

## 道路現場破碎 循環骨材의 凍傷防止層 및 貧配合콘크리트基層 適用性評價<sup>†</sup>

†金眞徹 · 沈載元 · 曹圭星

韓國道路公社 道路交通技術院

### Application of Aggregate Recycled in-situ for Anti-frost Layer and Lean Concrete Base Course<sup>†</sup>

†Jin-cheol Kim, Jae-won Shim and Kyou-sung Cho

Highway & Transportation Technology Institute, KHC, Hwaseong 445-812, Korea

#### 요 약

고속도로 건설 및 유지관리 과정에서 발생하는 폐콘크리트의 현장파쇄 및 재활용을 위하여 파쇄시스템 선정, 순환골재 생산, 도로용 재료의 시방기준 준수여부를 평가하였다. 그 결과 순환골재에 부착된 모르타의 영향으로 천연쇄석에 비하여 낮은 물성값을 나타내었으며, 입도시험결과 임팩트 크러셔 또는 죠, 콘크러셔 조합형은 소요입도에 적합한 순환골재를 생산할 수 있었다. 동상방지층에 적용할 경우 함수비 변동에 의한 건조밀도 변화가 작으므로 천연골재에 비하여 관리가 쉬운 장점이 있으나, 빈배합콘크리트 기층은 시멘트에 의한 미분량 증가로 흡수율의 영향이 감소하였다. 또한 재령 7일 압축강도는 순환골재의 종류에 관계없이 10MPa를 상회하므로 현장적용에는 큰 문제가 없음을 알 수 있었다.

**주제어** : 순환골재, 빈배합콘크리트 기층, 동상방지층, 임팩트크러셔

#### Abstract

In order to recycle the waste concrete from which the reproductive aggregate should be produced in-situ, the applicability of crushers and recycled aggregates, and the compliance with the specification have been evaluated comprehensively. As a result of them, the properties of recycled aggregate particles were inferior to the natural one because of the adherent mortars on the recycled one, and the mobile impact crusher and the eccentric-mounted cone and jaw were superior to the others for the graded aggregates. In the case of anti-frost layer, the recycled one was easily controlled since the dry densities, contrary to natural one, were not largely changed with the moisture contents. It was found that the lean concrete base course is not influenced by absorption as cement dust grows larger, and the 7-day compressive strengths of lean concrete were higher than 10 MPa regardless of the crushing type.

**Key words** : recycled aggregate, lean concrete base course, anti-frost layer, impact crusher

#### 1. 서 론

건설업은 특성상 양의 많고 적음에 차이가 있지만 근본적으로 다른 산업에 비해 많은 양의 폐기물을 발생시키는 산업이다. 건설폐기물은 종류에 따른 차이는 있으나 일반적으로 무해하고 재자원화 비율이 높은 반면 필

요한 기술기준이 그다지 높지 않기 때문에 쉽게 재활용할 수 있는 특징이 있다<sup>1)</sup>.

그러나 건설폐기물의 재활용 용도는 현재까지 대부분 건설공사의 성토, 복구용 자급재료 등 단순한 용도에 집중되어 있다. 또한 재활용을 위한 기술개발은 주로 재생콘크리트 생산, 역학적 특성과 같은 연구가 주류를 이루므로써 대용량 처분이 가능한 도로용 재료로서 활용은 극히 미미한 실정이다<sup>2,3)</sup>.

<sup>†</sup> 2005년 6월 3일 접수, 2005년 7월 27일 수리

\* E-mail: jkim@freeway.co.kr

건설폐기물은 다른 산업폐기물에 비하여 유해성은 상대적으로 적으나 발생시기가 특정기간에 집중되는 특성이 있어 처리와 재활용 과정의 어려움에서 발생하는 환경유해성은 크다고 볼 수 있다. 또한 폐콘크리트와 같은 건설폐기물을 재활용할 때 발생장소와 재활용처리 및 재활용품의 사용장소가 지리적으로 큰 차이가 있다면 운반 및 처분에 따른 비용상승 또한 재활용 저해에 중요한 요인으로 작용하게 된다.

정부에서는 건설폐기물의 재활용을 촉진시키기 위하여 폐기물 관리법, 자원의 절약 및 재활용 촉진에 관한 법률 등 많은 법률 및 지침을 제정하였으며 재활용을 향상에 노력하고 있다. 폐기물의 관리·처리·재활용의 중추적인 역할을 담당하고 있는 폐기물 관리법에 의한 건설폐기물의 최대치수 및 이물질 함유량 제한과 2001년부터 시행된 분리발주와 같은 법적 제한이 환경보전에 미친 영향은 지대하다<sup>4)</sup>. 그러나 개별 건설폐기물의 특수성을 고려하지 않음으로서 교량, 콘크리트 포장 등과 같은 토목구조물에서 발생하는 양질의 폐콘크리트가 타일, 적벽돌, 벽돌 등과 같은 저급 건설폐기물이 많이 포함된 건축폐기물과 같은 재활용 과정을 거쳐야 한다는 것은 자원의 유효이용 측면에서 심하게 재고되어야 할 것으로 생각된다.

건설폐기물의 재활용 기술개발 측면에서 보면 재생콘크리트에 대한 고급재료로서 인식은 중요하지만 폐기물 발생, 운반, 재활용 처리 등 일련의 시스템이 정착되지 않은 상황에서 무리한 법집행과 용도개발의 미비는 절대적 한계에 도달할 수밖에 없는 현실이다.

본 연구에서는 건설폐기물의 유효이용과 경제성에 입각하여 고속도로 유지보수 과정에서 발생하는 폐콘크리트를 현장파쇄 및 현장재활용할 수 있는 방안을 고찰하여 환경오염을 경감시키고 분리발주에 의한 공사비 증액요인을 억제하기 위하여 시도되었다. 이를 위하여 현장파쇄기에 대한 검토와 용도에 따른 적정 파쇄기의 선정을 통하여 생산된 순환골재의 도로용 재료로서 시방규격 준수여부 및 실내시험을 통한 적용성을 검토하여 재활용 용도를 확대하고 경제적인 처분방법을 모색하고자 한다.

## 2. 건설폐기물 발생 및 재활용 현황

2003년 건설폐기물 발생량을 기준으로 집계 결과에 따르면 일일 발생량은 130,615톤이며, 이 가운데 폐콘크리트 71%, 폐아스팔트 콘크리트 14%로서 전체의

85%를 차지하고 있다. 건설폐기물의 처리방법은 매립, 소각, 재활용으로 구분하여 2003년의 경우 매립 9.4%, 소각 1.5%, 재활용 89%로 나타났으며 2000년 이후 3년간 실적을 분석해보면 발생하는 건설폐기물중 약 12%가 매립되고, 약 86%가 재활용되고 있음을 알 수 있다<sup>5)</sup>.

그러나 통계자료에 따른 재활용율은 매우 높게 나타나 있는 반면 사업주별 건설폐기물 처리현황을 보면 전체 건설폐기물중 약 96%가 수집운반법, 중간처리업과 같은 대행처리업소에서 처리되고 있는 것으로 나타났다. 대행처리업소는 건설폐기물을 재활용제품으로 생산하지만 최종적으로 적용하는 기관이 아닌점을 감안하면 실제 재활용에 사용된 순환골재량은 추정할 수 없다. 또한 한국건설기술연구원에서 2001년도에 건설현장 및 중간처리업체를 대상으로 조사한 결과에 따르면 실적과 건설현장의 상황이 큰 차이가 있는 것으로 나타났으며, 재활용 통계기준에 대한 명확한 설정이 필요한 것으로 생각된다.

고속도로 건설 및 유지보수와 관련하여 발생하는 건설폐기물은 주로 폐아스콘과 폐콘크리트로 구분할 수 있으며, 지난 5년간 폐콘크리트 발생량은 약 5.5배 이상의 증가를 보이고 있으며, 위탁처리량은 그중 28%정도였다. 현장재활용의 주 용도는 재활용 골재의 구체적인 용도 및 품질기준이 아직 마련되지 못하였기 때문에 주로 성토용 재료로 재활용되었다.

그러나 고속도로 건설 및 유지관리과정에서 발생하는 폐콘크리트는 일반 건설폐기물과 달리 아스팔트 혼합물을 제외하면 이물질 함유량이 낮기 때문에 양질의 순환골재로서 활용이 가능하지만 재활용 실적은 매우 낮아 이에 대한 기술 및 용도개발이 시급한 실정이다.

## 3. 실험개요

### 3.1. 현장파쇄 도로용 순환골재 물성평가

고속도로 건설 및 유지관리 과정에서 발생하는 현장파쇄 순환골재가 도로용 재료로서 적합한지 여부에 대하여 한국산업규격 및 고속도로공사 전문시방서에서 규정하고 있는 골재의 밀도, 흡수율, 단위용적질량, 마모율, 파쇄율을 평가하였다.

### 3.2. 도로용 재료로서 적용성 평가

#### 3.2.1 입도시험

고속도로공사 전문시방서에서는 보조기층 및 빈배합

콘크리트 기층용 골재의 표준 입도를 잔골재 및 굵은골재가 혼합된 통합입도로 규정하고 있다. 그러나 본 연구에서는 현장파쇄시 다량의 미분발생으로 입도관리가 곤란하므로 순환골재의 굵은골재부분을 제거함하여 입도시험을 실시하였다.

3.2.2 다짐시험

동상방지층 및 빈배합콘크리트 기층의 다짐시험은 고속도로공사 전문시방서에서 규정하고 있는 바와 같이 KS F 2312의 E다짐방법을 사용하였다. 본 시험방법은 4.5kg의 래머로 지름 15cm 몰드에 45cm 낙하고로 3층으로 나누어 각 층을 92회 다짐한 후 시료로부터 측정된 함수율과 습윤밀도 측정결과로부터 다음 식과 같이 건조밀도를 계산하였다.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1+w}$$

- 여기서,  $\gamma_d$ : 건조밀도(g/cm<sup>3</sup>)
- $\gamma_t$ : 습윤밀도(g/cm<sup>3</sup>)
- w: 함수율(%)

최적함수비(optimum moisture content, OMC)는 계산된 건조밀도와 함수비의 관계로부터 최대 건조밀도( $\gamma_{dmax}$ )에 해당하는 함수비이며, 이 값은 현장다짐에 있어서 재료의 습윤상태 및 다짐정도 관리에 이용된다.

3.2.3. 빈배합콘크리트기층 배합설계 및 압축강도

빈배합콘크리트 배합설계는 KS F 2312의 E 다짐방법에 따라 계산된 최대건조밀도 및 최적함수비로부터 골재의 표면건조포화상태에서의 시방배합을 결정하였다. 압축강도용 공시체의 제작은 KS F 2312의 E 다짐방법에 따라 2층 92회 다짐하고 3층은 유압잭으로 마감하며 재령 7일 압축강도를 측정하였다.

4. 결과 및 분석

4.1. 현장파쇄 도로용 순환골재 물성평가

현장파쇄 순환골재의 밀도, 흡수율, 단위용적중량 측정결과를 정리한 것이 Table 1이다. 천연골재의 밀도는 일반적으로 2.5~2.7 g/cm<sup>3</sup> 정도이지만 현장파쇄 순환골재의 밀도는 2.41~2.44 g/cm<sup>3</sup> 정도로 나타나 파쇄기의 종류에 따른 큰 차이는 없는 것을 알 수 있다. 그러나 입도가 비교적 양호하였던 임팩트 크러셔 및 조, 콘크러셔 조합형로부터 제조된 도로용 순환골재의 흡수율은 6.3 및 8.1%로 조크러셔 단독 파쇄한 순환골재 흡수율 5.6%보다 큰 값을 나타내었다. 이러한 결과는 순환골재에 부착된 모르타의 영향이 크게 작용하였기 때문으로 생각된다.

단위용적중량 실험결과, 천연골재의 단위용적중량은 1,957 kg/m<sup>3</sup>인 반면 현장파쇄 도로용 순환골재의 경우 골재에 부착된 모르타양이 많기 때문에 단위용적중량은 1,423~1,474 kg/m<sup>3</sup>으로 천연골재에 비하여 작게 나타났다.

골재의 강경한 정도를 마모율과 파쇄율을 척도로 표현하기도 하고 관련 시방서에서는 도로용재료의 마모율을 규정하므로써 골재 품질을 엄격하게 관리하고 있다. 천연골재의 마모율이 27% 이었으며, 순환골재의 마모율이 상대적으로 크게 나타났으나 고속도로 공사 전문시방서에서는 빈배합콘크리트용 골재의 경우 40% 미만, 보조기층에 대해서는 50% 이하로 규정하고 있으므로 현장파쇄 순환골재의 적용은 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

또한 골재의 입형 그대로 골재의 강도를 알아 보기 위하여 KS F 2541에 규정된 골재의 파쇄시험을 실시하였다. 일반 쇄석의 40 ton 파쇄율이 15~25% 정도의 범위이며, 순환골재는 조와 콘을 혼합하여 제조한 경우 29%로 가장 높게 나타났으며, 조 및 임팩트 크러셔를 단독으로 사용하여 제조한 순환골재의 파쇄율은 거의

Table 1. Properties of aggregate.

Classification	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Abration value (%)	Crushing value (%)
Jaw C/R	2.44	5.55	1,474	34~41	26.7
Jaw+con C/R	2.43	8.10	1,423	27.6	29.2
Impact C/R	2.41	6.33	1,448	30.0	25.4
Intermediate treatment	2.43	5.30	-	-	-
Coarse aggregate	2.69	1.00	1,975	27.0	15~20

유사하였다.

일반적으로 도로용 재료는 구성 층별로 요구물성을 규정하고 있다. 이것은 포장층별 용도에 따른 성능을 고려하여 다소 엄밀하게 결정된 것이 보통이다. 본 연구에서는 동상방지층, 보조기층 및 빈배합 콘크리트 기층용 골재 품질기준에 대해 간략히 검토하였다.

동상방지층용 굵은 골재의 품질기준으로는 소성지수, 모래당량 및 수정 CBR(california bearing ratio)값이 각각 10 이하, 25 이상, 10 이상으로 규정하고 있으나 전술한 바와 같이 현장파쇄 순환골재의 경우에도 소요품질 규격을 만족함을 알 수 있다. 보조기층 품질기준에서는 동상방지층의 품질기준을 강화한 상기항목(소성지수 6 이하, 수정 CBR 30 이상 및 모래당량 25 이상)에 액성한계와 마모율을 추가하였으나, 순환골재를 사용하는 경우 액성한계 값(25% 이하)은 의미가 없고, 마모율(50% 이하)만이 관리대상이 되며 대부분 만족하게 된다.

빈배합콘크리트 기층용 굵은골재 품질기준으로 밀도, 흡수율, 안정성 및 마모율을 각각 2.45 이상, 3.0%, 12.0 및 40% 이하로 규정하고 있어 순환골재를 사용할 경우 품질기준을 만족하지 못할 수도 있다. 그러나 도로용 재료의 품질기준으로서 콘크리트 포장층을 제외한 동상방지층, 보조기층, 빈배합 콘크리트 기층 등은 동결응해, 차륜의 마모작용을 직접 받지 않기 때문에 골재 품질관리기준으로서 마모율 기준을 적용하는 것은 문제가 있을 것으로 판단된다. 또한, 마모율과 골재의 강성 사이에 직접적인 상관관계가 명확하게 규명되지 않은 상태에서 일률적인 품질규정 적용은 재고할 필요가 있다. 실제로 순환골재의 품질에 대하여 규정하고 있는 한국산업규격에서는 순환골재의 모르타르 부착량이 많기 때문에 마모감량 대신에 비중과 흡수율에 대해서 규정하고 있다. 따라서 많은 품질시험을 통하여 마모율과 모르타르 부착량, 비중과 흡수율에 대한 시험결과를 토대로 도로용 재료로서 갖추어야 할 순환골재의 품질규정에 대한 논의가 있어야 할 것으로 판단된다.

**4.2. 동상방지층 적용성 평가**

폐콘크리트 현장파쇄는 현장 이동형 죠크러셔, 임팩트 크러셔, 죠크러셔와 콘크러셔를 조합한 고정형을 사용하여 제조된 순환골재, 중간처리업체에서 건축폐기물을 재활용한 순환골재 및 비교용으로 천연쇄석을 사용하였다. 동상방지층용 골재는 굵은골재와 잔골재가 혼합된 입도규격이 제정되었으나 본 연구에서는 순환골재 생산시 발생하는 미분의 영향을 최소화하기 위하여 체

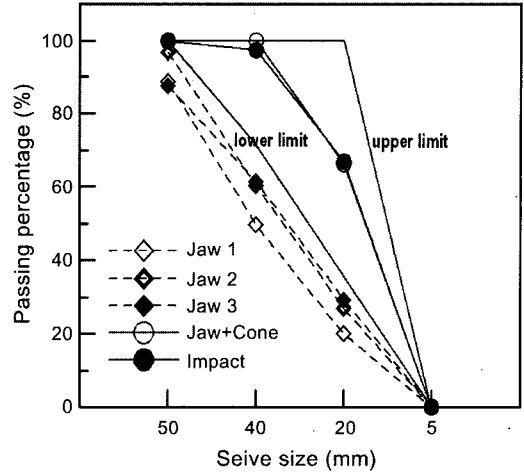


Fig. 1. Sieve analysis of recycled aggregate for anti-frost layer.

가름을 통하여 4.75 mm 이상의 굵은골재만을 제조하였다. 또한 도로현장에서는 동상방지층용 골재의 입도분포를 최대치수 75 mm 보조기층 입도(SB-1)에 준하여 사용하고 있으나 본 연구에서는 현장파쇄된 순환골재의 품질저하를 고려하여 최대치수 40 mm인 보조기층입도(SB-2)로 정하여 고찰하였다.

골재 종류별 순환골재의 입도분포를 나타낸 것이 Fig. 1이다. 죠크러셔의 경우 파쇄기의 특성상 단일입도가 생산될 가능성이 높기 때문에 본 연구에서는 죠크러셔에 의한 재파쇄 공정이 입도에 미치는 영향을 검토하였다.

이 그림에서 Jaw 1은 유격거리 50 mm로 1회 파쇄한 순환골재이며, 이를 다시 50 mm 유격거리로 2차 파쇄한 순환골재를 Jaw 2, 1차 유격거리 80 mm 생산후 2차 파쇄시 유격거리 50 mm로 생산한 골재를 Jaw 3로 구분하여 입도분포를 비교하였다. 그러나 재파쇄에 의한 부가공정이 수행되었음에도 불구하고 순환골재의 입도는 약간 개선되었으나 시방규정과 현저한 차이를 나타내었으므로 소요입도를 준수하기 위해서는 파쇄기의 변경 또는 다른 파쇄기에 의한 2차 파쇄가 수행되어야 함을 알 수 있었다.

따라서 죠크러셔를 이용한 현장파쇄 순환골재는 입도의 영향을 크게 받지 않는 노반, 성토층 등 저급재료로만 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 이동형 임팩트 크러셔 또는 죠크러셔와 콘크리트셔를 조합한 고정형 파쇄기로부터 생산된 순환골재의 경우 소요 입도규격을 만족함을 알 수 있다.

Fig. 2는 골재 종류별 다짐곡선을 나타낸 것으로 골

재의 입도에 따른 영향요인을 최소화하기 위하여 고속도로공사 전문시방서에서 규정하고 있는 SB-2 입도의 중간점에 해당하는 값으로 하였으며, 잔골재는 일반 강사를 사용하였다. 이 그림에서 천연골재에 비하여 순환골재의 함수비 및 건조밀도관계가 완만한 특성을 나타내었다.

Table 2는 골재 종류별 다짐시험결과를 정리한 것으로

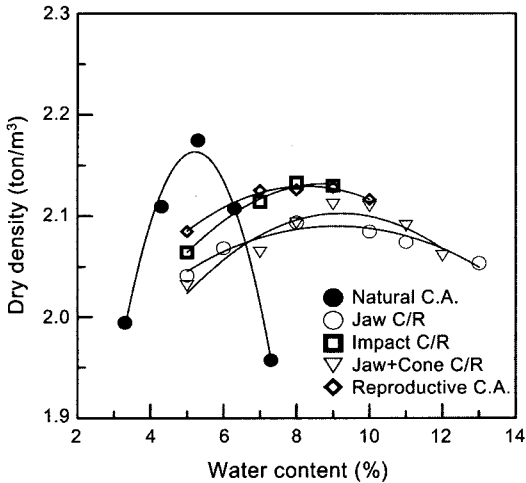


Fig. 2. Compaction curve of anti-frost layer.

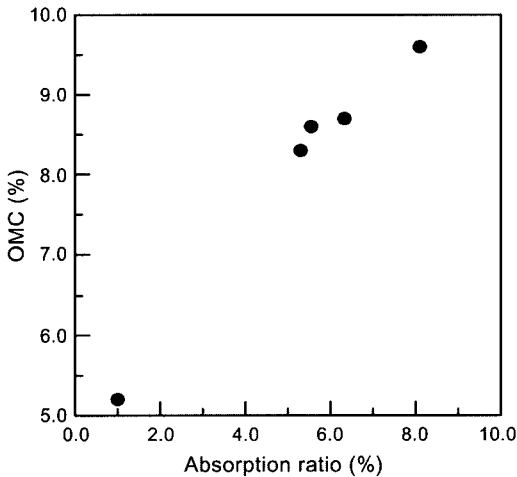


Fig. 3. Correlation between OMC and  $\gamma_{dmax}$ .

로 최대 건조밀도는 골재종류별 차이가 크지 않은 반면 순환골재의 최적함수비는 천연골재의 1.6~1.8배 정도 큰 값을 나타내고 있다. 이러한 결과는 순환골재에 부착된 모르타르에 의하여 함수비가 증가되었기 때문으로 생각된다.

이진용<sup>6)</sup>, 황충렬<sup>7)</sup>, 구봉근<sup>8)</sup> 등의 연구에서는 순환골재 사용에 따라 최대건조밀도는 천연골재의 약 85%, 최적함수비는 약 2배 정도 증가하는 결과를 나타내어 본 연구와 큰 차이를 나타내고 있다. 이러한 결과는 기존 연구가 흡수율이 높은 재생잔골재를 포함하였기 때문으로 생각된다.

또한 Fig. 3은 동상방지층용 재료로 사용된 골재의 흡수율과 최적함수비의 관계를 나타낸 것이다. 이 그림에서 골재의 흡수율이 증가함에 따라 다짐에 필요한 함수율이 크게 증가함을 알 수 있으며, 순환골재를 사용하는 경우 현장다짐관리에 있어서 함수비 변동에 의한 건조밀도 변화가 작으므로 천연골재에 비하여 관리가 쉬운 장점이 있음을 알 수 있다.

### 4.3. 빈배합 콘크리트 기층 적용성 평가

Fig. 4는 현장파쇄 순환골재 종류별 빈배합 콘크리트

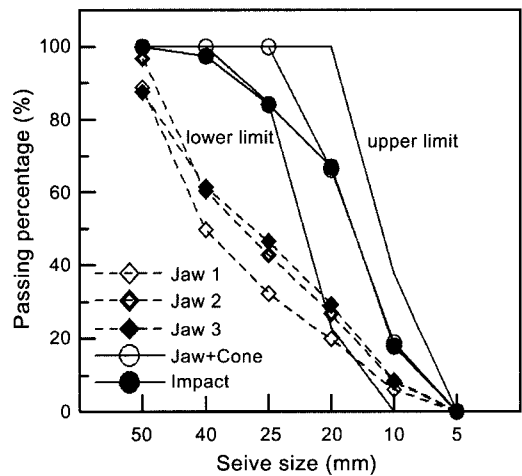


Fig. 4. Sieve analysis of recycled aggregate for lean concrete base course.

Table 2. Compaction test results of recycled aggregate for anti-frost layer.

Classification	Jaw C/R	Jaw+Cone C/R	Impact C/R	Intermediate treatment	Coarse aggregate
$\gamma_{dmax}(g/cm^3)$	2.092	2.115	2.130	2.130	2.163
OMC(%)	8.6	9.6	8.7	8.3	5.2

기층용 입도분포를 고속도로공사 전문시방서의 기준입도분포와 비교하여 나타낸 것이다. 빈배합 콘크리트용 골재의 경우에도 굵은골재와 잔골재가 혼합된 입도분포를 규정하고 있으나 본 연구에서는 굵은골재를 대상으로 입도분포를 고찰하였다. 빈배합콘크리트 기층용 골재의 경우에도 조크러셔로 생산한 순환골재는 소요 입도분포를 만족하지 않음을 알 수 있다.

빈배합콘크리트는 콘크리트 포장체와 직접 접하면서 평탄성에 큰 영향을 미치며, 시공중에는 콘크리트 포설장비를 지지할 수 있는 소요강도를 필요로 한다. 국외의 경우 공사기간의 여유가 있는 경우 물-시멘트비 100%로서 일반콘크리트와 동일하게 제조하여 시공하지만 국내에서는 공기단축을 위하여 건식 빈배합콘크리트를 사용하고 있다.

건식공법은 배치플랜트에서 제조된 빈배합 콘크리트를 2시간 이내에 진동, 탠덤, 타이어 로울러를 사용하여 전압하므로써 공기단축을 시도하는 방법이다. 건식 빈배합콘크리트의 배합설계방법은 다짐시험으로부터 계산

된 최대습윤밀도 및 최적함수비시험결과를 이용하여 건조상태 재료 중량을 구하고 골재의 흡수율 시험결과로부터 표면건조 포화상태의 재료중량을 계산한다. 따라서 골재의 최적함수비 및 흡수율에 따라서 콘크리트의 물시멘트비가 변화된다.

고속도로공사 전문시방서에서는 빈배합콘크리트 기층의 설계기준강도 재령 7일 5MPa 이상으로 규정되어 있다. 또한 현장여건을 고려하여 습윤상태로 6일 및 수중양생 1일후 강도측정하며, 최소단위시멘트량은 150 kg/m<sup>3</sup> 이상으로 정하고 있다.

Fig. 5는 단위시멘트량 158 kg/m<sup>3</sup> 빈배합 콘크리트에 대하여 골재종류별 다짐시험결과를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 골재입도에 따른 영향을 배제하기 위하여 고속도로 전문시방서에서 정하고 있는 소요입도범위의 중앙점을 선정하였으며, 골재 종류에 관계없이 유사한 다짐곡선을 나타내고 있다.

Table 3은 다짐시험결과로부터 계산된 골재종류별 최적함수비, 최대습윤밀도 및 최대건조밀도를 정리한 것이다. 골재종류에 관계없이 최적함수비 및 최대건조밀도 측정값이 거의 유사하게 나타났다. 전술한 바와 같이 동상방지층의 경우 골재의 흡수율과 최적함수비 사이에는 직선적인 상관성을 나타내었으나 빈배합콘크리트의 경우 상관성이 거의 없음을 알 수 있다. 이러한 결과는 빈배합콘크리트의 경우 단위시멘트량이 150 kg/m<sup>3</sup> 이상을 사용하므로 미분량 증가에 의해 골재의 흡수율 영향이 감소한 것으로 생각된다.

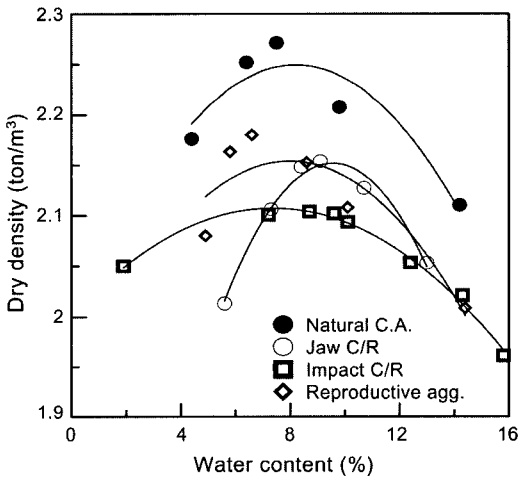


Fig. 5. Compaction curve of lean concrete base course.

Table 3. Compaction test results of lean concrete base course.

Classification	OMC	$\gamma_{max}(g/cm^3)$	$\gamma_{dmax}(g/cm^3)$
Jaw crusher	9.5	2.35	2.15
Impact crusher	8.0	2.29	2.10
Intermediate treatment	7.0	2.32	2.19
Coarse aggregate	8.0	2.42	2.25

Table 4. Mix proportions of lean concrete base course and compressive strength.

Classification	W/C (%)	C (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )	Aggregate content(kg/m <sup>3</sup> )					Compressive strength (MPa)
				25 mm	19 mm	10 mm	No. 4	Fine aggregate	
Jaw C/R	79	158	125	95	376	320	393	882	12.9
Impact C/R	67	158	105	94	372	317	389	873	12.0
Intermediate treatment	46	158	73	98	390	332	407	914	-
Coarse aggregate	100	158	159	96	379	323	396	889	14.5

Table 4는 다짐시험결과로부터 골재종류별 빈배합콘크리트 배합설계결과 및 재령 7일 압축강도 측정결과를 정리한 것이다. 빈배합콘크리트의 재령 7일 압축강도 측정결과는 천연쇄석을 사용한 경우 14.5 MPa로서 순환골재를 사용한 빈 배합 콘크리트보다 약 10% 정도 높은 값을 나타내었다. 그러나 현장파쇄 순환골재를 사용한 경우에도 재령 7일 압축강도가 모두 10 MPa를 상회하므로 현장적용에는 큰 문제가 없음을 알 수 있었다.

5. 결 론

고속도로 건설 및 유지관리 현장에서 발생하는 폐콘크리트의 파쇄시스템 선정, 순환골재 생산, 도로용 재료로 재활용에 주안점을 두었던 본 연구에서는 동상방지층 및 빈배합콘크리트 기층에 순환골재를 사용하기 위한 기초 물성실험 및 품질기준 준수여부를 고찰하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 페콘크리트 현장파쇄시스템별 순환골재의 물성을 비교한 결과 비중 2.41~2.44, 흡수율 5.3~8.1로서 천연쇄석에 비하여 비중은 낮아지고, 흡수율은 증가하였으며, 이는 순환골재에 부착된 모르타의 영향 때문이다. 그러나 마모율은 28~41% 범위로서 동상방지층 및 빈배합콘크리트 기층용 품질기준에 적합한 것을 알 수 있다.

(2) 현장파쇄 순환골재의 입도시험결과 조크러서의 경우 부가적인 재파쇄 공정에 의해서도 소요입도를 만족할 수 없으므로 2차 파쇄 또는 성토재료 등 저급재료로 활용하는 것이 바람직하였으며, 임팩트크러셔 또는 조 및 콘크러셔 조합형의 경우 소요입도에 적합한 순환골재를 생산할 수 있었다.

(3) 현장파쇄 순환골재의 동상방지층 적용을 위한 다짐시험결과 순환골재의 높은 함수비로 함수비와 건조밀도 사이의 관계가 완만한 특성을 나타내었으며, 흡수율과 최적함수비 사이의 직선적인 상관성을 확인할 수 있었다. 따라서 현장다짐관리에 있어서 함수비 변동에 의

한 건조밀도 변화가 작으므로 천연골재에 비하여 관리가 쉬운 장점이 있음을 알 수 있다.

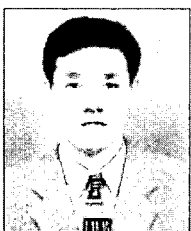
(4) 현장파쇄 순환골재의 빈배합콘크리트 적용성을 평가한 결과 150 kg/m<sup>3</sup> 이상의 시멘트 사용으로 미분량이 증가하므로 최적함수비 및 단위시멘트량에 미치는 골재의 흡수율 영향이 감소하였다. 또한 재령 7일 압축강도는 천연쇄석을 사용한 경우보다 약 10% 감소하였으나 순환골재의 종류에 관계없이 10 MPa를 상회하므로 현장적용에는 큰 문제가 없음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김진철, 심재원, 조규성, 2004 : 페콘크리트 및 페아스콘의 용도별 재활용 방안과 현장 적용성, 도로교통기술원 연구보고서.
2. 김무한 등, 1986 : 잔 · 굵은골재로서 페콘크리트를 사용한 콘크리트에 관한 실험적 연구(제1보-제4보), 대한건축학회 학술발표회 논문집, 6(1).
3. 김무한 등, 1993 : 순환골재 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 순환골재 혼합조건의 영향에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 5(1), pp.16-25.
4. 전성철, 2003 : 건설폐기물 재활용 정책방향에 대한 제언, 토지와 기술, 한국토지공사, pp.7-19.
5. 국립환경연구원 : 전국폐기물 발생 및 처리현황 통계자료집 1999-2002.
6. 이진용, 이인대, 1996 : 재활용골재의 성토재료로서의 적합성연구, 대한토목학회지, 16(III-2), pp.131-138.
7. 황충렬 등, 1996 : 페콘크리트 재활용 기술개발방안에 관한 연구, 한국자원재생공사 연구보고서.
8. 구봉근 등, 2000 : 건설폐기물의 재활용 및 처리기술개발, 건설교통부 연구보고서.

沈 載 元

- 1991년 한양대학교 토목공학과 졸업
- 1993년 한양대학교 대학원 졸업
- 현 재 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원



金 眞 徹

- 1990년 한양대학교 토목공학과 졸업
- 2001년 한양대학교 토목공학 박사
- 1996년 동양중앙연구소 주임연구원
- 현 재 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원



曹 圭 星

- 1988년 동아대학교 토목공학과 졸업
- 2004년 한양대학교 대학원 졸업
- 현 재 한국도로공사 E-러닝 기술벤처 팀장