

몽골 울란바토르시 게르촌 주택의 겨울철 실내 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도의 시간적 변이

이보람* · 이지영* · 장예림* · 김윤지* · 하현성* · 이우석** · 최우석* ·
김규성* · 우철운* · Chimedsuren Ochir*** · 이기영*†

*서울대학교 보건대학원 환경보건학과, **서울대학교 의과대학 예방의학 연구실
***Mongolian National University of Medical Sciences

Temporal Variation of Winter Indoor PM_{2.5} Concentrations in Dwellings in Ger Town of Ulaanbaatar, Mongolia

Boram Lee*, Yelim Jang*, Jiyoung Lee*, Yoonjee Kim*, Hunsung Ha*, Wooseok Lee**,
Wooseok Choe*, Kyusung Kim*, Cheolwoon Woo*, Chimedsuren Ochir***, Kiyoung Lee*†

*Department of Environmental Health Science, Graduate School of Public Health, Seoul National University

**College of Medicine, Seoul National University

***Mongolian National University of Medical Sciences, Mongolia

ABSTRACT

Objectives: In Mongolian housing, they use coal as a fuel for indoor heating and cooking. The combustion of coal releases particulate matter, which can affect indoor air quality. The purpose of this study was to analyze the concentrations of indoor PM_{2.5} in winter time dwellings in ger town.

Methods: In this study, indoor PM_{2.5} concentrations, temperature and humidity in houses were measured by a real-time PM monitor, while the time activity patterns of the residents were also observed.

Results: The correlation between factors that may affect the indoor air quality was analyzed. The indoor PM_{2.5} concentrations were 178.4±152.7 µg/m³ (n=37). Five types of indoor PM_{2.5} concentrations have been classified, which were associated with indoor activity. The stove type, fuel types and indoor activities such as cleaning, cooking and opening the stoves were not significantly associated with indoor PM_{2.5} levels.

Conclusions: Further study is needed to determine the effect of stove type through 24 hours of indoor air quality monitoring.

Keywords: indoor air quality, PM_{2.5}, Mongolian residence, coal combustion

I. 서 론

초미세먼지(PM_{2.5})에 의한 대기오염은 전세계적으로 심각한 수준으로, 미세먼지의 흡입은 인체에 각종 부정적인 건강영향을 일으킬 수 있다. 미세먼지는 만성폐쇄성폐질환, 급성 및 만성 호흡기 질환, 폐

암, 심장질환, 뇌졸중 등에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며¹, 심근경색의 발생위험도를 높이고, 농도 증가에 따라 심장질환으로 인한 입원과 사망 위험이 증가한다는 역학 연구결과도 보고되었다^{1,2}. PM_{2.5} 농도가 10 µg/m³ 증가할 경우, 전체 연령 집단의 호흡기계 관련 질환 입원 발생위험이

†Corresponding author: 1 Gwanak-ro Gwanak-gu, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul 151-747, Korea, Tel: +82-2-880-2735, Fax: +82-2-762-2888, E-mail: cleanair@snu.ac.kr

Received: 01 February 2018, Revised: 09 February 2018, Accepted: 20 February 2018

1.06% 증가하였으며, 65세 이상의 경우 입원 발생 위험이 8.84% 증가한다는 보고서도 있다³⁾.

몽골 등 일부 국가에서는 고체 연료의 실내 연소를 통해 난방과 조리를 해결하며, 이로 인한 미세먼지의 실내공기 오염수준이 심각한 실정이다. 화석 연료 중 석탄은 열을 발생시켜 그 열로 에너지를 생산할 수도 있고, 난방에도 사용할 수 있어 몽골과 같은 개발도상국의 경우 인구의 50%가 아직 석탄을 사용하고 있다⁴⁾. 몽골 울란바토르의 가구 조사에 따르면(n=116), 응답자의 87%가 석탄을 사용하고, 그 중 69%는 나무를 같이 사용하였으며, 21%에서 실내 난방에 전기를 주요 에너지원으로 사용한다고 답하였다^{5,6)}.

몽골 울란바토르는 겨울이 매우 추운 도시로 연중 9개월 가량 난방이 필요하며, 게르촌 대부분의 가구가 집집마다 있는 단순 형태의 철제 난로(스토브)를 이용해 난방과 조리를 해결한다. 최근 게르촌에는 전통 게르 외에 다양한 자재를 사용한 주택이 증가하고 있으나, 인프라 부족으로 기존 난방 방식을 고수하는 반면, 난방이 필요한 공간이 넓어지면서 연료 소모량은 증가하였다¹⁰⁾. 울란바토르의 게르지역에서 가장 많이 사용하는 연료는 석탄이지만^{5,11)}, 나무, 가축분뇨 등을 연료로 사용하는 경우도 있다. 난로는 대부분 실내에 있으며 특별한 정화 장치가 없이 집안과 밖에 미세먼지를 배출한다. 겨울철에는 추운 날씨 때문에 환기도 제대로 이루어지지 않아, 주민들은 고농도의 실내 미세먼지에 그대로 노출되고 있다.

몽골 게르의 실내공기 오염에 관한 기존 연구들을 살펴보면, 2005년 몽골 게르(N=58)의 실내공기 중 PM_{2.5}의 24시간 평균 농도는 700±400 µg/m³로 측정되었으며^{5,11)}, 최근 2015년 울란바토르 시 전통 게르를 대상으로 한 기초조사에서는, 8가구에서 실내 PM_{2.5} 산술 평균 농도가 119.7±183.7 µg/m³ (기하평균 60.2 µg/m³, GSD=0.9) 이었으며, 가장 낮은 가구에서 69.4±47.3 µg/m³ (기하평균 55.7 µg/m³, GSD=1.9), 가장 높은 가구에서 202.7±228.8 µg/m³ (기하평균 132.2 µg/m³, GSD=2.5)의 값을 보이는 등 몽골 게르의 실내공기에서 고농도의 PM_{2.5}가 검출되었다⁵⁾.

몽골 울란바토르는 수도로서 약 120만 명이 거주하는 큰 도시이다. 도시 외곽에는 도시빈민층이 거주하는 이른바 ‘게르촌’이 시내 중심에서 버스로 15

분 정도의 거리에 위치한다⁷⁾. 도시에서 마땅한 소득 없이 생활을 유지하면서 도시 외곽에 게르를 짓게 되었고, 그 숫자가 늘어나면서 도시 빈민층 밀집 거주 지역을 형성하였다⁸⁾. 현재 게르촌에는 원형 형태의 전통 게르뿐만 아니라, 직사각형 구조의 신형 목재와 벽돌 및 콘크리트를 혼합하여 사용한 주택도 함께 들어서 있다. 단독 주택 형태의 신형 주택은 주로 느릅나무 같은 목재나, 벽돌 및 콘크리트 등으로 이루어져 있으며, 구조는 옛 소련 식 통나무집처럼 네모진 형태부터 전통 게르와 같은 둥근 움막 형태까지 다양하다⁹⁾.

본 연구는 2015년 전통 게르를 대상으로 한 기초조사에서 더 나아가, 최근 울란바토르 게르촌에서 늘어나고 있는 주택 형태의 겨울철 실내 PM_{2.5} 농도를 시간대별로 측정 및 분석하였으며, 농도 변이의 특성에 따라 농도 그룹을 구별하였다. 또한 관찰 연구와 설문조사를 통하여 실내공기질에 영향을 미칠 것으로 예상되는 요인과의 상관분석을 실시하여, 주택 내 실내공기질에 영향을 주는 요인을 분석하였다.

II. 연구방법

본 연구는 몽골 울란바토르의 게르촌 지역에 위치한, 목재와 벽돌 및 콘크리트의 재료가 혼합된 형태의 주택을 대상으로 하였다(Fig. 1). 측정 대상의 섭외는 몽골 현지 대학 연구원과 보건소 관계자를 통해 측정 및 관찰에 동의한 가구로 정하였다. 측정 기간은 2017년 1월 13일, 14일, 16일, 17일로 4일에 걸쳐 진행되었으며, 측정은 현지 몽골인 연구원과 한국인 연구원이 각각 1명씩 한 팀을 이루어 진행하였다. 팀 당 1일 1가구씩, 4일 동안 10개의 팀이 총 40가구를 방문하였으며, 관찰 조사는 09:00부터 18:00 사이의 시간대에 최소 6시간에서 최대 9시간 정도였다.

주택 형 주거공간에 거주하고 있는 가구를 방문하여 각각의 가구에서 실내 PM_{2.5}의 particle 수 농도, 온도 및 상대습도를 측정하고, PM_{2.5}의 농도에 영향을 줄 수 있는 실내 활동 요인을 관찰 일지에 기록하였다. 거주하고 있는 가족 구성원의 요인 별 시간 활동패턴을 기록하였는데, 기록 내용은 난방 및 조리용 연료 사용 여부, 연료의 종류 및 무게, 불쏘시개 사용 여부, 환기 여부, 실내 흡연 여부, 청소 여부, 양초 사용 여부, 음식 및 음료 섭취 여부 및 중



Fig. 1. Photo information from the household environment measured.

류, 음주 여부, 거주민 외출 및 외부인 방문 여부 등이었다. 해당 거주민에게 동의를 구하거나 피해를 주지 않는 선에서 집안 구조와 스토브의 형태, 섭취 식품과 음료 등의 사진을 찍어 함께 기록하였다.

측정 기기로는 Dylos DC1700 (Dylos Corporation, USA)를 사용하였으며, 지면에서 최소 50 cm 이상 떨어진 곳에, 주택 내 스토브 위치에서 약 1~2 m 떨어진 거리에 설치하였다. PM_{2.5}의 수 농도(#/ft³)를 5분 간격으로 실시간 측정하였으며, 온도와 상대습도는 Onset HOBO Datalogger UX100-003 (Onset Computer Corporation)를 이용하여 1분 간격으로 실시간 측정하였다. 이렇게 측정된 실내공기 중 PM_{2.5}의 수 농도는 질량 농도 변환식을 통하여 질량 농도로 변환되었다(Eq. 1).

$$\text{PM}_{2.5} \text{ mass concentration } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = 1.354 \times \text{Dylos PNC } (\#/ft^3)/10,000 \quad (1)$$

실외 초미세먼지의 농도는 몽골의 미국 영사관 흡

페이지의 공개 자료를 분석에 활용하였다.

SPSS v.24 (IBM Corporation, USA)을 이용하여, 각 가구별 PM_{2.5} 수 농도의 기술 통계량과 온도 및 상대습도의 기술 통계량을 구하였다. 집 내부의 PM_{2.5} 농도를 높일 수 있는 7가지 요인의 관찰 횟수 별 각 주택에서 측정된 실내 일일 평균 PM_{2.5} 농도와와의 관계를 Kruskal-Wallis 검정으로 분석하였다. 7가지의 요인은 난방연료추가, 환기, 실내 흡연, 청소, 조리, 조리연료추가, 불쏘시개의 사용으로 정하였다. 또한 각 주택의 시간대별 실내 PM_{2.5} 농도의 추이를 유형별로 정리하여 분류하였다.

III. 결 과

조사된 40가구의 실내환경 정보는 Table 1과 같았으며, 평균 면적은 46.8±32.7 m², 평균 가족구성원수는 4.9±1.1명 이었다. 가족 구성원 중 만 6세 이하 평균 유아의 수는 1.2±1.1명, 60세 이상의 평균 노

Table 1. Characteristics of the dwellings monitored

Survey factors	Mean values and number of houses
Space (m ² , Mean±SD)	46.8±32.7
Number of family member (Mean±SD)	4.9±1.1
Number of infant (Mean±SD)	1.2±1.0
Number of elderly (Mean±SD)	0.3±0.7
Stove type (Traditional, New)	(29, 11)
Fuel type (coal only, coal and wood)	(33, 07)
Number of adding fuel (Mean±SD)	0.5±50.5
Weight of added coal (g)	6,731.5±3,127.5
Weight of added wood (g)	327.0±759.4
Separated cooking space (Yes, No)	(33, 07)
Gas burner (Yes, No)	(04, 36)
Electronic stove (Yes, No)	(28, 22)
Microwave (Yes, No)	(12, 28)

인 가족 구성원 수는 0.3±0.7명 이었다. 실내에서 사용하는 스토브의 종류는 40가구 중 구형 스토브가 29개, 신형 스토브가 11개 였으며, 사용하는 연료의 종류는 석탄만 사용하는 가구가 33가구, 석탄과 나무를 혼용하는 곳이 7가구였다. 조리 공간이 분리되어 있는 가구는 40 가구 중 33가구, 가스레인지 보유하고 있는 가구는 4가구, 전기인덕션을 보유하고 있는 가구가 28가구, 전자레인지를 보유하고 있는 가구가 12가구였다.

측정 대상인 40가구 중 측정기기의 오류로 결과 값을 구하지 못한 3개의 가구를 제외, 총 37개의 가구가 측정 가구에 포함되었다. 측정된 가구의 전체 평균 PM_{2.5} 농도는 178.4±152.7 µg/m³ 이었다. 농도가 가장 낮았던 가구는 7번 가구로 22.9±16.9 µg/m³ 이었으며, 가장 높았던 가구는 28번 가구로 430.6±230.3 µg/m³ 로 측정되었다. 실내의 PM_{2.5}의 평균 중량 농도는 1월 13일, 14일, 16일, 17일에 각각 124.4±109.1, 174.3±134.4, 296.8±181.1, 157.1±142.7 µg/m³ 이었다. 몽골 울란바토르의 측정 기간 동안 외기의 PM_{2.5}의 평균 중량 농도는 1월 13일, 14일, 16일, 17일에 각각 69.0±36.3, 19.6±18.0, 129.9±101.0, 156.1±81.6 µg/m³ 이었으며, 전체 측정 기간 동안의 평균은 101.0±64.3 µg/m³ 이었다¹³⁾.

측정 가구 전체의 평균 실내 온도가 가장 높았던

가구는 4번 가구로 평균 온도는 25.8±2.5°C였으며, 실내 온도가 가장 낮았던 가구는 37번 가구로 평균 온도는 10.8±3.1°C였다. 측정 대상인 40가구의 평균 실내 온도는 19.2±3.1°C이였으며, 평균 실내 습도는 25.4±6.5%이었다. 평균 상대습도는 39.8±13.8%로 33번 가구에서 가장 높았으며, 15.1±0.3%로 22번 가구에서 가장 낮았다(Table 2). 측정 기간 동안 몽골 울란바토르의 실외 일일 평균 기온은 1월 31일, 14일, 16일, 17일에 각각 -14.0±14.5, -20.0±13.5, -19.0±12.0, -21±11.5°C이였으며, 평균 실외 상대 습도는 각각 73, 67, 71, 73% 이었다.

각 가구별로 측정된 시간대별 실내 PM_{2.5} 수 농도의 추이는 크게 5가지 유형으로 정리할 수 있었다 (Figure 1). Group 1은 오전부터 오후까지 실내 공기중 PM_{2.5}의 농도가 일정하게 낮은 농도로 유지되는 그룹으로 주택 04, 06, 07, 09, 27을 포함하여 총 5가구가 해당되었다. 그룹 1의 평균 농도는 52.1±27.1 µg/m³로 이었으며, 오전 중에는 최대 184.4 µg/m³ 수준으로 상승하였다. Group 2는 오전시간에 한번의 고농도 피크를 나타냈던 그룹으로 주택 01, 02, 12, 14, 15, 16, 18, 20, 29, 31, 36, 37으로 총 12가구가 이 그룹에 포함되었다. 그룹 2의 평균 농도는 136.8±122.5 µg/m³였으며, 오전 시간의 최대 농도는 500.5 µg/m³이었다. Group 3은 13:00-14:00 사이에 한번의 고농도 피크를 나타내는 그룹으로 주택 08, 13, 19, 38 로 총 4 가구가 이 그룹에 포함되었다. 이 그룹의 평균 농도는 121.9±132.2 µg/m³이였으며, 13:00-14:00 시간대의 최대 농도는 616.9 µg/m³이었다. Group 4는 고농도피크가 오전과 오후에 한번씩 발생하는 그룹으로 주택 10, 11, 13, 17, 26, 32, 33, 35으로 총 8 가구가 해당된다. 이 그룹의 평균 농도는 168.1±132.9 µg/m³였으며, 오전 시간대의 최대 농도는 416.3 µg/m³, 오후 시간대의 최대 농도는 413.4 µg/m³이었다. Group 5는 측정기간내내 고농도로 실내 PM_{2.5}가 유지되는 그룹으로 주택 03, 05, 21, 22, 28, 30, 34, 40으로 총 8가구가 포함되었다. 이 그룹의 평균 농도는 289.8 µg/m³이였으며, 최대 값은 834.0 µg/m³이었다.

활동일지를 기반으로 각 가구별로 집 내부의 PM_{2.5} 농도를 높일 수 있는 7가지의 주요 활동 요인, 즉 난방연료추가, 환기, 실내 흡연, 청소, 조리, 조리연료추가, 불쏘시개의 사용이 일어난 횟수를 확인하였

Table 2. Average indoor temperature, humidity and PM_{2.5} levels of 40 Gers

Monitoring Date	Ger no.	Indoor PM _{2.5} (µg/m ³)	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)
		AM±SD	AM±SD	AM±SD
Jan. 13	1	81.1±57.5	21.6±4.2	21.2±5.2
	2	53.3±22.7	22.2±2.0	24.6±6.5
	3	176.0±107.1	16.2±3.1	36.2±5.6
	4	55.8±17.1	25.8±2.5	26.6±5.4
	5	223.7±103.9	17.7±2.0	29.5±4.0
	6	43.8±22.4	23.0±5.4	18.2±3.3
	7	22.9±16.9	18.6±4.1	33.9±3.2
	8	58.1±36.3	21.3±1.8	21.6±4.4
	9	55.4±19.5	21.9±5.3	32.8±8.3
	10	89.7±84.0	19.6±4.5	22.6±5.4
Jan. 14	11	172.7±127.0	19.0±4.2	18.3±6.7
	12	77.9±37.7	15.7±4.2	22.9±7.5
	13	150.1±141.6	16.6±3.2	31.3±6.4
	14	108.6±139.7	18.0±6.1	24.6±12.9
	15	77.6±41.4	14.8±4.7	33.8±9.4
	16	234.6±129.8	19.9±5.4	24.7±5.7
	17	211.8±64.6	21.6±7.0	34.3±9.8
	18	120.3±93.3	17.9±4.1	26.3±7.0
	19	141.6±109.5	20.7±4.7	17.7±4.9
	20	222.6±120.9	22.0±4.6	32.9±1.8
Jan. 16	21	318.2±38.4	16.7±4.4	16.5±3.2
	22	335.9±79.8	20.1±7.1	15.1±0.3
	23	NA	NA	NA
	24	NA	NA	NA
	25	NA	NA	NA
	26	287.9±143.1	20.0±6.3	25.3±5.8
	27	58.6±27.9	17.5±6.3	17.6±4.5
	28	430.6±230.3	23.8±6.6	27.6±9.0
	29	88.8±38.7	12.0±3.8	24.8±8.2
	30	361.4±17.4	16.6±3.4	23.3±2.8
Jan. 17	31	87.7±53.9	18.3±3.4	19.5±3.3
	32	76.2±51.6	24.4±8.5	25.4±8.1
	33	202.2±132.9	21.1±4.1	39.8±13.8
	34	298.3±116.8	18.8±4.4	37.6±7.1
	35	88.3±39.9	16.6±5.8	23.0±4.0
	36	87.0±62.9	20.0±6.5	15.2±0.9
	37	60.4±26.3	10.8±3.1	24.9±3.7
	38	127.1±144.5	17.5±6.9	17.7±2.6
	39	160.3±183.5	18.4±8.6	21.1±6.9
	40	216.3±118.3	22.2±5.1	30.8±6.1

NA: Data were not available due to instrument error

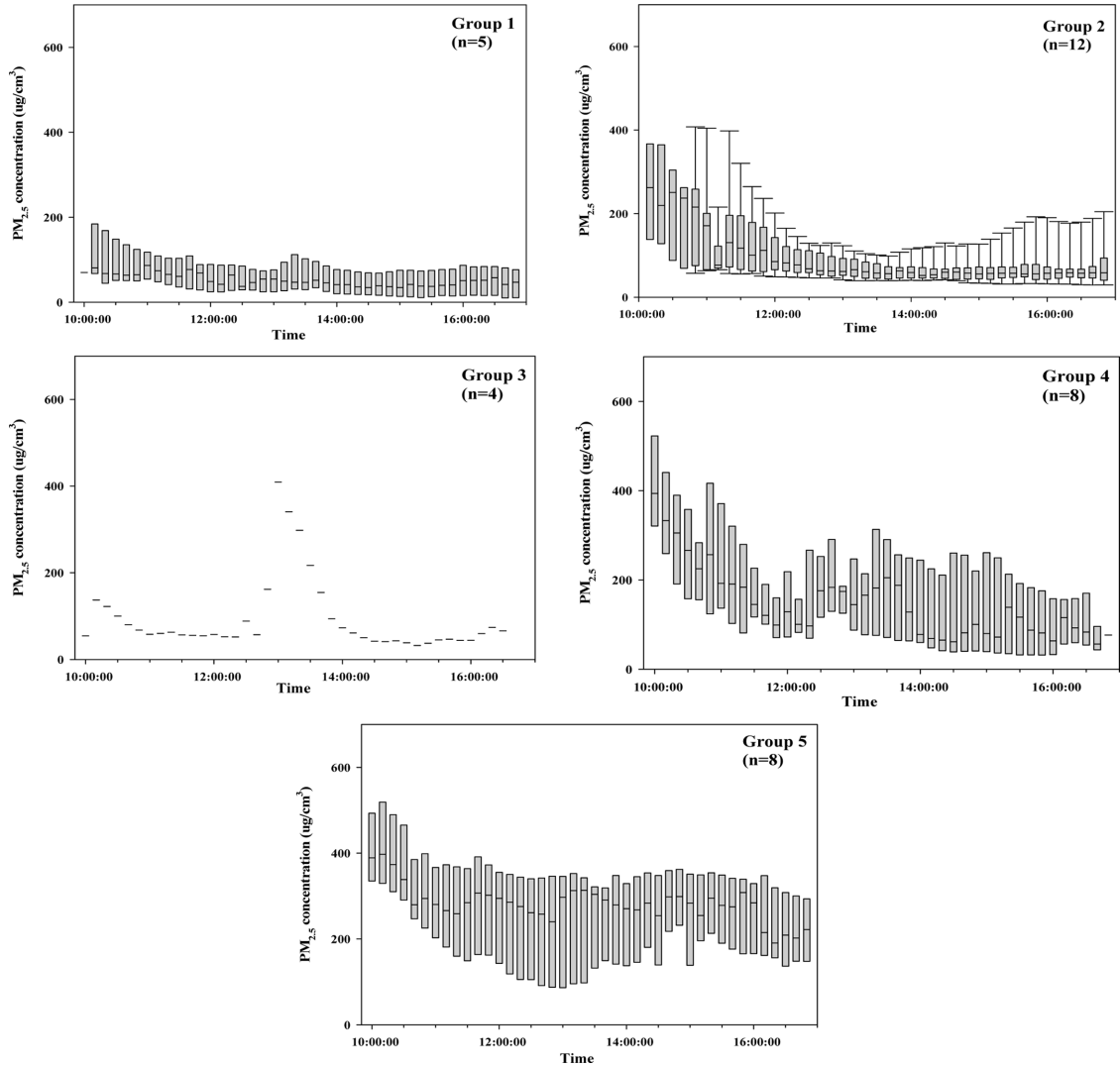


Fig. 2. Different profiles of indoor PM_{2.5} concentrations in dwelling

다. 난방연료추가횟수는 각 가정마다 측정 기간 동안 평균 1.5±1.5회 발생하였으며, 환기는 평균 0.4±1.1회 실시되었고 85%의 집에서 측정 기간 중 한 번도 환기를 실시하지 않았다. 실내 흡연은 평균 0.3±1.0회 발생하였으며, 청소는 평균 1.4±1.3회, 조리는 평균 3.1±2.4회 발생하였다. 실내 PM_{2.5} 농도를 높일 수 있는 7가지 요인의 관찰 횟수와 각 주택의 실내 일일 평균 PM_{2.5} 농도의 관계를 Kruskal-Wallis 검정으로 분석하였으나, 통계적 유의성을 보이는 요인은 없었다(p>0.05).

IV. 고 찰

몽골은 한 울타리 안에 가족 단위로 마을을 이루어 거주하며, 게르촌 내에는 전통 원형 게르, 벽돌 또는 콘크리트 형태의 게르 등 다양한 주거형태가 혼재한다. 측정에 섭외된 40곳은 대부분 사가형이었으나, 마지막 날 섭외된 1개의 가구는 전통 방식의 원형 모양을 본뜨고 있었으며, 해당 가구는 주로 콘크리트를 건축자재로 사용하여 지어져 있었다. 이러한 구조의 다양성으로 인해 측정된 가구의 면적은

면적이 비교적 일정한 계르에 비하여 넓은 분포를 나타내고 있었다. 대부분 가구에서 전기를 사용하였으나 난방이나 조리 시에는 주로 석탄을 원료로 하는 스토브를 사용하였다.

계르촌 내에서 주택과 전통 계르는 몇 가지 차이점을 보이는데, 먼저 형태에서 전통 계르는 대부분 원형인 반면, 신형 계르는 대부분 사각형 모양으로 지어져 있다. 또한 전통 계르는 대부분 원룸의 형태로 한가운데 난로가 위치하며 환기구가 난로 위쪽 천장에 골뚝 형태로 있는 반면, 주택은 벽면에 있는 창문이 환기구 역할을 하지만 추운 겨울에는 거주민들이 닫아 놓는 경우가 대부분이다. 주택 중에는 원룸 형태가 아닌 두 칸 이상의 공간으로 이뤄진 경우도 있으며, 각각 침실이나 거실, 부엌 등으로 사용되었다. 난로의 위치는 가구마다 일정하지 않았으며 난로만 별도로 존재하는 공간은 없었다.

전체 37가구의 실내 $PM_{2.5}$ 농도는 $178.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 우리나라에서 2018년 1월 1일부터 의료기관, 어린이집, 노인요양시설, 산후조리원에 적용되는 다중이용시설의 실내공기질 권고 기준의 $PM_{2.5}$ 기준인 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 WHO의 외기 24시간 $PM_{2.5}$ 농도의 권고 기준인 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 농도이다. 고농도의 $PM_{2.5}$ 농도에 노출되면 천식 및 심혈관계 질환 등을 유발에 연관을 줄 수 있으며¹⁴⁾, 특히 어린이 및 노약자와 같은 민감집단에게는 더 큰 건강 악영향을 미칠 수 있다¹⁵⁾. 실내 평균 $PM_{2.5}$ 의 농도가 전체 평균보다 높았던 가구의 시간활동일지에 따르면, 잦은 불쏘시개의 사용, 석탄 이외에 나무 및 땅콩껍질류의 연료 사용, 어린아이들의 활동, 활발한 조리 활동 등이 포함되어 있는 가구가 대부분 이었다. 특히 농도가 가장 높았던 43번 가구의 경우 실내의 공기순환을 위한 모터의 가동, 스토브 내부에 땅콩 껍질과 비닐 봉지 투입, 대청소와 같은 활동이 측정기간내에 이루어져 다른 가구에 비하여 높은 농도를 나타냈을 것이라 사료된다. 비닐 및 고체 폐기물의 연소는 입자상 물질과 유해한 화학물질을 발생시킬 수 있다^{16,17,18)}.

시간 별 농도 패턴에 따른 그룹 분석은 5가지 유형을 나타냈는데, 이는 거주자의 실내환경과 거주자의 활동과 밀접한 관련이 있었다. 실내 공기 중 $PM_{2.5}$ 가 비교적 저 농도로 유지되었던 Group 1에 포함된 가구의 경우 거주자 및 외부인의 출입과 외출이 잦

았으며, 추가 연료의 투입 활동이 없었고, 조리를 하지 않았던 공통점을 나타냈다. 오전의 고농도의 피크를 나타냈던 Group 2 가구의 경우, 오전에 하루 동안 먹을 음식의 조리를 시작하였거나, 외부 방문객 대접을 위한 간식 조리가 이루어진 경우, 스토브를 열어 불쏘시개를 사용한 경우가 많았으며, 오후 이후에는 특별한 조리 활동 및 연료 투입의 활동이 저조한 특징을 나타냈다. Group 3의 경우 13:00 경에 한번의 피크를 보인 가구로 흡연 및 조리로 인한 한번의 피크가 발생한 것으로 조사되었다. Group 4는 추가 연료의 투입이 잦은 가구, 스토브를 자주 여는 가구, 간헐적 흡연, 조리, 불쏘시개 사용 등의 활동이 복합적으로 일어났다. 측정 기간 내내 실내 $PM_{2.5}$ 가 고농도로 유지되었던 Group 5에 포함된 가구에서는 실내 흡연, 불쏘시개의 사용, 아이들의 활발한 놀이활동, 볶는 방식의 조리, 석탄 외 다른 연료의 사용 등의 활동이 관찰되었다.

실내 $PM_{2.5}$ 농도를 높일 수 있는 난방연료추가, 환기, 실내 흡연, 청소, 조리, 조리연료추가, 불쏘시개의 사용의 7가지 활동 요인의 횟수 총합과 실제 일일 평균 $PM_{2.5}$ 농도 사이에는 통계적인 유의성은 나타나지 않았으며, 이는 여러 활동 요인이 복합적으로 작용하였기 때문으로 사료된다. 특히 초기 $PM_{2.5}$ 농도가 높은 경우 활동 요인이 $PM_{2.5}$ 농도의 상승에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 짐작되며, 24시간 관찰과 측정이 이뤄지지 않았기 때문에 결과 해석에 한계가 나타난 것으로 생각된다. 또한 여러 요인이 동시에 발생한 경우, 각각의 요인 별 기여 정도가 정확히 구분이 되지 않아 통계적인 유의성을 발견하기가 어려웠다.

본 연구의 제한점은 다른 언어로 인한 의사소통의 문제로 관찰일지 작성의 한계, 수 농도의 측정 반영에 의한 오차 등을 고려할 수 있다. 또한 2015년 전통 계르를 대상으로 한 기초조사에 비해서는 샘플 수는 늘어났지만 여전히 부족한 측정 가구의 수는, 결과에서 통계적 유의성을 확인하는데 제한 사항이 되었다. 또한 주거 민의 개인 사생활에 대한 문제로 24시간 관찰 연구가 불가능하여 새벽 및 이른 아침의 행태를 관찰하지 못함으로 실내 오염물질의 농도에 영향을 미치는 요인을 파악하는데 한계점이 존재하였다.

V. 결 론

몽골 울란바토르 시 게르촌의 주택의 실내 PM_{2.5} 농도는 전통 게르에서와 마찬가지로 높은 수준으로 유지되고 있으며, 이는 난방과 조리를 위한 고체 연료의 실내 연소가 주요 원인인 것으로 사료된다. 이번 연구에서 석탄의 연소와 연관성을 통계적으로 보여주지 못 하였지만 각 요인 별 기여도를 명확하게 하는 등 추가적인 연구를 통해 실내 PM_{2.5} 농도의 저감 대책과 난방 방식의 개선 방안을 마련해야 할 것이다.

Acknowledgments

본 연구는 서울대학교 글로벌사회공헌단의 지원을 받았습니다. 또한 연구에 함께 참여해 준 Mongolian National University of Medical Sciences의 학생들에게 감사의 말을 전합니다.

References

1. Cohen AJ, Ross Anderson H, Ostro B, Pandey KD, Krzyzanowski M, Künzli, N, et al. The global burden of disease due to outdoor air pollution. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. 2005; 68(13-14): 1301-1307.
2. WHO. The burden of disease on air pollution, International Expert Meeting on Air Pollution and Health in Asia; 2014.
3. Kong S, Bae H, Hong S, Park H. A Study on the Health Impact and Management Policy of PM_{2.5} in Korea (II), Korea Environment Institute; 2013
4. WHO. The world health report 2002: reducing risks, promoting healthy life. World Health Organization; 2002.
5. Lee B, Chimeddulam, D, Jargalsaikhan K, Lee K. Indoor air pollution in ger, a traditional type of residence in Mongolia. *Korean Journal of Environmental Health Sciences*. 2016; 42(2), 118-125.
6. Caldieron JM. Ger Districts in Ulaanbaatar, Mongolia: Housing and Living Condition Surveys; 2013.
7. World Bank, Mongolia-Heating stove market trends in poor, peri-urban ger areas of Ulaanbaatar and selected markets outside Ulaanbaatar: stocktaking report of the Mongolia clean stoves initiative. Washington, DC: World Bank Group; 2013.
8. World friends Korea, Overseas correspondent's column, KOICA; 2014.
9. Hwang K. The Traditional Knowledge and Cultural Aspects About the Mongolian Ger. *Asian Comparative Folklore Society*. 2013; 52(1): 275-300.
10. Ulaanbatar Clean Air Project (UBCAP) report, KOICA; 2013.
11. ESMAP. Potential for Biofuels for Transport in Developing Countries; Joint UNDP/World Bank Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP), Washington Press; 2005.
12. Ryan AW, Gombojav E, Barkhasragchaa B, Byambaa, T, Lkhasuren O, et al. Janes R. An Assessment of Air Pollution and Its Attributable Mortality in Ulaanbaatar, Mongolia. *Air Quality, Atmosphere and Health*. 2013; 6(1): 137-150.
13. US Embassy Ulaanbaatar Mongolia. Available: <https://www.stateair.mn/history.php> [accessed 09 February 2018]
14. Maté T, Guaita R, Pichiule M, Linares C, Diaz J. Short-term effect of fine particulate matter (PM_{2.5}) on daily mortality due to diseases of the circulatory system in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*. 2010; 408(23): 5750-5757.
15. Zanobetti, A. and Schwartz, J. Race, gender, and social status as modifiers of the effects of PM₁₀ on mortality. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2000; 42(5): 469-474.
16. Simoneit, BR., Medeiros PM., Didyk BM. Combustion products of plastics as indicators for refuse burning in the atmosphere. *Environmental science and technology*. 2015; 39(18): 6961-6970.
17. Valavanidis A, Iliopoulos N, Gotsis G, Fiotakis K. Persistent free radicals, heavy metals and PAHs generated in particulate soot emissions and residue ash from controlled combustion of common types of plastic. *Journal of Hazardous Materials*. 2008; 156(1-3): 277-284.
18. Jung JH, Shon BH, Jung DY, Kim HG, Lee HH. Emission properties of hazardous air pollutants in solid waste incinerator. *Korean Journal of Environmental Health Sciences*. 2003; 29(5):17-26.