

Characterization of artificial aggregates fabricated from coal bottom ash containing much unburned carbon

Min A Kang and Seunggu Kang[†]

Department of Materials Engineering, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea

(Received December 30, 2010)

(Revised February 7, 2011)

(Accepted February 11, 2011)

Abstract The artificial aggregates (AAs) were manufactured from the parent batch powders consisting of bottom ash containing excess unburned carbon and dredged soil, 7:3 weight ratio by direct sintering method and those physical properties were evaluated. Especially, the effects of waste glass or frit (NWG) which was made by addition of 5 wt% Na₂O to the waste glass upon the bloating phenomenon of AAs were analyzed. The AAs manufactured from the parent batch powders showed a lower specific gravity than that of specimens containing waste glass or NWG due to excess unburned carbon which usually obstructs a sintering process. But, the waste glass added on parent batch powders promoted the sintering and densification thus increased the specific gravity of AAs. Also the specific gravity of AAs added with 5 wt% NWG was lowered compared to that of AAs added with as-received waste glass. This is because of bloating of shell which captures gases owing to the lowered viscosity of liquid formed at the specimen surface caused by Na₂O addition. In conclusion, the AAs sintered at above 1100°C in this study showed characters of lightweight aggregate of specific gravity 1.15~1.34 and water absorption 11~19%, and the bloating phenomenon of AAs was occurred at the shell rather black core part.

Key words Artificial aggregates, Waste glass, Coal bottom ash, Unburned carbon, Na₂O

미연탄소가 다량 함유된 석탄바닥재로 제조된 인공골재의 물성분석

강민아, 강승구[†]

경기대학교 신소재공학과, 수원, 443-760

(2010년 12월 30일 접수)

(2011년 2월 7일 심사완료)

(2011년 2월 11일 게재확정)

초 록 미연탄소가 과량 함유된 석탄 바닥재와 준설토가 30 wt% 혼합된 모분말(parent batch powders)로 부터 인공골재를 제조하고 그 물성을 평가하였다. 특히 폐유리 또는 폐유리에 Na₂O를 5 wt% 첨가하여 제조된 프리트(NWG)의 혼합이 인공골재의 발포 특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 모분말로 제조된 골재는 과량의 미연탄소가 소결을 방해하여 부피비중이 낮았다. 그러나 모분말에 폐유리를 첨가하면 소결이 촉진되어 치밀화가 일어나고 부피 비중이 증가하였다. 한편 모분말에 NWG를 5 wt% 첨가하여 인공골재를 제조하면, 단순히 폐유리만 첨가한 경우에 비하여 부피비중 값이 감소하였다. 이는 고온에서 용제의 점도가 Na₂O 영향으로 낮아짐에 따라 골재표면에 다량의 액상이 생성되었고 이로 인해 표면 액상에 가스가 포집되어 표피가 다공성을 나타내기 때문이다. 본 연구에서 1100°C 이상으로 소성된 시편은 부피 비중 1.15~1.34 및 흡수율 11~19%를 갖는 경량골재의 특성을 나타내었으며, 발포 현상은 내부가 아닌 표피에서 발생하는 특징을 보였다.

1. 서 론

화력발전소에서 석탄을 1500°C 이상의 고온에서 연소시킨 후 잔류된 물질이 보일러 밑으로 낙하된 것으로 바

닥재라고 한다. 우리나라에서 바닥재에 대한 재활용은 거의 전무한 실정으로, 일반적으로 바닥재는 해수로 냉각시켜 분쇄한 후 매립하는데, 현재 연간 매립량은 약 100만 톤으로 추정하고 있다[1, 2].

화력발전소에서 발생하는 석탄바닥재의 특성은 석탄의 종류 및 연소 보일러의 유형에 따라 매우 다양하다. 더구나 같은 화력발전소에서 동일한 보일러 방식으로 배출된 바닥재일지라도 연소조건에 따라 미연탄소 함량이 크

[†]Corresponding author

Tel: +82-31-249-9774

Fax: +82-31-244-8241

E-mail: sgkang@kgu.ac.kr

게 다를 수 있어 재활용에 어려움이 있다[3-5]. 또한 석탄 바닥재를 효율적으로 재활용하기 위해서는 세척, 미연탄소의 분리, 입도 조정, CaO 함량 제어 등의 전처리 공정이 요구되는데, 공정이 많을수록 경제성이 떨어진다는 문제점이 있다[6].

한편, 폐유리의 경우 2004년 기준으로 발생량이 76만 톤이며, 이중 54만 톤만이 재활용되고 나머지는 그대로 폐기되고 있는 실정이다[7]. 따라서 폐유리의 처리 및 재활용 문제가 새로운 관심사로 대두되고 있으며, 자원화 하려는 연구도 많이 시도되고 있다[8].

본 연구에서는 미연탄소분이 18 wt% 이상 과량 함유된 석탄 바닥재에 준설토를 혼합하여 인공골재를 제조하고 그 발포특성을 분석함으로써 폐기물의 자원화에 일조하고자 하였다. 이를 위해 인공 골재의 발포특성을 향상시키기 위하여 용제 보조제로서 폐유리를, 가스 발생제로서 등유를 첨가하였고, 소성온도에 따른 물리적 특성을 분석하였다. 특히 폐유리에 Na₂O가 첨가된 프리트를 사용함으로써 유리의 점도 감소가 고온에서 인공골재의 특성 및 미세구조에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 실험방법

인공골재 제조에 필요한 원료로서 석탄 바닥재는 우리나라 Y 화력발전소에서 배출된 석탄재 중 미연탄소가 다량 함유된 것을, 준설토는 동일한 화력발전소 공사현장에서 배출된 것을 각각 사용하였다. 또한 첨가제로 사용된 폐유리는 국내 거울제조 공장에서 발생하는 것을 사용하였다. 각 원료 및 첨가제의 조성을 Table 1에 나타내었다.

석탄 바닥재를 준설토와 7:3의 무게 비율로 혼합한 모분말(parent batch powders)에 등유 및 폐유리를 각각 3 wt% 및 5 wt% 첨가 하였다. 폐유리는 골재의 점탄성 거동을 제어하기 위해 첨가하였고 등유는 가스를 발생시키는 발포제로서 사용하였다. 또한 폐유리에 Na₂O를 5 wt%를 첨가하여 제조한 낮은 점도의 유리 프리트(frit)도 첨가제로 사용하였다. 본 연구에서 제조된 3가지 종류의 인공골재 시편의 원료 배합비를 Table 2에 나타내

Table 2
Compositions of artificial aggregates (wt%)

Specimen I.D.	Parent batch*	Kerosene	Waste glass	(Na ₂ O added to waste glass)
0G	100	0	0	(0)
5G	92	3	5	(0)
5G-5N	92	3	5	(5)

*Parent batch is composed of 70 wt% bottom ash and 30 wt% dredged soil.

었다. 시편명의 G는 폐유리를, N은 Na₂O를 나타낸 것이며, G 앞에 쓴 숫자는 골재에 첨가한 폐유리의 양(wt%)을, N 앞에 쓴 숫자는 폐유리에 첨가된 Na₂O의 양(wt%)을 나타낸다.

출발 원료인 석탄 바닥재, 준설토, 폐유리는 전기 건조기에서 110°C/24 hr 조건으로 건조한 후 핀 밀(pin mill)을 이용하여 분쇄하여 150 μm 이하 크기의 입자만을 선택 사용하였다. 혼합된 배치 분말의 성형성을 높이기 위하여 물을 20 wt% 첨가한 뒤 지름 8~10 mm의 구형 성형체를 제조하였다.

성형된 건조체는 1050~1250°C에서 10분 간 직화법으로 소성하였다. 여기서 직화법은 미리 소성 온도로 예열시킨 로에 시편을 넣어 일정시간 소성한 뒤 바로 상온으로 배출시키는 소성방법이다. 사용된 원료의 화학조성은 XRF(ZSX-100e, Rigaku, Japan)를 사용하여 분석하였으며, 열적특성은 TG/DTA(STA 409 C/CD, Netzsch Co., Germany)를 사용하여 분석하였다. 제조된 인공골재의 비중 및 흡수율은 KS F 2503 “굵은 골재의 비중 및 흡수율 시험방법”을 사용하여 측정하였으며, 미세구조는 광학현미경(DCS-105, Sometech-vision, Korea)을 이용하여 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에 사용된 바닥재, 준설토, 그리고 폐유리의 화학조성을 세라믹 3축 성분계에 의거하여 구조(frame) 산화물, 중성(neutral) 산화물 그리고 용제(fluxing) 산화물로 분류하였다(Table 1). 석탄바닥재의 미연탄소 성분은

Table 1
Chemical compositions of raw materials (wt%)

Raw materials	Components		Frame oxide			Neutral oxides			Fluxing oxides			Others		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	C	Ig. loss	Total	
Bottom ash	45.6	18.6	8.1	2.2	0.8	0.2	0.5	0.1	1.3	0.2	18.1	4.1	100	
Dredged soil	70.7	14.4	3.8	0.8	0.2	2.5	2.7	0.0	0.8	0.0	0.0	4.1	100	
Waste glass	65.3	2.2	1.4	8.3	3.1	12.3	0.5	0.0	0.3	0.0	0.0	6.7	100	

소성 시 CO₂ 가스를 발생시켜 세라믹 소지 내부의 기공 형성과 경량화를 유도하는 특징을 갖는다. 그러나 미연 탄소분은 일반탄소와 달리 반응성이 낮고 내화도가 높으며 더구나 그 표면이 소수성이어서 물과 혼합하여 성형을 할 때 가소성을 떨어뜨린다는 문제점이 있다. Fe₂O₃는 중성산화물로 분류되지만, 환원분위기로 소성하면 1000°C 부근에서 FeO로 전이되어 용제산화물 역할을 한다.

준설토는 화력발전소 건설시 준설토 토양으로 주성분인 SiO₂와 Al₂O₃ 성분이 각각 70.7 wt%와 14.4 wt%로, 점토와 유사한 조성 특성을 가지며 골재 제조 시 가소성을 높여준다. 폐유리는 SiO₂가 65.3 wt%로 주성분을 이루고 있으며, 용제 산화물이 24.2 wt%로 상당한 양이 포함되어 있다. 따라서 용제 성분이 부족한 원료를 이용하여 경량의 인공골재를 제조 할 때 폐유리는 우수한 보조 첨가제인 것으로 판단된다.

Table 1에 나타난 원료들의 화학조성 및 본 실험에서 제조된 여러 시편조성을 Fig. 1의 세라믹 3성분계에 나타내었다. 가장 큰 점선영역은 Riley[9]가 발포(bloating)에 효과적인 조성이라고 보고한 것이다. 본 연구에 사용된 석탄바닥재는 Riley의 발포영역에서 약간 벗어나 있고, 준설토는 발포영역에 포함되어 있다. 단, 본 3성분계에 표시된 석탄바닥재는 탄소의 함량이 고려되지 않은 것이다. 한편 폐유리는 중성산화물 양이 적고 SiO₂의 양이 많아 SiO₂-flux 2성분계 축 상단 부근에 위치한다.

Na₂O의 첨가량과 온도변화에 따른 폐유리의 점도를 계산하여 Fig. 2에 나타내었다. 온도 T에서 유리 액상의 점도(η)는 Lakatos가 제안된 다음 실험식을 사용하였다 [10, 11].

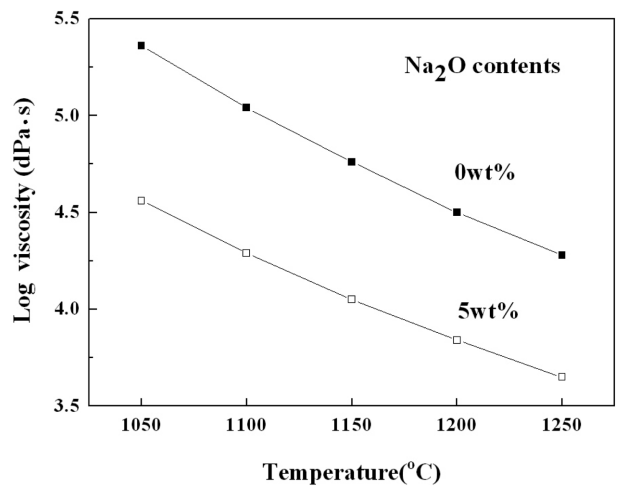


Fig. 2. Log viscosity of the waste glass as a faction of temperature and Na₂O content added.

$$\log \eta = -A + B/(T - T_0) \quad (1)$$

여기서 A, B, T₀는 유리 성분변화에 따라 실험적으로 얻어진 상수이다. Fig. 2에 나타낸 유리의 점도는 온도가 높을수록 또한 Na₂O의 첨가량이 많을수록 감소하는 경향을 보였다. 인공 골재를 소결할 때 적절한 점도의 액상이 표면을 감싸주어야 가스 방출이 억제되고 따라서 발포현상이 나타날 수 있으므로 액상의 점도 제어가 중요하다.

유리에서 망목구조(network structure) 형성이온 당 산소이온 비를 나타내는 R값은 유리의 점도와 밀접한 관계를 갖는다. Kingery는 R값 계산을 위해 다음과 같은 실험식을 제안하였다[12].

$$R = \frac{O}{Si + B + \frac{1}{3}Al + \frac{1}{2}Pb} \quad (2)$$

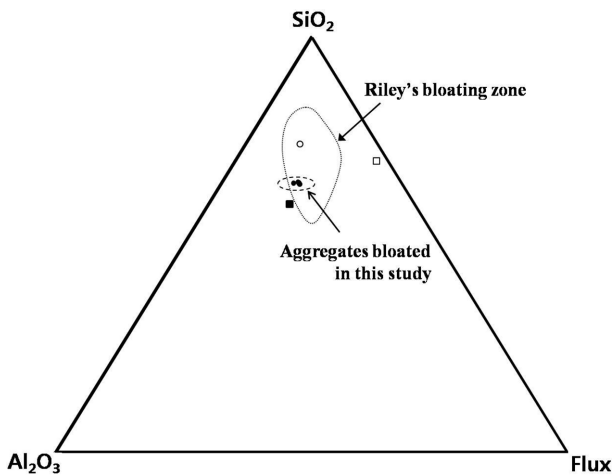


Fig. 1. Ternary diagram of ceramic composition showing the bloating zones during sintering process published by Riley [9]. The specimens fabricated in this study are included in the Riley's bloating zone (■: bottom ash, ○: dredged soil, □: waste glass).

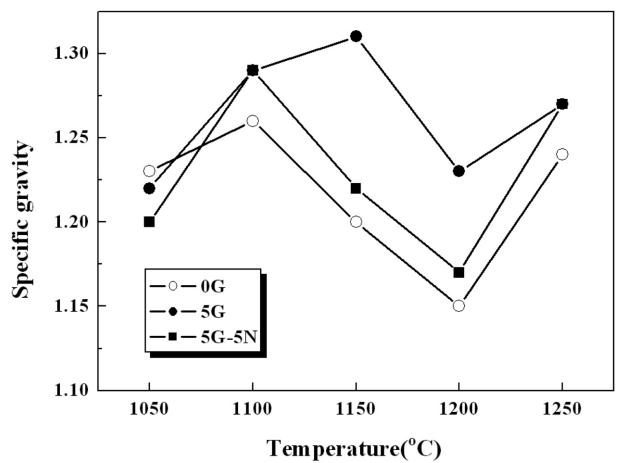


Fig. 3. Specific gravity of artificial aggregates sintered at 1050~1250°C for 10 min in electric furnace as a function of waste glass content added.

식 (2)를 이용하면 본 연구에 사용된 페유리의 $R = 2.68$ 이고, 페유리에 Na_2O 를 5 wt% 첨가한 프리트(frit)는 $R = 2.78$ 으로 계산된다. 순수한 SiO_2 유리에 대하여 $R = (2 \text{ oxygen}) / (1 \text{ silicon}) = 2$ 이며, $R > 2$ 인 조성의 유리는 망목구조를 이루는 $[\text{SiO}_4]$ 4면체간 결합들이 일부 끊어지면서 액상의 점도값이 낮아진다. Fig. 2의 점도결과를 보면, 페유리에 5 wt% Na_2O 를 첨가한 경우, R 값 증가는 3.7%이지만, 점도는 대부분의 온도에서 1 order 가량 낮아지는 효과를 나타낸다.

Fig. 3은 1050~1250°C 온도범위에서 직화법으로 소성한 시편의 부피비중 결과이다. 바닥재와 준설토가 70:30 (wt%)인 모분말(parent batch powders)만으로 제조된 0G 시편은 1100°C 이상에서 소결하면, 다른 조건으로 제조된 인공골재에 비해 낮은 부피비중 값을 갖는다. 이는 바닥재 내 미연탄소 함량이 많기 때문에, 모분말 자체만으로 제조된 시편은 소결이 어려워 치밀화되지 못하고 다른 시편들에 비해 부피비중이 낮게 나타난 것으로 보인다.

반면 모분말에 페유리를 5 wt% 첨가하여 제조된 인공골재 5G는 1100°C 이상의 소결온도에서 모분말만으로 제조된 시편에 비해 높은 부피비중 값을 보였다. 이것은 페유리가 고온에서 액상을 형성함으로써 미연탄소에 의해 억제된 소결반응을 촉진하고 시편을 치밀화 시켰기 때문으로 판단된다.

그런데 페유리에 Na_2O 를 5 wt% 첨가하여 제조된 프리트를 5 wt% 혼합하여 제조된 5G-5N 시편의 부피비중은 초기 원료 상태 그대로의 페유리를 첨가한 골재에 비해 낮거나 비슷하게 나타났다. 이는 페유리에 Na_2O 가 5 wt% 첨가된 프리트는 고온에서 생성되는 액상의 점도가 더 낮고(Fig. 2), 따라서 골재표면에 많은 양의 액상을 생성시키기 때문이다. 즉 가스들이 표면 액상에 포집되어 표피가 다공성이 되므로 그만큼 골재가 경량화 된 것으로 생각된다.

인공골재의 부피비중에 미치는 소성온도의 영향은 온도 구간별로 차이가 있었다. 소성 온도를 1050~1100°C, 1100~1200°C, 그리고 1200~1250°C의 세 구간으로 나누어 관찰하면, 첫째 1050~1100°C 구간에서는 소성온도와 함께 골재의 부피비중이 증가하는 경향을 보인다. 이는 비교적 저온구간에서는 액상이 거의 생성되지 않기 때문에 치밀화는 고상소결 기구에 의해서만 일어나므로 소성온도 증가에 따라 소결이 촉진되어 부피비중이 증가한 것이다.

둘째 1100~1200°C 구간에서는 5G 시편을 제외한 모든 시편들의 부피비중이 소성온도와 함께 감소하는 경향을 나타낸다. 두번째 온도 구간에서 소성온도와 비중이 반비례하는 것은, 이 구간에서 어느 정도 형성된 액상으로 시편이 점탄성을 나타내어, 발생된 가스를 포집하게 되므로 발포가 이루어지기 때문으로 판단하였다. 그러나

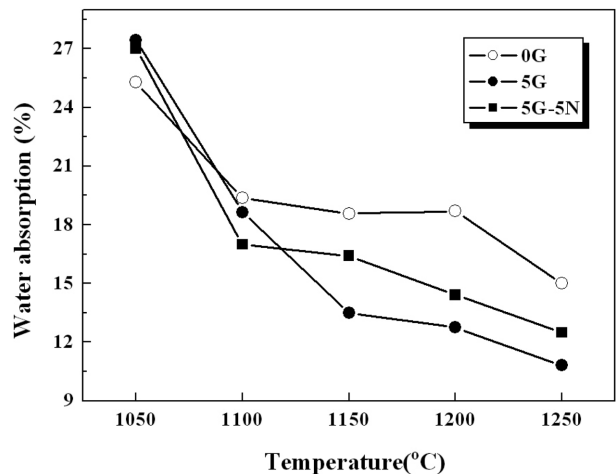


Fig. 4. Water absorption of artificial aggregates sintered at 1050~1250°C for 10 min in electric furnace as a function of waste glass content added.

절단면 관찰을 통해 발포기구가 기존의 세라믹 경량골재와는 다르다는 것을 알 수 있었다. 이에 대하여는 Fig. 6 결과를 설명할 때 더 자세하게 논하였다.

마지막 1200~1250°C의 고온구간에서는 소성온도와 함께 비중이 증가한다. 1250°C의 고온에서는 액상 생성량이 많을 뿐 아니라 그 점도가 상당히 낮아 가스가 빠져나간 기공 또는 균열 등을 액상이 쉽게 매워 수축거동을 보이는 것으로 생각된다.

Fig. 4에 제조된 인공골재의 소성온도에 따른 흡수율 결과를 나타내었다. 소성온도 증가에 따라 인공골재의 흡수율은 감소하였다. 이는 소성온도가 증가하면 표면에 형성된 액상의 양도 함께 많아지기 때문이다(Fig. 5).

한편 모분말로 제조된 인공골재는, 1100~1250°C 소성 범위에서, 페유리들을 첨가해 제조된 골재들에 비해 높은 흡수율을 보였다. 인공골재의 표면 사진을 보면(Fig. 5), 페유리가 첨가된 5G 시편이나 페유리의 점도를 낮춘 프리트를 섞어 제조된 5G-5N 시편에 비해 0G 시편의 표면에 형성된 액상 양이 많지 않고 이로 인해 높은 흡수율을 나타낸 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 고온으로 갈수록 더욱 두드러지게 나타난다. 또한 절단면을 보면(Fig. 6), 시편 0G 내부에는 균열이 발생하였기 때문에 더욱 흡수율이 높았다고 생각된다.

모분말에 페유리를 5 wt% 첨가한 인공골재 5G의 경우, 1150~1250°C 소성범위에서 다른 시편들에 비해 가장 낮은 흡수율을 나타내었다. 이는 페유리가 고온에서 액상을 형성하여 소결을 촉진하며 치밀화가 이루어졌고, 동시에 표면 액상형성으로 흡수율이 감소된 것으로 판단된다. 그러나 페유리의 점도를 낮춘 프리트를 섞어 제조된 5G-5N 시편의 경우, 1150~1250°C 소성구간에서 흡수율이 5G 시편보다 높게 나타났다. 이는 1150~1250°C

Specimen I.D. / Sintering Temperature(°C)	0G	5G	5G-5N
1050			
1100			
1150			
1200			
1250			

Fig. 5. Optical microscopic photographs for the external appearance of artificial aggregates sintered at 1050~1250°C for 10 min in electric furnace.

소성구간에서 제조된 5G-5N 시편들은 표피부분에 많은 기공이 발생되었고(Fig. 6), 이 기공들은 주로 개기공(open pores)이기 때문이다(Fig. 5). 특히 Fig. 5의 1250°C에서 소성된 5G-5N 시편의 표피를 자세히 보면 커다란 개기공이 산재되어 있음을 확인 할 수 있다.

Fig. 6에 나타낸 소성된 골재의 절단면을 관찰해 보면 대부분 1050°C에서는 표면을 이루는 붉은색 표피(shell)와 검은색의 중심부(core)로 구성되어 있어, 소위 블랙코어(black core) 현상이 잘 나타났다. 표피는 산화 분위기에서 소성되므로 Fe₂O₃ 영향으로 붉은색을 띠고, 중심부는 Fe₂O₃가 FeO로 환원되어 검은색 또는 검붉은 색을 띠는 것이다. 이때 Fe₂O₃의 환원을 촉진하는 것은 탄소의 산화반응이다. 1100°C까지의 소성온도에서는 0G 및 5G 시편에서 블랙코어 현상이 관찰되나 그 이상의 온도에서는 뚜렷이 관찰되지 않았다. 이는 석탄 바닥재에 포함된 과량의 미연탄소로 인하여 고온에서는 시편 표면에 있는 Fe₂O₃마저도 환원되어 검은색을 띠기 때문이다.

모분말로만 성형되어 1200°C 이상에서 소성된 시편에

서는 내부에 균열이 관찰되었는데, 폐유리 또는 Na₂O가 첨가된 프리트를 넣어 제조된 인공골재에서는 그러한 균열이 점차 사라지는 것을 볼 수 있다. 내화도가 높은 미연탄소에 의해 소결이 어려워 시편이 불균일하게 수축되기 때문에 균열이 발생하는데, 폐유리를 첨가하면 내부는 점탄성 특성을 보이면서 불균일한 수축을 억제하므로 균열이 감소하는 것이다.

Fig. 6의 인공골재 단면사진에서 특이한 것은 가스의 발포가 블랙코어 부분에서 이루어지지 않고 표피에서 이루어진 경우이다. 이는 1200°C 이상으로 소결한 모든 시편들에서 잘 관찰된다. 본 연구에 사용된 석탄바닥재는 미연 탄소를 과다하게 함유한 것이어서, 탄소의 산화가 주로 시편표면에서 이루어지고, 이에 따라 내부보다 표면에 가스 발생 및 액상 형성이 많아져서 표피에 가스가 포집되었기 때문이다.

본 연구로부터, 미연탄소분이 많은 석탄바닥재를 준설토와 7:3(무게비)으로 혼합하여 1100~1200°C 소성범위에서 인공골재를 제조할 경우, 발포가 일어나 부피비중

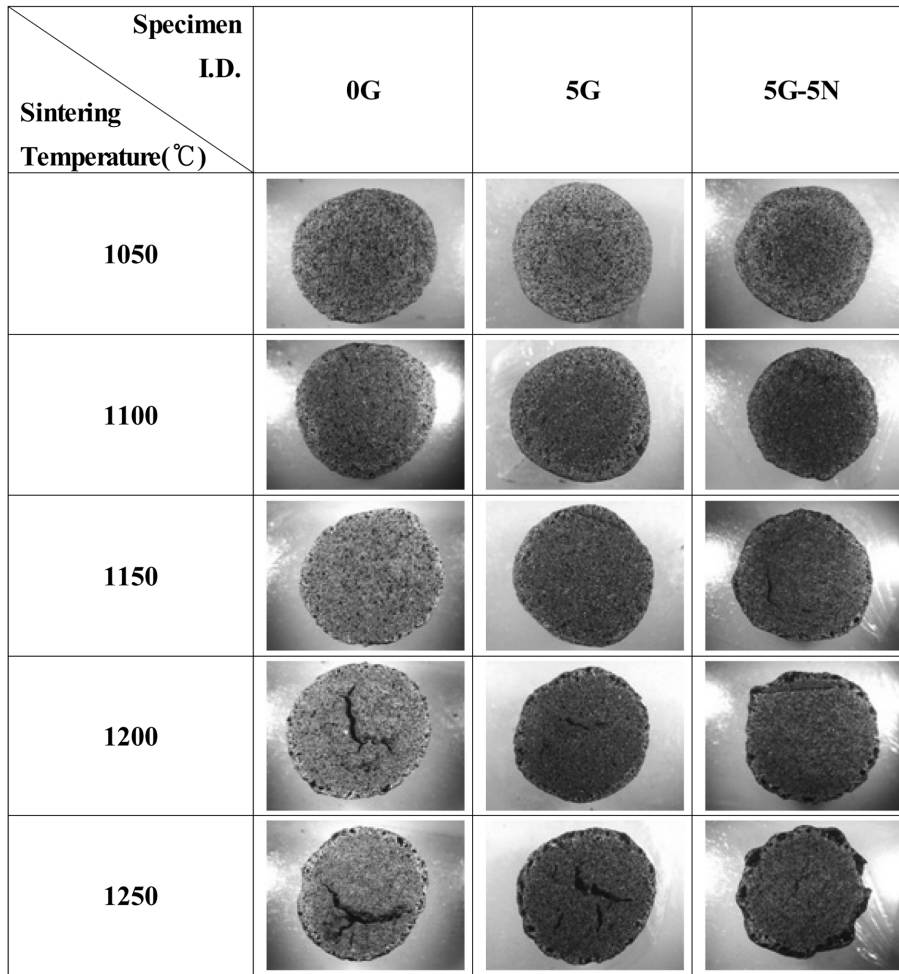


Fig. 6. Optical microscopic photographs for the cut section of artificial aggregates sintered at 1050~1250°C for 10 min in electric furnace.

이 1.15까지 낮아지는 경량화 특성을 보이지만, 이는 블랙코어에서의 발포가 아닌 표피에서의 발포에 의한 것임을 알 수 있었다. 또한 페유리를 5 wt% 첨가하면 액상이 형성되어 소결을 촉진하므로 부피비중이 높아짐을 확인하였다.

한편 페유리에 Na_2O 를 5 wt% 첨가하여 제조된 프리트를 섞어 제조된 시편의 경우, 표피에서의 발포가 더 발생하고 따라서 원래 페유리만 첨가한 시편에 비해 부피비중이 낮아짐을 알 수 있었다. 흡수율은 1100~1250°C 소성범위에서 제조하면 인공골재의 조성에 따라 11~19%를 나타내었다. 이로부터 본 연구조성을 이용하여 부피비중이 1.15~1.34인 경량이고 다양한 흡수율을 갖는 인공골재를 제조할 수 있음을 확인하였다.

4. 결 론

미연탄소분이 18 wt% 이상 과량 함유된 석탄 바닥재

에 준설토를 혼합하여 인공골재를 제조함에 있어 용제 보조제로서 페유리를, 가스 발생제로서 등유를 첨가하였고, 소성온도를 변수로 하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

미연탄소 함량이 18 wt% 이상인 석탄바닥재로 인공골재를 제조하면, 석탄바닥재에 함유된 과량의 미연탄소분으로 인하여 1150°C 이상으로 소결된 대부분의 시편들은 블랙코어 현상을 보이지 않았다. 또한 미연탄소가 소결을 방해하여 치밀화가 일어나지 않았다. 그러나 모분말에 페유리를 첨가하여 제조된 인공골재는 소결이 촉진되어 치밀화되었다.

한편 Na_2O 가 5 wt% 함유된 페유리를 첨가하여 1100°C 이상으로 소결하면 단순 페유리를 첨가한 경우보다 부피비중이 낮게 나타났다. 이는 Na_2O 첨가로 인해 고온에서 액상의 점도가 낮아지고 그만큼 골재 표면에 많은 양의 액상이 생성되기 때문이다. 표면에 생성된 액상은 기체를 포집함으로써 다공성의 표피구조가 나타나게 하며, 그 결과 부피비중이 낮아졌다. 발포 현상이 블랙코어에

서가 아닌 표피에서 일어나는 특이한 현상은 1200°C 이상에서 소성된 시편이나 Na₂O가 5 wt% 함유된 프리트를 첨가한 시편에서 더욱 두드러지게 나타났다.

본 연구에서 1100~1250°C 소성범위에서 제조된 인공 골재는 부피비중이 1.15~1.34이고 흡수율은 11~19%인 경량골재의 특성을 나타내어 경량콘크리트 또는 세라믹 담체 분야 등에 적용이 가능하며, 따라서 미연탄소 함량이 많은 석탄 바닥재, 준설토 그리고 폐유리등을 인공골재의 원료로 재활용을 할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단에서 지원하는 2009년도 일반 연구자 지원사업 중 기본연구 2009-0077077에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] K.D. Kim and S.G. Kang, "Manufacturing artificial lightweight aggregates using coal bottom ash and clay", J. Kor. Cryst. Growth and Cryst. Tech. 17[6] (2007) 277.
- [2] W.J. Choi, "Characteristic of environmental and physical of domestic waste", J. Kor. Geo-Environ. Soc. 2[3] (2001) 77.
- [3] Korea Electric Power Industrial Development Corporation, <http://www.kepid.co.kr>.
- [4] S.U. Shin, S. Kumar, T.U. Jung and B.W. Shin, "The strength and characteristic of PCC bottom ash", J. Kor Geo-Environ. Soc. 8[2] (2007) 57.
- [5] K.D. Kim, J.H. Kim, Y.T. Kim, S.G. Kang and K.G. Lee, "Production of lightweight aggregates using power plant reclaimed ash", J. Kor. Ceram. Soc. 47[6] (2010) 583.
- [6] K.D. Kim, "A study on application and fabrication of functional ceramics for constructing materials using eco-friendly waste recycling process", Doctoral dissertation, Kyonggi University (2010).
- [7] Korea glass bottle recycling association, <http://kgra.org> (2004).
- [8] S.S. Kim, J.B. Lee, B.R. Nam and G.P. Park, "Performance evaluation of artificial lightweight aggregate mortar manufactured with waste glass", J. Kor. Conc. Ins. 21[2] (2009) 147.
- [9] C.M. Riley "Relation of chemical properties to the bloating of clay", J. Am. Ceram. Soc. 34[4] (1951) 121.
- [10] H. Scholze, "Glass Engineering", Chungmungak (1995).
- [11] T. Lakatos, L.G. Johansson and B. Simmingskod, "Viscosity temperature relation in the glass system SiO₂-Al₂O₃-Na₂O-K₂O-CaO-MgO in the composition range of technical glasses", Glass Technol. 13 (1972) 88.
- [12] W.D. Kingery, H.K. Bowen and D.R. Uhlmann, "Introduction to ceramics", John Wiley & Sons, New York (1979).