

재생골재의 표면처리에 의한 성능 향상

Improvement of Performance via Surface Treatment of Recycled Aggregate



류재석 Jae-Suk, Ryou
한양대학교 건설환경공학과
부교수
E : jsryou@hanyang.ac.kr



이용수 Yong-Soo, Lee
한양대학교 건설환경공학과
박사과정
E : imcivil@hanyang.ac.kr

1. 머리말

최근 건설 산업의 발달 및 산업화 과정에서 건설되었던 구조물들이 노후화 또는 성능 저하 등을 이유로 해체 또는 재건설되고 있고, 그 과정에서 다량의 건설폐기물이 배출되고 있다. 이러한 건설폐기물중 일부는 불법투기, 매립 등에 의해 처리되며 심각한 환경오염을 유발시키는 등 사회적 문제로 대두되는 실정이다. 한편 생태계에 미치는 영향 및 환경 보존의 관점 등으로 인하여 천연골재의 사용제한으로 인하여 천연 골재의 대체재로 부순 골재의 사용이 일반화 되어 있지만 이 또한 수급이 원활하지 않으며, 따라서 사회기반시설의 신설요구에 따라 천연골재와 부순골재의 대체재로 재생골재를 이용하는 것은 환경오염을 저감시킴과 동시에 건설폐기물의 재활용이라는 측면에서 매우 유익하다고 할 수 있다.

Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 환경부 통계연감에 따르면 2011년도를 기준으로 건설 폐기물 총 발생량은 186,417톤/일로, 2007년도 172,005톤/일 대비 약 8.4%가 증가함을 알 수 있고, 그중에서 폐 콘크리트의 경우는 121,180톤/일, 폐 아스팔트 콘크리트의 경우는 35,245톤/일을 나타내고 있다. 이와 같이 건설폐기물은 매일 꾸준히 나오고 있으며, 수집·운반·보관 및 처리 등 재활용 촉진을 위한 업무가 일관성 및 신뢰

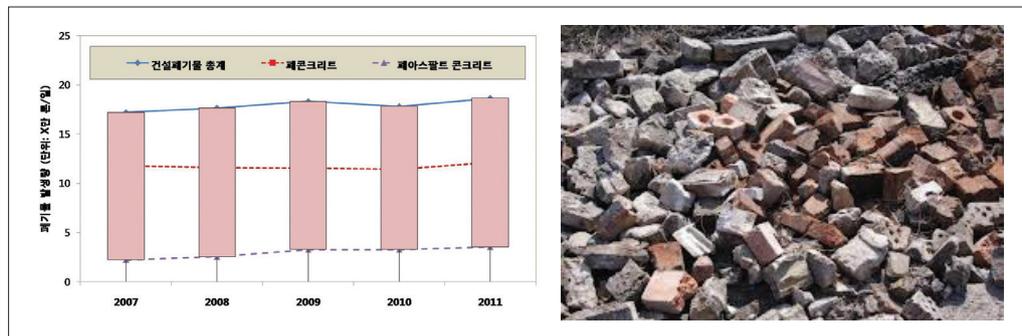


Fig. 1 The status of construction waste in Korea

[Table 1] The types and characteristics of crusher

Purpose	Mechanism	Size of waste concrete	Grading of RA	Shape of RA	기준
Large	jaw crusher	compress	300~400mm	control	irregular
	gyratory crusher	compress	300~400mm		irregular
Middle	cone crusher	impact, compress	50~100mm	control	irregular
	impact crusher	impact	100~300mm	much powder	angular
	hammer mill crusher	impact	200~300mm	much powder	angular
	roll crusher	impact, compress	100~300mm	much powder	flat
Small	rod mill	impact, compress	50~100mm	much powder	rounded
	ball mill	friction	50~100mm	much powder	rounded

RA : Recycled aggregate

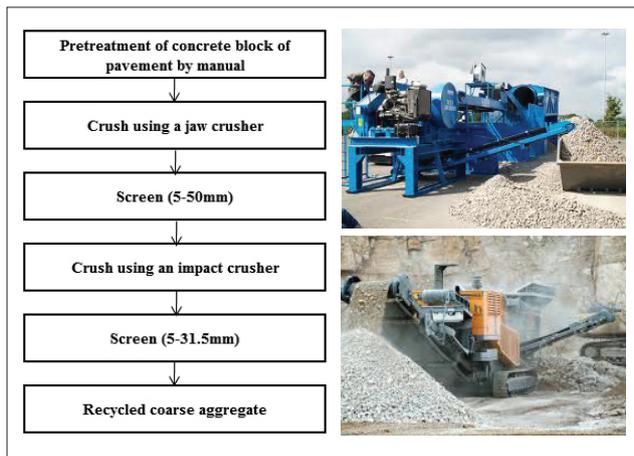


Fig. 2 The production of recycled aggregate

성 있게 처리된다면 재활용 측면에서 구조용 재료로 충분히 사용 가능할 것이다. 이를 위해 국내에서는 지난 '03년 12월 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」을 제정하였고, '06년 03월 「건설폐기물 처리기준 및 방법에 관한 업무처리 지침」을 개정하는 한편, 「순환골재 품질 기준 및 품질인증제도」와 「순환골재 의무 사용량 고시」, 「건설폐기물 재활용 기본계획('07~'11)」 등을 마련하여 시행하는 등 재생골재의 사용 활성화와 정책을 강도 높게 추진하고 있다. 그러나 우리나라에서는 여전히 재생골재의 품질에 대한 막연한 불신으로 공사현장에서의 실질 사용률은 15%에도 못 미치고 있는 실정이다.

2. 재생 골재의 특성

현재 재생골재는 일반 골재와 비교하여 물리적 특성이 떨어지고 따라서 이를 이용한 재생골재 콘크리트 역시 압축강도를 비롯한 제반 공학적 특성이 저하되므로 사회적, 기술적 신뢰도가 낮은 문제점을 가지고 있다. 일반적으로 고품질의 재생골재를 생산하기 위해서는 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 3차 이상의 고차 파쇄와 수차례에 걸친 분리·선별과정을 거쳐야 하며, 이를 통해 일부 재생골재 생산업체에서는 현행 KS F2573(콘크리트용 재생골재)에서 규정하는 흡수율 3%이하의 1종 재생 굵은 골재 및 흡수율 5% 이하의 1종 재생 잔골재를 생산하기도 한다. 재생골재는 Table 1 에서와 같이 파쇄기의 형식과 방법에 따라 골재의 입도, 입형 등의 변화가 크고 이에 따른 골재의 비중 및 실적률 등의 품질차이가 발생하여 결과적으로 재생골재 콘크리트의 물리적 특성변화가 발생한다. 이러한 재생골재의 특징 중 가장 문제가 되는 것은 표면에 부착된 시멘트 모르타르에 의한 높은 흡수율을 가지고 있다는 것이다. 재생골재의 흡수율은 비중과 함께 천연골재와 다른 특성을 지닌다. 재생골재의 흡수율은 입도 및 비중보다 비교적 원콘크리트 품질영향이 적으며 4~8mm 입도의 재생골재는 흡수율이 8.7%, 16~32mm 입도의 재생골재는 흡수율이 3.7%, 5~25mm 사이의 재생 굵은골재의 흡

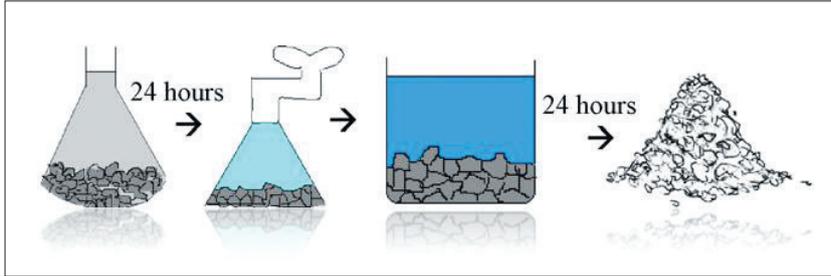


Fig. 3 Pre-soaking treatment procedures for recycled aggregate

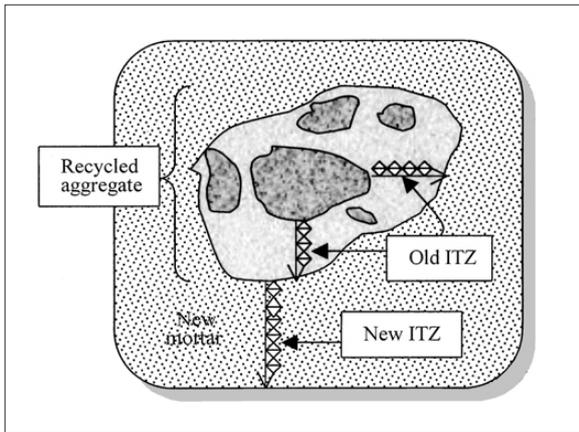


Fig. 4 The interfacial transition zone (ITZ) in the recycled aggregate concrete

수율은 7% 내외이고, 5mm 이하의 재생 잔골재는 11% 내외라는 연구결과도 보고되고 있다. 따라서 재생골재의 입경이 작을수록 흡수율이 높아지며 천연골재의 흡수율 1.0~3.0와 비교하면 재생골재의 흡수율이 상당히 높은 수준임을 알 수 있다. 따라서, 이러한 재생골재의 표면에 부착된 시멘트 모르타르를 제거하거나 흡수율을 낮추어 재생골재의 성능을 향상 시키는 연구가 최근까지 꾸준히 진행되고 있다.

3. 재생골재의 성능향상에 관한 연구

현재 재생골재 자체의 성능향상에 관한 연구는 physical mechanical improvement method (PMIM)과 chemical admixture reinforcement method (CARM)

으로 구분하여 설명 할 수 있을 것이다. 이 중 PMIM은 재생골재의 표면을 개선하기 위하여 그라인딩 기술을 이용하여 처리하는 방법과 재생골재의 표면에 부착된 시멘트 모르타르를 제거하는 방법으로 구분할 수 있으며, 대표적인 연구가 Tam (2007)

과 Cheng (2004)이 Fig. 3과 같

이 HCl, H₂SO₄, H₃PO₄과 같은 산속에 침지시켜 재생골재 표면에 부착된 시멘트 모르타르를 제거하는 것이다. 하지만 이러한 방법은 산이라는 새로운 물질로 인한 콘크리트의 내구성 저하를 유도할 수 있으므로 주의에서 다뤄야 하는 문제점이 있다. CARM은 재생골재 표면 구조를 변화시키기 위하여 다른 특성을 가지고 있는 재료를 이용하여 침지, 코팅, 세척 과정을 수행하는 것이며, 특히, 믹싱 방법을 달리하여 수행하는 방법이나 플라이 애쉬, 슬래그 파우더, 실리카 폼과 같은 광물질 혼화재를 이용하여 표면을 강화하는 방법 등이 최근까지 여러 연구자들에 의해 진행되고 있다. 따라서, 본고에서는 이러한 내용을 주로 다루고자 한다.

3.1 Double mixing method에 의한 재생골재의 성능향상

대부분의 재생 골재를 혼입한 콘크리트는 일반 골재를 혼입한 콘크리트와 다르게 Interfacial transition zone (ITZ)가 Fig. 4에서 보는바와 같이 기존골재와 부착모르타르 사이에 Old ITZ가 존재하고, 기존 부착 모르타르와 새로운 모르타르 사이에 New ITZ가 존재한다. 따라서, 콘크리트의 강도는 Old ITZ와 New ITZ의 성질에 의존하게 되며, 물/시멘트비가 낮을 때 강도특성은 Old ITZ에 영향을 받고, 그와 반대로 높을 때는 New ITZ의 영향을 받게 된다. Ryu (2002)와 Li (2009)는 물/시멘트비가 높은 재생골재 콘크리트의 New ITZ의 성능을 향상시키기 위하여, 콘크리트 믹싱 과정동안 사용수를 2단계

로 나누어 투입하는 Double mixing method를 제시하였다. Double mixing method에서 재생골재는 Fig. 5에서 같이 처음 사용수가 투입 되었을 때 얇은 시멘트 모르타르에 코팅이 이루어지고 그 다음 나머지 사용수를 투입함으로써 콘크리트가 생선이 이루어진다. Double mixing method를 이용하여 생산된 콘크리트는 일반적인 mixing 방법에 의해 생산된 콘크리트보다 강도 및 투수저항성이 향상 된 것을 확인 시켜주었다. 이와 더불어 Fly ash나 Silica fume 같은 Pozzolanic 재료를 Double mixing method를 이용하여 코팅시키는 연구들도 꾸준히 진행되어 왔다. Double mixing method에 의해 골재 주변의 물/시멘트비가 감소하면서 밀실 해 지고, New ITZ의 품질이 향상됨으로서 높은 강도와 투수저항성을 가지는 것으로 보고되고 있다. Fig. 6의 SEM 이미지를 보면 재생골재 주변에 C-S-H gel 균등하게 분포하여 밀실하게 이루어진 것을 확인 할 수 있다.

3.2 재생골재의 Pre-coating method에 의한 성능향상

위에서 언급했듯이, 재생골재는 일반골재에 비해 비중이 작고, 흡수율이 높을 뿐만 아니라 단위용적질량이 작은 단점으로 인해 그 활용도가 낮다. 따라서 다수의 연구자들에 의해 재생골재 자체의 성능을 향상시키기 위하여 골재의 표면을 다양한 재료를 이용하여 Pre-coating 하는 기술이 연구되고 있다. 특히, Lee (2012)와 Zhao (2013)는 물/시멘트비를 조절하여 시멘트 및 Fly ash/ Silica fume 과 같은 Pozzolanic 재료를 이

용하여 재생골재를 Pre-coating 하였다. 기존 연구의 Pre-coating method는 고르게 섞은 슬러리에 재생골재를 5-10분정도 침지시키고, 그 이후 자연적으로 건조시키는 방법으로 Fig. 7은 Pre-coating 전·후의 모습을 보여주고 있다. 연구자들에 의하면, Pre-coating 두께가 너무 두꺼우면 골재의 흡수율이 높아질 수 있고, 너무 얇으면 기존 재생골재에 부착된 시멘트 모르타르에 저항할 수 없어서, 오히려 물리적 성능에 해로울 수 있다고 보고되고 있다. 이러한 Pre-coating 두께를 조절하기 위하여 실제로 두께를 측정하기 어렵기 때문에 재료체적이론(material volume theory)을 이용하여 Pre-coating 두께를 계산하고 있다. Fig. 8은 이러한 이론에 근거한 이상적인 상태를 보여주고 있다. Pre-coating method에 제작된 재생골재는 표면에 부착되어 있는 시멘트 모르타르의 공극구조를 개선시킴으로서 물리적 성능을 향상시

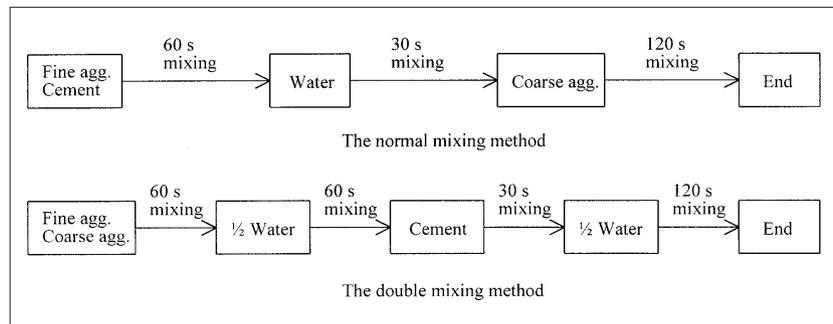


Fig. 5 The normal mixing method and the double mixing method

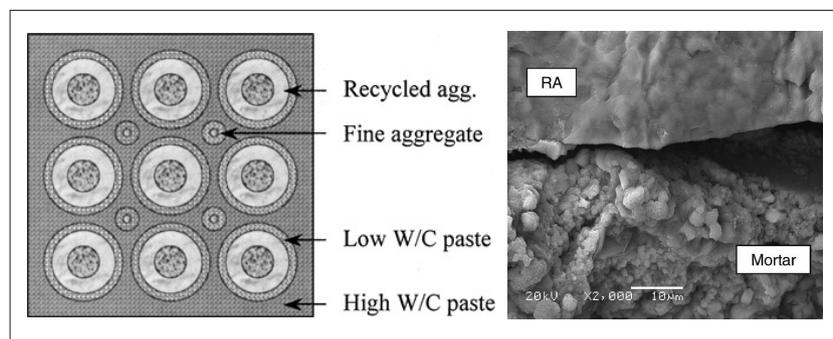


Fig. 6 Schematic and sem image of ITZ of recycled aggregate concrete using double mixing method



Fig. 7 The feature of recycled aggregate and pre-coated recycled aggregate

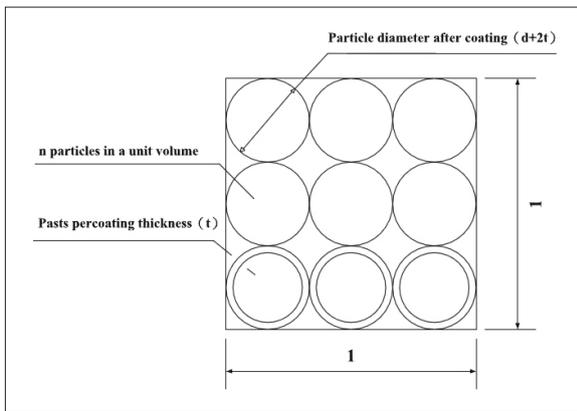


Fig. 8 The idea spherical pre-coated aggregate

키기 때문에 앞서 언급 했듯이 그 두께는 매우 중요하다. 이에 Zhao (2013)는 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$t = \frac{m}{S_0} \times \rho_p$$

여기서, t : 페이스트 코팅 두께, m : 페이스트의 질량, S_0 : 5-20mm 골재의 비표적 값, ρ_p : 페이스트의 밀도를 나타낸다.

4. 맺음말

최근 천연골재의 사용제한 및 부순 골재의 수급이 원활하지 않은 상황에서 재생골재의 사용은 환경적인 면에서 보더라도 그 활용도가 높아져야 할 것이다. 다만, 재생골재 자체가 가지고 있는 고유의 문제점은 해결해야 할 과제인데, 위에서 언급한 기술들을 재생골재 생산과정이나 콘크리트 생산과정에 적용한다면 이러한 문제점을 해결할 수 있을 것이다. 이는 곧 재생골재를 혼입한 콘크리트의 강도나 내구성 향상에도 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) 김남욱, 이수남, 강상현, 배주성, "표면처리 재생골재를 사용한 콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제25권 2호, 2005, pp. 387-393.
- 2) 류재석, 송일현, 이용수, 권영환, 김은상, "수용성 분산제로 코팅 처리 된 재생 굵은골재를 사용한 콘크리트 특성 분석", 한국콘크리트학회 2013 봄 학술대회 논문집, 제25권 1호, 2013, pp. 49-50.
- 3) 환경부, "전국 폐기물 발생 및 처리현황", 폐기물통계, 환경부, 2013.
- 4) Ryu, J. S., "Improvement on strength and impermeability of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate", Journal of Materials Science Letter, Vol.21(20), 2002, pp. 1565-1567.
- 5) Zhao, Z., Wang, S., Lu, L., Gong, C., "Evaluation of pre-coated recycled aggregate for concrete and mortar", Construction and Building Materials, Vol. 43, 2013, pp. 191-196.
- 6) Lee, C. H., Du, J. C., Shen, D. H., "Evaluation of pre-coated recycled concrete aggregate for hot mix asphalt", Construction and Building Materials, Vol. 28, 2012, pp. 66-71.
- 7) Li, J., Xiao, H., Zhou, Y., "Influence of coating recycled aggregate surface with pozzolanic powder on properties of recycled aggregate concrete", Construction and Building Materials, Vol. 23, 2009, pp. 1287-1291.
- 8) Tam, Vivian W. Y., Tam, C. M., Le, K. N., "Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches", Resources, Conservation and Recycling, Vol. 50(1), 2007, pp. 82-101.
- 9) Cheng, H. L., Wang, C. Y., "Improvement of recycled aggregate quality by pre-soaking with water glass", Gypsum Cemnt and Build, Vol. 12, 2004, pp. 12-14.