

## 고강도콘크리트 시공시 측면 거푸집 탈형시기의 결정

한천구<sup>1)</sup> · 한민철<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> 청주대학교 건축공학과

(2003년 10월 31일 원고접수, 2004년 4월 15일 심사완료)

### Determination of Removal Time of the Side Form in High Strength Concrete

Cheon-Goo Han<sup>1)</sup> and Min-Cheol Han<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Architectural Engineering, Chongju University, Chongju, 360-764, Korea

(Received October 31, 2003, Accepted April 15, 2004)

#### ABSTRACT

In this paper, method for the determination of removal time of the side forms in high strength concrete are discussed using the estimation model of compressive strength development, the development of bond strength and rebound number of P type Schmidt hammer in order to review the validity of existing regulation as to side form removal and offer effective quality control method. According to the results, as W/B increases by 10%, the setting time is shortened by about 2 hours. In the scope of the paper, required time to gain 8MPa of compressive strength is determined about 17~20 hours of age and 21~25°D · D of maturity. Bond strength between form and concrete shows the highest value around final setting time, but decreases drastically after that. Amount of concrete sticking on the form is large before setting completed, but after that, its amount shows decline tendency. The rebound value test with P type schmidt hammer can be started faster by 2~3 hours than compressive strength test. It is also confirmed that the removal of forms is possible when the rebound value of P type schmidt hammer is more than 32. It is found from the results that existing regulation regarding removal time of the side form of high strength concrete provided in KCI needs no revision because required time to gain the strength provided in KCI has no adverse effect on strength development at early age and surface condition during stripping the side form. Effective procedure to decide the removal time of side form can be performed by applying P type Schmidt hammer.

**Keywords :** high strength concrete, bond strength, removal time of form, maturity, P type schmidt hammer

#### 1. 서 론

최근 건설기술의 급속한 발전에 따라 건설 구조물은 대형화, 고층화, 특수화 등으로 다양한 요구가 증대되면서 고강도콘크리트에 대한 관심이 높아지고 있다.

한편, 우리나라의 건설공사 현장에서는 초고층 콘크리트 건물들의 공기단축을 위하여 선조립 철근을 배근하고, ACS 폼(auto climbing system form) 혹은 미끄럼 거푸집(sliding form) 등 시스템화된 거푸집을 도입하며, 고강도 콘크리트의 빠른 강도발현을 통한 벽체 거푸집의 조기 탈형 방법을 강구하는 등 다각적인 노력을 기울이고 있다.

그런데, 고강도콘크리트의 거푸집 탈형시기의 결정과 관련하여는 현행 우리나라 콘크리트 표준시방서<sup>1)</sup>에서는 「고강도콘크리트용 거푸집은 콘크리트가 자중 및 시공시

가해지는 하중에 충분히 견딜만한 강도를 가질 때까지 해체해서는 안되며, 높은 수화열로 인한 균열발생 가능성이 크므로 제거시기에 신중하여야 한다.」로 규정되어 있을 뿐 별다른 언급이 없으나, 콘크리트 건설 제요령<sup>2)</sup>에 따르면 「고강도콘크리트의 기초, 보, 기둥 및 벽의 거푸집 탈형시기는 콘크리트의 압축강도가 8MPa 이상 도달하여야 해체할 수 있도록」 규정하고 있다. 이는 고강도콘크리트의 경우 조기강도발현이 매우 중요하기 때문에, 지나치게 조기에 떼어내면 양생이 불충분하여 소정의 고강도를 얻지 못할 염려가 있기 때문이라고 설명하고 있으나, 소요강도에 대하여는 특별한 이유 없이 8MPa 정도로 결정하고 있는 실정이다. 한편, ACI 363<sup>3)</sup>에서도 고강도콘크리트인 경우 양생의 불리한 점 때문에 압축강도가 8MPa 정도에서 제거하도록 권하고 있다.

아울러 극히 일부 실무 건설공사 현장에서는 일반콘크리트의 탈형가능 강도인 5MPa로 관리하거나, 공기의 중

\* Corresponding author  
Tel : 043-229-8480 Fax : 043-229-8480  
E-mail : twhan@cju.ac.kr

요성만이 강조되어 콘크리트의 압축강도 발현을 충실히 확인하지 않고 초기에 거푸집을 탈형하여, 거푸집 표면에 콘크리트가 부착되어 박리 탈락하는 현상 및 균열 등 각종 결함이 발생함으로써 콘크리트의 품질을 저하시키는 원인이 되고 있다. 그러므로, 본 연구에서는 초기재령에서 고강도콘크리트의 압축강도 발현 특성을 검토 및 해석하고, 시간경과에 따른 콘크리트와 거푸집 간의 부착강도 특성을 분석하며 아울러, P형 슈미트해머를 이용한 반발도와 압축강도 간의 상관관계를 검토함으로써 궁극적으로는 실무의 고강도콘크리트 측면 거푸집 탈형과 관련한 관련 규정의 적합성을 재검토하고 거푸집 탈형시기 결정과 연관한 효율적인 품질관리 방법에 대하여 제안하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다. 즉, 실험요인으로 플라이애쉬 20%와 실리카폼 10%를 치환한 물-결합재비(W/B) 25% 및 35%의 고강도콘크리트와 혼화제를 치환하지 않은 W/B 45%의 보통강도 콘크리트인 3수준에 대하여 목표 슬럼프 21±2.5cm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합 설계하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험사항으로는 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량, 단위용적질량 및 응결시간을 측정하는 것으로 하였고, 경화 콘크리트의 실험으로는 3~6시간 간격으로 48시간까지 콘크리트와

Table 1 Design of experiments

Items		Factors	
Mixture	W/B(%)	3	25, 35 (High strength concrete) 45 (Normal strength concrete)
	Fly ash(%)	1	20*
	Silica fume(%)	1	10*
	Slump(cm)	1	21±2.5
	Air content(%)	1	4.5±1.5
Experimental	Fresh concrete	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slump</li> <li>Slump flow</li> <li>Air content</li> <li>Unit weight</li> <li>Setting time</li> </ul>
	Hardened concrete	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bond strength between concrete and form (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 36, 42, 48hours)</li> <li>Rebound number with P type Schmidt hammer (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 36, 42, 48hours)</li> <li>Compressive strength (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 36, 42, 48hours, 7days, 28days)</li> </ul>

\* is incorporated only in W/B 25% and 35%

거푸집의 부착강도, P형 슈미트해머의 반발도 및 압축강도를 측정하는 것으로 하였다. 단, 압축강도의 경우는 재령 7일과 28일도 실험을 실시하였다. 본 실험에 사용한 콘크리트의 배합사항은 Table 2와 같다.

### 2.2. 사용재료

본 실험에 사용한 재료로 먼저, 시멘트의 경우는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트로서, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다. 혼화제는 충남 보령화력산 플라이애쉬와 노르웨이산 실리카폼을 사용하였는데, 각각의 성질은 Table 4 및 5와 같다. 잔골재는 충북 청원군 부강산 강모래, 굵은골재는 충북 옥산산 25mm 부순돌을 사용하였는데, 각각의 성질은 Table 6과 같다. 또한, 혼화제로서 AE제는 나프탈린계, 고성능 감수제는 국내산 폴리칼본산계를 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 Table 7과 같다. 거푸집은 KS F 3110에서 규정한 콘크리트용 거푸집 합판을 사용하였는데, 그 시방사항은 Table 8과 같다.

Table 2 Mixture proportion of concrete

Concrete	W/B (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	SP/C (%)	AE/C (%)	Weight (kg/m <sup>3</sup> )				
						C	S	G	FA	SF
High strength	25	175	48	0.8	0.007	490	651	714	140	70
	35		49	0.6	0.004	350	756	796	100	50
Normal strength	45	170	45	0.25	0.002	378	769	951	-	-

Table 3 Physical properties of cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Soundness (%)	Setting time(min.)		Compressive strength(MPa)		
			Ini.	Fin.	3days	7days	28days
3.15	3,303	0.08	226	409	23.1	30.8	41.0

Table 4 Properties of fly ash

Unit water ratio (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Compressive strength ratio(%)	SiO <sub>2</sub> (%)	L.O.I (%)	Moisture content (%)
99	2.22	3,850	92	67.5	4.2	0.2

Table 5 Properties of silica fume

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Chemical composition					L.O.I
		SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	
2.10	240,000	96	0.12	0.25	0.38	0.56	1.50

Table 6 Physical properties of aggregates

Aggre-gate	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorp-tion (%)	Fineness modulus	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Distribution of grain shape(%)	0.08mm sieve passing (%)
Fine agg.	2.57	1.46	2.80	1,598	61.0	2.06
Coarse agg.	2.60	0.93	6.90	1,505	55.4	-

**Table 7** Physical properties of chemical admixture

Admixture	Main ingredient	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Color	Appearance	Recommended dosage (C×%)
AE agent	Naphtalene	1.17	Dark brown	Liquid	0.3
Super-plasticizer	Polycarbonic acid	1.12	White	Liquid	0.8

**Table 8** Specification of the form

Pannel type	Thickness (mm)	Water absorption (%)	Surface treatment	Surface condition	Displacement (mm)
Plywood	12	11.8	Resin coating	Fair	13.5

### 23 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 실시하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402 규정에 의거 실시하였고, 슬럼프 플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였다. 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였고, 응결시간은 KS F 2436에 의거 실시하였다.

경화콘크리트의 실험으로 거푸집의 부착강도는 200×200×200mm 시험체를 벽체로 가정하여, 콘크리트를 부어 넣은 후 Photo 1과 같은 시험장치를 제작하여 거푸집과 콘크리트간의 부착강도를 측정하였다.



Photo 1 Bond strength test between concrete and form

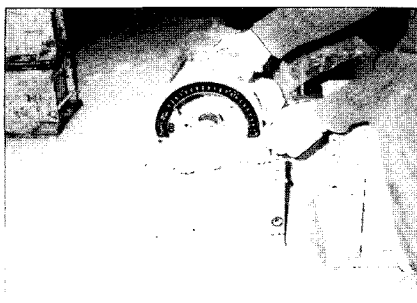


Photo 2 Rebound number test with P type schmidt hammer

**Table 9** Test results for fresh concrete

W/B (%)	Slump (cm)	Slump flow (cm)	Air content (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
25	22.8	39.9	4.6	2,387
35	21.3	36.9	4.2	2,297
45	21.8	39.8	4.9	2,261

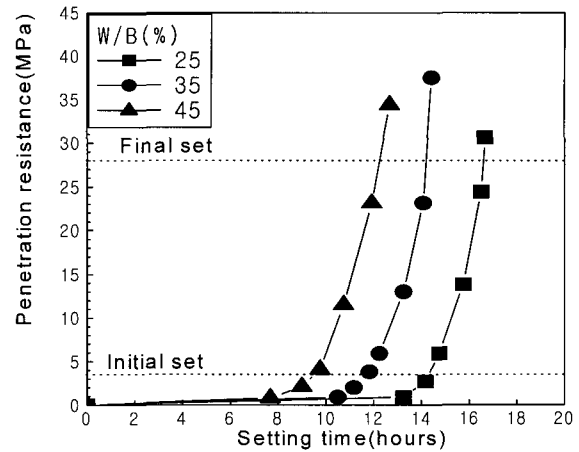


Fig. 1 Setting time of concrete with W/B

P형 슈미트해머의 반발도는 실험기구 매뉴얼에 제시되어 있는 방법에 의거하여 Photo 2와 같이 수평타격 방법으로 3cm 간격 12타점의 평균치로 구하였다. 압축강도 시험은 공시체 성형후 20±3℃에서 1일간 봉합양생한 다음 탈형하여 동일 온도의 양생조에서 수중양생 후 소정의 재령에서 KS F 2405 규정에 의거 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

Table 9는 굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적질량의 실험결과를 나타낸 것이다. 모든 배합에서 공히 목표 슬럼프치인 21±2.5cm, 목표 공기량인 4.5±1.5%를 만족하였다. Fig. 1은 W/B별 프록터 관입시험에 따른 관입 저항치를 나타낸 것으로 W/B 45%, 35% 및 25%의 순으로 W/B가 10%씩 작아짐에 따라 응결시간이 약 2시간 정도씩 늦게 나타났다. 이는 고성능감수제의 지연특성이 고강도콘크리트일수록 그 사용량 증가에 비례하여 나타난 것으로 사료된다.

### 3.2 경화콘크리트의 특성

#### 3.2.1 압축강도 증진

Fig. 2는 W/B별 48시간 이전 초기재령에서의 압축강도 증진 경향을 나타낸 것이다. W/B 25%의 경우 16시간 이전, W/B 35%의 경우 14시간 이전, W/B 45%의 경우 12

시간 이전까지는 모두 압축강도 측정이 불가능하였는데, 이는 종결시점 이전까지는 경화반응이 이루어지지 않아 강도발현이 없는 것으로 판단되며, 종결시간 이후부터는 시간이 경과할수록 비례적으로 압축강도가 크게 증진되는 것으로 나타났다.

한편, 종결이전의 경우는 W/B가 감소할수록 전술한 바와같이 고성능감수제의 사용량 증가로 인하여 응결시간이 지연되는 것으로 나타났으나, 종결 이후에는 W/B 25%와 같은 고강도콘크리트일수록 재령이 경과함에 따라 급속한 강도증진 경향을 보이는 등 W/B가 작을수록 종결 이후의 압축강도는 시멘트 수화반응의 활성화로 인하여 급속히 증가하는 역전현상을 보이고 있었다.

Fig. 3은 로지스틱 모델을 사용하여 적산온도에 따른 콘크리트의 강도증진 해석결과를 나타낸 것이다. 본 해석에 사용한 적산온도는 식 (1)과 같고, 로지스틱 모델은 鎌田의 식을<sup>4)</sup> 사용하였는데, 단, 기존 로지스틱 모델식에 초기 적산온도에서 해석의 정도를 높이기 위하여 강도증진

이 시작되는 시점에서의 기본 적산온도(offset maturity)  $M_0$ 를 도입하는 방법으로<sup>5)</sup> 해석을 실시하였다. 참고적으로 강도증진이 시작되는 시점은 재령과 응결시간과의 관계를 이용하는데, 결국 이점은 종결시점( $t_0$ )으로 알려져 있다<sup>6)</sup>.

$$M = \sum_{z=1}^n (\theta_z + 10) \quad (1)$$

여기서,  $z$  : 재령(일)  
 $n$  : 구조체 콘크리트의 강도관리 재령(일)  
 $\theta_z$  : 재령  $z$ (일)에 있어서 콘크리트의 일평균 양생온도( $^{\circ}\text{C}$ )

$$F_c = \frac{F_{\infty}}{1 + \exp(-k \cdot \log(M - M_0) + m)} \quad (2)$$

여기서,  $F_{\infty}$  : 최종 도달 강도(MPa),  $k, m$  : 실험상수  
 $M_0$  : 강도증진이 시작되는 적산온도( $^{\circ}\text{D} \cdot \text{D}$ )

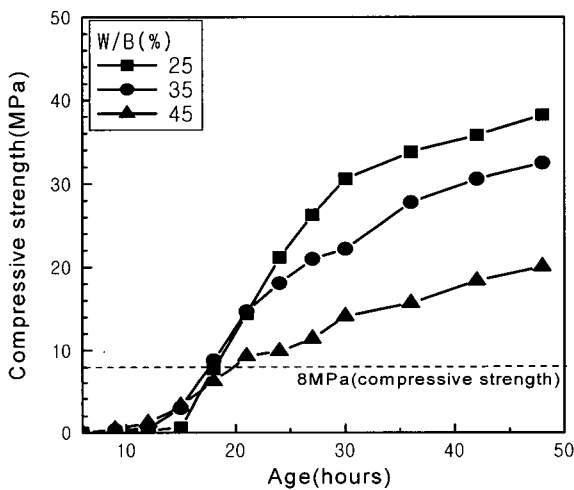


Fig. 2 Compressive strength with age

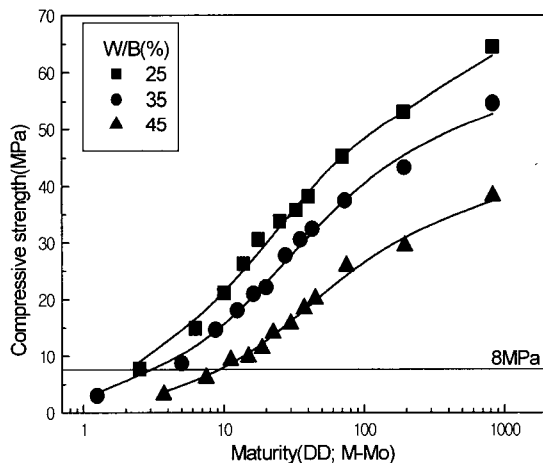


Fig.3 Strength development of concrete with maturity

Table 10은 로지스틱 모델식을 이용한 강도증진 해석결과에 따른 W/B별 실험상수값과 기본 적산온도값을 나타낸 것이고, Table 11은 로지스틱 모델에 의한 강도추정의 정도를 검토하기 위하여 해석 결과치를 토대로 한 결정계수 및 표준오차를 나타낸 것이다.

전반적으로 로지스틱 모델에 의한 해석치가 실측치를 매우 양호하게 추정함을 알 수 있는데, 해석결과에 따르면 W/B별로 약간의 차이는 있으나, 결정계수 0.985 이상, 표준오차 1.70 이하로 매우 양호한 상관성을 나타내고 있다.

한편, 측면 거푸집 존치기간을 산정하기 위하여 로지스틱 모델식에서 소요강도(8 MPa)가 발휘되는 적산온도 값을 결정해야 하는데, 이를 결정하기 위하여 식 (2)를 식 (3)과 같이 변형하여 사용하였다.

Table 10 Offset maturity and correlation factor of Logistic model by regression analysis

W/B (%)	$t_0$ (hour)	$M_0$ ( $^{\circ}\text{D} \cdot \text{D}$ )	Correlation factor		
			$F_{\infty}$	$k$	$m$
25	16.3	20.0	67.19	1.81	2.58
35	14.2	17.5	56.20	1.95	2.91
45	12.1	15.0	40.14	2.10	3.50

Table 11 Regression factor and standard error of Logistic model by regression analysis

Factors	W/B(%)		
	25	35	45
Regression coefficient( $R^2$ )	0.987	0.985	0.989
Standard error( $S_r$ )	1.70	1.52	1.06

$$M = 10^{-\frac{1}{k} [\ln(\frac{F_m}{F_c} - 1) - m]} + M_0 \quad (3)$$

따라서, 해당강도(8MPa)가 발휘되는 적산온도를 식(3)을 이용하여 산정한 후, 이를 다시 적산온도식인 식(4)를 이용하여 재령을 구하였는데, 이 값이 측면 거푸집을 탈형할 수 있는 강도를 얻는 소요일수가 된다.

$$\Delta t = \frac{M}{(\theta + 10)} \quad (4)$$

Table 12는 상기의 절차에 의하여 산정된 측면 거푸집 존치 기간과 적산온도를 W/B별로 나타낸 것이다. 먼저, 8 MPa 강도에 도달하는데 필요한 적산온도는 21~25°D·D 정도로 나타났고, 소요시간은 17~20 시간임을 알 수 있었다.

### 3.2.2 부착강도 및 부착 콘크리트량

Fig. 4는 W/B별 거푸집과 콘크리트간의 부착강도를 나타낸 것이다. 먼저, 거푸집의 부착강도는 고강도콘크리트 일수록 시간이 경과함에 따라 증가하다가 종결시간 부근에서 최대가 되고, 그 이후 급격히 저하하는 것으로 나타났다. 이중, 초기 거푸집의 부착강도 증가는 시멘트 페이스트의 수화작용에 의한 부착력 향상과 굳지않은 콘크리트의 표면장력이 함께 작용하여 증가한 것으로 사료된다. 그리고 종결 이후부터는 콘크리트의 수화작용에 따른 수분손실로 표면장력 저하 및 시멘트 페이스트의 자기수축에 의해 콘크리트가 수축함<sup>7)</sup>에 따라 거푸집과의 부착강도가 저하한 것으로 사료된다. 특히, W/B 25%의 고강도콘크리트인 경우는 24시간, W/B 35%의 경우는 21시간, W/B 45%의 경우는 15시간 이후부터는 거푸집과의 부착강도가 전혀 발휘되지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 W/B별 거푸집과 콘크리트간의 부착강도 시험 후 400 cm<sup>2</sup> (20×20 cm) 거푸집에 부착된 콘크리트량을 측정하고, 이를 단위면적당으로 환산하여 나타낸 것이고, Photo 3은 콘크리트와 거푸집 간의 부착강도 시험후 시험체의 표면을 촬영한 것이다. 거푸집에 부착되어 박리되는 콘크리트량은 콘크리트가 응결이 시작되는 초결 이전의 조기재령일수록 다량 발생하였고, 이후부터는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 초결 이전인 경우 콘크리트와 거푸집간에서 물의 표면장력(응집력)에 따른 부착력이 콘크리트 내부의 인장강도보다 크기 때문에 거푸집에 콘크리트가 다량 부착되어 박리되는 것이고, 점차 응결이 진행됨에 따라 콘크리트 중의 물이 수화반응에 소비되어 콘크리트와 거푸집간의 표면장력(응집력)이 저하되고, 또한, 콘크리트의 인장강도가 점차 향상되기 때문인 것으로 분석된다. 고강도콘크리트와 보통콘크리트간의 부착량 차이는 초기에는 보통 콘크리트가, 후기에는 고강도콘크리트가 높은 값을 나타내나 전체량은 유사한 경향이였다.

이상을 종합하면 현행 한국콘크리트학회의 건설 제요령에서<sup>2)</sup> 제시하고 있는 고강도콘크리트의 측면 거푸집 탈형 시기 규정과 관련하여 그 규정의 적합성을 검토한 결과, 현행 규정을 그대로 적용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 이에 대한 구체적인 이유로 즉, 본 연구에서 검토한 고강도콘크리트의 초기 압축강도 발현 해석 결과에 따르면 압축강도 8MPa가 발휘되는 시점은 콘크리트 타설후 17~20 시간 전후로 나타났는데, 이 시기는 거푸집과 콘크리트와 부착강도가 전혀 발휘되지 않는 시점으로서 이는 거푸집 탈형이 용이하게 된다.

Table 12 Age and maturity to obtain required strength

Required strength (MPa)	W/B(%)					
	25		35		45	
	Age (hour)	Maturity (°D·D)	Age (hour)	Maturity (°D·D)	Age (hour)	Maturity (°D·D)
8	17.76	22.1	17.28	21.2	20.16	25.1

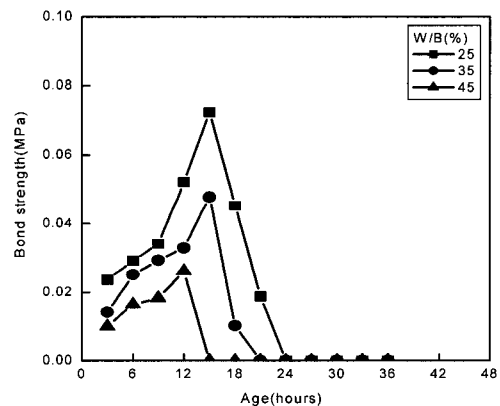


Fig. 4 Bond strength between concrete and form

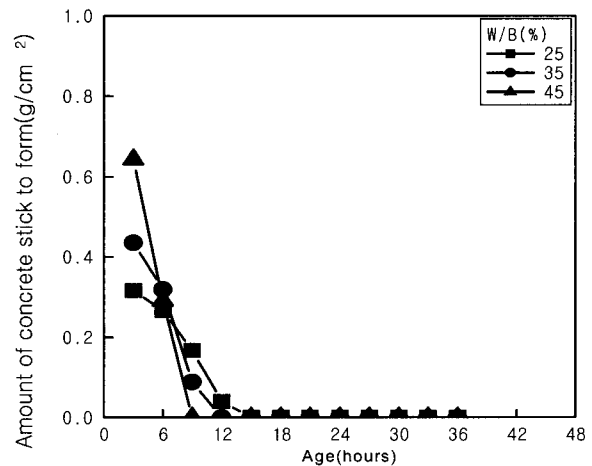


Fig. 5 Amount of concrete stick to the form with age

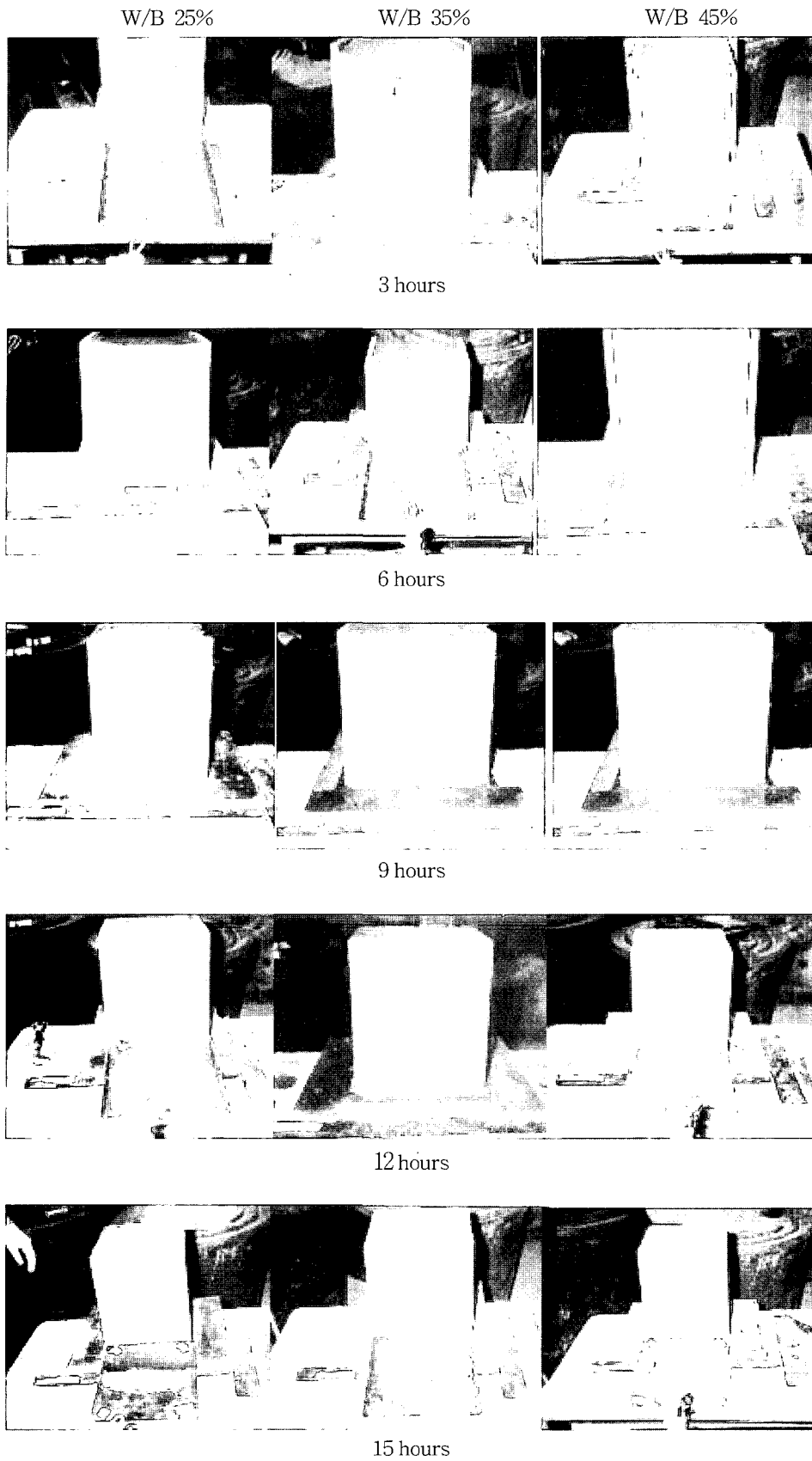


Photo 3 Surface of test specimens after bond strength test between concrete and form

또한, 콘크리트가 거푸집에 부착되어 박리되지 않는 시점으로서 거푸집 제거시 콘크리트 표면의 손상을 줄이고 거푸집 탈형시 콘크리트의 손상에 따른 강도발현에 악영향을 미치지 않을 뿐만 아니라 초기동해를 방지할 수 있는 강도(5MPa)에도 안전하게 충족시킬 수 있기 때문에 사료된다. 단, 콘크리트와 거푸집간의 부착특성에 있어서 제반 영향요인으로써 박리제가 부착강도 및 부착량 등에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 3.2.3 P형 슈미트해머에 의한 비파괴 시험

Fig. 6은 W/B별 초기 재령에서 재령경과에 따른 P형 슈미트해머의 반발도를 나타낸 것이다. 먼저, P형 슈미트해머의 반발도는 초기재령에서 급격히 증가한 후 시간이 경과할수록 둔화되는 것으로 나타났다. W/B별 P형 슈미트해머의 반발도가 측정되는 시점은 W/B 25%, 35% 및 45% 공히 초결시간 이후부터로, 압축강도의 측정보다 2~3시간 빠르게 측정되었다.

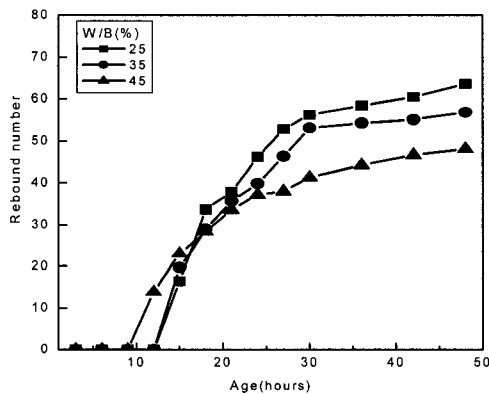


Fig. 6 Rebound number by P type schmidt hammer with age

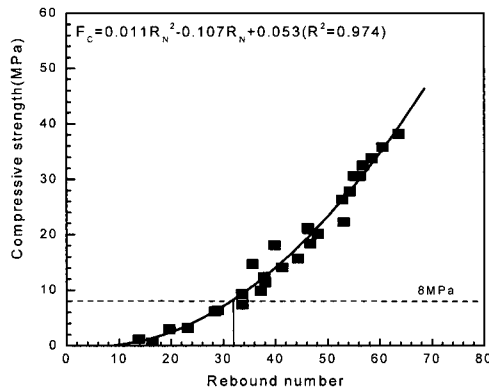


Fig. 7 The relationship between compressive strength and rebound number

따라서, P형 슈미트해머를 이용한 고강도콘크리트의 초기 품질관리는 구조체 관리용 공시체보다 빠른 시간에 감지됨을 알 수 있었다.

Fig. 7은 P형 슈미트해머의 반발도와 압축강도간의 관계를 비교하여 W/B 구분없이 산점도로 나타낸 것이다. 식 (5)는 본 연구범위에서 P형 슈미트해머의 반발도에 의한 압축강도 추정식을 나타낸 것이다.

고강도콘크리트의 측면 거푸집을 탈형하는데 필요한 압축강도 8MPa을 발현할 수 있는 P형 슈미트해머의 반발도는 32정도로 나타났다. 따라서, 실무 건설공사 현장에서 고강도콘크리트의 측면 거푸집 탈형시기를 확인할 경우, P형 슈미트해머를 이용하여 반발도 32 이상이 발휘되는 시점을 확인한다면, 거푸집의 탈형시기를 효과적으로 결정하는 방법이 될 것으로 사료된다.

$$F_c = 0.011R_N^2 - 0.107R_N + 0.053 \quad (R^2 = 0.974) \quad (5)$$

여기서,  $F_c$  : 압축강도(MPa),  $R_N$  : 반발도

종합적으로 본 연구의 범위에서 고강도콘크리트의 측면 거푸집 존치기간의 결정은 적산온도에 의한 압축강도 발현해석을 통하여 거푸집 탈형이 가능할 수 있는 시간을 산정하고, 산정된 시간대에서 P형 슈미트해머에 의한 비파괴 시험을 실시한 후 규정강도의 발휘여부를 확인하는 방법으로 품질관리를 진행하면 매우 효과적일 것으로 사료된다. 단, 상기의 결과를 검증하는 차원에서 구조체 관리용 공시체를 제작하여 그 시점에서 압축강도를 재확인한 후 거푸집을 제거하는 방법도 검토될 수 있다.

## 4. 결 론

본 연구는 초기재령에서 고강도콘크리트의 압축강도 증진과 콘크리트와 거푸집간의 부착강도 및 P형 슈미트해머의 반발도 등을 분석하여 현행 고강도콘크리트의 측면 거푸집 탈형시기에 관한 규정의 적합성 검토 및 비파괴 시험에 의한 품질관리 방안을 제안하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 응결시간은 W/B가 10%씩 작아짐에 따라 2시간 정도씩 늦게 나타났는데, 이는 고성능감수제의 지연능력이 사용량에 비례하여 나타난 현상으로 분석되었다.
- 2) 압축강도는 W/B 25%의 경우 16시간 이전, W/B 35%의 경우 14시간 이전, W/B 45%의 경우 12시간 이전까지는 측정이 불가능하였다. 또한, 본 연구범위에서 적산온도 방식의 로지스틱 모델에 의한 압축강도 발현 해석 결과 8MPa 도달 적산온도는  $21 \sim 25^\circ\text{C} \cdot \text{D}$  정도로 나타났고, 소요시간은 17~20시간 정도이었다.

- 3) 거푸집과 고강도콘크리트간의 부착강도는 재령이 증가함에 따라 증가하다가 콘크리트의 종결시간 부근에서 최대가 된 다음, 그 이후 급격히 저하하였다. 거푸집에 부착되어 박리되는 콘크리트량은 초기 콘크리트일수록 많았고, 종결이후부터는 거의 발생하지 않았다.
- 4) P형 슈미트해머의 반발도가 측정되는 시간은 초결시간 이후부터 가능하여 압축강도의 측정보다 2~3시간 빠르게 나타났다. P형 슈미트해머의 반발도와 압축강도의 관계를 이용하여 8MPa 이상인 거푸집 탈형시기를 결정할 경우에는 반발도가 32이상임을 확인하는 것으로 가능성이 밝혀졌다.

이상을 종합할 경우 고강도콘크리트의 측면 거푸집 탈형시기의 결정으로 콘크리트 건설제요령의 8MPa이상에 관한 규정은 부착강도 및 부착 콘크리트량 등의 결과와 연관할 때 타당한 것으로 사료되어 이를 콘크리트 표준시방서에 정량화하여 보완하는 것이 요구되었고, P형 슈미트해머에 의한 거푸집 탈형시기 결정 품질관리는 효율적인 방법이 될 것으로 분석되었다.

#### 참고문헌

1. 한국콘크리트학회, "콘크리트표준시방서", 한국콘크리트학회, 2003, p.187
2. 한국콘크리트학회, "콘크리트 건설 제요령", 한국콘크리트학회, 2002, pp.43~44.
3. ACI 363, "State of the Art of High-Strength Concrete," American Concrete Institute, 1984, pp.7~19.
4. 鎌田英治, 洪悦郎, 田畑雅幸, 浜 幸雄, "ロジスティック曲線を應用したコンクリート強度推定法の提案", 日本建築學會論文報告集, No.367, 1986. 9, pp.1~10.
5. Guo, Chengju, "Maturity of Concrete, Method for Predicting Early-Stage Strength," *ACI Materials Journal*, Vol.86, No.4, pp.341~353, 1989.
6. 오병환, 이명규, 홍경옥, 김광수, "성숙도 개념을 이용한 콘크리트의 초기강도 예측모델 개발 연구", 콘크리트학회 논문집, 8권, 3호, 1996, pp.197~206.
7. 日本コンクリート工學協會, "自己收縮研究委員會報告集", 1996. 11, pp.55~58, 1996.
8. ACI Committee 347, "Guide to Formwork for Concrete," American Concrete Institute, 1988, pp.13~15
9. Carino N. J., "Maturity Method: Theory and Application," *Journal of Cement and Concrete*, ASTM, 1984, pp.61~73.
10. ACI Committee 228, "In-place Methods for Determination of Strength of Concrete," *ACI material Journal*, Vol.85, No.5, 1998, pp.446~471.
11. Kim, J. K., Han, S. H., and Lee, K. M., "Estimation of Compressive Strength by a New Apparent Activation Energy Function," *Cement and Concrete Research*, Vol.31, 2001, pp.217~225.
12. ASTM C-1074, "Standard Practice for Estimated Concrete Strength by Maturity Method," ASTM, 1988, pp.10~15
13. Nicolas J. Carino and Rajesh C. Tank, "Maturity Functions for Concrete Made with Various Cements and Admixtures," *ACI Materials Journal*, Vol.89, No.2, 1992, pp.188~196.

#### 요 약

본 연구에서는 초기재령에서 고강도콘크리트의 압축강도 발현 특성 검토 및 해석 그리고 콘크리트와 거푸집 간의 부착강도 특성을 분석하며, P형 슈미트해머를 이용한 반발도와 압축강도간의 상관관계를 검토하되로서 실무의 고강도콘크리트 측면 거푸집 탈형과 연관한 관련규정의 적합성을 재검토하고, 아울러 거푸집제거와 연관한 효율적인 품질관리 방법에 대하여 제안하고자 한다. 연구결과에 따르면, W/B가 증가할수록 응결시간은 감소하는 것으로 나타났으며, 본 연구의 범위에서 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석 결과 압축강도 8MPa를 발휘하는 시간과 적산온도는 17~20시간, 21~25<sup>o</sup>D·D 정도로 나타났다. 거푸집과 콘크리트의 부착강도는 종결시점에서 가장 크게 나타났으며 그 이후에는 감소함을 보였고, 거푸집에 부착되어 박리되는 콘크리트의 양은 응결이전에 크게 나타났으며, 그 이후에는 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. P형 슈미트해머에 의한 반발도 실험결과 압축강도 발현시점보다 약 2~3시간 정도 빠르게 측정할 수 있으며, 반발도가 32 이상이면 측면 거푸집을 탈형할 수 있는 시기로 품질관리가 가능할 것으로 판단되었다.

**핵심용어** : 고강도콘크리트, 부착강도, 거푸집 제거시기, 적산온도, P형 슈미트해머