

경골 목구조의 내화(耐火)성능 실험연구

성 시 창 / 건축구조부 선임연구원

1. 연구의 목적

최근 경제수준의 향상 및 쾌적한 주거환경의 욕구가 점차 높아짐에 따라 목조를 이용한 건축물이 대도시 주변의 전원 주택을 비롯하여 교회, 전시관 등에 이르기까지 점차 증가하는 추세이다. 특히 전 국토 면적의 약 70%가 산림인 우리나라의 경우 지금까지 콘크리트나 강재를 소재로 한 건축물 일변도에서 벗어나 자원의 효율적 이용을 제고하고 목조가 갖는 쾌적성, 환경 친화성 등의 잇점을 충분히 활용하는 차원에서 건축물에서의 목조의 이용은 바람직한 현상이라 할 수 있다.

목조는 디자인의 융통성, 에너지 절감효과, 내구성 및 안전성외에도 우수한 보온·조습효과 등 많은 장점을 갖고 있으나, '나무는 탄다. 그러므로 불에 약하다'는 고정관념으로 인하여 내화(耐火)가 요구되는 건축재료로는 사용이 제한되어 왔다. 그러나 최근에는 목조도 적절한 내화공법을 적용하면 화재에 충분히 견딜 수 있다는 것이 확인되고 있다. 즉, 목구조에 의한 구조부재가 예상한 화재 중 그 표면이 타더라도 남아있는 단면으로서 구조부재에 요구되는 하중을 견디는 것이 많은 실험을 통해 입증되고 있어 목구조를 내화부재로 사용하는 것이 가능하게 된 것이다.

그러나, 우리나라의 경우 아직 목재 생산시설의 미비와 기술력 부족뿐만 아니라 특히, 건축법상 목조건축은 내화구조로 인정되고 있지 않아 목조 건축물의 규모와 용도가 극히 제한되고 있는 실정이다. 반면 선진 외국에서는 단층에서 5층 공동주택에 이르기까지 다양한 형태로 목조건축이 가능하며, 우리 나라와 법 체계가 유사한 이웃 일본에서도 건축법규에 준내화구조를 도입하여 일정한 내화성능을 확보하면 목조건축물도 3층까지 건축이 가능하도록 하고 있어 공동주택 등에 목구조 건축물의 건축이 증가하고 있는 추세이다.

따라서 지금까지 가연재료로 인식되어 건축 구조부재로서 적용이 제한되고 있는 목구조의 적용 확대를 위해서는 실대 화재실험을 통하여 그 구조의 안전성을 확인하고 이를 법규정에 반영함으로써 목구조에 의한 건축물의 건축이 가능하도록 하는 것이 필요하다.

이 연구는 우리나라 산림자원의 효율적 이용 극대화 방안

의 하나로서, 임업연구원에서 주관하고 방재시험연구원에서 수행중인 국산재 목구조의 내화부재 개발 연구의 우선 과제로서, 외국산 목재 및 석고보드를 이용, 건축물의 내력부재인 내·외벽 및 바닥부재를 제작하고 부재가 받는 하중을 고려한 실대 화재실험을 통하여 경골 목구조의 내화성능을 고찰하는데 그 목적이 있다.

2. 경골 목구조 개요

경골 목구조(Light-Weight Wood Frame Structure)는 일명 Balloon Frame 2×4 공법, 격자공법 등으로 소개되고 있는 목구조 공법이다. 벽체는 경량셋기둥(Stud) 및 횡가재(웃, 아래막이재) 등으로 뼈대를 구성하고 그 양면에 합판, 석고보드 등의 판재를 붙여서 구성한다. 여기에서 사용되는 경골 셋기둥으로 2"×4"(건조시 38×89mm) 각재를 주로 사용한다 하여 일본에서는 이를 '2×4 공법'이라 하며, 보통 셋기둥은 40cm~45cm의 간격을 둔다. 바닥은 주로 2"×10"내외의 각재를 장선으로 하고 장선 상부에는 합판위 바닥 마감 콘크리트를, 그리고 장선 하부에는 석고보드로서 천정면을 구성한다.

이 공법의 방화상 특징은 벽을 구성하는 틀(frame)에 판재가 기밀성 있게 부착되고, 또 틀을 구성하는 각재가 화재 차단재(fire stop)의 역할을 하므로써, 벽속에 화염이 침투되더라도 어느정도 연소확대를 지연시키는 역할을 하며, 또한 마감재인 석고보드는 내화성이 있는 석고보드(Type X 등)를 사용함으로써 전체적으로 화재에 견딜 수 있는 구조가 되도록 하는 것이다.

3. 실험체 제작

(1) 수종 선정

수종은 외국산 목재 중 국내에서 구입이 쉽고 구조 강도가 적절한 것으로서 외국에서도 비교적 널리 사용되는 수종의 하나인 Hem-Fir(No.2, 캐나다 산)를 대상으로 하였다.

(2) 실험체 수량

이 연구를 위한 실험체는 3층 규모의 목조 건축물에 적용되는 구조 부재인 내벽, 외벽, 바닥 등 총 8개의 시험체를 제작하였다

- 외벽 - 4개(외벽치장 마감 2개, 사이딩 패널 마감 2개)
- 내벽 - 2개
- 바닥 - 2개

(3) 실험체 제작 사양

구 조	구 성(mm)	규 격(mm)	수 량
외 벽	외벽치장마감 ¹⁾ +합판(12t)+목재스터드(2"×4")+암면(60K, 9t)+방화석고보드 ²⁾ (1/2")2겹	폭3,000×높이 2,400	2개
	사이딩패널+방습지+합판(12t)+목재스터드(2"×4")+암면(60K, 89t)+방화석고보드(1/2")2겹		2개
내 벽	방화석고보드(1/2")2겹+목재스터드(2"×4")+암면(60K, 89t)+방화석고보드(1/2")2겹	폭3,000×높이 2,400	1개
	방화석고보드(5/8")1겹+목재스터드(2"×4")+암면(60K, 89t)+방화석고보드(5/8")1겹		1개
바 닥	집크리트(40t)+방수지+합판(15t)+목재장선(2"×10")+암면(60K,100t)+방화석고보드(1/2")2겹	폭3,000×길이 4,880 (경간 : 4,300)	1개
	집크리트(40t)+방수지+합판(15t)+목재장선(2"×10")+암면(60K,100t)+방화석고보드(5/8")1겹		1개

※ 주1) 외벽치장 마감 : 접착물탈+섬유메쉬+수지 뿔칠(총두께 10mm내외)
 주2) 방화석고보드 : USGypsum board(Type X)

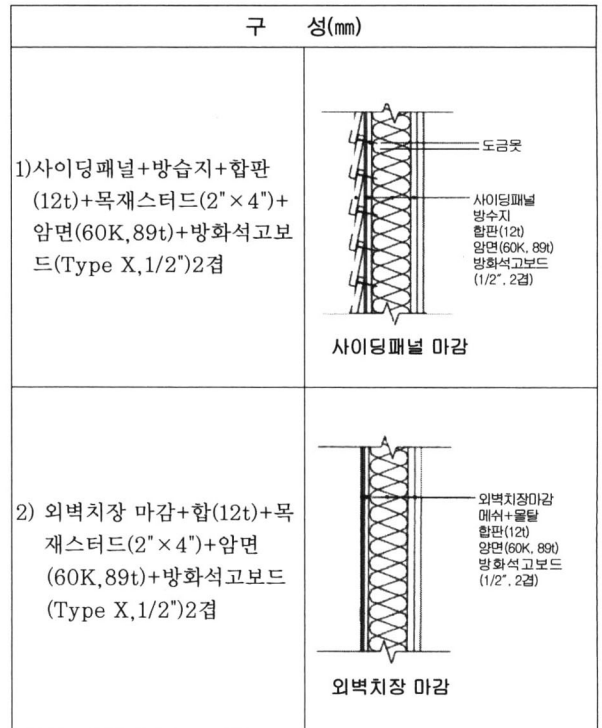
(4) 실험방법 및 성능기준

- ① 실험방법 : KSF 2257(건축구조부재의 내화시험방법, 1999)에 의한 1시간 재하 가열
- ② 성능기준
 - 하중지지력(변형량과 변형율을 모두 초과시 부적합한 것으로 간주)
 - 수직부재
 - 축변형량 : $h/100$ mm, 축변형율 : $3h/1000$ mm
(h : 실험체 높이 = 2.4 m)
 - 수평부재
 - 변형량 : $l^2/400d$ (mm), 변형율 : $l^2/9000d$ (mm)
(단, l /30 초과시 적용)
(l = 경간, d = 실험체 압축축으로부터 인장축까지 거리)
 - 차 염 성 : 면패드, 갭게이지(6mm 또는 25mm) 적용
 - 차 열 성 : 이면상승온도 제한(평균 140 ℃, 최고 180 ℃ 이하)
- ③ 벽, 바닥 재하실험 장치도
 그림 1, 그림 2 참조

4. 화재실험(재하가열 실험)

(1) 외 벽

① 실험체 제작 사양



② 실험하중 산정(사이딩 패널 및 외벽치장 마감 공통)
 스티드 1개당 957 kg 하중 재하 (실험체 자중 및 재하설비 하중 별도)

③ 재하방법

- 시험체 하부면에 설치한 유압잭을 이용하여 4개소에서 등분포 재하
- 부재 상부면은 롤러를 설치하고 외벽의 실제 하중조건을 고려하여 편심(목재 스티드의 중심에서 스티드 폭의 1/6 이격지점) 재하

④ 성능기준 및 실험결과

- 사이딩패널 마감 구조

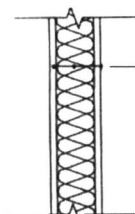
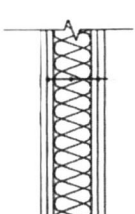
구 분		실험 결과		내화성능
		성능기준	측정결과	
A (옥내면 가열)	측변형량	24.0 mm(h/100)	9.1 mm	1시간
	측변형율	7.2 mm min(3h/1,000)	0.6 mm/min	
	수평변형	-		
	이면상승 온도	평균 140℃ 이하 최고 180℃ 이하	평균 18℃ 최고 20℃	
B (옥외면 가열)	측변형량	24.0 mm(h/100)	46.9 mm	39분
	측변형율	7.2 mm /min(3h/1,000)	28.8 mm/min	
	수평변형	-	64.7 mm	
	이면상승 온도	평균 140℃ 이하 최고 180℃ 이하	평균 30℃ 최고 40℃	

- 외벽치장 마감 구조

구 분		실험 결과		내화성능
		성능기준	측정결과	
A (옥내면 가열)	측변형량	24.0 mm(h/100)	8.1 mm	1시간
	측변형율	7.2 mm /min(3h/1,000)	0.8 mm/min	
	수평변형	-	13.5 mm	
	이면상승 온도	평균 140℃ 이하 최고 180℃ 이하	평균 31℃ 최고 34℃	
B (옥외면 가열)	측변형량	24.0 mm(h/100)	46.4 mm	28분
	측변형율	7.2 mm /min(3h/1,000)	16.1 mm /min	
	수평변형	-	97.0 mm	
	이면상승 온도	평균 140℃ 이하 최고 180℃ 이하	평균 14℃ 최고 17℃	

(2) 내 벽

① 실험체 제작 사양

구 성(mm)	
1) 방화석고보드(Type X, 1/2")2겹+목재스티드 (2"×4")+암면(60K,89t)+방화석고보드(Type X, 1/2")2겹	 <p>방화석고보드(5/8", 1겹) 암면(60K, 89t) 방화석고보드(5/8", 1겹)</p> <p>석고보드 5/8" 1겹</p>
2) 방화석고보드(Type X, 5/8")1겹+목재스티드 (2"×4")+암면(60K,89t)+방화석고보드(Type X, 5/8")1겹	 <p>방화석고보드(1/2", 2겹) 암면(60K, 89t) 방화석고보드(1/2", 2겹)</p> <p>석고보드 1/2" 2겹</p>

② 실험하중 산정

스티드 1개당 957 kg 하중 재하 (실험체 자중 및 재하설비 하중 별도)

③ 재하방법

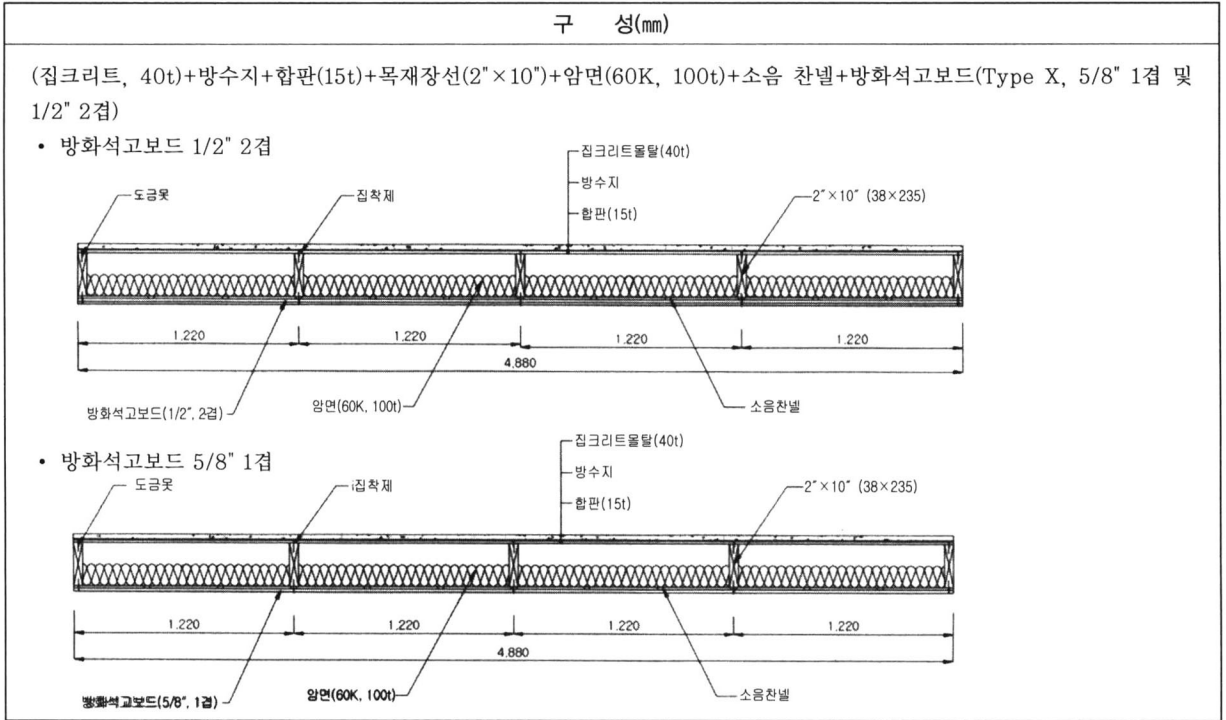
- 시험체 하부면에 설치한 유압잭을 이용하여 4개소에서 등분포 재하
- 부재 상부면은 롤러를 설치하고 목재 스티드의 중심에 재하 실시

④ 성능기준 및 실험결과

구 분		실험 결과		비 고
		성능기준	측정결과	
A (1/2" 2겹)	측변형량	24.0 mm(h/100)	4.1 mm	1시간
	측변형율	7.2 mm /min(3h/1,000)	0.4 mm/min	
	수평변형	-	2.6 mm	
	이면상승 온도	평균 140℃ 이하 최고 180℃ 이하	평균 29℃ 최고 33℃	
B (5/8" 1겹)	변형량	24.0 mm(h/100)	44.2 mm	43분
	변형율	7.2 mm /min(3h/1,000)	27.5 mm/min	
	수평변형	-	84.8 mm	
	이면상승 온도	평균 140℃ 이하 최고 180℃ 이하	평균 30℃ 최고 43℃	

(3) 바닥

① 실험체 제작 사양



② 실험하중 산정

바닥 단위 면적 당 291.8 kg 하중 재하

③ 성능기준 및 실험결과

• 방화석고보드 1/2" 2겹

구 분	실험 결과		내화성능
	성능기준	측정결과	
변형량	159.4 mm ($\ell^2/400d$)	20.2 mm	1시간
변형율	7.1mm/min ($\ell^2/9,000d$)	1.5 mm/min	
이면상승 온도	평균 140℃ 이하 최고 180℃ 이하	평균 3℃ 최고 4℃	

• 방화석고보드 5/8" 1겹

구 분	실험 결과		내화성능
	성능기준	측정결과	
변형량	159.4 mm ($\ell^2/400d$)	28.4 mm	1시간
변형율	7.1mm/min ($\ell^2/9,000d$)	2.0 mm/min	
이면상승 온도	평균 140℃ 이하 최고 180℃ 이하	평균 8℃ 최고 13℃	

(4) 실험결과 종합

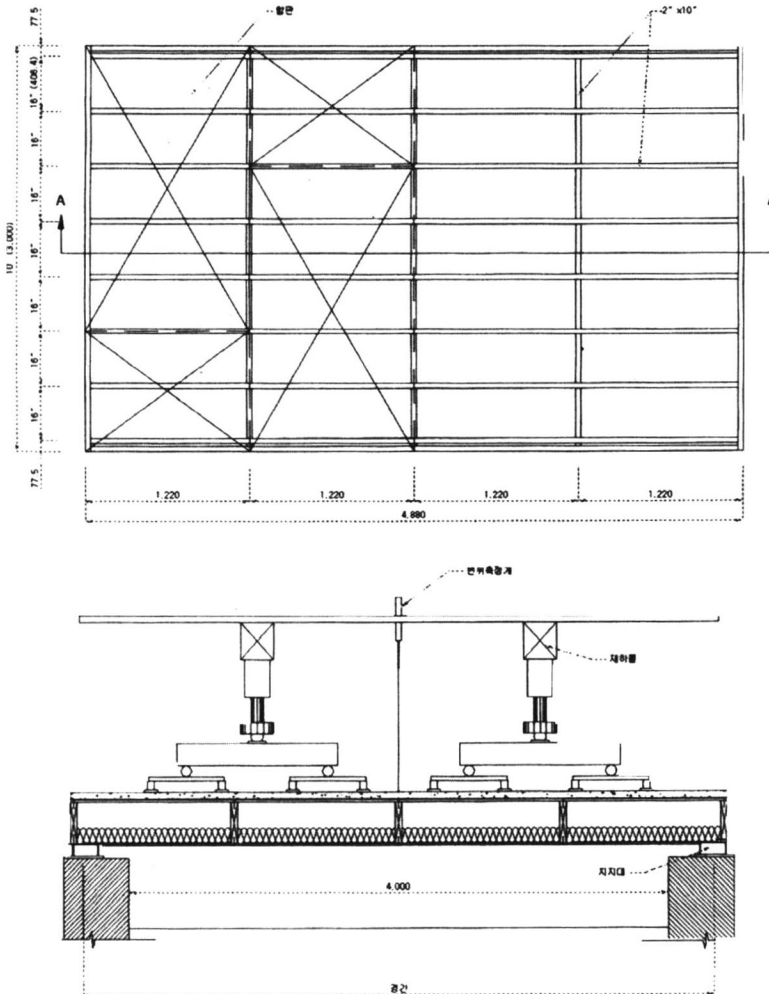
- ① 외벽구조로서, 옥외면은 사이딩 패널 마감하고 옥내면은 1/2" 방화석고보드 2겹 마감하여 각 면을 실험한 결과,
 - i) 옥내면에 대해서는 1시간 내화성능시간이 있었음.
 - ii) 옥외면에 대해서는 39분까지 내화성능이 있었음.
- ② 외벽구조로서, 옥외면은 외벽 치장 마감(접착몰탈+섬유메쉬+수지 뽐칠)하고 옥내면은 1/2" 방화석고보드 2겹 마감하여 각 면을 실험한 결과,
 - i) 옥내면에 대해서는 1시간 내화성능이 있었음.
 - ii) 옥외면에 대해서는 28분까지 내화성능이 있었음.
- ③ 내벽구조로서, 양면을
 - i) 1/2" 방화석고보드 2겹 마감하여 실험한 결과, 1시간 내화성능이 있었음.
 - ii) 5/8" 방화석고보드 1겹 마감하여 실험한 결과, 43분까지 내화성능이 있었음.
- ④ 바닥구조로서, 천정면을
 - i) 1/2" 방화석고보드 2겹 마감하여 실험한 결과, 1시간 내화성능이 있었음.
 - ii) 5/8" 방화석고보드 1겹 마감하여 실험한 결과, 1시간 내화성능이 있었음.

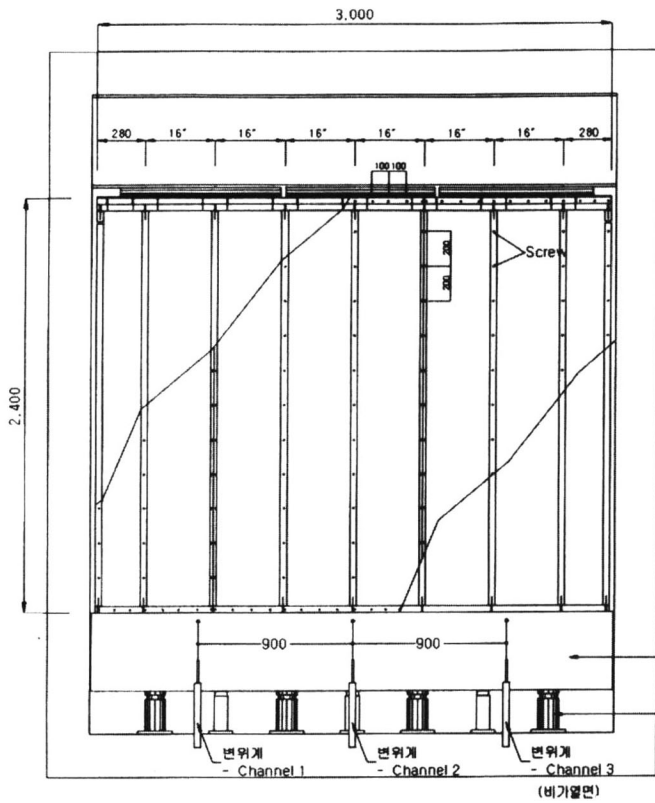
5. 맺음말

이 연구는 최근 증가 추세에 있는 목구조 건축물에 대하여 목재는 쉽게 불에 타므로 화재에 안전한 구조가 될 수 없을 것이라는 일반적인 인식에 대하여 목구조를 실대 구조로 제작, 화재실험을 실시하여 목구조 건축물의 화재안전성을 규명하고, 이를 통하여 국내에서도 점차 생산성이 증가하고 있는 국산재 목조의 활용성을 증대하기 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

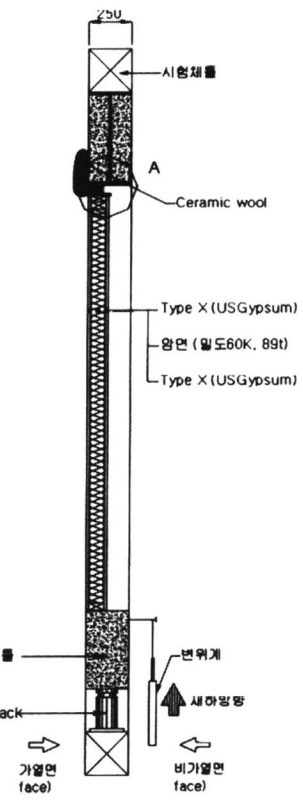
이 연구 결과, 목재는 화재에 노출되어 비록 구조단면의 일부가 손실되더라도 그 구조내력을 완전히 상실하지는 않

으며 따라서 일정 규모의 건축물에 대해서는 구조재로서 활용하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 다만, 목구조는 그 뼈대를 이루는 목재외에 단열재, 마감재 등 이질재료를 사용하여 전체적인 구성부재를 이루는 것으로서, 외국의 문헌 등을 살펴보면 이러한 이질재료의 물성 및 성능이 목구조의 화재 안전성에 영향을 주는 것으로 나타나고 있으므로 이러한 특성을 감안하여 앞으로도 지속적인 연구 개발이 뒤따라야 할 것이다.

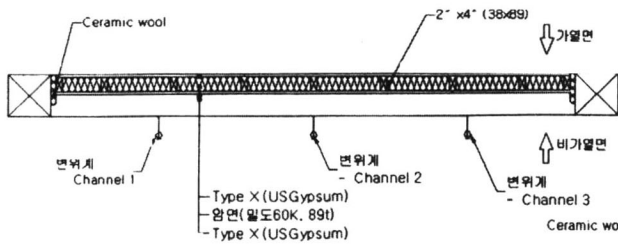




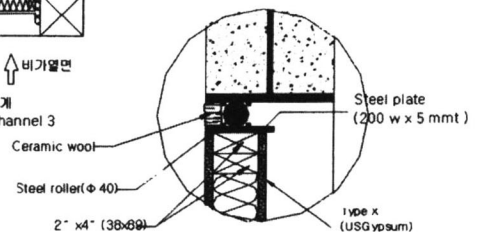
입면도



수직단면도



수평단면도



"A" 상세