

산업부산물인 스크리닝스의 활용도 증진을 위한 린콘크리트 적용성 평가

Application of Screenings by-product of Crushing Rock in Quarry as Lean Concrete Pavement

(Received November 8, 2011 / Revised November 28, 2011 / Accepted December 2, 2011)

강민수^{1)*} 이경하²⁾ 서영찬³⁾ 김인수⁴⁾

^{1),2),4)}한국도로공사 도로교통연구원, ³⁾한양대학교 교통공학과

¹⁾Min-Soo Kang, ²⁾Kyung-Ha Lee, ³⁾Young-Chan Suh, ⁴⁾In-Soo Kim

^{1),2),4)}Expressway & Transportation Research Institute, Korea Expressway Corporation

³⁾Dept. of Transportation Engineering, Hanyang University

Abstract

In case of crushing rock to produce materials for lean concrete subbase layer in concrete pavement, natural sand is used for the gradation adjustment of aggregates, and the percentage of natural sand used is 30%~40% of the weight ratio of aggregate mix. The supply of natural sand that is used in lean concrete as a fine aggregate is getting harder due to the current of exhaustion of source, and the cost for the purchase of natural sand is included in the cost of roadway construction. This study, therefore, was conducted in order to resolve the exhaustion of materials and economize in construction expenditure by the application of screenings, which is by-product of crushing rock in quarry, as an alternative to natural sand. As a result of a comparative analysis on the application of screenings and natural sand with typical types of rock that is produced in domestic, which was conducted in the first year, It is found out that the use of screenings as a fine aggregate showed better unconfined compression strength. Verification of actual application of screenings was conducted in the second year, after test construction and follow-up investigation. The compressive strength, compaction density, settlement of screenings applied case was higher than that of natural sand. Thus, it is expected that application of screenings to construction in field will contribute to the cost saving, material recycling and the protection of environment.

키워드 : 린콘크리트, 스크리닝스, 부산물

Keywords : Lean Concrete, Screenings, By-Product

1. 서론

2003년 12월 건설폐기물의 친환경적 처리와 재활용 촉진을 위한 ‘건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률이 제정된 이래 지속적으로 건설폐기물의 재활용을 위한 관련 제도 및 기준들에 대한 제·개정이 이루어 지고 있으나 건설폐기물의 재활용은 단순 성토재, 매립재 등으로 사용되

고 있어 보다 부가가치가 높은 재활용 방안이 필요한 실정이다¹⁾²⁾. 또한, 도로건설 현장에서는 천연골재의 고갈과 부순 골재의 사용량이 점차 증가함에 따라 스크리닝스의 발생량이 크게 증가하고 있다³⁾.

스크리닝스는 아스팔트 혼합물용 또는 시멘트 콘크리트용 골재 생산시 부산물로 얻어지는 석분을 지칭하며 스크리닝스는 현장에서 구조물 및 포장용 골재생산시 25%가 발생하는 것으로 알려져 있다⁴⁾.

이러한 석분은 입형이 거칠고 입도가 맞지 않기 때문에

* Corresponding author

E-mail : minsu92@ex.co.kr

도로용 성토재료로 활용되어 왔으나 최근 양질의 잔골재 부족으로 일부 부분모래 공장에서는 샌드밀(Sand Mill) 등을 이용하여 부순모래로 생산하고 있는 실정이다. 그러나 도로현장에서 유용암을 부순돌로 생산시 발생하는 스크리닝스는 대규모 석산에서 발생하는 경우와 비교하여 비교적 소량으로 재활용 용도가 크게 제한되어 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 스크리닝스의 재활용 범위를 더욱 확대하고 부가가치를 높이기 위하여 고속국도의 포장 단면 구성요소인 빈배합 콘크리트 기층용 잔골재로의 활용성을 검토하고자 하였다. 현재, 린콘크리트에 사용되는 잔골재는 주로 일반 구조물용 콘크리트에 사용되는 잔골재의 요구품질과 동등하므로 스크리닝스의 혼입율에 따른 물성을 평가하여 적용성을 확인한다면, 양질의 골재가 부족한 상황에서 스크리닝스의 활용도 제고와 더불어 건설비용의 절감에 기여할 것으로 판단된다.

2. 스크리닝스의 품질 및 린콘크리트 배합설계를 위한 실내시험

2.1 린콘크리트용 잔골재의 품질 검토

린콘크리트의 경우 크게 요구되는 물성치는 굵은골재와 잔골재의 입도가 설계도서에 표시하는 경우를 제외하고는 Table 1을 만족하고 단위결합재량은 150 kg/m^3 이상으로 Table 2의 강도를 얻을 수 있는 양으로 한다⁵⁾.

린콘크리트용 잔골재로써의 사용여부를 판단하기 위하여 화강암 및 석회암으로부터 현장에서 얻어진 스크리닝스 2종류의 품질시험을 실시하고 그결과를 관련기준과 비교한 것이 Table 3 및 4이다. 이 표에서 알 수 있듯이 린콘크리트용 잔골재로써의 품질기준 및 입도 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

Table 1. Grading of Lean Concrete Aggregates

Category Seive Size(mm)	Sieve passing percentage by weight(%)	
	Max. Size 40mm	Max. Size 20mm
50	100	-
40	90 ~ 100	100
25	~	90 ~ 100
20	50 ~ 85	50 ~ 100
10	40 ~ 75	40 ~ 75
5	25 ~ 60	35 ~ 60
0.6	10 ~ 30	10 ~ 30
0.08	0 ~ 8	0 ~ 8

Table 2. Strenght of Lean Concrete

Category	Dry	Remarks
Unconfined Compression Strength(f_c , MPa)	5	6 days wet curing 1 day submerged curing

Table 3. Fine Aggregate of Lean Concrete Standard and Screening test results

Category	Standard	Test	
		Granite	Limestone
Plastic Index	Less than 9	-	-
Stability Test (Sodium) (%)	Less than 10	4	3
Loss of Washing Test (%) (#. 200)	Less than 3	2.4	2.9
Clay Content(%)	Less than 1	0.31	0.27
Floating in the Liquid of 2.0 Specific Gravity (%)	Less than 0.5	-	-
Percentage of Coarse (kg/m^3)	Other quality standards.	2 920	3 830
Apparent Specific Gravity(kg/m^3)		2 620	2 700
Bulk Specific Gravity(kg/m^3)		2 590	2 680
Absorption(%)		1.17	0.77
Stick Compaction Test(kg/m^3)		1 619	1 604
% of Determine Particle Shape		55	55

Table 4. Grading Criteria & Test of Fine Aggregates for Lean Concrete Pavement

Sieve size (mm)	Sieve passing percentage by weight(%)	Test of Sieve passing percentage by weight(%)
10	100	100
5	90 ~ 100	99
2.5	80 ~ 100	87
1.2	50 ~ 90	63
0.6	25 ~ 65	38
0.3	10 ~ 35	18
0.15	2 ~ 15	5

2.2 최적대체율 검토 및 분석

스크리닝스의 혼입에 따른 린콘크리트의 강도 특성을 파악하고 최적 혼입량을 결정하기 위하여 Fig. 1과 같은 흐름으로 실내시험을 실시하였다.

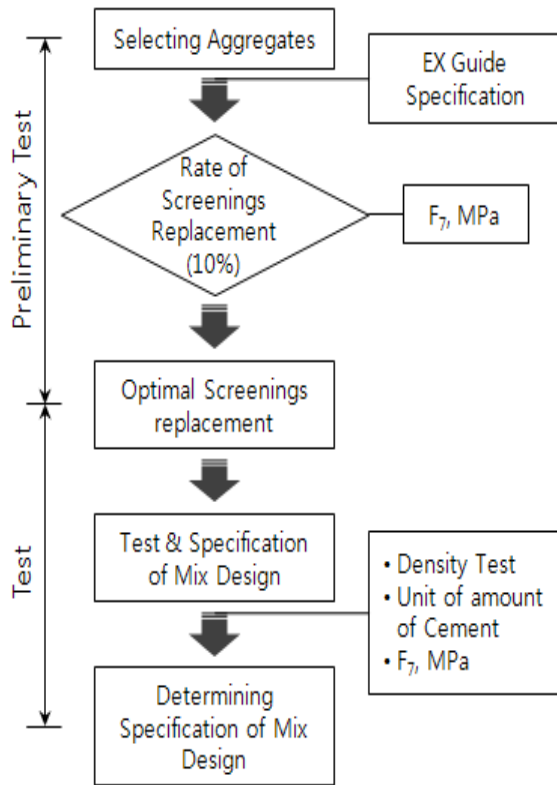


Fig. 1 Flow Chart

예비시험에서는 천연모래에 대한 스크리닝스 대체율을 개략적으로 알아보기 위하여 배합설계는 생략하고 고속도로공사 전문시방서에서 제시하는 표준배합비를 적용하여 7일 일축압축강도로 적합한지를 판별한다.

천연모래에 대한 최적의 스크리닝스 대체율이 결정되면 시험 및 시방배합을 통해 최적함수비(Optimum Moisture Content, 이하 OMC)를 결정한다. 린콘크리트의 경우는 특별시방서에 표시한 경우를 제외하고는 7일 양생 중 1일 수침 일축압축강도 5.0 MPa로 규정하고 있으며 배합설계의 배합강도는 할증계수인 1~1.2 정도를 적용시킨 값을 사용하도록 하고 있다. 본 시험에서는 할증계수 1.15를 곱한 5.75 MPa를 설계기준강도로 규정하였으며, Table 5와 같이 고속도로공사 전문시방서에서 사용하고 있는 표준배합을 사용하였다.

Table 5. Lean Concrete Base Course(Expresswy Construction Guide Specifications, 2009)

Max. Aggregate Size(mm)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S/A (%)	FA (kg/m ³)	CA (kg/m ³)
40	125	158	33	702	1 448

시험에 사용된 굵은골재는 40mm와 20mm를 사용하였으며 잔골재로는 모래와 스크리닝스를 사용하였다. Table 6은 예비시험에서 적용한 골재별 합성입도를 보여주고 있다.

Table 6. Grading of Lean Concrete Aggregates

Sieve Size (mm)	50	40	19	10	4.75	0.6	0.075
Sieve passing percentage by weight(%)	100	90~100	50~85	40~75	20~60	10~30	0~8
Screenings	100.0	100.0	88.1	50.3	37.6	9.4	0.0

2.3 스크리닝스 대체율에 따른 강도시험

스크리닝스의 최적 대체율을 찾고자 25%씩 대체하여 각각 3개씩 공시체를 제작하여 일축압축강도시험결과는 설계기준강도인 5.75 MPa 보다 높게 측정되었으며, 모래 100%를 사용한 린콘크리트에 비해서도 일축압축강도가 높게 측정되었다. 특히, Fig. 2와 같이 천연모래에 대한 스크리닝스의 대체율이 증가함에 따라 일축압축강도가 증가되는 경향을 보이고 있다.

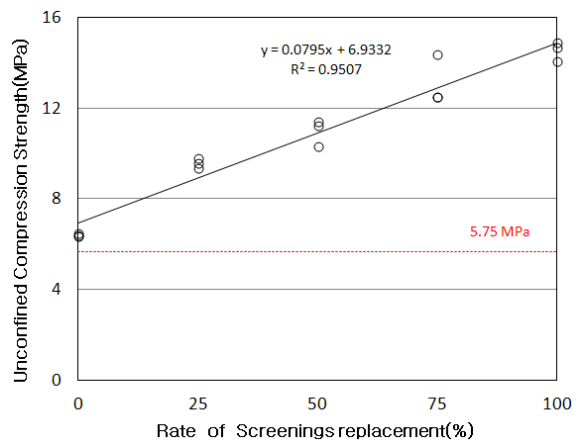


Fig. 2 Unconfined Compression Strength Test (Through Changing Screenings at 25%)

3. 현장 적용성 평가를 위한 시험시공

시험시공은 실내시험에서 나온 결과를 바탕으로 린콘 크리트 기층에 사용되고 있는 모래를 스크리닝스 골재로 대체하여 사용할 수 있는지를 검증하는데 목적이 있다. 따라서 시험시공은 기존 모래를 사용하는 경우와 스크리닝스를 100%로 대체하여 Fig. 3과같이 평택-음성간 고속도로에서 실시하였다.

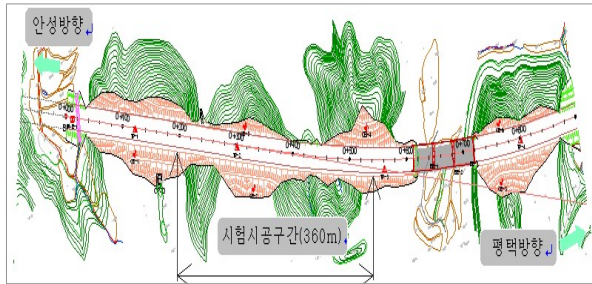


Fig. 3 Test Construction Sector



Fig. 4 View of The Test Construction

3.1 현장 배합설계

시험시공에 사용된 골재배합은 기준입도 범위에 들어오게 Fig. 5와 같이 골재 크기별로 40 : 20 : 40 비율로 합성하였다.

시험시공에 적용될 골재에 대하여 OMC를 도출하기 위하여 고속도로 지방서에서 최소 단위시멘트 규정인 150kg에 대하여 시험한 결과 Table 7과 같이 5.8%가 나왔으며, OMC로 공시체 3개를 제작하여 일축압축강도를 시험한 결과 Table 8과 같이 8.52 MPa로 설계기준 강도인 5.75 MPa를 넘어 현장적용이 가능한 것으로 분석되어 각각 180m씩 시험시공을 하였다.

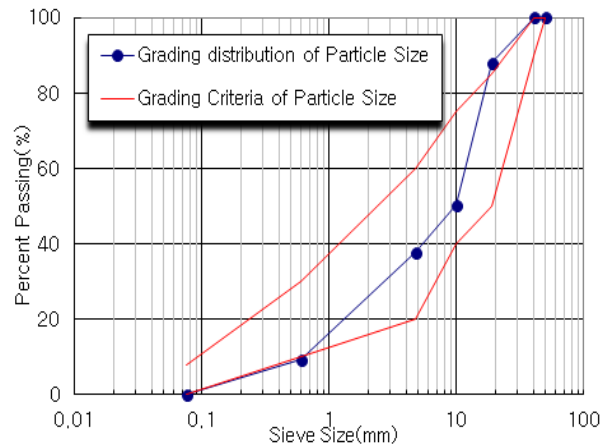


Fig. 5 Grading of Lean Concrete Aggregates

시험시공에 적용될 골재에 대하여 OMC를 도출하기 위하여 고속도로 지방서에서 최소 단위시멘트 규정인 150kg에 대하여 시험한 결과 Table 7과 같이 5.8%가 나왔으며, OMC로 공시체 3개를 제작하여 일축압축강도를 시험한 결과 Table 8과 같이 8.52 MPa로 설계기준 강도인 5.75 MPa를 넘어 현장적용이 가능한 것으로 분석되어 각각 180m씩 시험시공을 하였다.

Table 7. The Result of Compaction Test

Cement	WC	2%	4%	6%	8%	$\gamma_{d,max}$ (kg/m ³)	$\gamma_{t,max}$ (kg/m ³)	OMC
	150kg	2.09	2.24	2.25	2.21	2 260	2 391	

Table 8. Unconfined Compression Strength(f_t , MPa)

Unconfined Compression Strength(f_t , MPa)	Average (MPa)
8.5	8.5
9.0	
8.0	

3.2 현장 시험시공 및 추적조사

본 연구에서 스크리닝스를 적용한 린콘크리트 포장 구간의 공용성을 평가하기 위해 기존 모래를 사용한 린콘크리트와 평판재하, 포장 지지력, 강도, 밀도 시험을 통하여 비교하였다.

3.2.1 평판 재하 시험

시험시공 현장의 지지력 계수를 측정하기 위하여 Fig. 6과같이 평판 재하 시험(KS F 2310)을 각각 3곳에서 수행하였다.



Fig. 6 View of the Plate Bearing Test

평판 재하 실험 결과, Table 9에서 보는바와 같이 스크리닝스를 활용한 린콘크리트에서 지지력계수가 4 150 MN/m³으로 3 250 MN/m³인 모래를 사용한 린콘크리트 보다 지지력이 큰 것으로 측정되었다.

Table 9. The Result of Plate Bearing Test

Classification		Load Strength (MPa)	Settlement (mm)	Bearing Capacity Factor (MN/m ³)
Applying the Screenings	1	0.1273	0.38	3 350
	2	0.1273	0.27	4 710
	3	0.1273	0.29	4 390
Applying the Sand	1	0.1273	0.39	3 260
	2	0.1273	0.37	3 440
	3	0.1273	0.42	3 030

3.2.2 비파괴 포장표면 처짐시험

비파괴 포장표면 처짐실험은 실제 교통 하중을 가장 정확히 묘사 할 수 있다고 평가를 받고 있으며, 포장 각층의

물성을 비교적 정확히 추정할 수 있어 포장의 구조적 능력을 평가하는데 많이 사용된다.

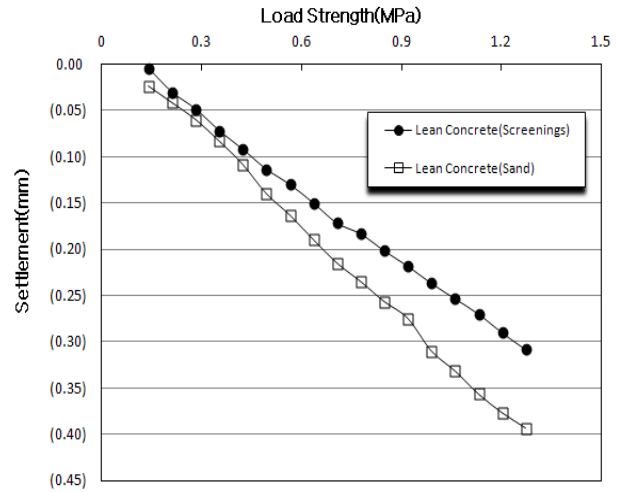


Fig. 7 Comparison of applying the Sand and Screenings Settlement by PBT

본 실험에서 사용한 장비는 Fig. 8에서 보는바와 같이 Dynatest사의 차량 일체식 PRI 2100모델을 사용하였다. 실험방법은 직경 150mm의 Load Cell을 500mm 높이에서 3 번씩 낙하하였으며 해당 구간 당 무작위로 5개 지점에서 측정 하였다.



Fig. 8 Falling Weight Deflectometer

스크리닝스를 적용한 린콘크리트와 모래를 사용한 린콘크리트에서 측정한 처짐실험 결과값은 Fig. 9와 같으며, 스크리닝스를 적용한 린콘크리트 구간과 모래를 사용한 린콘크리트 기준구간에서는 거의 비슷한 처짐을 보였다.

3.2.3 현장공시체 밀도시험

현장 코어 공시체의 밀도 실험 결과, Table 10과 같이 스크리닝스를 적용한 린콘크리트는 2 260 kg/m³, 모래를 사용한 린콘크리트는 2 214 kg/m³로 나타났다. 이는 스크리닝스를 적용한 린콘크리트의 경우 모래를 사용한 린콘크리트에 비해 치밀하게 다져진 것으로 보여진다.

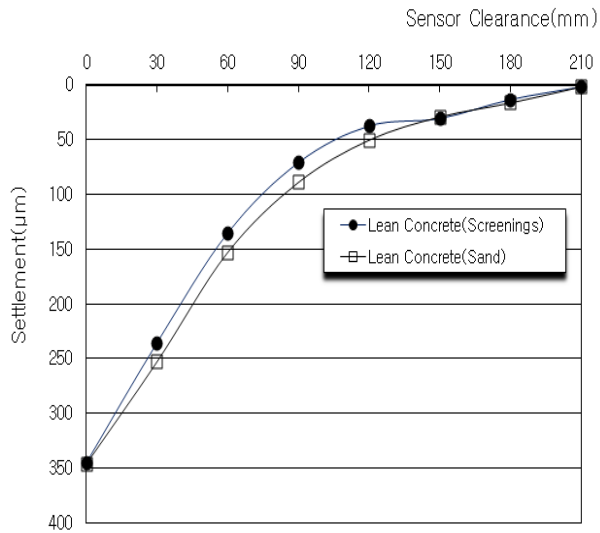


Fig. 9 Comparison of applying the Sand and Screenings Settlement by FWD

Table 10. The Result of Field Core Density Test

Classification	Applying the Screenings			Applying the Sand		
	1	2	3	1	2	3
Density (kg/m ³)	2 279	2 235	2 265	2 227	2 211	2 204
Average (kg/m ³)	2 260			2 214		

3.2.4 현장공시체 강도시험

시험시공지에 포설된 린콘크리트의 강도를 측정하기 위하여 현장에서 코어를 채취하였으며 일축압축강도를 측정 한 결과 Table 11과 같이 스크리닝스를 적용한 린콘크리트에서 일축압축강도가 8.9 MPa로 모래를 사용한 린콘크리트의 일축압축강도 7.9 MPa보다 크게 분석되었다.

Table 11 The Result of Field Core Unconfined Compression Strength

Classification		Unconfined Compression Strength(f _t , MPa)	Average (MPa)
		1	9.5
2	8.4		
3	8.8		
Applying the Sand	1	8.2	7.9
	2	7.3	
	3	8.2	

4. 결론

본 연구는 산업부산물로 생산되는 스크리닝스를 활용하여 천연모래의 대체재로 린콘크리트에 적용하고자 실내시험 및 현장시험 시공을 통해 이루어졌다. 실내실험에서는 스크리닝스를 모래로 대체하여 공시체를 제작하여 일축압축강도 시험을 수행하였으며, 현장 적용성 평가를 위해 평판재하, 포장 지지력, 강도, 밀도 시험을 통하여 비교·검증 하였다.

본 연구를 통하여 얻어진 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) 모래대신 스크리닝스로 대체하여 제작한 린콘크리트 공시체의 일축압축강도는 모두 배합강도 5.75 MPa보다 높은 결과값을 나타냈으며, 모래를 사용한 린콘크리트 공시체보다 높은 결과 값이 분석되었다.
- 2) 스크리닝스의 대체율이 증가함에 따라 일축압축강도가 증가하는 경향을 보이고 있다.
- 3) 평판 재하 실험 결과, 스크리닝스를 활용한 린콘크리트에서 지지력계수가 4 150 MN/m³으로 3 250 MN/m³인 모래를 사용한 린콘크리트 보다 지지력이 큰 것으로 측정되었다.
- 4) 비파괴 포장 표면 치짐 실험결과 스크리닝스를 적용한 린콘크리트 구간과 모래를 사용한 린콘크리트 기준구간에서는 거의 비슷한 치짐을 보였다.
- 5) 현장 코어 공시체의 밀도 실험 결과, 스크리닝스를 적용한 린콘크리트는 2 260 kg/m³, 모래를 사용한 린콘크리트는 2 214 kg/m³로 나타났으며다. 이는 스크리닝스를

적용한 린콘크리트의 경우 모래를 사용한 린콘크리트에 비해 치밀하게 다져진 것으로 보여진다.

6) 현장에서 채취한 코어에 대하여 일축압축강도 시험을 실시한 결과 스크리닝스를 적용한 린콘크리트에서 일축압축강도가 8.9 MPa로 모래를 사용한 린콘크리트의 일축압축강도 7.9 MPa보다 크게 분석되었다.

7) 실내시험 및 시험시공을 통해 입증된 스크리닝스를 적용한 린콘크리트를 현장적용시 건설예산절감 및 자원재활용, 환경보호에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) 건설교통부, “동상방지층 생략 및 스크리닝스 활용 기준”, p.2, 2006
- 2) 한국도로공사, 동상방지층 관련 설계기준, p.20, 2007
- 3) 한국도로공사, 스크리닝스를 활용한 포장재 적용방안 연구, 도로교통 PA-07-19, p.1, 2007
- 4) 이세현, “건설폐기물 재활용을 위한 선결과제”, 건설 Brief 제10호, p.8~9, 2010
- 5) 한국도로공사, 고속도로공사 전문시방서, 연구원 -2009-22-534.96023호, p.10-3, 2009

산업부산물인 스크리닝스의 활용도 증진을 위한 린콘크리트 적용성 평가

콘크리트포장에서 린콘크리트 기층용 재료 생산을 위한 골재 파쇄시 골재의 입도조정을 위하여 세골재로 천연모래를 투입하고 있으며, 천연모래의 투입비는 혼합골재의 중량비로 30~40%를 투입하고 있다. 린콘크리트용 재료생산을 위한 세골재로 적용중인 천연모래는 골재원의 고갈추세로 골재를 공급하기가 어려워지고 있으며, 도로 건설비용에 천연모래 구입비가 포함되어 있다. 그러므로, 천연모래를 대체할 수 있는 방안으로 산업부산물인 스크리닝스를 적용하여 세골재원의 고갈해소와 아울러 공사원가의 절감에 기여하고자 본 연구를 실시하였다.

린콘크리트용 세골재로 스크리닝스를 사용한 경우와 모래를 사용한 경우를 비교 분석한 결과, 세골재로 스크리닝스를 적용한 경우가 모래를 사용한 경우보다 일축압축강도가 우수한 것으로 나타났다. 시험시공 및 평판재하, 비파괴 포장표면 처짐, 밀도, 강도 등을 추적조사를 실시한 결과, 스크리닝스를 사용한 경우가 천연모래를 사용한 경우에 비하여 일축압축강도 및 지지력 측면에서 높게 나타났다. 따라서, 스크리닝스를 린콘크리트에 현장적용시 건설예산절감 및 자원재활용, 환경보호에 기여할 것으로 기대된다.