

슬립폼 공법으로 건설된 벽식 구조의 거동에 관한 연구

Structural Behavior of Wall-Type Structure with the Application of Slip-Form System

문정호*

이리형**

Moon, Jeong-Ho Lee, Li-Hyung

요 약

Slip-Form 시스템을 사용하였을때 공기단축 및 우수한 품질의 벽체타설이 가능하기 때문에, 그 적용성 및 구조적 거동을 평가하는 연구가 수행되었다. 그러나 슬래브를 벽체와 동시에 타설할 수 없기 때문에 벽체-슬래브 접합부의 주변에 취약점이 생기게 될 가능성이 있으므로, 본 연구는 Slip-Form 시스템을 사용한 벽식 구조의 성능을 평가하고, 효과적인 접합부를 개발하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여 7개의 벽체 실험체와 8개의 벽체-슬래브 접합부 실험체를 제작하여 실험을 실시하였다. 그리고 실험결과들을 설계식 및 이론적인 해석 결과와도 비교하였다. 벽체압축 실험으로 부터 그 구조적 거동이 일체식 구조와 유사함을 알 수 있었으며, 벽체-슬래브 접합부 실험으로 부터는 철근연결용 철물이 있는 경우를 제외하고는 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있었다. 그러나 외벽에 철근연결용 철물을 사용한 경우에는 벽체의 강도를 검토하여 설계에 반영하여야 함을 알 수 있었다.

Abstract

The structural performance of Slip-Form system was examined to make use of many advantages of fast construction and high quality concrete. However, the separate construction of wall and slabs may cause some weaknesses around the wall-slab connection region. Thus, the purpose of the study is to examine the structural performance of wall-type structure constructed by Slip-Form method and to develop an efficient connection system between wall and slabs. In order to investigate the system, 7 wall specimens and 8 wall-slab joint specimens were tested and the experimental results were compared with the design equations and theoretical analysis. A satisfactory performance was obtained from the wall specimen tests. However, wall-slab joint specimens with rebar connection materials [Halfen] were shown that the strength of wall should be checked during design process.

Keywords : Slip-Form, wall-slab connection, opening, separation construction, development length, standard hook, shear failure, empirical equation, effective moment of inertia, wall reinforcement.

* 한양대학교 조대형구조시스템 연구센터 연구조교수, 공박
** 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공박

• 본 논문에 대한 토의를 1995년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 1995년 12월호에 토의회담을 게재하겠습니다.

1. 서 론

벽체 콘크리트의 타설에 자동화가 가능한 Slip Form 시스템을 사용했을 때, 기둥집의 해체 및 조립 과정을 생략할 수 있어 노동인원의 감소, 시공성의 향상, 그리고 공사기간의 단축 등이 가능해져 궁극적으로는 우수한 품질의 건축물을 건설할 수 있으며, 생산성도 향상시킬 수 있다. 또한, 연속 작업이 가능하여 균일한 표면 유지가 가능하며, 비장작업을 감소시킬 수 있다.

Slip Form 공법은 주로 단순평면 구조물에만 적용하여져 왔는데 이를 벽식구조 아파트에 적용하고자 하였을 때는 슬래브와 같은 가로부재를 수직부재인 벽체와 연결할 수 있는 방법이 필요하다. 벽체에 연결되는 슬래브는 가능한 한 일체로 연결되도록 하는 것이 중요한데, 이 연결 방법으로는 두가지 방법을 들 수 있다. 첫째는 벽체에 개구부를 만든 후 이를 통하여 철근을 배근하여 슬래브를 연속으로 타설하는 방법이며, 둘째는 벽체에 철근연결용 철물(Halfen)을 매립하여 슬래브를 연결하는 방법이다. 이러한 연결방법은 Fig. 1에 슬래브가 타설되기 전의 모습을 나타내었는데, 외벽과 슬래브의 연결은 철근연결용 철물을 사용하고 내벽과 슬래브의 연결은 개구부나 철근연결용 철물을 사용하고자 하였다. 철근연결용 철물은 얇은 철판으로 만들어져 있는데, Slip Form이 상승하기 이전에 벽체의 철근에 묶어두어 슬래브 철근이 연속으로 배근되도록 하는 장치이다. 철근토막을 철근연결용 철물에 수직으로 관통하도록 한 후, 이를 철근연결용 철물 방향으로 굽혀 놓는다. 그리고 Slip Form이 상승한후 이 철근을 펴서 슬래브 철근과 연결하여 구조적으로 슬래브 철근이 연속이 되도록 한다.

그런데 이러한 공법을 사용했을 때 벽체와 슬래브 접합면에는 불연속면이, 그리고 벽체에는 단면결손이 형성되므로, Slip Form 공법을 실용화하기 위해서는 이러한 불연속 접합부 및 단면결손이 구조적으로 미칠 수 있는 영향이 규명되어야 한다. 따라서, Slip Form을 사용하는 공법의 개발에서는 구조적으로 안전하고 조립이 용이한 벽체-슬래브 접합부의 개발이 필요하다.

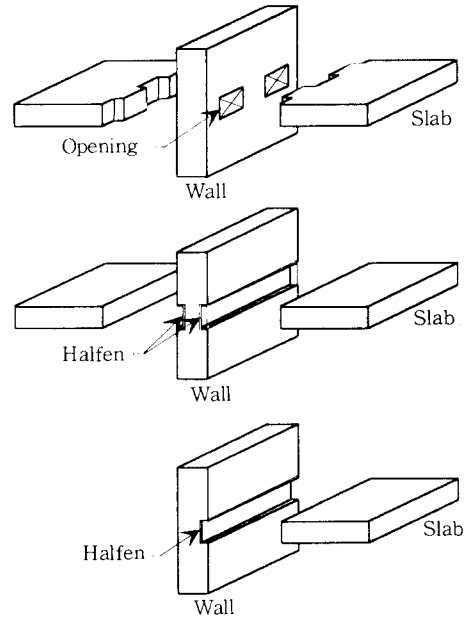


Fig. 1 Connection of wall and slab

2. 연구의 목적 및 내용

Slip Form 공법을 이용하였을 때, 벽체에 생기게 되는 결손부는 슬래브 콘크리트로 충전되지만 분리타설로 인하여 벽체 및 슬래브에 불연속면이 생기게 된다. 그러므로 이러한 불연속면의 영향에 대한 평가와 발생될 수 있는 문제점에 대한 보강 방법에 관한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 Slip Form 공법으로 건설되는 벽체와 슬래브의 거동을 파악하고 설계의 기초자료를 제공하는 것을 연구의 목적으로 하여, 실험 및 이론적인 해석 방법을 병행하여 연구를 수행하였다. 실험적으로는 벽체 및 벽체-슬래브 접합부 실험체들을 변수별로 제작하여 역학적 거동을 연구하고, 이론적으로는 현재의 강도 설계 규준에 따른 설계법 및 구조해석에 의한 연구를 실시하고자 하였는데 연구의 내용은 다음과 같다.

1) 벽체 압축실험 : 개구부나 철근연결용 철물로 인한 벽체 강도의 변화 및 파괴형상을 주 대상으로 하여 벽체의 거동을 연구하며, 개구부가 벽체의 거동에 미치는 영향을 평가하여 개구부의 적절한 크기 및 간격을 결정하고자 하였다.

2) 벽체-슬래브 접합부 실험: 벽체-슬래브 접합부 실험은 슬래브의 단부에 작용하는 모멘트 및 전단력에 대하여 개구부나 철근연결용 철물이 미치는 영향을 파악하기 위하여, 개구부를 이용한 벽체-슬래브 접합부와 철근연결용 철물을 사용한 벽체-슬래브 접합부 실험체에 대해 실험을 실시하고자 하였다. 또한, 재래식 철근콘크리트 구조에 사용되어온 일체식 실험체도 제작하여 Slip Form 공법에 의한 실험체와의 거동을 비교 분석하고자 하였다.

3. 실험계획

개구부 및 철근연결용 철물에 의한 단면 결손이 벽체의 거동에 미치는 영향을 파악하기 위하여 총 7개의 벽체 압축실험체가 계획되었는데, 이들은 5개의 내부벽체 실험체 및 2개의 외부벽체 실험체들로 구분되었다. 내부벽체 실험체들은 벽체와 슬래브의 연결 방법에 따라, 1개의 일체식 실험체(IWRA. 0), 개구부가 있는 2개의 실험체(IWOA. 3, IWOA. 5), 철근연결용 철물이 있는 동일한 2개의 실험체(IWHA. A, IWHA. B)로 분류되었다. 일체식 실험체는 Slip Form 시스템의 거동을 기존의 일체식 콘크리트 벽체와 비교하기 위하여 제작되었다. 외부벽체 실험체들은 벽체-슬래브 연결부위에 철근연결용 철물이 있는 동일한 2개의 실험체들(EWHA. A, EWHA. B)이다. 이들 실험체들의 일람표는 Table 1 및 Fig. 2에 나타냈다.

벽체의 크기는 개구부가 차지하는 비율 및 적절한 개구부의 크기, 그리고 실험 여건 등을 고려하여 결정하였다. 벽체-슬래브 접합부 실험체에 개구부를 사용하였을 때 적절한 개구부의 비율을 결정하기 위하여 개구부가 차지하는 비율을 30% 및 50%로 하였으며, 그 크기는 시공성을 고려하여 200mm와 240mm로 하였다. 그러므로 개구부가 있는 실험체의 길이는 이러한 개구부의 비율과 크기를 고려하여 800mm로 결정하였다. 그리고 실험체의 두께는 개구부나 철근연결용 철물에 의한 단면결손을 제외한 압축력에 유효한 두께를 80mm로 하여, 이를 기준으로 결정하였다. 철근연

Table 1 Wall test specimens

Specimen	Type	Joint	Opening		
			No.	Ratio	Size
IWRA. 0	In.	RC	-	-	-
IWOA. 3	In.	Opening	1	30%	240mm
IWOA. 5	In.	Opening	2	50%	200mm
IWHA. A	In.	Halfen	-	-	-
IWHA. B	In.	Halfen	-	-	-
EWHA. A	In.	Halfen	-	-	-
EWHA. B	In.	Halfen	-	-	-

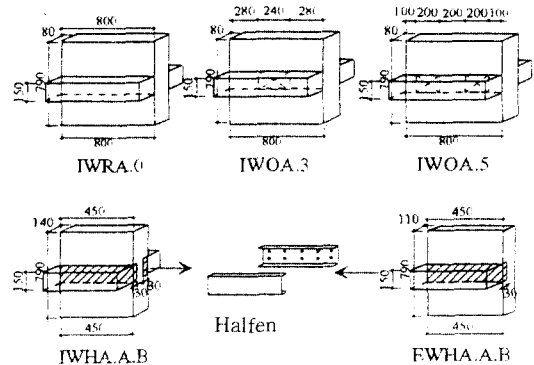


Fig. 2 Size and shape of wall test specimens

결용 철물이 있는 경우에는 철근연결용 철물에 대한 단면결손의 길이가 30mm인 점을 고려하여, 내부벽체의 두께는 140mm로, 외부벽체의 두께는 110mm로 하여 압축력에 유효한 두께를 80mm가 되도록 하였다. 그런데 철근연결용 철물에 의해서 결손된 부위가 슬래브 콘크리트에 의해서 충전되는 점을 고려하고, 실험 기자재의 여건에 따라 철근연결용 철물이 있는 실험체의 길이를 450mm로 결정하였다. 벽체철근은 종 및 횡방향 모두 최소 철근량을 단배근으로 하였는데, 개구부가 있는 실험체의 배근은 개구부에서 철근이 끊어지지 않도록 하기 위하여 개구부를 피하여 배근하였다.

벽체-슬래브 접합부 실험체는 총 8개가 계획되었는데, 5개의 내부접합부 실험체 및 3개의 외부접합부 실험체로 구성되어 있다. 내부벽체-슬래브 접합부 실험체들은 벽체-슬래브 연결방법에 따라 1개의 일체식 실험체(ISRF. 0), 개구부가 있는 2개의 실험체(ISOF. 3, ISOF. 5), 철근연결용 철물이 있는 2개의 실험체(ISHF. A, ISHF. B)

들로 분류되었다. 외부벽체-슬래브 접합부 실험체들은 일체식 실험체(ESRF, O)와 벽체-슬래브 연결부위에 철근 연결용 철물이 있는 실험체들(ESHF, A, ESHF, B)로 구성되어 있다. 이들 실험체들의 일람표는 Table. 2 및 Fig. 3에 나타냈다.

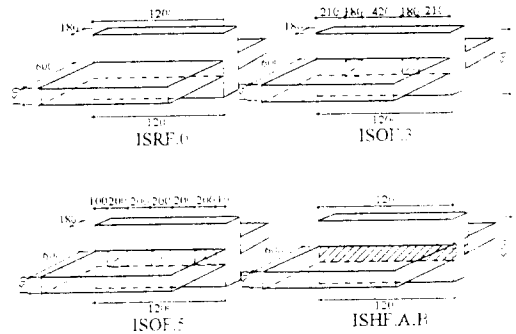
Table 2 Wall-slab joint specimens

Specimen	Type	Joint	Opening		Bars	
			No.	Ratio	Anchor	Main Bars
ISRF, O	In.	RC	-	-	-	Top 8-D10
ISOF, 3	In.	Opening	1	30%	-	
ISOF, 5	In.	Opening	2	50%	-	
ISHF, A	In.	Halfen	-	-	-	
ISHF, B	In.	Halfen	-	-	4 D10	Bot. 4-D10
ESHF, O	Ex.	RC	-	-	-	
ESHF, A	Ex.	Halfen	-	-	-	
ESHF, B	Ex.	Halfen	-	-	4-D10	

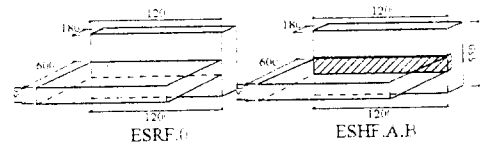
개구부가 있는 벽체-슬래브 접합부 실험체의 개구부의 비율은 벽체압축 실험체와 동일하게 비율을 각각 30% 및 50%로 하였으며, 그 크기는 시공성을 고려하여 180mm와 200mm로 하였다. 그런데 2개 이상의 개구부를 사용하기 위하여 이들 실험체의 폭은 1200mm로 결정하였다. 슬래브의 두께는 실물 크기인 150mm로 하였고, 벽체의 두께도 180mm로 하였다. 철근연결용 철물이 있는 실험체 및 일체식 실험체 역시 동일한 크기로 제작하여 비교가 가능하도록 하였다.

벽체-슬래브 접합부에서의 불연속면의 효과는 3가지로 생각해볼 수 있는데 이는 균열강도, 전단강도, 그리고 휨강도에 대하여 불연속면이 미치는 영향들을 들 수 있다. 그런데 현 Slip Form 시스템이 기존의 일체식 공법에 비하여 예상되는 취약점은 부재의 균열강도, 전단강도이다. 휨강도는 철근의 인장강도 및 그 양에 따라서 결정이 되기 때문에 불연속면의 영향은 크지 않을 것으로 판단되었으나, 균열강도 및 전단강도는 콘크리트의 인장강도와 관계가 있어 불연속면의 영향을 받을 것으로 판단되었다. 그러므로 실험체들은 전단강도를 고려하여 계획되었는데 개구부가 50%인 IWOF, 5 실험체의 전단강도가 휨강도와 동일하

도록 실험체의 전단스팬의 길이를 결정하였다. 그러므로 내부벽체-슬래브 접합부 실험체의 전단스팬의 길이는 550mm로 결정하였다. 그런데 외부벽체-슬래브 접합부 실험체에서는 철근연결용 철물의 안쪽에 묻혀있는 슬래브가 전단강도에 미치는 영향을 예측할 수 없었기 때문에 실험여건을 고려하여 그 길이를 520mm로 하였다.



(a) Shape and size of interior wall slab joint specimens



(b) Shape and size of exterior wall slab joint specimens

Fig. 3 Size and shape of wall-slab joint specimens

벽체-슬래브 접합부 실험체의 슬래브 철근은 상부에 8개의 D10을 160mm의 간격으로, 하부에 4개의 D10을 320mm의 간격을 기준으로 하여 배근하였는데, 개구부가 있는 실험체의 경우에는 개구부를 통하여 배근하여 철근이 끊어지지 않고 연속이 되도록 하였다. 그러므로 개구부가 있는 곳에서는 철근의 간격이 좁아지게 되어 보와 같은 형태의 배근이 되었다. 철근연결용 철물을 사용하였을 때는 이를 관통한 철근들이 슬래브의 상하부에서 슬래브 철근과 30cm의 이음길이를 연결되었다.

ISHF, B 및 ESHF, B 실험체에서는 상부 철근량의 50%를 상부근 아래에 중간근으로 배근하여 상부철근이 부착력에 저항하지 못하게 되었을 때

의 보강근으로서의 역할을 하도록 하였다. 극한강도 설계의 기준에 따르면 표준 Hook의 최소 정착길이 L_{db} 가 다음과 같이 계산되어 진다.

$$L_{db} = 320d_b / \sqrt{f_c} \times (f_y / 4200) \quad (1)$$

그런데 콘크리트의 설계강도가 $240\text{kg}/\text{cm}^2$ 일 때 필요한 최소 정착길이는 약 21cm 가 필요하게 되어 보강근을 사용하여 정착길이의 부족에 대한 문제를 해결하도록 하였다. 기준에 따르면 필요한 철근양보다 많은 양의 철근이 배근되었을 때 다음과 같이 소요 정착길이를 작게 할 수 있도록 되어 있다.

$$L_{th} = L_{db} \times (A_s \text{ required}) / (A_s \text{ provided}) > 15\text{cm and } 8d_b \quad (2)$$

그런데 일체식 실험체에서도 소요정착길이가 21cm 이상이 필요하여 여기에 대한 본격적인 연구는 추후 연구과제로 남아있는 실정이다.

4. 실험결과

4.1 재료실험

실험체 제작에 사용한 철근은 SD40의 D10 철근을 사용하였다. 그리고 직각으로 굽혀 철근 연결용 철물 안에 넣어둔 철근을 Slip Form이 상승한 후 폼을 때 그 영향을 파악하기 위하여 굴곡된 철근에 대하여서도 인장시험이 실시되었는데 구조적인 취약점은 없는 것으로 밝혀졌다.

실험체의 제작에 사용된 콘크리트는 그 강도를 측정하기 위하여 실험이 진행되는 동안 공시체의 압축강도를 측정하였다.

4.2 벽체 압축실험

벽체의 압축실험은 등분포 하중을 점진적으로 증가시키면서 파괴가 일어나는 양상을 조사하는 방법으로 진행되었다. 일체식 실험체(IWRA, O)와 개구부가 있는 실험체(IWOA, 3, IWOA, 5)들

의 파괴는 모두 벽체의 상부에서 일어났다. 각 실험체들의 파괴는 하중이 작용하는 방향과 평행한 방향으로 쪼개짐 형태로 일어났다. 그런데 슬래브 아래에 위치한 벽체에서는 아무런 파괴형태도 나타나지 않았으며, 개구부의 주변에서도 파괴가 일어나지 않았다.

내부벽체-슬래브 접합부에 철근연결용 철물을 사용한 IWHA, A 및 IWHA, B 실험체 그리고 외부벽체-슬래브 접합부에 철근연결용 철물을 사용한 EWHA, A 및 EWHA, B 실험체들은 각각 서로 동일한 실험체들이며, 그 파괴형상도 유사하게 나타났다. 외부벽체-슬래브 접합부에 철근연결용 철물을 사용한 EWHA, A 및 EWHA, B 실험체들은 단면결손이 한쪽면에만 있었으나 편심 파괴 현상은 나타나지 않고, 전단면이 균일하게 파괴됨을 알 수 있었다.

4.3 벽체-슬래브 접합부 실험

개구부가 있는 ISOF, 3 및 ISOF, 5 실험체들의 파괴양상은 ISRF, O 실험체와 거의 유사하게 나타났다. 그러나 초기균열 하중은 ISRF, O 실험체에 비하여 약간 낮게 나타났다. 약 20mm 의 처짐에 도달할 때까지는 하중이 지속적으로 증가하였으며, 최대하중에 도달한 후에도 내력의 감소없이 충분한 연성거동을 보여주었다. 접합부에서의 철근도 역시 상·하부근 모두 인장에 의해서 항복하였으며, 반복하중에 대해서도 ISRF, O 실험체와 매우 유사하게 하중의 증감에 무관한 강성을 보여주었다. ISOF, 3 및 ISOF, 5 실험체의 거동은 매우 유사하여 개구부가 차지하는 비율에 따른 구조적 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

내부벽체-슬래브 접합부에 철근연결용 철물을 사용한 ISHF, A 및 ISHF, B 실험체들의 거동은 ISRF, O 실험체나 ISOF, 3 및 ISOF, 5 실험체들과는 약간 다른 양상을 보여 주었다. 약 $8\sim 10\text{mm}$ 의 처짐이 발생하였을 때 최대 하중에 도달하였음을 알 수 있었다. 그리고 최대 하중 이후에는 내력이 감소되는 현상을 보여주었는데, 실험체의 최대 강도는 ISHF, B가 크게 나타났으나 최대 하중 이후에는 내력감소의 정도가 더 크게 나타났다. 그

러나 파괴가 일어난 후의 실험체를 관찰하여 본 결과 ISHF. B 실험체는 피복두께가 불충분 하였던 것으로 판명되었다.

외부벽체-슬래브 접합부에 철근연결용 철물을 사용한 ESHF. A 및 ESHF. B 실험체들의 거동은 ESRF. O 실험체와는 약간 다른 양상을 보여주었다. 약 25mm의 처짐에서 최대 하중에 도달하였으며, 그 이후에는 내력이 감소되는 현상을 보여주었다. 실험체의 강도는 ESHF. B가 ESHF. A에 비하여 크게 나타났으며, 균열은 ESRF. O 실험체와 유사하게 벽체-슬래브 접합부 뿐 아니라 벽체의 내부에서도 발생하였다.

5. 실험결과의 분석

5.1 실험결과의 분석방법

실험결과의 분석은 현장타설 방법에 의해 제작된 일체식 실험체를 기준 모델로 하는 실험적 분석과 이론적인 해석 결과와 비교하는 해석적인 분석을 병행하였다. 해석적인 분석은 극한강도 설계 규준에 의한 설계법을 근거로 실시하였다. 또한 현재의 실험결과들을 기존의 다른 실험결과와도 비교·분석하였다.

현재 국내에서 사용되고 있는 내력벽의 설계방법은 극한강도 설계규준에 근거한 다음과 같은 실용설계식이 있다.

$$P_u = 0.55 \phi f_c A_g [1 - (kh / 32t)^2] \quad (3)$$

여기에서, t 는 벽체의 두께를 나타낸다. 그러므로 벽체의 강도를 이와같은 규준식과 비교하고자 하였으며, Saheb와 Desayi의 벽체 실험결과를 이용하여 본 연구에서 실시된 실험결과들과도 비교하였다.

벽체-슬래브 접합부의 실험체에 대한 분석은 하중-처짐 관계, 그리고 벽체-슬래브 접합부에서 철근의 하중-변형도 관계 등을 주 대상으로 하여 현 시스템에서의 접합부 거동을 평가하도록 하였다. 그리고 현 시스템의 접합부가 개구부 혹은 철근연결용 철물 등에 의해서 부분적 혹은 완전 불연속면을 갖고 있으므로 이러한 불연속면의 효과

도 아울러 실험을 통하여 규명하고자 하였다. 해석적인 분석은 극한강도 설계법에 따른 유효 단면 2차모멘트법을 사용하여 분석하고자 하였는데, 유효 단면 2차모멘트는 다음 식으로 계산된다.

$$I_e = [M_{cr} / M_a]^3 I_g + [1 - (M_{cr} / M_a)^3] I_{cr} \quad (4)$$

여기에서 M_{cr} 는 균열 모멘트, M_a 는 최대 모멘트, 그리고 I_g 및 I_{cr} 은 전단면 및 균열단면의 2차모멘트를 각각 나타낸다. 그리고 각 실험체의 최대강도는 극한강도 설계법에 따른 공칭강도를 사용하였다.

벽체-슬래브 접합부의 실험체들은 반복하중에 대해서 강성의 감소없이 초기의 강성과 유사함을 보여주었기 때문에 실험결과의 분석은 Envelop Curve를 대상으로 실시하였다. 실험결과의 분석은 일체로 제작된 실험체를 기준 모델로 하는 실험적 분석과 이론적인 해석결과와 비교하는 해석적인 분석을 병행하였다.

5.2 실험결과의 분석

벽체 압축실험에 의해서 얻어진 최대응력도를 예상최대 응력도와 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. 그리고 벽체-슬래브 접합부 실험에 의한 각 실험결과는 일체식 실험체와 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 또한 실험에 의한 하중-변위관계와 해석에 의해서 얻어진 결과와의 비교는 Fig. 6에 나타내었다.

5.2.1 벽체 압축실험

개구부가 있는 IWOA. 3 및 IWOA. 5 실험체들을 기존의 현장타설 방법에 의해 제작된 IWRA. O 실험체와 비교하였을때, 파괴양상 및 최대 하중은 개구부의 유무나 개구부가 차지하는 비율에 무관하게 유사하였으며, 개구부의 주변에서는 아무런 파괴현상도 나타나지 않았기 때문에 이들 실험체들의 거동은 개구부에 의해서 영향을 받지 않았음을 알 수 있었다. 또한 실험체의 파괴하중은 강도저감 계수를 사용하지 않은 내력벽 설계법에 의해서 계산된 값들과 유사하거나 약간 크게 나타났

다.

철근연결용 철물을 사용한 실험체의 예상 파괴 하중은 단면결손을 고려하지 않고 전단면이 압축에 유효한 것으로 하여 계산하였는데, 이는 결손부가 슬래브에 의해서 채워졌을때 그 효과를 파악하기 위해서였다. 그런데 철근연결용 철물을 사용한 이들 실험체들 중 어느 실험체에서도 철근연결

서 균일하게 일어나야 하지만 재료의 특징상 콘크리트는 상당한 불균질성을 갖고 있어 상대적으로 취약한 부위에서 파괴가 시작되는 것이 일반적이다. 또한 현재의 실험체들의 단면 형상을 보았을 때 그 형상비가 각각 다른데, 이러한 형상비 역시 실험체의 거동에 영향을 미쳤을 것으로 판단되었다. 콘크리트 재료실험을 위한 공시체의 경우에도

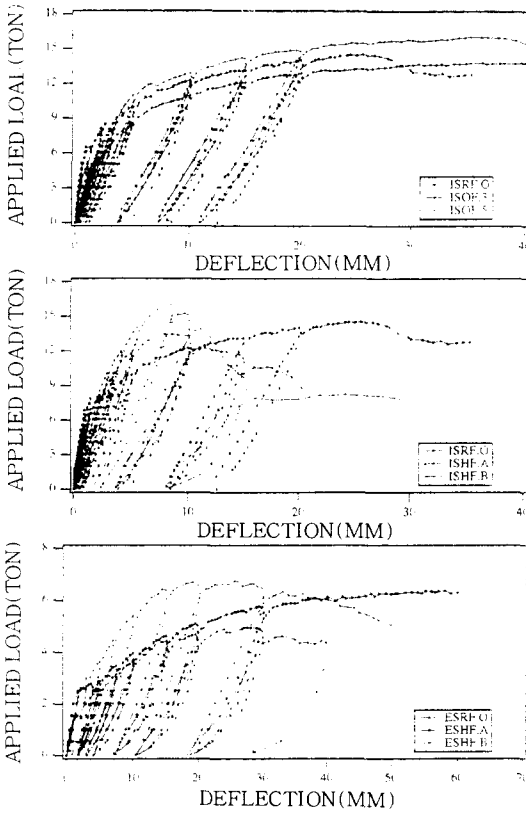


Fig. 5 Test results of wall-slab joint specimens

유로는 일체식 실험체인 ISRF. O의 강도 및 강성이 개구부가 30%인 ISOF. 3과 개구부가 50%인 ISOF. 5의 사이에 있다는 사실을 들 수 있다. 즉 완전 일체인 실험체의 강도와 강성이 일체성이 50%인 실험체보다 낮게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 현재의 극한강도기준에 의한 값과 비교하였을 때, ISOF. 3과 ISOF. 5 실험체의 강도가 모두 기준값보다 크기 때문에 개구부가 차지하는 비율은 부재의 휨강도에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 또한 개구부가 있는 실험체가 접합부에서 전단력에 의해서 파괴되는 현상 역시 보이지 않았기 때문에 접합면에서 슬래브의 단면결손으로 인한 전단강도의 감소는 없었던 것으로 판단되었다.

5.2.3 내부벽체-슬래브 접합부 실험(철근연결용 철물)

내부벽체-슬래브 접합부에 철근연결용 철물을 사용한 실험체들의 거동은 일체식 실험체나 개구

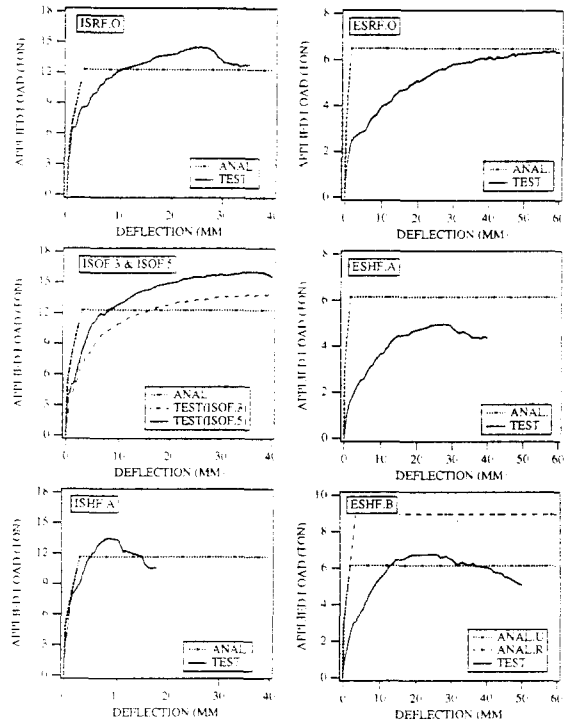


Fig. 6 Comparison of test results of wall-slab joint specimens

부가 있는 실험체들과는 약간 다른 경향을 보였다. 이들 실험체의 초기 균열강도는 개구부가 있어 부분적으로 연속인 실험체들보다 크게 나타났으며, 최대 하중 이후에는 내력이 감소되는 현상을 보여주었다. 초기균열강도가 ISOF. 3 및 ISOF. 5 실험체들 보다 큰 이유는 슬래브가 3cm 씩 벽체에 묻혀 있기 때문에 접합부가 낮은 하중 상태에서는 비교적 일체로 작용하였던 것으로 생각할 수 있었다. 그러나 파괴강도의 최대 강도에 대한 비를 비교하였을 때 ISHF-A 실험체는 그 값이 65%, ISHF-B 실험체는 50%로 최대 강도 후 내력의 감소가 생겼음을 알 수 있었다. 그런데 ISHF-B 실험체는 피복 두께가 불충분 하였으므로 분석의 대상에서 제외하였다. 그런데 ISHF-A 실험체와 ISHF-B 실험체의 파괴 후 형상을 관찰한 결과, 이들 실험체의 실질적인 파괴는 슬래브와 벽체의 경계점에서 일어나지 않고, 철근연결용 철물이 위치한 곳에서 일어남을 알 수 있었다. 그

러므로 실험체의 슬래브 길이를 철근연결용 철물이 있는 곳까지로 하여 해석을 실시하였고, 이들을 실험결과들과 비교하였다. 실험에 의한 최대하중을 해석결과와 비교하였을 때 실험강도가 해석강도의 약 116% 정도로 나타났고, 파괴하중은 해석값의 약 75%로 나타났다. 이러한 강도의 감소로 인한 원인을 분석하기 위하여, 내벽에 철근연결용 철물이 있는 실험체의 분석은 외벽에 철근연결용 철물이 있는 실험체에 대한 분석과의 비교를 통하여 종합적으로 하고자 하였다.

5.2.4 외부벽체-슬래브 접합부 실험

외부벽체-슬래브 접합부에서의 철근연결용 철물의 역할에 대한 분석은 하중-변위 관계 및 균열 형태를 근거로 실시하였으며, 이론적인 하중-변위 관계와도 아울러 비교하였다. 이러한 비교분석으로 부터 다음과 같은 세가지 사실을 알 수 있었다.

- (1) 일체식 실험체를 포함한 모든 실험체들의 강성이 이론값보다 낮았다.
- (2) 철근연결용 철물이 있는 실험체들의 강도는 일체식 실험체에 비하여 그 강도가 낮았다.
- (3) 철근연결용 철물이 있는 실험체들은 최대하중에 도달한 후 그 강도가 감소하였다.

이론적인 해석결과와 비교하였을 때 ESRF, O 실험체를 포함한 모든 실험체들의 강성은 철근연결용 철물의 유무와 무관하게 낮게 나타났는데, 이와 같은 현상은 접합부의 위치에서 슬래브가 고정단인 것으로 가정하고 해석을 실시하였기 때문인 것으로 판단되었다. 그런데 실험체들의 실질적인 균열은 벽체-슬래브 접합부 뿐 아니라 벽체에서도 발생하였음을 알 수 있었다. 그리고 ESRF, O 실험체와 ESHF, A 실험체의 강도를 비교하였을 때 ESHF, A 실험체의 강도가 약 20% 정도 작고, ESRF, O 실험체의 강도가 이론적인 해석에 의해서 얻어진 강도와 거의 같음을 알 수 있었다. 또한 정착 보강근이 있는 ESHF, B 실험체의 강도를 해석에 의한 강도와 비교하였을 때 역시 그 강도가 낮게 나타났다. 여기에서 해석에 의한 강도는 정착 보강근에 의한 휨모멘트의 증가도 고려하여 구한 값이다(Fig. 6에서 ANAL, R로 표시

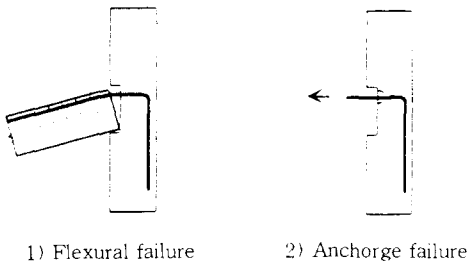
됨). 그러나 정착 보강근의 휨모멘트에 대한 역할을 고려하지 않은 값보다는 크게 나타났다(Fig. 6에서 ANAL, U로 표시됨). 끝으로 최대 하중에도 도달한 이후의 강도가 감소되는 현상은 내부벽체-슬래브 접합부 실험체들에 비하여 비교적 작게 나타났다. 이와 같은 비교를 통하여 철근연결용 철물이 내외부 접합부의 강도에 영향을 미침을 알 수 있었다.

벽체-슬래브 접합부에 철근연결용 철물을 사용하였을 때 외부벽체-슬래브 접합부 실험체에서는 앞에서 언급된 바와 같은 세가지의 차이점을 보여주었다. 그런데 이들을 내부벽체-슬래브 접합부 실험체에 적용하여 비교하였을 때 그 현상이 약간 다르게 나타남을 알 수 있었다. 첫째와 두 번째 항목인 강성 및 강도의 감소는 나타나지 않고, 최대 하중 후에 강도가 감소하는 현상만 나타났다. 그러므로 이러한 사실들에 대한 종합적 판단을 위해서는 이들에 대한 정확한 이론적인 규명 이 선행되어야 할 것으로 판단되었다.

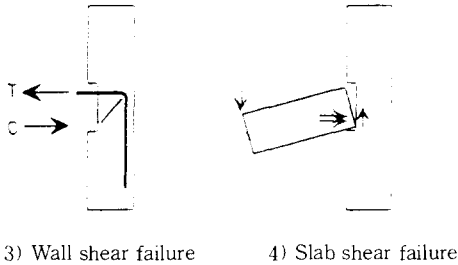
5.2.5 벽체-슬래브 접합부 실험체의 파괴형태

철근연결용 철물이 있는 벽체-슬래브 접합부 실험체의 가능한 파괴형태를 네가지로 분류하여 Fig. 7에 나타내었다. 접합부에서의 파괴 형태는 휨파괴, 정착파괴, 벽체의 전단파괴, 그리고 접합부의 전단파괴 등으로 분류하였다. 그런데, 첫째의 휨파괴를 제외한 나머지의 파괴형태 등은 바람직하지 않은 파괴의 형태라 할 수 있기 때문에 이러한 파괴 형태가 일어나게된 이유와 이로 인하여 생길 수 있는 결과에 대하여 보다 자세한 연구가 진행되었다.

첫번째의 바람직하지 않은 파괴형태인 정착파괴는 정착 길이가 부족할 때 생기게 되는데 이로 인하여서는 두가지의 문제가 발생할 수 있다. 이는 콘크리트의 균열과 철근이 항복하지 않는 현상 등으로 구분할 수 있는데, 접합부에서 철근이 항복한 점으로 미루어보아 정착길이의 부족은 심각한 문제를 초래하지는 않았으나, 서서히 뿔혀 나오면서 주변의 콘크리트를 파괴하였을 것으로 판단되었다. 철근이 항복하였기 때문에 슬래브의 모멘트 내력은 일정한데 철근 주변의 콘크리트의 파

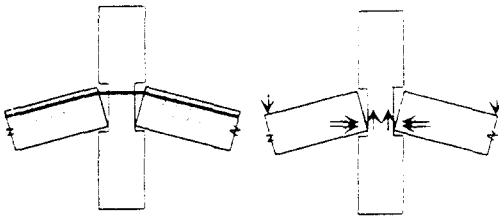


1) Flexural failure 2) Anchorage failure



3) Wall shear failure 4) Slab shear failure

(a) Exterior wall-slab joint



1) Flexural failure 4) Slab shear failure

(b) Interior wall-slab joint

Fig. 7 Failure modes of wall-slab joint

괴로 인하여 부재의 내력이 서서히 감소하게 되는 현상이 생길 수 있다. 그런데 정착길이의 부족에 따른 문제는 하중이 비대칭으로 작용하게 되는 외부 벽체-슬래브 접합부에서 발생하게 되므로, 정착길이의 부족이 내부벽체-슬래브 접합부 실험체에는 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었다. 이들 두가지 실험체들의 거동에 있어서의 차이는 강성 및 강도가 외부벽체-슬래브 접합부 실험체들에서 작게 나타난다는 점이다. 그러므로 외부벽체-슬래브 접합부 실험체들의 강도 및 강성은 정착길이의 부족에 의해서 어느 정도 영향을 받은

것으로 판단되었다.

두번째의 파괴형태는 벽체의 전단파괴인데, 슬래브의 모멘트가 벽체에 전달될때 이로 인한 전단력이 벽체에 작용하게 된다. 이때 벽체의 접합부의 바깥에 작용하게 되는 전단력 V_{we} 및 접합부 내부에 발생하게 되는 전단력 V_{wi} 는 각각 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$V_{we} = M_n(\text{slab}) / L_w \quad (5)$$

$$V_{wi} = A_s f_y - V_{we} \quad (6)$$

그러므로 벽체는 이와 같은 각각의 전단력에 대하여 안전하게 설계되어야 한다. 그런데 실험과는 달리 실제의 벽체는 그 길이가 길어서 접합부의 바깥에 작용하게 되는 전단력 V_{we} 는 작아지게 되고, 상대적으로 V_{wi} 가 커지게 된다(Fig. 8 참조). 그런데 이로 인하여 생길 수 있는 문제는 역시 하중이 비대칭으로 작용하게 되는 외부벽체-슬래브 접합부에서 생기게 되므로, 내부벽체-슬래브 실험체와의 거동의 차이를 비교하였을때 그 효과를 찾을 수 있을 것으로 판단되었다. 이들 두가지 실험체들의 거동의 차이는 역시 강성 및 강도의 감소에 있으므로, 벽체의 전단강도가 부재의 거동에 영향을 미친 것으로 판단되었다. 실제로 벽체의 전단강도 V_c 및 작용 전단력 V_{wi} 를 비교(Table. 3) 하였을때, 외부벽체-슬래브 실험체에서 벽체의 전단강도가 작용 전단력보다 낮음을 알 수 있었다.

Table 3 Shear strength and applied force to wall

(단위=ton)

Specimen	V_c	V_{wi}	$V_{wi} - V_c$
ESRF, O	15.0	15.7	0.7
EWHA, A	12.1	15.7	3.6
EWHA, B	12.1	15.7	3.6

세번째의 바람직하지 않은 파괴형태로는 벽체와 슬래브의 접합부에서의 전단파괴이다. 일체식 접합부의 전단강도는 압축부위의 전단강도, 골재 사이의 상호마찰, 그리고 철근의 장부작용등의 합으로 나타낼 수 있으나, 철근연결용 철물이 있는 경우에는 불연속 면이 생기게 되어 압축부위의 마

찰강도, 철근의 장부작용등의 합으로만 나타낼 수 있어 전단강도가 낮을 것으로 판단되었다. 일체식 실험체 및 철근연결용 철물이 있는 실험체의 접합부 전단강도는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$V_c(\text{일체식}) = V_{\text{comp}} + V_{\text{agg}} + V_{\text{dowel}} \quad (7)$$

$$V_c(\text{철근연결용 철물}) = V_{\text{friction}} + V_{\text{dowel}} \quad (8)$$

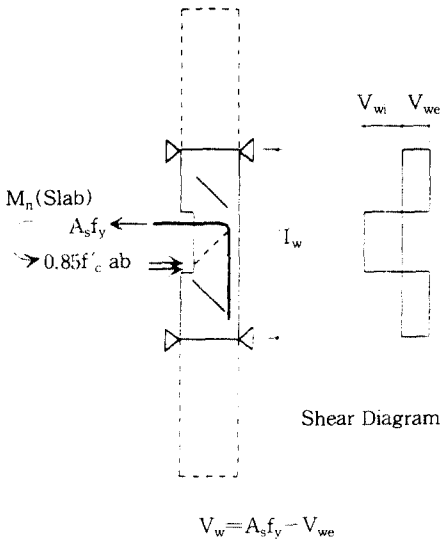


Fig. 8 Applied shear force to wall

그런데 철근연결용 철물이 있는 실험체들을 일체식 실험체들과 비교하였을 때 다른 점은 내부 및 외부 접합부에서 모두 최대하중 이후에 철근연결용 철물이 있는 실험체들의 강도가 감소한다는 점인데, 이는 접합부의 낮은 전단강도가 최대 하중 이후에 실험체의 강도를 저감시키는 역할을 하였던 것으로 판단된다.

이와 같은 분석을 근거로 하여 실험체들의 균열 형상을 검토하였는데 접합부에서의 균열은 세가지의 형태로 분류할 수 있었다. 즉 철근의 위치를 따라 생긴 균열, 벽체의 접합부 내부 및 외부에서의 전단균열등이다. 그러나 세번째의 바람직하지 않은 파괴형태인 슬래브와 벽체 사이의 전단파괴는 균열현상으로 나타나지 않기 때문에 균열형태로부터는 찾을 수 없었다.

철근연결용 철물이 있는 실험체들의 거동은 정

착길이, 벽체의 전단강도, 그리고 슬래브와 벽체 사이의 수직 전단강도 등에 의해서 지배되기 때문에 이에 대한 보강이 필요할 것으로 판단되었다. 모멘트에 가장 취약한 부위로부터 인장철근이 절곡되는 위치 까지의 철근 정착 길이를 비교하였을 때 철근연결용 철물이 있는 ESHF. A 실험체가 ESRF. O 실험체에 비하여 3cm가 더 작아 철근이 그 역할을 충분히 발휘하지 못할 수 있다. 이에 대한 해결 방안으로 보강 철근이 첨가된 ESHF. B 실험체의 강도가 ESRF. O 실험체와 유사하였고, 최대 하중에 도달하기 이전의 강성이 ESRF. O 실험체보다 나은 점으로 미루어 보강철근의 사용은 외부벽체-슬래브 접합부 보강방법으로 적절한 것으로 판단되었다. 또한 이 보강철근은 전단력에 대한 벽체의 보강철근으로의 역할을 할 수 있는 것으로 판단되었다.

외부벽체의 접합부에 철근연결용 철물을 사용하였을 때 강도나 강성이 감소되는 현상에 대한 해결방안으로 두가지를 생각할 수 있는데, 첫째는 위에서 언급된 것처럼 보강철근을 사용하는 것이며, 둘째는 보강철근을 사용하는 대신 외부 벽체의 두께를 증가시켜서 벽체의 전단강도를 높이며, 아울러 정착길이도 크게 하여 주는 방법이다. 그런데 벽체의 전단보강 설계는 강도 설계기준에 따라 필요한 철근량을 산정할 수 있다. 끝으로 구조 계산시 철근량을 줄이기 위하여 슬래브의 길이를 벽체 양끝단 사이로 하는 경우가 있는데, 철근연결용 철물이 있는 경우에는 벽체 중심선 사이의 거리를 슬래브의 길이로 하는 것이 보다 바람직한 것으로 판단되었다.

6. 결 론

(1) 개구부나 철근연결용 철물로 인한 단면결손은 벽체의 압축내력을 감소시키지 않았으며, 이들 결손부 주변에서도 취약점은 발견되지 않았다. 이는 벽체가 압축을 받을 때 생길 수 있는 횡방향 팽창을 슬래브가 구속하여 주기 때문인 것으로 판단되었다.

(2) 벽체에 형성된 개구부를 통하여 슬래브를 연결하였을 때, 개구부가 차지하는 비율이 작아져

도 슬래브의 강도는 감소하지 않았기 때문에 본 연구의 결과 개구부의 비율을 30%까지 낮출 수 있을 것으로 판단되었다.

(3) 외부벽체-슬래브 접합부에 철근연결용 철물을 사용하였을 때 철근의 정착길이가 짧아지게 되며, 외벽이 전단력에 취약하게 될 가능성이 있어 보강방법이 필요하다. 그런데 본 연구에서 제시된 방법으로 벽체를 보강하거나 벽체의 두께를 크게 하는 것이 바람직하나, 보다 많은 연구가 선행되어야 한다.

(4) 본 연구에서 사용된 벽체와 슬래브의 배근 방법, 즉 개구부의 주변에서 철근이 절단되지 않도록 하는 방법은 문제점을 야기하지 않았기 때문에 실제에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

(5) 벽체 실험체 및 벽체-슬래브 접합부 실험체를 일체식구조 실험체와 비교하여 본 결과, Slip Form 시스템을 이용한 건축물은 기존의 강도설계법으로 구조설계를 할 수 있을 것으로 판단되나 보다 많은 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

7. 향후연구과제

(1) Slip Form 시스템을 사용하면 슬래브를 벽체와 동시에 타설할 수가 없어 분리 타설하여야 하기 때문에 몇개층의 벽체가 슬래브에 의해서 연결되지 않은채로 서있게 되므로, 공사가 진행되는 동안 이러한 구조가 바람이나 지진과 같은 횡하중에 대하여 안전하게 건설될 수 있도록 하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

(2) 외부벽체의 전단보강 방법으로 벽체를 철근으로 보강하거나 벽체의 두께를 크게 하는 것이 바람직한데, 경제성등을 고려한 방법에 관한 연구가 필요하다.

(3) 외벽에 정착되는 철근의 양 및 그 정착길이, 그리고 정착방법에 관한 연구가 진행되어야 한다.

(4) 철근연결용 철물을 사용하였을 때 벽체철근의 효과적인 배근방법에 관한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 코오롱 건설 주식회사의 연구비 지원

으로 수행되었기에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. 건설부, “건축구조 설계기준-극한강도설계법에 의한 철근콘크리트구조설계기준-”, 1988, 12.
2. Oberlender, G. D., Everard, N. J.(1977). “Investigation of Reinforced Concrete Walls,” ACI Structural Journal, June, pp. 256-263.
3. Kripanarayanan, K. M.(1977), “Interesting Aspects of the Empirical Wall Design Equation,” ACI Struct. Journal, May, pp. 204-207.
4. Saheb, S. M., Desayi, P.(1989), “Ultimate Strength of RC Wall Panels in One-Way In-Plane Action,” J. Struct. Div., Vol. 10, No. 10, ASCE, Oct., pp. 2617-2630.
5. ACI-ASCE Committee 352(1985). “Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures.”
6. Minor, J. and Jirsa, J. O.(1975). “Behavior of Bent Bar Anchorages,” ACI Journal, April, pp. 141-149.
7. Marques, J. L. E. and Jirsa, J. O.(1975). “A Study of Hooked Bar Anchorages in Beam-Column Joints,” ACI Journal, May, pp. 198-209.
8. 이리형 외, “Slip Form 시스템을 이용한 고층 건축물 건설공법에 관한 연구”, 초대형구조 시스템 연구센터 연구보고서.
9. 대한건축학회, “철근콘크리트 내력벽식 건축물구조 설계지침(안)”, 1992.
10. 건설부, “프리캐스트 콘크리트 조립식건축 구조설계기준 및 해설”, 1992.
11. 초대형구조시스템 연구센터, “Slip Form System을 이용한 고층 건축물 건설공법에 관한 연구”, 1995, 9.

(접수일자 : 1995. 6. 15)