

트랙터 설계 기술의 수준 평가

Evaluation of Engineering Capability of Tractor Designs in Korea

김경욱*
K. U. Kim

박홍제*
H. J. Park

Summary

To evaluate the capability of design engineering of tractor manufacturers in Korea, a survey was conducted at the four leading tractor manufacturers in August 1993. The survey involved discussions with and written questions to senior design engineers about the technologies being practiced for concept design of tractor and its functional components. Results of the survey revealed that the Korean tractor manufacturers are about 10 to 20 years behind Japanese firms in design engineering. Nevertheless, the production technology, particularly for tractors less than 40PS, were found to have developed enough to compete with foreign manufacturers in terms of its cost and quality. However, Korean tractor manufacturers must develop their own engineering and technologies for design in order to compete with foreign tractors in international market.

1. 서론

우리 나라의 트랙터 보유 대수는 1993년 말 현재 약 7만 5천 여 대이며, 90년 이후 년평균 25%의 증가율을 나타내고 있다. 6개의 생산업체에서 생산되고 있는 트랙터의 연간 총 생산 규모는 약 1만 7천 여 대이며 19마력에서부터 110마력까지 총 49개의 모델이 시판되고 있다. 이 중 50마력 이하의 28개 모델은 1970년대 중반 이후 영국, 이태리, 일본의 농기업체와 기술 제휴를 통하여 국산화된 모델이고, 50마력 이상은 최근 외국의 모델을 수입하여 일부 부품을 국산화한 것이다. 최근, 기계화 영농단, 위탁 영농 회사 등 농업 기계의 공동 이용 조직이 활성화됨에 따라 50마력 이상의 대형 트랙터에 대한 수요와 수입

이 증가되고 있다. 92년도에 완제품으로 수입된 트랙터는 91년도에 비하여 100% 증가하였으며 금액으로는 약 62만불에 이르고 있다.

트랙터의 국내 시장 규모는 연간 약 17,000~20,000 여 대, 금액으로는 약 2,500억 원 정도이며, 6개 회사의 총 생산 능력 54,000 여 대에 비하면 시장 규모는 극히 영세하다. 그러나 이러한 시장 규모도 매년 정부의 농기계 구입 지원 자금에 따라 그 변화의 폭이 크기 때문에 안정된 시장이라고는 할 수 없다. 따라서, 트랙터 생산업체가 그 시설 규모에 적합한 안정적 생산을 유지하기 위해서는 트랙터의 수출이 불가피한 실정이다.

유럽과 미주 지역에서 생산되고 있는 트랙터는 주로 50HP 이상의 대형 트랙터이다. 특히, 미

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

국에서 생산되고 있는 차륜형 트랙터는 대부분 100HP 이상의 대형 트랙터이고, 40~99HP는 73%가 유럽에서 수입되고 있다. 1989년 통계에 의하면 미국 트랙터 시장의 총 판매 대수는 106,570대이고, 이 중 40HP 이하의 트랙터는 약 36%에 해당하는 38,175대이다. 40HP 이하 트랙터의 총 판매 대수 중 약 81%가 일본으로부터 수입되었으며, 13% 정도는 영국으로부터 수입되었다. 미국에서 40HP 이하의 소형 트랙터 시장 규모는 향후 2000년까지 이러한 수준을 지속할 것으로 예상된다.

89년도 일본의 트랙터 수출 통계에 의하면 총 수출 대수는 77,879대이고, 이 중 30PS 이하가 80%인 62,098대, 30~50PS가 16%인 12,350대, 50PS 이상이 4%인 3,449대이다. 주 수출 대상국은 미국, 호주이며, 50PS 이하의 42%인 약 3만 여대가 미국으로 수출되고 있다. 즉, 일본의 주력 수출 기종은 30PS 이하의 소형 트랙터로서, 연간 생산량의 약 50%인 3만 여대가 미국으로 수출되고 있다.

우리 나라의 농업 기계 중 수출 품목으로 가장 유망한 기종은 40PS 이하의 소형 트랙터로 판단된다. 다른 농업 기계 즉, 이앙기, 콤바인 등은 수도권 지역을 제외하면 사실상 그 수요가 제한되기 때문에 세계 시장을 목표로 하기는 어렵다. 그러나 트랙터는 그 수요가 전세계적이며 또한, 선진국의 생산 라인은 이미 50PS 이상의 대형 트랙터 체제로 전환되어 있기 때문이다. 현재, 세계의 소형 트랙터 시장은 일본 트랙터가 주도하고 있다. 그러나 가격면에서는 국산 트랙터가 일본 트랙터의 50~70%, 유럽 트랙터의 60% 수준이다. 따라서, 국산 트랙터는 국제 시장에서 가격 경쟁력이 있는 것으로 판단된다. 특히, 일본의 엔고 현상이 지속될 경우 40PS 이하의 소형 트랙터에 대한 가격 경쟁력은 확실한 우위를 유지할 수 있을 것으로 예상된다. 최근, 국산 트랙터가 일본으로 수출되고 있으며, 미국 시장에서도 국산 트랙터에 대한 관심이 높아지고 있다. 이것은 소형 트랙터가 수출 품목으로서 가능성

이 있음을 나타낸 것이다. 문제는 가격 수준에 적합한 품질을 유지하고, 항상 새로운 모델을 개발하여 세계 시장에서 국산 트랙터에 대한 수요를 지속적으로 창출하고 유지하는 데 있다.

해외 시장을 개척하기 위해서는 먼저 국내 트랙터 산업에 대한 기술 수준을 평가할 필요가 있다. 기술 수준에 대한 정확한 평가를 통하여 취약한 기술을 보강하고 새로운 기술을 개발하여야 한다. 우리나라의 트랙터 생산 기술을 살펴보면 먼저, 생산 기술면에서는 지난 15여년간 일본, 영국, 이태리 업체와의 기술 제휴를 통하여 선진국의 모델을 국산화하는 과정에서 부품 가공과 조립 기술을 축적하였으며 최근에는 도면만으로써도 자체적으로 완제품을 생산할 수 있는 수준까지 성장하였다. 그러나 설계 기술면에서는 아직 초보적인 단계를 벗어나지 못하고 있다. 즉, 자체적인 설계 능력이 부족한 실정이다. 더구나, 설계에 필요한 기술 정보와 자료에 대한 체계적인 축적과 관리는 최근어야 그 중요성이 인식되고 있는 실정이다. 따라서, 국내에서 생산되고 있는 트랙터는 대부분 기술 제휴선의 모델이며, 정도의 차이는 있으나 대부분 일부분의 구조를 변경하거나 또는, 국내의 작업 조건에 따라 그 강도를 보강하여 외형상 독자 모델로서 개발된 것이다. 설계 조건에 대한 명확한 데이터와 설계 과정에서 이루어진 공학적인 결정을 뒷받침할 수 있는 근거와 신뢰성이 부족한 설계는 독자적인 설계로 보기 어렵다. 독자적인 엔지니어링 데이터와 기술이 없을 때는 새로운 제품을 개발하거나 또는, 기존 제품에서 문제가 발생하였을 때 이에 대한 대처 능력에 한계가 있기 때문이다. 또한, 독자적인 설계 기술을 확보하지 않고서는 기술 제휴선과 종속적인 관계를 탈피할 수 없으며, 기술 제휴선이 여러 가지 조건으로 국산 트랙터의 해외 시장 진출을 제약할 수 있다. 해외 시장에서 국산 트랙터에 대한 일본 회사의 크레임은 그러한 예의 하나라 할 수 있다.

본 논문은 1993년 7월부터 약 2개월간 서울대학교 농업생명과학대학 농업기계설계연구실에

서 현재 국내에서 50HP 이하의 트랙터를 직접 설계, 생산하고 있는 4개 업체를 선정하여, 각 업체의 설계 기술자들을 대상으로 이들이 인식하고 있는 트랙터 설계 기술의 수준과 기술 수요를 파악하기 위하여 실시한 설문 조사 결과를 정리한 것이다. 본 조사의 목적은 국내 농기 업체에 대한 설계 기술의 수준과 수요를 판단하고, 트랙터 생산 업체가 주력해야 할 기술 개발의 방향 및 대학 또는 연구소에서 수행할 수 있는 트랙터 설계 분야의 연구 과제를 도출하기 위한 것이다.

2. 트랙터 생산 업체의 설계 기술의 수준과 기술 수요

설계 기술의 수준과 개발 수요를 조사하기 위하여 트랙터를 9개 부분 즉, 종합적인 설계 기술 수준의 정도, 차체부, 주행부, 변속기, 작업기 연결 장치, 유압 장치, 안전 장치, 안전성, 구조 해석 부분으로 구분하여 각 부분에서 현재 채택하고 있는 설계 방식과 기술 수준을 설문 조사하였다. 또한, 기술 개발이 요구되는 부분과 기술을 개발하기 위하여 각 생산업체에서 취하고 있는 기본적인 전략과 방법 등을 설문하였다.

가. 종합적인 설계 기술의 수준

국내 트랙터 생산업체의 설계 기술 수준은 일본 업체의 수준에 비하여 평균 10~20년 정도 뒤떨어진 것으로 평가되고 있다. 기본 설계의 방법도 설계 조건이나 설계 자료를 기초로 한 자체적인 설계보다는 주로 일본 농기업체의 기본 설계 도면에서 ISO, ASAE, JIS, OECD 등 국제적인 표준에서 요구되고 있는 규격과 성능을 기준으로 하여 20~30% 정도 수정 혹은 보완되고 있으며, 국내의 작업 강도가 높은 점을 고려하여 일부 부품의 강도를 보강하는 수준에서 설계되고 있다. 수정 혹은 보완되는 부분은 주로 차축, 히치, 3점 링크 부분으로 조사되었다. 설계 기술

중 가장 취약한 부분은 조사 업체에 따라 그 경향이 상이하였으나 주로 동력 발생 부분인 엔진과 동력 전달 부분인 변속기 및 유압 장치, 전자 제어 부분인 것으로 나타났다.

나. 차체부의 설계

차체의 형식은 제작사에 따라 엔진 블록을 차체로 사용하는 블록식과 차체에 엔진을 탑재하는 채시식이 선택적으로 사용되고 있다. 트랙터의 총 중량은 주로 기관의 출력, 트랙터의 용도, 사용 작업기의 종류에 따라 결정되며, 트랙터의 윤거, 축거, 지상고에 대해서는 별도의 설계 기준이 설정되어 있지 않다. 최근 선택 사양으로 부착되고 있는 안전 프레임 혹은 안전캡은 OECD의 규정에 따라 장착이 가장 용이한 부분에 부착되고 있으나, 안전캡에 대한 OECD의 안전 검사는 실시되지 않고 있다.

후륜 구동(2WD)과 사륜 구동(4WD)의 경우 전후 차축의 정적 중량 분포는 제작사와 모델에 따라 약간의 차이가 있으나 2WD인 경우 전후 차축의 중량 분포는 각각 35~40%, 60~65%이며, 4WD인 경우는 각각 45~48%, 52~55%로서 사용 빈도가 높은 작업기의 하중 전이를 고려하여 경험적으로 결정하고 있다.

차체부 설계에서는 차축간 적정 중량 분포의 결정, 윤거, 축거, 지상고 등 주요 규격의 설계 기준, 트랙터 차체의 진동 등이 문제가 되고 있다. 이에 대한 각 제작사의 설계 규정은 없으며, 이미 제품화된 타사 제품 특히, 일본 제품의 동급 트랙터와 비교하거나 설계자의 경험에 의존하고 있다.

다. 주행부의 설계

타이어는 기관의 출력과 차체의 하중에 따라 선정하고 있으며, 타이어의 수직 하중 부담 능력과 견인력 계수(torque factor)에 대한 안전 계수는 2.5~3.0 정도로 설계하고 있다. 차륜의 조향축 설계에서 킹핀각, 캐스터각, 토우인은 규정

된 설계 기준이 없으며 주로 일본 제품의 트랙터를 기준으로 설계하고 있다.

선회 반경이 작을 때 소형 트랙터에서는 전륜이 미끄러짐으로써 많은 에너지 손실이 발생한다. 이 문제를 해결하기 위하여 설계 개선이 필요할 것인가라는 설문에는 모든 업체가 긍정적이었으나, 전통적인 조향 메커니즘을 이용한 해결 방법에 대해서는 부정적이었다. 실제적으로, 에너지 손실보다는 선회 반경을 줄이는 연구가 더 필요할 것으로 생각되고 있다. 회전 반경을 줄이기 위한 전륜 배속 장치의 설계 기술과 인테그럴형 조작 기구에서 조작 라인은 유니버설 조인트와 봉으로 연결되어 있기 때문에 엔진과 기타 부품과의 간섭이 생기지 않도록 조작 기구의 3차원적 분석이 요구되고 있다.

라. 변속기의 설계

변속기의 최저 감속비와 최대 감속비의 범위는 사용 작업기의 작업 속도, 작업 조건 및 도로 주행 속도에 적합하도록 결정한다. 최저 주행 속도는 0.2~0.5km/h, 최고 주행 속도는 25~30km 범위에서 설계되고 있으며, 변속 단수는 전후진 4단, 부변속 2~3단이다. 국산 트랙터에서는 유럽 트랙터와 같은 별도의 초저속(creep speed) 단수를 두지 않으나 유럽 수출용 트랙터에는 초저속 단수를 두어야 하며 최고 속도도 40km/h 정도로 증가시켜야 한다. 변속기의 기어에 대한 설계는 AGMA, JGMA식을 이용하고 안전 계수를 2.0~3.0 정도로 설계하고 있으며, 잇수가 13 이하인 기어는 사용하지 않는다. 변속기 베어링의 설계 수명은 부위별로 약간의 차이가 있으나 일반적으로 최대 하중, 최고 회전 속도에서 1000시간을 기준으로 하거나 트랙터의 사용 한계 수명을 기준으로 하고 있다.

변속기의 소음 분석에 대한 필요성은 각 제작사에서 공통으로 인정하고 있으나 분석 기술 수준은 초보 단계이며, 변속기 기어 소음의 케이스 내 공명 현상에 대해서는 아직 해결하지 못한

문제점이 많은 것으로 나타났다. 변속기 오일의 온도 상승에 대한 분석의 필요성은 각 제작사에 따라 상이한 응답을 보였다. 일부 제작사에서는 오일의 온도 상승에 대한 분석이 필요 없다고 하였으나, 다른 제작사는 오일의 과열 때문에 변속기 내에 냉각 장치를 설치하는 방안을 검토하고 있다. 변속기 케이스의 응력 해석에 대한 필요성은 각 제작사에서 모두 필요하다고 인정하고 있으나 자체적으로 분석할 수 있는 장비와, 기술, 인력 등을 모두 갖춘 제작사는 없었다. 그러나 일부 제작사에서는 CAD/CAE를 이용한 설계 기술을 개발하고 있다.

변속기 설계에서 기본적인 문제는 설계의 기준이 되는 농작업별 부하선도(load history)가 개발되어 있지 않다는 점이다. 따라서, 변속기 설계에서 피로 현상이 고려되지 않고 있으며, 변속기의 내구성을 시험하기 위한 내구성 시험 코드가 개발되어 있지 않다. 또한, 기어의 수명, 강도 계산, 변속비 등에 대한 안전율의 기준도 명확하지 않은 것으로 나타났다.

제작 과정에서는 소음 감소와 원활한 변속을 하기 위하여 정밀도가 높은 기어의 제작이 요구되고 있으나 원가 상승의 문제 등으로 인하여 정밀 제작을 하지 않는 것으로 조사되었다.

마. 작업기 연결 장치의 설계

후방 3점 히치의 설계는 표준 치수에 따라 설계되고 있으며 설계 기준은 KS, OECD, JIS, 일본식 로터리용 3점 히치 등으로 나타났다. PTO-작업기 전동 라인에서 야기된 진동 문제는 주로 유니버설 조인트의 굴절각이 클 때와 로터리 칼날의 배열이 불균형일 때 발생하였으나, 이러한 문제는 대부분 해결된 것으로 나타났다.

국내 트랙터 제작사에서는 대부분 전방 3점 히치를 부착하지 않고 있으며, 일부 수입 모델의 경우에는 주로 JIS의 1형으로 설계되어 있다.

Q-커플러는 아직 보편화되어 있지 않으나, 트랙터와 작업기가 대형화됨에 따라 그 필요성

이 증가할 것으로 예상된다.

로터리용 3점 히치의 경우에는 3점 히치의 위치에 따른 유니버설 조인터의 굴절각과 진동 특성 및 3점 히치의 상승, 하강, 좌우의 이동 범위를 확대하기 위한 연구가 요구되고 있다.

바. 유압 장치의 설계

트랙터에 사용되는 유압 장치는 대부분 국내 기술로써 생산되고 있으나, 핵심 부품은 수입되고 있는 것으로 나타났다. 유압 모터는 엔진 마력, 부착 작업기 종류와 중량, 작업 속도에 따라 KS와 JIS의 규격에 따라 결정하고 있다.

유압 장치와 관련된 기술상의 문제는 정밀 가공과 기밀 유지이고 특히, 전자 제어 기술을 포함한 유압 제어 부분에서 많은 연구가 필요한 것으로 나타났다.

사. 안전 장치의 설계

안전 프레임의 설계는 외국 제품을 모방하는 수준에서 벗어나지 못하고 있으나, PTO 덮개, 안전 프레임, 안전캡 등 안전 장치에 대한 설계는 OECD, ISO, SAE 표준 등을 이용하고 있는 것으로 나타났다. 그러나, 아직 국내에는 안전 프레임에 대한 검사 시설이 없으며 최근 국립농업 자재검사소에서 OECD 공인 검사 기관의 지정에 필요한 시설을 확충하고 있다. 안전과 작업능률을 높이기 위한 운전석 공간, 운전 장치, 계기판 등의 설계에서는 인간 공학적 원리를 일부 적용하고 있는 것으로 나타났다.

국산 트랙터의 운전자 노출 소음 수준은 캡이 없는 경우 92-97dB(A), 캡이 있는 경우 85-91dB(A) 정도이며, 이는 최근 OECD 검사 결과인 85dB(A), 75-80dB(A)와 비교하면 소음 감소에 대한 대책이 시급한 실정이다.

아. 안전성

트랙터에서 가장 빈도가 높은 사고는 운전자

의 부주의로 인한 충돌 사고와 전도 특히, 횡전도 사고인 것으로 나타났다. 전도 사고의 위험을 줄이기 위하여 각 제작사에서는 트랙터의 무게 중심, 윤거, 축거, 지상고 등을 적절한 수준에서 설계하고 있으며, 균형추는 작업기를 부착한 상태에서 전륜의 조향이 가능하도록 전방에 설치하고 있다. 따라서, 전륜에 트랙터 총중량의 20% 정도가 배분되어 있다. 앞차축의 최대 회전각은 차체 구조에서 허용되는 최대각으로서 보통 45~55도를 채택하고 있다.

각 조사 업체에서 특히, 안전성이 낮고 위험한 곳으로 지적한 부분은 작업기에서 노출된 회전부와 요철이 심한 지면을 주행할 때 발생하는 차체의 진동이었다. 운전자의 승차감을 개선하기 위하여 각 제작사에서는 트랙터 차체의 진동 감소와 운전석의 계기 및 레버의 위치 조정을 고려하고 있는 것으로 나타났다.

자. 구조 해석

현재 국내에서 트랙터를 설계할 때 구조 해석을 실시하는 업체는 전무한 실정이며 일부 업체에서는 구조 해석을 실시하기 위하여 전산 시스템을 갖추고 있으나 전문 인력의 부족으로 어려움을 겪고 있다. 주로 사용되는 소프트웨어는 ANSYS, IDEAS 등이다. 트랙터의 제작에 앞서 반드시 구조 해석이 필요한 곳은 차체, 변속기, 차축 하우징, 안전캡, 유압 케이스, 차축 브라켓 등으로 지적되었다.

3. 결론

이상에서 설문 조사를 통하여 국내 트랙터 생산업체의 설계 기술의 수준과 기술 수요를 조사하였다. 지난 15 여 년간 트랙터 생산업체는 주로 일본, 이태리 업체와의 기술 제휴를 통하여 생산 기술을 도입하고 국산화 과정을 거치면서 자체적으로 트랙터를 생산할 수 있는 능력을 보유하게 되었다. 그러나 이러한 능력은 주로 생산 기

술적인 측면에서 이루어진 것이며, 설계 기술면에서는 사실상 기술 이전이 부족하였다. 따라서, 국내의 설계 기술은 일본의 모델을 모방하거나 또는 일부 내용을 수정하고 보완하는 단계의 수준이라고 할 수 있다. 특히, 변속기, 유압 장치, 전자 제어 장치에 대한 주요 부품은 아직 국산화하지 못하였다. 국산화의 부진은 반드시 기술적인 문제라기 보다는 경제적인 문제가 더 큰 경우도 있을 수 있으나 국산화의 부진은 결국 농기업체의 생산성 향상과 수출에 장애가 된다.

국내에서 직접 생산되고 있는 트랙터는 대부분 50HP 이하의 소형 트랙터이다. 최근, 대형 트랙터에 대한 수요가 점차 증가함에 따라 국내 기술을 이용한 새로운 제품의 개발보다는 수입 판매 또는 기술 제휴를 통하여 외국의 모델을 도입 생산하는 과거의 기술 개발 형태를 크게 벗어나지 못하고 있다. 외국 기술 도입은 위험성이 적고, 확실한 이익이 보장되는 것으로 생각할 수도 있으나 외국 기술에 의존하는 한 국내 농기업체는 외국 기술에 종속되지 않을 수 없다. 편의에 따라 기술 제휴를 통한 새로운 모델의 도입을 지양하고 독자적으로 필요한 기술을 개발하여 새로운 제품을 생산하는 것이 국내의 농기업체가 세계 시장에서 경쟁할 수 있는 길이다.

신생 산업국은 공업 부문이 발전함에 따라 필수적으로 농업 기계화 사업을 추진하게 될 것이며, 농업 기계화 사업에는 반드시 트랙터가 주력 기종으로 요구된다. 이러한 농업의 발전 형태를

예상할 때 트랙터 수요는 당분간 전세계적으로 증가될 것으로 판단되며, 우리 나라에서는 유망한 수출 전략 상품으로 육성될 수 있을 것이다. 트랙터를 수출 전략 상품으로 육성하기 위해서는 독자적으로 트랙터를 설계하고 고유의 모델을 개발할 수 있는 능력과 기술 수준을 유지하여야 한다. 트랙터의 설계 기술은 농기 산업의 기반이 되는 기술이므로 독자적인 설계 기술을 확보하지 않고서는 트랙터의 수출 상품화와 농기 산업의 실질적인 발전을 기대하기가 어렵다. 설계 기술이 확보되면 농기 산업의 설계 능력은 그 만큼 향상되며 특히, 소형 유압 변속기, 유압 장치, 전도 방지 장치 등에 대한 설계 기술은 각종 산업용 기계를 설계하는 데 필요한 기반 기술이 될 수 있으며 또한, 신기술 개발에 미치는 파급 효과도 클 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. 김경욱. 1990. 국산 트랙터 개발을 위한 기술 자료의 수집과 평가. 동양물산기업주식회사.
2. 한국농기구공업협동조합. 1993. 농업기계연감. 한국농기구공업협동조합
3. 신농림사. 1993. 농업기계연감. 신농림사.
4. Hood, C. E., R. E. Williamson and G. J. Wells. 1991. Tractors for 2000. Agricultural Engineering, May : 22-25. ASAE. St. Joseph, MI. USA