

Research Paper

ASTM C 642 시험방법을 이용한 구조체 코어공시체와 원주형 공시체의 공극률 비교 평가

Comparison of Void Content between Cylindrical Concrete Specimen and Concrete Core Specimen Using ASTM C 642 Test Procedure

손정진¹ · 김지현² · 정철우^{3*}

Son, Joeng Jin¹ · Kim, Ji-Hyun² · Chung, Chul-Woo^{3*}

¹Master's Student, Architectural and Fire Protection Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea

²Research Professor, Multidisciplinary Infra-technology Research Laboratory, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea

³Professor of Architectural and Fire Protection Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea

*Corresponding author

Chung, Chul-Woo
Tel : 82-51-629-6084
E-mail : cwchung@pknu.ac.kr

ABSTRACT

Recently, construction accidents have occurred due to illegal water addition and insufficient quality control at domestic construction sites. In this study, the void content test method proposed in ASTM C 642 was used to provide a reference guideline for evaluation on the quality control status of cast-in-place structural concrete. For this purpose, simulated structural concrete for coring purpose was prepared in addition to the concrete cylindrical specimens with the same formulation, and the changes in compressive strength, elastic modulus, and void content related to coring were evaluated. According to experimental results, the compressive strength and modulus of elasticity were reduced by coring, which was associated with the generation of microcracks during coring. With respect to void content, the difference in void content between the cylindrical specimen and the cored specimen was up to 1.69%. If this value is used as a correction factor, it is possible to estimate the real void content of the cast-in-place structural concrete. By comparing this with the void content obtained from cylindrical concrete specimens, it is possible to evaluate the quality control status and amount of illegal water addition on the structural concrete.

Keywords : quality control, illegal water addition, compressive strength, elastic modulus, void content, coring

1. 서론

최근 국내외 건설현장에서는 콘크리트의 품질확보를 위한 기술력이 충분함에도 불구하고 철근콘크리트 구조물의 붕괴와 같은 건설재해가 계속 발생하고 있다[1,2]. 이와 같은 재해의 주요 원인 중 대표적인 것은 콘크리트 구조체 시공 과정에서의 품질관리가 적절히 이루어지지 못한데 있고, 이는 하절기 및 동절기 시공에서의 부적절한 양생, 현장에서의 콘크리트 품질관리 기술자 부족으로 인한 품질관리 기준 미준수 및 공기단축 등과 같은 경제적인 요인에 의하여 발생하는 거푸집 및 동바리 거치기간 미준수 등의 문제를 포함하고 있다[3-5].

특히 콘크리트 타설시, 워커빌리티 확보를 위해 현장에서 수행하는 임의가수(加水) 문제는 최근 광주 HDC 붕괴사고의



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

주요 원인 중 하나로 지목되었다[6]. 임의가수는 공극률의 증가를 통한 강도의 하락 및 단위수량의 증가로 인한 초기동해의 위험성 상승과 같은 많은 문제점을 가져온다. 따라서 현장에서의 임의가수는 필연적으로 콘크리트의 압축강도 및 탄성계수의 감소를 동반하여 구조체의 안전성이 저하되게 된다. 또한 단위수량의 증가는 콘크리트의 건조수축 및 크리프를 증가시켜 구조체의 장기거동에도 상당한 영향을 미치게 되므로 이를 더욱 유의할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 시공 현장에서는 콘크리트 분야 전문 인력부족 및 품질관리에 대한 인식부족 등의 문제로 인해 현장타설 콘크리트의 품질관리가 미흡한 경우가 많이 발생하고 있다[7,8].

콘크리트 표준시방서(KCS 14 20 00)[9]에서 단위수량은 원칙적으로 적합한 워커빌리티를 갖는 범위 내에서 가능한 적게, 185kg/m^3 이하로 할 것을 규정하고 있다. 또한 콘크리트 받아들이기 품질검사 시, 한국콘크리트학회 제규격(KCI-RM101)[10]에 따른 단위용적질량법, 고주파가열법, 마이크로파법 등의 방법으로 측정하여 시방배합 단위수량 $\pm 20\text{kg/m}^3$ 의 범위를 충족하도록 규정하고 있다. 이러한 방법들은 독일 L사 및 국내 D사와 같이 많은 기술개발이 이루어져 상용화단계를 진행하고 있는 실정이다. 다만, 이러한 측정 방법들은 콘크리트가 굳지 않은 상태에서의 측정방법으로 타설 후 경화가 완료된 콘크리트 구조체로부터 추가 가수량을 판단할 수 있는 방법에 대한 기준은 없는 실정이다.

일반적으로 현장에서는 콘크리트 인수시 별도로 원주형 공시체를 제작하고 수중양생 후 압축강도를 평가하여 경화된 콘크리트 구조체의 물성을 평가하고 있다. 그러나 이는 매우 안정된 환경에서 양생된 콘크리트에 대한 품질검사 측면에서 진행되어야 할 일이지, 양생과정이 상이한 구조체 콘크리트의 강도 평가에 사용되어서는 안된다. 또한 품질검사용으로 제작한 공시체와 같은 배합의 콘크리트를 구조체에 타설하지 않고 임의가수 등으로 인해 배합비가 변형된 콘크리트를 구조체에 타설하는 경우, 이는 완전히 상이한 콘크리트를 타설하는 경우에 해당되므로 품질검사용 콘크리트의 물성 검사를 통해 시공된 구조체 콘크리트의 품질을 판단하는 것은 불가능하다.

이러한 이유로 현장 양생된 콘크리트 구조체의 역학적 성능을 보다 정확하게 평가하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다[11,12]. 각 연구의 접근법은 다르지만, 궁극적으로 콘크리트의 안전성을 검증하여 거주자의 안전성을 증대시키는 동시에 콘크리트 구조체에 대한 사회적 신뢰성 회복을 도모하고 있다는 점에서 매우 큰 의미가 있다. 그러나 이러한 연구들에서는 대부분 현장과 유사한 양생조건을 도모하여, 최대한 콘크리트 구조체의 강도를 신뢰성 있게 판단하는데 중점을 두고 있다. 임의가수량의 경우에도 압축강도가 저하되는 편차 등을 통해 미루어 짐작할 수 있을 뿐, 이에 관한 정량적 평가는 불가능하다. 이러한 부분을 극복하기 위해, 광학현미경을 활용하여 물시멘트비를 추정하는 방법[13,14]을 활용할 수도 있지만, ASTM C 457 시험방법은[13] 콘크리트 내부의 연행공기 및 이의 분포를 보는 방법으로 실제 강도에 상당한 영향을 미치는 모세관 공극률의 확인이 어렵다는 단점이 있고, 암석구조 분석용의 박편시료(petrographic thin section)[14]를 이용한 물시멘트비의 추정 방법은 콘크리트 시료 일부에 대한 정보만을 확보할 수 있어 대표성이 다소 부족한 방법으로 볼 수 있다.

본 연구에서는 ASTM C 642에서 제시하는 공극률(void content)의 평가방법[15]을 통해 ‘경화된 콘크리트의 임의가수량 평가’의 적용가능성을 검토해 보고자 한다. 이러한 접근법은 콘크리트 내부에서 물이 채우고 있는 공간은 공극률로 평가되며, 임의가수에 의해 단위수량이 증가하게 되면 물이 채우고 있는 공간이 증가하여 공극률도 함께 증가할 것이라는 이론적 배경에 근거한다. 따라서 만약 현장에서 코어링된 콘크리트 시료의 공극률이 품질 검사를 위해 받은 원주형 공시체의 공극률보다 높은 경우, 콘크리트는 서로 상이한 배합을 가지는 콘크리트임이 확인되며, 공극률의 증가 비율을 통해 임의가수량의 정도를 판단할 수 있게 된다. 그러나 경화된 콘크리트 구조체로부터 코어 시료를 채취하면, 콘크리트 시료에 미세균열이 발생하고, 이로 인한 역학적 성능의 저하가 보고되어 있는데[16,17], 코어링 과정에서 발생하는 공극률의 상승에 대한 정보는 확인할 수 없었다. 이러한 부분을 무시한다면, 현장 구조체 콘크리트의 임의가수량 평가에서 코어 콘크리트 공시체가 항상 불리한 판정을 받게 된다.

따라서 본 연구에서는 구조체로부터 코어링된 콘크리트 시료와 같은 배합의 원주형 콘크리트 시료 간의 공극률 비교 평

가를 진행하고, 이를 통해 코어링과정에서 상승한 공극률을 확인하여, 추후 현장 콘크리트 구조체의 공극률 평가 및 임의가 수량 평가에 활용할 수 있는 근거자료로 활용하고자 하였다. 코어링을 진행할 철근콘크리트 구조체 콘크리트는 건설현장에서 사용되는 일반적인 콘크리트 배합(설계기준강도 24MPa)을 적용하여 제작하였고, 콘크리트 타설 시 같은 배합을 가지는 원주형 공시체도 함께 제작하였다. 원주형 공시체는 수중양생 하였으며, 모사구조체는 대기에 노출된 상태로 양생 후 코어링하여 코어공시체를 확보하고, 압축강도, 탄성계수 및 공극률을 비교 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 사용재료 및 배합

모의구조체 타설에 적용된 레미콘 배합의 경우 Table 1과 같이 일반적인 건설현장에서 사용되는 삼성분계 배합을 적용하였으며, 재령 28일 설계기준강도를 24MPa로 설정하였다. 모의 구조체는 Figure 1에 도식화된 길이 1.5m×너비 1.5m×두께 0.5m 판형 목재 거푸집을 설치한 후, 거푸집 내부에 최소한의 철근 배근을 하고 콘크리트를 타설하였다. 콘크리트 타설 후 표면은 실내에서 표면 노출된 상태로 기건 양생하였으며, 타설 후 24시간 시점에 거푸집을 제거하고 동일한 조건에서 계속 기건 양생 하였다. 판형의 모의구조체에 타설한 콘크리트와 동일한 배합의 콘크리트를 별도의 원주형 공시체(직경 10cm×높이 20cm)로 제작하였고, 타설 24시간 후 몰드를 제거하여 23±2°C의 온도에서 수중 양생하였다.

Table 1. Mixing proportion of ready-mixed concrete

(Unit:kg/m³)

W/B	S/a	Water	Cement	Blast Furnace Slag	Fly Ash	Natural Sand	Crusted Sand	Coarse Aggregate	Admixture	
									WRA	AEA
0.523	52	167	190	95	31	376	569	881	2.53	0.004

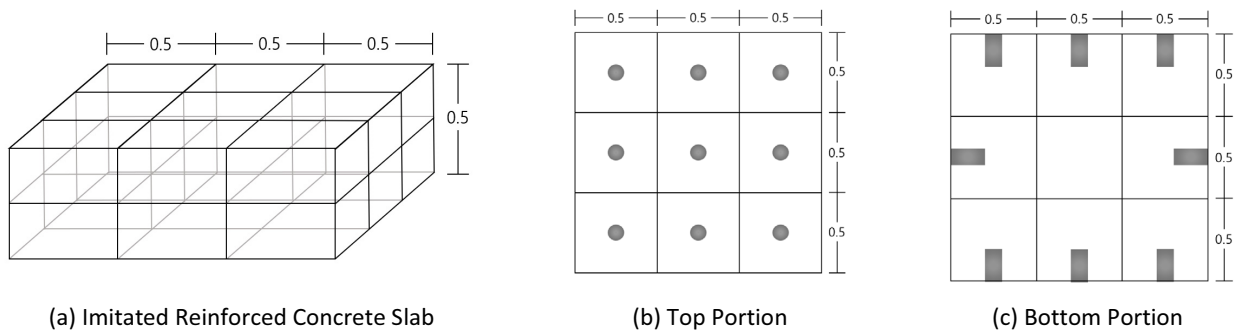


Figure 1. Schematic illustration of imitated concrete slab and coring locations(Unit: m)

2.2 콘크리트 코어링

콘크리트에 코어링 작업을 하게 되면 코어링 과정에서 발생하는 균열로 인해 압축강도의 저하가 발생하게 된다[18]. 특히 코어의 채취 방향이 타설방향과 직각인 경우(횡방향), 평행인 경우(종방향)에 비해 코어 공시체의 압축강도는 평균적으로 약 5% 정도 저하되는 것으로 알려져 있다. 이는 횡방향으로 코어링하는 경우, 콘크리트 타설시 내부 블리딩의 영향으로 인해 내부 블리딩의 길이 방향이 재하 방향과 일치선이 되어 상대적으로 하중에 저항하는 능력이 떨어지기 때문으로 알려져 있다[18].

따라서 본 연구에서는 이와 같은 차이점을 재확인하기 위해 횡방향(Co-Lat) 및 종방향(Co-Long)의 코어 공시체를 모두

채취하였다. 콘크리트 코어링은 채취용 판형 모사 구조체의 채취 구역을 Figure 1(a)와 같이 구획하여 상부 Figure 1(b)에서는 종방향, 하부 Figure 1(c)에서는 횡방향으로 코어를 채취하였다. 코어 채취 위치는 철근 탐사기를 이용하여 철근이 포함되지 않도록 선정하였으며, 코어링 도중 철근이 포함된 공시체는 물성 평가에서 제외하고 분석을 진행하였다.

2.3 압축강도

원주형 공시체 및 코어 공시체의 압축강도는 UTM(JP/UH-F100A, Shimadzu, Japan)을 활용하여 1mm/min의 재하속도로 측정하였다. 샘플의 함수상태 차이에 의한 영향을 최소화시키기 위해 시험 전 공시체를 수중에 48시간 침지시키고, 실험 전 꺼내어 형겼으로 표면의 물기를 제거한 후 1시간 이내에 측정하였다. 원주형 공시체 및 코어링된 공시체 모두 편심에 의한 영향을 줄이기 위해 윗면과 아랫면을 평탄하게 연마하였다.

정탄성계수는 KS F 2438에 따라, 0.25MPa/s의 재하속도로 측정하였다. 시험을 위해 콘크리트 시편의 중앙부에 2점의 컴프레소미터(compressometer; Tokyo Measuring Instruments Lab's, Japan)를 설치하였고, 재하 과정에서 각 시험체의 변위 측정을 위해 LVDT를 설치하였다. 콘크리트 시편의 변위는 2개의 LVDT로부터 얻은 값의 평균을 사용하였고, 콘크리트 시편의 정탄성계수는 아래의 식 (1)을 참고하여 계산하였다.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050} \tag{1}$$

- E: 정탄성계수,
- S1: 축방향 변형을 0.00005 지점의 응력(MPa),
- S2: 최대 강도의 40%에 해당되는 응력(MPa),
- ε2: 응력 S2에 대응하는 축방향 변형률

2.4 밀도와 공극률

콘크리트의 공극률 측정은 ASTM C 642 시험방법[13]에 따라 진행하였다. 공극률 평가는 수중 양생된 원주형 공시체 및 코어링된 공시체에 대해 진행하였으며, 원주형 공시체를 5cm 두께로 4등분한 뒤, 마감면과 바닥면을 제외한 두 개의 시편(Figure 2의 ②, ③)을 사용하여 측정을 진행하였다. 이해를 돕기 위해, 실험에서 진행하는 중량 측정 시편과 4가지 상태를, A(oven dry weight), B(saturated surface dry weight), C(saturated weight after boiling), D(immersed apparent weight)로 세분하여 Figure 2에 나타내었다.

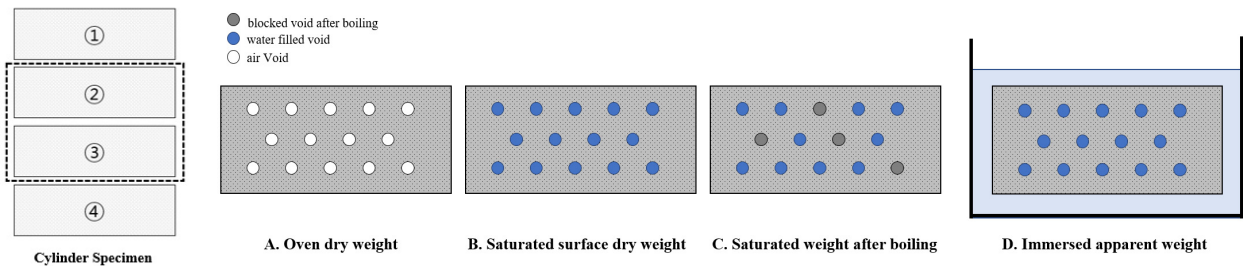


Figure 2. Schematic diagram of voids measurement

콘크리트 시편의 절건중량(A)의 측정을 위해 시편을 105°C의 온도에서 24시간 동안 건조시켰으며, 콘크리트 시편의 표건중량(B)의 측정을 위해 48시간 동안 시편을 수중에 침지시켰다. 수화도의 차이에 따른 공극률의 영향을 최소화시키기 위해 콘크리트 시편을 수중에 침지시켜 5시간 동안 끓인 후, 시편의 온도가 20~25°C에 도달하였을 때(최대 14시간이 넘지 않은 범위 내에서) 표건 중량을 측정하였다. 마지막으로 이 시편을 물에 침지시킨 후 침지 중량(D)을 측정하였다. 콘크리트 시편의 공극률은 아래의 식 (2)~(4)를 이용하여 계산할 수 있으며, 만약 콘크리트의 진밀도(absolute density)의 측정이 가능하다면 식 (5)를 이용하여 더욱 정확하게 공극률을 계산할 수 있다.

$$g_1(\text{Bulk density, dry}) = \frac{A}{(C-D)} \times \rho \quad (2)$$

$$g_2(\text{Apparent density}) = \frac{A}{(A-D)} \times \rho \quad (3)$$

$$\text{Voids}(\%) = \frac{(g_2 - g_1)}{g_2} \times 100(\%) \quad (4)$$

$$\text{Total void volume}(\%) = \frac{(g_3 - g_1)}{g_3} \times 100(\%), \quad g_3 : \text{Absolute density} \quad (5)$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축강도 및 정탄성계수

Figure 3에 따르면, 레미콘 배합 원주형 공시체(Cast)의 재령 28일 압축강도는 30.69MPa로 측정되었으며, 같은 배합의 모사구조체로부터 코어링된 코어 공시체(Co)의 압축강도인 19.81MPa 및 17.34MPa에 비해 높게 나타났다. 국토교통부 표준시방서의 일반 콘크리트(KCS 14 20 10 2021)에 따르면, KS F 2422에 따라 코어의 압축강도의 시험을 실시하여야 하며, 코어 강도의 시험 결과는 평균값의 85%를 초과하고 각각의 값이 75%를 초과하면 적합한 것으로 판정한다[19].

본 연구의 결과에 따르면 Cast 공시체에 비해 코어 공시체의 압축강도는 현저히 낮은 것으로 확인되었다. Cast 공시체의 압축강도에 비해 종방향 코어링 공시체(Co-Long)의 압축강도는 35.44%, 횡방향 코어링(Co-Lat) 공시체의 압축강도는 43.49% 감소한 것으로 확인되었다. 설계기준강도인 24MPa에 대해서도 종방향 82.54% 및 횡방향 72.25%로 모두 85%를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 원주형 공시체가 수중에서 잘 양생된 것에 반해, 모사 구조체는 기건 양생되었으므로 같은 배합임에도 불구하고 상당한 강도 차이가 발생된 것으로 판단된다. 또한 코어링 공시체의 경우, 샘플 압축강도 시험 도중 발생한 편심 등에 의한 영향도 함께 존재하는 것으로 판단된다. 코어링 채취방향에 따른 압축강도 차이는 Park et al.[18]의 연구 결과와 같이 종방향 코어링이 횡방향 코어링 보다 12.5% 높게 측정되었다. 또한 Figure 4에 따르면 종방향 코어 공시체의 정탄성계수는 20.28 GPa로 나타났고, 횡방향 코어 공시체의 정탄성계수는 17.45 GPa로 나타났는데 반해, 원주형 공시체의 정탄성계수는 30.25 GPa로 나타나, 원주형 공시체 정탄성계수의 32.95% 및 42.31% 감소하였는데, 이는 압축강도의 감소폭과 유사한 것을 알 수 있다.

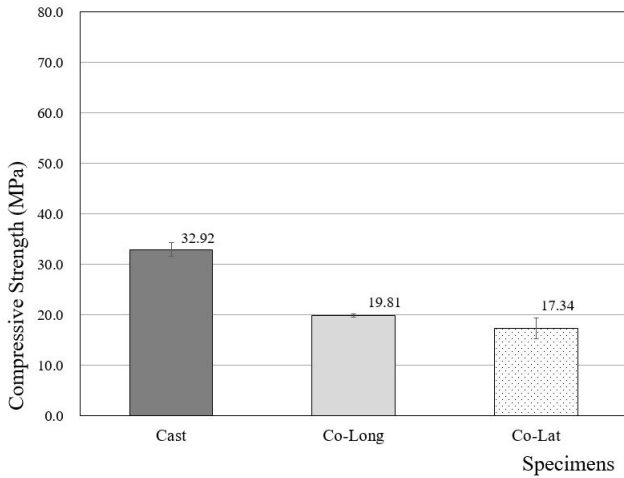


Figure 3. Compressive strength of concrete at 28 days

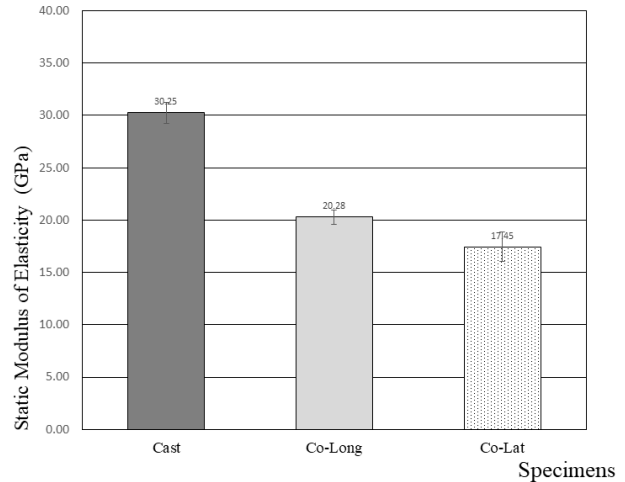


Figure 4. Static elastic modulus of concrete

3.2 밀도와 공극률

본 연구에서 제작한 콘크리트 시험체의 겉보기 밀도, 진밀도 및 공극률을 측정된 결과 Table 2와 같이 나타났으며, 그 중 측정된 시험체의 공극률을 Figure 5로 구분하여 나타내었다. Table 2에 따르면 원주형 공시체의 절건 밀도가 코어 공시체의 절건밀도보다 높게 나타났다. 그리고 전체적으로 2면 단면의 공시체에 비해 3면 단면의 공시체에서(Figure 2 참조) 겉보기 밀도 값이 높게 나타났는데, 그 이유는 원주형 공시체 및 모사 구조체의 타설 과정에서 상대적으로 무거운 밀도를 가지는 골재가 하단부에 배치되어 3면 단면 공시체의 겉보기 밀도가 하단부로 갈수록 높게 측정된 것으로 판단된다.

또한 횡방향 코어 공시체(Co-Lat)의 겉보기 밀도는 종방향 코어 공시체(Co-Long) 보다 높은 것으로 측정되었으며, 이 때 절건 밀도 또한 함께 상승하였다. 이는 위의 Figure 1에서 설명한 바와 같이 종방향 코어 공시체는 모사구조체의 상단부에서 채취하였고, 횡방향 코어 공시체는 모사구조체의 하단부에서 채취하였는데, 재료분리로 인해 발생한 골재량의 상승으로 인해 하단부에서 채취한 횡방향 코어 공시체의 밀도도 상승한 것으로 판단된다.

횡방향 코어 공시체의 경우 겉보기 밀도의 증가비율에 비해 절건 밀도의 증가비율이 상대적으로 높아, 공극률은 감소하는 것으로 나타났다. Figure 3에 나타난 압축강도 결과 및 Figure 4에 나타난 탄성계수 결과에 따르면 종방향 코어 공시체의 압축강도 및 탄성계수가 횡방향 코어 공시체의 경우보다 높게 나타났는데, 역학적 성능의 지표라고 할 수 있는 공극률은 오히려 반대의 경향을 보였다. 따라서 종방향 코어 공시체의 압축강도가 높은 이유는 공극률 보다는 내부에 존재하는 내부 불리딩의 방향과 하중의 가력방향과의 상관성에서 찾는 것이 더욱 합리적일 것으로 판단된다.

Table 2. Voids measurement data of concrete

	Cast-②	Cast-③	Co-Long.②	Co-Long.③	Co-Lat.②	Co-Lat.③
g ₁ : bulk density, dry	1.866	1.825	1.748	1.768	1.790	1.816
g ₂ : apparent density	2.249	2.176	2.147	2.156	2.168	2.181
bulk density after immersion and boiling	2.036	1.986	1.934	1.948	1.964	1.983
absorption after immersion, and boiling%	9.137	8.845	10.641	10.161	9.747	9.217
volume of permeable pore space(Voids, %)	17.046	16.141	18.597	17.969	17.442	16.734

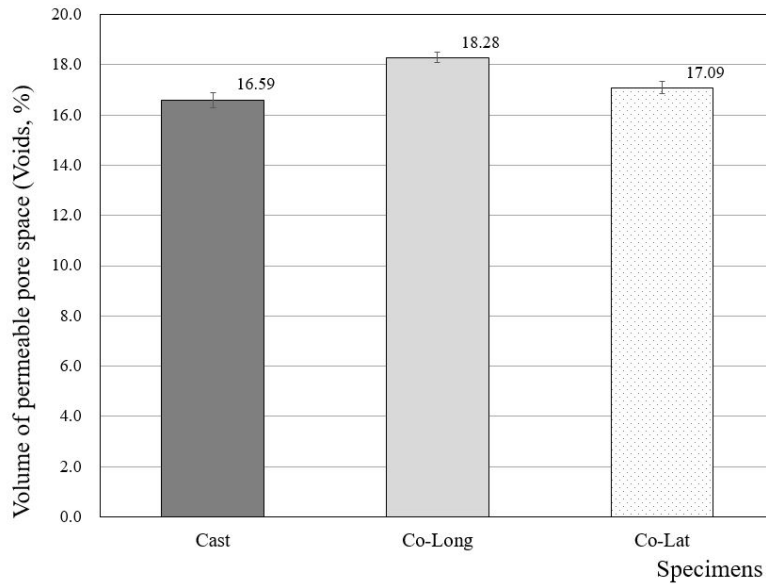


Figure 5. Average void content of concrete specimens at 28 days

Figure 5에 나타난 바와 같이 코어 공시체와 원주형 공시체의 공극률 차이를 비교한 결과, 원주형 공시체의 공극률 평균은 16.59%로 종방향 코어 공시체의 18.28%(원주형 공시체에 비해 1.69% 상승) 및 횡방향 코어 공시체의 17.09%(원주형 공시체에 비해 0.5% 상승)에 비해 낮게 나타났다. 이는 코어 공시체 채취 과정에서 발생한 미세균열로 인한 공극률의 상승으로 판단된다. 또한 원주형 공시체는 수중양생된 시험체로 기건 양생된 코어 시험체 대비 수화도의 상승에 의한 공극률 감소의 효과도 함께 존재하는 것으로 판단된다. 전체적으로 코어링을 진행하는 경우, 코어링을 통한 공극률 상승은 최대 2%를 넘지 않는 것이 확인되었다.

3.3 공극률 평가방법의 활용가능성

본 연구에서 나타난 결과에 따르면, 구조체 코어 콘크리트의 공극률 평가를 통해, 콘크리트의 품질 및 임의가수량 평가가 가능할 것으로 판단된다. 예를 들어, 콘크리트 원주형 공시체의 공극률보다 구조체 코어링 콘크리트의 공극률이 5% 높게 판정된 경우, 코어링 도중 발생한 균열과 상관관계가 있는 공극률 상승폭의 최대치인 1.7%를 제하면 3.3%(5%-1.7%)의 체적에 해당되는 물이 가수된 것으로 판정이 가능하다. 이를 가수량으로 환산하면 물의 밀도가 1000kg/m³ 이므로, 33kg/m³의 물이 추가로 가수되었다고 볼 수 있다. 또한 원주형 공시체와 코어링된 공시체의 공극률 편차가 상당히 커지게 되는 경우, 현장의 구조체 콘크리트로부터 코어링된 시험체와 수중 양생된 시험체를 같은 품질의 콘크리트로 볼 수 없어, 현장에서의 콘크리트 품질 관리에 문제가 발생한 것으로도 판단이 가능하다.

본 실험에서 나타난 공극률 측정의 편차가 시편별로 1% 내외로 나타나 매우 안정적인 경향을 보인 점을 감안한다면, ASTM C642에서 제안한 공극률 측정방법은 현장타설 콘크리트의 품질 평가에 충분히 활용 가능하다고 판단된다. 그러나 ASTM C642 시험방법을 이용하여 현장의 구조체 콘크리트의 실제 단위수량을 판정하기 위해서는 비교 대상에 해당되는 콘크리트 시료 및 콘크리트의 배합설계에 대한 명확한 정보가 확보되어 있어야만 한다. 따라서 현 단계에서는 품질관리용 원주형 공시체와 현장 코어링된 코어 콘크리트의 공극률 비교를 통해, 임의로 가수된 물의 양을 판단하는 정도까지만 활용이 가능하다고 말씀드리고 싶다.

ASTM C 642의 방법은 절건중량과 침지중량의 상관관계를 통해 비교적 정확하게 겉보기 밀도를 측정할 수 있지만, 헬륨 등의 기체를 이용한 진밀도 측정의 정확도에는 비교하기 어렵다는 단점이 존재한다. 또한 해당 방법을 통해 추산한 공극률이 MIP(Mercury intrusion porosimetry) 및 BET등 기존의 공극 구조 분석에 사용되는 방법으로 얻은 공극률과 어느 정도 차이가 발생하는지에 대한 이해도 아직 부족한 상황이다. 이러한 부분들을 보완하여, 신뢰성이 확보된 현장콘크리트 품질관리 방법을 제안하는 것을 목표로 추후 연구를 진행하고자 한다.

4. 결론

본 연구에서는 경화된 콘크리트의 품질 및 임의 가수여부를 판단하는 방법으로 ASTM C 642에서 제안한 공극률 측정방법의 적용가능성을 평가하고자 하였다. 이를 위해 모사 구조체에서 코어링한 공시체와 제작한 원주형 공시체의 압축강도, 정탄성계수 및 공극률을 측정하여 비교 분석하고 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 코어 공시체의 압축강도 및 정탄성계수는 양생조건, 코어링 과정 중 발생하는 **damage**의 영향으로 원주형 공시체에 비해 낮게 나타났다.
- 2) 공극률 측정결과 코어링 **damage**로 인해 증가하는 공극률은 최대 1.69%로 나타났으며, 이는 현장콘크리트의 품질 평가시 보정치로 활용이 가능하다.
- 3) ASTM C642의 공극률 측정방법은 품질관리용 원주형 공시체와 현장 코어링된 코어 콘크리트의 공극률 비교를 통해, 현장타설 콘크리트의 품질관리 상태 및 임의로 가수된 물의 양을 판단의 기준점으로 활용가능할 것으로 판단된다.

요약

최근 국내외 건설 현장에서 불법 가수 및 품질관리 미흡으로 인한 건설재해가 발생되고 있다. 본 연구에서는 현장타설 구조체 콘크리트의 품질관리 상태 및 시공단계에서의 임의가수량 판정을 위한 기준점으로 활용하기 위해, ASTM C 642에서 제안한 공극률 시험방법을 도입하고자 하였다. 이를 위해 코어링 대상의 모사 구조체 콘크리트를 타설하고, 같은 배합을 가지는 콘크리트 원주형 공시체를 함께 제작하여, 코어링 도중 발생한 공극률의 증가 수준에 대한 기초자료를 확보하고자 하였다. 압축강도 및 탄성계수는 코어링을 진행한 시편에서 낮게 나타났는데, 이는 코어링 도중 발생한 미세균열의 영향으로 판단된다. 공극률 측정 결과 각 시편간의 데이터 편차는 1% 미만으로 매우 정확한 값을 도출하였으며, 원주형 공시체와 코어링된 공시체 사이의 공극률 차이는 최대 1.69%로 확인되었다. 이 값을 보정치로 활용하면, 현장 콘크리트와 원주형 콘크리트 사이의 실공극률 추산이 가능하며, 이의 상호 비교를 통해 현장 구조체 콘크리트의 품질관리 상태 및 임의가수량의 판단이 가능할 것으로 확인되었다.

키워드 : 품질관리, 임의가수, 압축강도, 탄성계수, 공극률, 코어링


Funding


This work was supported by the Energy R&D Program of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) granted financial resource from the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea(No. 20217910100100).


Acknowledgement

Not applicable

ORCID

Joeng Jin Son,  <https://orcid.org/0000-0003-2843-4997>

Ji-Hyun Kim,  <https://orcid.org/0000-0003-4354-2224>

Chul-Woo Chung,  <https://orcid.org/0000-0002-3157-7676>

References

1. Industrial accident occurrence status in 2022 [Internet]. Sejong (Korea): Korea Occupational Safety and Health Agency. 2022 Jun. Available from: <https://www.moel.go.kr/skin/doc.html?fn=20220830180521dcb111e8b76f4c2ea819c6c743df0c13.hwp&rs=/viewer/BBS/2022/>
2. Park NH, Yeo OK, Hwang YJ, Kin HJ, Choi JH, Choi GY, Ahn YC, Lee JS, Kim HY, Lee YH, Lee DL. In-depth Analysis for the Investigation System of Collapse Incidents of Foreign Structures Ministry of Public Administration and Security. Ulsan (Korea): National Disaster Management Research Institute; 2019 Dec. 253 p. Grant No.: 11-1741056-000208-01.
3. Park SB. The problems and quality management of concrete materials. Magazine of the Korea Concrete Institute. 2002 May;14(3):10-5.
4. Cho HB, Kim HY, Lee YD, Jung SJ. Effect of maintaining time of formwork on strength and dry shrinkage of mock-up concrete in cold weather condition. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction. 2013 Jul;29(7):109-16. https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2013.29.7.109
5. Tattersall GH. Workability and quality control of concrete. 1st ed. London: CRC Press; 1991. 272 p. <https://doi.org/10.1201/9781482267006>
6. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Central Building Accident Investigation Committee). Investigation report on the collapse of demolition construction in gwangju. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2021 Aug. 91 p.
7. Cho HD. Formwork QC Status During the Process of Concrete Work. Journal of the Architectural Institute of Korea. 2022 Apr;38(4):229-35. <https://doi.org/10.5659/JAIK.2022.38.4.229>
8. Kim JH, Choi GJ, Park SK, Shin YS, Kim BJ. Comparison of the perception of each participant on quality control factor of form work. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. 2021 Apr;22(4):520-8. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.4.520>
9. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Standard Specification Reinforced Concret Work (Korea). Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2022. 29 p.
10. Korea Concrete Institute. Specification of Korea Concrete Institute. 1st ed. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; c2010.Chapter 8, KCI-RM101 Standard Test Method to Measure Rapidly Unit water of Fresh Concrete; p. 229-36.
11. Park JM, RA JM, KIM JM, Kim YR. Characteristics of temperature and compressive strength of strength management specimen. Proceedings of the Korea Concrete Institute. 2022 May 11-13; Jeju, Korea. Seoul (Korea): The Korea Concrete Institute; 2022. p. 487-88.

12. Lau KT, Zhou LM. Mechanical performance of composite-strengthened concrete structures. *Composites Part B: Engineering*. 2001 Sep;32(1):21-31. [https://doi.org/10.1016/S1359-8368\(00\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S1359-8368(00)00043-3)
13. ASTM C457/C457M-16. Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete. ASTM International. 2017 Apr;04(02):1-18. https://doi.org/10.1520/C0457_C0457M-16
14. Fahy MP, Guccione M J. Estimating strength of sandstone using petrographic thin-section data. *Environmental & Engineering Geoscience*. 1979;xvi(4):467-85. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.xvi.4.467>
15. ASTM C642-97. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. ASTM International. 2022 Jan;04(02):1-3. <https://doi.org/10.1520/C0642-97>
16. Neville AM . *Properties of concrete*. 4th ed. London: Longman; 1995. 846 p.
17. Jo SD, Kwan SH, Kim CY, Park YS. Effect of damage caused by extracting cores on compressive strength of concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2019 Aug;31(4):397-405. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2019.31.4.397>
18. Park SK, Choi W, Oh KJ. Various testing condition affecting measured compressive strength of concrete core. *Journal of Korea Concrete Institute*. 2001 Aug;13(4):76-83. <https://doi.org/10.22636/MKCI.2001.13.4.76>
19. KCS 14 20 00, Standard Specification Reinforced of General Concrete. Osan (Korea): Korea Concrete Institute; 2022. p. 1-65.