

디젤 엔진 발전기의 실외 소음원규명 및 대책수립 사례

김원진*, 전민규*, 김중기*

(Source Identification and Countermeasure Application
for Outdoor Noise of Desiel Engine Generator)

(Won Jin Kim, Min Kyu Jeon and Jung Gee Kim)

1. 서론

최근들어 전력수요와 상시 전력공급이 요구되는 시설이 증가함에 따라 독립적으로 전력을 공급할 수 있는 상용 또는 비상용발전기가 많이 이용되고 있는 추세이다. 이러한 소형 발전시스템에는 디젤엔진이나 터빈 엔진에 발전기를 연결하여 전력을 공급하는 코젠 시스템 (co-generation system)이 주로 이용된다[1]. 일반적으로 코젠시스템은 운전중에 매우 높은 수준의 소음이 발생되므로 건물 주변이나 사람의 왕래가 잦은 곳에 설치되는 경우에 필히 소음저감을 위한 대책이 필요하게 된다[2, 3]. 본 사례는 대형놀이시설의 전력공급용으로 설치된 옥내(발전실내)의 상용/비상용 발전기(3600 KW 디젤엔진 2 대)에서 발생한 상당량의 소음이 놀이시설주변까지 전달되어, 소음원 및 그 전달경로를 규명하고 대책을 수립한 내용이다. 놀이시설의 개장을 앞두고 소음문제가 발생되었기 때문에 신속하고 현실적인 해결책의 적용이 요구되었으므로 발전기 및 발전실 주변의 소음레벨 및 주파수특성의 분석을 통하여 주소음원을 규명하는 방법을 택했다. 분석결과로부터 주 소음원은 엔진 배기구에서 발생하는 저주파수 특성을 갖는 소음으로 규명되었고, 그 주파수특성에 적합한 흡음 및 반사특성을 동시에 갖는 조합형 2 차 소음기를 추가로 설치하여 발전실 주변소음레벨을 크게 저감할 수 있었다.

2. 발전실 및 소음현상

발전실의 크기는 넓이 16×49 평방미터, 높이 10 미터 정도되며, 발전실내에는 비상용 디젤코젠 2 기(2000, 1500 kW), 상용 디젤코젠 1 기(3600

kW), 열병합 디젤코젠 2 기(3600, 2400 kW), 열병합 가스코젠 1 기(2800 kW)가 설치완료되어 시운전 중에 있다. Fig.1에서 알 수 있듯이 발전실 전방은 개방되어 있으나 후방은 15 미터 간격을 두고 높은 언덕으로 막혀 있고, 오른쪽 측면에는 발전실과 높이가 비슷한 놀이시설 제어실이 위치하고 있어서 디젤발전기에서 발생하는 소음이 뒷편 언덕과 제어실에 반사되어 거리에 따른 주변소음 저감량이 적다. 특히 디젤발전기 중에서 상용디젤코젠(3600 kW-900 rpm, 이하 엔진#1으로 표기) 운전시에 주변소음이 가장 크게 발생되며, 발전실 주변 및 놀이시설 제어실에서 80-90 dBA의 높은 레벨의 소음이 전달되고, 발전실에서 50 미터 정도 떨어진 놀이시설 주변에서도 64 dBA 정도의 소음이 전달된다.

3. 소음원 규명을 위한 소음레벨분석 및 주파수특성분석

엔진발전기의 설치구조에서 소음전달 주요경로는 다음과 같이 예측된다[4].

- (1) 기류음
 - 벽/천정 투과에 의한 소음전달
 - 배기구(exhaust duct)를 통한 소음전달
- (2) 고체음
 - 발전실뒷편 전기실의 진동에 의한 고체음
 - 발전실 철재지붕의 진동에 의한 소음발생

이상의 소음전달 경로 중에서 놀이시설주변에서 문제시 되는 소음에 가장 큰 영향을 주는 소음전달 경로를 평가하기 위해서 엔진 #1, #2 의 운전조건에 따른 소음레벨을 평가하고, 일부 주요지점에 대하여 주파수특성을 분석하였다.

* 삼성중공업(주) 기전부문

3.1 소음레벨분석

다음의 세 가지 운전조건에서 발전기가 설치된 건물 주변과 옥상에서의 소음레벨을 측정분석하였다.

- ① 엔진 #1 단독운전
- ② 엔진 #2 단독운전
- ③ 엔진 #1, #2 동시운전

이상의 세 가지 운전조건에서 측정된 발전실주변의 소음레벨(dBA)의 분포는 Fig.2,3 과 같이 나타난다. 그림에서 알 수 있듯이 엔진측면에서의 소음은 105~110 dBA로 운전조건에 따라 큰 차이는 없으며, 이상의 세 가지 조건 중에서 엔진 #1 만 운전할 때가 주변소음 레벨이 가장 크게 나가고, 지형 및 주변 건물에 의한 반사음으로 인하여 거리에 따른 소음레벨의 감쇠가 적다. 그리고 엔진 #1 만 운전시 건물옥상 배기구 1 미터 지점에서의 소음레벨이 101,102 dBA로 주변소음 중에서 가장 크게 나타나며, 배기구를 중심으로 거리에 따라 각 지점의 소음레벨이 감소함을 알 수 있다. Table 1 에 정리한 바와 같이 운전조건 ①과 ②에서의 결과를 비교해 보면 엔진 #1 이 엔진 #2 에 비하여 소음레벨이 주요 지점에서 7~16 dB 정도로 크게 나타나는데, 이 이유는 엔진 #2를 이용한 발전기는 열병합용으로 배기가스의 열을 회수하는 열교환기가 설치되어 배기관(exhaust duct)구조가 #1의 단순한 형태의 배기관과 다르기 때문으로 판단된다. 즉 열교환기가 주배기관의 측관(bypass duct)사이에 설치되어 있고, 열교환기 입구측에 가스개폐 밸브가 있다. 따라서 소음레벨 측정시 열교환기의 입구 밸브를 닫아서 열교환기를 사용하지 않는 상태이지만 주배기관에서 열교환기 입구까지의 거리는 3 미터로 사이드 브랜치(side branch)효과에 의해 소음이 저감되는 것으로 예상된다. 운전조건①과 ③에서의 결과를 비교해 보면 엔진 #1을 단독으로 운전할 때가 엔진 #1과 #2 를 동시에 운전할 때보다 소음레벨이 위치에 따른 차이는 있으나 대체적으로 크게 나타난다. 이러한 현상은 엔진 #1과 #2의 배기구가 매우 인접하게 설치되어 두 대의 엔진을 동시에 운전할 때 배기구 소음이 어느 정도 서로 상쇄되는 것으로 판단된다. 이상의 소음레벨측정 결과에서 알 수 있듯이 엔진 #1과 엔진 #2 에 의한 발전실내의 소음은 비슷하지만 주변소음은 상당한 차이가 나므로 벽/천정에 의한 투과소음의 영향은 상대적으로 작다고 판단할 수 있으며, 엔진 #1의 배기구 소음이 가장 크게 나타나므로 주변소음의 주요 원인임을 추정할 수 있다.

3.2 소음 주파수특성 분석

소음주파수 특성 분석은 소음이 가장 심한 엔진 #1 만 운전할 경우에 대하여 실시하였으며, 소음신호의 측정위치는 다음과 같다(Fig.1 참조).

- ① 엔진측면
- ② 배기구에서 1 M 지점
- ③ 놀이시설주변(발전실에서 50 M 지점)
- ④ 발전실과 뒷편 전기실사이 통로
- ⑤ 뒷편 언덕측통로
- ⑥ 통로(그림참조)
- ⑦ 엔진실과 놀이시설 제어실 사이 통로
- ⑧ 놀이시설 제어실내
- ⑨ 발전실 지붕(옥상)

이상의 측정점 중에서 주요 5 개 지점의 소음 주파수 스펙트럼은 Fig.4-8 에서와 같다. Fig.4 는 엔진 #1의 측면에서의 소음주파수 스펙트럼을 나타낸 것으로 엔진의 회전수 900 rpm(15 Hz)의 배수로 피크가 나타나며, 주요 주파수 성분은 360~1440 Hz 대역에서 나타난다. Fig.5 은 엔진배기구 1 M 지점에서의 소음 주파수 스펙트럼을 나타낸 것으로 45 Hz에서 피크가 시작하여 157 Hz에서 최대값을 가지며, 주요 주파수 성분은 45~202 Hz 의 저주파수 대역에 분포한다. Fig.6 에서 알 수 있듯이 놀이시설주변에서의 소음특성은 45 Hz에서 피크가 시작하여 90 Hz에서 최대값을 가지며, 주요 주파수 성분은 45~500 Hz 대역에서 나타나고, 특히 45~157 대역의 성분이 크게 나타난다. Fig.7 은 발전실과 놀이시설 제어실사이 통로에서의 소음특성을 나타낸 것으로 360~1000 Hz 사이에 대부분의 주요 피크가 나타난다. Fig.8 은 발전실 지붕에서의 소음특성을 나타낸 것으로 45~202 Hz 사이에서 대부분의 피크가 보인다. 그리고 측정지점에 따른 소음 주파수특성을 비교 분석하기 위해서 주파수 스펙트럼의 주요 피크값을 크기 순서로 정리하면 Table 2 와 같다. Table 2 에서 두 개의 주요 소음원 엔진의 측면소음(mechanical noise)과 배기구 소음(exhaust noise)을 비교해 보면 엔진 측면소음의 경우 350~1440 Hz의 고주파성분인 반면 배기구소음은 45~202 Hz의 저주파성분으로 주파수 특성이 서로 다를 수 있다. 여기서 가장 중요한 놀이시설 주변에서의 소음이 배기구 소음과 비슷한 특성을 보인다. 그리고 ④,⑤ 통로측에서는 배기구 주파수 성분이 상대적으로 크고,⑥,⑦ 통로측에서는 엔진 측면소음 주파수성분이 큼을 알 수 있다. 그리고 제어실과 지붕에서는 배기구소음이 대부분임을 알 수 있다. Fig.9 은 뒷편 전기실의 벽진동의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것인데 벽면이

정확히 45 Hz 로 진동함을 알 수 있다.

4. 소음원 규명 결과 및 대책수립

이상의 운전조건에 따른 소음레벨분석 및 엔진 #1 운전시 주요 지점의 주파수 특성 분석 결과를 토대로 2 절에서 엔진발전기 설치구조에 따라 예상되었던 소음전달 주요경로에 대한 평가는 다음과 같다.

- 1) 운전조건에 따른 소음레벨 분석 및 엔진 #1의 독립운전시 주파수 특성분석에서 알 수 있듯이 배기구 소음이 주변소음의 주원인이며, 주요 주파수성분은 45-202 Hz범위의 저주파 영역이다
- 2) 벽/천정의 투과에 의한 소음전달은 엔진 #1과 엔진 #2의 독립운전시에 주변 소음레벨이 7~16 dB로 상당히 차이가 나는 것으로 보아 주변 소음에 대해 크게 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 다만 발전실과 놀이시설 제어실 통로에서의 소음은 발전실의 문을 통과해서 전달되는 500-900 Hz의 상대적으로 높은 주파수 성분을 많이 포함한다.
- 3) 지붕에서의 소음주파수특성은 주요성분이 배기구의 특성과 거의 비슷한 것으로 보아 지붕에서의 소음은 발전실내에서 지붕을 투과하여 나오는 소음에 비해서 배기구소음이 대부분을 차지함을 알 수 있다.
- 4) 발전실 뒷편 전기실은 45 Hz로 진동하는데, 이에 의한 고체음은 전기실 주변의 소음특성과 비교해 볼 때 전체 소음레벨에 대한 기여도가 작다고 판단된다.

이상의 소음원 규명결과를 고려하여 수립한 대책은 다음과 같다.

- 1) 엔진 #1과 #2에 대해서 배기구의 소음을 저감하기 위해서 소음의 저주파 성분 (45-202 Hz)에 대한 저감성이 좋은 2 차 소음기(silencer) 제작하여 배기구에 추가 설치한다.
- 2) 발전실 주변 통로의 고주파성분(500-900 Hz) 소음을 저감하기 위해서 엔진측면소음의 투과를 막을 수 있는 방음문을 설치한다.
- 3) 발전실내의 소음레벨을 저감할 수 있도록 엔진자체를 밀폐하는 것이 좋은 방법이나 현재 엔진주변 구조물이 복잡하여 엔진 밀폐가 어렵기 때문에 실내 천정 및벽에 흡음재를 설치한다.

5. 2차 소음기 설치 후 소음현상

엔진 #1의 배기구 소음을 저감하기 위해서 다음 두 가지 형태의 2 차 소음기를 적용하였다.

- (1) 흡음형소음기(길이 3 미터, 반경 1.4 미터)
- (2) 조합형(흡음형+반사형)소음기
(길이 6 미터, 반경 2.2 미터)

먼저 배기구 소음원의 정확한 특성을 분석하기 위해서 배기구의 출구측 수직관(2 미터)을 잘라낸 상태에서 출구측면 1 미터 지점의 소음을 1/3 옥타브 대역(octave band)별로 측정하였다(Fig.10 참조). Fig.10 에서 보면, 앞 절의 분석과 마찬가지로 중심주파수 40-315 Hz 대역의 저주파수 성분이 대부분 이고, 전체 소음레벨의 합은 107 dBA 정도된다. Fig.11 은 흡음형 소음기를 적용한 후의 소음특성을 나타낸 것으로 저주파수의 소음 저감이 크지 않고, 전체적으로 4 dB 정도로 작은 량의 저감을 보인다. 이와 같이 흡음형 소음기는 저주파 영역에 대한 소음 저감 성능이 떨어지므로 저주파 특성을 갖는 소음원에는 적합하지 않음을 알 수 있다[6]. Fig.12 는 저주파수의 저감특성을 높이기 위해서 흡음형과 반사형의 조합형태로 하면서 그 크기도 크게 제작한 경우로 소음기 적용 후 전체적으로 소음레벨이 23 dB 정도 저감되며, 소음저감성능을 표시한 Fig.13 에서도 알 수 있듯이 본 소음기는 저주파수 영역에서 성능이 우수함을 알 수 있다. 고주파수 영역에서는 저주파수 영역에 비해서 상대적으로 소음원의 레벨이 낮아서 주변소음(냉각탑의 팬소음,투과소음)의 영향을 받으므로 이 영역에서의 소음기 성능평가의 의미가 없다고 볼 수 있다.

성능이 우수한 조합형 소음기를 엔진 #1 과 #2 의 배기구에 설치한 결과, 발전실 주변과 놀이시설 주변의 소음레벨이 많은량 저감되었다. Fig.14 는 엔진 #1 에 조합형 소음기를 설치한 후의 주변소음레벨을 측정된 결과를 나타낸 것인데, 배기구의 주소음원이 102 dBA에서 84 dBA로 18 dB 저감하였고, 옥상에서는 5-14 dB 정도 저감되어 67~79 dBA, 발전실과 뒤편 전기실 사이에는 5-11 dB 정도 저감되어 83 dBA, 놀이시설 제어실내에서는 22~32 dB 정도 감소되어 51-58 dBA, 발전실 뒤편 전기실내에서는 12 dB 감소해서 68 dBA, 뒷편 절벽 주변에서는 16-18 dB 저감되어 62-68 dBA로 발전실 주변소음이 상당히 많이 저감됨을 알 수 있다. 그런데 발전실 오른쪽 출입문 앞에서의 소음은 대부분 발전실내에서 투과되는 소음이고, 방음문이 설치되지 않아 조합형 소음기 설치 전후의 소음레벨의 차이는 없다.

6. 결론

발전실 주변의 넓은 지역으로 전달되는 소음을 규명하기 위해서 우선적으로 운전조건에 따라 주변 여러 지점의 소음레벨의 분포를 비교하는 방

법을 통하여 발전실 벽체/지붕으로의 투과에 의한 소음의 영향은 작고, 주소음원은 엔진의 배기구 소음임을 평가할 수 있었다. 그리고 가장 소음이 심각한 운전조건에서 엔진 배기구를 포함한 발전실 주변의 주요 지점에서 주파수 분석을 통하여 발전실 지붕과 발전실 뒷편 전기실의 진동에 의한 고체음의 영향은 크지 않음을 확인할 수 있었고, 발전실과 놀이시설 제어실 통로에서의 소음은 투과소음의 영향을 받지만 나머지 대부분 주변지점의 소음은 엔진 배기구 소음이 직접 전달되어 발생됨을 알 수 있었다. 엔진 배기구 소음을 저감하기 위해서 두 가지 형태의 2 차 소음기를 추가로 설치하였는데, 상대적으로 크기가 작은 단순 흡음형 소음기를 설치한 결과 만족할 만한 소음저감효과를 얻을 수 없었고, 큰 치수를 갖는 반사/흡음 조합형 소음기를 설치하므로 배기구에서의 소음과 주변소음을 상당량 저감할 수 있었다.

Table 2 Comparison of peak frequencies of noise spectrum

측정위치	Peak Frequencies(Hz)
①엔진	585, 975, 1035, 547, 750, 855, 817, 1440, 1238, 360
②배기	157, 135, 112, 180, 90, 150, 195, 202, 105, 45
③놀이시설	90, 157, 135, 540, 300, 67
④통로	180, 90, 112, 105, 855, 585
⑤통로	112, 450, 90, 135, 1328, 630
⑥통로	495, 855, 360, 45, 765, 945
⑦통로	555, 810, 562, 622, 360, 922
⑧제어실	45(dominant), 157, 112
⑨지붕	135, 157, 112, 202, 180, 45

1. 피크의 크기순서에 따라, 2. 표시 : 배기구소음

참고문헌

1. 박석호, 유성호, 김중기, 김효상, 1993, "30 kW 급 가스엔진 Co-generation Package 운전성능", 제 8 회 에너지절약 워크숍
2. 남경훈, 주현돈, 최부근, 박실룡, 1995, "디젤 엔진 발전기 세트의 소음제어", "한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 165~170.
3. 서중수, 전재진, 1994, "기관 소음원 차폐장치 설계 및 성능시험", "한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 167~171.
4. 일본음향재료협회, 1993, 소음 진동 대책 힌트북, 기보당 출판
5. L.L. Beranek, 1992, L.V. Istvan, Noise and Vibration Control Engineering-Principles and Applications, John Willey & Sons Inc.
6. L.L. Beranek, 1988, Noise and Vibration Control, The Institute of Noise Control Engineering.

Table 1 Noise level differences as operating condition

측정위치	소음레벨차I	소음레벨차II
배기구 부분	14~15 dB	2 dB
건물주변소음	7~14 dB	1~6 dB
시설 제어실	12~16 dB	5~8 dB
놀이시설주변	9 dB	4 dB

* 운전조건① - 운전조건② = 소음레벨차 I
 운전조건① - 운전조건③ = 소음레벨차 II

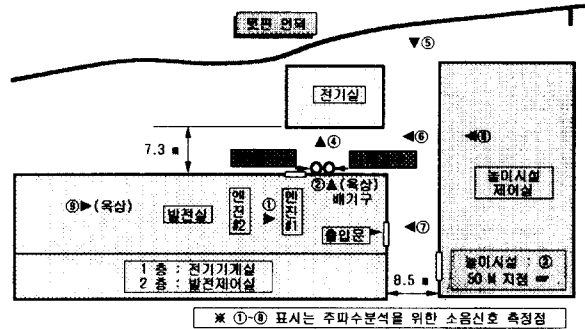


Fig.1 Generating room and its surroundings

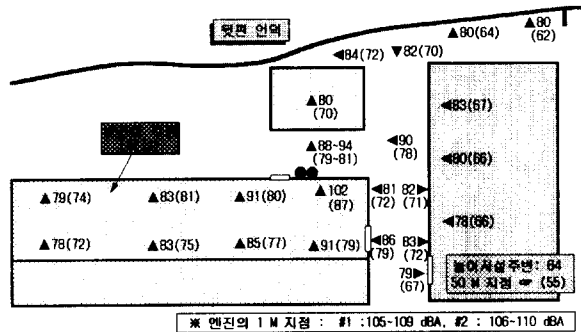


Fig.2 Distribution of noise levels when each engine #1 and #2 is operating separately ((), parenthesis means noise level of engine #2)

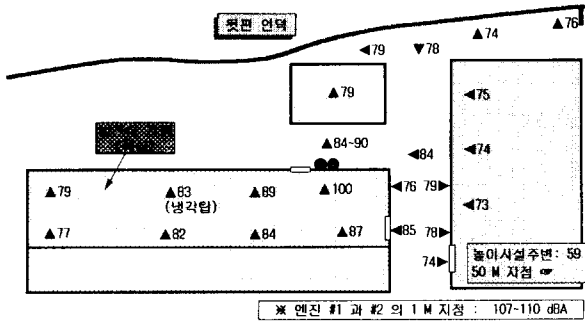


Fig.3 Distribution of noise levels when engine #1 and #2 is operating simultaneously

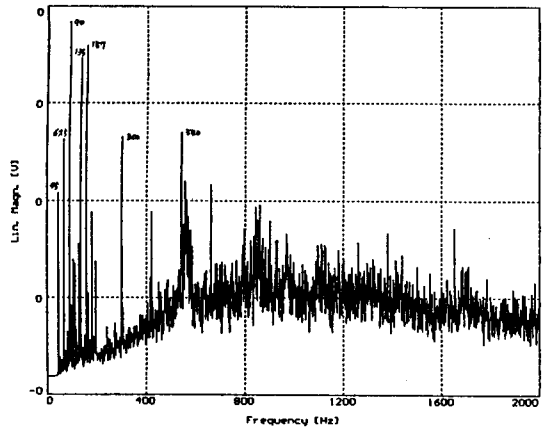


Fig.6 Noise spectrum at amusement park (position ③ ; overall 64 dBA)

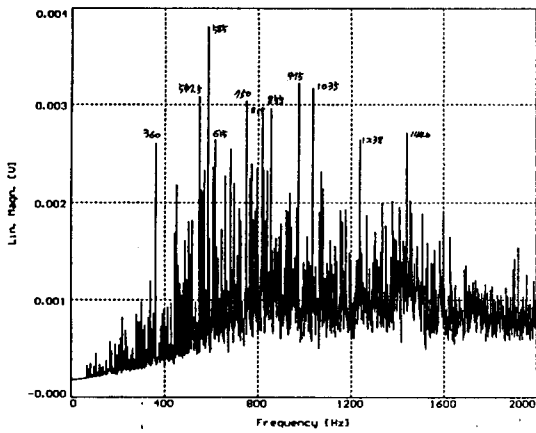


Fig.4 Noise spectrum of engine (position ① ; overall 108 dBA)

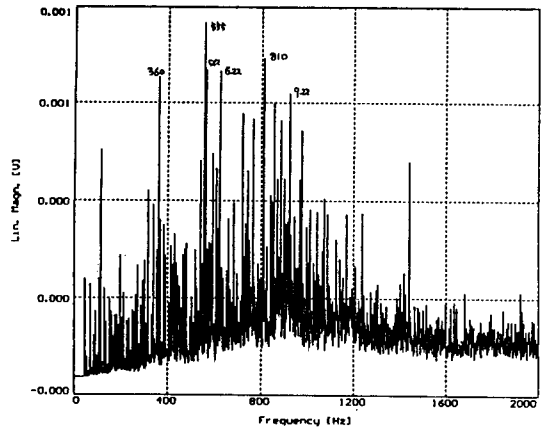


Fig.7 Noise spectrum at the passage between generating room and control room (position ⑦ ; overall 85 dBA)

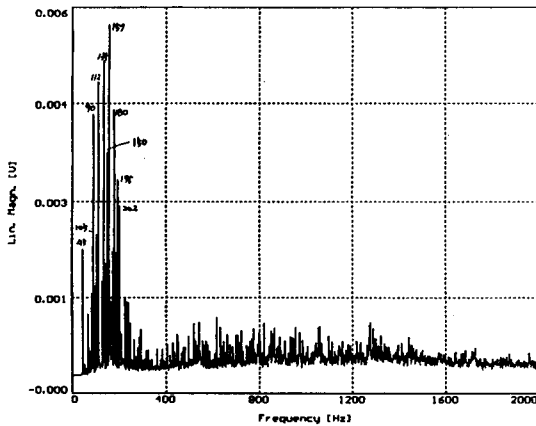


Fig.5 Noise spectrum of exhaust (position ② ; overall 102 dBA)

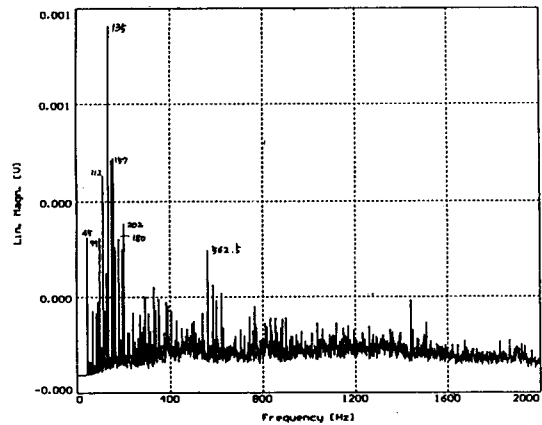


Fig.8 Noise spectrum on the roof of generating room (position ⑨ ; overall 80 dBA)

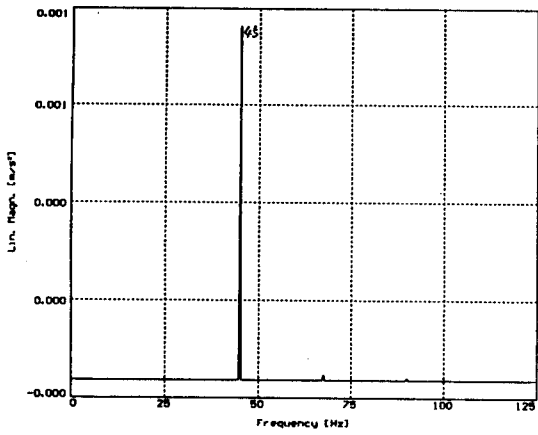


Fig.9 Vibration spectrum at the wall of electric room

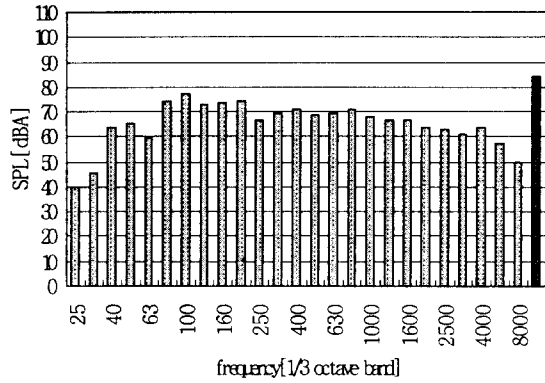


Fig.12 Exhaust noise of engine #1 with compound type silencer (overall : 84 dBA)

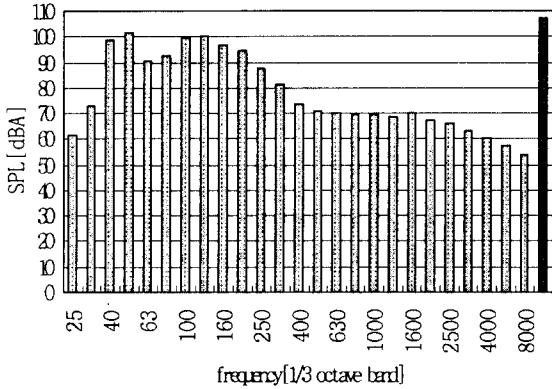


Fig.10 Exhaust noise of engine #1 without silencer(overall : 107 dBA)

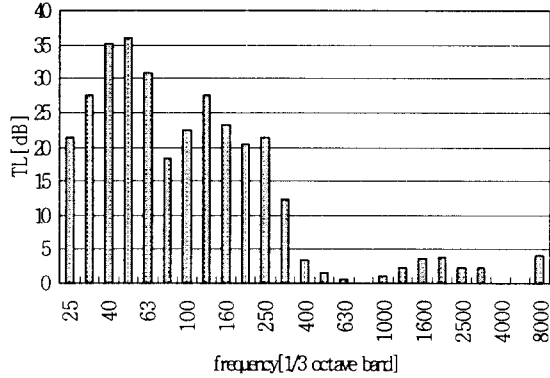


Fig.13 Noise transmission loss of compound type silencer

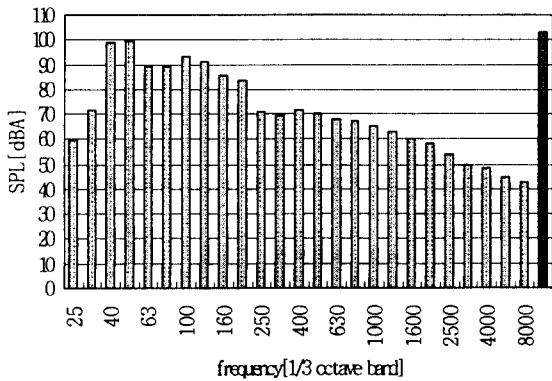


Fig.11 Exhaust noise of engine #1 with absorbing type silencer(overall: 103 dBA)

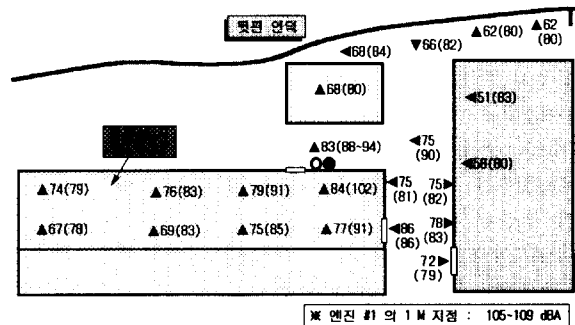


Fig.14 Distribution of Noise levels when engine #1 with compound type silencer is operating ((), parenthesis means noise level of engine #1 without silencer)