

석회석골재를 사용한 콘크리트의 제반 특성 검토

권 순 욱

〈한일시멘트 대전연구소 주임연구원〉

목 차

1. 개 요	4. 3 압축강도
2. 국내 골재의 현황	4. 4 길이변화시험
3. 시 험	4. 5 동결융해 저항성
3. 1 사용재료	4. 6 고알칼리하에서 장기안정성
3. 2 시험항목	4. 7 내약품성 시험
3. 3 배합비	4. 8 중성화 시험
3. 4 혼합 및 성형방법	4. 9 석회석골재의 CaO 함량에 따른 콘크리트제성질 문헌고찰
3. 5 양생방법	5. 결 론
4. 결과 및 고찰	6. 참고문헌
4. 1 골재의 성질	
4. 2 굳지않은 콘크리트의 제성질	

1. 서 론

근래 양질의 하천골재가 부족한 상황에서 곱은 골재의 경우 쇄석이 주종을 이루어가고 있는 추세이나, 자연 및 환경보전의 측면에서 앞으로 많은 제약을 받을것으로 예상된다. 국내에서는 석회석골재가 콘크리트용 골재로 상당부분 사용되고 있는 실정이지만, 석회석골재의 품질특성에 대한 연구는 미진한 상태로 앞으로 많은 연구 결과 보고가 요망되고 있다. 따라서 본 보고는 골재시장 여건변화에 따른 경제성등이 있을 경우 폐자원재활용의 측면과 석회석광산의 부가 가치 향상의 측면에서 적절히 대처토록 하기 위

해 현재 레미콘골재로써 사용되고 있는 두 종류 곱은골재, 즉 하천골재, 일반쇄석과 석회석을 곱은골재로 사용한 경우의 콘크리트의 제반특성을 비교검토하였다.

2. 국내 골재 현황⁽⁴⁾⁽⁵⁾

골재는 건설공사에 직접 투입되거나 레미콘등 시멘트 가공제품에 소요되는 건설산업의 기초 소재로서 최근 국내 건설활동의 신장세로 인한 수요의 급증과 양질의 하천골재 부족량의 격감으로 수급불균형과 품질저하라는 이중의 구조적 부담을 안고있다.

반면 지금까지 골재자원은 주변에서 쉽게 접

할수 있는 무한한 것으로 인식되어 계획적인 중, 장기채취와 공급이 이루어지지 못하고 있으며 골재채취의 규제, 부존량에 대한 정확한 실태조사의 미흡, 골재수급과 관련한 행정체제의 산만 등으로 인하여 항상수급상의 불균형이 내재하고 있다.

또한 골재는 콘크리트 용적의 70%를 점유하는 원재료로서 콘크리트의 강도, 내구성등의 품질에 절대적 영향을 미치고 있으나 산지에 따라 품질이 균일하지 못하기 때문에 철저한 품질관리를 통한 품질 확보 방안과 골재자원의 유효이용대책이 시급히 요구되고 있는 실정이다. 골재의 소비량은 80년대 중반이후 올림픽 관련공사 200만호 주택건설등에 따른 국내건설경기의 급속한 상승세와 더불어 매년 크게 증가하고 있는

실정이다.

골재의 수요는 현재 정부가 계획하고 있는 서해안개발(1989-2001) 지하철추가건설(1990-2001) 신공항, 고속전철건설등 대규모 프로젝트가 계속적으로 시행될 예정임을 감안할때 지속적인 수요의 증가가 예견되고 있다.

산업별 총산출액 가운데 골재의 투입액의 비중은 건설산업의 경우 평균 0.7%에 그치고 있으나 골재를 대량으로 소비하는 레미콘산업에서는 16%, 그리고 콘크리트제품에서는 10.5%를 차지하고 있다.

현행 골재수급계획은 건교부가 신경계계획 바탕으로 수립하여 '93년도 말에 발표하였으며, (표1)은 지역별골재수요전망을 나타내고 있다.

〈표 1〉 지역별골재수요전망⁽⁵⁾

(단위 : 천 m³)

구분	합계	수도권	강원	충북	대전 충남	전북	광주 전남	대구 경북	부산 경남	제주
'94	108,473	78,819	8,332	7,369	18,535	6,517	18,856	16,502	27,387	2,157
'95	193,483	79,751	9,034	8,047	20,367	7,004	20,719	17,367	28,818	2,331
'96	213,146	87,388	10,069	9,029	22,992	7,739	23,393	18,782	31,164	2,590
'97	219,186	89,362	10,470	9,453	24,209	7,981	24,634	18,949	31,440	2,687
'98	231,642	93,910	11,191	10,167	26,185	8,457	26,643	19,641	32,585	2,863

* 본 자료는 지역별 건설활동비중 전망으로 추정된 것임

3. 시 험

본 시험에 사용한 시멘트의 물리·화학적 성질은 (표2)와 같다.

3.1 사용 재료

(wt/%)

3.1-1 시멘트

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Ig. loss
21.65	5.56	62.29	3.46	2.67	2.15	0.82

〈표 2〉 시멘트의 물리·화학적 성질

안정성 (%)	Blaine (cm ² /g)	응결		압축강도(Kgf/cm ²)			비중
		초결(min)	종결(h:m)	3d	7d	28d	
0.09	3,245	248	5:59	203	256	346	3.15

3.1-2 잔골재

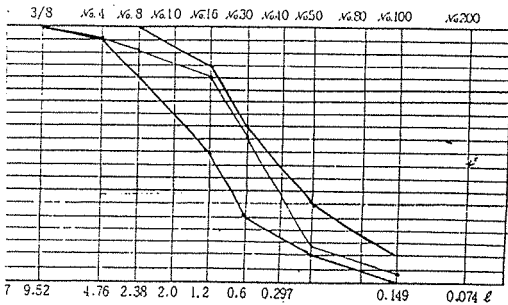
시험에 사용한 잔골재의 물리·화학적 성질은 (표3)과 같고 입도분포는 (그림1)과 같다.

〈표 3〉 잔골재의 물리·화학적 성질

비중	흡수율(%)	단위용중(Kg/m ³)	씻기손실량(%)	조립율	실적율(%)
2.59	1.69	1.603	0.58	2.48	62

(wt/%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Ig. loss	sum
79.42	10.68	1.52	2.13	0.69	1.19	95.63



〈그림 1〉 잔골재의 입도분포

3. 1-3 굵은골재

굵은골재는 단양지역의 석회석과 비교용으로 금산쇄석과 조치원강자갈을 사용하였다.

3. 1-4 혼화제

혼화제는 한일산업(주)의 HANAD AEP 127(공기연행감수제)를 사용하였다.

3. 2 시험항목

시험항목은 굵은골재의 제반특성 파악을 위한 일반적인 항목을 채택하였으며 모든시험은 그 결과의 신뢰도를 높이기 위하여 3회 평균치를 채택하였고 그중 특이한 경향을 보이는 결과치는 재시험후 버리거나 포함시켰다.

1. 석회석골재의 성질
2. 굳지않은 콘크리트의 제성질 : 공기량, 블리딩, 응결시간, 경시변화
3. 압축강도

4. 길이변화시험
5. 동결융해 저항성
6. 고알칼리하에서의 장기안정성
7. 내약품성
8. 중성화

3. 3 배합비

본 시험의 콘크리트 기본배합은 25-210-12로 하였으며 배합비는 (표4)와 같다.

〈표 4〉 굵은골재 종류별 배합비

종류	구분	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m ³)				
				C	W	S	G	AE
쇄석	단양석회석 (이하석회석)	55	46.5	327	180	814	973	0.33
	금산쇄석 (이하쇄석)	"	45.5	337	185	783	976	0.34
강자갈		"	43	320	176	760	1019	0.32

3. 4 혼합 및 성형 방법

콘크리트혼합은 30L 용량의 옴니믹서를 사용하였고 총 혼합시간은 약 3분이었다. 성형은 압축강도 공시체는 10×20cm 실린더 모듈드로 제작하였고 동결융해 시험용 공시체는 10×10×40cm 각주 모듈드를 이용 제작하였다.

3. 5 양생 방법

양생은 KS F 2403에 의거 수중양생과 현장에서 자연양생을 실시하였다.

4. 결과 및 고찰

4. 1 굵은골재의 성질

(표5)는 본 시험에 사용된 석회석골재, 비교

용 쇠석 및 강자갈의 물리적성질을 나타낸 것이고 (표6)은 화학적인 성분을 나타낸 것이다. 석회석골재는 당 연구소에서 석회석을 crusher로 파쇄하고 체가름 하여 25mm 골재로 만든후 시험을 진행하였다.

본 시험에 사용된 석회석골재의 물리적 특성은 다른 골재와 대체적으로 비슷한 양상을 나타내고 있으나 파쇄율 및 마모율이 쇠석에 비해서 높은 경향으로 자체내구성이 다소 낮은 것으로 나타나있다.

〈표 5〉 시험에 사용한 굵은골재의 물리적 성질

항목 종류	비 중	흡수율 (%)	단위용중 (kg/m ³)	씻기손실량 (%)	안정성 (%)	파쇄율 (%)	마모율 (%)	실적율 (%)	산 지
KSF2527	2.5 이상	3.0 이하		1.0 이하	12 이하		40 이하		
석 회 석	2.69	0.4	1,568	0.4	0.67	17.8	21.6	58	단 양
쇄 석	2.68	0.63	1,490	0.06	0.06	14.1	15	56	금 산
강 자 갈	2.62	1.5	1,600	0.34	0.16	14.9	24.2	61	조치원

〈표 6〉 시험에 사용한 굵은골재의 화학 성분

성분 종류	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Ig-loss
석 회 석	11.13	0.46	1.12	46.97	0.71	37.85
쇄 석	69.46	9.06	4.40	5.10	1.41	2.70
강 자 갈	70.08	14.24	3.68	3.08	5.24	1.40

이와 같은 경향은 골재의 입형판정실적율과 관계된 결과로, (표4) 및 (표5)에 나타난 것과 같이 실적율이 1% 작으면 2 - 2.5kg/m³의 단위수량을 증가시켜야 됨을 알 수 있으며 쇠석종류별 콘크리트 단위수량비의 보고에서도 석회석골재의 단위수량이 다른 종류의 쇠석보다 낮은 경향으로 나타나있다. 또한 공기량은 세가지 골재 콘크리트에서 큰 차이가 없었다.

4.2 굳지않은 콘크리트의 제성질

4.2-1 작업성, 단위수량 및 공기량

(표7)에 나타낸 것과 같이 석회석골재 콘크리트가 소정의 슬럼프(12±2.5cm)를 얻기 위한 단위수량은 쇠석콘크리트보다 5Kg/m³ 정도 작지만 강자갈 콘크리트에 비해서는 4Kg/m³ 정도 많음을 알수 있다

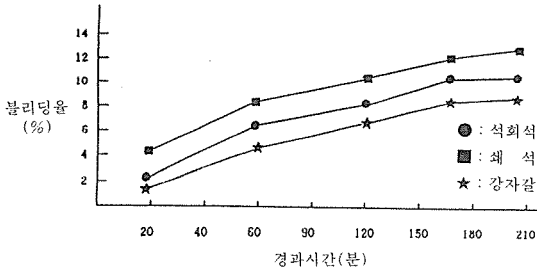
〈표 7〉 굵은골재 종류에 따른 작업성 및 공기량

항목 종류	단위수량 (kg/m ³)	Slump (cm)	공 기 량 (%)
석 회 석	180	12	4.5
쇄 석	185	12.5	4.5
강 자 갈	176	12	4.4

4.2-2 블리딩

블리딩은 일종의 분리현상으로 모르타르 또는 콘크리트중의 골재 및 시멘트 입자가 침하함에 따라 물이 표면에 떠올라 생기는 현상이다. 블리딩이 많은 콘크리트는 침하량이 많으며, 상승한 물은 골재나 수평철근의 아래에 수극을 만들어 골재와 시멘트페이스트 또는 굵은골재와 모르타르, 철근과 콘크리트의 부착을 나쁘게하고 콘크리트의 강도저하나 구조물의 내구력저하의 원인이 된다. (그림2)은 골재별 콘크리트의 블리딩을 측정 한 결과이다.

(그림2)은 보면 강자갈콘크리트의 경우가 가장 적은 블리딩율을 보이고 쇠석콘크리트가 가장 큰 블리딩율을 보이고 있음을 알수 있다. 이



〈그림 2〉 굽은골재 종류별 콘크리트 블리딩 측정 결과량

것은 강자갈의 비중이 가장 작고 콘크리트 배합 시 단위수량이 다른골재에 비해 가장 적게 들어 가는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

4.2-3 응결 시간

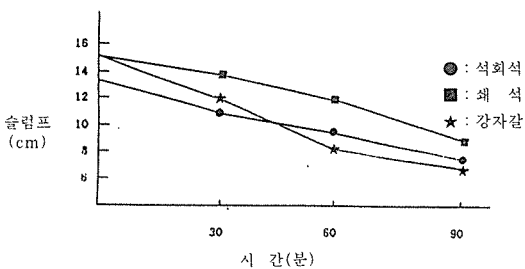
KS F 2436 관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법에 의거 시험한 결과 세가지 골재를 사용한 콘크리트 모두 응결시간이 대체적으로 비슷한 경향을 나타내주었으며 그 결과는 (표8)과 같다.

〈표 8〉 굽은골재 종류별 콘크리트 응결시간

구 분	석회석골재	금산골재	강 자 갈
초결(h:m)	9:10	9:20	9:27
종결(h:m)	11:50	11:57	12:07

4.2-4 경시변화

레미콘은 굳지않은 콘크리트이므로 시간경과에 따른 품질변동의 요인이었다. 이에 따라 시



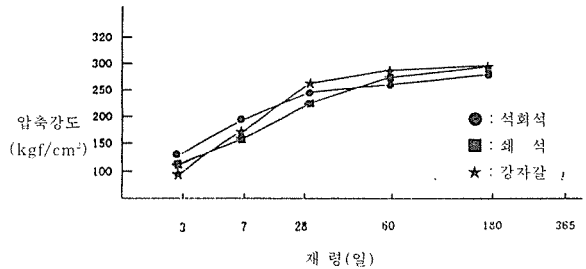
〈그림 3〉 굽은골재 종류별 경시변화

간경과에 따른 슬럼프의 변동등을 파악하여 타설현장까지 운반하는데 따른 품질을 파악하여 대체코자하는 것이 경시변화시험의 목적이다. (그림3)는 경시변화의 측정결과를 나타낸 것이다.

세가지 골재 콘크리트에서 경시변화는 큰 차이가 없음을 확인하였다.

4.3 압축강도

(그림4)는 압축강도의 결과를 나타낸 것이다.



〈그림 4〉 굽은골재 종류별 압축강도

세가지 골재를 이용한 콘크리트강도는 거의 유사하며, 재령 3-7일 사이에는 석회석 골재를 사용한 콘크리트의 강도가 높게 나타나는 경향이었다.

4.4 길이 변화 시험

모르타르, 콘크리트는 건조함에 따라서 수축한다. 건조수축은 시멘트, 골재의 성질 콘크리

〈표 9〉 콘크리트 건조수축에 대한 골재종류의 영향

골 재 종 류	비 중	흡수율(%)	1년간 건조수축(%)
Sandstone	2.47	5.0	0.166
Slate	2.75	1.3	0.068
Granite	2.67	0.8	0.047
Limestone	2.74	0.2	0.041
Quartz	2.66	0.3	0.032

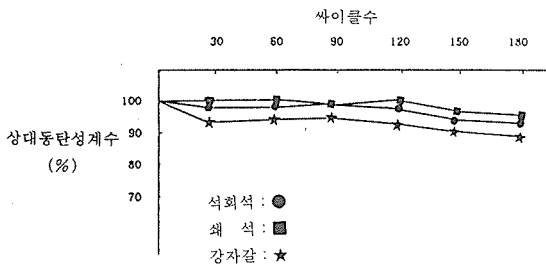
트의 배합 및 양생조건, 공시체의 크기등에 따라 크게 변화하며, 콘크리트에 있어서 균열발생의 원인이 되고 내구성에도 나쁜 영향을 미치게 된다.

골재의 종류에 따른 콘크리트 건조수축의 영향에 대한 연구는 Carlson 등에 의해 행해졌으며 그의 실험 결과는 (표9)과 같다. 일반적으로 골재의 탄성계수가 클수록, 흡수율이 작을수록 콘크리트의 수축은 작아진다.

4.5 동결 융해 저항성

콘크리트중의 자유수분이 동결함에 의하여 체적이 팽창하고 미소균열이 발생하며, 강도저하가 일어난다.

콘크리트 내부에 적당량의 연행공기가 존재하면, 자유수 동결에 따른 압력의 발생을 완화시키고 자유수의 이동을 가능하게하여 저항성이 현저히 개선된다.



〈그림 5〉 동결융해시험에 의한 상대동탄성계수

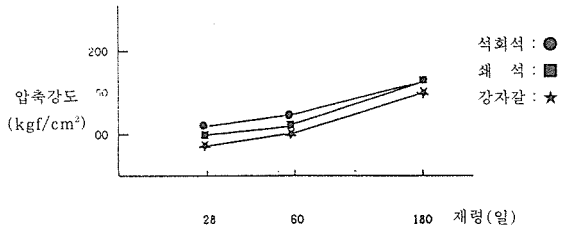
(그림5)는 석회석골재를 사용한 콘크리트의 동결융해사이클에 따른 상대동탄성계수의 변화를 나타낸 것이다. AE 감수제를 사용한 세가지 골재가 300사이클까지 85% 이상의 상대동탄성계수를 나타내어 동결융해 저항성이 양호함을 알 수 있었다.

4.6 고알칼리하에서 장기안정성

알카리골재반응은 시멘트 중의 알카리금속

(Na 와 K)과 골재중에 함유되어 있는 실리카 성분(특정구조의 규산질)이 수분의 공존하에 장기적으로 서서히 새로운 물질을 생성하는 반응을 말하며, 이 반응 생성물이 수분을 흡수 팽창 작용을 발생시키므로써 콘크리트가 분말화, 취약화 및 균열을 발생시켜 심할 경우 콘크리트가 붕괴 되는 현상을 말한다.

따라서 비교용골재와 석회석골재의 콘크리트 골재사용시 고알칼리하에서의 장기안정성을 알아 보기 위해 NaOH를 콘크리트 중에 시멘트의 2.1% 투입하여 콘크리트를 제작한 후 자연양생하여 시험하였으며 고알칼리하에서의 압축강도는 (그림6)과 같다.

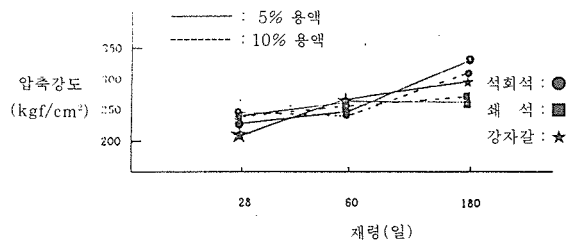


〈그림 6〉 고알칼리하에서의 압축강도

재령 180일까지 세 종류 골재 모두 안정한 강도발현율을 보이고 있어 알카리골재 반응에 대한 문제는 없는 것으로 사료된다.

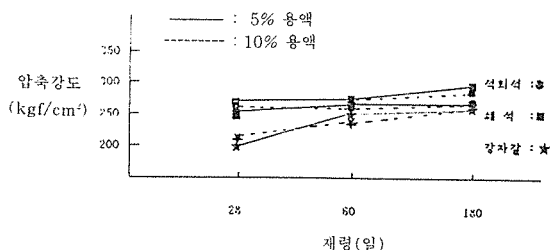
4.7 내약품성 시험

시멘트 콘크리트 구조물에서 Cl⁻ 이온은 구조물내의 철근의 부식을 촉진시켜 콘크리트의 내구성을 떨어뜨리는 중요한 원인이 되고 있다.

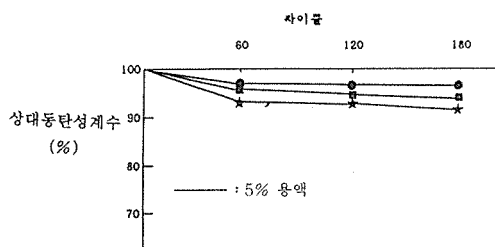


〈그림 7〉 CaCl₂ 용액중에서의 압축강도

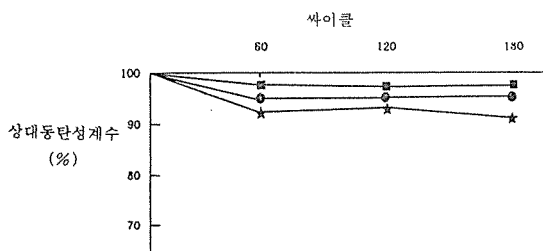
또한 시멘트 화학에 있어서 황산염의 영향은 매우 중요한 사항이다. 시멘트 수화과정에 있어서의 반응은 황산염 광물의 용해-확산-황산염복염의 순서로 진행되며 이는 수화반응 속도를 지배하고, 시멘트의 응결, 경화속도 및 팽창량 등에 영향을 미친다. 따라서 본 시험은 CaCl₂ 5%, 10% 용액과 MgSO₄ 5%, 10% 용액중에서 양생시킨 공시체의 강도를 측정하였으며 각 약품의 용액중에서 동결융해저항성을 시험하여 상대동탄성계수의 변화를 검토하였다.



〈그림 8〉 MgSO₄ 용액중에서의 압축강도



〈그림 9〉 CaCl₂ 용액중에서의 상대동탄성계수 변화



〈그림 10〉 MgSO₄ 용액중에서의 상대동탄성계수 변화

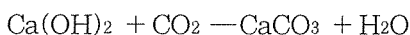
(그림7) 및 (그림8)에 나타난 것과 같이 세 골재의 강도발현에 특이한 현상이 나타나지 않고 있어, 석회석골재의 콘크리트 골재로서의 내

약품성에는 문제가 없을것으로 보인다.

(그림9) 및 (그림10)에 나타난 것과 같이 콘크리트가 공기량을 4% 정도 확보하면 화학저항성에 대한 내구성에는 큰 문제가 없음을 확인하였다.

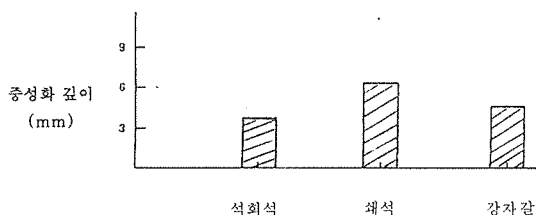
4.8 중성화 시험

중성화란 공기중의 탄산가스의 작용을 받아 콘크리트중의 수산화칼슘이 서서히 탄산칼슘으로 되어 콘크리트가 알칼리성을 상실하는 것을 말한다.



콘크리트가 알칼리성을 상실하여 중성화(PH 11이하)되면 콘크리트속의 철근은 방청력이 없어지며, 철근이 녹슬면 녹의 체적은 2-4배가 커져 이에따라 콘크리트 표면에 균열이 발생하여 그 균열속으로 공기와 물이 침입하여 콘크리트속의 강재부식이 진행되며, 콘크리트 구조물의 내구성을 해치게 된다.

본 시험은 자연양생한 공시체의 페놀프탈레인 1% 용액을 콘크리트 단면에 뿌려 조사하였으며 그 결과는 (그림11)와 같다.



〈그림 11〉 재령 180일에서의 중성화 깊이

본 시험은 재령 180일의 중성화시험으로 석회석골재가 타골재와 큰 차이가 없는 것을 알수 있다.

4.9 석회석골재의 CaO 함량에 따른 콘크리트 제성질 문헌 고찰⁽⁶⁾

본 시험에 사용된 석회석 CaO 함량이

46.97%이며, 따라서 석회석골재의 CaO 함량 별에 따른 콘크리트의 제성질중 콘크리트의 강도, 중성화에 대해 문헌 고찰하였다.

(표10)은 골재의 화학성분을 표시하였다.

〈표 10〉 골재의 화학 성분 (wt/%)

Aggregate	CaO (CaCO ₃)	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
TR	55.7 (99.4)	0.31	0.00	0.00	0.00

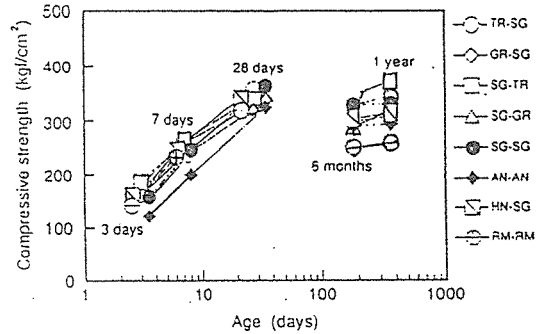
Aggregate	CaO (CaCO ₃)	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
GR	53.5 (95.5)	1.84	0.59	0.01	0.07
HN	41.3 (43.7)	12.1	0.40	0.08	0.19
SG	4.59 (8.2)	2.99	61.7	16.4	4.04
AN	1.01 (1.8)	1.11	70.0	14.7	2.52

〈그림 11〉 골재의 용도에 따른 분류

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
굵은골재	TR	GR	SG	SG	SG	AN	HN	RM (천연골재)
잔골재	SG	SG	TR	GR	SG	AN	SG	

〈그림 12〉 굳지않은 콘크리트의 제성질

No.	Slump (cm)	Air content (%)	Unit weight (kg/m ³)	Temp as mixed (°C)
(1) TR-SG	19.1	4.6	2294	20.0
(2) GR-SG	18.8	5.0	2299	20.2
(3) SG-TR	20.0	5.2	2287	19.9
(4) SG-GR	21.5	5.8	2275	20.1
(5) SG-SG	18.8	4.1	2294	20.0
(6) AN-AN	19.5	5.2	2234	21.0
(7) HN-SG	19.1	4.4	2236	20.0
(8) RM-RM (천연골재)	17.5	4.8	2244	23.0



〈그림 12〉 압축강도

(표11)은 콘크리트에 사용된 석회석골재를 잔골재 및 굵은골재로 사용한 조합을 나타내고 있다.

(표12)는 굳지않은 콘크리트의 제성질을 나타내고 있다.

(표12) 나타난 것과 같이 석회석의 CaO 함량 및 골재종류에 따라 큰 차이가 없는 것을 보여주고 있다.

(그림12)는 압축강도를 나타낸 것으로 굳지않은 콘크리트의 성질과 같이 석회석의 CaO 함량에 따라 큰 차이가 없는 것을 보여주고 있다.

5. 결론

석회석골재를 이용한 콘크리트의 품질특성을 파악하기 위해 비석회석골재를 사용한 경우와 비교해서 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 단양지역 석회석골재는 콘크리트용 부순돌 KS F 2527 규격을 만족하므로 품질에 특별한 문제가 없을 것으로 사료된다.
2. 굳지않은 콘크리트의 성질중 동일한 슬럼프를 얻기 위해서는 단위수량이 쇄석콘크리트 보다는 5kg/m³ 정도 적고, 강자갈 콘크리트에 비해서는 4kg/m³ 정도 많은 것을 알수 있었으며, 이에따라 석회석골재로 양질의 콘크리트를 제조하기 위해서는 입형이 둥근 석회석골

재를 파쇄하여야 하며 이에따라 crusher 선택에 신중을 기하여야 할것으로 보인다.

3. 석회석골재를 사용한 콘크리트와 비석회석골재를 사용한 콘크리트의 경화상태에서의 물성에서 특이한 사항이 없었으며, 문헌고찰에서도 특이한 사항이 없으므로 석회석골재가 콘크리트 골재로서 적당한 품질을 가지고 있는 것으로 볼수있다.
4. 향후 석회석골재콘크리트의 콘크리트 재료역학적인 면인 응력-변형도 관계, 인장강도, 탄성계수에 관한 검토 및 고강도콘크리트용골재로서의 적부판정에 대한 검토가 수행되어 래미콘 골재로서 충분한 데이터를 확보하는 것이 요망된다.

2. 한국공업진흥청, 한국공업규격 (KS) 시멘트, 골재, 콘크리트, 혼화재료, 품질관리 등 관련규격집
3. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 1995
4. 최민수, "한·일 콘크리트재료의 투입소비 구조에 관한 비교연구", 래미콘, 1995. 4
5. 조양훈, "골재의 수급전망과 대책", 건자재, 1995. 여름호
6. Akira NISHIDA, "COMPRESSIVE STRENGTH AND CARBONATION OF LIMESTONE AGGREGATE CONCRETE", CAJ PROCEEDINGS OF CEMENT AND CONCRETE, NO. 45, 1991.

6. 참고문헌

1. 대한토목학회, 콘크리트표준시방서, 1989

건설현장에서 압축강도 시험용 공시체를 보관할 경우는 수평이고 진동이 없는 그늘진 장소를 선택하여 보관하며, 여름철에는 젖은 가마니 등으로 덮어 습도저하를 방지하고 겨울철에는 동해(凍害)를 받지 않도록 주의한다.

