하중조건과 고온에 의한 고강도 경량 콘크리트의 역학적 특성 평가

김규용¹⁾ · 김영선¹⁾ · 최경철¹⁾ · 박현길¹⁾ · 이태규^{1)*}

¹⁾충남대학교 건축공학과

Evaluation on Mechanical Properties of High Strength Light-Weight Concrete with Elevated Temperature and loading

Gyu-Yong Kim,¹⁾ Young-Sun Kim,¹⁾ Gyeong-Cheol Choe,¹⁾ Hyun-Gil Park,¹⁾ and Tae-Gyu Lee^{1)*}

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-742 Korea

ABSTRACT It is very important to experimentally evaluate concrete behavior at elevated temperature because aggregates make up approximately 80 percent of volume in concrete. In this study, an experiment to evaluate mechanical properties of normal weight and light weight concrete of 60 MPa was conducted. Based on loading level of 0, 20 and 40 percent, the tests of 28 days compressive strength, elastic modulus, thermal strain, total strain, and transient creep using $\varnothing 100 \times 200$ mm cylindrical specimens at elevated temperature were performed. Then, the results were compared with CEB (Committes Euro-international du Beton) model code. The results showed that thermal strain of light weight concrete was smaller than normal weight concrete. Also, the results showed that compressive strength of light concrete at 700°C was higher than normal weight concrete and CEB code, similar to that obtained at ambient temperature. Transient creep developed from loading at a critical temperature of 500°C caused the concrete strains to change from expansion to compression. The transient creep test result showed that internal force was high when the ratio of shrinkage between concrete and aggregate was more influential than thermal expansion.

Keywords : high temperature, loading condition, normal weight aggregate, light weight aggregate, mechanical properties

1. 서 론

고온에 있어서 콘크리트는 구성 재료의 열적 특성에 따른 영향으로 수축 또는 팽창의 거동을 나타내며, 이 중에서 굵은 골재는 콘크리트 용적의 70~80%를 차지하기 때문에 골재의 열적 특성이 콘크리트에 미치는 영향은 매우 크다. 이에 따라 국내·외에서는 골재의 열적 특성을 고려하여 콘크리트 구조물의 내화성능설계를 위한 데이터를 제시하고 있지만, Fig. 1에 나타난 바와 같이 주로 일반 골재의 경우에 해당되는 것이 많다.

경량 콘크리트의 경우는 CEB(committes euro-international du beton) 모델 코드에서 팽창점토를 활용한 콘크리트에 관한 기준을 제시하고 있지만 다양한 제조 방법 또는 구성 재료에 따라 경량 골재의 품질의 변동이 크고 이에 따른 열적 특성은 상이하므로 이를 충분히 고려하여 설계에 반영할 필요가 있다.¹⁾ 또한 콘크리트 구조물의 내화성능설계를 위해서는 그 구성 재료의 열적 특성 뿐만 아니라 외적인 요인, 즉 재하조건, 온도 등과 같은 다양

한 환경요인의 영향을 고려하여 콘크리트 구조물의 압축강도, 탄성계수, 열팽창 변형 등과 같은 역학적 특성을 평가하여 반영되어야 한다.^{2,4)}

따라서 이 연구에서는 경량 골재를 사용한 고강도 콘크리트의 고온 및 하중 하에서의 압축강도, 탄성계수, 최대하중변형, 열팽창 변형 등과 같은 역학적 특성을 평가하였다. 또한 일반 골재를 사용한 콘크리트와 비교·평가를 통하여 고온시 골재종류별 콘크리트의 강도와 변형 특성의 상관관계를 검토·분석하였으며, CEB code와 비교분석함으로써 고강도 경량 콘크리트의 내화성능설계를 위한 기초자료를 확보하고자 한다.⁵⁻⁷⁾

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

이 연구에서는 Table 1에 나타난 바와 같이 보통 골재 및 경량 골재를 사용한 고강도 콘크리트의 고온에 따른 역학적 특성을 평가하기 위하여 목표강도를 60 MPa로 결정한 후, 물결합재비를 35%, 33%로 설정하였다. 경량 콘크리트의 경우 보통 콘크리트에 비하여 강도발현이 낮기 때문에 물결합재비를 낮게 설정, 소정의 실리카폼을

*Corresponding author E-mail: ninga777@naver.com

Received April 25, 2011, Revised June 21, 2011,

Accepted June 28, 2011

©2011 by Korea Concrete Institute

Fig. 1 Compressive strength-temperature relationships for NWA and LWA concrete

첨가하였다. 또한 재하조건에 따른 영향을 평가하기 위하여 목표강도의 $0.0f_{ck}$, $0.2f_{ck}$, $0.4f_{ck}$ 의 재하조건을 상정하여 목표온도에 따른 고온에서의 압축강도, 탄성계수 및 열팽창 변형 특성을 평가하였다.

2.2 사용 재료

이 연구에서 사용한 재료는 Table 2에 나타난 바와 같이 굵은 골재는 보통 골재의 경우 밀도 2.65 g/cm^3 , 흡수율 0.8% 및 최대치수 20 mm의 화강암류 부순 자갈을 사용하였으며 경량 골재는 밀도 1.68 g/cm^3 , 흡수율 15.3% 및 최대치수 13 mm를 사용하였다. 사용된 시멘트 및 실리카퐁의 화학조성 및 골재종류별 온도에 따른 열팽창계수를 Tables 3 및 4에 나타냈다.

2.3 시험체 제작 및 양생

고온시 역학적 특성 평가를 위한 시험체는 $\varnothing 100 \times 200 \text{ mm}$ 크기로 제작하였다. 시험체는 탈형 후 압축강도 확인용 시험체는 28일간 수중양생을 실시하여 강도발현을 확인하였다. 또한 콘크리트의 고온 역학적 특성을 평가하기 위한 시험체는 7일간 수중양생을 실시하였으며, 콘크리트의 이후 $20 \pm 3^\circ\text{C}$, R.H. $50 \pm 5\%$ 의 항온항습실내에서 채령 180일까지 기건양생을 실시하였다.⁸⁾ 또한, 가열 시

Table 2 Physical properties of used material

Material		Physical properties
Cement		OPC (density: 3.15 g/cm^3 specific surface area: $3,630 \text{ cm}^2/\text{g}$)
Fine agg.		Sea sand (density: 2.64 g/cm^3 , absorption: 1.03%)
Coarse agg.	NW	crushed granitic aggregate, (size: 20 mm, density: 2.65 g/cm^3 , absorption: 0.8%)
	LW	Clay+ash blended aggregate, (size: 13 mm, density: 1.68 g/cm^3 , absorption: 15.3%)
Silica fume		Density: 2.2 g/cm^3 , specific surface area: $200,000 \text{ cm}^2/\text{g}$
Super plasticizer		Polycarboxylic-based super plasticizer

Table 3 chemical composition of admixture

Admixture type	Components						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O
Cement	21.65	5.41	3.24	63.37	2.28	2.04	1.04
Silica fume	94.30	0.06	0.02	0.16	0.3	-	0.31

Table 4 Coefficient of thermal expansion ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)

Aggregate type	Temperature ($^\circ\text{C}$)							
	20	100	200	300	400	500	600	700
NW	6.1	4.8	7.4	9.8	12.2	14.5	21.1	21.2
LW	4.0	4.0	3.2	3.5	3.9	4.3	5.2	4.9

험전 상면은 콘크리트용 연마기를 사용하여 평활하게 마감한 후 내화실험을 실시하였다.

2.4 재하 · 가열 방법의 개요

Fig. 2는 이 연구에서 사용한 재하·가열시험장치의 전경 및 상세도면을 나타낸 것이다. 사용된 재하가열로는 치수 $W450 \times L450 \times H450 \text{ mm}$ 이며, $\varnothing 100 \times 200 \text{ mm}$ 의 콘크리트 원형 시험체에 대하여 가열과 재하가 동시에 이루어질 수 있도록 고안하여 제작하였다.

시험체의 가열은 전기히터를 활용한 가열 방식으로 가열로의 상부와 하부에 위치한 가열지그를 가열하여 열을 전달하는 간접가열 방식을 사용하였으며, Fig. 3에 나타난 바와 같은 가열곡선에 따라 가열하였다.

Table 1 Experimental plan and mix proportion

Specimen ID	W/B (%)	f_{ck} (MPa)	Slump-flow (mm)	Air (%)	S/a (%)	Loading condition ($\square * f_c$)	Target temp. ($^\circ\text{C}$)	Aggregate type	Unit weight (kg/m^3)					Test item
									W	C	SF	S	G	
NW60	35	60	650 $\pm$ 100	4 $\pm$ 2	45	0.0	20, 100	Normal weight	165	471	-	760	1,066	• (residual) compressive strength
LW60 ⁽¹⁾	33				40	0.2	200, 300	Light weight	155	432	38	687	676	• (residual) elastic modulus
						0.4	500, 700							• thermal strain
														• total strain
														• strain at peak stress

⁽¹⁾LW60 : light weight aggregate concrete f_{ck} 60 MPa

Fig. 2 Loading and heating machine

Fig. 3 Heating curve

Table 5 Summary of test method

Step	1 Step	2 Step	3 Step
Test method	Loading	Heating	Test at target temperature.
Unstressed test	-		
Stressed test			

고온에서의 역학적 특성을 평가하기 위한 시험 방법은 Table 5에 나타난 바와 같이 비재하 시험 방법 및 재하 시험 방법을 사용하였으며 목표온도에서 KS규격에 준하여 역학적 특성 평가를 실시하였다. 또한 고온에서의 콘크리트 시험체 변형 특성은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 열팽창 변형(thermal strain)은 RILEM TC 129-MHT 「Part 6-Thermal strain」, 내력저하수축(transient creep)은 RILEM TC 129-MHT 「Part 7-transient creep」에 준하여 식 (1)로 산출하였다.^{9,10)}

$$\varepsilon_{tr} = \varepsilon_{tot} - \varepsilon_{th} - \varepsilon_{el} \quad (1)$$

Fig. 4 Test method of strain properties

when, ε_{tr} : transient creep
 ε_{tot} : total strain
 ε_{th} : thermal strain
 ε_{el} : elastic strain

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 재하 및 고온시의 응력-변형거동

재하 및 고온을 받은 콘크리트의 하중-변형 곡선의 결과는 Fig. 5(a) 및 (b)에 각각 나타났다. 20~300°C의 온도 범위에 노출된 후 곡선의 초기상승부분은 거의 직선적으로 상승하고 있으나, 이후 500~700°C 사이의 온도 범위에서는 곡선의 변형이 크게 증가하여 상온에 비하여 3 배 이상 증대되는 것으로 나타났다.

한편 0.2f_{ck}, 0.4f_{ck} 하중이 재하된 시험체의 경우, NW 60 및 LW 60 콘크리트 시험체 모두 응력-변형곡선의 기울기가 비재하에 비하여 증가하는 경향이 크고 LW 60의 시험체는 강도의 저하가 크지 않은 상태에서 곡선의 기울기가 상온시와 유사하였다. 또한 일반적으로 콘크리트의 강도저하가 크게 발생하는 500~700°C사이의 온도범위에서 LW 60 콘크리트 시험체는 목표온도에서 역학적 특성 평가 시 연성파괴보다는 취성파괴의 경향이었으며, 0.4f_{ck} 하중재하조건에서 700°C의 목표 온도 도달 전에 NW 60 콘크리트 시험체에서 발생하는 수축파괴의 현상은 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 고온 및 재하에 따른 압축강도의 변화

고온을 받은 NW 60 및 LW 60 시험체의 압축강도의 변화는 Figs. 6 및 7에 나타났다. 비재하상태에서 고온을 받은 NW 60 및 LW 60 시험체의 압축강도 저하 경향은 일반적으로 보고되고 있는 CEB기준식과 유사하게 나타

Fig. 5 Stress-strain curve of specimen with temperature and loading

Fig. 6 Ratio of compressive strength of NW 60 at target temperature ($f'_c / f_{ck}(20^\circ\text{C})$)

Fig. 7 Ratio of compressive strength of LW 60 at target temperature ($f'_c / f_{ck}(20^\circ\text{C})$)

났다. 압축강도의 저하는 300~700°C의 온도범위에서는 CEB기준식에 비하여 강도의 저하율이 다소 상회하는 것으로 나타났으며, 700°C에서 LW 60 콘크리트 시험체는 NW 60 시험체에 비하여 약 2배 높은 60%의 압축강도 잔존율을 나타냈다.

Fig. 8은 고온시 하중재하 수준의 영향에 관한 NW 60 및 LW 60 시험체의 압축강도 결과를 분석한 것이다. 가열하는 동안의 사전재하는 모든 온도에서 전반적으로 콘크리트의 압축강도에 영향을 주는 것으로 나타났다. 시험체의 최대 압축강도는 300°C의 온도조건에서 나타났고, 비재하 시험체의 경우 상온압축 강도보다 1~8% 정

도 낮게 나타난 반면 재하 시험체는 상온 강도에 비해 1~4% 정도 높게 나타났다. 300°C 이후 온도에서 콘크리트의 강도는 전반적으로 저하하였지만 재하 시험체의 경우 강도저하가 더 적게 나타났다.

고온을 받고 0.2 f_{ck} , 0.4 f_{ck} 의 하중이 재하된 상태에서 평가된 압축강도 특성은 비재하 시험체에 비하여 잔존강도가 상대적으로 크게 나타났으며, LW 60 콘크리트 시험체의 경우는 700°C에서 상온 압축강도의 약 90%의 값으로 나타났다. LW 60 콘크리트의 압축강도 저하율이 작은 원인으로는 열팽창 응력에 따른 인장응력과 하중재하에 따른 수축응력이 상쇄되어 나타난 결과로 판단된다.^{2,13)}

Fig. 8 Ratio of compressive strength of NW 60 and LW 60 with loading ($f'_c / f_{ck}(20^\circ\text{C})$)

Fig. 9 Ratio of elastic modulus of NW 60 ($E'_c / E_c(20^\circ\text{C})$)

Fig. 10 Ratio of elastic modulus of LW 60 ($E'_c / E_c(20^\circ\text{C})$)

일반적으로 실리카폼을 첨가하는 경우 내부가 치밀하여 급격한 가열을 받을시 폭렬, 균열발생에 따른 강도저하가 큰 것으로 보고되고 있지만,¹¹⁾ 가열속도가 1°C/min 으로서 가열에 의한 팽창력은 다소 적고, 압축강도 60 MPa 정도 콘크리트의 경우 골재 파괴보다는 페이스트와 골재의 균열로 인한 내력저하가 크게 발생하는 것을 감안하

면 골재의 흡수율에 의한 내부 공극의 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

3.3 고온에서의 탄성계수 및 최대 변형률

Figs. 9 및 10에 고온 및 하중을 받은 LW 60 및 NW 60 시험체의 탄성계수의 변화를 나타냈다.

NW 60 시험체의 탄성계수는 CEB 기준식에 대하여 20~200°C의 범위에서는 크게 저하하는 경향이 나타났지만 전반적으로 유사하였으며, LW 60 시험체의 경우에는 탄성계수의 저하율이 큰 것으로 나타났다.

0.2 f_{ck} , 0.4 f_{ck} 하중을 재하한 경우 LW 60 및 NW 60의 탄성계수 저하율은 유사한 값을 나타내고 있으며, NW 60 콘크리트 시험체는 CEB 기준식을 상회하는 반면 LW 60 시험체는 압축강도 잔존성상에서 나타났던 결과와 달리 500°C이전에는 전반적으로 하회하였다. 500~700°C사이의 온도 범위에서도 비재하의 경우에 비하여 잔존탄성계수율이 약 20%정도 크게 나타나 하중재하에 따른 내력 저하가 억제되었다.

최대하중에서의 변형은 Fig. 11에 나타낸 바와 같이 골

Fig. 11 Strain of NW60 and LW60 at peak stress

Fig. 12 Thermal strain and total strain of NW60 and LW60

재종류에 관계없이 온도가 상승할수록 증가하는 경향을 나타냈으며, 재하조건이 증가함에 따라 상온 시와 유사하였다. 목표온도 700°C에서 비재하 시험체의 상온 변형에 비하여 3배, 재하 시험체의 경우 2배 정도로 나타났다.

LW60 콘크리트 시험체의 경우에는 하중조건이 증가하여도 상온시의 변형에 비하여 2배 이상의 값으로써 NW 60 콘크리트 시험체 보다는 변형이 큰 것으로 분석되었다. 이는 탄성계수비에 있어서 영향이 큰 것으로 NW 60 콘크리트 시험체의 압축강도 저하율이 크게 나타났지만, 변형의 경우 LW60보다는 작게 되어 유사한 탄성계수 저하율을 나타낸 것으로 확인되었다.

3.4 고온가열 및 하중재하에 따른 콘크리트의 변형

Fig. 12는 온도상승에 따른 열팽창 변형 및 전체 변형을 측정한 값으로써 NW 골재는 열팽창계수의 값이 크기 때문에 NW 60 콘크리트 시험체의 열팽창 변형(thermal strain)은 고온이 될수록 증가하였으며, LW 60 콘크리트 시험체의 경우 열팽창 변형이 NW 60 시험체에 비하여 완만하게 진행하여 전체 변형(thermal strain)이 1/2 정도로 낮은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

0.2f_{ck}, 0.4f_{ck}의 하중을 가한 상태에서 고온을 받은 경우 발생하는 하중이 재하된 상태에서의 전체 변형(total strain)은 재하하중이 증가함에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 0.4f_{ck}의 하중을 가한 NW 60 시험체의 경우 668°C에서 가열중 수축과괴 되었다. 이는 가열전 하중을 재하한 후에 가열을 시작하며, 가열을 실시하는 중에도 하중을 유지하게 되는데 이러한 재하에 의해 콘크리트가 지속적으로 팽창하지 못하고 온도가 상승함에 따라 내력이 저하하여 파괴된 것으로 판단된다.

3.5 골재의 열팽창과 하중재하 수축변형의 관계

Fig. 13은 골재의 열팽창 변형에 대한 재하 및 고온을 받은 NW 60 및 LW 60 콘크리트 시험체의 열팽창 변형

(a) NW 60 concrete

(b) LW 60 concrete

Fig. 13 Ratio of strain with stress

비 (Con'c(ϵ_{th})/agg.(ϵ_{th}))로서 식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

$$R = \text{Con'c}(\epsilon_{th}) / \text{agg.}(\epsilon_{th}) - 1 \quad (2)$$

where, R : ratio of strain with stress
 Con'c(ϵ_{th}) : thermal strain of concrete
 agg.(ϵ_{th}) : thermal strain of aggregate

고온을 받는 상태에서 콘크리트의 열팽창 변형비는 비재하(0.0f_{ck}의 하중)의 경우 NW 60 콘크리트 시험체의 열팽창 변형비가 300°C까지만 증가하고 골재의 열팽창과 유사하였고, LW 60 콘크리트 시험체의 경우 전반적으로 골재에 비하여 콘크리트의 열팽창이 큰 경향이였다. 이는 300°C이하에서는 모르타르의 열팽창 변형이 증가되기 때문에 콘크리트의 열팽창 변형이 증대되지만 LW 60 시험체의 경우에는 강도 증진을 위해 실리카폼을 첨가하였기 때문에 모르타르의 수축 현상이 저감되어 수축보다는 팽창의 경향이 크게 작용하여 열팽창 변형비가 크게 나타나는 것으로 판단된다.^{12,13)}

한편 하중재하량이 증가함에 따라 LW 60 콘크리트 시험체의 수축 변형은 NW 60 콘크리트 시험체에 비하여 크고, 이는 골재의 열팽창에 따라 콘크리트의 내부에 발생하는 팽창 변형이 일반 골재의 1/2이고, 하중재하에 의하여 발생하는 수축 변형의 영향이 크게 작용한 결과로

Fig. 14 transient creep of NW60 and LW60

판단된다.

하중재하에 따른 열팽창 변형비는 NW 60 콘크리트 시험체의 경우 100°C이상의 온도에서는 유사한 패턴으로 감소하고 있지만, LW 60콘크리트 시험체의 경우는 하중 재하량의 증가에 따라 열팽창 변형비가 수축(-)하는 경향이 크고, 열팽창 변형이 작고 골재 자체의 강성이 작은 경량 골재의 경우 하중 재하의 영향을 크게 받아 콘크리트의 수축 변형이 증가되는 것으로 나타났다.

Fig. 14는 재하 및 가열을 받은 콘크리트 시험체의 내력저하수축(transient creep)을 나타낸 것이다. 골재 종류에 따라서는 500°C 이전에서는 차이가 없으나 500°C 이후에서는 NW 골재를 사용한 콘크리트 시험체가 변형이 크게 증가되고 있는 것을 확인할 수 있었다 즉 LW 60 콘크리트 시험체의 경우는 NW60 콘크리트 시험체보다 고온에 의한 열팽창 변형은 적고, 골재의 변형보다는 재하하중과 수축 거동에 의한 영향이 크게 작용하여 균열 발생 방지에 따른 잔존내력의 확보가 향상되는 것으로 판단된다.

5. 결 론

하중조건 및 고온에 의한 보통 및 경량 콘크리트의 역학적 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 고온에 따른 잔존 압축강도비는 NW 60 콘크리트 시험체가 LW 60 콘크리트 시험체에 비하여 압축강도 저하율이 크게 평가 되었다. 또한 $0.2f_{ck}$, $0.4f_{ck}$ 의 하중을 재하한 경우 LW 콘크리트 시험체의 압축강도비는 CEB기준식을 크게 상회하였으나, 탄성계수는 CEB 기준식에 비하여 낮게 나타났다.
- 2) 각 목표온도에서 콘크리트의 최대 내력에서의 변형은 경량 골재 콘크리트가 일반 골재 콘크리트보다 큰 경향이며, 탄성계수가 상대적으로 저하되는 원인으로 판단된다.
- 3) 경량 골재의 열팽창계수가 일반 골재보다 작아 콘크리트의 가열에 의한 팽창 변형에 있어서도 열팽창 변형(thermal strain)이 1/2로 작으며, 500°C이후

의 가열범위에서 하중이 재하된 경우 열팽창 변형을 제외한 내력저하수축(transient creep)은 일반 골재 콘크리트가 크다.

감사의 글

이 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No.2010-0014723)이며, 연구자(의 일부)는 2단계 BK21 사업의 지원비를 받았으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Light Concrete LLC, *High-Strength Structural Light Weight Concrete*, 2003, pp. 8~15.
2. Abrams, M. S., *Compressive Strength of Concrete at Temperatures to 1600F*, American Concrete Institute (ACI) SP25, Temperature and Concrete, Detroit, Michigan, 1971, pp. 1~10.
3. Crozier, D. A. and Sanjayan, J. G., "Tests of Load-Bearing Slender Reinforced Concrete Walls in Fire," *ACI Materials Journal*, Vol. 97, No. 2, 2000, pp. 243~251.
4. Kim, .G Y., Kim, Y. S., and Lee, T. G., "Compressive Strength of Lightweight High-Strength Concrete Subjected to High Temperatures," *Tenth ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues*, Seville, Spain, 2009, pp. 287~296.
5. Comites Euro-International Du Beton, *Fire Design of Concrete Structures-in accordance with CEB/FIP Model Code 90 (Final Draft)*, CEB Bulletin D'Information, Lausanne, Switzerland, No. 208, 1991, pp. 33~48.
6. Comite Europeen de Normalisation (CEN), *Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-2: General Rules-Structural Fire Design*, CEN ENV, 1994, pp. 24~25.
7. Comite Europeen de Normalisation (CEN), prENV 1992-1-2: Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-2: Structural Fire Design, CEN/TC 250/SC 2, 1993, pp. 26~32.
8. RILEM Technical Committee, "Compressive Strength for Service and Accident Conditions," *Materials and Structures*, 1995, pp. 410~414.
9. RILEM Technical Committee, "Recommendation: Part 6-Thermal Strain," *Materials and Structures*, 1997, pp. 17~21.
10. RILEM Technical Committee, "Recommendation: Part 7-Transient Creep", *Materials and Structures*, 1998, pp. 290~295.
11. American Concrete Institute, "State-of-the Art Report on High-Strength Concrete," ACI 363R-92, 1992, pp. 8~12.
12. Kodur, V. K. R. and Sultan, M. A., "Effect of Temperature on Thermal Properties of High-Strength Concrete," *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 15, No. 2, 2003, pp. 101~107.
13. Hertz, K. D., "Concrete Strength for Fire Safety Design," *Magazine of Concrete Research*, Vol. 57, No. 8, 2005, pp. 445~453.

요 약 콘크리트 중의 골재가 차지하는 비율은 약 70~80 vol%로서 콘크리트의 고온 역학적 성상에 큰 영향요소로 작용할 수 있다. 이 연구는 고온시 콘크리트의 역학적 특성을 평가하기 위한 일환으로써 다양한 환경조건, 즉 고온조건, 하중조건에 따른 역학적 특성을 비교하기 위하여 목표강도 60 MPa급 보통 골재 및 경량 골재 콘크리트를 대상으로 선정하였다. 사용된 시험체는 $\varnothing 100 \times 200$ mm로서 상온 압축강도의 0%, 20%, 40% 하중을 재하한 상태에서 고온에 따른 강도, 탄성계수, 열팽창 변형(thermal strain), 전체 변형(total strain), 내력저하수축(transient creep) 등 고온에서의 역학적 특성을 평가하였다. 시험 결과 골재의 열팽창계수가 작은 경량 콘크리트는 열팽창 변형이 일반 골재를 사용한 콘크리트에 비하여 전반적으로 작게 나타났으며, 고온조건인 700°C에서도 압축강도 저하가 상온강도에 대하여 80% 수준으로 나타났다. 또한 재하에 의한 내력저하수축은 500°C를 기준으로 콘크리트의 변형을 팽창에서 수축으로 전환시키는 영향요인으로써, 콘크리트와 골재의 열팽창 변형비(concrete /aggregate)가 수축의 경향이 큰 경우 콘크리트의 내력저하가 적은 경향을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 고온조건, 하중조건, 일반 골재, 경량 골재, 역학적 특성