

조기강도 콘크리트의 압축강도 추정을 위한 비파괴검사 실험식의 제안

Suggestion for Non-Destructive Testing Equation to Estimate Compressive Strength of Early Strength Concrete

이 태 규¹ 강 연 우¹ 최 형 길² 최 경 철³ 김 규 용^{3*}

Lee, Tae-Gyu¹ Kang, Yeon-Woo¹ Choi, Hyeong-Gil² Choe, Gyeong-Choel³ Kim, Gyu-Yong^{3*}

Architecture Technical Department, DSME Construction Co.,Ltd., Seoul, 100-958, Korea¹

Graduate School of Engineering, Muroran Institute of Technology, Hokkaido, 050-8585, Japan²

Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-764, Korea³

Abstract

In construction field, it used various technique for concrete formwork. Part of them, non-destructive test has been conducted to estimate a compressive strength of concrete easily such as rebound method and ultrasonic pulse velocity method etc. Former research has recommend proposed equation based on experimental data to investigate strength of concrete but it was sometimes deferent actual value of that from in field because of the few of data in case of early strength concrete. In this study, an experiment was conducted to analyze strength properties for early strength concrete using cylinder mold and 1,000mm×1,000mm×200mm rectangular specimen. And compressive strength of concrete was tested by non-destructive test, and calculated by the equation proposed former research. As a result, the non-destructive test results showed approximately 70 percent of the failure test value for all conditions, and worse reliability was obtained for high strength concrete samples when the ultrasonic pulse velocity method was used. Based on the scope of this study, the experimental equation for estimating compressive strength of early strength concrete from 24MPa to 60MPa was proposed.

Keywords : non-destructive test, rebound method, ultrasonic pulse velocity, early strength concrete, experimental equation

1. 서 론

최근 건설현장에서는 공기단축, 시공합리화 등을 도모하여 공정효율성을 향상시키기 위한 고성능 재료 및 신규 공법에 대한 연구가 증가되고 있다. 특히 선후 공정상에서 인력 및 장비가 집중되는 거푸집, 철근콘크리트공사에서는 건설 생산성 향상을 위해서 목표 품질관리의 범위 내에서 거푸집의 전용횟수의 증대를 위한 콘크리트 압축강도 5MPa의

조기발현과 동바리 해체를 위한 강도발현 확인방법이 매우 중요한 품질관리 항목이라 할 수 있다[1].

한편, 콘크리트의 강도발현의 확인은 주로 KS기준에 의거 현장에서 채취한 소형 공시체의 파괴시험을 통하여 거푸집 탈형강도를 측정하여 평가하고 있다. 그러나 콘크리트는 물과 시멘트가 화학적으로 반응하여 강도가 발현되며 재료, 온습도, 일사 등 환경요인과 펌프압송, 다짐 및 양생, 시공 환경 등 현장시공 요인에 의하여 압축강도 등의 품질의 변동이 클 수 있다. 이러한 문제점이 발생될 경우 정밀진단의 방법으로 구조물에서 채취한 코어의 파괴시험을 행하는 것을 콘크리트 표준시방서에서 추천하고 있으나 코어채취에 따른 구조적 불안정, 보수방법의 산정 등의 문제점이 존재하여 비파괴 시험방법에 의한 압축강도 발현여부를 추정하여 안정성을 검토하고 있다[2,3,4,5,6].

Received : March 4, 2016

Revision received : April 25, 2016

Accepted : May 25, 2016

* Corresponding author : Kim, Gyu-Yong

[Tel: 82-42-821-5623, E-mail : gyuyongkim@cnu.ac.kr]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

현장의 품질관리에 활용되는 비파괴 시험방법은 타격법(반발경도법이라 칭함)과 비타격법(초음파법이라 칭함)을 활용한 시험방법이 주로 활용되며, 다수의 변수조건을 고려하여 다양한 데이터를 실구조물의 강도추정에 활용함으로써 신뢰성을 높이는 것이 가능하다. 국내 및 일본, 미국 등국의 연구기관에서는 다수의 실측데이터를 바탕으로 강도추정 경험식을 제안하고 있으나, 물-결합재비(W/B)가 낮은 보통강도 콘크리트의 데이터에 의한 경험식으로서 콘크리트의 고 성능화에 대응하여 적용하기에는 한계점이 있다.

기존 연구의 한계점을 인식하여 Kim et al.[4], Denys B et al.[5], Hong et al.[6] 등은 일본건축학회, 일본재료학회 등에서 제시한 추정식의 정밀도를 향상시키기 위하여 반발경도, 초음파, 복합법을 활용한 추정식을 제안하였고, Lee et al.[7] 등은 콘크리트의 압축강도 추정식의 신뢰성을 향상시키기 위한 평가로서 최소 시험 횟수를 제안하였다. 또한 Park et al.[1] 등은 모의부재의 수화특성을 고려하여 일반강도 콘크리트를 대상으로 적산온도법을 도입하여 반발경도 및 초음파속도에 의한 추정식을 제안하기도 하였다.

반발경도법을 활용하여 연구자들이 제안한 강도추정식은 Table 1에 나타낸 바와 같으며, 일본건축학회식(AIJ)과 일본재료학회식(MIJ)이 주로 사용되고 있으나 30MPa 이상의 콘크리트 강도범위에서는 신뢰성이 저하된다는 연구들이 보고되고 있다. 이에 Kim et al.[4] 등은 60MPa의 강도범위를 대상으로 국내 연구자료를 분석하여 보고하였으며, Hong et al.[6] 등은 18~60MPa의 콘크리트를 대상으로 반발경도 법에 대한 정밀도를 향상한 추정식을 제안하였다.

초음파속도법은 발진자에서 전달된 파가 매질을 통과하여 수신자에게 도착하는 시간을 측정하는 방법으로 직접법, 직간접법, 간접법으로 구분되며, 일반적으로 직접법을 기준으로 보정하여 활용한다.

Table 1. Equation through acoustic impact test

Researchers	Equation
AIJ	$F_c = (7.3R+100)/10.2$
MIJ	$F_c = (13R-184)/10.2$
Kim et al.[4]	$F_c = 33.53R-103.38$
Hong et al.[6]	$F_c = 0.0414R^{4.5602}$

F_c : Compressive strength(MPa)

R : Rebound value

Table 2. Equation through non-Impact test

Researchers	Equation
AIJ	$F_c = (215Vp-620)/10.2$
Pyznsniak J.[2]	$F_c = (92.5Vp^2-508Vp+782)/10.2$
Kim et al.[4]	$F_c = 33.53Vp-103.38$
Hong et al.[6]	$F_c = 0.0414Vp^{4.5602}$

Table 2에 선행연구를 통하여 도출된 초음파법 강도추정 실험식을 나타냈다. 일본건축학회식(AIJ)과 Pyznsniak J.[2]에 의해 제안된 초음파 강도추정식이 주로 많이 사용되고 있으나 반발경도법과 유사하게 강도를 하회하여 분포하는 것으로 보고되고 있으며, Park et al.[1], Kim et al.[4], Hong et al.[6] 등에 의해 신뢰성이 향상된 다양한 추정식이 제안되었다.

국내의 다양한 연구결과를 통하여 추정식의 정밀도와 신뢰성이 많이 향상이 되었지만 고강도, 조기강도 콘크리트 등에 적용하기 위해서는 현장배합에 의한 데이터의 양적인 축적과 정밀한 추정식의 검증이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 비파괴검사에 의한 강도추정의 정밀도에 대한 검토의 일환으로 현장에서 활용되는 조기강도용 콘크리트 배합을 활용하여 몰드 및 Mock-up 시험체의 파괴 및 비파괴검사를 수행하였다. 또한 기존 비파괴검사 추정식의 검토를 통하여 조기강도 콘크리트에 적용할 수 있는 추정식을 제안하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 콘크리트 배합

본 연구의 실험계획 및 콘크리트 배합을 Table 3에 나타냈다. 콘크리트의 압축강도는 24, 30, 45MPa로서 W/C는 47.9%, 41.3%, 33.0%로 각각 설정하였으며, 현장조건을 고려하여 충분한 작업성을 갖기 위하여 일반강도 콘크리트의 Slump는 180 ± 25 mm, 45MPa 고강도 콘크리트의 Slump-flow는 550 ± 50 mm를 만족하도록 하였다.

또한, 다수의 현장실험을 바탕으로 익일 5MPa의 조기강도 발현과 동바리 해체시기를 단축한 개선형 콘크리트 배합으로 설정하였다. 단, 일반적으로 현장에서 조기탈형용 콘크리트의 생산을 위해 사용되는 고로슬래그, 플라이애시 등의 혼화재료의 혼입은 반발도 및 초음파속도 등에 영향을

Table 3. Experimental plan and concrete mix proportion

f _{ck} (MPa)	W/B (%)	Slump (Slump-flow) (mm)	Air content (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					Test item
					W	C	S	G	AD ²⁾	
24M ¹⁾	47.9	180±25	4.5±1.5	48.7	163	340	863	913	2.7	<ul style="list-style-type: none"> Slump(slump-flow, mm) Air contents(%) Compressive strength(MPa) Rebound value(R) Ultrasonic pulse velocity(km/s)
30M	41.3	180±25	4.5±1.5	46.7	165	400	802	918	3.2	
45M	33.0	550±50	3.5±1.5	43.0	165	500	714	950	6.0	

1) 24M: 24MPa concrete
2) AD : admixture

줄 수 있으므로 사용하지 않았다.

평가 항목으로는 콘크리트의 물성과 소형 공시체 및 Mock-up 시험체를 제작하여 파괴시험(소형 공시체, 코어) 및 비파괴검사(슈미트해머, 초음파법)을 실시하였다.

재령에서 탈형 후 3일, 5일, 7일, 14일, 21일, 28일 각각의 측정 재령까지 20±2℃ 수중양생을 실시하였으며, Mock-up 시험체는 기건양생을 실시하였다.

Table 4. Physical properties of used material

Material	Physical properties
Cement	OPC (Density : 3.15g/cm ³ , specific surface area : 3,200cm ² /g)
Fine aggregate	Washed sea sand (Density : 2.59g/cm ³ , absorption : 1.00%)
Coarse aggregate	Crushed granitic aggregate (Size : 25mm, Density : 2.60g/cm ³ , absorption : 0.9%)
Super plasticizer	Polycarboxylic Superplasticizer-based type

2.2 사용재료

Table 4에 본 연구에서 사용한 재료의 물리적 특성을 나타냈다. 시멘트는 분말도 3,200cm²/g 및 밀도 3.15g/cm³의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 잔골재는 천연 잔골재로서 밀도 2.59g/cm³, 흡수율 1.00%의 세척사를 사용하였고, 굵은 골재는 밀도 2.60g/cm³, 흡수율 0.9% 및 최대치수 25mm의 화강암류 부순 자갈을 사용하였다. 콘크리트의 시공성 향상을 위하여 혼화제는 폴리카르보산계 고성능 감수제를 사용하였다.

2.3 시험체 제작 및 양생

콘크리트의 압축강도 확인용 소형 공시체는 KS에 의거하여 Ø100mm×200mm로 제작하였으며, 코어압축강도 및 비파괴검사를 위한 시험체는 Figure 1에 나타난 바와 같이 W 1,000mm×H 1,000mm×T 200mm로 제작하였다. 시험체의 양생방법은 Ø100×200의 소형 공시체는 1일

2.4 시험방법

2.4.1 굳지 않은 콘크리트의 시험방법

콘크리트의 굳지 않은 성상으로서 슬럼프는 「KS F 2402 콘크리트의 슬럼프 시험방법」, 슬럼프-플로우는 「KS F 2594 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로우 시험방법」, 공기량은 「KS F 2421 압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법」에 준하여 실시하였다.

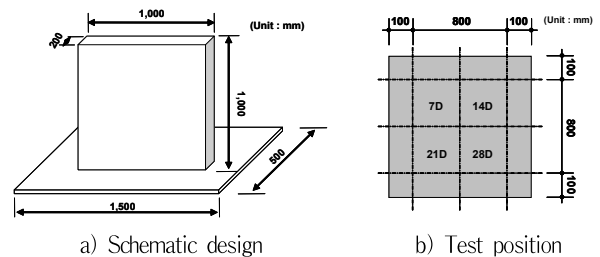


Figure 1. Mock-up test specimen

2.4.2 콘크리트의 압축강도 측정 및 추정방법

콘크리트의 압축강도를 추정하기 위한 시험방법은 Figure 2에 나타냈다. 파괴시험으로서 소형 공시체의 압축강도는 「KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법」에 준하여 실시하였다. 코어시험체의 강도측정을 위한 Mock-up 시험체는 강도별 2개씩 제작하였으며, 7일, 14일, 21일, 28일의 각각의 재령에서 3공씩 코어시험체를 채취하여 파괴시험을 실시하였다.

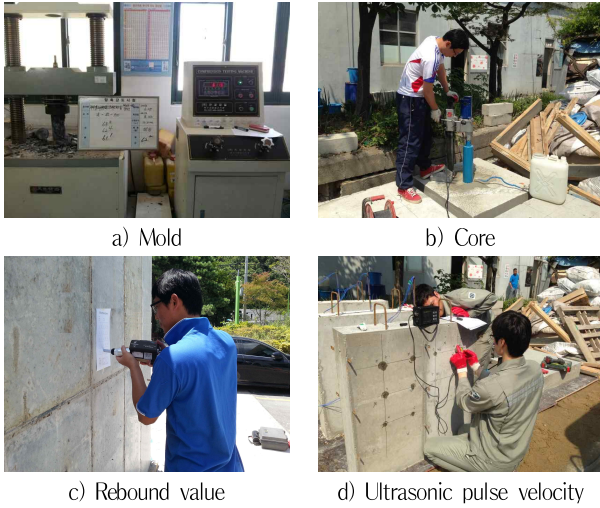


Figure 2. Test methods for compressive strength

반발경도법은 「KS F 2730 콘크리트 압축강도 추정을 위한 반발경도시험방법」에 준하여 NR형 슈미트해머를 활용하여 7일, 14일, 21일, 28일 재령에서 강도별 시험체의 반발도(R)값을 측정하였다. 측정은 총 20개점을 타격하여 기록하였으며 타격각을 고려하여 보정하였다. 반발경도에 의한 콘크리트 강도추정식은 국내에서 일반적으로 사용되는 일본재료학회에서 제안한 식(1)을 활용하였다.

$$F_c = (13R - 184) / 10.2 \text{ ----- (1)}$$

Where , F_c : Compressive strength(MPa)
 R : Rebound value(revised)

초음파속도의 측정은 CNS Farnell사의 Pundit 장비를 사용하였으며 7일, 14일, 21일, 28일 재령에서 소형 공시체, Mock-up 시험체에서 9개소를 측정, 코어 3개를 측정하여 분석하였으며 초음파속도는 식(2)로 계산하였다.

$$V_p = L / \Delta t \text{ ----- (2)}$$

Where , V_p : Ultrasonic pulse velocity(km/s)
 L : Distance(km)
 Δt : Transit time(sec.)

초음파속도법에 의한 강도추정은 일본건축학회에서 제안한 식(3)을 활용하여 분석하였다.

$$F_c = (215V_p - 620) / 10.2 \text{ ----- (3)}$$

Where , F_c : Compressive strength(MPa)
 V_p : Ultrasonic pulse velocity(km/s)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 콘크리트의 물성 및 압축강도

Table 5에 굳지 않은 성상 및 경화성상의 실험 결과를 나타냈다.

Table 5. Fresh and hardened properties

Mix type	Fresh		Hardened							
	Slump-flow (mm)	Air (%)	Compressive strength(MPa)							
	0m	60m	0m	60m	1D	3D	7D	14D	21D	28D
24M	180	170	5.4	4.4	11.0	23.6	29.9	31.1	32.7	33.6
30M	190	170	4.6	4.3	14.8	28.7	33.4	35.3	38.8	41.1
45M	510×530	500×500	3.4	3.1	20.5	44.3	50.1	54.5	58.7	63.1

콘크리트의 굳지 않은 성상으로 배합시 슬럼프 및 슬럼프 플로우의 60분 경시변화는 10~20mm, 공기량의 경우 1.0% 이하로서, 레미콘공장에서 현장도착 시간을 고려한 콘크리트의 타설 품질기준을 만족시키는 것으로 확인되었다. 또한 콘크리트의 압축강도발현은 1일에 콘크리트 강도

Table 6. Results of rebound value and ultrasonic pulse velocity test

Mix type	Rebound value(R)				Mold(V_p , km/s)				Core(V_p , km/s)				Mock-up(V_p , km/s)					
	7D	14D	21D	28D	1D	3D	7D	14D	21D	28D	7D	14D	21D	28D	7D	14D	21D	28D
24M	32.1	34.8	36.1	36.0	2.1	3.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.1	4.1	4.1	4.0	4.0	4.1	4.0	3.9
30M	33.2	36.1	36.9	37.3	2.1	3.3	4.3	4.4	4.2	4.3	4.4	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.1
45M	38.3	41.8	46.8	45.4	2.4	3.6	4.3	4.5	4.3	4.2	4.2	4.3	4.5	4.3	4.4	4.4	4.3	4.3

※ The results are average values to calculate experimental data.

5MPa 이상, 7일에 콘크리트의 설계기준강도 100% 이상이 발현되어 거푸집 탈형 및 동바리의 해체가 조기에 충분히 가능한 것으로 확인되었다.

3.2 재령에 따른 콘크리트의 반발도 및 초음파속도

Table 6에 콘크리트의 재령에 따른 반발경도 및 초음파속도 측정값을 나타냈다. 재령에 따른 반발경도 값을 분석하여 보면 Figure 3에 나타난 바와 같이 재령에 따라 상승되는 경향이 있으며 24, 30MPa의 일반강도 영역의 콘크리트는 재령증가에 따라 반발경도 값이 약 5 이하의 범위에서 상승하고 14일 이후의 소폭 상승 또는 저하하여 수렴하는 경향을 보였다. 또한 45MPa의 고강도 콘크리트의 경우에는 21일 재령까지의 반발경도 상승 폭이 크게 나타났으며 21일 이후의 재령에서는 일반강도 콘크리트와 유사하게 수렴하는 형태를 나타냈다.

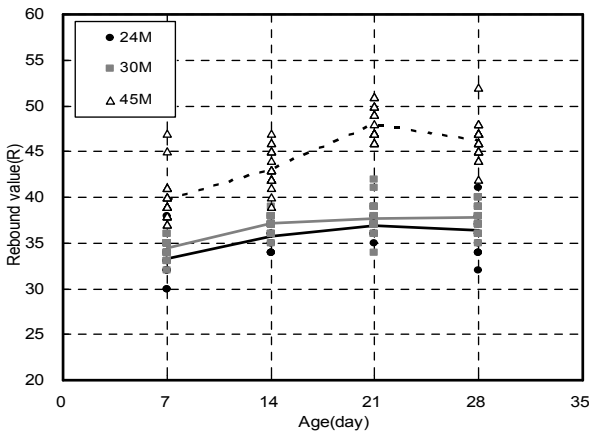


Figure 3. Result of rebound value at age

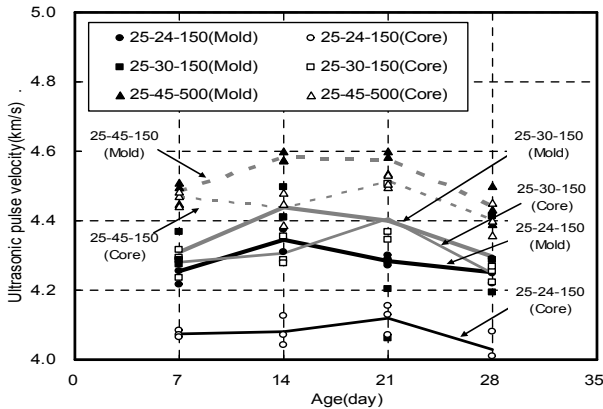


Figure 4. Result of ultrasonic pulse velocity at age

콘크리트의 초음파속도는 Figure 4에 나타난 바와 같이 소형 공시체와 코어공시체에 따라 차이가 크게 되는 것으로 확인되었으며 콘크리트 강도가 상승할수록 그 차이가 작아지는 경향을 보였다. 또한 7~14일 재령까지는 상승하지만 14일 이후의 재령에서는 반발경도 값과 유사하게 저하 또는 수렴하는 것으로 확인되었다.

3.3 비파괴검사법에 의한 압축강도 추정법의 분석

Figure 5에 파괴검사법(소형 공시체, 코어) 및 비파괴검사법(반발경도법, 초음파속도법)에 의한 콘크리트의 압축강도 추정값을 나타냈다.

코어강도의 경우 설계기준강도가 높아질수록 소형 공시체보다 상승하는 경향으로 5~10% 높은 값을 보였다. 이는 Mock-up 부재의 수화열이 소형 공시체보다 높게 발현되기 때문으로 분석할 수 있다.

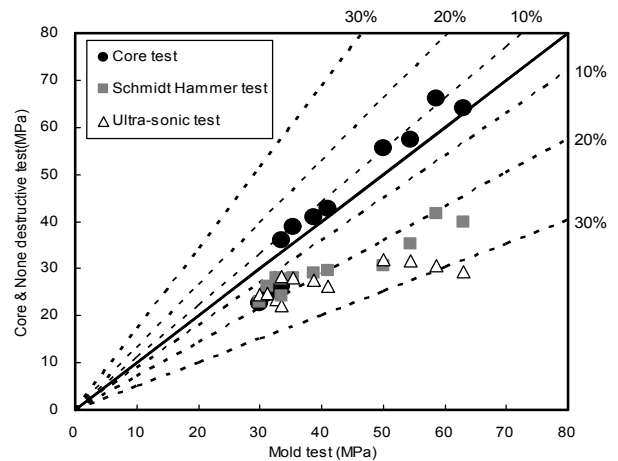


Figure 5. Comparison with mold test on compressive strength

비파괴검사에 의한 시험에 의한 압축강도 추정값은 파괴 시험방법에 비하여 크게 하회하였으며 강도가 증대할수록 추정값의 신뢰성이 크게 저하하는 것으로 확인되었다.

또한 비파괴검사방법에서도 반발경도법에 비하여 초음파법에 의한 강도추정방법이 강도가 높아질수록 그 신뢰성이 크게 저하하는 경향으로, 초음파방법에 의한 추정값은 45MPa의 강도에서는 약 50%의 수준까지 저하하였다.

이는 콘크리트의 응결이 시작되면서 초기 경화가 급격히 진행되어 7일 이후 매트릭스상의 다수공극에 의한 초음파 산란 또는 조기 수화반응에 의한 구조 정착화 등에 측정저해

요소의 영향이 매우 크기 때문에 기존 식을 활용하여 추정 시 신뢰성의 오차가 매우 큰 것으로 판단되었다.

한편 반발경도에 의한 시험방법의 경우 타격에 따른 충격 파의 전달이 콘크리트의 강도발현에 의한 표면경도에 영향을 받기 때문에 초음파속도법에 비해 그 차이는 적은 것으로 판단된다. 본 연구의 결과에서 기존의 추정식을 활용하여 반발경도 및 초음파속도법에 의한 강도를 추정한 결과, 추정 값에 대한 신뢰성이 크게 저하함을 알 수 있었다.

Lee 및 Krauß M.의 연구에서 초음파 등의 속도변화는 재령 초기에 물리적 상태가 변화하기 때문에 초음파 속도와 강도발현이 비선형적인 관계가 발생할 수 있음을 보고하였다[8,9].

따라서 조기강도가 발현되는 콘크리트의 경우 반발경도에 의한 추정식은 선형해석이 가능하지만 초음파법에 의한 강도 추정은 비선형해석에 의한 추정식이 제안되어야 할 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 일반강도 및 고강도 콘크리트의 범위에서 조기강도 콘크리트의 실험데이터를 회귀 분석하였으며, 비파괴시험에 의한 콘크리트의 압축강도 추정식을 식(4) 및 식(5)와 같이 제안할 수 있다.

$$F_c = 2.2R - 46.3 \text{ (Rebound test) } \text{----- (4)}$$

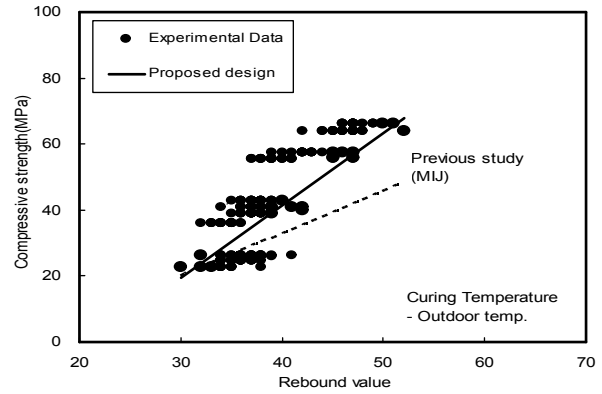
$$F_c = 0.0062e^{2.05 \cdot V_p} \text{ (Ultra-sonic test) } \text{---- (5)}$$

Where , F_c : Compressive strength(MPa)

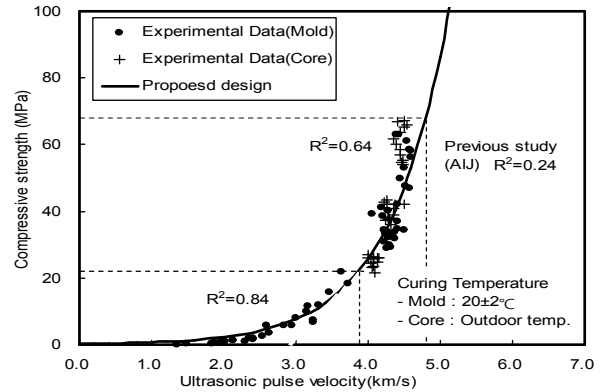
R : Rebound value(revised)

V_p : Ultrasonic pulse velocity(km/s)

Figure 6에 본 연구의 실험데이터를 활용하여 도출된 실험식과 기존 비파괴검사 추정식에 의한 상관관계를 비교하여 나타냈다. 기존 경험식에 의한 압축강도 추정값은 20~30MPa의 범위에서 본 연구의 데이터와 근접한 추정값을 나타내고 있으나 그 이상의 강도범위에서는 신뢰성이 크게 저하하는 것으로 확인된다. 또한 시멘트만을 사용한 배합이기 때문에 그 한계성이 존재할 수 있으며, 비파괴검사를 통한 압축강도 추정식의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 골재 및 혼화재의 치환 등에 대한 영향요인을 고려하여 다양한 실험데이터의 축적이 필요하다.



a) Rebound method



b) Ultrasonic pulse velocity method

Figure 6. Proposed design for estimating compressive strength through non-destructive test

본 연구에서 제안한 추정식은 24~60MPa의 강도범위의 조기강도를 발현하는 콘크리트에서 초기재령에서 파괴시험에 의한 거푸집 탈형강도의 측정이 난해하기 때문에 개선된 수정식을 활용하여 콘크리트의 강도발현 성상을 확인 시 실측강도에 근접한 강도를 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

조기강도 콘크리트의 압축강도 추정을 위한 비파괴검사 실험식의 제안에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 콘크리트의 반발경도는 재령에 따라 상승되는 경향이 있으나 설계기준강도 값이 적을수록 그 값이 저하하며, 21일 이후의 재령에서는 강도수준에 관계없이 저하 또는 수렴하는 것으로 확인되었다.
- 2) 콘크리트의 초음파속도는 양생조건에 따라 그 차이가 다소 발생하는 것으로 확인되나 강도가 상승할수록

그 차는 작아지는 경향을 보였다. 또한 조기강도 콘크리트의 경우 초기 재령에서 강도의 발현율은 크지만 콘크리트 내부 물리적 변화에 의하여 측정값의 편차가 크게 발생하는 것으로 추정된다.

- 3) 기존의 추정식을 활용하여 반발경도 및 초음파속도법에 의한 강도를 추정한 결과, 강도가 증가할수록 추정값에 대한 신뢰성이 크게 저하하는 것으로 나타났다. 또한 조기강도가 발현되는 콘크리트의 경우 반발경도의 경향과는 달리 초음파법에 의한 강도 추정은 비선형 해석에 의한 추정식이 제안되어야 할 것으로 판단된다.
- 4) 본 연구에서는 24~45MPa 범위의 조기강도 콘크리트를 대상으로 반발경도법 및 초음파속도법에 의한 추정식을 제안하였으며, 현장에서 다양한 환경조건을 고려한 품질관리방법으로서 실측강도에 근접한 강도를 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

현장에서는 콘크리트 공사시 거푸집 탈형작업을 위한 다양한 기술들이 활용되고 있다. 그중에서 콘크리트의 압축강도추정을 위한 비파괴 시험방법에는 다양한 방법들이 제시되고 있지만, 일반적으로 타격법(반발경도법이라 칭함)과 비타격법(초음파법이라 칭함)을 활용한 시험방법이 주로 활용된다. 비파괴시험에 의한 압축강도의 추정은 경험 값에 의한 방정식에 의하여 계산할 수 있으며 다양한 식들이 제시되고 있으나, 초기재령에서 조기강도가 발현되는 콘크리트에 대한 데이터는 적은 편으로 기존의 강도추정식에 의한 압축강도의 계산에는 한계점이 있을 수 있다. 본 연구에서는 현장에서 주로 활용되는 조기탈형용 콘크리트의 배합을 활용하여 소형 공시체 및 Mock-up 시험체의 파괴 및 비파괴 검사를 수행하였으며, 기존 비파괴검사 추정식을 통한 강도 결과 값을 분석하였다. 실험결과, 기존 연구의 비파괴시험에 의한 제안식을 활용한 압축강도 추정값은 파괴시험방법에 비하여 하회하는 경향으로 70% 이하의 값을 나타냈으며, 초음파속도에 의한 신뢰성은 강도가 높아질수록 낮아지는 것으로 확인되었다. 본 연구의 범위에서 조기강도 발현 콘크리트의 강도추정에 있어 기존식의 활용의 한계점이 있을 것으로 분석되어, 24~60MPa의 콘크리트를 대상으로 반발경도법 및 초음파속도법에 의한 추정식을 제안하였다.

키워드 : 비파괴시험, 반발경도, 초음파법, 조기강도 콘크리트, 압축강도 추정식

Acknowledgement

This work (NRF-2015R1A2A2A01007705) was supported by Mid-career Researcher Program through NRF grant funded by the MEST.

References

1. Park SJ, Yoo JK, A Study on the Evaluation of Concrete Strength at Early Age for Field Application Using Ultrasonic Velocity and Rebound Test Method, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2008 Nov;24(11):101-08.
2. Pyznsiak J, Method of concrete strength control in prefabricated slabs by ultrasound, Building Science, 1968 Dec;2(4):331-5.
3. Lee SM, Lee HY, An HJ, Lee SK, Strength and Durability Evaluation of Cast-in-placed Concrete by NDT, Magazine of Korea Concrete Institute, Special articles, 2013 Sep;25(5):17-20.
4. Kim MH, Choi SJ, Kim YR, Jang JH., Kim JH, Yoon JK, A Study on the Proposal of Strength Presumption Equation and Evaluation of Practical Application of High Strength Concrete by Non-Destructive Test, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2004 Feb;20(2):55-62.
5. Denys B, Klysz G, Dérobert X, Lataste XD, How to combine several non-destructive techniques for a better, Cement and Concrete Research, 2008 Jun;38(6):783-93.
6. Hong SU, Cho YS, A Study on the Estimation of the Compressive Strength of Concrete Structures using Ultrasonic Pulse Velocity Method and Rebound Hardness Method, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2011 Jan;27(1):19-26.
7. Lee MH, Choi CW, A Study on the Minimum Number of Rebound Number Test and Pulse Velocity Method for Estimating Compressive Strength of Concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, 2004 Dec;16(6):833-40.
8. Lee HK, Lee KM, Kim YH, Yim HJ, Estimation of Setting Time and Early-age Strength of Concrete Using the Ultrasonic Pulse Velocity, Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, 2002 Jun;22(3) :292-303.
9. Krauß M, Hariri K, Determination of initial degree of hydration for improvement of early-age properties of concrete using ultrasonic wave propagation, Cement and Concrete Composites, 2006 Apr;28(4):299-306.