

## 惡臭汚染 事例研究를 통한 惡臭汚染 防止 및 管理對策

♣

송덕만 · 최종만\*

화학공학과

### <요 약>

본 연구의 목적은 석유화학산업 지역에서 악취의 외부이동을 감축하기 위한 방법론을 개발하고 악취제어사례를 예견하거나 석유화학산업 지역에서 악취영향을 점검하기 위한 악취오염 방지 및 관리전략 수립시 예비지침을 제공하기 위한 것이다.

실제 기상자료와 악취발생원강도를 ISCST 분산모델에 입력시켜 착지점에서의 악취농도수준(o. u.)을 계산할 수 있었다. 본 모델링연구는 1 악취단위전략과 악취완충거리의 개념을 도입하여 석유화학산업 지역에서의 악취제어 및 예측을 수행하는 독특한 방법이라 할 수 있다.

결론적으로, 1 악취단위전략과 악취완충거리 개념을 도입하여 풍향거리에 따른 지표면 악취농도수준을 예측하는 악취 분산모델링 방법론은 공단에서 배출된 악취오염물질의 제어 및 예측을 위해 악취저감 대책을 위한 전략수립시 예비지침서로 사용될 수 있을 것이다.

---

## Odor Pollution Prevention and Management Strategies via Odor Pollution Case Studies

Song, Duk-Man · Choi\*, Jong-Man

Department of Chemical Engineering

### <Abstract>

The objective of this study is to create a methodology for reductions in off-site odor migrations at petrochemical industrial sites, and to provide the preliminary guideline in predicting the odor control episodes or in establishing the odor pollution prevention and management strategies for review of odor impact at

---

\*금호석유화학(주)

petrochemical industrial sites.

By incorporating the actual meteorological data and odor source strength into the ISCST dispersion model, odor concentration levels(o. u.) at receptors could be calculated. This odor modeling study is a unique approach to odor control and predictions at petrochemical industrial sites using 1 odor unit strategy and odor buffer distance concepts.

Consequently, this odor dispersion modeling methodology predicting the ground-level downwind plume centerline odor concentration levels by using 1 odor unit strategy and odor buffer distance concepts can be used as a preliminary guideline in establishing odor reduction management strategy for odor control and prediction at industrial complex sites.

## 1. 序 論

대기 중에서의 불유쾌한 악취오염 문제는 최근 선진공업국에서 대기오염 문제로 관심이 증폭되어 왔다. 악취는 황화수소( $H_2S$ ), 메르캅탄류, 아민류 및 기타 자극성있는 기체상물질이 사람의 냄새각각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로서 정의된다. 악취를 심하게 발생시키는 주요 업종으로는 석유정제, 석유화학공업, 펄프제지공업, 금속제품 제조업, 합성수지 제조업, 고무·피혁공업, 음·식료품 제조업 등이 있다. 악취는 발생원이 다양할 뿐만아니라 다른 대기오염물질과는 달리 제거 투자비에 대한 개선효과의 기대치도 상당히 낮은 문제점을 안고 있다.

악취는 일반적으로 여러 화합물들의 혼합물에 의해 야기되며, 인간에게 정신적 생리학적 스트레스를 유발시켜 메스꺼움, 두통, 식욕감퇴, 호흡곤란 및 알레르기 현상 등의 인체반응을 나타낸다. 대부분의 많은 악취물질들은 ppb 농도로 감지되므로 기기분석 측정방법에 의해 객관성있게 측정되기란 대단히 어려운 일이며, 게다가 악취감응 및 영향은 극히 다양하고 주관적이므로 여러 악취물질에 대한 불유쾌함의 정도를 정량화 한다는 것 또한 대단히 어려운 일이다.

악취오염은 근본적으로 지역적 문제이지만 지역사회에 미치는 악취오염 문제는 특성상 대단히 복잡하며 악취오염에 대한 민원은 전체 환경관련 민원 중 약 20% 정도를 차지하고 있어 그 발생건수는 매년 증가하고 있는 실정이다 (1989년에 356건, 1990년에 472건, 1991년에 776건 등). 오늘날 악취에 대한 민원이 이처럼 날로 증가하고 있고 악취오염 문제에 대한 주민들의 불평은 보고된 바가 많으나 악취오염 영향평가에 대한 객관성의 결여로 기초적인 대처방안도 마련하지 못하고 있어 지역사회에 대한 근본적인 악취오염 영향을 감축시키지 못하고 있는 심각한 실정에 있다. 객관성있는 정량화 작업이나 악취의 인체의 건강에 미치는 영향에 대한 사례연구가 미진할 뿐만아니라 최근의 악취오염 문제는 사회적, 경제적인 측면에서까지 관심이 고조되고 있어 향후 주민들의 악취 불쾌감에 대한 환경협조를 극대화하기 위해서는 악취오염 제어 및 예측에 대한 객관성있는 기술적 연구가 절실히 요구된다.

이에 본 연구는 악취완충거리와 악취제어 기술(악취발생량)간의 정량적 분석을 통한 악취오염 발생원으로부터의 악취배출량을 감소시키는 악취제어 및 예측을 위한 악취 분산모델링 방법론을 개발하여, 악취완충거

리의 근거를 규명하고 악취제어기술 전략에 있어서 보다 나은 정의를 제공하기 위한 것이며, 향후 악취저감대책 수립시 악취제어 수준을 설정하고 인근 지역사회에 미치는 악취오염 영향에 대한 정책방향 및 관리대책을 모색하고자 시도되었다. 결국, 악취분산모델링 방법론은 악취제어 사례를 예견하거나, 악취저감을 위해 공정상의 특성을 검토함으로써 공정개선 뿐만아니라 악취저감을 위한 시설개선 수준의 정도를 설정하고 완벽한 악취방지기술의 적합한 선정을 위한 예비지침을 마련하고 악취오염 정책방향 및 관리대책을 모색하는데 있어서 귀중한 예비지침을 제공할 것이다.

## 2. 惡臭汚染 管理對策

울산석유화학공단 및 온산공단의 악취오염저감을 위해 다음과 같은 제도적인 관리대책이 수립되어야 할 것으로 사료된다.

- 악취측정방법의 보완·개선
- 성분별 악취규제에서 총괄적 악취규제로의 제도적 전환
- 악취오염발생원의 객관적 정량화 및 배출규제의 강화
- 악취중점관리업소의 지속적 관리

첫째로, 현행 직접관능법에 의한 악취측정방법의 보완·개선에 대한 필요성이다. 현행 직접관능법에 의한 악취판정은 악취가 발생하는 현장(공장)의 부지경계선(피해지점)상에서 건강한 사람의 냄새감각을 이용하여 악취의 취기강도를 판정하게 된다. 이때 악취조사 판정자는 조사대상지역에서 거주하지 않는 사람으로서 냄새감각이 정상이고 건강한 사람 5인 이상으로 구성한다(미국의 EPA는 7명 이상을 권장하고 있다). 직접관능시험방법에 의해 Table 1과 같이 악취취기강도에 따라 0-5도의 6단계로 구분하여 각 악취판정자가 감지한 악취도 중에

다수(50%이상)가 판정한 악취도를 취하여 결정하며 악취판정자수가 동수일 경우에는 악취도가 높은 것을 선택하여 2도 이하이면 적합하고 3도 이상이면 부적합으로 판정하게 된다. 현재 환경처에서는 선진외국에서 사용하고 있는 기기분석법 및 간접관능법(공기회석법)을 병행운영하고 있으나 악취판정자들의 주관성을 최소화하고 악취물질의 샘플링 및 분석에 있어서 좀더 보완 개선할 부분이 많다고 할 수 있다.

Table 1. 현행 직접관능법에 의한 악취 판정표

악취도	악취감도 구분
0	무취 (None)
1	감지 악취 (Threshold)
2	보통 악취 (Moderate)
3	강한 악취 (Strong)
4	극심한 악취 (Very Strong)
5	참기 어려운 악취 (Extremely Strong)

둘째로, 성분별 악취규제에서 총괄적 악취규제로의 제도적 전환이 필요하며, 아울러 악취오염발생원의 객관적 정량화 및 배출규제를 강화하는 제도적 필요성이다.

현재 우리나라는 암모니아, 황화수소, 메틸메르캅탄, 황화메틸, 이황화메틸, 트리메틸아민, 아세트알데히드, 스티렌 등 8종의 악취원인물질에 대하여 배출허용기준을 기기분석법에 의하여 규제하고 있으나, 악취물질이 단일 성분일 때에는 기기분석법을 이용한 정량분석이 가능하지만 대부분의 악취물질들은 수십종 이상이 복합적으로 혼합되어 배출되기 때문에 복합현상을 규명하기 위해서는 성분별 악취규제에서 총괄적 악취규제로의 제도적 전환이 필요하다고 사료된다.

한편, 외국의 경우는 악취오염 발생원의 객관적 정량화를 위하여, 악취규제법규에서 특정악취물질의 최대배출허용농도와 표준화된 분석방법을 규정하고 있다. 특히 미국의

경우 최대배출허용농도는 악취감지역치 (Odor Threshold)와 배출농도로부터 평가된 악취단위를 이용한 분산모델수치모사에 근거하여 악취농도수준(Odor Concentration Level)을 규정하고 있다.

San Francisco Bay Area의 Air Pollution Control Association은 특정악취물질로 트리메틸아민, 페놀, 메틸메르캅탄, 디메틸황 및 암모니아를 설정하여 배출량을 규제하고 있다. 1982년의 National Renderers Association의 통계자료를 이용하여 미국과 캐나다의 악취규제기준 현황을 Table 2에 요약 정리하였다. Table 2에 요약정리된 통계자료에 의하면 미국의 경우는 약 15개 주가 대기질 악취환경기준을, 약 5개 주가 배출허용기준을 악취단위로 나타낸 악취농도수준으로 정량화하고 있음을 알 수 있다. 캐나다도 몬트리올의 경우 공정에서 나오는 악취배출물질을 99% 감축하도록 배출허용기준을 설정하고 있으나 정량화된 기준치는 규정하고 있지 않다. 독일의 경우는 특정악취물질을 잠재성 악취도에 의해 세 그룹으로 분류하고 있으며, 각 그룹별 특정악취물질에 대한 각기 다른 배출허용농도를 설정하고 가스크로마토그래프에 의한 분석방법을 규정하고 있다. 일본의 경우는 Table 3에 요약 정리된 바와 같이 12가지 악취물질에 대하여 환경기준 및 배출허용기준을 설정하여 황화수소( $H_2S$ )는 0.02-0.2 ppm, 메틸메르캅탄( $CH_3SH$ )은

0.002-0.01 ppm 등으로 성분별 환경기준 농도를 정하여 규제하고 있으며, Table 4에 요약 정리된 것처럼 동경도 및 기옥현 등의 특별지역에 대해서는 미국과 같이 악취단위를 사용한 총괄적 악취규제를 병행하고 있음을 알 수 있다.

우리나라는 Table 5에 나타낸 바와 같이 배출허용기준을 공기희석관능법에 의하여 배출구에서는 희석배율 100, 부지경계선에서는 희석배율 20을 적용하고 있으며, 8종의 악취물질에 대해서는 기기분석방법에 의하여 정량적으로 정하고 있지만 여전히 규제기준의 표준화 설정이 미진하고 배출허용기준 역시 선진외국에 비하여 완화되어 있는 실정이다.

한편, Feldstein et al.은 악취배출허용농도는 대표적인 공장굴뚝 배출량에 대한 악취감지역치의 약 100배 정도로 설정함이 적합하다고 밝히고 있다. 특히 페놀의 경우는 악취감지역치 농도가 0.047 ppm이므로 최대배출허용농도는 4.7-5.0 ppm이 적합하다는 것이다. 미국 및 일본의 악취배출허용기준을 비교해볼 때 미국의 배출허용기준은 악취규제기준인 1 악취단위(o. u.)의 100-250배 범위안에 있으며 일본도 특정악취물질인 황화수소와 메틸메르캅탄 등 12가지 성분에 대해 성분별 배출허용기준을 보면 악취감지역치의 10-500배 범위안에 있음을 알 수 있다.

Table 2. 미국 및 캐나다의 악취규제기준 현황

State/Local Agency	Ambient/Source Emission Std.	Odor Nuisance	Odor Levels Specified	
			Ambient	Emission Std.
Alabama	Ambient	YES		
Arizona/Pheonix	None/Both	NO/YES		
California/L. A.	Ambient/ Both	YES/YES	/YES	/YES
Colorado	Ambient	NO	YES	
Connecticut	Both	YES		120 o. u.
Delaware	Ambient	YES		
Florida	Both	YES		
Georgia	None	NO		
Illinois/Chicago	Both/Ambient	YES/YES	YES/	120 o. u.
Indiana	Ambient	YES		
Iowa/Polk County	Ambient/Ambient	YES/YES	/YES	
Kansas	Ambient	YES		
Kentucky	Ambient	YES	YES	
Louisiana	None	NO		
Maine	None	NO		
Maryland	Ambient	YES		
Massachusetts	Ambient	YES		
Miami	Both	YES		
Michigan/Detroit	Ambient/Both	YES/YES		50-150 o. u.
Minnesota	Both	NO	YES	
Mississippi	None	NO		
Missouri/St. Louis	Ambient/Both	NO/YES	YES/YES	
Nebraska	None	NO		
Nevada	Both	YES	YES	
New Jersey	None	NO		
New Maxico	None	NO		
New York	None	NO		
North Carolina	Ambient	YES		
North Dakota	Ambient	YES	YES	
Ohio/Cincinnati	Ambient/Ambient	YES/YES	/YES	
Oklahoma	None	NO		
Oregon	Both	YES	YES	
Pennsylvania/Philadephia	Both/Ambient	YES/YES	YES/	
South Carolina	None	NO		
Sourth Dakota	Ambient	YES		
Tennessee	None	NO		
Texas/Houston	Ambient/Ambient	YES/YES		
Utah	None	NO		
Virginia	Ambient	YES		
Washington/Seattle	Ambient/Ambient	YES		
Wisconsin	Ambient	YES		
Wyoming	Both	YES		
CANADA	British Columbia	Ambient	YES	
	Manitaba	Ambient	NO	YES
	Montreal	Both	YES	99% Reduction
	Ontario	Ambient	YES	
	Quebec	Ambient	NO	YES

Table 3. 일본의 성분별 악취규제기준 현황

악취물질	악취감지역치(ppm)	규제농도(ppm)
암모니아	46.8	1 - 5
메틸메르캅탄	0.0021	0.002 - 0.01
황화수소	0.00047	0.02 - 0.2
황화메틸		0.01 - 0.2
이황화메틸	0.001	0.009 - 0.1
트리메틸아민	0.00021	0.005 - 0.07
아세트알데히드	0.21	0.05 - 0.5
스티렌	0.15	0.4 - 2
프로피온산	0.034	0.03 - 0.2
n-Butyric acid	0.001	0.001 - 0.006
n-Pentanoic acid		0.0009 - 0.004
i-Pentanoic acid		0.001 - 0.01

측정방법: 흡광광도법, GC-FID법

Table 4. 일본의 용도지역별 악취규제기준 현황

행정구역	지역구분	규제기준(o.u.)
동경도	공업전용, 공업	배출구 1,000
		경계 20
	준공업, 상업	배출구 500
		경계 15
	기타	배출구 300
		경계 10
기옥현	공업전용, 공업	배출구 1,000
		경계 30
	준공업, 상업	배출구 500
		경계 20
	기타	배출구 300
		경계 10

측정방법: 3점 비교식 취대법(관능법)

Table 5. 우리나라의 성분별 악취규제기준 현황

측정방법	허용기준
직접관능법	2 도
공기희석관능법	배출구 희석배율 100
	부지경계선 희석배율 20
기기분석법	암모니아 5 ppm
	메틸메르캅탄 0.01 ppm
	황화수소 0.2 ppm
	황화메틸 0.2 ppm
	이황화메틸 0.1 ppm
	트리메틸아민 0.07 ppm
	아세트알데히드 0.5 ppm
스티렌 2 ppm	

그러므로, 특별대책지역인 울산석유화학공단 및 온산공단의 경우에는 일본의 사례처럼 용도지역별 악취규제기준을 악취단위로 규정하거나 미국의 경우처럼 복합악취에 대한 총괄악취규제로 점차 개선 전환할 필요가 있으며, 악취규제기준으로 1 악취단위(o.u.) 및 악취완충거리의 개념을 도입하여 보다 객관적인 정량화 작업이 필요하다고 사료된다.

마지막으로, 악취중점관리업소를 지속적으로 관리감독하여야 할 것이다. 환경처에서는 1987년부터 악취배출업소로서 문제를 유발시킬 가능성이 있는 업소를 악취중점관리 대상업소로 선정하여 지방환경청 및 시·도로 하여금 정기단속 및 수시단속을 통하여 이들 업소에 대해서는 년 2회 이상의 정기점검 및 업소별 카드화 작성에 의한 특별관리하에 두고 방지시설을 설치하도록 하

는 등 악취중점관리 대상업소를 집중관리하고 있으나, 악취규제에 대한 체계적인 관리가 여전히 미진한 상태라고 할 수 있다. 악취는 사업장의 종류 등에 따라 발생물질이 다양하고 다양한 화합물로 이루어진 악취물질의 저감을 위한 방지기술 또한 어렵고 복잡하기 때문에 악취배출규제를 강화함과 동시에 악취방지시설의 종류선정 등 방지기술에 적극적인 노력이 요구된다.

### 3. 惡臭 分散모델링 方法論의 開發

외부로의 악취이동을 제어하기 위한 적절한 악취완충거리와 악취제어기술(악취발생량)간의 평가기준이 전무한 상태인 실정에서, 악취원인물질들의 배출특성에 따른 악취배출량 조사와 실제 기상자료의 분석을 통하여 악취발생원강도(Odor Source Strength) 및 기상자료들을 대기분산모델에 압력하여 악취수준의 예측과 제어를 위한 대기분산모델링을 개발하였다.

#### 3-1. 1 惡臭單位 (1 Odor Unit)의 戰略

악취를 정량화하는데는 악취감지역치를 사용하는 방법이 있다. 악취감지역치는 악취가 감지되지 않는 정도까지 불유쾌한 악취를 희석하는데 필요한 희석수를 의미한다. 악취제어 문제에 있어서 악취물질의 양 및 농도를 악취단위(Odor Unit; o. u.)로 표현하는 것이 편리한 경우가 많으며, 악취감지역치를 악취농도 대신에 희석인자(Dilution Factor)로 표현하는 것은 냄새감각측정분석(관능법)에 있어서 통용되는 절차이다. 악취의 강도는 악취단위로 표현될 수 있는데, 악취단위는 악취감지역치에 대한 희석비(Dilution Ratio)로 나타내며 원래의 악취시료물질을 악취가 없도록 희석하고자 하는 희석인자를 결정하는 척도가 된다.

1 악취단위는 1 m<sup>3</sup>의 깨끗한 공기를 악취감지역치까지 오염시키는데 필요한 악취오염물질의 양(m<sup>3</sup>)으로 정의되며, 악취시료대기를 깨끗한 공기로 희석하여 악취판정자들(Odor Panels)의 50%가 감지할 수 있는 수준까지 희석한 희석수를 의미한다. 여러 풍하거리에 따른 악취농도수준을 예견하기 위하여 대기질 분산모델을 적용하는데는 악취감지역치에 근거하여 악취농도 대신에 다른 정량치인 악취단위가 사용된다.

악취로 인한 Nuisance 발생빈도와 악취단위와의 상관성을 규명하기가 어려우므로 근거있는 가정과 함께 모델링 분석을 수행할 필요가 있다. 모델링 평가에 있어서 1 악취단위 전략을 사용하는 중요한 이유는 다음과 같다.

- 연구결과로부터 악취 판정자들이 25 o. u. 이하를 정량화하기가 대단히 어렵다. 그러므로 비교를 위해 정의된 1 o. u. 를 사용한다.
- Nuisance를 구성하는 악취수준을 결정할 수는 없지만 근본적으로 감지수준 이하의 악취배출량은 Nuisance가 아니라고 가정한다.
- 0 o. u. 의 악취감지를 예견하기가 불가능하므로 최소 악취단위로 1 o. u. 를 사용한다.

결론적으로, 악취단위는 지역사회의 악취영향 평가에 있어서 근거있는 지침을 제공해주며, 1 악취단위 전략은 악취발생원의 설계 및 운전조건에서의 특수한 변경사례에 대한 수용가능 여부를 평가하는 적절한 지침서로 사용될 수 있을 것이다.

#### 3-2. 모델 및 入力資料

본 연구에서는 미 환경보호국(USEPA)이 공인하는 대기질모사모델(Air Quality Simulation Model) 중 1989년 말 새로 보완된 IBM-PC용 UNAMAP Version 6

모델인 BREEZE AIR 소프트웨어(In-dustrial Source Complex Short Term; ISCST 6576 분산모델)에 울산의 실제 기상자료와 악취배출원 특성자료를 입력하여 분산모델링을 수행하였으며, 울산석유화학 및 온산공단에서 배출되는 악취원인물질 전체에 대한 배출량자료의 불충분으로 인하여 악취오염물질 중 배출량이 정량화된 아황산가스(SO<sub>2</sub>)를 대표 악취물질로 선정하여 SO<sub>2</sub>로 인한 악취오염이 대기질에 미치는 영향을 예측하고 악취오염저감 관리방안을 고찰하였다.

(1) 악취배출원 자료 (Odor Source Data)

본 연구를 위한 악취오염 배출원은 울산 석유화학공단 및 온산공단의 악취발생원(업

소 및 원인물질) 중 악취발생 중점관리업소를 대상으로 하였으며, 모델링에 사용한 악취배출원은 다음의 Table 6과 Table 7에 나타내었다.

Table 6과 Table 7에 나타난 바와 같이 악취발생 중점관리업소를 업종별, 배출시설별 및 원인물질별 유형으로 분류하면, 업종별로는 산업용 화학물질을 취급하는 업소가 주를 이루었고, 석유정제, 금속제품 제조업, 합성수지 제조업, 펄프제조업, 고무·피혁가공업, 음·식료품 제조업 등의 업소가 포함되었다. 배출시설별로는 각 업소의 제품제조시설이 주를 이루었고, 반응시설, 석유정제시설, 제품가공시설, 회수시설, 용해시설, 결정시설, 흡수시설들이 포함되었다.

Table 6. 울산공단의 악취발생 중점관리 업소

업 소 명	업 종	배출시설명	주요 생산품	악취발생유형
금호석유화학	산업용화학	회수시설	합성고무	파라핀 및 방향족계
대한스위스화학	산업용화학	염소반응시설	아조계안료, 청색중간체	염화수소
동부화학1공장	산업용화학	고무용해시설	스티렌모노머, 폴리스티렌	스티렌
동부화학2공장	산업용화학	복합비료 제조시설 황산, 암모니아	복합비료	암모니아 아황산가스
동오화학	산업용화학	유기약품합성 제조시설	BPMC(농약), 키타진	농약, 아세트알데히드
삼성석유화학	산업용화학	결정시설	PTA	초산
이수화학공업	산업용화학	제조공장	연성·경성알킬벤젠	불소
미원상사	산업용화학	황산, 설폰산 제조시설	황산, 발연황산	아황산가스
보광	산업용화학	황산화, 염소화반응	중성무수망초, 규산소다	아황산가스, 암모니아
선경인더스트리	산업용화학	산업용화학 제조시설	폴리에스테르면 테레프탈릭산	아황산가스, 초산 황화수소
우양	식료품제조	돈지, 우지 제조시설	타드, 사료, 공업유지	돈지, 우지
유공	석유정제	석유정제	석유	아황산가스, 황화수소 메르캅탄류
진양	산업용화학	합성수지, 가공시설	후로링, PVC파이프	염화수소
코오롱유화	산업용화학	석유화학제품 제조시설	석유수지, 페놀수지	아세트알데히드 포름알데히드
한국비료공업	산업용화학	비료, 암모니아제조시설	요소, 암모니아	암모니아
한국알콜공업	산업용화학	에탄올, 주정제조	에탄올, 아세트알데히드	알콜, 아세트알데히드
한남화학	산업용화학	계면활성제 제조시설	합성수지	암모니아



Table 7. 온산공단의 악취발생 중점관리 업소

업 소 명	업 종	배출시설명	주요 생산품	악취발생유형
경기화학공업	산업용화학	황산칼륨, 비료제조시설	복합비료	불소
			황산칼륨	황화수소
			염산	염화수소
고려아연	1차 금속	황산, 발연황산 제조시설	황산	아황산가스
동해펄프	종이제조	펄프제조시설	펄프	아황산가스
				메르캡탄류
제일물산공업	산업용화학	가스흡수, 분해반응시설	염화술폰산	메르캡탄류
			황산	아황산가스
			삭카린	
쌍용정유	석유정제	석유정제	석유	황화수소

주 악취발생 원인물질별 유형을 보면 아황산가스, 메르캡탄류(황화수소), 아민류(암모니아) 등이 주를 이루었고 염화수소, 초산, 불소, 아세트알데히드, 스티렌, 알콜 등이 포함되었고, 파라핀 및 방향족 유기물질들이나 음·식료품업체에서 배출된 든지, 우지의 악취발생 유형 또한 포함되었다.

본 연구에서는 악취오염 배출원을 점오염원으로 선정하여, 배출원 굴뚝특성(Stack Characteristics)자료를 ISCST 분산모델의 입력자료로 사용하여 Point Source Modeling을 수행하였다.

(2) 기상 자료 (Meteorological Data)

기상 입력자료는 1981-1990년까지의 10년 동안의 울산측후소 및 기상청의 매시 관측된 기상월보 및 기상예보를 월별/계절별로 조사분석하여 1990년의 기상자료를 대표값으로 선정하여 모델링을 수행하였다. 특히, 기상자료 중 최대혼합높이(MMH)는 기상자료의 불충분으로 인해 100m와 500m인 경우를 선정하였다.

(3) 착지점 격자 자료 (Receptor Grid Data)

지표면 착지점은 극좌표배열의 경우에는 악취배출원으로부터 1 km에서 10 km까지의 풍하거리에 대하여 10개의 Radial Ring을 16 Radial 방향(22.5° 간격, Wind

Direction)으로 설정하여 총 Receptor 위치를 160개 지점으로 선정하였으며, 직교좌표의 Receptor 위치는 UTM(Universal Transverse Mercator) 좌표계에 의하여 X좌표를 East-west(동서)로 Y좌표를 North-south(남북)로 20개 지점을 선정하여 총 180개 지점에 대하여 악취농도수준을 예측하였다.

(4) 프로그램 제어인자 (Program Control Parameters)

악취배출원에서 배출되는 악취오염물 중 SO<sub>2</sub>에 대한 악취농도수준은 24-hr Average Concentration Option을 선택하여 월별/계절별 변화를 예측하였으며, Receptor Terrain Elevation Option은 표고상승에 대한 지형(Topography)자료의 불충분으로 인하여 Flat Terrain이라 가정하였다.

3-2. 악취분산모델링 방법론

악취 분산모델링을 위해 1 악취단위 전략을 도입하여 ISCST모델에 악취발생원자료 및 기상자료를 입력하여 악취농도수준을 예측하였다. 악취 분산모델링을 위해 울산석유화학공단 및 온산공단의 악취발생원을 에워싸는 간단한 Circular 및 Rectangular Geometry가 이용되었고 1981-1990년(10

년 동안)의 기상관측자료를 분석하여 1990년 최근의 기상자료를 대표값으로 사용하였으며, 16 방위의 바람방향에 대해 풍하거리에 따른 24-hr Average 최대지표면 악취농도 수준을 예측하였다.

정량화된 악취배출량(또는 악취발생량)을 알 수 있다면 악취 분산모델링을 이용하여 풍하거리에 따른 착지점에서의 지표면 악취농도수준을 계산할 수가 있다. 많은 가정들을 신중하고 근거있게 설정하고 최악의 기상상태를 나타내는 실제 과거의 기상자료를 악취 분산모델링에 입력시켜 현재의 악취오염의 현황 뿐만아니라 장래의 악취오염 제어를 위한 예측을 수행할 수 있다. 이러한 Worst-case 시나리오에 대한 악취제어를 목적으로 다음과 같은 몇 개의 가정을 설정할 필요가 있다.

- 주어진 기간 동안에 나타날 수 있는 악취발생원의 불균일성 (Inhomogeneity)은 평균값을 취한다.
- 악취 발생원의 위치 및 형태에 따른 상관적인 악취배출량은 알려져야 한다.
- 악취발생원 배출에 있어서 최악의 운전조건 및 기상조건을 고려하여 최악의 경우만을 고려한다.

악취단위로 표현된 악취배출량(Odor Emission Rate), Q는 악취분산 모델링에 있어서 입력자료로 이용되며, 악취 분산모델링을 위하여 악취배출량, Q(ou/sec)는 악취배출속도, v(m/sec)와 악취발생원의 단면적, A(m<sup>2</sup>)와 악취단위로 나타낸 악취농도, C(ou/m<sup>3</sup>)와의 곱으로부터 구해진다.

$$Q = v \cdot A \cdot C \tag{1}$$

즉, 악취발생부피유량, V(m<sup>3</sup>/sec)는 악취배출속도, v(m/sec)와 악취발생원의 단면적, A(m<sup>2</sup>)와의 곱이므로 결국 악취배출량, Q(ou/sec)는 악취발생 부피유량, V

(m<sup>3</sup>/sec)와 악취농도, C(ou/m<sup>3</sup>)와의 곱으로부터 구해진다.

$$Q = V \cdot C \tag{2}$$

1 악취단위는 1 m<sup>3</sup>의 깨끗한 공기를 악취감지역치까지 오염시키는데 필요한 악취오염물질의 양으로 정의되므로, 악취단위로 나타낸 배출원 악취농도, C (ou/m<sup>3</sup>)는 악취판정자들이 판정한 악취물질의 악취감지역치로부터 C' (o.u.)값을 구하여 환산인자 (Conversion Factor)를 보정하여 구한다.

$$C' = \frac{\text{공기 } 1 \text{ m}^3}{\text{악취감지역치 (m}^3\text{)}} \tag{3}$$

$$C = C' / f \tag{4}$$

여기에서, C : ou/m<sup>3</sup>  
 C' : odor unit  
 (o.u. 또는 ou)  
 f : 1 m<sup>3</sup>  
 (Conversion Factor)

여기에서 보정한 f 값은 1 ou 보다 큰 착지점의 농도를 찾기 위해 취해진다. 악취 분산모델링은 Q에 비례하는 악취수준, χ를 예측하며, 희석인자, D는 배출원 악취농도, C(ou/m<sup>3</sup>)와 모델에서 예측된 악취농도수준, χ(ou/m<sup>3</sup>)와의 비로 정의된다.

$$D = C / \chi \tag{5}$$

유효연기상승(Effective Plume Rise)이 없는 점/면 발생원(Point/Area Source)의 경우 지표면 풍하 연기중심선 농도(Ground-level Downwind Plume Centerline Concentration)에 대한 단순화시킨 Turner 식을 이용하여 예측 악취농도수준을 구한다.

$$\chi = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} = \frac{v \cdot A \cdot C}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (6)$$

$$D = \frac{C}{\chi} = \frac{C \pi \sigma_y \sigma_z u}{v \cdot A \cdot C} = \frac{\pi \sigma_y \sigma_z u}{v \cdot A} \quad (7)$$

그러므로,  $\chi (=C/D)$ 는 악취 분산모델링 으로부터 예측된 풍하 지표면 악취농도를 악취단위로 환산한 악취농도수준을 의미한다. 결국 악취단위는 악취농도 대신 희석인자의 척도로서 이용되며 현장 시료채취로부터 구한 악취강도(Odor Intensity)를 정량화하는데 이용될 수 있다.

이와같은 이론적 배경을 바탕으로 악취 분산모델링 방법에 대한 절차는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 악취발생원 (또는 부지경계선)에서 악취농도를 측정하여 악취단위로 환산한다.
- 악취발생원의 악취배출속도와 배출단면적을 측정하여 악취배출량을 구한다.
- ISCST 모델에 악취배출량, 악취발생원의 물리적 구조특성 (굴뚝의 직경, 높이, 배출온도 등)과 기상자료를 입력시켜 모델링을 수행한다.
- ISCST 모델에서 얻어진 예측 악취농도수준이 착지점에서 1 ou 보다 큰지 여부를 확인한다.
- 만약 1 ou 보다 큰 경우는 예측 악취농도수준이 1 ou 보다 작아질 때까지 악취배출량 및 발생원의 구조특성을 변화시켜주면서 모델링을 수정하여 반복수행한다.

결국 희석 또는 분산 메카니즘에 의한 악취 분산모델링의 결과는 화학적으로 규명된 악취물질들의 배출허용농도를 설정하는데 중요한 역할을 하며 악취규제기준 설정을 위한 법규제정에 필수적 요소임을 알 수 있다.

#### 4. 結果 및 考察

울산석유화학공단 및 온산공단에서 배출된 악취오염물질 중 SO<sub>2</sub>의 배출량 및 악취강도로부터 산출한 악취발생원강도와 1990년 울산지역의 월별/계절별 기상자료를 ISCST Disperison Model에 입력시켜 16방위의 바람방향에 대해 풍하거리에 따른 24-hr Average 지표면 악취농도수준(o.u.)을 산출했다. ISCST 분산모델링 결과로부터, 울산석유화학공단 및 온산공단 배출악취의 풍하거리에 따른 계절별 24-hr Average 최대지표면 악취농도수준 분포는 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 1에 나타난 바와같이 울산석유화학공단에서 배출된 SO<sub>2</sub>로 야기된 24-hr Average 최대 지표면 악취농도수준은 최대혼합높이가 100m인 경우 계절별로는 여름, 가을 및 겨울 계절동안에 남풍(180°, S)이 불 때, 울산석유화학공단 중심부로부터 반경 약 1 km 떨어진 풍하지점에서 각각 0.63, 0.73 및 0.63 o.u.로 나타났으며, 최대혼합높이가 500m인 경우에는 봄과 여름 계절동안에 각각 서풍(270°, W)과 동풍(90°, E)이 불 때, 반경 약 1 km 떨어진 풍하지점에서 각각 0.57 및 0.52 o.u.로 나타났다. 또한, 공히 울산석유화학공단 중심부에서 반경 약 3 km 이상을 벗어나면 대기분산 및 희석에 의해 악취농도수준은 급격히 감소함을 보였다.

한편, 온산공단의 경우는 Fig. 2에 나타난 바와같이 온산공단에서 배출된 SO<sub>2</sub>로 야기된 24-hr Average 최대 지표면 악취농도수준은 최대혼합높이가 100m인 경우에 여름과 가을 계절동안에 공히 남서풍(225°, SW)이 불 때 온산공단 중심부로부터 반경 약 1 km 떨어진 풍하지점에서 각각 0.025 및 0.030 o.u.로 나타났다. 또한, 온산공단 중심부에서 반경 약 3 km 이상을 벗어나면 역시 대기분산 및 희석에 의해 급격히 감소함을 보였다. 특히, 온산공단 중심부에서

반경 약 2 km 이상 떨어진 풍하지점에서는 여름의 경우가 악취의 영향이 타 계절보다 높게 나타났다.

모델링의 결과로부터, 공단별 악취기여도를 비교하여보면 온산공단의 악취농도수준은 울산석유화학공단에서 배출되는 악취농도수준의 약 1/25 정도에 불과하므로 온산공단의 악취영향은 울산석유화학공단에 비하여 인근지역에 미치는 악취영향이 극히 미미한 것으로 예측되며, 울산석유화학공단 및 온산공단에서 배출된 SO<sub>2</sub>로 야기되는 악취영향은 주로 울산석유화학공단에서 배출된 악취영향에 기인한다고 예측할 수 있다. 아울러 악취오염물질의 계절별 분산유형을 살펴보면, 울산지역의 대기의 혼합층이 약 100m 정도인 경우 여름과 가을에 걸쳐 남풍이 불 때, 울산석유화학공단에서 배출된 악취영향은 공단 중심부로부터 반경 약 1 km 떨어진 풍하지점에서 가장 크고, 상개동, 부곡동, 선암동 및 야음동 등의 도

심방향으로 악취영향권이 형성됨을 예측할 수 있다. 또한, 울산지역의 대기의 혼합층이 약 500 m 정도로 혼합층이 높은 경우에는 봄과 여름 계절동안에 각각 서풍과 동풍이 불 때, 공단에서 서쪽 방향에 위치한 덕신마을이나 동쪽 방향에 위치한 용잠, 장생포, 방어진 등으로도 악취영향권이 확장될 수 있음을 예측할 수 있다. 결국, 최대 악취농도수준은 여름과 가을 계절 동안에 나타나고 있지만, 사계절에 걸쳐서 산발적으로 광범위하게 분산되고 있는 것으로 나타나고 있어 울산지역의 악취오염 영향이 계절에 관계없이 광역적으로 나타나고 있으며, 특히 여름과 가을 계절동안에 심화되고 있다고 예측할 수 있다.

풍하거리에 따른 계절별 24-hr Average 최대 지표면 악취농도수준에 대한 ISCST 분산모델링 결과는 Table 8에 요약 정리하였다.

Table 8. 울산석유화학공단 및 온산공단 배출악취의 풍하거리에 따른 계절별 24-hr Average 최대지표면 악취농도수준 (o. u.)

악취 Source	계절	MMH(m)	풍향(°)	풍하거리(m)	최대 악취농도수준(o. u.)
울산공단	겨울	100 m	180.0	1000	0.62530
		500 m	202.5	1000	0.46314
	봄	100 m	180.0	1000	0.51680
		500 m	270.0	1000	0.56769
	여름	100 m	180.0	1000	0.62826
		500 m	90.0	6000	0.51915
	가을	100 m	180.0	1000	0.73137
		500 m	180.0	1000	0.48965
온산공단	겨울	100 m	180.0	1000	0.02115
		500 m	180.0	1000	0.02179
	봄	100 m	180.0	1000	0.01997
		500 m	180.0	1000	0.01903
	여름	100 m	225.0	1000	0.02479
		500 m	180.0	1000	0.02130
	가을	100 m	225.0	1000	0.02952
		500 m	180.0	1000	0.02340

한편, 미국의 악취규제수단인 1 악취단위(ou)와 비교해볼 때, 울산석유화학공단 및 온산공단에서 배출된 SO<sub>2</sub>로 야기되는 악취농도수준은 1 악취단위를 상회하고 있지 않아 인근지역에 미치는 악취영향은 비교적 크다할 수 없지만, SO<sub>2</sub> 단일성분만으로 야기되는 악취영향이 0.75 o.u.에 육박하는 것으로 보아 만약 악취강도가 큰 황화수소 및 메르캅탄 등의 여러 다른 악취오염물질을 포함하는 총괄악취에 의한 악취영향은 1 악취단위를 상회할 가능성을 배제할 수 없다고 예측된다. 특히, 본 연구에서는 각 산업장에서 악취배출량에 대한 정량 및 정성 자료를 구비하고 있지 않아 총괄악취에 대한 분산모델링에 의한 악취영향은 평가하지를 못함으로 인해 울산석유화학공단 및 온산공단에서 배출된 악취영향이 악취원인물질 중 SO<sub>2</sub> 단일성분만에 의한 악취영향만을 고려하였기에 공단 중심부에서 반경 약 3 km 이상 떨어진 지점에서는 아주 낮은 악취농도수준을 보였지만 악취강도가 큰 메르캅탄류 및 황화수소 등을 포함하는 경우에는 공단 중심부에서 반경 약 3 km 이상 떨어진 지점에서도 모델링의 결과보다 훨씬 큰 악취농도수준을 보일 것으로 예측되므로 여러 악취물질들에 의한 인근지역의 악취영향을 감축시키기 위해서는 여러 악취원인물질들에 대한 총체적인 악취저감대책 수립과 아울러 여러 악취원인물질들을 총괄적으로 정량화하는 객관성있는 연구가 시급히 수행되어야 할 것이다.

## 5. 結 論

### (1) 악취분산모델링의 특징 및 기대효과

본 연구에서 사용한 악취 분산모델링 방법론은 악취물질 중 대표성분으로 SO<sub>2</sub>를 선정하였지만, 향후 여러 다른 악취오염물질들을 포함하는 총괄적 악취오염 평가에 대한 악취오염 방지 및 관리대책을 마련하

기 위한 예비지침으로 사용할 수 있는 독특한 접근방법이다.

본 연구에서 사용한 1 악취단위와 악취완충거리 개념을 도입하여 ISCST Dispersion Model에 의해 풍하거리에 따른 지표면최대 악취농도수준을 예측하는 악취 분산모델링 방법론은 공단에서 배출된 악취오염물질의 제어 및 예측을 위해 악취저감 대책 마련을 위한 전략수립시 중요한 기초자료로 사용될 수 있으리라 사료된다.

### (2) 악취분산모델링에 의한 악취영향 예측

악취 분산모델링의 결과로부터, 악취오염의 영향은 악취오염발생원의 물리적특성(굴뚝의 높이, 직경, 배출가스의 속도 및 온도), 기상 및 지형적 조건에 큰 영향을 받는다고 할 수 있다.

모델링의 결과로부터, 울산석유화학공단 및 온산공단에서 배출된 SO<sub>2</sub>로 야기되는 악취영향은 주로 울산석유화학공단에서 배출된 악취영향에 기인한다고 예측할 수 있다. 결국, 최대지표면 악취농도수준은 사계절에 걸쳐서 산발적으로 광범위하게 분산되고 있어 울산지역의 악취오염 영향권이 계절에 관계없이 광역적으로 확장될 수 있으며, 특히 여름과 가을 계절동안에 심화되고 있다고 예측할 수 있다.

### (3) 악취오염 관리대책

SO<sub>2</sub>로 야기되는 악취농도수준은 1 악취단위를 상회하고 있지 않아 인근지역에 미치는 악취영향은 비교적 크다할 수 없지만, SO<sub>2</sub> 단일성분으로 야기되는 악취영향이 0.75 o.u.에 육박하는 것으로 보아 만약 악취강도가 큰 황화수소 및 메르캅탄류 등의 여러 다른 악취오염물질을 포함하는 총괄악취에 의한 악취영향은 모델링의 결과보다 훨씬 큰 악취농도수준을 보일 것으로 예측된다. 그러므로 여러 악취물질들에 의한 인근지역의 악취영향을 감축시키기 위해서는 SO<sub>2</sub> 단일성분만이 아닌 기타 다른 악취오염

물질들에 대한 악취배출량 및 성분분석을 통하여 총괄악취의 정량적 해석이 요구되며, 여러 악취원인물질들에 대한 총체적인 악취저감대책 수립과 아울러 여러 악취원인 물질들을 총괄적으로 정량화하는 객관성있는 연구가 시급히 수행되어야 할 것이다.

울산석유화학공단 및 온산공단 지역의 악취오염 저감을 위한 제도적 관리대책 방안으로, 악취측정방법의 보완·개선과 성분별 악취규제에서 총괄적 악취규제로의 제도적 전환이 필요하며, 선진외국 수준에 비해 완화되어 있는 악취배출허용기준을 강화하고, 악취발생 중점관리업소를 확대 및 중점관리할 필요가 있다고 사료된다.

### 參考文獻

- USEPA, "Air Emissions from Municipal Solid Waste Landfills - Background Information for Proposed Standards and Guidelines, Draft," Emission Standard Division, Office of Air and Radiation, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina 27711, U.S.A., March 12 (1990).
- T. Wackerman, G. Kandler, J. O'Brien, R. Kummler, D. Song, and P. Warner, "Odor Prediction and Control Study - Ann Arbor Sanitary Landfill," Applied Science & Technology, Inc., Volume I-III, March (1989).
- D.B. Turner, "Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates," Public Health Service Publication, No. 999-AP26 (1969); "Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates," Office of Air Programs Publication, No. AP-26, USEPA, Research Triangle Park, North Carolina, U.S.A. (1970).
- D.B. Turner, J.H. Novak, "User's Guide for RAM; Volume I. Algorithm Description and Use," USEPA, Report No. EPA-600/8-78-016a; "User's Guide for RAM; Volume II. Data Preparation and Listings," USEPA, Report No. EPA-600/8-78-016b, Research Triangle Park, North Carolina, U.S.A. (1978).
- J.F. Bowers, J.R. Bjorklund, and C. S. Cheny, "Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Model User's Guide," EPA-450/4-79-030, Volume I; "Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Model User's Guide," EPA-450/4-79-031, Volume II, December (1979).
- R. Kummler, D. Song, T. Wackerman, G. Kandler, J. O'Brien, P. Warner and C. Hersey, "Methodology for Determining the Odor Buffer Distance for Sanitary Landfills," Recent Development and Current Practices in Odor Regulations, Control and Technology, Transactions of the Air & Waste Management Association(AWMA), D. Derenzo and A. Gnyp, Ed., P.104-112 (1991).
- Duk-Man Song, "Odor Modeling Methodology for Determining the Odor Buffer Distance for Sanitary Landfills," Ph.D. Dissertation submitted to Wayne State University, Detroit, Michigan, U.S.A. (1991).
- T. Wackerman, D. Finely, R. Kummler, D. Song, and C. Hersey, "SEMCOG Odor Study - A Characterization Model for Determining Horizontal Isolation Distances for Odor Control at Sanitary Landfills," The Environmental Management Conference & Exposition; Air, Water, & Waste

Technologies, Michigan Chapter of the Air & Waste Management Association (AWMA), Cobo Convention Center, Detroit, Michigan, U.S.A., November, P.11-14 (1991).

9. T. Wackerman, D. Finely, R. Kummier, D. Song, and C. Hersey, "Odor Prediction and Control Study, Phase II - Landfill Odor Characterization Model", The Journal of Environmental Engineering and Management, Vol. 1, Spring, P.10-18 (1992).
10. M. Feldstein, D.A. Levaggi, and R. Thuillier: "Odor Regulation by Emission Limitation," Paper 73-273, Annual Meeting, Air Pollution Control Association (APCA), June

(1973).

11. G. Leonardos, D. Kendall, and N. Bernard: "Odor Threshold Determinations of 53 Odorant Chemicals," JAPCA, 19, 2, P.91-95 (1969).
12. Air Pollution Abatement Manual, "Chapter 5. Psychological Effects" Mfg. Chem. Assoc. (MCA), Washington, D.C. (1951).
13. Air Section National Renderers Association Bulletin, 2250 E. Avenue, Des Plaines, Illinois 60018, November 24 (1982).
14. P. J. Young and A. Parker: "Origin and Control of Landfill Odors," Chemistry and Industry, November (1984).

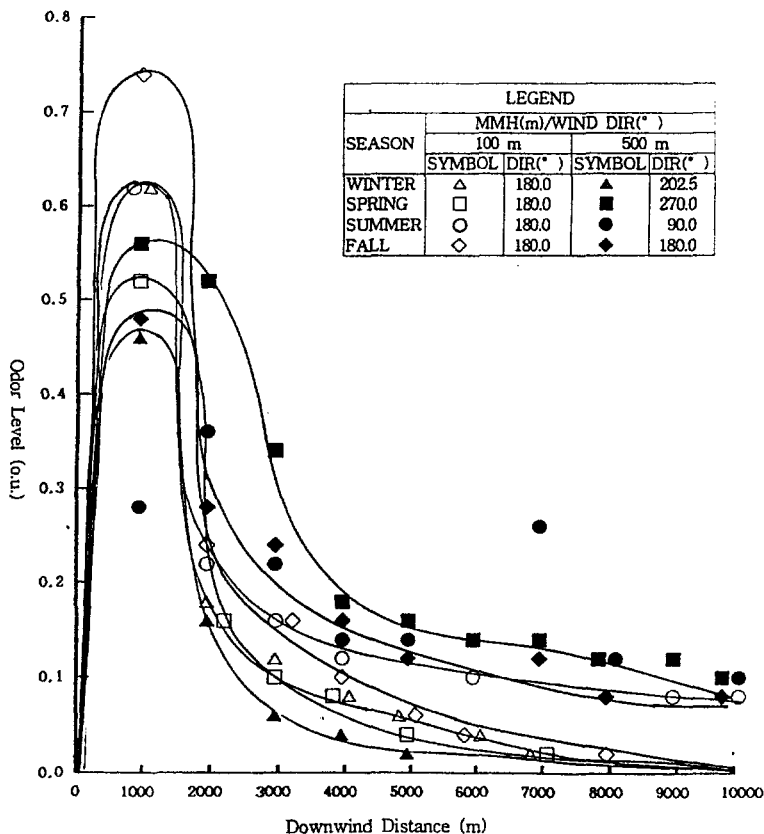


Fig. 1. 울산석유화학공단에서 배출된 SO<sub>2</sub>로 야기된 악취의 풍하거리에 따른 계절별 24-hr Average 최대지표면 악취농도수준(o. u.)

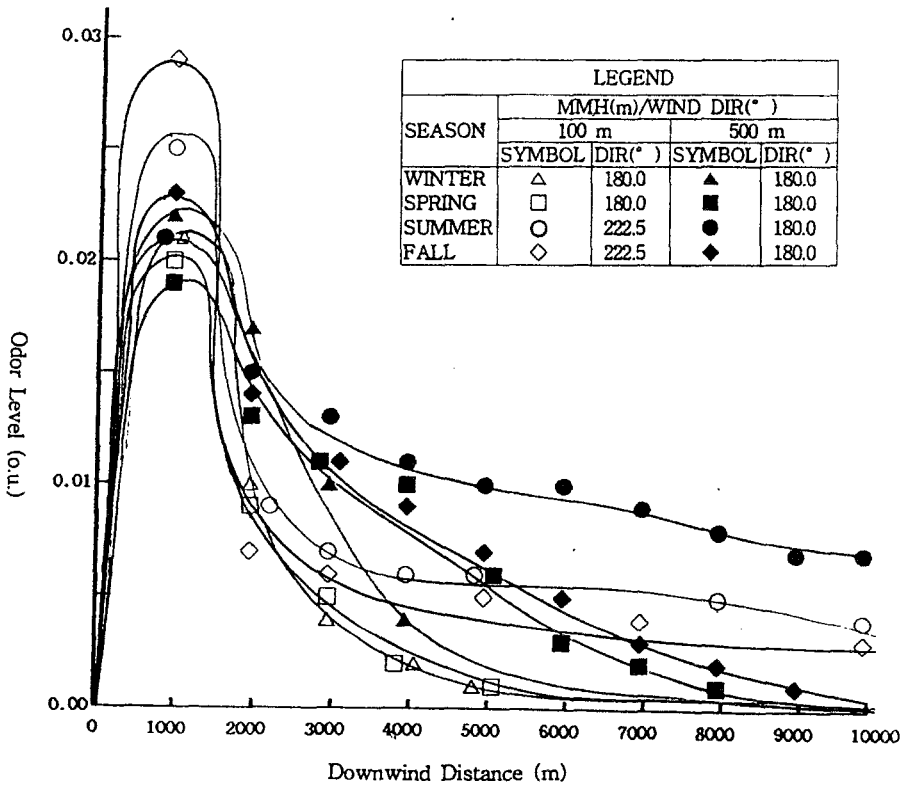


Fig. 2. 온산공단에서 배출된 SO<sub>2</sub>로 야기된 악취의 풍하거리에 따른 계절별 24-hr Average 최대지표면 악취농도수준(o.u.)