

포장레도 골재용 도상자갈의 입도기준

Criterion of Ballast Aggregates for Paved Track

최승식* · 김성환** · 윤경구*** · 이일화****

Choi, seung sic · Kim, seoung hwan · Yun, kyong-ku · Lee, il hwa

ABSTRACT

The purpose of this study was to provide a criterion of ballast aggregate size distribution for paved track. The parameters considered in this study were different types of particle size distribution. Then the analysis for analyzing compressive and flexural strength, physical characteristics of aggregate, and the ballast box test were performed. In the test result of the physical characteristic performed by the ballast box test, the bearing capacity was measured lower than the expected value because of its boundary conditions. Among four types of ballast aggregate, type B was selected as one of best candidate distribution because of its bearing capacity, strength, development and economics.

keyword : size distribution, ballast box test, bearing capacity

1. 서론

자갈도상레도는 부설이나 보수가 용이하고 저렴한 건설비 때문에 전 세계적으로 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 차량의 고속화, 고밀화 및 레도구성품의 노후화로 인한 유지보수에 많은 인력과 비용이 지속적으로 증가하고 있다. 현재, 레도구조별 보선현황 분석결과 비율은 도상작업(65%), 침목작업(16%), 레일작업(15%), 체결구작업(4%) 순이며, 도상작업 중에서 가장 많은 인력이 투입되는 보선항목은 도상정리 작업으로 약 50%이상을 차지한다. 따라서 적은 인력과 최소비용으로 필요한 선로품질을 유지할 수 있는 시스템 구축이 시급히 요구되고 있는 실정에서, 자갈도상레도의 점진적 손상 및 자갈도상레도의 구조적 특성에 의해 발생하는 보수비용을 줄이는 것이 전체 유지보수비용을 절감하는 방안을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국내에 적용할 수 있는 프리팩트 콘크리트 포장레도를 위한 도상자갈 재료, 최적입도 기준 및 특성을 평가하고자 한다.

- * 강원대학교, 토목공학과, 석사과정
- ** 강원대학교, 토목공학과, 박사과정
- *** 강원대학교, 토목공학과, 부교수
- **** 정회원, 철도기술연구원, 선임연구원

도표 1. 선정된 입도분포

구 분	재를 통과하는 무게 백분율(%)							
	10 mm	19 mm	25 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	65 mm
PFC	5	33	65	75	100	-	-	-
Type A	3	15	40	65	90	100	-	-
Type B	-	10	30	50	80	95	100	-
Type C	-	-	10	35	60	90	100	-
BA	-	-	-	5	30	60	90	100

2. 실험내용

2.1 지지력 시험

본 연구에서는 지지력 측정을 위하여 Ballast Box Test를 이용하였으며 콘크리트 및 침목의 변형이 지지력 판정에 영향을 미치는 것을 방지하기 위하여 25x28x15cm 두께의 강 상자를 제작하여 침목을 대체하였으며, 자갈의 다짐은 3층 다짐을 실시하였다. 각 층마다 좌, 우 25회씩 총 50회 떨어뜨려서 골재가 다져 지도록 하였다. 본 시험은 준비된 시험체를 UTM(Universal Test Machine)에 설치한 후, 강 상자 위에 LVDT를 설치하고, 연직하중을 제하하였다. 하중에 대한 처짐을 측정하여 각 하중별 지지력 계수 K를 산정하였다. 그림1은 실험전경을 나타내는 사진이다.

2.2 압축 및 휨강도 시험

준비된 골재와 시멘트를 상온 11℃에서 3일 동안 보관하여 시험에 사용되는 재료가 10℃이하가 되지 않도록 하였다. 프리렉트콘크리트 시험체를 만들기 위하여 굵은골재를 입도별로 체가름 하여 분류한 후, 입도별로 중량을 달아 체 배합하여 Type A, Type B, Type C, BA 입도를 구현하였다. 구현된 입도별 굵은골재를 #4체에 담아 굵은골재 표면에 묻어 있는 석분을 물로 세척한 후 상온에서 24 시간 건조후 프리렉트 콘크리트를 제작하였고, 주입모르타르 배합은 모르타르와 물 20%를 20초간 프리믹싱 한 후 물 4%에 첨가제 B를 용해 후 90초 동안 핸드 믹서를 이용하여 본 믹싱을 하였다. 양생은 온도 20℃, 습도 50%에서 2시간, 1일, 7일 동안 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 기본물성시험 결과

그림 2처럼, BA 입도의 단위중량 보다 Type A, Type B, Type C의 단위중량이 크게 나타났으며, 특히 Type A의 경우가 BA 입도 보다 10kN/cm³의 차이를 보였다. Type A 쪽으로 갈수록 BA 입도보다 골재의 배치가 조밀하게 됨을 알 수 있다. 이 결과는 Type A 쪽으로 갈수록 BA 골재보다 충전제 양이 적게 사용되어, 경제적으로 적합함을 시사하는 결과이다.

도상자갈의 흡수율은 3%이하를 기준으로 하고 있다. 또한 일반 콘크리트용 쇄석의 경우 비중은 2.5~2.7, 흡수율은 0.5~2의 범위를 가진다. 그림 3에 굵은 골재 비중과 흡수율을 나타내었다. 골재의 비중과 흡수율은 반비례 관계를 가지며, 흡수율은 모든 변수에서 3%이하의 값을 나타내어 기준을 만족하였다.

그림 4은 선골재의 마모율 시험 결과를 나타낸 그림으로써, 선골재는 마모율이 16.29%로, 도상 및 프리렉스 콘크리트용 골재의 마모율 기준인 25%이하를 모두 만족하고 있으므로 나타났다.

안정성 시험 결과 망체 #40을 통과하고 #25에 걸리는 시료의 순진 중량 백분율과, #60을 통과하고 #40에 걸리는 시료의 순진 중량 백분율을 각각 4.59%, 1.67%로 나타났다. 따라서 두 시료 모두 12%이하로 측정되어 기준을 만족하였다.

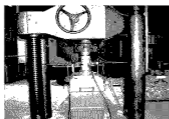


그림 1. 지지력시험 전경

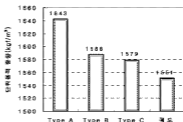


그림 2. 단위용량

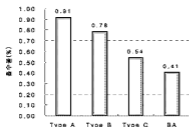


그림 3. 흡수율

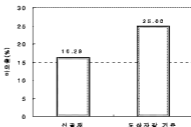


그림 4. 마모율

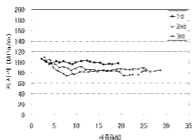


그림 5. Type BA 지지력 결과

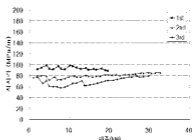


그림 6. Type A 지지력 결과

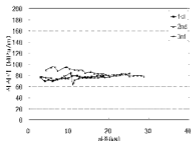


그림 7. Type B 지지력 결과

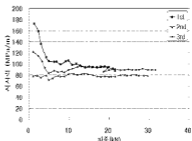


그림 8. Type C 지지력 결과

3.2 지지역시연 결과

그림 5-8은 입도 형태별 하중에 따른 지지력 계수를 나타낸 그래프이다. 그림 5은 기존 도상자간레도 입도의 지지력을 막스 시험을 통하여 3회 측정된 것으로 도상자간의 지지력 기준값(평면제하시원 $K_{ur}=107.8 \text{ MPa/m}$)이상보다 작은(83.3 MPa/m)로 측정되었다. 그러나 이 결과는 시험방법 및 경계조건, 파절방법등의 차이로 인한 미묘한 수 있다.따라서 막스 시험을 통한 BA 지지력 값을 기준으로 Type A와 Type B, Type C를 상대 비교, 보완하였다. 그림 6-그림 8은 Type A, Type B, Type C의 지지력 값을 나타낸 것으로써, 각각 평균 78.4 MPa/m , 80.4 MPa/m , 88.2 MPa/m 로 측정되었다. BA 입도의 지지력 시험 결과 83.3 MPa/m 와 비교 하였을 때 기의 지지력 값의 차이는 없는 것으로 나타났다. 이 결과는 기존의 연구에 의하여 입상 20mm 이하의 소립은 친분 시험 등에 있어서 지지력에 그다지 효과가 없다(선로공학, 2002)의 내용과 동일한 결과를 보였다. 따라서 입도 형태에 따른 지지력의 변화는 거의 없는 것으로 판단된다.

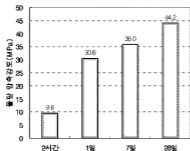


그림 9. 몰탈 압축강도 결과

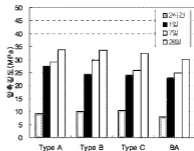


그림 10. 프리캐스트 콘크리트 압축강도 결과

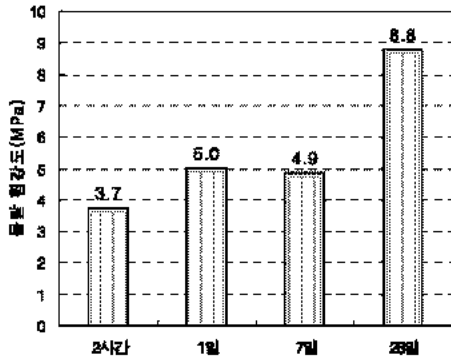


그림 11. 몰탈 휨 강도 결과

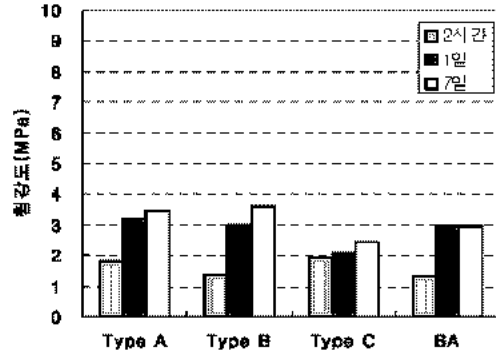


그림 12. 프리팩 콘크리트 휨 강도 결과

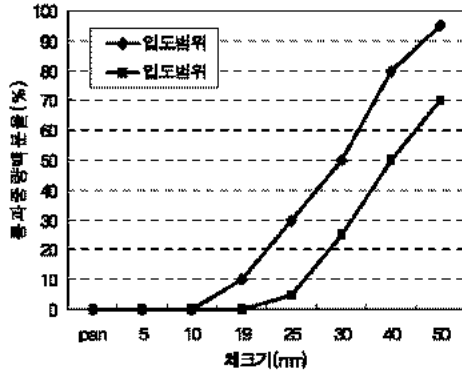


그림 13. 입도분포곡선

도표 2 입도분포범위

종 명	호칭치수 (mm) 규격	체를 통과하는 무게 백분율(%)						
		10	20	25	30	40	50	63
포장 재도용 골재	갠 자갈	-	0~ 10	5~ 30	25~ 50	50~ 80	70~ 95	100

3.3 압축강도 결과

주입 모르타르의 압축강도는 양생 2시간에 9.6MPa의 강도를 발현하였으며, 1일 강도는 2시간 강도에 비하여 68.6%, 7일 강도는 73.3%, 28일 강도 78.3%의 강도증진을 보였다. 주입 모르타르의 압축강도 특성은 그림 9,10결과처럼 초기 1일 까지 급속히 강도가 증진되다가, 그 후 완만하게 강도가 증진되는 경향을 보였다. Type A와 BA 콘크리트의 경우 2시간에 9.3 MPa와 8.1MPa, Type B와 Type C의 경우 2시간에 각각 10MPa와 10.5MPa를 나타내었다. 포장레도는 주입 모르타르 시공 후 1~2시간에 차량을 통과 시켜야 함으로 2시간 강도를 10MPa이상의 콘크리트 압축강도를 요구한다. 따라서, 선정된 4가지 형태의 입도 분포 중 Type B와 Type C가 이 조건을 만족한다고 할 수 있다. 또한 장기 강도를 비교해 본 결과 7일 및 28일 강도는 Type B가 Type C보다 4%~18.0%의 높은 압축강도 특성을 보여 주어, 콘크리트 강도 면에서 Type B가 포장레도에 적절한 골재 입도임을 알 수 있었다.

3.4 휨강도 결과

그림 11은 주입 모르타르의 휨강도를 나타낸 그림이며, 그림 12은 프리팩트 콘크리트 휨 강도를 입도형태, 양생기간에 따라 나타낸 그림이다. 주입 모르타르는 2시간에 3.9MPa의 휨 강도를 강도를 나타내었으며, 1일에 5MPa, 7일에 4.9MPa, 28일에 8.8MPa로 측정되었다. 주입 모르타르의 휨 강도 특성은 거의 모든 강도가 1일 내에 발현하고 그 후 강도 서서히 증진하는 특징을 보였다. 프리팩트콘크리트의 휨 강도는 2시간에 Type C에서 최대 1.9MPa로 측정되었으며, 양생 1일에는 Type A, 양생 7일에는 Type B가 가장 좋은 휨 강도 특성을 가지는 것으로 측정되었다. 그러나 전체적으로 Type A와 Type B가 초기 및 장기 휨 강도 면에서 가장 좋은 성능을 가지는 것으로 판단된다.

4. 결 론

포장 궤도를 위한 도상자갈의 최적 입도 선정을 위하여 시험 입도 4가지 형태에 따라 지지력 시험, 프리팩트 콘크리트 강도특성에 대하여 연구하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 선정된 4가지 입도에 따른 지지력 특성은 거의 동일하게 측정되어 입도 분포에 따른 지지력 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.
- (2) 경제성 분석에서 고가의 주입모르타르 주입량은 BA입도 분포와 비교하였을 때, Type A의 경우 $1m^3$ 당 79kg, Type B의 경우 30kg 정도가 적게 소요된다. 따라서 경제적으로도 Type A와 Type B의 경우가 우수한 것으로 나타났다.
- (3) 재생자갈을 혼입시 입도분포 변화를 분석한 결과 Type A가 Type B보다 소입경이 상당히 많이 증가하였다. 소입경의 증가는 주입모르타르의 사용량을 감소시키나, 교통 개방시 프리팩트콘크리트의 강도에 큰 영향을 미치는 석분량을 증가시킬 우려가 있다.
- (4) 도상자갈의 입도분포별 지지력, 충전재 증진성능, 강도발현특성, 경제성 및 시공성을 고려한 결과 Type B가 포장궤도용 도상자갈의 최적입도로 판단된다. 포장궤도용 도상자갈의 입도분포 범위는 도표 2와 같다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원(2004), "기존선 자갈궤도 생략화를 위한 포장궤도 개발"
2. 한국철도기술연구원(1998), "철도도상 개량을 위한 기초연구"
3. 한국콘크리트 학회(2001), "최신 콘크리트 공학"
4. 박영식(2004), "콘크리트 재료 및 시험"
5. 신현록(1973), "주입 모르타르의 배합비가 프리팩트콘크리트의 압축강도에 미치는 영향에 관한 연구", 대한토목학회지, 제21권 1호
6. 신현록(1975), "주입모르타르의 배합비가 프리팩트콘크리트의 압축강도에 미치는 영향에 관한 연구", 대한토목학회지, 제 23권 3호