

# 농용 트랙터의 안전캡에 대한 정하중 시험 시뮬레이션 Simulation of Static Tests on Agricultural Tractor Cab

최원석*	김경욱*	김대철*
정회원	정회원	정회원
W.S.Choe	K.U.Kim	D.C.Kim

## 1. 서론

트랙터의 안전캡은 트랙터가 전도될 때 연속 전도를 방지하고 운전자의 생명과 안전을 지켜줄 수 있는 공간을 확보하는 구조물이다. 우리 나라에서는 1995년부터 농업기계화촉진법 시행령을 통하여 트랙터의 안전캡 또는 프레임 등 안전 장치에 대한 검사를 시행하고 있다. 그러나, 구체적인 시행 방안이 제시되어 있지 않고, 일본, 유럽 등 선진국에 비하여 안전캡에 대한 구체적인 법규나 연구가 상당히 미흡한 실정이다.

선진국에서는 안전캡에 대한 구체적인 요구 조건이 제시되어 있으며, 다양한 실험과 시뮬레이션을 통하여 안전캡에 대한 여러 가지 연구가 수행되고 있다. 안전캡에 대한 성능 시험을 실시할 경우에는 시험 장치, 전문 인력 등이 필요하며 막대한 비용과 시간이 소요된다. 그러나 시뮬레이션 방법을 이용하면 시간과 비용을 절약할 수 있다. 한 예로서, 일본에서는 트랙터의 시야를 확보하기 위하여 시뮬레이션을 이용한 구조 해석을 실시하고, 트랙터 앞부분의 프레임을 제거하면서도 안전 영역과 시야를 확보하는 데 성공한 사례가 있다.

최근, 국내에서도 OECD 인정 검사 기관인 농업기계화연구소가 안전캡에 대한 성능 검사를 실시하고 있다. 농기계 회사에서도 시뮬레이션을 이용하여 정적 하중 시험을 시행한 예가 있으나 실제 실험과 관계없이 별도로 이루어지고 있다. 국내 트랙터의 안전캡은 외국의 안전캡을 모방하여 구체적인 기준 없이 생산되는 경우가 많다. 그러나 수출을 위해서는 안전캡을 설계할 때 보다 구체적인 성능 수준을 제시하여 신뢰할 수 있는 안전캡을 생산하여야 한다.

본 연구는 현재 사용되고 있는 트랙터의 안전캡을 그 형태에 따라 구분하고, 시뮬레이션 기법으로 각 형태의 강도와 성능상의 차이를 구명하기 위한 것이다. 이러한 연구의 결과는 보다 우수한 성능의 안전캡을 설계하는 데 활용될 수 있으며, 개발 과정에서 요구되는 비용과 시간을 절약할 수 있다. 또한 다양한 형태의 안전캡을 개발하는 데 필요한 기초 자료로서 활용될 수 있다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구에서는 먼저 트랙터의 안전캡을 그 형태에 따라 분류하였다. 분류된 각 안전캡의

---

\* 서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

형태를 대상으로 컴퓨터 시뮬레이션 기법으로 OECD 시험의 정하중 시험을 실시하였다. 시뮬레이션 기법은 유한 요소 해석법을 기본으로 한 것으로서, 무한개의 점으로 구성된 구조물을 유한개의 이산화된 점 즉, 절점으로 나타내고 이들 간의 관계를 모형화하여 각 질점의 변위를 미지수로 하는 연립 미분 방정식을 유도하고, 이를 해석하여 구조물 내의 임의의 점에서 변위, 응력, 변형률 등을 구명하는 방법이다.

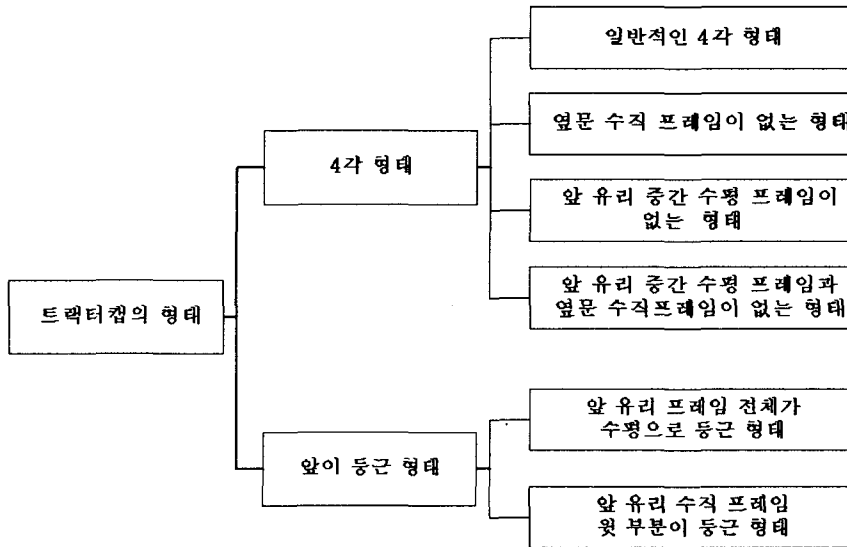
시뮬레이션 결과를 검증하기 위하여 본 연구에서는 가장 일반적인 4각형 형태의 안전캡을 대상으로 시뮬레이션 결과와 이미 보고되어 있는 실제 시험의 결과를 비교, 평가하였다. 실제 시험 결과가 보고된 트랙터는 총 중량이 7900 kg인 John Deere Soundgard SG060 트랙터로 하였으며, 이 트랙터의 안전캡을 대상으로 OECD 코드 4의 정하중 시험을 시뮬레이션 하였다.

OECD 코드에는 동적 시험인 코드 3과 정적 시험인 코드 4가 있으나, 동적 시험은 신뢰성이 떨어져 90년 이후에는 거의 실시되지 않고 있으며, 상대적으로 안정성에 대한 신뢰성이 높은 정적 시험이 실시되고 있다.

트랙터가 전도될 때는 운전자를 보호하기 위한 안전 영역이 확보되어야 하므로 정하중 시뮬레이션에서도 안전캡이 기본적으로 만족해야 할 성능 조건은 전도에 의하여 변형된 구조물이 안전 영역을 침범하지 않는 조건으로 하였다.

**가. 안전캡의 형태 분류**

현재 국내외에서 시판되고 있는 트랙터 안전캡을 조사하여 그 형태를 그림 1에서와 같이 분류하였다.



**Fig. 1 Types of tractor cab.**

### 나. 시뮬레이션

분류된 6형태의 트랙터 안전캡들은 다음 그림 2에서와 같은 과정을 통하여 정하중 시험을 시뮬레이션하였다.

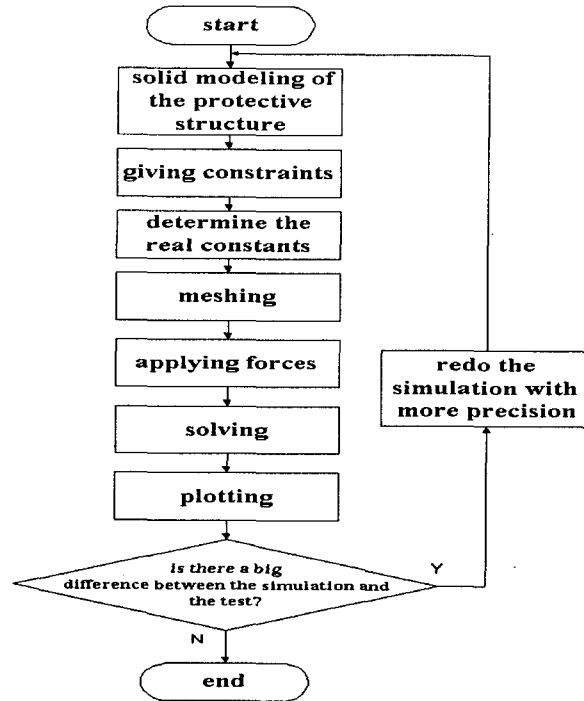


Fig. 2 Simulation procedures.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 시뮬레이션의 유효성 검증

#### (1) 실제 시험의 결과

실제 시험의 결과에 의하면 측방 하중 시험의 경우에는 변형량이 400 mm까지 증가되었으나, 약 250 mm의 영구 변형이 일어났다. 후방 수평 하중 시험의 경우에는 변형량이 300 mm까지 증가되었으나, 약 180 mm의 영구 변형이 일어났다. 전, 후방 압쇄 시험에서는 각각 전, 후방으로 약 8 mm의 변형이 일어났으며, 최대 변형량은 다음과 같다.

정면 방향으로의 최대 변형량: 207 mm

측면 방향으로의 최대 변형량: 141 mm

수직 최대 변형량: 49 mm

## (2) 실제 시험과 시뮬레이션 결과의 비교

### 1) 측방 하중 시험 결과와의 비교

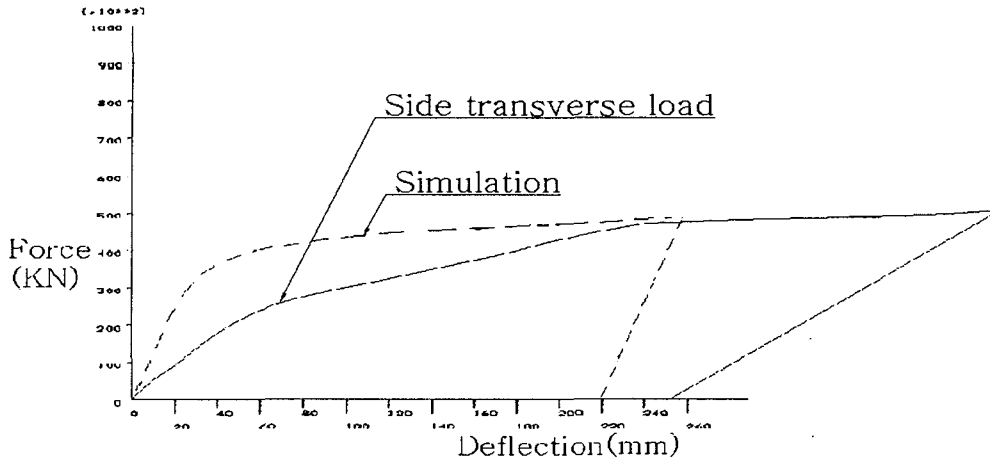


Fig. 3 Comparison of side transverse load.

그림 3에서와 같이 시뮬레이션 결과는 실제 측방 하중 시험의 결과보다 변형이 적었다. 영구 변형은 실제 시험에서는 약 250 mm로 나타났으나 시뮬레이션의 결과는 220 mm로서 30 mm의 차이가 나타났다. 하중-변형 선도의 차이는 여러 가지 원인에 기인된 것으로 판단된다. 초기 변형에서 시뮬레이션에 의한 변형이 실제 시험에서의 변형보다 적은 이유는 시뮬레이션에 사용된 탄성 계수가 실제 값보다 큰 값인 것으로 판단되며, 소성 영역에서도 하중-변형 선도의 기울기 차이는 탄성 계수의 차이 때문인 것으로 판단된다. 실제 시험에 사용된 재료는 본 연구에서 사용한 재료의 물성치보다 강도가 낮은 것으로 판단된다. 탄성 계수의 차이 외에도 프레임의 내부 구조를 시뮬레이션에서는 완전 4각 shell로 하였으나, 실제에는 증공 사각 형태였다. 또한, 시뮬레이션을 위한 안전캡의 모형에는 실제 치수와 약간의 차이가 존재하였기 때문에 이러한 차이가 하중-변형 선도의 차이를 초래한 것으로 판단된다.

### 2) 후방 수평 하중 시험 결과와의 비교

그림 4에서와 같이 시뮬레이션에 의한 하중-변형 선도는 최대 변형까지는 실제 하중-변형 선도와 유사한 형태를 나타내었으나, 영구 변형량에서는 큰 차이가 나타났다. 측방 하중 시험의 결과에서와 같이 시뮬레이션에 의한 하중-변형 선도는 초기 변형에서는 급경사를 이루었으나, 소성 영역에서는 기울기가 일치하는 경향을 나타내었다. 영구 변형은 실제 시험에서는 약 180 mm 이었으나, 시뮬레이션의 결과는 265 mm로서 약 85 mm 정도의 차이가 나타났다. 그러나, 측방 하중 시험의 경우와는 반대로 시뮬레이션에 의한 영구 변형량이 더 크게 나타났다. 시뮬레이션의 경우에는 안전 영역이 침범된 것으로 보인다. 하중-변형 선도

아래의 면적은 시뮬레이션에 의한 면적이 실제 시험에 의한 면적보다 크게 나타났다. 이러한 차이의 원인은 측방 하중 시험에서와 같은 것으로 판단된다.

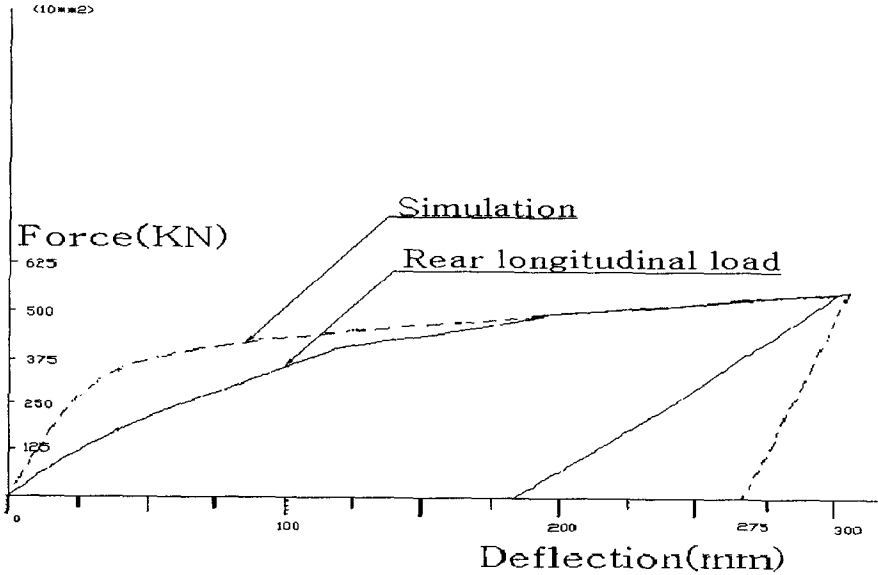


Fig. 4 Comparison of rear longitudinal load.

### 3) 수직 압쇄 시험 결과와의 비교

실제 압쇄 시험에서는 전체 수직 변형량이 49 mm로 나타났으나, 수직 압쇄에 의한 자체의 변형은 약 8 mm 정도로 나타났다. 시뮬레이션에 의한 결과는 모두 10 mm 이하인 것으로 나타났다. 수직 압쇄가 전체 변형에 미치는 영향은 크게 나타나지 않았다.

#### 나. 시뮬레이션 결과

수평 하중, 압쇄 시험에 의한 안전캡의 변형을 각 형태에 따라 시뮬레이션한 결과는 표 1에서와 같다. 표 1에서의 첫 열은 트랙터 안전캡의 종류를 나타내며, 첫 행은 적용된 하중의 종류를 나타낸다.

##### (1) 단위 하중들에 의한 변형

후방 압쇄의 경우 안전캡의 변형은 1 mm 미만이었으며, 전방 압쇄의 경우에도 변형이 작아 전체적인 변형에 주는 영향이 미흡한 것으로 판단된다. 즉, 압쇄 시험에 대해서는 모든 형태의 안전캡에서 큰 변형이 일어나지 않았다. 일반 4각 형태의 안전캡을 기준으로 하였을 때, 측면에 수직 프레임이 없는 안전캡의 경우에는 전, 후방으로 변형이 크게 나타났으며, 앞 유리 중간 프레임이 없는 경우에는 좌·우로의 변형이 크게 나타났다. 앞, 측면의 프레임

이 모두 없는 경우에는 예상대로 최대의 변형이 일어났다. 그러나 앞유리 수직 프레임 윗 부분이 둥근 형태의 안전캡에서는 변형량이 가장 작게 나타났다.

**Table 1 Displacement from single loads**

	displacement due to side transverse load(mm)	displacement due to back longitudinal load(mm)	displacement due to rear crush (mm)	displacement due to front crush (mm)
Square	220	265	1	5
Without side	328	738	1	5
Without front	576.92	292	1	6
Without Front and Side	720	758	1	6
All round	466	155	1	15
Up round	3.1199	17.535	1	6

(2) 연속 하중에 의한 변형

**Table 2 Total displacement from applied forces**

	side displacement (mm)	foward displacement (mm)	vertical displacement (mm)
square	205	250	33
without side	262.8	718.52	221.5
without front	565.6	210.5	134.2
without front and side	781	838	300
all round	466	96.64	80
up round	3	17	10

수평 하중과 압쇄 하중을 차례로 작용할 때 안전캡의 형태에 따라 그 변형을 시뮬레이션

한 결과는 표 2에서와 같다.

단일 하중만이 작용하였을 때와 비교하여 수평 방향의 변형 크기는 큰 차이가 없었으나, 수직 방향의 변형은 크게 일어났다. 또한 수직 방향의 하중보다는 수평 방향의 하중이 안전캡의 변형에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서, 안전캡의 성능을 향상시키기 위해서는 수직 방향의 하중 보다는 수평 방향의 하중을 고려하여 설계해야 할 것으로 판단된다.

또한, 앞 유리 수직 프레임 윗 부분이 둥근 형태의 안전캡에서는 변형이 거의 일어나지 않았으며, 앞·옆 프레임이 모두 없는 안전캡에서는 변형이 계속 증가된 것으로 나타났다.

#### 4. 요약 및 결론

수직 하중에 의한 안전캡의 변형량은 15 mm 미만으로 나타났으며, 이는 안전 영역의 침범에 영향을 미치지 못하는 수준이었다. 따라서 수직 하중은 변형에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 그러나 앞 유리 수직 프레임 윗 부분이 둥근 안전캡을 제외한 대부분의 안전캡들은 수평 하중에 의하여 안전 영역이 침범되었다. 안전 영역을 침범한 경우에는 최소 205 mm에서 최대 838 mm의 변형량을 보였다. 따라서 수평 하중은 안전캡의 변형에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

전체 변형량은 수평 하중에 의해서 지배되므로, 가장 적절한 안전캡의 형태는 후방 및 측방 수평 하중을 지지할 수 있는 구조이어야 하는 것으로 판단된다. 앞 유리 수직 프레임 윗 부분이 둥근 안전캡의 수평 하중에 대한 변형량은 20 mm 이하였으며, 안전 영역을 침범하지 않는 수준이었다. 이는 다른 종류의 안전캡들의 변형량보다 현저히 적은 변형량이다. 따라서 앞 유리 수직 프레임 윗 부분이 둥근 프레임의 안전캡은 수평하중을 지지할 수 있는 가장 적절한 구조로 판단된다.

#### 5. 참고문헌

1. 손창현. 1999. 유한요소해석 입문과 선형해석, 태성에스엔이
2. 문기주. 1994. 산업 시뮬레이션, 생능
3. 양성민. 1998. 시뮬레이션 기초, 경성대학교출판부
4. Park, H. J. 1998. Simulation of dynamic characteristic of agricultural tractors. Unpublished PhD thesis, Seoul National University
5. Bathe, Klaus-Jürgen. 1996. Finite element procedures, Prentice Hall
6. Timoshenko, S. P. 1997. Mechanics of materials, PWS Publishing Company
7. OECD. 1999 Standard Codes for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractors, Organisation for Economic Co-operation and Development PARIS-February
8. ANSYS User's Manual. 1992. Swanson Analysis Systems, Inc., USA