

소방기술사 정규반 제 5 강의

: 제 1 장 연소기구 및 소방 ◦ 방화대책

소방기술사 박 성 수, 신 부 환 著

- 문제1) 연돌효과
- 문제2) 중성대
- 문제3) 연기의 확산요인
- 문제4) Smoke Hatch
- 문제5) 한계산소지수
- 문제6) 산소 발런스(OB)
- 문제7) 고분자물질의 연소
- 문제8) 케이블의 난연화 방법
- 문제9) 소방법상의 방염관련규정
- 문제10) 방염의 원리
- 문제11) 화재의 분류
- 문제12) K급 화재
- 문제13) D급 화재

문제1) 연돌효과(Stack Effect)

1. 개념

- ① 건물 내의 수직 공간 내부와 외부의 온도차가 있을 경우 연기가 수직공간을 상승하거나 하강하는데 이와 같은 현상을 연돌효과(굴뚝효과)라고 한다
- ② Stack effect : 최하층에서 최상층으로의 강한 통기력(수직방향)
Draft effect : 비화재실에서 화재실로의 강한 통기력(수평방향)

2. 원인

- (1) 이론적인 자연통기력(Natural draft)은 다음 식으로 나타낸다

$$D_t = 7.63 \times H \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_i} \right)$$

여기서, D_t : Stack Effect, H : Height [ft]
 T_0 : Outside Temp [°F], T_i : Inside Temp [°F]

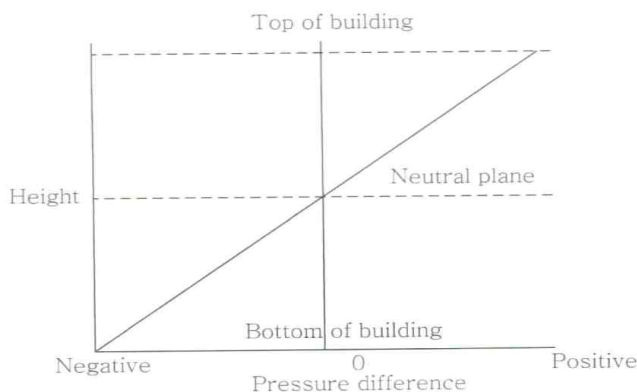
- (2) 연돌효과로 인한 수직통로의 상하간 압력차

$$\Delta P = K \times \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_i} \right) \times h [Pa]$$

여기서, ΔP : 압력차 [Pa], K : 상수 (대기압 하에서는 3,460)
 T_0 : 건물 외부의 온도 [K], T_i : 건물 내부의 온도 [K]
 h : 중성대로부터의 높이

- (3) 건물 내의 기류이동은 자연 통기력 또는 연돌효과에 의하여 발생한다

- ① $T_0 < T_i$: 공기는 수직으로 상승(정상 연돌효과)
- ② $T_0 = T_i$: 자연기류의 이동이 없다
- ③ $T_0 > T_i$: 공기는 수직으로 하강(역방향 연돌효과)



- (4) 고층건물의 상승기류

- ① 건축물 내부의 아래쪽에서 화재가 발생했을 경우 수직공간의 연돌효과에 의하여 연기는 상층으로 퍼져 나간다
- ② 이 경우 중성대 하부인 층에는 수직 공간 내로의 공기유입만이 가능하여 연기가 확산되지 않는다
- ③ 반면 중성대 상부에 있는 고층부는 수직 공간 밖으로 연기를 유출시키려는 연돌효과로 인해 연기가 상층부터 충만된다

3. 영향인자

- (1) 건물의 높이 : 초고층일수록 압력차가 커진다
- (2) 수직공간의 누설면적
 - ① 중성대 상부의 누설면적이 크면, 중성대가 상승되어 압력차는 줄어들지만 연기확산 피해는 커진다
 - ② 중성대 하부의 누설면적이 크면, 중성대가 낮아져 압력차가 커진다
- (3) 건물 내의 온도차 : 온도차가 클수록 연기확산이 촉진 된다
- (4) 건물 상부의 공기기류 : 상부에서 수직공간으로의 기류가 강하면, 연돌효과는 감소
- (5) 외벽의 기밀성

4. 문제점

- (1) 건축적인 문제점
 - ① 각종 출입문, E/L문의 개폐 어려움, 각종 소음
 - ② 누기에 따른 결로 발생(고층부 외벽에 결로수로 인한 고드름)
 - ③ 저층부 기계실의 배관 동파(S/P포함)
 - ④ 하자보수비용, 건물관리비 증가
- (2) 소방적인 문제점(화재 시)
 - ① 유독성 연기 및 화염의 수직 이동(E/L, 계단, 설비샤프트, 공조덕트 등)
 - ② 제연설비의 어려움
 - ③ 방화구획의 파괴
 - ④ 인명피해의 증가
- (3) 기계적인 문제점
 - ① 환기, 배기설비의 오류
 - ② 공조난방의 어려움
 - ③ 에너지 손실의 증대(효율의 감소)

5. 방지대책

- (1) 건축적인 측면
 - ① 외피의 기밀화
 - ㉠ 기밀한 외피 설계
 - ㉡ 건축물 외피의 우수한 시공
 - ② 공기유입부의 공기유동제한
 - ㉠ 출입구의 최소 설계
 - ㉡ 1층 로비의 회전문 또는 2중문 설치
 - ㉢ 출입문을 회전문으로 설치
 - ㉣ 기타 출입구 Sheltering
 - ③ 공기상승부의 공기유동제한
 - ㉠ 각 층별 단위의 공기유동제한 : 벽 등의 내부구획 기밀화, 전실문·통로문 설치

㉞ 수직통로의 공기유동제한 : E/L, 계단실 수직 샤프트 조닝(Zoning), 층간 샤프트
구획의 기밀화

④ 공기유출부의 공기유동제한

- ㉟ 상층부 개구부 설치 지양
- ㊀ 상층부 외피 기밀화
- ㊁ 상층부 창호 폐쇄
- ㊂ 상층부 기계실의 기밀화

(2) 소방적인 측면

- ① 자동식 스프링클러설비 설치
- ② 수직관통부에 연기 감지기 설치
- ③ 중성대가 높아지도록 중성대 하부의 창은 망입 유리로 설치
- ④ 계단실, 승강장의 급기가압제연설비 설치
- ⑤ 개소마다 댐퍼 설치(연기감지기와 연동)
- ⑥ 국소배연방식, 중앙배연방식(오염된 피난로의 연기만 집중제어, 피난시간확보)

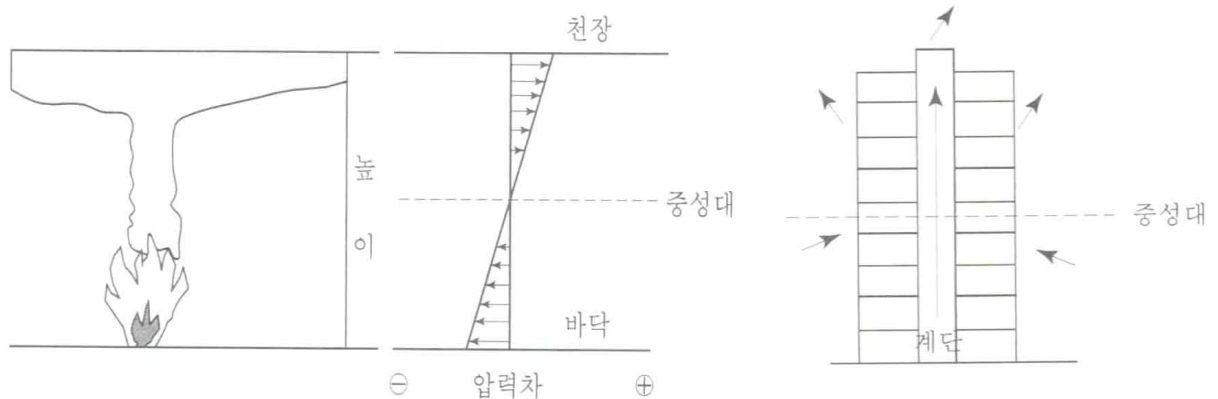
(3) 기계설비적인 측면

- ① 송풍기의 충분한 용량 확보
- ② 송풍기와 덕트의 접속 방법 및 누설틈새의 최소화
- ③ 공조시스템의 강화

문제2) 중성대(Neutral Zone)

1. 개념

- (1) 천장과 바닥 사이의 어딘가에 실내정압(P_i)과 실외정압(P_o)이 같아지는 면이 존재한다. 즉, 압력분포에서 실내정압(P_i) = 실외정압(P_o)가 되는 면을 중성대라고 한다
- (2) 중성대의 위쪽은 실내정압이 실외정압보다 높기 때문에 실내에서 실외로 공기가 유출 되고 중성대 아래쪽에는 실외에서 실내로 공기가 유입된다
- (3) 중성대 상하부의 공기흐름과 압력분포
 - ① 중성대 상부 : 실내정압(P_i) > 실외정압(P_o) → 실내에서 실외로 공기 유출
 - ② 중성대 : 실내정압(P_i) = 실외정압(P_o)
 - ③ 중성대 하부 : 실내정압(P_i) < 실외정압(P_o) → 실외에서 실내로 공기 유출



2. 중성대의 형성

(1) 화재실 내부의 정압

- ① 중성대는 압력에 의하여 정의되지만 화재 시 상부와 하부의 압력차가 대기중에서의 압력차보다 큰 것은 화재실의 온도가 대기온도보다 높은 이유이며 화재실의 온도는 화재실 상부의 고온기체층의 온도에 따라 좌우된다
- ② 실내·외의 정압차는 고온기체층의 온도가 높을수록 커지며 고온기체층의 온도는 연소열에 의한 것이므로 정압차가 커질수록 실내의 연소속도가 크다는 것을 의미한다

(2) 중성대의 높이(위치)

- ① 중성대는 보통 개구부의 중앙보다 약간 아래쪽에 형성되며 개구부와 관련하여 중성대의 높이를 구할 수 있다
- ② 실내의 온도와 개구부의 길이(H)를 알면 중성대의 대략적인 위치를 알 수 있다

$$\frac{H_2}{H_1} \approx 0.1762 \times T^{\frac{1}{3}} \times H_1 + H_2 = H$$

여기서, H_1 : 중성대에서 개구부 하단까지 거리[m]

H_2 : 중성대에서 개구부 상단까지 거리[m]

T : 화재에 의하여 상승한 실온[K]

H : 개구부 상단에서 하단까지 거리[m]

- ④ 화재 시 실온이 높아지면 중성대 위치는 낮아지고, 중성대가 낮아지면 결국 공기 유입이 적어져 연소속도가 느려 실의 온도가 내려가고, 중성대가 높아지는 과정이 반복되며, 화재 시 실온이 무한정 상승하는 것이 아니고 어떤 한계 값을 갖게 됨
- ⑤ 환기 지배형 화재의 경우 가연물량이 많아도 연소속도는 빨라지는 것이 아니라 환기 조건에 따라 좌우된다(공기의 질량유량 $m = 0.5A\sqrt{H}$)

(3) 고층 건축물의 중성대

- ① 화재 시 화재실에서 중성대가 형성되는 것과 같은 원리로 고층 건물 내의 어떤 층에 화재가 발생하였을 때 화재가 발생한 층의 상부 쪽은 건물 내 정압이 건물 밖의 정압보다 높게 된다

②
$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \times \left(\frac{T_O}{T_i} \right)$$

여기서, H_1 : 중성대로부터 아래쪽 개구부까지 거리(중성대 하부층) [m]

H_2 : 중성대로부터 위쪽 개구부까지 거리(중성대 상부층) [m]

A_1 : 아래쪽 개구부의 단면적 [m²]

A_2 : 위쪽 개구부의 단면적 [m²]

T_O : 건물 외부온도 [K]

T_i : 건물 내부온도 [K]

- ③ 중성대 위치는 개구면적의 비에 크게 의존하며, 상부와 하부에 개구부가 있는 건물의 경우 개구면적이 같고 온도차가 같다면 건물의 중간 부분이 된다

3. 중성대의 활용

(1) 화재현장

- ① 화재현장에서 창문으로 연기가 분출되는 상태를 보면 중성대가 어디에 형성되어 있는가를 알 수 있다
- ② 화재실 창문의 전체에서 연기가 분출하고 있는 경우 중성대는 그 창문의 하단보다 아래쪽에 있으며, 어딘가에는 공기가 유입되고 있는 개구부는 반드시 있게 된다
- ③ 그러나 창문의 어떤 일정높이에서만 연기가 분출되고 있다면 연기가 분출되고 있는면 최하단이 중성대의 위치이고 그 아래로는 공기가 실내로 유입되고 있으며 다른쪽에 개구부가 없거나 있더라도 닫혀 있는 상태라고 보아야 한다
- ④ 소화활동의 공간 확보 : 지붕 등의 상층부 개구부를 파괴시켜 중성대 상층부 범위를 축소시키고 중성대 하부면적은 증가시켜 소화활동 공간 및 시야확보에 활용함

(2) 배연구의 위치

- ① 제연을 할 경우에도 중성대 위쪽에서 제연을 하는 것이 효과적이며 제연과 함께 공기의 유입 또한 증가하여 화세가 격렬해지는 점도 유의해야 한다
- ② 건축법상의 배연구의 위치 : 천장 또는 반자로부터 수직거리 0.9m 이내에 설치 (층고 3m 이내의 경우)

문제3) 연기의 확산요인

1. 팽창(Expansion)

- ① 화재 시 발생하는 열에 의하여 주변의 공기가 팽창하게 되고 이로 인하여 연기가 확산하게 된다
- ② 주로 화재초기의 연기유동의 원인이 되며, 일정온도 이상이 되면 온도상승에 따른 열팽창의 효과는 적어진다
- ③ 유동기류에 비하여 가해지는 연료의 양을 무시할 수 있다면 다음 식이 성립한다

$$\frac{Q_o}{Q_i} = \frac{T_o}{T_i}$$

여기서, Q_o : 외부로 유출되는 연기량 [m^3/s]

Q_i : 화재로 유입되는 공기량 [m^3/s]

T_o : 연기의 온도 [K]

T_i : 공기의 온도 [K]

2. 부력(Buoyancy)

- ① 부력이란 주위 유체에 의해 어떤 물체나 유체에 작용하는 상승력을 말하며, 화재 시 온도가 상승하면 밀도가 감소되어 연소생성물은 부력에 의해 상승기류를 형성한다
- ② 상승기류가 천장에 의해 제한을 받게 되면 굴절되어 Ceiling Jet Flow를 형성한다
- ③ 부력에 의하여 형성되는 압력차는 굴뚝효과에 의한 압력차 계산식과 동일하다
- ④ 연기가 화재실로부터 멀어질수록 연기의 온도는 낮아지며 이로 인하여 부력효과도 화재 발생장소로부터 거리가 멀어질수록 감소하게 된다

3. 연돌효과(Stack Effect)

- ① 건물 내의 수직 공간 내부와 외부의 온도차가 있을 경우 연기가 수직공간을 상승하거나 하강하는데 이와 같은 현상을 연돌효과(굴뚝효과)라고 한다
- ② 연돌효과로 인한 수직통로의 상 하간 압력차

$$\Delta P = K \times \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_i} \right) \times h [Pa]$$

여기서, ΔP : 압력차 [Pa], K : 상수(대기압하에서는 3,460)

T_o : 건물 외부의 온도 [K], T_i : 건물 내부의 온도 [K]

h : 중성대로부터의 높이

4. 바람(Wind)

- ① 화재실이 열려 있거나, 파손된 유리창 등에서 유입되는 바람에 의해서 연기가 유동될 수 있으며, 이러한 바람은 그 방향에 따라 미치는 영향이 달라진다
- ② 바람으로 인하여 건물 내에 미치는 풍압효과(바람이 미치는 압력)

$$P_w = \frac{1}{2}(C_w \times \rho \times V^2) [Pa]$$

여기서, P_w : 풍압 [Pa], V : 풍속 [m/s], C_w : 압력계수 (0.5)

ρ : 외부 공기밀도 (1.2kg/m³)

- ③ 압력계수는 (-0.8) ~ (+0.8)의 범위에 있는 값으로 양수(+)는 바람을 면하는 방향, 음수(-)는 바람의 반대방향에 있는 벽을 의미한다
- ④ 풍속은 지면으로부터의 높이에 따라 증가하게 된다
- ⑤ 완전 밀폐된 건축물의 경우 풍압에 의한 압력차로 건축물내부로의 기류이동의 영향은 작아 큰 문제가 되지 않는다
- ⑥ 그러나, 맞바람의 위치인 (+)압력이 작용하는 부분에 파괴창이나 개구부가 있는 경우 건축물내부로 기류이동이 크게 작용하게 된다

5. Piston Effect(피스톤 효과)

(1) 개념

- ① Elevator Shaft와 같이 밀폐상태에 가까운 공간 내에서 Elevator Car가 빠른 속도로 움직일 때 Elevator Car의 앞부분과 뒷부분에는 전이 압력이 발생하게 되는데 이를 Piston Effect(피스톤 효과)라고 한다
- ② Piston Effect에 의하여 강압된 엘리베이터 로비나 엘리베이터 샤프트로 연기를 끌어들이게 된다

(2) 방지 대책

- ① 승강기의 저속운행
- ② 승강기 상부에 큰 개구부 설치
- ③ 승강기와 슈트의 간격을 크게 설치
- ④ 승강기 로비의 급기가압 제연설비 설치
- ⑤ 슈트 상·하부에 승강기 동작 시 작동하는 fan 설치

6. 공기조화설비(HVAC System)

- ① 초기화재에서는 연기가 전달되어 조기 감지효과도 가져올 수 있지만, 일반적으로 덕트를 통한 연기의 전파는 매우 위험하다
- ② 가변풍량 시스템(VAV System)은 온도가 상승하면 실내의 냉방을 위해 송풍량을 증대 시키게 된다. 화재의 경우에는 연기확산을 촉진시키게 된다
- ③ 가변풍량 시스템의 경우 화재 감지기를 설치하여 화재 시 정지시키거나 방화댐퍼(Fire Damper)의 원격조작으로 다른 부분으로 연기 및 화염의 확산을 방지해야 한다

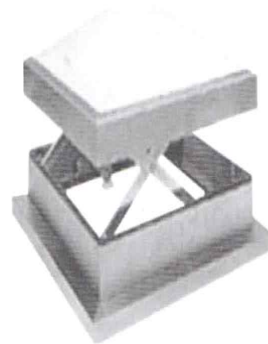
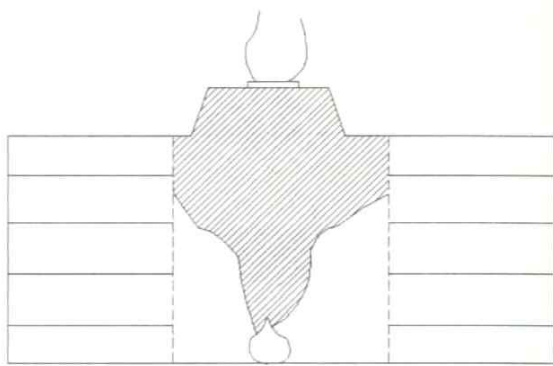
문제4) Smoke Hatch

1. 정의

- ① 화재 시 연기와 열을 천장에 설치된 배연구를 통해 배출함으로 Flash-over 발생을 방지하고 소방대의 소화활동을 돕는 장치
- ② 자동, 수동으로 설치가 가능하며 전동식, 연기감지기 연동형 등으로 사용할 수 있는 자연 배연방식이다
- ③ 주로 천장고가 높은 쇼핑몰이나 넓은 공장, 창고 등에 설치한다

2. 강제 배연 할 경우

- ① 화재의 규모가 작을 것으로 예상되는 경우
- ② 천장고가 낮은 경우
- ③ 상부의 기류가 강하여 역풍이 우려되는 경우



3. Draft Curtain

- ① 지붕 개구부를 통한 연기와 고온 가스의 신속한 배출을 돕고 실내의 연기와 고온 가스의 확산을 방지하여 배출효과를 높이기 위한 일종의 방해막이다
- ② 원리 : 내·외부 온도차가 클수록, 배출높이(H)가 클수록, 배출면적(A)이 클수록 배출 효과가 증가한다
- ③ Draft Curtain과 Smoke Hatch에 의한 지붕배출은 Stack Height를 증가시켜서 배출효과를 높인 것이다
- ④ 설치기준
 - ㉠ Curtain은 1.8[m] 이내에 설치하되 바닥으로부터 2.4[m] 이내로 한다
 - ㉡ Curtain Board는 75[m] 이내, 구획면적은 5,000[m²] 이내
 - ㉢ 바닥면적 30[m²]당 1[m²]의 배출면적

※ 기출문제분석25(연돌효과관련)

1. 고층빌딩 화재의 Stack-Effect를 설명하시오(45회,10점)
2. 연통에서의 Draft-Effect의 방해요인 5가지에 대해서 설명하시오(61회,10점)
3. 굴뚝효과(Stack Effect)와 Smoke Hatch에 관하여 설명하시오(80회,10점)
4. 화재 시 발생하는 연기의 발연량과 연기층 하강시간, 연기 확산에 영향을 미치는 굴뚝효과 및 부력효과에 대하여 공식을 이용하여 기술하시오(88회,25점)
5. 초고층 건물에서 동절기시(외기온도<실내온도)건물높이에 따른 실내 및 실외공기의 압력분포와 실내·외 공간의 차압 분포를 그래프로 나타내고 공기유동현상을 설명하시오(90회,25점)
6. 초고층건물 화재시의 연돌효과를 기술하고 이에 대한 소방측면, 건축계획측면, 기계설비 측면에서 각각의 방지대책을 설명하시오(93회,25점)
7. 실내 화재시의 개구부에서의 Neutral Zone에 대하여 정의하시오(52회,10점)
8. Piston Effect에 대해서 설명하시오(75회,25점)
9. 고층건물 화재 시 연기유동에 영향을 미치는 풍압대를 설명하시오(66회,10점)
10. 화재 시 생성된 연기가 방호공간으로 확산되는 주요 요인으로 굴뚝효과, 부력, 바람, 팽창 등이 있으며, 이들 요인 중에서 바람에 의해 건축물 표면에 작용하는 풍압에 대하여 압력식(풍압)을 이용하여 설명하시오(95회,10점)

문제5) 한계산소지수(LOI : Limited Oxygen Index)

1. 개념

- ① LOI는 섬유류가 착화 후에 열원이 제거된 이후에도 연소를 지속할 수 있는 가능성을 측정하기 위해 도입된 개념
- ② LOI는 가연물을 수직으로 하여 가장 윗부분에 착화하여 연소를 계속 유지할 수 있는 산소의 최저 Vol.%이다
- ③ 한계산소지수(LOI)계산식

$$LOI = \frac{O_2}{O_2 + N_2} \times 100 [\%]$$

2. LOI의 의미

- ① LOI가 17[%]라는 의미는 공기 중 산소농도가 17[%]이하로 줄어들면, 열원이 제거된 후에는 연소를 지속할 수 없다는 의미
- ② LOI가 클수록 안전도가 높다고 할 수 있다
- ③ 불연성, 난연성의 섬유류는 발화점이 높고 LOI가 큰 특징을 가지며, 이것은 쉽게 착화되지 않고, 열원이 없으면 연소를 지속할 수 없다는 의미
- ④ 주요물질의 LOI
 - ㉠ 연소도료 : 30 이상
 - ㉡ 난연테이프 : 28 이상
 - ㉢ CPVC배관 : 60 이상

3. ASTM D 2863에 의한 측정방법

- ① 시험체를 일정 길이로 절단하여 LOI column에 수직으로 고정한다
- ② 임의로 산소, 질소의 비율을 정하여 30초 이상 주입한다
- ③ 시험편에 화염을 가하여 3분 또는 5분 이내로 타들어가도록 최소 5회 이상 반복 시험한다
- ④ 산소, 질소량의 평균값을 위의 식에 대입하여 산출한다

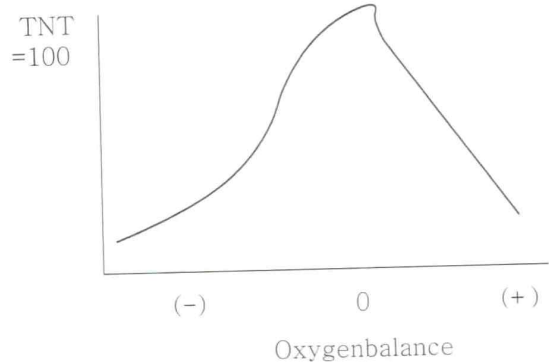
문제6) OB(Oxygen Balance)

1. 개념

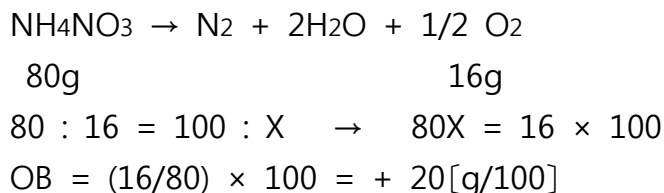
- ① OB(Oxygen Balance, 산소밸런스)란, 화학물질로부터 완전연소생성물(N_2 , CO_2 , H_2O , Cl_2 , F_2 , SO_2 등)을 만드는데 필요한 산소의 과 부족량을 나타낸 지수
- ② 어떤 물질 100[g]이 연소할 때의 산소의 과 부족량을 g으로 나타낸 것으로 0에 가까울수록 폭발위력이 크다
- ③ TNT의 완전연소시 부피팽창은 약 11 ~12배가 되며 이 부피 팽창은 음속이상의 속도를 가질 수 있다

2. 폭발 위험성

- ① $OB = 0$ (완전연소) : 폭발 위력이 가장 큼(양론조성)
- ② 산소가 남음(+): 가연성 가스 부족
- ③ 산소가 부족함(-): 지연성 가스 부족
- ④ $OB = 0 \sim 45$: 폭발위험 大,
(예) : 니트로글리콜(0), 니트로글리세린($=\pm 4$)
- ⑤ $OB = 45 \sim 90$: 폭발위험 中,
(예) : 피크리산(-45)
- ⑥ $OB = 90 \sim 135$: 폭발위험 小,
(예) : 니트로에탄(196), 니트로프로판(-135)



3. 산소 밸런스의 예



4. OB, LOI, MOC의 비교

	OB	LOI	MOC
대 상	폭발성 물질	섬유 등의 고분자물질	가연성 가스
목 적	물질별 폭발위력 판단용도	고분자물질의 불연, 난연성여부	불활성화를 위한 농도 확인
위험성	작을수록 위험	작을수록 위험	작을수록 위험

※ 기출문제분석26(LOI, OB관련)

1. 한계산소지수를 설명하시오(37회,10점)
2. 직물, 플라스틱 연소에 있어서 연소도수를 표시하는 지수는 무엇인가(43회,10점)
3. LOI(Limited Oxygen Index)에 대해 설명하시오(62회,10점)
4. 한계산소지수(Limited Oxygen Index, LOI)에 대하여 설명하시오(80회,10점)
5. Oxygen Balance를 설명하시오?(42회,5점)(44회,10점)
6. 산소발란스(Oxygen Balance)를 설명하시오(55회,5점)

문제7) 고분자 물질의 연소

1. 고분자 화합물

(1) 정의

- ① 고분자 물질은 분자수가 만개 이상의 물질로 종이, 플라스틱, 목재, 섬유 등 그 종류가 매우 다양하며, 건축물 화재는 대부분 고분자 물질의 연소이다
- ② 고분자 물질의 기본이 되는 것을 단위체(monomer)라고 하며, 단위체가 중합되어 이루어진 고분자 화합물을 중합체(polymer)라고 한다

(2) 연소 특성

- ① 분해연소
- ② 매우 복잡한 형태의 연소

2. 연소 Mechanism



(1) 흡열 과정

- ① 고분자 물질의 가열에 의해 수분증발과 용융 발생
- ② 온도상승의 영향요소 : 열전도율(↓), 공급열량(↑), 비열·잠열(↓)

(2) 분해·증발 과정

- ① 휘발분은 휘발하고 가소성 물질인 경우는 증발하며, 분해성 물질은 열분해를 한다
- ② 열분해 생성물 : 가연성 가스(메탄, 에탄, CO 등), 불연성 가스(H₂O, CO₂ 등), 액체, 고체(탄화잔사)

(3) 혼합·연소 과정

- ① 가연성 가스 : 공기와 혼합되어 가연성 혼합기를 형성하여 발염 연소
- ② 탄화잔사 : 표면 산화에 의한 무염연소
- ③ 불연성 가스와 액체 : 공기와 혼합, 희석에 의해 냉각되어 액화화 된다

(4) 배출 과정

- ① 연소열의 일부와 연소생성물, 분해생성물은 계외로 배출된다
- ② 연소열의 일부는 대류, 전도, 복사를 통해서 미연소의 고분자 물질을 가열하여 다시 흡열 과정이 반복된다

3. 고분자 물질의 화재 위험성

(1) 화재가속도가 크다

- ① 가연성 물질로 발열량이 높다
- ② 열에 약하여 열가소성은 용융증발, 열경화성은 열분해가 쉽고 착화가 빠르다

(2) 발연량이 많다

- ① $K = C_s \times (V/W)$, 발연계수가 커서 다량의 연기발생 피난이 어렵다
- ② 열경화성은 훈소 위험이 높아 연기입자가 크고 발연량이 많은 특성을 가진다

(3) 농연(연기의 색)

- ① 합성고분자 물질구조상 탄소를 포함하고 있기 때문에 다량의 흑연이 발생하여 빛을 흡수한다
- ② 보행속도 및 가시거리를 감소 시킨다

(4) 유독성 가스 다량 발생

- ① 훈소성 화재 시 독성물질 함유물질은 계외로 배출된다
- ② 난연 처리된 할로겐화합물 또한 연소 시 많은 유독가스를 발생

4. 난연화 방법

(1) 열전달의 제어

- ① 인(P) 함유 화합물은 열분해 → 인산 생성(meter인산) → 피막을 형성(열차단장벽 작용)
- ② 열전도 및 복사열을 차단·억제하면, 재료의 가열에 의한 온도상승을 억제시킬 수 있다

(2) 열분해 속도의 제어

- ① 고체의 탄소의 생성을 촉진시켜 난연화
- ② 즉, 불연성 화합물의 생성을 촉진시키는 방법

(3) 열분해 생성물의 제어

- ① 가연성 가스의 함량을 감소시켜 잘 타지 않도록 하는 방법
- ② 즉, 연소범위 내로 들어가지 않도록 제어한다

(4) 기상반응의 제어

- ① 할로겐 등 불연성 물질을 첨가하여 화학적 연소를 억제하는 방법
- ② 즉, 연쇄반응을 억제하는 물질을 방출시켜 발염을 억제한다

(5) 난연제의 상승작용

- ① 2종이상의 난연제를 병용 시 난연효과는 증가한다
- ② 인/Halon계, 인/질소계 등을 이용한다

5. 열경화성수지, 열가소성수지

	열경화성 수지 (Thermo-setting plastic)	열가소성 수지 (Thermoplastic)
◦ 결합구조	그물(가교) 구조체 축합반응	사슬모양(선형, 가지) 분자구조 중합반응
◦ 성 형	재 성형불가	재 성형가능
◦ 종 류	페놀수지, 요소수지 멜라닌수지, 에폭시수지	폴리에틸렌, PVC 폴리스티렌, 폴리프로필렌

문제8) 케이블의 난연화 방법

1. 케이블 화재의 특징(문제점)

(1) 연소 시 유독가스 및 연기

- ① 케이블의 외피(외장재)의 성분은 주로 "폴리에틸렌이나 PVC"이다
- ② 연소 시 독성가스(HCl, CO₂, CO 등) 및 연기가 생성되어 단시간 동안 흡입하여도 인체에 치명적인 영향을 줄 수 있다

(2) 연소 확대의 위험성

- ① 케이블은 연결된 구조로 연소 확대가 매우 빠르다
- ② 화재가 발생하면 빠른 연소속도로 급속히 수직, 수평으로 연소가 확대된다

(3) 지하의 밀폐 공간

- ① 밀폐된 샤프트나 지하공동구 등에 설치된 경우가 많아 화점 파악이 어렵고, 이에 따라 소화에 많은 시간이 필요하다
- ② 통신, 전력 등의 마비로 인한 간접적인 화재피해가 매우 크다

2. 케이블화재의 주요원인

(1) 케이블 시설에 의한 원인

- ① 지락, 단락 고장시 대전류에 의한 발열·발화
- ② 다회선 포설에 따른 허용전류 저감률 부족으로 온도상승 발화
- ③ 시공 불량 등에 의한 온도상승으로 부분 발열·발화
- ④ 외상,약품,절연체의 열화 등으로 절연파괴에 의한 발화

(2) 외부 점화원에 의한 원인

- ① 공사 중 용접 불꽃 등에 의한 발화
- ② 케이블 주변에서 기름 등의 가연물이나 건축물의 연소에 의한 발화
- ③ 전력 케이블이 접속되어 있는 기기류의 과열에 의한 발화
- ④ 방화(放火)

3. 케이블 화재의 방지대책

- ① 배선계통의 적정화
- ② 접지
- ③ 케이블의 종류 및 규격을 용량에 맞게 적용
- ④ 점검 및 보수를 철저히 실시
- ⑤ 케이블의 구획 관통부에 대한 Fire Stopping
- ⑥ 케이블의 난연화

4. 케이블의 난연화 방법

(1) 난연 케이블 사용

① 난연 케이블의 종류

㉠ 일반 난연 케이블

- ㉡ FR(Fire-Retardant)케이블로 난연성만 있다
- ㉢ FR-CV, FR-CVV 등
- ㉣ 일반 산업용으로 많은 양을 사용하는 경우에 적용한다

㉤ 할로겐 프리 난연케이블

- ㉡ HFCO, HFCCO 등으로 난연성 외에 연소가스 발생을 최소화하는 케이블
- ㉢ 많은 인원이 상주하는 백화점, 영화관 등의 전기시설물에 적합하다

② 난연 케이블의 시험방법

케이블 분류	난연성 시험방법
저압 및 고압케이블 (사용전압 6.6[kv] 이하)	KS C 3341의 6.12
특 고압 케이블 (사용전압 66[kv] 이하)	KS C 3404의 부속서 2
특 고압 케이블 (사용전압 66 ~ 154[kv] 이하)	KS C 3405의 부속서 2

(2) 연소방지장치

: 이격 또는 불연성 격벽, 방화시트, 방화도료, 방화테이프
기 설치된 케이블에 대한 난연화 방법(재래적 방법의 난연화 방법)

① 연소방지시트

- ㉠ 케이블에 방화시트지를 붙이는 방법
- ㉤ 시공이 쉽고, 경제적이다
- ㉥ 전력 케이블에는 허용전류의 제한에 주의

② 연소방지도료

- ㉠ 케이블에 도료를 바르는 방법
- ㉤ 시공이 쉽다
- ㉥ 일정 두께 이상으로 발라야 하는 어려움이 있다(두께 1mm 이상)
- ㉦ 건조 후에는 이를 벗기기 어려우므로, 증설이 빈번한 선로에는 부적합한 방법임

③ 방화테이프

- ㉠ 케이블마다 방화테이프를 감는 방법
- ㉤ 시공이 어렵고, 오래 걸린다

(3) 매립관 공사 : 금속관 또는 합성수지관 등에 절연전선을 수납하는 방법

※ 기출문제분석27(고분자물질의 난연화관련)

1. 열경화성수지 및 열가소성수지에 대해 설명하시오(76회,10점)
2. 고분자물질의 화재 위험성에 대해 간단히 기술하시오(76회,10점)
3. 가연성 섬유류의 연소성을 줄이고자 여러 가지 화학처리를 한다. 화학물질이 불꽃의 확대를 억제하는 5가지 방법을 들고, 섬유의 방염처리에 대하여 기술하시오(38회,20점)
4. 가연성 고체의 난연화 공법을 설명하시오(42회,20점)
5. Plastic의 연소구조와 난연화 방법에 대해 설명하시오(63회,25점)
6. 기 설치된 케이블의 난연화 방법을 설명하시오(49회,20점)
7. 전력케이블의 난연화 방법에 대하여 상술하시오(80회,25점)

문제9) 소방법상의 방염관련 규정

1. 방염의 법적 근거

- (1) 소방시설 설치 유지 및 안전관리에 관한 법률 제12조(소방대상물의 방염 등)
- (2) 동법 시행령
 - ① 제19조(방염성능기준 이상의 실내장식물 등을 설치하여야 하는 특정소방대상물)
 - ② 제20조(방염대상물품 및 방염성능기준)

2. 방염처리 대상

- ① 11층 이상 건축물(APT 제외)
- ② 근린생활시설 중 헬스클럽장 및 안마시술소
- ③ 문화집회 및 운동시설(옥내에 있는 것으로 수영장 제외)
- ④ 숙박시설
- ⑤ 종합병원, 의료시설 중 정신보건시설(입원실이 없는 정신과 의원 제외)
- ⑥ 방송국, 촬영소
- ⑦ 노유자시설, 숙박이 가능한 청소년시설
- ⑧ 다중이용업소의 영업장

3. 방염처리를 해야하는 물품

(1) 실내장식물

- ① 정의 : 건축물 내부의 미관 또는 장식을 위하여 천장 또는 벽에 설치하는 것
- ② 종류 :
 - ㉠ 종이류(두께 2mm 이상)·합성수지류 또는 섬유류를 주원료로 한 물품
 - ㉡ 합판 또는 목재
 - ㉢ 실 또는 공간을 구획하기 위하여 설치하는 칸막이 또는 간이칸막이
 - ㉣ 흡음 및 방음을 위하여 설치하는 흡음제 또는 방음제
- ③ 제외 :
 - ㉠ 가구류(옷장·찬장·식탁 및 식탁용의자 그 밖에 이와 비슷한 것)
 - ㉡ 집기류(사무용 책상·사무용의자 및 계산대 그 밖에 이와 비슷한 것)
 - ㉢ 너비 10cm 이하인 반자돌림대

(2) 방염대상물품

- ① 창문에 설치하는 커튼류(브라인드 포함)
- ② 카펫
- ③ 두께가 2mm 미만인 벽지류(종이벽지 제외)
- ④ 전시용 합판 또는 섬유판, 무대용 합판 또는 섬유판
- ⑤ 암막·무대막(영화상영관에 설치하는 스크린 포함)

4. 방염성능기준

- (1) 잔염시간 : 20초 이내 → 불꽃연소지속시간
(버너의 불꽃을 제거한 때부터 불꽃을 올리며 연소하는 상태가 그칠 때까지의 시간)
- (2) 잔신시간 : 30초 이내 → 작열연소지속시간
(버너의 불꽃을 제거한 때부터 불꽃을 올리지 아니하고 연소하는 상태가 그칠 때까지의 시간)
- (3) 탄화면적 : 50cm² 이내
- (4) 탄화길이 : 20cm 이내
- (5) 접염횟수 : 3회 이상
(불꽃에 의하여 완전히 녹을 때까지 불꽃의 접촉횟수)

문제10) 방염(防炎)의 원리

1. 방염의 원리

(1) 피복이론(Coating theories)

- ① 무기염류의 난연 가공재를 사용(붕사, 붕산의 혼합물)
- ② 섬유표면을 용융 염류의 막으로 피복하여 산소공급을 차단

(2) 가스이론(Gas theories)

- ① 염화아연, 염화칼슘 등 사용
- ② 열분해에 의해 발생하는 불연성가스로 가연성가스의 농도를 희석

(3) 열적이론(Thermal theories)

- ① 방염가공제의 용융이나 승화시 흡열반응에 의한 냉각작용
- ② 섬유가 열분해 되지 못하도록 한다는 개념

(4) 화학적 이론(Chemical theories)

: 낮은 온도에서 분해가 일어나서 발화점에 이르기 전에 가연성 가스를 발생하고 많은 잔사를 남기는 것

2. 방염제

(1) 방염제의 구비조건

- ① 독성이 없을 것
- ② 방염 효과가 우수할 것
- ③ 방염 처리로 인한 대상물의 변형, 변색이 없을 것
- ④ 침투성, 확대성이 크고 유연성이 있을 것
- ⑤ 신속히 건조될 것

(2) 방염제의 종류

→ 커튼, 카페트 등 불에 타는 실내장식물(유기물)에 불에 타지 않는 방염성 또는 난연성을 부여하기 위해 사용하는 화학물질

① 방염액(Flame Retardant Liquid)

: 방염성의 유기 또는 무기용제의 액체 상태로 섬유 등에 사용한다

② 방염도료(Flame Retardant Point)

: 방염성의 도료, 합판, 목재 등에 칠하면 단열층을 형성한다

③ 방염성 물질(Flame Retardant Materials)

: 방염성의 분말 또는 고체 형태의 물질로 플라스틱 등에 사용한다

3. 방염가공방법

(1) 선 처리법

- ① 제품 제조 과정 중에 방염제를 첨가하는 방법
- ② 약제량이 적고, 효과가 영구적이다

③ 종류 : 공중합법, 원액 투입법

(2) 후 처리법

① 제품완성 후 방염 처리하는 방법

② 스프레이법

※ 기출문제분석28(방염관련)

1. 방염제를 설명하시오(58회,5점)
2. 방염처리대상 건축물 및 방염성능 기준을 간단히 설명하시오(71회,10점)
3. 문화집회시설에 설치된 방염물품의 성능에 대한 최근 많은 문제점이 제기됨에 따라 앞으로 관련 제품의 적용이 강화될 것으로 예상된다. 소방관계법에서 언급되는 방염대상물품의 종류와 방염성능기준에 대하여 기술하시오(84회,25점)
4. 화재 성장을 지연하기 위한 방염이론, 방염성능기준, 방염의무 특정소방대상물과 대상물품에 대하여 설명하시오(86회,25점)

문제11) 화재의 분류

1. 필요성

- (1) 소화기 또는 소화설비의 적응성을 구분하기 위하여 화재를 분류한다
- (2) 화재분류방식

구 분	국내기준	NFPA기준	ISO기준
① 일반화재	A급	A급	A급
② 유류화재	B급	B급	B급
③ 가스화재			C급
④ 전기화재	C급	C급	-
⑤ 금속화재	-	D급	D급
⑥ 식용유화재	-	K급	F급

2. 화재의 분류

구 분	국내기준	NFPA기준	ISO기준
A급 화재	·일반화재 ·연소후 재가 남는 화재 ·목재, 종이, 섬유 등	·일반적인 가연물의 화재 (목 재 , 섬 유 , 종 이, 고무, 플라스틱등)	·잔재의 작열에 의해 발생하는 연소에서 일반 유기성질의 고체물질 화재
B급 화재	·유류화재(가스화재포함) ·연소후 재를 남기지 않는 화재 ·가연성액체, 가연성기체	·인화성 및 가연성 액체의 화재(타르,석유류,유지,유류,알코올, 인화성 가스 등)	·액체 또는 액화할 수 있는 고체의 화재
C급 화재	·전기화재 ·통전중인 상태의 전기설비 화재 ·수변전설비, 전선로, 분배전반 등	·통전중인 전기장치를 포함하는 화재	·가스화재
D급 화재	-	·가연성 금속의 화재 (Mg, Zr, Ti, K, Na, Li 등)	·금속화재
K(F)급화재	-	·가연성 요리재료(식물성 또는 동물성 기름 및 지방)를 포함한 요리기구의 화재	·가연성 튀김기름(식물성 또는 동물성 기름 및 지방)을 포함한 조리로 인한 화재

문제12) K급 화재

1. 정의

- ① K급 화재(NFPA) : 가연성 요리재료(식물성 또는 동물성 기름 및 지방)를 포함한 요리 기구의 화재
- ② F급 화재(ISO) : 가연성 튀김기름(식물성 또는 동물성 기름 및 지방)을 포함한 조리
로 인한 화재

2. K급 화재의 특징

- ① 조리용 튀김기름이나 지방 등은 비점이 발화점과 비슷하거나, 오히려 높은 특성을 가지고 있다
- ② 화재의 유온이 상승하면 유면 상의 화염을 제거해도 유온이 발화점 이상이어서 곧 재발화 된다
- ③ 일반 유류화재와 달리 유온을 약 20 ~ 50[°C] 정도까지 냉각시키는 것이 중요하다

3. K급 화재에 적용 가능한 소화약제

(1) 제1종 분말소화약제(NaHCO_3)

- ① 비누화 현상에 의해 K급 화재의 진압이 가능하다
- ② 비누화 현상
 - ㉠ 식용유와 친유기(알킬기)가 결합하고, 그 주위에 친수기(카르복실기)가 둘러싸면서 물이 잘 분산되도록 하는 현상
 - ㉡ 식용유가 들어있는 용기 내에서 비누화 현상이 일어나서 수증기와 비누가 거품을 형성하여 재 착화를 방지하며 냉각 시킨다

(2) Wet chemical 설비

- ① 주성분 : 탄산칼륨, 아세틱 칼륨
- ② 주 소화효과 : 억제소화, 냉각소화
- ③ 점성이 높은 액체의 수송방식으로 스프링클러와 유사한 배관설계가 가능

(3) Water mist

문제13) D급 화재

1. 금속화재의 특징

- (1) 연소 온도가 매우 높기 때문에 소화하기가 어렵다
- (2) 소화수로 물을 사용 시 H₂O의 수소결합이 고온에 의해 분해되어 수증기 폭발을 일으킬 위험이 있다
- (3) 소화의 기본은 금속화재용 소화약제(Dry Powder)로 덮어서 산소의 공급을 차단하거나 온도를 낮춰야 한다
- (4) 금속화재를 일으키는 금속
 - ① 제2류 위험물 중 철분, 마그네슘분, 알루미늄분, 아연분, 안티몬분
 - ② 제3류 위험물 중 칼륨, 나트륨, 알킬알루미늄, 알킬리튬, 알칼리 금속, 알칼리토 금속 등

2. 금속화재에 물과 CO₂를 사용하지 못하는 이유

- (1) 수증기 폭발(물의 수소결합 파괴)
 - ① 금속 화재는 일반적으로 고온(약1,500°C이상)에서 연소를 한다
 - ② 금속과 물이 접촉되면 물이 급격히 증발하면서 체적팽창으로 수증기 폭발을 한다
- (2) 물의 해리(물의 극성공유결합 파괴)
 - ① 물을 주입하면 수소와 산소의 결합을 끊을 수 있는 고에너지에 의한 화학반응이 일어난다
 - ②
$$\text{H}_2\text{O} + \text{E(고온의 열)} \rightarrow \text{H}_2\uparrow + \frac{1}{2}\text{O}_2(\uparrow)$$
- (3) 발열반응
 - ① Na, K 등의 금속은 물과 접촉하면, 발열 반응이 생긴다
 - ②
$$2\text{K} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{K(OH)} + \text{H}_2(\uparrow) + \text{Q[kcal]}$$
- (4) 탄소(C)재 발생
 - ① CO₂를 사용하면 산소를 탈취하여 더욱 격렬하게 연소하며, 검은색의 탄소 재로 인하여 소화활동 및 피난에 지장을 초래 한다
 - ②
$$2\text{Mg} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{MgO} + \text{C} + \text{Q[kcal]}$$

3. 금속화재의 소화방법

- (1) 건조사 : 소규모 금속화재에 사용
- (2) MET-L-X
 - ① 성분 : NaCl + 첨가물
 - ② 적응화재 : 나트륨, 칼륨, 마그네슘 화재
 - ③ 금속의 수직표면에 달라붙으므로, 대형 금속화재에 적합하다
 - ④ 기타 : 비가연성, 안정적
- (3) Na-X

- ① 성분 : Na_2CO_3 + 첨가물
- ② 적응화재 : 나트륨 화재
- ③ 기타 : 비염소화물 소화약제, 비가연성, 안정적

(4) G-1

- ① 성분 : 유기인 + 흑연 입힌 코크스
- ② 적응화재 : 나트륨, 칼륨, 마그네슘, 리튬, 티타늄 화재
- ③ 흑연이 열전도체로서 열을 흡수하여 금속을 냉각 시킨다
- ④ 기타 : 비 독성 비가연성

(5) TEC

- ① 성분 : BaCl_2 (51%), KCl (29%), NaCl (20%)의 혼합물
- ② 적응화재 : 나트륨, 칼륨, 나트륨 + 칼륨 화재
- ③ 용융된 염이 금속표면을 덮어 공기를 차단하는 질식작용
- ④ 기타 : 독성 주의(BaCl_2)

(6) TMB

- ① 성분 : $(\text{BOOCH}_3)_3$ 의 액체 소화약제
- ② 적응화재 : 마그네슘 화재
- ③ 자신이 직접 연소하여 발생시키는 산화붕소의 피막을 형성하여 금속을 산소 및 물로부터 분리 시킨다
- ④ 기타 : 가수분해가 쉬움, 불안정성

4. 금속 화재용 소화약제의 종류와 적응화재

약재 이름	주성분	적응화재
Pyrene	흑연화 코크스와 유기인산염의 혼합물	Mg, AL, Na, K
Met-L-X	NaCl 과 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 의 혼합물	Na
Pyromet	$(\text{NH}_4)_2\text{H}_2(\text{PO}_4)$ 와 NaCl 의 혼합물	Na, Ca, Zr, Ti, Mg, Al
Foundry Flux	염화물과 불화물의 혼합물	Mg
Lith-X	흑연에 첨가제를 넣은 것	Li, Mg, Zr, Na
Zirconium Silicate	ZrSiO_4	Li
TEC	KCl , NaCl , BaCl_2 의 혼합물	Mg, Na, K
Lithium Chloride	LiCl	Li
Sodium Chloride	NaCl	Na, K
Soda Ash	NaCO_3	Na, K
Dry Sand	SiO_2	Na, K, Ca, Li, Mg, Al

※ 기출문제분석29(화재분류관련)

1. 미국방화협회(NFPA10)에서는 K-급화재, 국제표준기구(ISO 7165)에서는 F-급 화재로 분류되고 있는 화재에 대하여 설명하시오(개요, 연소 및 소화방법) (69회,10점)
2. 화재의 분류를 국내기준과 미국방화협회(NFPA), 국제표준화기구(ISO)와 각각 비교 설명하시오(71회,25점)
3. 식용유 화재에 대한 분말 약제를 사용하여 소화할 때 인산암모늄계의 ABC급약제보다 중탄산나트륨계의 BC급 약제가 소화효과의 재발화방지가 좋다. 그 이유는(47회,10점)
4. 분말소화약제의 Knock-Down효과와 비누화 현상을 설명하시오(48회,10점)
5. Dry Chemical 과 Dry Powder소화약제의 차이점을 설명하시오(57회,10점)
6. 금속화재에 있어 소화약제의 종류, 적응 화재 및 특성에 대해 설명하시오(61회,25점)
7. 금속화재 예방대책 4가지를 설명하시오(63회,10점)
8. 금속화재 발생시 화재진압방법에 대하여 설명하시오(94회,25점)
9. 알루미늄 분진의 물리·화학적 특성, 폭발 메카니즘 및 화재 시 소방대책에 대하여 기술하시오(89회,25점)