

설계방법에 따른 π 형 RC 라멘교의 배근상세

Detailing in the Pi(π)-Shaped RC Rahmen Bridge According to the Design Methods

위증복* 이승훈** 엄장섭*** 진치섭****
We, Jeung Bok Lee, Seung Hun Eom, Jang Sub Jin, Chi Sub

ABSTRACT

The designer has difficulty due to inadequacy of provisions in the domestic design code and lack of understanding for behavior of D-region. The reinforced concrete pi(π)-shaped RC rahmen bridge consists of various failure mechanisms as the crushing or splitting from compression concrete, and shearing failure under the loading plate. However, predicting those failure mechanisms is very difficult. In this study, the pi(π)-shaped RC rahmen bridge is analyzed and designed by using strut-tie model. Adequacy for the application of strut-tie model is verified by comparison with the way used in current design practice. As a result that designing the structures should be made a comparison between strut-tie model and current conventional design method.

1. 서론

콘크리트 구조부재 혹은 구조물은 B-영역과 D-영역이라고 불리는 부분으로 구분할 수 있다. B-영역은 보의 전단지간이 커져 보작용에 의하여 하중이 지지되며, 단면 변형률이 선형으로 되어 평면보존의 법칙이 성립되는 부분을 말한다. D-영역은 전단지간이 작아서 아치작용에 의해 하중이 지지되며, 보 이론을 적용할 수 없는 부분을 말한다. 이러한 D-영역의 정확한 파괴메커니즘을 예측 및 해석하는 것은 많은 어려움이 있으므로 이를 스트럿-타이 모델을 사용하여 해석하였다.

스트럿-타이 모델은 구조물의 일부 또는 구조물의 전체에서 콘크리트에 작용하는 압축력을 나타내는 스트럿, 철근에 작용하는 인장력을 나타내는 타이, 그리고 스트럿과 타이가 만나는 절점영역으로 구성된다. 스트럿-타이 모델에서는 하중의 전달경로가 시각적으로 나타나며, 필요철근량, 철근의 위치, 그리고 응력이 집중되는 곳에서의 콘크리트 응력이 결정된다. 스트럿-타이 모델을 이용한 설계과정은 힘의 전달경로에 대한 이해를 높이고 설계자로 하여금 익숙하지 않은 설계조건들을 다루는 능력을 향상시킨다.

본 논문에서는 π 형 RC 라멘교를 유한요소해석을 통해 구조물의 주응력 흐름을 파악한 후, B-영역, D-영역의 파괴메커니즘을 비교적 정확히 예측하기 위하여 스트럿-타이 방법으로 해석하였다. 또한 현행설계기준과 스트럿-타이 모델에 의한 배근상세를 비교하여 합리적이고 경제적인 설계방법을 제시하였다.

* 정회원, 부산대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 부산대학교 대학원 공학박사

*** 정회원, 창신대학 토목과 부교수, 공학박사

**** 정회원, 부산대학교 토목공학과 교수, 공학박사

2. π 형 RC 라멘교의 유한요소 해석

π 형 RC 라멘교는 D-영역을 갖는 구조물로서 복잡하고 다양한 형상의 파괴메커니즘을 보인다. D-영역은 응력집중과 기하학적인 불연속으로 인하여 일반적인 보해석이 어려우므로 주로 경험 혹은 일반상식을 바탕으로 해석 및 설계가 이루어져 왔다. 이러한 설계방법은 구조물의 거동 및 강도를 정확히 파악하고 설계한 것이 아니므로 스트럿-타이 모델이 제안되었다.¹⁾ 스트럿-타이 모델은 구조물 내에서 힘의 전달 메커니즘을 압축 스트럿과 인장 타이로 나타내어 콘크리트 부재 외부에 작용하는 하중과 부재 내부의 철근 및 콘크리트에 작용하는 힘과의 평형을 이용하는 방법이다. 스트럿-타이 모델에는 탄성 유한요소 해석으로부터 응력값과 주응력 궤적도를 얻어 모델을 구성하는 탄성응력 궤적법에 의한 방법과 하중의 흐름을 추적하여 구성하는 하중경로법이 있다.

본 연구에서 해석한 π 형 RC 라멘교는 실제 시공된 구조물이며 응력상태를 해석하기 위해 탄성응력 궤적법을 이용하였다. 해석에 사용된 프로그램은 범용 유한요소해석 프로그램인 LUSAS를 이용하였으며, 유한요소 모델은 2차원 평면응력요소를 사용하였다. 작용 하중은 실제 설계시에 적용된 모든 하중을 적용하였다.²⁾

그림 1은 π 형 RC 라멘교의 형상과 치수³⁾ 및 유한요소해석 모델이며 구조물은 대칭형상이다.

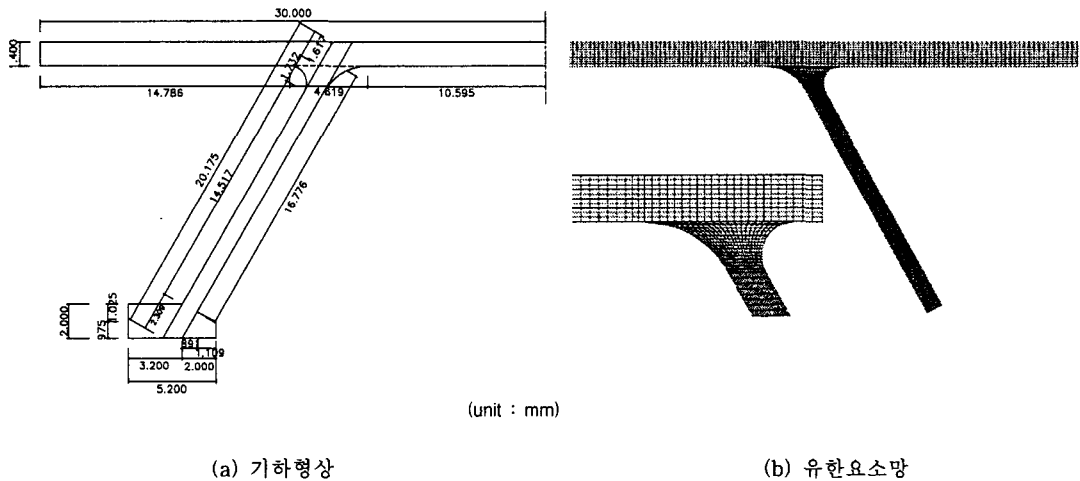
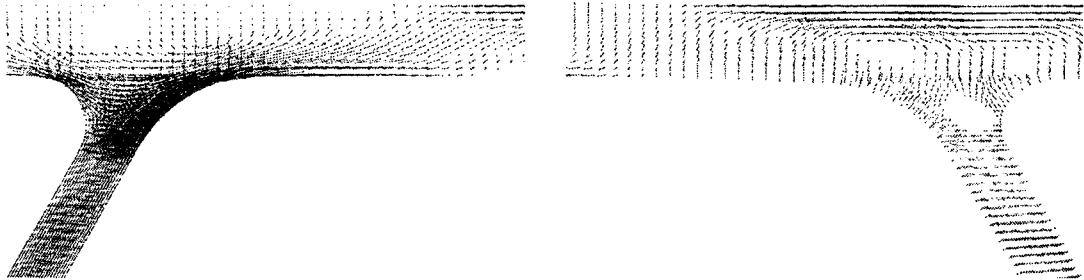


그림 1 기하형상 및 유한요소망

3. π 형 RC 라멘교의 스트럿-타이 모델

π 형 RC 라멘교의 유한요소해석 결과, 주압축 및 주인장 응력궤적은 그림 2와 같다. 대표적인 D-영역부분인 현치부에서 압축응력이 집중되고, 교각은 현치부에서의 압축력을 받아 지반까지 전달되는 것으로 해석되었다. 이러한 주응력 궤적도를 바탕으로 하여 주압축응력 방향 및 주인장응력 방향으로 스트럿과 타이로 배치하고 스트럿과 타이에 의해 힘이 분기되는 곳에 절점을 위치시키면 π 형 RC 라멘교에 대한 스트럿-타이 모델이 구성된다

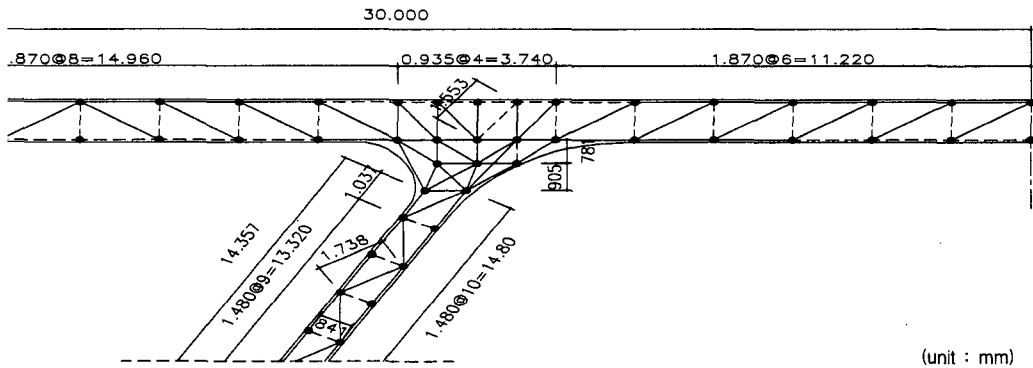


(a) 주압축 응력계적

(b) 주인장 응력계적

그림 2 응력 계적

그림 3은 주응력 계적으로부터 하중의 위치와 배근될 철근의 위치 및 피복두께를 고려하여, 스트럿과 타이를 배치한 모델로서 절점영역의 형상, 강도 및 스트럿과 타이의 적합성을 ACI 318-02⁴⁾에서 제시하는 방법을 사용하여 스트럿-타이 모델을 구성한 것이다.



(unit : mm)

—— 스트럿 - - - - - 타이 • 절점

그림 3 스트럿-타이 모델의 형상

본 연구에서는 π 형 RC 라멘교에 대해 현행설계기준에서^{5),6)} 제시한 설계법을 이용한 철근량과 스트럿-타이 모델을 이용한 철근량을 각각 산정하여 설계 방법에 따른 철근량을 비교하였다. 표 1은 현행 설계기준에 의해 계산된 필요철근량과 스트럿-타이 모델을 통하여 얻은 필요철근량을 비교하고, 실제 힘과 전단에 저항하기 위해 필요한 사용철근량을 나타낸 것이다.

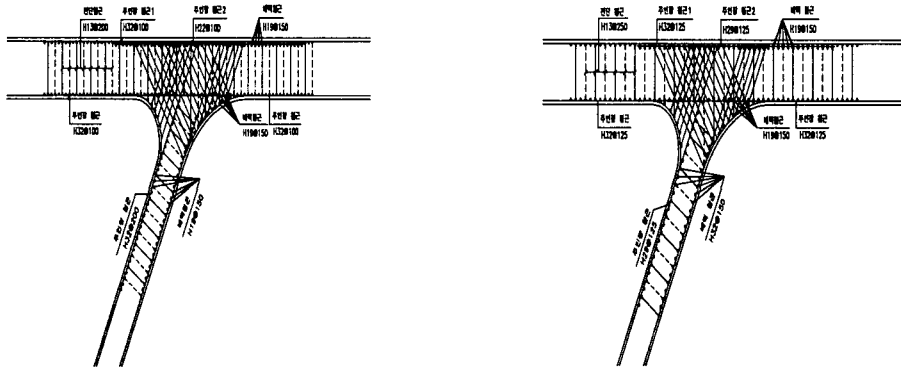
표 1 설계방법에 따른 필요철근량의 비교

Section		현행설계기준 (cm ²)		스트럿-타이 모델 (cm ²)		비(%)
		필요철근량	사용철근량	필요철근량	사용철근량	
슬래브	내측지점부 주인장철근	88.082	H32@125 = 63.538 H29@125 = 51.394	74.421	H32@100 = 79.423 H22@100 = 38.708	15.5%
	외측슬래브 주인장철근	57.444	H32@125 = 63.538	69.400	H32@100 = 79.423	-20.8%
	내측슬래브 주인장철근	44.076	H32@125 = 63.538	48.397	H32@100 = 79.423	-9.8%
	전단철근	2.18	H13 (4ea/m) = 5.068	2.580	H13 (5ea/m) = 6.334	-17.9%
벽체	주인장철근	34.497	H29@125 = 51.392	26.041	H32@200 = 39.711	24.5%

주) 비 = $100 - \frac{\text{스트럿-타이 모델에 의한 필요 철근량}}{\text{현행설계기준에 의한 필요 철근량}} \times 100$

표 1로부터 스트럿-타이 모델에 의해서 산정된 필요철근량은 현행설계기준에 의하여 산정된 필요철근량에 비하여 내측지점부 주인장철근량은 15.5%, 벽체 부분 주인장철근량은 24.5% 감소, 외측슬래브 주인장철근량은 20.8%, 내측슬래브 주인장철근량은 9.8%, 전단철근량은 17.9%, 증가한 것을 알 수 있다. 이와 같이 필요철근량이 차이가 나는 것은 현행설계기준에 의한 설계가 구조물의 실제 거동을 정확히 반영하지 못함으로 인한 결과라 생각된다.

그림 4는 스트럿-타이 모델 및 현행설계기준에 의한 배근상세를 나타낸 것이다.



(a) 스트럿-타이 모델에 의한 배근상세

(b) 현행설계기준에 의한 배근상세

그림 4 π 형 RC 라멘교의 배근상세

4. 결론

본 연구에서는 D-영역을 갖는 대표적인 구조물 π 형 RC 라멘교에 대해 현행설계기준과 스트럿-타이 모델을 이용한 설계법을 각각 적용하여 설계방법에 따른 필요철근량을 산정하였다. 스트럿-타이 모델방법은 콘크리트 부재의 해석 및 설계시 내적 힘의 전달 메커니즘을 반영한 효과적인 방법으로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서의 결과는 스트럿-타이 모델이 현행설계기준 보다 필요철근량이 항상 감소하지는 않았다. 따라서 구조물 해석 및 설계시 스트럿-타이모델로 힘의 전달 및 재분배 메커니즘을 파악한 뒤 현행설계기준과 비교하면 좀 더 합리적이고 경제적인 설계를 할 수 있으리라 여겨진다.

하지만, 스트럿-타이 모델을 이용한 설계법은 복잡한 구조물에서의 스트럿-타이 모델 선정시 지식과 경험뿐만아니라 복잡한 해석과정이 필요하므로, 실제 구조물에 적용시 세밀한 검토가 필요하다.

참고 문헌

1. 윤영목, “스트럿-타이 모델에서 콘크리트 스트럿 유효강도 (I) : 결정방법의 소개” 대한토목학회는 문집, 제25권, 제1A호, pp.49~59, 2005.
2. 윤영목, 김병현, 이원석, “스트럿-타이 모델에 의한 콘크리트 구조물에서의 현치부 영향 평가”, 대한 콘크리트학회논문집, 제15권, 제2호, pp.183~196, 2003.
3. 한국도로공사, “대전-통영간 고속도로(함양~진주간) 건설공사 구조 및 수리계산서(I) (매촌육교 R.C π 형교)”, 1998.
4. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”, American Concrete Institute, 2002.
5. 한국콘크리트학회, “콘크리트 구조설계기준”, 2005.
6. 대한토목학회, “도로교설계기준·해설”, 2003.