

달힘모멘트를 받는 우각부의 보강철근량 산정에 관한 연구

A Study on Reinforcing Bar Computation of Corner Joint in Closing Moment

이 명 곤*
Lee, Myung-Gon

정 제 평**
Jeong, Jae-Pyong

모 귀 석***
Mo, Gui-Seok

김 우****
Kim, Woo

ABSTRACT

The reinforcing bar computation have to be reflected stress distribution and geometrical condition of a corner joint when the closing moment acted at corner joint. This study analyzes stress distribution of a corner joint with statically determinate truss model. Compared with FEM analysis and result of truss model suggested design method consider strengthening efficiency of main reinforcement.

1. 서론

달힘모멘트가 작용하는 우각부내에 응력분포상태는 그림 1.과 같이 불연속 교란된 특성으로 인장과 압축의 형태로 나타나며, 바깥쪽에 발생한 인장응력은 콘크리트의 인장강도를 넘게되면 균열이 발생하게 되는데 이 인장응력을 휨모멘트에 의해 계산된 주철근과 추가 보강철근이 부담하게 된다. 이와같은 우각부 보강철근에 대한 국내 도로교설계기준은 일본 도로교 시방서를 원용한 것으로 주철근의 우각부 보강능력을 평가하는 기준이 없어 우각부내 주철근에 의한 보강능력이 제대로 평가되지 못하고 있는 실정이다. 국내시방서에서 제시한 이 산정식은 절점휨모멘트와 절점부 대각선 길이에 관계된 식으로 우각부의 기하학적 조건과 주철근의 직경, 구부림 반경에 의한 우각부 보강효과를 전혀 고려하지 못하고 있는 실정이다. 특히, 현치변화나 유무에 따른 응력변화를 고려하는 것이 아니라 단순히 절점부 대각선 길이(R)의 크기로 우각부 보강 철근량이 산정되어 R 이 크면 보강량이 적어지고 R 이 작으면 보강량이 커지도록 설계하고 있다.^{2) 3)} 또한, 철근 직경에 따른 구부림 반경의 변화에 의한 보강효율의 변화도 전혀 반영되지 못하고 있다. 따라서, 본 연구는 우각부내의 응력거동을 설명하고 주철근

* 정회원, 전남대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원, 전남대학교 토목공학과 박사과정

*** 정회원, 대불대학교 토목공학과 교수

**** 정회원, 전남대학교 토목공학과 교수

의 보강능력을 평가하기 위해 부재내의 응력거동을 인장, 압축의 축력으로 단순화하고 쉽게 설명할 수 있는 트러스요소를 사용하여 우각부의 기하학적 조건에 따른 부재내의 응력분포의 범위와 크기를 정량적으로 분석하고 이를 비선형유한요소해석 결과와 비교하였으며, 주철근의 우각부 보강능력을 고려한 합리적인 우각부 보강철근량 산정방법을 제안하고자한 것이다.

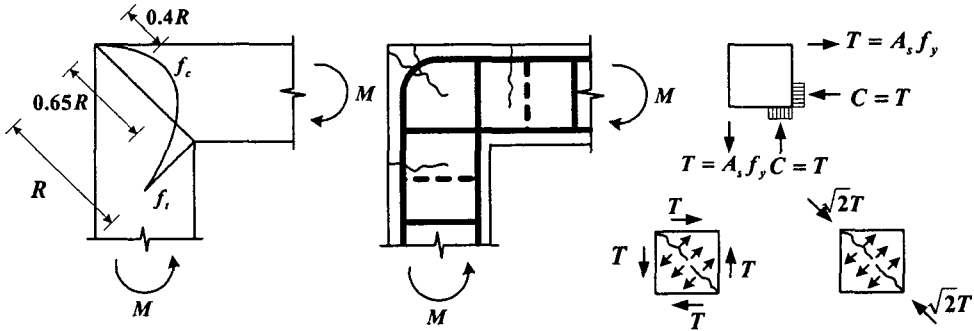


그림1. 단힘모멘트 작용시 우각내의 응력

2. 해석방법

벽체와 슬래브로 구성된 철근콘크리트 구조물의 연결부를 우각부라 하며, 우각부는 응력교란이 심하게 발생하는 D구역(Disturbed Region)으로 최근에 와서 스트럿-타이(Strut-Tie)모델에 의해 크게 발전할 수 있었다. 이전의 우각부 설계는 실험적 자료에 기초하여 유도된 식을 많이 사용하여 왔다.⁵⁾ 최근 Ali and White [2001] 는 부정정 트러스모델을 사용하여 응력경로를 추적하는 해석모델을 제안하였고 국내에서도 우각부의 스트럿-타이 모델을 제안하는 연구가 진행되어 오고 있으나 초기연구 단계에 머물러 있다.⁶⁾ 본 연구에서는 우각부의 응력거동을 해석하기 위해 정정트러스모델로 단순화하여 해석하는 간략법과 비선형유한해석 프로그램을 사용하여 해석을 실시한 결과를 비교하여 보았다.

2.1 트러스요소법(Truss Element Method)

응력거동이 복잡한 우각부를 해석하기 위한방법으로 정정트러스요소를 사용하였는데 우각부내의 복잡한 응력분포를 인장, 압축의 축력으로 표시하고 이를 바탕으로 우각부내의 응력분포범위와 크기를 나타낼 수 있다. 트러스모델의 요소를 작게하면 그 결과가 유한요소해석결과와 유사하며 설계적용에 용이하기 때문에 그림 2와 같이 트러스요소를 이용하여 내부응력거동을 규명하고 주철근의 보강능력을 평가하고자 한다.

2.2 유한요소법(Finite Element Method)

본 연구에서 사용할 프로그램은 현재 사용화 되어 있는 비선형 해석 프로그램 중 SBETA을 사용하였는데, 콘크리트의 구성관계가 등가 1축응력-변형관계에 기초한 직교이방성 모델에 의해 기술되어 있고, 인장 균열파괴에 관해서는 균열띠 모델을 적용하고, 고정균열 모델과 회전균열모델을 선택할 수 있다. 이 때, 이산균열모델(discrete crack mode)이 아닌 유사균열모델(smearred crack model)을 사용하였다. 압축 연화 파괴는 균열띠 모델의 방식을 압축에 확장한 가상 압축 파괴면 모델(fictitious

compression failure plane model)이 사용되었다. 또, 균열 방향의 콘크리트 압축 특성의 연화(softening)를 표현하는 Vecchio와 Collins의 수정압축장이론(MCFT)을 적용할 수 있으며, 철근과 콘크리트의 부착을 고려하는 인장강성모델(tension stiffening model), 전단저감계수(shear reduction factor)의 균열변형과 철근비에의 의존성 등도 고려 할 수 있는 프로그램이다.⁴⁾

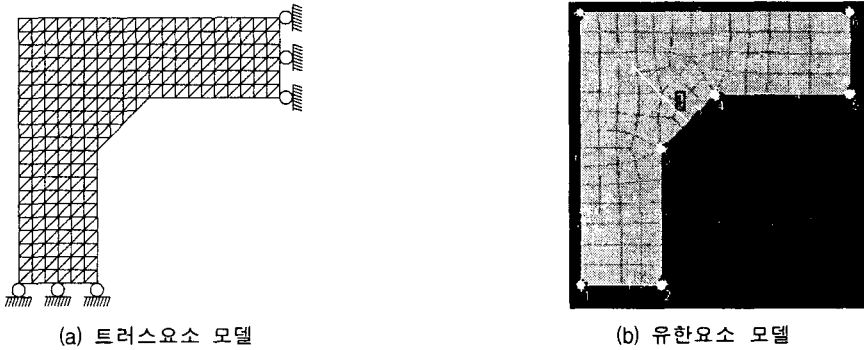


그림 2. 해석모델

3. 해석결과

우각부내의 응력거동을 해석하기 위해 모델제원으로 수평, 수직부재두께(t)=60cm, 부재폭(b)=100cm, 콘크리트 f_{ck} =270 kgf/cm², f_{sr} =1800 kgf/cm², 외부작용하중(w)= 30 t/m를 작용하여, 트러스 요소법에 의해 내부응력상태를 해석하였다. 트러스 대각부재의 축력크기가 우각부내 응력의 크기이므로 각 부재의 축력의 크기를 도시화하면 응력분포도를 구할 수 있다. 트러스 모델을 통해 얻어진 각 대각부재의 축력으로부터 응력분포형태를 구하고 압축력과 인장력의 합력점으로부터 작용위치를 구할 수 있다. 그림 3.에서 보듯이 현치가 부재두께비(h/t)가 2/3에서는 최대인장응력의 크기가 현치가 없는 경우보다 작게 나타났으며 발생위치도 0.34R로 접합부 바깥쪽에 위치하였다. 또, 인장응력의 분포 범위도 0.55R로 그범위가 현치가 없을 때보다 20%정도 작게 나타났다. 따라서, 동일 부재 두께에서 현치의 유무와 크기에 따라 작용점의 크기와 위치가 변하게 되는데 현치가 있을 경우 발생인장력은 작아지며, 내부모멘트 팔길어도 길어져 저항강도가 커짐을 알 수 있었다. 이와 같은 트러스 요소의 결과는 유한요소해석 결과와도 거의 일치하였다.

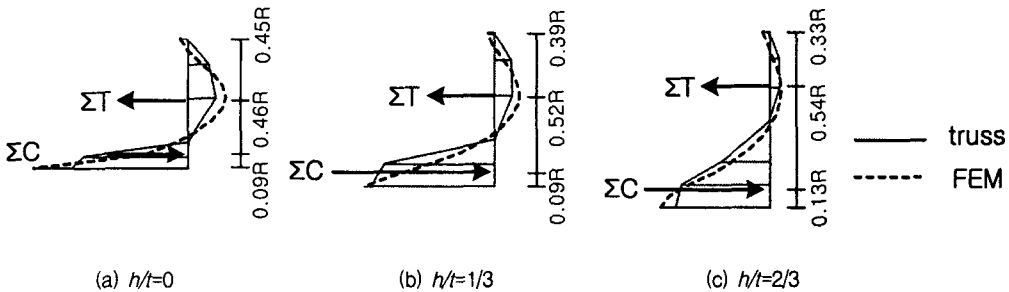


그림 3. 트러스요소법과 유한요소해석의 결과비교

4. 우각부 보강철근량 산정

4.1 산정방법

트러스 모델을 통해 얻어진 우각부내 응력분포를 보면 동일 부재두께에서 대각선 단면길이(R)에 대한 인장응력의 범위와 최대인장응력이 발생하는 위치는 현치의 유무, 크기와 관계됨을 알 수 있다. 부재두께(t)와 현치크기(h)의 비(h/t)가 클수록 인장력의 합력점과 압축력의 합력점과 떨어진 거리 즉, 내부모멘트 팔길이(z)가 길어져 내부저항모멘트가 커지고 또, 발생 인장력은 작아짐을 알 수 있다. 따라서, 우각부에서 현치를 둠으로써 휨모멘트에 의해 발생한 인장응력을 줄일 수 있다. 철근 구부림 내면 반지름을 크게 함으로써 주철근의 보강효과를 키울 수 있으며, 이 때, 주철근의 위치에 따라 전체 철근이 받는 인장력과 주철근이 받는 인장력의 비로부터 구부림 반경에 따른 주철근의 보강효율을 구할 수 있다. 우각부의 발생응력 분포도에서 압축응력의 합력점과 인장응력의 합력점을 구할수 있는데 이 두 합력점의 떨어진 거리(z_o)에 의해 $M = T \cdot z_o = C \cdot z_o$ 의 평형방정식으로부터 $T = A_s \cdot f_{sa}$ 이므로 총 보강철근량을 구할 수 있다. 이때, 주철근의 위치에 따른 보강효율을 고려하여 주철근의 부담부분을 공제하면 우각부 추가보강철근량 $A_{s,add}$ 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$A_{s,add} = \frac{M_o}{z_o \cdot f_{sa}} - A_s \cdot e \quad \text{----- 식(1)}$$

여기서,

A_s : 주철근량(cm^2)

M_o : 절점모멘트(kgf-cm)

z_o : 내부모멘트 팔길이(cm)

f_{sa} : 철근의 허용인장응력(kgf/cm^2)

e : 주철근의 보강효율

또한, 주철근의 보강효율(e)은 $\frac{f_s}{f_{s,max}}$ 로부터 계산할 수 있으며, 응력분포 범위와 크기에 따라 주철근의 보강효율을 높일 수 있는 구부림 내면 반지름을 결정할 수 있다.

표 1. 철근 구부림 내면 반지름에 따른 주철근의 보강효율(e)

구 분	보강효율(e) = $\frac{f_s}{f_{s,max}} \times 100(\%)$		
	삼각현치($h/t=2/3$)	삼각현치($h/t=1/3$)	현치없음($h/t=0$)
10 d_b	12.4	17.4	23.9
13 d_b	26.7	29.8	36.7
15 d_b	36.5	38.7	45.6
18 d_b	51.6	52.4	59.4
20 d_b	60.9	60.9	67.5

※ 피복두께를 일정하게 하고 H22의 주철근을 구부림 내면 반지름을 변화시켜 보강효율을 계산하였다.

4.2 결과분석

식(1) 사용하여 계산한 우각부 추가보강철근량과 기존설계방법에 의한 철근량을 비교하였다. 그림4.에서 보듯이 현치의 기하학적 변화에 따른 트러스요소법과 유한요소법으로 계산한 내부 모멘트 팔길이의 변화를 고려한 총 보강철근량에서는 현치가 없는 경우에 대해서는 설계기준식이 과소보강 되는 경향을 나타냈으며, 현치가 있는 경우에 대해서는 안전측으로 과다보강 되는 경향을 나타냈다. 총보강철근량에서는 설계기준식과 해석결과와는 4~8%정도 차이를 보이고 있지만 현 설계관행상 주철근의 보강능력을 고려한 추가보강철근량 비교에서는 현 설계관행에서는 주철근의 보강효율을 50%로 보고 공제하기 때문에 해석값과는 크게 차이를 나타내고 있다. 즉, 주철근의 구부림 반경을 $12d_b$ 로 계산하였을 때의 값을 비교하여 보면 현치의 크기에 상관없이 해석상 필요한 추가철근량의 76~80%정도만 보강되게끔 관행상 설계하고 있다고 볼 수 있다. 또, 표 1. 에서와 같이 철근의 구부림 내면 반지름의 크기를 변화시켰을 때 주철근의 보강효율은 반경을 $18d_b$ 까지 증가시켰을 때 발생인장력을 50%까지 부담하는 것으로 나타났다.

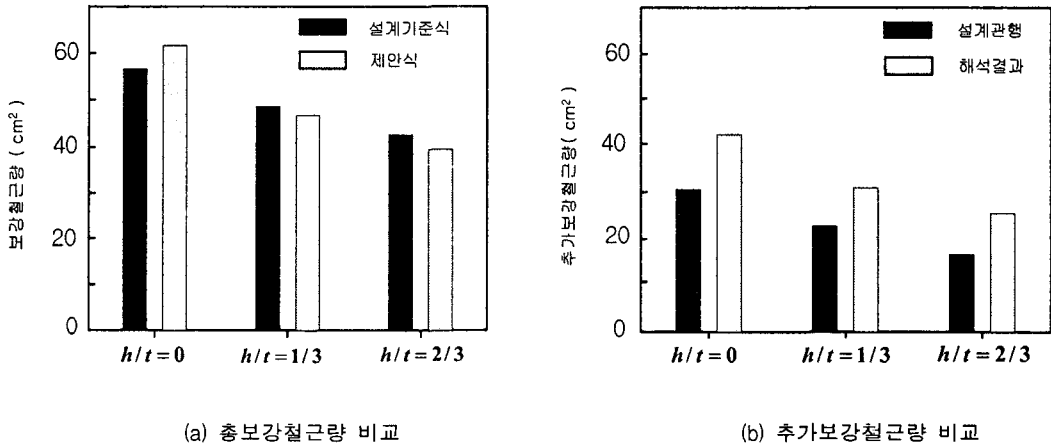


그림4. 보강철근량의 비교

5. 결 론

트러스모델을 이용하여 구한 보강철근량과 기존설계식과의 비교에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 가) 현치가 클수록 발생인장력은 작았으며, 현치가 작을수록 발생인장력은 크게 나타났다.
- 나) 현치가 있는 경우에 대해서 기존설계식은 과다보강되었으며, 없는 경우에 대해서는 과소보강 되는 경향이 나타났다.
- 다) 현 설계관행에서 우각부 보강철근의 위치와 주철근의 보강능력을 50%로 보는 것은 이에 적합하지 않다고 판단된다.
- 라) 기존 설계방법은 부재의 크기 및 현치의 유무와 크기에 대해 또, 주철근의 배근위치에 따른 보강능력을 제대로 반영하지 못하고 있는 것으로 판단된다.

마) 우각부내 응력분포도에서 최대인장응력의 크기와 위치에 따라 보강철근의 배근위치를 구할 수 있었다.

바) 주철근의 구부림 내면 반지름을 크게함으로써 주철근의 보강효율을 높일 수 있었다.

현 설계법에서 우각부 보강철근의 위치와 주철근의 보강능력을 관행상 50%로 보는 설계관행은 이에 적합하지 않다고 판단된다. 따라서 우각부 내에서의 명확한 응력분포와 주철근의 실제 우각부보강능력을 감안하여 합리적 설계법 제시가 필요하다고 하겠다. 향후 더욱 정밀한 내력상태 평가를 위한 다양한 해석을 통해 절점부 내의 역학적 거동과 다양한 기하학적, 재료적 조건에 따라 우각부내의 응력상태를 규명하고 이에 따른 합리적이고 경제적인 설계법을 제시하는게 향후 연구 과제라 하겠다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 R01-1999-00312)지원으로 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 채성태, “지하 박스 구조물의 해석 및 절점부 설계 기법에 관한 연구,” 석사학위논문, 서울대학교, 1996.
2. 한국콘크리트학회, “콘크리트구조설계기준·해설,” 2000.
3. 건설교통부, “도로설계편람(Ⅲ),” 2001.
4. 콘크리트의 파괴역학, 한국콘크리트학회, 2000, pp.136-137.
5. B. Mayfield, F. K. Kong, A. Bennison, and J.C.D.T.Davies, “Corner Joint Details in Structural Lightweight Concrete,” *Journal ACI*, Vol. 68, No.5, May 1971, pp. 366-372.
6. Mohamed A. Ali and Richard N. White, “Automatic Generation of Truss Model for Optimal Design of Reinforced Concrete Structures,” *Journal ACI*, Vol.98, No.4, July-August 2001, pp.431-442.