



포장용 콘크리트의 강도 및 탄성계수 상관관계식

Strength and Modulus Relationship of Concrete for Rigid Pavement

양 성 철*

박 중 원**

Yang, Sung Chul

Park, Jong Won

Abstract

Strength relationships are presented through experimental data from the concrete strength tests in this study. Various strength tests such as the compressive, flexural, and splitting tensile strength and the modulus of elasticity are included. An experimental work was performed to determine the various strength characteristics for various mix designs. Three different coarse aggregates such as granite, limestone, sandstone were used and included were fine aggregates such as natural sand, washed sand and crushed sand. Also included was cement amount as experimental variable. It was confirmed that each strength value with respect to curing time is to follow a typical strength development curve. With this somewhat reliable test results various strength relationships such as flexural strength-compressive strength, splitting tensile strength-compressive strength, modulus of elasticity-compressive strength, splitting tensile strength-flexural strength were analyzed through statistics. Experimental data were well fitted to the 0.5-power relationship of flexural strength and compressive strength which has been commonly accepted. The splitting tensile strength is expected to be best in the linear relationship from the flexural strength data. Finally splitting tensile strength was found to be proportional to the 0.87 power of the cylindrical compressive strength.

Keywords : concrete for pavement, compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength, modulus of elasticity, strength relationship

요 지

본 연구에서는 포장용 콘크리트의 강도실험을 통해 강도간의 상관관계식을 도출하는 것을 목적으로 하였다. 강도로서 재령별 압축강도, 휨강도, 할렬인장강도와 탄성계수를 측정하였다. 배합변수는 조골재(화강암, 석회암, 사암), 세골재(자연사, 세척사, 부순 모래) 및 단위시멘트량(315-375kg)을 변수로 하였다. 전체적으로 골재나 단위시멘트량보다는 재령에 의해 전형적인 강도곡선을 따라 뚜렷하게 변화함을 보여준다. 이러한 강도결과를 바탕으로 휨강도와 압축강도, 할렬인장강도와 압축강도, 탄성계수와 압축강도, 할렬인장강도와 휨강도의 상관관계를 분석한 결과 휨강도와 압축강도, 탄성계수와 압축강도는 기존의 관례대로 제공된 ($n=0.5$)의 상관관계식이 잘 맞음을 알 수 있었다. 할렬인장강도와 휨강도는 선형의 상관관계식으로 표현하였고, 할렬인장강도와 압축강도는 $n=0.87$ 의 지수승을 사용한 경우가 가장 적합한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 포장용 콘크리트, 압축강도, 휨강도, 할렬인장강도, 탄성계수, 상관관계식

* 정회원 · 홍익대학교 건축공학부 부교수 · 공학박사

** 정회원 · 홍익대학교 건축공학부 부교수 · 공학박사



1. 서론

현재 도로학회를 중심으로 진행되고 있는 한국형 포장설계법 개발 연구과제에서는 보다 정확한 포장 구조해석을 위해 경험적-역학적 모형을 사용하고 있다. 모형에 사용되는 입력변수로서 실내시험 및 시험도로 등에서 얻은 재료물성과 환경하중 및 교통하중에 대한 정량화작업이 활발히 진행되고 있다.

실내시험에서 얻은 각종 재료물성 데이터를 활용하여 강도간의 상관관계식을 만든다면, 포장 유지관리시 취득한 최소한의 정보를 활용하여 다른 강도 또는 탄성계수를 추정할 수 있어 유익한 자료로 활용된다. 예를 들어 콘크리트 포장 유지관리시 현장에서 채취한 코어시편의 강도는 해당 슬래브 및 해당 노선의 포장상태를 가늠하는 중요한 단서가 된다. 특히 탄성계수나 휨강도는 콘크리트 포장의 잔여수명을 예측하는데 사용되고 있다. 그러나 코어시편에서 얻을 수 있는 재료물성은 탄성계수나 압축강도 및 할렬인장강도로서 JCP에서 설계기준강도로서 사용되는 휨강도는 직접적으로 측정할 수 없다. 더욱이 현장시편에서 얻은 탄성계수는 시험방법 및 시편의 보관상태에 따라 차이가 많다.

강도간의 상관관계에 대한 연구는 ACI나 CEB-FIP를 중심으로 활발히 진행되어 왔다. 전통적으로 휨강도와 압축강도, 할렬인장강도와 압축강도 및 탄성계수와 압축강도의 상관관계식으로서 제공근의 공식이 채택되어 왔다. 국내에서도 콘크리트구조설계 기준에서 제공근의 공식을 사용하고 있다. 기타 많은 연구자들이 다양한 콘크리트 배합에 관해 실험을 통해 상관관계식을 발표하였다. 대개의 경우 휨강도와 압축강도, 탄성계수와 압축강도 관계식은 제공근을 사용하는 것이 가장 상관관계가 높음을 보여준다.

할렬인장강도와 압축강도는 제공근(지수승 $n=0.5$)보다 큰 재료상수($0.5 < n < 1.0$)를 제안하고 있다. 특히 할렬인장강도와 휨강도는 선형($n=1$)의 상관관계식이 사용되고 있다.

여러 연구자들이 서로 다른 상관관계식을 제시하

는 것은 그들이 사용한 콘크리트 배합이 다양하기 때문이다. 전세계적에서 보편적으로 사용하는 ACI 상관관계식을 사용하여 우리가 사용하는 포장용 콘크리트 배합에 관한 강도를 예측시, 경우에 따라서는 그 상관관계가 높지 않게 나타난다.

본 연구에서는 한국형 포장설계법 과제에서 수행한 콘크리트 강도시험을 통해 강도간의 상관관계 모델을 제시하였다. 이러한 상관관계식을 활용하여 향후 콘크리트 포장 유지관리시 현장에서 손쉽게 측정된 압축강도나 할렬인장강도를 통해 휨강도나 탄성계수를 추정할 수 있는 토대를 마련하였다.

2. 실험계획 및 배합설계

2.1 실험계획

본 연구는 한국형 포장설계법 연구의 일환으로 프로그램에서 요구하는 기초 재료물성에 대한 정량화 작업을 목적으로 수행하였다. 이를 위해 다양한 콘크리트 포장 배합에 대해 실험계획을 수립하였다.

현재 국내에서 사용되는 대표적인 포장용 콘크리트 배합을 기준으로 하여 화강암, 석회암, 사암 등 조골재를 변수로 하였다. 그리고 세골재를 변수로 하여 자연사, 세척사, 부순모래를 사용하였다. 아울러 고 성능 콘크리트 배합에 대한 실험계획도 포함하였다.

표 1. 실험계획

배합변수	종류	콘크리트배합	시험 항목	재 령
조골재	화강암	포장용		
	석회암	"		
	사 암	"		
세골재	자연사	포장용	압축강도, 휨강도, 할렬인장강도, 탄성계수	1, 3, 7, 14, 28, 56, 180 등
		고성능 포장용		
	세척사	포장용		
		고성능 포장용		
	부순모래	포장용		



표 1에 실험계획을 정리하였다. 표 1의 계획에 의거 재령별 압축강도, 휨강도, 할렬인장강도, 탄성계수를 측정하여 이들의 상관관계식을 수립하는 것이 본 연구의 목적이다.

2.2 배합설계

모든 포장용 콘크리트 배합은 중부내륙고속도로 1공구에 사용된 배합(시멘트량 340kg/m³)을 기준으로 하였다. 그리고 고성능 포장용 콘크리트 배합은 시멘트량을 375kg/m³을 기준으로 하였다. 먼저 조골재를 변수로 하는 포장용 콘크리트 배합은 표 2와 같다. 세골재 및 시멘트량을 변화시킨 두 번째 실험 계획은 표 3의 배합에 따라 수행되었다.

실험에 사용된 시멘트는 H사의 포틀랜드 시멘트(비표면적 3,315cm²/g)로서 비중은 3.15이다. 자연사로서 금강산 잔골재(비중 2.63, F.M. 2.87, 흡수율 1.52%), 세척사(비중 2.61, 흡수율 1.45%), 부순모래(비중 2.51, 흡수율 0.91%)가 사용되었다.

모든 골재에 대해 입도시험, 절대건조비중, 흡수율 시험결과 모두 기준치를 만족시켰다. 자연사, 세척사, 부순모래의 절대건조비중, 흡수율, No.200체 통과량

은 모두 기준을 만족하였으나, 세척사 및 부순모래의 경우 세립분이 표준입도범위를 약간 벗어나 있었다. 그러나 매우 전형적인 세척사 및 부순모래의 입도이어서 별도의 입도 조정 없이 그대로 사용하였다.

모든 배합은 골재기준의 규정치를 만족하였으며 한국도로공사의 고속도로공사 전문시방서 기준(슬럼프값 2.5cm 이하, 공기량 4~7%)에 맞는 콘크리트의 배합설계를 시험배합을 통해 결정하였다.

2.3 시편의 준비

실험에서 사용되는 골재는 SSD(표면건조상태)를 만들기 위하여 하루 전에 골재를 채취하여 물을 적서 건조시킨 후 사용하였다. 혼합순서는 조골재, 세골재, 시멘트, 물(혼화제 포함)순으로 믹서기에 넣어 혼합하였다. 공시체의 제작은 진동다짐기를 이용하여 다짐한 후 윗면을 마무리하여 24시간 경과 후 탈형하였다. 양생을 위해 수조에 물을 채운 후 20±3℃ 수중양생 시켰다.

실린더는 150×300mm 원주형 시편이고, 보 시편은 150×150×500mm의 사각형 시편을 이용하였다. 강도시험으로서 압축강도, 휨강도, 할렬인장강

표 2. 조골재의 종류에 따른 콘크리트 배합설계(기준: 1m³)

조골재종류	공기량 (%)	수량 (kg)	시멘트량 (kg)	물-시멘트비 (%)	잔골재량 (kg)	조골재량(kg)		AE표준 감수제 (g)
						32mm	19mm	
화강암	4.5	144	340	42.3	682	660	532	510
석회암	5.0	144	315	45.7	822	1,073	-	788
사암	4.5	144	315	45.7	822	1,057	-	788

표 3. 세골재의 종류 및 시멘트량에 따른 콘크리트 배합설계(기준: 1m³)

배합 기호	잔골재 종류	공기량 (%)	수량 (kg)	시멘트량 (kg)	잔골재량 (kg)	조골재량 (kg)	AE표준 감수제(g)	고성능 감수제(g)
NS 330	자연사	4.4	132	322	731	1162	805	-
NS 370	"	3.5	135	375	694	1149	26	2,063
WS 330	세척사	4.5	135	329	752	1153	823	-
WS 370	"	4	135	375	736	1130	26	2,063
CS 330	부순모래	4.6	135	329	760	1115	988	-



도, 탄성계수를 측정하였다. 탄성계수는 컴프레시미터와 스트레인게이지를 모두 사용하여 평균값을 사용하였다. 각 재령별 및 종목별 시편은 3개를 만들어서 그 평균값을 사용하였다.

3. 실험 결과

먼저 그림 1~4는 조골재를 배합의 변수로서 사용한 3개의 콘크리트 배합에 대한 재령별 압축강도, 휨강도, 할렬인장강도 및 탄성계수의 결과이다. 그림 1~3의 그래프에서 표기된 데이터는 3개 시험값의 평균값이다. 그림 4의 탄성계수 결과는 컴프레시미터로 측정된 3개 평균값과 스트레인게이지로 측정된 3개 평균값의 평균을 나타낸다.

그림 1의 1일, 28일 재령에서는 화강암 배합에 대해서는 2배치가 사용되었음을 보여준다. 마찬가지로 14일 재령에서는 석회암 및 사암 배합에 대해 2배치가 사용되었다. 이는 일반적으로 예상되는 강도곡선의 경향에서 너무 벗어난 데이터에 대해 추가로 시험을 하였기 때문이다.

압축강도에 대한 전체적인 경향을 살펴보면 골재 배합별 차이보다는 재령별로 강도가 증가함을 보여준다. 14일 재령에서 석회암 및 사암에 대해 각각 2배치 중 저평가된 1개의 배치를 제하면 일반적인 강도성장곡선을 보여준다. 재령 28일 이후의 평균압축

강도가 300kgf/cm^2 이상이 됨을 알 수 있다.

그림 2에서는 휨강도의 재령별 변화를 보여준다. 14일 재령에서 석회암과 사암이 2번 배치가 되었다. 14, 28일에서는 석회암과 사암이 다소 저평가된 모습을 보여준다. 전체적으로는 압축강도와 마찬가지로 골재별 배합에 따른 특성보다는 재령별로 휨강도가 성장하는 모습이다.

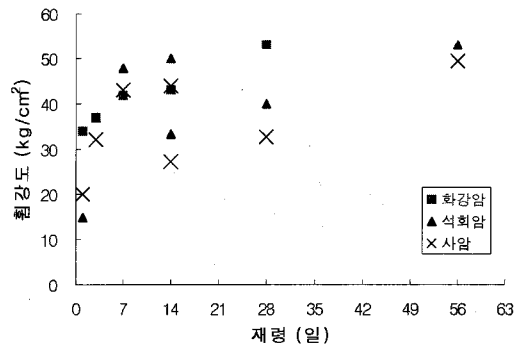


그림 2. 조골재를 변수로 배합한 콘크리트의 재령별 휨강도

그림 3에서는 할렬인장강도의 재령별 변화를 보여준다. 1일 재령에서 화강암 배합에 대해 2배치를 실험하였고 14일 재령에서는 석회암 및 사암에 대해 2배치 실험하였다. 28일 재령에서는 화강암에 대해 2배치를 수행하였다. 전체적으로는 압축강도나 휨강도 결과에 비해 분산되지 않은 것으로 나타났다. 또한 골재별 배합에 따른 특성보다는 재령별로 할렬인

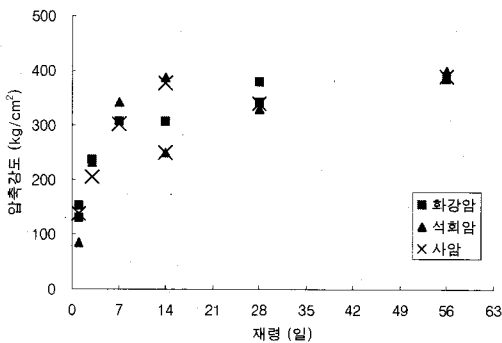


그림 1. 조골재를 변수로 배합한 콘크리트의 재령별 압축강도

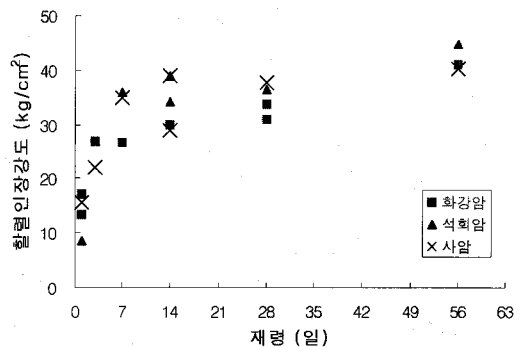


그림 3. 조골재를 변수로 배합한 콘크리트의 재령별 할렬인장강도



장강도가 성장하는 모습이다.

그림 4는 재령별 탄성계수의 변화를 보여준다. 이전 결과와 마찬가지로 골재별 배합에 따른 특성보다는 재령별로 성장하는 모습이다.

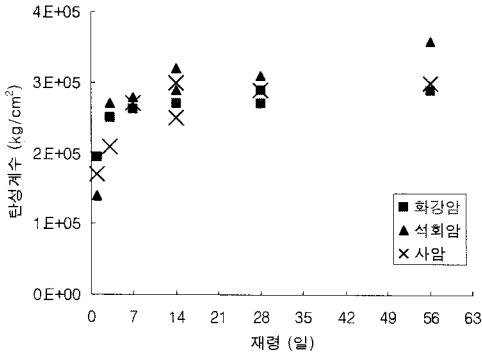


그림 4. 조골재를 변수로 배합한 콘크리트의 재령별 탄성계수

그림 5~8은 세골재 및 시멘트량을 배합의 변수로서 사용한 5개의 콘크리트 배합에 대한 재령별 압축강도, 휨강도, 할렬인장강도 및 탄성계수의 결과이다. 이전의 조골재를 배합의 변수로 한 실험결과에 비해 분산되지 않은 결과를 보여준다.

그림 5의 압축강도의 결과에서는 시멘트량이 약 10% 추가된 고성능 콘크리트 배합(370)의 압축강도가 일반 포장용 배합(330)보다 일정하게 증가됨을 보여준다. 그리고 앞의 조골재를 변수로 한 배합의 강도결과와 유사하게 세골재별로 강도차이가 크지

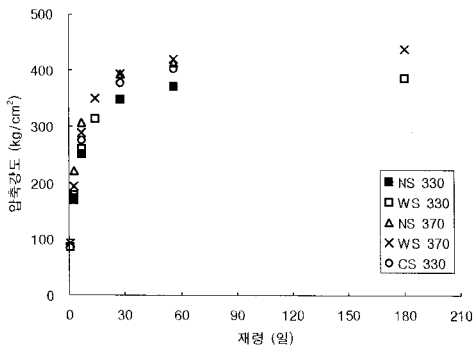


그림 5. 세골재 및 시멘트량을 변수로 배합한 콘크리트의 재령별 압축강도

않음을 보여준다.

그림 6은 세척사에 대한 시멘트량의 변화를 배합(WS 330과 WS 370)으로 한 휨강도 결과와 부순모래에 대한 배합(CS 330)의 휨강도 결과이다. 시멘트량이 약 10% 증가된 WS 370 배합의 휨강도 결과가 WS 330 배합의 결과보다 약간 증가함을 보여준다. 전체적인 경향으로서 재령별로 일정하게 증가함을 알 수 있다.

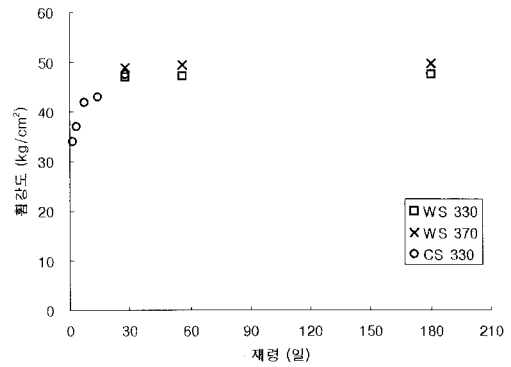


그림 6. 세골재 및 시멘트량을 변수로 배합한 콘크리트의 재령별 휨강도

그림 7은 세척사에 대한 시멘트량의 변화를 배합(WS 330과 WS 370)으로 한 할렬인장강도 결과이다. 시멘트량이 약 10% 증가된 WS 370 배합의 할렬인장강도 결과가 WS 330 배합의 결과에 비해 7일 이후부터 평균적으로 약 6.9% 증가함을 보여준다.

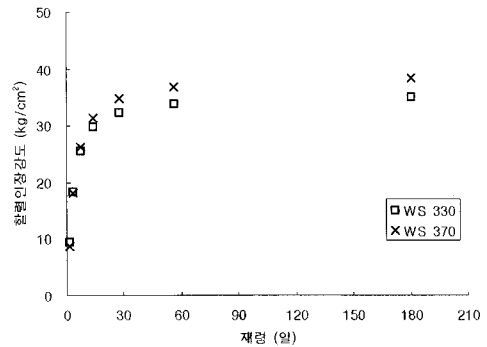


그림 7. 세골재 및 시멘트량을 변수로 배합한 콘크리트의 재령별 할렬인장강도



그림 8은 탄성계수의 결과이다. 자연사에 단위시멘트량이 330kg이 사용된 배합(NS 330)이 저평가된 것 이외에는 나머지는 골재별 특성에서는 차이가 작게 나타났으며 재령별로는 일반적인 성장곡선을 따르고 있다.

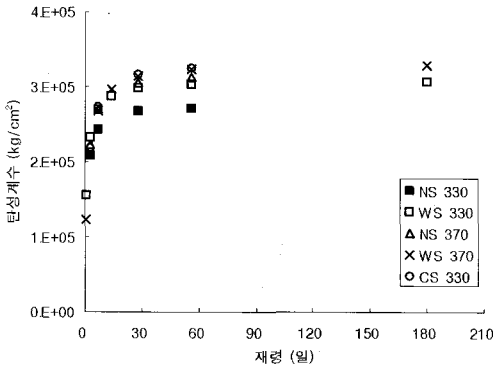


그림 8. 세골재 및 시멘트량을 변수로 배합한 콘크리트의 재령별 탄성계수

4. 상관 관계식

콘크리트 강도간의 상관관계식 및 탄성계수와 압축강도는 일반적으로 다음과 같은 식을 사용한다.

$$f_a = c \times f_b^n$$

여기서 f_a , f_b 는 상관관계를 갖고 있는 각각의 강도 또는 탄성계수이며, c 및 n 은 재료상수를 의미한다.

다음 표 4에는 기존의 연구자들이 제안한 상관관계식을 정리하였다. 먼저 휨강도와 압축강도는 ACI 318에 의해 $n=0.5$ 인 제공근의 공식이 상당히 오랫동안 사용되었다. 최근에는 미국 CTR의 Ramaiah 등은 제공근 대신 $n=2/3$ 를 사용할 것을 제안하였다.

두 번째로서 할렬인장강도와 휨강도의 상관관계식은 전통적으로 $n=0.5$ 의 사용식이 사용되었다. 그러나 최근에 여러 연구자들이 $n=0.5\sim 0.79$ 를 제안하

였다.

세 번째로서 탄성계수와 압축강도는 제공근을 사용하는 ACI 318의 제안식이 전세계적으로 사용되고 있는 일반적인 관례이다. 이는 통계에 사용된 실험데이터가 매우 많은 방대한 데이터를 토대로 작성하였고 그 상관관계도 높기 때문이다.

마지막으로 할렬인장강도와 휨강도는 AASHTO 93 포장설계법에서는 선형의 관계로서 할렬인장강도는 휨강도의 86%로 간주하고 있다. 최근 Ramaiah 등은 할렬인장강도를 휨강도의 67%를 사용할 것을 제안하고 있다.

표 4. 기존의 상관관계식

상관관계	제안자	관계식	
		c	n
휨강도와 압축강도	ACI 318	1.98	0.5
	Ramaiah	1.03	$\frac{2}{3}$
할렬인장강도와 압축강도	ACI 363R	1.88	0.5
	Tavakoli	1.60	0.5
	CEB	0.65	$\frac{2}{3}$
	Babu	0.40	0.7
	Choi	0.61	0.71
	Ramaiah	0.69	$\frac{2}{3}$
	Oluokun	-	0.79
탄성계수와 압축강도	ACI 318	15,104	0.5
할렬인장강도와 휨강도	AASHTO	0.86	1
	Ramaiah	0.67	1

앞의 실험결과를 바탕으로 그림 9~12에 휨강도-압축강도, 할렬인장강도-압축강도, 탄성계수-압축강도, 할렬인장강도-휨강도의 상관관계식을 만들었다. 그리고 위의 표 4에서 소개한 기존의 상관관계식과 비교하였다.

4.1 휨강도와 압축강도의 상관관계

조골재 배합 17개, 세골재 및 시멘트량 배합 9개로 총 데이터수 26개를 가지고 통계처리를 하여



그림 9에 도식화하였다. 최적화된 상관관계식은 $n=0.60$ 인 경우 $c=1.4022$ 이며 R^2 은 0.8643이다. $n=0.50$ 인 경우 $c=2.504$, R^2 은 0.8550이고 $n=2/3$ 을 사용한 경우에는 $c=0.9550$, R^2 은 0.8610이다. 한편 ACI식은 휨강도를 저평가하는 것으로 나타났고 ACI식 보다는 Ramaiah식이 본 결과와 유사함을 보인다.

본 연구에서는 $n=0.60$ 의 최적화된 식보다는 $n=0.5$ 를 사용할 것을 제안한다. 이는 $n=1/2 \sim 2/3$ 의 경우 상관관계의 차이가 그리 크지 않고 휨강도와 압축강도의 관계는 아직까지 제공근의 상관식이 가장 보편적으로 사용되기 때문이다.

$$f_r = 2.504 \times f_{ck}^{0.5}$$

여기서 f_r 은 휨강도, f_{ck} 는 압축강도를 나타낸다.

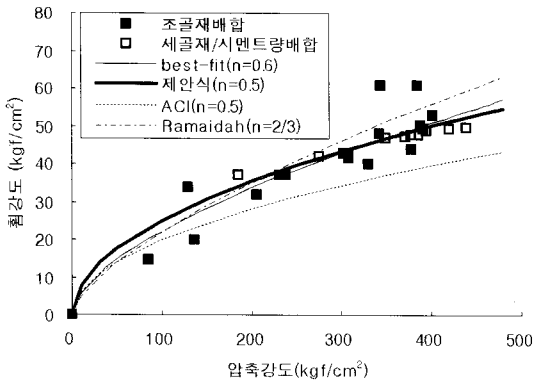


그림 9. 휨강도-압축강도 상관 그래프

4.2 활렬인장강도와 압축강도의 상관관계

조골재 배합 18개, 세골재 및 시멘트량 배합 14개로서 총 데이터수 32개를 가지고 통계처리를 하여 그림 10에 도식화하였다. 최적화된 상관관계식은 $n=0.87$ 인 경우 $c=0.2104$ 이며 R^2 은 0.9347이다. ACI 363R 등에서 사용한 $n=0.5$ 의 제공근의 상관식은 그림 10에서 보는 바와 같이 압축강도가 저강도인 경우에는 활렬인장강도가 고평가됨을 알

수 있다. 본 데이터를 가지고 $n=0.5$ 를 사용한 경우의 R^2 은 0.8421로서 최적화된 상관관계식과 차이가 남을 알 수 있다. CEB-FIP 공식은 압축강도가 고강도인 경우에 활렬인장강도가 저평가됨을 보인다. Choi의 식은 전체적으로 활렬인장강도가 고평가되고 있다.

본 연구에서는 활렬인장강도와 압축강도의 상관관계식으로서 보편적으로 사용되는 $n=0.5$ 보다는 $n=0.87$ 의 최적화된 상관관계식을 사용할 것을 제안한다. 이는 여러 연구자들이 지적한 사항으로서 활렬인장강도와 압축강도의 상관관계식이 제공근의 식과 잘 맞지 않음을 보여주고 있기 때문이다. 다음은 본 연구에서 제안한 활렬인장강도와 압축강도의 상관관계식이다.

$$f_{sp} = 0.2104 \times f_{ck}^{0.87}$$

여기서 f_{sp} 은 활렬인장강도, f_{ck} 는 압축강도를 나타낸다.

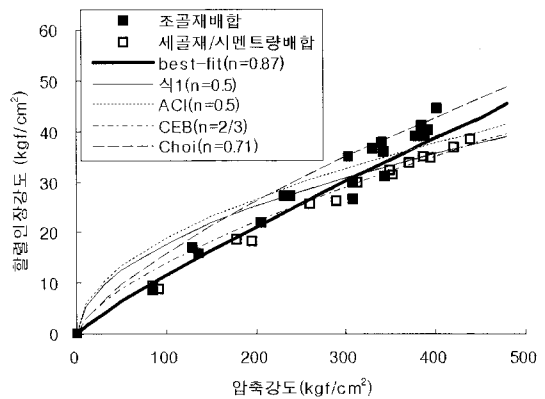


그림 10. 활렬인장강도-압축강도 상관 그래프

4.3 탄성계수와 압축강도의 상관관계

조골재 배합 18개, 세골재 및 시멘트량 배합 26개로서 총 데이터수 44개를 가지고 통계처리를 하여 그림 11에 도식화하였고 다음의 상관관계식을 도출하였다. R^2 은 0.949정도에 해당되어 상관관계가 상



당히 양호하며 ACI 318식($E=15,104 \times f_{ck}^{0.5}$)과 매우 유사함을 알 수 있다.

$$E = 15,707 \times f_{ck}^{0.5}$$

여기서 E 는 탄성계수, f_{ck} 는 압축강도를 나타낸다.

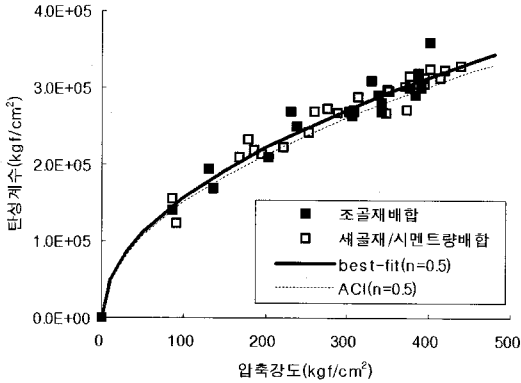


그림 11. 탄성계수-압축강도 상관 그래프

4.4 할렬인장강도와 휨강도의 상관관계

조골재 배합 17개, 세골재 및 시멘트량 배합 6개로 총 데이터수 23개를 가지고 통계처리를 하여 그림 12에 도식화하였다. AASHTO에서 제안한 식은 할렬인장강도가 고평가되고 있으며 Ramaiah가 제안한 식은 본 연구식에서 제안한 값보다 다소 저평가되

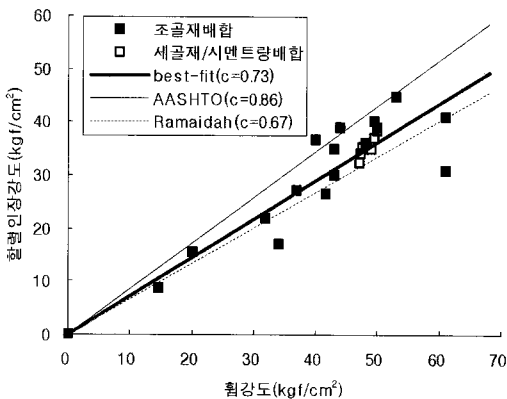


그림 12. 할렬인장강도-휨강도 상관 그래프

고 있다. 다음은 본 연구에서 제안한 할렬인장강도와 휨강도의 선형 상관관계식으로서 R^2 은 0.829정도에 해당된다.

$$f_{sp} = 0.727 \times f_r$$

여기서 f_{sp} 는 할렬인장강도, f_r 은 휨강도를 나타낸다.

5. 결론

본 연구에서는 한국형 포장설계법 과제에서 수행한 콘크리트 강도시험을 통해 강도간의 상관관계 모델을 제시하였다. 이러한 상관관계식을 활용하면 현장에서 손쉽게 측정된 압축강도나 할렬인장강도를 통해 휨강도나 탄성계수를 추정할 수 있어 향후 콘크리트 포장 유지관리시 해당 슬래브 및 해당노선의 포장상태 및 잔여수명을 과학적으로 예측하여 관리할 수 있다.

먼저 강도로서 재령별 압축강도, 휨강도, 할렬인장강도와 탄성계수를 측정하였다. 배합변수로서 화강암, 석회암, 사암을 조골재로 하는 배합과 자연사, 세척사, 부순모래를 변수로 하는 배합 및 단위시멘트량 (315-375kg)을 변수로 하는 배합을 포함하였다. 전체적으로 골재나 단위시멘트량에 따른 강도의 변화보다는 재령에 의해 전형적인 강도곡선을 따라 강도가 변화됨을 보여준다. 이러한 강도결과를 바탕으로 휨강도와 압축강도, 할렬인장강도와 압축강도, 탄성계수와 압축강도, 할렬인장강도와 휨강도의 상관관계를 분석한 결과 다음의 결론을 도출하였다.

1. 한국형 포장설계법 과제에서 수행한 콘크리트 강도시험을 통해 포장용 콘크리트의 강도 및 탄성계수간의 상관관계식을 제시하였다.
2. 압축강도→휨강도, 압축강도→탄성계수는 기존에 알려진 제공근의 관계식이 상관관계가 높게 나타났다.
3. 압축강도→할렬인장강도의 전환은 제공근의 관계



식을 사용하는 경우 압축강도가 작은 범위에서
 할렬인장강도가 고평가되고 있어 $n=0.87$ 의 관
 계식을 사용할 것을 제안한다.

4. 휨강도→할렬인장강도는 선형의 상관관계식으로
 제안하였다.

참고문헌

강승민, 안남식, 양성철(2003), "재령과 온도가 콘크리
 트의 조괘인장강도에 미치는 영향," 한국콘크리트학
 회 학술발표회, pp 745-750.

김연복 외(2006), "콘크리트 포장 설계법 개발," 건설교
 통부 연구보고서.

양성철, 안남식, 조윤호, 권수안, 강승민(2004), "한국형
 도로포장 설계법을 위한 포장의 재료물성 정량화에
 관한 연구," 대한토목학회 학술발표회, pp.1-10.

ACI Committee 318(1999), "Building Code
 Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-
 99)," *American Concrete Institute*.

ACI Committee 363(1997), "State-of-the-Art
 Report High Strength Concrete (ACI 318R-92)
 (Reapproved 1997)," *American Concrete
 Institute*.

AASHTO Guide for Design of Pavement
 Structures(2001), *AASHTO*, Washington D.C.

Committee Euro-International du Beton(CEB-
 FIP)(1993), *CEB-FIP Model Code 1990*,
 thomas Telford, London.

D. S. Babu, K.G. Babu, and T.H.Weaa(2005),
 " Properties of Lightweight Expanded
 Polystyrene Aggregate Concretes Containing Fly

Ash," *Cement and Concrete Research*, Vol.35,
 Issue.3, pp.1218-1223.

Y. Choi and R.L. Yuan(2005), "Experimental
 Relationship between Splitting Tensile Strength
 and Compressive Strength of GFRC and
 PFRC," *Cement and Concrete Research*, Vol.35,
 Issue.3, pp.1587-1591.

N. Ahn and S. Yang(2003), "An Experimental
 Study of the Effect of Temperature and Age on
 the Properties of Concrete," *Proceedings of the
 Eastern Asia Society for Transportation
 Studies*, Vol. 4, 2003, pp.408-416.

F.A. Oulokun, E.G. Burdette, and J.H.
 Deatherages(1991), "Splitting Tensile Strength
 and Compressive Strength Relationships at
 Early Ages," *ACI Materials Journal*, Vol.88,
 No.2, pp.115-121.

S.V. Ramaiah, B.F. McCullough, T.
 Dossey(2003), "Estimating In Situ Strength of
 Concrete Pavements under Various Conditions,"
 FHWA/TX-04/0-1700-1 Report, Center for
 Transportation Research, *The University of
 Texas at Austin*.

M. Tavakoli and P. Soroushian(1996), "Strengths
 of Recycled Aggregate Concrete Made Using
 Field-Demolished Concrete as Aggregate," *ACI
 Materials*, pp178-189.

접 수 일: 2007. 10. 17

심 사 일: 2007. 10. 29

심사완료일: 2007. 11. 27