

콘크리트의 초기강도품질관리를 위한 P형 슈미트햄머법 비파괴시험에 관한 연구

A Study on the Non Destructive Test by P Type Schmidt Hammer for Early Quality Control of Concrete

김기정* 신병호* 이용성** 윤기원*** 한천구****
Kim, Ki Jeong Shin, Byung Ho Lee, Yong Sung Yoon, Gi Won Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This study is intended to present a reference data for effective quality control of concrete through comparing the rebound value of P type schmidt hammer with the compressive strength with variation of mix proportion and curing condition. According to the results, the air-curing specimen shows the higher rebound value than standard specimen except high strength in the whole. Also the vertical stroke shows higher rebound value than horizontal stroke in standard specimen, however, the rebound value of the two does not show prominent difference in air-curing specimen. The estimation equation of compressive strength derived from this experiment estimates the compressive strength more largely than the estimation equation in P type schmidt hammer manual. Therefore it is thought that the new estimation equation that fits our condition will have to be presented.

1. 서론

건설공사에서 구조체 콘크리트 타설 후 거푸집 제거시기의 결정, 초기동해 방지기간 설정 및 설계기 준강도 발현 확인 등과 관련한 초기품질관리에 있어 정확한 압축강도의 추정은 매우 중요한 사항이다. 특히, 거푸집 및 동바리 떼어내기 시기는 콘크리트 표준시방서에서 콘크리트를 지탱하지 않는 경우 보 옆, 기둥 및 벽 등의 측면거푸집은 10℃이상의 온도에서 24시간이상 양생한 후 콘크리트의 압축강도가 50kg/cm²이상을 확인하고, 슬래브 및 보의 밑면, 아치 내면의 거푸집은 설계기준강도의 2/3이상 또는 140kgf/cm²이상을 확인하고 실시하는 것으로 규정하고 있다. 또한 양생온도가 10℃ 이상이며, 압축강도를 시험하지 않는 경우에는 평균기온 및 시멘트의 종류에 따라 2~8일을 존치한 후 떼어내도록 규정하고도 있다. 그러나, 실무 현장에서는 콘크리트의 압축강도를 제대로 확인하지 않고 무분별하게 거푸집을 조기에 제거하는 경우가 많고, 일부는 N형 슈미트햄머의 반발도를 이용하여 압축강도를 추정하는 경우도 있는데, N형 슈미트햄머는 100kgf/cm² 이상인 경우에 적용하는 방법으로써 50kgf/cm²을 확인하기에는 적절하지 못한 방법이다. 건축공사표준시방서에는 구조체관리용 공시체를 제작하여 평가하도록 하고

* 정회원, 청주대 대학원, 석사과정

** 정회원, 청주대 대학원, 박사과정

*** 정회원, 주성대 건축공학과 조교수, 공학박사

**** 정회원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

있으나 이 방법의 경우는 양호한 품질 관리에 이상적인 방법이기에는 하나 번거로움이 지적되고 있다.

한편, P형 슈미트햄머는 50kgf/cm² 이상에서 사용되는 저강도용으로써 위에서 기술한 측면 거푸집 탈형시기 및 초기동해방지기간을 비롯하여 콘크리트 강도의 조기추정, 설계기준강도 확인, 호칭강도 확인, 배합강도의 확인 등 건축공사의 전반에서 N형 슈미트햄머의 단점을 보완하며 유용하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

그러므로, 본 연구에서는 저강도용 P형 슈미트햄머를 이용하여 타설된 콘크리트의 압축강도를 정확히 추정하여 초기 콘크리트 시공 품질관리에 한참고자료로 제시하기 위하여 배합조건 및 양생조건 변화에 따른 P형 슈미트햄머의 반발도와 압축강도간의 상관성을 비교 분석하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

먼저, 배합사항으로는 W/C는 40, 45, 50, 55, 60%의 5수준으로 목표 슬럼프는 8, 12, 18cm, 목표 공기량은 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계하였는데, 배합사항은 표 2와 같다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량을 측정하도록 하였고, 경화콘크리트에서는 양생조건에 따라 수중과 기중으로 분리하여 양생하고, 계획된 재령에서 타격방향별 P형 슈미트햄머의 반발도와 압축강도를 측정하였다.

표 1 실험계획

실험요인		수준	
배합사항	W/C(%)	5	40, 45, 50, 55, 60
	슬럼프(cm)	1	8, 12, 18
	양생조건	2	수중, 기중
실험사항	굳지않은 콘크리트	4	· 슬럼프 · 슬럼프플로우 · 공기량 · 단위용적중량
	경화 콘크리트	4	· 표준 및 기중양생공시체 압축강도 (1, 3, 7, 28일) · 표준양생공시체의 수평면 P형 슈미트햄머의 반발도 (1, 3, 7, 28일) · 표준양생공시체의 수직면 P형 슈미트햄머의 반발도(3, 7, 28일) · 기중양생공시체의 수평 및 수직면 P형 슈미트햄머의 반발도(28일)

표 2 배합사항

W/C (%)	목표슬럼프 (cm)	단위수량 (kg/m ³)	S/a (%)	AER/C (%)	절대용적(ℓ/m ³)		
					C	S	G
40	8	155	42	0.45	123	284	393
	12	160	43	0.45	127	287	381
	18	175	46	0.35	139	295	346
45	8	150	43	0.35	106	301	399
	12	160	44	0.35	113	300	382
	18	170	47	0.45	120	313	352
50	8	155	43	0.25	98	302	400
	12	165	45	0.30	105	308	377
	18	175	47	0.40	111	314	355
55	8	155	44	0.40	89	313	398
	12	160	46	0.40	92	324	379
	18	175	48	0.40	101	326	353
60	8	155	45	0.30	82	323	395
	12	165	46	0.40	87	323	379
	18	175	48	0.40	93	330	357

표 3 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,522	0.16	209	353	214	305	392

표 4 골재의 물리적 성질

구분	비중	조립률	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)	0.08mm체 통과량
잔골재	2.6	2.8	1.17	1,622	1.5
굵은골재	2.6	6.9	1.2	1,626	0.3

표 5 혼화제의 성질

구분	주성분	형태	색상	비중 (20. C)	점도 (mPas)
AE 감수제	나프탈렌계	액상	암갈색	1.18	15.0

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 잔골재는 인천 중구 항동에서 채취한 세척사를 사용하였고, 굵은 골재는 충북 옥산산 25mm 부순 굵은골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 4과 같다. 또한, 혼화제로써 AE감수제는 국내산 J사의 나프탈렌계를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 5와 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 20rpm에서 30초간 건비빔 후, 물을 투입하고 30rpm으로 60초간 비빔 다음, AE감수제를 첨가하고 40rpm으로 90초간 혼합한 후 배출하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402에 따라 실시하였고, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량 시험은 KS F 2421, 단위용적중량은 KS F 2409의 규정에 준하여 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도 시험용공시체 제작은 KS F 2403 규정에 따라 $\phi 10 \times 20$ cm 공시체로 제작하였으며, 반발도 시험용 공시체는 한번의 길이가 20cm인 정육면체로 제작하였다. 양생은 공시체 탈형후 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 수중에서 실시하였는데, 기중의 경우는 실무의 살수양생조건과 유사한 조건이 되도록 수중에서 7일간 양생한 후 기중으로 꺼내어 양생하였다. 압축강도시험은 실험계획된 재령에서 KS F 2405 규정에 의거 실시하였다. P형 슈미트햄머에 의한 반발도 측정은 수직면과 수평면 타격으로 구분하여 측정하였는데, 수직면 타격시에는 시험체의 움직임에 의한 타격에너지의 산란을 방지하기 위해 $25\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 고정된 후 측정하였는데, 그 타격위치는 모서리에서 5.5cm 떨어진 위치로부터 3cm 간격으로 방안선을 그어 이루어진 교차점 16점을 대상으로 하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

표 6은 굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 것이다.

슬럼프는 목표 슬럼프값의 $\pm 1\text{cm}$ 의 범위에 속하였고, 공기량도 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하였다. 단위용적중량은 물시멘트비가 증가할수록, 슬럼프치가 작을수록, 또한 공기량이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

표 6 굳지않은 콘크리트의 실험결과

W/C (%)	목표 슬럼프 (cm)	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적중량 (kg/m^3)
40	8	7.8	22.7	4.5	2,298
	12	12.4	23.2	3.5	2,343
	18	19.0	28.9	3.7	2,357
45	8	7.1	21.7	4.0	2,339
	12	11.5	23.3	3.7	2,349
	18	17.8	28.8	4.0	2,333
50	8	8.5	20.5	4.2	2,310
	12	12.4	22.8	4.0	2,325
	18	18.7	32.0	4.5	2,281
55	8	8.0	20.6	4.7	2,314
	12	12.4	22.6	4.8	2,299
	18	18.5	33.5	3.5	2,337
60	8	7.1	21.0	4.7	2,299
	12	12.5	23.0	4.5	2,309
	18	19.0	33.8	3.8	2,324

그림 1은 재령경과에 따른 압축강도를 W/C 및 슬럼프별로 나타낸 그래프이다.

당연한 결과로 재령이 경과할수록 물시멘트비가 작을수록 압축강도가 큰 것으로 나타났다.

그림 2는 그림 1과 동일한 요령으로 표준양생공시체에서 W/C, 슬럼프 및 타격방향별 재령경과에 따른 P형 슈미트햄머의 반발도를 나타낸 그래프이다.

압축강도와 유사한 경향으로 재령이 경과할수록 물시멘트비가 작을수록 반발도값이 더 크게 나타났는데, 재령이 경과할수록 W/C별 반발도 차이가 큰 것으로 나타났다.

그림 3은 양생조건별 C/W 변화에 따른 재령별 압축강도를 산점도로 비교한 그래프로써 C/W가 커질수록 압축강도도 증가하는 것으로 나타났는데, 재령이 경과할수록 C/W별 압축강도의 차가 더욱 현저해지는 것을 알 수 있었다. 양생 조건에 따라서는 재령 28일에서의 기중양생공시체의 압축강도가 수중양생공시체의 압축강도보다 전반적으로 큰 것으로 나타났다.

그림 4는 C/W 변화에 따른 P형 슈미트햄머의 반발도를 재령, 타격방향 및 양생조건별로 나타낸 것이다.

전반적으로 압축강도와 유사한 경향으로 재령이 경과할수록 반발도값이 커지는 것으로 나타났는데, 초기재령에서는 C/W에 따라 큰 차이를 보이지 않지만 재령이 경과할수록 커지는 것으로 나타났다. 한편, 기중양생공시체의 경우 C/W 2.5(W/C 40%)를 제외하고 수중양생공시체보

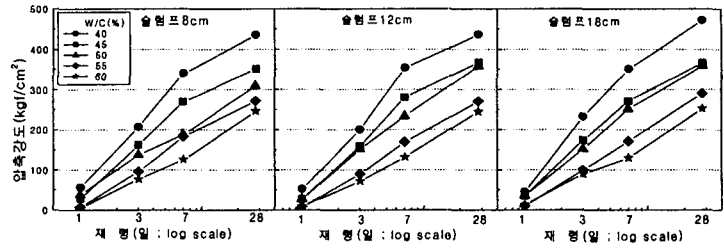


그림 1 재령경과에 따른 슬럼프별 압축강도

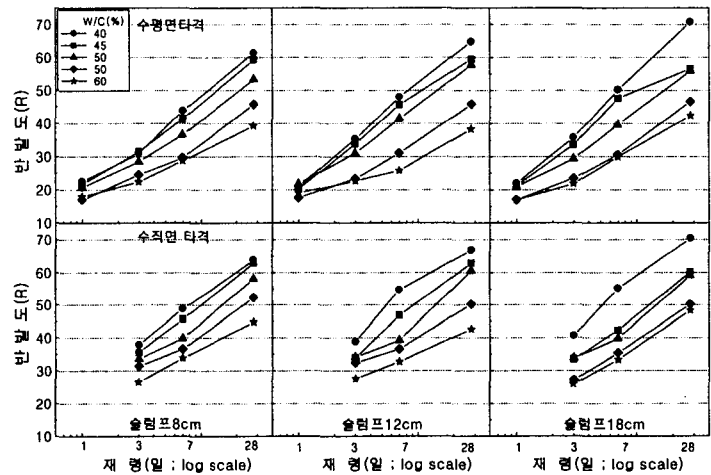


그림 2 재령경과에 따른 슬럼프 및 타격방향별 반발도

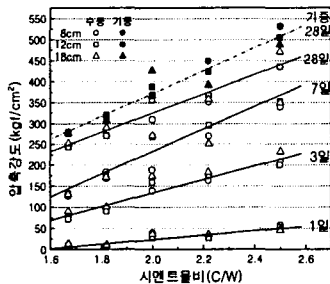


그림 3 시멘트물비에 따른 압축강도

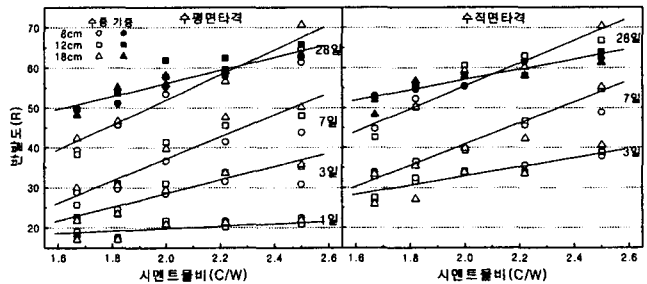


그림 4 C/W에 따른 재령 및 슬럼프별 반발도

다 반발도값이 크게 나타났고, 압축강도 차이에 비하여 반발도 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

그림 5는 수중 및 기중양생 공시체의 재령 28일 반발도를 타격방향별로 비교한 것이다.

전반적으로 수중과 기중양생공시체의 반발도는 비례하고, 타격방향별로는 유사한 것으로 나타났다. 또한, 큰 반발도에서 일부를 제외하고는 기중양생공시체의 반발도가 수중양생공시체의 반발도보다 큰 것으로 나타났는데, 이는 기존의 이론과 같이 슈미트햄머의 반발도가 콘크리트 표면상태의 영향을 많이 받기 때문으로 즉 기중양생공시체의 경우 기중의 이산화탄소에 의해 표면의 탄산화가 진행되면서 표면 경도가 커진 것으로 분석된다.

그림 6은 타격방향에 따른 재령 28일의 반발도를 양생조건별로 구분하여 비교한 그래프이다.

타격방향에 따른 반발도는 평균적으로 수직면타격이 수평면타격의 경우보다 평균 4정도 크게 나타났는데, 이는 수직면타격의 경우에 가한 압력력(25kgf/cm²)의 영향으로 분석된다. 한편, 양생조건별에서 기중양생의 경우는 타격방향별 반발도의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

그림 7은 P형 슈미트햄머의 반발도로부터 압축강도를 추정하기 위한 반발도와 압축강도와의 관계를 양생조건별로 구분하여 산점도로 나타낸 것으로, 슈미트햄머의 사용설명서에 제시된 추정식과 함께 비교한 그래프이다.

P형 슈미트햄머의 반발도에 의한 압축강도추정식은 그래프에 제시된 회귀식과 같다. 먼저, 타격방향에 따라서 수평면타격의 경우 양생조건별 반발도와 압축강도간의 관계는 유

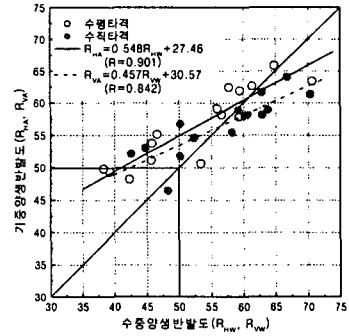


그림 5 양생조건간 반발도 비교

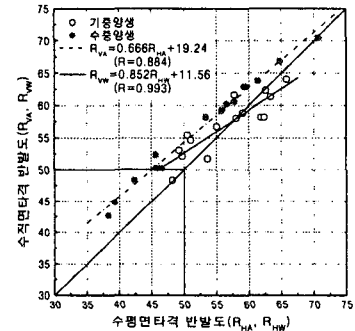


그림 6 타격방향간 반발도비교

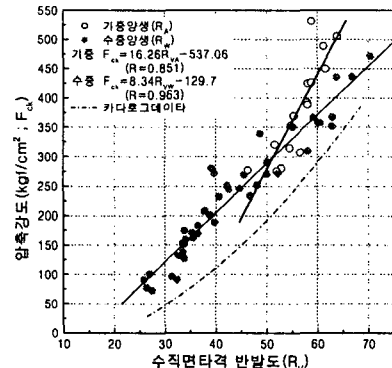
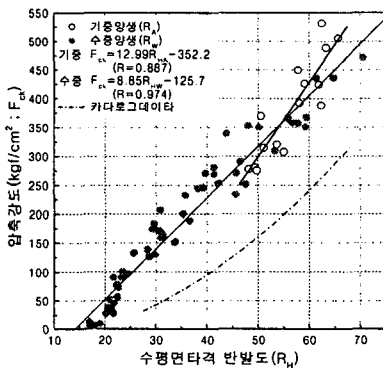


그림 7 양생조건별 슈미트햄머의 반발도와 압축강도 비교

사한 것으로 나타났고 수직면의 경우는 기중양생의 경우가 고강도로 갈수록 큰 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다. 이번 연구에서 도출된 압축강도 추정식은 초기재령에서 구한 것으로 사용설명서에 제시된 것보다 동일한 반발도일 경우 실측압축강도가 큰 것으로 나타나, P형 슈미트햄머를 이용한 압축강도품질관리에는 국내조건에 맞는 새로운 추정식이 제시되어야 할 것으로 판단된다. 한편, P형 슈미트햄머의 반발도와 압축강도간의 상관성은 기중양생의 경우가 수중양생보다 약간 저하하나 전반적으로 양호한 상관성을 나타내는 것으로 분석되어 P형 슈미트햄머에 의한 콘크리트 초기 강도품질관리의 가능성을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 시공과정중인 콘크리트의 초기강도 품질관리를 목적으로 P형 슈미트햄머에 의한 압축강도 추정에 대하여 기초적으로 검토한 실험적 연구로써 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 수중양생공시체의 반발도와 기중양생공시체의 반발도는 비례하는 경향으로 기중양생공시체의 반발도가 수중양생공시체의 반발도에 비해 일부 고강도 영역을 제외하고 일반강도범위에서는 전반적으로 더 큰 값을 나타냈는데 이는 기중양생의 경우에 공기중의 이산화탄소에 의한 표면탄산화의 영향으로 분석된다.

(2) 수평 및 수직의 타격방향에 따른 반발도는 수중양생의 경우 수직면 타격이 수평면 타격에 비해 더 크게 나타났고, 기중양생의 경우에는 타격방향에 따른 반발도의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

(3) P형 슈미트햄머의 반발도와 압축강도의 관계에서 수평면, 수직면 타격의 경우 모두 사용설명서에 제시된 압축강도 추정식과는 큰 차이를 보이고 있고, 기중의 경우도 고강도로 갈수록 큰 차이를 보이고 있는 것으로 나타났는데, 같은 반발도에서 본 실험추정식이 더 크게 압축강도를 평가하는 것으로 나타났다. 이때, P형 슈미트햄머에 의한 압축강도 추정식은 다음과 같다.

- 수중양생 수평면 타격 : $F_{ck} = 8.85R_H - 125.7$
- 수중양생 수직면 타격 : $F_{ck} = 8.34R_V - 129.7$
- 기중양생 수평면 타격 : $F_{ck} = 12.99R_H - 352.2$
- 기중양생 수직면 타격 : $F_{ck} = 16.26R_V - 537.06$

이상의 결과를 종합하면 P형슈미트햄머의 반발도와 압축강도의 양호한 상관관계를 확인할 수 있었으며 이를 효과적으로 활용하면 콘크리트의 초기품질관리에 유용하게 활용되어질 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 한천구 ; 건축구조물의 거푸집 탈형시기 결정, 레미콘 아스콘 골재, pp. 40~46, 1998.11.
2. 전충근, 김상우, 신병호, 황인성, 신병철, 한천구 ; P형 슈미트햄머의 반발도를 이용한 거푸집 탈형시기의 결정에 관한 타당성 검토, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, Vol. 13, No.2, pp.909~912. 2000.11
3. 한국콘크리트학회 편 ; 반발경도법에 의한 비파괴검사법, 콘크리트 구조물의 비파괴 검사 및 안전진단 pp. 63~73
4. 明石外世樹 ; コンクリート非破壊試験の概要, コンクリートの非破壊試験法, pp. 11~81