

개구부가 있는 철근콘크리트 전단벽의 극한해석

Ultimate Analysis of Reinforced Concrete Shear Walls with Opening

허 남 룬* 유 영 화** 김 운 학***

Hu, Nam-Ryun You, Young-Hwa Kim, Woon-Hak

Abstract

An analytical finite element approach to nonlinear behavior of reinforced concrete shear walls with opening under monotonic loading was presented in this paper. In order to achieve the objectives of present paper, the orthogonal anisotropic models for cracked reinforced concrete element based on smeared crack concept were used as the nonlinear material models of biaxial state of stress. The stiffness of cracked concrete was evaluated through the combined use of tension and compression stiffness models in normal and parallel directions of crack, respectively and shear transfer effect due to the aggregate interlocking at crack surface. The stress and strain of reinforcement in concrete was evaluated using the average stress and average strain relation with bond effect, based on smeared crack concept. The diagonal reinforcing bar was modeled using truss element with bond effect. A special significance of diagonal reinforcement near opening was given to the shear wall with opening and an effective distribution of diagonal reinforcement was presented in order to give an ultimate strength increment as well as a crack control.

Keywords : opening, anisotropic model, smeared crack concept, bond effect

1. 서 론

철근콘크리트 벽체는 하중 재하상태에 따라 언직 하중을 받는 벽체, 면에 수직인 하중을 받는 벽체, 면내 휨을 받는 벽체, 전단벽체 등 여러 부재로 구

분된다. 여기서 전단벽체는 다층빌딩 구조에서 흔히 볼 수 있는 부재로서 풍하중이나 지진하중과 같은 면내 횡방향 하중과 함께 수직방향의 사하중과 활하중을 받는 구조물의 중요한 부분 중의 하나이다. 이와 같은 전단벽체는 기초 지면이 고정된 Cantilever

* 국립환경대학교 토목공학과, 공학석사

** 경기대학교 겸임교수, 공학박사

*** 정회원, 환경대학교 토목공학과 부교수, 공학박사

• 본 논문에 대한 토의필 2001년 5월 31일까지 학회로 보내 주시면 2001년 4월호에 토목결과를 게재하겠습니다.

구조로서 높이와 폭의 비에 따라 휨 또는 전단의 지배를 받게 된다. 일반적으로 빌딩구조물에서의 전단벽체는 출입구와 같은 개구부가 있는 경우와 없는 경우가 있을 것이다. 개구부가 있는 벽체는 개구부가 없는 벽체와 다른 역학적 거동을 나타낼 것이며 철근 배근방법에 따라서도 상이한 역학적 거동을 나타낼 것이다. 개구부가 있는 벽체의 경우에는 개구부에 철근을 보강함으로써 보다 효율적인 전단벽체를 얻을 수 있을 것이다. 이와 같은 면내 횡하중을 받는 철근콘크리트 전단벽체는 국내외의 많은 실험 연구를 통하여 전단에 대한 단성이 철근량과 수직, 수평방향의 철근 배근방법에 따라 지배됨을 입증하였지만 실험뿐만 아니라 해석적으로도 역학적 거동을 정확히 파악할 수 있는 방법이 필요하다.

최근에 철근콘크리트 부재나 구조물의 해석에 있어서 유한요소법의 적용이 많이 행해지고 있다. 이는 유한요소법을 사용함으로써 철근콘크리트의 재료적인 비선형거동을 통일적 방법으로 해석이 가능하게 되었고, 대상으로 하는 구조물의 형상이나 경계조건을 임의로 설정할 수 있으며 또한 실제적으로 볼 수 없는 응력의 흐름을 파악할 수 있다는 등의 이점이 있기 때문이다. 그러나 많은 노력에도 불구하고 철근콘크리트의 재료적 비선형성을 정확히 표현할 수 있는 모델이 확립되어 있지 않으며 충분한 해석정도를 갖는다고 할 수 없는 실정이다. 그러므로 철근콘크리트 부재의 역학적 거동을 정확히 파악하기 위해서는 균열면 사이의 인장강성, 균열면에서의 골재의 낫돋림 및 철근의 dowel작용, 부착활동 등과 같은 재료적 비선형성을 고려할 수 있는 해석방법의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 면내 횡방향의 단조증가 하중을 받는 개구부가 있는 철근콘크리트 전단벽에 대한 비선형거동 즉, 단성, 비단성, 극한영역에 이르기까지의 모든 하중이력에 대한 응력-변형도 관계, 균열의 진행, 철근 및 콘크리트의 응력과 변형도 등을 정확히 파악할 수 있는 해석방법과 내력을 증가시킬 수 있는 보다 효율적인 철근 배근방법을 제시하였다.

2. 철근콘크리트의 비선형 재료모델

철근콘크리트의 재료모델은 콘크리트의 균열 및 철근과의 부착 등과 같은 비선형 특성을 고려하여 이들을 중첩함으로써 표현할 수 있다. 균열이 발생한 철근콘크리트 요소는 직교 방향에 대해서 이방성이 현저해지며, 이를 가정함으로써 요소의 각 방향에 대한 재료모델을 적용하여 요소의 응력상태를 결정할 수가 있다. 본 연구에서는 균열이 발생한 철근콘크리트의 직교 이방성의 가정에 근거하여, 균열직각방향으로 콘크리트가 부담하게 되는 인장응력을 고려하기 위한 인장강성모델과 균열방향으로의 압축강성 저하를 고려하기 위한 압축강성모델 및 균열면에서의 전단전달효과를 고려하기 위한 전단전달모델을 각각 적용한다.

2.1 균열의 취급 및 균열의 발생기준

철근콘크리트 부재는 일반적으로 사용력하에서도 균열은 반드시 발생한다. 그러나 해석적인 관점에 있어서는 균열의 발생시점과 방향을 정확하게 예측하기는 어렵다. 균열이 분산하여 분포된 철근콘크리트 부재의 변형거동은 사용된 균열개념에 크게 영향을 받는다. 유한요소법을 사용한 해석에서 사용되는 균열개념은 크게 분산균열개념과 이산균열개념으로 대별된다. 주로 면내력을 받는 철근콘크리트 전단벽의 경우에는 철근이 직교 배근되어 있고 다수의 균열이 분포되어 발생하는 것이 보통이므로 개개 균열의 발생이나 전진과정보다는 부재전체의 거동을 표현할 수 있는 분산균열모델의 사용이 바람직하다. 따라서 본 연구의 철근콘크리트 요소에 대한 해석모델은, 다수의 균열과 철근을 포함한 영역을 유한의 연속체로 간주하는 직교 이방성 분산균열모델에 근거하여 평균응력-평균변형도로 표현하였다.⁽¹⁾

이축응력상태에 대한 파괴 포락선으로는, 압축인상영역에 대해서는 Niwa의 제안식⁽²⁾, 인장-인상영역에 대해서는 Aoyagi-Yamada의 제안식⁽³⁾을 사용하였다.

2.2 철근과 콘크리트의 이방성 재료모델

균열이 발생하기 전과 균열이 발생한 후의 콘크리트의 역학모델은 이축응력상태에 대한 탄소성파괴모델⁽¹⁾의 기본개념에 의해서 표현할 수 있다. 이 모델에 의하면, 식 (1)과 같이 콘크리트의 응력상태를 콘크리트의 초기탄성계수, 파괴 파라미터 및 등가의 소성변형도의 함수로 이루어진 등가응력-등가변형도 관계로 표현하고 있다.

$$\sigma = E_c K_o (\epsilon - \epsilon_p) = E_o K_o \epsilon_e \quad (1)$$

여기서 σ 는 등가응력, ϵ 은 등가의 전변형도($\epsilon_e + \epsilon_p$), E_o 는 콘크리트의 초기 탄성계수 그리고 K_o 는 콘크리트 파괴의 진전을 나타내는 파괴 파라미터이다.

균열이 발생한 콘크리트의 압축강성의 저하는, 균열직각방향으로의 인장변형도의 함수로 표현되고 있는 파라미터(K)에 의해서 강성의 저감을 고려할 수 있다(식 (2)). 즉, 균열을 포함한 콘크리트의 파괴 파라미터 K 와 균열이 없는 콘크리트의 파괴 파라미터 K_o 는 다음 식과 같은 관계에 있다.⁽⁴⁾

$$K = \omega K_o \quad (2)$$

콘크리트에 균열이 발생한 후에도 철근과 콘크리트의 부착작용에 의해서 균열면의 직각방향으로 콘크리트는 응력의 일부분을 부담한다. 이와 같은 균열직각방향으로의 인장강성효과를 고려하기 위해서, 철근의 방향에 관계없이 적용할 수 있고 비교적 간단한 모델인 Okamura 등⁽⁵⁾이 제안한 부착모델을 기본적으로 적용하였다. 단, 본 연구에서는 부착모델로부터 구한 콘크리트의 응력을 각 철근의 방향으로 변환함으로써 콘크리트가 부담하는 인장응력을 보다 실제적으로 평가할 수 있도록 하였다.

균열면에서 골재의 맞물림 현상으로 인한 전단전달효과는 접촉면 밀도함수에 근거하여 유도한 모델인 Li 등⁽⁶⁾이 제안한 응력전달모델을 사용하였다. 이 모델은 한 개의 균열에 대한 것으로서 균열면의 형상을 세 개의 파라미터를 사용하여 표현하고, 접

촉면에서 콘크리트의 탄소성 거동을 가정하고 있기 때문에 임의 허용이력에 대해서 그 적용이 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 Li 등⁽⁶⁾이 제안한 전단전달모델을 균열폭, 미끄러짐 및 이들의 비 등을 파라미터로 하는 파라미터 해석과 함께 분산균열모델의 평균응력 개념을 도입하여 Shin⁽⁷⁾이 제안한 전단전달모델을 사용하였다.

균열이 발생하면 콘크리트속의 철근의 응력은 일정하지 않으며 균열면에서 최대가 된다. 또한 철근이 항복하기 이전에는 탄성거동을 하므로 철근만의 응력-변형도 관계를 적용할 수 있다. 그러나 철근이 항복한 후에는 철근의 평균응력 및 평균변형도 사이에는 탄성관계가 성립되지 않으며, 그 때 철근의 평균응력은 항복응력보다 작게 된다. 콘크리트속의 철근의 평균응력-평균변형도 관계는 철근만의 경우와 같고 같이 항복고원 현상은 나타나지 않고 곧 바로 변형도 경화영역으로 들어가게 된다. 본 연구에서는 철근의 항복 후에 일정한 변형도 경화율을 갖는 Bilinear 모델⁽⁷⁾을 콘크리트속의 철근의 평균응력-평균변형도 관계로서 사용하였다.

2.3 접합요소의 재료모델

철근콘크리트 전단벽의 경우에서와 같이 두께가 서로 다른 부재가 연결된 접합부에서는 국소부분의 응력집중으로 인해서 불연속변형이 발생한다. 이 변형은 부재의 전체 변형량에 비해 무시할 수 없을 정도로 크다. 따라서 본 연구에서는 이산균열개념에 근거한 사상의 접합요소를 적용하여 이와 같은 접합부의 불연속 변형을 고려하였다. 접합요소는 기본적으로 요소의 평행 및 직각방향으로만 응력이 발생하는 것으로 가정하고 있기 때문에 기술한 철근과 콘크리트의 재료모델을 그대로 적용할 수 있다. 그러나 접합요소의 변형은 인접한 두 부재간의 상대변위로부터 결정되기 때문에 요소의 응력-변형도 관계를 압축응력-압축변위 및 전단응력-전단미끄러짐의 관계로 정의된다. 이 때 접합요소의 총 전단변위는 접합면에서의 미끄러짐과 기술한 국소적인 응력집중의 영향으로 인한 변위의 합으로 표현하였다.

3. 유한요소법을 사용한 비선형 해법

본 연구에서는 철근콘크리트 전단벽의 유한요소해석을 위해서 부재를 구성하는 개별요소들, 즉 면내력을 받는 판요소와 집합요소 및 트러스요소 등에 관한 요소별 재료의 구성방정식과 함께 유한요소법이라는 수치해석법을 사용함으로써 부재 또는 구조물 수준의 비선형 해석을 수행하였다. 철근콘크리트 판요소의 구성방정식은 기본적으로는 철근의 특성을 표현하는 구성방정식과 콘크리트의 특성을 표현하는 구성방정식을 조합하여 나타낼 수 있다. 본 연구의 재료모델은 발생한 균열을 기준으로 하는 직교이방성모델이기 때문에, 강성행렬을 고려하는 좌표계는 콘크리트 및 철근의 경우에 일반적으로 서로 다르다. 콘크리트의 경우에는 균열면과 직교하는 좌표축에서의 강성행렬로 고려하며, 철근의 경우에는 철근축과 일치하는 좌표계에서의 강성행렬로 취급하는 것이 편리하다. 이 경우에는, 철근콘크리트 판요소에 대한 국소좌표계를 정의하고 이 좌표계에 대한 응력, 변형도 및 강성을 정의한다.

집합요소에 대한 재료모델에서는 균열은 요소좌표계의 x 축을 따르는 방향으로 발생하며 철근의 축은 요소좌표계의 y 축과 일치한다는 가정을 근간으로 하고 있다. 따라서 철근콘크리트요소의 경우와 같이 좌표변환은 필요하지 않으며, 이 때 요소좌표계의 x 축 방향으로의 응력과 변위는 각각 전단응력과 전단변위에 대응한다.

철근콘크리트 판요소의 철근은 축방향으로만 저항하는 것으로 보는 것이 일반적이다. 이러한 가정을 기초로 철근을 별도의 독립된 요소로 간주함으로써, 즉 트러스요소를 사용함으로써 철근의 응력과 변형도관계를 정의할 수 있게 된다⁽⁶⁾. 이 과정에서 콘크리트의 인장강성효과를 포함한 항복기준과 부차특성 등의 재료적 성질들도 트러스요소의 정식화에 반드시 포함되어야 한다. 이와 같이 트러스요소를 사용한 정식화는 몇 개의 철근이 부재 전체의 거동에 큰 영향을 미치는 경우에 특히 유효하다. 철근에 대한 응력과 변형도는 앞장에서의 철근에 대한 재료모델로부터 산정하였다.

유한요소법을 사용하여 유도된 평행방정식은 비선형관계를 나타내므로 직접적으로 해를 구할 수 없다. 따라서 증분형태로 표현한 후 반복계산에 의해서 수렴해를 구하는 것이 일반적이다. 증분형태로 표현되는 평행방정식의 반복수렴해를 구하기 위한 과정은 수렴과정에서 사용되는 강성행렬을 기초로 하여 분류할 수 있다. 철근콘크리트는 재료적인 비선형성이 크기 때문에, 수렴에 도달하는데 비교적 적은 반복계산이 소요되는 Newton-Raphson법이 가장 널리 사용되고 있다. 단조증가하중을 받는 철근콘크리트의 강성은 균열의 발생시 또는 철근의 항복시 급격하게 변화하는 경향이 있으며, 이 후에는 강성의 변화가 심하지 않다.⁽⁹⁾ 따라서 네 반복단계마다 강성행렬을 재구성할 필요가 없으므로, 본 연구에서는 각 하중단계별로 초기 3회의 반복계산에서는 Newton-Raphson법을 사용하고 그 후의 반복계산에는 산정된 강성을 사용하였다. 그러나 강성의 변화가 클 경우에는 강성행렬을 재구성하는 것으로 하였다.

또한 비선형해석에 있어서 각 하중단계마다 불평형 절점력이 0이 될 때만이 평형조건을 만족한다. 그러나 콘크리트와 같이 재료의 비선형성이 클 경우에는 계산된 응력이 가정한 강성에 대응하지 않기 때문에, 수치해석관점에서 불평형력은 완전히 0이 되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 불평형 절점력의 총합의 증분외력에 대한 비를 계산하여 이 비가 수렴 허용치 이내에 들 경우에 수렴한 것으로 판정한다.

4. 수치예제

4.1 검증용 시험체의 개요

철근콘크리트 부재를 대상으로 제안한 해석기법의 타당성을 검증하기 위해서, 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 단조증가하중을 받는 전단벽 시험체⁽¹⁰⁾를 선정하였다. 이 시험체를 선정할 이유는 시험체의 형상, 벽체에 배근된 철근량, 수직하중의 크기, 플랜지부 및 기구부의 유무 등의 조건이 다르므로, 이들이 전단벽체의 극한거동에 미치는 영향을 파악하는데 적

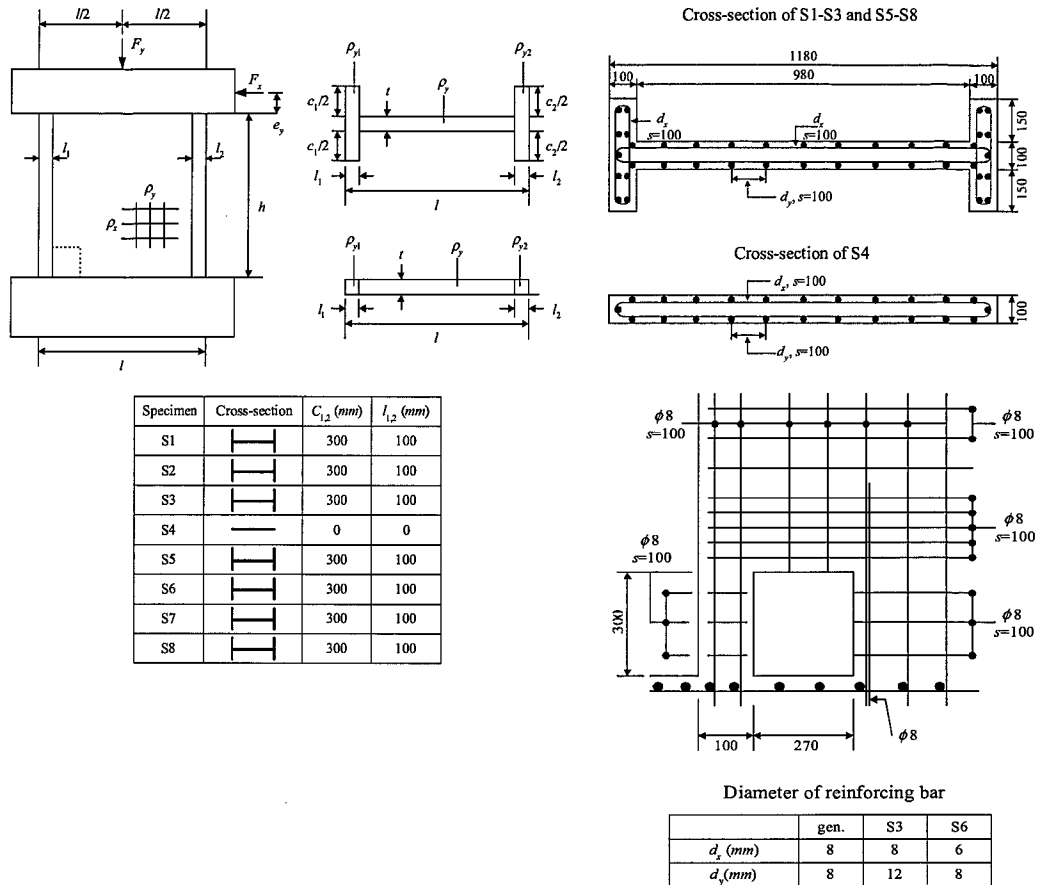


Fig. 1 Geometry and reinforcement of test specimens

합하기 때문이다.

Fig. 1로부터 S4를 제외한 S1, S8은 플랜지부가 있으며, S8은 벽체의 좌측하단에 270mm×300mm 크기의 개구부를 갖고 있다. S2는 S1에 비하여 상당히 큰 수직하중이 작용하는 경우이고, S3는 수직철근이 과다배근된 경우이다. S4는 플랜지부가 없으며, S6는 수평철근이 상대적으로 적게 배근된 경우이며, S7은 높은 수준의 수직하중이 작용하고 있다.

상부슬래브의 규모는 길이 1.70m에 폭 0.7

m이며, 상부슬래브의 두께는 0.24m, 하부슬래브의 두께는 0.38 m이다. 각 시험체별 배근형태가 Fig. 1에 상세히 나타나 있으며, Table 1에는 각 시험체별로 철근량, 재료의 강도 등이 정리되어 있다.

상부로부터 작용하는 수직하중은 4개의 평면가력을 통하여 상부슬래브로 전달되도록 하였으며, 고강도의 강재를 사용하여 하부슬래브를 바닥판에 고정시킴으로써 이동을 방지하였다. 횡방향의 전단력은 단일 인장-압축가력기를 통하여 가력하였다.

Table 1 Reinforcement ratios and strength properties of test specimens

Specimen	x	I_{xx} (kgf/cm^2)	y	I_{yy} (kgf/cm^2)	$y1,2$	$I_{yy1,2}$ (kgf/cm^2)	I_{et} (kgf/cm^2)	I_{ec} (kgf/cm^2)
S1	0.01028	5853	0.01045	5853	0.01289	5853	36.3	376.3
S2	0.01028	5853	0.01045	5853	0.01289	5853	-	352.8
S3	0.01028	5853	0.02225	5404	0.02744	5404	38.7	374.2
S4	0.01028	5853	0.01045	5853	0	-	35.0	335.5
S5	0.01028	5853	0.01045	5853	0.01289	5853	38.2	380.3
S6	0.00568	5476	0.01021	5863	0.01259	5863	42.5	363.3
S7	0.01006	5659	0.01023	5659	0.01262	5659	37.3	347.7
S8	0.01006	5659	0.01023	5659	0.01262	5659	36.2	327.3

Note) I_{xx} : x 방향 철근의 합복용력 (복부판)
 I_{yy} : y 방향 철근의 합복용력 (복부판)
 $I_{yy1,2}$: y 방향 철근의 합복용력 (양측 기둥)

4.2 전단벽의 극한 파괴거동

4.1절에서 언급한 시험체들을 대상으로 비선형 유한요소해석을 수행하기 위해 Fig. 2 및 Fig. 3에서와 같이 요소 분할하였다. 시험체 S1~S7까지는 Fig. 2에서와 같이 철근콘크리트요소 33개, 접합요소 18개 및 집중하중이 작용하는 부분의 파괴를 방지하기 위한 탄성요소 1개로 총 52개의 요소로 분할하였다. 철근콘크리트 요소의 경우에는 8절점을 갖는 면요소로서 3점 가우스적분을 적용하고, 접합요소의 경우에는 6개의 절점을 가지며 요소의 길이

방향으로 3개의 적분점에 대해서 변형도와 응력을 산정하도록 하였다. Fig. 3은 S8의 경우에 요소분할을 보여주고 있으며, 벽체 좌측하단에 개구부가 있으므로 부분적으로 취약한 거동을 보일 것으로 판단되어, 개구부 주위를 보다 세분하였다. 이 경우에는 철근콘크리트요소가 80개, 접합요소가 28개 및 탄성요소 1개로 총 109개의 요소로 분할하였다.

Table 2는 전체 시험체에 대한 최대하중을 실험 결과와 비교한 것이며, 최대오차는 S7 시험체의 경우 9%, 최소오차는 S1 시험체의 경우 1%로서 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. Fig. 4~7까

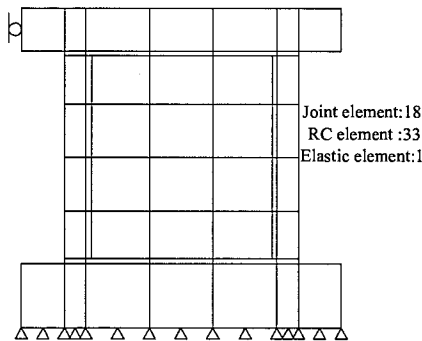


Fig. 2 Finite element mesh for S1 through S7

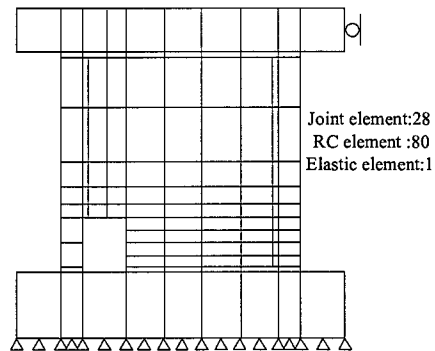


Fig. 3 Finite element mesh for S8

Table 2 Comparison between test and analysis result

Test Specimen	Normal force $F_y(kgf)$	Maximum lateral load $F_{Xmax} (kgf)$		Relative ratio (1)/(2)
		Test (1)	Analysis (2)	
S1	47,808	69,317	70,002	0.99
S2	172,171	94,597	97,290	0.97
S3	46,891	99,592	96,190	1.04
S4	30,377	39,959	37,830	1.06
S5	46,075	71,457	70,018	1.02
S6	46,075	67,991	66,829	1.02
S7	172,579	85,219	93,523	0.91
S8	46,075	51,987	51,420	1.01

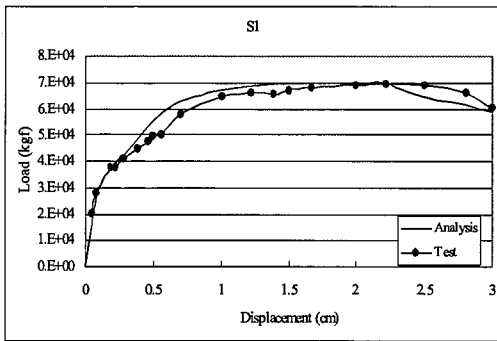


Fig. 4 Load-displacement curve for S1

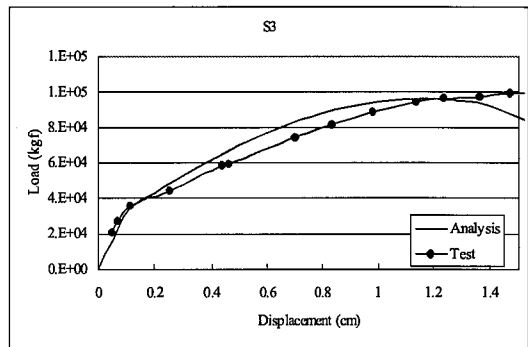


Fig. 5 Load-displacement curve for S3

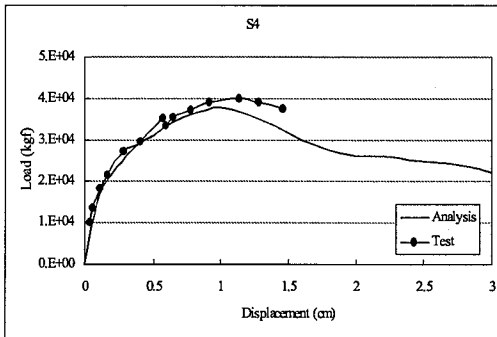


Fig. 6 Load-displacement curve for S4

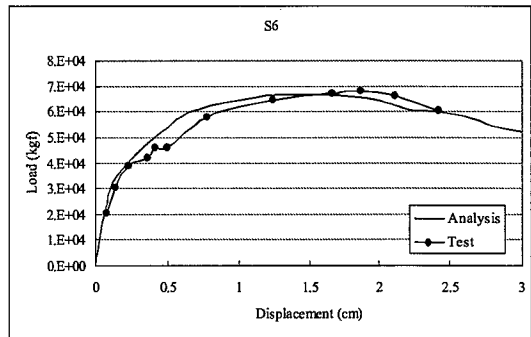
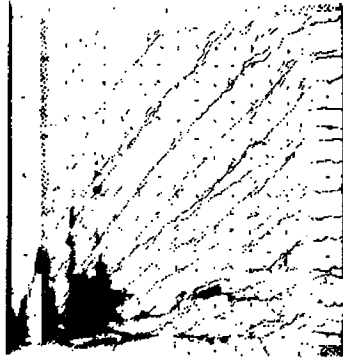


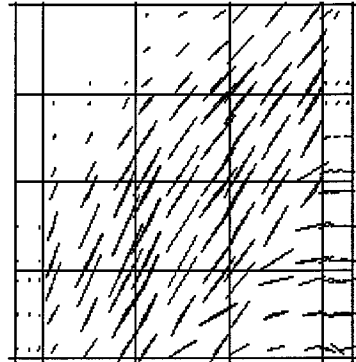
Fig. 7 Load-displacement curve for S6

지는 각 시험체에 대한 하중-변위관계로서 재하 초기단계에서부터 최대하중에 이르기까지 전체적인 거동에 대한 시험치와 해석치가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8과 Fig. 9는 시험체 S1과 S8의 경우, 최대 하중 도달시의 파괴형태를 나타낸 것으로서, 본 연구의 해석결과와 실험결과가 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

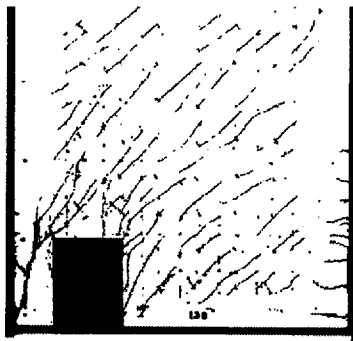


Test

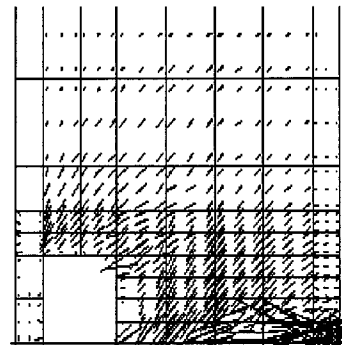


Analysis

Fig. 8 Crack pattern after failure (S1)



Test



Analysis

Fig. 9 Crack pattern after failure (S8)

4.3 철근량에 따른 균열제어와 강도증가 효과

개구부가 있는 구조물의 설계에 있어서 개구부의 모서리 부근에는 일반적으로 응력의 집중이 예상되기 때문에 Fig. 10의 a)와 같이 대각선 방향의 보강철근을 배치하도록 하고 있다. 여기서는 S8시험체에 대해서 개구부의 모서리 부근의 보강철근량 및 정착유무에 따른 균열제어효과 및 강도증가효과를 파악하기 위해서 비선형 해석을 수행하였다. 시험체의 제원은 앞 절에서의 경우와 동일한 조건으로 하

고, 대각선 방향으로 각각 직경 8mm와 12mm의 철근을, 벽체의 전후면을 포함하여 총 6개의 철근을 Fig. 10의 a)와 같이 배치한 경우와 개구부의 모서리 부근의 보강철근을 Fig. 10의 b)와 같이 외측기둥과 하부의 보에 정착시킬 경우에 대해서 비선형 거동을 파악하였다. 각 경우에 대한 유한요소해석을 위한 요소분할은 Fig. 3에 나타나 있으며, 보강철근은 트러스 요소를 사용하여 별도의 요소로서 모델화하였다.

Fig. 11의 a)에는 보강철근을 배치하지 않은 경우, 직경 8mm의 보강철근을 배근한 경우 및 직경

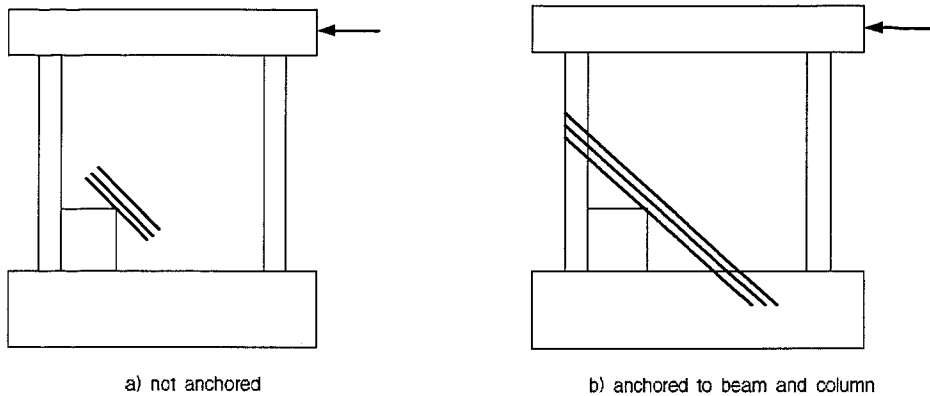


Fig. 10 Diagonal reinforcement near opening

Table 3 Comparison of maximum load

Test	Maximum lateral load (<i>kgf</i>)			Ratio of maximum load		
	Analysis (1)	Analysis (2) (8 mm)	Analysis (3) (12 mm)	(2)/(1)	(3)/(1)	
51.9S7	49,496	51,654	51,077	1.04	1.03	not anchored
		55,615	62,782	1.12	1.27	anchored

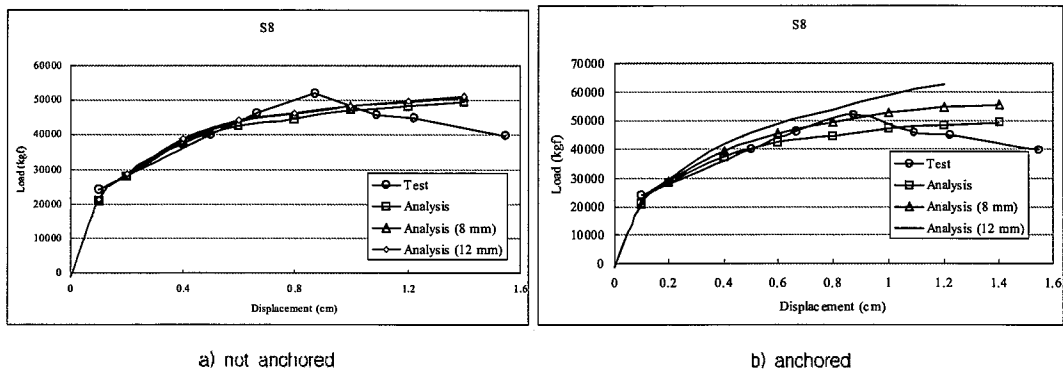


Fig. 11 Load-displacement behaviors corresponding to local diagonal reinforcement near opening

12mm의 보강철근을 배근한 경우에 대한 하중-변위 관계를 실험결과와, Fig. 11의 b)에는 보강철근을 배치하지 않은 경우, 직경 8mm 및 12mm의 보강 철근을 정착하여 각각 배치한 경우에 대한 하중-변 위관계를 실험결과와 각각 비교하고 있다. 여기서

실험결과는 보강철근을 배치하지 않은 경우이다. Table 3은 보강철근을 정착하지 않은 경우와 정착 한 경우의 최대하중을 비교하고 있다.

비교결과로부터 모서리부근의 보강철근은 부재의 극한강도에는 그다지 영향을 미치지 않고 있음을 알

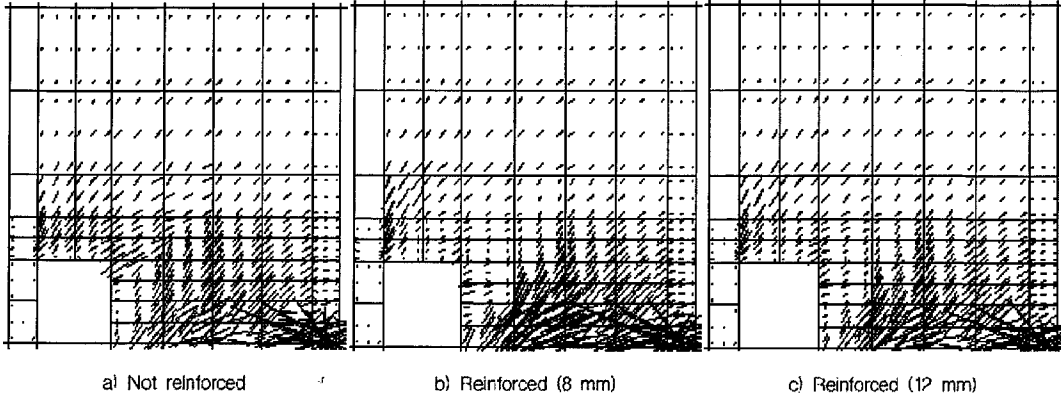


Fig. 12 Crack patterns after failure (S8) (not anchored)

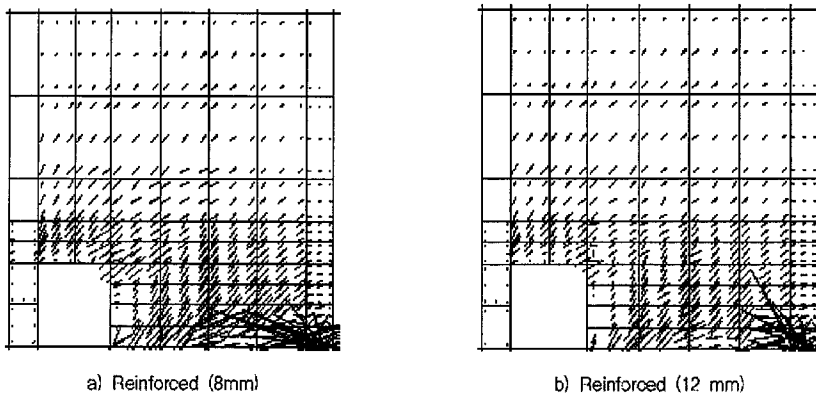


Fig. 13 Crack patterns after failure (S8) (anchored)

수 있다. 더욱이 8mm의 보강철근을 배치한 경우 약 4%의 강도가 증가되는 효과는 있으나, 보강철근의 직경이 커져도 강도는 더 이상 증가되지 않음을 알 수 있다. 이것은 벽체의 두께에 비하여 철근의 직경이 커지면, 상대적으로 콘크리트의 단면적이 감소하는 결과와 같으므로 이로 인한 콘크리트의 부착 능력이 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 12에서는 보서리부근의 보강철근으로 인하여 개구부 부근의 균열은 무보강인 경우에 비해서 그 크기가 작으며, 균열의 분포상황도 양호함을 알

수 있다. 또한, 보강철근을 기동과 보에 정착할 경우에 부재의 극한강도는 8mm의 경우 12%, 12mm의 경우 27%의 강도증가 효과가 있음을 알 수 있다.

또한 Fig. 13에서는 보강철근을 정착시킬 경우에도 개구부 부근의 균열은 무보강인 경우에 비해서 그 크기가 작으며, 균열의 분포상황도 양호함을 알 수 있다. 따라서 개구부의 보강철근을 기동과 보에 정착시킴으로써 균열제어효과는 물론 강도증가효과까지도 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서 철근콘크리트 전단벽체를 대상으로 한 2차원 비선형 유한요소해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 2차원의 비선형 재료모델을 기초로 하여 철근콘크리트요소, 접합요소 및 트리스요소를 혼합하여 사용함으로써 서로 다른 부재가 조합되어 구성된 부재를 효과적인 방법으로 역학적 거동을 예측할 수 있는 해석기법을 제시하였다.
- 2) 철근콘크리트 전단벽에 대한 해석방법은 8개의 철근콘크리트 시험체를 대상으로 한 실험결과와 비교하였고, 시험체의 하중-변위관계 및 최대하중에서는 9%의 오차를 나타냈으며 균열형태도 잘 일치하는 결과를 얻었다.
- 3) 개구부의 모서리에 배치된 비정착 보강철근으로 인한 강도증가 효과는 작으나, 개구부 부근의 균열제어나 균열분포에는 긍정적인 역할을 하고 있음을 알 수 있다.
- 4) 개구부의 보강철근을 기둥이나 보에 정착시킬 경우에는, 그렇지 않은 경우에 비하여 극한강도에 서 최대 27%까지 내력이 증가되는 결과를 나타 내었고, 개구부 부근의 균열제이효과도 함께 기대할 수 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. Maekawa, K. and Okamura, H., "The deformational behavior and constitutive equation of concrete using elasto-plastic and fracture model. Journal of faculty of engineering", The University of Tokyo, Vol. 37, No.2, 1983, pp. 253-328.
2. 二羽淳一郎, "鐵筋コンクリート板要素の力學的性狀" 日本 東京大學 修士論文, 1980.
3. Aoyagi, Y. and Yamada, K. "Strength and Deformation Characteristics of Reinforcement Concrete Shell Elements Subjected to In-plane Forces", Proceedings of JSCE, No. 331, 1983, pp. 167-180
4. Okamura, H., Maekawa, K., and Izumo, J., "Reinforced Concrete Plate Element Subjected to Cyclic Loading", IABSE Colloquium, Delft, Vol. 54, 1987, pp. 575-590.
5. Tamai, S., Shima, H., Izumo, J. and Okamura, H., "Average Stress-Strain Relationship in Post Yield Range of Steel Bar in Concrete", Proceedings of JSCE, 378(v-6), 1987, pp. 117-129.
6. Li, B. and Maekawa, K., "Contact Density Model for Stress Transfer across Cracks in Concrete", Concrete Engineering, JCI, Vol. 26, No.1, 1988. (in Japanese)
7. 申鉉穆, "縱ク返レ面内力を受ける 鐵筋コンクリート部材の有限要素解析", 日本 東京大學 博士論文, 1988.
8. Yoo, Y. H., Two-Dimensional Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Members Subjected to Cyclic and Seismic Loading, Sungkyunkwan University, Ph.D. Dissertation, 1998
9. 김운학, "철근콘크리트 셸구조의 유한요소해석", 성균관대학교 박사논문, 1990.
10. Johannes M., "Shear Wall Tests", Concrete Shear in Earthquake, 1992, pp. 85-94

(접수일자 : 2000 년 8월 16일)