

콘크리트의 지압강도에 관한 실험적 연구

차 회 석

<경희대학교 조교>

제1장 서 론

시멘트 생산량의 급증과 대단위 건설공사의 계속적인 시공추세로 보아서 콘크리트의 품질관리, 각종 강도시험 및 제성질에 대한 연구는 바람직한 일이라 할 수 있겠다.

이러한 문제들을 해결하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있으나 그 중에서 콘크리트 구조물의 제한된 접촉 면적위에 작용하는 큰 힘들의 문제, 즉 지압강도에 관하여는 아직도 해결되지 않은 사항들이 많이 있다.

이러한 면 콘크리트 기초위에 기둥들의 강철받침판, Post-Tension 된 P.C. 콘크리트보의 정착부, 합성구조물의 전단키이, 콘크리트보의 지점부, 말뚝머리와 Capping slab, 콘크리트현지, 받침부, Rocker 등에서 볼 수 있다.

종래의 지압강도는 안전의 기초에 대비하여 대강의 규준으로 사용되고 있으며 지압강도의 임방근 공식은 자국에서 시행 규칙으로 추천되고 있는 Bauschinger¹⁾의 사압 임방체에 대한 실험에

근거를 두고 있으나 최근의 연구에서 가치를 잃고 있으며 William Shelson²⁾은 Bauschinger, Meyerhof³⁾, Parker⁴⁾ 등의 실험 결과에 의한 자료를 종합하여 본인의 실험과 비교하였고 Hawkins⁵⁾는 단면의 중심과 편심에 하중이 작용했을때 16 가지 방법을 택하여 행하였으며 K(콘크리트 특성에 관한 계수)에 대한 계수의 도입이 특기할만하며 M.W. Hyland와 Wai-fan Chen⁶⁾에 의하면 모르타와 콘크리트에 대하여 높이, Steel base, Rubber base, Plastic base, Double punch 등에 관해 Chen과 Drucker에 의한 결과를 토대로 해석하였다.

V.M. malhotra⁷⁾는 10×20 cm 공시체와 15×30 cm 공시체에 대한 비교를 품질관리면에서 검토하였으며 Sanat Kumar Niyogi^{8,9)}의 실험은 20 cm 공시체에 Square loading 과 Strip loading에 대하여 행하였고, 높이, 배합비, base의 종류 및 편심하중의 변화로 인한 지압강도 등을 고려하여 다양하게 실험이 행하여졌다.

현재 이 방면의 연구는 개략적인 안전의 여유

기 호 설 명

A : 하중을 받는 공시체의 면적

A' : 지압판의 면적

$R = \frac{A}{A'}$: 공시체 면적에 대한 지압판의 면적의 비

a : 공시체의 가로 세로의 길이

H : 공시체의 높이

P_c : 공시체에 균열이 가기 시작했을 때의 하중

P_{c'} : 공시체의 파괴하중

$ob = \frac{P_c}{A'}$: 균열이 가기 시작했을때의 지압강도

$ob' = \frac{P_c'}{A'}$: 극한 지압강도

$u = \frac{ob'}{\sigma_{28}}$ 극한 지압강도비

σ_{28} : 콘크리트의 28일 압축강도

K : 콘크리트의 특성에 관한 계수

f.g.n : 실험식의 계수

보다 지압면적비에 따른 지압강도의 결정에 관한 연구에 편중되어 있는 경향이 있으나 이 문제에 대해서 보다 깊은 본질적인 이해를 하기 위하여 각 공시체에 따르는 파괴양상의 거시적인 관찰과 파괴발생과정과의 관계¹⁰⁾가 어떠한 인자에 의하여 지배되는가를 재료적 및 역학적인 관점¹¹⁾에서 명백히 해 둘 필요가 있다.

일반적으로 어떤 재료가 외력에 의하여 파괴될때까지의 과정을 대별하면 소성변형의 단계, 균열전파의 단계, 최종파괴의 단계¹²⁾ 등으로 분류되고 있는데 여기에도 많은 의문점이 있다.

또한 골재의 최대치수, 공시체의 규격과 지압판의 크기, 물시멘트비(w/c), 조립율, 비중, 흡수율 등의 인자에 의해 복잡할 것이 예상되지만 콘크리트 지지력의 합리적이고 적합한 산출은 필수 불가결한 것이므로 본 연구에서는 제한된 조건과 한정된 실험으로 파괴의 형상, 공시체의 크기, 높이 및 공시체의 면적대, 지압판의 면적비의 변화에 따른 지압강도의 파괴에 대한 형상을 고찰하여 압축강도와 지압강도의 일반적인 관계식을 구하고 콘크리트 지압성상에 대하여 분석 검토한다.

제 2 장 실험방법 및 장치

제 1 절 골재와 시멘트

1. 골 재

1) 잔 골재

<표 2-1>

잔골재의 입도 및 품질시험 성과표

체 번 호	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	Pan
통과율(%)	100	95.5	83.4	54.1	30.5	21.3	12.5	8.1
비 중	진 비 중		흡 수 율(%)		조 립 율		단위중량(g/cm ³)	
2.54	2.52		1.04		2.17		1578	

<표 2-2>

굵은골재의 입도 및 품질시험 성과표

체 번 호	40 mm	25 mm	19 mm	10 mm	#4	Pan		
통과율(%)	97.5	62.5	52.5	20.0	2.5	0		
비 중	진 비 중		흡 수 율(%)		조 립 율		단위중량(g/cm ³)	
2.63	2.61		1.12		7.3		1624	

사용한 잔골재는 한강모래를 채취하여 그대로 사용하였으며 입도, 비중, 진비중, 흡수율, 조립율, 단위중량은 다음 <표 2-1>과 같다.

2) 굵은 골재

굵은골재는 한강산을 채취하였으며 최대치수는 40mm(No. 467 번골재)이고 입경가적곡선에 맞게끔 다시 조절하였으며 입도, 비중, 진비중, 흡수율, 조립율, 단위중량은 다음 <표 2-2>와 같다.

3) 골재의 입경가적곡선

골재의 입도시험 성과표는 다음 <그림 2-1>과 같다.

2. 시멘트

사용한 시멘트는 시판 S회사 보통포틀랜드 시멘트로서 그 화학성분 및 물리성능은 다음 <표 2-3>과 같다.

제 2 절 공시체 및 지압판

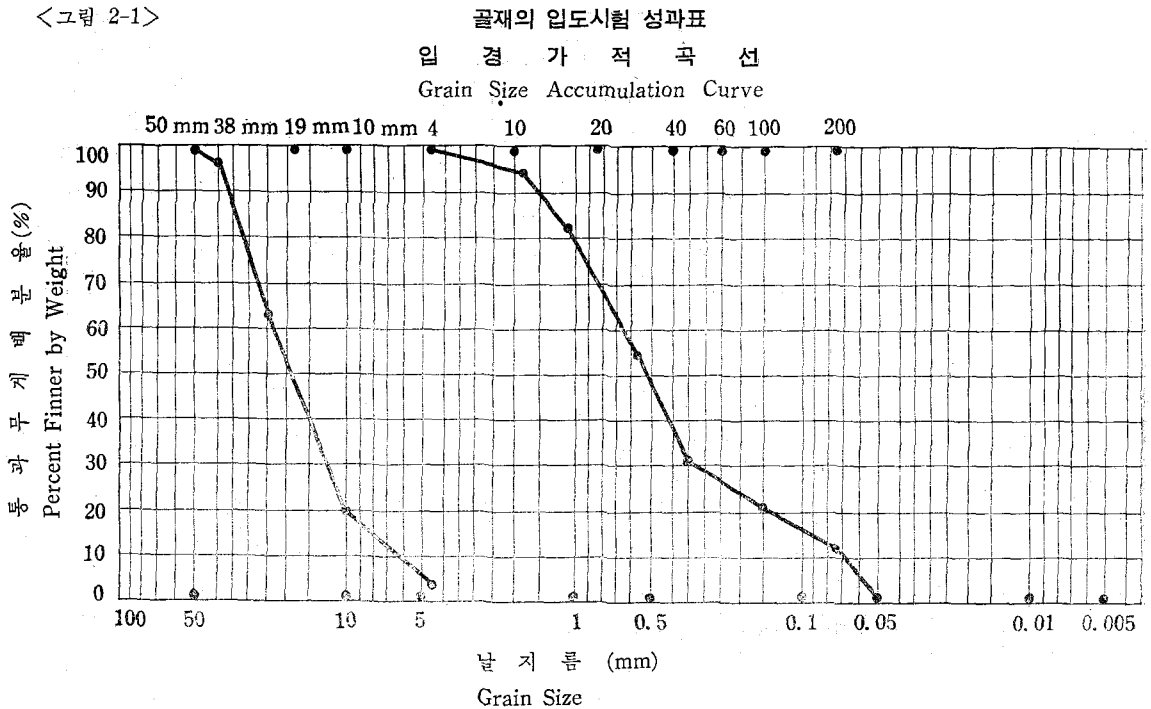
1. 공시체

공시체의 제작을 위하여 15 mm 합판을 사용하였으며 그 크기는 필요에 따라 수시로 제작하였고, 압축강도를 측정하기 위하여는 $\phi 15 \times 30$ cm 의 표준공시체를 사용하였고 크기와 공시체의 수량은 다음 <표 2-4>와 같다.

2. 지압판

지압판의 두께는 10 mm 로 정하였고 편의상 정방형 지압판(square plate)과 대상지압판(strip plate)을 구별하여 제작하였으며 그 크기는 다음

<그림 2-1>



<표 2-3>

시멘트의 화학성분 및 물리성능

화학성분	감 열 감 량		불용성분	SO ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO		
	0.45										
물리성능	비중	분말도	응 결			안정도	강 도				
			조도	초결	종결		압축		인장		
	3.14	3240	24	210분	5시간 30분	0.22	3일	7일	28일	3일	7일
						189	240	301	19	24	32

<표 2-4> 공시체의 크기 및 수량 (단위 : cm)

공시체이 크기	수 량	공시체의 크기	수 량
15×15×30	53개	15×15×35	4개
15×15×5	4개	5×5×10	5개
15×15×10	4개	10×10×20	3개
15×15×15	4개	20×20×40	2개
15×15×20	4개	φ15×30	23개
15×15×25	4개	Total	110개

<표 2-5> 지압판의 크기 (단위 : cm)

1.5×1.5×1	2.5×2.5×1	3.1×3.1×1
3.8×3.8×1	5×5×1	7.5×7.5×1
10×1×1	15×1×1	15×2×1
15×4×1		

<표 2-5>와 같다.

제 3 절 실험방법

콘크리트의 지압강도에 대한 실험 연구논문이 보고되었는데 이들을 분류하면 다음과 같다.

- ① 재하면적과 공시체의 기하학^{9,11)}
- ② 공시체의 지지면적^{2,5,6,8,9,14)}
- ③ 콘크리트의 배합비^{8,9)}
- ④ 공시체의 규격^{6,10)}
- ⑤ 공시체의 높이^{8,9)}
- ⑥ 공시체를 지지하는 base의 종류^{6,8)}
- ⑦ 지압판의 편심^{5,13,14)}
- ⑧ 짧은골재의 최대회수¹⁵⁾
- ⑨ 보강재의 양 및 형태⁶⁾

그러나 본 연구에서는 5 가지 인자에 관한 실험

험들을 개념상 A, B, C, D, E로 분류했다.

1. 시리즈 A—면적비(R)의 변화에 따른 실험

15×15×30 cm의 정방형 각주의 공시체를 steel base 위에 놓고 1.5×1.5×1 cm, 2.5×2.5×1 cm, 3.8×3.8×1 cm, 5×5×1 cm, 7.5×7.5×1 cm의 정방형지압판(square plate)과 10×1×1 cm, 15×1×1 cm, 15×2×1 cm, 15×4×1 cm의 대상지압판(strip plate)를 사용하여 시험한다.

2. 시리즈 B—공시체 높이(H)의 변화에 따른 실험

15×15 cm의 정방형 단면에 높이를 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm를 변화시킨 공시체에 5×5×1 cm의 정방형지압판과 15×1×1 cm의 대상지압판을 사용하여 Steel base와 Rubber base를 받치고 시험한다.

3. 시리즈 C—공시체 크기의 변화에 따른 실험

5×5×10 cm, 10×10×20 cm, 15×15×30 cm, 20×20×40 cm의 정방형 각주 공시체에 1.5×1.5×1 cm, 3.5×3.5×1 cm, 3.8×3.8×1 cm, 5×5×1 cm의 정방형 지압판을 사용하여 Steel base를 받치고 시험한다.

4. 시리즈 D—정방형지압판과 대상지압판에 따른 실험

편의상 시리즈A와 시리즈B의 실험에서 얻은 결과치로 비교 검토하기로 하였다.

5. 시리즈 E—Steel base와 Rubber base에 따른 실험

편의상 시리즈B의 실험에서 얻은 결과치로 비교 검토하기로 하였다.

앞의 방법에 따라서 재료들은 경사진 콘크리트 믹서안에서 혼합되었으며 물시멘트비(w/c)는 대강 55% (전베틀취와 다음베틀취의 물량차이)로 1:2:4의 배합으로 행하여 졌다. 모든 공시체는 성형후 20~48 시간후에 거푸집을 제거했고 3일동안 23±2°C의 온도에서 수중양생되었고 그후에는 마대밑에서 28일까지 습윤 양생되었다. 파괴는 최대용량 90 t의 유압식 수동압축기(Soil Test 사)¹⁵⁾를 사용하였고 재하속도는 매초당 500 kg-sec로 가하였으며 측정항목은 초기균열시의 하중, 완전히 파괴될때의 하중, 균열길이, 균열 위치 및 기타 성상의 변화상태를 공시체에 번호

를 붙혀 공시체면에 기록하여 행하였다.

실험의 각 시리즈에 있어서 콘크리트 공시체는 같은날 제작되었으며 각 베틀취는 미리 준비되어졌고 각베틀취는 4개의 정방형각주 공시체와 1개이상의 압축강도용 표준공시체를 제작하였다.

처짐에 대하여는 측정하지 않았으며 공시체는 파괴이전에 슈미트 합마 N을 사용하여 비파괴 실험을¹⁶⁾행하여 실제의 파괴하중과 비교 검토하였고 공시체의 표면은 Capping하지 않은 대신 페이퍼 등으로 손질하여 행하였다.

제 4 절 실험장치

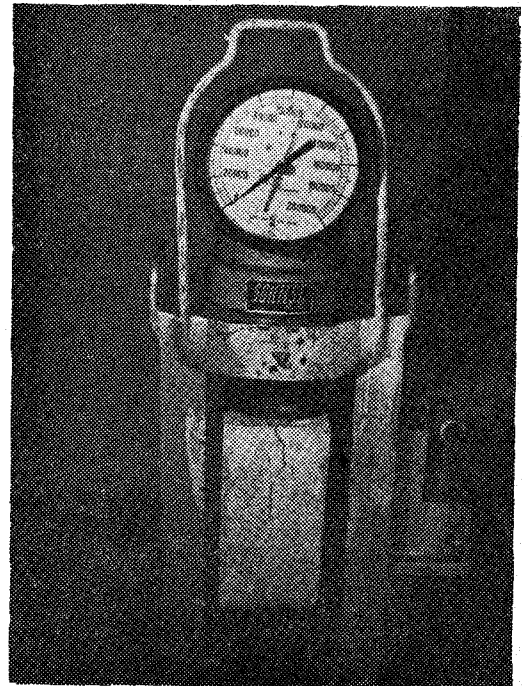
본 실험에 사용된 실험장치는 다음 <표 2-6>과 같다.

<표 2-6> 실험 장치

유압식 수동 콘크리트압축기	용량 90 ton 1 대
표준 공시체	φ15×30 cm 23 개
지압강도 공시체	10 종 87 "
지압판	10 " 10 "
Base 종류	2 " 2 "
Schumidt Hammer	N 1 대

시험에 사용된 유압식 수동압축기는 다음 <그림 2-2>와 같다.

<그림 2-2> 시험에 사용된 유압식 수동압축기

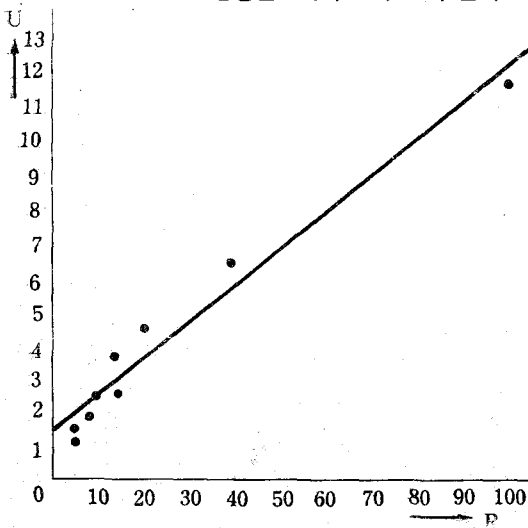


<표 3-1>

R의 결과에 따른 실험결과

R	공시체의 크기 (cm)	지압판의 크기 (cm)	지압판의 형태	P_c (kg)	P_c' (kg)	σb (kg/cm ²)	$\sigma b'$ (kg/cm ²)	σ_{28} (kg/cm ²)	$u = \frac{\sigma b'}{\sigma_{28}}$	실험회수
100	15×15×30	1.5×1.5×1	Sq	4,950	4,950	2,200	2,200	180	12,222	3
36	15×15×30	2.5×2.5×1	Sq	6,900	7,275	1,104	1,164	180	6,467	3
22.5	15×15×30	10 ×1 ×1	St	7,875	8,425	787.5	842.5	180	4,681	2
16	15×15×30	3.8×3.8×1	Sq	19,900	10,125	685.6	701.2	180	3,895	2
15	15×15×30	15 ×1 ×1	St	7,200	7,650	480	510	180	2,833	2
9	15×15×30	5 ×5 ×1	Sq	11,025	11,587.5	441	463.5	180	2,575	4
7.5	15×15×30	15 ×2 ×1	St	10,275	10,725	342.5	357.5	180	1,986	3
4	15×15×30	7.5×7.5×1	Sq	14,850	15,187.5	264	270	180	1,500	2
3.75	15×15×30	15 ×4 ×1	St	11,250	11,262.5	187.5	204.5	180	1,135	2

<그림 3-1> 보통방안지에서 u와 R의 관계



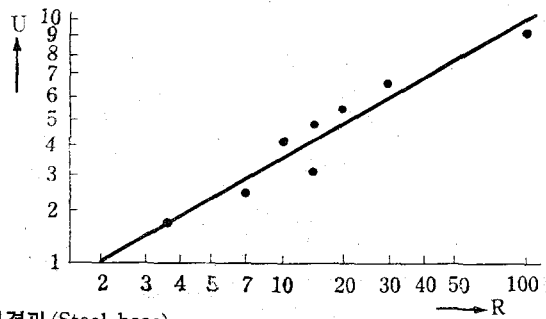
제 3장 지압강도 시험결과

제 1절 면적비(R)의 변화에 따른 실험

15×15×30 cm의 정방형 각주 공시체에

R ($= \frac{\text{공시체면적}}{\text{지압면적}}$)을 변화시켰을 때의 실험결

<그림 3-2> 양대수 방안지에서 u와 R의 관계



<표 3-2>

H의 변화에 따른 실험결과 (Steel base)

$\frac{H}{a}$	공시체의 크기 (cm)	지압판의 크기 (cm)	R	P_c (kg)	P_c' (kg)	σb (kg/cm ²)	$\sigma b'$ (kg/cm ²)	σ_{28} (kg/cm ²)	$u = \frac{\sigma b'}{\sigma_{28}}$
0.333	15×15×5	15×1×1	15	787.5	787.5	52.5	52.5	180	0.292
0.667	15×15×10	15×1×1	15	9,000	9,787.5	600	600	180	3.625
1.000	15×15×15	15×1×1	15	10,800	11,475	720	765	180	4.250
1.333	15×15×20	15×1×1	15	12,600	13,275	840	885	180	4.917
1.667	15×15×25	15×1×1	15	11,250	11,475	750	765	180	4.250
2.000	15×15×30	15×1×1	15	7,650	8,325	510	555	180	3.083
2.333	15×15×35	15×1×1	15	12,150	13,050	810	870	180	4.833
0.333	15×15×5	5×5×1	9	1,800	2,700	72	108	180	0.600
0.667	15×15×10	5×5×1	9	5,850	6,975	234	279	180	1.550
1.000	15×15×15	5×5×1	9	12,150	12,600	486	504	180	2.800
1.333	15×15×20	5×5×1	9	15,075	15,750	603	630	180	3.500
1.667	15×15×25	5×5×1	9	11,700	12,150	468	486	180	2.700
2.000	15×15×30	5×5×1	9	14,400	14,625	576	585	180	3.250
2.333	15×15×35	5×5×1	9	9,450	10,575	378	423	180	2.350

<표 3-3>

H의 변화에 따른 실험결과 (Rubber base)

$\frac{H}{a}$	공시체의 크기 (cm)	지압판의 크기 (cm)	R	P_c (kg)	P_c' (kg)	σ_b (kg/cm ²)	σ_b' (kg/cm ²)	σ_{28} (kg/cm ²)	$u = \frac{\sigma_b'}{\sigma_{28}}$
0.333	15×15×5	15×1×1	15	450	450	30	30	180	0.167
0.667	15×15×10	15×1×1	15	6,300	6,300	420	420	180	2.333
1.000	15×15×15	15×1×1	15	7,875	8,100	525	540	180	3.000
1.333	15×15×20	15×1×1	15	8,775	8,775	585	585	180	3.250
1.667	15×15×25	15×1×1	15	10,350	10,350	690	690	180	3.833
2.000	15×15×30	15×1×1	15	9,450	9,450	630	630	180	3.500
2.333	15×15×35	15×1×1	15	9,450	9,450	630	630	180	3.500
0.333	15×15×5	5×5×1	9	3,825	3,825	153	153	180	0.850
0.667	15×15×10	5×5×1	9	9,675	9,675	387	387	180	2.150
1.000	15×15×15	5×5×1	9	10,800	10,800	432	432	180	2.400
1.333	15×15×20	5×5×1	9	10,800	10,800	432	432	180	2.400
1.667	15×15×25	5×5×1	9	10,125	10,125	405	405	180	2.225
2.000	15×15×30	5×5×1	9	13,050	13,500	522	540	180	3.000
2.333	15×15×35	5×5×1	9	11,700	11,925	468	477	180	2.650

과는 <표 3-1>과 같다.

면적비(R)의 변화에 따른 관계를 그림표로 표시하면 보통방안지는 <그림 3-1>, 양대수방안지는 <그림 3-2>와 같다.

제2절 공시체 높이 (H)의 변화에 따른 실험

15×15 cm의 정방형 각주 공시체에 높이를

5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm로 변화시켰을 때 Steel base로 받힌 것은 <표 3-2>에, rubber base에 받힌 것은 <표 3-3>과 같이 나타났다.

제3절 공시체 크기의 변화에 따른 실험

공시체의 크기에 따른 실험결과치는 다음 <표 3-4>와 같다.

<표 3-4>

크기에 따른 실험결과

공시체의 크기 (cm)	지압판의 크기 (cm)	R	P_c (kg)	P_c' (kg)	σ_b (kg/cm ²)	σ_b' (kg/cm ²)	σ_{28} (kg/cm ²)	$u = \frac{\sigma_b'}{\sigma_{28}}$
5×5×10	1.5×1.5×1	11.1	900	900	400	400	180	2.222
5×5×10	1.5×1.5×1	11.1	900	900	400	400	180	2.222
5×5×10	1.5×1.5×1	11.1	900	900	400	400	180	2.222
평균			900	900	400	400	180	2.222
10×10×20	3.1×3.1×1	10.4	5,850	6,300	608.75	655.57	180	3.642
10×10×20	3.1×3.1×1	10.4	5,850	6,390	680.75	664.9	180	3.694
10×10×20	3.1×3.1×1	10.4	5,850	6,300	608.75	655.57	180	3.642
평균			5,850	6,330	608.75	658.69	180	3.659
15×15×30	3.8×3.8×1	15.6	10,125	10,800	701.2	748.0	180	4.156
15×15×30	3.8×3.8×1	15.6	11,250	11,700	779.1	810.3	180	4.052
평균			10,687.5	11,250	740.13	779.1	180	4.328
20×20×40	5×5×1	16	17,700	17,700	708	708	180	3.933
20×20×40	5×5×1	16	17,700	17,700	708	708	180	3.933
평균			17,700	17,700	708	708	180	3.933

제 4 절 Square loading 과 Strip loading 에 따른 실험

앞의 <표 3-1>, <표 3-2>, <표 3-3>을
참고하기로 하고 표는 생략하였다.

제 5 절 Steel base 와 Rubber base 에 따른 실험

앞의 <표 3-2>, <표 3-3>을 참고하기로 하
고 표는 생략하였다.

제 4 장 실험치 분석

제 1 절 실험결과의 평가

본 절에서는 <그림 2-2>와 같은 시험기를 제
한된 콘크리트 면적위에 국부적인 하중을 가하
여 최종균열의 양상을 거시적인 관점에서 고찰
하였다.

1. 면적비(R)의 변화에 따른 지압성상(실험시리 즈 A)

<표 3-1>에서 볼 수 있는 바와같이 R이 증가
함에 따라 즉 공시체의 면적에 비하여 지압면적
이 감소함에 따라 지압강도는 증가하고, 균열은
Spring crack 으로부터 Bursting crack 으로 변
하여 균열이 선명하게 나타났다.

2. 공시체 높이(H)의 변화에 따른 지압성상(실험 시리즈 B)

<표 3-2>와 <표 3-3>에서 볼 수 있는 바와
같이 R을 일정하게 유지하였을 때 공시체의 높이
가 증가함에 따라 Steel base 에서는 $\frac{H}{a} \approx 1.33$,
Rubber base 에서는 $\frac{H}{a} \approx 1.67 \sim 2.00$ 까지는 지
압강도가 증가하였으나, $\frac{H}{a}$ 가 더 증가하여도 지
압강도는 별로 증가하지 않고 있었다.

특히 $\frac{H}{a} < 1$ 일때는 증가율이 높고, $1 < \frac{H}{a} < 2$
일때는 $\frac{H}{a} < 1$ 인 경우보다 증가율이 컸었으나
 $\frac{H}{a} > 2$ 일때는 지압성상을 규명하기가 어려운 상
태로 나타나 앞으로 보다 더 많은 실험과 연구
가 필요할 것으로 생각된다.

한편 균열상태에서 $\frac{H}{a} < 1$ 일때는 공시체의 하
단에서, $\frac{H}{a} = 1$ 일때는 상하단이 동시에, $\frac{H}{a} > 1$
일때는 상단에서부터 균열이 발생하기 시작하

였다.

3. 공시체의 크기에 따른 지압성상(실험시리즈 C)

<표 3-4>에서 볼 수 있는 바와같이 공시체의
크기가 증가함에 따라 지압강도는 증가함을 알
수 있었다.

4. Square loading 과 Strip loading 의 비교(실험 시리즈 D)

<표 3-1>, <표 3-2>, <표 3-3>으로부터
동일한 R에 대하여 Square loading 의 경우가
Strip loading 에 비하여 지압 강도가 크게 나타
남을 알았고, Square loading 에서는 지압판의
모서리나 변의 중앙에서 4 방향으로 균열이 발생
하고, Strip loading 에서는 지압판에 연한 균열
이 발생함을 발견하였다.

5. Base 에 따른 지압성상(실험시리즈 E)

<표 3-2>와 <표 3-3>에서 관찰하면 대체로
Steel base 의 경우가 Rubber base 의 경우에 비
하여 지압강도가 증가하였고, Steel base 에서는
점진적인 파괴, Rubber base 에서는 급격한 폭
발성 파괴가 일어남을 알 수 있었다.

6. 종합고찰

파괴의 종류는 수직파괴와 사인장파괴로 나눌
수 있으며 그 비는 6:4 정도이고 사인장파괴의
경우에는 공시체의 연직축과 30~60°의 각을 가
지고 일어났다.

또한, 수직파괴의 경우는 완전한 균열을 보이
고 있으나 사인장파괴의 경우에는 미세한 선들
의 연결로 이루어졌으므로 사인장에 대한 파괴
에는 특별한 고려가 있어야 한다.

Crack 의 종류에는 Spring crack 과 Bursting
crack 로 나누며 Spring crack 은 잔금들로 연결
된 것이며 Bursting crack 은 장작이 쪼개어 지
듯이 선명한 직선파괴를 일으키는 것을 말하며,
편심하중이 작용할 때나 콘크리트면이 매끈하지
못하였을 때는 대개가 Spring crack 을 형성하였
다.

공시체의 습윤상태에 따라선 젖은 상태에서는
천천히 일어났으며 건조한 상태에서는 급격한 파
괴가 있었다.

이상 각종 공시체에 대하여 그 파괴의 발생,
전파의 과정을 위주로 관찰한 결과 파괴는 복잡
하다는 것을 알 수 있었고, 이것을 좌우하는 역

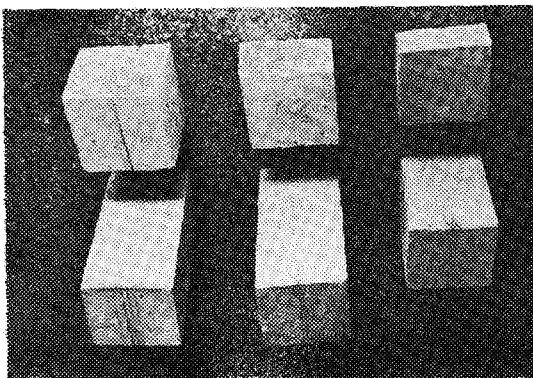
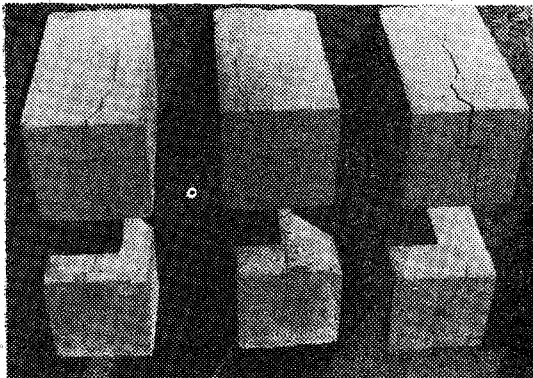
학적 인자¹²⁾는 응력의 집중현상과 최대전단응력에 좌우된다는 것을 알 수 있었으며, 각 재료에 따른 파괴의 형상은 하중조건, 골재의 배치 등에 따라서도 그 양상은 다르게 나타났으며 수직파괴와 측방향에 어느 정도 각을 가지는 소위 사인장파괴의 양상으로 최종파괴에 연결된다.

또한, 균열 선단의 집중응력은 각 재료의 결합을 판단할 수 있듯이 특정한 파괴면을 따라 지극히 용이하게 파괴되었으며 그 균열은 공시체에 대해 수직되게 전파하는 경향이 있다.

파괴의 형상은 지압압의 각진 부분과 변의 중앙에서 비교적 많이 나타남을 볼 수 있었다.

공시체가 파괴된 형상은 다음<그림 4-1>과 같다.

일반적으로 공시체의 파괴를 위주로 거시적인 파괴의 형상을 관찰한 결과 재하하는 하중, 공시체를 형성하는 물, 시멘트, 굵은골재, 잔골재에 따라 파괴의 형태가 단순하지 않고 오히려 다양
<그림 4-1> 공시체가 파괴된 모양



하다는 것을 알 수 있었고 이것은 파괴를 좌우하는 각 인자가 파괴에 미치는 영향이 복잡함을 암시해 주는 것이라 사료된다.

제 2 절 지압강도 실험공식의 유도

1. 발표되어 있는 각종 지압강도식

a. Bauschinger¹⁾

$$ob = \sigma_{28} \sqrt{R}$$

b. William Shelson 식²⁾

$$ob = 0.25 \sigma_{28} R^{0.3}$$

c. Hawkins 식³⁾

$$u = 1 + \frac{K}{\sqrt{\sigma_{28}}} \sqrt{R-1}$$

d. A.C.I. Code (318-63)

$$ob = f \cdot \sigma_{28}$$

허용응력 설계법에서는 $f = 0.25 \sim 0.375$

e. 한국 지방서¹⁷⁾

철근콘크리트 : $ob = f \cdot \sigma_{28}$

무근콘크리트 : $ob = (d + gR) \sigma_{28}$

여기서 d, g : 상수(무근콘크리트의 허용응력 설계법에서는 $d = 0.25, g = 0.05$)

2. 실험치의 그림상의 분석

앞에서 소개된 지압강도식들을 보면 지압강도는 주로 σ_{28} 와 R 의 함수로 표시됨을 알 수 있고, 본 연구의 실험결과로부터는 σ_{28} 와 R 은 물론이고, 공시체 크기와 Base의 종류에 따라서도 지압강도는 많은 변화를 일으키는 것을 알았지만, σ_{28} 와 R 이외의 인자들은 복합적인 성질을 갖고 있기 때문에 개입하여 공식화하기에는 곤란하므로 본 연구에서도 σ_{28} 와 R 과의 관계식을 얻는데 중점을 두고자 한다.

제 3 장의 실험결과를 중심으로 $u \left(\frac{ob'}{\sigma_{28}} \right)$ 와 R 간의 관계를 보통방안지와 양대수지에 plot 하였더니 <그림 3-1>과 <그림 3-2>와 같이 되었다. 그림에서 보면 대체로 직선을 유지하고 있으므로 이에 합당한 지압강도식을 유도한다.

3. 실험식의 가정 및 최소자승법에 의한 계수결정

보통방안지상에서 $u \left(\frac{ob'}{\sigma_{28}} \right)$ 와 R 의 관계가 직선분포를 나타낼 때는

$$u = f_1 R + g \dots \dots \dots (\text{식 4-1})$$

로 가정할 수 있고,

<표 4-1>

계산과정을 위한 표

k	Ri	ui	Ri ²	Riui	log Ri	log ni	log Ri ²	log Ri log ui
1	100	12,222	10,000	1,222.2	2	1.087142	4	2.17428
2	36	6,467	1,296	232.812	1.556303	0.810703	2.422079	1.2616995
3	22.5	4,681	506.25	101.3225	1.352182	0.670339	1.8283961	0.9064203
4	16	3,895	256	62.32	1.20412	0.590508	1.4499049	0.7110424
5	15	2,833	225	42.495	1.176091	0.452246	1.38319	0.5318824
6	9	2,575	81	23.175	0.954243	0.410777	0.9105797	0.391981
7	7.5	1,986	56.25	14.895	0.875061	0.297979	0.7657317	0.2607498
8	4	1,500	16	6.000	0.60206	1.176091	0.3624762	0.1060173
9	3.75	1,135	14.0625	4.25625	0.574032	0.054996	0.3295127	0.0315694
Σ	213.75	37,294	12,450.56	1,713.4757	10.294092	4.550781	13,451868	6.3756461

양대수방안지상에서 직선분포를 나타낼 때는

$$u = f_2 R^n \dots \dots \dots (\text{식 4-2})$$

으로 가정할 수 있다.

<식 4-1>과 <식 4-2>의 계수 f_1, g, f_2, n 은 실험치로부터 최소자승법에 의하여 구할 수 있는데, 우선 이 계수들을 유도하면 다음과 같다.

$$f_1 = \frac{[ui][Ri]^2 - k[Ri][Riui]}{[Ri]^3 - k[Ri][Ri^2]} \dots (\text{식 4-3})$$

$$g = \frac{[Ri][Riui] - [ui][Ri^2]}{[Ri]^2 - k[Ri^2]} \dots \dots (\text{식 4-4})$$

$$\Sigma \log u \log Ri - n \Sigma (\log Ri)^2 - \log f_2 \Sigma \log Ri = 0 \dots \dots \dots (\text{식 4-5})$$

$$\Sigma \log ui - n \Sigma \log Ri - k \log f_2 = 0 \dots \dots \dots (\text{식 4-6})$$

1) f_1, g 의 계산

$$f_1 = \frac{37.294 \times (213.75)^2 - 9 \times 213.75 \times 1,713.4757}{(213.75)^3 - 9 \times 213.75 \times 12,450.56} = 0.1125512$$

$$g = \frac{213.75 \times 1,713.4757 - 37.294 \times 12,450.562}{(213.75)^2 - 9 \times 12,450.562} = 1.4778024$$

2) f_2, n 의 계산

<식 4-5>과 <식 4-6>을 연립방정식으로 풀면

$$\log f_2 = -0.2924123$$

$$f_2 = 0.510021$$

<식 4-7>을 <식 4-6>에 대입하면,

$$n = 0.6977295$$

참고로 계산과정을 표로 만들면 다음 <표 4-1>과 같다.

4) 실험식의 제안

최소자승법에 의하여 얻어진 실험공식을 다음과 같이 제안 한다.

$$u = (0.112R + 1.478) \dots \dots \dots (\text{식 4-7})$$

$$u = 0.51R^{0.7} \dots \dots \dots (\text{식 4-8})$$

<표 4-2>

본 실험식, 외국실험식, 무근콘크리트 표준시방서의 비교

R	<식 4-7>	<식 4-8>	무근콘크리트 시 방 서	Bauschinger	Shelson 식	<식 4-7> 시 방 서	<식 4-8> 시 방 서
100	12,678	12,811	5.25	4.642	3.981	2.415	2.440
90	11,558	11,900	4.75	4.481	3.857	2.433	2.505
80	10,438	10,958	4.25	4.309	3.723	2.456	2.578
70	9,318	9,980	3.75	4.121	3.577	2.485	2.661
60	8,198	8,959	3.25	3.915	3.415	2.523	2.756
50	7,078	7,886	2.75	3.684	3.234	2.574	2.868
40	5,958	6,745	2.25	3.420	3.024	2.648	2.998
30	4,838	5,515	1.75	3.107	2.774	2.765	3.151
20	3,718	4,152	1.25	2.714	2.457	2.974	3.332
10	2,598	2,556	0.75	2.154	1.995	3.464	3.408

제 3 절 본 연구의 실험식과 시방서규정과 의 비교검토

본 절에서는 실험에서 얻어진 <식 4-7>과 <식 4-8> 및 무근 콘크리트 표준시방서의 지압강도식을 비교하여 보고자 한다.

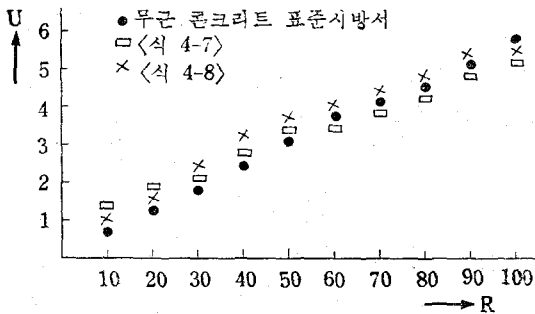
각 실험식 및 시방서를 표와 그림표로 만들면 다음 <표 4-2>, <그림 4-2>와 같다.

먼저 <표 4-2>에서 보는 바와같이 외국의 실험식과 비교할 때 R 이 증가할수록 더 큰 안전율을 보여 주고 있으며, <식 4-7>은 $R < 9$ 일때만 <식 4-8>보다 크게 나타났으며, 시방서와 비교할 때는 <식 4-8>이 안전율 2.440-3.408로서 작은 범위를 가지므로 <식 4-7>보다 더 타당성이 있다고 보여진다.

안전율을 2.5로 보았을 때 본 실험에서 허용지압응력을 다음과 같이 제안한다.

$$fb = 0.204\sigma_{28}R^{0.7} \dots \dots \dots \text{<식 4-9>}$$

<그림 4-2> 본 실험식과 무근콘크리트 표준시방서의 비교



제 5 장 결 론

본 연구는 콘크리트 공시체에 국부적인 하중이 작용하는 지압강도에 관하여 압축강도와 의 일

반적인 관계식을 구하고 공시체의 파괴형상의 거시적인 관찰과 파괴의 재료적 및 역학적인 관점에서 분석 검토한 결과에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 면적비에 있어선 R 이 증가함에 따라 지압강도는 증가하고 균열은 Spring crack 으로부터 Bursting crack 으로 변하여 균열이 선명하게 나타났다.

2. 공시체의 높이에 따라서는 R 을 일정하게 유지하였을때 높이가 증가함에 따라 Steel base 에서는 $\frac{H}{a} \approx 1.33$, Rubber base 에서는 $\frac{H}{a} \approx 1.67 \sim 2.00$ 까지는 지압강도가 증가하였고, 균열 상태는 $\frac{H}{a} < 1$ 일때는 하단에서, $\frac{H}{a} = 1$ 일때는 상하단 동시, $\frac{H}{a} > 1$ 일때는 상부에서부터 파괴가 시작되었다.

3. 공시체의 크기가 증가함에 따라 지압강도는 증가하였다.

4. 동일한 R 에 대하여 Square loading 의 경우가 Strip loading 에 비하여 지압강도가 크게 나타났고, Square loading 에서는 지압판의 모서리나 변의 중앙에서 4 방향으로 균열이 발생하고 Strip loading 에서는 지압판에 연한 균열이 발생하였다.

5. Steel base 의 경우가 Rubber base 보다 지압강도가 증가하였고, Steel base 에서는 점진적인 파괴, Rubber base 에서는 급격한 폭발성 파괴가 일어났다.

6. 허용지압응력은 안전율을 2.5로 보았을때 $fb = 0.204\sigma_{28}R^{0.7}$ 식을 제안한다.

參 考 文 獻

- 1) Bauschinger, J., "Versche mit Qudern aus Naturstein," *Mechanischen und Technischen Laboratorium der Kgl. Jechnischen Hochschule, Munich, Germany, Vol.6, p.13.*
- 2) Shelson, W., "Bearing Capacity of Concrete," *Journal of the American Concrete Institute, Nov., 1957, pp. 405-414.*
- 3) Meyerhof, G.G., "The Bearing Capacity of Concrete and Rock," *Magazine of Concrete Research, London, England, Vol.4, 1953, pp. 107-116.*
- 4) Parker, W., "Loading Tests on Limited Areas of concrete specimens," *Report Lo40424, Research Division, Hydro-Electric power commission of Ontario, Canada, 1947.*
- 5) Hawkins, N.M., "The Bearing Strength of Concrete Loaded Through Rigid plates," *Magazine of*

- Concrete Research*, London, England, Vol.20, No.62, Mar., 1968, pp.31-41.
- 6) Hyland, M.W., and Chen, W.F., "Bearing Capacity of Concrete Blocks," *Journal of the American Concrete Institute*, Mar., 1970, pp. 228-236.
 - 7) Malhotra, V.M., "Are 4×8 Inch Concrete Cylinders as good as 6×12 Inch Cylinders for Quality Control of concrete?," *Journal of the American Concrete Institute*, Jan. 1976, pp.33-36.
 - 8) Niyogi, S.K., "Concrete Bearing Strength Support, Mix, Size, Effect," *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol.100, No. ST8, 1974, pp.1685-1702.
 - 9) Niyogi, S.K., "Bearing Strength of Concrete-Geometric variation," *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol. 99, No.ST7. 1973, pp.1471-1490.
 - 10) Neville, A.M., "A General Relation for Strength of Concrete Specimens of Different Shapes and Sizes," *Journal of the American Concrete Institute*, Oct., 1966, pp.1,095-1,109.
 - 11) Chen, W.F., and Durck, D.C., "Bearing Capacity of Concrete Blocks or Rocka," *Journal of the Engineering Mechanics Divion, ASCE*, Vol. 95, No. EM4, 1969, pp.955-978.
 - 12) 構堀武夫, 材料強度學(東京, 岩波書店, 1967)
 - 13) 庄谷征美, 藤鳥久, 徳田強, "對稱載荷されたコンワリーの 2次元 支圧性狀に關する 2.3の 實驗," 日本土木學會 第29回 講演概要集 第二部, pp.132-133, 日本土木學會, 1973.
 - 14) 황학주, 변근주, "콘크리트 Rocker 받침과 받침부근의 파괴원인 및 그 대책," 연세대학교 산업기술연구소 논문집, 제 V집, 1974, pp.78-87.
 - 15) Cady, P.D., "Statistical Evaluation of Concrete Strength Tests." *Journal of the Construction Division, ASCE*, Vol. 89, No. COI, 1969, pp.19-31.
 - 16) 건설부, "반발경도에 의한 굳은 콘크리트의 놀림강도 측정법—Test Hammer 에 의한 강도측정법," 국립건설연구소년보, 1962. pp.102-104.
 - 17) 대한토목학회, 콘크리트 표준시방서 해설, (서울, 1969), pp.119-120.

격월간 시멘트技術情報

第3卷 第1號(77年 2月號)

特輯: Bulk Handling