

복합스터드에 경량기포모르터를 충전한 내력벽체의 내화성능 비교연구

Fire Resistance Performance of Load Bearing Hybrid Panel Infilled with Light-weight Formed Mortar

박 금 성* 배 규 웅** 강 현 식*** 임 서 형****
Park, Keum Sung Bae, Kyu Woong Kang, Hyun Sik Lim, Seo Hyung

Abstract

The purpose of this paper is to evaluate the fire resistant performances of load-bearing wall using both composite and steel stud panel infilled with light-weight formed mortar under axial loading according to KS F 2257(1999). The minimum requirement of 2 hours fire resistant rating is needed for the residential and commercial buildings under the fire regulation of Korea. From test results, it is found that two types of specimen composed of the hybrid stud and steel stud panel filled with light-weight formed mortar fitted in with the requirement of 2 hours fire resisting rate for the load-bearing wall. In the conclusions, the specimen with hybrid stud shows predominating fire-resistant performance on the adiabatic effects rather than that of the steel stud specimen.

요 지

본 논문의 목적은 경량기포모르터를 충전한 스틸스터드와 복합스터드 내력벽체의 내화성능을 KS규준에 따라 평가하는데 있다. 주거용과 상업용 건물의 최소 내화 요구시간은 2시간이다. 시험 결과로부터 스틸 스텐드와 복합스터드에 경량기포 모르터를 충전한 두 시험체 모두 2시간 내화 성능을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 복합스터드 패널 시험체의 경우 내화 성능면에서 스틸 스텐드 패널 시험체 보다 우수하다는 것을 정량적 평가하였다.

Keywords : Evaluation of fire resistant performance, Load-bearing wall, Hybrid stud, Light-weight formed mortar, Fire rating

핵심 용어 : 내화성능평가, 내력벽체, 복합스터드, 경량기포모르터, 내화시간

* 정희원, 한국건설기술연구원 선임연구원

** 정희원, 한국건설기술연구원 수석연구원

*** 정희원, 진주산업대학교 건축학부 부교수

**** 정희원, 진주산업대학교 건축학부 부교수

E-mail : hskang@jinju.ac.kr 055-751-3405

•본 논문에 대한 토의를 2007년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2007년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

1.1 연구의 목적

국내에 도입되어 건축되고 있는 스틸하우스는 복미식의 것을 도입한 것으로 현장 시공시 단열재 및 마감재에서 폐기물이 많이 발생하여 환경부하가 많은 공법이다. 또한, 공법의 특성상, 시공 현장에서 부재를 가공하고 설치하기 때문에 시공기간이 비교적 길고 기능공의 숙련도 및 일정한 수준의 건축물을 확보하는데 어려움이 있다. 또한 벽체내에 배치된 스틸 스테드를 통해 집중적으로 열이 통과하는 열교 현상이 발생하기 때문에 이를 보완하기 위해서 추가로 단열재의 부착이 필요한 단점이 있다. 스틸 스테드의 열교 현상을 방지하기 위해서 복합 스테드(Hybrid Stud) 단면을 이용한 내력벽체의 2시간 내화실험을 통하여 차열성, 차열성, 하중지지력을 측정하고 기존의 스틸 스테드 벽체와 비교 평가 하고자 한다.

1.2 각국의 내화 규정

(1) 국내의 내화관련 규정

국내에서는 화재에 대한 예방과 건축물의 보호와 안전을 목적으로 “건축법과 동시행령”을 통해 내화구조의 기준과 대상 건물을 규정하고 있다. 또한 각 부위별 내화시간을 층수/높이별로 규정하고 있다.

(2) 미국의 내화관련 규정

미국은 주정부별로 내화관련규정이 다르나 건축 분야에서는 “Uniform Building Code(1994)”에 준하여 건축물의 내화성능을 일률적으로 규제하지 않고, 구조 및 재료의 구분에 의해 건축물의 내화성능 등급을 5등급(Type I-V)으로 구분하여 건축물의 최대높이, 층수 및 면적을 제한한다.

(3) 영국의 내화관련 규정

건축물의 내화관련법규 중 대표적인 것은 “BR(The Building Regulation)”이며 이것은 런던 및 근교에서 적용되고 있다. 이 법규에서는 건축물의 용도를 8

종으로 분류하여 용도 구분에 따라 높이, 규모의 내용에 맞추어 내화성능 기준을 달리하고 있다.

(4) 일본의 내화관련 규정

일본에서는 피난, 소방활동의 안전 확보, 대지주변으로의 위해방지, 화재를 입은 건축물의 물적 재산의 보전을 목적으로 건축물 또는 그 구조부재의 소요 내화성능을 확보하도록 “내화설계규준 및 설계법(1988)”을 제정하고 있다. 내화설계가 요구되는 건축물의 조건을 정하여 어느 구획 내의 화재성상을 화재하중, 개구율, 주변 벽의 열 정수 등으로부터 파악하여, 그 화재에 의한 부재의 온도, 변형, 내력 등을 예측하여 구획 부재와 가구가 평가기준을 만족하는가를 판정하고 있다.

(5) 캐나다 내화관련 규정

내화구조 대상건축물 및 성능기준은 캐나다 정부에서 정한 National Building Code Part 3 및 National Fire Code Part 2가 있으며, 이 규정은 전국적으로 통일되어 있다.

National Building Code는 1941년에 법이 제정된 이래 여러번의 개정작업을 거쳐 현재 내화구조 대상 건축물의 용도에 따라 8개로 분류하고 있다. 용도 특성에 따라 12개로 세분화하여 층수, 스프링클러 설치유무, 건물구조 형태 등에 따라 내화구조 대상으로 하고 있고 이를 다시 4가지로 세분화하고 있다. 특징은 각각의 대상 건축물이 사용되는 공간의 조합에 따라 내화성능을 다르게 규정하고 있다.

1.3 해석에 의한 내화성능 평가

1) 온도해석

스틸스테드와 복합스테드로 구성된 내력벽체의 내화성능 평가는 하중지지력, 차열성, 그리고 차열성으로 이루어 질 수 있다.

하중지지력은 내화성능평가에 적용되는 표준온도가 열 곡선을 열원으로 설정하고 부재의 2차원 온도해석을 수행한다. 내력벽체의 온도상승은 수직로 내부의 매질을 통해 복사 및 대류에 의해서 발생되고 다음 식으로 해석이 가능하다.

$$q = \epsilon\sigma(T_w^4 - T_a^4) + \beta(T_w - T_a)^\gamma \quad (1)$$

여기서, q : 열방사, ϵ : 방사율

σ : Stefan Boltzman 상수($5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{C}^4$)

T_w, T_a : 고형재료 및 주변부 온도($^{\circ}\text{C}$)

β : 대류 계수($\text{W/m}^2\text{C}$), γ : 복사능

입의 단면에서 비정상 2차원 열전도 해석은 다음 식을 이용한다.

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

여기서, k : 열전도율, ρ : 밀도(kg/m^3)

T : 온도($^{\circ}\text{C}$), t : 시간

2) 응력 해석

일정시간이 경과된 요소의 상승된 온도는 해당 재료의 강도 및 탄성계수의 저하를 유발하여 하중 지지능의 약화를 초래하며 재료의 열팽창을 유발시켜 각 부재의 경계조건에 따라 구조부재에 심각한 변형, 처짐을 발생시킬 수 있다. 경량 모르타 충전 내력벽체는 벽체를 구성하는 스틸 스테드 및 복합 스테드의 변형으로 중립축이 이동하고 P- δ 효과가 추가적으로 발생되어 부재에 작용된다. 내력벽체의 내화성능평가를 위한 해석적 과정은 구조체를 구성하는 내료의 고온시 항복강도, 탄성계수저하등 기계적 성질과 열전도율, 비열, 밀도등의 열특성 및 2차 부재력을 발생시키는 열팽창계수등의 정확한 데이터가 필요하며 표준가열곡선의 크기를 열원으로 설정한 후 작용하중 크기를 견딜 수 있는 최대시간으로 하중지지력을 평가 할 수 있다.

2. 내화성능 시험

2.1 시험체 제작

난연 FRP 복합스텝의 기본 형상은 Fig. 1과 같이 기존의 C형강 또는 Lip-C형강의 형태를 기본으로

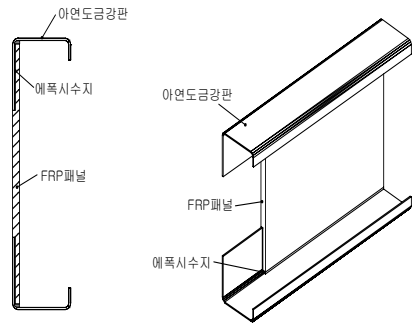
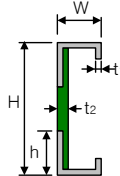


Fig. 1 복합 스테드의 기본 형상

Table 1 복합 스테드의 치수

단면 형상	H (mm)	h (mm)	W (mm)	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	사용 강종
	150	40	40	1.2	4	ZSS 400

아연도금강판과 FRP를 에폭시계 수지로 구성하였으며 그 치수는 Table 1에 나타난 바와 같다.

또한 내화 시험체는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 크기를 3.0m×3.0m로 하고 웨브폭이 150mm인 난연 FRP복합 패널과 립C형 150SL12(ZSS400급)스텝이 600mm 간격으로 사용되었으며, 내부에는 비중이 0.8인 경량 기포모르타가 150mm 두께로 채워지고 내·외부에는 25mm두께씩 피복되어 전체 두께가 200mm인 벽체로 하였다. Table 2는 실험체 일람표이다.

Table 2 내화시험체 일람표

시험체명	사용 재료	경량기포 모르타 비중	시험체 수	가력 방법
HSF-150	FRP-150TC16	0.8	1	일정 축하중 재하
SSF-150	150TC16	0.8	1	

HS F - □□□

□ 스테드 춤(150mm)
 F : Fire test
 HS : Hybrid Stud,
 SS : Steel Stud

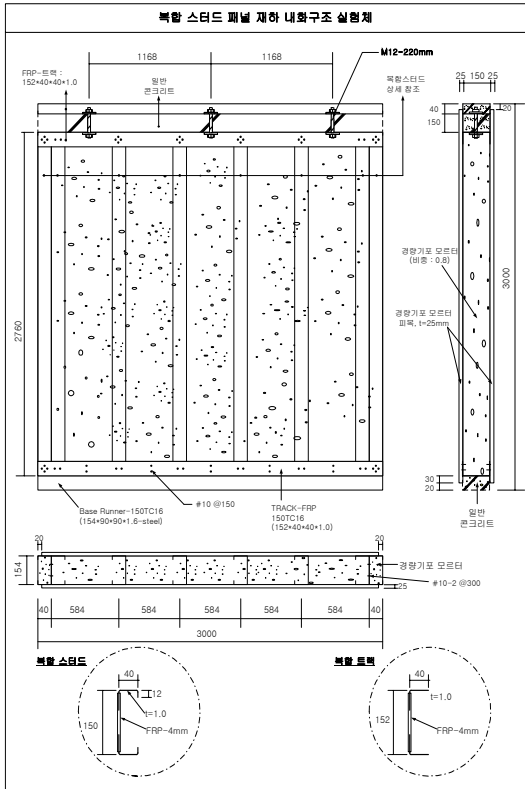


Fig. 2 복합 슬라드 내화시험체 형상

2.2 로내 온도

시험로의 열전대 10개로부터 얻어진 평균온도는 Fig. 3과 같이 KS F 2257-1에서 규정한 표준가열온도곡선 및 허용오차 범위 내에서 이루어 졌다.

2.3 가열로의 압력

가열로는 벽체 시험체의 경우 1면 가열되도록 시험 규격에 규정되어 있다. 그리고 가열로에 대해서는 각 면에서 표준가열온도를 얻을 수 있도록 정하고 로의 구조치수, 로벽의 재료등에 대해서 시험체가 가열되어야 하는 최소 수치 규정에 따라 설비되어 있다. 로벽의 재료는 일반적으로 내화벽돌이 사용되고 있지만 ISO규격에서는 가열로 안쪽벽은 밀도가 1000kg/m^3 이하, 최소 두께 50mm로 가열로 내부 노출면적의

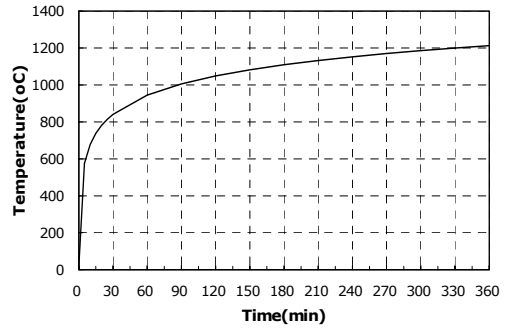


Fig. 3 표준시간-가열온도 곡선

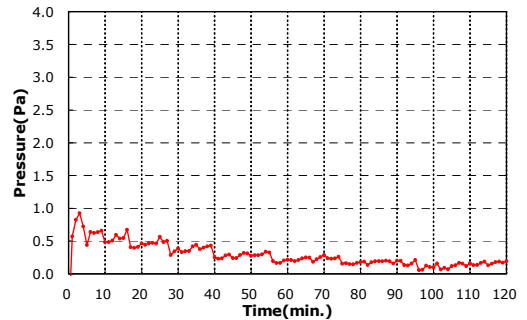


Fig. 4 로내 압력-시간 관계 곡선

70%이상을 구성하도록 되어 있다. 또한 로내의 압력은 높이에 따라 선형 압력 기울기가 높이 1m당 8Pa로 가정하여 수평, 수직 부재별로 기준을 달리 하고 있다. 가열로의 열원은 액체 또는 가스연료를 사용하도록 하고 있다. 시험중 가열로내의 압력은 시험체 개념상 바닥면에서 위로 500mm 높이에서 압력이 0(Zero)이 되도록 하고 시험체 상단에서의 압력은 20Pa미만이 되도록 Fig. 4와 같이 조절하였다.

2.4 측정 위치 및 가력

로내 온도, 이면 온도 그리고 변위의 측정을 위한 측정 기기의 위치는 Fig. 5와 같으며, 벽체 하부에 있는 7개의 유압잭으로 동시 재하하였다. 내력벽체의 재하가열시험을 수행하기 위해서는 먼저 일정하중을 시험체에 가해야 한다. 본 벽체 재하시험에서는 약 20분 전에 재하한 후 가열시험을 수행하였다.

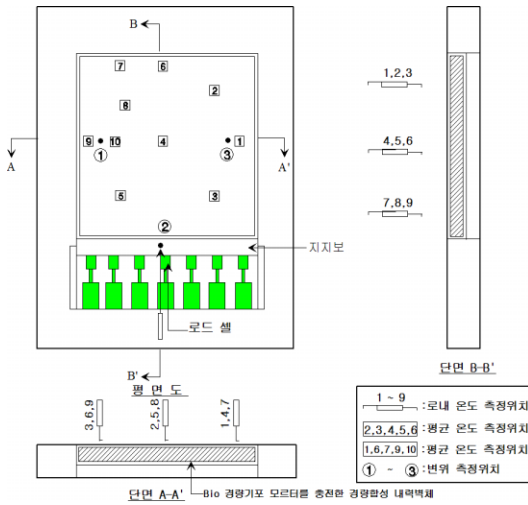


Fig. 5 측정 및 가열위치

시험하중은 허용 하중에 시험체 홀드의 무게 및 시험체 중을 고려하여 부가하였다.

3. 내화 시험

가열 온도는 시험면에서 일정한 거리를 이격한 위치의 온도를 열전대로서 측정하는 것으로 ISO는 로내 열전대는 길이 150±1mm, 폭 100±1mm, 두께 0.7±0.1mm 니켈합금의 평판에 Ni-Cr/Ni-Al선으로 구성된 평판 열전대로 규정하고 있으며 시험개시부터 시험

Table 3 복합스터드 패널 내력벽체의 내화시험 결과

구분	성능 기준	시험 결과
하중 지지력	축방향 수축한계 $C=h/100\text{mm}=30\text{mm}$ (h는 시험체 초기높이: 3000mm)	2.9mm <30mm (120분)
	최대 축방향 수축률 $dC/dt=3h/1000\text{mm}/\text{min}=9\text{mm}/\text{min}$	0.8mm/min <9mm/min (120분)
차열성	6mm 균열개이지 관통 및 150mm이동 25mm 균열개이지가 관통되지 않아야 함 10초 이상되는 지속되는 시험체 이면에서 의 화염발생이 없어야 함 (면패드 착화되지 않아야 함)	만 족
차열성	초기평균온도+180K이상 상승하지 않을 것(이동 열전대 포함한 모든 부분)	38.7℃(198℃ (120분)
	초기평균 온도+140K이상 상승하지 않을 것	29℃(158℃ (120분)

Table 4 스틸스터드 패널 내력벽체의 내화시험 결과

구분	성능 기준	시험 결과
하중 지지력	축방향 수축한계 $C=h/100\text{mm}=30\text{mm}$ (h는 시험체 초기높이: 3000mm)	9.7mm(<30mm (120분)
	최대 축방향 수축률 $dC/dt=3h/1000\text{mm}/\text{min}=9\text{mm}/\text{min}$	1.2mm/min <9mm/min (120분)
차열성	6mm 균열개이지 관통 및 150mm이동 25mm 균열개이지가 관통되지 않아야 함 10초 이상되는 지속되는 시험체 이면에서 의 화염발생이 없어야 함 (면패드 착화되지 않아야 함)	만 족
차열성	초기평균온도+180K이상 상승하지 않을 것(이동 열전대 포함한 모든 부분)	42.6℃(198℃ (120분)
	초기평균 온도+140K이상 상승하지 않을 것	28℃(158℃ (120분)

중요까지 시험체에서는 100±50mm 이격되게 함으로 시험체의 변형에 따른 용통성을 부여할 수 있게 하고 있다. 내력벽체의 변위 측정은 시험체의 수직방향 변위와 수축률을 측정한다. 균열, 벌어짐의 측정은 면 패드를 대고 그것이 착화하는지를 관찰하거나 Gap gauge가 벌어진 부분에 관통여부로 판단하도록 되어 있다. 벽체 재하가열시험의 절차는 시험하중을 가한 후 20분 동안 구조적인 안정을 유지한 후 가열시험을 수행 하였으며 그 결과는 Table 3 및 Table 4와 같다. 두 시험체 모두 규준에서 정한 2시간 내화성능을 보유한 것으로 나타났으며 복합스터드 시험체의 경우 하중 지지력 및 차열성 면에서 우수한 것으로 나타났다.

Fig. 6은 시간-로내온도 관계를 나타내고, Fig. 7은 시간-이면온도관계, 그리고 Fig. 8은 시간-변위관계를 보여주고 있다.

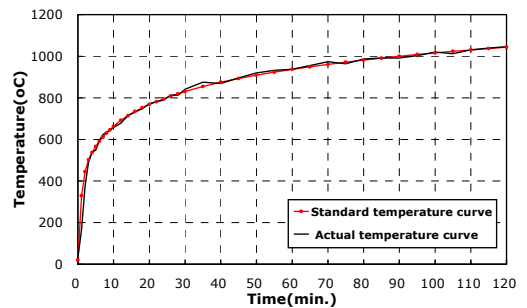


Fig. 6 가열온도-시간 관계 그래프

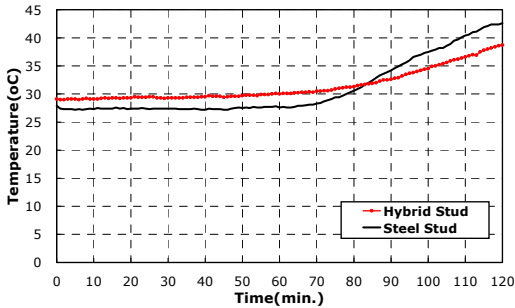


Fig. 7 이면 온도-시간 관계 그래프

Fig. 10(a)와 10(b)는 스틸스터드와 복합스터드에 경량기포 모르터를 충전한 시험체의 온도 및 변위 측정 을 위한 세팅 상황부터 120분 가열 종료시 까지의 균열등 관찰 상황을 찍은 사진들이다.

4. 분석 및 고찰

Table 5에서 보는 바와 같이 동일한 조건으로 수행한 120분 내화실험결과를 복합스터드 패널 시험체를 기준으로 비교한 결과 변위비는 3.33, 수축률비는 1.33, 그리고 이면온도비는 1.51로 복합스터드의 단열성능이 우수함이 입증되었다. 또한 Fig. 7에서 나타난 바와 같이 83분 경과시 부터 스틸 스텐드 패널의 온도 상승 기울기는 1.56배 복합스터드 패널 보다 급격한 상승을 나타내고 있다.

Fig. 9는 복합스터드 패널 시험체를 기준으로 스틸

Table 5 복합스터드와 스틸스터드 시험체 시험결과 비교

구 분	스틸스터드 시험체	복합스터드 시험체	스틸스터드/ 복합스터드
변위	9.7mm < 30mm (120분)	2.9mm (120분)	3.33
수축률	1.2mm/min < 9mm/min (120분)	0.8mm/min < 9mm/min (120분)	1.33
차열성	만 족	만 족	동 일
이면 온도	42.6℃ < 198℃ (초기온도 28℃)	38.7℃ < 198℃ (초기온도 29℃)	1.51

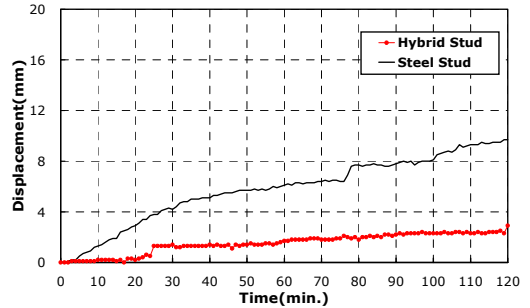


Fig. 8 변위-시간 관계 그래프

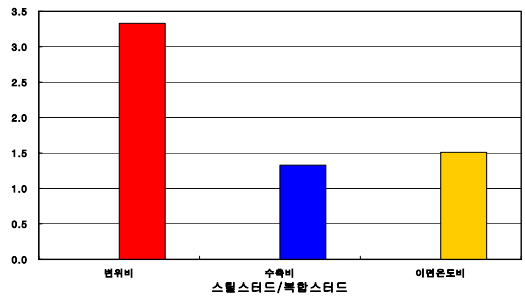


Fig. 9 복합스터드와 스틸스터드 시험체의 성능비교

스터드 패널 시험체의 내화성능을 변위비, 수축비, 그리고 이면온도비로 나누어 나타낸 그림이다.

5. 결 론

이상과 같이 경량기포 모르터를 충전한 복합 스텐드 및 스틸 스텐드 벽체에 대하여 KS F 2257에 따라 120분 재하가열시험을 실시한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 대상 시험체 모두 하중지력, 차열성 및 차열성은 규정에서 제시하는 조건에 만족하였다.
- 2) 복합스터드 패널 시험체를 기준으로 비교한 결과 변위비는 3.33, 수축률비는 1.33, 그리고 이면온도비는 1.51로 복합스터드의 단열성능이 우수함이 입증되었다. 또한 가열 시작 83분 이후 스틸 스텐드의 온도 상승 기울기는 1.56배로 나타나 복합스터드의 내열성능 또한 상대적으로 우수한 것을 알 수 있다.



① 세팅 상황



① 가력 부위



② 측정 센서



② 120분 경과 후 시험체 내부 가열면



③ 로드셀 및 가력 부위



③ 경량기포모르터의 표면박리



④ 경량기포모르터의 표면박리

(a) 스틸스터드 실험체



④ 스틸를 따라 발생한 수직균열

(b) 복합스터드 패널 실험체

Fig. 10 실험 사진

참고문헌

1. 배규웅외, "Bio 경량기포모르터를 충전하는 친환경 스틸스터드 패널형 복합화 중층건축 공법의 개발," 한국건설기술연구원, 연구보고서, 2004.
2. 배규웅, 박금성외 3인, "벽식구조 복합화 공법개발에 따른 수평집합부의 진단성능에 관한 연구," 대한건축학회 논문집 구조계 19권 2호(통권172호), 2003, pp. 3-8.
3. 지남용, 권인규, "스틸스터드와 석고 보드로 구성된 내력벽체의 내화성능평가," 대한건축학회 논문집 구조계 19권 8호(통권178호), 2003, pp. 83-90.
4. 포항산업과학연구원, "스틸하우스 설계 및 시공기술 교육-구조설계분야," RIST, 2000.
5. 건설부, "프리캐스트콘크리트 조립식건축구조설계기준 및 해설", 1992.
6. 권인규, "국내 강구조 내화구조 고찰 및 향후 발전 방향에 대한 제언," 강구조학회지 제11권 3호, 1999, 9, pp. 89-94.
7. 건설교통부, "내화구조기준 개정연구(II)", 2000.
8. 대한건축학회, "스틸하우스의 설계," 문운당, 2002.
9. American Iron and Steel Institute, "Cold Formed Steel Design Manual", 2001.

(접수일자 : 2006년 3월 23일)