

Polystyrene Beads를 이용한 경량콘크리트의 강도특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Compressive Strength of Lightweight Concrete made of Polystyrene Foam Balls

이경동*

한재익**

Lee, Kyeong-Dong

Han, Jae-Ik

Abstract

Recently, the study on mix design of lightweight concrete using the polystyrene foam balls is put into practice from the viewpoint to grade up the quality of concrete and recyclable usage of industrial by products. Polystyrene aggregate concrete, PAC, can be used as structural concrete in low strength application. For instance, PAC could be used in the middle part of sandwich panel where stresses are generally low and in the case of grid-type reinforcement where it does not need high bond strength but little compressive strength to resist the pressure of transverse reinforcement. From this point of view, the authors discussed the influence of fluidity and compressive strength of concrete by the difference of the volume percentage of polystyrene foam balls and water cement ratio.

Key words : Lightweight Aggregate, Polystyrene foam balls, Compressive Strength

1. 서 론

최근, 콘크리트 구조물의 규모는 급속한 경제성장과 토목기술의 발달 등으로 대형화, 고층화 되어가고 있으며 콘크리트는 강도에 비해 비중이 크기 때문에 구조물의 자중을 증대시키는 결함을 갖고 있다. 따라서 콘크리트가 갖고 있는 이러한 결함들을 개선함과 동시에 여러 우수한 성능들을 부여할 목적으로 제조된 콘크리트가 경량콘크리트이며 이러한 경량콘크리트에 대한 연구는 선진

각국에서 상당한 수준의 성과가 있었으며 비구조용 뿐만아니라 구조용으로도 폭넓게 활용되고 있으나 현재 국내에서는 자중감소의 직접효과에 의한 구조용 콘크리트로서의 이용보다는 단열 및 방음 등의 간접효과를 위한 비구조용 콘크리트로서 다소 이용되고 있다⁽¹⁾.

본 연구는 비중이 약 0.02의 발포플라스틱을 이용해서 콘크리트 부재의 경량화를 시도한 연구로서 콘크리트가 소요의 압축강도 이상이라면 샌드위치 구조등의 중앙부예의 적용이나 교량바닥판

* 정희원, 순천대학교 토목공학과 조교수, 공학박사

** 정희원, 서남대학교 토목공학과 조교수, 공학박사

•본 논문에 대한 토의를 1999년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 1999년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

부재에 있어서 인장보강부재 및 급경사지에서의 연직성토 등의 구조재료부재에서도 적용 가능하리라 생각되어 졌다. 이러한 관점에서 발포플라스틱의 대체율을 $\alpha=0.1\sim0.6$, 물시멘트비(W/C)를 35%~60%로 변화시켜가면서 여러 가지 배합조건을 설정하여, 각각의 특성을 비교분석하고 압축강도와 단위체적중량과의 관계를 규명하여 필요로 하는 압축강도를 얻기 위한 최적의 배합비를 구하여 콘크리트의 단위중량을 감소시키고자 하는데 연구의 목적을 둔다.

2. 실험 및 방법

2.1 실험내용

본 실험에 사용한 시멘트는 국내 S사제품의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고, 잔골재는 순천시 승주지방에서 채취된 모래를 사용하였으며, 대체용 골재는 B사에서 생산된 발포 플라스틱으로서 비중이 작고 시멘트와 친화성이 좋을 뿐 아니라 수집이 용이한 Polystyrene Beads (이하, PSB라 칭한다)를 선정하고 골재의 입도분포를 고려하여 PSB의 원료인 Expanded Polystyrene (이하, EPS라 칭한다)을 용적비로 10:0, 7:3, 5:5를 혼합하여 사용하였다. 혼화제는 재료분리방지를 목적으로 한 증점제를 시멘트 중량의 0.5% 첨가하고 작업성을 향상시키기 위한 고성능 유동화제와 AE감수제를 각각 시멘트중량의 0.4%를 첨가하여 실험을 실시하였다.

배합사항으로서 모르터의 배합은 S/C=1.5(중량비)로 일정하게 하고 PSB 대체율을 $\alpha=0.1\sim0.6$ (PSB의 체적/전체적), 물시멘트비(W/C)를 35%,

40%, 50%, 60%로 실험 계획하였으며 실험수준 및 인자는 Table 1과 같다.

2.2 실험방법

본 실험에서 모르터의 혼합은 KS L 5109, 공시체 제작 및 양생은 KS L 5104, 5105의 규정에 따랐으며 플로우치는 KS L 5111, 단위용적중량시험은 KS L 2505, 압축강도시험은 KS L 5105, 인장강도 시험은 KS L 5104, 탄성계수 및 포아슨비 측정은 KS F 2438에 따라 시험하였다. 재료의 투입순서는 우선, PSB와 시멘트 절반을 30초정도 섞어서 PSB 표면에 균일하게 시멘트를 부착시킨 후, 남은 시멘트와 물 및 혼화제를 투입하여 3~5분간 비볐다. 마지막으로 잔골재를 투입한 후 2분간 고르게 비볐다. 공시체는 $\phi 10\times 20$ 의 원통형 공시체와 $5\times 5\times 5$ cm의 각주 공시체이다. 탈형 후 습윤양생을 실시했으며 재령 28일에 시험을 실시하였다. 단위중량은 재령 28일에 공시체 표면의 물기를 닦아낸 다음 측정된 중량으로부터 구했다.

2.3 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트 및 골재의 물리적 특성은 Table 2~Table 4와 같고 Table 5에 실험결과표를 나타내었다.

Table 2. 시멘트의 물리적 특성

비중	분말도 (cm^2/g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도 (kg/cm^2)		
			초결	중결	3일	7일	28일
3.15	3,149	0.35	206	343	213	298	380

Table 1. 실험수준 및 인자

요인	대체율 α	W/C (%)	골재혼입물 (PSB : EPS)	고성능 유동화제, AE감수제 (%)	증점제 (%)
인자	0.1~0.6	35, 40, 50, 60	10 : 0 7 : 3 5 : 5	0.4	0.5
기호	A, B, C, D, E, F	a, b, c, d	1, 2, 3		

Table 3. PSB 및 EPS의 물리적 특성

골재	최대입경 (mm)	최소입경 (mm)	겉보기 비중	흡수율 (%)
PSB	6	2	0.025	0.3
EPS	1.5	0.5	0.27	0.6

Table 4. 잔골재의 물리적 특성

비중	흡수율 (%)	체분석 결과(%)						조립률 (F.M)	
		10 mm	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50		No. 100
2.69	1.17	100	98.5	91	65	34	20	3.7	2.88

Table 5. 실험결과표

No	중량배합(kg/m ³)						단위중량 (t/m ³)	압축강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)
	w/c (%)	PSB (kg)	EPS (kg)	W (kg)	C (kg)	S (kg)			
자연사	40	0	0	314	785	1178	2.06	203	18
	50	0	0	364	728	1092	1.98	201	16
	60	0	0	407	678	1017	1.89	195	15
Ab1	40	2.5	0	283	708	1062	1.56	188	16
Ac1	50	2.5	0	328	656	984	1.51	143	13
Ad1	60	2.5	0	367	612	918	1.41	123	10
Bb1	40	5	0	251	628	942	1.56	162	12
Bc1	50	5	0	291	582	873	1.35	104	10
Bd1	60	5	0	326	543	815	1.30	92	9
Cb1	40	7.5	0	220	550	825	1.31	83	8
Cc1	50	7.5	0	255	510	765	1.23	65	6
Cd1	60	7.5	0	285	475	713	1.20	61	6
Da1	35	10	0	172	491	737	0.90	43	8
Db1	40	10	0	188	470	705	0.82	50	5
Dc1	50	10	0	218	436	654	0.54	21	5
Dd1	60	10	0	244	407	611	0.53	18	3
Db2	40	7	32	188	470	705	1.13	86	8
Dc2	50	7	32	218	436	654	1.02	49	8
Dd2	60	7	32	244	407	611	0.99	40	6
Da3	35	5	54	172	491	737	1.96	130	8
Db3	40	5	54	188	470	705	1.08	92	8
Dc3	50	5	54	218	436	654	0.96	42	7
Dd3	60	5	54	244	407	611	0.88	41	5
Ea1	35	12.5	0	143	409	614	0.81	38	5
Eb1	40	12.5	0	157	393	590	0.79	25	5
Ec1	50	12.5	0	182	364	546	0.68	32	5
Ed1	60	12.5	0	204	340	510	0.62	22	5
Eb2	40	8.8	40	157	393	590	1.00	61	9
Ec2	50	8.8	40	182	364	546	0.91	34	6
Ed2	60	8.8	40	204	340	510	0.86	23	5
Ea3	35	6.3	67	143	409	614	1.05	74	6
Eb3	40	6.3	67	157	383	575	1.07	71	7
Ec3	50	6.3	67	182	364	546	0.86	42	5
Ed3	60	6.3	67	204	340	510	0.83	35	4
Fa1	35	15	0	114	326	489	0.70	30	6
Fb1	40	15	0	126	315	473	0.68	28	6
Fc1	50	15	0	146	292	438	0.63	27	5
Fd1	60	15	0	163	272	408	0.57	20	5
Fa3	35	7.5	81	114	326	489	1.03	82	6
Fb3	40	7.5	81	126	315	473	0.91	44	5
Fc3	50	7.5	81	146	282	423	0.72	23	3
Fd3	60	7.5	81	163	272	408	0.78	19	4
Fb2	40	11	49	126	315	473	0.95	53	4
Fc2	50	11	49	146	282	423	0.85	38	6
Fd2	60	11	49	163	272	408	0.81	31	5

3. 결과 및 고찰

PSB를 골재로 사용하여 실험을 실시한 후, 굳지 않은 상태에서 플로우치를 측정하고 경량콘크리트의 단위용적중량, 탄성계수 및 포아슨비, 압축강도, 인장강도 등의 실험을 실시하였다.

3.1 유동성

유동성은 플로우실험으로부터 얻은 플로우치에 의하여 판단된다. 경량콘크리트의 물시멘트비에 따른 플로우실험 결과를 Fig 1에 나타내었다. 본 실험의 기본배합에서는 180mm를 기본값으로 정하였는데 플로우치가 180mm는 재료분리 없이 500m정도의 pump압송이 가능하며 타설시에 충분한 유동성을 확보할 수 있기 때문이다⁽²⁾⁽³⁾.

PSB를 혼합한 경우에는 물시멘트비가 50%에서 180mm 이상의 플로우치를 나타내어 충분한 유동성을 가지고 있는 것으로 나타났으며 물시멘트비가 50%를 초과하면 플로우치는 증가하였으나 재료분리현상이 발생하였다.

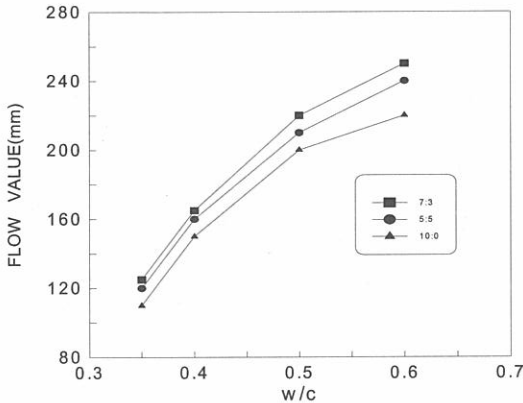


Fig. 1 W/C에 의한 플로우치

3.2 응력과 변형률과의 관계

본 연구에서는 일축압축시험으로부터 응력과 변형률과의 관계곡선을 도출하였으며, Fig 2는

PSB의 대체율이 0%와 60%인 경량콘크리트의 응력-변형률 관계곡선으로 ϵ_1 은 종방향변형률이고 ϵ_2 는 횡방향변형률이다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 대체율이 60%인 경우 대체율이 0%인 경우에 비하여 변형률이 1.2배 이상 큰 것을 알 수 있으며, 이는 PSB의 신축성때문으로 판단된다.

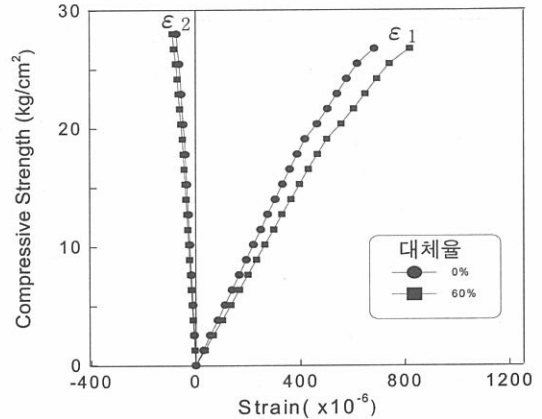


Fig. 2 응력과 변형률과의 관계

탄성계수 및 포아슨비의 측정시험은 재령 28일 된 공시체의 중앙부에 스트레인게이지를 부착하여 KS F 2438에 규정된 방법에 따라 극한하중의 약 50% 부근에서 얻은 응력-변형률 곡선의 기울기로부터 얻어진 세컨트계수로 구하였으며 얻어진 값은 Table 6과 같다.

Table 6. 탄성계수 및 포아슨비

대체율	탄성계수 ($\times 10^4 \text{kg/cm}^2$)	포아슨비 (ν)
$\alpha = 0$	12~15	0.18~0.33
$\alpha = 0.6$	2~3	0.15~0.20

3.3 압축강도

경량콘크리트 시편의 단위체적중량과 압축강도와의 관계는 Fig 3과 같다. 그림중의 실선은 실험 결과를 회귀분석한 곡선이며, 단위체적중량과 압축강도의 관계곡선식은 식(1)과 같다.

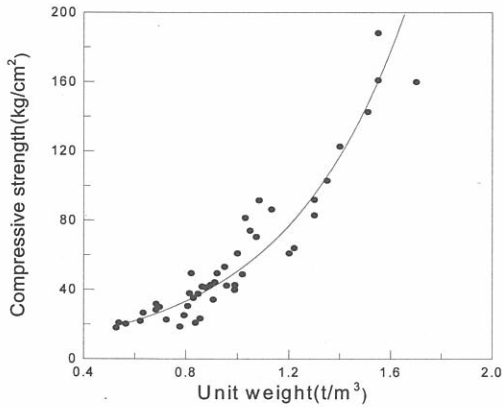


Fig. 3 단위중량과 압축강도와의 관계

$$\sigma_{ck} = 6.2 e^{2.1\gamma} \quad (1)$$

여기서, σ_{ck} : 압축강도(kg/cm²)

γ : 단위체적중량(t/m³)

correlation : 0.87

이 식으로부터 필요로 하는 압축강도를 얻기 위한 최적의 단위체적중량 즉 최적대체율을 구할 수 있다. 또한, PSB 대체율과 압축강도비와의 관계를 Fig 4에 나타낸다.

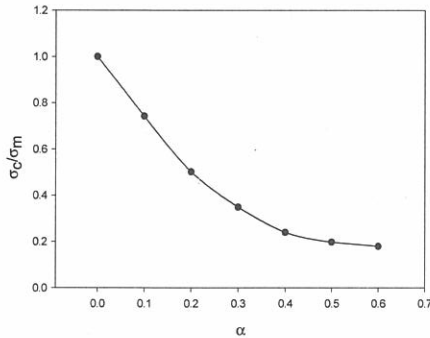


Fig. 4 PSB 대체율과 압축강도비와의 관계

Fig에서 직선형태가 되지 않는 것은 단순히

$$\sigma_c = \sigma_m(1 - \alpha) + \sigma_{PSB} \alpha \quad (2)$$

σ_m : 모르터 매트릭스의 압축강도(kg/cm²)

σ_c : PSB콘크리트의 압축강도(kg/cm²)

σ_{PSB} : PSB의 압축강도(kg/cm²)

α : PSB의 대체율

의 관계식이 성립하지 않는다는 것을 의미하고 있다. 매트릭스보다 약한 골재를 이용한 때의 강도식으로서 Bache는 다음식으로 나타내고 있다⁽⁶⁾.

$$\sigma_c = \sigma_{PSB}^{\alpha} \cdot \sigma_m^{1-\alpha} \quad (3)$$

$$\therefore \frac{\log \sigma_c}{\log \sigma_m} = \alpha \left(\frac{\log \sigma_{PSB}}{\log \sigma_m} - 1 \right) + 1$$

여기서, α 와 $(\log \sigma_c / \log \sigma_m)$ 의 관계를 Fig 5에 나타낸다. 이 값은 거의 직선형태를 나타내고 있으며 관계식 (3)이 성립한다는 것을 말해주고 있다.

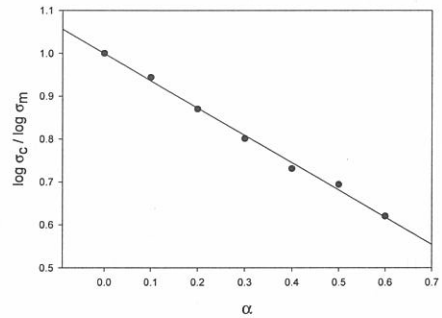


Fig. 5 α 와 $(\log \sigma_c / \log \sigma_m)$ 의 관계

3.4 활렬인장강도

본 실험에서는 $\phi 10 \times 20$ cm의 원통형 시편을 이용하여 KS L 5104에 근거해서 활렬인장강도 시험을 수행하였다. Fig 6은 압축강도와 활렬인장강도와의 관계를 나타낸 것으로 분산의 폭이 컸지만 대체적으로 압축강도와 비례해서 선형적으로 증가함을 알 수 있었다.

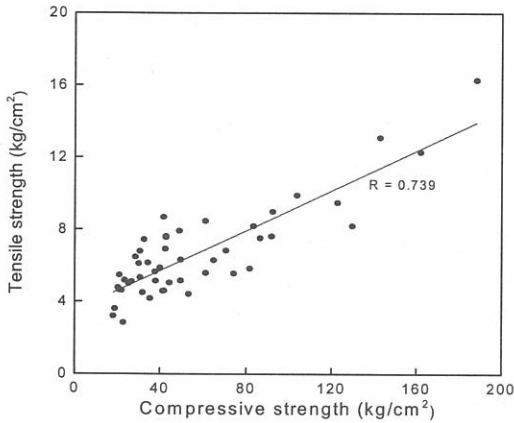


Fig. 6 압축강도와 활렬인장강도와의 관계

Fig에 나타난 회기분석 관계식은 식(4)와 같다.

$$\sigma_t = 0.055 \sigma_{ck} + 3.498 \quad (4)$$

σ_t : 활렬인장강도(kg/cm²)

σ_{ck} : 압축강도(kg/cm²)

correlation : 0.739

4. 결 론

PSB를 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) PSB를 혼합한 경우에는 물시멘트비가 50%에서 180mm 이상의 플로우치를 나타내어 충분한 유동성을 가지고 있는 것으로 나타났으며 물시멘트비가 50%를 초과하면 플로우치는 증가하였으나 재료분리현상이 발생하였다.

2) PSB의 대체율이 60%인 경우 대체율이 0%인 경우에 비하여 변형률이 1.2배 이상 큰 것을 알 수 있으며, 이는 PSB의 신축성때문으로 판단된다.

3) 경량콘크리트 시편의 단위체적중량과 압축강도와의 관계곡선은 식 (1)과 같다

$$\sigma_{ck} = 6.2 e^{2.17} \quad (r=0.87) \quad (1)$$

이 식으로부터 필요로 하는 압축강도를 얻기 위한 최적의 단위체적중량, 즉 PSB의 최적대체율을 결정할 수 있다.

4) PSB의 대체율이 많아지면, 아래로 볼록한 형태의 곡선으로 강도비가 저하하고, $\sigma_c = \sigma_{PSB}^a \cdot \sigma_m^{1-a}$ 의 관계식이 성립한다.

참 고 문 헌

1. 한국콘크리트학회, 최신 콘크리트공학, 1996. 9.
2. 변근주 외2인, "고분자기포제를 이용한 경량 기포콘크리트의 개발(I)", 콘크리트학회논문집, 제9권1호, 1997. 2.
3. 변근주 외2인, "고분자기포제를 이용한 경량 기포콘크리트의 역학적 특성(II)", 콘크리트학회논문집, 제9권1호, 1997. 2.
4. 박유신, 서치호, "섬유보강재를 혼입한 단열경량콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회학술발표회논문집, 제15권제2호, 1995. 10.
5. 윤택진 외4인, "레미콘을 이용한 경량콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구", 대한건축학회학술발표회논문집, 제16권 제2호, 1996. 10.
6. Bache, H.H., "Testing and Design Methods of Lightweight Aggregate Concretes", Proc. RILEM Int'l Symp., Budapest, 1967. 9~43

(접수일자 : 1999. 3 .2)