

기둥의 제거에 의한 부재력 분포

Distribution of Member Forces Due To Lost Member

한 샘* · 박 승 희** · 김 진 구*** · 박 중 열****

Han Saem · Park, Seung-hee · Kim, Jinkoo · Park, Jong-yeol

요 약

본 연구에서는 기둥이 제거되는 경우 선형정적해석법을 사용하여 부재력을 산정하고 확률 신경망을 이용하여 그 분포를 파악하였다. 1층 내부기둥이 제거될 경우 다른 부재의 부재력이 가장 큰 것으로 나타났다. 확률신경망을 이용하여 부재력의 분포를 파악하고 추정하는 것은 연쇄붕괴 시 초고층 건물이나 비정형 건물에 대한 위험부재를 선정하고 파악하는데 시간과 노력을 경감할 수 있는 것으로 나타났다.

keywords : 연쇄붕괴, 확률신경망, 위험부재

1. 서 론

연쇄붕괴란 충격하중 또는 폭발하중 등 비정상하중에 의하여 발생한 구조부재의 국부적인 손상이 구조물 전체의 파괴로 이어지는 붕괴현상을 말한다. World Trade Center 붕괴 이후 미국에서는 General Service Administration(GSA)에서 새로 신축되는 연방건물의 연쇄붕괴에 대한 위험을 경감시키기 위하여 연쇄붕괴해석과 설계에 대한 가이드라인을 발표하였으며, Department of Defence (DoD)에서도 기존의 건물과 신축건물에 대한 연쇄붕괴 방지를 위한 해석 및 설계법을 제시하고 있다. 연쇄붕괴 현상은 비선형적이며 동적인 현상이기 때문에 연쇄붕괴에 대한 안정성을 평가하기 위해서는 모든 부재를 하나씩 제거하고 비선형 동적해석을 수행해야 하며, 건물의 규모가 커질수록 많은 해석시간을 필요로 하는 것이 사실이다. 중저층 정형 건물인 경우 1층 기둥이 제거될 경우 가장 큰 피해가 발생하는 것으로 알려져 있으나, 비정형 건물의 경우 위험부재의 위치는 저층에 국한되지 않으며, 위험 부재의 위치를 육안으로 판단하기 어렵다. 테러에 의한 폭발로 인한 기둥의 붕괴는 저층부에서 발생할 가능성이 가장 크지만 화재 및 가스 폭발, 지진 등에 의한 부재의 파괴는 고층에서도 발생할 수 있으므로, 다양한 위치에서의 검토가 필요하지만, 초고층건물의 경우 많은 수의 구조부재가 존재하기 때문에 이러한 부재들을 하나씩 제거하며 비탄성 동적해석을 수행하는 것은 실무적으로는 타당성이 없다. 따라서 위험성이 큰 부재의 위치를 간단한 방법으로 파악한 후 선택된 위험부재에 대한 정밀 해석으로 수행하는 것이 타당한 대안으로 판단되며 본 연구에서는 선형정적 해석방법을 이용하여 각 부재의 위험도를 파악한 후 그 분포 양상을 알아보려고 한다. 모든 부재를 대상으로 선형해석으로 수행하는 것 또한 많은 시간과 노력이 소모되므로, 본 연구에서는 neural network을 이용하여 위험부재를 파악하고자 한다.

* 성균관대학교 초고층·장대교량학과 석사과정 imhsam@skku.edu

** 성균관대학교 건설환경시스템공학과 조교수 shparkpc@skku.edu

*** 정희원·교신저자, 성균관대학교 건축공학과 교수 jkim12@skku.edu

**** 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정 hotji0914@skku.edu

2. 선형 정적 해석을 이용한 대체 경로법

주요 구조부재들의 파괴 여부를 판단하기 위해서는 우선, 기준이 될 수 있는 허용값이 필요하다. GSA에서는 그 요구 값으로 DCR(Demand Capacity Ratio)을 제시하고 있다. 이 DCR은 정의대로 부재력을 부재 강도로 나눈 값이며, GSA의 경우 강도 저감계수를 사용하지 않고 부재의 강도에 따른 항복 초과 강도 계수를 적용하여 DCR을 산정한다. 이 DCR값의 허용기준은 폭/두께 비에 따라 다른 값을 제시하고 있다. DoD에서 제시한 가이드 라인의 경우 GSA에서 제시한 바와 같이 대체 경로법을 GSA와 동일하게 사용하지만 부재파괴의 판단 기준은 DCR을 산정하지 않고 설계 강도(강도 저감계수 × 부재 공칭강도)에 항복 초과 강도 계수 1.1을 적용하여 부재력과 비교하는 차이가 있다.

GSA에 제시 되어있는 선형 해석 시 대체 경로법 수행 절차는 다음과 같다. 우선, 건물의 손상은 수직하중에 의하여 일어나기 때문에 연쇄붕괴는 임의의 기둥을 제거한 후 $2(DL+0.25LL)$ 의 하중조합을 적용하여 선형 해석을 수행한다. 다음, 부재별 DCR(Demand capacity Ratio)을 구하여 작용하는 하중 상태에서 발생한 부재력이 설계 부재력을 초과할 경우 그 부재는 파괴된 것으로 간주한다. 그러나 휨에 대한 DCR은 그림 1과 같이 파괴 메커니즘을 고려하여 부재가 파괴된 것으로 판단되는 경우 부재를 제거한 후 하중을 재분배 한다. 마지막으로 휨에 대하여 부재력이 주어진 DCR값을 초과하면 보 깊이의 1/2만큼 offset을 적용한 곳에 힌지를 모델링 한 후, 추가된 힌지에 강도 저감계수와 항복 초과강도 계수 1.1을 적용한 모멘트를 가하여 평형 상태를 만든다.

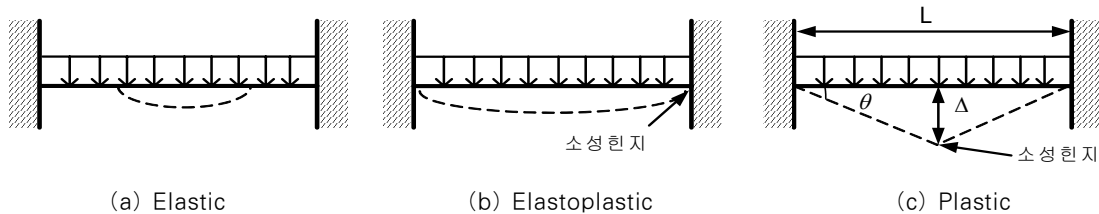


그림 1 . 부재의 파괴 메커니즘

3. 확률 신경망을 이용한 DCR 추정

예제모델은 층고 3m, 5층 높이의 철골 모멘트 저항 골조로 설계하여 해석하였다. 모델의 경간 길이는 6m로 하였다. 우선 내부 기둥을 제거한 경우와 외곽 기둥을 제거한 경우로 나누어 해석을 수행하였고 1층부터 5층 까지 각층의 기둥이 제거되는 경우를 각각의 그룹으로 나누었다. 그리고 각 데이터들이 쌓을 이루도록 모든 절점에서 기둥 부재들의 DCR 값과 보 부재들의 DCR 값을 따로 합하여 정리하였다. 각각의 경우에 perturbation을 만들어 데이터를 확장시켰다. 구조물의 기둥이 제거되는 경우, 다수의 연쇄붕괴가 폭발이나 화재에 의해 발생하는 점을 감안하여 인접부재의 강성이 감소하는 경우를 추가하여 트레이닝 패턴을 만들었다. 각 내부와 외부의 1층 기둥부터 최상층 기둥까지를 제거시키면서 각 절점에서의 기둥 부재와 보 부재의 DCR 값의 합을 구하였다. 기둥 부재들의 DCR합, 보 부재들의 DCR합을 조합하여 외곽기둥 제거 시 30개, 내부기둥 제거 시 30개의 데이터 세트를 구성하였다. 같은 부재가 제거된 6가지 경우에 대하여 같은 그룹으로 분류하여, 각각의 그룹이 어떤 분포를 가지는지 확률 신경망을 통해 확인하였다.

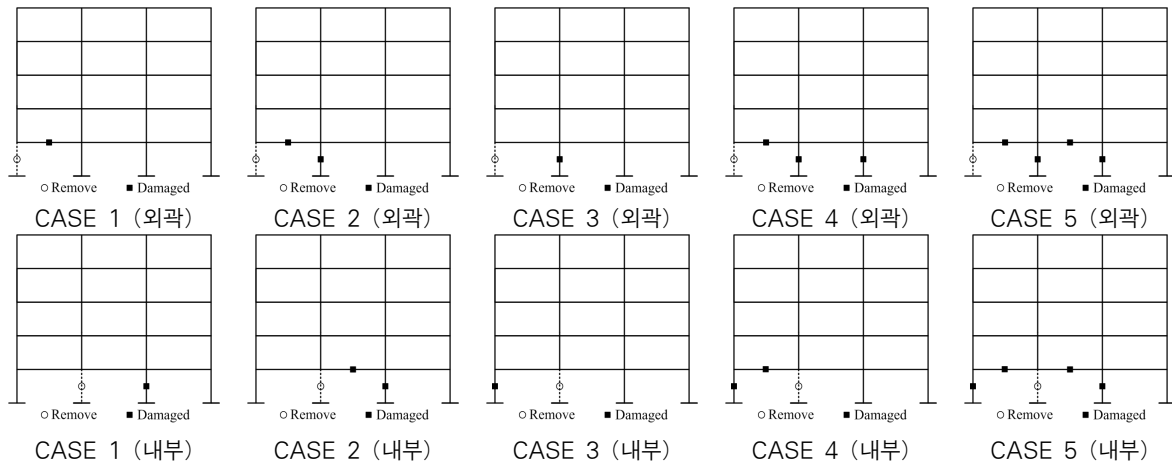
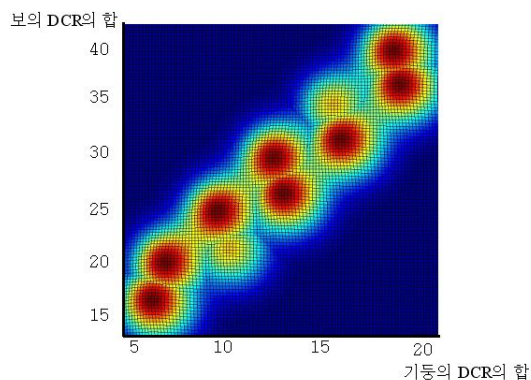


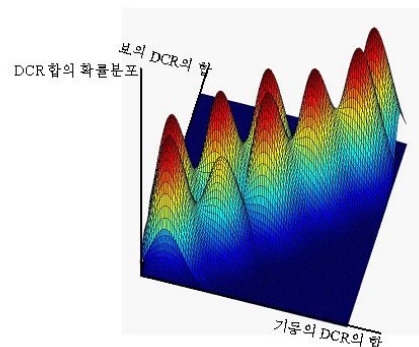
그림 @ 트레이닝 패턴

5층의 철골 모멘트 저항 골조 시스템의 경우 최하층의 기둥을 제거하였을 때 기둥과 보의 DCR 합이 가장 크게 나타났다. 상층부로 올라갈수록 보와 기둥의 DCR 합 모두 작아지는 경향을 보였다. 내부기둥 외곽기둥 제거 시 모두 상부의 기둥을 제거할수록 1 보다 큰 DCR을 갖는 부재의 수는 감소하였다. 한 개의 기둥이 제거 되었을 경우 DCR이 2를 초과하는 기둥은 한 개도 존재하지 않았다. 기둥 DCR합의 경우 내부 기둥이 제거되는 경우와 외부기둥이 제거되는 경우 큰 차이가 없었지만 보의 DCR합의 경우에는 내부 기둥이 제거 되는 경우에 외부기둥이 제거되는 경우보다 훨씬 큰 값을 나타내었다. 보 부재의 경우에는 기둥에 비해 상대적으로 큰 값의 DCR을 나타냈는데 가장 취약한 것으로 판단된 1층 내부 기둥이 제거될 경우 4개 절점, 외부 기둥이 제거될 경우 5개의 절점에서 DCR이 2를 초과하였다. 보 부재 DCR 총합은 상부의 기둥을 제거할수록 감소했지만, 최상층 외부 기둥을 제거하는 경우 인접한 보의 절점에서 DCR이 3을 초과하기도 하였다.

그림@ 에서 보이는 바와 같이 저층부에서 고층부로 기둥이 제거될수록 DCR합이 선형으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 가장 오른쪽에 1층 기둥이 제거된 그룹이 형성되었고, 기둥이 제거된 층수가 증가 할수록 왼쪽에 그룹이 형성되었다. 그래프의 위쪽에 선형으로 형성된 그룹들이 내부기둥이 제거된 경우, 아래쪽에 선형으로 형성된 그룹들이 외곽기둥이 제거된 경우들을 나타내고 있다. 내부의 2층 기둥과 외부의 4층 기둥이 제거된 경우는 다른 그룹들과 달리 데이터의 편차가 커 확률 분포의 밀도가 작게 나타났다.



(a) DCR 합 분포



(b) DCR 합 확률 분포

그림 @ 기둥 제거 위치에 따른 기둥, 보의 DCR 합 분포와 확률 분포

5층의 철골 모멘트 저항 골조 시스템의 경우 최하층의 기둥을 제거하였을 때 기둥과 보의 DCR 합이 가장 크게 나타났다. 상층부로 올라갈수록 보와 기둥의 DCR 합 모두 작아지는 경향을 보였다. 내부기둥 외곽기둥 제거 시 모두 상부의 기둥을 제거할수록 1 보다 큰 DCR을 갖는 부재의 수는 감소하였다. 한 개의 기둥이 제거 되었을 경우 DCR이 2를 초과하는 기둥은 한 개도 존재하지 않았다. 기둥 DCR합의 경우 내부 기둥이 제거되는 경우와 외부기둥이 제거되는 경우 큰 차이가 없었지만 보의 DCR합의 경우에는 내부 기둥이 제거 되는 경우에 외부기둥이 제거되는 경우보다 훨씬 큰 값을 나타내었다. 보 부재의 경우에는 기둥에 비해 상대적으로 큰 값의 DCR을 나타냈는데 가장 취약한 것으로 판단된 1층 내부 기둥이 제거될 경우 4개 절점, 외부 기둥이 제거될 경우 5개의 절점에서 DCR이 2를 초과하였다. 보 부재 DCR 총합은 상부의 기둥을 제거할수록 감소했지만, 최상층 외부 기둥을 제거하는 경우 인접한 보의 절점에서 DCR이 3을 초과하기도 하였다.

그림@ 에서 보이는 바와 같이 저층부에서 고층부로 기둥이 제거될수록 DCR합이 선형으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 가장 오른쪽에 1층 기둥이 제거된 그룹이 형성되었고, 기둥이 제거된 층수가 증가 할수록 왼쪽에 그룹이 형성되었다. 그래프의 위쪽에 선형으로 형성된 그룹들이 내부기둥이 제거된 경우, 아래쪽에 선형으로 형성된 그룹들이 외곽기둥이 제거된 경우들을 나타내고 있다. 내부의 2층 기둥과 외부의 4층 기둥이 제거된 경우는 다른 그룹들과 달리 데이터의 편차가 커 확률 분포의 밀도가 작게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 선형 정적해석방법을 통해 철골 모멘트 저항 골조 시스템에서 부재의 DCR을 측정하였고, 확률 신경망 모델을 이용하여 건물 기둥의 붕괴위치에 따른 DCR의 변화 양상을 파악하였다. 1층의 기둥을 제거한 경우, DCR의 합이 가장 크게 나타났고, 한계상태의 DCR값을 초과하는 부재의 수가 더 많은 점으로 보아 상층부 보다 1층 기둥이 더 연쇄붕괴 시 위험한 상태에 있다고 할 수 있고, 마찬가지로 외부 기둥보다 내부기둥이 연쇄붕괴 시 위험부재라고 판단할 수 있다. 비록 예제 모델이 3개의 경간을 갖는 5층 규모 건물이지만, 건물의 규모가 커졌을 경우에도 트레이닝 패턴의 구성에 따라 확률신경망의 예측 성능을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 기둥과 보의 DCR합을 알고 있을 때 확률신경망을 이용한다면 부재의 손상 위치를 파악할 수 있고, 건물의 health monitoring에도 적용 할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 초고층 복합빌딩 사업단 과제(09CHUD-A053106-01-000000)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- GSA (2003) Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects, The U.S General Services Administration, Washington, D.C.
- DoD (2005) Unified Facilities Criteria (UFC) -Design of Buildings to Resist Progressive Collapse, Department of Defense, Washington, D.C
- Specht, D.F (1990) Probabilistic Neural Networks, Neural Networks,
- 김진구 (2007) 선형해석방법을 이용한 철골 모멘트 골조의 붕괴저항성능, 전산구조공학회 논문집, 20(4),pp.435-442
- 김대수 (1992) 신경망 이론과 응용