

트랙터의 승하강용 유압 펌프의 내구성 평가 프로세스 개발

Development of Durability Evaluation Process of Lifting Hydraulic Pump for Agricultural Tractor

한태호 · 문석표 · 김용주

Tae Ho Han, Seok Pyo Moon and Yong Joo Kim

1. 서 론

국내 트랙터 공급량은 2012년 12,246대로 2008년 이후부터 13,000대 내외로 정체 상태이며, 특히 이앙기와 콤바인은 2000년대 들어 각각 연평균 9.3%, 5.0% 로 크게 감소하는 경향을 보이고 있다. 반면에 2012년 수입 농업기계 점유율은 2003년 대비 트랙터 13.2% 승용이앙기 57.5%, 콤바인 27.3%로 큰 폭으로 증가하였다.¹⁾ 또한, 주요 농기계인 트랙터, 콤바인, 이앙기의 수입은 2016년 각각 550백만\$, 160백만\$, 70백만\$를 차지하고 있다.²⁾ 이러한 수입산 농기계의 점유율 증가 원인은 일본, 미국, 유럽 등의 제품과 국내 제품과의 품질 격차로 판단된다. 국내 농업인의 농기계 사용실태를 조사한 결과, 국산 농기계의 경우 고장발생이 많다는 응답은 트랙터, 이앙기, 콤바인이 각각 17.3%, 14.0%, 26.5%로 수입산 농기계 8.0%, 8.3%, 12.5% 대비 높게 나타나 국산 농기계의 품질이 수입산 농기계에 비해 미흡한 것을 알 수 있다. 특히, 농기계 사후관리 업소를 대상으로 농기계 주요 부품별 품질수준을 조사한 결과, 국산 농기계의 유압품질이 수입산 농기계와 유사하다는 응답은 31.6%인 반면에, 품질 수준이 낮다는 응답은 68.4%로³⁾ 나타나 농기계 유압부품의 신뢰성 확보가 필요함을 알 수 있다. 농기계에 사용되는 유압부품에는 유압 펌프, 유압 모터, 유압 밸브 등이 있으며, 특히 유압 펌프는 트랙터, 콤바인, 이앙기에 모두 사용되며, 사용 환경의 특성상 큰 진동과 외부의 큰 압력 변동에 의해 제품의 파손이 발생하여⁴⁾ 유압 펌프에 대한 신뢰성 확보가 필요한 실정이다. 유압 펌프는 엔진의 기계적 동력을 이용하여 에너지밀도가 상대적으로 높은 유압 동력을 생성하는 유압 부품의 기본이 되는 요소 부품으로 트랙터의 작업기 승하강 펌프는 트랙터 작업 시 작업기를 지지하고 승하강 하는 역할을 수행하여 농작업 품질을 결정하며, 사용빈도가 가장 높은 유압 부품이다. 그러나, 농기계는 완성차를 중심으로 성

능평가를 수행하기 때문에 유압 펌프에 대한 시험을 별도로 수행하지 않고 있어 이에 대한 신뢰성 확보가 어려운 실정이다. 특히, 유압 펌프의 신뢰성 중 내구성에 대한 시험은 농업기계용 유압 펌프의 신뢰성 평가 기준인 RS-B-0063⁵⁾에서 정의하고 있으나 이는 농기계의 작업 특성을 반영하지 못하고 유압 펌프의 최대 압력과 유량으로 평가가 진행되고 있어 농기계에 사용되는 정확한 유압과 유량 정보를 반영한 유압 펌프의 시험평가 프로세스 개발이 필요한 실정이다. 그러므로 본 기술지에서는 농기계 중 가장 시장규모가 크고 사용빈도가 높은 트랙터의 승하강 유압 펌프에 대한 내구성 평가 프로세스 개발을 위하여 주요 농작업 시 승하강 펌프의 유압 및 유량을 측정하였으며, 농작업 비율에 따른 통합 등가 부하를 산출하여 농작업 특성을 반영한 트랙터 승하강 유압 펌프의 내구성 평가 방법을 제안하였다.

2. 트랙터 승하강 펌프의 계측 시스템 구성

트랙터 농작업 시 발생하는 승하강 펌프의 부하 데이터 수집을 위하여 유압 계측 시스템을 개발하였다. 시험에 사용된 트랙터는 국내에서 가장 시장규모가 크고 사용빈도가 높은 78 kW급 트랙터(S07, TYM, Korea)를 사용하였으며, 이때 승하강 펌프의 배제용적은 24 cc/rev 이다. 승하강 펌프의 부하 측정을 위한 유압 센서(HySense PR 130, HYDROTECHNIK, Germany)는 승하강 펌프의 입출력 배관에 각각 설치되어 엔진에서 펌프로 유입되는 유압을 측정하였으며, 이때, 유압 센서의 측정범위는 0 ~ 250 bar 이다. 또한, 유량은 엔진과 승하강 펌프가 직결되어 있는 것을 고려하여 엔진의 회전속도를 CAN 통신으로 측정하여 유량으로 환산하였다. 유압 부하 수집을 위한 데이터 수집 장치(CRONOS compact CRC-400-11, IMC, Germany)는 100 Hz의 속도로 데이터 측정이 가능한 제품을 사용하였으며, 트랙터 캐빈 내부에 설치하여 실시간으

로 측정된 데이터의 모니터링 및 저장이 가능하도록 개발하였다.

3. 주요 농작업에 따른 승하강 펌프 부하 데이터 수집

승하강 펌프의 내구성 평가 방법을 위하여 트랙터의 쟁기, 로타리, 베일러, 랩핑 작업 시 승하강 펌프의 부하를 측정하였다. 쟁기 작업은 토양을 절삭, 반전, 파쇄하고, 로타리 작업은 쟁기 작업을 통해 파쇄된 토양을 트랙터 PTO 동력을 이용하여 쇄토하는 작업으로 모두 토양의 통기성을 좋게 하고, 딱딱한 토양을 부드럽게 해 작물의 뿌리가 내리기 쉽게 토양환경을 조성하는 작업으로 Fig. 1과 같이 수행하였다. 이때, 승하강 펌프는 작업기의 승하강에 사용되며, 작업자는 포장의 경심에 따라 경심을 일정하게 유지하는 경심제어를 사용하여 농작업을 수행하게 된다. 그러므로 쟁기 및 로타리 작업은 일반적으로 농작업에 사용하는 경심 높이인 15 cm를 기준으로 경심제어를 실시하도록 설정하고 농작업을 수행하였다.



Fig. 1 Plow(left) and rotary(right) tillage for load measurement of tractor lifting pump

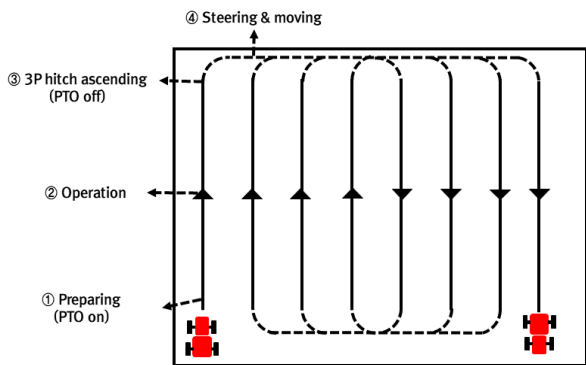


Fig. 2 Working pattern of plow and rotary tillage for load measurement of tractor lifting

pump

쟁기 및 로타리 작업은 Fig. 2와 같이 작업 준비(PTO 작동), 작업 수행, 3점 히치 상승(PTO 정지), 선회 및 이동을 반복하는 C-type 작업 방법을 이용하여 작업이 수행된다.

트랙터 쟁기 작업 시 승하강 펌프의 부하를 측정한 결과는 Fig. 3과 같이 나타났다. 쟁기 작업 시 승하강 펌프 압력은 5.35 ~ 113.36 bar의 범위를 보였으며, 평균 16.38 bar로 나타났다. 또한 유량은 17.34 ~ 58.37 L/min의 범위를 보였으며, 평균 40.69 L/min으로 나타났다. 특히, 쟁기 작업 시 유압이 급격히 증가하는 부분이 나타났으며, 이는 작업기 경심 제어에 따라 작업기를 상승하여 유압이 크게 증가하였기 때문이다.

로타리 포장시험 시 승하강 펌프의 부하를 측정한 결과는 Fig. 4와 같이 나타났다. 로타리 작업 시 승하강 펌프 압력은 5.0 ~ 141.5 bar의 범위를 보였으며, 평균 22.8 bar로 나타났다. 또한, 유량은 19.92 ~ 58.99 L/min의 범위를 보였으며, 평균 53.64 L/min으로 나타났다. 특히, 로타리 작업 시 유압이 급격히 증가하는 부분이 나타났으며, 이는 쟁기 작업과 같이 작업기 경심 제어에 따라 작업기를 상승하여 유압이 크게 증가하였기 때문이다.

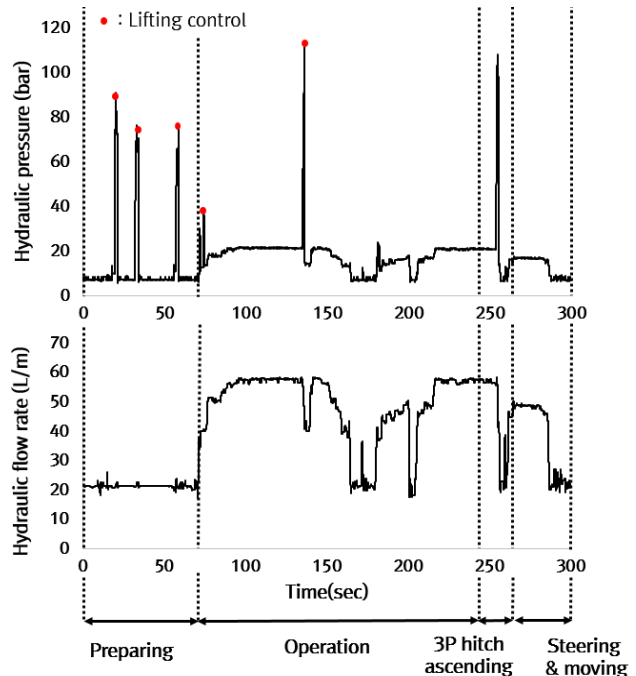


Fig. 3 Hydraulic pressure(up) and flow rate(bottom) of lifting pump during plow tillage

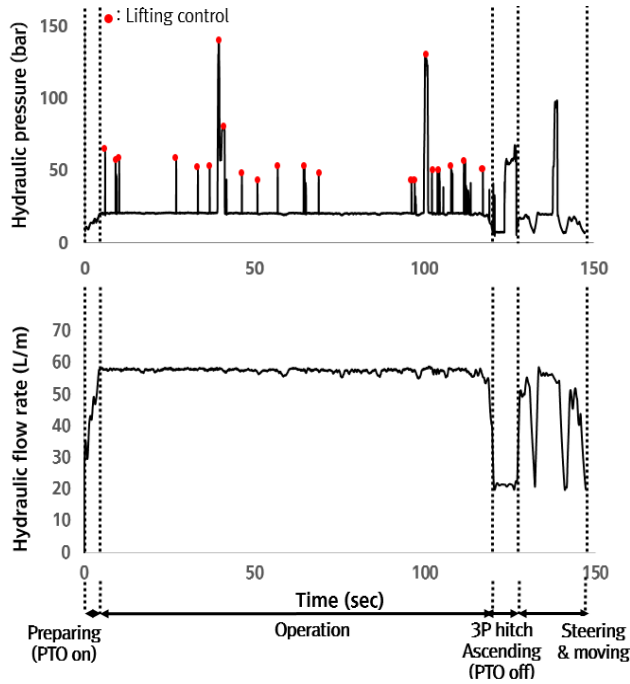


Fig. 4 Hydraulic pressure(up) and flow rate(bottom) of lifting pump during rotary tillage



Fig. 5 Baler(left) and wrapping(right) operation for load measurement of tractor lifting pump

베일러 및 랩핑 포장시험은 Fig. 5와 같이 수행되었다. 베일러 작업은 조사료의 처리, 운반, 저장이 용이하도록 조사료를 베일로 만드는 과정으로 트랙터가 이동하며, 베일러 작업기가 조사료를 걷어 올리고 절삭을 하며 베일을 형성하는 작업이며,⁶⁾ 랩핑 작업은 베일러 작업이 끝난 베일을 외부 환경으로부터 보호하기 위하여 랩핑기를 통해 베일을 상승시켜 회전을 통해 포장하는 작업이다. 베일러 작업 시 승하강 펌프는 베일을 배출하기 위하여 베일러 챔버가 상승될 때 사용된다. 랩핑 작업 시 승하강 펌프는 베일을 랩핑하기 위해 랩핑 작업기를 상승시킬 때, 로딩암을 회전시킬 때와 랩핑 회전축을 회전시킬 때 사용된다.

베일러 작업은 쟁기와 로타리 작업과 달리 트랙터가 이동하며 조사료를 걷어 올리는 베일 형성 구간, 챔버 내에 베일이 가득 차면 트랙터를 정지시켜

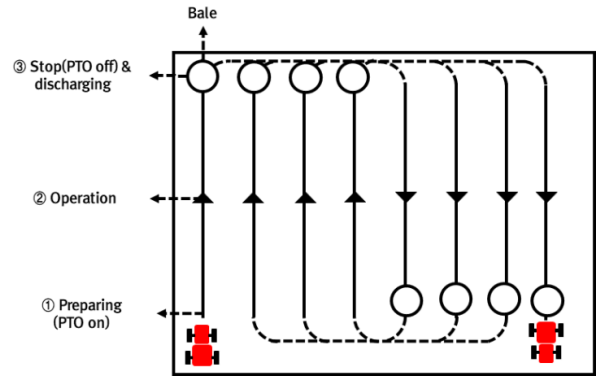


Fig. 6 Working pattern of baler and wrapping operation for load measurement of tractor lifting pump

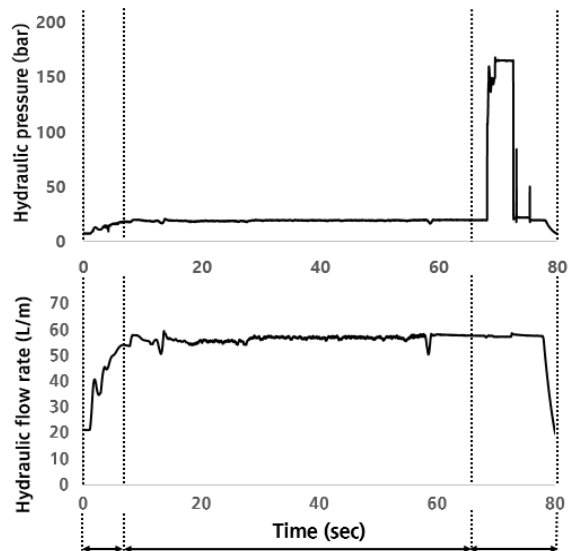


Fig. 7 Hydraulic pressure(up) and flow rate(bottom) of lifting pump and working procedure of round baler operation

베일을 끈으로 결속하는 베일 결속 구간, 챔버를 열어 수확물을 배출하는 배출 구간 순으로 작업이 수행된다. 본 기술해설에서 베일러 포장시험은 Fig. 6과 같이 쟁기 및 로타리 작업과 동일한 경로를 유지하되 작업 준비(PTO 작동), 베일 형성, 정지(PTO 정지) 및 베일 결속, 베일 배출 순으로 작업이 수행되었다. 랩핑 작업은 베일러 작업과 동일한 경로를 유지하되 후진을 통해 베일의 위치로 이동하여 베일을 상승시키는 준비 및 베일 상승 구간, 베일에

랩핑 작업을 실시하는 랩핑 작업 구간, 랩핑 작업을 마쳐 베일을 배출하는 배출 구간으로 수행된다. 본 기술해설에서 랩핑 포장시험은 Fig. 6과 같이 베일러 작업과 동일한 경로를 유지하며, 작업준비, 베일 상승, 랩핑 작업, 베일 배출 구간으로 수행되었다.

트랙터 베일러 작업 시 승하강 펌프의 부하를 측정 한 결과는 Fig. 7과 같이 나타났다. 베일러 작업 시 승하강 펌프 압력은 6.5 ~ 167.9 bar의 범위를 보였으며, 평균 25.9 bar로 나타났다. 또한 유량은 19.88 ~ 59.95 L/min의 범위를 보였으며, 평균 54.94 L/min으로 나타났다. 특히, 베일러 작업 시 유압이 급격히 증가하는 부분이 나타났으며, 이는 베일러 작업이 수행된 후 베일을 배출하기 위하여 챔버가 열림에 따라 유압이 크게 증가하였기 때문이다.

트랙터 랩핑 작업 시 승하강 펌프의 부하를 측정 한 결과는 Fig. 8과 같이 나타났다. 랩핑 작업 시 승하강 펌프 압력은 17.2 ~ 152.5 bar의 범위를 보였으며, 평균 73.8 bar로 나타났다. 또한 유량은 19.65 ~ 29.14 L/min의 범위를 보였으며, 평균 22.65 L/min으로 나타났다. 특히, 랩핑 작업 시 유압이 급격히 증가하는 부분이 나타났으며, 이는 랩핑 작업을 수행하기 위하여 베일이 작업기를 통해 회전됨에 따라 유압이 크게 증가하였기 때문이다.

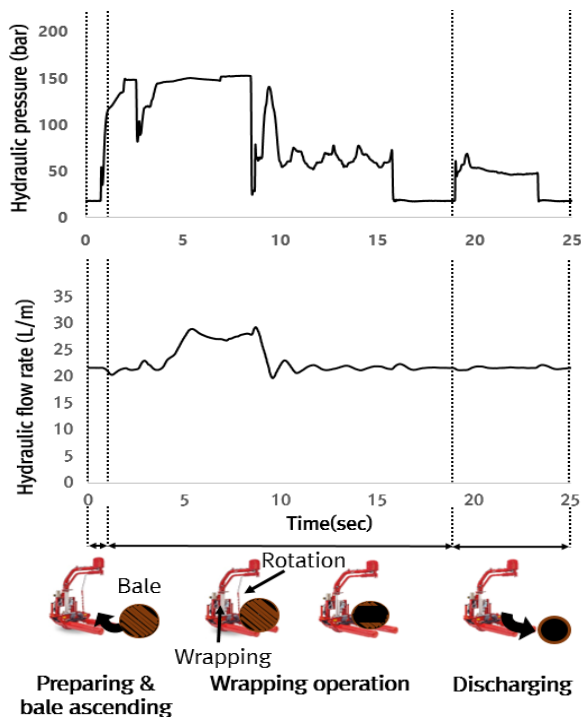


Fig. 8 Hydraulic pressure(up) and flow rate(bottom) of lifting pump and working procedure of round baler operation

4. 통합 유압 등가 부하

승하강 펌프의 내구성 평가를 위해서는 트랙터 농작업 시 승하강 펌프의 동작 반영이 가능한 등가 부하의 계산이 필요하다. 등가 부하는 등가 압력과 등가 유량으로 구성되며, 각각 식(1)과 식(2)를 이용하여 계산되었다. 이때, 유량(Q_{ei})은 승하강 펌프의 등가 회전 속도(n_{ei})에 펌프의 1회 토출량(Q)을 곱하여 계산되었다. 일반적인 압력과 하중에 의한 스트레스 모델 식 (1)과 같이 역승모델을 사용하며, 승하강 펌프는 습동부를 갖는 회전체로 피로 손상지수(λ)는 식 (1), (2)에서 8이 사용되었다.⁷⁾ 등가 유압 부하 계산을 위해 포장시험에서 측정한 전체 유압 압력 데이터가 임의의 8개 범위로 분할되었으며, 각 범위 안에 있는 유압 압력과 회전속도의 평균이 각각 P_i, n_i 로 설정되었다. 각 8개 범위에서 압력 발생 빈도 비율과 회전 속도 발생 빈도 비율이 각각 f_i, h_i 로 설정되어 식 (1), (2)와 같이 등가 유압 압력과 등가 유량을 위한 등가 회전 속도가 계산되었다.

$$P_{ei} = \left(\sum f_i P_i^\lambda \right)^{\frac{1}{\lambda}} \quad (1)$$

Where, P_{ei} = Equivalent load of each working (bar)

f_i = Ratio (number of cycle at the i^{th} load level/total number of cycle)

P_i = Load of each range (bar)

λ = Fatigue life exponent

$$Q_{ei} = Q n_{ei} = Q \frac{1}{P_{ei}^\lambda} \sum h_i n_i P_i^\lambda \quad (2)$$

Where, Q_{ei} = Equivalent flow rate of each working (L/min)

Q = Flow rate of lifting pump at once (cc/rev)

n_{ei} = Equivalent rotation speed of each working (rpm)

h_i = Ratio (time at the i^{th} load level/total time)

n_i = Engine rotation speed of each range (rpm)

농작업에 따른 등가 유압 부하의 계산 결과는

Table 1 Equivalent pressure and flow rate according to agricultural operation

Operation	Equivalent pressure (bar)	Equivalent flow rate (L/min)
Plow	55.43	44.80
Rotary	71.16	53.64
Baling	112.10	44.97
Wrapping	126.06	7.48

Table 1과 같이 계산되었다. 쟁기, 로타리, 베일러, 랩핑 작업 시 승하강 펌프의 등가 압력은 각각 55.43, 71.16, 112.10, 126.06 bar로 계산되었으며, 등가 유량은 각각 44.80, 53.64, 44.97, 7.48 L/min으로 계산되었다. 특히, 계산된 등가 유압은 전체적으로 농작업 시 발생하는 평균 유압보다 높게 나타났으며, 이는 승하강 제어, 베일러 배출 등의 실제 농작업에 따른 최대 압력을 반영하여 계산되었기 때문으로 판단된다.

트랙터 승하강 펌프의 내구성 평가를 위해서는 농작업에 따른 등가 유압 부하를 하나의 통합 등가 유압 부하로 변환하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 농작업에 따른 각각의 유압 등가 부하에 농작업 빈도를 적용하는 것이 필요하다. 농작업별 빈도는 78 kW급 트랙터의 사용자 실태조사를 통하여 Table 2와 같이 분석되었다.⁸⁾ 78 kW급 트랙터의 연간 작업시간은 평균 342 시간으로 조사되었으며, 쟁기와 로타리 경운 작업이 각각 25%와 30%로 주로 노지 작업에 사용되고 있음을 알 수 있다. 또한 78 kW급 트랙터는 축산을 위한 베일러와 랩핑 작업에도 각각 16% 12% 사용되고 있으며, 운반, 로더 등의 기타 작업에 약 17% 정도 사용되고 있음을 알 수 있다.

Table 2 Average annual usage of agricultural tractor according to agricultural operation

Agricultural operation	Average annual usage	
	Time (h)	Ratio (%)
Plow tillage	86	25
Rotary tillage	102	30
Baler operation	55	16
Wrapping operation	41	12
Other (trailer, loader)	58	17
Total	342	100

그러므로 통합 등가 유압 압력(P_e)과 통합 등가 유량(Q_e)은 식 (3), (4)와 같이 계산되었다. 통합 등가 유량은 등가 유량 계산과 같이 통합 등가 회전 속도(n_e)에 펌프의 토출량을 이용하여 환산하였다. 이를 위해 작업별 등가 압력(P_{ei}) 및 작업별 등가 유량(Q_{ei})은 Table 1과 같이 설정되었으며, 농작업별 연간 사용 시간(t_i), 연간 농작업 시간(t_t)이 이용되어 계산되었다. 이때, 기타 작업 등의 모든 작업은 실제 측정이 어려워 포장시험을 실시한 농작업 중 압력 및 유량의 크기가 가장 큰 랩핑 농작업 데이터를 중복하여 적용하였다.

$$P_e = \left(\frac{P_{e1}^\lambda t_1 + P_{e2}^\lambda t_2 + P_{e3}^\lambda t_3 + \dots + P_{ei}^\lambda t_i}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i} \right)^{\frac{1}{\lambda}} \quad (3)$$

Where, P_e = Equivalent load (bar)

t_i = Annual using time of each working (hour)

P_{ei} = Equivalent load of each working (bar)

$$Q_e = Q_{n_e} = Q \left(\frac{P_{e1}^\lambda n_{e1} t_1 + P_{e2}^\lambda n_{e2} t_2 + P_{e3}^\lambda n_{e3} t_3 + \dots + P_{ei}^\lambda n_{ei} t_i}{P_e^\lambda t_t} \right) \quad (4)$$

Where, Q_e = Equivalent flow rate (L/min)

n_e = Equivalent rotation speed (rpm)

n_{ei} = Engine rotation speed of each working (rpm)

연간 작업별 사용시간을 고려한 통합 등가 압력 및 통합 등가 유량 계산은 Table 3과 같이 계산되었다. 통합 등가 압력 및 통합 등가 유량 110.89 bar, 28.60 L/min은 가속 수명 시험에서 시험 기준으로 사용되었다.

Table 3 Integrated equivalent pressure and flow rate for hydraulic pump durability evaluation process

Integrated equivalent pressure (bar)	Integrated equivalent flow rate (L/min)
110.89	28.60

5. 승하강 펌프의 내구성 시험 조건

트랙터의 보증 수명을 평가하기 위해서는 실제 농작업에 따른 부하를 적용하여 시험하는 것이 필요하나 이는 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 주로 가혹한 부하를 적용하는 가속수명시험을 이용하여 내구성을 평가하고 있다. 그러므로 트랙터 승하강 펌프의 내구성을 평가하기 위하여 통합 등가 유압 부하를 적용해 승하강 펌프의 내구 수명을 평가하는 것이 필요하다. 승하강 펌프는 트랙터의 구동과 함께 상시 구동되기 때문에 트랙터 연간 사용 일수인 38.9일, 하루 사용시간 8시간, 내구 수명인 8년을 이용하여 트랙터 수명 시간을 계산하였다. 트랙터 수명시간은 약 2,490 시간으로 계산되었으며,²⁾ 유압 펌프의 주요 고장 원인이 마모이기 때문에 형상모수(β) 2.0인 와이블 분포를 이용하였다.⁹⁾ 와이블 분포에서 보증 수명 확인을 위한 무고장 수명시험 시간(T)은 다음 식 (5)과 같이 계산되었다.

$$T = B_x \left(\frac{\ln(1 - CL)}{N \cdot \ln Rx} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (5)$$

Where, T = Required durability test time (hour)
 B_x = Guaranty using time (hour)
 CL = Confidence level ($CL < 1$)
 N = Number of test sample (constant)
 Rx = Reliability ($Rx < 1$)
 β = Shape parameter (constant, 2)

따라서 승하강 펌프의 내구성 평가를 위한 시험 시간(T)은 시료수(N)가 1개이며, 신뢰수준(Rx) 90%에서 시험 시간은 B_{10} 수명기준 약 11,641 시간으로 계산된다. 또한, 무고장 가속수명시험 시간은 식 (6)과 같이 가속 계수를 이용하여 계산하였으며, 계산된 가속계수를 시험시간으로부터 나누어 가속수명시험 시간 계산이 가능하다.¹⁰⁾ 가속 계수 계산을 위한 기준 조건으로 통합 등가 압력과 통합 등가 유량 각각 110.89 bar와 28.60 L/min으로 설정되었으며, 가혹조건으로 시험용 트랙터에서 최대 유압 출력 일 때, 압력과 유량 각각 164.6 bar, 54.33 L/min로 설정하였다.

$$AF = \left(\frac{P_t}{P_e} \right)^\lambda \times \left(\frac{Q_t}{Q_e} \right) \quad (6)$$

Where, AF = Acceleration factor (constant)
 P_t = Acceleration test condition (bar)
 P_e = Equivalent load (constant) (bar)
 Q_t = Flow rate of test condition (L/min)
 Q_e = Equivalent flow rate (constant) (L/min)

$$T_a = \left(\frac{T}{AF} \right) \quad (7)$$

Where, T_a = Required acceleration test time (hour)
 T = Required test time (hour)

본 기술해설에서 승하강 펌프의 가속 수명 시험 프로세스 결과는 다음과 같다. 통합 등가 압력 및 통합 등가 유량과 트랙터 승하강 펌프의 최대 유압 출력 조건을 이용하여 가속 계수를 계산한 결과 44.77로 계산되었으며, 2,490 시간 보증을 위하여 요구되는 시험시간(약 11,641시간)을 260.02 시간으로 단축하여 시험을 수행할 수 있다.¹⁰⁾ 가혹 부하 조건에서 해당 시간 동안 시험대상 유압 펌프의 파손이 없다면 신뢰수준 90%, (B_{10} 수명) 확률로 2,490 시간을 보증할 수 있는 기준이 된다.

6. 결 론

본 기술해설은 농업용 트랙터 유압 펌프의 신뢰성 평가 기술 개발에 관해 소개하였다. 현장 운용조건하에서 사용자들이 요구하는 보증수명을 시험평가하기 위해서는 실제 현장에서 사용시 작용하는 부하를 기준으로 시험 평가를 실시하여야 한다. 하지만 실제 현장에서 작용하는 부하를 예측하여 시험 평가에 반영하기에는 어려움이 있다. 본 기술해설은 농업용 트랙터 승하강 유압 펌프의 신뢰성 평가 프로세스 중 실제 농작업 부하데이터를 통한 시험 평가 기준 정립 등 신뢰성 평가 프로세스를 소개하였다. 향후 본 기술해설의 농업용 트랙터 승하강 펌프의 신뢰성 평가 방법을 활용하여 신뢰성 평가 기술 개발이 필요한 기계적 부품들에 대해 정확한 내구수명 평가가 가능할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 1) S. Y. Shin, C. H. Kang, B. Kim, Y. Y. Kim, J. O. Kim, K. S. Lee, "Demand and Supply Trend of Agricultural Machinery", Journal of Biosystems Engineering Vol. 38, No. 4, pp. 248-254, 2013
- 2) KAMICO, KSAM, "Agricultural Machinery Yearbook Republic of Korea. Korea Agricultural Machinery", 2017
- 3) S. Y. Shin, C. H. Kang, S. C. Yu, B. G. Kim, Y. Y. Kim, J. O. Kim, "A Study on the Distribution and Post Management for Agricultural Mechanization", Rural Development Administration, Jeonju, 2015
- 4) SMTECH, "Technology Roadmap for SME 2017-2019", 2019
- 5) Standard RS-B-0063, "Gear pumps for Agricultural Machinery Korea Agency for Technology and Standards", 2008
- 6) S. U. Park, "Life evaluation of transmission spiral bevel gear using workload in Korea paddy field", Ph. D, Dissertation, Chungnam National university, Daejeon, 2019
- 7) W. Nelson, "Accelerated Testing : Statical models, test plans, and data analysis", Wiley, New York pp. 494-513, 1990
- 8) D. H. Lee, "Analysis of Power Requirements of Tractor for Field Operation", Ph. D, Dissertation, Sungkyunkwan University, Suwon, 2011
- 9) D. S. Jung, Y. B. Lee, B. J. Sung, "Development of Accelerated Life Test Method of Hydraulic Pump", Journal of Machinery and Materials Vol. 22, No. 4, pp. 68-74, 2010
- 10) Y. B. Lee, H. E. Kim, Y. C. Yoo, J. H. Park, "Accelerated Life Test Model for Life Prediction of Piston Assemblies in Hydraulic Pump and Motor", Transactions of the Korea Fluid Power System Society Vol. 2, No. 4, pp. 14-22, 2005"

[저자 소개]

한태호

E-mail : hth1211@efact.or.kr

Tel : 063-919-1735

2019년 충남대학교 농업기계공학과 석사 졸업. 2019~현재 충남대학교 농업기계공학과 박사 과정. 2015~현 농업기술실용화재단 농기계검정팀 책임연구원.



트랙터 시험 평가 모드 연구에 종사

문석표

E-mail : msp941212@gmail.com

Tel : 042-821-7870

2019년 충남대학교 바이오시스템기계공학과 학사 졸업. 2019~현 충남대학교 농업기계공학과 석사 과정



김용주

E-mail : babina@cnu.ac.kr

Tel : 042-821-6716

2008년 성균관대학교 바이오 메카트로닉스학과 박사. 2008~2014년 LS엠트론 중앙연구소 동력기계기술그룹 그룹장.



2014년~현재 충남대학교 바이오시스템 기계공학과 부교수. 농업동력기계 설계 및 해석 연구에 종사 한국농업기계학회, 정밀농업학회, 유공압건설기계학회 등 학회회원.