

목재칩 열병합 발전소 바닥재를 잔골재로 활용한 모르타르 및 콘크리트 특성 평가

Evaluation of Properties of Mortar and Concrete using Wood Chip Cogeneration Plant Flooring as Fine Aggregate

강석표¹ · 홍성욱^{1*}

Suk-Pyo Kang¹ · Seong-Uk Hong^{1*}

(Received September 17, 2022 / Revised September 23, 2022 / Accepted September 26, 2022)

In this study, in order to evaluate the characteristics of mortar and concrete using wood chip cogeneration plant flooring as fine aggregate, mortar characteristics according to wood chip aggregate replacement rate and water-cement ratio as a substitute for crushed sand, and concrete characteristics according to wood chip aggregate replacement rate were compared and evaluated. The cement mortar flow according to the wood chip aggregate replacement rate showed a tendency to increase as the wood chip aggregate replacement rate increased, and the compressive strength and flexural strength increased as the wood chip aggregate replacement rate increased. The slump and air content of concrete increased as the aggregate replacement rate increased, and the compressive strength and tensile splitting strength of concrete tended to increase as the wood chip aggregate replacement rate increased. Accordingly, the possibility of using the flooring by the cogeneration plant as a fine aggregate for concrete was confirmed.

키워드 : 목재칩, 열병합 발전소, 바닥재, 모르타르, 콘크리트

Keywords : Wood chip, Cogeneration plant, Flooring, Mortar, Concrete

1. 서론

최근 고유가로 인한 경제적 어려움과 에너지 안보 문제 그리고 기후변화협약에 대응하기 위해서 신재생에너지의 확대 보급이 절실한 상황이나 국내에 공급된 1차 에너지 중 수력을 포함한 신재생 에너지의 비율은 2.8 %에 불과한 실정이다. 정부는 2030년까지 신재생에너지 비율을 11 %까지 확대할 계획이며, 2012년부터 신재생에너지 의무할당제도(RPS, Renewable Energy Portfolio Standard)를 통해 설비규모 500 MW이상의 발전사업자 및 수자원공사, 지역 난방공사에 대해 발전량의 일정부분을 의무적으로 신재생에너지 원으로 발전하도록 하였다. 2012년도 의무비율은 2.0 %이고 연차별로 점진적으로 증가하여 2022년에는 발전량의 10 %를 신재생에너지 원으로 충당하여야 한다. 바이오매스를 원료로 사용하여 에너지화하는 열병합발전소가 최근 전 세계적으로 많은 관심을 받고

있는 추세이다. 바이오매스를 통하여 생성되는 재생에너지인 바이오에너지는 화석연료와 달리 자원이 풍부하며 흔히 자연적 탄소(Natural carbon)이라고 불리며 친환경 시스템으로 인식된다.

신재생에너지 사용과 더불어 재생에너지인 목재칩이 각광받는 이유는 석유나 천연가스보다 경제성이 우수하여, 천연가스는 열병합 발전소에 필요한 증기 1 ton을 생산하는 가격이 목재칩을 이용해 증기 1 ton을 생산하는 가격의 2배이고, 열효율은 천연가스는 9750 kcal, 목재칩은 2500 kcal로써 4배의 차이가 나지만 연료 가격, 열량, 공급량, 공급원 등을 비교하여 환산할 때 목재칩이 가격 면에서 우수하다. 목재칩은 기존 석유, 천연가스를 이용한 발전에 비해 이산화탄소, 황산화물, 질산화물 발생이 적어 친환경 에너지 원으로 주목받고 있다.

바이오매스를 원료로 사용하여 에너지화하는 열병합발전소 바닥재 재활용 방안을 제시하기 위하여, 목재칩 열병합발전소 바닥

* Corresponding author E-mail: suhong@woosuk.ac.kr

¹우석대학교 건축학과 교수 (Department of Architecture, Woosuk University, Chungcheongbuk-do, 27841, Korea)

재를 잔골재로 활용한 모르타르 및 콘크리트 특성 평가를 수행하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

이 연구는 목재칩 열병합발전소 바닥재를 잔골재(이하 WC)로 활용한 모르타르와 콘크리트의 특성을 평가하고자 부순 잔골재 대체용으로서 WC 골재대체율과 물시멘트비에 따른 모르타르 및 콘크리트의 특성을 비교평가 하고자 Table 1과 Table 2와 같이 실험 계획하였다.

목재칩 열병합발전소 바닥재를 모르타르 및 콘크리트로 적용하기 위하여 골재는 목재칩골재(WC)와 부순잔골재(C), 부순굵은골재를 비교하였으며 WC 골재대체율은 각 0 %(WC 0), 25 %(WC 25), 50 %(WC 50), 75 %(WC 75), 100 %(WC 100)로 하였다. 물시멘트비는 50 %, 60 %로 설정하여 비교 및 평가하였다. 잔골재와 굵은골재의 함수상태는 표준 상태로 맞추어 사용하였다.

목재칩 열병합발전소 바닥재를 잔골재로 활용한 모르타르 특성을 평가를 위해 굳지 않은 콘크리트의 경우 슬럼프, 공기량, 단위용적질량 실험을 수행하였고, 경화 콘크리트의 경우 압축강도(7일, 28일)와 쪼갬인장강도(28일)를 측정하였다.

목재칩 열병합 발전소 바닥재를 잔골재(이하 WC)로 활용한 콘크리트 특성을 평가를 위해 굳지 않은 콘크리트의 경우 플로우 실험을 수행하였고, 경화 콘크리트의 경우 압축강도(7일, 28일)와 휨강도(7일, 28일) 실험을 수행하였다.

2.2 사용재료

이 연구에서 사용한 시멘트는 국내 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 물성을 Table 3에 나타내었다. 잔골재는 목재칩 열병합발전소 바닥재(WC), 부순 잔골재(C)를 사용하였고, 굵은골재는 최대치수가 25 mm인 부순 굵은골재를 사용하였다. WC 골재는 절대건조밀도 2,51 g/cm³, 단위질량 1,52 kg/m³, 흡수율 1.1 %로서 C와 비교하여 절대건조밀도와 단위질량은 Table 4에

Table 4. Properties of aggregate

Contents	Density (g/cm ³)	Unit weight (kg/L)	Absorption (%)
Wood chip aggregate (WC)	2.51	1.52	1.1
Crushed sand (C)	2.58	1.69	1.1
Crushed coarse aggregate	2.61	1.52	0.67

Table 1. Experimental plan (mortar)

Aggregate	W/C (%)	C:S	Replacement ratio of WC (%)	Test items
Wood chip aggregate (WC)	50	1:3	0 (WC0)	<ul style="list-style-type: none"> Flow (KS L 5105) Compressive strength - 7, 28d Flexural strength - 7, 28d
Crushed sand (C)	60		25 (WC25)	
		50 (WC50)		
			75 (WC75)	
			100 (WC100)	

Table 2. Experimental plan (concrete)

Aggregate	W/C (%)	Specified design strength (MPa)	Replacement ratio of WC (%)	Test items
Wood chip aggregate (WC)	50	30.0	0 (WC0)	<ul style="list-style-type: none"> Slump (KS F 2402) Air Content(KS F 2421) Unit volume weight Compressive strength - 7, 28d Tensile splitting strength - 28d
Crushed sand (C)			25 (WC25)	
	50 (WC50)			
	75 (WC75)			
	100 (WC100)			

Table 3. Properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa)			Chemical composition (%)					
		Initial	Final	3d	7d	28d	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Ig
3.15	3,602	270	290	23.0	29.3	43.8	62.4	21.1	4.4	3.1	3.1	3.3

나타난 바와 같이 작고 흡수율은 유사한 것으로 나타났다.

WC 골재입도는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 콘크리트용 잔골재의 표준입도곡선 범위 내에 있으나 C 골재입도는 2.5 mm 통과율이 표준입도곡선을 벗어나고 있다.

WC 골재의 확대사진은 C와 비교하여 입자 크기가 상대적으로 작고 표면에 이물질이 많이 함유 되어져 있는 것으로 Fig. 2에 나타내었다.

잔골재는 밀도 2.58 g/cm³, 단위질량 1.69 kg/L, 흡수율 0.92 %의 물성을 지닌 부순 잔골재를 사용하였다.

굵은골재의 입도는 Fig. 3과 같이 콘크리트용 굵은골재의 표준

입도 분포곡선에 만족시켰다. Table 4와 같이 굵은골재는 밀도 2.61 g/cm³, 단위질량 1.52 kg/L, 흡수율 0.67 %의 물성을 지닌 부순 굵은골재를 사용하였다.

목재칩 골재(WC)는 콘크리트용 순환골재의 품질기준에 대부분 만족하고 있으나 무기 이물질 함유량이 기준치를 초과하고 있다. WC 골재의 절건밀도는 2.51 g/cm³ 표건밀도는 2.53 g/cm³, 실적률은 69 %, 점토덩어리량은 0.1 %, 0.08 mm체 통과율은 2.7 %, 흡수율은 1.1 % 입자 모양 판정 실적률은 56 %, 무기 이물질함유량은 2.61 %, 유기 이물질함유량은 0.1 %로 Table 5에 나타내었다. WC 골재는 콘크리트용 순환 잔골재 품질기준에 대부분 만족하고

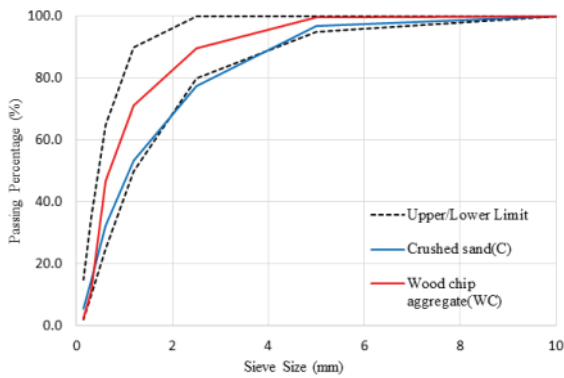


Fig. 1. Particle size distribution curve (WC, C)

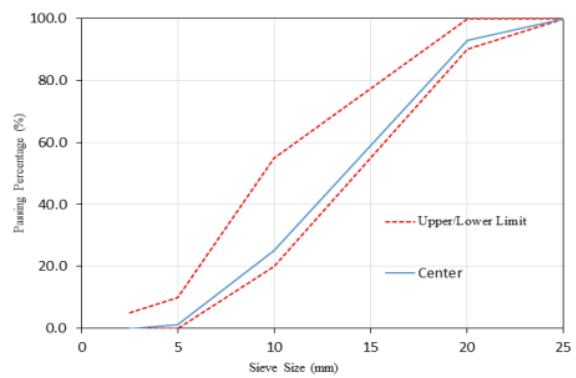
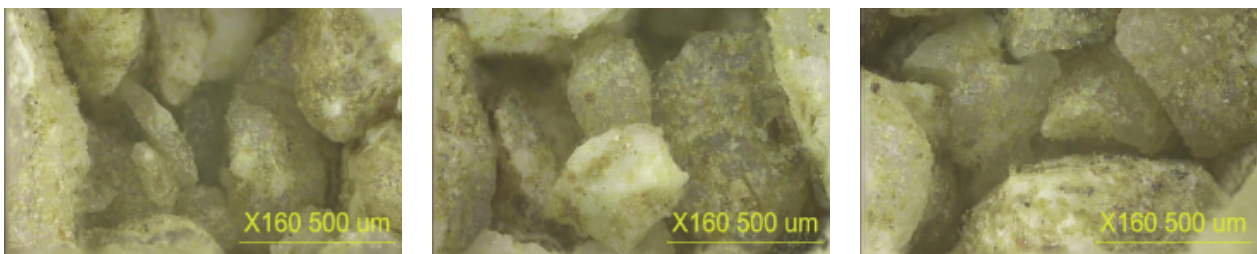


Fig. 3. Particle size distribution curve (crushed coarse aggregate)



(a) Wood chip aggregate (WC)



(b) Crushed sand (C)

Fig. 2. Aggregate particle shape and surface

Table 5. Properties of wood chip aggregate

Contents	Density (g/cm ³)		Solid volume percentage (%)	Clay lumps content (%)	0.08 mm sieve passing ratio (%)	Absorption (%)	Distribution of grain shape (%)	Impurity contents (%)	
	Absolute dry	Saturated surface dry						Inorganic	Organic
WC aggregate	2.51	2.53	69	0.1	2.7	56	2.61	0.1	3.3
Specification	2.3 ↑		53 ↑	1.0 ↓	7.0 ↓	53 ↑	1.0 ↓	1.0 ↓	

있지만, 무기 이물질함유량은 2.61 %로 품질기준인 1.0 %이하 보다 약 2배 높게 나타나고 있다. WC 골재의 입도분포는 표준입도분포곡선에 만족하고 있으나, C 골재는 2.5 mm체의 통과백분율이 표준입도 분포곡선에서 벗어나 굵은 것으로 Fig. 1에 나타내었다. WC 골재의 확대사진은 C와 비교하여 입자 크기가 상대적으로 작고 표면에 이물질이 많이 포함되어 있는 것으로 Fig. 2에 나타내었다.

2.3 실험방법

모르타르 배합비는 W/C 50, 60 %, C:S=1:3으로 하였으며, 모르타르의 혼합은 강제식 모르타르 믹서를 사용하였고 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법에 의거하여 모르타르를 제조하였다. 시멘트 모르타르는 시편제작용 몰드에 타설하여온도 20±2 °C, 상대습도 50 %에서 24시간 양생 후 탈형하여 온도 20±2 °C로 유지되는 수조에서 수중 양생하였다.

플로우 시험은 KS L 5105 수경성 시멘트 모르타르의 압축 강도 시험방법에 준하여 측정 하였다. 압축강도는 배합별로 3개의 샘플에 동일한 조건을 적용하여 7일 및 28일에 측정하였으며 평균 압축강도의 값으로 하였고, 압축강도 시험은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법에 준하여 측정하였다. 휨강도는 배합별로 3개의 샘플에 동일한 조건을 적용하여 7일 및 28일에 측정하였으며 평균 휨강도의 값으로 하였다. 휨강도 시험은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험 방법에 준하여 측정하였다.

Table 6. Concrete mix design

Contents	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				
			Water	Cement	Fine aggregate		Coarse aggregate
					Crushed sand	Wood chip aggregate	
WC0	50.0	48.0	170	340	858	0	981
WC25	50.0	48.0	170	340	643	208	981
WC50	50.0	48.0	170	340	429	417	981
WC75	50.0	48.0	170	340	214	625	981
WC100	50.0	48.0	170	340	0	834	981

3. 실험결과 및 분석

3.1 모르타르 실험결과

3.1.1 플로우

플로우 시험 결과는 Fig. 4와 Table 7에 나타내었다. 플로우는 WC 골재대체율이 높아질수록 증가하고 있으며 그 경향은 물시멘트비가 높을수록 크게 나타나고 있다. W/C 50 %의 경우 플로우는 WC0에서 117 mm, WC100에서 132 mm를 나타내고 있다. W/C 60 %의 경우 플로우는 WC0에서 170 mm, WC100에서 237 mm를 나타내고 있다.

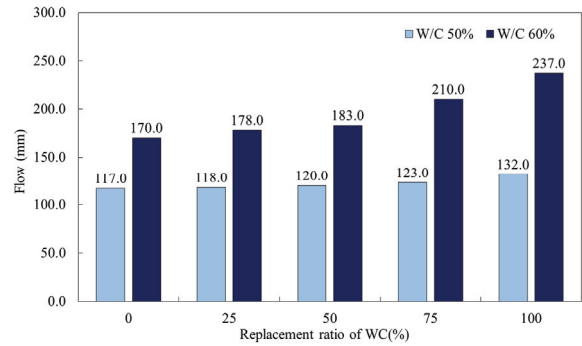
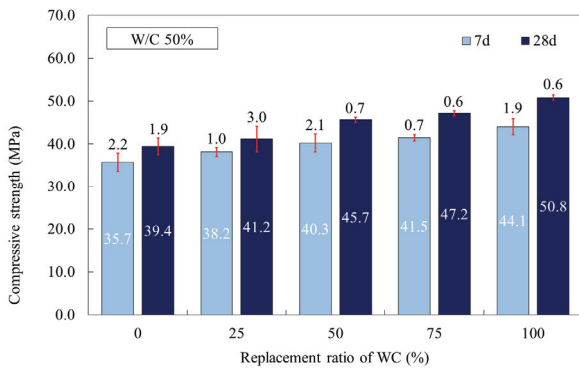


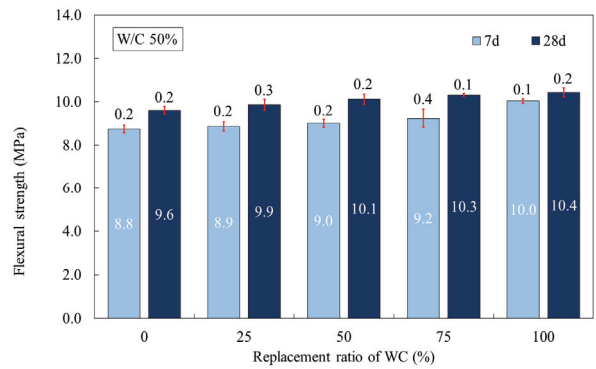
Fig. 4. Flow test of mortar

3.1.2 압축강도

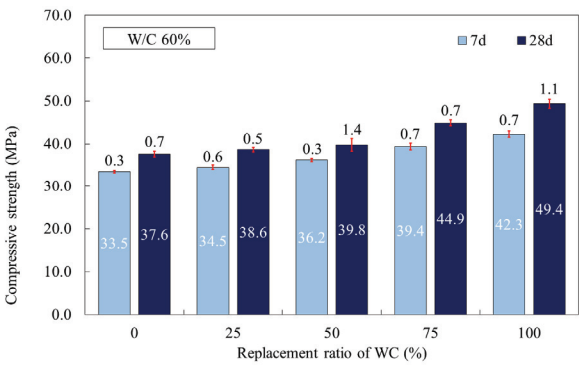
WC 골재대체율에 따른 압축강도와 표준편차 결과를 Fig. 5와 Table 7에 나타내었다. 물시멘트비 50 % 및 60 %의 압축강도는 WC 골재대체율이 증가할수록 재령 7일 및 28일에서 높게 나타났다. 물시멘트비 50 % 경우 28일 압축강도는 WC0 39.4 MPa, WC25 41.2 MPa, WC50 45.7 MPa, WC75 47.2 MPa, WC100에서 50.8 MPa를 나타내고 있다. 물시멘트비 60 % 경우 28일 압축강도는 WC0 37.6 MPa, WC25 38.6 MPa, WC50 39.8 MPa, WC75 44.9 MPa, WC100에서 49.4 MPa를 나타내고 있다. WC100 모르타르의 28일 압축강도는 WC0 모르타르와 비교하여 약 20 % 이상 증가하는 것으로 나타났다. 물시멘트비 50 %의 경우 WC100의 28일 압축강도는 50.8 MPa로서 WC0 39.4 MPa의 약 23 % 증가하였고, 물시멘트비 60 %의 경우 WC100의 28일 압축강도는 49.4 MPa로서 WC0 37.6 MPa의 약 24 % 증가하였다.



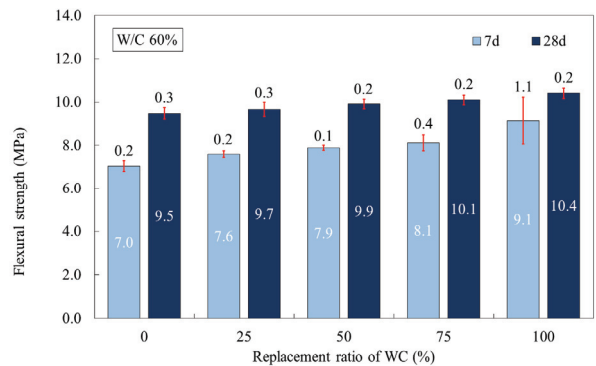
(a) Compressive strength (W/C 50 %)



(a) Flexural strength (W/C 50 %)



(b) Compressive strength (W/C 60 %)



(b) Flexural strength (W/C 60 %)

Fig. 5. Compressive strength of mortar

Fig. 6. Flexural strength of mortar

3.2 콘크리트 실험결과

3.2.1 슬럼프

슬럼프 측정결과는 Fig. 7과 Table 8에 나타내었다. 슬럼프는 WC골재대체율이 높아질수록 증가하는 경향을 보이고 있으며, WC100 콘크리트의 슬럼프는 WC0와 비교하여 87 % 증가하는 것으로 나타났다. 슬럼프 측정결과 WC100는 31 mm, WC75는 28 mm, WC50는 10 mm, WC25는 6 mm, WC0은 4 mm로서 WC대체율이 증가할수록 슬럼프는 뚜렷하게 증가하는 것으로 나타났다. WC100의 28일 슬럼프는 31 mm로서 WC0 4 mm 대비하여 87 % 증가하였다.

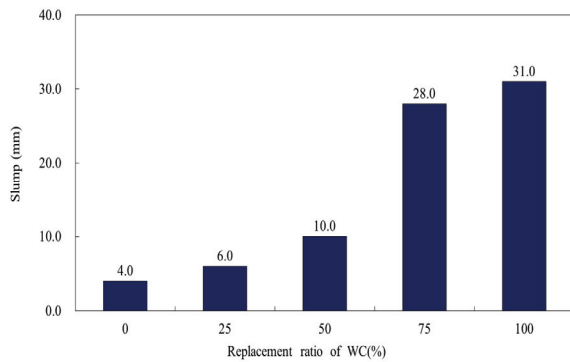


Fig. 7. Slump

3.2.2 단위용적질량

단위용적질량 측정결과는 Fig. 8과 Table 8에 나타내었다. WC 골재대체율이 증가할수록 콘크리트의 단위용적질량은 다소 감소하는 경향을 보이고 있으며, WC100 콘크리트의 단위용적질량은 1,945 kg/m³으로서 WC0 1,981 kg/m³와 비교하여 2 % 감소하였고, 단위용적질량은 WC0 1,981 kg/m³, WC25 1,966 kg/m³, WC50 1,953 kg/m³, WC75 1,947 kg/m³, WC100 1,945 kg/m³로서 WC 골재대체율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. WC100 콘크리트의 단위용적질량은 1,945 kg/m³으로서 WC0 1,981 kg/m³와 비교하여 2 % 감소하는 것으로 나타났다.

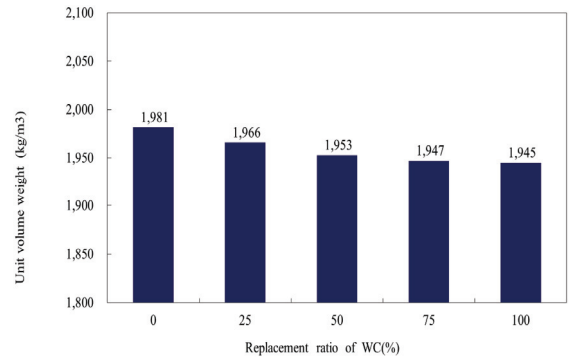


Fig. 8. Unit volume weight

Table 7. Test results of mortar

Test Type		W/C 50 %					W/C 60 %				
		0 %	25 %	50 %	75 %	100 %	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
		WC0	WC25	WC50	WC75	WC100	WC0	WC25	WC50	WC75	WC100
Flow (mm)		117	118	120	123	132	170	178	183	210	237
Compressive strength (MPa)	7d	35.73	38.16	40.25	41.48	44.06	33.51	34.52	36.23	39.37	42.26
	28d	39.43	41.15	45.65	47.15	50.81	37.62	38.61	39.78	44.88	49.37
Flexural strength (MPa)	7d	8.76	8.87	9.02	9.24	10.04	7.04	7.61	7.89	8.12	9.15
	28d	9.61	9.87	10.12	10.32	10.44	9.48	9.66	9.91	10.10	10.41

Table 8. Test results of concrete

Test Type		Replacement ratio of WC (%)				
		0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
		WC0	WC25	WC50	WC75	WC100
Slump (mm)		4	6	10	28	31
Air content (%)		1.1	1.4	1.8	2.4	2.3
Unit volume weight (kg/m ³)		1,981	1,966	1,953	1,947	1,945
Compressive strength (MPa)	7d	32.25	32.63	34.67	34.77	38.34
	28d	35.85	37.49	41.29	41.48	44.22
Tensile splitting strength (MPa)	28d	2.81	3.25	3.34	3.52	3.83

3.2.3 공기량

공기량 측정결과는 Fig. 9와 Table 8에 나타내었다. WC 골재대체율이 증가할수록 콘크리트의 공기량은 증가하는 경향을 보이고 있으며, WC100 콘크리트의 공기량은 WC0와 비교하여 52 % 증가하는 것으로 나타났다. 공기량 측정결과 WC0 콘크리트의 공기량은 1.1 %, WC25는 1.4 %, WC50는 1.8 %, WC75는 2.4 %로서 WC 골재대체율이 증가할수록 공기량은 증가하는 경향을 나타냈고, WC100 콘크리트의 공기량은 2.3 %로서 WC0 1.1 %와 비교하여 52 % 증가하였다.

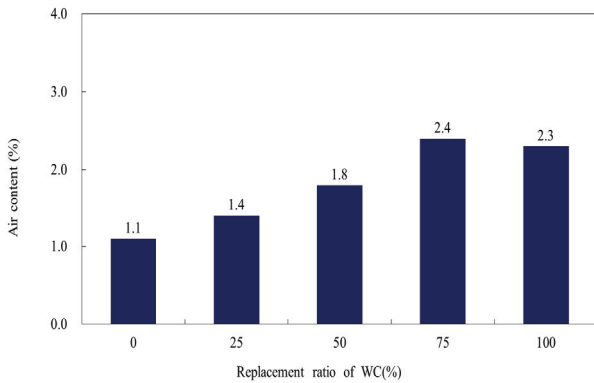


Fig. 9. Air content

3.2.4 압축강도

압축강도 결과 및 표준편차를 Fig. 10과 Table 8에 나타내었다. 재령 7일 및 28일 압축강도는 WC 골재대체율이 증가할수록 높게 나타났다. 재령 7일 압축강도는 WC0 32.3 MPa, WC25 32.6 MPa, WC50 34.7 MPa, WC75 34.8 MPa, WC100에서 38.3 MPa를 나타

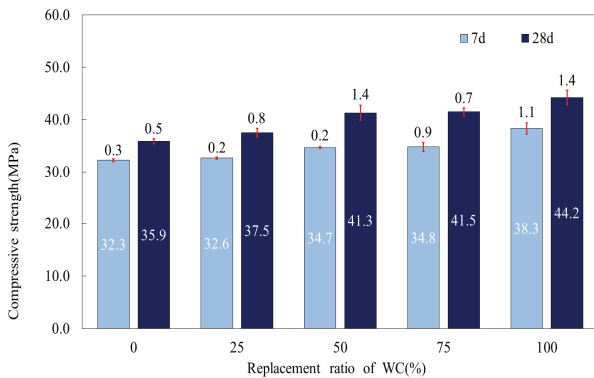


Fig. 10. Compressive strength of concrete

났고, 재령 28일 압축강도는 WC0 35.9 MPa, WC25 37.5 MPa, WC50 41.3 MPa, WC75 41.5 MPa, WC100에서 44.2 MPa를 나타냈다. WC100 콘크리트의 압축강도는 WC0 콘크리트와 비교하여 약 18 % 이상 증가하는 것으로 나타났다. WC100 콘크리트의 7일 압축강도는 38.3 MPa로서 WC0 32.3 MPa의 약 18 % 증가하였고, WC100 콘크리트의 28일 압축강도는 44.2 MPa로서 WC0 35.9 MPa의 약 19 % 증가하였다.

3.2.5 쪼갬인장강도

쪼갬인장강도 측정결과는 Fig. 11과 Table 8에 나타내었다. 배합은 재령 28일 인장강도는 WC 골재대체율이 증가할수록 높게 나타났다. 재령 28일 인장강도는 WC0 2.81 MPa, WC25 3.25 MPa, WC50 3.34 MPa, WC75 3.52 MPa, WC100에서 3.83 MPa를 나타냈다. WC100 콘크리트의 28일 인장강도는 WC0 콘크리트와 비교하여 36 % 이상 증가하는 것으로 나타났다. WC100의 28일 인장강도는 3.83 MPa로서 WC0 2.81 MPa와 비교하여 36 % 증가하였다.

이상의 실험결과를 종합하면, 목재칩 골재 대체율에 따른 모르타르의 압축강도는 목재칩 골재 대체율이 증가할수록 증가하였고, 모르타르의 휨강도 역시 목재칩 골재 대체율이 증가할수록 증가하였다. 목재칩 골재 대체율에 따른 콘크리트의 압축강도도 목재칩 대체율이 증가할수록 증가하였고, 콘크리트의 쪼갬인장강도 역시 목재칩 골재 대체율이 증가할수록 증가하였다. 이는 목재칩 골재 성분 중 일반 골재와는 달리 CaO 비율이 높게 나타나는데, 이 성분에 수화과정 중에 영향을 미쳤을 것으로 판단되고, 인과관계 관련 연구를 추가적으로 실시하여 규명이 필요할 것으로 판단된다.

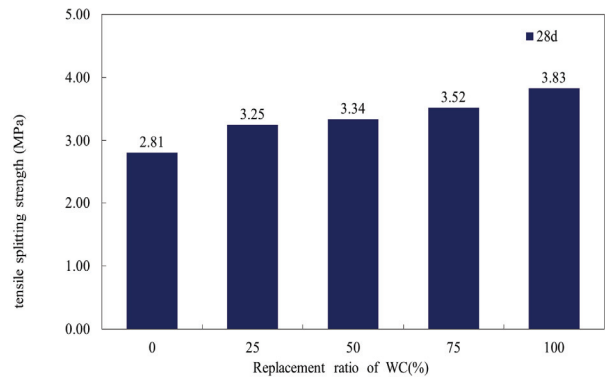


Fig. 11. Tensile splitting strength

4. 결론

이 연구에서는 목재칩 열병합발전소 바닥재를 잔골재로 활용한 모르타르 및 콘크리트 특성을 평가하고자 부순 잔골재 대응으로서 목재칩 골재대체율과 물시멘트비에 따른 모르타르 특성과 목재칩 골재대체율에 따른 콘크리트의 특성을 비교 및 평가하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 목재칩 골재 대체율에 따른 시멘트 모르타르의 플로우는 목재칩 골재 대체율이 높아질수록 증가하는 경향을 보이고 있으며, 목재칩 골재 대체율 100 %의 경우 0 % 대비 약 12 % 증가하였다. 압축강도는 목재칩 골재 대체율이 높아질수록 증가하였으며, 목재칩 골재 대체율 100 %의 경우 0 % 대비 압축강도는 약 20 % 증가하였으며, 휨강도는 골재 대체율이 증가할수록 높은 경향을 보이며, 목재칩 골재 대체율 100 %의 휨강도는 0 % 대비 약 9 % 증가하였다.
2. 목재칩 골재 대체율에 따른 콘크리트의 슬럼프는 골재 대체율이 높아질수록 증가하였으며, 목재칩 골재 대체율 100 %의 경우 0 % 대비 슬럼프는 약 87 % 증가하였고, 공기량은 골재 대체율이 높아질수록 증가하였으며, 골재 대체율 100 % 경우 0 % 대비 약 52 % 증가하였다.
3. 콘크리트의 압축강도와 인장강도는 목재칩 골재 대체율이 증가할수록 높은 경향을 보이며, 압축강도의 경우 목재칩 대체율 100 %는 18 % 증가, 인장강도는 목재칩 골재 대체율 100 %는

약 36 % 증가하였다.

이에, 열병합발전소로 인하여 발생하는 바닥재를 콘크리트용 잔골재로 활용하는 방안의 가능성을 확인하였다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 국토교통기술사업화지원사업(22TBIP-C160747-02)의 지원으로 수행되었습니다.

References

KS L 5105 (2007), Testing Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, Korea Agency for Technology and Standards, Eumseong, Korea.

KS F 2402 (2017), Standard Test Method for Concrete Slump, Korea Agency for Technology and Standards, Eumseong, Korea.

KS F 2421 (2016), Standard Test Method for Air Content of Fresh Concrete by The Pressure Method (Air Receiver Method), Korea Agency for Technology and Standards, Eumseong, Korea.

목재칩 열병합 발전소 바닥재를 잔골재로 활용한 모르타르 및 콘크리트 특성 평가

이 연구에서는 목재칩 열병합발전소 바닥재를 잔골재로 활용한 모르타르 및 콘크리트 특성을 평가하고자 부순 잔골재 대응으로서 목재칩 골재대체율과 물시멘트비에 따른 모르타르 특성과 목재칩 골재대체율에 따른 콘크리트의 특성을 비교 및 평가하였다. 목재칩 골재 대체율에 따른 시멘트 모르타르의 플로우는 목재칩 골재 대체율이 높아질수록 증가하는 경향을 보이고, 압축강도와 휨강도는 목재칩 골재 대체율이 높아질수록 증가하였다. 콘크리트의 슬럼프와 공기량은 골재 대체율이 높아질수록 증가하고, 콘크리트의 압축강도와 인장강도는 목재칩 골재 대체율이 증가할수록 높은 경향을 보였다. 이에, 열병합발전소로 인하여 발생하는 바닥재를 콘크리트용 잔골재로 활용하는 방안의 가능성을 확인하였다.