

쇄석골재의 광물학적 반응성분 분석

Analysis of Crushed stone by Petrographic Examination

○ 이 장 화 * 김 성 욱 ** 이 강 원 ***
Lee, Jang Hwa Kim, Sung Wook Lee, Kang Won

ABSTRACT

In the country, due to short comings of natural aggregates of good quality, it is common to use crushed stones. However, the investigation has not been done on the chemical reaction of crushed stones. This study tested and analyzed the aggregate chemical reaction by petrographic examination (ASTM C 295) for the test aggregates which had been tested by chemical method (ASTM C 289) in the first year.

As a result, most of test aggregates didn't show any reaction but many have common deleterious mineral. Therefore, there exists the possibility of chemical reaction in petrographic point of view.

1. 서론

최근 다목적댐 건설로 수리시설이 정비되고, 하천 유지관리, 상수원 및 절대농지 확보, 개발제한 등으로 인하여 하천골재 채취가 곤란해지고 대부분의 부족량을 개발·이용하므로써 양질의 하천골재는 점차 고갈상태에 직면해가고 있다. 이에 따라서 국내에서는 쇄석골재가 물리적인 소요품질에 대해서만 고려되고 화학반응성 문제는 검토되지 않은 채로 콘크리트 재료로써 사용이 보편화되어 있는 실정이다.

1992년 가을학술발표회 때 1차 연구의 결과인 전국의 63군데의 시료골재를 화학법에 따라 화학반응성을 시험분석하여 발표한 적이 있으며 이번 2차 연구에서는 동일시료에 대하여 광물학적 방법으로 골재의 화학반응성을 시험·분석하였다.

2. 알칼리 및 반응성 광물

* 정희원, 한국건설기술연구원 선임연구원

** 정희원, 한국건설기술연구원 연구원

*** 연세대학교 지질학과 대학원

2.1 알칼리⁽¹⁾

알칼리 골재반응에 직접 관계하는 콘크리트 중의 Alkali는 세공용액중의 Alkali로 판단되고 있다. 콘크리트 세공용액 중의 Alkali로는 Cement, 골재, 礦物質混和材, 化學混和劑와 같이 콘크리트용 재료로부터 内部的으로 공급되는 것과 콘크리트 구조물이 완성된 후 海砂와 融氷鹽 등과 접촉하여 外部的으로 공급되는 것도 있다. 이 중에서 콘크리트의 알칼리 성분의 대부분은 시멘트 원료용 粘土에 포함된 Alkali 함유광물인 正長石($K(AlSi_3O_8)$)과 曹長石($Na(AlSi_3O_8)$)으로 부터 도입된다.

Alkali 화합물은 물에 쉽게 녹는 황산알칼리(Na_2SO_4 , K_2SO_4)와 물에 쉽게 녹지 않는 固溶의 礦物 상태로 존재하며 시멘트 내의 총 Alkali 량 보다는 活性 Alkali량이 골재와의 반응성에 더욱 밀접한 관계를 가진다. 일반적으로 시멘트 등의 알칼리량은 Na와 K를 합한 “등가 Na_2O 량”으로 표시한다.

2.2 반응성 광물 및 암석

콘크리트내에서 유해한 화학반응을 일으키는 암석과 이를 구성하고 있는 광물은 대단히 多種多樣하며 이러한 반응성 岩石·礦物이 콘크리

트내에서 유해한 반응을 일으키는가의 여부는 여러가지 영향요인에 따라 결정된다. 콘크리트 내에서 유해한 화학반응을 일으키는 반응성 광물에 대하여 미국과 일본에서 분류하고 있는 것을 요약 정리하면 표 1 및 표 2와 같다.

표 1. 미국 ASTM C 295의 반응성 광물·암석⁽²⁾

반응구분	반응성 광물·암석
알칼리실리카반응 성분	<ul style="list-style-type: none"> Opal Cristobalite Tridymite Siliceous and some intermediate Volcanic glass Chert Glassy to cryptocrystalline acid Volcanic rocks Synthetic Siliceous glasses Some argillites Metamorphic graywackes Rocks containing highly metamorphic quartz such as graywackes Phyllites Schists Gneisses Gneissic granites Vein quartz Quartzite Sandstone
알칼리탄산염반응	<ul style="list-style-type: none"> Calcareous dolomites or dolomitic limestones with clayed insoluble residues

표 1과 표 2에 나타나 있는 암석들은 반응성 광물을 포함할 가능성이 높은 것을 의미하며 이 반응성 광물의 특징은 모두 微粒이거나 微粒 광물로 구성된 암석이라는 점이다. 알칼리골재 반응을 일으키는 대표적인 광물은 실리카(SiO₂)⁽¹⁾로서 대기조건하에서는 극히 안정된 물질이지만 PH가 높은 강 알칼리 조건하에서는 어떤 형태의 結晶形이나 相(Phase)의 形態를 가지며 알칼리 금속과 반응하여 알칼리 실리케이트 겔을 형성한다. 실제로 상온 대기하에서 존재하는 Silica 相(Phase)은 석영, Tridymite, Cristobalite 및 非晶質 Silica의 4종이다. 이 중 상온대기압에서 안정된 상태는 석영 뿐이고 다른 3가지는 모두 불안정한 상태로서 상온대기압에서 자극이 가해지면 화학반응을 일으키는 잠재력을 가지고 있다. 또한 안정된

표 2. 콘크리트내에서 화학반응하는 암석⁽³⁾(일본)

반응의 종류	반응성물질	반응성 광물을 포함한 암석	
시멘트 시멘트 성분과의 반응	알칼리 골재 반응	glass	안산암, 현무암, 유문암, 흑요석, Perlite, 응회암 등
		Cristobalite, Tridymite	안산암, 현무암, 유문암, 응회암 등
		미소석영	점판암, 혈암, 유문암, 사암 등
		미소운모	Hornfelse, 편암, 천매암, 점판암, 혈암, 사암 등
		과동소광석영	편마암, 편암, Chert, 화강암, 섬록암 등
알칼리 골재 이외의 반응	Laumontite	안산암, 유문암, 현무암, 응회암, 섬록암, 사암, 점판암, 혈암, 각섬석, 편암 등	
	Montmorillonite	현무암, 안산암, 유문암, 응회암, 사암, 점판암, 혈암	
Ca(OH) ₂ 존재하에 분해반응	황철광	사암, 점판암, 혈암, 안산암, 현무암, 유문암, 편암, 섬록암, Hornfelse 등	
물과 반응하는 것	MgO	사문암(蛇紋岩), 돌로마이트질 석회암	

것으로 보이는 석영의 結晶도 潛晶質, 隱微晶質, 微晶質로 불리는 형태로 있는 경우에는 반응성을 나타내며 또한 結晶格子가 높은 응력하에서 변형된 상태에 놓이면 반응을 나타내는 것으로 알려져 있다. Alkali Silica 반응을 일으키는 반응성골재란 이러한 반응성 Silica 광물 1종 이상을 함유한 것을 지칭한다고 할 수 있다.

2.3 반응성 광물 판별법⁽³⁾

(1) glass

glass의 존재 확인에는 편광현미경 관찰법이 적합하며 분말 X선 회절시험 확인시 2θ=10°~35°의 회절선 base의 盛上으로 확인한다. glass는 또한 편광현미경의 직교 Nical하에서 暗黑으로 보이기 때문에 판단이 용이하며 골재 중의 glass 定量은 편광현미경을 이용한 線積分法이나 Point Count법으로 한다.

(2) Tridymite, Cristobalite

화산암중에 結晶粒이 큰 경우는 편광현미경 하에서 광학적 특징이 관찰되지만 많은 경우 화산암중의 脫 glass化 작용에 의해 생성되어 結晶粒이 극히 미세하여 광학현미경으로 관찰이 불가능하다. 보통 Tridymite와 Cristobali-

te의 감정은 분말 X-Ray 회절시험에 따르며 Cristobalite의 회절선이 長石의 회절선과 겹치는 것을 막기 위해서 수산화나트륨 용액으로 처리하여 $2\theta=21.9^\circ$ 회절선의 강도변화를 측정한다.

(3) 微小石英

微小石英은 알칼리 반응성의 砂岩이나 粘板岩, Chert등에 함유된 潛晶質石英과 Chalcedony를 말하며 분말X-Ray 회절시험으로 석영의 회절선을 볼 수 있으며 定量은 편광현미경을 이용 線積分法으로 한다.

(4) 微小雲母

微小黑雲母, 微小白雲母, 絹雲母를 가리키며 이들은 모두 편광현미경하에서 광학적 특징도 비슷하기 때문에 유해광물로서 구분도 동일시한다. 분말 X-Ray 회절시험으로 운모의 종류를 판별하는 것은 어려우며 대략 短片狀 또는 針狀이며 크기는 수 μm ~수십 μm 정도이다.

(5) 波動消光石英

암석이 압력이나 온도의 영향을 받는 광역변성작용에 의하여 암석의 구성광물인 석영의 결정구조가 열에 의하여 파괴되며 편광현미경의 직교 Nical하에서 載物台를 회전시키면 석영결정은 明暗이 차차 변하여 波動消光을 나타낸다. 한편 분말 X-Ray 회절시험에서는 석영의 회절 Pattern을 나타낸다.

(6) Laumontite

분말 X-Ray 회절시험이 더욱 적합한 분석법이며 X-Ray 회절강도를 측정하여 미리 작성된 검량선으로 定量을 구한다.

(7) Montmorillonite

감정은 분말 X-Ray 회절시험이 효과적이며 편광현미경하에서 Fe의 함유에 따라 濃綠色, 黃色, 褐色 등으로 바뀐다. 편광현미경하에서 線積分法으로 定量한다.

(8) 黃鐵礦

편광현미경이나 분말 X-Ray 회절법으로 감정할 수 있으며 透過현미경에서는 흑색입자로 나타난다. 황철광을 더욱 정확히 감정하는 데는 반사 현미경을 이용하며 定量은 편광현미경하에서 線積分法으로 하며 분쇄과정이 어렵기 때문에 분말 X-Ray 회절 시험법은 적당하지 않다.

(9) CaO, MgO

분말 X-Ray 회절시험으로 확인하며 암석중의

MgO나 인공물질중의 CaO, MgO의 定量方法에 관한 연구는 거의 없다.

3. 시험 및 분석

3.1 시험개요

63곳의 시료채취원은 대한지질도(한국동력자원연구소 1981년 발행)에 근거하여 암석의 종류가 다양하게 분포되도록 선정하였으며 정확한 시료의 위치는 1992년 가을 학술발표회 논문 '화학법에 따른 쇄석골재의 알칼리 반응성 분석'의 표 2를 참조하면 된다.

분석대상 골재가 모두 쇄석골재이며 대부분 1종류 또는 2종류의 암석으로 구성되어 있다. 본 시험에서는 우선 편광현미경을 이용하여 구성광물을 감정 및 정량하였으며 동일 지역의 골재일지라도 구성암석이 여러 종류이면 암석 종류 수만큼 현미경 분석용 박편을 제작하였다.

구성광물질의 定量은 Point Count법을 적용하였고 엄밀한 측정치를 구하기에 앞서 근사적인 구성비를 얻고자 하였으며 보다 엄밀한 분석치가 요구되거나 다른 분석비법(X-Ray diffraction법, 전자현미경 분석 등)이 요구되는 시료에 대해서는 앞으로 추가분석할 계획이다.

3.2 시험결과

시료골재의 암석명은 표 4와 같으며 이 골재들의 모달분석에 의한 구성광물의 분포는 표 3과 같다. 또한 이들 구성광물의 백분율은 합계를 100%로 생각할 때 각각 구성광물의 백분율을 산정하면 된다.

3.3 결과분석

전체적으로 23개 광물에 대해서 분석하였으나 존재가 확인되지 않았거나 존재하지 않는 것으로 나타난 4개 광물(Tridymite, Cristobalite, M-Quartz, Zircon)은 표에서 생략하였다. 4개 광물 중 일본에서 흔히 나타나는 광물인 Tridymite와 Cristobalite는 국내에서는 잘 나타나지 않는 광물로 알려져 있다. 그러나 이 두 광물이 나타난다면 石基에 포함될 것이며 암석종류(Rock Type)를 확인하여 나타낼 가능

표 3. 모달 분석에 의한 구성광물 분포

試料 番號	石基 微小 雲母	白雲 母	波動 石英	方解 石	石英	斜長 石	正長 石	角閃 石	輝石 群	黑雲 母	綠泥 石	粘土	不透明 礦物	스핀 礬灰 石	綠 雲 石	저어트 岩片	合計
SK-1		5	16		11	31	34			5							102
SK-2			1		42	32	28			13							116
SK-3	47	20				41							1				109
SK-4				1		1	2	84					24		1		113
SK-5a			16		23	12	22			2							75
SK-5b		6	2		34	13	50			8	1						114
SK-6		3	2		22	52	3			3	7						92
SK-7					37	39	27				1						104
SK-8		2	3		31	49	7				9		1				102
KW-1				100													100
KW-2				100													100
KW-3		45		10	2	49	22	37	1	1	24						191
KW-4		4	2			31	41	11		10	3		1				103
KW-5				100													100
KW-6		13	4			36	15	51		1	1						121
QZ-1		50		8		30					2		2				92
QZ-2	60				1	13	5	10		3	2						94
QZ-3	10	30				51	3	1		4			3				102
QZ-4			30			69							1				100
QZ-5		1		1		8	11	70		2							93
QZ-6						14	15	11		1	8						49
QZ-7			1			28	34	23	3	16							105
QZ-8						39	18			9							66
QZ-9			25			54					20		1				100
CS-1		1		22		40	7	46									116
CS-2	9			81			11			8							109
CS-3	22	17		40		38										14	131
CS-4		3		35			26	45		2	1						112
CS-5		14		40			14	32		5							105
CS-6		3		38			27	31			1						100
CS-7		5		7		13	30	37		10	5						107
CS-8	26	17		12		29							2			15	101
CS-9		12				61						28					101
CS-10a		6		30		13	28	31									108
CS-10b	14	10		28		39	1						3			8	103
CS-11				19		12	30	36		10							107
CS-12		31				70											101
CS-13		11	1	11	6	54	13	19				2	1	2			120
CS-14		3		9		32	25	30				6					105
KN-1		1		24		22	13	53									113
KN-2				1		25	17	53		1			1				98
KN-3				11		12	45	21		8	2						99
KN-4		39	1	6		33	13	40	1		9			1			143
KN-5		6	3	15	28	19	15	24					1			8	119
KN-6a		17	1	20	16	32	8	2			4					3	103
KN-6b	65		1	12		6	3	1					12		7		107
KN-7	117	6				10			1				1			3	138
KN-8		70				19	11	21	7		15						143
KN-9		39	1			17	23	11			13		1	2	3		110
KN-10	105		1				1										107
KS-1	79	4				13	13										109
KS-2	100																100
KS-3				2		31	10	15					7				65
KS-4	180					23	15						2				220
KS-6	39		2	21		18	13	11			3		2				109
KS-7a	40	3		16		8	7	3			8		1			27	113
KS-7b	117	6				10							1			3	138
KS-8a		43		15	1		17	19	5	5	22			1			128
KS-8b		1		11		24	24	58			3						121
KS-9		14		14		7	26	40		2	23		3				129
KS-10	94		1			2	7			1							105
JL-1	11		2	27		43	2	12		4	1						102
JL-2			1	10		36	8	96			16						167
JL-3			3	23		85	4	6		7			9				137
JL-4a		19			4	2	218						2				245
JL-4b	253					28	49									52	382
JL-5	360	55				24	13										452
JL-6	241				14	12									13		280

성이 있는 암석으로 판단되면 추가적인 방법(X-Ray 분석, EPMA 분석)에 따라 분석할 예정이다.

구성광물의 유해여부는 우선 표 1과 표 2에 나타난 광물이 포함되어 있는지의 여부를 검토할 필요가 있으며 분석결과를 요약하면 아래와 같다.

(1) 일반적으로 유해하다고 볼 수 있는 광물 성분은 石基, 微小雲母, 白雲母, 黑雲母, 波動消光石英, 粘土 등을 들 수 있다. 이들 중 모두가 콘크리트내에서 유해하게 작용하느냐의 문제는 국내의 경우 확실하지 않다. 그러나 최근 골재 수급사정 등에 따라 열악한 반응조건이 누적되어 공존할 경우에는 예상하지 않은 성분이 반응성을 나타낼 수도 있다.

(2) 微小雲母(白雲母, 絹雲母, 黑雲母) 계열의 광물을 유해광물로 취급하느냐의 문제는 연구자에 따라서도 이견이 있는 실정이다. 그러나 石基는 구성성분에 따라서 유·무해 가능성이 판별되게 되며 波動消光石英에 대해서는 대체로 유해한 것으로 판단하는 추세이다.

최근 국내의 연구에서 K-장석群에서도 콘크리트 내에서 유해한 반응이 일어난다고 보고하고 있다.

4. 결론

국내 쇄석 골재의 화학반응성의 존재 여부 및 화학반응성 정도를 분석, 파악하기 위하여 편광현미경을 이용한 광물학적 시험분석의 연구결과 일반적으로 지적하고 있는 유해광물성분이 시료골재에 여러종 포함되어 있다. 즉, 유해광물의 일반적이고 공통된 특징은 微粒質이거나 어떤 외부조건에 의해 조직이 변성된 것으로서 이러한 유해광물로서의 공통된 특징을 가진 시료골재는 여러개가 있다. 따라서 광물학적 분석 측면에서는 유해성이 상존하고 있다 하겠다.

1차 연구인 화학법에 따른 시험결과와 이번 광물학적 시험결과에서 유해가능성이 있는 시료골재에 대하여 현재 모르터 바 시험을 수행중에 있으며 이 시험결과를 토대로 국내쇄석골재의 화학반응성에 대한 최종적인 연구결과를 종합할 예정이다.

표 4. 시료골재의 암석명

일련번호	암석명	일련번호	암석명
SK-1	화강암	CS-1	화강암
2	흑운모	2	흑운모
3	화강암	3	화강암
4	화강암	4	화강암
5	화강암	5	화강암
6	화강암	6	화강암
7	화강암	7	화강암
8	화강암	8	화강암
		9	세립암
KW-1	탄산염	10-a	흑운모
2	탄산염	10-b	사암
3	탄산염	11	사암
4	석회암	12	사암
5	탄산염	13	사암
6	화강암	14	화강암
CN-1	사암	JL-1	석회암
2	사암	2	석회암
3	사암	3	사암
4	사암	4-a	사암
5	사암	4-b	사암
6	화강암	5	사암
7	화강암	6	사암
8	화강암		
9	사암		
KN-1	화강암	KS-1	석회암
2	흑운모	2	석회암
3	화강암	3	석회암
4	화강암	4	석회암
5	화강암	5	석회암
6	석회암	6	석회암
7	석회암	7	석회암
8	화강암	8-a	화강암
9	화강암	8-b	화강암
10	석회암	9	화강암
		10	석회암

참 고 문 헌

1. 콘크리트 構造物의 알칼리骨材反應, 中部セメント콘크리트 研究會編, 理工學社, 1990.
2. ASTM C 295-85, Standard Practice for Petrographic Examination of Aggregate for Concrete
3. 丸草夫, 骨材品質にかかわる 耐久性の診斷手法 -岩石・鑛物學的手法-, 콘크리트 工學, Vol.26, No.7, July 1988.
4. 국내 쇄석골재의 화학반응성 연구, 중간보고서, 한국건설기술연구원, 1992.

再生骨材 콘크리트의 構造體 適用性에 관한 實驗的 研究

(제1보, 실험계획 및 아직금지않은 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 현실정이다.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 경우에서는 사회기반시설정비에 따라 건설부산물에 대량으로 발생하고 있어 이를 자원으로

건설부산물이 대량으로 발생하고 있어 이를 자원으로 再生 利用 하기 위하여 1991년 10월에 재생자원

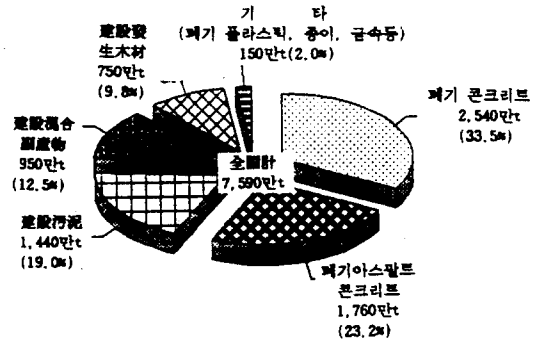


그림1 건설폐기물의 종류 및 배출량

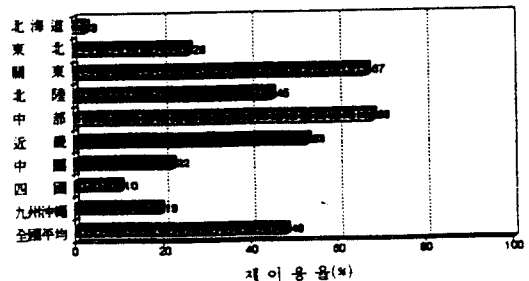


그림2 폐기 콘크리트의 지역별 재이용율 (일본의 경우)

*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 약1/3을 점하고 있으며 또한 발생한 廢棄 콘크리트의 재이용 현황은 그림2에서 나타난 바와 같이 지역적으로 다소 차이는 있으나 평균48%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 500만m³의 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 아직금지않은 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 재생 모래·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 아직금지않은 콘크리트의 물성을 상호 比較·分析하기 위하여 아직금지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 비빔은도 및 단위용적중량의 측정을 행하였고 경화 콘크리트에서 압축강도, 동탄성계수, 반발도, 초음파속도 및 단위용적중량등을 재령 7, 28, 90, 180, 365(일)에 측정하고 응력-변형도곡선을 재령28일에

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	
목표 슬럼프(cm)		8		18	
측정항목	아직금지않은 콘크리트시험	공기량, 슬럼프, 비빔은도, 단위용적중량			
	경화콘크리트 시험	압축강도, 동탄성계수, 반발도, 초음파속도, 단위용적중량, 응력-변형도곡선(재령28일)			
재령(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

구 분		입 경 (mm)	조립율 (F.M)	비 중	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/l)
모래	강 모래	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
	켄 모래	2.5	2.23	2.69	1.87	66.5	1.780
자갈	강 자갈	20	6.90	2.59	1.24	62.2	1.611
	재생자갈	25	6.89	2.37	5.48	62.8	1.490
	켄 자갈	20	6.15	2.71	1.57	59.3	1.600

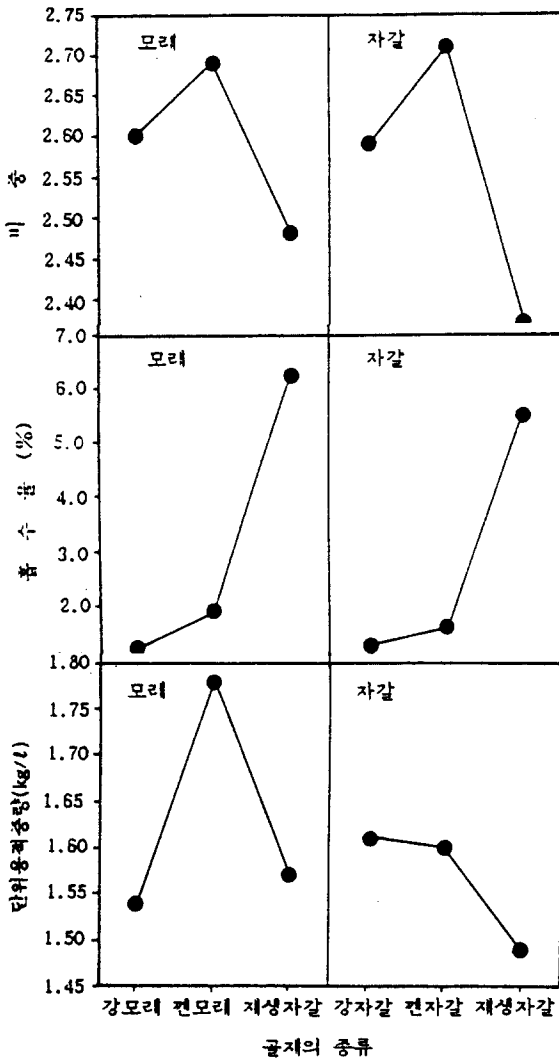


그림3 골재조건별 비중, 흡수율 및 단위용적중량의 변화

표 3. 시멘트의 물리적 성질

시멘트의 종류	비중	본말드 (ca ² /g)	용결도(h:m)		안정성	압축 강도(kg/cm ²)		
			초결	중결		3일	7일	28일
브롬폴라멘트 시멘트	3.15	3.240	5:7	7:20	양호	194	216	323

표 4. 고성능감수제의 물리적 성질

유형	색상	주 성분	특성	비중	P.H
액상	갈색액	highly condensed cyclicsulfonate	무	1.17~1.19	7~9

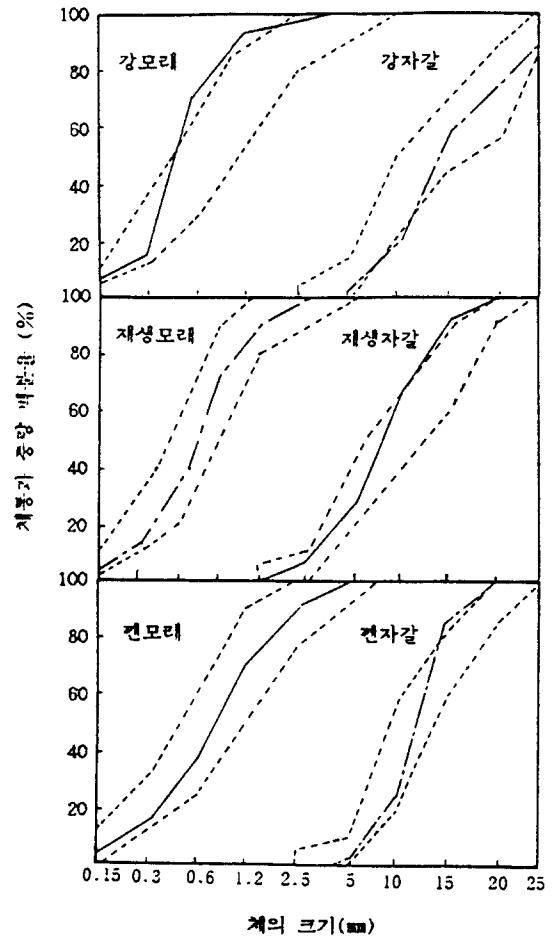


그림4 골재의 입도곡선

는 0.3~0.5mm의 微粒이 많으며 자갈은 5~10mm의 골재가 약간 작은 것으로 나타났고, 전골재의 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 브롬폴라멘트 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 調査, 供試體의 製作 및 각종 試驗方法

콘크리트의 調査는 大韓建築學會의 建築工事標準

표 5. 콘크리트의 조합

물시멘트비 (%)	골재의 종류	잔 골재 (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	생 콘크리트
	편모래 편자갈	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	생 콘크리트
	편모래 편자갈	38.9	190	101	272	427	318	707	1106	쇄 콘크리트

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

供試體는 콘크리트의 強度試驗用 供試體 製作方法에 준하여 10φ · 20cm실린더형 물드를 材齡別로 3개씩 製作하여 測定하였고, 反撥度用은 15φ × 30cm 실린더형 물드로 製作하여 소경의 材齡까지 水中과 暴露養生을 실시하였으며 아직굳지않은 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 콘시멘트시의 比較 및 檢討

아직굳지않은 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. 아직굳지않은 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)	강 모래 · 강 자갈	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
	편 모래 · 편 자갈	4.0	6.0	16.0	19.7	5.0	7.0	17.8	20.0
공기량 (%)	강 모래 · 강 자갈	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
	편 모래 · 편 자갈	1.2	1.8	1.3	0.6	1.8	2.0	1.8	1.3
단위량 (kg/l)	강 모래 · 강 자갈	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
	편 모래 · 편 자갈	2.43	2.43	2.43	2.45	2.42	2.40	2.44	2.45
비빔은도 (°C)	강 모래 · 강 자갈	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
	편 모래 · 편 자갈	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 콘크리트보다는 낮으나 켄모래·켄자갈을 사용한 콘크리트보다는 높은 값을 보이고 있으며, $18 \pm 2\text{cm}$ 의 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

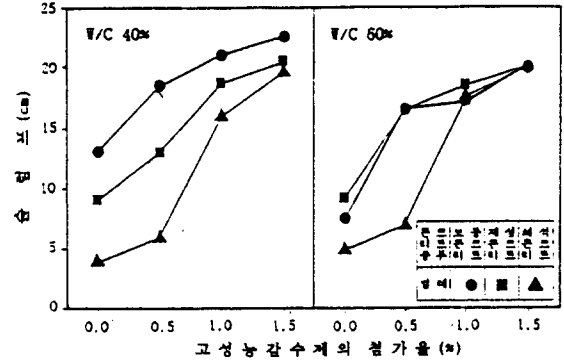


그림5 골재조건별 고성능감수제의 첨가율에 따른 슬럼프의 변화

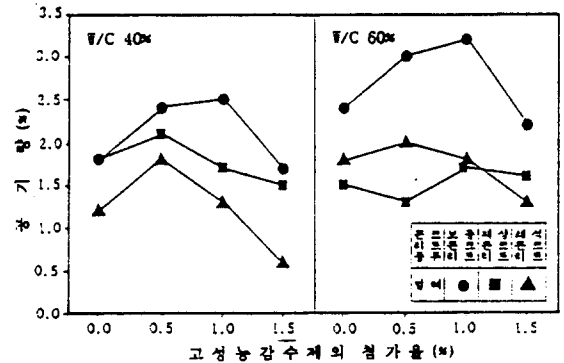


그림6 골재조건별 고성능감수제의 첨가율에 따른 공기량의 변화

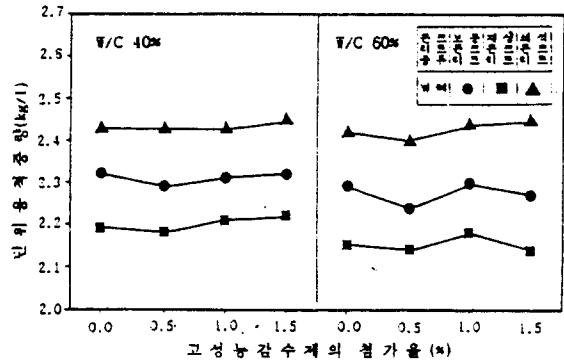


그림7 골재조건별 고성능감수제의 첨가율에 따른 단위용적중량의 변화

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 變化를 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. 糸 言

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 有効이용에 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, 세멘트·콘크리트, No.490(1987.11), pp.23-30
3. 福士勳ほか, 再生骨材를 이용한 콘크리트의 性質, 세멘트·콘크리트, 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 破碎物의 再利 用·その1·콘크리트 破碎骨材의 性狀, 세멘트·콘크리트, No.347(1976.1)
8. 奥平 聖, 콘크리트 塊와 리사이클, 세멘트·콘크리트, 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 使用標準(案), 콘크리트 工學, VOL.16, No.7, 1978, pp.42-46
10. 金武漢外: 잔·흙은 骨材로서 廢棄콘크리트를 使用한 콘크리트에 關한 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