

# 중심 축 하중을 받는 충전각형강관 합성기둥의 부착응력에 관한연구

## Experimental Study on Bond Stress of Concrete Filled Rectangular Steel Tubular Composite Column Subjected to Axial Load

이 형 석\*      박 성 무\*\*  
Lee, Hyung-Seok      Park, Sung-Moo

### Abstract

This paper is presented an experimental studies on bond stress between steel and concrete in concrete filled Rectangular steel tubes. In the actual building frames, vertical dead and live loads on beams are usually transferred to columns by beam-to-column connections. In case when concrete filled steel tubes are used as columns of an actual building frame which has a simple connection, shear forces in the beam ends are not directly transferred to the concrete core but directly to the steel tube. Provided that the bond effect between steel tube and concrete core should not be expected, none of the end shear in the beams would be transferred to the concrete core but only to the steel tube. Therefore, it is important to investigate the bond strength between steel tube and concrete core in the absence of shear connectors.

*keywords : Shear-Connector, Bond Stress, Rectangular Steel Tubular Composite Column*

### 1. 서 론

합성구조에서 Steel과 Concrete의 합성기둥은 1세기 전부터 구조체에 적용되기 시작하였으며, 근래에 와서 단면 형태는 여러가지가 사용되고 있다. 그중에서도 철골철근콘크리트 또는 콘크리트 충전강관 기둥으로 구분되는 합성기둥의 형태가 광범위하게 이용되고 있는 실정이다. 이런 이질재료 Steel과 Concrete의 사용한 합성기둥을 채택하는 합성구조 시스템은 건축구조물의 고도화에 따른 축 하중 저항 구조 부재로 적합하며, 중력 및 지진하중에 대하여 충분한 강도 및 강성을 제공하는데 있어서 경제적인 이점을 가지고 있다. 이와 같은 합성기둥을 채택한 합성구조 시스템이 효과적이기 위해서는 작용하는 하중이 Steel과 Concrete 사이의 접촉면을 따라서 충분히 전달되어야 한다. 그러나 전달되는 하중의

양은 구조체내의 작용 위치와 요소의 형태에 의해 좌우된다. 즉, 합성기둥에서의 Steel과 Concrete 사이의 접촉면 슬립으로 인한 전단 메카니즘의 파괴는 구조체 본래 상태의 강도 및 강성의 상실의 결과를 가져올 수도 있다.

외국의 경우에 있어서, 전단 연결재는 이질재료간의 접촉면 슬립을 억제하기 위해서 합성기둥에 광범위하게 사용되어져 왔다. 그렇지만, 슬립을 억제하기 위한 전단 연결재의 설치비용이 과도한 관계로 경제성이 떨어져 널리 이용되지 못하였다. 이러한 기계적 전달 메카니즘의 중요성의 인지를 필요로 하지 않는 간단한 설계 기준 같은 경우에는 Steel과 Concrete 사이의 접촉면 본질의 부착에 의한 미소의 전단 전달만으로도 충분하다고 간주되어 구조체의 모든 위치에서 필요성이 대두되지 않았다. 결과적으로, 전단 연결재는 특정한 건물에만 적합한 것으로 취급되었으며, Steel과 Concrete는 분리되어 활동하는 것으로 간주하였다. 실제적으로 이런 설계 개념

\* 영남대 대학원 박사과정

\*\* 영남대 건축공학과 교수, 공학박사

은 구조체의 강도 및 강성을 현저하게 과소평가하고, 구조물을 비경제적으로 이루어지게 한다고 볼 수도 있다. 그리고 지진등과 같은 경우에 예측할 수 없는 위험을 가져올 수도 있다. 따라서, 미국에서는 합성구조 시스템의 경제적인 적합한 방안을 모색하기 방안으로, 첫째 : Steel과 Concrete 사이의 본질의 부착을 설명할 수 있는 기계적 전단 메카니즘에 대한 설계지침의 규정, 둘째 : 구조 시스템 내에서의 다양한 전단 전달의 요구사항에 대한 메카니즘 인정등과 같은 사항의 필요성을 인지하였다. 이후 영국과 일본의 BS 및 JSI Code에서도 합성부재에 대한 설계 규정을 제정하였다.

본 연구는 Steel과 Concrete의 이용한 CFT 합성기동에 대한 부착 거동 및 저항을 규명하기 위한 것으로, 첫째 : CFT 합성기동의 부착 거동 및 저항에 대한 규명과, 둘째 : 이질재료 Steel과 Concrete의 전단 전달 메카니즘에 관한 합리적인 설계지침 등에 관한 식견과 필요성의 의해서 기존의 연구자들의 실험결과를 토대로 변수를 정하고, Push-Out 실험을 수행하였다.

## 2. 실 험

### 2.1 시험체 계획

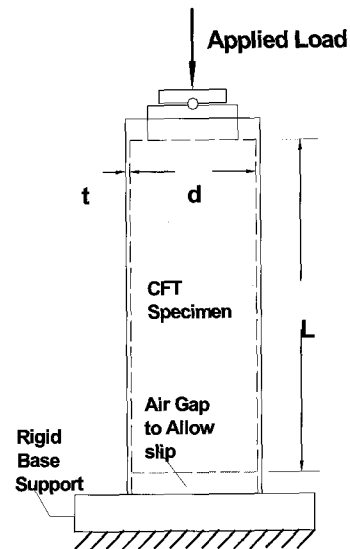
본 연구는 합성기동에서 충전형 단면으로서 각형강관에 콘크리트를 충전하여 충전각형강관 합성기동을 제작하였다. 이질재료인 콘크리트와 강관사이의 건조수축 및 Shear-Key 보강 형태에 따른 부착응력의 변화를 파악하기 위한 것이다. 따라서, 첫째 : 각형강관 단면의 D/t의 비는 17.4~41.7로 하였고, 둘째 : 콘크리트 압축강도는 210, 240, 270 kgf/cm<sup>2</sup>를 사용하였으며, 셋째 : Shear-Key 보강은 강관 내부에 철근을 여러 type의 형태로 설치하였다. 위의 변수 외에 접촉면적을 다르게 한 시험체도 제작하였다. 시험체의 일람표는 <표 1>과 같다.

### 2.2 실험방법

부착응력에 관한 실험방법은 여러형태가 있으나 본 실험에서는 일반적으로 충전형 합성기동의 부착

<표 1> 시험체 일람표

| 시험체명 | D (mm) | t (mm) | shear key | 철근 직경 | L (mm) | fc' (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|------|--------|--------|-----------|-------|--------|----------------------------|
| R1   | 250    | 9      | 無         | -     | 1270   | 210                        |
| R2   |        |        |           |       |        | 240                        |
| R3   |        |        |           |       |        | 270                        |
| R6   | 250    | 9      | 無         | -     | 1520   | 240                        |
| R7   |        |        |           |       | 1010   |                            |
| R8   |        |        |           |       | 760    |                            |
| R9   |        |        |           |       | 640    |                            |
| R10  | 200    | 11.5   | 無         | -     | 1270   | 240                        |
| R11  | 200    | 5.7    |           |       |        |                            |
| R12  | 250    | 6      |           |       |        |                            |
| R13  | 250    | 9      | -형        | D10   | 1270   | 240                        |
| R14  |        |        | +형(상부)    |       |        |                            |
| R15  |        |        | +형(하부)    |       |        |                            |
| R16  |        |        | +형(상하)    |       |        |                            |
| R17  |        |        | -형(연결)    |       |        |                            |
| R18  |        |        | +형(연결)    |       |        |                            |
| R19  | 250    | 9      | +형(상부)    | D6    | 1270   | 240                        |
| R20  |        |        |           | D13   |        |                            |
| R21  | 250    | 9      | +형(상부)    | D10   | 1270   | 210                        |
| R22  |        |        |           |       |        | 270                        |



<그림 1> 재하 형태

응력에 사용되는 Push-Out 실험을 통하여 수행하고자 한다. 실험 형태는 <그림 1>과 같이 만능재료 시험기에서 수행하였다. 먼저, 시험체를 만능시험기에 설치하고, 중심 축 하중만이 작용하도록 최소한의 편차를 없앤다. 하중은 상부면의 콘크리트에만 하중

을 재하 하였으며, 하부면에서는 각형강관 단면으로 하중을 지지하도록 하였다.

하중 증가에 따른 이질재료 Steel과 Concrete간의 하중 & 변형률 관계를 정의하기 위해서, 먼저 콘크리트를 타설하기 전에 시험체의 길이방향에 게이지를 부착하여 변형률을 측정하였다. 실험이 진행되는 동안에는 Steel과 Concrete사이에서 접선방향의 변형과 국부적 반지름 방향의 팽창으로 인한 부착응력의 존재를 살펴보기 위해서 가로방향으로 부착한 게이지로 변형률을 측정하였다. 이질재료간의 슬립은 시험체 양쪽 면에 LVDT를 2개 설치하여 하중증가에 따른 슬립을 TDS-601 Data Logger를 통하여 습득하였다.

### 2.3 재료의 특성

본 시험체 제작한 사용된 재료의 역학적 성질은 표준 시험방법에 의거하여 실험을 수행하여 구한 평균값으로 다음과 같다.

〈표 2〉 콘크리트의 재료적 특성

| 설계기준강도(kgf/cm <sup>2</sup> ) | fc'(kgf/cm <sup>2</sup> ) | Ec(kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 210                          | 221                       | 2.2×10 <sup>5</sup>      |
| 240                          | 248                       | 2.4×10 <sup>5</sup>      |
| 270                          | 285                       | 2.5×10 <sup>5</sup>      |

〈표 3〉 강재의 재료적인 특성

| $\sigma_y$ (tf/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_u$ (tf/cm <sup>2</sup> ) | $\sigma_y / \sigma_u$ | $\epsilon_y(\times 10^{-6})$ |
|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 4.14                             | 3.89                             | 0.94                  | 1,923                        |

〈표 4〉 철근의 재료적인 특성

| 종류  | 항복강도(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 탄성계수(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 인장강도(kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| D6  | 3914.14                    | 2.2×10 <sup>5</sup>        | 5488.28                    |
| D10 | 3918.15                    | 2.4×10 <sup>5</sup>        | 5493.90                    |
| D13 | 3907.00                    | 2.5×10 <sup>5</sup>        | 5878.00                    |

## 3. 실험결과

부착은 일반적으로 크게 3가지로 구분되는데, 화학적 부착(Chemical Bond), 기계적 부착(Mechani-

cal Bond) 및 마찰(Friction)로 구분된다. 첫째, 화학적 부착은 초기 하중의 단계에서 나타나며, 페이스 트에 의한 것이 대부분이다. 둘째, 기계적 부착은 Steel 표면의 상태나 형사에 의한 것과 전단 연결재에 의한 것으로 구분할 수 있다. 셋째, 마찰은 콘크리트의 Moving Down 현상으로 발생하는 것으로 간주된다.

본 실험결과에 따른 전체적인 거동형태를 보면, 일반적인 부착거동의 형태를 이루고 있는 것으로 나타났다. 화학적 부착은 하중의 증가율이 변화거나 일시적인 감소현상을 나타내는 점으로 하중제하 초기에 일어났다. 기계적 부착은 전단 연결재의 위치 및 형태에 따라 변화하는 것으로 확인할 수 있었으나, 변수에 따른 효과는 그렇게 나타나지는 않는 것으로 보인다. 마찰은 기계적 부착이후에 일어났으며 최대하중이후에 하중감소가 일어나는 부분이나 슬립이 급격하게 변하는 구간으로 파악되었다. 각 시

〈표 5〉 Push-Out 실험결과

| 시험체명 | Pu(tonf) | $\tau_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\delta u$ (mm) |
|------|----------|---------------------------------|-----------------|
| R1   | 21.47    | 1.822                           | 1.19            |
| R2   | 19.5     | 1.655                           | 3.57            |
| R3   | 16.38    | 1.39                            | 7.78            |
| R6   | 19.81    | 1.404                           | 9.9             |
| R7   | 17.78    | 1.897                           | 2.97            |
| R8   | 12.74    | 1.806                           | 10.75           |
| R9   | 8.59     | 1.446                           | 6.44            |
| R10  | 30.97    | 3.444                           | 3.91            |
| R11  | 16.59    | 1.732                           | 1.47            |
| R12  | 13.5     | 1.117                           | 2.14            |
| R13  | 31.08    | 2.637                           | 10.52           |
| R14  | 42.63    | 3.617                           | 8.03            |
| R15  | 31.05    | 1.513                           | 10.13           |
| R16  | 52.97    | 4.494                           | 6.77            |
| R17  | 40.34    | 3.423                           | 4.91            |
| R18  | 51.74    | 4.39                            | 3.39            |
| R19  | 26.58    | 2.255                           | 6.13            |
| R20  | 56.41    | 4.786                           | 7.4             |
| R21  | 40.9     | 3.47                            | 6.92            |
| R22  | 33.61    | 2.852                           | 4.31            |

Pu : 최대 하중

$\tau_u$  : 최대 평균부착응력

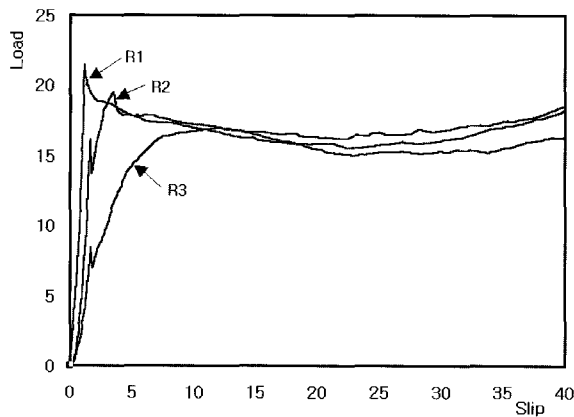
$\delta u$  : 최대 하중시의 슬립

험체의 최대하중과 그때의 슬립 및 최대 평균부착응력을 <표 5>에 나타내었다.

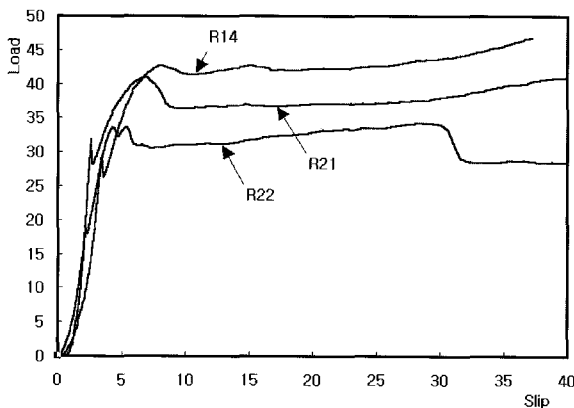
### 4. 분석 및 고찰

#### 4.1 콘크리트 압축강도에 따른 영향

콘크리트 강도가 증가함에 따라 이질재료간의 부착응력은 감소하는 현상이 나타나는데, 하중이 증가하면 콘크리트의 변형률(포아송비)에 의한 것으로



<그림 2> 콘크리트 압축강도 변화에 의한 하중-슬립 곡선



<그림 3> Shear-Key가 있는 경우의 콘크리트 강도 변화에 의한 하중-슬립 곡선

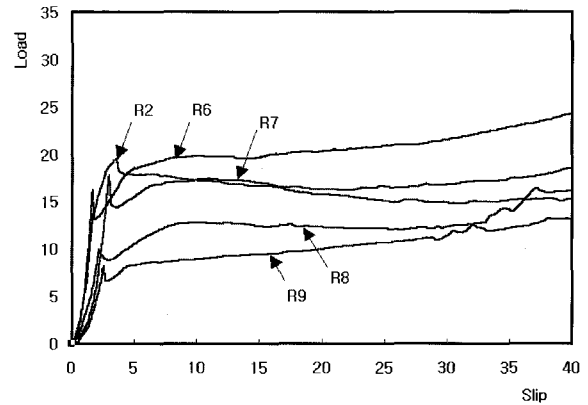
<표 6> 콘크리트 압축강도의 영향

| 시험체명 | 압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> ) | Pu(tonf) | Pu/Pup |
|------|----------------------------|----------|--------|
| R1   | 221                        | 21.47    | 1.10   |
| R2   | 248                        | 19.5     | 1      |
| R3   | 285                        | 16.38    | 0.84   |

생각되며, 기계적 부착 및 마찰구간에서도 콘크리트의 강도의 영향이 없는 것으로 나타났다. 시험체에 전단 연결재를 설치한 경우는 부착응력이 평균 약 1.22배의 증가되는 양상을 나타내었다. <그림 2> 및 <그림 3>의 하중-슬립곡선에서 보는 바와 같이, 최대하중 이후 마찰에 의한 저항구간에서는 일정한 시간 후 콘크리트의 강도변화의 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

#### 4.2 콘크리트와 강관의 부착면적에 따른 영향

콘크리트와 강관의 부착면적과의 관계에서 부착면적이 증가함에 따라 부착강도는 증가하는 것으로 나타났으나, 부착응력 값은 평균 1.4~1.9 kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 일정한 값을 보여준다. 즉, 부착응력은 강관과 콘크리트의 부착면적에 따른 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서, 콘크리트와 강관의 부착면적이 증가함에 따라 부착강도는 증가하는 것으로 나타나지만 부착응력에 있어서는 별다른 효과가 없는 것으로 생각된다. <그림 4>에 하중-슬립 곡선을 보여주고 있다.



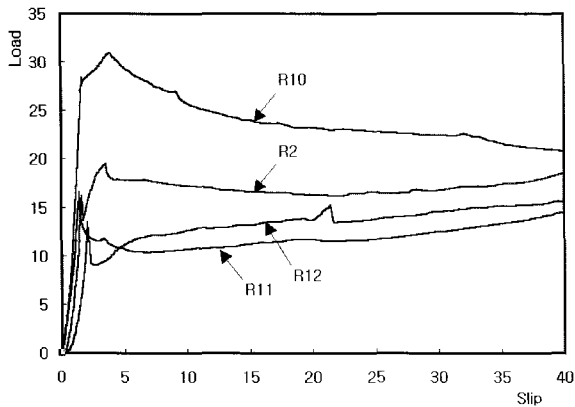
<그림 4> 부착면적 변화에 의한 하중-슬립 곡선

<표 7> 부착면적의 영향

| 시험체명 | l(mm) | Pu(ton) | Pu/Pup |
|------|-------|---------|--------|
| R6   | 1520  | 19.81   | 1.02   |
| R2   | 1270  | 19.5    | 1      |
| R8   | 1010  | 17.78   | 0.91   |
| R7   | 760   | 12.74   | 0.65   |
| R9   | 460   | 8.59    | 0.44   |

### 4.3 강관의 지름과 두께에 따른 영향(D/t 비)

Steel의 D/t 비가 작을수록 콘크리트와 강관의 부착강도는 증가하는 것으로 나타났다. 폭(D)가 감소하고 두께(t)가 거의 일정한 경우는 초기 거동에는 효과적인 것으로 보이나, 기계적 부착후의 마찰구간에서는 감소하는 것으로 보여주고 있다. 즉, 강관과 콘크리트의 이질재료간의 부착강도를 증가시키기 위해서는 강관의 폭보다는 두께가 효율적이거나, 효율적으로 사용하기 위해서는 폭과 두께를 같이 변화를 주는 것이 더욱 효과적으로 사용할 수 있다고 생각된다. <그림 5>에 하중-슬립 곡선을 보여주고 있다.



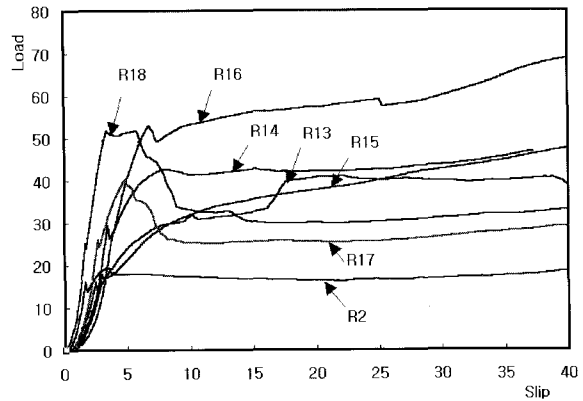
<그림 5> D/t 비 변화에 의한 하중-슬립 곡선

<표 8> D/t 비의 영향

| 시험체명 | D/t 비 | Pu(ton) | Pu/Pu |
|------|-------|---------|-------|
| R10  | 17.39 | 30.97   | 1.59  |
| R2   | 27.78 | 19.5    | 1     |
| R11  | 35.09 | 16.59   | 0.85  |
| R12  | 41.67 | 13.5    | 0.69  |

### 4.4 Shear-key에 따른 영향

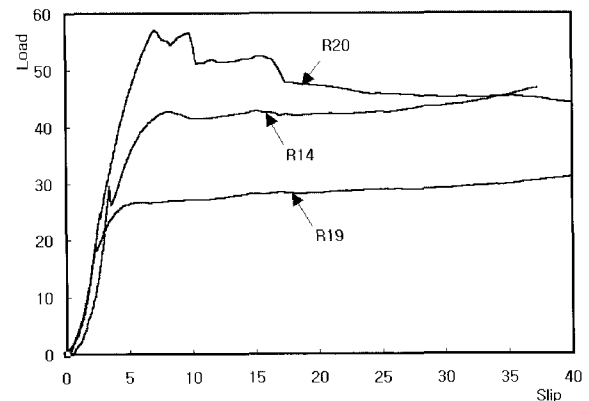
Shear-key 개수가 많을수록 재하하중의 증가율이 항상 증가하지 않는 것으로 나타났으며, 단면적이 증가할수록 부착강도는 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 부착응력에는 별다른 영향을 가지지 못하였다. Shear-Key의 설치 위치는 시험체의 하부보다 상부에 설치할 때 부착강도가 커짐을 알 수 있었다. Shear-Key를 설치하는 경우에 있어서 접합상태 및 방법에 대하여 고려할 필요가 있는 것으로 생각된다.



<그림 6> Shear-Key 형태의 의한 하중-슬립 곡선

<표 9> Shear-Key Type의 영향

| 시험체명 | Pus(tonf) | Pus/Pup |
|------|-----------|---------|
| R2   | 27.78     | 0.65    |
| R13  | 31.08     | 0.73    |
| R14  | 42.63     | 1       |
| R15  | 31.05     | 0.73    |
| R16  | 52.97     | 1.24    |
| R17  | 40.34     | 0.95    |
| R18  | 51.74     | 1.21    |



<그림 7> Shear-Key 단면적에 의한 하중-슬립 곡선

<표 10> Shear-Key 단면적의 영향

| 시험체명 | 단면적  | Pu(tonf) | Pus/Pup |
|------|------|----------|---------|
| R19  | 0.28 | 26.58    | 0.62    |
| R14  | 0.71 | 42.63    | 1       |
| R20  | 1.27 | 56.41    | 1.32    |

## 5. 결 론

충전각형강관 합성기둥의 부착응력을 파악하기

위한 Push-Out 실험을 수행한 결과를 다음과 같다.

- (1) 콘크리트 압축강도에 따른 부착강도는 콘크리트 압축강도가 증가할수록 다소 감소하는 것으로 나타났으며, 마찰에 의한 저항구간에서는 콘크리트 강도의 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.
- (2) 콘크리트와 강관의 부착면적에 따른 부착강도는 면적의 증가에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 부착응력은 평균 1.4~1.9kgf/cm<sup>2</sup>의 값을 나타냈다. 그러나 부착응력에 있어서는 강관과 콘크리트의 부착면적에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.
- (3) 강관의 D/t 비에 따른 부착응력은 D/t 비가 작을수록 증가하는 결과를 나타내고 있다. 강관과 콘크리트의 부착강도를 증가시키기 위해서는 강관의 폭을 감소시키는 것보다 두께를 증가시키는 것이 더 효율적이라고 판단된다.
- (4) Shear-key 개수가 많을수록 재하하중의 증가율이 항상 증가하지 않는 것으로 나타났으며, 단면적이 증가할수록 부착강도는 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 부착응력에는 별다른 영향을 가지지 못하였다. Shear-Key의 설치 위치는 시험체의 하부보다 상부에 설치할 때 부착강도가 커짐을 알 수 있었다.
- (5) 실험으로부터 부착응력 값들은 BS 5400, BS 5950, BS 8110 등에서 제시하고 있는 Steel-Concrete 부착응력 0.4N/mm<sup>2</sup>(4.08 kgf/cm<sup>2</sup>)과 AIJ에서 제시하는 1.5kgf/cm<sup>2</sup>과는 다소 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다.

이후 실험방법, 단면형상 및 합성형태에 관한 추후 실험이 진행 중이며, 향후 합성기둥의 부착응력에 대한 전반적인 고려가 필요할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. BS 5400 Steel, concrete and composite and bridges: Part 5: Code of practice for design of composite bridges, London, British Standards Institution, 1979.
2. BS 5950 Structural use of steelwork in building: Part 1: Code of practice for design in simple and continuous construction: hot rolled sections, London, British Standards Institution, 1985.
3. BS 8110 Structural use of concrete: Part 1: Code of practice for design construction, London, British Standards Institution, 1985.
4. H. Shakir - Khalil, "Resistance of concrete-filled steel tubes to push-out forces", The Structural Engineer, Vol.71, No.13, 1993.
5. H. Shakir-Khalil, "Push-out strength of concrete filled steel hollow sections", The Structural Engineer, Vol.71, No.13, 1993.
6. Charles W. Roeder, "Composite action in concrete filled tubes", Journal of Structural Engineering, 1999.
7. Y. Morishita, M. Tomii, K. Yoshimura, "Experimental studies on bond strength in concrete circular steel tubular columns subjected to axial loads" Trans. Japan Concrete Inst., Tokyo, 1, pp.351-358, 1979(a).
8. M. Tomii, "Bond check for concrete-filled steel tubular columns", Composite and mixed construction. ASCE, Reston, Va., pp.195-214, 1984.
9. Cameron B, "Bond behavior in concrete filled tube composite columns" Ms thesis, University of Washington, Seattle. 1997.