

Exposure to Diesel Exhaust

金萬永, 선임연구원乙, 崔圭勳, 수석연구원, 디젤엔진시험팀, 譯
W. Addy Majewski, PhD, President of Ecopoint Inc., <http://www.dieselnet.com/tg.html>, 著

Abstract

디젤 배기가스의 노출(exposure)과 그 화합물들을 평가하기 위한 많은 방법들이 개발되었다. 대부분의 방법들은 대기조사(ambient air quality suevey) 또는 배출가스 해석(emission modeling) 등에 기초를 두고 있다. 디젤 입자상물질의 대기노출(ambient exposure)은 일반적으로 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이지만, 직업상노출(occupational exposure)의 경우 매우 높아서 약 $1700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도이다. PAH와 같은 다른 디젤배기 화합물의 노출(exposure) 또한 대기환경에서의 노출보다 직업상 환경의 경우 훨씬 높다.

1. Exposure Estimation

디젤의 노출정보(exposure information)은 유행병 연구 또는 디젤에 의한 건강상의 위험의 평가 등에서 매우 중요하다. 하지만, 디젤 배출가스는 전체 공기 오염물질 중에서 차지하는 부분이 작기 때문에, 디젤 배기가스 또는 배기가스를 구성하는 성분에 노출됨을 정확한 평가하기란 쉽지 않다. 액체 및 기체연료, 석탄, 담배의 연소 뿐만 아니라 산업시설에서도 디젤배기가스에 존재하는 것과 같은 화합물들이 많이 생성된다. 또한, 연소에 의한 것이든 또는 그렇지 않은 것이든 관계없이 많은 자연 배출원(natural source)에 의해서도 대기 중에서 발견되는 호흡기 관련 입자들이 발생한다.

한편, 디젤 배출물의 원래의 조성을 변화시킨다든가 또는 다른 독성을 갖는 새로운 화합물이 생성된다든가 하는 대기 중에서의 이동(transport) 및 변환(transformation)은 이러한 문제를 더욱 복잡하게 만든다. 하지만, 디젤 배출물이 이러한 2차 생성물의 노출 수준에 어떻게 영향을 미치는지에 대한 데이터는 전혀 없는 실정이다.

사람들은 대부분의 시간을 건물 안에서 생활한다. 따라서, 평균 노출에 대한 정확한 평가를 위해서는 서로 다른 주변의 환경조건 및 오염물질 각각의 농도에서 보낸 시간을 정확히 고려해야 할 필요가 있다.

역사적인 관점에서 살펴볼 때, 디젤엔진과 연료기술의 변화는 인간의 노출(human exposure) 및 디젤 배출물의 독성에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. US 98 이후의 엔진과 같은 새로운 엔진들의 경우 큰 입자들의 배출은 감소하였지만 미세입자(fine particle)의 배출은 증가한 것으로 분석되고 있다. 따라서, 향후의 노출수준(exposure level)을 예측하는 모델의 경우 신기술이 적용된 엔진에서 나오는 배출물의 특성을 정확히 고려할 필요가 있다. 아래의 세가지 방법은 디젤 배출물의 노

출(exposure)을 평가하기 위하여 개발된 것들이다. (ARB, 1998)

- Tracers
- Modeled exhaust emissions
- Source apportionment

A. Tracers

다른 연소 배출물과 비교하였을 때 디젤 배출물은 기본탄소(elemental carbon)과 미세입자(fine particle)를 많이 함유하고 있다. 이러한 구성물들은 종종 노출의 표시자(marker) 또는 디젤 입자상물질의 대리지표(surrogate index)로 사용된다. 이러한 방법들은 직업상의 대기환경 조사에 주로 사용된다. 한편, 다른 DPM 추적자(tracer)로는 입자와 관련이 있는 연료첨가제(fuel additive), PAHs, 및 PAHs의 구성비, 그리고 윤활유의 연소생성물 등이 사용된다. 또는, 대기 중에 통상적으로 존재하지 않는 인위적 성분을 연료에 추가하기도 한다. 이러한 추적자(tracer)의 한 예로 오스트리아의 비엔나(Vienna)에서 디젤노출(diesel exposure)의 정량화 연구에 사용되었던 희토류 원소(rare earth element)인 디스프로슘(dysprosium, Dy)을 들 수 있다.

B. Modeled Exhaust Emissions

배출물의 노출(emission exposure)은 교통량, 차량의 종류, 그리고 이들의 배출율(emission factor) 등의 가정에 근거한 수학적 모델링으로 평가한다. Volkswagen 社의 연구원들은 이러한 분석을 수행하여 빌딩숲이 우거진 도심지역(urban street canyon) 뿐만 아니라 U.S. 고속도로 부근에서의 PM의 농도를 예측하였다. (Lies, 1989) 여러 가지의 발전된 모델들이 U.S. EPA에 의해 개발되고 있다. 이러한 모델링은 과거, 현재, 그리고 미래의 노출수준(exposure level)의 예측도 가능하다.

C. Source Apportionment

오염원 할당(source apportionment) 방법은 특정한 오염물질의 전체 대기중의 농도에 기여하는 배출원(source) 및 그러한 대기오염의 원인이 되는 배출물을 검증하는 방법으로서, 대기오염 조사 중에 특정 지역에서 측정된 PM10 또는 기본탄소(elemental carbon)의 농도를 근거로 한다. 그후, 채집한 입자상물질의 화학정보, 그리고 이미 분석되어 있는 특정 형태의 배출원에서 나오는 입자상물질의 화학정보를 서로 비교하는 화학평형모델(chemical balance model)을 적용한다. 이 방법을 적용하기 위해서는 고려하고 있는 특정지역의 배출물 오염원조사(emission inventory) 및 대기중 입자상물질에 관한 적당한 정보를 가지고 있어야 한다. 이러한 오염원 할당(source apportionment) 방법은 향후의 배출물 오염원목록(emission inventory)에 근거하여 향후의 DPM 노출(exposure)의 예측에도 사용될 수 있다. 한편, 이 방법은 California ARB가 DPM을 유독물질로 규정하기 위한 노출평가에 사용한 적이 있다. (ARB, 1998)

2. Diesel Particulate Matter

2.1 Ambient Exposure

디젤 배기가스의 대기노출(ambient exposure)은 전세계, 특히 도시지역에서 주로 발생한다. 노출(exposure)의 정도는 지리적 위치, 그 지역에 있는 디젤엔진의 수량과 형식, 그리고 배출물의 대기중 분산형태 등에 의존한다. 디젤차량의 사용이 많을 뿐만 아니라 그 분포 또한 굉장히 밀집되어 있는 도시지역의 가장 높은 노출정도(exposure level)는 일반적으로 약 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도이며, 심할 경우는 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 상회한다는 발표도 있다. 차량이 별로 없는 지역의 노출수준은 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하에서 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도이다. 다음의 실례는 대기중 DPM 노출(exposure)의 범위를 개략적으로 살펴볼 수 있는 좋은 자료들이다.

디젤승용차가 많은 오스트리아의 비엔나(Vienna) 지역의 조사결과에 따르면, 공기중에 떠도는 입자의 12~33%는 DPM 인 것으로 밝혀졌다. (Horvath, 1988) 이러한 DPM 은 공기중에 상대적으로 잘 혼합되어 있어서 상업지역과 주거지역의 차이가 별로 없었다. 조사가 진행되는 동안 DPM 의 농도는 $5 \sim 23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도였으며, 평균농도는 약 $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

한편, Volkswagen社は 디젤 및 가솔린 경량차량(light-duty vehicle)에서 배출되는 입자상물질의 노출(exposure)에 대한 수학적 모델링(mathematical simulation)을 실시하였다. 빌딩숲이 우거진 도심지역(street canyon)의 환경조건의 경우 예측된 노출(exposure)은 $3.9 \sim 8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 한편, U.S. 고속도로의 경우, 도로에서 4m 떨어진 곳에서는 약 $7.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 약 100m 떨어진 곳의 농도는 약 $2.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. (Lies, 1989)

미국의 EPA는 두가지 방법을 이용하여 DPM 노출(exposure)을 평가하였다. (EPA, 1998) 이 중 한가지 방법은, 시범운행 차량들의 평균 배출계수(emission factor)에 근거를 둔 모델로서, 1995년 도시지역의 경우 디젤 배기가스에서 배출되는 대기중의 DPM 농도는 약 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 시골지역의 농도는 $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 전국 평균농도는 약 $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 두번째 방법은 대기측정 데이터를 사용하는 방법으로서, 1990년 대기중에 떠다니는 DPM 의 농도는 $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었는데, 이중의 5%가 디젤 배기가스와 관련이 있는 것으로 분석되었다. 따라서, 전체농도에 5%를 곱한 후 실내에서 보낸 시간을 고려하면 약 $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 얻을 수 있다. 한편, 첫번째 방법에 따른 2010년 캘리포니아 지역의 노출수준(exposure level)을 아래의 Table 1에 나타내었다. (ARB, 1998)

Table 1 Estimated Annual Ambient DPM Concentrations in the U.S., $\mu\text{g}/\text{m}^3$

| Year | Rural | Urban | U.S. National | California |
|------|-------|-------|---------------|------------|
| 1990 | 1.1 | 2.0 | 1.8 | 3.2 |
| 1995 | 0.6 | 1.2 | 1.1 | 2.1 |
| 2000 | 0.4 | 0.7 | 0.6 | 2.2 |
| 2010 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 2.3 |

캘리포니아 ARB의 분석에 따르면 캘리포니아 지역 14곳의 대기중 DPM 농도는 $0.2 \sim 3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 평균 $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타낸다. (ARB, 1998) 한편, 캘리포니아 지역 3곳의 겨울철 DPM 농도는 $4 \sim 22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 파악되었다.

2.2 Occupational Exposure

디젤 배기가스와 입자상물질의 직업상 노출(occupational exposure)은 대기중 노출(ambient exposure)보다 훨씬 높다. 이 경우의 농도는 직업 환경에 따라 대기중의 수준($4 \mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 부터 높게는 $1700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도까지 다양하다. 디젤을 이용한 지하탄광의 광부들의 경우 노출이 가장 심하다. 디젤의 배출물에 노출(exposure)되어 있는 다른 직업군으로는, 지게차 운전자, 트럭 운전자, 철도 근로자, 부두 노동자, 버스 차고 기능공, 그리고 발전소 근로자, 등을 들 수 있다. NIOSH에 따르면, 미국에서는 약 135 만명의 사람들이 디젤 배출물에 노출되어 있는 것으로 파악되고 있다. (NIOSH, 1988)

아래의 Table 2는 서로 다른 직업에 종사하는 사람들의 8시간 평균 DPM 노출수준(exposure)의 대략적인 범위를 나타낸 것으로서 비교적 최근의 조사에서 발표된 것이다. (Watts, 1995; ARB, 1998)

Table 2 Occupational Exposure to Diesel Particulates, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

| Group | Exposure Level |
|--|----------------|
| Underground miners | 100 ~ 1,700 |
| Urban fire stations | 100 ~ 480 |
| Forklift operators, dock workers, railroad workers | 20 ~ 100 |
| Truck Drivers | 4 ~ 6 |

3. Polynuclear Aromatic Hydrocarbons

볼티모어의 항만터널(Baltimore Harbor Tunnel)에서 수행된 연구에서는, 통과차량에 대한 입자상물질과 증기상(vapor phase)의 견본(sample)이 채집되어 PAH 및 이와 연관된 화합물들에 대한 분석이 이루어졌다. (Benner, 1989) 하지만, 가솔린과 디젤차량에 대한 구분은 하지 않았다. 아래의 Table 3에, 터널에서 채집된 48개의 견본(sample)에 대한 입자상(particle-phase) PAH 농도의 범위, 그리고 입자상 및 증기상 PAH의 평균농도가 나와 있다. 이 표의 마지막 열(column)에는 입자상 PAH의 평균농도(mean particle-phase PAH concentration)와 불활성 PAH인 B[e]P(benzo[e]pyrene)의 농도비(ratio)가 나와 있다.

터널에서 채집한 견본(sample)에서 “알킬치환 페나트렌(alkyl-substituted phenanthrene)”의 경우 “비치환 페나트렌(non-substituted phenanthrene)”보다 상대적으로 농도가 높다. 이전에 측정된 DPM 추출물의 경우 상대적으로 높은 “메틸페나트렌(methylphenanthrene)” 및 “디메틸페나트렌

(dimethylphenanthrene)”의 농도가 나오지 않았기 때문에, (Yu, 1981) 이 화합물들은 터널 내의 디젤트럭에서 배출된 것으로 파악되었다. 한편, 분자량이 더욱 무거운 다른 PAH 들은 가솔린엔진의 배출물과 연관이 있는 것으로 알려졌다.

Table 3 PAH Concentrations in Baltimore Harbor Tunnel

| Compound | Concentration, ng/m3 | | | |
|--|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| | Range, particles | Mean, particles | Mean, vapor | Ratio to B[e]P ^a |
| Phenanthrene | 4.3-56 | 18.0 | 132 | 4.3 |
| Anthracene | 0.6-12 | 2.9 | 18 | 0.6 |
| 3-Methylphenanthrene | 3.9-58 | 13.9 | 70 | 3.3 |
| 2-Methylphenanthrene | 5.3-74 | 19.0 | - | 4.6 |
| 2-Methylanthracene | 0.6-12 | 3.0 | 5.3 | 0.7 |
| 9-and 4-Methyl-phenanthrene and H-cyclopenta[def]-phenanthrene | 4.7-50 | 12.9 | 71 | 3.0 |
| 1-Methylphenanthrene | 2.6-43 | 9.8 | 43 | 2.3 |
| 2,6-Dimethylphenanthrene | 4.7-62 | 14.0 | 30 | 3.4 |
| 2,7-Dimethylphenanthrene | 3.4-38 | 9.2 | 16 | 2.2 |
| 1,3-, 2,10-, 3,9-, and 3,10-Dimethyl- and phenanthrene | 9.5-119 | 26.0 | 61 | 6.3 |
| 1,6- and 2,9-Dimethylphenanthrene | 4.5-63 | 14.0 | 27 | 3.3 |
| 1,7-Dimethylphenanthrene | 3.9-41 | 10.2 | 20 | 2.4 |
| 2,3-Dimethylphenanthrene | 3.5-41 | 9.3 | 16 | 2.2 |
| Fluoranthene | 6.4-69 | 20.0 | 16 | 4.5 |
| Pyrene | 9.7-76 | 27.0 | 26 | 6.3 |
| Benzo[ghi]fluoranthene | 3.2-26 | 9.6 | ND ^b | 2.1 |
| Cyclopenta[cd]pyrene | 7.6-65 | 20.0 | ND | 4.6 |
| Benz[a]anthracene | 1.9-29 | 7.6 | ND | 1.5 |
| Chrysene/triphenylene | 2.9-47 | 12.0 | ND | 2.4 |
| Benzo[fluoranthenes[b,j,+k] | 2.2-44 | 10.6 | ND | 2.1 |
| Benzo[e]pyrene | 1.5-19 | 5.0 | ND | 1.0 |
| Benzo[a]pyrene | 1.3-26 | 5.8 | ND | 1.1 |
| Indeno[1,2,3-cd]pyrene | 0.3-15 | 4.6 | ND | 0.9 |
| Benzo[ghi]perylene | 1.8-18 | 8.0 | ND | 1.6 |
| Coronene | 1.0-10 | 4.7 | ND | 0.9 |

a - Mean ratios (particulate) to particulate phase B[e]P
 b - None detected

아래의 Table 4는 캘리포니아 州 Glendora 지역에서 발생했던 여름철 광화학 대기오염(photochemical air pollution) 동안에 수행된 대기오염 측정에서 나온 PAH 화합물들의 농도를 정리하여 나타낸 것이다. (Atkinson, 1988) 견본의 채취(sampling)는 자동차 배출가스의 영향을 받는 곳(교통량이 많은 고속도로 “I-210”의 1 km 이내의 지역 및 로스엔젤로스의 순풍 방향)에서 이루어졌다. 이 표에 있는 데이터는 3일 낮과 3일 밤 동안 측정된 견본(sample)을 평균한 값이다.

Table 4 Average Ambient Concentrations of PAHs in Glendora, CA

| PAH | Total concentration, ng/m ³ | Ratio to B[e]P ^a |
|-----------------------------|--|-----------------------------|
| Phenanthrene | 20.0 | - ^b |
| Anthracene | 1.0 | - ^b |
| Fluoranthene ^c | 5.6 (0.26) | 0.27 |
| Pyrene ^c | 4.1 (0.35) | 0.37 |
| Benzo[ghi]-fluoranthene | 0.26 | 0.28 |
| Cyclopenta[cd]-pyrene | 0.09 | 0.1 |
| Benz[a]anthracene | 0.2 | 0.22 |
| Chrysene/Triphenylene | 1.0 | 1.1 |
| Benzo[fluoranthenes][b,j+k] | 1.6 | 1.7 |
| Benzo[e]pyrene | 0.94 | 1.0 |
| Benzo[a]pyrene | 0.33 | 0.35 |
| Indeno[1,2,3-cd]-pyrene | 1.6 | 1.7 |
| Benzo[ghi]perylene | 3.8 | 4.0 |
| Coronene | 2.8 | 3.0 |

a - Ratios of particle-phase PAH to particle-phase B[e]P

b - No particle phase PAH found

c - PAH is distributed between gas and particulate phases, numbers in parentheses represent particle concentrations

“Glendora” 지역에서 측정된 PAH의 농도는 배출원(emission source)에서 멀리 떨어져 있을 뿐만 아니라 대기중의 희석(atmospheric dilution)이 잘 되기 때문에 “Baltimore”의 터널에서 측정된 농도보다 낮은 값을 나타낸다. 한편, 입자가 결합된(particle-bound) PAH와 B[e]P의 농도비(concentration ratio)가 다른 것은 “Glendora” 지역의 차량 및 “Baltimore” 지역의 대기중 PAH의 광화학변환(photochemical transformation) 이외의 다른 배출원(source)에 인한 것임을 나타낸다.

한편, 직업상의 환경에서의 PAH 노출(exposure)에 대한 평가 연구도 수행되었다. 아래의 Table 5는 서로 다른 두 탄광에서 측정된 PAH 노출을 ON 州 “Sudbury” 지역의 대기중 수준(ambient level)과 비교하여 나타낸 것이다. (Watts, 1995) 탄광에서 측정된 농도는 대기 중의 농도보다 훨씬 높을 뿐만 아니라 “Baltimore”의 터널에서 측정된 값과 비슷하다.

Table 5 PAH Concentrations in Canadian Mines

| PAH | Mean Concentration, ng/m ³ | | |
|------------------------------|---------------------------------------|-----------|------|
| | Nickel Mine | Salt Mine | City |
| Pyrene | 80.2 | 256.0 | 14.6 |
| Flouranthene | 5.6 | 19.7 | 1.1 |
| Benz[a]anthracene | 8.9 | 18.5 | 1.6 |
| Benzo[e]pyrene | 18.2 | 62.2 | 5.3 |
| Perylene | 0.5 | 0.3 | 0.1 |
| Benzo[k]fluoranthene | 2.6 | 5.4 | 0.6 |
| Benzo[a]pyrene | 1.9 | 1.2 | 0.3 |
| Benzo[ghi]perylene | 6.9 | 9.3 | 0.9 |
| Dibenzo[def,mno]chrysene | 0.5 | 0.6 | 0.1 |
| Dibenzo[ah]anthracene | 1.9 | 3.5 | 0.3 |
| Naphto[1,2,3,4-def]-chrysene | 4.6 | 8.4 | 1.1 |
| Benzo[rst]pentaphene | 0.9 | 1.9 | 0.1 |
| Total PAHs | 132.7 | 387.0 | 26.1 |

4. Hydrocarbons and Aldehydes

NC 州 “Raleigh” 부근의 70번 고속도로의 한 구간을 따라서 휘발성 탄화수소(volatile hydrocarbon)와 알데히드(aldehyde)의 대기 중 노출 수준(ambient exposure level)이 측정되었다. (Zweidinger, 1988) 견본 채집(sampling) 기간 중의 교통량(traffic volume)은 눈으로 파악되었으며 (각 방향으로 시간당 1,050 ±10%) 이들은 다음의 네가지 그룹. 즉, (1) 가솔린 및 디젤 경량차(light-duty vehicle), (2) 가솔린 중량차량(gasoline heavy-duty), (3) 디젤 중량차량(diesel heavy-duty), 그리고 (4) 오토바이로 분류할 수 있다. 각 차량의 일반적인 분포는 각각 91.5%, 3.2%, 5.1%, 그리고 0.2% 이었다.

아래의 Table 6은 도로변의 4 곳에서 측정된 탄화수소(hydrocarbon)와 알데히드(aldehyde)를 나타낸 것이다. 각 데이터의 단위는 ppbC 이다. 이 표에는 또한 전체 비메탄 탄화수소(nonmethane hydrocarbon, NMHC) 및 전체 알데히드(aldehyde)에 대한 각각의 탄화수소(hydrocarbon)와 알데히드(aldehyde)의 백분율이 함께 나와 있다.

Table 6 Concentrations of Individual Hydrocarbons and Aldehydes measured at a Roadside

| Compound | Concentration, ppbC | Contribution, %* |
|---------------------|---------------------|------------------|
| Hydrocarbons | | |
| Ethane | 16.30 | 1.81 |
| Ethylene | 64.30 | 7.15 |

| | | |
|-------------------------|--------|--------|
| Acetylene | 50.90 | 5.65 |
| Propane | 7.90 | 0.88 |
| Propylene | 22.60 | 2.51 |
| n-Butane | 15.80 | 1.75 |
| 1-Butene | 5.70 | 0.64 |
| n-Pentane | 25.40 | 2.82 |
| iso-Pentane | 53.00 | 5.89 |
| Methylcyclopentane | 10.40 | 1.15 |
| Methylcyclohexane | 4.70 | 0.53 |
| n-Decane | 3.00 | 0.33 |
| Benzene | 29.00 | 3.23 |
| Toluene | 59.30 | 6.60 |
| m- and p-Xylenes | 53.10 | 5.90 |
| o-Xylene | 12.70 | 1.41 |
| Ethylbenzene | 12.00 | 1.33 |
| Total NMHC | 900.00 | 100.00 |
| Total paraffins | 369.20 | 41.00 |
| Total olefins | 164.50 | 18.20 |
| Total aromatics | 252.00 | 28.00 |
| Total unidentified NMHC | 63.60 | 7.10 |
| Aldehydes | | |
| Formaldehyde | 6.74 | 1.05 |
| Acetaldehyde | 3.00 | 18.40 |
| Acrolein | 1.20 | 7.30 |
| Benzaldehyde | 2.31 | 3.88 |
| Total aldehydes | 16.38 | 100.00 |

* - Percent contribution of individual hydrocarbons to total NMHC and of individual aldehydes to total aldehydes, based on ppbC.

참 고 문 헌

1. ARB, 1998, "Proposed Identification of Diesel Exhaust as a Toxic Air Contaminant," Report by the Staff of the California Air Resources Board and the Office of Environmental Health Hazard Assessment, April 22, 1998.
2. Atkinson, R., et al., 1988, "A survey of ambient concentrations of selected polycyclic aromatic

- hydrocarbons (PAH) at various locations in California [final report],” California Air Resources Board, contract no. A5-185-32, Sacramento, CA.
3. Benner, B. A. Jr., Gordon, G. E., and Wise, S. A., 1989, “Mobile sources of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: a roadway tunnel study,” *Environ Sci. Technol.* 23:1269-1278.
 4. EPA, 1998, “Health Assessment Document for Diesel Emissions,” EPA/600/8-90/057C, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, February 1998, <http://www.epa.gov/ncea/diesel.htm>.
 5. Horvath, H., et al., 1988, “Diesel Emissions in Vienna,” *Atmos. Environ.*, 22(7), pg. 1255-1269.
 6. Lies, K. H., 1989, “Unregulated Motor Vehicle Exhaust Gas Components,” Research and Development, Volkswagen AG, Wolfsburg, Germany.
 7. NIOSH, 1988, “Carcinogenic Effects of Exposure to Diesel Exhaust,” National Institute for Occupational Safety and Health, Current Intelligence Bulletin No. 50. DHHS (NIOSH) Pub. No. 88-116; NTIS Pub. No. PB-88-252-994. National Technical Information Service, Springfield, VA.
 8. Watts, W. F., 1995, “Assessment of Occupational Exposure to Diesel Emissions,” In: *Diesel Exhaust: A Critical Analysis...?* Health Effects Institute, 1995, (pp. 107-123).
 9. Yu, M.-L., and Hites, R. A., 1981, “Identification of organic compounds on diesel engine soot,” *Anal. Chem.* 53:951-954.
 10. Zweidinger, R. B., Sigsby, J. E., Tejada, S. B., Stump, F. D., Dropkin, D. L. Ray, W. D., and Duncan, J. W., 1988, “Detailed hydrocarbon and aldehyde mobile source emissions from roadway studies,” *Environ Sci. Technol.*, 22:956-962.