

# P형 슈미트햄머에 의한 압축강도 추정에 관한 검토

## An Investigation on Estimation of the Compressive strength by P Type Schmidt Hammer

김기정\* 이용성\*\* 이백수\*\* 윤기원\*\*\* 최영화\*\*\*\* 한천구\*\*\*\*\*

Kim, Ki-JeongLee, Yong-SungLi, Bai-ShouYoon, Gi WonChoi, Young-WhaHan, Cheon-Goo

### Abstract

This study is intended to analyze the relationship between the rebound value of P type schmidt hammer and the compressive strength for a quality control of concrete. According to the results, the compressive strength of standard curing specimen increases in proportion to age, but that of air curing specimen hardly increases after 28 days. The rebound value of P type schmidt hammer, however, increases due to carbonation of concrete in air curing specimen. The correlativity between the rebound value and the compressive strength is very favorable in the case of standard curing specimen, but drops remarkably in the case of air curing specimen. Thus, as application of age coefficient is required for exact estimation of the compressive strength, the age coefficient is derived from this study. The age coefficient of P type schmidt hammer is higher at the age of 3 and 7days, and drops significantly, compared with the age of 28days. And it is lower before 28days than that of N type schmidt hammer suggested in Japan, and shows the similar tendency after 28days.

키워드 : P형 슈미트햄머, 반발도, 압축강도추정 재령계수

Keywords : P type schmidt hammer, Rebound value, Estimation of the compressive strength, Age coefficient

### 1. 서론

콘크리트 구조체의 품질관리와 관련하여 정확한 압축강도의 추정은 매우 중요한 사항이다.

이러한 콘크리트의 초기품질관리에 있어 100kgf/cm<sup>2</sup>이상에서 적용되는 N형 슈미트는 부적합한 점이 있고, 또한 구조체 관리용 공시체는 번거로움이 지적되고 있어 배합변화에 따른 저강도용 P형 슈미트햄머의 적용가능성을 연구한 바 있다.

그러나, P형 슈미트햄머를 이용한 콘크리트 품질관리에 있어 초기동해방지기간설정 및 거푸집제거시기 등과 관련한 압축강도 50kgf/cm<sup>2</sup>의 확인뿐만 아니라 설계기준강도의 확인, 91일 관리재령의 연장 등과 관련된 콘크리트의 전반적인 품질관리를 있어서도 P형 슈미트햄머의 적용성을 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 재령 91일까지의 재령에서 P형 슈미트햄머의 반발도와 압축강도를 비교검토하여 P형 슈미트햄머의 실무적용성을 높이고, 또한 기중양생에서의 재령계수를 제안하여 P형 슈미트햄머를 이용한 보다 정확한 압축강도 추정을 위한 참고자료로 제시하고자 한다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

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

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프

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	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 슬럼프</li> <li>• 슬럼프플로우</li> <li>• 공기량</li> <li>• 단위용적중량</li> </ul>
	경화 콘크리트	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 표준 및 기중양생공시체 압축강도 (1, 3, 7, 28, 91일)</li> <li>• 표준 및 기중양생공시체의 수평 및 수직면 타격 P형 슈미트햄머의 반발도(1, 3, 7, 28, 91일)</li> </ul>

플로우, 공기량 및 단위용적중량을 측정하도록 하였고, 경화

\* 정희원, 청주대 대학원, 석사과정

\*\* 정희원, 청주대 대학원, 박사과정

\*\*\* 정희원, 주성대 건축공학과 조교수, 공학박사

\*\*\*\* 정희원, 대구대 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 정희원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

콘크리트에서는 양생조건에 따라 수중과 기중으로 분리하여 양생하고, 계획된 재령에서 타격방향별 P형 슈미트햄머의 반발도와 압축강도를 측정하였다.

## 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, 공기량 시험은 KS F 2421, 단위용적중량은 KS F 2409의 규정에 준하여 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도 시험은 KS F 2405 규정에 따라 실시하였고, 반발도 시험용 공시체는 한번의 길이가 20cm인 정육면체로 제작하여 이용하였다. 양생은 공시체 탈형후 20±3℃의 수중에서 실시하였는데, 기중의 경우는 실무의 살수양생조건과 유사한 조건이 되도록 수중에서 7일간 양생한 후 기중으로 꺼내어 양생하였다. P형 슈미트햄머에 의한 반발도 측정은 수직면과 수평면 타격으로 구분하여 측정하였고, 수직면 타격시에는 시험체의 움직임에 의한 타격에너지의 산란을 방지하기 위해 25kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 고정된 후 측정하였고, 그 타격위치는 모서리에서 5.5cm 떨어진 위치로부터 3cm 간격으로 방안선을 그어 이루어진 교차점 16점을 대상으로 하였다.

표 2. 배합사항

W/C (%)	목표슬럼프 (cm)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	AER/C (%)	절대용적 (ℓ/m <sup>3</sup> )		
					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 <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
			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 <sup>3</sup> )	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)
AE 감수제	나프탈렌계	액상	암갈색	1.18

표 6. 굳지않은 콘크리트의 실험결과

W/C (%)	목표슬럼프 (cm)	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )
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

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

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

슬럼프는 목표 슬럼프값의 ±1cm의 범위에 속하였고, 공기량도 4.5±1.5%를 만족하였다. 단위용적중량은 물시멘트비가 증가할수록, 공기량이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

#### 1) 압축강도 특성

그림 1은 재령 및 양생조건별 C/W 변화에 따른 압축강도를 산점도로 나타낸 것이다.

전반적으로 C/W가 커질수록, 재령이 경과할수록 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 재령 28일인 경우 양생조건에

따른 압축강도는 기중양생공시체가 수중양생공시체보다 전반적으로 크게 나타났다. 수중양생공시체의 압축강도는 재령경과에 따라 계속적으로 압축강도가 증가한 반면, 기중양생인 경우는 재령 28일 이후 강도의 증진이 거의 없어 재령 91일에는 수중양생공시체의 압축강도가 기중양생보다 더 크게 나타났다.

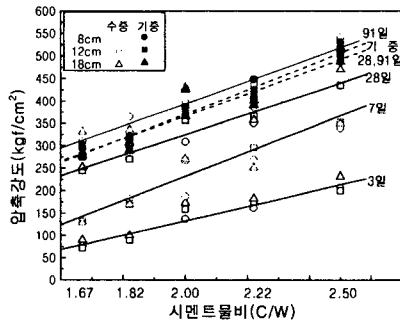


그림 1. C/W에 따른 압축강도

2) 반발도 특성

그림 2는 C/W변화에 따른 P형 슈미트햄머의 반발도를 재령 및 양생조건별로 나타낸 것이다.

전반적으로 P형 슈미트햄머의 반발도는 압축강도와 유사한 경향으로 C/W가 커질수록 재령이 경과할수록 크게 나타났다. 양생조건에 따라서는 기중양생공시체의 경우가 수중양생공시체와 비교하여 낮은 강도 범위에서는 크게, 높은 강도 범위에서는 작게 나타났고, C/W에 따라 기중양생공시체의 압축강도 차이가 크게 나타남에도 불구하고 슈미트햄머의 반발도의 차이는 수중양생과 비교하여 크지 않은 것으로 나타났다.

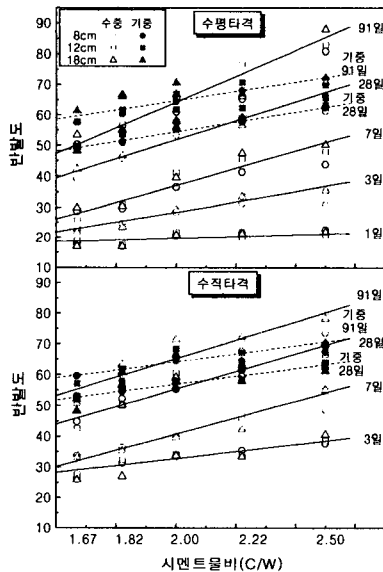


그림 2. 재령 및 타격방향별 C/W에 따른 P형 슈미트햄머의 반발도

한편, 기중양생공시체의 압축강도는 28일 이후에 거의 증가되지 않은 반면, P형 슈미트햄머의 반발도는 재령경과에 따라 증가하는 경향으로 나타났다. 이는 콘크리트 표면이 공기중 이산화탄소에 의해 탄산화되면서 강도의 증가없이도 표면경도가 증가하였기 때문인 것으로 판단된다.

3) 압축강도 추정

그림 3은 양생조건 및 타격방향별 P형 슈미트햄머의 반발도와 압축강도의 관계를 산점도로 비교하여 나타낸 것이다.

P형 슈미트햄머의 반발도는 압축강도가 증가할수록 비례하여 증가하였다. 양생조건에 따라서는 수평면 타격시에는 큰 차이가 없었으나 수직면 타격시에는 기중양생의 경우 고강도로 갈수록 수중양생보다 같은 반발도에서 압축강도를 더 크게 추정하고 있는 것으로 나타났다.

슈미트햄머와 압축강도간의 상관성으로서 수중양생에서 수평면 타격은 0.972, 수직면 타격은 0.967로 나타나 상관관계가 매우 양호하였다. 한편, 기중양생의 경우는 각각 0.664, 0.681로 나타나 수중양생에 비해 상관성이 크게 저하하였는데, 이는 수중양생의 경우 공기와 차단되어 공기중 이산화탄소에 의한 표면탄산화가 진행되지 않은 반면, 기중양생의 경우는 앞에서 언급한 것처럼 기중양생공시체의 압축강도가 거의 증가되지 않았음에도 불구하고 표면탄산화에 의해 표면경도가 증가함에 기인한 것으로 판단된다.

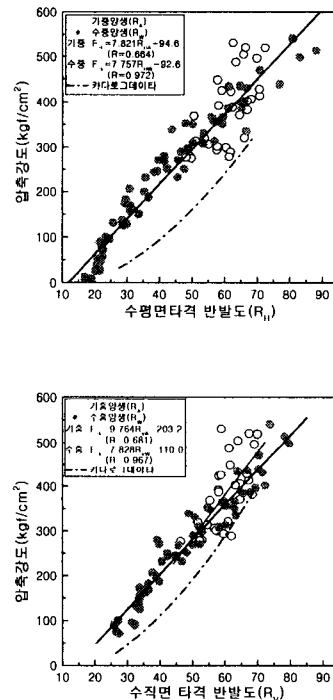


그림 3. 타격방향별 P형슈미트햄머의 반발도와 압축강도 비교

또한, P형 슈미트햄머의 경우는 일반적으로 50 ~ 300kgf/cm2의 범위에서 적용되는 것으로 알려져 있으나 실험 결과 300kgf/cm2이상 500kgf/cm2에 가까운 고강도 범위에서도 비교적 정확한 압축강도 추정이 가능함을 확인할 수 있었

다. 따라서, P형 슈미트햄머를 이용하여 거푸집 제거시기 및 초기동해방지시기 결정과 관련된 압축강도 50kgf/cm<sup>2</sup>의 확인 뿐만 아니라 고강도 콘크리트의 설계기준강도 및 배합강도 확인 등 압축강도 추정과 관련한 건축공사 전반에서 N형 슈미트햄머를 대신해서 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

그림 4는 기중양생에서 타격방향별 재령 28일과 91일을 구분하여 반발도와 압축강도를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 재령에 따라 추정식을 달리 적용하면 추정정밀도가 높아지는 것을 확인할 수 있는데, 이는 이미 언급한 것처럼 콘크리트의 표면 탄산화의 영향으로 판단된다. 따라서 P형 슈미트햄머의 실무적용성을 높이기 위해서는 재령계수의 고려가 요구되었다.

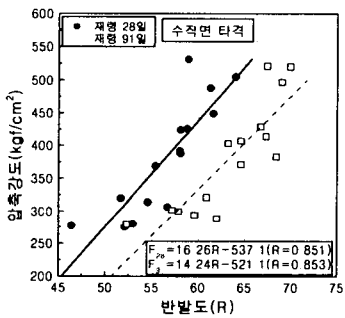
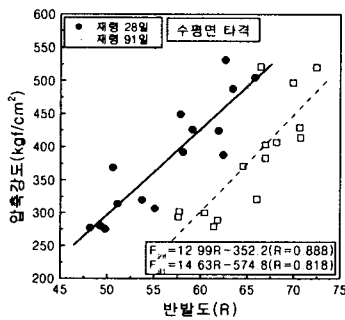


그림 4. 재령별 반발도에 의한 압축강도 추정

#### 4) 재령계수의 제안

그림 4에서와 같이 재령별 반발도에 의한 압축강도 추정은 콘크리트 표면의 탄산화에 기인하여 큰 차이를 보이고 있다. 따라서 재령에 따른 보정을 통해 압축강도 추정성을 높이기 위해 본 연구에서는 반발도와 재령을 복합적으로 고려한 압축강도 추정식을 제안하였다. 즉 반발도와 재령을 복합적으로 고려하여 압축강도와 다중상관회귀모형을 도출하였는데 이를 타격방향에 따라 구분하면 다음과 같다.

$$FH = -148.1 + 10.21R - 1.53t (R^2=0.906)$$

$$FV = -427.2 + 11.73R - 1.30t (R^2=0.911)$$

여기서, FH : 수평면 타격 압축강도

FV : 수직면 타격 압축강도

R : 반발도

t : 재령(일)

표 7은 실무에서 구조체 콘크리트가 7일동안 습윤양생한 후 기중양생과 같은 조건이 된다고 가정할 때 앞에서도출한 식으로부터 타격방향별 각 재령의 추정강도를 구한 후 28일 강도에 대한 비로 재령계수를 산정한 결과이다.

표 7. 반발도별 재령계수

타격 방향	재령 (일)	반발도(R)				
		50	55	60	65	70
수평면 타격	3	1.12	1.10	1.09	1.08	1.07
	7	1.10	1.08	1.08	1.07	1.06
	28	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
수직면 타격	3	1.11	1.09	1.08	1.07	1.06
	7	1.09	1.07	1.06	1.06	1.05
	28	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
수직면 타격	91	0.70	0.74	0.77	0.80	0.82
	91	0.73	0.78	0.81	0.83	0.85

표 8. 재령계수의 비교

구분	재령(일)						
	3	7	10	20	28	91	100
N형	-	-	1.55	1.12	1.0	-	0.78
P형수평	1.09	1.08	-	-	1.0	0.77	-
P형수직	1.08	1.07	-	-	1.0	0.80	-

28일을 1.00이라 할 때 재령 3일 및 7일의 재령계수는 이보다 더 크게 나타났고, 재령 91일의 재령계수는 크게 저하하였는데, 이처럼 재령이 경과할수록 재령계수가 감소하는 것은 콘크리트의 표면탄산화로 인해 강도의 증진없이도 반발도가 증가하기 때문인 것으로 분석된다. 또한 반발도별 재령계수는 반발도가 작아질수록 감소하여, 재령의 영향을 크게 받는 것을 확인할 수 있었고, 타격방향에 따른 재령계수는 3일 및 7일 재령에서는 수평면 타격이, 91일 재령에서는 수직면 타격이 더 크게 나타났다.

표 8은 일본에서 제안된 N형 슈미트햄머의 재령별 재령계수와 본 실험에서 제안된 타격방향별 P형 슈미트햄머의 재령계수를 비교하여 나타낸 것이다.

P형 및 N형 슈미트햄머의 재령계수를 비교할 때 P형 슈미트햄머의 재령계수는 재령 28일 이전에는 N형 슈미트햄머보다 매우 작게 나타났고, 재령 91일에서는 N형 슈미트햄머와 비슷한 결과임을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구는 P형 슈미트햄머를 이용한 콘크리트 품질관리에 관한 일련의 연구로 P형 슈미트햄머의 반발도에 의한 압축강도 추정을 비교검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 재령 28일과 91일의 경우 기중양생압축강도는 거의 증진되지 않은 반면, P형 슈미트햄머의 반발도는 콘크리트 표면의 탄산화에 따른 표면경화로 어느 정도 크게 증진되어 강도 추정식의 편차요인으로 작용하였다.

- 2) 본 실험에서 유도된 P형 슈미트햄머에 의한 압축강도 추정식은 그림 3에 제시된 식과 같고, 그 상관성은 수중양생의 경우는 매우 양호하였으나, 기중양생의 경우는 상관성이 크게 저하하였다. 또한 P형 슈미트햄머는 압축강도 50~300kgf/cm<sup>2</sup>로 제안되고 있으나, 실험결과, 50kgf/cm<sup>2</sup> 이하부터 600kgf/cm<sup>2</sup>까지도 양호한 상관성이 있음을 알 수 있었다.
- 3) 기중양생의 경우 반발도와 재령을 복합적으로 고려한 다중상관 회귀식은 다음과 같다.
- $$FH = -148.1 + 10.21R - 1.53t(R^2=0.906)$$
- $$FV = -427.2 + 11.73R - 1.30t(R^2=0.911)$$
- 4) 본 연구에서 제안된 각 재령별 재령계수는 28일을 기준으로 할 때 3일 및 7일에서는 더 크게 나타났고, 91일에서는 크게 저하하였다. 또한, 일본건축학회에서 제안된 N형 슈미트햄머의 재령계수와 비교할 때 28일 이전에서는 작게 이후에서는 비슷하게 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 이백수, 한천구 ; 제주지역 골재를 이용한 콘크리트의 슈미트햄머법 비파괴시험 적용, 대한건축학회는문집, pp. 91-98, 2002. 3