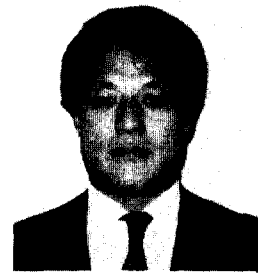


복합 비파괴시험법에 의한 현장 콘크리트 강도 추정

Estimation of In-situ Concrete Strength by Combined Non-Destructive Method

한 혁 상*



1. 서론

1) 연구의 목적

최근 신도시와 같은 대단위 건설현장이나, 일반 고층건물, 교량, 댐 또는 원자력발전소와 같은 콘크리트 구조물에 대한 안전성 여부가 중요한 이슈로 제기되고 있다. 따라서 실제 건설중이거나 기존 사용되고 있는 콘크리트 구조물에 대한 안전성의 점검은 예기치 못하는 사고를 미연에 방지할 수 있다. 특히 기존 건물의 증개축시 현장 콘크리트의 강도 추정, 철근배근의 확인 및 콘크리트 내부결함등의 검사가 요청되어지며 최근 이러한 목

적으로 비파괴시험이 많이 연구되고 있고 현장에서 유용하게 적용되고 있다. 현장 구조물의 콘크리트강도는 이제까지 표준공시체의 압축강도시험을 통해 간접적으로 추정되어 왔으나 콘크리트의 타설, 다짐 및 양생 조건에 따라 정확한 추정이 어려울뿐 아니라 시료채취의 한정으로 인한 단점을 보완하기 위한 수단으로 여러가지 비파괴시험을 개발, 사용되어지고 있다.

본 연구에서는 현재 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 Schmidt Test Hammer에 의한 반발경도 시험, 초음파의 종파펄스속도시험 및 위의 두가지 방법을 복합하여 추정하는 복합시험법을 대상으로 각 측정값과 콘크리트 압축강도와의 상관계수(correlation coefficient), 결정계수(coefficient of determination)를 분석함으로써 각 비파괴 시험에 대한 신뢰성을 확인하였고 실제 현장에서의 적용 가능성 여부에 대한 판단과 사용목적에 따른 최적 방법을 선별하는데 그 목적을 두었다.

* 정회원, (주)한서엔지니어링 전문이사

2. 강도추정을 위한 비파괴 시험 (Non-destructive tests for estimating in-situ concrete strength)

1) 반발경도법(Rebound hammer test method)

콘크리트 표면에 일정 에너지를 가진 hammer를 충돌시켜 그 반발정도를 측정하여 강도를 추정하는 방법이다. 반발치는 충격에 가하기전 운동 에너지와 충격시의 에너지 흡수량에 관계되므로 콘크리트에 의해 흡수된 에너지는 콘크리트의 강도 및 강성과 관계된다. 특히 콘크리트가 낮은 강도와 강성을 가지고 있을 때에는 높은 것에 비하여 에너지 흡수량이 크다. 그러나 서로 다른 강성을 가지면서도 같은 강도를 가질수 있는 콘크리트의 배합이 가능하므로 강도가 동일하다고 하더라도 반발치가 다를수 있기 때문에 반발치 압축강도와와의 상관관계를 구할때에는 필히 같은 종류의 콘크리트를 사용한 구조물을 대상으로 하여야한다. 또한 반발경도 시험은 콘크리트 표면에 국한된 시험이므로 표면의 국부적인 상태에 따라서 반발치에 큰 영향을 미칠수 있으며 타격 방향에 따라 영향을 받는다. 반발경도기의 작동 원리는 매우 간단하나 측정 결과에 영향을 주는 요인이 많으므로 사용상 주의를 요하여야 한다.

2) 종파펄스속도법 (Longitudinal pulse velocity method)

종파의 펄스를 송신탐촉자인 transmittal transducer에 짧고 강한 전기적 신호를 보내면 탐촉자가 공명주파수에 따라 진동하게 되며 탐촉자(transducer)의 진동이 콘크리트를 통과하여 반대편의 수신탐촉자(receiving transducer)에 도달하게 된다. 이러한 종파펄스가 발신탐촉자를 출발하여 수신 탐촉자에 도달하는 시간을 초음파 측정장비에 의하여 얻을 수 있게 되므로 펄스가 통과하는 거리를 정확히 알게되면 종파 펄스속도

는 쉽게 구할 수 있게 된다. 일반적으로 콘크리트에 사용되는 초음파 주파수는 20KHz-150KHz 이나 때로는 최저 10KHz 최고 200KHz의 주파수를 사용하기도 한다. 일반적인 콘크리트 구조물에 가장 많이 사용하는 주파수대는 50KHz-60KHz 대의 것이며 본 시험에는 54KHz의 주파수를 사용하였다.

콘크리트 내부를 통과하는 종파펄스의 속도와 표준 콘크리트에서 얻어지는 속도를 상호 비교 분석함으로써 종파펄스 속도에 의한 콘크리트 강도와와의 관계를 설정하게된다. 콘크리트의 거동을 탄성적인 것으로 가정할때 종파펄스의 속도는 아래와 같은 관계를 가진다.

$$V = \sqrt{E/\rho \times (1-\nu)/(1+\nu)(1-2\nu)}$$

여기서 V : 초음파 종파펄스 속도

E : 콘크리트의 동탄성 계수

ρ : 콘크리트의 밀도

ν : 콘크리트의 포아슨 비

위의 식에서 종파펄스속도에 영향을 미치는 요소는 콘크리트의 동탄성계수와 밀도로서 종파펄스의 속도는 탄성계수의 제곱근에 비례하고 밀도의 제곱근에 반비례한다. 따라서 콘크리트의 탄성계수가 압축강도의 제곱근에 비례한다면 종파의 펄스속도는 압축강도의 4승근에 비례하게 되므로 압축강도의 변화는 크게되더라도 속도는 미소한 변화만 나타내게 된다. 따라서 British Standard 에서는 현장 측정시 종파펄스 통과 거리에 대한 오차율이 $\pm 1\%$ 이내에 들어오게 되도록 규정하고 있다. 강도 이외에 펄스속도에 영향을 미치는 것으로는 함수량과 철근량으로서 함수량의 경우 콘크리트가 건조상태에서 포화상태로 변화하면 파속은 약 5%의 증가를 가져오게된다고 BUNGEY J. H는 그의 보고서 The testing of concrete in structures(1982)에서 보고하고 있다.

또한 British Standard 4408, Recommendation

for Non-destructive Method of Test for Concrete PART 5 에서 철근이 펄스의 진행 방향과 평행으로 놓여 있을때 철근이 파속에 미치는 영향을 콘크리트의 품질에 따라 분류하여 제시하고 있다. 따라서 초음파 펄스 속도법에 의한 강도 추정 방법은 펄스속도의 미미한 증가에도 불구하고 강도의 변화가 크기때문에 현장 시험시의 측정 오차의 최소화가 선행되어야하며 분석시 이를 유의하여야 한다.

3) 복합시험법(Double combined method)

현장 콘크리트의 강도를 보다 더 정확하게 추정하기 위하여 한가지 이상의 비파괴시험을 동시에 사용하지 않으면 안된다. Kesler⁽³⁾, Higuchi⁽³⁾, Facaoaru⁽⁴⁾, Glan⁽⁵⁾ 및 Wiebenga⁽⁶⁾ 등이 동부문에 가장 적극적으로 연구하는 사람들이다. 1968년 Jones⁽⁷⁾와 Facaoaru는 기존 비파괴시험중 가장 많이 사용하는 조합이 초음파 펄스속도법과 반발경도법이라고 발표하였다. 초음파 펄스속도법과 반발경도법의 조합에 의한 강도추정은 Facaoaru 와 Wiebenga 가 그 대표적 인물로서 동 시험방법은 콘크리트 시편이나 현장 콘크리트 구조물에서 초음파 펄스속도를 측정하고 동시에 Schmidt Hammer에 의한 표면경도를 측정하여 이 두개의 변수를 독립변수로 중선형회귀식(Multiple linear regression equation)을 구하는 방법이다. 이러한 회귀공식으로 구한 현장 콘크리트의 강도 추정은 초음파 펄스속도법이나 반발경도법을 개별적으로 사용하였을 때보다 더 정확한 추정이 가능하다.

본 연구에서는 현장에서 절취한 코어의 파괴강도와 코어절취부위에서 측정한 초음파 펄스속도와 슈미트햄머에 의한 반발치를 구하여 회귀분석에 의한 통계적인 방법으로 강도추정환산식을 구하였다. 통계적 방법은 중회귀분석에서 중선형회귀모형(Multiple Linear Regression Model) $Y_i = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} \dots \beta_n X_{ni} + \epsilon_i (i=1, 2, \dots, n)$ 에서 미지의 모수 $\alpha, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 을 추정할때 오차의 합

(sum of squares) ϵ_i 의 값이 최소가 되도록 추정하는 최소제곱법(Method of least squares)을 이용하여 코어의 압축강도를 종속변수로 그리고 초음파 펄스속도 및 반발경도치를 각각 독립변수로 하는 중회귀분석(Multiple Regression Analysis)을 실시하여 강도추정식의 정도(Accuracy)를 나타내는 결정계수(r-square)를 구하였다.

또한 코어의 압축강도를 종속변수로 슈미트햄머를 독립변수로 그리고 코어의 압축강도와 초음파펄스속도를 각각 종속 및 독립변수로 하는 단순선형회귀식을 구하여 이들 단순선형회귀식의 추정정도 (Accuracy)와 중선형회귀식으로 얻은 추정정도를 상호 비교하였다.

3. 강도추정 실험

1) 개요

현장콘크리트의 강도 추정식을 구하기 위하여 전라남도 나주시 소재 K 현장 신축건물을 대상으로 시험하였으며 19개의 코어를 슬래브 및 옹벽에서 절취하였으며 코어는 스위스 HILTI사가 제작한 DCM 1. 5의 Coring Machine과 내경 100mm의 Core Bit를 사용하였으며 D/H Ratio가 2:1이 되지 못하는 코어에 대해서는 BS 1881, PART 4의 Correction Factor For Compression Test on a Core 를 적용하여 보정하여 주었으며 코어는 켄핑후 현장 여건과 동일하게 유지하기 위하여 250ton의 압축강도기를 이용하여 코어 절취후 2일째 압축시험을 실시하였으며 시험결과를 표1과 같다.

2) 콘크리트의 조합 및 재령

콘크리트는 국내에서 현재 가장 많이 사용되고 있는 최대골재크기 25mm, slump 12, 설계기준강도 210kg/cm² 및 W/C 50의 콘크리트이었으며 재령은 180일이 경과한 콘크리트를 선정하였다.

표1. 코어의 압축강도 현황표

코어 번호	코어크기 (D×H mm)	코어단면적 (cm ²)	압축하중 (Kg)	압축강도 (Kg/cm ²)	보정계수	실제강도 (Kg/cm ²)
1	100×162	78.54	26000	334	0.969	321
2	100×175	78.54	23500	301	0.980	293
3	100×175	78.54	23450	300	0.980	293
4	100×200	78.54	17200	219	1.000	219
5	100×200	78.54	19800	252	1.000	252
6	100×177	78.54	14350	183	0.982	180
7	100×210	78.54	15000	191	1.008	193
8	100×208	78.54	15750	219	1.006	220
9	100×191	78.54	16550	211	0.993	210
10	100×185	78.54	20100	256	0.988	253
11	100×198	78.54	18700	238	0.998	238
12	100×194	78.54	18900	241	0.995	240
13	100×196	78.54	15200	194	0.997	193
14	100×202	78.54	16850	215	1.002	216
15	100×188	78.54	14200	181	0.990	180
16	100×193	78.54	23300	297	0.994	295
17	100×210	78.54	21500	274	1.008	276
18	100×212	78.54	20650	263	1.010	266
19	100×208	78.54	19250	245	1.006	246
강도평균(Kg/cm ²)						241
표준편차(Kg/cm ²)						41

3) 측정방법

초음파 펄스속도 측정은 영국 C&S사가 제작한 pundit 및 54KHz의 transducer를 사용하였으며 표면반발경도 측정은 스위스 PROCEQ S, A사가 제작한 슈미트 햄머 NR-type을 사용하였다. 또한 비파괴 검사 자료인 초음파 펄스속도와 반발경도는 코어를 절취하기전에 절취예정부위에 초음파 시험 3개 포인트 및 반발경도 20점을 타격하고 DIN규정에 의거 평균(χ) > ±5의 데이터는 소거하고 나머지 평균을 사용하였으며 소거후의 나머지가 5개 이하일 경우 재 시험을 실시하여 자료를 구하였고 유효반발치에 대하여는 DIN 4240의 재령에 따른 반발치 보정을 하였다.

4) 비파괴시험 자료

코어의 압축강도에 대한 동일부위의 반발경도

표2. 코어의 압축강도와 비파괴시험자료

코어 번호	코어압축강도 (Kg/cm ²)	반발경도 (R)	초음파펄스속도 (Km/sec)	비 고
1	321	35.3	4.21	
2	295	36.9	4.05	
3	293	37.2	4.05	
4	293	36.4	4.07	
5	276	37.7	3.98	
6	266	38.0	3.98	
7	253	34.0	3.95	
8	252	36.1	3.95	
9	246	38.3	3.98	
10	240	39.9	3.85	
11	238	39.0	3.84	
12	220	33.6	3.94	
13	219	38.5	3.74	
14	216	37.0	3.93	
15	210	33.6	3.86	
16	193	35.3	3.84	
17	193	38.1	3.78	
18	180	35.8	3.76	
19	180	34.7	3.75	
평균	241			
표준 편차	41			

치 및 초음파 펄스속도는 표2와 같다.

5) 강도환산 실험식

(1) 압축강도와 반발경도치간의 회귀분석

시험부위에서 절취한 코어의 압축강도를 종속 변수로 동일부위에서 얻은 반발치를 독립변수로 하는 단순회귀식을 구하였다. 동 분석은 Statistical Graphics Corp.의 Computer Program인 Statistical Graphics System을 이용하여 표3의 회귀분석자료를 얻었다.

위 표에서 단순선형회귀모형 $T = \alpha + \beta R$ 에서 χ 의 절편 α 가 106.897, 기울기 β 가 3.67119인 다음과 같은 추정식을 얻었다.

$$T_{fc} = 3.67119R + 106.897(Kg/cm^2) \quad (1)$$

R : 재령보정된 반발치

표3. Regression analysis

Model : $\tau = \alpha + \beta X$

Dependent Variable	Core				Independent Variable	Rebound			
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob.	Level				
Intercept	106.897	197.669	0.54079	.59567					
Slop	3.67119	5.39425	0.68057	.50530					
Correlation Coefficient = 0.16286									
R-square = 2.65%									

표4. 코어의 압축강도와 반발경도 회귀식에 의한 추정강도

코어 번호	코어 압축강도 (A)(Kg/cm ²)	반발경도 (R)	추정강도 (B)(Kg/cm ²)	1-(A/B) (%)	비고
1	321	35.3	236	36	
2	295	36.9	242	22	
3	293	37.2	243	21	
4	293	36.4	241	22	
5	276	37.7	245	13	
6	266	38.0	246	8	
7	253	34.0	232	9	
8	252	36.1	239	5	
9	246	38.3	248	-1	
10	240	39.9	253	-5	
11	238	39.0	250	-5	
12	220	33.6	230	-4	
13	219	38.5	248	-12	
14	216	37.0	243	-11	
15	210	33.6	230	-9	
16	193	35.3	236	-18	
17	193	38.1	247	-22	
18	180	35.8	238	-24	
19	180	34.7	234	-23	
평균	241		241		
표준 편차	41		7		

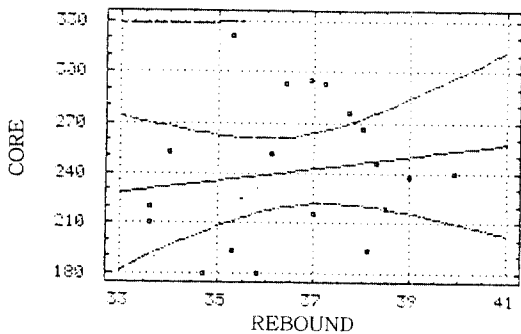


그림 1. 반발경도 선형회귀직선과 압축강도 산점도

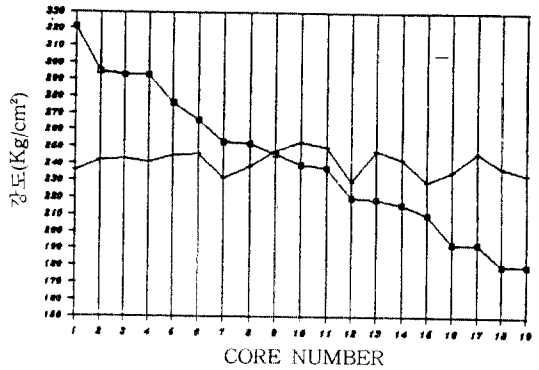


그림 2. 코어의 압축강도와 반발경도 회귀식에 의한 추정강도 비교

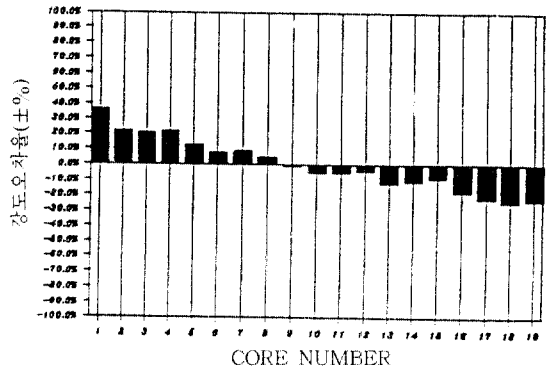


그림 3. 코어의 압축강도와 반발경도 회귀식에 의한 추정강도 오차율

CR(Correlation coefficient) : 0.16286

r-square(Coefficient of determination)

2.65%

위의 식은 상관계수가 0.16286, 결정계수가 2.65%로서 측정된 반발경도치와 회귀식간의 산포도를 그림1과 같이 그려보면 측정값과 회귀식간에 상관관계를 형성하지 못함을 알수 있다.

또한 식(1)에 의하여 현장 콘크리트의 강도를 추정하면 다음 표4와 같은 자료를 얻게 되며 이를 실제 강도인 코어의 강도와 상호비교하여 보면 그림2와 그림3과 같은 형태를 얻게 된다. 아래 그림3을 보면 회귀식에 의한 추정강도는 높은 압축강

도에서는 낮게, 낮은 강도에서는 높게 나타나 대체적으로 평균 값을 보여 주고 있어 콘크리트 강도가 열악한 경우 슈미트 햄머만을 사용하여 강도를 추정하는데는 문제가 있음을 알 수 있다. 그림 3은 회귀식으로 얻은 추정강도와 코어의 압축강도 간의 오차를 백분율로 표시하였는데 추정강도가 압축강도의 거의 중간값을 나타내고 있음을 잘 보여주고 있다.

(2) 코어의 압축강도와 초음파 펄스간의 회귀분석

시험부위에서 절취한 코어의 압축강도를 종속변수로 동일부위에서 얻은 초음파 펄스속도치를 독립변수로 하는 단순회귀식을 표5의 분석을 통하여 구하였다. 표5에서 단순선형회귀모형 $\tau = \alpha + \beta x$ 에서 τ 의 절편 α 가 -951.054, 기울기 β 가 304.04 인 다음과 같은 추정식을 얻었다.

$$\tau_{F_c} = 304.04x_{vpc} - 951.054 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (2)$$

x_{vpc} : 초음파 펄스속도

CR(Correlation coefficient) : 0.909456

r-square(Coefficient of determination) : 82.71%

위의 식은 상관계수가 0.909456, 결정계수가 82.71% 로서 측정된 초음파 펄스속도와 회귀식간의 산포도를 그림3과 같이 그려보면 측정값과 회귀식간에 상관관계가 잘 형성되고 있음을 알 수 있다. 특히 단순회귀모형에서 회귀직선에 의하여 종속변수가 설명되어 지는 정도를 나타내는 결정계수가 82.71%로서 압축강도의 변동에 따른 추정

표5. Regression analysis

Model : $\tau = \alpha + \beta x$

Dependent Variable : Core		Independent Variable : Velocity	
Parameter	Estimate	Standard Error	T Value Prob. Level
Intercept	-951.054	132.276	-7.18995 .00000
Slop	304.040	33.714	9.01823 .00000
Correlation Coefficient = 0.909456			
R-square = 82.71%			

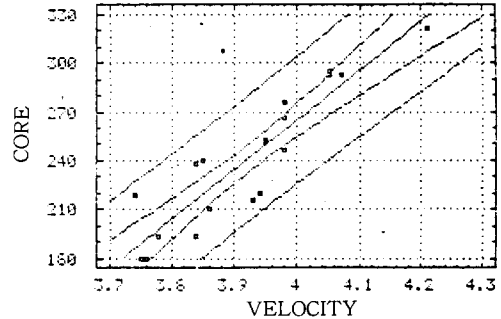


그림 4. 펄스속도 선형회귀직선과 압축강도 산점도

표6. 코어의 압축강도와 초음파펄스속도 회귀식에 의한 추정강도

코어 번호	코어압축강도 (A)(Kg/cm ²)	펄스속도 (Km/sec)	추정강도 (B)(Kg/cm ²)	1-(A/B)(%)	비고
1	321	4.21	329	-2	
2	295	4.05	280	5	
3	293	4.05	280	5	
4	293	4.07	286	2	
5	276	3.98	259	7	
6	266	3.98	259	3	
7	253	3.95	250	1	
8	252	3.95	250	1	
9	246	3.98	259	-5	
10	240	3.85	220	9	
11	238	3.84	216	10	
12	220	3.94	247	-11	
13	219	3.74	186	18	
14	216	3.93	244	-14	
15	210	3.86	223	-6	
16	193	3.84	216	-11	
17	193	3.78	198	-3	
18	180	3.76	192	-6	
19	180	3.75	189	-5	
평균	241		241		
표준편차	41		38		

강도의 변동도 같이 거동하고 있음을 잘 보여 주고 있어서 식(2)는 본 현장에 한하여 초음파 펄스속도를 측정하여 실제강도를 추정할 수 있는 식으로 사용하는데 문제가 없음을 보여 주고 있다. 식(2)로서 코어의 압축강도와 동일 부위에서 측정된 펄스속도를 회귀식으로 추정된 강도를 서로 비교하여 보면 표6과 같으며 이를 그림5 및 그림6에

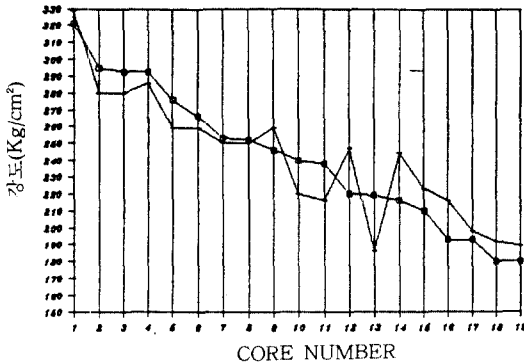


그림 5. 코어의 압축강도와 펄스속도 회귀식에 의한 추정강도 비교

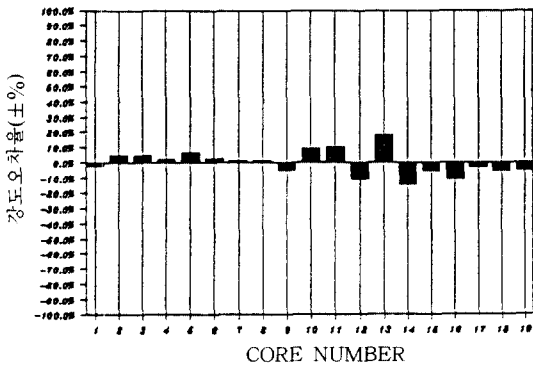


그림 6. 코어의 압축강도와 펄스속도 회귀식에 의한 추정강도 오차율

일목 요연하게 파악할 수 있도록 도시하였다.

(3) 코어의 압축강도와 복합시험법간의 회귀분석

시험부위에서 절취한 코어의 압축강도를 종속변수로 동일부위에서 얻은 초음파펄스속도치와 반발치를 각각 독립변수로 하는 중회귀분석 결과를 표7과 같이 얻었다.

표7에서 중선형회귀모형 $T = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$ 에서 T 의 절편 α 이 -1199.19 기울기 β_1 이 312.89 그리고 β_2 가 5.83인 다음과 같은 추정식을 얻었다.

$$T_{Fc} = 312.89 X_{vpc} + 5.83 X_R - 1199.19 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (3)$$

표7. Regression analysis

Model : $T = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$

Dependent Variable	coefficient	Std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	-119.18524	132.932636	-9.0210	0.0000
Rebound	5.830993	1.850382	3.1512	0.0062
Velocity	312.892857	27.442146	11.4019	0.0000
R-square(ADJ)=0.8800 SE _e =14.4777 MAE=10.7119				
DurdWat=1.149				
Previously	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

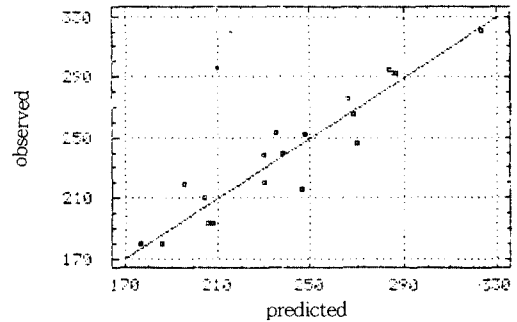


그림 7. 중선형회귀직선과 압축강도 산점도

X_{vpc} : 초음파펄스속도

X_R : 반발경도

r-square(Coefficient of determination) : 88.0%

위의 식은 결정계수가 88.0%로서 초음파펄스속도와 반발경도치를 중회귀식과의 산포도를 그려보면 그림7과 같으며 측정값과 회귀식간에 상관관계가 잘 형성되고 있음을 알 수 있다. 특히 중선형회귀모형에서 회귀직선에 의하여 종속변수가 설명되어 지는 정도를 나타내는 결정계수가 88.0%로서 압축강도의 변동에 따른 추정강도의 변동도 같이 거동하고 있음을 잘 보여 주고 있을 뿐 아니라 초음파펄스속도에 의한 강도추정식 보다 한층 정도(Accuracy)가 높음을 알 수 있다. 표8은 식(3)으로 코어의 압축강도와 동일 부위에서 측정된 펄스속도 및 반발경도치를 회귀식으로 추정된 강도를 서로 비교하였으며 이를 그림8 및 그림9에 도시하였다.

표8. 코어의 압축강도와 중회귀식에 의한 추정강도

코어 번호	코어압축강도 (Kg/cm^2)	펄스속도 (Km/sec)	반발경도 (R)	추정강도 (Kg/cm^2)	1-(A/B) (%)
1	321	4.21	35.3	324	-1
2	295	4.05	36.9	283	4
3	293	4.05	37.2	285	2
4	293	4.07	36.3	287	2
5	276	3.98	37.7	266	4
6	266	3.98	38.0	268	1
7	253	3.95	36.1	235	8
8	252	3.95	36.1	247	2
9	246	3.98	38.3	269	9
10	240	3.85	39.9	238	1
11	238	3.84	39.0	230	3
12	220	3.94	33.6	230	5
13	219	3.74	38.5	196	12
14	216	3.93	37.0	246	-12
15	210	3.86	33.6	205	2
16	193	3.84	35.3	208	-4
17	193	3.78	38.1	206	-6
18	180	3.76	35.8	186	-3
19	180	3.75	34.7	176	2
평균	241			241	
표준 편차	41			40	

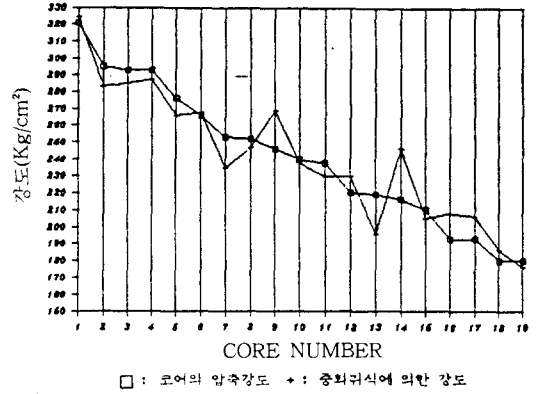


그림 8. 코어의 압축강도와 중회귀식에 의한 추정강도 비교

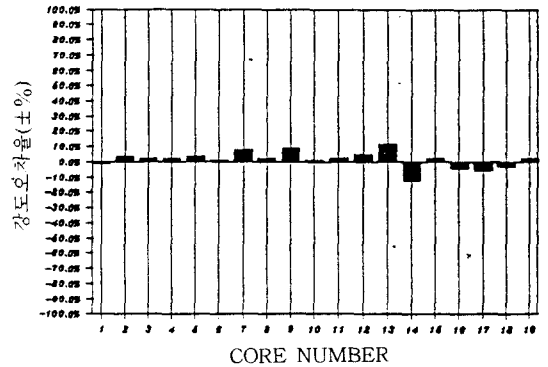


그림 9. 코어의 압축강도와 중회귀식에 의한 추정강도 오차율

그림8과 그림9에서 보여 주는 것과 같이 19개의 코어 압축강도와 중회귀분석으로 얻은 추정식에 의하여 구한 추정강도간에는 단지 두개의 코어만 최대 12%의 오차가 발생하였을 뿐 전반적으로 10%이내의 오차율을 가지고 있었다. 여기서 12%의 오차를 가지고 있는 두개의 코어 No.13 과 No.14를 소개하고 나머지로써 추정식을 구하게 되면 회귀모형에서 회귀식선에 의하여 종속변수가 설명되어 지는 정도를 나타내는 결정계수가 93.2%까지 상승하게되어 압축강도와 추정강도사이 에 상당히 좋은 상관관계를 형성하고 있어 본 현장에 한하여 실제강도를 추정할 수 있는 식으로 사용하는 데 전혀 문제가 없음을 보여 주고 있다.

(4) JIS 제안식

현재 국내 여러현장에서 많이 사용하고 있는 일

본재료학회에서 제정하여 일본지침으로 되어 있는 식 $F_c = 13R - 183$ 의 현장 적용성 여부를 판단하기 위하여 현장에서 절취한 코어의 압축강도와 절취전 동일부위에서 시험한 반발치를 동식에 대입한후 DIN 4240의 재령보정계수를 곱하여 최종강도를 구하여 상호 비교한 결과는 그림10과 그림11과 같다. 위 표와 그림에서 보면 동식을 사용할 경우 실제 콘크리트의 강도가 높은 경우 최고 74%까지의 오차를 보이고 있어 강도 변화의 폭은 식(1)보다 크게 나타나고 있으나 추정강도는 역시 높은 것은 낮게 낮은 강도는 높게 나타나 반발경도치와 추정식간의 상관관계가 이루어지지 않고 있음을 잘 나타내고 있다.

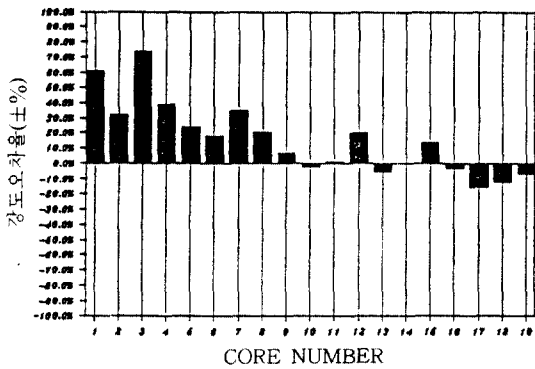


그림 10. 코어의 압축강도와 중회귀식에 의한 추정강도 비교

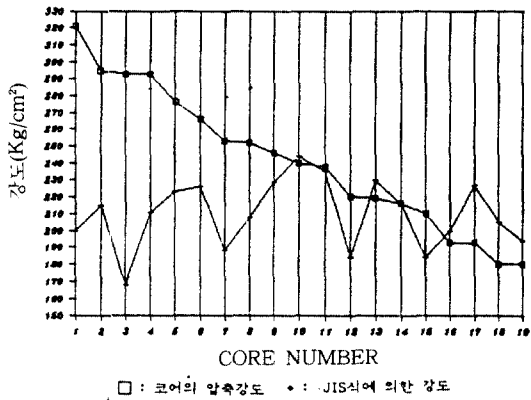


그림 11. 코어의 압축강도와 JIS식에 의한 추정강도 오차율

4. 결론

- 1) 시험 대상건물에 대한 강도추정식은 반발경도치를 독립변수로 코어의 압축강도를 종속변수로 한 회귀식이 그 추정 정도(Accuracy)가 가장 낮아 회귀식에 의하여 종속변수가 설명되어 지는 정도를 나타내는 결정계수가 2.65%로서 상관관계가 전혀 성립되지 않았다. 따라서 동 현장에 슈미트트 햄머를 사용하여 강도를 추정하는 것은 적절치 않음을 보여 주고 있다.
- 2) 초음파 펄스속도를 독립변수로 코어의 압축강도를 종속변수로 한 회귀식은 결정계수가 82.7%로서 추정정도가 양호하며 코어의 압축강도

변동에 따라 추정강도도 함께 거동하는 것을 보여 주고 있다. 따라서 동 현장의 경우 식2를 사용하여 강도를 추정하는 것이 가능한 것으로 판단된다.

- 3) 초음파 펄스속도와 반발경도치를 각각 독립변수로 코어의 압축강도를 종속변수로 한 중회귀식은 추정정도가 88.0%로서 위의 두 단순회귀식보다도 그 추정정도가 높았다. 따라서 Faccaoru⁽⁴⁾, Kosaka⁽⁸⁾, 및 Jones⁽⁷⁾ 등이 주장한 복합비파괴시험법에 의해 강도를 추정하는 것이 단일비파괴시험법의 것보다 그 추정정도가 높다는 것을 확인하였다.
- 4) 현장에서 비파괴시험법을 이용하여 강도를 추정할 경우 외국의 지침에 나와 있는 추정식을 그대로 사용하는 것은 바람직하지 못하다. 이는 그 추정식을 유도할때 사용한 시멘트, 골재, 물-시멘트비등 제반 요소가 국내 현장과는 여러모로 다를 수 있기 때문이다. 따라서 현장에서 적절한 수의 코어를 채취하여 위의 세가지 분석을 실시한후 가장 추정정도가 높은 방법을 선정하여 그 추정식을 구하여 사용토록하여야 한다.
- 5) 결론으로 본 시험을 통하여 반발경도시험과 초음파 펄스속도시험의 두가지 시험은 필수수행하는 것이 바람직하다. 이는 현장 콘크리트 강도를 추정함에 있어 보다 높은 정도를 가지는 강도 추정식을 유도할 수 있을 뿐 아니라 현장의 여건상 복합 비파괴 시험이 불가능한 부재에 대하여는 단일비파괴시험이라도 그 정도가 높은(결정계수 80% 이상) 시험법을 선택하여 사용할 수도 있기 때문이다. 참고로 모든 현장이 본 시험 현장과 동일한 것이 아니므로 현장별 별도의 추정식을 유도하여 추정정도가 가장 높은 식을 사용하여야 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. J.H.Buagey, "The influence of reinforcement on ultrasonic pulse velocity testing", ACI SP-82 In-situ /non-destructive testing of concrete, pp.229-246.
2. British standard recommendations for non-destructive methods of test for concrete (BS 4408, part 5)
3. Kelser, Clyde E and Higuchi, Y, "Determination of compressive Strength of concrete by using it's sonic properties", proceedings, ASTM, V.53 1953, pp.1044-1051.
4. I.Facaoaru, "Rumanian achievements in non-destructive testing of concrete"
5. Galan Andrey, "Estimate of concrete strength by ultrasonic pulse velocity and damping constant"
6. ACI monograph No.9: Testing hardened concrete : Nondestructive methods ACI /IOWA STATE, pp.103
7. R.Jones, "Non-destructive testing of concrete"
8. Dr.Y.Kosaka, "Study on the combined non-destructive testing method of concrete"
9. Y.Higuchi, "Estimating strength of concrete by sonic method"
10. RELEM recommendation for testing concrete by hardness methods
11. RELEM Tentative recommendation for in-situ concrete strength determination by non-destructive combined methods(first draft)
12. Japanese recommendations - 壓縮強度判定方法指針(案) -

한국콘크리트학회 제 2 회 기술강좌 개최 안내

콘크리트 구조물의 비파괴검사 및 안전진단(강의 및 실습)

- 일 시 : 1993년 2월 18일~2월 19일
- 장 소 : KOEX 회의실
- 강좌내용 : -2월 18일-

I. 비파괴검사의 종류, 특징 및 적용방법

II. 반발경도·초음파·탄성파법에 의한 비파괴검사

III. 전자파·방사선·적외선 등을 이용한 비파괴검사

IV. 콘크리트 구조물에 대한 비파괴검사의 응용 및 평가

-2월 19일-

V. 콘크리트 구조물의 안전진단 및 평가

VI. 콘크리트 토목구조물(교량)의 안전진단 및 평가

VII. 콘크리트 구조물의 내구성향상 방안 및 관련시험

VIII. 콘크리트 구조물의 유지관리 및 보수·보강방법

- 문 의 처 : 한국콘크리트학회 사무국
- 주 소 : 서울시 강남구 청담동 134-20(삼익빌딩 419호) / 전 화 : 546-5384, 543-1916