

주성분 분석 기법을 이용한 침윤소화약제의 일치성 분석

김성수 · 조남욱* · 이동호**

인천대학교 대학원, *한국건설기술연구원, **인천대학교 소방방재연구소

침윤소화약제는 소화용수와 혼합시 표면장력을 저하시켜 침투성을 향상시키는 약제로 다공성·적층물질의 화재를 진압하기 위하여 사용된다. 목조건물 및 다공성물질, 적층물질에서 화재가 발생한 경우, 일반소화용수로는 재발화의 가능성이 있는 물질의 심부까지 침투하기 어려워 심부화재로 진이될 가능성이 높다.. 따라서 소화용수에 침윤소화약제를 혼합함으로써 침투성능을 향상시켜 연소물질 심부의 화재를 진압하며 이에 대한 기준 연구가 절실히 요구되고 있는 현시점에서 침윤소화약제의 성능을 평가할 수 있는 기법의 필요성 또한 커지고 있다.

이에 본 연구에서는 분석학적 기법을 통하여 침윤소화약제의 성분에 대하여 제품별 공통 성분과 제품별 특성성분 데이터를 지문영역으로 확보하였다. 이러한 일치성 평가를 실시함으로써 인증을 득한 소화약제의 사후 관리 기법으로 활용하고자 기초연구를 실시하였다.

1. N-IR 분석

Figure 1과 같은 푸리에 변환 근적외선 분광분석기인 MPA(Germany, Bruker Optics GmbH)로 국내외에서 주로 사용되는 침윤소화약제 8종의 시료를 분석하였다. 광원으로는 텅스텐 할로겐램프를 사용하였으며, PbS 검출기를 사용하였다. Table 1과 같이 측정조건을 설정하여 근적외선 영역 중 $12,000\sim 4,000\text{cm}^{-1}$ 의 영역을 측정하였으며, 8cm^{-1} 간격으로 스펙트럼을 측정할 수 있도록 설정하였다.

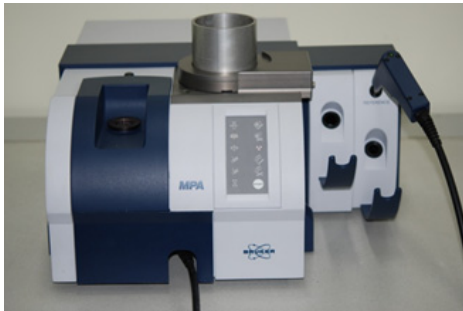


Figure 1. N-IR (Near Infrared Spectroscopy)

Table 1. Limiting Oxygen Indices of Various Materials

측정범위	$12,000\sim 4,000\text{ cm}^{-1}$
Resolution	8 cm^{-1}
Sample Scan	32 Scan

2. 주성분 분석

N-IR에서 측정된 스펙트럼의 일치성분석을 위하여 농산물의 원산지, 유사위발유 여부, 내화피복재의 판별 등에 이용되며 얼굴 인식기술에도 사용되는 기법인 주성분 분석(PCA : Principal component analysis)을 적용하였다. 데이터 포인트가 많은 고차원의 신호를 낮은 차원으로 변환하는 기법인 주성분 분석은 대표성을 유지하면서 데이터수를 감소시키는 통계적 기법이다.

본 분석에서는 8종의 분석대상 약제를 각 5회씩 N-IR로 분석된 스펙트럼을 통계적 처리로 침윤

소화약제 제품 간의 스펙트럼차이를 정량화하였다. 침윤소화약제 제품 간의 스펙트럼 차이는 상관 계수(r)을 통하여 계산하였으며, 두 개의 함수 $y_1(k)$ 와 $y_2(k)$ 의 상관계수(r)는 두 표준편차(σ_1, σ_2)의 곱과 함수 $y_1(k)$ 와 $y_2(k)$ 의 공분산[Cov($y_1(k), y_2(k)$)] 과의 비로 계산된다. r 값은 -1 (정반대 스펙트럼)과 $+1$ (일치하는 스펙트럼) 사이에 결정된다. r 값이 $-1 < r < 0$ 인 경우 일치성은 0%이며, $0 < r < 1$ 일 경우 0%~100%의 일치성으로 표시된다. 위와 같은 일련의 주성분 분석은 “Unscrambler” 프로그램을 통하여 x (eigen scalar)데이터를 λ (eigen vector)로 변환하여 일치성을 분석하였다.

3. 분석 결과

Figure 2는 침윤소화약제를 N-IR로 분석한 결과이다. 8종의 침윤소화약제 스펙트럼은 대부분의 영역에서 유사한 형태를 보이나 $7,000\text{cm}^{-1}$, $5,700\text{cm}^{-1}$, $4,400\text{cm}^{-1}$ 부근에서는 제품별로 조금씩 차이가 존재함을 확인하였다. 이러한 차이를 눈으로 판별하는 것은 가능하나 미지시료의 스펙트럼이 어떤 제품의 스펙트럼과 가장 유사한가에 대해서는 분석이 어렵다. 이에 이 차이를 정량적으로 비교하기 위하여 주성분 분석 기법을 도입하였으며, 8종의 침윤소화약제 스펙트럼을 일괄적으로 분석하였음에도 Figure 3과 같이 Vector로 도출되며 각 제품별로 밀집되어 제품군을 형성, 구분할 수 있음을 확인하였다.

이러한 차이는 각 제품별 스펙트럼을 주성분 분석 기법에 따라 분석하여 그 차이에 기초한 결과이다. 포인트의 거리가 가까운 제품일수록 유사한 스펙트럼을 가지는 것으로 분석되기 때문에 이를 통하여 미지시료가 어떤 제품인지를 확인할 수 있음과 동시에, 명칭이 확인된 제품으로부터 랜덤 샘플링된 시료가 인증 절차를 진행하던 때와 차이가 있는지를 밝혀낼 수 있는 사후 품질관리 기법으로 이용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

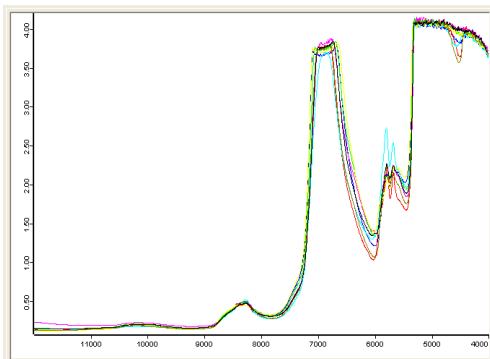


Figure 2. N-IR Spectrum

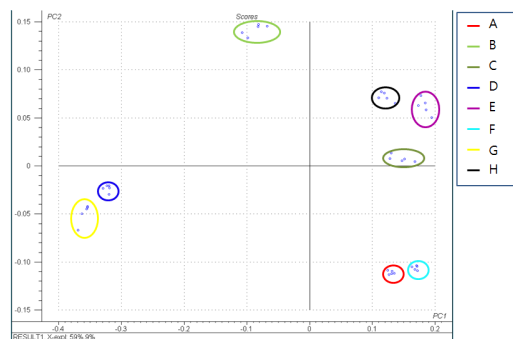


Figure 3. PCA Analysis Result

4. 결론

IR 스펙트럼을 이용한 일치성 분석 결과, 각 제품별로 군집을 형성하여 구분이 가능함을 확인하였다. 이는 각 제품별 고유 지문 영역을 Database화하여 인증후의 제품과 비교, 분석함으로써 정량적인 일치성 분석이 가능하여, 인증을 득한 침윤소화약제의 사후관리기법으로 적용할 수 있을 것으로 사료된다.