

측정방법에 따른 속경성 건식 슛크리트 압축강도의 상관관계

윤경구^{1*}, 최성용¹, 김진웅², 길용수³
¹강원대학교 토목공학과, ²한국도로공사, ³삼우아이엠씨

Compressive Strength Correlation of Very-Early-Strength Dry-Mix Shotcrete on Test Method

Kyong-Ku Yun^{1*}, Sung-Yong Choi¹, Jin-Woung Kim² and Yong-Su Kil³

¹Department of Civil Engineering, KangwonNationalUniversity

²Korea Expressway Co.

³SAMWOOIMC

요 약 슛크리트 공법은 공기압으로 콘크리트를 대상 면에 뿜어 붙이는 방법으로, 주로 터널 및 지하구조물의 1차 지보재, 경사면 보호에 사용되며, 최근에는 구조물 유지보수 등에도 적용되고 있다. 특히, 건식방법(Dry-Mix Process)은 습식방법(Wet-Mix Process)에 비해 소형장비가 요구되고 청소 및 유지관리가 용이하고 속경성 재료의 사용이 가능함으로 건식방법이 구조물 보수에 경제적이며 적합하다. 건식 슛크리트의 품질관리는 주로 코아시편을 이용한 압축강도로 규정되어있으나, 이 방법은 코아 시편을 얻는데 많은 어려움을 내포하고 있으며, 특히 속경성 보수재료의 조기강도 평가는 그 어려움을 더 크다. 따라서, 본 연구에서는 속경성 시멘트를 이용하여 초속경 건식 슛크리트의 조기강도를 평가하기 위해 정방형 시험편 압축강도시험, 코아 압축강도시험, 인발시험, 성숙도시험을 실시하여 이들의 상관성을 분석하였다. 코아 압축강도, 정방형 시험편 압축강도, 인발시험으로부터 추정된 압축강도 실험결과를 상관성 분석한 결과 모두 90%이상의 높은 상관성이 나타났다.

Abstract Shotcrete was a mortar or concrete that is pneumatically projected at high velocity onto a subject. It has been applied for tunneling, underground big-spaces, slope stabilization. Shotcrete is increasing use in structure repair. The dry-mix shotcrete require a smaller equipment, easy maintenance, possible of very-early-strength materials than wet-mix shotcrete, which make this process attractive and economic for structural repairs. It is common practice core compressive strength to the dry-mix shotcrete quality control. This test is very difficult estimating eraly-strength of Very-Early-Strength Dry-Mix Shotcrete. The purpose of this research was to analyze the correlation of test results among cube test, core test, pullout test and maturity. The correlationship analysis of test results among cube test, core test, pullout test and maturity showed more than 90%.

Key Words : Dry-Mix Shotcrete, Strength Correlation, Very-Early-Strength, Pullout Test, Maturity

1. 서론

최근 콘크리트 구조물의 보수공법은 시멘트계 보수재료를 사용한 공법이 개발 및 적용되고 있으나, 장비대화화 보수공정 복잡 및 많은 인력을 필요하게 되며, 특히 보수대상 구간이 협소하거나 접근성 및 보수 시공이 어려운 경우 등 문제점이 발생하여 새로운 공법개발에 대

한 연구가 필요하다[1]. 슛크리트 공법은 빠른시간내에 구조재로서의 역할을 할 수 있고 거푸집을 사용하지 않고 극히 얇은 것로부터 상당히 두꺼운 것에 이르기까지 자유로이 시공할 수 있어 국내에서는 주로 터널 및 지하구조물의 1차지보재, 사면 보호에 적용되고 있으며, 국외에서는 구조물의 유지보수 및 신설공사에도 슛크리트 공법을 확대적용하고 있다. 특히, 건식방법(Dry-Mix Process)

*교신저자 : 윤경구(kkyun@kangwo.ac.kr)

접수일 10년 07월 21일

수정일 (1차 10년 09월 06일, 2차 10년 10월 04일)

게재확정일 10년 10월 15일

은 습식방법(Wet-Mix Process)에 비해 장비가 소형이고, 비연속적 작업에 용이하며, 청소 및 유지관리가 용이하고 속경성 재료의 사용이 가능함으로 기존 보수공법의 문제점을 보완하기에 적합한 방법으로 국내·외 적으로 연구가 진행중에 있다[1,5,11,12].

스�크리트의 품질관리의 대표 시험은 슛크리트의 압축강도 측정이 가장 기본적이며 일반적으로 수행되는 항목이다. 대부분의 나라에서는 콘크리트 구조물의 강도를 평가하는 방법으로 원형공시체에 의한 시험법을 사용하고 있다. 고압으로 콘크리트 재료를 분사하는 슛크리트는 압축강도용 원형물체에 분사하여 시편제작이 곤란하여 대부분 사각 패널 몰드에 분사 후 코아시편을 이용하여 압축강도를 측정하는 방법을 사용 및 규정하고 있다 [3,8,9,13]. 그러나, 코아시편을 이용한 슛크리트 강도를 측정하는데 많은 어려움이 있으면서도 슛크리트 코아를 회수하기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하며 특히 조기강도 측정은 그 어려움이 더욱 크다. 따라서 현장에서 슛크리트 강도를 신속하고 효율적으로 평가하기 위한 간접적인 시험방법들이 요구되고 있다.

스�크리트의 강도를 추정하기 위한 대표적인 비파괴 시험방법으로는 반발경도법, 초음파 법, pin 관입시험, 화약의 폭발력을 이용하는 pin 관입시험 등이 있으나, 시험과정이 어렵거나 측정 가능한 강도 범위가 낮고 시험결과 신뢰성이 떨어지는 등 많은 문제점을 가지고 있다 [3,10]. 이 가운데 화약의 폭발력을 이용하는 pin 관입시험은 시험이 단순하며 낮은 강도에서 고강도까지 슛크리트 강도를 추정할 수 있는 장점을 가지고 있지만 화약을 사용하기 때문에 pin 관입시험을 수행하기 위해서는 총포화약류 면허 등이 필요하며, 사용상 위험한 상황이 발생할 수 있다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하고자 일본에서 화약의 폭발력 대신 고압의 압축공기를 사용하는 공기압식 pin 관입시험 방법(Pneumatic Pin Penetration Test)을 제안하여 현재 일본도로공단(Japan Highway Public Corporation)의 슛크리트 강도시험 방법으로 규정되어 있지만, 이 또한 안전하기는 하나 최대 30 MPa 범위의 강도밖에 측정할 수 없는 문제점이 있어 다른 측정방법에 대한 연구가 필요한 실정이다[3,10,13].

따라서, 본 연구에서는 속경성 시멘트를 이용하여 속경성 건식 슛크리트 보수재료의 조기 및 장기강도를 현장에서 안전하고, 쉽게 평가하기 위해 정방형 시험편 압축강도시험, 코아 압축강도시험, 인발시험, 성속도시험을 실시하여 이들의 상관성을 분석하였다. 이를 바탕으로 속경성 건식 슛크리트의 간편한 현장 품질관리를 위해 규정된 코아 압축강도시험을 대체할 수 있는 간접시험에 대한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획

2.1.1 실험변수 설정

본 연구에서는 현장에서 속경성 슛크리트 조기강도를 신속하고 효율적으로 평가하기 위한 기초 연구로 강도 측정방법을 변수로 하였다. 측정방법은 코아압축강도 측정방법 보다 시료 간편히 절단하여 실시할 수 있는 정방형압축강도 시험법, 미리 삽입볼트(Pullbolt)가 설치된 거푸집에 타설 후 간편히 인발에 의한 압축강도 시험법 및 수화온도와 시간에 의해 강도추정이 가능한 성속도시험법을 실시하였다. 각 측정시험은 재령 4시간, 12시간, 1일, 3일, 7일 및 28일에 대해 실시하였으며, 압축강도 기준은 실제 구조체와 유사할 것으로 판단되는 코아채취에 의한 시험방법의 강도 값을 기준으로 선정하여 상관성을 분석하였다. 측정방법은 표 1과 같다.

[표 1] 슛크리트 강도 측정방법

분 류	실험 방법
직접 강도시험	정방형단면에 의한 실험
	코아채취에 의한 실험
간접 강도시험	인발에 의한 실험
	성속도 실험

2.1.2 배합설계특성 및 사용재료

본 연구에 사용된 배합은 기존 연구에서 사용된 배합 [1]을 기초로 하였으며, 재료는 프리믹스(Premixed)형태로 건식재료 및 분말형태 혼화재료로 배합된다. 사용된 배합비는 단위결합재량 450kg/m³, 잔골재를 85%, 실리카흙 혼입을 단위결합재에 7% 치환, 분말형 폴리머는 단위결합재에 6%를 혼입하였다. 배합표는 표 2와 같다.

[표 2] 초속경 건식 슛크리트 배합표

(단위 : kg/m³)

S/a (%)	C	S1	S2	S3	G (10mm)	Silica Fume 7%	Polym er 6%	Fiber 0.2%	증점제 0.3%	AE제 0.5%
85	418.5	332	392	503	230	31.5	27.0	0.9	1.35	2.25

사용재료로 시멘트는 국내 S사에서 생산되는 초속경 시멘트를 사용하였고, 굵은 골재는 최대치수 10mm인 세척 세석을 이용하였고, 잔골재는 3호사, 5호사, 6호사 입도의 규사를 사용하였다. 본 연구에 사용된 혼화재료

(Admixture)는 혼화제인 실리카 흙, 분말형 폴리머, 혼화제인 분말형 증점제, AE제 그리고 보강섬유는 나이론 섬유를 사용하였다.

2.1.3 건식 슛크리트 장비

실험에 사용한 건식 슛크리트 장비는 'Allentown' 제품을 사용했다. 이제품의 명칭은 'Meyco Piccola rotaty gun'이다. Piccola는 스위스에서 디자인되어 제작되었고, 내화물이나 구조물보수에 적용하는 건식방법의 슛크리트를 위해 추천되는 장비이다. 용도가 다양하고 튼튼한 Piccola 장비는 정비할 필요가 거의 없으며, 작동도 간편하여 적용시 편리하게 사용할 수 있다. 그림 1은 Piccola 장비의 전경이다.

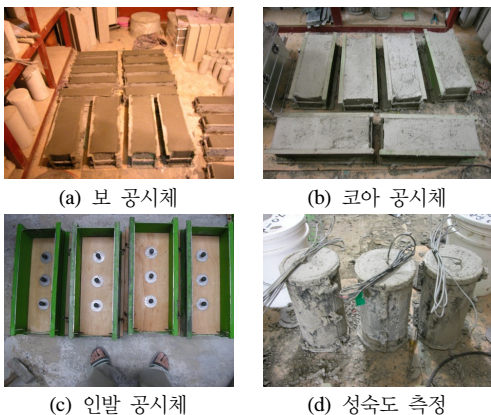


[그림 1] Meyco Piccola 장비

2.2 시편제작 및 실험방법

2.2.1 변수별 시편제작

표 2에 제시된 실험변수에 의해 각각의 공시체가 제작되었으며, 제작된 시편은 즉시 양생실로 이동시켜 대기온도와 습도의 영향이 최소화 되도록 하였다. 그림 2는 실험에 따른 공시체의 모습을 나타낸 것이다.



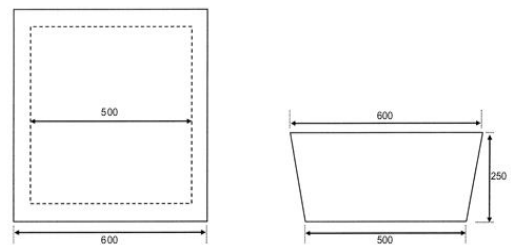
[그림 2] 실험에 따른 공시체 모습

2.2.2 실험방법

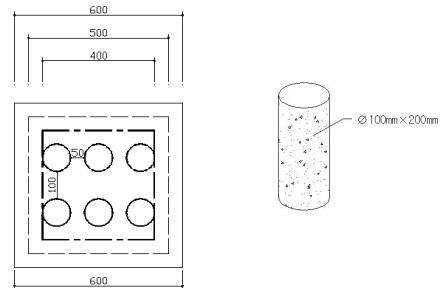
1) 코아압축강도 시편에 대한 실험방법

강도특성을 분석하기 위한 코아압축강도 실험은 초속경 시멘트의 강도특성상 재령 4시간 강도가 일반 포틀랜드시멘트의 7일에 해당하는 강도 값이므로 재령 4시간, 12시간, 1일, 3일, 7일 그리고 28일에 실험을 실시하였다 [5].

실험은 밑면 500×500mm, 윗면600×600mm 높이 250mm의 패널을 제작하고, 슛크리트 타설 후 $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 의 원주형 공시체 시편 6개를 코아 채취하여 KS F 2405의 제 규정에 따라 압축강도를 측정하였다[5]. 그림 3은 코아시편모드 계획도이다.



(a) 제작 몰드의 계획도



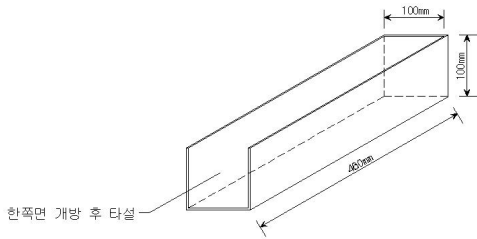
(b) 코아채취 위치

(c) 코아 시편

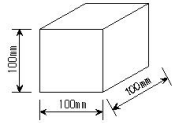
[그림 3] 코아시편모드 계획도

2) 정방형압축강도 시편에 대한 실험방법

코아압축강도와 동일한 재령에 실험을 실시하였다. 실험은 100×100×460mm의 빔 몰드를 제작하여 KCI-SC101 (스�크리트의 압축강도 시험용 공시체 제작 방법)의 정육방 단면의 압축강도 측정을 기준으로 하여 한 변이 100mm이상의 정육방 단면의 각주로 시편을 절단하여 KS F 2405의 제 규정에 따라 압축강도를 측정하였다 [5,8,9]. 그림 4는 정방형시편모드 계획도이다.



(a) 제작 몰드의 계획도



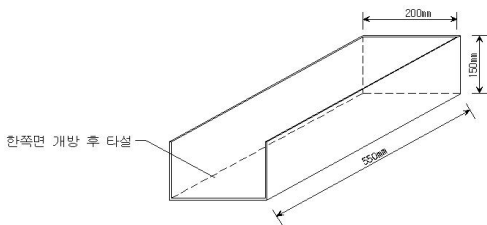
(b) 절단한 공시체

[그림 4] 정방형시험몰드 계획도

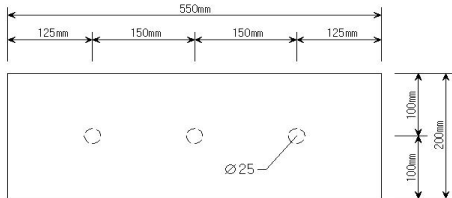
3) 인발에 의한 압축강도 실험 방법

제작된 시험체는 코아압축강도와 동일한 재령에 ASTM C 900에 근거하여 인발시험을 실시하였으며, 시험장비는 Germann Instrument에서 제작된 것을 사용하였다[2,7]. 그림 5는 인발시험몰드 계획도이고, 그림 6은 장비의 전경이다.

시험은 Pullbolt를 Disc에 시계반대방향으로 돌려 조여 최대하중을 얻을 때까지 0.1 kN/sec의 스피드로 손잡이를 시계방향으로 회전시켜 하중을 재하 하였다. 시험 후에는 인발력(kN)의 최대값이 게이지에 "H"로 나타난다. 공급된 교정표의 방법에 의해 최대 인발력과 관계된 압축강도의 값을 역산하여 추정하였다.



(a) 제작 몰드의 계획도



(b) 인발시험의 위치

[그림 5] 인발시험몰드 계획도



(a) 인발 장비

(b) 실험 모습

[그림 6] 인발시험 장비

4) 속속도실험방법

시험편의 중심에 i-button을 매립하여 5분 간격으로 수화열을 측정하였으며 3개의 시험편에서 수화열을 측정하여 이를 평균 내어 사용하였다. 이를 분석하기 위한 방법으로 ASTM C 1704에서는 속속도 계산을 위해 두 개의 방정식을 사용하는데 Nurse-Saul에 의해 제안된 식이 콘크리트의 강도를 양생온도와 시간과의 함수로 나타내기 때문에 Nurse-Saul에 의해 제안된 식을 사용하였고, 식(1)과 같다[4-6].

$$M(t) = \sum (T_a - T_o) \Delta t \quad (1)$$

여기서, $M(t) = t$ 시간에서의 시간-온도 계수

Δt = 시간간격, 일 또는 시간

T_a = 시간간격동안의 평균 콘크리트 온도, $^{\circ}\text{C}$

T_o = 기저온도, $^{\circ}\text{C}$

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험결과

3.1.1 코아 압축강도

초속경 시멘트의 강도특성상 재령 4시간 강도가 일반 포틀랜드시멘트의 7일에 해당하는 강도 값이므로 재령 4시간, 12시간, 1일, 3일, 7일 그리고 28일에 실험을 실시하였고, 각각의 재령에 대해 3개씩 강도를 측정하여 평균 값을 사용하였다. 표 3은 KS F 2405의 제 규정에 따라 압축강도를 측정된 결과를 나타낸 것이고, 그림 6은 각 재령의 평균값을 적용해 그래프로 나타낸 것으로 초기 4시간의 강도가 20.1MPa로 높은 강도를 나타내었고, 28일 강도는 35.8MPa로 측정되어 긴급 보수재료로 적당한 강도가 발현되었다.

3.1.2 정방형 시험편 압축강도

정방형 시험편에 대한 압축강도 실험은 코아 압축강도

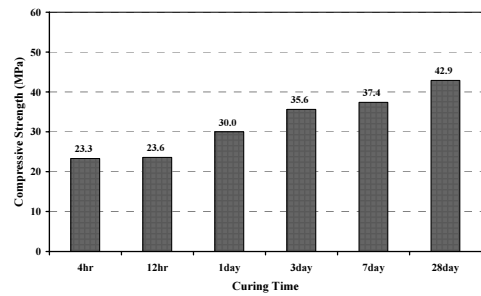
실험과 동일한 재령에 실험을 실시하였고, 각각의 재령에 대해서도 코아 압축강도 실험과 동일하게 3개씩 강도를 측정하여 평균값을 사용하였다. 표 4는 KS F 2405의 제 규정에 따라 압축강도를 측정된 결과를 나타낸 것이고, 그림 7은 각 재령의 평균값을 적용해 그래프로 나타낸 것으로 초기 4시간의 강도가 23.3MPa, 28일 강도 42.9MPa 이 측정되었다.

3.1.3 인발시험(Pull-out Test)

코아 압축강도 실험과 동일한 재령에 실험을 실시하였고, 각각의 재령에 대해서도 코아 압축강도 실험과 동일하게 3개씩 강도를 측정하여 평균값을 사용하였다. 시험 장비 제조회사에서 주어진 교정표에 의해 인발하중을 압축강도로 역산하여 적용하였다. 표 5는 인발시험과 공급된 교정표에 의해 변환된 압축강도 결과를 나타낸 것이고, 그림 8은 각 재령의 평균값을 적용해 그래프로 나타낸 것으로 4시간의 강도 17.3MPa, 28일 강도 33.6MPa로 나타났다. 실험 결과는 모든 재령에서 코아나 정방향의 압축강도보다 낮은 강도값을 나타내었다. 이는 제공된 교정표가 숏크리트가 아닌 콘크리트의 측정값을 기준으로 하였고, 또한 초속경 시멘트가 아닌 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 것에 기인된 것으로 판단된다.

[표 4] 정방향 시험편 압축강도 실험 결과

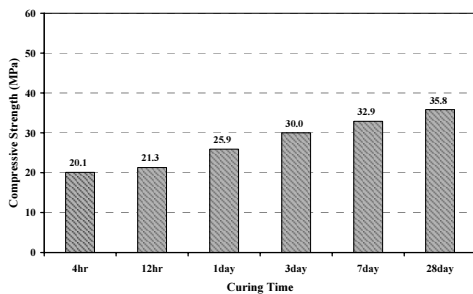
시험조건		1	2	3	평균
4시간	하 중 (kN)	231.0	231.0	236.0	232.7
	강 도 (MPa)	23.1	23.1	23.6	23.3
12시간	하 중 (kN)	233.0	237.0	238.0	236.0
	강 도 (MPa)	23.3	23.7	23.8	23.6
1일	하 중 (kN)	284.0	295.0	320.0	300.0
	강 도 (MPa)	28.4	29.5	32.0	30.0
3일	하 중 (kN)	335.0	349.0	383.0	355.7
	강 도 (MPa)	33.5	34.9	38.3	35.6
7일	하 중 (kN)	347.0	358.0	416.0	373.7
	강 도 (MPa)	34.7	35.8	41.6	37.4
28일	하 중 (kN)	426.0	427.0	433.0	428.7
	강 도 (MPa)	42.6	42.7	43.3	42.9



[그림 7] 정방향 시험편 압축강도 실험 결과

[표 3] 코아 압축강도 실험 결과

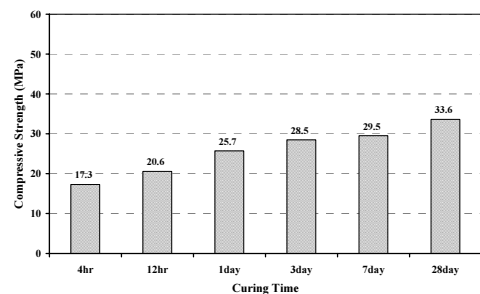
시험조건		1	2	3	평균
4시간	하 중 (kN)	155.4	158.6	159.4	157.8
	강 도 (MPa)	19.8	20.2	20.3	20.1
12시간	하 중 (kN)	166.4	167.2	168.0	167.2
	강 도 (MPa)	21.2	21.3	21.4	21.3
1일	하 중 (kN)	198.6	200.2	210.4	203.1
	강 도 (MPa)	25.3	25.5	26.8	25.9
3일	하 중 (kN)	221.4	231.6	254.3	235.8
	강 도 (MPa)	28.2	29.5	32.4	30.0
7일	하 중 (kN)	255.1	258.3	260.6	258.0
	강 도 (MPa)	32.5	32.9	33.2	32.9
28일	하 중 (kN)	280.3	280.3	283.4	281.3
	강 도 (MPa)	35.7	35.7	36.1	35.8



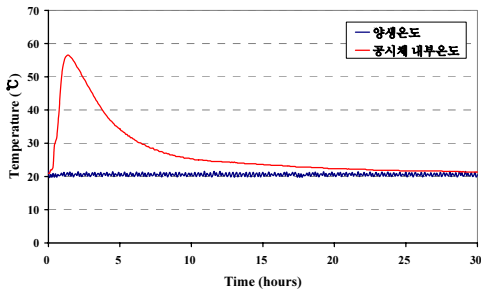
[그림 6] 코아 압축강도 실험 결과

[표 5] 인발강도 실험 결과

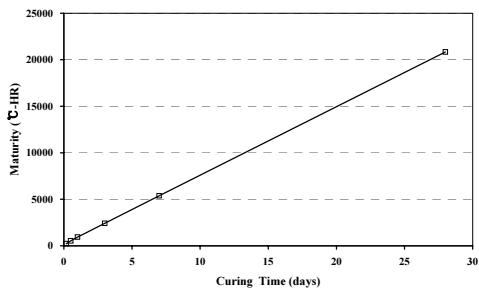
시험조건		1	2	3	평균
4시간	하 중 (kN)	14.3	14.4	14.7	14.5
	강 도 (MPa)	17.1	17.2	17.6	17.3
12시간	하 중 (kN)	16.5	16.9	17.1	16.8
	강 도 (MPa)	20.2	20.7	21.0	20.6
1일	하 중 (kN)	19.9	20.5	20.9	20.4
	강 도 (MPa)	25.0	25.8	26.4	25.7
3일	하 중 (kN)	20.3	21.9	24.7	22.3
	강 도 (MPa)	25.5	27.9	32.0	28.5
7일	하 중 (kN)	22.7	22.9	23.5	23.0
	강 도 (MPa)	29.0	29.3	30.2	29.5
28일	하 중 (kN)	23.7	24.9	29.3	26.0
	강 도 (MPa)	30.5	32.3	38.1	33.6



[그림 8] 인발강도 실험 결과



[그림 9] 양생온도와 공시체 내부 온도



[그림 10] 재령에 따른 성숙도

[표 6] 성숙도시험 결과

재령	환산시간 (hr)	T_0 (°C)	온도	성숙도 (°C·HR)	평균 성숙도 (°C·HR)
4시간	4	-10	38.0	219.3	222
			39.0	224.6	
			39.0	221.3	
12시간	12	-10	24.5	526.8	530
			25.0	535.8	
			24.0	527.1	
1일	24	-10	22.0	922.3	925
			22.0	934.1	
			21.5	918.3	
3일	72	-10	21.0	2,415.0	2,417
			21.0	2,443.3	
			20.5	2,392.0	
7일	168	-10	20.5	5,390.5	5,377
			21.0	5,419.3	
			20.5	5,320.0	
28일	672	-10	20.5	20,762.5	20,833
			21.0	21,043.3	
			20.5	20,692.0	

3.1.4 성숙도(Maturity)

성숙도의 산정을 위해 공시체의 내부에 삽입하였던 I-button에 의해 수집된 온도결과를 사용하였다. 정밀도를 높이고자 최소 1일까지는 5분 간격으로 이를 계산하

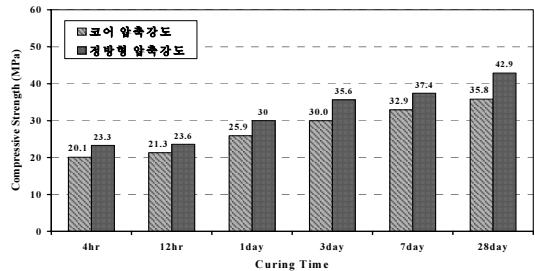
였고, 이후로는 온도의 변화가 일정하였기 때문에 30분 간격으로 이를 계산하였다. 온도 측정결과는 그림 9와 같이 나타났다. 약 30분 뒤부터 온도가 상승하기 시작하여 1시간 30분에 최고 온도를 나타내었다.

성숙도의 산정에 사용된 식은 Nurse-Saul에 의하여 제안된 (1)식을 사용하였으며 강도 발현의 기저온도는 -10°C 라고 가정하였다. 각 재령별 공시체의 성숙도는 표 6과 같다.

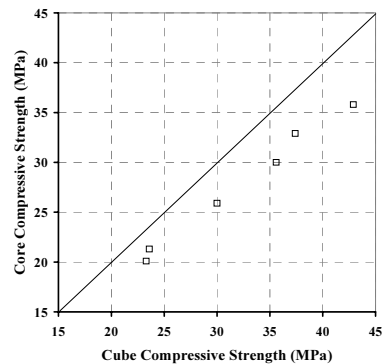
3.2 실험결과 비교분석

3.2.1 코아와 정방형 시험편 압축강도 비교

그림 11를 보면, 코아 압축강도와 정방형 시험편 압축강도가 강도 값이 다소 차이는 있지만 비슷한 경향을 보이며, 28일 압축강도가 코아 압축강도에 비해 정방형 시험편 압축강도가 16%정도 과대평가되는 것으로 나타났다. 또한 그림 12의 그래프를 보면, 모든 재령에서 정방형 시험편 압축강도가 더 높은 값을 나타내는 것으로 나타났다.



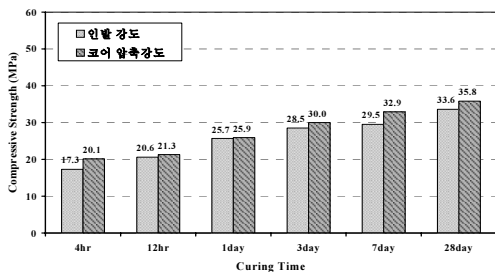
[그림 11] 코아압축강도와 정방형압축강도 비교



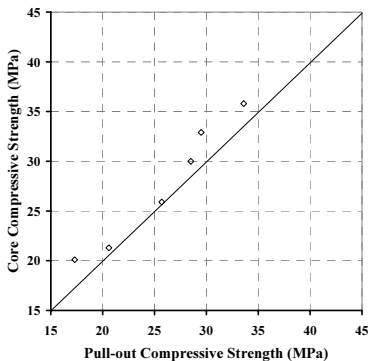
[그림 12] 각 재령에 따른 코아압축강도와 정방형압축강도 관계

3.2.2 코아시편과 인발시험의 압축강도 비교

그림 13의 그래프를 보면, 코아 압축강도와 인발시험으로부터 추정된 압축강도가 거의 비슷한 경향을 보이며 증가하지만, 28일 압축강도가 코아 압축강도에 비해 인발시험으로부터 추정된 압축강도가 6%정도 과소평가되는 것으로 나타났다. 또한 그림 14의 그래프를 보면, 4시간 강도에서는 다소 상이한 값을 나타내었다가 12시간부터 1일까지는 근사치를 나타내었고 그 이후에는 코아 압축강도가 인발시험으로부터 추정된 압축강도에 비해 더 높은 값을 나타내었다.



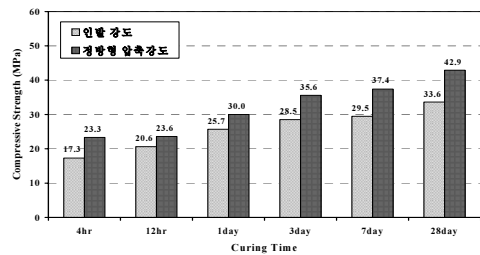
[그림 13] 인발강도와 코아압축강도 비교



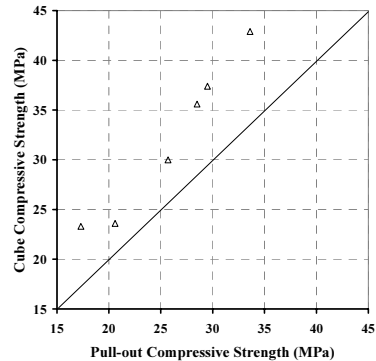
[그림 14] 각 재령에 따른 인발강도와 코아압축강도 관계

3.2.3 정방형시편과 인발시험의 압축강도 비교

그림 15의 그래프를 보면, 정방형 시편편 압축강도와 인발시험으로부터 추정된 압축강도가 비슷한 경향을 보이며 증가하지만, 28일 압축강도가 정방형 시편편 압축강도에 비해 인발시험으로부터 추정된 압축강도가 22% 정도 과소평가되는 것을 나타냈다. 또한 그림 16의 그래프를 보면, 재령이 증가하여 강도가 증가할수록 결과 값의 차이가 더 증가하는 것으로 나타났다.



[그림 15] 인발강도와 정방형압축강도 비교



[그림 16] 각 재령에 따른 인발강도와 정방형압축강도 관계

3.3 회귀분석에 의한 추정식 비교

표 7은 코아 압축강도를 기준으로 인발 압축강도, 정방형 압축강도, 성숙도를 회귀분석한 강도 추정식이다. 실험 결과와 같이 상관관계가 정방형압축강도 > 성숙도 > 인발압축강도 순으로 높은 것으로 나타났으며, 세 측정 방법 모두 R²값이 0.90이상의 상관성을 나타내고 있다.

[표 7] 압축강도 추정식

Type	강도 추정식(MPa)	결정계수 (R ²)
인발 압축강도	$f_{core} = 24.058\text{Ln}(P) - 49.979$	0.91
정방형 압축강도	$f_{core} = 24.620\text{Ln}(C) - 57.078$	0.97
성숙도	$f_{core} = 4.3119\text{Ln}(M) - 4.0494$	0.94

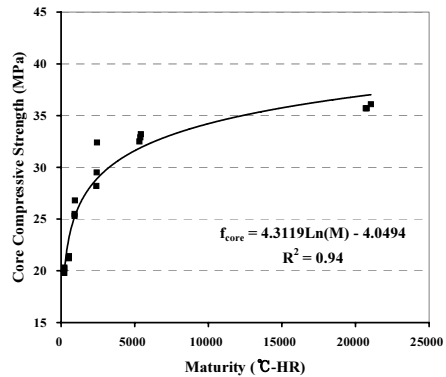
P = Pull-out, C = Cube, M = Maturity

3.4 인발(Pull-out)시험의 기존제안식과의 비교분석

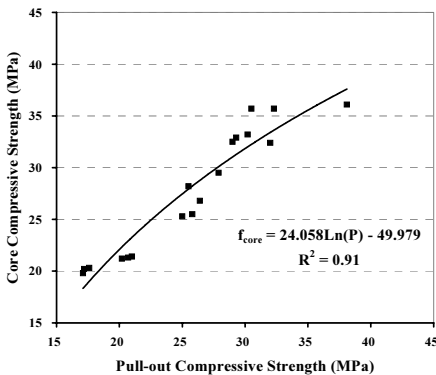
그림 20은 기존의 20개 정도되는 제안식들을 그래프로 나타낸 것이다. 20번의 추세선이이 본 연구의 실험결

과이다.

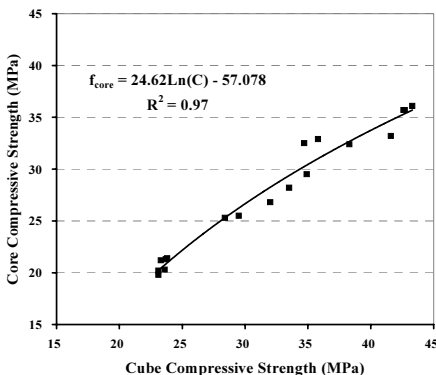
기존의 제안식들은 원형공시체에 의한 콘크리트 압축 강도의 결과를 가지고 분석하였지만, 본 연구에서는 재료 분리로 인해 원형공시체에 바로 제작할 수 없는 숏크리트의 특성상 코아채취에 의한 압축강도를 기준으로 기존의 제안식들과 비교하였다. 그래프를 보면, 같은 인발하중 기준에서 기존 제안식 보다 본 연구의 제안식에 의한 원형 압축강도 값이 크게 나타났고, 그 값은 인발하중이 커질수록 원형 압축강도가 크게 나타났다. 이는 앞서 기술한바와 같이 일반콘크리트 타설이 아닌 숏크리트 타설이라는 점과 초속경시멘트의 사용에서 기인된 것으로 추정되며, 본 연구 배합설계에서 사용된 여러 가지 혼화재료의 사용 또한 영향을 미쳤으리라 판단된다. 최근 들어 콘크리트의 성능을 향상시키기 위해 여러 가지 혼화재료가 사용되어지고 있는데 이러한 특성들을 고려한 제안식들이 향후 더 많이 연구되어야 할 것이다.



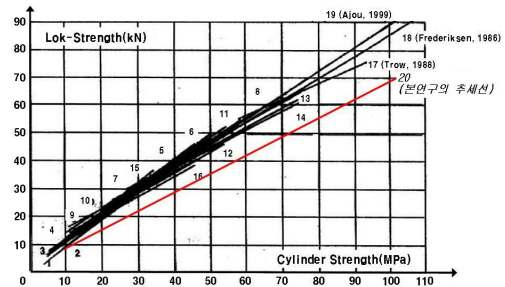
[그림 19] 성숙도-코아압축강도 상관식



[그림 17] 인발-코아압축강도 상관식



[그림 18] 정방형-코아압축강도 상관식



[그림 20] 인발시험(Pull-out Test)의 기존제안식과의 비교

4. 결론

본 연구에서는 속경성 건식 숏크리트의 품질관리 측면에서 문제시 되고 있는 현장 압축강도 시험방법에 대해서 코아채취에 의한 압축강도시험을 대체할 수 있는 대안 자료제시으로써 현장에서 간단히 강도를 측정할 수 있는 직·간접적인 시험방법 중 기준 시험방법 코아채취에 의한 시험과 정방향 시험편에 의한 시험, 인발에 의한 시험, 성숙도에 의한 실험을 선택하여 시험을 실시하였고, 이들의 상관성을 코아채취 시험방법을 기준으로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 코아 압축강도, 정방향 시험편 압축강도 및 인발시험으로부터 추정된 압축강도를 서로 비교하였을 때, 증가추세가 동일한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 또한 코아 압축강도 대비 정방향 시험편 압축강도가 16%정도 과대평가되고 인발에 의한 압축강도가 6%정도 과소평가 되는 것으로 나타났으며, 정방향 시험편 압축강도에 비해 인발에 의한 압축강도가 22%정도 과소평가되는 것으로 나타났다.

- 2) 상관성 분석결과 정방형압축강도(0.97) > 성숙도(0.94) > 인발압축강도(0.91) 순으로 상관성을 나타냈고, 모두 시험방법에서 0.90이상의 높은 상관관계를 나타내고 있다. 이는 세 시험방법 모두 본 연구 배합조건에서 코아 압축강도 시험을 대안할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 인반에 의한 시험법에서 기준에 유럽에서 제안된 추정식들과 비교한 결과, 같은 인발하중 기준에서 기준 제안식 보다 본 연구의 제안식에 의한 원형 압축강도 값이 크게 나타났고, 그 값은 인발하중이 커질수록 원형 압축강도가 크게 나타났다. 이는 일반콘크리트 타설이 아닌 슛크리트 타설 및 코아압축강도라는 점과 속경성 시멘트의 사용에서 기인된 것으로 판단된다.
- 4) 본 연구는 긴급공사용 건식 슛크리트 보수공법에서 현장 품질평가를 위한 압축강도 시험법들의 상관관계를 분석한 논문으로 향후 본 연구의 압축강도 시험법에 의한 슛크리트의 압축강도 추정을 위해 다양한 변수에 따른 실험을 통해 데이터 축적 및 추정식 제안이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 고영도, “초속경 건식 슛크리트의 현장적용성 평가”, 강원대학교 석사학위 논문, 2008.
- [2] 고훈범, 이진섭, “콘크리트의 강도 예측과 새로운 인발시험법의 제안”, 대한건축학회 논문집 22권 8호(통권214호), pp. 93~100, 2006.
- [3] 장석부, 이성우, 홍의준, 문상조, “스�크리트의 현장강도 시험기술 개발에 관한 연구”, 유신기술회보 제13호, pp. 99~109, 2007.
- [4] 조남근, “콘크리트포장의 성숙도와 줄눈절단시기에 관한 연구”, 한양대학교 석사학위 논문, 2007.
- [5] 한국콘크리트학회, “최신콘크리트공학”, 기문당, 2007.
- [6] American Society for Testing and Materials. 2005a. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. ASTM C 1074. Philadelphia, PA.
- [7] ASTM C900-82, “Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete”, ASTM Committee on Standards, 1916 Race Street, Philadelphia, pa. 19103, USA
- [8] EFNARC, European specification for sprayed concrete, United Kingdom, 1996.
- [9] EFNARC, European specification for sprayed concrete,

United Kingdom, 2002.

- [10] Iwaki, K., Hirama, A., Mitani, K., Kaise, S., Nakagawa, K., "A quality control method for shotcrete strength by pneumatic pin penetration test", NDT & E International 34, pp. 395~402, 2001.
- [11] Jolin, Marc., "Mechanisms of Placement and Stability of Dry Process Shotcrete" PH.D Thesis, University of British Columbia, 1999.
- [12] Morgan, D.R., "Shotcrete Repair of Infrastructure in North America", Beton-Instandsetzung 97, Igl, Austria, January, 17 pp, 1997.
- [13] Morgan, D.R., McAskill, N., Heere, R., "Determination of Early-Age Compressive Strength of Shotcrete", 3rd International Symposium on Sprayed Concrete, Gol, Norway, Semtember 26-29pp, 1999.

윤 경 구(Kyong-Ku Yun)

[정회원]



- 1991년 12월 : 미시간 주립대학교 토목-환경공학과 (공학석사)
- 1995년 12월 : 미시간 주립대학교 토목-환경공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 2000년 2월 : 한국도로공사 연구소 책임연구원
- 2000년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 철근콘크리트공학, 콘크리트공학

최 성 용(Sung-Yong Choi)

[정회원]



- 1999년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 2003년 1월 : 한석엔지니어링 구조부 재직
- 2009년 6월 ~ 현재 : 강원대학교 BK21 사업팀 박사후과정

<관심분야>

구조공학, 콘크리트공학

김 진 웅(Jin-Woung Kim)

[정회원]



- 2006년 8월 : 연세대학교 토목공학
학과 (공학석사)
- 2009년 8월 : 강원대학교 토목공학
학과 (공학박사 수료)
- 1991년 10월 ~ 현재 : 한국도로
공사 차장 재직

<관심분야>

구조공학, 콘크리트공학

길 용 수(Yong-Su Kil)

[정회원]



- 2007년 2월 : 한양대학교 토목공학
학과 (공학석사)
- 2010년 2월 : 강원대학교 토목공학
학과 (공학박사 수료)
- 1998년 3월 ~ 2003년 9월 : 동
아건설 과장
- 2003년10월 ~ 현재 : 삼우아이
엠씨 부장 재직

<관심분야>

구조공학, 콘크리트공학