



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2011年 8月  
博士學位論文

광주 하남산업단지 사업장별  
악취물질 관리방안 연구

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

金 蘭 姬

광주 하남산업단지 사업장별  
악취물질 관리방안 연구

**A Study on the Management Plan of Odor Substance Generated  
from the Classified Gwangju Hanam Industrial Complex**

2011年 8月 25日

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

金 蘭 姬

광주 하남산업단지 사업장별  
악취물질 관리방안 연구

指導教授 崔 炯 一  
共同指導教授 李 大 行

이 論文을 工學博士 學位申請 論文으로 제출함

2011 年 4 月

朝鮮大學校 大學院

環境生命工學科

金 蘭 姬

# 金蘭姬의 博士學位論文을 認准함

委員長	朝鮮大學校 教授	鄭 京 勳 印
委 員	朝鮮大學校 教授	申 大 允 印
委 員	朝鮮大學校 教授	田 榮 男 印
委 員	光州廣域市 保健環境研究院 部長	白 桂 辰 印
委 員	朝鮮大學校 教授	崔 炯 一 印

2011 年 6 月

朝鮮大學校 大學院

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	v
Abstract .....	ix
I . 서론 .....	1
1.1 연구배경 .....	1
1.2 연구목적 .....	3
II . 이론적 고찰 .....	4
2.1 악취의 일반적 고찰 .....	4
2.1.1 악취의 정의 및 특성 .....	4
2.1.2 악취의 영향 .....	9
2.1.3 악취의 주요 발생원 .....	10
2.1.4 악취측정방법 .....	15
2.1.5 악취유발물질 추정 및 평가 .....	23
2.2 악취관리제도 .....	26
2.2.1 국내 .....	26
2.2.2 외국 .....	30
2.3 악취 연구 동향 및 방지기술 현황 .....	33
2.3.1 국내 .....	33
2.3.2 외국 .....	38
2.3.3 악취방지기술 .....	39

III. 연구의 범위 및 방법 .....	52
3.1 조사대상 사업장 및 기간 .....	52
3.2 실험방법 .....	52
3.2.1 측정지점 .....	52
3.2.2 측정항목 .....	54
3.2.3 측정방법 .....	54
IV. 결과 및 고찰 .....	64
4.1 사업장별 악취물질 배출 특성 .....	64
4.1.1 사업장별 악취물질 농도 .....	64
4.1.2 악취물질별 사업장 배출농도 비교 .....	89
4.2 사업장별 악취물질의 기여도 평가 .....	93
4.2.1 도장사업장 .....	93
4.2.2 도금사업장 .....	102
4.2.3 주물·주조사업장 .....	108
4.2.4 고무제조사업장 .....	116
4.2.5 폐유정제사업장 .....	124
4.2.6 사업장별 악취물질의 악취세기 비교 .....	128
4.3 하남산업단지의 악취관리방안 .....	130
4.3.1 사업장별 악취저감방안 .....	130
4.3.2 악취 추적시스템 구축 .....	135
V 결론 .....	137
참고문헌 .....	139

## List of Tables

Table 2.1. The relationship between odor intensity and odor concentration	7
Table 2.2. Odor substances generated from domestic point source	12
Table 2.3. Odor substances generated from companies	13
Table 2.4. Odor classification scale	17
Table 2.5. Category scale of pleasantness-unpleasantness and odor frequency index	19
Table 2.6. Odor substances analysis method by analysis instrument	21
Table 2.7. Threshold value of domestic main appointment odor material	24
Table 2.8. Current status of designated odor control areas in South Korea (2009.3)	27
Table 2.9. Odor control law of emission standard	28
Table 2.10. Odor emission process	29
Table 2.11. Odor emission related studies in Korea	33
Table 2.12. Research case for odor emission in Yeosu Industrial Complex	37
Table 2.13. Reactions for odor component and absorbents	44
Table 2.14. Absorption effect of activated carbon for odor component	45
Table 2.15. General reaction of odor component and absorbent material	46
Table 2.16. Removal efficiency of petrochemicals by biological filtration	48
Table 2.17. Reaction type of odor compounds and ozone	49
Table 2.18. Comparison of control technology for odor	50
Table 2.19. Summary and class of odor control technique	51
Table 3.1. Summary of sampling facilities	53
Table 3.2. Sampling method and analysis instrument of odorous compounds	55
Table 3.3. Conditions and parameter used for UV-Photometer	59
Table 3.4. Conditions and parameter used for GC/NPD	60
Table 3.5. Conditions and parameter used for GC/PFPD	61
Table 3.6. Conditions and parameter used for GC/MDS	62
Table 3.7. Conditions and parameter used for HPLC	63



Table 4.1. Odor material concentrations of prevention facilities outlet in painting facilities .....	65
Table 4.2. Odor material concentrations of prevention facilities outlet in plating facilities .....	71
Table 4.3. Odor material concentrations of prevention facilities outlet in casting facilities .....	76
Table 4.4. Odor material concentrations of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities .....	80
Table 4.5. Odor material concentrations of prevention facilities outlet in oil refinery facilities .....	86
Table 4.6. Paint factories under investigation .....	94
Table 4.7. Characteristics of organic solvent used in painting process .....	94
Table 4.8. Odor material concentrations and theoretical dilution rate of prevention facilities outlet in painting facilities .....	989
Table 4.9. Plating factories under investigation .....	102
Table 4.10. Odor material concentrations and theoretical dilution rate of prevention facilities outlet in plating facilities .....	106
Table 4.11. Casting factories under investigation .....	108
Table 4.12. Kind of ingredient for molding .....	108
Table 4.13. Odor material concentrations and theoretical dilution rate of prevention facilities outlet in casting facilities .....	114
Table 4.14. Rubber manufactures under investigation .....	116
Table 4.15. Odor material concentrations and theoretical dilution rate of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities .....	122
Table 4.16. Refineries under investigation .....	123
Table 4.17. Odor material concentrations and theoretical dilution rate of prevention facilities outlet in oil refinery facilities .....	127
Table 4.18. Odor intensity of odor material in five comparison group .....	129
Table 4.19. Suggestion of odor control and management in the sewage treatment facilities .....	134

## List of Figures

Fig. 2.1. Relation of sensory intensity with concentration .....	6
Fig. 2.2. Classification of odor analysis method .....	16
Fig. 2.3. The Classification of odor disposal technique .....	40
Fig. 2.4. The flow chart of RCO apparatus .....	43
Fig. 3.1. The sampling pump for amine type and ammonia .....	56
Fig. 3.2. Inhale a sample box and Tedlar-bag .....	57
Fig. 3.3. VOCs sampling pump and tenax Adsorption Tube .....	58
Fig. 3.4. The sampling pump for aldehyde type and ozone scrubber-DNPH cartridge .....	58
Fig. 3.5. Ammonia Analyzer .....	59
Fig. 3.6. Trimethylamine Analyzer .....	60
Fig. 3.7. Sulfur compounds Analyzer .....	61
Fig. 3.8. VOCs Analyzer .....	62
Fig. 3.9. Aldehyde Analyzer .....	63
Fig. 4.1. Ammonia concentration of prevention facilities outlet in painting facilities .....	64
Fig. 4.2. Trimethylamine concentration of prevention facilities outlet in painting facilities .....	66
Fig. 4.3. Sulfur compounds concentration of prevention facilities outlet in painting facilities .....	67
Fig. 4.4. The Aldehyde concentration of prevention facilities outlet in painting facilities .....	67
Fig. 4.5. VOCs concentration of prevention facilities outlet in painting facilities .....	69
Fig. 4.6. Ammonia concentration of prevention facilities outlet	

in plating facilities .....	70
Fig. 4.7. Trimethylamine concentration of prevention facilities outlet in plating facilities .....	70
Fig. 4.8. Sulfur compounds concentration of prevention facilities outlet in plating facilities .....	72
Fig. 4.9. The Aldehyde concentration of prevention facilities outlet in plating facilities .....	72
Fig. 4.10. VOCs concentration of prevention facilities outlet in plating facilities .....	73
Fig. 4.11. Ammonia concentration of prevention facilities outlet in Casting facilities .....	75
Fig. 4.12. Trimethylamine concentration of prevention facilities outlet in Casting facilities .....	75
Fig. 4.13. Sulfur compounds concentration of prevention facilities outlet in Casting facilities .....	77
Fig. 4.14. The aldehyde concentration of prevention facilities outlet in Casting facilities .....	77
Fig. 4.15. Volatile organic compounds concentration of prevention facilities outlet in Casting facilities .....	79
Fig. 4.16. Ammonia concentration of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities .....	81
Fig. 4.17. Trimethylamine concentration of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities .....	81
Fig. 4.18. Sulfur compounds concentration of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities .....	83
Fig. 4.19. The aldehyde concentration of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities .....	83
Fig. 4.20. Volatile organic compounds concentration of prevention	

facilities outlet in rubber manufacturing facilities .....	84
Fig. 4.21. Ammonia and trimethylamine concentration of prevention facilities outlet in oil refinery facilities .....	85
Fig. 4.22. Sulfur compounds concentration of prevention facilities outlet in oil refinery facilities .....	87
Fig. 4.23. The aldehyde concentration of prevention facilities outlet in oil refinery facilities .....	87
Fig. 4.24. VOCs concentration of prevention facilities outlet in oil refinery facilities .....	88
Fig. 4.25. Trend of Ammonia and trimethylamine concentration at five comparison group .....	89
Fig. 4.26. Trend of sulfur compounds concentration at five comparison group ...	90
Fig. 4.27. Trend of The aldehyde concentration at five comparison group .....	91
Fig. 4.28. Trend of VOCs concentration at five comparison group .....	92
Fig. 4.29. Ha-P-3 factory produce and handling process .....	95
Fig. 4.30. Photographs of painting process .....	97
Fig. 4.31. Percentage of odor material concentrations and theoretical dilution rate in painting facilities .....	100
Fig. 4.32. Main odor inducer materials by odor intensity index in painting facilities .....	101
Fig. 4.33. Ha-PL-1 factory produce and handling process .....	103
Fig. 4.34. Photographs of acidizing and chemical conversion treatment and plating process .....	104
Fig. 4.35. Percentage of odor material concentrations and theoretical dilution rate in plating facilities .....	105
Fig. 4.36. Main odor inducer materials by odor intensity index in plating facilities .....	107

Fig. 4.37. a-C-1 factory produce and handling process .....	109
Fig. 4.38. Photographs of melting process .....	111
Fig. 4.39. Photograph of stiffening process .....	112
Fig. 4.40. Percentage of odor material concentrations and theoretical dilution rate in casting facilities .....	113
Fig. 4.41. Main odor inducer materials by odor intensity index in casting facilities .....	115
Fig. 4.42. Ha-R-4 factory produce and handling process .....	118
Fig. 4.43. Photographs of configurate process .....	119
Fig. 4.44. Photographs of drying process .....	120
Fig. 4.45. Percentage of odor material concentrations and theoretical dilution rate in rubber manufacturing facilities .....	121
Fig. 4.46. Main odor inducer materials by odor intensity index in rubber manufacturing facilities .....	123
Fig. 4.47. Ha-0-1 factory produce and handling process .....	124
Fig. 4.48. Photograph of tanks for storing oil .....	125
Fig. 4.49. Percentage of odor material concentrations and theoretical dilution rate in oil refinery facilities .....	126
Fig. 4.50. Main odor inducer materials by odor intensity index in oil refinery facilities .....	128

# **ABSTRACT**

## **A Study on the Management Plan of Odor Substance Generated from the Classified Gwangju Hanam Industrial Complex**

**By Kim, Nan-Hee**

**Advisor : Prof. Choi Hyung-II**

**Department of Environment Engineering**

**Graduate School of Chosun University**

In this study, two types of nitrogen compounds, five types of sulfur compounds, thirteen types of the aldehyde, and ten types of volatile organic compounds discharged from 20 point sources in Gwangju Hanam Industrial Complex have been examined in effort to analyze the emission concentration value and the general odor substances from the painting facility, the plating facility, the casting facility, the rubber manufacturing facility, and the oil refinery facility.

At painting facilities, 2,182 ppb(30.3%) of acetone, 2,100 ppb(19.6%) of toluene, and 1,272 ppb(11.8%) of formaldehyde were detected. butylaldehyde, acetaldehyde, and propionaldehyde account for 74%, 18%, and 5% of theoretical dilution rate, respectively. At plating facilities, 1,012 ppb of ammonia and 531 ppb of formaldehyde were detected. These values are considered high. Acetaldehyde, ammonia, and hydrogen sulfide account for 59%, 19.1%, and 13.1% of theoretical dilution rate, respectively. At casting facilities, 924 ppb of ammonia, 563 ppb of sulfur dioxide, and 205 ppb of toluene were detected. Hydrogen sulfide, acetaldehyde and sulfur dioxide account for 65.9%, 17.2% and 5.2% of theoretical dilution rate, respectively. The odor at casting facilities is largely affected by sulfur compounds. At rubber manufacturing facilities, 535 ppb of methyl isobutyl ketone, 446 ppb of toluene, 342 ppb of ammonia were detected. I-valeraldehyde, butylaldehyde and n-valeraldehyde account for 35%, 32% and 13.3% of theoretical dilution rate, respectively. The main source for the odor detected at rubber

manufacturing facilities is the aldehyde. At oil refinery facilities, 49,423 ppb of sulfur dioxide, 3,416 ppb of acetaldehyde, 2,313 ppb of acetone were detected. Acetaldehyde, butylaldehyde, and sulfur dioxide account for 36.8%, 33.6% and 14.5% of theoretical dilution rate, respectively. The main substance for the odor at oil refinery facilities is the aldehyde.

**Key Words** : Gwangju Hanam Industrial Complex, painting facilities, plating facilities, casting facilities, rubber manufacturing facilities, oil refinery facilities,

# 1. 서론

## 1.1 연구배경

경제적 수준이 향상됨에 따라 국민들의 쾌적한 환경에 대한 요구수준도 높아지고 있다. 이와 함께 과거에는 대수롭지 않게 생각하였던 생활주변의 냄새도 민감하게 느껴지는 등 악취가 새로운 환경문제로 대두되어 시급히 해결해야 할 현안으로 떠올랐다.

악취는 심리적·정신적 피해를 일으키는 감각공해로서 악취에 대한 불만은 주로 주민들의 집단민원으로 표현되지만 대기에 의해 넓은 지역에 걸쳐 확산되고 기상조건의 영향을 크게 받으므로 발생원을 규명하기 어려운 경우가 많다.<sup>1,2)</sup> 이에 환경부는 악취를 효율적으로 관리하기 위하여 2004년 2월에 악취방지법을 제정하고 2005년부터 시행하여 2010년 현재 복합악취와 지정악취물질 22종을 규정하여 관리하고 있다.<sup>3)</sup>

악취의 정의는 국가, 단체나 학자에 따라 다르지만, 악취방지법 제2조 정의에 의하면 " 황화수소, 메르캅탄류, 아민류 그 밖에 자극성이 있는 기체상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새를 말한다. " 고 규정하고 있다.<sup>4)</sup> 악취는 코 속에서 일어나는 몇 종류의 물리적, 화학적 반응의 결과로서 생물학적 진동 시스템이 후각의 상피세포에 존재하여 외부의 취기 발생물질과 반응할 때 이루어진다.

악취를 유발하는 물질은 천연적으로 존재하는 물질도 있지만 산업시설의 생산과정에서 쓰이는 원료, 생산품 및 부산물 등, 그 발생경로는 이루 말할 수 없을 정도로 다양하며, 발생하는 물질도 무수히 많아 이제까지 밝혀진 종류만도 수천종류에 이르고 있다.<sup>5)</sup> 악취는 단일성분 또는 여러 가지 성분이 혼합된 복합악취 상태로 발생하는데 산업업종 뿐만 아니라 공장규모, 작업방법, 가공공정, 관리방법, 기후조건 및 입지장소와 취기의 정도에 따라 상당한 차이가 있다.<sup>6,7)</sup>

일반적으로 일정한 배출구를 통해 배출되는 대기오염물질과 달리 악취는 배출구 뿐만 아니라 공정 전체에서 발생하는 경우가 많아 악취배출시설에 대한 배출구 관리보다 악취관리지역을 지정하여 관리하는 지역적 관리라는 특성을 가지고 있다. 악취평가는 사람의 후각에 의한 판단이 중요시되고 있으며,<sup>8)</sup> 또한 악취관리의 목적은 국민의 민원이나 불만이 발생되지 않도록 하는데 중점을 두고 있다. 그러나



악취문제를 해결하기 위한 대책마련을 위해서는 가장 기본적이면서 우선적으로 해야 할 것이 현황파악이다.<sup>9)</sup>

지금까지 국내에서 악취실태조사를 통해 악취원인 및 유발물질 파악을 위해 수행된 연구로는 2001년 국립환경과학원에서 발주한 "시화·반월지역 악취원인물질 규명을 위한 정밀조사"로 8개 기관의 여러 가지 분석기술을 활용하여 수행되었으며,<sup>10)</sup> 현재 각 지역의 환경기술개발센터가 설립되어 관할 지역 내 산업단지 악취실태조사를 계속해서 수행하고 있다. 2001년에 대전지역 환경기술개발센터에서 대전광역시 3,4공단의 악취 물질 저감대책에 관한 연구를 하였으며,<sup>11)</sup> 2000~2002년에 인천지역 환경기술개발센터에서는 인천 서구지역, 인천 산단 지역과 수도권매립지를 중심으로 악취에 관한 연구를 수행하였다.<sup>12)</sup> 그리고 2002년에는 전북지역 환경기술개발센터에서 전주산업단지, 전주익산 지역과 군산지역 산업단지의 악취발생원 조사를 수행하였으며,<sup>13,14)</sup> 충남지역 환경기술개발센터에서 대산공단을 대상으로 연구를 하였고, 경기지역 환경기술개발센터에서는 미생물을 이용한 악취저감기술에 관한 연구를 수행하였다.<sup>15)</sup> 2006년에는 경기지역 환경기술개발센터에서 수원시 정자동 일대의 화학공장을 대상으로 악취연구들이 수행되었으며,<sup>16)</sup> 2009년에는 광주지역 환경기술개발센터에서 하남산업단지의 악취관리지역선정의 타당성 연구를 수행하였다.<sup>19)</sup> 또한, 최근에는 대규모 산업단지 뿐만 아니라 악취 민원이 빈번한 하수처리시설, 음식물류 폐기물 자원화시설, 폐수처리시설, 축산폐수처리시설, 분뇨처리시설 등 환경기초시설들에 대한 연구가 진행되고 있는 추세이다.

환경부 통계에 따르면 전국적으로 악취관련 민원이 2001년 2,760건, 2004년 3,910건, 2006년 4,797건으로 계속 증가추세를 보이고<sup>8)</sup> 2009년 3월까지 9개 시·도에 20개 지역이 악취관리지역으로 선정되어 관리되고 있다.<sup>17)</sup> 광주시 관내에서도 악취 민원이 2007년 78건, 2008년 111건, 2009년 134건으로 매년 큰 폭으로 증가되고 있는데 이중 하남산업단지에서 발생한 민원이 09년 79건<sup>18)</sup>으로 전체건수 대비 57%에 달했다. 하남산업단지 내 사업장에서 발생하는 악취가 민원발생의 주요 원인임을 알 수 있다.

하남산업단지는 광주광역시 광산구 장덕·오선·안청·도천동 일대 5,967천㎡ 규모로 조성된 지방 산업단지로 가동업체수가 948개, 고용인원 27,462명, 생산액 3,855십억 원에 이르는 광주시 소재 지방 산업단지로는 가장 큰 규모이다.<sup>19)</sup> 1991년 산업단지가 완공되어 가동을 시작한 이후 주변지역에 2003년 운남지구, 2007년부터 하남2.3지구, 2008년 수완지구 등 택지지구가 개발되어 4만 세대의 10만 명 이상이

거주하게 되면서 하남산업단지에서 발생하는 악취의 저감대책 수립이 시급히 요구되고 있다. 이에 따라 하남산업단지의 악취관리지역 지정에 대한 요구가 끊이지 않아 이에 대한 타당성 조사가 이루어졌다.<sup>19)</sup>

이 조사에 따르면, 광주 하남산업단지는 관련법의 악취관리지역 지정조건인 “악취와 관련된 민원이 1년 이상 계속되고 악취가 환경부령이 정한 배출허용기준을 초과하는 지역, 환경부령이 정하는 지역 중 악취 민원이 집단적으로 발생하는 지역”에 해당되어 관리지역 지정은 법적으로 가능하나 지정 후에도 배출업소의 획기적인 예방조치가 이뤄지지 않는 한 악취감소를 기대하기 어려워 악취 민원이 감소할 거라고 단정할 수 없다고 전망하였다.<sup>19)</sup> 그리고 대기·악취오염물질 배출업소는 대기오염 방지를 위해 적절한 방지시설을 구비하도록 법으로 규제하고 있으나 현장에서는 방지시설 운영에 대한 경제적인 부담과 기술력 부족 등으로 설치된 방지시설이 효율적으로 운영되지 않고 있는 실정이다.<sup>19,20)</sup>

## 1.2 연구목적

따라서 본 연구에서는 광주 하남산업단지 내 사업장별 악취유발물질의 발생을 조사하기 위해 악취민원 발생사업장 중심으로 20개 사업장을 선정하여 악취발생원을 파악하고 악취물질 30개 항목의 농도를 측정하여 사업장별 주요 악취유발물질을 조사하여 이를 기초 자료로 활용해 하남산단 지역의 악취를 보다 효율적으로 저감할 수 있는 최적의 관리방안을 강구함으로써 하남산단을 친환경산업단지로 변모시키고 나아가 대기환경의 질적 향상을 도모하고자 한다.

## II . 이론적 고찰

### 2.1 악취의 일반적 고찰

#### 2.1.1 악취의 정의 및 특성

현재 지구상에서 발견된 전체 원소는 총 112개이며, 인류가 발전해 오면서 발견하거나 합성해 만들어낸 화합물의 종류는 약 300만개 이상인 것으로 알려져 있는데 이러한 화합물은 크게 유기화합물과 무기화합물로 구분되고 약 270만개 정도가 유기화합물이다.<sup>21)</sup> 유기화합물은 끓는점과 녹는점이 비교적 낮은 성질을 가지고 있는 것으로 알려져 있는데, 끓는점이 낮다는 것은 화합물의 물리적 성질인 증기압과 일반대기 중의 대기압이 일치하는 온도가 낮다는 것을 의미하며, 또한 구성원소 사이에 존재하는 인력으로부터 쉽게 자유로워질 수 있다는 것을 의미한다. 즉 끓는점이 낮은 유기화합물의 경우는 대기 중에서 증기 또는 가스 상태로 존재하기 쉬운 특징을 갖는다.<sup>22)</sup>

일반적으로 유기화합물의 상당수는 끓는점이 낮기 때문에 쉽게 휘발되어 대기 중에서 기체상태로 존재하는 경우가 많다. 따라서 이처럼 휘발성이 강한 유기화합물 수십만 종류가 냄새유발물질로 구분될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 화합물이 대기 중에서 단순히 기체상태로 존재한다고 해서 냄새를 유발하는 물질이라고 단언할 수는 없다. 물의 경우는 휘발성 물질이나 일반적으로 냄새를 감지할 수 없다. 많은 연구자들이 냄새유발물질의 화학적 조성과 분자구조를 냄새와 관련지어려는 연구를 진행하였으나 만족스러운 연관성은 밝혀지지 않고 있다.<sup>21)</sup> 냄새는 일반적으로 조성기 배열에 의하여 일어나는 물리적인 차이에서 그 발생여부가 결정되는 것으로 알려져 있어, 냄새와 물질의 구조사이에는 상관성이 없는 것으로 발표되고 있다.<sup>23)</sup>

이와 같이 다양한 화합물 중 냄새유발물질에 대한 구분이 명확하지 않다는 점과 큰 차이는 없지만 남자보다는 여자가 냄새에 대한 감각이 민감하고, 연령이 높아질수록 취기감지 능력이 낮아지는 생리학적 특성을 갖고 있다.<sup>24)</sup> 또한 냄새의 자극에 반응하는 후각의 경우, 상쾌 또는 불쾌를 판단하는 반응정도가 시각 등의 다른 감각보다 훨씬 예민하며, 개인에 따라서 그 차이가 크게 나타나므로 악취유발

물질의 정의는 물질의 물리적·화학적 특성보다는 냄새에 반응하는 인간의 정신물리학적 관점에서 판단하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 결국, 악취유발물질이라 함은 「인간의 후각에 영향을 미치는 가스상 물질 중 정상적인 후각을 갖고 있는 사람 대다수가 공통적으로 거부감을 느끼는 물질」로 얘기할 수 있을 것이다. 따라서 악취유발물질은 냄새를 감지하는 사람이 속해있는 사회·문화·시대적 배경에 따라 그 종류는 다양하게 변화될 수 있으며, 거부감을 주는 물질로 알려져 있는 경우라도 농도수준이 현저하게 낮을 경우에는 악취물질이라 하기 어렵고 거부감을 주지 않는 물질로 알려져 있는 물질이라도 농도수준이 현저하게 높아져 사람의 후각을 자극하여 불쾌감을 유발하는 경우에는 악취물질이라 표현할 수 있다.<sup>25,26)</sup>

악취물질은 분자량에 반비례 관계가 있고 분자량이 커지면 단계적으로 냄새강도가 약해진다. 악취물질의 물리·화학적 특성은 비교적 저분자량의 유기화합물로 가연성, 휘발성, 화학반응성이 높고 냄새분자를 구성하는 원소는 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N), 유황(S), 염소(Cl) 등이다. 화학물질이 냄새물질로 되기 위한 조건은 친유성기와 친수성기의 양기를 가지고 있어서 물과 기름에 잘 녹으며, 또한 휘발성이 있다.<sup>2)</sup> 즉 공기 중의 냄새분자는 휘발하여 확산되어 비공 내로 들어가서 비공 천정부근에 위치하고 있는 후 점막에 도달하고 후 점막을 덮고 있는 점액에 녹아 들어가 후각세포에 도달 냄새분자에 의해 후세포가 흥분하게 되어 전기신호(impulse)가 발생한다. 이 전기신호가 후 신경(축색)을 거쳐 후구를 지나 대뇌의 후각 령에 도달하면 냄새각각이 일어난다. 또한, 관능기(발향기)를 가지고 있다. 즉 냄새물질은 불포화결합, 알데히드기, 에스테르기, 아미노기, 설파이드기 등과 같이 반응성이 풍부한 관능기가 분자 내에 있기 때문에 냄새강도가 높은 냄새의 질로 변화한다.<sup>27)</sup>

기본적으로 후각은 청각이나 통각 같은 신체의 감각기관이기 때문에 자극강도와 자극에 대한 감각기관의 반응(감수성)사이에는 일정한 함수식으로 정의할 수 있는 관계가 성립한다. Weber-Fechner는 외부자극의 세기(C)와 외부자극에 반응하는 감각기관의 반응(Y) 사이에 존재하는 생리학적 특성을  $Y = K \cdot \log(C)$ 라는 식으로 표현하였으며, 후각의 경우에도 이 관계가 기본적으로 성립한다고 할 수 있다. 악취물질의 농도를 C 라하고, 악취물질의 최소감지농도를 기준으로 각 단계별로 10배씩 희석한 시료에 순차적으로 번호를 부여하여 이 번호(1은 10배 희석시료, 2는 100배 희석시료를 의미)를 자극에 대한 후각의 반응(Y)로 표현한다.<sup>28)</sup>

Fig 2.1은 Weber-Fechner의 법칙을 그림으로 설명한 것이다. 여기서 Y는 약취의 감각적 세기(약취세기)를 의미하며, K는 상수, C는 약취물질의 농도를 의미한다. Fig 2.1로부터 인간이 후각으로 느끼는 감각적 세기를 1/2로 줄이기 위해서는 약취물질의 농도를 97% 저감해야한다는 것을 알 수 있다.<sup>21)</sup>

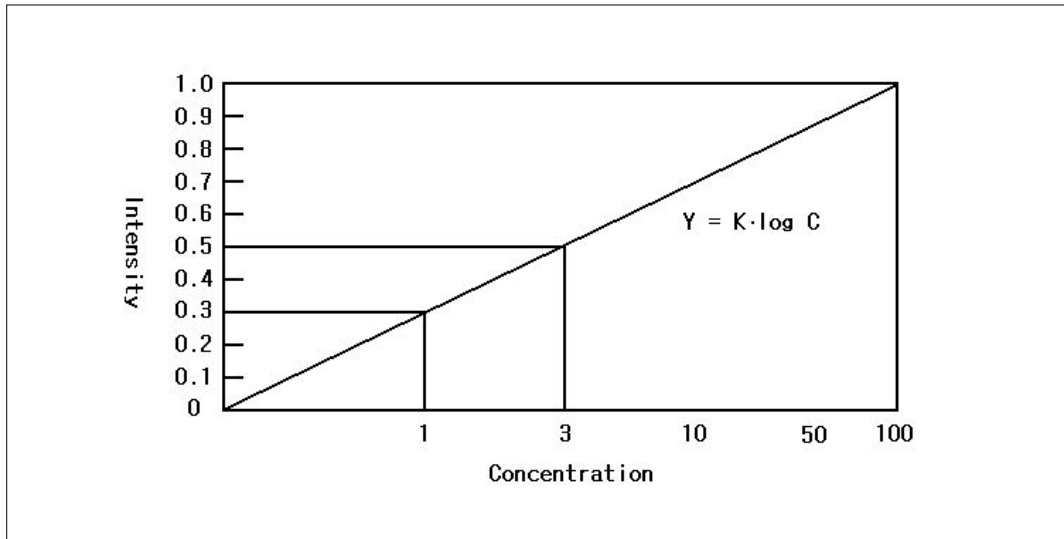


Fig. 2.1. Relation of sensory intensity with concentration.

Table 2.1은 일본 환경청 산하 위생센터에서 측정을 통해 약취물질의 농도와 냄새세기와의 함수관계를 확인하여 그 결과를 Weber-Fechner 식을 이용하여 정리한 것이다.

Table 2.1. The relationship between sensory intensity and odor concentration

	Odorant	Weber-Fechner 's law
Sulfur compounds	Hydrogen sulfide*	$Y = 0.950 \log(C) + 4.14$
	Methyl mercaptan*	$Y = 1.250 \log(C) + 5.99$
	Ethyl mercaptan	$Y = 0.808 \log(C) + 4.86$
	Dimethyl sulfide*	$Y = 0.784 \log(C) + 4.06$
	Diethyl sulfide	$Y = 1.080 \log(C) + 4.69$
	Methyl disulfide*	$Y = 0.985 \log(C) + 4.51$
Aldehyde	Formaldehyde	$Y = 1.530 \log(C) + 1.59$
	Acetaldehyde*	$Y = 1.010 \log(C) + 3.85$
	Acrolein	$Y = 1.510 \log(C) + 3.30$
	Propionaldehyde*	$Y = 1.010 \log(C) + 3.86$
	n-Butyl aldehyde	$Y = 0.900 \log(C) + 4.18$
	iso-Butyl aldehyde	$Y = 1.060 \log(C) + 4.23$
	n-Valeraldehyde*	$Y = 1.360 \log(C) + 5.28$
	iso-Valeraldehyde*	$Y = 1.350 \log(C) + 6.01$
Ketone	Acetone	$Y = 1.790 \log(C) - 1.64$
	Methyl ethyl ketone*	$Y = 1.850 \log(C) + 0.15$
	Methyl isobutyl ketone*	$Y = 1.650 \log(C) + 2.27$
Ester	Ethyl acetate	$Y = 1.360 \log(C) + 1.82$
	Methyl acetate	$Y = 2.170 \log(C) - 0.86$
	Methyl methacrylate	$Y = 2.050 \log(C) + 2.68$
	n-Butyl acetate	$Y = 1.140 \log(C) + 2.34$
	n-Butanol	$Y = 1.000 \log(C) + 4.56$
Fatty acid	Propionic acid*	$Y = 1.480 \log(C) + 4.60$
	n-Butyric acid*	$Y = 1.160 \log(C) + 5.66$
	i-Butyric acid	$Y = 1.430 \log(C) + 5.08$
	n-Valeric acid*	$Y = 1.580 \log(C) + 7.29$
	iso-Valeric acid*	$Y = 1.090 \log(C) + 5.65$

\* : Regulated odorant by Korea air environmental conservation act

(continued)

Odorant		Weber-Fechner 's law
Fatty alcohol	iso-Butanol	$Y = 0.790 \log(C) + 2.53$
	Methanol	$Y = 1.840 \log(C) - 2.23$
	Ethanol	$Y = 0.318 \log(C) + 1.36$
Phenol compounds	Phenol	$Y = 1.420 \log(C) + 3.74$
	o-Cresol	$Y = 0.826 \log(C) + 3.83$
	m-Cresol	$Y = 0.792 \log(C) + 4.08$
	p-Cresol	$Y = 0.604 \log(C) + 3.64$
Nitrogen contain compounds	Ammonia*	$Y = 1.670 \log(C) + 2.38$
	Trimethylamine*	$Y = 0.901 \log(C) + 4.56$
	Methylamine	$Y = 1.030 \log(C) + 4.10$
	Dimethylamine	$Y = 0.811 \log(C) + 3.52$
	Diethylamine	$Y = 1.000 \log(C) + 2.52$
Aromatic hydrocarbon	Toluene	$Y = 1.400 \log(C) + 1.05$
	Stylene	$Y = 1.420 \log(C) + 3.10$
	Xylene(o:m:p=1:2:1)	$Y = 1.530 \log(C) + 2.44$
	i-Propylbenzene	$Y = 1.160 \log(C) + 3.12$
	1,2,4-Trimethylbenzene	$Y = 1.130 \log(C) + 2.75$
	1,3,5-Trimethylbenzene	$Y = 1.110 \log(C) + 2.60$
Other compounds	Mixed butene	$Y = 1.720 \log(C) + 0.94$
	i-Butene	$Y = 2.040 \log(C) - 0.65$
	Tetrachloroethylene	$Y = 1.570 \log(C) + 0.58$

\* : Regulated odorant by Korea air environmental conservation act

## 2.1.2 악취의 영향

악취에 의한 생리학적인 영향은 호흡기, 순환기, 소화기, 후각기계통 등으로 나눌 수 있으며, 주로 감각적, 주관적인 영향을 미침에 따라 피해를 구체적으로 입증하기가 곤란하다. 악취물질은 알레르기 반응을 촉진하거나 정신적 불안감으로 인한 증상의 악화 또는 회복에 저해를 일으킬 수 있다.<sup>28)</sup>

### 1. 인체에 미치는 영향

좋은 냄새를 맡으면 호흡이 깊어지고, 불쾌한 냄새를 맡으면 반사적으로 호흡이 멈춰지고 호흡리듬의 변화가 일어나 호흡수 및 호흡의 깊이가 감소된다. 악취로 인한 호흡변화는 악취정보가 호흡중추에 작용하는 것으로서 개를 이용한 실험에 따르면 악취물질이 후신경을 자극하거나 3차 신경과 후신경의 양쪽을 자극시켜 호흡변화를 일으킨다고 알려져 있다. 더불어 좋은 냄새는 혈압을 내리고 과도한 긴장을 풀어주는 등의 진정효과가 있으며, 반대로 자극적인 냄새는 혈압 상승 등에 의한 정신적 불안을 가져오기도 한다. 후각은 미각과 밀접한 관련이 있어 좋은 냄새는 식욕증가를 유발하는 반면, 악취는 일반적으로 위장활동을 억제하고 소화액의 분비를 저해하여 식욕 감퇴, 수분섭취의 저하를 일으키고 심한 경우 구토를 일으키기도 한다.

악취가 건강에 미치는 또 다른 영향은 불면증과 정신불안을 들 수 있다. 장기적으로 계속해서 불쾌한 악취에 노출되면 사람은 안정감을 잃게 되고 마음이 조급해지며, 심한 경우 히스테리 상태가 되어 이상한 행동을 하는 등 정신적 작용으로 인한 영향이 크게 나타난다. 또한 악취로 인해 깊은 잠에서 깨어나면 다시 잠들기 어렵게 되며, 약한 악취에도 수면방해가 있을 수 있게 되지만 어느 정도의 냄새에서 수면이 방해되는가에 대해서는 상황에 따라 일정하지가 않다.<sup>29)</sup>

악취와 관련된 민원이 빈번하게 제기되고 있는 산업단지 주변지역의 주민을 대상으로 실시한 설문조사 결과를 보면 두통이나 구토, 메스꺼움, 호흡곤란 등을 호소하는 경우가 많다.

### 2. 기타영향

황화수소나 유기 황 화합물 등의 악취물질이 고농도로 대기 중에 존재하는 경우에는 여러 가지 사고가 발생할 수 있지만, 저농도에서도 장기간에 걸쳐 환경에 존



재하는 경우에는 동·식물에 여러 가지 생리적 장애를 일으킬 수 있다. 또한, 악취는 근로현장에서 금속 부식, 고무 열화 등의 구조물 손상뿐만 아니라 근로자의 집중력이 떨어지고 근무 자체를 기피하는 등 작업을 방해하는 주요 원인으로 작용할 수 있는 개연성을 갖고 있다.<sup>30)</sup>

이 외에도 악취문제가 빈번하게 제기되고 있는 지역과 악취현상이 감지되지 않는 인접지역의 부동산 거래현황과 가격수준을 비교한 결과에 의하면, 악취문제가 발생하는 지역의 부동산은 가격 자체가 저평가되어 있음에도 불구하고 거래자체가 이루어지지 않고 있으며, 공시지가 자체도 동시에 하락하는 것으로 나타났다.

### 2.1.3 악취의 주요 발생원

악취물질의 발생원은 크게 자연적 발생원과 인위적 발생원 두 가지로 구분할 수 있다.

#### 1. 자연발생원

악취는 자연적인 미생물에 의한 단백질 분해 또는 물질자체가 가지는 고유한 냄새 등으로 그 종류와 양이 대단히 많은 것으로 알려져 있다. 예를 들어, 황화수소의 자연발생량은 1~3억 톤, 암모니아는 37억 톤에 달하는 것으로 추정된다. 자연발생량의 경우 비록 그 발생량은 많으나, 넓은 지역에서 낮은 농도로 발생하므로 악취를 느끼지 못하는 경우가 대부분이다.

그러나 일부 국지적으로 악취를 유발하는 경우가 있는데, 하천 등에서 용존산소가 부족하여 혐기성분해가 일어날 때 발생하는 인돌(Indol), 스카톨(Skatol), 황화수소( $H_2S$ ), 메탄( $CH_4$ ) 및 암모니아( $NH_3$ ) 가스등이 복합되어 나는 냄새가 악취로 느껴지며, 우물 등에서는 조류나 세균류에 의한 곰팡이 냄새가 나기도 한다.<sup>28)</sup>

#### 2. 인위적 발생원

악취의 인위적 발생원으로는 축산시설, 사료·비료제조, 음·식료품 제조, 화학, 섬유·피혁, 도장 등의 제조시설, 도축장, 쓰레기·폐수·분뇨 처리시설, 자동차정

비시설 등의 일부 서비스업 등이 있으며, 이러한 시설 이외에도 자동차·트럭 등의 이동오염원, 건설작업 현장, 쓰레기 집하장, 개인주택 등 많은 시설에서 악취가 발생된다.

악취는 주로 물질의 발효·부패에 따른 분해가스의 배출과 염소, 염화수소, VOCs 등 악취를 유발하는 화학물질의 누출, 물질의 불완전연소에 따른 소각가스 등에서 발생하는 경우가 많으며, 이로 인해 주변 주민들로부터 민원을 야기 시킨다.

발생원별 주요 악취물질을 살펴보면 축산시설, 분뇨·하수처리장, 사료공장, 펄프제조 등 물질부패가 예상되는 시설에서는 황화수소, 메틸머캅탄류 등이 주로 발생되며, 합판제조, 도료제조, 인쇄·잉크제조, 도장시설 등 유기용제의 사용이 많은 시설에서는 벤젠, 톨루엔, 스티렌, 자일렌 등의 탄화수소류와 알데하이드, 에스테르계 물질이, 비료제조시설, 소각시설 등에서는 염소, 염화수소 등이, 식료품제조시설에서는 아민류 등의 물질이 드라이 크리닝·세탁시설에서는 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌 등이 주로 배출된다.

이와 같이 다양한 악취발생원의 종류를 생활악취와 사업장에서 발생하는 악취로 구분하기도 하는데 Table 2.2에 생활악취의 주요발생원을 나타냈고, 사업장에서 주로 발생하는 악취는 Table 2.3에 종류별로 구분하여 나타내었다.<sup>28)</sup>

Table 2.2. Odor substances generated from domestic point source<sup>21)</sup>

	Compounds	Toilet	Refrigerator	Food residue	Socks	Drain	Hospital	Tobacco	Car	Air plane	Furniture	Public toilet
Sulfur class	Hydrogen sulfide	⊙				⊙	○					○
	Methyl mercaptan	○	⊙	⊙	○	○	⊙					○
	Ethyl mercaptan			○								
	Dimethyl sulfide		○									
	Dimethyl disulfide*		○									
Nitrogen class	Ammonia	•	•	⊙	○	•	○	•	•	•		⊙
	Trimethylamine	○	•				•					
	Triethylamine											
Fatty acid	acetic acid			⊙	⊙	•	•					
	n-Butyric acid			•	⊙		•					
	n-Valeric acid			•	⊙		•					
Aldehyde	Formaldehyde							•	•		⊙	
	Acetaldehyde							⊙	⊙	⊙		
	Propionaldehyde								•			
VOCs	Toluene									•	⊙	
	Xylene									•	○	
	Acetone								○	•	○	

⊙ : Main Compounds,      ○ : Constituent Compounds,      • : Detected

Table 2.3. Odor substances generated from companies<sup>31)</sup>

Compounds		H <sub>2</sub> S	MeSH	DMS	DMDS	NH <sub>3</sub>	TMA	CH <sub>3</sub> -CHO	Styrene	HC	Ketone -Aldehyde	Alcohol	Ester	N Class	S Class	Fatty acid	etc	
		Companies																
Live stock	Pig	●	●	⊙	⊙	⊙											●	
	Cattie	●	●	⊙	⊙	⊙											●	
	Chicken	●	●	⊙	⊙	●	●							⊙			⊙	
feed fert- ilizer	Fertilizer	⊙	⊙	○	○	●	○											
	Fish bone	●	●	⊙	○	○	●				⊙	○		⊙			○	
	Animal bone	●	●	⊙	○	○	●				⊙	○	⊙				○	
	Excrement	●	●	⊙	⊙	●		⊙										○
F o o d	Coffee	○	●	○	○			○			○					●		
	Daily food	⊙	○			○					○	○					○	
	Seafood	●	○			⊙	●							⊙				
	Seasoning	○	○								○	○	○			●		
	Sidedish	⊙																
	Bakery										○	○						
	Tea										⊙	⊙	⊙	⊙	⊙			
C h e m i c a l	Starch	●	○											⊙			●	
	Petrol	⊙	●	⊙	⊙	⊙				●						⊙		
	Cokes	⊙				⊙		⊙		⊙	⊙							Phenol Cresol
	Pulp	●	●	●	●					●						⊙		
	Cello- phane	●																
	Fertilizer					●												
	Inorganic chemical	○				○										○		
	Petro- chemical	○	○	○				●		●	●	●	●					
	Ferment	⊙	○								⊙	⊙	⊙					
	Plastic									⊙	⊙	⊙	⊙					DOP
	Rubber	○							●	●	⊙	⊙	⊙			⊙		
	Rayon	●														○		
	Oil and fats	⊙	○			○					⊙	○	○	⊙			⊙	
	Paint									●	●	●	●					
Printing Ink							⊙		●	●	●	●						
Medicine	⊙	⊙			⊙				⊙	⊙	⊙				○			
Adhesive									●	●	●	●						
Iron																	Inorg anic acid	

⊙ : Detected, ○ : Potentially Detectable, ● : Odor caused

(continued)

Compounds Companies		H <sub>2</sub> S	MeSH	DMS	DMDS	NH <sub>3</sub>	TMA	CH <sub>3</sub> -CHO	Styrene	HC	Ketone Aldehyde	Alcohol	Ester	N Class	S Class	Fatty acid	etc	
		etc	Plastic Recycle							⊙	⊙	⊙						
Adhesive									●	⊙								
Textile	⊙					⊙									⊙	⊙		
Wood Furniture										●	●	●	●					
Printing								●	●	●	●	●	●					
Paintion								●	●	●	●	●	●					
Tobacco	⊙					⊙	●	⊙	⊙	⊙	●	⊙	⊙	●	⊙			
Leather	⊙		○			⊙											○	
Foundry						⊙	⊙				⊙				⊙			phenol cresol
Iron making	⊙							⊙		⊙					⊙	○		phenol
Waste treatment	●		⊙	⊙	○	⊙		⊙	○	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○	
Waste water treatment	●		●	⊙	○	⊙				⊙	⊙				⊙			
Excrement	●		●	●	⊙	●								⊙	⊙		⊙	
Crematory	⊙		○	○	○	⊙	●	⊙	⊙	○		○	○	⊙	⊙			
Butchery	●		●	⊙	○	⊙	⊙					○		⊙	⊙		⊙	
Ranch	●		●	⊙	○	⊙	⊙	⊙				⊙	○	⊙	⊙		⊙	
Hospital	⊙		○			⊙							○					
Laundry																		
Food store	○					○		⊙										
Photo Studio						○												
Gas station										●								
LPG station										⊙							●	
Hotel	○					○												
Barber shop						●				○								
Second hand dealer	⊙		○			⊙				⊙			○				○	
Car center										●	●	●		●				
Line source	Car								●	●	●	●			⊙			
	Airplane							●	●	●	●			⊙				
Construction									○	⊙							phenol cresol	
Sewerage	●	○	○	○	○													
Waste Dumping	⊙	⊙	○	○	⊙	⊙	⊙		⊙	⊙	⊙	⊙	⊙			⊙		
Private house	⊙	⊙	○	○	⊙	○	⊙											

⊙ : Detected,      ○ : Potentially Detectable,      ● : Odor caused

## 2.1.4 악취측정방법

악취를 측정하는 방법에는 크게 사람의 후각을 이용하는 관능시험법과 기기를 이용하여 악취의 성분을 분석하는 기기분석법(화학성분분석법)이 있다. 관능법의 경우 현장에서 직접 악취의 세기(강도)를 측정하는 방법(직접관능법), 냄새의 쾌·불쾌도를 나타내는 방법, 냄새의 빈도를 측정하는 방법, 악취를 깨끗한 공기와 희석하여 냄새가 발생되지 않을 때까지의 희석배수를 측정하는 방법(공기희석관능법) 등이 있다. 기기분석법은 개별적인 악취의 성분을 분석하는 단일성분표시법(좁은 의미의 기기분석법)과 전체 악취물질의 정도를 파악하는 복합성분표시법으로 구분할 수 있다.<sup>28)</sup>

악취방지법 및 악취공정시험방법에서는 악취측정방법으로 관능법 중 공기희석관능법(냄새주머니법의 일종)과 22개 악취물질에 대한 단일성분 농도표시법(기기분석법)을 규정하고 있다. 악취오염을 측정·조사하는 경우 법규에 의한 측정법과 함께 다음에 기술하는 다양한 측정방법들을 보조적으로 활용한다면, 원인 규명 및 문제해결에 보다 큰 도움이 될 것이다.

### 1. 관능법

악취란 특정물질이 일정 한계농도 이상으로 대기 중에 존재할 경우 건강에 피해를 줄 우려가 있다고 과학적으로 판단하여 규제하는 다른 대기오염물질과는 달리, 한 가지 또는 복합성분의 물질이 대기 중에 존재하여 이러한 물질이 단독 또는 상호작용으로 후각에 감지(냄새 발생)되며, 그 느낌이 불쾌감을 유발하는 경우에 비로소 오염으로 인식되는 특성상 후각에 의한 측정이 매우 중요하다.

관능법에 의한 악취평가에서 고려되는 주요 척도는 냄새의 질(Quality), 냄새의 세기(Intensity), 냄새의 용인성(Acceptability, 容認性), 냄새의 전파성(Pervasiveness; 어떤 냄새가 어느 정도의 무취공기 중에서 퍼져나가고 또한 희석되어지는 감지여부를 결정하는 척도) 등이 있다.

악취방지법에서는 악취의 세기를 냄새의 희석배율로 측정하는 공기희석관능법이 규정되어 있다. 악취를 측정하는 경우 이러한 법령에 의한 방법과 함께 냄새의 수용성을 평가하는 쾌·불쾌도 측정법, 발생빈도를 측정하는 냄새빈도 측정법 등을 보조적으로 활용하는 경우 보다 정확한 오염도 파악과 민원을 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

Fig. 2.2에 각 측정방법을 종합하여 악취 측정방법의 개략적인 분류체계를 정리하였다.<sup>25)</sup>

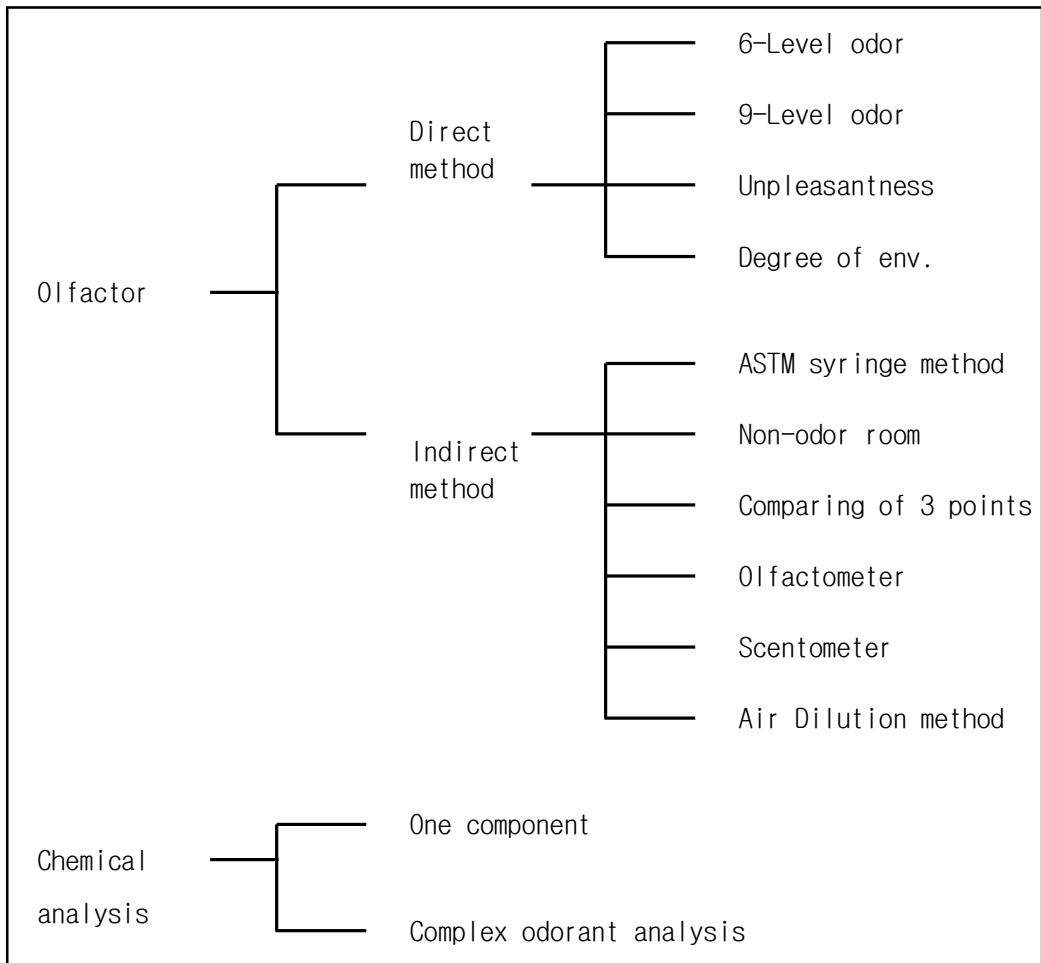


Fig. 2.2. Classification of odor analysis method.<sup>32)</sup>

### 가. 직접 관능법

악취가 발생하는 사업장의 부지경계선에서 악취세기가 가장 높은 지점을 선정하고, 건강한 사람의 후각을 이용하여 악취의 세기를 측정한다. 악취판정자는 조사대상지역에 거주하지 않는 사람으로 후각이 정상인 건강한 사람으로 5인 이상으로 한다. 조사담당

자는 측정대상 지역의 풍향·풍속·지형을 고려하여 악취의 분포정도를 사전에 충분히 조사한 후 악취의 세기가 가장 높은 악취 발생 사업장의 부지경계선을 측정 장소로 한다. 조사담당자는 선정된 측정 장소에서 판정자에 의해 감지된 세기를 Table 2.4에 해당되는 악취도로 표시하고 인적사항을 함께 기록한다. 악취세기의 판정은 시험방법에 따라 각 판정자가 감지한 악취세기 중 다수가 감지한 악취도로 한다. 다만 판정수가 동일한 경우에는 악취도가 높은 것을 선택하며, 측정치가 2도 이하이면 적합, 3도 이상이면 기준초과(부적합)로 판정한다. 참고로 직접관능법은 측정결과에의 주관성으로 인하여 악취공정시험방법 제정과 함께 폐지되었다.

Table 2.4 Odor classification scale<sup>29)</sup>

Category scale		Odor annoyance
0	무취(None)	상대적인 무취로 평상시 후각으로 아무것도 감지하지 못하는 상태
1	감지취기 (Threshold)	무슨 냄새인지 알 수 없으나 냄새를 느낄 수 있는 정도의 상태
2	보통취기 (Moderate)	무슨 냄새인지 알 수 있는 정도의 상태
3	강한취기 (Strong)	쉽게 감지할 수 있는 정도의 강한 냄새를 말하며, 병원에서 특유의 크레졸냄새를 맡는 정도의 상태
4	극심한 취기 (Very Strong)	아주 강한 냄새, 여름철 재래식 화장실에서 나는 냄새를 느낄 수 있는 정도의 상태
5	참기 어려운 취기 (Over Strong)	견디기 어려운 강렬한 냄새로서 호흡이 정지될 것 같이 느껴지는 정도의 상태

## 나. 공기희석 관능법

사업장의 부지경계선 또는 발생원(배출구)에서 채취한 시료(이하 “시료”라 한다)를 시험실로 운반한 후 무취공기로 희석하여 평균 정답율이 0.6미만일 경우 시험을 끝내고 희석배수(냄새감지한계 희석배수)를 구하는 방법이다.



시료채취자는 공장의 입지여건과 배치상태 및 조업상태, 현장 전체의 악취분포 상태, 풍향·풍속 등의 기상상태를 조사하여 악취세기가 가장 높을 것으로 판단되는 부지경계선 또는 측정공, 최종배출구에서 시료를 채취 한다. 배출구의 시료를 채취하는 경우 수분이나 먼지가 함유 되어 있다고 판단되는 경우에는 채취 관 끝에 유리섬유(Glass wool)를 채워 제거한다. 시료는 채취 후 가능한 48시간 이내에 시험하여야 하나, 실제 채취된 악취의 보관 일수에 따른 악취농도 변동을 조사한 결과 악취농도의 변화가 크지 않다는 보고가 있다.

시료를 환기장치가 설치되어 있는 방 또는 통풍이 원활한 방에서 자동희석장치나 수동으로 시료와 무취공기를 희석배수별로 희석하여 관능시험에 사용한다. 판정인은 5인 이상으로 구성하여 당일에 한하여 유효한 것으로 하며, 만 19세 이상 이어야 한다. 판정요원은 신체의 청결 유지, 시험 전 자극성 있는 음식의 섭취, 흡연, 향기 있는 세제나 화장품 사용 등 악취판정에 영향을 주는 행위를 해서는 안 된다.

판정을 위한 관능시험은 시험용 냄새주머니의 희석배수가 낮은 것부터 높은 순으로 실시한다. 단계별로 희석시킨 시료희석주머니 1개와 별도로 준비한 무취주머니 2개를 1조로 하여 판정요원에게 준다. 관능시험 결과 얻어진 판정인 전체의 냄새감지한계 희석배수가 배출허용기준치 이내이면 적합, 이상이면 부적합(기준초과)으로 판정한다.

#### **다. 쾌·불쾌도 표시법**

냄새의 용인성(Acceptability)에 착안하여 수치화된 방법으로 인용성(認容性)표시법 혹은 혐오성 표시법이라고도 하며, 주로 9단계의 표시법이 널리 이용되고 있으나 실제의 악취조사에서 쾌(快)를 나타내는 경우는 거의 없으므로 불쾌도만을 측정하는 경우가 많다.

쾌·불쾌도에 의한 악취측정은 사람의 기호, 취향 또는 폭로시간 등에 따라 결과가 달라질 수 있는데, 동일한 냄새를 사람에게 따라서는 악취 또는 좋은 냄새로 느끼기도 하며, 짧은 시간 동안에는 좋은 냄새로 느끼나 이에 장시간 노출되는 경우 불쾌감(또는, 그 반대현상)을 느낄 수 있는 등 문제점이 있으므로 지도·점검의 수단보다는 이를 보완하는 방안으로 활용할 수 있다.

## 라. 냄새빈도 표시법

냄새를 느끼는 빈도에 착안하여 수량화하는 척도로 다른 측정법과는 달리 단기적인 측정방법이 아닌 장기적인 측정척도이다. 따라서 이 방법은 주로 피해지역 주민에 대한 앙케이트 조사에 이용될 수 있으며, 독일에서는 악취에 대한 현장조사를 할 때 이 방법이 활용되고 있다.

Table 2.5에 쾌·불쾌도 표시법 및 냄새빈도 표시법의 평가기준을 정리하였다.

Table 2.5. Category scale of pleasantness-unpleasantness and odor frequency index<sup>9)</sup>

Scale	Symptom	Scale	Symptom
- 4	Extremely dislike	0	Never perceived
- 3	Dislike very much	1	Not very often perceived (about 1 time / month)
- 2	Dislike		
- 1	Dislike slightly	2	Occasionary perceived (about 1 time / week)
+ 0	Neither like nor dislike		
+ 1	Like slightly	3	Frequently perceived (about 1 time / day)
+ 2	Like		
+ 3	Like very much	4	Usually perceived
+ 4	Extremely like		

## 마. 기타 관능측정방법

지금까지 언급한 측정방법 이외의 관능측정방법으로는 주사기법, Scento - meter 법, Ifacto - meter법, 무취실법 등이 있는데, 이러한 측정법의 기본원리는 공기 희석관능법과 같다. 희석관능법의 다른 형태로 일본의 삼점 비교식 취대법이 있는데, 우리나라의 공기희석방법과 유사하나 악취판정인 관리, 결과산출방법 등에서 차이가 있다.

## 2. 기기분석법

기기분석법은 악취물질을 개별적 또는 종합적으로 측정하는 성분농도 표시법으로 악취의 원인이 되는 물질의 농도를 정확히 파악할 수 있는 장점이 있다. 다만 같은 농도에서도 다른 물질의 영향, 온도·습도 등에 따라 냄새 세기가 다를 수 있어, 측정된 농도 값과 감지되는 악취와의 상관관계를 정확히 나타내는 데에는 한계가 있다. 악취방지법 및 악취공정시험방법에서는 공기희석관능법에 의한 악취측정과 함께 암모니아 등 지정악취물질이 있다고 판단되는 경우에는 기기분석법을 병행할 수 있도록 규정하고 있다. 기기분석법에 의한 악취측정은 부지경계선에서 채취한 시료로 행한다. 지정악취물질을 포함한 주요 악취물질에 대한 측정방법은 Table 2.6과 같다.

기기분석법은 감각으로 느끼는 악취와 차이가 있을 수 있으나 악취오염의 원인이 되는 물질을 규명할 수 있는 장점이 있어, 관능법과 병행하여 악취오염을 감시하는 경우보다 효과적인 오염원 관리가 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

기기분석법에 의한 악취측정방법으로 악취공정시험방법에 의한 농도분석방법 이외에 검지 관에 의한 악취측정법과 센서를 이용한 측정법 등이 추가적으로 고려될 수 있다. 검지관법은 유리관 속에 특정가스와 선택적으로 반응하여 색을 내는 물질을 넣어둔 검지 관을 이용하여 악취농도를 측정하는 방법으로, 낮은 농도의 악취보다는 수~수십ppm의 고농도 악취물질을 측정할 수 있는 방법이다.

기기분석법에 의한 또 다른 측정방법으로는 향에 대한 선택적 검출기, 탄화수소 또는 유기화합물 측정기, 악취물질이 일으키는 전기적 저항을 이용하여 악취의 세기를 측정할 수 있는 센서측정법 등이 있다. 검지관법 등은 사용방법이 간편하고 신속한 측정이 가능해서 배출원의 악취측정 시 법규에 의한 측정법을 보완하여 활용할 수 있는 장점이 있다.

Table 2.6. Odor substances analysis method by analysis instrument<sup>28)</sup>

Odorants	Analysis method	Sample management
<u>암모니아*</u>	Spectro- photometer	산성여과지포집-피리딘피라졸론법, 산성여과지-beads-용액포집-인도페놀법
<u>메틸아민, 다이메틸아민</u> <u>트라이메틸아민*</u>	GC법	산성여과지-beads-용액포집-알카리- 분해-농축-GC(FID, FPD)
<u>황화수소*</u> <u>메틸머captan*</u> <u>다이메틸설파이드*</u> <u>다이메틸다이설파이드*</u> <u>에틸메르captan</u>	GC법	1. 진공병, bag채취-저온농축-GC(FPD) 2. 염화제이수은beads, 시안화수은-염화제이 수은, 여과지 포집-산분해-농축-GC(FID)
<u>포름알데히드</u> <u>아세트알데하이드*</u> <u>부티르알데히드*</u> <u>아크로레인,</u> <u>아세톤,</u> <u>메틸아이소부티르케톤*</u>	GC법  GC/MS법	1. (bag채취)-2,4-DNPH용액흡수-추출-농축-GC (FID, ECD) 2. 2,4-DNPH beads포집-무수프탈산분해-농 축-GC(FID) 3. (bag-진공병채취)-저온농축, 상온흡착 -GC(FID), GC/MS-SIM
<u>아세트산</u> <u>프로피온산*</u> <u>n-이소부티르산</u> <u>n-이소발레르산*</u>	GC법	1. 수산화스트론튬 beads포집-포름산분해 -GC(FID) 2. NaOH여과지-용액채취-인산분해-추출-농 축- GC(FID)
<u>아세트산, 메틸에틸,</u> <u>프로필 부틸</u> <u>아크릴산 메틸</u>	GC법	1. 상온흡착-GC(FID), GC/MS-SIM 2. 알카리여과지포집-인산분해-추출-농축 -GC(FID)
<u>아세트산, 메틸에틸,</u> <u>프로필 부틸</u> <u>아크릴산 메틸</u>	GC법	1. 상온흡착-GC(FID), GC/MS-SIM 2. 알카리여과지포집-인산분해-추출-농축 -GC(FID)

(continued)

Odor substances	Analysis method	Sample management
아세트산, 메틸에틸, 프로필 부틸 아크릴산 메틸	GC법	1. 상온흡착-GC(FID), GC/MS-SIM 2. 알카리여과지포집-인산분해-추출-농축-GC(FID)
페놀 o,m,p-크레졸	GC법 GC/MS법	1. 상온흡착-GC(FID), GC/MS-SIM 2. 알카리여과지포집-인산분해-추출-농축-GC(FID)
i-부틸알콜* n-부틸알콜	GC법	상 동
부틸렌 벤젠 톨루엔* o,m,p-자일렌* 에틸벤젠 i,n-프로필벤젠, 1,2,4-트리메틸벤젠 1,3,5-트리메틸벤젠 스타이렌*	GC법	(진공병-bag채취)-저온농축, 상온흡착-GC(FID)
테트라클로로에틸렌 1,1,1-트리클로로에탄	GC법	(진공병-bag채취)-저온농축, 상온흡착-GC(FID)

\* : 우리나라의 악취배출허용기준이 적용되는 물질이며, 밑줄 친 물질은 일본악취방지법에서 규제되고 있는 물질을 나타낸다.

## 2.1.5 악취유발물질 추정 및 평가

본 연구에서는 광주 하남산업단지의 주요 악취유발물질을 추정하기 위해 조사대상 배출시설에서 측정된 악취물질 30항목의 농도를 분석하여 물질별 최소감지값을 이용한 이론희석배수를 산정하였다. 또한 물질별 악취강도를 산출하여 각 사업장별로 악취유발물질을 추정·조사하였다.

악취를 나타내는 단위에는 최소감지값(Threshold value), 이론희석배수(Theoretical dilution rate), 악취세기(Odor intensity index) 등이 있다.

### 1. 최소감지값(Threshold value)

악취는 개별 물질마다 사람이 느낄 수 있는 최소농도나 냄새의 질이 다르다. 어떤 물질이 사람에게 냄새로 느껴지기 시작되는 최소의 농도를 최소감지농도(최소감지값, 역치(閾値) 또는 Threshold)라 한다. 최소감지농도는 사람마다 조금씩 차이를 나타내고 민족이나 연령에 따라서도 차이가 있다.

최소감지농도는 탄소와 수소만으로 된 화합물보다 산소, 황, 질소 등의 물질이 포함되어 있는 화합물이 대체로 작은 값 즉 낮은 농도에서도 냄새가 발생되고 있다. 최소감지농도가 작을수록 낮은 농도에서 냄새를 유발하므로 강한 냄새를 낸다고 할 수 있다. 단일성분의 냄새물질은 일정한 최소감지농도를 갖지만, 두 가지 이상의 물질이 혼합되어 있을 때에는 상승(相乘) 또는 상쇄작용(相殺作用)에 의해 각 성분의 최소감지농도보다 더 높아지거나 혹은 낮아지는 경우도 있다.

최소감지농도는 과거 대기오염공정시험방법에 의한 직접관능법의 악취도 1(감지취기)에 해당되는 물질의 농도라고 할 수 있다. 최소감지농도와 관련하여 자극의 질(質)을 느낄 수 있는 최소량(약 악취도 2에 해당)을 인지역(Perception threshold), 인식역(Identification threshold) 또는 최소인식역(Minimum Identification Odor, MIO)이라 한다.<sup>28)</sup>

주요 악취물질의 최소감지농도는 Table 2.7과 같다.

Table 2.7. Threshold value of domestic main appointment odor material<sup>28)</sup>

Compounds	ppm	Compounds	ppm
Ammonia	0.1	Formaldehyde	0.50
Methyl mercaptane	0.0001	Acrolein	0.0085
Hydrogen sulfide	0.0005	Acrylonitrile	8.8
Dimethyl sulfide	0.0001	Methanol	0.52
Dimethyl disulfide	0.0003	Dimethylamine	0.033
Trimethylamine	0.0001	Methylamine	0.035
Acetaldehyde	0.002	Acetic acid	0.0057
Propionaldehyde	0.002	Benzene	2.7
n-Butylaldehyde	0.0003	Phenol	0.00028
i-Butylaldehyde	0.0009	Carbon disulfide	0.21
n-Valeraldehyde	0.0007	Pyridine	0.063
i-Valeraldehyde	0.0002	Methyl alkyl sulfide	0.00014
i-Butanol	0.01	Carbon tetrachloride	4.6
Ethyl acetate	0.3	Chloroform	3.8
Methyl isobutyl ketone	0.2	Indole	0.00030
Toluene	0.9	Skatole	0.000056
Styrene	0.03	Ethyl benzene	0.17
o-Xylene	0.38	1,3-Butadiene	0.23
m-Xylene	0.041	Diethyl sulfide	0.000033
p-Xylene	0.058	Ethanol	0.094
Propionic acid	0.002	Ethyl acrylate	0.00026
n-Butyric acid	0.00007	Ethyl mercaptan	0.0000087
n-Valeric acid	0.0001	Methyl ethyl ketone	0.44
i-Valeric acid	0.00005	Sulfur dioxide	0.055
1,2,4-Trimethyl benzene	0.12	Nitrogen dioxide	0.12
1,3,5-Trimethyl benzene	0.17	Methyl acetate	1.7
Acetone	42	Ethyl acetate	0.87
Dichloromethane	60	i-Butyl acetate	0.0080
Trichloroethylene	3.9	o-Cresol	0.00010
Tetrachloroethylene	0.77	m-Cresol	0.000054

## 2. 이론희석배수(Theoretical dilution rate)

희석배수는 당초 미국에서 시료수(試料水)의 악취세기를 나타내기 위해 정의하였던 것으로, 시료수에 무취의 물을 가하여 희석시료에서 최저한도의 냄새를 명확하게 알 수 있을 때의 최대희석배수를 말하며, 후각한계희석 배수라고도 불려진다. 희석배수는 공기시료에 대해서도 동일하게 다루어 질 수 있는데, 사업장 등에서 채취한 시료공기(試料空氣)를 무취공기로 희석하면서 최소감지농도 수준(냄새가 인지되지 않는 순간의 희석치)으로 희석했을 때의 배율로 구할 수 있다.

## 3. 냄새의 세기(Odor Intensity Index)

대기 중의 냄새의 정도를 수치화하여 표현하는 방법으로 악취공정시험법의 공기희석관능법에 의한 희석배수, 일본의 6단계 냄새표시법, 미국의 TIA(Total Intensity of Aroma) 등이 방법이 있다.

직접관능법에 의한 악취세기는 최소감지값 수준의 냄새를 1도, 악취로 인식되지 않을 보통의 수준을 2도(규제기준)로 하며, 기타 악취로 느낄 수 있는 세기를 3~5도로 규정하고 있다. 일본의 6단계 냄새표시법은 우리나라의 악취세기와 유사하며, 미국의 TIA는 무취, 약간 냄새, 확실한 냄새, 강한 냄새의 4단계 척도를 이용하고 있다. 그러나 우리나라는 직접 관능법에 의한 악취세기를 악취공정시험방법에서 삭제하였다.



## 2.2 악취관리 제도

### 2.2.1 국내

국내에서는 1995년 대기환경보전법에 악취를 오염의 한 형태로 분류하였으나 농도규제와 관능법에 의한 규제가 일치하지 않아 악취가 확실히 규제되지 못하고 있었다. 악취물질에 대한 상세한 규제나 측정방법이 미비하였을 뿐만 아니라 국내에서는 공식적으로 악취를 측정할 수 있는 기관도 매우 미비한 실정이었다.<sup>33,34)</sup> 그런 가운데 악취는 산업의 발달과 더불어 새로운 환경 분야로 부각되었으며, 특히 대단위 산업단지 주변을 중심으로 악취로 인한 집단 민원이 증가되어 사회문제화 되었다.

이에 따라 환경부에서는 2001년에 보다 효율적인 악취관리를 위해 악취방지법을 추진하였고, 2004년 2월에 사업 활동 등으로 인하여 발생하는 악취를 방지함으로써 국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있도록 하기 위하여 악취방지법이 제정·공포되어 2005년 2월부터 시행됨에 따라 본격적인 악취관리가 실시되었다.<sup>4)</sup>

악취방지법에서는 악취 민원이 사회문제화 되는 전국의 주요 산업단지에 대해 악취관리지역으로 지정하여 관리지역안의 악취배출시설은 설치신고하고, 이 지역에 대한 주기적인 악취실태조사를 실시하도록 규정하고 있으며, 현재 지정된 악취관리지역은 Table 2.8과 같다. 이와 더불어 2010년 2월에 법이 일부 개정되어 2011년 2월부터는 악취관리지역 외의 지역에서도 악취 민원을 유발하는 악취배출시설에 대해서 신고대상시설로 지정·고시할 수 있도록 하였다.

악취방지법은 기존의 대기환경보전법과는 달리 악취강도를 나타내는 관능법을 복합악취(공기희석관능법)로 하였고, 황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 그 밖에 자극성이 있는 기체상태의 물질 22종을 개별 악취유발물질로 지정하여, 공업지역과 기타지역으로 구분한 후 배출허용기준 및 엄격한 배출허용기준을 적용하고 있는데 Table 2.9와 같다.

지정악취물질은 2005년 12개 항목에서 2008년 VOC류 5개 항목이 추가되었고, 2010년에는 지방산 화합물 5개 항목이 더 추가되었다. 그리고 악취방지법 시행규칙 별표3에 Table 2.10과 같이 주요 악취배출시설을 지정해 놓고 있다.

Table 2.8. Current status of designated odor control areas in South Korea (2009.3)<sup>17)</sup>

City/ Province	Designated date	Region		Area (1,000m <sup>2</sup> )	Remark
Ulsan	17 Mar. 2005	Ulsan Mipo national IC		46,271	Strict criteria
		Onsan national IC		24,659	
Gyeonggi	16 May. 2005	Poseung national IC			Strict criteria
		Sihwa national IC	Ansan city	4,424	
			Siheung city	16,443	
		Banwol national IC		15,374	
Banwol plating regional IC		1.47			
Chungnam	20 Jan. 2006	Samsung chemical complex		3,070	
		Hyundai petroleum chemical complex		3,307	
		Hyundai oil bank		1,619	
		Daejook regional IC		2,089	
Incheon	24 Jan. 2006	Namdong national IC		10,545	Strict criteria
		Incheon western regional IC		938	
		Seoknam-dong · Wonchang-dong general IC		9,171	
		Baekseok · Orju-dong		11,107	
Busan	26 Apr. 2006	Pusan Shinpyong · Jangrim leather corporation		15	
Jeonbuk	12 Oct. 2007	Urimil livestock corporation		27.1	
Daejeon	28 Apr. 2008	Daejeon 1,2,3,4 IC and neighborhood		5,529.5	
Kangwon	28 Apr. 2008	Youngwol-gun Seomyon Sangyong-ri area		101.5	
Gyeongbuk	4 Dec. 2008	Uisung-gun Geumsung-myon Gaeil-ri 446-1, 467,467-2		7,294	

\* IC : Industrial Complex

Table 2.9. Odor control law of emission standard<sup>4)</sup>

복합 취기	구분	배출허용기준(희석배수)		엄격한 배출허용기준(희석배수)	
		공업지역	기타지역	공업지역	기타지역
	배출구	1,000 이하	500 이하	500~1,000	300~500
	부지경계선	20 이하	15 이하	15~20	10~15
지정 악취 물질	악취물질	배출허용기준(ppm)		엄격한 배출허용기준 (ppm)	적용 시기
		공업지역	기타지역	공업지역	
	암모니아	2 이하	1 이하	1~2	2005. 2.10
	메틸메르캅탄	0.004 이하	0.002 이하	0.002~0.004	
	황화수소	0.06 이하	0.02 이하	0.02~0.06	
	다이메틸설파이드	0.05 이하	0.01 이하	0.01~0.05	
	다이메틸다이설파이드	0.03 이하	0.009 이하	0.009~0.03	
	트라이메틸아민	0.02 이하	0.005 이하	0.005~0.02	
	아세트알데하이드	0.1 이하	0.05 이하	0.05~0.1	
	스타이렌	0.8 이하	0.4 이하	0.4~0.8	
	프로피온알데하이드	0.1 이하	0.05 이하	0.05~0.1	
	뷰티르알데하이드	0.1 이하	0.029 이하	0.029~0.1	
	n-발레르알데하이드	0.02 이하	0.009 이하	0.009~0.02	
	i-발레르알데하이드	0.006 이하	0.003 이하	0.003~0.006	
	톨루엔	30 이하	10 이하	10~30	2008. 1.1
	자일렌	2 이하	1 이하	1~2	
	메틸에틸케톤	35 이하	13 이하	13~35	
	메틸아이소뷰티르케톤	3 이하	1 이하	1~3	
	뷰티르아세테이트	4 이하	1 이하	1~4	
	프로피온산	0.07 이하	0.03 이하	0.03~0.07	2010. 1.1
n-뷰티르산	0.002 이하	0.001 이하	0.001~0.002		
n-발레르산	0.002 이하	0.0009 이하	0.0009~0.002		
i-발레르산	0.004 이하	0.001 이하	0.001~0.004		
i-뷰티르알콜올	4.0 이하	0.9 이하	0.9~4.0		

Table 2.10. Odor emission process<sup>4)</sup>

일련 번호	악취배출시설	일련 번호	악취배출시설
1	축산시설	23	기초유기화합물 제조시설
2	도축시설, 고기 가공·저장처리 시설	24	기초무기화합물 제조시설
3	수산물 가공 및 저장 처리시설	25	무기안료·염료·유연제 제조시설 및 그 밖의 착색제 제조시설
4	동·식물성 유지 제조시설	26	비료 및 질소화합물 제조시설
5.	사료 제조시설	27	합성고무, 플라스틱물질 및 플라 스틱제품 제조시설
6	빵류 및 곡분과자 제조시설	28	기초 의약품질 및 생물학적 제제 제조시설
7	설탕 제조시설	29	의약 제제품 제조시설
8	조미료 및 식품 첨가물 제조시설	30	살충제 및 그 밖의 농약 제조시설
9	그 밖의 식료품 제조시설	31	도료·인쇄잉크 및 유사제품 제조시설
10	증류주·합성주 및 발효주 제조 시설	32	비누·세정광택제·화장품 및 그 밖의 화학제품 제조시설
11	맥아 및 맥주 제조시설	33	화학섬유 제조시설
12	담배 제조시설	34	고무 및 고무제품 제조시설
13	제사 및 방적 시설	35	아스팔트제품 제조시설
14	직물 직조시설	36	금속의 용융·제련시설
15	섬유 염색 및 가공시설	37	조립금속제품·기계·기기·장비 ·운송장비·가구 및 그 밖의 제 품 등의 표면처리시설(절연선 및 케이블 제조시설은 제외한다)
16	모피가공 및 모피제품 제조시설	38.	절연선 및 케이블 제조시설
17	가죽 제조시설	39	재생용 가공원료 생산시설
18.	신발 제조시설	40	산업용 세탁시설
18	제재·목재가공 및 합판·강화목 재 제조시설	41	농수산물 전문판매장
20	펄프·종이 및 종이제품 제조시설	42	폐수 처리시설
21	출판 및 인쇄관련 시설	43	하수·축산폐수 처리시설
22	석유제품 제조시설	44	폐기물 보관·처리시설
45	그 밖의 시설	위 가목부터 누목까지의 시설 규모에 미 치지 못하는 시설 중 특별한 관리가 필요 하다고 인정되는 시설로 시·도지사 또는 대도시의 장이 정하여 고시하는 시설	

## 2.2.2 외국

일본은 '60년대 중반부터 대규모 종이, 펄프, 화학공장, 축산농업 시설 등으로 인한 악취 민원이 급격히 증가함에 따라 ' 71년 6월 “생활환경에 관련되는 법령”에 의거하여 ‘악취방지법’을 제정 및 규제하고 있으며, 악취에 대한 규제기준은 중앙정부에서 정한 기준과 각 지방자치단체에서 정한 조례, 지도지침 등으로 규제를 명시하고 있다.<sup>35)</sup> 일본의 악취규제기준은 일반적으로 해당 사업장 부지경계선과 배출구(기체배출구, 배출수)로 구분하여 각각 적용하고 있으며, 사업장 부지경계선의 경우는 대기 중 특정악취물질의 허용농도로서, 그리고 배출구의 경우에는 특정악취물질의 유량 또는 배출기체중의 특정악취물질의 허용농도로 규제하고 있다.<sup>36)</sup>

규제대상 악취물질은 악취방지법 제정 시 5개 물질에서 '90년부터는 12개 물질로 추가 지정하였고,' 93년부터는 22개 물질로 확대·지정하여 적용하고 있으며, 주로 돼지축사, 양계장, 생선내장 및 뼈 처리공장, 정유시설, 제지공장, 화학제품 생산 공장, 도장공장 등에서 발생하는 악취물질이 이에 해당된다.<sup>36)</sup>

악취측정 방법으로는 후각측정법이 1995년 이전에도 조례나 요강으로 채택하여 사용되고 있으며, 많은 지자체에서는 지도요강, 지도지침, 지도기준으로 채용하여 악취물질의 농도규제로서만 생활환경보전이 충분하지 않은 곳에 적용되어 사용되었다. 그러나 2001년 후각측정을 기본으로 하는 악취지수규제의 가이드라인이 책정된 후에는 많은 지자체가 후각측정법을 기본으로 악취지수를 바탕으로 규제하기 시작하였다.<sup>37)</sup> 1996년 시모타테시를 비롯하여 1998년에는 삿보로시, 2002년에는 하마마츠시, 2002년에는 도쿄도, 2003년부터는 마츠모토시, 미야기현, 카나가와현이 악취지수 규제를 실시하고 있다.<sup>38)</sup>

미국은 인구밀집지역 내에 악취배출 사업장이 존재하는 한국이나 일본과는 달리 토지이용의 선택이 넓기 때문에 악취문제가 심각한 사회문제로 거론되지 않고 있다. 또한, 미국 환경청(EPA)에서는 악취를 지역적인 문제로 취급하고 있기 때문에 지역적 차원에서 주(州) 및 지방정부의 다양한 형태로 이루어지고 있으며, 중앙정부에서는 단지 EPA에 의해 공표된 크라프트 펄프공장에 대한 TRS(Total Reduced

Sulfur : 총 환원성 황) 규제와 같은 배출 기준만 두고 있을 뿐 지역적인 악취문제와 규제에 대해서 특별히 관여하지 않고 있는 실정이다.<sup>39)</sup>

주 및 지방정부에서 사용하고 있는 악취규제 유형으로는 대기오염(air pollution), 불법방해(nuisance), 불쾌함(objectionable) 등 크게 3가지로 분류하여 주에 따라 선택적으로 하나 또는 하나 이상을 선택하여 사용하고 있으며, 2003년을 기준으로 50개 주 중에서 2개 주에서만 위의 3가지 유형이 아닌 고품폐기물 형태로 악취를 규제하고 있다. 또한, 11개 주에서는 scent meter를 사용한 희석지역(dilution to threshold : D/T) 값으로 표현되는 대기질 기준을 갖추고 있다.

또한, 미국의 악취관련 규제조항을 살펴보면 불법방해에 의한 것이 17개주, 환경대기기준에 의한 판정기준이 설정된 주가 6개주, 관능시험법에 의한 규제가 10개주, 발생원에 방지시설을 설치하도록 한 주가 9개주, 기기분석법에 의한 농도규제가 1개주, 행정지도를 하고 있는 곳이 2개주가 있지만 악취오염사고가 발생하여 심각했던 지역에서는 관능시험방법에 의한 규제를 실시하고 있다.<sup>40)</sup>

그리고 복합악취의 공기희석배수가 7~8배를 넘을 경우 악취에 대한 민원이 발생하므로 일반 환경에서의 규제기준은 주택지역(7~8배), 공업지역(25~50배)으로 나누어 규제하고 있으며, 악취의 판정은 적어도 3인 이상이 실시해야 하며, 가능하면 6~8명이 바람직한 것으로 되어있다.<sup>41)</sup>

독일의 경우 악취문제는 거주지역과 사업장과의 거리가 보통 1km 이하이기 때문에 거주지역과 악취 배출원 사이에서 발생하는 것이 특징적이며, 많은 사람들이 악취로 인한 괴로움을 불평하고 있다.<sup>42)</sup> 대기 질에 관한 요구조건의 법적 기초는 Federal Immission Control Act(Federal Protection Act for Ambient Air, BImSchG)와 Technical Instruction on Air Quality Control(Technical Instruction for the Prevention of Air Pollution, TALuft)이다.<sup>43)</sup> BImSchG에서는 사업장에서 발생하는 모든 냄새가 괴로움을 준다고 명시하고 있으나 BImSchG나 TA Luft 어느 쪽에도 괴로움을 구성하는 요소가 무엇인지 결정하는 구체적인 지침은 없다. 따라서 North Rhine- Westphalia에서는 “대기 중 악취에 대한 지령(directive on odor in ambient air)”을 개발하였는데 이것은 현재 발생하고 있는 악취의 측정방법과 발생이 예상되는 악취의 계산, 한계 값으로 표현되는 대기 질

필요조건을 결정하는 것으로 구성되어 있다. 이때 한계 값은 악취빈도로 나타내는데, 이것은 악취에 노출된 연간 시간을 의미한다.<sup>44,45)</sup> 대기 중 악취빈도를 결정하기 위한 방법으로는 panel에 의한 field 측정과 분산모델링 두 가지가 있다. 분산모델링은 후각측정, 유량검출, 기상학적 조건이 필요하며, 그 목적은 특정지역에 대해 연간 악취빈도로 표시되는 악취를 계산하는 것이다. 악취 부하가 예상되는 사업장에서의 악취빈도와 현재 가동 중인 사업장에서의 악취빈도 두 가지 경우를 모두 계산할 수 있지만 그 결과는 단지 계산 값에 지나지 않는다. 반면 panel에 의한 측정법은 모든 다른 방법에 대한 목표 값이 된다.<sup>46)</sup>

네덜란드의 악취정책은 크게 괴로움을 일으켜서는 안 된다는 ‘불법 방해 금지’와 ‘정량적인 관점에서의 대기질 기준’ 2가지로 구분된다. 정량적인 방법은 악취발생원으로부터 방출된 악취를 olfactometry로 측정하여 악취농도를 확인하며, 분산모델링을 이용하여 발생한 주변지역에서 악취에 대한 괴로움을 일으키는 농도의 발생빈도를 계산하는 방법으로 산업체에서 자신들의 악취관리를 위해 사용이 점점 증가하고 있으며, 악취에 대해 보편적으로 활용 가능하고 실행 가능한 환경적인 관리가 명백히 규정되어질 때에는 ‘정량적인 방법’이 ‘불법방해금지’보다 훨씬 더 유리하다. 또한, PD00(Policy Document on Offensive Odors)에서는 환경의 질 목표를 ‘악취에 의한 괴로움을 경험하는 인구의 백분율’을 기준으로 설정하였다.<sup>47,48)</sup>

## 2.3 악취 연구 동향 및 방지기술 현황

### 2.3.1 국내

Table 2.11은 국내 여러 지역에서 악취관련 연구사례를 나타낸 것이며, 각 사례들을 요약하면 다음과 같다.

Table 2.11. Odor emission related studies in Korea<sup>5)</sup>

구분	울산공단 <sup>1</sup>	수도권매립지 <sup>2</sup>	시화·반월산단			서울시난지도 <sup>6</sup>	여수산단	
			한국수자원공사 <sup>3</sup>	NIER <sup>4</sup>	시흥환경기술개발센터 <sup>5</sup>		KIST <sup>7</sup>	NIER <sup>8</sup>
조사목적	-울산시 환경중기 계획수립 -화학 공장 발생원 조사	-민원제기 -인천시 대기질 개선사업 관련 악취저감 대책수립	-민원제기 -대기환경 오염 저감방안 수립	-민원 급증 -악취원인 물질 규명 -악취조사 체계 확립	-실시간 악취 배출원 추적시스템 구축	-월드컵 경기 대비 -악취특성 및 발생원 조사 -악취저감 방안수립	-공단 주변 마을의 주거지역 적합여부 파악을 통한 대책 수립	-공단 주변마을의 환경질 및 위해성 평가를 통한 대책마련
조사기간	1996	2000.5 - 2001.8	1997.2 - 1999.11	2001.6 - 2001.10	2004.7 - 2009.3	2000.5 - 2000.9	1994.4 - 1995.5	1996.10 - 1997.4
조사항목	직접관능	○	○	○	○	○	-	-
	공기회석관능	-	○	-	○	○	-	-
	기기분석	VOCs 등	NH <sub>3</sub> 등 8개	VOCs 및 카르보닐 화합물(4)	VOCs 등 48개	VOCs, NH <sub>3</sub> 알데히드 등	NH <sub>3</sub> 등 5개	VOCs, NH <sub>3</sub> 등 2개
기타	악취센서 활용	악취배출량 산출	카르보닐 성분 높음	최소 감지농도 초과, 복합적인 악취악취 유발	민·관합동 조사, 자료DB구축 민원인 모니터링요원 양성	난지도 부속 시설의 악취강도 높음	VOCs 성분 높게 검출	VOCs 성분 높게 검출

1. 울산광역시, 울산광역시 환경오염조사 및 환경중기 종합계획수립(악취분야), 1997
2. 환경부, 인천지역 악취저감을 위한 종합대책 수립에 관한 최종보고서; 인천서구지역 및 수도권 매립지를 중심으로, 2001.
3. 한국수자원공사, 시화지구 대기환경오염 저감방안 수립 연구, 2000.
4. 국립환경과학원(NIER), 시화·반월지역 악취원인물질 규명을 위한 정밀조사, 2001.
5. 시흥환경기술개발센터, 시화·반월산단 대기오염배출업체 전수조사, 2004-2007.
6. 서울시정개발연구원, 난지도지역 환경성 검토 및 친환경적 정비방안(악취관리), 2000
7. KIST, 여천공단 주변마을 환경영향 및 대책에 관한 연구, 1996.
8. 국립환경과학원(NIER), 여천공단 환경오염대책 마련을 위한 오염실태정밀조사사업, 1997.



## 1. 울산공단 조사사례

울산광역시(1997년)에서는 울산시의 최대 민원인 악취의 적극적인 대처와 저감 대책을 수립하기 위해 “울산광역시 환경오염조사 및 환경중기 종합계획수립(악취분야)”의 일환으로 악취발생지역으로 예상되는 화학공업지역 내 악취발생원을 규명하고자 조사한 결과, 방향족화합물인 벤젠(Benzene), 톨루엔, 스티렌(Styrene)과 이염화메탄 및 클로로포름 물질들이 사업장내의 폐수처리장이나 굴뚝, 매립장, 플랜트 등에서 배출되어 다소 악취를 유발하고 있었으며, 인근 먼 곳까지도 영향을 주고 있는 것으로 조사되었다. 또한, 울산지역도 석유화학산업이 밀집되어 있어 각 시설별에 따라 VOCs 및 악취물질들의 배출특성이 다르게 나타나 적절한 대책을 마련하고 있다.<sup>49)</sup>

## 2. 수도권 매립지 조사사례

2000년 5월부터 2001년 8월까지 환경부(2001년)에서 매립지 주변지역 주민들의 민원과 인천광역시 대기 질 개선을 위한 악취저감대책 수립을 위해 “인천지역 악취저감을 위한 종합대책 수립에 관한 연구”를 실시한 결과, 수도권 매립지 주변의 100여개 사업장에서 다양한 악취물질이 검출되어 이에 대한 저감 및 관리방안 수립에 있다.<sup>12,50)</sup>

## 3. 시화 · 반월 산단 조사 사례

1997년 2월부터 1999년 11월까지 한국수자원공사(2000년)에서 입주민들의 대기환경 저감대책 요구에 따라 전반적인 대기 질 환경을 파악하고 저감 방안을 마련하고자 “시화지구 대기환경오염 저감방안 수립 연구”의 일환으로 조사한 결과, 방향족(벤젠, 톨루엔, 스티렌, 메틸렌 클로라이드) 및 할로겐(디클로로메탄) 계통의 화합물과 카르보닐계(포름알데히드, 아세트알데히드, 프로피온알데히드, 아크로레인) 화합물들이 높은 농도로 조사되어 이들 물질이 악취유발물질들인 것으로 나타났다.<sup>51)</sup>

사업장으로는 폐기물을 소각하는 사업장의 굴뚝에서 배출되는 가스가 주요 오염원으로 보였고, 또한 대체적으로 비 오는 날과 안개가 낀 날에는 대기 확산이 약하

기 때문에 악취강도는 더욱 심한 것으로 조사되었다. 이의 해결을 위해 주거지역과의 완충녹지대를 조성하는 등, 정부의 다각적인 대책추진에도 불구하고 시화지역의 악취 민원이 증가하고 있어, 2001년 6월부터 2001년 10월까지 환경부(2001년)에서 악취 민원의 급증에 따라 실질적인 악취저감방안 강구를 위해 악취 원인물질의 규명 및 배출원에 대한 체계적인 정밀조사를 실시하여, 향후 유사 악취문제 발생 시 효율적으로 대처하기 위해 악취 조사체계를 확립하고자 “시화·반월지역 악취 원인물질 규명을 위한 정밀조사”를 실시한 결과 중·소형 사업장으로부터 순간적으로 배출되는 악취물질로 인해 악취 민원을 유발시키고 있으며, 일부 황 화합물이 최소감지농도 이상으로 배출되고 있어 이에 대한 관리방안 마련을 위해 노력하였다.<sup>10)</sup>

그리고 2004년 7월부터 2009년 3월까지 4차 년도에 걸쳐 시흥환경기술개발센터에서 시흥시 악취모니터링 시스템을 구축하기 위해 시화반월 산단 내 악취배출업체 2,000여 개소의 작업장, 공정, 방지시설을 대상으로 직접관능법을 이용한 복합악취 조사와 악취물질 기기분석을 실시하여, 이를 토대로 실시간 악취배출원 추적 시스템을 구축하고, 산단 주변 민원인 악취모니터링 요원을 양성하여 주민악취모니터링 시스템을 실시간으로 운영함으로써 악취가 발생되면 바로 어느 사업장에서 악취를 배출하였는지 추적해 내어 신속히 대응할 수 있는 체제를 구축하였다.<sup>21)</sup>

#### 4. 서울 난지도 매립지 조사사례

서울시(2000년)에서는 서울시 난지도 지역에서 발생하는 악취물질의 종류와 특성, 발생원인 등을 측정·조사하여 월드컵 경기에 미치는 영향을 최소화하기 위해 각 발생원별 저감대책을 마련하고자 “난지도지역 환경성 검토 및 친환경적 정비방안(악취관리)” 연구를 수행하였다.<sup>52)</sup> 조사결과 주요 배출원은 난지하수중계펌프장, 난지하수처리장, 음식물처리장 등으로 악취강도가 2~4도로 매우 심하였다.

직접관능법의 경우 매립지 상부에서 악취가 높게 감지되었으나 기기분석 결과 악취물질들이 검출되지는 않았다.

## 5. 여수 산단 조사사례

여수 산단 지역의 악취물질과 관련하여 조사된 연구는 KIST(1996년)에서 “여천공단 주변마을 환경영향 및 대책에 관한 연구”<sup>53)</sup>에서 암모니아 및 황화수소를 5개 지역에서 측정하였다. 이 결과 암모니아는 환경 기준치를 만족하고 있었으나 황화수소는 공장부지 경계뿐만 아니라 주거지역인 지점에서 악취배출허용 기준치를 초과한 것으로 조사되었다. 이에 대한 문제 해결을 위해 1997년 국립환경연구원에서 “여천공단 환경오염대책 마련을 위한 오염실태 정밀조사 사업”을 실시한 결과, 황 화합물 중 황화수소와 톨루엔이 다소 높은 농도를 보여 주요 악취원인 물질로 판명되었다.<sup>54)</sup>

Table 2.12와 같이 2002년도 전남지역 환경기술개발센터(JETeC)의 조사결과, 암모니아 성분 농도는 KIST(1996)에서 조사한 자료와 거의 비슷한 수준으로 나타났으며, 황화수소 성분은 KIST(1996) 조사 보다는 높았고, 국립환경연구원 보다는 약 1/5 수준으로 측정되었다. 그 밖의 다른 황 화합물질 농도는 이전의 연구조사에서는 거의 불검출(N.D)로 보고되었으나, 2002년도 JETeC 연구에서는 메틸메르캅탄과 다이메틸다이설파이드 성분에서 저농도로 검출되고 있었다. BTX 등 방향족 화합물은 전반적으로 과거 조사에 비해 낮은 농도로 조사되었다. 그러나, 여수 산단 지역은 울산공단과 같이 석유화학 관련 시설이 집중되어 있어 악취를 유발할 수 있는 물질들이 다량 배출될 수 있기 때문에, 이에 대한 장기적인 관리방안 마련이 시급히 요구되었다. 2004년 연구결과 여수 산단 사업장 배출시설에서 배출되는 악취물질은 주로 황 화합물, 방향족화합물, 카보닐류, 지방산화합물, 아민류인 것으로 나타났으나, 사업장 특성에 따라 다소 차이가 있었다.<sup>56,57,58,59)</sup>

Table 2.12. Research case for odor emission in Yeosu Industrial Complex<sup>5)</sup>

	KIST <sup>1</sup>	국립 환경과학원 <sup>2</sup>	JETeC <sup>3</sup>	JETeC <sup>4</sup>	JETeC <sup>5</sup>
측정 년도	1996	1997	2002	2003	2004
측정 지점 및 일자	1차 : 5(4/13-4/15) 2차 : 5(8/19 8/21) 3차 : 5(1/17 1/19) 4차 : 5(5/23-5/25)	11(1996. 12. 13 ~ 1997. 4. 7) 상시 : 6일 간격 측정	1차 : 35(02. 5.27-6.12) 2차 : 39(02. 8.26-8.30) 3차 : 39(02. 10.14-10.18) 4차 : 39(02. 12.4-12.10)	.39개 지점 : 주거지역, 사업장부지경계지역, 약취 민원지역, 대조지역	.28개 지점 : 11개 사업장, 약취 민원지역
측정 항목	3 개 (NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, HF)	5 개 (H <sub>2</sub> S, 메틸메르캅탄 등)	약 22 개 (향후 개정 강화될 물질)	.약 19개(향후 개정 강화 될 물질) .TOP-10 주요 물질	.약 19개 (향후 개정 강화 될 물질)
분석 기기	흡수관 (습식실험)	흡수관 (습식실험) 용기포집법 (GC)	GC-FPD, GC-FID, UV, GC-MSD, HPLC	GC-FPD, GC-FID, UV, GC-MSD, HPLC, GC-NPD, Odor meter	GC-FPD, GC-FID, UV, GC-MSD, HPLC, GC-NPD, Odor meter
평가	- 지속적인 측정자료 부족 - 항목 및 측정 지점의 부족 - ppm 단위측정	- 지속적인 측정 자료 부족 - 채취시간의 일관성 결여 - 항목 및 측정 지점의 미비	- 직접 관능법과 기기분석법 병행 - 약취실태 및 공간 분포 조사 - 약취관리방안 수립	- 직접 관능법과 기기분석법 병행 - 황 화합물 냄새지수 측정 - 약취실태 및 공간분포조사 - 약취물질의 보완 조사 및 정밀조사 - 주요 약취 원인 물질 및 성분별 배출원 규명 - 약취발생 저감 및 적합한 관리방안 도출	- 직접 관능법과 기기분석법 병행 - 황 화합물 냄새지수 측정 - 11개 사업장방지 시설 전후단계 대한 약취실태 조사를 통한 약취배출물질 평가 - 약취발생 저감 및 적합한 관리방안 도출

1. KIST, 여천공단 주변마을 환경영향 및 대책에 관한 연구, 1996.
2. 국립환경연구원(NIER), 여천공단 환경오염대책 마련을 위한 오염실태정밀조사사업, 1997
3. 전남지역환경기술개발센터(JETeC), 여수산산 약취실태조사 및 관리방안, 2002
4. 전남지역환경기술개발센터(JETeC), 여수산산 약취실태조사 및 관리방안, 2003
5. 전남지역환경기술개발센터(JETeC), 여수산산 약취실태조사 및 관리방안, 2004

## 2.3.2 외국

악취는 인구밀도가 높고 비교적 산업화된 나라에서 문제화되고 있어 일본과 우리나라를 포함한 몇 개 나라에서 주요 환경문제로 대두 되었다. 그러나 미국과 유럽에서는 비교적 중요도가 낮은 문제로 취급되고 있다. 유럽과 미국을 중심으로 한 악취관련 연구는 대상이 산업단지 뿐만 아니라 대단위 목축업이나 특수시설(공항 등)로 다양한 편이다.

Fenger et al.(2006)<sup>60)</sup> 등은 코펜하겐 공항의 비행기 엔진에서 배출되는 악취물질을 olfactometry법과 기기분석법을 통해 탄화수소와 알데하이드 물질의 거동을 모델링한 결과 거주지에서 한계수치 이상이 검출되었다고 보고하였으며, Dincer and Muezzinoglu(2005)<sup>61)</sup>은 도축산업, 석유화학산업, 위생매립지에 대한 악취조사에서 도축공정내부와 상업적 폐기물 매립지에서 고농도의 악취가 발생된다고 보고하였다. Leach 등(1999)<sup>62)</sup>은 도시소각로, 폐기물집하장 및 하수처리공장 인근에서 대기 중 VOCs의 현황을 조사하여 이들 설비가 악취의 주요 발생원이며, 악취물질이 대부분 방향족, 염소 및 유기 황 화합물로 구성되어 있음을 보고하였다. 유럽에서의 악취측정은 olfactometry법에 의한 관능측정이 일반화되어 있으나 전자코(electronic noses)와 병행된 악취측정을 통해 저농도의 환경대기 악취 뿐만 아니라 고강도의 악취에도 대응하는 효과적인 평가 방법에 대한 연구도 시도되었다(Littarru, 2006).<sup>63)</sup> US EPA(1996)<sup>64)</sup>은 돼지축산업에서 방출되는 악취의 환경영향평가가 지침서를 배포한 바 있으며, 악취물질의 건강상의 위해나 증상에 대한 연구에서는 악취 인지능력과 잠재적인 건강상의 위해성과의 상관관계는 없으나 악취강도에 따라 자극의 세기는 증가하는 것으로 나타났다(Dalton et al.(1997); Rosenkranz and Cunningham(2003))<sup>65,66)</sup>

악취연구에 있어 미국을 포함한 유럽과 우리의 가장 큰 차이점은 우리는 악취배출 현황과 악취제거 처리기술에 대한 연구가 많은 반면 서구나라들은 악취배출농도에 따른 수용지점(피해지점)에서의 반응형태나 배출된 악취의 예측과 평가 모델식 및 parameter의 개발에 대한 연구가 많다는 것이다. 이들 연구 중 James and Nicell(2003)<sup>67)</sup>은 악취물질의 농도를 조절하여 olfactometry법을 이용한 측정을 통

해 악취의 감지수준(probability of detection), 식별수준(probability of discrimination), 불평수준(degree of annoyance)의 악취물질별 농도를 수식화하고자 하였고 Miedema et al.(2000)<sup>68)</sup>은 현장조사를 통해 얻어진 악취자료를 이용하여 지역사회의 산업악취로 인해 발생하는 악취불편과 악취노출 농도와의 관계를 수식을 통해 정량화하였다. 또한 Shareefdeen et al.(2005)<sup>69)</sup>은 도축 및 가공공정에서 발생하는 악취의 biofilter 처리를 위한 악취배출량 산정식 개발 연구를 하였으며, Sarkar and Hobbs(2002)<sup>70)</sup>는 Weber-Fechner law 등 다수의 모델식을 이용한 악취강도와 농도와의 비례관계를 연구하였다. 아울러 Sironi et al.(2005)<sup>71)</sup>은 매립지에서 배출되는 악취물질로 인한 악취피해의 예측과 평가를 위한 배출계수를 산정하였으며 Henshaw et al.(2006)<sup>72)</sup>은 확산모델을 이용하여 산업시설들에서 배출되는 악취로 인한 피해를 평가하는 인자를 다양한 시나리오 상황에서 계산하였다. 이와 같이 수용체인 주민생활과 관련한 악취물질과 불쾌감의 관계에 대한 모델식의 연구가 비교적 많으며 또한 광활한 지형적 특성상 대기 모델링을 이용한 악취 거동과 평가에 대한 연구도 활발한 편이다.

### 2.3.3 악취방지기술

악취는 발생원에 따라 그 성분이 각각 다르기 때문에 발생성분에 적합한 악취처리가 필요하다. 종래의 악취처리법으로는 Fig.2.3에 나타낸 바와 같이, 크게 물리적 처리법, 화학적 처리법 및 생물학적 처리법으로 분류된다. 주로 사용되는 악취처리법으로는 흡착법, 약액세정법, 연소법 및 오존산화법 등이 있지만, 흡착법은 흡착제의 재생, 약액세정법은 폐액처리, 연소법은 연료비나 폭발의 위험성, 오존산화법은 악취의 선택성 등에 문제가 있다. 이러한 기존의 악취처리 기술은 지난 수십 년 동안 발전되어 왔으며, 어느 방법이든 장치의 대형화, 자동화, 내부구조의 복잡화, 고액 시설투자, 그리고 장기적이고 실제적인 운전에 대한 효과에서도 진보되어 왔다. 그러나 발생원 특성 변화에 따른 각각 취기성분 질과 양이 달라져 이에 적응하기 어려우며 운전비용이 많이 드는 문제점이 있다. 그리고 처리농도가 높을 경우 1개의 처리방식에 의해 악취를 완벽히 줄이기도 어렵다. 악취처리 방법 원리 및 특징은 다음과 같다.<sup>73,74,75)</sup>

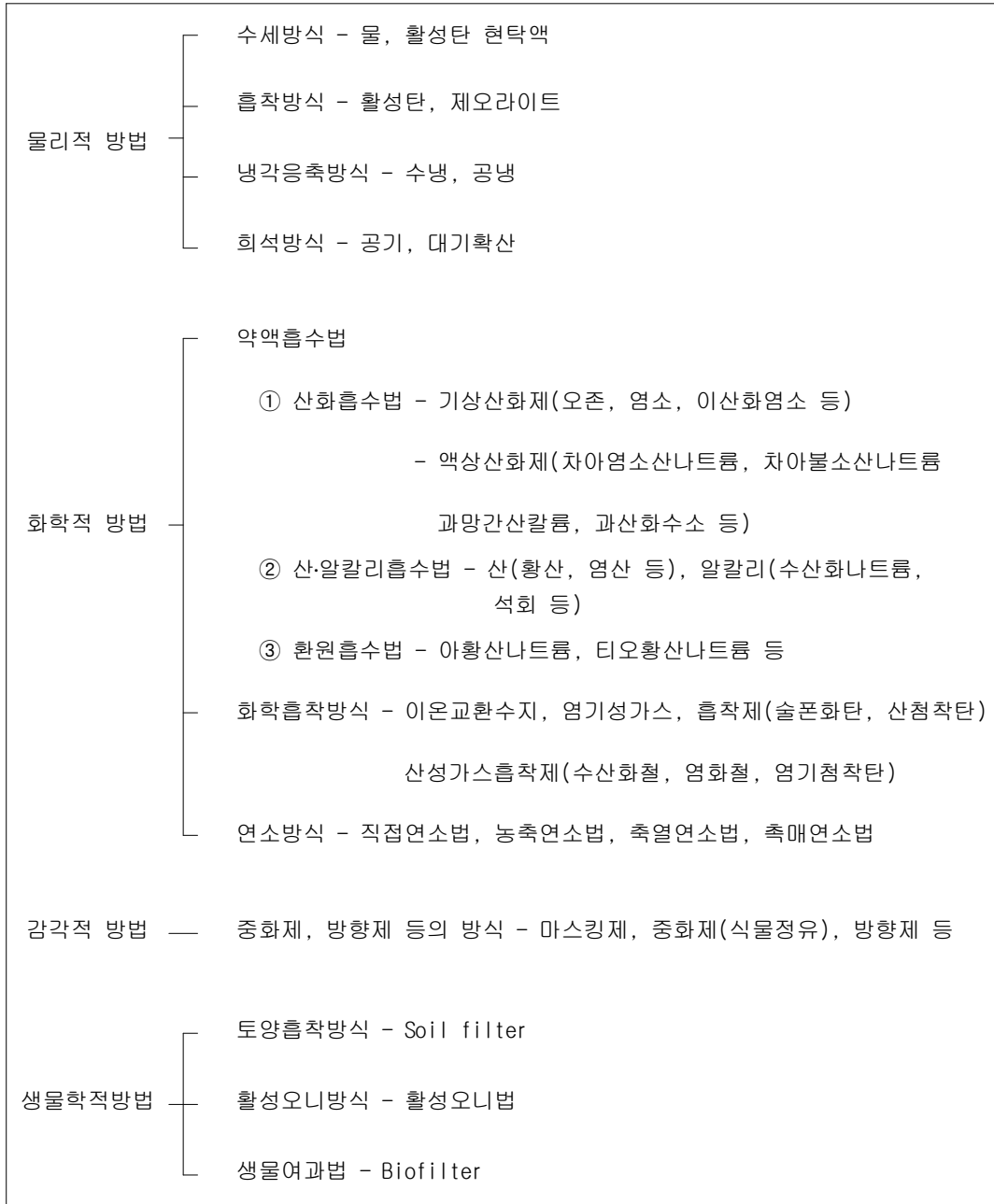


Fig. 2.3. The Classification of odor disposal technique.<sup>31)</sup>

## 1. 연소법<sup>76)</sup>

연소반응에는 각종 연료와 같이 가연물질과 공기 등의 산화제 사이에서 발생하는 산화반응, 단일물질의 발열 분해반응 또는 그것들의 복합된 반응이 있다. 연소를 지속하기 위해서는 연소반응이 일어나는 부분에 산화제의 공급이 있어, 그 부분의 온도가 연소반응을 유지하는데 충분한 에너지가 필요하다. 또한 가연물질과 산화제가 적당한 비율·농도로 혼합되어, 최초로 연소반응을 개시, 즉 발화시킬 수 있다.

일반적으로 가연물질로 알려져 있는 물질의 대부분은 탄소, 수소 및 산소로 구성되어 있다. 그것들과 산소와의 사이에서 연소가 발생하며, 가연성물질의 연소에 의해 산화반응이 완료되며, 이산화탄소와 물이 생성되고 연소열이 발생한다. 연소법에는 크게 나누면 직접연소법, 농축연소법, 축열연소법 및 촉매연소법이 있다.

### 가. 직접연소법 (T0 : Thermal Oxidizer)

직접연소법은 처리가스가 일정한 산소와 공존상태에 있을 때, 처리가스 성분이 발화점 이상의 로내 온도를 유지하고, 일정한 체류시간을 취하는 것에 의해 순간적으로 고온 산화분해하여, 유기물인 이산화탄소와 물로 분해하는 방법이다. 직접연소법에서는 처리가스온도, 체류시간 및 처리가스, 버너화염의 고효율 혼합의 3가지 조건을 모두 동시에 충족시키지 않으면, 높은 탈취효율은 얻을 수 없다. 보통 처리온도는 650~800℃로 처리가스성분의 발화점에 따라 설정한다. 체류시간은 보통 0.4~1.0초이다. 직접연소법 장치의 주요기관으로는 연소장치, 연소로, 혼합장치, 열교환기, 송풍기가 있다. 최근에는 에너지 절약의 관점에서 폐열 보일러, 핫 에어 회수장치 등의 폐열회수장치를 부설하는 경우가 많다. 직접연소법의 특징은 가스온도나 농도가 높을 때 경제적이며, 악취성분이 완전히 분해되기 때문에 악취 잔류분이나 2차 공해가 전혀 없으나, 고온처리에서 오는 연료비가 비싸다는 것이 단점이다.

### 나. 농축연소법 (RCTO : Rotary Concentrated Thermal Oxidizer)

직접연소의 단점인 보조연료의 주입을 최대한 감소시키기 위해 전단에서 활성탄이나 제올라이트 등을 이용한 농축기를 사용하여 풍량을 감소시키고 농도를 증대



시킨 후 연소시키는 방법으로 연료가 직접 연소법보다 적게 든다는 장점이 있다.

#### 다. 축열연소법 (RTO : Regeneration Thermal Oxidizer)

축열연소법은 세라믹제 축열재를 사용하여, 축열과 방열을 반복하는 열교환에 의하여 열회수율이 95%이며, 중·저농도의 배기가스도 연소소비량이 적은 경제적인 탈취장치이다. 기본적인 구조는, 윗부분의 연소실에 연결되는 축열재를 총진한 3탑으로 구성되어 있고, 배기가스는 탑 아래에서 들어와 연소실에서 연소 처리된 후 탑 아래로 배출되도록 되어 있다. 탑의 하부에 공급된 배기가스는 상승하면서 축열재로부터 흡열하고, 상온하여 연소실로 들어간다. 연소실에서 고온 처리된 배기가스는 다음의 탑을 하강하는 동안에 열을 축열재로 흡열시키고, 배기가스는 냉각되어 탑 하부로 배출된다. 1~3분마다 배기가스의 흐름이 바뀌기 때문에, 배기가스와 축열재 사이에서 수열과 방열이 반복되며 열교환이 행해진다.

#### 라. 촉매연소법 (CTO : Catalytic Thermal Oxidizer)

촉매연소법은 촉매를 이용하여 배기가스 내에 함유되어 있는 악취물질을 접촉산화반응 즉 연소하여 무취 화시키는 방법으로, 화학적으로는 보통의 연소분해와 같다. 악취물질이 탄화수소 및 그 산소함유화합물의 경우에는 완전 연소하는 것에 의해 탄산가스과 물을 생성하는 동시에 반응열을 발생시킨다. 촉매연소법은 통상 200~400℃의 저온에서 악취물질의 연소효율이 99%이상으로 보조연료의 경비를 경감시킬 수 있는 방법이다. 촉매의 종류는 백금 또는 팔라듐을 활성금속으로 한 귀금속 촉매가 주류를 이루지만 일부에서는 망간 계 등의 비귀금속 촉매도 사용되어진다. 촉매연소법의 특징은 50~1,000 m<sup>3</sup>/hr 정도의 처리가스 용량이 효과적이고, 하수, 분뇨처리장, 식품공장, 유기비료공장, 석유화학, 피혁공장 등에 폭넓게 적용 가능하며, 특히 탄화수소계의 악취물질의 제거에 유효하다.

촉매연소의 장점은 낮은 연료 요구량, 낮은 운전온도, 단열재가 필요 없고, 화재위험이 적고, flashback 문제를 감소시키며, 적은 부피와 크기를 요구한다는 점이다. 단점으로는 초기비용이 고가이고, 촉매독 문제, 입자상 물질의 전처리가 필요하며, 촉매를 재생하지 못하면 폐기하여야 한다는 문제가 있다.

## 마. 기타 연소법

촉열식과 촉매법을 혼합한 촉매연소방식도 개발되어 저농도 배기가스용으로 사용되고 있다. 촉열식 촉매연소 법은 폐열을 최대한 회수하여 이를 흡기가스 예열에 이용하는 것이며, 이 폐열 회수를 극대화하기 위하여 열교환기를 사용하지 않고 표면적이 넓은 세라믹을 직접 가열 및 냉각하는 방법을 사용한다. 또한 촉열연소기의 원리를 이용하여 연소 온도를 낮추기 위하여 촉열재 상부에 촉매를 사용하는 방법으로 연소온도는 촉매 종류나 유기물에 따라 차이가 있으나 350 ~ 500℃ 내외에서 운전된다.

Fig.2.4에 촉열식 촉매연소(RCO : Regenerative Catalytic Oxidation) 장치의 계통도를 나타내었다.

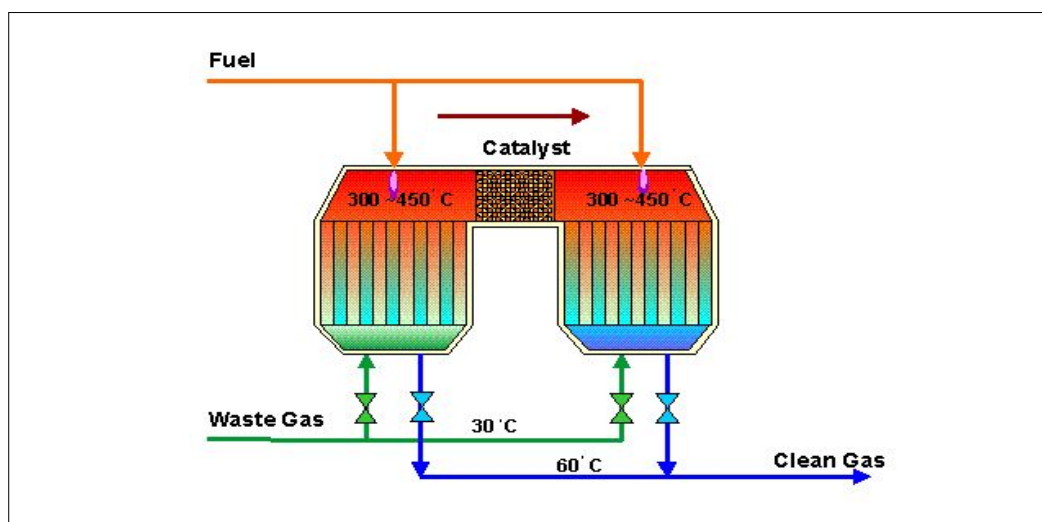


Fig. 2.4. The flow chart of RCO apparatus.<sup>27)</sup>

## 2. 흡착법

흡착법은 악취물질을 활성탄, 이온교환수지 등에 흡착시켜 제거하는 방법으로 악취성분과 흡착제의 대표적인 반응형태는 Table 2.13과 같다.

흡착제는 종류에 따라 산성계, 염기성계, 중성계로 구분 될 수 있다. 현재 사용하고 있는 흡착제 중에는 활성탄의 사용량이 가장 많고 수분이 존재하여도 다른 성분을 흡착하려는 특성을 가지고 있으며 분자량이 비교적 크고 친수성이 아닌 성

분 즉 소수성 성분에 대해서는 흡착량이 크다.

활성탄은 일반적으로 저농도 혼합 악취의 제거용으로 광범위하게 이용되고 있는데, 탈취효과가 아주 높기 때문에 타방식과 조합 처리 시 1차 처리된 잔존 악취의 제거방법으로도 많이 적용되고 있다. 반면 매연이나 분진을 함유한 가스에 대해서는 전처리가 필요하고 고농도의 악취물질에 대하여는 흡착능력의 한계로 인하여 흡착제의 사용기간이 단축되는 문제점이 있다.

Table 2.13. Reactions for odor component and absorbents<sup>75)</sup>

System	Odor component	Main reaction
Alkalinity	Ammonia	$NH_4 \xrightarrow{HA} (NH_4) \cdot A$
	Trimethylamine	$(CH_3)_3N \xrightarrow{HA} \{(CH_3)_3N\} \cdot HA$
Acidity	Hydrogen sulfide	$H_2S \xrightarrow{NH_3} S, H_2SO_4$
	Methyl mercaptan	$CH_3SH \xrightarrow{O_2} (CH_3)_2S_2 \rightarrow$ Physical absorption
Neutrality	Dimethyl sulfide	$(CH_3)_4S_2 \xrightarrow{O_2} (CH_3)_2SO$
	Dimethyl disulfide	$(CH_3)_2S_2 \xrightarrow{O_2} CH_3SO_3H$
	Acetaldehyde	$CH_3CHO \rightarrow$ Physical absorption
	Styrene	$C_6H_8 \rightarrow$ Physical absorption

흡착제의 종류는 아주 다양하며 사용목적에 따라 최적의 흡착제를 선정해야 하며 활성탄, 실리카겔, 알루미나, 백토, 물리큐라시브 등이 있다. 흡착법의 이점은 건식조작으로서 습식조작과 달리 배수나 배액을 처리할 필요가 없으며 설비비가 비교적 싸고 유지관리가 쉬우며 광범위한 악취가스 제거에 효과적이라는 점이다. 그러나 흡착법에 반드시 따라 다니는 문제는 활성탄 등의 흡착제 재생으로써 유지관리비용 및 원활한 흡착제의 주기적인 교체가 필수적이다.

Table 2.14에는 활성탄의 악취성분별 흡착효과를 나타내었다.

Table 2. 14. Absorption effect of activated carbon for odor component<sup>75)</sup>

Absorbent effect	Odor compounds
Large	Fatty Acid, Mercaptan, Phenol, Hydro carbon, (Aliphatic tribe and Aromatic tribe), Alcohol compounds(except Methanol), Ketone compounds, Aldehyde compounds(except Formaldehyde), Ester, etc
Middle	Hydrogen sulfide, Sulfurous acid gas, Chlorine, Formaldehyde, Amine compounds, etc
Small	Ammonia, Methanol, Methane, Ethane, etc

### 3. 약액세정 법

약액세정 법은 화학반응과 물리적인 흡수법을 이용해 악취 가스나 유해가스를 제거하는 가장 일반화된 방법이다. 화학반응은 악취가스와 약액의 접촉효율을 높여 기-액 평형에 의한 중화반응과 산화반응으로 구분할 수 있으며, 대표적인 반응은 Table 2.15와 같다.

중화반응은 암모니아, 아민류와 같은 염기성 악취가스를 산성약품과, 황화수소, 메르캅탄 류와 같은 산성가스를 염기성약품과 중화 반응시켜 염 화합물 상태로 제거하고, 산화반응은 NaOCl, HClO, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub> 등의 산화제를 사용하여 산화 분해시켜 제거한다.<sup>84)</sup> 약액세정 법에서의 처리공정은 충전탑(Packed Tower), 분무탑(Spray Tower), 벤투리스크러버(Venturi Scrubber), 제트스크러버(Jet Scrubber), 싸이클론스크러버(Cyclone Scrubber)등 여러 종류가 있으며, 단독 또는 두 종류 이상을 복합설치하여 효율을 증대시켜 처리하는 방법 등이 있다. 약액세정 법을 선정 시에는 산성, 염기성 가스를 별도로 처리하는 것이 바람직하며 사용약품에 대한 안정성, 장치에 대한 부식, 위험물 대책 등과 화학반응에 따른 부산물 처리 대책, 2차 오염대책, 폐수처리문제, 유입악취가스가 다양한 경우 다른 처리방법과 조합 처리 등을 종합적으로 검토하여야 완전한 처리가 이루어진다.

Table 2.15. General reaction of odor component and absorbent material<sup>75)</sup>

System	Odor component	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	NaOH	NaOCl
Alkalinity	NH <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> →(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub> +HCl →NH <sub>4</sub> Cl	Not reaction	NH <sub>3</sub> +NaOCl →N <sub>2</sub> +NaCl+H <sub>2</sub> O
	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N+H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> →(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N+HCl →(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> NHCl	Not reaction	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N+NaOCl →(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> NO+NaCl
Acidity	H <sub>2</sub> S	-	-	H <sub>2</sub> S+NaOH →Na <sub>2</sub> S+H <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> S+NaOCl →Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +NaCl Na <sub>2</sub> S+NaOCl+H <sub>2</sub> O →S+NaOH +NaCl
	CH <sub>3</sub> SH	-	-	CH <sub>3</sub> SH+NaOH →CH <sub>3</sub> SNa+H <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> SH+NaOCl →CH <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> H+HCl
Neutrality	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	-	-	-	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S+NaOCl →(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>
	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	-	-	-	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> +NaCl →CH <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> H+HCl
	CH <sub>3</sub> CHO	-	-	-	CH <sub>3</sub> COOH
	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	-	-	-	-

#### 4. 토양탈취법

토양탈취법은 악취물질을 토양층에 통과시켜 간극수에의 흡수, 토양입자에의 흡착, 토양미생물에 의한 생물화학적 분해 및 토양성분과의 화학반응에 의한 중화 등의 복합적인 작용, 효과에 의해 취기를 경감, 제거하는 방법이다.

토양에는 많은 미생물이 서식하며 사상균, 세균, 조류, 원생동물의 4가지 종류는 에너지원의 종류와 생체 구성물질의 합성에 필요한 영양원의 종류에 따라 탈취 및 분해하는 미생물들이 다르게 작용한다. 이들 미생물의 증식에 영향을 주는 인자로는 pH(중성 또는 약알칼리성이 적합), 온도(20 ~ 30℃에 적합), 산소(호기성균의 활동에 절대 필요), 이산화탄소(세균의 증식에는 일정량의 CO<sub>2</sub>가 필요)가 있다.<sup>77)</sup>

토양탈취법은 토양이 건조되는 것을 피하기 위해 살수장치가 필요하며 암모니아나 황화수소도 제거할 수 있다. 운전비가 낮고 유지관리가 용이할 뿐만 아니라, 모든 악취에 대해 고농도의 취기까지 처리 가능하다는 장점이 있다. 그러나 높은 통기 저항

으로 인한 압력손실의 감소를 위해 넓은 토지면적 (230 m<sup>2</sup>/100 m<sup>3</sup>/min)을 필요로 하기 때문에 도시지역에서는 처리 풍량 (1,000 m<sup>3</sup>/min)의 제한을 받을 뿐 아니라, 토양 공극의 폐쇄 가능성 및 강우 시 단락류가 발생할 가능성이 있으며, 한냉지에서는 동결방지에 대한 대책이 필요하다는 단점이 있다.

## 5. 활성슬러지탈취법

활성슬러지탈취법은 1914년 영국의 Andern과 Lockett에 의해 개발된 유기성폐수의 처리공법으로서 여러 종류의 미생물이 폐수 중의 유기물을 영양원으로 받아들여 호기적으로 분해하기 때문에 적용범위가 넓은 것이 특징이다. 활성슬러지탈취는 폭기조 주변의 취기가 매우 약하다는 점에 착안하여 혼다 등이 1967년 개발한 기액 접촉방식에 의한 악취물질 제거방식으로서 악취물질을 폭기조에 넣어넣어 폭기조 내 미생물을 이용하여 제거하는 방법이다.<sup>77)</sup> 이 방식은 기존의 폭기조를 이용하기 때문에 설치비가 적게 든다는 장점이 있으나, 단독으로는 사용될 수 없고 활성탄 등 후속처리가 필요하며, 압력손실이 크기 때문에 처리 풍량(100 m<sup>3</sup>/min)이 제약을 받는다는 단점도 있다.

## 6. 저온 응축법

악취물질을 포함하는 배기가스의 온도를 낮춤으로서 악취물질을 응축시켜 제거하는 탈취 방법으로 악취물질을 그대로 회수 할 수 있다는 장점이 있다. 제거효율은 다른 방법에 비하여 높지는 않지만, 고농도 악취물질을 제거하는데 대단히 유효하며, 주로 유기용제 등 탄화수소 관련시설에 설치한 예가 많다. 저온 응축법은 냉각 전·후의 온도차가 클수록 제거효율이 높으므로 비교적 온도가 높은 배기가스 처리에 적용되며, 처리 가스량이 소량인 곳에 적합하다. 또한 악취가스가 가연성일 경우 폭발한계와의 관계에 주의해야 한다.

## 7. 생물여과법

생물여과법의 악취 제거 원리는 반응조 내부의 충전된 담체 표면에 생물막(Biofilm)을 형성하고 담체가 충전된 바이오필터로 이송된 가스는 생물막 표면에 흡착, 흡수되고 미생물에 의한 산화 반응으로 탄산가스와 수분 등으로 분해됨으로써 악취문제를 해결하는 기술이다. 악취 및 VOCs의 처리를 위해 생물여과장치에 사용되는 미생물에는 박테리아, 곰팡이, 방사선균 등이 있다.<sup>78)</sup>

생물여과 장치에서 가장 중요한 문제는 악취, VOCs, HAPs 등을 생물학적으로 산

화시키는 특정 미생물을 유지하기 위한 유기물질의 공급으로 담체는 미생물이 유기물을 에너지원으로 사용할 수 있도록 환경을 제공하여야 한다. 생물여과 공정에서 생물학적 산화를 최적화하려면 미생물에게 최적 환경을 제공해야 하며 이를 위해 습도, 온도 및 pH를 조절하여야 한다.

따라서 생물여과법은 물에 대한 용해도가 높고 분자량이 작은 화합물의 제거에 매우 적합하다. 생물여과를 통해 효과적인 제거가 가능한 화합물로는 알칸, 알코올, 알데히드, 케톤, 암모니아, 황 화합물, 아민류, 석유 증류제품과 비할로겐방향족 등을 들 수 있다.

생물여과법에 의한 저농도의 약취 및 VOCs 계열의 석유화학제품의 제거효율 Table 2.16에 나타내었다.

Table 2.16. Removal efficiency of petrochemicals by biological filtration<sup>78)</sup>

Compounds	Input con.(ppb) <sup>a</sup>	Out con.(ppb) <sup>b</sup>	Removal efficiency(%)
Benzene	ND	90	-
Toluene	4,700	330	93
m,p-Xylene	34,000	890	97
o-Xylene	17,000	750	96
1,3,5-Trimethylbenzene	5,800	550	91
1,2,4-Trimethylbenzene	11,000	150	99
isopentane	ND	10	-
n-pentane	ND	9.7	-
Cyclopentane	ND	ND	-
n-Hexane	ND	50	-
Methylcyclopentane	160	150	7
2,2,4-Trimethylpentane	410	290	29
n-Heptane	380	180	53
Methylcyclohexane	710	430	39
n-Decane	190	ND	97
n-Octane	2,400	550	76

EPA Method T0-14, a : Standard of Input concentration 100 ppb, b: Standard of Output concentration 6 ppb ; Wurinden, 1994.

## 8. 오존산화법

산화법의 일종이며 오존의 산화작용을 이용하여 악취물질을 산화분해 시키는 방법으로 오존 자체에 의한 은폐효과(Masking)를 경용하는 탈취방법이다. 이 방법은 황 화합물계통의 악취물질에는 비교적 효과(90%정도)가 있으나, 암모니아나 저급 아민류에 대해서는 효과(50%)가 떨어지며 수세법과 병용할 때 효과(85%정도)가 증대된다. 오존산화법은 화학반응에 의해 악취물질이 치환된 후 환원되지 않는 장점이 있으나 처리 후 잔존 오존이 인체에 유해하므로 2차 오염대책이 필요하고 운영상 전력비와 유지관리기술 등을 검토해 볼 필요성이 있다.<sup>78)</sup>

오존과 악취물질의 반응식은 Table 2.17과 같다.

Table 2.17. Reaction type of odor compounds and ozone

Odor compounds	Reaction type
H <sub>2</sub> S	$3\text{H}_2\text{S} + \text{O}_3 \rightarrow 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{S}$ $3\text{S} + 6\text{O}_3 \rightarrow 3\text{SO}_2 + 6\text{O}_2$ $3\text{SO}_2 + 3\text{O}_3 \rightarrow 3\text{SO}_3 + 3\text{O}_2$ $3\text{SO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2\text{SO}_4$
CH <sub>3</sub> SH	$2\text{CH}_3\text{SH} + \text{O}_3 \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{S}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2 + 5\text{O}_3 \rightarrow (\text{CH}_3\text{SO}_2)_2\text{O} + 5\text{O}_2$
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	$(\text{CH}_3)_2\text{S} + 2\text{O}_3 \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{SO}_2 + 2\text{O}_2$
(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	$(\text{CH}_3)_3\text{N} + 3\text{O}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{NO}_2 + 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

## 9. 막 분리법

막 분리법은 gas stream이 고무표면 또는 반투과성 유리질로 구성된 막을 통과하는 분압 경사도를 이용하여 악취 및 VOCs를 제거하는 방법으로 최근에 많이 이용되고 있다.

막분리 system을 설치하기 위해서는 예상되는 gas stream의 구성성분과 더불어 막의 화학적 안정성을 고려해야 한다. 막은 폐쇄현상에 민감하므로 막 분리 system의 사용에 앞서 오일성분이나 입자성분의 제거가 필요하다. 막 분리는 90~99.9%의 높은 효율을 보이는 것으로 보고되고 있으며, 주요 관점은 낮은 permeate stream 농도에서 제거효율을 더욱 높이는데 있다. 막 분리 기술은 여러



가지로 개발되어 왔으며, 현재 약 60개의 막 분리 system이 악취 및 VOCs 제어를 위해 설치·운영되고 있다. 탄소흡착에 적용하기 힘든 저분자량을 갖는 화합물 또는 고분자 성분에 적용 가능하다.

몇몇 악취방지기술의 특성 비교를 Table 2.18에, 방지기술별 장·단점을 Table 2.19에 나타냈다.

Table 2.18. Comparison of control technology for odor

Control	Capital	Management	Field application	Adaptability	Enormous volume disposal	Application of low-con. pollutants
Direct combustion	High	High	0	0	0	0
Adsorption	High	Medium	0	0	0	0
Absorption	Low	Medium	0	X	0	0
Condenser	High	Medium	0	X	X	0
Biological	Medium	Low	0	0	X	0
Catalyst oxidation	Medium	Medium	0	0	X	X
Masking	Low	Low	0	0	X	0
Photo catalysis oxidation	Medium	Low	X	0	X	0

\* Three types(High, Medium, Low)

Table 2.19. Summary and class of odor control technique<sup>76)</sup>

Control		Summary	Merit	Demerit	
C o m b u s t i o n	Direct combustion	악취가스를 800℃ 이상으로 가열하여 무해한 탄산가스와 물로 산화 분해하여 탈취	광범위한 유기용제의 탈취가 가능하다. 장치가 소형이므로 유지관리가 간단	연소열의 회수가 없다면 운전비가 고가이다. NOx 발생이 크다.	
	heat storage combustion	축열재에 의해 교환효율 (>80%)을 높인 연소장치	중간농도 배기가스를 경제적으로 탈취 NOx 발생이 적다	설치장소, 무게 등의 문제가 있으며, 비용이 고가이다	
	Catalyst combustion	200~350℃의 저온에서 촉매를 이용한 산화분해로 탈취	직접 연소법보다 운전비가 저렴하다. NOx 발생이 적다.	촉매 노화, 피독물질의 사전제거가 필요	
A b s o r b e n t	washing-deodorization	약제를 스프레이 화하여 화학반응에 따른 탈취약취물질 종류에 따라 물·산·알칼리·산화제 수용액 등이 사용된다.	설치비가 저렴하다 mist, dust도 동시에 처리가 가능 가스냉각효과가 있다	폐수 발생 약액농도 조정이나 계기점검 등 엄격한 일상 관리 필요 약품에 대한 안전대책 장치부식에 대한 대책 필요	
A b s o r p t i o n	r e c o v e r y	Stationary	활성탄을 충전한 복수탑을 전환하면서 흡착하여, 수증기로 탈취 냉각 응축하여 회수	역사가 깊고 실적이 많음 조작 간단 장치 높이가 낮다	폐수 다량 발생 케톤계 용제는 발화 방지대책이 필요 수용성 용제 회수 시 수분 다량 포함
		Fluidized	유동층에서 용제 흡착, 가열 탈취 활성탄이 순환하는 연속 회수장치 탈취가스로 질소 이용	폐수 소량 발생 케톤 용액제도 안전하게 회수 가능 회수용제 내 수분이 적음	장치 높이가 높다. 풍량이 대폭 변동할 때는 풍량 제어장치 필요
	concentration	저농도 가스에서 악취를 분리하여, 농축	대풍량의 배기가스도 경제적으로 처리 장치가 콤팩트화 되어 운영관리가 간단하다	활성탄 노화물질이 다량으로 포함될 때는 활용이 어렵다	
	exchange	Absorption apparatus	흡착제나 산화제를 충전하여 동풍 충전재의 효과 없어지면 신제품으로 교환	장치비가 저렴하고, 콤팩트 운전조작 간단	저농도 가스처리에 한정됨(고농도가스는 교환비용이 상승)
B i o l o g i c a l	Soil deodorization	악취가스를 토양층에 통풍시켜 토양 중 미생물로 분해·탈취	운전비가 저렴하고, 유지관리 용이 토양 상층은 환원 등 녹지에 이용 가능	처리 가능한 악취물질이 제한됨 빗물에 의한 통기저항이 크게 되어 링크 발생 넓은 장소가 필요	
	Bio-Filtration	미생물을 부착한 담체를 충전한 탑에 통풍시켜 미생물에 의해 해·탈취	장치가 콤팩트 유지관리 용이 운전비 저렴	처리가능물질 제한 미생물의 순응기간 필요 산성 폐액 처리 필요	
Masking		소·탈취제를 이용하여 감각적으로 악취 완화	간단하게 설치할 수 있고, 비용 저렴	악취물질을 저감시키는 것이 아니며, 무취화가 어려움	

## III. 연구의 범위 및 방법

### 3.1. 조사대상 사업장 및 기간

본 연구는 2009년 10월부터 2010년 7월까지 하남산업단지 내 사업장들 중 총 20개 사업장의 23개 방지시설 최종배출구에서 악취물질을 조사하였다.

사업장별로는 도장사업장 6개소, 도금사업장 4개소, 주물·주조사업장 7개소, 고무제조사업장 5개소, 폐유정제사업장 1개소에 대해 조사하였다. 조사대상 사업장은 악취 발생빈도가 높고 악취 민원이 많은 사업장으로, 3D업종이며 영세하고 악취에 대해 취약하여 악취 민원이 발생하여도 문제를 해결하기에 경제적으로 열악한 사업장이 대부분이다.

특히, 악취에 대한 전문적인 지식이나 기술이 없어 어려움을 많이 겪고 있는 사업장이 대부분으로 본 연구에서는 이러한 사업장의 실태와 현안사항을 파악하고 산업 현장에서 널리 분포되어 있는 악취발생원과 원인을 해석하여 근본적으로 악취발생을 저감하는데 도움을 주고자 하였으며, 현황을 Table 3.1에 나타냈다.

### 3.2 실험방법

#### 3.2.1. 측정지점

본 연구에서는 조사 대상으로 선정된 도장, 도금, 주물·주조, 고무제조, 폐유정제 사업장의 방지시설들 중 주로 악취가 많이 발생할 것으로 예상되는 방지시설(최종배출구)에서 시료를 채취하였다. 동일 사업장에서 공정별로 방지시설을 달리하는 경우는 별도의 사업장으로 구분하여 총 23개 지점을 대상으로 조사하였다.

악취에 대한 법적규제의 배출허용기준 측정은 복합악취를 측정하는 것을 원칙으로 하고 있으며, 사업장의 악취물질 배출여부를 확인할 필요가 있는 경우에는 지정악취 물질을 측정할 수 있도록 규정하고 있다.

Table 3.1. Summary of sampling facilities

Type of Industry		Sampling station (Outlet)	Period of the investigation	Control system
Painting Facilities (6)	Ha-P-1	Painting Facilities	2009. 10 ~ 12	Activated Carbon adsorption
	Ha-P-2		2010. 01 ~ 04	Filtration & Activated Carbon adsorption
	Ha-P-3		2010. 04 ~ 07	Wet Scrubber & Activated Carbon adsorption
	Ha-P-4		2010. 01 ~ 04	Filtration & Activated Carbon adsorption
	Ha-P-5		2010. 01 ~ 04	Wet Scrubber & Activated Carbon adsorption
	Ha-P-6		2010. 04 ~ 07	Centrifugal force & Filtration
Plating Facilities (4)	Ha-PL-1	Plating Facilities	2010. 04 ~ 07	absorption
	Ha-PL-2		2010. 04 ~ 07	absorption
	Ha-PL-3		2010. 04 ~ 07	absorption
	Ha-PL-4		2010. 04 ~ 07	Wet Scrubber
Casting Facilities (7)	Ha-C-1	electric induction furnace	2009. 10 ~ 12	Centrifugal force & Filtration
		Caster disposal		Centrifugal force & absorption
		Sorting facilities		Filtration
	Ha-C-2	electric furnace	2009. 10 ~ 12	Filtration
		De-moulded facilities		Filtration
	Ha-C-3	electric induction furnace	2010. 01 ~ 04	Filtration
Ha-C-4	heating furnace, Caster disposal	2010. 01 ~ 07	Wet Scrubber	
Rubber Produce Facilities (5)	Ha-R-1	steam facilities	2009. 10 ~ 12	Condensation & Centrifugal force & absorption
	Ha-R-2	Vulcanized facilities	2010. 01 ~ 07	Filtration & Activated Carbon adsorption
	Ha-R-3		2010. 01 ~ 04	Centrifugal force & Filtration
	Ha-R-4	mix facilities	2010. 01 ~ 04	Filtration & Activated Carbon adsorption
	Ha-R-5	Vulcanized facilities	2010. 04 ~ 07	Activated Carbon adsorption
Oil refinery Facilities (1)	Ha-O-1	heat, refine, waste gas burning	2010. 04 ~ 07	Incinerate

따라서 법적 기준을 적용하고자할 때에는 배출구에서는 복합악취를, 주변경계선에서는 복합악취와 지정악취물질을 측정하여 배출허용기준의 초과여부를 판단하고 있어 현행법규의 규제로는 악취를 근본적으로 저감시키기 위한 정확한 원인파악과 이를 개선시켜 나가는 데에는 큰 도움을 주지 못하고 있으며, 단순히 사업장에서 발생하는 악취물질의 확산여부에 따라 사업장의 수동적인 대처를 형성할 뿐이지 능동적인 대처방안 마련에는 미흡한 실정이다.

따라서 사업장별 악취발생원에 대한 정확한 자료를 얻기 위해 악취가 가장 고농도로 발생하고, 기상여건에 따라 멀리까지 악취영향을 미쳐 민원발생의 원인을 제공 할 수 있는 방지시설(배출구)에 대해 현행 악취방지법에서 규정하고 있는 17 종류의 지정악취물질을 포함해 총30개 항목을 측정·분석하여 악취를 유발하는 주요 원인물질 및 악취세기에 대하여 조사하였다.

### 3.2.2. 측정항목

본 연구에서는 악취물질 중 총30개 항목(질소화합물 - 암모니아와 트라이메틸아민, 황 화합물 - 황화수소, 메틸머캅탄, 디메틸설파이드, 디메틸디설파이드, 이산화황, 알데하이드류 - 아세트알데하이드, 폼알데하이드, 프로피온알데하이드, 뷰티르알데하이드, i- 발레르알데하이드, n- 발레르알데하이드, 아크로레인, 아세톤, 크로톤알데하이드, 벤즈알데하이드, o-톨루알데하이드, m.p-톨루알데하이드, 헥سال데하이드, 휘발성 유기화합물 - 스타이렌, 벤젠, 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤, 메틸아이소뷰티르케톤, 뷰티르아세테이트, i-뷰틸알콜, 클로로벤젠, 에틸벤젠)을 대상으로 각각 측정·분석 하였다.

### 3.2.3. 측정방법

#### 1. 악취물질별 시료채취 법과 시료채취 조건

악취물질의 측정은 기기분석법을 적용하였으며, 시료채취와 분석은 악취공정시험 방법(2007.11)<sup>3)</sup>에 준하여 실시하였다. Table 3.2에 각각의 악취물질에 대한 시료채취 및 분석 방법을 나타내었다.

Table 3.2. Sampling method and analysis instrument of odorous compounds

	Compounds	Method & amount of Sampling	Analysis instrument
Ammonia	Ammonia	Absorb solution method (50L)	UV (Agilent, 8453, U.S.A)
Sulfur compounds (5)	Hydrogen sulfide Methyl mercaptan Dimethyl sulfide Dimethyl disulfide sulfur dioxide	Attraction box method (Sampling bag) (10 L)	GC/PFPD (Agilent, 6890N, U.S.A)
An amine (1)	Trimethyl amine	Absorb solution method(50 L)	GC/NPD(Agilent, 6890N- Headspace Sampler, U.S.A)
The aldehyde (13)	Acetaldehyde Propionaldehyde Butylaldehyde l-Valeraldehyde n-Valeraldehyde Formaldehyde Acrolein Acetone Crotonaldehyde Benzaldehyde o-Tolualdehyde m.p-Tolualdehyde Hexaldehyde	2,4-DNPH Cartridge absorption method (5 L)	HPLC/UV (Agilent, 1100 GPC system, U.S.A)
VOCs (10)	Stylene Toluene Xylene Methyl ethyl ketone Methylisobutylketone Butylacetate Isobutylalcohol Benzene Chlorobenzene Ethylbenzene	Solid absorption tube method (Tneax -TA) (0.5 L)	GC/MDS (Agilent, 6890/5973N, U.S.A)

### 가. 암모니아 및 아민류

용액 흡수 법은 암모니아 및 아민류를 분석하기 위한 시료채취 방법으로 시료흡수를 위한 2개의 임핀저를 직렬로 연결하여 각각의 흡수 병에 흡수 액을 넣어 기포가 균일하게 발생하게 하여 채취하였고, 태양광선에 의한 시료채취의 방해를 막기 위해 차광할 수 있는 상자 속에 임핀저를 설치하였으며, 암모니아 및 아민류의 시료채취에 사용된 장치를 Fig. 3.1에 나타내었다.



Fig. 3.1. The sampling pump for amine type and ammonia.

암모니아 시료채취는 시료의 흡수를 위하여 붕산용액을 흡수 액으로 사용하였다. 시료는 용량 0.2 L의 경질유리제로 만든 흡수 병에 각각 20 mL의 흡수 액을 넣은 후 직렬로 연결하여 10 L/min의 유속으로 약취공기를 흡인하여 5분 동안에 총 50 L를 채취하였다.

트라이메틸아민의 시료채취는 암모니아와 동일한 흡수에 의한 임핀저 방식을 이용하였으며, 흡수 액으로는 묽은 황산용액을 사용하였다. 시료채취량은 암모니아 측정법과 동일하게 수행하였다.

### 나. 황 화합물

테들러백 채취법은 황 화합물(황화수소, 메틸머캅탄, 다이메틸설파이드, 다이메틸다이설파이드)들과 같은 불안정한 성분들을 확인 및 분석하기 위한 간접 흡인방법으로 Fig. 3.2와 같이 순간포집이 용이한 시료흡인상자와 시료채취 백인 테들러백을 이용하

여 채취하였다.

황 계열 악취물질의 시료채취에는 1 L/min 이상의 공기를 흡인 가능한 흡인상자에 테들러백을 연결하여 사용하였다. 시료채취 후에는 태양광에 의한 시료의 변질을 막기 위해 검은 봉지를 이용하여 실험실로 운반하였다.

모든 시료채취백은 시료채취 전 실험실에서 고순도 질소를 이용 3차례 이상 세척하였으며, 시료채취 전 현장 시료를 이용하여 2차례 세척을 실시한 후 시료를 채취하였다.

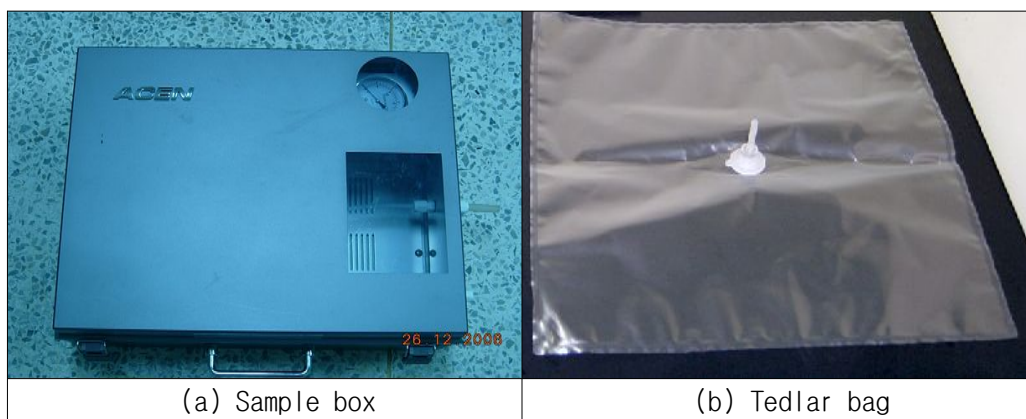


Fig. 3.2. Inhale a sample box(a) and Tedlar-bag(b)

#### 다. 휘발성 유기화합물(VOCs)

휘발성이 강한 휘발성 유기화합물은 신속히 시료채취를 하기 위해 Tenax 흡착관을 이용하여 채취하였다.

시료채취에는 0.1 L/min의 유량을 일정한 유속으로 흡인할 수 있는 Low-Flow Adaptor를 장착한 진공흡인펌프를 이용하여 5분 동안 실시하여 총 0.5 L의 시료를 흡착관에 흡착하였다. 특히, Tenax 흡착관은 수분이 많은 배출원에서 직접 시료채취를 할 경우 수분에 영향을 받을 수 있기 때문에 Fig.3.2에 나타낸 시료 채취 백에 1차 시료채취를 한 후, 그 시료 채취 백으로부터 다시 흡착관에 흡착시키는 방식을 채택하여 시료를 채취하였다.

Fig. 3.3에 VOCs 시료채취 장치 및 Tenax 흡착관을 나타냈다.



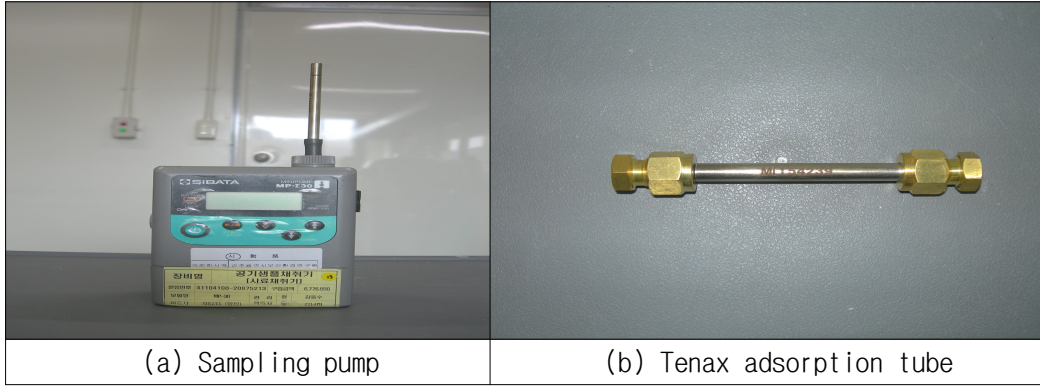


Fig. 3.3. VOCs sampling pump and tenax adsorption tube.

**라. 알데하이드류**

카르보닐 화합물인 아세트알데하이드를 포함한 알데하이드류 시료채취는 오존스크러버와 2,4-DNPH 카트리지를 직렬로 연결하여 실시하였다.

오존스크러버에 의해 DNPH와 반응을 일으키는 공기 중의 오존이 제거되고, 알데하이드류가 DNPH카트리지에 흡착하게 되는데, 1 L/min의 등속으로 채취가 가능한 Low-Flow sampling pump에 연결하여 총 5 L의 시료를 채취하였다. 알데하이드류도 VOCs와 동일하게 시료채취 백에 1차 시료채취를 한 후, 그 시료채취 백으로부터 다시 2,4-DNPH 카트리지에 흡착시키는 방식을 채택하였고, 시료채취가 끝난 후 카트리는 마개로 막은 후 차광이 가능한 밀폐용기에 보관하였다. Fig. 3.4에 2,4-DNPH 카트리지를 이용한 시료채취 장치와 오존스크러버 - DNPH카트리지를 나타내었다.

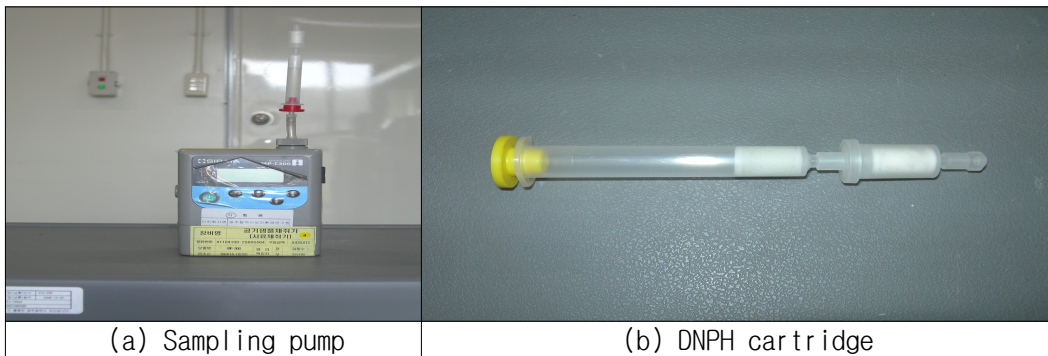


Fig. 3.4. The sampling pump for aldehyde type and ozone scrubber-DNPH cartridge.

## 2. 분석 방법

### 가. 암모니아

붕산용액을 흡수용액으로 사용하여 시료를 채취한 후 페놀 펜타시아노 니트로실 철(III)산 나트륨 용액을 가하여 섞은 후 차아염소산나트륨 용액을 혼합하여 25~30°C 에서 1시간동안 방치한 후 640nm 파장에서 흡광도를 측정하였다.

분석조건을 Table 3.3에 암모니아 분석을 위한 분석 장치를 Fig. 3.5에 나타내었다.

Table 3.3. Conditions and parameter used for UV-Photometer

분석기기	분석조건
UV	640nm에서 흡광도 측정



Fig. 3.5. Ammonia Analyzer.

### 나. 트라이메틸아민

트라이메틸아민 분석은 SPME-GC/NPD 방법을 이용하였다. 트라이메틸아민 분석을 위한 SPME-GC/NPD 분석방법은 일차적으로 고체상 미량흡착 파이버(SPME, Solid Phase Micro Extraction)에 흡착한 후, 이를 GC 주입구에서 탈착하여 NPD를 이용하여 분석하는 방식으로 실시하였다. GC의 분석조건을 Table 3.4에 나타내었으며, 분석 장치를 Fig. 3.6에 나타내었다.

Table 3.4. Conditions and parameter used for GC/NPD

Composition	Parameters	Conditions
SPME	Injection Mode	SPME MODE
	Sample temp.	35 °C
	SPME Fiber	75 μm Carboxen/PDMS
	Preincubation Agitation Speed	600 rpm
	Extraction Time	15 min
	Desorb Time	3 min
	GC Cycle time	21 min
GC (Agilent 6890N)	Column	DB-1 (30 m x 0.53 mm x 5.0 μm)
	Column flow	1.0 mL/min
	Oven temp.	50 °C(3min), 10 °C/min heat to 200 °C(5min)
	Injector temp.	250 °C(split ratio 1:1)
	Gas flow	make up(He) : 5
	Detector temp.	320 °C



Fig. 3.6. Trimethylamine Analyzer.

#### 다. 황 화합물

시료채취 백에 간접채취 된 황 계열 악취물질은 그 화합물의 특성상 채취된 시료채취 백 내에서 반응이 이루어질 수 있으므로 채취 후 24시간 이내에 분석을 실시하였다.

황 계열 물질의 분석은 전기냉각방식에 의해 시료를 -15°C로 저온농축 후 250°C까지 가열하면서 GC로 유입시켜 GC/PFPD를 이용하여 분석하였다.

황 계열 악취물질 분석을 위한 분석조건을 Table 3.5에 나타내고, 분석 장치를 Fig. 3.7에 나타내었다.

Table 3.5. Conditions and parameter used for GC/PFPD

Composition	Parameters	Conditions
Thermal Desorber (Markes)	Cold trap	U-T8CUS(7mm-Quartz wool, 17mm-CarbopackB, 36mm-SilicaGel : MARKES)
	Concentrate/ desorp. temp.	Concentrate : -15 °C desorp. : 250 °C
	Split flow	20 ml/min
	Sampling flow	100~400 ml (50 ml/min ×min)
	et cetera	Trap Hold : 5 min, Split Flow : 9 ml/min
GC (Agilent)	Column	Agilent DB-1 <sup>(60m, 0.32mm ID, 3µm FT)</sup>
	Gas flow	11.5psi(1.0ml/min)
	Carrier gas	He
	Oven temp.	80°C/8 min, 15°C/min heat, 150°C 8 min hold
PFPD (O/I)	Fuel gas	Air1:11.3 ml/min, H <sub>2</sub> :12.2 ml, Air2:11.0 ml
	Detector	Temp. 250 °C, Att 16, PMT 540, SQRT ON



Fig. 3.7. Sulfur compounds Analyzer .

## 라. VOCs

시료채취를 통해 Tenax 흡착 관에 흡착된 VOCs는 흡착방향과 반대 방향으로 열 탈착기(Thermal Desorber)에 의해 탈착하여 GC/MS로 분석을 실시하였다. Table 3.6에 분석 조건을 나타내었으며, Fig. 3.8에 분석 장치를 나타내었다.

Table 3.6. Conditions and parameter used for GC/MDS

Composition	Parameters	Conditions
Thermal Desorber (Unity/Air server)	Sampling flow	100 ml/min × 5 min
	Trap	VOCs trap
	Split flow	5 ml/min
	Concentration temp	-10 °C
	Desorb temp	270 °C
	Desorb time	8 min
	Flow path temp	150 °C
GC (Agilent 6890N, 5975B)	Column	DB-1 (60 m x 0.32 mm x 3.0 μm)
	Column flow	1.0 ml/min
	Oven temp	40 °C(5 min), 10 °C/min to 250 °C(4 min)
	Detector ?	MSD Temp (°C) : 230 °C
	MODE	SCAN

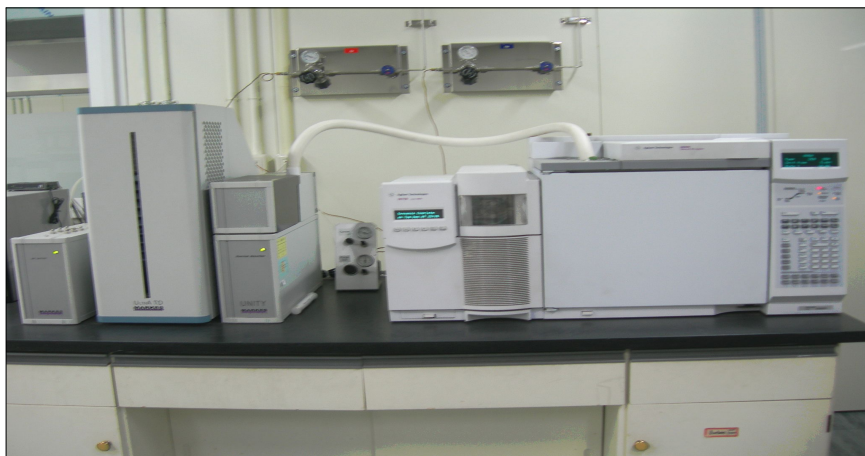


Fig. 3.8. VOCs Analyzer .

## 마. 알데하이드류

알데하이드류는 고성능액체크로마토그래피(HPLC)를 이용하여 분석하였다.

DNPH카트리지에 의해 흡착된 알데하이드류 물질은 아세트니트릴에 의해 추출되어 지고 이는 HPLC에 의해 분리 과정을 거친 후 최종 UV 검출기에 의해 분석되어진다. HPLC/UV의 분석조건을 Table 3.7에 나타내었으며, Fig. 3.9에 알데하이드류 분석 장치를 나타내었다.

Table 3.7. Conditions and parameter used for HPLC

Parameters	Conditions
Injector	20 $\mu$ L Sample loop
Column	ZORBAX ODS(C18) 4.6 mm $\times$ 250 mm
Column temp	40 $^{\circ}$ C
Detector	Ultraviolet Rays Detector (DAD)
Mobile phase	Mobile phase A : Acetonitrile 100(V %)
	Mobile phase B : Water/Acetonitrile/Tetrahydrofuran 50/45/5 (V %)
Gradient	0~10 min : solution B 80 % (A 20 %) → 10~20 min : solution B 50 % (A 50 %) → 20~25 min : solution A 100 %
flow rate	1.0 mL/min
inj. Vol.	20 $\mu$ L
Wavelength	Optical density 360 nm



Fig. 3.9. Aldehyde Analyzer.

## IV. 결과 및 고찰

### 4.1 사업장별 악취물질 배출 특성

#### 4.1.1 사업장별 악취물질 농도

##### 1. 도장사업장

도장 및 기타 피막처리업, 기타 전자부품 제조업, 전자부품·영상·음향 및 통신장비제조업, 강주물주조업, 조립금속제품제조업 사업장의 도장공정 방지시설 배출구에서 시료를 채취하여 악취물질을 분석한 결과를 Table 4.1에 나타내었다.

질소화합물인 암모니아는 Fig. 4.1에서 보는 바와 같이 최저 불검출에서 최고 161.02 ppb가 검출되었는데, 현장에서 악취가 거의 감지되지 않았던 Ha-P-5~6 사업장에서 악취가 적지 않게 감지되었던 Ha-P-1~4 사업장에 비해 오히려 3배정도 더 많은 양이 검출되었다. 트라이메틸아민은 Fig. 4.2와 같이 6개 사업장 중 한개 사업장에서 0.05 ppb의 미량이 검출되었다.

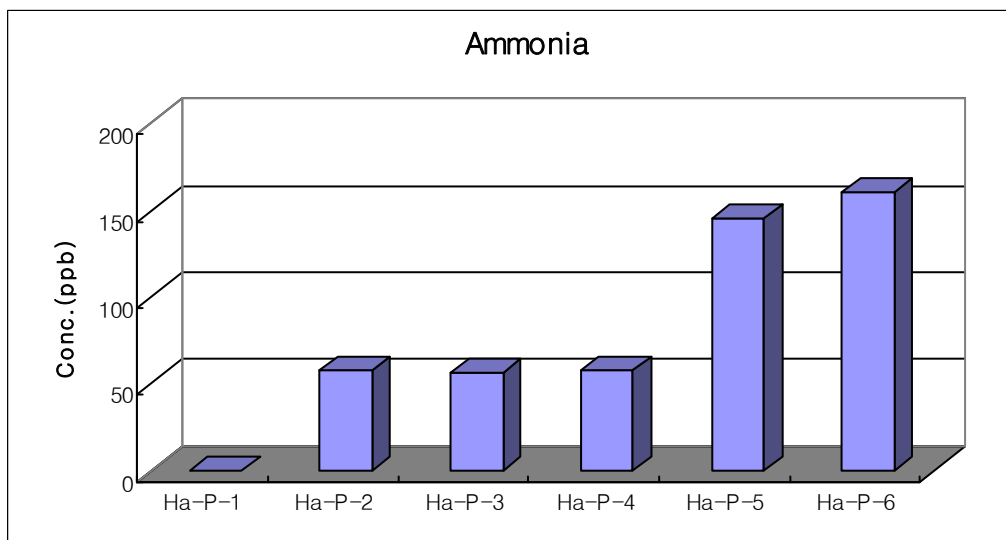


Fig. 4.1. Ammonia concentration of prevention facilities outlet in painting facilities.

Table 4.1. Odor material concentrations of prevention facilities outlet in painting facilities (unit :ppb)

station Compounds	Ha-P-1	Ha-P-2	Ha-P-3	Ha-P-4	Ha-P-5	Ha-P-6
Hydrogen sulfide	0.99	N.D	N.D	0.27	N.D	N.D
Methyl mercaptan	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dimethyl sulfide	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dimethyl disulfide	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
sulfur dioxide	1.83	N.D	0.12	0.72	0.78	0.62
Ammonia	N.D	58.28	57.11	57.89	145.30	161.02
Trimethyl amine	0.05	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Acetaldehyde	5,760.78	9.01	24.18	N.D	359.00	100.08
Propionaldehyde	1,720.30	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Butylaldehyde	4,900.18	451.30	N.D	N.D	214.86	N.D
l-Valeraldehyde	22.82	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
n-Valeraldehyde	64.09	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Formaldehyde	7,183.20	8.70	167.03	N.D	217.40	55.95
Acrolein	481.02	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Acetone	73.11	5688.99	7281.73	N.D	32.76	13.00
Crotonaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
o-Tolualdehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
m.p-Tolualdehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Hexaldehyde	17.72	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Stylene	1.36	11.41	1.92	2.40	3.67	0.82
Toluene	28.66	1736.01	2521.29	2761.42	5527.15	24.64
Xylene	48.02	1537.96	69.25	1014.58	282.29	4.63
Methyl ethyl ketone	5.77	2297.72	538.42	1361.24	1.53	0.71
Methyl isobutyl ketone	128.12	1913.98	847.86	717.05	24.32	1.76
Butylacetate	3.91	1082.71	477.97	335.67	176.19	2.32
Isobutylalcohol	1.27	1372.05	55.03	75.24	0.65	1.18
Benzene	11.12	25.93	13.06	12.99	18.94	1.79
Chlorobenzene	0.24	4.55	1.54	4.66	4.66	0.26
Ethylbenzene	14.09	748.97	175.80	846.14	202.62	2.99



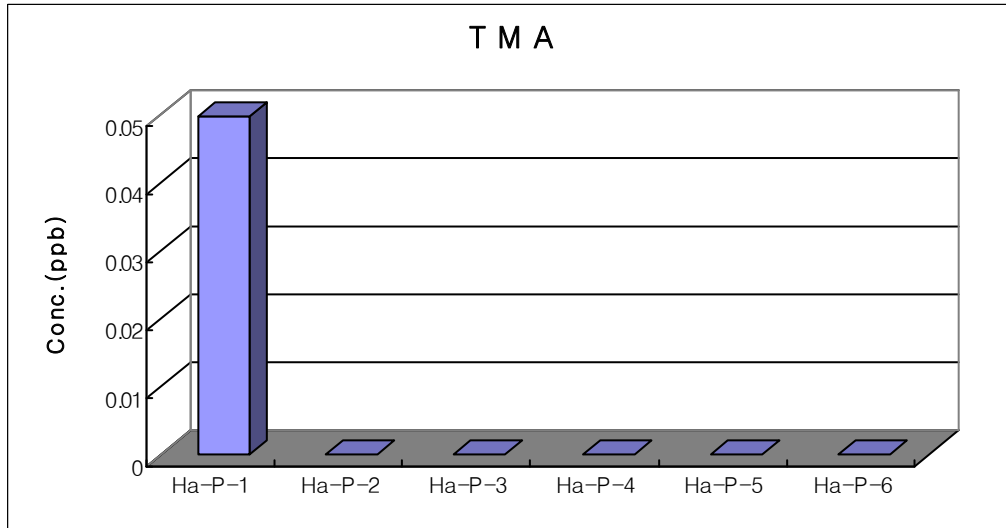


Fig. 4.2. Trimethylamine concentration of prevention facilities outlet in painting facilities.

황 화합물은 Fig. 4.3과 같이 황화수소와 이산화황만 검출되었는데 황화수소는 최소 불검출에서 최고 0.99 ppb가 검출되었으며, 이산화황은 최소 불검출, 최고 1.83 ppb가 배출되는 것으로 나타났다. 황화수소는 Ha-P-1과 Ha-P-4 사업장에서만 검출되었고, 이산화황은 Ha-P-2를 제외한 모든 사업장에서 0.1에서 0.8 ppb 정도가 검출되었으며, 황화수소와 이산화황 모두 Ha-P-1 사업장에서 가장 많은 양이 검출되었다.

알데하이드류 중에서는 Fig. 4.4와 같이 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, 뷰티르알데하이드, i-발레르알데하이드, n-발레르알데하이드, 폼알데하이드, 아크로레인, 아세톤, 헥사알데하이드가 검출되었다 그 중 아세톤이 Ha-P-3 사업장에서 최고 7281.73ppb, 폼알데하이드가 Ha-P-1 사업장에서 최고 7183.20 ppb, 아세트알데하이드가 Ha-P-1 사업장에서 최고 5760.78 ppb, 뷰티르알데하이드가 Ha-P-1 사업장에서 최고 4900.18 ppb, 프로피온알데하이드가 Ha-P-1 사업장에서 최고 1720.30 ppb, 아크로레인이 Ha-P-1 사업장에서 최고 481.02 ppb가 검출되어 알데하이드류는 Ha-P-1 사업장에서 타 사업장에 비해 월등히 많은 양이 배출되는 것으로 나타났다.

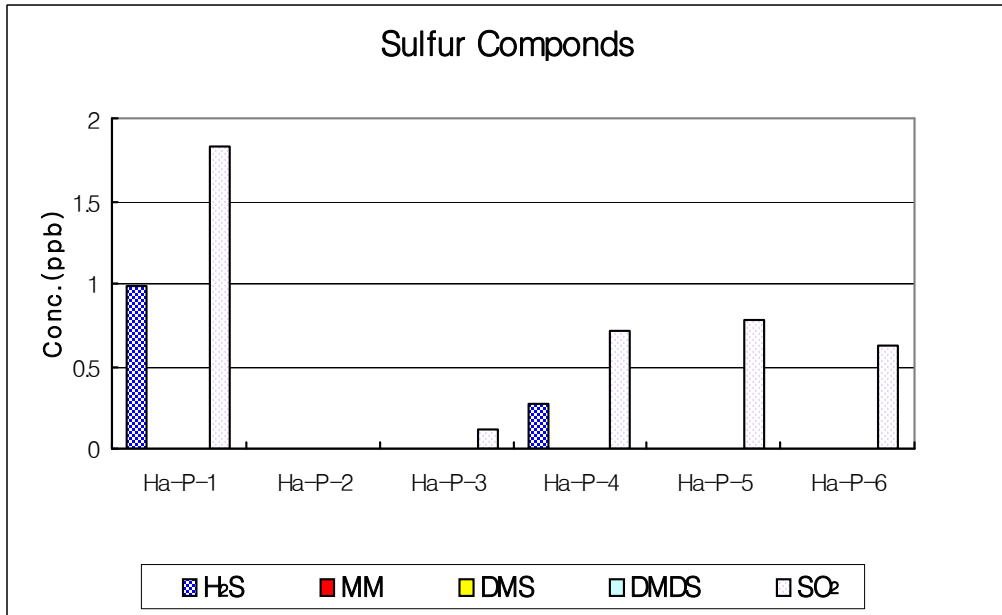


Fig. 4.3. Sulfur compounds concentration of prevention facilities outlet in painting facilities.

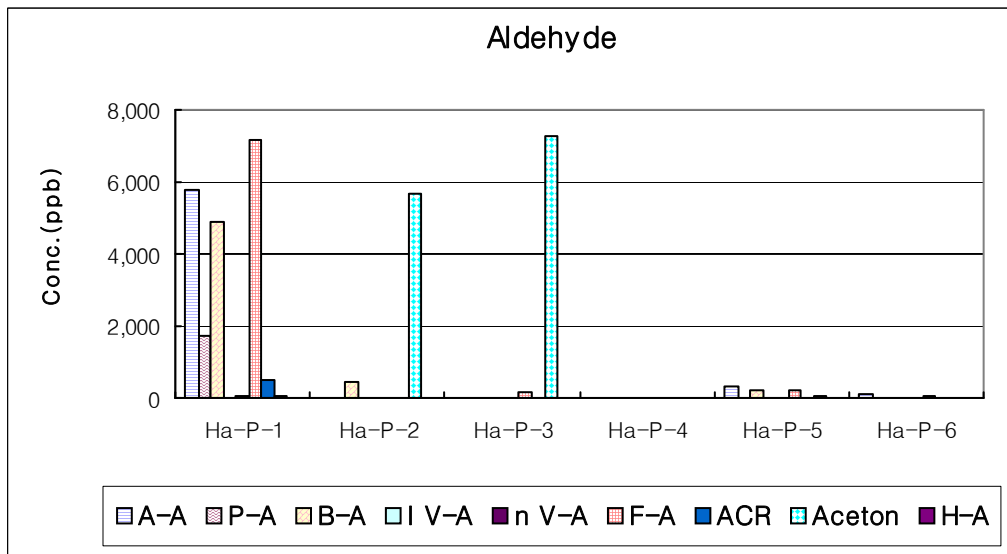


Fig. 4.4. The Aldehyde concentration of prevention facilities outlet in painting facilities.

휘발성 유기화합물은 Fig. 4.5와 같이 조사항목인 스타이렌, 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤, 메틸이소부티르케톤, 부틸아세테이트, i-부틸알콜, 벤젠, 클로로벤젠, 에틸벤젠이 모든 사업장에서 모두 검출되었으며, 그 중 톨루엔이 Ha-P-2~5 사업장에서 5525.15 ~ 1736.01 ppb, 메틸에틸케톤이 Ha-P-2~4 사업장에서 2297.72 ~ 538.42 ppb, 메틸이소부틸케톤이 Ha-P-2~5 사업장에서 1913.98 ~ 717.05 ppb, 자일렌이 Ha-P-2,4~5 사업장에서 1537.96 ~ 282.29 ppb, i-부틸알콜이 Ha-P-2~4 사업장에서 1372.05 ~ 55.03 ppb, 부틸아세테이트가 Ha-P-2~5 사업장에서 1082.71 ~ 176.19 ppb, 에틸벤젠이 Ha-P-2~5 사업장에서 748.97 ~ 175.80 ppb로 높게 검출되었다. 반면에 분체도장을 하는 Ha-P-6와 화성피막 작업 후 수성페인트로 전착도장을 하는 Ha-P-1 사업장에서 휘발성 유기화합물이 전체적으로 적은 양이 검출되었다.

이는 이종국의 『산업장별 악취발생 조사연구』<sup>5)</sup>의 표면처리(도장) 관련사업장 조사 결과와 비교해 보면, 두 연구 모두 최종 배출구에 시료채취를 한 결과로 질소화합물과 알데하이드류 대부분이 검출되는 경향은 비슷하였으나 본 연구에서는 황 화합물 중 황화수소를 제외한 나머지 물질은 검출되지 않았으나 디메틸설파이드와 디메틸디설파이드가 12.5 ppb 및 4.2 ppb 검출된 것으로 나타났다. 환경부에서 발간한 『업종·시설별 악취관리』<sup>79)</sup>의 도장시설 악취 배출현황에서도 본 연구 결과와 유사하게, 도장시설의 사업장과 배출구에서 주로 배출되는 악취물질로 용제의 주요 성분인 톨루엔, 자일렌, 스티렌 등의 방향족 화합물과 이들이 고온 산화되면서 나타나는 i-발레르알데하이드, 부틸알데하이드 등 알데하이드류라고 보고 하였다.

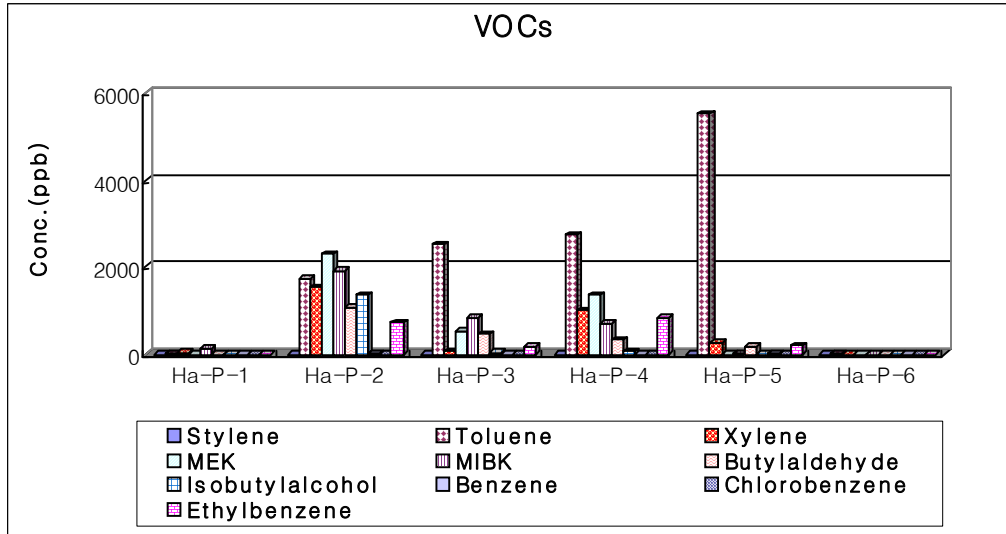


Fig. 4.5. VOCs concentration of prevention acidities outlet in painting facilities.

## 2. 도금사업장

도금업 사업장 3개소와 강관제조업 사업장 1개소를 대상으로 도금공정 방지시설 배출구에서 시료를 채취하여 악취물질을 분석한 결과를 Table 4.2에 나타내었다. 질소화합물인 암모니아는 Fig. 4.6과 같이 4개 사업장 모두에서 검출되었는데 Ha-PL-3 사업장에서 최고 2022.40 ppb, Ha-PL-4 사업장에서 최소 67.57 ppb가 검출되어 다른 대조 사업장군에 비해 상대적으로 많은 양이 배출되는 것으로 나타났고, 트라이메틸아민은 Fig. 4.7과 같이 Ha-PL-3 사업장에서 최고 0.08 ppb로 미량 검출되었다.

Fig. 4.8과 같이 황 화합물은 황화수소와 이산화황만 검출되었는데 황화수소는 황산아연 도금처리를 하는 Ha-PL-4 사업장에서만 9.29 ppb가 검출되었고, 이산화황은 Ha-PL-1,4 사업장에서 각각 1.08 ppb, 75.12 ppb가 검출되었다.

알데하이드류는 Fig. 4.9와 같이 아세트알데하이드와 폼알데하이드가 4개 사업장 모두에서 검출되었는데, 아세트알데하이드는 Ha-PL-1 사업장에서 최고 75.46 ppb, Ha-PL-3 사업장에서 최소 11.34 ppb가 검출되었고, 폼알데하이드는 Ha-PL-4 사업장에서 최고 2074.38 ppb, Ha-PL-2 사업장에서 최소 14.71 ppb가 검출되었다. 그리고 Ha-PL-4 사업장에서만 아세톤, 벤즈알데하이드, m.p-톨루알데하이드가 24.72 ppb, 24.87 ppb, 41.25 ppb 검출되었다.

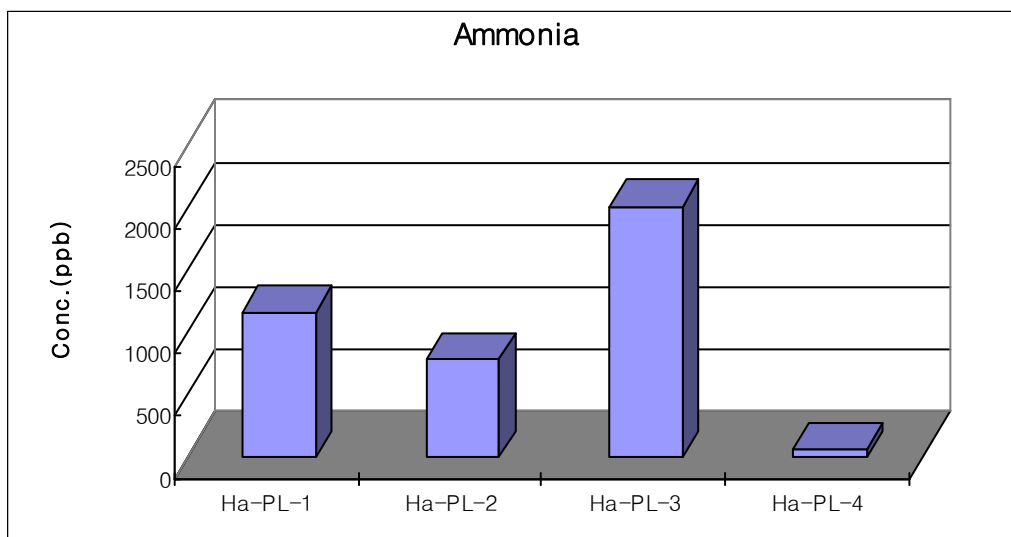


Fig. 4.6. Ammonia concentration of prevention facilities in outlet plating facilities.

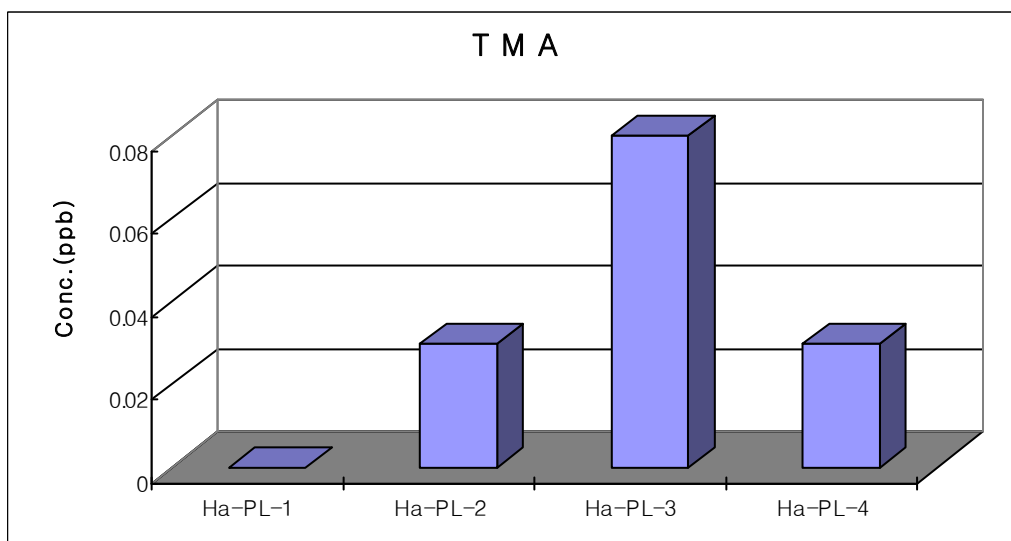


Fig. 4.7. Trimethylamine concentration of prevention facilities outlet in plating facilities.

Table 4.2 Odor material concentrations of prevention facilities outlet in plating facilities (unit : ppb)

station Compounds	Ha-PL-1	Ha-PL-2	Ha-PL-3	Ha-PL-4
Hydrogen sulfide	N.D	N.D	N.D	9.29
Methyl mercaptan	N.D	N.D	N.D	N.D
Dimethyl sulfide	N.D	N.D	N.D	N.D
Dimethyl disulfide	N.D	N.D	N.D	N.D
sulfur dioxide	1.08	N.D	N.D	75.12
Ammonia	1168.03	791.67	2022.40	67.57
Trimethyl amine	N.D	0.03	0.08	0.03
Acetaldehyde	75.46	12.54	11.34	25.78
Propionaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D
Butylaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D
l-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D
n-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D
Formaldehyde	21.30	14.71	14.82	2074.38
Acrolein	N.D	N.D	N.D	N.D
Acetone	N.D	N.D	N.D	24.72
Crotonaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D
Benzaldehyde	N.D	N.D	N.D	24.87
o-Tolualdehyde	N.D	N.D	N.D	N.D
m.p-Tolualdehyde	N.D	N.D	N.D	41.25
Hexaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D
Styrene	0.79	0.64	1.20	0.56
Toluene	82.65	12.82	169.27	33.46
Xylene	45.33	1.38	13.37	12.98
Methyl ethyl ketone	11.97	0.65	5.20	16.19
Methyl isobutyl ketone	9.27	2.01	6.72	2.85
Butylacetate	26.77	0.39	2.57	0.99
Isobutylalcohol	0.88	0.14	0.62	0.16
Benzene	5.97	1.64	4.93	2.94
Chlorobenzene	0.66	0.07	0.28	0.25
Ethylbenzene	21.02	1.35	8.34	4.30

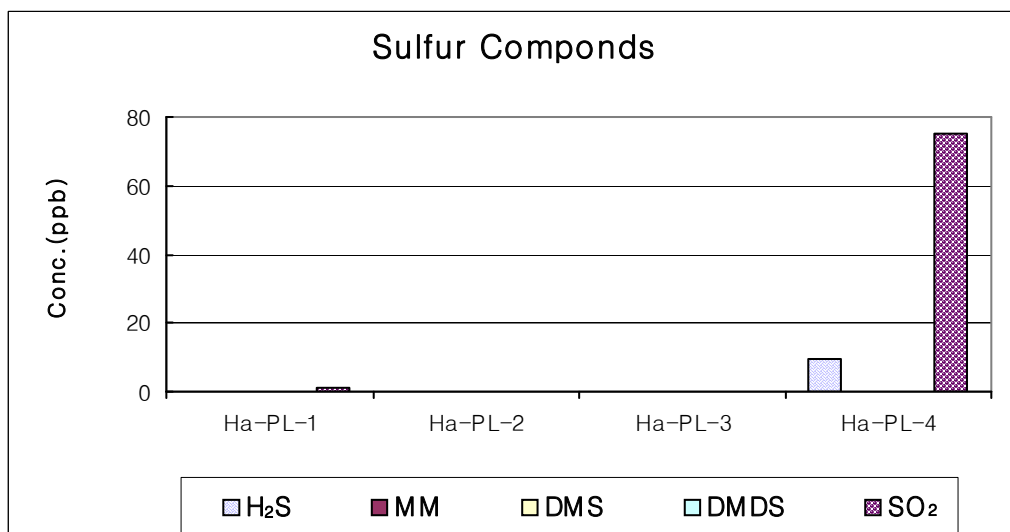


Fig. 4.8. Sulfur compounds concentration of prevention facilities in outlet plating facilities.

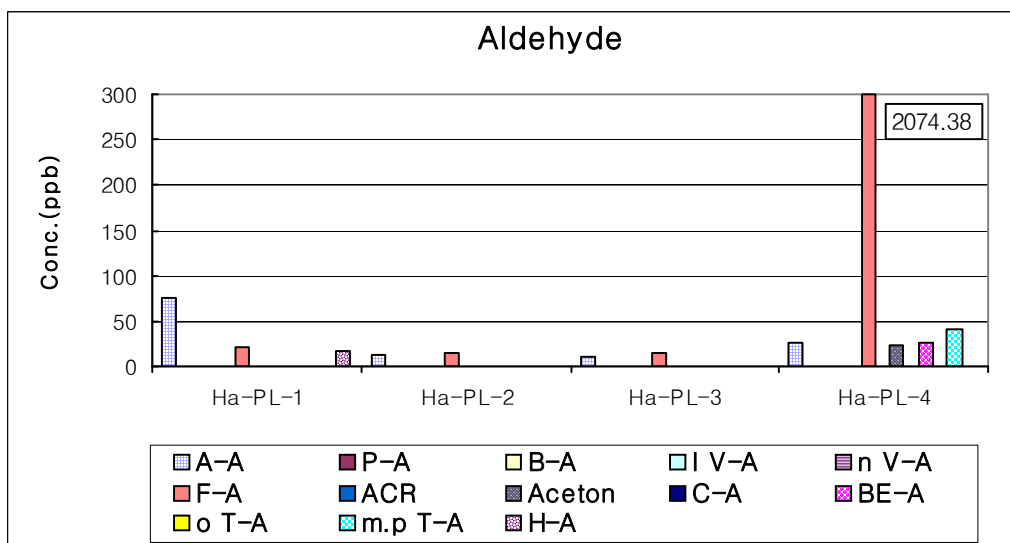


Fig. 4.9. The Aldehyde concentration of prevention facilities outlet in plating facilities.

휘발성 유기화합물은 조사대상 10개 항목 모두가 모든 사업장에서 검출되었는데 Fig. 4.10에서 보는 바와 같이 그 중 톨루엔이 Ha-PL-3 사업장에서 최고 169.27, Ha-PL-2 사업장에서 최저 12.82ppb 로 가장 많은 양이 검출되었으며, 자일렌이 Ha-PL-1 사업장에서 최고 45.33 ppb, Ha-PL-2 사업장에서 최저 1.38ppb 검출되었다. 다음으로 부틸아세테이트가 Ha-PL-1 사업장에서 최고 26.77 ppb, 에틸벤젠이 Ha-PL-1 사업장에서 최고 21.02 ppb, MEK가 Ha-PL-4 사업장에서 최고 16.19 ppb, MIBK가 Ha-PL-1 사업장에서 최고 9.27 ppb, 벤젠이 Ha-PL-1 사업장에서 최고 5.97 ppb, i-부틸알콜이 Ha-PL-1 사업장에서 최고 0.88 ppb, 클로로벤젠이 Ha-PL-1 사업장에서 최고 0.66 ppb 순으로 높게 나타났다.

도금사업장에서는 도금대상의 표면을 세정하기 위해 산 세정 작업과 산을 중화하는 작업이 이뤄지기 때문에 암모니아와 염화수소 가스가 배출될 수 있다.<sup>79)</sup> 본 연구에서 조사한 작업장들과 배출구에서도 특 쓰는 산 냄새가 주로 감지되었다.

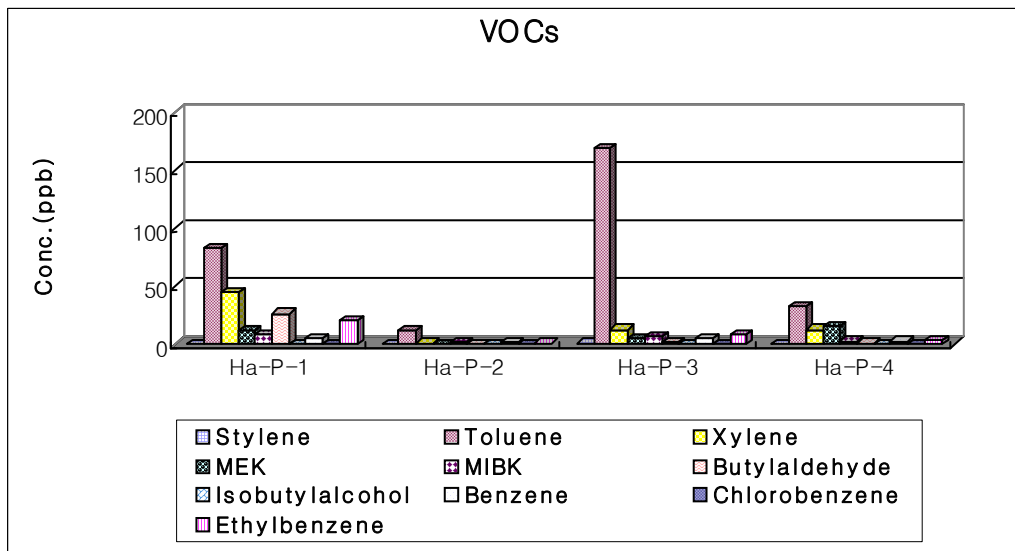


Fig. 4.10. VOCs concentration of prevention facilities outlet in plating facilities.



### 3. 주물 · 주조사업장

금속제품제조가공업, 선철주물주조업, 강주물주조업, 기타비금속광물제품제조업 사업장의 전기유도로, 주입 · 주물사처리, 선별시설, 탈형시설을 대상으로 조사하여 악취물질 분석 결과를 Table 4.3에 나타내었다.

질소화합물인 암모니아는 Fig. 4.11과 같이 7개 배출구 중 Ha-C-2 사업장 2개 배출구를 제외한 5개에서 검출되었는데 Ha-C-4 사업장에서 최고 5463.07 ppb, Ha-C-1 사업장 주물사 처리시설의 배출구에서 최소 79.59 ppb가 검출되어 다른 대조군에 비해 다소 높은 것으로 나타났다. 그리고 트라이메틸아민은 Fig. 4.12와 같이 7개 시설 중 전기유도로나 가열로 시설인 Ha-C-1,-3,-4 사업장에서 최고 0.35 ppb 검출되었다.

황 화합물은 Fig. 4.13과 같이 황화수소와 이산화황, 메틸머캅탄이 검출되었다. 황화수소는 Ha-C-1 사업장의 전기유도로, 주물사처리시설과 Ha-C-2 사업장의 전기로와 탈형시설에서 검출되었는데, Ha-C-2 사업장의 탈형시설에서 최고 203.25 ppb, 전기로 시설에서 최소 5.61 ppb 검출되었다. 이산화황은 Ha-C-1 사업장의 3개 시설을 제외한 Ha-C-2~4 사업장에서 최고 3072.23 ppb, 최소 0.50 ppb 검출되었고, 트라이메틸아민은 Ha-C-2 사업장의 탈형시설에서만 2.80 ppb 검출되었다. 황 화합물은 석유정제사업장을 제외한 다른 대조 사업장군에 비해 높은 것으로 나타났다.

Fig. 4.14와 같이 알데하이드류 중 아세트알데하이드와 폼알데하이드, 아세톤은 조사대상 사업장 대부분에서 검출되었으나 나머지 프로피온알데하이드, n-발레르알데하이드, 크로톤알데하이드, 벤즈알데하이드, o-톨루알데하이드, m.p-톨루알데하이드는 Ha-C-3 사업장에서만 검출되었다. 그 중 아세톤은 Ha-C-1의 선별시설과 Ha-C-4 사업장에서는 검출되지 않았고, Ha-C-3 사업장에서 최고 320.32 ppb, Ha-C-1 사업장의 전기유도로 시설에서 최소 15.70 ppb 검출되었고, 폼알데하이드는 Ha-C-1 사업장의 선별시설에서 최고 169.14 ppb, Ha-C-4 사업장에서 최소 23.33 ppb 검출되었으며, Ha-C-2의 탈형시설에서는 검출되지 않았다. 아세트알데하이드도 Ha-C-3 사업장에서 최고 143.62 ppb, Ha-C-1 사업장의 주물사처리시설에서 최소 18.99 ppb 검출되었고, Ha-C-2의 탈형시설과 Ha-C-4 사업장에서는 검출되지 않았다.

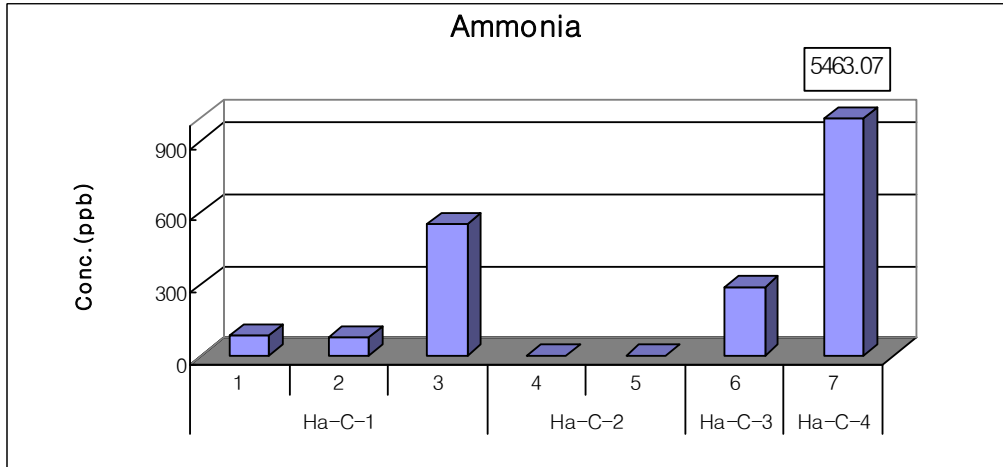


Fig.4.11. Ammonia concentration of prevention facilities outlet in Casting facilities

(1: electric induction furnace, 2: Caster disposal, 3: Sorting facilities, 4: electric furnace, 5: De-moulded facilities, 6: electric induction furnace, 7: heating furnace, Caster disposal).

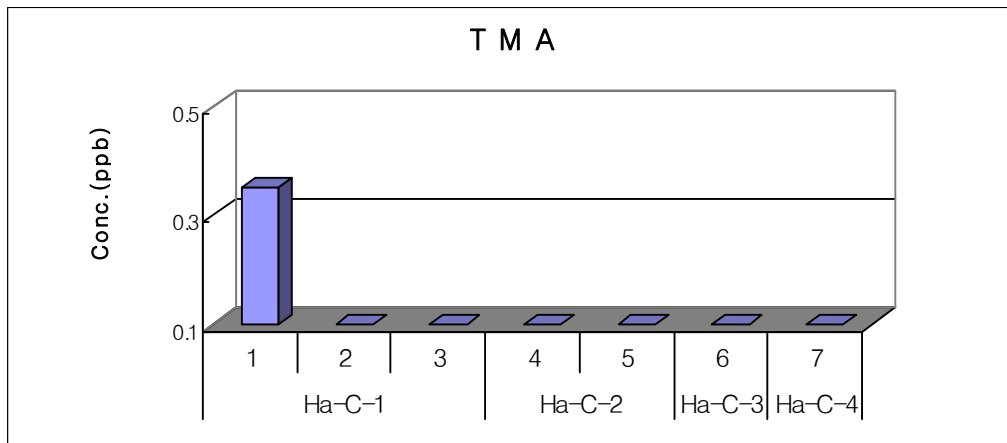


Fig. 4.12. Trimethylamine concentration of prevention facilities outlet in Casting facilities.

(1: electric induction furnace, 2: Caster disposal, 3: Sorting facilities, 4: electric furnace, 5: De-moulded facilities, 6: electric induction furnace, 7: heating furnace, Caster disposal)

Table 4.3. Odor material concentrations of prevention facilities outlet in casting facilities (unit : ppb)

station Compounds	Ha-C-1			Ha-C-2		Ha-C-3	Ha-C-4
	electric induction furnace	Caster disposal	Sorting facilities	electric furnace	De-moulded facilities	electric induction furnace	heating furnace, Caster disposal
Hydrogen sulfide	182.44	59.24	N.D	5.61	203.25	N.D	N.D
Methyl mercaptan	N.D	N.D	N.D	N.D	2.80	N.D	N.D
Dimethyl sulfide	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Dimethyl disulfide	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
sulfur dioxide	N.D	N.D	N.D	558.05	307.72	3072.23	0.50
Ammonia	85.12	79.59	551.87	N.D	N.D	287.97	5463.07
Trimethyl amine	0.35	N.D	N.D	N.D	N.D	0.02	0.03
Acetaldehyde	30.48	18.99	38.59	121.25	N.D	143.62	N.D
Propionaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	79.87	N.D
Butylaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
l-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
n-Valeraldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.03	N.D
Formaldehyde	61.22	94.55	169.14	33.58	N.D	125.98	23.33
Acrolein	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Acetone	15.70	35.17	N.D	67.95	113.93	320.32	N.D
Crotonaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	18.00	N.D
Benzaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	22.03	N.D
o-Tolualdehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	47.82	N.D
m,p-Tolualdehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	6.79	N.D
Hexa aldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Stylene	2.17	9.88	2.78	9.38	3.12	2.33	0.92
Toluene	22.93	226.62	55.78	28.08	90.00	880.63	131.13
Xylene	6.99	30.32	11.69	42.88	125.79	690.52	47.34
Methyl ethyl ketone	0.05	0.10	0.07	1.63	2.77	59.07	1.00
Methyl isobutyl ketone	0.07	0.08	0.13	3.67	2.47	122.91	12.08
Butylacetate	0.21	0.02	0.12	1.97	9.90	111.49	14.68
Isobutylalcohol	1.41	0.39	1.33	N.D	N.D	5.52	0.91
Benzene	18.48	522.68	89.14	15.69	27.88	172.91	7.11
Chlorobenzene	0.22	0.03	0.09	0.11	0.10	1.18	0.21
Ethylbenzene	1.68	4.62	2.13	3.32	8.13	428.69	12.84

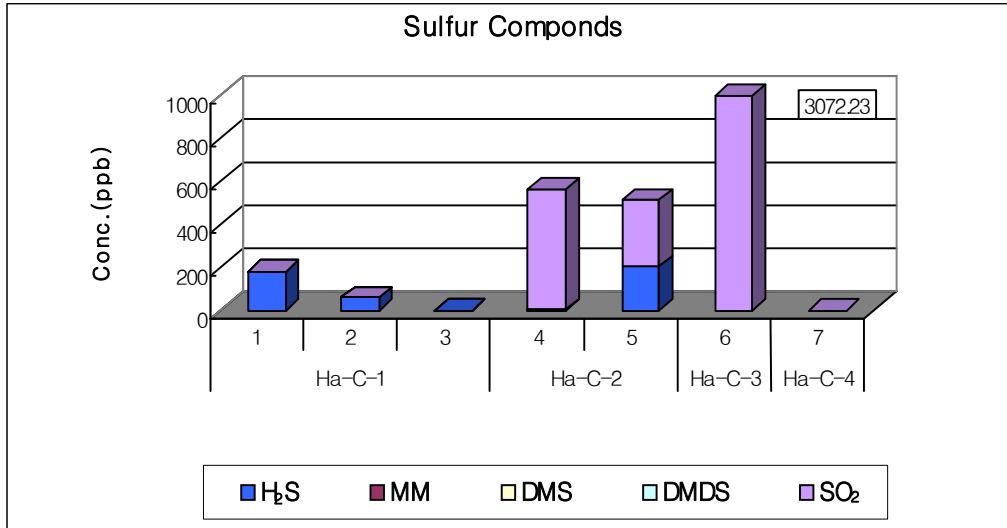


Fig. 4.13. Sulfur compounds concentration of prevention facilities outlet in Casting facilities  
 (1: electric induction furnace, 2: Caster disposal, 3: Sorting facilities, 4: electric furnace, 5: De-moulded facilities, 6: electric induction furnace, 7: heating furnace, Caster disposal).

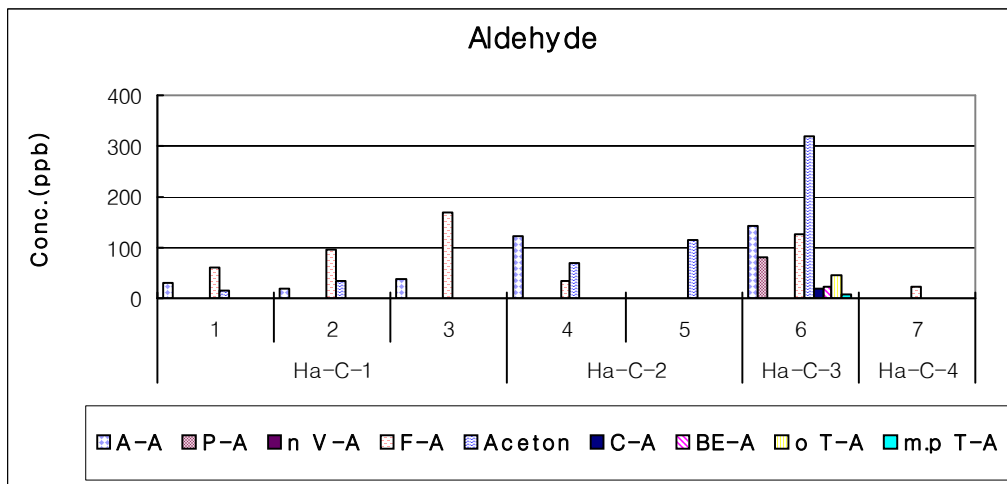


Fig. 4.14. The aldehyde concentration of prevention facilities outlet in Casting facilities.  
 (1: electric induction furnace, 2: Caster disposal, 3: Sorting facilities, 4: electric furnace, 5: De-moulded facilities, 6: electric induction furnace, 7: heating furnace, Caster disposal)

휘발성 유기화합물은 Fig. 4.15와 같이 주물·주조사업장에서도 거의 대부분의 물질들이 검출되었는데, 톨루엔이 Ha-C-3 사업장에서 최고 880.63 ppb, Ha-C-1 사업장 전기유도로 시설에서 최소 22.93 ppb 검출되었고, 자일렌이 Ha-C-3 사업장에서 최고 690.52 ppb, Ha-C-1 사업장의 전기유도로 시설에서 최소 6.99 ppb 검출되었으며, 벤젠이 Ha-C-1 사업장의 주물사처리시설에서 최고 522.68 ppb, Ha-C-4 사업장에서 최소 7.11 ppb 검출되었다. 그리고 에틸벤젠이 Ha-C-3 사업장에서 최고 428.69 ppb, Ha-C-1 사업장의 전기유도로 시설에서 최소 1.68 ppb 검출되었으며, MIBK가 Ha-C-4 사업장에서 최고 122.91 ppb, Ha-C-1 사업장 전기유도로 시설에서 최소 0.07 ppb 검출되었다. 그리고 MEK, 스타이렌, 클로로벤젠, i-뷰틸알콜이 미량 검출되었다.

이는 이종국의 『산업장별 악취발생 조사연구』 중 금속용융 및 열처리 사업장 악취물질 측정·분석 결과<sup>5)</sup>와 유사한 경향을 보이고 있다. 본 연구는 최종 배출구에서 시료를 채취한 반면 이종국<sup>5)</sup>이 수행한 연구는 사업장 내부에서 시료를 채취한 관계로 결과 값은 약 3배 정도 높게 나타났으나, 암모니아가 가장 높게 검출된 점과, 나머지 황화수소 등 검출되는 항목 등이 매우 유사하게 나타났다.

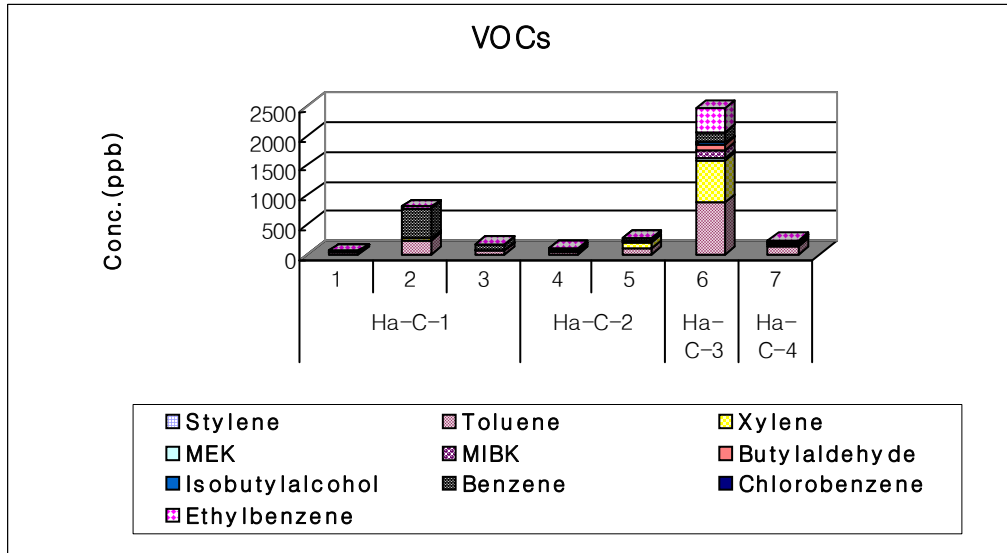


Fig. 4.15. Volatile organic compounds concentration of prevention facilities outlet in Casting facilities.

(1: electric induction furnace, 2: Caster disposal, 3: Sorting facilities, 4: electric furnace, 5: De-moulded facilities, 6: electric induction furnace, 7: heating furnace, Caster disposal)

#### 4. 고무제조사업장

재생고무제조업, 고무 및 플라스틱제품제조업, 타이어재생업 사업장의 가황시설, 증자시설, 혼합시설의 방지시설에서 배출되는 악취물질을 분석한 결과를 Table 4.4에 나타내었으며, Fig. 4.16, 17과 같이 질소화합물인 암모니아와 트라이메틸아민은 조사대상 사업장 5개 시설에서 모두 검출되었다.

암모니아는 Ha-R-1 사업장에서 최고 1074.68 ppb, Ha-R-2 사업장에서 최소 74.03 ppb 검출되었고, 트라이메틸아민은 Ha-R-2 사업장에서 최고 0.57 ppb, Ha-R-3 사업장에서 최소 0.02 ppb 검출되어 트라이메틸아민은 5개 대조 사업장군들 중에서 가장 높은 농도를 보였다.

Table 4.4 Odor material concentrations of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities (unit : ppb)

station Compounds	Ha-R-1	Ha-R-2	Ha-R-3	Ha-R-4	Ha-R-5
	Hydrogen sulfide	4.49	1.74	0.25	N.D
Methyl mercaptan	133.67	N.D	N.D	N.D	N.D
Dimethyl sulfide	5.11	N.D	N.D	N.D	N.D
Dimethyl disulfide	12.13	N.D	N.D	N.D	N.D
sulfur dioxide	1.45	8.72	1.19	2.12	20.39
Ammonia	1074.68	74.03	364.99	81.43	116.43
Trimethyl amine	0.22	0.57	0.02	0.04	0.22
Acetaldehyde	1273.92	6.33	N.D	10.24	0.01
Propionaldehyde	195.25	N.D	N.D	N.D	N.D
Butylaldehyde	1182.77	N.D	N.D	N.D	N.D
l-Valeraldehyde	766.76	N.D	N.D	N.D	N.D
n-Valeraldehyde	1091.25	N.D	N.D	N.D	0.01
Formaldehyde	55.02	3.62	20.75	24.24	40.80
Acrolein	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Acetone	564.79	14.92	N.D	N.D	14.70
Crotonaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	8.35
Benzaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
o-Tolualdehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
m.p-Tolualdehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Hexaldehyde	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Stylene	8.45	1.14	1.76	1.04	0.86
Toluene	882.48	8.05	947.21	249.66	144.55
Xylene	1027.02	1.90	20.57	7.11	1.31
Methyl ethyl ketone	3.11	6.53	0.97	3.10	0.50
Methyl isobutyl ketone	2536.20	2.39	107.84	24.37	2.11
Butylacetate	2.90	0.45	100.66	29.28	0.37
Isobutylalcohol	0.84	0.29	2.66	1.56	0.16
Benzene	176.02	1.52	3.80	5.97	2.05
Chlorobenzene	0.17	0.04	0.36	0.28	0.13
Ethylbenzene	13.59	0.76	0.04	10.53	0.68

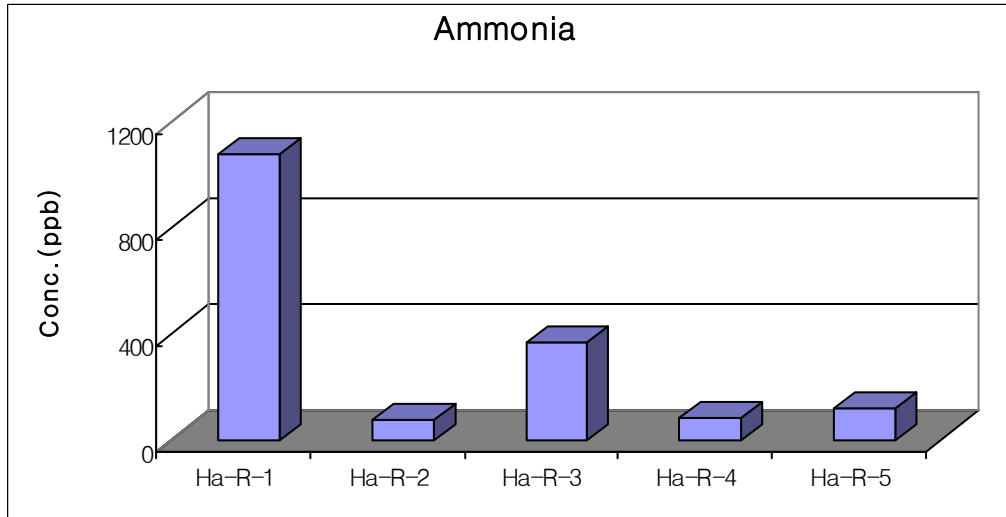


Fig. 4.16. Ammonia concentration of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities.

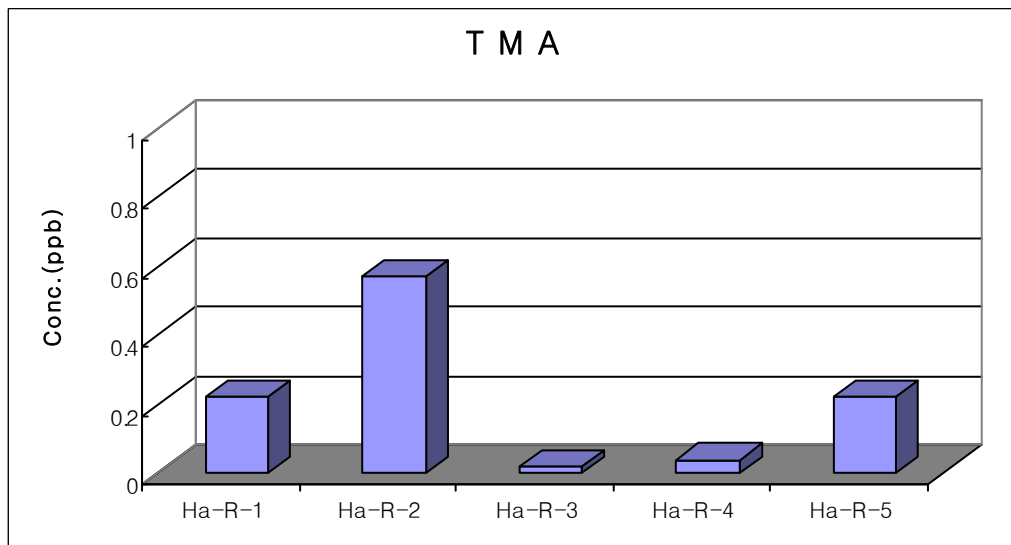


Fig. 4.17. Trimethylamine concentration of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities.



황 화합물은 Fig. 4.18과 같이 조사사업장 거의 모두에서 황화수소와 이산화황이 검출되었는데, 황화수소는 Ha-R-1 사업장에서 최고 4.49 ppb, Ha-R-3 사업장에서 최소 0.25 ppb 검출되었고, Ha-R-4 사업장에서는 검출되지 않았다. 이산화황은 Ha-R-5 사업장에서 최고 20.39 ppb, Ha-R-3 사업장에서 최소 1.19 ppb 검출되었다. 페타이어와 폐고무제품 등을 원료로 고무에 탄성을 주기위해 황을 첨가하여 재생고무를 생산하는 Ha-R-1 사업장에서는 조사한 5항목이 모두 검출되었는데, 특히 메틸머캅탄이 133.67 ppb로 5개 대조 사업장군 중에서 가장 높게 검출되었고, 그 외에도 디메틸설파이드가 5.11 ppb, 디메틸디설파이드도 12.13 ppb 검출되었다.

Fig. 4.19와 같이 알데하이드류는 폼알데하이드, 아세트알데하이드와, 아세톤은 조사대상 사업장 대부분에서 검출되었고, 프로피온알데하이드, 뷰티르알데하이드, i-발레르알데하이드, n-발레르알데하이드는 Ha-R-1 사업장에서만 검출되었으며, 크로톤알데하이드는 Ha-R-5에서 검출되었다. 아세트알데하이드는 Ha-R-1 사업장에서 최고 1273.92 ppb, Ha-R-5 사업장에서 최소 0.01 ppb 검출되었고, Ha-R-3~5 사업장에서는 검출되지 않았다. 폼알데하이드는 Ha-R-1 사업장에서 최고 55.02 ppb, Ha-R-2 사업장에서 최저 3.62 ppb 검출되었고, 아세톤은 Ha-R-1 사업장에서 최고 564.79 ppb와 Ha-R-5 사업장에서 최소 14.70 ppb 검출되었으나 Ha-R-3~4 사업장에서는 검출되지 않았다. 그리고 Ha-R-1 사업장에서는 프로피온·뷰티르·i-발레르·n-발레르알데하이드가 각각 195.25 ppb, 1182.77 ppb, 766.76 ppb, 1091.25 ppb 검출되었고 Ha-R-5 사업장에서는 크로톤알데하이드가 8.35 ppb 검출되었다.

Fig. 4.20과 같이 휘발성 유기화합물은 모든 대상 시설에서 조사항목 10개 모두 검출되었는데 MIBK는 Ha-R-1 사업장에서 최고 2536.20 ppb, Ha-R-5 사업장에서 최소 2.11 ppb 검출되었고, 자일렌은 Ha-R-1 사업장에서 최고 1027.02 ppb, Ha-R-5 사업장 최소 1.31 ppb 검출되었으며, 톨루엔도 Ha-R-3에서 최고 947.21 ppb, Ha-R-2 사업장에서 8.05 ppb 검출되었다. 그리고 벤젠도 Ha-R-1 사업장에서 최고 176.02 ppb, Ha-R-2 사업장에서 최소 1.52 ppb 검출되었고 뷰틸아세테이트도 Ha-R-3 사업장에서 100.66 ppb, Ha-R-5 사업장에서 최소 0.37 ppb 검출되었다.

환경부 자료인 「업종·시설별 악취관리」의 고무 및 플라스틱 제조시설 측정결과<sup>79)</sup>에서도 고무제품 제조시설의 배출구에서 고농도의 암모니아와 트라이메틸아민 등 아민류, 아세트알데하이드가 검출되었다고 보고되었다. 본 연구에서 조사한 작업장이나 배출구에서는 고무냄새와 고무냄새가 섞인 메케한 냄새가 주로 감지되었다.

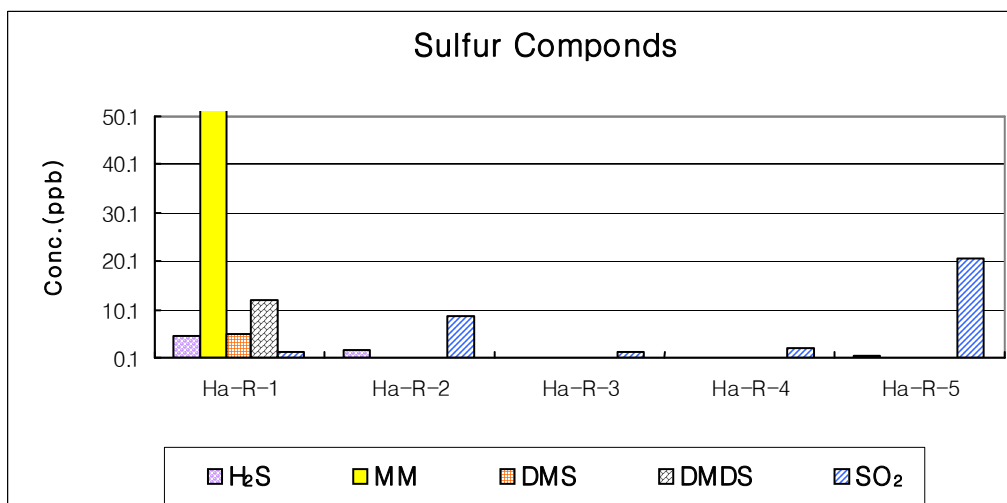


Fig. 4.18. Sulfur compounds concentration of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities.

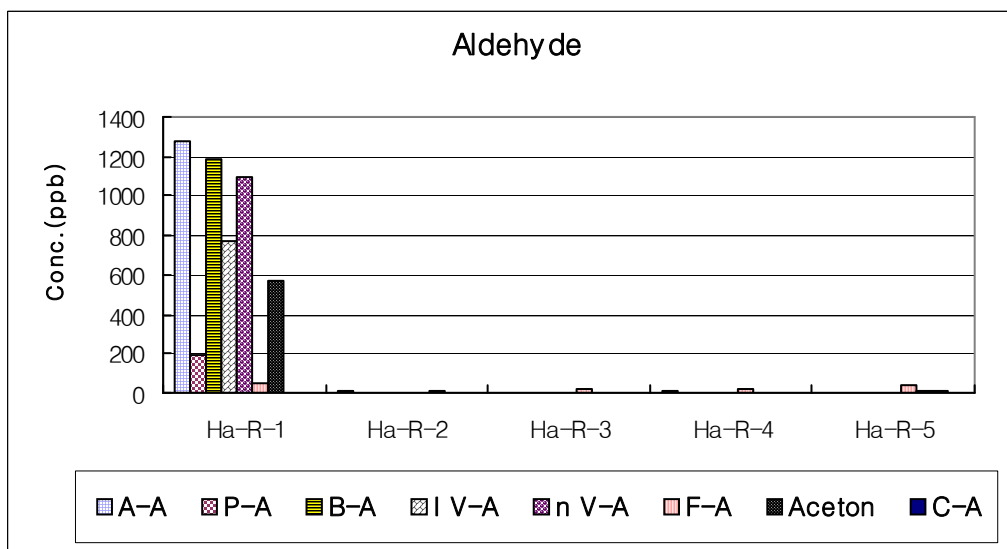


Fig. 4.19. The aldehyde concentration of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities.

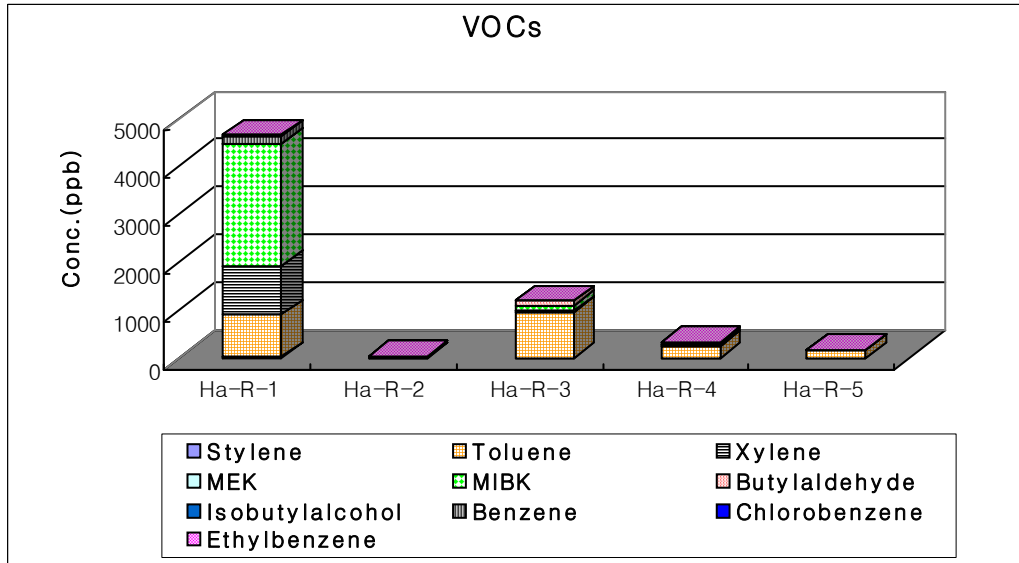


Fig. 4.20. Volatile organic compounds concentration of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities.

## 5. 폐유정제사업장

폐유정제물 재처리업 사업장의 가열·정제시설에서 발생하는 폐가스를 소각하여 배출하는 굴뚝에서 시료를 채취하여 분석하였다. 분석결과를 Table 4.5에 나타내었다.

Fig. 4.21과 같이 질소화합물인 암모니아와 트라이메틸아민은 각각 92.95 ppb, 0.10 ppb가 검출되었고, Fig. 4.22와 같이 황 화합물 중에서는 황화수소가 141.31 ppb, 이산화황이 49,423.40 ppb가 검출되었다. 특히, 이산화황은 소각하는 과정에서 다량 생성된 것으로 판단된다.

Fig. 4.23과 같이 알데하이드류는 아세트알데하이드 316.27 ppb, 아세톤 2312.51 ppb, 폼알데하이드 1015.80 ppb, 프로피온알데하이드 956.69 ppb, 뷰티르알데하이드 665.05 ppb, 크로톤알데하이드 152.84 ppb, 헥사알데하이드 97.34 ppb, 벤즈알데하이드 84.8 ppb, m.p-톨루알데하이드 42.29 ppb가 검출되었다.

Fig. 4.24와 같이 휘발성 유기화합물은 자일렌이 474.99 ppb, 벤젠 297.89 ppb, 톨루엔 247.13 ppb, MEK 245.37 ppb, 에틸벤젠 155.28 ppb 순으로 높게 나타났으

며, 스타일렌, MIBK, 뷰틸알데하이드, i-뷰틸알콜, 클로로벤젠이 2.14 ~ 23.36 ppb 정도로 미량 검출되었다.

정만호가 연구한 『여수·광양산단 사업장 악취 배출특성 연구』의 여수산단 사업장의 악취배출 특성<sup>1)</sup>에서도 정유시설의 배출구(RTO시설)에서 암모니아, 트라이메틸아민, 황화합물 4종 중 황화수소, 기준항목인 알데하이드류 5종 중 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, 뷰틸알데하이드가 검출되었다고 보고하고 있어 본 연구 결과와 유사하다.

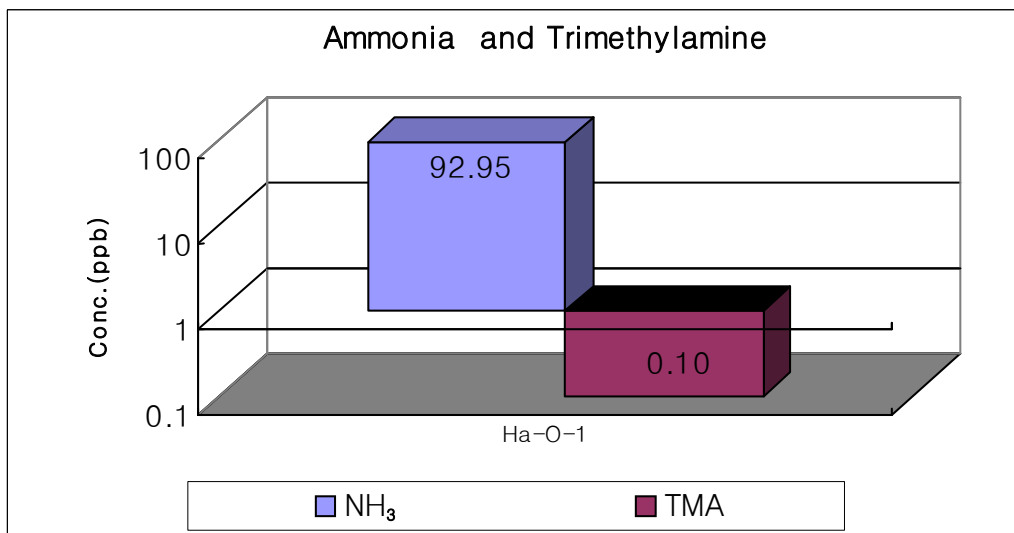


Fig. 4.21. Ammonia and trimethylamine concentration of prevention facilities outlet in oil refinery facilities.

Table 4.5. Odor material concentrations of prevention facilities outlet in oil refinery facilities (unit : ppb)

Compounds	station	Ha-0-1
Hydrogen sulfide		141.31
Methyl mercaptan		N.D
Dimethyl sulfide		N.D
Dimethyl disulfide		N.D
sulfur dioxide		49,423.40
Ammonia		92.95
Trimethyl amine		0.10
Acetaldehyde		3416.27
Propionaldehyde		956.69
Butylaldehyde		665.05
l-Valeraldehyde		N.D
n-Valeraldehyde		N.D
Formaldehyde		1015.80
Acrolein		N.D
Acetone		2312.51
Crotonaldehyde		152.84
Benzaldehyde		84.80
o-Tolualdehyde		N.D
m.p-Tolualdehyde		42.29
Hexaldehyde		97.34
Stylene		2.70
Toluene		247.13
Xylene		474.99
Methyl ethyl ketone		245.37
Methyl isobutyl ketone		23.36
Butylacetate		12.05
Isobutylalcohol		2.14
Benzene		297.89
Chlorobenzene		12.97
Ethylbenzene		155.28

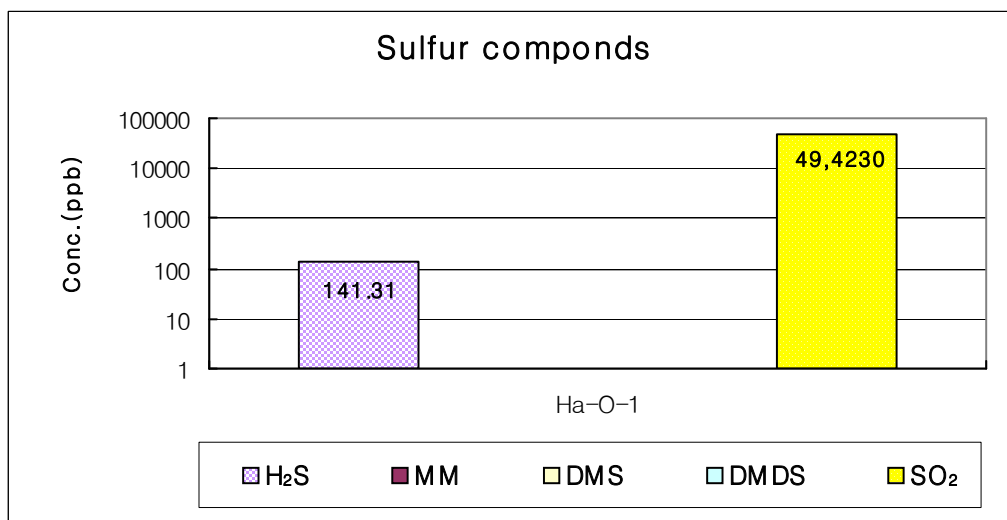


Fig. 4.22. Sulfur compounds concentration of prevention facilities outlet in oil refinery facilities.

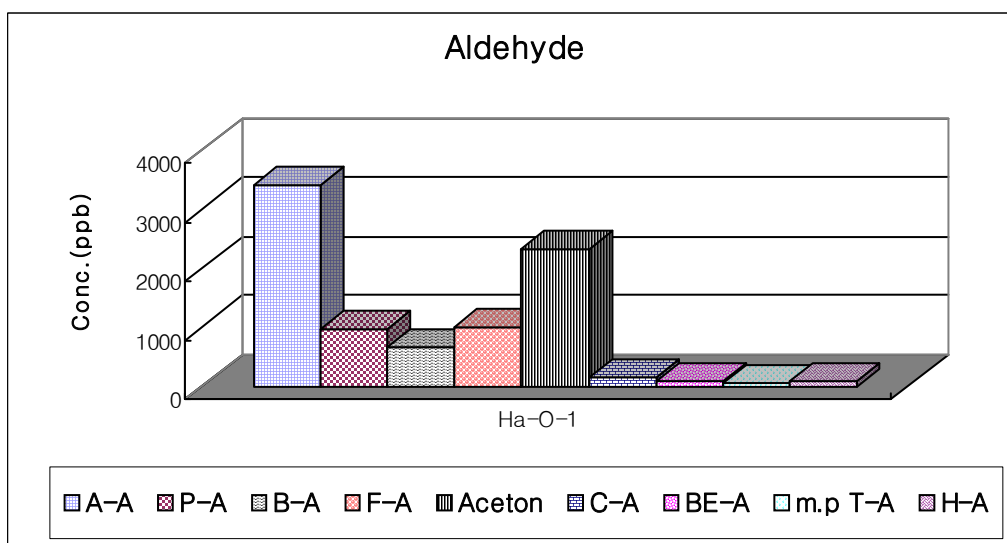


Fig. 4.23. The aldehyde concentration of prevention facilities outlet in oil refinery facilities.

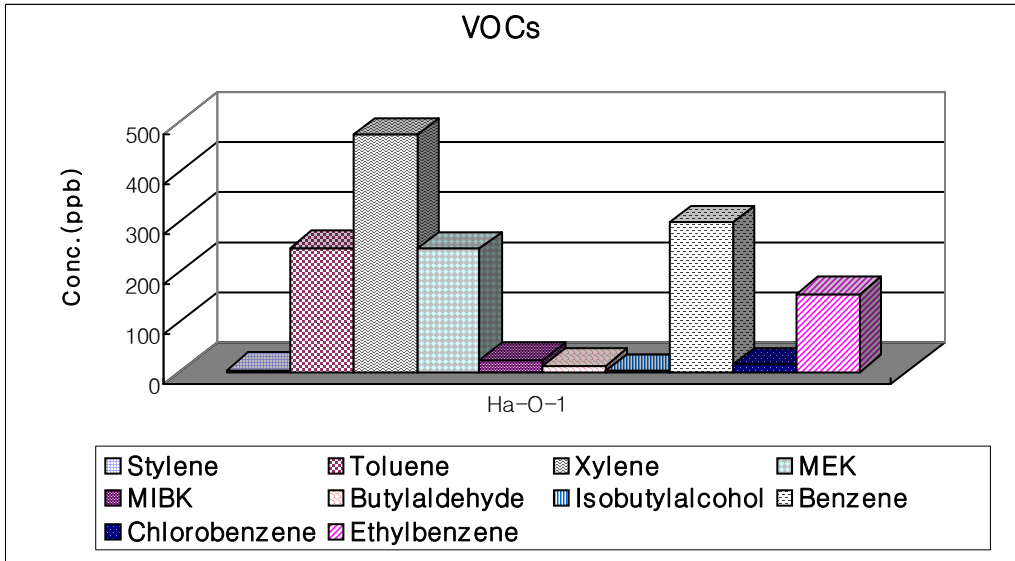


Fig. 4.24. VOCs concentration of prevention facilities outlet in oil refinery facilities.

### 4.1.2 악취물질별 사업장 배출농도 비교

조사 사업장군들의 악취물질별 발생정도를 평균값을 이용하여 비교하여 보았다.

#### 1. 암모니아 및 트라이메틸아민

암모니아 배출농도는 Fig. 4.25와 같이 평균값으로 비교할 때 도금사업장이 1012.42 ppb로 가장 높았고, 주물·주조사업장에서 923.95 ppb, 고무제조사업장에서 342.31 ppb, 폐유정제사업장 92.95 ppb 순으로 나타났으며, 도장사업장에서 79.93 ppb로 가장 낮은 농도를 보였다.

트라이메틸아민은 고무제조사업장에서 0.214 ppb, 폐유정제사업장은 0.100 ppb, 주물·주조사업장은 0.057 ppb, 도금사업장 0.035 ppb, 도장사업장 0.008 ppb 순으로 나타났다.

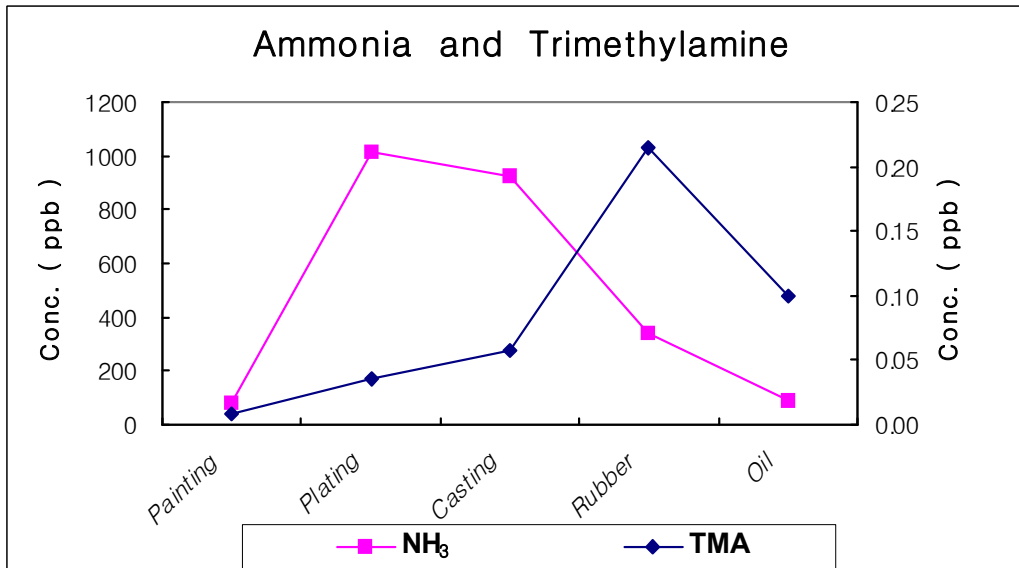


Fig. 4.25. Trend of Ammonia and trimethylamine concentration at five comparison group.



## 2. 황 화합물

Fig. 4.26과 같이 황 화합물 중 검출된 황화수소와 이산화황, 메틸머캅탄을 합한 총량으로 보면 폐유정제사업장이 49,563.40 ppb로 다른 사업장군에 비해 월등히 높은 농도를 보였는데, 이는 이산화황이 99.7 %에 이르는 많은 양이 검출되었기 때문이다.

나머지 사업장 군에서는 주물·주조사업장 627.41 ppb(이산화황 89.7 %, 황화수소 10.3 %), 고무제조사업장 216.56 ppb(이산화황 89.6 %, 황화수소 10.3 %), 도금사업장 21.37 ppb(이산화황 89.1 %, 황화수소 10.9 %), 도장사업장 0.89 ppb(이산화황 76.4 %, 황화수소 23.6 %) 순으로 나타났다. 메틸머캅탄은 주물·주조와 고무제조사업장에서만 검출되었고, 디메틸설파이드와 디메틸디설파이드는 조사사업장 모두에서 검출되지 않았다.

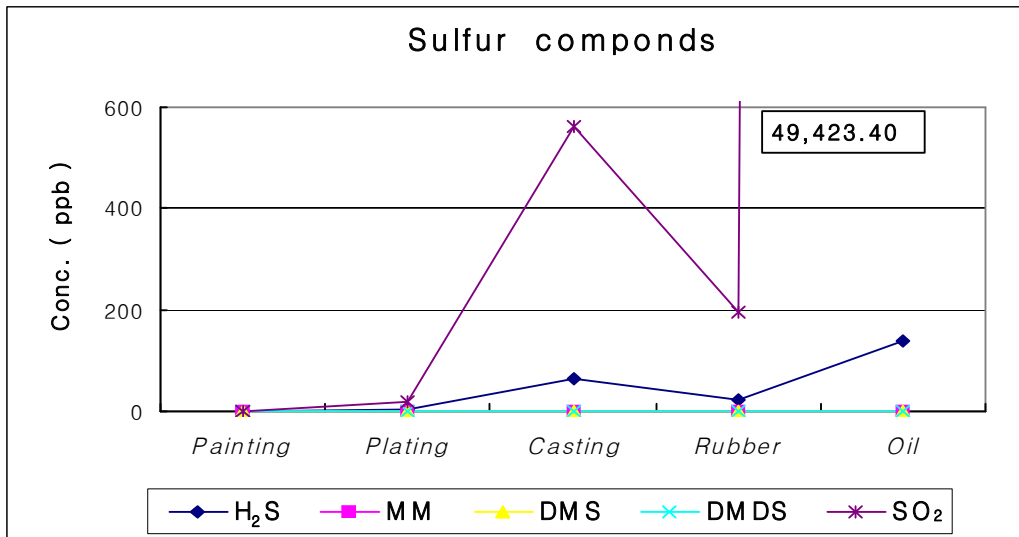


Fig. 4. 26. Trend of sulfur compounds concentration at five comparison group.

### 3. 알데하이드류

Fig. 4.27과 같이 검출된 알데하이드류의 총 농도로 비교해 보면 황 화합물과 동일하게 폐유정제사업장이 8,743.59ppb로 높은 농도를 보였는데 그중에서 아세트알데하이드가 전체농도의 39.1%를 차지하였다.

그리고 총 농도 5,807.87ppb인 도장사업장(아세톤 37.6%, 폼알데하이드 21.9%, 아세트알데하이드 17.9%), 1,054.75ppb인 고무제조사업장(아세트알데하이드 24.5%, 뷰틸알데하이드 22.4%, n-발레르알데하이드 20.7%), 585.29ppb인 도금사업장(폼알데하이드 90.8%), 226.91 ppb인 주물·주조사업장(아세톤 34.8%, 폼알데하이드 32.0%, 아세트알데하이드 22.2%) 순으로 알데하이드류 물질이 높게 배출되었다.

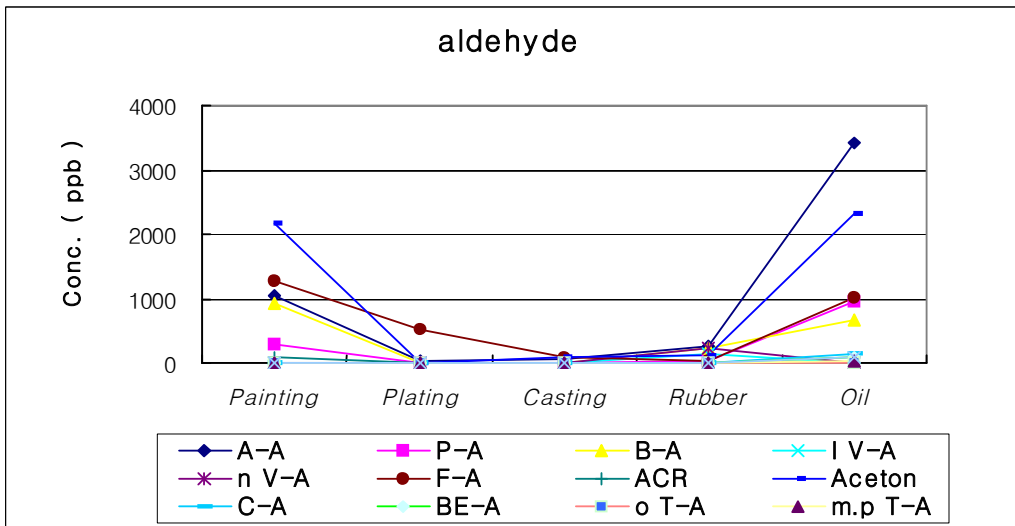


Fig. 4.27. Trend of The aldehyde concentration at five comparison group.

#### 4. 휘발성 유기화합물

Fig. 4.28에서 VOCs의 총 농도를 살펴보면 페인트와 휘발성 유기용매를 많이 사용하는 도장사업장에서 4,514 ppb로 가장 높게 나타났으며, 이 중 톨루엔이 전체 농도의 46.5 %를 차지하였다. 다음으로는 폐유정제사업장이 1,473.88 ppb로 높았는데, 이 중 자일렌이 32.2 %, 벤젠이 20.2 %를 차지하였다.

고무제조사업장은 1,269.07 ppb의 농도를 보였는데, 그중에서 메틸이소부티르케톤(MIBK)이 42.1 % 톨루엔이 35.2 %를 차지하였다. 그리고 주물 · 주조사업장은 585.20 ppb로 전체농도 중 약 79 %를 톨루엔과 자일렌, 벤젠이 차지하는 것으로 나타났다.

한편 도금사업장에서는 총 농도 128.40 ppb 중 톨루엔이 58.1 %를 차지하였다.

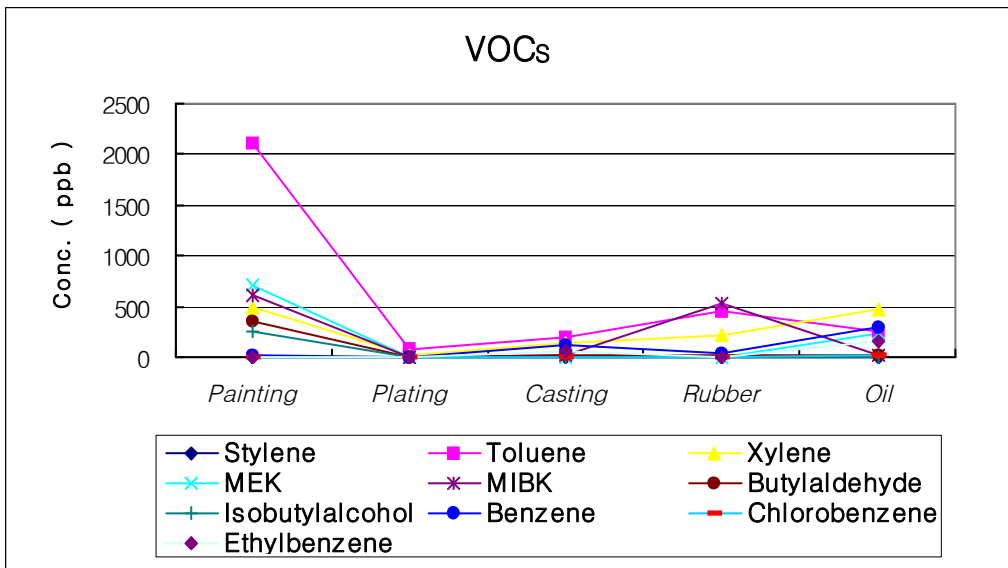


Fig. 4.28. Trend of VOCs concentration at five comparison group.

## 4.2 사업장별 악취물질의 기여도 평가

악취물질의 배출특성 결과를 바탕으로 각 사업장에서의 사용원료 및 작업공정, 방지시설 실태 등을 살펴 악취물질의 기여도를 조사하였다. 악취기여도는 악취물질의 최소감지농도를 이용해 구하는 이론희석배수와 Weber-Fechner 법칙을 이용해 악취물질의 농도에 따른 악취강도를 수식화한 악취세기를 이용하였다.<sup>1,27)</sup>

악취는 개별 물질마다 사람의 후각으로 느낄 수 있는 최소농도 즉 최소감지농도가 다른데, 측정된 악취물질의 농도를 이 최소감지농도로 나눈 값이 이론희석배수이다.<sup>21,80)</sup>

결과에서 분석된 악취물질들이 전체 악취성분을 대표한다는 가정 하에 각 물질의 이론희석배수를 종합하여 개별악취물질이 전체악취물질의 이론희석배수 중에서 차지하는 비율을 계산하여 악취기여도를 평가하였다.

### 4.2.1 도장사업장

도장은 외부의 여러 가지 오염원으로부터 제품 표면을 안전하게 보호하거나, 제품 외형의 색을 입히기 위하여 도료 등을 접착시키는 공정으로 도료의 접착성과 표면 광택도 향상을 위하여 다양한 유기용제가 사용된다.

도장공정은 크게 제품세척, 도료도포 및 건조과정으로 나누어지며, 이중 도포 및 건조과정에서 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)이 다량 발생하는 것으로 널리 알려져 있다.

Table 4.6에 도장(표면처리) 관련 조사대상 사업장의 업종과 도장 공정에서 사용되는 도료 및 용제를 나타내었으며, 도장(표면처리) 공정에 사용되는 주요 유기용제의 성상은 Table 4.7과 같다.

Ha-P-1의 사업장은 전자부품에 도장 및 피막처리를 실시하는 사업장으로 원자재를 화성피막 작업 후 수성페인트로 전착 도장하여 건조시킨 후 포장 및 출하하는 공장으로서, 건조하는 과정에서 매캐한 악취가 발생하였는데, 도료로 사용되는 수성페인트는 에멀전 수지, 용수, CaCO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>를 주원료로 하여 제조되는데, 에멀전 수지는 물, 기름 성분과 물 성분을 혼합해주는 유화제, 피막을 형성하는 단량체 등 여러 가지 성분으로 이뤄졌으며, 단량체는 보통 스타이렌계 단량체가 주로 사용된다.

Table 4.6 Paint factories under investigation

사업장 구분		사업장 업종	사용 도료 및 용제	방지시설
1	Ha-P-1	도장 및 기타 피막처리업	수성페인트(15kg/d)	흡착시설
2	Ha-P-2	기타전자부품	유성페인트(33.6 ℓ /d) 신너(14.4 ℓ /d)	여과+흡착시설
3	Ha-P-3	전자부품, 영상, 음향 및 통신장비제조업	유성페인트(20 ℓ /d) 신너(20 ℓ /d)	세정+흡착시설
4	Ha-P-4	강주물주조업	유성페인트(10 ℓ /d) 신너(10 ℓ /d)	여과+흡착시설
5	Ha-P-5	조립금속제품제조업	유성페인트(30 ℓ /d) 신너(30 ℓ /d)	세정+흡착시설
6	Ha-P-6	도장 및 기타 피막처리업	분체 도료(25kg/d)	원심력+흡착시설

Table 4.7 Characteristics of organic solvent used in painting process<sup>76)</sup>

원료명	최소감지값 (ppm)	증기압 (mmHg)	물에 대한 용해도	인화점 (°C)
Toluene	0.33	22(20°C)	slightly soluble	4
Xylene	0.058 ~ 0.38	8(20°C)	insoluble	32
MEK	0.44	78(20°C)	soluble	-9
MIBK	0.17	16(20°C)	soluble	18

Ha-P-1 사업장에서는 방지시설로 흡착탑이 설치되어 가동되고 있는데 조사결과 배출구에서 주로 알데하이드류, 특히 아세트알데하이드나 뷰티르알데하이드, 폼알데하이드 등이 다량 배출되는 것으로 밝혀졌다. 이 물질들은 수성페인트의 주원료인 에멀전 수지에 다량 함유된 성분들로 알려져 있다.

Ha-P-2 사업장은 가전제품(냉장고)의 부품을 습식 도장하여 건조 후 포장 및 출하하는 사업장으로, 도장 공정에서 사용하는 용제인 신너, 유성페인트 등으로 인해 강한 용매 냄새가 감지되었다. 방지시설로는 1차 여과시설, 2차 방지시설이 가동되고 있었다.

도료는 유성페인트를 사용하는데 사용량은 33.6 L/d 정도이며, 페인트의 점도를 희석시키기 위한 희석제로 쓰이는 신너는 하루에 14.4 L 정도 사용되고 있었는데,

유성페인트는 합성수지, 솔벤트, 자일렌, 톨루엔, 납화합물, 크롬화합물, 탄산칼륨, 기타원료로 제조되며, 신너는 벤젠계, 케톤류, 알콜류, 아세테이트류 화합물 등으로 구성되어 있는 혼합 유기용제이다.

본 연구결과 Ha-P-2 사업장 방지사설 배출구에서는 아세톤, 톨루엔, 자일렌, 부틸아세테이트, MEK, MIBK, i-부틸알콜 등이 다량 검출되었는데 이는 유성도료와 희석제로 쓰이는 신너 때문인 것으로 판단된다.

Ha-P-2 사업장의 생산 및 처리공정은 원료 → 세척 → 성형사출 → 도장 → 건조 → 검사 → 포장 → 제품 출하 공정으로 Fig. 4.29에 나타내었다.

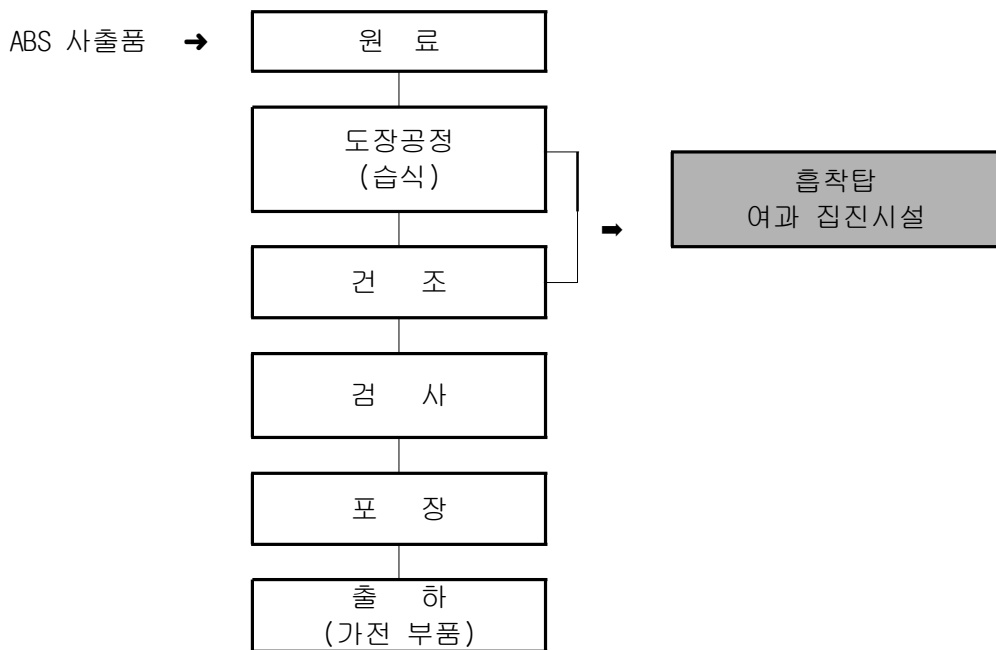


Fig. 4.29. Ha-P-3 factory produce and handling process.

Ha-P-3 사업장은 플라스틱 소재인 acrylonitrile butadiene styrene(ABS), polypropylene(PP) 등을 이용하여 전자부품, 영상, 음향 및 통신장비를 생산하는 사업장으로, 플라스틱 소재를 도장하는 공정에서 유성페인트와 희석제인 신너가 20 L/d 씩 사용되고 있었는데, 공장 주변에서 유기용제 냄새가 감지되었다.

Ha-P-3 사업장의 1차 세정시설, 2차 흡착탑을 걸쳐 배출되는 가스에서도 Ha-P-2 사업장과 유사하게 아세톤, 톨루엔, MIBK, MEK, 부틸아세테이트 등이 고농도로 검출되었다.

Ha-P-4 사업장은 금속 공작기계부품을 주조하여 생산하는 시설로, 원료입고 및 투입부터 마지막 공정인 도장 공정에서 사용되는 원재료 및 첨가제에 의한 먼지 및 악취가 발생하고 있었다. 유성페인트와 희석제인 신너를 10 L/d 씩 사용하고 있었다. 방지시설은 여과시설과 흡착시설을 병행하여 가동하고 있으나 조사결과 배출가스에서 톨루엔, 자일렌, MEK, MIBK, 에틸벤젠 등이 고농도로 검출되었다.

Ha-P-5 사업장은 금속 공작기계부품을 가공, 도장, 조립하여 출하하는 사업장으로 유성페인트와 희석제인 신너를 30 L/d 씩 사용하고 있으나, 작업장이 전체적으로 잘 밀폐된 상태여서 공장 주변에서는 악취를 감지할 수 없었다. 하지만 세정시설과 흡착시설을 거쳐 배출되는 가스에서는 고농도의 톨루엔과 자일렌, 부틸아세테이트, 에틸벤젠, 아세트알데하이드, 부틸알데하이드 등이 검출되었다.

Ha-P-6 사업장은 가전제품 부품을 분체도료를 이용하여 도장하여 건조한 후 포장 및 출하하는 업체로, 도장 공정이라는 선입건과는 달리 악취발생이 거의 없었다.

분체도료는 용제 등의 희석제를 포함하지 않는 100% 고형분 도료로써 용제 냄새가 거의 없다. 원심력 집진시설과 흡착탑을 거쳐 배출되는 가스에서 아세톤, 톨루엔, 자일렌 등의 휘발성 물질들이 아주 미량 검출되었다.

## 1. 악취발생원

### 가. 원료 방치

대부분의 사업장에서 원료로 사용되는 유성도료 및 희석제(신너)가 작업장 내에 별도의 관리 없이 방치되고 있어 작업장에 악취가 발생되고 있다. 이러한 도료 및 희석제의 주요 성분인 톨루엔, 자일렌 등 휘발성 유기화합물은 모두 상온에서 증기압이 높은 물질로 개방 상태로 보관 시 공기 중으로 휘발되어 악취가 발생할 수 있으며, 실제 대부분의 도장 사업장에서 악취가 발생되었다. 배출가스의 VOC 농도는 평균 수ppm 내외로 측정되어 사업장 인근 주변으로 확산될 수 있으며, 작업장 내부의 악취가 출입구 및 창문을 통해 외부로 확산되고 있었다.

## 나. 도장(도포)공정 악취발생

도료 도포는 분사, 담그기 및 붓질 등의 방법이 있으며, 대부분의 사업장에서는 분사방식을 이용한 도포작업을 하고 있으며, 도료 분사 시 발생하는 VOC는 분사실(spray booth)의 악취포집시설에 의해 포집되어 방지시설로 이송되어 처리되지만 대부분 분사실의 악취포집 효율이 낮아 외부로 확산되며, 부스 내 세정수 장기 사용 등으로 도장(도포)과정 중 악취물질이 지속적으로 발생되었다.

도료 분사실의 모습을 Fig. 4.30에 나타내었다.

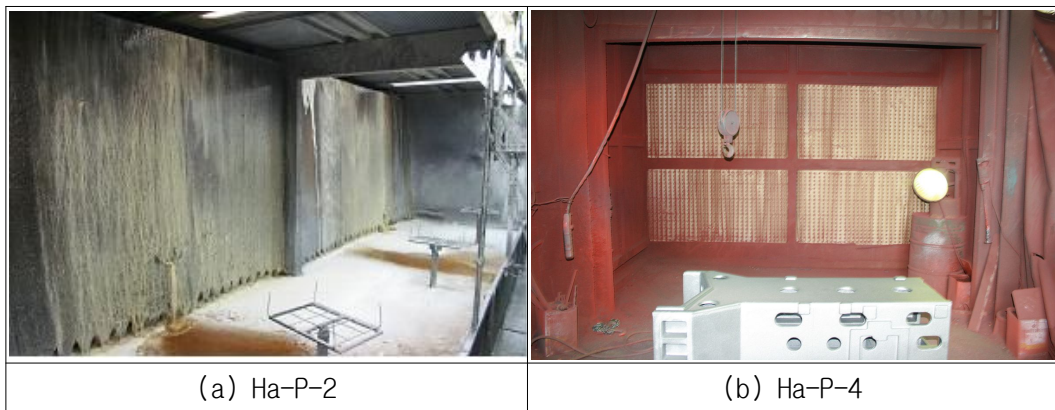


Fig. 4.30. Photographs of painting process.

## 다. 건조공정 악취발생

도장(도포)된 도료는 건조실에서 착색되며 이때 휘발되어 발생하는 악취물질은 포집장치를 통해 포집된 후 방지시설로 이송되어 처리되고 있으나 배기가 원활하지 못해 작업장으로 악취가 확산되며, 열풍건조방식에 의한 건조과정은 열손실을 감소시키기 위해 완전 밀폐된 상태에서 운전 중이며, 이로 인해 건조과정 중 발생하는 VOC의 외부 확산은 적은 것으로 조사되었다.

## 라. 방지시설 운영 현황

6개 중 5개의 도장사업장은 활성탄 흡착방식의 방지시설을 운전하고 있으며, 흡착방식의 경우 저농도 고품량 악취발생시 처리가 용이한 것으로 알려져 있다. 고농도 VOC 발



생 시 효율적인 악취저감을 위해서 정확한 활성탄 교체주기 산정에 따른 운전이 요구되고 있으나 교체주기 연장이나 흡착탑에서 활성탄 충전 방법이 자루에 담아서 충전하고 있어 충전자루 간의 매우 큰 공극 발생에 때문에 편류 등으로 인한 정상적인 흡착이 어려울 것으로 판단되는 등 관리가 소홀한 경우가 많은 실정이다.

## 2. 이론희석배수

악취는 개별 물질마다 사람의 후각으로 느낄 수 있는 최소농도 즉 최소감지농도가 다르다. 최소감지농도는 Table 4.8과 같이 탄소와 수소만으로 된 화합물보다 산소, 황, 질소 등의 헤테로 원자가 포함되어 있는 화합물들이 대체로 작은 값을 나타내고 있는데 최소감지농도가 작을수록 낮은 농도에서 냄새를 유발함으로 강한 냄새를 낸다고 할 수 있다.

Fig.4.31과 같이 도장사업장의 주요 악취물질농도 비율은 아세톤이 20.3 %로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 톨루엔 > 폼알데하이드 > 아세트알데하이드 순으로 19.6~9.7 %의 배율을 나타냈다. 그러나 최소감지농도를 이용해 계산한 이론희석배수를 살펴보면 농도비율 8.6 %를 보이던 뷰틸알데하이드가 전체 이론희석배수의 73.8 %를 차지하는 것으로 나타났으며, 다음으로 아세트알데하이드가 17.7 %, 프로피온알데하이드는 4.9 % 순으로 나타났다.

따라서 도장사업장에서 발생하는 악취에 기여하는 비율은 아세톤이나 톨루엔 성분보다는 뷰틸알데하이드 및 아세트알데하이드 물질이 크게 미치는 것으로 추정된다.

이는 아세트알데하이드가 이론희석배수의 63%를 차지하는 것으로 나타난 이종국 논문의 표면처리(도장) 관련 사업장 측정·분석 결과 중 최종배출구에서의 악취물질 결과<sup>5)</sup>와 차이는 있으나 알데하이드류가 주요 악취유발물질로 나타난 점에서는 유사하고, 환경부 홈페이지에 등록된 자료인 『업종·시설별 악취관리』의 도장시설 악취 배출현황<sup>79)</sup>에서 주로 배출되는 악취물질로 용제의 주성분인 톨루엔, 자일렌 등의 방향족 화합물과 이들이 고온 산화되어 생성되는 뷰틸알데하이드, 프로피온알데하이드 등 알데하이드류라고 제시한 내용과도 일치한다.

Table 4. 8. Odor material concentrations and theoretical dilution rate of prevention facilities outlet in painting facilities

Odorous Compounds	Mean concentration & Percent		Theoretical Dilution rate & Percent		
	Mean concentration (ppb) (n=6)	Percent (%)	Odor threshold (ppb)	Theoretical Dilution rate	Percent (%)
Hydrogen sulfide	0.21	0.0	0.50	0.4	0.0
Methyl mercaptan	0.00	0.0	0.12	0.0	0.0
Dimethyl sulfide	0.00	0.0	0.12	0.0	0.0
Dimethyl disulfide	0.00	0.0	0.28	0.0	0.0
sulfur dioxide	0.68	0.0	55	0.0	0.0
Ammonia	79.93	0.7	150.00	0.5	0.0
Trimethyl amine	0.01	0.0	0.11	0.1	0.0
Acetaldehyde	1042.18	9.7	1.50	694.8	17.7
Propionaldehyde	286.72	2.7	1.50	191.1	4.9
Butylaldehyde	927.72	8.6	0.32	2899.1	73.8
l-Valeraldehyde	3.80	0.0	0.19	20.0	0.5
n-Valeraldehyde	10.68	0.1	0.71	15.0	0.4
Formaldehyde	1272.05	11.8	500	2.5	0.1
Acrolein	80.17	0.7	3.6	22.3	0.6
Acetone	2181.60	20.3	42000	0.1	0.0
Crotonaldehyde	0.00	0.0	23	0.0	0.0
Benzaldehyde	0.00	0.0	-	0	0.0
o-Tolualdehyde	0.00	0.0	-	0	0.0
m.p-Tolualdehyde	0.00	0.0	-	0	0.0
Hexaldehyde	2.95	0.0	-	0	0.0
Stylene	3.60	0.0	33	0.1	0.0
Toluene	2099.86	19.6	920	2.3	0.1
Xylene	492.79	4.6	110	4.5	0.1
Methyl ethyl ketone	700.90	6.5	440	1.6	0.0
Methyl isobutyl ketone	605.52	5.6	170	3.6	0.1
Butylacetate	346.46	3.2	8	43.3	1.1
Isobutylalcohol	250.90	2.3	11	22.8	0.6
Benzene	13.97	0.1	2700	0.0	0.0
Chlorobenzene	2.65	0.0	68000	0.0	0.0
Ethylbenzene	331.77	3.1	170	2.0	0.0

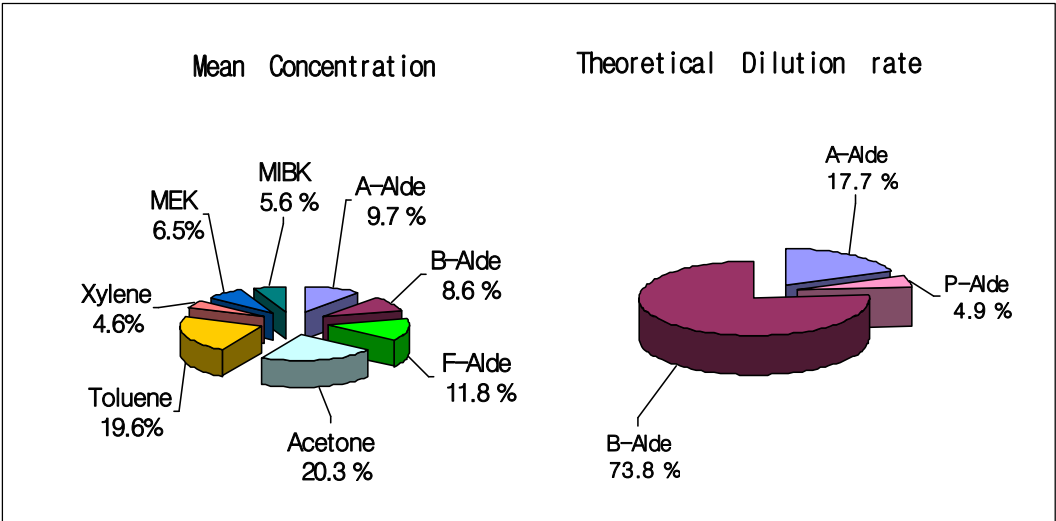


Fig. 4.31. Percentage of odor material concentrations and theoretical dilution rate in painting facilities.

### 3. 악취세기

대기 중 냄새의 정도를 수치화하여 표현하는 방법 중의 한가지인 직접관능법에 의한 악취세기는 최소감지농도 수준의 냄새를 1도, 악취로 인식되지 않을 보통의 수준을 2도로 하며, 기타 악취로 느낄 수 있는 세기를 3~5도로 규정하고 있다.

Fig.3.32와 같이 도장사업장의 방지시설에서 배출되는 악취물질 중 악취로 느낄 수 있는 3도 이상의 악취세기를 나타내는 것은 뷰틸알데하이드가 4.2도, 아세트알데하이드가 3.9도, 프로피온알데하이드는 3.3도로 도장사업장에서 발생하는 악취의 주요 유발물질은 알데하이드류로 평가되었다. 다음으로 휘발성 유기화합물 중 자일렌, 톨루엔, 메틸이소부티르케톤이 1~2도 이상의 악취강도를 나타냈다. 조사 결과에 따르면 하남산단 도장사업장들에서 배출되는 악취의 주요 유발물질은 알데하이드류와 일부 휘발성 유기화합물인 것으로 판단된다.

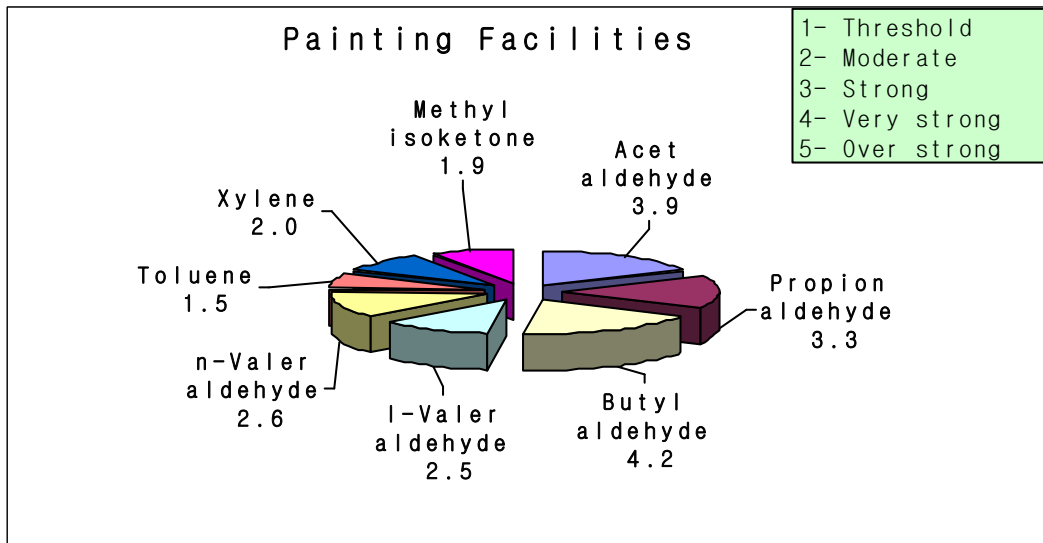


Fig. 4.32. Main odor inducer materials by odor intensity index in painting facilities.

## 4.2.2 도금사업장

일반적으로 도금사업장은 도금처리 하는 공정방식에 따라 크게 습식도금과 건식도금으로 나뉘지는데 대부분의 업체가 습식도금 방식을 사용하고 있는데, 그 중에서도 특히 전기도금방식을 사용하고 있다. 도금사업장은 주로 규모가 작은 전형적인 중소기업들로 환경투자여건이 상당히 열악한 시설들이 많다. 또한 사회적으로 3D업종으로 인식되고 있으며, 전문 인력이 환경관리를 담당하는 경우는 거의 없는 실정이다.<sup>81)</sup>

대부분 사업장 내 반응조들이 덮개시설이 되지 않은 상태로 방치되어 흠 등의 가스물질이 휘발되고 있어 사업장 내에서는 매캐한 산 냄새가 감지되었으나, 대부분 흡수법을 이용하고 있는 방지시설의 배출가스에는 악취 발생은 적은 것으로 조사되었다. 분석결과 암모니아, 폼알데하이드, 톨루엔 등이 미량 배출되며, 주요 악취유발물질로는 아세트알데하이드, 암모니아, 황화수소 등인 것으로 추정되었다.

Table 4.9에 도금사업장의 업종과 사용 약품 및 방지시설을 나타내었다.

Table 4.9. Plating factories under investigation

사업장 구분		사업장 업종	사용 약품	방지시설
1	Ha-PL-1	도 금 업	계면활성제, 염산, ZnO, 황산니켈, NaCN, Na <sub>2</sub> S, CrO <sub>3</sub>	흡수시설
2	Ha-PL-2	도 금 업	계면활성제, 염산, NaOH, 염화니켈, 붕산, 황산, 중크롬산, Na <sub>2</sub> O <sub>5</sub> S <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> COOH	흡수시설
3	Ha-PL-3	도 금 업	계면활성제, NaOH, 염산, NaCN, CrO <sub>3</sub> , 크로메이트	흡수시설
4	Ha-PL-4	강관제조업	염산, 황산, 질산, NaOH, 제3인산 소다, 계면활성제, 황산아연, 염화아연	세정시설

Ha-PL-1의 사업장은 도로가설물인 가로등, 가드레인이거나 하수관로 그레이팅 등을 아연도금 처리하는 사업장으로 작업장 안에서 약한 산 냄새가 감지되었다.

방지시설은 흡수시설로 배출가스를 분석한 결과 1ppm 정도의 암모니아와 아세트알

데하이드, 폼알데하이드, VOCs 물질이 소량 검출되었으며, 생산 및 처리공정을 Fig. 4.33에 나타내었다.

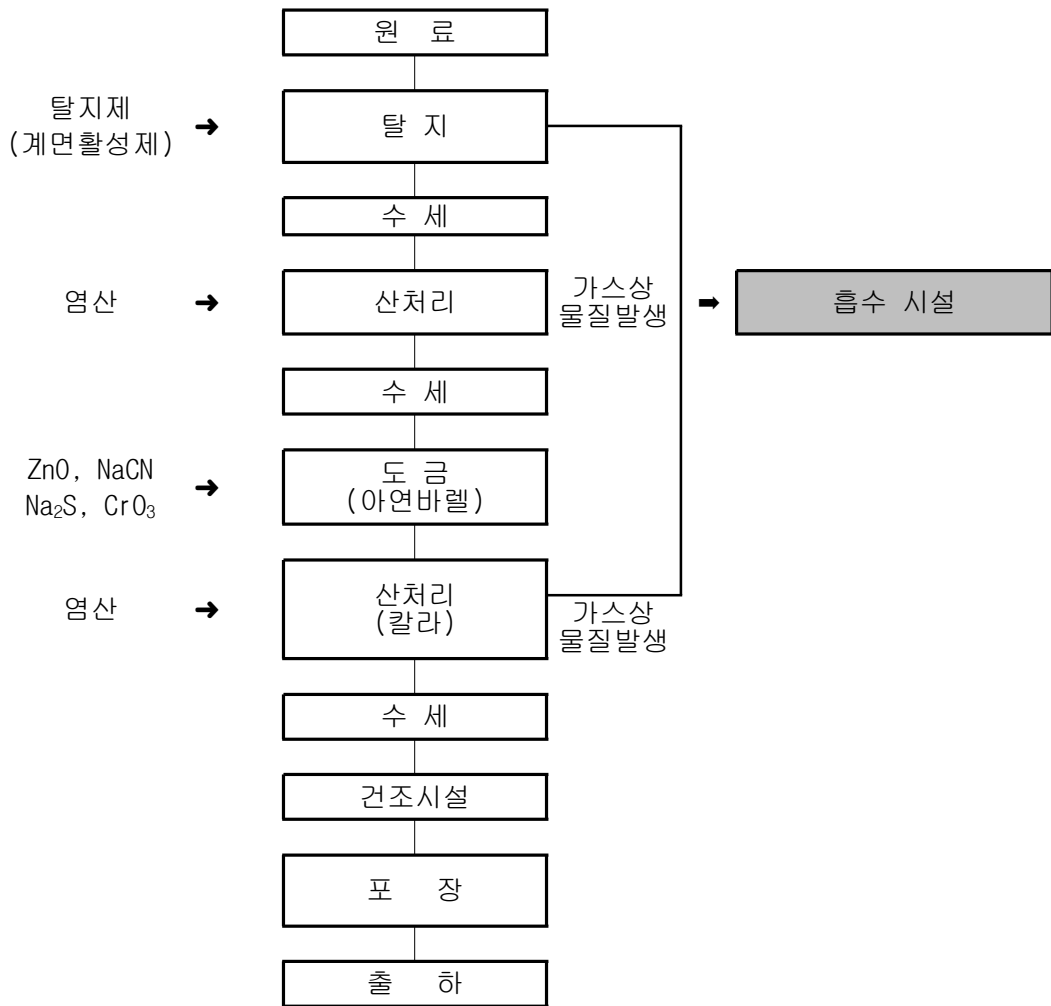


Fig. 4.33. Ha-PL-1 factory produce and handling process.

Ha-PL-2 사업장은 냉장고 도어부품을 니켈-크롬 도금 처리하여 출하하는 사업장으로 작업장 안에서는 약품냄새가 약하게 감지되었으나, 사업장 부지경계에서는 냄새가 감지되지 않았고, Ha-PL-3 사업장은 백색가전 부품, 자동차 부품, 기타 부품들을 전기아연도금 처리하여 출하하는 사업장이다. 두 사업장 모두 방지시설은 흡수시설을 운영하

고 있으며, 배출가스를 분석한 결과 암모니아가 0.8 ~ 2 ppm 정도 검출되었고, 아세트알데하이드, 폼알데하이드, VOCs 물질들이 미량 검출되었다.

Ha-PL-4 사업장은 소구경 강관을 제조하는 사업장으로 원재료인 강판을 조관하여 황산아연 도금처리와 도장처리를 거쳐 출하하는 사업장으로 부지경계선에서는 냄새를 감지할 수 없었다. 방지시설은 세정시설로, 배출가스를 분석한 결과 폼알데하이드가 2 ppm 정도 검출되었고, 이산화황, 황화수소, 암모니아, 알데하이드류, VOCs 물질이 미량 검출되어 나머지 사업장과 약간 다른 양상을 보였다.

도금사업장의 공정은 대부분 유사하며, 주로 사용되는 약품으로는 탈지제인 계면활성제, NaOH, 산처리제인 염산, 황산, 질산, 도금약품인 황산니켈, 염화니켈, 황산아연, 기타약품으로 NaCN, Na<sub>2</sub>S, CrO<sub>3</sub>, ZnO 등이 있다.

## 1. 악취발생원

### 가. 산·알칼리 처리시설에 의한 악취발생

작업장에서 발생하는 악취는 주로 공정에서 다량 사용되는 염산, 황산, 가성소다 등의 사용 약품에서 발생하는 산·알칼리 물질에 의한 냄새이며, 산·알칼리 처리 작업 조가 덮개시설 없이 방치되고 있어 작업장 내로 약품냄새가 그대로 배출되고 있었고, Fig. 4.34에 산처리, 화성처리, 도금공정의 모습을 나타내었다.



Fig. 4.34. Photographs of acidizing(a) and chemical conversion treatment(b) and plating process(c).

## 2. 이론희석배수

Fig. 4.35에 나타난 바와 같이 도금사업장의 주요 악취물질의 농도 비율은 암모니아가 57.9 %를 차지하고, 다음으로 폼알데하이드가 30.4 % > 톨루엔 4.3 %로 나타났다.

그러나 Table 4.10의 이론희석배수로 살펴보면 농도비율이 가장 높았던 암모니아는 전체 이론희석배수의 19.16 % 차지하는 것으로 나타났으며, 농도비율은 1.8 % 해당하는 아세트알데하이드가 이론희석배수에 대한 비율은 59.0 %로 가장 높게 나타났다. 그리고 황화수소는 농도 비율은 0.1 % 이었으나 희석배수 비율은 13.1 %로 세 번째로 높게 나타났다.

따라서 도금사업장에서 발생하는 악취에 영향을 미치는 물질은 알데하이드류 중 아세트알데하이드와 질소화합물 중 암모니아, 황 화합물 중 황화수소로 추정된다.

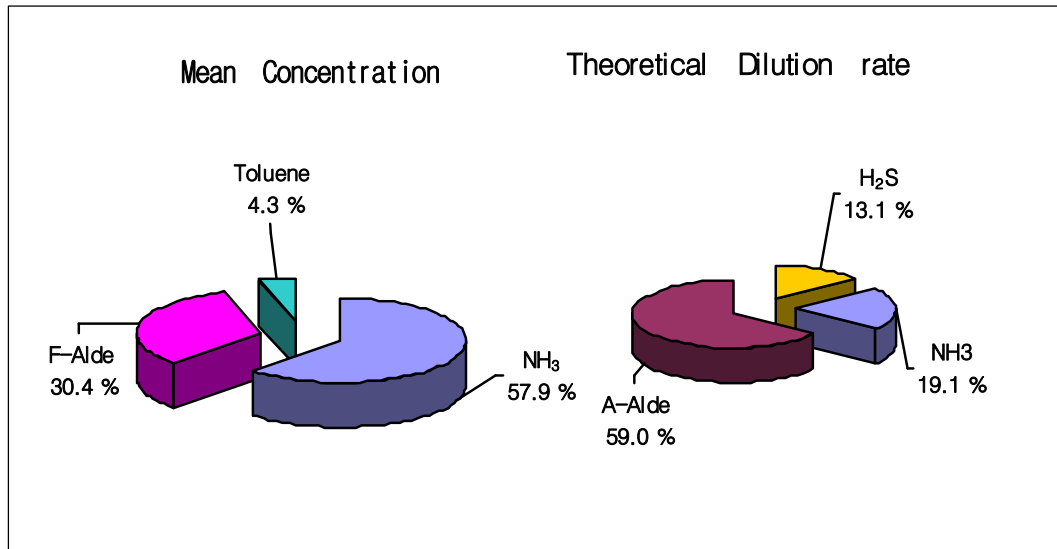


Fig. 4.35. Percentage of odor material concentrations and theoretical dilution rate in plating facilities



Table 4.10. Odor material concentrations and theoretical dilution rate of prevention facilities outlet in plating facilities

Odorous Compounds	Mean concentration & Percent		Theoretical Dilution rate & Percent		
	Mean concentration (ppb) (n=4)	Percent (%)	Odor threshold (ppb)	Theoretical Dilution rate	Percent (%)
Hydrogen sulfide	2.32	0.1	0.50	4.6	13.1
Methyl mercaptan	0.00	0.0	0.12	0.0	0.0
Dimethyl sulfide	0.00	0.0	0.12	0.0	0.0
Dimethyl disulfide	0.00	0.0	0.28	0.0	0.0
sulfur dioxide	19.05	1.1	55	0.3	1.0
Ammonia	1012.42	57.9	150.00	6.7	19.1
Trimethyl amine	0.04	0.0	0.11	0.3	0.9
Acetaldehyde	31.28	1.8	1.50	20.9	59.0
Propionaldehyde	0.00	0.0	1.50	0.0	0.0
Butylaldehyde	0.00	0.0	0.32	0.0	0.0
l-Valeraldehyde	0.00	0.0	0.19	0.0	0.0
n-Valeraldehyde	0.00	0.0	0.71	0.0	0.0
Formaldehyde	531.30	30.4	500	1.1	3.0
Acrolein	0.00	0.0	3.6	0.0	0.0
Acetone	6.18	0.4	42000	0.0	0.0
Crotonaldehyde	0.00	0.0	23	0.0	0.0
Benzaldehyde	6.22	0.4	-	0.0	0.0
o-Tolualdehyde	0.00	0.0	-	0.0	0.0
m,p-Tolualdehyde	10.31	0.6	-	0.0	0.0
Hexaldehyde	0.00	0.0	-	0.0	0.0
Stylene	0.80	0.0	33	0.0	0.1
Toluene	74.55	4.3	920	0.1	0.2
Xylene	18.27	1.0	110	0.2	0.5
Methyl ethyl ketone	8.50	0.5	440	0.0	0.1
Methyl isobutylketone	5.21	0.3	170	0.0	0.1
Butylacetate	7.68	0.4	8	1.0	2.7
Isobutylalcohol	0.45	0.0	11	0.0	0.1
Benzene	3.87	0.2	2700	0.0	0.0
Chlorobenzene	0.32	0.0	68000	0.0	0.0
Ethylbenzene	8.75	0.5	170	0.1	0.1

### 3. 악취세기

Fig. 4.36과 같이 도금사업장에서 배출되는 악취물질 중 악취세기가 3도 이상인 것은 없었고 암모니아, 아세트알데하이드, 황화수소가 악취로 인식되지 않는 보통 수준의 냄새를 나타내는 2도 정도(1.6~2.4)를 나타냈다.

이는 『업종·시설별 악취관리』<sup>79)</sup>에서 제시한 도금공장 악취세기 조사결과(1~2)와 일치한다. 도금사업장 배출악취는 사업장 근처에서는 암모니아 냄새 등이 악취로 감지될 수는 있으나 기상조건에 의해 멀리까지 악취를 유발하지는 않을 것으로 판단된다.

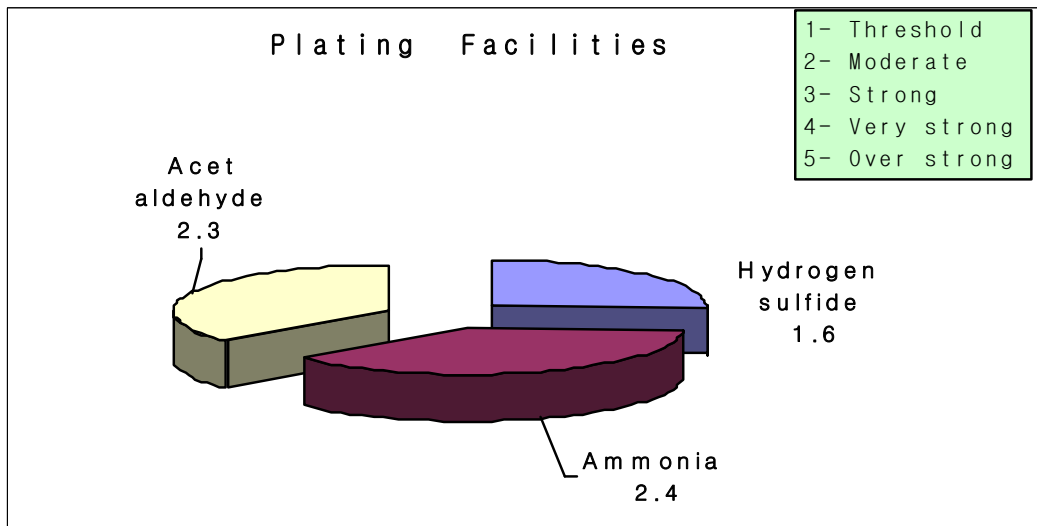


Fig. 4.36. Main odor inducer materials by odor intensity index in plating facilities.

### 4.2.3 주물 · 주조사업장

주물 제조사업장은 산업 활동에서 발생하는 철재를 이용하여 주물제품을 제조하는 업종으로 주로 선철과 고철 등을 원료로 사용하여 고로에서 용융 후 주형에 주입 및 경화하며, 주형의 재료에 따라 Green, Furan, Shell, CO<sub>2</sub> Process 등으로 구분된다. 주물제조사업장에서 발생하는 악취는 주로 주형의 종류에 따라 큰 차이를 보이는 것으로 알려져 있다.<sup>76)</sup>

Table 4.11에 주물·주조사업장의 업종과 사용원료 및 방지시설 등을 나타내었고, Table 4.12에는 주형재료의 종류를 나타내었다.

Table 4.11. Casting factories under investigation

사업장구분		사업장 업종	사용 원료 및 약품	방지시설
1	Ha-C-1	금속제품제조가공업	선철 :6톤/일 절단고철:1.52톤/일 압축고철 :2.36톤/일	원심력+여과 원심력+흡수 여과시설
2	Ha-C-2	선철주물주조업	강고철, 선철, 회수철 외 12,450톤/년 가탄제, Fe-Si, Fe-Mn	여과시설
3	Ha-C-3	강주물주조업(주물)	고철, 선철, 갈탄제, 슬라그응집제 등	여과시설
4	Ha-C-4	기타비금속광물제품제조업	강고철, 선철 등 2.39톤/일	세정시설

Table 4.12. Kind of ingredient for molding<sup>76)</sup>

분류	무기물	유기물
주물사 (사립자)	천연규사, 산사, 인조규사, 풍화규사, 올리빈사, 지르콘사, 석고	Carbon sand
점결제	점토(목질점토, 벤토나이트 등), 시멘트, 물유리(규산소다)	유지, 천연수지, 합성수지, 당밀, 전분 등
첨가제	규석분, 산화철, 물, 탄산가스, 규소철 등	석탄분, 피치분, 전분, 목분

\* 산사는 주형용 모래로 점토분 2% 이상 함유한 것을 규정으로 한 것

\* 석고도 주형재료로 주목되고 있다.

Ha-C-1 사업장은 선철 및 고철을 사용하여 주물을 제조하는 사업장으로 자동차 엔진 부품인 실린더블록과 실린더헤드가 주요 생산품이다. 1일 조업시간이 18.5시간으로 거의 주야간 가동되며, 1일 입고 원료량이 10톤인 1종 사업장으로 원료를 용해하는 시설과 용해액 주입과정, 냉각하는 과정에서 발생하는 악취가 작업장 내 및 주변으로 확산되고 있으며, 방지시설을 통해 배출되는 가스도 배출허용기준을 초과하지는 않지만 배출량이 많아 인근 주변에 악취를 발생하고 있었다.

Ha-C-1 사업장의 주요 생산 및 처리공정을 Fig. 4.37에 나타내었다.

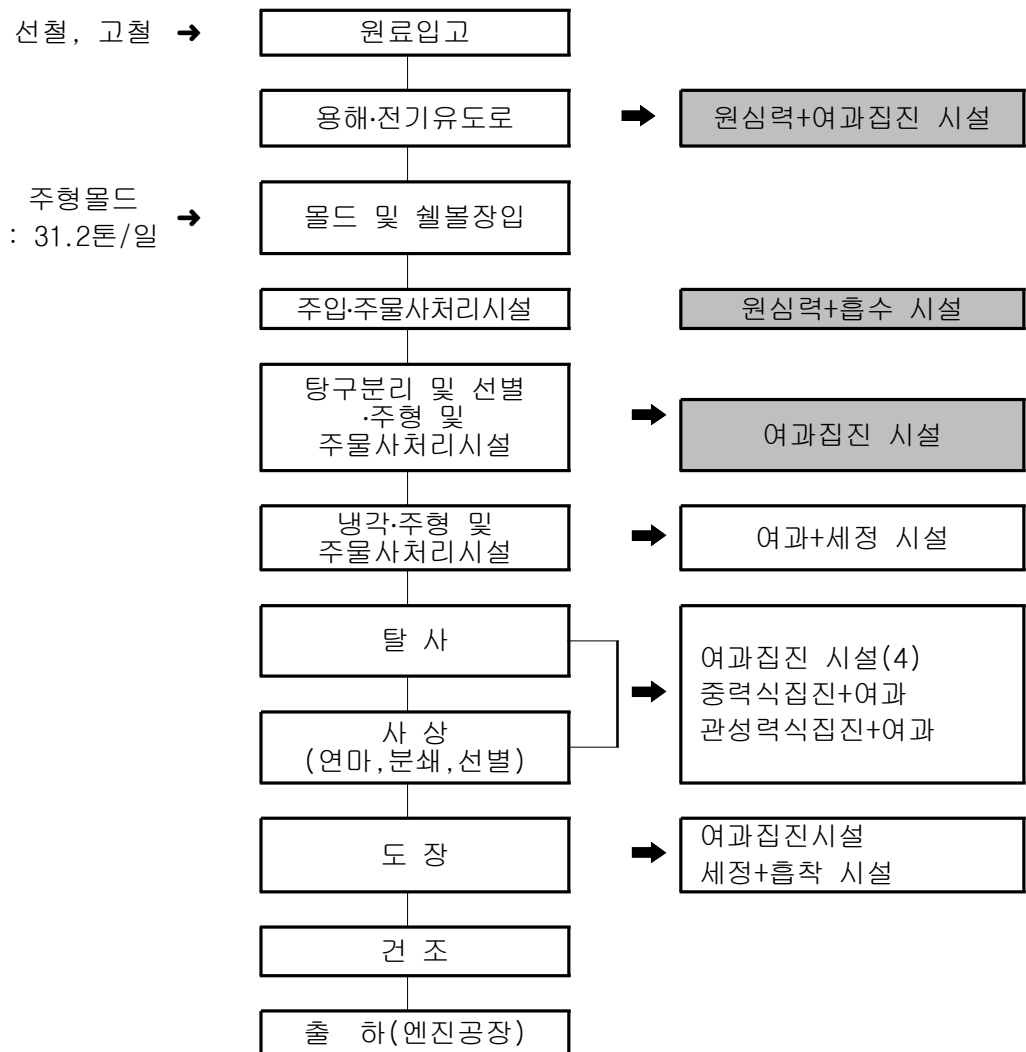


Fig. 4.37. Ha-C-1 factory produce and handling process.

Ha-C-2 사업장도 주물을 제조하는 사업장으로 연간 강고철, 선철, 회수철 등을 12,450톤 소모하고 기타 가탄제, Fe-Si, Fe-Mn 등을 첨가제로 사용하고 있다. 작업장 내에 먼지 및 악취를 제거하기 위한 포집시설 및 방지시설이 미흡하여 비산먼지가 많이 날리며, 공정의 특성상 아황산가스(SO<sub>2</sub>)가 많이 발생되고 있었고, 특히 작업장 양쪽의 대형 출입구 및 창문들을 열어놓은 상태에서 작업이 이뤄져 작업장 내부의 악취물질이 다량 외부로 누출되고 있었다.

Ha-C-3 사업장은 금속 공작기계 부품을 주조하여 생산하는 업체로 원료입고 및 투입부터 마지막 공정인 도장 공정에서 사용되는 재료들에 의해 먼지 및 악취물질이 발생되어 작업장 내의 악취가 외부로 다량 누출되고 있었으며, 방지시설을 통해 배출되는 가스는 인근 주변지역에 악취를 유발하고 있었다.

Ha-C-4 사업장은 규산점결제와 혼합된 모래를 이용해 자동차 엔진 몰더를 생산하는 업체로 주물사처리시설에서 악취가 발생하는 것으로 조사되었다.

## 1. 악취발생원

주물 제조공정은 주로 선철 및 고철 입고/저장, 용융, 주형 주입/경화, 탈사/연마 및 출하로 구성되어 있으며, 사업장과 관계없이 공정이 유사하고 단지 용융대상물, 주물사종류, 사용약품, 생산제품 등만 차이가 있는 것이 특색이다.

주물 제조사업장의 악취발생은 주로 용융과정에서의 초기 선철 및 고철 표면 유분의 연소에 의한 악취와 주입/경화 공정 중 주형에 포함된 수지 성분과 주물사에 첨가된 경화제 등의 연소에 의한 악취로 나누어지며, 사업장 내 악취는 대부분 주입/경화공정에서 발생하는 악취에 의한 것으로 조사되었다.

### 가. 원료 야적에 의한 악취발생

원료물질로 사용되는 주철 공정의 선철 및 금속제품에서의 악취발생은 금속표면 윤활유 등의 유분에 의한 것으로 악취발생량은 적게 조사되었으며, 고철 및 폐알루미늄 원료의 경우 수집 운반과정에서 우수 유입 등으로 인한 오염으로 인해 저장 시 악취가 발생하는 것으로 조사되었다.

고철의 원료 저장 시 별도의 보관시설이 아닌 사업장 내 또는 작업장 내에 원료를 야적함으로 인해 악취가 발생된다.

## 나. 금속용융로 악취발생

금속용융로에서의 악취발생의 원인은 원료로 사용하는 선철 및 고철 표면의 운반과정에서 부식방지를 위해 사용되는 윤활유 등의 유분 유분이 용해과정에서 불완전 연소되면서 증기형태로 방출되면서 악취가 발생된다.<sup>76)</sup>

Fig. 4.38에 용융공정의 모습을 나타내었다.

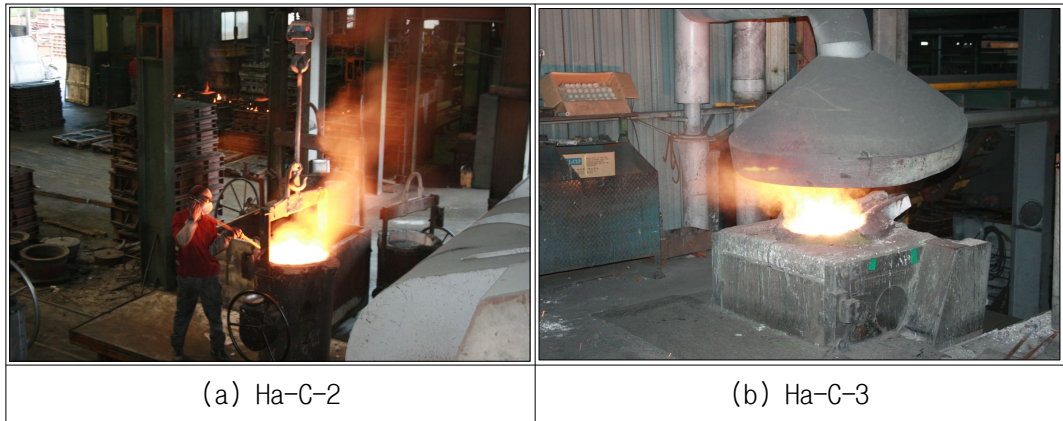


Fig. 4.38. Photographs of melting process.

## 다. 주물 주입 및 경화공정 악취발생

금속 용해액을 주형에 주입 및 경화(냉각) 시 악취가 다량 발생하는데, 이는 주형 제조공정에 많이 사용되는 고분자 레진(resin), 특히 합성수지를 사용하는 furan 및 shell Process에 의해 제조된 주형이 악취 발생량이 많은 것으로 조사되었는데, 고온의 용해액이 주형에 주입되면서 주형에 포함된 성분들이 불완전 연소되면서 CO, 페놀류, 알데하이드류 등의 악취물질이 발생된다.<sup>76)</sup>

주형은 종류에 따라 주형 제조 공정이 상이한데, 제조 공정은 모래를 사용하는 전통 방식인 green process, 합성수지 등을 이용하는 furan process, shell process 및 규산소다를 사용하는 CO<sub>2</sub> process 등으로 나누어지고, 주물사와 점결제(광토광물, 시멘트, 규산소다, 석고, 식물성기름, 합성수지, 당밀곡분 등) 및 첨가제(석탄분, 피치분, 곡분류, 목분 등)를 혼합하여 만들어지는데, 경화제로 황산을 사용하는 사업장의 경우 악취물질로 황화수소와 메틸머캅탄이 발생되기도 한다.<sup>82)</sup>

복잡한 주물을 제조하기 위해 최근 주형으로 furan수지를 많이 이용하고 있어 악취발생량이 많은 반면, 주형 주입 및 냉각공정에서 발생하는 악취 포집장치가 용량이 적거나 장치자체가 설치되지 않아 작업장 내·외부로 악취가 확산되고 있는 실정이다.

Fig. 4.39에 경화(냉각)공정의 모습을 나타내었다.



Fig. 4.39. Photograph of stiffening process.

#### 라. 방지시설 운영 현황

7개 중 5개의 방지시설은 여과법의 시설을 운전하고 있고 2개소는 세정법의 시설을 운영하고 있어 가스상 물질에 의한 악취의 저감 효과를 기대하기는 어려운 실정이었다. 작업장의 악취를 포집하여 방지시설을 거쳐 배출하고 있지만 악취물질이 상당량 배출되고 있었다.

## 2. 이론희석배수

주물·주조사업장에서 배출되는 악취물질 중 배출농도 비율이 가장 높은 것은 Fig. 4.40에 나타낸 바와 같이 암모니아가 전체농도의 39.1%를 차지하고, 다음은 이산화황이 23.8%, 톨루엔 8.7%, 자일렌 5.8%, 황화수소가 2.7%로 나타났다.

반면 Table 4.13에서와 같이 이론희석배수 즉 악취강도에 기여하는 비율을 보면 황화수소가 65.9%로 다른 물질에 비해 월등히 높게 나타났고, 아세트알데하이드 17.2%, 이산화황 5.2%, 프로피온알데하이드 3.9%, 암모니아가 3.2%를 차지하는 것으로 나타나 주물·주조사업장에서 발생하는 악취는 황화수소로 인한 영향이 제일 크다고 추정된다.

이와 같은 결과는 배출농도 비율은 암모니아가 제일 높았으나 악취강도에 기여하는 비율은 황화수소가 71%인 것으로 나타난 이종국 연구논문 중의 금속용융 및 열처리 사업장 악취물질 측정·분석 결과<sup>5)</sup>와 매우 유사하였다.

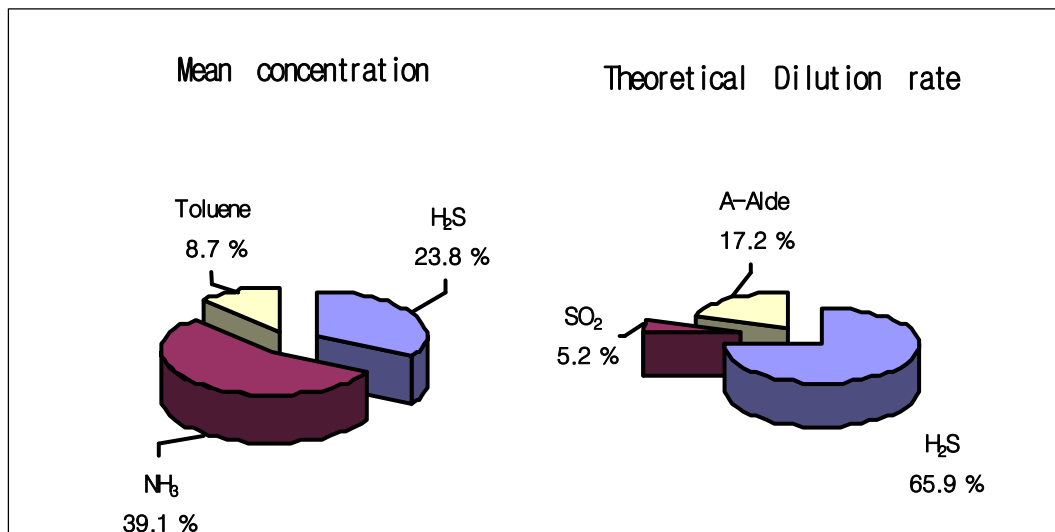


Fig. 4.40. Percentage of odor material concentrations and theoretical dilution rate in casting facilities.



Table 4.13. Odor material concentrations and theoretical dilution rate of prevention facilities outlet in casting facilities

Odorous Compounds	Mean concentration & Percent		Theoretical Dilution rate & Percent		
	Mean concentration (ppb) (n=7)	Percent (%)	Odor threshold (ppb)	Theoretical Dilution rate	Percent (%)
Hydrogen sulfide	64.36	2.7	0.50	128.7	65.9
Methyl mercaptan	0.40	0.0	0.12	3.3	1.7
Dimethyl sulfide	0.00	0.0	0.12	0.0	0.0
Dimethyl disulfide	0.00	0.0	0.28	0.0	0.0
sulfur dioxide	562.64	23.8	55	10.2	5.2
Ammonia	923.95	39.1	150.00	6.2	3.2
Trimethyl amine	0.06	0.0	0.11	0.5	0.3
Acetaldehyde	50.42	2.1	1.50	33.6	17.2
Propionaldehyde	11.41	0.5	1.50	7.6	3.9
Butylaldehyde	0.00	0.0	0.32	0.0	0.0
l-Valeraldehyde	0.00	0.0	0.19	0.0	0.0
n-Valeraldehyde	0.00	0.0	0.71	0.0	0.0
Formaldehyde	72.54	3.1	500	0.1	0.1
Acrolein	0.00	0.0	3.6	0.0	0.0
Acetone	79.01	3.3	42000	0.0	0.0
Crotonaldehyde	2.57	0.1	23	0.1	0.1
Benzaldehyde	3.15	0.1	-	0.0	0.0
o-Tolualdehyde	6.83	0.3	-	0.0	0.0
m,p-Tolualdehyde	0.97	0.0	-	0.0	0.0
Hexaldehyde	0.00	0.0	-	0.0	0.0
Styrene	4.37	0.2	33.00	0.1	0.1
Toluene	205.02	8.7	920	0.2	0.1
Xylene	136.50	5.8	110	1.2	0.6
Methyl ethyl ketone	9.24	0.4	440	0.0	0.0
Methyl isobutylketone	20.20	0.9	170	0.1	0.1
Butylacetate	19.77	0.8	8	2.5	1.3
Isobutylalcohol	1.37	0.1	11	0.1	0.1
Benzene	121.98	5.2	2700	0.0	0.0
Chlorobenzene	0.28	0.0	68000	0.0	0.0
Ethylbenzene	65.92	2.8	170	0.4	0.2

### 3. 악취세기

Fig. 4.41에 나타낸 바와 같이 주물·주조사업장에서 배출되는 악취물질 중 황화수소가 3.0, 암모니아 2.8, 아세트알데하이드 2.5, 프로피온알데하이드 2.2, 자일렌가 1.5도의 악취세기를 나타내는 것으로 조사되었다.

주물·주조사업장에서 발생하는 악취는 주로 황화수소, 암모니아, 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드의 영향을 받는 것으로 판단된다.

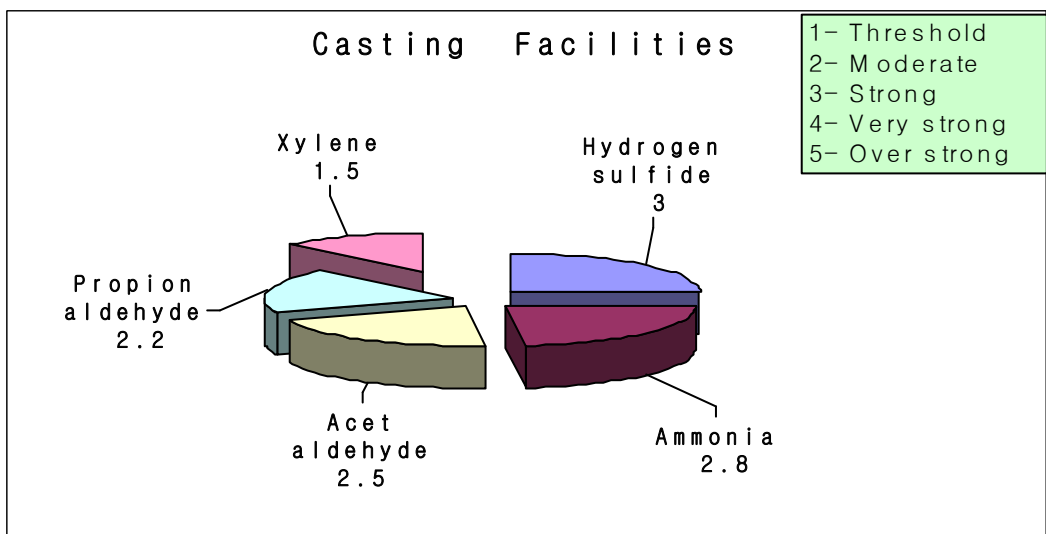


Fig. 4.41. Main odor inducer materials by odor intensity index in casting facilities.

#### 4.2.4 고무제조사업장

고무는 상온에서 고무상 탄성을 나타내는 사슬모양의 고분자물질이나 그 원료가 되는 고분자물질을 말한다.

하남산단 내의 고무제조 사업장들은 대부분 재생고무를 생산 또는 재생고무를 이용해 제품을 생산하거나 페타이어를 재생시키는 공장으로, 원료입고, 분쇄·혼합, 가황, 증자, 성형, 냉각 등의 공정을 거친다. 주로 원료입고, 가황, 증자, 성형, 냉각, 제품보관 과정에서 악취가 발생한다. 특히 고열로 고무를 찌는 증자과정이나, 열을 가해 성형을 하는 공정에서 강한 악취가 발생된다.

Table 4.14에 고무제조사업장의 사용원료 및 방지시설을 나타내었다.

Table 4.14. Rubber manufactures under investigation

사업장 구분		사업장 업종	사용 원료 및 약품	방지시설
1	Ha-R-1	재생고무제조	고무가루 2,000톤, 가황제	응축+원심력+흡수시설
2	Ha-R-2	고무 및 플라스틱 제품제조업	천연고무(1500kg/d), 가황제	여과+흡착시설
3	Ha-R-3	타이어재생업	재생타이어(500톤×295일)	원심력+여과시설
4	Ha-R-4	고무제품제조	생고무, 합성고무(1톤/일×300일), 카본, 오일, 가황제	여과+흡착시설
5	Ha-R-5	고무 및 플라스틱 제품제조업	원료, 탄산칼륨(1.5톤/일×300일/년)	흡착시설

Ha-R-1 사업장은 재생고무를 생산하는 업체로 페타이어나 폐 고무제품 등을 분쇄한 고무가루와 가황제 등 약품을 혼합하여 제품을 만들고 있는데, 원료로 쓰이는 페타이어나 폐 고무제품들이 야적된 마당에서 고무냄새가 감지되었으며, 작업장 내에서는 증자시설 및 건조시설에서 발생하는 악취물질이 충분히 포집되지 못하고 실내로 확산되어 악취가 매우 심했다. 방지시설인 스크러버의 흡수액 교체를 자주 하지 않아 오염물질을 충분히 흡수하지 못하고 오히려 흡수 액에 의한 악취배출이 예상되며, 배출구 높이가 높아 부지경계선 보다는 인근 주변지역에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

Ha-R-2 사업장은 천연고무를 이용하여 자동차용 고무제품을 생산하는 업체로 성형 및 가황공정에서 악취가 주로 발생되고 있었는데, 성형공정에는 Hood가 설치되어 있으나 완전히 배기시키지 못하고 있어 작업장 내부로 악취물질이 확산되며, 밀폐된 작업장이 아니어서 악취 물질이 작업장 외부로도 확산되고 있다. 성형 후 건조 과정에서 발생하는 악취물질도 방지시설로 이송되지 못하고 작업장 내·외부로 확산되고 있었다. 방지시설은 여과 집진시설과 흡착탑이 가동되고 있으나, 활성탄을 제때 교체하지 못하는 등 관리가 잘 되지 않아 배출가스에서 악취가 감지되었다.

Ha-R-3 사업장은 페타이어를 이용해 재생타이어를 생산하는 업체로 버핑, 수리, 스프레이(도포), 성형, 도색 공정을 거쳐 제품을 생산하고 있는데, 고무풀을 도포하는 공정과 도포 후 건조하는 과정에서 다량의 악취가 발생되며, 도포 후 고온의 고무를 덧씌우는 성형공정에서도 다량의 악취가 발생되고 있다. 작업공정에 설치되어 있는 배기시설의 용량부족이나 효율 저하로 악취를 완전히 배기시키지 못하며 일부공정에서는 배기장치가 설치되어 있지 않아 작업장 내부로 악취가 확산되고 있어 작업장에 존재하는 악취가 창문, 출입구, 지붕의 환풍기 등을 통해 외부로 배출되고 있었다.

방지시설은 원심력집진 시설과 여과 집진시설이 운영되고 있는데 주로 먼지 등 입자상 물질의 제거를 목적으로 하는 시설로 가스상인 악취물질의 제거에는 효과가 극히 적은 것으로 판단된다.

Ha-R-4 사업장도 D-3과 같이 자동차용 고무를 생산하는 업체로 생고무와 합성고무를 원료로 혼합, 1·2차 성형, 냉각, 건조공정을 거쳐 제품을 생산하고 있다. 원료 혼합 공정에서는 응고방지용으로 첨가되는 암모니아와 기타 첨가물질들에 의한 악취물질이 발생되고 있었고, 100℃에서 고무제품을 밀링하면서 고무 Sheet를 제조하는 성형공정에서는 고무에 포함되어 있던 다양한 악취 물질과 흠이 배출되고 있으며, 건조공정에서도 다량의 악취물질이 배출되고 있으나, 이를 처리하는 국소후드시설의 포착속도가 느려 포집효율이 낮거나 배기시설이 설치되지 않아 발생된 흠이 실내로 확산되고 있으며 창문이나 지붕에 설치된 무동력 벤츄레이터를 통해서 외부로 배출되어 주변에 영향을 주고 있었다.

Ha-R-5 사업장도 1차 가공된 고무제품을 이용하여 자동차용 고무를 생산하는 업체로 고무제품을 가열·성형하는 과정에서 악취가 발생되고 있었다. 방지시설은 흡착탑이 운영되고 있다.

Ha-R-4 사업장의 생산 및 처리공정을 Fig. 4.42에 나타내었다.

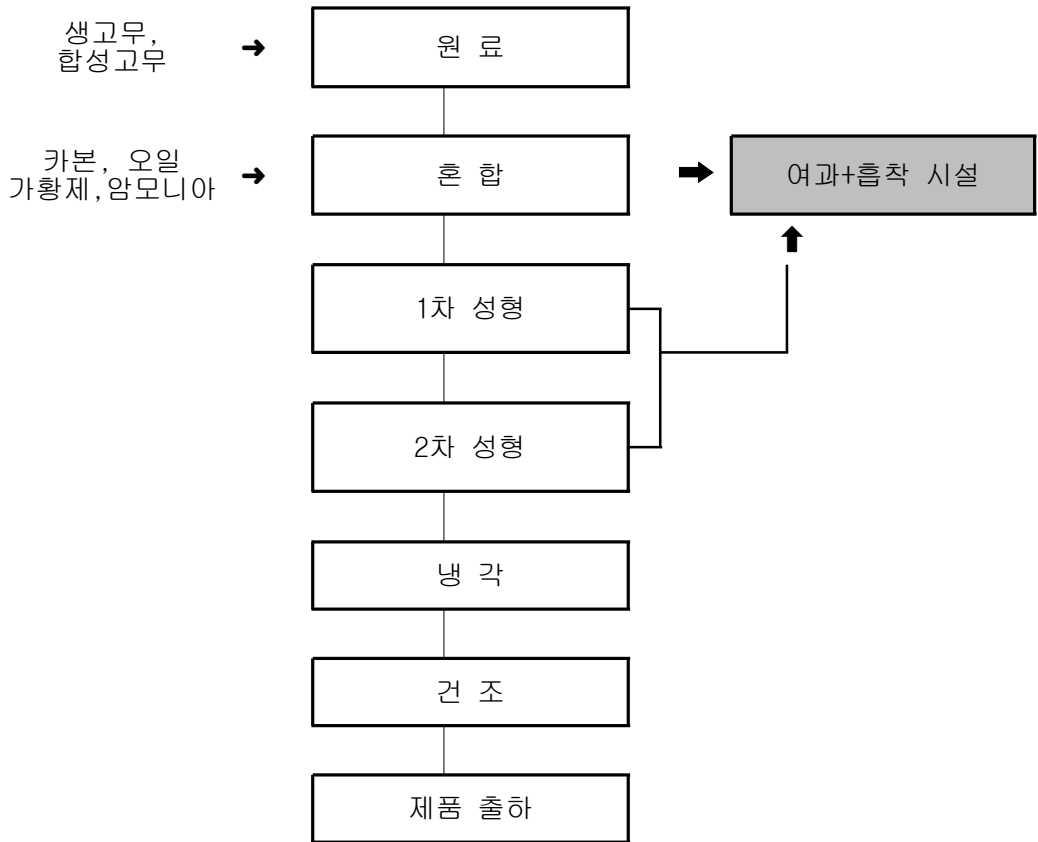


Fig. 4.42. Ha-R-4 factory produce and handling process.

## 1. 악취발생원

### 가. 원료 분쇄 및 혼합과정에 의한 악취발생

원료를 분쇄/연마 및 혼합하는 과정에서 먼지 등 오염물질이 작업장 내로 비산되고 원료 특유의 고무냄새와 혼합되는 카본, 오일, 황, 암모니아 등 각종 약품들에서 악취가 발생된다. 주로 암모니아, 트라이메틸아민, 아세트알데하이드, 황화수소, 이황화이메틸, 스티렌, 톨루엔, 자일렌 등을 포함한 VOCs가 주요 악취물질로 검출된다.<sup>82)</sup>

#### 나. 증자·가황·성형과정에 의한 악취발생

고온의 열을 이용하여 고무를 찌는 증자과정에서는 고농도의 악취가 나는 증기가 다량 발생되는데 이 고압의 증기가 상온으로 냉각되지 못하고 배출되면 흡수에 의한 방지시설의 흡수 액이 오염되어 오히려 흡수 액에 의한 악취가 발생할 수 있고 여과필터 등에 응축되어 필터의 세공을 밀폐시켜 압력손실을 크게 함으로써 정상적인 배기를 방해하기도 한다. 그러므로 반드시 1차로 냉각 응축시킨 후 배기시켜야 한다.

고무제품 제조에 있어 고무분자사슬 간을 가교하여 결합시키는 가황공정은 실용성이 있는 고무제품을 만들기 위해서는 꼭 필요한 공정으로 악취물질 중 황 화합물의 원인이 된다.

증자나 성형이 완료된 중간제품을 고온상태에서 작업장에 방치하여 고농도의 악취물질이 작업장 내부로 확산되고 있었다.

Fig. 4.43에 흠이 발생되고 있는 성형공정의 모습을 나타내었다.

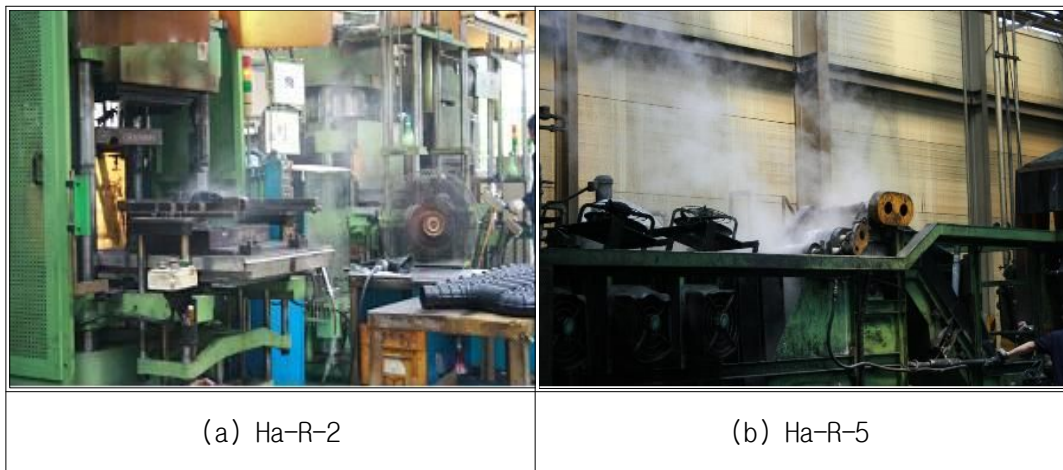


Fig. 4.43. Photographs of configurate process.

#### 다. 건조·제품보관에 의한 악취발생

성형이 완료된 제품을 자연냉각 또는 팬을 이용하여 냉각·건조하는 작업대에 대부분 배기시설이 없어 대량의 악취물질이 작업장 내로 확산되어 악취발생의 주요 원인이 되고 있으므로 악취물질을 포집하고 처리하는 국소후드 및 방지시설의 설치가 필요한 실정이다.

Fig. 4.44에 건조공정의 모습을 나타내었다.

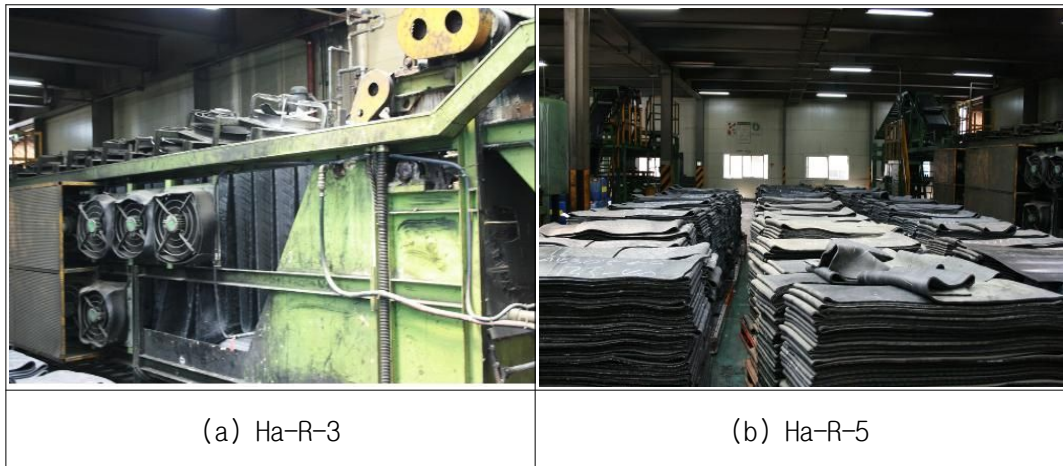


Fig. 4.44. Photographs of drying process.

#### 라. 방지시설 운영 현황

5개 중 4개의 방지시설은 여과, 흡착, 여과 + 흡착법의 시설을 운전하고 있고 1개소는 세정법의 시설을 운영하고 있었다. 흡착이나 세정시설의 경우 활성탄이나 흡수액의 관리가 적정하게 이뤄지지 않고 있어 방지시설을 통해 대량의 악취물질이 배출되고 있었다.

## 2. 이론희석배수

Table 4.15와 같이 고무제조사업장에서는 다른 대조 사업장군들과 달리 조사 항목 중 알데하이드류 일부를 제외한 거의 모든 물질들이 검출되었고, 특정물질이 고농도로 배출되지 않고 다양한 물질들이 배출되는 것으로 조사되었다.

Fig. 4.45와 같이 배출농도 비율로 보면 메틸이소부틸케톤이 19.8 %, 톨루엔 16.5 %, 암모니아 12.7 %, 아세트알데하이드 9.5 %, 뷰틸알데하이드 8.7 %, n-발레르알데하이드 8.1 %, 자일렌 7.8 % 등 순으로 나타났다. 반면 이론희석배수 비율로 보면 i-발레르알데하이드 35.0 %, 뷰틸알데하이드 32.0 %, n-발레르알데하이드 13.3 %로 희석배수 즉 악취강도에 기여하는 비율의 80 %를 알데하이드류 물질이 차지하는 것으로 조사되었다. 즉 고무제조사업장에서 배출되는 악취물질은 다양한데 그 중 알데하이드류 물질이 악취강도를 높이는 주요 원인물질로 추정된다.

이는 길인섭의 연구내용 중 주요 악취배출원 악취물질 조사결과 고찰<sup>21)</sup>에서 보고된 “타이어 제조업체의 주요 악취 배출원 분석결과 대부분 알데히드 물질이 주 성분이었다.” 와 일치한다.

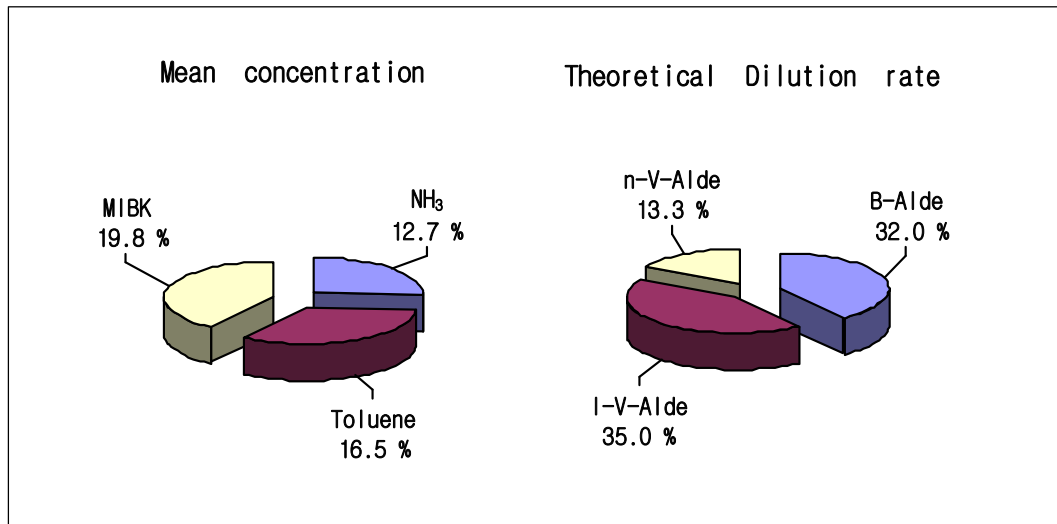


Fig. 4.45. Percentage of odor material concentrations and theoretical dilution rate in rubber manufacturing facilities.



Table 4.15. Odor material concentrations and theoretical dilution rate of prevention facilities outlet in rubber manufacturing facilities

Odorous Compounds	Mean concentration & Percent		Theoretical Dilution rate & Percent		
	Mean concentration (ppb) (n=5)	Percent (%)	Odor threshold (ppb)	Theoretical Dilution rate	Percent (%)
Hydrogen sulfide	1.4	0.1	0.50	2.9	0.1
Methyl mercaptan	26.7	1.0	0.12	222.8	9.7
Dimethyl sulfide	1.0	0.0	0.12	8.5	0.4
Dimethyl disulfide	2.4	0.1	0.28	8.7	0.4
sulfur dioxide	6.8	0.3	55	0.1	0.0
Ammonia	342.3	12.7	150.00	2.3	0.1
Trimethyl amine	0.2	0.0	0.11	1.9	0.1
Acetaldehyde	258.1	9.5	1.50	172.1	7.5
Propionaldehyde	39.1	1.4	1.50	26.0	1.1
Butylaldehyde	236.6	8.7	0.32	739.2	32.0
l-Valeraldehyde	153.4	5.7	0.19	807.1	35.0
n-Valeraldehyde	218.3	8.1	0.71	307.4	13.3
Formaldehyde	28.9	1.1	500	0.1	0.0
Acrolein	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0
Acetone	118.9	4.4	42000	0.0	0.0
Crotonaldehyde	1.7	0.1	23	0.1	0.0
Benzaldehyde	0.0	0.0	-	0.0	0.0
o-Tolualdehyde	0.0	0.0	-	0.0	0.0
m.p-Tolualdehyde	0.0	0.0	-	0.0	0.0
Hexaldehyde	0.0	0.0	-	0.0	0.0
Stylene	2.7	0.1	33.00	0.1	0.0
Toluene	446.4	16.5	920.00	0.5	0.0
Xylene	211.6	7.8	110.00	1.9	0.1
Methyl ethyl ketone	2.8	0.1	440	0.0	0.0
Methylisobutyl ketone	534.6	19.8	170	3.1	0.1
Butylacetate	26.7	1.0	8	3.3	0.1
Isobutylalcohol	1.1	0.0	11	0.1	0.0
Benzene	37.9	1.4	2700	0.0	0.0
Chlorobenzene	0.2	0.0	68000	0.0	0.0
Ethylbenzene	5.1	0.2	170	0.0	0.0

### 3. 악취세기

Fig. 4.46에 나타낸 바와 같이 고무제조사업장에서 배출되는 악취물질 중 i-발레르알데하이드 4.5도, n-발레르알데하이드 4.0도, 뷰틸알데하이드 3.3도, 아세트알데하이드가 3.0도로 악취로 인식되기 시작하는 단계인 악취세기 3도 이상을 나타냈으며, 기타 물질로 프로피온알데하이드 2.1도, 메틸머캡탄 1.8도, 디메틸디설파이드 1.6도 등의 악취세기를 나타내는 것으로 조사되었다.

다른 대조 사업장군과 달리 황 화합물인 황화수소, MM, DMS, DMDS가 약하지만 최소감지농도 수준의 1도 이상의 악취세기를 나타내고 있어 알데하이드류 물질과 더불어 황 화합물도 고무제조사업장에서 발생하는 악취의 주요 유발물질로 추정된다.

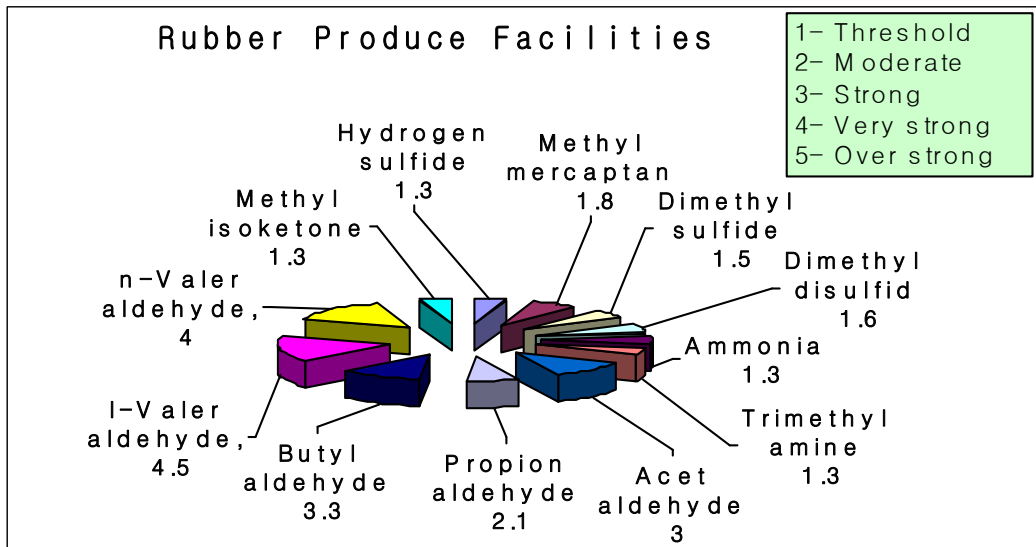


Fig. 4.46. Main odor inducer materials by odor intensity index in rubber manufacturing facilities.

### 4.2.5 폐유정제사업장

Ha-0-1 사업장은 폐유를 가열·열분해를 거쳐 정제·냉각하여 재생석유를 생산하는 업체로 작업 공정 중에 발생하는 폐가스는 소각로에서 소각하고 있다. 공정 중 원료입고, 가열, 열분해 과정, 소각로 배출구에서 악취가 발생되고 있었다.

Table 4.16에 폐유정제사업장 현황을 나타내었고 Fig. 4.47에 처리공정을 나타내었다.

Table 4.16. Refineries under investigation

사업장 구분		사업장 업종	사용 원료	기타
1	Ha-0-1	석유정제물 재처리 업	폐유 40m <sup>3</sup> /d	소각시설

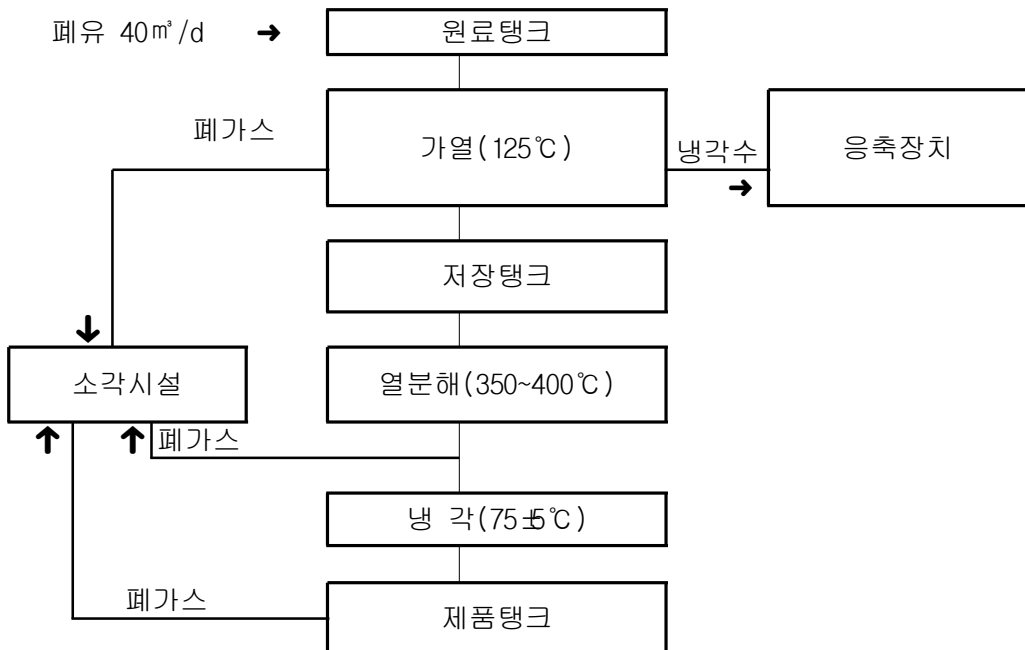


Fig. 4.47. Ha-0-1 factory produce and handling process.

## 1. 악취발생원

### 가. 원료 입고 과정에 의한 악취발생

폐유를 운반차량에서 저장탱크에 옮기는 과정에서 유증기가 발생하여 심한 냄새가 난다. 이때 발생하는 악취는 사업장 인근에 커다란 영향을 미치고 있었으며, Fig. 4.48에 Ha-0-1 사업장의 저장탱크 모습을 나타내었다.



Fig. 4.48. Photograph of tanks for storing oil.

### 나. 가열·열분해 과정에 의한 악취발생

폐유를 정제하는 과정인 가열과 열분해하는 시설이 밀폐된 공간이 아닌 야외에 설치되어 있고 실내시설도 커다란 출입구를 개방해 놓은 상태에서 작업을 하고 있어 발생하는 악취가 사업장 부지경계선 밖으로 바로 확산되고 있었다.

### 다. 소각시설에 의한 악취발생

공정 중에 발생하는 폐가스는 소각로로 이송하여 직접 소각방식으로 처리하고 있으나, 방지시설 면제시설로 별도의 방지시설은 설치되어 있지 않았다.

## 2. 이론희석배수

폐유정제사업장에서 배출되는 악취물질들의 배출농도 비율은 Fig. 4.49 및 Table 4. 17과 같이 이산화황 84.0 %, 아세트알데하이드 5.8 %, 아세톤 3.9 % 등으로 나타난 반면, 이론희석배수 비율은 아세트알데하이드 36.8 %, 뷰틸알데하이드 33.6 %, 이산화황 14.5 %, 프로피온알데하이드 10.3 %, 황화수소가 4.6 %를 차지하는 것으로 조사되어 황 화합물인 이산화황과 황화수소가 전체 배출농도의 약 85 %를 차지하지만 실제 폐유정제사업장에서 발생하는 악취는 황 화합물보다는 알데하이드류 물질에 영향을 크게 받는 것으로 추정된다.

폐유정제사업장에서 이산화황이 고농도로 배출되는 것은 소각하는 과정에서 이산화황이 다량 생성되는 것으로 판단된다.

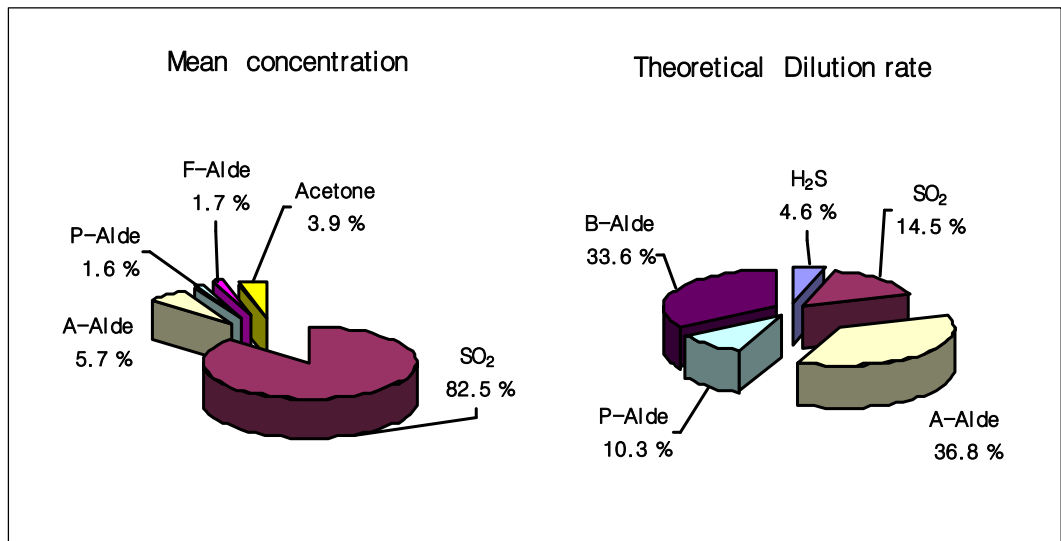


Fig. 4.49. Percentage of odor material concentrations and theoretical dilution rate in oil refinery facilities.

Table 4.17. Odor material concentrations and theoretical dilution rate of prevention facilities outlet in oil refinery facilities

Odorous Compounds	Mean concentration & Percent		Theoretical Dilution rate & Percent		
	Mean concentration (ppb) (n=1)	Percent (%)	Odor threshold (ppb)	Theoretical Dilution rate	Percent (%)
Hydrogen sulfide	141.31	0.2	0.50	282.6	4.6
Methyl mercaptan	0	0.0	0.12	0.0	0.0
Dimethyl sulfide	0	0.0	0.12	0.0	0.0
Dimethyl disulfide	0	0.0	0.28	0.0	0.0
sulfur dioxide	49,423.40	84.0	55	898.6	14.5
Ammonia	92.95	0.2	150.00	0.6	0.0
Trimethyl amine	0.1	0.0	0.11	0.9	0.0
Acetaldehyde	3416.27	5.8	1.50	2277.5	36.8
Propionaldehyde	956.69	1.6	1.50	637.8	10.3
Butylaldehyde	665.05	1.1	0.32	2078.3	33.6
l-Valeraldehyde	0	0.0	0.19	0.0	0.0
n-Valeraldehyde	0	0.0	0.71	0.0	0.0
Acetone	2312.51	3.9	42000	0.1	0.0
Crotonaldehyde	152.84	0.3	23	6.6	0.1
Benzaldehyde	84.8	0.1	-	0.0	0.0
o-Tolualdehyde	0	0.0	-	0.0	0.0
m,p-Tolualdehyde	42.29	0.1	-	0.0	0.0
Hexaldehyde	97.34	0.2	-	0.0	0.0
Stylene	2.7	0.0	33.00	0.1	0.0
Toluene	247.13	0.4	920.00	0.3	0.0
Xylene	474.99	0.8	110.00	4.3	0.1
Methyl ethyl ketone	245.37	0.4	440	0.6	0.0
Methylisobutyl ketone	23.36	0.0	170	0.1	0.0
Butylacetate	12.05	0.0	8	1.5	0.0
Isobutylalcohol	2.14	0.0	11	0.2	0.0
Benzene	297.89	0.5	2700	0.1	0.0
Chlorobenzene	12.97	0.0	68000	0.0	0.0
Ethylbenzene	155.28	0.3	170	0.9	0.0

### 3. 악취세기

폐유정제사업장에서 배출되는 악취물질은 Fig. 4.50과 같이 아세트알데하이드 4.4도, 뷰틸알데하이드 4.0도, 프로피온알데하이드 3.8도, 황화수소가 3.3도의 악취세기를 나타내는 것으로 조사되어 폐유정제사업장에서 배출되는 악취는 주로 알데하이드류와 황화합물에 기인하는 것으로 추정된다.

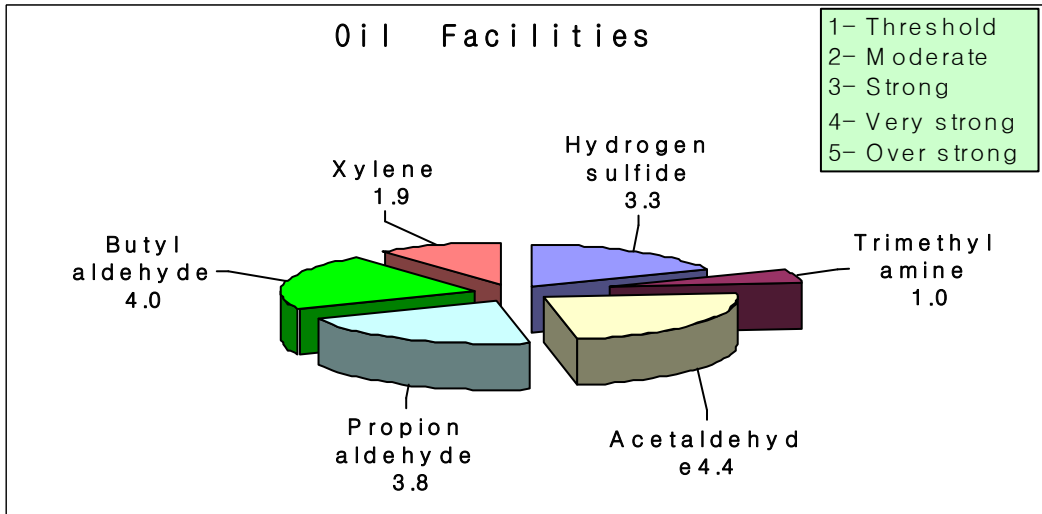


Fig. 4.50. Main odor inducer materials by odor intensity index in oil refinery facilities.

#### 4.2.6 시설별 악취물질의 악취세기 비교

5개 업종 사업장에서 발생하는 악취물질의 악취세기를 Table 4.18에 나타내었다.

황 화합물이 악취로 인식되는 정도의 냄새를 나타내는 3도 이상의 악취세기를 보이는 사업장은 주물·주조와 폐유정제사업장이고, 질소화합물이 3도 이상인 사업장은 없었으나 도금과 주물·주조사업장에서 암모니아가 2도 이상의 악취세기를 나타내었다.

알데하이드류는 도장, 고무제조, 폐유정제사업장에서 악취유발물질로서 3도 이상의 악취세기를 나타냈다. 그리고 휘발성 유기화합물은 조사항목 모두가 검출 되었으나 농도가 적고 각 물질별 최소감지농도가 커서 5개 사업장군에서 3도 이상의 악취세기를 나타내는 물질은 없는 것으로 조사되었다.

Table 4. 18. Odor intensity of odor material in five comparison group

Odorous Compounds	Painting	Plating	Casting	Rubber	Oil
Hydrogen sulfide	◎	★	●	★	●
Methyl mercaptan			◎	★	
Dimethyl sulfide				★	
Dimethyl disulfide				★	
sulfur dioxide	◎	◎	▲		◎
Ammonia	◎	▲	▲	★	◎
Trimethyl amine	◎		◎	★	★
Acetaldehyde	●	▲	▲	●	■
Propionaldehyde	●		▲	▲	●
Butylaldehyde	■			●	■
l-Valeraldehyde	▲			■	
n-Valeraldehyde	▲		◎	■	
Formaldehyde	◎	◎	◎	◎	◎
Acrolein	◎				
Acetone	◎	◎	◎	◎	◎
Crotonaldehyde			◎	◎	◎
Benzaldehyde		◎	◎		◎
o-Tolualdehyde			◎		
m.p-Tolualdehyde		◎	◎		◎
Hexaldehyde	◎				◎
Stylene	◎	◎	◎	◎	◎
Toluene	★	◎	◎	◎	◎
Xylene	▲	◎	★	◎	★
Methyl ethyl ketone	◎	◎	◎	◎	◎
Methyl isobutylketone	★	◎	◎	★	◎
Butylacetate	◎	◎	◎	◎	◎
Isobutylalcohol	◎	◎	◎	◎	◎
Benzene	◎	◎	◎	◎	◎
Chlorobenzene	◎	◎	◎	◎	◎
Ethylbenzene	◎	◎	◎	◎	◎

(악취세기 1~1.9 ★, 2.0~2.9 ▲, 3.0~3.9 ●, 4.0 이상 ■, 측정에서 검출된 물질 ◎)



## 4.3 하남공단의 악취관리방안

### 4.3.1 사업장별 악취저감방안

악취대책을 추진함에 있어 한 번 발생한 악취를 영향을 미치지 않을 정도까지 제거하는 것은 매우 어려우므로 우선 악취 발생량을 최대한 줄이는 것이 중요하다. 따라서 악취제거를 위한 최선의 방안으로 악취 발생요인을 우선적으로 제거하는 사전적 조치 등의 대책과 악취 저감시설을 설치하는 등의 사후적 관리방안을 병행하여 추진하는 것이 바람직하다.

방지시설의 설치 없이 또는 방지시설과 병행하여 악취를 줄일 수 있는 대책으로는 악취물질의 증발방지대책, 건물 등의 악취누출 방지대책, 대기확산 및 희석에 의한 대책, 악취가 적은 물질로의 전환 등을 들 수 있다.<sup>82)</sup>

#### 1. 도장사업장

도장사업장의 도장 공정에서 쓰이는 도료의 주원료인 합성수지, 유기용제, 안료 등은 모두 유기탄소 물질이기 때문에 질소 및 황계열의 악취물질은 발생량이 적고 알데하이드류, 케톤류, 알코올류, 방향족 탄화수소 같은 휘발성 유기화합물 계열의 악취물질을 다량 발생시킨다.<sup>82)</sup> 본 연구에서도 주요 발생오염물질이나 악취유발물질로 다양한 휘발성유기화합물질과 부틸알데하이드, 아세트알데하이드 등의 알데하이드류인 것으로 밝혀졌다.

이에 대한 악취의 저감방안으로는 사업장에서 사용 가능한 유기용제의 물성 및 정확한 최소감지농도에 대한 자료를 확보하여 최소감지농도가 높은 즉 저취기 물질을 사용하는 것도 악취발생량을 저감시킬 수 있는 한 가지 방법이다.

또한 사용하는 도료 및 용매 통을 잘 밀폐시키고 청결을 유지하며, 당장 사용하지 않는 것들은 별도의 보관시설에 보관한다면 작업장 내 VOCs 발생량을 상당량 저감할 수 있을 것이다.

도료 분사실이 대부분 오픈된 경우가 많은데 이를 밀폐형으로 한다면 분사 작업

시 VOCs 외부 확산을 방지할 수 있으며, 개방형 도료 분사실을 운영해야 할 경우에 최고 도료 사용량을 고려한 배기시설 설계로 악취의 외부 확산을 최대로 방지해야 할 것이다. 또한 분사실 내 세정수 등을 적정히 관리한다면 작업장내의 악취는 상당량 저감할 수 있을 것이다.

건조시설 전·후단에 포집시설을 설치하면 건조시설로 들어가고 나올 때 발생하는 악취물질의 확산을 방지할 수 있다.

대부분의 도장 관련사업장의 방지시설은 활성탄 흡착탑이 운전되는데 고농도 VOCs를 포함하는 경우는 방지시설로 활성탄 흡착탑은 부적합하다.<sup>76)</sup> 또한 활성탄 교체주기를 정확히 산정하여 관리하지 않으면 배출구를 통한 악취가 발생하며, 대부분의 방지시설이 부지경계선 부근에 설치됨으로 배출가스가 기준이하로 배출되어도 악취 민원이 발생할 수 있다. 그러므로 작업시간 및 배출되는 악취물질농도를 보다 세심하게 고려하여 방지시설을 선택하여야 한다.

도장사업장에 적용 가능한 공법으로는 현장에서 많이 이용되는 방향족탄화수소 제거에 효과적인 흡착공법과 흡착하기 어려운 알데하이드류나 일부 고급 알콜 등의 제거에 효과적인 UV나 오존을 이용한 산화공법 및 초기비용은 많이 들지만 알데하이드류, 방향족탄화수소, 케톤류 등 거의 모든 휘발성 유기물질 제거에 효과가 확실한 연소법 중 축열식 연소법이나 축열식 촉매연소법 등을 병행하여 사용하는 것이 악취저감 효율을 높이는데 도움이 될 것으로 판단된다.

## 2. 도금사업장

도금관련 사업장에서 발생하는 악취유발물질은 산·알칼리 처리시설에서 발생하는 물질이 대부분으로 배기시설의 포집효율이 최대가 될 수 있도록 후드의 위치와 크기, 밀폐정도 등을 조정하면 악취의 확산을 방지할 수 있다.

화성시설이나 도금시설의 반응조에 뚜껑을 설치하거나 확산 차단벽을 설치하고 측면에서 발생하는 흠을 포집한다면 작업장 내의 악취를 크게 저감시킬 수 있다.

도금사업장에서 많이 사용되는 방지시설 습식세정 탑의 운영상의 문제로는 주

로 순환수의 오염으로 인한 2차적인 악취가 발생하는 경우, 세정 탑의 Sight glass 관리가 안되 세정 탑 내부 확인이 불가능하여 순환수 분사 상태 등을 확인할 수 없는 경우, 순환수 분사 노즐이 막혀 순환수 분사상태가 불량할 경우 악취 물질이 세정 탑 내에서 접촉면적 및 접촉시간이 감소하여 미처리된 악취가 대기중으로 그대로 배출되는 경우 등이 있다. 그럼으로 순환수 수질관리를 철저히 하고 Sight glass를 깨끗하게 관리하여 순환수 분사 노즐의 분사상태를 수시로 확인함으로써 세정 탑 처리효율을 증대시킨다면 방지시설의 효율적인 운영이 가능할 것이다.

도금사업장에 적용 가능한 공법으로는 약액세정공법이나 화학흡착공법이 가장 적당할 것으로 판단된다.

### 3. 주물·주조사업장

주물·주조 관련 사업장에서의 주요 악취 배출원은 원료의 개방된 저장시설, 용융 시설 및 주입·경화시설, 방지시설 배출구 등으로 각각의 악취저감방안은 다음과 같다.

고철 같은 재생원료의 경우 수집 및 보관과정에서 우수 및 기타 유분 등의 유입으로 악취가 발생될 수 있으므로 별도의 밀폐된 보관시설에 저장함으로써 악취발생을 저감할 수 있다. 보관시설에는 국소포집장치를 설치하여 방지시설로 이송하여 처리하여야 할 것이다.

용융로에서 발생하는 악취는 고온의 상태로 배출되어 상방 흡입형 국소포집장치를 이용할 경우 포집효율이 뛰어나며, 또한 배출가스를 최대한 포집할 수 있도록 용융로를 최대한 밀폐식으로 포집하는 것도 효과가 뛰어 날 것으로 판단된다.

대부분의 악취는 주입 및 경화공정에서 발생되는데 유연성 배관 등을 이용한 이동 가능한 포집장치를 설치한다면 발생하는 악취를 효율적으로 포집할 수 있을 것이다. 또한 주형의 종류를 악취발생이 많은 furan 및 shell process 등은 지양하고 악취발생이 적은 원료를 이용한 주형을 개발한다면 악취발생이 크게 저감되리라 판단된다. 그리고 주형을 furan 등 합성수지가 완전히 경화한 후 사용하면 발생하는 악취가 저감할 것이다.

주물·주조사업장에서 발생하는 주요 오염물질과 악취유발물질이 암모니아, 황화수소, 이산화황과 아세트알데하이드로, 기존의 입자상오염물질의 처리에 효과적인 여과시설, 원심력시설, 세정집진 시설의 단독운영 보다는 약액세정법과 오존산화공법을 같이 병행하거나, 여과나 전기집진공법과 약액세정법을 병행, 또는 약액세정공법과 흡착공법을 병행 운영하거나, 연소법이 악취저감에 효율적일 것으로 판단된다.

#### 4. 고무제조사업장

고무제조사업장에서는 주로 혼합, 증자, 성형, 건조공정이 주요 악취발생원인데 국소배기시설이 없는 경우나 효율이 낮은 경우가 많다. 그러므로 최대한 악취를 포집할 수 있는 국소배기시설을 설치하고 기존의 배기시설도 효율을 극대화 할 수 있도록 용량이나, 크기, 위치 등을 조정한다면 악취를 크게 저감시킬 수 있을 것이다.

작업장 내부로 확산된 악취는 출입구, 창문, 환기구 등을 통해 외부로 확산될 가능성이 크므로 작업장은 가능한 밀폐하는 것이 바람직하다.

고무제조 관련 사업장의 방지시설은 여과 및 원심력집진 시설은 분진을 제거하는 설비로 악취제거에는 효과가 거의 없다. 흡수 및 세정시설의 경우는 가급적 공극률이 커서 막힘이 적은 사각형 분사노즐과 교체가 간편한 조립형 충전물의 사용이 바람직하다. 특히 이물질에 의한 막힘을 방지하고 가스상 물질의 재 증발을 방지하도록 세정수 교체주기를 가능한 짧게 하는 것이 좋다.

고무제조사업장의 경우는 주요 발생오염물질이나 악취유발물질이 MIBK, 톨루엔, 암모니아와 i-발레르알데하이드, 부틸알데하이드, n-발레르알데하이드인 것으로 나타났으므로 여과법과 병행하여 고압 증기의 경우 1차 냉각처리를 거친 후 흡착법, UV나 촉매를 이용한 산화법과 약액세정법 등을 복합적으로 운영하거나 농축 및 축열식 연소법이나 촉매연소법 등의 연소법이 탈취 처리에 효과적일 것으로 판단된다.

## 5. 폐유정제사업장

폐유정제 관련 사업장은 원료를 저장탱크에 주입하는 과정에서 다량의 유증기가 발생하므로 반드시 유증기 회수시설을 설치하여 외부로 유증기가 발생되지 않도록 하고 가열 및 증류시설은 가능한 밀폐시킴으로써 악취의 확산을 방지할 수 있다.

방지시설로는 소각시설 후단에 흡착법을 병행 설치하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

본 연구결과를 기초로 하여 각 사업장별 악취저감 개선방안 및 적용가능 방지공법을 Table 4.19와 같이 나타내었다

Table 4.19. Suggestion of odor control and management in the sewage treatment facilities

사업장	주요 악취 배출원	악취저감 개선방안	적용가능 방지공법
도장 사업장	도장공정	도료 및 희석제 관리철저, 적정 배기시설 설치, 도포시설 밀폐 및 세정수 과리철저, 방지시설의 흡수액·활성탄 교체 주기 점검 철저	- 흡착 + UV/오존산화 - 연소(농축·축열·축매 연소 등)
	건조공정		
	방지시설 배출구		
도금 사업장	산·알칼리 처리공정	반응조 상부 덮개 설치, 확산방지벽 설치, 측면포집시설 설치, 방지시설 관리 철저	- 약액세정 - 화학흡착
	방지시설 배출구		
주물 주조 사업장	원료 야적	밀폐된 장소에 보관, 적정 배기시설 설치 및 악취 방지시설 설치, 악취발생이 적은 주형사용, 악취방지효율이 높은 방지시설 설치	- 여과+약액세정 - 약액세정+산화/흡착 - 연소(농축·축열·축매 연소 등)
	금속 용해공정		
	주물 주입공정		
	주물 냉각공정		
고무 제조 사업장	원료 분쇄 및 혼합공정	배기시설 설치 및 배기효율 향상, 악취 방지시설 설치, 배출증기는 1차 냉각처리 후 포집, 방지시설의 흡수액·활성탄 관리 철저, 원인물질에 따른 적정 방지시설 선정	- 여과+흡착 - 약액세정+산화/흡착 - 연소(농축·축열·축매 연소 등)
	증자·성형공정		
	건조·제품보관		
	방지시설 배출구		
폐유 정제 사업장	원유 입고	유증기 회수시설 설치, 작업장의 밀폐, 연소 이후 흡착탑 등 연계 방지시설 설치	- 연소 + 흡착
	가열·열분해 공정		
	방지시설 배출구		

### 4.3.2 악취 추적시스템 구축

광주 하남산단의 악취발생 및 민원의 규모는 시화·반월산업단지나 여수·광양산업단지 등 타 지역에 비해 적은 편이다. 그러나 악취의 특성상 발생 즉시 추적하지 않으면 발생원을 밝히기가 매우 어렵기 때문에, 민원이 제기된 후에 담당자가 현장에 나가 현장조사 후 시료채취를 하는 현재 시스템으로는 악취문제를 현저하게 개선하기는 쉽지 않다.

뿐만 아니라 민원해결 및 예방을 위해 실시되는 빈번한 지도·점검은 업체의 불만을 유발하게 된다. 그러므로 보다 체계적이고 시스템화 된 악취 추적시스템 구축이 필수적이다.

#### 1. 악취배출현황 파악을 위한 기초자료 조사

주요 악취발생 사업장을 비롯한 악취발생 가능성이 있는 사업장들을 선정하여 우선적으로 상세 현황조사, 즉 정확한 악취발생원 조사, 악취발생원별 악취유발물질 및 발생량 산정, 악취특성(냄새종류) 조사, 방지시설 가동 및 관리 현황, 악취담당자 수준(악취에 대한 정보 정도) 조사 등을 실시하고 2차적으로 하남산단 내 사업장을 대상으로 구역별 전수조사를 실시하여 악취발생 즉시 발생원을 추적할 수 있는 시스템 개발의 기초자료로 활용할 수 있도록 DB구축 한다.<sup>15)</sup>

#### 2. 하남산단 주변 악취모델링 통한 실시간 악취 추적 시스템 구축

하남산단 주변 지형, 기상여건, 산단 내 사업장 현황자료 등을 이용한 악취모델링을 개발하고 이를 이용해 역으로 악취를 추적하는 시스템을 구축한다. 그리고 한편 산단 주변에 거주하는 악취로 인한 피해를 호소하는 주민들을 대상으로 모니터 요원 교육을 실시하여 악취발생시 즉시 전산상의 모니터링 시스템에 입력하도록 한다.<sup>21)</sup>

이 입력된 자료를 근거로 추적 시스템이 작동하여 발생원으로 추정되는 사업장을 알아내면 관리기관에서 바로 현장점검을 나가서 악취발생을 확인하고 그에 따르는 조치를 명할 수 있게 되어 업체는 구체적인 악취저감 방안 마련에 주력하게 될 것이다.

### 3. 악취배출시설 신고 대상 시설로 지정

악취 추적시스템에 적발되어 조치를 권고 및 명받고도 대책마련이 부족하여 악취발생으로 인한 민원이 해소되지 않는다면 악취배출시설 신고 대상 시설로 지정하여 집중관리를 실시함으로써 업체로 하여금 사업장을 이전하거나 보다 확실한 악취방지 대책을 마련하도록 유도한다.

### 4. 사업장에 대한 기술지원 확대 및 악취담당 관리자 교육 실시

중소기업 및 영세사업장이 악취방지시설을 도입하거나 개선하고자 할 때 시설 선정에 대한 충분한 정보를 얻기가 어려운 게 현실이다.

이러한 업체에 대해서는 지역 환경기술 개발센터나 환경공단을 통한 완벽한 기술지원이 이뤄질 수 있도록 지자체에서 일부 지원을 실시해야 할 것이다.

그리고 현장에서는 환경 비전공자가 악취관리까지 담당하는 경우가 대부분으로 악취에 대한 지식이 매우 부족하다. 따라서 전문기관을 통한 체계적인 교육이 지속적으로 이뤄져야 할 것이다.

### 5. 사업장 배출 대기오염물질 목록에 악취유발물질 포함 요구

현 악취관리 체계는 악취로 인한 민원이 발생할 시에만 지도·단속 등 관리를 실시하는 형편이다. 이런 수동적인 관리체계로는 악취를 사전에 예방하기는 대단히 어렵다. 그러므로 대기환경보전법에 명시된 대기오염물질 목록에 주요 악취유발물질로 조사된 물질들이 포함될 수 있도록 정책마련 부서에 건의하여 악취가 대기관리에 관한 법적규제 안에서 체계적으로 관리될 수 있도록 해야 할 것이다.

## V. 결 론

광주하남산단 사업장 중 악취취약사업장 20개소의 23개 방지시설 배출구에서 질소화합물 2종, 황 화합물 5종, 알데하이드류 13종, 휘발성 유기화합물 10종, 총 30종류의 악취물질을 조사하여 도장, 도금, 주물·주조, 고무제조, 폐유정제 사업장별로 악취물질 배출농도 및 주요 악취유발물질을 평가하고 그 결과를 토대로 각 사업장별 악취저감방안과 하남산단 관리방안에 대해 연구한 결과는 다음과 같다.

- 1) 도장사업장의 악취물질 배출농도(비율)는 아세톤 2,182 ppb(20.3%), 톨루엔 2,100 ppb(19.6%), 폼알데하이드 1,272 ppb(11.8%) 순으로 검출되었으나 최소감지농도를 이용해 계산된 이론희석배수 즉 악취강도로 살펴보면 전체 악취강도에 기여하는 비율은 뷰틸알데하이드가 74%로 가장 크고 다음으로 아세트알데하이드 18%, 프로피온알데하이드가 5%를 차지하는 것으로 나타났다. 이를 통해 하남산단 내 사업장들의 도장시설에서 배출되는 악취의 주요 유발물질은 뷰틸알데하이드, 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드 등의 알데하이드류로 추정되며, 이에 적용 가능한 악취방지공법은 흡착 + UV/오존산화법, 농축연소나, 축열 및 촉매연소 등의 연소법이 적합하다고 사료된다.
- 2) 도금사업장에서 배출되는 악취물질 농도(비율)는 암모니아 1,012 ppb(57.9%), 폼알데하이드 531 ppb(30.4%)가 검출되었으나, 악취강도 기여 비율은 농도비율이 1.8%였던 아세트알데하이드가 59.0%로 가장 높았고, 암모니아 19.1%, 황화수소 13.1% 순으로 나타났다. 그러나 악취세기로 평가한 결과 악취로 인식되는 3도 이상의 악취세기를 나타내는 물질은 없었다. 이에 적용 가능한 악취방지공법은 약액세정법, 화학흡착법이 가장 적합하다고 사료된다.
- 3) 주물·주조사업장의 악취물질 배출농도(비율)는 암모니아 924 ppb(39.1%), 이산화황 563 ppb(23.8%), 톨루엔 205 ppb(8.7%) 순으로 나타났다. 반면 전체 악취강도에 기여하는 비율은 황화수소 65.9%, 아세트알데하이드 17.2%, 이산화황이 5.2%를 차지하는 것으로 나타나, 주물·주조사업장에서 발생하는 악취는 황 화합물의 영향을 크게 받는 것으로 추정되어 적용 가능한 방지공법



은 여과+약액세정, 약액세정+산화/흡착법, 농축연소나, 축열 및 촉매연소 등의 연소법이 적합하다고 사료된다.

4) 고무제조사업장에서의 악취물질 배출농도(비율)는 메틸이소부틸케톤 535 ppb(19.8%), 톨루엔 446 ppb(16.5%), 암모니아 342 ppb(12.7%) 순으로 검출되었고, 이론희석배수 비율은 i- 발레르알데하이드 35.0%, 부틸알데하이드 32.0%, n- 발레르알데하이드 13.3% 순으로 나타났다. 즉 고무제조사업장에서 발생하는 악취의 주요 유발물질은 주로 알데하이드류로 추정되며 이에 적용 가능한 악취방지공법은 여과+흡착법, 약액세정+산화/흡착법, 농축연소나, 축열 및 촉매연소 등의 연소법이 적합하다고 사료된다.

5) 폐유정제사업장에서 배출되는 악취물질의 농도(비율)는 이산화황 49,423 ppb(84.3%), 아세트알데하이드 3,416 ppb(5.8%), 아세톤 2,313 ppb(3.9%) 순으로 검출된 반면 악취강도 기여 비율은 아세트알데하이드 36.8%, 부틸알데하이드 33.6%, 이산화황 14.5% 순으로 나타나, 폐유정제사업장에서 발생하는 악취의 주요 유발물질도 알데하이드류인 것으로 추정된다. 이에 적용 가능한 악취방지기술은 소각시설 후단에 흡착탑을 설치하는 것이 적합하다고 사료된다.

6) 악취배출현황 파악을 위해 하남 산단 내 전 사업장을 대상으로 악취발생원, 악취유발물질 발생량, 악취특성(냄새종류) 등의 기초자료 조사를 실시하고 산단 주변 악취 모델링을 통한 실시간 악취추적시스템을 구축하여 운영함으로써 악취발생에 신속히 대처하여 사업장들이 효과적이고, 구체적인 악취저감방안 마련을 할 수 있도록 유도한다.

또한 악취저감방안 마련에 미온적인 사업장에 대해서는 악취배출시설 신고대상시설로 지정하거나 사업장 이전을 유도하는 한편 악취저감방안 마련에 적극적인 사업장에 대해서는 전문기관을 통한 기술지원을 확대하고 사업장 악취관리 담당자에 대한 교육도 체계적으로 실시하여 현장에서 악취저감 노력이 실질적으로 효과를 거둘 수 있도록 해야 하고, 악취가 대기관리의 법적규제 안에서 체계적으로 관리될 수 있도록 악취물질들을 대기오염물질에 포함시킬 것을 정책결정 부서에 건의해야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 정만호. 여수·광양산단 사업자 악취 배출특성 연구, 순천대학교 산업대학원 석사논문, 2008.
2. 안상영. 산업단지 악취관리를 위한 대기관리시스템 기반조성 및 대책방안에 관한 연구 - 대구 성서산업단지를 중심으로 -, 계명대학교 대학원 박사논문, 2005.
3. 국립환경과학원. 악취공정시험방법 (국립환경과학원 고시 제2007-17호), 2007.
4. 법제처. 악취방지법 제2조(정의), 2010.
5. 이종국. 산업장별 악취발생 조사·연구, 조선대학교 산업대학원 석사논문, 2008.
6. 김중보. 산업단지의 체감악취 특성 및 악취관리방안에 관한 연구, 경기대학교 대학원 박사논문, 2009.
7. 권우택. 최종연구보고서(VOCs 배출시설의 관리실태 및 개선방안 연구 - 시화·반월공단 지역을 중심으로 -), 시흥환경기술개발센터, 2006.
8. 국립환경과학원. 악취측정기술향상을 위한 workshop(3rd). 2007.
9. 김덕현. 최종연구보고서(시화·반월공단 악취 중점 배출업소의 업종별 발생 악취 오염물질 조사), 시흥환경기술개발센터, 2006.
10. 국립환경과학원. 시화·반월지역 악취원인물질 규명을 위한 정밀조사, 2001.
11. 이진홍. 최종연구보고서(대전광역시 3·4공단 및 주변지역의 대기오염물질 평가와 저감대책수립에 대한연구), 대전환경기술개발센터, 2001.
12. 환경부. 인천지역 악취저감을 위한 종합대책 수립에 관한 최종보고서; 인천서구 지역 및 수도권 매립지를 중심으로, 2001.
13. 양고수. 최종연구보고서(전북지역 산업단지(전주, 익산)의 대기환경 모니터링), 전북지역환경기술개발센터, 2003.
14. 김성천. 최종연구보고서(군산산단 주변의 대기환경 모니터링), 전북지역환경기술개발센터, 2003.
15. 유남종. 최종연구보고서(고효율 미생물 처리장치를 이용한 음식물 침출수, 축산폐수 등 고농도 유기성폐수 처리의 효율 극대화 및 소요부지 최적화에 관한 연구), 경기지역환경기술개발센터, 2006.
16. 김동술. 최종연구보고서(수원시 정자동 일대 악취관리 방안 연구), 경기지역환경기술개발센터, 2006.
17. 환경부(<http://www.me.go.kr>). 악취관리지역지정현황( '09.3)

18. 광주광역시. 2010년 악취취약사업장 관리계획,( '10.1)
19. 이인화. 최종연구보고서(하남산단 악취관리지역 지정 타당성 연구), 광주지역 환경기술개발센터, 2009.
20. 김덕현. 최종연구보고서(시화공단 자동차 부품 제조업체의 악취관리방안 연구), 시흥환경기술개발센터, 2008.
21. 길인섭. 실시간 악취모니터링을 통한 악취발생원 추적시스템 연구, 한국산업기술대학교 대학원 박사논문, 2009.
22. 대학교재 편찬위원회 역. 대학기초화학, 자유아카데미,1990.
23. Moncrieff.R.W. Olfactory adaptation and odour likeness, J. Physiol.,1956.
24. 국부진. 새로운 탈취기술, 화학공업조사회, pp.10~13.
25. 전국환경관리인연합회. 최신 환경관계법규, 동화기술, 1989.
26. 김덕현. 최종연구보고서(시화·반월지역 악취 배출원조사 및 저감방안연구), 시흥환경기술개발센터, 2008.
27. 박귀환. 환경기초시설의 악취 배출 특성 및 관리방안, 전남대학교 대학원 박사논문, 2007.
28. 환경부. 악취관리편람. 2007.
29. 양성봉 외. 악취의 관능측정, 도서출판 북, 1998.
30. 대전대학교. DTV 주변 악취 영향조사 및 대응방안 수립, 한화환경연구소, 2003.
31. 국립환경과학원. 악취원인물질 및 배출원 조사 연구, 2006
32. 김학민. 복합취기센서를 이용한 환경악취 평가방법 개발 및 활용에 관한 연구, 대전대학교 대학원 박사논문, 2001.
33. 전남지역환경기술개발센터. 최종연구보고서( 여수산단 악취실태조사 및 관리방안에 관한 연구(Ⅰ~Ⅲ)활용에 관한 연구), 2002~ 2004.
34. 전남지역환경기술개발센터. 최종연구보고서( 광양산업단지 악취실태조사 및 관리방안), 2006.
35. 一夫. 兵庫縣에서 악취 공해의 현상, 臭氣の 研究, 1992.
36. 宏能. 大阪府에서 악취 공해 행정의 현상과 금후의 과제, 臭氣の 研究, 1992.
37. 今井清. 滋賀縣에서의 악취 공해 현상과 대책, 臭氣の 研究, 1992.
38. 鶴飼宏晃. 八戶市の 취기 대책 사례, 臭氣の 研究, 1993.
39. Arnold. J., Health implication of occupational exposures to hydrogen sulfide, J. Occup. Med., 1985.
40. U.S.EPA. 1994 Toxics Release Inventory Public Data Release, 1996.

41. Brian Rumburg, Manjit Neger, George H. Mount, David Yonge, Jenny Filipy, John Swain, Ron Kincaid and Kristen Johnson(2004) Liquid and atmospherriic ammonia concentration from a dairy lagoon during an aeration experiment, Atmospherriic Environment, Vol.38
42. Chou. J., Hazardous Gas Monitors, McGraw-Hill, 2000.
43. Marsili. R., Flavor, Fragrance & Odor Analysis, Marcel Dekker, 2001.
44. Cross.F.L., Air pollution odor control primer, Technomic Pub. Co.,1973.
45. D. R. Lawson, H. W. Biermann, E. C. Tuazon, and A. M. Winer, G. I. Mackay and H. I. Schiff, G. L. Kok, P. K. Dasgupta, K. Fung, Formaldehyde Measurement Methods Evaluation and Ambient Concentrations During the Carbonaceous Species Methods Comparison Study, Aerosol Science and Technology, 1990.
46. Stuetz.R., Control and Prevention of Odours in the Water Industry, IWA Publishing, 2000.
47. Suffet, I.H., Advances in Taste-&Odor Treatment & Control, Amer Water Works Assn, 1995.
48. Thomas. J. Kelly, Jeffreyd. Myers and Michael W. Holdren, Testing of house hold products and materials for emission of toluene diiscocyanate. Indoor Air, 1999.
49. 울산광역시. 울산광역시 환경오염조사 및 환경중기 종합계획수립(악취분야), 1997.
50. 인천광역시. 최종보고서(인천지역 악취저감을 위한 종합대책 수립에 연구), 2001.
51. 한국수자원공사. 시화지구 대기환경오염 저감방안 수립 연구, 2000.
52. 서울시정개발연구원. 난지도지역 환경성 검토 및 친환경적 정비방안(악취관리), 2000.
53. 한국과학기술연구원. 여천공단 주변마을 환경영향 및 대책에 관한 연구, 1996.
54. 한화진 외. 석유화학공단지역 체감오염도 개선을 위한 사업장 관리 방안, 한국환경정책.평가연구원, 1997.
55. 정경훈. 서병량. 허당. 전준민. 서성규. 윤형선. 여수 석유화학산단 지역의 Trimethylamine과 Fatty acid 농도 경향, 한국냄새환경학회 춘계학술대회, 2004.
56. 정경훈. 서병량. 허당. 전준민. 서성규. 윤형선. 여수산단 지역의 지방산화합물의 농도 경향, 한국냄새환경학회 추계학술대회, 2004.

57. 서병량. 정경훈. 전준민. 서성규. 여수 석유화학산단 사업장내 폐수처리장에서 발생하는 카르보닐화합물의 농도 특성, 한국대기환경학회 춘계학술대회, 2004.
58. 서병량. 정경훈. 허당. 고오석. 전준민. 서성규. 전기석. 여수 석유화학산단 지역 악취성알데하이드류 농도 경향, 한국냄새환경학회지, 2005.
59. 정만호. 허당. 정경훈. 서병량. 전준민. 서성규. 여수산단 사업장 부지경계에서의 악취성 알데하이드 농도 비교, 한국냄새환경학회 추계학술대회, 2006.
60. Fenger.J., Lofstrom. P., Winter. M., Kousgaard. U., Oxbol. A., Odour in the surroundings of Copenhagen Airport, Atmospheric Environment, 2006.
61. Dincer.F. and Muezzinoglu. A., Chemical characterization of odors due to some industrial and urban facilities in Izmir, Turkey, Atmospheric Environment, 2006.
62. Leach, J. A. Blanch, and Bianchi, A.C., Atmos. Environ., 33, 4309-4325, 1999.
63. Littarru. P., Environmental odours assessment from waste treatment plants: Dynamic olfactometry in combination with sensorial analysers electronic noses, Waste Management, 2006.
64. U. S .EPA, 1994 Toxics Release Inventory Public Data Release, 1996.
65. Rosenkranz. H. S. and Cunningham. A. R., Environmental odours and health hazards, The Science of the Total Environment, 2003.
66. Dalton. P., Wysocki. C. J., Brody. M. J. and Lawley H. J., Perceived odor, irritation, and health symptoms following short-term exposure to acetone, American Journal of Industrial Medicine, 1997.
67. James. A. and Nicell. J., Expressions to relate population responses to odor concentration, Atmospheric Environment, 2003.
68. Miedema. H.M.E., Walpot. J. I., Vos. H. and Steunenber. C.F., Exposure-annoyance relationships for odour from industrial sources, Atmospheric Environment, 2000.
69. Shareefdeen. z., Herner. B., Webb. D., Verhaeghe. L. and Wilson. S., An odor predictive model for rendering applications, Chemical Engineering Journal, 2005.
70. Sarkar. U. and Hobbs. S. E., Odour from municipal solid waste(MSW) landfills: A study on the analysis of perception, Environment International, 2002.

71. Sironi. S., Capelli. L., Centola. P., Rosso. R.D. and Grande. M., Odour emission factors for assessment and prediction of Italian MSW landfills odour impact, Atmospheric Environment, 2005.
72. Henshaw. P., Nicell. J. and Sikdar. A., Parameters for the assessment of odour impacts on communities, Atmospheric Environment, 2006.
73. 최성우, 안상영. 악취오염개론, 동화기술, 2005.
74. 김기은, 이혜경. 악취측정 및 제거, 아카데미, 2004.
75. 이주상, 임백규, 김지구, 이철민, 흡수·흡착을 이용한 악취처리기술, 한국관리학회지, 2, 2001.
76. 환경부. 악취관리 업종별 개선사례집, 2009.
77. 고광택, 윤주환, 이병헌, 임봉수. 폐수처리공학, 동화기술, 1995.
78. 허목, 악취방지기술과 평가, 한국냄새환경학회지,1, 2003.
79. 환경부. 업종·시설별 악취관리, 2003.
80. 환경부, 국립환경연구원. 소규모 영세사업장에 대한 악취관리 편람, 2005.
81. 환경부. 악취물질 발생원 관리방안 개선을 위한 조사연구, 2001.
82. 환경부. 악취배출시설 업종별 관리메뉴얼 개발, 2009.