

바람에 종속된 거수의 가지가 구조적 안정성에 미치는 영향 분석

이정준 · 최슬기 · 강준석
서울대학교 조경 · 지역시스템공학부

I. Introduction

이전 연구(이정준과 강준석, 2017)에서 가장 기본적 특성을 파악하기 위하여 수간 외의 요소는 모두 제거하고 연구를 진행하였다.

James K. R. 외(2006)는 stem과 각 가지의 상호작용을 고려한 나무의 swaying을 연구한 바 있다. 연구 결과에 따르면 전체 swaying은 가지의 영향을 크게 받는다. 그 이전에 Petty와 Swain(1985)은 나무의 안정성에 영향을 미치는 각 요소들의 영향력을 연구하였고, stem의 자체 하중보다 crown의 하중, 풍하중이 영향력이 크다는 결과를 얻었다. 또한, Nishimura(2005)는 *Picea glehnii*와 *Abies sachalinensis* 두 수종의 stem breakage가 지름, crown shape과 지하고(枝下高)와 연관이 있다고 결과를 얻었다. 따라서 풍하중에 종속된 나무의 기본적 거동을 파악하기 위해서는 stem 외의 가지 등의 부분도 면밀하게 검토하여야 한다고 볼 수 있다.

II. Methodology

1. Theoretical Background

1) Arc Length Method

Arc length method는 하나 이상의 임계점을 갖는 비선형계에 대한 문제를 해결하는 효과적인 방법이다.

Arc length method는 첫 평형점에서부터 하중과 변위를 동시에 변화시키며, 정해진 수렴조건을 만족할 때까지 계산을 반복한다.

2. Modeling

1) Modeling Assumption

모델에는 이하의 가정이 적용되어 있다.

1. 뿌리 부분은 땅에 고정되어 움직이지 않는다.
2. 나무는 파괴되지 않는다.
3. 나무의 재질은 완전히 균일하다.
4. 풍속은 모든 높이에서 동일하다.

2) Shape

Stem 형상은 이전 연구(이정준과 강준석, 2017)과 동일하다. 가지가 있는 모델(Figure 1, 2 참조)에서 가지는 지면과 수평이며, stem 형상을 축소한 형상이다. 최하단 가지는 지하고가 4.72m, 나무 중심에서 가지 끝까지의 거리가 8m이며, 최상단 가지는 중심 높이 10.6m에 끝까지의 거리 3.85m이다.

또한 stem 상부에 높이 16.0m가 되도록 5.1 m의 원뿔 구조를 추가하였다.

3) Material

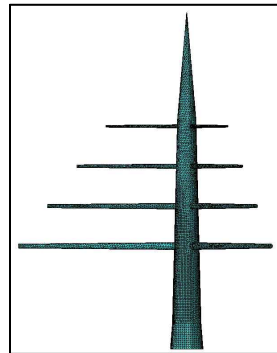


Figure 1. 가지 모델의 측면

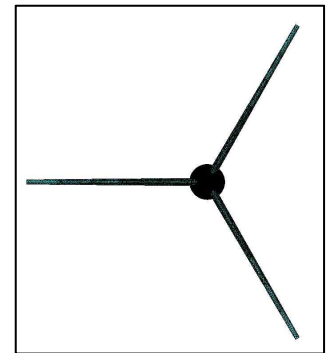


Figure 2. 가지 모델의 상면

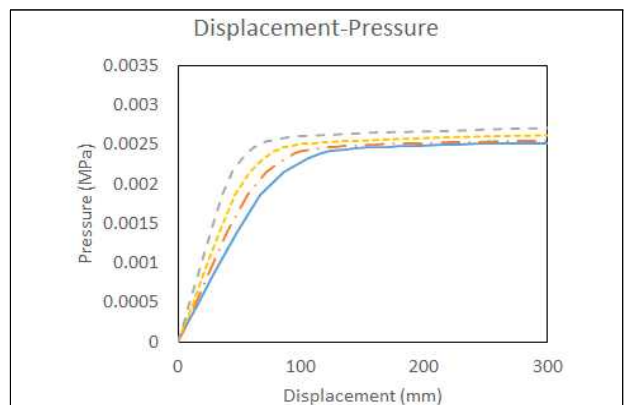


Figure 3. 가지 부분의 변위-압력(01은 가장 아랫 가지, 04는 가장 위의 가지이다.)

Legend: — Branch01 - - - Branch02 ···· Branch03 - · - · Branch04

Red pine (*Pinus resinosa*)의 물성치를 사용하였다. 나무는 축 방향, 방사방향, 접선방향에 따라 다른 값을 갖는다. 축방향은 stem에서 연직방향이나, 각 가지는 줄기와 다른 축방향을 가지므로, 좌표계를 따로 지정하였다. 좌표계는 가지와 stem의 연결부에서 약간 떨어진 위치에서 변경된다.

4) Wind Load

기본적으로 stem의 120° 영역에 하중을 가했다.

가지가 있는 모델은 두 개 가지의 절반 영역에 하중을 추가하였다.

하중의 크기는 Arc length method를 이용하여 점진적인 증가하는 하중을 가하였다.

III. Result

풍하중을 증가시키며 관찰했을 때, 가지가 있는 모델은 가지가 약 0.0025MPa까지의 하중을 견디어, stem만 있는 모델의 한계인 0.025MPa의 10%정도까지 견디었다.

가지가 작을수록 견디는 하중이 높았다. 가장 큰 Branch01은 약 0.0025MPa까지 견디지만, 그의 절반보다 약간 작은 Branch04는 0.0027MPa까지 견디었다.

Figure 4는 같은 하중을 주었을 경우, 거의 같은 위치의 변위이다. 두 모델의 변위를 모두 확인할 수 있는 범위에서 stem의

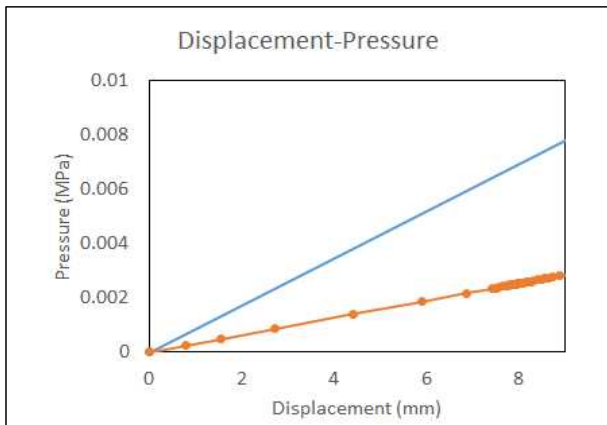


Figure 4. 가지가 없는 모델과 가지가 있는 모델의 변위-압력
Legend: — Non-Branch — Branch

비례 한계를 넘지 않아 선형의 변위가 나타났다. 압력/변위 값은 가지가 없을 경우 3.15×10^{-4} MPa, 가지가 있을 경우, 8.66×10^{-4} MPa로 2.748배 증가하였다. 이는 하중을 받는 유효 면적이 약 1.914배인 것에 비하면 1.435배 정도 증가한 것을 알 수 있다.

이 점은 가지의 하중이 모멘트 팔의 길이가 더 길기 때문으로 추정된다.

IV. Conclusion

Stem에 가지를 추가하여 거동을 분석한 결과, 나타난 점은 다음과 같다.

- 가지는 stem의 10% 정도의 하중을 견디었다.
- 작은 가지가 조금 더 강한 하중을 견뎠다.
- 가지를 추가하면 하중의 증가량에 비해 변위가 더 크게 증가한다.

가지를 추가했을 때 결과 값이 상당히 많은 영향을 받은 것을 알 수 있었다. 그러나 모든 나무의 가지를 정확하게 모델링하는 것은 불가능하기 때문에 조금 더 일반적으로 값을 추정할 수 있어야 한다. 이 결과를 통해 잎이나 잔가지들도 충분한 영향을 줄 것으로 예상되므로 그에 대한 고려도 필요하다.

또한 가지가 먼저 부러지는 것이 아닌, 줄기가 부러지는 경우도 많음을 고려해 보면 가지에 가해지는 하중이 모델에 적용된 하중보다 적을 수 있다. 그 점에 대해서도 충분히 고려해야 한다.

참고문헌

1. James, K. R., N. Haritos and P. K. Ades(2006) Mechanical stability of trees under dynamic loads. *American Journal of Botany* 93: 1522-1530.
2. Nishimura, T. B.(2005) Tree characteristics related to stem breakage of *Picea glehnii* and *Abies sachalinensis*. *Forest Ecology and Management* 215: 295-306.
3. Petty, J. A. and C. Swain(1985) Factor influencing stem breakage of conifers in high wind. *Forestry* 58: 75-84.
4. USDA(2010) *Wood Handbook - Wood as an Engineering Material*.
5. 국립문화재연구소(2007) 2007 천연기념물 주요 노거수 조사 연구 보고서.
6. 이정준, 강준석(2017) 2017 한국환경조경학회연합 추계학술대회 논문집 100-103.