

再生骨材콘크리트의 工學的 特性에 미치는 再生骨材 混合條件의 영향에 관한 實驗的 研究

(제1보, 實驗計劃 및 아직굳지않은 流動化 性狀을 中心으로)

An Experimental Study on the Replacement Proportion of Recycled Aggregate Effecting on the Engineering Properties of Recycled Concrete

(Part1, Experimental Program and Fluidity Performance of Fresh Concrete)

○ 崔 鎮 成* 尹 炳 壽* 林 庭 洙* 金 振 晚** 南 相 駟** 金 武 漢***
Choi, Jin Sung Yoon, Byoung Soo Lim, Jung Soo Kim, Jin Man Nam, Sang Ill Kim, Moo Han

ABSTRACT

The study of recycled aggregate concrete in which demolition waste is utilized to produce aggregate for new concrete, can contribute to the solution of two problems. The first is the shortage of aggregate from river, and the second is the waste disposal problem.

In comparison with natural aggregate concrete, recycled aggregate concrete shows reductions in compressive strength, tensile strength, bending strength, shear strength and increases in drying shrinkage and creep. Recycled aggregate concrete may also be less durable due to increase in porosity and permeability.

Therefore, the purpose of this study is to analyze the applicability of recycled concrete in the influence of a substitute ratio of recycled sand and gravel.

1. 序 論

經濟成長과 産業發展에 따른 建設工事의 急増과 콘크리트 구조물의 高層化 및 大型化에 따른 骨材需要의 증대로 인한 良質의 天然骨材 枯竭과 河川의 維持管理 및 환경보존의 측면에서 골재채취의 제한으로 인한 천연골재의 부족은 그 심각성이 더욱 첨증되어 가고 있는 실정이며, 도시의 재개발과 건물의 老朽化 및 機能低下로 인한 건물 해체의 증가는 막대한 양의 폐기콘크리트를 발생시키므로 廢存資源이 부족한 우리나라로서는 자원 및 에너지 절약과 廢棄物의 處理 및 再活用이라는 측면에서 그 개발에 관한 심도있는 연구가 크게 요구되고 있으나 아직 미진한 상태에 있다. 再生骨材콘크리트는 보통콘크리트에 비해 壓縮強度 등의 工學적 특성 저하 및 耐久性, 耐凍結融雪性 등에 問題點이 제기됨에 따라 再生骨材콘크리트의 開發 및 品質向上에 관한 연구의 필요성이 증대되고 있다.

이에 本 研究은 再生골재콘크리트의 개발에 관한 것으로 再生骨材 혼합조건 등의 실험요인 및 수준을 설정하여 아직굳지않은 콘크리트에서의 施工性과 作業性 및 硬化콘크리트의 壓縮強度등 工學的 特性을

實驗·實驗的으로 比較·分析하여 再生骨材콘크리트의 實用化를 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 實驗概要 및 方法

2.1 實驗概要

재생골재콘크리트의 工學적 특성에 미치는 재생골

표 1. 실험요인 및 수준

요 인		수 준			
W/C (o/wt)		40		60	
재 생 골 재 대 체 율 (%)	세골재	0	30	50	100
	조골재	0	30	50	100
목포 슬럼프		18 cm			
아 직 굳 지 않은 콘크리트 시험	측 정 항 목	슬럼프, 다짐계수, 공기량, 플로우블리딩, 비빔온도, 단위용적중량			
	경 시 시 험 변 화	직후, 15, 30, 45, 60, 90, 120(분) (측정항목:슬럼프)			
경 화 콘 크 리 트 시 험	측 정 항 목	압축강도, 동탄성계수, 초음파속도, 정탄성계수, 반발도, 단위용적중량			
	재 령	7, 28, 60, 90, 180 (일)			

* 재생콘크리트의 목포슬럼프는 SP제를 사용하여 조절함

* 正會員, 忠南大 大學院(碩士課程)

** 正會員, 忠南大 大學院(博士課程)

*** 正會員, 忠南大 教授·工博

재 혼합조건의 영향에 관하여 실험적으로 고찰하기 위한 본 연구의 실험요인 및 수준은 표 1과 같고, 골재의 혼합조건은 표 2와 같으며, 본 실험에 사용된

표 2. 골재의 혼합조건

골시멘트 비 (%/wt)	골재의 혼합조건				골재의 혼합비 기호
	세 골재		조 골재		
	강모래	재생모래	강자갈	재생자갈	
40	100	0	100	0	3 NR 5 NR NR
	100	0	70	30	
	100	0	50	50	
	100	0	0	100	
60	70	30	100	0	3 RN 5 RN RN RR
	50	50	100	0	
	0	100	100	0	
	0	100	0	100	

표 3. 시멘트의 물리적 성질

종 류	비 중	분말도 (cm ² /g)	안 정 성	응 결 (h-m)		압축강도 (kg/cm ²)		
				초결	종결	3일	7일	28일
				보 통 포틀랜드 시멘트	3.15	3,240	양호	5-7

표 4. 고성능감수제의 물리적 성질

SP제 종류	유형	색상	주 성분	독성	PH	비중
RH-716	액상	흑색	Synthetic Polymer	무	-	1.10

표 6. 콘크리트의 조합

골재 혼합 조건	골시멘트 비 (%/wt)	목표 슬럼프 (cm)	SP제의 첨가율 (%)	잔 골재율 (%/vl)	단위 수량 (kg/m ³)	절 대 용 적 (l/m ³)				중 량 (kg/m ³)						
						세 골재		조 골재		세 골재		조 골재				
						강모래	재 생 모래	강자갈	재 생 자갈	강모래	재 생 모래	강자갈	재 생 자갈			
3 NR 5 NR NR	40	18	0.0	32.8	217	173	197	0	403	0	545	506	0	1044	0	
							197	0	282	121		506	0	730	288	
							197	0	201	202		506	0	521	481	
							197	0	0	403		506	0	0	959	
	3 RN 5 RN RN RR	60	18	0.0	40.4	189	100	138	59	403	0	355	139	1044	0	
	98							99	403	0	252	233	1044	0		
	0							197	403	0	0	463	1044	0		
	0							197	0	403	0	463	0	959		
3 NR 5 NR NR	40	18	0.3	32.8	217	173	283	0	418	0	545	727	0	1083	0	
							283	0	293	125		727	0	759	298	
							283	0	209	209		727	0	541	497	
							283	0	0	418		727	0	0	995	
	3 RN 5 RN RN RR	60	18	0.3	40.4	189	100	198	85	418	0	315	509	200	1083	0
	142							142	418	0	365		334	1083	0	
	0							283	418	0	0		665	1083	0	
	0							283	0	418	0		665	0	995	

시멘트, 고성능減水劑의 물리적 성질은 표 3, 4와 같다. 재생골재의 물리적 성질 및 粒度曲線은 표 5 및 그림 1에서 알 수 있는바와 같이 天然骨材에 비해 比重, 實積率 및 單位容積重量이 작고, 현저히 큰 吸水率과 다소 많은 微粒粉의 분포를 보이고 있다.

2.2 콘크리트의 調合, 供試體의 製作 및 養生方法

콘크리트의 調合은 大韓建築學會의 「建築工事 標準示方書」 및 日本 建築業協會 廢棄物 再利用 委員會 「再生骨材 및 再生骨材 콘크리트使用 規準案·同解説」의 參考調合表를 기초로 수차례의 시험비빔을 행한 후 표 6과 같이 결정하였다.

강모래·강자갈을 사용한 보통콘크리트 및 再生骨材 콘크리트는 3분비빔(1분비빔→1분휴지→2분비빔)을 채용하였고, 특히 再生骨材콘크리트의 경우에는 高性能減水劑를 첨가하여 소요의 콘시스템시를 얻도록 하였다. 비빔직후 壓縮強度, 彈性係數 등 諸特性 試驗用 供試體는 10φ×20cm, 反覆度 試驗用 供試體는 15

표 5. 골재의 물리적 성질

구 분	입경 (mm)	조립 율 (FM)	비 중	흡수 율 (%)	실질 율 (%)	단위용 적중량 (kg/l)	비 고
강 모 래	5	2.87	2.57	1.21	63.8	1,520	심천산
재 생 모 래	5	4.06	2.35	8.90	59.1	1,407	-
강 자 갈	20	4.69	2.59	1.68	60.6	1,569	심천산
재 생 자 갈	20	6.86	2.38	6.58	55.9	1,330	-

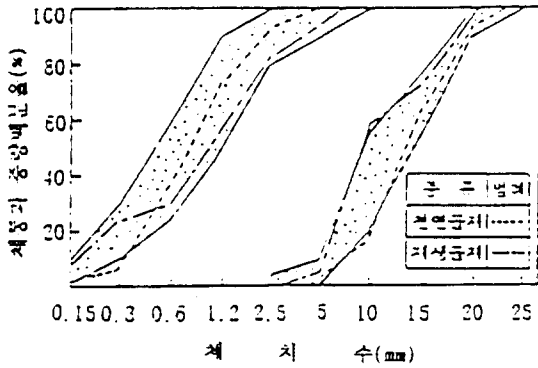


그림 1. 골재의 입도곡선

Ø×30cm의 실린더형 물드를 KS규준에 준하여 제작하였으며 소정의 재령까지 20±3℃의 水中標準養生을 목표로 하였고 본 실험에 사용된 각종 시험은 각 규준에 준하여 시행하였다.

3. 아직굳지않은 콘크리트의性状 및 檢討

3.1 再生骨材의 混合條件別 空氣量, 불리딩, 單位容積重量的 變化 및 檢討

再生骨材의 혼합조건에 따른 물시멘트비별 아직굳지않은 콘크리트의 시험결과를 나타낸 표7과 再生骨材의 混合條件에 따른 空氣量의 변화를 나타낸 그림 2에 의하면 再生骨材를 각각 100%로 대체한 RR調合의 경우를 제외하면 再生骨材콘크리트의 混合條件과 관계없이 대체적으로 강모래 강자갈을 사용한 보통콘크리트와 동일수준의 공기연행을 보여주고 있다. 그러나 再生骨材의 粒形이 불량하고 骨材自體의 공극이

많기 때문에 再生骨材콘크리트의 공기량은 일반적으로 보통콘크리트보다 약간 커지는 경향을 보이고 있다.

再生骨材의 혼합조건별 單位容積重量은 前述한 바와 같이 再生骨材는 통상의 골재보다 比重이 작기 때문에 본 실험의 경우 再生骨材의 대체율이 증가함에 따라 물시멘트비에 관계없이 대체적으로 단위용적중량이 감소하는 경향을 나타내며, 再生骨材콘크리트는 강모래·강자갈을 사용한 보통콘크리트보다 약 2~5% 정도의 단위용적중량이 감소하는 경향을 보이고 있다.

불리딩량은 물시멘트비 60%보다 40%에서 현저히 적게 나타나고 있으며 再生骨材 대체율이 증가함에 따라 불리딩량은 감소하고 있는데 이러한 경향은 再生粗骨材보다 再生細骨材를 대체한 경우에 있어서 현저하게 나타나고 있다. 이와같이 再生骨材콘크리트에서 불리딩량이 저하하는 원인은 再生骨材의 粒形이 불량하여 골재상호간의 架橋作用에 의해 沈降이 저하되어 불리딩수가 골재의 하부에 남는 비율이 강모래 강자갈을 사용한 보통콘크리트보다 큰 경향을 나타내고 적은 比重과 큰 吸水率 등의 골재 특성에 기인하는 結果로 사료된다.

3.2 再生骨材의 혼합조건별 초기슬럼프, 초기플로우, 초기다짐계수치의 변화 및 검토

再生骨材의 혼합조건에 따른 초기슬럼프, 초기플로우 및 초기다짐계수치의 변화를 나타내 주고 있는 그림 3(소요의 作業性 및 施工性を 확보하기 위하여 高性能減水劑를 첨가한후 측정 하였음)에서 알 수 있는 바와 같이 초기다짐계수치의 경우 물시멘트비 40%에

표 7. 아직굳지않은 콘크리트의 시험결과

골재 혼합 조건	물시멘트비 (°wt)	목표 슬럼프 (cm)	SP계수 (%)	공기량 (%)	플로우 (cm)	다짐계수 (CF)	불리딩량 (cc/cm ²)	단위용적중량 (kg/l)	비빔온도 (°C)	SP계수첨가전 슬럼프 (cm)	슬럼프의 경시변화(cm)						
											착후	15	30	45	60	90	120분
40	40	18	0.0	2.0	58.5	0.99	0.06	2.32	26	—	20.1	18.3	18.7	16.6	16.2	11.7	11.5
			0.0	2.0	50.0	0.99	0.05	2.34	26	—	20.3	14.9	12.9	12.0	10.9	9.5	9.2
			0.0	1.0	52.5	0.99	0.04	2.32	26	—	19.8	14.4	11.3	9.4	10.0	8.2	8.1
			0.0	1.8	56.5	0.99	0.02	2.27	26	—	20.5	13.4	12.0	10.7	7.8	7.0	6.4
			0.0	1.8	58.5	0.99	0.03	2.33	27	—	20.7	16.9	13.7	13.7	10.5	10.2	9.0
			0.0	1.5	54.5	0.99	0.03	2.34	27	—	18.0	16.5	10.0	9.4	8.6	6.6	7.0
			0.0	1.8	54.5	0.99	0.03	2.32	27	—	18.8	14.4	10.5	10.8	9.1	7.1	5.9
			0.3	3.3	51.0	0.99	0.01	2.23	27	15.4	21.0	14.7	9.0	6.6	6.0	5.1	4.0
60	60	18	0.0	1.5	46.5	0.98	0.19	2.36	29	—	18.0	16.0	13.0	10.0	8.5	7.7	6.0
			0.3	1.8	48.0	0.98	0.19	2.32	29	12.0	17.0	14.0	9.0	7.0	5.5	5.2	3.5
			0.5	2.3	60.5	0.97	0.17	2.30	29	8.5	19.0	14.0	9.6	10.0	6.5	7.0	5.0
			0.7	1.5	59.0	0.97	0.15	2.28	29	5.9	18.0	13.0	7.5	5.5	5.5	3.5	2.8
			0.3	1.5	53.5	0.97	0.14	2.36	29	17.0	17.5	10.3	7.5	7.4	5.3	4.5	4.5
			0.5	1.5	56.5	0.99	0.13	2.33	30	16.7	18.0	15.0	12.7	8.5	6.7	6.7	7.0
			0.7	1.7	57.0	0.99	0.09	2.29	30	14.7	18.5	9.0	8.7	4.7	4.2	3.2	2.7
			1.0	1.7	50.5	0.97	0.07	2.24	30	10.0	17.0	6.2	3.5	3.2	2.2	1.5	1.0

서는 전반적으로 0.99의 높은 다짐계수치를 보여주고 있으며 물시멘트비 60%의 경우는 再生骨材의 대체율이 증가함에 따라 감소하고 있으나, 초기플로우에서는 물시멘트비 및 再生骨材 대체율에 따른 큰 차이를 나타내지 않고 있어 流動性 및 作業性을 측정하기 위해서는 다른 시험방법과 병행하여 실시하여야 할 것으로 思料된다.

초기슬럼프치에 있어서 물시멘트비 60%의 경우 再生骨材콘크리트는 보통콘크리트와 比較하여 볼때 혼화제 첨가전의 초기슬럼프치는 재생골재의 대체비율이 증가함에 따라 현저히 낮은 수준의 초기슬럼프치를 보여주는 반면 물시멘트비 40%의 경우 再生粗骨材를 각각 100% 대체한 RR調合의 고성능감수제 0.3% 첨가한 것을 제외하면 대체적으로 강모래·강자갈을 사용한 보통콘크리트와 동일한 초기슬럼프치를 보이고 있어 물시멘트비에 따라 상이한 結果를 나타내고 있다. 이러한 경향은 콘크리트의 콘시멘스 및

워커빌리티에 미치는 골재의 특성의 영향이 부조합이 될 수록 감소하여 골재/시멘트비가 2 - 2.5정도로 낮은 경우 거의 영향을 미치지 않는다는 기존의 연구보고¹⁾와 밀접한 관련이 있는 것으로 사료되며, 본 실험의 경우 물시멘트비 60%에서 골재/시멘트비가 5.7정도이나 물시멘트비 40%의 경우에는 2.8수준으로 매우 낮은 정도이므로 재생골재의 특성이 물시멘트비 60%와는 달리 워커빌리티에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다.

3.3 再生骨材의 혼합조건별 슬럼프의 경시변화 분석 및 검토

그림4는 물시멘트비 및 재생골재의 혼합조건별 슬럼프의 경시변화를 나타낸 것으로 재생골재의 슬럼프로스는 보통콘크리트보다 큰 것으로 나타나고 있다. 골재의 혼합조건별 슬럼프12cm정도 수준유지시간을 살펴보면 물시멘트비 40%의 경우에는 N조합이 90분

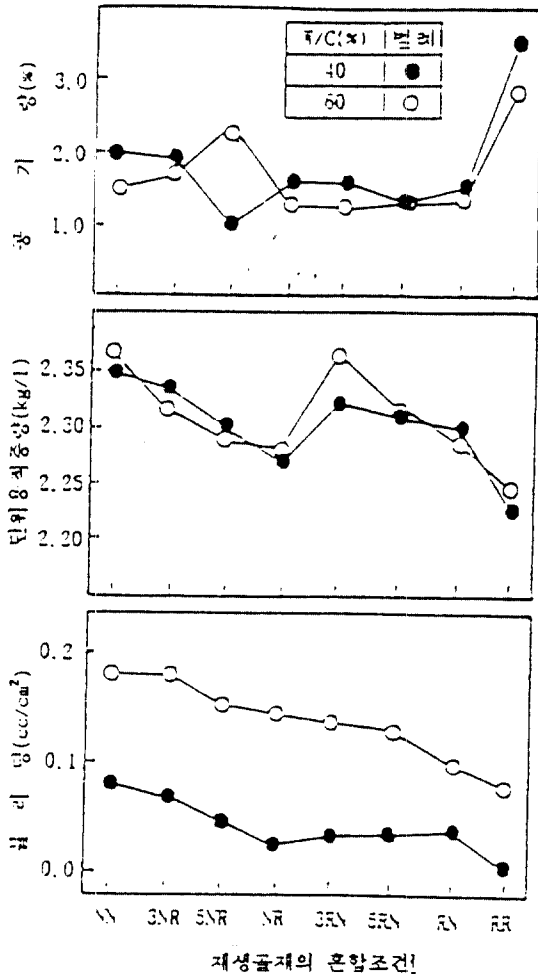


그림 2. 재생골재의 혼합조건에 따른 공기량, 단위용적중량, 투과량의 변화

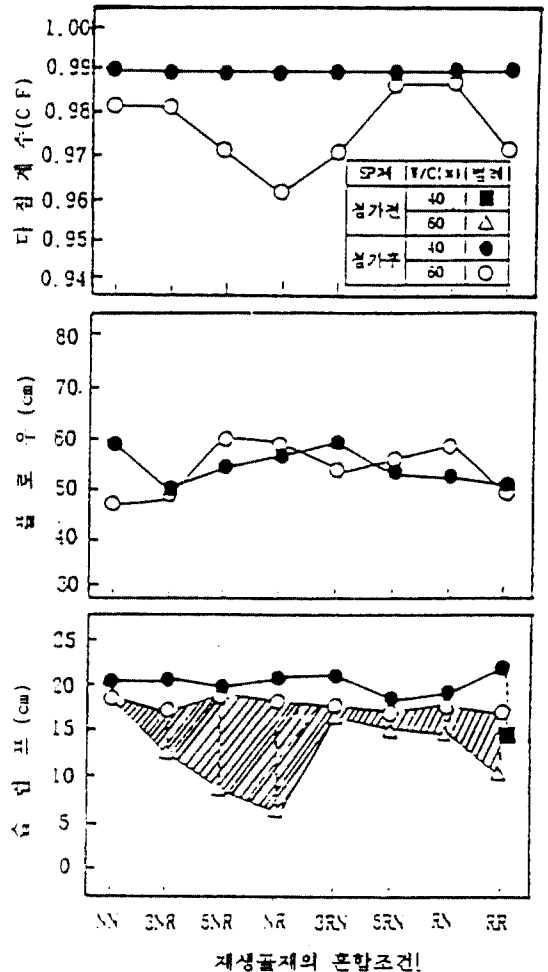


그림 3. 재생골재의 혼합조건에 따른 초기다짐계수, 초기플로우, 초기슬럼프의 변화

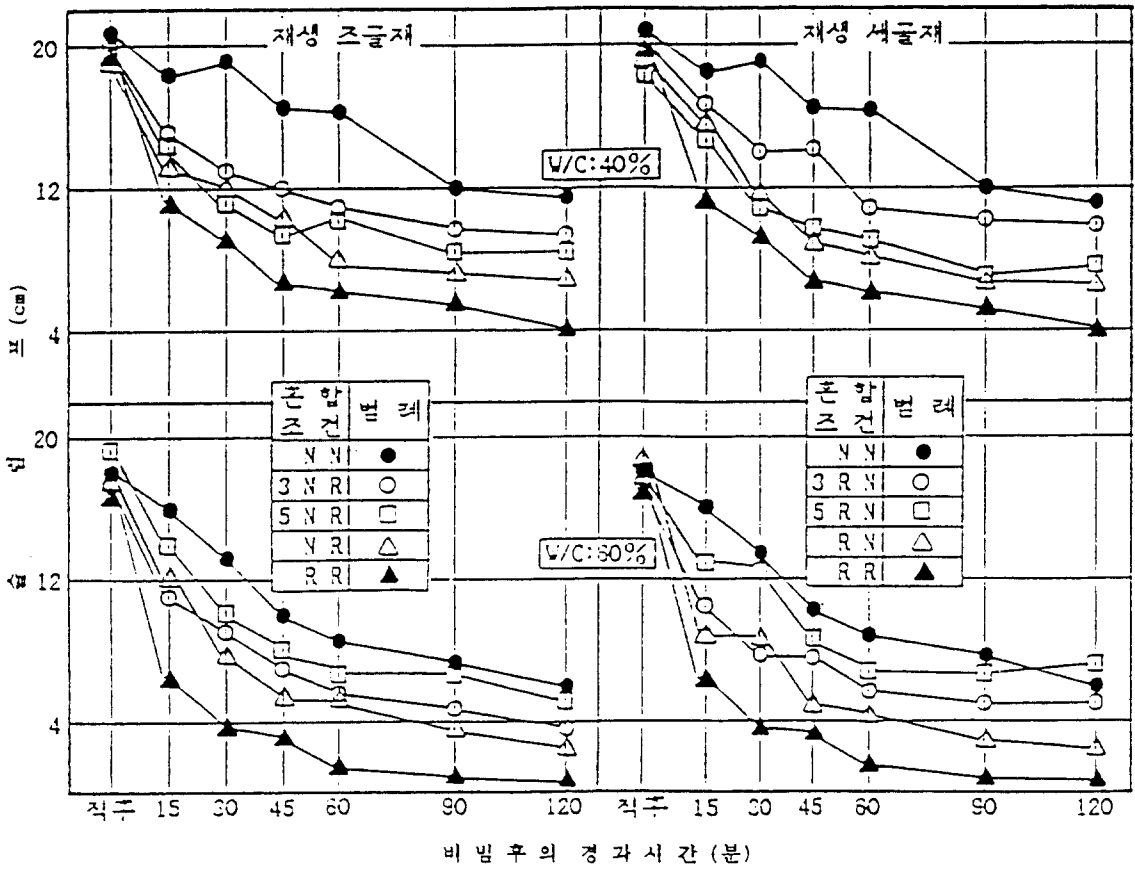


그림 4. 폐기물콘크리트와 재생골재의 혼합비율에 따른 수렴프의 경시변화

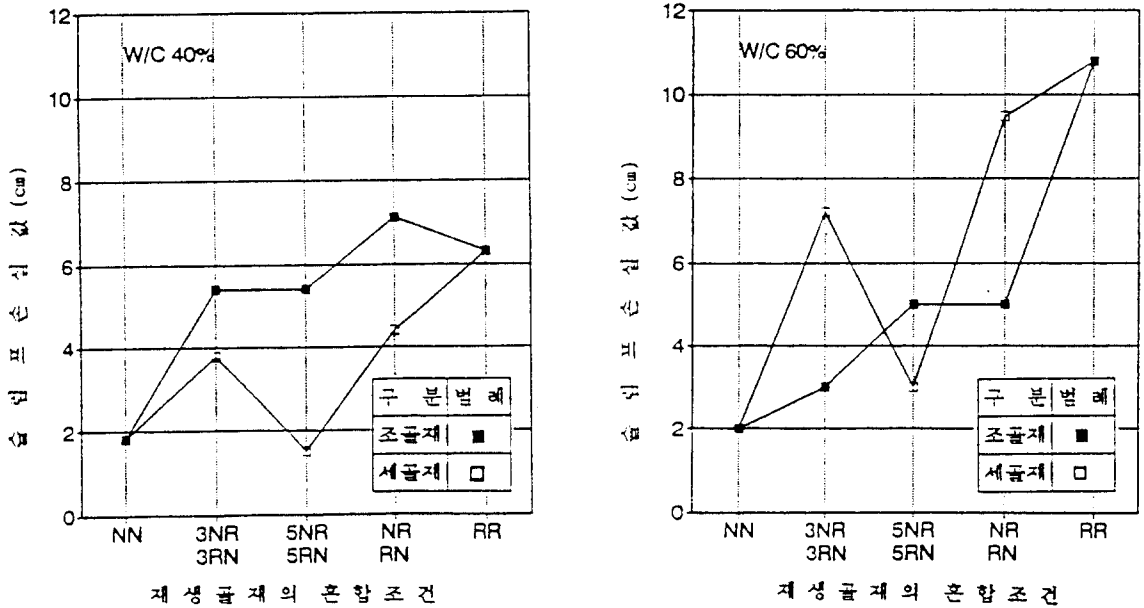


그림 5. 재생골재의 혼합비율에 따른 수렴프손실량 (경시시간 : 15분)

표8. 재생골재의 혼합조건에 따른 슬럼프손실량(경시15분)

물시멘트 비 (%/wt)	골재 혼합 조건	SP제 첨가율 (%)	비빔직후 슬럼프 (cm)	15분후의 슬럼프 (cm)	슬럼프 손실량 (cm)	슬럼프 손실율 (%)
40	NN	0.0	20.1	18.3	1.8	9.0
	3NR	0.0	20.3	14.9	5.4	26.6
	5NR	0.0	19.8	14.4	5.4	27.3
	NR	0.0	20.5	13.4	7.1	34.6
	3RN	0.0	20.7	16.9	3.8	18.4
	5RN	0.0	18.0	16.5	1.5	8.3
	RN	0.0	18.8	14.4	4.4	23.4
	RR	0.3	21.0	14.7	6.3	30.0
60	NN	0.0	18.0	16.0	2.0	11.1
	3NR	0.3	17.0	14.0	3.0	17.6
	5NR	0.5	19.0	14.0	5.0	26.3
	NR	0.7	18.0	13.0	5.0	27.8
	3RN	0.3	17.5	10.3	7.2	41.1
	5RN	0.5	18.0	15.0	3.0	16.7
	RN	0.7	18.5	9.0	9.5	51.4
	RR	1.0	17.0	6.2	10.8	63.5

이나 재생골재의 경우에는 3NR과 3RN이 45분인 것을 제외하면 대부분의 경우 15분 이내인 것으로 나타났다. 또한 물시멘트비 60%의 경우에는 NN조합이 30분이나 재생골재의 경우에는 5NR조합 외에는 모두 15분 이내인 것으로 나타났으며, 비빔후 경시시간 15분의 슬럼프프로스를 살펴보면 표7 및 그림5에 나타난 바와 같이 NN조합이 물시멘트비에 관계없이 2cm미만인 것에 비하여 再生骨材콘크리트의 경우에는 재생골재의 대체율이 증가함에 따라 증가하고 있으며 물시멘트비 60%의 RR조합의 경우에도 10.8cm의 슬럼프 손실량을 보이고 있다. 이와같이 再生骨材콘크리트의 경우에는 보통콘크리트와 비교하여 비빔직후에는 동일한 수준의 슬럼프 값을 보이더라도 경시에 따른 슬럼프 손실량이 크고 특히, 초기에 급격히 발생하고 있는데 이는 再生骨材의 粒形不良과 多量の 微粒粉 및 큰 흡수율에 기인 된다고 사료되며 再生骨材콘크리트의 초기 슬럼프와 슬럼프손실과 같은 제물성을 改善시키기 위해 再生骨材의 선별채취 및 살수와 미립분 제거를 위한 교반수세 등 골재품질관리 및 적정 調合條件의 설정에 관한 研究가 필요하다고 思料된다.

4. 結 論

廢棄콘크리트를 사용한 再生骨材콘크리트의 施工性 向上 및 工學的 特性을 究明하기 위한 實驗結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

- (1) 再生骨材는 天然骨材에 비해 比重, 實積率 및 單位容積重量이 작고, 현저히 큰 吸水率과 다소 많은 微粒粉의 분포를 보이고 있어 재생골재의 정밀한 품질관리가 요망되었다.
- (2) 공기량의 경우 再生骨材를 100% 대체한 RR調合을

제외하면 강모래·강자갈을 사용한 보통콘크리트와 유사한 경향을 보여주고 있으며, 불리당량은 물시멘트비 60%보다는 40%에서, 再生粗骨材 콘크리트보다는 再生細骨材 콘크리트에서 대체율이 증가함에 따라 계속적으로 감소하는 경향을 보이고 있다.

- (3) 再生骨材콘크리트는 물시멘트비 60%의 경우 再生骨材 대체율이 증가함에 따라 보통콘크리트보다 다소 낮은 콘시멘시의 저하를 나타내 주는 반면, 물시멘트비 40%에서는 再生骨材를 100% 대체한 RR調合을 제외하면 강모래·강자갈을 사용한 보통콘크리트와 유사한 경향으로 보아 재생골재의 고품질콘크리트의 적용에 관한 심도있는 연구가 요망되었다.
- (4) 再生骨材콘크리트의 경우에는 보통콘크리트와 비교하여 비빔직후에는 동일한 수준의 슬럼프 값을 보이더라도 경시에 따른 슬럼프 손실량이 크기 때문에 이를 改善시키기 위한 골재품질관리 및 적정 調合條件의 설정에 관한 研究가 필요하다고 思料된다.

參 考 文 獻

1. 竹島宏伸, 콘크리트廢棄物을 이용한 再生セメント及 再生콘크리트 第8回 콘크리트 工學年次講演會論文集, 1986, pp.861-864
2. 河野廣隆, 再生骨材을 이용한 콘크리트의 特性と 利用, 세멘트 콘크리트, No.490(1987.11), p.23-30
3. 福士勳ほか, 再生骨材을 이용한 콘크리트의 性質, 세멘트 콘크리트, No.480(1987.2), pp.10-19
4. 金武漢, 構造 材料 實驗 方法論, 學文社, 1982, p.194 - 270
5. S.F.Yannas, Waste Concrete as aggregate for new concrete, ACI Journ, August, 1977.
6. A.M. Neville, Properties of Concrete 3rd Edition Pitman, 1981.
7. 小林茂敏, 低品質骨材을 이용한 콘크리트의 特性セメント&콘크리트, No.440, 1983.
8. Y.Kasai, Reuse of Demolition Waste, Vo.2, 1988, 11
9. 조승연, 재생골재 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구 논문, 1991.8
10. 奥平 聖, 콘크리트塊とリサイクル, 세멘트 콘크리트, No.550(1992.12), pp.1-8
11. 日本建築學會建設廢棄物處理再利用委員會, 再生骨材および再生콘크리트의 使用規準(案), 콘크리트 工學, VOL.16, No.7, 1978, pp.42-46