

전남 동남부 지역에 부존하는 육상골재의 물성특성에 관한 연구

김주용 · 오근창* · 양동윤 · 홍세선 · 장수범 · 이진영 · 임현수

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 제4기 환경 연구팀

Physical Properties of Old Fluvial Aggregates in the Southeastern of Jeonnam Province, Korea

Ju Yong Kim, Keun Chang Oh*, Dong Yoon Yang, Sei Sun Hong, Soo Bum Chang, Jin Young Lee and Hyun Soo Rim

Dept. of Geological & Environmental Hazards Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources (KIGAM), Daejeon 305-350, Korea

Some of old fluvial sediments are originally composed of fine and silty-clay grains with sands or some of them have been segregated by weathering as a result of the influence of groundwater fluctuations. For this reason, some of old fluvial sediments are not suitable for using as fine aggregates. Furthermore, the old fluvial aggregates with comparatively good quality have been exploited for a long time and quality of most remainders have been significantly poor. Though many old fluvial aggregates do not satisfy the quality controls(QC) standards such as KS F 2526 and KS F 2527, they must be utilized to various usage suitable for different quality categories. Thus, we try to make constant efforts to utilize aggregates of all qualities. This study shows that physical properties of old fluvial aggregates are both controlled by source rocks and also related to old fluvial environment.

Key words : old fluvial aggregates, groundwater fluctuations, weathering, quality controls, KS F 2526 and KS F 2527

육상골재의 구성물질은 퇴적 후 오랫동안 지하수 유동의 영향으로 일부는 풍화를 받아 토양화가 진전되었거나 토양화의 정도는 미약하더라도 퇴적 당시의 입자가 실트-점토질 또는 세립질로서 골재로 사용하기에는 곤란한 경우도 있다. 더구나 오랜 기간 계속된 육상골재의 개발로 입자가 양호한 지점에 분포하는 육상골재는 현재 거의 개발이 완료된 상태이므로 골재의 품질기준을 규정한 KS F 2526 및 KS F 2527 등에 의하여 골재로서 부적합하거나 불량한 조건을 나타내는 육상골재에 대하여도 자원의 효율적인 이용차원에서 각각의 품질에 적합한 다양한 용도를 개발하고 이러한 범위 내에서 골재로 사용할 수 있도록 하는 노력과 관리가 필요하다. 본 연구에서 육상골재의 물성은 기원암과 고기 하천 환경에 좌우되고 있음을 보여준다.

주요어 : 육상골재, 지하수 유동, 풍화, 품질기준, KS F 2526과 KS F 2527

1. 서 론

육상골재로 명명된 잔골재의 사용량은 1982년 이후로 완만하게 증가하여 왔으며, 2004년 허가기준으로는 15,034,000 m³을 기록하고 있다(김주용 등, 2004). 이는 현재 주로 사용되는 자연골재인 산립골재, 하천골재, 바다골재에 비하여 약 10%이내의 가장 낮은 사용빈도를

보이고 있지만 현재의 잔골재 부족사태를 고려한다면 육상골재의 중요성을 간과할 수 없는 상황이다. 육상골재는 다른 골재와 마찬가지로 20년 이상 계속된 개발로 인하여 부존량이 많고 물성이 우수한 주요 육상골재부존지역은 이미 개발이 완료된 상태이기 때문에 최근에 개발되는 육상골재는 부존량과 품질에 있어서 기존에 개발된 육상골재에 비하여 점점 더 불량한 개발

*Corresponding author: okc1027@kis.kigam.re.kr

조건을 갖는 것으로 우려되고 있다.

하천과 구하상의 잔골재의 물성과 지역 및 지질인자 간의 상관관계에 대한 연구는 최근까지 거의 이루어진 바가 없으며, 특히 잔골재의 품질특성에 관한 연구는 전무한 실정이다. 단지 이와 유사한 연구로는 양동윤과 이창범(1997)에 의한 하천 굵은 골재의 알칼리 반응에 관한 연구와 국내 가행 석산 골재를 지질별로 분류한 홍세선 등(2004)의 연구가 이루어졌을 뿐이며, 건설공학계열에서는 이와 비슷한 연구로 부순 잔골재가 콘크리트의 물성에 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구가 윤기원(1996), 이성복(1997), 그리고 백두환(2000) 등에 의해 최근에 수행된 정도이다.

본 연구는 이처럼 중요하면서도 연구의 관점에서 벗어나 있는 육상골재의 품질이 골재로서 이용 가능한 KS기준을 충족하는지의 여부를 판정하고 만약 KS기준을 충족하지 못한다면 그 주요한 원인이 무엇인지를 파악하여 이에 대한 대안을 제시하고자 수행되었다.

2. 연구지역 및 시료채취

본 연구지역인 전남 동남부지역(Fig. 1)은 행정구역 상으로는 광주광역시 동북지역 일대와 담양군, 화순

군, 곡성군, 구례군, 광양시, 순천시, 여수시, 보성군, 고흥군, 장흥군, 강진군을 포함하며, 해발고도 1,187 m의 무등산과 해발고도 1,507 m의 지리산을 포함한 1,000 m이상의 높은 봉우리들을 육상골재의 주요공급원으로 하는 지형적인 특징을 갖는다. 이 지역은 이병주 등(1997)에 의한 1:250,000축척의 지질도폭(Fig. 2)에 의하면 백악기의 산성 암맥 및 화산암류, 쥐라기의 화강암 및 퇴적암류, 중생대의 엽리상 화강암, 그리고 선캄브리아기의 지리산 편마암 복합체가 우세하게 분포하며, 특히 쥐라기와 중생대의 화강암류 및 지리산 편마암 복합체가 발달하는 지역을 중심으로 육상골재의 분포가 두드러진 특징이 현저하다.

시료는 SPT용 시료채취기를 이용하여 시추공 시료를 채취하였으며, 시험시료를 채취한 시추공의 위치, 심도 그리고 기타 관련 정보를 Table 1에 수록하였다.

3. 육상골재의 시험항목 및 방법

3.1. 물성 및 품질 기준

골재의 물성은 골재 입자 낱개의 성질이 아니라 크고 작은 입자로 구성된 전체로서의 성질을 말하는데, 콘크리트용 골재는 일반적으로 다음과 같은 물성을 가

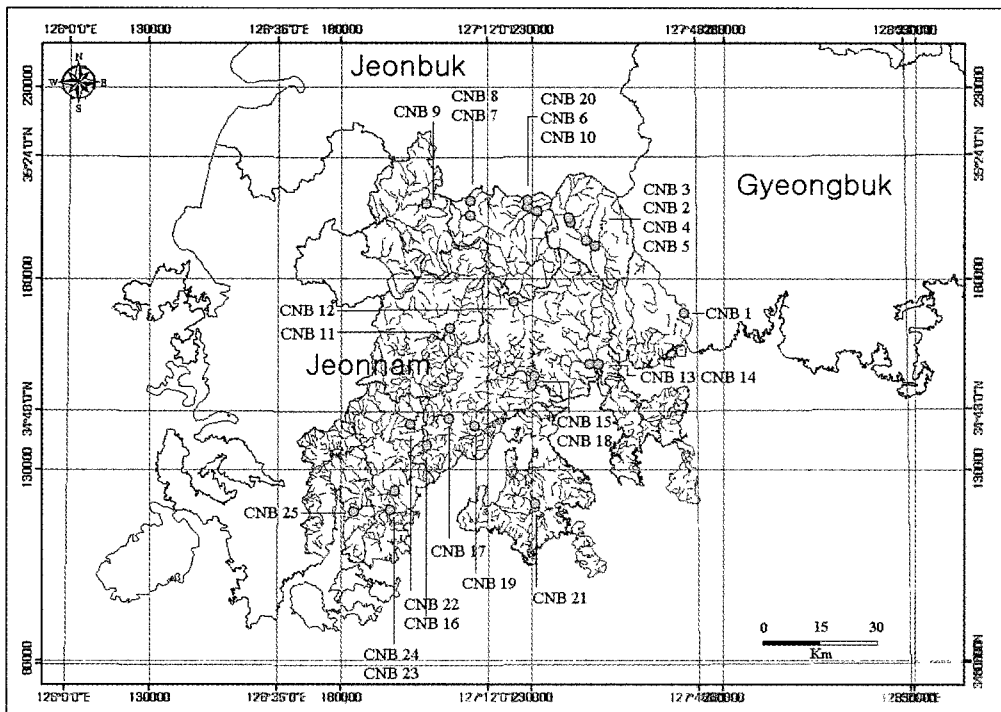


Fig. 1. Bore-hole site of the southeastern part of Jeonnam, Korea.

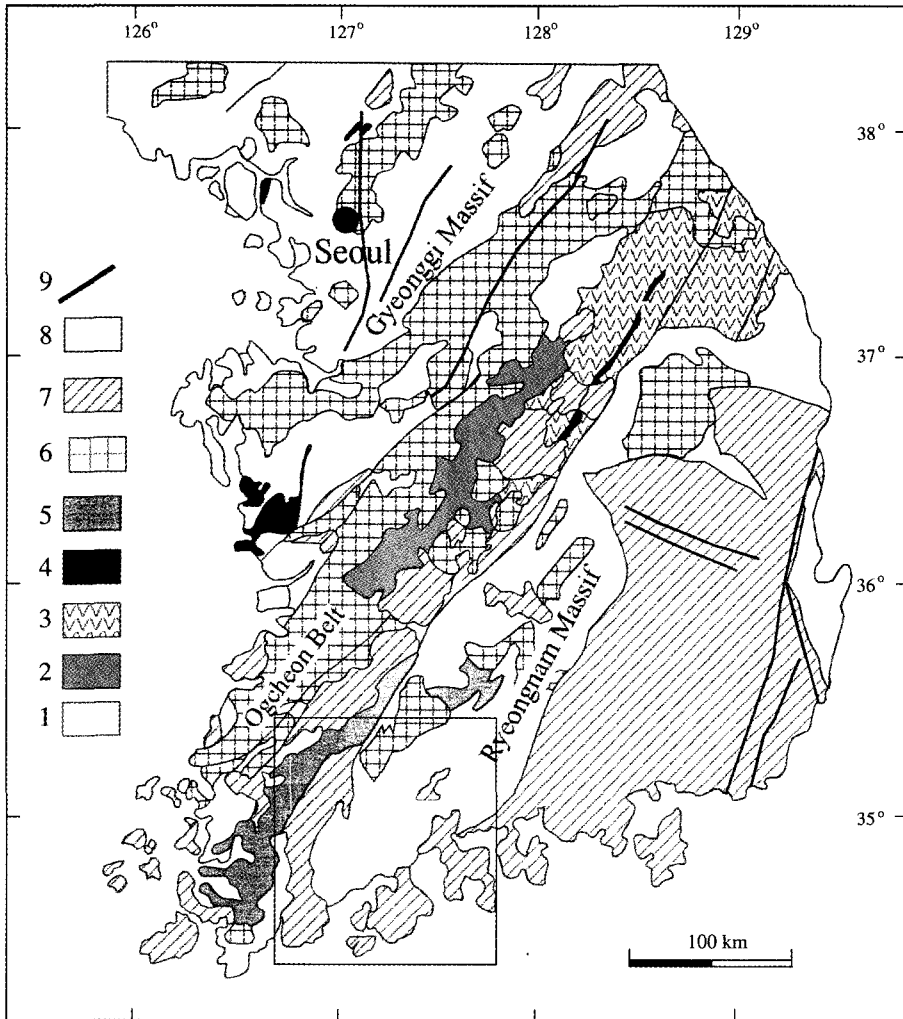


Fig. 2. Geologic map of studied area(modified from Lee *et al.*, 1997) : 1. Precambrian rocks, 2. Ogcheon belt, 3. Paleozoic sediments, 4. Jurassic sediments, 5. Mesozoic foliated granite, 6. Jurassic granite, 7. Cretaceous rocks, 8. Tertiary rocks, 9. Fault. □ : Studied area.

져야 한다. 즉, 콘크리트 강도 확보가 가능한 세기를 가질 것, 콘크리트의 비중을 만족하는 비중을 가질 것, 기상 조건 및 다른 사용 요건에 맞는 내구성이 있을 것, 유동성이 좋고 밀실한 콘크리트를 만들 수 있는 입형과 밀도일 것, 콘크리트의 성질에 악영향을 끼치는 유해물질을 포함하지 않을 것, 내화성이 있을 것 등이다. 이러한 골재의 일반적 성질을 평가하는 시험 항목에는, 비중 및 흡수율과 같이 그 골재 고유 특성에 관한 것, 크기 및 입도 분포와 같이 생산 특성에 좌우되는 것, 염분 및 유기물과 같이 혼입물에 관한 것 등이 있다. Table 2에는 우리나라와 미국에서 골재에 적용되는 일반적인 시험 항목과 그 규정치를 제시하였으며, Table

3에는 우리나라 잔골재와 굵은 골재에 적용되는 시험방법 및 품질기준에 관한 내용을 정리하였다.

3.2. 시험항목 및 방법

입도, 밀도, 흡수율, 단위용적질량 등의 물성은 25개 시추공의 시료를 시험대상으로 하였으며, 하나의 시추공 시료 중에서도 모래층을 구분하여 잔골재 시험을 실시하였다. 골재시험으로서 밀도, 흡수율 시험 등을 위하여 먼저 체분석을 실시한 후, 75 μm 이하의 입자와 유기물을 제거하였다. 이는 실제로 잔골재가 상품으로 생산되는 상태에서의 시험에 해당된다. 그리고 시추공의 각 구간별로 No. 200체 이상의 크기의 물질에

Table 1. Description of bore-hole and core samples.

Bore-hole	Depth (m)	Alluvial (m)	S+G (m)	S/(S+G) (%)	C/A (%)	Boring (m)				Watershed	Type of depositional location
						Clay	Sand	Gravel	Bed rock		
CNB-1	15.0	15.0	2.3	100.00	84.67	12.7	2.3	0.0	0.0	Seomjin R.	old river bed
CNB-2	7.8	7.5	7.5	13.33	0.00	0.0	1.0	6.5	0.3	Seosi S.R.	old river bed
CNB-3	24.0	24.0	9.5	74.74	60.42	14.5	7.1	2.4	0.0	Seosi S.R.	old river bed
CNB-4	13.0	12.5	8.0	22.50	36.00	4.5	1.8	6.2	0.5	Seosi S.R. -Seomjin R.	confluence
CNB-5	11.0	7.2	3.0	0.00	58.33	4.2	0.0	3.0	3.8	Seomjin R.	old river bed
CNB-6	14.0	12.0	8.7	42.53	27.50	3.3	3.7	5.0	2.0	Seomjin R.	old river bed
CNB-7	4.0	3.0	0.0	-	100.00	3.0	0.0	0.0	1.0	Samgi S.R.	old river bed
CNB-8	5.0	4.5	4.4	72.73	2.22	0.1	3.2	1.2	0.5	Okgwa S.R.	old river bed
CNB-9	5.8	5.8	3.8	100.00	34.48	2.0	3.8	0.0	0.0	Orye S.R.	old river bed
CNB-10	11.0	9.0	6.5	46.15	27.78	2.5	3.0	3.5	2.0	Seomjin R.	old river bed
CNB-11	5.0	4.3	4.3	93.02	0.00	0.0	4.0	0.3	0.7	Oenam S.R.	old river bed
CNB-12	5.5	5.2	5.2	42.31	0.00	0.0	2.2	3.0	0.3	Boseong R.	old river bed
CNB-13	12.0	11.9	8.0	50.00	32.77	3.9	4.0	4.0	0.1	Yisa S.R.	old river bed
CNB-14	11.0	11.0	8.0	68.75	27.27	3.0	5.5	2.5	0.0	Dong S.R.	old river bed
CNB-15	11.0	9.0	2.0	100.00	77.78	7.0	2.0	0.0	2.0	Nagan S.R.	basin
CNB-16	5.0	4.7	2.9	86.21	38.30	1.8	2.5	0.4	0.3	Haegang S.R.	old river bed
CNB-17	6.0	6.0	5.2	100.00	13.33	0.8	5.2	0.0	0.0	Boseong R.	old river bed
CNB-18	8.5	5.5	1.6	100.00	70.91	3.9	1.6	0.0	3.0		vally plain
CNB-19	4.9	4.5	2.9	100.00	35.56	1.6	2.9	0.0	0.4	Deukryang S.R. -Songok S.R.	confluence
CNB-20	16.0	12.0	7.5	20.00	37.50	4.5	1.5	6.0	4.0	Seomjin R.	old river bed
CNB-21	5.0	4.9	3.4	14.71	30.61	1.5	0.5	2.9	0.1		coastal plain
CNB-22	4.5	4.0	4.0	100.00	0.00	0.0	4.0	0.0	0.5	Boseong R.	old river bed
CNB-23	3.0	2.5	2.5	0.00	0.00	0.0	0.0	2.5	0.5	Goep S.R.	old river bed
CNB-24	5.5	2.5	2.5	0.00	0.00	0.0	0.0	2.5	3.0		valley plain
CNB-25	6.5	5.4	5.4	7.41	0.00	0.0	0.4	5.0	1.1		valley plain

Table 2. The quality control limits of physical properties of the South Korea and USA.

Test	Country	Korea (KS F-2357, 2526~2583)		USA (ASTM C-33~90)	
		Coarse aggregates	Fine aggregates	Coarse aggregates	Fine aggregates
Density		2.5	2.5	2.6	
Absorption (%)		3.0	5.0		
Bulk density (kg/m ³)		1,250	-	1,250	-
Clay lumps and friable particles (%)		5.0	3.0	2.0	1.0
Materials finer than 75 μm (%)		1.0	3.0	1.0	3.0
Soundness (%)		12	10	18	15
Los Angels abrasion (%)		40	-	50	-
Chloride content (%)		0.3 kg/m ³	0.04-0.1N		0.06-0.2N
Organic impurities (%)		1.5	5.0	1.5	5.0
Materials lower than 1.95 in specific gravity (%)		0.5	0.5	0.1	0.5

대하여 입도분석을 실시하고, 별도로 No. 200체 이하의 입자에 대하여 양을 측정하였으며, 실험과정을 Fig. 3에 표시하였다(Fig. 3).

3.2.1. 입도분포 (particle size distribution)

골재의 입도분포는 체분석에 의하여 무게비로 산출

하며, 잔골재의 체분석에 사용되는 표준체는 ASTM C 33(1986) 및 KS F 2501(1997)에서 규정한 바와 같이 No. 3/8, No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50 및 No. 100으로 구성된다(Table 4). 또한, 입도분석 시험은 별도의 규정인 KS F 2502에 따라 이루어진다. 입도분포 한계와 최대 골재 입경(maximum aggregate

Table 3. Testing methods and quality control limits of fine and coarse aggregate.

Tests	Aggregates	Methods (KS)	Quality controls (KS)
Grain size distribution	Fine	KS F 2502	2.3-3.1 (fineness modulus)
	Coarse		6-8 (fineness modulus)
Density	Fine	KS F 2504	KS F 2558, 2578, 2357, 2573, 2544
	Coarse	KS F 2503	KS F 2527, 2357, 2573, 2544
Solid content	Fine	KS F 2505	KS F 2558, 2573
	Coarse		KS F 2527, 2573
Absorption	Fine	KS F 2504	KS F 2558, 2578, 2357, 2573, 2544
	Coarse	KS F 2503	KS F 2527, 2357, 2573, 2544
Soundness	Fine	KS F 2507	KS F 2526, 2558, 2578, 2357
	Coarse		KS F 2527, 2357, 2532
Los Angels abrasion	Coarse	KS F 2508	KS F 2527, 2357, 2573, 2532
Clay lumps	Fine	KS F 2512	KS F 2526, 2578, 2532
	Coarse		KS F 2527
Materials finer than 75 μ m	Fine	KS F 2511	KS F 2526, 2578, 2573
	Coarse		KS F 2527, 2573
Bulk density	Fine	KS F 2505	KS F 2534, 2536, 2551, 2583, 2532, 2544
	Coarse		
Chloride content	Fine	KS F 2515	KS F 2543, 2583
	Conc.	KS F 4009	

size)은 콘크리트의 시멘트와 물의 필요량, 콘크리트의 시공연도(workability), 공기량, 수축 및 경제성에 영향을 미치는 요인들을 감안하여 결정된 것이다. 예를 들면 세립모래는 비경제적이며, 대단히 굵은 모래를 사용할 경우 거칠고 부서러지기 쉬운 콘크리트가 되기 쉽다. 체분석 결과는 골재가 규정에 부합하는지를 결정하기 위하여 이용되며, 또한 입도 분포의 변화에 따라 콘크리트의 배합비를 조절할 필요성 여부와 몇 개의 다른 골재원이 있을 때 가장 적합한 골재원을 선택하는데 활용할 수 있다. 한편, 골재의 조립율(fineness modulus)은 80 mm, 40 mm, 19 mm, 10 mm(3/8"), No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100으로 구성되는 10개의 체를 각각 사용하여 체분석을 하였을 때 각 체에 남는 양을 전 시료에 대한 중량 백분율의 합으로 구하여 다시 100으로 나눈 수치를 말한다. 잔골재의 적정값은 2.3-3.1이고, 굵은 골재의 적정값은 6-8이다. 골재의 조립율은 평균입도(D₅₀) 클수록 증가한다. 잔골재의 표준 입도는 Table 4와 같다. 자연 모래의 표준입도분석은 KS F 2502(2002)와 ASTM C 33(1986)에 명시되어 있다.

3.2.2. 밀도(density)

콘크리트 배합설계시, 잔골재의 밀도값 중 골재입자의 내부가 포화된 상태에서의 골재입자가 차지하는 유효적잖인 표면건조포화상태의 밀도값이 필요하다. 또한,

밀도는 골재의 적합성 여부를 지시해 주는 물성으로서 품질관리에도 이용되고 있다. 예컨대 밀도가 낮은 골재는 다공성이고 연약하거나 흡수성이 높은 것을 의미하며, 밀도가 높은 골재는 양질의 것임을 암시해 주기도 한다. 밀도는 KS F 2504(2002)와 ASTM C 128(1993)의 시험방법에 따라 절대건조밀도(density), 표면건조밀도(surface dried density), 진밀도(true density)의 3가지로 구분된다.

밀도는 골재의 광물조성 및 입자들의 풍화의 정도에 따라 변하는 고유한 성질로, 골재의 품질을 규정하는 중요한 항목 중의 하나이다. 위에서 언급한 3가지의 밀도 중에서 실제로 현장에서 이용되는 밀도는 콘크리트 작업에 실제 사용되는 골재의 조건에 가장 비슷한 표면건조포화상태밀도(2식)가 통용되지만(김학수와 조규봉, 2001) 골재관련 KS 규정인 KS F 2504(2002)에서는 절대건조상태의 밀도를 의미한다. 또한 KS F 2504(2002)에서는 현장 아스콘 배합시의 설계에 걸보기 비중(apparent specific gravity)에 대한 적용성도 검토하고 있다. 일반적으로 잔골재의 밀도는 2.50-2.65, 굵은 골재는 2.55-2.70 정도로서 밀도가 큰 것은 치밀하여 흡수량이 적고 내구성이 크다.

3.2.3. 흡수율(absorption)

흡수율은 ASTM C 128(1993) 또는 KS F 2504(2002)의 방법에 의거하여 계산한다. 골재의 흡수율은

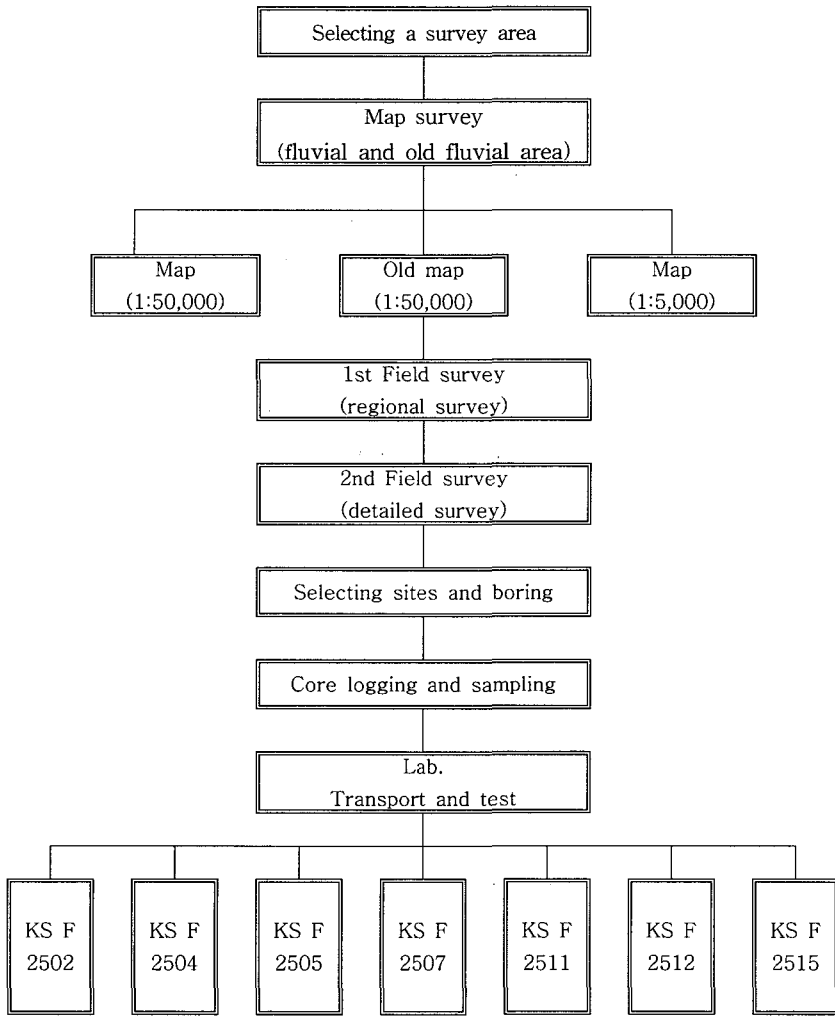


Fig. 3. Flow chart for each test category to the bore-hole samples.

Table 4. Standard grain size of fine aggregates.

Sieve No.	Cumulative Percent Passing (%)
9.52 mm (3/8")	100
4.76 mm (No. 4)	95~100
2.38 mm (No. 8)	80~100
1.19 mm (No. 16)	50~85
0.59 mm (No. 30)	25~60
0.30 mm (No. 50)	10~30
0.15 mm (No. 100)	2~10

Table 5. The weight of samples for the testing methods of materials finer than 75 µm.

Nominal maximum size in mm	Sieve No.	Minimum weight after drying, g
2.5	No. 8	100
5	No. 4	500
10	3/8 in.	2,000
20	3/4 in.	2,500
40 or larger	1 1/2 in.	5,000

건조된 시료를 물에 침수시킨 후 무게차이를 건조시료 무게에 대한 백분율로 계산하며 콘크리트의 현장배합 시 사용수량을 결정하는데 이용된다. 만약 사용하는 골재의 전 함수비(total water content)가 흡수율보다 크다면 이 골재는 콘크리트 배합 시 사용수량을 줄여야

하고, 그 반대의 경우는 사용수량을 증가시켜야 하므로, 콘크리트 현장 배합에 있어서는, 함수율과 흡수율에 따라 보정계산을 한 후, 사용수량을 정해야 한다. 일반적으로 흡수율이 5.0% 이하일 때 잔골재로서 이용이 가능하지만 KS기준에서는 이보다 더 엄격한

3.0% 이내일 때 품질기준을 충족하는 것으로 알려져 있다.

3.2.4. 공극률(voids) 및 실적률(solid content)

골재의 공극률은 KS F 2505(2002)의 방법에 따라 구한다. 콘크리트 제조에 필요한 시멘트와 물의 양은 골재의 공극률에 비례하며, 공극이 많으면 시멘트-물이 추가로 필요하므로 공극률을 가급적 최소로 유지하는 것이 바람직하다. 100에서 공극률을 제한 값을 실적률이라 하며, 일반적으로 잔골재의 실적률이 55% 이상일 때 잔골재의 품질기준을 충족하는 것으로 알려져 있다.

3.2.5. 단위질량(unit weight)

단위질량은 콘크리트의 질량배합을 용적배합으로 환산할 때 쓴다. 골재의 용적을 질량으로, 또는 질량을 용적으로 환산하고자 할 때 필요하고, 포장용 콘크리트의 단위 굵은 골재 용적 등을 결정하는 데도 필요하다. KS에서는 잔골재의 단위질량에 대하여 직접 규정하고 있지 않지만 실적률(55% 이상)을 구하기 위해 필요한 절대건조밀도(2.5이상)와 단위질량 값에 근거하면 $1,375 \text{ kg/m}^3$ 이상이어야 KS 품질을 충족시킬 수 있다. 참고로 현재 국내에서 골재로서 사용되는 잔골재의 단위용적질량에 대한 품질기준은 보통 $1,450 \sim 1,850 \text{ kg/m}^3$ 정도이다.

3.2.6. 잔입자량(materials finer than No. 200 sieve)

골재 내에 다량의 점토와 실트(silt)가 포함되어 있으면 콘크리트의 내구성에 영향을 미칠 뿐 아니라 수축량을 증가시킨다. 또한, 이들은 다른 골재입자로부터 쉽게 이탈하려는 특성을 갖는다. 잔입자량시험은 KS F 2511(2002)에 따라 수행하며, 시험시료의 양은 시료의 최대직경에 따른 시료의 최소량을 규정하고 있다. 규정에 의하면 일반적으로 No. 200체 통과량이 잔골재에서는 3% 이내이어야만 한다. 콘크리트 표준시방서에 의하면 콘크리트 표면이 마모작용을 받는 경우 잔입자의 No. 200체 통과량이 3% 이하이어야 하고, 기타의 경우는 5% 이하로 규정하고 있다. 미립자의 양은 콘크리트의 내구성에 영향을 주기 때문에 가능한 한 생산과정에서 철저히 제거시키는 것이 바람직하다.

3.2.7. 염화물 함유량(chloride content in aggregate)

KS F 2515(2002)에서는 바다 모래를 비롯하여 콘크리트, 모르타르 또는 시멘트 제품에 사용되는 골재의 표면에 묻어 있는 염화물을 측정하는 방법에 대하

여 규정하고 있다. 골재 내에 포함된 일정 함량 이상의 염분은 철근을 부식시키며, 용해 및 팽창 등의 작용에 의하여 콘크리트의 내구성에 영향을 미칠 수 있다(김학수와 조규봉, 2001). 염화물 함유량 시험은 KS F 2515(2002)에 의하며, 시험을 위한 시료의 채취는 KS F 2501(1997)의 규정에 따른다. 규정에 의하면 골재의 표면에 묻어 있는 염화물 함유량은 0.03% 이내 이어야 하지만 기타 자료에 의하면 0.04% 이하이면 잔골재로서 이용이 가능한 것으로 보고 있다. 염화물 함유량은 콘크리트의 내구성에 영향을 주기 때문에 기준을 초과하는 품질의 잔골재에 대하여는 가능한 한 생산과정에서 충분히 세척과정을 실시하여 염화물을 제거시키는 것이 바람직하다.

3.2.8. 안정성(soundness)

KS F 2507(2002)과 ASTM C 88(1990)에서는 황산나트륨과 황산마그네슘의 결정압에 의한 파괴작용에 대한 저항성을 기준으로 하는 골재의 안정성 시험에 대하여 규정하고 있다. 다만, 인공 경량골재는 시험대상에서 제외하고 있다. 본 연구에서는 무수황산나트륨(Na_2SO_4)을 사용하여 안정성시험을 실시하였으며, 이 규정에 의하면 골재의 손실중량백분율이 굵은 골재는 12% 이하, 잔골재는 10% 이하일 때 골재로서 이용이 가능하다. 안정성은 골재의 풍화정도와 관련이 높으며, 풍화정도가 심할수록 손실중량백분율도 크기 때문에 안정성이 높게 나타나는 결과를 보이게 된다.

4. 시험결과 및 고찰

입도 시험 결과는 Table 6과 Fig. 4와 같으며, 잔골재의 물성 중 밀도, 흡수율, 단위용적질량, 실적률, $75 \mu\text{m}$ 통과량, 염화물, 안정성 등의 시험 결과는 Table 7과 Fig. 5에 나타내었다.

4.1. 입도 분포

입도 시험결과, 시추공별 잔골재 시료의 조립율은 CNB 2, CNB 4-1, CNB 4-2, CNB 5, CNB 6, CNB 7, CNB 9-2, CNB 10, CNB 11, CNB 12, CNB 13-2, CNB 17-3, CNB 20-1, CNB 20-3, CNB 21-2 등의 시추공에서 잔골재의 적정값인 2.3~3.1의 범위에 분포하여 잔골재로서 양호한 품질을 보이고 있다. 또한, 조립율이 2.3이하인 시료에는 CNB 3과 CNB 20-2의 2개 시료였으며, 이들은 적절한 잔골재의 범위보다 더 세립질인 범위분포를 나타낸다. 이

Table 6. Particle analyses in each bore-hole.

Bore-hole	S. N.	D ₅₀	Fineness modulus	Materials finer than 75 µm (%)	Depths (cm)	Depths of bore-hole (m)
CNB 1	11,12	0.84	3.19	2.96	800-1000	15.0
CNB 2	3-5	0.52	2.77	3.43	400-720	7.8
CNB 3	12-18	0.47	2.18	5.27	800-1500	24.0
CNB 4-1	4,5	0.89	2.86	2.27	650-800	
CNB 4-2	8-10	0.76	2.68	2.69	1000-1250	13.0
CNB 5	6,7	1.24	2.87	1.35	720-1100	11.0
CNB 6	8-13,15	0.42	2.63	4.28	330-650,850-900	14.0
CNB 7	4	0.77	2.79	3.87	150-200	4.0
CNB 8	3-7	1.24	3.59	1.22	100-320	5.0
CNB 9-1	3-5	0.88	3.71	2.31	100-300	
CNB 9-2	6-8	0.65	2.70	2.72	300-500	5.8
CNB 10	6-10	0.78	2.68	1.58	250-900	11.0
CNB 11	2-4	0.80	2.94	0.94	150-400	5.0
CNB 12	1,2,4,5	0.85	2.95	2.28	0-250,420-520	5.5
CNB 13-1	9-11	0.90	3.30	4.31	400-550	
CNB 13-2	12-14	0.76	2.90	2.44	550-700	12.0
CNB 13-3	15-17	1.01	3.37	2.51	700-850	
CNB 14-1	4,5,7,9	1.12	3.32	2.46	250-350,400-450,500-550	11.0
CNB 14-2	11-15	1.52	3.76	1.47	600-850	
CNB 15	4-6	1.39	4.09	1.30	150-300	11.0
CNB 16	1-3	2.67	4.08	0.61	0-150	5.0
CNB 17-1	2,3	1.25	3.22	4.54	50-150	
CNB 17-2	4-6	1.51	3.46	1.27	150-300	6.0
CNB 17-3	7-10	0.71	3.05	8.26	300-520	
CNB 18-1	5,6	0.96	3.50	2.44	190-320	
CNB 18-2	7,8	0.72	3.18	4.31	320-550	8.5
CNB 19	3-5	1.74	3.95	0.88	130-350	4.9
CNB 20-1	10	0.55	2.84	4.91	450-550	
CNB 20-2	14,15	0.47	2.22	4.51	1100-1200	16.0
CNB 20-3	16	0.72	3.09	3.78	1200-1600	
CNB 21-1	5-7	1.24	4.08	1.36	250-400	
CNB 21-2	8	0.66	2.73	1.89	400-490	5.0
CNB 22	3-8	1.38	3.76	1.95	100-400	4.5
CNB 23	3,4	1.20	3.94	2.56	250-300	3.0
CNB 24	2	1.01	3.71	1.10	200-250	7.8
CNB 25	4-6	1.12	3.73	0.64	400-540	6.5

상 언급된 시료를 제외한 나머지 시료들은 조립율이 3.1이상으로 CNB 1, CNB 8, CNB 9-1, CNB 13-1, CNB 13-3, CNB 14-1, CNB 14-2, CNB 15, CNB 16, CNB 17-1, CNB 17-2, CNB 18-1, CNB 18-2, CNB 19, CNB 21-1, CNB 22, CNB 23, CNB 24, CNB 25 등이 해당되며, 이들 시료의 평균입도가 골재로서 적절한 잔골재의 평균입도에 비하여 다소 큰 범위에 분포하는 것으로 나타났다.

결론적으로 육상골재 시험 시추공을 대상으로 한 분석결과, 25개 시추공의 36개 구간시료를 대상으로 한

조립율은 2.18-4.09의 범위를 나타냈으며, 시험시료 중 절반 정도만이 기준에 적합한 조립율특성을 보이고 있다. 따라서 잔골재의 조립율 범위인 2.3~3.1을 벗어난 시료에 대하여서는 적절한 배합과정(blending sand) 후 이용하는 과정이 필요하다고 판단된다. 입도분포특성은 지역에 따라 다르며, 특히 사용되는 용도에 따라 모래의 표준입도분포가 다른 범위를 갖는다(Spooner and Dalrymple, 1993). 이와 관련하여 Fisher와 Smith (1993)는 자갈부터 모래까지의 넓은 범위의 퇴적층이 발달한 캐나다의 McMurray 호수주변의 골재의 품질

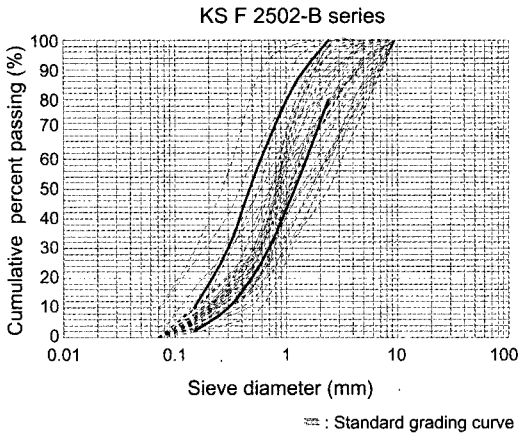


Fig. 4. Grain size distributions curves in each bore-hole sample.

에 관한 연구에서 일부 자갈을 포함한 모래퇴적층에서 입도분포특성이 양호한 반면에 점토와 실트, 그리고 자갈을 일부 포함한 세립질과 중립질 모래가 주된 퇴적층에서는 상대적으로 불량한 조건을 갖는다고 보고한 바 있다. 현재 국내에서 콘크리트에 이용되는 재료로서 규정된 잔골재의 표준입도분포와 본 조사단계에서의 조립율특성은 각각 배합과정(blending sand) 전후의 차이가 있으며, 따라서 조사단계에서의 조립율특성은 잔골재의 양부를 논하기보다는 단지 지역적인 퇴적환경의 차이를 이해하는 차원에서 접근하여야 할 것이다.

4.2. 밀도

시험결과에 의하면 절대건조밀도는 2.13-2.52까지의 범위에 분포하였으며, CNB 14-1과 CNB 14-2 시료에서만 KS 규정인 2.50이상을 만족하여 골재로서의 이용에 적합하였지만 실제로 현장에서 사용하는 표면건조밀도를 기준으로 할 경우에는 과반수 정도만이 적합한 결과를 나타내게 된다(Table 7). 또한, 절대건조밀도와 표면건조밀도의 차이가 비교적 크게 나타난 이유는 이들 육상골재의 대부분이 현 하상처럼 유료가 길고 오랜 기간에 걸쳐 분급이 잘 이루어진 일정하고 양호한 지형조건을 갖는 것이 아니라 과거 일시적이거나 한시적으로 형성된 구하상에서 분급이 다양한 상태로 퇴적되었기 때문에 양질의 골재로서 충분하지 못한 한계를 갖기 때문이다. 이와 관련하여 실제로 판매되는 골재를 대상으로 한 이성복(1997)의 실험에 의하면 바다모래나 부순모래의 밀도에 비하여 금강과 아산만의 강모래의 절대건조밀도가 각각 2.55와 2.53으로 상대

적으로 낮은 결과를 나타냈으며, 이는 부순모래의 경우에는 비교적 신선한 제한된 암석을 골재원으로 하기 때문에 밀도가 높고 균일한 데 비하여 강모래의 경우에는 불균질한 성상과 함께 물과의 접촉으로 인하여 풍화가 진행되었기 때문이다. 그러나 육상골재 중에서도 과거에 유료가 비교적 긴 하천의 운반작용에 의하여 비교적 먼 곳으로부터 운반되어 분급이 잘 이루어진 결과로 풍화에 강한 성분인 석영(SiO₂)립만 남은 경우에는 입도가 작고 크기도 일정한 반면에 밀도가 높은 잔골재의 특성을 나타내는 결과를 보이기도 한다.

절대건조밀도, 표면건조밀도, 그리고 진밀도에 대한 시험값은 절대건조밀도를 기준으로 대부분이 2.50이하를 나타냈으며, 밀도기준으로는 비교적 품질이 불량한 결과를 보이고 있다. 그러나 실제로 골재를 개발할 경우에는 즉, 선별된 많은 시료를 대상으로 실험할 경우에는 2.50에 근접한 다수의 시료가 KS기준을 충족할 수 있을 것으로 판단된다. 실험대상 시료 중 특히 불량한 밀도를 나타낸 CNB 2, CNB 3, CNB 4-2, CNB 21-1, CNB 21-2, CNB 24, CNB 25의 6개 시추공의 7개 시료는 절대건조밀도 2.20미만으로 육상골재로 볼 수 없을 정도의 물성을 나타냈으며, 이는 잔골재가 부존하는 구간의 시료가 양호한 골재화가 이루어지지 않아 비교적 밀도가 높은 석영립의 비율이 낮기 때문에 나타난 결과이다.

응회암은 석영립의 주요성분인 SiO₂ 함량이 화강암보다는 약간 낮지만 화강편마암보다 오히려 높은 것으로 박영석 등(2003)에 의하여 연구된 바 있으며, 양동윤 등(1999)은 화강암과 편암에서의 절대건조밀도, 표면건조밀도, 그리고 진밀도에 대한 시험값의 차이는 평균 0.01-0.03정도이지만 응회암의 경우에는 흡수율이 높기 때문에 이들 물성간의 차이가 평균 0.05-0.07정도로 크게 나타났음을 보고한 바 있다. 이들 결과를 종합하면 모래의 주구성광물인 석영립의 비율에는 암종간에 큰 차이가 없지만 화강암이나 편암에 비하여 응회암이 상대적으로 유리질과 세립질의 구성비율이 높기 때문에 흡수율이 높게 나타나 결국 절대건조밀도와 표면건조밀도, 그리고 진밀도 간에 큰 차이를 나타낸 것으로 판단된다.

4.3. 흡수율

흡수율은 1.98-7.81%의 범위를 나타냈으며, 이 중에서 3.0% 이하인 KS기준을 만족하는 시료는 CNB 1, CNB 5, CNB 13-1, CNB 13-2, CNB 13-3, CNB 14-1, CNB 14-2, CNB 15, CNB 17-1, CNB 20-2,

Table 7. Physical properties in each bore-hole samples.

S. N.	Density	Surface dried density	True density	Absorption	Bulk density (kg/m ³)	Solid content (%)	Materials finer than 75 μm(%)	Soundness (%)	Chloride content (%)
CNB 1	2.48	2.54	2.64	2.52	1586.40	63.97	2.96	0.53	0.0009
CNB 2	2.17	2.32	2.57	7.30	1157.39	53.44	3.43	16.87	0.0004
CNB 3	2.27	2.43	2.70	6.94	1281.40	56.35	5.27	5.08	0.0015
CNB 4-1	2.45	2.54	2.68	3.45	1392.16	56.80	2.27	3.67	0.0004
CNB 4-2	2.27	2.39	2.60	5.63	1323.28	58.36	2.69	4.45	0.0007
CNB 5	2.46	2.52	2.61	2.44	1403.05	57.11	1.35	0.79	0.0006
CNB 6	2.44	2.51	2.64	3.12	1501.91	61.65	4.28	2.79	0.0009
CNB 7	2.39	2.47	2.59	3.28	1424.12	59.56	3.87	0.77	0.0001
CNB 8	2.42	2.49	2.62	3.18	1401.93	58.03	1.22	0.74	0.0004
CNB 9-1	2.44	2.53	2.66	3.38	1498.65	61.34	2.31	1.42	0.0001
CNB 9-2	2.41	2.50	2.66	3.82	1512.47	62.72	2.72	1.02	0.0000
CNB 10	2.44	2.53	2.68	3.57	1441.31	59.00	1.58	1.01	0.0009
CNB 11	2.44	2.52	2.65	3.24	1462.06	59.90	0.94	2.60	0.0000
CNB 12	2.34	2.44	2.61	4.50	1364.76	58.41	2.28	6.30	0.0000
CNB 13-1	2.47	2.53	2.62	2.25	1554.76	62.87	4.31	0.34	0.0000
CNB 13-2	2.49	2.54	2.63	2.26	1507.19	60.64	2.44	0.62	0.0001
CNB 13-3	2.44	2.51	2.61	2.62	1493.23	61.12	2.51	3.26	0.0004
CNB 14-1	2.51	2.57	2.66	2.23	1503.87	59.93	2.46	1.12	0.0033
CNB 14-2	2.52	2.57	2.66	1.98	1508.81	59.81	1.47	5.31	0.0062
CNB 15	2.43	2.50	2.61	2.87	1444.90	59.53	1.30	5.69	0.0000
CNB 16	2.38	2.47	2.63	4.01	1350.11	56.76	0.61	9.16	0.0001
CNB 17-1	2.47	2.53	2.63	2.48	1471.55	59.63	4.54	1.56	0.0000
CNB 17-2	2.38	2.48	2.64	4.20	1494.77	62.86	1.27	0.92	0.0000
CNB 17-3	2.31	2.44	2.64	5.49	1518.95	65.79	8.26	1.21	0.0001
CNB 18-1	2.38	2.46	2.60	3.58	1386.01	58.31	2.44	2.77	0.0004
CNB 18-2	2.41	2.49	2.61	3.28	1458.67	60.62	4.31	1.74	0.0004
CNB 19	2.43	2.51	2.63	3.06	1468.11	60.37	0.88	1.07	0.0000
CNB 20-1	2.38	2.48	2.65	4.31	1433.25	60.24	4.91	1.81	0.0000
CNB 20-2	2.47	2.54	2.65	2.60	1305.49	53.00	4.51	0.76	0.0007
CNB 20-3	2.48	2.54	2.65	2.48	1410.05	56.78	3.78	2.11	0.0004
CNB 21-1	2.14	2.28	2.51	6.88	1340.21	62.70	1.36	4.71	0.1043
CNB 21-2	2.15	2.30	2.53	6.88	1373.59	63.79	1.89	1.48	0.0140
CNB 22	2.43	2.50	2.63	3.22	1515.63	62.45	1.95	2.05	0.0004
CNB 23	2.33	2.43	2.59	4.29	1291.77	55.35	2.56	4.38	0.0001
CNB 24	2.13	2.24	2.39	5.20	1190.91	55.97	1.10	20.99	0.0001
CNB 25	2.13	2.30	2.56	7.81	1306.84	61.34	0.64	4.67	0.0008

CNB 20-3 등의 7개 시추공의 11개 시료이며, 이들 시료의 대부분이 편마암이 주로 분포하는 영남육괴 내의 섬진강 본류 및 지류의 비교적 분급이 잘 이루어진 지역에 분포하는 특징을 갖는다. 흡수율은 골재내부의 공극의 정도에 의해 영향을 받고, 특히 잔골재의 경우 미세한 입자의 함유정도에 따라라도 영향을 받는다. 하천골재의 경우, 굵은 골재가 0.5-2.0%, 잔골재가 1.0-3.0% 정도가 보통이므로 급변 시험을 실시한 육상골재의 경우 과반수이상의 시료가 하천 잔골재의 범주에 비하여 불량한 흡수율 특성을 보이는 결과를 나타냈다.

흡수율은 골재내부의 공극의 정도에 의해 영향을 받고, 특히 잔골재의 경우에는 압중에 따른 풍화의 정도

나 석영립의 비율에 따라라도 영향을 받는다. 본 실험에서 기준에 부적합한 흡수율을 나타낸 시료는 CNB 2, CNB 3, CNB 4-2, CNB 17-3, CNB 21-1, CNB 21-2, CNB 24, CNB 25의 7개 시추공의 8개 시료로서 이들 중 다수가 응회암 분포지의 분포지와 거의 일치하는 특징을 갖는다. 응회암은 박영석 등(2003)에 의한 연구결과를 참조하면 결국 모래의 주구성광물인 석영립의 비율에는 압중간에 큰 차이가 없지만 화강암이나 편암에 비하여 응회암이 상대적으로 유리질과 세립질의 구성비율이 높기 때문에 결국 응회암 분포지에서 흡수율이 높게 나타나는 결과를 보이고 있다. 이러한 결과는 양동윤 등(1999)에 의한 실험에서도 확인된 바 있다.

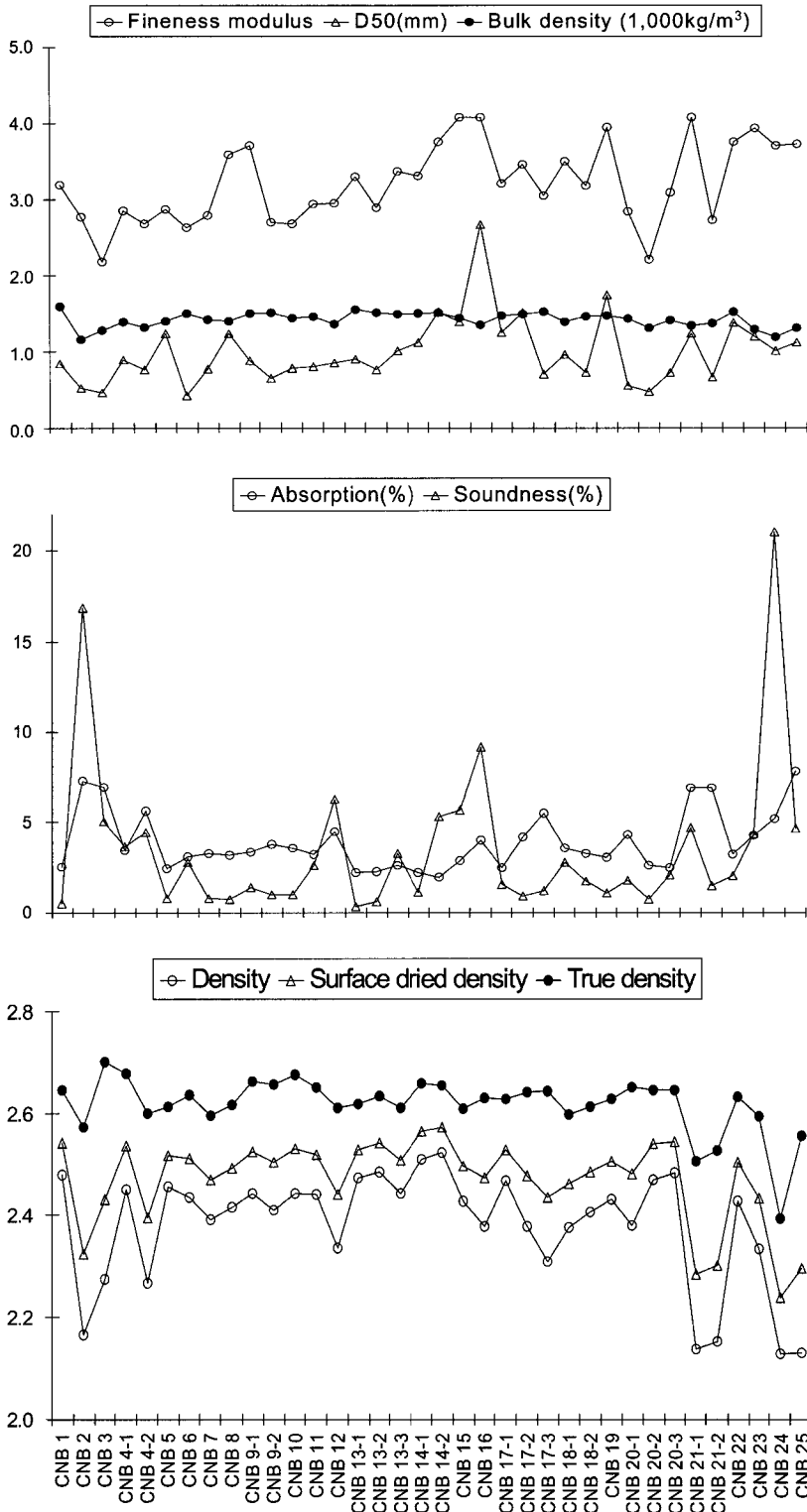


Fig. 5. Physical properties in each bore-hole sample.

4.4. 실적률

실적률은 골재내부의 공극의 정도에 의해 영향을 받으며, 공극율과는 서로 상반되는 개념이다. 또한, 골재의 입자형태에 따른 차이에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

실적률 시험 결과는 53.00%부터 65.79%의 범위에 분포하며, 이러한 결과는 일부 시료가 잔골재의 품질기준에 미치지 못함을 나타낸다. 실적률이 55%에 미치지 못하는 시료는 CNB 2와 CNB 20-2로 CNB 2 시료는 서시천 구하상에 위치하는 풍화쇄설물 형태의 품질이 불량한 사질양토가 부존하는 지역이며, 그 크기가 균일한 특징이 강하다. 또한 CNB 20-2시료는 CNB 20호공의 다른 시료인 CNB 20-1과 CNB 20-3 시료에서 각각 60.24%, 56.78%로 KS기준을 만족하는 것과 비교하면 CNB 20-2시료가 분포하는 심도 1100-1200cm구간에서 잔골재의 입도분포특성이 좁은 범위에 거의 일정한 크기로 분포하기 때문에 상대적으로 낮은 실적률을 나타낸 것으로 분석된다. 일반적으로 대·중·소의 입자가 고루 섞이면 공극률은 감소하고 따라서 실적률은 높게 나타나는 것으로 알려져 있다.

4.5. 단위용적질량

단위용적질량 시험결과는 1,157.39-1,586.40 kg/m³으로 이는 KS F 품질규정에 따른 잔골재의 품질기준의 추정값인 1,375 kg/m³을 대부분 만족하지만 CNB 2, CNB 3, CNB 4-2, CNB 12, CNB 16, CNB 20-2, CNB 21-1, CNB 21-2, CNB 23, CNB 24, CNB 25 시추공의 시료에서는 이에 미치지 못하여 잔골재로서의 이용에 문제가 있는 것으로 나타났다.

단위질량은 흡수율과 마찬가지로 골재내부의 공극의 정도에 의해 영향을 받으며, 암중에 따른 풍화의 정도나 석영립의 다소에 따른 차이이외에도 특히 암중을 구성하는 광물성분 중의 중광물의 비율에 따른 영향이 크다. 본 실험에서 최소한의 골재기준인 1,250 kg/m³의 기준도 만족하지 못하는 시료는 CNB 2와 CNB 24의 2개 시추공 시료가 해당하며, 이들 시료는 다른 물성에서도 골재기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

4.6. No. 200체(75 μm) 통과량

No. 200체 통과량은 CNB 2, CNB 3, CNB 6, CNB 7, CNB 13-1, CNB 17-1, CNB 17-3, CNB 18-2, CNB 20-1, CNB 20-2, CNB 20-3지점의 8개 시추공 11개 시료에서 3%를 초과하지만 나머지 시료에서는 모두가 3% 미만을 나타내어 잔골재로서의 기

준을 충족하고 있다. 3%를 초과하는 시료 중 특히 CNB 17-3시료에서 잔입자량이 8.26%로 높은 이유는 시료가 분포하는 심도 300-520cm구간시료의 대부분이 고운모래로 불리는 실트질 모래에 해당하기 때문이다.

No. 200체 이하의 잔입자량은 선별되지 않은 시추공의 구간시료를 대상으로 하였기 때문에 CNB 2, CNB 3, CNB 6, CNB 7, CNB 13-1, CNB 17-1, CNB 17-3, CNB 18-2, CNB 20-1, CNB 20-2, CNB 20-3의 8개 시추공의 11개 시료에서 3%를 초과하는 것으로 나타났다. No. 200 체 이하 잔입자는 콘크리트의 내구성과 밀접한 관계가 있으므로 골재 생산원가가 높아지더라도 가능한 한 생산과정에서 철저하게 제외시키는 것이 바람직하지만 자원이용의 효율화차원에서 각각의 입도에 적합한 새로운 용도를 개발하려는 노력이 필요하다고 판단된다.

4.7. 염화물 함유량

염화물 함유량 시험결과, CNB 21-1시료의 0.1043%만이 KS기준을 초과하는 것으로 나타났으며, 같은 시추공의 CNB 21-2시료에서도 0.0140%의 높은 함유량을 나타내어 CNB 21호공이 위치한 고흥군 포두면 장수리 마을 앞의 농경지가 과거 해안의 갯벌을 매립하여 조성된 사실과 일치하는 결과를 나타냈다. 따라서 과거에 개간된 지역이나 해수의 침투가 가능한 지역은 염화물 함유량이 허용한계를 초과하는 골재의 부존가능성이 높기 때문에 이를 골재로 이용하기 위해서는 충분한 세척과정이 필수적으로 선행되어야 할 것으로 판단된다.

4.8. 안정성

안정성 시험결과, CNB 2와 CNB 24시추공 시료에서 KS기준인 10%를 크게 상회하는 손실중량 백분율을 나타냈다. 이러한 결과는 다른 물성에 대한 품질시험결과와도 일치하며, 따라서 KS기준에는 부적합한 이들 시추공 주변의 잔골재를 현장에서 이용할 때는 세심한 주의와 함께 그 용도가 크게 제한적이어야 할 것이다.

4.9. 상관특성

조립율은 골재로서 이용이 적합한 입자의 크기범위를 정한 것으로 실제로 생산되는 과정에서 조절이 가능하다. 그러나 선별되지 않은 시추공의 구간시료를 대상으로 하는 실험에서는 골재의 품위와 부화정도를 예측하는 수단으로서 활용할 수 있다. 실험결과에 의하

Table 8. Types of depositional location to the fineness modulus.

Fineness modulus	Samples No. (CNB-)	Types of depositional location (Number of samples)
less than 2.3	3, 20-2	Old river bed (2)
2.3 to 3.1	2, 4-1, 4-2, 5, 6, 7, 9-2, 10, 11, 12, 13-2, 17-3, 20-1, 20-3, 21-2	Old river bed (12) Confluence (2) Coastal plain (1)
more than 3.1	1, 8, 9-1, 13-1, 13-3, 14-1, 14-2, 15, 16, 17-1, 17-2, 18-1, 18-2, 19, 21-1, 22, 23, 24, 25	Old river bed (12) Valley plain (4) Confluence (1) Basin (1) Coastal plain (1)

Table 9. Classification of fine aggregates satisfying KS F quality controls.

No. of test categories satisfying KS F quality controls	Samples No. (CNB-)	Types of depositional location (Number of samples)
7	14-1, 14-2	Old river bed (2)
6	1, 5, 13-2, 13-3, 15	Old river bed (4) Basin (1)
5	4-1, 8, 9-1, 9-2, 10, 11, 13-1, 17-1, 17-2, 18-1, 19, 20-3, 22	Old river bed (10) Confluence (2) Valley plain (1)
4	4-2, 6, 7, 12, 16, 17-3, 18-2, 20-1, 21-2, 23, 25	Old river bed (7) Valley plain (2) Confluence (1) Coastal plain (1)
3	3, 20-2, 21-1, 24	Old river bed (2) Valley plain (1) Coastal plain (1)
less than 2	2	Old river bed (1)

	D	Sd	Td	A	Bd	Sc	M	S	Cc	D ₅₀	Fm
D	1.00	0.99	0.72	-0.94	0.72	0.05	0.09	-0.59	-0.39	0.10	-0.07
Sd	★	1.00	0.82	-0.88	0.71	0.05	0.14	-0.63	-0.41	0.07	-0.13
Td	●	●	1.00	-0.45	0.54	0.07	0.30	-0.63	-0.37	-0.07	-0.34
A	☆	○	×	1.00	-0.66	-0.02	0.02	0.45	0.35	-0.17	-0.07
Bd	●	●	▲	△	1.00	0.73	0.14	-0.72	-0.14	0.07	0.08
Sc	×	×	×	×	●	1.00	0.11	-0.48	0.21	0.00	0.17
M	×	×	×	×	×	×	1.00	-0.21	-0.16	-0.58	-0.52
S	△	△	△	×	○	×	×	1.00	0.04	0.11	0.19
Cc	×	×	×	×	×	×	×	×	1.00	0.09	0.26
D ₅₀	×	×	×	×	×	×	△	×	×	1.00	0.77
Fm	×	×	×	×	×	×	△	×	×	●	1.00

under condition of Rho : 0.05,

★ = 0.9 - 1.0, ● = 0.7-0.9, ▲ = 0.5-0.7, ☆ = 0.9 - 1.0, ○ = (-0.7) - (-0.9), △ = (-0.5) - (-0.7), × = less than ±0.5

Fig. 6. Correlation coefficients between physical properties.

D; Density, Sd ; Surface dried density, Td ; True density, A; Absorption, Bd; Bulk density, Sc; Solid content, M; Materials finer than 75 μm, S; Soundness, Cc; Chloride content, D₅₀; D₅₀, Fm; Fineness modulus.

면 조립율은 역시 골재의 입자와 관련이 있는 D50과 는 정(+)의 상관성이 있으며, No. 200체 이하의 잔입

자량과는 부(-)의 상관성을 보이고 있다. 또한, KS F 품질에서 정한 잔골재의 물성 중에서는 밀도와 단위질

량, 흡수율, 그리고 안정성 사이에 상호 밀접한 상관특성이 있는 것으로 나타났다(Table 9, Fig. 6).

특히, 안정성시험 결과에 의하면 KS기준을 만족하지 못하는 CNB 2와 CNB 24의 2개 시추공 시료는 다른 물성실험에서도 가장 불량한 품질을 나타낸 대표적인 시료들로 나타났으며, 이러한 결과는 밀도와 단위질량, 흡수율, 그리고 안정성의 항목이 골재의 품질을 결정하는 가장 중요한 요소로 이용될 수 있음을 나타낸다. 염화물 실험결과를 대부분의 물성과는 무관한 결과를 나타냈다.

5. 토 의

5.1. 기반암과의 관계

전남 동남부지역의 육상골재는 섬진강의 북서방향에 발달한 주라기 화강암과 중생대 엽리상 화강암, 정북방향에 분포하는 주라기 퇴적암류, 그리고 남쪽지역에 산재하는 백악기의 화산암류 및 남서방향으로 발달한 선캠브리아기의 변성암류인 지리산 편마암 복합체로부터 기인한다. 특히, 섬진강의 상류에 분포하는 주라기 화강암 및 중생대 엽리상 화강암, 그리고 지질도상에 영남육괴로 표현된 암종이 비교적 단단한 편암과 편마암으로 구성된 지리산 편마암 복합체는 전남 동남부지역의 남쪽에 발달한 응회암에 비하여 비교적 양호한 골재원이 된다. 이와 관련하여 홍세선 등(2004)은 국내 골재석산의 분포와 유형분석을 통하여 전남 동남부의 북부지역은 비교적 암질이 견고한 편마암, 화강암, 사암, 안산암 등이 우세한 반면 남부는 상대적으로 연약한 응회암이 광역적으로 분포하고 있음을 보고한 바 있으며, Fisher and Smith(1993)도 기반암의 지역적인 분포가 골재품질을 결정하는데 가장 큰 요인임을 확인한 바 있다.

본 연구에서는 밀도와 흡수율 실험을 통하여 이들 물성과 암종간의 관계를 앞서 언급한 바 있으며, 이에 의하면 기준에 부적합한 흡수율을 나타낸 시료 중의 다

수가 응회암 분포지와 거의 일치하는 특징을 갖는다. 응회암은 박영석 등(2003)에 의하면 석영립의 주요성분인 SiO₂ 함량이 화강암보다는 약간 낮지만 화강편마암보다 오히려 높은 경향을 보이고 있으며, 모래의 주구성광물인 석영립의 함유율에는 암종간에 큰 차이가 없지만 화강암이나 편암에 비하여 유리질과 세립질의 구성비율이 높은 응회암은 상대적으로 공극율이 크기 때문에 결국 응회암 분포지에서 흡수율이 높게 나타나는 결과로 보이게 된다. 이러한 결과는 양동윤 등(1999)에 의해서 실험적으로도 확인된 바 있다.

5.2. 퇴적지형과의 관계

전남 동남부지역에서 잔골재로서 적절한 잔골재의 범위보다 더 세립질인 2.3이하의 조립율을 나타낸 시료는 모두 구하상 시료로 분석되었으며, 적절한 잔골재의 범위인 2.3-3.1의 조립율을 나타낸 시료는 구하상 시료가 12개, 하천 합류부 시료가 2개, 그리고 해안평야 시료가 1개인 것으로 나타났다. 마지막으로 조립율이 3.1이상으로 적절한 잔골재의 평균입도에 비하여 다소 큰 범위에 분포하는 시료는 구하상 시료가 12개, 하천 합류부 시료 1개, 침식분지 시료 1개, 꼭저평야 시료 4개, 해안평야 시료가 1개인 것으로 분류된다 (Table 8, Fig. 7).

또한, 품질에 따른 퇴적지 유형분류결과에 의하면 잔골재의 품질을 7개 항목에서 모두 만족하는 시료는 모두 구하상 시료였으며, 치츄 품질을 만족하는 항목이 적어질수록 퇴적지 유형이 다양해지고 구하상을 제외한 다른 퇴적지 유형의 분포가 높아지는 결과를 나타냈다(Table 9, Fig. 8).

이상의 결과에 의하면 구하상과 현 하상의 합류부, 그리고 일부 해안평야의 잔골재가 양호한 조립율특성을 나타냈으며, 침식분지나 꼭저평야의 경우에는 다소 조립질인 부존특성을 갖는 것으로 나타났다. 아주 우수한 품질의 잔골재는 퇴적지 유형 중에서 주로 구하

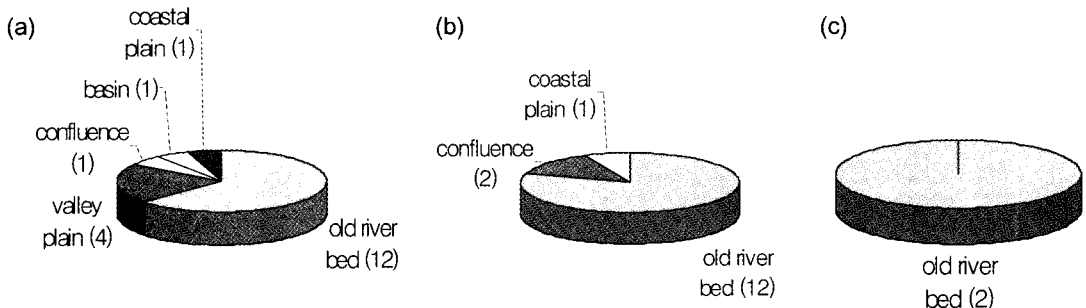


Fig. 7. Type of depositional location to the fineness modulus. (a) over 3.1 (b) 2.3 - 3.1 (c) under 2.3.

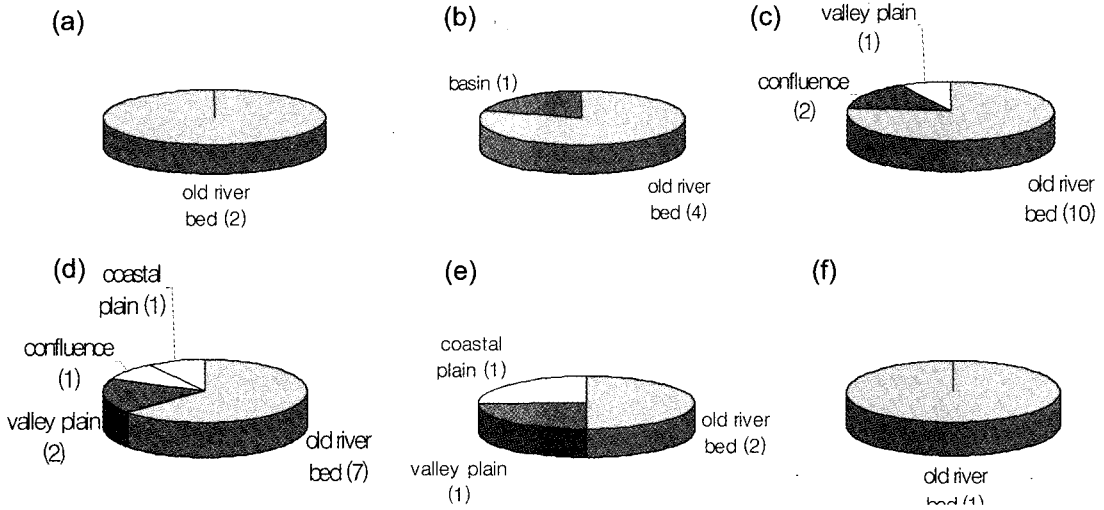


Fig. 8. Classification of fine aggregates to the number of test categories satisfying KS F quality controls. (a) 7 (b) 6 (c) 5 (d) 4 (e) 3 (f) less than 2.

상에 분포하는 것으로 나타났지만, 구하상에 분포하는 잔골재의 품질은 지역적인 차이가 매우 다양한 결과를 보이고 있음을 확인하였다.

6. 결 론

실험 결과와 지형 및 지질간의 관계에 대한 토의를 통하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 모래의 주구성광물인 석영립의 비율은 암종에 따라 큰 차이를 보이지 않지만 화강암이나 편암에 비하여 응회암이 상대적으로 유리질과 세립질의 구성비율이 커서 공극률이 높기 때문에 흡수율이 높게 나타나 결국 절대건조밀도와 표면건조밀도, 그리고 진밀도 간에 큰 차이를 보이고 있다.

2. No. 200체 이하의 잔 입자는 콘크리트의 내구성과 밀접한 관계가 있으므로 골재 생산원가가 높아지더라도 가능한 한 생산과정에서 철저히 제외시키는 것이 바람직하지만 각각의 입도에 적합한 새로운 용도를 개발하여 자원이용의 극대화를 도모하여야 할 것이다.

3. 개간된 지역이나 해수의 침투가 가능한 지역은 염화물 함유량이 허용한계를 초과하는 골재의 부존가능성이 높기 때문에 이를 골재로 이용하기 위해서는 충분한 세척과정이 필수적으로 선행되어야 할 것이다.

4. 조립율은 역시 골재의 입자와 관련이 있는 D50과는 정(+)의 상관특성이 있으며, No. 200체 이하의 잔 입자량과는 부(-)의 상관특성을 나타냈다. 또한, KS F 품질에서 정한 잔골재의 물성 중에서 밀도와 단위질량,

흡수율, 그리고 안정성 사이에 상호 밀접한 상관특성이 있는 것으로 나타났다.

5. 섬진강의 상류지역에 주로 분포하는 주라기 화강암 및 중생대 엽리상 화강암, 그리고 지리산 편마암 복합체는 상대적으로 연약한 남부의 응회암에 비하여 양호한 골재원이 되고 있다.

6. 구하상과 현 하상의 합류부, 그리고 일부 해안평야에서 잔골재로서 양호한 조립율특성을 나타냈으며, 침식분지나 곡저평야의 경우에는 다소 조립질인 부존 특성을 갖는 것으로 나타났다. 아주 우수한 품질의 잔골재는 퇴적지 유형 중에서 주로 구하상에 분포하는 것으로 나타났지만, 구하상에 분포하는 잔골재의 품질은 지역적인 차이가 매우 다양한 결과를 보이고 있음을 확인하였다.

7. 오랜 기간 계속된 육상골재의 개발로 입지가 양호한 지점에 분포하는 육상골재는 현재 거의 개발이 완료된 상태이므로 골재의 품질을 규정한 KS F 2526 및 KS F 2527 등에 의하여 골재로서 부적합하거나 불량한 조건을 나타내는 육상골재에 대하여서도 자원의 효율적인 이용차원에서 각각의 품질에 적합한 다양한 용도를 개발하고 이러한 범위 내에서 골재로 사용할 수 있도록 하는 노력과 관리가 필요한 시점이다.

사 사

이 논문은 산업자원부에서 시행한 국가지질조사 및 자원탐사사업(KR-04(c)-06)의 지원에 의해 연구되었으

며, 논문을 자세히 심사해 주시고 많은 조언을 주신 전남대학교의 윤정한 교수님과 한국지질자원연구원의 김경수 박사님께 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- 김주용, 양동윤, 민충기, 남옥현, 신현모, 고인세, 김진관, 오근창 (2004) 골재부준조사 및 품질관리 기술개발 연구: 제3장 육상골재. 한국지질자원연구원, 대전, 816p.
- 김학수, 조규봉 (2002) 토목품질시험기술사 문제해설 및 실무. 구미서관, 서울, 494p.
- 박영석, 장우석, 김중균 (2003) 구례지역 하상퇴적물의 지질집단별 자연배경치에 대한 연구. 자원환경지질, 36권, p. 275-284.
- 백두환 (2000) 부순잔골재 콘크리트의 효율적인 활용방안에 관한 연구. 박사학위논문, 청주대학교 건축공학과, 185p.
- 양동윤, 임순복, 민충기, 이창범, 박덕원, 김주용, 이동영 (1999) 한반도 산림골재의 물성특성. 자원환경지질, 32권, p. 1-11.
- 양동윤, 이창범 (1997) 축진시험법을 이용한 하천골재의 알칼리 반응성 판정. 자원환경지질, 30권, p. 175-183.
- 윤기원 (1996) 부순모래 콘크리트의 특성에 미치는 영향 요인 및 활용에 관한 연구. 박사학위논문, 청주대학교 건축공학과, 161p.
- 이병주, 김정찬, 김유봉, 조동룡, 최현일, 전희영, 김복철 (1997) 광주지질도복설명서(1:250,000). 과학기술부, 82p.
- 이성복 (1997) 잔입자함유량 및 잔골재 입형 변화에 따른 부순모래 콘크리트의 특성에 관한 연구. 박사학위논문, 한양대학교 건축공학과, 212p.
- 홍세선, 이창범, 박덕원, 양동윤, 김주용, 이병태, 오근창 (2004) 국내 골재석산의 분포와 유형 분석. 자원환경지질, 37권, p. 555-568.
- American Society for Testing and Materials (1998) Annual book of ASTM standards. Part 4.02. ASTM, Philadelphia.
- American Society for Testing Materials, ASTM C-33 (1986) Standard specifications for concrete aggregates.
- American Society for Testing Materials, ASTM C-40 (1992) Test method for organic impurities in fine aggregates for concrete.
- American Society for Testing Materials, ASTM C-88 (1990) Test method for soundness of aggregates by use of sodium sulphate or magnesium sulphate.
- American Society for Testing Materials, ASTM C-128 (1993) Test method for specific gravity and absorption of fine aggregates.
- Fisher T.G. and Smith D.G. (1993) Exploration for pleistocene aggregate resources using process-depositional models in the Fort McMurray region, Ne Alberta, Canada. Quaternary International, v. 20, pp. 71-80.
- KS F 2501 (1997) 골재의 시료채취방법. 한국표준협회, 4p.
- KS F 2502 (2002) 골재의 체기름 시험 방법. 한국표준협회, 5p.
- KS F 2503 (2002) 굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법. 한국표준협회, 6p.
- KS F 2504 (2002) 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법. 한국표준협회, 6p.
- KS F 2505 (2002) 골재의 단위용적질량 및 실적을 시험 방법. 한국표준협회, 8p.
- KS F 2507 (2002) 골재의 안정성 시험 방법. 한국표준협회, 5p.
- KS F 2508 (2002) 로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재의 마모 시험 방법. 한국표준협회, 8p.
- KS F 2511 (2002) 골재에 포함된 잔 입자(0.08mm 체를 통과하는) 시험 방법. 한국표준협회, 2p.
- KS F 2512 (2002) 골재중에 함유되는 점토 덩어리량의 시험 방법. 한국표준협회, 2p.
- KS F 2515 (2002) 골재 중의 염화물 함유량 시험 방법. 한국표준협회, 4p.
- KS F 2357 (1997) 역청 포장 혼합물용 골재. 한국표준협회, 5p.
- KS F 2526 (2002) 콘크리트용 골재. 한국표준협회, 8p.
- KS F 2527 (2002) 콘크리트용 부순 골재. 한국표준협회, 8p.
- KS F 2532 (2002) 역청 표면 처리용 부순 골재, 부순 슬래그 및 골재. 한국표준협회, 3p.
- KS F 2534 (2002) 구조용 경량 골재. 한국표준협회, 4p.
- KS F 2536 (1990) 머캐덤 포장용 부순 골재. 한국표준협회, 4p.
- KS F 2543 (2002) 콘크리트용 동(銅) 슬래그 골재. 한국표준협회, 9p.
- KS F 2544 (2002) 콘크리트용 고로 슬래그 골재. 한국표준협회, 30p.
- KS F 2551 (2002) 절연 콘크리트용 경량 골재. 한국표준협회, 4p.
- KS F 2558 (1993) 콘크리트용 부순 모래. 한국표준협회, 4p.
- KS F 2573 (2002) 콘크리트용 재생 골재. 한국표준협회, 6p.
- KS F 2578 (2002) 미장용 잔골재. 한국표준협회, 5p.
- KS F 2583 (2002) 콘크리트용 연(鉛) 슬래그 골재. 한국표준협회, 7p.
- KS F 4009 (2004) 레디믹스트 콘크리트. 한국표준협회, 36p.
- Spooner, I.S. and Dalrymple, R.W. (1993) Sedimentary facies relationships in esker-ridge/esker-fan complexes, Southeastern Ontario, Canada: Application to the exploration for asphalt blending sand. Quaternary International, v. 20, pp. 81-92.