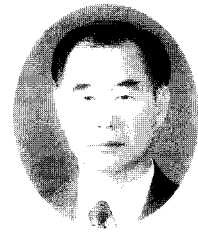


# 특 집

|| 화재와 콘크리트 ||

## 화재와 콘크리트의 재료성능

- Properties of High-heated Concrete -



강병희\*

### 1. 머리말

화재로 인한 건물의 화재 정도는 건축구조물의 안전성에 크게 영향을 미치게 된다. 특히, 철근 콘크리트 구조물이 화재로 인하여 고열을 받게되면, 그 구조적인 내력이 저하되므로, 이에 대한 안전성 검토는 매우 중요하다.

콘크리트의 고온성상은 시멘트의 종류, 골재의 석질, 배합, 함수율, 재령에 따라 달라진다. 또한, 화해를 입은 콘크리트조 건물은 수열조건에 따라 매우 복잡한 양상을 띄게된다. 일반적으로 화재 건물의 콘크리트 부재에서 나타나는 화해는 각 부재의 폭열 또는 콘크리트의 박리에 의한 주근의 노출 등 직접적인 손상과 보의 변형, 기둥의 좌굴, 열팽창에 의한 전단균열 등의 2차적인 피해가 있다. 그 화해 정도는 지진피해의 파괴현상과 유사한 경우도 있다. 이와 같이 콘크리트 부재의 화재 정도를 검토하기 위해서는 콘크리트의 고온성상 파악이 중요하다.

그러나, 고온 수열 된 콘크리트의 고온성상에 관한 연구는 사용재료의 조건이나 시험조건 등 많은 영향 인자로 인하여 연구자에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 이 때문에 정량적인 평가에 대해서는 앞으로 지속적인 연구가 기대된다.

따라서, 본고에서는 기존 연구 결과를 토대로 하여 고온 수열 된 콘크리트의 재료특성 변화에 대해서 검토하고, 또한 이들 특성변화에 영향을 미치는 각종 요인에 대해서 기술하겠다.

### 2. 고온 수열 콘크리트의 물성

#### 2.1 고온 수열 콘크리트의 분해반응

콘크리트는 일반적으로 열을 받으면 변태적인 열반응으로 인한 분해반응을 일으킨다. 수화반응이 충분히 진행된 시멘트 경화체가 가열되면 약 105 °C에서 수분(유리수나 겔수)이 증발한다. 180 °C 정도로 가열되면 화학적으로 결합하고 있는 수분의 일부가 증발하기 시작하고, 약 250 ~ 350 °C에서는 칼슘실리케이트수화생성물은 그 함유수분의 약 20 %를 잃게된다. 400 ~ 700 °C가 되면 칼

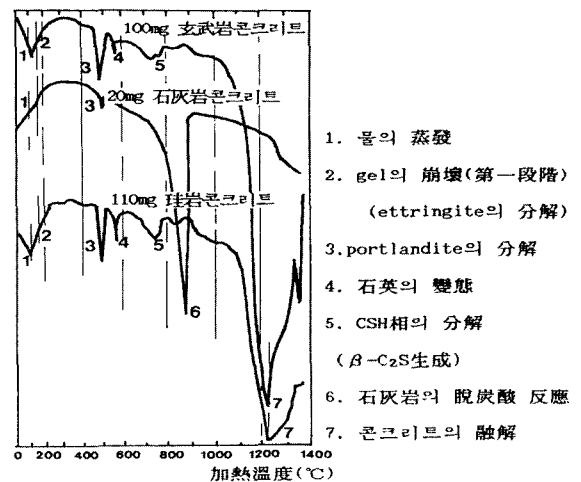


그림 1. 각종 콘크리트의 시차열 분석

\* 정회원, 동아대학교 건축학부 교수

습실리케이트의 함유 수분이 대부분 상실되고 동시에 수산화칼슘도 생석회와 물로 분해된다. 이 분해에 의해서 생석회를 포함하는 시멘트 경화체를 만들어내지만, 이 생석회가 수분을 흡수해서 소화되면 팽창을 일으켜 시멘트 경화체가 붕괴되는 수가 있다. 또 시멘트 경화체는 100°C 전후까지는 팽창하지만 그 이상의 온도가 되면 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>나 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 화합물 및 칼슘실리케이트의 탈수에 의해서 약 2%의 수축을 나타낸다. <그림 1>은 시차열분석(DTA)에 의한 콘크리트의 분해반응이다.

## 2.2 압축강도

콘크리트는 압축강도에 저항하는 구조재료로서 이용되므로, 각종 강도 특성 중에서도 고온 가열된 콘크리트의 압축강도의 변화는 매우 큰 관심을 갖는다. 또, 콘크리트의 압축강도는 다른 강도나 탄성계수와 상관이 높고 콘크리트의 역학적 성질을 나타내는 종합지표로서 활용되고 있다. 고온 가열된 콘크리트의 압축강도는 과거 많은 연구자에 의해 보고되어 있고 그 중 대표적인 가열온도와 잔존압축강도율과의 관계를 <그림 2>에 나타내었다. 잔존압축강도율은 가열 개시 전(20°C)의 압축강도 결과치에 대해서 일정 온도에서 가열이 완료된 후의 결과치와의 비로 나타낸다. 가열온도 20 ~ 800°C에서 1시간 가열하면 그림에서와 같이 가열온도 200°C 이하에서는 극단적인 압축강도저하를 확인할 수 있다. 이들은 공시체 내부의 수분 증발이 그 원인으로 보고되고 있다. 또 가열 온도 400°C 이상에서는 급격한 강도저하를 나타내며 약 700°C에서는 상온에서의 압축강도의 약 20 ~ 40%까지 저하한다. 이는 연구자에 따라 다소 차이를 보이고 있으나, 콘크리트가 화재에 의하여 고온 수열을 받게되면 압축강도

는 크게 저하한다는 사실을 확인할 수 있다. 따라서, 보통 건물의 화재 온도는 대략 700 ~ 1,200°C로 추정되며 이 온도에서 가열된 콘크리트는 구조적으로 매우 위험하다.

또한, 저하된 압축강도는 화재 후 어느 정도의 기간이 경과되면 <그림 3>과 같이 압축강도가 자연 회복되며, 수열 온도가 500°C 이내이면 어느 정도로 재사용이 가능한 상태로 회복된다.

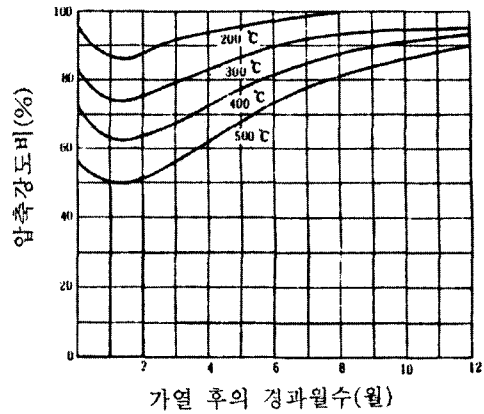


그림 3. 가열된 콘크리트의 강도

## 2.3 인장강도

철근 콘크리트 부재에서는 콘크리트의 인장강도를 무시해서 설계되므로 구조설계상 콘크리트의 인장강도가 문제가 되는 일은 드물다. 그러나, 구조물에 따라서는 기능유지 및 내구성의 관점에서 균열의 발생이 문제가 되는 경우도 있고, 부재에 작용하는 열응력이나 고온 가열로 생기는 변형에 대한 평가와 더불어 인장강도의 평가도 중요하다.

<그림 4>에 활열인장시험에서 얻어진 잔존인장강도율과 가열온도와의 관계를 나타낸다. 인장강도는 압축강도에 비해 공시체

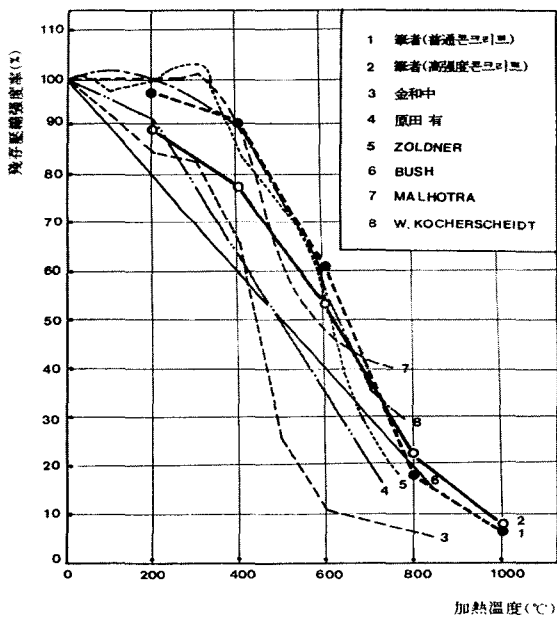


그림 2. 압축강도잔존율과 가열 온도

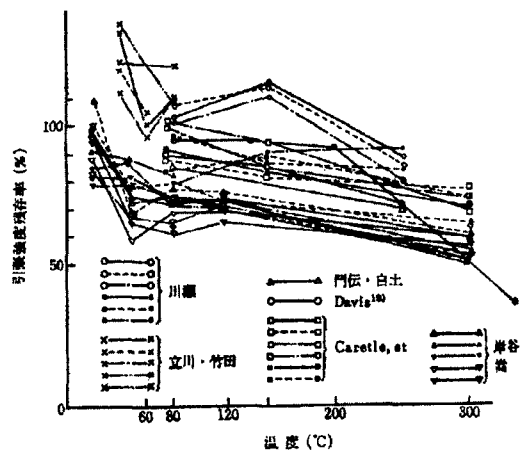


그림 4. 잔존인장강도율과 가열온도

내부의 잠재적인 결함에 민감하므로 가열에 의한 영향을 보다 쉽게 받게된다. <그림 4>와 같이 60°C에서 100°C 정도의 가열 온도 범위에서도 가열 개시 전의 인장강도의 60% 정도가 된다.

Lankard에 의하면 가열온도가 250°C 이상이 되면 인장강도의 저하율이 급격히 커진다는 것을 지적하고 있다.

### 2.4 부착강도

고온 가열된 콘크리트와 철근의 부착강도에 관한 자료는 거의 없는 실정이다. <그림 5>는 부착강도잔존율(슬립량: 0.025 mm)과 가열 온도의 관계를 나타낸 것이다. 부착강도에 대해서는 가열 온도에 따라서 달라지지만, 가열에 의한 콘크리트와 철근의 열팽창 계수의 차이에 의해 부착의 일부가 파괴된다. 특히 적은 슬립량에서도 부착강도는 저하한다. 또 이형철근을 사용해서 부착 실험을 실시하면 슬립량은 커지지만 종국부착강도는 큰 변화가 없다.

또한 콘크리트가 고온 가열되면 시멘트 페이스트 부분과 골재와의 부착력에도 큰 영향을 받게 된다. Hsu는 시멘트와 석회석, 및 모르타르와 사암의 부착강도에 관해서 실시한 실험에 의하면 이들의 부착강도는 오히려 시험시의 내부습수의 영향을 받는다고 보고하고 있다.

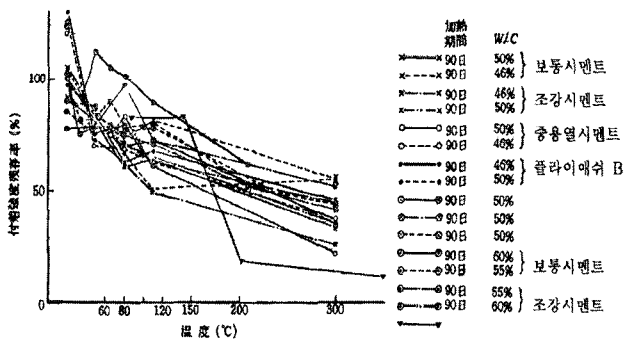


그림 5. 부착강도잔존율과 가열 온도의 관계

### 2.5 정탄성계수

콘크리트가 가열되면 골재와 시멘트 페이스트 간의 열팽창률의 차에 의한 조직 이완이나 수분의 이동 증발에 기인한 물리적 및 화학적 변화가 일어나므로 탄성계수의 저하가 생긴다. 이 때문에 인장강도와 같이 탄성계수는 고온가열의 열을 쉽게 받는다.

<그림 6>에 잔존정탄성계수율과 가열 온도의 관계를 나타낸다. 그림에서와 같이 100°C 이하의 가열 온도에서도 상온에서의 정탄성계수의 약 70% 정도까지 감소한다. 가열 온도가 100°C 이상의 범위에서는 탄성계수는 다른 특성에 비해 훨씬 저하가 뚜렷하고 가열 온도가 300°C가 되면 잔존정탄성계수율은 약 40%에 이른다.

또한, 잔골재율에 따른 잔존탄성계수율은 200°C와 600°C의

가열에서는 큰 차이를 보이지만 가열온도 800°C와 1,000°C에서는 잔골재율에 따른 잔존탄성계수는 거의 변화가 없다.

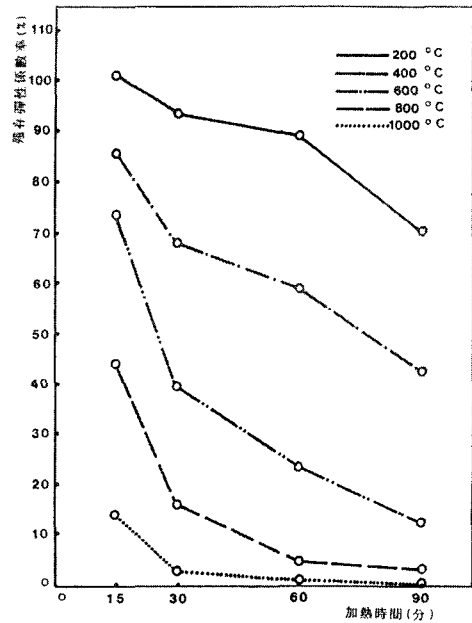


그림 6. 가열 온도에 따른 잔존탄성계수율

### 2.6 크리프

콘크리트에 응력이 작용하면 팽창, 수축, 탄성계수 등이 변화하지만 크리프는 응력이 작용하지 않아도 시간이 경과함과 동시에 그 변형이 증가하는 성질을 갖고 있다. 특히, 고온이 되면 크리프 변형은 커지는 경향이 있다.

가열 온도 50°C 이하에서의 크리프 변형은 온도 증가에 따라 커진다. 가열 온도 20°C에서의 크리프 변형과 비교하면 약 1.5 ~ 2.5배가되며, 가열 온도 80°C에서는 약 2.5 ~ 6배가된다. 그러나, 50 ~ 100°C의 온도 범위에 대한 실험 결과는 연구자에 따라 실험 결과치의 차이를 볼 수 있다.

Cruz는 고온에서 5시간의 크리프 시험에서 260°C에서의 크리프 변형은 상온에서의 크리프 변형 보다 6.4배, 649°C에서는 32.6배의 크리프 변형이 커진다고 보고하고 있다. 또 일정한 온도조건에서는 크리프 변형은 지속 응력과 비례관계에 있다. 또한 회복 크리프는 크리프 변형에 비해서 현저히 작고 온도와 응력의 크기에 의존하지 않는다고 한다.

<그림 7>은 각종의 온도조건 하에서 Naaser이 실시한 크리프 시험 결과를 나타낸다. 이 결과에서 1.7 ~ 71°C의 온도 범위에서는 크리프 속도는 온도의 상승에 따라 증가하지만 71 ~ 230°C의 온도 범위가 되면 반대로 작아지는 경향을 나타낸다고 보고하고 있다. 또 佐久田는 20 ~ 80°C의 온도 하에서 공기체의 밀봉조건을 변화시킨 크리프 시험을 실시하여 크리프에 미치는 온도의 영향이 수분의 증발 속도의 차에 의한다는 것을 보고하고 있다.

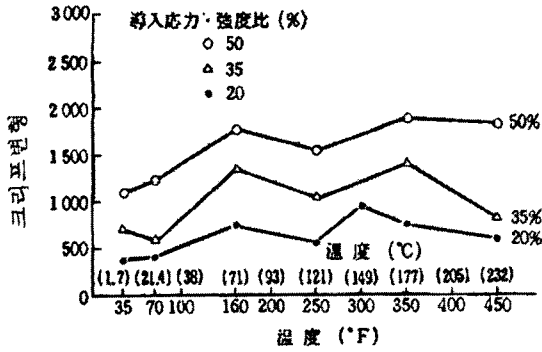


그림 7. 크리프 변형과 온도와의 관계

2.7 열팽창

일반적으로 콘크리트는 가열되면 팽창하는데 가열시의 변형상은 콘크리트 중의 구성재료에 의해 지배된다. 시멘트 페이스트 및 골재는 80 ~ 90 °C까지의 온도에서는 모두 팽창하지만 약 110 °C 이상이 되면 골재는 팽창을 계속하는 것에 반해 시멘트 페이스트 부분은 수축하게 된다. 이와 같이 고온 하에서는 수분 증발에 의한 수축과 열팽창이 동시에 진행되므로 실제 그들의 효과를 분리해서 측정하기는 곤란하다. 그러므로, 모르타르나 콘크리트의 열팽창계수는 시멘트와 골재의 열팽창 특성에 의해 크게 영향을 받는다.

상온의 온도범위에 있어서 콘크리트의 열팽창계수는 7 ~ 12 × 10<sup>-6</sup>/°C이다. 각종의 골재를 사용할 때의 열팽창계수와 골재의 열팽창계수의 관계는 <그림 8>과 같다. 그림에서와 같이 콘크리트나 모르타르의 열팽창계수는 사용된 골재의 열팽창계수와 거의 비례하고 있다.

또한, 中根은 가열온도 600 °C까지의 선팽창률을 측정하였다. 이 결과에서 20 ~ 100 °C 이하에서는 가열 온도에 따라 선팽창률이 수분의 증발에 의하여 급격히 감소하지만, 100 ~ 200 °C의 범위에서는 선팽창률이 최소치를 보이며 이 이후의 온도에서는 급격하게 증가한다. 이는 가열에 따라 수분의 증발이 선팽창률에 큰 영향을 미친다고 보고하고 있다.

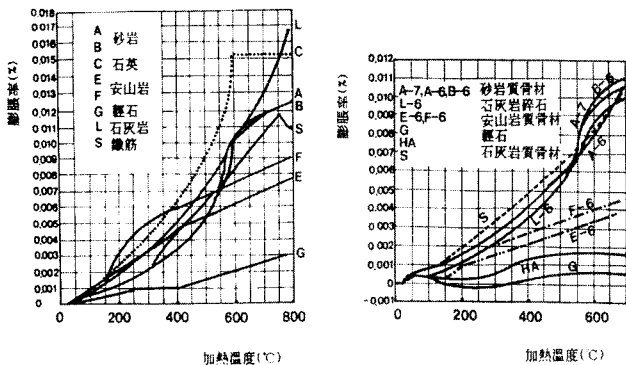


그림 8. 골재의 종류에 따른 열팽창

2.8 밀도

콘크리트의 밀도는 골재의 밀도에 크게 관련되어 있고 특히 20 ~ 150 °C의 온도 범위에서는 콘크리트의 함수율에도 큰 영향을 받는다. 수중양생 된 석회암 콘크리트는 20 ~ 150 °C의 온도범위에서 0.1Mg/m<sup>3</sup>의 밀도 변화가 생긴다. 습윤 상태의 석회암콘크리트는 수열온도 150 °C에서 600 °C 범위까지 밀도 감소가 거의 없으나, 600 ~ 900 °C의 범위에서 탄산화가 시작되어 중구적으로 매우 다공인 콘크리트가 된다(밀도는 약 0.1Mg/m<sup>3</sup>). 더욱 가열하면 중량이 일정한 데 비하여 콘크리트는 팽창하고 밀도는 계속 감소하나 그 후 소결현상에 의하여 강도가 약간 증가한다. 용해하기 시작하면 밀도는 증가하며 결국에는 2.2 ~ 2.6 Mg/m<sup>3</sup>으로 된다. 규암질 골재를 사용한 콘크리트의 강도는 실온에서부터 700 °C 온도 범위까지 밀도가 급격하게 감소한다.<그림 9>

밀도의 초기 감소는 수분의 증발에 의해 결정되며 고온에서는 규암골재의 열팽창에 의해 밀도가 급격하게 저하한다.

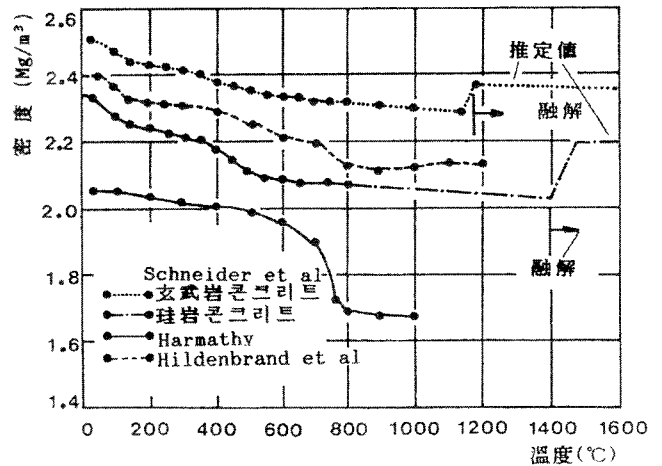


그림 9. 규암질 골재 콘크리트의 밀도

2.9 폭열

콘크리트는 화재와 같은 고열을 받게되면, 부재의 표면이 부분적으로 파편이 떨어지게 된다. 폭열은 콘크리트의 열전도율과 함수율이 클 경우, 급격한 고열에 의해서 나타나는 현상이다. 또한 폭열은 내부수분의 증기압, 열응력, 골재의 광물 특성, 시멘트의 밀실성, 가열 온도 및 가열 속도, 콘크리트의 재령 등 여러 요인이 복합적으로 영향을 미친다. 특히, 폭열 현상은 다음 4가지로 구분할 수 있다.

- 1) 파괴 폭열 : 부재의 표면으로부터 여러 개의 콘크리트 파편이 비산하는 폭열.
- 2) 국부 폭열 : 표면의 특별한 지점, 즉 모서리 등에서 콘크리트의 작은 파편이 비산하는 폭열.
- 3) 단면방향의 점진 폭열 : 단면이 단계적으로 파괴되는 폭열.

4) 박리 폭열 : 콘크리트의 표면 부분이 증력에 의해 벗겨지는 폭열.

〈그림 10〉은 폭열실험 결과이며, 폭열의 영향 요인은 다음과 같다.

- 1) 함수량이 증가하면 폭열의 가능성이 높다.
- 2) 가열 온도가 높을수록, 가열 속도가 빠를수록 폭열의 가능성이 높다.
- 3) 외력이나 프리스트레스트에 의한 압축응력은 폭열의 가능성을 높인다. 폭열은 구조 부재의 압축 영역에 발생하는 것이 보통이다.
- 4) 부재의 두께가 두꺼울수록 폭열의 가능성이 높다.

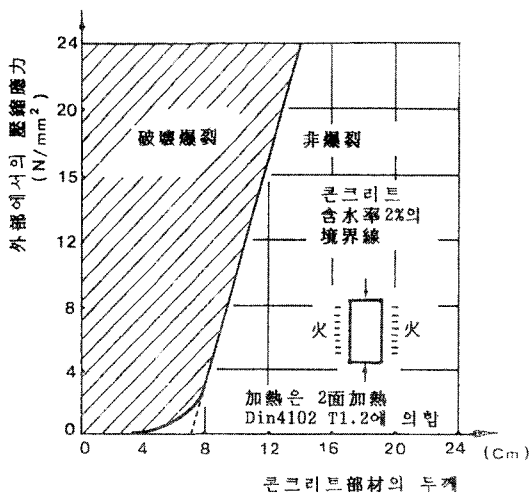


그림 10. 폭열에 미치는 압축응력과 부재두께

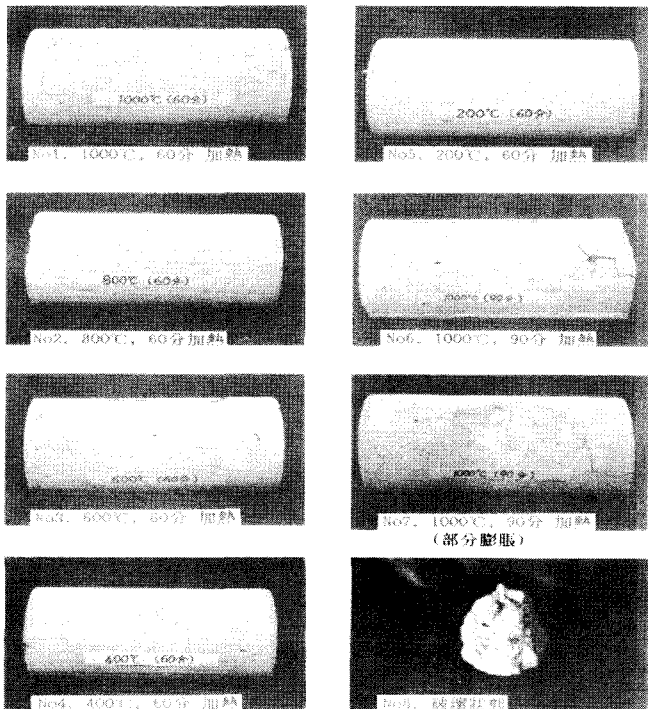


그림 11. 고온 수열 된 공시체의 외부 균열

5) 철근은 폭열의 위험성을 높게 한다.

6) 공극률이 증가하고 공극 직경이 작아지면 폭열의 가능성이 높다.

〈그림 11〉은 고온 수열 된 콘크리트의 균열 모습을 나타낸다.

## 2.10 열전도율

콘크리트의 열전도율은 구성재료의 열전도율에 의해 결정되며 시험시의 열전도율에 영향을 미치는 주 요인은 함수량, 골재의 종류, 배합 및 시멘트의 종류, 온도와 공기량 등에 따라 영향을 미치며 이들의 영향은 다음과 같다.

- 1) 열전도율은 거의 함수량에 비례하여 변한다. 함수량이 증가할수록 콘크리트의 열전도율은 높아지지만 가열시에는 수분의 증발에 의한 열전도율이 크게 저하한다.
- 2) 콘크리트의 열전도율은 골재의 열전도율과 가장 밀접한 관계가 있다.
- 3) 자유수, 수화된 시멘트 및 골재의 체적은 콘크리트의 열전도율에 영향을 준다. 시멘트 페이스트는 골재보다 열전도율이 낮기 때문에 빈배합의 콘크리트는 열전도율이 낮다.

또한, 콘크리트의 열전도율은 〈그림 12〉와 같이 시험체의 가열 온도에 따라 넓은 범위의 값을 갖는다. 이와 같이 편차가 생기는 주된 이유는 콘크리트의 배합이 다르기 때문이다.

열전도율은 대체적으로 물질과 열의 이동에 의존하며, 콘크리트 내부에서 물리, 화학적 반응이 중요한 역할을 한다. 상온에서는 습윤 상태인 콘크리트의 열전도율은 매우 높다. 그 이유는 공극 내부에 수분이 채워져서 열전도율이 높아지기 때문이다.

가열 온도 100°C 보다 낮은 온도에서 콘크리트의 열전도율은 감소한다. 이는 물로 채워져 있던 공극이 부분적인 수분 증발에 의하여 벽체간의 열이동이 잘 이뤄지지 않기 때문이다. 가열 온도 300 ~ 400°C 범위에서는 골재의 열전도율이 낮아짐에 따라 콘크리트의 열전도율은 더욱 감소한다. 가열 온도 400 ~ 600°C 범위에서는 열전도율이 다소 상승하며, 800°C에서 융해 개시까지의 온도에서는 콘크리트의 열전도율이 매우 적다. 800 ~ 1,200°C에서 콘크리트의 열전도율이 약 0.1 W/mk 정도 증가한다.

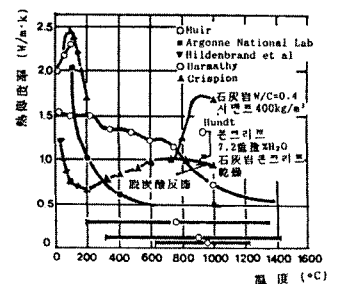
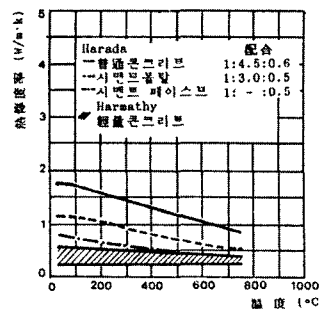


그림 12. 콘크리트의 열전도율

### 3. 고온수열 콘크리트의 특성에 미치는 요인

#### 3.1 배합조건

1956년 Malhotra의 실험에 의하면 콘크리트의 가열 온도가 204 °C 미만에서 시멘트-골재비는 압축강도에 거의 영향을 미치지 않으나, 가열 온도가 204 °C 이상 되면 시멘트-골재비가 적을수록 압축강도의 저하가 적다고 보고하고 있다. 또 물-시멘트비 0.37 ~ 0.65의 범위 내에서는 물-시멘트비는 압축강도의 저하에 거의 영향이 미치지 않는다.

또한, Seaman은 물-시멘트비 0.48, 0.84와 0.5, 0.6에 대해서 콘크리트의 가열 시험한 결과, 물-시멘트비는 압축강도의 저하에 거의 영향을 주지 않는다. 그러나, 가열 시험에서 콘크리트의 탄성계수는 물-시멘트비에 대해 민감하게 변화한다고 보고하고 있다.

#### 3.2 재료조건

##### 3.2.1 시멘트

Campbel-Allen의 보고에 의하면 석회석을 골재로 사용한 콘크리트의 가열 실험에서는 시멘트 중의 C<sub>3</sub>A가 상대적으로 적고 C<sub>4</sub>AF와 C<sub>3</sub>S가 많을 때에는 압축강도의 저하가 크다고 되어 있다.

고로 시멘트는 수화할 때 생성되는 소석회와 고로 슬래그가 화합하기 때문에 생석회의 양이 적어진다. 따라서, 고온 수열에는 시멘트 페이스트의 붕괴 원인이 되는 생석회의 양이 적어지므로 내열성이 높아진다.

알루미나 시멘트는 수화될 때 소석회가 분리되지 않으므로 고온 수열시 생석회의 영향은 받지 않으며, 화학적 결합수의 상실에 의한 강도 저하를 일으킬 수 있다. 그러나, 온도가 다시 상승하게 되면 수경성은 세라믹(ceramic)적인 결합에 의해 강도가 저하하더라도 붕괴에는 이르지 않는다. 이 때문에 최고의 내화강도를 얻기에는 알루미나 시멘트가 유리하다고 되어 있다. 보통, 조강, 중용열 및 플라이 애쉬 B종의 시멘트를 사용한 콘크리트를 20, 50, 80, 110, 300 °C에서 가열한 실험 결과에서는 시멘트의 종류에 따른 각종 특성치의 영향은 없다고 보고하고 있다.

##### 3.2.2 골재의 종류

고온에서는 시멘트 경화체와 골재는 각기 다른 팽창수축성상을 나타낸다. 이 때문에 고온 가열 된 콘크리트의 특성은 사용 골재의 성질에 영향을 받는다. 강자갈, 석회암, 사암 및 팽창 슬래그 골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 가열온도 140 °C까지 골재 종류에 따른 차이는 없으나, 이 이상의 온도로 상승하게 되면 급격히 강도가 저하한다. 급격한 강도저하를 일으키는 온도는 골재에 따라 다르며 팽창 슬래그와 사암은 약 218 °C, 강자갈은 약 315 °C, 석회암은 약 370 °C이다.

일반적으로 탄성계수잔존율도 압축강도의 경우와 유사한 경향을 나타낸다. 300 °C 정도의 고온에서는 현무암이나 경사암에 비해 석회암과 사문암 골재를 사용한 콘크리트의 강도가 크게 저하한다.

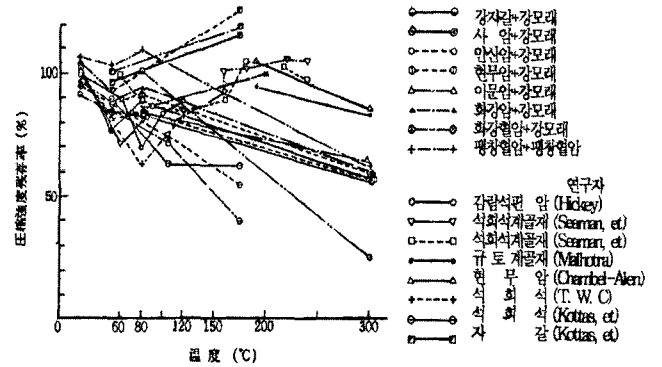


그림 13. 압축강도와 온도 (골재에 의한 영향)

#### 3.3 시험조건

##### 3.3.1 가열조건

콘크리트의 내열성은 가열 온도와 가열 시간이나 가열 반복에 영향을 받는다.

압축강도잔존율과 가열 시간과의 관계는 가열 시간이 100일 이하의 단기인 경우에는 가열 시간이 짧은 쪽이 압축강도 저하가 작아진다. 그러나, 100일 이상 장기간 가열할 때는 가열 시간의 영향은 거의 없다.

또한, 반복 가열에 의한 강도 손실은 반복 사이클과 가열 온도에 따르게 되며, 경우에 따라서는 지속 가열 시간의 2 ~ 3배 정도의 강도가 손실된다.

특성치에 미치는 가열의 영향은 압축강도의 경우 20회 반복 가열시킨 것이 같은 시간을 지속 가열시킨 것보다 잔존율이 40% 정도 낮다. 따라서, 반복 가열에 의한 압축강도 저하는 반복사이클과 가열 온도의 영향이 크다

#### 3.4 콘크리트의 함수량

일반적으로 콘크리트 내부의 수분량이 수열 콘크리트의 성질에 크게 영향을 미친다. 300 °C 이하로 수열 된 콘크리트 내부의 수분량이 수열 콘크리트의 피해 정도는 수열 온도와 가열 기간에 따라 다르지만, 가열 온도 보다도 오히려 중량감소를 즉 함수량의 변화에 잘 대응하고 있다.

(그림 14)와 같이 수열 콘크리트의 잔존압축강도를 및 잔존탄성계수와 중량감소율과의 관계를 나타낸다. 수열 콘크리트의 압축강도는 중량 감소율이 3%에서 가열전의 90%가 되지만, 중량감소율이 3 ~ 5%의 범위에서는 이보다 강도가 증가하는 경향을 나타내며 중량감소율이 5% 이상이 되면 급격히 강도가 저하

한다. 또한, 인장강도, 탄성계수, 부착강도 등은 중량감소율이 증가함에 따라 저하하는 경향을 나타낸다.

이와 같이 수열 콘크리트의 성상변화는 함수량의 영향을 크게 받는다. 따라서, 고온 수열 콘크리트의 특성에 관한 기존의 연구에서 가열 중의 콘크리트 내부의 수분 이동을 고려한 여부에 따라 강도 특성이나 열 특성에 큰 차이를 보인다. 또한, 소형 콘크리트 공시체에 의한 연구 결과만으로 실제 콘크리트 부재의 적용성에는 많은 문제점을 제시하고 있다.

이에 대해서 中根는 강도 특성에 미치는 수분 이동의 영향에 대해서 콘크리트 부재의 단면 내부 함수율과 압축강도, 탄성계수와 관계를 나타냈다. 가열온도 300℃와 600℃에서 가열 콘크리트면 부근을 제외하고는 압축강도와 탄성계수는 함수율이 저하함에 따라 그 값이 저하하는 경향을 확인하였으며 특히, 탄성계수는 그 변화가 명확하게 나타난다. 따라서, 고온 수열 콘크리트의 압축강도와 탄성계수를 평가하는 데는 수분의 이동이 주요한 인자라고 제시하고 있다.

또한, England는 시험체의 측면을 밀봉한 원통형 공시체를 이용하여 장기간에 걸쳐 공시체의 수분 이동에 대해서 검토하고 있다. 공시체는 길이가 1.5m 및 3m를 대상으로 하고 가열 온도는 125℃, 가열 기간은 887일이다. 즉, 수분 손실은 사용 수량에 대한 손실 수량의 비로 나타내고 있다. 이들의 실험에 의하면 수분의 손실은 표면과 가열 면에서도 생기며 콘크리트에서부터 외부로 수분 이동에 대해서 종래부터 확산이론 해석에 기초 자료로 활용되고 있으나, 잉글랜드는 콘크리트가 열을 받을 때에는 확산 이외의 다른 요인을 고려하여 콘크리트의 수분 이동을

평가할 필요가 있다고 한다.

건조하기 쉬운 적은 공시체를 사용하여 실시한 가열 실험을 기초로 실제 구조물의 콘크리트의 내열성을 평가할 때에는 큰 콘크리트 부재의 수분이동을 고려해 둘 필요가 있다.

#### 4. 맺는 말

건축물이 화재를 입게 되면 건물자체의 내화성과 방화성을 충분히 확보하여 인적·물적 피해를 최소화하여야 한다. 그러나, 내화성이 우수한 콘크리트 구조물은 실제 화재와 같은 고온 가열 되면 팽창, 수축, 강도저하 등의 물성 변화와 부재 단면의 내력이 저하하여 크게 손실을 입게된다. 이에 따라 구조물의 주요부재는 건축법규에 따라 내화설계가 이루어지고 있다.

그러나, 콘크리트의 내화성에 관한 연구는 적은 시험체에서 얻은 시험결과를 활용함에 따라 실제 화재 조건에서의 화재 성상을 평가하기는 매우 어려운 실정이다. 최근에는 이러한 성상을 파악하기 위하여 해석적 수법을 도입하여 실제 화재 조건을 추정하여 구조적 내력을 평가하고 있으나 이를 평가하기 위한 고온 가열된 콘크리트의 기초적인 자료가 연구자에 따라 그 차이가 크고 정성적인 연구 결과가 많기 때문에 명확한 화재성상을 추정하기가 어려운 실정이다.

따라서, 고온 가열 된 콘크리트의 특성은 대단히 많은 요인에 영향을 받기 때문에 앞으로의 연구에 따라서 밝혀져야 할 것도 많다고 생각되며, 앞으로 콘크리트 구조물의 발전 면에서도 다방면에 걸친 적극적인 연구가 기대된다. ◻

#### 참고문헌

1. 吳昌熙, "鐵筋콘크리트造火災建物の火害とその補修に關する研究", 東京工業大學 博士學位論文, 1985. 7.
2. 강병희, "초음파에 의한 고온수열콘크리트의 강도추정에 관한 실험적 연구", 동아대학교 박사학위논문, 1989. 12.
3. 森永 繁 監修, "콘크리트의熱的性質", 技報堂出版, 1983.
4. 大野定俊외 1명, "高溫下のコンクリートの物性", 콘크리트工學, Vol.22, No.3, 1984. 3, pp.13~20.
5. 中根享, 長尾巖博, "高溫燻歷を受けるコンクリート物性關實驗的研究", 日本建築學會構造系論文集, 第457号 1994. 3.
6. Campbell-Allen, d., "The Thermal Conductivity of Concrete", Magazine of concrete research, Vol.15, No. Mar. 1963.
7. Seaman, J. C., G.W.Wash, "Variation of Mortar and Concrete Properties with Temperature", ACI Journal, Vol.54, No.5, Nov. 1957.
8. N. G. Zoldners, "Effect of High Temperature on Concrete Incorporating Different Aggregate", ASTM, Philadelphia, Vol.60, 1960.

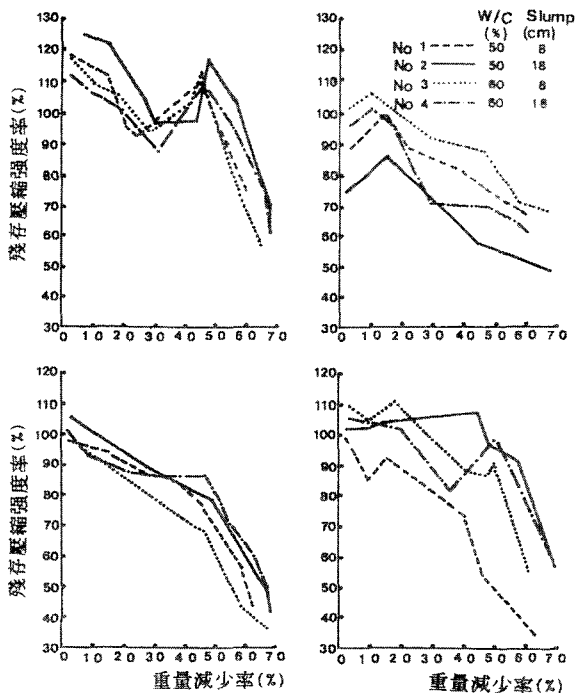


그림 14. 중량감소율과 콘크리트의 성질 변화