

현장 품질관리를 고려한 경량골재 콘크리트의 시방서 개정안에 대한 고찰

Proposals for Revision of Lightweight Aggregate Concrete Specifications Based on In-situ Quality Control on Concrete

이 경 호¹

양 근 혁^{2*}

Lee, Kyung-Ho¹ Yang, Keun-Hyeok^{2*}

Department of Architectural Engineering, Graduate School, Kyonggi University, Suwon, Kyonggi-do, 16227, Korea ¹

Department of Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon, Kyonggi-do, 16227, Korea ²

Abstract

This study examined the reliability and revision necessity of concrete standard specifications based on the comparisons with test data obtained by using domestic artificial lightweight aggregates and the contents specified in different foreign specifications including ACI 211.2, ACI 213, ACI 301, JASS 5 and CEB-FIP. To achieve the continuous particle distribution of domestic fine lightweight aggregates, the partial addition of natural sand with the maximum size of 2.5mm was required. To control the segregation and excessive bleeding in the fresh lightweight concrete, the current limitations on the water-to-binder ratio and unit water content need to be modified using lower values. In particular, a rational mixture proportion approach of lightweight concrete needs to be established for the targeted requirements of initial slump, 28-day compressive strength, air content and dry unit weight. Ultimately, significant revision of the concrete standard specifications is required considering the characteristics of domestic artificial lightweight aggregates.

Keywords : lightweight aggregate concrete, specifications, mixture proportioning, targeted requirements

1. 서 론

경량골재 콘크리트는 일반적으로 단위용적중량 900~1,200kg/m³ 수준의 경량골재를 사용한 콘크리트로 보통 콘크리트 대비 약 60~90% 수준의 단위용적중량을 갖는다 [1]. 경량골재 콘크리트의 낮은 단위용적중량은 구조물의 고정하중을 저감시켜 부재의 단면 사이즈를 줄일 수 있으며, 건축물의 증축 및 리모델링 시 기초보강을 최소화 할 수 있다

[1]. 특히 프리캐스트 콘크리트에 적용 시 부재의 운반과 양중에 유리하다. 더불어 구조물에서 소음과 진동의 저감 및 산업부산물 재활용을 통한 자원보존 등의 환경부하 저감 효과도 기대할 수 있다[2].

인공 경량골재 콘크리트는 1919년 미국에서 처음 사용되었으며[3], 1940년대부터 교량공사와 건축물에 본격적으로 사용되었다. 일본의 경우 1960년대부터 인공 경량골재의 제조와 함께 구조물에 적용되었다[4]. 반면 국내에서는 팽창점토나 팽창혈암 등의 원료가 되는 자원이 매우 부족하다. 이로 인해 인공 경량골재 콘크리트의 구조물 적용은 매우 미미하다. 최근 국내에서도 석탄회 및 준설토를 재활용하여 인공 경량골재를 생산하고 있지만 실용화 사례는 아직도 부족하다.

Received : November 9, 2017

Revision received : December 11, 2017

Accepted : March 12, 2018

* Corresponding author : Yang, Keun-Hyeok

[Tel: 82-31-249-9703, E-mail: yangkh@kgu.ac.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

경량골재의 흡수율은 약 20~25%로 보통중량 골재 대비 약 10배 수준으로 높다. 경량골재의 높은 흡수율은 콘크리트의 유동성 및 강도발현에 중요한 영향을 미치게 되는데[5] 콘크리트 배합 시 골재의 흡수율이 높으면 블리딩 및 재료 분리 등의 문제를 발생시킬 수 있다. 반대로 골재의 낮은 흡수율은 배합수를 흡수하여 콘크리트의 유동성을 저하시키며, 이로 인해 워커빌리티 및 충전성이 저하 된다. 또한 이들 낮은 유동성 및 재료분리는 콘크리트 구조물의 내구성 저하로 연결될 수 있다.

미국 및 일본에서는 자국에서 생산하는 경량골재 콘크리트의 다양한 실험결과를 바탕으로 관련 전문 시방서를 제정하여 배합 및 시공 시 발생할 수 있는 문제점들을 사전에 관리하고 있다. 미국의 경우 구조용 콘크리트 시방서인 ACI 301에서 경량콘크리트에 대해 다루고 있지만 일반사항이나 품질 측정 방법에 대해서만 간략히 다루고 있으며, 배합설계, 재료, 배합 및 품질확보를 위한 구체적인 제한범위 등은 ACI 211.2 및 ACI 213에서 다루고 있다[6,7,8]. 일본의 경우 JASS 5에서 경량골재 콘크리트에 대한 구체적인 내용을 제시하고 있다[9]. 경량골재 콘크리트의 제조를 위한 배합설계 절차의 경우 미국은 ACI 211.2에서 부피법 및 질량법 등을 통해 제시하고 있지만, 일본이나 유럽 및 국내 시방서에서는 다루고 있지 않다. 또한 국내 시방서의 주요 내용은 미국의 시방내용을 준용하고 있으며 국내산 인공 경량골재를 사용한 콘크리트의 실험결과에 대한 인용 및 검증이 미흡한 실정이다.

이 연구의 목적은 국내산 인공 경량골재를 사용한 콘크리트의 실험결과를 바탕으로 콘크리트 표준시방서(Korea concrete standard, KCS)의 경량골재콘크리트 표준시방서의 합리성 및 개정의 필요성을 평가하는데 있다[10]. 국내 표준시방서의 내용은 미국의 ACI 211.2, ACI 213 및 301, 일본의 JASS 5, 유럽의 CEB-FIP 시방내용들과 비교하였다[11]. 각 시방서의 분석내용은 경량골재의 정의, 경량골재 규격, 경량골재 콘크리트 배합조건 및 배합설계에 초점을 두었다.

2. 시방서 분석

2.1 경량골재 콘크리트의 정의

각 시방서별로 경량골재 콘크리트를 구분하는 단위용적중량과 압축강도의 범위는 다소 상이하다. Table 1에는 각

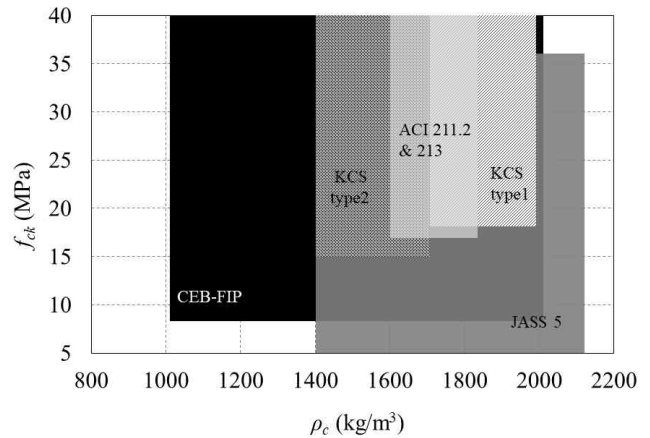


Figure 1. Comparisons of lightweight aggregate concrete ranges in different specifications

Table 1. Various conditions of lightweight aggregate concrete in different specifications

Specification	Weight of unit volume (kg/m ³)	Design criterion strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	
KCS	Type 1 (Sand lightweight)	1,700~2,000	18~24	2
	Type 2 (All lightweight)	1,400~1,700	15~21	2
ACI 211.2 & 213	All lightweight	1,600~1,760	17~28 (Min)	2.0~2.2 (Min)
	Sand lightweight	1,680~1,840	17~28 (Min)	2.1~2.3 (Min)
JASS 5	Type 1	1,800~2,100	36 (Max)	-
	Type 2	1,400~1,800	27 (Max)	-
CEB-FIP	1,050~2,050 (6 classes)	8~80 (14 classes)	-	

시방서 별 경량골재 콘크리트의 단위용적중량 및 압축강도의 범위를 나타내었으며, Figure 1에는 각 시방서별로 단위용적중량과 압축강도의 관계에 대한 경량골재 콘크리트의 범위를 나타내었다. 콘크리트 표준시방서에서는 구조용 경량골재 콘크리트의 범위를 기건 단위용적중량 1,400~2,000kg/m³, 설계기준압축강도 15~24MPa, 인장강도 2MPa로 규정하고 있으며, 단위용적중량이 1,700~2,000kg/m³, 설계압축강도가 18~24MPa의 콘크리트를 1종(모래경량), 단위용적중량이 1,400~1,700kg/m³, 설계압축강도가 15~21MPa의 콘크리트를 2종(전경량)으로 구분하고 있다.

ACI 211.2 및 213에서는 구조용 경량골재 콘크리트의

범위를 설계기준강도가 17MPa 이상, 인장강도 2.0~2.3MPa, 기전 단위용적중량이 1,600~1,840kg/m³의 범위로 규정하고 있으며, 경량골재의 사용여부에 따라 전경량과 모래경량으로 구분하고 있다. 전경량 콘크리트의 경우 단위용적중량의 범위가 1,600~1,760kg/m³이며, 17~28MPa이상의 설계기준압축강도와 2.0~2.2MPa 이상의 인장강도를 갖는 콘크리트로 규정하고 있다. 모래경량 콘크리트의 경우 단위용적 중량의 범위는 1,680~1,840kg/m³이며, 설계기준 압축강도가 17~28MPa이상, 인장강도가 2.1~2.3MPa에 해당하는 콘크리트로 규정된다.

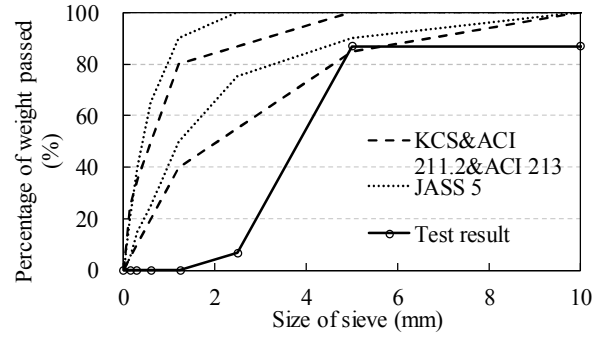
JASS 5의 경우 구조용 경량골재 콘크리트를 단위용적중량이 1,400~2,100kg/m³, 설계기준 압축강도가 36MPa 이하의 콘크리트로 규정하고 있으며, 단위용적중량이 1,800~2,100kg/m³ 설계 압축강도가 36MPa 이하를 1종, 단위용적중량 1,400~1,800kg/m³ 설계 압축강도가 27MPa 이하를 2종으로 구분하고 있다. CEB-FIP의 경우에는 경량골재 콘크리트의 범위를 단위용적중량이 1,050~2,050kg/m³의 범위에서 6단계로 구분하였으며, 압축강도가 8~80MPa 범위에서 14단계로 세분화하여 규정하고 있다.

2.2 경량골재의 요구조건

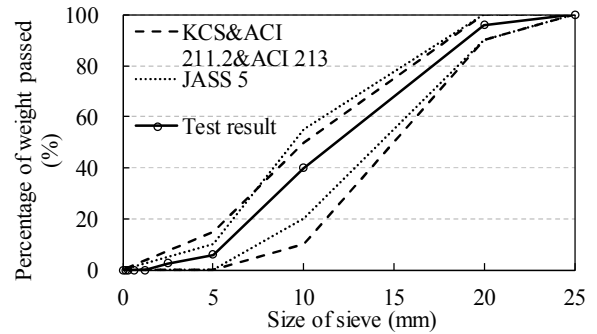
2.2.1 경량골재의 물리적 특성 및 유해물 함량

각 지방에서는 경량골재의 입도분포, 단위용적중량 및 유해물 함량에 대하여 범위를 규정하고 있다. 콘크리트 표준 지방에서는 경량골재의 표준입도에 대해서 ACI 211.2 및 ACI 213과 동일하게 규정하고 있으며, 보통중량 골재와 별도로 구분하지 않고 골재의 치수범위에 따라 각 규격의 체를 통과하는 질량 백분율로 규정하고 있다. 잔골재의 골재치수는 0~5mm이며, 굵은골재의 골재 치수는 2.5~25mm 범위에서 4가지 범위로 나누어 구분하고 있다. 또한 잔골재와 굵은골재의 혼합물의 경우 골재치수는 0~13mm이며, 2가지 범위로 나누어 구분하고 있다. 단위용적 중량의 경우 잔골재는 1,100kg/m³ 이하, 굵은골재의 경우 900kg/m³ 이하, 혼합골재의 경우 1,050kg/m³ 이하로 제한하고 있다. 유기물 함량의 경우 점토, 얼룩, 유기불순물, 부립물 및 강열감량에 대해 제한을 두고 있다.

ACI 211.2 및 213에서는 경량골재의 요구조건인 ASTM C330에서 요구하는 조건을 만족하도록 하고 있다. 골재입도분포는 콘크리트 표준지방서의 범위와 동일하며, 경량골



(a) Fine particles (0~5mm)



(b) Coarse particles (5~20mm)

Figure 2. Particle size distribution of domestic artificial lightweight aggregates

재의 단위용적 중량의 경우 잔골재, 굵은골재 및 혼합물이 각각 1,120, 880 및 1,040kg/m³ 이하를 만족하도록 규정하고 있다. 유해물 함량에 대해서는 유기불순물, 얼룩 및 강열감량에 대해서 제한을 두고 있다.

JASS 5에서는 JIS A 5002에 만족하는 경량골재를 사용하도록 규정하고 있다. 골재의 단위용적중량은 잔골재가 1,300~2,300kg/m³, 굵은골재가 1,000~2,000kg/m³의 범위로 규정하고 있다. 유해물 함량의 경우 점토, 미분량, CaO, SO₃, NaCl의 함량과 유기불순물, 안전성, 및 강열감량에 대해 제한하고 있다. 반면 CEB-FIP에서는 경량골재의 요구조건에 대한 규정은 없다.

현재 생산되고 있는 국내산 경량골재는 바텀애시와 준설토를 혼합하여 1,200℃ 이상의 고온에서 소성·팽창 시킨 골재로 주요 화학적 조성은 Quartz, Anorthite, Magnetite 등으로 구성되어 있다. 경량골재의 단위용적중량은 굵은골재가 880kg/m³, 잔골재가 1,081kg/m³으로 콘크리트표준지방서의 제시 범위를 만족하고 있으며, 강열감량, 점토 등의 유해물 함량 또한 지방서의 제시범위를 만족하고 있다. 반면 골재입도의 경우 Figure 2에 나타난 바와 같이 굵은골재의 경우

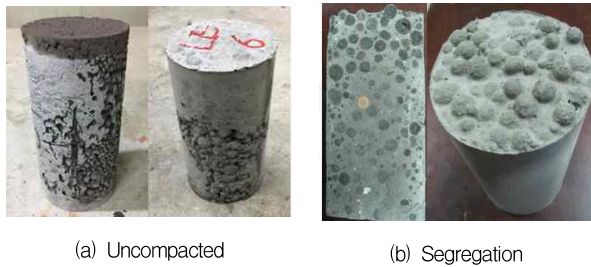


Figure 3. Images for segregation in concrete due to the discontinuous distribution of lightweight aggregates

각 시방서에서 요구하는 입도분포 범위에 해당하지만 잔골재의 경우 2.5mm 이하의 골재가 매우 부족한 형상을 나타내고 있다. 이처럼 불규칙한 골재의 입도분포는 콘크리트의 타설시 채움불량(Figure 3 (a)) 및 재료분리(Figure 3 (b)) 등의 문제를 발생시키게 되며 결과적으로 콘크리트의 강도에 악영향을 미치게 된다. 따라서 국내산 경량골재의 불규칙한 입도분포를 개선하기 위해서 천연모래 최대직경 및 혼입율에 대한 입도분포를 분석하고 이를 시방서에 반영할 필요가 있다. 예를 들어 국내산 경량 잔골재의 경우 2.5mm 이하 골재의 비율이 표준 입도분포 대비 부족하므로 2.5mm 이하의 천연모래를 적정 비율로 혼합하여 잔골재의 입도를 만족할 수 있는 골재 관리 등에 대한 명시가 필요하다.

2.2.2 경량골재의 함수율

인공 경량골재는 다공성 재료로서 보통중량 골재 대비 흡수율이 크다. 인공 경량골재는 초기 30분에 최대 함수율의 약 60%의 수분을 흡수하게 되며, 침지 1일에 약 75% 이상의 수분을 흡수한다(Figure 4). 경량골재의 함수율은 콘크리트의 유동성 및 강도발현에 중요한 영향을 미치며, 콘크리트의 배합, 운반 및 타설 시 블리딩(Figure 5 (a)), 골재부립(Figure 5 (b)) 및 재료분리 등의 품질변화의 원인이 된다. 콘크리트 표준시방서에서 골재의 함수율에 대해서 충분히 물을 흡수시킨 상태라 명시하고 있으며, ACI 213에서는 골재의 함수율 관리를 위한 습윤법에 대해서만 다루고 있어 경량골재의 함수율에 대하여 정량적 지표는 없는 실정이다. 반면, JASS 5와 CEB-FIP에서는 경량골재의 함수율에 대한 별다른 규정이 없다. 경량골재 콘크리트의 소요 품질 확보를 위해서 배합 전 경량골재의 침수 시간 및 함수율에 대하여 정량화가 요구되며, 이를 위해 경량골재의 함수율에 대한 실험결과 기반의 경량골재의 함수율 관리법에 대한 시방서의 제시가 필요하다. 예를 들어 경량골재의 경우 침지 30분

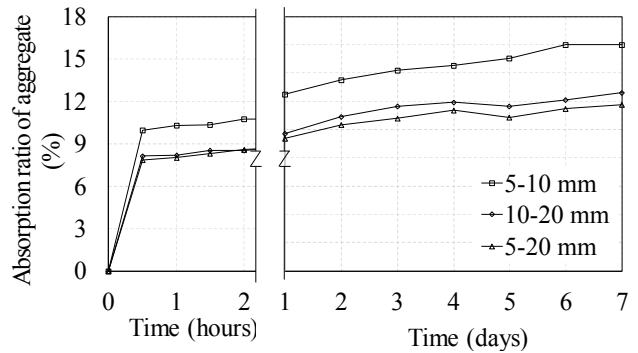


Figure 4. Absorption rate of lightweight aggregates

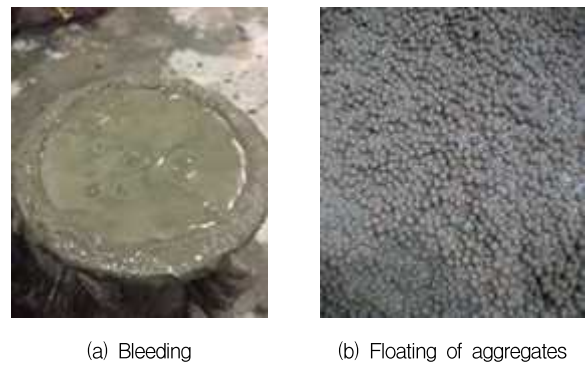


Figure 5. Typical problems of lightweight concrete with high water-to-binder ratio

~1일 이내에 약 60~75%의 수분흡수가 이루어지며, 이후 골재의 수분 흡수 속도는 느리게 일어난다. 이를 근거로 경량골재는 사용 전 물에 30분~1일간 침수 후 사용할 것을 권장하며, 이때의 함수량을 측정하여 단위수량에 대한 보정을 실시할 필요가 있다.

2.3 배합 시 요구조건

경량골재 콘크리트의 배합 시 요구조건은 물-결합재비, 단위수량(단위시멘트양)콘크리트 슬럼프 및 공기량에 대하여 나타내었으며, 각시방서별 요구조건을 Table 2에 요약하여 나타내었다.

2.3.1 물-결합재비

콘크리트 표준시방서에서는 경량골재 콘크리트의 물-결합재비를 최대 60%로 제한하고 있으며, 내동해성을 고려 시 기상조건 및 단면과 구조물의 노출상태에 따라 물-결합재비의 최댓값을 45~60%로 조절하여 사용하도록 제한하고 있다(Table 2). ACI 211.2에서는 압축강도, 노출환경,

Table 2. Various conditions of lightweight aggregate concrete by specification

Specification	Water-binder ratio (%)	Unit cement content (kg/m ³)	Unit water content (kg/m ³)	Slump (mm)	Air content (%)
KCS	Maximum 60 (45~55')	Minimum 300	-	50~180	1% higher than ordinary concrete
ACI 211.2	40~82 (For air-entrained : 40~74) (45~50) (For exposed to sea water or sulfates: 40~45)	-	166~237 (Considering aggregate size and slump)	25~150	2~7.5 (4~6')
JASS 5	Maximum 50~60	Minimum 300~340	-	Maximum 210	5
CEB-FIP		None			

* For mixture considering freezing and thawing resistance.

용부재 및 골재 특성에 따라 물-결합재비 결정에 대한 참고 값 및 기준 값을 제시하고 있으며, 모든 조건에서 공기연행에 대한 참고 값을 제시하고 있다. 소요 압축강도에 대해서 13.8~41.4MPa 일 때 약 6.9MPa 마다 물-결합재 비를 41%에서 최대 82%(공기연행 고려 시 40~74%)까지 구분하여 사용하도록 권장 하고 있으며, 동결융해를 고려 시 물-결합재 비는 45~50%, 내염해를 고려 시 40~45%의 범위에서 사용하도록 제한하고 있다. JASS 5 에서는 경량골재 콘크리트의 압축강도의 범위에 물-결합재비의 최솟값을 규정하고 있는데 압축강도가 22.5MPa 이하에서는 60%, 22.5~27MPa 에서는 55%, 27MPa 이상에서는 50%로 제한하고 있다. 반면, CEB-FIP에서는 물-결합재비에 대한 내용을 다루고 있지 않다.

국내산 경량골재를 사용한 콘크리트의 실험결과 물-결합재비가 50% 이상일 때 블리딩이, 골재 부립 및 재료분리 등이 발생할 수 있으며, 이로 인해 침강균열과 함께 부착강도 저하 등의 추가적인 문제 발생 시킬 수 있다. 또한 낮은 물-결합재비에서는 유동성이 저하되어 슬럼프 저하 (Figure 6 (a)) 및 빈배합(Figure 6 (b))이 발생되며, 이는 결과적으로 경량골재 콘크리트의 품질저하 등을 발생시킨다. 따라서 경량골재 콘크리트의 소요 슬럼프, 품질 및 수밀성 향상을 위해 물-결합재비 범위는 국내산 경량골재의 특성과 배합조건이 고려되어야 한다. 예를 들어 국내산 경량골재를 적용한 실험결과를 기반으로 경량골재의 흡수율과 골



Figure 6. Typical problems of lightweight concrete with low unit water content

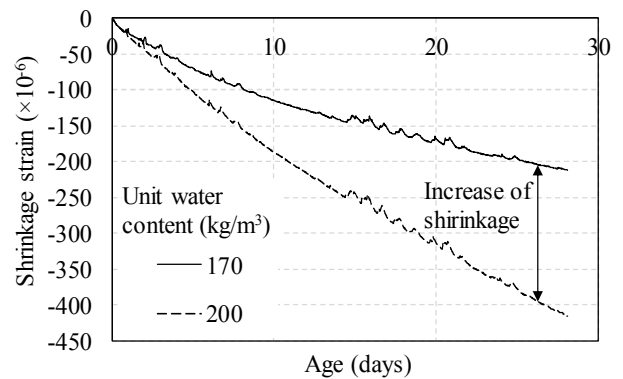


Figure 7. Increased shrinkage of lightweight concrete with regard to the increase of unit water content

재 입형 및 입도 분포 등이 고려된 최소 물-결합재비와 재료 분리와 골재의 부립을 고려한 최대 물-결합재비의 범위 제시가 필요하다. 또한 콘크리트의 동결융해 등의 콘크리트 노출환경을 고려한 물-결합재비의 보정 등이 제시 될 필요가 있다.

2.3.2 최소 단위시멘트량 (최대 단위수량)

콘크리트 표준시방서에서는 경량골재 콘크리트의 배합시 단위시멘트량에 대해서 300kg/m³을 최솟값으로 규정하고 있으며, 단위수량에 대한 별다른 제시는 없다. AC 211.2 에서는 최소 단위시멘트량에 대한 제한은 없으며, 단위수량의 경우 굵은골재 최대크기, 슬럼프 및 공기연행 여부를 고려하여 166~237kg/m³의 범위로 제안하고 있다. JASS 5 에서는 압축강도의 범위에 따라 단위시멘트량의 최솟값을 300~340kg/m³ 범위에서 제시하고 있다. 반면, CEB-FIP 는 단위수량에 대해 별다른 제한을 두고 있지 않다.

콘크리트 표준시방서의 경우 최대 물-시멘트비인 60%를 적용 시 최소 단위시멘트량에 대한 단위수량은 180kg/m³이 되는데 이는 시멘트 대비 단위수량이 다소 높은 배합이며,

재료분리 및 건조수축 증가의 원인이 될 수 있다(Figure 7). 또한 국내산 경량 잔골재의 경우 2mm 이하의 미립분이 다소 부족한 입도분을 갖는데 이는 충분한 페이스트가 없을 시 채움불량을 발생 시키게 된다. 따라서 경량

골재 콘크리트의 소요 품질 확보 및 문제발생을 최소화 하기 위해서는 단위시멘트양의 최솟값의 수정과 함께 페이스트의 총량을 고려한 단위수량 및 물-결합재비에 대한 제한이 필요하다. 예를 들어 콘크리트의 소요 강도를 확보할 수 있는 최대 시멘트양의 제시와 함께 실험을 통해 콘크리트의 유동성 및 채움성과 페이스트량의 상관성을 분석하고 이를 기반으로 최소 단위페이스트량을 결정하여 물-결합재비 및 단위수량에 대한 보정안이 제시될 필요가 있다.

2.3.3 슬럼프 및 공기량

콘크리트 표준시방서에서는 경량골재 배합 시 슬럼프 값은 일반적으로 50~180mm를 표준으로 제시하고 있으며, 공기량의 경우 내동해성을 고려하여 일반골재 콘크리트 대비 1% 이상 크게 적용할 것을 권장하고 있다. ACI 211.2에서는 경량골재 콘크리트의 슬럼프와 단위수량의 관계를 고려하여 슬럼프 범위 25.4~152.4mm에서 굵은골재 최대크기에 따른 단위수량의 범위를 제시하고 있으며, 구조 부재의 경우 부재 종류에 따라 25.4~101.6mm의 범위에서 적용할 것을 추천하고 있다. 공기량의 경우 2~7.5%범위에서 골재 최대크기와 노출환경 및 공기연행 여부를 구분하여 제시하고 있다. 공기연행 콘크리트의 경우 노출환경에 따라 온화 환경, 보통의 환경 및 극한환경으로 구분하여 골재최대가 고려된 공기량을 추천하고 있으며, 공기가 연행되지 않은 콘크리트의 경우 노출환경에 관계없이 골재최대 크기만 고려하여 공기량의 근삿값을 제시하고 있다. JASS 5에서는 설계기준강도에 관계없이 슬럼프를 210mm 이하로, 공기량은 5%를 만족하도록 제시하고 있다. 반면, CEB-FIP에서는 경량골재 콘크리트의 공기량에 대한 별도의 기준은 없다.

콘크리트의 슬럼프는 유동성과, 다짐성 및 작업성 등의 작업적 측면과 함께 재료분리, 채움불량 등의 콘크리트의 품질에도 영향을 미친다. 또한 콘크리트의 공기량은 골재의 입도분포에 큰 영향을 받으며, 콘크리트의 유동성에 영향을 미친다. 따라서 경량골재 콘크리트의 슬럼프는 콘크리트의 품질 확보와 함께 작업적 측면을 고려하여야 하며, 콘크리트의 공기량은 내동해성 뿐만 아니라 유동성 및 단위수량이 함께 고려되어야 한다.

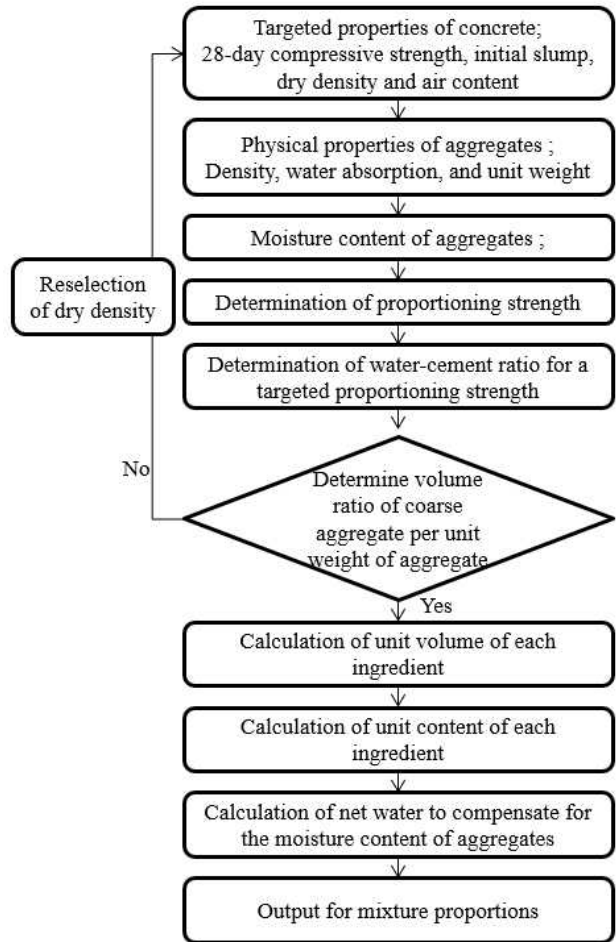


Figure 8. Example of mixing proportioning of lightweight aggregate concrete

2.4 배합절차

콘크리트 표준시방서에서는 콘크리트의 품질 및 골재 특성을 고려한 배합절차에 대한 별다른 제시는 없으며, 골재의 함수 상태와 입도분포의 보정을 통해서 시방배합과 현장배합을 구분하여 표시하도록 하고 있다. ACI 211.2에서는 경량골재의 함수 상태를 고려하여 모래경량 콘크리트에서는 골재의 함수량을 알거나 이미 결정되었을 때 배합비를 결정할 수 있는 비중법을, 전경량 콘크리트에서는 충분히 함수된 경량골재의 체적을 통해 배합중량으로 환산하여 적용할 수 있는 부피법에 의한 배합설계 절차를 제시하고 있다. JASS 5 및 CEB-FIP에서는 경량골재 콘크리트의 배합절차에 대한 별도의 규정은 없다.

경량골재 콘크리트의 배합설계는 골재의 흡수율과 단위용적중량에 대해서 큰 영향을 받는다. 특히 콘크리트의 압축강도에 대한 경량골재의 비중과 단위용적중량의 영향성은 중

요하므로 콘크리트의 단위용적중량이 설계 입력요소로 고려되어야 한다. 이를 위해 콘크리트의 초기 슬럼프, 압축강도 및 단위용적중량에 대한 다양한 실험결과를 분석하고 이를 기반으로 목표성능을 만족하는 배합절차 제시가 필요하다. 따라서 Figure 8에 나타낸 바와 같이 콘크리트의 소요 품질 확보를 위해서는 체계적인 골재의 품질관리와 함께 물-결합재비, 압축강도 및 단위용적중량의 상관성에 대한 분석이 필요하며, 이를 기반으로 목표 슬럼프, 단위용적중량, 공기량 및 압축강도 결정을 위한 체계적인 배합절차 절차의 제시가 필요하다[12]. 예를 들어 콘크리트의 목표성능으로 슬럼프, 공기량, 28일 압축강도, 기건 밀도 등을 구체적으로 설정하고, 이를 만족하기 위한 물-결합재비, 단위수량(단위결합재량), 굵은골재 및 잔골재량, 잔골재 치환율 등을 결정할 수 있어야 하며, 최종적으로 함수율을 보정하여 현장배합을 산정할 수 있는 배합절차에 대한 구체적 제시가 필요하다.

2.5 배합 및 타설

2.5.1 비비기

콘크리트 표준시방서에서는 경량골재 콘크리트의 표준 비비기 시간에 대해서 강제식 믹서를 사용할 경우 1분이상, 가경식 믹서를 사용할 경우 2분이상 유지하도록 제시하고 있다. ACI 213에서는 경량골재 콘크리트의 비비기를 보통 콘크리트와 동일하게 ASTM C94를 따르도록 하고 있다. JASS 5 및 CEB-FIP에서는 경량골재 콘크리트의 비비기에 대한 별도의 규정은 없다.

경량골재의 강도는 보통중량 골재대비 매우 낮다. 이로 인해 강제식 믹서를 사용하여 장시간 비비기를 할 경우 믹서 날과 마찰에 의해 굵은골재가 파쇄 될 수 있다. 굵은골재의 파쇄는 입도분포를 변화시키며 이는 콘크리트의 소요 슬럼프 및 강도에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 경량골재의 강도를 고려하여 콘크리트의 표준 비비기 시간의 최소, 최대 값을 제시할 필요가 있다.

2.5.2 타설 및 마무리

콘크리트 표준시방서에서는 경량골재의 낮은 단위용적중량을 고려하여 타설 시 골재 부립에 의한 재료분리에 유의하도록 하고 있으며, 부립한 경량골재를 콘크리트 내부로 눌러 넣어 표면을 마무리하도록 하고 있다. 또한 콘크리트의 다짐기에 대해 유동화 여부에 따라 찰러 넣기 간격 및 진동시간을

제시하고 있다. 마지막으로 표면을 마무리한지 1시간 정도 경과 후 다짐기 등으로 표면을 마무리하여 골재 부립에 의한 균열을 제거하도록 제시하고 있다. ACI 213에서는 경량골재 콘크리트의 배합, 운송 및 타설에 대해서 보통 콘크리트와 동일하게 적용하고 있으며, 타설 시 원활한 펌핑을 위해 흡수율이 높은 경량골재의 함수율을 적절히 유지하도록 권장하고 있다. JASS 5에서는 타설 및 다짐 시 재료분리, 흘림 및 품질변화가 최소화 되도록 요구하고 있으며, 골재의 부립 시 펌핑을 통해 부드러운 콘크리트 표면을 유지하도록 제안하고 있다. 반면, CEB-FIP에서는 경량골재 콘크리트의 타설 또는 마무리작업에 대해 별다른 규정을 하고 있지 않다.

3. 결 론

국내의 경량골재 콘크리트 시방내용의 분석 및 국내산 인공 경량골재를 사용한 콘크리트의 실험결과를 기반으로 콘크리트 표준시방서의 관련내용 개정방향을 다음과 같이 제시할 수 있었다(Table 3).

Table 3. Summary of the proposed specification revision

Contents	Current state	Proposals for Revision
Size distribution of aggregates	No consideration for partial combination of sand	Partial combination of sand to improve grade
Absorption of aggregates	None	Proper absorption range needs to be established
W/B and Unit water content (Unit cement content)	W/B=45~60% Unit water content =166~237kg/m ³ (unit cement content=300~340kg/m ³)	Modifications are required to prevent segregation and too low compressive strength gain
Mix design procedure	None.	A reliable approach is required to achieve the target performances including compressive strength and unit volume weight
Cast and curing	Comments based on normal weight concrete	Mixing time and compressive strength development need to be identified.

- 1) 국내산 인공 경량 잔골재의 불규칙한 입도분포를 개선하기 위해서는 최대직경 2.5mm 이하의 천연모래 혼입이 요구되었다.
- 2) 국내산 경량골재의 경우 침지 30분 이내에 약 60%의

수분흡수가 이루어지며 그 후 수분흡수 속도는 상당히 완만하게 되므로, 배합 시 골재 함수율 관리에서 이들 특성을 고려할 필요가 있다.

- 3) 국내산 인공 경량골재를 사용한 콘크리트의 재료분리 및 과도한 블리딩을 제어하기 위해서는 현재 시방서에서 제시된 최대 물-결합재비와 단위수량에 대한 수정이 요구되었다.
- 4) 경량골재 콘크리트의 배합 시 목표성능으로서 슬럼프, 압축강도 및 공기량과 함께 기건 단위용적중량이 함께 고려되어야 하며, 이들을 고려한 명확한 배합설계 절차가 요구되었다.
- 5) 골재강도가 낮은 인공 경량골재의 특성을 고려한 표준 비비기 시간 및 양생 시 강도발현에 대한 구체적 제안이 요구되었다.

요 약

이 연구에서는 국내산 인공 경량골재를 사용한 콘크리트의 실험결과를 바탕으로 콘크리트 표준시방서의 관련내용에 대한 합리성 및 개정의 필요성을 평가하였다. 국내 표준시방서의 내용은 ACI 211.2, ACI 213, ACI 301, JASS 5 및 CEB-FIP 시방내용들과 비교하였다. 국내산 인공 경량 골재의 연속적 입도분포를 위해서는 최대직경 2.5mm 이하의 천연모래 혼입이 요구되었다. 경량골재 콘크리트의 재료 분리 및 과도한 블리딩을 제어하기 위해서는 현재 시방서에서 제시된 최대 물-결합재비와 단위수량에 대한 수정이 요구되었다. 특히, 배합 목표성능인 초기 슬럼프, 28일 압축강도, 공기량 및 기건 단위용적중량에 대해 경량골재 콘크리트의 합리적인 배합설계 절차의 확립이 요구되었다. 결과적으로 콘크리트 표준시방서는 국내산 인공 경량골재의 특성을 고려하여 전반적이 개정이 요구되었다.

키워드 : 경량골재 콘크리트, 시방서, 배합설계, 목표성능

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea Government (MSIP) (No. NRF-2017R1A2B3008463)

References

1. Sim JI, Ynag KH, Structural safety of lightweight aggregate concrete. Magazine of the Korea Concrete Institute. 2011 Sep;23(5):27-32.
2. Yang KH, Mix design of lightweight aggregate concrete and determination of targeted dry density of concrete. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2013 Oct;13(5):491-7.
3. Chandra S, Berntsson L, Lightweight aggregate concrete. NY, Norwich: Noyes Publications; 2002. 450 p.
4. Kim YT, Jang CS. Production technology, property and application of artificial lightweight aggregates. Magazine of the Korea Concrete Institute. 2011 Sep;23(5):14-7.
5. Kwon DS, Kim SH, Jeon HK, Kim SH, Seo CH, A study on the characteristic of lightweight aggregate concrete in before and after pressurization by the amount of contained water in lightweight aggregate. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction. 2012 Aug;28(8):121-8.
6. ACI Committee 301. Specifications for structural concrete (ACI 301M-16). MI, Farmington Hills: American Concrete Institute; 2016. 64 p.
7. ACI Committee 211.2. Standard practice for selecting proportions for structural lightweight concrete (ACI 211.2-98). MI, Farmington Hills: American Concrete Institute; 1998. 18 p.
8. ACI Committee 213. Guide for structural lightweight-aggregate concrete (ACI 213R-14). MI, Farmington Hills: American Concrete Institute; 2014. 53 p.
9. Architectural Institute of Japan. Japanese Architectural Standard Specification for Reinforced Concrete Work (JASS 5) English version. Tokyo (Japan): Architectural Institute of Japan; 2009. p. 74-7.
10. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Standard Specification of Concrete. Seoul (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2016. p. 96-106.
11. Comité Euro-International du Béton, fib Model Code for Concrete Structures 2010. Switzerland: International Federation for Structural Concrete (Fib); 2000. 402 p.
12. Yang KH, Kim GH, Choi YH. An initial trial mixture proportioning procedure for structural lightweight aggregate concrete. Construction and Building Materials. 2014 mar;55:431-9.