

신설 석유화학 공장의 소음도 예측
Prediction of the Noise Levels for
a Newly-founded Petrochemical Plant

윤 세 철* · 이 해 경**
 Se-Cheol Yoon · Hae-Kyung Lee
 (1996년 9월 14일 접수, 1996년 12월 14일 채택)

ABSTRACT

Prolonged in-plant personnel exposure to high noise levels results in permant hearing damage. There are no way to correct this hearing damage by treatment or use of hearing aids. Therefore, every employer is responsible for providing a workplace free of such hazards as excessive noise.

This study was carried out to evalute and predict a given noise environment based on specific limit as the noise guarantee for a newly-founded petrochemical plant. The maximum total sound level should not exceed 85dBA in the work area, except where the area is defined as a restricted area and 70dBA at the plant boundary. Prediction of the noise levels within the plant area for a newly-founded petrochemical plant was achieved by dividing all plant area into 20m×20m regular grid spaces and noise level inside the area or unit that in-plant personel exposure to high noise levels was estimated computed into 5m×5m regular grid spaces. The noise level at the grid point that was propagated from each of the noise sources(equipments) computed using the methematical formula was defined as follows :

$$SPL_2 = SPL_1 - 20 \log \frac{r_2}{r_1} \text{ (dB)}$$

where SPL_1 = sound pressure level at distance r_1 from the source

SPL_2 = sound pressure level at distance r_2 from the source

As a result, the equipments exceeded noise limit or irritating noise levels were identified on the specific grid coordinates. As for equipments in the area that show high noise levels, appropriate counter-measures for noise control (by barriers, enclosure, silencers, or the change of equipments, for

* 경원전문대학 환경공업과

** 경원전문대학 전자과

example) should be reviewed. Methods for identifying sources of noise applied in this study should be the model for prediction of the noise levels for any newly-founded plant.

1. 서 론

공장이 설립되어 정상가동이 되는 과정을 보면 공장계획, 공장설계, 공장건설, 시운전 및 정상조업의 4단계로 구분지을 수 있다. 이들 4단계의 전과정중 일부 과정에만 정성을 쏟고 나머지 과정에는 관심을 보이지 않게 되면 공장은 기간이 흐르면서 서서히 비정상 상태가 발생할 수 있으며, 조금 더 진전되면 비상사태의 조건에 놓이게 되어 더 이상 치료할 수 없는 상황에 돌입하게 될 수도 있다. 공장은 설립된 이상 안정된 정상 조업이 이루어질 때 양질의 제품생산이 가능하며 안정된 공장조업을 위해서는 공경관리, 안전관리, 환경관리 등의 여러 중요 부분관리를 섬세하고 성실하게 운영하여야 한다. 특히, 공장을 건설한 후 시운전을 통하여 성능 보장치를 만족시키지 못했을 때는 환경 및 안전측면에서 문제점을 야기시키게 되는 후유증이 어느 시점에서부터 나타나게 된다. 이러한 측면에서 주시할 때 성능보장 항목선정은 환경 및 안전 측면에서 중요한 요소가 된다¹⁾. 한편, 근래에는 국내외 기업들이 공장건설 계획단계에서 환경 및 안전문제와 직접 연관성이 있는 소음문제를 해결하고자 각종 설비 및 기계장치류의 공급자들에게 소음레벨의 한계치를 성능보장항목으로 선정하여 기계설비공사를 하도록 제시하고 있다. 그러나, 그러한 각종 설비 및 기계장치류가 성능보장항목으로 소음레벨의 한계치를 만족시키더라도 공장 부지에 설치되어 모든 기계들이 동시에 가동될 경우에는 여러 기계들에 대한 복합소음으로 인하여 소음도가 증가하여 소음으로 인한 문제점이 야기될 수도 있으며 경우에 따라서는 현장여건의 어려움으로 방음 대책을 도저히 할 수 없는 상황에 이르게 될 수도 있는 것이다. 소음에 대한 문제점의 예방 및 해결방안으로는 공장건설이 완료된 후에는 현장여건의 어려움 뿐만 아니라 방음대책에 따른 소요 경비도 상당하기 때문에 공장건설 계획 단계에서 공장내부의 전반적인 소음 분포를 예측하고, 사전에 문제점을 파악하여 공장방음 계획에 반영함으로써 법적 소음기준치를 만족시키고 작업

장내 작업환경 개선에 따른 근로조건 및 생산능률의 향상을 위한 기초자료로 활용하여야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 근래 신설되고 있는 석유화학공장을 대상으로 공장내 전반적인 소음분포를 예측하고, 본 연구에서 진행된 예측 기법을 이용하여 차후 신설되는 다른 유사한 공장에도 적용할 수 있는 모델로 삼고자 한다.

2. 설비 현황

석유화학공장의 생산 설비 및 기계장치류로는 높은 소음을 발생시키는 Cooler, Blower and Fans, Compressors, Exchangers, Pump 그리고 Reactors 등이 산재되어 있으며, 공장근로자들이 고소음 환경에 노출됨으로써, 난청의 재해²⁾ 및 법적 기준치를 초과하는 문제를 야기시킬 수 있다.

본 연구의 대상은 석유화학 공장으로서 1000m×250m 부지내에 447대의 각종 설비 및 기계장치류가 설치될 예정이며, 각종 기계류에 의한 성능보장항목으로의 소음레벨 한계치는 공장부지 경계선에서 70 dBA, 공장내부 작업장에서 85 dBA 그리고 출입금지구역에서 120 dBA 등으로 각각 설정되어 있고, 설비 및 기계 장치류 공급자들로부터 제시된 각종 기계류에 대한 소음도는 각각 67.9~90 dBA의 분포를 나타내고 있다.

Table 2는 공장부지내에 설치될 대상 설비 및 기계류 447대중 주요소음원(126대)에 대한 소음레벨 및 설치위치를, Fig. 1은 공장부지내 각종 설비 및 기계류의 설치 분포도를 나타내고 있다.

Table 1 Plant noise level limits

Description	Noise limit(dBA)
Plant boundary	70
Work area	85
Resticted area	85~120
* The Noise level anywhere in the Work Area shall not exceed 120 dB(A) in any situation, including emergencies such as blowing of safety relief valves but excluding calamities	

Table 2 Noise level and location of major equipments

Noise (dBA)	LOCATION			Noise (dBA)	LOCATION			Noise (dBA)	LOCATION		
	E(m)	N(m)	El(m)		E(m)	N(m)	El(m)		E(m)	N(m)	El(m)
85	395	3121	0.5	83	326	2919	16	76	333	2995	0.5
82.9	329	3137	16	82	332	2919	16	84	344	2995	0.5
80.6	376	3137	16	85	399	2904	0.5	83.5	380	2995	0.5
83	380	3137	16	83	338	2904	0.5	80	367	2995	0.5
80.6	376	3141	16	84	296	2912	0.5	88	275	3235	0.5
81.4	384	3137	16	82	271	3235	0.5	89	414	3380	0.5
83.4	358	3137	16	86	384	2984	16	85	273	3389	0.5
85	408	3127	0.5	84.6	376	2984	16	90	265	3389	0.5
80.5	369	3129	0.5	82	285	2984	16	85	378	3304	3.8
84	378	3129	0.5	80.9	306	2984	16	81.7	249	2781	0.5
82.8	353	3147	0.5	86.9	311	2984	16	85	406	2092	0.5
80	360	3147	0.5	86.9	315	2989	16	85	337	3352	0.5
85	391	3147	0.5	85	289	2984	16	80	359	2787	0.5
85.6	291	3137	16	84	287	3235	0.5	84	273	2797	0.5
89	294	3080	0.5	81	318	2978	0.5	67.9	306	2777	0.5
86.6	339	3060	16	84.5	294	2978	0.5	77.8	312	2777	0.5
84.9	348	3060	16	76	323	2978	0.5	80	372	2800	0.5
85	331	3060	16	85	409	2862	0.5	81	377	2788	0.5
82	354	3071	0.5	83.6	375	2855	16	79	347	2776	0.5
80	295	3080	0.5	82	375	2862	16	82	343	2784	0.5
85	352	3040	0.5	82	369	2858	16	82	371	2802	0.5
90	340	3037	0.5	80	357	2863	0.5	83	348	2776	0.5
86.2	354	3060	16	81	366	2863	0.5	79	312	2790	0.5
84.7	309	3060	16	75	348	2863	0.5	84	348	2778	0.5
84.6	305	3060	16	83	368	2845	0.5	82	336	2775	0.5
83.3	336	3054	0.5	84	375	2845	0.5	75	324	2772	0.5
79	315	3054	0.5	87	320	2852	16	81	281	2777	0.5
82.5	333	3071	0.5	82	324	2857	16	88.8	360	2760	0.5
81	383	3050	0.5	86.2	332	2852	16	82	332	3350	0.5
84.5	373	3071	0.5	82.6	308	2852	16	85.2	303	3137	16
80	342	3037	0.5	83	304	2857	16	85.2	307	3137	16
84	353	3040	0.5	82.2	301	2852	16	85	321	3258	0.5
82	354	3040	0.5	85	308	2839	0.5	78	336	3256	0.5
85	378	3032	0.5	80	303	2826	0.5	84.9	332	3261	0.5
78.8	374	3059	16	84	309	2845	0.5	83	327	3130	0.5
85.9	356	2919	16	83	314	2845	0.5	81	339	3130	0.5
85	306	2919	16	82	321	2863	0.5	83.5	367	3261	0.5
84	302	2927	0.5	81	330	2863	0.5	85	331	3253	0.5
83	371	2922	0.5	80	303	2863	0.5	82	325	3137	16
83	317	2929	0.5	85.7	335	2984	16	83	336	3147	0.5
85.6	338	2919	16	84.8	348	2984	16	80	339	3147	0.5
86	315	2919	16	81.5	306	2995	0.5	85	330	3293	0.5

E=East; N=North; El.=Elevation

3. 소음도 예측 이론 및 방법

3.1 이론

점음원으로부터 360°방향으로 소리가 전파될 때, 음향파위레벨 PWL은

$$PWL = SPL + 10 \log S = SPL + 20 \log r + 11 (dB) \quad (1)$$

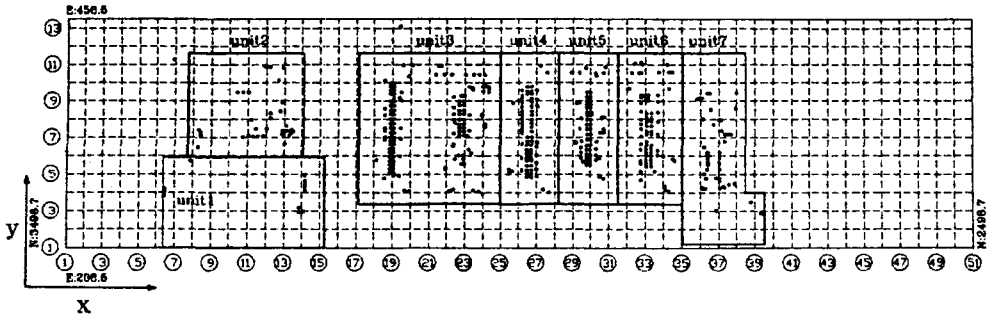


Fig. 1 Location of equipments within plant area

여기서, SPL : 음압레벨(dB)

S : 거리 r(m)를 반경으로 한 음선에 수직하는 구의 표면적($4\pi r^2$)

점음원이 지상에 놓여 있는 경우, 소리는 180° 방향으로 방사되며^{3,4)}

$$PWL = SPL + 10 \log S = SPL + 20 \log r + 8 \dots (2)$$

여기서, S : $2\pi r^2$

음원으로부터 r_1 (m) 떨어진 지점의 음압레벨을 SPL_1 이라 할 때, 음원으로부터의 거리 r_2 (m)에서의 음압레벨 SPL_2 는 다음과 같은 식이 성립된다.

$$SPL_1 - SPL_2 = (PWL - 10 \log S_1) - (PWL - 10 \log S_2) \text{로부터}^{5)}$$

$$SPL_2 = SPL_1 - 20 \log \frac{r_2}{r_1} \text{ (dB)} \dots \dots \dots (3)$$

$$(PWL - 10 \log S_1) - (PWL - 10 \log S_2) \text{로부터}^{5)}$$

$$SPL_2 = SPL_1 - 20 \log \frac{r_2}{r_1} \text{ (dB)} \dots \dots \dots (3)$$

한편, 몇 개의 음원으로부터의 소리를 임의의 점에서 들었을 때, 각음원의 음압레벨을 $L_1, L_2, L_3 \dots L_n$ (dB)이라 한다면 그 점에서의 총음압레벨 L은 다음과 같다⁶⁾.

$$L = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right) \text{ (dB)} \dots \dots \dots (4)$$

3.2 소음도 예측방법

첫째, 대상공장 부지(1000m×250m)의 우측 하단 모서리를 기준 [East : 208.5(m), North : 2498.7(m)]으로 하여 y축 방향을 East좌표(E : 208.5~458.5), x축 방향을 North좌표(N : 2498.7~3498.7) 그리고 z방향을 설치 높이로 하였으며, 각각의 설비 및 기계류(447대)에 대한 소음레벨 및 설치위

치는 Table 2와 같이 나타나 있다.

둘째, 대상 공장내에는 7개의 주요 단위 공정으로 구획되어 있으며, 구획된 주요 단위 공정부지내에 소음원이 되는 설비 및 기계류들이 집중되어 있다.

셋째, 공장내 전반적인 소음 분포를 예측하기 위하여 공장부지를 20m×20m의 등 GRID 간격 (GRID수 : 51×14)으로 나누었으며, 각 단위 공정은 세부적인 소음분포를 나타내기 위해서 GRID 간격을 각각 5m×5m로 하였다.

넷째, 각각의 설비 및 기계류로부터 각 GRID 교차 지점에 전파되는 소음도를 높이 1.22m지점에서 소음도 예측이론에 근거하여 계산한다(계산결과 한개의 음원으로부터 전파되는 각 GRID 교차 지점에서의 소음도 data는 20m×20m GRID내에서 714개가 얻어진다).

다섯째, 위의 계산 과정을 각각의 설비 및 기계류의 대수만큼 반복 계산(447회)하여 각 GRID 교차 지점에서 음원의 수 만큼의 소음레벨(447개의 각각의 음원으로 부터 전파되는 소음레벨)을 구하고 그 점에서의 총음압레벨을 계산하여 각 GRID POINT에서의 총음압레벨로부터 공장부지내 전반적인 소음분포를 예측한다.

여섯째, 세부적인 소음 분포를 예측하기 위하여 5m×5m GRID 간격으로 나눈 단위공정부지에서의 소음도 계산을 위의 방법으로 반복한다.

일곱째, 공장부지내의 전반적인 소음분포 예측치를 성능보장 항목으로의 소음레벨 한계치 및 법적 관련기준치와 비교평가한 후 소음으로 인하여 문제가 야기될 것으로 예상되는 설비 및 기계류 등에 대해서는 공장건설계획 단계에서 기계류 및 현

장여건 등을 고려하여 저소음 기계류 등으로의 교체 혹은 방음벽, enclosure, silencer 등의 적절한 방음 대책을 세운다.

4. 결과 및 고찰

4.1 공장 내부 지점에서의 소음분포

Fig. 2와 Fig. 3은 공장내에 설치되어 있는 각각의 설비 및 기계류가 동시에 가동될 경우 공장내

전반적인 소음 분포를 예측하기 위한 방법으로 대상공장내의 부지를 20m×20m의 등 GRID 간격으로 나누어 계산된 각 GRID 교차지점에서의 소음 레벨에 따른 소음분포도를 나타내고 있다.

Fig. 1의 각종 기계류의 설치 분포도와 Fig. 2, Fig. 3에 나타난 소음레벨 분포를 비교하면 기계류의 분포가 다소 적은 unit 1 지역(좌표 x : 6~15, y : 1~6)에서는 소음레벨 70dBA 이하의 낮은 분포를 나타내고 있으며, unit 2 지역(x : 8~14, y : 6~11)의 경우 기계류가 집중적으로 분포되어 있

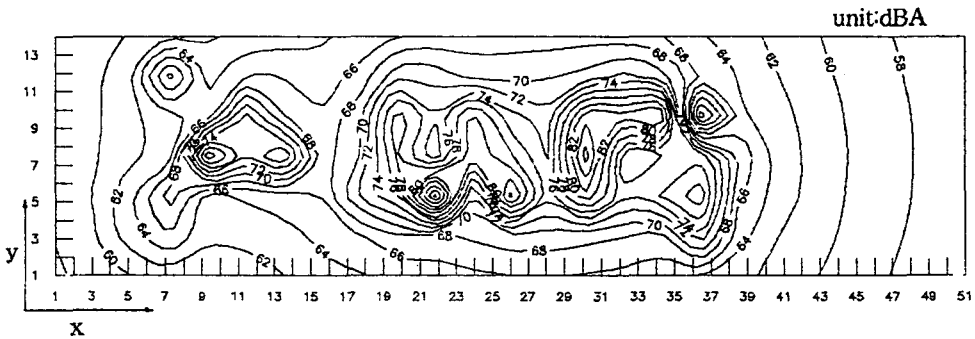


Fig. 2 Noise map within plant area

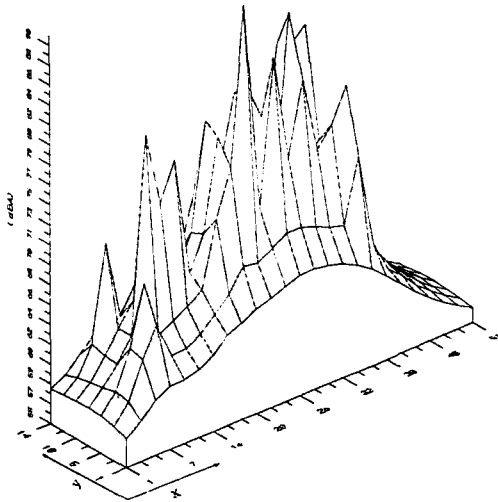


Fig. 3 Three-dimensional noise map within plant area

는 좌표(10, 7) 및 (13, 8)을 중심으로 약 75dBA의 소음이 주변지역으로 전파되고 있음을 알 수 있다. 기계류가 집중적으로 설치되어 있는 unit 3, 4, 5, 6, 7 지역(x : 17~37, y : 3~11)의 경우는 좌표

(22, 6), (26, 5), (30, 8) 등을 중심으로 약 80dBA 이상의 높은 소음레벨을 나타내고 있어 성능보장항목으로의 소음레벨 한계치 85dBA를 초과할 우려가 있는 지역으로 예측되어 그 주변지역에 대한 정밀한 검토가 요망된다. 따라서 그 주변지역에 대한 좀더 세밀한 소음분포를 파악하기 위해서는 위의 자료를 토대로 소음으로 인한 문제가 야기될 것으로 예상되는 지역 혹은 단위공정별로 GRID 간격을 보다 좁게 나누어 소음레벨을 계산함으로써, 그 주변 지역에 주로 영향을 미칠 것으로 예상되는 주요 소음원을 선별하여야 할 것이다.

4.2 단위 공정 내부 지점에서의 소음분포

대상공장부지를 20m×20m의 등 GRID 간격으로 나누어 예측한 공장내 전반적인 소음분포로서 특히 높은 소음분포를 나타내고 있는, Fig. 2의 좌표(22, 6), (26, 5), (30, 8)중 unit 5 공정 내에 포함되어 있는 좌표(30, 8)에 대한 세부적인 소음 분포를 예측하고 그 좌표에 영향을 주는 주요 기계 설

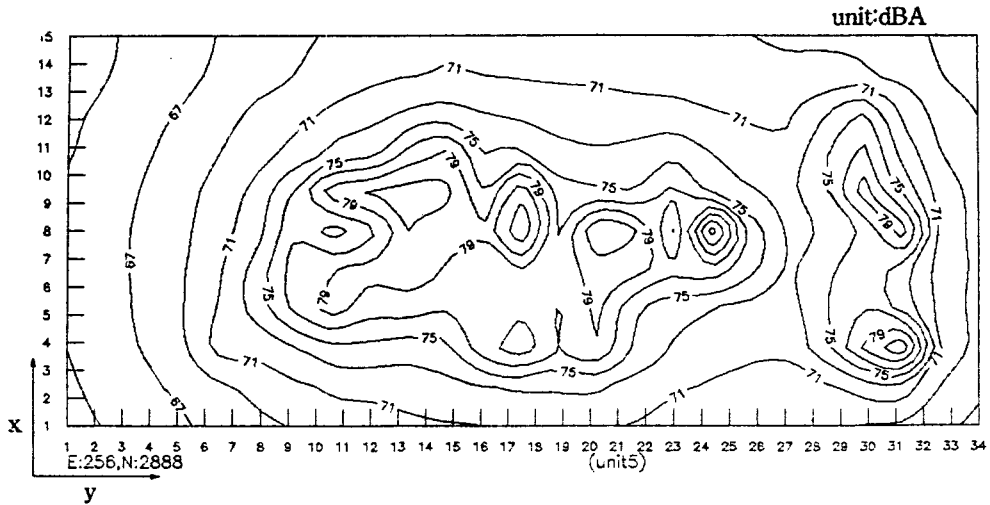


Fig. 4 Noise map within unit 5

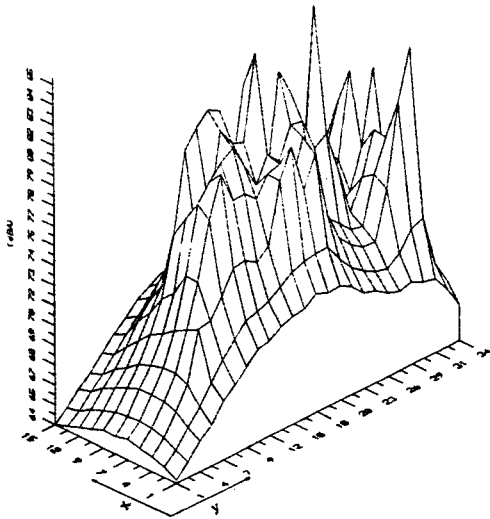


Fig. 5 Three-dimensional noise map within unit 5

비 등을 파악하기 위하여 unit 5 지역을 5m×5m의 등 GRID 간격으로 나누어 소음레벨을 계산하였으며, 계산 결과에 의한 소음 분포도는 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다.

Fig. 1에 나타난 unit 5의 좌표는 우측하단 모서리를 기준【East : 256(m), North : 2888(m)】으로 x축 방향을 North좌표(N : 2888~2954), y축 방향을 East 좌표(256~421)로 하여 20m×20m의 등 GRID 간격으로 나누어 소음분포를 나타낸 것이

며, 단위공장 unit 5는 【East : 256(m), North : 2888(m)】를 기준으로 x축 방향을 North 좌표, y축 방향을 East 좌표로서 5m×5m의 등 GRID 간격 (GRID수 : 34×15)으로 나누어 소음레벨을 계산하였다.

Fig. 2의 전반적인 공장내부의 소음분포로부터 성능보장의 한계치 85dBA를 초과할 것으로 우려되는 좌표(30, 8)은 Fig. 4에 나타난 unit 5 지역의 중앙 부분의 좌표(18, 8)에 해당된다. 한편, Fig. 2의 좌표(30, 8)에 영향을 주고 있는 기계설비류는 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타난 바와 같이 5m×5m GRID 간격으로 계산된 각 GRID point에서의 소음분포도로 부터 좌표(18, 8) 뿐만 아니라 좌표 (14, 9), (21, 8), (24, 8), (31, 4) 등을 중심으로 높게 나타나고 있어, 그들 좌표에 설치된 기계류 등에 의하여 Fig. 2의 좌표(30, 8)에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 한편, 위의 좌표들에 대한 소음원으로는 Table 2에 나타나 있듯이 (E : 356, N : 2919), (E : 371, N : 2922), (E : 317, N : 2929), (E : 338, N : 2916) 그리고 (E : 406, N : 2092) 등의 위치에 설치된 기계류들로 확인되어 그들 기계류에 대한 적절한 방음대책(저소음 기계류로의 대체, 방음벽, enclosure, silencer 등)을 통하여 성능 보장치를 만족시켜야 할 것이다.

4.3 공장부지 경계선에서의 소음분포

공장부지경계선 지점에서의 소음레벨은 성능보장 한계치로 뿐만 아니라 관련법적 소음 배출 허용 기준을 만족하여야 하는 중요 항목이며, 공장내에 설치되어 있는 각종 기계류가 동시에 가동될 경우 Fig. 1에 나타난 좌표(E : 208.5, N : 3498.7)를 기준하여 공장 부지 경계선상을 20m의 등간격으로 나누어 계산한 소음레벨 분포는 Fig. 6과 같다.

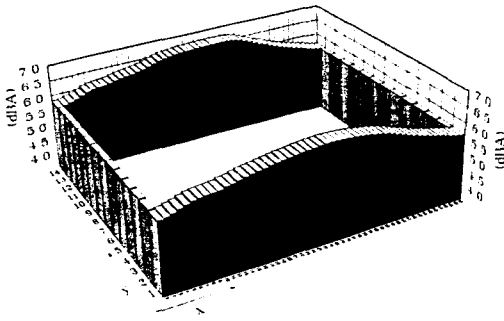


Fig. 6 Noise level at plant boundary

Fig. 6에서 알 수 있듯이 20m 간격으로 계산된 소음레벨은 57~67dB(A)로서 부지경계선의 전지점에서 기준치 70dB(A)를 만족시키고 있으며, Fig. 2 및 Fig. 3에 나타난 등음선도를 통해서도 부지경계선 지점에서의 소음레벨이 성능보장 한계치를 만족시키고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

신설되고 있는 석유화학공장을 대상으로 공장내 전반적인 소음분포를 예측하고 공장근로자들에 대한 난청의 재해 및 법적 기준치 등을 초과하는 문제를 사전에 제거하기 위한 공장의 소음도 예측 기법을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 대상 공장부지(1000m×250m)내에 447대의 각종 설비 및 기계류 등이 동시에 가동될 경우에 공장내 전반적인 소음분포를 파악하기 위하여 부지를 20m×20m의 등 GRID 간격으로 나누어 각 GRID point에서의 소음레벨을 계산하였으며, 기계류가 집중적으로 설치되어 있는 지역 내에서도 특히 좌표(22, 6), (26, 5), (30, 8) 등을 중심으로 80dBA이상의 높은 소음분포를 나타내고 있음을 선별, 확인하였다.

2) 전반적인 소음분포도로부터 소음으로 인한 문제가 예상되는 지역에 대하여 세부적인 소음분포를 예측하기 위하여 소음 분포가 높게 나타나고 있는 unit 5 지역을 모델로하여 단위 공정을 5m×5m의 등 GRID 간격으로 나누어 각 GRID point에서의 소음 레벨을 계산할 결과 Fig. 2의 좌표(30, 8)과 일치하는 5m×5m의 등 GRID point 좌표(18, 8) 뿐만 아니라 좌표(14, 9), (21, 8), (24, 8), (31, 4) 등에서 높은 소음레벨을 나타내고 있어 이들 좌표에 설치되어 있는 기계류 등이 unit 5 지역에 영향을 주고 있음을 확인하였다.

3) 공장부지 경계선 지점에서의 소음레벨 예측은 부지경계선을 20m의 등간격으로 나누어 소음 분포를 파악하였으며, 계산된 소음레벨은 57~67dBA로서 성능보장의 한계치를 만족하고 있음을 확인하였다.

4) 본 연구에서 수행된 공장내 소음분포 예측 기법을 이용하여 계산된 예측 결과는 신설되는 공장에 설치될 각종 기계류 등의 설치 여건에 따라 다소의 오차가 발생할 수가 있으나, 본 연구에서 수행된 소음도 예측 기법에 적용된 수학적 모델에 의한 소음도 예측 결과는 공장건설 계획단계에서 공장내의 소음분포 특성을 파악하는데 상당한 도움이 되리라 기대하며, 소음으로 인하여 문제가 야기될 것으로 예상되는 기계류 등을 선별, 방음대책 계획에 반영함으로써, 방음대책에 따른 소요 경비의 최소화뿐만 아니라 소음환경 및 안전측면에 만전을 기할 수 있을 것이라 판단되며, 차후 신설되는 유사한 공장의 소음분포 특성 파악을 위하여 적용시킬 수 있는 모델로서 활용하는데 도움이 될 것으로 믿는다.

참 고 문 헌

- 1) 金榮鎬, 化學工場の 建設과 管理, 東和技術, pp. 19~30, 1995.
- 2) 日本建築學會, 騒音の評價法, pp. 205~212, 1980.
- 3) 車日煥, 玉正權, 騒音振動 工學, 文運堂, pp. 73~76, 1994.
- 4) A. P. Dowling and J. E. Ffowcs williams, Sound and sources of sound, Ellis Horwood

- Limited, pp. 11~25, 1983.
- 5) 鄭一錄, 騒音·振動學, 新光出版社, pp. 38~39, 1984.
- 6) Lawrence E. Kinsler et al., Fundamentals of acoustics, John & Sons, Inc., pp. 250~252, 1982.