

반발경도법에 의한 고강도콘크리트의 재령별 압축강도 평가

A Study on the Compressive Strength Estimation of High Strength Concrete by Rebound Method Classified by Ages

이용재 신준관** 백철*** 이충봉*** 곽창훈*** 손영현****
건국대학교 토목공학과*, 성남시 교육청**, 아주레미콘(주)***, 현대건설기술연구소****

1. 서론

포틀랜드 시멘트가 개발되어 콘크리트에 응용됨으로서 콘크리트의 적용범위가 무한히 확대되고 있는 상황에서, 최근, 구조물이 고층화, 대형화, 특수화됨에 따라 건설재료인 콘크리트의 고품질화가 요구되고 있다. 이러한 고품질화의 최우선 과제로 콘크리트의 고강도화에 관한 많은 연구가 국내외에서 이루어지고 있고, 실제 시공된 사례도 급속히 증가하고 있다.

그러나 고강도콘크리트는 보통콘크리트에 비해 보다 다양한 특성을 가진 재료들의 복합체로서 그 역학적 특성과 거동이 복잡하기 때문에 품질관리에 세심한 주의가 필수적이다. 이러한 고강도콘크리트 품질관리의 가장 기본적인 역학적 특성은 압축강도로서 이는 구조물의 설계에서 시공 후 유지관리에 이르는 전 공종에서 일반적으로 기준이 된다는 의미를 갖는다.

한편, 콘크리트의 압축강도는 규격화된 시험체를 이용하여 일축압축실험을 통하여 얻는 것이 바람직하지만, 최근 개발되어 많이 사용되고 있는 비파괴시험법은 이러한 압축강도의 추정을 가능케하고 있기 때문에 이 방법을 이용한 강도추정과 현장실무 차원에서의 공정관리에 그 사용이 증가되고 있는 실정이다.

그러나, 콘크리트의 경우는 재료가 비균질성 복합재료(Nonhomogeneous Composite Material)이고 콘크리트의 배합, 타설 및 양생과정의 숙련도(Workmanship)의 차이에서 발생하는 불확실성의 변화가 크기 때문에 비파괴 시험에 의한 규격화, 표준화의 적용은 어려운 실정으로 보다 많은 연구의 필요성이 강조된다.

특히 고강도콘크리트는 재료적 특성이 기존 보통강도 콘크리트와는 상당한 차이를 나타내고 있으므로, 고강도콘크리트 구조물의 안전도를 확보하기 위한 강도 측면에서의 철저하고, 효과적인 품질관리를 수행할 수 있는 비파괴 시험법을 통한 강도평가법에 대한 많은 연구가 절실하다 하겠다.

이에 본 연구에서는 고강도콘크리트의 품질관리와 시공관리의 판단자료를 제시하고자 고강도 콘크리트를 강도별로 구분하여 시험체를 제작하고, 국내에서 널리 사용 되어지고 있는 반발경도법을 이용하여 초기재령과 표준재령의 반발도(R)와 고강도콘크리트의 압축강도와의 상관관계를 추정할 수 있는 예측식을 제안하였다.

2. 반발경도법

비파괴 시험법에는 여러 가지 방법이 있으나, 이 중 반발경도법은 실험실과 현장에서 적용될 수 있는 간편성으로 인하여 널리 사용되어지고 있다.

반발경도법은 콘크리트의 표면강도를 측정한 후, 이 측정치를 이용하여 콘크리트의 압축강도를 추정하는 방법으로서, 슈미트 햄머(Schmit Hammer)로 경화 콘크리트 면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_C)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한 것이다.

이 시험방법은 간편하고 짧은 시간에 강도 추정이 가능하다는 우수한 사용성이 있으나, 시험법이나 콘크리트의 표면부 품질과 타격조건에 따라 영향을 받으므로 강도 추정 과정에서 측정방법, 적용 가능한 강도범위, 판정식 및 평가방법 등이 고려되어야 한다. 또한 콘크리트의 품질관리와 콘크리트 구조물의 내력진단에 이용할 경우, 그 측정방법과 강도의 적용범위는 같다고 볼 수 있으나 시간요소로 볼 때 품질관리는 비교적 단기간에 대한 평가이고 구조내력은 장기간에 대한 평가이므로 강도 추정에 적용 할 때는 측정방법과 시간요소를 고려하여야 한다.

한편, 반발경도법을 이용하여 압축강도를 추정할 경우, 압축강도와 반발경도사이의 상관식 혹은 스위스 연방재료시험소 공식에 의한 압축강도 환산표가 사용되고 있다.

특히, 국내에서는 이러한 상관식으로서 식(1)과 같이 일본에서 제안된 추정식이 널리 이용되고 있다.

$$\left. \begin{aligned} F_C &= 10 R_0 - 110 && (\text{동경도 건축재료검사소}) \\ F_C &= 13 R_0 - 184 && (\text{일본 재료학회}) \\ F_C &= 7.3 R_0 + 100 && (\text{일본 건축학회}) \end{aligned} \right\} \text{식(1)}$$

여기서, F_C : 추정강도, R_0 : 반발경도 이다.

3. 실험 및 결과분석

3. 1. 실험방법

본 연구의 실험에서는 설계강도 $600\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 800\text{kg}/\text{cm}^2$ 에 이르는 강도범위의 고강도콘크리트 몰드에 대해 재령 3일, 7일, 28일에 각각 비파괴 시험과 파괴 시험을 수행하였다.

비파괴 시험인 반발경도법에서는 NR형 슈미트햄머를 사용하였고, 실험시 정확한 측정치를 유지하기 위하여 Test Anvil로 측정직전 또는 측정기간동안 정기적으로 정밀도 검정을 실시하였으며, 측정면은 평탄한 면을 선정하고 이물질 제거하였으며 측정면 내에 있는 곰보, 공극은 제외시켰다.

공시체의 경우 표준양생(수중양생)을 실시하여 표면건조상태에서 시험을 실시하였고, 실측 압축강도 시험시 BS규정 몰드인 15×15×15cm 의 Cube 몰드를 사용하였는데 이는 반발경도법에 의한 강도 평가시 소요측점을 3×4cm 간격으로 24점을 확보하기 위함이었다.

한편, 파괴시험은 MTS사 500ton 용량의 만능시험기를 이용하여 공시체의 압축강도를 측정하였고 이 측정값을 기준강도로 사용하였다.

본 실험에서 사용된 고강도콘크리트의 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/m ³)						
						W	C	S	G	플라이 애쉬	실리카흙 (%)	고성능 감수제(%)
600	25	20	2.0	30	42	174	522	687.6	964	58	-	1.0
700	25	20	2.0	28	42	168	505	681.0	954.6	40	55	1.0
800	25	20	2.0	24	38	168	560	578.2	957.6	70	70	1.0

*시멘트비중 : 3.15, 잔골재비중 : 2.67, 굵은골재비중 : 2.71

3. 2. 실험결과 및 분석

3. 2. 1 재령에 따른 압축강도 및 반발경도의 변화

본 실험에서 측정된 압축강도와 반발경도의 변화를 재령에 따라 그림 1과 그림 2에 각각 나타내었다.

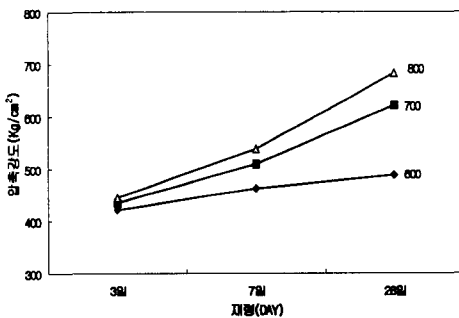


그림 1. 재령에 따른 압축강도변화

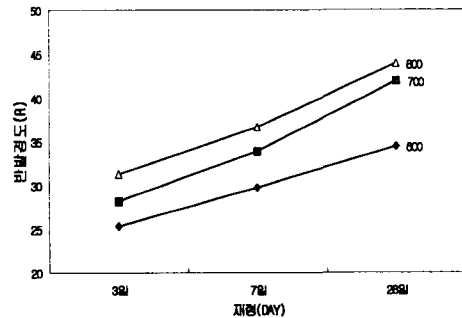


그림 2. 재령에 따른 반발경도 변화

그림 1과 그림 2에서 알 수 있는바와 같이 재령에 따른 반발경도와 압축강도의 증가양상이 압축강도발현이 고강도일수록, 재령이 증가할수록 급격한 경향을 갖는 반면, 반발경도는 재령이 증가할수록 강도에 관계없이 완만한 증가양상을 갖는 것으로 나타나 고강도 영역으로 갈수록 예측식 분석에 주의를 기울여야 할

것으로 사료된다.

또한, 재령에 따른 반발경도의 변화도 압축강도의 결과와 유사한 경향을 보이면서 증가하고 있는데, 이는 반발경도와 압축강도 사이에 어떠한 상관관계가 존재하고, 그 관계의 엄밀한 분석에 의한 압축강도가 반발경도 시험결과를 이용하여 추정가능함을 시사하는 것으로 사료된다.

3. 2. 2 압축강도와 반발경도의 추정식 산정

3. 2. 1 에서 언급한 바와같이 압축강도와 반발경도 측정치의 재령별 증가양상의 유사성으로 그들사이에 상관성이 존재함을 알 수 있었다.

따라서, 본 연구 실험결과를 기초로 압축강도와 반발경도의 상관관계를 3일, 7일 및 28일의 재령별로 분석하여 그림 3~그림 5에 나타내었다.

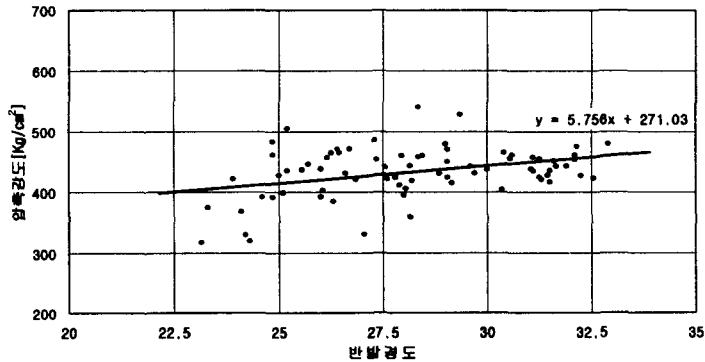


그림 3. 재령 3일에서의 압축강도와 반발경도의 관계

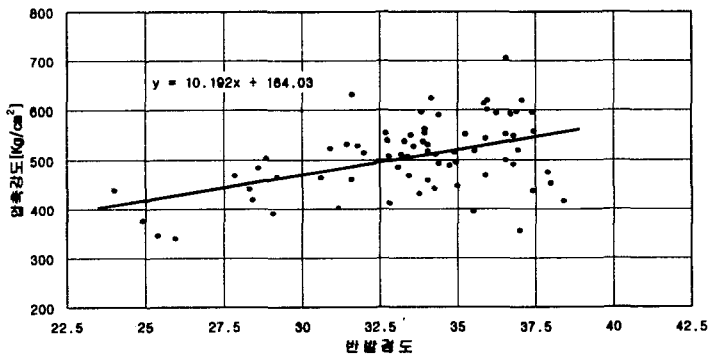


그림 4. 재령 7일에서의 압축강도와 반발경도의 관계

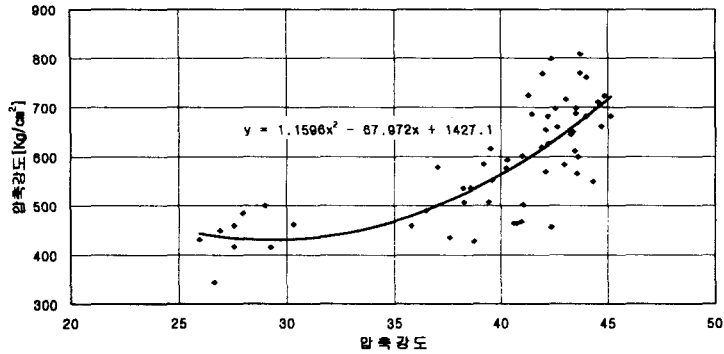


그림 5. 재령 28일에서의 압축강도와 반발경도의 관계

이때 실험결과를 토대로 회귀분석을 수행하여 압축강도와 반발경도사이의 추정식을 도출하였다.

재령 3일, 7일은 압축강도와 반발경도가 선형적인 관계를 유지하면서 증가하는 양상을 보이고 있어 1차 회귀식으로 처리하였고, 재령 28일 강도에서 500kg/cm² 이상인 경우 반발경도 증가량의 범위가 크지 않는데 반해 반발경도 35~40범위에서의 압축강도의 변화는 급격한 증가경향을 보이고 있어 2차회귀식분석을 하였다.

회귀분석에 의한 재령별 강도추정식은 다음 식(2)와 같다.

1) 재령 3일의 고강도 콘크리트

$$F_{c3} = 5.756 R + 271.032 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

2) 재령 7일의 고강도 콘크리트

$$F_{c7} = 10.192 R + 164.03 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

3) 재령 28일의 고강도 콘크리트

$$F_{c28} = 1.1596 R^2 - 67.972 R + 1427.1 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

식 (2)

4. 결론

본 연구에서는 반발경도법을 이용하여 고강도 콘크리트의 재령별 압축강도를 추정함으로써 실험식을 도출하였다.

1) 재령 3일

$$F_{c3} = 5.756 R + 271.032 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

2) 재령 7일

$$F_{c7} = 10.192 R + 164.03 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

3) 재령 28일

$$F_{c28} = 1.1596 R^2 - 67.972 R + 1427.1 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

또한, 고강도콘크리트는 비교적 초기재령인 3일, 7일에서의 강도추정은 1차회 기식으로 충분하나, 재령 28일 강도는 정확한 추정을 위해 2차식 이상의 회기분석을 이용하여 검토되어야 할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. A.M. Neville, "Properties of Concrete," LONGMAN, 581-641, 1996.
2. 오병환, 김광수, 채성태, 장승엽, "초기재령 콘크리트구조물의 비파괴 강도평가 연구," 한국구조물진단학회 가을발표회논문집, pp. 9-14, 1997.
3. 김정일, 박창호, 이병주, "반발경도법에 의한 콘크리트의 압축강도 예측기법," 한국구조물진단학회 가을발표회논문집, pp. 15-19, 1997.
4. 박선규, 김민정, 김규용, 권영진, 김무한, "콘크리트의 압축강도 추정을 위한 반발도법, 초음파속도법 및 복합법의 적용성 검토," 한국구조물진단학회 가을발표회 논문집, pp. 3-8, 1997.
5. 구본근, 오병환, 김영의, 김태봉, 환승환, "비파괴시험에 의한 기존 콘크리트 구조물의 압축강도 추정," 한국콘크리트학회논문집 제6권6호, pp. 159-172, 1994.
6. 김종구, "기존구조물 콘크리트 강도의 검사 및 평가," 한국콘크리트학회논문집 제6권2호, pp. 8-14, 1994.
7. 최규식, "반발경도, 초음파, 탄성파법에 의한 비파괴 검사방법," 한국콘크리트학회 제2회 기술강좌, pp. II-1 - II-11, 1993.
8. 권영웅, "구조물의 안전진단과 신 보수·보강 공법 특강 및 진단장비 활용법," pp. 75-85, 1994.