

AUSPLUME 모델을 이용한 악취를 피하기 위한 산업오염원과 주거단지 사이 이격거리에 관한 연구

A Study on Separation Distance between Industrial Source and Residential Areas to Avoid Odor Annoyance Using AUSPLUME Model

정 상 진

경기대학교 토목환경공학부 환경공학전공
(2002년 5월 14일 접수, 2002년 8월 26일 채택)

Sang Jin Jeong

Department of environment Engineering, Kyonggi University

(Received 14 May 2002, accepted 26 August 2002)

Abstract

Separation distance between industrial source and residential areas to avoid odor annoyance was investigated using AUSPLUME model. A Gaussian plume model (AUSPLUME) for the dispersion was used to calculate odor emission from ground level area source. Using the dispersion model to calculate ambient odor concentrations, the separation distance between industrial source and residential areas was defined by %HA (percentage of highly annoyed person) and odor percentile concentration (C98). The result was compared with the separation distance of various nation guidelines for livestock buildings. The calculated separation distance for industrial source showed similar pattern comparing with various guidelines for livestock buildings.

Key words : Gaussian model, odor annoyance, industrial source, separation distance

1. 서 론

도시의 팽창으로 인한 공단지역과 주거단지의 이격거리 감소로 인한 공단지역 주변에 있는 주거단지에서 악취 문제는 심각한 산업공해로 대두되고 있다. 우리나라에서는 악취 관리를 생활악취 대상시설과 대기오염물질 배출시설로 나누어 관리하고 있

다. 생활악취 대상시설은 지방자치단체장의 명으로 악취시설로 관리되며 대기오염 공정시험법의 직접 관능법에 따라 측정하여 악취도 2 이하가 되게 관리하고 있으며, 배출허용기준은 기타지역내의 사업장으로 관리하고 있다. 대기오염 배출시설은 각사업장에서 배출되는 악취 관리를 목적으로 배출량을 규제하고 있다(대기환경보전법, 1996). 이와 같은 규제는 단순히 규정된 배출량 규제 기준을 만족하는지를 목적으로 하기 때문에 생활환경의 불만, 민원을 해결하는 목적으로는 많은 문제점을 가지고 있

* Corresponding author
Tel : 031-249-9734, E-mail : sjjung@kyonggi.ac.kr

다(양성봉과 김성만, 2000).

악취 관리를 위한 최근의 경향은 가축농가의 악취에 의한 민원을 최소화하기 위한 오염원과 거주지 사이의 이격거리를 가이드라인으로 제공하는 방법과 공단지역의 악취 관리를 위한 악취체감도를 평가하는 방법으로 대별될 수 있다. 유럽 각국에서는 축산농가의 악취 피해관리를 위하여 악취 발생원(축산농가)과 주거단지 사이의 이격거리를 가이드라인으로 제공하고 있다(Piringer and Schauburger, 1999). 이들에 따르면 유럽 각국(오스트리아, 독일, 스위스, 네덜란드)에서는 축산농가의 사육 가축수, 사료, 환기상태, 지형 등을 기본 자료로 하여 축산농가와 거주지 사이의 권장 이격거리를 제공하고 있다. 공단지역의 악취관리를 위한 최근의 연구로는 석유공단 지역에서 악취모니터링 위치선정을 위한 연구(Chen *et al.*, 2000), 오수처리 시설주변 발생오염물의 농도와 악취단위(Odor Unit)의 관계를 연관시키는 연구(Gostelow *et al.*, 2001), 그리고 공단지역에서 배출되는 악취체감도를 평가하는 기법(Miedema *et al.*, 2000)에 대한 연구 등이 있다. Chen 등(2000)은 화학공단에서 최적 모니터링 장소를 결정하기 위하여 특정 화학종의 농도와 악취농도를 연관시키고 ISCST 모델을 이용하여 공단지역 주변의 악취 농도를 평가하였다. Goestelow(2001)은 폐수처리장에서 발생하는 황화수소의 농도와 악취단위(체감농도)를 연관시켰다. Miedema 등(2000)은 악취체감도를 평가하기 위하여 1984년에서 1996년 동안 네덜란드에서 관측된 11종의 오염원에서 배출되는 악취농도와 주민들의 반응관계를 연구하였다. 대상으로 한 악취배출원은 지방정제(rendering), 정유공장(oil extraction), 화학공장(chemical), 돼지사육시설(pig farm), 건초제조(grass drying), 설탕제조(sugar blending), 과자공장(chips), 밀가루 반죽(pastry), 전선피복 공정(wire coating), 카카오(cacao) 및 담배제조공정(coffee) 등 11종 사업장이었다. Miedema 등(2000)은 확산모델에서 구한 C98(98 퍼센타일 농도) 농도자료와 악취체감도로 %HA(percent Highly Annoyed; 높은 불만을 호소하는 주민의 %)를 관련시켰다. 이러한 연구들은 악취 관리를 단순한 화학종의 농도관측으로 배출량을 규제하는 것과는 달리 생활 민원과 연관되는 체감농도로 평가하고자 하는 연구이다.

본 연구는 악취 관리를 생활 민원과 관련시키기 위한 연구의 일환으로 산업장 악취오염원과 거주지 사이의 악취 이격거리를 평가하였다. 이를 달성하기 위하여 대상지역으로 최근 문제가 되고 있는 수도권 소재 군포시 당정동 공단지역의 악취 현상을 모델로 설정하였다. 악취배출량 계산은 Smith(1995a)에 따라 정규연모델(AUSPLUME 모델)과 현장악취 관측 자료를 사용하여 산출하였다. 악취체감도에 따른 이격거리를 평가하기 위하여 AUSPLUME 모델을 사용하여 시간별 평균 농도를 계산하였다. 오염원과 거주지역 사이의 이격거리 계산을 위하여 Miedema 등(2000)에 따라 오염원을 분류하였다. 체감농도는 시간별 평균농도에서 구한 C98과 악취체감도 %HA 개념을 사용하여 구하였다. 계산된 이격거리의 결과는 유럽에서 사용되는 축산농가에 대한 이격거리를 나타내는 가이드라인과 비교하였다.

2. 대상영역과 모델의 개요

2.1 대상 영역

그림 1(a)에서는 군포시 전체 지형과 본 연구 대상 영역을 함께 나타내었다. 그림에서 약자들은 SB(산본동), GJ(광정동), GN(궁내동), KJ(금정동), JG(재궁동), SR(수리동), OG(오금동), GP(군포동), DJ(당정동), DY(대야동)를 나타낸다. 그림에서 숫자는 그 지역의 고도를 m단위로 나타낸 것이다. 군포시의 면적은 36 km²로 평균고도는 120 m 정도이고 높은 고도지역은 북서쪽에 위치한 안양시와 시흥시에 인접한 수리산으로 440 m 정도이고 낮은 지역은 40 m 정도이다(경기도, 2000). 군포시 당정동 일대(그림 1(b))는 군포시의 동쪽에 위치한 공단으로 600여개 업체의 공장이 입주해 있으며 악취 및 VOC 등 다양한 오염원으로 구성된 공단지역으로 본 연구의 대상영역이다.

2.2 AUSPLUME 모델의 개요

AUSPLUME 모델(Lorimer, 1986)은 호주에서 개발한 미국 EPA의 ISC 모델(Bowers *et al.*, 1979)을 확장한 모델로 악취 농도 평가를 할 수 있는 모델이다. 이 모델을 사용하여 악취 농도를 계산한 예로는 축산농가에서 배출되는 악취의 하류에서 농도를

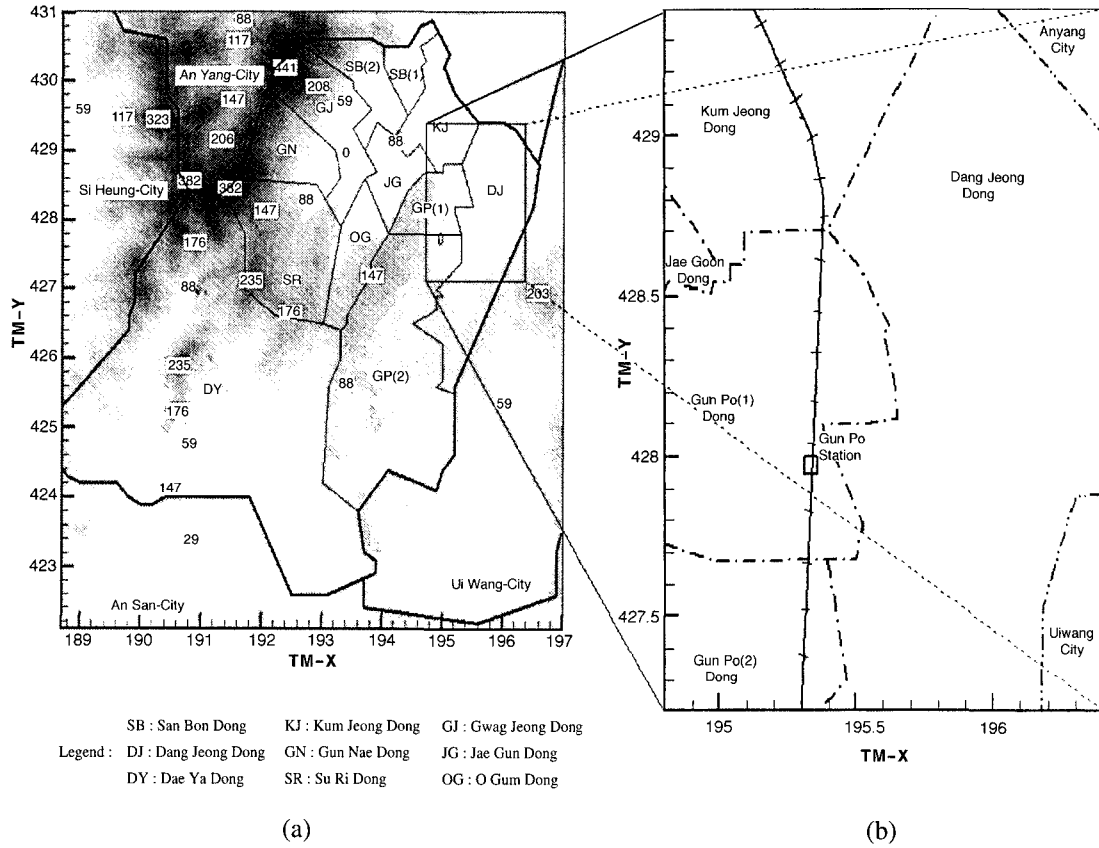


Fig. 1. Dang Jeong-Dong industrial park area used in this study.

평가하기 위한 Smith(1995b)의 연구가 있다.

AUSPLUME 모델은 한 개의 오염원이나 수개의 오염원(점, 선, 면오염원 포함)에서 배출되는 오염물의 건성 침강이나 지표 부근의 농도를 예측할 수 있게 설계되었다. 이 모델은 평균농도 계산시간을 분 단위에서 월 단위까지 할 수 있으며, 모델링에서 주변 건물의 영향을 포함할 수 있고, 지표의 높이를 고려할 수 있도록 설계되었다.

AUSPLUME 모델에서 악취 농도의 계산은 악취 배출량을 $OU \cdot m^3/s$ 로 하고 리셉터에서 농도는 악취단위(OU: Odor Unit)로 구해진다. 이 모델을 수행하기 위하여 요구되는 입력 자료는 배경농도, 오염원 자료, 건물의 크기, 리셉터의 위치, 그리고 기상 자료로 풍향, 풍속 혼합고 등의 자료가 필요하다.

3. 악취배출량과 계산 결과

3.1 악취배출량 계산

악취는 다양한 오염물에 의한 현상으로 본 연구 지역과 같이 다양한 오염원을 대상으로 하는 경우 단일 화학종별로 취급하기는 곤란하므로, 악취 물질에 의한 농도 평가를 악취단위로 표시되는 단일지표를 사용하는 것이 편리하다. 본 연구에서는 악취 농도를 단일지표로 표시되는 ASTM 주사기법으로 평가하는 OU(Odor Unit)를 사용하였다.

악취 물질의 배출량을 평가하는 방법은 현장에서 직접 관측하는 직접적인 방법과 계산에 의한 간접적인 방법이 있다. 직접 측정법은 풍동이나 후드를 사용하여 악취물질을 샘플링하여 배출량을 결정하는 방법으로 측정 작업이 어렵고 경비가 많이 든다.

간접적인 방법은 오염원 하류에서 관측된 악취 농도와 물질수지 관계, 확산모델의 적용 등을 사용하는 방법 (Smith, 1995a)으로 경제적으로 악취 배출량을 결정할 수 있다.

본 연구에서는 악취 배출량을 구하기 위하여 Smith (1995a)가 제시한 하류에서 관측 농도와 정규연 확산모델을 사용하는 방법을 사용하였다. Smith (1995a)에 따르면 면오염원의 배출량(E_a)은 정규연 모델에서 계산되는 배출원 인접 하류 리셉터에서 무차원 농도($X(z)$)와 배출원에서 풍속(u) 그리고 배출원 하류 임의 지점에서 관측농도($C(z)$)의 함수로 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_a = \frac{C(z)u}{X(z)} \quad (1)$$

식(1)에서 무차원 농도는 $X(z)$ 는 배출량을 1로 할 때 면오염원 각 스트립(면오염원을 리셉터에 수직한 방향으로 단위 길이 당 선오염원으로 나눈 것)에서 리셉터의 기여농도를 합한 농도이다 (Smith, 1995a). 식(1)에서 필요한 임의 지점에서 악취 배출

량을 구하기 위하여 당정동 지역(그림 1(b))에서 관측된 악취 농도와 악취관측일의 자동관측소와 수원지방 기상대의 기상자료를 사용하였다. 당정동 지역 평균 악취농도 계산을 위하여 5회(2001년 12월 14일, 12월 19일, 12월 26일, 그리고 2002년 1월 3일, 1월 9일) 관측한 자료를 사용하였다. 악취 시료 채취장소는 그림 1(b)에서 나타난 바와 같이 당정동 공단일대를 중심으로 당정동을 포함하여 군포 1동, 군포 2동, 금정동 그리고 재궁동 일원이 포함되는 가로 1.7 km 세로 2.3 km 영역으로 하였다. 현장 시료의 샘플링은 선정된 영역을 총 5회 관측하고 1회, 2회 관측에서는 200 m 간격으로 나누어 총 98개 지점에서 시료를 샘플링하고 3, 4, 5차에서는 1차 관측에서 정밀을 요하는 일부 지역을 중심으로 가로 세로 100 m 간격으로 89개 지점에서 시료를 채취하였다.

시료의 채취는 각 격자지점에서 50 cc 일회용 주사기와 테트라백을 사용하여 포집하였다. 채취한 샘플링 자료는 환경부의 공정시험법에 따라 무취공기를 제작하여 채취된 시료를 단계적으로 희석하고

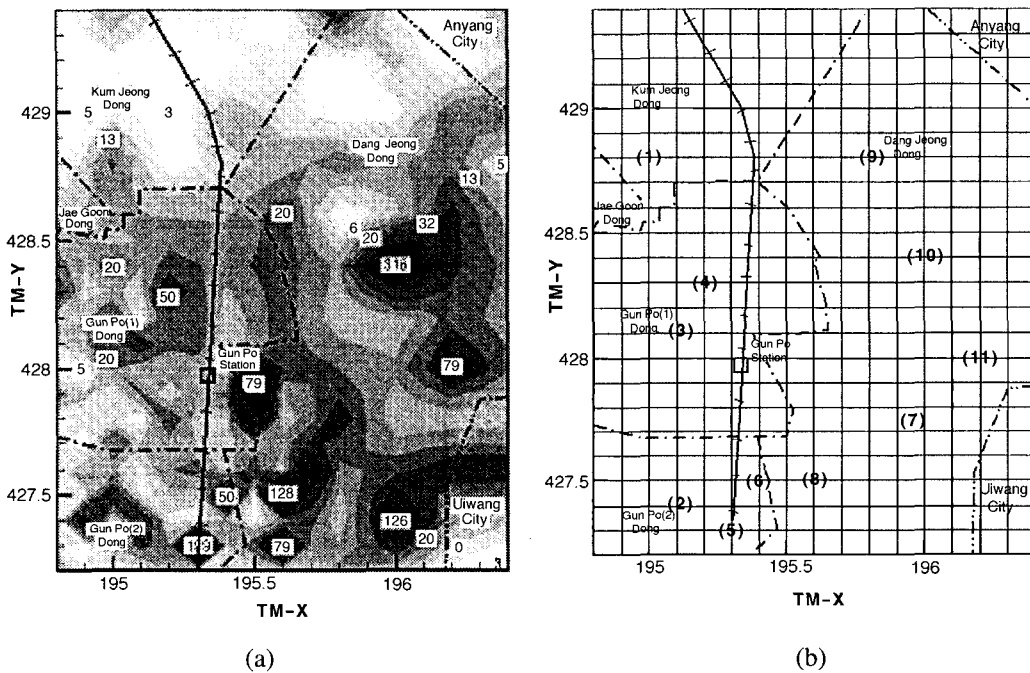


Fig. 2. Results of field measurement of (a) mean concentration (unit: OU) and (b) selected emission source.

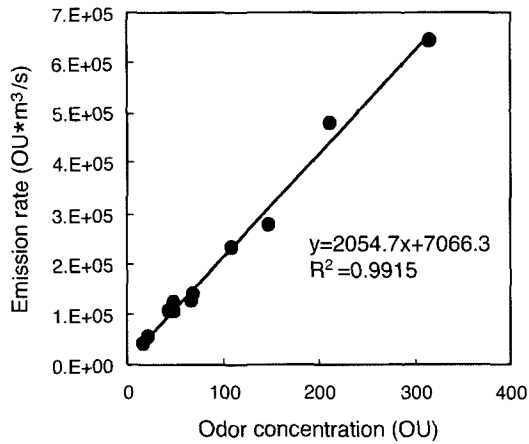


Fig. 3. Computed emission rates as a function of selected field measurement odor concentration.

각 단계별 회석시료의 냄새감지 유무를 판정하였다. 그림 2(a)에서는 각 좌표의 취기시료의 회석배수를 산정하고 5회 관측치를 평균하여 구한 각 격자 좌표에서 악취단위를 나타내었다. 그림 2(a)에서 알 수 있는 바와 같이 관측된 평균 악취도는 3 OU에서 316 OU의 범위로 나타났다. 그림 2(b)의 팔호속의 숫자는 그림 2(a)를 참고로 평균 농도가 비교적 높은 11개소를 오염원으로 가정한 오염원을 나타내었다. 그림 3에서는 그림 2(a)의 현장 관측 평균 악취 농도와 식(1) 그리고 그림 2(b)에서 가정한 11개의 오염원을 이용하여 AUSPLUME 모델로 구한 현장 관측 농도에 따른 배출량을 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 Smith(1995a)의 방법에 따라 계산된 악취 배출량은 현장 관측 농도 16 OU에서 316 OU에 대하여 40000 OU·m³/s에서 640000 OU·m³/s의 범위를 나타내고 있으며 1차식(결정계수 = 0.9915)으로 잘 나타낼 수 있다.

3.2 대상영역 기상조건

AUSPLUME 모델을 사용하여 C98농도를 구하기 위해서는 1년간의 시간평균농도를 구하여야 한다. 1년간의 시간 평균 농도를 구하기 위한 대상기간은 당 정동의 기상 관측 자료(풍향, 풍속, 온도, 상대 습도)를 최대한으로 이용하기 위하여 비교적 관측 자료가 풍부한 2000년을 대상 기간으로 하였다. AUSPLUME

Table 1. Wind velocity and stability class frequency of Dang Jeong-Dong area in 2000. (unit: %)

| Wind velocity (m/s) | Stability | | | | | | Total |
|---------------------|-----------|-----|-----|----|----|-----|-------|
| | A | B | C | D | E | F | |
| 0~1 | 2 | 5 | 6 | 7 | 11 | 85 | 116 |
| 1~2 | 25 | 44 | 40 | 40 | 46 | 222 | 417 |
| 2~3 | 37 | 88 | 57 | 30 | 23 | 105 | 340 |
| 3~4 | 8 | 35 | 24 | 8 | 8 | 18 | 101 |
| 4~5 | 1 | 8 | 5 | 3 | 1 | 1 | 19 |
| 5~6 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 6~7 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Total | 73 | 181 | 137 | 89 | 89 | 431 | 1000 |

Table 2. Wind direction and stability class frequency of Dang-Jeong Dong area in 2000. (unit: %)

| Wind direction | Stability | | | | | | Total |
|----------------|-----------|-----|-----|----|----|-----|-------|
| | A | B | C | D | E | F | |
| N | 6 | 20 | 12 | 8 | 10 | 56 | 112 |
| NE | 3 | 6 | 6 | 4 | 4 | 19 | 42 |
| E | 3 | 11 | 10 | 6 | 6 | 39 | 75 |
| SE | 8 | 16 | 10 | 7 | 7 | 49 | 97 |
| S | 32 | 46 | 26 | 21 | 21 | 118 | 264 |
| SW | 16 | 56 | 43 | 24 | 23 | 75 | 237 |
| W | 3 | 21 | 25 | 14 | 14 | 43 | 120 |
| NW | 2 | 5 | 5 | 5 | 4 | 32 | 53 |
| Total | 73 | 181 | 137 | 89 | 89 | 431 | 1000 |

에 입력되는 기상 자료는 풍향, 풍속, 온도, 혼합고, 안정도 등의 자료가 필요하다. 본 연구에서는 안정도와 혼합고도를 구하기 위해서는 수원지방 기상대 자료를 이용하여 RAMMET로 계산하고 풍향 풍속 자료는 당정동 관측치를 사용하였다.

표 1에서는 2000년 관측된 기상 자료를 이용하여 구한 당정동에서 안정도와 풍속별 빈도를 나타내었다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 당정동 지역은 풍속은 1~4 m/s 사이가 97.4%를 차지하고 안정도는 야간에 형성되는 F 계급을 제외하고는 비슷한 분포를 나타내고 있다. 표 2에서는 당정동 지역에서 풍향과 안정도의 빈도를 나타내었다. 전체적으로 북풍, 남풍, 남서풍계열이 우세한 것으로 나타났으며, 특히 남풍(26.4%)의 빈도가 가장 높은 것으로 나타났다.

3.3 계산 결과

악취체감도는 배출원에서 배출된 악취가 인접 지

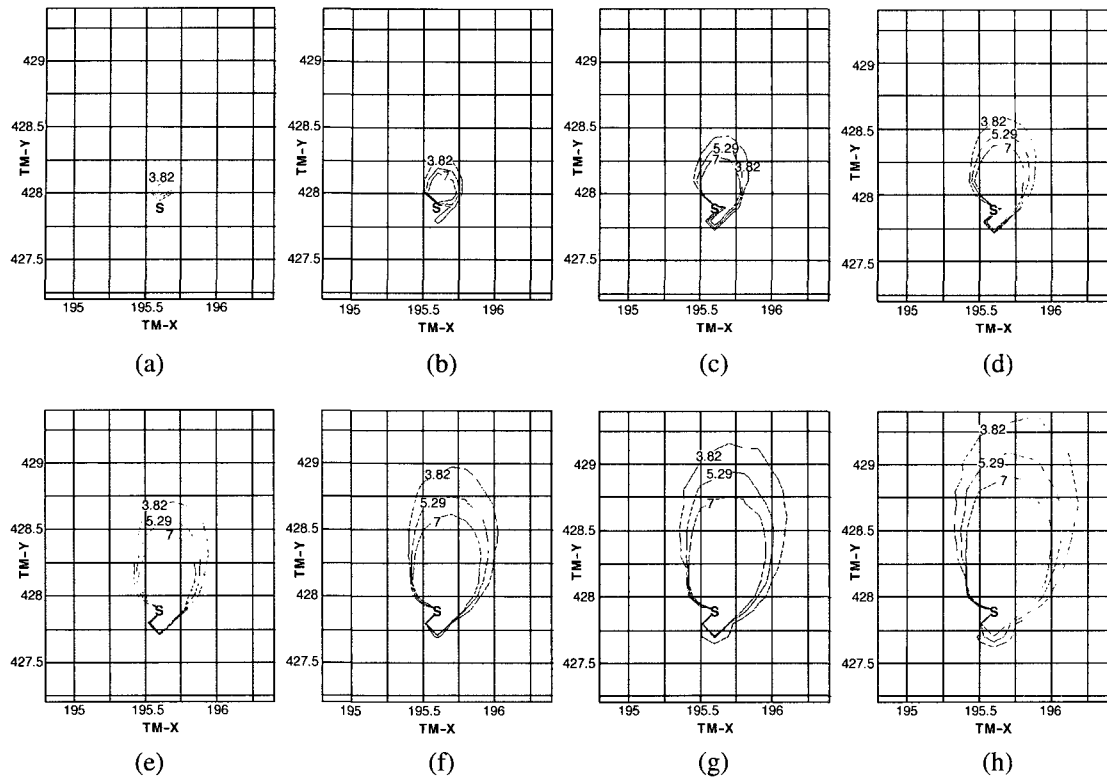


Fig. 4. C98 odor contour for various emission rates; S means emission position. (a) 10000 OU · m³/s, (b) 25000 OU · m³/s, (c) 50000 OU · m³/s, (d) 75000 OU · m³/s, (e) 100000 OU · m³/s, (f) 150000 OU · m³/s, (g) 200000 OU · m³/s, (h) 250000 OU · m³/s.

역의 주민에 미치는 영향을 평가하기 위한 지표이다. 본 연구에서는 악취 체감도를 평가하기 위해서 Miedema 등 (2000)의 연구 결과를 참조하였다. Miedema 등 (2000)은 악취농도 계산을 위하여 오염원의 배출량을 악취단위로 구하고 확산모델을 사용하여 주변 오염원 농도를 계산하여 98퍼센타일 농도를 구하여 이 농도와 악취체감도를 %HA (percent Highly Annoyed)로 관련시켰다. Miedema 등 (2000)에 따르면 %HA를 구하는 식은 식 (2)와 같다.

$$\%HA = (a + b.K) \times (\lg C98)^2 \quad (2)$$

여기서 a는 상수 (=9.55)이고 lg C98은 C98에 Log를 취한 값이다. b.K는 냄새에 대한 선호도를 고려하는 인자이다. 음식냄새나 달콤한 냄새처럼 사람들의 선호도가 높으면 b.K값은 작아지고(0이나 혹은 음수 값) 석유냄새나 화학약품처럼 사람들의

선호도가 낮으면 b.K값은 커진다(최대 5.2). 구해진 %HA로 일반적인 사람들의 불쾌도를 알 수 있다. 구해진 %HA값이 50이면 50% 사람들이 냄새에 불쾌감을 느낀다는 의미이다.

본 연구에서는 %HA가 5인 경우(5% 주민이 불쾌감을 느끼는 수준)를 이격거리로 정하였다. 식 (2)를 이용하여 %HA가 5인 경우 C98을 구하면 선호도 나쁜 경우(3.82, 지방정제), 평균(5.29) 그리고 선호도가 좋은 경우(7.0, 담배제조공정)를 구할 수 있다.

그림 4에서는 선호도에 따른 농도분포를 보기 위하여 계산영역 내에 단일 면오염원이 있다고 가정하여 구한 C98의 농도 분포도이다. 그림 4에서는 그림 3의 결과를 참고로 8가지(10000 OU · m³/s에서 250000 OU · m³/s 사이) 배출량으로 변화시키면서 %HA를 5로 하는 경우 농도분포도를 나타내었

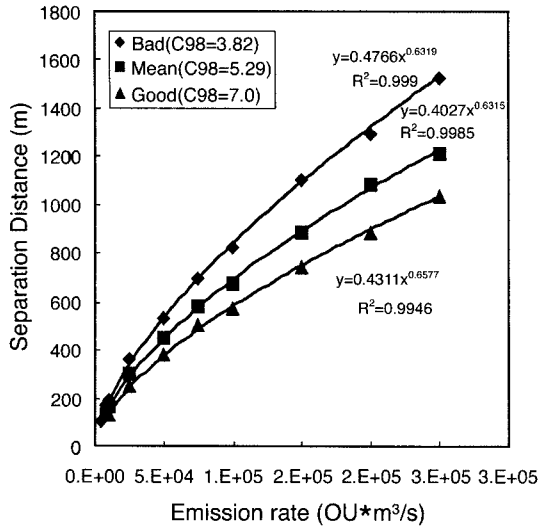


Fig. 5. Function of annoyance distance to emission rate (unit: $OU \cdot m^3/s$).

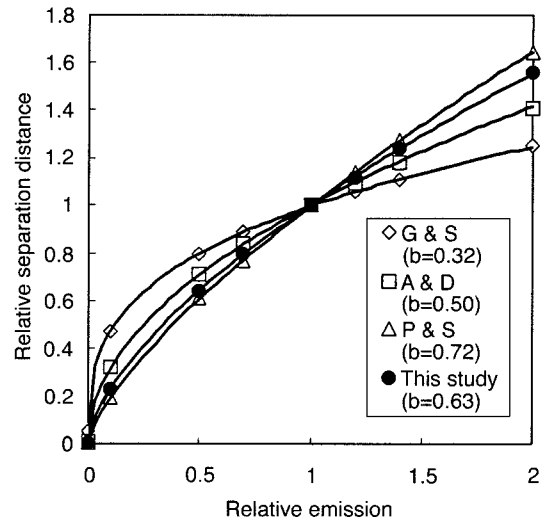


Fig. 7. Relative separation distance as a function of the relative emission: G & S means German and Swiss Criteria, A & D means Austria and Dutch Criteria, P & S means Gaussian diffusion model results of Pringer and Schauburger (1999).

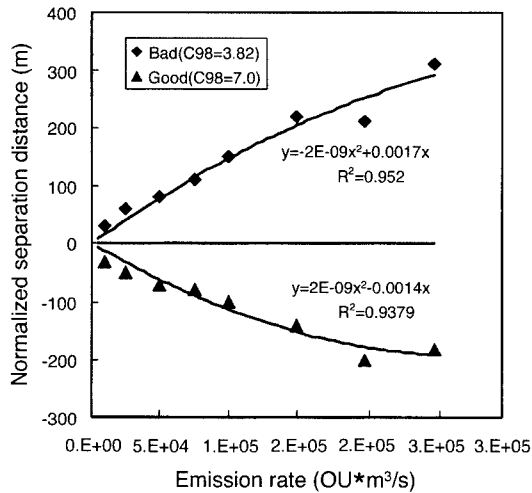


Fig. 6. Effect of hedonic quality to annoyance distance.

다. 그림에서 S로 표시된 점은 배출원 위치를 나타내고, 그림 중의 숫자는 선호도(선호도가 좋은 경우 (3.82), 평균 (5.29) 그리고 선호도가 나쁜 경우 (7.0))에 따른 C98을 나타낸다. 그림에서는 동일 배출량에서도 선호도에 따라 C98의 발생 범위가 달라지는 것을 잘 나타내고 있다.

그림 5에서는 그림 4에서 구한 C98 자료를 이용

하여 악취 배출량을 $5000 \text{ OU} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 에서 $250000 \text{ OU} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 으로 변화시키는 경우 3가지 경우(선호도가 좋음, 평균, 선호도가 나쁨)에 대한 이격거리를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 이격거리는 배출농도의 지수함수로 표시할 수 있으며 지수는 선호도가 나쁜 경우 0.6319에서 선호도가 좋은 경우 0.6577(평균 0.6315)로 나타났다. 그림 6에서는 선호도에 따른 이격거리를 평균에서 변화되는 패턴을 보기 위하여 그린 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 선호도에 따라 평균에서 2차함수로 이격거리가 변화됨을 알 수 있다. 선호도가 나쁜 경우는 배출량 변화에 따라 이격거리가 평균에서 양의 방향으로 증대하고 선호도가 좋은 경우 이격거리는 음의 방향으로 감소된다.

그림 7에서는 본 연구의 결과와 Pringer and Schauburger (1999)가 제시한 유럽 각국에서 축산농가와 주거단지 사이 이격거리에 대한 기준을 비교해 보기 위하여 이격거리와 배출량을 무차원으로 표시하여 나타낸 것이다. 본 연구의 결과가 선호도가 평균인 경우를 검정원으로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 검정원으로 표시한 본 연구의 결과($b=0.64$)는 전반적으로 축산농가에서의 이격거리와 유

사한 패턴을 나타내고 있으며, Pringer와 Schauberger (1999)의 결과에 가까운 패턴을 나타내고 있다. 또한 산업장에서 발생하는 악취의 이격거리는 축산농가의 이격거리와 유사한 결과를 나타낸다.

4. 결 론

국내에서 악취 관리는 단순히 규정된 배출량 규제 기준을 만족하는지를 목적으로 하기 때문에 악취 관리를 생활 민원과 관련시키기 위한 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 악취관리를 생활 민원과 관련한 배출원과 거주지 사이의 이격거리를 평가함으로써 민원과 관련한 악취 관리의 기초자료를 제공하고자 하였다. 이를 달성하기 위하여 오염원의 배출량을 Smith 방법으로 구하고 AUSPLUME 모델을 사용하여 산업장 악취오염원과 거주지 사이의 악취 이격거리를 평가한 결과 다음의 결론을 얻었다.

동일 배출량을 사용하여 계산된 C98을 평가한 결과 선호도(선호도가 좋은 경우(3.82), 평균(5.29) 그리고 선호도가 나쁜 경우(7.0))에 따라 C98의 발생 범위가 달리 나타났다. C98 자료를 이용하여 악취 배출량을 $5000 \text{ OU} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 에서 $250000 \text{ OU} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 으로 변화시키는 경우 3가지 경우(선호도가 좋음, 평균, 선호도가 나쁨)에 대한 이격거리를 나타낸 결과 이격거리는 배출농도의 지수함수로 표시할 수 있었으며 지수함수의 지수는 선호도가 나쁜 경우 0.6319에서 선호도가 좋은 경우 0.6577(평균 0.6315)로 나타났다. 선호도에 따른 이격거리의 평균에서 변화되는 패턴은 선호도에 따라 평균에서 2차함수로 나타났다. 선호도가 나쁜 경우는 배출량 변화에 따라 이격거리가 평균에서 양의 방향으로 증대하고 선호도가 좋은 경우는 배출량 변화에 따라 음의 방향으로 변화하였다. 본 연구의 결과를 Pringer와 Schauberger (1999)가 제시한 유럽 각국에서 축산농가와 주거단지 사이 이격거리에 대한 기준을 비교해 보기 위하여 무차원 이격거리로 표시하여 나타

낸 결과 전반적으로 축산농가에서의 이격거리와 유사한 패턴을 나타내었다.

참 고 문 헌

- 대기환경보전법(1996) 환경부.
 양성봉과 김성만(2000) 악취관리제도의 국가간 비교연구, 한국대기환경학회지, 16(1), 79-87.
 21C 경기대기보전실천계획(2000) 경기도.
 Brower, J.F., J.R. Bjorkland, and C.S. Cheney (1979) Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Model User's guide, Report EPA-450/4-79-030, U.S. Environment Protection Agency.
 Chen, Lu-Yen, Fu-Tein Jeng, Ming-Whei Chang, and Shui-Hway Yen (2000) Rationalization of an odor monitoring system: A case study of Lin-Yuan Petrochemical Park, Environ. Sci. Technol., 34, 1166-1173.
 Gostelow, P., S.A. Parsons, and R.M. Stuetz (2001) Odour measurements for sewage treatment plant works, Wat. Res., 35(3), 579-597.
 Lorimer, G. (1986) The AUSPLUME Gaussian plume dispersion model, 1st edition, Center for Applied Mathematical Modelling Chisholm Institute Technology, Contract No. EPA/86-02, Environment Protection Authority, Olderfleet Buildings, 477 Cololins Street, Melbourne, Vic., Australia 3000.
 Miedema, H.M.E., J.I. Walplot, H. Vos, and C.F. Steunenber (2000) "Exposure-annoyance relationships for odour from industrial sources", Atm Env., 24, 2927-2936.
 Piringer, M. and G. Schauberger (1999) Comparison of a Gaussian diffusion model with guidelines for calculating the separation distance between livestock farming and residential areas to avoid odour annoyance, Atm. Env., 33, 2219-2228.
 Smith (1995a) Downwind movement of odors: from emission to reception, National Centre for Engineering in Agriculture, University of Southern Queensland, Australia.
 Smith, R.J. (1995) A Gaussian Model for Estimating Odour Emissions from Area Sources, Mathl. Comput. Modelling, 21(9), 23-29.