

# 음선기법에 의한 선박 실내 소음 해석

°김 준 태\*, 김 정 호\*, 김 진 오\*

( The Analysis of Noise in a Small Ship by the Sound Ray Method )

( Jun-Tai Kim, Jung-Ho Kim, Jin Oh Kim )

## 1. 서 론

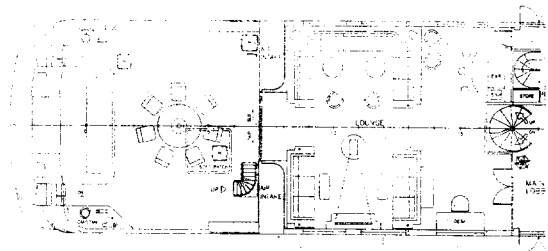
기하광학(geometrical optics)에서 빛이 광선(light ray)을 따라 진행한다고 보는 것처럼, 기하음향학(geometrical acoustics)에서는 소리가 음선을 따라 진행한다고 전제한다. 이러한 기하음향 기법은 소리의 파동 효과를 무시하여 간섭, 회절, 굴절, 확산 현상들을 고려하지 못하므로 낮은 주파수 범위에서는 적용되기 어렵지만, 공간 내에 배치물들이 놓여 전체 형상이 복잡하게 된 경우에 다른 방법보다 용이하게 활용될 수 있다.

이러한 기하음향학에 근거한 수치해법이 음선(音線) 기법<sup>(1,2)</sup>이다. 유한요소법이나 경계요소법이 공간의 고유음향모드를 구하거나 음원의 진동 속도 데이터로부터 공간의 음압 분포를 구하는 데에 비해서, 음선 기법은 음원의 음향파워레벨 데이터와 벽(바닥과 천정 포함)의 흡음계수로 부터 공간의 음압 레벨 분포를 구한다. 엔진이나 모터 등의 소음도와 스피커의 음향 출력 등이 음향파워레벨로 제공되므로 이러한 데이터를 사용하기에 음선 기법이 적합하다.

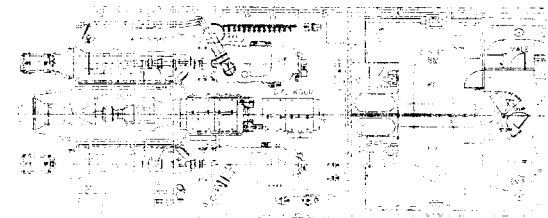
본 논문의 해석 대상은 설계단계에 있는 소형 선박의 내부로서, 소음원이 있는 기관실과 이에 인접한 객실 및 회의실이다. Fig. 1은 이부분을 보여주는 평면도로서 Fig. 1(a)는 주갑판(main deck)의 후반부이고, Fig. 1(b)는 하갑판(lower deck)의 후반부이다. 그림에 보인 바와 같이 기관실(D/E Room)과 객실(Guest Room)은 하갑판에 있고, 회의실(Lounge)은 주갑판에 있다. 기관실에는 2대의 디젤엔진과 2대의 발전기가 설치되어 소음 발생원이 된다. 이 소형 선박은 그 용도상 일반 선박 보다도 더욱 소음저감에 대한 요구가 큰 것으로서, 선실에 미치는 소음 영향을 설계단계에서 평가하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 음선기법에 의해 기관실의 소음레벨 분포를 구하고 이어서 객실과 회의실의 소음레벨을 평가하였다.

## 2. 음선(音線) 기법

해석에 사용된 음선기법은 영상음원법(mirror image source method)과 음선추적법(ray tracing method)의 장점을 택해 조합한 음통법(音筒法, sound beam method)이다. 각 방법들은 이미 다른 문헌<sup>(3)</sup>에서 설명한 바 있다. 영상음원법은 반사 차수의 증가에 따라 계산 시간이 지수함수로 증가하는 단점이 있지만, 음파의 방사를 정확하게 반영하는 장점이 있다. 음선추적법은 유한개의 음선을 사용하므로 누락되는 공간이 있어 방사하는 음파의 특성을 정확하게 나타내지 못하지만, 반사 차수의 증가에 따라 계산시간이 비례하는 정도로만 증가한다. 음통법은 계산에



(a)



(b)

Fig. 1 Top view of the rear parts of the main deck and lower deck of a small ship;

(a) main deck (b) lower deck.

\* 삼성종합기술원 슈퍼컴응용실 CAB팀

효율적인 음선추적법을 채택하면서 음파의 방사 특성을 반영하여 하나의 처리과정으로 만든것으로서, 음통의 형태에 따라 원뿔음통법과 삼각뿔음통법으로 분류된다.

원뿔음통법은 음원을 꼭지점으로 하는 원뿔을 무수히 방출한다. 실내에서 음속으로 진행되는 원뿔의 처리에는 Fig. 2 (a)에 보인 바와 같이 원뿔의 중심축에 음선 추적 알고리즘이 적용된다. 잇따른 두 반사면 사이의 잘려진 원뿔 안에 수신점이 놓일 때 투영된 음원이 찾아진다. 그 음원의 기여도는 원뿔에서의 방사상 발산을 사용해 쉽게 계산할 수 있다. 원뿔음통법의 단점은 Fig. 2 (b)와 같이 중첩 영역이 생겨 원뿔면에 비중합수를 고려해야 하는 것이다.

삼각뿔음통법은 원뿔음통법과 유사한데, 구형의 음파면(wavefront)을 분할하는 데에 원뿔 대신에 Fig. 2 (c)와 같이 밀면이 삼각형인 피라미드를 사용하는 것이다. 이 방법은 중첩 영역이 생기지 않아서

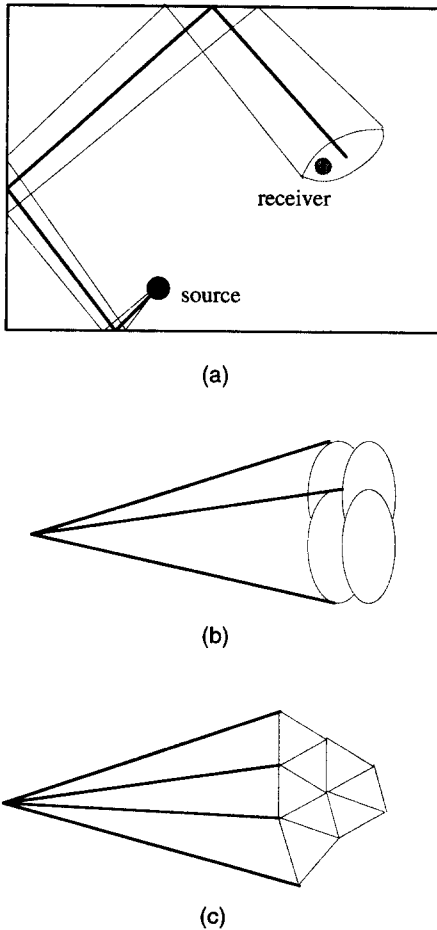


Fig. 2 Schematic diagram of the sound beam method; (a) sound beam propagation, (b) conical beam, (c) triangular beam.

비중합수를 적용할 필요가 없는 장점이 있다. 삼각뿔음통법은 원뿔음통법에 비해서 더 정확한 결과를 내지만 수렴 속도는 더 느리다.

실내 공간에서 소리의 전파를 예측하기 위한 여러 기법들을 비교한 바에 따르면, 음선 기법이 모든 응용사례에 대해서 가장 정확함이 판명되었다.<sup>(4)</sup> 특히 임의의 형상의 공간에 대해서는 이 방법만이 사용가능하다. 이 기법에 의한 해석결과는 강당<sup>(5)</sup>과 공장<sup>(6)</sup>에 대해 실험결과와의 비교를 통해 유효성이 확인되었다.

벨기에의 NIT(Numerical Integration Technologies)사에서 상용화한 프로그램인 RAYNOISE™는 음선기법 중 음통법을 이용하여 공간에서의 음향 현상을 해석하기 위한 것이다.<sup>(4)</sup> RAYNOISE에서의 모델링은 폐쇄공간 또는 개방공간에 대해서 갯수의 제한이 거의 없는 면으로 이루어지며, 면은 최대 20개의 점으로 구성된다. 벽이나 천정 또는 바닥은 흡음 특성이 옥타브 밴드의 Sabine 흡음계수로 표현되고, 확산(diffusion) 특성이 옥타브 밴드의 확산계수로 표현되며, 여러 재질에서의 데이터 베이스를 갖추고 있다. 대기 조건으로는 온도와 습도를 고려한다. 음선의 갯수와 음원 투영의 차수는 사용자가 지정하는데, 본 논문에서는 2000개의 음선 갯수를 사용하였고, 음선의 반사 횟수는 5차로 지정하여 해석하였다.

### 3. 기관실 소음 해석

승객에게 전달되는 소음은 주로 기관실에서 발생한 것이므로 이곳에서의 음압레벨 분포를 우선 구하였다. Fig. 1 (b)에 보인 주기관실(D/E ROOM)은 2대의 디젤엔진과 2대의 발전기가 설치되도록 설계되어 있다.

#### 3. 1. 소음원 데이터와 흡음계수

기관실에 있는 디젤엔진과 발전기의 소음 데이터는 Table 1과 2에 각각 기재한 바와 같이 음향파워레벨(Lw)로 표현되어 있다. 발전기에 대한 데이터는 1m 거리에서의 음압레벨(Lp)로 제공된 것을 파워레벨로 환산한 것이다.

이 데이터들은 각 기계의 총 파워레벨이므로 해석에 사용할 입력 데이터는 소음원을 모델링한 면들의 면적을 고려하여 각 면에 대해 분할해 주어야 한다. 음향파워(W)는 매질의 밀도( $\rho$ ), 전파속도(c), 진동속도(v), 면적(S)와 다음의 비례관계가 있다.

$$W \propto \rho c \langle v^2 \rangle S \quad (1)$$

한 공간에서  $\rho$ , c는 일정하고 한 소음원에 대해 v도

**Table 1** Sound power level (Lw) of the diesel engine. Lw1, Lw2, Lw3 are the levels of the side wall, front or rear wall, top, respectively.

| Freq.<br>(Hz) | Sound power level (dB) |        |        |        |
|---------------|------------------------|--------|--------|--------|
|               | Lw                     | Lw1    | Lw2    | Lw3    |
| 63            | 96                     | 90.24  | 87.53  | 88.67  |
| 125           | 107                    | 101.24 | 98.53  | 99.67  |
| 250           | 108                    | 102.24 | 99.53  | 100.67 |
| 500           | 111                    | 105.24 | 102.53 | 103.67 |
| 1k            | 114                    | 108.24 | 105.53 | 106.67 |
| 2k            | 115                    | 109.24 | 106.53 | 107.67 |
| 4k            | 116                    | 110.24 | 107.53 | 108.67 |
| 8k            | 117                    | 111.24 | 108.53 | 109.67 |

**Table 2** Sound power level of the generator. Lw1, Lw2, Lw3 are the levels of the side wall, front or rear wall, top, respectively.

| Freq.<br>(Hz) | Sound power level (dB) |        |        |        |
|---------------|------------------------|--------|--------|--------|
|               | Lw                     | Lw1    | Lw2    | Lw3    |
| 63            | 91                     | 85.24  | 82.53  | 83.67  |
| 125           | 97                     | 91.24  | 88.53  | 89.67  |
| 250           | 103                    | 97.24  | 94.53  | 95.67  |
| 500           | 104                    | 98.24  | 95.53  | 96.67  |
| 1k            | 109                    | 103.24 | 100.53 | 101.67 |
| 2k            | 111                    | 108.24 | 105.53 | 106.67 |
| 4k            | 117                    | 111.24 | 108.53 | 109.67 |
| 8k            | 119                    | 113.24 | 110.53 | 111.67 |

위치별로 차이가 별로 나지 않는다고 전제할때, 음향 파워 W는 면적 S에 비례한다고 볼 수 있다. 본 해석에서는 소음원들을 직육면체로 모델링하였으므로, 바닥면을 제외한 다섯개의 면에 대해 분할된 파워레벨을 Lw1(좌측면 또는 우측면), Lw2(전면 또는 후면), Lw3(윗면)으로 Table 1과 2에 나타내었다.

기관실의 벽과 천정 또는 바닥에 대해서는 음의 반사 때에 생기는 흡음을 고려해주어야 한다. 이를 위해서 사용된 여러재질과 4절에서 사용되는 내장재들에 대한 Sabine 흡음계수를 Table 3에 기재하였다.

### 3.2. 주기관실의 소음 해석 결과

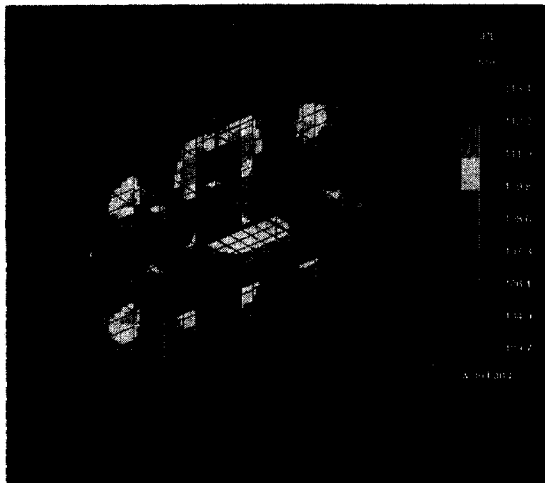
주기관실에 있는 4대의 기계들은 항해 중에는 2대의 디젤엔진과 1대의 발전기가 가동된다. 발전기는 둘 중의 어느 한대가 가동되고 다른 한대는 비상용으로 정지해 있다. 디젤엔진 2대와 객실쪽 발전기 1대가 가동중인 상황에 대해 주기관실의 소음분포를 해석한 결과를 Fig. 3 (a)와 (b)에 나타내었다.

Fig. 3 (a)는 바닥에서 1.5m 높이의 수평면에 대한 결과와 엔진 중앙을 지나는 수직면에 대한 결과를 조합하여 입체도로 나타낸 것이다. 여기에 사용된 해석 모델은 45개의 요소와 92개의 노드로 이루어져 있다. Fig. 3 (a)의 결과는 주기관실 내부의 A보정된 소음레벨과 분포패턴을 보여주는 것으로서, 항해중 주기관실 내의 소음레벨이 103.7dB/A 부터 113.4dB/A까지의 분포임을 알게한다.

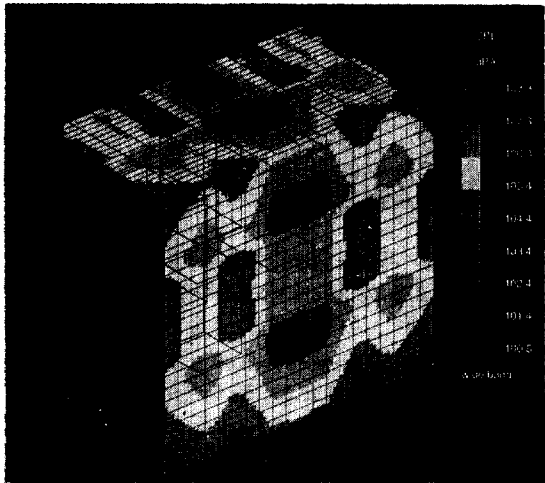
Fig. 3 (b)는 천정에 대한 결과와 객실쪽 벽면에 대한 결과를 조합하여 입체도로 나타낸 것이다. 여기에 사용된 해석 모델은 28개의 요소와 40개의 노드로 이루어져 있다. Fig. 3 (b)의 결과는 주기관실 천정과 벽면의 A보정된 소음레벨과 분포패턴을 보여주는 것으로서, 100.5dB/A 부터 108.3dB/A까지의 분포임을 알게한다. 실제 해석에서는 옥타브 밴드의 주파수 별 음압레벨도 구하였고, 이 결과는 객실과 회의실로 전파되는 소음을 해석하는 데에 필요한 자료이다. 천정과 벽면에서의 소음레벨의 대표값을 Table 4에 정리하였다.

**Table 3** Sabine absorption coefficients of several materials.

| Freq.<br>(Hz) | Sabine absorption coefficient |        |         |            |           |      |         |
|---------------|-------------------------------|--------|---------|------------|-----------|------|---------|
|               | insulator                     | carpet | parquet | hard board | 2-glazing | door | curtain |
| 63            | 0.23                          | 0.02   | 0.03    | 0.21       | 0.03      | 0.31 | 0.05    |
| 125           | 0.23                          | 0.02   | 0.04    | 0.20       | 0.02      | 0.30 | 0.05    |
| 250           | 0.46                          | 0.06   | 0.04    | 0.10       | 0.06      | 0.25 | 0.03    |
| 500           | 1.0                           | 0.13   | 0.05    | 0.12       | 0.03      | 0.20 | 0.35    |
| 1k            | 0.96                          | 0.46   | 0.06    | 0.08       | 0.03      | 0.17 | 0.40    |
| 2k            | 1.0                           | 0.44   | 0.06    | 0.07       | 0.02      | 0.15 | 0.50    |
| 4k            | 0.98                          | 0.98   | 0.06    | 0.10       | 0.02      | 0.10 | 0.50    |
| 8k            | 0.98                          | 0.66   | 0.05    | 0.11       | 0.02      | 0.11 | 0.51    |



(a)



(b)

Fig. 3 Noise distribution in the main engine room during traveling; (a) inside, (b) wall and ceiling.

#### 4. 선실의 소음 해석

기관실에서 발생한 소음이 승객에게 미치는 영향을 예측하기 위하여, 객실과 회의실에서의 소음레벨을 해석하였다. Fig. 1(b)에 보인 객실 (GUEST RM)은 기관실에 인접해 있다. Fig. 1(a)에 보인 회의실 (LOUNGE)은 기관실 상부에 일부 얹혀있다.

##### 4.1 소음원 데이터

기관실의 소음이 벽이나 천정을 투과하여 객실과 회의실에 전달된다는 전제에서 소음 해석을 행하

Table 4 Noise level on the ceiling and the wall of the engine room.

| Freq. (Hz)               | Sound Pressure Level (dB) |       |
|--------------------------|---------------------------|-------|
|                          | ceiling                   | wall  |
| 63                       | 83.8                      | 84    |
| 125                      | 94.0                      | 94    |
| 250                      | 93.8                      | 94    |
| 500                      | 94.8                      | 95    |
| 1k                       | 97.9                      | 98    |
| 2k                       | 98.8                      | 99    |
| 4k                       | 99.8                      | 100   |
| 8k                       | 100.5                     | 101   |
| Over-all, Lp             | 106.2                     | 106.5 |
| A-weighted Over-all, LpA | 105.9                     | 106   |

였다. 객실에 대해서는 주기관실에 인접한 벽면이 소음원이고, 회의실에 대해서는 주기관실의 상부에 해당하는 일부 바닥이 소음원으로 간주되었다.

앞절에서 구한 주기관실의 객실 부분 벽면의 소음레벨의 옥타브밴드 주파수별 소음레벨 (Lp)을 Table 5의 첫째줄에 기재하였다. 객실과 주기관실 간의 벽의 소음 투과손실 (TL) 데이터는 Table 5의 둘째줄에 기재한 바와 같다. 이 두 자료에서 벽을 투과한 소음의 객실쪽 면에서의 음압레벨 (Lp')을 계산하였다. 음압레벨 Lp'과 면적 S를 알고 있으면 다음식에서 파워레벨이 계산된다.<sup>(8)</sup>

$$L_w = L_p' + 10 \log S - 0.13 \text{ (dB)} \quad (2)$$

Table 5 Noise source data of the guest room.

Lp is the noise level on the engine room wall, TL is the transmission loss, and Lp' is the noise level on the wall to the guest room side.

| Freq. (Hz) | Lp (dB) | TL (dB) | Lp' (dB) | Lw (dB) |
|------------|---------|---------|----------|---------|
| 63         | 84      | 15.21   | 68.79    | 74.39   |
| 125        | 94      | 20.56   | 73.44    | 79.04   |
| 250        | 94      | 25.98   | 68.02    | 73.62   |
| 500        | 95      | 31.40   | 63.60    | 69.20   |
| 1k         | 98      | 38.82   | 59.18    | 64.78   |
| 2k         | 99      | 42.24   | 56.76    | 62.36   |
| 4k         | 100     | 47.66   | 52.34    | 57.94   |
| 8k         | 101     | 53.08   | 47.92    | 53.52   |

**Table 6** Noise source data of the lounge. S1 = 5.67 m<sup>2</sup>, S2(=S3) = 1.215 m<sup>2</sup>, S4(=S5) = 1.7 m<sup>2</sup>, S8(=S9) = 0.85 m<sup>2</sup>, S10 = 10.4 m<sup>2</sup>.

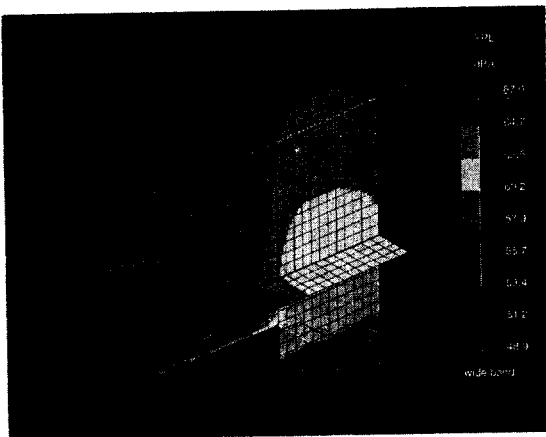
| Freq.<br>(Hz) | Sound Power Level (dB) |       |       |       |       |       |
|---------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               | Lw1                    | Lw2   | Lw4   | Lw6   | Lw8   | Lw10  |
| 63            | 77.73                  | 70.04 | 72.49 | 72.49 | 68.43 | 79.36 |
| 125           | 83.33                  | 75.64 | 77.09 | 78.09 | 74.08 | 84.96 |
| 250           | 77.96                  | 69.27 | 71.72 | 71.72 | 67.71 | 78.59 |
| 500           | 74.54                  | 64.85 | 67.30 | 68.30 | 63.29 | 74.17 |
| 1k            | 72.12                  | 62.43 | 64.88 | 65.88 | 61.87 | 71.75 |
| 2k            | 67.70                  | 58.01 | 60.46 | 61.46 | 57.45 | 67.33 |
| 4k            | 63.28                  | 53.29 | 56.04 | 57.04 | 53.03 | 52.91 |
| 8k            | 58.86                  | 49.17 | 51.62 | 52.62 | 48.61 | 58.49 |

이와같이 음향파워레벨(Lw)로 환산한 Table 5의 맨 우측 줄의 수치를 객실 소음 해석의 입력 데이터로 삼았다.

회의실의 소음해석을 위한 입력 데이터를 구한 과정은 객실의 경우와 유사하나 세분화된 지역에 대해 파워레벨을 각각 구하였다. 주기관실 천정의 소음레벨 분포에 따라 10개의 지역(S1~S10)으로 구분하여, 앞에서 설명한 과정에 따라 회의실 바닥의 음향 파워레벨을 계산한 결과를 Table 6에 기재하였다.

#### 4.2 객실의 소음 해석 결과

객실에서 욕실부분을 제외하고 주기관실과 인접한 벽에서의 음향파워레벨을 소음원 레벨로 사용하여 해석한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4는 바닥에서 1.6m 높이(서있는 사람의 귀 높이)의 수평면에 대한 결과와 객실 반대쪽 벽면에 대한 결과들을 조합하여 입체도로 나타낸 것이다. 여기에 사용된 해석 모델은 21개의 요소와 41개의 노드로 이루어져 있다.



**Fig. 4** Noise distribution in the guest room.

Fig. 4의 해석결과는 항해중 객실 내부의 A보정된 소음레벨과 분포패턴을 보여주는 것으로서, 48.9 dB/A 부터 67.0dB/A 까지의 분포임을 알게한다. 이러한 소음레벨의 대표값을 Table 7에 정리하였다. Overall 소음 레벨 대표값 55.7dB/A는 기준치 55dB/A에 근사하다.

#### 4.3 회의실의 소음 해석 결과

회의실은 객실과 달리 항해중에도 사용될 수 있고, 용도상 소음 약조건에서도 정속성이 요구되는 공간이다. 그래서 좀더 정밀한 소음 해석을 위하여, 4.1절에 기술한 바와 같이 소음원 구역을 세분화하여 입력 데이터를 구해 놓았고, 본 해석에서도 여러경우의 내장재 조건에 대하여 각각 소음예측 해석을 수행하였다.

회의실 내장재의 구성을 여섯가지 경우로 분류하였다. 바닥의 종류는 카펫 또는 마루(parquet)이고, 창문은 유리창이거나 커튼이 가려진 경우이며, 벽면은 목재이거나 insulator이고, 천정은 하드보드 또는 insulator이다. 이들로부터 조합한 여섯가지 경우를 Table 8에 요약해 놓았다.

여섯가지 회의실 조건에 대해 소음해석을 한 결과를 Fig. 5 (a)~(f)에 나타내었다. Fig. 5는 바닥에서 1.6m 높이의 수평면에 대한 결과와 중앙의 수직면에 대한 결과들을 조합하여 입체도로 나타낸 것이다. 여기에 사용된 해석 모델들은 41개의 요소와 78개의 노드로 이루어져 있다.

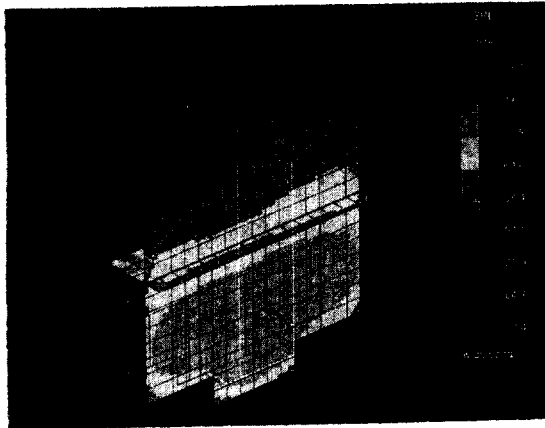
Fig. 5의 해석결과들은 회의실 내부의 A보정된 소음레벨과 분포 패턴을 보여준다. 소음레벨 분포는 case 1에서는 63.4~73.3dB/A, case 2에서는 63.8~73.4dB/A, case 3에서는 63.3~73.3dB/A, case 4에서는 63.7~73.4dB/A, case 5에서는 66.7~74.2dB/A, case 6에서는 61.4~72.7dB/A 임을 알 수 있다. 이러한 소음레벨의 대표값을 Table 7에 정리하였다. Overall 소음레벨 대표값 67.3~71.4dB/A는 내부에 설치될 가구

및 인테리어에 의한 소음 저감량 (약 5dB/A 예상)을 고려하더라도 기준치 60dB/A 보다 다소 높다.

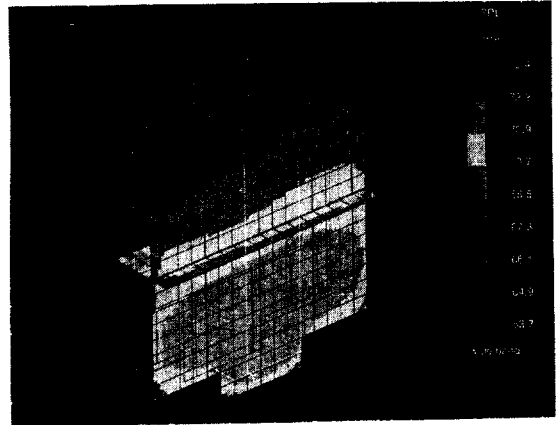
그리고 회의실 내에서 승객들 간의 대화에 미치는 영향 분석을 위하여, PSIL (preferred speech interference level) 지수를 다음 식으로 계산하였다. <sup>(8,9)</sup>

$$PSIL = (L_{500} + L_{1000} + L_{2000}) / 3 \text{ (dB)} \quad (3)$$

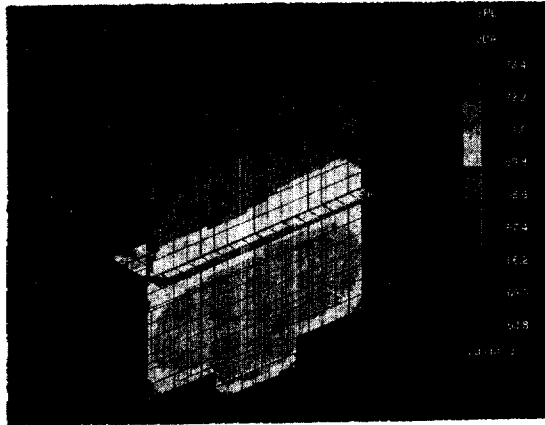
회의실 내에서의 PSIL 계산은 소음레벨 해석 결과 소음의 정도가 가장 높게 나타난 case 5를 대상으로 하였으며, 계산 결과로 65.4dB를 얻었다. 따라서 고속 운항 중에 서로 2m (6ft) 떨어진 거리에서의 대화에는 큰 지장이 없으나 2~4m (6~12ft) 거리에서는 매우 큰 소리로 대화를 해야 하며, 4m (12ft) 이상의 거리에서는 대화가 불가능하다고 판단된다. <sup>(8,9)</sup>



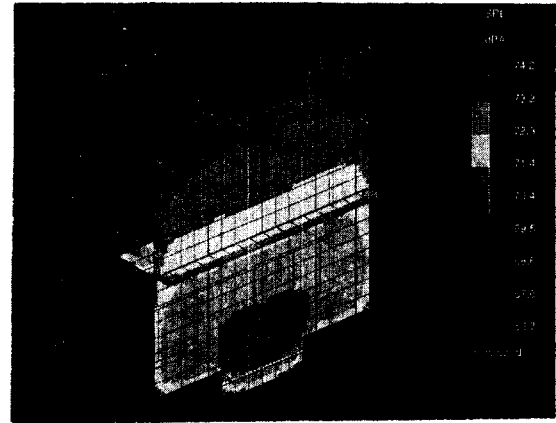
(a) case 1



(d) case 4



(b) case 2



(e) case 5



(c) case 3



(f) case 6

Fig. 5 Noise distribution in the lounge; (a)-(f) six cases.

Table 7 Noise level of the guest room and the lounge.

| Freq.<br>(Hz)                  | Sound Pressure Level (dB) |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                | guest                     | lounge |        |        |        |        |        |
|                                | room                      | case 1 | case 2 | case 3 | case 4 | case 5 | case 6 |
| 63                             | 62.1                      | 72.9   | 72.8   | 72.8   | 72.8   | 72.2   | 72.6   |
| 125                            | 66.8                      | 78.3   | 78.3   | 78.3   | 78.3   | 77.7   | 78.1   |
| 250                            | 59.6                      | 71.9   | 72.0   | 71.9   | 71.9   | 72.4   | 70.4   |
| 500                            | 48.1                      | 65.8   | 66.0   | 65.6   | 65.7   | 68.8   | 61.6   |
| 1k                             | 44.3                      | 63.1   | 64.2   | 63.0   | 63.6   | 65.9   | 59.5   |
| 2k                             | 42.8                      | 58.6   | 59.6   | 58.4   | 59.0   | 61.6   | 54.8   |
| 4k                             | 35.5                      | 54.0   | 55.1   | 53.7   | 54.4   | 56.9   | 50.5   |
| 8k                             | 30.7                      | 49.0   | 50.0   | 48.6   | 49.7   | 51.7   | 45.8   |
| over-all,<br>Lp                | 68.8                      | 80.4   | 80.4   | 80.3   | 80.3   | 80.3   | 80.0   |
| A-weighted<br>over-all,<br>LpA | 55.7                      | 69.6   | 69.9   | 69.3   | 69.7   | 71.4   | 67.3   |

Table 8 Several cases of the lounge interior.

|         | case 1     | case 2     | case 3     | case 4     | case 5     | case 6    |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| floor   | carpet     | parquet    | carpet     | parquet    | carpet     | carpet    |
| window  | glass      | glass      | curtain    | curtain    | glass      | glass     |
| wall    | insulator  | insulator  | insulator  | wood       | insulator  | insulator |
| ceiling | hard board | hard board | hard board | hard board | hard board | insulator |

## 5. 결 론

본 논문에서는 소음원이 있는 실내 공간의 음압 레벨 분포를 해석하기 위한 음선기법을 사용하였고, 계산에는 상용 소프트웨어인 RAYNOISE™를 이용하였다. 고부가가치 소형 선박에 있어서 주기관실과 객실 및 회의실을 해석 대상으로 하였으며, 디젤엔진과 발전기가 있는 주기관실의 음압레벨 분포를 구하였고, 이결과를 이용하여 인접한 객실과 회의실의 소음레벨을 구하였다.

## 참 고 문 헌

1. H. Kuttruff, 1991, Room Acoustics, Elsevier Applied Science, New York.
2. L. Cremer and H. A. Muller, 1982, Principles and Applications of Room Acoustics, Applied Science Publishers, New York.
3. 김준태, 김정호, 김진오, 1995, “음선기법에 의한 엔진실의 소음 해석”, 대한기계학회 95추계학술대회 논문집.
4. M. Hodgson, 1990, ‘On the accuracy of models for predicting sound propagation in fitted rooms’, Journal of the Acoustical Society of America, Vol.88, pp.871-878.
5. G. Vermeir and P. Mees, 1995, ‘Evaluation of room acoustical predictions using ray-tracing’, Proceedings of Euro-Noise 95, pp.109-114.
6. G. Vermeir and P. Mees, 1995, ‘Sound propagation in enclosed factory spaces: scale-model experiments and ray-tracing predictions’, Proceedings of Inter-Noise 95, pp.335-338.
7. NIT, 1993, RAYNOISE Users Manual, Numerical Integration Technologies, Belgium.
8. A. P. G. Peterson, 1980, Handbook of Noise Measurement, 9th ed., GenRad, U.S.A., p.62, p.196.
9. H. Lord, W. S. Gately, and H. A. Evensen, 1980, Noise Control for Engineers, McGraw-Hill, New York, p.183.