

이형 콘크리트 블록의 강도 평가방법에 관한 연구

Development of A Strength Test Method for Irregular Shaped Concrete Block Paver

임 무 광 Lin, Wuguang
박 대 근 Park, Dae-Geun
류 성 우 Ryu, SungWoo
조 윤 호 Cho, Yoon-Ho

중앙대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 (E-mail: rarelin@naver.com)
정회원 · 중앙대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 (E-mail: dgpark94@seoul.go.kr)
한국도로공사 도로교통연구원 도로연구실 박사후과정 (E-mail: htsw@gmail.com)
정회원 · 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 교수 · 교신저자 (E-mail: yhcho@cau.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study aims to develop a strength test method for irregularly shaped concrete block paver.

METHODS : Ten (10) different types of concrete block pavers including porous and dense blocks were tested for strength capacities. Destructive and non-destructive methods were used to develop a strength test method for irregularly shaped concrete block paver. The flexural strength evaluation was conducted in accordance to KS F 4419, while compressive strength was conducted with a 45.7mm-diameter core specimen. The impact echo test method was used to evaluate the elastic modulus. Finally, regression analysis was used to investigate the relationship between flexural strength, compressive strength and elastic modulus based on their corresponding test results.

RESULTS : The flexural strength of the tested block pavers ranged from 4MPa to 10MPa. At 95% confidence level, the coefficients of determination between compressive-flexural strength relationship and compressive strength-elastic modulus relationship were 0.94 and 0.84, respectively. These coefficients signified high correlation.

CONCLUSIONS : Using the test method proposed in this study, it will be easier to evaluate the strength of irregularly shaped concrete block pavers through impact echo test and compressive test, instead of the flexural test. Relative to the flexural strength requirement of 5MPa, the minimum values of compressive strength and elastic modulus, as proposed, are 13.0MPa and 25.0GPa, respectively.

Keywords

concrete block paver, flexural strength, compressive strength, elastic modulus.

Corresponding Author : Cho, Yoon-Ho, Professor
Department of Civil and Environmental Engineering, Chung-Ang University,
84 HeukSeok-Ro, DongJak-gu, Seoul, 156-756, Korea
Tel : +82.2.820.5336 Fax : +82.2.816.0251
E-mail : yhcho@cau.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Jan. 10, 2014 Revised Jan. 14, 2014 Accepted Mar. 28, 2014

1. 서론

콘크리트 인터로킹 블록의 물성실험과 관련된 품질기준은 KS F 4419에 명시되어 있다. 이 기준은 블록의 모양과 휨강도, 흡수율, 투수계수와 두께의 허용수치를 포함한다. 강도는 주로 휨강도를 기준으로하고, 인터로

킹 블록을 차도에 적용할 경우 5MPa 이상을 만족해야 한다. 그러나 최근 친환경, 기능성 포장에 대한 관심이 높아져 다양한 형상의 블록이 등장함에 따라 휨강도의 평가가 어려워지고 있다. 반면 외국의 경우는 Fig. 1과 같이 블록의 강도 평가 시 다양한 방법을 적용하고 있으

며, 블록의 인장강도 뿐만 아니라, 압축강도 기준도 함께 제시하고 있다. 예로 ASTM C 936에서는 블록의 압축강도에 대한 기준을 제시하였다. 실제 블록 제품 전단면에 하중을 재하하고, 측정된 강도에 블록의 두께와 폭의 비율을 반영하여 보정하였다. 실험 샘플의 최소한 평균 압축강도 수치는 55MPa를 만족하여야 하며, 개별 블록의 압축강도는 50MPa를 초과해야 한다. Gao and Xue(2012) 또한 같은 실험방법으로 시편 위에 격판을 올려 블록 강도를 평가한 바가 있다. CSA A 231에서도 역시 압축강도 기준을 제시하고 있는데, 큐빅 시편의 압축강도는 50MPa를 만족해야 하며, 실제 제품의 경우에는 40MPa를 초과해야 한다. BS EN 1338에서는 인장 강도의 최소기준은 3.6MPa이며, 250N/mm 이상의 파괴하중을 요구하고 있다. AS/NZ 4465는 휨강도 기준과 파괴하중을 제시하였으며, 각각 3MPa과 5kN 이상을 요구한다. JIEPA(2010)는 블록 휨강도와 압축강도 기준을 제시하였는데, 휨강도의 경우 5MPa로 제시되어 있다. 압축강도의 경우 실제 블록 제품을 정육면체로 절단한 후 측정한다. 시편의 길이는 블록의 크기의 따라 100mm~50mm로 다양하게 제시되어 있는 반면, 시편의 크기에 대한 영향을 고려하지 않으며, 일괄적으로 32MPa의 압축강도를 요구한다. Argentinean Portland Cement Institute(ICPA)에서는 블록 포장의 구조특성 상 휨강도가 지배적이라는 점을 고려하여, 1998년에 압축강도로 평가하는 기준을 휨강도로 개편하기도 했다(Benitez et al., 2009).

대다수 블록은 빔이나 슬래브의 형태로 구성되어 있고, 휨 응력에 지배되기 때문에 휨강도 기준을 수립하는 것이 타당한 것으로 판단된다. 그러나 최근 소음저감이나 배수 성능 향상을 위하여 블록 모양이 일정치 않게 생산되기 때문에 기존의 평가방법으로 강도를 측정하기 어렵다. 이에 휨강도 실험 진행 시 시편을 절단하기 어려운 경우도

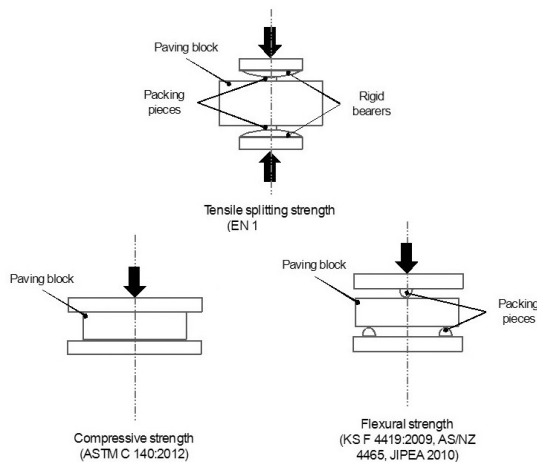


Fig. 1 Strength Test Methods for Concrete Pavers











발생하여 새로운 실험방법과 기준을 마련해야 한다. 따라서 본 연구에서는 블록 제품을 실린더 형태로 채취한 후, 채취한 코어시편의 압축강도와 비파괴방식으로 측정된 동탄성계수 그리고 휨강도의 상관성을 찾고자 한다.

2. 재료 및 실험방법

2.1. 제품선정

블록 강도실험은 시편을 투수성 블록과 일반 블록으로 나누어 실시되었다. 각각 5개 종류의 블록을 사용하였으며, 종류별로 3개의 시편을 사용하였다. 실험에서 사용된 블록 제품은 모두 28일 이상 양생하였다. 선정된 블록 크기 및 형태는 Table 1과 같다. 기본적으로 휨강도 측정이 가능하고, 80mm와 60mm 두께를 가진 블록을 선정하였다. 블록 형태는 Uni형 및 직사각형과 정사각형을 채택하였다.

Table 1. Concrete Pavers used in the Experiment

	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Porous Block					
	25×125×65	200×100×60	200×200×60	200×100×60	220×110×80
Dense Block					
	220×110×80	190×90×60	190×90×80	300×300×60	200×200×80

2.2. 실험방법

블록 강도에 대한 평가를 위해 파괴실험과 비파괴실험을 병행하였으며, 휨강도, 압축강도 및 탄성계수를 측정하였다. 실험은 Fig. 2와 같이, 먼저 비파괴실험 방법으로 블록의 탄성계수를 평가한 뒤 휨강도와 압축강도를 측정하는 순으로 진행된다. 실험에는 샘플을 블록 종류와 실험 요인별로 각 세 개씩 이용하고, 블록을 평가하였다. 실험에 사용된 모든 시편은 24시간 수침시킨 후 실험을 실시하였다.

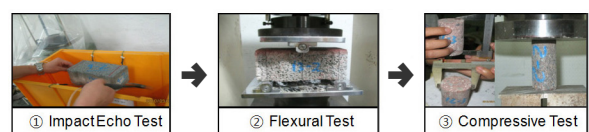


Fig. 2 Laboratory Test Procedure

2.2.1. 탄성계수측정

탄성계수의 평가는 비파괴 실험을 통해 이루어졌다. 공시체의 탄성계수는 비구속 압축파(Rod파)를 이용하여 측정되었다. 비구속 압축파는 파의 진행방향으로 자기 압축-수축의 과정을 반복하여 전파된다. 블록 양 끝단에 굴곡이나 돌기가 있는 경우에 일관성 있는 실험이 불가능하기 때문에 시편의 타격부가 매끄럽도록 절단하고, 시편의 길이를 잰 후 탄성파실험을 실시하였다. 실험에서 측정된 주파수, 시편의 길이와 시편의 밀도를 통해서 탄성계수의 평가에 직접적으로 활용이 가능하며, 계산식은 Eq. (1)과 같다.

$$E_d = (f_r \times 2l)^2 \times \rho \quad (1)$$

E_d : 탄성계수, MPa

f_r : 공진주파수, Hz

l : 공시체 길이

ρ : 밀도, kg/m³

2.2.2. 휨강도 및 압축강도

휨강도실험은 KS F 4419에 준하여 실시하였다. 측정장치는 중앙점 재하장치를 택하였으며, 공시체 하부 두 지점 간의 거리는 150mm이었다. 압축강도 측정은 블록 제품을 코어링하여 실린더 형태로 제작한 뒤 일축압축 실험방법으로 평가하였다. 콘크리트 압축강도는 시편의 직경과 시편의 직경-길이의 비율(d/l)에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. ASTM과 BS에서는 코어 직경이 최대 골재 크기보다 3배 이상을 커야 하며, 최소한 100mm를 유지해야 한다. 또한 d/l 비는 되도록 1/2을 만족하여야 한다. d/l 비가 1/2보다 클 경우에는 보정계수를 통해 압축강도를 보정해 준다. 콘크리트 블록은 일반적으로 5mm 이하인 최대 골재를 사용하여 제작하며, 이론적으로는 15mm 이상의 직경을 가진 코어 시편을 사용하면 된다. 그러나 블록의 두께 (60~100mm)를 고려했을 때 d/l 비를 1/2~1 범위 내에 유지하기 위해서, 직경이 최소한 40mm보다는 크고 60mm보다 작아야 하나의 코어로 다양한 블록에 대해 평가가 가능하다. Tuncan et al. (2008)는 직경이 46mm인 시편을 이용하여 다양한 골재 크기와 비에 따른 콘크리트 강도를 측정한다. 표준 실린더에서 측정된 강도와는 차이가 있지만, 결과는 일관성 있게 나타난 것으로 발표하였다. Baik and Song(2003)은 직경 25mm인 시편의 압

축강도 크기를 평가한 결과, 표준공시체에 비해 약 18% 정도 떨어진다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 내경이 45.7mm인 코어를 사용하여 압축강도 시편을 제작하였다. 하중 편심에 의해 측정치의 정확도가 떨어질 수 있으므로, 압축강도실험 전 코어링한 시편의 상단면과 하단면이 평평하도록 그라인딩 처리하였다.

3. 실험결과

3.1. 압축강도와 휨강도의 관계

블록 종류별 기본물성 실험결과는 Table 2에 정리하였다. 투수성 블록의 휨강도는 모두 KS F 4419가 요구하는 차도용 블록 강도기준 5MPa에 미달하였지만, 일반 블록의 휨강도는 모두 기준을 초과하였다. 또한 휨강도를 실험한 뒤, 코어 시편을 채취하여 측정된 압축강도가 휨강도에 비해 약 3~3.5배 높은 것을 알 수 있다. Fig. 3은 선정된 투수성 블록과 일반 블록의 휨

Table 2. Physical Properties of the Concrete Pavers

			A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Porous Block	Flexural Strength	AVG.	4.83	4.97	4.99	4.33	4.03
		STDEV.	0.21	0.51	0.25	0.24	0.01
	Compressive Strength	AVG.	13.47	12.09	15.38	13.57	10.40
		STDEV.	1.81	1.86	2.71	1.51	1.38
Bulk Density			2.19	2.04	1.98	2.02	1.89
			B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Dense Block	Flexural Strength	AVG.	5.48	9.35	7.75	7.13	5.55
		STDEV.	0.36	0.43	0.71	0.70	0.16
	Compressive Strength	AVG.	14.84	28.65	20.37	18.36	15.88
		STDEV.	1.94	2.20	3.92	4.03	1.88
Bulk Density			2.17	2.32	2.32	2.29	2.26

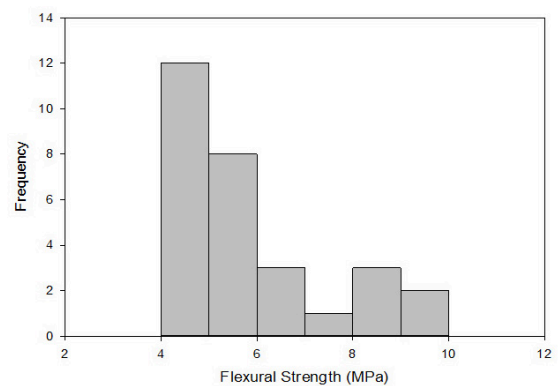


Fig. 3 Statistical Distribution of Flexural Strength

강도 분포를 나타내고 있으며, 선정된 제품의 휨강도 범위는 4~10MPa이며, 대다수가 4~6MPa 구간에 집중되었다. 6MPa를 초과하는 경우는 미미하며, 전반적으로 선정된 블록 시편의 강도범위가 좁았다. 특히 실험에서 사용된 투수성 블록의 강도범위는 4~5MPa이었다.

Fig. 4는 코어 시편의 d/l 비에 대한 보정 없이, 실험에서 직접 측정된 압축강도와 휨강도의 관계를 보여주고 있다. Fig. 4(a)와 같이, 투수성 여부를 구분하여 평가했을 때, 투수성 블록의 압축강도와 휨강도의 관계를 나타내는 결정계수가 0.36으로 낮게 나타났는데, 이는 선정된 제품의 강도분포의 한계 때문이라고 판단된다. 반면 일반 블록의 결정계수는 0.76으로 산출되어 상대적으로 높은 상관관계가 나타났다. Fig. 4(b)는 투수 여부 구분 없이 실험결과를 종합하여 분석한 결과를 보여주고 있으며 결정계수가 0.79로 분석되었다.

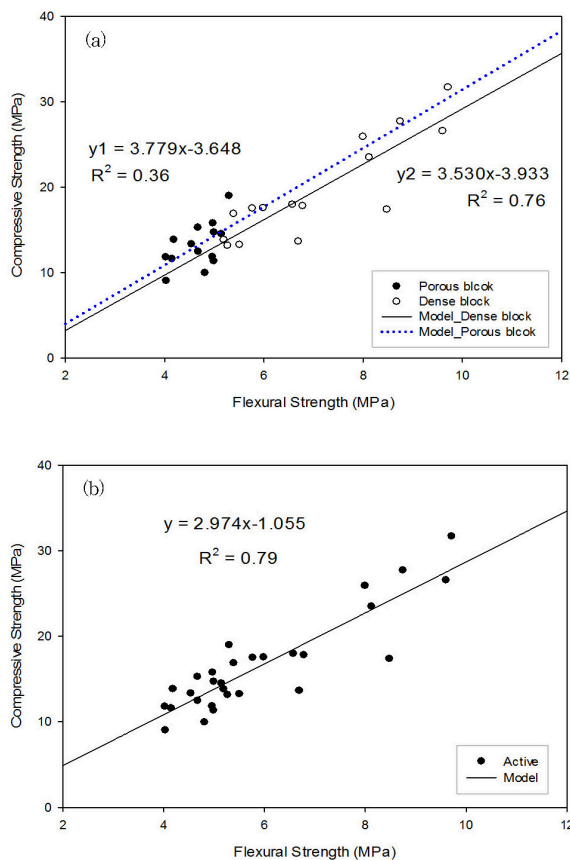


Fig. 4 Relationship between Flexural and Compressive Strength before Calibration

실험결과를 더욱 정밀하게 분석하기 위해서 시편 비의 압축강도에 대한 영향을 추가적으로 검토하였다. 콘크리트 코어 시편 비에 따른 압축강도 보정계수 계산방법은

기준에 다양하게 제시되어있다. Concrete Society (1976)에서는 코어 시편 비에 따른 보정계수 추정식을 Eq. (2)과 같이 제안하였다.

$$F_{d/l} = \frac{2}{1.5 + d/l} \quad (2)$$

$F_{d/l}$: 콘크리트 시편 크기에 따른 보정계수
 d/l : 콘크리트 시편 직경과 길이의 비율

Chung(1989)는 “semi-rational” 접근법을 이용하여 Eq. (3)과 같이 코어 시편 비에 따른 보정계수 추정식을 제안하였다.

$$F_{d/l} = \frac{1}{1 + 0.8 \times (d/l) \times (1 - 0.5 \times (l/d))^2} \quad (3)$$

또한 기준에 국내·외에서 제시한 d/l 비에 따른 콘크리트 압축강도 보정계수를 Table 3에 요약하였다.

Table 3. Compressive Strength Correction Factor according to d/l Ratio

d/l 비	Correction Factors		
	ASTM C 42 (2003) JIS A 1107 (2012)	KS F 2422 (2007)	Tuncan et al. (2008)
2.00	1.00	1.00	1.00
1.75	0.98	0.98	0.98
1.50	0.96	0.96	0.94
1.25	0.93	0.93	0.91
1.00	0.87	0.89	0.87

위에 제시한 보정계수 추정식과 Table 3에 요약된 d/l 비에 따른 보정계수를 고려하여 블록 휨강도 및 압축강도의 관계를 재해석하였다. Table 3에 제시되지 않는 d/l 값들은 보간법으로 산출하여 압축강도에 대해서 보정하였다. Fig. 5는 보정계수를 고려한 블록 휨강도 및 압축강도의 관계를 보여주고 있다. 보정 전·후의 회귀계수 및 결정계수는 Table 4에 정리하였다. 보정된 압축강도와 휨강도의 회귀계수는 0.8로 분석되어 보정 전에 비해 항상 개선되었지만, 보정된 식들 간의 차이는 발견되지 않았다.

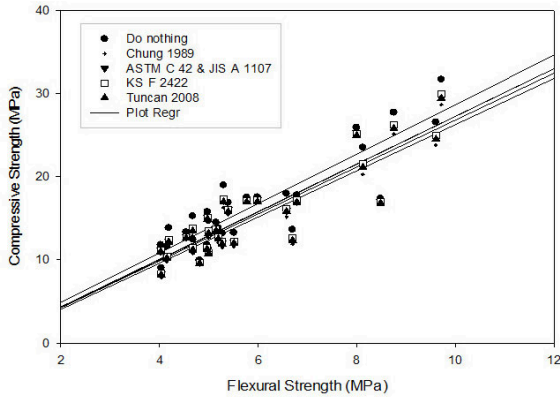
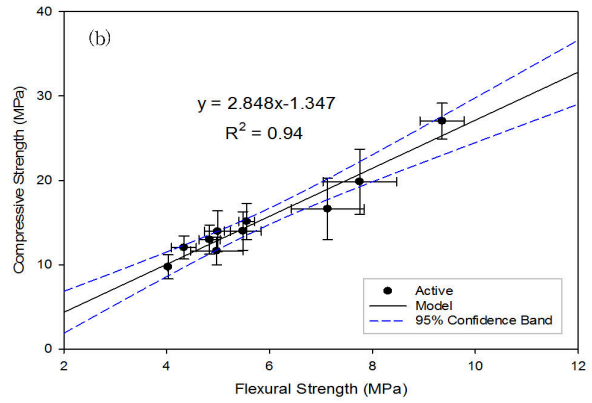


Fig. 5 Relationship between the Compressive Strength and Flexural Strength where Correction Factor is Applied



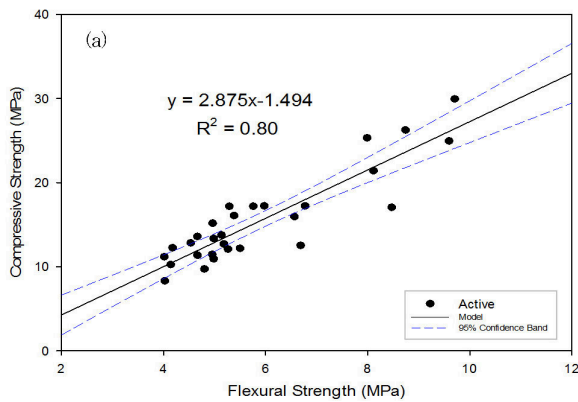
(b) Average

Fig. 6 Relationship between Flexural and Compressive Strength after Calibration(ASTM C 42, JIS A 1107)

Table 4. Summary on the Results of the Regression Analysis based on Compressive and Flexural Strengths

	before calibration	Chung (1989)	ASTM C 42 (2003) JIS A 1107 (2012)	KS F 2422 (2007)	Tuncan et al. (2008)
R ²	0.79	0.80	0.80	0.80	0.80
y0	-1.055	-1.523	-1.494	-1.388	-1.409
a	2.974	2.78	2.875	2.867	2.823

Fig. 6은 ASTM C 42와 JIS A 1107에서 제시한 보정계수를 반영한 휨강도 및 압축강도의 관계를 나타내고 있다. 개별 블록으로 평가하였을 때, 95% 신뢰구간에서 휨강도 5MPa에 해당하는 압축강도의 최소기준치는 12.0MPa인 것을 알 수 있다. 개별 블록의 강도를 평균으로 취하였을 경우 결정계수 0.94로 매우 높은 상관성을 나타내었다.



(a) Individual

3.2. 탄성계수와 강도의 관계

콘크리트 탄성계수는 정탄성계수와 동탄성계수로 나눌 수 있다. 콘크리트의 정탄성계수는 실내실험으로 일축압축강도시험에서 구해진 하중변형곡선을 통해서 직접 구할 수 있고, 동탄성계수는 비파괴실험 방법으로 공명진동수 혹은 파동전파 속도로부터 구해진 탄성계수를 말한다. 두 탄성계수간의 관계는 Han and Park(2009)이 Eq. (4)를 통해서 표현하였다.

$$E_c = E_d(1 - 0.49e^{-0.17E_d}) \quad (4)$$

E_c : 정탄성계수, GPa

E_d : 동탄성계수, GPa

또한 측정된 재료의 압축강도와 기준에 제시된 회귀식을 이용하여 간접적으로 정탄성계수에 대한 추정 가능하다. 일반적으로 정탄성계수를 구할 때 사용되는 회귀식은 Eq. (5)와 같다. 따라서 동탄성계수에 대한 추정식은 Eq. (6)을 통해서 구할 수 있다. 기준에 제시한 압축강도와 탄성계수 추정식에 대한 회귀계수는 Table 5에 정리하였다. 일반 콘크리트와 고강도 콘크리트에 대한 추정식이 다르며, ACI 318-95, TS-500과 KCI A는 일반 콘크리트에 해당하고, ACI 363, NS 3473과 KCI B는 고강도 콘크리트에 해당한다. Demir(2005)는 일반 콘크리트와 고강도 콘크리트 구분 없이 식 하나로 제시하였다.

$$E_c = a(f_c)^b + c \quad (5)$$

E_c : 정탄성계수, GPa

f_c : 압축강도, MPa

a, b, c : 회귀계수

$$E_d(1 - 0.49e^{-0.17E_d}) = a(f_c)^b + c \quad (6)$$

E_d : 동탄성계수, GPa

f_c : 압축강도, MPa

a, b, c : 회귀계수

Table 5. Regression Coefficients of the Compressive Strength and Elastic Modulus using the Regression Equation

		a	b	c
General concrete	ACI 318-95	4.73	0.50	n/a
	TS-500	3.25	0.50	14.00
	KCI A	4.70	0.50	n/a
General & High strength concrete	Demir, 2005	6.85	0.43	n/a
High strength concrete	ACI 363	3.32	0.50	6.90
	NS 3473	9.50	0.30	n/a
	KCI B	3.30	0.50	7.7

본 연구는 일반 콘크리트를 사용한 블록의 품질평가 기준을 수립해보고자 하는 것이므로 일반 콘크리트 제품에 적용할 수 있는 ACI 318-95, TS-500, KCI A, Demir(2005)만을 고려하도록 한다. Fig. 7은 탄성계수 추정식을 이용하여 산출한 추정탄성계수와 실측된 탄성

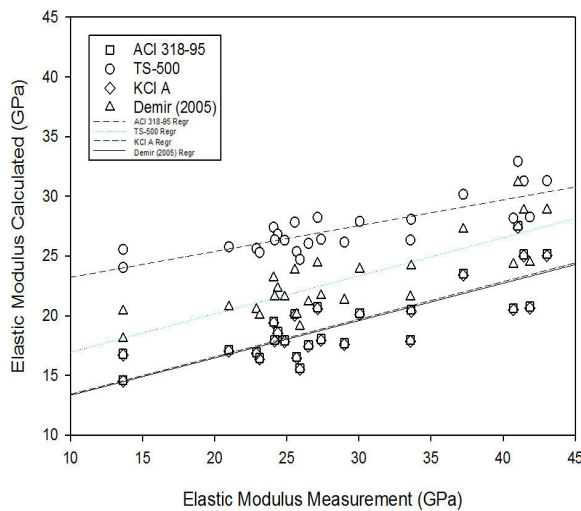


Fig. 7 Calculated Elastic Modulus Versus Measured Elastic Modulus from the Lab Test

계수와와의 관계를 보여주고 있다. 기존 제시된 추정식의 값은 모두 낮은 기울기의 선형관계를 나타내었고, KCI A와 Demir(2005)는 동일한 결과를 보여주었다. Fig. 7에 의하며 산출한 추정탄성계수와 실측된 탄성계수가 일치하지 않는 것을 알 수 있다. 그러므로 기존의 추정식은 본 연구에는 적용하기에 적합하지 않다.

Fig. 8은 실측된 동탄성계수와 Eq. (4)를 이용하여 보정된 정탄성계수를 압축강도와 비교한 결과를 나타내고 있다. 보정 전·후 탄성계수의 큰 차이는 없었다. 오히려 보정 전에 실측된 동탄성계수와 압축강도의 결정계수가 0.84로 높게 나타났다.

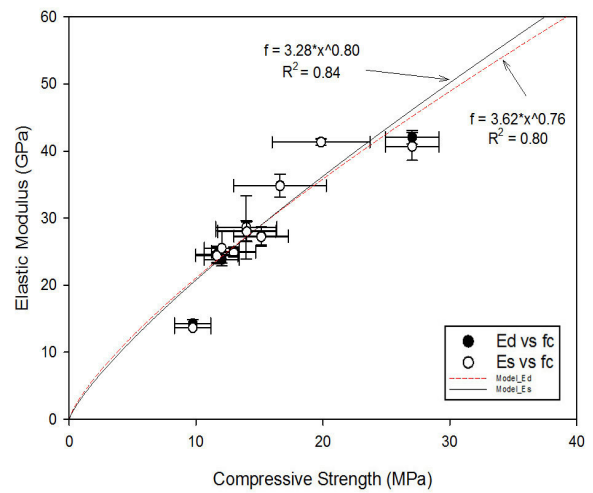


Fig. 8 Correlation between Compressive Strength and Elastic Modulus before and after Calibration

Fig. 9는 실측된 동탄성계수와 압축강도의 관계를 95% 신뢰구간과 같이 나타낸 것으로, 결정계수가 0.84

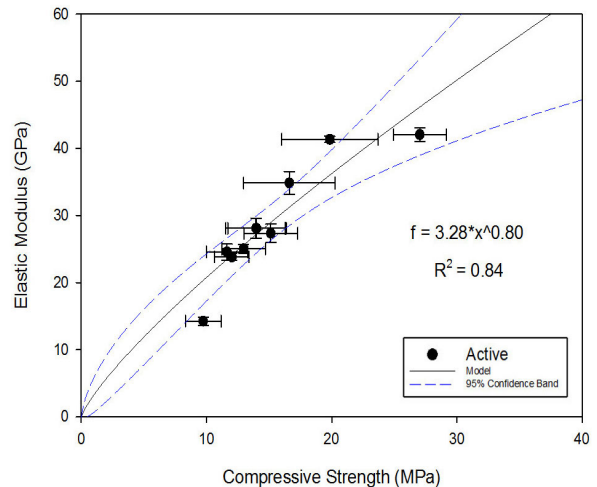


Fig. 9 Correlation between Compressive Strength and Elastic Modulus at 95% Confidence Interval

일 때 Eq. (7)을 통해서 간접적으로 블록의 강도를 추정할 수 있다. 95% 신뢰수준에서 앞서 제시한 휨강도 5MPa에 해당하는 압축강도 13MPa를 적용했을 때, 동탄성계수의 최소기준치는 25GPa이다. Fig. 10은 실험에서 얻어진 블록의 휨강도, 압축강도와 탄성계수의 상관관계를 3D Plane으로 나타내고 있다.

$$E_d = 3.28 \times f_c^{0.8} \quad (7)$$

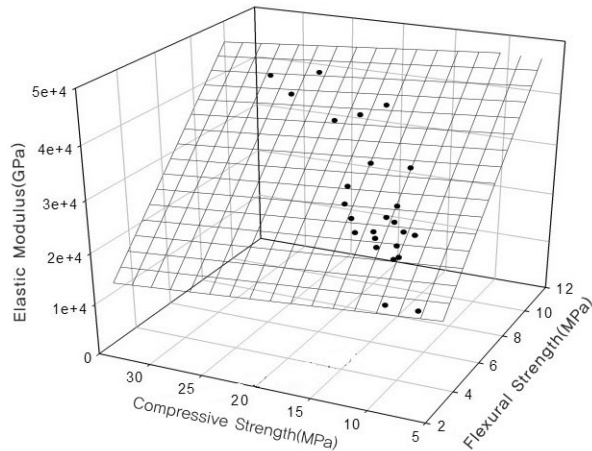


Fig. 10 3D Plane of the Relationship between Compressive Strength, Flexural Strength and Elastic Modulus

4. 결론

다양한 이형 블록의 등장으로 기존시방에 의한 휨강도 실험으로는 블록의 품질평가가 어려웠다. 본 연구에서는 휨강도측정이 불가능한 블록 제품에 대하여 강도 평가방법을 마련하였다. 그리고 국내 블록 업계에서 많이 사용 중인 10개 종류의 투수성 블록과 불투수성 블록을 수집하여 휨강도, 압축강도 및 탄성계수를 평가하였다. 휨강도평가는 KS F 4419를 준수하여 실시하였으며, 압축강도는 휨강도를 측정한 뒤, 조각난 블록에 직경이 45.7mm인 코어 시편을 채취하여 평가하였다. 탄성계수측정은 휨강도실험을 실시하기 전에 비파괴 방식을 사용하여 이루어졌다. 회귀분석을 통해 블록의 휨강도, 압축강도 및 탄성계수가 높은 상관관계를 가진 것을 알 수 있었으며, 이에, 관련 선형회귀식을 제시하였다. 따라서 향후 이형 블록의 휨강도측정이 불가능할 경우, 앞서 제시한 압축실험방법과 비파괴 실험방법으로 3개 이상의 시편에 대해 평가하였을 때 휨강도 5MPa에 해당하는 압축강도와 동탄성계수의 최소기준치를 각각

13MPa, 25GPa로 설정하도록 제안한다.

감사의 글

본 연구는 2011년도부터 서울특별시에서 주관하는 "친환경 투수 블록 포장 시험시공 및 개선방안 도출 용역"에 의해 실시된 것으로 이번 연구가 가능하도록 도와주신 관계자 분들께 감사드립니다.

References

- ACI Committee 318, 1995. Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-95), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI
- ACI Committee, 363 State-of-art-report on high strength concrete, ACI Materials Journal 81 (4) (1984) 364-411.
- ASTM C 42-90, 2003. Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02
- ASTM C 936, 2002. Standard Specification for Solid Concrete Interlocking Paving Units. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.05
- Baik, B. H. and Song, S. J., 2003. A Study on the Estimation of Compressive Strength by Small Size Core. Journal of the architectural institute of Korea : Structure & construction, v.19 no.1, pp.85-92
- Benitez, A., Bertone, J and Civitillo, P., 2009. Implementation of the Flexural Strength Test for Concrete Pavers. 9th. International Conference on Concrete Block Paving. Buenos Aires, Argentina
- British Standard, 2003. Concrete Paving Block - Requirements and Test Methods. BS EN 1338:2003
- Chung, H. W., 1989. On Testing of Very Short Concrete Specimens. Cement, Concrete, and Aggregate, ASTM, Vol. 11, No. 1, pp. 40~44.
- Concrete Society Technical Report No:11 (1976). Concrete core testing for strength. The Concrete Society, London
- Demir, F., 2005. A New Way of Prediction Elastic Modulus of Normal and High Strength Concrete?Fuzzy Logic. Cement and Concrete Research 35 (2005) 1531-1538
- Gao, J. M. and Xue, B. F., 2012. Study of Porous Concrete Strength Test Method. 10th International Conference on Concrete Block Paving, Shang Hai, China
- Han, S. H and Park, W. S., 2009. Analysis of Dynamic and Static Elastic Modulus of In-situ Marine Concrete. Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, v.21 no.6, pp.437-443
- Japan Interlocking Block Pavement Engineering Association, 2010. Interlocking Block Pavement Engineering Design and Build Guidelines
- JIS A 1107, 2012. Method of Sampling and Testing for Compressive Strength of Drilled Cores of Concrete
- Korea Standard Association, 2009. Concrete Interlocking Block for

- Sidewalk and Road, KS F 4419 : 2009
- Korea Standard Association, 2007. Method of Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete, KS F 2422 : 2007
- Norwegian Council for Building Standardization, 1992. Concrete Structures Design Rules NS 3473, Norwegian Concrete Association, Stockholm.
- Standards Australia / Standards New Zealand, 2004. Masonry Units, Segmental Pavers and Flags—Methods of Test Method 5: Determining the Breaking Load of Segmental Pavers and Flags.
- Tuncan, M., Arioz, O., Ramyar, K. and Karasu, B., 2008. Assessing concrete strength by means of small diameter cores. *Construction and Building Materials* Vol 22, Issue 5, May 2008, Pages 981-988
- Turkish Standardization Institute, 2000. Requirements for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures TS 500, Turkish Standardization Institute, Ankara.