

再生骨材 콘크리트의 構造體 適用性에 관한 實驗的 研究

(제1보, 실험계획 및 아직곧지않은 콘크리트의 성상을 중심으로)

An Experimental Study on The Application of Construction of Recycled Aggregate Concrete

(Part1, experimental program and properties of fresh concrete)

○ 李 相 洙* 崔 敏 壽** 金 振 晚** 南 相 駟** 金 武 漢***
 Lee, Sang Su Choi, Min Soo Kim, Jin Man Nam, Sang Ill Kim, Moo Han

ABSTRACT

Due to depleting reserves and environmental pressures, the availability of "good" aggregates, particularly in many urban areas, has decreased in recent years and from the viewpoint of energy and resources saving, it may be very advantageous to use the waste concrete as construction materials.

Therefore, this paper, an experimental study on the application in the construction of recycled aggregate concrete, is the experimental program and properties of fresh concrete to investigate general performance and workability of concrete used recycled aggregate. After establishing some kinds of experimental factors and levels to analyze and compare workability of recycled aggregate concrete with that of ordinary concrete and crushed stone concrete, the purpose of this paper is to provide the results of general performance obtained during an investigation into some fundamental properties of fresh concrete using recycled aggregate concrete.

1. 序 論

최근 市街地의 再開發과 建物の 老朽化, 機能低下에 의한 建物 改築 등에 따라서 건물의 해체가 증가하고 있어 이로 인하여 발생하는 콘크리트 廢棄物의 양은 증가일로에 있다. 이들 콘크리트 廢棄物은 종래에는 주로 해안을 비롯한 매립공사에 의해 처리되어 왔지만 최근에는 埋立地도 부족하고 특히 대도시 주변에서는 그 처리방법에 고심하고 있는 것이 현실이다.¹⁾²⁾³⁾ 우리나라에 있어서 이러한 廢棄 콘크리트의 정확한 생산량의 파악은 아직 되어 있지 않으나 이들 廢棄 콘크리트를 再生骨材로 사용한 再生骨材 콘크리트의 개발은 廢棄 콘크리트의 처리 및 활용 뿐만아니라 天然骨材의 不足, 枯渴問題 및 河川保存問題 등을 해결하기 위한 방안으로 선진제외 국에서는 적극적으로 研究되고 있다.⁴⁾⁵⁾⁶⁾

최근 日本의 경우에는 사회기반시설정비에 따라 건설부산물들이 대량으로 발생하고 있어 이들 자원으로

건설부산물들이 대량으로 발생하고 있어 이들 자원으로 再生 利用 하기위하여 1991년 10월에 재생자원

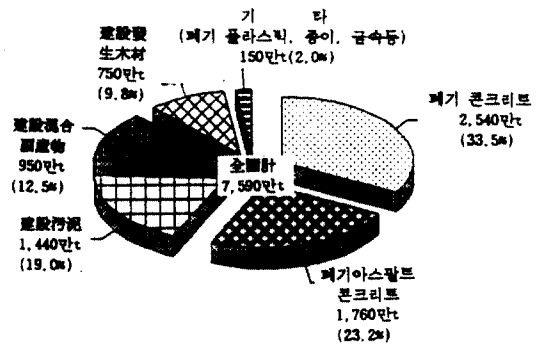


그림1 건설폐기물의 종류 및 배출량

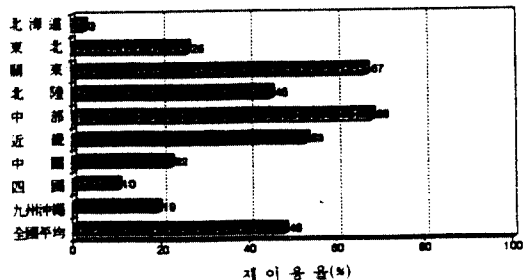


그림2 폐기 콘크리트의 지역별 재이용율(일본의 경우)

*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

이용의 촉진에 관한 법률(再生資源利用法)이 실시되어 건설부산물중 廢棄 콘크리트, 廢棄아스팔트 콘크리트, 土砂 등의 재활용을 활발히 추진하고 있다. 이러한 建設廢棄物중 발생량이 가장 많은 廢棄 콘크리트의 재생자원 활용현황을 보면 1990년도 건설공사에 따라 발생하는 廢棄 콘크리트 발생량은 그림1에서와 같이 전국에서 약 2540만 ton으로 建設廢棄物 전체의 약 1/3을 점하고 있으며 또한 발생한 廢棄 콘크리트의 재이용 현황은 그림2에서 나타난 바와 같이 지역적으로 다소 차이는 있으나 평균 48%가 再生利用되고 있다. 한편 우리나라의 경우 연간 콘크리트 생산량이 1억 m³에 달하고 있어 廢棄 콘크리트의 양은 콘크리트 생산량의 5%로 연간 500만 m³의 폐기 콘크리트가 발생하고 있으나 거의 재생이용되고 있지않은 실정이다. 7)8)9)

이에 本研究는 歐美 및 日本에서 실용화되고 있는 고성능 감수제의 높은 감수성능에 착안하여 廢棄 콘크리트를 사용한 再生骨材 콘크리트의 作業性 및 施工性 向上과 工學的 特性을 개선하기 위한 기본적인 調査設計方針과 對策을 제안하고 再生骨材 콘크리트의 構造體 適用에 관한 基礎資料를 제시하여 再生骨材유동화 콘크리트의 實用化 및 活用化를 도모하기 위한 것으로서 본보는 제1보로서 실험계획 및 아직굳지않은 콘크리트의 性狀을 중심으로 考察한 實驗結果이다.

2. 實驗計劃 및 方法

2.1 實驗計劃

再生骨材 콘크리트의 施工性을 보통 콘크리트 및 쇠석 콘크리트와 比較·分析하기 위한 本研究의 실험요인 및 수준은 표 1과 같이 골재조건으로서 재생모래·재생자갈, 강모래·강자갈, 켄모래·켄자갈의 3수준, 물시멘트비는 40 및 60%의 2수준, 양생조건은 수중 및 폭로양생의 2수준, 고성능감수제의 첨가율은 0.0, 0.5, 1.0, 1.5(%)의 4수준을 채용하여 아직 굳지않은 콘크리트의 물성을 상호 比較·分析하기 위하여 아직굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 비빔온도 및 단위용적중량의 측정을 행하였고 경화 콘크리트에서 압축강도, 동탄성계수, 반발도, 초음파속도 및 단위용적중량등을 재령 7, 28, 90, 180, 365(일)에 측정하고 응력-변형도곡선을 재령 28일에

측정하였다. 10)

표 1. 실험요인 및 수준

요 인		수 준		
콘크리트의 종류		보통, 재생, 쇠석		
물시멘트비 (%)		40	60	
양생조건		수중, 폭로		
SP제 첨가율(%)		0.0	0.5, 1.0, 1.5	
목포 슬럼프(cm)		8	18	
측정항목	아직굳지않은 콘크리트시험	공기량, 슬럼프, 비빔온도, 단위용적중량		
	경화콘크리트 시험	압축강도, 동탄성계수, 반발도, 초음파속도, 단위용적중량, 응력-변형도곡선(재령 28일)		
목재령(일)		7, 28, 90, 180, 365		

2.2 사용재료

骨材의 物理的 性質을 나타낸 표 2 및 골재별 비중, 흡수율 및 단위용적중량의 변화를 보여주는 그림3에서 알 수 있는 바와같이 비중은 細·粗骨材 구분없이 켄골재, 보통골재, 再生骨材의 순으로 작아지고 있으며 再生骨材의 경우 특히 粗骨材의 경우가 다른 골재에 비하여 낮은 비중을 보이고 있으며 흡수율은 보통골재, 켄골재, 再生骨材의 순으로 커지고 있는데 再生骨材의 흡수율은 다른 골재에 비하여 약 4~5배 정도 큰 것으로 나타나고 있고 단위용적중량은 細骨材의 경우에는 재생모래는 강모래 보다 약간 큰 단위용적중량을 보이고 있으나 粗骨材의 경우에는 재생자갈이 강자갈에 비하여 121 kg/m³ 작은 값을 보이고 있다.

골재의 입도곡선을 나타낸 그림4에서 알 수 있는 바와같이 標準粒度에 비하여 보통골재의 경우 모래

표 2. 골재의 물리적 성질

구분	입경 (mm)	조립율 (F.M)	비중	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/l)	
모래	강모래	2.5	2.20	2.60	1.21	59.1	1.539
	재생모래	2.5	2.75	2.48	6.24	63.5	1.570
	켄모래	2.5	2.23	2.69	1.87	66.5	1.780
자갈	강자갈	20	6.90	2.59	1.24	62.2	1.611
	재생자갈	25	6.89	2.37	5.48	62.8	1.490
	켄자갈	20	6.15	2.71	1.57	59.3	1.600

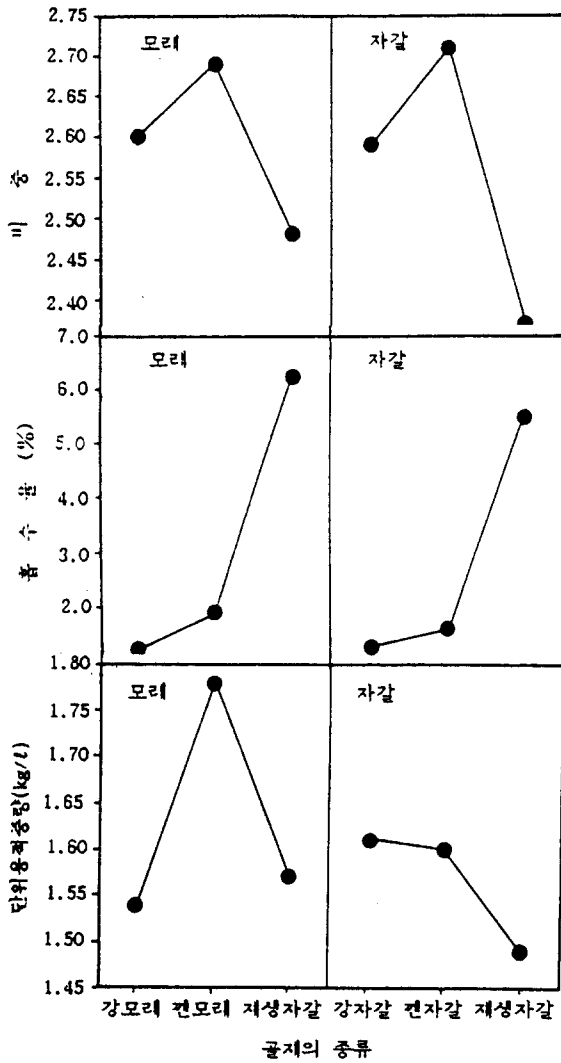


그림3 골재조건별 비중, 흡수율 및 단위용적중량의 변화

표 3. 시멘트의 물리적 성질

시멘트의 종류	비중	본말드 (ca ² /g)	용결도(h:m)		안정성	압축 강도(kg/cm ²)		
			초결	종결		3일	7일	28일
브롬프루멘드 시멘트	3.15	3.240	5:7	7:20	양호	194	216	322

표 4. 고성능감수제의 물리적 성질

유형	색상	주 성분	특성	비중	P.H
액상	갈색	highly condensed cyclicsulfonate	무	1.17~1.19	7~3

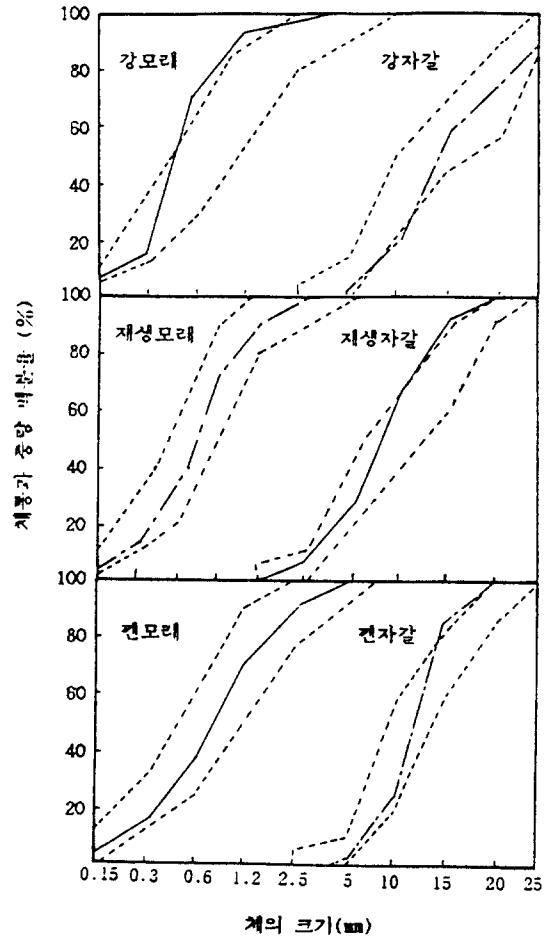


그림4 골재의 입도곡선

는 0.3~0.5mm의 微粒이 많으며 자갈은 5~10mm의 골재가 약간 작은 것으로 나타났고, 켄골재의 경우 모래는 표준입도의 범위에 있으나 자갈의 경우 10~15mm의 골재가 많은 것으로 나타났다. 또한 再生骨材의 경우 모래는 표준입도의 범위에 있고 자갈은 10~20mm의 골재가 표준입도범위보다 약간 많은 것으로 나타났다.

또한 本實驗에서 사용한 시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드 시멘트로서 그 物理的 性狀은 표 3과 같고 고성능감수제는 NP-10으로 그 物理的 性質은 표 4와 같다.

2.3 콘크리트의 調合, 供試體의 製作 및 각종 試驗方法

콘크리트의 調合은 大韓建築學會의 建築工事標準

표 5. 콘크리트의 조합

물시멘트비 (%)	골재의 종류	잔골재 (o/vl)	단위량 (kg/m ³)	절대용적(1/m ³)			중량 (kg/m ³)			비고
				시멘트	모래	자갈	시멘트	모래	자갈	
40	강모래 · 강자갈	34.0	175	138	230	447	435	619	1211	보통 콘크리트
	재생모래 · 재생자갈	34.0	181	144	226	439	454	560	1040	재생 콘크리트
	켄모래 · 켄자갈	34.0	191	152	220	427	479	572	1106	쇄 콘크리트
60	강모래 · 강자갈	38.9	168	89	285	448	280	767	1214	보통 콘크리트
	재생모래 · 재생자갈	38.9	190	101	272	427	318	675	1012	재생 콘크리트
	켄모래 · 켄자갈	38.9	190	101	272	427	318	707	1106	쇄 콘크리트

示方書의 參考調査表를 기준으로 몇차례의 시험비법을 행한 후 골재의 종류에 따라 표 5와 같이 결정하였으며, 콘크리트의 비빈은 베이스콘크리트의 경우 3분비빈(1분비빈 → 1분휴지 → 2분비빈)을 행하였고 流動化 콘크리트의 경우는 3분비빈 후 高性能減水劑를 첨가하여 2분간 재비빈을 실시하였다.

供試體는 콘크리트의 強度試驗用 供試體 製作方法에 준하여 100 × 20cm 실린더형 몰드를 材齡別로 3개씩 製作하여 測定하였고, 反撥度用은 150 × 30cm 실린더형 몰드로 製作하여 소정의 材齡까지 水中과 暴露發生을 실시하였으며 아직금지않은 콘크리트의 슬럼프시험은 KS F2402, 플로우시험은 ASTM C124,

다짐계수시험은 BS 1881, 空氣量試驗은 KS F2421에 따른 워싱턴형 空氣量 測定器 (Washington type Air Meter)를 사용하였으며 경화 콘크리트의 각종 시험은 규준에 의하여 실시하였다.¹¹⁾

3. 實驗結果 및 考察

3.1 骨材條件別 콘시멘서의 比較 및 檢討

아직금지않은 콘크리트의 試驗結果를 나타낸 표 6 및 骨材條件別 高性能減水劑의 添加率에 따른 슬럼프의 변화를 나타낸 그림5에서 알 수 있는 바와 같

표 6. 아직금지않은 콘크리트의 시험결과

측정항목	물시멘트비 (%)	40				60			
	SP제 첨가율 (%) 골재의 종류	0.0	0.5	1.0	1.5	0.0	0.5	1.0	1.5
슬럼프 (cm)	강모래 · 강자갈	13.5	18.5	21.0	22.5	7.5	16.5	17.2	20.0
	재생모래 · 재생자갈	9.0	13.0	18.7	20.5	9.2	16.5	18.5	20.0
	켄모래 · 켄자갈	4.0	6.0	16.0	19.7	5.0	7.0	17.8	20.0
공기량 (%)	강모래 · 강자갈	1.8	2.4	2.5	1.7	2.4	3.0	3.2	2.2
	재생모래 · 재생자갈	1.8	2.1	1.7	1.5	1.5	1.3	1.7	1.6
	켄모래 · 켄자갈	1.2	1.8	1.3	0.6	1.8	2.0	1.8	1.3
단위량 (kg/l)	강모래 · 강자갈	2.32	2.29	2.31	2.32	2.29	2.24	2.30	2.27
	재생모래 · 재생자갈	2.19	2.18	2.21	2.22	2.15	2.14	2.18	2.14
	켄모래 · 켄자갈	2.43	2.43	2.43	2.45	2.42	2.40	2.44	2.45
비빔온도 (°C)	강모래 · 강자갈	24.5	25.0	26.0	25.5	25.5	25.0	26.0	26.0
	재생모래 · 재생자갈	26.5	27.0	27.0	27.0	26.0	26.0	26.5	26.5
	켄모래 · 켄자갈	26.5	26.5	27.0	27.0	26.5	27.0	27.0	26.0

이 물시멘트비 40%의 경우 再生骨材를 사용한 콘크리트의 슬럼프는 강모래·강자갈을 사용한 콘크리트 보다는 낮으나 켄모래·켄자갈을 사용한 콘크리트 보다는 높은 값을 보이고 있으며, 18±2cm의 슬럼프치를 보이는 고성능감수제의 첨가율은 보통 콘크리트는 0.5%, 再生骨材 콘크리트는 1.0%, 쇄석 콘크리트는 1.5%로 나타났다.

물시멘트비 60%의 경우에는 보통 콘크리트와 再生骨材 콘크리트는 고성능감수제의 첨가율에 관계없이 동일한 수준의 슬럼프치를 보이고 있으나 쇄석 콘크리트는 고성능감수제의 첨가율 0.0% 및 0.5%에서 상대적으로 낮은 슬럼프값을 보이고 있고, 고성능감수제를 1.0% 이상 첨가할 경우에만 보통 콘크리트 및 再生骨材 콘크리트와 동일한 수준의 슬럼프치를 보이고 있다. 이와같이 再生骨材 콘크리트는 보통 콘크리트에 비하여 다소 콘시멘트비가 떨어지나 適定量의 高性能減水劑의 添加에 의하여 우수한 콘시멘트비의 확보가 가능하였으며, 또한 쇄석 콘크리트에 비하여는 전반적으로 우수한 워커빌리티 및 콘시멘트비의 확보가 가능하였다.

3.2 骨材條件別 空氣量의 比較 및 檢討

골재조건별 고성능감수제의 첨가율에 따른 空氣量의 변화를 나타낸 그림6과 같이 물시멘트비 40%의 경우 再生骨材 콘크리트는 1.5~2.1%의 공기량을 함유하고 있으며, 보통 콘크리트에 비하여는 다소 작고 쇄석 콘크리트에 비하여는 많은 값을 보이고 있다. 또한 물시멘트비 60%의 경우 再生骨材 및 쇄석 콘크리트의 공기량은 1.5%내외로 보통 콘크리트에 비하여는 평균 1.2%정도 작은 값을 보이고 있어 再生骨材 콘크리트의 경우 再生骨材의 比重이 작고 吸水率이 커 耐凍害性 등 내구성 확보를 위해서는 AE제의 사용이 불가피할 것으로 思料된다.

고성능감수제의 첨가율에 따른 공기량의 변화를 고찰하여 보면 물시멘트비 40%의 경우 骨材條件에 무관하게 流動化 콘크리트는 베이스 콘크리트에 비하여 고성능감수제를 0.5% 첨가시 공기량이 증가하나 첨가율의 증가에 따라 공기량이 저하하여 고성능감수제 첨가율 1.5%에서는 베이스 콘크리트보다도 작은 공기량을 함유하는 경향을 보이지만 물시멘트비 60%의 경우에는 이러한 경향은 보통 콘크리트와 쇄석 콘크리트에서만 나타났으며, 再生骨材 콘크리

트는 베이스 콘크리트와 동등한 수준의 공기량을 보이고 있다.

물시멘트비에 따른 경향을 고찰하면 보통 및 쇄석 콘크리트는 물시멘트비 60%의 경우 물시멘트비 40%의 경우보다 공기량이 증가하나 再生骨材 콘크리트는 오히려 약간 낮아지는 경향을 보여 本實驗에 의

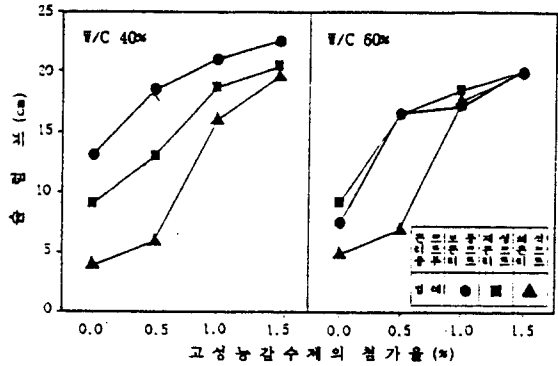


그림5 골재조건별 고성능감수제의 첨가율에 따른 슬럼프의 변화

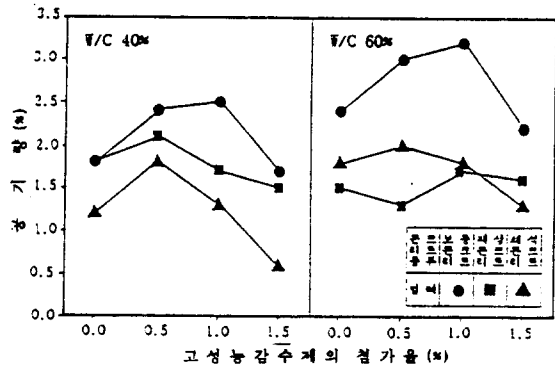


그림6 골재조건별 고성능감수제의 첨가율에 따른 공기량의 변화

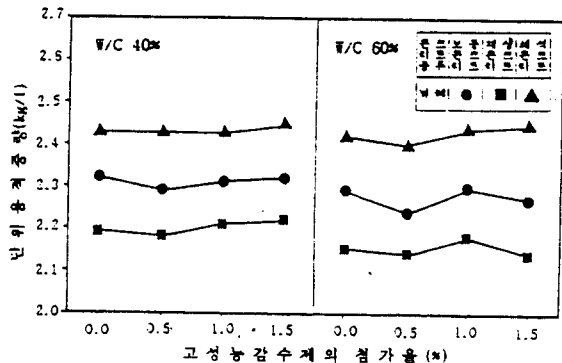


그림7 골재조건별 고성능감수제의 첨가율에 따른 단위용적중량의 변화

하면 再生骨材 콘크리트사용시 貧配合의 경우에는 특히 耐凍害性 確保를 위해 좀더 세심한 배려가 필요함을 제시하고 있다.

3.3 骨材條件別 單位容積重量的 比較 및 檢討

골재조건별 고성능감수제의 첨가율에 따른 單位容積重量的의 변화를 도시한 그림7에 의하면 單位容積重량은 骨材條件에 따라서는 쇄석 콘크리트, 보통 콘크리트, 再生骨材 콘크리트의 순으로 작아지고 있는데 이는 사용된 骨材의 比重差에 기인한 것으로 생각되며, 보통 및 쇄석 콘크리트와 再生骨材 콘크리트의 단위용적중량의 차이는 물시멘트비 40%에서는 110, 240kg/m³이고 물시멘트비 60%에서는 130, 280kg/m³으로 조합중 골재의 비중이 큰 경우에 단위용적중량의 차이가 크게 나타났다. 물시멘트비에 따라서는 골재조건에 관계없이 물시멘트비 60%의 경우가 물시멘트비 40%의 경우보다 낮은 단위용적중량을 보이는데 이는 調合條件에 의한 결과로 생각되며, 또한 고성능감수제의 첨가율에 따른 유의할 만한 차이는 없는 것으로 나타났다.

4. 結 論

再生骨材 콘크리트의 施工性 및 構造體 適用性에 미치는 골재조건별 영향에 관한 本 實驗 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 선진제외국의 경우 1970년대 중반 이후 再生骨材의 이용 및 적용에 관한 研究가 활발히 이루어져 현재에는 再生骨材의 이용율이 日本의 경우 48%에 달하는 등 괄목할만한 성과를 보이고 있으나 우리나라의 경우 再生骨材에 관한 基礎 研究는 물론 그 배출량 및 이용법에 관한 研究가 극히 미약한 상태에 있어 근간 막대한 량이 배출되어 심각한 환경오염물질화할 수 있는 콘크리트 廢棄物의 유효이용에 관한 研究가 시급한 과제로 擡頭되고 있다.
- 2) 再生骨材의 物性은 보통골재에 비교하여 비중은 약 0.1~0.2 정도 작고 흡수율은 약 4~5 배 정도 크기 때문에 再生骨材를 사용한 再生骨材 콘크리트의 시공시 내동해성 확보를 위한 대책이 요망되며 또한 再生骨材의 사용시 충분

히 수분을 흡수시키는 것이 필요할 것으로 思 料된다.

- 3) 再生骨材를 사용한 再生骨材 콘크리트의 콘시 스텐시 및 워커빌리티는 再生骨材의 표면이 거칠기때문에 보통 콘크리트에 비해서는 약간 불량하였으나 적량의 고성능감수제의 사용으로 우수한 施工性 확보가 가능하였고 또한 쇄석 콘크리트에 비해서는 적은 수량을 사용하고도 양호한 워커빌리티를 얻을수 있어 재생골재 콘크리트의 구조체 적용성이 상당함을 시사하고 있다.

參 考 文 獻

1. 竹島宏侑, 콘크리트 廢棄物을 이용한 再生セメント及び再生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를 이용한 콘크리트의 特性とその利用, セメント・コンクリート, No.490(1987.11), pp.23-30
3. 福士勲ほか, 再生骨材를 이용한 콘크리트의 性質, セメント・コンクリート, No.480(1987.2), pp.10-19
4. Torben C. Hansen and Soren E. Hedegård, Properties of Recycled Aggregate Concretes as Affected by Admixtures in Original Concretes, ACI JOURNAL, V.81, No.1, Jan.-Feb. 1984, pp.21-26
5. ALAN D. BUCK, Recycled Concrete as a Source of Aggregate, ACI JOURNAL, V.74, NO.5, MAY 1977, pp.212-219
6. Y.Kasai, Reuse of Demolition Waste, V.2, 1988
7. 笠井芳夫, 加賀秀治, 콘크리트 破砕物의 再利用·その1·콘크리트 破砕骨材의 性狀, セメント・コンクリート, No.347(1976.1)
8. 奥平 聖, 콘크리트 塊와 리사이클, セメント・コンクリート, No.550(1992.12), pp.1-8
9. 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
10. 金武漢外: 잔·금은骨材로서 廢棄콘크리트를 使用한 콘크리트에 관한 實驗的 研究(第I報-第IV報), 大韓建築學會 春季學術發表大會 論文集 第6券 第1號, 1986.4. pp.489-500
11. 金武漢: 構造 材料 實驗 方法論, 學文社, 1982. PP 194 - 270