

크린시설동 소음 및 진동 해석

전 용 한* · 박 노 국** · 이 덕 수***

*상지영서대학교 소방안전과 · **상지대학교 경영정보학과 · ***한라대학교 산업경영공학과

Research on Noise and Vibration Analysis for a clean facility

Yong-Han Jeon* · Ro-Gook Park** · Deok-Soo Lee***

*Dept. of Fire and Protection, Sangji-Youngseo college.

**Dept. of Management Information, Sangji Youngseo univ.

***Dept. of Industrial Engineering, Halla univ.

Abstract

This paper is a study to estimate the noise generated by fluid around each machine in the basement and basement facilities that accept major noise factor, pump fluid mechanical equipment installed to evaluate the impact on the real working environment. In particular, the review of the reliability of complementary information and reliability predict the natural frequency for generating a maximum strain when the vibration analysis, and intended to ensure that the design to avoid a natural frequency of the structure, on the basis of the this analysis result to the subject a real building.

Keywords : Acoustic analysis, vibration analysis, natural frequency, sound pressure

1. 서 론

최근 삶의 질이 높아지고 쾌적한 주거 및 산업 환경을 추구하려는 경향이 증가되면서 산업 시설에 발생하는 다양한 소음 및 진동으로 인한 인체 및 주위 환경에 악영향에 대한 점차 관심도가 많아지고 있다. 이러한 산업 시설에서의 소음은 유동소음 및 고체소음의 복합적인 형태로 환경에 영향을 미친다. 특히 근무 환경에서 지속적으로 소음에 노출이 되는 경우 신체와 정신에 미치는 영향이 심각하고 진동의 경우 장기적으로 구조물에 피로하중을 줌으로 건물의 수명을 단축시킨다. 따라서 산업시설 설계시 소음 및 진동을 예측하여 소음을 최대한 방지하는 저감 대책을 강구하고 진동에 안전한 설계가 필요한 실정이다.

이러한 관점에서 본 소음 및 진동 해석은 시설동의 주요 소음원인 유체기계 설비가 설치된 지상층의 송풍기실, 압축기실과 지하 펌프실에서 각 유체기계 주위로

발생되는 소음을 예측하여 실제 근무 환경에 미치는 영향을 알아보기 위함이고 진동 해석의 경우 최대 변형이 발생하는 고유진동수를 예측하고 구조물이 고유진동수를 피하도록 설계되었는지 확인하기 위함이다. 또한 이렇게 해석된 결과를 토대로 보완점 및 안정성에 대한 신뢰성을 검토해 보고자 한다. 산업화에 따라 건축물은 점점 고층과 대형화를 선호 하면서, 화재로 인한 인적·물적 손실은 매년 증가하고 있다.

2. 연구 내용

소음 해석은 크게 두 단계로 진행 되었다. 터보팬 형태로 구성된 송풍기, 펌프, 스크류팬으로 구성된 압축기 같은 유체기계의 경우 유동에 대한 소음이 크게 작용할 것으로 사료되어 먼저 송풍기, 펌프, 압축기에서 발생하는 소음을 상용

†Corresponding Author : Deok-soo Lee, Industrial Engineering, Halla univ.,
Halladaegil 28, WonJu, Kangwondo,

틀인 CFX Turbomachinery를 통해 예측 결과를 추출해 낸다.

그리고 공간해석을 위해 송풍기실, 압축기실의 유체기계 위치에 소음원을 mapping 시켜 공간에 대한 소음의 분포를 나타내었다.

두 번째로는 부지 경계선에서의 주택에 영향을 미치는 소음 해석을 위해 시설동에서 나오는 소음의 확산 정도를 예측하였다.

먼저 첫 번째 단계인 유체기계 해석의 경우, 모델링 및 해석 툴로 단품인 송풍기, 압축기, 펌프 모델링에는 Ansys BladeGen으로 모델링을 하였고 Turbogrid를 통한 유체기계 전용 Grid Generator을 이용하였다. 그리고 Solver로는 유체기계 수치해석에 특화되어 있는 ANSYS-CFX를 사용하여 결과를 도출하였다.

계산된 소음원 소스를 사업장 내부 소음해석을 위해 송풍기실, 공기 압축기실, 지하 펌프실의 유체기계에 위치에 Source 경계조건으로 소음원 Mapping을 통한 공간에서의 음파의 분포에 따른 경향을 해석하였다. 공간의 volume mesh 작업을 위해서 ANSYS-MESH 툴을 이용하여 격자 형성을 진행하였다.

두 번째 진행 단계인 부지경계에서의 소음해석에 대해서도 부지 경계에 대한 전체에 공간에 대한 Mesh 작업 또한 ANSYS-Mesh툴을 이용하였고 시설동에서 발생하는 소음이 미치는 영향을 음압을 해석하는 방법으로 ANSYS-CFX를 통한 해석을 진행하였다.

진동해석의 경우 Ansys Mechanical의 Modal Analysis를 이용하여 6개의 Mode 형상에 대해 최대 변형이 일어나는 고유진동수를 예측하였다.

보다 정확한 예측을 위해서 실측에 가깝게 모델링을 실시하였고 벽면의 조건과 흡음재 등의 물성치는 기존의 다양한 연구에서 실험으로 증명된 경험치 값을 해석 경계 조건으로 사용하였다.

해석대상인 송풍기와 압축기가 유체기계이므로 유체기계에 특화된 툴인 CFX의 Turbomachinery를 이용하여 송풍기실, 압축기실, 펌프실의 기본 소음을 예측한다.

계산된 소음 소스를 송풍기실, 압축기실, 펌프실의 유체기계에 있는 위치에 소음원 mapping을 통해서 두 번째 공간에 대한 소음 해석을 진행한다.

각층별 Ansys Mechanical의 Modal해석을 통해 각 Mode별 변형이 가장 심하게 일어나는 고유진동수를 예측하였다.

시설동으로부터 발생하는 소음이 부지경계선에서 주택에 얼마나 영향을 미치는지에 대해 음압해석을 통한 소음도를 예측하였다.

해석 결과가 국내 산업 시설에 대한 소음 규제를 만

족하는지에 대해 비교 확인한다.

2.1 판정기준

해석 결과에 대한 평가 기준은 산업안전보건법에 따른 옥내 작업장 작업환경 소음 배출 허용 기준에서 제안하는 다음 표를 만족하는지 확인한다.

산업안전보건법은 산업안전, 보건에 관한 기준을 확립하고 그 책임의 소재를 명확하게 하여 산업재해를 예방하고 쾌적한 작업환경을 조성함으로써 근로자의 안전과 보건을 유지, 증진함을 목적으로 하는 법규이다. 소음의 허용기준(충격소음 제외)은 아래의 <Table 1>과 같다.

<Table 2> People in the building life safety standards, Occupational Safety and Health Act enforcement regulations Article 6, Noise and Vibration Control Act enforcement regulations Article 8

Exposure time 1 days (Hr)	8	4	2	1	1/2	1/4
Noise intensity dB(A)	90	95	100	105	110	115

* notice : Be exposed to noise levels exceeding 115dB(A) is not

내부 소음의 허용기준 90dB는 법적 허용기준일뿐 최종 목표는 아니다. 따라서 설계된 시설의 경우 근무자의 쾌적한 소음환경을 조성하기 위해 송풍기실, 압축기실, 펌프실 인접 위치에서 일반적인 유체기계 배출 소음 정도인 85dB 이하로 예측되면 평가에 만족하는 것으로 하였다.

그리고 부지 경계선에서의 소음은 쾌적한 주거환경에 대한 기준 소음인 45dB 이하로 예측되면 평가에 만족하는 것으로 하였다.

또한 진동해석 관련 판정 기준은 최대 변형이 발생하는 구조물의 Mode 형상에서의 고유진동수에 따른 변형이 어느 정도인지, 그리고 송풍기실, 압축기실, 펌프실의 고유진동수가 공진을 일으키지 않게 설계되었는가에 대해서 판단하였다.

3. 모드 형상 및 Modal 해석

3.1 모드형상(Mode Shape)

자연계에서 모델이 변형 확률이 높은 쪽에서부터 1차, 2차, 3차 순으로 나오게 된다. 종이를 예로 들면 변형하기 쉬운 형상은 구부리는 것이다. 그 다음이 비틀고 잡아당기는 방향으로 변형할 것이다. 그런데 잡아당기는 형태의 변형은 구부리는 변형에 비해 어려울 것이다.

모드(Mode)란 질량에 대한 강성의 비로 생각할 수 있다. 종이를 구성하는 강성은 여러 가지다. 그 중 강성이 가장 약한 것이 Bending이다. 종이나 길쭉한 모델은 Bending에 약하고 인장에 강할 것이다. 그래서 강성이 약한 Bending mode(1차 모드)부터 나오고 인장모드(6차 모드)는 나중에 나온다. 이와 같이 1차 모드로 될 확률이 크고 또한 약하기 때문에 공진이 일어나기 쉽고 위험도 높다. 일반적으로 6차 모드까지의 해석 결과를 분석한다.

특정한 고유진동수에서 구조물은 진동하는 특별한 모양이 각각 존재한다. 이러한 고유한 변형 모습을 모드형상(mode shape)라고 한다.

일반적으로 평판과 마찬가지로 모든 구조물은, 자기만의 고유한 진동 패턴을 가지고 있다. 즉 고유진동수와 모드형상을 가지고 있다. 그런데 이와 같은 고유특성을 좌우하는 것이 바로 그 시스템의 무게와 강성이다.

3.2 Modal 해석

구조물의 고유진동수를 구하는 것을 말한다. 즉, Mass나 Stiffness 등을 조절하여 각각의 구조물의 진동 특성을 결정하는 것이다. 또한 각 고유진동수에서의 동적 거동을 파악하여야 한다.

모달 해석에서 고유진동수 ω_i 와 모드 형상 ϕ_i 는 다음 식으로부터 얻어진다.

$$([K] - \omega_i^2[M])\phi_i = 0$$

모드 해석 시 [K]와 [M]은 상수이다.

선형 탄성재료 거동으로 가정하며 소변형 이론, 비선형은 포함되지 않는다.

식에서 확인 되듯이 Dampning 관련 항이 없고 외력은 작용하지 않는 것으로 가정한다. 또한 모드 형상값 $\{\phi_i\}$ 은 절대적인 값이 아니라 상대적인 값이다.

해석 진행 시 Young's Modulus, Poisson's Ratio, Density가 필요하다.

4. 결과 및 고찰

4.1 지하 펌프실 내부 소음, 진동 해석

4.1.1 경계조건 및 모델 형상

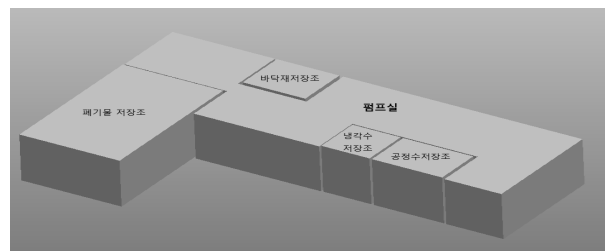
지하 펌프실 주요 소음원인 펌프의 종류와 흡음재 Spec.은 다음과 같다.

순환펌프(3 unit), 양수펌프(2 unit), 이송펌프(2 unit), 분무펌프, 부스타펌프, 냉각수펌프, 소방용수펌프 각 1 unit

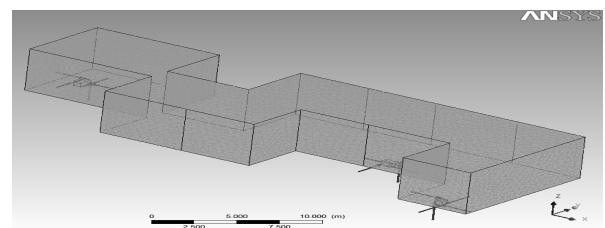
폴리에스터 흡음재 50mm (흡음율: 저음-0.85, 중음-0.95, 고음-0.90)

소음 해석을 위한 2D CAD 모델을 3D화하는 과정의 Tool은 Pro-Engineer Wildfire 4.0을 이용하여 모델링 하였다. [Figure 1], [Figure 3], [Figure 5]에 건물 내부 위치 설명을 적어 놓기는 했으나 실제 해석에서 사용되는 부분은 [Figure 1]와 같이 소음이 퍼져나가는 공간이다.

[Figure 2]에서 모델링된 Geometry를 ANSYS - MESH를 이용하여 격자 생성을 하였고 계산의 효율성을 위해 Tetra mesh를 사용하였다. 모델에 따라 약간의 차이는 있으나 평균 약 2만개의 노드와 엘리먼트로 구성된 정렬격자를 사용하였다. 또한 해석결과에 영향을 주지 않는 범위 내에서 최대한 격자모델을 단순화 하였다.



[Figure 1] 3D Modeling of Internal basement pump room facilities



[Figure 2] The noise source to spread the work space mesh Grid noise sources and boundary conditions

4.1.2 소음 해석결과 및 고찰

해석은 유체 기계 해석에 평판이 좋은 범용 해석 툴인 Ansys CFX를 사용하여 계산을 진행하였다. 계산된 결과는 Acoustic Pressure로 추출하였고 이 계산된 실효 음압을 통해 음압 레벨을 구할 수 있다.

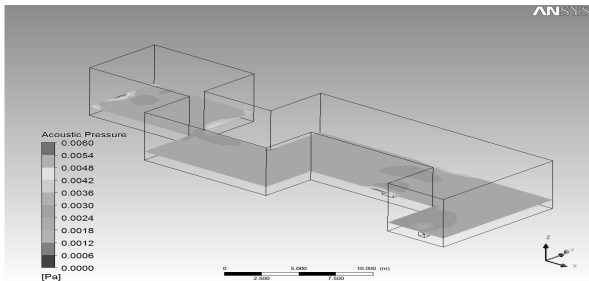
$$L_p = 10 \text{LOG} \left(\frac{P^2}{P_{REF}^2} \right)$$

또한 [Figure 2]를 참고하면 실효 음압에 의해 소리의 크기가 결정이 되고 또한 실제 우리 생활에서의 대략적인 소리의 크기(dB)를 예측하는 것이 가능하다.

소음 해석의 결과는 실제 내부 시설에서 작업자가 생활하는 공간을 기준으로 음압레벨을 잘 확인할 수 있는 위치에서 실효 음압을 추출한 것이다.

[Figure 3]은 지하 펌프실의 펌프들의 높이와 비슷한 실제 1m 높이에서의 sound pressure 분포를 예측한 그림이다.

Average Acoustic Pressure : 0.004582 [Pa]
 Sound Pressure Level : 67.2 [dB]

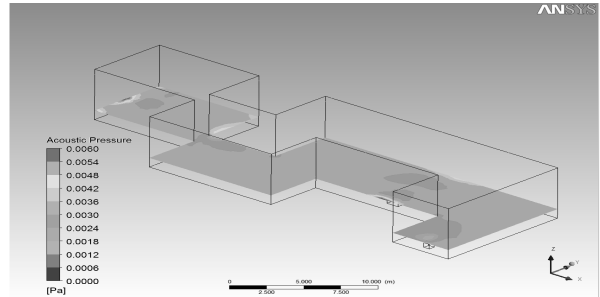


[Figure 3] Pressure distribution of the height of the floor from 1 meter

초기 평가 기준에서 제안한 옥내 안전 기준인 90dB 보다 상당히 작고, 본 연구에서 제안한 85 dB 보다도 작은 음압 레벨을 가져 작업자가 1일 8시간 근무 하는데 소음에 의한 부정적인 영향은 없을 것으로 사료된다.

[Figure 4]는 지하 펌프실 활동 공간의 실제 2m 높이에서의 sound pressure 분포를 예측한 그림이다.

Average Acoustic Pressure : 0.003281 [Pa]
 Sound Pressure Level : 64.35 [dB]



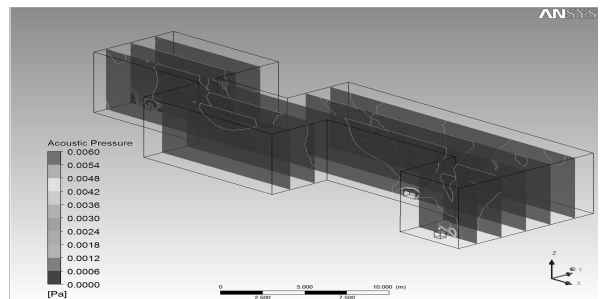
[Figure 4] Pressure distribution of the height of the floor from 2 meter

높이 2m 분포에서 또한 초기 평가 기준에서 제안한 옥내 안전 기준인 1일 8시간근무에 90dB 보다 상당히 작고, 본 연구에서 제안한 85 dB 보다도 작은 음압 레벨이어서 작업자가 1일 8시간 근무하는데는 소음에 의한 부정적인 영향이 없을 것으로 사료된다.

[Figure 5]의 경우 지하 펌프실의 펌프 기준으로 펌프위치, 1.5m, 3m 떨어진 거리에서의 수직적인 Acoustic Pressure 분포를 나타낸 그림이고 이 또한 SPL이 산업 안전 기준에 만족하는 것으로 보인다.

<Fig. 5>에서 보듯이 현재 우리가 소음 레벨 테스트를 실시할 때 가장 많이 사용하는 1.5m 거리의 격자들에서 추출된 Acoustic Pressure는 다음과 같다.

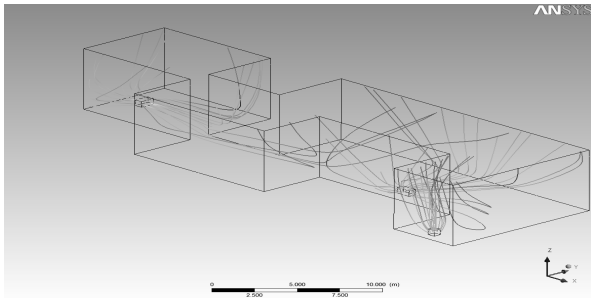
Average Acoustic Pressure : 0.003855 [Pa]
 Sound Pressure Level : 65.7 [dB]



[Figure 5] The vertical distribution of sound pressure in a prime location

결과적으로 지하층의 경우 펌프에 의한 소음의 영향은 실제 일반적인 시설동의 소음 수준보다 낮은 수준의 소음으로 나타났다.

[Figure 6]은 소음원인 펌프로부터 Acoustic Pressure가 전파되어 가는 스트림 라인을 표현하였다.



[Figure 6] The traveling direction of the noise from the basement pump noise source

4.1.3 진동 해석결과 및 고찰

진동해석은 Ansys 13.0, Mechanical의 Modal Analysis를 이용해서 Mode shape을 6차 모드까지 진행하였다. 구조물의 크기에 비해 얇은 벽면을 표현하기가 효율적인 Tetra Mesh로 작업하였고 Node 수는 약 6만개, Element 기준으로 약 4만개 정도로 CAE 모델을 생성하였다.

구조물의 벽면 및 바닥의 Material은 콘크리트를 사용하였고 관련 Property는 <Table 2>에서 제시한 것과 같이 벽면 경계 조건으로 사용하였다.

<Table 3>은 지하층 구조공간의 1차부터 6차까지 모드별 구조물에 최대 변형이 생기는 고유 진동수를 구한 표이다.

<Table 2> Concrete Material Property

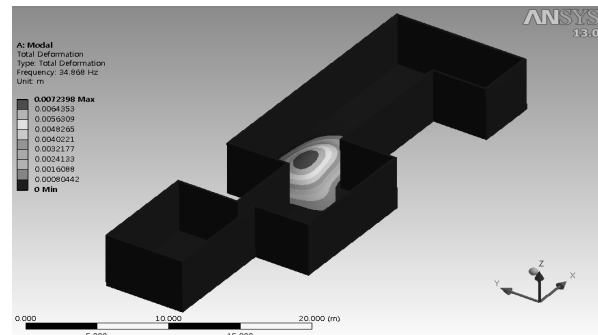
Property	Value
Density	2300 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.4 e-005 C ⁻¹
Specific Heat	780 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	0.72 W m ⁻¹ C ⁻¹

<Table 3> Basement Mode-specific frequency

Mode Shape	Frequency
Mode 1	34.868
Mode 2	38.069
Mode 3	40.196
Mode 4	46.503
Mode 5	50.768
Mode 6	54.282

[Figure 7]은 Mode 1에서의 고유진동수에서 구조물 최대변형을 나타낸 그림이다. Mode 6에서는 최대 변형 약 0.005m의 변형이 생긴다. 이런 결과를 예측해 볼 때 거리에 따른 감쇠영향과 일반적인 펌프의 진동수를 생각하면 충분히 안전한 구조 조건으로 예상이 된다.

또한 진동 방지 패드, 스프링 및 소음 흡음재를 사용하면 더욱 쾌적한 환경이 조성될 것으로 사료된다.



[Figure 7] The strain in the natural frequency of Underground pump room Model

4.2 지상 압축기실 및 송풍기실 내부 소음, 진동 해석

4.2.1 경계조건 및 모델 형상

지상의 경우 압축기실과 송풍기실이 같이 붙어 있는 것으로 가정했다. 따라서 이번 해석에서는 각각의 룸에 대한 소음분포를 각 유체기계의 위치에 소음 소스를 mapping 하고 전체적인 내부 공간에서의 소음 분포를 알아보았다. 따라서 각 룸의 유체기계인 송풍기와 압축기의 소음 소스를 먼저 계산해야 한다.

또한 진동 소음의 경우 송풍기실과 압축기실이 같이 붙어 있어 동시에 해석을 진행하였다.

주요 소음원인 송풍기, 압축기의 사양과 흡음재는 다음과 같다.

공기 압축기실 압축기, 5.5 Nm³/min, 55kW, 2 Unit
 유인 송풍기실 송풍기, 600 CMM×700mmAq, 125kW, 1 Unit

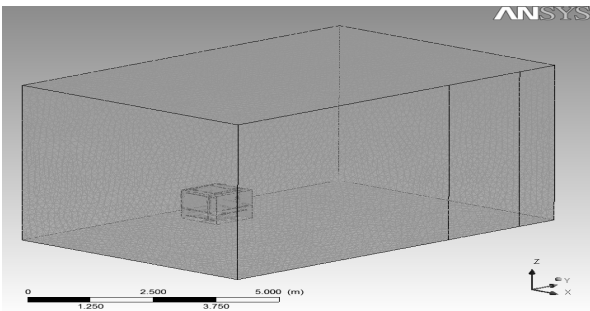
폴리에스터 흡음재 50mm (흡음율: 저음-0.85, 중음-0.95, 고음-0.90)

지상층의 압축기실과 송풍기실에 대한 소음해석을 위한 모델링 도면 또한 Pro-Engineer Wildfire 4.0을 이용하여 진행하였고 그 외 해석 시 추가로 필요한 부분은 Ansys Design Modeler를 겸해서 사용했다. 격

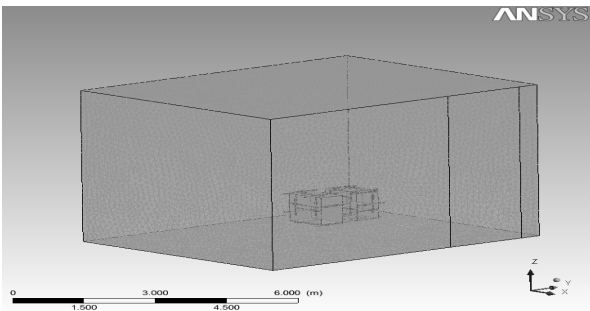
자 생성도 역시 Ansys-Mesh를 이용하였다.

[Figure 8]과 [Figure 9]는 소음 해석을 위한 압축 기실과 송풍기실의 경계조건 및 구조물의 해석 범위를 나타내었다. 계산의 효율성을 위해 Tetra mesh를 사용하였다. 평균 약 4.5만개의 노드 및 3만개의 엘리먼트로 구성된 정렬격자를 사용하였다.

또한 해석 결과에 영향을 주지 않는 범위 내에서 시설의 단순 립은 제외시키고 소음원인 유체기계에 대한 모델링은 계산의 효율성을 위하여 모델을 단순화하였다. 또한 산업환경에 영향을 끼칠 수 있는 공간만 단순화하여 진행하였다.



[Figure 8] Grid mesh compartment blower work one noise source and boundary conditions



[Figure 9] Grid mesh compressor room and the noise source boundary conditions jobs

4.2.2 소음 해석결과 및 고찰

지상층 해석 또한 유체 기계 해석에 특화된 범용 해석 software인 Ansys CFX를 사용하여 해석을 진행하였다.

그리고 높이 1m, 2m 지점, 압축기 및 송풍기 위치 및 유체기계로부터 1.5m, 3m 떨어진 지점에 대한 Acoustic Pressure로 추출하여 실효 음압과 기준 음압의 차이를 이용하여 음압 레벨을 계산했다.

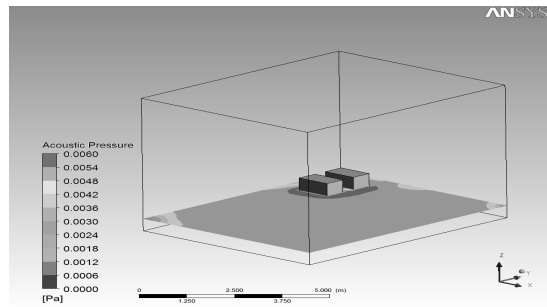
[Figure 10]은 지상 압축기실의 압축기들의 높이와

비슷한 실제 1m 높이에서의 sound pressure 분포를 예측한 그림이다.

Average Acoustic Pressure : 0.003436 [Pa]

Sound Pressure Level : 64.71 [dB]

초기 평가 기준에서 제안한 옥내 안전 기준인 90dB 보다 상당히 작고, 본 연구에서 제안한 85dB 보다도 작은 음압 레벨을 가지고 있어서 작업자가 1일 8시간 근무하는데는 소음에 의한 부정적인 영향이 없을 것으로 사료된다.



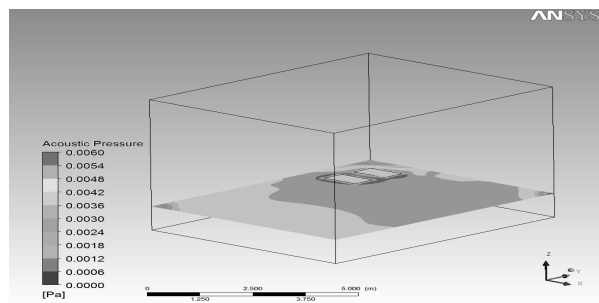
[Figure 10] Distribution of sound pressure at 1 meter height of the compressor room floor

[Figure 11]은 지상 압축기실의 활동 공간의 실제 2m 높이에서의 Sound Pressure 분포를 예측한 그림이다.

Average Acoustic Pressure : 0.003767 [Pa]

Sound Pressure Level : 65.52 [dB]

높이 2m 분포에서 또한 초기 평가 기준에서 제안한 옥내 안전 기준인 1일 8시간근무에 90dB보다 상당히 작고, 본 연구에서 제안한 85dB보다도 작은 음압 레벨을 가져 작업자가 1일 8시간 근무 하는데 소음에 의한 부정적인 영향은 없을 것으로 사료된다.



[Figure 11] Distribution of sound pressure at 2 meter height of the compressor room floor

[Figure 12]의 경우 압축기실의 압축기 기준으로 펌프위치, 1.5m, 3m 떨어진 거리에서의 수직적인 Acoustic Pressure 분포를 나타낸 그림이고 이 또한

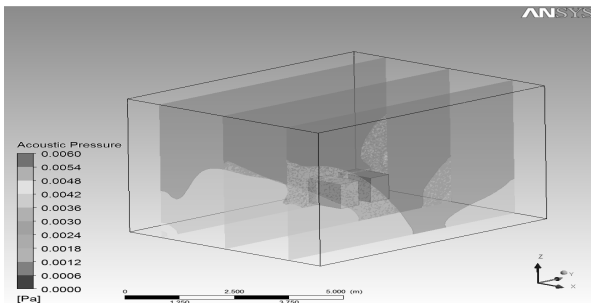
SPL이 산업 안전 기준에 만족하는 것으로 보인다.

[Figure 12]에서 보듯이 현재 우리가 소음 레벨 테스트를 실시할 때 가장 많이 사용하는 1.5m 거리의 격자들에서 추출된 Acoustic Pressure는 다음과 같다.

Average Acoustic Pressure : 0.004083 [Pa]

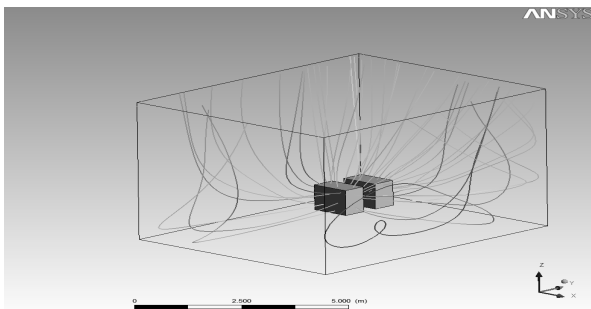
Sound Pressure Level : 66.2 [dB]

결과적으로 압축기실의 경우 압축기에 의한 소음의 영향은 실제 일반적인 옥내 사무실 정도 수준보다 조금 높은 수준의 소음으로 나타났다.



[Figure 12] The vertical distribution of sound pressure compressor room in a prime location

[Figure 13]은 소음원인 압축기로부터 Acoustic Pressure가 전파되어 가는 스트림 라인을 표현한 그림이다.



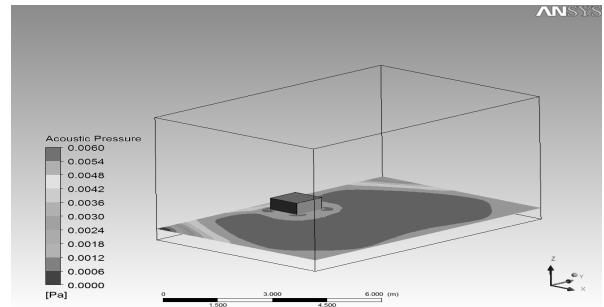
[Figure 13] Noise-way progression of the compressor room

또한 [Figure 14]는 지상 송풍기실의 송풍기의 높이와 비슷한 실제 1m 높이에서의 sound pressure 분포를 예측한 그림이다.

Average Acoustic Pressure : 0.003281 [Pa]

Sound Pressure Level : 64.3 [dB]

초기 평가 기준에서 제안한 옥내 안전 기준인 90dB보다 상당히 작고, 본 연구에서 제안한 85dB보다도 작은 음압 레벨을 가져 작업자가 1일 8시간 근무하는데 소음에 의한 부정적인 영향은 없을 것으로 사료된다.



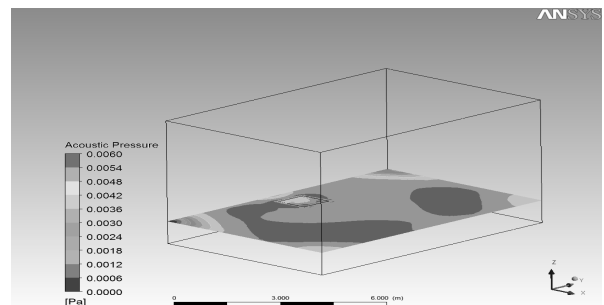
[Figure 14] Distribution of sound pressure at 1 meter height of the Blower chamber floor

[Figure 15]는 지상 송풍기실의 활동 공간의 실제 2m 높이에서의 sound pressure 분포를 예측한 그림이다.

Average Acoustic Pressure : 0.004325 [Pa]

Sound Pressure Level : 66.71 [dB]

높이 2m 분포에서 또한 초기 평가 기준에서 제안한 옥내 안전 기준인 1일 8시간근무에 90dB보다 상당히 작고, 본 연구에서 제안한 85dB보다도 작은 음압 레벨을 가져 작업자가 1일 8시간 근무 하는데 소음에 의한 부정적인 영향은 없을 것으로 사료된다.



[Figure 15] Distribution of sound pressure at 2 meter height of the Blower chamber floor

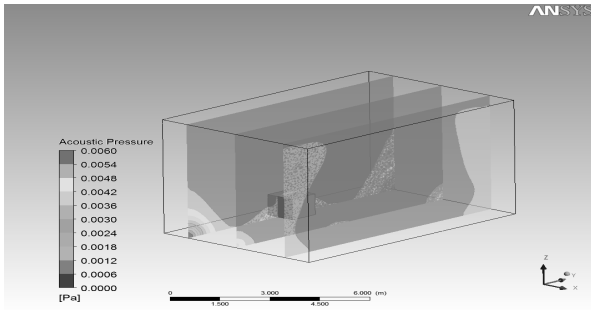
[Figure 16]의 경우 송풍기실의 송풍기 기준으로 펌프위치, 1.5m, 3m 떨어진 거리에서의 수직적인 Acoustic Pressure 분포를 나타낸 그림이고 이 또한 SPL이 산업 안전 기준에 만족하는 것으로 보인다.

[Figure 16]에서 보듯이 현재 우리가 소음 레벨 테스트를 실시 할 때 가장 많이 사용하는 1.5m 거리의 격자들에서 추출된 Acoustic Pressure는 다음과 같다.

Average Acoustic Pressure : 0.003724 [Pa]

Sound Pressure Level : 65.4 [dB]

결과적으로 지상층의 경우 송풍기에 의한 소음의 영향은 실제 일반적인 옥내 사무실 정도 수준보다 조금 높고 시설동에 비해 상당히 낮은 수준의 소음으로 나타났다.



[Figure 16] The vertical distribution of pressure in the the blower chamber prime location

4.2.3 진동 해석결과 및 고찰

지상층의 진동해석 또한 Ansys Mechanical의 Modal Analysis를 이용해서 모든 진동수 범위 내에서 Mode shape을 6차 모드까지 진행하였다. 산업단지 구조물의 크기에 비해 얇은 벽면의 표현하기 위해서 보다 효율적인 Tetra Mesh로 작업하였고 Node 수는 약 9만개, Element 기준으로 약 6만개를 이용하여 CAE 해석 모델을 생성하였다.

구조물의 벽면 및 바닥의 Material은 콘크리트를 사용하였고 관련 Property는 <Table 4>에서 제시한 것과 같이 벽면 경계 조건으로 사용하였다.

<Table 4> Concrete Material Property

Property	Value
Density	2300 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.4 e-005 C ⁻¹
Specific Heat	780 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	0.72 W m ⁻¹ C ⁻¹

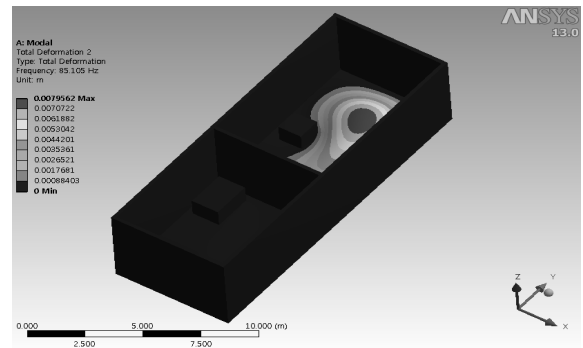
<Table 5>는 지상층 구조공간의 1차부터 6차까지 모드별 구조물에 최대 변형이 생기는 고유 진동수를 구한 표이다.

<Table 5> Ground floor Mode-specific frequency

Mode Shape	Frequency
Mode 1	53.298
Mode 2	85.105
Mode 3	88.497
Mode 4	98.082
Mode 5	114.6
Mode 6	134.91

[Figure 5], [Figure 3], [Figure 20]에서 보듯이 각각 모드별 고유진동수에서 구조물에 최대변형이 일어나는 지점이 예측된다. Mode 6에서 최대 변형이 약 0.010m의 변형이 생긴다. 결과적으로 거리에 따른 감쇠영향과 일반적인 송풍기실 및 압축기실의 진동수를 생각하면 충분히 안전한 구조 조건으로 예상된다.

또한 진동 방지 패드, 스프링 및 소음 흡음재의 사용하여 더욱 쾌적한 환경이 조성될 것으로 사료된다.



[Figure 17] Mode 3 is also in the ground floor variation of the natural frequency

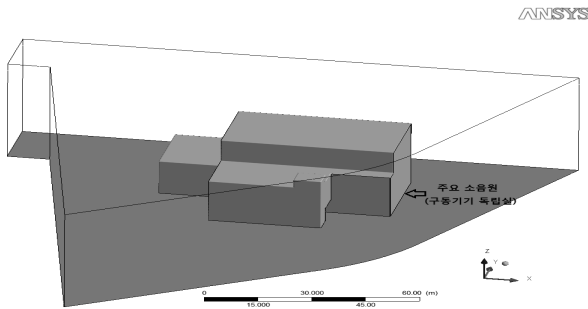
4.3 주택지 부지 경계선 소음 해석

4.3.1 경계조건 및 모델 형상

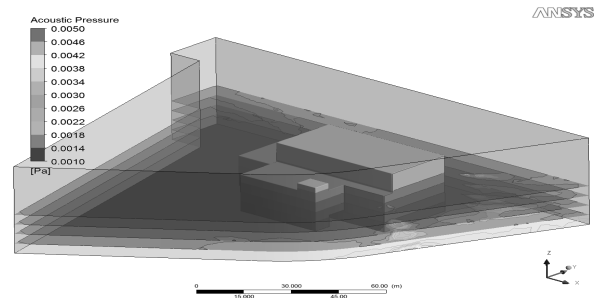
부지경계 소음해석의 경우 시설동을 기준으로 넓게 퍼지는 음압 해석이 요구되어 정확한 해석결과를 위해 시설물의 크기에 5배 이상을 해석 공간을 설정하였다.

소음해석을 위한 모델링 도면 또한 Pro-Engineer Wildfire 4.0을 이용하여 진행하였고 그 외 해석 시 추가로 필요한 부분은 Ansys Design Modeler를 겸해서 사용했다. 격자 생성도 Ansys-Mesh를 이용하였다.

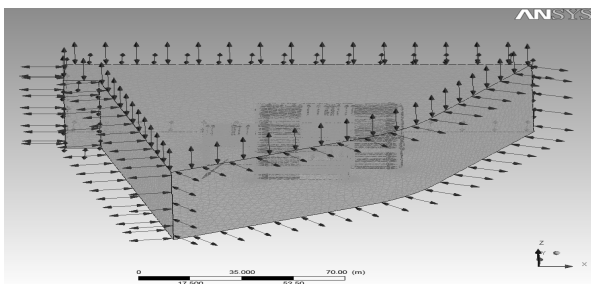
[Figure 18], [Figure 19]는 소음 해석을 위한 경계조건 및 구조물의 해석 범위를 나타낸다. 계산의 효율성을 위해 Tetra mesh를 사용하였다. 평균 약 12만개의 노드 및 8만개의 엘리먼트로 구성된 정렬격자를 사용하였다. 또한 해석 결과에 영향을 주지 않는 범위 내에서 시설동의 모형은 단순화하였다.



[Figure 18] Land border facilities and major noise source location as a model for building analysis



[Figure 21] The vertical distribution of pressure in the main land border



[Figure 19] The noise source to spread the work space mesh Grid noise sources and boundary conditions

부지 경계선 소음 해석 또한 범용 해석 software인 Ansys CFX를 사용하여 해석을 진행하였다.

[Figure 20]은 소음도가 가장 크게 나타나는 10m 높이에서의 시설동 주위의 소음 분포도를 나타낸다.

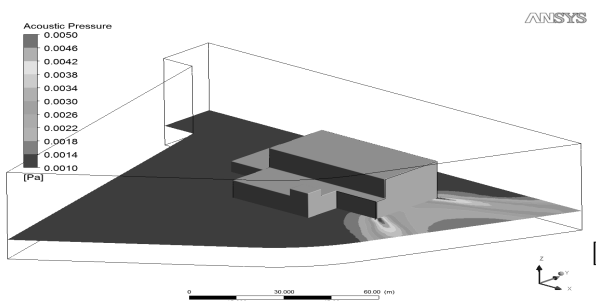


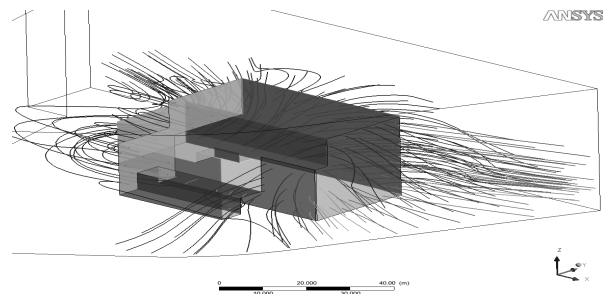
Figure 20] The sound pressure distribution in the bottom 10 meter height

[Figure 21]은 부지경계선 주위로 음압 분포를 나타낸다. 부지 경계선에서의 평균 음압 및 소음은 다음과 같다.

Average Acoustic Pressure : 0.002547 [Pa]
 Sound Pressure Level : 42.7 [dB]

[Figure 22]은 주요 소음원인 구동기기의 독립실로부터 부지경계선으로 진행되는 소음의 진행 방향을 나타낸다.

해석 분석 결과 부지 경계선에서 발생하는 소음은 쾌적한 주거환경에 대한 기준 소음인 45dB 이하로 예측 되어 이는 기본적인 주거 공간의 야간 소음 기준에도 못미치는 소음이다. 따라서 부지 경계 밖의 주민이 생활하는데 문제가 없을 것으로 사료된다.



[Figure 22] The direction of movement of the noise (Facilities building → Land Boundary)

5. 결론

최근 쾌적한 산업 환경을 추구하는 경향이 증가되면서 산업 시설에 발생하는 다양한 소음 및 진동으로 인한 인체 및 주위 환경에 악영향에 대한 점차 관심도가 많다. 이러한 산업 시설에서의 소음과 진동을 예측하고 추후 일어나는 사고 및 소음의 저감 대책을 강구하는 것이 본 연구의 목적이다.

본 시설의 경우 소음 및 진동해석 관련하여 지하 펌프실, 지상 송풍기실, 압축기실을 기준으로 해석을 진행하였고 부지 경계선에서의 소음 또한 예측하였다.

소음원 기준으로 Sound Pressure Level 측정 시 많이 사용하는 1.5m 떨어진 지점의 SPL 해석 결과와 진동해석의 경우 모드별 고유진동수 중 최대 변형이 일어나는 고유진동수에서의 변형에 대한 결과는 다음과 같다.

지하 펌프실의 Sound Pressure Level : 65.7 [dB]
 지상 압축기실의 Sound Pressure Level : 66.2 [dB]
 지상 송풍기실의 Sound Pressure Level : 65.4 [dB]
 지하 펌프실은 6차 모드, 고유진동수 54.282 [Hz]에서 최대 0.005[m] 변형,
 지상층은 6차 모드, 고유진동수 134.91 [Hz]에서 최대 0.010[m] 변형.
 부지경계선에서의 평균 Sound Pressure Level : 42.7 [dB]

소음 해석의 경우 모두 산업안전보건법 제6조에서 제한한 1일 8시간 90dB 소음 노출에 비해서 상당히 적은 수준의 소음으로 예측되고 부지경계에서의 소음 기준은 소음, 진동관리법 시행규칙 8조에 제시된 허용 기준을 만족하여 주택가의 사람들이 생활하는데 소음에 의한 악영향은 없을 것으로 사료된다.

또한 진동 해석의 경우에는 지하 펌프실의 경우 6번째 고유진동수를 가지는 6차 모드에서, 지상 압축실 및 송풍기실의 경우 6번째 고유진동수를 가지는 6차 모드에서 최대 변형이 일어나는 것으로 예측되었다. 구조물 설치시 진동방지 패드 및 스프링 과 충분한 흡음재로 소음 및 진동을 방지 가능하고 또한 구조물의 크기에 비교해 상당히 작은 변형량과 거리에 따른 감쇠영향과 일반적인 펌프, 송풍기 및 압축기의 진동수를 고려할 때 충분히 안전한 구조 조건으로 예상된다.

따라서 소음 및 진동해석과 관련하여 시설의 옥내 내부 소음, 진동의 경우 작업자들의 근무 환경에 부정적인 영향은 없을 것으로 사료되고 부지 경계에서의 소음 또한 주택가에 영향이 없을 것으로 사료된다.

6. References

- [1] Lee. Y.S.(2015), "A study on Noise Generation and Awareness of the Fire Alarm Sound in the Factory." J. Korea Saf. Manag. Sci. Vol. 17 No. 4 December :97-103.
- [2] Lim. J.C., Wook, J.H. & Kang, K.S. (2014), "A Study on the Development of Quantitative Assessment Criteria of Level Safety and Health, Environment." JJ. Korea Saf. Manag. Sci. Vol. 16 No. 3 September : 1-7
- [3] Wagner, B. G.(2013), "Wind Trubine Noise." Springer.
- [4] Han, J.H. & Kim, B.S.(2014), "An Empirical Study on the Repair Rate of Domestic Gas Boiler within Warranty Period(I)." J. Korea Saf. Manag. Sci. Vol. 16 No. 1 March : 139-146
- [5] Ko, W.K. & Yi, Y.S.(2013), "A Study on the Risk Assessment by Comparing Workplace Environment Measurement with Exposure Assessment Program(ECETOC TRA)." J. Korea Saf. Manag. Sci. Vol. 15 No. 3 September : 1-7
- [6] Terry, W.(2011), "Fluid Machinery." CRC Press.
- [7] Brucno, E.(2010), "Fans Design and operation of centrifugal, axial-flow and cross-flow fans." Pergamon Press.
- [8] Lee. D.H.(2006), "Noise Engineering for engineering students." Azine publishers.
- [9] Ansys CFX 13.0 Teory Guide & User' s Guide.

저 자 소개

전 용 한



인하대학교 기계공학과 학사, 석사, 박사 취득. 현재 상지영서대학교 소방안전과 부교수 재직 중
관심분야 : CFD 해석, 터널화재, 열전달, 등

박 노 국



인하대학교 산업공학과 학사, 석사, 박사 취득. 상지대학교 경영정보학과 교수 재직 중이며 현 창업보육센터 센터장
관심분야 : 품질경영, 신제품 개발, 창의성 공학 분야 등

이 덕 수



인하대학교 산업공학과 학사, 석사, 박사 취득. 전 한국생산성본부 전문위원, 전 한국산업개발연구원 연구위원 이였으며 현 한라대학교 산업경영공학과 조교수 재직 중
관심분야 : 품질경영, 안전경영, 공정합리화, 컨설팅 등