

모암의 쇄골재용 적합성 검토 연구

강선덕¹⁾ · 조건준¹⁾ · 유장한¹⁾

1. 서 론 :

우리나라의 골재 수급은 80년대 말부터 경제성장과 함께 도로확장, 주택건설, 산업기반시설의 조성 등으로 인하여 연간 약 2억m³ 골재가 소요되어 왔으며, 앞으로도 매년 이와 같은 량(量)의 골재를 필요로 하고 있으나, 주요 하천상의 다목적 댐의 건설, 치산치수 사업의 확장 등으로 인한 자연 골재원의 급격한 감소로 앞으로 머지 않은 시기에 골재수급의 심각성이 대두될 것으로 전망되고 있다. 특히 하천골재의 공급량은 급속히 감소 될 것으로 전망되고 있으며, 이것의 부족분은 산림 및 바다골재로 대체 할 수밖에 없을 것으로 사료된다. 따라서 이러한 문제를 해결키 위해 하천골재 공급량의 상당부분을 인공골재 및 모래로 대체하고 있다. 선진국의 예로 보아 급후 30% 이상까지 증가 할 것으로 전망되고 있다. 따라서 자원(資源)이 限定되어 있는 우리의 여건을 감안할 때 대체자원으로 즉시 활용 할 수 있는 인공골재 및 모래의 중요성이 더욱 대두되고 있다. 본 연구는 종합레저관광 단지개발로 허가등록을 진행중에 있는 경남 사천시 용현면 백천동 산 60-1번지의 지질을 조사하고 허가 구역내에 부지 조성을 위한 채굴에서 생산되는 체석량 모암의 종류를 분류, 화학성분 분석, 공학적 물성시험과 특성시험 통해 쇄석골재용 및 인공 모래 원료로서의 적합성 검토를 하였다.

1. 위치

경남 사천시 용현면 백천동 산 60-1번지에 자리한 개발지역은 삼천포와 사천의 약 중간지점으로 와룡산 산정에서 남쪽하부가 된다.

2. 지질

본 석산이 위치한 삼천포시 덕곡동 및 백천동주변의 지질은 하부로부터 중생대 백악기의 하양층 군중 신라통에 속하는 신라 역암층 및 함안층과 이들을 관입한 화강섬록암등이며 골짜기를 따라 소규모의 층적층이 대상으로분포되고 있다. 조사지역의 지질계통은 다음과 같이 삼천포 지질도폭에서의 분류를 인용하였다(1983, 지정만 등).

표 2-1. 조사지역내 대표암석의 화학분석결과(wt.%)

비고 성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Igloss
사 암	71.17	13.39	3.12	1.97	1.46	2.49	3.84	0.49	0.07	0.14	1.59
화산암	57.50	17.25	6.28	5.54	3.40	2.26	4.56	0.79	0.13	0.25	1.80
화강암	67.37	15.51	3.86	2.32	1.09	3.75	4.07	0.51	0.12	0.15	0.91

3. 모암의 쇄석골재용 적합성 검토

3-1. 쇄골재 및 쇄석사용 원료암석의 기준

원석의 공학적 물성, 조직 및 품질분석 그리고 암석의 공학적 분류를 통하여 KS 기준치 이내이거나 이론치에 합격여부를 시험하여 개발하고자 하는 원료석에 대한 검증을 한 후 개발을 결정하여야 한다.

¹⁾한국자원연구소 자원연구부(E-mail : sdkang@kigam.re.kr)

3-2. 모암의 공학적 물성 시험

Sample No.	Density (g/cm ³)	Absorption Ratio (%)	Wave Velocity (m/sec)		Compressive Strength (kg/cm ²)	Tensile Strength (kg/cm ²)	Young's Modulus (10 ³ kg/cm ²)	Poisson's Ratio	Cohesion (kg/cm ²)	Internal Friction Angle (°)	Remark
			S파	P파							
1-1	2.60	0.90	2,840	6,030	3,850	300	5.04	0.27	570	57.6	백천 A지역
1-2	2.65	1.10	2,890	5,530	4,550	270	5.51	0.27			
1-3	2.70	1.00	2,950	5,870	3,980	350	4.95	0.25			
평균	2.65	1.00	2,890	5,810	4,130	310	5.17	0.26			

3-3. 모암의 골재 특성시험

건축재료로서 물리적, 열적, 화학적 특성을 종합적으로 판단해 경제적이고 내구성이 있는 배합 설계가 되는 골재 선정이 매우 중요하게 요구된다. 따라서 본 연구에서 모암의 특성을 표3-3과 같은 KSF 규정에 의해 시험하였으며, 그 결과로서 골재원료 (즉, 쇄골재 및 쇄석사)의 적합성을 검토한 바 표3-4에서 보여지는 바와 같이 매우 양호한 골재원료로 판정된다.

표 3-3 시험항목 및 내용

분석항목	분석내용 및 방법	분석기기	분석항목	분석내용 및 방법	분석기기
질건비중	KSF 2503, 2504	체, 시료용기, 저울	단위용적중량	KSF 2505	
흡수율	KSF 2503, 2504	체, 시료용기, 저울	유기불순물	KSF 2510	
안정성시험	KSF 2507		염화물	KSF 2526	염화물시험기
마모시험	KSF 2508	Los Angels마모시험기	충격율	BS 812	충격율시험기
입형관경실적	KSF 2505, 2527		파쇄율	KSF 2541, 2542	파쇄시험기
알카리골재반응	KSF 2545		분쇄능시험	KSE 3600	BOND MILL

표 3-4 골재시험 결과

항목	비중	흡수율 (%)	단위중량 (kg/m ³)	충격율 (%)	파쇄율 (%)	마모율 (%)	씻기시험 (%)	입형관경 실적율 (%)	유기 불순물	염화물 (%)	알카리 골재반응	안정성 (%)	분쇄성, 일지수 (kwh·ton)	
굵은골재	규격	2.50 이상	3.0 이하	1,500 이상	-	-	40 이하	1.0 이하	55 이상	-	-	12 이하	-	
	실험치(A)	2.65	1.0	1,510	9.6	13.0	10.2	0.37	57.3	-	-	무해	5.6	17.7
잔골재	규격	2.50 이상	3.0 이하	1,450 이상	-	-	-	7.0 이하	53 이상	표준용액보다연합	0.04 이하	-	10 이하	-
	실험치(A)	2.59	1.58	1,660	-	-	-	2.29	64.1	합격	0.001	무해	4.8	-

가. 질건 비중 및 흡수율

질건건조 상태의 비중은 대기중 건조무게, 대기중 시료의 표면 건조 포화상태의 무게 및 물속에서 시료의 무게를 측정하여 비중을 구하며(KSF 2503, 2504에 의거) 측정결과 굵은골재 원석은 2.65로 규격치 2.50이상으로 양호한 것으로 확인되었다. 잔골재의 원석은 2.59로 규격치 2.50이상으로 양호한 결과이다. 이 결과로서 모암의 상태가 양호한 것으로 판단된다. 흡수율은 대기중 시료의 건조 무게, 대기중 시료의 표면건조 포화 상태의 무게를 측정하여 흡수율을 구하며(KSF2503, 2504), 측정결과 굵은 골재 원석은 1.0%로서 규격치 3.0이하를 만족하고, 잔골재는 1.58%로서, 규격치 3.0%이하를 만족하는 양호한 상태이다.

나. 단위용적중량

KSF 2505 규격으로 시험하였으며, 시료의 다짐은 다짐봉을 이용하여 시료용기에 먼저 시료를 채운 후 무게를 측정하고, 검정을 위해 물을 채워 무게를 측정한다. 시료의 무게와 물의 단위용적 중량으로부터 시료의 단위용적중량을 시험한 결과 굵은골재 원석은 1,510kg/m³로서 규격치 1,500kg/m³ 이상으로 골재 규격을 만족하고, 잔골재(인공사)는 1,660 kg/m³로서 규격치 1,450kg/m³을 만족한다.

다. 안정성

황산나트륨의 결정압에 의한 파괴작용에 대한 저항성을 기준으로 하는 골재의 안정성 시험으로 황산 나트륨 용액으로 침적하여 손실되는 정도를 측정한다. 그결과 굵은 골재는 5.6%로서 규격치(KSF 2507) 12%이하를 만족하며 잔골재는 4.8%로서 규격치 10%이하를 만족한다.

라. 마모시험기

LOS ANGELS 마모시험기를 이용하여 골재마모 가능성에 대한 시험방법으로 KSF 2508에 의거 시험하였으며 그결과 굵은 골재는 10.2%로서 매우 안정적이며 규격치 30% 이하를 만족하는 것으로 확인된다.

마. 유기 불순물

본시험은 콘크리트에 사용되는 골재에 함유된 유기화합물의 해로운 양을 측정하는 방법으로 식별용 표준용액과 비색법으로 관찰하여 표준용액보다 색이 진하면 불합격, 표준용액보다 옅으면 합격으로 판정한다(KSF2510). 측정결과 잔골재 A지역 규격을 만족하는 것으로 확인된다.

바. 염화물 함량

염화물 시험은 시료 500g을 증류수 500ml에 현탁시켜 염소 이온을 용출해내고 질산은 용액으로 적정하여 사용된 질산은 양으로 부터 염소 이온의 량을 얻고 얻어진 염소이온으로부터 NaCl 함량을 구한다. 시험 결과 잔골재는 0.0012%로서 규격치(KSF 2526) 0.004% 이하를 만족하는 것으로 확인된다. 이값은 일반적인 부순 모래의 경우와 동일한 결과였다.

사. 굵은 골재 파쇄시험

이 시험은 점차적으로 가해지는 압축하중하에서 골재의 저항성을 확인하기 위한 시험으로 표면 건조 포화상태의 골재에 하중을 지속적으로 가한 후 2.5mm 체를 통과한 세립의 양으로 파쇄율을 결정하며 그결과 굵은골재는 13.0%로서 매우 양호한 것으로 규격치(KSF 2541) 30%이하에 만족한 것으로 나타났다.

아. 알칼리 골재반응

알칼리 골재반응 시험방법에는 화학적 방법과 몰탈BAR법이있으나 본 시험에서는 화학적 방법을 적용하여 시험하였으며, 알칼리 농도 감소량과 시료에서 용해된 실리카 함량의 관계로 부터 알칼리 골재반응의 유해성 여부를 판단하는 방법이다. 시험결과 모두 무해한것으로 확인되었다. A지역의 경우 2회의 시험 결과 알칼리 농도 감소량이 평균 110mmole/l, 용해실리카량이 평균 26.7mmole/l로서 이들값을 plot하면 무해한 영역임을 도표로 확인할수 있다.

자. 씻기시험,입형판정실적

씻기시험은 입형판정시험은 질건비중 및 흡수율시험 과 함께 진행하며 씻기시험중 손실된양을 측정하여 굵은골재의 경우 1.0%이하, 잔골재의 경우 7.0%이하의 규격치를 갖는다. 본실험에서 굵은골재의 경우 0.37, 0.31수준으로 양호하며,잔골재의 경우 각각 2.29,2.58로서 규격치를 만족하였다.

차. 충격율 시험

본 시험에서는 BS 812 시험법을 적용하였으며 시료에 다짐봉을 50mm높이에서 25 낙하시켜 파쇄된 시료를 2.40mm체로 체가름하여 통과량의 비를 결과로한다. 시험결과 9.6%로서 일반 골재보다 강한것으로 확인된다.

카. 분쇄성 일지수(Bond Work Index)

이시험은 Bond 에 의해 고안된 분쇄기(Mill)을 사용하여 각종 재료의 분쇄성능을 일지수(kwh/ton)으로 나타낸다. 이결과치가 높으면 분쇄가 힘든, 강도가 높은 재료로 판정한다. 시험결과 17.7kwh/t 일반 규암과 비슷한 값을 나타냈다.

표 3-5 굵은골재 안정성시험 결과

걸리는 체(mm)	각군의무게 백분율A(%)	시험전각군의 무게B(g)	손실무게 C(g)	각군의손실무게 백분율D(%)	골재의손실무게 백분율E(%)	비 고
5	25.0	300	25.5	8.5	2.1	D(%)=C/B E(%)=(D/A)/100
15	25.0	750	36.0	4.8	1.2	
20	25.0	1,000	42.0	4.2	1.0	
25	25.0	1,500	75.0	5.0	1.3	
	100	3,550	178.5		5.6	

표 3-6 잔골재 안정성시험 결과

걸리는 체(mm)	각군의무게 백분율A(%)	시험전각군의 무게B(g)	손실무게 C(g)	각군의손실무게 백분율D(%)	골재의손실무게 백분율E(%)	비 고
-	5.0	-	-	-	-	D(%) = C/B E(%)=(D/A)/100
0.15	14.2	-	-	-	-	
0.3	23.6	100	3.5	3.5	0.8	
0.6	14.2	100	4.5	4.5	1.1	
1.2	16.8	100	6.3	6.3	1.1	
2.5	10.2	100	1.0	1.0	0.1	
5.0	6.0	100	29.0	29.0	1.7	
	100	500			4.8	

8. 결 언

1. 본 연구 대상지는 경남 사천시 용현면 백천동 산 60-1지역에 종합레저관광단지 개발로서 부지 조성을 위한 채굴에서 생산되는 채석모암의 쇄골재 및 쇄석사 원료로서의 적합성을 검토하였다.
2. 모암의 공학적 물성시험결과 개발예정 A지역의 시료는 절건비중이 평균 2.65로서 KS F 2503 기준치 2.5이상을 만족하고, 흡수율 1.0%로서 KS F 2503기준치 3.0이하를 만족하며, 압축강도는 평균값이 4,130kg/cm²이고 탄성과 속도가 5.8km/sec로서 극경암에 속함을 알 수 있다.
3. 모암의 골재 특성 시험은 KS F규정에 의하여 시험하였고 그 결과로서 골재원료(즉, 쇄골재 및 쇄석사)의 적합성을 검토한바 다음 표 5-8에서 보여지는 바와 같이 매우 양호한 골재원료로 판정된다.

표 5-8 골재시험 결과

항목 시료명	비중	흡수율 (%)	단위중량 (kg/m ³)	충격율 (%)	파쇄율 (%)	마모율 (%)	셋기시험 (%)	입형판정 실적율 (%)	유 기 불순물	염화물 (%)	알카리 골재반 응	안정성 (%)	분쇄성 일지수 (kwh/ton)
굵은골재	규격	2.50 이상	3.0 이하	1,500 이상	-	-	40 이하	1.0 이하	55 이상	-	-	-	-
	시험치(A)	2.65	1.0	1,510	9.6	13.0	10.2	0.37	57.3	-	-	무해	5.6
잔골재	규격	2.50 이상	3.0 이하	1,450 이상	-	-	-	7.0 이하	53 이상	표준용액 보다연합	0.04 이하	-	10 이하
	시험치(A)	2.59	1.58	1,660	-	-	-	2.29	64.1	합격	0.001	무해	4.8

참고 문헌

1. 강선덕외 3인. 「쇄석을 이용한 인공모래 개발연구」. 대전 : 한국자원연구소, 1997
2. 이동남. 「쇄석인공모래의 생산과 원료 암석」. 서울 : (주)광산기공, 1999
3. 한국산업규격. KS 2526과 KS F 2503, 2504, 2505, 2507, 2508, 2510, 2541, 2545, KS E 3600.
4. 지정만, 김형식, 오인섭, 김학천. 「삼천포 지질도폭 및 설명서」. 한국동력자원연구소, 1983