

지게차의 동적거동에 관한 연구 (좌우거동을 중심으로)

최기흥 · 김정수* · 이관형** · 이광길**

한성대학교 기계시스템공학과 · *홍익대학교 기계시스템디자인공학과

**한국산업안전공단 산업안전보건연구원

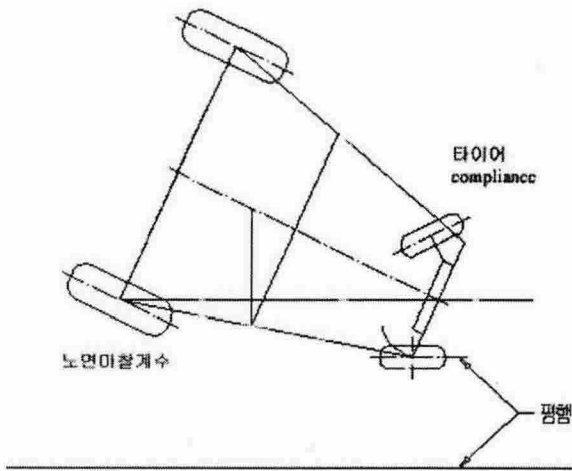
1. 서 론

지게차는 장시간 사용 시 편심하중, 진동, 그리고 과응력에 의한 전도, 파손 등 기능 손상 및 안전사고를 초래하는 비정상 상황이 발생할 소지가 많다. 지게차와 관련된 안전사고의 유형중 주행 및 하역시의 경우별 전후안정도, 좌우안정도 불량으로 인한 전도가 가장 치명적이다. 그러므로, 지게차의 설계 단계에서부터 편심하중을 고려한 적절한 안전기능 적용기술을 개발하고 동적해석을 통하여 전도방지 대책 및 관련 기술을 확립하고자 하는 노력이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 KS R6013, 6014, 6015 [1] 등에서 언급한 지게차의 주행 및 하역시의 경우별 안정도 중 전후안정도를 우선 규명하고 지게차재해의 다수를 차지하고 있는 지게차 전도를 규명하기 위해 편하중 등에 대하여 (동적)해석 실시하였다. 특히, 하물을 적재한 상태에서 주행 및 하역작업시의 경우별 좌우 안정도해석을 실시하였다. 이를 위하여, 지게차기종을 정한 후 해석용 프로그램인 ANSYS를 선택하여 마스트의 구조해석을 실시하였다. 마스트의 변형 (처짐)에 의해 유발되는 포크의 처짐을 등가 스프링모델을 적용하여 근사화 하였다. 또한, 타이어변형을 묘사하는 등가 스프링 모델을 구한 후 제조사의 시방서를 근거로 조정 범위 내에서 실물에 근사하게 모델링된 지게차 모델을 대상으로 여러 조건을 부여하여 좌우거동을 중심으로 한 동적거동 해석을 실시하였다.

2. 지게차의 좌우 거동 해석

좌우방향 거동과 관련된 3차원 모델을 구성하고 타이어와 노면사이의 마찰계수, 차체의 속도, 회전반경, 하중의 크기가 안정도에 미치는 영향을 살펴보았다. [그림 1]은 지게차의 좌우방향 동적모델을 나타낸다.



[그림 1] 좌우방향 동적모델

마스트 및 타이어의 변형, 작업물 하중분포, 차체의 동적 움직임 등의 영향을 감안한 동적 모델을 Working Model을 사용하여 좌우방향에 대하여 구성하였다. 마스트의 변형에 의한 영향, 마스트의 수직 및 수평 (등가)스프링 계수의 계산 및 타이어 변형에 의한 영향은 참고문헌 [1] 및 [2]에 제시된 방법에 의하여 구조해석 및 모의실험한 결과를 활용하였다. 또한, 시험조건으로 차량의 재원은 표 1에 나타난 바와 같으며 지게차의 최대하중인 3ton에서의 거동을 중점적으로 살펴보았다.

좌우방향 모델의 주요 입력변수로는 안정도 계산에 필요한 지게차의 기본 치수 및 무게 분포 이외에도 마스트의 상하, 전후 변형, 타이어의 상하 방향 변형, 차체의 속도 및 가속도가 포함된다. 좌우거동 해석에서는 소형 지게차를 대상으로 주어진 하중조건 및 차체중량에 대하여 가속조건, 바퀴와 노면 사이의 마찰계수를 바꾸어가면서 지게차의 거동을 살펴보았다. Working Model 프로그램에서 구현된 지게차의 동적모델과 지게차 모델에 적용된 질량 및 등가 스프링상수는 참고문헌 [2]에 나타나 있다.

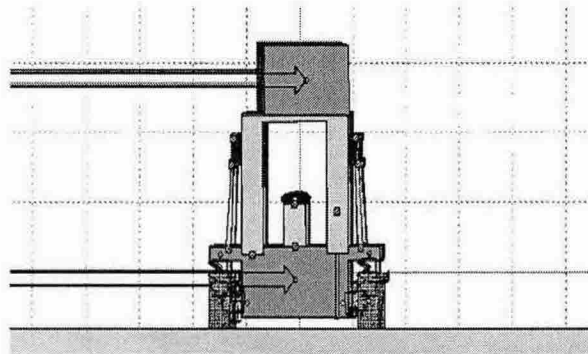
총 무게	3000 kg
바퀴 스프링 상수	상하-3000000 N/m 좌우-3000000 N/m
댐퍼 상수	50 N-s/m $\times 6 \times 10^6$ N/m
차체의 전장 (포크제외)	2.1 m

[표 1] 해석용 차량의 재원

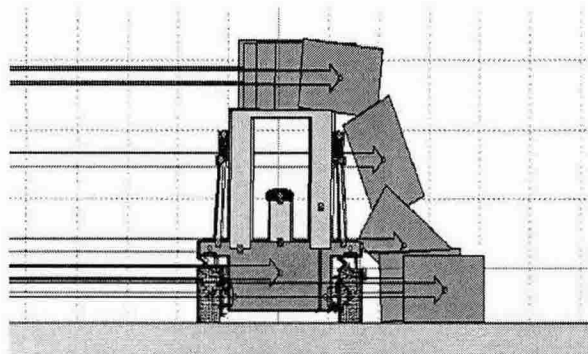
일반적으로, 지게차의 분류는 기능형태, 동력, 조종방식, 차륜타입에 의한 분류가 가능하나 안정도 해석에는 기능형식에 따른 분류를 보편적으로 따르고 있으며 본 연구에서도 채택하였다 [5]. 즉, Counter Balance, Reach and Straddle, Pallet Stacking, Order Picking, Side Reach 등 각각에 대하여 기초 데이터 수집 및 분석을 수행하고 안정도 해석을 수행할 필요가 있으나 본 연구에서는 특히, Counter Balance 타입에 초점을 맞추었다.

3. 실험결과

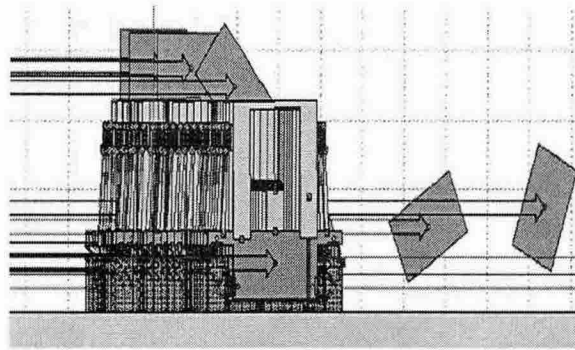
일단 모델이 완성되면 차체에 외력을 가하거나 바퀴에 회전운동을 주어서 거동 시키게 된다. 아래의 그림들은 해석 결과 짐과 지게차 모두 미끄러짐이 없는 경우, 짐만 미끄러지는 경우 그리고 짐과 지게차 모두 미끄러지는 경우를 각각 나타내고 있다.



[그림 2] 짐과 지게차 모두 미끄러짐이 없는 경우



[그림 3] 짐만 미끄러지는 경우

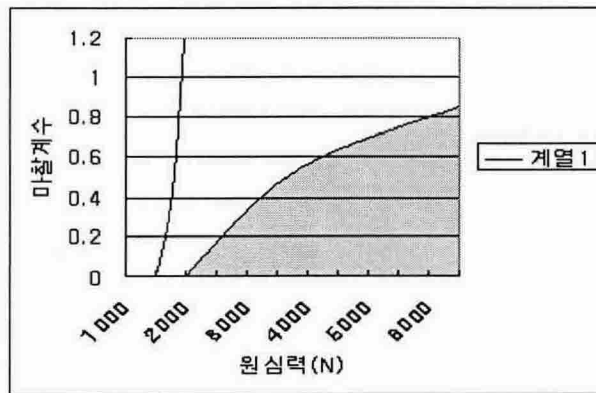


[그림 4] 짐과 지게차 모두 미끄러지는 경우

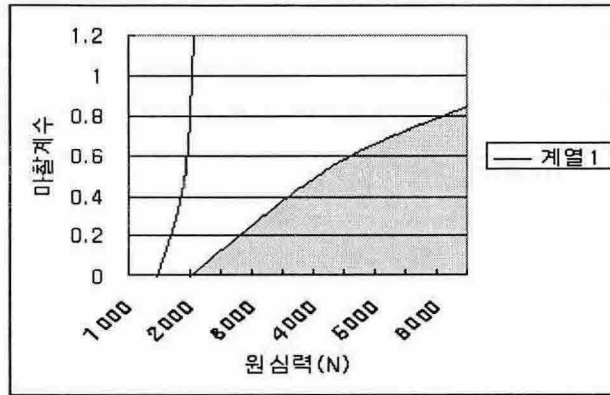
또한 지게차의 거동특성을 다음의 세 가지로 분류하였다:

- Case 1 : 짐과 차량 모두 미끄러짐이 없는 경우 (가장 안정)
- Case 2 : 짐의 미끄러짐만 일어난 경우
- Case 3 : 짐과 차량 모두에 미끄러짐이 발생한 경우 (가장 불안정)

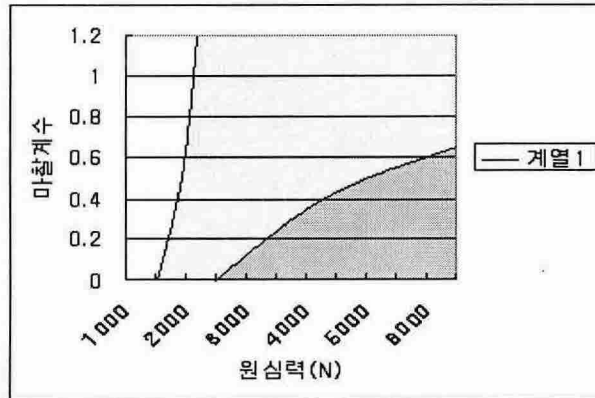
먼저 하중조건을 바꾸어 가면서 마찰계수와 원심력에 따른 안정도를 살펴보았다. 마찰계수가 높을수록 안정도가 향상되는 것을 [그림 5]-[그림 7]은 확연히 보여주고 있다.



[그림 5] 하중 500kg 일때



[그림 6] 하중 1000kg 일때



[그림 7] 하중 1500kg 일때

4. 결론

본 연구에서는 지게차의 동적거동과 마스트의 구조해석을 연계한 모델링 작업을 수행하였다. 마스트의 구조해석에는 유한요소 프로그램인 ANSYS를, 동적거동 시뮬레이션에는 동역학 해석 프로그램인 Working Model을 사용하였으며 마스트의 구조해석 결과는 동적 거동 모델에 등가 스프링 상수로서 입력되었다. 또한 이러한 접근방법의 타당성을 검증하기 위하여 전후 및 좌우 방향 가속도, 노면과 바퀴 사이의 마찰계수, 하중 조건 등이 지게차의 안정도에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통하여 살펴보았다. 좌우 방향 거동과 관련하여 일단 정적안정성이 우수하면 동적안정성 또한 대체로 양호함을 보이거나 운동조건 (등속, 가속, 감속 여부)이 동적 안정도에 영향을 미치고 있음을 확인 하였다.

지게차가 회전하는 경우 지게차의 동적 안정성은 노면조건, 인가된 하중, 속도 및 회전반경의 상호작용에 의하여 결정된다. 따라서, 안전운행 속도는 노면조건을 고려하여 결정되어야만 한다. 또한, 운동 조건과 관련된 변수로는 속도, 가속도, 회전반경, 노면조건(지면과의 마찰계수) 등을 들 수 있다. 따라서, 이들에 관한 표준화와 DB화를 수행, 현장에 적용하면 안전사고 예방에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 산업안전보건연구원 용역과제로 수행되었으며 관계자에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 최기흥, 김정수, 박대식, 이관형, “지게차의 동적거동에 관한 연구”, 한국안전학회 춘계학술대회 논문집, 2005
2. 최기흥, 김정수, 박대식, 이관형, “지게차의 동적거동에 관한 연구 (전후거동을 중심으로)”, 한국안전학회 논문집 (심사중), 2005
3. 한국 표준협회, KS 규격 R6013, R6014 및 R6015, 2001
4. 전귀동, 성낙정, 윤천웅, 이성호, “지게차 안정도 고찰”, 대우기보 제28호, pp.6-17, 1993
5. 유한중, “3차원 Solid Modeoling 기법을 이용한 지게차 Counter Weight Design”, 대우기보 제28호, pp.79-83, 1993
6. 김낙인, 박철규, 유재성, “지게차용 정적안정도 평가프로그램 개발”, 대우기보 제51호, pp.80-87, 2001