

아크방전을 이용한 표면개질 플라이애시의 특성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Properties of Surface Treatment Fly Ash Using Arc Discharge

김선아¹ · 박선규^{2*}Sun-A Kim¹ · Sun-Gyu Park^{2*}

(Received November 20, 2018 / Revised December 8, 2018 / Accepted December 10, 2018)

Fly ash is a material used as a concrete admixture. When fly ash is used for concrete manufacturing, it is expected to improve the performance such as reduction of cement usage and increase of chemical resistance. However, fly ash have some problems such as unburned carbon content and amorphous film on the surface of fly ash particles. When concrete is manufactured using fly ash containing a large amount of unburned carbon, there is a problem that the slump is lowered due to adsorption of AE agent. In addition, the amorphous film on the surface of the particles prevents the reactive substances from leaching out of the fly ash. Therefore, a method of surface treatment of fly ash using plasma has been studied to remove such unburned carbon and amorphous films. However, plasma has the problem that O₃ is generated when O₂ is used as an active gas. O₃ is a harmful substance and adversely affects the health of the experimenter. In this study, the surface of fly ash was treatment by arc discharge. Experimental results show that the unburned carbon is removed when the surface of fly ash is treatment by arc discharge and the amorphous film was broken and the reactivity was improved. Therefore, it is considered that arc discharge can treatment the surface of fly ash and improve the quality of fly ash.

키워드 : 아크방전, 표면개질, 플라이애시, 미연탄소, 물리·화학적 특성

Keywords : Arc-discharge, Surface treatment, Fly ash, Unburned carbon, Physicochemical property

1. 서론

건설산업의 주재료가 되는 시멘트는 제조과정에 있어서 다량의 이산화탄소를 발생시키는 문제점을 지니고 있다(Park et al. 2010). 이산화탄소는 지구온난화의 주된 원인으로 작용중에 있는 온실가스 중 한 종류로서, 국제적인 문제로 대두되고 있다(Moon et al. 2017). 이와 같은 이산화탄소의 발생량을 저감시키기 위하여 건설 산업에서는 시멘트의 대체재로서 산업부산물물을 사용하는 방안에 관한 연구를 활발히 진행중에 있다(Kim et al. 2017). 이러한 산업부산물로서 흔히 플라이애시가 사용되어지고 있다(Kim et al. 2002).

플라이애시란 석탄 화력발전소에서 발생하는 분진을 집진 및 냉각한 것을 말한다. 플라이애시를 콘크리트의 혼화재로서 사용할 경우 재료분리의 방지, 볼베어링 현상에 의한 유동성 향상, 장기강

도의 증진 등 콘크리트의 성능 개선에 효과적이라는 장점을 지니고 있다(Jeong et al. 2008). 하지만 이러한 플라이애시의 경우 사용상 크게 두 가지 문제점이 지적되고 있다.

첫 번째로 플라이애시의 내부에 함유되어 있는 미연탄소분이다. 미연탄소란 화력발전소의 보일러 내부에서 완전히 타지 않고 남은 원탄 입자가 플라이애시의 집진 과정에 혼입된 것을 말한다. 미연탄소는 부정형을 띠는 다공성의 입자로서, AE제 흡착 현상을 일으키는 문제점을 지니고 있다(Ahn 1998). 이러한 미연탄소가 다량으로 함유된 플라이애시를 콘크리트 제작에 사용할 경우, 동일 슬럼프 확보에 있어서 다량의 AE제 첨가가 요구되므로, 유동성 확보에 어려움이 따를 뿐만 아니라 비용 상승 등의 문제 또한 동반된다.

두 번째로, 플라이애시 표면의 유리질 박막을 들 수 있다. 플라이애시는 집진 과정에 있어 급냉되기 때문에 표면에 유리질의 박막이

* Corresponding author E-mail: psg@mokwon.ac.kr

¹목원대학교 건축공학과 석사과정 (Department of Architectural Engineering, Mokwon University, Daejeon, 35349, Korea)

²목원대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Mokwon University, Daejeon, 35349, Korea)

형성되어 있다. 유리질 박막의 경우 플라즈마 입자 내부에서 반응성 물질이 용출되는 것을 방해하는 역할을 하기에 이를 파괴하는 과정이 요구된다. 이러한 유리질의 박막은 알칼리 환경에 놓여질 시 파괴되는 성질을 지니고 있다(Lee et al. 2009). 시멘트의 수화 과정에 의해 알칼리 환경이 조성되어 유리질 박막의 파괴로 이어질 수 있으나, 장시간이 요구된다는 문제가 동반된다. 따라서, 이러한 유리질 박막을 인위적으로 파괴하기 위하여 알칼리 자극제를 첨가하는 방안을 사용하였으나(Koh 2010), 이때 사용되는 알칼리 자극제의 경우 위험성이 동반될 뿐만 아니라 고가의 재료로서 건설공사에 다량으로 사용함에 어려움이 따르고 있는 실정이다.

현재까지 위와 같은 미연탄소 및 유리질 박막 등 플라즈마의 문제점을 해결하기 위하여 플라즈마를 이용한 표면개질 처리 방법에 관한 연구가 진행되었다(Lim et al. 2012). 하지만 플라즈마의 경우 고가의 비용이 요구될 뿐만 아니라 활성기체의 첨가에 의해 유해물질이 발생하는 문제점을 지니고 있어 건설산업에 활발히 이용되지 못하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 플라즈마의 표면 개질을 위한 새로운 방안을 고안하고자, 플라즈마와 유사한 전기장을 사용하지만 비교적 저가의 비용이 요구되는 아크방전을 이용하여 플라즈마의 표면을 개질하는 방법에 관한 연구를 진행하였다. 또한 아크방전에 의해 표면개질 된 플라즈마의 물리·화학적 특성을 확인하였다.

2. 기존의 연구 고찰

-플라즈마를 이용한 플라즈마의 표면 개질

2.1 플라즈마의 정의

플라즈마는 전기장을 이용해 물질에 고온의 열을 가하고 상태를 변이시켜 입자를 이온화하는 화학 반응을 말한다. 플라즈마는 초고온에서 음전하를 지닌 전자와 양전하를 띤 이온으로 분해되어 이온화 된 기체상태로 존재한다(Kim 2015).

플라즈마 상태 내부의 전하 분리도는 상당히 높으며, 거시적인 관점에서 볼 때 그 음전하와 양전하의 수가 같아 결과적으로 전기적 중성을 띠게 된다. 일반적으로 물질의 상태는 고체, 액체, 기체 세가지로 정의되고 있으나, 플라즈마는 위와 같은 이유로 전기적 중성을 띠는 제 4의 물질 상태라 정의하는 것이 가능하다.

2.2 플라즈마의 원리

플라즈마는 중성 입자와 이온, 전자로 이루어져 있으며, 이 중 이온과 전자는 씨앗 전자와 중성 입자의 충돌에 의해 발생한다.

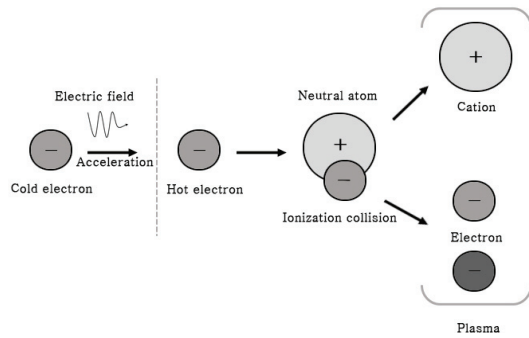


Fig. 1. Process of plasma generation(Lee et al. 2013)

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 낮은 에너지의 전자(Cold electron)는 전기장에 의해 에너지를 얻어 가속되어 높은 에너지의 전자(Hot electron)가 된다. 여기서 전자가 중성입자를 이온화시킬 수 있을 정도로 큰 에너지를 지니게 되면 이온화 충돌이 발생한다. 이온화 충돌은 전자와 중성 입자가 충돌할 경우 중성 입자의 전자 중 하나가 자유 전자가 되는 현상을 말 한다. 이와 같은 과정이 반복되어 충분한 이온-전자쌍이 발생되고 유지될 경우 플라즈마가 생성되었다고 할 수 있다(Lee et al. 2013).

2.3 플라즈마의 종류

플라즈마는 온도 및 밀도에 따라 분류된다. 플라즈마의 종류에는 대표적으로 글로우 방전, CCP(Capacitively Coupled Plasma), ICP(Inductively Coupled Plasma) 등이 있다. 건설 산업에서는 CCP type을 가장 보편적으로 사용하고 있다. 플라즈마는 사용되는 활성기체의 종류에 따라 분류가 가능하다. 플라즈마 현상을 발생시키기 위해서는 진공상태 및 반응의 활성화를 위한 활성기체의 첨가가 요구된다. 활성기체로 사용되는 기체의 종류로 O₂, N₂, Ar 등이 있으며 O₂가 가장 흔히 사용되고 있다. 건설산업에서도 마찬가지로 O₂를 일반적으로 사용하며, 종합적으로 볼 때 건설 산업에서는 CCP type의 O₂ 플라즈마를 사용한다고 말할 수 있다.

2.4 플라즈마를 이용한 플라즈마의 표면개질 방법에 관한 기존 연구

기존의 Fig. 2에 나타낸 바와 같은 CCP type의 O₂ 플라즈마를 이용하여 플라즈마의 표면을 개질한 후 강열감량을 측정된 연구 결과를 Fig. 3에 나타내었다(Lim et al. 2012). 기존의 표면개질 처리 되지 않은 플라즈마의 경우 5.8%의 강열감량을 나타내었다. 플라즈마를 이용하여 표면개질 처리를 진행함에 따라 강열감량은 점차 감소하였으며, 5회 처리 시 0.97%로 강열감량이 1% 이하가

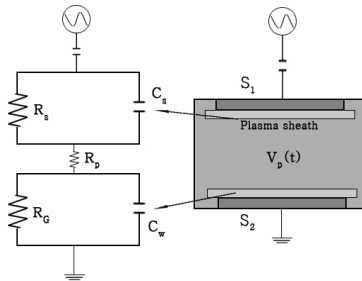


Fig. 2. Diagram of CCP(Lee et al. 2013)

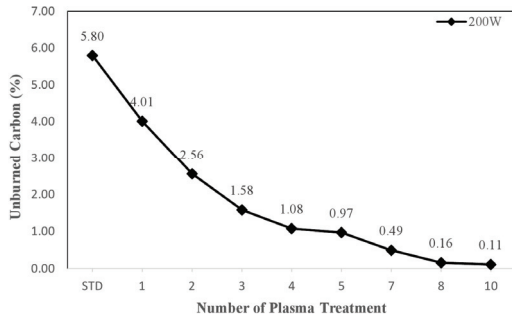


Fig. 3. Variation in ignition loss according to the number of times of surface treatment using plasma(Lim et al. 2012)

되는 것을 확인할 수 있었다. 표면개질 처리를 10회 진행했을 경우 강열감량이 0.11%가 되었으나, 표면개질 처리 횟수가 증가함에 따라 강열감량의 감소율은 점차 저하하는 것으로 나타났다. 따라서 플라즈마를 이용해 플라이애시의 표면을 개질할 경우 미연탄소 제거 효과가 있으나, 그 횟수가 증가함에 따라 제거 효율은 감소하는 것으로 보여진다.

2.5 플라즈마의 문제점

일반적으로 사용되는 O₂ 플라즈마를 플라이애시의 표면개질에 사용함에 있어서 크게 두 가지 문제점이 동반된다. 플라즈마를 이용한 플라이애시의 표면개질 과정은 Fig. 4에 나타난 바와 같다. 플라이애시 내에 함유되어 있는 미연탄소인 C와 활성기체로서 주입된 O₂가 결합하여 최종적으로 CO₂가 생성되어 기체 상태로 제거되는 것이다.(Jo et al. 2014) 이때 생성된 CO₂의 경우, 앞서 언급한 바와 같이 지구온난화의 주된 원인 중 한 가지로 작용하므로, 그 추가적인 발생은 적절치 못하다.

플라즈마는 Fig. 5에 나타난 것과 같이 O₃를 발생시키는 문제점 또한 지니고 있다. O₂를 활성기체로서 사용할 경우 O₂는 O원자로 분해되는데 이때 C와 결합하지 못한 잉여 O원자가 O₂와 결합하여 O₃가 생성된다. 기존 연구에 따르면(Chung et al. 2012), O₃는 무색의 자극적인 냄새를 지닌 유해가스로 불안정한 원소이다. O₃의 작

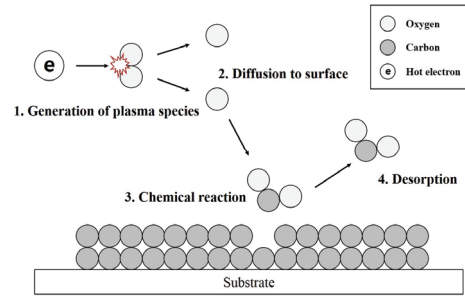


Fig. 4. Removal mechanism of unburned carbon using plasma (Jo et al. 2014)

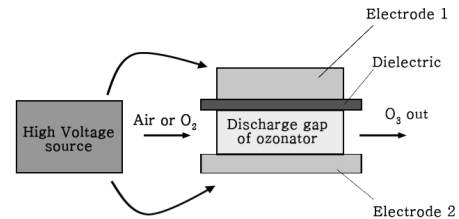


Fig. 5. Generation of ozone in plasma(Kim et al. 2018)

용 원리는 $[O_3 \rightarrow O_2 + O]$ 로, 여기서 발생기 O는 다른 물질과 결합하려는 성질을 지녀, 주변 물질의 물성을 변화시키는 산화작용을 일으킨다. 이러한 O₃에 지속적으로 노출될 경우, 인체의 기능에 문제가 발생하게 된다. 따라서 위와 같은 유해물질 생성 문제로 인해 플라즈마는 건설 산업에 활발히 적용하기에 어려움이 따르는 실정이다.

3. 아크방전을 이용한 플라이애시의 표면개질

3.1 아크방전의 정의

아크방전이란 양극과 음극을 대립시킬 경우 양 전극의 사이에 존재하는 기체가 전위차에 의한 전압 강하로 전기적으로 방전되어 전류가 흐르게 되는 현상을 말한다. 아크방전은 방전극에 인가되는 수 볼트 또는 수십 볼트의 전압만을 사용하여 암페어 이상의 전류를 흘리는 것이 가능하기에 비교적 저가의 비용으로 기계를 운영할 수 있다는 장점을 지녔다.

아크방전은 방전기체의 압력에 따라 크게 저압 아크방전과 고압 아크방전으로 분류할 수 있다. 고압 아크방전은 Fig. 6에 나타난 것과 같이 전자이온 및 중성기체 원자들로 구성된 약전리 플라즈마 상태로 볼 수 있으며, 마찬가지로 전기적 중성을 띤다. 저압 아크방전은 낮은 밀도의 중성기체 원자들에 의해 탄성충돌 빈도가 적어져 전자온도는 매우 높으나 중성원자들의 온도는 낮다는 특징을

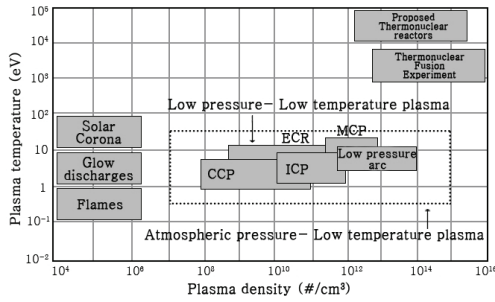


Fig. 6. Types of plasma depending on density and temperature (Lee et al. 2013)

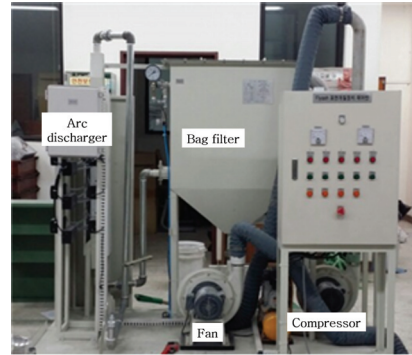


Fig. 7. Arc-discharge machine(Kim et al. 2018)

지니고 있다(Kim 2011). 본 연구에서는 이 중 저압 아크방전을 이용하도록 하였다.

3.2 아크방전의 원리

아크방전 영역 내에서는 비교적 가벼운 전자들이 고속으로 이동하며 큰 에너지를 얻는다. 이 전자는 다른 입자와 탄성 충돌을 일으키며 에너지를 전달하며, 에너지를 전달받은 입자는 온도가 상승하게 된다. 이 후 입자들의 비탄성 충돌이 발생하여 입자들의 전리 및 높은 에너지 준위로의 여기(勵起)가 일어나며, 이와 같은 과정이 반복적으로 발생할 때 아크방전이 지속되는 것이다(Kim 2011).

3.3 아크방전의 특성

아크방전이 발생할 때 전자와 입자가 탄성 충돌을 일으킬 경우 입자의 온도가 상승하며 약 3000~6000℃의 고온의 열을 발생시킨다. 또한 탄성충돌 이후 비탄성 충돌을 일으키는 과정에 발생한 여기(勵起)를 해소시키고 함께 빛(불꽃)을 방출시킨다(Kim 2011). 본 연구에서는 이러한 열 및 불꽃을 이용하여 플라이애시의 표면을 개질하도록 하였다.

3.4 아크방전 기계 구성

본 연구팀은 실험의 진행을 위하여 아크방전 기계를 자체적으로 설계 및 제작하였으며, 그 모습은 Fig. 7에 나타난 바와 같다. 아크방전 기계는 아크방전기, 집진기, 팬, 압축기로 구성되어 있다. 아크방전 기계의 성능은 Table 1에 나타난 바와 같다.

3.5 아크방전을 이용한 플라이애시의 표면개질 방법

본 기계를 이용한 플라이애시의 표면개질 방법은 다음과 같다. 먼저 일반적인 플라이애시를 주입구를 통하여 소량씩 투입한다. 투입된 플라이애시는 아크방전 영역으로 이동하며, 내부에 발생하

Table 1. Performance of arc discharge machine(Kim et al. 2018)

Dimension		2,000W×1,100L×2,200H
Fan (turbo) spec	Air volume	9cm ³ /min
	Static pressure	280mmAq
	Power	1 ∅220V 60HZ 0.4kW
ARC discharger	HVTR	1 ∅220V 60HZ(Input) 1 ∅00V 00KHZ(Output)
	ARC Pole	30×160×20 : 150∅×500L
Bag filter unit	Type	Filter type
	Filtre	Cartridge Type: 150∅×500L
	Quantity	3EA
Compressor	Type	Piston type
	Pressure	5kg/cm ² g
	Flux	00L
Power consumption		Min: 1.8Wh / Max: 2.5kWh

Table 2. Physical properties of using material

	Density(g/cm ³)	Fineness(cm ² /g)	Ignition loss(%)
FA*	2.24	4,302	9.0

* FA : Fly Ash

고 있는 고온의 아크 불꽃과 접촉하여 표면이 개질된다. 이 때 아크방전 영역은 총 4단계로 이루어져 있으며, 모든 아크방전 영역을 통과해 표면개질이 완료된 플라이애시는 집진기로 이동하여 토출된다. 본 연구에서는 확실한 표면개질 처리 효과를 얻기 위하여 위와 같은 과정을 2회 반복하도록 하였다.

4. 실험 계획 및 방법

4.1 사용 재료

본 연구에서는 시중에 유통되고 있는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하도록 하였다. 시멘트의 대체재로서는 일반적인 화력발전소

Table 3. Experimental plan - Physicochemical properties

Factors	Levels
Materials	- FA*, AFA**
Number of arc discharging	- 0, 2 times
Test items	- Ignition loss - SEM - Fineness - EDS - Density - XRD

* FA : Fly Ash ** AFA : Arc treatment Fly Ash

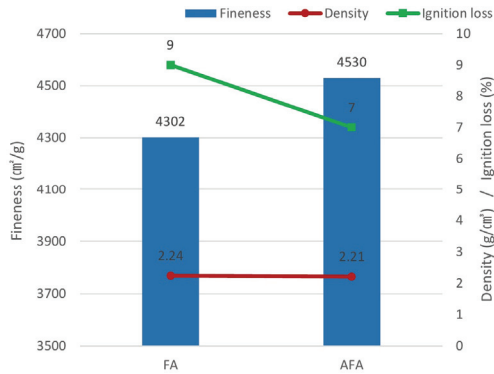


Fig. 8. Measurement results of fineness, density of FA and AFA (Kim et al. 2018)

에서 얻어지고 있는 플라이애시 및 이를 아크방전을 이용해 표면 개질한 것을 사용하였다. 일반적인 플라이애시의 물리적 특성은 다음 Table 2에 나타난 바와 같다.

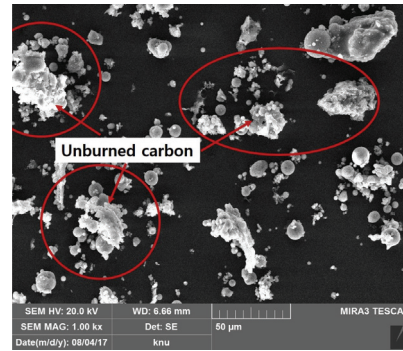
4.2 실험 계획

본 실험의 계획은 Table 3에 나타난 바와 같다. 아크방전이 플라이애시의 분말도 및 입자의 형상 등 물리적 특성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 KS 규격을 바탕으로 강열감량, 분말도, 밀도 및 SEM을 측정하였다. 또한 아크방전에 의한 플라이애시의 화학적 조성 변화를 확인하기 위하여 아크처리 전·후의 플라이애시 분말의 EDS 및 XRD 분석을 진행하였다.

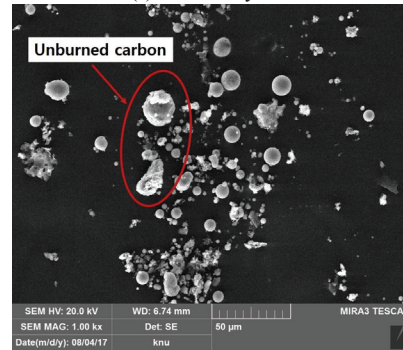
5. 실험 결과 및 분석

5.1 강열감량 · 분말도 · 밀도 측정 결과

아크방전 처리 된 플라이애시의 물리적 특성에 관한 실험 결과 강열감량이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 플라이애시가 아크방전 영역을 통과할 경우 고온의 아크 불꽃과 접촉함에 따라 내부에 함유되어 있던 미연탄소가 연소되어 제거되었기 때문에 얻어진 결과로 판단된다. 감소율은 약 2%로, 기존에 연구된 플라즈마 처



(a) Normal fly ash



(b) Surface treatment fly ash by arc discharge

Fig. 9. SEM analysis results of fly ash and surface treatment fly ash by arc discharge(Kim et al. 2018)

리를 2회 하였을 경우의 감소율인 3.24%와 유사한 수치로, 이를 미루어 보았을 때 아크방전은 플라즈마와 유사한 표면개질 처리 효과를 지닌 것으로 보여진다.

분말도의 경우 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 아크 불꽃과 플라이애시 입자가 접촉할 경우, 비교적 큰 플라이애시 입자의 일부가 파괴되어 입자 크기가 감소된 것에 기인한 결과로 보여진다. 밀도의 경우 아크 개질 처리 전·후에 있어서 큰 차이를 나타내지 않았으므로, 아크방전은 플라이애시의 밀도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

5.2 아크 플라이애시의 SEM 분석 결과

Fig. 9은 아크방전 처리 전·후의 플라이애시 분말의 SEM 분석 결과를 나타낸 것이다. (a)에 나타나듯, 일반적인 플라이애시는 내부에 다량의 미연탄소를 함유하고 있는 것을 확인할 수 있다. 반면, 아크 처리 된 플라이애시의 분석 결과인 (b)의 경우, 대부분의 미연탄소가 제거된 것을 확인할 수 있다. 이는 플라이애시가 아크방전 영역을 통과하는 과정에 있어서 고온의 아크 불꽃과 접촉함에 따라 미연탄소가 제거되었기 때문에 얻어진 결과로 보여진다.

Fig. 10은 아크방전에 의해 표면처리 된 플라이애시의 단일 입자를

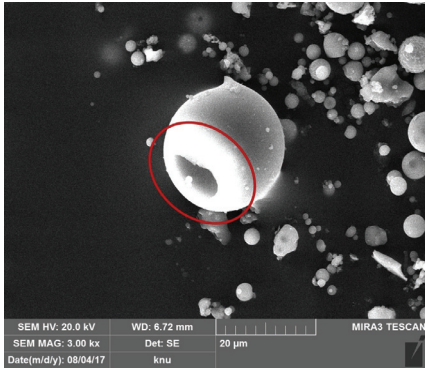


Fig. 10. SEM analysis results of surface treatment fly ash particles (Kim et al. 2018)

확대하여 나타낸 것으로, 입자의 형상이 변화한 것을 확인할 수 있다. 이는 아크불꽃과 플라이애시 입자가 접촉하는 과정에 있어 비교적 큰 입자의 일부가 파괴된 것으로 보여진다. 이와 같은 파괴에 의해 입자의 크기가 감소하였을 것으로 보여지며 결과적으로 분말도가 상승한 것으로 판단된다. 따라서 아크방전은 플라이애시 내부의 미연탄소를 제거할 수 있을 뿐만 아니라 입자의 크기를 감소시켜 분말도를 상승시키는 효과 또한 지니고 있는 것으로 보여진다.

5.3 아크 플라이애시의 EDS 분석 결과

일반적인 플라이애시 및 아크방전을 이용해 표면개질 한 플라이애시의 EDS 분석 결과 Table 4에 나타난 바와 같이 모든 원소 질량이 증가하였으나, Si 및 O 성분이 감소하는 것으로 나타났다. 증가한 원소의 경우 아크방전 처리 이후 증가한 분말도에 의해 분석 범위 내에 포함되는 입자의 표면적이 증가한 것에 기인한 것으로 판단된다.

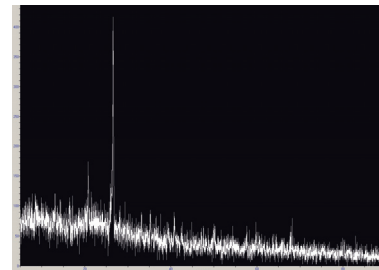
반면 감소한 Si 및 O의 경우, 플라이애시 표면의 유리질 박막이 파괴된 것에 기인한 결과로 보여진다. 일반적인 플라이애시의 경우 표면에 SiO₂ 결합으로 이뤄진 비정질의 유리질 박막이 형성되어져 있다고 할 수 있다. 이러한 유리질 박막이 아크 불꽃과 접촉할 경우, 고온의 열에 의해 결합구조가 파괴되며 SiO 및 O 성분으로 재결합 하여 공기중으로 분산됨에 따라 분석 결과 원소 질량이 감소한 것으로 판단된다.

5.4 아크 플라이애시의 XRD 분석 결과

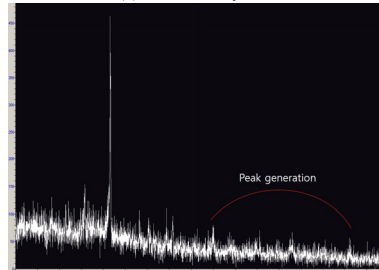
XRD 분석 결과, Fig. 11에 나타난 바와 같이 아크방전 처리 이후, 최대 피크점은 증가하였으며 특정 각도에 있어서 새로운 피크가 형성되는 경향을 나타내는 것을 확인하였다. 특히, Fig. 11의 (b)의

Table 4. Chemical composition of fly ash and surface treatment fly ash by arc discharge(wt%)

	FA	AFA
C	23.28	26.02
O	39.78	36.27
Mg	0.18	0.42
Al	3.42	11.56
Si	31.72	21.55
K	0.47	1.60
Ca	0.44	0.77
Fe	0.71	1.81
Pt	0.00	0.00
Total	100.0	100.0



(a) Normal fly ash



(b) Surface treatment fly ash by arc discharge

Fig. 11. XRD analysis results of fly ash and surface treatment fly ash by arc discharge

표시된 2θ 50°~80° 부근에서 가장 뚜렷한 경향을 나타내었다. 이는 플라이애시 표면의 유리질 박막이 아크방전에 의해 파괴되어 기존에 측정되지 않던 원소들이 분석됨에 따라 새로운 피크가 발생된 것으로 보여진다.

6. 결론

아크방전을 이용한 표면개질 플라이애시의 물리·화학적 특성 분석에 관한 연구 결과, 본 연구 범위 내에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 강열감량은 감소하였으며 분말도는 증가하였다. 이는 아크 불꽃에 의해 미연탄소가 제거될 뿐만 아니라 비교적 큰 입자의 일부가 파괴됨에 따라 얻어진 결과로 판단된다. 밀도의 경우 아크방전에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.
- 2) 아크방전 전·후의 플라이애시 분말의 SEM 분석 결과 기존의 플라이애시 내부에 함유되어 있던 미연탄소가 아크처리 이후 제거되는 것을 확인할 수 있었으며, 입자의 일부가 파괴되어 입형이 변화한 것을 알 수 있었다.
- 3) EDS 분석 결과 아크처리 이후 Si 및 O 성분이 감소하는 것으로 나타났으며, XRD 분석 결과 특정 각도에 있어서 새로운 피크가 형성된 것을 확인할 수 있었다. 이는 고온의 아크 불꽃에 의해 플라이애시 표면의 유리질 박막 구조가 파괴되며 얻어진 결과로 판단된다.

따라서 아크방전을 이용하여 플라이애시의 표면을 개질할 경우 미연탄소의 제거 효과가 있으며, 플라이애시의 분말도와 표면에 변화가 있는 것을 확인할 수 있었다.

단, 본 연구는 2회 개질처리에 한정된 기초적 연구로서 추후 아크 개질처리 횟수 등에 따른 플라이애시의 물리·화학적 특성 변화에 관한 추가적인 연구 진행이 필요할 것으로 보여진다.

감사의 글

본 논문은 한국연구재단에서 지원하는 개인기초연구지원사업 (지역, 과제번호 : NRF-2016R1D1A3B03931339)으로 이루어졌음을 밝히고 이에 감사드립니다.

References

Ahn, Y.K. (1998). Characteristics of Unburned Carbon in Fly Ash, *Journal of Konyang University*, **(6)**, 25–36. [in Korean]

Chung, O.Y., Jeong, S.G., Kim, J.H., Kim, S.M. (2012). Consideration of Ozone Removal and Control in Built Environment by Building Materials, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, **24(6)**, 467–475. [in Korean]

Jeong, Y.S., Kim, J.K., Choi, S.H., Ha, J.D., Park, H.K. (2008). *Concrete*, Pearson Education Korea LTD & Donghwa Technology Publishing Copyright. [in Korean]

Jo, U.J., Kwon, S.K., Lee, S.H. (2014). The Effect of Removing Unburned Carbon and Flow Property of Fly Ash according to Low Temperature Plasma, *Proceedings of the Korean Recycled*

Construction Resources Institute, **14(2)**, 57–59. [in Korean]

Kim, S.A., Park, S.G. (2017). Hydration properties of high volume cement matrix using blast furnace slag and alkaline aqueous by electrolysis, *Korean Recycled Construction Resources Institute*, **5(1)**, 8–13 [in Korean].

Kim, M.H., Kwon, Y.J., Choi, S.J., Kang, S.P., Shim, J.H. (2002). A Study on the Properties of High Volume Fly-Ash Concrete According to the Replacement Method and Ratio of Fly-Ash, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, **18(2)**, 123–130. [in Korean]

Kim, T.S. (2015). Manufacture of Nanoparticles using Plasma, *Journal of Korean Society of Mechanical Engineers*, **55(6)**, 38–41. [in Korean]

Kim, S.A., Park, S.G. (2018). Removal of Unburned Carbon and Surface Treatment Effect of Fly Ash Using Arc Discharge, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **30(1)**, 83–89. [in Korean]

Kim, B.Y. (2011). A Study on Indoor Air Cleaning in Crowd Facilities using Arc Reaction : focused on Bacteria Sterilization from the Air, *Doctoral dissertation, Myongji University Graduate*. [in Korean]

Koh, K.T., Ryu, G.S., Lee, J.H. (2010). Properties of the Flowability and Strength of Cementless Alkali-Activated Mortar Using the Mixed Fly Ash and Ground Granulated Blast-Furnace Slag, **12**, 114–121. [in Korean]

Lee, S.H., Mun, Y.B. (2009). Properties of Reaction Rim on Blast Furnace Slag Grain with Alkali Activator according to Hydration Reaction, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **18(3)**, 42–48. [in Korean]

Lee, C.H., Cho, M.H. (2013). Understand of Plasma, *Journal of Power Electronics*, **18(3)**, 29–33. [in Korean]

Lim, Y.J., Lee, S.H., Lee, S.J., Lim, D.S., Jeong, H.Y. (2012). A Study on the Unburned Carbon Removal Techniques of Fly Ash using Plasma Treatment, *Proceedings of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **12(1)**, 78–79. [in Korean]

Lim, Y.J., Lee, S.H., Lee, S.J., Lim, D.S., Lee, J.I. (2012). Unburned Carbon Removal Techniques of Fly Ash by Plasma, *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, **2012(5)**, 205–206. [in Korean]

Moon, J.Y., Han, M.S., Song, J.H., Kim, E.M. (2017). Global Application and Economic Analysis of Carbon Pricing for Emissions Reduction, *Korea Institute for International Economic Policy* [in Korean].

Park, Y.G., Kim, J.I. (2010). A study on the reduction of CO₂ emission by the application of clean technology in the cement industry, *Clean Technology*, **16(3)**, 182–190 [in Korean].

아크방전을 이용한 표면개질 플라이애시의 특성에 관한 실험적 연구

플라이애시는 콘크리트의 혼화재로서 사용되는 재료로, 이를 콘크리트 제조에 사용할 경우 시멘트 사용량 감소 및 내화학적 증가와 같은 성능 향상을 기대할 수 있다. 하지만 플라이애시는 미연탄소 함유량 및 표면에 존재하는 유리질의 박막과 같은 문제점이 지적되고 있다. 다량의 미연탄소를 함유하는 플라이애시를 사용하여 콘크리트를 제조할 경우, AE제의 흡착 현상에 의해 슬럼프가 저하되는 문제점이 동반된다. 또한, 입자 표면에 존재하는 유리질 박막은 플라이애시로부터 반응성 물질이 용출되는 것을 방해하여 화학 반응이 일어나지 못하게 만드는 역할을 한다. 지금까지 이러한 플라이애시의 문제점을 해결하기 위하여 플라즈마를 이용한 표면개질 방안이 연구되었으나, 플라즈마는 O_2 가 활성기체로서 사용될 경우 O_3 를 발생시키는 문제점을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 아크방전을 이용해 플라이애시의 표면을 개질하는 방안에 관한 연구를 진행하였으며, 그에 따른 플라이애시의 물리·화학적 특성 변화를 확인하였다. 실험 결과, 아크방전을 이용해 플라이애시의 표면을 개질할 경우 미연탄소가 제거되며 유리질 박막이 파괴되는 것을 확인하였다.