

초분광센서를 활용한 이산화질소 농도 추정식에 관한 연구

전익익¹, 박진우², 임성하^{2*}, 김동우³, 유재진⁴, 손승우⁴, 전형진³, 윤정호³

¹(주)지오스토리 기술연구소, ²한국국토정보공사, ³한국환경정책·평가연구원, ⁴한국환경정책·평가연구원 환경평가본부

Study on the Concentration Estimation Equation of Nitrogen Dioxide using Hyperspectral Sensor

Eui-Ik Jeon¹, Jin-Woo Park², Seong-Ha Lim^{2*}, Dong-Woo Kim³, Jae-Jin Yu⁴,
Seung-Woo Son⁴, Hyung-Jin Jeon³, Jeong-Ho Yoon³

¹R&D Center, Geostory Inc., ²Division of Convergence, Korea Land and Geospatial InformatiX Corporation,

³Department of Land and Water Environment Research, Korea Environment Institute

⁴Department of Environmental Assessment

요약 국내 산업단지에서 배출되는 대기오염물질의 모니터링을 위해 굴뚝원격감시시스템이 운영되고 있으나 대상 시설이 한정적이어서, 시스템이 설치되지 않은 시설은 단속 요원이 직접 모니터링 및 단속을 수행하고 있다. 그래서 효율적인 산업단지에서 배출되는 대기오염물질의 모니터링을 위해 다양한 센서를 활용한 연구들이 수행되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 초분광센서로 측정할 수 있는 분광복사량을 활용하여 대기오염물질 중 이산화질소의 농도를 추정할 수 있는 공식을 개발하고 검증하였다. 농도 추정식 개발을 위해 다양한 농도의 이산화질소를 대상으로 태양천정각, 관측천정각, 상대방위각을 다르게 하여 분광복사량을 관측하였다. 관측된 분광복사량에서 특정 파장 간의 값의 차이를 흡수 깊이로 하였으며, 흡수 깊이와 이산화질소 농도와의 관계를 이용하여 농도 추정식을 개발하였다. 그리고 개발된 농도 추정식들의 검증을 위해 이산화질소와 아황산가스가 혼합된 가스를 대상으로 측정한 분광복사량을 이용하였다. 그 결과, 추정식의 형태에 따라 결정 계수와 RMSE가 0.71~0.88, 72~323 ppm으로 나타났으며, 지수 형태의 농도 추정식의 결정 계수가 가장 높게 나타났다. 추정식의 형태에 따라 농도의 변화에 따른 추정 농도의 정확도가 일정하지 않지만, 향후 농도 추정식의 고도화가 이루어진다면 초분광 센서를 활용하여 산업단지 배출되는 이산화질소의 모니터링에 사용 가능할 것으로 판단된다.

Abstract The CleanSYS(Clean SYStem) is operated to monitor air pollutants emitted from specific industrial complexes in Korea. So the industrial complexes without the system are directly monitored by the control officers. For efficient monitoring, studies using various sensors have been conducted to monitor air pollutants emitted from industrial complex. In this study, hyperspectral sensors were used to model and verify the equations for estimating the concentration of NO₂(nitrogen dioxide) in air pollutants emitted. For development of the equations, spectral radiance were observed for NO₂ at various concentrations with different SZA(Solar Zenith Angle), VZA(Viewing Zenith Angle), and RAA(Relative Azimuth Angle). From the observed spectral radiance, the calculated value of the difference between the values of the specific wavelengths was taken as an absorption depth, and the equations were developed using the relationship between the depth and the NO₂ concentration. The spectral radiance mixed gas of NO₂ and SO₂(sulfur dioxide) was used to verify the equations. As a result, the R²(coefficient of determination) and RMSE(Root Mean Square Error) were different from 0.71~0.88 and 72~323 ppm according to the form of the equation, and R² of the exponential form was the highest among the equations. Depending on the type of the equations, the accuracy of the estimated concentration with varying concentrations is not constant. However, if the equations are advanced in the future, hyperspectral sensors can be used to monitor the NO₂ emitted from the industrial complex.

Keywords : Hyperspectral Sensor, Air Monitoring, Air Pollutants, Nitrogen Dioxide, Concentration Estimation

본 논문은 환경부의 환경정책기반공공기술개발사업(과제번호: 2016000200011)에서 지원받아 수행되었음

*Corresponding Author : Seong-Ha Lim(Korea Land and Geospatial InformatiX Corporation)

Tel: +82-63-906-5349 email: limsh07@lx.or.kr

Received May 10, 2019

Revised June 5, 2019

Accepted June 7, 2019

Published June 30, 2019

1. 서론

국내 산업단지에서 배출되는 대기오염물질의 관리를 위해 환경관리공단에서 굴뚝원격감시시스템(CleanSYS)을 운영하고 있다[1]. 굴뚝원격감시시스템은 굴뚝 내부에 설치되어 굴뚝에서 배출되는 먼지, 아황산가스(SO_2), 질소산화물(NO_x), 염산(HCl), 불화수소(HF), 암모니아(NH_3), 일산화탄소(CO) 등을 실시간으로 측정하여 수도권, 영남권, 호남권, 중부권 관제센터로 전송한다. 이 시스템의 설치 대상은 발전, 소각시설 등의 37개 시설이며 전국적으로 565개의 사업장에 설치되어있다. 그러나 시스템이 설치된 사업장은 석유제품, 기초유기화합물 제조 시설물 등 대기환경보전법에 따라 정해진 시설로 한정되어 있어, 그 이외에 사업장은 단속요원이 직접 배출 가스 모니터링 및 단속을 하고 있다[2]. 그러나 대상 지역의 넓이에 비해 투입 인력이 적어 불법으로 배출하는 대기오염물질을 단속하기 어려운 실정이다[3].

그래서 효율적으로 산업단지에서 배출되는 가스의 모니터링을 위해 다양한 센서를 활용한 연구들이 수행되고 있다. 그중에서 기존의 가스를 채집하여 화학적 반응으로 농도를 추정하는 방법 대신에 유기 화합물이 자외선과 가시광선 영역인 190~800 nm 사이의 파장대역에서 전자기 스펙트럼의 일부를 흡수하는 분광학적 특징을 이용한 연구가 활발히 수행되고 있다[4-7]. 분광학적 특징을 이용한 연구에는 초분광 센서가 활용되는데, 기존의 초분광 센서는 위성 또는 항공기에 탑재되는 대형의 크기이며 범지구적 단위의 광범위한 지역을 위한 것으로 소규모 지역의 모니터링에는 적합하지 않다. 그러나 최근 드론(Drone) 또는 무인기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)에 탑재가 가능한 초소형 초분광 센서가 출시되어 이를 이용하여 산업단지 정도의 국소지역 모니터링의 활용 가능성에 관한 연구가 수행되었다[8]. 초소형 초분광 센서의 활용 가능성에 관한 선행 연구에서는 대기 복사전달모델을 이용하여 생성한 모의 스펙트럼과 초분광 센서를 이용한 관측 스펙트럼의 상관도를 분석하여 활용 가능성이 있는 것으로 판단하였으며, 특정 파장간의 흡수 깊이와 이산화질소(NO_2) 농도 간의 상관관계를 이용한 농도 추정식을 개발하였다[8]. 그러나 선행 연구에서의 농도 추정식은 모의 스펙트럼을 이용하였으며 농도 추정식을 개발하는 데 사용한 자료로 검증하였으므로 과대 추정되었을 가능성이 존재한다.

이에 따라 본 연구에서는 다양한 농도의 실제 이산화질소에 대해 다른 조건에서 관측한 분광복사량을 이용한

여 농도 추정식들을 개발하였다. 그리고 이산화질소와 아황산가스가 혼합된 가스로부터 측정된 분광복사량으로 개발된 농도 추정식들을 검증하여 초분광센서를 활용한 이산화질소의 농도 추정 가능성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 초분광센서 및 분광복사량 측정

본 연구의 대상인 이산화질소의 분광복사량 측정은 OceanOptics 사의 FX-XR1 센서를 사용하였다. 이 센서는 200~1,025 nm 파장대역에 대해 흡수도, 투과율, 복사조도, 분광복사량, 반사율을 0.4 nm 간격으로 측정할 수 있다. 또한, 노트북과 랜선을 이용한 유선 연결과 Wi-Fi를 이용한 무선 연결이 가능하며, 크기가 작고 가벼워 드론에 탑재하여 관측할 수 있어 다양한 분야에 활용할 수 있다.

Table 1. Technical specifications of the hyperspectral sensor

Model	OCEAN FX-XR1	Appearance
Spectral range	200~1,025 nm	
Ethernet	Gigabit	
WiFi	802.11 a/b/g/n	
Weight	0.4 kg	
Size	89 × 64 × 52 mm	

분광복사량 측정 대상과 방법은 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 농도 추정식의 개발을 위해 다양한 농도의 이산화질소를 제작하여 관측하는 것이고, 두 번째는 개발된 농도 추정식의 검증을 위해 이산화질소와 아황산가스가 혼합 형태로 제작된 가스를 대상으로 측정하는 것이다. 첫 번째의 이산화질소 농도는 25, 50, 100, 200, 500, 800 ppm이며 두 번째는 이산화질소와 아황산가스의 농도를 각각 50, 200, 500, 800 ppm으로 하여 16가지의 혼합된 가스로 하였다.

관측 방법에서 첫 번째 방법은 빛의 흡수와 왜곡을 일으키지 않는 10×10×10 cm 크기의 석영 셀을 빛을 99% 반사하는 백색기준판 위에 위치시키고 가스를 흐르게 한 뒤 측정하였다. 두 번째 방법은 향후 드론에 탑재하여 산업단지 굴뚝의 연기를 측정하는 데 사용하기 위해 석영 셀을 공중에 고정하고 초분광센서를 상단으로 향하게 하여 측정하였다(Fig. 1).

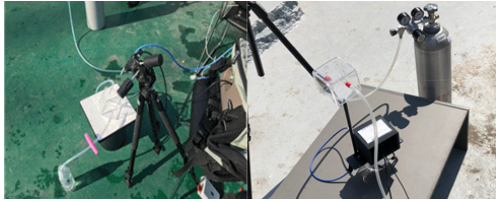


Fig. 1. Observation setting to estimate spectral radiance of NO₂ using the hyperspectral sensor

2.2 농도 추정식

신정일[8]은 대기 복사전달모델을 이용하여 생성한 모의 스펙트럼과 초분광 센서로 관측한 스펙트럼이 매우 유사한 것을 확인하였다. 또한, 다양한 가스 농도의 모의 스펙트럼에서 특정 파장 간의 흡수 깊이와 가스 농도 간의 높은 상관관계를 나타냄에 따라 이를 이용하여 Eq. (1)과 같은 지수 형태의 농도 추정식을 산출하였다.

다만, Eq. (1)을 개발하는 데 사용한 자료를 검증 과정에서 사용하였기 때문에 추정식의 결정 계수가 과대 평가되었을 가능성이 존재한다. 그리고 실제 가스로부터 관측된 자료를 사용하지 않았으므로, 본 연구에서는 산업단지 등에서 배출되는 이산화질소의 농도 추정을 위해서 다양한 농도의 이산화질소를 제작하여 이로부터 관측된 자료를 사용하여 지수 형태의 추정식에 국한하지 않고 다른 형태의 농도 추정식의 개발 및 검증을 수행하였다.

$$NO_2 = 0.154 \times e^{-0.004x} \quad (1)$$

Where, x depth absorption

3. 연구 결과 및 분석

3.1 분광복사량 측정

분광복사량 측정은 구름이 없는 맑은 날에 그림자가 생기지 않는 옥상에서 실시하였다. 모의 스펙트럼 생성은 태양천정각 60도, 관측천정각 0도, 상대방위각 0도로 하였지만, 농도 추정식의 개발을 위한 분광복사량 측정은 초분광센서를 이용하여 태양천정각은 60도로 고정하고 관측천정각을 0, 30, 60도, 상대방위각은 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180도로 다양하게 변화시키면서 관측하였으며 관측된 분광복사량은 Fig. 2의 a와 같다.

농도 추정식의 검증을 위한 분광복사량 측정은 태양천정각과 관측천정각, 상대방위각과 관계없이 임의로 측정되었으며, 이산화질소와 아황산가스가 혼합된 가스로부터

터 측정된 16개의 분광복사량은 Fig. 2의 b와 같다. 농도가 증가함에 따라 전체적으로 분광 스펙트럼이 낮아지는 경향을 나타내나, 이 경향은 측정 당시에 시간이 지남에 따라 광량 자체의 감소에 의한 것으로 판단된다.

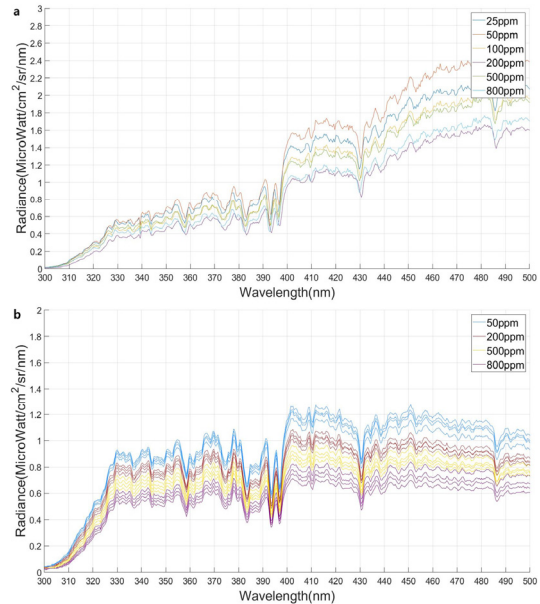


Fig. 2. NO₂ spectral radiance. a for develop, b for examination of concentration estimation equations

3.2 농도 추정식 개발

관측된 분광복사량에서 농도 추정식의 개발에 사용할 파장대역은 426 nm와 430 nm이며, 각 파장대역의 분광복사량 값의 차이를 흡수 깊이로 산정하였다. 이에 따라 계산된 농도별 흡수 깊이의 최소, 최대, 평균, 표준편차를 Table 2에 명시하였다. 각 농도에서 흡수 깊이의 최소, 최대의 차이가 0.1~0.2로 나타나지만, 평균값에서 농도가 증가함에 따라 흡수 깊이가 작아지는 경향이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 농도가 증가함에 따라 흡수 깊이 값이 감소하는 경향을 이용하여 농도와 흡수 깊이 간의 관계를 지수, 제곱, 로그 형태로 개발하였다. 개발된 농도 추정식의 형태 및 계수, 결정 계수(R²), 그리고 RMSE를 Table 3에 나타냈다. 농도 추정식에서 x, y는 이산화질소의 농도와 흡수 깊이를 의미하며, a와 b는 계수이다. 그리고 Fig. 3에 농도별 흡수 깊이와 농도 추정식을 도식화하였다. 선행 연구에서는 지수 형태의 농도 추정식이 농도와 흡수 깊이 간의 관계가 가장 높은 상관도를 보인다고 설명하였지만, 실제 관측값에서는 지수 형

태의 농도 추정식보다 제곱, 로그 형태가 약 0.1 정도의 높은 결정 계수를 보이며, RMSE에서도 지수 형태의 농도 추정식이 가장 큰 값을 나타냄에 따라 로그 또는 제곱근 형태의 농도 추정식이 더 적합한 것으로 판단된다.

Table 2. Calculated absorption depth for developing the concentration estimation equations

Concn. (ppm)	Absorption depth			
	Min.	Max.	Mean	Std.
25	0.314	0.527	0.407	0.054
50	0.250	0.457	0.368	0.051
100	0.208	0.383	0.293	0.040
200	0.219	0.373	0.299	0.042
500	0.215	0.379	0.269	0.043
800	0.188	0.313	0.231	0.029

Table 3. Concentration estimation equations with R^2 and RMSE

Model	a	b	R^2	RMSE
$y = a \times e^{(b \times x)}$	0.3714	-0.0006919	0.58	0.046
$y = a \times x^b$	0.6650	-0.1558	0.70	0.040
$y = a \times \ln(x) + b$	-0.0480	0.5516	0.69	0.041

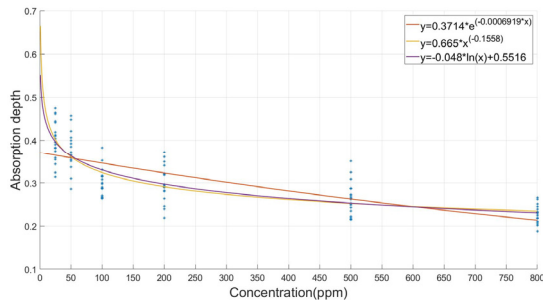


Fig. 3. NO_2 concentration versus absorption depth with three concentration estimation equations

3.3 농도 추정식 검증

농도 추정식 개발에 사용한 같은 파장대역인 426 nm 와 430 nm 간의 차이를 흡수 깊이로 계산하여 Table 4 에 명시하였다. Table 3과 마찬가지로 흡수 깊이 값이 농도가 증가함에 따라 낮아지는 경향을 나타내나, 같은 농도끼리 비교하였을 때 Table 4의 값이 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있다.

Table 4. Absorption depth according to NO_2 concentration

Concn. (ppm)	Absorption depth			
	Min.	Max.	Mean	Std.
50	0.298	0.330	0.314	0.013
200	0.263	0.283	0.275	0.008
500	0.233	0.260	0.246	0.012
800	0.200	0.233	0.216	0.014

계산된 흡수 깊이로부터 농도를 추정하기 위해 Table 3의 농도 추정식을 변환하여 흡수 깊이로부터 농도 값을 계산하였다. 농도 추정식들로부터 추정된 농도의 평균과 표준편차를 농도에 따라 Table 5에 명시하였다. 지수 형태의 추정식은 이산화질소의 농도가 50 ppm일 때 약 245 ppm으로 약 5배 정도 과대 추정하였지만, 이산화질소의 농도가 500, 800 ppm일 때는 각각 597.63, 786.87 ppm으로 기준 농도와 유사하게 추정한 것을 알 수 있다. 반면에 제곱근과 로그 형태의 추정식은 이산화질소의 농도가 낮은 50, 200 ppm일 때 지수 형태의 추정식보다 약 3배, 2배 이하로 상대적으로 적게 추정하였고, 기준 농도가 500 ppm일 때는 제곱근과 로그 형태의 추정식의 결과가 지수 형태와 유사하게 나타났다. 그러나 기준 농도가 800 ppm일 때는 지수 형태보다 제곱근과 로그 형태의 추정식의 결과의 RMSE가 300 ppm 이상 차이를 보였다. 결과를 정리하면 기준 농도에 따라 추정 결과의 정확도는 200 ppm 이하의 농도에서는 제곱근과 로그 형태의 추정식의 정확도가 높았으며, 500 ppm의

Table 5. The statistics of measured concentration by the concentration estimation equations with measured concentration

Measured Conc.	Mean(ppm)				Standard deviation(ppm)			
	50	200	500	800	50	200	500	800
$y = a \times e^{(b \times x)}$	245.56	434.84	597.63	786.87	60.78	44.55	68.47	95.02
$y = a \times x^b$	128.57	294.45	618.21	1477.71	34.55	61.51	182.27	601.35
$y = a \times \ln(x) + b$	146.48	321.93	597.12	1127.28	39.82	59.02	141.48	324.36

결과는 유사하였다. 그러나 800 ppm 이상의 고농도일 때는 제공근과 로그 형태보다 지수 형태의 추정식으로 추정된 농도의 평균치가 기준 농도와 가장 근접하였다.

기준 농도와 추정 농도의 추정식에 따라 가시적인 확인을 위해 Fig. 4에 기준 농도와 추정 농도의 선형적 관계의 결정 계수, RMSE, 그리고 아황산가스의 농도도 함께 도식화하였다. 결정 계수를 비교하면 지수, 제공근, 로그 형태 순서대로 0.8864, 0.7154, 0.8174로 지수 형태의 추정식이 가장 높고 제공근 형태가 제일 낮게 나타났으며, RMSE도 같은 경향을 나타냈다. 그리고 아황산가스의 농도에 따라 마크를 다른 형태로 표시하였는데, 아황산가스의 농도가 높을수록 추정된 이산화질소의 농도

가 과대 평가된 경향이 있다. 그러나 아황산가스의 농도가 낮은 경우에도 이산화질소의 농도가 과대 평가된 것은 변함이 없으므로 아황산가스의 영향보다는 측정 과정에서 발생하는 시간 차이에 의한 광량의 변화에 따른 영향인 것으로 판단된다. 따라서 광량의 변화가 발생하지 않도록 할로겐 텅스텐과 같은 인공조명을 이용하여 이산화질소를 관측하여 농도 추정식의 개발 및 검증이 추가로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 초분광센서를 활용하여 산업단지에서 배출되는 이산화질소의 모니터링을 농도 추정식 개발 및 검증을 하고자 하였다. 이를 위해, 25~800 ppm의 다양한 농도의 이산화질소를 대상으로 태양천정각, 관측천정각, 상대방위각 등을 다양하게 하여 분광복사량을 측정하였다. 측정된 분광복사량에서 특정 파장 간의 값의 차이를 흡수 깊이로 하여 이산화질소의 농도 간의 관계를 이용하여 농도 추정식을 개발하였다. 개발된 농도 추정식들의 검증을 위해 추가로 50, 200, 500, 800 ppm의 이산화질소와 아황산가스가 혼합된 가스를 대상으로 분광복사량을 측정하였다. 결과적으로 추정식의 형태에 따라 결정 계수와 RMSE가 0.71~0.88, 72~323 ppm으로 나타났다. 결정 계수가 상관성이 높은 수준이므로 실제 모니터링에 사용이 가능한 것으로 판단되나, 추정식의 형태에 따라 농도의 변화에 추정 농도의 정확도가 일정하지 않아 농도 추정식의 고도화가 필요한 것으로 판단된다. 따라서 향후 이산화질소의 분광복사량 측정 과정에서 광량의 변화가 발생하지 않도록 인공조명을 사용하여 측정된 자료를 이용하여 농도 추정식의 고도화가 이루어져야 할 필요가 있다.

References

- [1] Korea Environment Corporation. Continuous Emission Monitoring System(CleanSYS), Ministry of Environment, [cited 2019 April 26], Available From: <https://www.stacksky.or.kr>(accessed April 24, 2019)
- [2] D. G. Kim, D. I. Kim, S. B. Lee, S. K. Jang, Y. A. Lee, 2017 Air Emission Source Survey, Survey report, National Institute of Environmental Research, Korea, pp. 27-29.

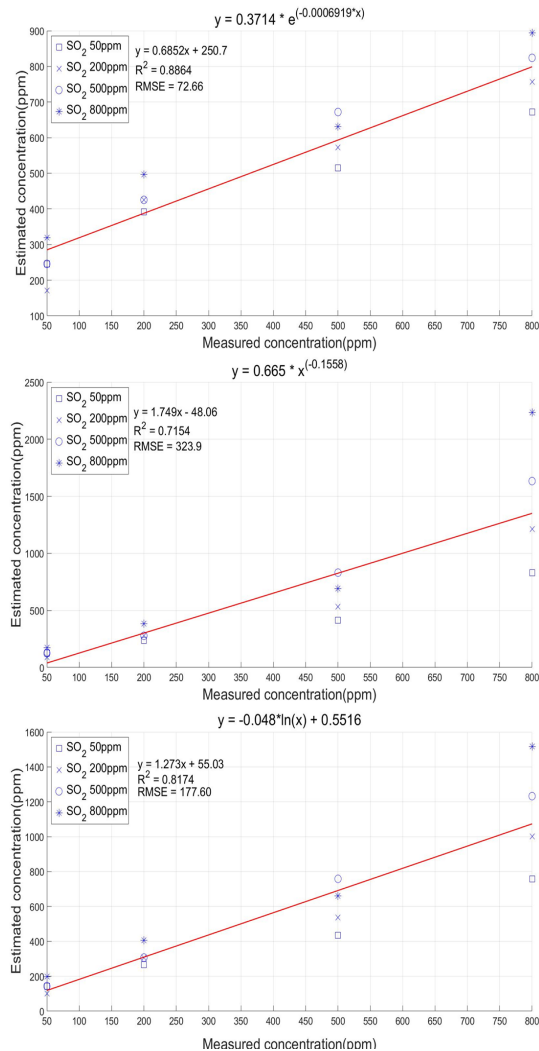


Fig. 4. Relationships between measured concentration and estimated concentration

- [3] K. Y. Hwang, "Environmental Inspection and Control - Present State and Policy Direction", *Korean Environmental Law Research*, Vol. 37, No. 2, pp. 75-101, Aug. 2015.
- [4] Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., Vyvyan, J. A., Introduction to spectroscopy. pp. 381-384, Cengage Learning, 2014.
- [5] Oppenheimer, C. "Ultraviolet sensing of volcanic sulfur emissions", *Elements*, Vol. 6, No. 2, pp. 87-92, April 2010.
DOI: <http://doi.org/10.2113/gselements.6.2.87>
- [6] O'Dwyer, M., Padgett, M. J., McGonigle, A. J. S., Oppenheimer, C., Inguaggiato, S., "Real-time measurement of volcanic H₂S and SO₂ concentrations by UV spectroscopy", *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, No. 12, June 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1029/2003GL017246>
- [7] Burgard, D. A., Dalton, T. R., Bishop, G. A., Starkey, J. R., Stedman, D. H., "Nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and ammonia detector for remote sensing of vehicle emissions", *Review of scientific instruments* 77, 014101, Nov. 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.2162432>
- [8] J. I. Shin, I. J. Kim, M. J. Choi, S. H. Lim, "Analysis of Potential on Measurement of SO₂ and NO₂ using Radiative Transfer Model and Hyperspectral Sensor", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 6, pp. 658-663, June 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.6.658>

전 의 익(Eui-Ik Jeon)

[정회원]



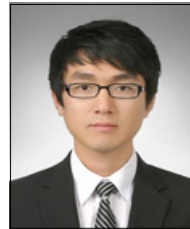
- 2015년 8월 : 서울시립대학교 일
반대학원 공간정보공학과(공학석
사)
- 2017년 1월 ~ 2018년 8월 : ㈜아
세아항공 기술연구소 연구원
- 2018년 8월 ~ 현재 : ㈜지오스토
리 기술연구소 연구원

<관심분야>

공간정보, 원격탐사, 영상분석, 초분광

박 진 우(Jin-Woo Park)

[정회원]



- 2011년 2월 : 광주대학교 관광경
영학과(학사)
- 2018년 9월 : 청주대학교 지적학
과(지적학 석사)
- 2012년 4월 ~ 현재 : 한국국토정
보공사

<관심분야>

원격탐사, 지리정보, 초분광센서

임 성 하(Seong-Ha Lim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 전남대학교 건축학
과 졸업
- 2007년 4월 ~ 현재 : 한국국토정
보공사

<관심분야>

원격탐사, 지리정보, 초분광센서

김 동 우(Dong-Woo Kim)

[정회원]



- 2018년 2월 : 공주대학교 지리학
과 (지리학석사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 한국환경정
책·평가연구원 연구원

<관심분야>

GIS, 원격탐사, 드론기반 영상분석

유 재 진(Jae-Jin Yu)

[정회원]



- 2015년 2월 : 공주대학교 지리학과 (지리학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 지리학 박사수료
- 2016년 12월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 연구원

〈관심분야〉

지형, 원격탐사, GIS, 드론기반 영상분석

윤 정 호(Jeong-Ho Yoon)

[정회원]



- 1997년 2월 : 고려대학교 산림자원학과 (농학석사)
- 2003년 2월 : 고려대학교 산림자원학과 (이학박사)
- 1996년 7월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 선임연구위원

〈관심분야〉

환경영향평가, 환경정보, 원격탐사

손 승 우(Seung-Woo Son)

[정회원]



- 2013년 8월 : 서울대학교 생태조경학과 (조경학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 협동과정조경학 박사수료
- 2013년 7월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 연구원

〈관심분야〉

환경정보, 환경계획, 공간분석, 드론기반 영상분석

전 형 진(Hyung-Jin Jeon)

[정회원]



- 2005년 8월 : 한양대학교 공학대학원 (대기공학 석사)
- 2011년 2월 : 한양대학교 일반대학원 보건학과 (보건학박사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : 한국환경정책·평가연구원 초빙연구원

〈관심분야〉

환경영향평가, 환경보건, 환경정보