

# 와이블 분포를 이용한 농기계 부품의 신뢰도 분석

## Reliability Analysis of Agricultural Machinery Parts using Weibull Distribution

박영준\*      이운세\*      김경욱\*  
정회원      정회원      정회원  
Y.J.Park    Y.S.Lee    K.U.Kim

### 1. 서론

사후봉사의 핵심은 신속한 고장 수리와 원활한 부품 공급이다. 일정 지역을 담당하고 있는 사후봉사 업소가 보유해야 할 수리 부품에 대한 적정 재고량 산정은 사후봉사 업소의 안정적인 경영뿐만 아니라 원활한 사후봉사의 기능을 위해서도 대단히 중요한 일이다.

우리나라에는 2000년 현재 총 3,282개의 농기계 사후봉사 업소가 있다(농업기계연감, 2001-2002). 그 중 33.2%는 시, 군 단위의 대리점이고, 41.5%는 읍, 면, 동 단위의 민간 수리점이다. 또한, 대부분의 사후봉사 업소는 규모가 작고 영세성을 면치 못하고 있는 실정이다. 이러한 사후봉사 업소가 매년 확보해야 할 주요한 수리용 부품의 수는 다년간 경험에 의하여 산정되고 있다. 다시 말하면, 지역의 농기계 보급 대수와 주요 부품의 고장 특성을 고려한 합리적인 수요가 예측되지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 대부분의 사후봉사 업소는 과도한 재고 부담을 안고 있으며, 1999년에는 대리점의 연간 부품 재고액이 약 1억 1,760만원에 이르는 것으로 나타났다. 또한, 연간 부품 폐기 처분액도 243만원에 이르렀다. 수리 부품에 대한 적정 재고를 유지하지 못함으로써 발생하는 손실은 이러한 재정적인 손실 외에도 부품을 보관하기 위한 공간이 확대되어야 하고, 부품의 종류와 수가 증가됨에 따라 관리 작업이 증가되는 단점이 있다. 부품이 부족한 경우에는 부품 조달에 따른 시간 때문에 농작업의 적기를 상실하는 경우도 있다.

본 연구는 주요 농업기계에 대한 부품의 고장 특성을 분석하고, 신뢰도를 평가하여, 지역별, 기종별 수리용 부품의 적정 수요와 재고를 예측하는데 필요한 기초자료로 활용될 목적으로 수행되었다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 고장 데이터 조사

##### 1) 데이터의 선택

농기계 부품에 대한 데이터는 대동공업, 국제종합기계, 동양물산, LG전선 등 4개 종합형 농기업체의 사후봉사 기록을 바탕으로 하였다. 같은 업체의 경우, 부품에 대한 원본 데이터는 같은 부품이 서로 다른 모델에 함께 사용될 때 두개 이상의 모델에 모두 포함되거나 그 중 하나에 총합이 포함되어 있는 경우가 있었다. 이 때문에 부품 데이터를 모델별로 정리하

지 않고 업체별로 정리하였다. 또, 고장 분석의 오차를 줄이기 위하여 위의 모델 중 부품수가 500개 이하인 것은 정리 대상에서 제외하였다.

## 2) 불필요한 데이터의 삭제

원본 데이터는 각 모델에 사용되는 대부분의 부품을 포함하고 있기 때문에 실제 수명 추정이 필요한 기능성 부품을 제외한 나머지 부품은 조사 대상에서 제외하였다. 조사 대상에서 제외된 데이터는 다음과 같다.

가) 부품 중 기계 본체가 아닌 작업기에 관련된 부품.

나) 핀, 링, 볼트, 너트, 시일, 와셔, 칼라 등 일반적인 기계요소 중 쉽게 구할 수 있는 부품.

다) 필터, 엘리먼트, 파이프, 가스켓, 타이어, 커버, 튜브, 망, 스위치 등 수리 또는 교환하지 않아도 실제 작업에 큰 지장을 주지 않는 부품.

## 3) 데이터의 정리

대동 트랙터의 원본 데이터에서 부품의 이름이 동일한 것을 묶었을 때의 총 부품 품목수는 8231개였다. 이중 삭제 대상 나)와 다)에 해당되는 부품을 제외하고 부품의 위치상 같은 부품으로 간주될 수 있는 것을 제외하고 정리한 최종 부품 품목수는 702개였다. 여기서 대동 데이터의 부품의 품목수가 가장 많았기 때문에 부품의 이름을 대동 데이터를 기준으로 나머지 3업체의 데이터를 정리하였다.

## 나. 고장 특성 및 신뢰도 평가 이론

### 1) 와이불(Weibull) 분포 함수

본 연구에서 채택한 부품의 고장 특성 및 신뢰도 평가를 위한 와이불 분포 함수(Weibull distribution function)는 신뢰성 공학 및 부품 고장 특성 분석에서 가장 널리 사용되고 있는 분포 함수로서 3개의 매개 변수와 1개의 독립 변수로써 다음과 같이 표현된다.

$$F(t, \beta, \theta, \delta) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\delta}{\theta-\delta}\right)^\beta\right] \quad (t \geq 0, \beta > 0, \theta > 0, \delta > 0) \quad (1)$$

와이불 분포 함수를 부품의 고장 분포에 적용하면, 매개 변수  $\beta$ 는 형상 계수(shape parameter)로서 와이불 함수의 기울기를 나타내며,  $\theta$ 는 척도 계수(scale parameter)로서 특성 수명을 나타내고,  $\delta$ 는 위치 계수(location parameter)로서 최소 수명을 나타낸다. 독립 변수  $t$ 는 부품의 사용 시간을 나타낸다. 고장 분석에서는 부품이 최소 수명을 0으로 가정할 수 있기 때문에 즉, 사용하기 전부터 이미 고장이 발생하여 부품을 사용할 수 없는 경우를 고려할 수 있기 때문에  $\delta$ 를 0으로 하면 와이불 함수는 2개의 매개 변수로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F(t, \beta, \theta) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \quad (2)$$

와이블 분포의 확률 밀도 함수(probability density function)  $f(t)$  를 구하면

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left\{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right\} \quad (3)$$

가 된다. 와이블 분포의 신뢰도 함수(reliability function)와 고장률 함수(hazard function)는 각각 다음과 같다.

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right] \quad (4)$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (5)$$

이때  $t = \theta$ 인 경우 신뢰도 함수  $R(t) = e^{-1} = 0.368$ 이 되는데 이를 특성 수명이라 한다. 다시 말하면 특성 수명이란 전체의 63.2%가 고장나는 시간을 의미한다. 여기서  $\beta$ 는 분포의 형태를 결정하는 계수로, 다음과 같은 특징을 갖는다.

Table 1 부품의 고장 특성

$\beta$	고장 특성
$\beta=1$	우발 고장: 심한 충격이 예상하지 못한 하중에 의하여 파괴되는 고장
$\beta < 1$	초기 고장: 조립 불량, 소재 불량 등으로 일어나는 고장
$\beta > 1$	마모 고장: 정상적인 고장으로 수명을 다하여 일어나는 고장

$\delta=0$ 일 때 와이블 분포의 통계적인 성질로서 평균, 즉 평균 고장 간격(MTBF)과 분산은 이항 분포의 원리를 적용하여 각각 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$MTBF = \int_0^\infty t f(t) dt = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (6)$$

$$\sigma^2 = \int_0^\infty t^2 f(t) [1 - F(t)] dt = \theta^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right] \quad (7)$$

## 2) 와이블 함수의 매개 변수 결정

부품의 고장을 분석할 때 사용하는 와이블 분포 함수의 매개 변수  $\beta$ 와  $\theta$ 는 와이블 분포 함수를 선형으로 변환하여 구한다. 식 (2)를 변형하여 다음과 같이 좌우 양변에 2번의 대수를 취하면 다음과 같다.

$$\ln\left(\ln \frac{1}{1 - F(t)}\right) = \beta \ln t - \beta \ln \theta \quad (8)$$

이제,  $Y = \ln\left(\ln \frac{1}{1 - F(t)}\right)$ ,  $X = \ln t$ ,  $C = \beta \ln \theta$ 라 하면 와이블 분포 함수는  $Y = \beta X - C$ 와 같은 선형 함수로 변형되며, 이를 와이블 확률지에 나타내면 직선으로 표현된다. 이를 이용하

여  $\beta$ 와  $\theta$ 을 결정할 수 있다. 본 연구에서는 통계분석소프트웨어인 MINITAB(v 13.1)을 이용하여  $\beta$ 와  $\theta$ 을 결정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

농기계 부품 수명에 대한 데이터는 설문지를 작성하여 평택의 동양, 국제, LG 각 1개소, 대동 2개소, 총 5개소의 대리점을 방문하여 조사하였다. 조사 결과, 부품의 수명이 길어서 수리를 한 적이 없거나 거의 수리하지 않아 수명 예측이 어렵다고 답한 품목이 많았다. 5개소의 데이터를 모두 얻은 부품은 트랙터 6개(타이로드 조합, 클러치디스크 조합, 시동모터, 리프트로드 조합, 기어펌프 조합, PTO축), 이앙기 5개(이앙집게, 점화 플러그, 밀쇠, 이앙암 조합, V벨트)였으며 4개의 데이터를 얻은 부품은 트랙터 5개(예열플러그, 체크체인조합, 라디에이터조합, 베벨기어축, 브레이크디스크), 이앙기 3개(세로이송휠, 캠, 기화기조합)였다. 4개 이상의 데이터를 얻은 부품으로 부품의 고장 특성을 분석하였다. 그림 1은 MINITAB으로 부품의 형상 계수( $\beta$ )와 척도 계수( $\theta$ ), MTBF를 결정한 예로 나타낸 것이다.

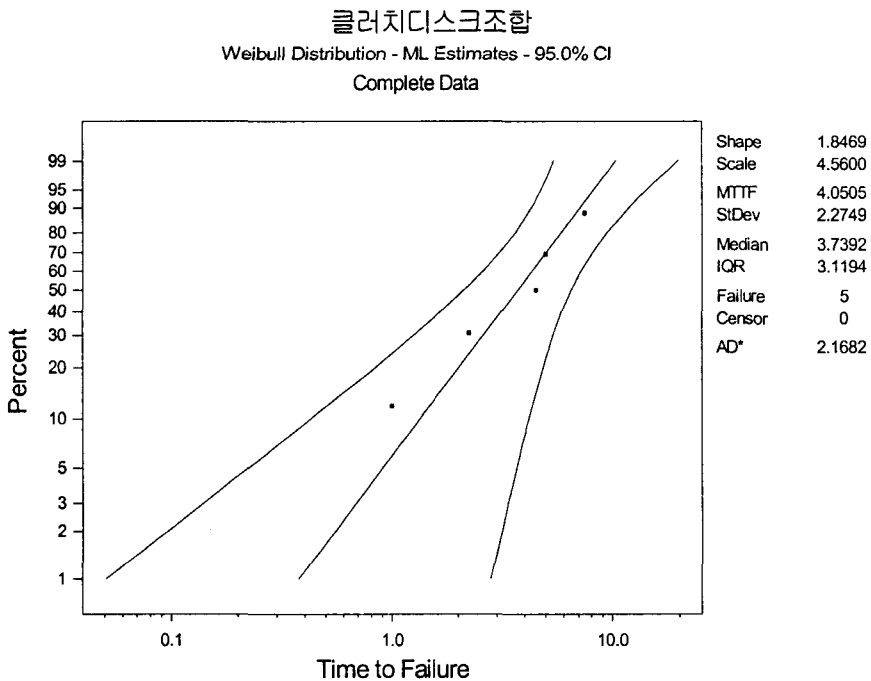


Fig. 1 트랙터 부품인 클러치디스크조합의 고장 분석.

MINITAB으로 예측한 트랙터, 이앙기, 콤바인의 주요 부품에 대한 고장 특성과 평균 수명의 예는 각각 표2, 표3, 표4에서와 같다.

Table 2 트랙터 부품의 형상 계수, 척도 계수, MTBF

부품명	$\beta$	$\theta$ , year	MTBF, year
타이로드조합	2.4727	3.2586	2.8905
클러치디스크조합	1.8469	4.5600	4.0505
시동모터	5.5310	4.4659	4.1243
리프트로드조합	5.7084	4.0212	3.7202
기어펌프조합	5.2228	4.1963	3.8626
PTO축	3.8423	4.3249	3.9112
예열플러그	4.8573	4.2473	3.8932
체크체인조합	3.1931	5.5283	4.9509
라디에이터조합	4.8578	5.4810	5.0241
베벨기어축	4.2032	5.6574	5.1425
브레이크디스크	3.7887	6.2594	5.6562

Table 3 이앙기 부품의 형상 계수, 척도 계수, MTBF

부품명	$\beta$	$\theta$ , year	MTBF, year
이앙집게	2.1213	1.5928	1.4107
점화플러그	3.8223	3.3744	3.0508
밀쇠	3.0784	2.7515	2.4599
이앙암조합	4.3534	2.7568	2.5110
V벨트	3.5002	1.5636	1.4069
새로이송휠	2.3087	2.7638	2.4486
캠	4.4523	4.5554	4.1546
기화기조합	2.7946	3.8033	3.3864

Table 4 콤바인 부품의 고장 특성, 특성 수명, MTBF

부품명	$\beta$	$\theta$ , time	MTBF, time
V 벨트 LB96	3.4615	251.80	226.43
이퀄라이저 조합	3.8187	319.22	288.59
궤도 롤러	4.8795	409.06	375.06
크로울러(400X90X4)	3.7676	540.68	488.43
아이들러	1.7699	340.19	302.78
양면날	1.8976	176.12	156.29
반송체인	2.6818	240.39	213.73
탈곡통 조합	3.6066	487.49	439.32
칼날 D	1.6504	161.04	144.00
피드체인	2.6346	339.21	301.41

이상의 고장 분석 예에서와 같이 부품의 고장 특성은 모두 마모 고장으로 초기 고장이거나 특수한 경우의 예외적인 고장은 아닌 것으로 나타났다.

고장 분석에서 가장 중요한 데이터는 최초 고장이 일어날 때까지의 누적 사용 시간 또는 부품 교환 주기이다. 그러나, 이러한 자료를 정확히 기록하고 있는 대리점이나 수리점은 없었다. 대부분은 기억에 의존하거나, 지금까지의 경험에 의하여 개략적으로 고장 시간과 부품의 교환 주기를 알고 있었다. 또한, 일부 기종, 특히 콤팩트는 해마다 소모품에 해당되는 부품을 일률적으로 교체하기 때문에 실질적인 수명 추정은 큰 의미가 없는 것으로 나타났으며, 내구성 부품의 수리는 거의 없는 것으로 나타났다.

#### 4. 향후 계획

- 1) 4개 종합형 농기업체의 부품교체에 대한 3년간 데이터를 각 업체별로 정리해서 각 업체별로 부품의 수명을 예측한다. 부품의 명칭이 각 업체별로 다르고, 명칭이 같더라도 사용 목적이 다를 수 있으므로 각 업체별로 부품 수명을 예측하는 것이 타당하다고 할 수 있다. 그렇게 하기 위해서는 설문조사도 각 업체별로 부품교체에 대한 정보를 이용해서 다른 설문지를 작성한다.
- 2) 내구성 부품과 소모성 부품을 모두 포함시켜서 조사한다. 1차 조사에서 내구성 부품의 경우 수리는 거의 하지 않는 것으로 조사되었으므로 소모성 부품도 포함해서 조사한다.
- 3) 대리점과 수리점의 고장 기록이 부정확하고 없는 경우가 대부분이다. 정확한 고장 기록이 없는 것이 가장 큰 문제이나, 조사 횟수를 증가하여 오차를 최대한 감소시킬 계획이다.

#### 5. 참고 문헌

- 이상용. 1999. 신뢰성공학. 형설출판사
- 김원경. 2001. 신뢰도공학. 교우사
- 서순근. 2001. MINITAB 신뢰성 분석. (주)이레테크