

철근이 포함된 고강도 콘크리트 공시체의 강도평가

고훈범
인하공업전문대학 건축과

Strength Evaluation of High-Strength Concrete Specimens within Reinforcing Bars

Hune-Bum Ko

Department of Architecture, Inha Technical College

요약 최근 고층건축물에서 화재, 헬기 충돌, 지진, 부실시공 등으로 인하여 건축물 안전에 대한 문제가 대두되고 있는데 이러한 고층 콘크리트 건축물에 대한 보강을 위한 안전성을 평가하기 위해서는 콘크리트 강도에 대한 정보가 필수적이다. 이러한 강도를 평가하는 방법으로 코어채취 방법이 가장 효과적인 방법이다. 그런데 고강도 콘크리트 건축물인 경우 대부분 철근이 과밀하여 철근을 피하여 코어를 채취하는 것은 쉽지 않다. 경우에 따라서는 어쩔 수 없이 철근이 포함된 코어가 채취 되는데 고강도 콘크리트 코어 강도를 평가하기 위한 연구나 규정은 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 철근이 포함된 고강도 콘크리트 코어에 대한 강도를 정확하게 평가할 수 있도록 정량적인 자료를 제시하고자 하였다. 이러한 연구를 수행하기 위하여 2종류의 콘크리트강도(40, 60MPa)와 2종류의 철근직경(10,13mm)을 대상으로 무배근을 포함한 총 15종류의 배근 형식을 갖는 공시체를 준비 하였으며 압축강도 시험을 실시하였다. 결과적으로 철근 체적으로 53.1cm³(직경 13mm인 철근이 4개)까지 철근이 포함된 공시체인 경우 무배근 공시체 강도의 60% 정도 까지 낮아 질 수 있다는 것을 확인하였다.

Abstract Recently, the safety issue of high-rise concrete buildings damaged by fire, helicopter collisions, earthquakes, and faulty construction has attracted a great deal of interest. It is essential to know the strength of the concrete in order to accurately evaluate its safety for the reinforcement of these buildings. The core drilling method is considered to be the most effective method of assessing the compressive strength of concrete. However, it is very difficult to retrieve the core without the reinforcing bars, because buildings made with high-strength concrete are overcrowded with reinforcing bars. These reinforcing bars are often present in the core specimens, but there are few research studies and no regulations concerning the assessment of the strength of the concrete for high-strength core specimens within reinforcing bars. The purpose of this study is to investigate the effects of the reinforcement arrangement on the strength of the concrete and to present the quantitative values. To complete this research, the compressive strengths of different types of concrete with two different strengths (40 MPa and 60 MPa), two reinforcing bar diameters (10 mm and 12 mm), and 15 types of specimens with or without reinforcement arrangements were prepared and tested. As a result, the strength of the cylinders whose volume is less than or equal to the reinforcement volume of 53.1 cm³ (about 4 - 13 mm) was predicted to have a low value of up to 60% of the strength of the cylinders without reinforcement.

Keywords : Cylinder, Core, High-strength concrete, Reinforcing bar, Reinforcement arrangement

이 논문은 2016년도 인하공업전문대학 교내연구비지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Hune-Bum Ko(Inha Technical college)

Tel: +82-32-870-2257 email: hbko@inhac.ac.kr

Received September 20, 2017

Revised (1st October 30, 2017, 2nd November 8, 2017)

Accepted January 5, 2018

Published January 31, 2018

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 전 세계적으로 유명 도시들은 도시경쟁력 강화, 도시이미지 향상, 관광 및 경제 활성화 등을 위해 랜드마크로 초고층 빌딩을 요구하고 있으며 특히 아시아 지역을 중심으로 활발히 건설되었거나 건설중이다. 최근에 건설된 대표적인 건축물로 아랍에미리트의 부르즈 할리파(Burj Khalifa, 162층), 대만의 타이페이 101(Taipei 101, 101층), 말레이시아의 페트로나스 트윈 타워(Petronas Twin Tower, 88층) 등이 있으며 국내에서는 최근 롯데월드타워(지상 123층, 555m)가 최고층으로 건설되어 졌다. 이러한 초고층 건축물이 거주성과 경제성이 최우선적으로 고려될 때는 철근 콘크리트 구조물로 건축되어진다. 물론 빠른 공기의 장점으로 인하여 철골로 지어지는 경우도 적지 않지만 기초부분이나 지하부분은 콘크리트 구조를 선택하며, 이때 사용되는 콘크리트는 고강도가 필수적이다. 고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트보다 2~4배 이상의 강도를 가지며 콘크리트 강도를 정확히 평가하는 것은 곧 건축물의 안전성과 직결된다. 그런데 최근 고층빌딩에서 화재, 헬기 충돌, 지진, 부실시공 등으로 인하여 건축물 안전에 대한 문제가 대두되고 있으며 이렇게 손상된 고강도 콘크리트 건물의 보강을 위한 안전성을 정확히 평가하기 위해서는 콘크리트 강도에 대한 정보가 필수적이다.

일반적으로 사용중인 고강도 콘크리트 건물의 콘크리트 강도를 평가하기 위해서는 일반적으로 얇은 구조부재(벽이나 슬래브 등)에 실린더공시체와 동일한 형상과 크기의 코어를 채취해서 강도시험을 실시하는데 고강도 콘크리트 코어의 채취는 채취 위치, 크기 등 주의 사항이 적지 않으며 강도평가 또한 쉽지 않다. 일반적으로 코어 채취는 사전에 철근탐지를 통하여 철근의 위치를 파악하고 철근이 포함되지 않도록 채취하는데 탐지기의 탐사범위가 한정적이며 결속선 등의 금속의 영향을 포함하면 오차가 발생하여 어쩔 수 없이 철근이 포함된 코어채취가 종종 발생한다[1,2]. 특히 고강도 콘크리트 건물인 경우 대부분 철근배근이 과밀하여 철근을 피하여 코어를 채취하는 것은 쉽지 않은 작업이며 초고층 콘크리트 건물의 증가와 함께 코어에 철근이 포함될 가능성은 점점 증가해 갈 것이다. 그런데 국내 뿐만아니라 세계적으로도 이렇게 철근이 포함된 고강도 콘크리트코어와 관련해

서는 정량적인 규정도 없으며 연구 예도 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 고강도 콘크리트 건축물의 안전성을 확보하고자 하는 엔지니어링 회사, 건설시공사, 안전진단 및 보수보강관련 회사에 철근이 포함된 고강도 콘크리트 코어에 대한 콘크리트 강도를 정확하게 평가할 수 있도록 콘크리트 강도, 철근 직경, 배근 위치, 철근량을 변수로 한 공시체에 대한 강도시험을 통하여 우리나라 실정에 맞는 철근의 영향을 고려할 수 있는 정량적인 자료를 제시하고자 한다.

1.2 국내외 연구동향

철근이 포함된 보통강도 콘크리트 코어에 대한 연구는 코어의 채취위치, 길이와 직경 비, 습윤 상태 등 코어 강도에 영향을 미치는 요인에 대한 다양한 연구가 국내외 적으로 많이 행하여 졌으며[1-6] 해외에서는 미국의 ASTM C42/ C42M-04, 일본의 JIS A1107:2012, 독일의 DIN 1048 Teil 2, BS EN 12504-1:2009 등의 기준에 연구결과가 반영되어 있다[7-10]. 코어강도에 준하여 보통강도 콘크리트 강도에 미치는 철근의 영향을 평가하는 방향은 아직까지 나라마다 기준이 상이하고 미흡하지만 일정부분 각자의 기준을 제시하고 있다고 할 수 있다. 정리해 보면 철근 면 채취방향과 평행인 방향으로 철근이 배근되어 있는 경우 채취된 코어의 강도시험은 불가능한 것으로 규정하고 있으며 채취방향과 수직방향으로 철근이 배근된 경우의 코어도 사용하지 않도록 권고하고 있으나 몇몇 기준에서는 사용 가능성을 열어두고 철근비가 5%이상일 경우 콘크리트 강도에 영향을 미친다고 언급하고 있다[4,5,11]. 또한 철근 영향을 고려하기 위해 기준마다 각각 다른 보정계수를 제안하고 있다. 그렇지만 국내외 적으로 배근 영향을 고려한 철근이 포함된 고강도 콘크리트에 대한 연구는 전무한 실정으로 고강도 콘크리트 강도에 대한 철근의 영향을 평가하는 정량적인 기준제시는 현재까지 이루어지지 않고 있다. 그러므로 철근이 포함된 고강도 콘크리트 공시체에 대한 강도평가는 매우 의미 있는 연구라고 할 수 있다.

2. 실험내용

철근이 고강도 콘크리트에 미치는 영향을 파악하기 위하여 2종류의 철근 직경(10, 13mm)과 2종류의 고강도 콘크리트 강도(40, 60MPa)를 대상으로 무배근 공시체와

14종류의 배근을 가진 실린더공시체를 제작하고 재령 28일에 압축강도 시험을 실시하였다.

2.1 실험개요

콘크리트 강도는 초고층 콘크리트 건물에 사용될 고강도 콘크리트를 예상하여 40MPa와 60MPa급 콘크리트를 사용하였다. 철근은 일반적으로 벽이나 슬래브에서 코어를 채워하는 경우가 많으므로 벽이나 슬래브에 많이 쓰이는 SD 400 D10과 D13으로 2종류의 철근을 선택하였다.

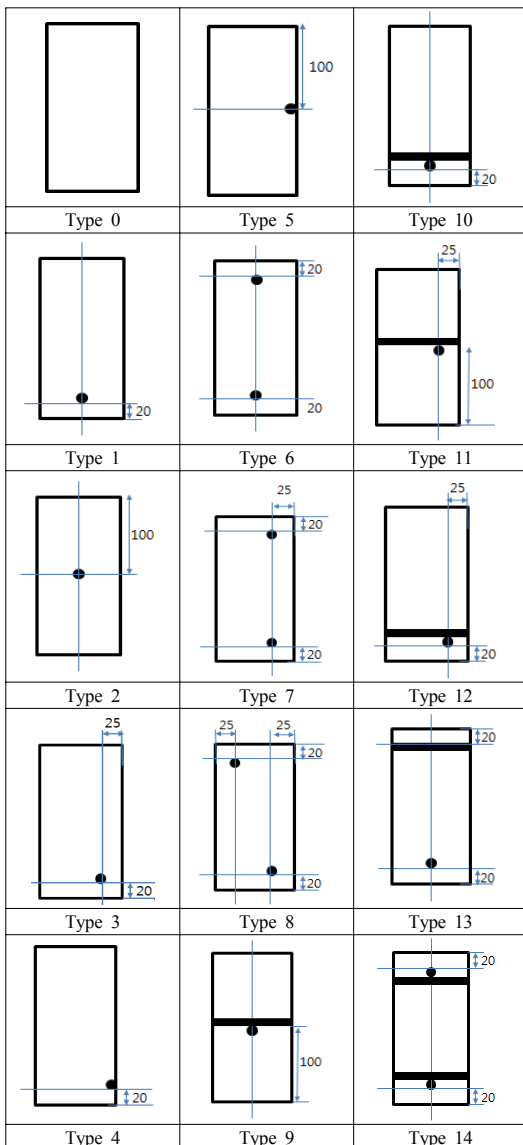


Fig. 1. Configurations of reinforcement arrangement

콘크리트 공시체의 배근형태는 철근이 없는 Type 0 공시체, 철근이 1개 포함된 Type 1~5까지의 5 종류의 공시체, 철근이 2개 포함된 Type 6~13까지의 9종류의 공시체, 그리고 철근이 4개 포함된 Type 14 공시체로 총 15종류를 선택하였으며, 상세한 배근형태는 Fig. 1에 나타나었다. 직경 100mm×높이 200mm 크기인 공시체가 사용되었으며 각각의 Type에 대하여 3개씩 제작하였다.

2.2 실험준비

공시체의 형틀은 철근을 배근하기 위해 플라스틱 재질을 사용하였으며 철근 지름에 맞게 형틀을 미리 친공하고 철근의 배근방식에 따라 계산된 길이로 절단한 철근을 형틀 구멍에 접착제로 Fig. 2와 같이 고정시켰다. 공시체는 콘크리트를 타설한 후 그 다음날 탈형하여 연마하고 기중양생을 실시하였으며 재령 28일에 압축강도 시험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

실린더 공시체에 대한 압축강도 실험에 대한 결과 값은 Table 1과 2에 나타내었으며 압축강도시험결과 후의 공시체 파괴형상의 예는 Fig. 3과 같다. 배근 종류별(10, 13mm)로 각각의 강도(40, 60MPa)에 대하여 콘크리트 압축강도 시험결과를 나타내고 있으며 철근이 없는 Type 0의 콘크리트강도를 100으로 가정할 때의 강도비율도 같이 나타내었다.

압축강도 실험결과에 대하여 콘크리트 강도별, 철근 직경별, 배근 형태별 결과를 Fig. 4에 그래프로 나타내었다. 콘크리트 강도와 철근직경별, 그리고 배근 형태별로 부분적으로 편차를 보여주고 있지만 전체적으로는 각 요인에 따른 경향성은 충분히 나타나고 있다. 콘크리트 강도에 따른 편차는 40MPa급 보다 60MPa급에서 크게 나타나는 경향을 보여주고 있으며 철근 직경에 따른 강도 편차는 13mm의 배근인 경우가 10mm 배근인 경우가 보다 크게 나타나고 있다. 각 배근 형태에 따른 콘크리트 강도 값을 비교해 보면 철근 직경이나 콘크리트강도와 무관하게 철근이 1개 배근된 경우에는 Type 2가, 철근이 2개 배근된 경우에는 Type 9가 비교적 낮은 값을 보여주고 있으며 철근이 4개 배근된 경우인 Type 14가 대체적으로 가장 낮은 값을 보여주고 있다.

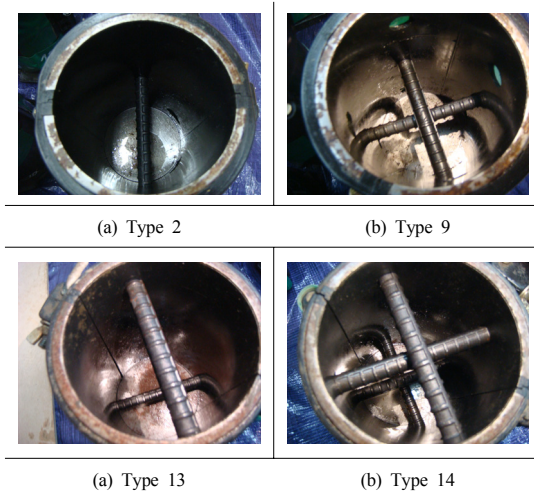


Fig. 2. Examples of reinforcement arrangement

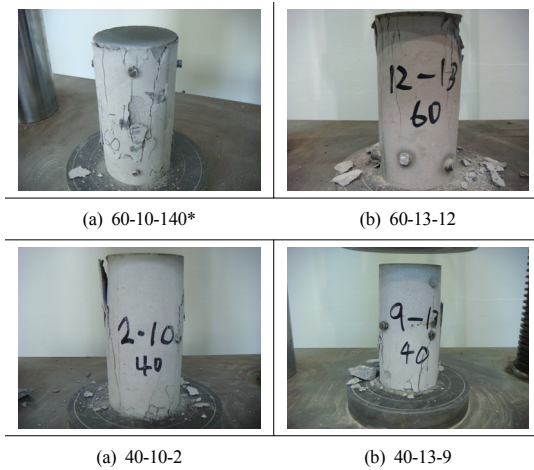


Fig. 3. Results of concrete compressive strength test
* concrete strength-bar diameter-bar arrangement type

Fig. 5~8은 압축강도 실험결과인 Table 1과 2를 바탕으로 Type 0에 대한 강도비를 가지고 각 배근형태에 따른 강도변화를 나타내었다. Fig. 5는 철근이 1개 배근된 경우로 중앙부하단 중앙(Type 1), 중앙부 중앙(Type 2), 하단부 측면(Type 5)인 경우를 나타내고 있는데 콘크리트 강도와 철근직경에 상관없이 중앙부 중앙에 배근된 경우가 중앙부 하단 중앙이나 하단 측면에 배근된 경우보다 낮은 강도 값을 보여주고 있다. 결과적으로 공시체의 파괴선상에 놓인 중앙부 중앙에 배근된 철근이 콘크리트 강도에는 가장 큰 영향을 미친다고 할 수 있다.

Table 1. Test results(40MPa)

Type	10mm		13mm		Ave.	
	MPa	%	MPa	%	MPa	%
0	38.2	100	38.2	100	38.2	100
1	38.5	101	31.1	81	34.8	91
2	33.2	87	29.3	77	31.2	82
3	33.2	87	30.3	80	31.8	83
4	32.5	85	29.1	76	30.8	81
5	31.0	81	31.3	82	31.2	82
6	32.6	85	31.1	81	31.8	83
7	30.1	79	27.6	72	28.8	76
8	32.9	86	29.5	77	31.2	82
9	28.2	74	22.9	60	25.6	67
10	31.7	83	28.6	75	30.1	79
11	27.4	72	25.1	66	26.3	69
12	28.9	76	23.3	61	26.1	68
13	28.6	75	26.0	68	27.3	72
14	26.7	70	23.0	60	24.9	65

Table 2. Test results(60MPa)

Type	10mm		13mm		Ave.	
	MPa	%	MPa	%	MPa	%
0	51.4	100	51.4	100	51.4	100
1	46.7	91	43.9	85	45.3	88
2	38.8	76	40.8	79	39.8	78
3	54.8	107	45.3	88	50.0	97
4	49.2	96	50.2	98	49.7	97
5	51.0	99	48.5	94	49.7	97
6	54.7	106	44.2	86	49.5	96
7	51.3	100	40.3	78	45.8	89
8	46.5	90	40.8	79	43.6	85
9	41.6	81	41.4	81	41.5	81
10	52.6	102	36.7	71	44.7	87
11	43.4	85	38.0	74	40.7	79
12	52.4	102	40.7	79	46.6	91
13	49.5	96	40.6	79	45.0	88
14	42.9	83	35.6	69	39.3	76

Fig. 6은 철근이 2개 배근된 경우로 공시체의 상하 끝단 중앙에 각 1개씩 배근된 경우(Type 6), 상하 끝단 한쪽 측면에만 1개씩 배근된 경우(Type 7), 상하 끝단 양쪽 측면에 각각 1개씩 배근된 경우(Type 8)를 나타내고 있는데 콘크리트 강도와 철근 직경에 따라 약간 차이를 보여주고 있으나 전체적으로는 배근위치와 관계없이 비슷한 값을 보여주고 있다.

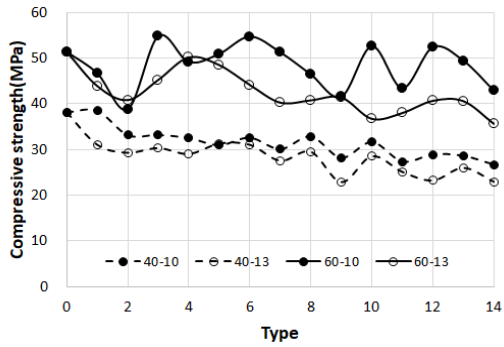


Fig. 4. Test results of all data

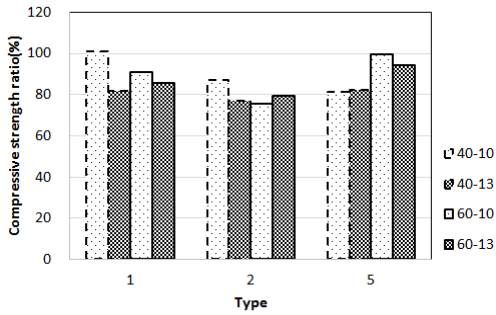


Fig. 5. Test results of Type 1, 2, and 5

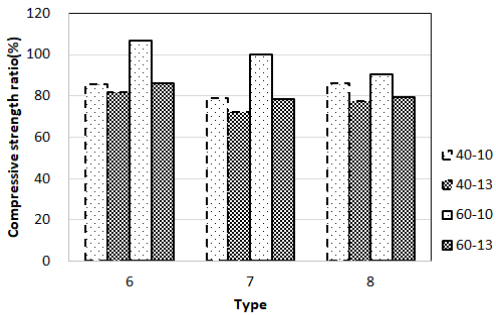


Fig. 6. Test results of Type 6, 7, and 8

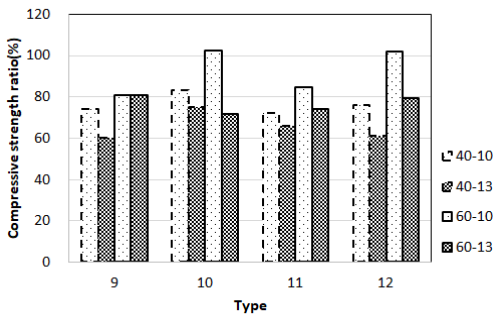


Fig. 7. Test results of Type 9, 10, 11, and 12

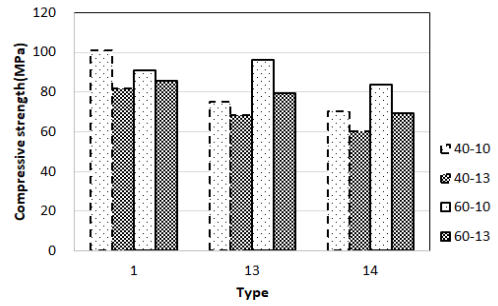


Fig. 8. Test results of Type 1, 13, and 14

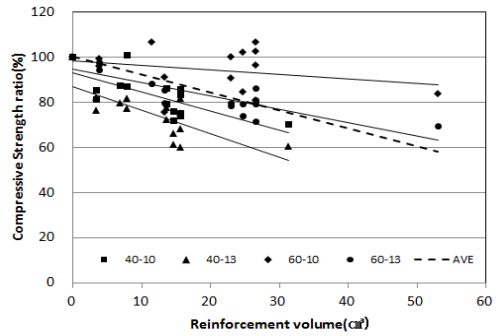


Fig. 9. Influence of reinforcement volume

Fig. 7은 2개의 철근이 교차된 중첩 배근으로 중앙부의 중앙에서 교차된 배근(Type 9), 하단 중앙부의 중앙에서 교차된 배근(Type 10), 중앙부 중앙의 중앙측면에서 교차된 배근(Type 11), 하단 중앙부의 하단 측면에서 교차된 배근(Type 12)을 보여주고 있다. 콘크리트 강도나 직경에 관계없이 중앙부에서 교차된 배근 형식(Type 9와 11)이 상대적으로 낮은 값을 보여주고 있다.

Fig. 8은 공시체 강도에 대한 철근 개수의 영향을 살펴보고자 철근이 공시체의 하부나 상하부에 배근된 경우로 철근 1개가 배근된 경우(Type 1), 철근 2개가 교차 배근된 경우(Type 13), 철근 4개가 2개씩 교차되게 배근된 경우(Type 14)를 보여주고 있다. 60-10에서 약간의 편차가 있으나 철근이 많이 배근될수록 강도는 낮게 나타나는 경향을 보여주고 있다. Fig. 9는 코어에 포함된 철근의 체적이 콘크리트 강도에 영향을 미친다는 기존의 연구결과에 근거하여[7,10] 공시체 강도 비와 공시체에 배근된 철근의 체적과의 관계를 나타내고 있다. 또한 각각의 강도 및 철근 직경에 따른 추세선(실선)도 함께 보여주고 있다. 데이터가 분산되어 있기는 하지만 전체적으로 철근체적이 클수록 콘크리트 강도는 낮게 나타나는 경향을 보여주고 있어 콘크리트에 포함된 철근량이 콘크

리트 강도에 영향을 미치고 있다는 것을 확인할 수 있다. 전체적으로 무배근 공시체에 대한 철근이 포함된 공시체의 강도비는 40MPa급인 경우 60~101%, 60MPa급인 경우 69~107%인 분포를 보여주고 있다. 결과적으로 철근 체적으로 53.1cm(직경 13mm인 철근이 4개)까지 철근이 포함된 공시체인 경우 무배근 공시체 강도의 60% 정도 까지 낮아 질 수 있다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 콘크리트 강도에 따른 편차는 40MPa급 보다 60MPa급에서 크게 나타나는 경향을 보여주고 있으며 철근 직경에 따른 강도편차는 13mm의 배근인 경우가 10mm 배근인 경우가 보다 크게 나타나고 있다.
- (2) 삽입된 철근 수량이 같은 경우 철근이 공시체 중앙부에 배근된 경우의 콘크리트 강도가 가장 낮은 경향을 보여주었다.
- (3) 전체적으로 철근체적이 클수록 콘크리트 강도는 낮게 나타나는 경향을 보여주고 있다.
- (4) 전체적으로 무배근 공시체에 대하여 철근이 포함된 공시체의 강도비는 40MPa급인 경우 60~101%, 60MPa급인 경우 69~107%인 분포를 보여주고 있다.

본 연구를 통한 구체적인 연구성과는 콘크리트 강도, 철근 직경, 배근 위치, 철근 개수를 변수로 철근이 포함된 고강도 콘크리트 공시체에 대한 콘크리트 강도를 정확하게 평가가능하게 되었으며, 국내외적으로 고강도 콘크리트의 실린더(코어)에 배근 영향을 고려한 연구성과가 전무한 실정에서 콘크리트 강도에 철근의 영향을 평가하는 정량적인 기준제시는 이루어 졌다고 판단된다. 이러한 연구성과를 통하여 고강도 콘크리트 구조물에서 밀실하게 철근이 배근 되어 어쩔 수 없이 코어에 철근이 포함되는 경우에도 정량적인 강도평가가 가능할 수 있으리라 기대가 된다.

향후 본 연구결과는 다양한 배근 형식으로 제작된 슬래브에 채취된 코어의 압축강도실험과 비교분석하여 최종적으로 현장에 적용 가능한 철근이 포함된 코어에 대한 강도기준을 제시하고자 한다.

References

- [1] H. Tamura, T. Ueda, "An experimental study on the compressive strength of concrete core within rebar(in Japanese)", *Proceedings of the Architectural institute of Japan*, pp. 127-128, Nov. 1980.
- [2] S. Otsuka, Y. Nakata, S. Oki, "Consideration of correction method for compressive strength of core specimen within deformed bar", *The bulletin of institute of technologists*, no. 4, pp. 53-60, Mar. 2013.
- [3] H. B. Ko, "Effect of the Embedded reinforcing bar of specimens on the compressive strength of concrete", *Journal of the Korea academia- industrial cooperation society*, vol. 17, no. 9, pp. 552-558, Sep. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.9.552>
- [4] H. H. Jeong, U. J. Kim, G. Y. Ahn, S. R. Lee, "An experimental study on the compressive strength of concrete cylinders to ascertain the influence of reinforcement(in Korean)", *Proceedings of Korean society of civil engineers*, pp. 984-987, Oct. 2006.
- [5] S. W. Kim, "Influence of steel reinforcing bars on concrete compressive strength of cored specimen for structure measurement", Master thesis, Department of architecture engineering, Graduate school, Yensei university, Dec. 2010.
- [6] R. D. Gaynor, "Effect of Horizontal Reinforcing Steel on the Strength of Molded Cylinders," *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 62, no. 7, pp. 837-840, 1965.
- [7] ASTM C42/C42M-04, "Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete", 2004.
- [8] JIS A 1107:2012, "Method of sampling and testing for compressive strength of drilled cores of concrete", 2012.
- [9] DIN 1048 Teil 2, "Testing concrete; testing of hardened concrete (specimens taken in situ)", 1991.
- [10] BS EN 12504-1:2009, "Testing concrete in structures: Part 1:Cored specimens - Taking, examining and testing in compression", 2009
- [11] Korean agency for technology and standards, KS F 2422, "Method of obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete", 2012.

고 훈 범(Hune-Bum Ko)

[종신회원]



- 1992년 3월 : Kyoto Univ. 대학원 건축학과 (공학석사)
- 2007년 3월 : Kyoto Univ. 대학원 도시환경공학과 (공학박사)
- 1992년 10월 ~ 1998년 2월 : 금호건설기술연구소 주임연구원
- 2012년 1월 ~ 2012년 12월 : Ghent Univ. 초빙학자
- 1998년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 건축과 교수

<관심분야>
건축시공, 건축재료