

GPS를 이용한 택배서비스업 근로자의 미세먼지 노출 평가

이가현 · 김승원*

계명대학교 공중보건학전공

Exposure Assessment of Particulate Matter among Door-to-door Deliverers Using GPS Devices

Ga Hyun Lee · Seung Won Kim*

¹Department of Public Health, Keimyung University

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study was to evaluate the exposure levels of door-to-door deliverers to fine particulate matter (PM_{2.5}). Another objective was to confirm the general working patterns of door-to-door deliverers via survey.

Methods: In the city of Daegu, ten door-to-door deliverers who wished to join the study were recruited. The general working characteristics of door-to-door deliverers were surveyed using self-reported questionnaires. In the cabin of each car driven by a deliverer, a real-time PM_{2.5} sampler (Sidepak, Model AM510, TSI Inc., MN, USA) and a GPS device (GPS 741, Ascen, Korea) were installed. Each deliverer was monitored for four days per week so that each day could be monitored at least four times.

Results: A total of 40 measurements of PM_{2.5} concentrations were taken during delivery of parcels. The average exposure levels of door-to-door deliverers to PM_{2.5} was 44.62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7-9443 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Exposure levels to PM_{2.5} according to the day of the week and coverage areas were not significantly different ($p>0.05$). Door-to-door deliverers using trucks with older diesel engines manufactured before 2006 had significantly higher exposure levels to PM_{2.5} than in the case of trucks with diesel engines manufactured after 2006 ($p<0.05$). Many of the door-to-door deliverers reported the status of having windows open during the delivery task. During delivery services, the working hours spent in residential areas were higher than on roadsides, but exposure levels to PM_{2.5} in residential areas and on roadsides were 46.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 49.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. Real-time PM_{2.5} exposure levels were significantly different between roadways and residential areas ($p<0.001$).

Conclusions: PM_{2.5} exposure levels of door-to-door deliverers were found to be affected by higher vehicle emissions from the roadsides near their vehicle during deliveries and while driving to other locations compared to by PM_{2.5} from the diesel engines of their own trucks. Particle concentrations from roadsides and emissions from nearby vehicles through open windows were the main source of PM_{2.5}.

Key words: door-to-door deliverer, GPS, PM_{2.5}

I. 서 론

택배서비스업은 소형 및 소량화물을 문 앞에서 문 앞까지 운송하는 시스템으로, 물품의 집하, 포장, 운송, 배송에 이르는 포괄적인 서비스를 제공한다(Yu et al., 2012). 택배서비스업은 운송수단에 따라 화물

운송(트럭, 철도, 고속버스 운송), 일반택배(소형화물트럭), 퀵서비스(오토바이), 매트로서비스(대중교통 및 도보)등으로 분류된다(Hong, 2002). 택배서비스업은 전자상거래 및 홈쇼핑의 활성화로 매년 10%씩 급성장하고 있으며, 전체 육상화물운송산업 중 택배서비스업 종사자는 2010년도 기준 약 3.5 만 명

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

Department of Industrial Health, Baekeun-Gwan, #B50, Department of Public Health, Keimyung University, 1095 Dalgubeol-Daero, Dalseo-Gu, Daegu 42601

Received: March 6, 2017, Revised: March 20, 2017, Accepted: March 21, 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.

(11%)이다. 2011년 기준으로 4개 대기업체와 중소기업체를 포함하여 약 17개 업체가 택배서비스업을 운영 중이다(Lee, 2013).

택배서비스업 근로자에 포함되어 있는 택배원은 담당 배송지역으로 화물을 운송하는 배송업무와 담당 배송지역에서 타 지역으로 배송될 화물을 수거하여 택배 영업소에 입고시키는 집하업무를 수행하며, 하나 이상의 배송지역을 담당한다(Yoon & Han, 2009). 택배원은 1톤 디젤엔진 소형화물트럭을 사용하여 배송업무를 수행하며, 배송업무 시 차량에서 하차 후 차량 뒤편에서 배송화물을 꺼내 배송한다. 택배원은 대기유래 미세먼지만이 아니라 차량에서 배출되는 배기가스와 주변차량에서 배출되는 배기가스에 지속적으로 노출될 가능성이 높다.

택배원이 노출되는 미세먼지의 주 발생원 중 하나는 차량에서 나오는 디젤엔진배출물(diesel engine exhaust, DEE)이다. 디젤 엔진은 광업, 건설업 등에서는 비도로용 디젤 엔진 장비가 주로 사용되고, 일반도로 및 운송업에서는 도로용 디젤엔진차량이 사용되고 있다. 도로용 및 비도로용 디젤엔진 장비는 디젤엔진배출물질의 발생원이다(U.S. EPA 2002; Pronk et al. 2009). 직업적으로 디젤엔진 장비를 사용하는 근로자는 일반인보다 DEE에 더 높은 농도로 노출된다. 서비스업에서는 제품운송, 주차 등의 과정에서 인근 근로자와 일반인들이 DEE에 노출될 가능성이 높다. 대기 중 DEE의 노출수준은 도심지가 도심외곽지역보다 더 높으며, DEE 농도는 디젤엔진 장비의 유형 및 수에 따라 변화한다(Ris, 2007). DEE는 디젤연료와 윤활유 등에서 완전히 연소되지 않은 수백 종의 가스상 물질과 입자상 물질(diesel particulate matter, DPM)의 혼합물이다(Groves & Cain 2000). DPM은 원소탄소(elemental carbon, EC), 황산염, 질산염 등이 포함되며, 가스상 물질은 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x), 황산화물(SO_x), 탄화수소류 중 알데하이드(aldehyde), 벤젠(benzene) 등이 포함된다(Lewné et al., 2007). DPM의 대부분이 초미세먼지(PM_{2.5})의 형태로, 평균 공기역학적 직경이 약 0.2 μm이다. 공기 중 DPM의 지표로 사용되는 EC와 블랙카본(black carbon, BC)은 분석방법에 따른 분류인데, EC는 여과지법으로 탄소성분을 분석하는 방법이며, BC는 aethalometer에 의한 실시간 탄소성분을 측정하는 방법으로 농도가 측정된다. 가스상 물질인 이산화

질소(NO₂)는 디젤엔진이 가솔린 엔진에 비해 배출량이 높기 때문에, DEE의 가스상 물질 측정에 사용된다. 따라서 공기 중 DEE의 발생 및 노출수준 추정이 가능한 대리인자는 PM_{2.5}, EC, BC 및 NO₂로 알려져 있다(Ris, 2007).

DEE는 2012년 6월 세계보건기구(World Health Organization, WHO) 산하 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서 1급 발암인자(Group 1)로 폐암을 유발하는 확실한 물질로 분류되었으며, 방광암을 유발하는 발암 의심물질(Group 2B)로 분류되어 있다(IARC, 2012). DEE에 장기 노출될 경우, 눈과 기관지 자극, 기침, 호흡곤란 등을 유발하며, 20년 이상 노출될 경우 폐암을 일으킬 위험이 있다(Ris, 2007). DEE 노출기준은 2001년 미국 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서 사전 고시하였고, 2003년 철회한 20 μg/m³(EC 기준)이 현재까지 가장 낮은 작업장 DEE 노출기준이었다. 우리나라에는 DEE에 대한 작업장 노출기준(8hr-TWA)이 규정되어 있지 않다.

국내 자동차 타이어 공장의 디젤 지게차 배출물질에 노출되어 폐암이 걸린 근로자가 처음으로 산업재해 승인을 받은 이래로, DEE는 덤프트럭 운전사와 굴삭기 운전사에서의 폐암, 도심지 디젤차량 운전사에서의 방광암을 유발하는 주요 원인으로 산업재해를 인정받은 바가 있다. 버스운전자, 도로 청소부 및 환경미화원, 상가주차장 근로자에 대한 업무관련성 조사를 진행 중이며, 디젤엔진을 사용하는 중장비 및 여러 산업에 걸쳐 노출평가 연구가 진행되고 있다(Jeong, 2008; Kim & Song, 2013; Lee et al., 2015).

가솔린 엔진 또는 LPG 엔진 등의 연소배출원에서 디젤엔진과 유사한 성분을 배출할 수 있으며, 디젤엔진은 가솔린엔진에 비해 CO, CO₂, PAHs의 배출농도는 낮고, NO_x 및 입자상물질(particulate matter, PM)의 배출농도는 높다(Ono-ogasawara and Smith, 2004). 따라서 가스상 및 입자상 물질의 혼합물인 DEE의 공기 중 농도를 측정하는 것은 쉽지 않다. 국내 작업환경측정에서 DEE에 대한 노출평가 및 노출평가방법이 제정되지 않았으며(Bae & Park, 2012), 근로자를 대상으로 DEE 모니터링 및 작업환경측정평가가 이루어지지 않았다(Park et al., 2014). 본 연

구에서는 택배서비스업 근로자 중 택배원을 대상으로 DEE 입자상 물질 중 초미세먼지(PM2.5)의 노출 수준과 노출특성에 미치는 인자를 평가하고, 향후 작업환경측정 시 활용 가능한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

대구시 소재 택배사업소 1곳을 대상으로 택배트럭을 운전하는 택배원의 초미세먼지(PM2.5) 노출평가를 실시하였다. 택배원의 초미세먼지 노출에 대한 기초자료 수집을 위해 본 연구의 전반적인 설명 후 택배원 30명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 이 중 개인노출측정에 동의한 택배원 10명에 대해 동의서를 작성하고, 배송업무 동안 초미세먼지의 개인노출 측정을 실시하였다. 본 연구는 계명대학교 생명윤리심의위원회의 승인을 얻어 수행되었다(승인번호: 40525-201507-HR-54-01).

2. 설문조사

본 연구는 택배원을 대상으로 초미세먼지 노출평가에 대한 기초자료를 수집하기 위해 설문조사를 수행하였다. 설문지에 포함된 항목은 다음의 Table 1과 같다. 설문지의 문항은 근무형태 6문항, 근무특성 3문항, 차량정보 2문항으로 총 11문항으로 구성되었다. 근무형태 중 근무지역은 다중선택문항이며, 근무특성 중 배송요일별 물량은 순위작성문항이다.

3. 측정방법

2015년 7월부터 9월까지 개인노출측정에 동의한 택배원 10명을 대상으로 근무요일 중 배송물량이 많은 요일과 적은 요일을 포함하여 총 4회 동안 측정을 수행하였다. 측정시간은 택배원의 근무시간인 오전 11시부터 오후 7시(8시간)이며, 1일 전체 배송업무시간 동안 DEE 대리인자인 초미세먼지의 개인시

료 채취 및 연속적으로 측정을 수행하도록 하였다. 택배원 마다 배송업무 시작시간 및 종료시간이 상이하므로, 일별 택배원의 배송시간에 맞춰 측정을 진행하였다.

개인노출측정 방법은 초미세먼지 측정기기가 부착된 조끼를 착용한 상태로 배송업무를 수행하도록 하였다. 측정대상자 10명 중 6명은 흡연자였으며, 흡연자는 측정시간(배송업무시간)동안 흡연시간 기록지를 제공하여 흡연시간을 기록하도록 하였다.

1) 초미세먼지(PM2.5) 측정

실내 및 작업환경의 미세먼지 측정이 가능한 Sidepak (Model AM510, TSI Inc., MN, USA)을 이용하여 실시간으로 PM2.5 농도를 측정하였다. PM2.5 impactor를 통해 공기역학적 직경이 2.5 μm 보다 큰 입자를 제어하였다. 내부 펌프에 의해 유입된 에어로졸에 레이저 빔을 쏘아 산란되는 정도를 광 검출기로 측정하는 원리로, 광선들로부터 입자 질량농도를 산출한다. 측정 가능한 입자크기는 0.1–10 μm 사이이며, 기기 검출한계는 0.001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다(TSI, 2012).

측정위치는 택배원의 호흡기영역(어깨부근)에 고정시켰으며, 1.7 L/min의 유량으로 10초 간격 PM2.5 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 측정하였다. 측정결과는 Sidepak의 전용 소프트웨어에서 데이터를 받아 엑셀시트로 데이터를 변환 후 분석하였다.

2) 위치 정보

GPS(global positioning system) 정보는 시간에 따른 이동객체의 위치변화를 기록한 시공간 데이터로, 이동객체의 이동패턴 파악이 가능하다(Cho et al., 2007). DEE 대리인자 측정과 동시에 GPS 모니터 (GPS 741, Ascen, Korea)를 이용하여 1분 간격으로 택배원의 이동지역에 대한 위치정보(위/경도)를 수집하였다. 위치정보는 GPS 전용 소프트웨어에서 데이터를 받아 엑셀시트로 변환 후 Google 지도에서 분석하였다.

Table 1. Composition of the questionnaire

Classification	Contents of questionnaire	Number of question
Working type	Service period, coverage areas, working hours, smoking status	6
Working characteristic	Driving habits, delivery type	3
Vehicle information	Truck model year, truck weight (ton), diesel particulate filter (DPF)	2

3) 대기 중 초미세먼지 농도

택배원의 DEE 대리인자 중 PM2.5 노출수준과 대기 중 PM2.5 농도 간의 상관관계 분석을 위해, 택배원의 배송업무 시간대의 대구시 인근 도시 대기자동측정망(<http://www.airkorea.or.kr>)에서 관측된 PM2.5 농도를 참고하였다(Air Korea, 2015).

4. 자료처리

GPS 위치자료와 비교하기 위하여 10초 간격으로 측정된 PM2.5 농도를 1분 평균으로 변환하여 분석하였고, 노출특성과 비교하기 위하여 1일 시간가중 평균농도(time-weighted average, TWA)로 변환하여 분석하였다. 그래프 작성은 Excel 2010을 이용하였으며, 측정된 초미세먼지 노출수준의 분포는 Box-Whisker plot으로 나타내었고, 1일 총 근무시간 동안의 노출수준은 실시간 그래프로 나타내었다.

흡연은 PM2.5 농도에 영향을 주는 변수로, 흡연자라고 보고한 택배원의 개인노출 측정 시 기록된 흡연시간을 기준으로 3분의 기록을 제외하였다.

두 집단 간의 차이 비교는 t 분석을, 세 개 이상 집단 간의 차이 비교는 분산분석을 이용하였다.

III. 결 과

1. 택배원의 초미세먼지 노출평가 설문조사

1) 택배원의 근무형태

택배원의 근무형태에 대한 결과는 Table 2와 같았다. 택배원 근무기간은 ‘1-5년’의 응답이 40.0%로 가장 많았으나, 개인노출측정 대상자는 택배업무 경력이 긴 근로자를 위주로 노출평가를 수행하기 위해, 6-15년의 근무기간을 갖는 택배원을 대상으로 하였다. 근무지역은 크게 ‘동구’, ‘수성구’, ‘중구’, ‘경산시’로 구분되며, ‘수성구’가 81.3%로 가장 많았으며, ‘수성구’ 중 ‘범어동’, ‘만촌동’, ‘상동’ 순으로 높은 응답을 보였다. 배송업무시간은 ‘6 시간 이하’가 33.3%로 많았고, ‘10 시간 이상’이 6.7%로 가장 낮았다.

택배원의 흡연특성에 대한 결과는 Table 3과 같다. 흡연유무는 ‘흡연자’가 70%였으며, 흡연자들의 흡연빈도는 ‘11-20 개비’의 응답이 47.6%로 가장 높았으며, 근무 중 차량내부에서의 흡연유무는 흡연자 모두 ‘흡연한다’로 응답하였다.

Table 2. Working types of door-to-door deliverers

Category	Division	Frequency (n=30)	Percent (%)
Job career	1-5 years	12	40.0
	6-10 years	8	26.7
	11-15 years	9	30.0
	> 15 years	1	3.3
Coverage area*	Dong-gu	2	6.3
	Jung-gu	3	9.4
	Suseong-gu	26	81.3
	Gyeongsan	1	3.1
working time	< 6 hr	10	33.3
	7 hr	8	26.7
	8 hr	6	20
	9 hr	4	13.3
	> 10 hr	2	6.7

* Coverage area: multiple responses and there is one missing value.

Table 3. Smoking habits among working type of door-to-door deliverers

Category	Division	Frequency	Percent (%)
Smoking status	smoker	21	70.0
	non-smoker	9	30.0
Frequency of smoking	< 10 cigarettes	7	33.3
	11-20 cigarettes	10	47.6
	> 30 cigarettes	4	19.0

2) 택배원의 근무특성

택배원의 근무특성에 대한 결과는 Table 4와 같다. 택배원의 근무요일 중 배송물량이 가장 많은 요일은 응답자 전원 ‘화요일’로 응답하였고, 그 다음으로 ‘수요일’, ‘목요일’ 순의 응답을 보였으며, ‘월요일’을 배송물량이 가장 적은 요일로 응답하였다.

운전습관 중 창문개방의 빈도는 ‘50% 이상 열어둠’이 83.3%로 가장 많았고, 차량의 시동을 끄고 배송업무를 수행하는 빈도는 ‘60-80% 시동 꺼둠’이 46.7%로 가장 많았다.

차량의 창문을 열고 운행하는 빈도가 더 높지만, 본 연구의 측정시기가 하절기였던 만큼 택배원들이 배송업무를 수행하는 동안 에어컨을 가동하며 차량의 문을 닫고 운전하는 빈도가 더 높은 경향이 있었다. 택배원의 배송지가 주택가일 경우 또는 차량의 이동거리가 매우 짧고 가까운 거리일 경우 차량의 시동을 끄지 않은 채로 배송업무를 수행하였다.

Table 4. Working characteristics of door-to-door deliverers

Category	Division	Frequency (n=30)	Percent (%)
Window status	< 50% open*	5	16.7
	> 50% open	25	83.3
Turning off the vehicle engine during delivery task	< 20%	2	6.7
	20-40%	3	10.0
	40-60%	4	13.3
	60-80%	14	46.7
	> 80%	7	23.3

* Ratio of time that a deliverer kept the car window open during driving

3) 택배원의 차량정보

택배원의 차량정보에 대한 결과는 Table 5와 같다. 화물차량의 연식은 '2010-2015년식'이 56.7%로 가장 많았으며, '2000-2004년식'이 23.3%로 응답했으며, 택배차량의 증량은 모두 1 톤이었다. 디젤엔진배출물질 저감장치(DPF) 부착여부는 '부착하지 않음'이 '93.3%'으로 많았으며, 잘 모른다는 응답도 보였다.

Table 5. Vehicle information of door-to-door deliverers

Category	Division	Frequency (n=30)	Percent (%)
Truck model year	2015-2010 model	17	56.7
	2009-2005 model	5	16.7
	2004-2000 model	7	23.3
	before 2000 model	1	3.3
Diesel particulate filter (DPF)*	installed	2	6.9
	not installed	27	93.1

* There is one missing value.

2. 택배원의 초미세먼지 노출수준

본 연구에서 택배원 10명을 대상으로 총 4회씩 측정된 초미세먼지 노출수준은 다음 Table 6과 같다. 택배원의 PM2.5 평균노출수준은 44.62±2.44 µg/m³이었다. 택배원 중 B, D, H, I를 제외한 나머지는 흡연자였으며, PM2.5의 노출수준은 흡연자가 비흡연자보다 높았다.

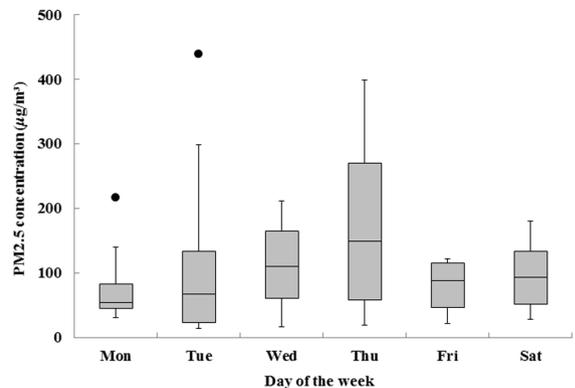
1) 배송요일별 초미세먼지 노출수준

배송요일에 따른 택배원의 PM2.5 노출수준은 Figure 1과 같았다. 설문응답결과 배송물량이 가장 많은 요일인 '화요일'의 PM2.5 노출수준은 64.97 µg/m³, 가장 적은 요일인 '월요일'의 노출수준은 64.75 µg/m³으로 차이를 보이지 않았다. '목요일'의 경우 105.6 µg/m³으로

Table 6. Summary results for the exposure levels of PM2.5 by the door-to-door deliverers

Person	Sampling date	PM2.5* (µg/m ³)		
		N	GM (GSD)	Range
A	07/17 - 07/21	4	72.97(3.10)	8-9194
B	07/17 - 07/21	4	37.83(1.70)	12-171
C	07/22 - 08/03	4	69.74(1.83)	29-3296
D	07/22 - 08/03	4	41.25(1.43)	14-538
E	08/05 - 08/10	4	53.55(1.66)	22-8149
F	08/05 - 08/10	4	49.67(2.40)	9-5124
G	08/11 - 08/22	4	61.59(2.45)	17-9443
H	08/11 - 08/22	4	47.89(1.83)	17-310
I	09/14 - 09/17	4	18.71(1.58)	7-214
J	09/14 - 09/17	4	59.15(4.19)	6-6589
Total samples		40	44.62(2.44)	7-9443

* The geometric means of PM2.5 were presented by integrated concentration.

**Figure 1.** Box-Whisker plot for PM2.5 concentration by day of the week of door-to-door deliverers. Values represent the distribution of PM2.5 concentrations by day of the week.

가장 높은 노출수준을 보였지만, 배송요일에 따른 PM2.5 농도는 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05).

2) 차량연식별 초미세먼지 노출수준

차량연식에 따른 택배원의 PM2.5 노출수준은 Figure 2와 같았다. 택배원의 배송업무에 사용되는 차량 중 '2006년식'이 216.27 µg/m³으로 가장 높은 PM2.5 노출수준을 보였으며, 2006년식 이후 차량 중 낮은 노출수준은 '2012년식'이 42.41 µg/m³이며, 유의한 차이를 보였다(p<0.01). '2004년식'이 40.04 µg/m³으로 가장 낮은 농도를 보였으며, 차량연식별 PM2.5 노출수준은 유의한 차이를 보였다(p<0.01).

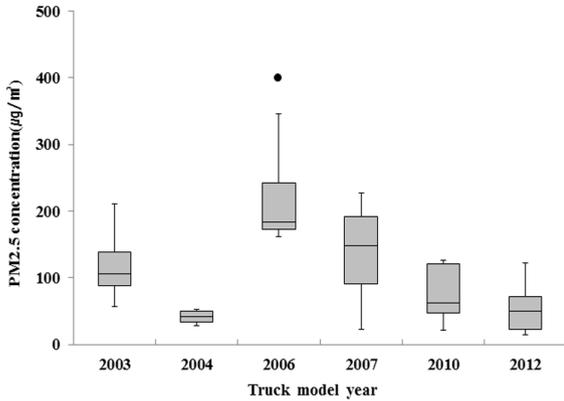


Figure 2. Box-Whisker plot for PM2.5 concentration by truck model year of door-to-door deliverers. Values represent the distribution of PM2.5 concentrations by truck model year.

2006년부터 국내 디젤엔진차량에 디젤엔진배출물질저감필터(DPF)의 설치가 의무화 되었지만, 본 측정대상자들은 DPF에 대한 인지도는 매우 낮았다. 연식에 따른 DEE 중 입자상 물질인 PM2.5의 노출수준은 ‘2006년 식’이 가장 높은 노출수준을 보이며, 차량연식별 노출수준은 유의한 차이를 보였다($p < 0.01$, $p < 0.05$).

3) 배송지역별 초미세먼지 노출수준

택배원의 담당 배송지역은 주로 대구시 수성구, 중구, 동구 및 경산시 였으며, 설문조사 결과 배송지역 중 가장 많은 응답을 보인 수성구 중 4개 동에서 측정된 초미세먼지의 노출수준은 Figure 3과 같았다. 배송

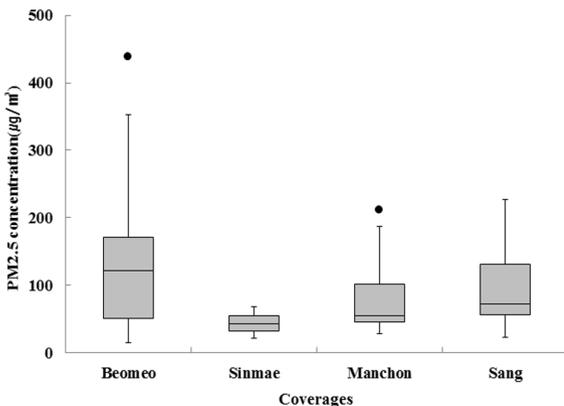


Figure 3. Box-Whisker plot for PM2.5 concentration by coverage areas of door-to-door deliverers. Values represent the distribution of PM2.5 concentrations by coverage areas.

지역 중 ‘범어동’의 PM2.5 노출수준은 $89.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 농도이며, ‘신매동’의 노출수준은 $40.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 지역에 비해 가장 낮았지만, 배송지역별 PM2.5 노출수준은 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p > 0.05$). 담당 배송지역 인근에 공단 및 사업장은 없었으며, 대부분 주택가 인근에서 배송업무를 수행하였다. 초미세먼지 노출수준은 배송지역별 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

4) GPS 장소별 초미세먼지 노출수준

Google 지도에 표시된 택배원의 배송경로를 나타낸 GPS 데이터는 Figure 4와 같다. 택배원의 배송근무시작지점인 택배터미널에서 택배원의 배송담당지역에서 배송업무 마감까지의 위치를 구분하였다.

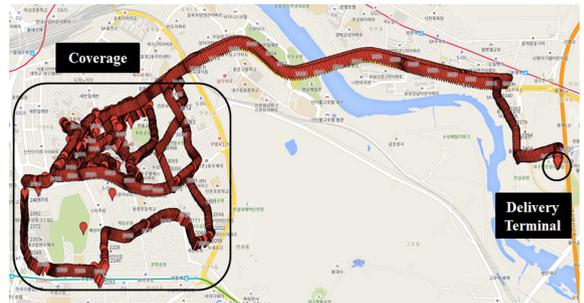


Figure 4. Example of delivery route of door-to-door deliverer. Coverage area of the door-to-door deliverer was Beomeo-dong and Manchon-dong. GPS data was divided into residence area and roadside area.

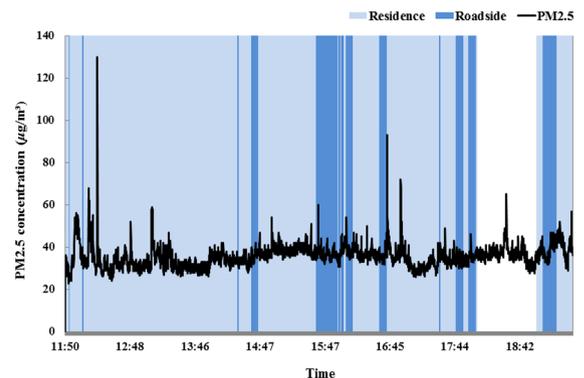


Figure 5. Real-time PM2.5 concentration by delivery working of door-to-door deliverer (deliverer B, Monday). Values represent the real-time PM2.5 concentration of 10 seconds interval measurement. Location was classified by GPS data (residence and roadside).

Table 7. Exposure levels of PM2.5 concentration by location (residence and roadside)

Person	PM2.5 concentration [†] (µg/m ³)						P [‡] value
	Residence			Roadside			
	N	GM (GSD)	Range	N	GM (GSD)	Range	
A	4	66.81(3.04)	8-9194	4	85.78(3.17)	15-5172	0.000***
B	3	44.67(1.43)	23-171	3	60.82(1.40)	27-154	0.000***
C	4	61.81(1.83)	130-2873	4	93.80(1.65)	132-2063	0.000***
D	4	41.03(1.44)	14-242	4	45.77(1.35)	16-538	0.000***
E	4	52.81(1.60)	22-8149	4	56.39(1.88)	23-6811	0.013*
F	3	48.54(2.67)	9-5124	3	89.43(3.66)	16-4760	0.000***
G	3	98.88(2.10)	57-9443	3	77.04(2.09)	28-3446	0.000***
H	3	43.82(1.86)	17-239	3	41.89(1.94)	17-227	0.003**
I	3	14.94(1.43)	7-159	3	17.47(1.43)	7-184	0.000***
J	4	53.64(4.01)	8-6376	4	51.29(3.62)	6-5825	0.093
Total	35	46.17(2.41)		35	49.90(2.66)		0.000***

[†] The geometric means of PM2.5 were presented by 10 seconds interval PM2.5 concentration.

[‡] Statistically significant differences ($p < 0.05$, $**p < 0.01$, $***p < 0.001$) in PM2.5 concentrations between residence and roadside area were determined by student's t-test.

택배원의 배송업무 중 배송위치를 도로변과 주택가로 구분한 PM2.5 노출수준은 Table 7과 같다. 택배원 G, H, J를 제외한 나머지 택배원은 도로변의 PM2.5 노출수준이 주택가의 PM2.5 노출수준보다 높았으며, 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). 전체 택배원의 주택가 PM2.5 노출수준은 $46.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 도로변 PM2.5 노출수준 $49.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮았으며, 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$). 택배원의 배송업무 중 도로변과 주택가를 구분하여 나타난 실시간 PM2.5 노출수준은 Figure 5처럼 예시될 수 있다.

IV. 고 찰

DEE는 디젤 엔진 장비의 사용 시 불완전연소로 배출되는 입자상 및 가스상 물질의 혼합물이며, 도로용 디젤엔진장비의 DEE는 초미세먼지(PM2.5)의 형태로 입자의 공기역학적 직경이 $2.5 \mu\text{m}$ 보다 작다. 폐포와 같은 호흡기 하부에 쉽게 침착하며 호흡기 질환 및 장기간 노출될 경우 폐암을 유발하는 물질이다. 현재 DEE에 대한 노출평가방법과 국내외 DEE 노출기준은 규정되어 있지 않다. DEE 중 DPM은 주로 불완전 연소 시 발생하는 유기화합물인 EC 등으로 구성되어 있다(Lewné et al., 2007). 현재까지 DEE의 노출수준 측정 및 평가방법은 제정되어 있지 않지만,

DPM 중 EC는 미국국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) 5040분석법이 개발됨에 따라, 대표적인 DPM 노출평가 지표로 사용되고 있다. 또한, DEE의 대리인자로 PM, NO₂, PAHs 등이 정성적 노출지표로 사용되고 있다(Zagury et al., 2000; Riediker et al., 2003).

디젤엔진 소형화물차량을 사용하여 배송업무를 수행하는 택배원은 배송업무 중 배송차량에서 배출되는 DEE와 차량이동 시 도로의 인근 차량에서 배출되는 차량배출물질에 노출될 가능성이 높지만, 업무 중 택배원이 노출될 수 있는 DEE에 대한 연구는 드물다. 본 연구에서 대구시 1개구 택배영업소에 근무하는 택배원을 대상으로 DEE 노출에 대한 설문조사를 수행하였고, 이 중 10명을 대상으로 DEE 개인노출측정을 수행하였다. DEE의 대리인자인 PM2.5, BC, NO₂ 노출평가를 실시하였다. 택배원의 DEE 및 차량배출물질에 대한 노출평가사례는 거의 없기 때문에, 본 연구결과를 직접적으로 비교하기는 어렵지만, 국외 택배원과 유사한 운수업근로자인 차량운전자를 대상으로 한 노출평가와 비교하였다.

Lewné et al.(2007)은 도심지에서 운행하는 버스 및 택시 운전자를 대상으로 측정한 차량배출물질 중 초미세먼지의 노출수준은 버스운전자 $15.7 \pm 1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 택시운전자 $17.3 \pm 1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 보였다. 측정대

상 차량의 이동경로는 버스운전자의 경우 주로 도심지와 도심외곽지역을 이동하고, 택시운전자는 도심지에서 근무하며, 측정대상자 1명을 제외하고 나머지는 모두 디젤엔진차량을 사용하였다. 택배원은 주로 도로변과 주택가를 이동하면서 DEE에 노출되었으며, 노출수준은 주택가가 도로변보다 머무른 시간이 약 4배 많았지만, 도로변에서의 노출수준이 높게 나타났다. 이는 이동 시 다른 차량에서 배출되는 배출물질에 영향을 받아 농도가 변화한 것으로 생각된다.

Lee et al.(2015)은 환경미화원 및 쓰레기차량 운전수를 대상으로 근무시간 동안 측정된 DPM의 대리인자인 EC, BC, 초미세먼지의 노출을 측정하였다. 이 중 시간간으로 측정된 초미세먼지의 노출수준은 $9.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($6.0 - 19.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이었다. Park et al.(2014)은 생활폐기물 수거원 및 운전수에 대한 DEE의 대리인자인 초미세먼지, BC, 이산화질소의 노출을 측정하였다. 초미세먼지 노출수준은 수거원 $64.99 \pm 24.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 운전수 $63.88 \pm 29.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 유사한 노출수준을 보였다. 택배원은 차량운전 및 배송업무를 동시에 수행하므로, 생활폐기물 수거원과 운전수보다 노출되는 농도가 낮다. 택배원의 노출수준 보다 PM_{2.5} 약 1.4배($44.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 높은 결과를 보였으며, 이는 생활폐기물 수거원의 경우, 차량 배기가가 부착된 차량후면에서 업무를 수행하기 때문에, 운전 및 배송업무를 빈도가 높은 택배원보다 초미세먼지 노출량이 높기 때문인 것으로 생각된다.

Davis et al.(2007)은 미국 배송차량 운전자를 대상으로 PM_{2.5} 농도를 측정된 결과, 비흡연자의 PM_{2.5} 농도는 $36.5 \pm 2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 흡연자의 PM_{2.5} 농도는 $116.2 \pm 1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 흡연은 PM_{2.5} 농도에 영향을 주며, 측정대상자인 택배원 중 흡연자는 비흡연자 보다 PM_{2.5} 농도가 약 2배 높았으며, 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

차량의 창문을 열고 운전할 경우 PM_{2.5} 농도는 $17.2 \pm 1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 차량의 창문을 닫고 운전할 경우의 PM_{2.5} 농도 $15.3 \pm 1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높았으며, 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 주행 중 창문을 통해 도로의 다른 차량 배출물이 유입되어 입자상물질의 농도가 증가하는 경향을 보였다. 본 연구측정기간은 하절기로 택배원이 창문을 닫고 에어컨을 켜 채로 운전하는 경우가 많아 도로변 다른 차량에 의한 노출수준이 비교적 낮았다고 생각된다. Figure 5 등에서 보이는

피크는 운전 중 창문이 개방된 상태에서 주위에 대형트럭 등의 고농도 오염원이 존재하는 경우나 배달 중 엔진을 켜둔 채로 택배트럭 뒤에서 택배물을 내리는 경우에 나타나는 현상이라고 추정된다.

Lyamani et al.(2011)은 스페인의 도심지에서 3년간 BC 농도를 측정된 결과, 계절적으로 겨울(12-2월)이 $4.4 \pm 1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 BC 농도를 보였으며, 여름(6-8월)이 $2.0 \pm 0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮은 BC 농도를 보였다. 또한 BC에 의한 건강영향도 여름보다 겨울이 더 높다고 보고되었다. 이는 기상학 및 BC 발생비율의 변화에 의한 것이며, 다른 도심지에서도 동일하게 BC 농도의 계절적 변동이 보고되었다. Lyamani et al.(2010)은 겨울의 BC 농도가 더 높은 이유는 가정용 난방기구 사용증가 등의 인위적인 활동에 따른 결과로 나타났다. 본 연구는 하절기에 측정된 BC 농도 $2.2 \pm 2.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 Lyamani et al.(2011)의 하절기 BC 노출수준과 유사하며, 동절기에 비해 비교적 낮은 농도로 생각된다. 또한 요일별 BC 노출수준은 주중(월요일-금요일)이 주말보다 더 높은 농도를 보였는데, 이는 주중에 차량 유동이 증가하였기 때문이라고 보고하였다.

Park et al.(2001)은 운수업근로자를 대상으로 유해요인 노출실태를 조사한 결과, 일정한 오염물질 농도를 유지하는 작업장 내에서 근무하는 형태와 달리, 택시 및 버스운전자의 경우, 도로에서 계절 및 대기조건(온도, 습도, 풍속 등)에 따른 대기 중 오염물질 농도의 변동이 크고, 다른 차량에서 배출되는 오염물질의 양에 따라 노출되는 수준이 다르다고 보고하였다.

택배원은 먼지, 차량 배출물질, 질소산화물 등의 화학적 인자에 노출되어 호흡기 질환, 심혈관계 질환이 유발될 가능성이 높으며, 국내 DEE 노출실태와 건강영향에 대한 연구가 매우 부족한 실정이다. DEE는 석면, 벤젠과 동일한 수준의 발암물질로 국민건강보호차원에서 DEE 관리에 노력을 기울여야 하며, 대기 중 DEE 농도를 고려한 대기오염물질 농도설정 및 모니터링이 필요하다(Bae & Park, 2012). 더불어 Kim & Song(2013)은 다양한 환경에서 DEE에 노출될 수 있으므로, 디젤엔진의 비도로용 및 도로용 장비를 사용하는 산업과 직무에 따른 DEE 노출실태를 파악하고, 과거 노출수준의 추정과 향후 건강관리의 필요성을 언급하였다.

본 연구에 포함된 택배업체는 한 도시에 국한되어 있고, 채취된 개인시료 수도 적어 이번 조사에서 얻어진 개인노출 측정치를 국내 전체 택배서비스업 중 택배원의 노출량으로 추정하는 것은 한계가 있다. 택배원의 업무시간은 적재 및 배송, 집하 업무를 포함하여 15시간 이상이며, 작업특성상 개인시료를 채취함에 많은 어려움이 있었다. 또한, 도시나 지역에 따라 택배원의 배송패턴, 운전방식 등의 차이가 존재하며 요일 별 인근 도로교통량 및 환경요인에 따른 개인노출수준도 달라질 수 있다. 따라서 국내 다양한 지역 및 택배업체로부터 환경요인과 모든 근무요일을 포함하여 추가적인 노출평가가 필요하다.

V. 결 론

본 연구는 택배서비스업 근로자 중 택배원의 초미세먼지 노출평가에 대한 기초자료를 수집하기 위해 설문조사를 실시하였고, 배송업무 시에 사용되는 소형화물트럭과 이동 시 도로 주변차량에서 배출되는 DEE의 입자상 물질 중 PM_{2.5}의 노출수준과 노출특성에 영향을 미치는 인자를 조사하였다.

택배서비스업 근로자의 배송업무시간은 ‘6시간 이하’의 응답이 많았으며, 흡연자의 경우 차량내부에서 흡연을 한다고 응답하였다. 운전습관 및 배달습관에 차이가 있었으며 디젤엔진배출물질 저감장치(DPF)에 대한 인지도는 매우 낮았다.

택배원의 DEE 노출수준은 입자상물질 지표 및 가스상물질 지표마다 수준차가 있으며, 배달요일과 운전차량의 연식에 어느 정도 영향을 받는 것으로 조사되었다. 배송근무시간 동안 도로변과 주택가의 배송지역에 따른 PM_{2.5} 노출수준은 주택가 배송업무시간이 4배 많았음에도, 도로변의 농도가 더 높았다.

이상의 연구 결과를 종합해 보면, 택배원의 초미세먼지 노출수준은 배송차량에서 배출되는 DEE보다 배송지역 이동 및 도로변에서 배송업무를 수행할 때 인근 차량에서 배출되는 DEE의 영향이 더 높은 것으로 보인다.

References

AethLabs. 2015. MicroAeth® model AE51 operating manual.

- <http://aethlabs.com/microaeth/tech-specs> [accessed June 28, 2015].
- Air Korea. 2015. Daegu Realtime Air Monitoring(PM_{2.5}). <http://www.airkorea.or.kr/realsearch> [searched on 2015-09-20].
- Bae HJ, Park JI. 2012. A Review on Diesel Engine Exhaust and Lung Cancer Risks. *The Journal of Korean Society of Environmental Health* 28(4): 277-290.
- Cho JH Seo IJ, Lee DG, Ha BK. 2007. Pattern analysis of moving object using GPS data. *The Proceeding of 2007 Korea Association of Business Education*. 603-607.
- 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.
- Lee KH, Jung HJ, Park DU, Ryu SH, Kim BW, Ha KC, Kim SW, Yi GY, Yoon CS. 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.
- Lewne 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.
- Ono-ogawara M, Smith TJ. 2004. Diesel exhaust particles in the work environment and their analysis. *Indust Health* 42: 389-399.
- Park DW, Kim SW, Kim W, Bae HJ, Yoon CS, Lee GH, Ha GC. 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.
- Park JS, Kim DS, Lee GH, Jeong JY. 2001. Study on the Actual Condition of Exposure to Hazardous Factors of Transport Workers and Development of Health Management Plan. Korea Occupational Safety and Health Agency. OSHRI Report No. 2002-80-106.
- 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.
- TSI. 2012. Sidepak™ personal aerosol monitor model AM510. http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Manuals/SidePak_AM510_US_1980456-web.pdf [accessed June 29, 2015].
- U.S. Environmental Protection Agency. 2002. Health assessment document for diesel engine exhaust. Washington, DC: U.S. EPA, EPA/600/8-90/057F.
- Yoon 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.
- Yu JD, Choi YJ, Lee IS. 2012. A Study on the Logistics Policy Considering the Cost of Carbon Emission in Parcel Express Industry. *The Korean Management Science Review* 29(2): 157-165.
- 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.