

재활용 석회석 분말을 콘크리트 2차제품 혼합재로 이용하기 위한 기초적 연구

A Basic Study to Use Recycled Limestone Powder as a Mixture for Secondary Concrete Products

정재호^{1*}Jae-Ho Jung^{1*}

(Received September 12, 2021 / Revised October 12, 2021 / Accepted October 19, 2021)

In this study, as a basic study to use recycled limestone powder as a secondary product mixture for concrete, it was found that the compressive and flexural strengths were equal to or slightly improved compared to Plain up to 10% and 20% of the RLP mixing ratio, but the strength was rather decreased at 30% mixing. As a result of the heat of hydration experiment, as the RLP mixing rate increased, the heat of hydration decreased, and the elapsed time of the maximum heat was also delayed. As a result of the drying shrinkage test, as the fine powder RLP filled the internal pores of the cement mortar, the drying shrinkage decreased as the mixing rate increased. The compressive strength, water absorption rate, and compressive strength after freezing and thawing of the concrete block mixed with RLP 20% all satisfied the group standard criteria of the Korea Concrete Industry Cooperative Federation, confirming the possibility of use as a mixed material.

키워드 : 석회석, 콘크리트블록, 재활용, 혼합재료

Keywords : Limestone, Concrete block, Recycled, Admixture

1. 서론

최근 집중호우, 이상기온에 대한 지구환경변화 현상이 빈번히 발생됨에 따라 전세계적으로 대응 정책이 수립되고 있다. 각국에서는 기후안정화 노력의 일환으로 이산화탄소 배출을 억제하고 있다. 전세계적으로 2010년 사상 최고치인 306억톤의 이산화탄소가 배출되고 있고, 국내는 2018년 7억 2800만 톤을 배출하고 있다. 이에 국내에서는 2050탄소중립비전을 수립하고 전 산업분야별로 감축 의무량을 제시했다. 특히 석탄발전을 단계적으로 폐쇄하고, 석유, 화학, 철강, 시멘트 등 주요 탄소배출 제조업에 감축량을 부과하였고, 의무 감축량 미달성시 탄소배출권을 구매하도록 하고 있다. 따라서 시멘트 산업에서는 시멘트 제조시 발생하는 이산화탄소 배출을 최소화하는 방안을 연구하고 있으며, 이에 대한 대책의 일환으로 시멘트 일부를 다양한 산업에서 발생하는 부산물로 대체하여 이산화탄소 배출을 저감시키는 효과를 얻고자 하고 있다.

이러한 부산물중 가장 대표적인 재료는 석탄화력발전에서 발생되는 플라이애시와 제철소에서 발생하는 슬래그이다. 이 재료들은 각각 포졸란 반응과 잠재수경성 반응이 확인되었고, 이 두 재료를 혼합하여 사용하는 비시멘트 또는 지오폴리머에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다(Ryu et al, 2013; Kim et al, 2014). 하지만 플라이애시와 슬래그는 장기강도 증진 효과가 있지만 초기강도 저하의 문제점이 있다. 또한 가격이 점차적으로 상승됨에 따라 경제성 측면에서도 긍정적인 요소가 감소되는 추세이다. 특히 플라이애시는 석탄화력발전 비율이 감소됨에 따라 발생량도 감소(Yoo 2013) 되고 있으며, 대체재를 찾는 것이 시급하다.

기존의 시멘트 대체재료의 문제점이 발생되고 있는 시점에서 새로운 대체재의 발굴은 이산화탄소 배출 저감 및 자원재활용이라는 측면에서 필수적으로 요구되어진다. 이의 일환으로 본 연구에서는 석회석을 가공하여 타일, 도자기, 세라믹 소재를 제조하는 업체에서 발생하는 분말도 5,200cm²/g의 석회석 분말을 시멘트 대체재로 사용하고자 하였다. 현재 이 석회석 분말은 매립 또는

* Corresponding author E-mail: ground2005@hanmail.net

¹서원대학교 교양학부 교수 (College of Liberal Arts, Seowon University, Seowon-Gu, Cheonju, 28474, Korea)

일부가 아스팔트포장용 채움재로 사용되어지고 있다. 하지만 아스팔트 구성물 중 채움재는 전체 질량의 2~4% 정도의 소량만 혼입되고 있어 그 사용량이 미비한 실정이다.

따라서 대량으로 활용할 수 있는 방안으로 콘크리트 혼합재 활용 가능성을 검토하고자 하였으며, 또한 레미콘 보다 품질관리가 용이한 콘크리트 2차제품에 적용하여 혼합재로 사용 가능성을 평가하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

재활용 석회석 분말(Recycled Limestone Powder, 이하 RLP라 함)을 콘크리트 2차제품의 혼합재로 사용하기 위하여 모르타르로서 적정 혼합비를 결정하였다. 이후 선정된 혼합비를 이용하여 콘크리트 2차 제품인 콘크리트호안 및 옹벽블록 중 호안블록에 직접 적용하여 진행하였다. 먼저 모르타르의 실험계획은 Table 1과 같고, 콘크리트 2차 제품의 실험계획은 Table 2와 같다.

모르타르 실험은 RLP를 보통포틀랜드시멘트의 0~30% 범위로 혼합을 하여 제작한 후 압축 및 휨강도와 건조수축을 측정하였고, 수화특성을 평가하기 위하여 수화열을 측정하였다.

콘크리트 2차제품의 실험은 RLP 20%를 적정혼합비로 선정하

Table 1. Mortar experimental plan

Factor		Level	
Mixture	W/B(%)	1	50
	B : S	1	1:3
	RLP/B(%)	4	0, 10, 20, 30
Experiment		4	<ul style="list-style-type: none"> Compressive strength Flexural strength Dry shrinkage Heat of hydration

KS L ISO 679

Table 2. Concrete block experimental plan

Factor		Level	
Mixture	W/B(%)	1	35
	RLP/B(%)	2	0, 20
Experiment		3	<ul style="list-style-type: none"> Compressive strength Compressive strength after freezing and thawing Absorption ratio

SPC-KCIC0001-0703

고 호안블록을 제작하였다. 실험사항으로는 압축강도, 동결융해 100 cycles 후 압축강도, 흡수율을 측정하였으며 배합사항은 Table 3과 같다.

2.2 사용재료

본 연구에서 사용된 재료로서 먼저 시멘트는 국내산 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, RLP는 전북 군산지역의 석회석 가공 공장에서 발생하는 부산물을 사용하였으며, 물리적 화학적 특성은 Table 4와 같다.

Table 3. Concrete block mixing table

Type	W/B (%)	W (kg/m ³)	Binder(kg/m ³)		S (kg/m ³)
			C	RLP	
Plain	35	130	370	-	1,900
RLP 20	35	130	296	74	1,900

Table 4. Properties of RLP

Chemical Composition(%)				Density (g/cm ³)	Blain (cm ² /g)
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO		
73.8	12.2	5.1	2.2	2.86	5,200

2.3 실험방법

모르타르의 배합은 KS L ISO 679에 의거하여 W/B 50%, 분체와 표준사의 질량비는 1:3으로 하였다. 압축 및 휨강도 측정용 공시체는 40×40×160mm로 사용하여 재령 3, 7, 28, 91일에 측정하였다. 건조수축은 KS F 2424에 의거하여 탈형 후 5일간 20°C 수조에서 수중양생을 실시하였고, 이후 실내온도 20°C, 상대습도 60%의 조건이 유지되는 항온항습실에서 3, 7, 14, 28, 56일 까지 측정하였다. 수화열은 Fig. 1과 같이 Φ100×200mm의 원형공시체를 이용하여 타설 직후 48시간동안 단열함에 밀봉하여 측정하였다.

콘크리트 2차제품 적용 실험은 한국콘크리트공업협동조합연합회 단체표준 SPC-KCIC0001-0703의 콘크리트호안 및 옹벽블록에 의거하여 충북 괴산 지역내 공장에서 제조 하였다. 단체표준에서 규정한 압축강도 24MPa 이상 동결융해 후 압축강도 20MPa 이상, 흡수율 7% 미만 만족 여부를 Fig. 2와 같이 100×100×100mm의 시험체를 콘크리트블록에서 직접 절단한 시편으로 평가 하였다. 평가 재령은 28일 재령에서 실시하였다. 시험방법으로 흡수율은 시험체를 15~25°C의 물속에 24시간 침지 시킨 후, 즉시 물속에서 꺼내어 철망위에 놓고 1분간 물기를 뺀 후 젓은 형상으로

표면을 닦아 내고 시험체의 표건질량(m_0)을 측정하고, 100~110°C의 건조기에서 24시간 건조시킨 시험체의 절건 질량(m_1)을 측정 한 후 아래 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$\text{흡수율(\%)} = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

동결융해 후 압축강도는 KS F 2456의 급속동결융해에 대한 콘크리트 저항시험(B법) 방법을 따르고 동결융해 반복 100cycle 실시한 후 압축강도를 측정하였다. 또한 동결시의 온도는 -18°C, 융해시의 온도는 4°C로 하였고, 1사이클 소요시간은 4시간으로 하였다.

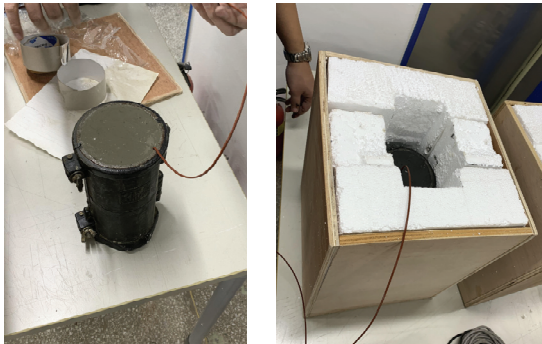


Fig. 1. Heat of hydration



Fig. 2. Concrete block test body

3. 실험결과

3.1 시멘트모르타르

3.1.1 압축 및 휨강도

Fig. 3는 RLP가 혼입된 시멘트모르타르의 압축강도 특성을 나타낸 것이다. RLP가 10%, 20%혼입된 시험체는 전 재령에서 Plain보다 강도가 유사하거나 다소 증진된 것으로 나타났지만 30% 혼입된 시험체는 강도가 15% 정도 저하하였다. 또한 RLP가 혼입된 시료의 강도 증진의 경향이 Plain과 유사한 것으로 나타나, 플라이애시의 포졸란 반응이나 슬래그의 잠재수경성 반응과 같이 장기강도 증진의 효과는 없는 것으로 판단된다.

RLP 10%와 20% 혼입에서 강도가 Plain에 비하여 감소되지 않은 것은 RLP의 분말도가 5,200cm²/g 정도로 일반적인 포틀랜드 시멘트의 분말도 3,300cm²/g 보다 높아 시멘트모르타르가 밀실해진 충전효과로 판단된다. 또한 RLP 30%에서 강도가 저하하는 것은 미세공극 충전효과보다는 단위시멘트량 감소에 의한 결과로 사료된다.

Fig. 4는 휨강도 특성을 나타낸 것으로 RLP 10~20%은 Plain과

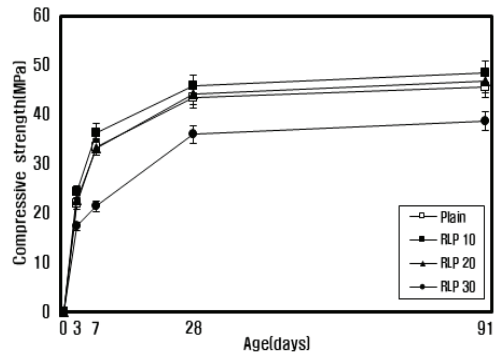


Fig. 3. Compressive strength

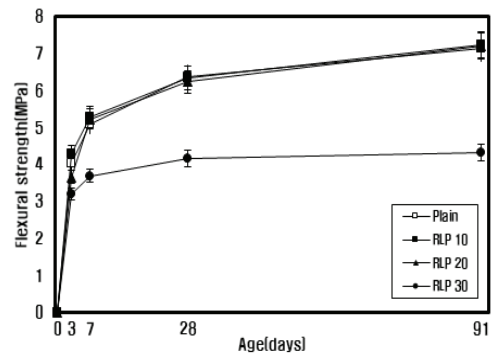


Fig. 4. Flexural strength

유사하였고, 30% 시험체는 강도가 크게 저하하는 것으로 나타났다.

3.1.2 수화열

Fig. 5는 RLP가 혼입된 시멘트모르타르의 수화열 특성을 나타낸 것이다. RLP가 혼입될수록 최대 수화발열 온도는 감소하였고, 최대수화발열이 나타나는 시간도 지연되었다. RLP 10%, 20%가 혼입된 시험체는 수화열이 2~5°C 정도로 감소의 폭은 크지 않았지만, 30% 혼입된 시험체에서는 10°C 이상 감소되는 것으로 나타났다. 이는 강도 결과에 나타났듯이 단위시멘트량 감소에 기인된 것으로 판단된다.

3.1.3 건조수축

Fig. 6은 RLP가 혼입된 시멘트모르타르의 건조수축특성을 나타낸 것이다. 먼저 RLP 혼입률이 증가할수록 건조수축량은 Plain 보다 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 RLP가 시멘트수화생성물과의 반응성을 나타내지는 못하지만 미세한 입자로 공극을 충전해주는 효과로 판단된다. 하지만 RLP 30%의 건조수축량

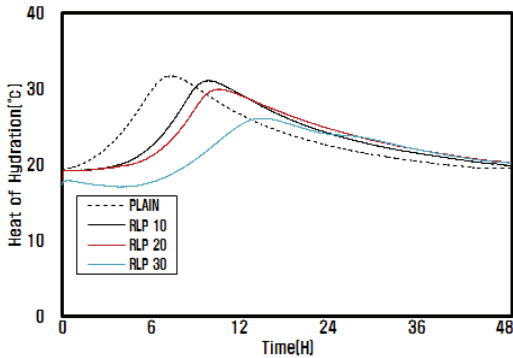


Fig. 5. Heat of hydration

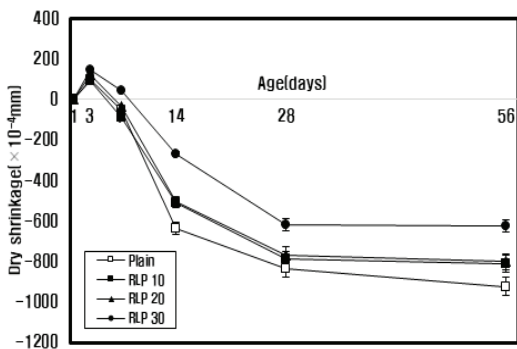


Fig. 6. Dry shrinkage

이 가장 작은 것으로 나타나 미세공극 충전효과는 있지만, 앞서 강도결과에 서술했듯이 단위시멘트량이 감소되는 영향이 미세공극 충전효과보다 큰 것으로 판단된다.

3.2 콘크리트블록

3.2.1 압축강도

시멘트모르타르 실험결과 RLP 20% 를 적정 혼입률로 결정하고 콘크리트호안 및 옹벽블록 시험체를 제작하였다. 시콘크리트블록에서 직접 시험체를 절단하여 압축강도를 측정된 결과는 Fig. 7과 같다.

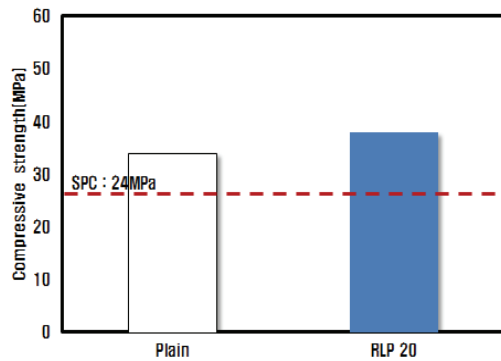


Fig. 7. Compressive strength

먼저 Plain의 압축강도는 34MPa, RLP 20의 압축강도는 38MPa로 나타나 단체표준 기준인 24MPa를 만족하는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트블록 제조공장의 표준배합에서 단위시멘트량이 370kg/m³로 부배합에 속하는 편이어서 품질기준보다 높게 나타난 것으로 판단된다. 또한 RLP 20%의 경우는 시멘트모르타르 실험결과와 동일한 경향으로 Plain에 비하여 다소 높게 강도가 나타나 혼합재로 사용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 강도증진의 효과로 인하여 단위시멘트량을 저감할 수 있을 것으로 기대된다.

3.2.2 흡수율

흡수율 특성은 Table 5와 같다. 먼저 Plain과 RLP 20 모두 품질 기준인 7% 미만을 만족한 것으로 나타났다. 콘크리트호안 및 옹벽블록 생산시 진동이 가해짐에 따라 블록의 조직이 치밀해져 나타난 결과로 판단된다. 또한 RLP가 혼입된 시험체는 Plain 보다 0.5% 정도 낮은 흡수율을 나타내어, 동결융해의 저항성에도 기여할 것으로 판단된다.

Table 5. Absorption ratio

	Plain	RLP 20
1	5.1	4.6
2	5.5	5.0
3	5.3	4.6

3.2.3 동결융해 후 압축강도

콘크리트호안 및 옹벽블록은 주로 하천호안 및 산비탈경사지 등 수변공간에 시공되는 사례가 많다. 이에 따라서 물에 빈번히 접촉하게 되고, 동결융해 반복작용으로 블록이 손상될 우려가 높은 편이다. 따라서 단체표준에서는 동결융해 후 압축강도를 20MPa 이상으로 관리하도록 하고 있다.

RLP가 혼입된 콘크리트블록의 동결융해 100cycle 후 압축강도 측정결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Compressive strength after freezing and thawing

	Plain	RLP 20
1	28	34
2	26	34
3	27	33

실험결과 Plain은 평균 26MPa로 품질기준에 적합한 것으로 나타났지만 동결융해 전 압축강도에 비하여 30% 정도 감소한 것으로 나타났고 RLP 20은 10% 정도 감소한 90%의 강도발현율을 나타냈다. 이는 분말도가 높은 RLP가 콘크리트블록의 미세공극을 충전해줌에 따라 흡수율이 저감되고 내부로 수분의 침투를 방어했기 때문으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 재활용 석회석 분말인 RLP를 콘크리트 2차제품 혼합재로 이용하기 위한 기초적인 연구로 시멘트모르타르에서 적정배합비를 선정하였고, 콘크리트호안 및 옹벽블록 중 호안블록에 20%를 혼합한 콘크리트블록의 품질을 평가한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. RLP 혼입율 10%, 20%까지 압축 및 휨강도가 Plain에 비하여 동등하거나 다소 증진되는 것으로 나타났다. 하지만 30% 혼입에서는 강도가 오히려 저하하였다.
2. 수화열은 RLP혼입율이 증가할수록 감소하였고, 최대발열 경과

시간도 지연되는 것으로 나타났다.

3. 건조수축실험결과 미분말인 RLP가 시멘트모르타르 내부공극을 충전시켜줌에 따라 건조수축량은 혼입률이 증가할수록 감소하였다.
4. RLP 20%를 혼입한 콘크리트블록의 압축강도, 흡수율, 동결융해 후 압축강도 모두 한국콘크리트공업협동조합연합회의 단체표준기준을 모두 만족한 것으로 나타나 혼합재로서 사용가능성을 확인하였다.

Conflicts of interest

None.

References

Choi, Y.W., Oh, S.R., Kim, J.H., Kim, K.H. (2013), A study on the quality properties of exposed high fluidity concrete using fly ash and limestone powder, **1(1)**, 67–75 [in Korean].

Jo, J.H., Kim, Y.J., Oh, S.R., Choi, Y.W. (2015). The experimental study on mixing and quality properties of quaternary component blended high fluidity concrete with CO₂ reduction, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **3(3)**, 268–275 [in Korean].

Jung, J.H. (2019). A study on the possibility of using concrete blocks with ready mixed concrete sludge, Journal of KCI, **19(4)**, 307–312 [in Korean].

Kang, K.M., Hyung, W.G. (2020). Properties of non-sintered cement mortar with high-calcium fly ash, Journal of Korea Society of Waste Management, **37(3)**, 151–157 [in Korean].

Kim, S.H., Koh, K.T., Lee, J.W., Ryu, G.S. (2014). Study on mechanical properties of geopolymer concrete using industrial by-products, Journal of Korea Recycled Construction Resources Institute, **2(1)**, 52–59 [in Korean].

Kim, Y.M., Jung, J.H. (2019). Compressive strength characteristic of non-cement composition added limestone powder, Journal of KCI, **19(2)**, 178–179 [in Korean].

Lee, M.H. (2016). Fundamental properties of mortar and concrete using high calcium fly ash, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **4(3)**, 284–291 [in Korean].

Ryu, G.S., Koh, K.T., Lee, J.H. (2013). Strength development and durability of geopolymer mortar using the combined fly ash and blast-furnace slag, Journal of the Korean Recycled Construction

Resources Institute, **1(1)**, 35-41 [in Korean].
SPC-KCIC0001-0703 (2020). Concrete Blocks for Retaining Wall and Revetment, Federation of Korea Concrete Industry Cooperatives, Korea.

Yoo, S.W. (2013). The present state and prospect of fly ash quality of domestic thermal power plant, Magazine of RCR, **8(2)**, 8-12 [in Korean].

재활용 석회석 분말을 콘크리트 2차제품 혼합재로 이용하기 위한 기초적 연구

본 연구에서는 재활용 석회석 분말(Recycled limestone powder, 이하 RLP라 함) 콘크리트 2차제품 혼합재로 이용하기 위한 기초적인 연구로 RLP 혼입율 10%, 20%까지 압축 및 휨강도가 Plain에 비하여 동등하거나 다소 증진되는 것으로 나타났지만 30% 혼입에서는 강도가 오히려 저하하는 것으로 나타났으며, 수화열 실험결과 RLP 혼입율이 증가할수록 수화열은 감소하였고, 최대발열 경과 시간도 지연되는 것으로 나타났다. 건조수축실험결과 미분말인 RLP가 시멘트모르타르 내부공극을 충전시켜줌에 따라 건조수축량은 혼입률이 증가할수록 감소하였다. RLP 20%를 혼입한 콘크리트블록의 압축강도, 흡수율, 동결융해 후 압축강도 모두 한국콘크리트공업협동조합연합회의 단체표준 기준을 모두 만족한 것으로 나타나 혼합재로서 사용가능성을 확인하였다.