

Kaiser Truss를 사용한 일방향 슬래브의 휨 거동에 관한 연구

An Experimental Study on the Flexural Behavior of Slabs Using Kaiser Truss

0 김 형 근* 광 노 현** 류 승 곤*** 이 희 발**** 정 현 수*****
Kim, hyung keun Kwak no hyoun Yoo, seong kon Lee, hee bal Chung, heon soo

ABSTRACT

In order to investigate on the behavior of one-way slab with Kaiser Truss, such as flexural strength, failure mode, and ductile capacity, a total of twenty specimens have been tested and compared with the R.C slab without Kaiser Truss. The major variables are Kaiser Truss intervals(30,40,60Cm), half slab thickness. Test results showed that support interval of half pc slab can be determined by the flexural strength which causes the concrete crack and there are horizontal cracks between upper concrete and half slab in the connection of the specimen with kaiser truss interval 60Cm.

1. 서론

최근의 주택 건설은 시간이 지남에 따라 고층화, 대형화 되어가고 있는 추세이나, 아직 우리나라에서는 새로운 공법 적용등의 질적인 진보가 미미한 형편이다. 특히 극심한 건축 자재 부족과 건설 기능공의 부족, 노무비의 상승등으로 더욱 더 어려워진 건설 환경 속에서, 건설 시장 개방을 목전에 두고 있는 우리로서는 선진국에서 개발된 양질의 구조 시스템을 선택적으로 도입하여 고유한 실정에 맞게 적용시키는 지혜가 요구된다고 하겠다. 그중에서도, 많은 공기가 소요되는 종래의 바닥판 공법을 효율적인 새로운 시스템으로 변화시키는 방법에 대한 연구는, 고층아파트의 붐이 일고 있는 현 상황에서 우선적으로 검토되어야 할 것이다. 근래에 이러한 현실을 감안해서, 우리나라에서도 완전 PC 공법을 일부 사용해 왔으나 방음이나 부재 상호간 접합부의 일체성등이 떨어지는 구조 시스템 자체의 문제가 지적됨에 따라, 재래식 공법과 완전 PC공법의 장점을 선택적으로 조합시킨 부분 PC바닥판 공법(하프슬래브 공법)을 일부 선발업체들이 도입하기 시작했다. 부분 PC 바닥판 공법은, 이미 독일과 일본등지에서 널리 사용되고 있으며 실험 자료를 통해 구조물의 안전성이 규명된 우수한 공법으로

공기단축, 인력절감등에 효과적이며, 접합부 강성확보에도 유리한것으로 입증되었다.

따라서 본 연구는 하프 슬래브 공법중 상부콘크리트 타설시 접합면과의 일체성 확보에 보다 유리하고, 상부철근 배근시 시공성에 도움이 되는 카이저 트러스근을 사용한 하프슬래브의 실험적 연구를 통하여, 구조 안전성을 검토함에 있어 기초 자료를 얻는 것을 그 목적으로 한다.

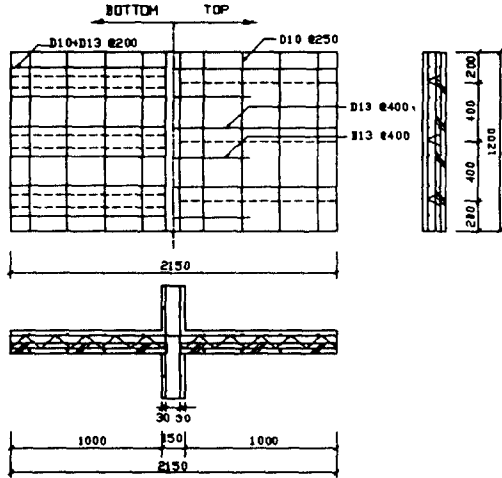
2. 실험

2.1 실험체 계획

실험체는 적정 동바리 간격 산정을 위한 하프 PC 판넬 자체의 중앙부 휨모멘트 실험체 9개와, 극한 강도 설계법¹⁾에 따른 모멘트 계수 적용성을 검토하기 위해 합성 중앙부 휨모멘트 시험체 5개 및 슬래브-벽체 접합부 시험체 4개, 합성 시험체와의 비교를 위한 일체타설 시험체 2개를 제작하였다. 실험체 배근은 기존의 아파트 시공시 사용되고 있는 배근 방식을 채택하여 L-Type(40평형 배근, 최대스팬 5.1m), M-Type(30평형 배근, 최대스팬 4.8m), S-Type(20평형 배근, 최대스팬 4.2m)의 3가지 형태로 나누었고, 주근은 D10, D13 철근을 사용하였으며, 카이저 트러스근은 L, M-Type배근의 경우는 A형(높이 90mm, 너비 70mm), S-Type의 경우는 B형(높이 70mm, 너비 70mm)을 사용하였다. 주요 변수로는 카이저 트러스의 사용 여부, 카이저 트러스 간격(30, 40, 60Cm), 하프 PC판넬의 두께(6, 7Cm)등이다.

* 중앙대 대학원 석사 과정
** 중앙대 대학원 공학 석사
*** 코오롱 기술연구소 선임 연구원
**** 코오롱 기술연구소 차장
***** 중앙대 교수, 공학 박사

가력은 한성 PC회사 소재 100(t)용량 Strong Frame의 Oil Jack 선단에 연결된 가력보 하부에 놓인 30(t) 로드셀을 사용하여 재하하였다. 철근의 변형은 중앙부 시험체의 경우 시험체 중앙부에, 접합부 시험체의 경우는 소성 힌지 발생이 예상되는 곳에 Wire Strain Gauge를 부착하여 측정하였고, 처짐은 중앙부 휨모멘트 시험체의 경우 시험체 중앙부와 좌우 가력점 밑에 각각 Dial Gauge를 설치하여 측정했으며, 접합부 시험체의 경우는 벽체 하부의 양 끝단에서의 처짐을 각각 측정하도록 했다. 하중, 변형, 처짐은 모두 데이터 기록기(TDS-302)에 연결시켜 매 재하시마다 그 값을 기록하였고, 가력 장치는 그림 2에 나타내었다.



KEMA 40

그림 1 시험체 형상 및 치수

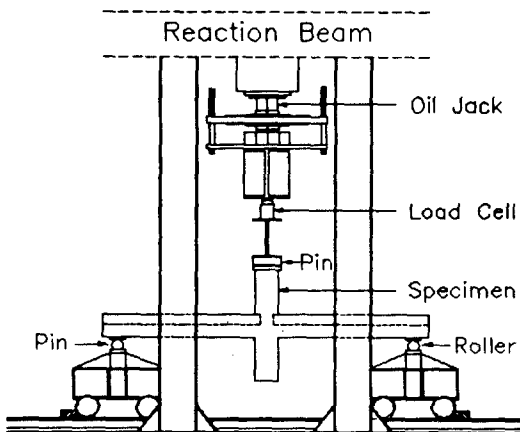


그림 2 가력 장치

4. 실험 결과 및 분석

4.1 파괴 상황

4.1.1 하프 PC판넬의 파괴 상황

각 시험체는 가력점 하부, 또는 중앙부에서 초기 균열이 발생하였으며, 가력이 계속됨에 따라 처짐의 증가로 인한 그 부분의 균열폭 확대와 가로철근을 따라 발생한 새로운 균열들이 관찰되었으며, 트러스 상부근의 좌굴과 함께 처짐량의 급속한 증가로 초기에 발생된 균열폭이 크게 벌어지면서 최종 파괴에 도달하였다.

4.1.2 중앙부 합성 시험체의 파괴 상황

그림3에 중앙부 합성 시험체의 균열상황을 나타냈다. 초기 균열은 하프PC판넬 시험체와 동일하게 가력점 하부나 중앙부에서 발생하였고, 인장주근이 항복하면서 부재가 탄성구간을 벗어나 처짐이 증가함에 따라 중앙부 압축면의 콘크리트 압괴가 발생하였으며, 중앙부 부근의 균열폭이 크게 확대되면서 최종 파괴에 이르렀다. 또한 균열은 가로철근을 따라 발생함을 볼 수 있었으며, 전 시험체에서 덧침콘크리트와의 접합면에서의 크랙은 발생하지 않았고, 일체 타설시험체에 비해서 균열의 발생 범위가 크게 나타나 합성 시험체의 경우에 트러스근으로 인한 균열 분산능력을 보여주었다.

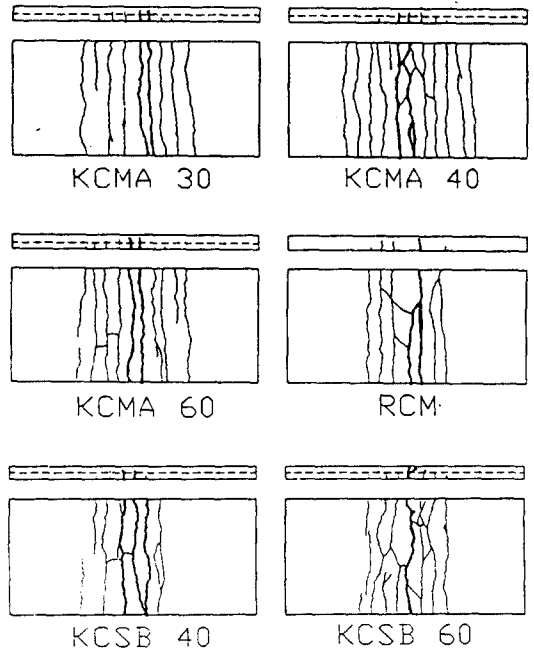


그림 3 중앙부 합성 시험체 균열 상황

4.1.3 접합부 시험체의 파괴상황

그림 4에 접합부 시험체의 대표적인 균열 상황을 나타내었다. 초기 균열은, 모든 합성시험체에서는 벽체와의 접합면을 따라 발생하였고 일체타설 시험체는 벽체와 150mm 떨어진 부근에서 관찰되었다. 하중이 증가하면서 접합면의 균열폭이 확대됨과 동시에 가로 철근 방향으로 새로운 균열이 발생하였고, 카이저 간격 30, 40cm인 시험체에서는 모든 균열이 덧침 콘크리트와의 접합면을 뚫고 하프 PC판넬로 진전되었으나, 카이저 간격 60cm인 시험체 KEMA60와 KESB60에서는 접합면을 따라 균열이 발전되는 양상을 보여주었다.

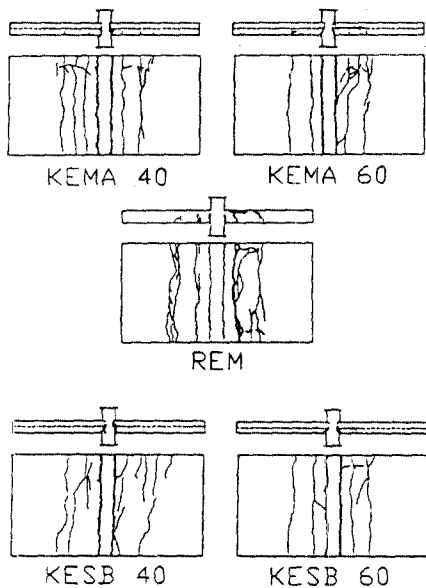


그림 4 접합부 합성 시험체 균열 상황

4.2 하중 처짐 곡선

그림 5, 그림 6은 시험체별 하중 처짐 곡선을 나타내고 있다. 그림과 같이 각각의 시험체는 실험 변수에 따라 조금씩 다른 양상을 띠고 있었다. 중앙부 합성시험체의 경우는 균열 발생 이전의 초기 강성은 거의 동일하게 나타났으나, 일체타설 시험체에 비해서는 약간씩 모두 상회하는 양상을 보였고, 최대 하중에 있어서도 일체 타설 시험체에 비해 1.17-1.24배로 크게 나타났다. 접합부 시험체의 경우는 모든 합성 시험체가 일체타설 시험체에 비해 실험체 강성이 다소 떨어지는 경향을 보여주었고, 최대 하중에 있어서도 0.89- 0.97배로 작게 나타났다.

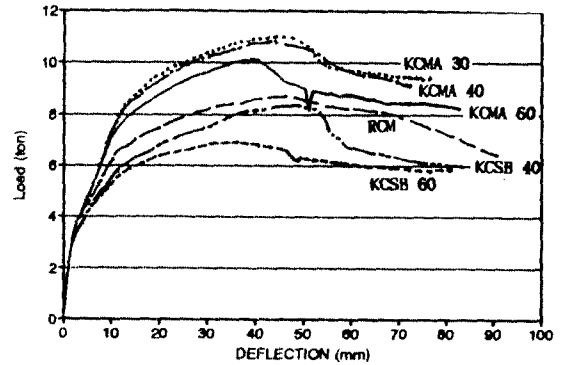


그림 5 중앙부 합성시험체 하중 처짐 곡선

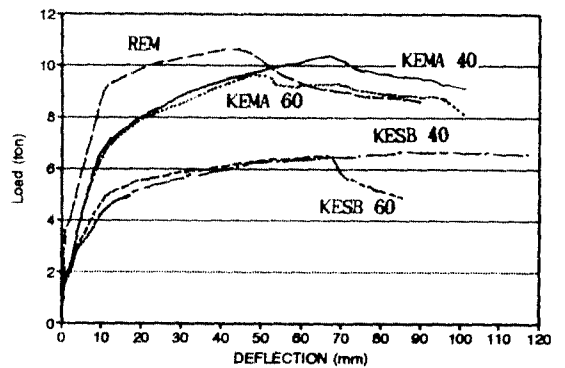


그림 6 접합부 합성 시험체 하중 처짐 곡선

4.3 계산치와 실험치의 비교

중앙부 및 슬래브 벽체 접합부 합성시험체의 실험 결과는 표3에, 하프 PC판넬 시험체의 실험 결과를 표4에 각각 나타냈다. 하프 PC판넬 시험체의 경우 휨균열 하중은 계산치에 대한 실험치의 비가 0.81-1.06으로 비교적 양호한 적합성을 보여주고 있으나, 균열 발생시의 실험치 처짐 값은 탄성 해석에 의한 계산식과 비교해 0.92-1.69 정도로 다소 산발적인 분포를 보여주고 있다. 또한 합성시험체에서는 휨균열하중의 계산치에 대한 실험치의 비가 중앙부 시험체 1.6-1.81, 접합부 시험체 0.89-1.17 정도로 각각 나타났고, 합성 중앙부 및 접합부 시험체 항복하중의 계산치에 대한 실험치의 비는 0.90-1.27, 중국 하중의 비는 0.92-1.20으로 비교적 잘 일치하는 경향을 보여주고 있다. 그림 7은 하프 PC판넬 균열하중에 대한 계산치와 실험치의비율, 그림8은 합성시험체 중국하중의 계산치와 실험치에 대한 비를 나타낸것이다.

표3 합성 시험체 실험결과 일람표

시험체명		Pcr (t)			Py (t)			Pu (t)			처짐 (mm)			비고
		cal	exp	exp/cal	cal	exp	exp/cal	cal	exp	exp/cal	δy	δu	δu/δy	
중앙부 합성 시험체	KCMA30	1.94	3.52	1.81	7.96	9.04	1.14	10.78	10.73	1.00	15.10	48.41	3.21	합성
	KCMA40	1.91	3.14	1.64	7.40	8.22	1.11	10.13	10.65	1.05	12.41	41.71	3.36	합성
	KCMA60	1.88	3.00	1.60	6.85	7.52	1.10	9.48	10.13	1.07	10.62	39.72	3.75	합성
	KCSB40	1.47	2.50	1.70	5.05	6.00	1.19	6.84	8.23	1.20	12.50	48.90	3.91	합성
	KCSB60	1.45	2.38	1.64	4.57	5.60	1.23	6.24	6.78	1.09	11.31	35.09	3.10	합성
	RCM	1.47	3.09	2.10	5.74	6.26	1.09	8.18	8.66	1.06	9.63	44.85	4.66	일체
벽체 접합부 시험체	KEMA40	1.60	1.87	1.17	7.4	6.93	0.94	10.22	10.36	1.01	10.34	67.24	6.50	합성
	KEMA60	1.58	1.58	1.00	7.4	6.65	0.90	10.22	9.56	0.94	9.31	49.77	5.35	합성
	KESB40	1.23	1.37	1.11	5.02	4.50	0.90	6.93	6.56	0.95	9.62	87.49	9.09	합성
	KESB60	1.22	1.09	0.89	5.02	4.84	0.96	6.93	6.38	0.92	9.21	65.92	7.16	합성
	REM	1.53	3.6	2.35	7.32	9.31	1.27	10.42	10.7	1.03	10.79	46.24	4.29	일체

$M_{cr}=1.8\gamma F_c * Z_t$ $M_y=a_t f_y j d$ $M_u=a_t f_t j d$

표 4 하프PC판넬시험체 실험결과 일람표

시험체명	Pcr (ton)			δcr (mm)		
	cal	exp	exp/cal	cal	exp	exp/cal
KHLA40	1.03	0.78	0.81	2.97	2.74	0.92
KHLA60	0.93	0.82	0.88	3.04	3.98	1.31
KHMA30	1.13	1.1	0.97	2.92	3.07	1.05
KHMA40	1.03	1.09	1.06	2.97	5.01	1.69
KHMA60	0.93	0.85	0.91	3.05	3.69	1.21
KHSB40	0.88	0.87	0.99	3.03	4.04	1.33
KHSB60	0.83	0.7	0.84	3.10	4.25	1.37
KHMA40-6	0.93	0.9	0.97	3.33	5.11	1.53
KHMA60-6	0.80	0.75	0.94	3.42	3.8	1.11

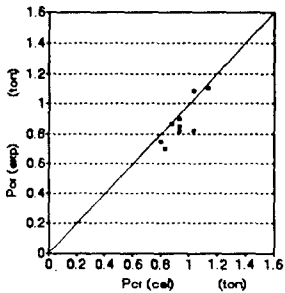


그림5 하프PC판넬 균열하중 계산치와 실험치 비교

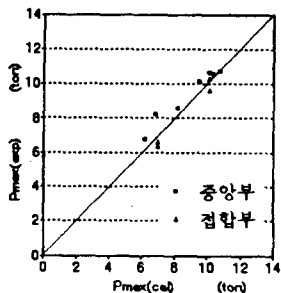


그림6 합성시험체 종곡하중 계산치와 실험치 비교

4.4 카이저 간격별 내력 비교

4.4.1 하프 PC판넬 시험체

카이저 간격별 균열하중의 비교를 그림 7에 나타냈다. 판넬 두께 70mm, 간격 400mm를 기준으로 검토한 결과, M-Type배근의 경우 간격 300mm인 시험체는 간격 400mm인 시험체에 비해 1.01배로 거의 차이가 없었으나, 간격 600mm인 시험체는 간격 400mm인 시험체에 비해 0.78배로 작게 나타났고, S-Type배근의 경우도 간격 600mm인 시험체가 간격 400mm인 시험체보다 0.80배정도로 작은 균열하중을 보였다. 판넬 두께 60mm인 시험체 경우에서도 간격 600mm인 시험체가 400mm인 시험체보다 0.83배로 작은 값을 보였다. 그러나 L-Type 배근의 경우는 간격 40, 600mm의 내력차가 거의 보이지 않았다.

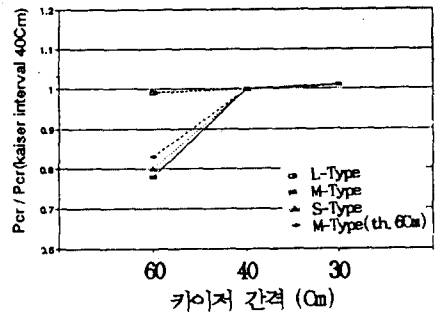


그림 7 하프PC판넬의 카이저 간격별 균열하중 비교

4.4.2 중앙부 합성 시험체

그림 8은 중앙부 합성 시험체의 카이저 간격별

최대 하중의 비교를 보여주고 있다. 그림에서 나타낸 것처럼 간격 600mm인 시험체는 간격 400mm인 시험체보다 M-Type배근시 0.95배, S-Type배근시 0.91배 정도로 약간 작게 나타났고, 간격 300mm인 시험체는 간격 400mm 시험체의 1.01배로 차이가 거의 보이지 않았다. 그러나 일체타설 시험체에 비해서는 카이저 간격 60, 40, 300mm인 시험체가 1.17, 1.23, 1.24배 크게 나타난 것으로 보아, 카이저 하부근은 이형 철근과 함께 인장축 주근으로 거동하므로 구조 계산시 슬래브 중앙부에서는 트러스 하부근을 포함시켜 계산하는 것이 바람직하다고 여겨진다.

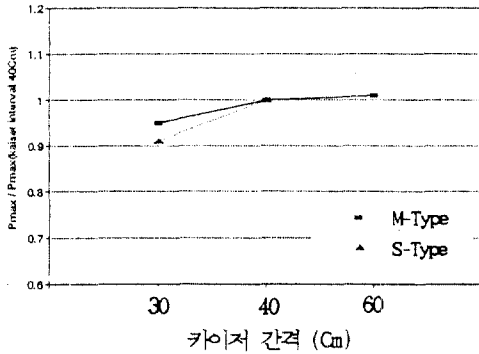


그림 8 중앙부 합성시험체의 간격별 최대하중 비교

4.4.3 슬래브 벽체 접합부 합성 시험체

접합부 합성 시험체의 트러스 간격별 최대하중의 비교를 그림 9에 나타내었다. 간격 400mm인 시험체를 기준으로 간격 600mm인 시험체는 M-Type배근의 경우 0.92배, S-Type배근의 경우는 0.97배 정도로 약간 작게 나타났고, 일체타설 시험체에 비해서는 간격 60, 400mm인 시험체가 각각 0.89, 0.97배로 최대 하중이 작게 나타났다. 이것은 하프 슬래브와 벽체의 분리타설로 인한 벽체와의 접합부 강성 저하에 기인한 것으로 생각된다.

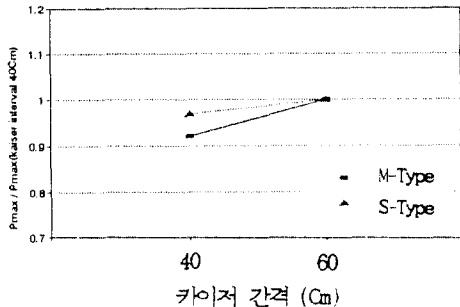


그림 9 접합부 합성시험체의 간격별 최대하중 비교

4.5 소성 변형 능력

그림 10, 그림 11은 중앙부 및 접합부 합성 시험체의 소성 변형 능력을 나타낸 것이다. 소성 변형 능력은 최대하중시의 처짐을 부재 항복시의 처짐으로

나눈 값이다. 그 결과는 그림에 나타난 바와 같이 중앙부 합성 시험체에서는 일체타설 시험체에 비해 소성 변형능력이 0.69-0.8배로 작게 나타났다. 이것은 중앙부 합성 시험체가 일체타설 시험체에 비해 상대적으로 처짐이 조금 더 진전된 후에 부재가 항복했기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 중앙부 합성 시험체에서 카이저 간격별 소성 변형 능력은 차이가 거의 나타나지 않았다.

접합부 합성 시험체의 경우에는 일체타설 시험체보다 소성 변형능력이 1.25-1.39배로 크게 나타났고, 카이저 간격 600mm인 시험체가 간격 400mm인 시험체에 보다 0.79-0.82배로 소성 변형능력이 작게 나타나는 경향을 보였다.

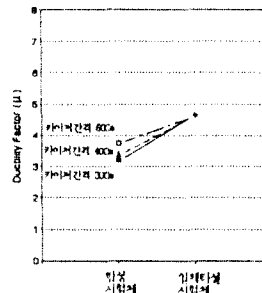


그림 10 중앙부 시험체의 소성 변형 능력

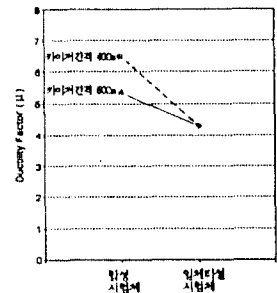


그림 11 접합부 시험체의 소성 변형 능력

5. 결론

이상과 같은 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 하프PC판넬의 휨균열 하중은 SUGANO 식의 휨 균열하중 계산치에 대해 최소 80% 이상으로 나타났다.
2. 카이저 간격 400mm 이하의 시험체는 덧침 콘크리트와의 일체성이 우수한 것으로 판단되었으나, 카이저 간격 600mm인 시험체는 슬래브-벽체 접합부에서 덧침콘크리트와의 접합면에 크랙이 발생하는 등 일체성에 문제가 있는 것으로 사료된다.

감사의 글 : 본 실험연구에 연구비를 지원한 코요롱 건설주식회사와 시험체 제작에 도움을 준 (주)한성관계자 여러분들께 감사 드립니다.

※ 참고 문헌

1. 건설부, "극한강도 설계법에 의한 철근콘크리트 구조계산규준 및 해설" 대한건축학회, 1988
2. Nihon Kaiser, " 카이사"-시스템 KT트라스 床板 設法 製造 施工要領 " 1984.
3. 松崎育弘, 青松敏行 외, "KH트라스筋을 이용한省力化床公法 - その2 KH트라스筋のせん断耐力實驗", 日本建築學會學術講演便概集, pp. 547-548, 1990, 10