

환경관리 기술사 문제 해설

〈대기분야 1986년도 시행〉



魯 鍾 植

〈고려환경컨선탄트 대표,
환경(수질·대기) 기술사〉

〔1986년 시행〕 (제 1 교시)

문제 1) 다음에 대하여 간단히 설명하십시오.
HAZE, SMOKE, MIST, FUME, SMOG

HAZE:연무라고함. 많은 건조한 입자가 대기중에 떠있는 현상으로서 검은 배경에선 청자색을 띠며, 밝은 배경에선 황갈색으로 보이는 경우를 말한다.
SMOKE:매연이라고함. 1 μ 이하의 탄소입자로 되어 있으며 불완전연소의 결과로 생기는 미세한 연무질의 입자이다.

MIST:적당한 핵위에 증기가 응축하여 생기는 경우와 액이 붕괴할 때 생기는 액체상의 것으로서 표면장력에 의하여 구상을 형성하여 공기중에 부유하기도 하고, 큰 것은 침강하기도 하는데 형성시의 핵물질로서는 고체미립자, 액체미립자, 이온 등이다.

FUME:어떤 물질이 연소, 승화, 증발할때 일단 고온상태에서 기체분자가 된 채 또는 화학반응으로 새로운 물질이 생성되어 대기중에서 냉각되어 COLLOIDD 상태로 되는데 일종의 물리화학적 반응과정에서 생성되는 고체상의 물질이라고 할 수 있다.

이 성분은 생성과정에서 일어나는 반응에 따라

최초의 물질과 다를 수도 있다. 다시말해서 납, 산화아연, 산화우라늄 등의 입자는 금속정련방법에 따라 볼 수 있는 전형적인 FUME 이다. 일반적으로 FUME으로 분해될 수 있는 직경은 1 μ 이하의 것이 많으며 활발한 BROWN운동을 하기 때문에 체로서 크기를 나눌 수 없다.

FUME의 특징은 대단히 응집하기 쉬운 성질을 가지고 있다.

SMOG:Smog(스모그)는 1905년 영국런던에서 개척된 공중위생회의에서 도시의 참사를 일으키는 Smoke(연)와 Natural fog(자연무)를 결합하여 Smog라는 단어를 사용하기 시작했다.

일반적으로 사용하는 스모그는 무와 매연 등의 오염물질이 혼돈된 도시무의 발생 상태만이 아니고 농연무의 발생된 상태를 포함하는 도시 또는 그 주변에서 발생하는 시정장해현상을 총칭하고 있다. 이와는 달리 광화학 Somg는 자동차나 공장 등으로부터 배출되는 질소산화물(NO_x)과 탄화수소(HC)가 태양의 자외선을 받아 복잡한 화학반응을 일으켜 2차적으로 생성되는 것으로서 눈이나 점막의 자극, 식물에의 피해, 고무제품의 손상, 시정장해 등의 영향을 가져온다.

이러한 2차적으로 생성되는 오염물질에는 O₃(오존), PAN(Perory Acetyl Nitrote) 및 NO₂ 등의 산화성 물질(Oxidant), 포름알데히드 및 아크로레인 등의 환원성물질이 있다.

또한 황산화물은 공기중의 수분과 결합하여 황산미스트(H_2SO_4 MIST)등이 생성된다.

〈문제 2〉 아황산가스 환경기준에 있어 노출시간에 따른 기준치를 들고, 노출시간과 피해영향과의 관계에 대하여 설명하시오.

① 환경기준

연평균치: 0.05ppm 이하

24시간 평균치: 0.15ppm 이하 (년간 3회이상 초과해서는 안된다).

② 영향

• 건강에 미치는 아황산가스의 영향

- 과잉사망이 보고 되어진 농도와 노출시간 범위.

- 명확하게 건강에 영향을 나타내는 농도와 노출시간의 범위.

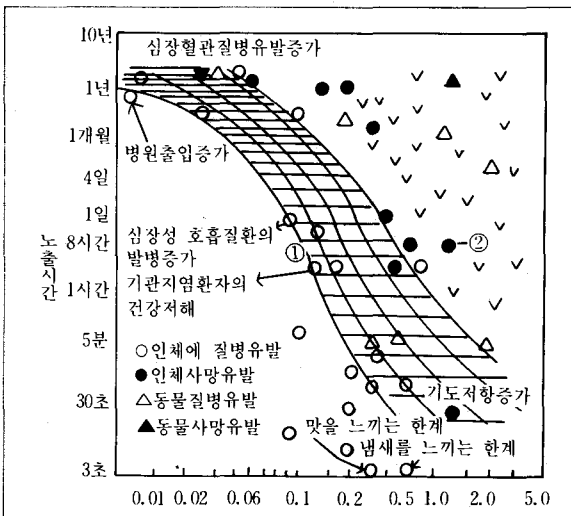
- 건강에 영향이 걱정되는 농도와 노출 시간의 범위.

등은 실제에 또는 실험자료에 의한 것이다. 〈그림에서〉 ① 은 1963년의 Lawther의 보고에 의한 것이고 ② 는 1955년 미국 펜실바니아주 도노라의 재해의 경우이다.

(미국 공중위생국 발행 Air Quality Criteria for Sulfur Oxides에 의함)

SO₂가 생체와 폐장에 미치는 영향

농도(ppm)	노출시간	대 상	영 향
1	-	사람	전연병세 못말음, 흉부압박감 느낌
1.8	10분	〃	전연병세 못말음, 호흡회수증가
2	-	〃	경험없는 사람, 24/28, 경험있는 사람 13/28 이물감 느낌
3	-	〃	경험없는 사람 20/28, 쥐기 또는 이물감 느낌. 지역사회에 불쾌감 느낌
3-4	-	〃	혼련된 사람들에게 쥐기 느낌
3-5	-	〃	쥐기로서 발생처 확인 가능
6.3-11.5	10-15분	비강 자극	
8-12	-	인후 자극	
10	15일+1시간	마우스	영향없음
10	90일	〃	강해없음
10-15	1시간	사람	섬모운동 감소
10, 25, 35	-	ginea pig	영향없음
10.7	30일	〃	이상없음
11	720일	〃	영향없음
12	-	사람	20명에 의하여 인지됨
12-15	30분	〃	불쾌한 비강의 자극감
20	-	〃	현저한 자극감, 눈물 자극, 기침함, 불쾌감
112	4일 17시간	ginea pig	4/8가 54, 104, 107, 113일간에 사망
100-150	-	-	감염에 의한 저항력 감퇴
150	30분	사람	눈물이 흐름
187	매일 15분간	토끼	점막의 충혈, 폐기종, 심장의 확대
200-300	3일	마우스	100% 위궤양
		ginea pig	
300-1000	-	사람	흡입불가능
400-500	-	〃	호흡곤란
400	-	동물	마우스보다 ginea pig가 저항력이 강함.
500	-	사람	단시간에도 위험



〈문제 3〉 대기오염을 추계하는데 있어 배출된 지형및 대기오염의 장·단기 영향 등의 조건에 따라 적용하는 모델의 종류를 들고 각기 그 특성을 설명하여라.

• 대기확산모형의 원리

굴뚝으로부터 배출된 오염물질은 복잡한 자연현상속에서 주변에 영향을 미치게 되는데 얼마만큼의 오염물질이 어느방향, 어느지점으로 얼마만큼의 영향을 미치게 되는가를 계산하는 식이 대기확산식 이다.

일반적으로 대기중으로 배출된 오염물질의 확산에는 매우 복잡한 요소가 영향을 미치게 되는데 이를 단순화하여 수학적으로 풀 수 있도록 모형화

한 것이 대기확산모형이다.

대기확산모형은 측정실험을 통해 얻을 수 없는 새로운 공업단지의 입주에 따른 영향, 연돌의 설계와 조절, 사용연료의 변환, 최악의 기상조건에서의 영향정도, 환경영향평가, 경우에 따라서 지역에서의 오염원별 기여도를 산출하여 최적의 대기오염관리정책을 수립하는 등의 과학적, 객관적인 유용한 수단으로서 그 필요성이 강조된다.

대기확산모형은 그 접근방법에 따라 Box형, Eulerian, Langrangian, Gaussian 등이 있으며, 초기에 이용한 형태는 Box형 모형이나, 최근 많이 사용되는 모형이 Gaussian 모형이다.

Gaussian모형이란 배출된 오염물질의 확산에 따른 농도분포가 정규분포(Gauss 분포)된다고 가정해서 붙여진 이름이며, 식의 해를 구하기 쉽고, 응용성이 커서 미국 EPA의 Research Triangle Park에서 여러가지 사용 목적에 알맞도록 각종 Gaussin모형을 개발하였다. 이들 Gaussian 모형은 FORTRAN 프로그램으로 짜여져 IBM, UNIVAC 등의 전산시스템에서 사용할 수 있게끔 마그네틱 테이프에 담아 NTIS (National Technical Information Service)에서 배포하고 있는데, 이를 UN-AMAP (User's Network for Applied Modeling of Air Pollution)이라 한다.

미국 EPA의 Research Triangle Park에서는 1973년부터 개발된 각종 Gaussian모형을 수정 보완하여 1979년 8월에 UNAMAP Version 3 (11개 모형이 수록)을 내놓았고, 뒤이어 Version 4 (21개 모형을 수록, 82.3), Version 5(31개 모형을 수록, 84.5)와 최근에 Version 6 (23개 모형을 수록, 86.7)를 내놓았으며 여기에 수록된 Gaussian 모형의 특징은 <표-1>과 같다.

참고로 UNAMAP 이외에 사용되고 있는 각종 모형은 <표-2>와 같으며, 국내의 경우 대부분 UNAMAP 모형이 소개되어 이용되고 있다.

• Gaussian 확산모형의 기본개념

굴뚝으로부터 연속적으로 배출되는 기체의 분산식은 (그림-1)과 같이 질량 전달법칙 (mass transfer theory)을 통해 다음과 같이 정리 할 수 있다.

<표-1> UNAMAP 모델의 종류와 특성

모델의 종류	모델의 특성
PTDIS	단일점오염원에 의한 안정도별, 풍하거리별 농도를 계산하는 단기모델
PTMAX	단일점오염원에 의한 안정도별 최대착지농도 거리를 계산하는 단기모델
PTMTP	수개의 점오염원에 의한 지점에서의 농도를 계산함.
PTPLU	PTMAX를 보완한 단기모델
PAL	점, 면적, 선오염원으로부터 농도를 계산하는 단기모델
MPTEP	점오염원으로부터 지형을 고려하여 지상농도를 계산하는 단기모델
CRSTER	19개 까지의 점오염원(동일 위치로 간주함)으로부터 지상 농도를 계산하는 단기모델
RAM	평탄한 지형으로부터 점, 면적오염원에 의한 지상농도를 계산하는 단기모델
BLP	알루미늄공장에 관련된 선 및 점오염원에 의한 농도분포를 계산하는 모델
VALLEY	점 및 면오염원으로부터 지형을 고려한 장·단기모델
COMPLEX-I	지형의 특성을 고려한 단기모델
APRAC-3	APRAC를 보완한 선오염원 단기모델로 자동차로부터의 HC, CO, NOx 등의 농도계산을 수행한다.
HIWAY-2	HIWAY를 보완한 선오염원 단기모델로 도로변 풍하지역에서의 보존성 오염물질의 매시간 농도를 계산한다.
CALINE-3	고속도로에서 자동차에 의한 CO 등의 확산을 예측하는 단기모델로 가우식과 혼합구역(Mixing Zone)개념을 도입하여 농도계산을 수행
CDM-2	CDM을 보완한 장기모델 평탄지형의 점, 면오염원으로부터 풍향, 풍속 안정도의 빈도분포에 따라 장기적인 평균 농도를 계산한다.
CDMQC	CDM모델에서 오염원의 기여도를 계산하고 실측치로부터 계산치를 보정하도록 수정한 장기모델
TCM	CDMQC를 보다 빠르게 계산처리 할 수 있도록 보완된 장기모델
TEM	TCM과 원리가 같은 단기모델
ISC	공업단지에서의 농도분포를 계산하는 장기(ISCLT) 및 단기(ISCST)모델
TUPOS	MPTEP을 발전시킨 단기모델로 layer by layer plume rise식을 채택한 지형고려모델
PEM-2	TEM을 기초로 하고 오염물질의 중력침전, 1차반응을 고려한 단기모델
MPTDS	오염물질의 중력침전을 고려한 단기모델로 MPTEP를 보완한 모델

자료출처 : Description of UNAMAP(version6, 4)

$$\begin{aligned}
 V \cdot \frac{dc}{dt} &= u \cdot A \cdot C - u \cdot A \left(C + \frac{dc}{dx} \cdot \Delta x \right) \\
 &\quad \underbrace{\hspace{10em}}_{x\text{방향 advection}} \\
 -E_x \cdot A \cdot \frac{dc}{dx} &+ E_x \cdot A \cdot \left(\frac{dc}{dx} + \frac{dc^2}{dx^2} \cdot \Delta x \right) + R \cdot (1) \\
 &\quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{diffusion}} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{reaction (decay)}}
 \end{aligned}$$

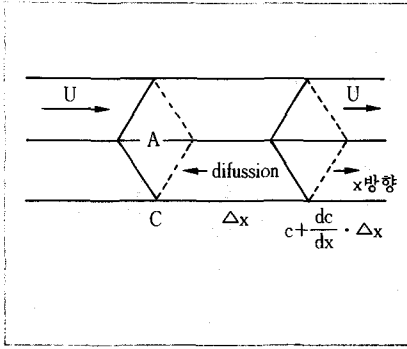
〈표-2〉 대기오염모델의 종류와 특성

개발 기관 및 회사	대기오염모델의 종류	모델의 유용성									
		C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Bounicore-Cashman	APCECOST						h				
Bowman	Meteorological Data Processing	c									
Bowman	Toxic Gas Emergency Models	c									
Bowman	Dispersion Modeling	c									
Chemical Manufacturers-Association	Emissions from Equipment(POSSEE)					g					
Dace Industries Ltd	Direct to Metal Development		d								
Dawn Graphics Company	CoVOCalc										
Engineering Applications Specialists	Chart / PC				f						
Environmental Systems Corp	CARE	c									
Enviroplan	AIRDAS								j		
Enviroplan	CEMDAS			e							
ENSR	HASTE	c									
ENSR	DIDMS	c									
ENSR	VOCCMS					g					
Gulf Publishing Co.	Chemcalc II : AMSIM		d								
Hatch Associates Ltd	Ventdate									k	
Impell Corp	Mesochem Jr							i	j		
Impell Corp	Mesochem	c									
Jerome Barta	APE					g					
Jim Clary & Associates	TOXIC GAS MODELS	c									
Jim Clary & Associates	MOBILE SOURCE MODELS	c									
Jim Clary & Associates	EPA UNAMAP MODELS	c									
Kelon Corp	Blue Sky					g					
Odessa Engineering	Environment Aide							i	j		
Quadrex	GERS			e							
Radian	CHARM	c									
Safer Emergency Systems	SAFER	c									
Safer Emergency Systems	TRACE II	c									
Software Systems Corp	Psychro										
Techdata	Storage Tank Emission Calculation				f						
Technica International	Whazan	c									
TECS Software	Flarehdr		d								
TECS software	Cyclone		d								
TECS software	Amine-1		d								
TECS software	Flarestk		d								
TMI	PC Weather Station										
Trinity Consultants	Breeze Air	c									
Trinity Consultants	Breeze Haz	c									

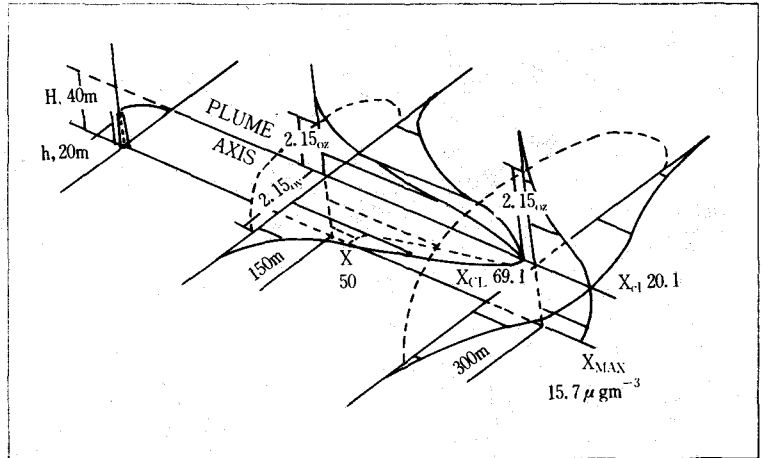
c=Dispersion Modeling f=Psychrometric Chart i=Reports d=Design g=Air Pollution Emissions j=Meteorological Monitoring Data e=Continuous Emission Monitoring h=Cost k=Maintenance

만약 시스템내에 오염물질의 물리, 화학적 작용을 고려하지 않는다면 오염물질의 농도분포는 유속(advection)과 확산(diffusion)에 의한 이동 및 발생원에 의해 결정되며 식(1)을 X,Y,Z방향의 3차원으로 표현하면 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} = & -u \cdot \frac{\partial c}{\partial x} - v \cdot \frac{\partial c}{\partial y} - w \cdot \frac{\partial c}{\partial z} \\ & + E_x \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + E_y \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + E_z \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \\ & + S \dots (2) \end{aligned}$$



〈그림-1〉 식유도를 위한 개념도



〈그림-2〉 Gaussian Plume의 농도 분포개념도

여기서

c : 오염물질의 농도(M/L³)

t : 시간(T)

u,v,w : x,y,z방향의 유속(L/T)

Ex,Ey,Ez : x,y,z방향의 확산 계수(L²/T)

S : 발생원에 의한 농도변화율(M/L³/T)

식(2)를 다음과 같은 가정과 함께 배출된 연기 중심선으로부터 농도분포는 정규분포(Gauss분포) 한다는 가정(그림-2 참조)으로 이분방정식을 풀어낸 식이(3)과 같은 Gaussian 확산 기본식이다.

(식의 자세한 유도과정은 JAPCA, VOL 28, NO.11, pp.1139~1141을 참조)

• Gaussian 확산식의 기본가정

① 풍향, 풍속, 농도가 시간에 따라 일정한 정상상태

$$\left(\frac{\partial c}{\partial t}\right) = 0$$

② 바람이 부는 방향의 확산에 의한 이동이 유속에 의한 이동에 비하여 무시할 정도

$$(E_x = 0)$$

③ Ex,Ey,Ez는 x,y,z방향의 거리에 관계없이 일정하다고 간주하여 상수로 취급한다.

④ 지면에서의 흡수, 반사의 발생이 없고

⑤ 풍속은 공간내에서 변화하지만 그 변화는 아주 작다고 간주하여 u, v,w가 일정하다고 간주한다.

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi \cdot u \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]$$

$$-\frac{1}{2} \left(\frac{He-z}{\sigma_z}\right)^2] \dots\dots(3)$$

여기서,

Q : 오염물질 배출량(M/T)

u : 풍속(L/T)

y : 연기중심선에서 수평거리(L)

He : 굴뚝의 유효고(L)

z : 지면에서의 높이(L)

$$\sigma_y = \sqrt{2 \cdot E_y \cdot \frac{x}{u}} (L)$$

$$\sigma_z = \sqrt{2 \cdot E_z \cdot \frac{x}{u}} (L)$$

식 (3)은 〈표-1〉과 같은 UNAMAP 모형에서 사용되고 있는 기본식이며, 이 식을 실제 적용하기 위하여 가장 단순한 모형인 PTPLU를 통해 살펴보면 다음과 같다.

• PTPLU의 원리와 특성

PTPLU(Point PLUme)는 Gaussian 확산식을 기초로 하여 단일점오염원을 대상으로 한 대기 확산모형이다.

이는 보다 정교하고 복잡한 입력자료를 요구하는 CRSTER, RAM, TCM, ISC, MPTEP 등의 모형적용에 앞서 안정도별 최고농도와 최대농도 착지거리를 판단하기 위해 사용되는 Screening 모형으로 초기의 PTMAX를 수정, 보완하였다.

* 지면관계로 〈문제3〉의 풀이는 다음호에 계속됩니다.