

강재매입형 합성기둥의 합성작용에 관한 실험

Experiments on the Composite Action of Steel Encased Composite Column

정인근* 민진** 심창수*** 정영수****

Jung, In Keun Min, Jin, Shim, Chang Su, Chung, Young Soo

ABSTRACT

Steel encased composite columns have been used for buildings and piers of bridges. Since column section for pier is relatively larger than that of building columns, economical steel ratio need to be investigated for the required performance. Composite action between concrete and embedded steel sections can be obtained by bonding and friction. However, the behavior of the column depends on the load introduction mechanism. Compression can be applied to concrete section, steel section and composite section. In this paper, experiments on shear strength of the steel encased composite column were performed to study the effect of confinement by transverse reinforcements, mechanical interlock by holes, and shear connectors. Shear strength obtained from the tests showed considerably higher than the design value. Confinement, mechanical interlock and stud connectors increased the shear strength and these values can be used effectively to obtain composite action of SRC columns.

1. 서론

강재매입형 합성기둥 구조는 주로 건물구조에 많이 채용되어 왔고 최근에 교량의 교각구조에 적용하는 예가 늘어나고 있는 실정이다. 교각은 건물의 기둥에 비해서 상당히 큰 규모의 구조물이기 때문에 강재비를 적절한 수준에서 유지하면서 의도하는 성능을 만족하는 단면을 설계해야 한다. 일반적으로 강재매입형 합성구조는 부착과 마찰에 의해서 합성작용을 확보한다고 가정하고 설계하고 있는데 하중의 전달구조가 그림 1에서 보는 바와 같이 콘크리트 단면, 강재단면, 합성단면으로 각각 다를 경우에 거동의 차이를 가져올 수 있기 때문에 적절한 합성작용을 확보하기 위한 규정이 요구된다. 이러한 하중의 전달이 별도의 물리적인 연결재가 없는 경우에는 크게 네 가지 역학적 거동에 의해 전달된다고 구분될 수 있다(Kennedy, 1984).

(1) 수화반응과정에서 모세관 현상으로부터 유발되는 경계면을 따른 화학적 반응 혹은 흡입력에 의한 부착

(2) 강재면의 불규칙성으로 인한 강재와 콘크리트의 미세 맞물림

(3) 수직력에 의한 콘크리트와 강재사이의 마찰

(4) 전체 변형에 의한 곡률 혹은 결합 효과

이를 다시 두 가지로 구분하면 부착과 미세 맞물림은 미세효과이고 마찰과 결합효과는 좀 더 큰 효과라고 할 수 있다. 부착은 탄성-취성 하중 전달 특성을 갖는데 상대변위가 아주 작은 수준에서만 하중

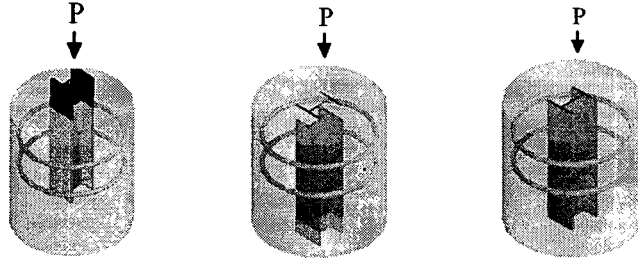
* 정회원 · 중앙대학교 건설환경연구소 연구원 · 공학박사 · 031-670-4661(E-mail:inkeun88@lycos.co.kr)

** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 구조연구실 · 석사과정 · 02-670-4661(E-mail:mutjin78@hotmail.com)

*** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 02-670-4707(E-mail:csshim@cau.ac.kr)

**** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 02-670-3339(E-mail:chung47@cau.ac.kr)

전달에 기여하게 되는데 상대변위가 0.01mm 이하에서 부착파괴가 발생한다(Kennedy, 1984). 미세 물립은 강재 단면의 표면 불규칙성에 의한 것으로 Viridi 와 Dowling (1980)의 연구에 의하면 콘크리트 압축 파괴에 해당하는 국부변형률 3.5 %에서 부착이 깨지게 된다. 물론, 표면의 불규칙성을 높이면 부착강도를 증가시킬 수 있다. 콘크리트와 강재 단면사이의 마찰력은 수직력에 의해 발생하는데 이 수직력은 축력을 받는 부재의 부피 팽창에 대한 구속력으로 인해 생기게 된다. Baltay 등 (1990)에 의하면 마찰 계수는 0.2에서 0.6의 값을 가지고 스웨덴의 Olofsson과 Holmgren (1992)에 의해 수행된 실험 결과 평균 마찰 계수값은 0.6이 제시되었다.



(a) 강재 단면에 하중전달 (b) 콘크리트에 하중 전달 (c) 합성단면에 하중전달
그림 1 합성기둥의 하중전달

강재매입형 합성기둥에서 강재단면과 콘크리트 단면의 합성은 주로 부착과 마찰에 의해서 전달되는데 이러한 합성설계를 위해서 필요한 전단강도의 평가는 현재 유로코드-4에서 표 1과 같이 주어져 있다. 필요한 전단강도의 확보는 경계면에서의 부착과 마찰 혹은 전단 연결재에 의해서 확보될 수 있고 상대변위가 거의 발생하지 않도록 규정하고 있다. 기둥의 하중 방향의 응력을 σ_l 와 횡방향 응력을 σ_h 라고 하면 기둥부재의 횡방향 변형률은 다음과 같다.

$$\epsilon_h = \frac{\sigma_h}{E_h} - \nu_{lh} \frac{\sigma_l}{E_l} \quad (1)$$

여기서 E_l, E_h 는 하중축방향 및 횡방향 탄성계수, ν_{lh} 는 포아송비를 나타낸다. 반지름 방향과 횡방향 응력이 같다고 가정하면, 콘크리트의 축방향 및 횡방향의 변형률은 각각 다음식과 같다.

$$\epsilon_l = \frac{1}{E_c} (\sigma_l - 2\nu \sigma_r), \quad \epsilon_r = \frac{1}{E_c} [(1-\nu)\sigma_r - 2\nu \sigma_l] \quad (2)$$

표 1 부착과 마찰로 인한 전단강도(유로코드-4)

종 류	전단강도
completely concrete encased sections	0.6 MPa
concrete filled circular hollow sections	0.55 MPa
concrete filled rectangular hollow sections	0.4 MPa
flanges partially encased sections	0.2 MPa
webs in partially encased sections	zero

2. 전단설계 (합성기둥)

강재와 콘크리트사이의 합성단면에 대한 전단강도는 부착과 마찰에 의해서 결정되며 강재 단면이 콘크리트에 완전하게 매입되었을 경우 0.6 MPa이 일반적으로 제시되어있다. 실험결과에 의하면 전단강도는 실험체가 파괴되기 전까지 충분한 부착과 마찰의 상호작용을 발생시킨다. 콘크리트와의 부착면인 강재 단면에 전단 스티드를 설치하였을 경우, 스티드의 전단 강도는 다음의 식을 이용하여 평가할 수 있다.

$$P_{Rd} = 0.8 f_{td} (\pi d^2 / 4) / r_v = 0.29 a d^2 \sqrt{(f_{ct} E_{cm})} / r_v \quad (3)$$

3. 전단강도 평가를 위한 실험

합성단면에 대한 전단 강도를 평가하기 위해 직접 부착과피 실험체를 제작하였다. 콘크리트는 24N/mm^2 -12cm-25mm의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 강재와 철근의 강종은 각각 SS400과 SD30을 사용하였다. 각 실험체의 주요특징 및 변수는 표 2 와 같으며, 기준 실험체(SPA-S)는 콘크리트에 전달되는 하중을 구속하기 위하여 띠철근비를 0.53%에서 1.06%까지 조합해서 설계 하였다. 콘크리트 코어를 구속하지 않은 무근실험체(SPA-NS)와, 강재의 웹 단면을 25mm의 직경으로 천공한 실험체(SPA-NS)와 길이 52mm 직경 15mm의 F8T고장력 볼트를 강재의 웹단면에 용접한 전단스터드 실험체(SPA-WC)등을 설계 제작하였다. 실험체는 로드셀이 장착되어 있는 UTM을 사용하여 가력하였으며, 실험체의 정착을 위하여 490N/sec의 속도로 196kN까지 초기 재하를 하였으며, 이후 같은 속도로서 강재와 콘크리트 사이의 슬립(slip)이 최대로 발생할 때 까지 재하 하였다. 강재의 변형률 측정 위치는 그림 2-(c)와 같이 콘크리트 상단면에서 4cm떨어진 곳으로부터 8cm 간격으로 웹의 중심과 띠철근에 변형률 게이지를 부착하여 거동을 측정 하였다. 콘크리트 표면에는 수직과 수평으로 변형률 게이지를 부착하여 합성작용시의 콘크리트의 거동을 측정하였다.

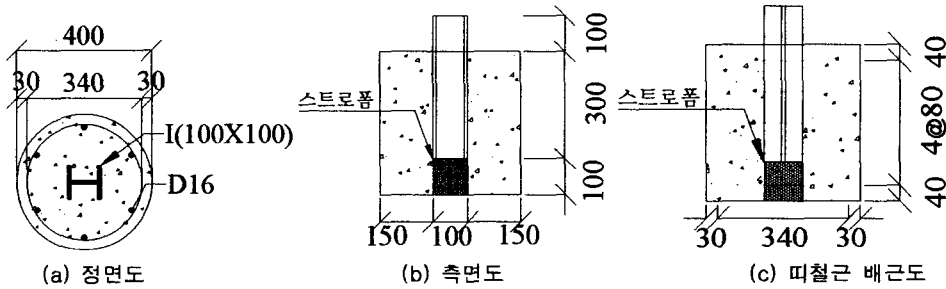


그림 2 기준 실험체(SPA-S1) 단면도

4. 실험결과

표 2는 실험변수와 슬립이 발생한 이후 하중이 감소하기 전의 최대하중을 나타내었으며, 강재의 웹에 스테르드를 설치한 실험체(SPA-WC)는 기준 실험체(SPA-S)에 비하여 30%가량 부착강도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 무근실험체(SPA-NS)는 기준 실험체에 비해서 현저히 부착 강도가 떨어지는 것을 알 수 있었다. 기준 실험체(SPA-S)의 부착과 마찰에 의한 부착강도는 평균 1.57 MPa 이고 현재 설계 규정의 값인 0.6Mpa보다 2.6배의 큰 값을 보여주고 있다. 실험체의 강재 웹브와 띠철근, 콘크리트에서 발생한 변형률을 그림 2에 나타내었다. 실험결과, 콘크리트의 심부를 구속하지 않은 SPA-NS 실험체는 타 실험체에 비하여 작은 부착강도가 발생되었다. 전단 연결재를 사용한 SPA-WC 실험체에서 가장 큰 부착강도를 나타내었으며, 콘크리트의 포아송비가 크게 발생한 것은 콘크리트에 대한 변형 능력이 증가되었음을 알 수 있다.

표 2 실험체 주요특징 및 부착강도 평가(응력)

실험체명	주요 특징				설계부착과피하중 (kN)	부착과피하중 (kN)	부착강도 (MPa)
	강재단면	연결구조	띠철근비(%)	주철근비(%)			
SPA-S1	100×100	구속	1.06	2.69	105.84	279.10	1.58
SPA-S2			0.71			274.19	
SPA-S3			0.53			279.59	
SPA-NS1		무근	0	1.74	105.84	151.07	1.10
SPA-NS2						222.69	
SPA-WP		천공	1.06	2.69	111.71	288.41	1.63
SPA-WC1		Stud	1.06	2.69	233.20	381.61	2.07
SPA-WC2	350.22						

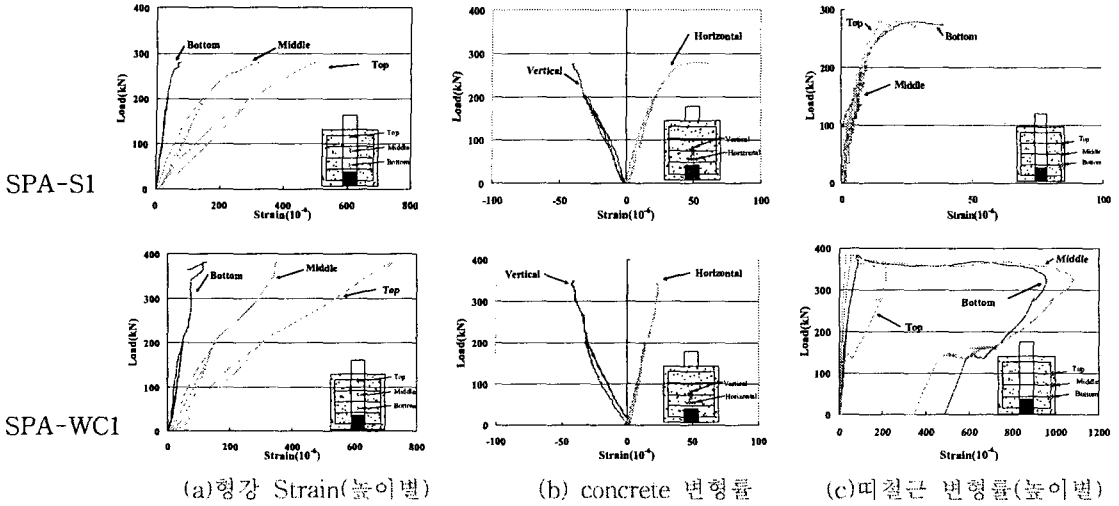


그림 3 부착 실험체의 위치별 변형률 변화

5. 결 론

띠철근비 변화, 콘크리트와 부착된 강재 단면변화, 강재단면 전단스터드 부착등의 실험변수를 적용하여 실험체의 부착강도와 변형률 특성에 대해서 실험을 수행하였다. 강재 매입형 합성기둥의 합성작용을 확보하기 위한 이번 부착강도 실험에서 부착과 마찰, 횡방향 철근에 의한 구속, 형강 복부 천공에 의한 맞물림, 그리고 전단 연결재의 전단강도에 의한 부착강도 증가와 거동 변화를 확인 할 수 있었다. 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 무근의 경우 유로코드에서 제시한 부착강도와 유사한 값을 갖는다.
- (2) 복부천공의 경우 천공의 직경과 복부의 두께를 갖는 콘크리트의 지압강도만큼 부착강도가 증가한다.
- (3) 횡방향 철근을 이용한 콘크리트의 구속은 콘크리트와 강재의 부착강도를 일정량 증가 시킨다.
- (4) 횡방향 철근비에 따른 콘크리트의 구속정도는 콘크리트와 강재의 부착강도에 큰 영향을 미치지 않는다.
- (5) 전단 스테드 실험체는 콘크리트의 변형능력을 증가시키며 이는 부착강도를 증가시킨다.

감사의 글

이 연구는 교량설계핵심기술연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Kennedy S. J. (1984), End Connection Effects on the Strength of Concrete Filled HSS Beam Columns, M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Edmonton, Alberta, Canada.
2. Viridi K. S. and Dowling P.J. (1980), Bond Strength in Concrete Filled Steel Tubes, IABSE Proceedings P-33/80, Zurich, Switzerland, August 1980, pp. 125-139.
3. Baltay P. and Gjelsvik A. (1990), Coefficient of Friction for Steel on Concrete at High Normal Stress, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 2, No. 1, Feb. 1990, pp. 46-49.
4. Olofsson U. and Holmgren M. (1992), Using a Servo Hydraulic Tension-Torsion Machine for Measurement of Friction at Low Sliding Speed, Swedish National Testing and Research Institute, Sweden.