

# 변압기 냉각시스템 지지구조물 고유진동해석

## Natural frequency analysis of transformer cooling bank's support structure

송승관†·이성욱\*·이승규\*\*·박철준\*\*\*·권기영\*\*\*\*

Seung gwan Song, Seong Wook Lee, Seung-kyu Lee, Chul Jun Park and Ki Yeoung Kweon

### 1. 서 론

변압기의 경우 무부하손과 부하손에 의하여 철심 및 권선의 온도가 상승하게 되며, 상승된 온도를 냉각시키기 위한 방열기와 팬 등의 냉각장치가 요구된다. 특히 일부 초고압변압기의 경우 많은 용량의 냉각장치가 요구되지만 변압기 외부의 냉각장치 부착공간에 대한 제약조건 때문에 변압기와 별도로 냉각장치를 설치하게 된다.

이와 같이, 냉각장치를 지지하여 변압기를 냉각시키는 구조물을 별치식 냉각시스템 지지구조물(Separately Cooler Bank Support Structure)이라고 한다.

별치식 냉각시스템 지지구조물의 경우, 용도의 특성상 많은 양의 방열기와 팬이 부착되므로 냉각장치의 하중에 의한 구조강도 안전성과 팬의 가진력에 의한 공진회피 안전성을 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 제안된 지지구조물의 구조강도 안전성 검토를 위해 냉각장치의 하중을 이용하여 지지구조물의 최대굽힘응력 대비 구조강도 안전율을 산출하였으며 지지구조물의 공진회피를 판단하기 위해 팬의 가진주파수 및 지지구조물의 고유진동수를 분석하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 별치식 냉각시스템 지지구조물

별치식 냉각시스템은 냉각을 위한 방열기, 냉각팬, 냉각파이프 등과 냉각장치의 지지를 위한 지지구조물로 이루어진다. 그리고 지지구조물의 경우 구조물 구성을 위한 메인부재와 냉각장치의 체결을 위한 서브부재로 나눌 수 있다.

아래의 그림 1은 별치식 냉각시스템 지지구조물의 예를 보여주고 있다.

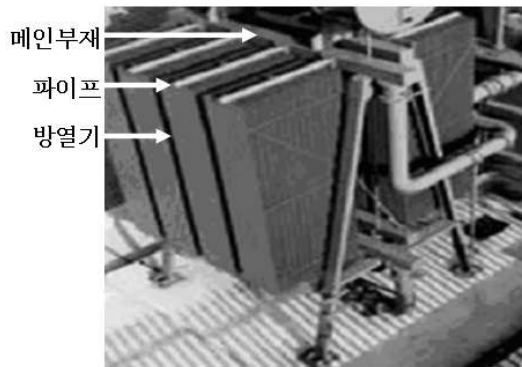


그림1. 별치식 냉각시스템 지지구조물의 예

#### 2.2 유한요소모델

별치식 냉각시스템 지지구조물은 상부와 하부로 나누어 모델링을 하였고, 구조물의 재질은 SS400 으로서 KS 규격 D 3503 일반구조용 압연강재의 물성치를 적용하였다. 구조물 모델의 요소는 Beam 188 을 사용하였다. 아래의 표1에 제안된 별치식 냉각시스템 지지구조물 모델의 구성을 나타내었다.

표1. 제안된 별치식 냉각시스템 지지구조물의 모델구성

		Section type	크기(mm)
메인부재		Hollow section	200 × 300 × 8 ( L × W × H )
서브부재		L section	80 × 80 × 10 ( L × W × H )
파이프		Ctube section	53 - 58 (내경 - 외경)
냉각장치	방열기	집중질량	18,000 kg
	팬		180 kg

그림 2는 제안된 모델의 유한요소 모델을 나타내고 있다. 방열기 무게중심부에 방열기의 질량과 질량관성모멘트를 가지는 집중질량 요소를 모델링하였으며 RBE 요소를 이용

† 송승관: (주) 효성 중공업 연구소  
E-mail : ssg8941@hyosung.com  
Tel : (055) 279-7494, Fax: (055) 279-7491

\* (주) 효성 중공업 연구소  
\*\* (주) 효성 중공업 연구소  
\*\*\* (주) 효성 중공업 연구소  
\*\*\*\* (주) 효성 중공업 연구소

하여 파이프와 연결하였다. 방열기와 팬은 각각 직육면체와 원기둥으로 가정하여 질량관성모멘트를 산출하였다. 지지구조물 하부의 4개 노드의 전체자유도를 구속하여 지지구조물이 바닥에 고정되어 있는 것을 모델링 하였다.

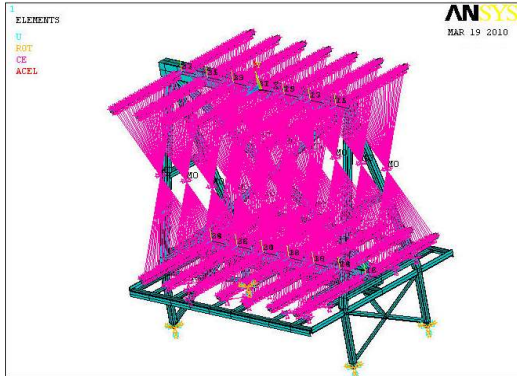


그림2. 별치식 냉각시스템 지지구조물의 유한요소모델

### 2.3 허용굽힘응력

본 연구에서는 한국산업안전공단(크레인 안전기준의 제2관 허용응력 제6조)에서 지정한 강재의 허용굽힘응력을 사용하였으며 아래에 나타내었다.

$$\sigma_{ta} = \frac{\sigma_e}{1.5} \quad \sigma_{bac} = \frac{\sigma_{ta}}{1.15} \quad \sigma_{bat} = \sigma_e$$

$\sigma_{ta}$  : 허용인장응력( $N/mm^2$ )

$\sigma_e$  : 항복응력( $N/mm^2$ )

$\sigma_{bac}$  : 압축응력발생에 의한 허용굽힘응력( $N/mm^2$ )

$\sigma_{bat}$  : 인장응력발생에 의한 허용굽힘응력( $N/mm^2$ )

### 2.4 팬 가진주파수

BPF (Blade Pass Frequency)는 팬의 블레이드가 회전하면서 한 고정점을 지날 때 발생하는 가진주파수 성분을 말한다. 본 연구에서 제안한 지지구조물에 부착되는 팬의 블레이드는 4개이며 회전속도 850 rpm 이므로 식(1)을 이용하여 팬의 가진주파수 56.5 Hz를 산출하였다. 식(1)의 n 과 t 는 팬의 회전속도(rpm)와 블레이드의 개수를 나타낸다.

$$BPF = \frac{n \cdot t}{60} \quad (식1)$$

### 2.5 해석결과

그림3은 지지구조물의 메인부재와 파이프단의 굽힘응력을 나타낸다.

본 해석에서 최대굽힘응력은 메인부재의 중간지점에서 134 MPa 이 산출되었다.

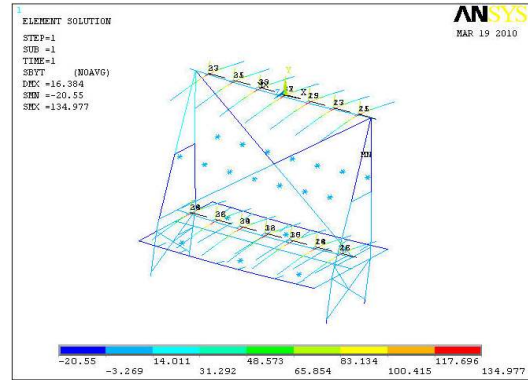


그림3. 별치식 냉각시스템 지지구조물의 굽힘응력

표2에 메인부재에 작용하는 최대굽힘응력과 허용굽힘응력에 대한 안전율을 나타내었다.

표2. 별치식 냉각시스템 지지구조물의 안전율 산출

인장응력에 의한 허용굽힘응력 (MPa)	해석결과 (MPa)	안전율
163	134	1.22

표3은 지지구조물의 팬 가진주파수 56.5Hz에 영향을 받는 공진주파수 대역을 나타낸다. 지지구조물의 공진으로 의심되는 주파수 56.8Hz와 57.0Hz가 발견됨을 알수 있다. 지지구조물의 Global영역에서 가상변위를 통한 변형량의 영향이 적은 것으로 나타났다.

표3. 별치식 냉각시스템 지지구조물의 고유진동수

차수	고유진동수 (Hz)
1	52.5
2	53.0
3	53.9
4	56.9
5	57.1
6	58.4
7	59.4
8	59.8

## 3. 결 론

별치식 냉각시스템 지지구조물에 방열기와 팬을 부착하여 부재에 작용하는 최대 굽힘응력을 확인하고 허용굽힘응력의 만족됨을 살펴보았으며, 지지구조물의 고유진동수를 산출하였다.

향후 팬 가진주파수에 대한 별치식 냉각시스템 지지구조물의 안전성을 평가하여 설계적용 방안을 검토할 예정이다.