

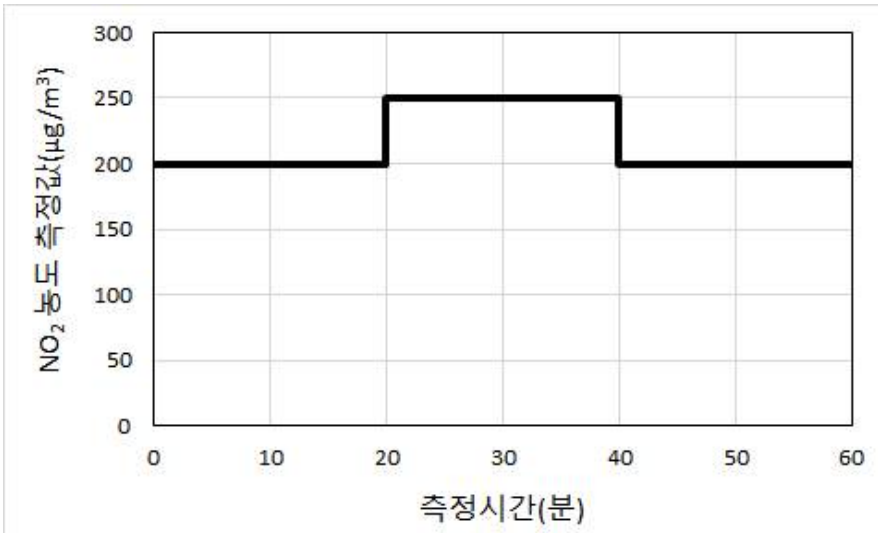
과제 #4 - Solutions

제출기한: 12/3 수업시간

* 과제는 여러분들의 자가학습을 위한 것으로, 정답을 기준으로 채점하지 않고 본인이 직접 문제를 해결했는지 여부로 평가합니다. 문제풀이를 한 노력이 보이면 감점은 전혀 없습니다. 답안 작성을 하지 않았을 경우 해당 문제는 0점, 킨닝의 경우 과제#4에 대하여 수강생 최저점수의 80%를 부여합니다(최저점수가 0점일 경우는 0점).

- 어느 겨울 날 관악 캠퍼스의 NO₂ 농도를 1시간 동안 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 측정 시간 중 기온이 2°C, 기압이 1 atm이었다고 할 때, 측정한 관악 캠퍼스의 NO₂ 농도가 우리나라 대기환경기준을 초과하는지 여부를 판별하시오.

Hint: 우리나라 대기환경기준은 환경정책기본법 시행령에서 찾을 수 있음.



(15점)

답)

NO₂ 농도의 1시간 평균값은

$$\frac{20 \text{ min} \cdot 200 \mu\text{g}/\text{m}^3 + 20 \text{ min} \cdot 250 \mu\text{g}/\text{m}^3 + 20 \text{ min} \cdot 200 \mu\text{g}/\text{m}^3}{60 \text{ min}} = 217 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

우리나라 NO₂ 대기환경기준은 0.10 ppm임.

$$\frac{\mu\text{g}_i}{\text{m}^3_{\text{air}}} = \text{ppm}_i \times MW_i \times \frac{P}{RT} = 0.10 \text{ ppm} \cdot 46 \text{ g}/\text{mole} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{8.21 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{atm}/\text{mole} \cdot \text{K} \cdot 275 \text{ K}}$$

$$= 204 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

따라서, 대기환경기준을 초과함.

2. 우리나라 온실가스 배출량 관련 가장 최근의 통계자료를 획득하여 3대 온실가스 (CO₂, CH₄, N₂O)의 배출량(단위: 백만 CO₂-eq) 및 총 온실가스 배출량에서 온실가스 각각의 비중(%)을 구하시오. (15점)

답)

자료: 2016년 국가온실가스인벤토리보고서

- 2014년 기준 -

	배출량 (백만 CO ₂ -eq)	비중(%)
CO ₂	628.8	91.1
CH ₄	26.6	3.9
N ₂ O	14.9	2.2
총 배출량	690.6	100

3. 100.0 m 높이의 화력발전소 굴뚝으로부터 SO₂ 가스가 100 g/s의 비율로 배출되고 있다. 굴뚝으로부터 배출되는 가스와 대기의 조건이 다음과 같을 때, 맑은 겨울 날 밤 굴뚝으로부터 바람 방향으로 3 km 떨어진 지역 지상 2 m의 관측소에서 관측되는 SO₂ 가스의 농도를 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 단위로 예측하시오.

Stack parameters

Diameter = 2.0 m

Exit velocity = 15.0 m/s

Temperature = 350°C

Atmospheric conditions

Pressure = 102 kPa

Temperature = -2°C

Wind speed = 4.5 m/s

(20점)

답)

“맑은 날 밤”, wind speed = 4.5 m/s 조건을 이용하면 Stability class = E.

x = 3 km이므로,

a = 50.5, c = 55.4, d = 0.305, f = -34.0.

$$\sigma_y = ax^{0.894} = 50.5 \cdot (3 \text{ km})^{0.894} = 135 \text{ m}$$

$$\sigma_z = cx^d + f = 55.4 \cdot (3 \text{ km})^{0.305} - 34.0 = 43.5 \text{ m}$$

$$\Delta H = \frac{v_s d}{u} \left[1.5 + \left(2.68 \times 10^{-2} \cdot P \cdot \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \cdot d \right) \right]$$

$$= \frac{15.0 \text{ m/s} \cdot 2.0 \text{ m}}{4.5 \text{ m/s}} \left[1.5 + \left(2.68 \times 10^{-2} \cdot 102 \text{ kPa} \cdot \left(\frac{623 \text{ K} - 271 \text{ K}}{623 \text{ K}} \right) \cdot 2.0 \text{ m} \right) \right] = 30.6 \text{ m}$$

$$H = h + \Delta H = 100.0 \text{ m} + 30.6 \text{ m} = 130.6 \text{ m}$$

오염물질이 100% 반사될 경우,

$$C = \left(\frac{E}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \right) \left[\exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left[\left[\exp\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] + \left[\exp\left(\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \right]$$

$y = 0$ 이므로,

$$C = \left(\frac{E}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \right) \left[\left[\exp\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] + \left[\exp\left(\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \right]$$

$$= \frac{100 \text{ g/s}}{2\pi \cdot 4.5 \text{ m/s} \cdot 135 \text{ m} \cdot 43.5 \text{ m}} \left[\exp\left(\frac{-(2 \text{ m} - 130.6 \text{ m})^2}{2(43.5 \text{ m})^2}\right) + \exp\left(\frac{-(2 \text{ m} + 130.6 \text{ m})^2}{2(43.5 \text{ m})^2}\right) \right]$$

$$= 1.34 \times 10^{-5} \text{ g/m}^3$$

$$= 13.4 \mu\text{g/m}^3$$

4. 가정에서 배출되는 음식물폐기물을 처리할 수 있는 방법을 네 가지 이상 제시하시오. 제시한 각 방법의 장단점을 간략히 제시하시오. (10점)

답)

- 가축사료로 활용

장점: 음식물폐기물을 가장 높은 가치로 활용할 수 있는 방법임

단점: 가정 배출 음식물폐기물 성상의 불확실성으로 생산품 품질 및 가축에 대한 적합성을 담보하기 어려움. 이에 따라 사료로서의 경제성 또는 사료 소비자들의 수용성이 낮을 우려

- 퇴비화

장점: 환경친화적, 음식물폐기물에 있는 탄소, 질소, 인 등 영양분을 활용할 수 있는 방법임 (영양소 순환)

단점: 적절하지 못한 퇴비화 공정관리는 악취 발생 및 생산퇴비의 질 떨어뜨림. 화학비료 등에 비해 시장성 높지 않음

- 혐기성 소화의 의한 바이오가스화

장점: 음식물폐기물로부터 에너지원(메탄가스) 생산

단점: 바이오가스의 메탄으로의 정제가 어려움, 혐기성 소화 시설의 악취 등 민원 우려

- 소각

장점: 폐기물량을 효과적으로 저감하는 것이 가능함

단점: 음식물폐기물의 높은 수분함유량으로 (높은 유기물 함량에도 불구하고) heating value는 높지 않으며 따라서 소각에 에너지 투여 필요. 대기오염물질 생성

- 매립

장점: 간단하고 용이한 방법

단점: 매립공간 차지로 매립지 확보가 용이하지 않은 지역에서는 수용이 어려움, 다량의 침출수 발생, 다량의 매립가스 발생, 악취 등

5. 식생정화(phytoremediation)의 주요 기작인 phytoextraction, phytodegradation, phytovolatilization, phytostabilization, phytostimulation 각각의 작동 원리에 대하여 설명하시오. (15점)

답)

Phytoextraction: 식물이 뿌리를 통하여 토양 내 오염물질을 흡수하여 줄기, 잎 등 식물체 상부로 이동시켜 농축하는 작용을 이용하는 방식. 주로 중금속 오염 토양의 정화에 효과적임. 금속 농도가 매우 높은 토양 조건에서 생장이 가능하며, 토양으로부터 금속을 흡수하여 생체 내에 매우 높은 농도로 축적이 가능한 식물을 hyperaccumulator하는데, 주로 이러한 식물을 오염 부지에 식재하여 활용함. Phytoextraction은 비교적 저렴한 정화 비용으로 오염물질을 토양으로부터 영구적으로 제거할 수 있는 장점이 있음. 그러나 phytoextraction은 오염물질을 변환, 무기물화 등으로 제거하는 것이 아니라 한 매질 (토양)로부터 다른 매질 (식물체)로 이동, 농축시키는 방법이기 때문에 궁극적으로 오염물질이 농축된 식물체를 수거, 처리하여야 한다는 부담이 있음.

Phytodegradation: 식물 내부로 흡수된 오염물질이 식물의 대사 작용으로 분해되거나, 식물 외부의 오염물질이 식물이 배출하는 효소에 의해서 분해되는 방법임. 염소계 용매, 농약, 화약류, 페놀류 등 주로 유기오염물질의 정화에 적용이 가능함. Phytodegradation의 장점은 일반적으로 식물의 독성물질에 대한 저항성이 미생물보다 높기 때문에 미생물을 이용한 생물학적 정화의 적용이 어려운 토양에 적용 가능하다는 것임. 단점은 오염물질의 불완전 분해로 인하여 독성 중간물질이 생성될 우려가 있으며, 식물 체내에서 발생하는 오염물질의 복잡한 변환 과정으로 인해 이 중간물질들의 판별, 측정과 독성 예측이 용이하지 않다는 것임.

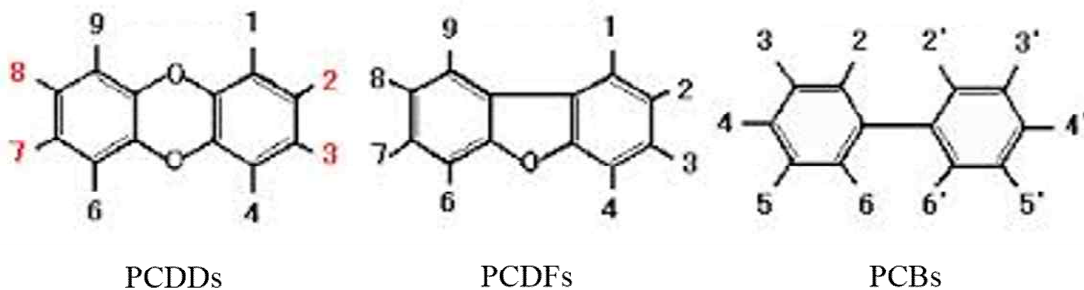
Phytovolatilization: 식물이 오염물질을 토양으로부터 흡수, 잎으로 이동하여 기공에서의 증산(transpiration) 작용을 통하여 오염물질을 휘발, 공기 중으로 배출하는 원리를 이용함. 이때 오염물질은 그 화학적 형태를 유지하며 잎으로 이동, 휘발되거나 식물체 흡수 후 휘발성이 비교적 높은 형태로의 변환 과정을 거친 후 기공에서 휘발됨. 이 방법으로 정화가 가능한 오염물질로는 수은, 셀레늄, 비소 등 휘발성이 비교적 강한 중금속과 트리클로로에틸렌(trichloroethylene; TCE) 등 휘발성 유기오염물질이 있음. 이 방법의 장점은 수은, 셀레늄의 경우 식물체 흡수 후 비교적 독성이 낮은 존재형태인 수은 원자(elemental mercury), 디메틸 셀레늄(dimethyl selenite) 등의 형태로 변환, 배출될 수 있다는 점과 대기 중으로 확산된 오염물질이 광분해 등의 화학작용으로 추가적인 독성 저감 또는 무해화 효과를 달성할 수 있다는 점 등이 있음. Phytovolatilization의 단점은 오염물질의 확산으로 대기 오염을 발생시킬 가능성이 있다는 점임. 특히 TCE의 경우 식물체 내의 변환 반응으로 오히려 독성이 더 높은 viny chloride를 생성, 대기 중으로 배출할 가능성이 있음.

Phytostabilization: 1) 식물 뿌리에서의 오염물질 흡수 및 축적, 뿌리 표면에서의 흡착, 근권에서의 침전과 2) 식물 및 식물 뿌리의 토양 침식, 토양 확산, 오염물질 침출 방지 기능을 활용하여 토양 내 오염물질의 이동성을 저감시키는 방법임. 이 방법을 적용하면 토양 내 오염물질

의 주변토양, 대기, 지하수, 지표수 등으로의 확산을 방지하고 오염물질의 생물학적 이용성을 저감하여 오염물질이 먹이사슬로 유입되는 경로를 차단하는 효과를 얻을 수 있음. 이 방법은 비소, 카드뮴, 크롬, 구리, 주석, 납 등 중금속 오염토양의 정화에 효과가 있는 것으로 밝혀져 있음. 주요 이점으로는 식재한 식물을 수확, 처리할 필요가 없으므로 추가처리에 소요되는 비용 및 에너지 소모가 없는 점, 식재를 통하여 부지 생태계 복원의 효과도 동시에 얻을 수 있다는 점 등이 있음. 주요 단점으로는 부지로부터 오염물질이 제거되지 않으므로 지속적인 모니터링 및 관리가 필요하다는 점, 원하는 효과를 얻기 위하여 비료, 토양개량제 등의 투입이 필요할 가능성이 높다는 점, 오염물질의 생체 내 흡수 및 이동으로 인하여 토양 내 오염물질이 지상으로 유입될 수 있다는 점 등이 있음.

Phytostimulation: 식물 근권에서의 높은 미생물 활성을 이용하여 오염물질을 분해하는 방법임. 식물 뿌리는 당, 아미노산, 유기산, 효소, 성장촉진물질 등 미생물 활성을 향상시키는 물질들을 배출하며, 뿌리의 높은 비표면적으로 인한 미생물의 부착성장 환경 제공과 뿌리를 통한 산소 확산 통로의 제공 등으로 미생물 성장에 유리한 환경을 제공함. 총석유계탄화수소 (total petroleum hydrocarbons, TPH), 다환상방향족탄화수소(PAHs), BTEX, 농약, 염소계 용매, 펜타클로로페놀(pentachlorophenol; PCP), PCBs, 계면활성제 등에 이 방법의 적용이 가능함. 이 방법은 오염물질의 분해가 현장 내(in situ)에서 발생하며, 오염물질의 이동 및 확산이 발생하지 않고, 물질의 완전 무기물화가 가능하며, 정화비용이 저렴하다는 장점이 있음. 단점은 근권 환경의 정착에 상당한 시간이 소요되며, 토양 조건에 따라 근권의 형성 심도에 제약이 있고, 초기 오염물질 저감속도를 향상시킬 수는 있으나 일반적인 미생물 이용 생물학적 정화에 대비하였을 때 최종 정화효율의 향상을 기대하기 어려운 경우가 많고, 삼출물로 인하여 오염물질 분해 이외의 다른 작용(오염물질 분해능이 없는 미생물 성장 촉진, 분해 미생물에 오염물질을 대체할 다른 탄소원 공급 등)을 촉진함으로써 원하는 정화 효과를 달성하는데 실패할 가능성 등이 있음.

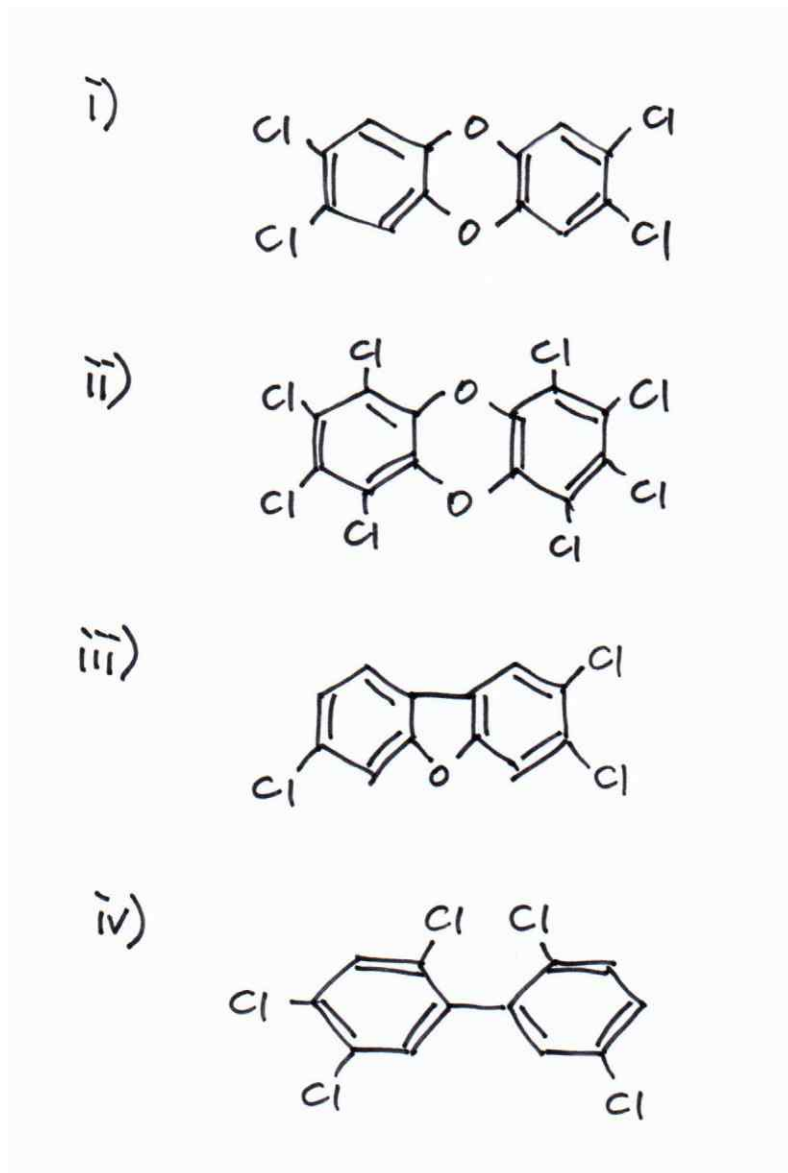
6. 다이옥신(dioxins) 또는 다이옥신 계열(dioxin-like) 화합물로는 polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), and polychlorinated biphenyls (PCBs) 등이 있다. 이 화합물들의 골격 구조와 염소 치환번호는 다음 그림과 같다.



위 그림을 참조하여 다음 화합물의 구조를 그리시오. (10점)

- i) 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin
 - ii) octachlorodibenzo-p-dioxin
 - iii) 2,3,7-trichlorodibenzofuran
 - iv) 2,2',4,5,5'-pentachlorobiphenyl
- (Hint: mono=1; di=2; tri=3; tetra=4; penta=5; hexa=6; hepta=7; octa=8; nona=9; deca=10)

답)



7. 최용주 교수는 어느 날 락 페스티벌에 가서 공연을 관람하였다. 무대 앞쪽에는 동일한 사운드를 내는 두 개의 앰프가 있었는데, 처음에 무대 바로 앞 중앙 자리를

배정받았더니 소리가 너무 커서 관계자에게 요청하여 자리를 바꾸게 되었다. 처음 배정받은 자리가 두 개의 앰프로부터 동일하게 5 m 떨어져 있었고 이 때의 sound pressure level이 75 dB이었으며, 옮긴 자리는 두 개의 앰프로부터 각각 25 m, 30 m 떨어져 있었다면, 옮긴 자리에서의 sound pressure level은 얼마였을지 구하시오. (20점)

답)

먼저, 단일 앰프로부터 5 m 거리에서 발생하는 sound pressure의 제곱($(p_{rms})^2$)을 reference 값의 함수로 표현하면, sound pressure의 제곱은 합산이 되는 값이므로,

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{2(p_{rms})^2}{(p_{rms})_o^2} = 75 \text{ dB}$$

$$(p_{rms})^2 = 1.58 \times 10^7 (p_{rms})_o^2$$

단일 앰프의 sound pressure level은

$$L_p = 10 \log_{10}(1.58 \times 10^7) = 72 \text{ dB}$$

단일 앰프로부터 25 m, 30 m 거리의 sound pressure level은

$$L_{p2} = L_{p1} - 10 \log_{10} \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

$$L_p(25 \text{ m}) = 72 \text{ dB} - 10 \log_{10} \left(\frac{25 \text{ m}}{5 \text{ m}} \right)^2 = 58.0 \text{ dB}$$

$$L_p(30 \text{ m}) = 72 \text{ dB} - 10 \log_{10} \left(\frac{30 \text{ m}}{5 \text{ m}} \right)^2 = 56.4 \text{ dB}$$

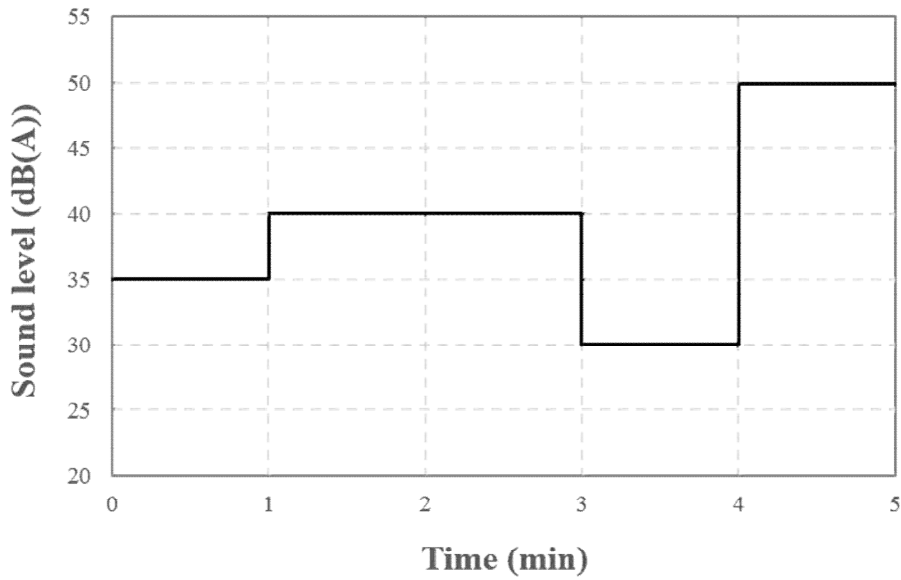
두 sound pressure level을 합하면,

$$L = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{58.0}{10}} + 10^{\frac{56.4}{10}} \right) = 60.3 \text{ dB}$$

8. 어떤 사람이 윗집에서 들려오는 피아노 소리에 잠을 이루지 못한 나머지 소음 측정기를 구입, 5분 동안 들려오는 피아노 소리를 측정하여 다음의 결과를 얻었다. 이 결과를 바탕으로 보았을 때, 윗집에서 들려오는 소리는 우리나라 층간소음 기준을 초과하였는가? 우리나라 층간소음에 대한 아래 기준을 참조하시오.

(10점)

<측정 결과>



<우리나라 층간소음 법적기준(야간)>

(단위: dB (A))

직접충격 소음		공기전달 소음
1분간 L_{eq}	L_{max}^*	5분간 L_{eq}
38	52	40

* 1시간에 해당 값을 3회 이상 초과하였을 경우 기준을 초과한 것으로 간주.

답)

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \cdot t_i \right]$$

$$= 10 \log_{10} \left(10^{35/10} \cdot \frac{1}{5} + 10^{40/10} \cdot \frac{2}{5} + 10^{30/10} \cdot \frac{1}{5} + 10^{50/10} \cdot \frac{1}{5} \right)$$

$$= 43.95 \text{ dB(A)}$$

따라서, 층간소음 기준을 초과하였음.

9. 앱스토어에서 무료로 다운받을 수 있는 소음측정기를 이용하여 생활 속 소음을 한번 측정해 봅시다. 본인이 측정한 소음 중 최고값을 스크린 캡처하여 제출하고, 그 소음의 발생원과 측정을 통한 간단한 소회를 기술하시오. (20점)