

## 바람장 및 Fingerprint를 이용한 악취추적기법 활용가능성 평가

### Applicability Investigation for the Odor Source Tracking Approach using the Wind Field and the Fingerprinting

나 경 호\* · 박 용 출 · 장 영 기<sup>1)</sup>

경기도보건환경연구원, <sup>1)</sup>수원대학교 환경공학과

(2006년 5월 18일 접수, 2007년 2월 13일 채택)

Kyung-Ho Na\*, Yong-Chul Bak and Young-Gi Jang<sup>1)</sup>

Gyeonggi-do Institute of Health and Environment,

<sup>1)</sup>Department of Environmental Engineering, Suwon University

(Received 18 May 2006, accepted 13 February 2007)

#### Abstract

This study was carried out to evaluate the applicability of the odor source tracking using wind field and fingerprint as a solution tool. First of all, CALMET and HYSPLIT modeling system, and database of odor discharge companies were utilized to track odor from industrial complexes. Secondly, industrial odor fingerprint was made by listing on the 19 domestic industries, and compared with foreign data to assess the representative, and thus the similarity was 86.7%. On the modeling experiment, Sihwa industrial complex did not show any difference because the matching rates of day and night were 49.5% and 50.0%, respectively. However, the Banwol and Sihwa industrial complexes did show some differences due to odor facility density.

Separately, in this study, odor samples were obtained from 10 odor discharging companies, located in the Sihwa and Banwol industrial complexes. They were compared with the results of odor tracking modeling. The matched companies were 4 of 10 by three cases of tracking, while the fingerprint and industry of odor monitoring networks and companies matched each other. Therefore, this study confirmed the approach applicability of source tracking system using the fingerprint.

**Key words** : Wind field model, Trajectory model, Odor fingerprint, Odor discharging company, Tracking

#### 1. 서 론

시화 반월공단은 7,500여 산업체가 밀집되어 있는 산업단지로서 주변에 안산, 시흥시 주민 100여만 명이

거주하고 있다. 이 공단은 특히 해안가에 위치하고 있어, 주간에 해륙풍에 의한 영향을, 야간에는 낮은 혼합고와 풍속으로 인해 주거지역에 악취의 확산이 예상되는 지역이기도 하다. 이러한 지역적 특성으로 인해 악취 민원이 끊이지 않고 있다(국립환경연구원, 2001). 정부는 이를 개선하기 위해 여러 가지 대책을 수립, 진행해 왔으며 일부 가시적인 성과가 나

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-250-2587, E-mail : chnkh@hanmail.net

타났다. 그러나 여전히 악취로 인한 민원이 지속되고 있는 실정이다(전의찬 등, 2004). 최근 악취방지법의 시행으로 악취배출사업장에 대한 방지시설에 대한 신고의무를 부과하게 되어 가시적인 성과가 있을 것으로 기대된다. 그러나 악취발생량 파악에 대한 지침이 마련되지 않는 등 악취방지에 대한 실제적인 대응방안이 미진한 실정이다.

악취 기여도나 fingerprint를 이용한 방법은 배출원 배출특성을 파악하기 위한 것으로 어떠한 배출원이 악취를 유발하는 지에 대한 정보를 제시한다는 관점에서 의미가 있다(Scheff *et al.*, 1989). 최근 K 연구원은 악취저감대책 일환으로 시화반월공단에 악취측정소를 설치하여 상시악취측정을 실시하고 있다. 이는 공단에서 발생하는 악취를 감시하고 주거지역으로 이동하는 악취를 파악하기 위함이다. 이곳에서의 측정자료는 악취가 산단에서 주거지역으로 이동하는 경로상에서 악취 성분을 분석한다는 점에서 악취 발생원의 수용점으로서의 의의를 지닌다고 할 수 있다.

본 연구는 악취측정소에서 측정되는 분석자료를 통해 실시간 악취 fingerprint를 생성한 다음, 이를 수용점으로 악취이동경로 및 업종별 악취배출특성을 이용한 악취배출원 추적가능성을 연구 검토하였다. 이 연구를 통해 악취발생특성에 관한 연구가 더욱 활성화하는 계기가 되길 바라며 좋은 정책대안으로 활용되길 바란다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 연구 대상지역

연구 대상지역은 시화 및 반월공단으로 7,500여개의 업체가 입주한 상태이며 대기 및 악취배출시설 약 2,000여개소가 가동하고 있다. 연구모델영역은 TMX 170~190 km, TMY 414~434 km, 가로×세로 20×20 km 영역으로 구성하였다.

### 2.2 발생농도분포 작성

배출원에서 발생하는 오염물질의 특성을 파악하기 위한 도구로 본 연구에서는 fingerprint를 이용하였다. 업종별 악취배출특성에 대한 평가를 위하여 국내의 557개의 악취측정자료를 이용하여 악취방지법에

서 정한 22개 악취성분에 대해 업종별 fingerprint를 작성하였다. 연구에 활용된 측정자료는 배출구 및 공정에서 측정된 자료만을 대상으로 하였다.

### 2.3 바람장 생성 및 추적프로그램 구성

3차원 바람장 생성을 위해 CALMET model을 사용하였다. 동 모델은 도메인 영역에 대하여 시간별 바람장과 온도장을 3차원으로 생성하고 혼합고, 지표 특성, 확산특성 등은 2차원으로 생성하는 바람장 모델이다(구윤서 등, 2004). 주로 CALPUFF model을 위한 전처리자료로 이용되며 지형자료, 토지이용도 및 고층기상 관측자료와 지표기상 관측자료를 입력자료로 사용한다(Joseph *et al.*, 2000) 입력자료로서 지표기상자료는 서울, 인천, 수원기상대 자료와 안산, 시흥시 일대 11개 악취 및 대기측정망의 기상자료를 이용하였으며 고공기상자료는 오산기상대 자료를 활용하였다.

바람장 추적을 위해 HYSPLIT model을 이용하였다. 동 모델은 기상자료를 이용하여 풍향과 풍속에 대한 오염물질의 이동거리와 움직인 방향 등을 계산하여 오염물질의 경로를 추적하는 모델이다(Draxler and Hess, 1997). 동 연구에서는 CALMET 모델에서 생성된 3차원 바람장을 이용하여 바람의 경로를 역추적하는데 이용하였다. 모델의 결과는 유적선의 범위를 따라 검색된 업체로 나타나며 검색된 업체를 1차 예상 배출원으로 하였다. 업체검색 및 현황파악을 위해 시화반월 1,666개 업체를 대상으로 DB를 작성하였다(한국수자원공사, 2005).

### 2.4 모델링 시스템 구성

그림 1은 상기 모델을 운용하기 위한 시스템 구성도이다. 시화반월공단으로 부터 실시간 악취자료를 무선모뎀을 통해 DB 서버에 전송하고 3차원 바람장 및 추적모델을 통해 악취추적을 실행하게 된다. 또한 동 시스템을 유지하기 위해 필요한 기상자료 및 대기오염자료는 기상청 및 대기오염측정망 서버로부터 실시간으로 전송될 수 있도록 연결하였다.

### 2.5 악취측정소 운영

시화 반월공단에 설치된 악취측정소에서는 GC 및 DOAS를 이용하여 악취 및 VOCs 물질을 상시측정하고 있다. 본 연구에서 측정소의 악취자료를 이용하

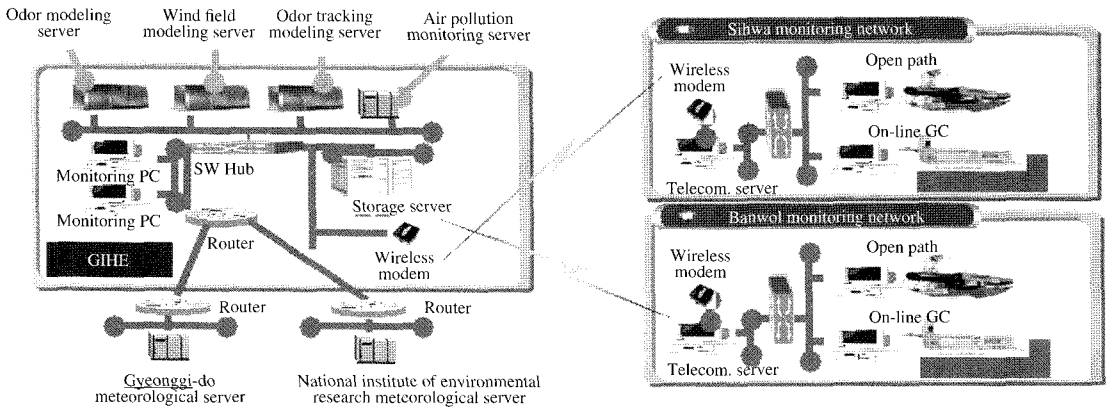


Fig. 1. Flowchart of the system.

Table 1. Analytical Instruments of odor monitoring station.

| Instrument name  | Analytical item               | Analytical period | Analyzer model |
|------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|
| TD+GC1 (FID/FID) | Photochemical                 | 1 hour            | Makers         |
|                  | VOCs                          |                   |                |
| TD+GC2 (FID/FID) | Aldehyde, Ketone,             | 1 hour            | Unity          |
|                  | Aliphatic acid                |                   |                |
| TD+GC3 (FID/ECD) | Organic chloric compounds     | 1 hour            | Varian CP3800  |
| GC4 (FPD)        | Sulfur compounds              | 30 min            | SRI 8610C      |
| DOAS             | Ammonia and so on 11 species  | 10 min            | OPSIS AR500    |
| Meteorology      | W/D, W/S, and so on 7 species | 5 min             | OPSIS AR500    |

여 고농도 발생시각에 대해 악취 fingerprint를 생성하여 적용하였다. 설치된 분석기 현황 및 분석조건은 표 1과 같으며 측정기에 대한 정도관리결과는 표 2와 같다.

2.6 최종 예상배출업체 추정 및 적용가능성 검토

모델링결과 1차 선별된 업체를 대상으로 하여 최종 예상배출업체 선정을 위한 선별과정을 시행하였다. 이를 위해 먼저 고농도발생일 특정시간에 대해 악취측정소에서 fingerprint를 생성하였다. 그리고 개별업체, 업종별 VOCs 및 악취 fingerprint를 이용하

Table 2. Quality control of the odor components used for this study.

| No. | Component          | Linearity (3~5 points) | Precision (%) (3~5 points) | MDL (ppb) |
|-----|--------------------|------------------------|----------------------------|-----------|
| 1   | Toluene            | 0.999                  | 2.69                       | 0.04      |
| 2   | m, p-Xylene        | 0.988                  | 6.88                       | 0.03      |
| 3   | Styrene            | 0.997                  | 10.84                      | 0.04      |
| 4   | o-Xylene           | 0.998                  | 12.19                      | 0.04      |
| 5   | Propion aldehyde   | 0.999                  | 4.43                       | 0.07      |
| 6   | n-Butyr aldehyde   | 0.999                  | 12.75                      | 0.05      |
| 7   | i-Valeric aldehyde | 0.999                  | 19.45                      | 0.04      |
| 8   | n-Valeric aldehyde | 0.999                  | 12.27                      | 0.04      |
| 9   | Butyl acetate      | 0.999                  | 24.52                      | 0.03      |
| 10  | MEK                | 0.999                  | 0.66                       | 0.03      |
| 11  | MIBK               | 0.999                  | 0.29                       | 0.03      |
| 12  | n-Butanol          | 0.999                  | 0.62                       | 0.03      |
| 13  | Propion acid       | 0.999                  | 1.86                       | 0.08      |
| 14  | n-Butric acid      | 0.999                  | 2.87                       | 0.04      |
| 15  | n-Valer acid       | 0.999                  | 3.59                       | 0.05      |
| 16  | DMS                | 0.998                  | 3.4                        | 0.65      |
| 17  | H <sub>2</sub> S   | 0.943                  | 20.3                       | 1.65      |
| 18  | DMDS               | 0.997                  | 5.2                        | 0.34      |
| 19  | CH <sub>3</sub> SH | 0.999                  | 5.4                        | 0.33      |
| 20  | NH <sub>3</sub>    | 0.998                  | 0.81                       | 2.40      |
| 21  | TMA                | 0.999                  | 2.60                       | 2.00      |
| 22  | Acetaldehyde       | 0.999                  | 5.21                       | 2.40      |

여 각 대상별로 동일 업체 및 업종을 선별하여 최종 배출원을 선별하였다. 또한, 악취추적프로그램의 적용가능성에 대한 현장검토를 위해 특정지점을 선정하고 악취측정을 통해 악취 fingerprint에 의한 추적 시스템과의 상호일치성을 비교분석하였다. 조사지점은 불특정기상변화에 대응하기 위해 10개 지점을 선

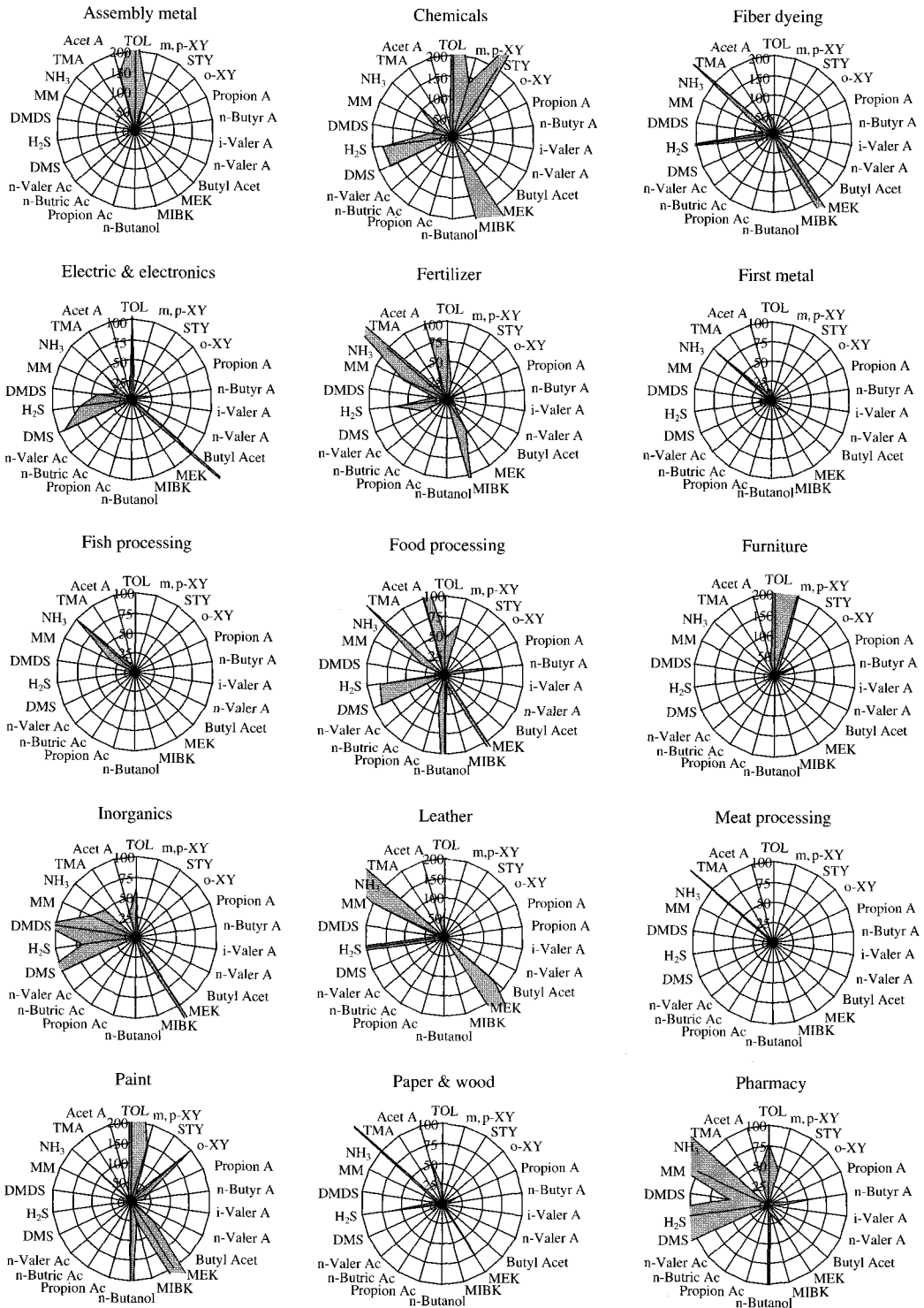


Fig. 2. Odor fingerprint by industry.

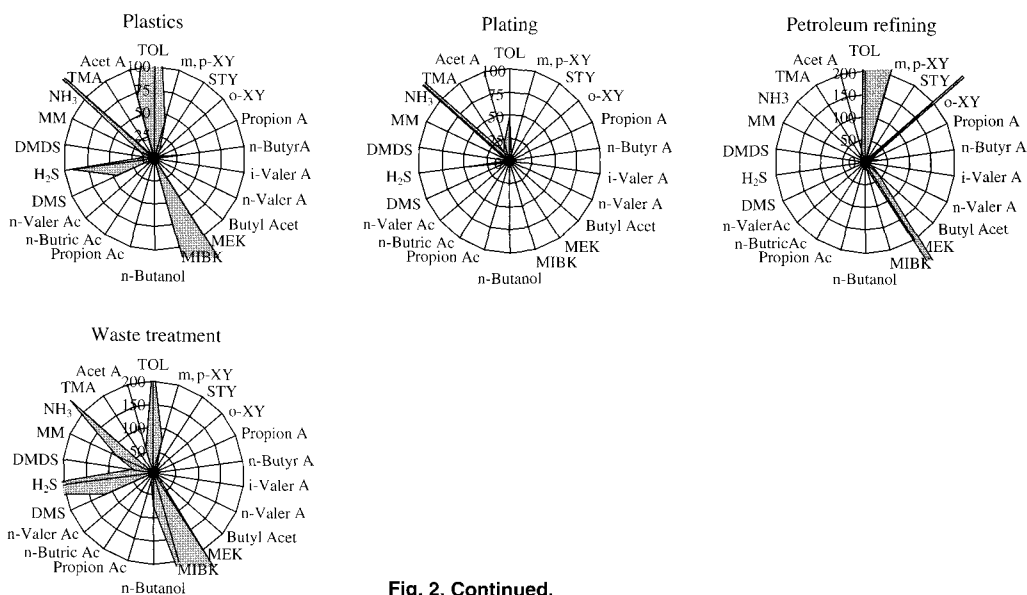


Fig. 2. Continued.

정하였으며 시료채취는 2개월 간격으로 3회에 걸쳐 실시하였다. 시료채취지점은 배출구와 공정에서 지점당 각각 1건씩 채취하여 밀봉 후 냉장 보관한 상태에서 48시간 이내에 분석을 실시하였다. 측정항목은 현행 악취방지법에서 정한 12개 항목으로 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 Fingerprint 작성

##### 3.1.1 업종분류

표준산업분류에 따른 업종별 분류를 위해 시화반월공단의 대기오염배출업체를 대상으로 업종별 분류를 실시하였다. 업종분류는 한국표준산업분류표에 의하여 대분류로 구분되는 18개 업종 중 제조업(D)와 기타 공공 수리 및 개인서비스업(R)에 대해 중분류(앞 두자리)하였다. 이를 기준으로 하여 시화반월공단 대기배출시설을 가진 1,666개 업체에 적용하여 분류한 다음 해당 업체수가 많은 조립금속과 화학제품제조업은 세분류하여 21개 업종으로 수정 분류한 결과는 표 3과 같다. 이 자료를 악취배출지문을 작성하는데 기본자료로 활용하였다.

##### 3.1.2 업종별 악취 Fingerprint 작성

Fingerprint에 의한 배출특성 파악연구는 Nasrin *et*

Table 3. Modified lists of KSIC.

| KSIC | Large category  | Middle category                   | No. of company |
|------|-----------------|-----------------------------------|----------------|
| 15   | Manufacture (D) | Food and drink manufacture        | 31             |
| 17   | "               | Fiber dyeing manufacture          | 100            |
| 19   | "               | Leather manufacture               | 40             |
| 21   | "               | Pulp and paper manufacture        | 50             |
| 22   | "               | Publication and press manufacture | 21             |
| 23   | "               | Petroleum refining manufacture    | 11             |
| 24   | "               | Chemicals manufacture (the etc)   | 171            |
| 24   | "               | Chemicals manufacture (paint)     | 46             |
| 24   | "               | Chemicals manufacture (pharmacy)  | 41             |
| 25   | "               | Rubber and plastics manufacture   | 111            |
| 26   | "               | Non metal manufacture             | 19             |
| 27   | "               | The first metalworking            | 132            |
| 28   | "               | Assembly metal (the etc)          | 146            |
| 28   | "               | Assembly metal (plating)          | 273            |
| 28   | "               | Assembly metal (painting)         | 87             |
| 29   | "               | Machine and equipment manufacture | 82             |
| 31   | "               | Electrics manufacture             | -              |
| 32   | "               | Electronics manufacture           | 190            |
| 34   | "               | Automobile manufacture            | 63             |
| 36   | "               | Furniture manufacture             | 28             |
| 90   | The etc         | Waste treatment                   | 12             |
| 92   | service (R)     | Equipment repairs                 | 12             |
|      | Total           | 22                                | 1,666          |

Table 4. Geometric mean concentration of odor by industry.

(unit : ppb)

| No | Component        | Assembly metal | Chemicals | Fiber dyeing | Electric & Electronics | Fertilizer | First metal | Fish processing | Food processing | Furniture | Inorganics |
|----|------------------|----------------|-----------|--------------|------------------------|------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------|------------|
| 1  | TOL              | 263.6          | 429.1     | 36           | 103.9                  | 75.9       | 11.4        | 4               | 46.8            | 456.6     | 60.1       |
| 2  | m, p-XY          | 100.2          | 135.4     | 9.6          | 10.1                   | 19.7       | 4.5         | 1               | 65.3            | 306.6     | 9.1        |
| 3  | STY              | 17.7           | 282.7     | 6            | 1.7                    | 3.9        | 1.2         | 1               | 2.6             | 20.7      | 8.9        |
| 4  | o-XY             | 32.6           | 63.1      | 3            | 6.7                    | 3.4        | 1.2         | 1               | 1.7             | 11        | 2.1        |
| 5  | Propion A        | 1              | 6         | 26.3         | 9.2                    | 23.8       | 10.4        | 1.7             | 12.4            | 68.2      | 4.5        |
| 6  | n-Butyr A        | 1.2            | 10.5      | 18           | 30.3                   | 2.3        | 4.9         | 3.2             | 76.5            | 13.2      | 7.8        |
| 7  | i-Valer A        | 1              | 0.7       | 0.7          | 0.5                    | 8.3        | 0.7         | 1               | 1.2             | 1         | 0.7        |
| 8  | n-Valer A        | 1              | 1.5       | 2.4          | 2.6                    | 12.4       | 0.6         | 1               | 3.9             | 5.8       | 1.8        |
| 9  | Butyl Acet       | 1              | 1         | 31           | 258.5                  | 13.2       | 21.8        | 1               | 1               | 1         | 1          |
| 10 | MEK              | 1              | 1459      | 10271        | 11                     | 43.7       | 10.6        | 1               | 1187            | 1         | 396.8      |
| 11 | MIBK             | 1              | 357.1     | 31           | 1                      | 119        | 1           | 11.2            | 11              | 11.8      | 13.4       |
| 12 | n-Butanol        | 1              | 1         | 0.2          | 21.8                   | 1          | 1           | 1               | 195.2           | 1         | 1          |
| 13 | Propion Ac       | 1              | 3.2       | 1            | 1                      | 8.2        | 1           | 1               | 28.6            | 1         | 25.3       |
| 14 | n-Butric Ac      | 1              | 0.2       | 1            | 1                      | 3.1        | 1           | 1               | 2.8             | 1         | 0.6        |
| 15 | n-Valer Ac       | 1              | 1         | 0.5          | 1                      | 1.7        | 1           | 1               | 1.1             | 1         | 0.2        |
| 16 | DMS              | 1              | 169.7     | 34.8         | 91.8                   | 33.5       | 7.9         | 3.5             | 88.5            | 1         | 153.9      |
| 17 | H <sub>2</sub> S | 1              | 175.9     | 256.4        | 64.2                   | 64.5       | 20.3        | 23.7            | 84              | 1         | 67         |
| 18 | DMDS             | 3.4            | 53.1      | 28.1         | 42.7                   | 16.4       | 9.6         | 1.7             | 5.2             | 1         | 114.5      |
| 19 | MM               | 1.7            | 40.3      | 41.8         | 17.2                   | 61.3       | 5.1         | 34.7            | 33.4            | 1         | 61.4       |
| 20 | NH <sub>3</sub>  | 1              | 110.2     | 293.9        | 41.8                   | 209.2      | 92.7        | 99.8            | 133.1           | 10.2      | 51         |
| 21 | TMA              | 2.3            | 1.7       | 0.9          | 1                      | 11.3       | 10.2        | 14.7            | 0.9             | 1         | 0.3        |
| 22 | Acet A           | 144.9          | 33        | 56.6         | 11.6                   | 78.3       | 17.1        | 12              | 351.6           | 29.8      | 30.1       |

| No | Component        | Leather | Meat processing | Paint | Paper & wood | Pharmacy | Plastics | Plating | Petroleum refining | Waste treatment |
|----|------------------|---------|-----------------|-------|--------------|----------|----------|---------|--------------------|-----------------|
| 1  | TOL              | 56.4    | 1               | 726.7 | 21.1         | 76.9     | 256.4    | 48.2    | 498.7              | 247.6           |
| 2  | m, p-XY          | 7.1     | 1               | 140.7 | 5.8          | 45.1     | 40.7     | 7.4     | 444.7              | 73.9            |
| 3  | STY              | 3.4     | 1               | 22.5  | 3.8          | 2.4      | 10.7     | 4.6     | 4.8                | 11.5            |
| 4  | o-XY             | 1.1     | 1               | 187.9 | 0.9          | 5.1      | 2.1      | 1.3     | 3710               | 14.1            |
| 5  | Propion A        | 11.2    | 1.6             | 46.2  | 22.7         | 5.4      | 6        | 5.4     | 11.5               | 8.5             |
| 6  | n-Butyr A        | 8.2     | 2.2             | 32.2  | 7.3          | 57.9     | 34.4     | 5.6     | 31.1               | 11.8            |
| 7  | i-Valer A        | 0.5     | 1               | 0.4   | 0.5          | 10.7     | 0.7      | 0.5     | 1                  | 1               |
| 8  | n-Valer A        | 0.6     | 1               | 7.3   | 1.1          | 1.3      | 0.9      | 1.8     | 18.9               | 1.7             |
| 9  | Butyl Acet       | 171.7   | 2               | 71.4  | 5.6          | 1        | 1        | 1       | 36.2               | 11.9            |
| 10 | MEK              | 472.1   | 1               | 4174  | 77.6         | 36.9     | 6717     | 1       | 1070               | 335.9           |
| 11 | MIBK             | 1       | 1               | 53.2  | 1            | 11       | 471.1    | 1       | 16                 | 282.3           |
| 12 | n-Butanol        | 1       | 1               | 379.5 | 1            | 855.7    | 1        | 1       | 19.1               | 72.2            |
| 13 | Propion Ac       | 13.2    | 1               | 8.1   | 1.4          | 1        | 1.5      | 1       | 4.3                | 17.9            |
| 14 | n-Butric Ac      | 1.7     | 1               | 2.5   | 0.4          | 1        | 0.4      | 1       | 2.2                | 0.4             |
| 15 | n-Valer Ac       | 1       | 0               | 0.4   | 1            | 1        | 0.2      | 1       | 1.6                | 0.3             |
| 16 | DMS              | 20.3    | 1.6             | 0.5   | 2.1          | 256      | 46.1     | 5.9     | 1.1                | 115.9           |
| 17 | H <sub>2</sub> S | 11783   | 3.1             | 0.8   | 63.7         | 631.7    | 92.6     | 47.9    | 2.4                | 353.9           |
| 18 | DMDS             | 15.9    | 1               | 0.1   | 10.7         | 49       | 11.8     | 2.2     | 18.6               | 45.1            |
| 19 | MM               | 201.6   | 1.9             | 0.2   | 6.2          | 179.9    | 15.3     | 3       | 1.8                | 89.5            |
| 20 | NH <sub>3</sub>  | 1079    | 187.2           | 131.8 | 260.2        | 837.8    | 219.7    | 601.8   | 18                 | 241.4           |
| 21 | TMA              | 1       | 4.5             | 10.3  | 0.4          | 0.3      | 2        | 10.2    | 13.4               | 0.7             |
| 22 | Acet A           | 41.7    | 0.9             | 26.2  | 50.2         | 43.9     | 67.8     | 19.8    | 24.9               | 56              |

al. (1995)에 의해 일찍이 연구되어 왔다. 본 연구에서는 이 도구를 이용해 업종별 악취배출특성 파악을

시도하였다. 조사된 문헌들을 중심으로 국내 329개의 측정자료(안산환경기술개발센터, 2005; 한국냄새

환경학회, 2005; 국립환경연구원, 2001, 2003, 2003)를 확보하였으며 이들 자료를 중심으로 22개 악취성분에 대해 업종별 fingerprint를 작성하였다. 연구에 사용된 자료는 배출구 및 공정에서 측정된 자료만을 대상으로 선별한 것이다. fingerprint 작성을 위한 자료의 통계처리는 기하평균을 이용하여 각 업종의 특이농도값이 전체에 미치는 영향을 최소화하였다(이종한, 2005). 업종 분류는 표 2의 수정된 산업분류표를 중심으로 악취 측정자료가 존재하는 업종만을 대상으로 하였으며, 그 결과 19개 업종이 해당되었다. 각 업종별로 악취성분에 대한 기하평균값은 표 4와 같다. 표 4를 이용하여 작성한 악취 fingerprint는 그림 2와 같다.

3. 1. 3 국내의 악취 fingerprint 비교

1) 자료 선별

연구대상지역 개별 사업체들에 대한 악취의 성분별 배출농도자료가 매우 적은 실정으로 연구자들은 업종별로 악취배출특성이 다른 데 착안하여 일부업종들에 대한 배출특성을 조사하여 보고한 바 있다. 따라서 본 장에서는 국내외자료를 취합하고 동일 업

종간 fingerprint를 비교하여 그 유사성을 통해 업종간의 대표성을 평가해 보고 그 차이점을 검토하였다.

유사성 검토방법은 국내의 동일 업종자료 중 가장 큰 농도값을 가진 5개를 주피크로 하고 국내의 자료의 주피크간 일치여부를 파악하는 것으로 하였다. 업종간 유사성 검토는 국내외 자료가 양쪽 다 제한된 자료를 가지고 있고 업종의 특징을 고려하여야 하는 요인과 업종별 악취자료 중 주요 물질이 주로 5개 내외이며 고농도 물질이 이동시 지배적인 위치를 차지한다는 점에서 5개 물질로 한정하여 비교를 실시하였다.

본 조사를 위해 취합된 국외자료는 228개였으며 (日本 環境省 大氣保全局 特殊公害課, 1979~1981), 표준산업분류표에 의해 15개 업종으로 분류하였다. 본 연구를 위해 사용한 국내외 자료의 업종별 시료 및 업체 내역은 표 5와 같다.

2) 국내의 악취 fingerprint 비교

15개 업종에 대한 국내외간 자료 비교에서 표 6과 같은 결과를 얻었다. 표 6에 의하면 국내의 업종간 자료의 유사성이 70% 이상인 경우는 40.0%로 나타났다. 50%~70%인 경우는 46.7%였다. 따라서 비교대상 전체의 86.7%가 50% 이상의 유사성을 가진 것으로 파악되었다. 50% 미만의 유사성을 나타낸 업종은 의약품업, 섬유염색업이었으며, 이는 외국자료의 부족으로 업종의 대표성을 반영하지 못하기 때문으로 파악된다. 동 결과를 통하여 볼 때 비교대상의 15개 업종 중 13개 업종(87.6%)이 50% 이상의 유사성을 나타내고 있어 국내외 업종간 유사성은 매우 높다고 할 수 있다.

Table 5. Domestic and foreign odor data used in this study.

| No.   | Industry               | Domestic data |                | Foreign data  |                |
|-------|------------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
|       |                        | No. of sample | No. of company | No. of sample | No. of company |
| 1     | The first metal        | 3             | 2              | -             | -              |
| 2     | Leather                | 34            | 11             | 10            | 2              |
| 3     | Rubber & plastics      | 26            | 11             | 30            | 2              |
| 4     | Furniture              | 2             | 1              | 5             | 1              |
| 5     | Paint                  | 22            | 8              | 36            | 4              |
| 6     | Meat processing        | 4             | 2              | 11            | 4              |
| 7     | Inorganic chemicals    | 15            | 8              | -             | -              |
| 8     | Fertilizer & feed      | 10            | 7              | 12            | 3              |
| 9     | Petroleum refining     | 11            | 6              | 3             | 1              |
| 10    | Fiber dyeing           | 19            | 7              | 4             | 1              |
| 11    | Fish processing        | 4             | 2              | 11            | 3              |
| 12    | Food                   | 19            | 9              | 19            | 5              |
| 13    | Pharmaceutic           | 21            | 7              | 7             | 1              |
| 14    | Electric & electronics | 5             | 2              | -             | -              |
| 15    | Assembly metal         | 2             | 2              | 2             | 2              |
| 16    | Metal plating          | 10            | 4              | -             | -              |
| 17    | Paper & wood           | 11            | 8              | 7             | 3              |
| 18    | Waste treatment        | 57            | 22             | 44            | 4              |
| 19    | Chemical               | 54            | 14             | 27            | 4              |
| Total |                        | 329           | 133            | 228           | 40             |

Table 6. Similarity of fingerprint between domestic and foreign industry.

| Similarity    | No. of industry | Percent | Name of industry  |
|---------------|-----------------|---------|---|
| Less than 50% | 2               | 13.3%   | Dyeing, pharmaceutic  |
| 50~70%        | 7               | 46.7%   | Assembly metal, fertilization, food, meat processing, paint, paper, refining, waste |
| 70~100%       | 6               | 40.0%   | Chemicals, fish processing, furniture, leather, meat, plastics                      |
| Total         | 15              | 100%    |   |

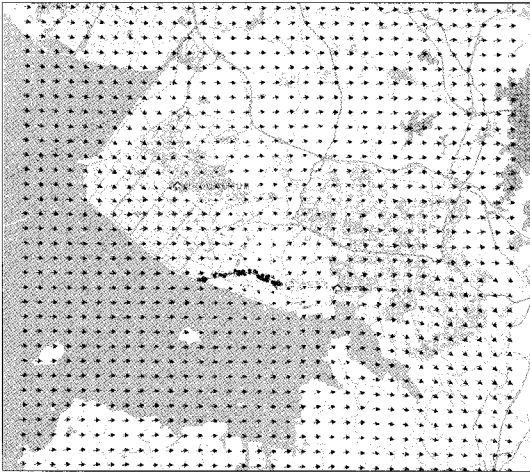
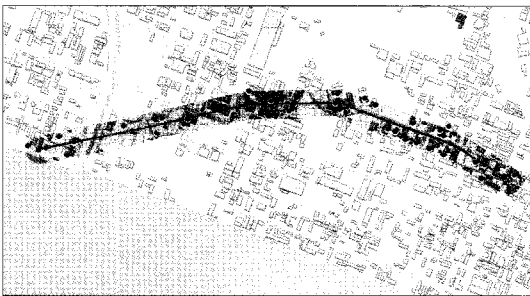


Fig. 3. Result of a wind field and a backward trajectory modeling at Case 1.



※ Red : Matching company, Blue : Non Matching company

Fig. 4. Searched companies from the backward trajectory line within 200 m of width at Case 1.

### 3. 2 악취추적적용 사례

#### 3. 2. 1 악취추적방법

악취 fingerprint에 의한 추적시스템 결과를 검토하기 위해 주거지역으로 영향을 미치는 서풍 또는 남서풍이 불었던 시각에 대해 악취추적을 실시하였다. 추적은 시화반월공단에 대해 주야간 총 3회에 걸쳐 실시하였으며 추적시점은 총 악취강도가 비교적 높았던 2006년 5월과 7월에 실시하였다. 기상자료 등을 이용하여 3차원 바람장을 생성하고 이어 반월 및 시화공단에 대해 악취측정소를 기준으로 유적선을 추적하였으며 생성된 바람장 및 유적선은 그림 3과 같다. 유적선 추적을 통해 너비 200, 100, 50 m 내의 업

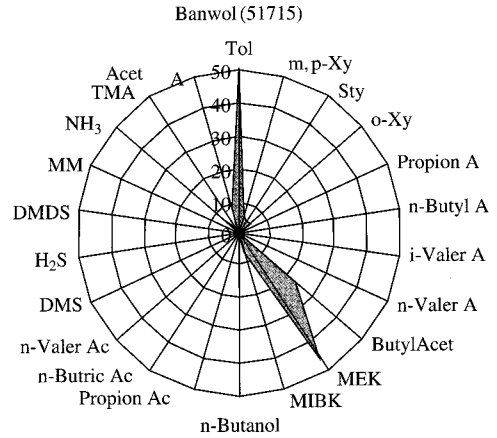


Fig. 5. Odor fingerprint from the Banwol monitoring station at Case 1.

Table 7. Matched results of odor fingerprint by industry and odor monitoring station at Case 1.

| Industry               | TOL | Butyl acet | MEK | Result |
|------------------------|-----|------------|-----|--------|
| Assembly metal         | ○   |            |     | -      |
| Chemicals              | ○   |            | ○   | Match  |
| Fiber dyeing           |     |            | ○   | -      |
| Electric & electronics | ○   | ○          |     | Match  |
| Food processing        |     |            | ○   | -      |
| Furniture              | ○   |            |     | -      |
| Inorganics             |     |            | ○   | -      |
| Leather                |     | ○          | ○   | Match  |
| Butchery processing    |     |            |     | -      |
| Paint                  | ○   |            | ○   | Match  |
| Paper & wood           |     |            |     | -      |
| Pharmacy               |     |            |     | -      |
| Plastics               | ○   |            | ○   | Match  |
| Plating                |     |            |     | -      |
| Petroleum refining     | ○   |            | ○   | Match  |
| Waste treatment        | ○   |            | ○   | Match  |

체들을 검색하고 1차 예상배출업체로 활용하였다.

유적선 추적에서 검색된 1차 예상배출업체를 대상으로 업종별 악취 fingerprint를 통해 최종 배출원을 선별하여 그 결과를 검토하였다. 유적선 추적내역은 그림 4와 같다. 한편, 동일시각 악취측정소의 측정자료를 이용하여 fingerprint를 완성하였으며 그림 5와 같다. 이를 업종별 fingerprint와 비교하여 일치업종을 선별하였으며 사례1의 경우 화학업종을 포함한 7개 업종이 분류되었으며 결과는 표 7과 같다. 동일업



**Table 8. List of matched companies by width at Case 1.**

| Banwol                | Width 200 m | Width 100 m | Width 50 m |
|-----------------------|-------------|-------------|------------|
| Leather               | 3           |             |            |
| Plastics              | 1           | 1           |            |
| Waste                 | 3           | 1           | 1          |
| Inorganics            | 1           | 1           |            |
| Equipment manufacture | 1           | 1           | 1          |
| Automobile            | 2           |             |            |
| Electrics             | 12          | 9           | 7          |
| Assembly metal        | 8           | 4           | 2          |
| Plating               | 1           | 1           | 1          |
| Paint                 | 3           | 2           | 1          |
| Paper                 | 2           | 2           | 1          |
| Chemicals             | 8           | 4           | 2          |
| Total                 | 45          | 26          | 16         |
| Correcting result     | 30          | 17          | 11         |
| Percentage            | 66.7%       | 65.4%       | 68.8%      |

중 분류방법은 악취 측정소 fingerprint 주피크와 업종별 악취 fingerprint의 주피크와 50% 이상 일치할 경우 동일업종으로 간주하였다. 이는 전술한 국내외 업종별 악취측정비교시 50% 이상의 유사성을 보인 사례가 87.6% 였던 점과 악취의 이동 등을 고려할 때 주피크가 완전히 일치하기는 어려운 점을 감안하였다. 이를 토대로 유적선에 의해 1차 선별된 업체들을 대상으로 동일업종을 분류한 결과는 표 8과 같다. 표 8의 진한 부분은 측정소와 일치된 업종들이다. 마지막으로 동일업종들에 해당되는 업체를 최종배출업체로 선별한다. 사례1의 경우 에 대한 최종배출업체 목록을 표 9에 제시하였다.

3. 2. 2 악취추적적용

연구지역에 대한 3차례의 사례분석을 통해 악취추

**Table 9. Final expectation discharging companies at Case 1.**

| TMX       | TMY       | ID     | Middle category                              | Small category                                 |
|-----------|-----------|--------|--|--|
| 178856.14 | 423009.41 | 001135 | Leather products manufacturing               | Leather manufacturing                          |
| 179590.74 | 423080.81 | 001198 | Leather products manufacturing               | Raw hide process industry                      |
| 179959.34 | 422789.11 | 001185 | Leather products manufacturing               | Raw hide process industry                      |
| 179005.04 | 423033.61 | 001115 | Rubber & plastic products manufacturing      | The ect plastics manufacturing                 |
| 177358.94 | 422764.81 | 001105 | Pubric & individual service industry         | Special waste treatment industry               |
| 177500.14 | 422715.81 | 001019 | Pubric & individual service industry         | Special waste treatment industry               |
| 177231.14 | 422774.11 | 000876 | Pubric & individual service industry         | Special waste treatment industry               |
| 180537.84 | 422617.11 | 000863 | Electric & electronic products manufacturing | Switch board & Automatic control manufacturing |
| 179516.54 | 423125.41 | 001001 | Electric & electronic products manufacturing | Transformer manufacturing                      |
| 178318.44 | 422969.71 | 001501 | Electric & electronic products manufacturing | Printing circuit board manufacturing           |
| 178318.44 | 422969.71 | 000146 | Electric & electronic products manufacturing | Printing circuit board manufacturing           |
| 178323.24 | 422985.41 | 000021 | Electric & electronic products manufacturing | Printing circuit board manufacturing           |
| 178290.64 | 422933.41 | 001159 | Electric & electronic products manufacturing | Printing circuit board manufacturing           |
| 178318.44 | 422969.71 | 001539 | Electric & electronic products manufacturing | Printing circuit board manufacturing           |
| 178318.44 | 422969.71 | 001258 | Electric & electronic products manufacturing | Printing circuit board manufacturing           |
| 179026.74 | 423058.91 | 000450 | Electric & electronic products manufacturing | Printing circuit board manufacturing           |
| 179028.74 | 423044.51 | 001317 | Electric & electronic products manufacturing | Printing circuit board manufacturing           |
| 180313.94 | 422589.71 | 001356 | Electric & electronic products manufacturing | Printing circuit board manufacturing           |
| 179038.94 | 423084.31 | 001352 | Electric & electronic products manufacturing | Electronic condenser manufacturing             |
| 178866.94 | 422996.21 | 000671 | Assembly metal manufacturing                 | Painting & membrane treatment                  |
| 179319.64 | 423091.61 | 001364 | Assembly metal manufacturing                 | Painting & membrane treatment                  |
| 179053.94 | 423122.31 | 000352 | Publication & printing industry              | Plate making & typesetting                     |
| 180087.54 | 422941.11 | 001192 | Compound & chemicals manufacturing           | Surfactant manufacturing                       |
| 180417.54 | 422651.71 | 000598 | Compound & chemicals manufacturing           | Surfactant manufacturing                       |
| 179674.94 | 422918.51 | 000504 | Compound & chemicals manufacturing           | Not classified chemicals manufacturing         |
| 178727.44 | 423165.11 | 000954 | Compound & chemicals manufacturing           | Petrochemistry manufacturing                   |
| 178143.94 | 422975.71 | 001423 | Compound & chemicals manufacturing           | Adhiveses & gelatin manufacturing              |
| 177441.64 | 422840.01 | 001439 | Compound & chemicals manufacturing           | Synthetic rubber manufacturing                 |
| 177547.04 | 422805.41 | 001109 | Compound & chemicals manufacturing           | Synthetic resin manufacturing                  |
| 179871.44 | 422827.41 | 001203 | Compound & chemicals manufacturing           | Cosmetics manufacturing                        |

적가능성을 검토하였다. 각각의 사례별 추적시점 및 기상상황은 표 10과 같다. 연구대상지역 악취측정소의 fingerprint를 이용하여 업종별 일치여부를 확인한 결과 사례 1에서는 19개 업종에서 7개 업종이, 사례 2에서는 5개 업종, 사례 3에서는 7개 업종으로 나타나 해당지역 악취발생특성은 5~7개 업종이 동시에 간여하고 있는 것으로 나타났다.

1차 추적결과 검색된 업체에 대해 동일업종의 fingerprint를 분류한 결과 사례 1, 2, 3에서 평균 일치비율이 66.9:49.5:50.0%로 나타났다(표 11). 이는 1차 추적결과 검색된 업체 중 선별된 최종 악취예상 배출업체비율로 업종이 일치하지 않은 업체를 대상에서 제외하게 한 수치이다. 사례 1과 2는 동일시각 반월공단과 시화공단의 경우로 배출업체가 밀집되어 있는 반월지역은 좀 더 높은 일치경향(66.9%)을, 상대적으로 밀집정도가 낮은 시화지역은 낮은 일치경향(49.5%)을 보였다. 그러나 사례 2(49.5%)와 3(50.0%)은 동일 시화공단지역의 경우로 시점이 주야간 및 계절의 차이(봄과 여름)를 가지고 있으나 동일한 일치율을 나타내었다.

여기서 일치율은 추적결과에 대한 현상이지 추적가능성을 표현하는 도구는 아니다. 그러나 여러 사례, 즉 주야간 및 지역차이에 의한 사례를 통해 상호간의 현상으로부터 그 가능성을 유추해 볼 수 있다고 본다. 본 연구결과에서는 시화와 반월지역간의 차이는 나타내었으나 이유 있는 결과를 나타내었으며 동일지역에서는 주야간의 차이에도 불구하고 유사한

경향을 나타내었다. 그리고 1차 예상배출업체에 대해 평균 55.5% (44.1~68.8) 즉 절반의 업체를 선별해냄으로 선별범위에 대한 효율적인 시사점을 제공하였다.

또한 본 연구에서는 유적선 케도를 따라 너비 200, 100, 50 m의 범위를 정하고 너비별 추적범위의 적절성을 검토하였다. 추적결과 너비별 일치율은 너비 200, 100, 50 m에서 각각 54.3, 59.2, 52.9%로 나타나 너비의 차이점은 크지 않았다. 사례 1에서는 너비별로 5%이내에서 동일한 일치율을 나타내었으며 일치율이 매우 유사하게 나타난 사례 2와 3의 경우에는 100>200>50 m 순으로 다소의 차이를 나타내었다. 특히 200 m와 50 m는 상당히 유사한 경향을 나타내 너비간 특징적인 차이를 나타내지는 않았다. 이 결과는 악취추적시 적절한 유적선의 추적너비를 200 m까지 확대 적용할 수 있다는 가능성을 제시한다고 본다. 본 연구결과는 악취측정소에서의 샘플채취가 주로 점원(point source)에서 이루어지기 때문에 악취추적시 영향반경을 제시하기 위한 참고자료로 사용할 수 있을 것이다.

### 3.3 현장 적용가능성 검토

#### 3.3.1 적용성 검토방법

바람장 및 업종별 fingerprint를 이용하여 악취배출업체를 추적한 결과의 일치여부를 확인하기 위해 실제 업체에 대한 악취를 측정하였다. 시화·반월공단 악취측정소로부터 서쪽 풍상방향에 5개씩 총 10개 업체를 임의로 선정하고 배출구 및 공정에서 시료를 채취하여 악취공정시험법에 의거 분석하였다. 시료채취는 3, 5, 7월 총 3회에 걸쳐 실시하였으며

Table 10. Meteorological status at Case 1, 2, 3.

| No     | Date, time | Wind direction | Wind speed (m/s) | Temperature (°C) | Humidity (%) | Site   |
|--------|------------|----------------|------------------|------------------|--------------|--------|
| Case 1 | 06.5.17.15 | W              | 2.46             | 24.4             | 31.0         | Banwol |
| Case 2 | 06.5.17.15 | W              | 2.46             | 24.4             | 31.0         | Sihwa  |
| Case 3 | 06.7.14.22 | W              | 0.8              | 28.8             | 79.7         | Sihwa  |

Table 11. Matching rate by case and width.

| Case    | Width |       |       |         |
|---------|-------|-------|-------|---------|
|         | 200 m | 100 m | 50 m  | Average |
| 1       | 0.667 | 0.654 | 0.688 | 0.669   |
| 2       | 0.441 | 0.588 | 0.455 | 0.495   |
| 3       | 0.522 | 0.533 | 0.444 | 0.500   |
| Average | 0.543 | 0.592 | 0.529 | 0.555   |

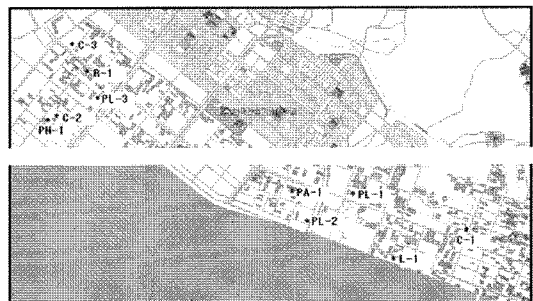


Fig. 6. Sampling site in this study.

Table 12. Geometric mean concentration of odor samples.

(unit : ppb)

| Sampling site | NH <sub>3</sub> | CH <sub>3</sub> SH | H <sub>2</sub> S | DMS | DMDS | TMA  | Styrene | Acetal | Propional | Butirical | i-Valeral | n-Valeral |
|---------------|-----------------|--------------------|------------------|-----|------|------|---------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| PL-1          | 13.8            | 0.0                | 0.3              | 0.0 | 0.0  | 0.2  | 28.4    | 7.6    | 0.8       | 0.1       | 0.1       | 0.1       |
| R-1           | 67.4            | 0.0                | 0.2              | 0.0 | 0.0  | 0.1  | 10.9    | 5.1    | 0.3       | 0.1       | 0.1       | 0.0       |
| L-1           | 556.6           | 0.1                | 48.7             | 0.0 | 0.0  | 2.7  | 13.1    | 3.3    | 0.3       | 0.1       | 0.0       | 0.1       |
| C-1           | 52.6            | 0.0                | 0.1              | 0.0 | 0.0  | 0.2  | 50.1    | 8.1    | 0.0       | 0.7       | 0.0       | 0.2       |
| C-2           | 88.5            | 0.0                | 0.2              | 0.0 | 0.0  | 0.7  | 73.7    | 11.6   | 1.1       | 0.3       | 0.0       | 0.8       |
| PL-2          | 33.5            | 0.0                | 0.1              | 0.0 | 0.0  | 0.0  | 36.5    | 7.3    | 1.7       | 0.0       | 0.0       | 0.1       |
| C-3           | 22.2            | 0.0                | 0.1              | 0.0 | 0.0  | 10.3 | 9.9     | 1.3    | 0.1       | 0.1       | 0.1       | 0.0       |
| PA-1          | 12.9            | 0.0                | 0.0              | 0.0 | 0.0  | 0.1  | 39.1    | 1.4    | 0.7       | 0.9       | 0.0       | 0.1       |
| PL-3          | 58.9            | 0.0                | 0.8              | 0.0 | 0.0  | 0.1  | 11.9    | 4.1    | 0.1       | 0.1       | 0.0       | 0.4       |
| PH-1          | 71.5            | 0.0                | 0.7              | 0.0 | 0.0  | 0.0  | 8.6     | 7.3    | 0.2       | 0.0       | 0.0       | 0.1       |

조사대상 업체의 위치는 그림 6과 같다. 추적프로그램 적용은 전술한 악취추적사례 1, 2, 3과 동일한 방식으로 하였다.

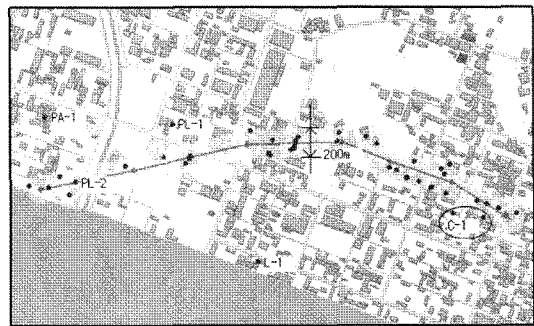
각 사업장에서 시료채취한 시료의 분석결과는 표 12와 같다. 동 분석결과는 시료채취 여건상 여러날에 걸쳐 채취한 것으로 2개월 간격으로 3회 측정된 값을 기하 평균하여 이용하였다.

3. 3. 2 적용성 검토 결과

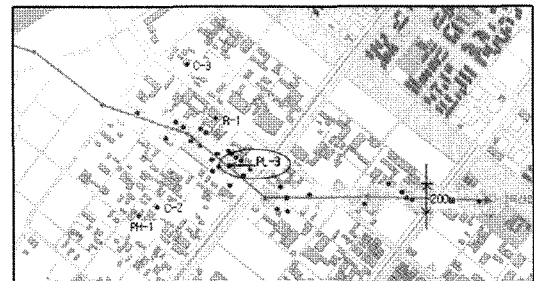
실제 예상되는 악취발생업체에 대해 시료를 채취하여 분석하고 특정일 특정시간에 추적프로그램을 가동하여 관련업체를 3회에 걸쳐 검색한 결과, 10개 업체 중 4개 업체가 검색되었다(그림 7). 검색된 업체에 대한 fingerprint 적용결과, 업종과 fingerprint 모두 일치하여 fingerprint의 적용가능성을 나타내었다. 본 연구에서 10개 업체 중 일부업체 만 추적경로 상에서 검색된 것은 사전에 예상경로를 예측하고 실험대상 업체를 선택하였으나, 서풍이 불고 악취가 높았던 사례를 찾아 악취추적을 실시한 관계로 대상 업체를 다 적용하기에는 다소 한계가 있었다.

야간의 경우는 주간과 달리 반대방향의 바람이 부는 경우가 많다. 실제로 동풍이 부는 경우는 주거지역에서 산단지역으로 바람이 이동하기 때문에 주거지역에서 악취 민원 신고사례가 드물다. 그러나 저녁 이후 서풍이 계속될 때 주거지역에 산단의 악취가 영향을 미치게 되는데 주간보다 악취의 이동속도가 적으나 혼합도가 낮아 악취가 주간보다 더 오래 머무를 가능성이 있을 것으로 사료된다. 참고로 본 연구에서 사례 1,2(주간)의 시간평균풍속은 2.46 m/s였으며, 사례 3(야간)의 시간평균풍속은 0.8 m/s였다.

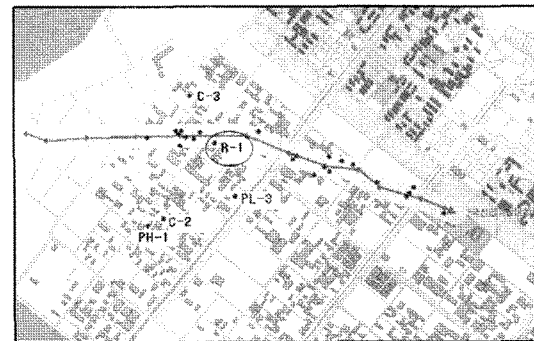
본 실험은 22개 전 항목을 모두 반영하지 못한 결



(Case 1)



(Case 2)



(Case 3)

Fig. 7. Searched companies after modeling.

과이다. 따라서, 본 연구결과에서는 악취측정소에서 측정된 주피크를 대상으로 검토하지 못하였으며 부피크가 도구로 사용되었다. 그러나 주 피크가 아닌 부 피크를 적용하였음에도 양호한 결과가 나타난 것은 매우 긍정적인 현상으로 파악된다. 따라서 12개 항목으로 실험을 제한 한 것이 악취 fingerprint에 의한 추적가능성을 훼손한 것은 아니며 오히려 그 가능성을 증가시키는 결과를 가져온 것으로 해석된다.

### 3.3.3 기타 요소에 의한 추적가능성 평가

업종별 악취 발생농도분포는 업체의 악취발생특성을 표현하는 일종의 도구이다. 기존 선별도구로는 대기오염물질 배출량, 복합악취 총 발생량 및 fingerprint 등이 있다. 그러나 이들 도구 역시 제한요소를 가지고 있다. 또한 이 도구들을 사용하기 위해서는 모두 일정한 전제가 필요하다. 그것은 각 업체에서 발생한 공기덩어리가 바람경로를 따라 이동하는 것을 전제로 한다는 점이다. 이러한 관점에서 fingerprint에 의한 발생원추적은 최소한의 자료를 이용해 유사한 효과를 낼 수 있다는 점에서 그 의의를 가진다고 본다.

바람장에 의한 추적 또한, 기상자료의 객관성과 배출원자료의 존재를 필요로 한다. 기상자료는 바람장 생성의 기본자료로 그 정확성과 다양한 자료가 중요한 관건이 된다. 본 연구에서 사용한 기상자료는 시화반월지역의 11개 악취 및 대기측정망자료와 서울, 인천, 수원 의 기상자료 및 오산시 고공자료를 활용하였다는 점에서 충분한 객관성을 가진다고 할 수 있다. 배출업체 DB는 바람의 경로를 따라 좌우 일정범위 내에 포함된 업체의 목록을 검색하는데 필요한 자료이다. 업체의 목록은 시화·반월 산단내의 1,700여개의 악취관련 배출시설에 대한 전수조사결과를 사용하였다는 점에서 객관성을 가지고 있다. 특히 바람장과 유적선에 의한 추적방식은 바람장의 경로를 매 5분마다 찾아 이동경로를 추적하고 일정너비내의 업체를 검색한다는 점에서 과학적인 수단이 될 수 있다고 본다.

## 4. 결 론

악취민원저감 및 개선을 위한 하나의 방안으로 바람장 및 악취 지문을 이용한 악취추적을 실시하고 그

가능성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

본 연구는 악취지문작성부문과 바람장 및 추적모델링 부문, 그리고 악취추적사례검토로 나누어 수행하였다. 악취지문 작성영역에서는 국내 악취측정자료를 취합하여 19개 업종으로 나누고 업종의 배출특성을 국외 측정자료와 비교하여 그 대표성을 검토하였다. 그 결과 비교대상 15개 업종 중 86.7%인 13개 업종이 50% 이상의 일치도를 보여 국내외 산업 차이에도 불구하고 업종별 배출특성의 대표성을 확인할 수 있었다.

바람장 및 추적모델링 부문에서는 모델 수행을 위해서 해당 지역의 악취배출시설의 업체정보 DB 구축과 인근 지역 11개 기상측정정보와 오산기상대의 고공기상관측정보를 이용한 3차원 바람장을 생성하고 역추적모델링을 수행하기 위한 시스템을 구축하였다. 한편, 악취측정소의 실시간 악취측정정보를 이용하여 측정소를 수용점으로 한 악취 fingerprint를 생성하였다.

악취추적사례에서는 5월~7월 기간중 3회에 걸쳐 시화·반월공단에 대해 주간, 야간에 걸쳐 악취추적을 실시하였다. 그 결과 지역간, 주야간의 차이에도 불구하고 1차 검색업체에 대한 최종 악취배출업체 일치비율이 일정하게 나타났다. 특히 시화공단에서 실시한 주야간의 경우 주간은 49.5%, 야간은 50.0%로 나타나 주야간의 편차가 거의 없어 모델의 적용성을 확인하였다. 지역의 경우는 반월공단이 66.9%, 시화공단이 50.0%를 나타내었으나 이는 반월공단과 시화공단의 악취관련시설의 밀도차이에 의한 것으로 추정된다.

악취추적에 대한 가능성평가를 위해 예상되는 풍상방향에 대해 10개 악취배출업체를 선별하여 악취시료를 채취하여 분석하였고 악취추적모델링결과와 비교하였다. 3회에 걸친 추적에 10개 중 4개 업체가 추적에 선택되었고 업체들의 악취측정소의 fingerprint와 대조한 결과 악취지문과 업종이 모두 일치하여 모델의 적용가능성을 확인할 수 있었다. 향후 분석장비의 정밀화와 업종별 악취배출정보가 보완이 된다면 더욱 유용한 도구로 사용이 가능하리라 본다.

## 참 고 문 헌

구운서, 김용규, 송선호, 김성태 (2004) 3차원 바람장을 이용

- 한 악취확산모델링연구, 한국냄새환경학회지, 3(1), 12-17.
- 국립환경연구원 (2001) 시화반월지역 악취원인물질규명을 위한 정밀조사, 105-124.
- 국립환경연구원 (2001) 악취물질발생원 관리방안 개선을 위한 조사연구, 186-195.
- 국립환경연구원 (2003) 악취배출시설 및 배출허용기준설정을 위한 연구, 51-92.
- 국립환경연구원 (2003) 시화반월지역 악취배출원조사 및 저감방안연구, 69-294.
- 안산환경기술개발센터 (2005) 안산지역 악취관리방안연구, 567-659.
- 이종환 (2005) 산업분류 업종별 VOCs 배출특성에 관한 연구, 대전대학교대학원박사학위논문, 121-134.
- 전의찬, 사재환, 이성호, 김선태, 김덕현, 김기현, 홍지형 (2004) 하수처리시설에서 악취물질 배출특성연구, 한국대기환경학회 춘계학술대회논문집, 159-160.
- 한국수자원공사 (2005) 시화반월공단 대기배출업체전수조사, 45-54.
- 한국냄새환경학회 (2005) 악취방지종합시책수립연구, 2-51-2-57.
- 日本 環境省 大氣保全局 特殊公害課 (1979) 惡臭防止技術マニュアル (II) 公害對策技術同友會, 84-86.
- 日本 環境省 大氣保全局 特殊公害課 (1980) 惡臭防止技術マニュアルIII 第4章 醫藥品工業 公害對策技術同友會, 317-398.
- 日本 環境省 大氣保全局 特殊公害課 (1980) 惡臭防止技術マニュアルIII 第3章 印刷業 公害對策技術同友會, 137-304.
- 日本 環境省 大氣保全局 特殊公害課 (1980) 惡臭防止技術マニュアルII 第2章 醫藥品工業 公害對策技術同友會, 68-112.
- 日本 環境省 大氣保全局 特殊公害課 (1981) 惡臭防止技術マニュアルIV 第3章 醫藥品工業 公害對策技術同友會, 247-315.
- 日本 環境省 大氣保全局 特殊公害課 (1981) 惡臭防止技術マニュアルIV 第2章 鼓舞工業 公害對策技術同友會, 143-244.
- 日本 環境省 大氣保全局 特殊公害課 (1981) 惡臭防止技術マニュアルII 第6章 鑄造工業 公害對策技術同友會, 183-210.
- Draxler, R.R. and G.D. Hess (1997) Description of the HYSPLIT\_4 modeling system, NOAA Technical Memorandum ERL-224; National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, DC.
- Joseph S. Scire, Francois R. Robe, Mark E. Fernau Robert J. Yamaritino (2000) "A User's Guide for the CAL-MET Meteorological Model," Earth Tech, Inc.
- Nasrin R. Khalili, Peter A. Scheff, Thomas M. Holsen (1995) PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline, highway tunnels, and wood combustion emissions, Atmospheric Environment, 4, 533-542.
- Scheff, P.A., R.A. Wadden, B.A. Bates, and P.F. Aronian (1989) Source fingerprints for receptor modeling of volatile organics, JAPCA, 39(4), 469-478.