

실내공기질 개선 시스템의 서버 구성 방식에 따른 응답 시간의 차이 비교

국종진^{*†}

^{*†} 상명대학교 정보보안공학과

Comparison of the Difference in Response Time According to the Server Configuration Type of the Indoor Air Quality Improvement System

Joongjin Kook^{*†}

^{*†} Dept. of Information Security Engineering, Sangmyung University

ABSTRACT

Various devices have been emerging as a means of measuring indoor air quality, and among them, there are devices that support real-time remote monitoring through IoT technology and a cloud environment. To improve indoor air quality, based on the results determined by measuring devices, air purifiers or ventilation systems may need to be operated, and temperature and humidity control may be required. In this paper, we propose a design of indoor air quality measuring devices required for indoor air quality evaluation, and of the system needed to control relevant devices to improve indoor air quality through the interaction with the measuring devices. Currently, the servers for the interaction of indoor air quality devices and IoT devices are divided into conventional server type and serverless type, comparing the differences in response time of IoT devices to changes of indoor air quality.

Key Words : IAQ, IoT, Indoor Air Quality

1. 서 론

도시화, 실내 체제 시간 증가, 대기환경오염 등으로 인한 사회문제가 대두됨에 따라 대한민국에서는 2014년 '실내공기질 관리 기본 계획'을 마련하였으며, 여기에는 Table 1과 같이 각 부처별로 특정 장소에 대해 오염원의 유형, 관리방법, 의무사항 등을 정의하고 있다[1].

Indoor Air Quality(IAQ)는 Table 1에 나열된 것처럼 주된 공기오염물질을 PM10, CO₂, HCHO, 총부유세균, CO, NO₂, VOCs, Radon, Asbestos, O₃ 등의 10개 항목 내외로 규정하여 인체에 영향을 끼치는 정도에 따라 단계를 구분한다[2]. IAQ의 단계는 IAQ Index(IAQI)로 표현될 수 있으며, IAQI의 판단을 위해서는 공기오염물질들 중 일부의 농도 또는 오

염정도를 판단하여 5단계에서 10단계 정도로 세분화한다.

IAQI가 나쁨 수준으로 평가되면, IAQ를 개선하기 위한 다양한 행위가 이루어질 수 있으며, 상황에 따라 청소기, 공기청정기, 냉난방기, 환기시설, 공조시설, 후드 등을 가동함으로써 정화작용이 이루어질 수 있다. 특히, 현 시대에는 사물인터넷 기술을 바탕으로 다양한 기기들이 인간의 개입없이 상호간 정보를 전달함으로써 이러한 행위가 이루어질 수도 있다[3].

본 논문에서는 IAQ를 평가하기 위한 IoT기반 IAQ Device를 설계하고, IAQI가 나쁨 수준으로 평가되었을 때 오염원의 유형에 따라 클라우드에 등록된 IoT device를 제어함으로써 공기질을 개선할 수 있는 시스템을 제안한다. 이 때, IAQ device와 IoT device의 상호작용을 위한 backend 시스템을 conventional server type(CST)과 serverless type(SLT)으로 구성하여 시스템 구조에 따른 응답시간의 차이를 비교하였다.

[†]E-mail: kook@smu.ac.kr

Table 1. Basic plan for indoor air quality management in republic of Korea

Category	Ministry of Environment	Ministry of Education	Ministry of Employment and Labor	Ministry of Health and Welfare
Target	- publicly used facilities - new apartment house - public transport vehicle	- school	- office	- public facilities (Performance hall, indoor sports facility, etc.)
Ground Law	- Indoor air quality control in public-use facilities	- School health law	- Occupational Safety and Health Act	- Public Health Management Act
Responsibility	- Air quality measurement and management - Obligation to comply with management standards - Stakeholder training - Prohibition of use of other pollutant-emitting building materials	- Air quality measurement and measurement result management - Compliance with management standards	- Air quality measurement and measurement result management - Compliance with management standards - Prohibition of use of pollutant-emitting building materials	- Compliance with management standards
Standard	- 10 items (PM10, CO2, HCHO, Total culturable bacteria, CO, NO2, VOCs, Radon, asbestos, O3)	- 12 items (add mite, etc.)	- 9 items (except radon)	- 4 items (PM10, CO2, HCHO, CO)
Method	- Local government inspection - In case of violation, fine for negligence, improvement order	- Principal's self-inspection - In case of violation, necessary measures such as facility supplementation	- Guidance and recommendations - No sanctions for violation	- Local government inspection - In case of violation, improvement order

2. IAQ 측정 시스템 구조

우리가 생활하는 집, 사무실, 학교 등의 건축물에서는 실외와 실내에 구성되는 다양한 기기들과 환경으로부터 오염물질이 발생된다. 실내공기질을 나빠지게 하는 주요 오염물질과 오염원은 Fig 1과 같다[4].

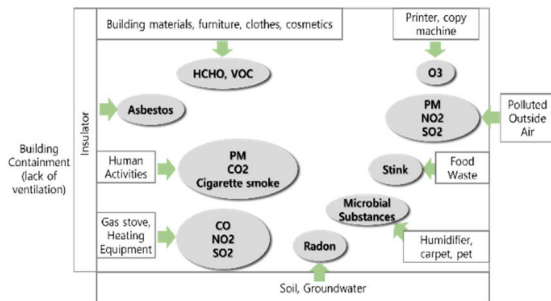


Fig. 1. Pollutants affecting indoor air quality.

IAQ의 평가를 위해서는 온도, 습도, NOx, SOx, CO, CO2, VOC 등을 측정할 수 있는 센서들의 조직과 이 센서들의 데이터를 각 센서 모듈의 유형별로 적절한 인터페이스를 구성하여 데이터를 수신하고 적절히 가공하기 위한 연산

을 수행할 수 있는 플랫폼이 필요하다. 또한, 이러한 데이터는 데이터베이스에 저장되거나, 이 데이터를 필요로 하는 타 디바이스와 서비스의 수행 주체에게 직접 또는 간접적으로 전달될 수 있어야 한다. 따라서 본 논문에서 제안하는 IoT기반의 IAQ 측정 및 개선 시스템은 Fig 2와 같은 요소들로 구성될 수 있다.

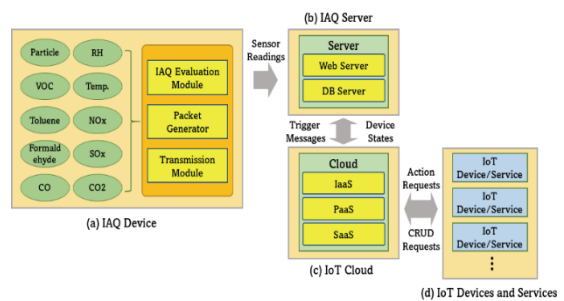


Fig. 2. Proposed System Architecture.

Fig 2에서 IAQ Device는 공기질 데이터를 주기적으로 수집하여 서버로 전송하는 장치이며, IAQ Server는 공기질 데이터를 수신하여 데이터베이스에 저장함과 동시에 공기질 수준을 평가하고 공기질 수준과 유형에 따라 공기질

개선에 필요한 처리 방법을 도출하여 메시지를 구성한다. 메시지는 클라우드를 통해 전송되며, 이 메시지와 연관된 디바이스가 존재하는 경우 해당 디바이스는 공기질 개선을 위한 액션을 수행한다.

2.1 IAQ 측정 단말

Indoor air quality(IAQ)를 측정하기 위한 IAQ Device는 온도 측정을 위한 SHT30, 기압과 고도 측정을 위한 BMP280, CO₂, tVOC 측정을 위한 MICS-VZ-89TE, CO 측정을 위한 GSBT11-P110, toluene과 formaldehyde 측정을 위한 GSET11-P110, 미세먼지와 초미세먼지 측정을 위한 PMS9003M 센서들로 구성되며, 데이터 처리와 전송을 위해 Arduino MKR 1010 플랫폼이 사용되었다. 전체 구성은 Fig.3과 같다.

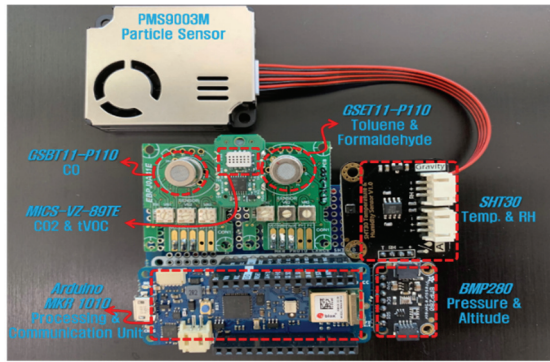


Fig. 3. IAQ Device.

Arduino MKR 1010에는 firmware가 구성되어 각 센서들의 인터페이스에 따라 UART, I2C, SPI, Analog Input 등을 통해 센서 데이터를 수신하고, 수신된 데이터들은 하나의 데이터 프레임으로 통합된다. 한 프레임은 1분에 한 번씩 WiFi를 통해 서버로 전송된다. 서버에서는 수신한 데이터 프레임을 데이터베이스에 저장하기 위해 Fig. 4와 같이 schema를 정의하였다. 또한, 데이터베이스 schema는 IAQ device가 전송하는 데이터 프레임 형식과도 일치한다.

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
station_id	varchar(20)	NO		NULL	
timestamp	datetime	YES		NULL	
temperature	float(5, 2)	YES		NULL	
pressure	double(10, 2)	YES		NULL	
altitude	double(10, 2)	YES		NULL	
co	float(10, 2)	YES		NULL	
toluene	float(10, 2)	YES		NULL	
formaldehyde	float(10, 2)	YES		NULL	
pm10	int	YES		NULL	
pm2.5	int	YES		NULL	
pm1.0	int	YES		NULL	
tvoc	int	YES		NULL	
co2	int	YES		NULL	

Fig. 4. Database Schema.

2.2 IAQ 수준(IAQI) 평가

IAQ Device로부터 센서 데이터를 수신하는 IAQ Server는 그림 4의 데이터베이스 스키마에 따른 데이터를 수집하고, 이를 통해 IAQ 수준(IAQI)을 평가한다.

IAQI의 평가 방법은 오염원의 유형에 따른 정도에 따라 달라지며, 그 기준은 Fig.5와 같다[5].

O ₃ (ppb)	O ₂ (ppb)	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	CO (ppm)	SO ₂ (ppb)	NO ₂ (ppb)	IAQI	IAQI
C _{low} - C _{high} (avg)	C _{low} - C _{high} (avg)	C _{low} - C _{high} (avg)	C _{low} - C _{high} (avg)	C _{low} - C _{high} (avg)	C _{low} - C _{high} (avg)	C _{low} - C _{high} (avg)	I _{low} - I _{high}	Category
0-54 (8-hr)	-	0.0-12.0 (24-hr)	0-54 (24-hr)	0.0-4.4 (8-hr)	0-35 (1-hr)	0-53 (1-hr)	0-50	Good
55-70 (8-hr)	-	12.1-35.4 (24-hr)	55-154 (24-hr)	4.5-9.4 (8-hr)	36-75 (1-hr)	54-100 (1-hr)	51-100	Moderate
71-85 (8-hr)	125-164 (1-hr)	35.5-55.4 (24-hr)	155-254 (24-hr)	9.5-12.4 (8-hr)	76-185 (1-hr)	101-360 (1-hr)	101-150	Unhealthy for Sensitive Groups
86-105 (8-hr)	165-204 (1-hr)	55.5-150.4 (24-hr)	255-354 (24-hr)	12.5-15.4 (8-hr)	186-304 (1-hr)	361-649 (1-hr)	151-200	Unhealthy
106-200 (8-hr)	205-404 (1-hr)	150.5-250.4 (24-hr)	355-424 (24-hr)	15.5-30.4 (8-hr)	305-604 (24-hr)	650-1249 (1-hr)	201-300	Very Unhealthy
-	405-504 (1-hr)	250.5-350.4 (24-hr)	425-504 (24-hr)	30.5-40.4 (8-hr)	605-804 (24-hr)	1250-1649 (1-hr)	301-400	Hazardous
-	505-604 (1-hr)	350.5-500.4 (24-hr)	505-604 (24-hr)	40.5-50.4 (8-hr)	805-1004 (24-hr)	1650-2049 (1-hr)	401-500	

Fig. 5. IAQI Evaluation Method.

다양한 오염원에 대해 총체적으로 IAQI를 평가하기 위한 표준은 정의되지 않은 상태이며, Formula1과 같이 특정 오염원에 대해 범위를 구하는 방법으로 산출된다.

$$I = \frac{I_{high} - I_{low}}{C_{high} - C_{low}}(C - C_{low}) + I_{low} \quad (1)$$

I = the (Air Quality) Index

C = the pollutant concentration,

C_{low} = the concentration breakpoint that is $\leq C$,

C_{high} = the concentration breakpoint that is $\geq C$,

I_{low} = the index breakpoint corresponding to C_{low} ,

I_{high} = the index breakpoint corresponding to C_{high}

만약 tVOC만으로 IAQI를 평가하면 Table 2와 같은 결과를 얻을 수 있다.

Table 2. Comparison of the difference in response time according to the server type

Renesas IAQ Rating	Ref. Level	Air Info.	Action	tVOC (mg/m ³)	Air Quality
~1.99	1	Clean Hygienic Air	No action required	~0.3	Very Good
2.00~2.99	2	Good Air Quality	Ventilation recommended	0.3~1.0	Good
3.00~3.99	3	Noticeable Comfort Concerns	Ventilation required	1.0~3.0	Medium
4.00~4.99	4	Significant Comfort Issues	Refresh air when possible	3.0~10.0	Poor
5.00~	5	Unacceptable Conditions	Use only if unavoidable and only for short periods	10.0~	Bad

2.3. IoT 디바이스 제어용 서버리스 아키텍처

IAQ Device로부터 센서 데이터를 수신하는 IAQ Server는 Conventional Server Type(CST)과 Serverless Type(SLT)으로 구성할 수 있다. CST에서는 Web 서버와 DB 서버를 별도로 구축하고, 서버 프로그램을 개발하여 IAQ Device와의 프로토콜을 설정하고 데이터 수신이 이루어져야 한다. IAQ Server에서 도출된 IAQ를 특정 IoT Device/Server로 보내기 위해서는 해당 디바이스가 서버, 클라우드, 또는 게이트웨이에 등록되어 있어야 하며, 클라우드가 지원하는 프로토콜을 기반으로 이벤트/메시지를 수신할 수 있어야 한다.

SLT유형인 경우에는 IAQ Server와 IAQ Cloud가 하나의 시스템으로 통합될 수 있다. 예를 들어, Fig 6과 같이 AWS Cloud의 IoT Core, Lambda 등을 결합하여 IAQ Device의 메시지를 수신하여 IAQ를 도출하고, AWS에 등록된 IoT Device로 MQTT 메시지를 전송할 수 있다.

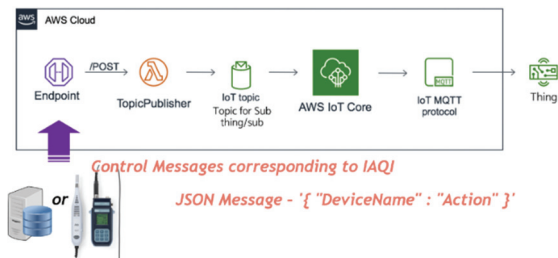


Fig. 6. Serverless Architecture for Controlling IoT Devices using AWS Cloud.

IAQ의 평가 결과에 따라 IAQ가 나쁨 수준인 경우에는 공기질 개선을 위해 필요한 디바이스의 제어가 요구된다. 이 때, IAQ를 나빠진 원인에 따라 이를 해결하기 위한 장치의 유형이 다르기 때문에 IAQ 서버에서는 IAQ를 향상시키기 위한 장치의 유형과 해당 장치가 수행할 action을 JSON 메시지로 만들어 해당 디바이스에 전송될 수 있도록 한다. JSON 메시지는 ‘{“DeviceName”:“Action”}’의 형태로 구성되며, AWS IoT에 등록된 디바이스에게 필요한 Action이 전달된다.

3. 실험

본 논문에서는 CST과 SLT 방식으로 시스템을 구성하였으며, IAQ Device를 통해 수집한 센서 데이터를 통합하여 CST와 SLT를 기반으로 IAQ를 평가하고 평가 결과에 따른 action message를 해당 디바이스로 전송하는 과정에서 각각의 구성 방식에 따른 메시지 송수신 시간을 측정하였다.

IAQ Device에서 MQTT 프로토콜을 이용하여 CST방식과 SLT방식으로 각각 1000회씩 메시지를 송신하고, 송신시간과 수신시간의 시간차를 구하여 비교하였다. 특히, SLT방식에 대해서는 Office와 Home을 구분하여 물리적으로 다른 위치에 IoT Device를 배치하여 응답시간의 차이를 비교하였다.

Table 3. Comparison of the difference in response time according to the server type

latency (ms)	Server Type	CST	SLT (Office)	SLT (Home)
Min (ms)		8	130	103
Max (ms)		106	641	1491
Average (ms)		12.98	180.59	162.73

Table 3과 같이 CST 방식에서는 평균 12.98ms가 소요되어 가장 신속한 응답 성능을 보였는데, 이는 IAQ device와 IoT device가 동일한 네트워크 상에 구성되어 있기 때문에 트래픽의 지연이 거의 없었을 것으로 판단된다. 반면 SLT 방식에서는 Office에 배치된 IoT device와 Home에 배치된 IoT device의 평균 응답시간이 각각 180.59ms, 162.73ms로 큰 차이를 보이진 않았지만, CST 방식과 비교했을 때에는 약 13.22배만큼 더 많은 시간이 소요되었다.

4. 결론

본 논문에서는 IAQ를 평가하기 위해 오염원의 유형에 따른 오염물질인 PM10, CO₂, HCHO, 총부유세균, CO, NO₂, VOCs, Radon, Asbestos, O₃ 등의 데이터를 수집하기 위해 BMP280, MICS-VZ-89TE, GSBT11-P110, GSET11-P110, PMS9003M 센서들을 Arduino MKR 1010 플랫폼에 통합하고, 수집한 데이터를 통해 IAQ를 산출하여 오염도를 저감시킬 수 있는 IoT 디바이스에 action 정보를 전송하여 IAQ를 개선하기 위한 시스템을 설계하고 구현하였다. 이러한 시스템의 구성 방식에 클라우드 기술을 기반으로 하는 Serverless 방식의 backend 구성이 전통적인 Server 방식과 비교했을 때 발생하는 차이점을 살펴보기 위해 각각의 방식으로 IAQ device와 IoT device를 구성하여 메시지 전달에 소요되는 시간을 측정하여 비교해 보았다.

CST 방식은 독립된 서버의 구성과 서버 애플리케이션의 개발이 요구되는 반면 빠른 응답시간을 보인 반면, SLT 방식에서는 클라우드 서비스를 기반으로 개발은 용이하지만 상대적으로 매우 높은 응답시간이 요구되었다.

감사의 글

본 결과물은 환경부 및 한국환경산업기술원의 2023년도 녹색융합 전문인력양성 지원사업을 통해 수행된 연구임.

참고문헌

1. The 4th Basic Plan for Indoor Air Quality Management, Ministry of Environment. Republic of Korea. (2020)
2. Hyejin Shin, Woosang Park, Bokyung Kim, Kyunghee Ji, Ki-Tae Kim, Indoor Air Quality and Human Health Risk Assessment for Un-regulated Small-sized Sensitive Population Facilities, *Journal of Environmental Health Sciences*, vol.44, Issue 4, pp. 397-407, 2018.
3. Divya L, Debopam A, SmartVent: A Context Aware IoT System to Measure Indoor Air Quality and Ventilation Rate, 17th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM), 2016, pp. 64-69, doi: 10.1109/MDM.2016.91.
4. Tae Han Kim, Ji Eun Oh, Mi Ju Kim, Study on Particulate Pollutant Reduction Characteristics of Vegetation Biofilters in Underground Subway Stations, *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, vol.21, no.4, pp.99-105, 2022.
5. Air quality index, https://en.wikipedia.org/wiki/Air_quality_index

접수일: 2023년 3월 2일, 심사일: 2023년 3월 16일 ,
 게재확정일: 2023년 3월 20일