J Rec Const Resources 9(4)578-584(2021)
https://doi.org/10.14190/JRCR.2021.9.4.578

Print ISSN : 2288-3320
Online ISSN : 2288-369X

화력 발전소 매립회를 치환한 시멘트의 수화반응 및 강도발현 특성

A Hydration Reaction and Strength Development Properties of Cement Using Pond Ash in Coal Fired Power Plant

이재승[1] · 노상균[2*] · 신홍철[3]
Jae-Seung Lee[1] · Sang-Kyun Noh[2*] · Hong-Chul Shin[3]

(Received November 2, 2021 / Revised December 7, 2021 / Accepted December 10, 2021)

This study comparatively analyzed the properties of hydration reaction and strength development of four types of pond ash(PA) and fly ash(FA), aiming for the effective use of PA. The PA whose chlorine content was highest due to the seawater movement method had a faster setting time, higher cumulative heat, and greater initial strength development than those of FA due to the acceleration of the cement hydration reaction. However, the activity factor increase rate decreased after seven days of curing due to the rapid generation of early hydrates. The PA that contained impurities, such as a large amount of unburned carbon, had a delayed setting time due to the lower hydration reaction. Moreover, the strength was degraded in all curing ages. The PA whose chlorine content was lower due to the freshwater movement method and the amorphous content exhibited similar hydration reactivity and strength development characteristics compared to that of FA. The thermogravimetric analysis results verified that it had a similar level of $Ca(OH)_2$ consumption and pozzolanic reactivity with that of FA. Conclusively, it is necessary to expand the application of the freshwater movement method and manage the ignition loss to raise PA's usability.

키워드 : 플라이애시, 매립회, 수화반응, 강도발현

Keywords : Fly ash, Pond ash, Hydration reaction, Strength development

1. 서 론

2020년 한국전력통계에 따르면 에너지원별 발전 비율은 원자력 발전 29%, 석탄 화력 발전 35%, 가스 화력 발전 26% 및 신재생 발전 7%로 석탄 화력 발전이 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 에너지원별 발전단가는 원자력 발전 59원/kWh, 석탄 화력 발전 79원/kWh, 가스 화력 발전 98원/kWh 및 신재생 발전 101원/kWh으로 원자력 발전을 제외하면 여전히 석탄 화력 발전의 효율성은 높은 상황이다(Korea Power Exchange 2020). 미세먼지 및 탄소 배출 저감 이슈로 석탄 화력 발전의 비율은 점차 감소될 것으로 보고되나, 현재 운영 중인 발전소 규모와 발전단가를 고려하면 석탄 화력 발전에 대한 의존도는 당분간 유지될 것으로 전망된다.

석탄 화력 발전소에서 석탄을 연소하고 발생되는 부산물인 석탄회는 크게 플라이애시와 바텀애시로 구분된다. 화력 발전소에서 사용하는 석탄 및 대체연료의 종류, 발전 설비의 차이 등으로 발생되는 석탄회의 화학성분 및 물성은 다소 차이를 나타낸다. 국내 석탄회 발생량은 약 900만톤/년 규모이며, 재활용률은 약 65% 정도이다. 따라서 매년 발생량의 35%에 해당하는 약 300만톤의 석탄회는 매립되어 폐기되고 있는 실정이다. 플라이애시는 대부분 시멘트 및 콘크리트 혼합재로 재활용되어 매립장에는 주로 바텀애시가 매립되고 있으며, 건설경기나 발전소 상황에 따라 일부 플라이애시도 매립되고 있다(Suh and Maeng 2015).

석탄회의 매립으로 일부 매립장은 현재 만지 상태에 이르렀으며, 환경오염 발생이 우려되어 새로운 매립장 개발은 어려운 상황이다. 따라서 재활용되지 못하고 매립되는 석탄회의 재활용을 통해 신규 매립장의 건설을 줄이고, 환경적 영향을 최소화할 수 있는

* Corresponding author E-mail: nosk0046@kcl.re.kr
[1]한국건설생활환경시험연구원 건설재료센터 연구원 (Construction Materials Center, Korea Conformity Laboratories, Chungbuk, 28115, Korea)
[2]한국건설생활환경시험연구원 건설재료센터 책임연구원 (Construction Materials Center, Korea Conformity Laboratories, Chungbuk, 28115, Korea)
[3]한국건설생활환경시험연구원 건설재료센터 센터장 (Construction Materials Center, Korea Conformity Laboratories, Chungbuk, 28115, Korea)

Copyright ⓒ 2021 by Korean Recycled Construction Resources Institute
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

대책이 필요하다.

매립회는 화력 발전소에서 매립장까지 해수와 혼합되어 이동되며, 최근 일부 발전소는 재활용을 고려하여 담수 이동방식을 적용하고 있다. 이때 해수 또는 담수 : 매립회 = 98 : 2의 비율로 혼합되어 이송관을 통해 매립장에 도달한다. 매립회는 그 구성성분이 플라이애시와 유사하나, 해안에 위치한 매립장의 특성과 해수 이동방식으로 인하여 염소함량이 상당이 높은 편이다. 염소는 시멘트의 경화 촉진에 영향을 미치며, 콘크리트 내부의 철근을 부식시키는 원인으로 알려져 있다.

따라서 매립회의 재활용을 검토하기 위해서는 매립회에 포함된 염소성분이 시멘트에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 매립회를 시멘트에 치환하여 수화반응 및 강도발현 특성을 분석함으로써 매립회의 유효 활용을 위한 기초적 자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

Table 1은 본 연구의 실험계획을 나타낸 표이다. 국내 4개 화력 발전소 매립장을 대상으로 매립회(이하 PA)를 채취하였으며, 비교군으로 플라이애시(이하 FA)를 사용하여 총 5종류에 대한 시료를 평가하였다. 시험체는 실험항목의 특성을 고려하여 페이스트와 모르타르 배합으로 구분하였다. 물/결합재비는 50%이고, 결합재로 시멘트에 FA 및 PA를 각각 25% 치환하는 것으로 계획하였다. 이때, 모르타르 배합의 경우 결합재 : 모래를 질량비로 1 : 3으로 혼합하였다.

실험항목으로 페이스트 배합의 경우 수화반응 특성을 분석하기 위해 응결시간, 미소 수화열, 열중량 분석(TGA)을 실시하였다. 모르타르 배합의 경우 압축강도를 측정하고, 활성도 지수를 계산하였다.

2.2 사용재료

시멘트는 국내 H사에서 생산된 1종 보통 포틀랜드 시멘트(밀도 3.14g/cm^3, 분말도 3,457cm^2/g)를 사용하였으며, 모르타르 배합에 사용된 모래는 SiO_2 90% 이상, 함수율 0.2% 이하인 ISO 표준사를 사용하였다.

PA는 채취 당시 매립 상태로 인해 수분함량이 높았으며, FA에 비해 입자가 큰 바텀애시를 다량 포함하고 있었다(Fig. 1(a) 참고). 따라서 시멘트 혼합재로 사용을 위해 PA를 105℃로 24시간 동안 건조하고, 디스크 밀로 분쇄하여 FA와 유사하게 분말도를 조절하였다.

Table 2는 본 연구에 사용된 FA 및 PA 4종의 화학성분과 물리성능을 나타낸 표이다. FA 및 PA의 주요 화학성분은 SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 및 CaO로 전체 성분의 70% 이상을 차지한다. 한편, 염소함량(Cl)의 경우 PA1 및 PA4가 각각 0.67%, 0.80%로 PA2 및 PA3에 비해 높은 수치를 나타냈다. 이는 발전소에서 매립장까지 매립회를 이송할 때 담수 이동방식을 적용한 PA2 및 PA3와 달리 PA1 및 PA4는 해수 이동방식을 적용하여 염소함량이 상대적으로 높은 것으로 판단된다. PA3의 경우 여타의 PA에 비하여 SiO_2 및 Al_2O_3가 낮고, 강열감량(LOI)이 높은 비율로 나타났다. 이는 발전 설비의 차이로 인해 충분히 연소되지 않은 미연탄소가 다수 포함되어 나타난 결과이다. Fig. 1(a)에 나타난 바와 같이 색상이 검은색에 가

Table 1. Experimental plan

Type		W/B(%)	B : S	Binder ratio(%)			Test item
				OPC	FA	PA	
Paste	FA	50	-	75	25	-	· Setting time* · Isothermal conduction calorimetry · Thermogravimetric analysis(TGA) (7, 28, 91 days)
	PA1			75	-	25	
	PA2			75	-	25	
	PA3			75	-	25	
	PA4			75	-	25	
Mortar	FA	50	1 : 3	75	25	-	· Compressive strength (1, 3, 7, 28, 91 days) · Activity factor (1, 3, 7, 28, 91 days)
	PA1			75	-	25	
	PA2			75	-	25	
	PA3			75	-	25	
	PA4			75	-	25	

* In the setting time, the water content was determined by the standard consistency test according to KS L ISO 9597.

Table 2. Chemical composition and physical properties of coal ash type

Type	Chemical composition(wt %)															Physical properties	
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	TiO_2	Na_2O	K_2O	P_2O_5	MnO	SrO	BaO	Cl	LOI	Density (g/cm^3)	Blaine (cm^2/g)
FA	56.2	23.6	5.0	4.3	1.2	0.5	1.3	0.6	1.6	0.5	0.1	0.1	0.1	-	5.0	2.25	3,170
PA1	49.8	21.5	8.1	5.6	2.5	0.3	1.1	1.9	1.4	1.8	0.1	0.2	0.2	0.67	5.1	2.41	3,056
PA2	51.7	24.9	9.2	4.3	1.6	0.6	1.4	1.3	1.3	0.6	0.1	0.2	0.2	0.03	2.7	2.36	3,328
PA3	40.7	14.6	12.6	4.7	1.4	1.9	0.9	0.7	0.8	0.4	0.2	0.1	0.1	0.10	21.0	2.35	3,154
PA4	49.7	23.2	6.1	3.8	2.1	0.7	1.3	1.4	1.6	0.8	0.1	0.1	0.1	0.80	8.1	2.30	3,250

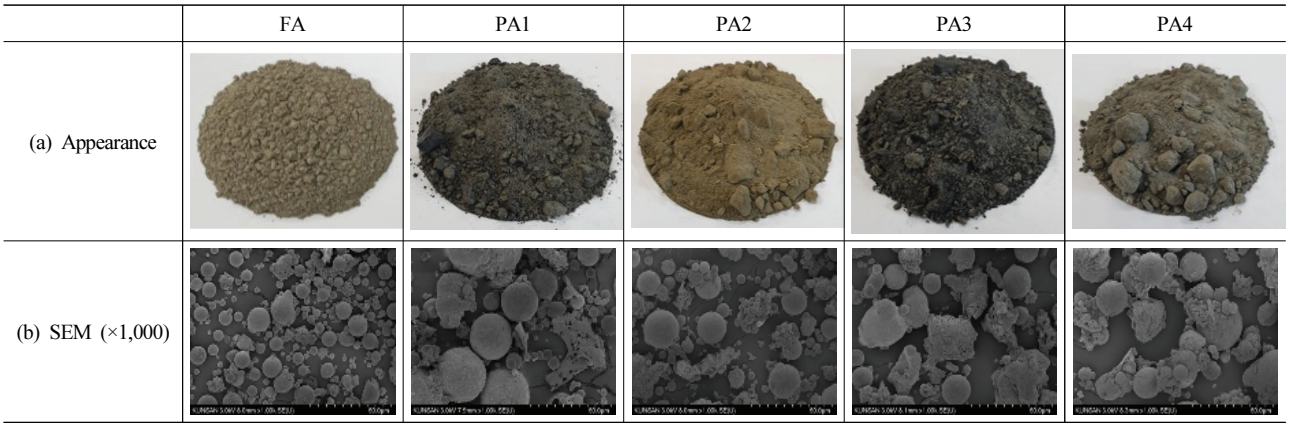


Fig. 1. Appearance and SEM images(×1,000) of coal ash type(Raw materials)

까워 미연탄소가 다량 포함되어있는 것을 확인할 수 있다. Fig. 1(b)를 살펴보면 FA는 5~10μm 크기로 대부분 둥근 형태의 입자가 주로 관찰되는 반면, PA는 10~20μm 크기로 상대적으로 입자가 크며, 각진 형태의 바텀애시가 함께 관찰된다.

Table 3는 FA 및 PA 4종의 XRD-Rietveld법을 활용한 광물 분석결과를 나타낸 표이다. 정량분석은 내부 표준법을 적용하였으며, 표준물질 α -Al_2O_3를 각 시료에 10% 치환하여 분석하였다. FA는 Quartz, Mullite 및 Magnetite로 구성되어있으며, PA는 플라이애시와 바텀애시가 혼합된 상태이기 때문에 Quartz, Mullite 및 Magnetite 뿐만 아니라 다양한 형태의 광물상을 포함하고 있다. 해수 이동방식을 적용한 PA1 및 PA4는 NaCl 광물상인 Halite를 각각 0.5%, 0.7% 포함하고 있으며, 담수 이동방식을 적용한 PA2 및 PA3는 Halite가 발견되지 않았다. 비정질(Amorphous phase) 량을 살펴보면 FA 74.1%, PA1 62.1%, PA2 73.6%, PA3 56.6% 및 PA4 63.3%로 FA가 가장 높으며, PA2는 FA와 매우 유사한 비정질량을 가지고 있다. 특히, PA3는 매우 낮은 비정질량을 나타내는데, 이는 미연탄소량이 높기 때문인 것으로 판단된다.

Table 3. Rietveld analysis of coal ash type(wt %)

Phases	FA	PA1	PA2	PA3	PA4
Quartz(SiO_2)	10.9	16.1	10.9	18.1	14.0
Mullite ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)	14.7	16.6	14.6	11.5	13.5
Magnetite(Fe_3O_4)	0.3	0.5	0.5	0.4	0.1
Hematite(Fe_2O_3)	-	1.5	0.4	-	1.0
Halite(NaCl)	-	0.5	-	-	0.6
Anorthite ($CaAl_2Si_2O_8$)	-	2.0	-	6.4	-
Siderite($FeCO_3$)	-	-	-	6.0	-
Muscovite ($K(OH,F_2)_2Al_3Si_3O_{10}$)	-	-	-	-	6.7
Others	0	0.7	0	1.0	0.7
Amorphous phase	74.1	62.1	73.6	56.6	63.3

2.3 실험방법

2.3.1 수화반응 특성

페이스트 시험으로 응결시간은 KS L ISO 9597에 따라 측정하였고, 미소 수화열은 전도열량계(Conduction calorimeter, TAM

Air, TA instruments)를 활용하여 72시간 동안 측정하였다.

열중량 분석(TGA)은 $Ca(OH)_2$의 함량을 통해 포졸란 반응성을 확인하기 위한 시험방법으로 각 재령에서 수화정지된 시험체를 열분석 장비(Thermal analyzer, SDT 650, TA Instruments)를 활용하여 측정하였다. 시험조건으로 승온속도 5°C/min으로 1,000°C까지 질소 분위기에서 실시하였으며, 약 400~450°C에서 $Ca(OH)_2$ 탈수반응에 의한 감량을 측정하여 $Ca(OH)_2$ 함량을 계산하였다. 이때 수화정지를 위해 페이스트를 소요 재령까지 20°C 수중에서 양생하고, 각 재령마다 24시간 동안 아세톤 침지 후 40°C에서 24시간 동안 진공 건조시켰다.

2.3.2 강도발현 특성

모르타르 시험으로 압축강도는 KS L ISO 679에 따라 측정하였다. 소요 재령까지 20°C에서 수중 양생하였으며, 양생 수조의 pH는 12 이상으로 관리하였다. 활성도 지수는 포졸란 반응에 의한 강도발현 특성을 평가한 것으로 OPC 100% 사용한 기준 모르타르에 대해 석탄회 25% 치환한 시험 모르타르의 압축강도를 백분율로 계산한 것이다.

$$Activity\ Factor\,(\%) = \frac{Test\ Comp.\ Strength}{Plain\ Comp.\ Strength} \times 100$$

3. 실험결과 및 분석

3.1 응결시간

Fig. 2는 FA 및 PA 4종의 응결시간을 나타낸 그래프이다. FA의 초결 및 종결은 각각 390분 및 480분이고, PA1과 PA4의 초결 및 종결은 각각 365분 및 445분, 295분 및 355분으로 FA와 비교하여 빠르게 나타났다. PA1과 PA4는 해수 이동방식의 매립회로 염소함량이 상대적으로 높아 초기 수화반응이 촉진된 결과로 판단된다(Lee et al. 2002). PA2의 초결 및 종결은 400분 및 495분으로 PA 중 FA와 가장 유사한 결과를 보였다. 이는 PA2의 경우 건설재료로 재활용을 위해 담수 이송방식을 적용한 것으로 0.03%의 매우 낮은 염소함량과 함께 화학성분이 유사하기 때문이다. PA3는 염소함량이 0.1%로 PA2 보다 높지만 PA3의 초결 및 종결은 420분 및 530분으로 응결이 가장 늦은 결과를 보였다. 일반적으로 미연탄소 함량이 높으면 C_3S의 수화가 지연된다고 알려져 있는데, PA3는 미연탄소 지표인 강열감량이 21.0%로 상당히 높기 때문에 나타난 결과로 판단된다(Ramachandran et al. 2002).

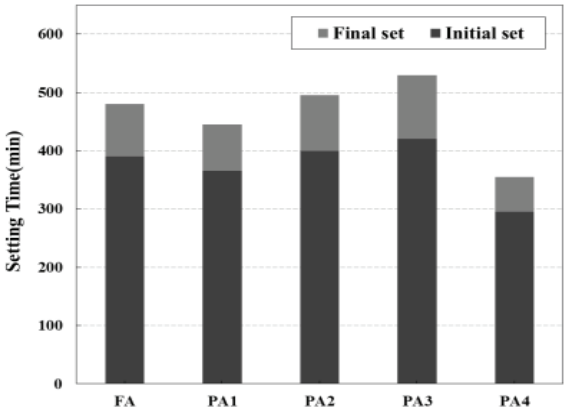


Fig. 2. Setting time of coal ash type

3.2 미소 수화열

Fig. 3는 FA와 PA 4종의 72시간 누적 발열량을 나타낸 그래프이다. 72시간 동안의 누적 발열량은 PA4 32.7Cal/g, PA1 31.8Cal/g, PA2 30.4Cal/g, FA 30.1Cal/g 및 PA3 28.5Cal/g 순서로 높게 나타났다. PA1과 PA4의 누적 발열량은 다른 PA에 비해 높은 발열량을 나타냈다. 이는 상대적으로 높은 염소함량으로 C_3S의 반응이 촉진되어 초기 재령에 높은 발열량을 나타낸 것으로 판단된다(Lee et al. 2002; Min et al. 2014).

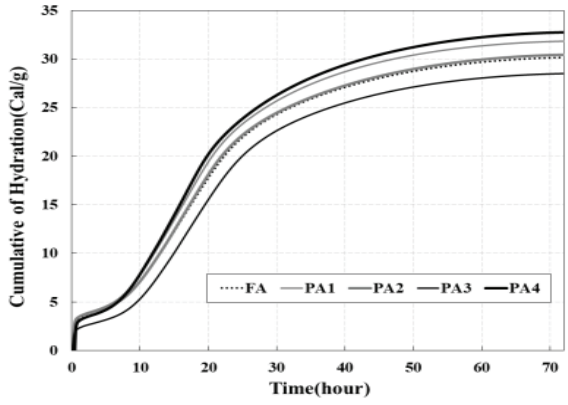


Fig. 3. Cumulative of hydration of coal ash type

또한, PA2의 누적 발열량은 FA와 거의 동등한 수준으로 나타났는데, 염소함량이 매우 낮아 초기 수화에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다. 가장 낮은 누적 발열량을 나타낸 PA3는 염소함량이 PA2 보다 높지만 응결시간 결과와 마찬가지로 다량의 미연탄소를 함유하고 있어 낮은 수화열을 나타낸 것으로 판단된다.

3.3 열중량 분석(TGA)

포졸란이란 그 자체로 수경성은 없지만 시멘트 수화반응에 의해 생성된 $Ca(OH)_2$와 상온에서 서서히 반응하여 물에 녹지 않는 화합물을 만들 수 있는 물질을 말한다. 따라서 포졸란 반응성을 확인하기 위해 Fig. 4는 FA 및 PA 4종의 재령별 $Ca(OH)_2$ 함량을 나타낸 그래프이다. FA 및 PA 4종의 $Ca(OH)_2$ 함량은 재령 7일에서 11.30~11.41%, 재령 28일에서 11.91~12.17%로 나타났으며, 재령 증가에 따라 $Ca(OH)_2$의 함량이 증가하였다. 이는 재령 28일까지 시멘트 수화반응에 의해 $Ca(OH)_2$가 활발히 생성되나, 포졸란 반응이 아직 활성화되지 않아서 $Ca(OH)_2$ 소비가 미비하기 때문으로 판단된다.

반면에 재령 91일에서는 포졸란 반응에 의해 전체적으로 $Ca(OH)_2$ 함량이 감소하였는데, 재령 28일에 비하여 FA 및 PA 4종의 $Ca(OH)_2$ 함량은 각각 0.51%, 0.32%, 0.48%, 0.23% 및 0.27% 감소하였다. 이는 시멘트 수화반응에 의한 $Ca(OH)_2$ 생성량보다 포졸란 반응에 의한 소비량이 더 많기 때문이다. FA와 PA2는 매우 유사한 경향을 보였으며, PA3의 감소량은 상대적으로 매우 낮았다. 이는 포졸란 반응에 큰 영향을 주는 요인 중 하나인 비정질량과 관계가 있으며, 결과적으로 포졸란 반응은 미연탄소 등 불순물의 양에 영향을 받는 것으로 판단된다(Table 3 참고). 또한, 포졸란 반응은 입자 크기, 형태 및 비정질량 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Shi and Day 2000). 따라서 여타의 PA에 비하여 상대적으로 입자가 작고, 표면이 매끄러우며, 비정질량이 높은 PA2가 FA와 유사한 포졸란 반응성을 보이는 것을 확인할 수 있다.

3.4 강도발현 특성

Fig. 5와 Fig. 6은 FA와 PA 4종의 재령별 압축강도와 활성도

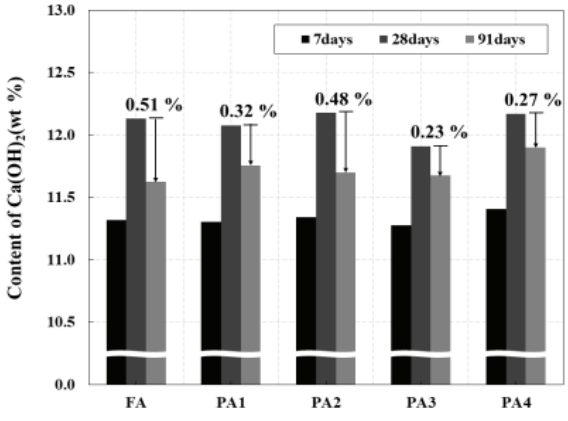


Fig. 4. $Ca(OH)_2$ content of coal ash type

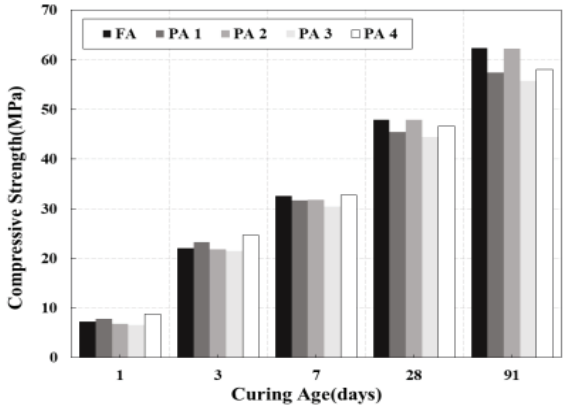


Fig. 5. Compressive strength of coal ash type

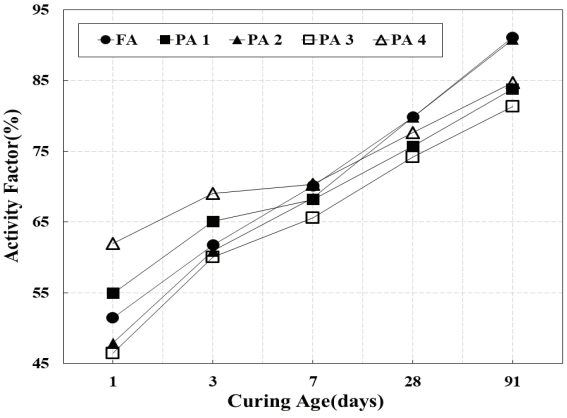
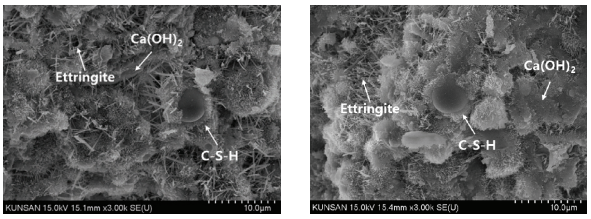


Fig. 6. Activity factor of coal ash type

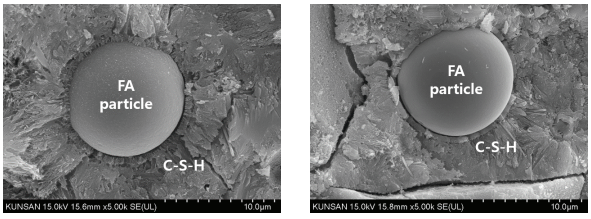
지수를 나타낸 그래프이다. 재령 1일 및 3일 압축강도는 PA4, PA1, FA, PA2 및 PA3 순서로 나타났다. PA1 및 PA4는 염소 이온이 시멘트 클링커 입자 주위에 수화물 층으로부터 수산화 이온을 용해시키고, 음이온 상호 확산 작용이 증가되어 초기강도를 증진시켰다(Lee et al. 2014). Fig. 7(a)에 FA 및 PA4의 재령 3일 수화생성물 SEM 이미지(×3,000)를 나타냈다. 침상 형태의 Ettringite, 판상형태의 $Ca(OH)_2$, 섬유상의 C–S–H 수화물이 관찰되었으며, 플라이애시가 수화물의 핵생성 site로 작용하여 입자 표면에 C–S–H가 코팅되어 있는 것을 확인할 수 있다. 수화 초기단계이므로 조직의 치밀성은 떨어지지만 염소함량이 높은 PA4의 경우 FA와 비교하여 상대적으로 치밀한 것을 확인할 수 있다. 한편, PA3는 다량의 미연탄소로 C_3S 수화가 지연되어 가장 낮은 압축강도 및 활성도 지수를 나타냈다(Jung et al. 1998; Lee and Park 1995).

재령 3일 이후 PA1 및 PA4의 활성도 지수 증가율은 낮은 반면, FA 및 PA2는 상대적으로 높은 증가율을 보였다. 이는 PA1 및 PA4의 염소 성분에 의해 수화가 촉진되어 재령 3일까지 초기강도가



FA PA4

(a) Curing age 3days(×3,000)



FA PA4

(b) Curing age 91days(×5,000)

Fig. 7. SEM image of coal ash type

크게 나타났으나, 그 이후 재령에서는 초기 수화물의 급격한 생성으로 초기 수화물층을 통한 물질 이동의 방해로 수화반응이 억제되었기 때문으로 판단된다(Jeong et al. 2007; Lee et al. 2014). 재령 28일에서 FA와 PA2가 여타의 PA보다 높은 압축강도 및 활성도 지수를 보였는데, 이는 열중량 분석과 일치하는 결과이다. Fig. 7(b)에 FA와 PA2의 재령 91일 플라이애시 주변의 SEM 이미지(×5,000)를 나타냈다. FA와 PA2는 전체적으로 수화물에 의해 공극이 적어져 치밀한 구조를 보이며, 입자 주변에 망상형태의 C–S–H Ⅱ형 layer가 생성되었다. C–S–H layer는 포졸란 반응인 플라이애시 표면에 비정질에서 용출된 SiO_4^{4-}이온과 C_3S 입자에서 용출된 Ca^{2+} 이온이 반응하여 입자 주변에 생성된다(Lee 2003). 따라서 FA와 PA2는 장기 재령에서 유사한 포졸란 거동을 보이는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 매립회 중 담수 이송방식으로 인한 낮은 염소함량과 높은 비정질량을 가진 PA2는 시멘트 혼합재로 사용이 가능할 것으로 기대된다.

4. 결 론

본 연구에서는 화력 발전소 매립회의 재활용을 검토하기 위해 매립회를 시멘트에 25% 치환한 시멘트의 수화반응 및 강도발현 특성을 검토하였다.

1. 응결시간은 PA4, PA1, FA, PA2, PA3 순서로 빠른 것으로 나타났다. PA1와 PA4는 해수 이송방식으로 염소함량이 상대적으로 높아 초기 수화반응이 촉진되었다. PA2는 담수 이송방식으로 FA와 가장 유사하며, PA3는 강열감량이 높아 응결이 가장 지연된 결과를 보였다.
2. 미소 수화열은 PA4, PA1, PA2, FA, PA3 순서로 누적 발열량이 높은 것으로 나타났다. 이는 응결시간과 마찬가지로 PA1 및 PA4의 높은 염소함량으로 수화가 촉진되어 초기 재령에서 높은 발열량을 나타냈다. PA2는 FA와 거의 동등한 수준으로 낮은 염소함량은 초기 수화에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다.
3. 열중량 분석은 전체적으로 재령 28일까지 $Ca(OH)_2$의 함량이 증가하고, 재령 28일 이후에는 포졸란 반응으로 감소하였다. FA와 유사한 입자 형태, 비정질량 및 적은 불순물을 가지는 PA2는 FA와 비슷한 수준의 $Ca(OH)_2$를 소비하여 유사한 포졸란 반응성을 가진 것을 확인하였다.
4. 재령 1일 및 3일 압축강도는 PA4, PA1, FA, PA2 및 PA3 순서로 나타났다. 염소함량이 높은 PA1 및 PA4가 수화 촉진으로 초기 강도가 높았으며, 재령 7일 이후에는 초기 수화물의 급격한 생성으로 활성도 지수 증가율은 감소하였다. FA와 PA2는 유사한 활성도 지수를 보이며, C–S–H layer를 통해 장기 재령에서 유사한 포졸란 반응성을 보이는 것을 확인하였다.

이를 종합하면 해수 이송방식을 적용한 매립회의 경우 염화물이 다량 함유되어 시멘트의 초기 수화반응 촉진과 초기 강도발현에 유리하나, 일반 콘크리트 구조물에 적용하기에 철근 부식의 문제가 발생할 수 있다. 담수 이송방식을 적용한 매립회는 플라이애시와 유사한 특성을 나타내어 시멘트 혼합재로 활용이 가능할 것으로 판단되나, 높은 강열감량 등으로 비정질량이 낮은 경우는 응결 지연과 강도 저하로 주의가 요구된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

이 연구는 2021년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 소재부품기술개발사업의 연구비 지원에 의한 연구임(20010607)

References

Jeong, C.I., Park, S.K., Lee, E.H., Lee, K.H. (2007). Effects of chemical admixture on the paste fluidity and mortar strength development of high chloride cement, Journal of the Korean Ceramic Society, **44(1)**, 23–31 [in Korean].

Jung, S.J., Bang, W.K., Kim, C.E. (1998). The effects of Na_2SO_4 on the hydration of fly ash blended cement, Journal of the Korean Ceramic Society, **35(11)**, 1227–1232 [in Korean].

Korea Power Exchange (2020). Electric Power Statistics Information System.

Lee, E.H., Jeong, C.I., Park, S.K., Lee, K.H. (2002). The influence of KCl on the hydration property of OPC, Journal of the Korean Ceramic Society, **39(10)**, 943–947 [in Korean].

Lee, G.S., Park, S.H. (1995). The effect of domestic fly ash as cement mineral admixture. Cement Symposium, 23, 36–48 [in Korean].

Lee, S.H. (2003). About the pozzolanic reaction, Cement, **158**, 40–44 [in Korean].

Lee, S.H., Lee, S.J., Woo, Y.Y., Park, J.S. (2014). Properties of Portland cement clinker using polysilicon sludge, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **2(4)**, 328–334 [in Korean].

Min, T.B., Cho, I.S., Lee, H.S. (2014). Experimental study on the early strength development mechanism of cement paste using hardening accelerator and high–early–strength cement, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, **18(1)**, 84–92 [in Korean].

Ramachandran, V.S., Paroli, R.M., Beaudoin, J.J., Delgado A.H. (2002). Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials, William Andrew, 294–300.

Shi, C., Day, R.L. (2000). Pozzolanic reaction in the presence of chemical activators: Part II—reaction products and mechanism, Cement and Concrete Research, **30(4)**, 607–613.

Suh, D.H., Maeng, J.H. (2015). A study on expanding the recycling of coal ash for minimizing environmental impact imposed by the establishment of thermal power plant ash ponds, Journal of Environmental Impact Assessment, **24(5)**, 472–486 [in Korean].

화력 발전소 매립회를 치환한 시멘트의 수화반응 및 강도발현 특성

본 연구에서는 매립회의 유효 활용을 위해 플라이애시(FA)와 매립회(PA) 4종의 수화반응 및 강도발현 특성을 비교 분석하였다. 해수 이동방식에 의해 염소함량 높은 PA는 시멘트 수화반응 촉진으로 FA와 비교하여 응결시간이 촉진되고, 누적 발열량이 증가하였으며, 초기 강도발현이 향상되었다. 그러나 재령 7일 이후 초기 수화물의 급격한 생성으로 활성도 지수 증가율은 감소하였다. 다량의 미연탄소 등 불순물을 함유한 PA는 낮은 수화 반응성으로 응결시간이 지연되고, 전 재령에서 강도가 저하되었다. 담수 이동방식에 의해 염소함량 낮고, 비정질량이 높은 PA는 FA와 유사한 수화반응 및 강도발현 특성을 나타냈다. 열중량 분석결과로 FA와 비슷한 수준의 $Ca(OH)_2$ 소비량과 포졸란 반응성을 가진 것을 확인하였다. 결과적으로 매립회의 활용성 높이기 위해서는 담수 이동방식의 적용 확대와 강열감량의 관리가 필요할 것으로 분석되었다.