

부산석회 혼합토의 지반공학적 특성 및 현장 적용 사례

Geotechnical Characteristics and Field application of Soil Mixed with Waste Lime

정하익¹⁾, Ha-Ik Chung, 홍승서²⁾, Seung-Seo Hong, 김상근²⁾, Sang-Geun Kim,
홍성완³⁾, Sung-Wan Hong, 유흥기⁴⁾, Hong-Gi Yoo, 임병익⁴⁾, Byung-Ik Yim

- 1) 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Civil Eng. Dept., KICT
- 2) 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Civil Eng. Dept., KICT
- 3) 한국건설기술연구원 토목연구부 연구위원, Senior Research Fellow, Civil Eng. Dept., KICT
- 4) 동양제철화학 주식회사 부장, Manager, DC Chemical Co., Ltd.

SYNOPSIS : This study was carried out to investigate the geotechnical characteristics and field application of soil mixed with waste lime. Waste lime used in this study is produced as a by-product in the manufacturing process of making Na_2CO_3 from local chemical factory in Incheon. Currently about 320 million tons of waste lime are accumulated and annually 100,000 tons are produced. In this study, feasible use of waste lime mixed with granited whathered soil, clay, crushed rock was investigated through laboratory tests including specific gravity test, sieve analysis, hydrometer analysis, compaction test, CBR test. Field investigations were conducted on the road construction site in Incheon.

Key words : waste lime, geotechnical characteristics, field application, CBR test, road

1. 서론

비누세제와 유리의 기초 원료인 소다회(Na_2CO_3)를 생산할 때 발생하는 석회 부산물(이하 부산석회)은 산업폐기물(일반폐기물)로 대부분이 매립되고 있다. 매년 다량 발생하는 부산석회를 재활용할 수 있는 실질적인 방안은 시급한 문제이며 최근까지 부산석회를 재활용하기 위한 다각적인 연구를 통해 부산석회는 연약지반 안정화 처리제, 매립시설의 차수재료 및 복토재, 도로기층재 및 보조기층재, 토양의 형질 개선제, 해안매립 성토재료의 활용가치가 우수한 재료임이 밝혀졌다. 또한 프랑스, 일본, 미국과 같은 선진외국에서도 다량의 부산석회를 양질토의 개념으로 내륙 및 해안지역의 매립토로 활용하고 있다.

이와 같이 다각적인 연구와 홍보를 통해 부산석회는 폐기물관리법(시행규칙 제 46조 2호, 1997)에서 공유수면매립지의 성토재와 폐기물매립시설의 복토재로 용도 지정되었다.

본 연구에서는 부산석회를 화강토, 점토, 쇄석과 혼합하여 일련의 실내실험을 수행하였다. 도출된 결과를 분석하여 부산석회 혼합토가 도로성토재료로써 활용가능한 지를 검토하였다. 또한 실제 도로에 부산석회를 성토재료로 포설한 도로현장을 조사하였다. 이와 같이 부산석회를 인근 건설현장의 성토재료로 활용한다면 공사비 절감, 산업부산물의 재활용 및 매립난 해소 등 경제적 파급효과가 뛰어날 것이다.

2. 부산석회 발생과정

부산석회(Waste Lime)는 소다회(Na_2CO_3)를 생산하는 솔베이(Solvey)법에 의하여 염화나트륨(NaCl)중

의 Na와 석회석(CaCO₃) 중의 CO₂를 반응시켜 소다회를 제조하는 공정중에 발생한다. 즉, 염화나트륨을 물에 녹여 순수한 소금물로 정제하고 석회석을 1,000℃로 가열한 후 소성하여 CaO와 CO₂로 분리한 후, 각각 생성된 물질을 액상에서 반응시켜 소다회가 제조된다. 이 과정에서 염화암모늄(NH₄Cl) 중의 암모니아 회수를 위해 사용된 소성 석회석(생석회)이 분해·증류되면서 폐수가 발생하고 이 폐수를 침전시키면 염화암모늄 분해시 과잉 공급된 생석회와 미소성된 석회석, 석회석 중 불순물 등 무기성 고형물이 부산석회로 발생된다. 부산석회가 발생하는 화학식은 다음과 같고 부산석회 발생 공정도는 그림 1과 같다.

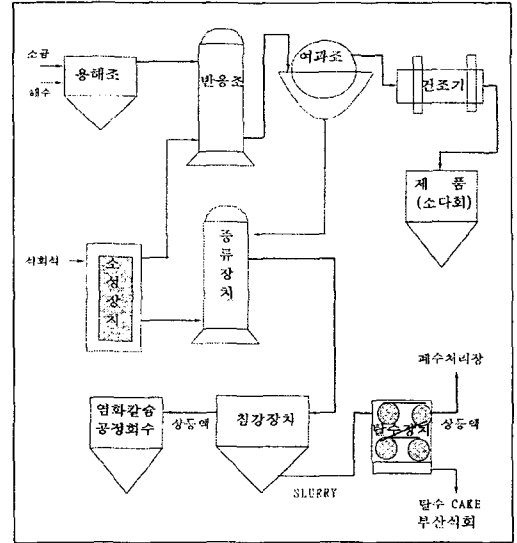
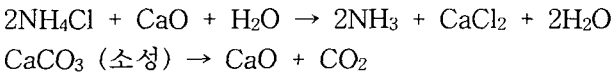


그림 1. 소다회 생산 및 부산석회 발생공정

부산석회는 소다회를 생산하는 과정에서 발생하는 무기성 슬러지이며, 주요성분은 칼슘화합물(약 70%)과 마그네슘화합물(약 20%), 실리카화합물 등이 대부분인 것으로 알려져 있다. 부산석회를 흙과 혼합하였을 때, 적당한 시간이 지나면 석회의 양이온 교환과 면모화 반응, 경화반응과 포졸란 반응, 탄화반응에 의해 경화물이 형성되어 지반의 강도증진에 효과적인 성능을 발휘할 것으로 판단된다.

또한, 부산석회는 화학성분이 석회질 비료나 시멘트의 조성과 유사하며 중금속도 석회석과 소금이 함유하고 있는 양과 비슷하여 일반토양의 자연보존량과 유사하다. 현재까지 발표된 연구결과를 살펴보면 부산석회 자체의 중금속 농도는 모두 기준 농도이하로 나타나 중금속 문제는 없는 것으로 알려져 있다.

3. 실내실험

3.1 실험재료 및 실험항목

부산석회는 동양제철화학(주)에서 배출되어 야적장에서 1년 이상 야적된 것을 채취하였다. 점토, 화강토 및 과쇄 골재(50mm, 100mm)는 인천신공항인근지역에서 채취하였다(그림 2, 그림 3 참조).

산업부산물을 매립성토재료로 활용하기 위해서는 폐기물관리법의 규정에 따라 일정량을 일반토사와 혼합 사용하여야 하는데 부산석회는 일반토사를 80%이상 혼합해서 사용하여야 하므로, 일반토사와 부산석회의 혼합비를 8:2(부피비)로 하였다.



그림 2. 부산석회 채취 장면



그림 3. 활주로점토 채취 장면

각각의 원시료 및 부산석회 혼합토에 대한 실내실험 항목은 표 1과 같다.

표 1. 실내실험 항목

구 분	부산석회	화강토	유수지 점토	활주로 점토	쇄석	부산석회+ 화강토	부산석회+ 유수지 점토	부산석회+ 활주로 점토	부산석회+ 석분포함 쇄석
비 중	○	○	○	○	○	○	○	○	×
입도분석	○	○	○	○	○	○	○	○	○
액성한계	○	○	○	○	×	○	○	○	×
소성한계	○	○	○	○	×	○	○	○	×
다짐	○	○	○	○	×	○	○	○	×
모래당량	×	×	×	×	×	×	×	×	×
CBR	○	○	○	○	○	○	○	○	○

3.2 실험결과

노체재료의 품질기준(건교부 도로설계편람, 2000)에 의하면 부산석회+화강토, 부산석회+유수지점토, 부산석회+활주로점토, 부산석회+쇄석(50mm, 100mm)는 최대치수가 30cm이하이고, 다짐후의 건조밀도가 1.5t.m³ 이상이며, CBR값이 2.5이상으로 나타나 기준치 이상의 값을 만족하였다.

도로 노상재료로는 부산석회+화강풍화토와 부산석회+파쇄골재는 입도기준인 최대치수 통과량 기준과 200번체 통과량 기준(0~25%)을 만족하였고 CBR값도 기준치인 10을 상회하였다.

단지 성토재의 품질기준(한국토지공사 품질관리 지도서, 1994)에 의하면 부산석회+유수지점토, 부산석회+활주로점토, 부산석회+화강풍화토, 부산석회+쇄석은 액성한계, 소성한계, 건조밀도가 기준치를 만족하였다.

표 2. 부산석회 및 부산석회 혼합토의 기본물성 결과

구 분		부산 석회	화강토	유수지 점토	활주로 점토	쇄석 (50mm)	쇄석 (100mm)
입도 분포	4.76mm체 통과량, %	100	57.03	100	100	28.85	18.18
	0.074mm체 통과량, %	97.68	3.27	98.62	97.70	7.25	5.22
연 경 도	액성한계, LL %	60.5	-	31.4	45.8	-	-
	소성한계, PL %	26.5	-	16.4	23.5	-	-
	소성지수, PI	34.0	-	15.0	22.5	-	-
흙의분류	통일분류	SC	SP	CL	CL	GW	GW
비중	비중	2.16	2.65	2.72	2.71	2.85	2.89

구 분		부산석회+ 화강토	부산석회+ 유수지점토	부산석회+ 활주로점토	부산석회+ 쇄석 (50mm)	부산석회+ 쇄석 (100mm)
입도 분포	4.76mm체 통과량, %	100	100	100	44.5	36.54
	0.074mm체 통과량, %	23.2	98.12	97.74	22.1	24.5
연 경 도	액성한계, LL %	24.4	33.5	47.9	-	-
	소성한계, PL %	19.3	12.3	28.7	-	-
	소성지수, PI	5.1	21.2	19.2	-	-
흙의분류	통일분류	SW	SP	SP	GW	GW
비중	비중	2.66	2.63	2.65	-	-

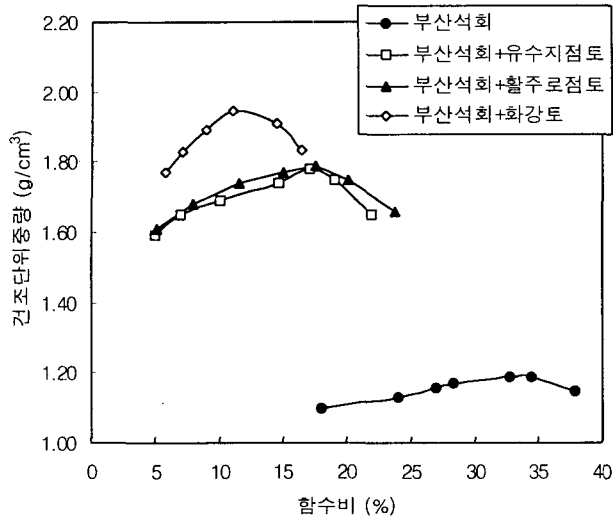


그림 4. 부산석회 혼합토의 다짐곡선

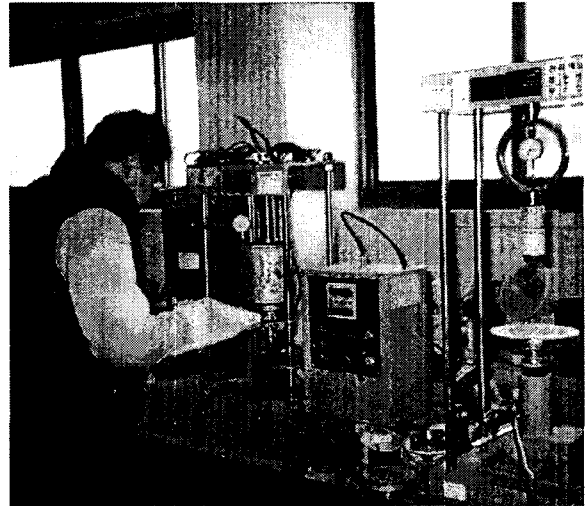


그림 5. CBR 시험 장면

표 3. 부산석회 혼합토의 CBR 시험결과

구분	화강토	유수지점토	활주로점토	골재 (50mm)	골재 (100mm)	부산석회+화강토	부산석회+유수지점토
CBR	31	9.7	13.2	112	118	69	42
구분	부산석회+활주로점토	부산석회+골재(50mm)	부산석회+골재(100mm)	석분제거골재(50mm)	석분제거골재(100mm)		
CBR	49	104	108	89	96		

표 4. 부산석회 및 쇄석 혼합재의 모래당량 실험결과

구분	모래당량 (%)
쇄석 (50mm이하)	79
부산석회+쇄석 (50mm이하)	77
쇄석 (100mm이하)	89
부산석회+쇄석 (100mm이하)	73
관련기준 (도로설계편람, 2000)	25%이상(보조기층), 20%이상(동상방지층)

4. 적용현장 사례

현재까지 국내에서 부산석회를 도로의 성토재로 활용한 사례는 미비하나 일부 지역에서 활용한 예가 있다. 본 장에서는 이러한 현장 중 인천광역시 남구에 소재한 도로에 부산석회를 포설한 현장에 대하여 현장적용사례를 조사하였다. 그림 6과 같이 본 현장의 도로의 단면은 상부로부터 아스팔트층, 보조기층, 부산석회층, 갯벌이 섞여 있는 일반성토층으로 구성되어 있다. 하부의 부산석회층은 오랜 시간(20년)을 거치면서 발생한 경화반응으로 인하여 매우 견고한 상태를 나타냈다. 이와 같이 부산석회를 도로성토재로 재활용함이 가능한 것으로 나타났고 부산석회가 양호한 대체성토재료가 됨을 알 수 있었다.

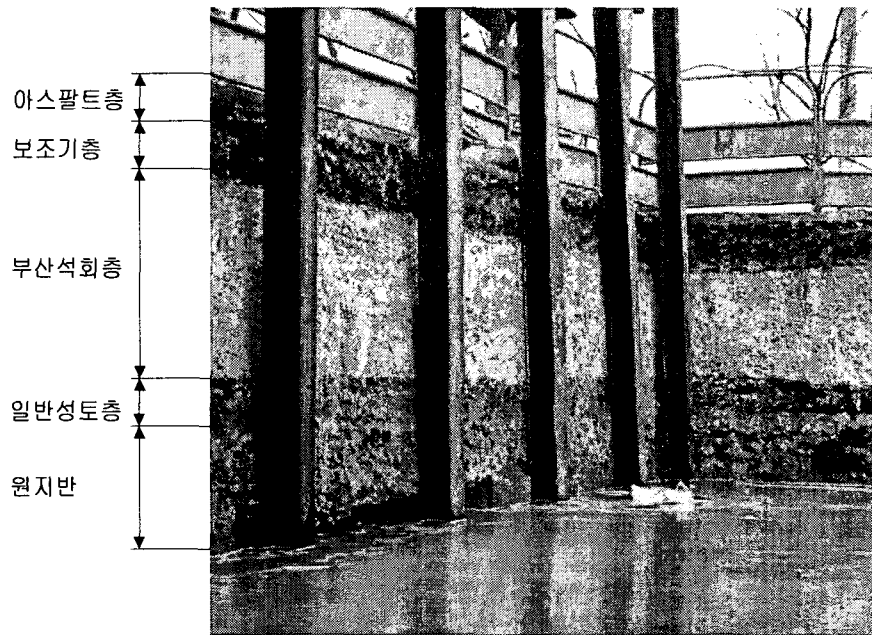


그림 6. 부산석회를 적용한 도로포장 단면

5. 결 론

- 1) 도로 노체재료의 품질기준에 의하면 부산석회+유수지점토, 부산석회+활주로점토, 부산석회+화강풍화토, 부산석회+쇄석(50mm, 100mm)은 최대치수가 30cm이하이고, 다짐후의 건조밀도가 1.5t.m³이상이며, CBR값이 2.5이상으로 나타나 기준치 이상의 값을 만족하였다.
- 2) 도로 노상재료 품질기준에 의하면 부산석회+화강풍화토와 부산석회+쇄석(50mm, 100mm)은 입도기준인 최대치수 통과량 기준과 200번체 통과량 기준(상부노상 : 0~25%)을 만족하였고 CBR값도 기준치인 10이상을 나타냈다. 단 200번체 통과량이 기준치인 25%에 근접하여 원시료의 200번체 통과량이 많을 경우 하부노상의 재료로 활용하면 안전할 것으로 판단된다.
- 3) 단지 성토재의 품질기준에 의하면 부산석회+유수지점토, 부산석회+활주로점토, 부산석회+화강풍화토, 부산석회+쇄석은 액성한계, 소성한계, 건조밀도가 기준치를 만족하였다. 단지 성토재는 CBR이나 입경에 대한 특별한 규정이 없기 때문에 폐기물 관리법의 기준에 만족한다면 혼합비율 20%이내에서 사용할 수 있다.
- 4) 도로 현장에 대한 부산석회층은 오랜 시간을 거치면서 발생한 경화반응으로 인하여 매우 견고한 상태를 나타냈다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), 도로설계편람.
2. 신은철 외(1999), 매립토/부산석회의 혼합도에 대한 성토매립재 활용 타당성 검토, 시립인천대학교 공학 기술연구소.
3. 신은철 외(1997), 부산석회를 활용한 해안매립지 성토재 개발에 관한 연구, 시립인천대학교.
4. 환경부(1999), 폐기물 관리법.

5. Daniel, D. E.(1993), Geotechnical Practice for Waste Disposal, Chapman & Hall, New York.
6. Fang, H. Y.(1990), Foundation Engineering, Van Nostrand Reinhold, 2rd, New York, pp. 750~777.
7. F.C. Townsend(1979). "Use of Lime in Levee Restoration", U.S Army Engineer, WES.
8. Kamon, M., and Nontanannandh, S.(1991), Combining Industrial Wastes with Lime for Soil Stabilization, J. Geotech. Engrg. Div., ASCE, 117(1), pp. 1~17.
9. Krizek, R. J., and Atmatzidis, D. K.(1987), Geotechnical Properties and Landfill Disposal of FGD Sludge, Geotechnical Practice for Waste Disposal '87, No. 13, pp. 625~639.