

고강도 콘크리트의 초기강도 발현에 따른 거푸집 탈형시기의 결정

Determination of Removal Time of the Forms with the Strength Development of High Strength Concrete at Early Age

金恩浩* 김영진* 한민철** 신병철*** 한천구****
Jin, En-Hao Kim, Young-Jin Han, Min-Cheol Shin, Byoung-Chul Han, Cheon-Goo

Abstract

This study discusses the determination of removal time of forms with early strength development in high strength concrete. According to the results, as W/B increases by 10%, the setting time is shortened by about 2 hours. The time when compressive strength of 8 MPa is gained is about 20 hours. Bond strength between form and concrete is highest around final setting time, but decreases drastically after that. Amount of concrete sticking on the form is large before setting, but after that, it is little. The rebound value of P type schmidt hammer is measured faster by 2~3 hours than compressive strength. It is also confirmed that the removal of forms is possible when the rebound value of P type schmidt hammer is more than 34

키워드 : 고강도 콘크리트의 강도발현, 부착강도, 거푸집 탈형시기, P형 슈미트햄머

Keywords : Strength Development of High Strength Concrete, Bond Strength, Removal Time of the Forms, P Type Schmidt Hammer

1. 서론

건설기술의 현저한 발달에 따라 건축구조물은 대형화, 고층화, 특수화 등으로 다양한 요구가 증대되면서 고강도 콘크리트에 관한 관심이 높아지고 있다. 이러한 고강도 콘크리트의 사용은 높은 압축강도로 인한 초고층건축물의 축조가능, 부재단면의 축소와 자중감소의 효과로 인한 구조물의 경량화, 초기강도 증진에 따른 조기 거푸집탈형으로 공기단축효과 및 수밀·기밀성을 갖는 내구성의 향상 등 공학적특성 개선과 경제적인 절감효과와 측면에서 국내외적으로 콘크리트의 고강도화에 박차를 가하고 있다. 하지만, 국내에서는 고강도 콘크리트의 특성 등 제반 사항은 충분히 연구된바 있지만, 거푸집 탈형시기에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

또한, 현행 우리나라 건축공사 표준시방서에서 기초, 보, 열, 기둥 및 벽의 거푸집판재의 존치기간은 콘크리트의 압축강도가 5MPa 이상 도달하여야 해제할 수 있도록 규정하고 있고, 고강도 콘크리트의 거푸집 제거시기는 콘크리트가 자중 및 시공에 가해지는 하중에 충분히 견딜만한 강도를 가질 때까지 떼어 내어서는 안된다고 규정하고 있다. 한편, ACI 363에서는 고강도 콘크리트인 경우 양생의 불리한 점 때문에 압축강도가 8MPa 정도에서 제거하도록 권하고 있으며, 중국의

경우는 타설된 콘크리트의 표면이나 모서리에 손상이 없는 범위 내에서 탈형할 수 있음을 규정하고 있다.

그러나, 실무 건설현장에서는 콘크리트의 압축강도 확인 또는 재령을 준수하지 않고 무분별하게 거푸집을 조기에 탈형하므로 거푸집 표면에 콘크리트가 부착되어 박리·탈락하는 현상 및 균열 등 각종 결함이 발생하므로써 콘크리트 품질저하의 원인이 되고 있다.

그러므로, 본 연구에서는 초기재령에서 고강도 콘크리트의 강도발현 경향 및 콘크리트와 거푸집간의 부착강도 특성을 분석하고, 저강도용 P형 슈미트햄머를 이용한 반발도와 압축강도간의 상관관계를 검토하므로써, 실무에서의 고강도 콘크리트 거푸집탈형시기 결정에 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

즉, 실험요인으로 플라이애시 20%와 실리카흙 10%를 치환한 물결합재비(W/B) 25%, 35% 및 혼화재를 치환하지 않은 W/B 45%의 고강도 콘크리트인 3수준에 대하여 목표 슬럼프 21±2.5cm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험사항으로 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적중량 및 응결시간을 측정하는 것으로 하였

* 정희원, 청주대 대학원 석사과정

** 정희원, 중부대 건축공학과 강의전담 전임강사, 공학박사

*** 정희원, 중부대 건설공학부 환경조경학 조교수, 공학박사

**** 정희원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

고, 경화 콘크리트의 실험으로는 3~6시간 간격으로 48시간까지 콘크리트와 거푸집의 부착강도, P형 슈미트햄머의 반발도 및 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

이때, 본 실험에 사용한 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험인자	
배합 사항	W/B(%)	3	25, 35, 45
	플라이애시(%)	1	25
	실리카 흙(%)	1	10
	목표 슬럼프(cm)	1	21±2.5
	목표 공기량(%)	1	4.5±1.5
실험 사항	굳지않은 콘크리트	5	· 슬럼프 · 슬럼프플로우 · 공기량 · 단위용적중량 · 응결시간
	경 화 콘크리트	3	· 거푸집 부착강도 (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 36, 42, 48시간) · P형 슈미트햄머의 반발도 (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 36, 42, 48시간) · 압축강도 (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 36, 42, 48시간)

표 2. 콘크리트의 배합표

W/B (%)	단위 수량 (kg/m ³)	잔골재율 (%)	SP/C (%)	AE/C (%)	중량배합 (kg/m ³)				
					C	S	G	FA	SF
25	175	48	0.8	0.007	560	633	691	140	70
35		49	0.6	0.004	400	745	782	100	50
45	170	45	0.25	0.002	378	778	958	-	-

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(비중: 3.15)를 사용하였고, 혼화제는 플라이애시(비중: 2.22), 실리카 흙(비중: 2.10)을 사용하였으며, 잔골재는 충북 청원군 부강산 강모래(비중: 2.57, 조립률: 2.7), 굵은골재는 충북 옥산산 25mm 부순 골재(비중: 2.60, 조립률: 6.9)를 사용하였다. 또한, 혼화제로서 AE제는 나프탈렌계, 고성능감수제는 국내산 L사의 폴리칼본산계를 사용하였고, 거푸집은 KS F 3110에서 규정한 콘크리트용 거푸집 합판을 사용하였다.

2.3 실험방법

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

경화 콘크리트의 실험으로 거푸집의 부착강도는 200×200×200mm 시험체를 벽체로 가정하고, 일반 건축공사에서 가장 많이 사용되는 KS F 8006의 강제를 합판 거푸집 패널로 가정하여 콘크리트용 거푸집 합판을 부착한 다음 콘크리트를 부어 넣은 후 사진 1과 같이 시험장치를 제작하여 거푸집과 콘크리트간의 부착강도를 측정하였다.

P형 슈미트햄머의 반발도는 카다로그에 제시되어 있는 시험방법에 의거하여 거푸집의 부착강도시험을 실시한 후 거푸집이 제거된 콘크리트 면에 수평타격방법으로 3cm 간격 12타점의 평균치로 구하였다. 압축강도는 KS F 2405 규정에 의거 실시하였다.



사진 1. 거푸집의 부착강도 시험

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

표 3은 굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량의 실험결과를 나타낸 것이다.

W/B 25, 35 및 45%는 공히 목표 슬럼프인 21±2.5cm를 만족하였고, 공기량도 목표 공기량인 4.5±1.5%를 만족하였다.

표 3. 실험결과

W/B (%)	슬럼프 (cm)	슬럼프플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)
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

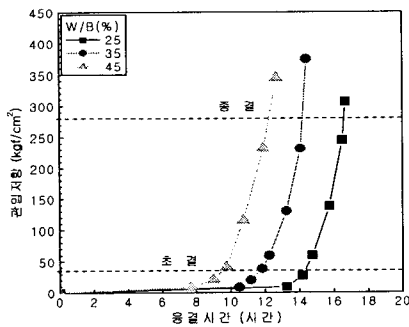


그림 1. W/B별 응결시간에 따른 관입저항.

그림 1은 W/B별 프록터 관입시험에 따른 관입저항치를 나타낸 것으로, W/B 25%의 경우 초결이 14.25시간, 종결이 16.5시간, W/B 35%의 경우는 초결이 11.5시간, 종결이 14.25시간, W/B 45%의 경우는 초결이 9.5시간, 종결은 12.25시간으로 W/B 45%, 35% 및 25%의 순으로 W/B가 10%씩 작아질수록 응결시간이 2시간 정도씩 늦게 나타났는데, 이는 고성능 감수제의 증가로 사료된다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

1) 압축강도

그림 2는 W/B별 초기재령 48시간 동안의 압축강도 발현 경향을 나타낸 것이다. W/B 25%의 경우 16시간 이전, W/B 35%의 경우 14시간 이전, W/B 45%의 경우 12시간 이전까지는 모두 압축강도 측정이 불가능하였는데, 이는 종결시점 전까지는 경화반응이 거의 이루어지지 않아 강도발현이 없는 것으로 분석되며, 종결시간 이후부터는 시간이 경과할수록 비례적으로 압축강도가 크게 증진되는 것으로 나타났다.

2) 부착강도

그림 3은 W/B별 거푸집과 콘크리트간의 부착강도를 나타낸 것이다. 먼저, 거푸집의 부착강도는 재령이 증가함에 따라 증가하다가 콘크리트의 종결시간 부근에서 최대가 되고, 그 이후 재령이 증가함에 따라 급격히 저하하는 것으로 나타났다. 이중, 초기 거푸집의 부착강도 증가는 시멘트 페이스트의 수화작용과 굳지않은 콘크리트의 표면장력이 함께 작용하여 증가한 것으로 사료되며, 종결 이후부터는 콘크리트의 수화작용에 따른 시멘트 페이스트의 자기수축 등에 의해 콘크리트가 수축함에 따라 저하한 것으로 사료된다. 또한, W/B 25%의 경우는 24시간, W/B 35%의 경우는 21시간, W/B 45%의 경우는 15시간 이후부터 거푸집의 부착강도는 전혀 발휘되지 않는 것으로 나타났다

그림 4는 W/B별 부착강도 시험 후 400cm²(20×20cm) 거푸집에 부착된 콘크리트량을 측정하여 나타낸 것이다.

거푸집에 부착되어 박리되는 콘크리트량은 초기 콘크리트가 응결이 시작되는 초결 이전에서 다량 발생하였고, 그 이후부터는 콘크리트의 박리량이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 초결 이전의 경우 콘크리트와 거푸집간에서 물의 표면장력

(응집력)에 따른 부착력이 콘크리트 내부의 인장강도보다 크기 때문에 거푸집에 콘크리트가 다량 부착되어 박리되는 것이고, 점차 응결이 진행됨에 따라 콘크리트의 물이 수화반응에 소비되어 콘크리트와 거푸집간의 표면장력(응집력)이 저하되고, 또한, 콘크리트의 인장강도가 점차 향상되기 때문인 것으로 분석된다.

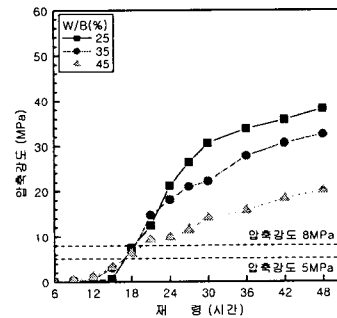


그림 2. W/B별 재령경과에 따른 압축강도

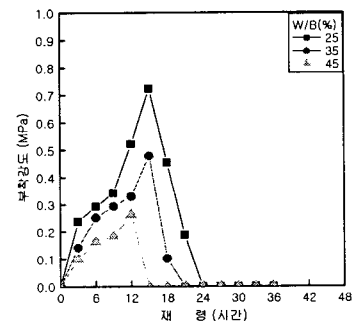


그림 3. W/B별 초기 재령경과에 따른 거푸집 부착강도

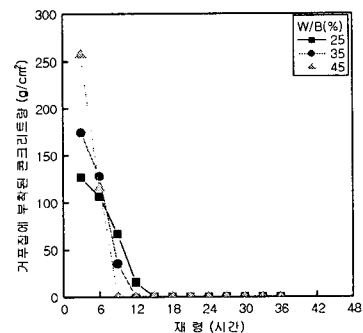


그림 4. W/B별 거푸집에 부착된 콘크리트량

따라서, 실무에서 고강도 콘크리트의 거푸집을 제거할 경우, 고강도 콘크리트의 압축강도가 8MPa를 발휘하고, 콘크리트와 거푸집간의 부착강도가 작으면서, 거푸집에 콘크리트가 부착되어 박리되지 않는 시점은 20℃ 항온양생조건인 본

실험결과 콘크리트를 부어넣은 후 W/B 25~45%의 경우 대략 20시간 전후가 적합한 것으로 분석된다.

3) 비파괴시험

그림 5는 W/B별 초기 재령에서 재령경과에 따른 P형 슈미트햄머의 반발도를 나타낸 것이다. 먼저, P형 슈미트햄머의 반발도는 압축강도의 경우 초기재령에서 시간경과에 따라 계속적으로 증가하였던 것과는 달리 초기에서 크게 증가한 후 시간이 경과할수록 둔화되는 것으로 나타났다. 또한, W/B별 P형 슈미트햄머의 반발도가 측정되는 시점은 W/B 25%, 35% 및 45% 공히 초결시간 이후부터로, 압축강도의 측정보다 2~3시간 빠르게 측정되었다. 따라서, P형 슈미트햄머를 이용한 초기 품질관리는 구조체관리용 공시체보다 빠른 시간에 감지되어 품질관리에 활용할 수 있을 것으로 분석된다.

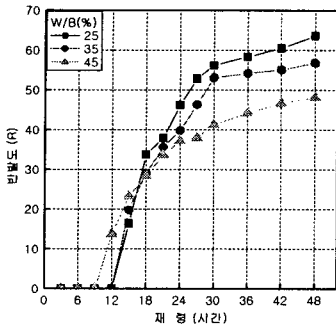


그림 5. W/B별 초기 재령경과에 따른 P형 슈미트햄머의 반발도

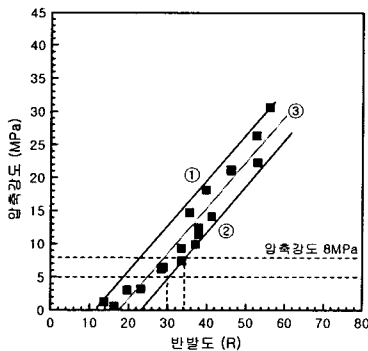


그림 6. P형 슈미트햄머의 반발도와 압축강도와 관계

그림 6은 초기재령에서 P형 슈미트햄머의 반발도와 압축강도와의 관계를 비교하여 산점도로 나타낸 것이다.

건축공사 표준시방서에서 규정된 측면거푸집을 해체할 수 있는 압축강도 5MPa를 발현할 수 있는 P형 슈미트햄머의 반발도는 30 정도로 나타났고, ACI 363에 권하고 있는 압축강도 8MPa를 발현할 수 있는 P형 슈미트햄머의 반발도는 34 정도로 나타났다.

따라서, 고강도 콘크리트의 거푸집탈형에 있어서, P형슈미트햄머의 반발도 34를 확인한다면 거푸집의 탈형시기를 효과적으로 결정하는 방법이 될 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 초기재령에서 고강도 콘크리트의 압축강도 발현과 콘크리트와 거푸집간의 부착강도 및 P형 슈미트햄머에 의한 거푸집 탈형시기의 결정에 관한 연구로서 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 굳지않은 콘크리트의 특성으로, 응결시간은 W/B 45%, 35% 및 25%의 순으로 W/B가 10%씩 작아짐에 따라 2시간 정도씩 늦게 나타났다.
2. 경화 콘크리트의 특성으로 W/B별 압축강도는 W/B 25%의 경우 16시간 이전, W/B 35%의 경우 14시간 이전, W/B 45%의 경우 12시간 이전까지는 모두 측정이 불가능하였고, 압축강도 8MPa가 발휘되는 시점은 공히 20시간 이전이었다.
3. 거푸집과 고강도 콘크리트의 부착강도는 재령이 증가함에 따라 증가하다가 콘크리트의 종결시간 부근에서 최대가 된 다음, 그 이후 재령이 증가함에 따라 급격히 저하하였다.
4. 거푸집에 부착되어 박리되는 콘크리트량은 초기 콘크리트가 응결을 시작하기 이전에서 다량 발생하고, 그 이후부터는 거의 발생하지 않았다.
5. W/B별 P형 슈미트햄머의 반발도가 측정되는 시간은 초결시간 이후부터 측정되는 것으로, 압축강도의 측정보다 2~3시간 빠르게 나타났다. P형 슈미트 햄머의 반발도와 압축강도의 관계를 이용하여 8MPa 이상인 거푸집 탈형시기를 결정할 경우에는 반발도가 34이상임을 확인하는 것으로 가능성이 밝혀졌다.

참 고 문 헌

1. 대한건축학회 ; 건축공사표준시방서, 1999, p. 240
2. 日本建築學會 ; 建築工事標準仕様書同解説, 鐵筋コンクリート工事, 1997, p. 241
3. 中國建設局 ; 現行建築施工規範大全, 1993, p. 196
4. 한천구 ; 건축구조물의 거푸집 탈형시기 결정, 레미콘/아스콘/골재, 1998, pp.40~41
5. 김현우, 이종태, 윤기원, 김병국, 김무한, 한천구 ; 화강암 골재를 사용한 콘크리트의 비파괴 시험에 의한 강도평가, 콘크리트학회학술발표논문집, Vol. 11, No. 2, 1999, pp. 651~654
6. 홍상희, 김상우, 신병호, 황인성, 윤기원, 한천구 ; 초기재령에서 거푸집과 콘크리트간의 부착강도 특성, 대한건축학회 학술발표논문집, Vol. 10, No 2, 2001, pp. 383~386
7. 신병호 ; 콘크리트의 초기 강도발현에 따른 거푸집 탈형시기 결정에 관한 연구, 청주대학교 석사논문