

콘크리트 단면의 구멍손실에 따른 압축력 감소에 관한 실험적 연구

손기상

서울산업대학교 안전공학과 교수

1. 서론

구조물 진단 등 기술적으로 체크되어 얻어진 결론의 보수보강대책이 새로운 보강용 제품을 사용해야만 하는 것으로 인식되어 가고 있다고 볼 수 있다. 기존의 실시결과가 그렇게 결론으로 제시하고 있기 때문으로 사료된다.

여기에는 해당구조물의 내구년한 에 따라 구조보강방식이 달라져야 함에도, 즉 보다 경제성을 고려한 보강이 되어야 함에도, 즉 보다 경제성을 고려한 보강이 되어야 함에도 적절히 고려되었는가 라는 질문에는 의문을 갖게 된다.

즉 내력손실정도에 따라 지속년수 가 오래될 필요가 없는 기둥에 대해서는 비록 단면 손실이 있더라도 보강치 않거나 가볍게 비용 최소화로 가능토록 하는 방법을 제시 하고자 하는 것이다.

압축가도가 단면손실 등으로 인해 설계기준강도 보다 감소될 경우 어느 정도 내구년 한을 설정하느냐는 단정적으로 제시하기는 어려우나 주변 조건이 충족되었을 때 비록 강도감소가 있을지라도 보강치 않을 수도 있을 것으로 본다.

이때 강도감소의 정도에 따라 보강의 정도여부를 판단할 수 있는 도구로써 구멍손실, 압축강도 손실의 상관관계가 필수적으로 제시되어야 한다.

2. 본론

2.1 실험계획

순수 압축력만 받는 기둥에서 철근은 배제할 수 있는 것으로 전제하고 원형기둥 $\phi 60$ cm를 직경 10cm로 축소 된 것으로 설정했고 높이는 모듈드의 일반 제작틀을 이용하는 것으로 하였다.

단면손실과 압축강도 손실의 상관관계 규명이 본 연구의 주된 목적으로 이 경우 인장강도나 휨 보강을 위해 존재하는 철근 유무와 큰 관계가 없는 것으로 보았다.

실험체는 원래 기둥형으로 철근콘크리트제가 되어야 하나 적은 비용으로 진행가능하고 구멍단계 손실에 따른 압축강도 손실 영향 산정을 본 연구의 주목적으로 한 것과 일관성을 갖도록 계획하였다.

원형콘크리트 실린더 몰드(크기 $\phi 10\text{cm} \times$ 높이 30cm)를 제작하기 위하여 PVC파이프를 구멍직경별로 구하여 구멍길이(=손실크기) 변수별로 절단하였다.

원형콘크리트 실린더 몰드에 변수별 단면 손실을 내기 위하여 이들 절단된 직경별, 길이별 PVC파이프의 위치별 고정을 위해 $\phi 3\text{mm}$ 아연도금 철사에 이들을 3개씩 꿰어서 수직으로 고정하고(절단파이프들은 수평) 몰드체에 콘크리트를 적절히 붓고 다짐하는 것으로 하였다.

기둥을 완전히 뚫고 반대편으로 관통하는 경우(여기서 구멍길이 10cm), 중심선까지 구멍을 뚫는 경우(여기서 5cm), 기둥폭의 1/3까지 구멍깊이가 되는 경우(여기서 3cm)로 크게 3분류하였다. 대체로 완공후 추가시설 설치로 인한 단면의 구멍에 의한 손실이 이들 3가지 주의 하나로 볼 수 있기 때문이다.

콘크리트 배합시 오차를 줄이기 위하여 국내 굴지의 K레미콘 제작공장에서 직접 받아 몰드를 제작하고 통상 사용되고 있는 공기량 5.3%, 240kg/cm³ 압축강도를 기준으로 하였다. 양생은 레미콘공장이 설치되어 있는 자동온도 조절장치 부착시설에서 17 ° $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 조건으로 양생시켰다.

2.2 실험방법

콘크리트 실린더 몰드를 변수별로 2개씩 체크하고 기준강도의 경우 3개의 평균값을 구하는 것으로 하였다.

1차 26일 가도와 2차 118일 강도 모두 서울산업대학교 토목공학과에서 실시하였다. 파괴시 까지 압축하고 그 변형값을 그래프로 그리는 U.T.M을 이용하여 실행하였다. 이때 전개된 변형에 따른 균열양상을 조사하였다. (사진1-4)

1차 재령 26일, 2차 재령 118일 값을 각각 비교토록 하였다.(표1)

재령 90일 경우는 시제구조물 조사 및 보강의 경우와 조건을 일치시키기 위해 별도의 양생조치를 취하지 않았다. 즉 재령 28일까지만 양생하였다.

압축력을 가하는 속도는 1차실험 2.5kgf/cm²/sec로 하였으며, 압축강도 실험규격 KS F 2403에 따랐다. 스텝은 시작시 15cm, 종료시 12cm인 콘크리트 상태를 이용하였다.

실린더 몰드를 압축만 하므로 특별히 실패할 요인들이 없음을 확인하였기에, 변수당 2개씩으로 하였다.

압축강도 실험시 기계의 가압판과 몰드 상면과의 오차를 줄이기 위해 양생 3일만

에 상면을 별도의 마감물탈로 ± 0 로 수평을 조정하여 편심유발 요인을 줄이기 위한 방법들을 적용하였다.

3. 실험결과

앞서의 실험결과 그래프와 표1에서의 결과를 비교하면 우선 표1에서의 압축강도 2차에 걸친 결과 1차 26일 강도로 하였다.

구멍직경 3cm로 3개 모두 실험체 직경 10cm를 관통하는 경우 단면손실이 가장 크다. 26일 강도에서 평균 $124.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 단면손실이 없는 실험체의 평균값 $266.95\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 46.25%로 나타났다. 또 가장 단면손실이 적은 B2D1L3와 U2D1L3에서는 각각 $257.35\text{kg}/\text{cm}^2$, $247.75\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 나타났다. 이것은 손실없는 구멍없는 실험체 단면의 압축강도 평균 $266.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 에 대해 각각 96.5%, 92.96%를 나타냈다.

그리고 가장 큰 구멍직경으로 3개가 있으면서 그 길이는 관통치 않고 실험체 직경 10cm의 반절인 5cm까지만 수평으로 구멍이 있을 경우는 평균 약 $180\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 실험체 직경 10cm를 관통했을 때보다 45% 강도 증가를 보였다.

구멍길이가 3cm일 경우는 평균 $215\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 길이10cm 경우보다 $90.8\text{kg}/\text{cm}^2$ 더 큰 내력을 보였다. 약 73% 증가이었다.

구멍직경 2cm를 배치했을 때에는(ED2L10, L5, L3) 실험체 직경 10cm로 등간격 배치했을 때 평균 $150.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 나타났다. 구멍길이 5cm일 경우는 평균 $203.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 같은 조건에서 구멍길이 10cm일 때보다 $53.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 증가, 즉, 약 35% 강도 증가를 보였다. 또 같은 조건에서 구멍길이 3cm일 때는 $235.6\text{kg}/\text{cm}^2$ 로써 $32.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 강도증가인 약 16%가 증가되었다. 구멍직경 1cm인 경우는 다른 경우에 비해 단면손실이 적을 것으로 판단되어 구멍길이 5cm 및 3cm에 비해 더 큰 관심을 갖고 관찰하였다. 같은 조건에서 구멍길이 3cm 경우는 약 $249.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 나타나 $9.6\text{kg}/\text{cm}^2$ 강도 증가인 약 4% 증가되었다.

지금까지와 달리, 즉 구멍 3개가 등간격으로 배치된 조건과 달리 같은 직경 1cm를 상부에 2개 그리고 하부에 2개를 집중 배치한 조건하에서는 우선 상부에 2개를 집중 배치한 경우가 하부에 2개를 집중 배치한 경우보다 더 적은 강도를 나타냈다. 그리고 단면손실이 전혀 없는 압축강도 평균 $266.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 에 비해 불과 9.15-18.75 kg/cm^2 감소만을 나타냈다.

표1. 10개 변수별 압축 강도 실험결과

실험채명	Test No	1차(26일강도)kg/cm ²	구멍수	설명
ED3D10	1	118.5	3	◎E = equal ◎D = diameter ◎D3 = 구멍3개 ◎L = 구멍길이 ◎L10 = 직경10cm관통 ◎L5 = 구멍길이 5cm ◎L3 = 구멍길이 3cm ◎U2 = 상부에 2개구멍 ◎B2 = 하부에 2개구멍 ◎설계기준강도는 240kg/cm ² 임
	2	129.9	3	
ED3L5	1	178.9	3	
	2	180.9	3	
ED3L3	1	228.0	3	
	2	201.9	3	
ED2L10	1	150.9	3	
	2	149.7	3	
ED2L5	1	212.1	3	
	2	194.9	3	
ED2L3	1	236.9	3	
	2	234.4	3	
ED1L10	1	199.9	3	
	2	111.4	3	
ED1L5	1	254.1	3	
	2	224.8	3	
ED1L3	1	238.2	3	
	2	259.9	3	
U2D1L10	1	208.2	3	
	2	244.5	3	
U2D1L5	1	226.6	3	
	2	275.0	3	
U2D1L3	1	264.2	3	
	2	279.5	3	
B2D1L10	1	219.0	3	
	2	226.0	3	
B2D1L5	1	212.6	3	
	2	245.1	3	
B2D1L3	1	264.2	3	
	2	272.5	3	
Normal	1	270.7		
	2	269.9		
	3	278.2		

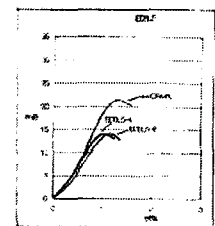
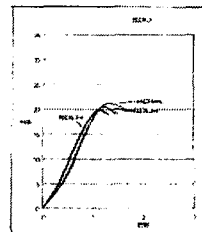
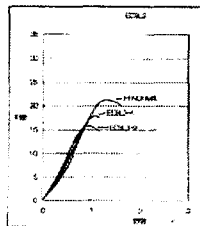
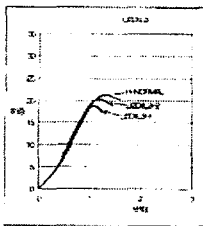
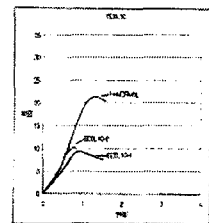
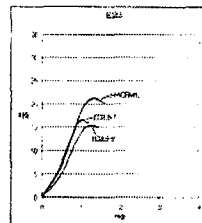
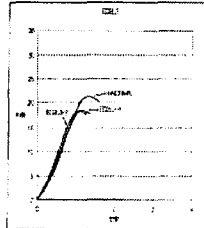
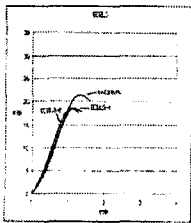
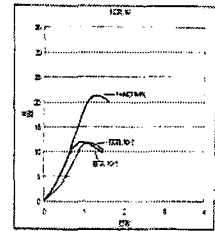
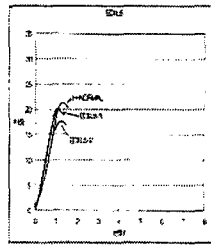
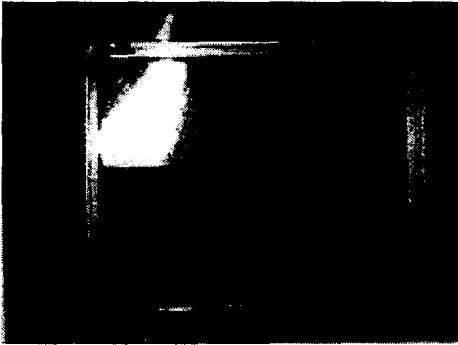
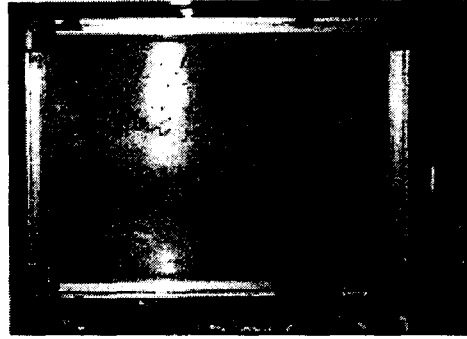
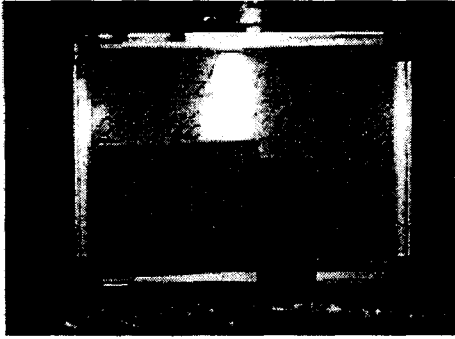


그림 1. 1차 단면손실체 강도실험(26일강도)

4. 분석

- 1) 직경 1cm 구멍길이 3cm로 손실단면이 최소인 경우 상부에 집중된 경우가 하부에 집중된 경우보다 더 큰 강도 손실을 갖고 있음을 알 수 있다.
- 2) 실험체 모델드 중심 단면적 $30\text{cm} \times 10\text{cm} = 300\text{cm}^2$ 중에서 직경 1cm 길이 5cm 3개를 손실했을 경우 0.7% 손실 올리고, 체적 상으로는 11.78cm^3 손실로($2,335\text{cm}^3$). 0.5% 손실을 보였다.
- 3) 같은 직경 3cm일 때, 구멍길이 10cm와 5cm는 2배의 단면 손실을 이지만 강도차이는 45% 정도로 약 2배에 달하는 것으로 나타났다. 그리고 3cm일 때는 73%로 나타나 단면 손실을 3.3배 감소되었으나 강도는 약 3배에 달하는 것으로 나타났다.
- 4) 구멍직경이 작더라도 상부에 집중하거나 하부에 집중하여 단면손실이 있을 경우 상하 수직방향으로 크랙이 발생하여 구조적 결함으로 이어질 가능성이 큰 것으로 판단된다.
- 5) 26일 강도에서는 구멍직경 1cm 단면손실의 경우 상부에 집중되는 손실보다 하부에 집중되는 손실의 경우가 4-14% 더 내력이 큰 것으로 분석되었다.
- 6) 구멍손실이 구조체 상부에 집중되거나 하부에 집중되는 경우는 등간 격으로 분산 배치되는 경우에 비해 구조체 내력상 불리한 조건임에도 직경 1cm 길이 1cm로서 단면 손실이 적은 경우이기 때문에 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

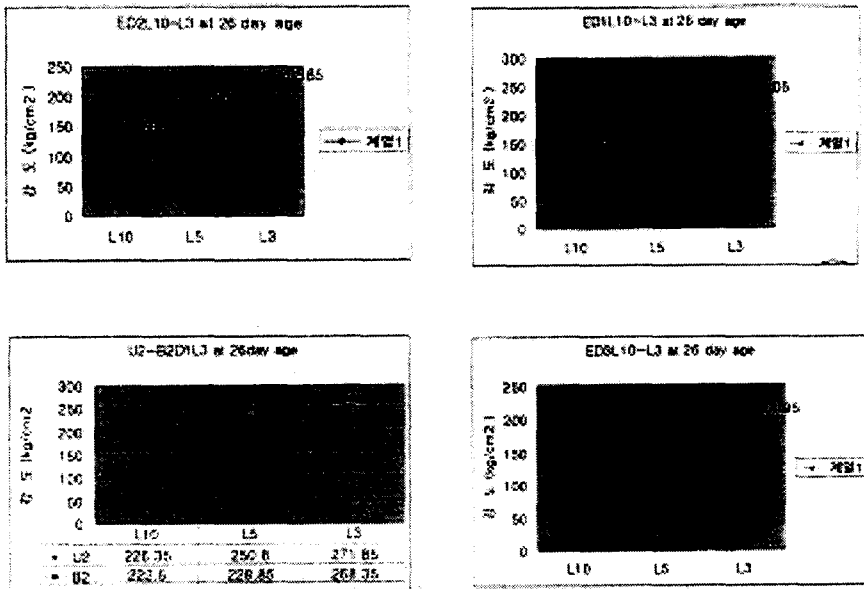


그림2. 구멍길이별 / 강도비교

5. 결론

이상과 같은 실험결과와 분석결과를 통하여 얻은 요약된 결론은 다음과 같이 제시되었다.

- 1) 기둥단면 손실율이 1%미만일 경우 손실전 구조체 가도 역시1%미만 강도손실을 본다.
- 2) 기둥에 생기는 구멍에 의한 단면손실을 피할 수 없을 때는 가능한 기둥상부에 배치 되도록 하는 것이 구조적 결함을 감소시킬 수 있다.
- 3) 단면손실 양상에 따른 수학기공식을 개발하여 기존건물 중요 구조부 특히 기둥의 단면 손상시 안전진단용으로 사용하여 사전 예측이 가능한 모델을 제시하는 연구가 필요하다 하겠다.

참고문헌

1. 김우범. “축력을 받는 손상된 강관부재의 거동에 관한 해석적 연구”,
Vol. 11, No.6 pp. 145~152, 대한건축학회지 1995.6
2. 이문환외 3인, “콘크리트 공극 특성에 관한 실험적 연구”,
Vol. 3, No. 4, pp.179~189, 구조물 진단학회지, 1999.10