

도로용 보조기층재로서 골재석산 폐석분의 물리적 및 공학적 특성

김경수^{1)*} · 송영석¹⁾

1. 서 론

1990년대부터 환경적인 요인 등에 의해 천연골재의 생산량은 줄어들고 석산개발에 의한 쇄석골재는 급격히 증가되어 왔다. 특히 세골재인 모래를 생산하는 과정에서 연간 80~100만m³의 폐석분이 발생되고 있는데, 대부분 적절한 처리나 재활용되지 못하고 인근에 방치되고 있다. 폐석분은 쇄석골재와 비교하여 입도조건만 미세립의 형태를 갖기 때문에 지하화적인 측면에서 상용화되는 골재와 크게 다를 바가 없으나 폐기물관리법에서 산업폐기물로 분류되고 있으며 별도의 처리나 재활용이 매우 미흡하다. 본 연구는 국내의 대표적인 쇄석골재 생산업체들로부터 발생된 폐석분과 인근지역 원지반토를 채취한 후 실험실에서 배합조건을 달리하여 각종 토질시험을 실시하여 물리적 및 공학적 특성을 규명하였다. 또한, 폐석분과 원지반토를 배합한 혼합토의 특성개량을 통한 도로용 보조기층재로서 폐석분의 재활용 가능성을 검토하였다.

2. 시료 및 시험

국내 대표적 6개 채석장을 선정하여 석산별로 폐석분과 원지반토를 각각 200kg 정도씩 채취하여 폐석분, 원지반토 및 이를 배합한 혼합토에 대해 비중, 함수비, 입도, 액성한계, 소성한계, 다짐, CBR 및 전단강도시험을 실시하였다. 시험방법은 KS의 관련규정에 따라 시험하였으며, 특히 전단강도는 다짐시험에 의한 최적함수비조건에서 직접전단시험을 실시하였다. 각 시료별 폐석분과 원지반토의 물성시험 결과는 표 1과 같다.

표 1. 시험시료의 물성시험 결과

시료명/석산위치	비중	함수비 (%)	연경도 (%)			입도구성 (%)			유효경 (mm)	균등 계수	곡률 계수	200체 통과율 (%)	USCS	
			액성한계	소성한계	소성 지수	자갈	모래	세립						
폐석분	양주 삼포	2.72	22.24	32.61	18.30	14.31	-	61.53	38.47	0.008	22.0	2.0	38.47	SC
	춘천 신한	2.71	17.99	29.02	17.69	11.33	-	80.05	19.95	0.025	7.8	3.5	19.95	SC
	청원 서릉	2.75	23.49	28.71	18.80	9.91	-	96.34	3.66	0.178	0.7	1.1	3.66	SP
	공주 아세아	2.77	22.63	30.73	18.50	12.23	-	86.82	13.18	0.050	3.8	2.1	13.18	SC
	군산 대운	2.76	15.32	26.77	15.83	10.94	-	78.26	21.74	0.018	9.7	3.2	21.74	SC
	울산 동명	2.71	24.90	32.20	16.84	15.36	-	92.43	7.57	0.095	2.2	1.5	7.57	SP-SC
원지반토	양주 삼포	2.64	6.18	NP			2.66	94.05	3.29	0.25	6.4	1.2	3.29	SW
	춘천 신한	2.58	1.14	32.46	21.05	13.21	29.54	67.42	3.04	0.29	8.6	0.9	3.04	SP
	청원 서릉	2.68	0.98	31.82	21.06	10.76	41.37	58.00	0.63	0.80	6.3	0.9	0.63	SP
	공주 아세아	2.68	2.17	32.72	19.89	12.83	38.21	58.47	3.32	0.21	19.5	0.4	3.32	SP
	군산 대운	2.69	4.30	34.11	21.09	13.02	41.80	57.32	0.88	0.64	7.8	0.9	0.88	SP
	울산 동명	2.69	8.02	38.87	22.19	16.68	51.15	46.82	2.03	0.46	14.6	1.4	2.03	GP

주요어 : 폐석분, 공학특성, 보조기층재, 재활용

1) 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (kks@kigam.re.kr)

3. 혼합토의 물성 및 공학특성

혼합토는 각 석산별로 폐석분과 원지반토를 중량비로 기준하여 5개 시료(100%: 0%, 75%: 25%, 50%: 50%, 25%: 75% 및 0%: 100%)로 구분하여 시험하였다.

비중은 폐석분의 혼합비율이 감소됨에 따라 전반적으로 낮아지는 경향성을 보였다. 액성한계는 폐석분의 혼합비율이 낮을수록 약간 증가하는 경향을 보이나 그 증가량은 매우 작고 소성지수는 혼합비율이 다름에도 변화가 거의 없다. 균등계수는 폐석분 혼합비율과 대체로 비례하나 혼합비율 50~75%일 때 가장 크며, 곡률계수는 혼합비율 25%일 경우 최대로 증가되는 것으로 나타났다. 한편, 유효경은 폐석분의 혼합비율이 낮을수록 전반적으로 증가되는 반비례적 관계를 보였다. 폐석분 혼합비율과 최적함수비는 전반적으로 비례적인 경향성을 보이는데, 폐석분의 혼합비율이 25%인 경우 10.1~14.8%의 범위로서 평균 13.43%로 나타난 반면, 최대건조단위중량은 폐석분의 혼합비율과 반비례적 관계로서 혼합비율이 25%인 경우 최대건조단위중량이 1.80~2.02t/m³로서 평균 1.90t/m³로 나타났다. 한편, CBR은 폐석분 혼합비율이 낮을수록 증가되는 경향성을 보이며, 혼합비율이 25%인 경우 5.1~6.0%로서 평균 5.45%인 것으로 나타나 일정한 범위에서는 폐석분의 혼합비율이 감소됨에 따라 혼합토의 CBR이 전반적으로 증가되는 경향성을 보였다(그림 1). 이처럼 원지반토를 혼합할 경우 폐석분의 개량효과가 있는 것으로 분석되었다.

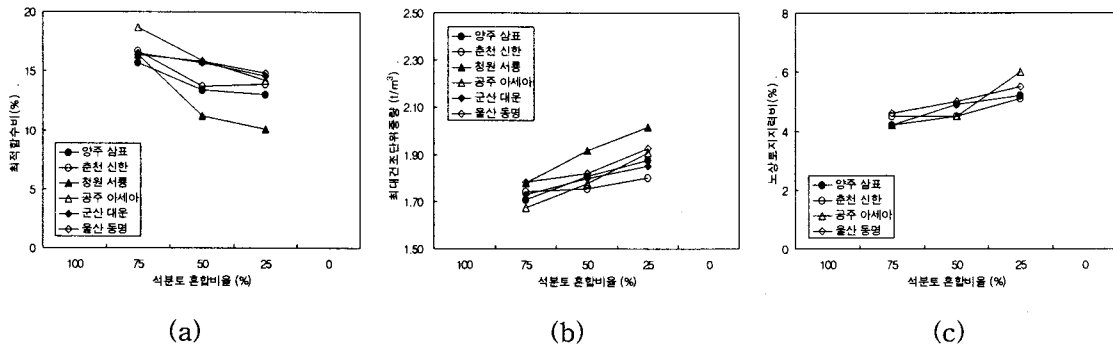


그림 1. 혼합토의 배합조건에 따른 변화 : (a), 최적함수비; (b), 최대건조밀도; (c), CBR

표 2는 혼합토의 배합조건에 따른 전단강도를 점착력(c)과 전단저항각(ϕ)으로 구분하여 삼표 및 아세아의 혼합토만을 대표적으로 나타내었다. 시험은 다짐시험에 의한 최적함수비 및 최대건조단위중량조건에서 실시하였다. 표에서 보는 바와 같이 2개소 모두 폐석분의 배합비율이 높을수록 점착력은 증가하고 내부마찰각이 감소하는 경향성을 보였으며, 혼합비율 25%인 경우가 가장 큰 전단강도를 가지는 것으로 분석되었다.

표 2. 폐석분과 원지반토의 혼합비율에 따른 전단강도

구분 (폐석분:원지반토)	양주 삼표		공주 아세아	
	c (t/m ³)	ϕ (°)	c (t/m ³)	ϕ (°)
A (100:0)	0.52	30.2	0.45	29.3
B (75:25)	0.51	30.8	0.51	30.6
C (50:50)	0.48	32.1	0.48	31.5
D (25:75)	0.44	33.4	0.40	34.2
E (0:100)	-	-	-	-

4. 도로용 노상재료로서 혼합토의 적용성 검토

도로용 재료 중 노상재료로는 한국도로공사 표준시방서에 품질기준을 규정하고 있다(도로설계요령, 1976; 도로설계실무편람, 1996). 5가지 배합조건들 중 개량효과가 큰 2가지 배합비율(폐석분과 원지반토 비율이 50%:50% 및 25%:75%)인 경우의 혼합토를 대상으로 도로 노상재료로서 적합성을 검토한 결과, 노상의 상부 1m까지의 품질기준을 적용하였을 경우 최대치수, 4.75mm체통과율 및 0.075mm체통과율은 모두 적합하나 소성지수 및 CBR값은 조건에 미흡하였다. 그러나 폐석분 배합비율이 25%인 혼합토는 노상의 하부 60cm의 품질기준에 모두 적합한 것으로 나타났다(표 3). 따라서 배합비율을 달리한 여러 혼합토 중에서 폐석분 25%와 원지반토 75%의 비율로 섞은 혼합토의 경우 도로 노상하부 60cm의 재료로 적합하여 도로용재로 사용이 가능한 것으로 평가되었다.

표 3. 도로 노상재료의 품질기준

품질기준	최대치수	4.75mm체통과율	0.075mm체통과율	소성지수	수정CBR
도로 노상하부 1m	100mm 이하	25~100%	0~25%	10 이하	10 이상
도로 노상하부 60cm	150mm 이하	25~100%	50% 이하	20 이하	5 이상

5. 결 론

1. CBR은 폐석분과 원지반토의 배합비에 따라 달라지고 폐석분 혼합비율이 낮을수록 최적함수비는 감소되고 최대건조단위중량은 증가되는데, 폐석분 혼합비율 25%인 경우의 혼합토가 CBR이 크게 향상됨으로써 지지력이 최대로 증가된다.
2. 모든 혼합토가 최적 다짐조건에서 내부마찰각 29° 이상으로 비교적 양호하며, 최적 전단강도를 재현하기 위해서는 폐석분 혼합비율을 25~50%로 조절함이 좋다.
3. 도로 노상재료로서 혼합토의 적합성을 검토한 결과 노상의 상부 1m까지의 품질기준에는 다소 미흡하나 폐석분 25%와 원지반토 75% 비율의 혼합토는 노상하부 60cm용 노상재료로서 적합한 것으로 평가되었다.
4. 폐석분이 산업폐기물로 분류되고 있으나 폐석분을 적당한 배합비로 원지반토와 혼합하여 물성과 공학특성을 개량함으로써 효율적 재활용이 가능하다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원 기본연구사업인 “지질물질 특성분석 시스템구축 및 표준화”의 하나인 “토질 및 골재시험”과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 이평구, 엄승준, 홍세선, 김경수, 윤현수, 음철현, 신성천, 김원영, 박성원, 강민주, 연규훈, 이육중, 2006, 석분토의 특성 및 활용방안을 위한 연구, 한국골재협회, 391p.
- 폐기물관리법, 2003, 제1장 제2조.
- 한국도로공사, 1976, 도로설계요령.
- 한국도로공사, 1996, 도로설계실무편람; 토질 및 기초.