SPSPSPSP
SPSPSPS
SPSPSP
SPSPS
SPSP
SPS

SPS-F KOCED 0047-7556

SPS

고속압축과 고속쪼갬인장 시험용 실린더형 콘크리트 공시체 제작 방법

SPS-F KOCED 0047-7556:2023

국토교통연구인프라운영원

2023년 03월 20일 제정

심 의 : 국토교통연구인프라운영원 단체표준심사위원회

	성 명	근 무 처	직 위
(위원장)	최 은 수	홍익대학교	교 수
(위 원)	강 현 구	서울대학교	교 수
	문 일 환	한국전력기술㈜	주임연구원
	문 재 흠	한국건설기술연구원	수석연구원
	박 병 선	고려대학교	교 수
	신 현 오	충남대학교	교 수
	정 대 성	국토교통연구인프라운영원	본 부 장
	표 석 훈	울산과학기술원	교 수
(간 사)	김 태 형	국토교통연구인프라운영원	책임연구원
	박 세 현	국토교통연구인프라운영원	선임연구원

원안작성협력 : 서울대학교

	성 명	근 무 처	직 위
(연구책임자)	조 재 열	서울대학교	교 수
(참여연구원)	김 경 민	서울대학교	연 구 원
(참여연구원)	이 상 호	서울대학교	연 구 원

표준열람 : e나라표준인증(http://www.standard.go.kr)

제정단체 : 국토교통연구인프라운영원 등 록 : 한국표준협회
제 정 : 2023년 03월 20일
심 의 : 국토교통연구인프라운영원 단체표준심사위원회
원안작성협력 : 서울대학교

이 표준에 대한 문의사항이 있을 시 e나라 표준인증 웹사이트에 등록된 표준담당자에게 연락 바랍니다.

이 표준은 산업표준화법 시행규칙 제19조 및 단체표준 지원 및 촉진운영 요령 제11조의 규정에 따라 매 3년마다 확인, 개정 또는 폐지됩니다.

목 차

머 리 말 ii
1 적용범위 1
2 인용표준 1
3 용어와 정의 1
4 시험 장비와 기구 2
4.1 몰드 2
4.2 다짐봉 2
5 공시체 제작 방법 3
5.1 개요 3
5.2 공시체 치수의 결정 3
5.3 공시체 제작 3
5.4 몰드의 제거와 양생 4
5.5 양생 후 공시체 가공 4
6 공시체 길이와 길이 오차 측정 4
6.1 공시체 길이 측정 4
6.2 공시체 길이 오차 측정 4
7 공시체 수직도 오차 산출 5
8 보고 5
부속서 A (참고) 공시체 길이에 따른 고속압축시험 결과 6
부속서 B (참고) 고속압축과 고속쪼갬인장 시험용 실린더형 콘크리트 공시체 제작 보고 예시 9
참고문헌 11
SPS-F KOCED 0047-7556:2023 해 설 12

머 리 말

이 표준은 국토교통연구인프라운영원에서 원안을 갖추고 산업표준화법 시행규칙 제19조 및 단체표준 지원 및 촉진 운영 요령에 따라 국토교통연구인프라운영원 단체표준심사위원회를 거쳐 제정된 단체 표준이다.

이 표준은 저작권법의 보호 대상이 되는 저작물이다.

이 표준의 일부가 기술적 성질을 가진 특허권, 출원공개 이후의 특허출원, 실용신안권 또는 출원공개 후의 실용신안등록출원에 저촉될 가능성이 있다는 것에 주의를 환기한다. 국토교통연구인프라운영원의 장과 단체표준 심사위원회는 이러한 기술적 성질을 가진 특허권, 출원공개 이후의 특허출원, 실용신안권 또는 출원공개 후의 실용신안등록출원에 관계되는 확인에 대하여 책임을 지지 않는다.

단체표준

SPS-F KOCED 0047−7556:2023

고속압축과 고속쪼갬인장 시험용 실린더형 콘크리트 공시체 제작 방법

Method for making cylindrical concrete specimen
for high strain rate compressive and splitting tensile tests

1 적용범위

이 표준은 27 MPa에서 70 MPa까지의 정적압축강도를 나타내는 일반 콘크리트의 고속압축시험과 고속쪼갬인장시험을 위한 실린더형 공시체 제작 방법에 대해 규정한다.

비고 고속압축과 고속쪼갬인장 시험은 0.1 s^{-1} 이상의 변형률 속도 영역에서 수행하는 재료 단위의 시험을 의미하며, 스플릿 홉킨슨 프레셔 바(split Hopkinson pressure bar, SHPB) 또는 급속재하 시험기와 같은 시험 장비를 활용한다.

2 인용표준

다음의 인용표준은 전체 또는 부분적으로 이 표준의 적용을 위해 필수적이다. 발행연도가 표기된 인용표준은 인용된 판만을 적용한다. 발행연도가 표기되지 않은 인용표준은 최신판(모든 부록을 포함)을 적용한다.

KS F 1004, 콘크리트 용어
KS F 2403, 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법
KS F 2425, 시험실에서 콘크리트 시료를 만드는 방법

3 용어와 정의

이 표준의 목적을 위하여 다음의 용어와 정의를 적용한다.

3.1
변형률 속도(strain rate)
시간에 대한 변형률의 변화율

3.2
유효편차변형률 속도(effective deviatoric strain rate)
편차변형률 속도 텐서의 크기에 비례하여 계산되는 스칼라 값

3.3

정적압축강도(static compressive strength)
5×10^{-6} s^{-1}에서 5×10^{-5} s^{-1}의 변형률 속도 영역에서 수행한 압축시험 결과로 획득할 수 있는 재료의 압축강도

3.4
동적압축강도(dynamic compressive strength)
0.1 s^{-1} 이상의 변형률 속도 영역에서 수행한 고속압축시험 결과로 획득할 수 있는 재료의 압축강도

3.5
겉보기 동적증가계수(apparent dynamic increase factor)
동적강도의 정적강도에 대한 비율

3.6
굵은 골재 최대 치수(maximum size of coarse aggregate)
질량으로 90 % 이상이 통과한 체 중 최소 치수의 체 치수로 나타낸 굵은 골재의 치수

3.7
단면의 이질성(heterogeneity over cross-section)
공시체 단면 내 모르타르 성분과 서로 다른 특성을 갖는 굵은 골재가 불규칙하게 분포되어 있는 상태와 성질

3.8
수직도 오차(error of perpendicularity)
공시체 단면에 대해 공시체 길이 방향의 축선이 90°를 기준으로 벗어난 정도

3.9
동적응력평형(dynamic stress equilibrium)
공시체의 가력면 응력과 공시체의 반력면 응력이 일치하는 상태

4 시험 장비와 기구

4.1 몰드

공시체를 제작하기 위한 틀로, 몰드의 내부 지름은 제작하고자 하는 공시체의 지름과 동일해야 한다. 콘크리트 공시체 제작을 위한 몰드는 KS F 2403, **4.2.1**에 따라 다음과 같이 준비한다.

a) 비흡수성으로 시멘트에 의해 침식되지 않는 재료로 만들어져야 한다.
b) 몰드는 정밀하게 제작하여 누수가 없어야 한다.
c) 몰드의 내면에는 콘크리트를 다져 넣기 전에 광물성 기름 또는 반응성이 없는 박리제를 바른다.

비고 몇 가지 부품으로 구성되는 몰드의 경우, 그 이음매에는 유토, 딱딱한 그리스 등을 얇게 바르고 조립한다.

4.2 다짐봉

다짐봉은 콘크리트 혼합 후 몰드에 콘크리트를 다져 넣기 위해 사용하는 기구이다. 다짐봉의 지름은 **표 1**에 따라 준비한다. 다짐봉의 한쪽 끝은 반구 모양이어야 하며, 길이는 KS F 2403, **4.2.2**에 따라 500 mm에서 600 mm의 강재로 한다.

표 1 — 공시체 지름에 따른 다짐봉의 지름

단위: mm

공시체 지름	다짐봉 지름
100 미만	10 ± 2
100 이상 150 이하	16 ± 2

5 공시체 제작 방법

5.1 개요

콘크리트 혼합은 KS F 2425, **5**에 따른다. 공시체는 혼합한 콘크리트를 몰드에 다져 넣어 제작하며, 양생 후 시험을 위한 크기로 가공한다.

5.2 공시체 치수의 결정

5.2.1 공시체 지름

공시체의 지름은 굵은 골재 최대 치수의 3배 이상이어야 하며, 고속압축시험용 공시체의 경우, 공시체의 지름은 고속압축시험용 장비의 가압판 지름 또는 SHPB의 지름보다 작거나 같아야 한다.

5.2.2 공시체 길이

공시체의 길이는 공시체 길이 방향의 이질성을 감소시키기 위해 굵은 골재 최대 치수의 3배 이상을 만족해야 한다. 단, 고속쪼갬인장시험용 공시체의 길이는 고속쪼갬인장시험용 장비의 가압판 지름 또는 SHPB의 지름보다 작거나 같아야 한다.

비고 고속압축시험용 공시체의 길이는 **부속서** A를 참고하여 결정한다.

5.3 공시체 제작

몰드에 혼합한 콘크리트를 다져 넣어 공시체를 제작한다.

5.3.1 콘크리트 채워 넣기

5.3.1.1 다짐봉을 사용하는 경우

몰드에 콘크리트를 채울 때 **표** 2에 따라 각 공시체 지름과 길이에 맞는 층수로 나누어 타설하고, 해당하는 횟수만큼 다짐봉을 사용하여 다짐을 실시한다. 다짐은 KS F 2403, **4.3.2**에 따라 수행한다. 다짐 시, 바로 아래층까지 다짐봉이 닿도록 해야 하며, 이와 같이 다짐을 실시하여 재료가 분리될 염려가 있는 경우 분리를 일으키지 않을 정도로 다짐 횟수를 줄인다.

표 2 — 공시체 지름과 길이에 따른 다짐 층수와 횟수

공시체 지름 mm	다짐 층수 결정	다짐 횟수/층
100 미만	길이를 지름으로 나눈 값을 올림하여 층수를 결정	25
100 이상 150 이하	길이를 100 mm로 나눈 값을 올림하여 층수를 결정	25

5.3.1.2 콘크리트용 외장형 진동 장치를 사용하는 경우

콘크리트용 외장형 진동 장치를 사용하여 콘크리트를 몰드에 채워 넣는 경우 KS F 2403, **4.3.3**을 따른다.

5.3.2 윗면 고르기

KS F 2403, **4.3.4**에 따라 몰드 위쪽의 콘크리트는 제거하고 표면을 주의해서 고른다.

5.4 몰드의 제거와 양생

몰드의 제거와 양생은 KS F 2403, **7**에 따라 다음과 같이 한다.

a) 콘크리트를 다져 넣은 후, 그 경과를 기다리며 몰드를 제거한다. 몰드 제거시기는 콘크리트를 채운 직후 16시간 이상 3일 이내로 한다. 이때, 충격, 진동 및 수분의 증발을 방지해야 한다.
b) 공시체 양생 온도는 (20±2) °C로 한다. 공시체는 몰드 제거 후 강도 시험을 할 때까지 습윤 상태에서 양생을 실시한다. 공시체를 습윤 상태로 유지하기 위해서 수중 또는 상대 습도 95 % 이상의 장소에 두면 된다.

비고 수조에서 양생하는 경우 3 g/L의 수산화칼슘을 첨가하여 공시체의 수산화칼슘 성분이 손실되지 않도록 한다.

5.5 양생 후 공시체 가공

5.5.1 콘크리트용 절단기를 사용하는 경우

콘크리트용 절단기를 사용하여 공시체를 가공하는 경우 다음과 같은 절차를 따른다.

a) 양생한 공시체의 상·하면을 절단하여 제작하고자 하는 공시체 길이에 맞춰 가공한다.
b) 공시체 가공 시 공시체의 수직도를 확보할 수 있도록 절단하여야 한다.

5.5.2 연마를 하는 경우

가공 전 공시체 길이가 공시체의 상·하면을 모두 절단할 수 있도록 충분하지 않은 경우 길이에 맞추어 윗면을 연마한다. KS F 2403, **4.4.2**에 따라, 윗면을 연마하는 경우 콘크리트 공시체에 영향을 주지 않도록 한다.

6 공시체 길이와 길이 오차 측정

6.1 공시체 길이 측정

공시체의 길이 측정은 다음과 같은 절차를 따른다.

a) 공시체의 길이는 공시체 둘레를 따라 균등하게 나누어 최소 3 지점에서 각각 측정한다.
b) 측정한 각 지점의 길이들의 평균을 계산하여 공시체의 평균 길이를 획득한다.

6.2 공시체 길이 오차 측정

공시체 길이의 오차는 각 지점의 길이들 중 최댓값과 최솟값의 차이로 계산한다.

7 공시체 수직도 오차 산출

공시체의 수직도 오차(*EP*)는 KS F 2403, **4.5 c)**에 따라 0.5° 이내여야 한다. 공시체의 수직도 오차를 계산하기 위한 식은 다음과 같다.

$$EP = \left|\frac{e}{d}\right| \times \frac{180°}{\pi} \quad (1)$$

여기에서,

EP : 수직도 오차(°)

e : 공시체 길이 오차(mm)

d : 공시체 지름(mm)

8 보고

보고서에는 공시체 제작 전반에 대한 다음 사항을 포함해야 하며 **부속서** B를 참고하여 보고한다.

a) 공시체의 식별 번호
b) 콘크리트의 배합비
c) 공시체의 제작 일시
d) 공시체의 양생 방법과 양생 기간
e) 공시체의 가공 일시
f) 공시체의 지름
g) 공시체의 길이(최소 3지점 측정 결과, 평균, 오차)
h) 공시체의 수직도 오차

부속서 A
(참고)

공시체 길이에 따른 고속압축시험 결과

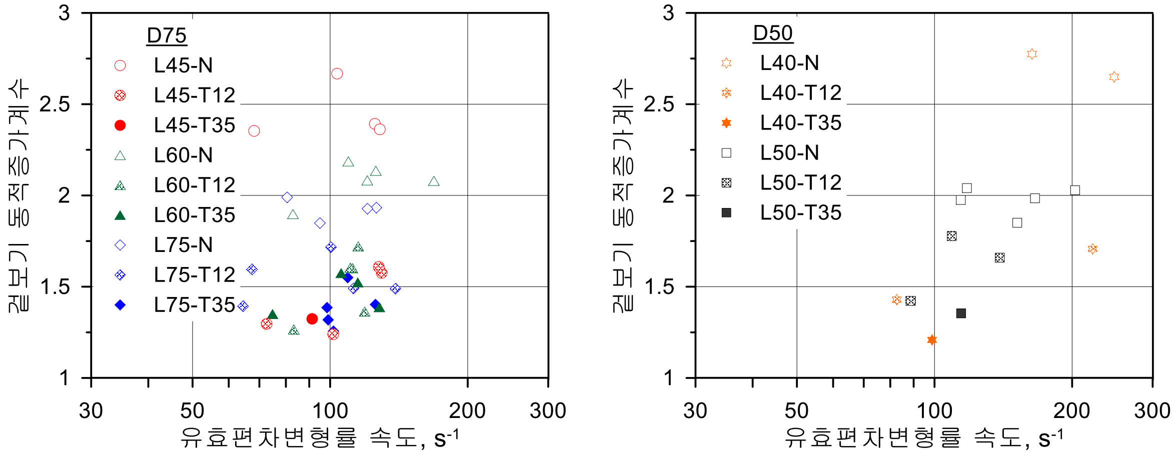
A.1 고속압축시험용 공시체 길이의 결정

실린더형 콘크리트 공시체를 사용하여 수행하는 고속압축시험의 경우 공시체의 크기 결정이 중요하다. Kim et al. (2019)은 SHPB 장비를 활용한 콘크리트 고속압축시험 시 시험 결과의 일관성과 신뢰성 확보를 위해 굵은 골재 최대 치수의 3배 이상으로 공시체의 크기를 결정할 것을 권장하고 있다.

특히, 실린더형 콘크리트 공시체를 사용하는 고속압축시험의 경우 공시체의 길이가 길어질수록 시험 가능한 변형률 속도가 낮아지며, 공시체 양단면의 응력차이가 커져 정확한 동적압축강도를 획득하기 어려우므로 공시체의 길이는 시험자의 판단에 따라 신중한 결정이 필요하다.

A.2 고속압축시험 결과 예시

그림 A.1은 Kim et al. (2022)의 SHPB 장비를 활용한 콘크리트 고속압축시험 결과로, *D*는 지름(mm), *L*은 길이(mm), *N*은 윤활제를 사용하지 않은 경우, 그리고 *T12*와 *T35*는 윤활제인 Teflon 그리스(Polytetrafluoroethylene, PTFE)를 사용하여 각각 단위면적당 도포량이 12 mg/cm^{2}와 35 mg/cm^{2}로 윤활한 경우를 나타낸다. 시험 결과는 유효편차변형률 속도에 따른 겉보기 동적증가계수로 나타나며, 여기서 겉보기 동적증가계수는 SHPB 고속압축시험을 통해 획득한 동적압축강도를 정적압축강도로 나누어 획득한 강도비이다. **그림 A.1**에서 확인할 수 있듯이, 윤활제를 12 mg/cm^2 이상 도포한 경우 공시체 길이와 관계없이 유사한 크기의 겉보기 동적증가계수를 나타낸다. 즉, 충분한 양의 윤활제를 사용하여 장비와 시편 사이의 마찰을 최소화할 경우 공시체의 길이와 관계없이 동적압축강도가 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다.



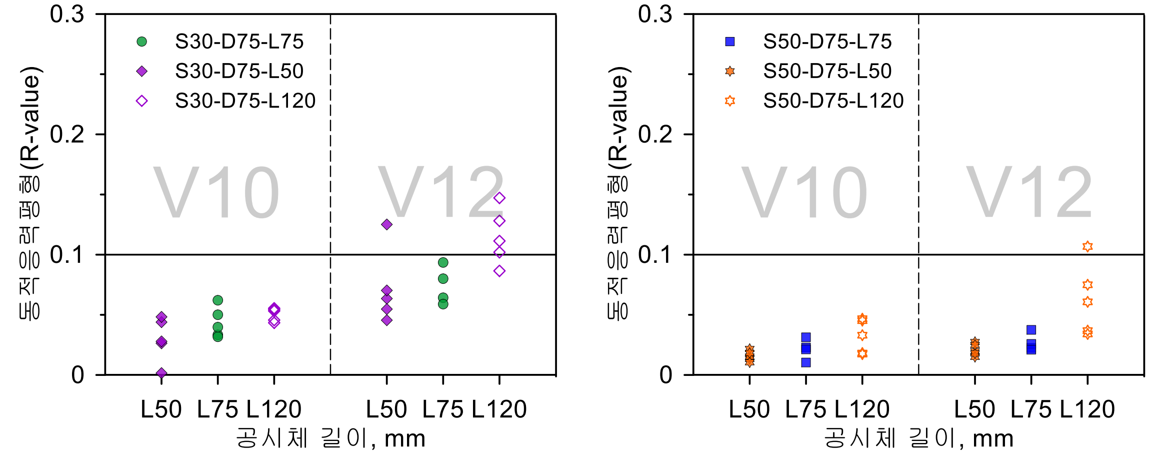
(a) *D75* (b) *D50*

[출처: Kim, K.-M., Lee, S., and Cho, J.-Y. (2022)]

그림 A.1 — SHPB 장비를 활용한 콘크리트 고속압축시험 결과 예시

그림 A.2는 공시체 길이에 따른 동적응력평형 비교를 위해 수행한 연구로, *S, D, L*는 각각 공시체의

정적압축강도(MPa), 지름(mm), 그리고 길이(mm)를 나타내며, *V*는 시험을 수행한 충돌속도(m/s)를 나타낸다. 동적응력평형 비교를 위해 *R* 값을 사용하였으며, *R* 값은 공시체의 평균응력 대비 양단면의 응력차를 나타내는 값이다. *R* 값이 클수록 양단면의 응력 불균형이 심화되어 부정확한 동적압축강도를 획득하게 된다. **그림 A.2**에서 확인할 수 있듯이, SHPB 고속압축시험에서는 동일한 정적압축강도와 동일한 지름의 공시체에 대하여 공시체의 길이가 증가할수록 *R* 값이 증가하며 응력 불균형이 심화된다.

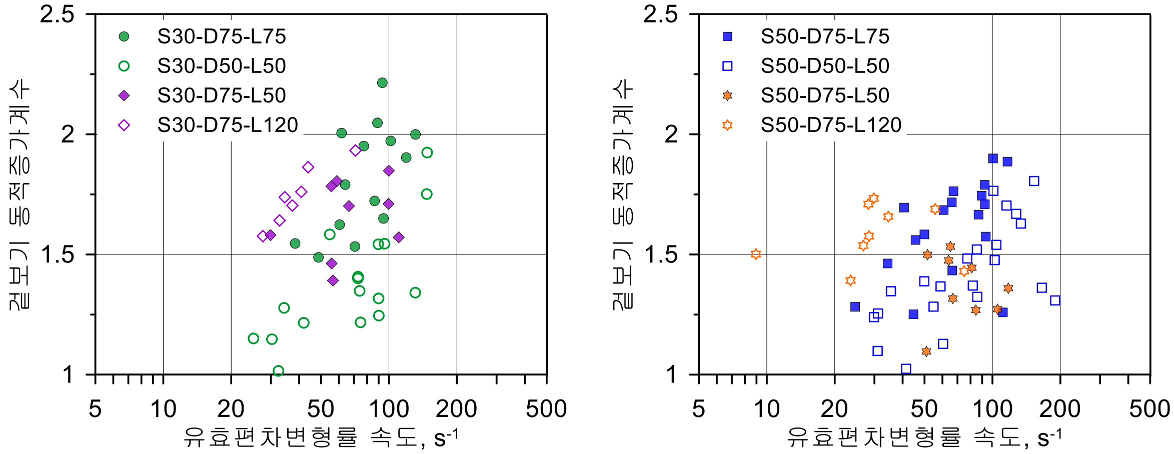


(a) *S30* (b) *S50*

[출처: 2차년도 연구보고서(2022), 극한성능 표준실험절차 개발 과제]

그림 A.2 — SHPB 고속압축시험에서 공시체 길이에 따른 동적응력평형 비교 예시

그림 A.3은 **그림 A.2**와 동일한 실험에 대해 겉보기 동적증가계수와 유효편차변형률 속도 관계를 보여준다. 해당 실험은 충분한 양의 윤활제를 사용하여 시험에서 마찰에 의한 영향을 제거하였다. **그림 A.3**에서 확인할 수 있듯이, **그림 A.1**과 유사하게 정적압축강도와 지름이 동일한 경우 공시체 길이에 따라 겉보기 동적증가계수의 차이가 크게 발생하지 않았으나, 변형률 속도의 경우 길이가 길수록 더 낮게 나타났다.



(a) *S30* (b) *S50*

[출처: 2차년도 연구보고서(2022), 극한성능 표준실험절차 개발 과제]

그림 A.3 — SHPB 고속압축시험 결과 예시

따라서 실린더형 콘크리트 공시체를 활용하여 수행하는 고속압축시험 시 충분한 양의 윤활제를 사용

하여 마찰의 영향을 최소화할 경우, 길이에 따른 동적압축강도의 차이는 발생하지 않음을 알 수 있다. 그러나 공시체 길이에 따라 변형률 속도와 동적응력평형이 달라지므로, 고속압축시험 시 공시체의 길이는 시험자의 판단에 따라 신중하게 결정되어야 한다.

부속서 B
(참고)

고속압축과 고속쪼갬인장 시험용 실린더형 콘크리트 공시체 제작 보고 예시

표 B.1 과 **그림 B.1**는 각각 공시체 제작 결과 보고 예시 및 공시체 예시이다. 본 예시에서는 표준에서 제시한 고속압축과 고속쪼갬인장 시험용 콘크리트 공시체 제작 방법에 따라 공시체 지름과 길이를 각각 50 mm, 50 mm로 결정하여 콘크리트 공시체를 30개 제작하였다(참고문헌 [8]).

표 B.1 — 공시체 제작 결과 보고 예시

제작 일시	2021.07.20							
배합비	목표강도 MPa	굵은 골재 최대 치수 mm	물-시멘트비 %	잔골재율 %	단위 중량 kg/m^3			
					물	시멘트	잔골재	굵은 골재
	40	13	38.9	38.9	179	459	661	1037
양생 방법	수중 양생							
양생 기간	37일							
가공 일시	2021.08.26-27							
공시체 지름	50 mm							

공시체 번호	공시체 길이 측정 (mm) # 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	평균 길이 (mm)	수직도 오차 (°)
1	50.29	50.30	50.30	50.28	50.25	50.30	50.29	0.06
2	49.99	50.04	49.99	49.96	50.00	50.00	50.00	0.09
3	50.34	50.37	50.40	50.46	50.44	50.38	50.40	0.14
4	50.46	50.42	50.42	50.32	50.40	50.44	50.41	0.16
5	49.97	49.95	49.88	49.92	50.06	50.03	49.97	0.21
6	49.89	49.85	49.78	49.70	49.74	49.79	49.79	0.22
7	49.90	49.93	49.92	49.96	49.94	49.96	49.94	0.07
8	50.47	50.44	50.36	50.35	50.35	50.48	50.41	0.15
9	50.30	50.32	50.29	50.29	50.26	50.23	50.28	0.10
10	50.50	50.43	50.52	50.51	50.52	50.54	50.50	0.13
11	50.19	50.19	50.30	50.39	50.34	50.23	50.27	0.23
12	49.89	49.89	49.86	49.88	49.88	49.89	49.88	0.03
13	50.44	50.38	50.38	50.33	50.40	50.40	50.39	0.13
14	50.29	50.35	50.36	50.37	50.30	50.24	50.32	0.15
15	50.44	50.44	50.47	50.44	50.44	50.42	50.44	0.06
16	50.46	50.45	50.40	50.36	50.50	50.44	50.44	0.16
17	50.02	50.05	49.95	49.95	49.98	49.99	49.99	0.11
18	50.28	50.23	50.31	50.41	50.46	50.45	50.36	0.26
19	50.29	50.33	50.34	50.30	50.32	50.34	50.32	0.06
20	50.06	50.09	50.02	49.99	49.97	49.94	50.01	0.17
21	49.85	49.92	49.94	49.97	49.93	49.91	49.92	0.14
22	50.41	50.40	50.47	50.35	50.46	50.47	50.43	0.14
23	50.50	50.47	50.50	50.53	50.57	50.52	50.52	0.11
24	49.99	49.98	50.00	50.01	50.00	49.97	49.99	0.05
25	49.91	49.89	49.96	50.02	49.89	49.95	49.94	0.15

26	50.06	50.06	50.00	49.92	49.98	50.02	50.01	0.16
27	49.89	49.89	49.87	49.91	49.93	49.92	49.90	0.07
28	49.95	49.94	49.93	49.92	49.95	49.93	49.94	0.03
29	49.89	49.91	49.90	50.01	50.00	49.99	49.95	0.14
30	50.04	50.06	50.05	49.97	49.98	50.01	50.02	0.10

그림 B.1 — 단체표준에 따라 제작한 공시체 예시

참고문헌

[1] Kim, K.-M., Lee, S., and Cho, J.-Y. (2019), “Effect of maximum coarse aggregate size on dynamic compressive strength of high-strength concrete.” International Journal of Impact Engineering 37.2 : 141-149.

[2] Kim, K.-M., Lee, S., and Cho, J.-Y. (2022), “Influence of friction on the dynamic increase factor of concrete compressive strength in a split Hopkinson pressure bar test.” Cement and Concrete Composites 129 : 104517.

[3] 이겨레. (2022), 콘크리트 인장 동적증가계수 획득을 위한 동적 쪼갬과 일축인장 실험 방법. 석사 학위논문, 서울대학교 대학원.

[4] Bischoff, P.H. and Perry, S.H. (1991), “Compressive behavior of concrete at high strain rates. ” Materials and Structures 24 : 425-450.

[5] ASTM C192/C192M. (2019), Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.

[6] ASTM C511-21, Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes.

[7] 2차년도 연구보고서(2022), 극한성능 표준실험절차 개발 과제.

[8] 1차년도 연구보고서(2021), 극한성능 표준실험절차 개발 과제.

SPS-F KOCED 0047-7556:2023
해 설

이 해설은 이 표준과 관련된 사항을 설명하는 것으로 표준의 일부는 아니다.

1 개요

1.1 제정의 취지

구조물이 충돌·폭발과 같은 고속의 극한하중을 받을 때 구조물 재료요소는 높은 변형률 속도 조건에 노출된다. 콘크리트는 높은 변형률 속도에서 그 기계적 특성이 일반적인 준정적상태와 다르게 변화하는 특성이 있는 재료이다. 따라서 준정적상태에서 획득한 재료특성을 그대로 활용하게 될 경우 합리적이지 않은 설계나 성능평가로 이어질 수 있다. 그러므로 극한하중을 받는 콘크리트 구조물의 거동을 이해하기 위해서는 높은 변형률 속도에서 콘크리트의 동적재료특성을 평가하는 것이 필수적이다. 동적재료특성을 활용하면 정확도 높은 구조물의 내충격 성능평가가 가능하며, 내충격 성능평가 결과를 활용한 보수 또는 보강 대책 수립이 가능하다.

고속압축과 고속쪼갬인장 시험은 높은 변형률 속도에서 콘크리트의 동적재료특성을 획득하기 위한 시험이다. 고속압축과 고속쪼갬인장 시험의 경우 시험에 사용되는 장비의 크기와 목표 변형률 속도에 따라 공시체의 지름과 길이가 제한되고, 일반적으로 기존 정적재료시험에 사용되는 공시체에 비해 작은 공시체를 사용한다. 하지만, 콘크리트 공시체 제작과 관련된 기준으로는 국내의 KS F 2403와 미국 단체표준 ASTM C192(참고문헌 [5])등이 있으나, 두 기준에서는 고속압축과 고속쪼갬인장 시험에 사용될 수 있는 공시체보다 상대적으로 큰 크기의 공시체 제작 방법만을 다루고 있다. 이로 인해, 사용자와 시험 기관에 따라서 고속압축과 고속쪼갬인장 시험용 콘크리트 공시체 제작 방법이 다양하여, 시험 결과의 정확도, 일관성 및 신뢰성이 저해될 수 있다. 따라서 이 단체표준을 제정함으로써 고속압축과 고속쪼갬인장 시험을 위한 실린더형 콘크리트 공시체 제작 방법을 제공하여 결과에 대한 정확도, 일관성 및 신뢰성을 향상시키고자 하였다. 고속압축과 고속쪼갬인장 시험방법에 대한 단체표준은 향후 제안될 예정이다.

1.2 제정 경위

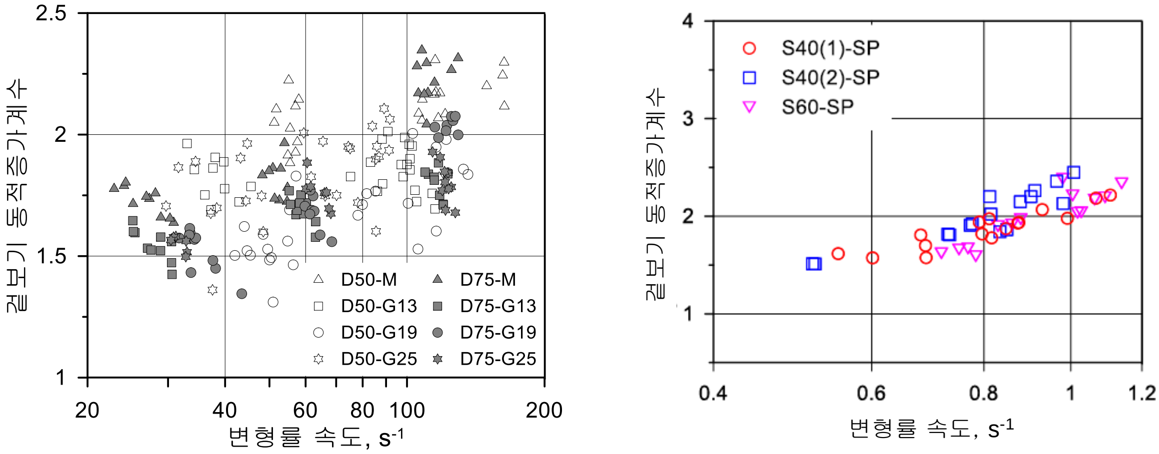
단체표준 원안 작성기관의 공시체 제작 수행을 통해 고속압축과 고속쪼갬인장 시험용 실린더형 콘크리트 공시체 제작 방법을 수립하였다. 단체표준(안)을 2022년 4월 4일 작성하였으며, 2022년 5월 27일 단체표준심사위원회에서 심의하여 단체표준(안)을 보완·수정하였다. 이후 여러 차례에 걸쳐 이해관계자들의 의견을 수렴하였고, 2022년 8월 1일부터 2022년 8월 30일까지 운영원 홈페이지에 제정예고와 안내를 거쳐 단체표준(안)에 대한 합의를 도출하였다. 2022년 9월 13일 단체표준심사위원회에서 심의하여 최종안을 의결하였고, 이를 표준으로 제정 신청하였다.

2 규정항목의 내용과 근거

2.1 적용범위

이 표준은 27 MPa에서 70 MPa까지의 정적압축강도를 나타내는 일반 콘크리트의 고속압축과 고속쪼갬인장 시험을 위한 실린더형 공시체 제작 방법에 대해 규정한다(참고문헌 [1, 7]). 여기서 고속압축과 고속쪼갬인장 시험이란, 실린더형 공시체에 대해 시험이 가능한 스플릿 홉킨슨 프레셔 바(split Hopkinson pressure bar, SHPB)와 급속재하시험기 등을 활용한다. 사용 가능한 변형률 속도 범위는 0.1 s^{-1} 이상으로, **그림 해설.1**과 같이 실제 고속압축시험(참고문헌 [1])과 고속쪼갬인장시험(참고문헌 [3]) 결과를 바탕으로 설정하였다. 여기서, *D*는 지름(mm), *M*은 모르타르를 나타내며, *G13*, *G19*, 그리고 *G25*는 각각 굵은 골재 최대 치수가 13 mm, 19 mm, 그리고 25 mm인 경우를 나타낸다. 또한, *S*는 정

적압축강도를 의미하며 *SP*는 쪼갬인장시험을 의미한다. 참고로 일반적인 정적강도시험은 5×10^{-6} s^{-1}에서 5×10^{-5} s^{-1}의 변형률 속도 영역에서 수행된다(참고문헌 [4]).



(a) 콘크리트 고속압축시험 (b) 콘크리트 고속쪼갬인장시험

[출처: Kim, K.-M., Lee, S., and Cho, J.-Y. (2019), 이겨레. (2022)]

그림 해설.1 — 고속압축과 고속쪼갬인장 시험결과 예시

2.2 용어와 정의

이 표준에서 언급하고 있는 용어와 정의 중 **3.6**은 KS F 1004, **4. c)**를 따랐으며, **3.3**은 참고문헌 [4]를 인용하였다. **3.5**, **3.7**, **3.8**, 그리고 **3.9**는 참고문헌 [1]을 인용하였다.

2.3 시험 장비와 기구

이 표준은 고속압축과 고속쪼갬인장 시험을 위한 실린더형 공시체 제작을 규정하고 있다. 이에 따라 공시체 제작을 위한 몰드의 내부 지름은 제작하고자 하는 공시체의 지름과 동일해야 한다. 고속압축과 고속쪼갬인장 시험 특성에 따라 시험을 위한 공시체의 길이는 다양하게 설정될 수 있다. 따라서, 공시체 제작을 위한 몰드의 길이는 연구 또는 실험의 목적에 따라 선택해야한다. KS F 2403에서는 몰드의 크기에 대한 규정은 제시되어 있지 않으나, 몰드 준비와 관련된 사항은 KS F 2403, **4.2.1**에서 확인할 수 있다.

공시체와 몰드의 지름에 비해 상대적으로 다짐봉의 지름이 큰 경우 다짐이 원활하게 이루어지지 않으므로, 공시체와 몰드의 지름에 따라 적절한 지름의 다짐봉을 사용해야 한다. 다짐봉의 지름은 KS F 2403, **4.2.2**와 참고문헌 [5](ASTM C192, **5.4**)를 참고하여 작성하였으며, 다짐봉의 길이는 KS F 2403, **4.2.2**를 인용하였다.

2.4 공시체 제작 방법

2.4.1 공시체 치수의 결정

KS F 2403, **4.1**에서는 공시체의 지름을 굵은 골재 최대 치수의 3배 이상과 100 mm 이상으로 규정하였다. 그러나 실린더형 공시체를 사용하여 수행하는 고속압축과 고속쪼갬인장 시험의 경우, 공시체의 크기는 시험 장비의 제한을 받으며 100 mm 보다 작은 경우가 대부분이다(참고문헌 [1]). 따라서 고속압축과 고속쪼갬인장 시험을 위한 실린더형 공시체의 크기는 시험 장비의 크기와 시험자의 판단에 따라 결정해야 하며, 이를 위하여 본 단체표준에서는 참고문헌 [1]을 인용하였다. 참고문헌 [1]의 고

속압축시험 결과, 콘크리트는 정적압축강도와 상관없이 굵은 골재 최대 치수에 따라 동적압축강도가 다르게 나타났다. 또한, 공시체의 지름과 길이가 콘크리트 혼합에 사용된 굵은 골재 최대 치수보다 상대적으로 작은 경우, 특히 공시체의 지름과 길이가 굵은 골재 최대 치수의 3배보다 작은 경우, 공시체 단면의 이질성에 의해 시험 결과의 분산성이 크게 나타났다. 따라서 시험 결과의 정확도와 신뢰성을 확보하기 위해서는 공시체 치수 결정 시 굵은 골재 최대 치수를 필수적으로 고려해야 하므로, 공시체의 지름과 길이는 굵은 골재 최대 치수의 3배 이상이 되어야 한다.

또한 고속압축시험 수행을 위한 공시체의 길이는 변형률 속도, 그리고 동적응력평형과 밀접한 관련이 있다. 공시체의 길이에 따른 동적응력평형의 차이를 확인하기 위하여 원안작성기관이 공시체의 길이를 변수로 SHPB 압축 시험을 수행하였다(**부속서** A). **부속서** A에서 서술한 것과 같이, 공시체의 길이가 길수록 변형률 속도가 낮아지며, 공시체의 양단면의 응력차가 크게 발생하여 공시체 내에서의 응력 불균형이 야기될 수 있다. 따라서 해당 시험결과로부터 공시체 길이가 공시체의 동적응력평형에 미치는 영향을 검증하였으므로 시험자는 공시체 길이 결정 시 **부속서** A를 참고할 수 있다. 참고로 **부속서** A에서 서술한 것과 같이, 고속압축시험 시 공시체 양단면에 적절한 양의 윤활제를 도포할 경우, 장비와 공시체 사이의 마찰을 최소화시킬 수 있으며, 마찰이 최소화될 경우 공시체 길이와 관계없이 동적압축강도는 유사하다(참고문헌 [1, 2]).

2.4.2 공시체 제작

콘크리트 혼합 후 몰드에 다져 넣을 시, 다짐봉 또는 콘크리트용 외장형 진동 장치를 활용할 수 있다. 다짐봉을 사용하는 경우에는 공시체 지름에 따라 충분하고 일관된 다짐이 이루어질 수 있도록 다짐 층수와 횟수를 고려하여야 한다. 다짐 층수는 공시체 길이를 고려하여 규정해주었으며, 참고문헌 [5](ASTM C192, **5.4**)에서 다루고 있는 규격의 공시체 크기(길이가 지름의 2배)에 따른 다짐 층수와 부합하도록 설정하였다. 공시체 지름에 따른 층별 다짐 횟수는 참고문헌 [5](ASTM C192, **5.4**)를 참고하여 작성하였다. 다짐은 KS F 2403, **4.3.2**를 따라 수행한다.

이 표준은 공시체의 지름이 150 mm와 같거나 작은 경우에 대해서만 규정한다.

2.4.3 몰드의 제거와 양생

몰드의 제거와 양생은 KS F 2403, **7**을 인용하였다. 몰드 제거 후 공시체는 습윤 상태를 유지하며 양생해야 한다. 이를 위해 수중 양생을 할 경우, 끊임없이 깨끗한 물로 씻겨지는 상태로 해서는 안 된다. 또한, 수중 양생 시 공시체 내의 수산화칼슘 성분이 손실되지 않도록 수조 내에 3 g/L의 수산화칼슘을 첨가하여야 한다. 첨가하여야 하는 수산화칼슘의 양은 참고문헌 [6](ASTM C511, **7.2**)을 참고하였으며, 시험을 통해 그 적절성이 확인되었다(참고문헌 [7]).

2.4.4 양생 후 공시체 가공

공시체의 양생 후 콘크리트용 절단기를 사용하여 고속압축과 고속쪼갬인장 시험용 공시체를 가공하는 경우 공시체의 대표성을 확보하기 위해 공시체의 상·하면을 절단하여 가운데 부분을 채취한다. 가공 전 공시체가 상·하면을 절단할 수 있을 만큼 충분히 길지 않은 경우 길이에 맞추어 윗면을 연마하도록 하며 KS F 2403, **4.4.2**를 따른다.

2.5 공시체 길이와 수직도 오차 산출

고속압축과 고속쪼갬인장 시험 시 공시체에 하중이 균일하게 가해질 수 있도록 공시체의 수직도가 확보되어야 한다. 공시체의 수직도 오차는 0.5° 이내가 되어야 하며, 수직도는 (90 ± 0.5)°로 나타낼 수 있다. 수직도 오차 기준은 KS F 2403, **4.5 c)**를 인용하였다.

3 기존 표준과 차별성

기존 표준인 KS F 2403과의 차별성을 **표 해설. 1**에 기술하였다.

표 해설. 1 — KS F 2403과의 차별성

No.	항목	KS F 2403	단체표준	비고
1	적용범위	콘크리트의 압축 강도 시험(KS F 2405), 휨 강도 시험(KS F 2408) 및 쪼갬 인장 강도 시험(KS F 2423)을 위한 공시체 제작 방법	고속압축과 고속쪼갬인장 시험(SHPB시험, 급속재하시험)을 위한 실린더형 콘크리트 공시체 제작 방법	이 표준은 27 MPa에서 70 MPa까지의 정적압축강도를 나타내는 일반 콘크리트의 고속압축과 고속쪼갬인장 시험을 위한 실린더형 공시체 제작 방법에 대해 규정을 제시함
2	시험 장비와 기구 (다짐봉)	다짐봉의 한쪽 끝은 지름 16 mm의 반구 모양, 길이 500 mm ~ 600 mm의 강재	공시체 지름에 따른 다짐봉 지름 결정, 길이 500 mm ~ 600 mm의 강재	고속압축과 고속쪼갬인장 시험용 공시체는 지름이 작으므로 원활한 다짐을 위해 작은 지름의 다짐봉 사용이 필요하므로 공시체 지름에 따른 다짐봉 지름기준을 제시함
3	공시체 치수의 결정	공시체의 지름은 굵은 골재 최대 치수의 3배 이상 과 100 mm 이상, 높이는 공시체 지름의 2배 이상	공시체 지름과 길이는 굵은 골재 최대 치수의 최소 3배 이상(단, 고속압축시험용 공시체의 지름과 고속쪼갬인장시험용 공시체의 길이는 시험 장비의 가압판 지름 또는 SHPB 지름 이하)	고속압축과 고속쪼갬인장 시험의 경우 시험 장비에 따라 100 mm 보다 작은 지름의 공시체를 사용해야하는 경우가 대부분이며, 참고문헌 [1]과 시험결과(참고문헌 [7])를 통해 고속압축과 고속쪼갬인장 시험을 위한 공시체의 지름과 길이 기준을 제시함
4	공시체 제작	실린더 공시체 콘크리트는 2층 이상으로 거의 동일한 두께로 나눠서 채움 각 층은 적어도 1 000 mm^{2}에 1회의 비율로 다지도록 함	공시체 지름과 길이에 따른 다짐 층수와 다짐 횟수 결정	고속압축과 고속쪼갬인장 시험용 공시체는 크기가 작으므로 원활한 다짐을 위해 공시체 지름과 길이에 따른 다짐 층수와 다짐 횟수 결정이 필요함. 이에 따라 공시체 지름과 길이에 따른 다짐 층수와 다짐 횟수에 대한 규정을 제시함
5	몰드의 제거와 양생	-	수조에서 양생하는 경우 3 g/L의 수산화칼슘을 첨가	공시체를 수중 양생하는 경우 수산화칼슘 성분의 손실 위험으로 인해 수산화칼슘 사용이 필요하므로 참고문헌 [6]과 시험(참고문헌 [7])을 통해 관련 규정을 제시함

SPS-F KOCED 0047-7556:2023

SPS

SPS
SPSP
SPSPS
SPSPSP
SPSPSPS
SPSPSPSP

Method for making cylindrical concrete specimen for high strain rate compressive and splitting tensile tests

ICS 91.100