



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

제주국제공항 여객터미널
실내공기질 특성에 관한 연구

濟州大學校 産業大學院

機械工學科

姜 成 賢

2019年 12月

제주국제공항 여객터미널 실내공기질 특성에 관한 연구

指導教授 朴 潤 鐵

姜 成 賢

이 論文을 機械工學 碩士學位 論文으로 提出함

2019年 12月

姜成賢의 機械工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長	김 남 진
委 員	최 종 철
委 員	박 은 철



濟州大學校 産業大學院

2019年 12月

A Study On the Indoor Air Quality of Passenger
Terminal at Jeju International Airport

Kang, Seong hyun

Supervised by Proffesor Park, Youn Cheol

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement
for the degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering
Graduate School of Industry
Jeju National University

2019. 12

- iii -

목 차

List of figures	iii
List of tables	v
Summary	vii
I. 서 론	1
1. 1 연구배경	1
1. 2 연구동향	5
1. 3 연구방법	7
II. 이론적 고찰	8
2. 1 공항시설 및 공항 서비스의 개념	8
2. 2 실내공기질 및 실내공기오염에 관한 고찰	11
2. 3 실내공기질 관련 제도 및 기준	18
III. 실내공기질 측정	20
3. 1 측정 대상 시설	20
3. 2 측정기간 및 대상	21
3. 3 측정조건	21
3. 4 측정장비 및 측정방법	23
3. 5 측정결과의 분석 및 평가	27
IV. 측정결과 및 분석	28
4. 1 PM-10 미세먼지	28
4. 2 PM-2.5 미세먼지	32
4. 3 이산화탄소(CO ₂)	36
4. 4 폼알데하이드(HCHO)	42
4. 5 일산화탄소(CO)	45
4. 6 이산화질소(NO ₂)	49

4. 7 라돈(Rn)	53
4. 8 휘발성유기화합물(VOCs)	56
V. 결론	59
VI. 참고문헌	61
Appendix Outdoor air pollutants concentration	63

List of Figures

Fig. 1 Air-transport passenger in Korea (1970 ~ 2010)	1
Fig. 2 Research flow diagram	7
Fig. 3 Factors affecting indoor air quality	11
Fig. 4 Maximum deficiency limit by substance	15
Fig. 5 Percentage of air intake by place	15
Fig. 6 Health effects on stationary and air pollutant concentration	16
Fig. 7 Measurement location of domestic terminal	22
Fig. 8 Measurement location of international terminal	22
Fig. 9 Measurement equipment for PM-10 material	23
Fig. 10 Measurement equipment for PM-2.5 material	23
Fig. 11 Measurement equipment for CO ₂	24
Fig. 12 Measurement equipment for HCHO	24
Fig. 13 Measurement equipment for CO	25
Fig. 14 Measurement equipment for NO ₂	25
Fig. 15 Measurement equipment for Rn	26
Fig. 16 Measurement equipment for VOCs	26
Fig. 17 PM-10 measurement results of domestic terminal	28
Fig. 18 PM-10 measurement results of international terminal	29
Fig. 19 Comparison of indoor and outdoor PM-10 concentration	30
Fig. 20 PM-2.5 measurement results of domestic terminal	32
Fig. 21 PM-2.5 measurement results of international terminal	33
Fig. 22 Comparison of indoor and outdoor PM-2.5 concentration	34
Fig. 23 CO ₂ measurement results of domestic terminal	36
Fig. 24 CO ₂ measurement results of international terminal	37

Fig. 25 Comparison of CO ₂ with domestic arrival passenger	39
Fig. 26 Comparison of CO ₂ with domestic departure passenger	39
Fig. 27 Comparison of CO ₂ with domestic departure passenger	40
Fig. 28 Comparison of CO ₂ with international departure passenger	40
Fig. 29 HCHO measurement results of domestic terminal	42
Fig. 30 HCHO measurement results of international terminal	43
Fig. 31 CO measurement results of domestic terminal	45
Fig. 32 CO measurement results of international terminal	46
Fig. 33 Comparison of indoor and outdoor CO concentration	47
Fig. 34 NO ₂ measurement results of domestic terminal	49
Fig. 35 NO ₂ measurement results of international terminal	50
Fig. 36 Comparison of indoor and outdoor CO concentration	51
Fig. 37 Radon(Rn) measurement results of domestic terminal	53
Fig. 38 Radon(Rn) measurement results of international terminal	54
Fig. 39 VOCs measurement results of domestic terminal	56
Fig. 40 VOCs measurement results of international terminal	57

List of Tables

Table 1 Contribution rate of domestic passenger at Jeju Airport	2
Table 2 History of Jeju Airport	3
Table 3 Composition of airport facilities by function	8
Table 4 Relationship between comfort-related factors and satisfaction(KAC-CSI)	10
Table 5 Outdoor sources of major indoor air pollutants	12
Table 6 Types of ventilation methods	13
Table 7 Indoor and outdoor sources of air pollutants	14
Table 8 Major indoor air pollutants and sources	14
Table 9 Effects of CO ₂ concentration	16
Table 10 Symptoms of formaldehyde concentration	17
Table 11 Effects of indoor air pollutants on human body	17
Table 12 Standards for indoor air quality management of multi-use facilities	18
(a) Maintenance, (b) Recommendation	
Table 13 Overview of the facility	20
Table 14 Measurement items of indoor air quality	21
Table 15 Indoor environment factors affecting the PM-10 concentration	29
(a) Domestic terminal, (b) International terminal	
Table 16 Average concentration of PM-10	31
Table 17 Indoor environment factors affecting the PM-2.5 concentration	33
(a) Domestic terminal, (b) International terminal	
Table 18 Average concentration of PM-2.5	35
Table 19 Indoor environment factors affecting the CO ₂ concentration	37
(a) Domestic terminal, (b) International terminal	
Table 20 Average concentration of CO ₂	41
Table 21 Indoor environment factors affecting the HCHO concentration	43
(a) Domestic terminal, (b) International terminal	

Table 22 Average concentration of HCHO	44
Table 23 Indoor environment factors affecting the CO concentration	46
(a) Domestic terminal, (b) International terminal	
Table 24 Average concentration of CO	48
Table 25 Indoor environment factors affecting the NO ₂ concentration	50
(a) Domestic terminal, (b) International terminal	
Table 26 Average concentration of NO ₂	52
Table 27 Indoor environment factors affecting the Radon(Rn) concentration	54
(a) Domestic terminal, (b) International terminal	
Table 28 Average concentration of Radon(Rn)	55
Table 29 Indoor environment factors affecting the VOCs concentration	57
(a) Domestic terminal, (b) International terminal	
Table 30 Average concentration of VOCs	58

Summary

This study carried out the measurement and analysis of indoor air quality at the passenger terminal of Jeju Airport from 2014 to 2018. Measured contaminants for indoor air quality degradation were targeted at PM-10, PM-2.5, carbon dioxide (CO₂), formaldehyde (HCHO), carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO₂), radon (Rn), and volatile organic compounds (VOCs), as provided under the Act on Management of indoor air quality. The measurement method was carried out in accordance with the National Institute of Environmental Research Notice "Internal Air Quality Process Test Standards," and the number of measurements was measured in accordance with the "Airport Environment Control Standards" specified in the Land, Infrastructure and Transport Ministry. The effects of indoor and outdoor environments were investigated and compared and analyzed to identify the factors affecting the measurement results. Finally, the measurement results were compared with the criteria specified in the Maintenance Standards and Recommendation Standards of the Indoor Air Quality Management Act to determine whether they were appropriate.

According to the measurement and analysis of indoor air quality, PM-10 was measured at 25 - 66.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-2.5 was 8.9 - 25.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CO₂ was 497.5 - 735.3 ppm, Formaldehyde (HCHO) was 9 - 49.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and carbon monoxide (CO) was measured at 0.1 - ppm, Nitrogen dioxide (NO₂) was 0.007 - 0.037 ppm, radon (Rn), 6.48 - 47.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and total volatile organic compounds (VOCs) were measured at 57.5 - 202 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

As an investigation into the effects of indoor air quality on indoor air quality by indoor environment, it was confirmed that there could be an inflow

of outdoor air through indoor and outdoor ventilation, the generation of metabolites due to the activities of the occupants, building materials such as internal paints, and everyday items such as clothing worn by passengers.

Comparing the indoor concentration effects of PM-10, PM-2.5, CO and NO₂ due to the inflow of outdoor air, the effects of indoor concentration due to the increase and decrease of outdoor air quality were not confirmed.

Based on the measurement results of indoor air quality at Jeju Airport's passenger terminal, it was confirmed that the results were within the standard in all items.

I. 서 론

1.1 연구배경

1. 1. 1 국내 항공교통 발전

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 국제행사와 국민해외여행 자유화(1989)에 따라 비약적으로 성장하기 시작하였다. 이 후 1998년 IMF 외환위기를 겪으면서 일시적으로 감소하기도 하였으나, 2000년 이후로 다시금 상승세를 이어가게 되었다. 한편 국내선 여객은 2000년대 초 내륙 지역 고속도로 개통 및 도로확장, 고속철도 확충의 영향에 따라 약 5년 간 감소하는 추세를 보였으나, '05년도 이후 등장한 저비용 항공사(Low Cost Carrier)의 영향으로 인하여 다시금 상승세로 돌아서게 되었다. Fig. 1은 1970년에서 2010년까지의 우리나라 국내선 및 국제선 여객 추이를 나타내고 있다.

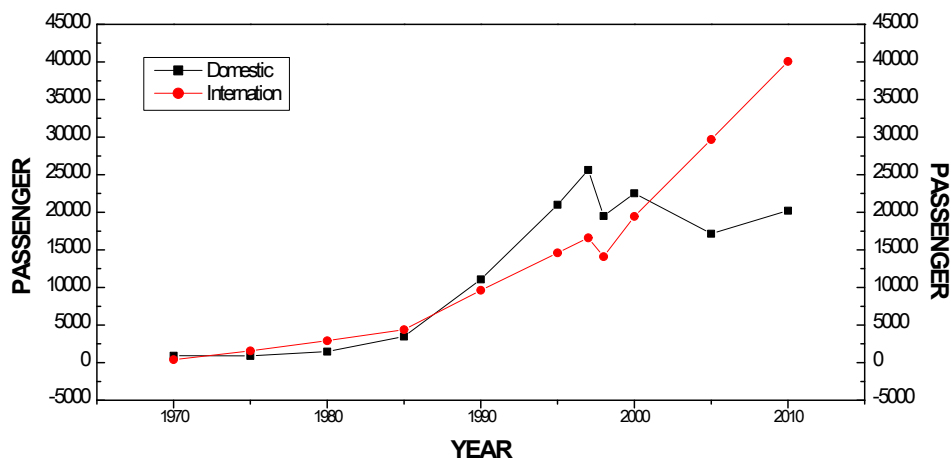


Fig. 1 Air-transport passenger in Korea (1970 - 2010)

1. 1. 2 국내 공항 현황

우리나라는 김포, 인천, 김해, 제주를 비롯하여 총 15개의 국제·국내 공항을 운영하고 있으며, 공항별로 등급을 구분하지는 않으나 인천국제공항을 수도권의 관문공항, 김포국제공항을 수도권의 국내선 공항 및 단거리 국제선의 보조공항의 역할을 담당하도록 하였고, 나머지 공항을 지방의 항공교통편의 증진을 위한 지방공항의 개념으로 구분하고 있다. 이들 15개 공항 중 국제노선은 주로 인천과 김해공항에 집중되어 있었으나, 최근에는 대구, 무안 등에서 저비용항공사에 의한 지방공항 국제선 노선 증선 등이 활발하게 이루어지고 있으며, 국내노선 운송은 수도권 지역인 서울(김포공항)과 광역시인 부산(김해공항), 그리고 국내 최대 관광지인 제주공항을 중심으로 하여 이루어지고 있다. 특히, 육상교통이 발달한 내륙과 달리 육상교통이 제한되어 있는 제주도에 위치한 제주공항이 국내선 운항에서 가장 높은 실적을 나타내고 있으며, 전체 국내선 실적 대비 처리 분담률 또한 Table 1에 나타낸 바와 같이 상당한 비중을 차지하게 되었다.

Table 1 Contribution rate of domestic passenger at Jeju airport

Year	Passenger	Increase rate	Performance ratio
2000	8,793,142	-	19.1%(total 45,863,244)
2005	10,749,027	22.2%	30.9%(total 34,760,162)
2010	15,010,737	39.6%	36.6%(total 40,935,642)

1. 1. 3 제주공항 연혁

제주공항은 1942년 일본 육군비행장을 설치, 이 후 민간항공기 취항 및 국제공항 승격 이후 여러 차례의 시설확장을 추진하여 왔다. Table 2 에서는 제주공항의 최초 설치와 현재까지의 주요 시설 사업에 대한 연혁을 나타내고 있다.

Table 2 History of Jeju Airport

1940	1942. 01	Japanese army airfield installation
	1945. 08	U.S. military government took over the airfield
	1949. 02	Civilian aircraft service initiated
	1958. 01	Jeju airfield installation
	1968. 04	Promotion to international airport
1970	1979 - 1983	Jeju International Airport extension
	1985. 09. 06	Establishment of Jeju branch of Korea Airports Corporation(KAC)
2000	2000. 07	Opening and operating of the new cargo terminal
	2004. 06. 08	Start operation of new control tower
	2009. 11. 25	Opening of new international terminal
2010	2012. 12	Completion of Jeju International Airport extension
	2019. 03	Completion of the Jeju International Airport landside infrastructure expansion

1. 1. 4 제주공항 여객증가에 따른 여객터미널 실내환경 영향

제주공항은 지속적인 시설 확충에도 불구하고, 2013년에는 총 여객 실적이 2,000만명을 초과하는 등 증가하는 항공여객으로 수시로 혼잡하게 되었다. 특히 내륙지방과 달리, 도서지방의 특성상 제주와 내륙간의 교통로는 항공로가 거의 유일한 수단이 되기 때문에, 강풍 등 각종 악 기상에 의한 지연 발생시, 항공여객의 분산 수송 대책이 거의 전무하여 여객터미널 내 혼잡도가 더욱 가중되는 현상이 나타났다.

제주공항은 운항 증가, 대체 교통수단 부재로 인한 지연 시 혼잡발생 등은, 탑승을 대기하고 있는 여객들이 대기 장소인 여객터미널 내 실내환경 악화 문제를 유발하게 되었다. 여객 혼잡 발생 시 한정된 공간에서의 이동 상 불편 뿐 아니라, 각종 소음 발생, 대기 여객 및 상주직원(항공사 등)의 활동에 의한 이산화탄소 발생은 여객들의 피로를 더욱 가중 시키고 이는 공항이용의 불편한 경험으로 이어지게 되었다.

우리나라에서는 공항시설을 비롯하여 다양한 다중이용시설 등에서 발생할 수 있는 실내환경 문제 중 실내공기질 관리에 꾸준한 관심을 기울여 왔으며, 환경부 및 국토교통부 등의 각종 부처에서는 소관 업무에 따라 실내공기오염을 규제하는 제도를 제정, 관리해 오고 있다. 또한, 최근 중국발 황사 및 미세먼지 등의 증가 및 실내공기질 악화에 따른 건강영향에 대한 인식 강화에 따라, 국내에서의 실내공기질에 대한 관심은 더욱 더 고조되고 있다.

본 연구에서는 제주공항 이용자들에게 보다 쾌적한 실내환경을 제공하기 위한 기초자료로서, 여객터미널의 실내공기질 측정 및 분석을 통한 제주공항 실내공기질의 특성 파악하기 위한 연구를 수행 하였다.

1. 2 연구동향

최근 다중이용시설 등의 실내공기질 향상을 위한 환기성능 및 에너지 효율 개선을 위한 연구로서, 기존 환기설비의 분석을 통한 환기·에너지 효율 개선을 위한 연구와 하이브리드 환기의 적용 검토 및 환기설비의 합리적 제어방안 개선에 관한 연구 등에 관한 복합적 연구들이 활발히 이루어지고 있다.

공조방식별 경제성 평가에 관한 연구로서 Park [10]는 국내 중소규모 공항 터미널 내 공조구획 분할 및 혼합공조방식 도입을 통한 에너지 효율을 검토하기 위하여, 기존 공항시설의 냉난방 운영사례를 분석하고 이에 대한 개선안 검토 및 LCC 분석을 수행하였다. 그 결과, 기존 중앙공조방식 대비 혼합공조방식 운영이 냉난방 공급의 효율적 운영으로 인하여 비용이 절감됨을 확인하였다. Park [11]는 인천국제공항을 대상으로, 공조방식별 에너지 특성 및 LCC 분석을 수행하였다. 그 결과 ALL CAV(정풍량 방식) 방식보다 CAV + VAV(변풍량) 방식이 초기 투자 비용에서 다소 높지만, 건물부하 변동에 대한 대응력 및 에너지 절감 효과로 인하여 경제성은 더 높게 나타나며, 건축적 측면에서 차폐계수가 높은 유리외벽 자재(LOW-e)를 선정하는 것이 전도 및 일사부하를 감소시켜 에너지 절감에 기여한다고 하였다.

Choi [5]는 지하철 역사를 대상으로 전동기 효율에 따른 LCCA/LCA 통합모델 분석을 수행하였으며, 그 결과 기존방식 대비 초기 설비에 111%의 추가 비용이 발생하지만, 유지 관리비 등 총 비용을 비교하였을 때는 고효율 전동기 도입에 따라 23.4%의 생애주기비용 절감이 가능한 것으로 나타났다. 그리고 Kim [8]은 단일 대학 22개 건물의 냉난방 공조방식을 전수 조사하여 에너지 효율성을 비교하였으며, 그 결과 공조 열원에 있어 전기열원이 가스열원보다 에너지 비용이 절감되며, 건물의 단열상태에 따라 에너지 비용이 90% 이상 차이난다고 하였다. 또한 공조설비 자동제어 적용 시 미 적용 건물 대비 70% 에너지 개선 효과가 있다고 하였다.

기존 기계환기와 자연환기를 혼합하여 운영하는 하이브리드 환기 방식에 대한 성능 및 적용성 등에 대한 연구로서, Jang [7]은 교육시설을 대상으로 9가지 환기모델을 설정, 시뮬레이션을 수행하여 최적의 하이브리드 환기방안을 검토하였으며, 그 결과 교차환기가 환기 및 에너지 성능 측면에서 보았을 때 가장 뛰어난 것으로 나타났다. 또한 환기방식을 고려할 때 건축물 주변의 외기 환경 및 창호 등의 방향에 따른 건축물 부하 영향에 대한 검토도 동시에 진행된다는 것을 언급하였다. Kim [10]은 노인요양시설을 대상으로 하여 환기 방식별 모델 설정 및 시뮬레이션을 수행하였으며, 기존 환기설비 대비 자연환기를 도입한 하이브리드 시스템의 환기 성능이 더 뛰어난 것으로 나타났다.

환기설비의 제어방식 개선에 관한 연구로서 Cho [5]는 지하주차장 시설을 대상으로 환기량 적용기준을 기존 바닥면적 또는 체적당 적용하던 방식에서 차량부하에 따라 환기량을 정의하도록 하는 방식(차량수요기반 제어방식)으로 변경 적용하였으며, 차량부하 변동에 따른 환기량 제어 방식 도입시 공기질 개선 및 에너지 절감 등 적용성에 대하여 검토하였다. 그 결과 기존 제어방식인 단순 on-off 방식에 비하여 공기질 개선 및 에너지 효율에 있어 우수한 것으로 나타났다. 실내공기질 및 위해성과 관련하여 양원호[2]는 다양한 문헌 등의 고찰을 통하여 실내공기질의 정의 및 영향요인, 측정 및 평가방법 등에 대한 다양한 연구 결과를 제시하였다.

상기와 같은 최근의 연구 흐름을 보았을 때, 기존 다중이용시설에 주로 적용되었던 중앙공조방식 및 단순 기계환기 및 on-off식의 제어방식에서 벗어난 혼합공조 방식 및 하이브리드 환기방식, 수요기반 공조제어 등 다양한 방식과 기준의 도입을 통한 에너지 절감 및 공기질 개선을 위한 연구를 수행하고 있다는 것을 알 수 있으며, 또한 단순 공조기계적 접근 차원을 넘어서, 사용열원의 효율성과 건축자재에 의한 단열효과 등의 영향을 종합적으로 검토하는 등의 연구가 활발하게 이루어지고 있음을 알 수 있다.

1. 3 연구방법

본 연구에서는 제주국제공항 여객터미널 내 실내공기질 측정 및 분석을 통하여 여객 대합실 내 실내공기질 특성을 파악하고, 주변 대기환경 및 시설구조, 여객 이용 현황 등 실내공기질 영향요인에 대한 분석을 통하여, 대합실 실내공기오염 발생에 영향을 주는 주요 원인 및 문제점에 대하여 고찰하였다. Fig. 2 에서는 세부 연구내용 및 흐름을 나타내고 있다.

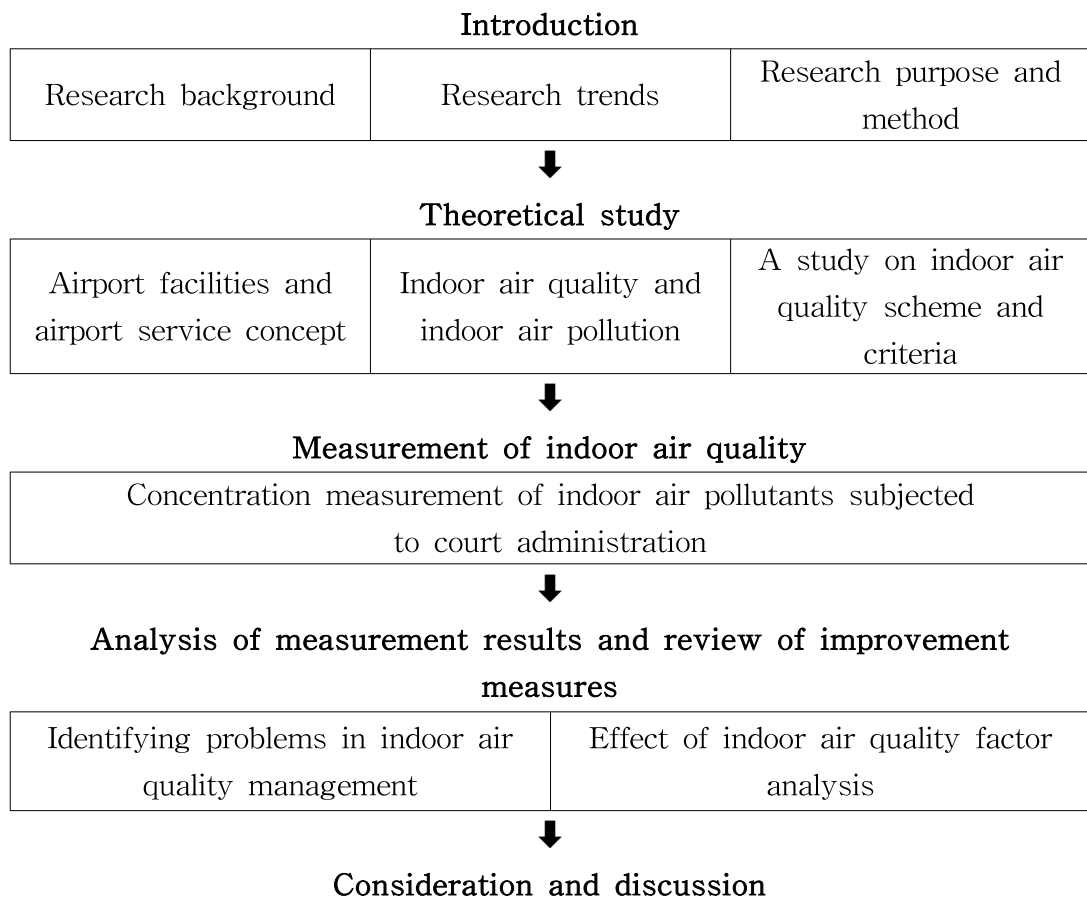


Fig. 2 Research flow diagram

II. 이론적 고찰

2. 1 공항시설 및 공항 서비스의 개념

2. 1. 1 공항의 개념

비행기를 이용한 항공교통은 미국의 라이트 형제가 1903년 최초로 비행을 성공한 이래로 출발하였으며 약 100여년의 짧은 역사 동안 급속도로 발전하고 있는 과학기술 분야 중 하나이다. 우리나라는 1914년 일본에 의한 최초 경비행기 운항과 1922년 한국인에 의한 최초 비행 이래 공항시설 건설 및 항공운송사업 등 지속적인 성장을 거듭하고 있는 핵심산업이다. 유광의 등[1]은 항공교통의 발달이 고속성·안전성·편리성·쾌적성·장거리 운항 효율성 등의 특성을 가지고 있으며, 최근 경제수준의 발달 및 국가교류 증대에 의한 것이라고 볼 수 있다고 하였다. 이러한 공항시설의 개념을 살펴보면, 항공기의 이·착륙 및 여객·화물의 운송을 위한 시설과 그 부대시설 및 지원시설 등을 갖춘 공공용 비행장으로서 국토교통부장관이 그 명칭·위치 및 구역을 지정·고시한 지역으로 정의하고 있다. 특히 공항시설 중 여객터미널은 공항의 핵심 시설이며 여객과 항공기를 중심으로 단계적 업무를 수행하기 위한 기능별 구성이 되어 있다. 이를 Park[10]은 시설의 기능별 구분으로 Table 3과 같이 접근부, 처리부, 비행부의 3가지로 나타내었다.

Table 3 Composition of airport facilities by function

Access interface	An area where passengers use overland transportation to make detours, park and drive in and out of the processing unit
Processing	To handle ticketing, baggage handling, seat assignment, immigration check, quarantine, security, etc. to the area responsible for the start and end of air travel
Flight interface	An area where the boarding, shipping or unloading of an aircraft of passengers or cargo is carried out

2. 1. 2 이용자에 대한 서비스로서의 공항운영

Kim [9]에 따르면, 공항의 개념은 비행기의 단순 이착륙 및 여객·화물처리 장소가 아닌, 국가·도시의 관문으로서 문화·과학기술 발달의 선도역할을 담당하게 되었을 뿐만 아니라, 정부·공기업·민간기업 등이 동시적으로 사업에 참여하는 매우 복잡한 산업체를 이루어 가고 있으며, 이는 공항시설의 차원을 넘어 공항도시라는 개념을 만들어 내었으며 이에 따라 공항시설의 안전과 편의성, 이에 대한 이용자들의 만족도는 곧 해당 공항뿐만 아니라 국가의 경쟁력과 연결되는 상황이 되고 있다고 하였다. 이는 공항시설 운영이 단순한 기능 제공·유지가 아닌 이용자 만족도의 관점에서 바라보아야 한다는 것을 보여주고 있다.

이러한 공항운영 서비스의 특징을 살펴보면 시설의 기능별로 크게 에어사이드와 랜드사이드 지역으로 구별하여 볼 수 있다. 에어사이드는 항공기의 안전한 이착륙을 위한 활주로 등을 비롯하여 유도로, 계류장, 주기장 및 조업시설 등을 갖추고 있는 지역이며, 랜드사이드는 항공기에 탑승하는 여객 및 적재화물의 접근을 위한 접근 교통시설, 여객 등이 수속·보안 업무 등을 처리할 수 있는 여객터미널 등의 시설을 말한다.

항공 여객에 대한 공항의 핵심 서비스는 항공기의 탑승·이동이 되겠지만, 공항운영자 관점에서의 개별 여객에 대한 서비스 수준은 랜드사이드 시설 내 이용자의 쾌적성과 만족도 측면에서 더 크게 다루어진다고 볼 수 있다.

이에 따라 공항이용자의 만족도에 미치는 영향에 대한 연구의 일환으로서 공항시설의 실내환경 디자인에 따른 서비스품질과 이용자 만족도와의 상관관계를 연구한 Kim [8]은 이용자 만족도와 연관되어 있는 실내 환경디자인 요소를 “건강 및 쾌적한 실내환경”, “주변 환경과의 연계성”, “건강 및 쾌적한 실내환경”의 3가지 요소로 대별하였고, 이들 요소 중 “건강 및 쾌적한 실내환경” 항목이 이용자 만족도와 가장 높은 연관성이 있는 것으로 보고하였다. Table 4에서는 각 요소의 세부내용과 영향수준에 대한 유의도를 나타내고 있다.

Table 4 Relationship between comfort-related factors and satisfaction(KAC-CSI)

Element statement	Specific approach element	Relationship with satisfaction	Standard return coefficient
Healthy and pleasant indoor environment	Using a working window provide fresh air environment	+	0.240
	Delivers a pleasant warm and sound environment		
	Use of healthy green materials		
	Rest, recreation, space creation (internal landscaping, rooftop recording, etc.)		
Linkage with the surrounding environment	Spatial continuity, visual continuity	-	-0.079
	Introduction of external elements into the room		
User-oriented application of human behavior	Flexible spatial composition	-	0.183
	User participation - select closing again, plan order type, menu option method		
	Universal applicability - care for the elderly and the disabled		

2. 2 실내공기질 및 실내공기오염에 관한 고찰

2. 2. 1 실내공기질의 정의

인간에게 영향을 미칠 수 있는 공기질은 실내공기질 및 실외공기질로 구분할 수 있으며, 실내공기질(Indoor air quality, IAQ)이란 실내 재실자의 건강과 평안에 영향을 주는 공기질 즉, 일상 활동에서 건축물 내부 공기질이라고 간략히 정의하였다. 실외공기질은 실외 대기환경을 의미하며 건축물 외부의 공기질 이라 하였다.

2. 2. 2 실내공기질에 영향을 미치는 요인

실내환경의 공기오염물질 농도는 실내공간 체적, 공기오염물질 발생률, 반응 또는 침강에 의한 감소율, 실내외 환기율 그리고 실외공기 농도가 복합적으로 작용하며, 온도, 습도, 기류 등도 실내공기질에 영향을 준다고 하였다. Fig. 3에서는 실내공기질에 영향을 미치는 각종 요소들을 나타내고 있다.

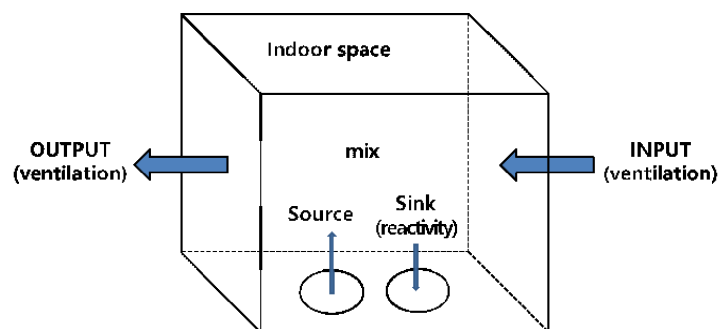


Fig. 3 Factors affecting indoor air quality

1) 실외공기질

실내공기질과 실외 대기 공기질은 독립적으로 구분된 것이 아니라 환기를 통해 끊임없이 연관되어 있다. 실외 공기오염물질의 실내공기질 기여도는 환기의 종류

(자연 또는 기계식), 환기율, 공기오염물질의 특성(반응성, 독성), 등에 따라 다르지만, 실외 대기의 발생원은 실내 유입을 통하여 실내환경 공기에 영향을 준다. 이러한 실내 유입을 통한 실외 대기환경은 실내공기질 측면에서 보면 양면성을 가지고 있다고 할 수 있다. 예를 들면, 대기오염이 심각한 지역에서는 환기를 통하여 실내공기질을 악화시킬 수 있으며, 반면 대기질이 양호한 지역에서는 실내 공기질을 향상시킬 수 있다. 특히 차량이 많은 도시에 건축물이 위치하거나 산업장 지역 근처 실외 대기질은 실내공기질에 안 좋은 영향을 끼칠 수 있다. Table 5 은 영국의 환경부에서 보고한 주요 실내공기 오염물질의 실외 발생원을 나타내고 있다.

Table 5 Outdoor sources of major indoor air pollutants

Pollutants	Industrial field(%)	Vehicle(%)
Benzene	32	65
CO	3	90
Pb	31	60
NOx	38	49
PM ₁₀	56	25
SO ₂	90	2
VOCs	52	34
O ₃	by atmospheric photochemical reaction	

2) 실내외 환기

(1) 환기 및 공기조화의 개념

환기(Ventilation)란 오염된 실내공기를 희석 또는 배출하기 위하여 청정한 공기와 교환하는 것으로 정의하고 있다. 이러한 환기의 목적은 실내공기오염의 저감을 비롯하여 온도, 습도, 및 기류 등 쾌적용 공기질을 포함하고 있다.

실내공기질 개선을 포함한 환기를 공기조화(Air-conditioning)라 하며, 공기조화란 주어진 실내 또는 특정 공간에서 사람 또는 물품을 대상으로 온도, 습도, 환기, 청정도 및 기류 등을 그 공간에 적합한 상태로 조정하는 것이라 하였다. 공기조화는 사용목적에 따라 쾌적용 공기조화와 산업용 공기조화로 구분한다. 쾌적용 공기조화는 쾌적한 주거환경을 유지하여 인체의 건강, 위생 등을 향상시키는 것을 목적으로 하며, 적용장소는 주거 공간 및 사무실, 각종 점포, 병원, 호텔 등이다. 산업용 공기조화는 산업제품의 생산과정, 보관 등을 대상으로 하여 최적의 열 환경 및 공기청정도를 유지하여, 제품의 품질을 향상시켜 줄 뿐 아니라 불량률을 감소를 목적으로 한다. 적용장소는 정밀기계 공장 등이다.

(2) 환기의 방법

Table 6에서는 주요 환기방법 및 특징에 대하여 나타내고 있으며 크게 침투, 자연환기, 기계적 환기로 구분하고 있다.

Table 6 Types of ventilation methods

Infiltration	Infiltration of indoor and outdoor air with both windows and doors closed
Natural ventilation	Excess of indoor and outdoor air with windows and doors open
Mechanical ventilation	ventilation by means of mechanical force of the machine

3) 실내·외 오염물질 발생원

Table 7은 실내 및 실외에서의 다양한 공기오염물질 발생원을 나타내고 있다.

Table 7 Indoor and outdoor sources of air pollutants

Indoor source	Outdoor atmospheric source	
	Natural	Artificial
<ul style="list-style-type: none"> · A human retiree · Plants, pet animals · Cooking and heating · Building materials · Smoking · Combustion tools · Maintenance Tools · Cleaning activities, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> · Soil and rock fragments · Forest fire · Sea salt · Volcano · Particulate matter formed from H₂S, NH₃, NO_x and HCs 	<ul style="list-style-type: none"> · Fuel burning · Emissions from industrial processes, etc. · Emissions non-industrial sites · Vehicle exhaust

Table 8은 실내환경에서의 다양한 공기오염물질 발생원을 보여주고 있다.

Table 8 Major indoor air pollutants and sources

Pollutants	Major source
· Allergens	· House dust, pet animals, insects (bugs)
· Asbestos	· Fire-proof, insulator
· CO ₂	· Metabolism (human respiration), combustion, garage cars
· CO	· Fuel burning, boiler, stove, gas or kerosene; the heat-heater
· HCHO	· Particle board, insulator, furniture
· Micro-organisms	· People, animals, plants, and air conditioning systems
· Organic-substances	· Adhesives, solvents, building materials, vaporization, combustion, paint, cigarette smoking
· Ozone	· Photochemical reaction
· Particles	· Redistribution, smoking, burning
· PAHs	· Fuel burn, cigarette smoking
· Pollen	· Outdoor air, wood, grass, weeds, plants
· Radon	· Soil, Building Construction Materials (Concrete, Stone)
· Fungal spore	· Soil, plant, food, interior surface
· Sulphur dioxide	· Outdoor air, fuel burning

2. 2. 3 실내공기질의 인체 영향

Fig. 4에서는 인간이 섭취하는 물질 중 생존을 위해 견딜 수 있는 최대 결핍한도를 보여주고 있다. 이에 따르면 인간은 일반적으로 하루에 대략 1 - 1.5kg의 음식을 섭취하고 2kg의 정도의 물을 마시며, 공기는 이보다 거의 10배에 달하는 약 10 - 13kg 정도를 마셔야 살 수 있고 단 몇 분만 호흡을 멈추더라도 곧 사망하게 된다고 나타나고 있다. 반면 음용수는 며칠, 음식은 몇 주를 먹지 못해야 사망할 수 있는 것을 보면 체내 섭취물 중에서 상대적으로 공기가 중요함을 알 수 있다. 또한 Fig. 5에 나타나 있는 장소별 활동을 통계를 보았을 때 인간은 하루 24시간 중 80% 이상을 실내에서 생활하는 것으로 보고되고 있다. 특히, 실내 환경 중에서도 주택은 가장 많은 시간을 보내는 공간으로 하루 중 대략 50% 이상을 체류하고 있으며, 이는 대기환경에서 흡수하는 공기보다 실내 환경에서 흡수하는 공기가 우리 인체에 미치는 영향이 더 크다는 것을 알 수 있다.

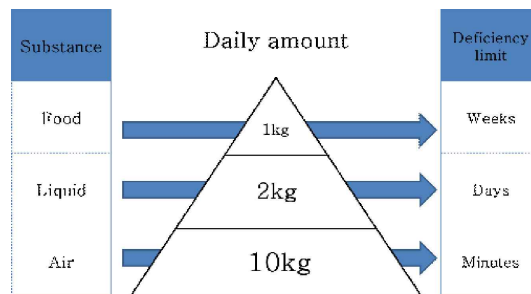


Fig. 4 Maximum deficiency limit by substance

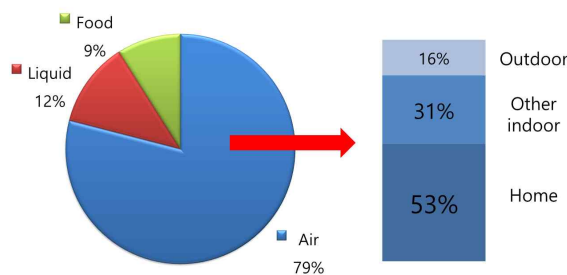


Fig. 5 Percentage of air intake by place

인간은 공기오염물질의 일정 농도까지는 건강 영향을 받지 않을 수 있으며 이것을 역치라고 한다. 역치 이상에서는 오염물질 노출에 따른 건강영향을 받을 수 있으며, 영향정도는 농도와 노출기간에 다르다. Fig. 6은 오염물질 농도, 노출시간과 건강영향에 대한 관계를 나타내고 있다. 이는 노출기간이 짧으면 고농도의 공기오염물질에도 건강영향이 없으며, 저농도에서는 장기간 노출이 가능함을 보여주고 있다. Redlich 등(1997)에 의하면 최근 비산업장 건축물의 대부분은 고농도 노출에 의한 영향은 없지만, 장기간의 만성 증상 및 질병에 기여하고 있다고 하였다.

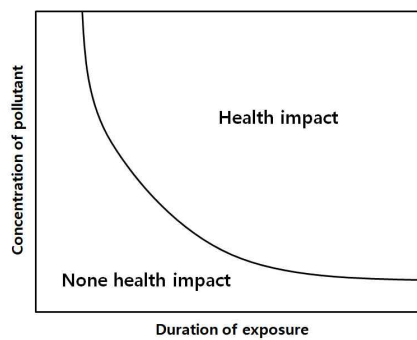


Fig. 6 Health effects on stationary and air pollutant concentration

Table 9, Table 10 및 Table 11에서는 이산화탄소, HCHO 및 각종 오염물질별 인체에 대한 주요 영향을 나타내고 있다.

Table 9 Effects of CO₂ concentration

ppm	Description	
700	Allowable concentration to many people in room	Pollution indicators are assumed when the physical and chemical conditions of the air are not the harmful limits of the CO ₂ itself and the concentration of CO ₂ increases
1,000	Allowable concentration in general cases	
2,000 - 5,000	Permissible concentration used for ventilation calculation	
more than 5,000	As a very poor	
40,000 - 50,000	Respiratory central stimulation	
around 80,000	Breathing for 10 minutes, strong favorable shortness of breath, facial, causes headache	Oxygen deficiency accompanying disorder occurs quickly
100,000	Lethal level of concentration	

Table 10 Symptoms of formaldehyde concentration

ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Description
0.01 - 1.6	12.5 - 200	The lowest value that eye stimulation begins
< 0.04	< 50	Nervous tissue stimulation initiated
0.05 - 1.0	62.5 - 125	The lowest concentration to feel smell
0.08 - 1.6	100 - 200	Stimulation of the eyes and nose
0.25 - 0.33	312.5 - 412.5	The onset of respiratory failure
0.5	62.5	The lowest value that stimulation of the neck begins
2 - 3	2500 - 3750	A stabbing pain in the eye
10 - 20	12500 - 25000	Tears in one's eyes
30 -	37500 -	A life-related risk, toxic wastewater

Table 11 Effects of indoor air pollutants on human body

Pollutants	Effects
Dust, heavy metal	Silicate, pneumoconiosis, tantalum, asbestos, etc.
Asbestos	Skin diseases, respiratory diseases, lung cancer, etc.
Cigarette smoke (HC, PAHs)	Headache, fatigue, bronchitis, pneumonia, bronchial asthma, lung cancer, etc.
Combustion gas (CO, NO ₂)	Chronic lung disease, increased airway resistance, central new management, etc.
Rn	Lung cancer, etc.
HCHO	Eye, nose, and neck irritation, cough, vomiting, skin disease, rhinitis, emotional anxiety, etc.
VOCs	Fatigue, delirium, headache, vomiting, dizziness, central nervous system suppression, etc.
Odor	Loss of appetite, vomiting, insomnia, mental nervousness, etc.
O ₃	A cough, headache, asthma, and allergic disease
Microbial substance	Allergic diseases, respiratory diseases, etc.

2. 3 국내 실내공기질 관련 제도 및 기준

2. 3. 1 “실내공기질 관리법”에 의한 실내공기질 관리 기준

국내 다중이용시설에 대한 실내공기질 관리기준은 환경부에서 제정·관리하고 있는 “실내공기질 관리법”에 제시되어 있다. 동법에 의하여 공항시설 중 여객터미널은 해당 법의 적용을 받는 다중이용시설에 해당된다. Table 12에서는 실내공기질 관리법에서 정하고 있는 다중이용시설에 대한 실내공기질 유지기준 및 권고기준 항목에 대한 기준치를 나타내고 있다.

Table 12 Standards for indoor air quality management of multi-use facilities

(a) Maintenance

Pollutant Multiuse facilities	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ₂ (ppm)	HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TAB (CFU/ m^3)	CO (ppm)
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	-	-	-	-	-

(b) Recommendation

Pollutant	NO ₂ (ppm)	Rn (Bq/m ³)	VOCs (μg/m ³)	mold (CFU/m ³)
Multiuse facilities				
Underground station, underground shopping mall, railway history waiting room, waiting room of passenger motor terminal, waiting room of port facilities, passenger terminal of airport facilities, library, museum and art museum, large store, funeral hall, academy, exhibition facility, internet computer game making industry sales facilities, public bath facilities	≤ 0.1	< 148	≤ 500	-
Medical institutions, daycare centers, nursing facilities for the elderly, postpartum care centers	≤ 0.05		≤ 400	≤ 500
An indoor parking lot	≤ 0.30		≤ 1,000	-

2. 3. 2 “공항 환경관리 기준”에 의한 실내공기질 관리 기준

국토교통부 고시 ‘공항환경관리기준’에서도 공항시설 여객터미널에 대한 실내공기질 관리 기준을 제시하고 있으며, 실내공기질 농도에 대한 관리기준은 다중이용시설에 대한 실내공기질 관리법에서 제시하는 기준을 따르도록 하고 있다.

Ⅲ. 실내공기질 측정

3.1 측정 대상 시설

본 연구의 대상 시설은 제주특별자치도 제주시 용담이동에 위치한 제주국제공항 여객터미널을 선정하였으며 시설에 대한 개요는 Table 13에 나타난 바와 같다. 제주공항 여객터미널은 총 1개동의 건물에 국내선 터미널과 국제선 터미널을 동시에 운영하고 있다. 또한 터미널 내·외에 여객서비스를 위한 시설을 갖추고 있는데, 공항 접근을 위한 주차장, 버스·택시정류장, 구내도로와 같은 교통시설을 비롯하여, 발권 등의 수속, 수하물 위탁, 보안검색 및 탑승 등의 절차를 위한 업무시설과, 대합실, 그리고 수속 중 여객의 피로감을 해소시켜주고 공항이용의 편의 및 만족감을 제공해 주기 위한 각종 편의시설 및 상업시설들로 구성되어 있다.

Table 13 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.

3. 2 측정기간 및 대상

본 연구에서는 2014년부터 2018년까지 측정을 실시하였다. 측정대상 오염물질과 측정횟수는 “실내공기질 관리법”에서 정하고 있는 다중이용시설에 대한 실내공기질 관리 대상항목으로 하였으며, 측정 횟수는 “공향환경 관리기준” 정하는 기준에 따라 시행하였으며 세부내용은 Table 14에 나타난 바와 같다.

Table 14 Measurement items of indoor air quality

	Measurement item	Measurement cycle
Maintenance	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), CO ₂ (ppm), HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), CO (ppm),	Once a quarter
	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Once a year
Recommendation	NO ₂ (ppm), Rn (Bq/m ³), VOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Once a year

3. 3 측정조건

3. 3. 1 일반 조건

실내공기질 측정을 위한 시료채취는 실제 운영조건과 동일하게 하기 위하여, 공향 주 운영시간대(06시 - 22시)내에 측정하는 것을 원칙으로 하였다. 또한, 기계 환기에 의한 공기흐름의 영향을 받지 않는 곳을 채취 장소로 선정하였다.

3. 3. 2 실내환경 요소

측정 대상 오염물질 측정 결과에 영향을 미칠 수 있는 주변 실내환경 요소 및 관련 오염물질별 발생원에 대하여 조사하여 해당 오염물질 농도에 어떠한 영향을 미치는지를 파악, 비교분석 하였다.

3. 3. 3 측정위치

실내공기질 측정을 위한 시료채취 장소는 여객이동이 많고 해당지역의 오염도를 대표할 수 있는 장소로 선정하였으며, 측정지점은 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타난 바와 같이 국내선과 국제선 각각 도착·출발 2개소, 총 4개소를 선정하였다. 측정지점에서의 측정은 대합실 바닥으로부터 1.2m 이상 1.5m 이내의 위치에서 측정하는 것을 원칙으로 하였다.

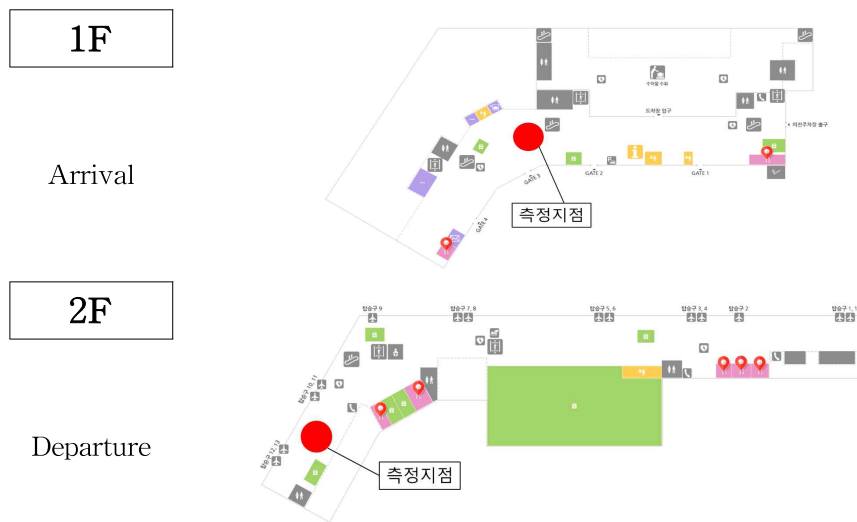


Fig. 7 Measurement location of domestic terminal

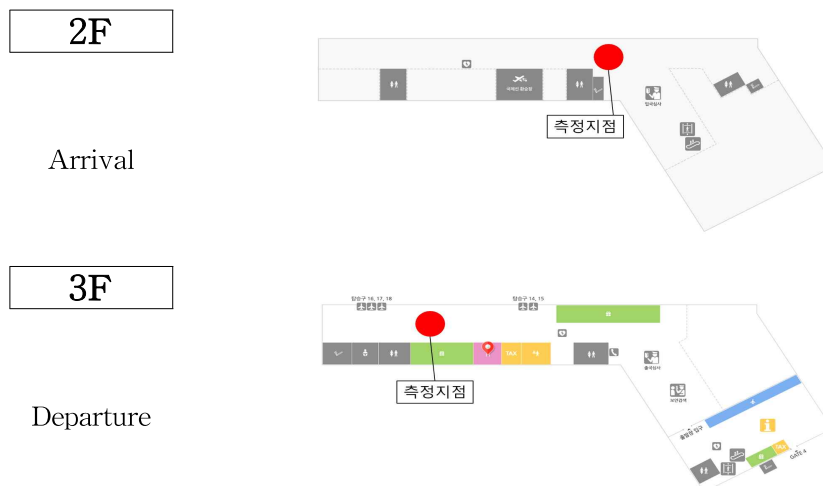


Fig. 8 Measurement location of international terminal

3.4 측정장비 및 측정방법

3.4.1 실내공기질 유지기준

1) PM-10 미세먼지

PM-10 미세먼지 측정장비는 Fig. 9에 나타난 Minivol-TAS을 사용하였다. 측정방법은 소용량 공기포집법(중량법)을 사용하였으며, 실내공기 중 PM-10 미세먼지를 여과지에 1 L/min - 30 L/min 정도 공기유량으로 채취한 후 채취전후 여과지 중량의 차이를 이용하여 PM-10 미세먼지의 농도를 측정하였다.



Fig. 9 Measurement equipment for PM-10 material

2) PM-2.5 미세먼지

PM-2.5 미세먼지의 측정장비는 Fig. 10에 나타난 KMS-4100을 사용하였다. 측정방법은 광산란법을 이용하여 측정하였으며, PM-2.5 미세먼지 입자에 부딪혀 산란되는 빛의 양을 측정하여 농도를 산출하였다.



Fig. 10 Measurement equipment for PM-2.5 material

3) 이산화탄소(CO₂)

이산화탄소의 측정장비는 Fig. 11에 나타낸 IQ-610XTRA를 사용하였다. 측정방법은 비분산적외선법으로 측정하였다, 이산화탄소에 의한 적외선 흡수량의 변화를 선택성 검출기로 측정해서 실내공기 중에 포함되어 있는 이산화탄소의 농도를 연속 측정하는 방법으로, 각 측정지점마다 10분간 연속 측정하여 그 값을 구하였다.



Fig. 11 Measurement equipment for CO₂

4) 폼알데하이드(HCHO)

폼알데하이드의 측정장비는 Fig. 12에 나타낸 MP-Σ100HN와 TOP Solid Cartridge를 사용하였다. 측정방법은 2,4 DNPH 카트리지와 액체크로마토그래프 방법으로 측정하였다. 0.5 l/min의 유속으로 30분간 연속2회 포집 후, 채취된 시료는 고성능액체크로마토그래프(HPLC)를 이용하여 정성 및 정량분석 하였다.



(a) MP-Σ100HN



(b) TOP Solid Cartridge

Fig. 12 Measurement equipment for HCHO

5) 일산화탄소(CO)

일산화탄소의 측정장비는 Fig. 13에 나타낸 IQ-610XTRA를 사용하였다. 측정방법은 전기화학식 센서법을 사용하였다. 측정장비를 사용하여 일산화탄소 분자의 전기적 산화 환원 반응 시에 발생하는 전자의 양을 감지하여, 실내 공기 중의 일산화탄소 농도를 연속적으로 자동 측정하였다.



Fig. 13 Measurement equipment for CO

3. 4. 2 실내공기질 권고기준 항목

1) 이산화질소(NO₂)

이산화질소의 측정장비는 Fig. 14에 나타낸 LFS-113DC을 사용하였다. 측정방법은 화학발광법을 사용하여 측정하였다. 퍼스널 에어샘플러를 이용한 지역 시료 채취 방법으로 이산화질소로부터 발생하는 발광현상을 이용, 측정장비를 사용하여 6시간동안 연속측정 분석 하였다.



Fig. 14 Measurement equipment for NO₂

2) 라돈(Rn)

라돈의 측정장비는 Fig. 15에 나타난 FRD400을 사용하였다. 측정방법은 연속측정방법으로서, 측정 기간 동안 농도 변동치를 확인 할 수 있는 연속자동측정기를 이용하여 실내 공기 중의 라돈 방사능 농도를 연속 측정하였다.



Fig. 15 Measurement equipment for Rn

3) 휘발성유기화합물(VOCs)

휘발성유기화합물(VOCs)의 측정장비는 Fig. 16에 나타난 MP- Σ 30KN(mini volume air sampler)와 Tenax -TA tube(고체흡착관)을 사용하였다. 측정방법은 고체흡착관과 기체크로마토그래프 - MS, FID법으로 측정하였으며, Tenax -TA tube 및 MP- Σ 30KN을 사용하여 0.05 l/min의 유속으로 각각 30분간 연속 2회 포집하였다.



(a) MP- Σ 30KN



(b) Tenax -TA tube

Fig. 16 Measurement equipment for VOCs

3. 5 측정결과의 분석 및 평가

대상 시설의 최종 측정결과는 각 측정지점에서 각각의 측정치와 평균값을 함께 표시하고, 적정 여부의 평가는 평균값으로 하는 것을 원칙으로 하였다.

IV. 측정결과 및 분석

4. 1 PM-10 미세먼지

4. 1. 1 측정결과

Fig. 17은 국내선 지역의 PM-10 미세먼지(이하 PM-10) 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 $20.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $61.3\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실에서는 $20.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $67.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며, 평균 $20.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $64.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 측정기간 전체 평균은 도착대합실 $31.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실 $33.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

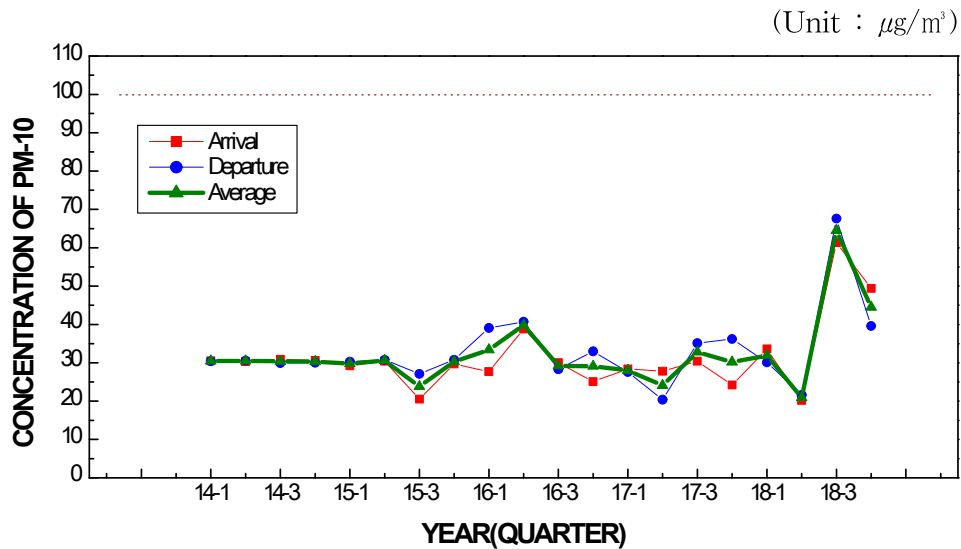


Fig. 17 PM-10 measurement results of domestic terminal

Fig 18은 국제선 지역의 PM-10 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 $16.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $80.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실에서는 $17.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $58.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며, 평균 $20.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $69.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 측정기간 전체 평균은 도착대합실 $30.4\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실 $31.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

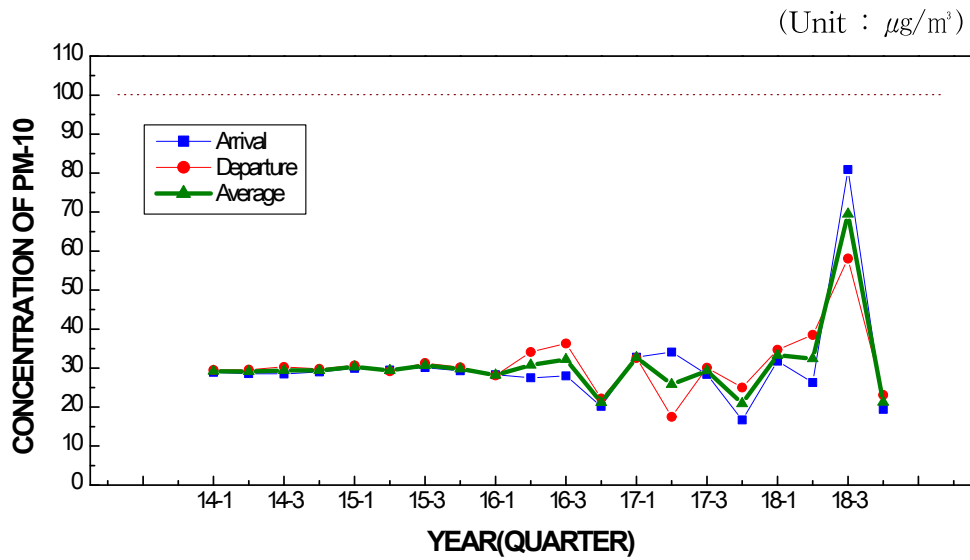


Fig. 18 PM-10 measurement results of international terminal

4. 1. 2 실내환경에 의한 영향

Table 15에서는 측정지점에서의 PM-10 농도에 영향을 미칠 수 있는 실내환경 요소에 대한 조사 결과를 나타내었다. 공통적으로 환기를 통한 실외기의 유입, 여객 등의 활동에 따른 먼지유입과 자연 침강에 의한 실내 먼지 침적이 주요 발생원이며, 매일 실시하는 바닥 청소가 PM-10의 감소원으로서 조사되었다.

Table 15 Indoor environment factors affecting the PM-10 concentration

(a) Domestic terminal

Location	Sources	
Arrival	Air circulation	Mechanical ventilation, entrance doors
	Floor dust	Natural precipitation
	Access road	Vehicle emission
	Human factors	Dust from shoes(passenger, etc.)
	Other factors	Floor cleaning with wet mops
Departure	Air circulation	Mechanical ventilation, void through escalators
	Floor dust	Natural precipitation
	Human factors	Dust from shoes(passenger, etc.)
	Other factors	Floor cleaning with wet mops

(b) International terminal

Location	Sources	
Arrival	Air circulation	Mechanical ventilation
	Floor dust	Natural precipitation
	Human factors	Dust from shoes(passenger, etc.)
	Other factors	Floor cleaning with wet mops
Departure	Air circulation	Mechanical ventilation
	Floor dust	Natural precipitation
	Human factors	Dust from shoes(passenger, etc.)
	Other factors	Floor cleaning with wet mops

4. 1. 3 실외 공기 유입에 의한 영향

Fig. 19에서는 실외에서 측정된 PM-10 농도와 여객터미널 실내에서 측정된 PM-10 전체 평균 농도의 비교 그래프를 나타내었다. 실외 농도는 평균 $47.6\mu\text{g}/\text{m}^3$, 측정범위 $17\mu\text{g}/\text{m}^3 - 115\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 실내농도는 평균 $31.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 측정범위 $25.0\mu\text{g}/\text{m}^3 - 66.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 실내에 비해 실외농도가 51% 높게 나타났으며, 실외농도 증감에 따른 실내농도 영향은 확인되지 않았다.

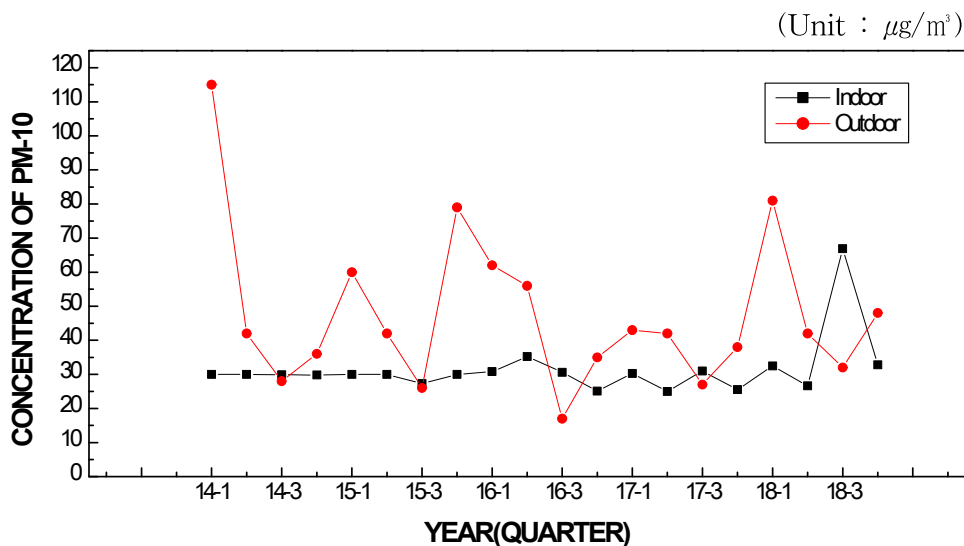


Fig. 19 Comparison of indoor and outdoor PM-10 concentration

4. 1. 4 분석결과

여객터미널 실내외 환경요소를 조사, 분석한 결과 시설 내 PM-10 주 발생요소는 환기에 의한 외기유입, 인적 활동에 의한 먼지 비산, 자연 침강에 의한 침적 등이 있으며, 주기적인 바닥청소로 인한 먼지 감소 요소가 있음을 확인하였다. 실외 대기 농도는 실내 PM-10농도에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 측정기간 중 PM-10 측정결과는 Table 16에 나타난 바와 같으며, 전체 측정결과가 실내공기질 관리법 관리기준 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

Table 16 Average concentration of PM-10

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	1st quarter	2nd quater	3rd quarter	4th quarter
2014	30.0	30.0	29.9	29.8
2015	30.0	30.0	27.3	30.0
2016	30.8	35.2	30.6	25.1
2017	30.3	25.0	31.0	25.5
2018	32.5	26.6	66.9	32.8

4. 2 PM-2.5 미세먼지

4. 2. 1 측정결과

Fig 20은 국내선 지역의 PM-2.5 미세먼지(이하 PM-2.5)의 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 $10.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $25.4\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실에서는 $7.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $28.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며, 평균 $10.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $25.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 측정기간 전체 평균은 도착대합실 $17.7\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실 $16.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

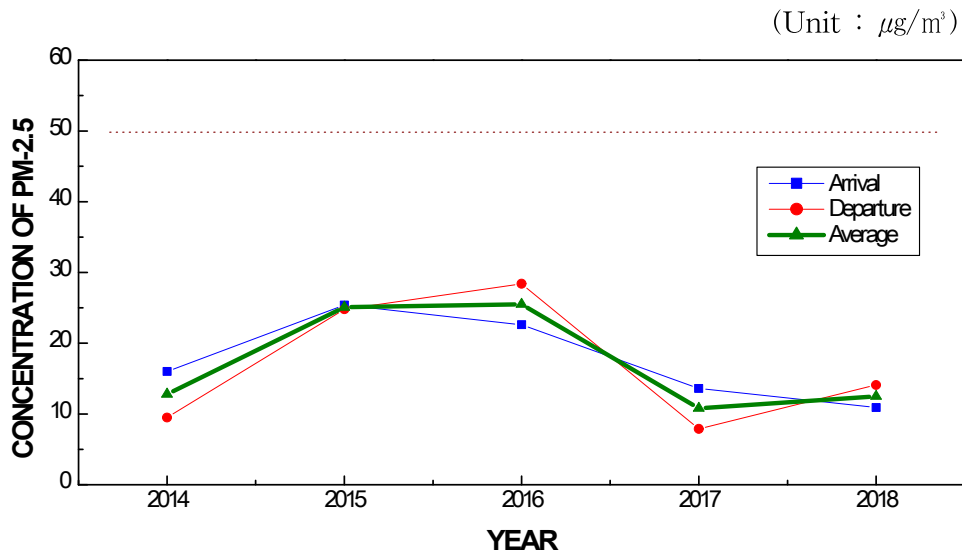


Fig. 20 PM-2.5 measurement results of domestic terminal

Fig. 21은 국제선 지역의 PM-2.5의 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 $5.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $20.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실에서는 $7\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $30.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며, 평균 $7.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $25.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 측정기간 전체 평균은 도착대합실 $11.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실 $15.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

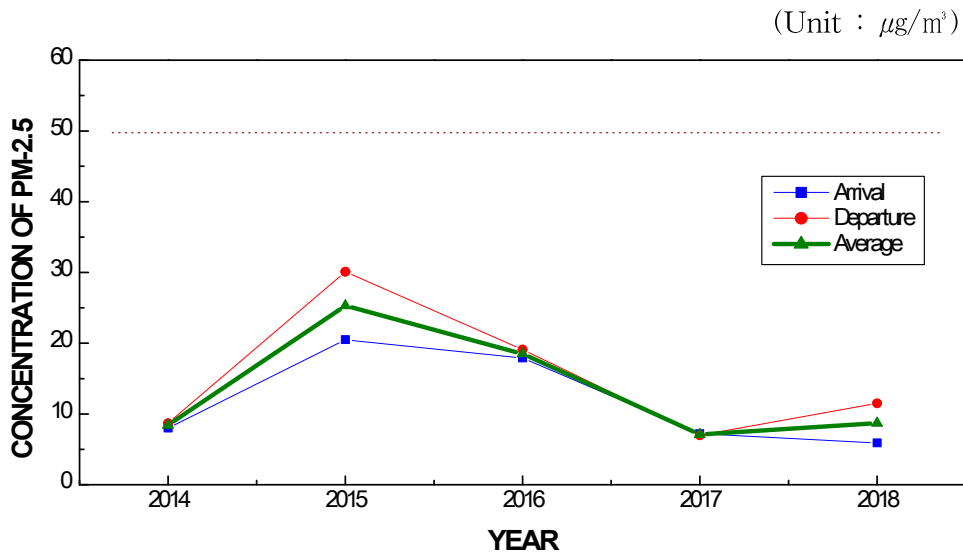


Fig. 21 PM-2.5 measurement results of international terminal

4. 2. 2 실내환경에 의한 영향

Table 17에서는 PM-2.5 농도에 영향을 미칠 수 있는 실내환경 요소에 대한 조사 결과를 나타내었다. PM-10과는 달리 모든 종류의 연소과정(차량, 산업공정 등)에서 발생할 수 있다. 주 영향원으로서 환기를 통한 실외기 유입이 있으며, 도착지역에 접근해 있는 구내도로 통과차량의 배기가스와 출발지역에서의 인접한 계류장에서의 항공기 및 지상조업 장비의 이동이 주 발생원으로 조사되었다.

Table 17 Indoor environment factors affecting the PM-2.5 concentration

(a) Domestic terminal

Location	Sources	
Arrival	Air circulation	Mechanical ventilation, entrance automatic doors
	Access road	Vehicle emission
Departure	Air circulation	Mechanical ventilation, void through escalators
	Apron	Aircraft, Ground equipment, etc.

(b) International terminal

Location	Sources	
Arrival	Air circulation	Mechanical ventilation
	Apron	Aircraft, Ground equipment, etc.
Departure	Air circulation	Mechanical ventilation
	Apron	Aircraft, Ground equipment, etc.

4. 2. 3 실외 공기 유입에 의한 영향

Fig. 22는 실외에서 측정된 PM-2.5 농도와 여객터미널 실내 PM-2.5 평균 농도의 비교 그래프를 나타내었다. 2014년도를 제외한 실외 농도는 평균 $33.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 측정범위 $8\mu\text{g}/\text{m}^3 - 60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내었으며 여객터미널 실내 농도는 평균 $15.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, 측정범위 $8.9\mu\text{g}/\text{m}^3 - 25.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나, 실외 농도가 여객터미널 실내 농도에 비해 100% 이상 높은 농도를 나타내었다. 측정 시기별로 보았을 때, 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.

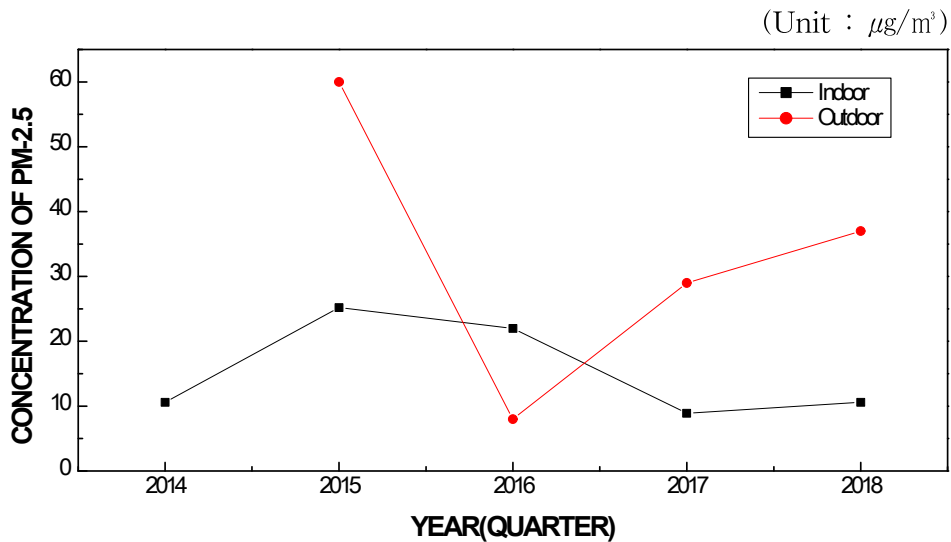


Fig. 22 Comparison of indoor and outdoor PM-2.5 concentration

4. 2. 3 분석결과

여객터미널 실내외 환경요소를 조사, 분석한 결과 시설 내 PM-2.5 주 발생원으로서 구내도로 및 계류장 지역에서의 차량, 항공기 활동에 의한 PM-2.5의 발생이 환기를 통하여 실내에 유입될 수 있음을 확인하였다. 또한, 실외 대기 농도는 실내 농도 증감에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 측정기간 내 PM-2.5 미세먼지 측정 및 분석 결과는 Table 18에 나타난 바와 같으며, 전체 측정결과 실내공기질 관리법 관리기준 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

Table 18 Average concentration of PM-2.5

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

2014	2015	2016	2017	2018
10.6	25.2	22	8.9	10.6

4. 3 이산화탄소(CO₂)

4. 3. 1 측정결과

Fig. 23은 국내선 지역의 이산화탄소(이하 CO₂) 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 324ppm - 896ppm, 출발대합실에서는 600ppm - 1220ppm으로 측정되었으며, 평균 474ppm - 939.5ppm으로 측정되었다. 두 지역 평균값으로는 도착지역은 628.6ppm, 출발지역은 804.2ppm으로 나타났다.

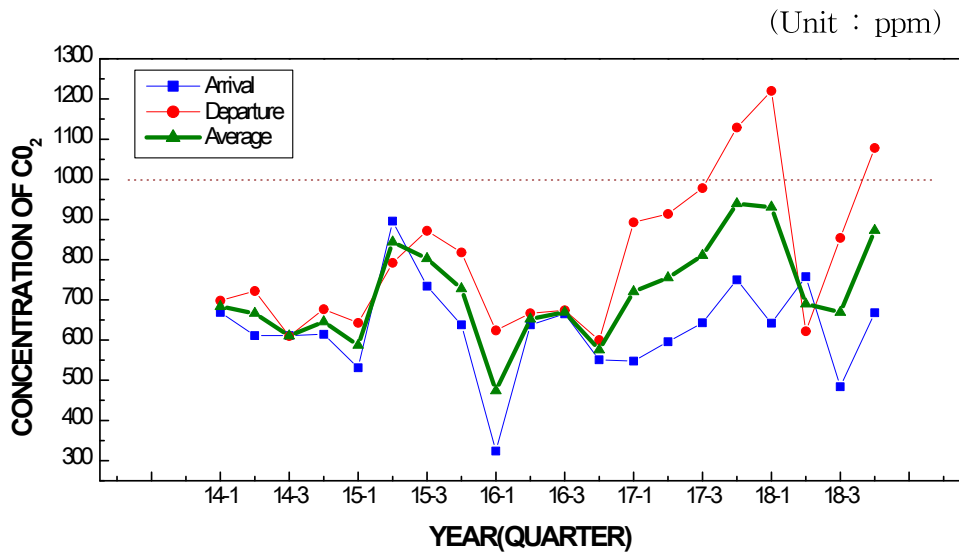


Fig. 23 CO₂ measurement results of domestic terminal

Fig. 28는 국제선 지역의 CO₂ 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 323ppm - 740ppm, 출발대합실에서는 327ppm - 610ppm으로 측정되었으며, 평균 354.5ppm - 618.5ppm으로 측정되었다. 측정기간 전체 평균은 도착대합실 504.6ppm, 출발대합실 474.4ppm으로 나타났다.

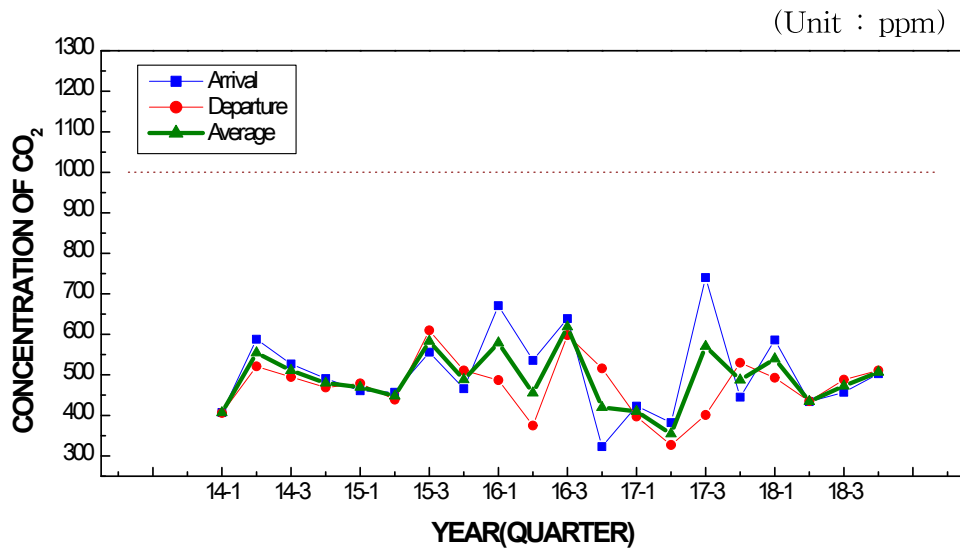


Fig. 24 CO₂ measurement results of international terminal

4. 3. 2 실내환경에 의한 영향

Table 19에서는 CO₂ 농도에 영향을 미칠 수 있는 실내환경 요소에 대한 조사 결과를 나타내었다. 공통적으로는 환기를 통한 실외기의 유입, 재실자의 신진대사 활동에 의한 발생이 있으며 국내선 도착지역의 경우 인접 구내도로를 통한 차량 배기가스의 유입이 주 발생원인 것으로 확인되었다.

Table 19 Indoor environment factors affecting the CO₂ concentration

(a) Domestic terminal

Location	Sources	
Arrival	Air circulation	Mechanical ventilation, entrance automatic doors
	Access traffic road	Vehicle emission gas
	Human activities	Arrival passengers(moving), welcoming visitors, staff(maintenance, commercial)
Departure	Air circulation	Mechanical ventilation, void through escalators
	Human activities	Departure passengers(waiting), staff(airline, maintenance, commercial)

(b) International terminal

Location	Sources	
Arrival	Air circulation	Mechanical ventilation
	Human activities	Arrival passengers(moving), staff(quarantine, immigration etc.)
Departure	Air circulation	Mechanical ventilation, void through escalators
	Human activities	Departure passengers(waiting), staff(airline, mainenance, commercial)

4. 3. 3 발생원 증감에 의한 영향

여객터미널 내 여객 활동량의 증감에 따른 CO₂ 농도 변화 특성을 알아보기 위하여 측정시기별 재실자 수 변화에 따른 CO₂ 측정결과를 비교하였으며 Fig. 25 와 Fig. 26에서는 국내선 터미널에서의 비교 그래프를 나타내었고, Fig. 27과 Fig. 28에서는 국제선 지역에서의 비교 그래프를 나타내었다. 국내선 도착지역을 제외하고 국내선 출발, 국제선 도착 및 국제선 출발지역에서는 측정시간대 재실자 증감에 따른 CO₂ 농도 증감의 경향의 유사한 것으로 나타났다.

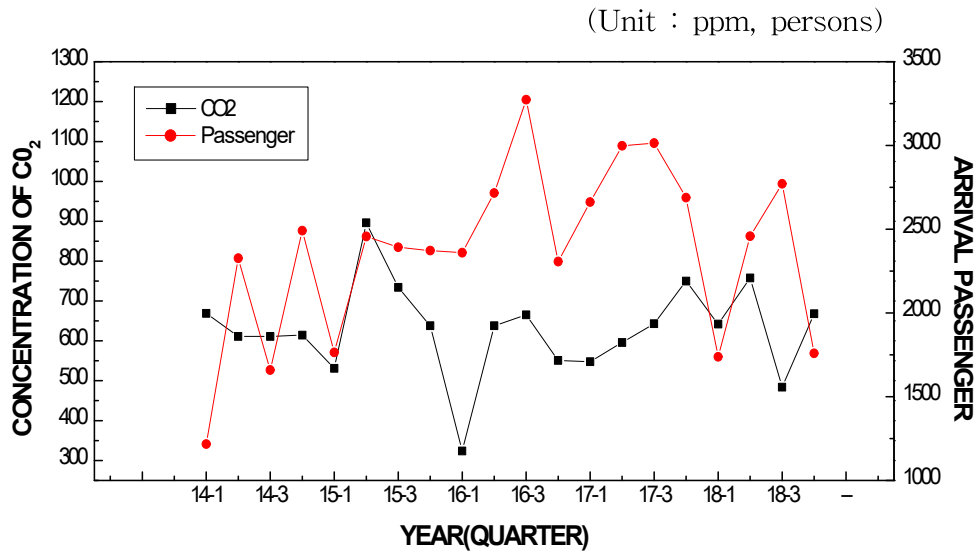


Fig. 25 Comparison of CO₂ with domestic arrival passenger

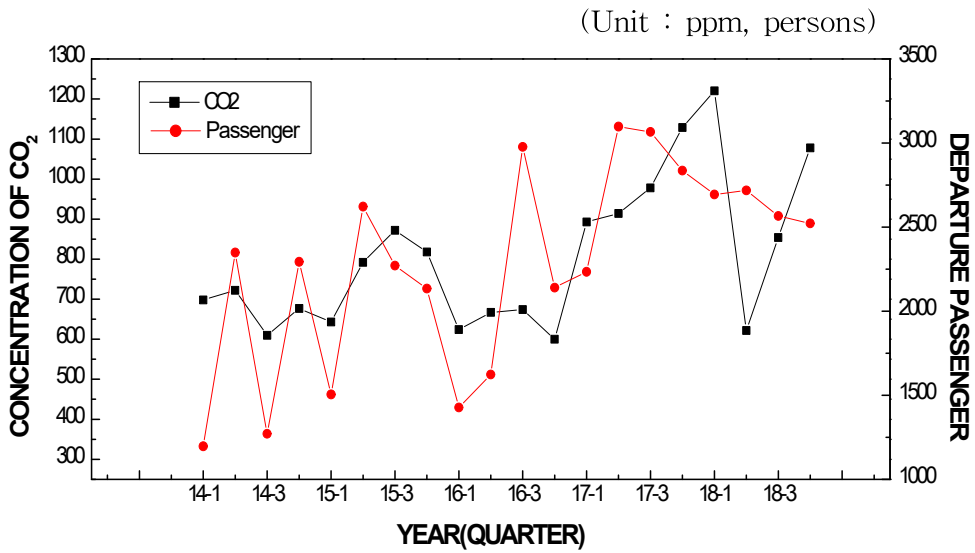


Fig. 26 Comparison of CO₂ with domestic departure passenger

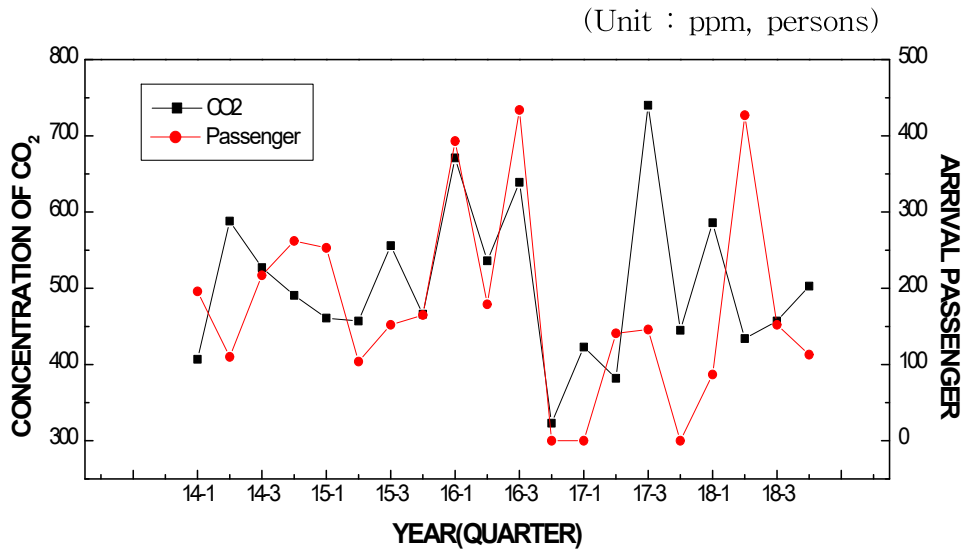


Fig. 27 Comparison of CO₂ with domestic departure passenger

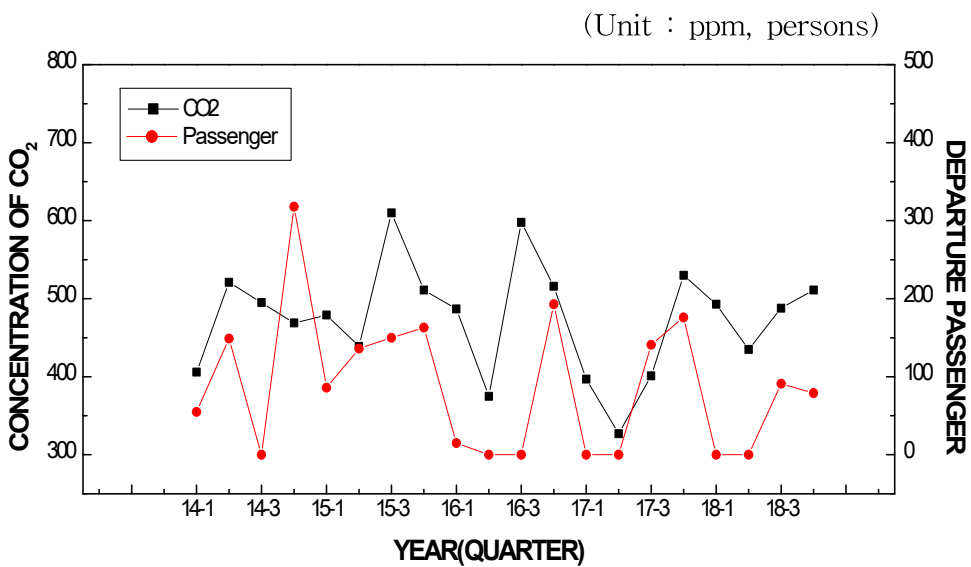


Fig. 28 Comparison of CO₂ with international departure passenger

4. 3. 4 분석 결과

여객터미널 실내외 환경요소를 조사, 분석한 결과 시설 내 CO₂ 주 발생원으로서 여객의 신진대사 활동에 의한 CO₂ 발생인 것으로 확인되었다. 이는 측정지점별 측정시간대 재실자 수 추정 및 CO₂ 농도 변화와의 비교를 통하여 나타났다. 측정기간 중 CO₂ 측정결과는 Table 20에 나타난 바와 같으며, 전체적으로 실내공기질 관리법 관리기준 1,000ppm을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

Table 20 Average concentration of CO₂

(Unit : ppm)

	1st quarter	2nd quater	3rd quarter	4th quarter
2014	545.0	611.0	560.8	562.7
2015	529.0	646.0	693.0	608.3
2016	526.5	554.0	644.0	497.5
2017	565.3	555.0	690.5	713.5
2018	735.3	562.3	570.8	690.0

4. 4 폼알데하이드(HCHO)

4. 4. 1 측정결과

Fig. 29은 국내선 지역의 폼알데하이드(이하 HCHO)측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 $6.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $63.6\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실에서는 $10.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $50.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며 평균 $8.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $55.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 측정기간 전체 평균은 도착대합실 $22.1\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실 $24.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

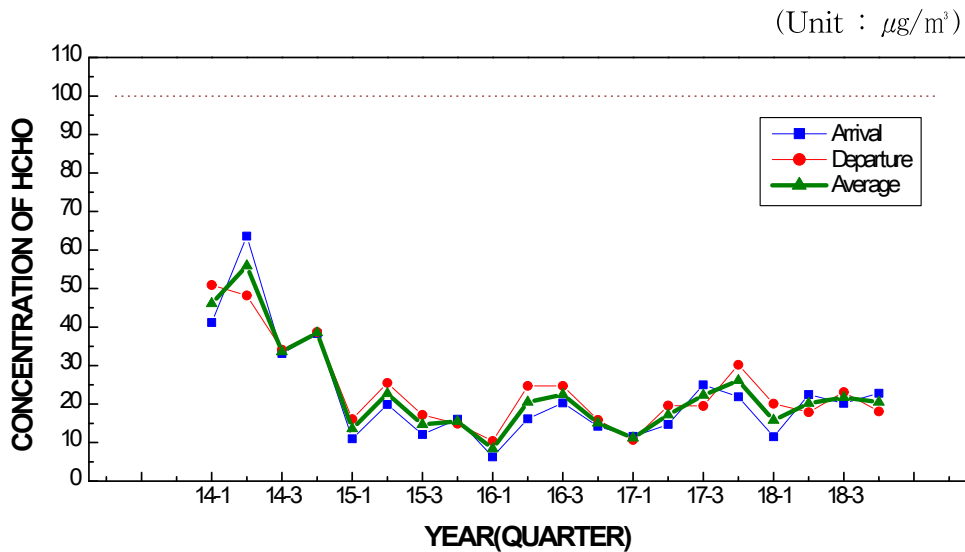


Fig. 29 HCHO measurement results of domestic terminal

Fig 30는 국제선 지역의 HCHO 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 $8.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $36.4\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실에서는 $8.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $48.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며 평균 $8.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $42.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 측정기간 전체 평균은 도착대합실 $17.8\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실 $18.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다.

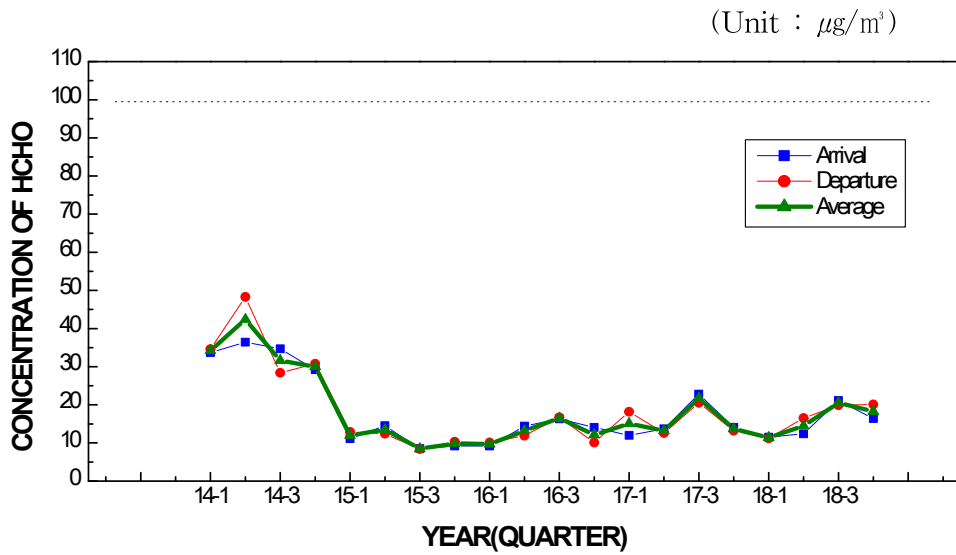


Fig. 30 HCHO measurement results of international terminal

4. 4. 2 실내환경에 의한 영향

Table 21에서는 HCHO 농도에 영향을 미칠 수 있는 실내환경 요소에 대한 조사 결과를 나타내었다. HCHO의 주 발생원은 단열재 등의 건축자재이나, 담배연기, 화장품 및 옷감 등의 인적 요소도 발생원이 될 수 있음을 확인하였다.

Table 21 Indoor environment factors affecting the HCHO concentration

(a) Domestic terminal

Location	Sources	
Arrival	Building materials	Artificial marble tile floor, steel plate column, paint covered concrete ceiling
	Human factors	Apparels, cosmetics
Departure	Building materials	Rubber tile floor, steel plate column, paint covered concrete and plastic ceiling
	Human factors	Apparels, cosmetics

(b) International terminal

Location	Sources	
Arrival	Building materials	Rubber tile floor, steel plate column, plastic ceiling, etc.
	Human factors	Apparels, cosmetics
Departure	Building materials	Rubber tile floor, steel plate column, steel plate ceiling, etc.
	Human factors	Apparels, cosmetics

4. 4. 3 분석결과

여객터미널 실내외 환경요소를 조사, 분석한 결과 시설 내 HCHO 주 발생원으로는 건축자재 및 의복, 화장품 등의 인적요소에 의한 것으로 확인되었다. 측정기간 전체 HCHO 측정결과는 Table 22에 나타내었으며, 전체적으로 실내공기질 관리법 관리기준 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

Table 22 Average concentration of HCHO

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	1st quarter	2nd quater	3rd quarter	4th quarter
2014	40.0	49.1	32.6	34.2
2015	13.0	18.1	11.6	12.6
2016	9.0	16.8	19.5	13.6
2017	13.1	15.1	22.0	19.9
2018	13.6	17.3	21.1	19.4

4. 5 일산화탄소(CO)

4. 5. 1 측정결과

Fig 31은 국내선 지역의 일산화탄소(이하 CO) 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 0.1ppm - 1.6ppm, 출발대합실에서는 0ppm - 2.6ppm으로 측정되었으며 평균 0.1ppm - 2.1ppm으로 나타났다. 측정기간 전체 평균은 도착대합실 0.67ppm, 출발대합실 0.64ppm으로 나타났다.

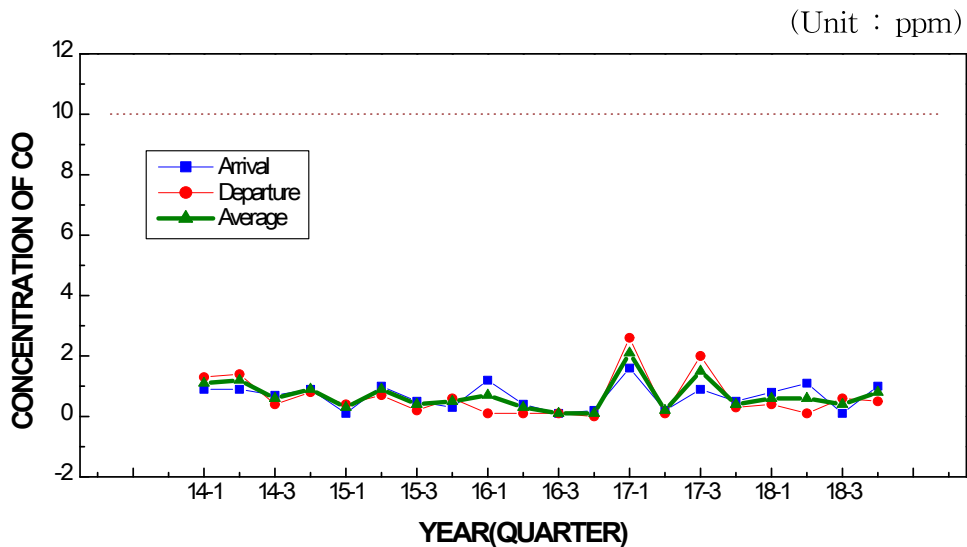


Fig. 31 CO measurement results of domestic terminal

Fig 32는 국제선 지역의 CO 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 0ppm - 8.7ppm, 출발대합실에서는 0ppm - 4.2ppm으로 측정되었으며 평균 0ppm - 6.5ppm으로 나타났다. 측정기간 전체 평균은 도착대합실 0.89ppm, 출발대합실 0.88ppm으로 나타났다.

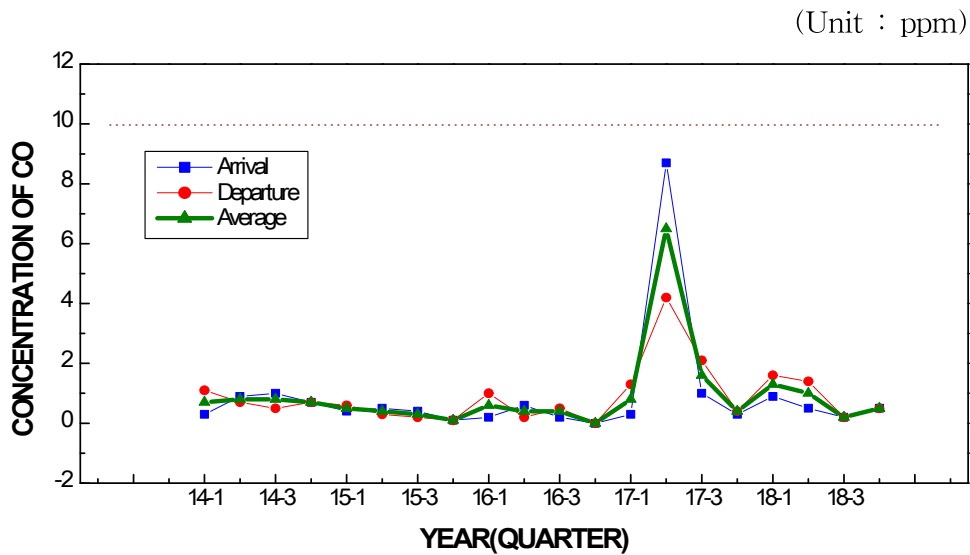


Fig. 32 CO measurement results of international terminal

4. 5. 2 실내환경에 의한 영향

Table 23에서는 CO 농도에 영향을 미칠 수 있는 실내환경 요소에 대한 조사 결과를 나타내었다. 환기를 통한 실외공기 유입이 주 발생원인 것으로 확인되었으며 접근 구내도로 및 계류장의 차량 배기가스의 유입 영향이 있을 수 있음을 확인하였다. 측정지점 실내에서는 연소가스 발생원인 연소장치 등의 영향이 없는 것으로 확인되었다.

Table 23 Indoor environment factors affecting the CO concentration

(a) Domestic terminal

Location	Sources	
Arrival	Air circulation	Mechanical ventilation, entrance automatic doors
	Access traffic road	Vehicle emission gas
	Combustion	N/A
Departure	Air circulation	Mechanical ventilation, void through escalators
	Apron	Aircraft, ground equipments, etc.
	Combustion	N/A

(b) International terminal

Location	Sources	
Arrival	Air circulation	Mechanical ventilation
	Combustion	N/A
	Apron	Aircraft, ground equipments, etc.
Departure	Air circulation	Mechanical ventilation
	Combustion	N/A
	Apron	Aircraft, ground equipments, etc.

4. 5. 3 실외 공기 유입에 의한 영향

Fig. 33은 실외에서 측정된 CO 농도와 여객터미널 실내에서 측정된 CO 전체 평균 농도의 비교 그래프를 나타내었다. 측정 기간 중 2017년 1 - 3분기를 제외하고, 실외 대기질의 농도와 실내 측정 농도가 유사한 것으로 나타났지만 대체적으로 실내의 농도가 일정하게 측정되고 있어, 실외 대기농도 변화에 따른 실내 농도 영향은 확인되지 않았다.

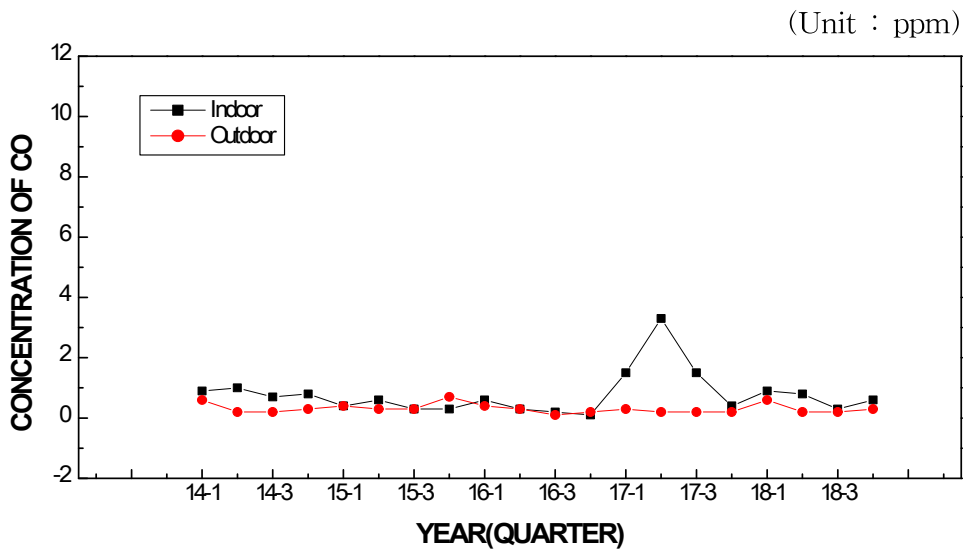


Fig. 33 Comparison of indoor and outdoor CO concentration

4. 5. 4 분석결과

여객터미널 실내외 환경요소를 조사, 분석한 결과 시설 내 CO 주 발생원으로서 는 환기를 통한 외기의 유입과 접근 구내도로 및 계류장을 통한 차량 배기가스의 유입인 것으로 확인되었다. 측정지점 내부에서는 CO를 발생시킬 수 있는 연소장치 등의 요소가 없는 것으로 확인되었다. 또한, 실외 대기 농도 변화에 의한 실내 농도 영향은 확인되지 않았다. 측정기간 전체 CO 측정결과는 Table 24에 나타내었으며, 전체적으로 실내공기질 관리법 관리기준 10ppm를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

Table 24 Average concentration of CO

(Unit : ppm)

	1st quarter	2nd quater	3rd quarter	4th quarter
2014	0.9	1	0.7	0.8
2015	0.4	0.6	0.3	0.3
2016	0.6	0.3	0.2	0.1
2017	1.5	3.3	1.5	0.4
2018	0.9	0.8	0.3	0.6

4. 6 이산화질소(NO₂)

4. 6. 1 측정결과

Fig 34은 국내선 지역의 이산화질소(이하 NO₂)측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 0.007ppm - 0.038ppm, 출발대합실에서는 0.009ppm - 0.035ppm으로 측정되었으며 평균 0.008ppm - 0.037ppm으로 나타났다.

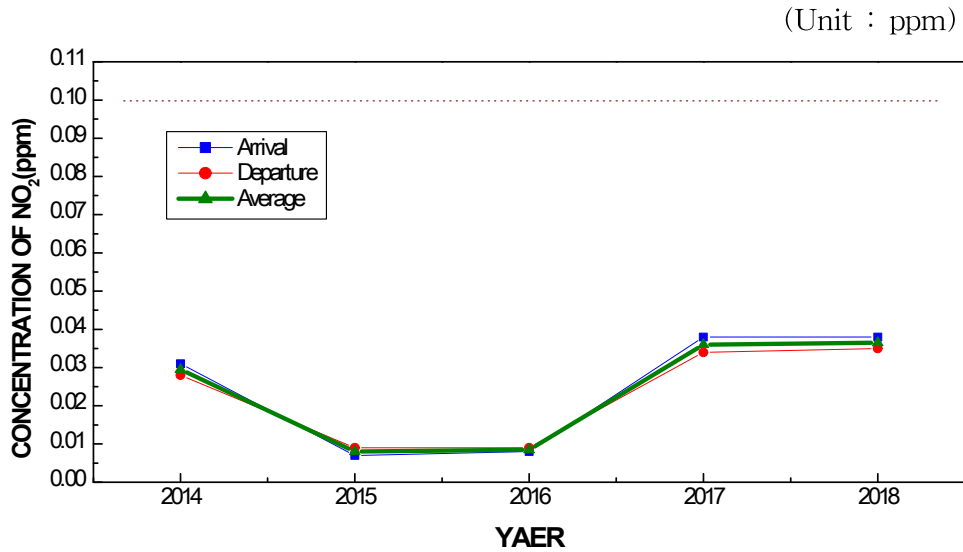


Fig. 34 NO₂ measurement results of domestic terminal

Fig 35은 국제선 지역의 NO₂ 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 0.007ppm - 0.037ppm, 출발대합실에서는 0.005ppm - 0.039ppm으로 측정되었으며 평균 0.007ppm - 0.038ppm으로 나타났다.

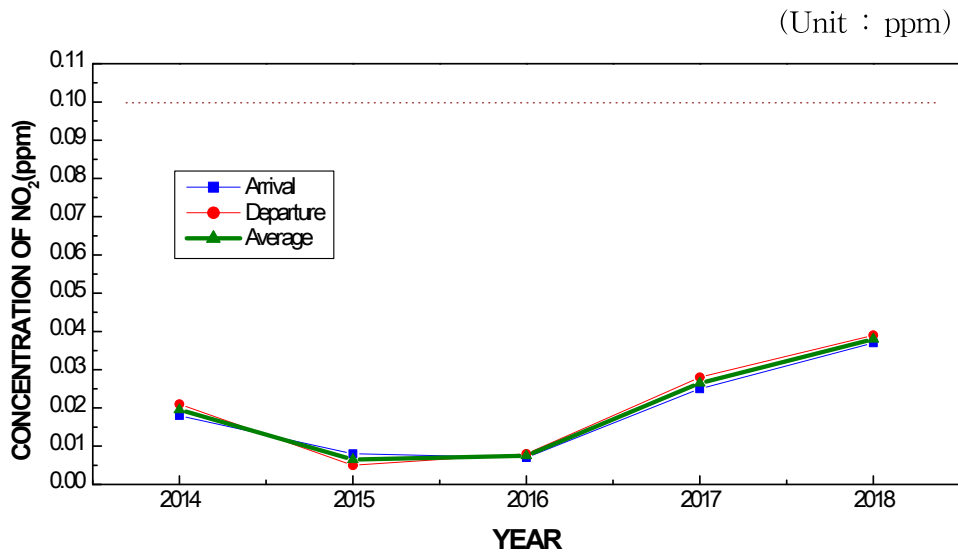


Fig. 35 NO₂ measurement results of international terminal

4. 6. 2 실내환경의 영향

Table 25에서는 NO₂ 농도에 영향을 미칠 수 있는 실내환경 요소에 대한 조사 결과를 나타내었다. 환기를 통한 실외공기 유입이 주 발생원인 것으로 확인되었으며 구내도로 및 계류장의 차량 배기가스의 영향이 있을 수 있음을 확인하였다. 실내에서는 연소가스 발생원인 연소장치 등의 영향이 없는 것으로 확인되었다.

Table 25 Indoor environment factors affecting the NO₂ concentration

(a) Domestic terminal

Location	Sources	
Arrival	Air circulation	Mechanical ventilation, entrance automatic doors
	Access traffic road	Vehicle emission gas
	Combustion	N/A
Departure	Air circulation	Mechanical ventilation, void through escalators
	Apron	Aircraft, ground equipments, etc.
	Combustion	N/A

(b) International terminal

Location	Sources	
Arrival	Air circulation	Mechanical ventilation
	Combustion	N/A
	Apron	Aircraft, ground equipments, etc.
Departure	Air circulation	Mechanical ventilation
	Combustion	N/A
	Apron	Aircraft, ground equipments, etc.

4. 6. 3 실외 공기 유입에 의한 영향

Fig. 36은 실외 NO₂ 농도와 여객터미널 실내 NO₂ 평균 농도의 비교 그래프를 나타내었다. 실외 대기질의 농도와 실내 측정 농도가 유사한 것으로 나타났지만 대체적으로 실외 대기농도 변화에 따른 실내 농도 영향은 확인되지 않았다.

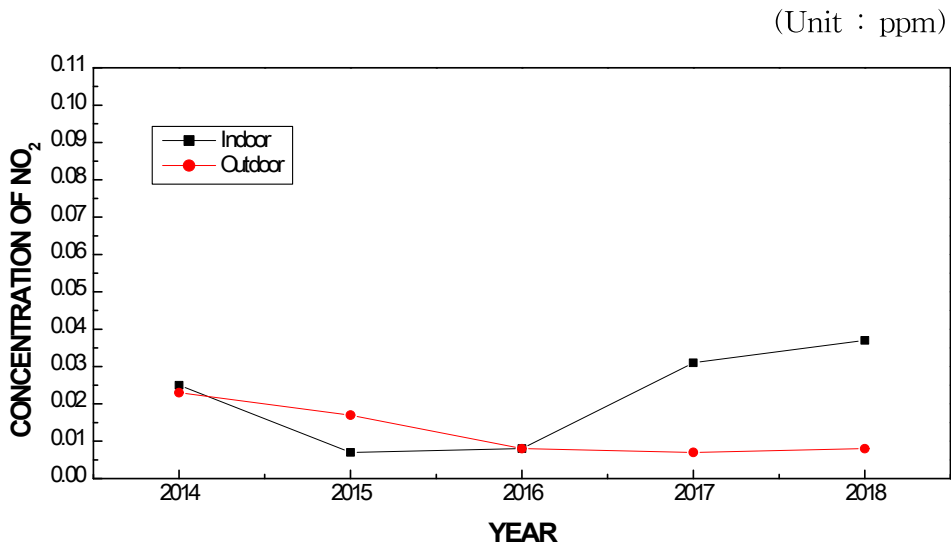


Fig. 36 Comparison of indoor and outdoor NO₂ concentration

4. 6. 4 분석결과

여객터미널 실내외 환경요소를 조사, 분석한 결과 시설 내 NO₂ 주 발생원으로서 환기를 통한 외기의 유입과 구내도로 및 계류장의 차량, 장비 등의 배기가스 유입인 것으로 확인되었다. 실외 대기 농도에 따른 영향을 비교한 결과 연관성은 확인되지 않았다. 측정기간 전체 NO₂ 농도 측정 및 분석 결과는 Table 26에 나타내었으며, 전체적으로 실내공기질 관리법 관리기준 0.1ppm을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

Table 26 Average concentration of NO₂

(Unit : ppm)

2014	2015	2016	2017	2018
0.025	0.007	0.008	0.031	0.037

4. 7 라돈(Rn)

4. 7. 1 측정결과

Fig 37는 국내선 지역의 라돈(이하 Rn) 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 $7.4\text{Bq}/\text{m}^3 - 22.2\text{Bq}/\text{m}^3$, 출발대합실에서는 $3.7\text{Bq}/\text{m}^3 - 129.5\text{Bq}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며, 평균 $7.4\text{Bq}/\text{m}^3 - 74\text{Bq}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

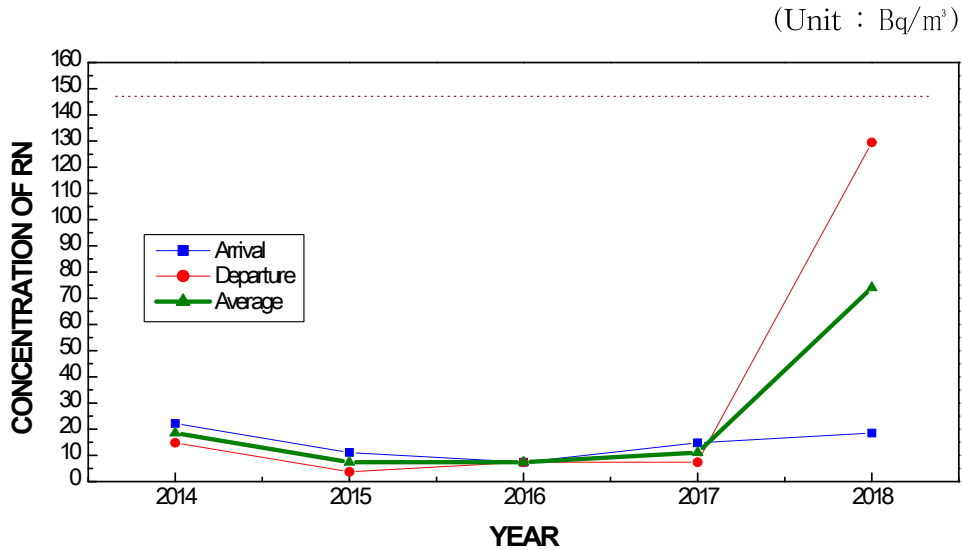


Fig. 37 Radon(Rn) measurement results of domestic terminal

Fig 38은 국제선 지역의 Rn 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 $7.4\text{Bq}/\text{m}^3 - 11.1\text{Bq}/\text{m}^3$, 출발대합실에서는 $3.7\text{Bq}/\text{m}^3 - 33.3\text{Bq}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며, 평균 $5.6\text{Bq}/\text{m}^3 - 20.3\text{Bq}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

(Unit : Bq/m³)

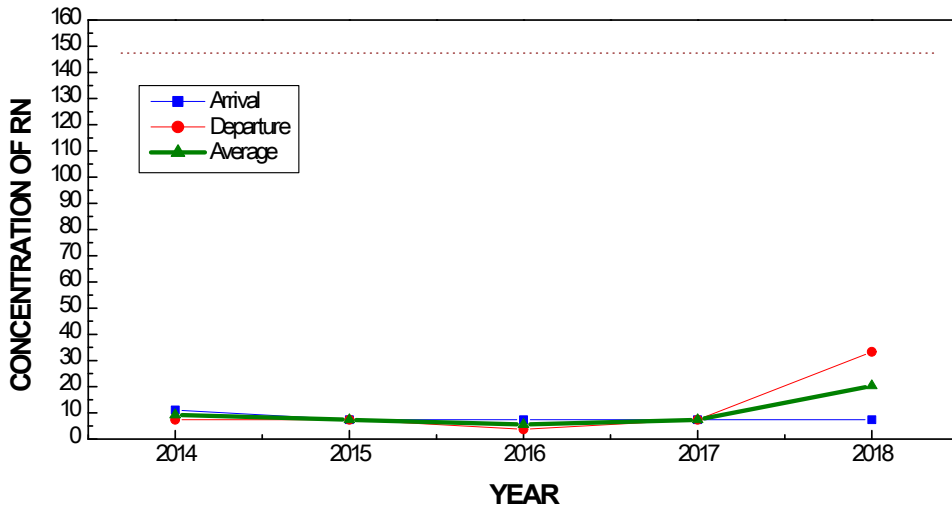


Fig. 38 Radon(Rn) measurement results of international terminal

4. 7. 2 실내환경에 의한 영향

Table 27에서는 CO₂ 농도에 영향을 미칠 수 있는 실내환경 요소에 대한 조사 결과를 나타내었다. 라돈의 주 발생원은 토양, 암석, 지하수 및 일부 건축 재료로서 측정지점에서는 토양과 같은 외부 환경적 요소에서 발생하는 라돈에 의한 영향은 확인되지 않았다.

Table 27 Indoor environment factors affecting the Radon(Rn) concentration

(a) Domestic terminal

Location	Sources	
Arrival	Building materials	Artificial marble tile floor, steel plate column, paint covered concrete ceiling
	Environmental factors	N/A
Departure	Building materials	Rubber tile floor, steel plate column, paint covered concrete and plastic ceiling
	Environmental factors	N/A

(b) International terminal

Location	Sources	
Arrival	Building materials	Rubber tile floor, steel plate column, plastic ceiling, etc.
	Environmental factors	N/A
Departure	Building materials	Rubber tile floor, steel plate column, steel plate ceiling, etc.
	Environmental factors	N/A

4. 7. 3 분석결과

여객터미널 실내외 환경요소를 조사, 분석한 결과 시설 내 Rn 주 발생원으로서 는 실내 건축자재인 것으로 확인되었다. 측정기간 전체 Rn 농도 측정 및 분석 결과는 Table 28에 나타내었으며, 전체적으로 실내공기질 관리법 관리기준 148Bq /m³을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

Table 28 Average concentration of Radon(Rn)

(Unit : Bq/m³)

2014	2015	2016	2017	2018
6.48	7.4	9.3	13.88	47.18

4. 8 휘발성유기화합물(VOCs)

4. 8. 1 측정결과

Fig 39은 국내선 지역의 총휘발성유기화합물(이하 VOCs) 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 $51.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $156.8\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실에서는 $85.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $408.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며 평균 $68.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $241.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

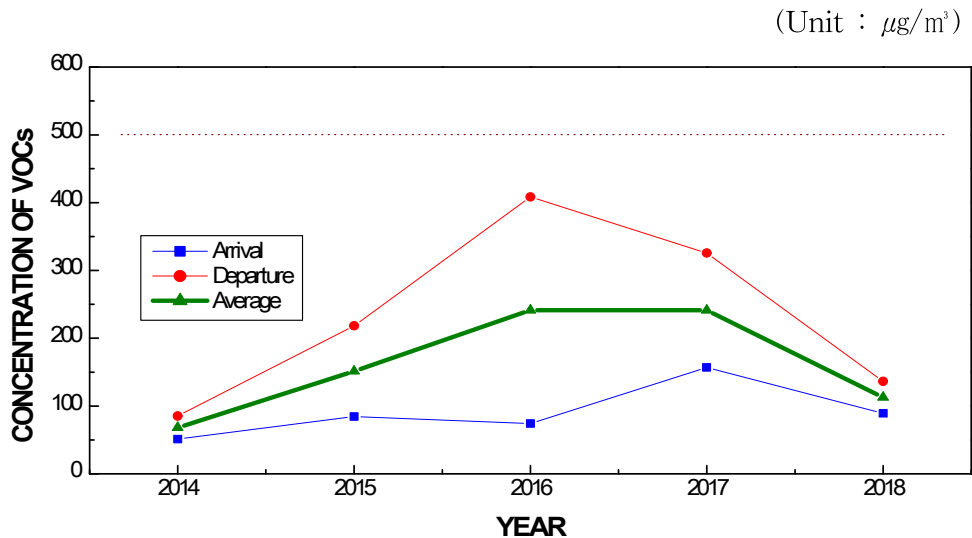


Fig. 39 VOCs measurement results of domestic terminal

Fig. 40은 국제선 지역의 VOCs 측정결과를 나타내고 있다. 도착대합실에서는 $51\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $148.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, 출발대합실에서는 $40.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $245.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며 평균 $46.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ - $162.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

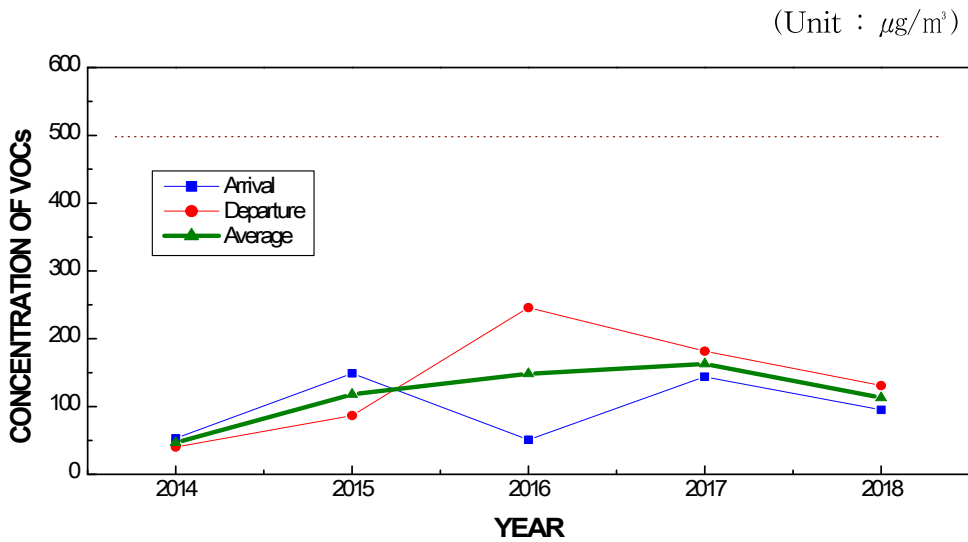


Fig. 40 VOCs measurement results of international terminal

4. 8. 2 실내환경에 의한 영향

Table 29에서는 VOCs 농도에 영향을 미칠 수 있는 실내환경 요소에 대한 조사 결과를 나타내었다. 주 발생원으로는 실내 건축자재인 페인트와 인적요소에 해당하는 의복, 그리고 주기적으로 실시하는 왁스 청소에 의한 영향이 있을 수 있음을 확인하였다.

Table 29 Indoor environment factors affecting the VOCs concentration

(a) Domestic terminal

Location	Sources	
Arrival	Building materials	Artificial marble tile floor, steel plate column, paint covered concrete ceiling
	Human factors	Apparel
	Other factors	Floor waxing
Departure	Building materials	Rubber tile floor, steel plate column, paint covered concrete and plastic ceiling
	Human factors	Apparel
	Other factors	Floor waxing

(b) International terminal

Location	Sources	
Arrival	Building materials	Rubber tile floor, steel plate column, plastic ceiling, etc.
	Human factors	Apparel
	Other factors	Floor waxing
Departure	Building materials	Rubber tile floor, steel plate column, steel plate ceiling, etc.
	Human factors	Apparel
	Other factors	Floor waxing

4. 8. 3 분석결과

여객터미널 실내외 환경요소를 조사, 분석한 결과 시설 내 VOCs 주 발생원으
 로서는 페인트 등의 건축자재, 의복 등의 인적 요소 및 주기적으로 시행하는 왁
 스 청소 등의 영향이 있을 수 있음을 확인하였다. 측정기간 전체 VOCs 측정결
 과는 Table 30에 나타내었으며, 전체적으로 실내공기질 관리법 관리기준 500 $\mu\text{g}/$
 m^3 을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

Table 30 Average concentration of VOCs

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

2014	2015	2016	2017	2018
57.5	112.9	134.6	194.9	202

V. 결 론

본 연구는 제주공항 여객터미널의 실내환경 요소 중 하나인 실내공기질의 특성을 파악하기 위하여 2014년부터 2018년까지 여객터미널 실내공기질의 측정 및 분석 연구를 수행하였다. 실내공기질에 영향을 주는 오염물질 측정대상은 “실내공기질 관리법”에서 정하고 있는 유지기준 및 권고기준 항목에 따랐으며, 유지기준 항목에는 PM-10 미세먼지, PM-2.5 미세먼지, 이산화탄소(CO₂), 폼알데하이드(HCHO), 일산화탄소(CO)가 있으며, 권고기준 항목에는 이산화질소(NO₂), 라돈(Rn), 총휘발성유기화합물(VOCs)가 있다. 측정방법은 국립환경과학원 고시 “실내공기질 공정시험기준”에 의거하여 실시하였으며, 측정횟수는 국토교통부 고시 “공항환경 관리기준”에서 정한 바에 따라, 유지기준 항목에 대하여는 분기 1회 측정하였고, 권고기준 항목(PM-2.5 미세먼지 포함)에 대하여는 연 1회 측정하였다. 측정결과에 영향을 미치는 요소를 파악하기 위하여 실내외 환경에 의한 영향을 조사 및 비교 분석하였다. 최종적으로 측정결과는 실내공기질 관리법의 유지기준 및 권고기준에서 정한 기준치와 비교하여 그 적정 여부를 판단하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 제주공항 여객터미널 실내공기질 측정 및 분석 결과, 유지기준 항목인 PM-10 미세먼지는 25 - 66.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM-2.5 미세먼지는 8.9 - 25.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 이산화탄소(CO₂)는 497.5 - 735.3ppm, 폼알데하이드(HCHO)는 9 - 49.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 일산화탄소(CO)는 0.1 - 3.3ppm으로 측정되었으며, 권고기준 항목인 이산화질소(NO₂)는 0.007 - 0.037ppm, 라돈(Rn)은 6.48 - 47.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 총휘발성유기화합물(VOCs)는 57.5 - 202 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었다.
- 2) 공항에서의 실내환경에 의한 실내공기질 영향에 대한 조사로서 공통적으로 실내외 환기를 통한 실외기의 유입과, 재실자의 활동에 따른 대사물질 발생 그리고 내장 페인트 등의 건축자재 및 여객이 착용하는 의복 등 생활용품에 의한 영향이 있을 수 있음을 확인하였다.

- 3) 실외 공기의 유입에 따른 실내농도 영향을 비교한 결과, PM-10 미세먼지는 실외 농도 $17 - 115\mu\text{g}/\text{m}^3$, 실내 농도 $22 - 66.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, PM-2.5 미세먼지는 실외 농도 $4 - 60\mu\text{g}/\text{m}^3$, 실내 농도 $8.9 - 25.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 일산화탄소는 실외 농도 $0.1 - 0.7\text{ppm}$, 실내농도 $0.1 - 3.3\text{ppm}$, 이산화질소는 실외 농도 $0.004 - 0.028\text{ppm}$ 실내농도 $0.007 - 0.037\text{ppm}$ 로 나타났다. 전반적으로 실외 대기질 농도의 증감에 따른 실내 농도의 영향은 확인되지 않았다.
- 4) 제주공항 여객터미널 실내공기질 측정결과를 바탕으로 적정성 여부를 분석한 결과 전체 항목에서 기준치 이내로 측정되었다.

VI. 참고문헌

- [1] 유광의, 유문기, 2015, 제2판 공항운영론, 大旺社
- [2] 양원호, 2008, “실내공기질 및 위해성 관리”, 집문당
- [3] 에어코리아 환경부 대기환경정보 (www.airkorea.or.kr)
- [4] 한국공항공사 항공통계 (www.airport.co.kr)
- [5] Cho, Hong-Jae, 2016, "Analysis of Energy Savings and Air Quality Enhancement Potentials of Demand-Controlled Ventilation(DCV) in Underground Parking Facilities", The graduate school, Hanyang University(master's thesis)
- [6] Choi, Soo Ho, 2015, "A Study on the Integrated LCCA/LCA Model for Introducing High Efficiency Motor into the Public Facilities Air Ventilation Systems", The Graduate School, Hanyang University(master's thesis)
- [7] Jang, Yoon Jung, 2018, "Optimization of Hybrid Ventilation Strategies for Improvement of Indoor Air Quality and Energy Performance in a classroom", Graduate school, Chungbuk National University(master's thesis)
- [8] Kim, Sang-Yoon, 2014, "Efficient Applications through Analysis of Heating and Cooling Systems to University Buildings", Graduate School of Construction Engineering, Chung-Ang University(master's thesis)

- [9] Kim Tae Ho, 2015, "The Relative Effects of Service Quality Factors of Interior Environmental Design on Airport Customer Satisfaction", The Graduate School of Public Administration, Seoul National University(master's thesis)
- [10] Kim, Tae-Wan, 2012, "A study on Indoor air quality and Energy performance in care facilities for the elderly on the Ventilation systems", Graduate school, Yeungnam University(master's thesis)
- [11] Park, Chang-Mu, 2016, "The reduction plan of air-conditioning and heating system cost for domestic small-medium airports building by analyzing the management", The graduate school of Chung-Ang University(master's thesis)
- [12] Park, Jong Hee, 2006, "A study on the Usable Propriety HVAC System in Airport", Graduate School of Industrial Technology, Yeongnam University(master's thesis)

Appendix Outdoor air pollutants concentration

		PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ (ppm)	CO (ppm)
2014	03-18	115	-	0.018	0.6
	06-09	42	-	0.005	0.2
	09-02	28	-	0.004	0.2
	10-30	36	-	0.023	0.3
2015	03-17	60	33	0.028	0.4
	06-04	42	14	0.014	0.3
	08-11	26	10	0.017	0.3
	11-09	79	60	0.014	0.7
2016	03-15	62	37	0.022	0.4
	06-01	56	35	0.012	0.3
	08-29	17	4	0.008	0.1
	11-22	35	8	0.011	0.2
2017	03-20	43	37	0.015	0.3
	06-12	42	17	0.007	0.2
	08-30	27	17	0.007	0.2
	11-07	38	29	0.013	0.2
2018	03-26	81	50	0.023	0.6
	05-23	42	15	0.008	0.2
	09-11	32	11	0.005	0.2
	11-05	48	37	0.019	0.3

※ 자료출처 : 에어코리아(airkorea.or.kr)

※ 측정장소 : 제주특별자치도청 제2청사 옥상(공항으로부터의 거리 : 2.1km)

감사의 글

어느덧 길다면 길고 짧다면 짧은 대학원 생활을 마무리 하게 되었습니다. 학업에 대한 욕심만으로 아무 준비도 없이 덜컥 시작한 대학원 과정이었지만, 무탈하게 학업을 수행할 수 있도록 도와주신 분들이 있어 짧게나마 이 지면을 빌어 감사의 말씀을 전하고자 합니다. 우선 지도교수님이신 박윤철 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 관련 전공에 대한 기초지식도 없이 논문을 쓰겠다고 찾아갔지만 흔쾌히 이를 받아주셨습니다. 또한 일반대학원생도 아닌 저에게 부족한 실험실의 자리를 기꺼이 내어 주시고, 실험실에서 보실 때마다 격려와 지도를 아끼지 않으셨습니다. 교수님께서 저에게 보여주신 격려와 긍정적인 피드백 덕분에 이 과정을 끝까지 포기하지 않고 마칠 수 있었습니다. 이 과정을 무사히 마치게 되어 앞으로의 학업에도 긍정적인 희망과 비전을 가질 수 있게 되었습니다. 다시 한 번 감사드립니다. 그리고 새로운 학과와 실험실에 낯선 저에게 빠르게 적응할 수 있도록 바쁘신 데도 불구하고 많은 도움을 주신 고광수 선생님께도 감사의 말씀을 드립니다. 이에 못지않게, 저의 직장동료이자 선배이신 조용국 팀장님과 임원래 차장님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 다른 업무와 전공 분야임에도 불구하고 기계분야를 공부해보고 싶다는 말에 기꺼이 격려를 아끼지 않으시고 업무와 학업을 연계하여 연구를 수행할 수 있도록 연구 주제를 제안해 주시는 등 많은 배려를 해주셨습니다. 두 분 덕분에 저의 경험과 지식이 조금이나마 넓어지는 계기가 되었습니다. 이 경험이 앞으로의 직장생활과 인생에 큰 도움이 되리라 믿어 의심치 않습니다. 또한 바쁜 직장생활에서도 학업에 매진할 수 있도록 배려 해주신 전헌배 팀장님, 장재원 차장님과 현장에서 함께 동고동락하는 모든 동료 여러분들께도 감사의 말씀을 전합니다. 그리고 먼 타지에서 일하면서 항상 응원을 보내주는 동생 봉수, 마지막으로 저의 영원한 가족이자, 아내이자, 친구이자 동료인 사랑하는 상아에게 이 논문을 바칩니다.

2019년 12월 강성현