

원형기둥 콘크리트 구멍손실 단면적의 압축거동에 관한 축소모델 실험적 연구

손기상

서울산업대학교 안전공학과
(2000. 10. 12. 접수 / 2001. 9. 13. 채택)

Experimental Study on the Behavior of Pseudo Circular Concrete Column

Ki-Sang Son

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology
(Received October 12, 2000 / Accepted September 13, 2001)

Abstract : There have been a lot of studies about repair & strengthening of the concrete structure. But there has almost not been any study on section damage effect due to holes drilled out for installing additional facilities or equipment, such as rack on the wall of building or underground culvert system, plumbing system through the column or wall of it, after being occupied. This study is to find out how much the section loss due to holes will give loss of section strength. We can determine if we repair or reinforce it completely or not, using strength loss from the hole. Hole size of diameter 3cm, 2cm, 1cm, depth of 3cm, 5cm, 10cm, and position of each hole has been considered as variables of this study. It is concluded that section loss 30% results in 53% of strength damage.

Key Words : section loss, column bearing capacity

1. 서론

국내에서도 이제 구조물진단협회가 창립되어 활동하게 되었고 그간 발생했던 대형구조물 붕괴사고로 인하여 시설물 안전관리법이 발효된 지도 수년이 경과되어 상당한 발전을 이룩하였다고 할 수 있다.

구조물진단등 기술적으로 체크되어 얻어진 결론의 보수보강대책이 새로운 보강용 제품을 사용해야만 하는 것으로 인식되어 가고 있다고 볼 수 있다. 기존의 실시결과가 그렇게 결론으로 제시하고 있기 때문에 사료된다. 여기에는 해당구조물의 내구연한에 따라 구조보강방식이 달라져야 함에도, 즉 보다 경제성을 고려한 보강이 되어야 함에도 적절히 고려되었는가 라는 질문에는 의문을 갖게 된다.

본 연구는 보강되어야 할 구조물의 지속연수가 5

년 이내의 비영구적 건물에 대해 각실의 용도변경, 배관작업, 기타 유지관리를 위해 구멍을 내 손상되는 기둥의 내력을 측정하여 어느 정도 보강이 이루어져야 하는가를 실험결과를 기준으로 보강 필요성을 등급별로 제시하고자 구멍손실단면에 따른 압축강도손실을 조건에 따라 제시하고자 한다.

즉 내력손실정도에 따라 지속연수가 오래될 필요가 없는 기둥에 대해서는 비록 단면 손실이 있더라도 보강치 않거나 가볍게 비용 최소화로 가능토록 하는 방법을 제시하고자 하는 것이다.

압축강도가 단면손실 등으로 인해 설계기준강도보다 감소될 경우 어느 정도 내구연한을 설정하는 단정적으로 제시하기는 어려우나 주변조건이 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. 본 론

2.1. 실험계획

순수압축력만 받는 기둥에서 철근은 배제할 수 있는 것으로 전제하고 원형기둥 $\phi 60\text{cm}$ 를 직경 10cm로 축소된 것으로 설정했고 높이는 모듈드의 일반 제작틀을 이용하는 것으로 하였다. 단면손실과 압축강도손실의 상관관계 규명이 본 연구의 주된 목적으로 이 경우 인장강도나 휨보강을 위해 존재하는 철근 유무와 큰 관계가 없는 것으로 보았다.

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

원형콘크리트 실린더 모듈드(크기 $\phi 10\text{cm} \times$ 높이 30cm)를 제작하기 위하여 PVC파이프를 구멍직경별로 구하여 구멍길이(=손실크기) 변수별로 절단하였다. 원형콘크리트 실린더 모듈드에 변수별 단면손실을 내기 위하여 이들 절단된 직경별, 길이별 PVC파이프의 위치별 고정을 위해 $\phi 3\text{mm}$ 아연도금 철사에 이들을 3개씩 꿰어서 수직으로 고정하고(절단 파이프들은 수평) 모듈드체에 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 중의 하나로 볼 수 있기 때문이다.

이들 실험체들은 ED3L10(같은 직경 3개를 상하 등간격 배치하고 길이는 10cm), ED3L5(같은 직경 3개를 길이 5cm로 상하 등간격 배치), ED3L3(같은 직경 3개를 길이 3cm로 상하 등간격 배치), ED2L10(같은 직경 2개를 길이 10cm로 상하 등간격 배치), ED2L5(같은 직경 2개를 길이 5cm로 상하 등간격 배치), ED1L3(직경 1개를 길이 3cm로 배치), U2D1L3(상부에 2개 구멍같은 직경 다르게 길이 3cm 배치), B2D1L3(하부에 구멍 2개 직경 다르게 길이 3cm로 배치)로 하였다. 이는 다양한 직경, 즉 다양한 단면손실 상태에서 하중에 따른 거동과 변형을 비교해서 적정 레벨을 찾아내기 위함이었다.

콘크리트 배합시 오차를 줄이기 위하여 국내 굴지의 K레미콘 제작공장에서 직접 받아 모듈드를 제작하고 통상 사용되고 있는 공기량 5.3%, $240\text{kg}/\text{cm}^2$

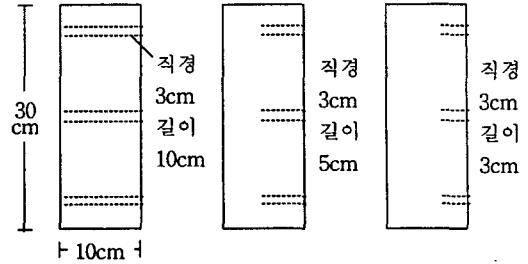


Fig. 1. Holedia & Depth

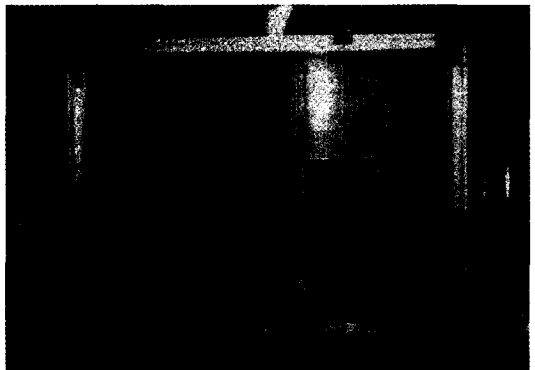
압축강도를 기준으로 하였다. 양생은 레미콘 공장이 설치되어 있는 자동온도조절장치 부착시설에서 $17 \pm 2^\circ\text{C}$ 조건으로 양생시켰고, 26일 강도실험을 1차로 그리고 28일 이후는 양생없이 118일(9월 1일) 강도를 2차로 나누어 실시하는 것으로 하였다. 물론 각 기간별 기준강도는 비교기준으로 하였다. 이는 보강을 요하는 실제 구조물의 경우 입주후 수년 또는 수십년 경과된 상태이기 때문에 가능하면 긴 기간의 조건을 구하기 위함이었다.

또한, 각 변수별 변형양상을 조사하여 기록하고 실제 구조물에서의 파괴모우드를 예측하는 자료제시를 하고자 하였다.

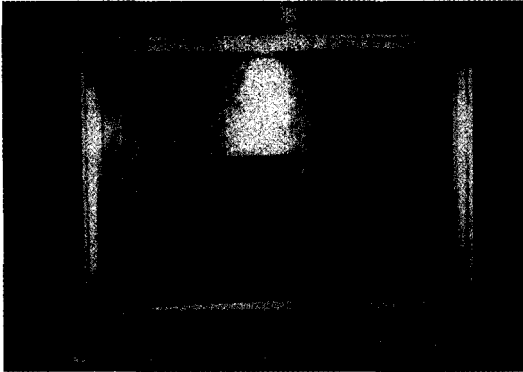
2.2. 실험방법

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

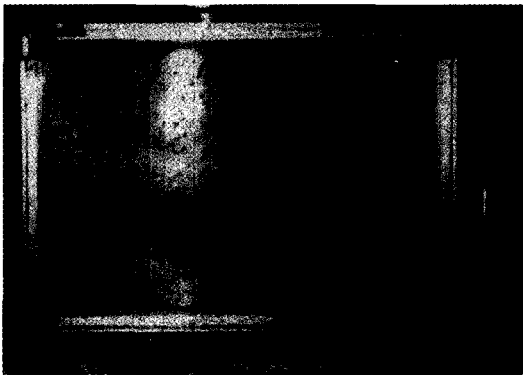
1차 26일강도와 2차 118일 강도 모두 서울산업대학교 토목공학과에서 실시하였다. 파괴시까지 압축하고 그 변형값을 그래프로 그리는 U.T.M을 이용하여 실행하였다. 이때 전개된 변형에 따른 균열양상을 조사하였다(사진 1~4).



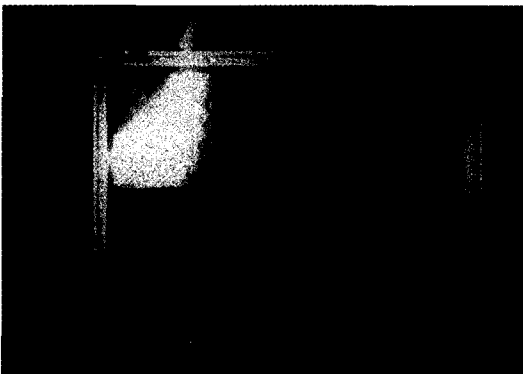
Picture 1. Test piece ED3L10



Picture 2. Test piece ED2L5



Picture 3. Test piece U2D1L3



Picture 4. Test piece B2D1L3

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

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

압축력을 가하는 속도는 1차실험 2.5 kgf/cm²/sec로

Table 1. The compressive strength of 10 variables

Name	Test No	First (26day age) Kg/cm ²	Second (118day age) Kg/cm ²	The Number Holes	Remarks
ED3L10	1	119	128	3	
	2	130	182	3	
ED3L5	1	179	133	3	
	2	181	233	3	
ED3L3	1	228	294	3	
	2	202	306	3	
ED2L10	1	151	229	3	
	2	150	206	3	
ED2L5	1	212	304	3	
	2	195	275	3	
ED2L3	1	237	357	3	
	2	234	261	3	
ED1L10	1	200	283	3	
	2	111	254	3	
ED1L5	1	254	287	3	
	2	225	276	3	
ED1L3	1	238	303	3	
	2	260	328	3	
U2D1L10	1	208	308	3	
	2	245	264	3	
U2D1L5	1	227	356	3	
	2	275	366	3	
U2D1L3	1	264	346	3	
	2	280	378	3	
B2D1L10	1	219	284	3	
	2	226	229	3	
B2D1L5	1	213	325	3	
	2	245	345	3	
B2D1L3	1	264	320	3	
	2	273	334	3	
Normal	1	271	387		
	2	270	396		
	3	278	415		

design criteria 240kg/cm² compressive strength
 D3=3 holes in it, L=hole length(=depth), L10=hole 10 cm long,
 L5=hole 5 cm long, L3=hole 3 cm long, U2=two holes in the upper part, B2=two holes in the bottom part

Table 2. Fracture shape for the test piece at 26 day age

실험체명	압축강도 (kg/cm ²)	구멍수	양상
ED3L10	1 119	3	달걀모양의 크랙이 발생 중 양부 중심으로 발생
	2 130	3	-
ED3L5	1 179	3	윗부분에서 크랙이 시작되어 한면으로 크랙이 집중됨
	2 181	3	-
ED3L3	1 228	3	캠핑면에서 크랙이 발생 상부로 크랙이 이어짐. 캠핑부분이 잘 못 시공
	2 202	3	-
ED2L10	1 151	3	홀 근처에서 크랙이 발생했으며 중앙부분의 홀이 보임
	2 150	3	홀 근처에서 다량의 크랙이 발생
ED2L5	1 212	3	몰드의 중앙에서 크랙이 심하게 발생
	2 195	3	-
ED2L3	1 237	3	전반적인 크랙이 발생했으며 내부의 홀이 있는 면에서 크랙이 다량 발생
	2 234	3	-
ED1L10	1 200	3	고른 파면을 형성 위부분 중심의 코어형태(점모양)의 파면이 발생
	2 111	3	tester 기의 오동작으로 인한 예측되지 않은 실험식 값. 파면이 발생
ED1L5	1 254	3	몰드의 가운데가 볼록해지고 크랙이 많다
	2 225	3	난잡한 크랙이 생김
ED1L3	1 238	3	상하로 크랙이 생김
	2 260	3	-
U2D1L10	1 208	3	홀이 있는 쪽으로(양편) 파면이 길고, 중심으로 많은 파면 형성
	2 245	3	1과 비슷하며 상부와 중심부에 파면이 길게 형성
U2D1L5	1 227	3	캠핑면에서 다양하게 파면이 형성되었다. 또한 상하로 큰 파면이 있음
	2 275	3	상하로 이어진 크랙이 코어부분의 파면을 집중적으로 발생케 함
U2D1L3	1 264	3	상·하 전반적으로 파면이 발생
	2 280	3	상부 중심으로 파면이 형성
B2D1L10	1 219	3	상부에서 크랙이 상하로 이어지는 파면의 형태를 띠는 전형적인 파면을 형성
	2 226	3	전반적인 크랙은 홀이 위치한 부분을 중심으로 상하의 크랙을 이으며 발생함

<cont'd for Table 2>

실험체명	압축강도 (kg/cm ²)	구멍수	양상
B2D1L5	1 213	3	하단부 중심으로 해서 많은 파괴가 일어남. 파면의 시작과 끝이 하단에서부터 일어남
	2 245	3	상부 중심으로 파면형성 윗상단부 코어상부 부분을 기준으로 파면 형성
B2D1L3	1 264	3	코어모양의 파면으로 한쪽부분(홀이 있는 부분)을 중심으로 크랙이 형성
	2 273	3	상하부로 긴 크랙이 양쪽에 발생 하부에서 크랙이 형성되지 않고 상부에서 발생
Normal	1 271		상부분에서 크랙이 심했고 윗부분에 볼록형상이 생김
	2 270		캠핑면 밑에서부터 이어지는 전형적인 파면 형성
	3 278		2번과 유사하며, 특히 중심부에서 타원형 파괴가 많이 일어남

하였으며, 압축강도 실험규격 KS F 2403에 따랐다. 슬럼프는 시작시 15cm, 종료시 12cm인 콘크리트 상태를 이용하였다. 실린더 모울드를 압축만 하므로 특별히 실패할 요인들이 없음을 확인하였기에, 1차, 2차 실험 모두 변수당 2개씩으로 하였다. 압축강도 실험시 기계의 가압판과 모울드 상면과의 오차를 줄이기 위해 양생 3일만에 상면을 별도의 마감몰탈로 ±0로 수평을 조정하여 편심유발 요인을 줄이기 위한 방법들을 적용하였다.

3. 실험결과

앞서의 실험결과 그래프와 표1에서의 결과를 비교하면 우선 표1에서의 압축강도 2차에 걸친 결과 1차 26일 강도, 2차 118일 강도는 모두 설계기준 강도가 일정하게 240kg/cm²로 실험된 결과가 비교되었다.

3.1. 26일 강도 조건

구멍직경 3cm로 3개 모두 실험체 직경 10cm를 관통하는 경우 단면손실이 가장 크다. 26일 강도에서 평균 124kg/cm²로 단면손실이 없는 실험체의 평균값 267kg/cm²의 46.25%로 나타났다. 또 가장 단면손실이 적은 B2D1L3와 U2D1L3에서는 각각 257kg/cm², 248kg/cm²로 나타났다. 이것은 손실없는, 구

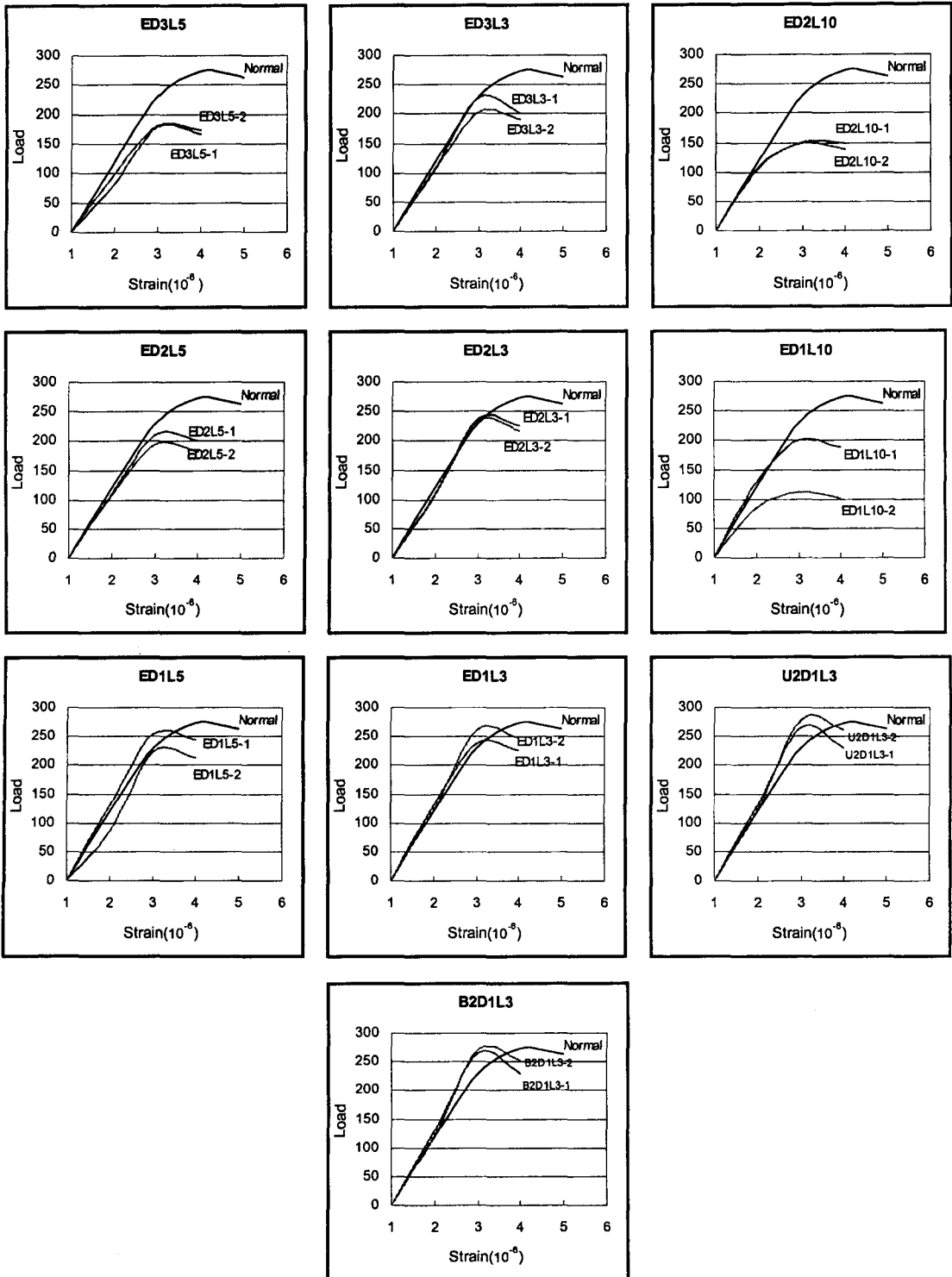


Fig. 2. Comparison between normal and the other (with holes = section loss) at 26 day age

손기상

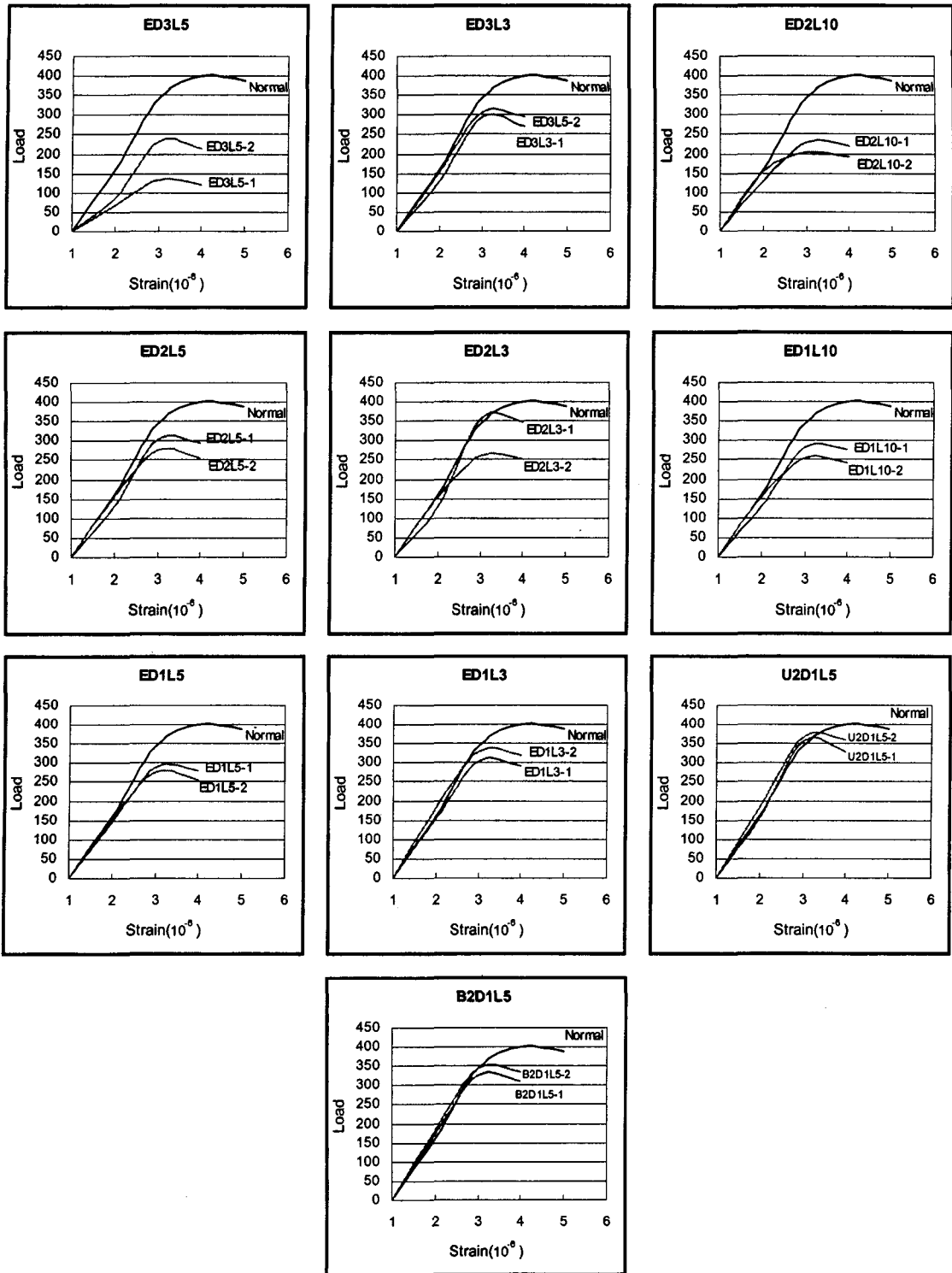


Fig. 3. Comparison between normal and the other(with holes = section loss) at 118 day age

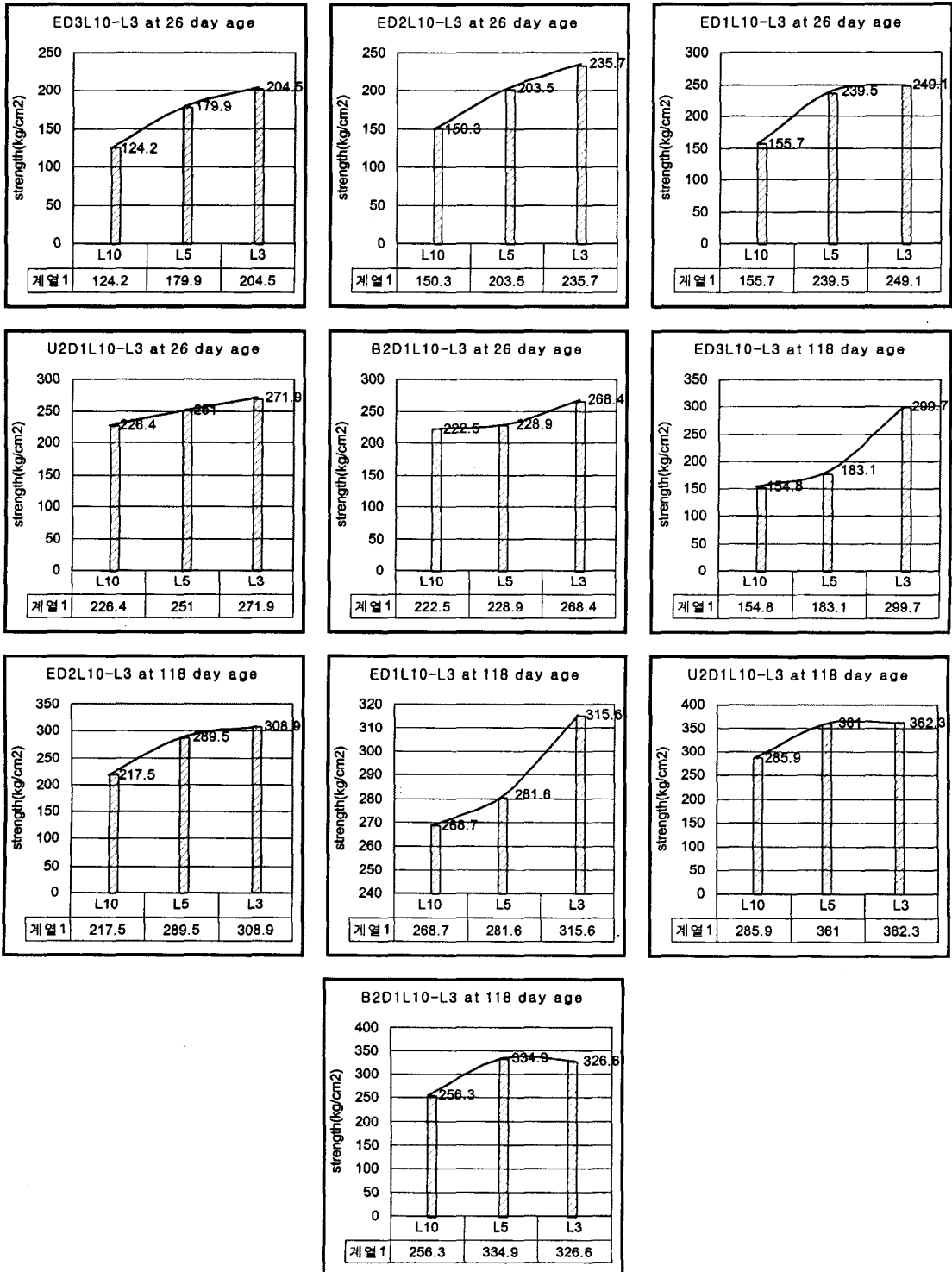


Fig. 4. Comparison of the compressive strength between 10 variable with the holes and ages

멍없는 실험체 단면의 압축강도 평균 267kg/cm²에 대해 각각 96.5%, 92.96%를 나타냈다.

그리고 가장 큰 구멍직경으로 3개가 있으면서 그 길이는 관통치 않고 실험체 직경 10cm의 반질인 5cm까지만 수평으로 구멍이 있을 경우는 평균 약 180 kg/cm²로 실험체 직경 10cm를 관통했을 때보다 45% 강도 증가를 보였다.

구멍 길이가 3cm일 경우는 평균 215kg/cm²로 길이 10cm 경우보다 91kg/cm² 더 큰 내력을 보였다. 약 73% 증가이었다.

구멍직경 2cm를 배치했을 때에는 (ED2L10, L5,

Table 3. Fracture shape for test piece at 118 day age

실험체명	압축강도 (kg/cm ²)	구멍수	양상
ED3L10	1 128	3	홀을 중심으로 파괴가 발생했으며 크랙이 많이 발생했다
	2 182	3	"
ED3L5	1 133	3	시험편을 중심으로 나누었을 때 나머지 한쪽이 보다 많은 파괴면을 보임
	2 233	3	전체적인 파괴양상을 보였으나 구멍근처로 보이는 곳에 크랙이 많이 발생
ED3L3	1 294	3	구멍을 중심으로 크랙이 발생
	2 306	3	전반적인 크랙이지만 가운데를 중심으로 발생
ED2L10	1 229	3	상하로 크랙이 발생
	2 206	3	윗부분 홀을 중심으로 파괴
ED2L5	1 304	3	상하로 크랙이 발생했다
	2 275	3	"
ED2L3	1 357	3	"
	2 261	3	"
ED1L10	1 283	3	양쪽에서 들어간 파면이 중앙에서 만남
	2 254	3	일반적인 파면 형성
ED1L5	1 287	3	상하로 크랙이 발생함
	2 276	3	"
ED1L3	1 303	3	"
	2 328	3	"
U2DIL10	1 308	3	하단의 Hole 중심으로 크랙이 모임
	2 264	3	Hole 중심으로 타원형 파면이 형성

<cont'd for Table 2>

실험체명	압축강도 (kg/cm ²)	구멍수	양상
U2DIL5	1 356	3	파면이 삼각형으로 형성
	2 366	3	일반적인 파면
U2DIL3	1 346	3	"
	2 378	3	"
B2DIL10	1 284	3	상하단의 수직적인 파면 생성
	2 229	3	"
B2DIL5	1 325	3	상부 Hole 중심으로 파면이 시작되어 중간부분에서 중단됨
	2 345	3	기본적인 파면 형성
B2DIL3	1 320	3	상부 중심으로 원추형 파괴가 일어남
	2 334	3	"
Normal	1 387		캠핑면 아래로 파괴가 일어남
	2 396		타원형 파괴면 형성
	3 415		"

L3) 실험체 직경 10cm를 관통하여 3개를 구멍길이 10cm로 등간격 배치했을 때 평균 150kg/cm²로 나타났다. 구멍길이 5cm일 경우는 평균 204kg/cm²로 같은 조건에서 구멍길이 10cm일 때보다 53kg/cm² 증가, 즉 약 35% 강도 증가를 보였다. 또 같은 조건에서 구멍길이 3cm일 때는 236kg/cm²로써 32kg/cm² 강도증가인 약 16%가 증가되었다.

구멍직경 1cm인 경우는 다른 경우에 비해 단면 손실이 적을 것으로 판단되어 구멍길이 5cm 및 3cm에 대해 더 큰 관심을 갖고 관찰하였다. 구멍길이 5cm일 때 강도는 평균 240kg/cm²로 나타났다. 같은 조건에서 구멍길이 3cm인 경우는 약 249kg/cm²로 나타나 10kg/cm² 강도 증가인 약 4% 증가되었다.

지금까지와 달리, 즉 구멍 3개가 등간격으로 배치된 조건과 달리 같은 직경 1cm를 상부에 2개 그리고 하부에 2개를 집중배치한 조건에서는 우선 상부에 2개를 집중배치한 경우가 하부에 2개를 집중배치한 경우보다 더 적은 강도를 나타냈다. 그리고 단면손실이 전혀 없는 압축강도 평균 267kg/cm²에 비해 불과 9~19kg/cm² 감소만을 나타냈다.

3.2. 118일 강도 조건

단면손실이 가장 큰 구멍직경 3cm를 3개로 등간

적으로 배치한 ED3시리즈 시험체에서 구멍길이 10cm인 경우 평균강도 155kg/cm²로 단면손실이 없는 실험체의 평균값 267kg/cm²의 약 58%로 나타났다. 또 가장 단면손실이 적은 B2D1L3와 U2D1L3에서는 각각 314kg/cm², 359kg/cm²로 나타났다. 이것은 손실 없는, 구멍없는 실험체 단면압축강도 평균 387 kg/cm²에 대해 각각 81%, 93%로 나타났다.

그리고 가장 큰 구멍직경으로 3개가 있으면서 그 길이는 직경 10cm의 반절인 5cm까지만 수평으로 구멍이 있을 경우는 평균 약 183kg/cm²로 실험체 직경 10cm를 관통했을 때보다 28kg/cm² 증가, 18%로 강도가 높게 나타났다.

구멍 길이가 3cm만일 경우는 평균 300kg/cm²로 길이 10cm 경우보다 145kg/cm² 더 큰 내력을 보였다. 약 93.6% 증가이었다.

구멍직경 2cm를 배치했을 때에는(ED2L10~L3) 실험체 직경 10cm를 관통하고 3개를 구멍길이 10cm로 등간격 배치했을 때 평균 218kg/cm²로 나타났다. 구멍길이 5cm일 경우는 평균 289kg/cm²로 같은 조건에서 구멍길이 10cm일 때보다 72kg/cm² 증가, 즉 33% 강도 증가를 보였다.

구멍직경 1cm인 경우는 단면손실이 다른 경우에 비해 적을 것으로 판단되어 구멍길이 5cm 및 3cm만 실험요인으로 결정된 것으로 구멍길이 5cm일 때 강도는 평균 282kg/cm²로 나타났다. 같은 조건하에서 구멍길이 3cm인 경우는 약 316kg/cm²로 나타나 34 kg/cm² 강도증가로 약 12% 증가되었다.

구멍 3개가 등간격으로 배치된 조건과 달리, 같은 직경 1cm를 상부에 2개, 그리고 하부에 2개를 집중 배치한 조건에서는 우선 상부에 2개를 집중배치한 경우가 하부에 2개를 집중 배치한 경우보다 더 적은 값으로 나타났다. 그리고 단면손실이 전혀없는 압축강도 평균 387kg/cm²에 비해 28~73kg/cm² 감소만을 나타냈다.

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 모듈드 중심단면적 30cm×10cm=300 cm² 중에서 직경 1cm 길이 5cm 3개를 손실했을 경우 0.7% 손실률이고, 체적상으로는 11.78cm³ 손실로 (2,355cm³), 0.5% 손실률을 보였다.

3) 같은 직경 3cm일 때, 구멍길이 10cm와 5cm는 2배의 단면손실률이지만 강도차이는 45 %정도로 약 2배에 달하는 것으로 나타났다. 그리고 3cm일 때는 73%로 나타나 단면손실률 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) 118일 강도에서는 26일 강도에 비해 약 39% 증가를 보이고 있으나 구멍직경 3cm에서는 구멍길이에 따라 같은 증가율이 아니고 특히 길이 5cm에서는 차별적 결과를 보이고 있다.

7) 118일 강도에서 구멍직경 2cm일 경우 그 길이 10cm~3cm까지 강도 차이는 67kg/cm²~73kg/cm² 범위에 있지만 구멍길이에(깊이) 따른 강도변화 양상은 비슷한 것으로 나타났다.

8) 118일 강도에서 구멍직경 1cm일 때 26일 강도 시와는 42kg/cm²~67kg/cm² 이상과 같은 차이를 나타내고 있지만 구멍길이 5cm~3cm까지 강도변화율은 유사한 것으로 나타났다.

9) 구멍손실이 구조체 상부에 집중되거나 하부에 집중되는 경우는 등간격으로 분산배치되는 경우에 비해 구조체 내력상 불리한 조건임에도 직경 1cm 길이 1cm로서 단면손실이 적은 경우이기 때문에 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

10) 기둥단면손실이 0.7%, 체적상 0.5%일 때 강도상 감소(=손실)는 약 6.6%로 나타났다.

11) 26일 강도에서 U2~B2D1L3 강도변화와, 118일 강도에서 U2~B2D1L3 강도변화에서는 U2, 즉 기둥상부에 구멍을 두는 경우가 하부에서보다는 더 유리한 것으로 증명되었다.

5. 결론

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

1) 기둥단면손실률이 1% 미만일 경우 손실전 구조체 강도 역시 1% 미만 강도손실을 본다.

2) 기둥에 생기는 구멍에 의한 단면손실을 피할

수 없을 때는 가능한 기둥상부에 배치되도록 하는 것이 구조적 결함을 감소시킬 수 있다.

3) 단면손실이 30% 상응하는 체적손실이 0.9%일 때 강도손실은 약 53%로 나타나 체적 1% 미만시 강도손실은 약 50%정도로 추정할 수 있다.

앞으로, 철근콘크리트기둥을 제작하여 최소변 높이 비가 4이상인 조건에서 구멍직경 및 길이에 따른, 즉 단면손실양상에 따른 수확공식을 개발하여 기존건물 중요구조부, 특히 기둥의 단면손상시 안전 진단용으로 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) 이문환 외 3인, "콘크리트 공극 특성에 관한 실험적 연구", Vol. 3, No. 4, pp. 179~189, 구조물 진단학회지, 1999.10
- 3) Mark Fintel, "1.3 Load Factors and Understrength Factors", p. 3, Hand Book of concrete Engineering, McGraw Hill Bookco, Sept. 1974.