

# 도심에 위치한 발전소의 환경소음실태 평가

## The Investigation of Environmental Noise for Power Plants located in Downtown Area

°김 연 환\*, 이 준 신\*, 이 현\*, 송 광 철\*\*

### Abstract

본 연구는 도시 인근발전소의 소음 유발 기기에 의한 환경소음의 실제적인 기여도를 평가하고 더욱 쾌적한 환경조성방안을 도출하기 위하여 수행되었다. 발전소 경계의 수음자소음을 기초로 각종 기기의 주파수 분석을 통하여 소음 유발 기기를 규명하고 소음원의 주 주파수 및 크기를 구하였다. 소음원의 전파경로를 파악하기 위해 소음레벨의 분포도를 구하였으며, 측정치와 도 잘 일치함을 보여 주었다.

### 1. 서론

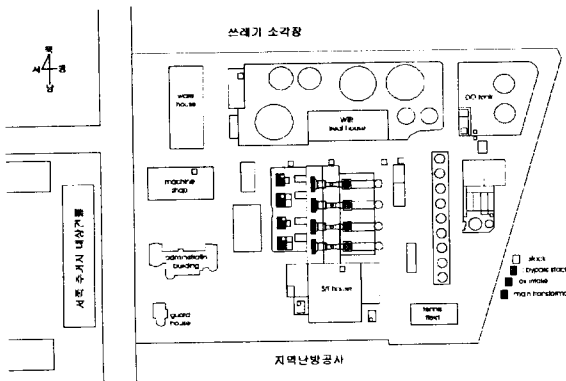


그림 1. 발전소 배치도

그림 1의 발전소는 도심에 위치한 대표적인 복합화력발전소의 배치도로서 청정연료인 액화천연가스(LNG)를 주연료로 사용하고 있으며 수도권 지역의 전력공급과 신도시 지역의 난방열을 동시에 공급함으로써 에너지이용의 극대화와 쾌적한 도시환경을 목적으로 설립되어 수도권의 4개 시 지역에 난방열을 공급하고 있다. 전기사업은 지역에 밀접한 산업이고 지역사회의 발전에 기여하는 것을 기본으로하여 지역과의 공생공영의 관점에서 사업을 추진하여야 한다.

이를 위한 지역환경 문제에 관하여서는 지역사회 의 요구를 수렴하는 관점에서 지역특성을 배려하고 국가, 지방자치 정부의 도시계획의 목적에 맞게 실시되어야 한다.

복합화력발전소의 환경보존을 위하여 주로 대기오염 방지, 수질오염 방지, 소음·진동 방지 등의 대책을 강구하고 있다. 이들중 특히 소음측면에 초점을 맞추어 구체적으로 환경소음실태를 소개하고자 한다. 환경오염으로서의 소음은 대기, 수질 및 토양오염과는 달리 청각으로 다수인이 동시에 피해를 느낄 수 있고 수면방해 정서불안 등 정신적 피해가 발생한다. 환경부자료에 의하면 최근의 전체 환경관련 민원중에서 소음·진동 민원이 약 절반이상을 차지하고 있으며, 그 중에서도 환경개선을 요구하는 단순한 민원이외에 경제적 정신적 피해에 대한 배상을 요구하는 분쟁 건수도 다수를 차지하고 있다. 본 대상발전소는 원래 공업지역 및 상업지역으로 지정된 부지위에 건설을 시작하였으나 도시계획의 부분적인 변경에 의하여 현재는 주거지역이 발전소 주변으로 확장되었기 때문에 발전기들에 의한 전달 소음이 문제시 되었으나, 주거지역으로 소음지향성을 갖는 변압기의 경우는 차폐장치 및 방음벽처리, 연돌에 대한 소음기설치 그리고 냉각팬에 대한 날개수 변경 등 저소음화 노력의 결과로 상당한 소음 저감이 이루어졌다. 본 조사는 주민과의 유

\* 전력연구원

\*\* 한국전력공사

대 및 효율적인 소음 대비 설비투자의 효율성을 기여하고자 소음원으로 생각되는 각 기기별 주파수 특성을 확인하였으며, 발전소 경계지역 내·외의 공기전파 소음분포도를 해석하여 발전소 인근 주거지에서의 소음 주파수특성 비교와 소음 기여도를 분석을 통해 효과적인 소음제어 방향을 수립하였다.

## 2. 발전설비의 소음관련 기준검토

발전소를 중심으로 동쪽은 공업지역으로 길들 사이에 두고 공장들이 위치하며 서쪽은 주거지역으로 발전소와 6차선도로를 사이에 두고 위치하며, 남쪽은 발전소 경계와 두 개의 회사건물들 사이에 두고 약 300m 거리에 주거지역이 위치하고 있으며, 북쪽은 공업지역이 위치하며 발전소 동서에는 남북으로 35m의 대로가 있어 각종 공장소음과 도로소음이 상존하고 있다.

소음은 사람의 주관적이며 심리적인 요소가 많이 작용하므로 사람에 따라서 또는 동일 인물의 경우라 하더라도 측정치가 규제기준을 초과하지 않지만 때와 장소에 따라서 소음을 인식하는 정도가 다르다. 일반적으로 소음환경기준은 점차 강화되고 있고, 특히 주거지역의 소음도는 정온 유지를 위한 방향으로 나가고 있다. 국내의 소음 규제 관련법규에는 '환경정책기본법', '소음진동규제법', '건축법' 등이 있다. 발전소 인근의 주거지역은 도로 왕복 4차선 이상의 도로가 밀집되어 있어 거의 24시간 자동차 소음에 노출되어 있는 상태이다. 따라서 환경기준(환경정책기본법 시행령 제2조 관련)에 따르면 도로변 주거지역으로 구분되어 "가"지역(주거전용지역) 및 "나"지역(주거지역)은 낮(06:00~22:00)의 경우는 65 dBA(L<sub>eq</sub>), 밤(22:00~06:00)는 55 dBA (L<sub>eq</sub>)로 설정하고 있으며, 소음진동규제법 제29조의 "교통소음진동의 한도"에 의거하여 시행규칙 제37조에서 대상지역이 주거지역인 경우는 낮에는 68 dBA (L<sub>eq</sub>), 밤에는 58dBA(L<sub>eq</sub>)로 기준을 정하고 있고, 건축법에는 "주택건설기준" 등에 관한 규정" 제2장 "시설물배치"에서 도로소음이 65 dBA이상이면 도로에서 50m이상 떨어져 배치하거나 방음

벽등의 처리가 있어야하며 제9조에 의하면 주위에 소음시설이 있는 경우 그 경계지역에서 수평거리로 50m 이상을 떠어진 곳에 배치해야한다"고 규정하고 있다.(발전소 경계와 38m, 도로와는 인접한 위치에 배치되어 있다.) 국제표준화기구(ISO)의 기준에 의하면 대상지역은 작업장, 사업장 혹은 간선도로가 혼재된 도시 주거지역으로서 낮에는 60dBA (L<sub>eq</sub>), 저녁은 55dBA (L<sub>eq</sub>), 밤은 50dBA(L<sub>eq</sub>)로 정하여 권고하고 있으며 일본의 경우도 이와 비슷하게 정하고 있다.

## 3. 소음측정방법 및 사용기기

### 3.1 측정방법

발전소의 전 유니트가 가동되고 있는 발전소의 소음레벨이 인근 부지경계선에서 기여하는 정도 및 거주지의 소음현황을 조사하기 위하여 소음의 측정방법은 KSA 0701-1987 소음 공정 시험법을 준용하였으며 측정지점과 위치는 일반적으로 피해자측 부지경계선 중 소음도가 가장 높을 것으로 예상되는 주거지역 옥상에서(발전소 경계에서 약 50m거리, 지상에서 35m 높이)에서 소음을 측정하였다. 측정대상인 거주지역과 발전소 사이에는 왕복 6차선 도로가 있으므로 측정은 되도록 지나가는 자동차들이 정지하고 있는 시점에서 시행하였다. 따라서 소음계의 동특성은 시정수가 청감에 비교적 가까운 Fast에 놓았고 청감 보정회로는 A특성에 고정하여 지면에서 1.5m의 높이에서 측정하였다.

반면에, 부지경계선에서 측정된 결과와 실제 발전소 및 인근의 주요 소음원에 의하여 미치는 실제적인 영향을 평가하기 위하여 각 소음원의 방사소음수준을 산정하여야 한다. 주요 소음원은 발전소의 경우에는 연돌, 공기압축기용 흡입구(Air Intake), 변압기이며, 인근에는 여러 공장의 연돌 등이 있다. 연돌의 경우는 상부의 4방향의 소음의 평균치를 점음원으로 가정하여 음향출력레벨(Sound Power Level)을 산정하였으며 공기 흡입구는 1m 거리에서 소음레벨의 평균치를 직사각형의 면적에서 방사되는 것으로 계산하였으며, 변압기는 차폐장치 외부의 약 1m 떨어진 위

치에서 측정된 소음을 노출된 전체면적에 대하여 방사수준을 결정하였다. 이 경우는 마이크로폰으로 측정하여 A특성에 의하여 계산하였다.

### 3.2 측정기기

본 조사에 사용된 측정 및 분석기기는 수음자 측면의 소음은 소음레벨미터 (Precision Integrating Sound Level Meter, B&K 2236) 또는 1/2"마이크로폰 (B&K 4165) 및 마이크로폰 파워 공급장치(B&K 5935)와 FFT(DI-2200)을 사용하여 현지에서 측정하였으며, 부지경계선의 가장 크게 기여하는 변압기의 차폐장치의 음장특성 파악을 위하여 두 개의 마이크로폰, 마이크로폰 파워공급장치 및 FFT( HP 3562A Dynamic Signal Analyzer)를 사용하였다.

## 4. 부지경계 및 주거지역의 소음현황

부지경계선의 소음현황은 발전소 자체적으로 측정된 데이터에 근거하면 변압기의 차폐장치 및 방음벽처리, 냉각탑의 저소음팬 처리, 공기흡입기 및 주 연돌 등에 소음 방지설비 보강 등으로 35m의 도로의 영향과 기타 소음이 상존하는 상태에서 동쪽이 74.6→57.0dBA, 서쪽이 62.0→54.6dBA, 남쪽이 69.2→59.0dBA, 북쪽이 63.8→52.5dBA로 개선되어 부지경계 소음규제기준 60/70dBA이내에 들게 되었다. 그림2는 부지경계선중 밀집된 소음원에 가장 큰 영향을 받는 인근 주거지역(그림1의 서쪽 주거지역 대상건물)에서 대낮에 계측된 소음으로서 그림2에서 보면 480Hz가 가장 큰 소음원으로 작용하며 더불어 360Hz 및 1981Hz성분이 있고 200Hz이내에 2개의 피크가 존재함을 보여준다. 여기서 소음을 주도하는 주파수들은 레벨측면으로는 낮으나 순음성 소음들이어서 사람의 귀에 민감하게 작용할 수 있는 소지를 줄 것으로 예상할 수 있다. 특히, 밤중의 경우에 그러할 소지가 큰 소음원으로 판단된다. 따라서, 이에 대한 소음원 파악 및 소음 전달 경로에 대한 파악이 선행하여 대책을 수립할 경우 더욱 쾌적한 주거환경이 조성될 수 있을 것으로 판단할 수 있다. 전체레벨은 대낮의 자동

차가 정지하고 있는 상태에서 55dBA 근처였고 자동차가 지날 경우 70dBA이상의 소음레벨을 나타내었다. 이 레벨은 국내의 환경기준에 비하여 10dB, ISO규정으로는 5dBA이상 낮은 수치를 보였다.

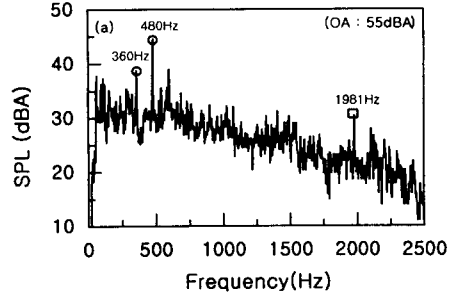


그림 2. 주거지역에서 계측된 소음 특성

## 5. 소음 및 방사수준 산정

발전소의 소음발생원이 되는 기기로서는 연돌, 가스터빈의 공기흡입기, 변압기, 냉각탑 등이며, 기타 소음원으로서의 발전소 경계밖의 여러 공장에서의 연돌소음 및 기기소음있고 가장 큰 영향을 주는 도로변의 자동차 소음이 있다. 특히 주거지역에 영향을 줄 수 있는 변압기, 공기 흡입기 및 연돌에 대한 조사가 선행되어야 함을 알 수 있다. 발전소는 4대의 가스터빈 발전 시스템과 1대의 스팀터빈 발전 시스템으로 구성되어 있다. 대상 발전소는 가스터빈 1대당 연돌, 공기흡입기, 변압기가 각 1대씩 설치되어 있으며 스팀터빈의 경우는 1대의 변압기와 냉각탑 등의 옥외에 설치되어 있다.

소음원의 환경소음수준을 산정하기 위해서는 음향출력레벨을 알아야 한다. 이를 위하여 각 대상 소음원의 음압레벨을 측정하고 이 음압레벨로부터 각 소음원의 음향출력레벨을 추정하기 위하여 자유음장에서 소음원이 평균 음압레벨을 방사하는 것으로 가정하여 산정하되 연돌의 경우는 점음원으로 공기흡입기 및 변압기는 면음원으로 간주하여 각각 식(1) 및 식(2)을 사용하여 산정하였다. 여기서 SPL은 소음의 평균 음압레벨, r(m)은 구면파 전파의 경우의 거리, S(m<sup>2</sup>)는 음파의 방사면적을 나타낸다.

$$PWL = SPL + 20 \log r + 11 \quad (1)$$

$$PWL = SPL + 10 \log S \quad (2)$$

### 5.1 주 연돌 (Main stack)의 소음

그림3은 연돌의 특성을 정확히 규명하기 위하여 연돌 출구 근방인 연돌 중앙에서 약 3.5m 떨어진 위치의 연돌 상부(80m)에서 직접 계측하였다. 이 결과에서 보면 연돌에 의한 소음은 전체주파수에 걸쳐 소음이 분포하고 특별한 주파수특성을 나타내지 않는 핑크노이즈 형태를 갖는다.

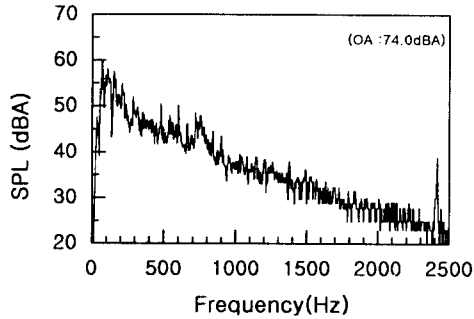


그림 3. 주 연돌(Main stack)소음의 주파수 특성

특히, 공기 흐름이 수반되기 때문에 저주파수 영역에 강한 소음분포특성을 가지는 것으로 나타났다. 주 주파수는 72Hz 성분이 주도하나 옥타브 분석에서는 125Hz 성분이 주도하는 것처럼 나타난다. 연돌 1기의 중심에서 3.5m 위치의 전체 소음레벨은 74dBA였다.

### 5.2 공기 흡입기 (air intake) 특성

공기 흡입기에 의해 유입된 공기는 가스 터빈의 연소기에 공기를 공급하는 원심압축기의 입력이 된다. 공기압축기는 18단 (stage)으로 구성되어 있으며 로타가 회전할 때의 공기개폐가 이루어지며 이때 첫 번째 단의 날개에 의하여 소음이 전체특성을 주도하는 특성을 나타낸다. 이 소음 주파수(1981Hz)는 압축기 회전수(60Hz)에 날개수(33개)를 곱한 것과 같으며, 공기 흡입기를 통하여 그림4의 특성을 가지며 인근 주거지역 건물 옥상의 전파되나 거리감쇠에 의하여 1981Hz의 경우 각 공기흡입기 1m 위치에서 61dBA가 서쪽 주거지역 옥상에서 4대 전체의 영향이 30dBA수

준으로 거의 무시할 수 있는 소음레벨을 나타내었다.

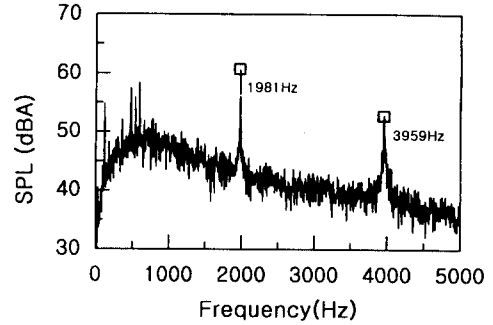


그림 4. 공기 흡입기 소음 특성

### 5.3 변압기의 소음특성

변압기는 차폐장치를 함으로서 상당수준의 소음특성을 제거한 것으로 나타난다. 차폐장치 밖에서의 소음특성은 그림5-(b)로서 그 레벨이 측면이 75dBA이고 상부가 72dBA로 나타났으며 서쪽 주거지역에 나타난 480Hz성분이 차폐장치 1m 위치에서 약 70dBA로 나타나 그 소음의 주 수음원으로 나타났다. 이 주파수는 서쪽 주거지역 건물 옥상에서 44dBA의 소음레벨을 나타내었다.

그림5-(a)는 가스터빈 주변압기 4대중 4번째 차폐장치내의 소음 주파수 분포로서 전원 주파수(60Hz)의 2배 주파수를 기저 주파수로 하는 고조파 (harmonics) 소음이 표출되는 변압기의 특성인 120, 240, 360, 480 ... 의 소음주파수를 가진다. 이때, 변압기 소음 성분은 기저 주파수인 120Hz 성분이 가장 커야 되나, 차폐장치 외부에서 480Hz 성분이 거의 투과되어 나타나는 특이한 현상을 보이고 있다.(그림5-(b)) 이는 변압기와 차폐장치사이의 공간 형상이 이 주파수 성분을 증폭시키는 것으로 판단된다.

이를 확인하고자 차폐장치 내부공간에 대한 음장가진에 의해 시험을 수행하였으며 그 결과 그림6과 같은 음장 특성을 확인되었다. 이 실험에서는 밀폐구조 안쪽과 바깥쪽에 설치된 마이크로폰으로 계측되는 음압비에 의해 소음방사 기구를 판단하게 된다. 현장의 암소음특성이 커서 좋은 신호를 계측하기 위해 주파수 스위프 (sweep)하였으며, 이 신호에 의해 스피커가 움직이게 된다.

## 6. 소음전파특성

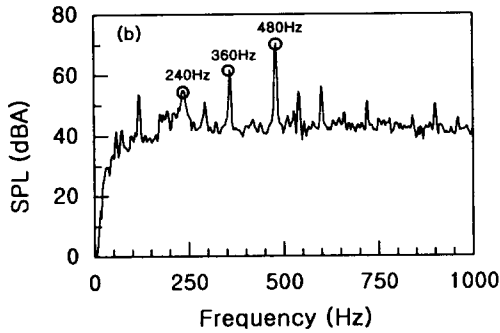
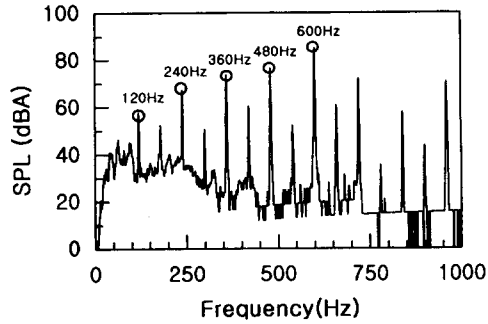


그림 5. 4번 주변압기 (main transformer)의 소음 주파수 특성:(a) 변압기 내부, (b) 변압기 외부

그림6은 음압비의 주파수 응답 특성으로 360, 480Hz근방이 방사에 가장 취약함을 보여주며, 변압기 소음 성분에서 480Hz이 가장 크게 나오는 이유를 설명해 준다. 따라서 그 성분을 제거하는 것이 가장 효과적인 소음저감 대책임을 의미한다.

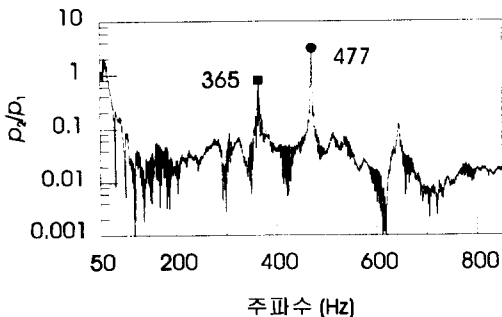


그림 6. 주변압기 밀폐구조의 음압비

발전소 소음원의 특성자료 및 경계지역의 소음 상태 데이터를 근거로 하여 소음원의 음향파워를 계산하고 본 대상발전소의 주요 건물, 각종탱크, 발전소 주변의 주요 건물 및 시설물 등을 고려하였으며 발전소 실내소음은 무시하고 소음의 전파 경로를 거리감쇠 및 공기의 흡수효과와 회절효과를 고려하여 계산하였다. 주위온도는 8℃, 습도 35%를 고려하였다.

그림7은 그 중에서 중심주파수가 500Hz인 경우의 소음의 전파경로를 등고선으로 보여준다. 서쪽 주거지역에서 측정된 결과인 44dBA에 근접하는 46dBA를 나타내고 있고 주 소음원은 가스 터빈 주 변압기임을 보여준다. 이 결과에서는 남쪽 주거지역에 미칠 수 있는 영향은 최고 37dBA 될 것임을 추정할 수 있으나 남쪽지역의 일부 큰 건물에 대한 회절특성을 고려치 않았기 때문에 그 영향은 남쪽 거주지역의 전체소음레벨에 대하여 매우 작을 것으로 판단할 수 있다. 그림8은 중심주파수가 2000Hz인 경우 즉 가장 큰 파워를 주는 공기흡입구 소음인 1981Hz성분의 소음특성의 전파특성을 보여준다. 서쪽 주거지역 건물 옥상에서 측정된 결과인 30dBA에 근접하는 29dBA를 나타내고 있고 주 소음원은 가스터빈 공기 흡입구임을 보여준다. 이 결과 알 수 있는 것은 500Hz성분에 비하여 거리감쇠 효과가 커서 주거지역에 미치는 영향은 거의 무시할 수준임을 보여준다.

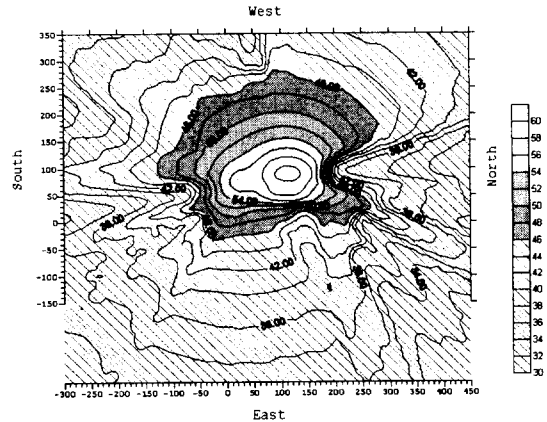


그림 7. 중심주파수가 500Hz인 소음분포도

## 7. 결론

본 연구에서 대상발전소의 소음 유발기기에 의한 환경소음에 주는 기여도를 평가한 결과 인근 주거지역에서의 주위 암소음이 포함된 총 소음치 55dBA에 대하여 46dBA정도의 기여를 하는 것으로 평가되어 양호한 상태를 나타내고 환경 규제치 이내로 평가되었다. 도로변 소음외에 가장 큰 영향을 주는 소음은 순음특성의 480Hz로서 그 원인은 변압기의 차폐장치와 변압기 사이의 공간특성에 의한 영향으로 확인되었다. 따라서, 앞으로 환경법의 강화에 대비한 투자 우선순위 및 소음제어방법을 결정할 수 있게 되었다. 특히, 소음원의 전파경로를 파악하기 위해 소음 레벨의 공간분포도를 구하였으며, 실 측정치와 잘 일치함을 보여 주었다.

## 참고문헌

1. 전력연구원, "발전소 소음제어 기술 개발" 중간보고서 1997년도.
2. 백용진, "소음·진동 피해진단 기술 정립방향", 한국소음진동공학회 논문집 VOL.7 NO.2 April 1997, pp.189~198.
3. 장창운, "도로교통소음 저감방안", 한국소음진동공학회 논문집 VOL.7 NO.2 April 1997, pp.199~207.
4. 박주옥, "주거환경소음에 대한 주거자의 반응 변화추이 고찰", 한국소음진동공학회 1996년도 춘계학술대회 논문집 pp.34~40.
5. 조대승, "발전소 환경소음 예측", 한국소음진동공학회 1997년도 춘계학술대회 논문집 pp.452~459.
6. 강대준, "철도소음과 그 영향", 한국소음진동공학회 1995년도 춘계학술대회 논문집 pp.100~109.
7. 유승국, "자동차 배기 소음의 주관적 평가 기법 연구", 한국소음진동공학회 1995년도 춘계학술대회 논문집 pp.94~99.
8. 정일록, "소음·진동학", 국립환경연구소, 1987년도.

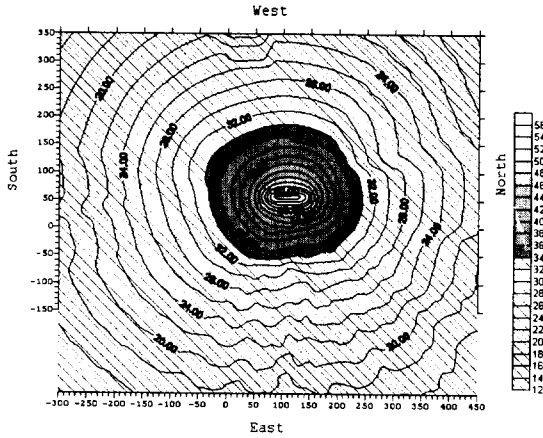


그림 8. 중심주파수가 2kHz인 소음분포도

상기 두 주파수는 발전소 소음원의 주요 특성들로 실 측정치와 거의 일치함을 알 수 있다. 그림9는 발전소의 4개의 연돌소음, 4대의 공기흡입기 소음, 5대의 변압기소음, 인근회사 연돌 소음을 고려할 때 발전소에 가장 가까이에 위치한 건물의 경우 최대 46dBA이하의 영향만을 발전설비(인근 회사의 연돌소음을 포함)로부터 받고 있는 것으로 나타난다. 그림9는 전체 영향 중에서 변압기의 영향이 현 운전모드에서 가장 큰 영향을 주는 소음원임을 명확히 보여준다. 따라서 480 Hz 성분의 레벨을 약화시킬 경우 발전소로부터 수음자에게 미치는 영향은 거의 무시할 만한 수준으로 이해할 수 있으며 오직 도로교통소음만이 주로 영향을 줄 것으로 판단할 수 있다.

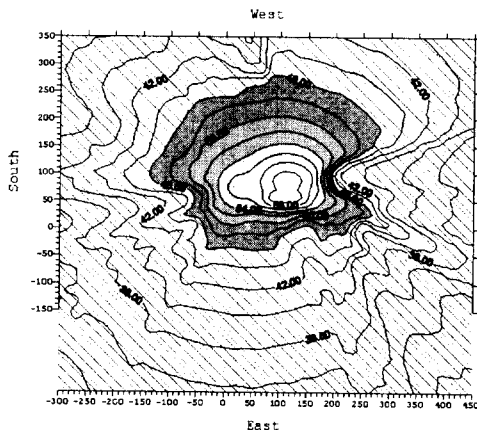


그림 9. 소음기여 레벨분포