

작업 환경 소음 방지 대책

최 창 하
(선문대학교 환경공학과)

1. 머리 말

우리는 지금 끊임없는 경제 발전에 많은 삶의 질의 향상과 편의를 보장받고 있다. 각 국가들은 자신들이 갖고 있는 최대의 강점을 살려 서로의 이익을 찾기위해 수많은 노력을 기울인다. 현대사회에 들어서서 산업사회가 이룩되어 자원 개발과 기술력 향상으로 인한 생태계 파괴, 건잡을 수 없는 지구 온난화, 인구 집중과 도시화가 됨으로써 옛날 농경사회에서는 문제되지 않았던 소음문제가 사회문제로 대두되고 있으며 일상생활에 큰 지장을 주고 있는 등 환경적 문제가 발생하게 되었다. 18세기에 영국에서 시작된 산업혁명은 대량 생산체제를 확정시킨 증기기관이 발명되어 기계화 공정을 실용화 할 수 있게 하였고 교통기관의 혁명을 가져오게 하였다. 그러나 이에 수반된 부산물로 인류가 원치않은 소음으로 인한 건강장애가 속출하게 되었다. 우리가 생활하고 있는 지역에서 발생하는 소음으로는 교통소음, 건설소음, 생활소음 및 공장소음 등을 들 수 있다. 특히 공장소음에 관련해서는 우리 경제가 80년대 들어 노동 집약형에서 기술 집약형, 즉 최첨단 산업분야로 변화하면서 절대적으로 필요한 것은 작업 환경 조건이다. 최첨단 산업 중에서 특히 반도체, 전자, 자동차, 의약, 항공 정밀분야를 개발하기 위해서는 우수한 설비와 작업장이 필요하다. 그러나 공장소음으로 인하여 작업자는 불필요한 소음으로 인한 불평의 강도는 시끄러움의 강도에 비례하고, 공장 주위에서의 소음 공해는 너무나 많은 소음원이 과도하게 노출되어 인근 주위의 환경 및 근로 환경 조건에 영향을 미치고 있다.

이 글에서는 공장 소음 방지 기술에 관계된 각종 소음원들의 특성과 그에 대한 대책들에 관하여 간략히 서술하고자 한다. 일반적으로 소음의 방지 기술

표 1 허용소음폭로 기준(OSHA)

1일 노출 시간(hr)	소음레벨 (dBA)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0.5	110
0.25 이하	115

표 2 소음 환경 기준

단위 : dB(A)

지역 구분	적용대상 지역	기 준	
		낮 (6 : 00 ~ 22 : 00)	밤 (22 : 00 ~ 6 : 00)
일반 지역	주거전용지역	50	40
	주거 지역 준주거 지역	55	45
	상업 지역 준공업 지역	65	55
	공업 지역	70	65
도로변 지역	주거 지역 준주거 지역	65	55
	상업 지역 준공업 지역	70	60
	공업 지역 전용공업지역	75	70

은 음향의 전달 시스템을 단순히 소음원, 소음 전달 경로, 수음자로 구분하여 각각의 경우를 고려하여 대책을 취한다. 한 예로, 공해방지 측면만을 고려하여 실내소음을 외부로 전파되지 않도록 하기 위해서 공장 전체를 밀폐한다면 작업 환경에 많은 문제점이 유발될 수 있으므로 정확한 엔지니어링이 뒷받침되어 공장에서는 근로 환경 기준법에 합당하게, 공장 주위 주민에게는 환경 보전법에 따라 소음공해로부터 탈피할 수 있도록 공장이 설계되고 운영되어야 한다.

현재 우리나라의 경우 대도시 및 인근 주변에 공장이 많고 이러한 공장들은 소음제어라는 측면에서 전혀 고려되지 않은 공장이 많으므로 공장에서 발생하는 소음으로부터 보호되기 위해서 산업 안전 보건법 및 환경 보전법으로 규제하고 있으며 그 내용은 표 1, 2와 같다.

2. 공장 소음의 원인

공장소음의 특징은 주기적인 반복성과 기계작동에 의한 충격소음, 불균형 힘에 의한 소음, 마찰에 의한 마찰소음, 전기적 소음, 유압장치 소음, 공기역학에 의한 소음 등으로 여러 메카니즘을 통해서 소음이 발생되고 있다. 이러한 소음을 각 발생 소음원으로 분석해 보면, 기계의 작동과 관련되는 마력소음, 회전체소음, 기어소음, 구조물의 공진현상 소음, 베어링소음, 엔진소음 등이 있다. 이와 같은 소음들은 통상적으로 점음원으로 간주하고 있지만 대단위의 공장에서는 수백점의 소음원의 합성으로 나타난다. 효과적인 기계소음 방지대책은 그 발생원에 대한 정확한 이해가 요구되기 때문에 단순한 음원이라도 이들 각각의 독특한 특성과 소음제어의 방법을 갖게 되므로 보다 세부적으로 분류해야 한다.

2.1 압축기소음

공장소음에서 상당부분을 차지하는 주소음원으로, 거의 모든 형태의 압축기에서 과다한 소음이 배출된다. 압축기 자체보다는 구동엔진과 냉각팬이 지배적인 소음을 배출하는 것으로 알려져 있다. 저속의 왕복동형 압축기의 경우, 저주파수 맥동음을 보이는데, 회전수와 실린더 수에 의하여 지배적인 주파수 성분이 정해지고, 고속 원심형 및 스크류형의 경우는 소음을 줄이기 위하여 적절한 인클로우저를 반드시 설치하여야 한다.

2.2 펌프소음

펌프소음은 유체내의 공동화나 압력맥동에 의한 유체소음과 기계부의 충격, 불평형, 공진 등에 의하여 발생하는 고체소음으로 구분된다. 기어나 피스톤 펌프인 경우 배관이나 저유조로부터 소음이 방사되므로 압력의 변동률을 최소화하고 공동화를 방지하여야 한다.

2.3 모터소음

모터소음의 주 원인은 고조파 자속에 의한 자기소음과 토크맥동으로 인한 진동소음을 일으키는 전자적인 소음, 그리고 질량 불균형, 기하학적인 불균형으로 변위를 초래하여 회전속도에 비례해서 강제진동이 발생되어 나는 소음과 냉각팬, 압축기를 작동하면서 발생하는 소음 등을 기계적인 소음이라 한다.

2.4 기어소음

기어의 설계 제작시 허용 공차, 가공방법 등에 의해 소음이 발생되며, 맞물린 기어 사이에서도 접촉면의 미끄럼으로 인한 소음이 발생된다.

2.5 구조물의 공진현상 소음

모든 구조물은 고유한 공진 주파수를 가지고 있다. 구조물에 가해지는 외력이 공진주파수와 동일한 주파수를 가지면 큰 소음과 진동이 발생하게 된다.

2.6 베어링 소음

베어링 소음은 롤러와 볼 사이의 표면 불균일과 볼의 마찰에 의해 발생된다.

2.7 구조판 소음

기계를 덮고 있는 구조판은 진동원에서 전달된 소음, 진동이 발생되며, 큰 치수의 구조판은 저주파 소음발생이 가능하고, 고주파수 이상 소음은 작은 크기의 구조판에서도 가능하다.

2.8 증기터빈 소음

공정장치에 사용되는 증기터빈 동력장치는 날개의 통과주파수와 그 고주파들이 지배적인 주 소음의 원인이 된다. 증기 공급 계통의 제어밸브는 터빈보다 더 큰 소음을 발생시킬 수 있는데, 이것은 적절한 밸브소음의 대책을 선정함으로써 저감될 수 있다.

2.9 공기역학적 소음

압축기, 송풍기 등에서는 기계 자체보다 공기운동

에 의한 소음발생이 큰 경우가 있다. 주 원인은 난류의 흐름에 의해 광대역의 소음이 발생되며 난류의 크기, 즉 유체흐름 속의 함수로서 나타난다. 그러므로 파이프나 덕트에 있어서 단면적을 늘려 최소 유속을 유지하고 모양이 급변하는 것을 피하여야 한다.

3. 공장 소음 방지 대책

소음 방지 대책이란 기존 또는 신설작업장에 생기는 소음장해를 조사 및 예측하여 방지시설의 설계대책을 취하는 경우이다.

3.1 소음 방지 대책 계획의 기본 개념

소음대책시 가장 중요한 점은 소음원의 실태를 정확히 파악하는 것이다. 즉 소음발생의 원인 뿐만 아니라, 피해대상이 무엇이며, 왜 대책을 세워야만 하는가에 대한 목적의식이 있어야 한다. 소음방지 계획은 다음과 같은 절차를 따르도록 추진해야 한다.

- 소음원의 추출과 그 음향특성 및 전반경로의 특성에 대한 문제점 검토
- 장애지점의 현황조사 및 평가와 필요한 음향감쇠량 산출
- 소음방지에 따른 기본 대책방법의 선정 및 설계
- 소음방지 대책 시설 시공
- 시공 완료후 성능검사 및 측정 평가

3.2 소음원 및 소음 전달 경로에 대한 대책

소음방지 대책을 실시할 경우 우선 장애가 되는 소음원을 추출하는 것이다. 소음원이 명확할 때는 그 운전상황과 관련해 음향특성을 확실하게 하는 것이 소음방지 계획의 첫째라 할 수 있다. 특히 공장에서는 기계가 작동하는 한 소음이 발생되기 때문에 전파 에너지를 음원 근처에서 막든가, 건물의 소음전반 경로를 정확하게 파악 예측하여 벽의 차음성능을 높게 하거나, 기계를 방진 지지하여 진동 전반경로를 도중에서 절연하여 소음방지 대책을 고려하여야 한다.

(1) 소음원 대책

가. 충격에 의한 소음

충격은 해머를 칠 때 또는 다른 물체가 부딪칠 때와 기어가 맞물리면서 소음을 발생한다. 날카로운 충격음은 광대역에서 나타나며 주위와 공명을 초래하며 충격면이 부드러운 물질로 차진되었을 때에는 에너지가 흡수될 뿐만 아니라 소음의 감소도 가져온다. 접촉면의 운동의 변경은 충격력의 감소와 마모

의 감소를 가져온다.

나. 마찰에 의한 소음

접촉마찰에 의해서 발생하는 소음은 윤활유를 사용하여 해결하는 방법과 마찰면을 매끄럽게 하는 방법 및 기어인 경우 접촉각의 변화로 상당한 감쇠 효과를 가져다 준다.

다. 불균형 힘에 의한 소음

모든 기계의 불균형은 설계, 제작 및 설치의 정확도에 따라 다르며, 다른 기계의 선택 또는 공정상에 주의를 기울이면 이에 의해 발생하는 소음은 방지될 수 있다.

라. 유압장치에 의한 소음

유압장치에 있어서 소음은 모터, 펌프, 밸브 등의 구성 내역에 따라 차이가 있으나, 좋은 제품으로 구성되는 부품의 신뢰성에 따라서 소음의 차이가 크다. 유압계통에 있어서 힘 또는 압력이 대단하므로 급격한 압력 변화는 진동 및 소음을 초래하며 나아가서 파괴될 수도 있다.

마. 공기역학에 의한 소음

공기역학적 소음은 단순한 공기역학적 소음과 주위의 낮은 속도의 유속과 높은 속도의 유속이 혼합될 때 발생된 소음으로 구분할 수 있다. 공기역학 소음은 공기 흐름과 견고한 표면의 상호작용에 의해서 발생되며, 이 결과 구조체에 진동을 유발시켜 소음이 발생되게 한다. 이는 유체의 흐름을 일정하게 만들고 구조체에 강성을 주어서 소음의 감쇠가 이루어지게 한다.

바. 전기적 소음

전자적인 원인, 즉 전자작용에 입각한 흡인력과 반발력의 되풀이가 가진력이 되어 각부를 진동시켜 소음이 발생되며, 이는 요구성능에 적절한 뎀핑, 진동제어 및 인크로저 등을 고려하여 방지할 수 있다.

(2) 소음 전달 경로 대책

음원으로부터 방사되는 음의 전파되는 경로에 적절한 대책을 세워 소음을 방지할 필요가 있다. 이 경우에는 소음의 전달경로를 정확하게 파악 또는 예측하는 것이 우선 되어야 한다. 소음전달 방식으로서 공기전달 경로와 고체전달 경로의 양측이 문제되는 경우로서, 이 때에는 벽의 차음·성능을 높게 하는 것 등의 공기전달음에 대한 대책만으로는 불충분하고, 기계를 방진지지하든가 진동전달 경로를 도중에서 절연하든가 하는 방법이 필요하다. 아울러 음원과 수음자까지의 거리를 충분히 유지하면 소리 에너지가 감쇠되고, 어느 특정 방향의 지향성이 큰 경우에는 음원의 방향을 바꾸는 것도 효과적이며,

음원과 수음점 간에 방음벽이나 칸막이를 세우면 소음은 이에 의하여 감쇠되는 효과를 기대할 수 있다. 이와 같은 방법은 크게 차음, 흡음, 진동차단 및 방음벽 등으로 나눌 수 있다.

가. 차음대책

소음방지 대책시 가장 우선적으로 고려해야 하는 이론적 개념이 차음이론이다. 즉 소음원으로부터 전파되는 음향파위를 차음재료가 음을 반사, 흡수하여 그 입사된 음이 투과되는 것을 막는 것이다. 차음에 의한 투과손실은 차음재질에 의해 크게 좌우되는데 수직 입사음에 대한 투과율 및 그에 따른 투과손실은 각각 다음과 같다.

$$\text{투과율}(\tau) = \frac{\text{투과에너지}}{\text{입사에너지}}$$

$$\text{투과손실}(TL) = 10 \log(1/\tau) \text{ (dB)}$$

고체벽을 매체로한 음파 전달의 효과는 입사된 에너지가 매체를 진동함으로써 발생하는 것이다. 그러므로 무거운 벽체가 투과손실이 좋고, 에너지 손실은 고주파 성분일수록 손실이 크다. 이에 따라 단일벽인 경우 차음재료의 특성별 효과를 쓰면 아래와 같다.

- 강성효과: 저주파 성분은 매질의 강성에 좌우된다. 강성이 2배가 되면 투과손실은 약 6dB 증가한다.
- 질량효과: 중·고주파 성분은 질량에 비례한다. 무게가 2배가 될 때 약 4~5dB 증가한다.
- 일치효과: 벽체의 고유진동수와 일치할 때 발생하여 100 Hz 이상의 경우가 있다.
- 내부댐핑: 고주파 성분에 유효한 내부댐핑은 내부에 발생하는 진동파의 진폭을 억제한다.

투과손실의 증가를 위해서는 단일 벽체를 두껍게 하는 것 보다 중간에 공기층을 둔 이중 벽체로 설치하는 것이 2배의 투과손실이 있으므로 훨씬 효율적이고 경제적이다. 차음에 의한 밀폐실은 위에서 언급

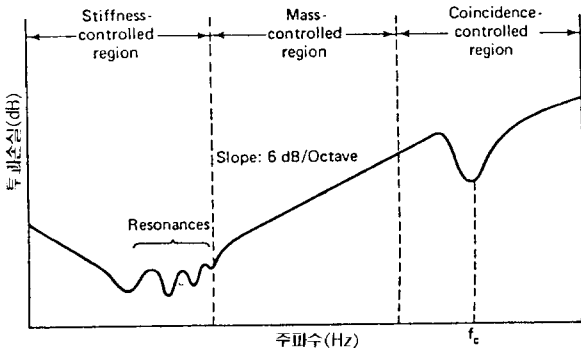


그림 1 주파수 특성별 투과손실 효과

한 투과손실 이외에 진동, 댐핑, 구조체 연결방법, 틈새처리 및 환기구 등 여러 가지에 영향을 받으므로 차음실 설계 및 시공에 보다 많은 주의가 요구된다. 한편 특정 기계를 밀폐식 차음벽(인클로저)으로 쌓았을 때 예측되는 소음감소는 다음과 같다.

$$NR = TL - 10 \log(1/4 + S_{watt}/R_{room}) \text{ (dB)}$$

R_{room} = 인클로저 내부 실정수

S_{watt} = 인클로저 면적

실정수(room constant) R 은 다음과 같다.

$$R = \alpha \cdot S_{watt} / (1 - \alpha)$$

α = 실내 평균 흡음률

나. 흡음대책

차음은 음파를 반사하는 기구인데 반해 흡음은 음파를 흡수하는 기구이다. 음파를 흡수한다는 것은 음파의 파동에너지를 감쇠시키는 것이다. 즉 매질입자의 운동에너지를 열에너지로 변환시켜 감쇠시키는 방법으로, 확산 또는 반확산음장을 형성하는 실내의 소음방지 대책으로서 많이 활용되고 있다. 차음기구에서는 음파를 반사시켜 차음판 배후로 음이 나오지 않게 하는 것이 목적이므로 차음판 전면에는 큰 반사파가 존재하지만, 흡음기구는 내부에서 에너지 전환을 하는 메카니즘이 있기 때문에 큰 반사파가 존재하지 않는 반면 큰 투과손실도 얻어지지 않는다. 차음재료는 질량법칙에서 알 수 있듯이 밀도가 클수록 투과손실이 증가하지만, 흡음재료는 밀도가 아주 작고 투과손실도 매우 작은 것이 보통이다. 현재 대부분 공장은 콘크리트 블록으로 구성되어 여기에 설치된 기계의 소음은 잔향을 증폭시켜 큰 소음을 발생시키는데 이는 내부의 흡음력 부족에 기인한다. 공장내부에 발생된 흡음재료 설치시 잔향시간, 공간의 크기에 따라 다르지만, 흡음력 증가는 잔향음의 감소로 큰 효과를 볼 수 있다. 흡음설계에 있어서 가장 중요한 점은 흡음재료에 따른 흡음의 정도를 계산하는 것으로, 차음설계와 조합하여 감음의 효과를 높이는 것이다. 흡음률은 흡음재료의 성능을 표시하는 방법으로 이용되는데, 이는 입사전 음향에너지가 흡음재 내부로 통과하여 그곳에서 점성마찰로 인하여 열로 손실되며 표현식은 아래와 같다.

$$\alpha = \frac{\text{흡수에너지}}{\text{입사에너지}} = \frac{I_i - I_r}{I_i} = 1 - \frac{I_r}{I_i}$$

α : 흡음률

I_i : 재료에 입사하는 음의 세기

I_r : 재료에서의 반사음의 세기

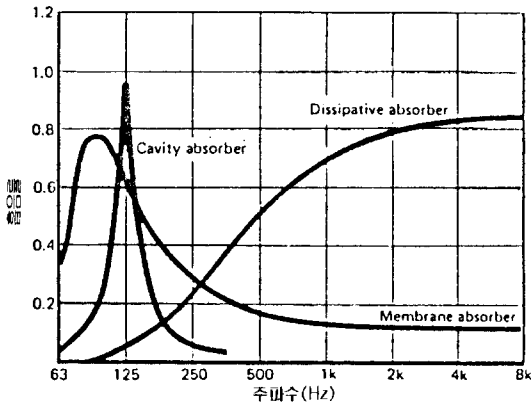


그림 2 재료별 흡음률 반응 곡선

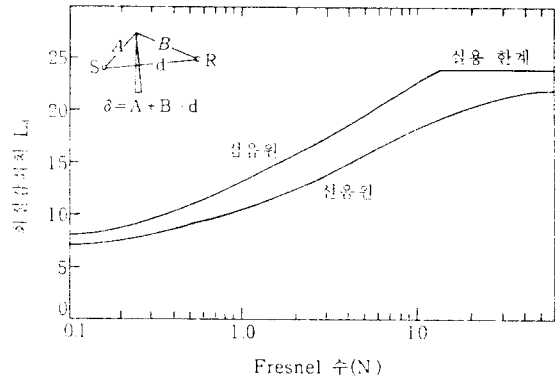


그림 3 전파 경로에 따른 회절 감쇠치

흡음률은 재료의 성질 이외에 재료배면의 조건, 재료의 시공 조건, 입사음의 주파수, 음의 입사각도에 따라서 달라질 수 있으므로 설계상 주의가 요구된다. 흡수된 음향에너지는 빛식으로 사용되며 재료 및 주파수마다 다른 특성을 갖지만 일반적인 재료 형태별 흡음률은 그림 2와 같다. 공장내부의 소음을 고려하여 흡음력을 보강했을시 소음원 근처에서는 직접음의 영향이 크므로 큰 효과가 나타나지 않지만, 소음원에서 멀리 떨어질수록 효과의 변화가 나타난다. 흡음처리에 따른 감쇠효과는 다음 식으로 예측할 수 있다.

$$NR = 10 \log (A_2 / A_1) \text{ (dB)}$$

A_1 : 대책전 흡음력 = $\alpha_1 S_1$

A_2 : 대책후 흡음력 = $\alpha_2 S_2$

일반적인 흡음재의 특성은 다음과 같다.

- 유리섬유, 암면 등 섬유성 재료는 중·저주파에서 좋은 흡음 특성을 가진다.
- 부식, 훼손, 날리는 것을 방지하기 위해서 필름이나 천 등으로 보강한다.
- 훼손이 많은 경우 유공판 등으로 마감 처리 한다.
- 사용되는 위치에 따라 기계 및 공정이 갖는 특성을 갖춘 흡음재료의 선택이 중요하다.

다. 방음벽 대책

산업 원료의 운반과 작업의 용이성을 위해 완전 밀폐식 차음벽 설치가 불가능할 때 또는 넓은 옥외 지역을 특정 소음원으로부터 보호하고자 할 때 효과적인 것이 방음벽이다. 음의 파장은 큰 회절을 일으켜 장애물 뒤에도 음파가 전달된다. 장애물 뒤로 회절되는 음의 세기는 파장이 길수록 크고, 파장이 짧을수록 작다. 이와 같이 음파가 전파하는 도중에 장애물이 있을 때, 그 장애물이 파장보다 작은 경우에

는 음파가 배후로 많이 전달되지만 파장에 비해 장애물이 아주 클 경우에는 회절음은 현저하게 저하된다. 방음벽 설계는 파장과 관계가 기본이다. 즉 고주파음은 낮은 벽으로도 효과가 있지만 저주파음의 경우에는 높은 벽이 아니면 효과를 거의 기대할 수 없다. 방음벽은 벽체의 투과손실의 효과라기보다 음의 회절에 의한 경로차에 의한 소음 감소 효과를 보고자 설치하는 것이다.

방음벽 설치시 주의할 점은 다음과 같다.

- 그림 3은 무지향성으로 가정된 결과이므로, 실제로는 음원의 지향성과 크기에 대한 상세한 조사가 필요하다.
- 벽의 투과손실은 틈새에 의해 큰 영향을 받으므로 틈을 메우는데 특히 유의하여야 한다.
- 벽의 길이가 높이의 5배 이상일 때 효과적이다.
- 음원측 벽면은 가급적 흡음 처리하여 반사음을 방지하는 것이 바람직하다.

4. 맺음 말

이상과 같이 공장내 소음을 형성하는 각종 발생 형태 및 소음원, 전달 형식의 분류에 따라 특성을 간략히 살펴보았다. 각 소음원 및 전달 경로의 특성을 확실히 이해하면, 현상을 파악하는 작업이나 소음제어 대책을 수립하는데 있어서 매우 효과적으로 대처할 수 있다. 일반적으로 공장소음 대책은 음원 대책과 전달경로상의 방지 대책을 생각할 수 있는데 음원대책으로는 공장에서 사용하는 기계중 저소음 기계를 선정하도록 권장해야하고, 일단 설치된 소음 발생원 기계에 대해서는 철저히 차음, 흡음 조치를 취하여야 한다. 공장내부 소음 발생원에 대해서

는 흡음재료를 사용하여 소음을 흡수하고 차음벽을 설치하여 음의 차단에 신경 써야한다. 한편 기계 작동상의 주의, 작업 공정의 개선, 낮과 밤의 작업시간 등을 조절하여 인근 주민과 작업자 스스로에 대한 소음 피해를 막고, 피해를 입은 자에 대해서는 법적으로 보상조치하는 제도와 관리 감독이 철저히 지켜져야 한다. 끝으로 공장내·외부의 소음을 정확하게 측정 분석하여 작업장 내의 소음을 최대한으로 제거하여 쾌적한 작업장의 분위기를 만들어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Beranak, L. L., 1971, Noise and Vibration Control, McGraw-Hill, New York.
- (2) Irwin, J. D. and Graf, E. R., 1979, Industrial Noise and Vibration Control, Prentice-Hall, INC., London.
- (3) Harris, C. M., 1980, Handbook of Noise Control, McGraw-Hill, New York.
- (4) Hemond, C. J., 1983, Engineering Acoustics and Noise Control, Prentice-Hall, INC., London.
- (5) 국립환경연구원, 1986, "소음방지 시설의 성능과 구조 기준에 관한 조사연구(Ⅲ)."
- (6) 장세교, 1986, 산업안전법규, 산문사.
- (7) George, M. D., 1974, Machinery Acoustics, John Wiley & Sons, INC., Canada.
- (8) Cheremisinoff, P. N., 1993, Industrial Noise, Control, Prentice-Hall, INC., New Jersey.
- (9) Webb, J. D., 1978, Noise Control in Industry, SRL.
- (10) Miller, R. K., 1976, Handbook of Industrial Noise Management, The Fairmont Press.