

화력발전소 시운전시 인근에 미치는 소음영향 및 대책

°김연환*, 구재량*, 김희수*, 배용채*, 이현*

Evaluation and countermeasure for Environmental Noise during Plant Commissioning Process in Thermal Power Plant

°Yeon-Whan Kim, Jae-Raeyang Koo, Hee-Soo Kim, Yong-Chae Bae, Hyun Lee

Abstract

This paper describes the evaluation of noise influence for residential and boundary areas in 75MW thermal power plant. It includes the measurements of noise level around the boundary area of the plant, identification of noise propagating path, and discussion on the measures. Noise assessments are carried out based on the ISO 3744, ISO 9613-1 and ISO 9613-2 to predict the noise distribution of specific locations from the noise sources such as power transformers, flash vent-pipe, I.D.fan, and stack. It is identified the vent-pipe of flash tank in thermal power plant as the root cause of the environmental noise during the plant commissioning process.

1. 서론

과거에는 인적이 거의 없는 지역에 발전소를 건설이 가능하였으나 최근 신설되는 발전소 경계지역에는 대부분 주거지가 형성되어 있다. 따라서, 주민들은 발전소가 건설되는 시점부터 상업운전까지 각 단계마다 발생하는 소음에 갑작스럽게 노출될 수 있기 때문에 심리적인 영향이 커질 수 있다. 발전소는 시운전 기간동안 각종 설비에 대한 성능 시험은 물론 설비에 대한 안전성을 평가하기 위해 수압시험, 안전변 개방, 플러싱 등 비정기적인 시험이 실시된다. 그 경우에 비 주기적인 고 소음이 발생될 수 있고 근무자 및 주변 인근에 소음영향을 미치게 된다.

소음은 사람의 주관적이며 심리적인 요소가 많이 작용하므로 사람에게 따라서 또는 동일 인물의 경우라도 소음 측정치가 규제기준을 초과하지 않지만 때와 장소에 따라서 소음을 인식하는 정도가 다른 것으로 알려져 있다.



그림 1. 발전소 전경

그림 1은 발전소 건설을 완료하고 시운전을 수행 중인 2×75MW급 신규화력의 전경을 보여준다.

건설이 완료된 발전소는 상업운전에 앞서 각종 설비의 설계 대비 설치된 건전성을 평가하는 시운전과정을 거치게 된다. 화력발전소의 시운전시 발생하는 소음은 정상운전시의 옥외 기기 소음에 더하여 주변에 영향을 주는 것으로는 증기 배관의 증기 방출 소음이다. 발전소에서 증기방출은 시운전시 많은 시간동안 연속적으로 이루어지는데 그

* 한전 전력연구원

주 이유는 증기의 질이 나빠 터빈으로 유입되기 전에 플래시 탱크로 유입된 주증기가 대기로 방출되기 때문이며, 그후에는 시험목적 또는 비상시 대기로 방출시킬 때 고 소음이 발생하게된다. 고온·고압의 증기가 갑작스럽게 대기로 분출할 때 분출구 주위의 정지상태에 있는 공기에 마찰과 충격을 주면서 격한 기류의 소용돌이가 일어나 고 소음이 발생하는 것으로 알려져 있다.

본 발전소는 증기분출과정의 시운전시점에 주변의 주거지 주민들로부터 민원이 제기되었다.

2. 발전소 지역특성

그림 2는 대상 발전소의 주요 건물 및 기기 배치를 보여준다. 대상 발전소를 중심으로 북쪽은 바닷가가, 남쪽은 낮은 임야지역이, 서쪽은 부지경계에서 약 120m 거리에 주거지가 위치하고 있다. 그림에서 Pt #1~ 6은 소음을 측정할 지점을 표시한다.

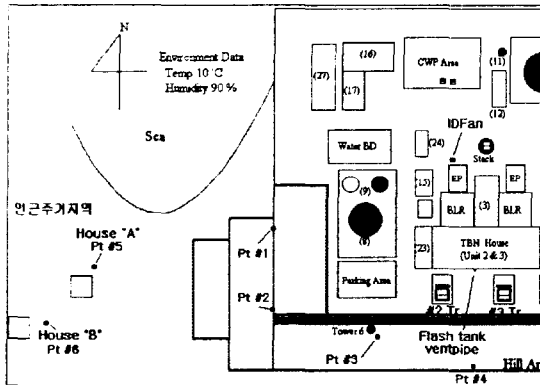


그림 2. 발전소 주변지역 배치도

발전소 부지는 민원이 발생된 민가에 비하여 15m 정도 높은 지역에 위치하고 있다. 그림 2의 민가는 저 지대에 위치하므로 발전소의 소음에 대하여 영향이 적은 것으로 판단이 되었으나 시운전이 시작된 어느 시점부터 야간에도 소음의 영향이 커져 수면을 이룰 수 없을 정도가 되었다. 이에 대한 원인 규명과 대책을 수립키 위하여 발전소 내부 및 주변지역의 건물 및 지형조건을 조사하고 환경소음에 영향을 줄 수 있는 각종 기기의 배치 상태 및 주요 소음원을 조사하여 소음 분포도를 해석하고 발전소 부지경계 및 주변 주거지역에 미치는 소음영향을 평가하였다.

그림 1의 발전소에 대한 소음 적용 규제치는

발전소 가동에 따른 발전소 주변 주거지역에 미치는 환경소음 평가기준은 낮의 경우 55dBA, 밤에는 45dBA가 적용된다.

3. 소음원 및 모델링

3.1 주요 소음원

발전소에서 운전중인 옥외의 주요 기기는 해수순환수펌프(C.W.P), 강제흡입팬(I.D.fan), 변압기 등이며 그 외 플래시 탱크 방출관(vent-pipe)은 각종 주증기의 드레인을 대기 중에 간헐적으로 방출시키는 기기이다. 각 기기의 음압레벨(sound pressure level)은 표 1과 같다. 민원의 주원인을 제공한 것으로 알려진 방출관 소음 레벨은 현장에서 기동시 실시한 증기 분출시험시 Pt#3에서 측정된 결과(70dBA)를 근거로 식(1)에 의하여 음향파위를 추정할 수 있다. 시운전 기간동안 민가에 영향을 주는 주 소음은 변압기였으나, 정상운전 중 증기 배관의 주기적인 방출 및 기동·정지의 증기분출 소음이 주도한 것으로 예측된다. 서쪽 주거지에 대하여 지향성을 갖는 주소음원은 변압기와 플래시 탱크 방출관이다. 변압기는 그림2에서 #2Tr의 서쪽면과 상부면 이 지향성을 가질 것으로 예상되고 플래시 탱크 방출관의 경우는 터빈건물 남쪽 중앙부로서 서쪽 및 서북쪽 주거지역에 대하여 완전히 노출되어 있어 증기가 분출될 경우 기여도가 가장 클 수 있다.

표 1. 주요 옥외 기기의 음압레벨 (단위:dBA Leq)

| C.W.P | I.D.fan | 변압기 |
|-------|---------|------|
| 80.3 | 77.8 | 74.6 |

$$PWL = SPL_{83m} + 10 \log_{10} 2\pi \text{ ----- (1)}$$

3.2. 정상조건의 주 소음원의 특성

대상 발전소에서 환경소음에 영향을 주는 주요 옥외 기기 중 해수순환수 펌프, I.D.fan, 변압기의 음압특성은 그림 3과 같으며, 각 기기의 음압레벨은 표 1과 같이 85dBA 이내였다. 각 소음원의 음향출력은 ISO 3744에 의하여 방사면의 실제 크기를 고려하여 산정한다.

그림 4는 발전소 주 옥외 소음원의 주파수특성을 보여준다. 대부분의 발전소가 환경 소음에 영향을 주는 주파수는 100Hz이후에 분포하고 있음을

보여준다.

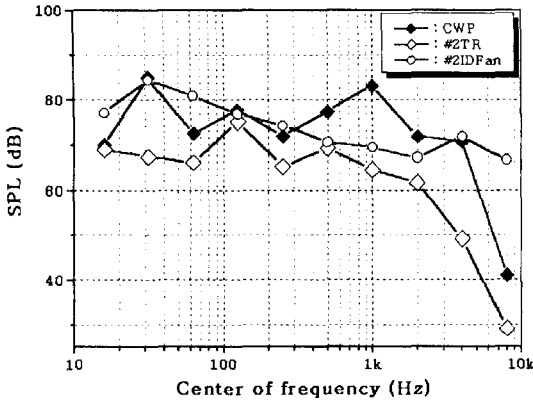


그림 3. 주 옥외 소음원의 옥타브 특성

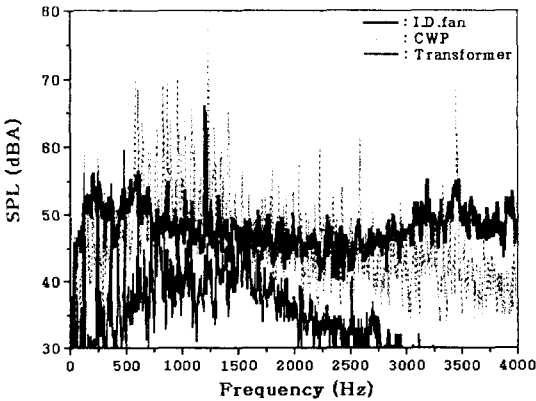


그림 4. 주 옥외 소음원의 주파수 특성

3.3. 방출관 소음의 특성

플래시 탱크는 주증기배관의 각 드레인을 모으는 역할을 한다. 표 2는 플래시 탱크 및 방출관의 재원을 정리한 것이다.

표 2. 플래시 탱크 방출 증기 특성 및 방출관 규격

| 방출 증기 조건 | | 방출관 규격 | |
|-------------------------|-------|-------------|--------|
| 압력(kg/cm ²) | 4.5 | 방출관 길이(m) | 37.1 |
| 온도(°C) | 147 | 방출관 직경(m) | 0.55 |
| 밀도(kg/m ³) | 2.4 | 유속(m/s) | 24.3 |
| 음속(m/s) | 493.8 | 방출용량(kg/hr) | 50,200 |

플래시 탱크에서 방출관사이에는 조절하는 밸브가 없으나 탱크로 유입되는 여러 종류의 드레인 배관에 밸브에서 조절하게 되어있다. 방출관 소음 특성을 평가하기 위해서는 증기분출시험을 수행해야 하나 상업운전을 위한 신뢰성 운전기간이었고 드레인 배관 중의 밸브의 고장이 있는 조건이어서

일부 분출되는 증기의 소음특성 및 현장에서 자체적으로 측정된 데이터를 사용하여 그 특성을 추정하였다.

그림 5는 일부 드레인 배관의 밸브가 부분적으로 열려있는 조건에서 플래시 탱크의 증기가 대기로 분출을 할 때의 민원을 제기한 민가에 대한 환경소음 영향을 보여준다. 대상 민가는 방출관 소음원으로부터 200m 이상 떨어져 있다. 민가에서의 증기 분출소음은 600Hz, 1000Hz, 1200Hz, 1600Hz를 중심으로 넓은 대역의 특성을 갖는 것으로 나타난다.

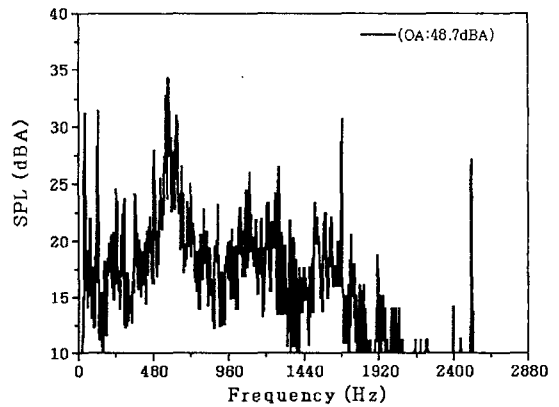


그림 5. Pt #5 지점의 소음특성 ; 부분적 증기누출이 있는 경우

그림 6도 그림 5와 같이 드레인 배관 밸브가 부분적으로 열려있는 조건에서 그림 2의 발전소 서쪽부지 경계, 서남쪽 코너 부지경계 및 플래시 탱크 방출관 정면 언덕에 대한 소음특성을 옥타브로 측정된 결과이다.

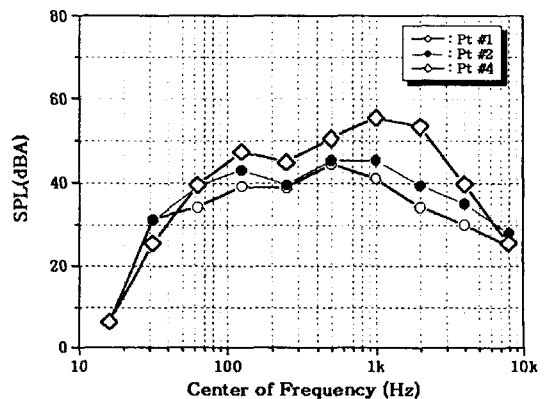


그림 6. 부분적인 증기 분출조건에서의 부지경계 소음

방출관에 지향성을 갖지 않는 서쪽부지에서는 영향이 미미하였으나 지향성을 갖는 남쪽 Pt#4 지점에서 나타나는 특징은 중심주파수 1kHz와 2 kHz의 성분이 증기 분출소음을 주도하는 특성으로 나타난다.

발전소에서 주기적으로 플래시 탱크에 대하여 대기 분출시험을 수행하였으며 남쪽 부지 Pt#3 지점에서 70dBA의 음압레벨을 나타냈었다. 그림 6의 부분적인 개방 조건에서는 62.5dBA 이었다. 따라서, 70dBA를 적용하여 방출관의 음향과위를 식(1)에 적용하여 환산하고 지향성 등을 고려하여 보정하면 110dB로 추정된다. 방출관 소음의 영향을 평가하기 위하여 그림 7과 같이 소음특성을 가정하였다.

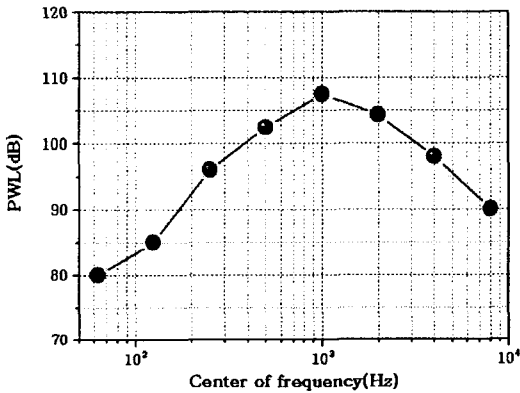


그림 7. 플래시 탱크 방출관 소음과위

3.3. 소음영향 예측을 위한 가정들

ISO 9613에 규정한 환경소음계산 방법에 의한 발전소 환경소음 예측프로그램을 이용하여 대상발전소에 대한 소음해석을 수행하였다. 소음해석을 위한 발전소 모델링에 대한 주된 가정은 다음과 같다.

- 소음원 : 옥외 소음원은 실제 기기 크기를 고려하고 그림 3과 그림 6과 같은 소음특성이 소음원의 표면을 통하여 방사되는 것으로 가정

- 구조물 : 발전소 및 인근 주거지역의 주변 지형에 의한 소음의 회절효과를 고려하기 위하여 건물 또는 방음벽으로 가정하였다.

- 환경 및 계산 조건 : 환경조건은 소음계측 당시의 대기조건을 고려하여 온도는 10℃, 습도는

90%로 하였다. 지면은 모두 음향학적으로 부드러운 지면으로 간주하였다.

4. 정상적인 발전소 소음의 영향

발전소 소음에 의한 환경소음은 공장소음과 마찬가지로 집단적으로 민원이 제기될 수 있는 소지가 많기 때문에 그에 대한 대책으로 정확한 평가가 이루어져 민원을 해결할 수 있는 방안이 수립되어야 한다. 따라서, 발전소에 의해 가장 큰 영향을 받는 서쪽 주거지에서 민원을 제기한 가옥 중 한곳(Pt#5)을 선택하여 평가하였다.

대상 발전소의 주거지 및 부지경계에 미치는 환경소음영향을 조사하기 위하여 간헐 유발소음이 없는 조건에서 발전소 기기 들이 민가에 미치는 영향을 평가하였다. 주요 측정 장비는 소음레벨미터 B&K 2236이며 등가소음레벨을 이용하였다.

4.1. 주거지의 소음측정

간헐소음이 없는 정상조건에서 민원이 제기된 서쪽 주거지 중 민가 "A"(그림 2의 House "A"; Pt #5) 지점의 측정 결과는 그림 8과 같으며 소음레벨은 동풍의 야간조건에서 44dBA이었으며 민가 "B"(그림 2의 House "B"; Pt #6)는 43.5dBA로 민가 "A"와 비슷하였다. 정상조건에서 주거지에 미치는 발전소의 환경소음 영향은 환경정책기본법의 환경소음기준인 45dBA를 만족하였다. 또한, 민원을 제기한 민가 "A" 즉, 형태상 소음에 열악한 구조로 평가되는 가옥에 대하여 간헐소음이 없는 조건의 경우 수면에는 큰 영향이 없는 것으로 조사되었다.

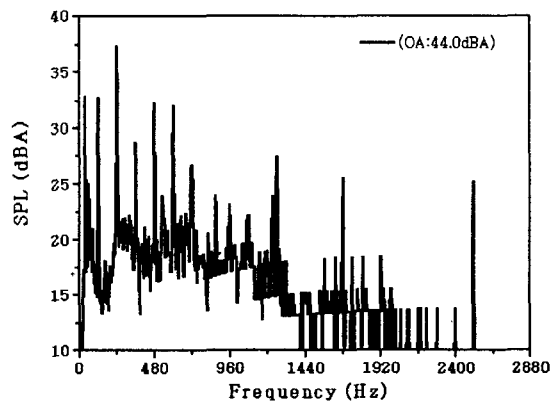


그림 8. Pt #5 지점의 소음특성 ; 증기 분출소음이 없는 경우

4.2. 발전소의 환경소음 예측

증기 분출시 발전소 부지경계 및 서쪽 주거지에 미치는 환경소음을 평가하고 소음저감 목표량 및 대책의 방향을 검토하기 위하여 정상조건으로 주거지 및 부지경계에서의 측정 음압레벨과 비교하고자 환경소음 예측프로그램을 이용하였다. 그림 9는 정상조건에 대하여 발전소의 환경소음영향을 해석한 결과이다. 그림 8의 실측한 것과 비슷한 42 dBA 정도의 영향을 주는 것으로 평가되었다.

서쪽 부지경계에 대한 그림 6의 Pt#1의 측정치는 49.8dBA이었으며 그림 9의 해석치는 50dBA로

사소음을 저감하기 위해서는 소음원을 직접 제어하는 방법과 소음기를 설치하여 소음을 제어하는 방법을 생각할 수 있다.

5.2. 소음원의 위치변경 방법 검토

플래시 탱크 방출관의 방출 지점을 변경하여 민가 쪽으로 지향성을 고려하여 방출배관의 증기 분출 위치를 그림 2의 양쪽 보일러사이의 (3)번 건물 상부에 바다 쪽으로 위치시킬 경우 서쪽 주거지에 대하여 소음원이 완전히 감추어지는 효과를 얻을 수 있어 방출관에서 증기가 분출할 지라도 50dBA이내로 주간의 환경소음 평가기준인 55dBA, 를 충분히 만족할 수 있는 것으로 평가되었다. 그

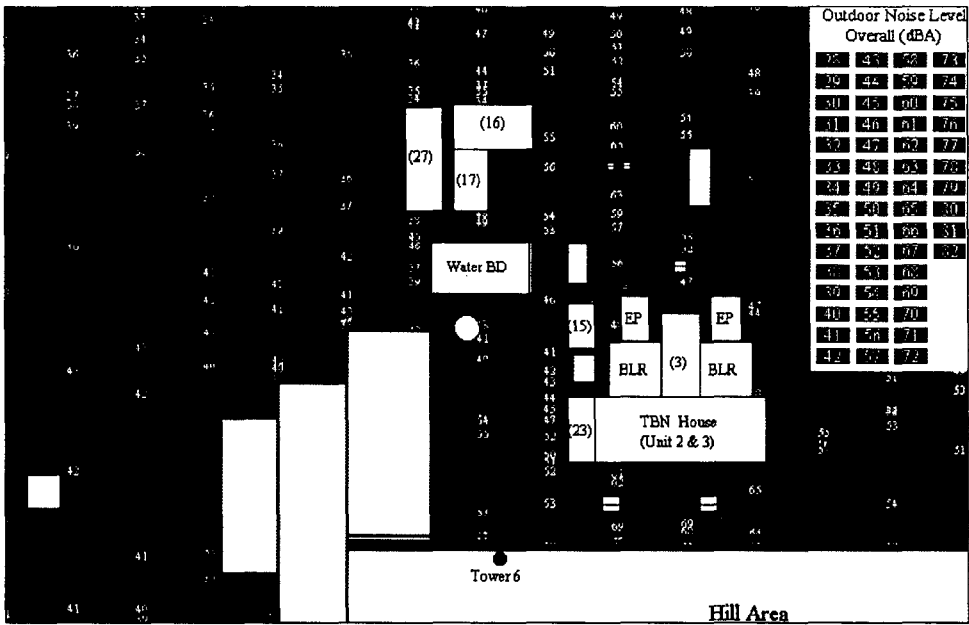


그림 9. 간헐소음이 없는 정상 조건에서의 소음분포도 해석결과

모델링하여 해석한 결과와 측정치가 유사하게 일치되었다.

5. 소음대책

5.1. 증기분출에 대한 소음저감 목표량

그림 10은 그림 7과 같이 방출관의 소음을 적용할 경우 발전소로부터 주변의 환경소음에 대한 영향을 보여준다. 증기 분출시 민가에서의 음압레벨은 60dBA이상으로 상승할 것으로 해석된다.

그림 10의 소음 분포도에 의거 민가를 기준으로 할 경우 증기 방출관의 소음이 연속소음으로 고려하면 소음저감 목표량은 최소 18dB 이상 소음 대책이 있어야 함을 알 수 있다. 방출관을 통한 방

라, 이 방법은 발전소내의 방출관 근처에 있는 근무자의 청각에 손상을 줄 수 있는 여지가 있고 배관 길이가 증가되면 배관에서 압력손실 증대로 플래시 탱크의 방출용량에 영향을 줄 수 있다는 단점이 있다.

5.3. 흡음형 소음기 대책

증기 방출관 소음의 특성은 그림 7에서 보여지는 것처럼 순음성이 없는 고주파수 성분을 가지며 소음제어에는 일반적으로 흡음재의 배열을 이용한 흡음형 소음기 형태가 주로 이용된다. 흡음형 소음기인 경우 소음저감 정도인 감음량은 다음과 같은

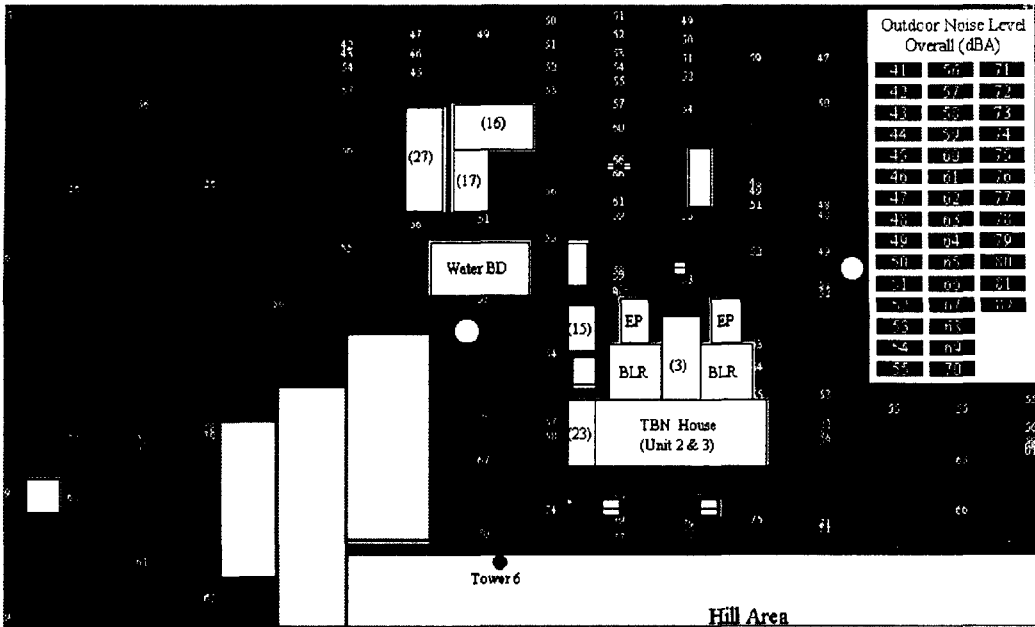


그림 10. 증기 분출이 있는 간헐소음 조건에서의 소음분포도 해석결과

실험식이 널리 사용되어 진다. 저감 주 대상 소음은 1kHz를 중심 하는 성분들이어서 흡음형 처리로 만으로도 충분한 소음목표치를 달성할 수 있을 것으로 평가된다.

무환경개선에 기여할 수 있게 되었다.

6. 결론

화력발전소의 시운전 중 발생한 옥외 기기 소음 및 인근 민가에 주는 소음영향을 평가한 결과는 다음과 같다.

$$NR(\text{noise reduction}) = 1.05 \alpha^{1.4} \frac{P}{S} L \text{ -----(3)}$$

여기서, 흡음재의 흡음율을 α , 흡음재의 두께가 제외된 유동 단면적을 S, 유동 단면둘레를 P, 흡음재의 길이를 L로 각각 표시한다.

5.4. 대책의 효과

식 (3)에서 흡음재의 길이가 길어질수록 소음저감 효과가 커진다. 소음기의 직경은 방출관 직경의 3 배 정도로 하고 흡음재의 길이가 4m 이상이 되도록 록울(Rock Wool) 또는 그라스울(Glass Wool) 등의 내열성이 있는 120~150kg/cm²의 흡음재 면되고 소음기 내부에서 유속이 크기 때문에 80% 정도의 다공판을 처리하여 흡음재로가 비산하거나 분산치 않도록 하면 500Hz 이후성분의 경우 흡음율이 0.85 이상이 되어 있어 최소 20dB 이상의 소음저감 목표를 달성할 수 있는 것으로 예측이 되었다. 또한, 증기 방출관의 분출시험 시간대를 주간 시간대로 변경함으로써 500Hz 이하의 증기 방출특성에 대한 대책을 제시함으로써 제작하여 설치한 후 분출 시험 시에도 소음민원 및 근무자들의 근

- 간헐 소음이 없는 조건의 경우 민가에 미치는 환경소음의 주소음원은 변압기이었으나 야간의 환경소음 평가기준인 45dBA를 만족하였다.
- 민가에 영향을 주는 주 소음은 플래시 탱크로부터 대기로 방출되는 증기 분출소음이었고 그 경우 민원을 제기한 주거지에 미치는 소음영향은 60dB 이상이었다.
- 흡음형 소음기를 설치하고 분출시점을 제한함으로써 야간 조건에서 환경소음을 18dB 이상 저감시켰다.

참고문헌

- (1) 한전 전력연구원, 1998, “발전소 소음제어 기술 개발”.
- (2) 김연환, 1998, “도심에 위치한 발전소의 환경소음실태 평가”, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집.