

自動車증가가 大氣汚染에 미치는 影響과 對策

禹 完 基

<長安專門大學 環境管理科 教授>

目	次
I. 序 論	2. 인체에 미치는 영향
II. 자동차 배기가스의 종류	3. 식물에 미치는 영향
III. 자동차 배기가스가 대기오염에 미치는 영향	4. 재산에 미치는 영향
1. 광화학 SMOG	IV. 結 論
	Reference

I. 序 論

서울을 비롯한 전국의 도시에는 자동차의 물결이 일고 있고 이들 차량증가는 앞으로 더욱 가속화될 전망이다.

우리나라의 자동차 총 보유대수는 1965년에 4만 대에 불과 하였으나 인구의 증가, 산업의 발달, 생활수준의 향상 등으로 인해 자동차의 수가 급격하게 증가하여, 1970년에는 126,000대, 1980년에는 527,000대로 증가하였으며 1991년 10월말 현재 400만대가 넘어서었다.

또한, 대도시 지역의 자동차 집중현상도 교통난과 환경오염 문제를 가중시키는 요인으로 나타나고 있는데, 1988년 7월 31일 현재 우리나라가 보유하고 있는 전체 차량 180만대 중 41.4%에 해당하는 75만대가 서울에 집중되어 있고, 1990년에는 100만 대를 넘어선 실정이다. 그리고 서울시의 통행인구는 8년만에 50% 가까이 늘어났고, 시계(市界)출입차량도 4배나 증가한 것으로 나타났다.

답보상태에 있는 도로망 확충에 비해 이같은 교통물량의 급속한 팽창으로 도심지와 출퇴근 시간대의 교통수요 집중화현상등 구조적인 요인은 대도시의 교통난을 유발하고, 이에 따른 자동차 배기가스에 의한 대기오염이 심각한 실정이다.

서울시에 따르면 서울의 상주인구는 1988년말 현재 1,028만 명으로 지난 80년말 (836만 명)에 비해 23%가 증가했고, 통행인구는 1,851만 명에 달해 80년(1,260만 명)보다 47%, 상주인구보다 2배 이상 늘어났다.

특히 서울市界 출입차량 대수는 1988년말 104만 대를 기록, 80년(25만 대)에 비해 무려 4배 이상 증가했다.

이는 서울의 도시기능이 확대되고, 위성도시 인구가 늘어난데다 산업발달에 따른 생산경제활동의 증가로 교통물량이 급격히 팽창하고 있기 때문으로 분석된다. 여기에 인구 및 차량의 공간적, 시간적 집중현상이 날로 두드러져 서울의 교통난을 부채질하고 있다.

자동차가 증가할수록 서울의 교통여건은 하루가 다르게 악화되고 대기오염, 소음, 진동,

낮은 도로율(1988년 현재 서울지역 도로율은 17.25%)에 의한 교통체증, 주차난 등 많은 문제점들을 야기하고 있으며, 특히 이들 자동차에서 배출되는 대기오염물질은 광화학 SMOG, 인체, 동·식물, 재산에 막대한 영향을 미치고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 자동차 증가가 대기오염에 미치는 영향에 대해 살펴보고, 그 대책을 제시함으로써 우리나라 환경오염방지에 작은 보탬이 되고자 한다.

II. 자동차 배기가스의 종류

일반적으로 자동차에서 배출되는 오염물질은 배출가스의 규제대상이 되는 일산화탄소(CO), 탄화수소(H·C), 질소산화물(NO_x) 및 매연(경유차의 경우)과 그밖에 아황산가스, 가솔린의 옥탄가 향상제로 첨가되는 Tetra Ethyl Lead(TEL)에 의한 납화합물 등이 있다.

이러한 배출가스의 생성원인을 살펴보면, 배출가스중 탄화수소(H·C)는 연료의 일부가 미연소된 그대로, 또는 일부 산화, 분해되어 배출되는 것이다.

일산화탄소(CO)는 산소의 공급이 부족하여 불완전연소로 발생하며, 질소산화물(NO_x)은 연소시의 고온에 의해 공기중의 질소와 산소가 반응하여 생성되는 것이다. 질소산화물의 95% 이상은 일산화질소(NO)인데, 생성과정은 연소온도가 높은 고부하에서 많이 배출되며 매연은 연소실의 탄소 누적으로 연료가 미연소되어 배출된다.

또한, 오염물질은 그 배출경로에 따라 연료가 엔진에서 연소한 후 배기관을 통해 배출되는 가스, 피스톤과 실린더의 틈 사이에서 크랭크케이스를 통하여 누출되는 Blow-by Gas, 자동차의 연료장치, 즉 연료탱크나 연료

펌프 또는 기화기에서 발생하는 증발가스 등이 있다.(그림 1 참조)

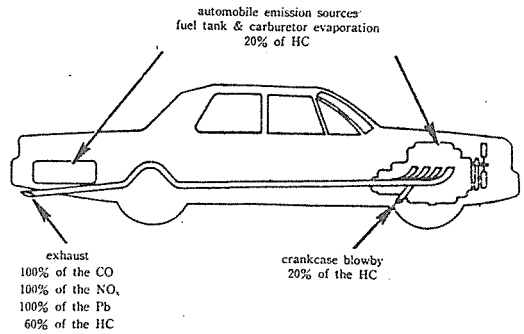


그림 1 자동차 배기가스의 오염물질 배출부위와 성분

III. 자동차 배기가스가 대기오염에 미치는 영향

자동차에서 배출되는 오염물질의 배출량은 자동차의 종류와 성능, 차량의 주행상태, 차량의 정비상태, 사용연료, 교통체계, 지체(Delay)등에 따라 크게 차이가 있는데 연료별, 운전조건별 배출가스의 비율은 휘발유를 사용하는 자동차를 기준으로 살펴보면, 정지가동(Idling)시 일산화탄소가 가장 많이 배출되며, 탄화수소는 정지가동시와 감속시에, 그리고 질소산화물은 가속시에 가장 많이 배출된다.

이들 자동차에서 배출되는 오염물질들은 날이 갈수록 심각해져, 광화학SMOG를 유발하고, 사람의 건강, 재산, 식물 등에 막대한 영향을 끼친다고 하겠다(표 1 참조)

표 1 연료별 · 운전조건별 배출가스의 비율

燃料別	運轉條件	一酸化炭素 (%)	炭火水素 (ppm)	窒素酸化物 (ppm)	亞黃酸 가 스 (ppm)
揮發油	아 이 들 링	4.0-10.0	300-2000	50-1000	0
	加 速 (0-40km/hr)	0.7- 5.0	300- 600	1000-4000	
	定 速 (40km/hr)	0.5- 4.0	200- 400	1000-3000	
	減 速 (40-0km/hr)	1.5- 4.5	1000-3000	50- 55	
L P G 가 스	아 이 들 링	2.0- 5.0	150-1000	40	-
	加 速	0.7- 2.5	190- 350	120-2000	0
	定 速	0.4-1.0	120- 200	4500	
	減 速	1.5- 4.0	2000-4000	60	
經 由	아 이 들 링	0	300- 500	50- 70	20-100
	加 速	0- 0.1	200	800-1000	
	定 速	0	90- 150	200-1000	
	減 速	0	300- 400	30- 55	

1. 광화학 SMOG

광화학 SMOG는 미국의 로스엔젤레스 지역에서 1945년 경부터 빈번하게 일어났다고 알려져 있는데, 시정악화, 눈의 자극, 식물피해 등의 영향을 특징으로 하며, 하절기 특히 일사가 심할 때에 발생하는데, 1952년 Stanford 대학의 Haagen Smit등이 H·C과 NO₂의 광해리(Photodissociation)상의 상호작용에 대한 가설을 발표함으로써 그 정체가 밝혀졌다.

광화학 SMOG에서 생성되는 2차 오염물질은 오존, PAN(Peroxy Acetyl Nitrate), 과산화물, Aldehyde, Acrolein, 유기질산염, Aerosol 등이고 이들중의 산화성 물질을 광화학옥시단트라 총칭하며, 그 주요성분은 Ozone이다. 이 Ozone에만 국한하더라도 극히 강한 산화력 때문에, 그 생체영향에 대하여 충분히 경계하여야 한다.

또한, 광화학옥시단트 생성의 반응과정을 살펴보면, 태양조사와 더불어 대기중의 일산화질소가 감소하여 이산화질소가 생성되기 시작하고, 그 농도가 최고치에 달하여 감소하기

시작할 즈음이 오존의 생성이 시작되는 때이다.

(그림 2)와 (그림 3)은 각각 Los Angeles와 横濱市에서 관측된 例로서 좋은 비교가 된다 하겠다.

아침의 경우 차량에서 배출되는 CO, H·C, NO 등의 오염물질이 증가하므로 광화학반응에 의해 NO는 NO₂로 산화되고 따라서 NO₂

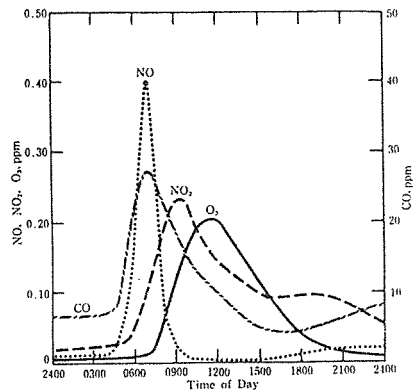


그림 2 Los Angeles市에서 관측된 오염물질 농도의 日變化(1965. 7. 19)

와 O₃의 농도는 증가하게 된다.

O₃의 농도는 오후 2~4시 경에 높은 농도를 나타내고 시간이 지날수록 점점 감소한다.

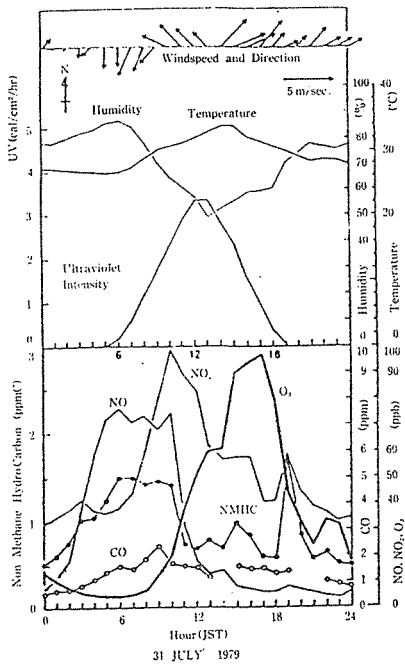


그림 3 橫濱市에서 관측된 기상지표와 오염물질 농도의 日變化(1979. 7. 31)

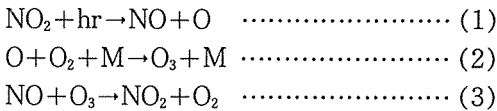
Haagen-Smit와 Wayne은 교통량 증가로 인한 대기중의 NO방출량이 커지면 NO₂/NO 비(ratio)가 작아져 O₃의 농도는 감소 한다고 밝히고 있다.

연구결과에 의하면 O₃의 농도는 H·C/NO_x의 비에 따라 결정된다고 하였고 Los Angeles SMOG의 경우 O₃의 농도를 감소시키기 위하여 NO_x의 배출을 감소시키기 보다는 H·C의 배출을 감소시키는것이 효과적이라고 설명하고 있다.

광화학반응에서 가장 중요한 NO_x와 H·C의 Mechanism에 대해 고찰해 보면 다음과 같다.

- (1) 질소산화물(NO_x)
- NO와 NO₂ 그리고 O₃은 광화학 SMOG 형

성의 주요 역할을 하는데 대기중에서 이들의 농도는 다음 3가지 반응에 의해 좌우된다.



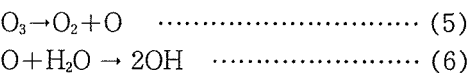
식 (1)~(3)에서 M은 기체상 물질 또는 고체상의 물질 즉 N₂, O₂, 혹은 Dust같은 물질들이 포함되며 빛의 강도(light intensity), 온도(temperature), 습도(humidity)등은 광화학 반응에 중요한 변수로 작용한다.

위의 세 반응만을 고려한다면 O₃은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

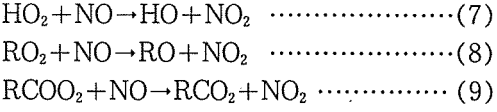
$$[\text{O}_3] = \frac{[\text{NO}_2]K \cdot I}{[\text{NO}]} \quad (I = \text{빛의 세기}) \dots\dots (4)$$

식(4)에서 O₃의 농도는 NO₂/NO 比와 광강도(light intensity)에 비례한다.

이런 반응을 가능하게 한것은 대기중에 배출된 H·C때문으로 이중결합 1개를 가진 Olefin계 H·C가 반응성이 크기 때문이다. 수산기(OH)는 광화학반응에서 중요한 역할을 하는데 식(5)(6)에 주요 Mechanism을 나타내었다.

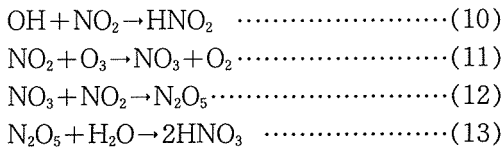


O와 O₃의 농도에 비해 훨씬 작은 양의 수산기(OH)는 CO, H·C, Aldehyde와 반응하고 연쇄반응으로 시작되는 탄화수소의 산화는 HO₂(hyperoxy), RO₂(alkylperoxy), RCOO₂(acylperoxy)등을 생성하며 이들 라디칼은 (7)~(9) 반응에 의해 NO를 NO₂로 산화시킨다.

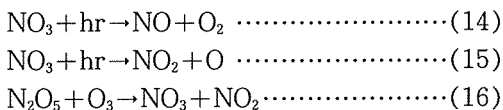


산화된 NO₂는 (10)식과 같이 수산기(OH)와 반응하여 질산(nitric acid)을 생성하며 또

한 (11), (12), (13)식과 같은 반응을 통해 대기중에서 제거된다.



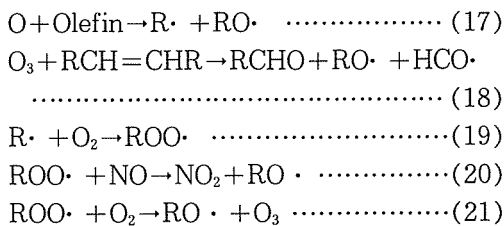
NO₂가 소멸하면서 생성된 물질은 (14) (15) (16)식과 같이 해리반응이 일어나 계속적으로 순환된다.



(11)식의 반응속도상수 (reaction rate constant)는 (3)식의 반응속도상수에 비해 작다. 따라서 NO₂/NO 비가 작을 때 NO₃의 생성은 거의 일어나지 않는다.

(2) 탄화수소(H·C)

광화학반응은 탄화수소의 영향이 큰데, NO₂의 광분해에 의해 생겨난 산소원자(O)가 여러가지의 유기화합물과 반응하여 유기성 혹은 무기성의 자유기를 형성함으로써 시작된다.



식(17)~(21)에서 보듯이 NO의 상당부분은 반응력이 큰 Olefin과 반응하므로 O₃와 반응할 양은 많지 않다. 이는 NO에 의한 O₃의 소비를 역전시키게 되므로 O₃의 농도는 증가하며 NO₂와 O₃의 농도는 증가하는 결과를 가져다 준다.

탄화수소의 산화반응은 광화학적으로 설명할 수 있다. 초기 산화단계 이후 Paraffins계 탄화수소는 (그림 4)과 같이 매우 단순한 과정을 통해 서서히 분해된다.(그림 4)에서 R

은 CH₃(Methyl) 또는 CH₃CH₂(Ethyl)과 같은 Paraffins계 탄화 수소이다. 탄화수소계의 여러 물질들은 단계적으로 서로 다른 형태의 산화반응을 하게 된다. Paraffins계 탄화수소는 O 및 OH와 반응하여 RCO₂와 RCO₃를 생성하며 초기 RCHO(aldehyde)는 (그림 4)과 같이 OH기와 반응한다.

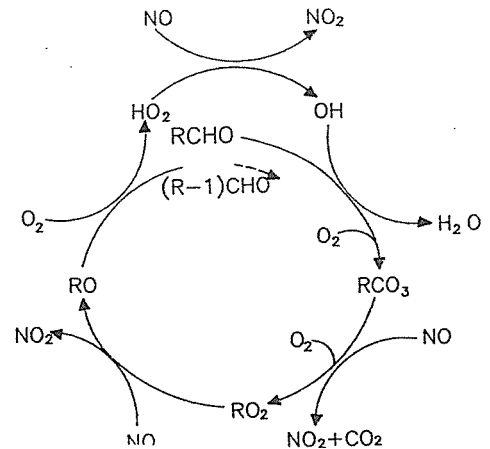


그림 4 탄화수소 산화과정의 개요

(그림 4)에서 보는것처럼 NMHC(Non Methane Hydrocarbon)은 NO를 NO₂로 산화시키고 많은 양의 반응중간물질을 생성한다. 따라서 NMHC은 NO_x의 광화학반응에서, NO에서 NO₂로의 전환과 NO_x의 농도에 따른 O₃의 생성을 증가시켜 준다. 또한 NO_x와 반응하는 중간물질을 생성하며 NMHC은 소모되는 NO_x의 양 만큼 증가한다.

2. 인체에 미치는 영향

일반적으로 오염된 대기에서 생활하는 사람들은 우선 눈, 코 및 상기도 점막이 먼저 영향을 받게되며, 이어 생리학적으로 가역적인 반응이 일어나며 계속적으로 노출되면 그 증상이 악화되어 급성질환이 일어난다. 이 질환이 여러번 반복해서 일어날 때 만성적인 결과로 나타난다.

오염물질의 체내 침입경로는 피부, 호흡기

및 소화기를 통한 침입 등이 있으며 건강에 미치는 영향 인자는 오염 물질의 종류, 농도, 지형 및 기상조건, 개인차, 생활환경 등으로 원인과 결과에 대한 인과관계를 뚜렷이 밝히는 것은 매우 어려우며, 자동차에 의해 배출되는 주요 오염물질별로 인체에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다.

질소산화물(NO_x)의 인체에 대한 피해는 주로 호흡기의 세포파괴와 이로 인한 호흡기질환에 대한 면역성 감소 및 혈중 헤모글로빈(Hemoglobin)과 결합하여 혈중 산소전달기능을 저해한다.

농도에 따른 인체영향은, NO_2 농도 1~3ppm에서 취기를 감지할 수 있으며, 13ppm에서는 눈, 코의 자극, 폐기관에 불쾌감과 중추신경에 영향을 초래할 수 있다. 또한, 50ppm 이상에서 장기간 폭로되면 기관지염, 폐염, 급성 폐부종 등을 유발한다.

Ozone의 인체에 대한 영향은 호흡기계통에 직접적인 피해를 입히기도 하고 타질환에 대한 면역성을 감소시키며 눈을 따갑게 한다.

농도에 따른 인체 영향은, 0.1ppm의 오존농도에서는 마늘냄새를 감지할 수 있으며 0.3ppm의 오존농도에 8시간 노출되면 코와 목이 따갑고, 1ppm이상의 오존농도는 견디기 힘든 정도이며 9ppm이상이면 폐수종, 폐출혈, 폐부종, 급성기관지염을 유발, 중태에 빠진다고 한다.

탄화수소(Hydrocarbon)는 그 자체로서도 유해한 성분들이 있으나 광화작용에 의해서 Aldehyde를 위시한 각종 산화제를 형성하게 될때 그 피해가 더욱 크게 나타난다.

대기중 탄화수소의 대부분을 차지하는 Alkane류는 평상 대기중의 농도하에서는 인체에 큰 피해를 주지 않는다. 그러나 광화학작용에 의하여 Aldehyde, Acrolein, PAN(Peroxy Acetyl Nitrate)등이 형성되어 피해를 주게 되는데, Formaldehyde는 0.06ppm에서 냄새를 맡을 수 있고, 눈을 자극하는 농도는 사람에 따라 0.01~1.0ppm의 범위에 이르며, 2ppm에서는 호흡에 지장을 주며,

Acrolein은 0.25ppm에서 냄새를 맡을 수도 있고 눈도 아프게 한다.

일산화탄소(CO)는 자동차의 정지가동(Idle)시 가장 많이 배출되는 특징이 있어, 자동차의 급증으로 인한 도로 및 교차로에서의 정체현상(Delay)은 일산화탄소에 의한 대기오염을 심화시키고, 인체도 심각한 위해가 되고 있다.

CO는 혈액중의 헤모글로빈(Hemoglobin)과 결합하여 Carboxy Hemoglobin(COHB)을 형성함으로써 혈액의 산소전달기능을 방해한다.

Chovin의 분석결과에 따르면 프랑스 파리 시내의 운전자들 중에서 교통사고를 낸 자들의 COHB의 %농도가 다른 운전자들에 비해 높았다고 한다.

정상적인 비흡연가의 혈중 COHB% 농도는 약 0.5%이며, COHB%농도가 1%이하에서는 아무런 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다.

비흡연가에 있어서 2.5%의 COHB(10~15ppm에 8시간 이상 노출)는 시간간격의 감지에 지장을 주고, 3%의 COHB는 명암감각을 둔화시키고, 5%(30ppm에 8시간 노출)에서는 운동신경의 전달기능을 둔화시키고, 5% 이상에서는 심장의 혈관에 이상을 일으켜, 심장병 환자에게는 과중한 부담을 주게된다고 알려져 있다.

기타, 자동차에서 배출되는 오염물질로는 호흡기계통에 영향을 주고 치아산식증을 유발하는 SO_2 , 매연, 암을 유발하는 3, 4-Benzpyrene, 빈혈, 현기증 등을 유발하는 납화합물(TEL)등이 있다.

3. 식물에 미치는 영향

자동차 배기가스에 의한 식물피해는 유해가스의 종류, 농도, 접촉시간과 식물의 종류, 품종에 따라 차이가 있으며, 접촉시의 기상조건이나, 계절, 식물의 생육 등에 따라 크게 차이

가 있다.

자동차 배기가스에 의해 생성된 광화학 SMOG에 장기간 노출되면, 잎에 갈색반점이 생기며 잎의 표면이 은색이나 청동색으로 되며, 표피세포 파괴현상으로 백색이나 반점이 생긴다. 광화학SMOG에 약한 식물로는 강남콩, 시금치, 상치, 장미 등이 있다.

그리고, 자동차에서 배출되는 SO₂는 식물잎의 표피세포에 피해를 주고, 엽록소(Chlorophyll)를 파괴하여 황화현상을 일으키며, 매년은 식물의 잎에 부착하여 동화작용, 호흡작용 및 증발작용을 방해하여 식물의 생장에 악영향을 미친다.

4. 재산에 미치는 영향

자동차 배기가스가 재산에 미치는 영향을 살펴보면, 배출가스의 농도, 작용시간, 온도, 습도, 태양광선 등에 의해서 좌우되며, 그 피해는 금속 및 건물표면이 부식, 변색 및 탈색되고, 고무, 피혁, 섬유제품 등에 손상을 입힌다.

그 밖에도 농축산물 및 예술품 등이 손상되나, 오염물질과 피해사이에 계량적인 상호관련성을 결정함에 있어서 아직 불확실성(Uncertainty)이 내포되어 있어서 문제점으로 지적되고 있다.

IV. 結 論

광화학SMOG의 주요 원인물질이 자동차 배기가스중에 함유되어 있는 질소산화물과 탄화수소라는 점을 감안해 볼때, 자동차증가와 관련은 분명하고 아마도 기상이나 지형의 조건여하에 따라서 발생가능성이 높다고 하겠다.

이같이 날로 증가추세에 있는 자동차의 배기가스를 감소시키기 위한 대책으로는 행정적인 대책과 기술적인 대책으로 분류할 수 있다.

행정적인 대책으로는 교통신호체계 및 도로상태의 정비와 확충, 도심부에서의 대중교통체계 개선, 교통수단별 연계체계의 확립, 대도시에서의 자가용이용 억제, 배출가스 규제 및 단속강화, 자동차 공해에 대한 교육 및 계몽, 저공해 연료로의 대체 등을 들 수 있고, 기술적인 대책으로는 연료의 조성 및 대체연료의 개발, 연소기관인 엔진의 개량, 배기가스의 정화처리기술 개발 등을 들 수 있다.

Reference

1. Henry C. Perkins, Air Pollution, McGraw-Hill Book Company, 1974
2. 禹完基, 大氣污染概論, 도서출판東和技術, 1989
3. Arthur C. Stern, Air Pollution, Vol. 1, Academic Press, 1976
4. Chovin, P., Carbon Monoxide; Analysis of Exhaust Gas Investigations in Paris, Environ, Res., 1, 198, 1967
5. Haagen-Smit, A.J., and Wayne L.G., Atmospheric Reactions and Scavenging Processes, Air Pollution, 1 : 235-288, 1976
6. Wark K., et al, Air Pollution-It's Origin and Control, 2nd Ed., Haper and Row Publisher, New York, 1981
7. 道路交通安全協會, 步行者 信號燈 設置基準의 理論的 分析研究, 1987
8. 都哲雄, 交通工學原論, 清文閣, 1990