

포장궤도 골재용 도상자갈의 건식 블라스팅 효율 향상 연구 Improvement of Dry-blasting Efficiency for Ballast used as Aggregate of Paved Track

이일화[†]
Il-Wha Lee

Abstract On the paved track, the ballast is used as aggregate for the filling layer using the pre-packed concrete technique. The most important condition of aggregate is adhesive strength with mortar. To satisfy this condition, surface of aggregate should be cleaned by water or others. In a paved-track method to be introduced domestically, an environment-friendly dry-washing technology which will replace the water-washing method has been developed. A dry-washing method was designed to blast the crushed weight material with a diameter of 0.3~0.5mm at high pressure to peel the surface of the aggregate. The study was intended to enhance the washing efficiency of dry-blasting technology and to that end, the tests including blasting material, content of fine aggregate depending on time elapsed, content of chloride, LA abrasion rate and compressive strength were conducted to recommend the efficient washing material and the process.

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

요 지 포장궤도에서는 프리팩 콘크리트방식으로 도상자갈을 충전층의 골재로 활용한다. 골재의 가장 중요한 조건은 모르타와의 부착력이며 이를 위하여 표면의 불순물을 최대한 제거하여야 한다. 국내에서 개발한 포장궤도 공법에서는 기존의 수세척방식을 대체하는 친환경 건식세척기술을 개발하였다. 건식세척은 직경 0.3~0.5mm 내외로 파쇄한 경질 재료를 고압으로 분사시켜 골재 표면을 박피시키는 방식이다. 본 논문에서는 블라스팅기술의 세척 효율을 향상시키기 위한 방안으로 현재 운용중인 장비조건하에서 분사 재료 및 시간 별 골재 잔입자 함량, 연화율 함유량, LA마모율, 압축강도시험 등을 실시하여 가장 효율적인 세척 재료 및 공정을 제시하고자 하였다.

주요어 : 포장궤도, 도상자갈, 블라스팅, 골재, 재활용

1. 서론

최근 궤도 생력화(Maintenance Free or Low-Maintenance)의 방안으로 도상구조를 개량하는 포장궤도가 개발, 적용되고 있다. 포장궤도는 운행선상에서 기존 자갈도상을 콘크리트도상으로 개량하여 보수 인력과 유지·보수비용을 효과적으로 절감할 수 있는 장점이 있다. 포장궤도에서는 프리팩콘크리트방식으로 재생 도상자갈을 충전층의 골재로 사용하는데, 기본 조건은 강도와 입도가 확보되어야 하고, 모르타와의 부착강도를 확보하기 위하여 표면의 불순물이

제거 되어야 한다. 이와 같은 이유로 포장궤도를 설치하기 위해서는 세립분을 제거한 세척자갈을 사용해야 한다. 세척방식은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 새 자갈을 석산에서 수세척하여 사용하는 방법과 기존 도상자갈을 현장에서 세척하여 재활용하는 방법이다. 새 자갈을 사용하는 경우에는 수세척 방식에 의존할 수밖에 없어 골재 표면에 붙어있는 세립입자를 완전히 제거하기 어렵고 수질오염, 분진, 소음 등 문제가 발생할 가능성이 높기 때문에 대안으로 기존 자갈을 현장에서 친환경적으로 세척하여 재활용하는 것이 합리적이다. 이에 본 연구에서는 앞에서 설명된 수세척방식의 대안으로 블라스팅 기술을 적용한 건식 자갈세척기술을 개발하였다. 건식 자갈세척기술은 직경 0.3~0.5mm 내외로 파쇄한 경질재료를 고압으로 분사시켜 골재 표면

[†] 책임저자 : 한국철도기술연구원, 철도구조연구실, 선임연구원
E-mail : iwlee@krii.re.kr
TEL : (031)460-5326 FAX : (031)460-5319

을 박피시키는 방식으로 분사재료는 Polyurea, Melamine, Acryl의 수지계 재료와 모래, 유리, 드라이아이스 등이 있다[2]. 일본에서도 아직까지 수세척방식을 사용하고 있으며 도상자갈을 재활용하기 위하여 건식 블라스팅기술을 적용한 것은 세계 최초이다.

본 논문에서는 블라스팅기술의 세척효율을 향상시키기 위한 방안으로 현재 운용중인 장비조건하에서 분사재료 및 시간 별 골재 잔입자 함량, 염화물 함유량, LA마모율, 압축강도시험을 실시하여 세척효율의 향상 방안을 제시하고자 하였다.

2. 포장궤도

포장궤도는 일정 도상자갈층의 공극에 시멘트모르터를 주입하여 콘크리트화(化)시키는 공법으로 일종의 프리팩 콘크리트공법이다. 포장궤도의 일반적인 시공순서는 궤광철거 ▶ 도상굴착 ▶ 다짐·거푸집설치 ▶ 신궤광삽입 ▶ 세척골재 넣기 ▶ 도상다짐 ▶ 모르터 주입의 순으로 시공된다. 부수적으로는 침목의 대형화를 통하여 도상압력의 분포를 촉진시키고 유지보수의 목적으로 가변체결구 등을 적용한다. 포장궤도의 장점은 선로조건(토노반, 터널, 교량, 분기기, 급곡선부 등)에 상관없이 일 2~3시간의 시공으로 도상구조를 개량할 수 있어 열차 운행에 지장을 주지 않는다는 점이다[3]. Fig. 1은 토노반구간에서의 포장궤도 표준 단면으로서 도상자갈을 세척하여 충전층의 골재로 사용한다. 도상 및 궤광이 교체된 궤도는 2~3주 정도의 안정화기간을 거쳐 최종 공정으로 모르터가 주입된다.

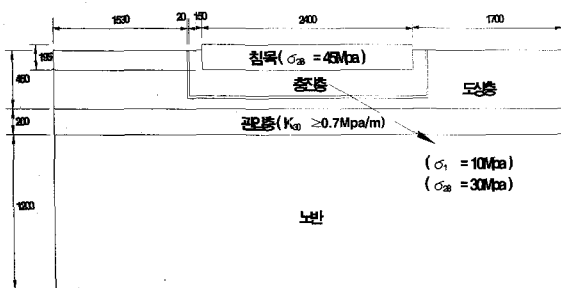


Fig. 1. Paved track standard section

3. 포장궤도의 골재

포장궤도 충전층의 골재로 사용되는 도상자갈은 강도가 확보되어야 하고, 적절한 입도를 유지하여야 하며, 모르터와의 부착강도를 높이기 위하여 표면의 불순물이 제거되어야 된다. 따라서 세척된 도상자갈만 사용한다. 도상자갈 수급은 세척한 새 자갈을 운반하는 사용하는 방법과 기존 도

상자갈을 현장에서 처리하여 재활용하는 방법이 있다. 새 자갈을 사용하는 경우에는 수세척 도상자갈의 생산지가 국내에서는 한군데밖에 없기 때문에 운반에 막대한 경비가 소요되고, 표면의 불순물 함량이 높기 때문에 충전층의 골재로 사용하기에는 어려움이 있다. 또한 철도 자갈은 특수 폐기물로 분류되어 별도의 처리를 하는 것으로 규정되어 있기 때문에 새자갈을 사용하는 것 보다는 기존 자갈을 세척하여 재활용하는 방식을 취하는 것이 경제적, 환경적으로 유리하다.

굵은 골재의 공극 속에 주입하는 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. 프리팩 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[4,6]. 포장궤도용 골재의 입도 조건은 철도용 도상자갈 기준을 만족하면서 최소 입경을 10mm로 제한하고 있다[2].

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

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

4. 블라스팅기술을 이용한 건식세척

블라스팅 기술은 모래, 실리카, 유리구슬, 플라스틱, 금속 등의 고체물질을 강하게 분사하여 대상체의 표면에 붙어있는 녹, 페인트 및 각종 이물질들을 제거하는데 널리 쓰이는 기술이다. 수세척방식과 비교하여 소음이나 분진이 크게 발생하지 않으며, 물을 사용하지 않기 때문에 수질오염이 발생하지 않는다. 포장궤도용 골재로 사용하는 도상자갈의 표면은 주로 흙과 석분으로만 둘러싸여 있기 때문에 대용량 세척이 가능하고 사용재료와 시간에 따라 원하는 소요 품질을 충분히 확보할 수 있다.

건식세척에 사용한 설비는 연속식 작업이 가능하도록 스테인레스를 이용한 드럼타입으로 설계하였다. 건식방식은

블라스팅시 분진발생량이 많기 때문에 별도의 집진장치가 필요하다. 집진장치는 자동펠스타입으로 분진 발생량을 170m³/min으로 설계하였다. 세척설비는 Fig. 3과 같이 철도 트롤리(1,500mm×1,900mm)와 평판(2,400mm×5,200mm)에 설치가 가능하게 제작하였으며, 분당처리속도를 300kg/min으로 하였다.

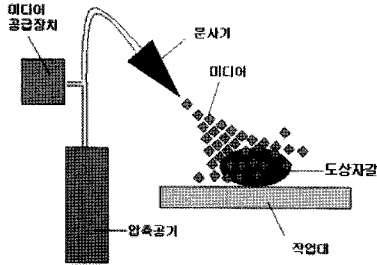


Fig. 2. Blasting concept

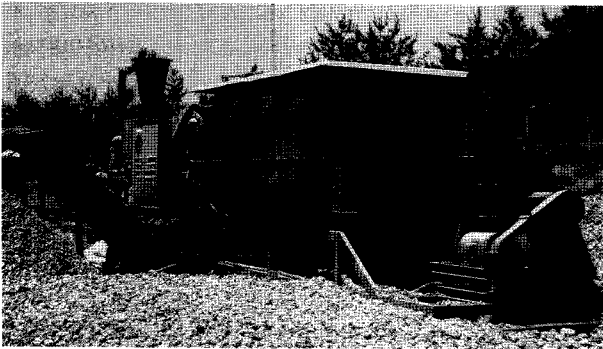


Fig. 3. Heavy dry-blasting machine

5. 세척효율 평가를 위한 시료처리

세척효율평가를 위한 세척방법별로 무처리, 수세척, 건식세척의 3가지 시료를 사용하였다.

5.1 무처리 시료

석산에서 생산된 골재로서 도상자갈 및 콘크리트골재의 KS규격에 따른 단위용적 중량, 실적률, 흡수율, 비중, 잔입자 함량, 염화물 함량, 마모율, 안정성 시험결과, 일반 콘크리트 및 자갈도상의 기준을 만족하지만, 생산과정에서 발생한 흙과 석분이 표면에 부착되어 있는 상태로 세척과정을 거치지 않은 시료이다. 골재의 물리적 성질을 Table 2에 나타내었다.

5.2 수세척 시료

기존의 수세척 장비에서 처리되는 골재와 유사한 수준의 자갈상태를 만들기 위하여 자갈을 바닥에 포설한 후 살수하여 세척하였다.

Table 2. Physical properties of non-treated ballast

구분	기준	시험결과
단위용적 중량	· 자갈도상: 13.75kN/m ³ 이상 · 콘크리트용: 14.21kN/m ³ 이상	19.31kN/m ³ 이상
실적률	· 콘크리트용: 55% 이상	57.51% 이상
흡수율	· 콘크리트용: 3% 미만	0.39% 미만
비중	· 콘크리트용: 2.5 이상	2.70 이상
잔입자함량	· 자갈도상: 0.48% 이하(0.075mm) · 일반콘크리트용: 1% 이하(0.08mm)	0.5% 이하 0.8% 이하
염화물함량	· 일반콘크리트용: 0.1% 이하	0.01% 이하
마모율	· 자갈도상: 25%이하, · 포장콘크리트용: 30% 이하,	22.21% 이하
안정성	· 콘크리트용: 12%이하 (손실중량백분률)	3.00% 이하

5.3 건식세척 시료

블라스팅기술을 이용하여 건식으로 세척하였다. 분사재료는 Polyurea(U), Melamine(M), Acryl(A) 중 재활용성과 세척효율이 높은 Polyurea와 Melamine을 선정하였다. 또한 재료별로 분사시간을 선정하여 세척시간(30, 180, 300초) 별 흙 및 석분의 제거효율을 평가하였다. 따라서 U30, U180, U300, M30, M180, M300 등 총 6가지 조건에 대한 세척효율을 검토하였다. Table 3에는 건식자갈세척에 사용한 분사재료의 물리적 성질을 나타내었다.

Table 3. Physical properties of blasting materials

	Polyurea	Melamine	Acryl
경도: Mohs	3.5	4	3.5
Barcol	54-62	64-72	46-54
비중	1.5	1.52	1.2
겉보기 비중	0.7-0.8	0.7-0.8	0.6-0.7
입자 형태	----- Multiple Sharp Edges -----		
운영가능 온도	0-290F	0-290F	0-300F
인화성	Non-Flam	Non-Flam	Flammable
소각 온도	530°C	530°C	435°C
함수비	< 0.05%	< 0.05%	< 0.05%
Ph	Neutral	Neutral	-

6. 세척효율 평가

평가의 목적은 블라스팅기술을 적용한 건식세척장치의 분사재료별 세립분 제거 효율을 평가하여 최적의 작업공정을 제시하는 것이다. 따라서 세립물질의 제거효율을 직접적으로 평가할 필요가 있어 KS 규정에 의거하여 잔입자의 함량을 평가하고 염화물의 함량을 확인하였다. 이러한 직접적인 확인을 통해 실제 규정에의 부합 여부 및 제거효율

을 평가하였다. 또한 LA마모율 시험을 통해 블라스팅기술 적용 시 잔입자의 형성 억제 효과를 파악하였으며, 일축압 축강도 시험을 통해 실제 포장궤도 설치 시 가장 중요한 요소인 강도 발현 양상을 확인하고자 하였다.

6.1 잔입자 함량 평가

세척시료별 재료에 대한 굵은 골재의 잔입자 함량 시험을 KS F 2511에 따라 수행하였다. 골재 중에 일정 크기 이하의 석분이 포함되어 있는 경우 콘크리트 타설시 슬럼프를 얻기 위한 가수량이 많아진다. 그 결과로 초기의 체적 수축과 장기의 건조수축이 증가하여 균열이 발생하기 쉽고, 또한 강도저하와 내구성의 저하를 초래한다. 따라서 이를 방지하기 위한 잔입자 함량을 제한하여야 한다.

6.1.1 무처리 시료

무처리 시료의 시험 결과, 잔입자 함유량의 경우 0.075mm (No.200) 체를 통과하는 미립자의 양이 시료 전체의 0.48%로 기준(0.5%)을 만족하지만, 0.5mm(No.40) 체의 통과량이 1.34%로 기준(1.0%)을 초과하는 것으로 나타났다.

6.1.2 수세척 시료

수세척 시료의 시험 결과, 잔입자 함유량의 경우 0.075mm (No.200) 체를 통과하는 미립자의 양이 시료 전체의 0.13%로 기준(0.5%)을 만족하고, 0.5mm(No.40) 체의 통과하는 세립분의 양 역시 0.33%로 기준(1.0%)을 만족하였다. 그렇지만, 흙 및 자갈의 미립자 및 세립분이 표면에 많이 남아 있는 것을 육안으로 확인할 수 있었다.

6.1.3 건식세척 시료

블라스팅기술을 적용한 건식세척 처리시료에 대한 각각의 시험 결과를 Fig. 4, 5 및 Table 4에 각각 제시하였다. 시험 결과를 살펴보면 우선 수세척 시료의 시험 결과와 비교할 경우 0.075mm(No.200) 체 통과량은 최소 23%에서 최대 92%까지 감소하였으며, 0.5mm(No.40) 체 통과량은 최소 67%에서 최대 94%까지 감소한 것을 확인하였다. 따라서 수세척에 비해 블라스팅 기술을 적용한 세척방식이 보다 확실하게 세립물질을 제거하는 것으로 판단된다. 여기서, 블라스팅 물질의 분사 시간은 Polyurea 및 Melamine media 모두 180초 분사할 경우가 가장 세립분 제거 효율이 좋은 것으로 나타났으며 300초 분사할 경우 미립분의 함량이 오히려 증가하는 것을 확인하였다. 이는 블라스팅을 너무 오랜 시간 수행 할 경우 자갈표면을 미세하게 깎아 자갈의 미립분을 만들어 낸다고 판단할 수 있다. 따라서 실제 현장에서 본 기술을 적용할 경우 블라스팅 분사시간을 180

초로 제한하여야 할 것으로 판단된다. 또한 건식세척장비에서의 분사물질인 Polyurea 및 Melamine의 차이를 비교하여 보면 Melamine의 경우 0.075 및 0.5mm 체 통과량이 60~83% 감소하는 것으로 나타나, 입도분포 및 잔입자 함량 시험만을 종합해 볼 때 자갈 세척 시 Melamine으로 180초 동안 건식세척을 하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

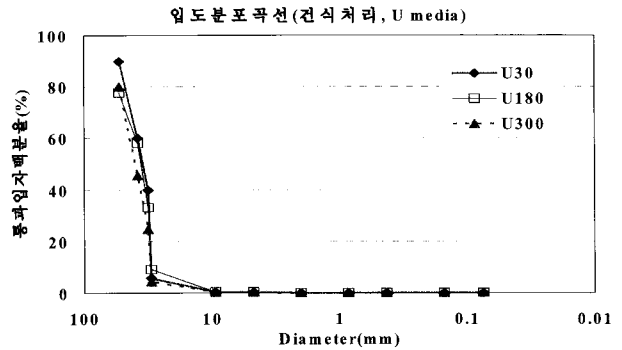


Fig. 4. Grain size distribution curve of dry-blasted ballast (Polyurea)

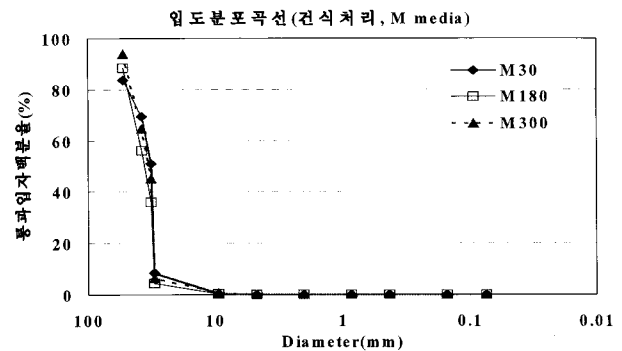


Fig. 5. Grain size distribution curve of dry-blasted ballast (Melamine)

Table 4. Content of fine aggregate of dry-blasted ballast

체 치수 (mm)	Polyurea (%)			Melamine (%)			기준(%) (KS F 2511)
	U30	U180	U300	M30	M180	M300	
0.075 통과	0.06	0.04	0.10	0.01	0.01	0.02	0.5
0.5 통과	0.08	0.05	0.11	0.02	0.02	0.03	1.0

6.2 염화물 함유량 시험

염화물 함유량이 높아질 경우 콘크리트의 응결이 촉진되어 강도의 발현이 빨라지지만 장기강도가 낮아지거나, 건조 수축율이 커지게 된다. 따라서 장기강도 및 건조수축율에 민감한 포장궤도에서는 시멘트 및 모르타에 사용되는 골재의 표면에 묻어있는 염화물을 엄격히 제한하여야 한다. 염화물 함유량시험은 KS F 2515에 따라 시험을 수행하였다.

무처리, 수세척 및 건식세척 과정을 거친 골재시료에 대한 염화물 함유량 시험 결과를 Table 5에 나타내었다. 무처리 시료가 0.023% 정도의 염화물만을 함유(전체 기준 0.1%)하고 있기 때문에 세척 전, 후 구분 없이 모든 시료에서 염화물 함유량은 기준을 만족하는 것으로 조사되었다. 세척과정에 대한 염화물 함유량의 변화를 살펴보면, 수세척의 경우 염화물의 87%, 건식세척의 경우 91%~100%의 염화물 제거효율이 있는 것을 확인하였다. 이를 통해 건식세척의 경우가 효율이 보다 증진된 것을 볼 수 있지만, 기준에 비해 수세척의 경우 3%, 건식세척의 경우 0~2%에 불과하기 때문에 시험 및 측정오차를 고려할 경우 수세척 및 건식세척 과정에서의 염화물 제거 효율이 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

Table 5. Content of chloride test results

자갈 시료 종류		염화물 함량(%)	기준(%)	
무처리		0.023	0.1	
수세척		0.003		
건식 세척	Polyurea	U30		0.001
		U180		0.000
		U300		0.000
	Melamine	M30		0.002
		M180		0.001
		M300		0.001

6.3 LA 마모율 시험

무처리, 수세척 및 건식세척을 거친 시료에 대한 LA 마모율 시험 결과를 Table 6에 나타내었다. 모든 시료의 경우 기준을 만족하기 때문에 마모율 기준으로 세척방식별 차이는 미미한 것으로 판단된다. 여기서 건식세척시료의 경우 세척시간이 증가함에 따라 U180 및 U300의 경우 U30에 비해 각각 18%와 20%씩 마모율이 감소하며, M180 및 M300의 경우도 M30에 비해 8%, 17%씩 마모율이 감소하였다. 이는 분사시간이 증가함에 따라 자갈 표면의 약한 부분이 제거되었기 때문인 것으로 판단된다.

Table 6. LA abrasion rate test results

시료 종류	마모율(%)	기준(%)	
무처리 시료	20.2	25.0	
수세척 시료	22.8		
건식세척시료	U30		24.2
	U180		19.8
	U300		19.4
	M30		24.8
	M180		22.8
	M300		20.6

6.4 일축압축강도

무처리, 수세척 및 건식세척자갈로 제작한 포장궤도 콘크리트 공시체에 대한 일축압축강도시험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 일축압축강도값은 3개의 공시체에 대한 평균값이다. 공시체는 골재를 미리 몰드 안에 채워넣고, 초속경 및 고유동성 모르타를 충전하여 제작하였다. 포장궤도공법의 특성상 타설 2시간 이후의 압축강도를 측정하였으며, 2시간 기준강도는 10MPa 이상이다.

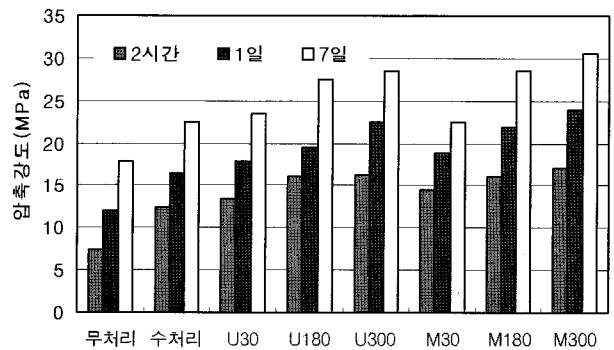


Fig. 6. Compressive strength results

충전 특성의 경우 모든 조건에서 양호한 결과를 보였으나 무처리 시료의 경우, 골재 표면에 세립분이 많이 부착되어 있는 상태에서 충전재 주입과정 중 세립분이 밀려 공시체 하부에 쌓이는 현상을 보였다. 무처리 시료의 경우 목표강도 이하의 낮은 강도발현 특성을 보였으며 세척 시료의 경우에는 모든 경우에 기준 강도를 만족하였다.

Fig. 7에는 무처리 시료 대비 건식세척시료의 강도 증가율을 재령 시간별로 나타내었다. 무처리 시료와 비교할 경우 2시간 강도에서 보다 높은 강도 증가율을 보이고 있으며 수세척의 경우 70%, Polyurea의 경우 건식세척시간별로 86~124%, Melamine의 경우 97~139%의 강도 증가율을 나타내고 있다. 또한 1일 및 7일 강도의 경우도 36(수세척)~100%(M300) 및 23(수세척)~65%(M300)의 강도 증가율을 보이고 있다. 또한 1일 및 7일 강도의 경우도 2시간 강도와 유사한 양상을 보이는데 Polyurea의 경우 각각 12~37% 및 4~26%의 증가를 보이며 Melamine의 경우 각각 16~47% 및 1~35%의 강도 증진 효과를 확인할 수 있다. 수세척에 비해 건식세척의 경우 최대 40%(M300, 2시간재령)의 강도증진효과를 보여 건식세척의 세립분 제거효율이 높음을 확인할 수 있다. 또한 분사 재료 및 시간을 비교할 경우 Melamine이 Polyurea에 비해 일축압축강도가 최대 8% 증가하는 것으로 나타났으며, 분사 시간이 증가함에 따라 강도가 증진되는 현상을 보여 분사시간을 180초 이상 유지할 필요가 있는 것으로 나타났다.

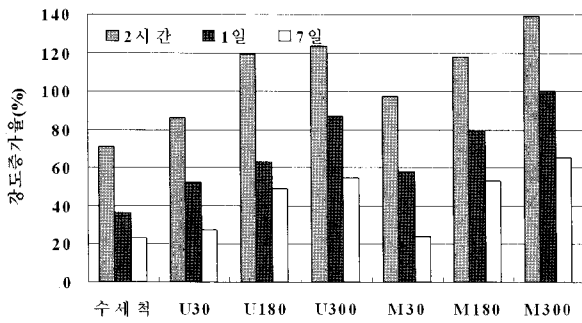


Fig. 7. Strength increasing ratio of blasted/non-blasted aggregates

7. 결론

포장궤도용 골재의 세척방법에 따른 세립분 제거효율의 영향, 마모율 변화 및 프리팩트 콘크리트의 강도 변화 등을 종합한 결과는 다음과 같다.

1. 잔입자 함량 평가에서 무처리 시료의 경우 0.5mm(No. 40) 통과량은 1.34%(기준 1.0%)로 기준을 초과하였다. 무처리 시료 자체를 프리팩트 콘크리트용 도상 자갈로 직접 사용하기는 어려우며 세척 과정을 통해 잔입자를 제거하는 것이 필요한 것으로 나타났다. 수세척과 건식 세척방식은 모두 기준을 만족하는 것으로 나타났으며, M180(Melamine, 180초)으로 세척하는 것이 잔입자 제거에 가장 효과적인 것으로 나타났다. 또한 너무 오래 분사할 경우 표면 파쇄로 인해 잔입자 함량이 소량 증가하는 것을 확인하였다.
2. 염화물 함유량과 LA마모율 시험 결과, 건식세척이 가장 효율적이지만 세척 방식에 따른 차이는 크지 않아 모든 경우 사양기준을 만족하는 것으로 나타났다.
3. 압축압축강도 시험 결과 무처리 시료의 경우, 압축강도가 기준치에 미달하였으며, 양생시간에 따른 강도 증진율면에서도 상당히 낮은 경향을 나타내었다. 수세척의 경우, 건식세척 중 Ployurea 및 Melamine으로 30초 간 처리한 압축강도와 유사한 경향으로 나타났으며 180초

및 300초 처리한 시료의 경우 무처리 시료에 비해 최대 139%, 수처리 시료에 비해 최대 40%의 강도증진효과가 있는 것으로 확인되었다. 또한 Melamine재료가 Ployurea 재료보다 강도특성이 유리한 것으로 나타났는데, 이는 Melamine의 재료경도가 높아 세척효율이 높은 것으로 판단된다.

4. 종합 결론으로서 사용중인 도상자갈을 포장궤도용 골재로 재활용하기 위해서는 표면 세척이 필수적이며, 세립분 제거효율 측면에서 건식세척이 우수한 것으로 나타났다. 건식세척을 실시할 경우, 분사재료는 Melamine을 사용하여 180초 이상 세척하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 신현묵 (1975), “주입모르타르의 배합비가 프리팩트콘크리트의 압축강도에 미치는 영향에 관한 연구,” 대한토목학회지, 제 23권, 3호, pp. 77-89.
2. 이일화 (2009), “도상자갈 재활용을 고려한 포장궤도용 골재 기준,” 한국철도학회 논문집, 제 12권, 제 4호, pp. 481-487.
3. 한국철도기술연구원 (2006), “기존선 자갈궤도 생력화를 위한 포장궤도 개발(IV).”
4. 한국콘크리트학회 (2000), “콘크리트 설계 기준.”
5. A. D. R. Brown, D. Johnson, and A. McLeod (1990), “Special cements and their applications,” Pub. E&FN Spon., pp. 335-349.
6. R. E. Davis (1960), “Prepacked method of concrete repair,” Journal of ACI, pp. 155-172.
7. L. D. Mantuani (1983), “Handbook of concrete aggregate,” Noyes Pub.
8. F. K. Kong, R. M. Evans, E. Cohen, and F. Roll (1983), “Handbook of structural concrete,” Pitman.
9. W. H. Taylor (1977), “Concrete technology and practice,” 4th., McGraw-Hill.

접수일(2009년 12월 9일), 수정일(2010년 2월 4일),
게재확정일(2010년 2월 8일)