

풍하중이 작용하는 고용량 송전철탑의 해석을 통한 응력 분포 고찰

A Study for Stress Distribution of the High-voltage Transmission Tower Under Wind Forces

장진원* · 김승준** · 박종섭*** · 강영종****

Chang, Jin Won · Kim, Seung Jun · Park, Jong Sub · Kang, Young Jong

Abstract

The structural methodology in designing a transmission tower have been performed to assume a simple truss behavior. But there're quite differences between a simple truss behavior and a real one. A suitable explanation for a structural stability can be expressed as a semi-rigid connection instead of the assumed hinged connection. This study proposes an alternative structural analysis modelling strategy for the transmission tower design. Proposed element models are truss element model, beam element model, and combined beam-truss element model. The static finite element analysis shows that there's a moment distribution between a mainpost member and the other bracing member.

key Words : Transmission tower, design and analysis methodology, dummy bar, bending stress

1. 서 론

1976년 345kV급 송전선이 개시된 이래 345kV로 전국 및 수도권에 전력을 공급해왔다. 1990년대 중반 이후 대규모의 전력을 수송할 수 있는 765kV급 송전철탑의 건설이 시행되고 있지만, 아직도 전력수송의 대부분을 차지하고 있는 345kV급 송전철탑에 대한 보강 및 해석 연구는 지속되어야 할 것으로 보인다. 현행 송전철탑의 설계는 한전에서 제정한 '가공송전용 철탑설계기준-1111'(한국전력공사, 2004)을 기준으로 하고 있으며 허용응력설계법에 기초를 두고 있다. 그동안 국외에서 진행된 송전철탑에 대한 연구 중에서 철탑 부재의 모멘트의 영향성이 축력에 비해 작지 않고, (Albermani 등, 2003) 가설선을 모사하여 트러스요소 및 보요소로 모델링한 해석모델을 유한요소해석을 통해 비교했을 때, 트러스요소 모델이 보요소 모델에 비해 장점을 보이지 않는다는 연구가 수행된 바 있다. (Wahba 등, 1998) 국내에서의 송전철탑에 대한 연구는 철탑 규모의 증가와 고용량화에 따른 설계하중 및 응력검토에 대한 연구(김우범 등, 1997) 등 765kV급 송전철탑에 대한 연구가 일부 수행되었으나 여전히 부족하고 다양한 연구가 진행되지 못한 실정이다.

본 연구는 현재 설계되고 있는 트러스요소를 이용한 모델링이 실제 구조물의 거동과 차이를 보이고 있으며, 추가적인 작업이 필요하다는 점에서 시작되었다. 트러스요소를 이용한 모델링은 임의의 절점에 대해 한 부재가 놓여있을 때, 한 평면의 수직방향으로 작용하는 하중에 대해 수직방향으로 저항성분이 없어서 무한도의 변위가 발생하는 구조적인 문제점이 발생하게 된다. 이는 실제 시공되는 철탑 구조물이 거셋-플레이트(gusset plate)인 점을 구조해석 모델에서 반영하고 있지 못하기 때문이다. 본 연구의 구성은 실제 설계되고 시공된 345kV급 송전철탑에 대해 현재 국내 설계기준에 의해 계산된 설계 풍하중을 재하시켰다. 제안된 모델은 세 가지로, 모든 부재를 트러스요소로 사용한 모델, 주주재와 수평재만 보요소로 사용한 모델, 모든 부재를 보요소로 사용한 모델이다. 이러한 모델에 대해 범용 구조해석 프로그램인 LUSAS(v13.8)를 이용하여 정적해석을 수행하여 각 모델에 대해 응력을 산출해서 모델별로 비교하고, 본 연구의 결론을 도출하였다.

* 비회원, 고려대학교 사회환경시스템공학과 석사과정 - 발표자

** 비회원, 고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

*** 정회원, 상명대학교 토목공학과 교수, 공학박사

**** 정회원, 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수, 공학박사 (Tel:02-3290-3317, Fax:02-921-5166 E-mail:yjkang@korea.ac.kr)

2. 해석 연구 개요

본 연구는 현행 송전철탐이 설계되고 가용되는 345kV 양양-동해 T/L 건설공사용 'B2'형 송전철탐을 기준으로 하였다.

2.1 대상철탐의 모델링 개요

본 해석연구에서는 기존에 설계되고 있는 3차원 트러스요소를 이용한 모델, 전체 부재를 보요소로 이용한 모델, 주주재와 수평재는 보요소로 모사하고 사재, 기타 복재는 트러스로 모사한 복합 보-트러스요소 모델 등 3가지 모델을 이용하였다. 모델에 대한 전체의 형상은 그림 1과 같다.

본 연구의 3차원 트러스요소 모델은 임의의 절점에 대해 한 평면에 부재가 놓여있게 되면 평면의 수직방향성분의 하중이 작용할 때 그 방향으로 저항성분이 없어서 무한의 변위가 발생한다. 이를 방지하기 위해 이른바 더미 부재(dummy bar)를 고려하여 이러한 오류를 방지할 수 있다. 이러한 더미 부재는 최대한 작은 강성을 가지고 최소한의 수를 사용하는 것을 원칙으로 하였다. 그림 2는 모델에 사용한 더미 부재를 나타낸다.

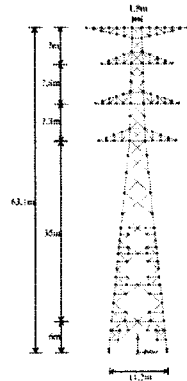


그림 1. 해석 모델의 형상

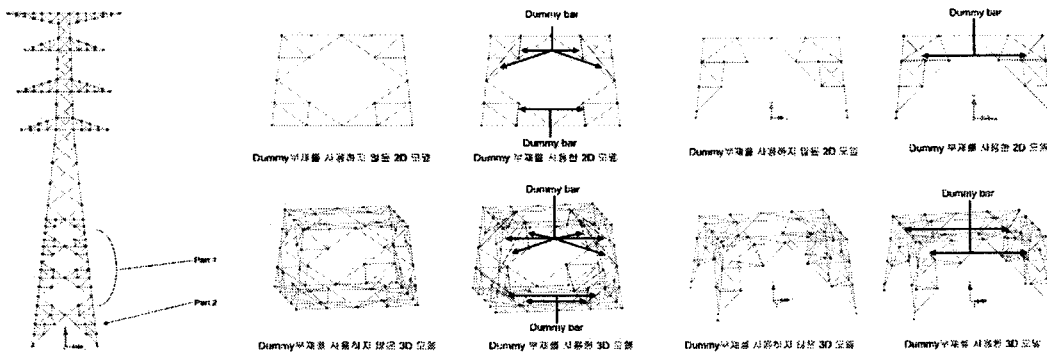


그림 2. 더미 부재(dummy bar)의 사용

2.2 하중산정 및 하중조합

하중은 수직방향(vertical direction), 수평종하중(longitudinal direction), 수평횡하중(transverse direction)의 세 방향에 대해서 나누어 재하였다. 각 방향별로 작용하는 하중은 수직하중이 철탐중량(W_t), 가설선 및 애자장치 등의 중량(W_c)으로 나누어지고, 수평횡하중은 철탐본체풍압력(H_t), 가설선풍압력(H_c), 수평각도하중(H_a), 불평형장력(P) 등이 있으며, 수평종하중은 철탐암풍압력(H_{ta}), 불평형장력(P)이 있다. 하중조합을 방향별로 나타내면 다음과 같다.

표 1. 하중조합

하중조합 종류	하중 종류
case 1	담체풍압(H_t)+횡하중(H_c+H_a)+종하중(P_{trans})
case 2	철탐자중(W_t) + 전선자중(W_c)
case 3	암풍압(H_{ta}) + 종하중(P_{longi})

3. 해석 결과 및 분석

상정된 하중을 바탕으로 상용구조해석 프로그램 LUSAS(v13.8)를 이용하여 유한요소해석을 수행하였다.

3.1 응력 계산

주주재에 작용하는 응력은 축력에 의한 응력(σ_{axial})과 모멘트에 의한 휨응력(σ_{bend})으로 나누어 생각할 수 있다. 트러스 요소모델에서는 축력에 의한 응력만 구할 수 있으나, 보요소 모델과 보-트러스요소 모델은 축력과 모멘트에 의한 두 가지 응력을 산정할 수 있다. 이 때, σ_{axial} 과 σ_{bend} 의 비율이 어떻게 구성되고 있는지가 중요한 문제라고 할 수 있다. σ_{bend} 의 산정은 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.(Heins, 1975)

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M_x \cdot I_{xy} - M_y \cdot I_x}{I_{xy}^2 - I_x \cdot I_y} x + \frac{M_y \cdot I_{xy} - M_x \cdot I_y}{I_{xy}^2 - I_x \cdot I_y} y$$

휨응력을 살펴볼 세 지점은 Γ 형강부재에서 응력이 크게 발생할 지점을 고려하여 도심을 중심으로 부재의 끝부분과 중간부분으로 설정하였다.(pt1 ~ pt3)

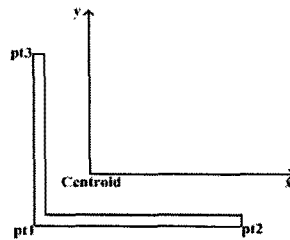


그림 3. Γ 형강부재의 응력계산지점

3.2 세 모델에 대한 축응력 비교

각 하중조합에 의한 세가지 모델의 구조해석 결과에서 축응력(σ_{axial})에 대한 결과를 주주재별로 산정했다. 주주재의 순서는 철탑 상부부분에서부터 각재에 이르는 주주재의 순으로 살펴보았다. 축응력의 분포를 살펴보면 보요소 모델의 결과값과 보-트러스요소 모델의 결과값이 일치하는 결과를 보이고 있다. 아래의 그래프는 주주재별로 축력과 축응력을 나타낸 그림이다.

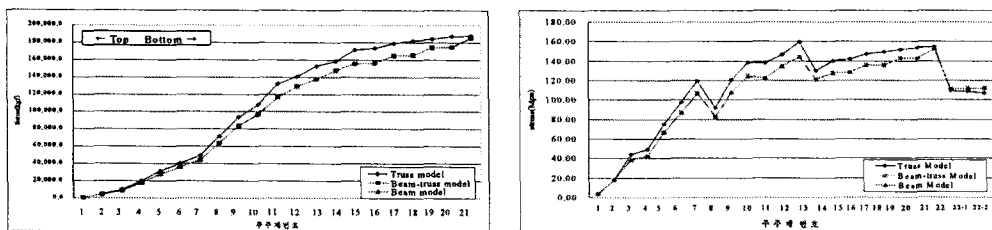


그림 4. 주주재별 축력과 축응력 분포

위의 그래프에서 보면 축력은 선형적으로 아래쪽 부재로 갈수록 증가하는 양상을 보이고 있으나 아래 축응력의 그래프는 증가하기는 하나 일정하게 증가하지 않고 있다. 이것은 주주재의 단면사이즈가 몇 절간씩 같게 유지되다가 달라지기 때문에 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

3.3 모멘트에 의한 휨응력비교

보-트러스요소 모델과 보요소 모델에 대해 각각 축응력과 휨응력의 비율을 살펴보았다. 철탑에 대해 가장 큰 영향을 미치는 풍압력이 작용하는 수평하중(Loadcase 1)에 대하여 주주재 및 수평재, 각재부의 사재에 대하여 모멘트와 휨응력을 산정하였다.

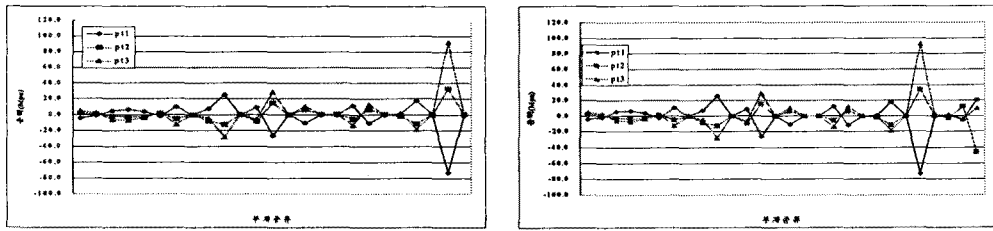


그림 5. 보-트러스요소 모델과 보요소 모델의 부재별 휨응력 분포

중간부분의 주주재에서 모멘트에 의한 휨응력이 나타나지 않지만 인접 수평재 및 사재에 대하여 모멘트에 의한 휨응력이 상대적으로 크게 나타나고 있어 모멘트가 분배되는 것을 확인할 수 있다. 하부 각재부분에서 휨응력이 큰 것은 보요소로 모델링한 특성상 각 부재는 강결(rigid connection)되었기 때문에 고정단 부근에서 가장 큰 모멘트가 발생한다는 사실로 파악할 수 있으며, 상부 주주재에서 모멘트가 크게 나타나고 있는 것은 현재 설계기준에 의해 상대적으로 비중이 큰 가접선의 풍하중이 암부분에 집중하중으로 작용하고 있으므로 암부분과 철탁본체가 접하는 주주재에서 큰 휨응력이 발생하게 된다고 볼 수 있다.

4. 결론

현재 설계기준에 의거해 실제 설계, 시공된 345kV급 송전철탁을 세 가지 모델에 대해 정적 유한요소해석을 수행하였다. 철탁구조물을 모델링할 때, 트러스요소를 사용하는 해석 방식에서 발생하는 무한 변위의 문제는 더미 부재(dummy bar)를 추가적으로 모델링하여 방지할 수 있다. 이러한 해석상의 추가적인 작업과 불편함으로 인해 트러스요소 모델보다 보요소 모델이 더 적절하다고 할 수 있다. 주주재에 발생하는 휨응력은 트러스요소 모델이 보-트러스요소 모델에 대하여 10.0%(압축력기준), 보요소 모델에 대해서 9.5%(인장력기준)의 범위로 크게 나타나고 있다. 이는 트러스요소 모델이 보수적인 결과를 보일 가능성이 있다고 판단되나 보요소 모델과의 차이는 두드러지지 않는다. 모멘트에 의한 휨응력(σ_{bend})을 부재별로 살펴본 결과, 휨응력이 크게 나타나는 부재가 다수 존재하고 있으며, 암(arm)에 연결되는 주주재와 하부 각재부의 주주재에서 휨응력의 비율이 높다. 철탁 구조물의 중간부분에 해당하는 주주재에서 휨응력이 거의 0에 가깝지만, 2차부재인 수평재 및 각재부 사재에서 휨응력이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있고, 이는 모멘트의 분배효과가 있다고 볼 수 있다. 마찬가지로 보요소 모델의 각재부의 주주재에서 휨응력이 보-트러스요소 모델에 비해 작게 나타나지만, 2차부재인 수평재 및 사재에서 모멘트에 의한 휨응력이 크게 나타나고 있는 것으로 보아 같은 이유로 설명할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부가 출연하고 전력기반조성사업센터에서 위탁 시행한 2005년 전력산업연구개발사업 "송전철탁의 선진화된 해석 및 설계기술 개발(R-2005-0-059)"으로 수행된 것으로 연구 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 김우범, 이경진(1997), 철탁구조의 설계하중 및 응력산정, 한국강구조학회지, Vol.9 No.2
2. 한국전력공사(2004), 가공송전용 철탁설계기준 설계기준-1111
3. F.G.A. Al-Bermani, S. Kitipornchai(2003), "Numerical Simulation of Structural Behaviour of Transmission Towers", Journal of Thin-walled Structures, Vol. 41 pp.167~177
4. C. P. Heins(1975), *Bending and Torsional Design in Structural Members*, Heath and Company
5. da Silva, da S. Vellasco, de Andrade, de Oliveira(2005), "Structural assessment of current steel design models for transmission and telecommunication towers", Journal of Constructional Steel Research
6. Y.M.F. Wahba, M.K.S. Madugula, G.R. Monforton(1998), "Evaluation of non-linear analysis of guyed antenna towers", Journal of Computers&Structures Vol. 68 pp.207~212