

지하 수처리시설 유지관리층 환기설비의 성능평가

강 한 기, 이 재 현**

한양대학교 대학원 기계공학과, *한양대학교 공과대학 기계공학부

Evaluation of the Ventilation Efficiency in an Underground Sewage Disposal Plant

Han Gi Kang, Jae-Heon Lee**

Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received June 5, 2007; revision received September 18, 2007)

ABSTRACT: In this paper, the ventilation efficiencies of an underground sewage disposal plant were investigated for ventilating system without fan, ventilating system with eleven cross flow fans and ventilating system with sixteen cross flow fans by numerical method. It has been found that the air change effectiveness of the system without fan was predicted 0.44. It means that an additional ventilating equipment is needed to maintain good indoor air quality. For the ventilating system with sixteen cross flow fans, the air change effectiveness was predicted 0.55. The air change effectiveness of the ventilating system with eleven cross flow fans was predicted 0.51. It is known that the air change effectiveness above 0.5 is enough to eliminate pollutant and bad smell in the indoor. Therefore, it is recommended to select the ventilating system with eleven cross flow fans for the underground sewage disposal plant in an economic point of view.

Key words: Mean age of air(평균공기연령), Ventilation efficiency(환기효율), Underground sewage disposal plant(지하 수처리시설), Ventilation system(환기시스템), Air change effectiveness(공기교환효율), Local supply index(국소급기지수)

기 호 설 명

C_{1c}, C_{2c} : 난류상수

C_{3c}, C_{4c} : 난류상수

g : 중력가속도 [m/s^2]

G_b : 부력에 의한 난류생성항 [$kg/(m \cdot s^3)$]

G_k : 유동에 의한 난류생성항 [$kg/(m \cdot s^3)$]

k : 난류운동에너지 [m^2/s^2]

N : 보조환기팬설치대수 [-]

p : 압력 [Pa]

Q : 급기유량 [m^3/s]

V : 체적 [m^3]

u, v, w : x, y, z 방향 공기속도 [m/s]

X, Y, Z : 절대좌표계

그리스 문자

α : 국소급기지수 [-]

β : 체적팽창계수 [K^{-1}]

ϵ_s : 공기교환효율 [-]

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2220-0425; fax: +82-2-2220-4425

E-mail address: jhlee@hanyang.ac.kr

μ_l	: 층류점성계수 [kg/(m·s)]
μ_t	: 난류점성계수 [kg/(m·s)]
ρ	: 공기밀도 [kg/m ³]
σ_k, σ_c	: 난류상수 [-]
σ_l	: 층류 Prandtl 상수 [-]
σ_t	: 난류 Prandtl 상수 [-]
τ_n	: 명목환기시간 [s]
τ_p	: 국소공기연령 [s]

1. 서 론

최근 생활문화 수준의 향상과 소득 증대에 따라 실내 공기환경과 더불어 수질오염에 대한 관심이 증가하고 있다. 또한 1980년 이후 수질오염에 대한 규제가 강화되어 수질오염 방지 및 하수 처리율을 향상시키기 위한 연구가 지속적으로 수행되고 있다.

그러나 하·폐수 처리시 발생하는 오염물질 및 악취 등이 주위공간으로 확산될 우려와 미관상의 이유로 최근 운영되고 있는 하·폐수 처리시설은 대부분 지하에 건설되고 있는 추세이다. 하·폐수를 처리하는 과정에서 먼지, 황산화물(SO_x), 염화수소(HCl), 질산화물(NO_x), 일산화탄소(CO), 매연, 악취 등이 발생하며, 이러한 오염물질이 유지관리층으로 유입될 경우 오염물질로 인한 두통, 현기증, 졸음, 눈의 자극 등의 현상이 발생할 수 있을 뿐만 아니라 악취로 인한 메스꺼움, 불쾌감을 받을 수 있다. 이러한 이유로 지하에 건설된 수처리 시설의 환기를 위해서는 신선외기를 급기 디퓨저를 통해 실내공간에 공급하고, 오염된 공기는 배기그릴을 통해 배기시키는 급배기 환기장치가 기본적으로 요구된다. 본 연구에서 고려된 지하 수처리시설 유지관리층의 경우 넓은 실내 공간의 원활한 환기를 위해 급배기 환기시스템에 횡류팬(cross flow fan)이 추가로 설치되어 있다.

따라서 본 연구에서는 최근 지방에 건설된 지하 수처리장 유지관리층의 환기설비를 이론해석을 통하여 기류분포 및 환기성능을 평가하고자 한다.

2. 환기설비 성능 평가

공간내에서 환기성능, 즉 오염물 제거와 신선외

기의 공급성능에 대한 지표로서 공기교환효율(air change effectiveness)⁽¹⁾ ϵ_s 이 널리 사용되고 있으며 그 정의는 아래와 같다.

$$\epsilon_s = \frac{\tau_n}{2\bar{\tau}} \quad (1)$$

여기서 τ_n 은 명목환기시간이며 $\bar{\tau}$ 는 실평균공기연령으로서 그 정의는 각각 다음 식과 같다.

$$\tau_n = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

$$\bar{\tau} = \frac{\int \tau_p dV}{V} \quad (3)$$

명목환기시간은 급기구에서의 급기량 Q 가 유지관리층 전체공간을 채우는 데 소요되는 시간으로서 환기횟수의 역수이다. V 는 유지관리층의 체적이다.

식(3)에서 τ_p 는 국소공기연령(local mean age of air)⁽²⁾이며 급기구에서 공급된 외기가 여러 경로를 통하여 해당 국소 위치에 도달하는데 걸리는 시간이다. 국소공기연령 τ_p 는 아래와 같이 정의될 수 있다.

$$\tau_p = \int_0^{\infty} t\psi(t)dt = \int_0^{\infty} [1 - \Phi(t)]dt \quad (4)$$

여기서, $\psi(t)$ 및 $\Phi(t)$ 는 각각 연령빈도함수(age frequency distribution) 및 누적 연령 분포(cumulative age distribution)이다.

환기성능의 추정평가에는 추적가스방법이 주로 이용되고 있으며 펄스법, 체승법 그리고 체강법이 있다. 체강법은 추적가스를 발생시켜 공간내의 농도를 일정하게 유지시킨 뒤 그 발생을 중지시킨 후 각 측정 위치에서의 농도변화로써 누적분포를 구하는 방법이다. 이 때 누적분포와 농도 사이에는 아래의 관계가 성립한다.

$$1 - \Phi(t) = \frac{C(t)}{C(0)} \quad (5)$$

국소공기연령을 이용하면 공간의 각 위치에서 아래와 같이 정의된 국소급기지수 α 를 구할 수 있다.

$$\alpha = \frac{\tau_n}{2\tau_p} \quad (6)$$

입의 위치에서 국소급기지수가 0.5보다 크다는 뜻은 급기구부터의 외기가 설계자의 추천시간(명목환기시간)보다 빨리 도달되어 오염물의 배출이 촉진된다는 뜻이다. 반대로 0.5보다 작은 경우에는 오염물의 배출이 늦다는 뜻이다.

3. 환기설비 성능 예측

체강법 측정원리를 이용하여 하수처리장공간에서의 환기성능을 구하는 경우, 위치와 시간에 따른 오염물의 농도를 구하기 위한 비정상상태의 농도방정식, 초기조건, 최종조건 및 경계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho C) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i C) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\frac{\mu}{\sigma_i} + \frac{\mu_t}{\sigma_i} \right) \frac{\partial C}{\partial x_i} \right\} \quad (7)$$

$$C = C_0 ; \text{ in all space, at } t = 0 \quad (8)$$

$$C = 0 ; \text{ in all space, at } t = \infty \quad (9)$$

$$C = 0 ; \text{ in inlet, at } t > 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x_i} = 0 ; \text{ in outlet, at } t > 0 \quad (11)$$

식(7)의 농도 방정식을 시간에 대해 0에서 무한대까지 적분한 뒤 초기 및 최종조건을 이용하여 정리하면 다음 식과 같이 된다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_i} \left[u_i \left(\int_0^\infty \frac{C}{C_0} dt \right) - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\mu}{\sigma_i} + \frac{\mu_t}{\sigma_i} \right) \left(\int_0^\infty \frac{C}{C_0} dt \right) \right] = 1 \quad (12)$$

한편, 하수처리장에서 급기구를 통해 신선외기가 유입되고 있으며 단위체적당 S_c 의 오염물이 일정하게 발생되면서 이 오염물이 배기구로 유출되고 있는 정상상태를 고려하자. 이 때 하수처리장공간내의 농도분포를 구하기 위한 정상상태의 농도방정식과 경계조건은 아래 식과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i C) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\frac{\mu}{\sigma_i} + \frac{\mu_t}{\sigma_i} \right) \frac{\partial C}{\partial x_i} \right\} + S_c \quad (13)$$

$$C = 0 ; \text{ in inlet} \quad (14)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x_i} = 0 ; \text{ in outlet} \quad (15)$$

$$S_c = \text{constant} ; \text{ in all space} \quad (16)$$

S_c 가 일정하므로 식(13)을 정리하면 아래와 같이 변형될 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[u_i \frac{\rho C}{S_c} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\mu}{\sigma_i} + \frac{\mu_t}{\sigma_i} \right) \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\rho C}{S_c} \right) \right] = 1 \quad (17)$$

여기서 보면 농도방정식 식(12)과 식(17)는 동일한 형태이다. 또한 경계조건 식(10) 및 식(11)은 식(14) 및 식(15)과 동일하다. 따라서 정상상태 농도방정식인 식(17)에서 $(\rho C/S_c)$ 의 분포를 구하는 것은 비정상상태농도 방정식인 식(12)에서 $(\int_0^\infty (C/C_0) dt)$ 의 공간분포를 구하는 것과 동일하게 되어 국소평균연령의 공간분포가 결정될 수 있다.

4. 횡류팬 설치대수 산정

일반적으로 환기를 위한 대상공간에 보조환기팬을 이용한 환기 시스템을 도입할 경우 자유제트 이론에 근거하여 보조환기팬의 최대도달거리와 보조환기팬에 의해 유도된 주위공기 유량이 최대일 경우의 기류폭을 예측한 후 보조환기팬이 환기시킬수 있는 영역을 예측한다. 보조환기팬 설치대수(N)는 다음 식에 의해 산정된다.

$$N = \frac{A}{D \cdot W} \quad (18)$$

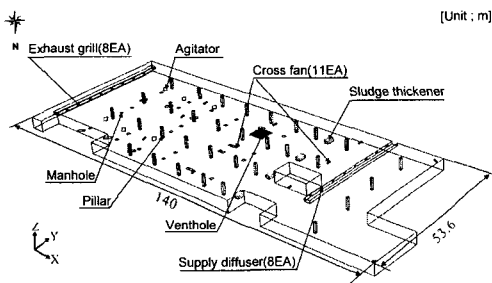
여기서 A는 환기를 위한 공간의 넓이이며 D와 W는 각각 보조환기팬의 최대도달거리와 최대유도비에서의 기류폭을 나타낸다. 본 연구에서 적용된 보조환기팬의 경우 최대도달거리 및 최대유도비는 각각 30m 및 8m이다.

5. 연구 모델

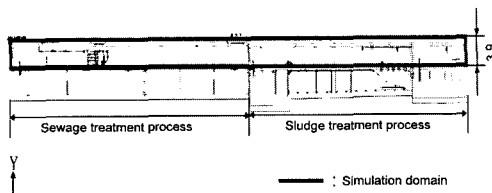
본 연구에서 환기성능을 평가한 연구모델의 개략도를 Fig. 1에 나타내었으며 연구모델은 폭 140m, 길이 53m, 높이 3.9m 규모를 가진 지하 수

처리시설 유지관리층이다. Fig. 1에서 보듯이 건물 제일 하부에는 하수처리와 슬러지처리 과정이 이루어지는 하처리시설이 있으며 바로 인접한 상층에는 하수처리 과정을 제어하고 작업자가 상주하는 유지관리층이 위치해 있다. 지하 수처리 시설에서는 하·폐수를 처리하는 과정에서 인체에 유해한 물질 및 악취가 발생하며 이는 28개의 맨홀(manhole)과 16개의 교반기(agitator)의 틈새를 통하여 인접한 상부의 유지관리층으로 유입된다. 유지관리층의 원활한 환기와 유해물질 및 악취를 제거하기 위하여 총풍량 49,000 CMH를 급기하는 급기디퓨저(supply diffuser)가 8개 설치되어 있으며 유입된 공기는 8개의 배기그릴(exhaust grill)를 통하여 외부로 배출된다. 유지관리층의 급기디퓨저와 배기그릴 사이에는 급기디퓨저에서 유입된 공기를 배기 그릴로 원활하게 유입될 수 있도록 횡류팬이 11대 설치되어 있다. 횡류팬에서 취출되는 공기의 유량은 1,620 CMH이며 취출 속도는 10.8 m/s이다.

유지관리층에서의 환기성능을 평가하고자 다음과 같이 세가지 경우의 환기시스템을 고려하여 환기시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구에서는 Fig. 2(a)와 같은 유지관리층 내에 특별한 환기보조장치가 설치되지 않고 급배기 환기 방식으로만 환

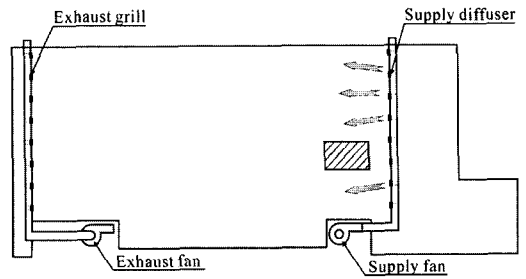


(a) Isometric view

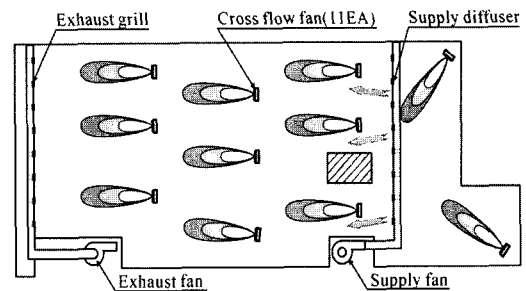


(b) Front view

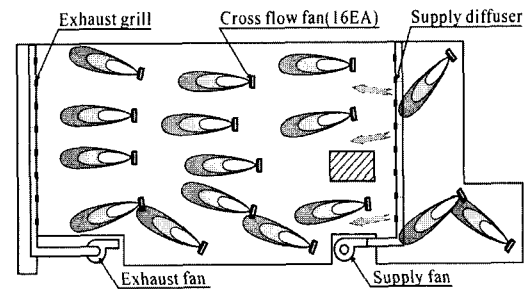
Fig. 1 Schematic of the underground sewage disposal plant for present investigation.



(a) Ventilation system without fan



(b) Ventilation system with 11 cross fans



(c) Ventilation system with 16 cross fans

Fig. 2 Ventilation systems selected in present investigation.

기가 이루어지는 단순 환기시스템, Fig. 2(b)와 같이 현재 유지관리층에 적용된 11대의 횡류팬을 배치한 환기시스템 및 Fig. 2(c)와 같이 16대의 횡류팬을 배치한 환기시스템에 대하여 기류분포 및 환기설비성능을 평가하였다. 이때 추가된 횡류팬 설치대수는 기존에 연구된 자유제트이론(3)을 적용하여 횡류팬의 최대도달거리와 최대유도비에서의 기류폭을 고려하여 선정되었다. 횡류팬의 위치와 공기제트의 방향은 Fig. 2(b)와 Fig. 2(c)에 보이는 바와 같으며, 횡류팬은 바닥으로부터 3.5 m 높이에 설치되어 있고 수평대비 하향 45° 기울어져 있다.

Table 1 Governing equations and model coefficients

Continuity equation ;
$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$
Momentum equation ;
$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right\} + S_{u_i}$
Turbulent kinetic energy equation ;
$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right\} + G_k - \rho \epsilon$
Dissipation rate equation of turbulent kinetic energy ;
$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right\} + G_k C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$
Concentration equation ;
$\frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ u_i \left(\frac{\rho C}{S_c} \right) \right\} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \frac{1}{\rho} \left(\frac{\mu}{\sigma_l} + \frac{\mu_t}{\sigma_l} \right) \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\rho C}{S_c} \right) \right\} + 1$
where,
$\mu_t = \frac{c_\mu \rho k^2}{\epsilon}, G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i}$
$C_\mu = 0.09, C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_{3\epsilon} = 1.0$
$\sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 0.9, \sigma_l = 1.0, \sigma_l = 1.0$

6. 기류 및 환기설비 성능 해석방법

6.1 지배 방정식

본 연구에서는 3차원 지하 수처리 유지관리층 모델의 환기성능을 평가하기 위하여 정상상태 농도방정식을 사용하였다.⁽⁴⁾ 농도방정식에는 유지관리층 내부의 국소공기속도항이 포함되어 있으므로 공기유동에 관한 연속방정식, 운동량방정식, 난류운동에너지방정식 및 난류운동량 소멸 방정식이 함께 풀이되었다. 본 연구에서 사용된 지배방정식은 Table 1에 나타내었으며 각 식들에서의 기호 선정은 일반적인 교과서를 인용하였다.

Table 2 Boundary conditions for present study

Location	Conditions
supply diffuser	$V_d = 2.52m/s, \frac{\rho C}{S_c} = 0$ $V_d = \sqrt{u_d^2 + v_d^2 + w_d^2}$
exhaust grill	$\frac{\partial u}{\partial x} = 0, \frac{\partial k}{\partial x} = 0, \frac{\partial \epsilon}{\partial x} = 0, \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho C}{S_c} \right) = 0$
cross fan	$V_f = 10.8m/s$ $V_f = \sqrt{u_f^2 + v_f^2 + w_f^2}$ $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho C}{S_c} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho C}{S_c} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\rho C}{S_c} \right) = 0$
wall	$u = v = w = 0$ $\frac{\partial k}{\partial x} = \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial k}{\partial z} = 0$ $\frac{\partial \epsilon}{\partial x} = \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = \frac{\partial \epsilon}{\partial z} = 0$ $\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho C}{S_c} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho C}{S_c} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\rho C}{S_c} \right) = 0$

6.2 격자계 및 경계조건

본 연구에서 지하 수처리 유지관리층에서의 기류분포 및 환기설비 성능을 살펴보기 위하여 비정렬 격자계를 사용하였다. 격자계는 약 380,000개의 제어체적으로 이루어져 있다.

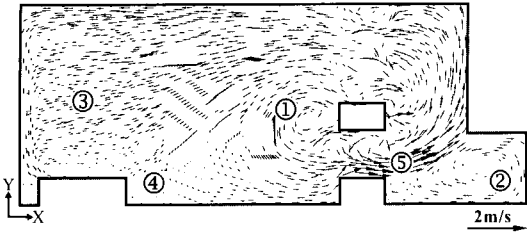
경계조건은 급기디퓨저, 배기그릴, 횡류팬 및 벽에서 정의될 수 있으며 상세한 내용은 Table 2에 나열하였다. 급기디퓨저에서 유출속도 V_d 와 횡류팬에서 유출속도 V_f 는 각각 해당면에 수직한 속도를 의미한다.

7. 결과 및 고찰

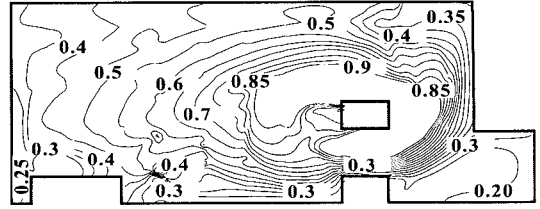
본 연구에서는 지하 수처리 유지관리층의 환기성능을 평가하고자 단순 환기시스템과 횡류팬 환기시스템에 대해 바닥으로부터 1.5m 높이인 호흡면에서 기류분포, 국소급기지수 및 공기교환효율을 고찰하였다.

7.1 단순 환기시스템

재실자의 호흡선 위치에서의 기류분포와 국소

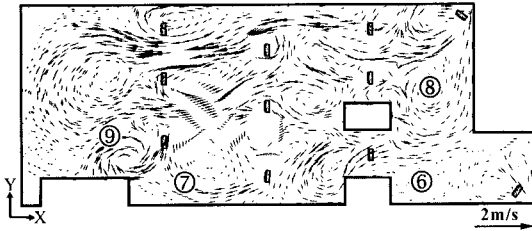


(a) Distribution of velocity vectors

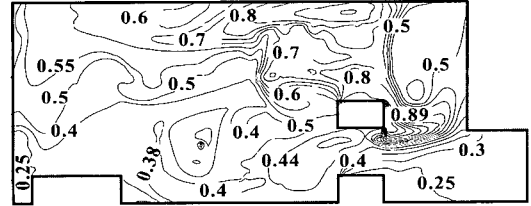


(b) Distribution of local supply indices

Fig. 3 Distributions of velocity vectors and local supply indices in case of the system without fan($z=1.5$ m).

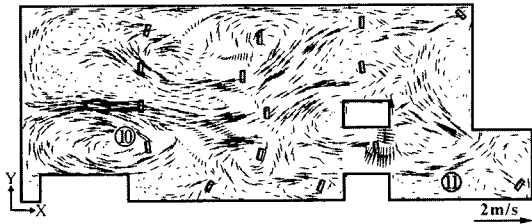


(a) Distribution of velocity vectors

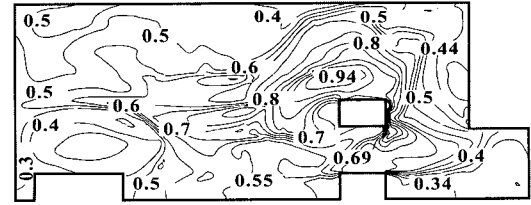


(b) Distribution of local supply indices

Fig. 4 Distributions of velocity vectors and local supply indices in case of the ventilation system with 11 cross fans($z=1.5$ m).



(a) Distribution of velocity vectors



(b) Distribution of local supply index

Fig. 5 Distributions of velocity vectors and local supply indices in case of the ventilation system with 16 cross fans($z=1.5$ m).

급기지수 분포를 각각 Fig. 3(a) 및 (b)에 나타내었다. 단순 환기시스템은 유지관리층 우측 상단의 급기디퓨저로부터 급기된 신선외기가 공간 내부를 통하여 좌측 상단의 배기그릴로 배출되어 환기가 이루어진다. Fig. 3(a)의 기류분포에서 보면 ①, ② 및 ④로 표시된 영역에서 급기디퓨저로부터 공급된 기류가 원활하게 도달하지 못하여 정체영역이 형성되며, ③으로 표시된 영역에서는 재순환 유동영역, ⑤로 표시된 영역에서는 역류가 발생한다. 전체적인 기류분포에서 y 방향 중앙을 기준으로 상부에서는 급기디퓨저로부터 유입된 신선외기가 배기그릴로 원활하게 이송되며 반

면 하부에서는 배기그릴에서 급기디퓨저로 공기가 이동되는 역류현상이 발생되고 있다.

국소급기지수 분포를 나타낸 Fig. 3(b)를 살펴보면, 급기디퓨저로부터 유입된 기류 영향을 직접받는 유지관리층 중앙부분에서의 국소급기지수는 0.5~0.9로 양호하게 나타난다. y 방향 중앙을 기준으로 급기디퓨저로부터 유입된 기류가 배기그릴로 원활하게 이송되는 상부에서 국소급기지수는 0.6정도이며 반면에 상대적으로 역류현상이 발생하는 하부영역에서는 0.3정도의 낮은 국소급기지수 분포를 보인다. 급기디퓨저로부터 공급된 기류가 원활하게 도달하지 못하는 정체영역(①, ②

및 ④)에서 국소급기지수는 0.2~0.4의 낮은 분포를 형성하고 있다. 또한 정체영역과 역류영역으로 인하여 공기교환효율은 0.44로 낮게 나타난다. 따라서 지하 하수처리장에서 유입된 각종 오염물질 및 악취를 원활하게 제거하기 위해서는 급기디퓨저로부터 유입된 신선외기를 배기그릴로 이송시킬 수 있는 보조환기팬의 추가 설치가 요구된다.

7.2 11대 횡류팬이 설치된 환기시스템

단순 환기시스템에서 실내 공간의 원활한 환기를 위하여 11개의 횡류팬을 설치한 현재 유지관리층에 대하여 이론해석을 수행하였으며, 호흡영역에서의 기류분포와 국소급기지수 분포를 각각 Fig. 4(a) 및 (b)에 나타내었다. Fig. 4(a)의 기류분포를 살펴보면 횡류팬에 의한 기류 영향이 상대적으로 적은 ⑥, ⑦, ⑧ 및 ⑨로 표시된 영역에서는 재순환영역 및 정체영역이 형성된다. 공간에서의 전체적인 기류패턴을 살펴보면 단순 환기시스템에 비해 급기디퓨저로부터 급기된 신선외기가 횡류팬에 의해 유입되어 배기그릴로 원활하게 이송됨을 알 수 있다.

Fig. 4(b)에는 국소급기지수 분포를 나타내었다. 그림에서 살펴보면, 재순환과 정체가 나타나는 ⑥, ⑦, ⑧ 및 ⑨로 표시된 영역에서 국소급기지수는 0.25~0.44정도로 낮은 분포를 나타내며, 그 외의 영역에서는 0.5~1.0정도로 양호한 환기성능을 보인다. 단순 환기시스템의 경우 국소급기지수는 중앙부위에만 양호하게 형성되나 횡류팬을 이용하여 공기 이송방법을 도입한 횡류팬 환기시스템에서의 국소급기지수는 전체적으로 평균화된 분포를 형성하고 있다. 공기교환효율은 0.51로서 단순 환기시스템보다 원활한 환기가 이루어지고 있으며 환기성능이 양호하다고 판단된다.

7.3 16대 횡류팬이 설치된 환기시스템

16개의 횡류팬이 설치된 지하 수처리 유지관리층의 호흡영역에서의 기류분포와 국소급기지수 분포를 각각 Fig. 5(a) 및 (b)에 나타내었다. Fig. 5(a)에서 나타난 기류분포를 살펴보면, ⑩으로 표시된 영역에서 재순환영역이 나타나며 그 외의 영역에서는 원활한 기류분포를 보인다.

국소급기지수 분포를 나타낸 Fig. 5(b)를 살펴보면 급기구로부터 유입된 외기의 흐름에 따르는 영역은 외기가 원활히 공급되어 국소급기지수가 0.5이상으로 나타나며 재순환이 발생하는 영역 ⑩에서는 0.4정도로 낮은 분포를 보이고 있다. 공기교환효율은 타환기시스템과 비교하여 가장 높은 0.55로 나타난다. 세가지 환기시스템의 환기성능을 비교한 결과, 16대의 횡류팬이 설치된 환기시스템의 경우 가장 우수한 환기성능을 나타내고 있다. 그러나 11대 횡류팬이 설치된 환기시스템의 경우 16대의 횡류팬이 설치된 환기시스템에 비하여 공기교환효율이 약 7% 감소하는 것에 비해 에너지소비량은 약 31% 감소하며, 공기교환효율 0.51을 가지는 11대 횡류팬이 설치된 환기시스템의 경우도 실내의 오염된 공기 및 악취를 제거하기에 충분하리라 사료된다. 따라서 본 연구에서 고려된 지하 수처리시설 유지관리층 환기시스템은 경제적인 측면에서 11개의 횡류팬이 설치된 환기시스템이 적절하다고 판단된다.

8. 결 론

본 연구에서는 폭 140 m, 길이 53 m, 높이 3.9 m 규모의 지하 수처리시설 유지관리층에서 급기만으로 이루어진 단순 환기시스템, 11개의 횡류팬이 설치된 환기시스템, 16개의 횡류팬이 설치된 환기시스템에 대하여 기류해석 및 환기성능을 이론적으로 해석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 단순 환기시스템의 공기교환효율은 국소적인 정체영역과 역류영역으로 인하여 0.44로 낮게 나타나며 원활한 실내 공간의 환기를 위해서 추가 환기시설이 필요하다.

(2) 16개의 횡류팬이 설치된 환기시스템은 공기교환효율이 0.55로 가장 우수한 시스템으로 나타났다.

(3) 11개의 횡류팬이 설치된 환기시스템의 경우 공기교환효율은 0.51로 16개의 횡류팬이 설치된 환기시스템에 비하여 공기교환효율이 약 7% 감소하는 것에 비해 에너지소비량은 약 31% 감소되며, 실내의 오염된 공기 및 악취를 제거하기에 충분하다고 사료된다. 따라서 경제적인 측면을 고려하면 11개의 횡류팬이 설치된 환기시스템이 가장 적절하다고 판단된다.

참고문헌

1. Sandberg, M. and Sjoberg, M., The use of moments for assessing air quality in ventilated rooms, *Building and Environment*, Vol. 18, No. 4, pp. 181-197.
2. ASHRAE, 1997, *ASHRAE Handbook-Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Ch. 25.3-25.7.
3. Tuve, G. L. and Ohio, C., 1953, Air velocities in ventilating jets, *Transactions American Society of Heating and Ventilating Engineer*, A. S. H. V. E Research Report No. 1476 pp. 261-279
4. Han, H. T., 1992, Numerical analysis of ventilation effectiveness using turbulent airflow modeling, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 4, No. 4, pp. 253-262.
5. Patankar, S. V., 1980, *Numerical heat transfer and fluid flow*, McGraw-Hill, New York.