비파괴방법에 의한 화해를 입은 고강도 콘크리트의 강도추정

Strength Evaluation of Fire-Damaged High Strength Concrete by Non-Destructive Tests

김 희 선* 박 재 영** 최 은 규*** 신 영 수****
Kim, Hee Sun Park, Jae Young Choi, Eun Gyu Shin, Yeong-Soo

ABSTRACT

When a concrete member is damaged by fire accident, it can lose its strength. And the degradation rate of losing its strength affected by many environmental conditions. But there is few research for equation for strength evaluation of fire-damaged concrete. Besides, it is impossible to destruct structural member from the building for the evaluation. So, I will suggest a new equation for strength evaluation of fire-damaged RC beam using non-destructive test. For this purpose, the researchers are exploring the performance of non-destructive testing methods using Ultrasonic test, Schmidt Hammer test and Coring test against fire damaged concrete specimen.

1. 서론

철근 콘크리트 구조물은 화재 피해를 입으면 재료적 특성이 변화하는 것으로 알려져 있다. 즉, 화재에 노출된 콘크리트는 화재시 온도, 노출시간, 노출정도에 따라 피해의 정도가 달라지며 탄성계수, 강도에 영향을 미친다. 또한, 콘크리트는 화재의 피해를 입은 후 어느 정도 재료적 특성을 회복하는 것으로 나타난다. 따라서 화재피해를 입은 콘크리트 건물의 재사용을 위하서는 이러한 특성을 고려하여 강도를 평가할 수 있어야 한다. 화해를 입은 구조물은 일반적으로 표면 노후화, 재하시험, 표면 반발경도법, 초음파법, Core Sampling에 의한 강도 시험, 중성화 등의 진단을 통해서 성능저하를 평가할 수 있다. 본 연구에서는 화해를 입은 철근 콘크리트 보에 대해서 슈미트 햄머에 의한 표면 반발 경도법과 초음파 시험법, Core Sampling에 의한 강도 시험법을 수행하여 화해 후 강도 저하와 복원정도를 평가하고, 이를 통해 화해 후 강도 복원에 대한 추정식을 제안하고자 한다.

2. 실험 내용 및 방법

2.1 가열실험

화재실험을 위한 실험체는 단면조건(0.25m×0.40m, 피복 4cm), 길이 5m인 직사각형 부재를 수평 가열로에 단순지지 상태에서 순지간거리 4.75m로 설치하고, 일반 사무실의 하중을 활화중으로 가정하여 계산한 하중 9.82tf을 유지하면서 국제 규준인 ISO 834 기준을 따라 90분동안 가열하였다. 콘크리트의 28일 압축강도는 510kg/cm^{2}이다.

* 정회원, 이화여자대학교 건축구조연구실 석사과정
** 정회원, 이화여자대학교 건축구조연구실 석사과정
*** 정회원, 이화여자대학교 건축구조연구실 박사과정
**** 정회원, 이화여자대학교 건축학과 교수

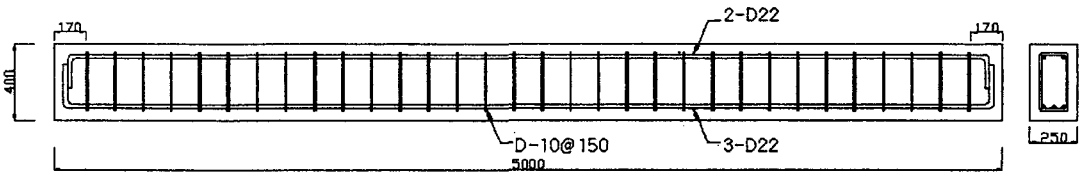

그림 1 실험체 형상

2.2 비파괴 시험법

비파괴시험법으로는 초음파시험, 표면반발 경도법을 화해 전후, 화해 후 20일, 화해 후 60일에 수행하였으며, 화해 후 300일이 지난 보에 대해서는 Core Sampling에 의한 강도 시험법을 수행하였다.

2.2.1 초음파 시험

초음파 시험법은 콘크리트를 전파하는 초음파의 전파속도로 콘크리트의 내구성, 균질성, 탄성계수 및 강도 등의 추정에 이용된다. 화해를 입은 콘크리트의 경우 폭렬현상으로 인해 보의 하부를 제외하고는 표면이 고르지 못하여 측정이 불가능하게 되어 본 실험에서는 보 밑면에서 2cm 올라온 위치에서 간격 40cm마다 측정하였다.

2.2.2 표면 반발 경도법

타격에 의한 콘크리트 표면 경도를 측정하여 이 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 방으로 슈미트 햄머를 이용하여 보 위치에 따라 각각 7번씩 타격하여 평균값을 채택하였다.

2.2.3 Core Sampling에 의한 강도 시험법

화재 후 300일이 지난 보에 대해 중앙부와 바깥 부분으로 나누어 원통모양의 시편을 채취하였다. 채취된 시편은 그라인더를 이용하여 지름과 높이의 비가 1:1에서 1:2사이 값을 갖도록 잘라내었으며 압축강도 측정 후 수정계수에 의해 값을 조절하였다.

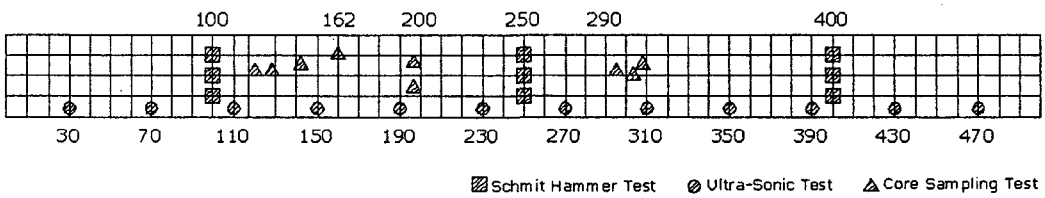

그림 2 실험 측정 위치

3. 실험 결과 및 분석

3.1 화재 실험 결과

시험체를 90분간 가열했을 때, 콘크리트가 노출되는 온도는 250℃에서 350℃ 사이에 있으며, 이는 TZ Harmathy에 따르면 콘크리트 강도의 안정, 재회복 구간에 포함되는 것을 확인 할 수 있다.

3.2 화해 이전 고강도 콘크리트의 압축강도 추정

(1) 표면 반발 경도법

슈미트 햄머에 의한 반발경도와 압축강도와의 관계식은 몇 가지가 있으나 현재 국내에서 많이 쓰이는 식은 고강도 콘크리트에서 강도를 과소평가하는 경향을 보인다. 따라서 화재이전의 고강도 콘크리트에서의 압축강도 추정식은 회기분석 기법을 이용하여 식 1.과 같은 관계식을 구하였다.

F_{ck} = -635.873 + 22.747*R (결정계수=0.9208, R : 반발경도, 단, R≥45) 식 1.

(2) 초음파 시험법

초음파 시험법을 통해 얻은 전파속도를 통해 고강도 콘크리트 상태일 때의 압축강도를 추정하는 관계식은 회귀분석을 통해 식 2.와 같이 도출하였다.

F_{ck} = -6751.83 + 1688.345*Vp (결정계수=0.9056, V_p = 초음파 속도 km/sec) 식 2.

(3) 복합법에 의한 압축 강도 추정식

일반적으로 비파괴시험을 수행한 경우에는 반발경도법과 초음파법에서 나온 값을 모두 변수로 하는 관계식이 보다 정확한 것으로 알려져 있다. 따라서 본 실험에서 나온 값을 바탕으로 회귀분석을 거쳐 다음과 같은 화재 전 고강도 콘크리트 보의 압축강도를 추정하는 복합 관계식을 얻었다.

F_{ck} = -4343.156 + 928.94*Vp + 16.892*R (결정계수=0.9528) 식 3.

표 1 추정 결과와 실제값의 비교

초음파 속도	반발 경도	추정 압축강도	실제 압축강도
4.3115 km/sec	52.3	545.421 kg/cm^2	550 kg/cm^2
4.3292 km/sec	54.2	593.958 kg/cm^2	591.8 kg/cm^2

3.3 화해 입은 콘크리트의 강도 변화에 대한 추정

(1) 표면 반발 경도법

화해이후의 실험에서는 반발경도 값이 20에서 45 사이에 있고, 가력 실험시의 값과 비교하였을 때 0.57%의 오차를 보이는 점을 고려하여 일본 건축학회의 식(F_{ck}=7.3R+100)을 채택하였으며 화해 이전의 강도와 비교하여 압축강도는 약 60%까지 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 초음파 시험법

화해를 입은 콘크리트는 성분이 불균질하게 변화하고 균열이 발생하기 때문에 초음파의 전파속도가 거의 나타나지 않거나 170~300 m/sec정도로 작아서 기존의 관계식이 실제 강도를 반영하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 앞서 반발 경도 시험법에서 얻은 콘크리트의 강도와 비교하여 회귀분석을 통해 화재이후의 콘크리트 압축강도를 나타내는 추정식을 다음 식 4.와 같이 도출하였다.

F_{ck} = 251.233 + 243.784*Vp (결정계수=0.9763) 식 4.

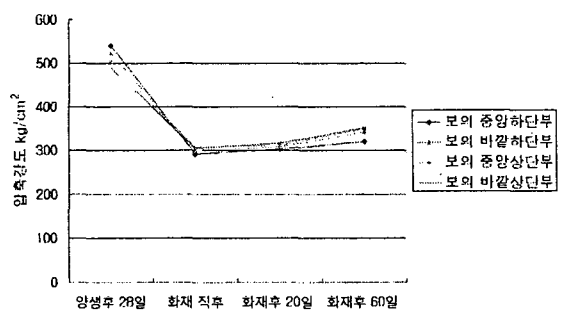

그림 3 반발경도법에 의한 강도변화

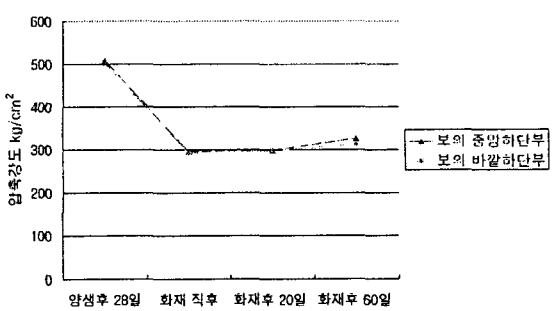

그림 4 초음파시험법에 의한 강도변화

(3) Core-Sampling 에 대한 강도시험법

화해 후 300일이 지난 콘크리트를 채취하여 위치별로 살펴보면 화해를 입지 않은 콘크리트와 비교하여 보의 중앙 상단부는 78%, 하단부는 57%까지 복원되었으며, 보의 바깥 상단부는 98%, 하단부는 83%까지 복원되었음을 알 수 있다.

표 2 . 초음파 속도, 반발경도, 압축강도와의 관계

		양생 후 28일		화재직후		화재 후 20일		화재 후 60일		화재 후 300일	
		보 중앙	보 바깥	보 중앙	보 바깥	보 중앙	보 바깥	보 중앙	보 바깥	보 중앙	보 바깥
초음파속도	보 상단	4.3115	4.3223	-	-	-	-	-	-	-	-
(km/sec)	보 하단	4.3095	4.3374	0.1863	0.1731	0.1945	0.2129	0.2547	0.311	-	-
반발경도	보 상단	52.3	51.2	28.37	28.235	28.9	28.7	34.3	35.95	-	-
	보 하단	54.2	51.9	26.27	26.835	27.7	27.85	30.1	30.85	-	-
coring실험	보 상단	-	-	-	-	-	-	-	-	479.481	601.26
(kg/cm^2)	보 하단	-	-	-	-	-	-	-	-	347.641	512.25
추정압축강	보 상단	545.42	536.87	307.101	306.116	310.97	309.51	350.39	362.44	479.48	601.26
도(kg/cm^2)	보 하단	575.68	562.72	291.771	295.896	302.21	303.31	319.73	325.21	347.64	512.26

3.4 추정식 제안

화해 입은 콘크리트의 강도회복곡선은 앞의 그래프에서 보는 바와 같이 비선형적으로 나타난다. 따라서 본 연구에서는 회복곡선을 $Y=A + BX + CX^2$ 으로 가정한다. 또한 초음파 속도와 압축강도와의 관계가 반발 경도법에 의한 값을 토대로 하였기 때문에 강도회복곡선에서는 반발 경도 값만을 변수로 고려하여 분석한다. 위치에 따라 복원정도가 다른 점을 감안하여 아래와 같이 4개의 회귀식을 구하였다. 단, 여기서 d는 냉각 일수를 의미한다.

(1) 보의 중앙, 하부 : $Y=291.8466 + 0.5354*d - 0.0011647*d^2$ (결정계수 : 0.9999)

(2) 보의 중앙, 상부 : $Y=302.632 + 0.7893*d - 0.0006652*d^2$ (결정계수 : 0.9959)

(3) 보의 바깥, 하부 : $Y=295.2546 + 0.4338*d + 0.000962*d^2$ (결정계수 : 0.9997)

(4) 보의 바깥, 상부 : $Y=299.96 + 0.97*d + 0.0001149*d^2$ (결정계수 : 0.9969)

4. 결론

본 연구에서 고강도 콘크리트에 대해 90분간 가열한 경우 콘크리트의 내부 온도는 350℃까지 상승하며 이로 인해 강도저하가 약 60%까지 일어나나 화해 후 냉각시간에 따라 점차 강도를 복원하는 것으로 나타났다. 강도의 복원은 비선형적으로 이루어지며, 내부 온도가 높은 하단 부분보다 상단 부분이, 균열이 많이 발생하는 중앙부분에 비해 바깥 부분이 복원정도가 큰 것으로 나타났다. 실험값에 의한 강도복원 회귀식은 결정계수가 0.84~0.99까지 비교적 정확다고 평가된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 지원 하에 이루어진 연구로, 실험에 도움을 주신 대림건설, 방재시험연구원, (주)콘크리닉에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. T.Z. Harmathy, Fire Safety Design & concrete ,Longman Scientific & Technical
2. 김두섭, 김남준, 회귀분석의 기초와 응용
3. 신미경 "화재 피해를 입은 고강도 철근콘크리트 휨부재의 구조성능에 관한 연구", 이화여자대학교 석사학위 논문, 2004