

鋼纖維補強콘크리트의 耐火性에 관한一實驗

Fire Resistance Test of Steel Fiber Reinforced Concrete

尹 在 煥*
Yoon, Jai Hwan

Abstract

In this study, fire resistance of steel fiber reinforced concrete was investigated. Cylindrical and prismatic specimens made of Ordinary Portland Cement plain concrete and steel fiber reinforced concrete were exposed to heating in accordance with a standard time-temperature curve as specified in KS · F22 57, method of fire resistance test for structural parts of buildings, the period of heating was 1 hour and 2 hours. After the fire resistance test, mechanical properties of specimens such as compressive and bending strength, stress-strain curve, static and dynamic modulus of elasticity and bending toughness were investigated. Also the cracks and spallings of the specimens were observed.

From the test results, it was confirmed that steel fiber reinforced concrete has a excellent fire resistance than plain concrete in the view of higher residual strength of concrete and smaller crackings because of steel fibers in concrete.

1. 序 論

建築防災의 立場에서 본 建築材料의 热的性質은 火災時에 있어서 延燒擴大의 速度 등을 判斷하기 위한 基本的인 要素이다. 그러나 鐵筋콘크리트造 등에 사용되는 콘크리트의 耐火性에 관하여는 構造部材가 火災中 崩壞하지 않을 것 (安定性), 火炎이 통과하는 疏密이나 구멍이 생기지 않을 것 (完全性) 또한 火災의 反對側에 접하여 있는 可燃物을 發火시키는 热을 전달해서는 안되며 (絕緣性), 이것은 또한 建築物의 再使用과 중

요한 關係가 있다. 콘크리트의 高温下의 物性에 관해서는 많은 報告^{1, 2)}가 있으며, 콘크리트의 耐火性은 骨材의 種類, 콘크리트의 含水狀態 및 養生條件, 鐵筋補強, 試驗條件 (加熱速度, 載荷의 有無 등) 등의 많은 因子에 左右된다. 특히 火災時 콘크리트部材에 보이는 폭발적인 爆裂 現象 (Spalling)은 耐火上 中要한 문제임에도 불구하고 충분히 究明되지 못하고 있다.

本研究는 종래의 콘크리트에 鋼纖維(Steel Fiber)를 混合함으로써 여러가지 性能을 改善한 鋼纖維補強콘크리트(Steel Fiber Reinforced Concrete, 以下 略해서 SFRC라 칭함)의 耐火性狀에 관한 것이다. SFRC는 보통콘크리트의 耐

* 正會員, 水原大學 建築工學科 助教授, 工博

2 / 鋼纖維補強콘크리트의 耐火性에 관한一實驗

火試驗에서 보이는 爆裂現象이 적극 抑制되어 耐火試驗後에도 균열의 發生이 极히 적다고 하나 SFRC의 耐火性을 定量的으로 파악한 研究는 드물다. 本研究에서는 보통콘크리트 및 SFRC의 2종류의 콘크리트로서 供試體를 製作하여 KSF 2257의 標準加熱曲線에 따라 1時間 및 2時間 耐火試驗을 행한 후 耐火試驗前後의 強度, 彈性係數의 低下狀態나 균열, 爆裂 상태 등을 比較함으로써 SFRC의 耐火性을 評價하는 것을 目的으로 하였다.

2. 實驗方法

2.1 使用材料

本 實驗에 사용된 시멘트는 S社製 보통포르트랜드 시멘트이며, 콘크리트에 사용한 細骨材와 粗骨材는 大井川產의 강모래, 강자갈이다. 粗骨材의 최대침수는 25mm와 15mm의 2종류로 하였으며, 細, 粗骨材의 諸性質을 표1에 나타낸다. SFRC 제작에 사용한 鋼纖維는 침수가 $0.5 \times 0.5 \times 30\text{mm}$ 의 剪斷纖維로서 아스펙트비는 54이다.

표 1. 콘크리트에 사용한 세, 조골재의 제 성질

제의 종류	최대침수 (mm)	표면비중	단위용적중량 (kg/l)	흡수율 (%)	설적율 (%)	조립율
세골재	5	2.60	1.740	1.71	68.1	2.98
조골재 A	25	2.65	1.741	0.93	66.3	6.87
조골재 B	15	2.65	1.722	0.98	65.6	6.44

2.2 콘크리트의 配合

本 實驗에 있어서 보통콘크리트 및 SFRC의 配合은 표2와 같이 粗骨材의 최대침수에 따라

표 2. 콘크리트의 배합

종류	조골재의 최대침수 (mm)	슬럼프 (cm)	물시멘트비 (%)	섬유량 (o/vol)	세골재율 (%)	단위수량 (kg/m ³)	단위중량(kg/m ³)			혼화제 (cc)
							시멘트	세골재	조골재	
A 0	25			0	42	162	295	757	1068	2950
A 1		18±2	55	1	51	204	371	826	796	3710
A 2				2	65	233	424	949	522	4240
B 0	15			0	42	169	307	746	1052	3070
B 1		18±2	55	1	56	207	376	894	716	3760
B 2				2	72	241	438	1030	408	4380

A, B의 두가지로 나누어지며 다시 A와 B는 鋼纖維의 添加量에 따라 3 가지로 나누어져 全體 6種類이다. 콘크리트에 사용한 混和劑는 AE減水劑이다.

2.3 供試體의 製作 및 養生

공시체는 壓縮試驗用 공시체와 휨試驗用 공시체의 2종류를 제작하였다. 압축시험용 공시체는 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 의 圓柱공시체를, 휨시험용공시체는 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ 의 角柱공시체를 사용하였다. 다짐方法은 보통콘크리트의 경우는 KSF2403에 의한 標準손다짐 method에 의하여, SFRC의 경우는 圓柱공시체는 2회로 나누어, 角柱공시체는 한번에 콘크리트를 打設하고 각 회마다 電動式 棒狀바이브레이터를 형틀의 外側面에 대어 약 5초간 外部振動을 주어 다쳤다. 供試體는 脱型後 4週間 표준양생을 한 후 室內에서 約 1개월간 放置하였다. 또 耐火試驗까지의 材令(보통 3개월)을 단축하기 위하여 室內放置의 도중에 乾燥機에 넣어 100°C一定溫度 상태에서 2日間 強制 乾燥시켰다.

2.4 耐火試驗方法

공시체의 耐火試驗은 KSF 2257(建築構造部分의 耐火試驗方法)에 의한 標準加熱曲線에 의하여 1時間 및 2時間 加熱을 행하였다. 爐는 柱梁用 加熱爐(도시가스사용)를 사용하여 爐內의 供試體의 配置方法은 그림 1과 같이 供試體의 주위로부터 均等히 加熱되도록 배치하였다. 특히 角柱 공시체는 3面을 加熱하여 불이 닿지 않는 面을 휨시험時 加力面으로 하였다. 그림 1 중, E, F, G, H 공시체는 Dummy用 供試體(본 시험과는 관계

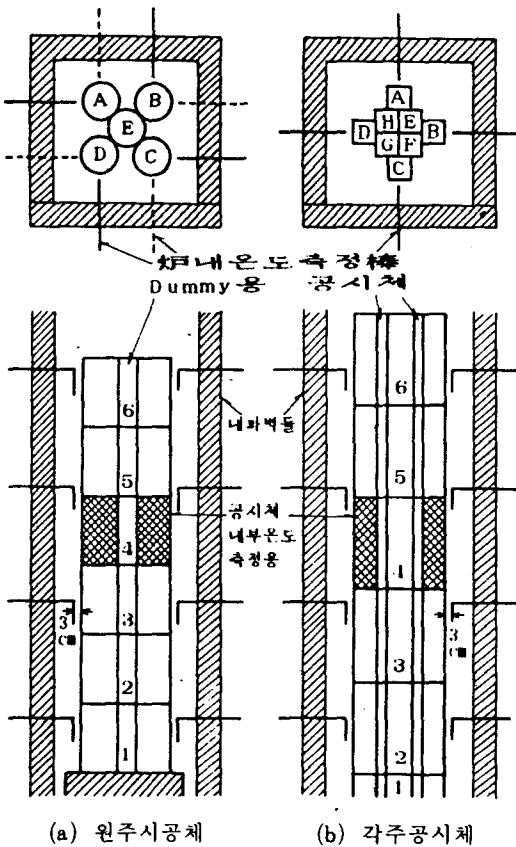


그림 1. 내화시험시 공시체의 배치방법

없는 공시체)이며, 供試體의 内部溫度를 測定하기 위하여 그림 1의 4段階의 位置(빗금친 部分)에 内部溫度測定用供試體를 설치하였다.

2·5 試験結果의 評價方法

耐火試験結果의 평가방법은 試験前後의 各 공시체의 압축강도, 휨강도, 정탄성계수, 동탄성계수, 비중, 휨靶性의 低下정도 및 試験 終了後의 공시체의 균열, 爆裂의 發生狀態의 目視에 의한 評價로 하여 耐火試験前의 상태와 比較檢討함으로써 相對的으로 評價하는 것으로 한다.

3. 實驗結果

3·1 溫度 - 時間曲線

耐火試験時에 있어서 加熱爐內의 溫度上昇 상태 및 콘크리트供試體內의 溫度上昇의 一例를 그림 2에 나타낸다. 그림 2는 圓柱供試體의 1시간 耐火時의 溫度 - 時間 曲線을 나타낸 것이다. 그림中 實線은 標準加熱曲線이며 實線주위의 溫度分布는 供試體에서 3cm 떨어진 爐周의 溫度를 CA熱電對로서 測定한 것이다. 下部曲線은 供試體內의 溫度上昇을 나타낸 것으로 點線은 供試

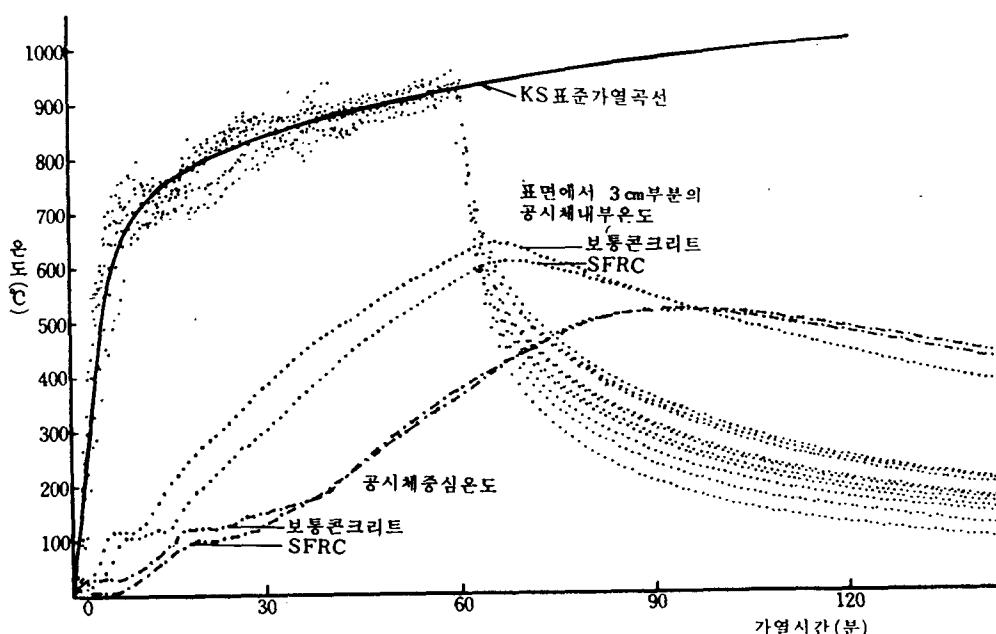


그림 2. 내화시험의 온도 - 시간 가열곡선 (1시간가열, 원주공시체)

4 / 鋼纖維補強콘크리트의 耐火性에 관한一實驗

體外表面에서 3cm 떨어진 供試體 内部의 온도分布를, 一點鎖線은 供試體 center의 온도상승을 나타낸 것이다.

그림 2로부터 供試體 中心部에서의 最高 温度는 보통콘크리트 및 SFRC의 경우 모두 耐火試驗終了後 約 40分後에, 外表面으로부터 3cm部分의 最高溫度는 約 5分後에 도달하고 있다. 또 加熱溫度가 100°C의 근방에서는 콘크리트內의 自由水가 蒸發하기 때문에 内部溫度의 上昇이 停滯되어 있는 것을 알 수 있다. 위와 같은 傾向은 다른 供試體의 耐火試驗에서도 同一하며 보통콘크리트와 SFRC간의 最高 温度差는 거의 無視할 정도이다.

3·2 耐火試驗後의 供試體의 狀態

耐火試驗後의 공시체의 균열狀況의 一例를 사진 1에 나타내었다. 보통콘크리트의 공시체는 加熱시간의 경과에 따라 균열이 增大하여 供試體의 上·下마구리面에도 균열이 발생하였다. 그러나 SFRC의 공시체는 微細균열만이 發生하였으며 上, 下마구리面에는 균열을 볼 수 없었다. 이것은 콘크리트에 混入된 鋼纖維가 균열의 發生이나 균열幅의 增大를 防止하는 역할을 한 때문으로 생각된다. 콘크리트의 爆裂現象은 보통콘크리트의 供試體 하나에 근소한 爆裂을 보였을 뿐 다른 供試體에는 전혀 發生하지 않았다. 이것은 콘

크리트 内部의 自由水量이 120~130kg/m³ 以下에서는 爆裂現象이 생기지 않는다고 報告한 K. Shirayama³⁾의 研究結果에 비추워 볼 때 供試體의 含水率이 极히 낮았던 때문이라고 사료된다.

3·3 耐火試驗後의 諸性能의 低下

耐火試驗前後의 各種 물리적 성질을 표로 나타내면 표 3, 4, 5와 같다. 耐火試驗後의 각 성능치는 供試體가 耐火試驗終了後 常溫으로 冷却한 후 바로 測定하였으며 同一條件의 供試體 3개의 平均值이다.

3·3·1 圧縮強度

各種 공시체의 耐火試驗前後에 있어서 應力度-變形度曲線을 그림 3에 나타낸다. 또 시험전후의 圧縮強度를 표 3에 나타내었다. 이에 의하면 각 공시체는 加熱時間의 增加에 따라 耐力이 점차 低下됨을 알 수 있다. 또 耐火試驗後 콘크리트공시체의 압축강도殘存率(耐火시험전의 압축강도를 100%로 했을 때 耐火시험후의 값을 百分率로 나타낸 값)을 계산하여 그라프로 나타내면 그림 4와 같다. 이에 의하면 圧縮強度의 殘存率은 보통콘크리트는 1時間 耐火에서 60%, 2시간 耐火에서 20%인 반면, SFRC의 경우는 1시간 耐火에서 70~90%, 2시간 耐火에서 30~



(a) 원주공시체(보통콘크리트) (b) 원주공시체(SFRC) (c) 각주공시체(보통콘크리트) (d) 각주공시체(SFRC)
사진 1. 내화시험후의 공시체 균열상태(2시간 가열후) (SFRC에서 검은 선으로 보이는 것은 鋼纖維이다)

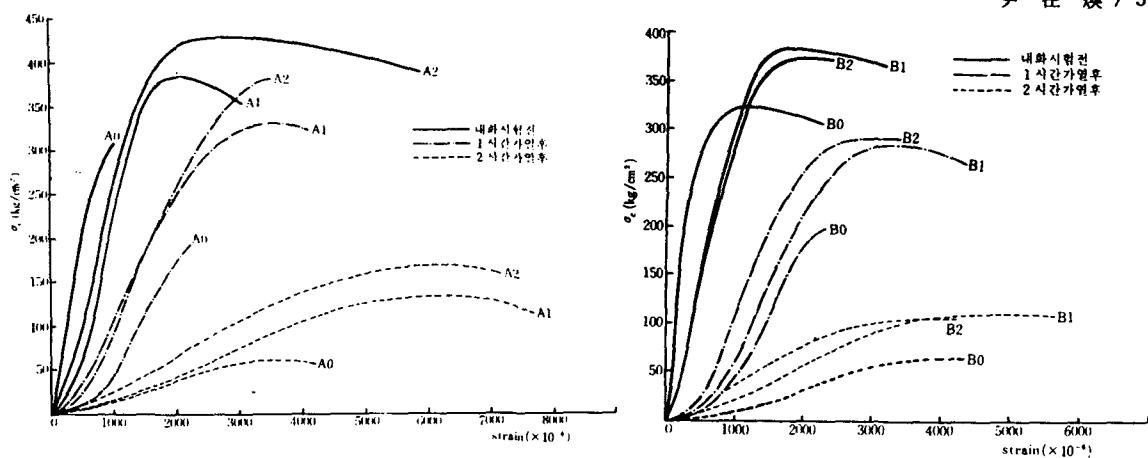


그림 3. 원주공시체의 내화시험전후에 있어서 응력도-변형도곡선

표 3. 내화시험전후의 제성능의 비교

공시체의 종류	압축강도 (kg/cm²)			휨강도 (kg/cm²)			정탄성계수 (kg/cm²) × 10³		
	시험전	1시간후	2시간후	시험전	1시간후	2시간후	시험전	1시간후	2시간후
A 0	308	191	59	47	2.9	1.4	2.77	0.67	0.11
A 1	387	325	130	70	21.2	14.6	2.03	0.76	0.16
A 2	429	382	163	107	37.7	33.1	1.86	0.77	0.17
B 0	322	197	65	56	3.6	1.4	3.02	0.56	0.11
B 1	386	284	111	71	24.9	12.8	1.95	0.78	0.17
B 2	375	292	107	121	57.3	25.4	1.97	0.75	0.16

표 4. 내화시험전후의 동탄성계수의 비교

공시체의 종류	동탄성계수 (원주공시체) (kg/cm²)				동탄성계수 (각주공시체) (kg/cm²)			
	시험전	1시간후	시험전	2시간후	시험전	1시간후	시험전	2시간후
A 0	4.30×10^3	0.74×10^3	4.33×10^3	0.16×10^3	4.50×10^3	0.16×10^3	4.52×10^3	0.03×10^3
A 1	3.82	0.81	3.90	0.27	4.15	0.67	3.94	0.45
A 2	3.46	0.99	3.47	0.36	3.78	0.92	3.73	0.71
B 0	4.23	0.75	4.22	0.15	4.23	0.24	4.22	0.03
B 1	3.64	0.80	3.73	0.34	3.96	0.79	3.92	0.50
B 2	3.42	0.87	3.44	0.43	3.75	1.02	3.60	0.63

표 5. 내화시험전후의 비중의 비교

공시체의 종류	비중 (원주공시체)				비중 (각주공시체)			
	시험전	1시간후	시험전	2시간후	시험전	1시간후	시험전	2시간후
A 0	2.29	2.19	2.29	2.15	2.29	2.18	2.29	2.16
A 1	2.28	2.16	2.28	2.13	2.31	2.19	2.26	2.13
A 2	2.29	2.15	2.29	2.13	2.28	2.16	2.26	2.10
B 0	2.28	2.18	2.28	2.14	2.28	2.17	2.27	2.14
B 1	2.26	2.13	2.27	2.11	2.27	2.14	2.25	2.10
B 2	2.26	2.12	2.26	2.09	2.26	2.12	2.22	2.09

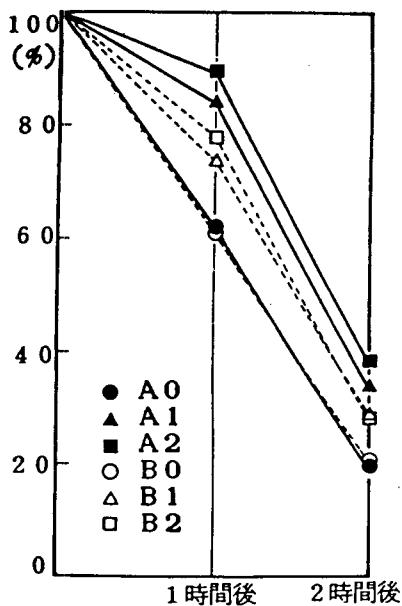


그림 4. 압축강도의 잔존율

40%의範圍內에 있다. 이와같이壓縮強度에 있어서 보통콘크리트와 SFRC와의殘存率의 差가 적은 것은 加熱時에 생긴 콘크리트內의 균열과組織의弛緩이 壓縮應力에 의해相殺되는效果에 起因한 것으로 생각된다.

3·3·2 휨강도 및 휨韌性

휨강도시험은 3等分點載荷에 의했다. 표3에 耐火試驗前後의 휨강도를 나타내었으며 또 휨공시체의荷重 - 처짐曲線을 나타내면 그림5와 같다. 加熱時間의 경과에 따라 휨耐力이 低下하는 것은 壓縮의 경우와 同一하지만 휨시험의 경우 SFRC는 보통콘크리트에 비해 韌性이 크게改善되며 이것은 耐火試驗後에도 同一하다. 그림6은 耐火試驗後 휨강도의 殘存率을 나타낸 것이나 이 그림에 의하면 휨강도의 殘存率은 보통콘크리트의 경우 1시간加熱에서 6%, 2시간加熱에서 3%로 거의 全 휨강도가 상실되나 SFRC의 경우는 1시간加熱에서 30~50%, 2시간加熱에서 20~30%로 크고, 鋼纖維에 의한補強效果가 가장 크게 나타난 것으로 사료된다.

또 그림5의荷重 - 처짐曲線에서 처짐이 1.9mm

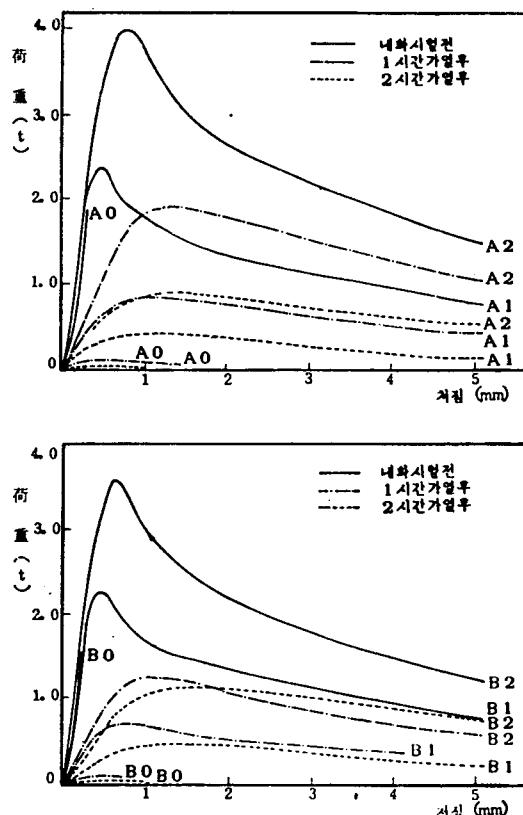


그림 5. 휨공시체의 내화시험전후의 하중 - 처짐곡선

에 달할 때까지의荷重 - 처짐曲線으로 둘러쌓인面積을 휨韌性的評價指數로 하여耐火試驗前後의 韌性을 비교하면 SFRC는 보통콘크리트에 비해 鋼纖維 1%일 때는 약 20~30倍, 鋼纖維가 2%일 때는 약 50倍에 달하며 이比率은耐火試驗後에도 변함이 없다.

3·3·3 弹性係數

彈性係數는 그림3의圓柱供試體의應力度 - 變形度曲線으로부터 구한靜彈性係數와圓柱公시체 및 角柱公시체의超音波傳播速度로부터 구한動彈性係數의 2종류이다. 초음파 전파속도에 의한동탄성계수는 다음式⁴⁾에 의해 구했다.

즉 音波의 傳播速度 V_t 은

$$V_t = l/t \times 10^{-6}$$

이고, 또

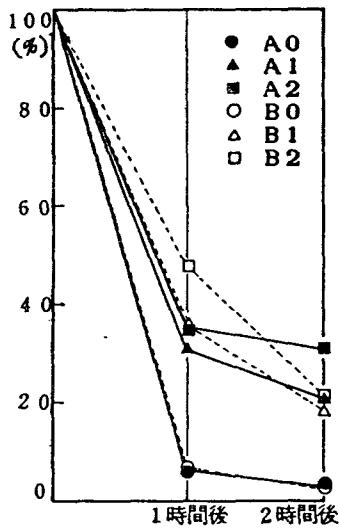


그림 6. 흔강도의 잔존율

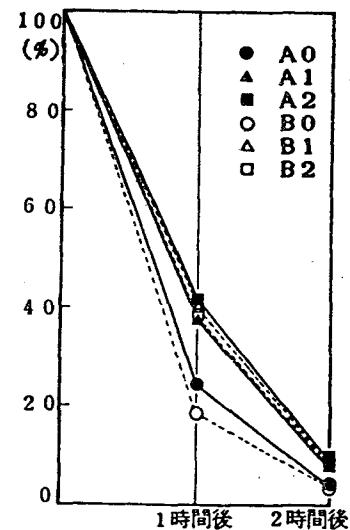


그림 7. 정탄성계수의 잔존율

$$V_t = \sqrt{\frac{E_d \cdot g}{\rho}}$$

이므로

$$E_d = \frac{V_t^2 \cdot \rho}{980 \times 10^3}$$

이다. 여기서

V_t : 音波의 傳播速度 (cm/sec)

t : 音波의 傳播時間 ($\mu s = \times 10^{-6} sec$)

l : 音波가 전파하는 거리 (cm)

ρ : 공시체의 密度 (g/cm^3)

g : 重力加速度 (cm/sec^2)

E_d : 動彈性係數 (kg/cm^2)

耐火試驗前後의 압축공시체의 靜彈性係數, 動彈性係數 및 각주공시체의 動彈性係數값은 표3, 4에 각각 나타내었다. 또 耐火試驗前後의 정탄성계수 및 동탄성계수의 殘存率을 그림7, 8, 9에 나타내었다.

정탄성계수의 殘存率은 보통콘크리트의 경우 1시간 耐火에 20%, 2시간 耐火에 4%이며, SFRC는 1시간 耐火에 40%, 2시간 耐火에 8% 정도이며, SFRC는 보통콘크리트보다 2倍의 殘存率을 나타내고 있다. 또 超音波 전파속도에 의한 動彈性係數는 火災에 의한 콘크리트 내

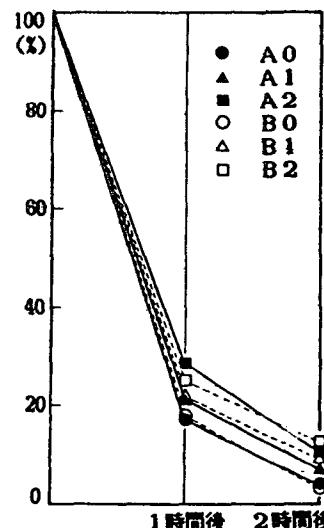


그림 8. 동탄성계수의 잔존율(원주공시체)

部組成의 分離나 콘크리트의 欠陷, 균열의 發生이나 進行정도 등을 評價하는데 대단히 有効한 方法이다. 원주공시체 및 각주공시체의 동탄성계수의 殘存率를 나타낸 그림8, 9로부터 動彈性係數는 靜彈性係數보다 加熱에 의한 低下의 정도가 현저하며 이것은 加熱에 의한 内部콘크리트의 劣化에 起因한 것이다. 동탄성계수의 殘存率에 있어서도 SFRC는 보통콘크리트보다 우수한 性能을 나타내고 있다.

표 6. 각종 성능의 잔존율 일람표

각 종 성 능	보 통 콘 크 리 트		섬 유 보 강 콘 크 리 트	
	1 시 간 가 열 후	2 시 간 가 열 후	1 시 간 가 열 후	2 시 간 가 열 후
압 축 강 도	60%	20%	70~90%	30~40%
휨 강 도	6	3	30~50	20~30%
정탄성 계수	20	4	40	8
동탄성(원주)	17	3	20~30	10
동탄성(각주)	4	1	15~30	10~20
중 량	95	94	94	93

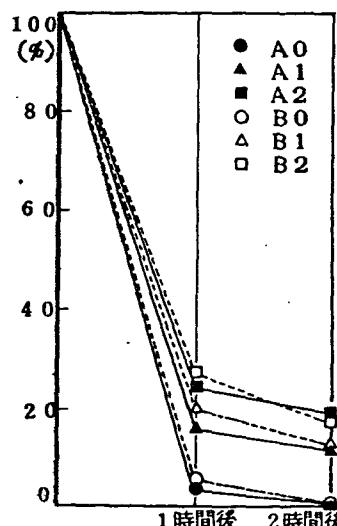


그림 9. 동탄성계수의 잔존율(각주공시체)

3·3·4 比重

耐火試驗前後의 各種 공시체의 비중을 표 5에 나타내었다. 비중의 残存率은 普通콘크리트 및 S FRC 모두 93~96%의 範圍內에 있으며 加熱時間의 增加에 따라 少量 減少한다.

4. 結 論

以上, 耐火試驗後의 各種性能의 残存率을 정리하여 일람표로 한 것이 표 6이다. 이 표에 의하면 SFRC는 보통콘크리트에 비해 各種性能의 面에서 우수한 耐火性을 가지고 있음을 알 수 있

다. 또 耐火試驗後의 供試體 균열에 대해서도 SFRC는 보통콘크리트에 비해 우수한 耐火性을 가지고 있음이 確認되었다.

今回の 實驗에서는 爆裂現象은 SFRC와 보통콘크리트兩者간의 현저한 差異는 볼 수 없었으나, 콘크리트內의 含水量과 骨材의 種類와 關連하여 今後 詳細한 檢討가 必要하다고 생각한다.

謝辭：本研究는 著者が 東京大學大學院 在學時 行한 研究의一部分으로, 指導하여주신 岸谷孝一教授, 菅原進一助教授에게 謝意를 표한다.

參 考 文 獻

- 1) Sullivan, P. J. E. "The Effects of Temperature on Concrete", Development in Concrete Technology - I, Edited by F. D. Lydon, Applied Science Publishers.
- 2) Lie, T. T. Fire and Building, Applied Science Publishers.
- 3) Shirayama, K. "Experimental Study on Explosive Spalling of Lightweight Aggregate Concrete in Fire", International Association for Bridge and Structural Engineering, 10th Congress, Tokyo, Sep., 1976, pp. 293~298.
- 4) 大島敏男, "コンクリートの耐火性に関する研究(特に高強度コンクリートを中心として)", 東京大學博士學位論文, 1980.
- 5) 森 實, "建築材料の火災時における高温性状に関する研究", 東京大學博士學位論文, 1976.