

CFT 기둥의 장기거동 특성에 관한 연구

The Long-term Behavior of CFT-Column

권 승 희*
Kwon, Seung-Hee

김 진 근**
Kim, Jin-Keun

ABSTRACT

This paper represents the results of experiments designed to investigate the time-dependent response of concrete and steel tube in circular concrete-filled steel tubes, as are deployed extensively in high-rise building construction.

The experiments were performed for creep of concrete and CFT column specimens with three loading cases. The creep coefficient and specific creep(unit creep) obtained from the test results were used for estimating and comparing the time-dependent response of each case. From these analyses, it is shown that CFT-column has many merits for long-term behavior.

1. 서론

철근콘크리트의 압축부재는 띠철근 압축부재, 나선철근 압축부재 및 합성 압축부재로 분류할 수 있다. 합성 압축부재는 구조용 강재나 강관을 축방향으로 보강한 경우로 일반적으로 합성기둥이라고도 한다. 이러한 합성기둥의 하나로 최근에 고층건물에 강관 속을 콘크리트로 채운 CFT(Concrete-Filled Tube) 기둥의 사용이 증가되고 있다. CFT 기둥의 특징은 강관의 구속효과에 의하여 충전콘크리트의 압축내력이 증가되고 연성이 향상되며, 충전콘크리트가 강관의 국부좌굴을 방지함으로써 강관재료의 효율성이 증대된다. 또한 충전콘크리트에는 건조수축이 발생하지 않기 때문에 건조에 의한 크리프 변형의 증가효과(Pickett effect)가 없고 비교적 콘크리트 재료의 장기거동 예측이 용이하다.

그리고 잘 알려진 바와 같이 고층건물에서 기둥들의 상호 상이한 축변형은 사용성에 문제를 유발하거나 구조물에 과다한 응력을 유발시켜 심각한 손상을 줄 수 있다. 그러나 그 동안 크리프와 건조수축에 대한 많은 연구업적에도 불구하고 이러한 문제가 만족스럽게 해결되지 못하고 있는 실정으므로 이에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 CFT 기둥과 충전 콘크리트에 중심 축하중을 재하하여 장기거동 실험을 실시하고, 결과에 대한 비교 분석을 통해 거동 특성을 파악해 보고자 한다.

2. 실험 조건 및 방법

중심축하중을 받는 CFT 기둥의 장기거동 특성에 대한 실험을 수행하였으며, 실험변수는 다음과 같다.

- ① CASE I : 콘크리트 공시체에 대한 크리프 실험
- ② CASE II : CFT 기둥에서 강관과 콘크리트를 동시에 가압한 경우
- ③ CASE III : CFT 기둥에서 콘크리트에만 가압한 경우

1) *정회원, 한국과학기술원 토목공학과 석사과정
2) **정회원, 한국과학기술원 토목공학과 교수

실험에 사용된 원형강관의 치수는 외경이 140mm이고 두께가 2.9mm이며 높이는 560mm이다. 강관에 사용된 강재의 항복강도와 인장강도는 각각 2200 kgf/cm^2 과 3000 kgf/cm^2 이다. 강관을 제작할 때 발생할 수도 있을 잔류응력을 없애기 위해 열처리를 하여 사용하였다. 표 1은 콘크리트의 배합표이며, 굵은 골재의 최대치수는 19mm이다. 그리고 28일 콘크리트의 평균 압축강도는 583 kgf/cm^2 이며 탄성계수는 385000 kgf/cm^2 이었다.

Table 1 Mix proportion of concrete

| water-cement ratio(%) | fine aggregate ratio (%) | unit weight(kgf/cm ³) | | | | |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------|----------------|------------------|-------------|
| | | water | cement | fine aggregate | coarse aggregate | plasticizer |
| 30 | 42 | 160 | 533 | 726 | 1003 | 5.33 |

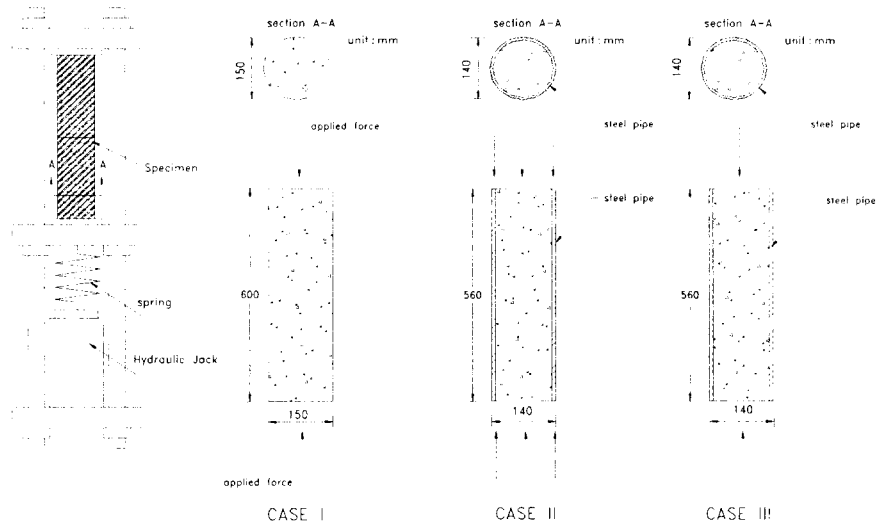


Fig. 1 Creep test equipment and specimens

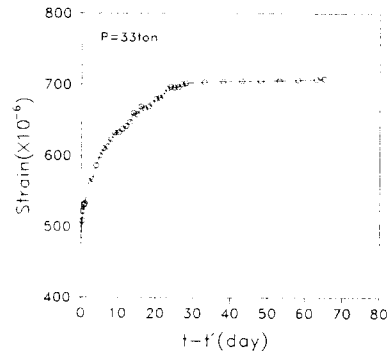
각 변수에 대하여 2개의 시험체를 제작하였으며, 시험체의 중심부에는 종방향으로 매립게이지를 묻어 콘크리트의 변형률을 측정하였다. CFT 기둥은 강관에 의해 콘크리트가 대기와 차단되기 때문에 CASE I은 콘크리트 시험체의 표면을 플라스틱 필름으로 싸서 실험하였다. CASE II의 경우에는 단부의 강관과 콘크리트 부분을 절단기를 사용하여 2mm 정도 절단하여 두 재료 사이의 단차를 제거하였으며, CASE III의 경우에는 콘크리트를 5mm 높게 타설하여 콘크리트에만 가압할 수 있게 하였다. 콘크리트에 묻어 두었던 매립게이지의 전선을 보호하기 위하여 중간에 구멍이 있는 원형의 판을 제작하여 시험체의 단부와 가압판 사이에 넣어 실험하였다. 타설후 습윤양생을 하였으며, 재령 28일 시점에서 사용하중을 감안하여 같은 변형률을 갖도록 하중을 재하하였으며, 하중 재하 장비로는 60ton용량의 재키를 사용하였다. Fig. 1은 크리프 시험기와 시험체의 모습이다.

3. 실험결과 및 분석

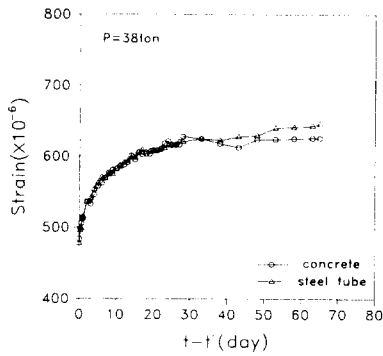
아래의 Fig. 2는 각각의 실험 변수들에 대해 장기지속(가압후 65일) 하중시 콘크리트와 강관의 변형률을 나타낸 것이다. 그림에 표시된 값들은 각각의 변수에 대해 2개의 시험체에서 측정된 값의 평균이며 초기의 콘크리트 변형률은 모든 시험체에 대해 $480 \sim 490 \mu\epsilon$ 로 일치시켰다.

Fig. 2(a)는 CASE I에 대한 시간에 따른 변형률의 증가를 보여주며, 재하된 하중의 크기는 33ton이다.

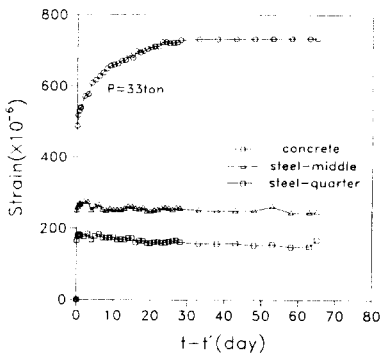
그리고 Fig. 2(b)는 CASE II에 대한 실험결과로서 재하된 하중은 38ton이다. 각 그림에서 \circ 과 \triangle 은 각각 시험체 중심부에서 콘크리트와 강관의 변형률이다. Fig 2(b)를 보면 시간에 따라 강관과 콘크리트의 변형률의 변화가 거의 동일한 것으로 나타났다. 또한 Fig. 2(a), (b)에서 보듯이 초기의 변형률은 동일하나 CASE II의 경우 강관의 영향으로 콘크리트 크리프에 의한 변형률의 증가가 CASE I에 비해 현저히 작은 것을 알 수 있다.



(a) CASE I

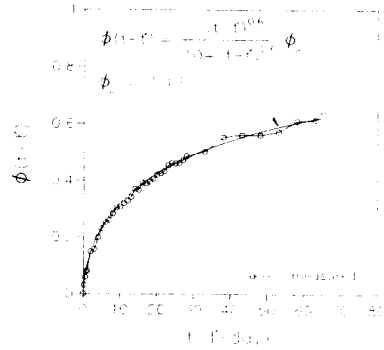


(b) CASE II

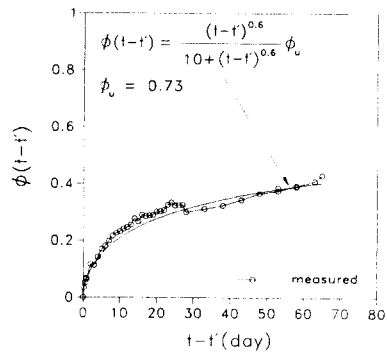


(c) CASE III

Fig.2 Strain under sustained loading



(a) CASE I



(b) CASE II

Fig. 3 Creep coefficient

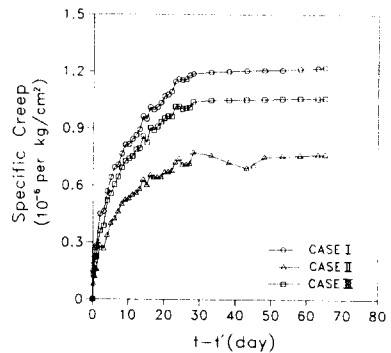


Fig. 4 Specific creep

Fig. 2(c)는 CASE III에 대한 결과이며 재하된 하중은 33ton이다. 이 경우에는 강관에 의해 콘크리트의 횡방향 팽창이 억제되어 콘크리트는 삼축압 상태에 놓이게 되고 강관은 2축압 상태에 놓이게 된다. ○, △, □는 각각 중심부에서 콘크리트의 변형률, 중심부에서 강관의 변형률 그리고 양 끝단으로부터 강관 길이의 1/4 위치에서의 강관의 변형률이다. 이 그림에서 보듯이 초기 하중 재하시 강관과 콘크리트 사이에 bond-slip이 발생하며, 강관의 변형률 분포도 길이 방향으로 비선형적으로 나타났다. 또 콘크리트의 크리프에도 강관의 변형률은 거의 일정하게 유지되는 것으로 보아 크리프가 조금 일어나는 것과 더불어 추가적인 slip이 발생하는 것으로 보인다. 콘크리트 변형률의 증가가 거의 없는 구간에서도 강관의 변형률은 조금씩 감소하는 것으로 나타났으며 이 부분에 대한 해석적인 연구는 현재 수행중에 있다.

Fig. 3(a), (b)는 실험결과와 ACI 모델식을 사용하여 회귀분석을 통해 CASE I 과 CASE II의 극한 크리프계수를 구한 것이다. CASE III은 콘크리트가 삼축압 상태에 놓이므로 탄성계수가 다른 변수들과는 달라 극한크리프계수로 비교하는 데 어려움이 있다. CASE I의 경우 극한크리프계수는 1.13이고 CASE II의 경우는 0.73으로 약 35%정도 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 각각의 변수에 대한 비크리프의 크기를 비교한 것이다. 비크리프의 크기는 CASE I, CASE III, CASE II 순으로 나타났다. CASE III의 경우 콘크리트가 삼축압 상태에 놓이므로 탄성계수가 현저히 증가하고, 강관과의 복합거동에 의해 비크리프가 CASE I에 비해 작고, CASE II의 경우 강관이 직접 하중을 부담하므로 비크리프의 크기가 현저히 감소하는 것으로 나타났다.

4. 결론

- (1) 강관은 충전콘크리트의 크리프 변형을 억제하는 역할을 한다. CASE I의 극한크리프계수는 1.13이었고 CASE II의 경우는 35%정도 감소한 0.73이었다. CASE III의 경우는 삼축압 상태에 놓이므로 콘크리트의 탄성계수가 증가하게 되어 극한 크리프 계수로 비교하기에는 어려움이 있었다.
- (2) CFT 기둥에서 콘크리트만 가압한 경우, 콘크리트와 강관사이에 slip이 발생하여 콘크리트와 강관의 수직 변형률은 많은 차이를 보였으며, 시간이 경과함에 따라 크리프의 영향으로 강관의 변형률이 조금씩 감소하였다.
- (3) 세가지 변수에 대해 비 크리프를 비교해 보면, CASE III가 CASE II보다 큰 값을 나타낸다. CASE III에서의 삼축압에 의한 콘크리트 탄성계수의 증가보다 CASE II의 강관에 의한 크리프 감소 효과가 더 크다는 것을 알 수 있었다.
- (4) CFT 기둥은 콘크리트와 강관의 합성 부재로 사용상에 국부 좌굴이나 콘크리트의 취성적 파괴 등이 문제가 되지 않는다. 그러므로 CFT 기둥은 일반적으로 철근콘크리트 기둥에서 사용하는 주철근비에 비해 매우 큰 주철근비를 사용한다. 따라서 같은 하중을 받도록 설계된 경우 CFT 기둥이 철근콘크리트 기둥에 비해 현저히 작은 크리프 변형을 나타내게 된다. 또 강관에 의해 콘크리트가 대기와 차단되므로 수분손실이 거의 없어 Pickett effect나 건조수축 등이 문제되지 않는다. 따라서 CFT 기둥은 장기거동의 측면에서 상당한 장점이 있다고 볼 수 있다.

참고문헌

1. ACI committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures," ACI 209 R-92.
2. Neville, A. M., Dilger, W. H., and Brooks, J. J., "Creep of Plain and Structural Concrete." Construction Press, 1983, London.
3. Manuel, A. Z., and Bazant, Z. P., "Creep Deflections in Slab Buildings and Forces in Shores during Construction," ACI Journal, Vol. 83, No. 5, 1986, pp.719-726.
4. Taylor, P. J., and Heiman J. L., "Long-Term Deflection of Reinforced Concrete Flat Slabs and Plates," ACI Journal, Vol. 74, No. 52, 1977, pp. 556-561.
5. Fintel, M., Ghosh, S. K., and Iyenger, H., "Column Shortening in Tall Structures - Prediction and Compensation," PCA, 1987.