

The Variation of Indoor Air Quality in Nursing Home

Dong-Ha Ji*, Mi-Suk Choi**

*Professor, Dept. of Environment Health, Daejeon Health Institute of Technology, Daejeon, Korea

**Professor, Dept. of Dental Hygiene, Chodang University, Muan, Korea

[Abstract]

In this paper, we proposed a plan to maintain comfortable indoor air quality in nursing homes by suggesting ways to reduce items temporarily exceeding the reference values through real-time concentration variation analysis of indoor air quality. Five items including PM10, CO₂, CO, VOC, and Radon are measured at nursing homes in spring (April) and autumn (September) was carried out and all of the measured items were analyzed to satisfy the criteria set by the Indoor Air Quality Control Act. As a result of the analysis of the real-time concentration change, the concentration of CO₂ was close to the reference value based on the number of occupants in the sick room. Due to the disinfectant (alcohol) used to disinfect and the auxiliary tools (adhesive) used in the operation of the program such as making and coloring, it was analyzed to temporarily exceed the standard value in the hall. In conclusion, it is possible to provide pleasant indoor air quality and contribute to securing the nursing home's competitiveness if periodic ventilation, natural disinfectant and eco-friendly product are used in consideration of the thermal environment.

▶ **Key words:** Allocation, Workload, Migration, Load balancing, Simulation

[요 약]

본 연구는 실내공기질의 실시간 농도변화 분석을 통하여 일시적으로 기준값을 초과하는 항목에 대하여 원인 분석을 통하여 요양원의 쾌적한 실내공기질을 유지하기 위한 방안을 제안하고자 실시하였다.

요양원에서 미세먼지(PM10), 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO), 휘발성유기화합물(VOC), 라돈(Radon) 등 5개 항목에 대하여 다목적 홀에서 봄(4월), 가을(9월)에 각1회 측정을 실시한 결과 측정 항목 모두 실내공기질 관리법에서 정한 기준을 만족하는 것으로 분석되었다.

실시간 농도 변화에 대한 분석 결과 병실의 경우 이산화탄소의 농도가 재실자 수에 의하여 기준치에 근접하는 수준을 보였으며 다목적 홀의 경우 이산화탄소 및 미세먼지는 주간보호 대상 어르신 및 근무자의 프로그램 활동과 휘발성유기화합물의 경우 식탁을 소독하기 위하여 사용하는 소독제(알코올) 및 만들기, 색칠하기 등의 프로그램 운용시 사용되는 보조도구(접착제)로 인하여 일시적으로 기준치를 초과하는 것으로 분석되었다.

결국 측정 대상 요양원에서는 온열환경을 고려하여 주기적인 환기, 천연소독제 사용 및 친환경 접착제 사용 등을 실시한다면 쾌적한 실내공기질 제공이 가능하고 요양원의 경쟁력 확보에도 기여할 것으로 판단된다.

▶ **주제어:** 실내공기질, 요양원, 기준값, 주기적인 환기, 친환경 제품

-
- First Author: Dong-Ha Ji, Corresponding Author: Mi-Suk Choi
 - Dong-Ha Ji (dhpond@hit.ac.kr), Dept. of Environment Health, Daejeon Health Institute of Technology
 - Mi-Suk Choi (mschoi@cdu.ac.kr), Dept. of Dental Hygiene, Chodang University
 - Received: 2019. 11. 25, Revised: 2019. 12. 16, Accepted: 2019. 12. 16.

I. Introduction

우리나라는 2017년 11월 현재 65세 이상 고령인구의 비율이 14.2%[1]로 고령 사회로 접어들었으며 녹거노인의 비율도 2018년 현재 19.4%이며[2] 기대수명도 82.7세[3]로써 노인인구의 증가에 따른 노인요양시설의 중요성이 날로 증가하고 있다.

요양원의 경우 실내공기질 관리법에서 정한 실내공기질 관리 대상인 다중이용시설로서 실내공기질 관리법(11조 3항) 의거 1년에 한번(유지기준 항목), 또는 2년에 한번(권고기준 항목)(7월1일부터 12월 31일까지) 실내공기질을 측정하도록 규정하고 있다[4].

요양원에서 실내공기질 측정은 환경부에서 고시한 “실내공기질 공정시험기준”에 의거 요양원의 실내공기질을 대표할 수 있는 특정지점에서 측정을 실시하고 있으며 실내공기질 기준 초과여부는 측정 항목별로 일정한 시간동안 측정된 값의 평균 개념이 적용된 측정값을 기준값과 비교하여 실내공기질 수준의 만족여부를 판단하고 있다.

그러나 요양원의 실내공기질은 재실자의 활동[5], 면회객의 방문, 식사준비과정에서의 연료 사용과 식탁 소독 및 각종 프로그램 활동 등 여러 가지 요인에 의하여 실내공기질의 수준이 수시로 변경될 수 있으며 요양원에 머무르는 어르신들이 경험하게 되는 실내공기질의 감각적인 수준은 순간적으로 기준을 초과되는 고농도 값을 나타내는 항목에 더 민감하게 반응하므로 측정값이 실내공기질 기준을 만족하여도 어르신들이 느끼는 실내공기질 수준과는 차이가 있으리라 판단된다.

요양원에 계시는 분들은 고령이면서 장애를 지니고 있으며 주위환경에 민감한 계층이어서 쾌적한 실내공기질 환경을 제공 받아야 하는데 짧은 시간동안 변하는 농도의 실내오염인자는 어르신들에게 나쁜 영향을 끼칠 수 있다[6].

따라서 본 연구는 요양원의 실내공기질을 실시간 측정장비를 활용하여 요양원을 이용하는 어르신들의 입장에서 요양원에서 머무르는 시간동안 실제로 노출되는 농도 수준을 파악하고 쾌적한 실내공기질을 유지하기 위한 방안을 수립하기 위하여 각 실별, 활동별로 구분하여 실시간 연속 측정장비를 이용하여 실내공기질 측정을 실시하였다

에서 일정 시간동안 측정된 실내공기질 측정값을 유지기준 및 권고기준과 비교하여 초과여부를 판단하며 문제점 및 대안수립에 관심을 두었다[7]

최근에는 어린이가 머무르는 실내공간에 어린이를 대상으로 실시한 의 활동패턴에 따른 실내공기질을 파악하는 연구가 최근에 실시되었지만[8] 실내에 머무르는 사람의 측면을 고려한 연구는 미진한 실정이다.

본 연구는 어르신들의 입장에서 요양원에서 경험하게 되는 실내공기질의 농도 변화에 따른 수준을 실시간 분석을 통하여 순간적으로 기준치를 초과하거나 근접하는 값에 대한 요인을 분석하여 적절한 저감방안을 수립하므로 쾌적한 실내공기질 조건을 제공하는 것도 상당히 중요하다고 판단되어 본 연구를 실시하였다.

III. The Proposed Scheme

1. Measurement point at each facility

본 연구를 위하여 측정을 실시한 요양원은 경상북도 ○○군에 위치한 요양원이며 상대적으로 양호한 대기질 환경을 유지하는 지역이다[기상자료 k-weather]. 요양원은 거동이 불편하여 24시간 보호를 받는 재가형 어르신들이 계시는 병실, 출퇴근 하면서 주간에 보호를 받는 어르신을 대상으로 각종 프로그램 활동이 이루어지는 다목적 홀, 어르신에게 각종 서비스를 제공하는 직원이 머무르는 사무실 등으로 구성되어 있으며 각 실에서 실내공기질 측정을 실시하였다<그림 1>.

2. Measurement period and measuring equipment

요양원의 실내공기질 측정은 봄철(2019년 4월23일), 가을철(2019년 9월 11일) 등 총 2회를 실내공기질 관리법에서 정한 규정에 따라 실시하였으며 측정에 사용된 장비는 실내공기질 측정 데이터를 연속적으로 저장할 수 있는 직독식 기기[YES+ LGA (Canada), EVM-7(USA)]를 사용하였으며 측정된 자료는 분석 전용 프로그램인 Yes-Viewer, Detection Management Software를 이용하여 분석을 실시하였다.<그림 1>.

II. Related work

기존의 연구는 실내공기질 관련법에 의거하여 일정시간 동안의 평균값을 취하여 기준과 비교하여 판단을 하도록 되어 있어 대상시설의 실내공기질을 대표할 수 있는 지점

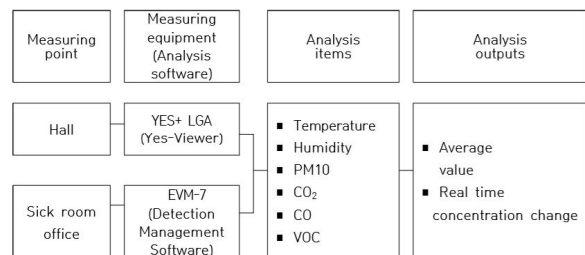


Fig. 1. Measurement & Analysis Schematic

V. Analysis results

1. Indoor air quality measurement result and real-time concentration change

1.1 The result of Measurements and real-time concentration change in the Sick Room

병실의 온열 조건에 대한 측정 결과 온도의 경우 봄철에는 27.7°C, 가을철에는 26.3°C로 측정되었으며 습도의 경우 봄철에는 43.3%, 가을철의 경우 측정 당시 기상조건(강수량 6mm) 때문에 74.0%로 높게 나왔지만 적절한 온열환경을 유지하고 있는 것으로 조사되었으며 실내공기질 측정항목 모두 기준치를 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

실시간농도 변화를 분석한 결과 봄철에 이산화탄소의 농도가 835ppm으로 일시적으로 높은 값을 나타내고 있는데 이는 병실에 머무르는 어르신, 면회객 및 근무자 등으로 인하여 재실자의 호흡으로 인하여 발생한 것으로 판단된다.

Table 1. Result of Temperature, humidity, indoor air quality measurement in sick room

Division	Mean±S.D.	Range	Median	P
T(°C)	Sp. 27.7±0.9	25.3~29.1		
	Au. 26.3±0.3	25.4~26.7		
H(%)	Sp. 43.3±1.3	41.9~47.3		
	Au. 74.0±1.3	72.7~77.8		
PM10 (ug/m ³)	Sp. 40.0±10.0	20~70	40.0	0.000
	Au. 15.3±4.1	7~35	15.0	
CO ₂ (PPM)	Sp. 534.4±129.7	385~835	477.0	0.000
	Au. 377.0±44.1	345~540	360.0	
CO (PPM)	Sp. 4.0±0.1	3.0~5.0	4.0	0.000
	Au. 3.1±0.3	3.0~4.0	3.0	
VOC (ug/m ³)	Sp. 0.33±0.1	0.3~0.6	0.3	0.000
	Au. 0.96±0.1	0.9~1.0	1.0	

T ; Temperature, H ; Humidity

1.2 The result of Measurements and real-time concentration change in the Office

사무실의 온열 조건에 대한 측정 결과 온도 측정 결과 온도의 경우 봄철에는 28.4°C, 가을철에는 23.8°C로 측정되었으며 습도의 경우 봄철에는 44.6%, 가을철의 경우 측정 당시 기상조건(강수량 6mm) 때문에 74.9%로 높게 나왔지만 적절한 온열환경을 유지하고 있는 것으로 조사되었으며 실내공기질 측정항목 모두 기준치를 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

실내공기질의 실시간농도 변화를 분석한 결과 봄철에 이산화탄소의 농도가 941ppm으로 일시적으로 높은 값을 나타내고 있는데 이는 측정 당시 기상조건이 미세먼지가 고농도인 관계로 사무실의 창문 및 출입문을 닫은 상태에서 근무자 실내 활동에 의하여 발생하기 때문으로 분석되었다.

Table 2. Result of Temperature, humidity, indoor air quality measurement in office

Division	Mean±S.D.	Range	Median	P
T(°C)	Sp. 28.4±0.7	26.4~29.9		
	Au. 23.8±0.5	23.0~26.0		
H(%)	Sp. 44.6±1.4	42.5~49.2		
	Au. 74.9±1.5	67.9~76.8		
PM10 (ug/m ³)	Sp. 60.0±10.0	30~90	50	0.000
	Au. 7.3±3.6	0.0~25.0	6.0	
CO ₂ (PPM)	Sp. 485.9±89.7	398~941	450.0	0.000
	Au. 440.1±87.2	345~784	410.0	
CO (PPM)	Sp. 4.6±0.5	4.0~5.0	5.0	0.000
	Au. 3.5±0.5	3.0~5.0	4.0	
VOC (ug/m ³)	Sp. 0.5±0.1	0.4~0.6	0.5	0.000
	Au. 1.0±0.1	0.9~1.1	1.0	

T ; Temperature, H ; Humidity

1.3 The result of Measurements and real-time concentration change in the Hall

다목적 홀의 온열 조건에 대한 측정 결과 온도의 경우 봄철에는 27.1°C, 가을철에는 27.0°C로 측정되었으며 습도의 경우 봄철에는 45.0%, 가을철의 경우 측정 당시 기상조건(강수량 6mm) 때문에 74.6%로 높게 나왔지만 적절한 온열환경을 유지하고 있는 것으로 조사되었으며 실내공기질 측정항목 모두 기준치를 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

실내공기질의 실시간농도 변화를 분석한 결과 봄철에 측정을 실시한 미세먼지의 농도가 170ug/m³으로 프로그램 시작 전 다목적 홀에 일시에 입장하는 주간보호를 받는 어르신들로 인하여 일시적으로 기준치(100ug/m³)를 초과하였으며, 휘발성 유기화합물의 경우 각종 프로그램 운영 시 사용하는 보조도구(접착제 등) 및 세척제(알코올 등)로 인하여 4,738ug/m³인 것으로 분석되어 기준값(400ug/m³)을 초과하는 것으로 나타났다.

가을철에 측정을 실시한 이산화탄소의 경우 1,101ppm으로 다목적 홀에 일시에 입장하는 어르신 및 어르신들에게 각종 서비스를 제공하기 위하여 출입하는 근무자 등 재실자의 활동으로 인하여 일시적으로 기준값(1,000ppm)을 초과하는 것으로 분석되었다<그림 2>.

2. Analysis of Factors Affecting Real-Time Changes in Indoor Air Quality

2.1 Changes in Indoor Air Quality According to the Number of Occupants in Sick Room and Office

병실 및 사무실에서의 실내공기질 측정항목에 대한 농도를 비교하여 본 결과 봄, 가을철 모두 병실에 머무르는 어르신, 진료와 처치를 위하여 출입하는 근무자 및 재가형 어르신 방문안을 목적으로 출입하는 면회객 등 재실자에 의하여 이산화탄소의 농도가 변화하며 일시적으로 높은 값을 보이고 있는 것으로 판단된다.

Table 3. Result of Temperature, humidity, indoor air quality measurement in Hall

Division		Mean±S.D.	Range	Median	P
T(°C)	Sp.	27.1±0.5	26.1~28.1		
	Au.	27.0±0.1	26.6~27.2		
H(%)	Sp.	45.0±0.9	42.0~47.0		
	Au.	74.6±1.9	70.0~78.0		
PM10 (ug/m ³)	Sp.	60.0±30.0	10~170	60.0	0.000
	Au.	24.0±11.7	10~88	20.0	
CO ₂ (PPM)	Sp.	499.2±32.7	435~614	496.5	0.000
	Au.	680.1±173.8	446~1,101	650.5	
CO (PPM)	Sp.	2.3±0.4	1.4~3.2	2.4	0.000
	Au.	1.6±0.2	0.9~2.3	1.7	
VOC (ug/m ³)	Sp.	344.6±468.6	161~4,738	230.0	0.000
	Au.	0.3±0.4	0.0~1.7	0.1	
Radon (Bq/m ³)	Sp.	14.6±7.2	8~26	12	-
	Au.	13.7±3.1	11~17	13	

T ;Temperature, H ; Humidity

병실과 사무실에서 재실자 수에 따른 이산화탄소의 농도 차이를 검증하기 위하여 분산분석을 실시한 결과 재실자 수가 증가할수록 농도가 증가하는 것으로 분석되어 재실자의 호흡에 의하여 발생하는 이산화탄소가 실내의 이산화탄소의 농도를 증가시키는 주요인이며 이를 저감시킬 수 있는 대책 수립이 필요 할 것으로 판단된다<표 4>, <표 5>.

Table 4. Changes in Indoor Air Quality Concentration by Occupants in Sick Room

Division		No. of occupants			F(P)
		3	5	8	
		Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	
PM10 (ug/m ³)	Sp.	43.6±7.7	39.0±7.9	39.7±6.6	109.2***
	Au.	15.4±4.2	14.6±2.3	14.6±3.0	2.229
CO ₂ (PPM)	Sp.	444.6±305	531.3±14.5	690.0±115.5	4,029.5***
	Au.	364.5±194	463.1±36.2	523.7± 137	2,268.391***
CO (PPM)	Sp.	4.0±0.2	4.0±0.0	4.0±0.1	4.8***
	Au.	3.1±0.3	3.0±0.0	3.0±0.0	7.022***
TVOC (ug/m ³)	Sp.	0.3±0.1	0.4±0.2	0.3±0.0	301.0***
	Au.	0.96±0.0	0.90±0.0	0.95±0.1	46.394***

*** ; p<0.001

2.2 Changes in Indoor Air Quality According to Program Operation in Hall

다목적 홀에서 실내공기질 측정항목에 대한 농도를 비교하여 본 결과 이산화탄소의 농도는 봄, 가을철 모두 진료 및 처치, 가족방문 등을 목적으로 출입하는 방문객 등 재실자의 활동에 의해 변화하는 것으로 분석되었으며 재실자 수가 증가할수록 이산화탄소의 농도가 증가하는 것으로 분석되었다.

비산먼지의 경우 봄철에 미세먼지의 농도가 높은 기상 조건 관계로 일시적으로 기준치를 초과하는 것으로 분석

되었으며 가을철의 경우 주간보호 대상 어르신들이 등원 하는 시간에 일시적으로 농도가 증가하는 것으로 분석되었으며 휘발성유기화합물의 경우 점심식사를 준비하는 과정에서 식탁 소독을 위하여 사용되는 세척제(알코올) 및 프로그램 운용시 사용되는 보조도구(접착제) 사용으로 인하여 발생하는 것으로 판단되며 이러한 요인들을 고려하여 저감방안을 수립이 하여야 할 것으로 판단된다.

Table 5. Changes in Indoor Air Quality Concentration by Occupants in Office

Division		No. of occupants			F(P)
		2	4	6	
		Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	
PM10 (ug/m ³)	Sp.	57.3±10.6	60.1±7.1	47.4±7.2	687.2***
	Au.	8.3±3.7	4.9±2.1	5.7±2.3	732.207***
CO ₂ (PPM)	Sp.	444.3±214	509.8±21.3	629.2±110.7	6641.5***
	Au.	394.1±21.7	509.3±36.0	688.6± 58.7	28,948.169***
CO (PPM)	Sp.	4.5±0.5	5.0±0.1	4.6±0.5	487.1***
	Au.	3.4±0.5	4.0±0.0	4.0±0.0	1,974.934***
TVOC (ug/m ³)	Sp.	0.4±0.1	0.5±0.0	0.5±0.0	2240.3***
	Au.	0.97±0.0	0.9±0.0	0.9±0.0	2,502.417***

*** ; p<0.001

3. Establishment of plans to maintain comfortable Indoor Air Quality

3.1 Analysis of Factors that Change Indoor Air Quality

요양원의 실내공기질 농도를 변화시키는 요인에 대하여 분석한 결과 병실 및 사무실의 경우 재실자의 호흡에 의하여 이산화탄소의 농도가 변화 하며 다목적 홀의 경우 재실자의 활동에 의하여 비산먼지, 이산화탄소 및 휘발성 유기 화합물의 농도가 변화하는 것으로 분석되었다.

요양원의 쾌적한 실내공기질을 제공하기 위한 방안을 수립하기 위하여 요양원 내 각 시설에서 측정 분석한 실내 공기질 측정자료와 재실자수, 창문/출입문 개방여부 및 열린공간 등 실내공기질을 변화시키는 요인과 상관관계 분석을 실시하였으며 그 결과 이산화탄소는 재실자 수 (0.818**) 및 열린 공간(-.963**)과 강력한 상관관계를 보이며, 일산화탄소의 경우 열린 공간(.782**)과 강력한 상관관계를 보이며, 휘발성 유기화합물의 경우 열린 공간 (-.868**)과 강력한 상관관계를 보이는 것으로 분석되었다 <표 7>.

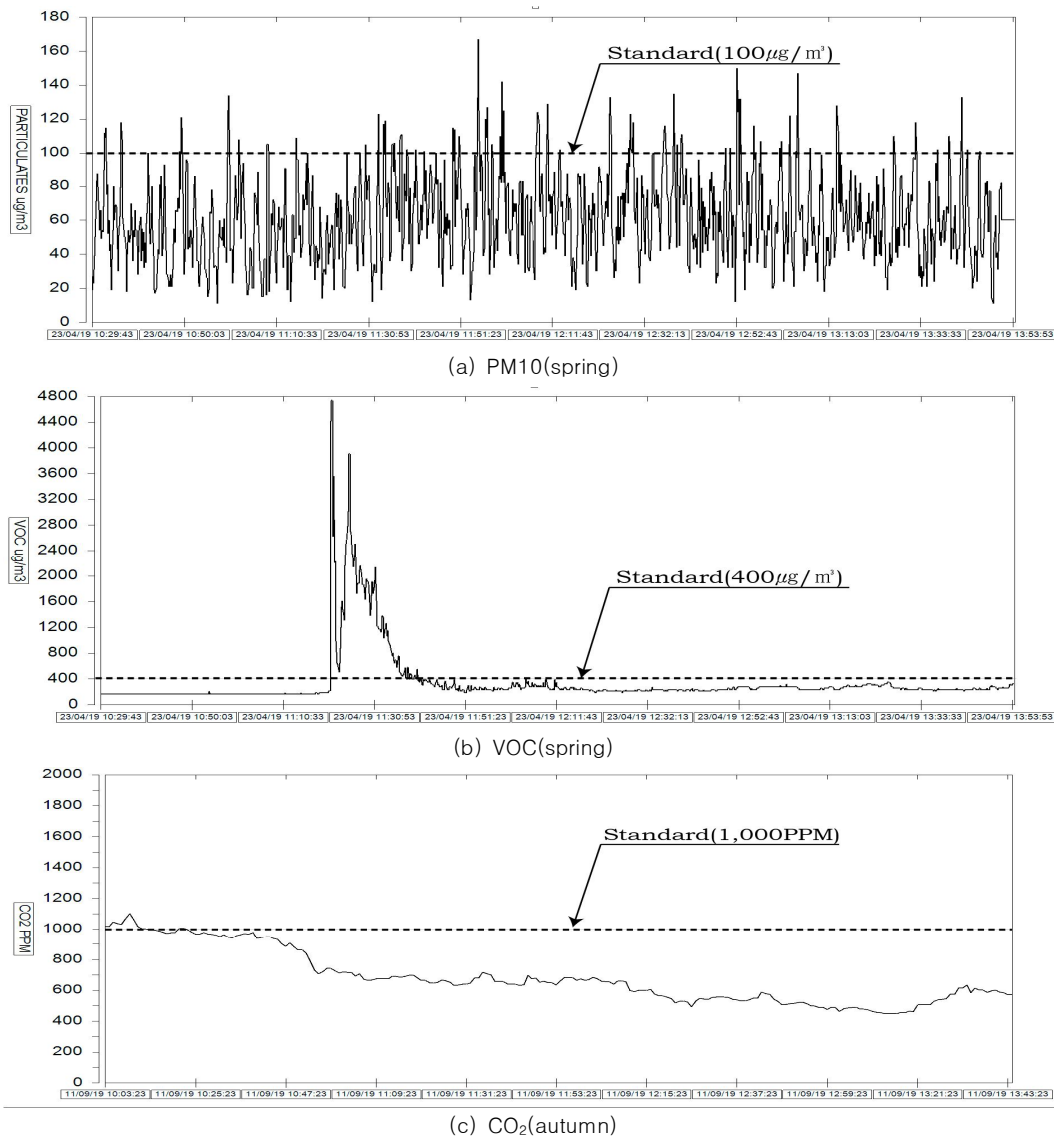


Fig. 2. Time series of indoor air quality in the Hall

Table 6. Changes in Indoor Air Quality Concentration by Program Operation in Hall

Season	Program	PM10(ug/m ³)	CO2(PPM)	CO(PPM)	Radon(Bq/m ³)	VOC(ug/m ³)
Spring	Bath	54.2±24.4	475.6±27.0	1.8±1.7	10	162.4±5.8
		10.0~134.0	435.0~530.0	1.4~2.3	-	161.0~207.0
	Rest (lunch)	64.9±25.4	501.8±23.3	2.5±0.3	10	435.6±569.3
		12.0~170.0	455.0~589.0	2.1~3.2	-	184~4,738
	Activites	58.4±22.8	534.6±46.0	2.6±0.1	22	241.8±22.1
Autumn	F(p)	20.883***	227.355***	893.430***	-	43.26***
		23.0±13.5	940.5±91.7	1.4±0.2	17	0.7±0.3
	Making	10.0~88.0	706.0~1101	0.9~1.8	-	0.2~1.7
		23.9±10.8	589.8±82.2	1.7±0.2	13	0.1±0.1
	Rest (lunch)	10.0~63.0	446.0~719.0	1.2~2.3	-	0.0~0.7
Colouring	28.8±12.9	593.1±18.5	1.7±0.1	-	0.0±0.0	
	12.0~59.0	570.0~632.0	1.5~1.9	11	0.0~0.0	
F(p)	1.546	385.9***	97.438***	-	246.838***	

*** ; p<0.001

Table 7. Correlation analysis between ventilation space and indoor air quality measurement items

	No. of occupants	Open space	PM10	CO2	CO	VOC
No. of occupants	1		.029**	.818**	.089**	-.258**
Open space		1	-.015	-.963	.782	-.868
PM10			1	-.178**	.549**	.136**
CO2				1	-.052**	-.007
CO					1	-.231**
VOC						1

** ; p<0.01

3.2 Analysis of Changes in Indoor Air Quality According to Ventilation

요양원의 병실에서 재실자의 호흡으로 인하여 발생하는 이산화탄소에 대한 저감방안을 수립하기 위하여 병실의 창문, 출입문 개방에 따른 이산화탄소의 저감 효과 분석을 실시하였다.

환기에 따른 이산화탄소의 저감 효과를 파악하기 위하여 기존 병실(305호)과 동일한 조건을 갖춘 병실(505호)에서 창문 및 출입문 개방 면적을 다르게 하면서 이산화탄소의 농도 변화 분석을 실시하였으며 병실의 재실인원은 6명이었으며 개방이 가능한 시설은 창문 2개, 출입문 1개 등

이었으며 각 경우에 따른 개방면적은 <표 8>과 같다.

개방면적에 따른 이산화탄소 농도의 변화를 분석한 결과 창문 하나만 개방한 경우(CASE 2)에는 4분37초 후에 949.9ppm으로 9.8% 감소하는 것으로 분석되었으며 두 창문을 모두 개방한 경우(CASE 3)에는 2분37초 후에 842.8ppm으로 20.0% 감소하는 것으로 분석되었으며 두 창문과 출입문을 개방한 경우(CASE 4)에는 4분49초 후에 680.4ppm으로 35.4% 감소하는 것으로 분석되어 12분 이상 환기를 실시하였을 경우 병실의 평균상태(377.0ppm)의 수준을 유지하는 것으로 판단된다<그림 3>.

3.3 Analysis of Changes in Indoor Air Quality by Using Low Concentration Adhesive and Opening Windows

다목적 홀에서 봄철의 경우 점심 식사를 준비하는 과정에서 식탁소독을 알코올을 사용하였으나 가을철의 경우 점심 식사를 준비하는 과정에서 식탁 소독을 천연소

독제로 실시하였으며 각종 활동 프로그램 운영 시 사용되는 보조도구(접착제 등)의 경우 유기용제 및 환경호르몬 미사용 접착제를 사용하였으며 창문을 일부 개방한 상태에서 프로그램을 운영하는 상황이었다.

Table 8. Open area condition in the sick room

Division (Size)	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	비고
Window 1 (1.7m×1.7m)	-	[1.7m×1.7m]×0.5	[1.7m×1.7m]×0.5	[1.7m×1.7m]×0.5	No. of occupants is 6
Window 2 (1.7m×1.7m)	-	-	[1.7m×1.7m]×0.5	[1.7m×1.7m]×0.5	
Door (1.1m×2.2m)	-	-	-	[1.1m×2.2m]×1.0	
Open area (m ²)	0	1.45	2.89	5.31	



Fig. 3. CO₂ Concentration Curve with Open Area

봄철 및 가을철의 프로그램 운영에 따른 휘발성유기화합물의 농도변화를 비교한 결과 가을철에 적절한 환기 및 저농도 보조도구(천연소독제, 접착제)를 사용하므로 봄철의 경우 $162.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ (목욕) ~ $435.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ (휴식 및 식사)에서 가을철의 경우 $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ (휴식 및 식사) ~ $0.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ (색칠)로 감소하는 것으로 분석되어 요양원에 머무르시는 어르신들에게 쾌적한 실내공기질 환경을 제공하기 위하여 적절한 환기와 저농도 천연소독제 및 친환경 제품(유기용제 및 환경호르몬 미사용 접착제) 사용[9]이 중요함을 알 수 있었다<표 9>.

Table 9. Changes in Indoor Air Quality Concentration Before(spring) and After(autumn)

Program	Hall				
	Spring		Autumn		
	M±SD	VOC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Program	M±SD	VOC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bath	M±SD	162.4±5.8	Making	M±SD	0.7±0.3
	Range	161.0~207.0		Range	0.2~1.7
Rest (lunch)	M±SD	435.6±569.3	Rest (lunch)	M±SD	0.1±0.1
	Range	184.0~4,738.0		Range	0.0~0.7
Activities	M±SD	241.8±22.1	Colouring	M±SD	0.0±0.0
	Range	207.0~322.0		Range	0.0~0.0

V. Discussion

요양원의 실내공기질 수준의 기준초과 여부와 프로그램 운영에 따른 실시간 실내공기질 농도의 변화를 파악하기 위하여 다목적 홀에서 측정을 실시하였으며 환기에 따른 실내공기질 농도변화를 파악하기 위하여 병실과 사무실을 대상으로 측정을 실시하였다.

미세먼지(PM10), 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO), 휘발성유기화합물(VOC), 라돈(Radon) 등 5개 항목에 대하여 다목적 홀에서 봄(4월), 가을(9월)에 각1회 측정을 실시한 결과 측정 항목 모두 실내공기질 관리법에서 정한 기준을 만족하는 것으로 분석되었다.

실시간 실내공기질의 농도가 변화하는 값과 기준값을 비교하여 분석한 결과 병실 및 사무실의 경우 재실자에 의하여 발생하는 이산화탄소가 봄철에 일시적으로 높은 값(병실, 835ppm/ 사무실 941ppm)을 보이는 것으로 나타났다. 다목적 홀의 경우 재실자의 프로그램 활동에 의하여 봄철에 미세먼지가 기준값을 초과($170\mu\text{g}/\text{m}^3$)하고 휘발성유기화합물도 기준값을 초과($4,738\mu\text{g}/\text{m}^3$) 하는 것으로 분석 되었으며 가을철에 이산화탄소가 기준값을

초과($1,101\text{ppm}$)하는 것으로 분석되었다.

요양원 내 각종 실내 공간에서 시설을 이용하는 어르신들의 입장에서 노출되는 농도의 실시간 변화값을 분석한 결과 병실과 사무실에서 이산화탄소 농도가 기준치에 근접하는 이유(평균 이상으로 높게 나타난 것은)는 병실 방문객, 서비스를 제공하기 위하여 출입하는 근무자 등 재실자의 호흡으로 인하여 발생하였다.

다목적실에서 이산화탄소의 경우 프로그램 시작 전 다목적 홀에 일시에 입장하는 어르신들로 인하여 일시적으로 기준치를 초과하는 것으로 분석되었으며 미세먼지는 봄철의 경우 미세먼지의 농도가 높은 기상 조건 관계로 일시적으로 기준치를 초과하는 것으로 분석되었으며 가을철의 경우 주간보호 대상 어르신들이 등원하는 시간에 일시적으로 농도가 증가하는 것으로 분석되었고 휘발성유기화합물은 각종 프로그램 운영 시 사용하는 보조도구(접착제) 및 식사준비과정에서 사용한 세척제(알코올)로 인하여 기준치를 초과하는 것으로 분석되었다.

열린 공간(면적)은 이산화탄소, 일산화탄소 및 휘발성유기화합물과 강력한 상관관계를 보이며 재실자 수는 이산화탄소와 강력한 상관관계를 보이는 것으로 분석되었으며 병실의 경우 실내공기 순환이 가능한 공간을 개방하여 환기면적에 따른 이산화탄소의 농도 변화를 분석한 결과 환기가 가능한 시설(창문1, 2 / 출입문)의 개방면적이 클수록 감소비율이 증가하는 것으로 분석되어 최소 12분 이상 환기 후 평균 수준으로 저감하는 것으로 분석되었다.

다목적 홀의 경우 프로그램을 운영에 따른 휘발성유기화합물의 농도 변화를 분석한 결과 환기를 실시하고 식탁 소독 시 천연소독제 사용하며 활동 프로그램 운영 시 사용되는 부교재(접착제 등)의 경우 친환경 제품을 사용함에 따라 평균농도가 $21.6(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 에서 $0.9(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 으로 감소하는 것으로 분석되었다.

따라서 요양원의 실내공기질 수준이 기준을 만족하는 것으로 분석되었으나 시설을 이용하는 어르신들이 외부 자극으로 인한 건강에 민감하게 반응하시는 계층임을 고려하여 적절한 온열환경을 유지하고 쾌적한 실내공기질을 유지하기 위하여 재실자의 활동 및 프로그램 운영 시 일시적으로 고농도인 물질의 저감을 위해 주기적인 환기를 실시하고[10][11] 천연소독제 및 친환경 접착제등의 친환경 제품을 사용하여야 할 것으로 판단되며 장기적으로는 오염농도 상승시 실 환기시스템이 가동되도록 실시간 농도변화를 측정할 수 있는 센서를 설치[12][13] 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

요양원의 실내공기질 분석 결과 실내공기질 관리법에
서 정한 유지기준 및 권고기준을 만족하는 것으로 분석되
었으나 시설을 이용하는 어르신들의 입장에서 노출되는
농도의 실시간 변화값을 분석하는 것도 중요하다고 판단
되어 각종 활동에 따라 변화하는 실내공기질 수준을 분석
하여 좀 더 쾌적한 실내공기질을 제공하기 위한 관리방안
을 제시하였다.

그러나 본 연구결과에서 제시한 요양원의 실내공기질
관리방안이 모든 요양원을 대상으로 적용하기에는 한계
가 있으며 추후 요양원의 요일별 프로그램 운영에 따른
실내공기질 변화를 파악하고 요양원에 머무르는 어르신
들의 실내공기질에 대한 주관적인 반응을 조사하는 등 측
정 및 조사대상을 다양화 하여 연구를 실시 할 계획이다.

REFERENCE

- [1] Korean statistical information service, 2017 Total collection result of population and housing census, <http://kostst.go.kr/ststisticslist/>
- [2] Korean statistical information service, The ratio of elderly living alone, <http://kostst.go.kr/ststisticslist/>
- [3] Korean statistical information service, 2017 Life expectancy, <http://kostst.go.kr/ststisticslist/>
- [4] Ministry of government legislation, Indoor air quality control act, <http://Law.go.kr/>
- [5] SJLee, HTKim, HGKim, CHJeong, MSYeo, SRRyu, "Comparative Analysis of School Classroom Environment in Heating Period by Field Measurement," Journal of the architectural nstitute of korea & design, Vol. 39, No. 1, pp.310-313, April 2019.
- [6] JBKim, SBLee, JYLee, GJLee, SHRyu, KHKim, GNBae, "Weekly variation of indoor air quality in a nursing room of a day-care center near the roadside," Journal of Odor and Indoor Environment, Vol. 16, No. 2, pp.113-120, June 2017.
- [7] JGSon, YWChoi, DK Kim, "A study on the improvement of indoor air quality by prevention of outdoor dust brought in by shoes," J. Odor Indoor Environment, Vol. 18, No. 3, pp. 113-120, September 2019.
- [8] KYChoi, CBKim, CMLee, SJ NamGoung, HJ Kim, SC Seo, "Study on the monitoring of indoor air quality for 24 hours: life pattern of asthma patients based on IoT," J. Odor Indoor Environment, Vol. 18, No. 3, pp. 185-194, September 2019
- [9] JPKim, "Indoor Air Quality Management Status Of sensitive vulnerable groups," Korean Air Cleaning Association, Vol. 32, No. 2, pp. 21-29, June 2019.
- [10] YJPark, YJKim, " A Study on the Indoor Air Quality of A High School Dance Practice Room: Focusing on PM10 and CO2 ," The Korean Journal of Physical Education, Vol. 58, No. 3, pp. 317-326, May 2019.
- [11] YGLee, KCKim. "A Study on the Application of Ventilation Equipment to Reduce Fine Dust in School Classroom," Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 28, No. 11, pp. 597-600, June 2016.
- [12] DYKim, MACHoi, BMYoon, "Amendment of Indoor Air Quality(IAQ) Standard in Gyeonggi-Do," Gyeonggi Research Institute, Gyeonggi Research Institute, pp. 1-110, April 2019.
- [13] MJ Kim, DY Park, MH Seo, JH Lee, CW Woo, "A Study on the Analysis and Management of Indoor Air Quality," The Korean Institute of Information Scientists and Engineers, pp. 1673-1675, Jeju, Korea, June 2019.

Authors



Dong-Ha Ji received the Ph.D. degree in Environmental Health from Soonchunhyang university, in 2010. He is currently on the faculty of the Dept. of Environmental Health, Daejeon Health Institute of

Technology. He is interested in indoor air quality, occupational stress and noise & vibration control.



Mi-Suk Choi received the Ph.D. degree in Doctor of dentistry(Dental Medicine) from Chosun university, korea, in 2014. She is currently on the faculty of the Dept. of dental hygiene, Chodang University.

She is interested in Health Science and Dental Medicine.