

논문 2012-49-9-36

축산생육환경 유해가스 모니터링을 위한 무선가스측정시스템 개발

(Development of Gas Measurement System for the Harmful Gases at
Livestock Barn)

김 영 웅*, 백 승 현*, 박 홍 배**

(Young Wung Kim, Seung Hyun Paik, and Hong Bae Park)

요 약

축산생육환경에서 다양한 경로로부터 발생하는 유해가스는 가축 및 농가작업자에게 직/간접 적으로 영향을 미칠 수 있으며, 점차적인 사육조밀화와 동절기 밀폐환경에 장기간 노출 시 치명적일 수 있다. 본 논문에서는 가축분뇨로부터 발생하는 암모니아, 황화수소, 휘발성유기화합물 가스 등을 모니터링하기 위해 무선가스센서노드와 퍼지 최소-최대 신경회로망을 이용한 가스 인식 소프트웨어로 이루어진 가스측정시스템을 제안한다. 제안한 시스템의 성능을 평가하기 위해 가스측정실험환경을 구축하여 제작한 무선가스센서노드로 가스측정실험을 수행하고, 개발한 가스인식 소프트웨어로 대상가스 분류시험을 통해 성능을 입증한다.

Abstract

Harmful gases which are generated from various rout at growth environment of livestock ban have a direct and indirect bad influence to the livestock and farmers, and also step-up breeding density and long-term exposure to the sealed environment of winter can be fatal. In this paper, we propose a gas measurement system for monitoring gases of ammonia, hydrogen sulfide, volatile organic compounds, etc. which arise from the muck. The measurement system consist of both wireless gas sensor node and gas recognition software using a Fuzzy Min-Max neural network. To evaluate the performance of suggested system, gas measurement experiments are performed in laboratory environment by using the designed wireless gas sensor node. And we show the performance through classification test for the target gases by the designed gas recognition software.

Keywords : 축산생육환경 유해가스 모니터링, 무선가스센서노드, 가스분류시스템, 가스측정시스템

I. 서 론

최근 축산생육환경에서 점차적인 가축사육 조밀화에 따라 악취를 동반한 분뇨에서 발생하는 유해가스들의 농도가 짊어져 허용 노출기준을 초과할 수 있다. 악취

생성 측면에서, 분뇨에 존재하는 혐기성세균 발효과정의 최종산물로 휘발성 유기물질이 생성된다. 축산악취의 주된 유해가스로는 암모니아(NH_3)와 황화수소(H_2S)가 있다. 암모니아는 무색이며, 수용성으로 물에 쉽게 녹으며, 낮은 농도로도 사람의 코로 감지할 수 있고, 사람의 눈, 폐 등이 자극을 받는다. 황화수소는 공기보다 무거운 축사의 슬러리 표면에 깔려 있다. 낮은 수준에서도 달걀 썩는 냄새가 발생하고 두통, 어지러움, 메스꺼움 등을 유발하는 원인이 된다.

특히 외부기온이 저하되는 동절기에 실내 온도유지

* 학생회원, ** 정회원-교신저자, 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부

(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

접수일자: 2012년1월27일, 수정완료일: 2012년8월30일

를 위해 최소환기율을 적용하는 경우 농가작업자가 장시간 또는 높은 농도의 유해가스에 노출되면 유독가스로 작용할 수 있고 가축 또한 유사한 영향을 받는다. 밀폐된 공간에서 15 [ppm]의 암모니아 가스는 호흡기계통의 질병이 유발할 수 있다. 또한 외부로 방출된 암모니아는 주변의 인근농가에 까지 많은 피해를 주고 있다^[1-2]. 그러므로 축산생육환경개선을 위해 유해가스들을 정확히 측정하고 진단하는 것은 매우 중요하다. 또한, 농업 환경에서 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술을 접목하여 어디서든 네트워크로 구성하여 중앙에서 쉽게 모니터링 가능한 통합관리 시스템에 대해 활발하게 논의되고 있으나^[3-6], 기존 통합관리 시스템에서 환경모니터링 시스템은 유해가스는 고려하지 않고 대부분 온도, 습도, 음수량, 이산화탄소와 같은 생장환경 요소에만 초점이 맞추어져 있다.

본 논문에서는 축산생육환경에서 발생하는 유해가스인 NH₃, H₂S, 혼합(NH₃+H₂S) 가스를 측정하고, 분석하는 무선가스측정시스템을 제안한다. 전체 시스템 구성은 무선가스센서노드와 가스인식 소프트웨어로 나누어지며, 하드웨어적인 측면에서 무선가스센서노드는 가스센서보드와 무선보드로 구성한다. 저전력 소형의 하드웨어를 구현하기 위해 가스센서는 저가의 반도체식 암모니아 센서(MiCS-5914)와 휘발성유기화합물(VOCs: Volatile Organic Compounds) 센서(MiCS-5135)를 채택하고, 각 대상 유해가스 농도별 데이터패턴을 구분하기 위해, 선택한 두 센서의 조합으로 센서보드를 설계한다. 무선보드는 Texas Instruments 사의 ZigBee 기반 CC2530F256모델을 사용한다. 무선가스센서노드에 내장되는 응용프로그램은 각 가스센서 구동드라이버와 무선통신을 위한 국제표준 IEEE 802.15.4 2007 무선프로토콜 스택을 준수하는 Z-Stack으로 구현한다. 마지막으로 무선가스센서노드의 가스인식 소프트웨어로 사용하기 위해 연산과정이 간단한 한 퍼지 최소-최대 신경망(Fuzzy Min-Max Neural Network) 알고리즘을 이용한 분류시스템을 개발한다.

축산생육환경 모니터링시스템을 위해 제안한 무선가스센서노드와 가스인식 소프트웨어의 성능을 테스트 하기 위해 실험실 환경기반에서 무선으로 가스측정실험을 수행한다. 암모니아와 황화수소 가스에 대한 농도크기를 알기 위해 암모니아 가스는 0~100 [ppm] 사이의 농도 11개, 황화수소 가스는 0~2 [ppm] 사이의 농도를

11개, 그리고 암모니아와 황화수소를 혼합한 가스농도를 9개로 나누어 데이터를 추출하고 분석한다. 획득한 데이터를 학습데이터와 테스트데이터로 분류하고, 학습데이터로 제안한 분류기를 학습한 다음 테스트데이터로 대상가스별 분류결과를 확인한다.

II. 무선가스센서노드

2.1 가스센서보드

축산생육환경에서 발생하는 주 가스인 암모니아와 황화수소 그리고 둘의 혼합가스측정을 위해 Micro Chemical Systems 사의 MiCS-5914와 MiCS-5135 센서를 사용한다. MiCS-5914 가스센서의 특징으로는 암모니아 0.1~100 [ppm] 농도 측정범위를 가지며 센서 최대 인가전압은 5V이고 가열전류는 30mA이다. MiCS-5914의 센서구동회로는 그림 1와 같이 구성한다.

휘발성유기화합물 센서 MiCS-5135의 특징으로는 0.1~1000 [ppm] 농도 측정범위를 가지며 센서 최대 인가전압은 5V이고 가열전류는 32mA이다. 그림 2는 MiCS-5135에 대한 센서구동회로이다.

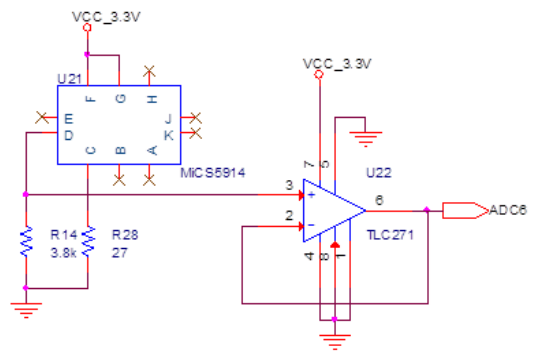


그림 1. MiCS-5914 센서구동회로
Fig. 1. Sensor operating circuit of MiCS-5914.

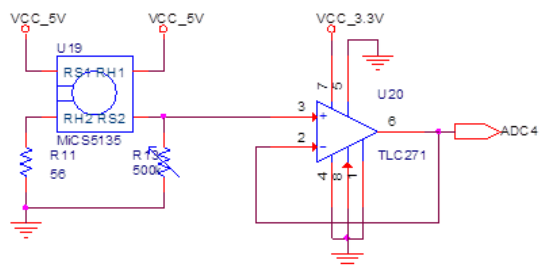


그림 2. MiCS-5135 센서구동회로
Fig. 2. Sensor operating circuit of MiCS-5135.

2.2 무선보드

IEEE 802.15.4 국제표준을 따르는 ZigBee 네트워크를 구현하기 위해 Mesh 네트워킹을 지원하는 Texas Instruments 사의 저전력 8051 마이크로컨트롤러와 RF Transceiver가 결합된 SoC인 CC2530f256 모델을 적용한 CC2530EM 보드를 사용한다. CC2530f256 칩은 고성능 저전력의 8051코어, 프로그램 가능한 256KB flash, 8KB의 RAM이 있다. 주변장치로 일반적 사용이 가능한 8bit 타이머 2개, 16bit 타이머 1개, 16bit 크기의 IEEE 802.15.4 MAC 타이머 1개, 각 채널마다 분해능 조절이 가능한 8채널의 고성능 12bit ADC, 유선으로 컴퓨터나 다른 장치들과 연결할 수 있는 2개의 USART, 그리고 총 21개의 범용 I/O 핀을 제공한다. 무선보드로 적용한 CC2530EM 보드는 32mm × 40mm (length × width)크기의 소형 무선모듈로서, 낮은 비용에도 견실한 네트워크 노드를 구성할 수 있다. ZigBee 스펙에 정의된 2.4GHz 대역의 16개의 채널을 사용할 수 있고 20~250Kbps의 데이터 전송률을 지원한다. 그리고 다양한 전원모드를 가지고 있어 효율적으로 전력을 관리할 수 있다^[7]. 그림 3은 가스센서보드와 CC2530EM 보드를 조합하여 제작한 무선가스센서노드이다. 최종적으로 센서구동드라이버와 Z-Stack기반의^[8-9] 응용프로그램을 설계하여 무선가스센서노드에 내장한다.

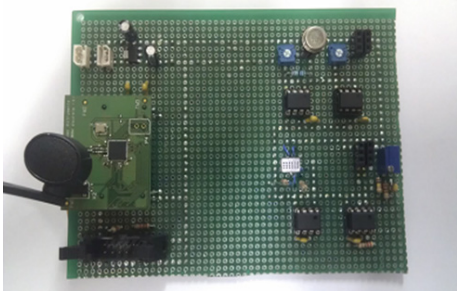


그림 3. 제작한 무선가스센서노드
Fig. 3. wireless gas sensor node.

III. 가스인식시스템

3.1 데이터 획득

암모니아, 황화수소, 혼합(암모니아 + 황화수소)가스를 대상가스로 선택하고, 그 대상가스를 측정하기 위한 실험환경구축은 그림 4와 같이 가스공급라인, 가습조절장치, 측정용 챔버로 구성한다. 가스공급라인은 황화수

소, 암모니아, 합성공기(질소:산소=4:1) 용기와 가스유량 조절계(MFCs: Mass Flow Controllers)로 구성되어 있다. 합성공기라인 중 하나는 가습조절 장치로 들어가고 MFCs로 가스유량을 조절하여 최종적으로 한곳으로 모아 원하는 습도로 조절한 대상가스농도를 만든다. 챔버안의 온도와 습도는 각각 24±2℃, 30±2%로 유지하고 챔버용량은 2500cc이다.

측정절차는 다음과 같다. 먼저 건조한 합성공기를 가습조절장치로 보내고 MFC에 의해 조절된 대상가스와 합쳐져 원하는 가스농도를 만들어 챔버로 보낸다. 마지막으로 챔버안에 놓인 무선가스센서노드는 10초 주기로 센서의 출력전압을 11비트 ADC하여, 무선으로 베이스노드에 전송한다. 베이스노드에서는 메인컴퓨터와 Usart를 통해 8비트 데이터를 115kbps의 속도로 16바

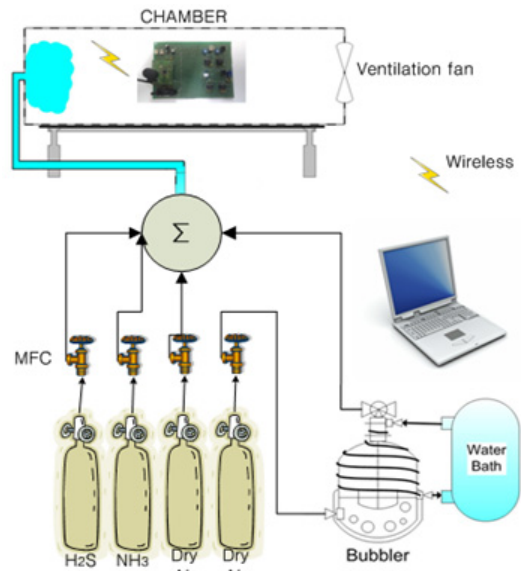


그림 4. 데이터 획득을 위한 가스측정실험 환경
Fig. 4. Gas measurement experiment set-up for data acquisition.

표 1. 가스측정실험에 대한 대상가스 농도조합
Table 1. Concentration combination of target gases.

NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)										
	0	0.1	0.15	0.25	0.4	0.55	0.75	1	1.25	1.6	2
0	t ₁ /e ₁	t ₇	e ₇	t ₈	e ₈	t ₉	e ₉	t ₁₀	e ₁₀	t ₁₁	e ₁₁
3	t ₂	t ₁₂									
5	e ₂		e ₁₂								
8	t ₃			t ₁₃							
12	e ₃				e ₁₃						
20	t ₄					t ₁₄					
30	e ₄						e ₁₄				
40	t ₅							t ₁₅			
60	e ₅								e ₁₅		
80	t ₆										
100	e ₆										

이트 단위로 전송한다. 메인컴퓨터는 받은 데이터를 저장한다.

대상가스 측정실험의 가스농도조합은 표 1과 같이 암모니아 0, 3, 5, 8, 12, 20, 30, 40, 60, 80, 100 [ppm]의 11개 농도, 황화수소 0, 0.1, 0.15, 0.25, 0.4, 0.55, 0.75, 1, 1.25, 1.6, 2 [ppm]의 11개 농도, 혼합가스(NH₃/H₂S) 0, 3/0.1, 5/0.15, 8/0.25, 12/0.4, 20/0.55, 30/0.75, 40/1, 60/1.25 [ppm]의 9개 농도로 하여 총 31개의 조합으로 이뤄진다. 여기서 0 [ppm]은 합성공기를 의미하고, 표에서 $t_1 \sim t_{15}$ 로 표시한 농도는 가스식별 모델의 학습데이터로 이용하고, $e_1 \sim e_{15}$ 로 표시한 나머지 농도는 테스트데이터로 이용한다.

이렇게 합성공기를 포함하여 선택한 31개의 서로 다른 농도조합에 의해 만들어진 샘플은 각각 30번 반복 측정하여 총 930개의 데이터패턴을 획득한다. 각 조합에 대한 실험은 가스주입 후 챔버안이 대상가스 농도로 포화되고 안정된 센서출력 전압값을 획득하기 위해 5분 동안 10초 간격으로 30번의 데이터를 기록한다.

3.2 가스인식시스템설계

가스인식시스템 분야에서 패턴분류에 관한 문제는 적용분야에 따라 다양한 알고리즘이 제안되어 왔다^[10]. 무선센서네트워크나 휴대용 가스측정 장치의 경우 시스템의 저장용량과 연산시간의 제약을 받기 때문에, 퍼지 신경회로망이 가스분류 및 농도추정 알고리즘으로 사용될 경우 시스템의 복잡성과 계산시간을 중요하게 고려해야 한다^[11-12]. 본 연구에서는 무선가스센서노드에 임베디드 소프트웨어로 내장하기 위해 연산과정이 간단한 퍼지 최소-최대 알고리즘을 바탕으로 한 축산생육환경 유해가스 분류시스템을 연구한다.

그림 5는 가스인식시스템 개발에 대한 전체구조를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 센서배열(MiCS-5914, MiCS-5135)을 통하여 도출된 데이터를 학습데이터와 테스트데이터로 구분하여 사용한다. 학습데이터를 사용하여 각 농도조합에 대한 클래스의 파라미터를 설정하고, 업데이트된 파라미터를 퍼지 최소-최대 신경회로망에 설정하여 테스트데이터를 대상가스로 분류한다.

각 클래스영역에 대한 학습데이터들의 최소점과 최대점을 찾아 퍼지 최소-최대를 이용한 분류기 파라미터로 설정한다. 최소점은 각 클래스 영역에 속하는 학습데이터들의 교집합으로 구하고, 최대점은 학습데이터들

의 합집합으로 구한다. 각 클래스의 최소, 최대 점을 이용하여 수식 (1)과 같이^[13] 소속도(DOC: Degree Of Classification)를 구한다.

$$DOC(A_k, V_j, W_j) = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n \max(0, v_{ji} - a_{ki})}{n_{sub}} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n \max(0, a_{ki} - w_{ji})}{n_{sup}} \right] \quad (1)$$

여기서 A_k 는 k 번째 학습데이터이고, V_j 와 W_j 는 각각 j 번째 클래스에 대한 최소점과 최대점 벡터이다. a_{ki} 는 i 번째 센서의 k 번째 학습데이터를 의미한다. 각 측정클래스의 데이터범위 즉 하이퍼박스(Hyperbox) 노드를 결정하는 센서 i 의 j 번째 학습데이터의 최소-최대점은 V_j 와 W_j 의 원소인 v_{ji} 와 w_{ji} 이다.

그림 6은 퍼지 최소-최대를 이용한 2차원의 입력패턴을 가지는 가스분류기의 신경망구조를 보여준다. MiCS-5914센서 A_1 과 MiCS-5135센서 A_2 의 측정데이

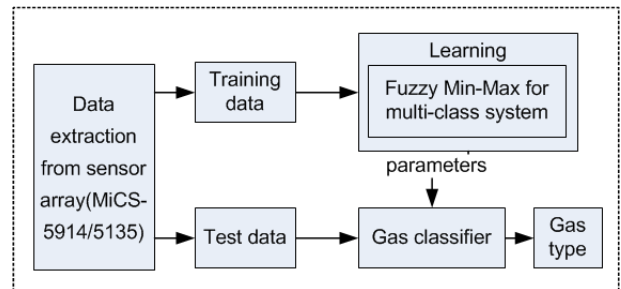


그림 5. 가스분류를 위한 패턴인식과정
Fig. 5. Processing of pattern recognition for gas classification.

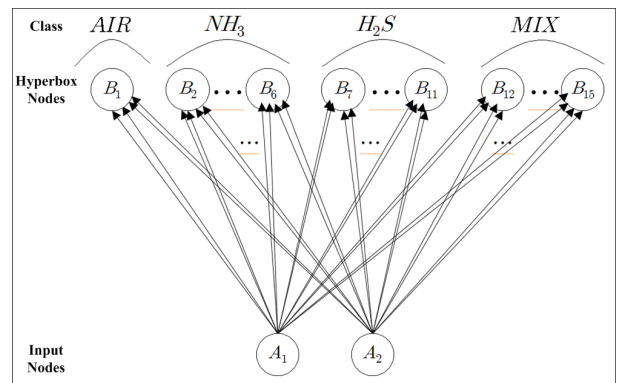


그림 6. Fuzzy Min-Max 분류기의 신경망구조
Fig. 6. Neural network structure of Fuzzy Min-Max classification.

터를 2차원의 패턴데이터로 하여, 학습에 의해 설정된 각 하이퍼박스 노드 B 로 연결되고, 소속도가 가장 높은 하이퍼박스 노드로 클래스를 결정함으로 대상가스를 분류한다.

IV. 실험결과 및 고찰

4.1 가스측정실험

그림 7, 8, 9는 제안한 무선가스센서노드로 축산생육 환경에서 발생하는 가장 주된 물질인 암모니아, 황화수소, 혼합가스에 대해 표 1의 방식으로 가스농도를 조절하여 MiCS-5914와 MiCS-5135 센서의 반응을 알아본 실험결과이다. 여기서 샘플은 실험조건으로 선택한 각 가스농도별 측정실험을 통하여 30개씩 추출한 데이터 모음이다. 각 그림에서 가로축은 샘플번호를 나타내고, 세로축은 각각의 센서에서 획득한 ADC 원데이터(rawdata)를 나타낸다. 그림 7과 8의 측정실험결과, 암

모니아 가스실험에서 암모니아센서 MiCS-5914는 농도에 따라 반응정도의 차이를 명확히 보이고, 황화수소 가스실험에서는 VOCs계 MiCS-5135 센서의 뚜렷한 데이터변화를 볼 수 있다. 그러나 각 센서가 특정가스를 측정하도록 개발되었지만 대상가스가 아니더라도 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 위 결과를 보아 대상가스 외의 다른 가스에 대한 영향이 있으므로 혼합가스를 다른 종류의 가스로 취급하여 측정실험을 수행하였으며, 그 결과를 그림 9에 보였다.

MiCS-5914와 MiCS-5135의 실험데이터를 조합하여 가스종류와 농도를 분류할 수 있게 한다. 이는 그림 10에서 보인 패턴데이터의 2차원 산점도 그래프를 통해 MiCS-5914와 MiCS-5135를 사용한 센서노드의 성능을 볼 수 있다. 그래프좌측에 분포한 데이터는 황화수소 가스농도별 실험데이터이며, 우측에 분포한 데이터는 암모니아 가스실험데이터이고, 가운데 분포한 데이터는

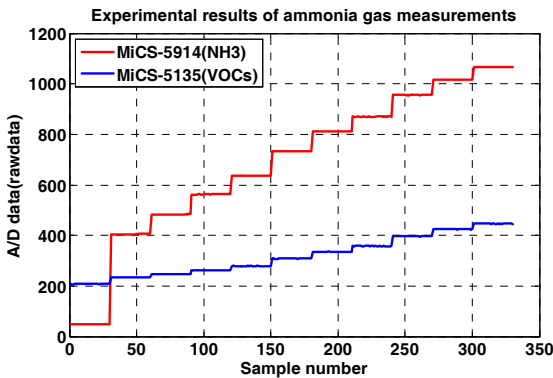


그림 7. 암모니아 가스측정 실험결과
Fig. 7. Experimental results of ammonia gas measurements.

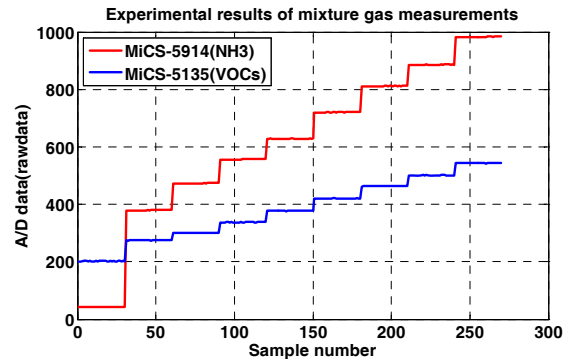


그림 9. 혼합가스 측정실험결과
Fig. 9. Experimental results of mixture gas measurement.

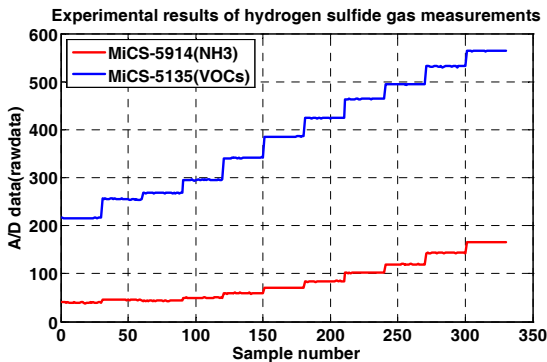


그림 8. 황화수소 가스측정 실험결과
Fig. 8. Experimental results of hydrogen sulfide gas measurement.

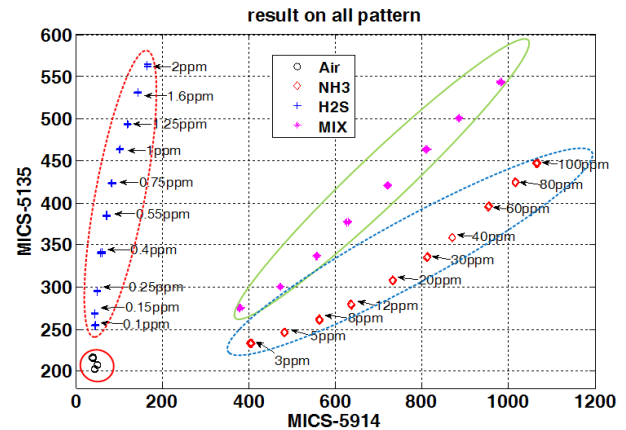


그림 10. 전체 실험결과
Fig. 10. Results on all pattern.

표 2. 제안한 퍼지 최소-최대 신경망 분류기에 대한 테스트데이터의 분류결과

Table 2. Classification results of test data for suggested Fuzzy Min-Max neural network classifier.

	Air	NH3					H2S					MIX				
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}	B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}	B_{15}	
e_1	0.9950	0.8279	0.7383	0.6291	0.5291	0.4133	0.9542	0.9245	0.8408	0.7620	0.6891	0.8041	0.6779	0.5404	0.4045	
e_2	0.7955	0.9584	0.9545	0.8453	0.7453	0.6295	0.6281	0.5887	0.5063	0.4368	0.3780	0.8739	0.8941	0.7566	0.6207	
e_3	0.7040	0.8669	0.9565	0.9368	0.8368	0.7210	0.7349	0.4989	0.4366	0.3854	0.3427	0.8915	0.8447	0.8481	0.7122	
e_4	0.5833	0.7462	0.8358	0.9449	0.9576	0.8417	0.6141	0.6491	0.3518	0.3225	0.2993	0.7708	0.7869	0.7954	0.8330	
e_5	0.4734	0.6363	0.7259	0.8351	0.9338	0.9516	0.5042	0.5392	0.6230	0.2578	0.2513	0.6609	0.7859	0.7741	0.7804	
e_6	0.3847	0.5476	0.6372	0.7464	0.8451	0.9618	0.4156	0.4506	0.5343	0.1916	0.1983	0.5722	0.6972	0.8356	0.7750	
e_7	0.9153	0.6611	0.5635	0.6806	0.5806	0.4648	0.9801	0.9760	0.8923	0.8135	0.7406	0.8556	0.7293	0.5918	0.4560	
e_8	0.8928	0.5860	0.5053	0.4157	0.6480	0.5322	0.9237	0.9587	0.9597	0.8809	0.8080	0.6545	0.5837	0.6593	0.5234	
e_9	0.8132	0.5016	0.4401	0.3718	0.3076	0.2750	0.8441	0.8791	0.9628	0.9605	0.8876	0.5687	0.5203	0.4692	0.6030	
e_{10}	0.7402	0.4325	0.3879	0.3383	0.2900	0.2240	0.7711	0.8061	0.8898	0.9690	0.9606	0.4992	0.4711	0.4400	0.6760	
e_{11}	0.6625	0.3608	0.3336	0.3035	0.2719	0.2244	0.6933	0.7283	0.8120	0.8912	0.9637	0.4278	0.4210	0.4113	0.3591	
e_{12}	0.7542	0.9171	0.8681	0.8866	0.7866	0.6708	0.7850	0.8200	0.5724	0.5042	0.4476	0.9417	0.9354	0.7979	0.6620	
e_{13}	0.6254	0.7883	0.8779	0.8093	0.7740	0.7996	0.6563	0.6913	0.5298	0.4821	0.4442	0.8129	0.9379	0.9267	0.7908	
e_{14}	0.4777	0.6406	0.7302	0.8393	0.7858	0.7778	0.5085	0.5435	0.6272	0.4098	0.3939	0.6652	0.7902	0.9285	0.9386	
e_{15}	0.3390	0.5019	0.5915	0.7007	0.7994	0.7819	0.3698	0.4048	0.4886	0.5678	0.6403	0.5265	0.6515	0.7898	0.9253	

혼합가스 실험데이터로 구분된다. 두 센서의 패턴데이터에 대한 산점도 그래프에서 각 가스별, 농도별 군집화가 명확히 이루어지는 것을 볼 수 있다. 따라서 단일 센서를 사용하는 것보다 다른 종류의 센서로 구성된 센서 어레이를 사용하는 것이 신뢰성 확보에 효과적이다.

4.2 가스분류 실험결과

축산생육환경 유해가스 모니터링에서 대상가스의 분류를 수행하는 가스인식시스템의 성능을 테스트하기 위해 가스측정실험에서 0 [ppm]의 합성공기 90개의 패턴데이터와 합성공기를 제외한 28개의 가스농도 조합으로부터 840개의 패턴데이터를 획득하여 전체 930개의 패턴데이터를 구하였다.

합성공기 90개의 패턴데이터에서 45개 그리고 표 1에서 보인 $t_2 \sim t_{15}$ 의 패턴 420개를 퍼지 최소-최대 신경망 분류기의 학습데이터로 사용하여 합성공기 클래스를 포함한 총 15개의 하이퍼박스 노드를 3.2절에서 설명한 바와 같이 설정하여 가스인식시스템을 설계하였다. 표 1에서 합성공기 e_1 , 암모니아가스 $e_2 \sim e_6$, 황화수소가스 $e_7 \sim e_{11}$, 혼합가스 $e_{12} \sim e_{15}$ 465개의 테스트데이터는 개발한 가스인식시스템의 성능을 실험하기 위한 입력패턴데이터로 사용하였다.

각 입력패턴은 하이퍼박스 노드 $B_1 \sim B_{15}$ 로 연결되

고, 각 노드는 학습에서 설정된 최소-최대점과 식 1을 이용하여 소속도(DOC) 값을 출력한다. 총 15개의 노드 중에서 소속도 값이 가장 큰 노드로 클래스가 결정된다. 입력패턴데이터 $e_1 \sim e_{15}$ 에 대한 각각의 평균 소속도를 구하여 표2에 보인다. 각 하이퍼박스 노드에 대한 소속도가 가장 큰 부분에 음영을 질게 표시하였으며, 이는 해당 하이퍼박스 노드에 소속됨을 의미한다. 표에서 알 수 있듯이 제안한 가스인식시스템이 오 분류 없이 잘 수행함을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 축산생육환경 유해가스 모니터링시스템을 위해 무선가스센서노드를 개발하고, 센서노드에 내장하기 위한 가스인식시스템으로 퍼지 최소-최대 신경망 분류기를 제안하였다.

무선가스센서노드는 저전력 하드웨어를 구현하기 위해 MiCS-5914와 MiCS-5135 센서, ZigBee기반의 CC2530f256로 구성하였고 무선가스센서노드의 응용프로그램은 센서구동드라이버와 Z-Stack으로 구현하였다. 실험실환경에서 무선가스센서노드를 이용하여 가스측정실험을 수행하였으며, 수집한 데이터를 사용하여 그림 10의 2차원 산점도 그래프를 보인결과 암모니아, 황

화수소, 혼합가스에 대한 종류와 농도변화에 따른 데이터패턴의 각 결정경계가 명확한 것을 확인할 수 있다.

본 논문에서 제안한 퍼지 최소-최대 신경망 기반의 가스인식시스템은 실험데이터로 학습과정을 거쳐 파라미터값을 설정하고, 측정데이터로 제안한 가스인식시스템의 분류성능을 실험하여 오분류 없이 각 대상가스에 대한 분류를 정확히 수행함을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] 이은영, 임정수, “양돈 분뇨의 악취특성 및 문제 해결을 위한 환경개선제 사용 현황 및 전망”, *한국미생물생명공학회지*, 제38권, 제3호, 244-254쪽, 2010년 9월
- [2] 박귀환, 오길영, 정경훈, 정선용, 차규석, “축산시설의 악취특성에 관한 연구”, *한국냄새환경학회지*, 제4권, 제4호, 207-215쪽, 2005년 12월
- [3] 광동호, 김태환, 한정우, 광윤식, 최종남, “무선 센서네트워크를 이용한 원격 돈사 관리 시스템 구현”, *한국정보기술학회 하계학술대회 논문집*, 550-552쪽, 2011년 5월
- [4] 황정환, 이명훈, 주휘동, 이호철, 강현중, 여현, “유비쿼터스 농업환경에서의 돈사 통합관리 시스템 구현”, *한국통신학회논문지*, 제35권, 제2호, 252-262쪽, 2010년 2월
- [5] 양재수, 정창덕, 홍유식, 안병익, 황선일, 최영훈, “지능을 이용한 온실 제어 시스템”, *전자공학회논문지*, 제49권, CI편, 제2호, 29-37쪽, 2012년 3월
- [6] 이명훈, 신창선, 조용윤, 여현, “유비쿼터스 농업에서의 온실 환경 통합관리 시스템”, *정보과학회지*, 제27권, 제6호, 21-26쪽, 2009년 6월
- [7] CC2530(Rev. B), Texas Instruments, Feb. 2011.
- [8] Z-Stack, Developer's Guide, Texas Instruments, Nov. 2010.
- [9] Z-Stack, Application Programming Interface, Texas Instruments, July 2010.
- [10] Ricardo Gutierrez-Osuna, “Pattern Analysis for Machine Olfaction: A Review,” *IEEE Journal of sensors*, Vol. 2, pp. 189-202, 2002.
- [11] Jung Hwan Cho, Young Woung Kim, Kyung Jin Na, and Gi Joon Jeon, “Wireless electronic nose system for real-time quantitative analysis of gas mixtures using micro-gas sensor array and neuro-fuzzy network”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 134, pp. 104-111, Aug. 2008.
- [12] 이정현, 조정환, 전기준, “반도체식 가스센서와 퍼지 ART를 이용한 혼합가스의 농도 추정”, *전자공학회논문지*, 제43권, SC편, 제4호, 21-29쪽, 2006년 7월
- [13] Patrick K. Simpson, “Fuzzy Min-Max Classification with Neural Networks”, *IEEE Conference on Neural Networks for Ocean Engineering*, pp. 291-300, Aug. 1991.

저 자 소 개



김 영 응(학생회원)
2006년 경일대학교 제어계측
공학과 학사 졸업
2008년 경북대학교 전자공학과
석사 졸업
2008년~현재 경북대학교 전자
전기컴퓨터학부 박사과정
<주관심분야 : 전자후각시스템, 무선센서 네트워
크, 임베디드시스템, 지능시스템>



백 승 현(학생회원)
2006년 경북대학교 전자전기
컴퓨터학부 학사 졸업
2008년 경북대학교 전자전기
컴퓨터학부 석사 졸업
2009년~현재 경북대학교 전자
공학부 박사과정
<주관심분야 : 이동통신, 센서네트워크, 임베디드
시스템>



박 흥 배(정회원)
1977년 경북대학교 전자공학과
학사 졸업
1979년 경북대학교 전자공학과
석사 졸업
1988년 University of New
Mexico 전자공학과
박사 졸업

2004년~2006년 모바일단말상용화센터 센터장
1988년~현재 경북대학교 공과대학 교수
<주관심분야 : 임베디드시스템, 건설제어>