

순환골재 치환율에 따른 R/C보의 장기처짐에 관한 연구

Long-term Deflection of R/C Beam with Variable Substitution Ratio of Recycled Aggregate

윤 승 조^{*} 서 수 연^{**} 이 우 진^{***} 강 성 덕^{****} 김 대 영^{****}

Yoon, Seung-Joe Seo, Soo-Yeon Lee, Woo-Jin Kang, Seong-Duk Kim, Dae-Young

ABSTRACT

In this paper, long term deflection of RC beam with variable substitution ratio of recycled aggregate is investigated. 6 RC beam specimens are designed using concrete made of coarse aggregate of 25mm size, mix strength of 21MPa, slump of 12cm and air content of $5.0 \pm 1.5\%$. A few concrete blocks are made and used for long term loading. The loading and deflection instrumentation are conducted following the process codified in ACI 318-05 code. Test result shows that the deflection of specimens depends on the compressive strength of concrete. And it is concluded that the deflection of RC beam can be predicted like normal beam using ACI formula if certain level of compressive strength is acquired even recycled aggregate is used in making the beam

1. 서 론

경제성장과 국민생활의 향상으로 인해 도시 재개발, 생활환경개선 및 건물의 노후화로 인해 많은 건설폐기물이 발생하고 있으며 재건축, 재개발 사업이 활발하게 이루어지면서 건설폐기물의 증가폭이 두드러지게 나타나고 있다. 이 가운데 콘크리트 및 아스콘이 전체 발생량의 80% 이상을 차지하고 있다. 폐콘크리트와 폐아스콘은 순환골재로서의 사용이 가능하기 때문에 정부에서 이를 효율적으로 사용하기 위해 '건설공사의 순환골재 의무 사용량'을 제정하고 2006.1.1일 이후부터 생산 또는 구입하는 물량부터 적용하고 있다. 이에 발맞추어 건축공사에서도 콘크리트에 순환골재를 치환하여 사용함으로써 골재의 절감효과를 볼 수 있을 것으로 판단하며 순환골재를 사용한 콘크리트의 장기거동에 대하여 알아보고 순환골재의 적정 치환비율을 찾고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 재료의 특성

본 실험에서는 일반적으로 가장 많이 쓰고 있는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(KS L 5201)를 사용하였다. 쇠석과 강모래를 사용하였고, 콘크리트용으로 순환골재를 사용하기 위하여 건설교통부가 제정한 순환골재의 품질기준에 적합한 국내 I사에서 생산한 13mm의 골재를 사용하였다. 혼화제는 나프탈렌

* 정회원, 충주대학교 교수, 공학박사

** 정회원, 충주대학교 국제공인시험 연구센터 연구원, 공학박사

*** 정회원, (주) 충주산업 대표이사

**** 정회원, 충주대학교 대학원, 석사과정

설피산 포르말린 축합물을 주성분으로 하는 콘크리트용 화학혼화제를 사용하였다.

2.2 배합설계

본 실험에서 사용한 콘크리트의 배합강도는 21MPa로써 현장에서 사용되는 배합을 토대로 하였으며, 예비실험에서 순수한 순환골재 치환만으로 배합한 콘크리트는 슬럼프가 증가하고, 강도가 저하되는 현상을 나타내었으며, 굵은골재 최대치수 25mm, 배합강도 21MPa, 슬럼프 12cm의 배합을 하기 위하여 반복적 예비실험을 통하여, 레디믹스트 콘크리트 제조가 가능한 적정배합수준을 도출하였다. 배합사항은 표 1와 같다.

표 1 기본실험 배합표(굵은골재)

예상 강도 (MPa)	G _{max}	W/B (%)	S/a (%)	Slump-Flow (cm)	Air (%)	치환 비율 (%)	Unit Weight(kg/m ³)					혼화제(kg/m ³) AE 감수제
							W	C	S	G1*	G2**	
21	25	47.6	47.7	12 ± 2.5	5.0 ± 1.5	0%	173	363	820	982	0	2.54 (0.7%)
						10%				884	92	
						20%				786	184	
						30%				688	276	
			40%			162	340	852	605	379	2.38 (0.7%)	
			50%					879	486	456		

- Notation : *G1 : 천연골재, **G2 : 순환굵은골재

2.3 시험체 계획

본 실험은 스펠 6m, 층고 3m인 6층 사무실 Prototype 구조물을 모델링하여 재하되는 하중을 선정 한 후 1/3스케일로 보에 대하여 처짐을 검토하였다. 실험체는 순환골재 치환율에 따라 비교 하였고, 변수는 다음 표 2와 같다. 실험체 상세는 압축철근비를 인장철근비의 53%로 설계하여 그림 1과 같은 단면을 계획하였다.

표 2 실험체 일람표

실험체명	Size of beam (b×d×h)(mm)	사용철근		압축철근 비율	전단스팬비 (a/d)	순환골재 치환율(%)	f ₂₈ (MPa)
		인장철근	압축철근				
RC-0	150 × 250 × 2200	2-D16	3-D10	0.53ρ	4.2	0	21
RC-10						10	25
RC-20						20	23
RC-30						30	25
RC-40						40	20
RC-50						50	21

- Notation : RC*-0**

* : Recycled Concrete

** : Recycled Aggregate Substituted Ratio

2.4 실험 방법

재하하중은 치수 300×500×150(b×d×h)으로 블록모양을 제작하여 만들었고 한개당 하중은 500N이다. 재하하중에서 D.L(30.7kN)는 자중이 포함되어있고, L.L(15.0kN)의 경우 50%가 지속하중으로 판단하여 11.4kN을 재하하였다. 하중재하 방법은 ACI 318-05에서 제시하는 방법을 선정하였으며 재하된 모습은 그림 2와 같다.

$$w_u = DL + (0.5 \times LL)$$

$$= 11.4kN / 1.8m$$

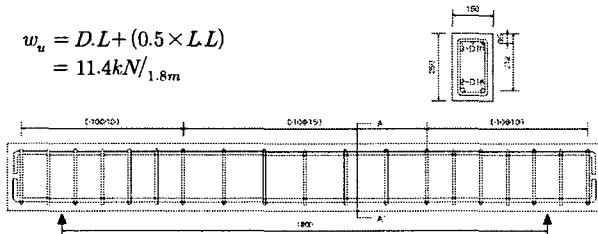


그림 1 가력하중 / 시험체 상세

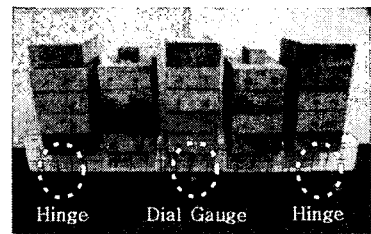


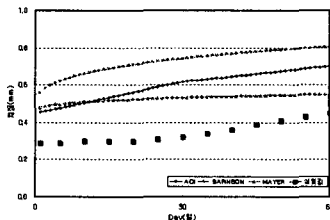
그림 2 실험체 가력모습

표 3 측정값과 기준식과의 비교

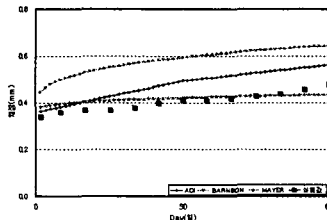
실험체명	측정일	실험값	ACI'	Branson**	Mayer***	ACI/실험값	Branson /실험값	Mayer /실험값	실험값 /fck ²
RC-0	즉시처짐	0.29	0.46	0.56	0.48	1.57	1.92	1.66	0.062
	30일	0.32	0.62	0.74	0.53	1.93	2.32	1.67	0.069
	60일	0.45	0.70	0.81	0.82	1.56	1.79	1.83	0.096
RC-10	즉시처짐	0.34	0.36	0.45	0.38	1.07	1.31	1.13	0.052
	30일	0.35	0.49	0.59	0.42	1.41	1.70	1.21	0.053
	60일	0.36	0.56	0.64	0.44	1.56	1.79	1.22	0.055
RC-20	즉시처짐	0.26	0.40	0.49	0.43	1.56	1.90	1.64	0.045
	30일	0.30	0.55	0.66	0.47	1.83	2.20	1.58	0.052
	60일	0.39	0.62	0.72	0.49	1.60	1.84	1.25	0.068
RC-30	즉시처짐	0.40	0.37	0.46	0.39	0.94	1.14	0.99	0.062
	30일	0.47	0.51	0.61	0.44	1.08	1.30	0.93	0.073
	60일	0.58	0.58	0.66	0.45	1.00	1.14	0.78	0.090
RC-40	즉시처짐	0.40	0.48	0.58	0.50	1.19	1.45	1.26	0.092
	30일	0.48	0.65	0.78	0.56	1.35	1.62	1.16	0.111
	60일	0.73	0.73	0.84	0.58	1.01	1.15	0.79	0.168
RC-50	즉시처짐	0.31	0.47	0.57	0.49	1.50	1.84	1.59	0.069
	30일	0.36	0.63	0.76	0.55	1.76	2.11	1.52	0.081
	60일	0.47	0.72	0.82	0.57	1.53	1.75	1.20	0.105

* Notation

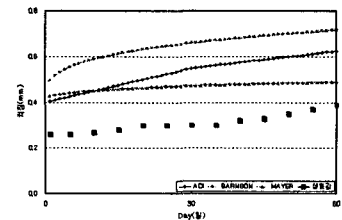
- * ACI기준식 : 즉시처짐 $\Delta_i = k_a M_d^2 / E_c I_e$ 장기처짐 $\Delta_{cr+sh} = \lambda \Delta_i$, $\lambda = \xi / (1 + 50\rho')$ ξ 는 크리프와 건조수축의 영향을 고려하기 위한 계수
- ** Branson식 : 즉시처짐 Δ_i 에 대하여 장기처짐 $\Delta_{cr} = k_\phi \phi(t, t_0) \Delta_i$ 이다. $K_\phi = 0.85 / (1 + 50\rho')$, $\phi(t, t_0)$ 크리프 계수를 고려하여 나타낸다.
- *** Mayer식 : 즉시처짐 Δ_i 에 대하여 장기처짐 $\Delta_{cr} = k_\phi \phi(t, t_0) \Delta_i$ 이다. 크리프 계수 $\phi(t, t_0)$, $K_\phi = \sqrt{100\rho n_0} / 12(1 + \rho' / \rho)$ 를 변화하여 나타낸다.



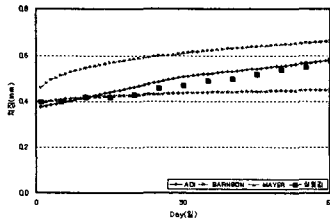
(a)RC-0



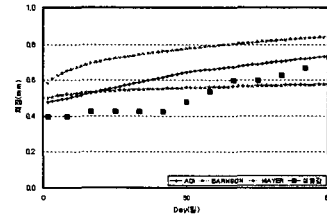
(b)RC-10



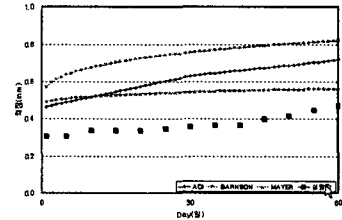
(c)RC-20



(d)RC-30



(e)RC-40



(f)RC-50

그림 3 기준식들과 실험값과의 비교

3. 실험결과 및 분석

본 실험의 결과와 ACI기준식, Branson식, Mayer식 등에 의해 제시한 결과를 나타내면 표 3과 같다.

3.1 기준식과의 비교

3.1.1 가력직후 즉시처짐

가력직후 즉시처짐에서 RC-10, 30시험체는 ACI식, Mayer식, Branson식에 대한 계산결과가 실험값보다 최소 0.9배에서 최대 1.1배 사이에 나타나 있으며, RC-0, 20, 40, 50시험체의 경우 ACI식, Mayer식, Branson식에 대한 결과는 최소 1.2~1.9배로 나타나 있다. 이는 RC-10, 30시험체는 다른 시험체들

에 비해 압축강도가 25MPa로 다소 높게 나타난 영향으로 판단된다.

3.1.2 즉시처짐 이후의 처짐

즉시처짐부터 측정 60일까지 RC-0, 50시험체는 ACI식, Branson식에서 측정 30일까지는 실험값보다 처짐이 1.9~2.2배로 크게 나타나고 있으나 측정 60일까지는 실험값보다 처짐이 1.5~1.7배 크게 나타났다. Mayer식에 의한 결과는 실험값보다 1.2배 크게 나타났다. RC-10, 20시험체는 ACI식과 Branson식에서 측정 60일까지는 실험값보다 처짐이 1.4~1.8배 크게 나타났고, Mayer식에 의한 결과는 실험값보다 1.2~1.5배 크게 나타났다. RC-30, 40시험체는 ACI식과 Branson식에서 측정 60일까지는 실험값보다 처짐이 1.1~1.3배 크게 나타났고, Mayer식에 대한 결과는 실험값보다 1.1배 작게 나타났다.

RC-0, 30, 40 시험체는 즉시처짐과 측정 30일까지는 Mayer식이 가장 근접하게 예측하고 30일 이후에는 ACI식이 근접하게 예측하는 것으로 나타났다. RC-10, 20, 50 시험체에서는 즉시처짐의 경우에는 ACI식이, 이후 측정 60일까지 측정에서는 Mayer식이 근접하게 예측하는 것으로 나타났다. Branson식은 모든 시험체에서 처짐량을 높게평가 하는 것으로 나타났으며 오차가 가장 심한 것으로 나타났다. Mayer식의 경우 그림 3에서 보는것과 같이 RC-10, 30, 40번 시험체에서 30일 이후, RC-0, 20, 50번 시험체에서 60일 이후부터 측정값이 예측값보다 크게 나타나는 것을 볼수 있다.

3.2 치환율에 따른 분석

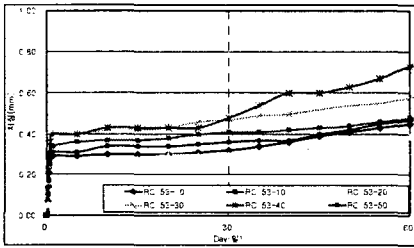


그림 4 치환율에 따른 처짐비교

그림 4에서 RC-0시험체를 기준으로 하였을 때 RC-10시험체의 경우 즉시처짐에서는 처짐량이 기준시험체 보다 1.1배 크게 나타나고 측정 60일에서는 처짐량이 1.2배 작은 경향을 보이는 것으로 나타났다. RC-20시험체는 즉시처짐부터 측정 60까지 처짐량이 1.1배 작은 경향을 보이고, RC-30, 40, 50 시험체는 즉시처짐부터 측정 60일까지 처짐량이 1.2~1.4배 크게 나타나는 경향을 보이고 있다. 이는 RC-10, 20시험체의 경우는 처짐량이 1.1~1.2배로 증가하는 경향을 보였으며, RC-30, 40, 50시험체의 경우는 1.2~1.4배로 RC-10, 20시험체에 비해 약간 높은 증가량을 보였다. 본 연구에서 측정 60일까지 실험 결과로는 순환골재 치환율에 따른 장기처짐에 미치는 영향이 미비하게 나타났다. 이에 따른 영향은 장기적인 실험 및 검토가 요구되며, 현재 이에 대한 실험이 계속 진행중이다.

4. 결론

순환 굵은골재를 대체골재로 시험한 결과는 다음과 같이 요약할수 있다.

- (1) 기준식과 실험값을 비교한 결과 ACI와 Mayer의 처짐 계산식은 초기 즉시처짐을 비교적 잘 예측하고 있으며, 측정 60일의 경우 ACI, Branson식은 처짐량에 대해서 높게평가 하고 있고, Mayer의 경우는 다른 식들에 비하여 근접하게 처짐을 예측하고 있는 것으로 나타났다.
- (2) 측정 60일 까지 실험 결과로는 RC-20시험체를 제외한 RC-10, 30, 40, 50시험체는 RC-0시험체 보다 처짐량이 1.1~1.4배로 증가하는 경향을 보였다. 치환율에 따른 장기처짐에 미치는 영향이 미비하게 나타났다. 이에 따른 영향은 장기적인 실험 및 검토가 요구된다.
- (3) 본 연구에서 측정 60일 까지 실험 결과로는 순환골재를 레디믹스트 콘크리트에 사용할 경우에는 천연골재와 마찬가지로 레디믹스트 콘크리트의 품질기준에만 만족한다면 처짐량에 대해서는 안전한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 지역혁신 인력양성사업의 일환으로 한국산업기술재단의 지원에 의해 연구되었음을 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, "콘크리트의 재활용"
2. 황인성, 한천구, "레미콘 품질관리 실무", 기문당
3. 윤승조, 서수연, 이우진, 강성덕, 김대영, "순환골재의 품질 기준 및 물리적 성질에 관한 연구", 2006 건축학회 추복지회, 제6권 제1호
4. 이상순, 김용빈, 김진근, 이수곤, "크리프에 의한 철근콘크리트 보의 처짐 예측", 콘크리트 학회지 제 10권 6호 1998. 12
5. 김우, 이기열, 정선희, "고강도 콘크리트 휨부재의 처짐에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제22권 제3-A호 pp631-640.