서 개발한 방법을 보다 쉽게 활용할 수 있는 프로그램을 개발할 예정이며, 유지관리 단계의 대규모 투자가 수명결정에 미치는 영향 등을 수식화하여 합리적인 판단자료로 활용할 수 있게 제공할 수 있는 연구가 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 2012년도 광주대학교 대학연구비의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

- 권기태(2002) **건설기계와 시공**, 동명사.
- 법제처(2011) **건설기계관리법**, 법제처.
- 법제처(2012) **법인세법 시행령**, 법제처.
- 오현승, 김중수, 서정열 외(2007) 반도체 제조설비의 경제적 내 용연수 추정, **산업경영시스템학회지**, 산업경영시스템학회, Vol. 30 No. 4, pp. 164-169.
- 오현승, 김중수, 조진형 외(2002) 국내 산업설비의 폐기율 추정, **산업경영시스템학회지**, 산업경영시스템학회, Vol. 25 No. 4, pp. 79-85.
- 오현승, 김중수, 이한교 외(2009) 석유화학 제조설비의 경제적 감가상각률 산정, **산업경영시스템학회지**, 산업경영시스템학회, Vol. 32 No. 1, pp. 130-136.
- 유일근(2002) **최신 경제성공학**, 형설출판사.
- 이한교, 김경택 외(2007) 설비 생존곡선 추정을 위한 혼합형 Weibull 함수의 적용, **산업경영시스템학회지**, 산업경영시스템학회, Vol. 30 No. 1, pp. 66-73.
- 한국감정원(1999) **유형고정자산 내용년수표**, 한국감정원.
- 한국건설기술연구원(2011) **건설공사 표준품셈 2011**, 한국건설기술연구원.
- 한국은행경제통계시스템.
- 허영기 외(2008) 표준품셈의 기계경비 산정 현실화를 위한 자료 조사 분석, **한국건설관리학회 논문집**, 한국건설관리학회, Vol. 9 No. 1, pp. 155-166.
- Bronstein, Semendjajew (1987) *Taschenbuch der Mathematik*, Verlag Harri Deutsch.
- Schub, A. and Zapletal, I. (1997) *Lebenszykluskosten und Lebensdauer von Bauobjekten und Baumaschinen*, *Bauingenieur*, Springer-VDI-Verlag, pp. 548-554.

(접수일: 2012.3.28/심사일: 2012.5.4/심사완료일: 2012.6.20)