

연기입자의 광학적 특성과 신경망을 이용한 화원분석에 대한 연구

지승욱

영남대학교 대학원

A Study on the Fire Sources Analysis Using the Optical Characteristics of Smoke Particles and Neural Networks

Seung-Wook Jee

Graduate School, Yeungnam University

(Received July 28, 2014; Revised September 22, 2014; Accepted October 17, 2014)

요 약

신경망은 연기입자의 광학적 특징으로부터 화원을 분석할 수 있는 유용한 도구가 될 수 있다. UL268에서 연기감지기 시험에 사용되는 세 가지 화원(종이화원, 목재화원, 인화성 액체화원)들의 광학적 특징으로 신경망을 훈련시켰다. 또한, 소광과 산란을 동시에 측정할 수 있는 연기챔버를 제작하여 연기의 광학적 특징을 얻고 그 결과를 신경망에 입력하였다. 종이화원, 목재화원, 인화성 액체화원을 대상으로 한 실험에서 신경망은 화원을 정확하게 구별하였다. 또한, 종이-목재화원, 종이-인화성 액체화원, 목재-인화성 액체화원과 같은 복합화원을 대상으로 한 실험에서도 화원을 모두 구별하였다.

ABSTRACT

The neural networks were able to be used by analyze fire source with the optical characteristics of smoke particles. The neural networks were learned the optical characteristics for three types test fire (paper, wood, flammable liquid). These test fires which were adopted in this study were also used to performance test of smoke detector according to UL268. A smoke chamber which was able to detect light extinction and scattering simultaneously was created. The optical characteristics of smoke particles were measured by the smoke chamber. And the results were used to input data for the neural networks. The neural networks distinguished the fire source accurately for paper fire, wood fire or flammable liquid fire. The neural networks distinguished accurately the combined fire source such as paper-wood fire, paper-flammable liquid fire or wood-flammable liquid fire.

Keywords : Smoke particles, Extinction, Scattering, Optical properties, Neural networks

1. 서 론

감지기는 화재 시 발생하는 연소생성물을 자동적으로 감지하여 화재의 발생을 감지기 그 자체에 부착된 음향 장치로 경보를 발하거나 선로를 통하여 화재수신기로 신호를 전송하는 장치이다⁽¹⁻³⁾. 감지기들 중, 연기감지기가 일반적으로 열감지기 등 다른 화재 감지기들보다 화재 감지가 빠르지만 장애경보에 취약하다는 단점도 가지고 있다⁽⁴⁾.

현재 가장 많이 사용되고 있는 광전식 연기감지기도 연소에 의한 연기입자 대신 다른 미립자를 연기입자로 오인하여 경보를 발하는 장애경보를 일으킬 수 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해 데이터 추적, 화재출력 지연 및 환

경 보상 등의 방법들이 사용되고 있다⁽⁴⁾. 또한 온도 센서 등 다른 센서를 연기감지기와 함께 사용하는 방법도 연구되고 있다⁽⁵⁻⁷⁾. 근래 들어서, 또 다른 방법의 하나로, 미 산란을 이용한 연기입자 구별에 대한 연구도 이루어지고 있다. 이 방법은 하나의 광원에 대해 다수의 광센서를 사용해야 하고, 연기입자의 크기 분포, 서로 부착하려는 성질, 색 등에 제약이 따르지만 장애경보 검출은 물론 연기입자로부터 화원을 분석해냄으로써 소화에 필요한 유용한 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다^(8,9).

본 연구는 UL268에서 연기감지기 시험에 사용되는 종이화원, 목재화원 및 인화성 액체화원에 대한 광학적 특징들을 교육시킨 신경망으로 다양한 화원들에서 발생하는 연기로부터 화원을 분석하고자 시도하였다.

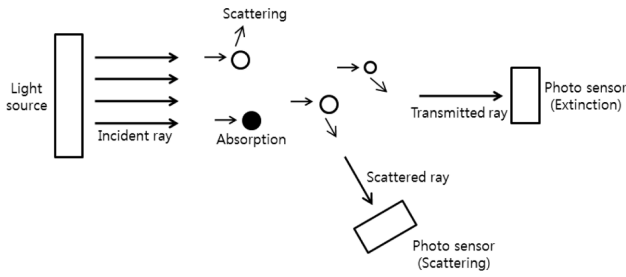


Figure 1. Principle of operation for a photoelectric smoke detector.

2. 관련이론 및 이론적 고찰

2.1 산란식과 감광식의 특징

연소에 의해 생성된 연기입자는 부유하면서 산란이나 흡수를 통해 빛을 소멸시키는 성질을 가지고 있다^(10,11). Figure 1에서, 연기입자에 의해 소멸된 빛의 양을 감지함으로써 화재유무를 판단하는 것을 감광식 연기감지기라고 하고, 연기입자에 의해 산란된 빛을 감지함으로써 화재유무를 판단하는 것을 산란식 연기감지기라고 한다^(3,11).

감광식은 연기입자의 주된 소광방법이 산란인지 흡수인지에 관계없이 연기의 존재를 감지할 수 있는 장점을 가진다. 산란식은 광원의 파장과 입자의 크기에 따라 산란각이 달라지기 때문에 산란각(scattering angle, incident ray와 scattered ray가 이루는 각)을 측정함으로써 연기입자의 크기를 알 수 있는 장점이 있다⁽⁸⁻¹⁰⁾.

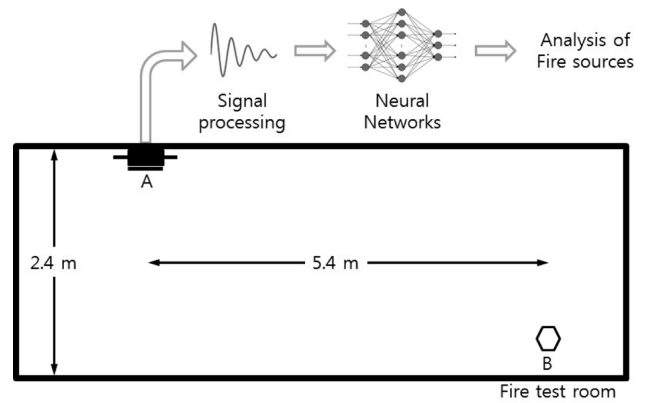
2.2 UL268 화원별 연기입자의 특징

UL268에서 사용되는 화원으로부터 발생한 연기입자를 보면 각각의 화원별로 특정한 패턴을 가진다. 종이화원에서 발생한 연기입자들은 크기가 비교적 일정하다. 그 결과 파장 960 nm의 빛을 조사했을 때 산란이 26° 부근에 집중되는 것이 실험을 통해 밝혀졌다⁽⁹⁾. 목재화원에서 발생한 연기는 입자들 간에 크기 차이가 매우 크다. 특히 불완전 연소로 추정되는 입자들은 다른 연기입자에 비해 그 크기가 수배에서 수십 배에 달하는 것을 볼 수 있다. 그 결과 모든 각도에서 산란이 측정된다. 한편, 인화성 액체화원에서 발생한 연기는 색이 매우 검기 때문에 흡수에 의해 소광을 일으킨다. 즉, 산란량이 매우 적어 뚜렷한 특징을 찾기가 어렵다⁽⁹⁾.

이상과 같이, UL268의 화원들 중에는 소광의 주요 원인이 산란인 화원도 있고 흡수인 화원도 존재하기 때문에 광학적 특징을 이용해 이들을 분석하기 위해서는 산란과 함께 흡수도 고려되어야 한다. 이를 위해 하나의 광원에 여러 개의 광센서를 사용하여 소광과 산란을 함께 측정해야 한다.

3. 실험장치 및 방법

실험은 Figure 2와 같은 화재시험장(fire test room, L:



A : smoke chamber
B : test fire

Figure 2. Schematic diagram of experiment setup.

7.0 m × W: 3.4 m × H: 2.4 m)에서 진행되었다.

A는 연기를 감지하기 위한 연기챔버로서 Figure 3과 같이 제작되었다. 광원부(light source)는 재래식 연기감지기에 많이 사용되는 파장 960 nm의 LED로 구성되어 있다. 광센서(photo sensor, PS)도 산란광식 연기감지기에 많이 사용되는 photo diode가 사용되었으며, 모두 5개의 광센서들이 내경 180 mm인 원통(annulus)의 한쪽에 설치되어 있다.

광센서 중 PS0은 전체 소광량을 측정하기 위한 것으로 광원부와 원통의 중심(center point of annulus, CP)이 이루는 일직선 상에 놓여 있다. Figure 3에서 산란각은 PS0, CP 및 산란측정용 광센서(PS1, PS2, PS3 및 PS4)가 이루는 각이 된다. 광센서를 26° 간격으로 설치하되, 전방산란을 측정하기 위해 26°에 광센서 PS1, 52°에 PS2를 설치하였고, 후방산란을 측정하기 위해 130°에 PS3, 156°에 PS4를 설치하였다. CP를 기준으로 광원부까지 거리는 90 mm, PS0까지 거리는 90 mm, 산란측정용 광센서까지 거리는 60 mm이다.

원통은 Figure 3과 같이 상판과 하판을 부착한 후, 화재시험장의 천장(Figure 2의 A 부분)에 설치되었다. 다섯 개의 광센서로부터 얻어진 데이터로 연기입자의 광학적 특성을 구하게 된다.

Figure 4는 5개의 입력값으로 화원을 분석하기 위해 사용된 신경망을 보여준다. 입력층 뉴런 5개, 은닉층 뉴런 15개, 출력층 뉴런 3개를 갖는 다층 신경회로망(multi-layer neural network)이다. 활성화 함수(transfer function)는 식 (1)의 시그모이드 함수(sigmoidal function)를 사용하였고, 목표치와 실제 결과값(actual output)의 차이를 줄이기 위해 백 프로퍼게이션(back propagation training) 알고리즘을 사용하였다⁽¹²⁾.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}} \quad (0 < f(x) < 1) \quad (1)$$

실험에 사용된 시험화원은 모두 6 가지이다. 먼저, 세 가

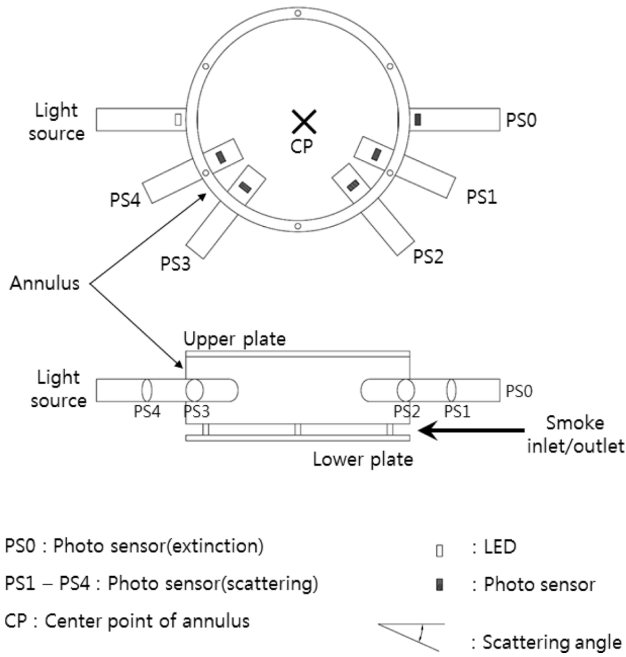


Figure 3. Schematic diagram of the smoke chamber.

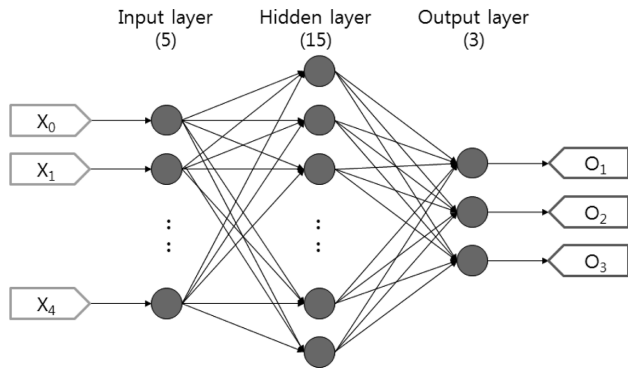


Figure 4. Neural networks used for fire source analysis.

지는 UL268에서 연기감지기 시험에 사용되는 화원들로서, 종이화원(paper fire, PF), 목재화원(wood fire, WF) 및 인화성 액체화원(flammable liquid fire, FLF)들이다. 모두

UL268에 따라 만들어졌다.

나머지 세 화원은 종이, 목재, 인화성 액체 중 두 가지를 섞어 만든 것으로 종이-목재화원(paper-wood fire, PWF), 종이-인화성 액체화원(paper-flammable liquid fire, PFLF), 목재-인화성 액체화원(wood-flammable liquid fire, WFLF)이다. 이들 화원은 두 가지 연기가 같은 경로를 통해 연기 챔버에 도달할 수 있도록 UL268을 참고하여 다음과 같이 만들어졌다. 종이-목재화원은 10 mm × 102 mm 크기로 자른 흑백 신문 21.3 g을 넣은 리셉터클 아래에 목재 9개를 Figure 5 (a)와 같이 2층으로 쌓고, 다시 그 아래에 4 m/의 촉진제를 위치시켜 만들었다. 촉진제는 5%의 메탄올과 95%의 에탈올로 구성되어 있다. 종이-인화성 액체화원은 10 mm × 102 mm 크기로 자른 흑백 신문 21.3 g을 넣은 리셉터클 아래에 인화성 액체화원(톨루엔 25%, 헵탄 75%)을 넣은 직경 38 mm, 깊이 25.4 mm의 금속용기를 위치시켜 만들었다. 목재-인화성 액체화원은 목재 9개를 Figure 5 (c)와 같이 2층으로 쌓은 아래에 인화성 액체화원을 넣은 금속용기를 위치시켜 만들었다.

실험은 화재시험장 내의 B 위치에서 6가지 시험화원 중 하나를 점화시킨 후, 연기챔버 내로 연기유입이 확인된 시간부터 100 s 동안 진행하였다. 5개의 광센서로부터 1 s 간격으로 데이터를 읽고, 10 s 간의 평균값을 취한 후, 이 값들로부터 필요한 값을 구하여 신경망에 입력함으로써 화원을 분석하고자 시도하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 신경망 교육

Figure 6은 종이화원에 대한 실험결과와 한 예이다. Figure 6 (a)를 보면 실험이 진행되면서 PS0에 도달된 빛의 양이 점차 감소하고 있다. 즉, 소광량이 증가하고 있다. 이때 PS1, PS2, PS3 및 PS4의 값들도 증가하고 있다. 이것은 소광의 주요 원인이 산란이기 때문이다. 한편 60 s 부근에서 소광은 있지만 측정된 산란량이 0 (PS1 = PS2 = PS3 = PS4 = 0)인 영역(absorption area)이 존재한다. 이 영역은

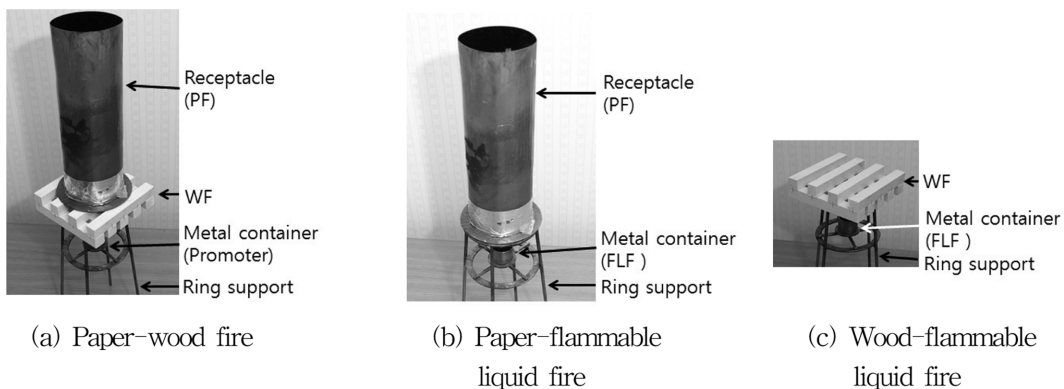
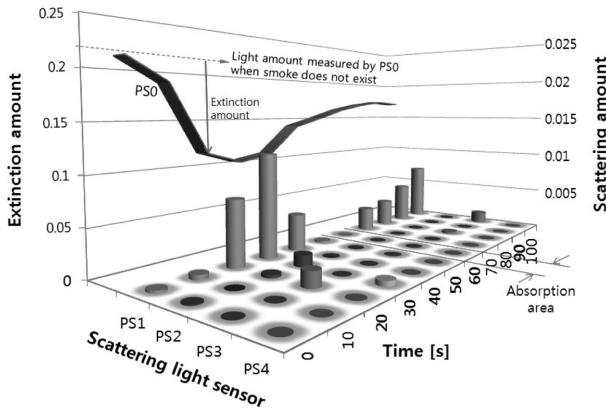
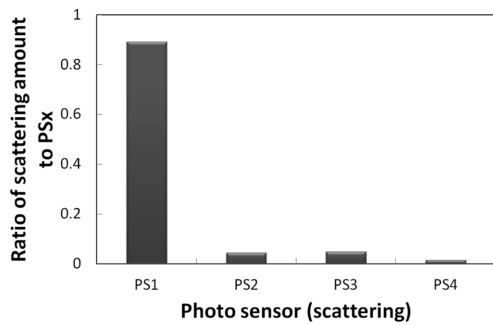


Figure 5. Test fires.



(a) Amounts of scattering and extinction



(b) The scattering ratio to each PS

Figure 6. Optical characteristics of smoke particles for PF.

산란보다 흡수에 의한 소광이 발달한 영역으로 생각된다. 실험이 진행되는 시간 동안 산란량이 0인 영역의 비율(이하, 흡수율)은 10% (0.1)로 나타났다. Figure 6 (b)는 Figure 6 (a)에서 PS1, PS2, PS3 및 PS4로 산란된 산란량의 비율(이하, 산란율)을 보여준다. PS1이 90%, PS2가 4%, PS3가 5%, PS4가 1%였다.

Figure 6의 결과로부터 얻어진 흡수율과 4개의 산란율을 Figure 4에 있는 신경망의 입력으로 사용하였다. 즉, 흡수율은 X_0 , PS1의 산란율은 X_1 , PS2의 산란율은 X_2 , PS3의 산란율은 X_3 , PS4의 산란율은 X_4 로 사용하였다. 신경망의 출력은 O_1 이 종이화원, O_2 가 목재화원, O_3 이 인화성 액체

화원을 나타내도록 학습시켰다.

Table 1은 이상의 신경망을 훈련시킬 때 사용한 학습자료들을 보여준다. Learning for paper fire (LP)1과 LP2는 종이화원의 특징을 훈련시키기 위한 학습자료이다. 26° 부근으로 산란이 집중되는 특징을 훈련시키기 위해, LP1과 LP2에서 PS1의 값은 1.0으로 매우 크게 설정하였고, 나머지 산란율은 0.0으로 매우 작게 설정하였다. 흡수율은 매우 작기 때문에 0.0 혹은 0.1로 설정하였다. Learning for wood fire (LW)1과 LW2는 목재화원에 의한 연기의 특징을 학습시키기 위한 자료들이다. 모든 각으로 산란이 이루어지면서 전방산란이 다소 우세했던 특징을 훈련시키기 위해 PS1과 PS2 값은 각각 0.35로 크게, PS3과 PS4는 0.15로 작게 설정하였고, 흡수율도 0.0 또는 0.1로 작게 설정하였다. Learning for flammable liquid fire (LFL)1에서 LFL3은 인화성 액체화원에 의한 연기의 특징을 학습시키기 위한 자료이다. 흡수가 소광의 주요 원인이므로 흡수율을 0.9로 매우 높게 설정하였고, 산란 패턴은 일정하지 않아 산란율을 종이와 목재의 산란율로 각각 사용하였다. LFL3은 흡수가 100%인 경우를 모의한 것이다. 따라서 모든 산란율은 0.0이고, 흡수율은 1.0이다.

목표치(desired output)는 신경망의 출력이 종이화원일 때 $O_1 = 1.0$, $O_2 = 0.0$, $O_3 = 0.0$, 목재화원일 때 $O_1 = 0.0$, $O_2 = 1.0$, $O_3 = 0.0$, 인화성액체 화원일 때 $O_1 = 0.0$, $O_2 = 0.0$, $O_3 = 1.0$ 이 되도록 설정되었다.

신경망을 6,703회 학습시킨 결과 출력값(actual output)의 오차율이 1.0% 이하인 신경망이 얻어졌다. Table 2는 신경망의 학습결과를 보여준다.

4.2 신경망을 이용한 화원의 분석

신경망을 이용하여 종이화원, 목재화원, 인화성 액체화원에 대해 실험을 각각 5회씩 수행하고 그 결과를 Table 3에 나타내었다. PF1에서 PF5를 보면 O_1 은 0.95보다 크고 O_2 와 O_3 는 0.02보다 작다. 즉, 출력이 종이화원의 목표값인 $O_1 = 1.0$, $O_2 = 0.0$, $O_3 = 0.0$ 에 근접하기 때문에, 신경망은 PF들에 대하여 화원을 종이로 추정하고 있음을 알 수 있다. WF1에서 WF5를 보면 O_2 는 0.93보다 크고 O_1 과

Table 1. Learning Set of Neural Networks to Analyze Fire Source

	Input signals					Desired output		
	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	O_1	O_2	O_3
LP1	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
LP2	0.100	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
LW1	0.000	0.350	0.350	0.150	0.150	0.000	1.000	0.000
LW2	0.100	0.350	0.350	0.150	0.150	0.000	1.000	0.000
LFL1	0.900	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
LFL2	0.900	0.350	0.350	0.150	0.150	0.000	0.000	1.000
LFL3	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

Table 2. Result of Learning of Neural Networks

	Input signals					Actual output		
	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	O_1	O_2	O_3
LP1	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.995	0.008	0.002
LP2	0.100	1.000	0.000	0.000	0.000	0.990	0.003	0.006
LW1	0.000	0.350	0.350	0.150	0.150	0.008	0.995	0.002
LW2	0.100	0.350	0.350	0.150	0.150	0.003	0.990	0.006
LFL1	0.900	1.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.994
LFL2	0.900	0.350	0.350	0.150	0.150	0.000	0.007	0.995
LFL3	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.996

Table 3. Results of Fire Source Analysis Using Neural Networks for PF, WF, or FLF

Fire source	Input signals					Actual output		
	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	O_1	O_2	O_3
PF1	0.100	0.970	0.000	0.030	0.000	0.986	0.005	0.006
PF2	0.100	0.993	0.007	0.000	0.000	0.989	0.004	0.006
PF3	0.000	0.967	0.033	0.000	0.000	0.993	0.012	0.002
PF4	0.100	0.893	0.044	0.049	0.014	0.960	0.013	0.007
PF5	0.100	0.868	0.001	0.112	0.020	0.953	0.014	0.007
WF1	0.100	0.139	0.746	0.115	0.000	0.000	0.999	0.006
WF2	0.000	0.338	0.349	0.168	0.145	0.007	0.996	0.002
WF3	0.100	0.249	0.210	0.090	0.452	0.002	0.992	0.007
WF4	0.100	0.443	0.222	0.066	0.269	0.020	0.938	0.006
WF5	0.100	0.355	0.077	0.312	0.256	0.010	0.962	0.009
FLF1	0.800	0.409	0.540	0.000	0.051	0.000	0.022	0.984
FLF2	0.900	0.408	0.538	0.054	0.000	0.000	0.009	0.994
FLF3	0.900	0.164	0.000	0.000	0.837	0.000	0.009	0.996
FLF4	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.996
FLF5	0.900	0.310	0.465	0.000	0.225	0.000	0.015	0.993

O_3 는 0.02보다 작다. 출력이 목재화원의 목표값인 $O_1 = 0.0$, $O_2 = 1.0$, $O_3 = 0.0$ 에 근접하기 때문에 신경망이 WF들에 대하여 화원을 목재로 추정하고 있음을 알 수 있다. FLF1에서 FLF5의 출력을 보면 인화성 액체화원의 목표값인 $O_1 = 0.0$, $O_2 = 0.0$, $O_3 = 1.0$ 에 근접하고 있기 때문에 신경망이 FLF들에 대하여 화원을 인화성 액체로 추정하고 있음을 알 수 있다. 신경망이 종이화원, 목재화원 및 인화성 액체화원의 연기입자로부터 화원들을 정확하게 추정하고 있다.

Table 4는 종이-목재화원, 종이-인화성 액체화원 및 목재-인화성 액체화원을 대상으로 실험을 수행하고, 신경망을 이용하여 이 값들로부터 화원을 분석한 결과를 보여준다.

종이-목재 화원인 PWF1에서 PWF5를 보면, X_1 의 값이 0.47에서 0.80 사이에 존재한다. 이 값들을 Table 3의 X_1 값들과 비교했을 때, PF보다 작고, WF보다는 크다. 흡수율인 X_0 의 값은 모두 0.0이다. 한편, 신경망의 분석 결과를 보면,

O_1 은 0.09에서 0.94 사이에 있고, O_2 는 0.10에서 0.95 사이에 있지만, O_3 는 0.002보다 작다. 이 결과는 신경망이 종이와 목재를 PWF의 화원으로 추정했음을 의미한다.

종이-인화성 액체화원인 PFLF1에서 PFLF5를 보면, X_1 에서 X_4 의 값 중 X_1 의 값이 가장 크다. 이는 Table 3의 PF와 동일한 특징이다. 한편 X_0 의 값은 PF일 때 보다 PFLF일 때가 더 크다. 이러한 이유들 때문에 PFLF는 종이화원의 성질을 가지고 있지만 인화성 액체화원의 성질도 가지고 있다고 볼 수 있다. 신경망의 분석결과 중 PFLF3를 제외하면, O_1 은 0.13에서 0.75 사이에 있고, O_3 는 0.13에서 0.46 사이에 있지만 O_2 는 0.02보다 작다. 즉, 신경망은 종이와 인화성 액체를 PFLF의 화원으로 추정한 것이다. PFLF3의 경우 X_1 의 값이 0.67로 다소 낮았기 때문에 신경망이 종이화원의 존재를 분석하지 못한 것으로 생각된다.

목재-인화성 액체화원인 WFLF1에서 WFLF5를 보면, X_1 에서 X_4 의 값들 중 다수가 큰 값을 가지는 것을 볼 수

Table 4. Results of Fire Source Analysis Using Neural Networks for PWF, PFLF, or WFLF

Fire source	Input signals					Actual output		
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	O ₁	O ₂	O ₃
PWF1	0.000	0.802	0.106	0.000	0.092	0.934	0.122	0.001
PWF2	0.000	0.794	0.000	0.206	0.000	0.943	0.097	0.002
PWF3	0.000	0.560	0.088	0.122	0.230	0.339	0.803	0.002
PWF4	0.000	0.675	0.163	0.058	0.104	0.632	0.561	0.001
PWF5	0.000	0.466	0.127	0.195	0.212	0.091	0.951	0.002
PFLF1	0.400	0.981	0.000	0.000	0.019	0.747	0.001	0.275
PFLF2	0.300	0.744	0.152	0.004	0.100	0.207	0.019	0.134
PFLF3	0.400	0.672	0.128	0.200	0.000	0.030	0.017	0.518
PFLF4	0.400	0.784	0.088	0.128	0.000	0.133	0.004	0.460
PFLF5	0.400	0.877	0.000	0.123	0.000	0.420	0.001	0.394
WFLF1	0.400	0.398	0.193	0.263	0.147	0.001	0.443	0.461
WFLF1	0.400	0.345	0.299	0.228	0.128	0.000	0.743	0.377
WFLF2	0.400	0.097	0.775	0.011	0.118	0.000	0.996	0.110
WFLF3	0.400	0.000	0.621	0.000	0.379	0.000	0.997	0.130
WFLF3	0.600	0.208	0.000	0.792	0.000	0.000	0.248	0.938

있다. 이는 Table 3의 WF와 유사하다. 다만 X₀의 값이 매우 크다. 한편 신경망의 분석결과를 보면, O₁은 0.001보다 작지만, O₂는 0.25에서 1.0 사이에 있고, O₃는 0.11에서 0.94 사이에 있다. 신경망은 목재와 인화성 액체를 WFLF의 화원으로 추정했음을 알 수 있다.

이상과 같이 종이, 목재, 인화성 액체 화원에 대한 광학적 특징을 교육시킨 신경망을 이용하여 종이화원, 목재화원, 인화성 액체화원, 종이-목재화원, 종이-인화성 액체화원, 목재-인화성 액체화원들의 연기로부터 화원을 분석한 결과 구성 화원들을 모두 검출해 내는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구는 UL268에서 연기감지기 시험에 사용되는 세 가지 화원에 대한 연기의 광학적 특징을 신경망에 교육시킨 후, 연기로부터 화원을 구별하고자 시도하였다. 광학적 특징을 신경망에 접목시키기 위해 본 연구는 산란율과 흡수율을 정의하고 사용하였다. 교육받은 신경망으로 종이, 목재, 인화성 액체, 종이-목재, 종이-인화성 액체 및 목재-인화성 액체 화원을 대상으로 연기로부터 화원을 검출하는 실험을 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 종이화원, 목재화원, 인화성 액체화원 등 하나의 화원으로 구성된 연기의 경우 각각 5회씩 수행된 실험에서 신경망은 연기로부터 화원을 모두 정확하게 구별해냈다. 즉 단일 화원에 의한 연기는 모두 정확하게 구별하였다.

둘째, 종이-목재화원, 종이-인화성 액체화원, 목재-인화성 액체화원 등 두 가지 화원으로 구성된 연기의 경우도

각각 5회씩 실험이 수행되었다. 총 15회의 실험 중, 14회의 실험에서 신경망은 두 가지 화원을 모두 정확하게 구별하였고, 오직 한번 종이-인화성 액체화원 실험에서 인화성 액체만을 검출했다. 즉, 두 가지 화원에 의한 연기는 적어도 하나의 화원은 정확하게 검출하였으며, 대부분의 경우 두 가지 화원을 모두 검출해 내는 것을 확인하였다.

이상의 결과를 바탕으로 연기로부터 화원을 분석할 수 있는 감지기를 개발함으로써 화재별 최적의 소화약제를 자동으로 선택해 줄 수 있는 자동화재탐지설비 개발로 이어질 수 있을 것이다. 또한 이들 감지기 정보는 화재감식의 자료로도 유용할 것이다.

References

1. National Emergency Management Agency, "Safety Guides for the Automatic Fire Alarm System (NFSC 203)", Notification No. 2012-91 (2012).
2. S. W. Jee, C. H. Lee, S. K. Kim, J. J. Lee and P. Y. Kim, "Development of a Traceable Fire Alarm System Based on the Conventional Fire Alarm System", Fire Technology (DOI:10.1007/s10694-012-0299-0), pp.1-18 (2012).
3. R. W. Bukowski and Wayne D. Moore, "Fire Alarm Signaling Systems 3 Edition", NFPA Inc., pp. 84-176 (2003).
4. G. T. Jung, "A Study on Design of a Fire Smoke Detector with Auto-tuning Sensitivity for Prevention of False Alarm", MS Thesis, Univ. of Seoul, Korea (2003).
5. F. Derbel, "Performance Improvement of Fire Detectors by Means of Gas Sensors and Neural Networks", Vol.

- 39, Issues 5, pp. 383-398 (2004).
6. R. Siebel, "Test of Fire Detection Algorithms Using Artificially Generated Events", *Fire Safety Journal*, Vol. 41, Issues 4, pp. 258-265 (2006).
 7. S. W. Jee, S. K. Kim, J. J. Lee, P. Y. Kim and C. H. Lee, "Development of the Low Power Stand-Alone Smoke and Heat Detector for the Reliability Improvement", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 26, No. 1, pp. 62-68 (2011).
 8. M. Loepfe, P. Ryser, C. Tompkin and D. Wieser, "Optical Properties of Fire and Non-fire Aerosols", *Fire Safety Journal*, Vol. 29, Issues 2-3, pp. 185-194 (1997).
 9. S. W. Jee and J. H. Lee, "Optical Properties for Smoke Particles of Fire Sources According to UL 268", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 28, No. 2, pp. 1-5 (2014).
 10. William C. Hinds, "Aerosol Technology", Translation of Korean Language, ShinKwang MunHwa Publishing Co., pp. 379-412 (1995).
 11. R. W. Bukowski, "Smoke Measurements in Large- and Small-Scale Fire Testing - Part I", *Fire Technology*, Vol. 15, Issue 3, pp. 173-179 (1979).
 12. Bart Kosko, "Neural Networks and Fuzzy Systems", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, pp. 38-261 (1992).