

## 실규모 심부화재 소화특성에 관한 연구

김남균 · 이동호\*<sup>†</sup>

인천대학교 대학원, \*인천대학교 소방방재연구소

### A Study of Fire Extinguishment Characteristic for the Real Scale Deep-Seated Fire

Nam-Kyun Kim · Dong-Ho Rie\*<sup>†</sup>

Graduate School, Incheon National University

\*Fire Disaster Prevention Research Center, Incheon National University

(Received February 4, 2015; Revised March 27, 2015; Accepted March 31, 2015)

#### 요 약

본 연구는 침윤소화약제의 소화성능평가를 위해 실규모 소화실험을 수행하였다. 실험은 '수동식소화기의 형식승인 및 검정기술기준'에 명시되어 있는 A급 소화실험 방법에 따라 진행하였으며, 목재 외에도 목분과 왕겨를 대상으로 실험을 진행하였다. 소화용수는 물과 국내에서 사용되고 있는 3종의 침윤소화약제를 사용하여 성능평가 실험을 진행함으로써 물과 침윤소화약제의 명확한 변별력을 확인하고자 하였다. 실험 결과 물의 경우에서 내부 온도의 유지시간이 길게 유지되고 침윤소화약제의 경우 빠른 온도 하강을 나타냄을 확인하였으며, 시간에 따른 온도분포를 통해 소화능력의 변별력을 확인하였다. 본 실험 결과를 바탕으로 추후 최적화 침윤소화약제 성능평가 방법을 제시하는데 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### ABSTRACT

Real scale fire tests was carried out for extinguishing performance evaluation of the wetting agent. The experiment was conducted in accordance with a Class A fire extinguishing test methods specified in the 'Type Approval of the Manual System Fire Extinguisher and Technical Standards of Test'. In addition, the subjects of this experiment were the wood flour and rice husk. Fire-fighting water, the three kinds of wetting agents used in the country and this study was used, was undertaken to determine a clear discrimination of the water and wetting agent. In the experimental results, it was confirmed that the internal temperature is maintained long time in the case of water. The internal temperature were rapidly lowered in the experiment of wetting agents. Therefore, the discrimination of extinguishing ability was confirmed by the temperature distribution in accordance with time. Based on the results of this experiment, this study is expected to be used as a underlying material on presenting a method of optimized performance evaluation of wetting extinguishing agent.

**Keywords :** Deep-seated fire, Wetting agent, Real scale fire test, Extinguishing performance

#### 1. 서 론

2003년 12월 17일 발생한 청도 대흥농산 화재사건은 용접 불티에 의해 발생하였다. 버섯 재배 공장의 특성 상 공장 내부에는 다량의 목분과 쌀겨가 적재되어 있었다. 화재는 목분에 용접 불티로 인해 1차 표면화재가 발생하고 화재 확산이 진행되었으며, 목분과 쌀겨 내부로의 열전달이 발생함에 따라 열원이 이동하면서 2차 심부화재가 발생하였다. 소화를 위해 살수한 소화용수는 내부로 침투되지 못하였고 화재는 3일만에 진화되었으며, 다공성 물질 내부 훈소로 발

생한 독성가스로 인해 12명의 희생자가 발생하였다<sup>(1)</sup>. 심부화재는 청도 대흥농산의 화재사례와 같이 다공성 고체가연 물질에서 발생하는 화재의 한 형태로서 가연물 내부에서 연소하는 화재를 의미한다<sup>(2,3)</sup>. 산소가 부족한 환경의 경우, 목분과 왕겨 등 입도가 작은 분체형 다공성 물질들은 산화제와 접촉하는 면적이 목재보다 넓어 훈소가 발생하기 쉽고, 목재의 경우 동일 환경에서 화재가 자연소멸하기 쉽다<sup>(4)</sup>. 또한 이러한 분체형의 다공성 물질은 적재 시 입자 사이에 공기 기포를 포함하여, 외부로부터의 공기유입이 차단된 공간에서도 훈소가 발생할 수 있다<sup>(5,6)</sup>. 현재 주 소화용수로 사

<sup>†</sup>Corresponding Author, E-Mail: riedh@incheon.ac.kr  
TEL: +82-32-835-8293, FAX: +82-32-835-4749

용되고 있는 물을 사용하여 심부화재를 진압하는 경우 표면 장력이 높은 물이 침투되기 어려운 다공성 물질의 심부는 잠재적 위험요인으로 작용하며, 바람이나 기타 외력으로 인한 산소와의 접촉 시 재발화 위험성을 내포하고 있다<sup>(7)</sup>. 따라서 심부화재의 경우 고온의 다공성 물질이 서서히 냉각 되므로 소화용수의 침투성이 우수하여 내부열원에 직접적인 도달을 통한 열원 소거가 진행되어야 하며, 소화용수의 내부 잔존시간이 길게 유지되어야 한다<sup>(8)</sup>. 또한 심부화재 소화의 효율성을 증대시키기 위해 침윤소화약제를 첨가함으로써 소화용수의 물리·화학적 성상을 변화시켜 화재진압에 효율적으로 대처하는 것이 중요하다.

다공성 물질별 심부화재 구현 및 전이속도에 관한 연구로써 El-Sayed 등의 연구와 Torero 등의 연구, Palmer의 연구, 김진수 등의 선행 연구가 진행된 바 있다<sup>(9-12)</sup>. 하지만 이에 대한 소화에 관한 연구는 진행이 미미한 상태이다. 또한 김남균 등의 축소모형 실험장치를 통한 심부화재 소화 연구와 기존 약제의 성능 평가에 관한 연구가 선행연구로써 수행되었으나 화재 규모에 따른 연구가 부족한 상황이다<sup>(13,14)</sup>. 이에 실규모 화재실험을 통한 침윤소화약제 소화성능 연구의 필요성이 있다.

본 연구에서는 침윤소화약제의 소화성능평가를 위한 실규모 화재실험을 통하여 물과 침윤소화약제의 소화능력의 변별력을 확인하고자 하였다. 이를 위하여 현재 사용되고 있는 심부화재 진압용 침윤소화약제의 기술기준인 ‘소화약제의 형식승인 및 제품검사의 기술기준 고시(2012-57호)’에서 제시하고 있는 실규모 A급 목재 실험과 대홍농산 화재사건을 야기한 목분과 왕겨를 대상으로 실험조건인 설정 및 약제별 실험을 통해 침윤소화약제의 소화성능에 관한 결론을 도출하였으며, 이를 바탕으로 심부화재 피해 저감을 위한 침윤소화약제 성능평가 기법 연구의 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 식물화재 실험 장치 구축

Figure 1은 실험에 사용된 실험 장치로 심부화재에 대한 침윤소화약제의 소화성능평가를 위하여 제작되었다.

실험 장치는 살수부와 연소부로 구분할 수 있다. 살수부는 소화용수 저장을 위한 100 L 소화용수탱크(①)와 소화용수에 압력을 가하기 위한 소방펌프(②), 살수 조건의 표준화를 위한 유량계(③)와 압력계(④), 그리고 시료 표면에 동일한 소화용수 공급을 위한 분사노즐(⑤)로 구성된다. 분사노즐의 경우 내부 VANE에 의한 원형분사로 전면적에 걸쳐 균등한 유량분포를 확보할 수 있는 원형분사노즐을 선택하였으며, 오리피스 직경 3.5 mm, 분사각 45°인 분사노즐을 사용하였다. 또한 연소부는 다공성 물질을 적재하는 시료부(⑥)와 시료 내부 온도 측정을 위한 열전대(Thermocouple, K Type, 이하, T/C로 표기, ⑦, ⑧, ⑨) 화

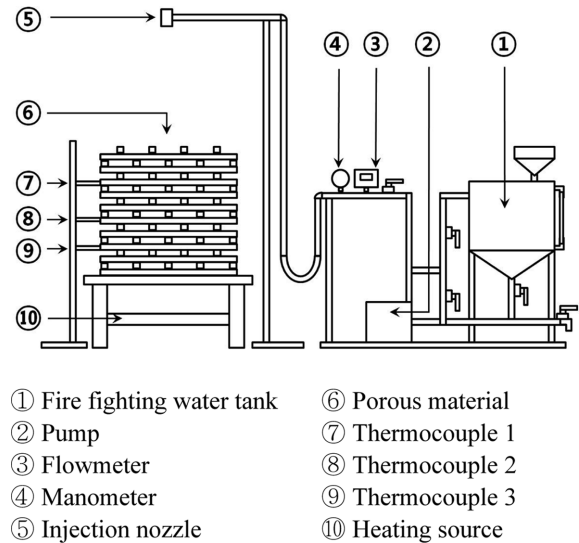


Figure 1. The composition of measurement system.

재구현을 위해 시료를 가열하는 가열부(⑩)로 구성된다. 시료부와 가열부는 시료에 따라 다른 형태를 가진다. 목재의 경우 ‘소화약제의 형식승인 및 제품검사의 기술기준 고시(2012-57호)’에서 제시하고 있는 실규모 A급 목재 실험 기준에 따라 시료를 적재하였으며, 헵탄을 사용하여 가열하였다<sup>(15)</sup>. 목분과 왕겨의 경우 분체형태를 나타내기 때문에 실린더형의 시료 홀더를 제작하여 실험을 진행하였다. 홀더의 직경은 60 cm, 높이 1 m이며, 하단부는 시료의 이탈을 방지하기 위해 메쉬를 설치하였다. 또한 심부화재 구현을 위해 장시간 가열이 진행되어야 하기 때문에 LPG 주물버너를 사용하여 시료 가열을 실시하였다.

### 2.2 실험 재료 및 약제

#### 2.2.1 시료 조건

목재의 경우 ‘소화약제의 형식승인 및 제품검사의 기술기준 고시(2012-57호)’에서 제시하고 있는 기준에 따라 준비하였다. 목분의 경우 국내 사용 목재의 75%를 점유하고 있는 라디에타 파인(RADIATA PINE)의 원목 목분으로 선정하였으며<sup>(16)</sup>, Sieve Shaker(청계상공사, CG-211-8)를 통해 체가름하여 1,000~2,000 μm의 목분으로 실험하였다. 왕겨의 경우 전북 김제에서 생산된 쌀의 도정과정에서 회수한 왕겨를 사용하였다.

시료의 일정한 함수율을 유지하기 위해 80°C 조건의 건조기에서 62시간 건조 후 4시간 간격으로 반복 측정하여 시료의 질량 변화가 ± 1g이 되는 시점까지 완전 건조시켰으며, 식(1)에 의거하여 함수율을 계산한 결과 실험에 사용된 목재는 15.8%, 목분은 10.6%, 왕겨는 6.3%의 함수율을 가짐을 확인하였다<sup>(12,17)</sup>.

$$MC = \frac{W_m - W_d}{W_d} \times 100 \quad (1)$$

**Table 1.** Physical Properties of Extinguishing Agents that are Used in the Experiment

Wetting agent	Experimental concentration [%]	Recommended concentration [%]	Surface tension [mN/m]	Viscosity after dilution [cP]
Wetting agent A	0.75	0.5~1	31	1.036
Wetting agent B	0.55	0.1~1	34	1.017
Wetting agent C	1	1	26	1.027

MC: Moisture content [%]

$W_m$ : Weight of sample before overdry [g]

$W_d$ : Weight of sample after overdry [g]

2.2.2 약제의 선정

본 연구에서는 기초실험에서 사용된 국내·외 시판되는 약제 중 현재 인증절차를 거쳐 국내에서 실제 사용되고 있는 약제 3종을 통해 실험결과를 도출하였다. Table 1은 해당 약제들의 물리적 특성을 나타낸다. 약제의 농도는 범위값으로 사용농도가 지정된 약제의 경우 농도에 따른 실험 오차의 편차를 최소화하기 위해 권장사용농도의 중간값으로 실험을 진행하였다.

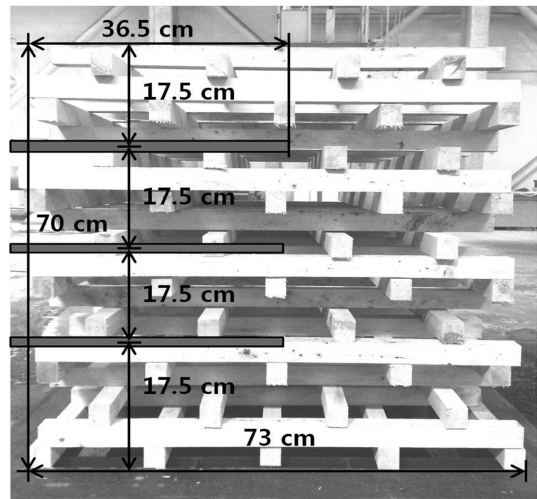
2.3 실험방법

본 연구의 실규모 소화실험은 침윤소화약제의 소화능력을 확인하기 위해 수행하였다. 이를 위해 기존에 사용되던 A급 목재 실험과 목분과 왕겨를 사용한 실험을 수행하여 결과를 비교분석하였다.

실험은 소화가 진행될 때까지 살수를 실시하였으며 T/C를 통해 내부 온도를 측정하여 물의 증발이 발생하는 100°C를 기준으로 소화여부를 판별하였다.

목재는 ‘소화약제의 형식승인 및 제품검사의 기술기준 고시(2012-57호)’에서 제시하고 있는 실험 기준에 따라 적치하였으며, 가열, 살수 시점 또한 고시에서 제시하고 있는 실험 기준에 따라 수행하였다<sup>(15)</sup>. 본 연구에서는 소화여부 판단에 있어 타 시료와의 표준화를 위해 기준에 명시되어 있는 육안으로의 소화여부를 포함하여 내부 온도 측정을 통한 소화여부 판단을 위해 T/C를 설치하였다. T/C는 시료의 하단부를 기준으로 하여 17.5/35/52.5 cm에 설치하여 실시간 온도 데이터를 기록하였다. Figure 2는 A급 소화실험에서의 T/C 위치를 나타낸다.

분체형 시료의 경우 가열에 따른 시료 소실을 고려하여 시료 높이 20 cm를 유지하였으며 버너와 시료의 간격은



**Figure 2.** The position of thermocouple on the A class fire extinguishing test.

30 cm로 유지하였고, LPG 주불 버너는 3열 모두 최대 개방하여 실험을 진행하였다. 소화여부 판단을 위해 T/C를 설치하였으며, 선행연구인 축소모형 실험의 T/C 위치를 고수하되 가열원의 확대에 따라 시료 손실의 증가를 고려하여 시료의 하단부를 기준으로 5/8/11 cm에 설치하였다<sup>(13,14)</sup>. 목분의 경우 선행 연구의 목분 밀도 0.17 g/cm<sup>3</sup>를 유지하였으며, 왕겨의 경우 밀도 0.076 g/cm<sup>3</sup>를 유지하였다. 소화용수의 살수 시점은 김진수의 연구결과에서 왕겨의 경우 심부화재 구현 시 290°C의 내부온도를 유지함을 확인함으로써 이에 기초하여 심부화재 구현 이후 T/C가 290°C에 도달할 때 살수를 실시하였으며<sup>(12)</sup>, 목분 또한 같은 방법으로 심부화재 전이 온도를 측정하여 190°C에서 소화용수를 살수하였다.

Table 2는 실험의 공통 조건을 나타내며, Figure 3은 실험의 흐름도를 나타낸다.

실험은 3회 반복 시행하였으며 살수 직전 온도의 표준 편차가 T/C 2에서 가장 낮게 나타남으로써 T/C 2를 기준

**Table 2.** The Experimental Conditions of the Scale Model Experiment

Division	Experimental condition	Division	Experimental condition
Temperature	278 ± 3 K	Humidity	50 ± 5%
Pressure	1 atm	Flow rate of fire water	4.5 L/min
Height of injection	1 m	Angle of injection pattern (nozzle)	45°

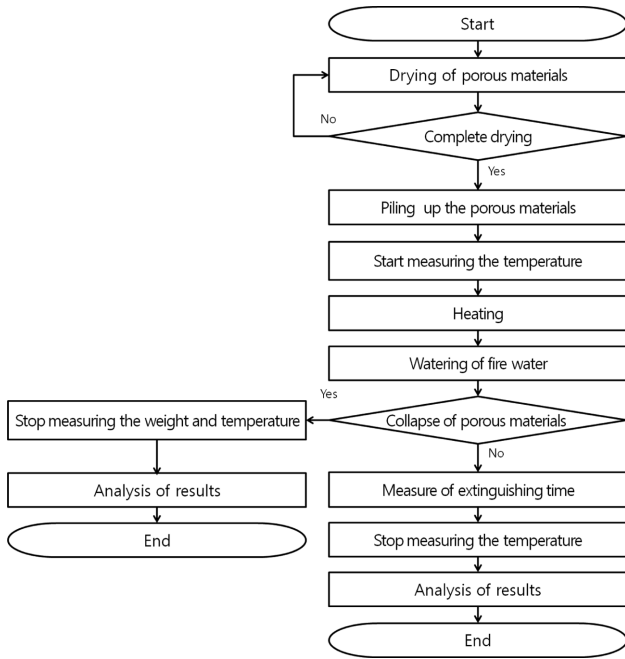


Figure 3. The flow chart of the scale model experiment.

으로 실험 결과를 분석하였다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 목재 실험결과

Figure 4는 목재에서의 살수 시점 이후 T/C 2의 온도 데이터를 나타낸다. 소화 시점을 물의 기화점인 100°C를 기준으로 하였을 때, 침윤소화약제들의 평균 소화시점은 살수 후 241.7초로 확인되었으며 목재 구조의 무너짐은 발생하지 않았다. 물의 경우 측정 시간 내에 소화가 이루어지지 않았으며, 살수 후 310초 시점에 목재 구조의 무너짐이 발생함으로써 소화용수의 살수에 의한 소화는 이루어지지 못하였다.

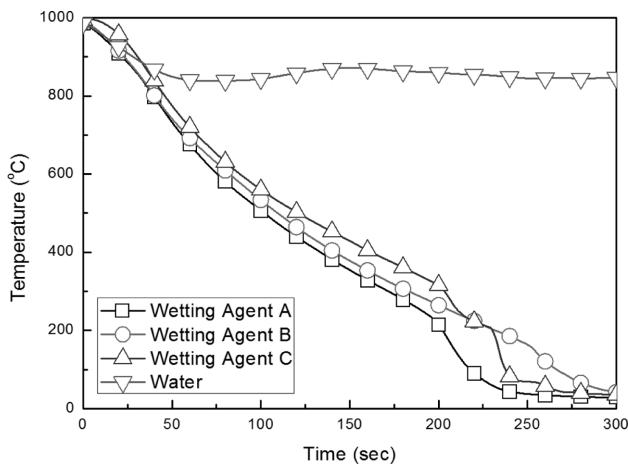


Figure 4. Real-time T/C 2 temperature data in wood crib.

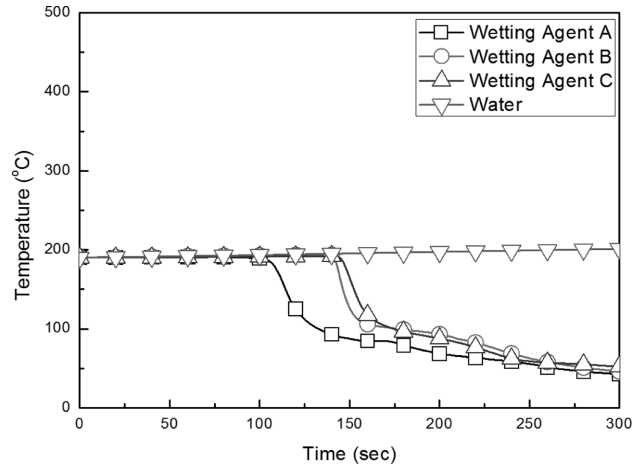


Figure 5. Real-time T/C 2 temperature data in wood flour.

#### 3.2 목분 실험결과

Figure 5는 목분에서의 살수 시점 이후 T/C 2의 온도 데이터를 나타낸다. 소화 시점을 물의 기화점인 100°C를 기준으로 하였을 때, 침윤소화약제들의 평균 소화시점은 살수 후 161초로 확인되었으며 물의 경우 살수 이후에도 지속적인 온도상승이 발생함으로써 소화에 도달하지 못하였다.

#### 3.3 왕겨 실험결과

Figure 6은 왕겨에서의 살수 시점 이후 T/C 2의 온도 데이터를 나타낸다. 소화 시점을 물의 기화점인 100°C를 기준으로 하였을 때, 침윤소화약제들의 평균 소화시점은 살수 후 115초로 확인되었으며 물의 경우 살수 이후에도 지속적인 온도상승이 발생함으로써 소화에 도달하지 못하였다.

## 4. 고 찰

Table 3은 T/C 초당 데이터들의 차를 통해 급격한 온도 변화가 발생하는 시점, 즉 소화용수가 T/C에 도달하는 시

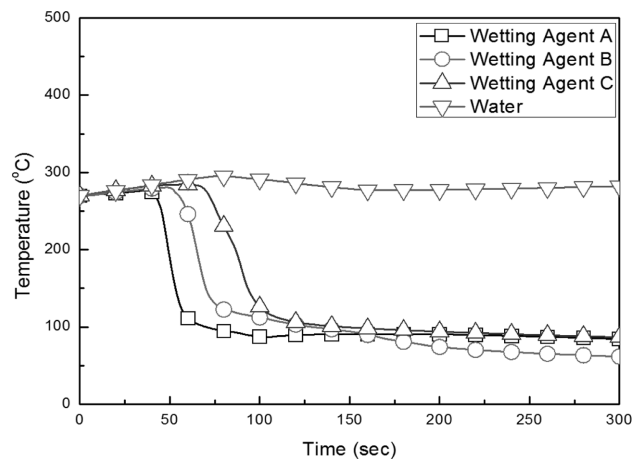


Figure 6. Real-time T/C2 temperature data in rice husk.

**Table 3.** The Experimental Result of Penetration Rate

Fire fighting water	Wood crib	Wood flour	Rice husk
Wetting agent A	40 cm/s	0.109 cm/s	0.256 cm/s
Wetting agent B	40 cm/s	0.080 cm/s	0.216 cm/s
Wetting agent C	40 cm/s	0.075 cm/s	0.157 cm/s
Average of agents	40 cm/s	0.088 cm/s	0.210 cm/s
Water	40 cm/s	Inextinguishable	Inextinguishable

점과 표면으로부터 T/C까지의 거리를 통해 침투속도를 산출한 결과를 나타낸다.

목재에서는 모든 경우에서 소화용수 살수와 동시에 T/C의 온도변화가 발생하며 목재 실험을 통해서 침투성능에 대한 성능평가가 어려움을 의미한다. 분체형 시료의 실험결과 목분과 왕겨 모두 물을 소화용수로 사용 시 소화용수가 T/C에 도달하지 못하여 T/C에서 명확한 온도변화가 나타나지 않음으로써 심부화재를 소화하지 못함을 확인하였다. 목분의 경우 침윤소화약제는 0.088 cm/s, 왕겨의 경우 210 cm/s를 나타냄으로써 목분에서 가장 느린 침투속도를 나타냈으며, 이는 분체의 입도와 재료 자체의 발수도 및 흡수도에서 기인한 것으로 판단된다.

물체가 가지고 있는 열량 Q는 식(3)에 의해 산출된다.

$$Q = c \times m \times \Delta T \tag{3}$$

여기서 c는 물체의 비열, m은 물체의 질량, ΔT는 온도변화를 나타낸다. 본 연구에서는 소화 효율을 산정하기 위해 소화용수 살수 시작시점의 물체의 열량을 기준으로 시간에 따른 열량의 비를 측정하였다. 같은 실험에 사용되는 재료와 열원, 가열시간은 동일하므로 시간에 따른 재료의 비열과 질량 변화가 모든 실험에서 동일하다고 가정하면, 열량의 시간에 따른 적분 값은 온도를 변수로 하는 함수로 정의된다. 이때 T/C의 온도가 물체 전체의 온도를 대변하는 것으로 가정하였으며, 목재의 경우 물의 실험결과에서 무너짐이 발생하여 무너짐이 발생하기 이전(살수 후 300초)까지의 데이터를 기준으로 결과를 산출하였다. 즉, 소화효율은 식(4)에 의해 산출된다.

Extinguishing Efficiency (%)

$$\begin{aligned}
 &= \left( 1 - \frac{\int Q_E dt}{\int Q_T dt} \right) \times 100 \\
 &= \left( 1 - \frac{c \times m \times \int \Delta T_E dt}{c \times m \times \int \Delta T_T dt} \right) \times 100 \\
 &= \left( 1 - \frac{c \times m \times \int (T_E - T_0) dt}{c \times m \times \int (T_T - T_0) dt} \right) \times 100 \tag{4}
 \end{aligned}$$

여기서 Q<sub>E</sub>는 실험 결과의 열량이며, Q<sub>T</sub>은 살수 시점의 열량이다. ΔT<sub>E</sub>는 시료의 최초 온도(T<sub>0</sub>, 25°C) 대비 실험

결과 온도(T<sub>E</sub>)의 증가량을 나타내며, ΔT<sub>T</sub>는 시료의 최초 온도(T<sub>0</sub>, 25°C) 대비 살수 시점의 온도(T<sub>T</sub>)의 증가량을 나타낸다.

소화 효율은 살수 시점 열량의 적분 값 대비 어느 정도의 열량 감소가 발생하였는지를 나타내는 지표이다. 여기서 열량의 비는 분자항과 분모항의 비열과 질량 소거를 통해 온도의 비와 같다. 따라서 소화 효율은 살수 시점 온도의 적분 값을 기준으로 실험의 온도 데이터 적분 값만큼의 온도 감소율을 나타낸다. 즉, 소화효율이 100%에 근접할수록 실험 시 소화가 빠르게 진행되어 급격한 온도감소를 나타내는 것으로 판단할 수 있으며, 소화가 이루어지지 않고 살수 이후에도 온도 상승이 발생함으로써 실험의 온도 데이터 적분 값이 살수 시점 온도의 적분 값을 넘어서는 경우 소화 효율은 (-)값을 가지게 된다.

Figure 7은 실험데이터에 기초하여 산출된 다공성 물질별 소화용수에 따른 소화효율을 나타낸다. 목재의 경우 약제 평균 소화효율은 57.3%를 나타냈으며, 물의 소화효율은 12.5%를 나타냈다. 목분의 경우 약제 평균 소화효율은 32.5%를 나타냈으며, 물의 소화효율은 -2.8%를 나타내어 시간이 지남에 따라 살수 이전의 온도보다 온도가 상승함을 확인했다. 왕겨의 경우 약제 평균 소화효율은 50.8%를 나타냈으며, 물의 소화효율은 -4.4%를 나타내어 목분의 경우와 같이 시간이 지남에 따라 살수 이전의 온도보다 온



**Figure 7.** Extinguishing efficiency result according to the experimental method and fire water.

도가 상승함을 확인했다. 약제평균과 물의 소화효율 차는 목재에서는 44.8%를 나타내며, 목분 35.3%, 왕겨 55.2%를 나타낸다. 이는 목분과 왕겨와 같은 분체형 다공성 물질의 경우 살수 시점부터 열원까지 도달하는데 소요되는 시간이 소화효율에 영향을 미치고 다공성 물질 별 살수 시점의 온도가 상이하기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 다공성 물질별 침윤소화약제 사용 여부에 따른 소화성능이 명확히 나타나기 때문에 실규모 화재실험을 통한 소화성능의 판단 또한 충분히 변별력이 있음을 확인하였다.

## 5. 결 론

실화재 실험을 통하여 목재와 목분, 왕겨를 대상으로 침윤소화약제의 소화성능평가를 진행하여 T/C 온도변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 소화용수 도달 시간을 토대로 침투속도를 분석한 결과 목재의 경우 침투성능 확인이 어려우며 분체형 다공성 물질에서 침투속도 산출이 가능하였고, 물의 경우 약제가 내부로 침투되지 못하는 것을 확인하였다.

(2) 물을 소화용수로 사용 할 경우 분체형 다공성 물질에서의 소화효율이 음의 값을 가지며, 목재 또한 소화용수의 지속적인 살수에도 불구하고 800°C를 유지함으로써 소화용수 살수 이후에도 심부화재가 소거되지 못함을 확인하였다. 반면, 침윤소화약제를 첨가할 경우 모든 시료에서 소화효율은 월등히 높아짐을 확인 하였다.

(3) 물과 약제의 소화효율 차는 목재에서 44.8%, 목분에서 35.3%, 왕겨에서 55.2%를 나타냄으로써 왕겨에서 가장 큰 차를 나타냈으며, 가장 낮은 목분의 경우 살수 시점의 온도와 침투시간의 영향으로 판단된다.

(4) 분체형 다공성 물질을 사용한 성능평가 시 침투속도 산출을 통한 침투성능 결과를 도출할 수 있으며, 소화성능 또한 기존 A급 목재실험과 유사한 결과 도출이 가능함으로써 침윤소화약제 성능평가의 경우 분체형 다공성 물질을 사용하는 것이 보다 명확한 결과 도출이 가능함을 실험적으로 규명하였다.

본 실험 결과를 바탕으로 추후 최적화 침윤소화약제 성능평가 방법을 제시하는데 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문은 인천대학교 2013년도 자체연구비(국제공동연구비) 지원에 의하여 연구되었음.

## References

1. S. C. Shin, B. W. Chun, Y. J. Kim, K. S. Kim, D. H. Choi and K. H. Kim, "Efficient Identification of Victim

by Genotyping of Personal Articles from Chungdo Fire Accident", Korean Journal of Forensic Science, Vol. 5, No. 3, pp. 186-192 (2004).

2. Fire Prevention Division of National Emergency Management Agency, "Carbon Dioxide Extinguishing of Safety Standards (NFSC 106)", NEMA Notice No. 2012-122 (2012).

3. I. C. Kong, I. K. Park, K. B. Lim and D. H. Rie, "A Study for Characteristics of Water that Penetrates Wood Flour due to Changes of Concentration of BDG", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 28, No. 3, pp. 74-79 (2013).

4. Korea Forest Research Institute, "Wood Plastic Composites", Korea (2012).

5. T. J. Ohlemiller, "Modeling of Smoldering Combustion Propagation", Prog. Energy Combust. Sci., Vol. 11, Issue 4, pp. 277-310 (1985).

6. Y. S. Kim, Y. C. Byun and J. H. Hwang, "Investigation and Theoretical Analysis of a Fire Accident Caused by Smoldering Combustion", Fire Science and Engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 3-17 (1999).

7. N. K. Kim, K. B. Lim and D. H. Rie, "A Study on Surface Absorption Dynamic Mechanism due to the Addition of a Surfactant in Cellulosic Combustibles", Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 12, No. 6, pp. 223-229 (2012).

8. National Fire Protection Association, NFPA 12, "Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems" (2005).

9. S. A. El-Sayed and T. M. Khass, "Smoldering Combustion of Rice Husk Dusts on a Hot Surface", Combustion, Explosion, and Shock Waves, Vol. 49, No. 2, pp. 159-166 (2013).

10. J. L. Torero and A. C. Fernandez-Pello, "Natural Convection Smolder of Polyurethane Foam, Upward Propagation", Fire Safety Journal, Vol. 24, No. 1, pp. 35-52 (1995).

11. K. N. Palmer, "Smoldering Combustion in Dusts and Fibrous Materials", Combustion and Flame, Vol. 1, No. 2, pp. 139-154 (1957).

12. J. S. Kim and D. H. Rie, "Downward Smoldering Fire Characteristics of Wood Chips and Wood Flour", Journal of KOSHAM, Vol. 13, No. 1, pp. 269-274 (2013).

13. N. K. Kim, K. B. Lim and D. H. Rie, "Validity Analysis of Scale Model Experiment for Wetting Agent Performance Evaluation", Fire Science and Engineering, Vol. 28, No. 2, pp. 14-19 (2014).

14. N. K. Kim, K. B. Lim and D. H. Rie, "Wetting Agent Performance Evaluation Using Scale Model", Fire Science and Engineering, Vol. 28, No. 2, pp. 20-25 (2014).

15. National Emergency Management, "Type Approval of the Extinguishing Agent and Technical Standards of Product Inspection", National Emergency Management

- Affairs Act 2012-57 (2012).
16. Y. S. Kim, "A Study on the Explosion Efficiency And Risk Assessment of Combustible Wood Dust by Using the Cone Calorimeter", University of Inchoen of Master's Thesis (2012).
  17. W. T. Simpson, "Drying and Control of Moisture and Dimensional Changes", Wood Handbook - Wood as an Engineering Material, Forest Product Laboratory U.S.D.A forest Service Madison, Wisconsin, Chapter 12, pp. 1-21 (1987).