

전단 및 비틀림 모멘트와 스트럿-타이 모델

Shear and Torsional Moment with Strut-and-Tie Models



홍성걸*
Sung-Gul Hong



김 우**
Woo Kim



이정윤***
Jung-Yoon Lee

1. 설계기준 개정 방향

2007년 콘크리트구조설계기준에서 전단 및 비틀림 모멘트에 대한 규정의 몇 가지 부분적인 변화 그리고 스트럿-타이 모델의 도입으로 앞으로의 전단설계방향은 기존의 부재단면에 작용하는 전단력에 대한 $V_c + V_s$ 의 강도 틀에서 점진적으로 다른 합리적인 설계모형으로 변화의 흐름을 보여준다.

이러한 새로운 관점변화의 요구는 이미 압축장이론^{1, 2)}의 제시와 함께 우리 설계기준의 배경이 되는 기존의 ACI 설계기준³⁾의 전단강도 접근방법에 문제점이 지속적으로 제기되었다. 이러한 역학적인 해석모형의 제시는 합리적인 전단강도의 새로운 이해욕구의 지렛대로써 작용하였다.

현행 ACI 전단설계방법은 종전 설계 개념의 한계점 극복을 위하여 나름대로 다양한 부재의 특성에 따라 다른 전단력 전달 메커니즘을 고려하여 적절하게 콘크리트가 부담하는 전단강도의 크기를 정하여 전단강도에 관련된 주요 변수의 영향으로 고려하는 방법을 통해서 여러 개의 콘크리트가 부담하는 전단강도를 제시하고 있다.

이러한 접근방법은 균열전단강도에 근거하기 때문에 사용한 계상태에 대한 검증 측면에서 편리하다. 그러나 극한한계상태의 저항강도에 단순하게 콘크리트와 전단보강철근의 합으로 표현하는 현행 설계개념은 많은 연구자가 지적한 바 경험적이며 근본적이고 설명이 가능한 새로운 전단설계모형으로 개선할 필요가 있다.

이번 개정은 종전의 전단강도의 틀을 벗어나지 못하고 있으나 다른 한 쪽에서는 다른 접근 방법과 종전의 개념의 변화를 준비하고 있다.

2. B-구역의 전단강도

현행기준과 마찬가지로 전단강도의 전형적인 틀인 $V_c + V_s$ 는 응력상태가 비교적 균일한 부재에 적절한 전단강도를 표현한다. 역설적으로 모든 구역의 전단강도를 표현할 수 있다. 이 형태의 표현이야말로 코에 걸면 코걸이 귀에 걸면 귀걸이가 아니며 무엇이라 V_s 는 대각선 균열을 45°로 간주하여 간단하고 실용적으로 철근이 발휘하는 전단강도를 표현하며 이에 따른 오차는 콘크리트에 연유하는 것으로 묵시적인 합의를 요구한다. 여기에 V_c 는 축력의 영향, 모멘트와 전단력의 비, 보단면의 깊이, 주철근의 영향을 고려한 공식을 이용할 수 있다. 응력균일 구역에서 V_c 의 영향으로 우리가 고려할 수 있는 것은 대체로 축력만을 들 수 있으며 다른 주요 변수는 부재별 다양한 응력 전달과 강도특성을 고려한 간접적인 접근 방법이며 이를 D-구역으로 간주하여 통합적인 설계 도구를 제공하는 것이 장래 설계방법의 방향으로 볼 수 있다.

이번 개정에는 고강도 콘크리트의 전단강도의 크기의 제한과 최소 철근의 배치 및 프리스트레스트 콘크리트 보와 장선 구조의 경우 완화 규정에서 종전의 8.3MPa를 8.2 철근의 정착 8.2.1(2)항에서와 같이 8.4MPa로 수정하였다.

- 콘크리트가 부담하는 전단강도의 상한치 (7.2.1항)
(4) 이 장에서 사용하는 $\sqrt{f_{ck}}$ 의 값은 8.4MPa를 초과하지 않도록 하여야 한다. 그러나 7.4.3(3) 및 (4)의 규정에 따라 최소 전단 철근이 배치된 철근콘크리트 또는 프리스트레스트 콘크리트 보와 콘크리트 장선구조에 있어서 V_c 와 V_{ci} 및 V_{cw} 를 계산할 때는 $\sqrt{f_{ck}}$ 값이 8.4MPa를 초과할 수 있다.
- 프리스트레스트 부재의 콘크리트에 의한 전단강도 (7.3.2 항)는 2개의 전단강도로 주어지면 작은 값을 취한다.

받침부 전면에서 $h/2$ 거리에 있는 단면으로부터 부재의 단부까지 거리가 프리텐서닝 긴장재의 전달 길이보다 짧거나 긴장재 일부의 부착이 부재 단부까지 연장되어 있지 않는 프리텐

* 정희원, 서울대학교 건축학과 교수
sglhong@snu.ac.kr
** 정희원, 전남대학교 토목공학과 교수
*** 정희원, 성균관대학교 건축공학과 교수

선 부재의 경우에는 7.3.2(3)에 따라 콘크리트에 의한 전단강도를 구하여야 한다.

여기서 7.3.2.(3)은 다음과 같은 조항이며 문구의 수정 및 공식의 변화가 있다.

(3) 다음 식 (7.3.8)과 식 (7.3.10)에 따라 전단강도 V_c 를 계산할 수 있다. 여기서, V_c 는 V_{ci} 와 V_{cw} 중에서 작은 값으로 하여야 한다.

① 전단강도 V_{ci} 를 다음 식으로 계산하여야 한다.

$$V_{ci} = 0.05 \sqrt{f_{ck}} b_w d + V_d + \frac{V_i M_{cre}}{M_{max}} \quad (7.3.8)$$

여기서, d 는 $0.8h$ 이상이어야 하며, M_{cre} 를 다음 식 (7.3.9)에 의해 계산한다.

$$M_{cre} = \left(\frac{I}{y_t} \right) (0.5 \sqrt{f_{ck}} + f_{pec} - f_d) \quad (7.3.9)$$

위 식에서 M_{max} 와 V_i 의 값을 해당 단면에 최대 휨모멘트가 일어나는 하중조합으로부터 계산하여야 하며, V_{ci} 는 $0.14 \sqrt{f_{ck}} b_w d$ 이상이어야 한다.

이상의 전단강도 규정은 콘크리트가 부담하는 전단강도를 휨모멘트가 지배하는 경우와 전단력이 지배하는 경우로 분리하기 위한 목적을 가지고 있다.

최소전단철근에 대한 조항으로 7.4.3에서 콘크리트의 인장 파괴로 인한 취성파괴의 가능성을 줄이기 위함이다. 이에 대한 설계공식의 변화가 고려되었다.

(3) 7.4.3(1) 또는 강도 요구조건에 의해 전단철근이 필요하고, 7.5.1 규정에 의해 비틀림을 고려하지 않아도 되는 곳의 최소 전단철근량은 프리스트레스트 콘크리트 부재(다음 (4)항의 규정에 해당하는 부재 제외)나 철근콘크리트 부재의 경우 식 (7.4.1)에 따라 산정하여야 한다.

$$A_{v,min} = 0.0625 \sqrt{f_{ck}} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (7.4.1)$$

그러나 최소 전단철근량은 $0.35b_w s / f_{yt}$ 보다 작지 않아야 한다. 여기서, b_w 와 s 의 단위는 mm이다.

3. 비틀림 강도

1971년에 채택된 ACI의 비틀림 평가식은 MacGregor 등⁴⁾의 연구 결과에 근거하여 1995년에 개정되었다. 개정된 비틀림 평가식은 박벽판이론(thin walled theory)과 힘의 평형 조건만을 이용한 공간 트러스유사론⁵⁾에 근거하고 있으며, 1995년 이전의 ACI 기준식과 비교하여 다음과 같은 세 가지 특징을 가지고 있다.

첫째, 콘크리트의 비틀림 저항 T_c 를 배제하였다.

둘째, 비틀림 균열각도 α 를 부재축 방향(이하, 종방향) 및 부재축의 직각방향(이하, 횡방향) 비틀림 보강근의 양에 의하여 구하였다. 1995년 이전의 ACI 기준식에는 재료조건에 무관하게 45° 로 가정되었다.

셋째, 전단흐름 경로로 둘러싸인 총 단면적 A_o 은 해석에 의해 결정하되, 해석을 하지 않을 경우, 폐쇄 스티럽의 중심선에 의해 둘러싸인 면적의 0.85배 즉, $0.85 A_{oh}$ 로 하였다.

개정 국내설계기준은 ACI 318-05 기준식과 동일하다. 즉 공간트러스모델에 의하여 비틀림 내력을 비틀림 보강 철근만에 의하여 계산하고 있다. 또한 비틀림 보강철근이 항복하기 이전에 콘크리트가 압축파괴를 방지하기 위하여 비틀림 보강철근의 양을 제안하고 있다.

비틀림 모멘트에 대한 고려는 7.5.1 비틀림을 고려하지 않아도 되는 경우를 제외한다. 다음과 같이 공식의 변화가 있다.

(3) 축 방향 인장 및 압축을 받는 철근 콘크리트 부재

$$T_u < \phi (\sqrt{f_{ck}} / 12) \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \sqrt{1 + \frac{N_u}{A_g \sqrt{f_{ck}} / 3}} \quad (7.5.3)$$

슬래브와 일체로 친 부재에서 A_{cp} 및 p_{cp} 산정을 위한 내민 플랜지의 폭은 10.3에 따라야 한다. 속이 빈 단면에서 A_g 는 A_{cp} 대신에 사용할 수 있으며, 단면의 외부경계선은 규정에 따라야 한다. 작용 비틀림 모멘트의 산정은 플랜지가 있는 경우와 축력이 작용하는 경우 7.5.2 계수비틀림 모멘트의 계산에서 다음과 같이 규정한다.

(4) 플랜지를 갖는 독립부재 및 슬래브와 일체로 친 부재에서 A_{cp} 및 p_{cp} 을 산정할 때 사용한 돌출 플랜지 폭은 10.3.1(4)의 규정을 따라야 한다. 다만 플랜지를 포함하여 산정한 A_{cp}^2 / p_{cp} 값이 플랜지를 포함하지 않은 경우의 값보다 작은 경우는 10.3.1(4)의 규정을 따르지 않아도 좋다.

③ 축 방향 인장 및 압축을 받는 철근 콘크리트 부재

$$\phi (\sqrt{f_{ck}} / 12) \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \sqrt{1 + \frac{N_u}{A_g (\sqrt{f_{ck}} / 3)}} \quad (7.5.6)$$

①, ② 및 ③에서 동일하게 재분배된 휨모멘트 및 전단력은 인접 부재의 설계에 고려하여야 한다. 속이 빈 단면의 경우 7.5.2(2)에서는 A_g 가 A_{cp} 대신에 사용될 수 없다. 최소 철근량은 7.6.4 최소 비틀림 철근량 및 간격에서 다룬다.

(2) 7.6.4(1)에 의하여 비틀림 철근이 요구되는 경우, 횡방향 폐쇄 스티럽의 최소량을 다음 식 (7.6.6)에 의하여 계산하여야 한다.

$$(A_v + 2A_t) = 0.063 \sqrt{f_{ck}} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (7.6.6)$$

다만, $0.35b_w s / f_{yv}$ 을 초과하여서는 안된다.

4. 응력교란 구역

4.1 깊은 보의 설계

중전의 설계기준에서는 깊은 보의 전단강도는 $V_c + V_s$ 의 틀에서 전단보강철근의 가중치를 두어 철근에 의한 전단강도를 산정하도록 하였다. 특히 V_c 는 짧은 전단스팬-보 깊이 구간을 고려하여 아치 작용에 의한 전단강도 증가를 간접적으로 고려하였다. 이번 개정 기준은 중전의 우회적인 접근에서 하중 흐름을 전체적으로 이해하여 철근배치 및 강도 산정에 스트럿-타이 모델의 적용하도록 하였다. 이러한 설계기준의 방향은 전단강도의 설계에서 단면위주의 전단 강도식을 무차별적으로 적용하는 것을 지양하고 주어진 조건을 물리적인 이해를 토대로 합리적인 시스템을 구성하여 상세를 결정하도록 새로운 길을 열어주고 있다. 문제는 지금까지 공식에 따라 기계적으로 철근배근량을 산정한 관습에서 벗어나 힘의 흐름을 이해하여 개념적인 그림을 그려야하는 근본적인 이해를 요구하여 번거로움이 생긴다고 볼 수 있다. 지금까지 구조설계라 하면 큰 전체 구조시스템의 결정, 스패와 주요 부재의 크기의 결정으로 간주하고 나머지 상세 설계는 소위 표준배근도에 의지하거나 단면 설계는 반복적인 과정으로 이해하여 프로그램을 이용하는 것으로 이해하였다. 그러나 개정기준에서 허용한 깊은 보의 설계를 위한 스트럿-타이 모델의 사용은 부재 단위의 시스템 설계과정을 요구한다. 힘의 흐름, 공급과 수용에 대한 기본적인 이해를 토대로 단면의 크기 및 철근량 그리고 중요한 정착에 대한 요구량 확보 등이 근본적인 문제로 다시 내려가기 때문이다. 즉 기본으로 돌아가기 때문에 시작점에서 다시 출발하기를 원한다.

설계일반 7.8.1에서 기하학적인 조건을 규정한다. 이에 대한 개정 내용을 다음과 같다.

- (1) 7.8의 규정은 l_n 이 부재 깊이의 4배 이하이거나 하중이 받침부로부터 부재 깊이의 2배 거리 이내에 작용하고 하중의 작용점과 받침부가 서로 반대면에 있어서 하중 작용점과 받침부 사이에 압축대가 형성될 수 있는 부재에 적용하여야 하며, 또한 8.5.1(5)도 참고하여야 한다.
- (2) 깊은 보는 6.3.4에서 허용된 비선형 해석 또는 부록 III에 따라 설계하여야 한다.
- (3) 깊은 보의 V_n 은 $(5\sqrt{f_{ck}}/6)b_w d$ 를 초과하여서는 안된다.

깊은 보의 최소 철근의 배치는 7.8.2에서 다음 사항을 만족하도록 한다.

- (1) 휨 인장철근과 직각인 수직전단철근의 단면적 A_v 를 $0.0025b_w s$ 이상으로 하여야 하며, s 를 $d/5$ 이하 또한 300 mm 이하로 하여야 한다.
- (2) 휨 인장철근과 평행한 수평전단철근의 단면적 A_{vh} 를 $0.0015b_w s_h$ 이상으로 하여야 하며, s_h 를 $d/5$ 이하 또한 300 mm 이하로 하여야 한다.

야 한다.

- (3) 7.8.2(1), (2)에 의한 최소 철근 대신 부록 III을 만족하는 철근을 배치할 수 있다.

4.2 브라켓

브라켓은 7.9.1에서 하중의 위치와 구조적인 형상을 만족하는 경우를 말한다. 기존의 설계방법과 큰 차이점은 주요 요소의 작용력을 스트럿-타이 모델의 사용을 권장하고 있다. 한편 철근상세는 중전의 방법을 따르도록 한다. 즉, 개정 규정을 살펴보면 다음과 같다.

- (2) 전단경간에 대한 깊이의 비 a_v/d 가 2 이하인 경우는 부록 III을 이용하여 설계할 수 있다. 벽체의 경우 7.10.1에서 전단이 지배하는 경우 스트럿-타이 모델의 사용하도록 한다. 벽체의 높이가 벽체 깊이의 2배를 초과하지 않은 경우는 부록 III과 7.10.3 (2)부터 7.10.3 (5)의 규정에 따라 설계할 수 있다.

4.3 보-기둥 접합부

보-기둥 접합부는 전통적으로 전단강도를 충분히 확보하여 인접 보에 소성힌지가 발생하도록 한다. 접합부의 위치에 따라 결정되는 구속정도를 고려하여 콘크리트의 인장강도와 접합부 면적으로 결정한다. 횡 수평 철근량의 역할은 콘크리트의 구속정도를 증가시키고 관통 보 철근의 부착강도의 증가에 효과를 기대한다. 개정내용은 다음과 같다.

7.11. 기둥에 전달되는 횡모멘트

- (1) 연직하중, 풍하중, 지진 또는 기타 횡하중이 기둥에 연결된 부재의 접합부에서 횡모멘트의 전달을 야기시킬 때는 횡모멘트 전달로 인한 전단력을 고려하여 기둥의 횡수평 철근을 설계하여야 한다.
- (2) 비슷한 깊이의 보 또는 슬래브로 4면이 구속되고 주요 지진하중 저항 구조시스템의 일부가 아닌 접합부를 제외하고 접합부 내에 배치하여야 할 기둥의 횡 수평 철근은 식 (7.4.1)에 규정된 값 이상이어야 한다. 여기서, 접합부의 깊이는 기둥에 연결된 부재의 깊이 중에서 가장 큰 값이다.

4.4 슬래브와 기초판

슬래브와 기둥의 편칭 전단파괴의 가능성을 낮추기 위하여 폐쇄형 스테럽이 주근을 주위에 설치한다. 내부 기둥은 4방향으로 외측 기둥은 3방향으로 전단 보강관을 다음과 같이 설치한다.

7.12.3 슬래브와 기초판의 전단보강

- (1) 철근이나 철선으로 구성되는 전단철근과 한 가닥 또는 여러 가닥의 스테럽은 다음의 규정에 따라 d 가 150 mm 이상이거나 전단철근의 지름의 16배가 넘지 않는 슬래브와 기초판에 적용될 수 있다. 전단철근은 7.12.3(2)에서 (5)까지의 규정에 따라 설계하여야 한다.

- (4) 기둥면과 기둥주위를 감싸는 첫 번째 열 스티럽 사이의 간격은 $d/2$ 이하이어야 한다. 첫 번째 열에서 기둥면의 평행방향의 스티럽 다리 사이의 간격은 $2d$ 이하이어야 한다. 스티럽 열 사이의 간격은 기둥면에 직각방향으로 $d/2$ 이하이어야 한다.
- (5) 슬래브 전단철근은 8.5에서 제시하는 정착 요건을 만족시켜야 하며, 길이방향 휨철근을 둘러싸야 한다.

4.5 슬래브-기둥 접합부

슬래브-기둥 접합부에 전달되는 모멘트는 7.13 슬래브-기둥 접합부의 휨모멘트 전달에서 다음과 같이 부분적인 문구가 개정되었다.

- (1) 연직하중, 풍하중, 지진하중 또는 기타 횡 하중으로 인하여 슬래브와 기둥 사이에 불균형휨모멘트 M_u 가 전달될 때, 불균형휨모멘트 $\gamma_f M_u$ 는 10.3.3에 따라 슬래브 휨에 의해 전달되고, 나머지 불균형모멘트 $\gamma_v M_u$ 는 7.12.1(3)에 의해 정의되는 위험단면의 도심에 대한 전단 편심에 의해 전달되는 것으로 고려하여야 한다.

5. 스트럿-타이 모델

우리나라에서는 이미 10여 년 전 부터 프리스트레스트 콘크리트부재의 정착부 설계에 통용화된 기법이나 일반적인 설계기법으로는 그 후 간간이 기술기사나 논문에서 소개되어 왔던 기법이다. 사실상 알려진바 유럽에서는 그 기원이 이미 100년 전부터 기본적인 이해가 이루어졌고 거기에 60년대 이후 콘크리트 소성학의 발전으로 이론적인 근거를 가지게 되었다. 스위스의 응력장의 접근방법과 덴마크와 네덜란드에서 발전한 기본적인 소성학을 토대로 적극적이고 실용적인 설계도로 발전한 독일식 스트럿-타이 모델을 1987년에 PCI학술지에 슈트트가르트 대학의 쉴라이 교수가 영어권에 공식적으로 소개⁶⁾한 덕분에 오늘날에 ACI설계기준의 부록에 이르렀다. 사실 이전에 이미 뉴질랜드의 콘크리트 학파는 기본 역학적인 근거에 충실한 capacity design방법과 더불어 캐나다 토론토 대학의 폴린스와 미첼의 압력장이론에 대한 연구를 통하여 미국의 전단강도 설계법의 새로운 방향을 제시하고 있었다. 한편 소위 structural concrete이라는 경험적인 설계에서 합리적으로 이해 가능한 설계방법의 도입을 추구하는 의미에서 오스틴 대학에서는 Breen 교수가 주도하여 미국에서 스트럿-타이 모델의 실증적인 실험을 수행하여 일반 구조 공학자를 설득하기 시작하였다. 대부분의 오스틴의 실험은 그렇게 성공적이 못한 것은 누구도 부인할 수 없다. 왜냐하면 스트럿-타이 모델 밑에 흐르는 소성학 개념을 이해하지 못한 채 미국의 전통적인 실험정신에 매달렸기 때문이다. 이러한 경향의 연구는 최근 ACI 학술지에서 지속적으로 계속되고 있음을 보여준다.

미국적인 실용성과 캐나다 기준의 영향으로 LRFD AASHTO 기준에 이어 2002년 부록에 기본적인 개념만을 실게 되었다. 교과서적인 주요 내용으로 응력 교란 구역인 D-구역에 대한 정의, 스트럿-타이 모델의 구성방법의 지침, 그리고 스트럿-타이 모델의 구성요소의 개별적인 강도와 각각의 강도감소계수를 지정한다. 스트럿-타이 모델은 평형조건을 만족하는 정적 시스템으로 요소가 제 능력을 발휘하기 위하여 항복이후 연성도 확보가 필요하다. 문제는 압축재인 스트럿과 절점에 대한 충분한 연성도 확보에 있다.

스트럿은 콘크리트의 압축강도를 주변의 응력 및 변형률의 조건에 따라 좌우되는 유효 압축 강도를 사용하도록 한다. 사실 콘크리트의 제한된 변형 능력을 가지고 소성학적으로 이용하고자 하는 의도이다. 두 번째 절점에 대한 강도 산정이다. 절점은 D-구역에서 만든 스트럿-타이모델 내부에 또 작은 D-구역이다.

부록 III의 스트럿-타이 모델의 구성은 다음과 같다.

1. 일반사항
2. 스트럿-타이 모델 설계절차
3. 스트럿의 축강도
 - 3.1 축강도
 - 3.2 유효압축강도
 - 3.3 설계상세
 - 3.4 철근효과
4. 타이의 축강도
 - 4.1 축강도
 - 4.2 중심선
 - 4.3 정착
5. 절점영역의 축강도
 - 5.1 축강도의 산정
 - 5.2 공칭축강도
 - 5.3 유효압축강도
 - 5.4 3차원 절점

일반 구조설계자가 처음에 당혹해하는 부분은 제2장의 스트럿-타이 모델 설계절차 부분이다. 설계자가 기하학적인 형상과 하중에 대한 모형을 결정하는 단계로 임의로 결정을 요구하기 때문이다. 경험과 직관을 통해 경제적인 응력흐름을 상상하기에는 초심자에게 쉬운 일이 아니다. 이러한 이유에서 단순히 기준을 따라 설계해 온 기술자에게는 설계의 기본으로 돌아가 압축재-인장재-절점으로 이루어진 작은 구조시스템을 구성하고 설계하기를 권장한다. 유사한 예제를 다루게 되면 조건에 변화하더라도 응용력이 계발되어 상세설계의 합리적인 대안을 제시할 수 있다고 예상한다.

스트럿-타이 모델이 기존의 강도설계법과 다른 주요한 특성은 스트럿-타이 모델의 구성요소인 압축재, 인장재 그리고 절점에 각기 다른 강도감소계수를 제시하는데 있다. 제7장에서 다른 전단강도가 단일의 강도감소계수를 적용하는 반면 스트럿-타이 모델에 의한 스트럿-타이-절점으로 구성된 시스템의 전단강도는 개별적인 요소 강도와 강도감소계수를 적용한다. 요소에 적절한 강도감소계수를 적용하면 파괴모드별로 시스템의 강도를 산정할 수 있다. 결국 스트럿-타이 모델은 각 요소의 요구강도와 필요한 상세를 그림으로 보여줌으로써 철근 위치와 정착의 중요성을 상호 이해를 증진시키는 설계도구이다.

이번 기준에서 도입한 스트럿-타이 모델에서 제시한 강도감소계수는 다소 안전측으로 낮은 값을 제시하고 있으며, 특히 절점부의 강도 산정을 위한 확대 영역의 산정 등은 근거가 확실하지 않은 접근방법이므로 이해가 가능한 근거에서 제시한 방법으로 개선되어야 한다. 현행 스트럿-타이 모델의 실용적인 적용을 확대하기 위해서는 스트럿-타이 형상의 구성과 다양한 조건에 대한 압축재의 유효강도의 제시가 필요하다. 현재 다른 선형설계기준의 예를 적극적으로 검토하여 실용성을 제고하는 것이 선행 연구자의 몫이다. 또한 절점영역의 다른 크기의 강도 산정 모형도 다수에게 이해 가능한 투명한 모형개발과 제안을 기다리고 있는 분야이다. 그러나 경계할 점은 스트럿-타이 모델에 대하여 선부른 복잡성이 더 나은 해답을 주리라는 미신과 근거없는 이론으로 태어난 스트럿-타이 모델의 도입으로 기본개념의 왜곡은 경계해야 한다. 스트럿-타이 모델은 설계를 위한 간편한 모델로서의 본질을 유지하여야만 그 가치가 있을

것이다. 구조설계자가 이러한 새로운 설계 도구로써 설계의 본질인 다양한 시스템의 대안제시와 선택의 과정을 통해 자연법칙을 이해하고 해석하여 합리성을 추구하는 엔지니어의 즐거움을 갖기를 기대한다. □

참고문헌

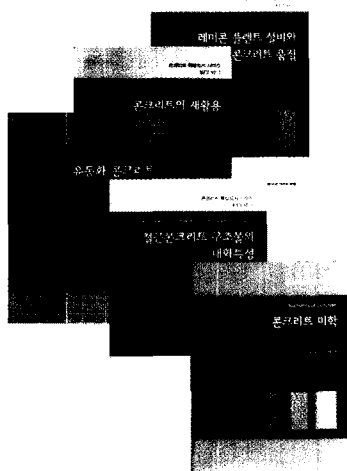
1. Mitchell, D. and Collins, M. P., "Diagonal Compression Field Theory A Rational Model for Structural Concrete in Pure torsion", *ACI Structural Journal*, Vol.71, No.4, 1974, pp.396 ~ 408.
2. Vecchio F. and Collins M. P., "The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear", *ACI Structural Journal*, Vol.83, No.2, 1986, pp.219 ~ 231.
3. ACI Committee 318-05, *Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary(ACI 318-05 / ACI 318R-05)*, American Concrete Institute, Detroit, 2005, 436pp.
4. J. G. MacGregor and M. G. Ghoneim, "Design for Torsion", *ACI Structural Journal*, 1995, Vol.92, No.2, pp.211 ~ 218.
5. Rausch, *Design of Reinforced Concrete in Torsion*, PhD. thesis, Technische Hochschule, Berlin(in German), 1928, 53pp.
6. Schlaich, J., Schafer, I. and Jennewein, M., "Towards a consistent design of structural concrete", *J. Prestressed Concrete Inst.*, Vol.32, No.3, 1987, pp.74 ~ 150.

도서소개

콘크리트 특집도서 시리즈

: 이 시리즈는 그간 각 분야별로 콘크리트학회지 특집기사에 참여한 전문가들의 경험과 축적된 연구 결과 국내외에서 개발된 각종 기술 등에 대하여 체계적이고 깊이 있는 내용을 수록하고 있어 관련분야에 종사하는 실무자나 학생들에게 매우 유익한 도서가 될 것이다.

저자 : 한국콘크리트학회, 출판사 : 기문당



- KCI SP1 레미콘 플랜트 설비와 콘크리트 품질
정가:10,000원(회원:8,000원), ISBN:89-7086-631-0, 총쪽수 : 139쪽
- KCI SP2 콘크리트의 재활용
정가:14,000원(회원:11,200원), ISBN:89-7086-632-9, 총쪽수 : 231쪽
- KCI SP3 유동화 콘크리트
정가:11,000원(회원:8,800원), ISBN:89-7086-633-7, 총쪽수 : 174쪽
- KCI SP4 철근콘크리트 구조물의 내화특성
정가:12,000원(회원:10,000원), ISBN:89-7086-634-5, 총쪽수 : 205쪽
- KCI SP5 콘크리트 미학
정가:12,000원(회원:10,000원), ISBN:89-7086-764-3, 총쪽수 : 183쪽