



미세먼지가 옥외 여가활동에 미치는 영향*

The Impact of Particulate Matter (PM10) on Outdoor Leisure Activities in Korea

장평린(張楓林)** · 최막중***

Zhang Fenglin · Choi, Mack Joong

Abstract

Paying an attention to the fact that Particulate Matter (PM10) can have not only direct and specific health effects but also indirect and more general health effects by reducing outdoor activities, this study empirically investigates the impact of PM10 on outdoor leisure activities in Korea based on two data of different units: daily average data by metropolitan city and province and annual average data by city and county. Despite the difference in unit of analysis, however, the two data produce consistent estimation results that PM10 has statistically significant negative impacts on outdoor leisure activity hour. Specifically, the estimation results of hierarchical linear model demonstrate that, depending upon the data, outdoor leisure activity hour is reduced by 0.4-14% if PM10 exceeds the threshold level of 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and by 0.3-3% per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in PM10. Additionally significant reduction is observed for the elderly aged 65 and over, and the total reduction amounts to 11.4-36% in the case of PM10 of 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and over and 1.3-9% per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase. These results suggest that government's efforts to reduce PM10 have wide implication as the basic and general policy for health promotion by encouraging outdoor activities particularly in the aging and aged society like Korea.

키 워 드 ■ 미세먼지, 옥외 여가활동, 건강, 노인, 대기오염

Keywords ■ Particulate Matter (PM10), Outdoor Leisure Activities, Health, The Elderly, Air Pollution

I. 서 론

미세먼지는 전 국민의 건강을 위협할 만큼 심각하고 일상적인 걱정거리가 되었다. 세계보건기구(WHO) 등에 따르면 통상 미세먼지라고 불리는 직경 10 μm 이하의 입자상물질(Particulate Matter, PM)은 쉽게 체내 깊이 흡입되기 때문에 장기간 노출될 경우 면역력이 급격히 저하되어 호흡기 및 심혈관 질환 등 각종 질병을 유발하고 사망에까지도 이르게 할 수 있다.¹⁾ 이에 따라 세계보건기구 산하

의 국제암연구소(IARC)는 미세먼지를 1급 발암물질로 지정한 바 있다.²⁾

그런데 주목할 것은 이와 같이 미세먼지가 건강에 미치는 직접적이고 특정적인 영향뿐 아니라, 옥외 활동을 감소시켜 초래할 수 있는 보편적인 건강저하 등의 간접적인 효과이다. 산책, 조깅, 등산 등과 같은 옥외 여가활동이 건강을 증진시킨다는 의학적 증거는 방대하게 축적되어 왔으며(Godbey, 2009), 특히 65세 이상 노인인구의 건강에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 왔다(Sugiyama and

* 본 연구는 장평린의 석사학위논문을 수정·보완한 것으로, 서울대학교 환경계획연구소의 지원을 받았다.

** Master Student, Seoul National University (First author: funny718@snu.ac.kr)

*** Professor, Seoul National University (Corresponding author: macks@snu.ac.kr)

Thompson, 2007). 따라서 최근 삶의 질과 건강에 대한 관심이 증대하고 있음에도 불구하고 미세먼지로 인해 옥외 여가활동이 감소하면 도시계획 차원에서 오픈페이스 조성 등을 통해 구현하려는 '건강 도시(Health Cities)¹³⁾의 정책효과는 반감될 수밖에 없다. 나아가 옥외 활동의 감소는 도시의 활력을 저하시키는 사회경제적 파급효과로 이어질 수 있다.

그럼에도 미세먼지로 인한 옥외 여가활동의 감소는 경험론적 추론에 근거할 뿐, 이를 객관적으로 확인할 수 있는 실증적 증거가 축적되어 있지 않다. 이에 본 연구는 지역의 미세먼지 농도가 주민의 옥외 여가활동에 미치는 영향을 실증적으로 검증하려는데 목적이 있다. 미세먼지 농도는 시간적, 공간적으로 변화하므로 2004년, 2009년, 2014년 생활시간조사 자료와 연계하여 시·도 단위의 일평균 미세먼지 농도를 분석 기준으로 삼았고, 보완적으로 2008년 국민여가활동조사 자료와 연계하여 시·군·구 단위의 연평균 농도도 이용하였다. 또한 옥외 여가활동은 미세먼지 농도와 같은 지역특성뿐 아니라 개인특성에 의해서도 영향을 받을 수 있기 때문에 위계선형모형을 적용하였다. 이후 제Ⅱ장에서 관련 선행연구를 고찰하고, 제Ⅲ장에서 분석자료와 모형에 관한 분석틀을 정립한다. 제Ⅳ장에서는 실증분석 결과를 해석하고, 제Ⅴ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 선행연구 고찰

일반적으로 대기오염으로 인해 옥외 활동이 감소하는 현상은 환경적 위험에의 노출을 줄이려는 회피 행동(avoiding behavior)으로 설명할 수 있다(Kerry and William, 1985). 이에 따른 실증연구로서 대표적으로 Sexton(2012)은 미국시간이용조사(ATUS) 자료를 이용하여 대기질지수(Air Quality Index) 경보 날짜에 옥외 활동시간이 평균적으로

18%, 노인의 경우 59% 감소됨을 밝힌 바 있다. Noonan(2014)도 미국 Atlanta를 대상으로 스모그(smog) 경보가 있는 날에 노인 및 평소 운동을 하는 사람들의 공원 활동이 줄어드는 것으로 분석하였다. 또한 일찍이 Bresnahan et. al(1997)은 미국 Los Angeles에서 오존(O₃) 농도가 권고기준을 충족하지 않으면 주민의 옥외 활동시간이 감소하는 현상을 보고한 바 있다.

이에 비해 상대적으로 최근에 관심을 끌게 된 미세먼지의 영향에 대한 실증연구는 아직 부족한 편으로, 그나마 이미 미세먼지가 심각한 사회문제로 대두된 중국을 대상으로 일부 연구가 이루어졌다. Cai(2016)는 중국 스자좡(石家庄)의 주민 설문조사를 통해 미세먼지가 도시민의 여가활동을 비롯한 생활양식에 변화를 초래하고 있으며, 특히 저항력이 약한 아동 및 노인의 옥외 여가활동 빈도와 시간을 뚜렷하게 감소시키는 것으로 보고하고 있다. 또한 미세먼지가 소비활동에 미치는 영향에 대해서도 Jiu and Zhang(2016)은 중국 난징의 경우 저소득층이 실내 상업시설을 이용하는 빈도와 시간이 증가시키는 것으로, 그리고 Zheng et. al(2016)은 베이징의 경우 외식 빈도는 감소하는 대신 배달 빈도가 증가하는 것으로 분석하고 있다. 이러한 결과는 미세먼지로 인한 옥외 활동의 감소가 사회경제적 파급효과로도 이어질 수 있음을 시사한다.

국내에서 미세먼지와 옥외 여가시간의 관계를 관찰한 실증연구는 서미숙(2015)이 유일하다. 2009년 통계청의 한국생활시간조사 자료와 국립환경과학원의 미세먼지(PM10) 자료를 결합하여 미세먼지 농도가 노동시간과 외부 여가시간에 미치는 영향을 분석한 결과, 여성 비취업자의 경우에서만 미세먼지 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 당 외부 여가시간이 하루 7.3분씩 유의하게 감소하는 것으로 추정되었다. 이렇게 미세먼지의 영향이 일부 집단에서만 부분적으로 나타난 것은, 분석의 초점이 경제활동시간에 맞추어져 있어 여가

시간이 노동시간을 제외하고 남는 시간이라는 관점에서 접근되었듯이 여가시간의 변화가 노동시간과 연동되어 상쇄되었을 수 있었기 때문으로 추측된다.

이 외에 한국인의 옥외 여가활동에 영향을 미치는 일반적인 요인에 대해서는 서미숙(2015)을 비롯하여 옥외 여가활동시간(윤정미·최막중, 2014), 신체적 여가활동량(조정형·김영재, 2016), 산책 등 야외활동을 포함하는 ‘가벼운 신체활동’의 수행 확률(차승은, 2017), 스포츠, 등산 등을 포함하는 ‘적극적’ 여가활동시간(허지정·최막중, 2017) 등에 대한 영향 요인들을 종합적으로 참고할 수 있다. 이에 따르면 옥외 여가활동은 대체적으로 여성이 남성에 비해 적고, 취업한 경우와 10세 이하 또는 미취학 자녀가 많을수록 감소하는 것으로 나타난다. 또한 옥외 여가활동은 연령에 비례하여 증가하지만, 체력이 약화되는 노령에 도달하면 감소하게 되는 비선형의 관계가 관찰된다. 이에 비해 배우자의 유무 및 교육과 소득수준의 영향에 대해서는 분석결과가 일관되게 나타나지 않는다.

이상의 개인특성 외에 지역특성도 옥외 여가활동에 유의한 영향을 미치는데, 대표적으로 지역의 공원·녹지 및 체육용지 비율이 높을수록 옥외 여가활동이 증가하는 것으로 나타난다(윤정미·최막중, 2014). 나아가 도시의 위계가 높거나 인구규모가 증가할수록 여가시설의 다양성 등 질적 수준이 높아짐에 따라 옥외 여가활동이 증가하는 현상도 부분적으로 포착되지만(윤정미·최막중, 2014), 반대로 비도시지역에 거주하는 경우 적극적 여가활동이 늘어나는 현상도 관찰된다(허지정·최막중, 2017). 한편 미세먼지 외에 일반적인 기상·기후요인으로 일조량과 온도가 계절별로 옥외 여가활동에 유의한 영향을 미치고 있음이 확인된다(조정형·김영재, 2016).

III. 분석틀

1. 핵심변수와 분석자료

1) 옥외 여가활동

본 연구의 핵심적인 인과관계를 구성하는 두 변수는 미세먼지 농도(독립변수)와 옥외 여가활동(종속변수)이다. 그런데 대기 중 부유 물질인 미세먼지의 농도는 강수량에 반비례하는 등 계절에 따른 기상·기후의 영향을 받을 뿐 아니라, 도시의 인구규모에 비례하여 증가(Cho and Choi, 2014)하는 등 시간적, 공간적 변화가 큰 특징을 갖고 있다. 따라서 분석자료 구축의 요체는 미세먼지 농도와 옥외 여가활동의 시·공간 정보를 결합하는데 있으며, 가능한 정보 결합의 시·공간 단위를 세분화할수록 분석의 정확성을 높일 수 있다. 이에 개인의 옥외 여가활동에 관한 시·공간 정보를 추출할 수 있는 두 가지 자료인 생활시간조사와 국민여가활동조사 중에서, 전자를 기준으로 삼고 후자를 보완적으로 사용하도록 하였다.

생활시간조사는 통계청에서 1999년부터 5년 주기로 실시하고 있는 표본 설문조사로, 본 연구에서는 과거의 미세먼지 자료와 연계 가능한 2004년, 2009년, 2014년 자료를 이용한다.⁴⁾ 이 자료는 응답자가 하루 24시간 동안의 활동을 일지 형식으로 이틀을 골라 기록하게 되어 있어 시간적으로 일(日) 단위의 세분화된 정보를 수집할 수 있는 장점이 있다. 그러나 응답자의 거주지 주소가 시·도 단위로만 제공되고 있어 공간적으로는 세분화된 정보를 얻는데 한계가 있다. 옥외 여가활동으로 분류할 수 있는 활동유형은 ‘교제 및 여가활동’ 중 ‘스포츠 및 집밖의 레저활동’(2004년, 2009년), ‘스포츠 및 레포츠’(2014년)로, 여기에는 걷기, 산책, 조깅, 자전거, 소풍, 등산, 낚시, 캠핑 등의 행동이 포함된다.⁵⁾ 구

체적으로 옥외 여가활동시간은 이상의 행동을 주행 동 및 동시행동으로 수행하는데 소요된 시간을 합쳐 하루 총시간으로 산출하였다.

그런데 생활시간조사와 같은 일 단위 자료는 조사된 날의 특성에 따라 옥외 여가활동의 변화가 크게 나타날 수 있기 때문에 표본 추출과 구성 과정에서 세심한 주의가 요구된다. 조사일자가 2004년의 경우 9월 3~12일, 2009년의 경우 3월 16일~19일, 9월 14일~17일, 2014년의 경우 7월 21~24일, 9월 22~25일, 12월 1~4일에 분포되어 있어 조사년도뿐 아니라 월(月)에 따른 계절의 영향, 그리고 평일과 휴일에 따른 옥외 여가활동시간의 차이를 고려해야하기 때문이다. 특히 유의할 것은 강수 여부로, 비·눈이 오는 날에는 옥외 여가활동이 현저하게 줄어들 뿐 아니라 미세먼지 농도도 크게 감소하는 이례적 현상이 발생할 수 있기 때문에 날씨별, 지역(시·도)별로 강수가 관찰된 경우는 표본에서 제외하였다. 이렇게 하여 전국 16개 시·도 걸쳐 총 47,775건의 관측치를 확보하였으며, 이에 대한 기초통계는 표 1에 제시되어 있다(자료 A).

한편 국민여가활동조사는 문화체육관광부와 한국문화관광연구원이 2006년부터 실시해 온 표본 설문조사로, 본 연구에서는 2008년 자료를 보완적 목적으로 사용하도록 한다. 그 이유는 2008년까지 여가

활동의 장소가 ‘야외공간(운동장, 산, 유적지 등)’과 실내공간으로 명확하게 구분되어 조사되었을 뿐 아니라, 응답자의 거주지 주소가 시·군·구 단위로 제공되어⁶⁾ 분석의 지역 단위를 생활시간조사 자료에 비해 보다 세분화할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 그럼에도 국민여가활동조사는 여가활동의 참여도를 ‘지난 1년 동안’을 기준으로(2008년 자료의 경우 2007년 6월~2008년 5월) 연(年) 단위로 조사하고 있어 시간적으로는 세분화된 정보를 수집할 수 없는 단점이 있다.

구체적으로 옥외 여가활동시간은 연간 참여빈도에 ‘1회당 소요시간’의 설문결과를 곱해 연간 참여시간을 산출하고, 이를 다시 하루당 참여시간으로 환산하였다. 연간 참여빈도는 다소 기계적이지만 허지정·최막중(2017)에서와 유사하게 ‘매일’로 답한 경우 365회, ‘주기적’으로 답한 경우 일주일에 한 번을 기준으로 52회(=365일/7일), ‘비정기적’으로 답한 경우 두 달에 한 번꼴인 6회로 근사하여 ‘매일’, ‘주기적’, ‘비정기적’ 참여빈도의 차이가 단계별로 7~8배수의 등비(等比)를 유지하도록 정량화하고, 이 외 ‘기타’로 답한 경우는 분석에서 제외하였다. 이러한 과정을 거쳐 전국적으로 109개 시·군·구에 거주하는 총 2,313명의 옥외 여가활동시간 관측치를 확보하였으며, 이에 대한 기초통계도 표 1

Table 1. Descriptive Statistics of Key Variables 표1. 핵심변수 기초통계

classification	PM10 미세먼지 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					Outdoor Leisure Activities (min./day) 옥외 여가활동시간 (분/일)				
	N	avg.	s.d.	min.	max.	N	age.	s.d.	min.	max.
A source 2004.9	59	48.1	10.1	31	82	23,378	16.3	44.8	0	670
2009	105	89.9	63.4	27	268	13,324	15.8	41.4	0	650
2009.3	55	125.8	72.8	27	268	6,710	15.1	42.4	0	650
2009.9	50	53.4	9.2	30	73	6,614	16.5	40.5	0	610
2014	97	34.6	15.1	12	89	11,073	9.3	24.4	0	130
2014.7	37	39.9	15.0	12	62	2,772	10.2	24.6	0	130
2014.9	36	27.2	5.0	17	40	6,006	10.4	25.8	0	130
2014.12	24	47.4	20.7	25	89	2,295	5.4	19.3	0	120
total	261	56.6	41.0	12	268	47,775	14.5	40.1	0	670
B source	109	56.2	7.5	33	78	2,313	33.9	67.7	0	750

에 포함되어 있다(자료 B). 옥외 여가활동시간은 스포츠·레저활동에 집중된 생활시간조사 자료에 비해 상대적으로 국민여가활동조사 자료에서 훨씬 크게 나타나고 있다.

종합하면, 생활시간조사 자료는 상대적으로 작은 시간 단위(일)와 큰 공간 단위(시·도), 반대로 국민여가활동조사 자료는 큰 시간 단위(연)와 작은 공간 단위(시·군·구)의 옥외 여가활동 정보를 제공하고 있다는 점에서 특징적으로 대비된다. 그렇지만 미세먼지의 영향을 분석함에 있어 시간적으로 연 단위를 일 단위로 세분하는 것이 공간적으로 시·도 단위를 시·군·구 단위로 세분하는 것보다 정확성을 더 크게 높일 수 있으므로, 생활시간조사를 분석의 기본자료로, 그리고 국민여가활동조사를 분석결과의 일관성을 확인하기 위한 보완적 자료로 이용하도록 한다.

2) 미세먼지

옥외 여가활동 자료에 따라 미세먼지 농도에 있어서도 생활시간조사 자료에 대응해서는 2004년, 2009년, 2014년 시·도별 일평균 자료를, 그리고 국민여가활동조사 자료에 대응해서는 2008년 시·군·구별 연평균 자료를 결합하였다.⁷⁾ 미세먼지를 비롯하여 각종 대기오염물질에 관한 정보는 환경부 산하 국립환경과학원에서 공표하는 대기환경연보 자료에 기초하는데, 이는 전국에 설치된 측정소부터 취합된 관측치를 시점별, 지역별로 평균하여 환산한 값이다. 미세먼지는 직경에 따라 $10\mu\text{m}$ 이하(PM10)와 $2.5\mu\text{m}$ 이하(PM2.5) 등으로 구분되지만, PM2.5에 대한 자료는 2015년부터 제공되었기 때문에 본 연구에서는 PM10 자료를 기준으로 하였다. 기초통계는 역시 표 1에 정리되어 있는데, 일평균 농도가 연평균 농도에 비해 편차가 더 크게 나타난다.

한편 세계보건기구(WHO)의 대기질 가이드라인(Air Quality Guidelines; AQG)은 PM10 농도를 연평균 20, 30, 50, $70\mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 일평균 50, 75, 100, $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 기준으로 네 단계로 구분한 잠정 목표(interim target)를 제시하고, 건강에의 유해 여부를 가름하는 권고기준을 일평균 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, 연평균 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 규정하고 있다.⁸⁾ 이에 비해 한국에서는 WHO의 2단계 잠정목표를 채택하여 일평균 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, 연평균 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 PM10의 환경기준으로 설정하고 있다.⁹⁾ 그런데 표 1에서 생활시간조사 자료와 결합된 PM10의 일평균 농도는 $12\sim 268\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 보이고 있어 WHO 권고기준은 부분적으로 충족하고 있지만, 한국의 환경기준 보다는 대체적으로 낮은 분포를 보이고 있다. 또한 국민여가활동조사 자료와 결합된 연평균 농도의 분포는 $33\sim 78\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 WHO 권고기준을 상회하지만, 한국의 환경기준은 부분적으로 충족하고 있다. 따라서 분석자료의 특성에 맞추어 WHO의 권고기준은 일평균 농도, 한국의 환경기준은 연평균 농도에 각각 적용하여 미세먼지 농도 변수를 연평균, 일평균 모두 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만을 충족하는지 여부의 더미변수로 설정하였다. 또한 미세먼지 농도 변화의 한계효과(marginal effect)는 WHO(2005:257-258) 등에서의 값이 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 단위의 일정 구간 농도를 기준으로 측정되는 것이 통상적이므로, 최소 $0\sim 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최대 $90\sim 100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 이르기까지 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 구간 단위의 미세먼지 농도 변수도 추가하였다. 이에 따라 미세먼지 농도의 영향은 임계(threshold)기준의 더미변수와 구간 단위의 연속변수의 사용 여부에 따라 두 가지 모형으로 분리하여 추정된다.

2. 통제변수와 분석모형

옥외 여가활동은 미세먼지뿐 아니라 개인특성과

지역특성에 따라서도 변화할 수 있기 때문에, 이러한 개인 및 지역특성의 영향을 통제하여야 한다. 이에 따라 개인특성의 경우 생활시간조사와 국민여가활동조사 자료의 응답자 정보로부터 추출할 수 있는 성별, 연령, 배우자 및 자녀 유무의 인구학적 특성, 교육 및 소득수준과 경제활동참여 여부의 사회경제적 특성을 모두 설명변수로 투입하였다. 연령의 경우 옥외 여가활동이 증가하다 감소할 수 있는 비선형 관계를 고려하여 이차함수로 설정하였고, 나아가 노인의 옥외 여가활동이 미세먼지에 더욱 민감하게 변화하는지를 포착하기 위해 65세 이상 여부와 미세먼지 농도의 상호작용항(interaction) 변수를 추가하였다.

또한 자녀의 유무는 미취학가구원(생활시간조사), 동거자녀(국민여가활동조사)를 기준으로 하는데, 여성의 경우 미취학자녀의 유무에 따라 옥외 여가활동에 더욱 큰 변화가 나타날 수 있기 때문에 허지정·최막중(2017)에서와 같이 여성과 자녀 유무간 상호작용항 변수를 추가하였다. 교육수준은 고졸이하와 대졸이상으로 구분하였으며, 소득수준은 월평균 가구소득을 기준으로 100만원미만~500만원이상(생활시간조사), 200만원미만~600만원이상(국민여가활동조사)의 구간으로 조사되어 있어 100만원 단위의 등간격 연속변수로 구성하였다.

한편 지역특성으로는 미세먼지 뿐만 아니라 다른 대기오염물질의 영향을 동시에 고려할 필요가 있다. 이에 미세먼지 외에 세계보건기구(WHO)의 대기질 가이드라인(AQG)에 포함되어 있는 이산화황(SO₂), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃) 농도를 국립환경과학원의 대기환경연보 자료에서 추출하여 추가하였다.¹⁰⁾ 또한 조정형·김영재(2016)에서와 같이 일반적인 기상·기후요인을 통제하기 위해 국민여가생활조사 자료의 경우 1년간(2007년 6월~2008년 5월) 강수량이 0.1mm 미만인 날짜수와 일평균 온도가 25°C보다 높은 날짜수, 0°C보다 낮

은 날짜수를 독립변수로 도입하였다. 생활시간조사 자료의 경우 이미 강수가 있었던 날짜와 지역을 표본에서 제외하였기 때문에 날짜별 평균 온도만을 추가하였는데, 온도가 너무 낮거나 높은 경우 모두 옥외 여가활동이 감소하는 비선형의 관계가 존재할 수 있어 이차함수로 설정하였다. 그리고 조사년도와 함께 3월(봄), 7월(여름), 9월(가을), 12월(겨울)의 계절요인을 통제하기 위한 연도별·월별 더미변수, 그리고 평일 대비 휴일 더미변수를 투입하였다.

또한 옥외 여가활동을 진작시킬 수 있는 공급요인으로 윤정미·최막중(2014)과 유사하게 지적통계자료에 기초하여 행정구역 면적 대비 임야 및 공원 비율과 체육용지 비율을 추가하였다. 그리고 지역의 도시화 정도와 규모에 따른 옥외 여가활동시설의 다양성 등 질적(質的) 수준을 감안하기 위해 ‘특별시·광역시’와 ‘도’(생활시간조사), ‘시·구’와 ‘군’(국민여가활동조사)을 구분하여 더미변수로 처리하였다.

이상의 개인특성과 지역특성으로 구성되는 분석자료는 개인 단위의 하위수준(1수준) 변수가 지역 단위의 상위수준(2수준) 변수에 포섭되어 있는 위계구조를 지니고 있다. 이에 따라 분석모형은 기본적으로 다수준(multi-level) 모형인 위계선형모형(Hierarchical Linear Model, HLM)을 사용하고, 그중 가장 간단한 임의절편모형(random coefficient model)을 적용하도록 한다.

IV. 실증분석 결과 및 해석

지역의 미세먼지 농도가 주민의 옥외 여가활동시간에 미치는 영향을 위계선형모형을 통해 추정한 결과는 표 2에 정리되어 있다. 분석의 기준이 되는 추정모형은 2004년, 2009년, 2014년 생활시간조사 자료를 포괄하는 ‘시·도별 일평균’ 모형(모형 A)으로, 모든 추정결과는 이를 중심으로 해석한다. 이

외에 시간의 흐름에 따른 미세먼지 영향력의 변화를 감지하기 위해 가장 최근인 2014년 생활시간조사 자료만을 갖고 추정한 결과(모형 A')도 일부 제시되어 있다. 또한 미세먼지가 옥외 여가활동에 미치는 영향의 일관성을 확인하기 위해 보완적으로 2008년 국민여가활동조사 자료를 이용하여 '시·군·구별 연평균' 모형(모형 B)을 추정해 본 결과도 포함되어 있다. 각 모형은 핵심 설명변수인 미세먼지 농도가 임계 기준의 더미변수인 경우(모형 A1, A'1, B1)와 구간 단위의 연속변수인 경우(모형 A2, A'2, B2)로 더욱 세분된다.

추정과정에서 종속변수인 옥외 여가활동시간의 경우 표 1의 평균값과 최소값, 최대값을 비교하면 알 수 있듯이 상대적으로 오른쪽 꼬리가 긴 분포를 보이고 있어 자연로그를 취해 정규분포(normal distribution)에 근사시켰으며,¹¹⁾ 이에 따라 추정계수는 독립변수의 단위 변화에 대한 미세먼지 농도의 비율(%) 변화로 해석된다. 위계선형모형에서 1수준(개인특성)과 2수준(지역특성)의 분산 감소비율은 모형 A1과 A2에서 공히 각각 11.8%와 66.7%로, 2수준에서 설명된 종속변수의 분산량이 훨씬 더 크게 나타났다. 이는 개인의 옥외 여가활동시간이 성별, 연령 등의 개인특성보다 시·도별 거주지역의 특성에 따라 더 크게 차이가 날 만큼 지역특성에 대한 고려가 중요함을 의미한다. 그럼에도 종속변수의 충분산량 중 집단간 차이에 의해 설명되는 비율을 나타내는 수주간 분산비율(Intra-class Correlation, ICC)은 1.13%로 낮다. 따라서 개인특성과 지역특성의 수준을 구분하지 않고 다중회귀모형을 적용하여도 추정결과는 크게 다르지 않을 것이다.¹²⁾

표 2의 추정결과에서 일관되게 주목해야 할 변수는 미세먼지 농도이다. 모형 A1과 A2에서 모두 미세먼지 농도는 옥외 여가활동시간에 음(-)의 영향을 미치며, 그 영향은 통계적으로 유의한 것으로

나타났다. 구체적으로 모형 A1의 경우 일평균 미세먼지 농도가 임계기준인 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 상회하는 시·도의 경우 다른 모든 조건이 일정할 때(*ceteris paribus*) 해당 주민이 하루에 스포츠·레저활동 위주로 보내는 옥외 여가활동시간이 0.4% 감소하는 것으로 추정되었다. 또한 모형 A2에서는 시·도의 일평균 미세먼지 농도가 한 구간($10\mu\text{g}/\text{m}^3$) 증가함에 따라 주민의 옥외 여가활동시간이 0.3%씩 감소하는 한계효과가 관찰된다.

이와 함께 관심을 기울일 변수가 미세먼지 농도와 65세 이상 연령간 상호작용항으로, 통계적으로 유의하게 음(-)의 값을 갖을 뿐 아니라 계수값도 크게 추정되었다. 구체적으로 일평균 미세먼지 농도가 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 넘는 경우 65세 이상 주민의 옥외 여가활동시간은 추가적으로 11% 더 감소하는데, 이러한 추가 감소비율만으로도 주민 전체의 평균 감소비율 0.4%를 훨씬 상회한다(모형 A1). 또한 일평균 미세먼지 농도가 한 구간($10\mu\text{g}/\text{m}^3$) 증가함에 따라 65세 이상 주민의 옥외 여가활동시간은 추가적으로 1%씩 더 감소하여 추가 감소비율만으로도 주민 전체의 평균 감소비율 0.3%를 크게 상회한다(모형 A2). 이러한 결과는 65세 이상의 주민이 미세먼지에 훨씬 더 민감하게 반응하고 있으며, 이에 따라 미세먼지가 옥외 여가활동시간을 감소시키는 효과는 노인인구에 집중되어 있음을 알려준다.

한편 2014년 생활시간조사 자료만에 기초한 모형 A'1, A'2를 보면 시·도별 일평균 미세먼지 농도가 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 상회하거나 한 구간($10\mu\text{g}/\text{m}^3$) 증가하는 경우 옥외 여가활동시간 감소비율은 각각 8%, 1%, 그리고 65세 이상 노인의 추가적인 여가활동시간 감소비율은 각각 23%, 2%로 추정된다. 이러한 추정계수값의 크기는 2004년, 2009년, 2014년 생활시간조사 자료를 포괄하여 추정한 모형 A1, A2에 비해 커서, 시간의 흐름에 따라 미세먼지가 옥외 여가활동에 미치는 영향의 크기가 증가해 왔

Table 2. Estimation Results of Hierarchical Linear Model 표2. 위계선형모형 추정결과

variables		Model A (N=47,774)				A' (N=11,073)		Model B. (N=2,313)			
		A1		A2		A'1		B1		B2	
		Coef.	S.E.	Coef.	S.E.	Coef.	Coef.	Coef.	S.E.	Coef.	S.E.
lev. 1 1수준 individual level 개인 특성	gender 성별 (female=1)	-0.22***	0.02	-0.22***	0.02	-0.16***	-0.16***	-0.55***	0.13	-0.55***	0.13
	age 연령 (year)	0.03***	0.001	0.03***	0.001	0.02***	0.02***	0.02***	0.004	0.02***	0.004
	age ² 연령 ²	-3e-4***	3e-5	-3e-4***	3e-5	-2e-4***	-2e-4***	1e-4	2e-4	1e-4	2e-4
	spouse 배우자 (yes=1)	0.03	0.02	0.03	0.02	-0.02	-0.02	0.29**	0.12	0.29**	0.12
	preschool child (yes=1)	-0.11***	0.03	-0.11***	0.03	-0.10*	-0.11*	-	-	-	-
	child 동반자녀 (yes=1)	-	-	-	-	-	-	-0.13	0.12	-0.14	0.12
	female x preschool child	-0.01	0.03	-0.01	0.03	0.01	0.01	-	-	-	-
	female x child	-	-	-	-	-	-	-0.04	0.16	-0.04	0.16
	income 소득수준 (1m.won)	-0.04***	0.01	-0.04***	0.01	-0.02	-0.02	0.13***	0.02	0.13***	0.02
	education (college=1)	0.15***	0.02	0.15***	0.02	0.14***	0.14***	-0.18*	0.10	-0.18*	0.10
	economic activity (yes=1)	-0.76***	0.02	-0.76***	0.02	-0.60***	-0.60***	-0.02	0.10	-0.02	0.10
	65&over x PM10>50µg/m ³	-0.11**	0.06	-	-	-0.23**	-	-0.22*	0.24	-	-
	65&over x PM10(10µg/m ³)	-	-	-0.01*	0.01	-	-0.02*	-	-	-0.06*	0.07
	PM10>50µg/m ³ (yes=1)	-0.004*	0.03	-	-	-0.08*	-	-0.14*	0.11	-	-
	PM10 (10µg/m ³)	-	-	-0.003*	0.01	-	-0.01*	-	-	-0.03*	0.05
lev. 2 2수준 area level 지역 특성	SO ₂ (ppm)	2.69	6.27	1.95	6.37	6.99	6.80	34.7	22.8	32.5	22.8
	CO (ppm)	0.06	0.08	0.03	0.09	-0.04	-0.05	-0.07	0.29	-0.07	0.31
	NO ₂ (ppm)	-0.16	1.75	-0.28	1.74	-2.76	-1.28	-18.4	5.01	-19.8	5.36
	O ₃ (ppm)	3.25	1.30	2.87	1.33	-1.90	0.40	11.5	16.2	14.8	15.5
	precipitation < 0.1mm (days)	-	-	-	-	-	-	0.01**	0.01	0.01**	0.01
	temperature>25°C (days)	-	-	-	-	-	-	-0.01	0.004	-0.01	0.003
	temperature < 0°C (days)	-	-	-	-	-	-	0.002	0.002	0.003	0.002
	weekend 주말 (yes=1)	0.19***	0.05	0.19***	0.05	-	-	-	-	-	-
	survey season March=1	-0.03	0.10	-0.03	0.11	-	-	-	-	-	-
	조사시기(계절) July=1	-0.05	0.17	-0.07	0.17	0.39	0.53*	-	-	-	-
	(December=0) September=1	0.05	0.10	-0.10	0.13	0.36*	0.45**	-	-	-	-
	survey year 2004=1	0.03	0.13	0.01	0.03	-	-0.01	-	-	-	-
	(2014=0) 2009=1	0.17***	0.03	0.17***	0.03	-	-	-	-	-	-
	daily avg. temperature (°C)	0.02**	0.01	0.02**	0.01	-0.01	-	-	-	-	-
	daily avg. temp ²	1e-4	3e-4	1e-4	3e-4	-0.001	-4e-4	-	-	-	-
	forest&park 임야·공원 (%)	0.002**	0.001	0.003***	0.001	0.001	0.002	-0.004	0.002	-0.004	0.002
	sport site 체육용지 (%)	-0.04	0.03	-0.04	0.03	-0.02	-0.01	0.19**	0.08	0.20**	0.08
	metro city=1 (province=0)	-0.04	0.03	-0.04	0.03	0.001	0.01	-	-	-	-
	city/시·구=1 (county/군=0)	-	-	-	-	-	-	0.24	0.21	0.28	0.20
constant		1.22***	0.12	1.24***	0.12	0.75***	0.70***	1.83***	0.27	1.77***	0.28
constant (null model)		0.75***	0.01	0.75***	0.01	0.61***	0.61***	2.07***	0.04	2.07***	0.04
분산 요소 Variance Component		null model 무제약 모형	full model 제약모형		variance reduction ratio		null model	full model		reduc tion ratio	
			level-1 1수준	level-2 2수준				level-1	level-2		
level-1 variance 1수준 분산		2.63	2.32	2.32	11.8%		3.34	3.13	3.12	6.6%	
level-2 variance 2수준 분산		0.03	0.03	0.01	66.7%		0.02	0.03	0.01	50.0%	
total variance 총 분산		2.66	2.35	2.33	12.4%		3.36	3.16	3.13	6.8%	
ICC		1.13%	1.27%	0.43%	-		0.60%	0.95%	0.32%	-	
Deviance		182076.8	176152.0 ^a 176161.3 ^b	176038.6 ^a 176028.2 ^b	-		9372.5	9264.3 ^a 9267.7 ^b	9261.8 ^a 9267.5 ^b	-	

***p<0.01 **p<0.05 *p<0.1 a: A1, B1 models b: A2, B2 models (The rest is identical, 나머지는 A1-A2, B1-B2 동일)

음을 시사하고 있다. 또한 2008년 국민여가활동조사 자료에 기초한 ‘시·군·구별 연평균’ 모형(모형 B)의 추정결과를 살펴보면, 미세먼지 농도는 모형 B1과 B2에서 모두 옥외 여가활동시간에 통계적으로 유의한 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타난다. 구체적으로 시·군·구별 연평균 미세먼지 농도가 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 상회하거나 한 구간($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 증가하는 경우 옥외 여가활동시간은 각각 14%와 3%씩 감소한다. 나아가 이에 따른 65세 이상 노인의 추가적인 여가활동시간 감소비율은 각각 22%와 6%로, 노인인구의 총 감소비율은 각각 $36(=14+22)\%$ 와 $9(=3+6)\%$ 에 달한다. 이러한 추정계수값의 크기 역시 ‘시·도별 일평균’ 모형(모형 A)에 비해 훨씬 커서, 미세먼지가 옥외 여가활동에 미치는 영향이 분석단위나 시점의 차이에도 불구하고 일관되게 나타날 수 있음을 확인해 준다.

한편 통제변수 중 눈여겨 볼만한 추정결과를 주로 모형 A를 중심으로 살펴보면, 미세먼지에 비해 다른 대기오염물질인 이산화황(SO_2), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO_2), 오존(O_3)의 농도는 주민의 옥외 여가활동시간에 통계적으로 유의한 변화를 초래하지 않는다. 이러한 결과는 역으로 대기의 질을 결정하는 여러 물질 중에서 미세먼지가 주민의 일상활동에 영향을 미칠 만큼 가장 민감하게 체감되고 있는 오염물질임을 시사한다. 또한 기상·기후요인으로 일평균 온도가 올라갈수록 옥외 여가활동시간이 유의하게 증가하지만, 계절에 따른 차이는 크게 유의하지 않다. 모형 B의 경우에는 연간 강수량이 0.1mm 미만인 날짜수가 많을수록 옥외 여가활동시간이 유의하게 늘어나는 현상이 관찰된다. 토지이용과 관련된 지역특성으로는 임야·공원비율이 옥외 여가활동에 긍정적으로 기여하는 것으로 추정된다. 다만 모형 B의 경우에는 임야·공원비율 대신 체육용지비율의 기여도가 유의하게 나타난다.

마지막으로 개인특성에 있어서는 여성이 남성에

비해, 그리고 미취학자녀가 있는 경우 옥외 여가활동시간이 적게 나타나는데, 미취학자녀가 있는 여성의 경우 추가적인 감소효과는 통계적으로 유의하지 않다. 연령이 증가함에 따라 옥외 여가활동시간이 늘어나다가 일정 수준을 넘어 연령이 더 증가하면 다시 줄어드는 비선형의 관계도 유의하게 관찰된다. 경제활동을 영위하는 경우 옥외 여가활동시간이 감소하는 것은 예상할 수 있는 결과이지만, 소득수준이 높을수록 옥외 여가활동시간이 감소하고 교육수준이 높을수록 증가하는 현상에 대해서는 모형 B의 경우 상반된 결과가 관찰된다.

V. 결 론

본 연구는 미세먼지가 건강에 대해 미치는 직접적이고 특징적인 영향뿐 아니라 옥외 활동을 감소시켜 초래할 수 있는 간접적이지만 보편적인 영향에 주목하여, 실제 미세먼지가 옥외 여가활동에 어떠한 영향을 미치는지를 실증적으로 분석하고자 하였다. 실증분석의 어려움은 시·공간적 변화가 큰 미세먼지 농도에 미시적으로 대응할 수 있는 옥외 여가활동 자료가 마땅치 않다는 점으로, 이에 일평균, 시·도 단위의 2004년, 2009년, 2014년 생활시간조사 자료를 기본으로 하고, 연평균, 시·군·구 단위의 2008년 국민여가활동조사 자료를 보완적으로 사용하였다. 두 자료는 시·공간 분석단위의 차이에도 불구하고 지역의 미세먼지 농도가 주민의 옥외 여가활동시간에 통계적으로 유의한 음(-)의 영향을 미치고 있다는 추정결과를 일관되게 보여주고 있다. 또한 시간의 흐름에 따라 미세먼지가 옥외 여가활동에 미치는 영향이 증대해 왔음도 감지할 수 있었다.

위계선형모형에 의거할 때 시·도별 일평균, 시·군·구별 연평균 미세먼지 농도가 임계기준인 50μ

g/m³을 상회하는 경우 옥외 여가활동시간은 각각 0.4%, 14% 감소하고, 미세먼지 농도가 한 구간(10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 증가함에 따라서는 각각 0.3%, 3%씩 감소하는 것으로 추정된다. 더욱이 65세 이상 노인인구의 옥외 여가활동시간은 추가적으로 더욱 감소하여, 미세먼지 농도가 임계기준을 상회하는 경우 총 감소효과는 각각 11.4%, 36%에 달하고, 한 구간 증가에 따른 총 한계감소효과는 각각 1.3%, 9%씩에 이른다.

이러한 실증분석 결과는 미세먼지를 줄이려는 정책적 노력이 건강의 특정 위험요인을 제어하는 직접적인 효과는 물론이고, 이와 동시에 옥외 여가활동을 진작시킴으로써 보편적으로 건강상태를 증진시키는 간접적인 효과를 발휘할 수 있음을 확인해 준다. 특히 그 정책효과는 노인인구의 옥외 여가활동을 진작시키는데 더욱 크게 발휘될 것으로 기대되기 때문에, 옥외 여가활동이 노인의 건강 유지를 위한 가장 일상적이고 보편적인 수단이라는 점을 고려할 때 미세먼지 저감 대책은 고령화사회에 대응하는 기초적인 국민건강 대책으로 그 중요성이 더욱 증대되어야 할 것이다.

이에 따라 도시계획 차원에서도 자동차 교통의 화석연료 사용에 따른 대기오염을 저감하기 위해 직주근접형 도시공간구조를 구축하고 대중교통 이용을 활성화하는 정책적 노력이 요구된다. 이러한 점에서 특히 대중교통 지향형 개발(TOD: Transit-Oriented Development)은 직접적으로 보행활동을 진작시킬 뿐 아니라, 간접적으로 대기오염 저감을 통해 옥외 여가활동을 증대시키기 때문에 건강도시 구현에 크게 기여할 수 있다. 그리고 이와 같이 대중교통에 의해 대기오염이 저감되면, 이는 다시 보행과 옥외 활동을 수반하는 대중교통의 이용을 증가시키는 선순환구조를 가질 수 있다. 이 외에 토지이용 측면에서 공원·녹지와 체육용지의 공급 증대도 옥외 여가활동을 진작시켜 건강도시를 조성하

는데 유용한 도시계획 수단이 될 수 있음을 확인할 수 있다.

- 주1. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>
- 주2. http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classification.php
- 주3. 세계보건기구의 정의에 따르면 건강도시란 물리적·사회적 환경을 개선하고 지역사회의 모든 구성원이 상호 협력하여 시민의 건강과 삶의 질을 향상시키기 위해 지속적으로 노력하는 도시를 가리킴(WHO, Health Promotion Glossary, 1998:13).
- 주4. 2014년 미세먼지 농도 자료는 환경부의 대기환경정보 사이트(<http://www.airkorea.or.kr>)에서 직접 열람할 수 있으며, 이전 자료는 2011년 이후에 한해 국립환경과학원 정보공개청구를 통해 구득할 수 있음.
- 주5. 구체적으로 2004년, 2009년의 경우 '걷기·산책', '등산·하이킹', '드라이브', '소풍', '구경', '그 외 집 밖의 레저활동(낚시, 캠핑, 놀이공원 등)'으로, 2014년의 경우 '걷기·산책', '달리기·조깅', '자전거·인라인', '등산', '낚시·사냥'으로 구성됨.
- 주6. 거주지 주소는 2010년 읍·면·동 단위까지 세분되었으나, 2012년 이후에는 시도 단위로 제공되고 있음.
- 주7. 연평균 미세먼지 농도는 2007년 6월~2008년 5월 동안 월별 농도를 평균하여 산출함.
- 주8. WHO Air Quality Guidelines (<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>)
- 주9. 환경정책기본법 시행령 제2조, 별표(환경기준).
- 주10. 네 가지 대기오염물질에 대한 세계보건기구의 권고기준(이하 a)과 한국의 환경기준(이하 b)은 이산화황의 경우 일/10분(a), 연/일/1시간(b), 일산화탄소의 경우 8시간/1시간(b), 이산화질소의 경우 연/1시간(a), 연/일/1시간(b), 오존의 경우 8시간(a), 8시간/1시간(b) 단위로 너무 다원화되어 있어 단순히 각 농도를 연속변수로 처리함.
- 주11. 옥외 여가활동시간이 '0'인 경우는 '1'로 변환하여 로그값이 '0'이 되도록 하였음.
- 주12. 실제 다중회귀모형을 적용한 결과, 모든 변수의 추정계수가 그 방향과 통계적 유의도에 있어 위계선형모형과 거의 차이가 없었음(결정계수값은 모형 A1, A2 모두 12.6%). 또한 독립변수들의 분산팽창계수(VIF: Variance Inflation Factor)값은 5 이하로 다중공선성(multi-collinearity) 문제는 없는 것으로 판단됨.

인용문헌

References

1. 서미숙, 2015. “미세먼지 농도가 경제활동시간에 미치는 영향”, 『여성경제연구』, 12(1):75-100.

- Seo, M. 2015. "The Impact of Particulate Matter on Economic Activity", *Journal of Women and Economics*, 12(1):75-100.
2. 윤정미·최막중, 2014. "도시 오픈스페이스가 옥외 여가활동에 미치는 영향 - 전체 주민과 노인을 대상으로", 「한국조경학회지」, 42(4):21-29.
- Youn, J-M. and Choi, M. J., 2014. "The Effect of Urban Open Space on Outdoor Leisure Activities - Focusing on Whole Residents and the Elderly", *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture*, 42(4):21-29.
3. 조정형·김영재, 2016. "신체적 여가활동에 미치는 기상환경 요인 탐색 - 다층모형 적용", 「한국체육학회지」, 55(6): 615-624.
- Cho, J-H. and Kim, Y-J., 2016. "Weather environmental factors influencing of leisure physical activity: Applying a multi-level model", *The Korean Journal of Physical Education, Recreation, and Dance*, 55(6): 615-624.
4. 차승은, 2017. "여가시간, 얼마나 움직이십니까?: 여가시간에 이루어지는 성인의 신체활동 수준 분석", 「여가학연구」, 15(1):1-24.
- Cha, S., 2017. "Physical Activities at Leisure Time: Application of MET (Metabolic Equivalent Test) Score", *Journal of Leisure Studies*, 15(1):1-24.
5. 허지정·최막중, 2017. "가구특성에 따른 여가시간 배 분 및 여가장소 선택", 「국토계획」, 52(6): 57-72.
- Hur, J-J. and Choi, M. J., 2017. "Household Characteristics Affecting Allocation of Leisure Time and Choice of Leisure Place", *Journal of Korea Planning Association*, 52(6):57-72.
6. Bresnahan, B., Dickie, M. and Gerking, S., 1997. "Averting behavior and urban air pollution", *Land Economics*, 73(3):340-357.
7. Cai, Q., 2016. "The Impact of Haze on the Space Environment of Outdoor Activities in Cold Region", *Public Communication of Science and Technology*, 19:158-159.
8. Cho, H-S. and Choi. M. J., 2014. "Effects of Compact Urban Development on Air Pollution: Empirical Evidence from Korea", *Sustainability*, 5968-5982, doi:10.3390/su6096968
9. Godbey, G., 2009. "Outdoor Recreation, Health, and Wellness: Understanding and Enhancing the Relationship", *SRFF Discussion Paper*; No. 09-21. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1408694> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1408694>.
10. Jiu, J. and Zhang, M., 2016. "Daily Consumption Activities of Different Classes Impacted by Smog and Their Constraint", *Tropical Geography*, 36(2):181-188.
11. Kerry, S. and William H., 1985. "Averting Behavior: Does it Exist?", *Economics Letters*, 20:291-296.
12. Noonan, D., 2014. "Smoggy with a chance of altruism: The effects of ozone alerts on outdoor recreation and driving in Atlanta", *Policy Studies Journal*, 42(1):122-145.
13. Sexton, A., 2012. "Responses to Air quality Alerts: Do Americans Spend Less Time Outdoors?", Ph. D. Dissertation, University of Minnesota.
14. Sugiyama, T. and Thompson, C. W., 2007. "Older people's health, outdoor activity and supportiveness of neighbourhood environments", *Landscape and Urban Planning* 83:168-175.
15. WHO (World Health Organization), 2005. *Air Quality Guidelines Global Update*, WHO Regional Office for Europe: Copenhagen.
16. Zheng, S., Zhang, X., Song, Z. and Sun, C., 2016. "Influence of air pollution on urban residents' outdoor activity: Empirical study based on dining-out data from the Dianping website", *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 51(1):89-96.

Date Received 2018-01-05
 Reviewed(1st) 2018-02-23
 Date Revised 2018-03-30
 Reviewed(2nd) 2018-04-17
 Date Accepted 2018-04-17
 Final Received 2018-04-23