

반발경도법을 이용한 콘크리트의 품질관리 적합성 평가

Compatibility Evaluation for Quality Control of Concrete using Rebound Method

은충기, 채원규, 원일석, 방노성, 송은중, 정평기
신구대학 토목과

1. 서론

다양한 구성재료로 이루어진 콘크리트는 역학적 특성과 거동이 복잡한 것으로 알려져 있으며, 특히 초기재령시는 그 역학적 특성의 변화가 급격하므로 구조물의 품질관리를 위하여 그 기본 요소인 압축강도에 대한 정확한 평가가 필수적이라 할 수 있다.

이는 공사기간, 공사비용 및 안전성확보 등 시공관리 전반에 걸쳐 지대한 관심 사항이라 할 수 있다.

현재 콘크리트 압축강도 추정을 위한 시험법에는 코아를 직접 채취하여 압축강도를 측정하는 파괴시험법과 반발경도법이나 초음파 속도법과 같은 비파괴시험법을 이용하여 콘크리트의 강도를 추정하는 방법이 있다.

직접적으로 압축강도를 측정할 수 있는 파괴시험법은 가장 정확한 자료를 얻을 수 있으나 경제적인 문제와 시간적 제약, 특히 재령초기에 코아시험을 수행할 경우, 코아채취에 따른 구조적인 손상을 일으킬 우려가 있다.

따라서 콘크리트 구조물의 품질관리시, 압축강도 측정은 비록 파괴실험에 의존하는 것이 바람직하지만 간접적인 방법인 반발경도법, 초음파 탐사법 등의 비파괴시험법을 이용하여 강도를 추정한 후, 이 결과를 평가 자료로 이용할 경우 공사 수행상 많은 이점이 발생할 수 있다. 그러나 이러한 비파괴시험법에 의한 초기재령 및 28일 재령에서의 표준강도 추정은 많은 실험자료의 분석과 그 적합성 검토를 바탕으로 이루어져야 할 것이다.

이에 본 연구에서는 현재 널리 이용되고 있는 슈미트해머(Schmidt Hammer)를 이용한 반발경도법과 초음파속도법에 의해 실제 파괴강도와 비교검토를 위한 실험을 수행하고 콘크리트의 품질관리의 적합성을 검토하기 위해 기초자료를 마련코자 한다.

2. 비파괴시험법

2.1 반발경도법

반발경도법은 콘크리트 구조물을 대상으로 한 가장 일반적인 비파괴검사법으로 콘크리트의 균일성과 압축강도를 추정하는데 사용된다.

이 시험법에서는 측정된 반발경도로부터 미리 정의된 반발경도-압축강도 관계

식을 적용하여 압축강도를 추정하는데, 그 추정과정은 ① 시험부위의 설정, ② 표면처리(그라인딩), ③ 타격부위 표시(3cm 간격, 20점), ④ 슈미트해머 타격 실시, ⑤ 반발경도의 데이터분석(평균치의 $\pm 20\%$ 를 상회하는 측정치를 제외한 후 평균 재산정), ⑥ 평균반발경도의 타격각도에 대한 보정, ⑦ 강도 평가 및 재령에 따른 보정, ⑧ 전체 개소의 비파괴 강도에 대한 평가 및 비교분석으로 진행된다.

이와 같이 반발경도법에 의한 압축강도의 추정에서는 사용된 추정식의 정도가 매우 중요한 요소이다. 또한, 그 추정식을 얻기위해 수행하는 시험에서 제작된 실험체 개수, 측정자의 숙련도 및 사용된 콘크리트의 강도, 사용장비, 시험체 표면상태 등이 추정결과치에 큰 영향을 미칠 수 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 고려하여 3종의 설계강도별 75개 시험체 제작과 표면의 이물질 제거 등을 통한 표면의 최적상태 유지에 주의를 기울였으며, 측정기기로는 국내에서 널리 이용되는 NR형 슈미트해머를 사용하므로써 측정기기의 일반성에 따른 기 연구자료와의 비교 검토가 용이토록 하였다.

2.2 초음파속도법

모든 파는 매질의 밀도에 따라 그 전달속도가 다르다는 원리를 이용한 방법으로서 콘크리트 표면에 위치한 발진자에서 발신된 초음파가 콘크리트 매질을 통해 인접한 수신자로 되돌아오는 시간을 측정함으로써, 콘크리트의 균일성, 품질, 압축강도, 탄성계수 등을 예측하는 방법이다. 이 방법에서는 발진자 및 수신자와 콘크리트 사이의 밀착정도가 중요하고 결과값의 해석이 어려워 전문기술과 훈련이 필요할 뿐만 아니라, 밀도, 골재량, 수분량의 변화와 철근의 존재가 결과값에 영향을 미치게 된다.

이 비파괴시험법에 의한 강도추정은 원칙적으로 시험자가 동종의 콘크리트를 대상으로 실험을 통해 작성하여 사용되지만, 일반적으로 이 방법에 의한 강도추정은 신뢰도가 그다지 높지 못하므로 참고치로 사용되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 반발경도법에 사용된 동일한 시험체를 사용하여 파괴시험전에 초음파속도를 측정하였다.

3. 실험방법 및 측정

본 실험에서는 설계강도 $240\text{kg/cm}^2 \sim 400\text{kg/cm}^2$ 에 이르는 강도범위의 콘크리트 몰드($15 \times 15 \times 15\text{cm}$)에 대해 재령 3일, 7일, 28일에 각각 반발경도시험과 초음파속도법, 압축파괴시험을 수행하였다.

반발경도 측정에는 NR형 슈미트해머를 사용하였고, 초음파속도법에서는 CONTROL사의 제품을 사용하였으며, 압축파괴시험은 200ton 용량의 만능시험기(UTM)를 이용하였다.

반발경도 측정시 몰드표면에 12점씩 양면 24점을 측정하여 최저, 최고의 4점을 제외한 20점의 데이터를 택하였다.

본 실험에 사용된 콘크리트의 배합비는 표 1과 같다.

표 1. 실험에 사용된 설계강도별 배합비

설계강도 (kg/cm ²)	G _{max} (mm)	목표 Slump (cm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	단위량(kg/cm ³)				
						W	C	S	G	고성능 감수제 (%)
240	25	15	2.0	49.7	44.7	177	356	784	969	0.7
300	25	15	2.0	38.3	47	153	400	841	947	1.6
400	25	18	2.0	33.9	45	164	485	757	924	1.6

※시멘트(C) 비중 : 3.15, 잔골재(S) 비중 : 2.58, 굵은골재(G) 비중 : 2.62

표 1에서 설계강도 240kg/cm²~400kg/cm²에 이르는 강도범위의 콘크리트는 A 레미콘 광주공장에서 제작하여 실험을 수행하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 반발경도법

본 연구결과에서 나타난 압축강도-반발경도 관계를 국내외의 연구결과 추정식을 삽입하여 비교 분석을 수행한 결과는 다음 그림 1과 같다.

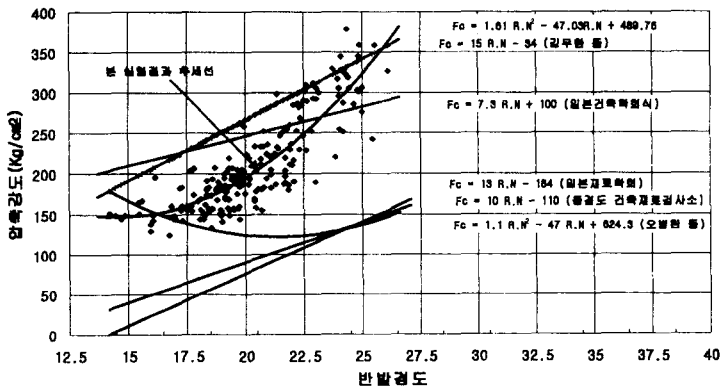


그림 1. 실측 압축강도-반발경도 관계와 국내외의 추정식 비교

그림 1에서 알 수 있듯이, 비파괴 시험법에 의한 압축강도 추정식들 중에서 현재 국내에서 널리 이용되고 있는 일본의 연구결과인 일본재료학회와 동경도 건축재료 검사소 제안식은 본 실험결과와 큰 격차를 보이면서 실측강도를 과소 평가하는 양상을 보이고 있다.

또한, 국내의 김무한 등의 연구결과와 일본건축학회의 제안식은 재령 28일 강도 영역에서 실측강도에 비교적 근접한 결과를 보이고 있는데, 이를 고려하여 재

령 28일에 대한 재령별 추정식 평가시 이들 제안식을 추가 검토하였다.

이상과 같이 보통강도 콘크리트의 반발경도와 압축강도 사이의 상관성을 분석한 결과, 설계강도 $240\text{kg/cm}^2 \sim 400\text{kg/cm}^2$ 범위에서 재령 28일 까지의 압축강도 추정식을 도출하였다. 한편, 품질관리의 측면에서 필요한 압축강도를 반발경도법에 의해 측정할 수 있도록 각 재령별로 상관성을 검토하여, 그 결과를 그림 2~그림 4에 나타내었다.

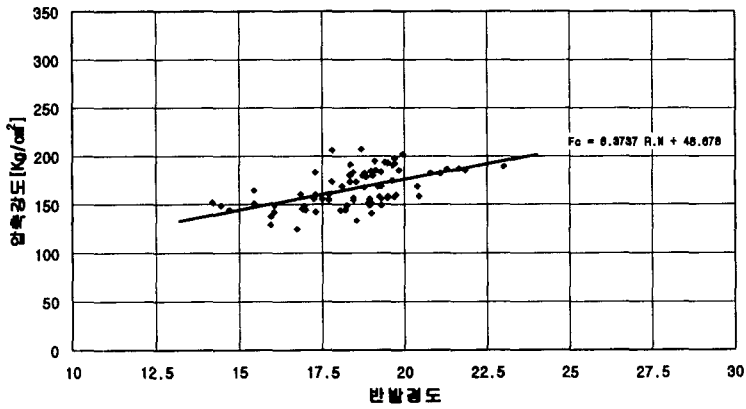


그림 2. 재령 3일 콘크리트의 압축강도와 반발경도의 상관관계

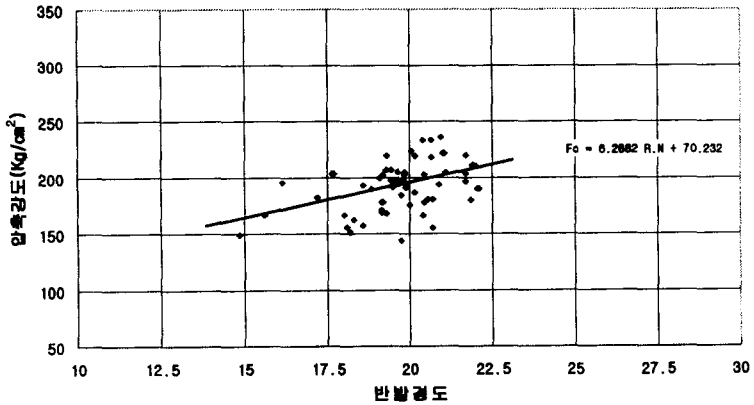


그림 3. 재령 7일 콘크리트의 압축강도와 반발경도의 상관관계

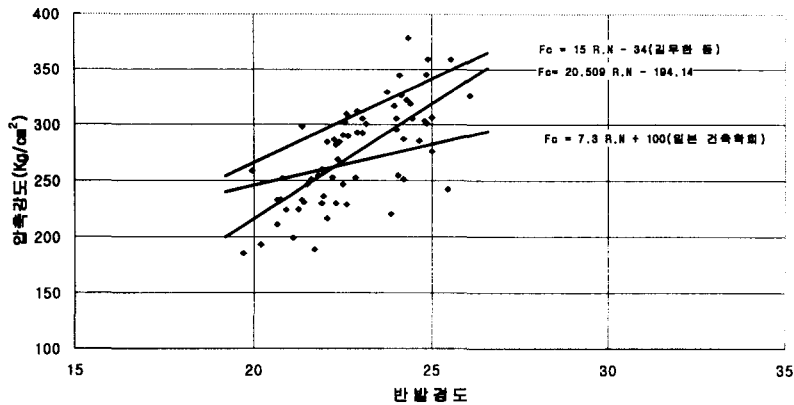


그림 4. 재령 28일 콘크리트의 압축강도와 반발경도의 상관관계

이들 결과 중 그림 4에서는 전술한 바와 같이 기존 연구결과와 비교하여 나타내었는데, 본 실험결과에 따른 회귀분석결과가 두 연구결과의 중간에 위치하고 있어 설계강도 $240\text{kg/cm}^2 \sim 400\text{kg/cm}^2$ 에서의 상관식 추정에서 보다 엄밀한 검토가 필요한 것으로 판단되며, 28일 강도와 그 이후의 압축강도 추정시 그림 4에서 제시된 본 연구의 제안식과 기존 연구결과의 식을 사용하여 최소치 혹은 평균치를 사용한다면, 적합한 강도추정 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

4.2 초음파속도법

본 연구에서 실측한 초음파속도-압축강도의 상관관계를 분석한 결과, 재령 3일 콘크리트에서만 상관성있는 추정식이 도출되었고, 재령 7일, 28일의 콘크리트에서는 상관성이 저조한 추정식이 도출되었다. 따라서, 재령 3일 콘크리트의 초음파속도-압축강도의 상관관계만을 제시하였으며, 다음의 그림 5와 같다.

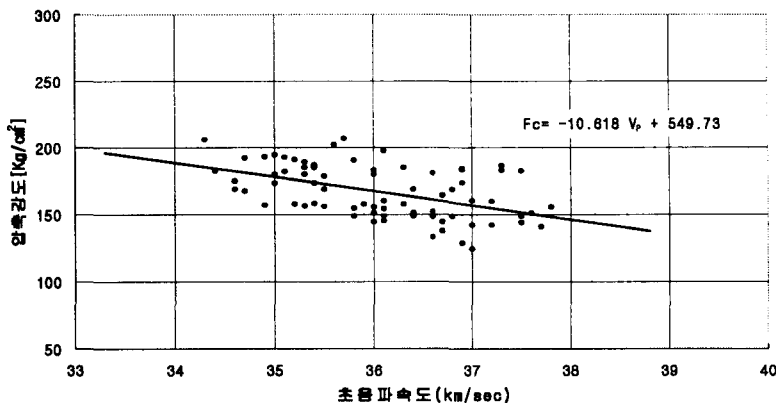


그림 5. 재령 3일 콘크리트의 초음파속도-압축강도의 상관관계

재령 3일 콘크리트의 초음파속도-압축강도의 상관관계식은 다음과 같다.

$$F_{C3} = -10.618 V_p + 549.73$$

5. 결론

본 연구에서는 일련의 파괴실험과 비파괴실험 결과를 기초로 기존의 추정식과 비교 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

일본재료학회와 동경도 건축재료검사소의 제안식은 실측강도를 과소평가 하는 경향을 갖는 것으로 나타나 그 사용성 측면의 적합성이 낮은 것으로 판단된다.

김무한등의 제안식과 일본건축학회식의 경우, 설계강도 $240\text{kg/cm}^2 \sim 400\text{kg/cm}^2$ 의 범위에서 재령 28일 강도의 추정이 본 연구의 실측 결과와 비교적 근접한 것으로 나타나 본 제안식과 더불어 사용할 경우 효과적인 강도추정이 가능할 것으로 판단된다.

또한, 본 실험 결과를 기초로 재령별 압축강도와 설계강도 400kg/cm^2 이하의 보통콘크리트에 대한 추정식을 제안하였다.

1) 재령 3일 : $F_{C3} = 6.373 (R/N) + 48.678$

2) 재령 7일 : $F_{C7} = 6.2882 (R/N) + 70.232$

3) 재령 28일 : $F_{C28} = 20.509 (R/N) - 194.14$

4) 설계강도 400kg/cm^2 이하의 압축강도 추정식

$$F_C = 1.6142 (R/N)^2 - 47.03(R/N) + 489.76$$

6. 참고문헌

1. 김정일, 박창호, 이병주, “반발경도법에 의한 콘크리트 압축강도 예측기법”, 한국구조물진단학회 가을논문발표회논문집, pp. 15~19, 1997.
2. 오병환, 김광수, 채성태, 장승엽, “초기재령 콘크리트 구조물의 비파괴 강도평가 연구”, 한국구조물진단학회 가을논문발표회논문집, pp. 9~14, 1997.
3. 구봉근, 오병환, 김영의, 김태봉, 한승환, “비파괴시험에 의한 기존 콘크리트 구조물의 압축강도 추정”, 콘크리트학회논문집 제6권 6호, pp. 159~172, 1994.
4. 심종성, “비파괴 시험법의 분류 및 특성”, 콘크리트학회지 제6권 2호, pp. 3~7, 1994.