

규석 종류에 따른 ALC 물성 연구

A Study for Physical Properties of ALC using different Quartzite

(Received November 25, 2011 / Revised December 22, 2011 / Accepted December 26, 2011)

추용식^{1)*}, 서성관, 임두혁, 송훈, 이종규, 이승호

한국세라믹기술원 그린세라믹본부

¹⁾Yong-Sik Chu, Sung-Kwan Seo, Du-Hyuk Im, Hun Song, Jong-Kyu Lee, Seung-Ho Lee
Green Ceramic Div., Korea Institute of Ceramic Eng. & Tech., Seoul, 153-801, Korea

Abstract

ALC was fabricated using cement, lime and quartzite by hydrothermal reaction. The kind of quartzite was reviewed for ALC properties and returned slurry was recycled in this study. Munkyeong and Kumpyung quartzite was used and quartzite powder was experimented. The major mineral phase of Munkyeong quartzite was quartz and muscovite crystal but that of Kumpyung was quartz. It was certain that crystallinity of Kumpyung quartzite was superior to Munkyeong quartzite. Compressive strength and A-number of ALC with Kumpyung quartzite was higher than that of ALC with Munkyeong quartzite under similar specific gravity. These results was resulted from major mineral phase, crystallinity and minor components of quartzite.

키워드 : 경량콘크리트, 규석, 회수 슬러리, 압축강도

Keywords : ALC, Quartzite, Returned Slurry, Compressive strength

1. 연구의 목적

대표적 경량 기포콘크리트인 ALC (Autoclave Light-weight Concrete)는 오토클레이브에서 고온고압 조건으로 제조한다. ALC의 기포는 그 크기에 따라 거대기공과 미세 기공으로 구분되는데, 이들 기포는 전체 ALC 체적에 70~80 %를 차지하여 소재 자체는 단지 20~30 %에 불과하다. 따라서 이들 기포들로 인해 ALC는 낮은 밀도 (0.5~0.7) 특성과 경량성, 단열성, 내화성, 흡음성 (차음성) 등을 발현하며, 이는 ALC 내부 기포와 연관되어 있다.¹⁻⁴⁾ 그러나 상기의 장점과 더불어 다수의 기공으로 인하여 쉽게 부서지는 취성과 기타 경쟁 제품보다 불량한 강도특성을 나타낸다. 이는 발포제에 의한 다수의 거대기공 발생 및 기공들의 병합현상에 따른 결함 형성, 성형·숙성과정 중 핸들링 및 자중에 의한 크랙 발생 등이 주요 원인이다. 이러한 현상들을 극복하기 위해 다양한 방안들이 실험되고 있으

며, 이중 규석의 종류를 달리하여 개선하고자 하는 연구도 다수 진행되고 있다.⁵⁻⁷⁾

대부분의 제품 제조 시 규석 원료는 SiO₂ 함량이 80 % 이상이며, ALC도 규석의 유용성을 SiO₂ 함량에 따라 평가하고 있기도 하다. 규석은 수열합성 반응을 하는 동안 생석회 등과 반응하여 새로운 광물을 형성하며, 이 반응은 일정 시간 내에 완료되어야 하므로 그 반응성은 규석의 물리화학적 특성에 따라 변화될 수 있기 때문이다. 또한 불순물의 함량도 중요한 결정요소이다. 알칼리성분, 즉 Na₂O와 K₂O의 함량은 1.5 % 이하여야 한다고 보고되고 있기도 하다. 알칼리는 대개 장식 또는 운모 형태로 함유되는데 운모는 적은 함량으로도 강도를 저하시켜 장식보다 더 나쁜 영향을 미치므로 최대 3 %로 제한되기도 한다. 점토와 점토질광물의 함량이 높은 경우에는 슬러리의 점도가 높아져 품질에 나쁜 영향을 미친다. 또한 규석의 화학성분 및 분말도 등은 ALC의 압축강도와 수축률 등에도 영향을 미치는 요소이다.⁸⁾ 그러므로 본 연구에서는 규석 종류에 따른 ALC의 물리화학적 특성 변화를 관찰하였으며, 이때 회수 슬러리를 재활용하였다. 더불어 ALC 제조

* Corresponding author
E-mail: yschu@kicet.re.kr

공정에서 생산된 시험편을 사용·분석하여, ALC 품질변화에 생산 공정 영향도 포함되도록 제어하였다

2. 실험 방법

2.1 실험 재료

본 연구에서는 Table 1과 같은 화학성분을 갖는 시멘트, 생석회 및 석고 등을 사용하였으며, 규석의 화학성분은 Table 2에 나타내었다. 규석 2종은 국내 경북 문경 및 충북 금평 지역의 광산원료를 사용하였으며, 이외 규석 1종은 분말로 제조·입수된 금평 규석으로 실험하였다. 시멘트는 국내 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 생석회는 CaO 91.6 %인 국내 B사 제품을 사용하였다. 또한 기포제로 사용된 알루미늄 분말은 입도, 44 μm : 72.3 %, 88 μm : 96.6 %, 가스 발생량, 52.6mL/5min, 72.3mL/30min 품질 수준의 원료를 사용하였다.

Table 1 Chemical Analysis of Starting Materials

Materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
Lime	1.82	0.42	0.41	91.61	0.80	0.12	0.10
OPC	20.45	5.47	3.03	62.22	0.34	0.80	2.29
Gypsum	1.80	0.90	0.81	36.50	-	-	59.30
RS	46.26	2.48	1.10	24.66	0.64	0.11	2.08

*RS : Returned slurry

Table 2 Chemical Analysis of Quartzite

Materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
MK	90.50	4.96	1.43	0.15	0.95	0.21	0.02
K P	93.40	2.86	0.70	0.28	0.82	0.16	0.04
KP(P)	93.40	2.69	0.89	0.38	0.83	0.16	0.03

*MK : MunKyung, KP : Kum Pyung, KP(P) : Kum Pyung(Powder)

2.2 실험 방법

CaO/SiO₂ 몰비를 0.60으로 제어하기 위해, 출발 원료인 규석, 생석회, 시멘트, 회수 슬러리, 석고 등을 Table 3과 같이 설계하였다. 이후 입수된 규석은 ALC 공정 불밀에서 습식 분쇄하였으며, 규석분말은 분쇄과정을 생략하였다. 혼합수는 100 kg/m³을, 발포제인 알루미늄 분말은 혼합원

료 대비 0.08 % 첨가·혼합하여 슬러리를 제조하였다. 슬러리를 몰드에 주입한 후 실내온도 50 °C-상대습도 80 % 숙성실에서 5시간 동안 숙성시켰다. 숙성기간 동안 수열합성의 진행으로, 발포제로 첨가한 알루미늄 분말이 기공을 생성하고, 이에 따라 부피팽창이 발생한다. 숙성된 성형체는 절단선을 사용하여 200 mm 간격으로 절단되며, 이때 부산되는 성형체 부스러기들과 이송 중 발생하는 부스러기들은 회수 슬러리로 재활용된다. 회수 슬러리의 재활용량은 180 kg/m³으로 고정하였다. 절단된 성형체는 오토클레이브에 장입하고, 180 °C까지 승온시킨다. 180 °C로 승온된 후 7 시간 동안 유지하여, 성형체를 수열합성시킨다.

Table 3. Mixing Ratio of Materials

	Starting Materials					
	Quartzite Slurry	Lime	OPC	Gypsum	Return Slurry	Water
kg/m ³	330.0	47.0	106.0	23.7	180.0	100.0

*Density of quartzite slurry=1.65, Density of return slurry=1.40

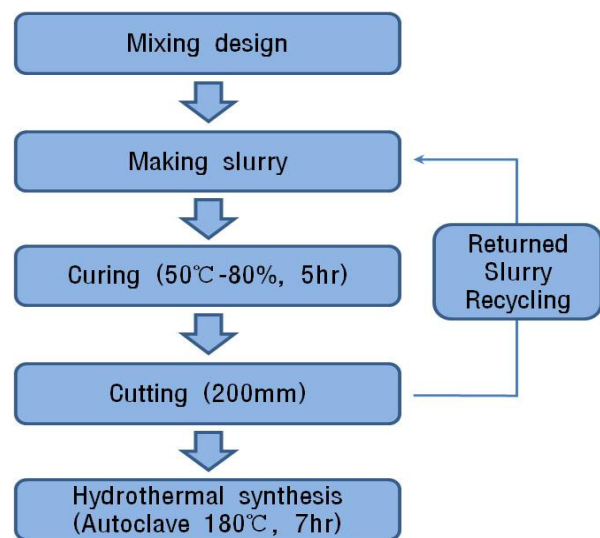


Fig. 1 Experimental procedure

2.3 실험 계획

오토클레이브에서 수열합성이 종료된 후 얻어진 시편은 밀도 및 압축강도 측정을 위해 100 × 100 × 100 mm로 시편의 중앙 부분을 절단하였다. 절단된 성형체는 100 °C에서 항량이 될 때까지 건조하였다. 또한 상분석 프로그램(Leica Qwin, 라이카社, 독일)을 이용하여 ALC에 존재하는 기공 특성을 분석·평가하였다. 그리고 각각의 규석 특성

을 분석하기 위해 X-선 회절기 (D5005D, 지멘스社, 독일), 광학현미경 (DM2500M, 라이카社, 독일) 등을 사용하여 광물학적 특성을 분석하였다. 광학현미경을 관찰하기 위해 준비된 규석을 약 1 cm 크기로 절단한 후, 에폭시 수지를 사용하여 24 시간 동안 경화시킨 후 연마하였다. 연마가 종료된 후 불산으로 약 10 초 동안 에칭하여 관찰하였다.

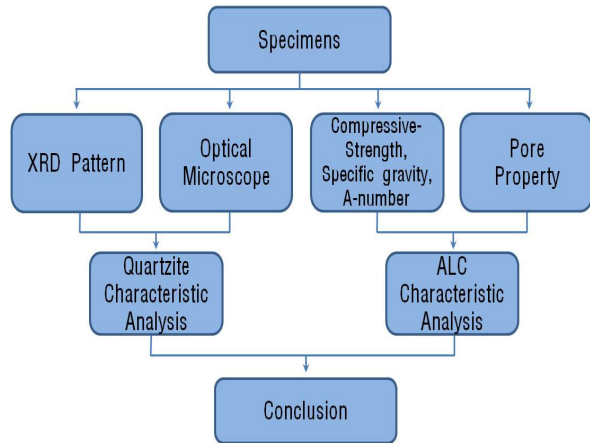


Fig. 2 Design of experiments

3. 결과 및 고찰

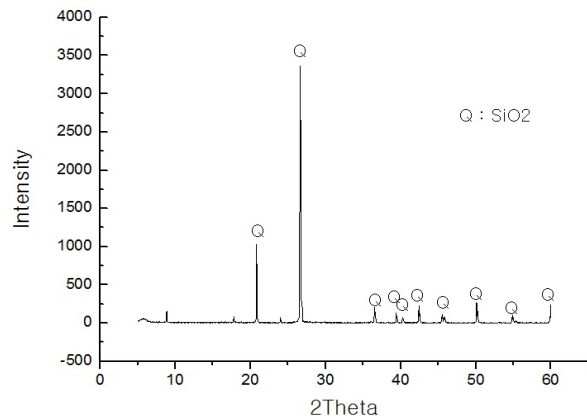
3.1 규석 특성 분석

규석은 대표적인 ALC 원료이며, ALC 물성을 좌우하는 중요한 인자이다. 더불어 규석 성분 함량 및 미량성분 등도 물성에 영향을 준다고 알려져 있기도 하다. 일반적으로 규석 중 SiO₂ 함량이 95 % 이상인 경우에는 아주 유용하다고 하며, 85~95 %는 유용, 75~85 %는 사용가능하나 품질저하, 75 % 이하일 경우에는 사용불가로 판정한다. 또한 미량성분인 총 알카리 함량, 즉 Na₂O와 K₂O 함량은 1.5 % 이하로 관리되어야 한다.⁸⁾ 이때 총 알카리 함량은 Na₂O + 0.65 × K₂O 로 계산한다. 알카리는 장식 및 운모류 등으로부터 유입되며, 운모는 적은 양으로도 강도를 저하시켜 장식보다 더 나쁜 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서도 규석의 화학성분 및 광물 결정 등을 검토하였다.

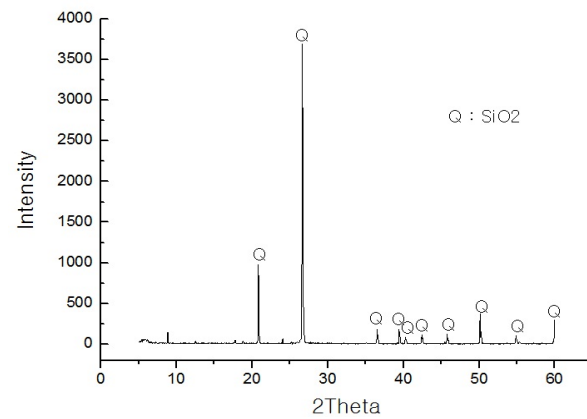
문경 규석의 SiO₂ 함량은 90.5 %로 유용하게 사용될 수 있는 수준이며, Al₂O₃ 함량은 4.96 %이었다. Na₂O와 K₂O를 고려한 총 알카리 함량 (0.21 % + 0.65 × 0.95 %)은 0.83 %이었다. 금평 규석의 SiO₂ 함량은 93.4 %-유용사용, Al₂O₃ 함량은 2.86 %이었으며, 총 알카리 함량 (0.16 % +

0.65 × 0.82 %)은 0.69 %이었다. 금평 규석과 금평 규석분말은 성분별 함량차이가 존재하나, 거의 유사한 값으로 사용되었다. 상기의 화학 분석결과로부터 2종류 모두 ALC 원료로 사용하기에는 적합하다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 문경 규석은 금평 규석보다 SiO₂ 함량이 낮고, Al₂O₃와 알카리 함량이 좀 더 높다는 것을 확인할 수 있었다.

각 규석별 결정성을 확인하기 위해 Fig. 3과 같이 XRD 패턴을 관찰하였다. 문경 및 금평 규석 모두 주요광물은 석영 (SiO₂)으로 구성되어 있으며, 이외 결정들은 관찰하기 어려웠다. 그러나 석영 결정 주피크 (26.6 °)에서의 X-선 회절세기는 금평 규석 3,692 CPS (count per sec), 문경 규석 3,360 CPS이었으며, 금평/문경의 X-선 회절세기 비는 1.1이었다.



(a) Munkkyung

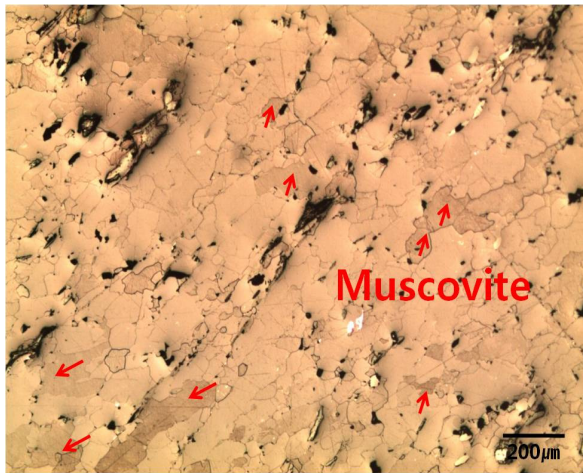


(b) KumPyung

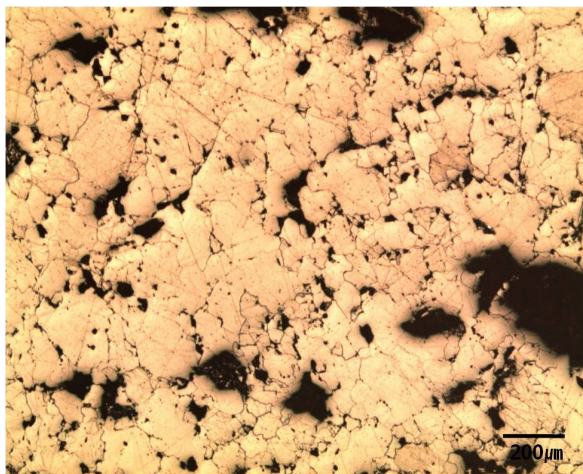
Fig. 3 XRD Pattern of quartzite

이는 금평 규석의 결정성이 좀 더 양호하거나, 결정 함량이 많이 존재한다는 것을 유추할 수 있는 결과이다. 따라서 문경 규석보다는 금평 규석을 사용할 경우, ALC 물

성이 좀 더 향상될 것으로 추정된다. 이와 같이 유추되는 이유 중의 또 다른 하나를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4는 규석들의 광학현미경 관찰 사진으로, 금평 규석은 주요 구성광물이 석영으로 존재하나, 문경 규석의 주요 광물은 석영뿐만 아니라 운모류 (K·Na·Al·Si산화물)등이 혼재되어 있다는 것을 확인할 수 있었다.⁹⁾ 이는 상기에서 언급한 바와 같이, 운모류의 혼입은 강도에 좋지 못한 영향을 줄 수 있다는 것을 의미한다. 이외에도 금평 규석의 입자 크기는 10~400 μm , 문경 규석은 10~300 μm 수준으로 관찰되었다.



(a) Munkyeong



(b) KumPyung

Fig. 4 Image of quartzite using optical microscope ($\times 50$)

3.2 ALC 특성 분석

문경 규석과 금평 규석을 사용한 ALC의 화학분석 결과를 Table 4에 나타내었다. Table 4에서와 같이 문경, 금평

및 금평 분말 규석을 사용한 ALC 모두에서 성분별 함량은 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 Table 2와 3의 화학성분과 배합비를 고려했을 경우, 문경 규석을 사용한 ALC에서 SiO_2 함량이 소폭 낮아져야 하나, 오히려 소량 상승되었다. 이는 ALC 제조공정에서 대량으로 생산되어, 시료 샘플링 문제 및 기타 여러 조건에 따른 예외 범위로 판단된다. 규석 종류별 ALC의 C/S (CaO/SiO_2) 몰비는 문경 규석 ALC의 CaO 함량이 낮고, SiO_2 함량이 높기 때문이다. C/S 몰비의 최대값과 최소값의 차이는 0.03수준이며, 이는 ALC 공장에서 생산되는 제품들의 C/S 몰비 변동범위 (0.6 ± 0.5 수준) 내 값이다.

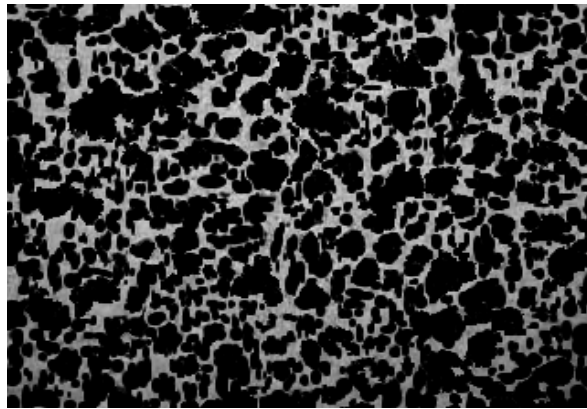
Table 4 Chemical Analysis of ALC

Materials	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	Na_2O	SO_3
MK	49.8	3.58	1.64	27.4	0.72	0.11	2.75
K P	49.5	3.38	1.58	28.0	0.71	0.11	2.81
KP(P)	48.9	3.26	1.54	28.3	0.70	0.10	2.90

규석의 종류에 따른 ALC의 기공 분석 사진을 Fig. 5에 나타내었다. 기공 분석은 상 분석 프로그램 (Qwin)을 활용하였으며, 분석 조건은 Black 100 (Mono Image)로 고정하였다. ALC 기공율은 문경 규석 사용시 72 %, 금평 규석 사용시 71 %이었다. 또한 기공의 평균 크기는 문경 규석 ALC 552 μm , 금평 규석 ALC 523 μm 이었다. 즉 규석의 종류에 따라 기공율과 기공의 크기에서는 큰 차이가 발생치 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 기공 크기는 규석의 종류보다는 발포제 종류 및 함량 등에 의해 좌우된다고 알려져 있다.

규석 종류를 달리하여 15일 동안 생산된 ALC 중 매일 1개 시료를 채취하여 밀도, 압축강도 및 A-수를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 밀도는 규석의 종류에 따라 차이가 발생하지 않았으며, 15개 시편의 평균±표준편차는 문경 규석 ALC 0.48 ± 0.008 , 금평 규석 ALC 0.48 ± 0.015 및 금평 규석분말 0.49 ± 0.012 이었다. 압축강도의 평균-표준편차는 문경 규석 ALC 3.73 ± 0.097 MPa, 금평 규석 ALC 4.43 ± 0.259 및 금평 규석분말 4.44 ± 0.453 이었다. 즉 금평 규석과 금평 규석분말을 사용한 ALC의 압축강도 값은 유사하나, 금평 규석 대비 문경 규석 사용 시에는 압축강도가 약 16 % 정도 감소한다는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 6 (c)에 언급된 A-수는 밀도를

고려한 상대강도 값을 의미하며, 일반적으로 ALC 품질계수로 사용되고 있다. A-수는 아래 식 1과 같이 계산한다.⁹⁾



(a) MK ALC



(b) KP ALC

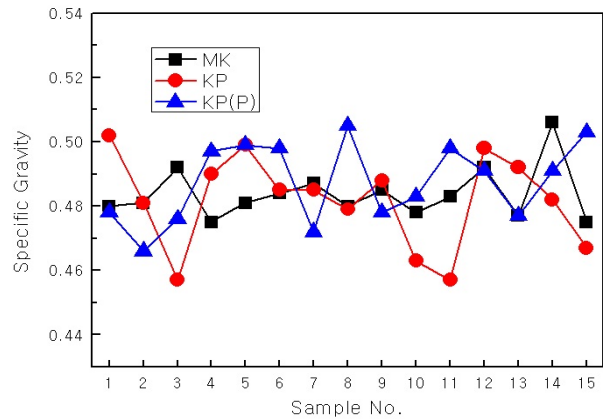
Fig. 5 Image of ALC pores (x40)

$$\frac{\text{압축강도}(MPa)}{0.16 \times \text{밀도}} \dots\dots\dots (1)$$

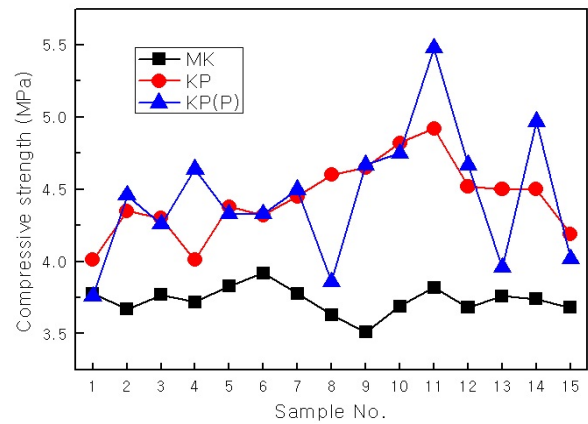
식 1을 사용하여 계산된 A-수의 평균 ± 표준편차는 문경 규석 ALC 98 ± 3.93, 금평 규석 ALC 117 ± 12.08 및 금평 규석분말 115 ± 12.43이었다. 이는 밀도를 고려한다 하더라도 문경 규석 사용시 보다 금평 규석과 분말 사용시에 좀 더 우수한 강도특성이 발현되고 있음을 의미한다.

상기에서와 같이 유사한 밀도 값 및 기공율을 갖는다고 하더라도, 문경 규석 보다는 금평 규석 사용시에 좀 더 우수한 상대강도 특성을 발현하였다. 이러한 현상은 규석에 존재하는 주요 광물 결정종의 차이, 석영입자 결정성 및 미량성분 함량 차이 등의 영향으로 추정되었다. 그러나 공정상에서 생산된 ALC 이므로 상기에서 언급한 인자 이외

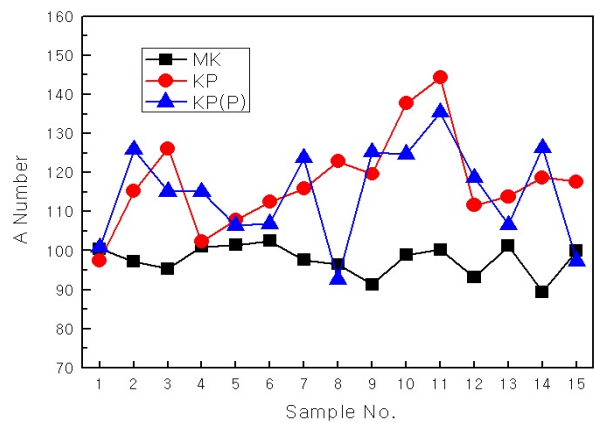
에도 다양한 변수가 존재할 것으로 판단되며, 향후 좀 더 자세한 분석을 시행하고자 한다



(a) Specific gravity



(b) Compressive strength



(c) A number

Fig. 6 Physical properties of ALC using different quartzite

4. 결론

규석의 종류 및 회수 슬러리 사용에 따른 ALC의 물리적 특성변화를 검토하기 위해 문경, 금평 규석을 사용하였다. 더불어 ALC 제조공정에서 생산된 시험편을 사용하여, 생산 공정을 충분히 고려하고자 하였다.

본 연구의 범위 내에서는 규석의 XRD 분석과 광물상 분석을 통해 문경 규석의 주요 광물은 석영과 운모로, 금평 규석은 석영으로 구성되어 있음을 확인하였다. 또한 금평 규석에 존재하는 석영의 결정성이 좀 더 양호하다는 것을 알 수 있었다. ALC의 밀도와 기공특성은 규석별 차이가 관찰되지 않았으나, 압축강도 및 A-수는 문경 규석보다 금평 규석 사용 시에 양호한 특성을 발현하였다. 이러한 현상은 규석에 존재하는 주요 광물 결정종의 차이, 석영입자 결정성 및 미량성분 함량 차이 등의 영향으로 추정되었다. 더불어 상기의 인자들 이외에도 ALC 물성에 영향을 주는 다양한 변수를 검토하기 위해 추가 분석을 추진하고자 한다.

참고문헌

- 1) Ilker Bekir Topcu and Tayfun Uygungözü, Properties of Autoclaved Lightweight Aggregate Concrete, Building and Environment, Vol.42, pp.4108-4116, 2007.
- 2) A. Laukaitis and B. Fiks, Acoustical Properties of Aerated Autoclaved Concrete, Applied Acoustics, Vol.67, pp.284-96, 2006.
- 3) H. Kurama, I.B. Topcu and C. Karakurt, Properties of the Autoclaved Aerated Concrete Produced from Coal Bottom Ash, J. of Mater. Proc. Tech., Vol.209, pp.767-773, 2009.
- 4) Won Young Kim, Hyung Bin Ji, et al, Preparation of Porous Mullite Composites through Recycling of Coal Fly Ash, J. of Kor. Ceram. Soc., Vol.47, pp.151-156, 2010.
- 5) Danielle S. Klimesch, Abhi Rayb, et al, Autoclaved Cement -Quartz Pastes: The Effects on Chemical and Physical Properties when using Ground Quartz with different Surface Areas Part I: Quartz of wide Particle Size Distribution, Cement Concrete Research, Vol.26, pp.1399-1408, 1996.
- 6) A. Laukaitis, J. Keriene, D. Mikulskis, et al, Influence of Fibrous Additives on Properties of Aerated Autoclaved Concrete Forming Mixtures and Strength Characteristics of Products, Construction and Building Mater., Vol.23, pp.3034-3042, 2009.
- 7) Ilya Kadashevich, Hans-Jürgen Schneider, et al, Statistical Modeling of the Geometrical Structure of the System of Artificial Air Pores in Autoclaved Aerated Concrete, Cement Concrete Research, Vol.35, pp.1495-1502, 2005.
- 8) Tae-Yon Kwon, "Introduction to Autoclaved Lightweight Concrete," pp. 46-52, SsangYong Report, Seoul, 1992.
- 9) 지식경제부, 복합기능형 ALC 패널 시스템용 부품소재 개발, 중간보고서, pp. 133-173, 2010.

규석 종류에 따른 ALC 물성 연구

본 연구에서는 ALC의 물리적 특성에 영향을 줄 수 있는 다양한 인자 중 규석 종류를 검토하였으며, 이때 회수슬러리를 재활용하였다. 규석은 문경 및 금평 규석을 사용하였으며, 규석 분말 입수분도 실험하였다. 규석의 XRD 분석과 광물상 분석을 통해 문경 규석의 주요 광물은 석영과 운모로, 금평 규석은 석영으로 구성되어 있음을 확인하였다. 더불어 금평 규석에 존재하는 석영의 결정성이 좀 더 양호하다는 것도 알 수 있었다. ALC의 밀도와 기공특성은 규석별 차이가 관찰되지 않았으나, 압축강도 및 A-수는 문경 규석보다 금평 규석 사용시에 양호한 특성을 발현하였다. 이러한 현상은 규석에 존재하는 주요 광물 결정종의 차이, 석영입자 결정성 및 미량성분 함량 차이 등의 영향으로 추정되었다.