

보행자 교량의 개념설계와 최적화 구조해석의 상호작용

최슬기 · 이정준 · 하재원 · 강준석
서울대학교 조경·지역시스템공학부

I. 서론

지난해 평택국제대교 건설 사고와 용인 물류센터 사고는 또 한번 대한민국의 안전 불감증에 대한 목소리를 높이게 만들었다. 두 사고 모두 설계, 시공, 현장 관리에서 문제점이 있었다는 점에서 제도의 취약점에 대한 비판이 이어졌다. 조경 또한 이러한 화두와 밀접하게 연관되어 있다. 그리고 이러한 문제의식은 조경가를 양성하는 교육기관에서부터 다루어져야 한다. 그러나 현재 조경학과 학부 수준에서는 외부 구조물의 개념설계는 다루지만, 그 구조물의 실제 구조적 안정성에 대해서는 거의 교육하지 않고 있다.

설계물의 안전에 대한 인식이 높아지기 위해서는 학부 수준에서부터 조경공학에 대한 교육이 이루어질 필요가 있다. 이와 같은 문제의식에서 출발하여 서울대학교 2017년 1학기 조경학과 전공 교과목 '조경 공학'에서는 학부생들이 세 개의 조를 이루어 보행자 교량의 개념설계를 실시하고, 이 모델을 Abaqus 프로그램을 통해 구조해석을 실행하도록 하였다. 이 조별 과제의 결과들을 통해 조경공학과 구조해석 교육의 필요성 및 의의를 찾아볼 수 있었다.

더 나아가 본 연구는 보다 새로운 설계방식을 제안하고자 한다. 디자인이 복잡할수록 설계단계에서 구조물의 안전한 부분과 취약한 부분을 정확히 인지하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나 유한요소법을 사용하는 Abaqus Tosca 소프트웨어의 Optimization 기능을 이용하면 설계자가 스스로 구조물을 검토할 수 있다. 설계 단계에서는 파악하기 힘든 취약점과 그 보완점을 디자이너에게 제공해준다는 점에 주목하여 Abaqus Tosca 소프트웨어의 Optimization 기능이 조경설계에 기여할 수 있는 가능성을 살펴보고자 한다.

II. 본론

1. 조경공학 교육의 필요성

1) 대상지

학부 수준의 개념설계가 어느 정도로 현실과 유리되어 있는지를 알아보기 위해 2017년 1학기 서울대학교 조경학과 전공 교과목 '조경공학'의 학부생들은 서울대학교 관악캠퍼스 농업생

명과학대학 인근에 위치한 '농식 다리'라 불리는 보행자 교량을 대상으로 개념설계를 실시하였다. 교량은 길이 20m, 폭 10m, 높이가 6.3m로 양 끝이 광장과 학생식당에 이어져야 한다는 조건을 만족해야 했다.

2) 설계 및 해석기준

각 조에서 구상한 교량들의 구조해석을 실행하기에 앞서 학부생들에게 해석 결과를 평가할 수 있는 기준이 필요했다. 즉, 보행자 교량의 설계 기준을 살펴볼 필요가 있었다. 통상적으로 서울시의 "시설물 설계·시공 및 유지관리 편람"의 보도육교 항목이 주로 참조되고 있지만, 한국의 경우, 보행자 교량을 위한 특별한 설계기준은 아직 없다. 때문에 학부생들에게는 미국의 AASHTO LRFD 일반교량 기준을 수정시킨 Modifications for AASHTO LRFD Bridge Design Specifications to Incorporate or Update the Guide Specifications for Design of Pedestrian Bridges를 설계기준으로 제시하였다. 위 기준에서는 교량의 처짐이 지간길이의 1/500보다 작을 것을 권고하고 있다. 여기에 더불어 사하중을 고려하여 International Building code에서 제시하는 기준, 처짐이 지간길이의 1/240보다 작아야 한다는 것을 따르도록 하였다. 단, 처짐이 기준을 만족시키더라도 스트레스가 항복강도보다 높은 경우, 재설계토록 하였다(A36 steel 기준 250e6 Pa보다 작아야 한다).

3) 개념설계

본 연구의 학부생들은 대상 교량의 위치, 이용자, 이용 목적 등을 고려하여 구조적 안정성과 미관의 아름다움을 모두 고려하는 설계를 수행하였다. 특히 구조적인 안정성을 핵심으로 삼았던 수업이었기에 두 조는 아치구조와 트러스 구조를 적극 이용하였다.

4) 해석방법

구조해석의 편의를 위해 두 조 모두 재질은 A36 steel로 통일하였다. Steel의 영률은 $200 \times 10^9 \text{Pa}$, 푸아송비는 0.32, 밀도는 $7,800 \text{g/m}^3$, 활하중은 4,309Pa, 사하중 계산을 위한 중력가속도는 9.8m/s^2 으로 설정하였다.

해석에는 Abaqus 프로그램을 통한 유한요소법(Finite Ele-

ment Method: FEM)을 사용하였다. 유한요소법은 엔지니어가 외적 조건(하중, 온도 등)에 대한 도메인(구조, 유체 등)의 물리적 반응을 계량화할 수 있는 도구이다. 유한요소법에서 도메인은 몇 개의 서브도메인으로 나누어지고, 유한요소라고 불리는 이산영역의 어셈블리로 모델링된다.

5) 해석결과

두 조 모두 첫 번째 시도에서는 처짐이 기준을 넘거나 스트레스가 항복강도를 초과하여 설계 안전기준을 만족하지 못하였다.



그림 1. Group 1



그림 2. Group 2

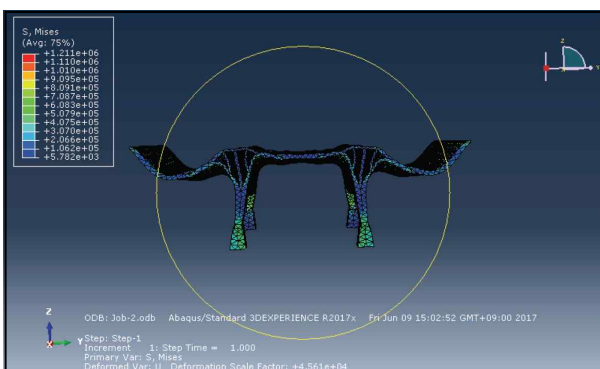


그림 3. Group 1 첫 번째 시도

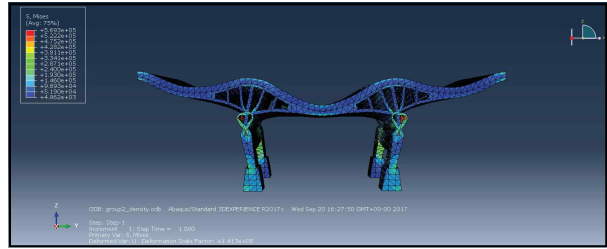


그림 4. Group 1 두 번째 시도

표 1. Group 1

단위: N, m	첫 번째 시도	두 번째 시도
처짐	2.25e+05	1.378e-05
활하중+사하중 설계기준 만족 여부	불만족	만족

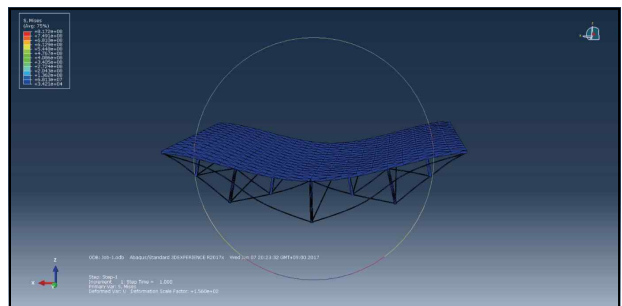


그림 5. Group 2 첫 번째 시도

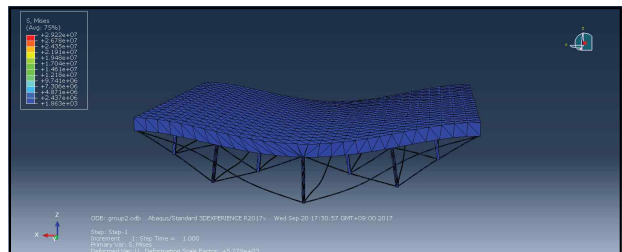


그림 6. Group 2 두 번째 시도

표 2. Group 2

단위: N, m	첫 번째 시도	두 번째 시도
처짐	4.01e+01	2.258e-04
활하중+사하중 설계기준 만족 여부	만족(그러나 스트레스가 항복강도 초과)	만족

2. Abaqus Tosca의 Optimization 기능에 대한 탐구

보행자가 직접 접촉하여 이용한다는 점에서 보행자 교량은 일반 교량보다 미관이 중요시 된다(신영석, 2003). 따라서 보행자 교량의 경우, 대형 교량들보다 구조적으로 매우 복잡한 형태

를 띠기도 한다. 그러한 경우, 표준화된 기준으로 안전성을 검토하는 것은 적절하지 않을 것이다. 즉, 보행자 교량은 더 특화된 기준이 적용되는 것이 궁극적으로 더 바람직할 것이다.

아래 그림 7은 Optimization이 수행되었던 길이 8m, 폭 3m의 이 보행자 교량 모델이다. 설계응답 중 변형에너지를 최소화, 부피를 80% 이상 유지할 것을 조건으로 위상최적설계(topology optimization)을 실시하였다. 그에 따른 그림 8~10은 각각 optimization cycle을 15회, 30회, 50회씩 진행하였을 때의 결과를 보여준다. Optimization cycle 수가 많을수록 소프트웨어가 더 많은 경우의 수를 계산하고, 최적의 결과를 찾게 된다. 그렇기 때문

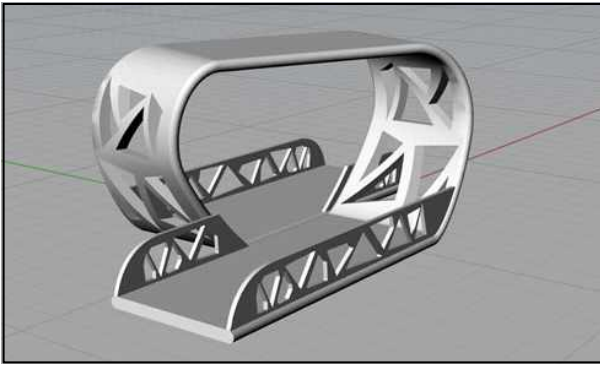


그림 7. Optimization 모델

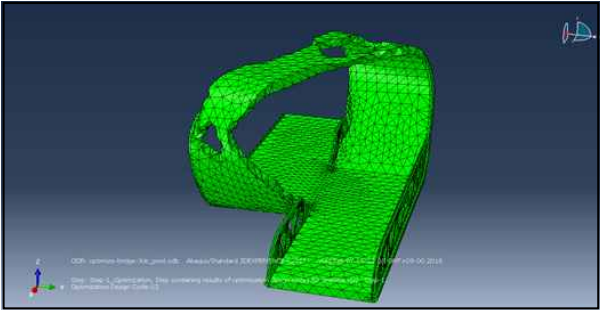


그림 8. Optimization cycle 15회

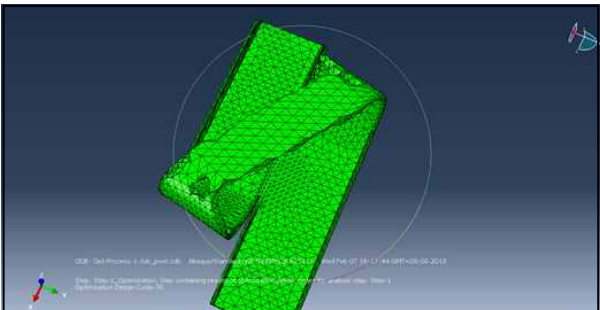


그림 9. Optimization cycle 30회

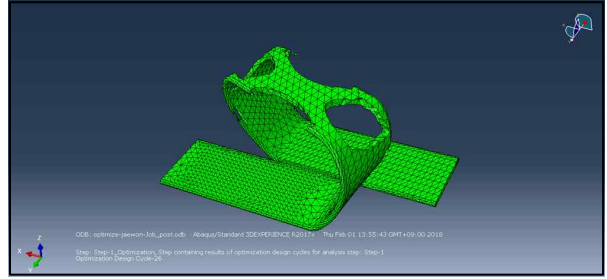


그림 10. Optimization cycle 50회

에 그림 10이 가장 정제된 결과가 나오는 것을 확인할 수 있다. 물론 이 cycle 수가 늘어날수록 optimization에 걸리는 속도는 늘어나게 된다.

III. 결론

스튜디오 과목에서 이루어지던 학부생들의 기존 설계방식은 실제 구조물에서 요구되는 기준들을 만족시키기 어렵다는 것을 학기 과제를 통해 살펴볼 수 있었다. 그러나 학생들에게 관련된 지식을 습득할 기회가 학사 교육과정 내에서 이루어지지 않고 있다. 학부 수준이라는 이유로 간과되기엔 안전에 대한 문제의식은 매우 중요한 부분이다. 따라서 본 연구 결과를 통해 조경학과 학사 과정 내 조경공학 교육이 충분하지 않다는 점과 그 필요성을 제창하고자 한다.

한편, 수치적으로 설계 기준을 교육시킨다고 하더라도 조경 설계 내에서 이루어지는 보행자 교량의 설계는 매우 독창적인 경우가 존재한다. 이러한 경우, 별도의 계산 없이는 설계가가 작품의 구조적 합리성을 확신하기는 어렵다. Abaqus Tosca의 Optimization 기능은 이러한 어려움을 유한요소법을 이용하여 최적의 경우를 계산해줌으로써 해소시켜준다. 본 연구는 간단한 모델을 통해 Optimization 기능이 실제로 구조물에서 필요한 부분과 필요하지 않은 부분을 설계가에게 시각 정보로 제공한다는 사실을 그림 8~10을 통해 확인할 수 있었다. 이를 통해 보행자 교량뿐 아니라, 조경설계에서 이루어지는 외부구조물의 새로운 설계방식의 가능성을 엿볼 수 있었다.

참고문헌

1. International Code Council, Inc.(2018) IBC: International Building Code, 2017.
2. Modjeski & Masters, Inc.(2009) Modifications for AASHTO LRFD Bridge Design Specifications to Incorporate or Update the Guide Specifications for Design of Pedestrian Bridges, Pdf.
3. 신영석(2003) 보도교의 설계기준과 경관설계, 강구조학회지 제15권 3호.