

대구지역 택배서비스업 종사자의 디젤엔진배출물 노출 평가

이가현¹ · 김승원^{2*}

¹근로복지공단 직업성폐질환연구소, ²계명대학교 공중보건학전공

Exposure Assessment of Diesel Engine Exhaust among Door-to-door Deliverers in Daegu

Ga Hyun Lee¹ · Seung Won Kim^{2*}

¹Occupational Lung Diseases Institute, Korea Workers

²Department of Public Health, Keimyung University

ABSTRACT

Objectives: This study evaluated the diesel engine exhaust (DEE) exposure levels of door-to-door deliverers in Daegu from July to September.

Methods: We measured exposure levels of DEE surrogates for the same door-to-door deliverers who joined the particulate matter 2.5 exposure study previously published in this journal. Black carbon(BC) concentrations were measured using real-time BC monitoring devices with 1 minute interval. NO₂ concentrations were monitored using passive badges. DEE exposure data were analyzed using the same characteristics and GPS information as the first study.

Results: A total of 40 measurements of BC concentrations and NO₂ concentrations were collected during delivery of parcels. The average exposure levels to BC, and NO₂ were 2.23 µg/m³(0.001—350.85 µg/m³) and 21.26 ppb(3.3—61.37 ppb), respectively. Exposure levels to BC according to the day of a week and coverage areas were not significantly different(p>0.05). Delivery trucks manufactured before 2006 caused significantly higher exposure to BC than the trucks manufactured after 2006(p<0.05). Exposure levels of BC integrated for each time in residential area and roadsides were 1.96 µg/m³ and 3.46 µg/m³, respectively, and the difference was statistically significant(p<0.001). The Pearson correlation coefficients between the ambient PM_{2.5} and BC was significant, r=0.26(p<0.01); however, the correlations between PM_{2.5} and ambient PM_{2.5}, and between BC of DEE and PM_{2.5} of DEE did not show a significant correlation.

Conclusions: BC and NO₂ exposure levels were significantly lower when door-to-door deliverers drove newer trucks. BC exposure levels of deliverers were higher in roadsides than in residential area. DEE from nearby vehicles through open windows might be the main source of BC exposure.

Key words: black carbon, door-to-door deliverer, GPS, diesel engine exhaust

I. 서 론

디젤 엔진은 가솔린 엔진과 구분되는 동력을 발생 장치이며, 사용되는 장비나 분야에 따라 운송용과 비운송용으로 구분될 수 있다. 운송용 디젤 엔진은 기관차와 트럭 등의 대형 운송에 많이 장착되지만 한국

및 유럽 등에서는 승용차에도 많이 장착된다. 비운송용 디젤 엔진은 광업이나 건설업 등에서 사용하는 장비에서 동력원으로 사용된다. 어느 형태이건 연료가 투입되고 디젤매연이 배출된다(U.S. EPA, 2002; Pronk et al. 2009). 학술적으로는 디젤매연에 포함된 가스상 및 입자상 물질을 통칭하여 디젤엔진배출물질(diesel

*Corresponding author: Seung Won Kim, Tel: 053-580-5197, E-mail: swkim@kmu.ac.kr

Department of Public Health, Keimyung University, 1095 Dalgubeol-daero, Dalseo-Gu, Daegu 42601, Republic of Korea

Received: December 1, 2017, Revised: December 23, 2017, Accepted: December 26, 2017

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

engine exhaust, DEE)이라고 한다. Choi et al.(2016)은 한국에서 DEE에 노출되는 종사자의 규모가 육상운송, 개인 및 가정 서비스업(personal and household services), 건설업, 위생 및 유사업종, 운송관련 서비스업, 도소매업 및 식당과 호텔, 기타 광업 순으로 크다고 추산하였다. 운송업은 운송 대상에 따라 여객과 화물로 구분할 수 있으며, 화물의 운송뿐만 아니라 보관 및 입출고 관리 등 관련 서비스를 총괄하여 제공하는 것이 물류업이다(Yoo & Han, 2009).

직업적으로 디젤엔진이 장착된 운송수단이나 장비를 직접 운전 또는 사용하는 종사자는 일반인보다 더 높은 농도의 DEE에 노출될 수 있다. 한국에서 서비스업에 종사하는 종사자가 직업적으로 DEE에 노출될 수 있는 경우는 제품의 운송이나 쓰레기 수거, 주차 등의 과정에서 디젤매연 배출구 인근에서 작업하는 경우를 들 수 있다. 간접적인 DEE 노출은 업종에 상관없이 디젤 엔진을 사용하는 트럭 및 승용차의 밀집도가 높은 도심지에 상주하는 경우가 외곽지역보다 더 높다고 예상할 수 있다(Ris, 2007). 택배서비스업은 물류업 중 고객과 고객 사이에 발생하는 소규모의 배송 수요를 담당하는 업종이며, 현재 한국표준산업코드에 택배(49401)업이 분류되어 있다. Hong (2002)은 택배서비스업을 운송수단에 따라 화물운송, 일반택배, 퀵서비스, 매트로서비스 등으로 세분화하였지만, 이들 중 DEE에 가장 많이 노출될 수 있는 것은 1톤 디젤 엔진 소형화물트럭의 운전과 차량 뒤편에서 배송화물을 꺼내 배송하는 일반택배라고 볼 수 있다. 일반택배원은 택배차량의 뒤편 하부에 장착된 디젤 엔진 배기구에서 배출되는 DEE와 도심에서 운전하는 경우 주변차량에서 배출되는 DEE, 그리고 대기 중 미세먼지에 노출될 수 있다(Lee & Kim 2017). Lee (2013)는 택배서비스업 종사자 규모를 육상운송업의 11%인 3.5 만 명(2010년도 기준)으로 추산하였고, 이 비율을 2015년 해당산업의 종사자수인 92.0 만 명에 적용하면 2015년 기준 택배서비스업 종사자의 규모는 약 10.1 만 명으로 추산된다.

DEE는 성상에 따라 가스상 물질과 입자상 물질(diesel particulate matter, DPM)로 분류될 수 있으며, 여기에는 연소되지 않은 연료도 포함된다(Groves & Cain 2000). 입자상 물질의 노출지표로는 원소탄소(elemental carbon, EC)가 널리 이용되어 왔지만 실제

간 측정이 가능한 지표인 블랙카본(black carbon, BC)에 대한 노출평가가 증가하는 중이다(Lee et al. 2015). 가스상 물질의 노출지표로는 질소산화물(NO_x)이 많이 이용되어왔지만 대기오염물질로 널리 알려져 있는 일산화탄소(CO) 및 황산화물(SO_x)과 탄화수소류 중 알데하이드(aldehyde) 및 벤젠(benzene) 등도 포함되어 있다(Lewné et al. 2007).

국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 2012년 DEE의 개별 성분이 아닌 DEE 전체를 폐암에 대하여 Group 1로, 방광암에 대하여 Group 2B로 분류하였다(IARC, 2012). DEE의 발암성은 배출물 전체에 대하여 부여된 반면 노출기준은 노출지표에 대해서 설정되어 왔다. 미국 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)는 EC 노출지표에 대하여 2001년 20 µg/m³으로 사전고시 후 2003년 철회하였다. 현존하는 가장 낮은 DEE 노출기준은 EC 노출지표에 대하여 스위스에서 설정하고 있는 100 µg/m³이다(Suva 2014). 한국에는 DEE에 대한 직업적 노출기준이 없다. 국내에서 DEE 노출수준에 대한 평가는 버스운전자, 상가주차장 관리원, 도로 청소부 및 환경미화원, 지게차 운전자, 버스 청소원 등의 직종에 대해서 이루어져 왔다(Jeong 2008; Kim & Song 2013; Lee et al. 2015; Kim et al. 2016; Lee & Yi 2016).

Lee & Kim(2017)은 올해 초 택배서비스업 종사자의 미세먼지 노출수준 및 그 특성에 대하여 보고하였다. 본 연구에서는 택배서비스업 종사자를 대상으로 DEE의 입자상 및 가스상 물질의 노출지표인 BC와 이산화질소의 노출수준을 각각 보고하고, 노출특성에 미치는 인자들 및 상관성을 분석하여 향후 한국에서 DEE 노출기준 제정, 작업환경측정방법 결정, 및 DEE 노출 관련 역학조사 등에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구의 연구대상 및 그 특성에 대한 기초자료는 Lee & Kim(2017)이 기술한 내용과 동일하기에 요약하여 보고한다. 대구 지역에 같은 사업장에 근무하는 택배원 10명에 BC 및 NO₂의 노출수준을 측정

하였다. 각 택배원에 대하여 2015년 7월부터 9월까지 근무요일 중 서로 다른 요일을 선택하여 총 4회에 걸쳐 측정을 수행하였다. 측정시간은 택배원의 일상적인 배송업무시간에 해당하는 시간에 이루어졌으며 대략 오전 11시부터 오후 7시(8시간)였지만 종료시간의 경우 일별 편차가 심했다. 이 시간 동안 DEE 노출지표인 BC 및 NO₂의 개인시료 채취기가 부착된 조끼를 착용하고 모든 배송업무를 수행하였다. 측정대상자 중 6명은 흡연자였으며, 이들은 흡연시간을 스스로 기록하여 이후에 자료 분석에 활용하였다. 조끼에는 GPS 모니터(GPS 741, Ascen, Korea)도 장착되었고 1분 간격으로 위치정보(위/경도)를 자동 기록하였고, 다운받은 기록은 배달지역의 특성을 분석하는데 사용하였다.

2. 블랙카본(BC) 측정

대기 중 탄소입자 측정이 가능한 MicroAeth AE51 (Magee Scientific Inc., USA)을 이용하여 실시간으로 BC 농도를 측정하였다. 측정원리는 기기 내부의 필터에 채취되는 입자에 의한 빛의 감쇄를 측정하는 원리로 880 nm의 근 적외선 단일과장을 이용하여 BC 입자의 질량농도를 계산한다. 측정범위는 0-1 mg/m³이며, 검출한계는 0.001 µg/m³이다(AethLab 2015).

측정위치는 택배원의 호흡기위치(어깨부근)에 고정시켰으며, 0.1 L/min의 유량으로 10초 간격 BC 농도(µg/m³)를 측정하였다. 측정결과는 전용 소프트웨어에서 데이터를 받아 엑셀시트로 데이터를 변환 후 분석하였다.

3. 이산화질소(NO₂)

NO₂ 측정은 배지 타입(badge type)의 수동식 시료 채취기(passive filter badge, Toyo Roshi Kaisah, Ltd)를 이용하였다. 수동식 시료채취방법은 시료채취 펌프 없이 자연기류로 확산 및 투과하는 방식으로 공기를 포집하며, 검출한계는 66 ppb이다. 수동식 시료채취기의 내부에는 트리에탈올아민(triethanolamine) 용액이 코팅된 셀룰로오스 필터가 설치되어 있으며, 이 필터에 NO₂가 흡수되면서 포집된다. 장점으로는 크기가 작고(5×4×1 cm³) 가볍다(15 g). Spectrophotometer (Shimadzu UV-1201)를 이용하여 정량분석 하였다.

배지의 앞면이 바깥쪽으로 향하게 하여 작업자의

호흡기 영역(어깨부근)에 클립으로 고정시켜, 당일 배송근무시간 동안 연속적으로 채취하였다.

4. 자료처리

측정된 BC 농도는 노출 특성과 비교하기 위하여 시간가중평균 농도로 변환하여 분석하였다. BC 농도의 시간가중평균 농도는 택배원 별 혹은 요일별로 구분하여 Box-Whisker plot으로 나타내었고, NO₂ 및 미세먼지 농도와 상관성을 분석하였다. 1분 간격 BC 농도노출수준은 GPS 정보와 결합하여 위치에 따른 시간별 그래프로 나타내었다. 흡연에서 발생하는 연기입자도 BC 농도에 영향을 주기 때문에 흡연으로 기록된 시간을 기준으로 3분의 기록을 제외한 후 분석하였다.

통계처리는 SPSS 22.0 for Windows(SPSS Inc., USA)를 이용하였다. BC 농도는 대수변환 후 Shapiro-Wilk 검정결과 대수정규분포를 보여, 기하평균 및 기하표준편차로 나타내었다. 각 그룹간의 노출수준 비교를 위해 일원배치 분산분석법(one-way ANOVA)을 실시하였으며, 택배원의 배송요일, 차량연식 및 배송지역별 농도 비교를 검정하기 위하여 Duncan's multiple range test를 이용하여 사후분석을 실시하였다. 택배원의 배송업무 중 주택가와 도로변을 구분하여 노출되는 농도 비교를 위해 student's *t*-test를 실시하였다. DEE 노출지수 사이의 상관성 확인을 위해 Pearson 상관분석을 실시하였다.

III. 결 과

1. 택배원별 DEE 노출수준

본 연구에서 택배원 10명을 대상으로 총 4회씩 측정한 초미세먼지 노출수준은 다음 Table 1과 같다. BC의 평균노출수준은 2.23±2.78 µg/m³, NO₂의 평균노출수준은 21.26±1.82 ppb를 보였다. 택배원 중 B, D, H, I를 제외한 나머지는 흡연자였으며, BC의 노출수준은 흡연자가 비흡연자보다 높았다.

2. 배송요일별 DEE 노출수준

배송요일에 따른 DEE 노출지표인 BC와 NO₂의 노출수준은 다음과 같다(Table 2). 모든 노출지표에서 '목요일'이 공통적으로 가장 높은 농도를 보였다. 요

Table 1. Summary results for the exposure levels of BC and NO₂ by the door-to-door deliverers

Person	Sampling date	BC* (µg/m ³)			NO ₂ (ppb)		
		N	GM(GSD)	Range	N	GM(GSD)	Range
A	07/17 - 07/21	4	2.71(2.48)	0.01-72.63	4	40.66(1.40)	25.31-56.31
B	07/17 - 07/21	4	3.02(2.79)	0.002-142.46	4	35.33(1.15)	32.32-43.68
C	07/22 - 08/03	4	1.93(2.90)	0.008-101.26	4	34.13(1.51)	20.48-55.11
D	07/22 - 08/03	4	1.45(2.61)	0.002-350.85	4	8.52(2.03)	3.3-16.98
E	08/05 - 08/10	4	1.97(2.84)	0.015-206.18	4	21.26(1.56)	11.72-33.76
F	08/05 - 08/10	4	2.01(2.44)	0.001-65.46	4	13.99(1.72)	8.5-29.56
G	08/11 - 08/22	4	2.83(2.26)	0.003-68.75	4	15.71(1.40)	10.96-21.19
H	08/11 - 08/22	4	2.00(2.88)	0.003-111.81	4	17.47(1.11)	15.10-19.44
I	09/14 - 09/17	4	2.33(2.57)	0.005-103.50	4	22.15(1.36)	15.06-31.35
J	09/14 - 09/17	4	2.48(3.33)	0.001-58.33	4	24.99(1.89)	14.54-61.37
Total samples		40	2.23(2.78)	0.001-350.85	40	21.26(1.82)	3.3-61.37

* The geometric means of BC were presented by integrated concentration.

Table 2. Exposure levels of DEE exposure indices by day of the week

Day of the week	BC* (µg/m ³)			NO ₂ (ppb)		
	N	GM(GSD)	p value	N	GM(GSD)	p value
Mon	8	3.90(1.24)	0.168	8	24.12(1.37)	0.665
Tue	8	3.46(1.42)		8	20.75(1.55)	
Wed	6	3.44(1.42)		6	19.47(1.75)	
Thu	4	5.00(1.23)		4	27.95(1.71)	
Fri	8	2.70(1.57)		8	24.60(1.99)	
Sat	6	3.83(1.55)		6	16.04(2.52)	

* The geometric means of BC were presented by integrated concentration.

일 간 시료수에 차이를 보이지만 시료수가 작은 요일의 기하표준편차의 크기가 시료수가 더 많은 요일의 범위를 벗어나지 않았다. 요일 간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(p>0.05).

배송요일에 따른 택배원의 BC 노출수준은 Fig. 1과 같다. 배송물량이 가장 많은 ‘화요일’의 BC 노출수준은 3.46 µg/m³, 가장 적은 ‘월요일’의 노출수준은 3.90 µg/m³으로 차이를 보이지 않았다. ‘목요일’의 경우 5.00 µg/m³으로 가장 높은 노출수준을 보였지만, 배송요일에 따른 BC 농도는 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05).

배송요일에 따른 택배원의 NO₂ 노출수준은 Fig. 2와 같다. 배송물량이 가장 많은 ‘화요일’의 NO₂ 노출

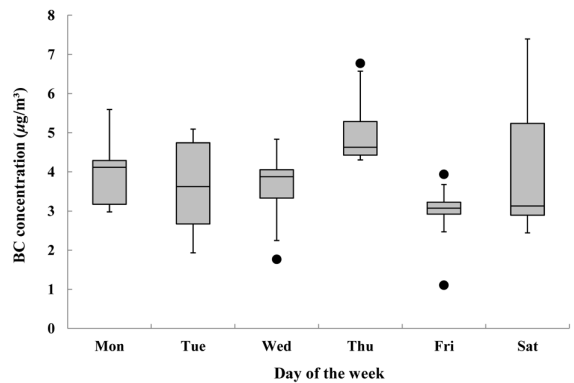


Fig. 1. Box-Whisker plot for BC concentration by day of the week of door-to-door deliverers. Values represent the distribution of BC concentrations by day of the week

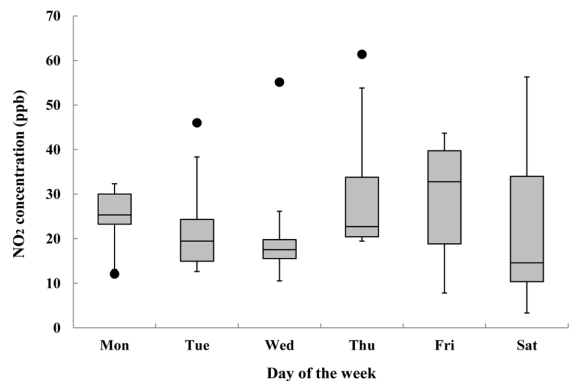


Fig. 2. Box-Whisker plot for NO₂ concentration by day of the week of door-to-door deliverers. Values represent the distribution of NO₂ concentrations by day of the week

Table 3. Exposure levels of DEE exposure indices by truck model year

Truck model year	BC* (µg/m ³)			NO ₂ (ppb)		
	N	GM(GSD)	p [†] value	N	GM(GSD)	p [†] value
2003	4	4.07(1.28) ^b	0.027 [†]	4	34.08(1.51) ^c	0.002 [§]
2004	4	1.98(1.57) ^a		4	8.51(2.03) ^a	
2006	4	4.37(1.37) ^b		4	24.97(1.89) ^{bc}	
2007	4	3.69(1.54) ^b		4	15.76(1.41) ^{ab}	
2010	8	3.75(1.42) ^b		8	22.26(1.86) ^{bc}	
2012	12	3.61(1.25) ^b		12	20.22(1.36) ^{bc}	
2013	4	4.34(1.49) ^b		4	40.50(1.41) ^c	

* The geometric means of BC were presented by integrated concentration.

[†] Statistically significant differences ([†]p<0.05, [§]p<0.01) were determined by ANOVA and the Duncan multiple range test, are indicated by different letters.

Table 4. Exposure levels of DEE exposure indices by coverage areas

Coverage areas	BC* (µg/m ³)			NO ₂ (ppb)		
	N	GM(GSD)	p value	N	GM(GSD)	p value
Beomeo	20	3.78(1.33) ^{ab}	0.137	20	23.17(1.73) ^{ab}	0.120
Manchon	8	2.84(1.67) ^b		8	17.03(2.50) ^{ab}	
Sang	8	3.59(1.40) ^a		8	16.60(1.27) ^a	
Sinmae	4	4.62(1.44) ^{ab}		4	35.48(1.15) ^a	

* The geometric means of PM_{2.5} and BC were presented by integrated concentration.

수준은 20.75 ppb이며, 가장 적은 ‘월요일’의 노출수준은 24.12 ppb로 차이를 보이지 않았다. BC의 노출수준과 동일하게, ‘목요일’의 경우 27.95 ppb로 가장 높은 노출수준을 보였지만, 배송요일에 따른 NO₂ 농도는 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05).

3. 차량연식별 DEE 노출수준

차량연식에 따른 택배원의 BC와 NO₂ 노출수준은 Table 3과 같았다. 2006년부터 국내 디젤엔진차량에 디젤엔진배출물질 저감필터(DPF)의 설치가 의무화 되었지만, 본 측정대상자들은 DPF에 대한 인지도는 매우 낮았다. 연식에 따른 DEE 중 입자상 물질인 BC의 노출수준은 ‘2006년 식’이 가장 높은 노출수준을 보이며, 차량연식별 노출수준은 유의한 차이를 보였다(p<0.05).

4. 배송지역별 DEE 노출수준

배송지역에 따른 택배원의 DEE 노출수준은 Table 4와 같았다. 배송지역 중 ‘범어동’의 BC 노출수준은

3.78 µg/m³으로 가장 높은 농도였으며, 낮은 노출수준은 ‘신매동’이 2.84 µg/m³으로 다른 지역에 비해 가장 낮았지만, 배송지역별 BC 노출수준은 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05). NO₂ 노출수준은 ‘신매동’이 34.48 ppb로 가장 높았으며, ‘상동’의 노출수준은 16.60 ppb로 다른 지역에 비해 가장 낮았지만, 배송지역별 NO₂ 노출수준은 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05).

5. GPS 장소별 BC 노출수준

택배원의 배송업무 중 배송위치를 도로변과 주택가로 구분한 BC 노출수준은 Table 5와 같다. 택배원의 BC 노출수준은 도로변 3.46 µg/m³, 주택가 1.96 µg/m³로 도로변이 주택가보다 노출수준이 높았으며, 택배원 J를 제외한 나머지 택배원의 BC 노출수준은 유의한 차이를 보였다(p<0.001). Lee & Kim(2017)의 연구에서 모든 택배원은 주택가에서 배송업무를 수행한 시간이 도로변보다 더 길다고 보고되었다.

택배원의 배송업무 중 도로변과 주택가를 구분하

Table 5. Exposure levels of BC concentration by location (residence and roadside)

Person	BC concentration* (µg/m ³)						p [†] value
	Residence			Roadside			
	N	GM(GSD)	Range	N	GM(GSD)	Range	
A	4	2.20(2.47)	0.001–72.63	4	4.51(2.03)	0.076–54.66	0.000 [§]
B	3	2.66(2.72)	0.002–84.86	3	5.42(2.71)	0.041–54.66	0.000 [§]
C	4	1.50(2.52)	0.13–52.85	4	3.56(3.13)	0.92–52.85	0.000 [§]
D	4	1.29(2.52)	0.002–116.50	4	3.16(2.50)	0.17–350.85	0.000 [§]
E	4	1.77(2.72)	0.015–206.12	4	2.91(3.04)	0.045–169.02	0.000 [§]
F	3	2.13(2.42)	0.001–56.41	3	3.71(2.64)	0.013–65.46	0.000 [§]
G	3	3.51(2.07)	0.003–68.75	3	4.09(2.11)	-0.28–41.54	0.001 [†]
H	3	2.10(2.91)	0.006–111.81	3	2.18(2.70)	0.003–90.54	0.65
I	3	1.69(2.45)	0.005–102.40	3	3.58(2.50)	0.12–103.50	0.000 [§]
J	4	2.01(3.55)	0.001–58.33	4	2.72(2.92)	0.003–44.87	0.000 [§]
Total	35	1.96(2.77)		35	3.46(2.74)		0.000 [§]

* The geometric means of BC were presented by 10 seconds interval BC concentration.

[†] Statistically significant differences ([†]p<0.01, [§]p<0.001) in BC concentrations between residence and roadside area were determined by student's *t*-test.

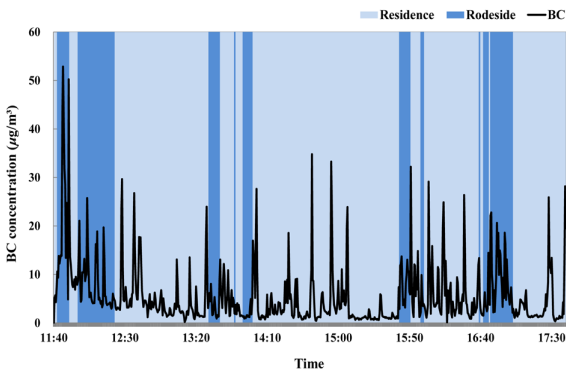


Fig. 3. Real-time BC concentration by delivery working of door-to-door deliverer (deliverer C, Wednesday). Values represent the real-time BC concentration of 10 seconds interval measurement. Location was classified by GPS data (residence and roadside)

여 나타낸 실시간 BC 노출수준은 Fig. 3과 같다. 주택가의 배송시간이 더 길며, 이에 따라 택배차량에서 배출되는 농도에 영향을 더 많이 받을 것으로 생각되었으나, 도로변에서 노출되는 다른 차량 배출원이 BC 노출수준에 영향을 주는 것으로 추정할 수 있다.

6. BC 농도와 택배원의 PM_{2.5} 및 대기 중 PM_{2.5} 농도의 상관성

대기 중 PM_{2.5}와 DEE 대리인자인 PM_{2.5}와 BC의

Table 6. Pearson correlation coefficients among levels of ambient PM_{2.5}, PM_{2.5}, and BC of DEE

	BC	PM _{2.5}	Ambient PM _{2.5}
BC	1.000		
PM _{2.5}	0.099	1.000	
Ambient PM _{2.5}	0.260 [*]	0.055	1.000

*p<0.01

시간별 농도 간의 상관성을 살펴본 결과는 Table 6과 같다. 대기 중 PM_{2.5}와 택배원의 PM_{2.5} 및 BC 사이의 상관성은 대기 중 PM_{2.5}와 택배원의 BC간의 상관계수는 0.260(p<0.01)로 나타났으며, 대기 중 PM_{2.5}와 택배원의 PM_{2.5} 및 택배원의 PM_{2.5}와 BC 사이의 상관성은 나타나지 않았다. 대기 관측된 대기 중 PM_{2.5} 농도는 11.56 µg/m³ (1–43 µg/m³)이었으며, 택배원의 시간별 PM_{2.5} 농도는 64.54 µg/m³ (2.25–981.51 µg/m³)로 약 6배 차이가 났다.

IV. 고 찰

1. DEE 노출지표

DEE는 가스상 물질과 입자상 물질의 혼합물이기 때문에 노출평가 방법 중 DEE 전체를 측정하는 방법이나 이에 기반을 둔 노출기준은 아직까지 존재하

지 않는다. DEE의 정성적 노출지표로 총탄소(total carbon, TC) 혹은 EC, 미세먼지(particulate matter, PM), 호흡성분진, NO₂, PAHs 등이 사용되고 있다(Zagury et al. 2000; Riediker et al. 2003). 이들 DEE 노출지표 중 노출기준으로 가장 많이 보고되는 것은 EC이다. 제안 후 철회한 것을 포함하여 EC 노출지표를 1번이라도 노출기준으로 채택했던 나라 혹은 기관은 미국 MSHA, 미국 ACGIH, 스위스, 호주 New South Wales주 등을 들 수 있다(ACGIH, 1995; NSW 2008; MSHA, 2014; Suva, 2014). 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 1996년 EC 분석방법인 5040 분석법을 제안하였고 이후 2003년 개정된 것이 최신 버전으로 국내외에서 여러 연구에서 사용되어 왔다(Lewné et al. 2007; Kim & Song, 2013; Lee et al. 2015; Kim et al. 2016). 미국 MSHA는 현재 EC를 분석하기 위해 유기탄소(organic carbon, OC)의 제거하기 전 농도인 TC 농도를 지하 광산에서의 DEE 노출기준으로 채택하고 있다(MSHA 2014). 입자상 물질의 농도를 성분분석하지 않고 호흡성 분진 혹은 서브마이크로 크기의 분진을 노출기준으로 제시했던 나라 혹은 기관은 과거와 현재를 포함하여 미국 ACGIH, 오스트리아, 미국 캘리포니아 환경보건유해평가국(Office of Environmental Health Hazard Assessment, OEHHA)을 들 수 있다(Cal. OEHHA 1998; ACGIH 2001; OSH Wiki 2016). Lee et al. (2015)이 보고한 바에 따르면 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도는 EC 혹은 BC와 상관성이 상대적으로 낮았다. 본 연구에서는 택배원의 작업특성 중 하루 종일 이동한다는 특성을 반영한 노출평가를 수행하기 위하여 실시간 측정을 채택하였다. 현재 EC는 실시간 측정방법이 개발되어 있지 않으며 BC에 대해서만 실시간 측정이 가능하다. BC 농도와 EC 농도 간의 상관성은 0.808로 높게 보고되었기 때문에 BC 측정은 DEE의 노출을 추정할 수 있는 지표로 생각된다(Lee et al. 2015).

2. 직업별 BC 및 NO₂ 노출 수준

문헌상에 DEE에 가장 높은 수준으로 노출된다고 보고된 직군은 지하광산에서 일하는 광부들이었으며 EC 농도가 148-637 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준이었다(IARC, 2012).

지하광산에서는 운송수단과 더불어 채굴장비 등의 동력원으로 디젤엔진이 사용된다. 밀폐된 환경이 높은 수준의 DEE 노출상황을 조성하는 것으로 보인다. 도로용 운송수단보다 대형의 디젤 엔진을 사용하는 다른 직군으로는 철도 승무원과 정비공을 들 수 있다. 철도 승무원의 경우 4-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 철도 정비공의 경우 5-39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 EC 농도가 보고되었다(Pronk et al. 2009).

지하광산만큼은 아니지만 밀폐된 환경에서 DEE에 노출되는 직군으로는 창고에서 일하는 디젤엔진 지게차 운전자를 들 수 있다. EC 농도를 기준으로 창고 안에서는 83-348 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위, 트럭 등에 적재를 위해서 창고의 안팎을 오가는 운전자는 5-66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 노출수준이 보고되었다(Groves & Cain 2000; Wheatley & Sadhra 2004). 국내에서는 창고 안 지역시료에서 2.8-17.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 운전자 개인시료에서 1.4-30.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 보고되었다(Kim et al. 2017).

운송수단으로는 트럭, 버스, 자가용 등에서 디젤엔진을 사용하고, 디젤엔진을 사용하지 않더라도 도로 상에서 많은 시간을 보내는 버스 운전원 및 택시 운전원의 경우 DEE에 노출될 수 있다. 트럭 운전원 및 트럭/버스 정비공의 경우 EC 농도가 각각 1-22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 4-39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준인 것으로 보되었다(IARC 2012). 버스 운전원 및 택시 운전원에 대해서는 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도가 보고되었는데 유럽의 경우 각각 15.7 \pm 1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 17.3 \pm 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 보고되었다(Lewné et al. 2007). 미국의 경우 흡연자와 비흡연자로 구분했을 때 초미세먼지 농도는 각각 36.5 \pm 2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 16.2 \pm 1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다(Davis et al. 2007).

기타 노출될 수 있는 직군으로 한국에서는 주차장 관리원, 환경미화원 및 쓰레기수거차량 운전원, 택배원 등을 들 수 있다. 환경미화원 및 쓰레기수거차량 운전원의 노출수준은 EC 39.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.7-29.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 초미세먼지와 BC의 노출수준은 각각 9.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6.0-19.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (27-240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었다. 생활폐기물 수거원 및 수거차량 운전원의 BC 노출수준은 수거원과 운전원 각각 11.81 \pm 5.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 6.98 \pm 0.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다(Park et al. 2014). 택배원은 생활폐기물 수거원 및 운전원보다 노출수준이 낮았는데 이는 택배원이 차량운전과 배송업무를 동시에 수행하고 배송시 차량으로부터 멀리 떨어지고 차

량의 엔진을 끄기 때문으로 생각된다. 구체적으로는 택배원의 초미세먼지 농도는 평균 $44.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, BC 농도는 평균 $2.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. 하지만 같은 조건이 아니기 때문에 직군간의 직접적인 비교 및 해석에는 상당한 주의가 필요하다.

가스상 물질인 NO_2 의 경우, 광부에서 0.2-55 ppm, 철도 승무원에서 0.03-0.3 ppm, 철도 정비공에서 0.1 ppm, 트럭 운전원에서 0.03-0.04 ppm, 트럭/버스 정비공에서 0.2-1.1 ppm, 버스운전원에서 $52.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 택시운전원에서 $45.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 한국 택배원에서 0.021 ppm으로 보고되었다(Lewné et al 2007; Pronk et al. 2009; IARC 2012; Lee & Kim 2017). 생활폐기물 수거원 및 수거차량 운전원의 NO_2 노출수준은 수거원 0.076 ppm, 운전수 0.047 ppm으로 두 직군 간에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Park et al. 2014).

3. DEE 노출 영향인자

운수업 근로자를 대상으로 수행된 Park et al. (2001)의 연구에서 택시운전자와 버스운전자의 유해인자 노출은 (1) 계절 및 기상조건(온도, 습도, 풍속 등)에 영향을 많이 받고, (2) 유해인자 농도의 변동이 크고, (3) 자신이 운전하는 차량이 아닌 다른 차량에서 배출되는 유해인자의 양에 따라 노출수준에 영향을 받는다고 보고하였다. 이는 온습도와 기류가 조절되는 실내에서, 일정한 발생속도를 가지고 발생하여, 사업장 내에서 일하는 근로자에게만 영향을 미치는 제조업 노출특성과 구분되는 내용이다. 계절의 경우 도심에서는 일반적으로 겨울이 여름보다 높은 농도를 보인다. 스페인에서 조사한 Lyamani et al.(2011)의 연구에서 겨울($4.4 \pm 1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이 여름($2.0 \pm 0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 높은 BC 농도를 보였다. 겨울에 BC 농도가 높은 원인에 DEE 발생만 있는 것은 아니며 가정용 난방기구의 사용도 원인 중 하나로 보고되었다(Lyamani et al. 2010). 본 연구는 여름에 수행되었기 때문에 동절기에는 택배원의 DEE 노출 수준이 이 논문에서 보고된 수준보다 높을 것으로 예상된다.

운송차량의 창문을 열고 운전할 경우 DEE 노출이 높아질 수 있다. 초미세먼지 노출에 대해 보고한 이전 논문에서 창문을 열었을 때의 미세먼지 농도 ($17.2 \pm 1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)는 창문을 닫았을 때($15.3 \pm 1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

보다 유의하게 높았다(Lee & Kim 2017). 창문을 열었을 때 DEE 노출이 증가하는 원인은 택배원 자신이 운전하는 차량에서 발생원을 찾을 수도 있지만, 주택가보다 도로가에서 배달할 때 노출수준이 유의하게 높은 것으로 보아 다른 차량의 디젤엔진에 의한 기여가 더 클 것으로 추정된다. 창문의 개폐여부는 계절적인 영향이 클 수 있다. 여름에는 에어컨을 트는 경우가 아니면 열어 놓는 경우가 더 많을 것으로 예상되며, 겨울에는 흡연하는 경우가 아니면 닫는 경우가 더 많을 것으로 예상된다.

도심과 외곽 등 도시중심으로부터의 거리에 따른 영향은 Lewné et al.(2007)의 연구에서 일부 보고되었다. 버스운전자의 이동경로는 도심과 외곽지역을 모두 포함하고 있고 택시운전자의 경우 주로 도심에서만 이동하는데, 버스운전자의 미세먼지 노출농도 ($15.7 \pm 1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$)가 택시운전자의 노출농도($17.3 \pm 1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 낮게 보고되었다. 하지만 NO_2 노출농도는 반대로 버스운전자가 높아서 해석이 쉽지 않다. 본 연구에 참여한 택배원은 주로 도로변과 주택가를 이동하였기 때문에 외곽지역에서 활동하는 택배원의 경우 노출수준이 더 낮을 수 있다. 하지만 택배서비스의 수요가 인구밀도에 비례해서 발생할 것으로 예상되기 때문에 더 많은 수의 택배원이 도심에서 활동할 것으로 예상된다. 도심 내에서는 주택가보다 도로변에서의 BC 노출수준이 높게 나타났다. 다른 차량에서 배출되는 DEE에 노출되는 확률이 도로변에서 더 크다고 할 수 있다.

4. 연구의 한계 및 장점

본 연구의 한계는 다음과 같다. 연구의 대상이었던 택배업체는 한 도시에 국한되어 있었고, 배달지역도 도시의 1개 구 4개 동 지역에 한정되었다. 대구는 광역시여서 택배원이 도심에서 배달시 노출에 대한 대표성은 어느 정도 만족시킬 수 있으나 서울 같은 국제적 규모의 큰 도시나 작은 규모의 도시에 대한 대표성은 상대적으로 떨어진다고 할 수 있다. 계절적으로도 노출평가 시기가 거의 여름에 한정되어 연중변화를 반영하지 못하였다. 따라서 이 결과를 국내 전체 택배원 DEE 노출의 대표치로 간주하는 것에는 문제가 있다. 택배원의 업무시간에는 배송뿐만 아니라 적재 및 집하도 포함되며 이 부분에서 DEE 노출

은 본 연구에서 고려되지 않았다. 직업성폐질환연구소의 2016년 10월 우체국 물류지원단(택배 업무자) 직업병 조사사례 보고(출판되지 않음)에 따르면, 분류 및 상차 3시간의 EC 농도는 평균 $10.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 배송(차량내부 지역시료)까지 포함한 전체 8시간의 농도는 평균 $2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났던 것을 감안하면, 적재 및 집하 까지 포함한다면 본 연구에서 나타난 결과보다 더 높은 농도의 DEE에 노출될 수도 있다. 택배원 개인의 배송습관(예를 들면 시동을 끄지 않은 상태로 배송)이나 운전방식 등의 차이가 존재할 수 있다. 연구 결과 도로교통량 및 디젤엔진 차량의 비율에 따라 DEE 노출수준이 달라질 수 있지만 이것은 개인이나 사업장 수준에서 관리할 수 있는 부분이 아니다. DEE 노출뿐만 아니라 환경오염인자인 미세먼지 및 기타 대기오염물질도 택배원의 건강에 큰 영향을 줄 수 있지만 본 연구에서 조사되지는 않았다.

그럼에도 불구하고 국내에서 처음으로 택배원들의 DEE 노출을 평가했다는 점에서 연구의 의의가 크다고 할 수 있다. DEE가 아닌 다른 대기오염물질인 초미세먼지와 NO_2 를 택배원들을 대상으로 평가한 것은 국외에서도 그 예를 찾기 힘들다. 또한 작업위치를 GPS 장비로 추적하여 도심과 주택가를 구분하여 측정하는 것은 국외에서도 사례를 찾아보기 힘든 노출 평가 방법이었다.

V. 결 론

본 연구는 택배서비스업 종사자 중 택배원의 DEE 노출을 평가하기 위해 DEE 노출지표 중 입자상 물질과 가스상 물질의 대표로 BC와 NO_2 의 노출수준과 노출특성을 조사하였다. 노출특성으로는 요일(배달량), 배달차량 연식, 배달지역, 도로변과 주택가 여부를 조사하였다. 택배원의 BC 노출수준은 배달차량 연식과 도로변 여부가 통계적으로 유의한 차이를 보였다. NO_2 의 노출수준은 실시간 측정이 아니라 도로변 여부를 조사할 수 없었으며, 나머지 노출특성 중에는 배달차량 연식에 따라 유의한 노출 차이가 나타났다. BC의 개인노출 농도는 초미세먼지 개인노출 농도보다는 활동지역의 대기 중 초미세먼지와 더 큰 상관성을 보였다. 이상의 연구 결과를 종합해 보면,

택배원의 DEE 노출수준은 배송차량의 연식에 영향을 받지만 도로변을 운행하거나 도로변에서 배송 업무를 수행할 때 주변 차량에서 배출되는 DEE의 영향도 많이 받는 것으로 보인다.

References

- ACGIH T. Threshold limit values and biological exposure indices for 1995-1996. In Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists 1995.
- ACGIH T. Threshold limit values and biological exposure indices for 2001-2002. In Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists 2001.
- AethLabs. 2015. MicroAeth® model AE51 operating manual. <http://aethlabs.com/microaeth/tech-specs> [accessed June 28, 2015].
- California OEHHA. 1998. Health Risk Assessment for Diesel Exhaust: Proposed identification of diesel exhaust as a toxic air contaminant. Sacramento, CA: California Environmental Protection Agency Office of Environmental Health Hazard Assessment, Air Resources Board. <https://www.arb.ca.gov/toxics/dieseltac/de-fnds.htm> [accessed April 1, 2017].
- Choi S, Park D, Kim SW, Ha K, Jung H, Yi G, Koh DH, Park D, Sun O, Uuksulainen S. 2016. Estimates of the number of workers exposed to diesel engine exhaust in South Korea from 1993 to 2013. *Safety and Health at Work*. 7(4):372-80.
- Davis ME, Smith TJ, Laden F, Hart JE, Blicharz AP, Reaser P, Garshick E. 2007. Driver exposure to combustion particles in the U.S. trucking industry. *J Occup Environ Hyg* 4: 848-854.
- Groves J, Cain JR. 2000. A survey of exposure to diesel engine exhaust emission in the workplace. *Ann Occup Hyg* 44: 435-447.
- Hong ST. 2002. A study on the method of efficiency of courier service industry in Korea. *Bulletins of Business Education* 1: 131-153.
- International Agency for Research on Cancer. 2012. Press release No.213, IARC Diesel engine exhaust carcinogenic. http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213_E.pdf [accessed April 1, 2015].
- Jeong JY. 2008. Bus driver exposure assessment of particulate matter and gases. Youngin University, *Bulletins of Natural Sciences*. 13(1): 125-133.
- Kim BW, Song DW. 2013. Comparison of diesel exhaust

- particle concentration between large above-underground parking Lots. *J Korean Soc Occup Environ Hyg*. 23(4): 323-332.
- Kim SI, Park JY, Lee KM, Kim SW. 2016. A study on exposure indices for diesel engine exhaust in forklift operating areas. 26(1): 38-47.
- Lee GH, Kim SW. 2017. Exposure assessment of particulate matter among door-to-door deliverers using GPS devices. 27(1): 13-22.
- Lee KH, Jung HJ, Park DU, Ryu SH, Kim BW et al. 2015. Occupational exposure to diesel particulate matter in municipal household waste workers. *PLoS ONE* 10: e0135229. doi:10.1371/journal.pone.0135229.
- Lee MB. 2013. A study on the improvement and development plan for small package door to door services. *Korea Logistics Review*. 23(5): 263-295.
- Lee N, Yi G. 2016. Exposure assessment to asbestos and diesel engine exhaust particulate matter in urban bus garage. 26(2): 219-224.
- Lewné M, Plato N, Gustavsson P. 2007. Exposure to particles, elemental carbon and nitrogen dioxide in workers exposed to motor engine. *Ann Occup Hyg* 51: 693-701.
- Lyamani H, Olmo FJ, Alados-Arboledas L. 2010. Physical and optical properties of aerosols over an urban location in Spain: seasonal and diurnal variability. *Atmos Chem Phys* 45: 6423-6432.
- Lyamani H, Olmo FJ, Foyo I, Alados-Arboledas L. 2011. Black carbon aerosols over an urban area in south-eastern Spain: changes detected after the 2008 economic crisis. *Atmos Environ* 45: 6423-6432.
- MSHA (Mine Safety and Health Administration). 2014. Title 30 Mineral Resources. p. 370. <http://arlweb.msha.gov/regs/30cfr/> [accessed April 1, 2017].
- NSW (New South Whales) Department Primary Industries (2008) Guideline for the Management of Diesel Engine Pollutants in Underground Environments -MDG-29 Mine safety Operations Division, April 2008.
- OSH Wiki. 2016. Workplace Exposure To Dusts And Aerosols - Diesel Exhaust : https://oshwiki.eu/wiki/Workplace_exposure_to_dusts_and_aerosols_-_diesel_exhaust#Occupational_exposure_limit_values [accessed April 1, 2017].
- Park DW, Kim SW, Kim W, Bae HJ, Yoon CS et al. 2014. Study on the estimation of industrial sectors and populations exposed to diesel engine exhaust. Korea Occupational Safety and Health Agency. OSHRI Report No. 2014-OSHRI-793.
- Pronk A, Coble J, Stewart PA. 2009. Occupational exposure to diesel engine exhaust: a literature review. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 19: 443-457.
- Riediker M, Williams R, Devlin R, Griggs T, Bromberg P. 2003. Exposure to particulate matter, volatile organic compounds, and other air pollutant inside patrol cars. *Environ Sci Technol* 37: 2084-2093.
- Ris C. 2007. U.S. EPA health assessment for diesel engine exhaust: a review. *Inhal Toxicol* 19: 229-239.
- Suva. 2014. Grenzwerte am Arbeitsplatz: MAK-/BAT-Werte (Erläuterungen), physikalische Einwirkungen, physische Belastungen. 2014.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2002. Health assessment document for diesel engine exhaust. Washington, DC: U.S. EPA, EPA/600/8-90/057F.
- Wheatley AD, Sadhra S. 2004. Occupational exposure to diesel exhaust fumes. *Ann Occup Hyg* 48(4):369-376.
- Yoo JD, Han CH. 2009. The application of the industrial accident compensation insurance for person in special types of employment - focused on shippers of 1 ton car. *The Journal of Korean Association of Social Security Law*. 12: 39-79.
- Zagury E, Moullec YL, Momas I. 2000. Exposure of paris taxi drivers to automobile air pollutants within their vehicles. *Occup Environ Med* 57: 406-410.