

The mechanism of black core formation

Jiyun Park[†], Yootaek Kim, Ki-Gang Lee, Seunggu Kang and Jung-Hwan Kim

Department of Materials Engineering, Kyonggi University, Suwon 442-760, Korea

(Received September 15, 2005)

(Accepted September 30, 2005)

Abstract The 10 mm diameter aggregates made of clay, carbon and Fe_2O_3 were prepared to investigate the mechanism of black core formation. The specific gravity, absorption rate, percent of black core area, fracture strength, total Fe analysis, and XRF were measured at various compositions, sintering temperatures, sintering times, sintering atmospheres, and sintering methods. Small addition of Fe_2O_3 did not affect physical properties of the aggregates; however, the percent of black core area increased with increasing carbon contents and increasing sintering temperature. Specific gravity of the aggregates decreased and the water absorption ratio increased with increasing percent of black core area. The aggregates sintered at oxidation atmosphere showed clear border between shell and black core area. Hence, the aggregates sintered at reduction atmosphere showed only black core area in the cross-section of the aggregates. The specific gravity of the aggregates sintered at reduction atmosphere increased with increasing carbon contents and that was the lowest of all comparing other aggregates sintered at different atmospheres. Adsorption rate increased with increasing carbon contents at all atmospheres. The fast sintered aggregates showed lower specific gravity, higher absorption rate, and more black core area than the normally sintered aggregates. It was turned out that the aggregates having more black core area showed higher fracture strength than that of aggregates with no black core area. From the total Fe analysis, the concentration of Fe and FeO was higher at black core area than at shell. Because the concentration of Fe_2O_3 in the shell was higher than other area, the color of the shell appeared red. It was also turned out from the XRF analysis that carbon was exist only at black core area.

Key words Aggregates, Black core, Carbon, Fe_2O_3

블랙코어 형성 메커니즘

박지윤[†], 김유태, 이기강, 강승구, 김정환

경기대학교 재료공학과, 수원, 442-760

(2005년 9월 15일 접수)

(2005년 9월 30일 심사완료)

요약 골재를 제조할 때 골재의 증양에 만들어지는 블랙코어(black core)의 형성 메커니즘을 살펴보기 위해 적점토, 탄소(carbon), 산화철(Fe_2O_3)이 혼합된 직경 10 mm 구형골재의 조성, 소성온도, 소성시간, 소성분위기, 소성방법을 변화시키면서 각각의 비중, 흡수율, 블랙코어 면적비(%), 파괴강도, Fe 총량분석, XRF를 측정하고 비교하였다. 소량의 산화철 첨가는 골재의 물성에 큰 영향을 미치지 않는 반면 탄소는 많이 첨가될수록, 소성온도가 증가할수록 블랙코어가 더 많이 형성되었고, 블랙코어의 비율이 증가하면 그만큼 비중은 감소하고 흡수율은 증가하였다. 산화분위기에서 소성시킨 골재는 껍질(shell)과 블랙코어가 뚜렷하게 구분되는 반면 환원분위기에서 소성한 시편에서는 시편의 단면전체에 블랙코어가 형성되었고, 산화분위기와 중성분위기와는 달리 환원분위기에서 소성된 시편에서는 탄소첨가량이 증가할수록 비중이 증가했으며, 전반적인 비중은 가장 낮았다. 흡수율은 모든 분위기에서 탄소 첨가량이 증가할수록 증가했다. 소성방법을 달리하여 실험한 결과 직화소성한 시편에서는 블랙코어가 잘 형성되었고, 승온소성한 시편에 비해 비중은 작고 흡수율은 높았다. 또한 파괴강도의 측정결과를 통해 블랙코어가 형성되지 않은 골재시편의 강도가 블랙코어가 형성된 시편보다 다소 크다는 사실을 알 수 있었다. Fe 총량분석결과 블랙코어에서 껍질보다 많은 Fe와 FeO가 분포하였고, 껍질에는 적색을 띠는 Fe_2O_3 가 많이 분포되어 있었다. XRF 분석 결과를 통해 탄소는 블랙코어 형성부위에서만 존재한다는 것을 알 수 있었다.

[†]Corresponding author

Tel: +82-11-269-7160

Fax: +82-31-249-9775

E-mail: toggami@hanmail.net

1. 서론

점토를 기본 원료로 하여 성형한 골재를 소성할 때, 골재의 중앙부위에 검은색을 띠는 블랙코어(black core)가 형성되는 경우가 있다[1]. 이 블랙코어는 점토 내에 포함된 유기물질이 외부의 산소와 미처 반응(산화)하지 못해 내부에서 환원반응이 일어나게 되어 형성되며[1-3], 이것은 산소와 반응이 이루어진 골재의 껍질(shell)과 구분되어 블랙코어와 껍질 사이에 경계가 생기게 된다[1].

골재가 산소와 반응하여 유기물질이 제거되는 시간은 초기 유기물질의 양, 입자크기, 산화된 골재의 껍질(shell)을 통한 산소확산, 산소분압과 관련이 있고, 화학반응과 산소의 확산은 반응 온도에 의존하며, 산화된 껍질의 두께는 반응 시간에 의존하므로[1, 2, 4, 5] 산소량이 증가할수록 블랙코어의 면적은 감소하게 된다[3, 6]. 산소가 유기물질과 접촉 할 때의 화학식은 $O_2(g) + [C+I](s) \rightarrow I(s) + CO_2(g)$ 와 같이 나타내어지는데 여기서 I는 탄소(carbon)와 함께 블랙코어를 형성하고[1, 2, 4, 7], CO_2 가스는 외부로 방출되지만 골재표면에 유리질이 형성될 경우 외부로 방출되지 못하고 내부에 갇혀 기포가 되어 발포되므로 골재는 경량화 된다[5]. 그러므로 블랙코어 부분에는 기공이 많이 존재하게 되고[6] 껍질부분은 유리질에 의해 매우 치밀한 구조와 점성을 갖게 되어, 발포시 골재의 부피는 증가하고 비중은 작아지며 표면의 유리질 형성의 정도와 발포의 정도에 따라 흡수율이 변화하게 된다.

그러므로 본 연구에서는 이러한 반응 메커니즘을 토대로 하여 블랙코어 형성메커니즘 파악을 위해 환원제인 탄소와 Fe_2O_3 를 사용하여 이것들이 블랙코어 형성에 각각 어떠한 영향을 미치는지, 또한 블랙코어 형성으로 인해 골재의 물성은 어떻게 변화되는지를 알아보고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1. 골재 재료 및 성형

적점토(S사), 비정질탄소(Yakuri pure chemicals co., Ltd.), Fe_2O_3 (Kanto chemical co., Inc.)를 준비하고, 준비된 이 재료들은 물과 함께 혼합하여 직경 약 10 mm 정도의 구형으로 성형하였다. 비정질탄소는 0.0~5.0 wt%, Fe_2O_3 는 0.0~2.0 wt%까지 첨가량을 변화시켰다.

2.2. 골재 건조 및 소성

성형된 각 조성의 골재를 100°C에서 24시간 건조시킨 후 산화분위기, 환원분위기(골재를 탄소분말속에 묻고

질소가스 500 ml/min 투입), 중성분위기(질소가스 500 ml/min 투입)에서 1100°C, 1150°C, 1200°C로 변화시키고, 소성시간은 각각 10분, 20분, 30분, 60분으로 나누어서 소성하였다. 소성방법의 차이에 따른 골재의 물성을 비교하기 위해 한 가지 조성의 골재를 이용하여 직화소성과 승온소성 실험을 병행하였다. 여기서 직화소성은 목표 온도에서 로 문을 열고 골재시편을 직접 투입하는 것이고 승온소성은 실온에서 골재시편을 로에 넣은 후 천천히 가열하는 것을 말한다.

2.3. 골재 물성측정

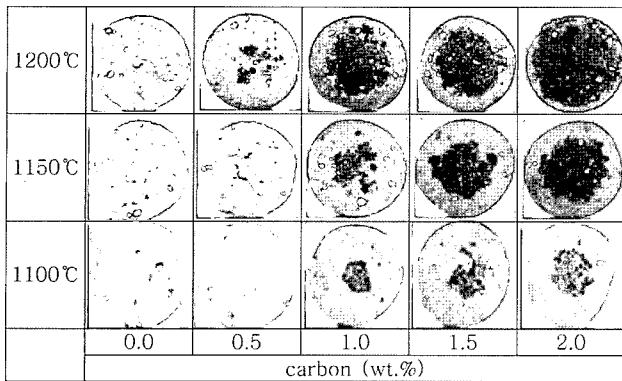
블랙코어 형성이 골재의 물성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 KS F 2503(굵은 골재의 비중 및 흡수율 시험 방법)에 따라 표건비중 및 흡수율을 측정하고, 골재시편의 중앙부분을 다이아몬드 칼날로 절단하여 Camscope 3.0(썸텍비전(주))으로 골재의 단면을 관찰하고 조성변화에 따른 블랙코어의 형성 정도와 블랙코어 면적비를 측정·비교하였다. 또한 블랙코어의 형성 유무에 따라 골재 개개의 파괴강도(KSU-30M, 경성시험기(주))를 측정하여 그 평균치를 비교하고, Fe 총량분석(DX-500, Dionex, USA)과 XRF(ZSX-100e, Rigaku, Japan) 분석을 통해 골재 내부에 형성된 블랙코어와 겉껍질의 성분을 비교해 보았다.

3. 실험결과 및 고찰

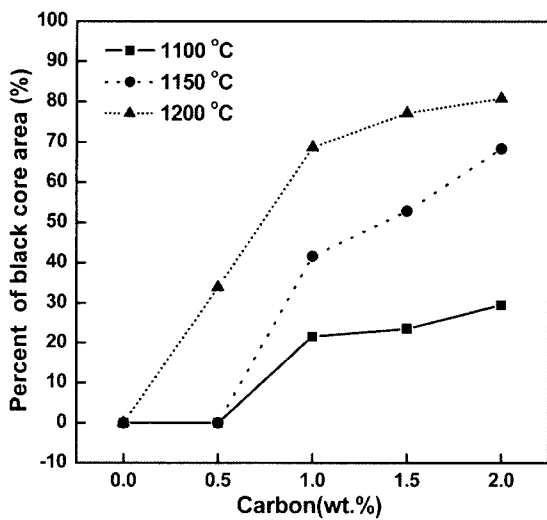
3.1. 블랙코어 형성 및 면적비

3.1.1. 탄소 첨가량에 따른 블랙코어형성

탄소의 첨가량이 블랙코어형성에 미치는 영향을 살펴 보기 위해 산화철(Fe_2O_3) 첨가량은 1 wt%로 고정시킨 상태에서 비정질 탄소의 첨가량을 0.0~5.0 wt%까지 증가시킨 골재시편들을 각각 비교하였다. 중앙에 형성된 블랙코어가 전체 단면적에 차지하는 퍼센트를 계산(=블랙코어단면적/전체단면적×100)한 결과 Fig. 1에서와 같이 탄소가 많이 첨가될수록, 온도가 증가할수록 블랙코어 형성 면적이 증가되었고, 1100°C와 1150°C에서는 탄소가 1 wt% 이상, 1200°C에서는 0.5 wt% 이상 첨가되었을 때 블랙코어가 형성되었다. 따라서 각 소성 온도에서 블랙코어를 형성하는 탄소의 임계함량이 존재하는 것으로 판단되며, 1100°C 이상에서는 탄소의 임계함량이 1.0 wt%이며 온도가 높아질수록 탄소의 임계함량은 줄어들어 소량의 탄소 함유량만으로도 블랙코어가 잘 형성된다는 것을 알 수 있었다. 탄소를 5 wt%까지 과량으로 첨가했을 때에는 Fig. 2에서 보듯이 오히려 블랙코어



(a)



(b)

Fig. 1. Percent of black core area at various carbon contents, (a) cross-sectional view of aggregates at various carbon contents and sintering temperatures, (b) percent of black core area vs. carbon contents.

가 잘 형성되지 않았다. 너무 많은 탄소가 존재하면 골재의 치밀화에 방해요소가 될 뿐만 아니라 소성 중 골재 내부에 환원분위기 조성을 오히려 하기 힘든 것으로 사료되므로 탄소는 0.5~4.0 wt%를 첨가하는 것이 블랙코어 형성에 적절한 것으로 판단되었다. 또한 소성온도 1150°C에서 소성시간을 10분부터 60분까지 변화시킨 골재시료들을 비교해본 결과 30분까지는 소성 시간이 길어질수록 블랙코어가 더 많이 형성되었으나 60분 소성했을 때에는 Fig. 2에서와 같이 다소 블랙코어가 덜 형성되는 경향을 보였는데 이것은 긴 소성시간 동안 치밀화가 일어나는 과정에서 일부 탄소가 산화되어 CO₂로 변환되어 걸썩질을 빠져나간 것으로 판단된다.

3.1.2. 산화철 첨가량에 따른 블랙코어 형성

산화철의 첨가량이 블랙코어 형성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 앞 실험에서 블랙코어가 잘 형성되었던 탄

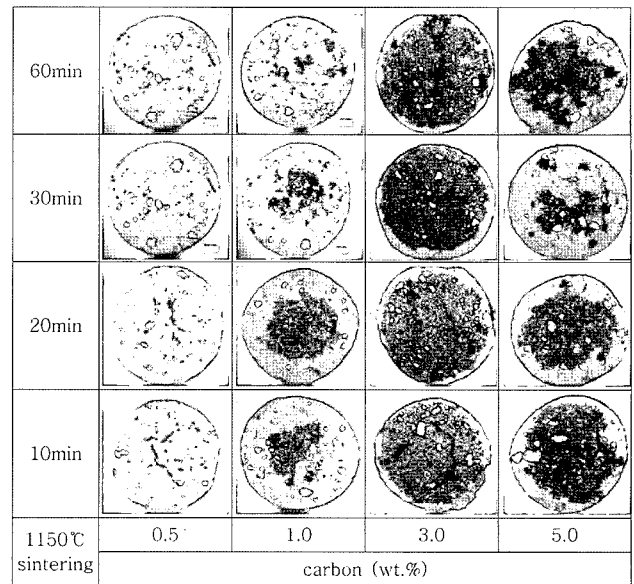
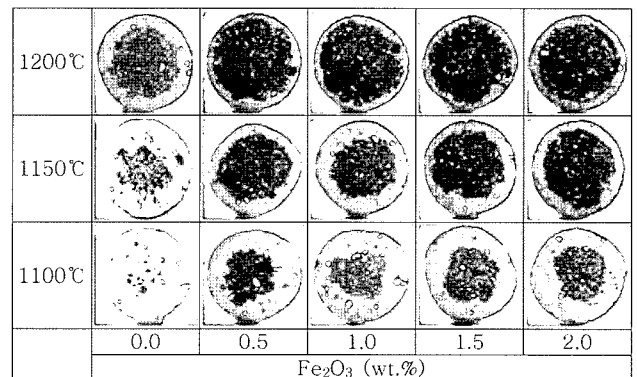
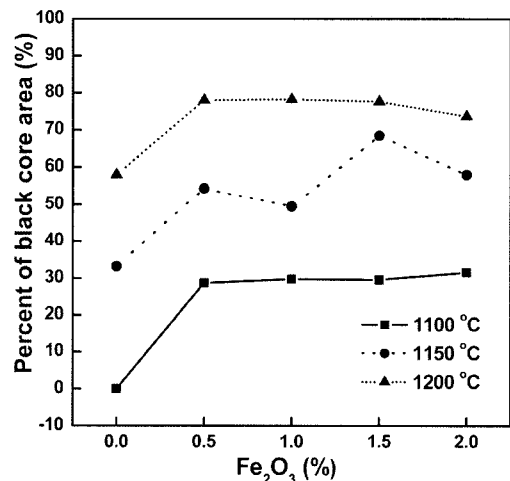


Fig. 2. Cross-sectional view of aggregates at various carbon contents and sintering time.



(a)



(b)

Fig. 3. Percent of black core area at various Fe₂O₃ contents, (a) cross-sectional view of aggregates at various Fe₂O₃ contents and sintering temperatures, (b) percent of black core area vs. Fe₂O₃ contents.

소함유량을 선정하여 탄소첨가량을 2 wt%로 고정시킨 상태에서 산화철의 첨가량을 0.0~2.0 wt%까지 증가시킨 조성의 골재시편들을 각각 비교하였다.

블랙코어가 전체 단면적에 차지하는 퍼센트를 계산한 결과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 산화철을 첨가하지 않은 것 보다는 첨가한 것이 블랙코어가 더 많이 형성되었으나 첨가량에 따른 블랙코어 형성 정도는 비례하지 않았고, 온도가 증가할수록 블랙코어가 더 많이 형성되었다. 이것으로 보아 산화철의 첨가량은 블랙코어의 양에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다.

3.1.3. 분위기에 따른 블랙코어 형성

소성 분위기가 블랙코어의 형성에 미치는 영향을 알아보기 위해 산화분위기는 로내에 어떤 가스도 흘러주지 않은 상태에서 골재가 공기와 직접 접하는 상태에서 소성을 진행하였고, 중성분위기는 로내에 질소가스를 1분당 500 m³씩 흘러주어 골재가 산화되지 않도록 하였으며, 환원분위기는 알루미늄 도가니 속에 탄소분말을 가득 채워 그 속 깊숙이 골재를 묻어 주위의 탄소에 의해 환원분위기가 형성되도록 하였으며 동시에 질소가스를 로내에 흘러주었다.

산화분위기에서 소성시킨 골재는 껍질과 블랙코어가 뚜렷하게 구분되는 반면 환원분위기에서 소성시킨 골재는 단면전체에 블랙코어가 형성되었고, 중성분위기에서 소성시킨 골재는 1150°C 이상에서 소성시켰을 때 환원분위기와 같은 결과를 보였다. 이처럼 환원분위기일 때 골재의 단면전체에 블랙코어가 형성되는 이유는 골재내부에 존재하는 탄소가 산소와 반응하여 기체가 되어 날아가지 못하고 미연탄소로 남게 되고 이것이 골재내부에서 환원제로 작용하여 산화철을 환원시킨 결과로 사료된다.

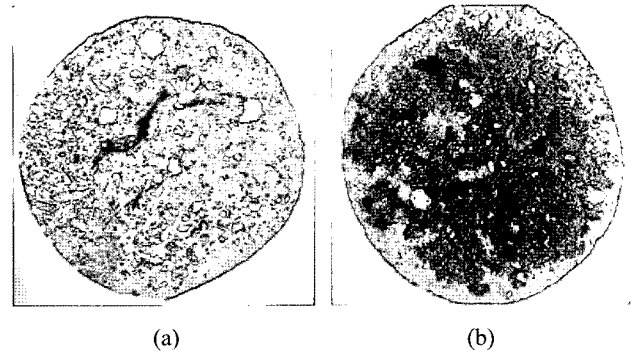


Fig. 4. Cross-sectional view of aggregates with different firing method of (a) normal sintering, (b) direct sintering.

3.1.4. 소성방법에 따른 블랙코어 형성

소성방법에 따른 비중 및 흡수율의 차이를 비교하기 위해 탄소 5 wt%와 산화철 1 wt%가 첨가된 조성의 골재를 사용하여 직화소성과 승온소성으로 나누어 실험을 진행하였다. 직화소성은 1200°C에서 골재를 로내에 투입하여 30분 동안 유지시켰다가 실온에서 냉각시켰다. 여기서 직화소성은 원하는 온도에서 즉시 골재를 투입했다가 일정시간 유지 후 꺼내는 방법을 말한다. 승온소성은 골재를 로내로 투입한 상태에서 15분 동안 300°C까지 온도를 올린 후 이어서 300°C에서 1200°C까지 30분 만에 급격히 승온시켰다가 로냉시켰다. 이것은 골재를 대량생산하기위해 사용되는 로터리 킬른의 소성법과 거의 같은 조건을 만들어 모의 실험한 것이다. 이 두 가지 실험의 결과 Fig. 4와 같이 직화소성한 것은 블랙코어가 형성되었고 승온소성한 것은 블랙코어가 형성되지 않았는데 이것은 직화소성의 경우 고온에서 단시간 내에 소성이 이루어지므로 골재내부의 물질들이 미처 산화가 일

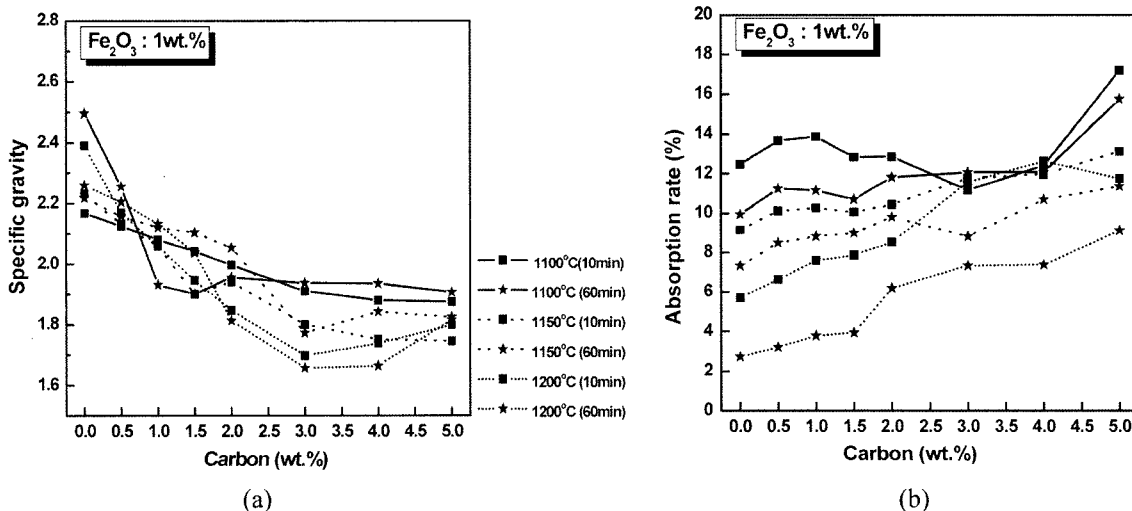


Fig. 5. Specific gravity and absorption rate at various carbon contents, (a) specific gravity vs. carbon contents, (b) absorption rate vs. carbon contents.

어나기도 전에 외부에 유리질이 형성되어 산소가 차단되므로 골재 내부에서 환원반응이 일어나 블랙코어가 형성되는 것이고, 이에 반해 승온소성은 직화소성에 비해 저온에서 시작되므로 온도가 올라감에 따라 서서히 내부의 물질들이 산화되면서 진행되기 때문에 블랙코어가 형성되지 않는 것으로 사료된다.

3.2. 비중 및 흡수율

3.2.1. 탄소 첨가량에 따른 비중 · 흡수율

탄소 첨가량에 따른 비중을 비교해보면 Fig. 5(a)와 같이 탄소첨가량이 증가할수록 비중이 점차 감소하는 경향이 있었다. 같은 조성에서 온도를 1100°C, 1150°C, 1200°C

로, 소성시간은 10분과 60분으로 변화시켜 비교해 보았을 때 온도와 소성시간에 따른 비중 차이는 크게 나타나지 않았다. 흡수율은 Fig. 5(b)와 같이 탄소의 첨가량이 증가함에 따라, 온도가 낮아짐에 따라, 소성시간이 짧아짐에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다. 요약하자면 일반적으로 탄소 첨가량이 증가함에 따라 비중은 감소하고, 흡수율은 증가하는 경향을 보였다.

3.2.2. 산화철 첨가량에 따른 비중 · 흡수율

Fig. 6에서와 같이 비중은 산화철의 첨가량이나 온도 변화, 시간변화에 따라 큰 차이를 보이지 않았고, 흡수율도 역시 산화철의 첨가량에 따라 큰 차이는 없었으나 시간과 온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 그

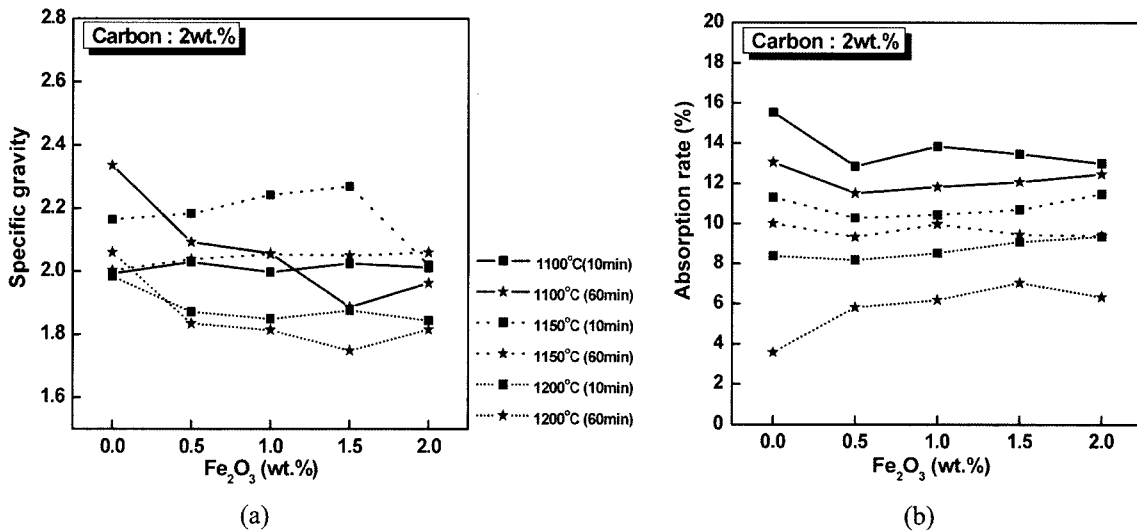


Fig. 6. Specific gravity and absorption rate at various Fe₂O₃ contents, (a) specific gravity vs. Fe₂O₃ contents, (b) absorption rate vs. Fe₂O₃ contents.

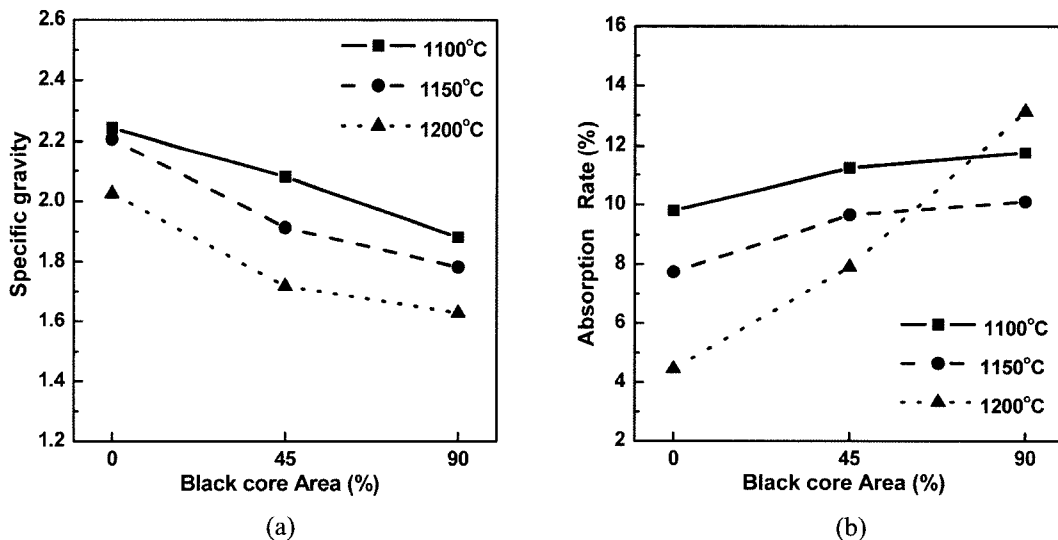


Fig. 7. Specific gravity and absorption rate at various percent of black core area, (a) specific gravity vs. percent of black core area, (b) absorption rate vs. percent of black core area.

러므로 골재에 존재하는 소량의 산화철 성분은 인공경량 골재의 비중과 흡수율에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료되었다.

3.2.3. 블랙코어의 양에 따른 비중 · 흡수율

블랙코어의 양과 비중 및 흡수율의 연관성을 분석해본 결과 Fig. 7과 같이 블랙코어가 많이 형성될수록 비중은 감소하고, 흡수율은 증가하는 경향을 보였는데 이것은 치밀한 조직을 가진 골재의 겉질에 비해 블랙코어 부분에는 많은 기공이 존재하기 때문에 블랙코어가 증가하면 그만큼 비중은 감소하고 흡수율은 증가하게 되는 것으로 판단된다.

3.2.4. 소성 분위기에 따른 비중 · 흡수율

소성분위기에 따른 비중 및 흡수율의 차이를 보면 Fig. 8에서의와 같이 산화분위기와 중성분위기에서는 탄소 첨가량이 증가할수록 비중이 감소하는 반면 환원분위기에서는 탄소첨가량이 증가할수록 비중이 증가하는 경향을 보였고, 전반적으로 산화분위기와 중성분위기보다는 환원분위기에서 낮은 비중을 보였다. 이것은 각 분위기에서의 CO 분압 차에 기인한 것으로 $C+O_2 \rightarrow CO_2$, $CO_2+C \rightarrow 2CO$, $CO+Fe_2O_3 \rightarrow FeO(l)$ 의 과정을 따라 1100°C 이상이 되면 FeO가 액상으로 형성되어 골재 내부에서는 치밀화가 일어나고 그로인해 골재의 비중도 높아지는 것으로 사료된다. 그러므로 산소가 많은 분위기

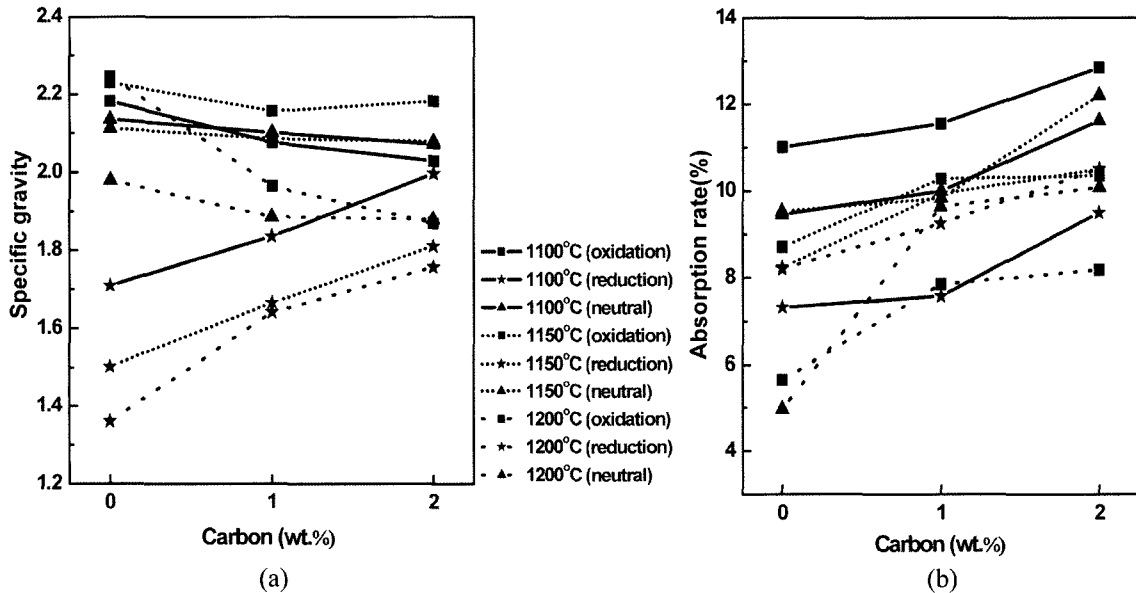


Fig. 8. Specific gravity and absorption rate at various carbon contents with various atmospheres, (a) specific gravity vs. carbon contents, (b) absorption rate vs. carbon contents.

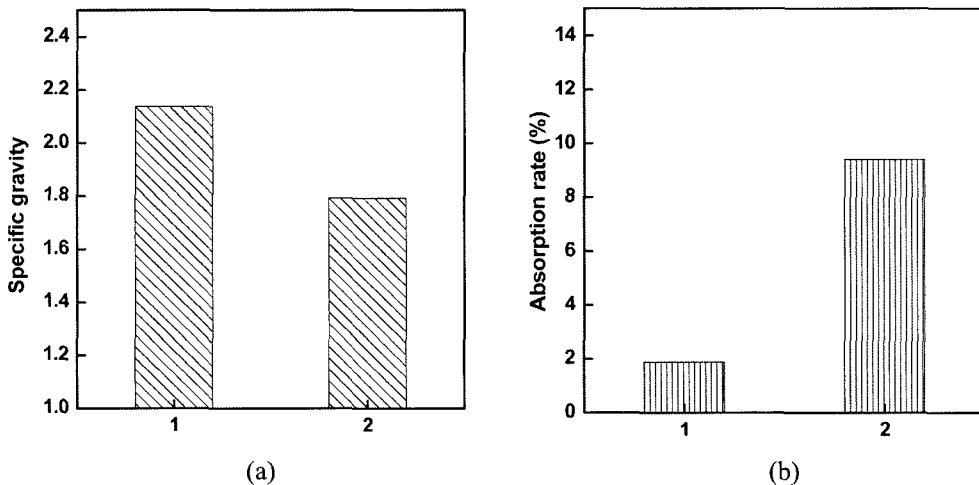


Fig. 9. Specific gravity and absorption rate with different sintering method, (a) specific gravity vs. sintering method, (b) absorption rate vs. sintering method (1 : normal sintering, 2 : direct firing).

에서 FeO의 액상형성이 원활하게 되고 이에 따라 환원 분위기보다는 산화분위기와 중성분위기에서 비중이 높은 경향이 나타난다. 흡수율은 모든 분위기에서 탄소첨가량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다.

3.2.5. 소성방법에 따른 비중 · 흡수율

Fig. 9에서 소성방법에 따른 비중 및 흡수율의 차이를 보면 직화소성한 것이 승온소성한 것에 비해 비중은 작고 흡수율은 높는데, 승온소성의 경우는 치밀화가 더 잘 일어나고 직화소성의 경우는 외부의 유리질 형성으로 인해 내부에 기공이 형성되기 때문에 직화소성이 승온소성에 비해 비중은 작고 흡수율은 높아지는 것으로 생각된다.

3.3. 파괴강도 및 성분분석

블랙코어가 형성된 골재와 형성되지 않은 골재의 파괴 강도를 비교해보면 블랙코어가 형성되지 않은 것의 파괴 강도는 658N, 블랙코어가 형성된 것의 파괴강도는 498N으로 블랙코어가 형성되지 않은 골재의 강도가 더 큰 것을 알 수 있는데 이것은 블랙코어 부분이 다공질로 이루어져 있어 그만큼 강도도 약해진다는 사실로서 설명될 수 있다.

다음으로 산화철이 블랙코어와 껍질부분에 어떤 형태로 존재하는지 알아보고자 블랙코어 부분과 껍질부분의 Fe 총량분석을 해본 결과 Table 1과 같이 블랙코어 부분에서 껍질보다 많은 Fe와 FeO가 발견되었다. 이것은 Fe₂O₃가 환원된 증거이며 그로인해 블랙코어 부분이 검게 보이는 것임을 알 수 있고, 껍질부분에서는 Fe₂O₃가 많이 발견된 것으로 보아 Fe₂O₃에 의해 껍질부분이 적색으로 보인다는 사실을 알 수 있다. Table 2의 XRF 분석의 결과를 통해 탄소가 껍질에는 존재하지 않지만 블랙코어에서는 존재하는 것으로 보아 블랙코어 영역에는 Fe 및 FeO 뿐만 아니라 탄소가 존재하여 검은색을 띠게 된다는 사실을 알 수 있었다.

Table 1
Total Fe analysis of shell and black core area of an aggregate

	Fe	FeO	Fe ₂ O ₃
Shell	<0.10	<0.10	8.34
Black core	1.12	2.78	3.20

Table 2
XRF analysis of shell and black core area of an aggregate

	Ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	C	Total
Shell	0.15	68.24	17.13	8.43	0.68	1.19	0.64	2.36	0.86	0.09	0.16	-	99.94
Black core	0.18	68.03	16.89	8.28	0.68	1.17	0.63	2.36	0.87	0.09	0.16	1.23	100.57

4. 결 론

1) 탄소가 골재에 많이 첨가될수록, 온도가 증가할수록 골재내부에 블랙코어가 더 많이 형성되며 어떠한 조건에서든지 탄소는 반드시 임계함유량 0.5 wt% 이상은 첨가되어야 블랙코어가 형성된다는 사실을 알 수 있었다. 그러나 산화철의 첨가량은 블랙코어의 양에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

2) 산화분위기에서 소성시킨 골재는 껍질과 블랙코어가 뚜렷하게 구분되는 반면 환원분위기에서 소성시킨 골재는 단면전체에 블랙코어가 형성되었고, 중성분위기에서 소성시킨 골재도 환원분위기와 비슷한 결과를 보였다.

3) 직화소성한 것은 블랙코어가 잘 형성되었고 승온소성한 것은 블랙코어가 잘 형성되지 않았다.

4) 탄소의 첨가량이 증가할수록 비중은 점차 감소(환원분위기는 제외)하며 온도와 소성시간에 따른 뚜렷한 비중 차이는 없었고, 흡수율은 탄소의 첨가량이 증가함에 따라, 온도가 낮아짐에 따라, 소성시간이 짧아짐에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다. 산화철의 첨가량은 비중과 흡수율 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료되었다.

5) 블랙코어 부분에는 많은 기공이 존재하기 때문에 블랙코어가 증가하면 그만큼 비중은 감소하고 흡수율은 증가하였다.

6) 소성분위기에 따른 비중 및 흡수율의 차이를 보면 산화분위기와 중성분위기에서는 탄소첨가량이 증가할수록 비중이 감소하는 반면 환원분위기에서는 탄소첨가량이 증가할수록 비중이 증가하는 경향을 보였고, 전반적으로 환원분위기에서 낮은 비중을 보였으며 흡수율은 모든 분위기에서 탄소첨가량이 증가할수록 증가하였다.

7) 소성방법에 따른 비중 및 흡수율의 차이를 보면 직화소성한 것이 승온소성한 것에 비해 비중은 작고 흡수율은 높는데, 직화소성의 경우는 외부의 유리질 형성으로 인해 내부에 기공이 형성되기 때문에 직화소성이 승온소성에 비해 비중은 작고 흡수율은 높아지는 것으로 판단되었다.

8) 파괴하중 측정결과 블랙코어가 형성되지 않은 골재의 강도가 더 큰 것을 알 수 있는데 이것은 블랙코어 부분이 다공질로 이루어져 있어 그만큼 강도도 약해진다는 사실로서 설명될 수 있다. 골재의 성분 분석으로부터 블랙코어 및 껍질의 성분 변화를 골재 물성의 변화와 연관시킬 수는 없었지만, Fe 총량분석결과 블랙코어에서

겉질보다 많은 Fe와 FeO가 발견되었고 이것은 Fe_2O_3 가 환원된 증거로서 그로인해 블랙코어 부분이 검게 보이는 것이며, 겉질에서는 적색을 띠는 Fe_2O_3 가 많이 발견되었다. XRF 분석의 결과를 통해 탄소가 겉질에는 존재하지 않지만 블랙코어에서는 존재하는 것으로 보아 블랙코어 영역이 검은색을 띠는 이유는 Fe, FeO 성분의 존재뿐만 아니라 미연탄소의 존재역시 역할을 하는 것으로 사료되었다.

9) 위의 결과로부터 골재 제조 시 골재 내부에 블랙코어를 인위적으로 생성시키거나 또는 형성되지 않도록 여러 조건을 조절할 수 있게 되어 제조하고자 하는 인공골재의 물성을 조절할 수 있는 기초를 마련하였다.

감사의 글

본 연구는 산업폐기물재활용기술개발사업단의 연구비(2D-A-1-1) 지원으로 수행되었기에, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] F. Negre, A. Barba, J.L. Amoros and A. Escarkino,

“Oxidation of black core during the firing of ceramic ware-2. process kinetics”, Br. Ceram. Trans. J. 91 (1992) 5.

- [2] A. Escardino, A. Barba, A. Blasco and F. Negre, “Oxidation of black core during firing of ceramic ware: 4 Relationship between effective diffusivity of oxygen through oxidised layer and properties characterising its porous structure”, British Ceramic Transactions 94(3) (1995).
- [3] Y.J. Joo and M.S. Oh, “Unburnt carbon combustion in the production of light weight sintered fly ash”, Proceeding of Ksee Conference (2002) 91.
- [4] A. Barba, F. Negre, M.J. Orts and A. Escardino, “Oxidation of black core during the firing of ceramic ware-3. influence of the thickness of the piece and the composition of the black core”, Br. Ceram. Trans. J. 91 (1992) 36.
- [5] Jon Pacini, “Bloating and black coring”, Laguna Clay Co, January (1999).
- [6] S.S. Cava, J.A. Cerri, C.A. Paskocimas, E. Longo, J.A. Varela, T. Mendoca and C.G. Herter, “Supressing black-coring in single-fire ceramic tiles by controlling klin atmosphere”, Ceramic tile quality (1998) 15.
- [7] Alexander Karamanov, Paola Piscicella, Carlo Cantalini and Mario Pelino, “Influence of Fe^{3+}/Fe^{2+} ration on the crystallization of iron-rich classes made with industrial wastes”, J. Am. Ceram. Soc. 83(12) (2000) 53.