

제주국제공항 여객터미널의 실내 미세먼지 분석에 관한 연구 A Study on the Analysis of Fine Dust in the Passenger Terminal of Jeju International Airport

강성현* · 박윤철**†

Sung-Hyun Kang* and Youn-Cheol Park**†

(Received 14 March 2020, Revision received 31 March 2020, Accepted 01 April 2020)

Abstract : This study was conducted to analyse indoor air quality of the Jeju International Airport such as fine dust. Density of fine dust, one of major component to figure out a indoor air quality, was measured from 2014 to 2018. The test was performed based on maintenance standards and recommended standards for air quality in the regulation on the “Regulation of Indoor Air Quality” and “Standard for Indoor Air Quality Test” from the Institute of National Environment Science. The test was performed every quarterly of the year based on the “Airport Environment Condition Standards” of the notification from the Ministry of Land, Infrastructure and Transport. As results, the PM-10 and PM-2.5 particles are measured and it is found out that the indoor air quality in the passenger terminal of the Jeju International Airport is controlled less than the standard level of the Indoor Air Quality Control Law of the government.

Key Words : Jeju International Airport, Indoor air quality, Passenger terminal, Hazardous substances

1. 서 론

우리나라의 항공교통량은 1980년대로 넘어오면서 김포공항 국제선 제1터미널의 개관(1980) 및 제2터미널 신축(1988), 제주공항 신 활주로 준공 및 여객청사 신축(1983) 등의 공항시설 인프라 확충에 이어, 서울올림픽(1988) 등의 국제행사과 국민해외여행 자유화(1989)에 따라 비약적으로 성장하기 시작하였다.

이후 1998년 IMF 외환위기를 겪으면서 일시적

으로 감소하기도 하였으나, 2000년 이후로 다시 급 상승세를 이어가게 되었다.

제주국제공항은 환경은 지속적인 시설 확충에도 불구하고 2013년에는 총 여객 실적인 2,000만 명을 초과하는 등 증가하는 항공여객으로 수시로 혼잡하게 되었으며, 특히 내륙지방과 달리, 도서지방의 특성상 제주와 내륙간의 교통로는 항공로가 거의 유일한 수단이 되기 때문에, 강풍 등 기상악화로 인한 항공기 지연발생시 항공객의 분산수송 대책이 거의 전무하여 여객터미널 내 혼잡도가 더욱 가중되는 현상이 나타나게 되었다.

**† 박윤철(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-8055-182X) :

교수, 제주대학교 기계공학과

E-mail : ycpark@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3626

*강성현(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4728-494X) :

대학원생, 제주대학교 산업대학원 기계공학과

**† Youn-Cheol Park(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-8055-182X)

: Professor, Department of Mechanical Engineering, Jeju National University.

E-mail : ycpark@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3626

*Gil-Dong Hong(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4728-494X) :

Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Jeju National University.

이에 따라서, 국내 공항시설을 비롯하여 다양한 다중이용시설 등에서 발생할 수 있는 실내환경 문제 중 미세먼지농도 관리에 꾸준한 관심을 기울여 왔으며, 환경부 및 국토교통부 등의 각종 부처에서는 소관 업무에 따라 실내 공기오염을 규제하는 제도를 제정, 관리해 오고 있다.

본 연구에서는 제주공항 여객터미널 내의 미세먼지농도 측정 및 분석을 통한 제주공항 내의 미세먼지의 특성을 파악하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

2. 연구동향

최근 다중이용시설 등의 실내공기질 향상을 위한 환경성능 및 에너지 효율개선을 위한 연구로서, 기존 환기설비의 분석을 통한 환기-에너지 효율개선을 위한 연구와 하이브리드 환기의 적용 검토 및 환기설비의 합리적인 제어방안 개선에 관한 연구 등에 대한 복합적인 연구들이 활발히 진행되고 있다.

공조방식별 경제성 평가에 관한 연구로서 Park¹⁾은 국내 중소규모 공항 터미널 내 공조구획 분할 및 혼합공조방식 도입을 통한 에너지 효율을 검토하여, 기존 공항시설의 냉난방 운영사례를 분석하였으며, Park²⁾은 인천국제공항을 대상으로 공조방식별 에너지 특성 및 LCC분석을 수행하였다. Choi³⁾는 지하철 역사를 대상으로 전동기 효율에 따른 LCCA/LCA 통합모델 분석을 수행하였으며, 그 결과 기존방식 대비 초기 설비에 111%의 추가 비용이 발생하지만, 유지관리비 등 총 비용을 비교하였을 고효율 전동기 도입에 따라 23.4%의 생애주기비용 절감이 가능하다는 결론을 도출하였다.

그리고 Kim⁴⁾은 단일대학 22개 건물의 냉난방 공조방식을 전수 조사하여 에너지 효율성을 비교하였고, Jang⁵⁾은 교육시설을 대상으로 9가지 환경 모델을 설정하여 시뮬레이션을 수행하였으며, Kim⁶⁾은 노인요양시설을 대상으로 환기 방식별 모델설정 및 시뮬레이션을 수행하였으며, 기존 환기 설비대비 자연환기를 도입한 하이브리드 시스템

에 관한 연구를 수행하였다.

환기설비의 제어방식 개선에 관한 연구로는 Cho⁷⁾는 지하주차장 시설을 대상으로 환기량 적용 기준을 기존 바닥면적 또는 체적당 적용하던 방식에서 차량부하에 따른 환기량을 정의하도록 하는 방식(차량수요기반 제어방식)으로 변경 적용하는 연구를 수행하였으며, 그 결과 기존 제어방식인 단순 on-off 방식에 비해 공기질 개선 및 에너지 효율이 향상되는 결론을 얻었다.

Kim 등⁸⁾은 고온 환경의 밀폐구조 공장의 효율적인 환기방안을 제시하기 위한 연구를 수행하였으며, 작업장은 낮은 실내온도를 유지하기 위한 환기방식으로는 강제 급·배기 방식이 가장 적합하고 제시하였다.

상기와 같이 최근의 연구는 다중이용시설의 중앙공조방식 및 단순 기계환기, on-off의 제어방식와 혼합공조 및 하이브리드 환기 등 다양한 방식의 도입을 통한 에너지 절감, 공기질 개선과 열원의 효율성과 건축자재에 의한 단열효과 등의 연구가 활발하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 특수 작업장 등 다양한 환경개선을 위한 연구 노력도 꾸준히 이루어지고 있다.

3. 실험방법 및 조건

3.1 실내공기질 관리법에 의한 관리 기준

국내 다중이용시설에 대한 실내공기질 관리기준은 환경부에서 제정·관리하고 있는 “실내공기질 관리법”에 제시되어 있다. 동법에 의하여 공항시설 중 여객터미널은 해당법의 적용을 받는 다중이용시설에 해당되며, Table 1에서는 실내공기질 관리법에서 정하고 있는 다중이용시설에 대한 실내공기질 유지기준 및 권고기준에 대한 기준치를 나타내고 있다.

3.2 측정 대상 시설

본 연구 대상인 제주국제공항은 제주특별자치도 제주시 용담이동에 위치하였다. 측정대상시설인 제주공항의 시설은 Table 2에 제시하였고, 여

Table 1 Standards for indoor air quality anagement of multi-use facilities

Pollutant	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ₂ (ppm)	HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TAB (CFU/m)	CO (ppm)
Multiuse facilities						
Underground station, underground shopping mall, railway history waiting room, waiting room of passenger motor terminal, waiting room of port facilities, passenger terminal, library, museum and art gallery of airport facilities, large stores, funeral hall, movie theater, academy, exhibition facilities, Internet computer game industry sales facilities, and public bath facilities	≤ 100	≤ 50	$\leq 1,000$	≤ 100	-	≤ 10
Medical institutions, postpartum care centers, geriatric care facilities, daycare centers	≤ 75	≤ 35		≤ 80	≤ 800	
An indoor parking lot	≤ 200	-		≤ 100	-	≤ 25
An indoor gym, an indoor performance hall, a work facility, and a building used for more than one purpose	≤ 200	-	-	-	-	-

객터미널은 총 1개동의 건물에 국내선 터미널과 국제선 터미널을 동시에 운영하고 있으며, 터미널 내·외에 여객서비스를 위한 시설을 갖추고 있다.

공항 이용객의 접근 편의성을 위하여 부대시설로는 주차장, 버스·택시정류장, 국내도로와 같은 교통시설을 비롯하여, 발권 등의 수속, 수하물 위탁, 보안검색 및 탑승 등의 절차를 위한 업무시설과

Table 2 Overview of the facility

Location	Yongdam 2-dong, Jeju-si, Jeju-do	
Scale	127,740m ² (B1/4F)	
Passenger capacity	31.75 million(domestic)	27.4 million/int'l 4.35 million people)
Composition	Approach traffic	A parking lot, a driveway, and bus stops
	Processing	A waiting area, a security search
	Office	Airlines, national institutions, airport operators, etc.
	Amenities	Children's playroom, children's restroom
	Sales facility	Duty-free shops, food and beverage stores, etc.

대합실 그리고 수속 중 이용객의 피로감을 해소 시켜주고 공항이용의 편의 및 만족감을 제공하기 위한 각종 편의시설 및 상업시설들로 구성되어 있다.

제주공항 여객터미널은 개장 이후 여러 차례의 보수와 확장사업을 거쳐 현재의 모습을 갖추고 있으며, 시설 확장은 기존 시설물을 철거하지 않고 신설·확장 구조물을 연결부에 이어 설치하는 방식으로 추진하였다. 그 결과, 시설 내 지역별로 바닥면적, 천정고 등의 구조적 차이를 보이게 되었으며 특히 국내선과 국제선 지역은 많은 차이를 보이게 되었다.

제주공항 여객터미널은 보안시설 특성상 출입구 및 일부 업무지역 등을 제외하고 전체적으로 폐쇄식의 유리벽으로 되어 있으며, 실내 냉·난방 및 환기를 위하여 공조설비를 운영하고 있다. 세부사항은 Table 3에 나타난 바와 같으며, 일반적인 다중이용시설의 경우와 마찬가지로 중앙관리식 공조설비를 운영하고 있고, 국내선과 국제선에서 각각 6개와 5개의 송풍기로 공기를 순환하는 시스템으로 되어 있다. 총 급·배기 용량은 국내선이 국제선보다 2배 가량 더 운영되고 있으며, 공조 설비의 가동시간은 여객의 공항을 이용하는 시간대에 맞추어 연속적으로 운전되고 있다.

Table 3 Overview of the building air conditioning system

	Type	Blower capacity (HP)	Air supply volume (m ³ /hr)	Exhaust volume (m ³ /hr)	Operating time (hr/day)
Domestic	Individual formula	-	-	-	-
	Centrally managed	10	15,480	10,800	16:00
		20 × 8	246,180	231,456	16:00
		25 × 6	206,700	304,080	16:00
		30 × 3	122,760	116,160	16:00
		40 × 5	267,900	189,900	16:00
		50 × 3	196,980	178,920	16:00
		Total 1,056,000	Total 1,031,316		
Int'l	Individual formula	-	-	-	-
	Centrally managed	20	23,000	15,200	18:30
		30	38,900	30,300	18:30
		40	251,800	207,300	18:30
		50	132,900	108,600	18:30
		60	71,000	63,800	18:30
				Total 517,600	Total 425,200

4.2 측정기준 및 측정환경

본 연구에서는 2014년부터 2018년까지 분기마다 미세먼지농도 측정을 실시하였으며, 측정대상 오염물질과 측정횟수는 “실내공기질 관리법”에서 정하고 있는 다중이용시설에 대한 실내공기질 관리 대상 항목으로 측정하였다. 측정횟수는 “공항환경 관리기준”이 정하는 기준에 따라 시행하였으며 세부내용은 Table 4에 나타내었다.

미세먼지농도 측정을 위한 새로 채취는 실제 운영조건과 동일하게 하기 위하여, 공장 주 운영시간대(06시~22시) 내에 측정하는 것을 원칙으로 하였으며, 기계환기에 의한 공기흐름의 영향을 받지 않는 곳을 채취 장소로 선정하였다. 측정 대상 오염물질 별 시료채취시간 기준은 Table 5에 나타낸 바와 같이 측정하였다.

미세먼지농도 측정을 위한 시료채취 장소는 이용객의 이동이 많고 해당지역의 오염도를 대표할

Table 4 Measurement items of indoor air quality

Measurement item		Measurement cycle(per year)
Maintenance	PM-10 (μg/m ³), CO ₂ (ppm), HCHO (μg/m ³), CO (ppm),	Quarterly
	PM-2.5 (μg/m ³)	Yearly
	NO ₂ (ppm), Rn (Bq/m ³), VOC (μg/m ³)	Yearly

Table 5 Sampling time for pollutants

Pollutants	Sampling time
PM-10/PM-2.5/Rn	8 hours measurement during operation
CO ₂ /CO/NO ₂	1 hour measurement during operation
HCHO/VOCs	30 minutes, 2 times measurement during operation

수 있는 장소로 선정하였으며, 측정지점은 Fig. 1 및 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 국내선과 국제선

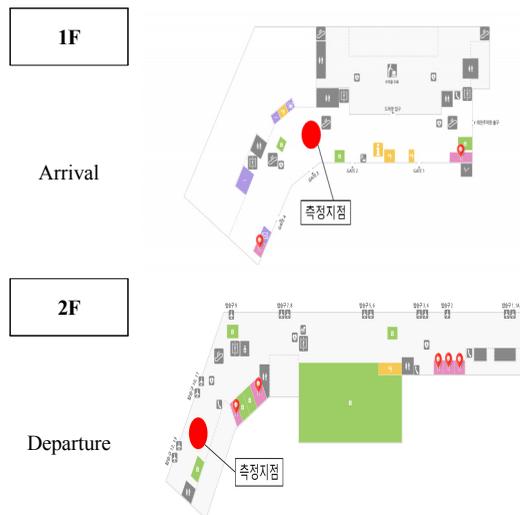


Fig. 1 Measurement location of domestic terminal

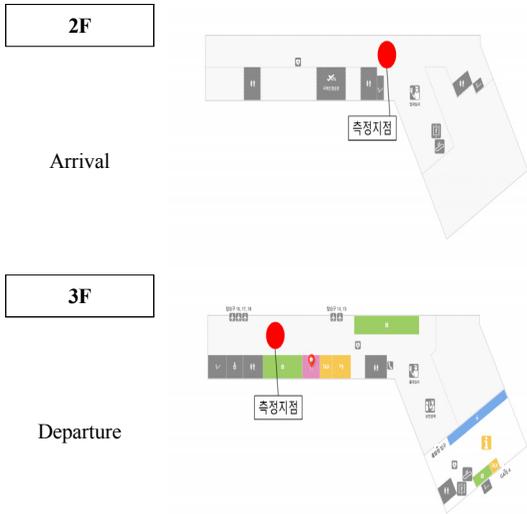


Fig. 2 Measurement location of international terminal

각각 도착·출발 2개소, 총 4개소를 선정하였다. 측정 지점에서의 측정은 대합실 바닥으로부터 1.2 m 이상 1.5 m 이내의 위치에서 측정하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 PM-10 미세먼지

국내선 지역의 PM-10 측정결과를 Fig. 3에 제시하였으며, 도착 대합실에서는 20.2~61.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를, 출발 대합실에서는 20.4~67.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 나타내었다. 평균적으로 도착 및 출발대합실의 PM-10은 20.9~64.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 나타냈으며, 두지역의 평균값은 도착지역이 31.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발지역이 33.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 도착지역에 비하여 출발지역의 농도가 다소 높게 나타났다.

Fig.4는 국제선 지역의 PM-10의 미세먼지 측정결과를 나타낸 것으로써, 도착 대합실에서는 16.7~80.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발 대합실에서는 17.5~58.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 나타내었다. 두 지역의 평균값으로 도착지역이 30.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발지역이 31.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 도착지역에 비하여 출발지역의 미세먼지 농도가 다소 높게 나타났다.

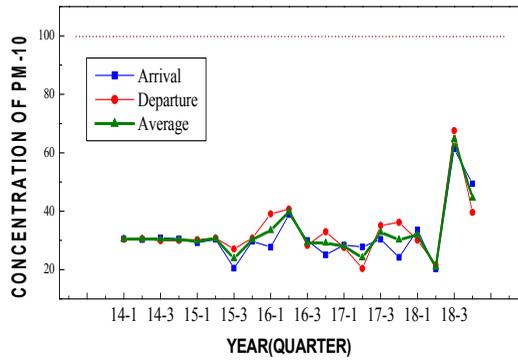


Fig. 3 PM-10 concentration at the domestic terminal

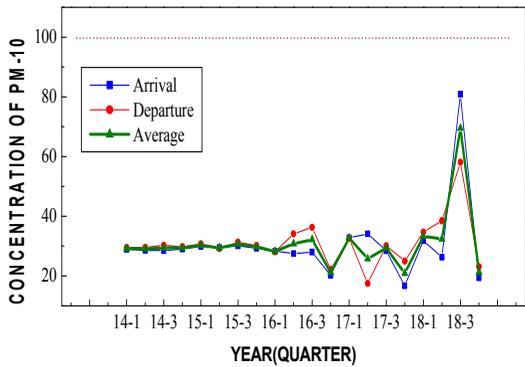


Fig. 4 PM-10 concentration at the international terminal

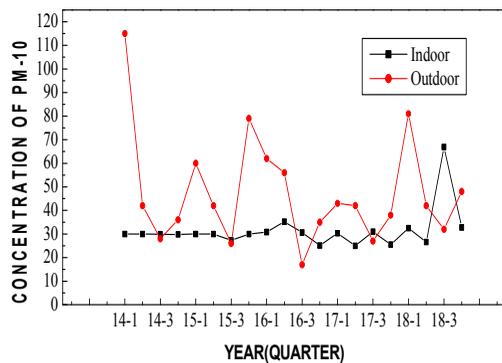


Fig. 5 Comparison of indoor and outdoor PM-10 concentration

Fig. 5는 동일 날짜에 측정된 실외 PM-10 농도와 여객터미널 PM-10 평균 농도를 나타내었다.

실외는 평균 47.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 측정범위 17~115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 실내는 평균 31.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 측정범위 25.0~66.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 실내에 비해 실외가 51% 높게 나타났으며, 실외농도 증감에 따른 실내농도 영향은 확인되지 않았다.

5.2 PM-2.5 미세먼지

Fig. 6는 국내선 지역의 PM-2.5 미세먼지 측정 결과를 나타내고 있으며, 도착 대합실의 농도는 10.9~25.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 출발 대합실의 농도는 7.9~28.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 나타내고 있다. 두지역의 평균값은 도착지역이 17.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발지역이 16.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 출발지역에 비하여 도착지역이 더 높게 나타났다.

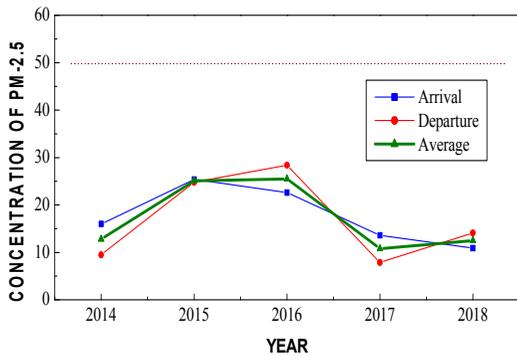


Fig. 6 PM-2.5 concentration at the domestic terminal

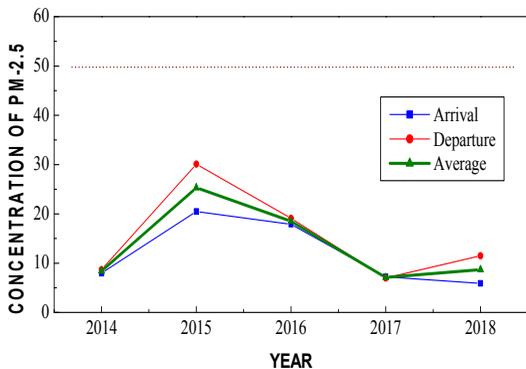


Fig. 7 PM-2.5 concentration at the international terminal

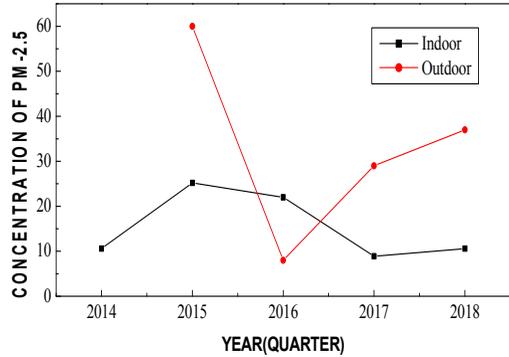


Fig. 8 Comparison of indoor and outdoor PM-2.5 concentration

국제선 지역의 PM-2.5는 결과는 Fig. 7에 나타내었으며, 도착 대합실의 5.9~20.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발 대합실에서는 7~30.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 나타내었으며, 평균값으로는 7.1~25.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 나타내고 있다.

두 지역의 평균값으로는 도착지역이 11.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발지역이 15.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 도착지역에 비하여 출발지역의 농도가 28.5% 높게 나타났다.

Fig. 8은 동일 날짜에 측정된 실외 PM-2.5 농도와 여객터미널 PM-2.5 평균 농도를 나타내었다. 2014년도를 제외한 실외 농도는 평균 33.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 측정범위 8~60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내었으며, 여객터미널 실내 농도는 평균 15.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 측정범위 8.9~25.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나, 실외 농도가 여객터미널 실내 농도에 비해 100% 이상 높은 농도를 나타내었다. 측정 시기별로 실외 농도의 등락은 큰 폭으로 나타났으나, 여객터미널 실내 농도는 전체적으로 큰 증감 없이 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이내의 농도 수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

6. 결 론

본 연구에서는 제주공항 여객터미널의 실내환경 요소 중 하나인 미세먼지 농도의 특성을 파악하기 위하여 2014년부터 2018년까지 여객터미널 내의 미세먼지농도를 측정하였다. 실내공기질에 영향을 주는 오염물질 측정대상은 “실내공기질 관리법”

에서 정하고 있는 유지기준 및 권고기준 항목 중 미세먼지 농도 PM-10, PM-2.5을 측정하였으며, 측정방법은 국립환경과학원 고시 “실내공기질 공정시험기준”에 의거하여 실시하였고, 측정횟수는 국토교통부 고시 “공항환경 관리기준”에 정하는 바에 따라 분기 1회 측정하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 국내선 지역의 PM-10분포는 평균적으로 도착 및 출발대합실의 농도가 20.9~64.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 분포를 나타냈으며, 두지역의 평균값은 도착지역이 31.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발지역이 33.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 도착지역에 비하여 출발지역의 농도가 다소 높게 나타났다.

2) 국내선 지역의 PM-2.5분포는 평균적으로 도착지역이 17.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발지역이 16.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 출발지역에 비하여 도착지역이 더 높게 나타났다.

3) 국제선 지역의 PM-10분포는 평균적으로 도착지역이 30.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발지역이 31.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 도착지역에 비하여 출발지역의 미세먼지 농도가 다소 높게 나타났다.

4) 국제선 지역의 PM-2.5분포는 평균적으로 도착지역이 11.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발지역이 15.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 도착지역에 비하여 출발지역의 농도가 28.5% 높게 나타났다.

제주공항 여객터미널 미세먼지 측정결과 “실내 공기질 관리법” 상 기준치 이하로 나타났으며, 이는 터미널내 공조설비 용량 및 운영시간 등 실내 환경이 적절하게 유지되고 있는 것으로 나타났다. 다만, 향후 이용객 수요 증감 또는 에너지 비용의 급격한 증가 등 환경변화가 예측될 경우 앞서 연구동향에서 제시하였던 하이브리드 환기방식의 확대도입 또는 제어방식의 개선 등의 검토를 수행하여야 할 것으로 판단된다. 또한 실내 미세먼지 농도의 영향을 미치는 요소는 건축구조, 공조설비, 실외환경 등 다양하게 존재하고, 측정조건에 따라 개별 측정값이 다를 수도 있음에 따라서 미세먼지 농도의 정밀한 제어와 관리를 위해서는 발생원과 환기 등 감소원에 대한 구체적인 검토가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2019학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었으며, 학위논문 “제주국제공항 여객터미널 실내공기질 특성에 관한 연구”의 일부임.

Author contributions

S. H. Kang; Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Writing-original draft.
Y. C. Park; Methodology, Project administration, Supervision, Writing-review & editing.

References

1. T. H. Kim, 2015, "The Relative Effect of Service Quality Factor of Interior Environment on Airport Customer Satisfaction", MS thesis, Seoul University, Seoul, Korea.
2. C. M. Park, 2016, "The reduction plan of air-conditioning and heating system cost for domestic small-medium airport building by analyzing the management", MS thesis, Chung-ang University, Seoul, Korea.
3. S. H. Choi, 2015, "A Study in the Integrated LCCA/LCA Model for Introducing High Efficiency into the Public Facility Air Ventilation System", MS thesis, Hanyang University, Gyeonggi, Korea.
4. S. Y. Kim, 2014, "Efficient Applications through Analysis of Heating and Cooling System to University Buildings", MS thesis, Chung-Ang University, Seoul, Korea.
5. Y. J. Jang, 2018, "Optimization Ventilation Strategies for Improvement of Indoor Air Quality and Energy Performance in a classroom", MS thesis, Chungbuk University, Chungbuk, Korea.
6. T. W. Kim, 2012, "A Study on Indoor air

- Quality and Energy Performance in care Facilities for the elderly on the Ventilation system", MS thesis, Yeungnam University, Daegu, Korea.
7. H. J. Cho, 2016, "Analysis of Energy Saving and Air Quality Enhancement Potentials of Demand-Controlled Ventilation(DCV) in Underground Parking Facilities", MS thesis, Hanyang University, Gyeonggi, Korea.
8. Kim et al., 2014, "A Study on the Ventilation Method for a Factory with a Sealed Structure", The J. of thr Korean Soc. for Power Syst. Eng. (<http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2014.18.6.159>)