

건식 바텀애시 경량 잔골재와 소성 인공경량 굵은골재를 사용한 콘크리트의 기초 특성

Fundamental Properties of Lightweight Concrete with Dry Bottom Ash as Fine Aggregate and Burned Artificial Lightweight Aggregate as Coarse Aggregate

최홍범¹ · 김진만^{2*}

Hong-Beom Choi¹ · Jin-Man Kim^{2*}

(Received October 4, 2018 / Revised November 14, 2018 / Accepted November 27, 2018)

Though the wet bottom ash has been used as a type of lightweight aggregate, dry bottom ash, new type bottom ash from coal combustion power plant, has scarcely researched. It is excellent lightweight aggregate in the view point of construction material. This study is performed to check the applicability of dry bottom ash as a fine aggregate in lightweight aggregate concrete, by analyzing various properties of fresh and hardened concrete. We get results that the slump of concrete is within the target range at less than 75% replacement rate of dry bottom ash, the air content is not affected by the replacement rate of dry bottom ash, the bleeding capacity is less than 0.025 cm³/cm³ at 75% under of the replacement rate of dry bottom ash, and the compressive strength of concrete show 90% or more comparing the base mix while initial strength development is a little low. Oven dry unit weight of concrete is reduced by 8.9% when replaced 100% dry bottom ash, and dry shrinkage tends to decrease depending on increase of replacement rate of dry bottom ash. Modulus of elasticity of concrete shows no decrease at 50% over of the replacement rate of dry bottom ash, while modulus of elasticity of concrete decreases when the replacement rate increases further. The dry bottom ash, when used as a fine aggregate in lightweight concrete, can be used effectively without any deterioration in quality.

키워드 : 경량 콘크리트, 바텀애시, 재활용, 골재, 부산물

Keywords : Lightweight concrete, Bottom ash, Recycling, Aggregate, By-product

1. 서론

건축 시공 기술의 발전과 더불어 건축물의 고층화, 대형화 및 장기간화 등이 진행되고 있다. 이에 따라 콘크리트의 자중 감소는 중요한 문제로 대두되고 있고, 많은 연구자들의 주요 연구 아이템이 되고 있다. 구조물의 자중을 줄이는 가장 효율적인 방법은 경량 골재를 사용하는 것이다(Kim et al, 2010; Rossignolo et al, 2003; Yasar et al, 2003; Pfeifer et al, 1967).

경량골재 콘크리트는 잔골재와 굵은골재 모두를 경량골재로 사용이 가능하지만, 일반적인 인공 경량 잔골재의 경우 입도분포가

불안정하여 활용에 있어서 제약을 가지기 때문에 굵은골재만 경량화 하는 경량골재 콘크리트가 연구의 주를 이루고 있다(Videla and Lopez 1997; Slate et al, 1986; Ryu et al, 1993; Han et al, 1993; Jeon et al, 2001). 하지만, 단위질량이 낮은 콘크리트가 가지는 경량성, 열적특성 등의 장점에 대한 요구와 다른 측면으로는 환경훼손 및 골재원 고갈 등으로 인한 골재 수급 문제를 대처하기 위한 방안으로 필요하며(Sim et al, 2010), 화력발전소 부산물인 바텀애시 경량잔골재를 사용한 경량골재 콘크리트에 대한 연구가 최근 증가하고 있다.

국내 전력생산에서 가장 비율이 높은 시설은 화력발전소이며,

* Corresponding author E-mail: jmkim@kongju.ac.kr

¹공주대학교 건축공학과 박사과정 (Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Chungnam, 31080, Korea)

²공주대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Chungnam, 31080, Korea)

대체 전력의 문제를 고려할 때 화력발전의 비율은 앞으로도 증가할 것으로 판단된다(Ministry of trade, Industry and Energy 2015; Meng et al. 2015). 석탄 화력발전의 부산물인 석탄회 중 바텀애시는 20%를 점유하고 있으며, 이에 대한 활용처가 명확하지 않은 상태에 머물러 있다. 이러한 이유는 기존의 습식 바텀애시가 염분 및 미연탄소 등의 품질에 관한 문제가 해결되지 않았기 때문이다.

반면, 최근 건설된 화력발전소에서 주로 발생하고 있는 건식 바텀애시는 배출시 해수와 접촉하지 않고, 로내에서 장시간 연소되어 염분 및 미연탄분에 대한 문제가 없고, 다량의 공극을 포함하고 있어 경량골재로서의 가능성이 있다고 보고되었다(Sun et al. 2016). 건식 바텀애시에서 잔골재상은 굵은골재상보다 상대적으로 높은 밀도를 보인다. 이러한 특성을 활용하여 기존의 연구에서는 일반강도 모르타르 및 콘크리트의 잔골재로서 사용한 연구가 보고되었다(Park et al. 2016; Kim et al. 2015). 하지만 건식 바텀애시 잔골재 상의 밀도는 평균 2.0g/cm³ 수준으로 일반 잔골재에 비해 가벼울 뿐만 아니라 기존의 경량 잔골재와 달리 연속입도를 가지고 있다는 장점을 가지기 때문에 유효한 자원으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구는 굵은골재로서 소성 인공경량골재를 사용하는 경량골재콘크리트를 대상으로 잔골재상의 건식 바텀애시가 잔골재로서 사용 가능성이 있는지의 여부를 검토하기 위한 것이다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 연구의 실험 배합을 Table 10에 나타내었다. 단위시멘트량을 380kg/m³으로 물-시멘트비를 45%로 고정하고 감수제의 사용량을 조절하여 목표슬럼프를 달성하도록 하였다. 굵은골재의 경우 기준배합에서만 쇄석을 사용하였고, 그 이외의 배합은 인공경량 굵은골재(이하 ALCA)를 사용하였다. 잔골재의 경우 강모래에 대

하여 용적비율로 건식 바텀애시(이하 dBA)를 각각 0, 25, 50, 75, 100% 대체하였다.

실험 항목은 콘크리트의 굳지 않은 특성으로 슬럼프, 공기량, 블리딩을 측정하였고, 경화 특성으로 압축강도, 단위질량, 건조수축, 탄성계수를 측정하여 건식 바텀애시 잔골재의 대체에 따른 경량 콘크리트의 특성변화를 검토하였다.

2.2 사용 재료

사용 시멘트는 'H'사의 1종 보통포틀랜드 시멘트로 밀도 3.12g/cm³, 분말도 3,818cm²/g의 KS L 5201에 만족하는 결합재를 사용하였다. 인공경량 굵은골재와 건식 바텀애시 잔골재의 경우 화력발전소 'N'사에서 제조 및 파쇄에 생산된 것이며, 골재의 형상은 Fig. 10에 나타내었다. 사용 경량골재의 입도는 Fig. 2에 나타낸 것과 같이

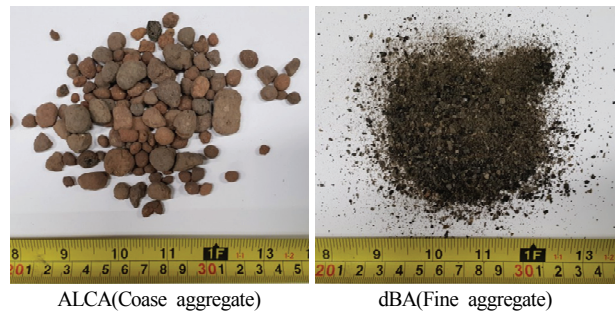


Fig. 1. Shape of using lightweight aggregate

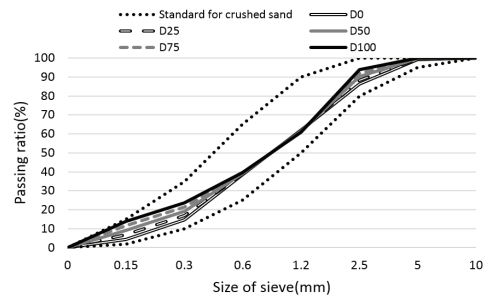


Fig. 2. Grading of fine aggregate

Table 1. Mixing design

ID	W/C (%)	S/a (%)	Air (%)	Unit weight(kg/m ³)						Superplasticizer (%)	
				Cement	Water	Coarse aggregate		Fine aggregate			Total
						Crushed	ALCA	River sand	dBA		
Base	45	45	5	380	171	992	0	753	0	2,296	0.5
D0				380	171	0	574	753	0	1,877	0.5
D25				380	171	0	574	564	145	1,834	0.6
D50				380	171	0	574	376	290	1,791	0.6
D75				380	171	0	574	188	434	1,747	0.75
D100				380	171	0	574	0	579	1,704	0.8

*ALCA : Artificial Lightweight Coarse Aggregate, dBA : dry Bottom Ash

Table 2. Physical properties of using aggregate

Type of aggregate		G _{max} (mm)	Density(g/cm ³)	Absorption(%)	Bulk density(kg/m ³)	Solid content(%)	F.M.
Coarse aggregate	CA	25	2.74	0.78	1403.1	51.2	7.54
	ALCA	20	1.58	10.1	931.8	58.8	6.13
Fine aggregate	CS	5	2.54	2.1	1451.7	57.2	2.94
	dBA	5	1.95	5.6	1054.8	54.0	2.68

* CA : Crushed Aggregate, ALCA : Artificial Lightweight Coarse Aggregate, CS : Crushed Sand, dBA : dry Bottom Ash

KS F 2527 콘크리트용 골재 중 13~2.5mm와 부순 잔골재 기준에 만족하는 입도를 사용하였다. 기준배합에서 사용된 굵은골재는 최대크기 25mm의 쇄석을 사용하였고, 잔골재의 경우 최대크기 5mm의 강모래를 사용하였다. Table 2에 나타난 바와 같이 ALCA 골재와 dBA 잔골재는 천연골재에 비해 높은 흡수율을 보이고 있으며, ALCA 골재의 경우 구형의 골재 형상으로 높은 실적률을 나타내었다. 반면 dBA 잔골재는 불규칙한 골재 형상으로 인하여 낮은 실적률을 가지는 것으로 나타났다.

2.3 실험 방법

본 연구에서 진행한 대부분의 실험방법은 KS에 의거하여 실험을 진행하였다. 굳지 않은 콘크리트의 특성 중 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 압력법으로 KS F 2421, 블리딩은 KS F 2414에 의거하여 실험을 진행하였다. 경화 콘크리트의 특성 중 압축강도는 직경 100mm, 높이 200mm의 원주 시험체를 사용하여 KS F 2405에 의거하여 실험을 진행하였고, 단위질량은 구조용 경량 콘크리트 기준인 KS F 2462에 의거하여 진행하였다. 그리고 건조수축은 변형 게이지를 부착한 방법으로 100 X 100 X 400mm 시험체를 7일 탈형 후 온도 20±2℃, 상대습도 60±5 %의 조건에서 데이터로거에 의해 변화를 측정하였다. 탄성계수의 경우 부착형 게이지를 이용하여 KS F 2438에 의거하여 진행하였다.

3. 실험결과

3.1 슬럼프 및 공기량

굳지 않은 경량골재 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 측정 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 목표 슬럼프의 경우 경량골재 콘크리트에서 발생하는 자중 감소에 의한 슬럼프의 저하와 슬럼프에 영향을 줄 수 있는 건식 바텀에서의 거친 표면 등을 감안하였을 때 비교적 낮은 380kg/m³의 단위 시멘트량을 설정하였기 때문에 비교적 낮은 100±15mm의 목표 슬럼프를 설정하였다. 그 결과, 먼저 슬럼프의 경우 Base에 대비하여 굵은골재를 경량골재로 전량 대체한 D0 배합에서 다소 저하하였지만, 그 저하량은 크지 않게 나타났다.

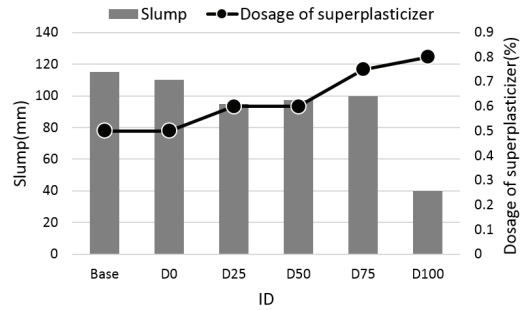


Fig. 3. Slump of fresh concrete

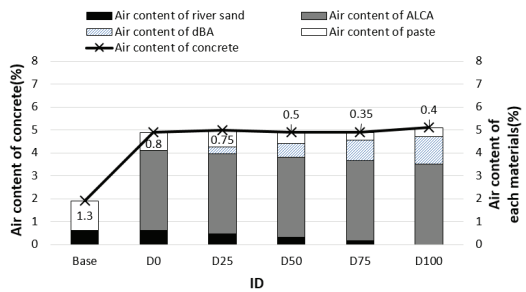


Fig. 4. Air content of fresh concrete

dBA 잔골재의 대체율 증가에 따른 슬럼프의 경향은 대부분의 배합에서 감수제 투입량을 증가시키기에 따라 목표슬럼프 범위인 100±15mm를 만족하는 것으로 나타났지만, D100 배합의 경우 슬럼프가 40mm로 크게 저하하였다. 경량골재의 경우 자중감소로 인해 슬럼프에서 불리한 경향을 보이지만 대부분의 배합에서 크지 않았다. 하지만 D100는 dBA 잔골재의 불규칙한 형상이 골재 실적을 수치에 비해 배합 단계에서 더 큰 영향을 보여, 점성이 낮아지는 등의 빈배합과 같은 거동을 보였기 때문에 판단된다.

Fig. 4는 각 배합의 콘크리트 및 사용 재료에 의한 공기량 추정치를 나타낸 것이다. 콘크리트의 공기량은 Base 배합이 1.9%로 낮게 나타나지만, ALCA 골재 및 dBA 잔골재를 포함한 모든 배합이 4.9~5.1%로 균일하게 나타났다. 배합에서의 골재의 용적은 굵은 골재가 381 L/m³, 잔골재가 312 L/m³를 차지하고 있으며, 각 골재 용적을 기준으로 측정된 공기량은 쇄석이 0%, 강모래가 0.6%, ALCA 골재가 3.5%, dBA 잔골재가 1.2%로 측정되었다. 골재 대체율에 따라 각 골재의 공기량을 제외한 페이스트의 공기량은 경량

골재의 대체율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 공기량 측정시의 압력과 충격력에 의해 경량골재의 수분이동이 촉진되었으며, 이 때문에 발생한 블리딩에 의해 페이스트의 공기량은 오히려 낮게 나타난 것으로 판단된다.

3.2 블리딩

시간 경과에 따른 굳지 않은 경량골재 콘크리트의 블리딩 측정 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 대부분 배합의 경량골재 콘크리트에서 측정 종료 시점의 블리딩량은 0.0079~0.025cm³/cm³로 비교적 일정하게 기존의 경량골재 콘크리트의 블리딩량에 비해 작은 수치를 보였다(Sim et al. 2010). 이러한 결과를 보인 것은 실험에 사용된 경량골재의 흡수율이 기존 문헌상의 흡수율보다 낮아 영향이 적었고, 단위수량도 경량골재 콘크리트인 것을 감안하면 매우 낮은 수준이기 때문으로 판단된다(Han et al. 2003). 또한 ALCA의 입도분포가 5~10mm로 작게 나타나고, dBA도 작은 입자의 비율이 높은 것이 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 문헌상의 경량골재 콘크리트의 블리딩량은 평균적으로 0.05~0.20cm³/cm³ 범위를 나타내고 있다(Sim et al. 2010; Wang et al. 2013).

비록 블리딩량에 영향을 미치는 단위수량 및 물-시멘트비를 고려하지 않았지만 dBA 잔골재를 75% 대체한 D75 배합에서 매우 낮은 수준의 블리딩을 보이고 있는 것에 반하여 D100의 경우 블리딩량은 0.21cm³/cm³로 평균적인 범위를 크게 벗어나지는 않았지만 단위수량을 고려할 경우 비교적 높은 수치를 나타내었다. 이는 dBA의 대체율이 증가함에 따라 발생하는 실적을 저하와 슬럼프 저하에 대비하기 위한 감수제 투입량의 추가로 인해 콘크리트의 점성이 저하하였고, 여기에 더하여 dBA 대체율 증가로 골재의 수분이동이 증가하였기 때문으로 판단된다. D50 배합과 D75 배합의 블리딩량이 각각 0.024, 0.025cm³/cm³으로 D100 배합에 비해 약 10% 수준인 것을 감안하면 dBA 잔골재의 단독 사용보다는 다른 골재와 혼합골재로 활용하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

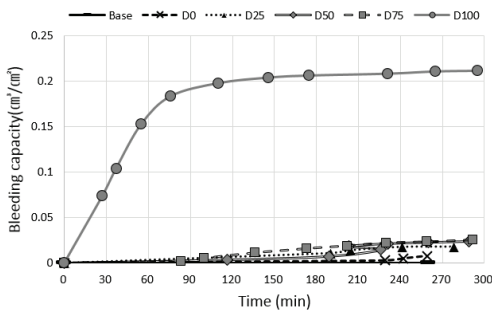


Fig. 5. Bleeding of fresh concrete

3.3 압축강도

경화 경량골재 콘크리트의 압축강도를 Fig. 6에 나타내었다. 3일 재령의 압축강도에서는 Base 배합이 31.4MPa로 가장 높았고, 그 이외의 배합의 경우 dBA 잔골재의 대체율이 증가함에 따라 압축강도가 저하하였다. 하지만 28일 재령의 압축강도 의 경우 굳지 않은 특성에서 재료분리를 보였던 D100 배합을 제외한 대부분의 배합에서 44.5~47MPa의 범위로 유사하게 나타났으며, 그 중 D0 배합이 가장 높게 나타났다.

일반적으로 경량골재 콘크리트의 압축강도는 경량골재의 대체율이 증가함에 따라 감소하지만, 본 시험에서 사용한 ALCA 골재의 경우 섶석에 비해 굵은골재 크기가 작고 높은 실적률을 보인 것이 강도발현에 유리하게 작용한 것으로 판단된다(Zhang et al. 1991). 또한 KS F 2541의 경량골재 10% 파쇄 하중이 100kN이상으로 높은 수치를 보였다. 이 때문에 본 실험의 강도 영역에서는 경량 굵은골재에 의한 영향이 상대적으로 낮게 나타난 것으로 판단되며, dBA 잔골재의 경우에도 공극률이 낮은 작은 입자 비율이 많아 강도저하에 미치는 영향이 낮았던 것으로 판단된다.

다만 Fig. 7에 나타난 재령에 따른 압축강도 발현율에서 확인할 수 있듯이 ALCA 골재의 대체 및 dBA 잔골재의 대체율이 증가할수록 28일 재령을 기준으로 한 압축강도 발현율이 재령 3일과 7일에서 다소 낮게 측정되었다. 이는 배합에서 사용한 프리웨팅된 경량

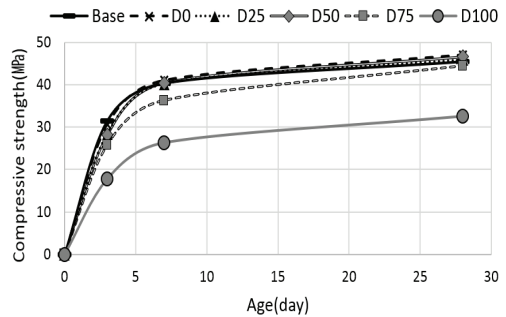


Fig. 6. Compressive strength of concrete

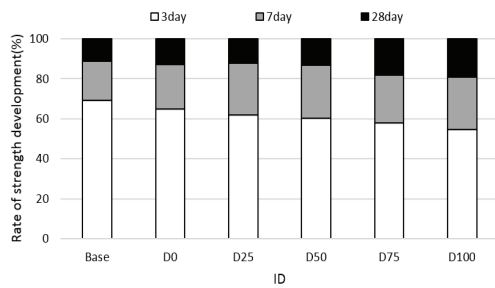


Fig. 7. Rate of strength development depending on age

골재에서의 수분이동이 초기수화에 영향을 미쳤기 때문에 나타난 현상으로 판단된다.

3.4 단위질량 및 함수량

경량골재 콘크리트의 굳지 않은 상태와 경화 상태의 단위질량 실험결과를 Fig. 8에 나타내었다. 먼저 굳지 않은 콘크리트의 경우 Base가 2,440kg/m³로 나타났으며, 굵은골재를 전량 대체한 D0가 2,052kg/m³으로 Base 대비 15.9% 감소를 보였다. 잔골재까지 전량 대체한 D100의 경우 1,889kg/m³로 Base 대비 22.6%로 굵은골재 대체에 비해서는 단위질량 감소 효율은 낮게 나타났다. 28일 재령의 표건 단위질량에서도 경향은 유사하지만, 콘크리트 내의 공극을 수분이 채워지면서 모든 배합의 단위질량이 굳지 않은 콘크리트의 단위질량에 비해 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 절건 단위질량의 경우에도 유사한 경향을 나타내었으며, Base에 비하여 D0가 17.5%, D100이 26.6%의 단위질량 감소를 나타내었다.

Fig. 9는 콘크리트의 표건과 절건 상태의 단위질량을 기준으로 함수량을 계산한 것으로 콘크리트의 공극량을 추정하기 위한 것이다. 콘크리트 내의 골재의 상태는 배합시와 같이 표건상태로 가정하여, 골재 함수량 이외의 함수량을 골재 등 배합에 의해 영향을 받은 페이스트의 공극으로 추정하였다. 콘크리트의 함수량은

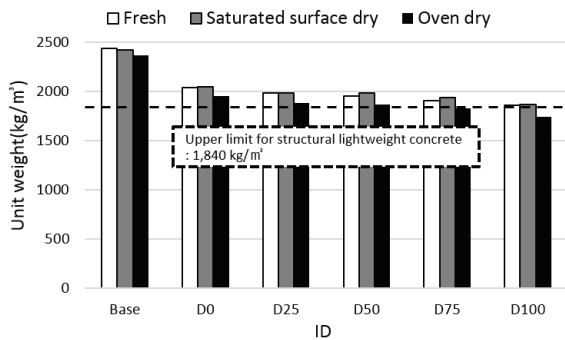


Fig. 8. Unit weight of concrete

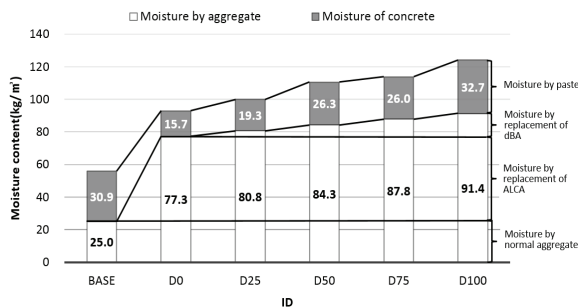


Fig. 9. Moisture content of concrete

Base 배합이 55.9kg/m³로 가장 낮았고, D100 배합이 124kg/m³로 가장 높았다. 여기에서 배합상의 골재 흡수량을 제외할 경우 Base가 30.9kg/m³로 D100 배합 다음으로 높게 나타났다. 이는 ALCA 골재가 Base에만 사용된 쇄석보다 최대 크기가 작고, 구형의 골재로 실적률이 높아 채움성이 유리하기 때문으로 판단되며, ALCA 골재에 의한 수분이동 및 이에 의한 페이스트의 영향은 작았을 것으로 추정된다. dBA 잔골재 대체율에 따라서는 골재 함수량 이외의 함수량이 증가하는 경향을 보여, dBA 잔골재에 의한 수분이동과 점성 저하에 의한 블리딩 등이 페이스트의 함수량에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

3.5 건조수축

경량골재 콘크리트의 재령에 따른 건조수축 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 본 연구에서의 건조수축은 기존의 경량골재 콘크리트 관련 연구와 유사하게 ALCA 골재를 사용하고, dBA 잔골재의 대체율이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 경량골재 내의 포화된 수분에 의한 영향을 판단되며, 기존 문헌상에서도 건조수축의 경향은 콘크리트의 수분양과 반비례하는 경향을 보인다. 본 실험에서도 dBA 잔골재의 대체율이 높을수록 콘크리트의 수분양이 많아 건조된 공극으로 수분이 이동함에 따라 건조수축이 작게 나타난 것으로 판단된다(Kim et al, 2010; Lee et al, 2009). 다만 Base가 초기 500시간까지는 건조수축이 크게 나타났지만, 그 이후의 건조수축의 뚜렷한 증가는 보이지 않았고, 최종적으로는 건조수축이 가장 작게 나타났다. 실험종료 후에 측정한 Base 시험체의 수분양은 35.2kg/m³으로 실험 배합 중 가장 낮게 나타났으며, 실험에서의 상대습도에서는 추가적인 건조수축의 증가는 작을 것으로 판단된다. Base 시험체 이외의 시험체는 dBA 잔골재 대체율의 따라 실험종류 후 수분양은 각각 46.6, 47.2, 48.0, 51.7, 63.7kg/m³로 나타났으며, 수분양이 많을수록 건조수축이 작게 나

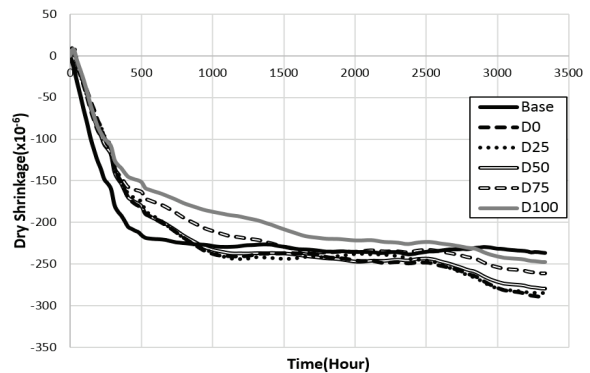


Fig. 10. Dry shrinkage of concrete

타났다. 추가적인 시간 경과에 따라 수분이 건조되고 이로 인한 건조수축이 증가될 가능성이 있을 것으로 판단되지만, 상대습도와 시험체의 내부 공극 양에 따라 차이가 있겠지만 수분 양이 일정 수준에서 수렴하는 시점이 존재할 판단된다. 또한 시험체의 강도에 측면에서는 강도가 낮은 D100이 건조수축에 대한 저항력이 낮을 것으로 판단되지만, 시간 경과 후에도 잔존하는 수분의 양은 D100이 더 많은 것으로 판단되기 때문에 추후 장기 건조수축에 대한 경향은 추가적인 실험을 통해 각 변수가 미치는 영향에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

3.6 응력-변형률 곡선

경량골재 콘크리트의 응력-변형률 관계를 Fig. 11에 나타내었다. ALCA 골재를 사용한 콘크리트의 경우 Base에 비해 모든 배합에서 응력-변형률 곡선의 기울기 차이를 명확하게 나타내었다. 다만 ALCA 골재를 사용한 배합의 경우 14MPa의 응력에서는 변형률이 0.0006~0.0008로 비교적 작은 값을 보이고 있지만, 30MPa의 응력에서는 D0 배합과 D25 배합이 0.00158~0.00162의 범위이고, D50, D75, D100 배합은 0.00182~0.00195로 나타나고 있어 dBA 잔골재 대체율이 증가할수록 다소 증가하는 경향을 보였다. 이는

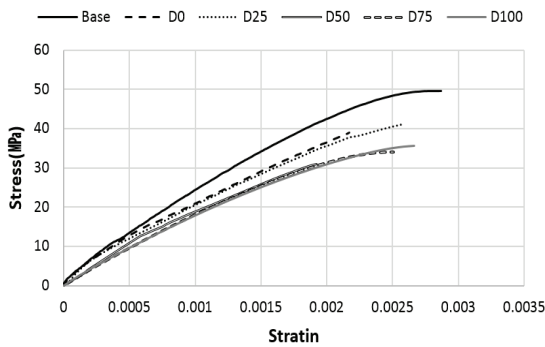


Fig. 11. Stress-strain curve of concrete

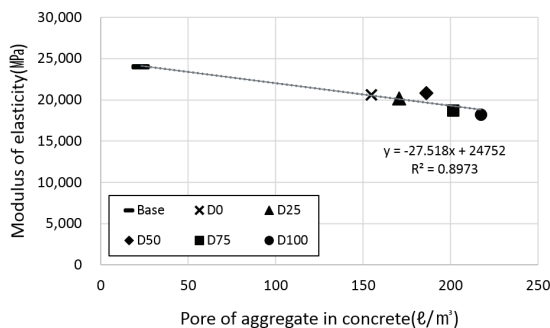


Fig. 12. Relation on modulus of elasticity and pore of using aggregate in concrete

탄성영역에서는 잔골재보다는 굵은골재의 영향이 크게 나타났지만, 탄성영역 이후에서는 잔골재의 공극에 의한 영향도 나타났기 때문에 판단된다.

Fig. 12는 콘크리트의 탄성계수와 각 배합에 사용된 골재의 공극량의 관계를 나타낸 것이다. 두 변수의 관계는 결정계수 0.897로 역상관을 보이고 있다. 그러므로 골재의 공극량은 경량골재 콘크리트의 탄성계수에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그러나 그래프에 나타난 공극의 양은 단순히 골재의 공극률만을 대상으로 한 것이므로 페이스트에 발생한 공극도 포함한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 D50 배합까지도 탄성계수가 20,000MPa 이상이지만, 대체율이 증가할수록 낮은 탄성계수를 보이고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 건식 바텀애시를 경량 콘크리트용 잔골재로 사용할 경우의 경량골재 콘크리트의 품질 특성을 검토하였다. 굳지 않은 콘크리트와 경화 콘크리트를 대상으로 다양한 실험적 검토를 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 경량골재 콘크리트의 슬럼프는 dBA 잔골재의 대체율 75%까지 목표범위를 만족하였으나 대체율 100% 크게 저하하였고, 공기량의 경우 ALCA 골재를 사용할 경우 증가하였으나 dBA 잔골재 대체에 의한 영향은 나타나지 않았다.
- 2) 경량골재 콘크리트의 블리딩량은 dBA 잔골재 대체율 75%까지는 대체율의 증가에 따라 약간 증가하는 경향을 나타내지만, dBA 잔골재를 100% 사용한 경우에는 페이스트의 점성 저하에 의해 블리딩량이 크게 증가하였다.
- 3) 경량골재 콘크리트에서 dBA 잔골재 대체율 75%까지는 압축강도 저하가 미세하게 나타났지만, 경량골재 사용에 따른 초기 재령의 강도 발현율은 낮게 나타났다.
- 4) 경량골재 콘크리트의 단위질량 저하는 밀도의 차이로 인해 dBA 잔골재 보다는 ALCA 골재에 의한 저하가 크게 나타났다.
- 5) 콘크리트의 건조수축의 경우, 초기에는 보통 중량 콘크리트의 수축이 크게 나타났지만 500시간 이후의 수축은 적었고, 경량골재 콘크리트는 dBA 잔골재 대체율이 증가할수록 수축이 감소하였다.
- 6) 경량골재 콘크리트의 탄성계수는 경량골재의 비율에 반비례하는 경향을 나타냈지만, 콘크리트에서 골재에 의한 공극과 배합에 수분이동에 의해 발생한 페이스트의 공극도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2018년도 과학기술정보통신부의 재원으로 과학벨트 기능지구지원사업의 지원(과제번호 2015-DD-RD-0068-04)과 산업통상자원부(MOTIE)의 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원(과제번호 20182010202100)을 받아 수행한 연구의 결과물입니다.

References

- Han, C.G., Hwang, Y.S. (2003). Influence of mixing and construction factor on the bleeding of concrete, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 19(2), 107–114 [in Korean].
- Han, J.H., Kim, T.S., Kim, H.J., Oh, C.H.(1993). An experimental study on the strength properties of the high-strength lightweight concrete with admixture, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 9(9), 213–221 [in Korean].
- Jeon, H.K., Hong, S.J., Seo, C.H. (2001). A study of the characteristics of the high-flowable lightweight aggregate concrete, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 17(4), 71–78 [in Korean].
- Kim, Y.J., Choi, Y.W. (2010). The quality properties of self consolidating concrete using lightweight aggregate, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 30(6), 573–580 [in Korean].
- Kim, H.K. (2015). Properties of normal-strength mortar containing coarsely-crushed bottom ash considering standard particle size distribution of fine aggregate, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 27(5), 531–539 [in Korean].
- Lee, C.S., Park, J.H., Jung, B.j., Choi Y.J. (2009). Relation between shrinkage and humidity on lightweight concrete and normal concrete by water-cement ratio, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 29(4), 385–393 [in Korean].
- Ministry of Trade, Industry and Energy, (2015). Seventh Electricity Supply Plan.
- Meng, J.H., Kim, T.Y., Cho, H.N., Kim, E.Y. (2015). Minimizing Environmental Impact of Ash Treatment in Thermal Power Plants (II), Korea Environment Institute.
- Park, S.H., Lee, J.B., Kim, S.S. (2016). The durability of the concrete using bottom ash as fine aggregate, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, 4(4), 349–355 [in Korean].
- Pfeifer, D.W., Hanson, J.A. (1967). Sand replacement in structural lightweight concrete sintering grate aggregates, *ACI Journal*, 121–127.
- Rossignolo, J.A., Agnesini, M.V.C., Morais, J.A. (2003). Properties of high-performance LWAC for precast structures with brazilian lightweight aggregate, *Cement and Concrete Composites*, Elsevier, 25(1), 77–82.
- Ryu, T.D., Lee, S.W., Suh, C.H. (1993). Properties of strength of artificial light weight aggregate concrete with admixture, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 9(6), 177–185 [in Korean].
- Sim, J.I., Yang K. (2010). Air content, workability and bleeding characteristics of fresh lightweight aggregate concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 22(4), 559–566, [in Korean].
- Slate, F.O., Nilson, A.H., Martinez, S. (1986). Mechanical properties of high-strength lightweight concrete, *ACI Journal*, 83(4), 606–613.
- Sun, J.S., Sung, J.H., Kim, J.M. (2016). Evaluation on the applicability of dry processed bottom ash as lightweight aggregate for construction fields, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 18(4), 752–762.
- Videla, C., Lopez, M. (1997). Mixture proportioning methodology for structural sand-lightweight concrete, *ACI Materials Journal*, 83(3), 281–289.
- Wang, H.Y., Chen, B.T., Wu, Y.W. (2013). A study of the fresh properties of controlled low-strength rubber lightweight aggregate concrete (CLSRAC), *Construction and Building Materials*, 41, 526–531.
- Yasar, E., Atis, C.D., Kilic, A., Gulsen, H. (2003). Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly-ash, *Materials Letters*, Elsevier, 57(15), 2267–2270.
- Zhang, M.H., Gjorv, O.E. (1991). Mechanical properties of high-strength lightweight concrete, *ACI Materials Journal*, 88(3), 240–247.

건식 바텀애시 경량 잔골재와 소성 인공경량 굵은골재를 사용한 콘크리트의 기초 특성

습식바텀애시가 경량골재로서 오랫동안 사용되어 왔지만, 화력발전소에서 배출되는 새로운 타입의 건식 바텀애시에 관해서는 거의 연구되지 않았다. 건식 바텀애시는 건설재료의 관점에서 매우 우수한 경량골재이다. 본 연구는 경량골재 콘크리트의 굳지않은 상태 및 경화상태에서의 다양한 특성을 실험적으로 검토함으로써 바텀애시 경량골재가 경량골재 콘크리트용 잔골재로서의 사용 가능성이 있는지의 여부를 평가한 것이다. 연구결과 건식 바텀애시 대체율 75%까지 슬럼프 저하가 크지 않게 나타났고, 공기량은 건식 바텀애시의 대체율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 콘크리트의 블리딩량은 건식 바텀애시 대체율 75%이하에서는 $0.025\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 미만으로 나타났으며, 콘크리트 경화 후 압축강도에서는 대체율 75%까지 강도 저하율이 10% 미만으로 나타났다. 잔골재를 건식 바텀애시로 100% 대체시 절건 단위질량은 8.9%의 감소를 보였고, 건식 바텀애시 잔골재 대체율이 증가할수록 건조수축이 감소하는 경향을 보였다. 콘크리트 탄성계수는 건식 바텀애시 잔골재 대체율 50%까지는 저하를 보이지 않았지만, 대체율이 그 이상으로 증가시 탄성계수가 저하하였다. 이상의 결과로부터 건식 바텀애시는 잔골재로 사용 시 다른 잔골재와 혼합 사용할 경우 품질의 저하 없이 사용하는 것이 가능함을 알 수 있었다.