

## 도상자갈 재활용을 고려한 포장궤도용 골재 기준 Aggregate Criterion for Paved Track Considering Recycling of Railway Ballast

이일화<sup>†</sup>  
Il-Wha Lee

**Abstract** On the paved track, the railway ballast is used as aggregate for the filling layer using the pre-packed concrete method. The condition of ballast as the paved track aggregate ensure that the compressive strength, particle distribution size for the pouring and surface clearance to increase the adhesive strength with mortar. It is profitable to recycle the existing railway ballast as a economical supply. In order to increase recycling characteristic, it is necessary to apply the similar criterion which does not exceed the conventional railway ballast criterion. Consequently, this paper was to investigate physical characteristics of existing ballast, particle size distribution, compressive and flexural strength, bearing capacity and filling capacity to prepare the aggregate's recycling. As a result, optimized aggregate criterion is suggested.

**Keywords** : paved track, ballast, aggregate, recycling

**요 지** 포장궤도에서는 프리팩 콘크리트방식으로 도상자갈을 충전층의 골재로 활용한다. 골재의 조건은 강도가 확보되어야 하고, 주입성 확보를 위한 입도가 확보되어야 하며, 모르타의 부착강도를 높이기 위하여 골재 표면의 불순물이 제거되어야 한다. 골재의 원활한 공급 측면에서 기존 도상자갈을 재활용하는 것이 유리하며 재활용성을 높이기 위하여 기존의 철도도상규격을 크게 벗어나지 않는 기준을 적용하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 포장궤도에서의 도상자갈 재활용성을 확보 할 수 있는 판단 기준을 마련하기 위하여 재활용 도상자갈의 재료 및 물리적 특성, 입도별 지지력 특성, 충전성, 강도특성 등을 검토하였으며, 그 결과를 바탕으로 골재 사용기준을 제안하고자 하였다.

**주 요 어** : 포장궤도, 도상자갈, 골재, 재활용

### 1. 서 론

최근 국내에서 기존선의 궤도생력화(Maintenance Free) 방안으로 포장궤도의 필요성이 대두되었다. 포장궤도는 기존 자갈도상궤도를 콘크리트궤도로 개량하는 공법으로서 유지보수 인력과 비용을 효과적으로 절감할 수 있는 장점이 있다. 포장궤도에서는 프리팩 콘크리트방식으로 도상자갈을 충전층의 골재로 활용하는데, 기본 조건은 강도가 확보되어야 하고, 주입성 확보를 위한 입도가 확보되어야 하며, 모르타의 부착강도를 높이기 위하여 골재 표면의 불순물이 완전히 제거되어야 한다. 새자갈로 골재를 공급하는

경우, 세척설비가 갖추어진 석산으로부터 공급하여야 하는데, 국내에서는 한 곳(영남지역)에서만 수세척자갈을 생산하고 있어 거리에 따라 운반비가 과다하게 소모되고, 수세척시 분진, 소음, 오폐수가 발생하기 때문에 경제적, 환경적 제약조건이 많다. 또한 철도 자갈은 오염물의 농도(2,000ppm)에 따라 특수폐기물로 분류되어 별도의 처리를 하는 것으로 규정되어 있기 때문에 기존 자갈을 세척하여 재활용하는 것이 유리하며 더불어 재활용성을 높이기 위하여 기존의 철도도상규격을 크게 벗어나지 않는 기준을 적용하는 것이 필요하다. 기존 자갈도상을 재활용할 경우, 강도는 자갈도상의 기준이 높은 편이므로 문제가 되지 않으나 입도조건의 경우, 모르타의 유동성을 충분히 확보할 수 있도록 제한하여야 한다. 또한 표면 부착력 확보를 위해 자갈의 세립분(잔입자) 함량이 1% 이하인 자갈을 사용해야

<sup>†</sup> 책임저자 : 한국철도기술연구원, 철도구조연구실, 선임연구원  
E-mail : iwlee@krti.re.kr  
TEL : (031)460-5326 FAX : (031)460-5319

하기 때문에 세척하여 사용해야 한다. 신규자갈을 사용한 경우에도 동일한 조건을 만족하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 포장궤도에서의 도상자갈 재활용성을 확보 할 수 있는 판단 기준을 마련하기 위하여 재활용 도상자갈의 재료 및 물리적 특성, 입도별 지지력 특성, 충전성, 강도특성 등을 검토하였으며, 그 결과를 바탕으로 최적의 골재 사용 기준을 제안하고자 하였다.

### 2. 포장궤도 개요

포장궤도는 일정 도상자갈층을 시멘트모르터 주입 등의 방법으로 콘크리트 슬래브화시키는 공법으로 일종의 프리팩콘크리트공법의 응용이라 할 수 있다. 시공은 기존 도상을 제거한 후, 세척도상을 포설하고 궤광을 조립, 설치한 후 모르터를 충전한다. 도상의 포설에서 충전까지는 2주 정도의 안정화기간을 거친다. 포장궤도의 장점은 선로조건에 상관없이 일 2~3시간의 시공으로 궤도구조를 개량할 수 있어 열차 운행에 지장을 주지 않는다는 점이다[1]. Fig 1은 2007년 12월에 서울메트로 1호선 서울-남영구간에 설치된 시험부설 현장이다.

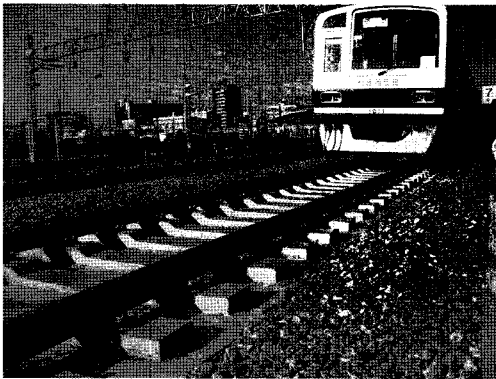


Fig. 1. The paved track(Seoul Metro)

### 3. 프리팩트 콘크리트의 골재 조건

프리팩트 콘크리트공법은 항만, 수중 콘크리트 구조물, 중량 콘크리트, 방사능 차폐 콘크리트 등에 쓰이는 특수 공법으로서, 미국 캘리포니아 대학의 Davis와 Wertz에 의해 고안되었다[6]. 이 공법은 특정한 입도를 가진 굵은 골재를 거푸집에 채워 넣고, 그 공극속에 유동성이 크고, 재료의 분리가 적고, 적당한 팽창성을 가진 모르터를 가압 주입하여 콘크리트를 만드는 방식이다.

충전재가 일정한 경우, 프리팩트 콘크리트의 품질은 굵은 골재의 품질에 크게 좌우된다. 굵은 골재 입자의 모양이 워커빌리티와 강도에 중요한 영향을 미치기 때문에 굵은 골재와

모르터 부착을 크게 하기 위하여 입자모양, 입도분포 및표면상태가 양호한 굵은 골재를 사용하는 것이 유리하다[7].

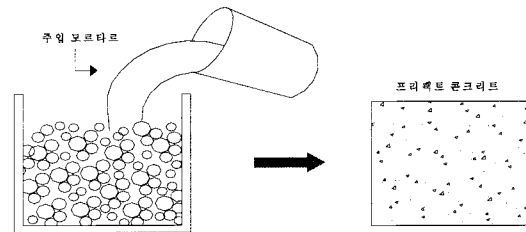


Fig. 2. Concept of prepacked concrete method

굵은 골재의 공극 속에 주입한 충전재의 유동성은 굵은 골재의 최소치수와 밀접한 관계가 있어 최소치수가 클수록 주입모르터의 유동성이 좋아 구석구석으로 채워지게 된다. 그러므로 굵은 골재의 최소치수는 실용상 지장이 없는 범위 내에서 될 수 있는 한 큰 것이 좋고, 최대치수는 최소치수의 2~4배 정도로 하고 있다. 굵은 골재의 최대치수와 최소치수와의 차를 적게 하는 것은 모르터 주입에는 지장이 없으나, 굵은 골재의 실적률이 적어지고 주입모르터의 소요량이 많아지므로 적절한 입도분포를 선정할 필요가 있다. 또한 기본적으로 골재의 강도가 확보되어야 하고, 골재에 부착된 먼지, 흙 등의 부착 불순물은 굵은 골재와 모르터와의 부착을 방해하기 때문에 표면의 불순물을 제거하여야 한다. 프리팩트 콘크리트용 굵은 골재는 콘크리트 체적의 70%이상 차지하게 되며, 그 종류와 품질은 콘크리트의 성질에 커다란 영향을 미치게 된다. 따라서 유해물의 종류와 허용치를 Table 1과 같이 규제하고 있다[3].

Table 1. Limitations of RC specification for harmful compound of prepacked concrete

항목 규격	유기 불순물	세척시험 손실율	염분	침투함량	연질석분
세골재	0	5.0	0.1	1.0	-
조골재	-	1.0	-	0.25	5

### 4. 기존 도상자갈의 기본물성

포장궤도에서 기존 도상의 재활용은 공정단축, 시공비 및 폐기물처리 비용절감 측면에서 매우 중요하다. 따라서 본 절에서는 기존 도상자갈의 재활용 가능성을 평가하기 위하여 기존선에서 채취한 도상자갈을 이용하여 기본적인 물리적 특성을 검토하였다.

Fig. 3은 체가름 시험을 통하여 기존 도상 골재의 입도분포를 나타낸 그림이다. 자갈의 입도분포 특성은 장기간 동안의 사용에도 불구하고 양호한 입도를 나타냈다.

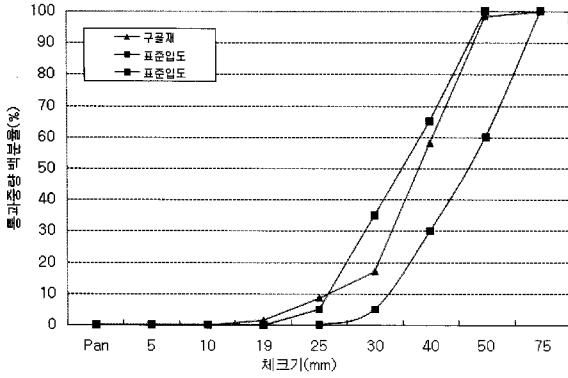


Fig. 3. Particle distribution of the existing ballast

채취한 도상자갈은 Table 2와 같이 단위용적 중량, 실적률, 흡수율, 비중, 잔입자 함량, 염화물 함량, 마모율, 안정성 시험결과, 잔입자 함량을 제외하고는 도상자갈 및 프리팩트콘크리트용 골재기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Table 2. Physical properties of existing ballast

구분	기준	시험결과
단위 용적 중량	·도상자갈; 13.75kN/m <sup>3</sup> 이상 ·콘크리트용; 14.21kN/m <sup>3</sup> 이상	·19.31kN/m <sup>3</sup> 이상
실적률	·콘크리트용; 55% 이상	·57.51% 이상
흡수율	·콘크리트용; 3% 미만	·0.39% 미만
비중	·콘크리트용; 2.5 이상	·2.70 이상
잔입자 함량	·일반콘크리트용; 1% 이하	·1.8% 이하
염화물 함량	·일반콘크리트용; 0.1% 이하	·0.01% 이하
마모율	·도상자갈; 25% 이하 ·포장콘크리트용; 30% 이하 ·댐콘크리트용; 40% 이하	·22.21% 이하
안정성	·콘크리트용; 12% 이하 (손실중량백분률)	·3.00% 이하

## 5. 기준 선정을 위한 자갈의 물리특성 평가

앞 절에서 기존 도상자갈의 재료의 물리적 특성은 재활용이 가능한 것을 확인하였으며, 본 절에서는 프리팩트콘크리트 골재로서의 적용성을 향상시키기 위한 방안을 제시하고자 하였다. 재료 자체의 재활용성은 확보하였으므로 동일재료를 사용한 입도별의 물리특성, 지지력 특성, 충전특성 등을 검토하였다.

### 5.1 시험입도 선정

시험 입도를 선정하기 위하여 기존 도상자갈의 입도(BA) 범위와 일반적인 프리팩트콘크리트의 굵은 골재 입도(PPC) 범위를 기준하여 그 사이 3가지 시험 입도(Type A, Type B, Type C)를 Fig. 4와 같이 선정하였다.

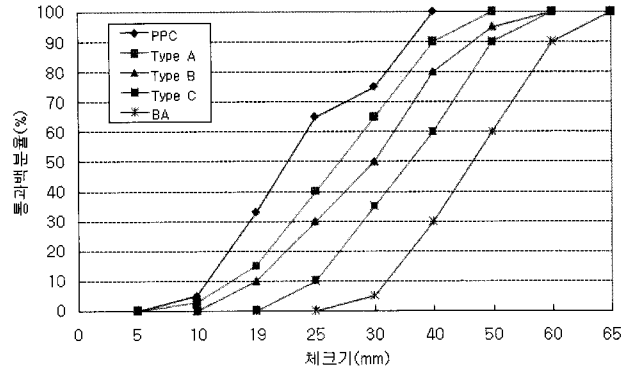


Fig. 4. Selected particle distribution types

## 5.2 입도별 물리적 성질

### 5.2.1 용적 중량 시험

도상자갈의 단위용적 중량은 13.7kN/m<sup>3</sup> 이상, 콘크리트 단위용적 중량은 14kN/m<sup>3</sup> 이상을 기준으로 하고 있다. 본 논문에서는 선정된 Type A, Type B, Type C, BA 입도에 대하여 단위용적 중량을 구하였으며 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. BA 입도의 단위중량 보다 Type A, Type B, Type C의 단위중량이 크게 나타났으며, 특히 Type A의 경우가 BA입도 보다 10kN/m<sup>3</sup>의 차이를 보였다. Type A 쪽으로 갈수록 BA 입도보다 골재의 배치가 조밀하게 됨을 알 수 있다.

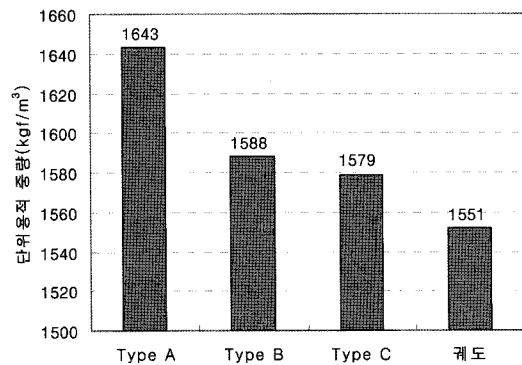


Fig. 5. Unit weight each particle type

### 5.2.2 굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험

굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험을 KS F 2503에 의하여 수행하였다. 도상자갈의 흡수율은 3% 이하를 기준으로 하고 있다. 또한 일반 콘크리트용 쇄석의 경우, 비중은 2.5~2.7, 흡수율은 0.5~2%의 범위를 가진다. 본 논문에서 측정된 입도 형태별 굵은 골재의 흡수율을 Fig. 6에 나타내었다. 골재의 비중과 흡수율은 반비례 관계를 가지며, 흡수율은 모든 경우 3% 이하의 값을 나타내었다. 이 결과는 도상자갈과 일반 콘크리트용 자갈의 기준을 만족하는 것으로, 양호한 골재 및 입도기준인 것으로 판단된다.

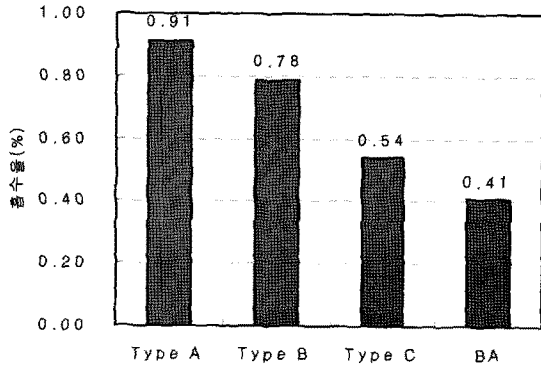


Fig. 6. Absorption rates each type

5.2.3 마모율 시험

골재의 내마모성 시험은 KS F 2508에 의한 LA마모시험으로 수행하였다. 이 시험은 드럼 안에 골재와 강철공을 넣어 회전시켰을 때에 마멸된 골재의 손실량을 구하는 것으로 도상자갈과 일반 콘크리트의 경우 25%를 기준으로 하고 있다. 골재의 마모율 시험 결과, 마모율은 16.28%로서 도상 및 프리패트 콘크리트용 골재의 마모율 기준인 25%를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

5.2.4 안정성 시험

골재의 안정성 시험은 황산나트륨의 결정압에 의한 파괴작용에 대한 저항성을 기준으로 골재의 안정성을 판단하게 된다. 골재의 내구성 시험은 동결융해의 반복에 의한 기상 작용에 대하여 내구적인 콘크리트를 만들기 위해서는, 물-시멘트 비, 공기량 등을 고려할 필요가 있으며, 동시에 내구적인 골재를 사용할 필요가 있다. 따라서 국내 콘크리트 설계 기준에서는 골재의 안정성 시험에 의한 굵은 골재의 손실중량 백분율의 한도를 일반적으로 12%로 제한한다. Table 3은 굵은 골재 안정성 시험 결과를 나타내는 표로서, #40체를 통과하고 #25체에 걸리는 시료의 손실 중량 백분율과, #60체를 통과하고 #40체에 걸리는 시료의 손실 중량 백분율은 각각 4.59%, 1.67%인 것으로 나타났다. 두 시료 모두 12% 이하의 적은 손실 중량 백분율을 나타내어 시험골재는 매우 안정적인 상태임을 알 수 있다.

Table 3. Stability test results for coarse aggregate

구분	황산 나트륨 (g)	물(l)	시료 건조중량 (g)	실험후 건조중량 (g)	손실중량 백분율 (%)	
골재	#40-#25	1400	4	1500	1431.20	4.59
	#60-#40	1400	4	3000	2950.04	1.67

5.3 입도별 지지력 특성

입도별 침하 및 마모/파쇄의 특성을 분석하기 위하여 Ballast Box Test[4]를 이용하여 각 입도별 지지력 특성을 평가하였다. 지지력시험은 포장궤도시공시 모르타 주입 전까지 상당기간 동안 열차하중을 지지하여야 하기 때문에 기간 동안의 주행안정성 검토를 위하여 실시하였다. Ballast Box Test(250×280×150mm)는 노반의 영향을 표현하기 위하여 상자의 하부에 유연한 바닥부를 갖도록 하고 있으며, 콘크리트침목을 하중 재하판으로 사용한다. 시험을 위하여 도상자갈을 300mm 두께로 상자안에 넣고, 그 위에 침목을 얹은 후 침목 주변에 도상자갈을 둘러싸서 연직방향의 하중을 받게 하여 시험을 실시하였다. Fig. 7은 Ballast Box Test의 개념도를 나타낸 것이다.

Fig. 8-Fig. 11은 입도 형태별 하중에 따른 지지력 계수를 나타낸 그래프이다. Fig. 8은 기존 도상자갈궤도 입도(BA)의 지지력을 박스 시험을 통하여 3회 측정된 것으로 도상자갈의 지지력 기준값(평판재하시험 K30=107.8MPa/m 이상)보다 작은 K=83.3MPa/m로 측정되었다. 그러나 이 결과는 축소된 모형시험이기 때문에 시험방법, 경계조건, 다짐방법 등의 차이로 단순 비교할 수 없어 BA 지지력 값을 기준으로 Type A와 Type B, Type C를 상대 비교, 고찰하였다. Fig. 9-Fig. 11은 Type A, Type B, Type C의 지지력 값을 나타낸 것으로서, 최종값의 평균은 78.4MPa/m, 80.4 MPa/m, 88.2MPa/m로 측정되었다. BA 입도의 지지력 시험 결과 83.3MPa/m와 비교 하였을 때 거의 지지력 값의 차이는 없는 것으로 나타났다. 이 결과는 기존의 연구에 의하여 입상 20mm 이하의 소립은 진동 시험 등에 있어서 지지력에 그다지 효과가 없다[6]는 내용과 동일할 결과를 보였다. 따라서 입도 형태에 따른 지지력의 변화는 크지 않을 것으로 판단된다. Type C의 경우는 굵은 골재의 비율이 크기 때문에 초기 지지력의 편차가 크게 나타나지만 하중이 커질수록 안정화되는 경향을 나타낸다.

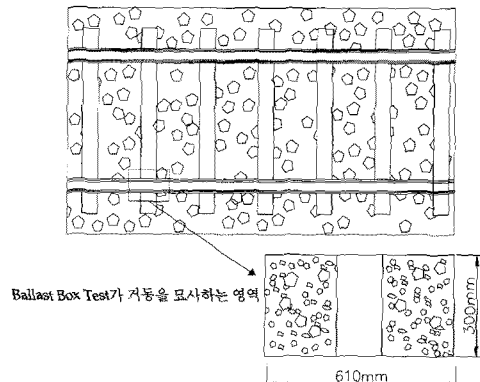


Fig. 7. Concept of ballast box test

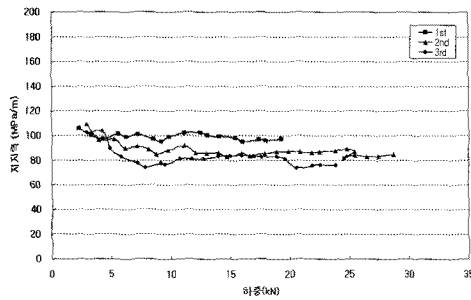


Fig. 8. Bearing Capacity of BA

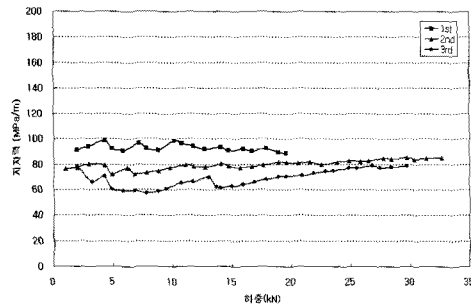


Fig. 9. Bearing Capacity of Type A

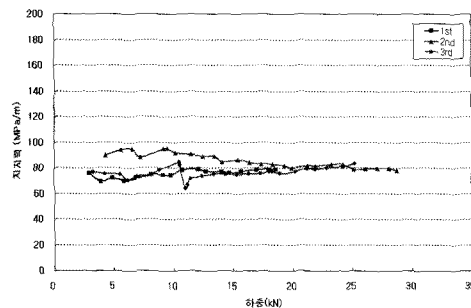


Fig. 10. Bearing Capacity of Type B

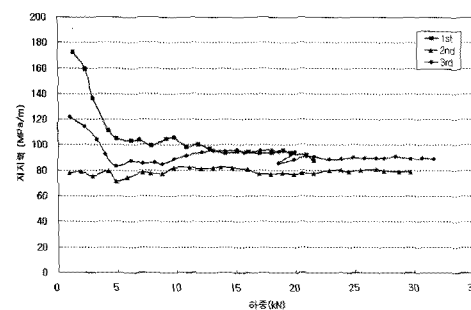


Fig. 11. Bearing capacity of type C

#### 5.4 입도별 충전특성

프리팩콘크리트의 충전성에 관한 특별한 시험 기준은 없는 실정이며, 단지 주입모르터의 배합에 있어 유동성은 KS F 2432, 블리딩은 KS F 2433, 팽창률은 KS F 2433, 압축강도는 KS F 2431에 관한 기준을 두고 있다. 공시체 제작은 KS F 2431 기준에 의해 제작하였으며, 이때 모르터의 주입

과 동시에 고무망치를 20회 공시체 측면을 타격하여 다짐을 하고, 20°C, 50%의 양생실에서 7일 동안 양생을 실시하였다. 압축시험체 몰드를 탈형 후, 프리팩 콘크리트의 충전 상태를 육안 관찰을 통하여 비교 고찰하였다. Fig. 12는 주입 모르터의 충전 상태를 나타낸 것으로써, Type A의 경우, 잔입자의 영향으로 하면에서 약간의 불량한 충전 상태를 나타내었다. 그러나 Type B, Type C, 궤도용 시험체의 경우 모든 면에서 양호한 충전 상태를 보였다.

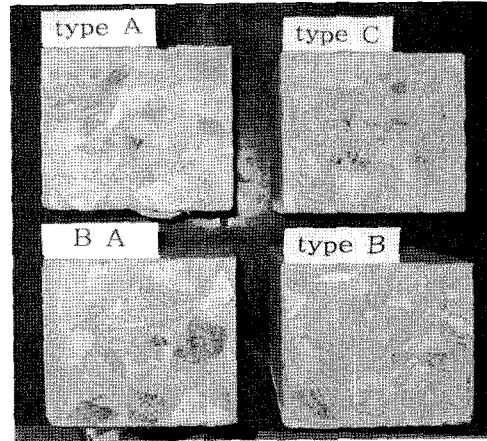


Fig. 12. Mortar filling state each type

#### 5.5 입도별 강도특성

선정된 입도별 콘크리트 강도특성을 파악하기 위하여 KS F 2431 기준에 따라 시험체를 제작하였다. 프리팩콘크리트 시험체를 만들기 위하여 굵은 골재를 입도별로 체가름 하여 분류한 후, 입도별로 중량을 달아 재배합하여 Type A, Type B, Type C, BA 입도를 구현하였다. 구현된 입도별 굵은 골재를 #4체에 담아 굵은 골재 표면에 묻어 있는 석분을 물로 세척한 후 상온에서 24 시간 건조, 프리팩 콘크리트 시험체 및 모르터 시험체를 제작하였고 충전재의 배합은 전용 모르터와 첨가제 물 20%를 프리믹싱 20초 후 물 4%에 첨가제 B를 용해 후 90초 동안 핸드 믹서를 이용하여 본 믹싱을 하였다. 온도 20°C, 습도 50%의 양생실에서 2시간, 1일, 7일, 28일 양생하였다.

##### 5.5.1 압축강도

주입 모르터 압축강도는 Fig. 13에 나타내었고, 프리팩 콘크리트의 압축강도는 Fig. 14에 나타내었다. 주입 모르터의 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 모르터의 압축강도 특성은 초기 1일까지 급속히 강도가 증진되다가, 그 후 완만하게 강도가 증진되는 경향을 보였다.

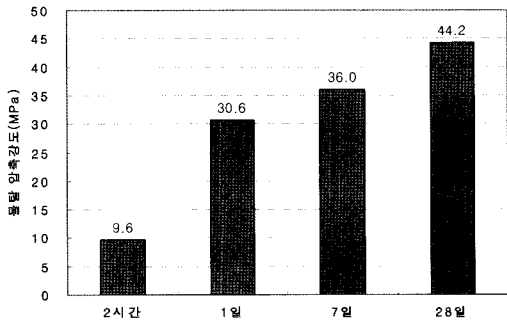


Fig. 13. Compressive strength of mortar each curing period

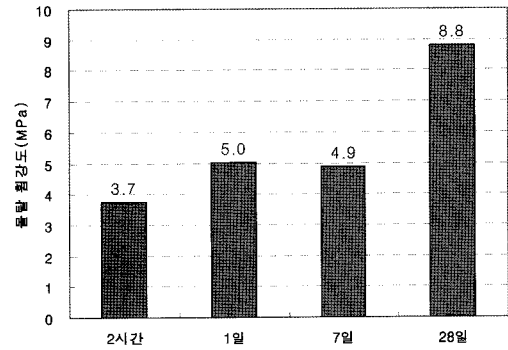


Fig. 15. Flexural strength of mortar each curing period

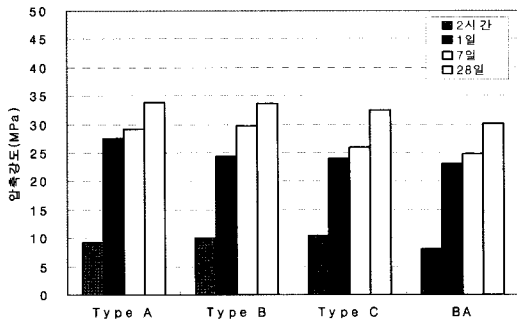


Fig. 14. Compressive strength each aggregate size distribution

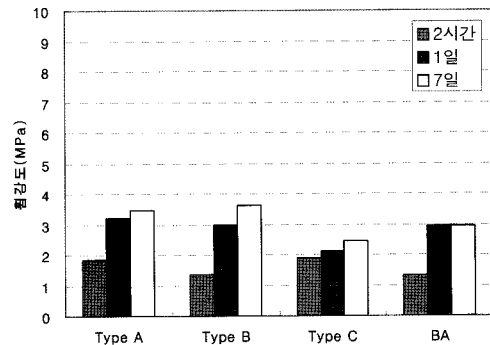


Fig. 16. Flexural strength each aggregate size distribution

Type A와 BA 콘크리트 강도의 경우 2시간에 9.3MPa와 8.1MPa의 결과를 보였으며, Type B와 Type C의 경우 2시간에 각각 10MPa와 10.5MPa를 나타내었다. 포장궤도는 주입 모르터 시공 후 1~2시간에 차량을 통과 시켜야 함으로 2시간 강도를 10MPa 이상의 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%~13.0%의 높은 압축강도 특성을 보여 주어, 콘크리트 강도 면에서 Type B가 포장궤도에 적절한 골재 입도를 알 수 있었다.

5.5.2 휨강도

Fig. 15는 주입 모르터의 휨강도를 나타낸 그림이며, Fig. 16은 프리캐스트 콘크리트 휨 강도를 입도형태, 양생기간에 따라 나타낸 그림이다. 주입 모르터는 2시간에 3.9MPa의 휨강도를 나타내었으며, 1일에 5MPa, 7일에 4.9MPa, 28일에 8.8MPa로 측정되었다. 주입 모르터의 휨 강도 특성은 거의 모든 강도가 1일 내에 발현하고 그 후 서서히 증진하는 특징을 보였다. 공시체의 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 우수한 성능을 가지는 것으로 나타났다.

5.6 입도별 경제성 비교

포장궤도의 충전재는 매우 고가이기 때문에 재료비를 절감할 수 있는 입도기준을 선정하는 것이 필요하다. Table 4는 단위 체적당 골재량을 나타낸 표이다. 모르터의 상대감소량을 계산하면 BA를 기준으로 Type A는 1m<sup>3</sup> 당 79kg, Type B는 30kg, Type C는 21kg이 감소된다.

Table 4. Aggregate volume per unit volume

입도 형태	총용적	골재량	모르터 +물	모르터	모르터 상대감소량(kg)
TypeA	1.0 m <sup>3</sup>	0.62	0.38	0.23	79
	중량(kg)	1,643	775.8	625.6	
	비율(%)	62.24	37.76	22.75	
TypeB	1.0 m <sup>3</sup>	0.59	0.41	0.25	30
	중량(kg)	1,588	837.0	675.0	
	비율(%)	59.26	40.74	24.54	
TypeC	1.0 m <sup>3</sup>	0.59	0.41	0.25	21
	중량(kg)	1,578	848.6	684.3	
	비율(%)	58.69	41.31	24.89	
BA	1.0 m <sup>3</sup>	0.57	0.43	0.26	0
	중량(kg)	1,551	873.8	704.7	
	비율(%)	57.46	42.54	25.63	

## 6. 결론

포장궤도용 재활용 도상자갈의 사용 기준을 결정하기 위하여 사용 골재의 물리적 특성, 지지력 특성, 충전성능, 콘크리트의 강도발현특성 등을 실험하고 경제성 및 재활용성을 평가하였다. 결론은 다음과 같다.

1. 사용된 재활용 도상자갈은 용적중량시험, 밀도 및 흡수율 시험, 마모율 시험, 안정성 시험 등을 수행한 결과 프리팩콘크리트용 골재기준을 만족하였다.
2. 포장궤도용 도상자갈에 대한 입도별 지지력을 실험 결과, 서로 유사하여 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 도상자갈에서 소립경의 혼입이 지지력에는 큰 영향을 미치지 않는다는 기존 연구결과와 일치하였다.
3. 충전재의 충전성능 실험결과 도상자갈의 소립경이 많이 포함되어 있는 Type A의 경우 하변에서 약간의 불량한 충전상태를 보였다. 그러나 소립경이 이보다 적은 Type B, Type C, 궤도용 시험체의 경우에는 모든 곳에서 양호한 충전상태를 보였다.
4. 도상자갈의 입도분포별 프리팩콘크리트의 압축강도발현 특성을 고찰한 결과 2시간에 Type A는 9.2MPa, Type B는 10.0MPa, Type C는 10.4MPa를 나타냈다. 1일 강도는 모두 23.5MPa를 상회하였고, 7일 강도는 25.5MPa 이상 발현하였다. 또한, 휨강도는 2시간에 Type A는 1.8MPa, Type B는 1.3MPa, Type C는 1.9MPa로 Type B가 가장 작으나, 28일 강도는 Type B가 가장 큰 것으로 나타났다. 입도별 강도특성은 차이가 있으나 콘크리트의 구조적 특성에 영향을 줄 정도는 아니며, 동일한 범위의 값을 가진다고 할 수 있다.

5. 주입모르터 소요량을 고려한 경제성 분석결과 궤도용 도상자갈의 입도에 필요한 모르터를 기준으로 하였을 경우에 Type A는 11%, Type B는 5%, Type C는 3%가 절감되었다. 이는 입도별 공극률에 의해 결정되는 것으로 잔입자가 많은 Type A의 경우에 가장 많이 모르터 충전량을 절감할 수 있었다.
6. 도상자갈의 입도분포별 지지력, 충전재 충전성능, 강도발현 특성, 경제성 및 시공성을 종합적으로 고려한 결과, Type B의 입도가 포장궤도용 도상자갈의 최적입도로 판단된다. 그러나 Type별 편차가 크지 않고 실제 현장에서 별도로 입도를 조정하여 적용하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 기존 도상자갈을 세척하여 재활용 하되 최소입경을 엄격히 제한하는 것으로 한다.

## 참고문헌

1. 한국철도기술연구원(2007), “기존선 자갈궤도 생력화를 위한 포장궤도 개발.”
2. 한국철도기술연구원(1998), “철도도상 개량을 위한 기초연구,” pp. 81-86.
3. 한국콘크리트 학회(2000), “콘크리트 설계 기준.”
4. 서사범 역(2003), “선로공학,” pp. 180-188.
5. 문한영(1973), “고강도 프리팩트콘크리트용 그라우트의 유동에 관한 연구,” 대한토목학회지, 제21권 1호, pp. 28-34.
6. Davis, R.E.(1960), “Prepacked Method of Concrete Repair,” Journal of ACI, pp. 155-172.
7. Mantuani, L.D.(1983), “Handbook of Concrete Aggregate,” Noyes Pub, pp. 23-54.

접수일(2009년 2월 3일), 수정일(2009년 4월 20일),  
게재확정일(2009년 8월 4일)