

콘크리트의 비틀림 인장강도에 관한 연구

A Study on Torsional Tensile Strength of Concrete

박 선 규*
Park, Sun Kyu

ABSTRACT

The tensile of concrete in one of important factor for study of reinforced concrete as well as prestressed concrete structures. In many countries, a numerous experimental studies are being undertaken to investigate correlation between compressive and tensile strength of concrete. This study is focused on identifying the relationship between the compressive strength and torsional tensile strength of concrete and, on crack of RC and PC structure.

1. 서론

철근콘크리트 구조물의 설계 및 계산에서 가장 중요한 것이 콘크리트의 압축강도와 인장강도이다.

지금까지의 연구결과에 따르면 같은 종류의 콘크리트에서도 인장강도는 압축강도에 비해 상당히 큰 편차를 보이고 있다. 특히 철근콘크리트 구조물의 균열에 관한 연구를 위하여 콘크리트 인장강도는 매우 중요한 요인으로 작용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트의 압축강도와 인장강도들(휨인장강도, 활열강도, 순인장강도, 비틀림인장강도)사이의 관계를 고찰하고자 한다. 또한 각 공시체의 단면형상에 따르는 비틀림인장강도의 영향을 고찰하고자 한다.

2. 콘크리트 인장실험

2.1. 실험개요

콘크리트의 강도실험을 위하여 3종류의 콘크리트를(C1, C2, C3) 타설하였다. 모든 강도시험(압축강도, 휨인장강도, 활열강도, 순인장강도, 비틀림인장강도(서로 다른 4가지 단면형태))을 위해 각각 3개씩 전체 72개의 공시체를 만들었다.

콘크리트 압축강도시험, 휨인장시험, 활열강도시험은 독일 콘크리트 시방서 규정(DIN 1048)에 따라 시행하였다. 콘크리트 순인장강도시험에서 공시체 1은(7×7×15cm) 수평으로 놓고 콘크리트를 타설했고, 공시체 2는(9.5×9.5×20cm) 수직방향으로 세워 놓고 타설하였다(그림1). 순수 비틀림을 받는 콘크리트의 인장강도를 측정하기 위해서 4가지 단면 형태를 택하여 공시체를 만들었다.

2.2. 콘크리트의 종류

콘크리트 압축강도와 인장강도 사이의 관계를 연구하기 위하여 3종류의 압축강도를 가진 콘크리트 공시체를 만들었다. 골재의 배합상태는 독일 시방서(DIN

* 성균관 대학교 토목공학과 조교수

1045)를 기준으로 다음 표.1과 같이 하였다.

표 1 콘크리트의 성분량[kg/m³]

콘크리트 종류	물 [kg]	시멘트 [kg]	모래 [kg]	잔골재(4-8mm)[kg]	큰골재(8-16mm)[kg]
C1	180	450	987	352	423
C2	180	300	1058	378	454
C3	175	218	1097	392	470

2.3. 공시체 제작

압축강도를 위해서 입방체 공시체(15×15×15cm)와 휨인장강도를 위해 15×15×70cm 공시체를 DIN 1048기준으로 제작하였다. 활열강도시험은 휨인장강도시험을 하고 남은 공시체를 가지고 실시하였다. 순인장시험을 위해서 2종류의 공시체를 제작하였다(그림1). 비틀림의 인장강도를 시험하기 위해서 단면의 형상을 정사각형(15×15×70cm), 직사각형(15×10×70cm), 원형단면(φ10×65cm), 중공단면(15×15×70cm, 벽두께 5cm)으로 제작하였다(그림2).

모든 공시체는 타설 3일후 물드를 탈형하였고 28일 강도시까지 내부온도 18~20℃와 수분 65~70%를 유지하며 최적조건인 실험실(DIN 50014기준)에서 양생하였다.

3. 인장시험

콘크리트의 압축강도, 휨인장강도, 활열강도시험은 독일시방서 DIN 1048 기준에 맞추어 실시하였다. 순인장강도시험은 각각 콘크리트 종류마다 6개의 공시체를 인장시험기에서 하중속도 0.5KN/cm²/sec 로 파괴시까지 가하였다.

순인장공시체에 직접 인장력을 가하기 위해 한 종류에는 미리 철근을 중심면에 묻고 콘크리트를 타설했으며 또다른 종류

에는 강력접착제(EPOVOSS AW 106)로 강판을 접착하여 순인장력을 가하였다. 비틀림인장시험을 위하여 시험장치를 특수하게 제작하였고 자중으로 인한 전단력의 감소를 위하여, 기둥과 같은 구조물로 그림 3.과 같이 설치하였다. 그에 따른 시험장치와 공시체 상부고정과 하단 하중재하 방법을 그림 4.와 같이 하였다.

4. 실험결과

실험결과에서 볼 수 있는 바와 같이 공시체의 휨파괴와 비틀림파괴는 현저한 차이를 보여주고 있다. 각각 실험 결과에 따르는 압축강도와 인장강도는 다음 표.2에 나타내주고 있다.

표 2 압축강도와 인장강도[N/mm²]

	C1	C2	C3
β_{bm}	37.5	29.6	21
β_{bm}	4.33	3.8	3.3
β_{bs}	3.89	2.5	2.3
β_{bs}	2.53	1.95	1.86
β_{bTR}	4.14	3.98	3.61
β_{bTO}	3.90	3.49	3.05
β_{bTK}	3.90	3.42	2.88
β_{bTH}	2.81	2.34	2.42

그림5는 휨인장강도, 활열강도, 순인장강도를 나타내고 그림6은 비틀림인장강도의 단면형상에 따른 현상을 나타내주고 있다.

5. 콘크리트 압축강도와 인장강도와의 관계

지금까지 콘크리트의 압축강도와 휨인장강도 또는 활열강도와의 관계에 관한 연구는 매우 활발하였다. 연구결과에 따라

서 콘크리트 압축강도와 인장강도 사이의 관계식을 여러가지 형태로 제안하고 있다. 하지만 콘크리트의 압축강도와 비틀림을 받는 인장강도의 관계에 관한 연구는 미진한 상태였다.

EC2와 MC 1330에 따라 정의한 원추형 공시체와 입방체 공시체의 콘크리트 압축강도 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- 1) $\beta_{wn} = \beta_{wn \cdot 20} = 0.95 + \beta_{wn \cdot 15}$
- 2) $\beta_{wm} = \beta_{wm \cdot 20} = 0.95 + \beta_{wm \cdot 15}$
- 3) $\beta_{ws} = \beta_{wn \cdot 20} + 5$
- 4) $f_{ck} = 0.81 + \beta_{wn \cdot 15} = 0.85 + \beta_{wn \cdot 20}$
- 5) $f_{cm} = f_{ck} + 8$

본 실험에서 얻어진 콘크리트 압축강도는 다음과 같다.

표 3 콘크리트 압축강도[N/mm²]

	C1	C2	C3
β_{wn}	36	28	20
β_{wm}	36.6	28.4	20.8
β_{ws}	41	33	25
f_{ck}	30	24	17
f_{cm}	38	32	25

본 실험에서 얻어진 실험결과를 가지고 현재까지 콘크리트의 압축강도와 인장강도사이 관계에 관한 연구를 중심으로 비교 분석한 결과는 표 4와 같다.

표 4 콘크리트 인장강도의 α 계수

(1) 독일시방서 DIN 1045: $\beta_{bz}[N/mm^2] = \alpha (\beta_{wn})^{2/3}$

	C1	C2	C3	Mit.	v.[%]	v. ^[3]
β_{bb}	0.39	0.41	0.44	0.41	6.1	6.1
β_{bs}	0.36	0.28	0.31	0.32	12.6	12.6
β_{bz}	0.23	0.21	0.25	0.23	8.6	7.6
β_{bTQ}	0.36	0.38	0.41	0.38	6.6	
β_{bTR}	0.38	0.43	0.49	0.43	12.8	
β_{bTK}	0.36	0.37	0.39	0.37	4.1	
β_{bTH}	0.26	0.26	0.32	0.28	12.4	

Bz.v.=9.1% Tz.v.=8.975%

(2) Heilmann: $\beta_{bz} [N/mm^2] = \alpha * (\beta_{wm})^{2/3}$ [3]

	C1	C2	C3	Mit.	v.[%]	v. ^[3]
β_{bb}	0.39	0.41	0.43	0.41	4.9	6.0
β_{bs}	0.35	0.27	0.30	0.31	13.0	13
β_{bz}	0.23	0.21	0.24	0.23	6.6	8.4
β_{bTQ}	0.35	0.37	0.40	0.37	6.8	
β_{bTR}	0.37	0.43	0.48	0.43	12.8	
β_{bTK}	0.35	0.37	0.38	0.37	4.1	
β_{bTH}	0.25	0.25	0.32	0.27	14.9	

Bz.v.=8.2% Tz.v.=9.65%

(3) ACI: $f_{ct} [N/mm^2] = \alpha * (f_{ck})^{1/2}$ [10]

	C1	C2	C3	Mit.	v.[%]	v. ^[3]
β_{bb}	0.785	0.775	0.80	0.786	59	7.4
β_{bs}	0.71	0.51	0.558	0.592	17.6	13.8
β_{bz}	0.456	0.398	0.451	0.435	7.4	6.2
β_{bTQ}	0.712	0.712	0.739	0.721	2.2	
β_{bTR}	0.756	0.812	0.875	0.814	7.3	
β_{bTK}	0.715	0.698	0.698	0.703	4	
β_{bTH}	0.513	0.477	0.587	0.525	10.6	

Bz.v.=8.86% Tz.v.=7.6%

(4) MC 1990: $f_{ct} [N/mm^2] = \alpha * (f_{ck})^{1/3}$ [7]

	C1	C2	C3	Mit.	v.[%]	v. ¹⁹⁾
β_{bb}	42	38	14	31	15	9.3
β_{bs}	29	0.92	0.8	0	25.5	15.6
β_{bz}	0.83	0.7	0.65	0.73	12.7	5.6
β_{bTQ}	29	26	07	21	9.8	
β_{bTR}	37	44	26	36	6.7	
β_{bTK}	30	23	01	18	12.8	
β_{bTH}	0.93	0.85	0.85	0.87	5.3	

Bz.v.=16.6% Tz.v.=8.65%

(5) EC 1990: $f_{cm} [N/mm^2] = \alpha * (f_{ck})^{2/3}$ [8]

	C1	C2	C3	Mit.	v.[%]	v. ¹⁹⁾
β_{bb}	0.44	0.46	0.49	0.46	5.4	6.2
β_{bs}	0.40	0.31	0.35	0.35	12.9	12.3
β_{bz}	0.26	0.23	0.28	0.26	9.7	6.6
β_{bTQ}	0.40	0.42	0.46	0.43	7.1	
β_{bTR}	0.43	0.48	0.55	0.49	12.4	
β_{bTK}	0.41	0.41	0.44	0.42	4.1	
β_{bTH}	0.29	0.28	0.37	0.31	15.7	

Bz.v.=9.33% Tz.v.=9.825%

윗 표의 분석에서 보는 바와 같이 콘크리트의 압축강도와 인장강도 사이의 관계식은 서로 약간씩의 차이가 있는 것을 확인할 수가 있었다.

또한 같은 종류의 콘크리트라 하더라도 휨인장강도, 할열강도, 순인장강도가 다르듯이 비틀림의 인장강도는 단면의 형상에 따라 서로 다른 인장강도 값을 가진다. 따라서 본 연구에서는 압축강도와 비틀림 인장강도 사이의 관계식을 다음과 같이 제안하므로써 계수 α 를 단면형상에 따라 계산 할 수가 있다.

$$\beta_{bTR} = \alpha \times (f_{cm})^{2/3}$$

이 때 α 의 값은

중공단면: $\alpha = 0.26$

원형단면: $\alpha = 0.34$

정사각형단면: $\alpha = 0.35$

직사각형단면: $\alpha = 0.39$

본 식에 따른 결과는 표 5에 나타낸 값이다.

표 5 저자에 의해 제안된 식에 따른 값 α

Pro.typ	C1	C2	C3	Mit.	S.	v.[%]
β_{bb}	0.38	0.38	0.38	0.38	0	0
β_{bs}	0.34	0.25	0.27	0.29	0.0047	12.5
β_{bz}	0.22	0.19	0.22	0.21	0.0017	8.2
β_{bTQ}	0.34	0.35	0.36	0.35	0.01	2.8
β_{bTR}	0.37	0.39	0.42	0.39	0.025	6.4
β_{bTK}	0.35	0.34	0.34	0.34	0.006	7
β_{bTH}	0.25	0.24	0.28	0.26	0.21	8.1

Bz.v.=8.33% Tz.v.=4.7%

6. 결론

본 실험결과를 토대로 볼 때 콘크리트의 순인장강도 값이 가장 작은 반면 비틀림에서는 중공단면의 콘크리트 인장강도가 가장 낮은 값을 보이고 있다. 또한 할열강도 값이 중간값이라면 비틀림의 경우 원형과 정사각형 단면의 인장강도가 중간값이고 가장 높은 인장강도가 휨인장강도인데 비해 비틀림은 직사각형 단면의 인장강도가 가장 큰 값을 보이고 있다.

콘크리트 휨인장강도, 할열강도, 순인장강도는 하중재하에 따라 다른 값을 가지지만 비틀림 인장강도는 단면의 형태에 따라 강도가 다른 것을 알 수 있다.

콘크리트의 압축강도와 비틀림 인장강도 사이의 관계식은 $\beta_{bTR} = \alpha \times (f_{cm})^{2/3}$ 로 제안하고 이때의 단면계수는 중공 단면: 0.26, 원형, 정사각형단면: 0.35,

직사각형단면: 0.39 의 값을 가진다.

부호설명:

- M_T : 비틀림 모멘트
- W_T : 비틀림 저항 모멘트
- β_{bz} : 콘크리트 순 인장강도
- β_{bb} : 콘크리트 휨 인장강도
- β_{bs} : 콘크리트 할열강도
- β_{bT} : 콘크리트 비틀림 인장강도
- β_{bTR} : 직사각형단면 비틀림 인장강도
- β_{bTQ} : 정사각형단면 비틀림 인장강도
- β_{bTK} : 원형단면 비틀림 인장강도
- β_{bTH} : 중공단면 비틀림 인장강도
- β_{wm} : 입방체 평균 압축강도
- β_{wn} : 입방체 콘크리트 압축강도
- f_{ck} : 실린더 압축강도
- f_{cm} : 평균 실린더 압축강도
- f_{ctm} : 평균 실린더 인장강도
- s. : 표준편차
- v. : 분산
- Bz. : 콘크리트 인장강도
- Tz. : 콘크리트 비틀림 인장강도

참고문헌

- [1] Lampert, P. / Thürlimann, B :
Torsionsversuche an Stahlbetonbalken
Institut, für Baustatik, ETH Zürich.
1968.
- [2] Leonhardt, F. / Schelling, G. :
Torsionsversuche an Stahlbetonbalken
Heft 239 der Schriftreihe des DAFStb,
Berlin, 1974
- [3] Heilmann, H.G.:
Beziehungen zwischen Zug-und Dru-
ckfestigkeit des Betons.
Beton 1969. H.2. S.68.
- [4] Rüschi, H.:
Die Ableitung der charakteristisc-
hen Werte der Betonzugfestigkeit.
- [5] Špetia, Z./Kedleček, V.:

Über die Ausführung der Zugprü-
fung an Beton.

Beton 1965. H.11. S.459.

- [6] Rimmel, G.:
Zum Zugtragverhalten hochfester Be-
tone und sein Einfluß auf die Quer-
krafttragfähigkeit von schlanken Baut-
eilen ohne Schubbewehrung.
Forschungsbericht am Institut für M-
assivbau der TH Darmstadt. 1992.
- [7] CEB-FIP Model Code 1990
Final Draft, CEB-Bulletin d'Informat-
ion.
N° 203-205, Lausanne 1991.
- [8] Eurocode 2, Teil 1, Deutsche Fassu-
ng, Vornorm DIN
VENV 1992. Teil 1-1. Beuth Verlag.
Berlin. Juni. 1992.
- [9] Meyer, A.:
Die Biegezugfestigkeit als Gütemerk-
mal des Betons
Der Bauingenieur 1963.H.2. S.45.
- [10] ACI Manual of Concrete Practice
(ACI 224R-90)
ACI Revised Annually 1993, Part 3
- [11] Kordina, K/ Blume, F.:
Empirische Zusammenhänge zur Er-
mittlung der Schubtragfähigkeit stab-
förmiger Stahlbetonelemente.
DAfStb. Heft 364. Berlin. 1985.

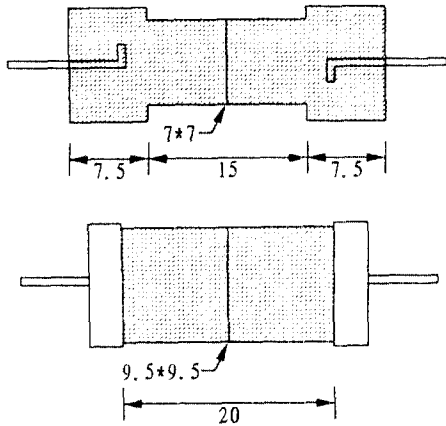


그림 1. 순인장강도 시험을 위한 공시체

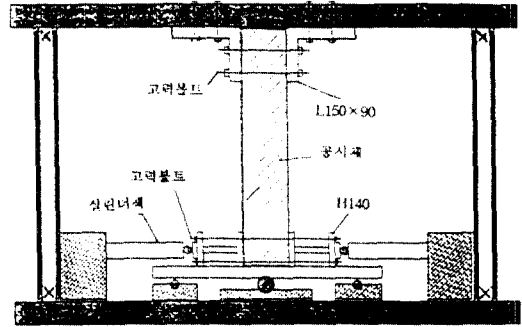


그림 4. 비틀림 시험장치

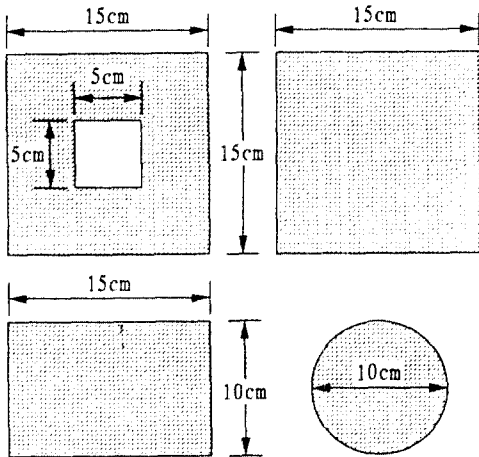


그림 2. 비틀림 인장강도 시험을 위한 공시체 단면형상

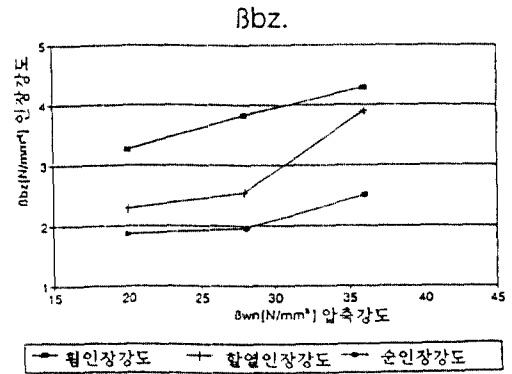


그림 5. 압축강도와 휨, 할열, 순인장강도 사이의 관계도

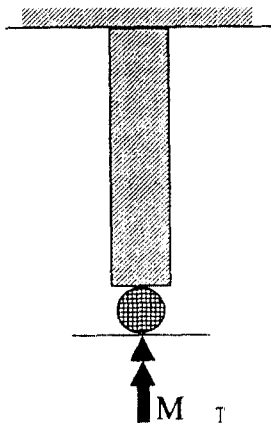


그림 3. 수직재

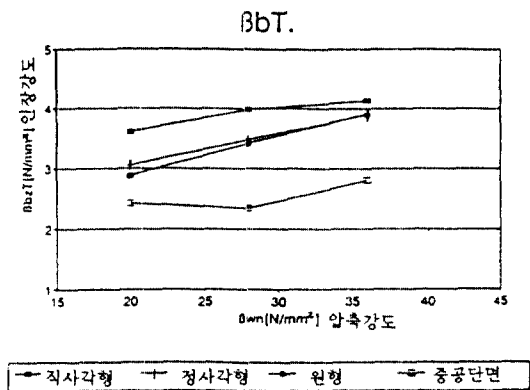


그림 6. 단면형상에 따르는 콘크리트 압축강도와 비틀림 인장강도와의 관계도