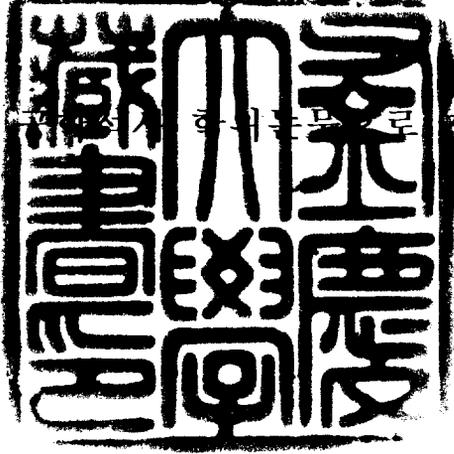


공학석사 학위논문

배합조건에 따른 초속경콘크리트의  
특성에 관한 연구

지도교수 김명식

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2002년 2월

부경대학교 산업대학원

건설공학과

강 의 주

# 강의주의 공학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 15일

주 심 공학박사 이 종 출



위 원 공학석사 김 종 수



위 원 공학박사 김 명 식



# 목 차

Abstract .....	i
1. 서론 .....	1
1.1 연구배경 및 목적 .....	1
1.2 연구내용 및 범위 .....	3
2. 문헌 고찰 .....	4
2.1 초속경시멘트의 물리적 성질 및 용도 .....	4
2.2 초속경시멘트의 응결경화 특성 .....	6
2.3 초속경콘크리트 물리적 성질 .....	7
2.3.1 굳지않은 초속경콘크리트 .....	7
2.3.2 경화된 콘크리트의 내구성 .....	9
2.4 부순모래 .....	11
2.4.1 용어정의 .....	11
2.4.2 부순모래를 사용한 굳지 않은 콘크리트의 성질 .....	12
2.4.3 부순모래를 사용한 굳은 콘크리트의 성질 .....	18
3. 실험계획 및 방법 .....	22
3.1 실험계획 .....	22
3.2 사용재료 .....	23
3.2.1 시멘트 .....	23
3.2.2 골재 .....	24
3.3 배합설계 .....	24
3.4 실험방법 .....	26
3.4.1 콘크리트 배합 .....	26
3.4.2 수화발열 측정 .....	27
3.4.3 슬럼프 시험 .....	27
3.4.4 공기량 시험 .....	27
3.4.5 압축강도 및 휨강도 시험 .....	27

4. 실험결과 및 고찰 .....	28
4.1 수화발열 특성 .....	28
4.2 슬럼프 .....	32
4.3 공기량 .....	35
4.4 압축강도 .....	37
4.5 휨강도 .....	42
5. 결론 .....	47
참 고 문 헌 .....	49

**A Study on the Characteristics of Rapid-set  
concrete as to the Mix condition**

**Kang, Eui-Joo**

Department of Construction Engineering  
Graduate School of Industry  
Pukyong National University

**Abstract**

Due to the industrial development and the merit of the reduction of construction period, the rapid-set cement which develops the usable compressive strength within 1~2 hours is developing in our country. Because the properties of rapid-set cement are very short in setting time, proper quantities of the retarder and water reducer should be used in concrete.

The purpose of this study is to investigate experimentally the workability, compressive and flexural strength properties of rapid-set concrete with various mixture. The kinds of fine aggregate(river sand, sea sand, crushed sand), water-cement ratio(40%, 45%, 50%), sand-aggregate ratio(33%, 36%, 39%) were chosen as the experimental parameters. Test variables are temperature of concrete, slump, air contents, compressive and flexural strength. The compressive and flexural strength for 3 hours and 6 hours were tested.

As result, it was shown that temperature of concrete involved 45°C, some time later decreased. The workability were decreasing in steps as the sand-aggregate ratio increased and crushed sand was the highest value. Higher compressive and flexural strength was shown following the order of river sand, sea sand, crushed sand regardless of sand-aggregate ratio. But the values of gap was just a little.

Keyword : rapid-set concrete ; river sand ; sea sand ; crushed sand ;  
temperature of concrete ; compressive strength ; flexural strength

# 1. 서론

## 1.1 연구배경 및 목적

최근들어 사회기반시설의 확충과 구조물의 대형화·특수화 추세에 따라 건설의 기본재료인 콘크리트의 사용범위가 다양해짐에 따라 콘크리트의 구성재료인 시멘트 자체의 조강성 확보는 건설공사의 공기단축 등 시공의 급속화 및 합리화에 하나의 중요한 수단이 될 수 있다.

이에 따라 1920년대에는 조강 포틀랜드시멘트, 1960년대에는 초조강 포틀랜드시멘트가 개발되어 상품화 됨에 따라 실용강도가 발현되는 양생기간이 7일에서 각각 3일, 1일로 단축될 수 있게 되었다.

시멘트 조강화의 연구는 이후에도 계속되어 1968년 미국 PCA 연구소에서 1~2시간만에 실용강도를 발휘할 수 있는 획기적인 초속경시멘트를 개발하여 "Regulated Set Cement"라는 명칭으로 상품화되면서 상용화되었다.

초속경시멘트는 조강성이 시급히 요구되는 긴급공사, 한중공사 및 도로구조물의 보수공사와 프리캐스트 판넬, 블록 등의 시멘트 2차제품 등에 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 국내에서는 초속경시멘트에 대한 인식부족과 일정기간이 지나면 재보수를 해야 하는 등의 내구성에 대한 문제점이 지적되고 있으나 본격적인 연구가 진행되고 있지 않을 뿐만 아니라, 시공지침안 등도 정해져 있지 않은 상태에 있어 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.

콘크리트는 시멘트와 골재로 이루어진 복합재료의 일종으로 그 구성성분의 대부분을 골재가 차지하고 있다. 따라서 콘크리트에 미치는 골재의 영향이 매우 큼에도 불구하고, 양질의 골재가 풍부하였던 관계

로, 콘크리트에 미치는 골재의 영향에 대해서는 거의 간과하다시피 하였다. 그러나 80년대 말 건설 경기의 급격한 성장으로 대도시 주변에서 양질의 천연 골재가 고갈되었고, 현재 천연적으로 얻을 수 있는 골재도 그 품질이 저급화되면서, 골재의 품질에 대하여 관심을 갖게 되었다.

국내의 천연골재의 부족 현상은 이미 심각한 상황에 직면해 있으며, 특히 천연잔골재의 수급전망은 불투명한 상태이고, 현실적으로 양질의 강모래를 입수하기가 불가능한 것으로 여겨진다. 한편 바다모래는 다량의 염분을 함유하고 있어 콘크리트용 잔골재로 사용할 경우 콘크리트 내부 철근 부식을 유발하는 등의 많은 문제가 발생할 뿐만 아니라, 또한 염분 세척에 소요되는 과도한 시설 투자, 어업 환경 보전 문제 등 사용상 많은 어려움이 따른다. 이런 현실에서 강모래의 대체골재원의 개발이 절실하며, 이의 일환으로 부존자원이 풍부하고, 품질을 일정하게 유지할 수 있는 부순모래에 대한 연구가 시급히 이루어져야 할 것이다.

부순모래는 공장 생산 제품으로 품질 관리가 가능하며, 균일한 품질의 제품을 공급할 수 있어, 콘크리트 제조상의 품질관리면에서 유리하다. 부순골재는 골재와 시멘트풀과의 부착강도가 크고, 부순모래의 미분말은 암석질의 미분말로 미분말 효과에 의해 콘크리트 강도를 증가 시키는 등, 여러 장점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 잔골재의 종류로 강모래, 바다모래, 부순모래를 사용하고, 물-시멘트비를 40, 45, 50%로 변화시키며, 잔골재율을 33, 36, 39%로 변화시킨 초속경콘크리트의 배합 및 재료특성을 살펴보고자 한다.

## 1.2 연구내용 및 범위

본 논문은 5장으로 구성되어 있으며, 각 장의 연구내용과 범위는 다음과 같다.

1장에서는 본 연구를 수행하게 된 연구배경 및 목적 그리고 논문의 구성에 대하여 서술한다.

2장에서는 문헌고찰을 통하여 초속경시멘트와 부순모래의 전반적인 특성에 대하여 고찰하기로 한다. 여기서 초속경시멘트의 경우 물리적 성질, 용도, 응결경화 특성 및 초속경콘크리트의 물리적 성질 알아보고, 부순모래에 대하여서는 굳지 않은 콘크리트와 경화된 콘크리트의 각종 특성들을 고찰하기로 한다.

3장에서는 본 연구의 개요와 실험에 사용된 재료, 표준시방배합표, 시험체 제작 및 실험방법들을 정리하였다.

4장에서는 굳지않은 초속경콘크리트의 수화발열 특성, 슬럼프, 공기량 및 경화된 콘크리트의 강도특성등을 실험변수에 따라 비교 고찰하기로 한다.

5장에서는 본 연구에서 실시한 실험의 내용과 결과를 중심으로 결론을 도출한다.

## 2. 문헌 고찰

### 2.1 초속경시멘트의 물리적 성질 및 용도

초속경시멘트는 보통 포틀랜드시멘트에 존재하지 않고, 수화활성도가 높고, 안정한 수화물을 생성시키는  $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ 을 다량 함유하고 있어, 수화반응시 매우 빠른 속도로 침상 결정의 3차원적 망목구조를 형성하는 고허산염의 Calcium sulfoaluminate 수화물 (Ettringite)을 생성시켜 수시간 내에 높은 강도를 발현하게 된다. 또한 1일 이후에도 이 수화물이 지속적으로 생성되며 보통포틀랜드시멘트에 존재하는  $\text{C}_3\text{S}$  및  $\text{C}_2\text{S}$ 의 수화반응에 의해 생성된 Gel 상의 C-S-H 수화물에 의해 경화체의 조직이 더욱 치밀해지고 강도발현이 지속적으로 증진된다. 특히 초속경시멘트의 광물 성분중  $3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$  와 황산칼슘이 물과 반응하여 생성된 Ettringite 는 물리·화학적으로 매우 안정하며 광물중에  $\text{SO}_3$  공급원을 충분히 가지고 있어 다른 화합물로의 전이가 일어나지 않게 되어 구조체의 내구성을 크게 향상시켜 준다.

표 2.1은 시멘트 종류별 화학성분 및 광물조성을 나타낸 것이고, 표 2.2는 시멘트 종류별 물리적 성질을 나타낸 것이다.

표 2.1 시멘트 종류별 화학성분 및 광물조성

항 목	화 학 성 분 (%)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ig.loss
시멘트								
초속경	10.2	16.7	1.3	50.8	1.4	0.4	15.5	1.6
초조강	20.2	5.2	2.8	63.1	3.6	0.2	3.2	1.6
조 강	21.7	4.3	4.1	63.3	3.2	0.9	2.2	0.6
보 통	21.0	6.0	2.8	62.1	3.4	1.2	2.0	1.7

항 목	광 물 조 성 (%)				
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>4</sub> A <sub>3</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
시멘트					
초속경	16.0	16.0	30.0	3.0	6.0
초조강	59.0	14.0	-	9.0	8.0
조 강	51.7	23.2	-	4.5	12.5
보 통	43.1	27.9	-	11.2	8.5

표 2.2 시멘트 종류별 물리적 성질

항목	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	응결시간(분)		압 축 강 도 (kg/cm <sup>2</sup> )					
		초 결	중 결	3h	6h	1d	3ds	7ds	28ds
시멘트									
초속경	4,700	30	45	305	334	436	476	521	574
초조강	6,000	220	360	-	-	250	350	400	460
조 강	4,500	170	440	-	-	190	300	370	440
보 통	3,200	280	410	-	-	90	190	270	350

표 2.2는 각종 시멘트의 분말도, 응결시간, 압축강도 발현특성을 비교한 것이며, 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 초속경시멘트의 특징은 무엇보다도 우수한 초속경성과 장기적으로 안정된 강도증진이 있다는 점이다. 또한 초속경시멘트는 전용 응결지연제(Setter)를 사용함으로써 응결시간 조절이 용이하고, 저온에서도 비교적 수화 활성이 크고, 자체 수화열이 높으므로 한중공사에 적합하다는 특징들을 들 수 있다.

그러나 수화열이 높기 때문에 규모가 큰 구조물 공사에서는 시공상 주의가 필요하다. 그외에 다른 시멘트에 비해 휨강도, 수밀성 및 동결융해저항성이 우수하며, 건조수축이 적고 콘크리트 타설시 미분이 표 면으로 부유되어 외관을 해치거나 표면상태가 부실하게 되는 블리딩(Bleeding)현상이 없는 특성을 가지고 있다. 또한 초속경시멘트는 알루미나시멘트와 같은 광물전이에 의한 강도저하나 내구성, 내화학적저하 등이 전혀 없고 포틀랜드시멘트 이상의 강도를 발현한다.

초속경시멘트는 고성능 감수제의 이용에 따른 높은 감수율과 초기발

열의 상승효과로 인하여 양생온도의 영향이 적게 나타나며 더욱이 저온 양생시 유리하게 사용할 수 있다.

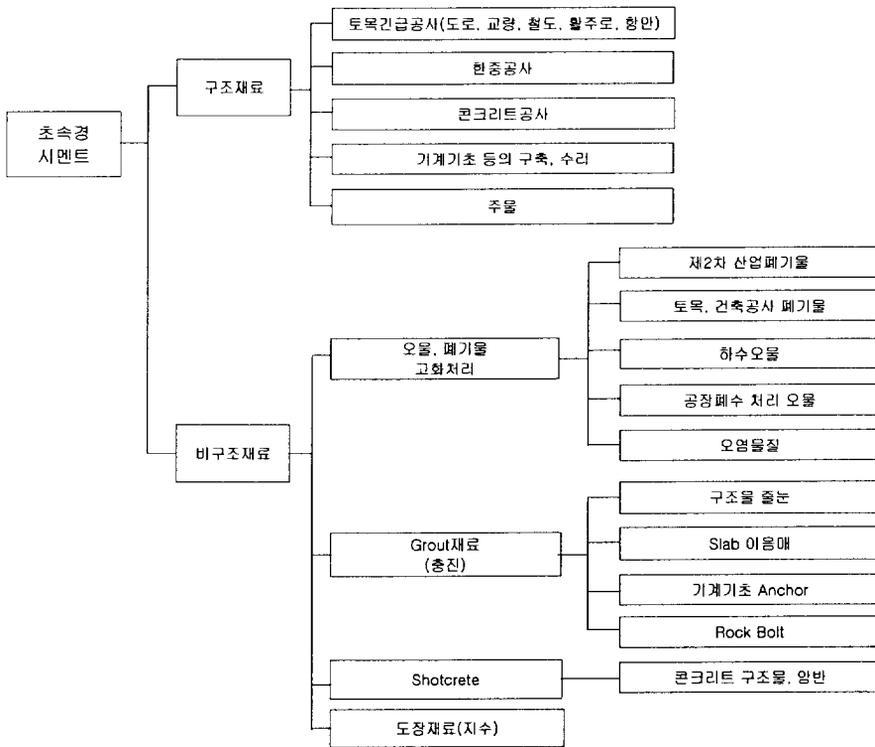


그림 2.1 초속경시멘트의 이용분야

그림 2.1은 상기한 초속경시멘트의 특성들을 이용한 용도를 나타낸 것으로서 이 이외에도 산업이 발달함에 따라 향후 이용분야가 점차 확대되리라 기대된다.

## 2.2 초속경시멘트의 응결경화 특성

초속경시멘트의 응결은 매우 빠른 특성을 나타내고 응결이 끝나면 즉시 경화가 된다. 특히 공사의 규모 등 조건에 의해 콘크리트의 응결

시간을 연장할 경우가 발생되는데 이 경우는 초속경시멘트 전용 응결 조절제인 Setter를 사용하여 작업시간을 조절하여 시공한다.

## 2.3 초속경콘크리트 물리적 성질

### 2.3.1 굳지않은 초속경콘크리트

#### (1) 단위수량

초속경콘크리트 배합시 단위수량은 배합조건, 골재, 대기온도, 응결 조절제 사용량 등의 영향을 받으며 시험배합에 의해 결정한다.

#### (2) 응결조절제

응결조절제는 초속경콘크리트 타설시 응결시간을 조절해주며, 적절한 작업시간을 확보해 주기 위해 사용한다. 적정한 사용량 범위에서는 응결시간을 조절할 수 있으며 강도발현에는 크게 영향을 미치지 않지만 과도한 양을 사용할 때에는 초기강도 발현이 지연될 우려가 있으므로 주의를 요할 필요가 있다.

응결조절제는 사용량을 증가시킴에 따라 초결(흙손마무리 최종가능 시간 정도)과 종결(경화개시 상태)이 지연되고 초기 압축강도 발현이 약간 저하되나 장기강도는 매우 향상되는 경향이다. 응결조절제의 사용량은 초기 고강도를 얻기 위해서 시공시의 대기온도, 소요 작업시간 등으로 부터 그 사용량을 결정한다. 표 2.3은 응결조절제의 계절별 사용량을 나타낸 것이다.

표 2.3 응결조절제 사용량 (작업시간 20분 기준)

계 절 별	대기온도 (℃)	첨 가 량 (시멘트 중량비 기준)
하 절 기	25 이상	0.4~0.5%
춘 추 기	15~25	0.2~0.4%
동 절 기	5~15	0.1~0.2%

### (3) 잔골재율

잔골재율은 필요한 워커빌리티가 얻어지는 범위내에서 단위수량이 최소가 되도록 시험에 의해 정하는 것이 원칙이며 시험 mixing을 하는 경우 표 2.4를 참고한다.

표 2.4 잔골재율 표준치

굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (cm)	단위시멘트량 (kg/m <sup>3</sup> )	
		400	360
25	8	35~36	36~37
	12	36~37	37~38
	18	37~38	38~39

### (4) 슬럼프

초속경콘크리트의 경우 슬럼프 변화는 보통포틀랜드시멘트를 이용한 콘크리트에 비해 단시간 내에 일어나고 변화 비율도 크며 대기온도가 높을수록 크다. 따라서 응결조절제 사용량을 증가시켜 슬럼프 변화의 기울기를 완만하게 하여 시공한다.

### (5) 블리딩

굳지않은 콘크리트는 비중이나 크기가 다른 재료를 혼합한 것이므로 운반이나 타설 때 콘크리트의 유동에 따라 골재가 분리되거나 다짐시 진동 및 중력 작용에 의해 비중이 큰 골재나 시멘트는 아래로 침강하

고 비중이 작은 물이나 모래의 미립분은 콘크리트 상부에 부유되는데 이 현상이 블리딩이다.

블리딩에 의해 발생된 레이턴스(Laitance)는 미세한 표면 물질층으로 콘크리트의 부착 특성을 현저히 저하 시키므로 반드시 제거하여야 하는데, 초속경콘크리트는 레이턴스가 전혀 발생되지 않아 접착특성이 매우 우수하며 침하현상이 없어 기계기초용 또는 앵커볼트 매립 등에 사용하면 효과가 좋다.

표 2.5는 시멘트 종류별 블리딩을 나타낸 것이다.

표 2.5 시멘트 종류별 블리딩

시멘트 (단위시멘트량 : 400kg/m <sup>3</sup> )	슬럼프 (cm)	블리딩	
		양 (ml/cm <sup>3</sup> )	물 (%)
보 통	8	0.17	2.94
초 조 강	8	tr.	tr.
초 속 경	8	전혀 발생안됨	

### 2.3.2 경화된 콘크리트의 내구성

#### (1) 건조수축

초속경콘크리트는 경화체 구조가 치밀하고 수화생성물 자체의 수축성이 적으므로 보통포틀랜드시멘트에 비해 건조수축이 매우 적어 균열 저항성이 매우 우수하다.

#### (2) 동결융해 저항성

초속경콘크리트는 경화체 구조가 매우 치밀하고 강도가 높을 뿐 아니라 흡수율이 낮아 동결융해 저항성이 보통콘크리트에 비해 매우 우수하여 내구성이 더욱 증진된다. 표 2.6은 초속경콘크리트의 동결융해

저항성을 나타낸 것이다.

표 2.6 초속경콘크리트의 동결융해 저항성

항목	동 결 융 해 반복횟수 (회)							
	0	40	68	90	120	180	210	255
시멘트								
보 통	100	87.5	73.0	58.9	-	-	-	-
초속경	100	98.1	99.3	98.3	99.2	95.3	96.7	96.1

### (3) 내마모성

모르터 및 콘크리트의 표면 내마모성은 구조체의 수명에 직접적인 영향을 주며, 초속경콘크리트의 내마모성 시험결과는 보통콘크리트에 비해 매우 우수하다. 표 2.7은 초속경시멘트를 사용한 모르터 시편의 마모에 따른 중량감소를 나타낸 것이다.

표 2.7 초속경콘크리트의 마모율

항목	마 모 율 (%)			
	0	10,000회전	20,000회전	40,000회전
시멘트				
보 통	0	1.68	3.92	7.35
초속경	0	0.42	1.09	2.30

### (4) 화학저항성

염화칼슘( $\text{CaCl}_2$ ) 포화용액내에 침지한 콘크리트의 열화특성을 측정 한 결과 초속경콘크리트는 보통콘크리트와 유사한 특성을 보이며 재령 4개월에서도 비교적 안정된 특성을 나타낸다. 따라서 동절기에 도로의 결빙을 방지하기 위해 염화칼슘을 살포하는 국내 도로환경에 대한 보수재료로서 매우 적합하다. 표 2.8은 초속경콘크리트의 내화학성을 나타낸 것이다.

표 2.8 초속경콘크리트의 내화확성

항목	중 량 변 화 율 (%)				
	1주	2주	4주	8주	16주
시멘트					
보 통	+0.19	+0.24	+0.28	+0.33	+0.40
초속경	+0.22	+0.23	+0.36	+0.41	+0.45

항목	압 축 강 도 비 (%)				
	1주	2주	4주	8주	16주
시멘트					
보 통	98.3	96.7	95.8	94.5	91.5
초속경	95.2	96.4	94.9	93.1	92.0

## 2.4 부순모래

### 2.4.1 용어정의

- 부순모래 - 암석을 파쇄기로 부수어 인공적으로 만든 모래
- 혼합모래 - 부순모래에 일정비의 자연산 모래를 혼합한 모래
- 잔입자(미분) - 부순모래에 포함되어 있는 석분으로서 No. 200 체(0.08mm)를 통과하는 입자
- 잔입자량(미분량) - KS F 2511(골재에 포함된 잔입자 시험방법)시험법에 의해 손실되는 양(중량비, %)
- 실적률 - 일정 용기에 채워지는 골재의 절대용적비(%)
- 입형 판정실적률 - 잔골재의 입형을 판정하기 위하여 특정입도 범위의 골재(1.2~2.5mm)를 시료로 한 실적률(%)

여기서 잔입자는 일반적으로 자연모래에 섞여 있는 미립자와는 다른 성질을 갖고 있다. 부순모래에 포함된 잔입자는 암석의 분쇄에 의해 생겨난 것으로 자연모래에 섞여 있는 흙 성분의 미립자와는 차이가 나며, 부순모래의 잔입자의 함유량은 콘크리트의 제반 성질에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

## 2.4.2 부순모래를 사용한 굳지 않은 콘크리트의 성질

### (1) 잔입자량의 영향

일반적으로 잔입자를 다량으로 함유한 잔골재는 표면적의 증가에 의하여 동일한 슬럼프를 얻기 위해 더 많은 양의 단위수량을 요구하게 된다. 그러나 부순모래의 잔입자량이 증가함에 따라 반대로 비례적으로 요구 수량이 증가하지는 않는 것으로 알려져 있다. 다음의 표 2.9는 잔입자량에 따른 요구 수량을 비교한 것이며, 여기서 메릴랜드 실리카는 자연모래이고 버지니아 석회암, 코네티컷 현무암은 부순모래이다.

표 2.9 목표 슬럼프를 얻기 위한 요구 수량

잔골재 종류	메릴랜드 자연모래	버지니아 석회암		코네티컷 현무암	
NCSA 입형지수	47.1	49.0		55.2	
0.08mm체 통과율	2	2	11	5	11
단위수량(kg/m <sup>3</sup> )	157	157	156	188	188

표 2.9에서 알 수 있듯이 낮은 조립률(미분량이 적은)의 잔골재를 사용한 콘크리트와 잔입자량이 적은 잔골재를 사용한 콘크리트의 단위수량이 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 자연모래와 석회암 부순모래는 잔입자량이 증가함에 따라 필요한 단위수량이 증가하며 특히

강모래는 동일한 잔입자량에서도 석회암 부순모래보다 더 많은 단위수량을 필요로 하고 있다. 이것은 강모래가 오히려 석회암 부순모래보다 흡수율이 크고, 큰 표면적 때문이라고 언급하고 있다.

즉 석회암 부순모래의 미분이 강모래의 미분보다 표면적은 크지만 석회암 부순모래는 전체적으로 강모래보다 상대적으로 더 굵은 입도분포를 가지고 있다. 일정한 슬럼프 값 10cm를 유지하기 위하여 잔골재 중 잔입자(미분)로서 5% 정도까지 대체된 경우에도 필요한 수량의 증가는 크지 않다.

일반적으로 부순모래 콘크리트를 제조할 때에 미분급 잔입자를 제거하지 않고 그대로 사용하는 경우도 있다. 다수의 연구자들의 보고에 의하면 동일한 슬럼프를 목표로 할 경우 잔입자량이 많을수록 단위수량이 증가하는 반면, 같은 양의 잔입자를 포함한 자연모래 콘크리트에 비해서는 오히려 소요 단위수량이 감소하는 경향이 있다. 또한 동일한 물-시멘트비에서 잔입자량이 많을수록 슬럼프값이 감소되며, 잔입자량을 동일하게 하였을 때의 자연모래 콘크리트에 비하여 부순모래 콘크리트가 시간이 경과함에 따라 더 큰 슬럼프치를 나타낸다. 한편, 작업성은 전반적으로 잔입자량이 많아질수록 증진되나 부순모래만을 사용하면 매우 불량한 작업성을 나타낸다. 그러나 부순모래 30~50%를 바다모래와 혼합하여 사용하면 작업성을 증진시킬 수 있다는 연구보고가 있다.

표 2.10은 물-시멘트비를 54.5%로 일정하게 유지할 경우 잔입자량에 따른 슬럼프 저하현상을 보여주고 있다.

표 2.10 잔입자량에 따른 슬럼프값

암 종	W/C (%)	입형 판정 실적률(%)	잔입자율 (%)	s/a	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	슬럼프 (cm)
화강암	54.5	56	0	45	180	14.5
				47		13.9
				49		13.5
			3.5	45		13.0
				47		12.0
				49		11.5
			7	45		10.0
				47		9.2
				49		8.5

동일한 굵은 골재를 사용하였을 경우 조립률에 따라 블리딩수를 측정 한 결과, 잔입자량이 큰 조립률의 경우 블리딩수(bleeding water)의 양은 크게 감소한다. 한편 아메드(Ahmed)는 강모래와 석회암 부순모래에 대한 블리딩 실험을 수행하였다. 표 2.11은 잔입자량에 따른 강모래와 석회암 부순모래의 블리딩수의 양을 나타내고 있다.

표 2.11 잔입자량에 따른 블리딩 양

강모래			부순모래		
잔입자량 (%)	물-시멘트비	블리딩률 (%)	잔입자량 (%)	물-시멘트비	블리딩률 (%)
0	0.65	1.19	0	0.64	2.86
3	0.66	1.80	3	0.64	2.43
5	0.67	1.90	5	0.65	2.80
7	0.69	1.63	7	0.67	2.10
10	0.74	1.42	10	0.67	1.80
15	0.79	1.01	15	0.69	1.46
20	-	-	20	0.74	0.50

니콜스(Nichols)가 다음에서 내린 결론과 마찬가지로 잔입자량이 증가함에 따라 블리딩수의 양이 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 니

콜스 등은 단위시멘트량, 잔입자량, 입자 모양 등을 실험의 변수로 두어 단위수량, 블리딩을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 부순모래 콘크리트는 동등한 입도의 자연모래 콘크리트에 비해 일반적으로 입형이 불량하므로 동일한 반죽질기를 얻기 위해서는 더 많은 양의 단위수량을 요구한다. 한편, 측정된 블리딩수를 비교하면 자연모래 콘크리트가 부순모래 콘크리트보다 더 많은 양을 나타냈다.
- ② 모든 경우에 있어서 단위시멘트량이 증가할수록 블리딩이 감소하는 경향을 보였다.
- ③ 잔입자량이 많은 입도를 가진 콘크리트의 경우 블리딩량이 급격히 감소하는 경향을 볼 수 있는데, 이는 함유된 잔입자가 시멘트와 유사한 역할을 하기 때문인 것으로 사료된다.

## (2) 입자 모양의 영향

일반적으로 부순모래의 입자 모양은 매우 거칠고 모난 형상을 가지고 있다. 따라서 입자 모양에 따른 콘크리트의 특성을 연구하기 위하여 미국 NCSA(National Crushed Stone Association)에서는 공극량의 정도를 통하여 입자 모양의 거칠기를 판단하는 입형지수(shape index)를 도입하였다. 이에 따르면 잔골재의 입형지수가 53.4% 이하인 경우에는 불량한 입자 모양에 의하여 굳지 않은 콘크리트의 특성이 크게 좌우되지 않는 것으로 알려져 있으나 동일한 작업성을 목표로 배합시험을 하였을 경우 입형지수가 클수록 요구되는 단위수량이 많아지는 경향을 볼 수 있다.

부순모래 콘크리트에서는 사용된 부순모래의 원석 종류에 따라 그 성질을 달리한다. 동일한 슬럼프치를 목표로 하였을 때 석회암을 사용한 부순모래 콘크리트에서는 부순모래의 사용량에 관계없이 잔입자량이 많아질수록 유동화제 첨가량이 감소되나, 다른 암석의 경우 혼합모래를 사용한 콘크리트에서는 부순모래의 함량이 증가될수록 유동화제

첨가량도 증가한다는 연구보고가 있다. 그러나 부순모래를 50% 이하로 혼합하였을 경우에는 잔입자 혼입량에 관계없이 거의 동일한 유동화제를 필요로 하고 있다.

한편, 다자와 에이이치 등은 원심력을 이용하여 암석을 파쇄한 부순모래가 기존의 조 크러셔(jaw crusher) 및 로드 밀(rod mill)을 이용해 생산된 부순모래에 비하여 입자 모양이 둥글고 양호한 충전성을 나타낸다고 보고하였다. 물-시멘트비가 일정할 경우 입자 모양이 양호한 부순모래를 사용하면 동일 슬럼프( $8 \pm 1\text{cm}$ )를 얻기 위하여 기존의 조 크러셔 및 로드 밀을 이용해 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트에 비하여 단위수량을 약  $20\text{kg}/\text{m}^3$ 을 감소시킬 수 있다고 하며, 원심력을 이용하여 파쇄한 부순모래의 경우 강모래보다도 오히려 동일한 슬럼프를 얻는데 단위수량이 적게 필요하다는 연구결과도 있다.

일반적으로 부순모래의 입자 모양이 불량한 경우 오히려 블리딩은 감소하는 효과가 나타나는 것으로 알려져 있다. 다자와 에이이치 등은 부순모래(A : 양호한 입자 모양, B : 불량한 입자 모양), 혼합모래(A와 강모래), 강모래 등을 잔골재로 이용한 콘크리트의 블리딩을 실험적으로 연구하였다. 동일한 단위수량인 경우, 입자 모양이 좋은 부순모래 A의 경우는 강모래와 비슷한 블리딩률을 나타내지만, 입자 모양이 좋지 못한 부순모래 B의 경우는 블리딩률이 크게 떨어진다. 따라서 부순모래에 있어서 입자 모양이 좋지 않은 경우 블리딩률은 떨어지며 단위수량이 작은 경우에도 블리딩률은 떨어진다는 것이다.

### (3) 혼화재 및 공기량에 따른 영향

잔골재로서 부순모래를 사용하는 경우, 자연모래에 비해  $0.15\text{mm}$  이하의 잔입자량이 많을수록 좋다고 알려져 있다. 그러나 실제로 입수한 부순모래는 비교적 조립률이 크고, 잔입자량이 적은 경우가 많다. 따라서 인위적으로 혼화재를 첨가하는 경우가 있는데, 다케무라 가즈오 등은 플라이애시를 첨가한 부순모래 콘크리트의 소요 단위수량 및 공

기량에 관한 연구를 수행하였다.

일정한 슬럼프의 AE 혼화제가 첨가되지 않은 콘크리트의 단위수량에 미분말이 미치는 영향은 플라이애시를 사용한 경우에는 감수효과가 나타나지 않으나, 물-시멘트비가 0.50과 0.65의 경우에는 2~4%의 감수효과가 얻어졌다. 한편, 슬래그 분말을 사용한 경우에는 단위수량을 약 2~5% 감소시킬 수 있고 사용량의 증가에 따라 감수율이 증가하는 경향을 보인다고 한다.

물-시멘트비 60%, 슬럼프 6~21cm의 범위에서 부순모래를 사용한 AE 콘크리트의 유동성은 동일한 슬럼프의 자연모래 콘크리트에 비해 나쁘지 않으나 골재 분리에 대한 저항성은 감소하는 것으로 나타난다. 시게쿠라 유코 등의 부순모래 콘크리트에 관한 연구에 따르면 재료 분리는 잔골재율의 감소, 단위수량의 증가, 물-시멘트비의 증대, 잔입자량의 감소에 따라 크게 발생하는 경향을 보여 주고 있다. 유동화 콘크리트의 재료분리는 불량한 입자 모양의 영향, 잔입자량의 증가에 따라 감소될 수 있다.

#### (4) 잔골재의 영향

다자와 에이이치 등은 입자 모양이 좋은 부순모래(A)와 입자 모양이 불량한 부순모래(B)를 잔골재로 사용한 콘크리트에 대하여 각종 실험을 수행하였다. 동일한 잔골재 혼합비를 50%(부순모래 : 바다모래 = 1:1)로 두어 작업성을 비교 실험하였다. 부순모래 A와 바다모래를 혼합한 잔골재 콘크리트에 대해서는 동일한 단위수량의 자연모래 콘크리트와 동등한 슬럼프값을 얻었으나, 부순모래 A만 사용한 콘크리트보다는 유동성이 떨어졌다. 그러나 입자 모양이 좋지 않은 경우에는 50% 혼합한 경우와 전부 부순모래 B를 사용한 경우, 거의 유사하게 낮은 슬럼프값을 나타내었다. 따라서 입자 모양, 즉 부순모래의 성질에 따라 잔골재 혼합비가 유동성에 미치는 영향이 달라진다.

#### (5) 굵은 골재의 영향

나카하라 이사오는 물-시멘트비 60%에서 석회암 부순모래를 사용했을 때 굵은 골재와 단위수량에 따른 슬럼프값의 변화에 관한 실험을 하였다. 굵은 골재로는 산부순돌, 강자갈, 석회암 부순돌을 사용하였다. 동일한 단위수량을 적용했을 때 강자갈, 석회암 부순돌, 산부순돌의 순으로 슬럼프 값이 크다.

### 2.4.3 부순모래를 사용한 굳은 콘크리트의 성질

#### (1) 강도 특성

일정한 물-시멘트비 하에서 강모래와 부순모래에 각각 같은 양의 잔입자를 포함시켜 제조한 콘크리트의 28일 강도를 비교하면 부순모래 콘크리트의 경우에 잔입자량이 클수록 높은 압축강도를 나타낸다. 즉, 동일한 물-시멘트비 하에서는 잔입자량이 증가할수록 높은 압축강도를 발현한다. 인장강도에 대한 경향도 압축강도와 유사하다고 알려져 있다.

일반적으로 부순모래의 입자 모양은 매우 거칠고 모난 형상을 갖고 있다. 입형 판정실적률은 공극량을 통하여 입형의 거친 정도를 판단하는 지수로서 이에 따르면 입형 판정실적률이 53% 이상인 경우에는 입자 모양이 콘크리트의 강도에 별다른 영향을 주고 있지는 않으나, 그 이하의 입형 판정실적률을 갖는 부순모래를 사용할 경우에는 강도 및 내구성에 악영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 즉, 동일한 작업성을 목표로 배합시험을 했을 때 입형 판정실적률이 작을수록(공극량이 클수록) 동일한 단위수량 하에서 강도 저하 현상이 나타난다.

다수의 연구자에 의하여 수행된 기존 결과에 따르면 동일한 물-시멘트비의 경우 부순모래 콘크리트는 강모래 콘크리트에 비하여 대체로 불량한 작업성을 보이나, 최근 자연골재의 품질 악화에 따라 부순모래

콘크리트의 작업성이 상대적으로 양호한 경향을 나타내기도 한다. 또한 발현 강도에 있어서는 자연산 모래에 비하여 동등 이상의 결과를 나타내고 있다.

동일한 단위시멘트량으로 배합하였을 경우, 입형 판적실적률이 높은 부순모래(입자 모양이 좋고 공극이 적은 골재)를 사용한 콘크리트의 경우에는 시멘트 효율이 높다. 입자 모양이 불량한 부순모래 콘크리트는 시멘트 효율이 감소하지만, 동일한 배합으로 제조된 강모래 콘크리트에 비하여 낮은 강도를 나타내지는 않는다.

### (2) 내투수성

잔골재의 일부 또는 전체로 부순모래를 혼합한 콘크리트는 압축강도 증진에는 일부 효과적이거나 투수저항성을 향상시키지는 못하는 것으로 밝혀진 기존의 연구결과가 있다. 부순모래 혼합비에 따른 투수저항성이, 부순모래를 30~40% 혼합한 경우에는 해사만 사용한 배합과 동등한 정도의 투수저항성을 보이거나 부순모래만 사용한 배합은 투수저항성이 다소 감소하는 것으로 나타난다. 그러나 최근 입형 및 입도가 개선된 부순모래의 경우는 자연산 모래와의 차이를 상대적으로 줄여 거의 동등한 수준의 투수저항성을 갖는다고 한다.

다시 말하면 부순모래의 입도와 입형을 콘크리트용 잔골재로 최적이 되도록 품질 향상에 힘써야 하고 적절한 품질을 확보한다면 소요의 투수저항성을 확보할 수 있으리라 사료된다.

### (3) 내부식성

잔골재의 일부 또는 전체로 부순모래를 혼합한 콘크리트의 부식저항성 양상은 투수저항성의 양상과 유사하고, 부순모래 혼합비에 따른 부식저항성은 부순모래를 30~40% 혼합한 경우 해사만 사용한 배합과 동등한 정도의 부식저항성을 보이거나 부순모래만을 사용한 배합은 다소 부식저항성이 감소하며 이 부분에 대해서 연구 보완할 필요가 있다고 사료된다.

#### (4) 마모감량

나카하라 이사오의 연구에 의하면 석회암 골재의 마모감량은 비교적 크고 타골재를 사용한 콘크리트보다 석회석 골재를 사용했을 경우 마모감량이 큰 것으로 나타났다.

가와노 기요시 등의 부순모래 원석의 종류에 따른 연구에 의하면 석회암과 현무암 콘크리트의 내마모성이 다른 골재를 사용한 콘크리트에 비하여 떨어지는 것으로 나타났고, 화강암 부순모래 콘크리트의 내마모성이 가장 우수한 것으로 평가되었다. 또한 골재의 마모시험 결과 콘크리트의 내마모성과 골재의 내마모성이 반드시 비례하지는 않는 것으로 나타났다.

#### (5) 건조수축

부순모래 콘크리트의 건조수축량은 다량의 잔입자 함량 때문에 요구되는 단위수량의 증가로 인한 일반 강모래를 잔골재로 사용한 콘크리트에 비하여 건조수축량이 크다. 아메드(Ahmed) 등의 연구에서 나타난 바와 같이 잔입자량이 많을수록 건조수축량은 증가한다. 이러한 경향은 자연모래 콘크리트에서 더욱 뚜렷이 나타난다. 즉 동일한 양의 잔입자를 함유한 경우 부순모래 콘크리트가 건조수축에 대하여 자연모래 콘크리트보다 유리한 결과를 보인다.

한편, 장기 거동에 대한 입자 모양의 영향을 연구한 시게쿠라 유코 등의 결과에 따르면 입자 모양 판정실적률의 저하에 의한 단위수량의 증가에 따라 건조수축량이 증가하는 것으로 보고됐다.

현재 국내에서 생산되고 있는 부순모래 및 자연산 모래와 적절한 혼합비를 갖는 혼합모래의 경우 미분량 조절을 통하여 최종 건조수축량을 어느 정도 제어할 수 있는 것으로 알려지고 있다.

#### (6) 동결융해 저항성

동결융해 저항성은 니콜스(Nichols)에 따르면 적정량의 공기량 확보가 가능하다면 부순모래 콘크리트의 경우 동결융해에 대한 내구성은

자연모래 콘크리트와 동등한 것으로 평가된다. 한편, 골재의 안정성 시험을 통하여 콘크리트의 동결융해 저항성과 상관관계를 찾을 수는 없었으나 석회암 부순모래 콘크리트의 내구성 지수는 5.2%로 매우 불량하게 평가되었다. 즉 부순모래 콘크리트의 내구성은 원석의 영향을 받는데, 내마모성 및 동결융해에 대한 내구성은 화강암 부순모래 콘크리트가 가장 우수한 것으로 나타났다.

#### (7) 알칼리 골재반응

현재 알칼리 골재반응은 골재 중의 반응성 실리카와 콘크리트 중의 알칼 리가 반응하여 규산 알칼리를 생성하고 이에 따른 생성물의 팽창 압력으로 콘크리트에 균열을 일으키는 것을 의미한다. 반응성의 골재를 부득이 하게 쓰지 않으면 안될 경우에는 저알칼리형 시멘트나 소요량의 혼화재를 혼합한 고로시멘트 또는 플라이애시 시멘트 등을 사용하여 알칼리 골재반응을 충분히 억제할 필요가 있다. 이 경우 사용하는 시멘트의 품질 및 콘크리트의 배합은 구조물의 종류나 환경조건을 고려하여 정해야 한다. 또한 천연골재의 고갈로 부순모래의 사용량이 증가하는 경향에 따라 알칼리 골재반응에 대한 검사가 요망되며 이를 선별적으로 활용하여야 한다. 나카하라 이사오는 석회암 부순모래의 알칼리 골재반응에 대하여 석회석은 알칼리 골재반응의 우려가 가장 적은 골재이고, 단지 일부 외국의 경우 돌로마이트 석회석에 함유된 돌로마이트와 시멘트의 알칼리와의 반응에 의해 '알칼리 탄산염 반응'이 생기는 경우가 있을 뿐이다라고 결론을 짓고 있다.

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

잔골재의 종류로 강모래, 바다모래, 부순모래를 사용하고, 단위시멘트량을  $400\text{kg}/\text{m}^3$ 으로 고정시킨 물-시멘트비를 40, 45, 50%로 변화시키며, 잔골재율을 33, 36, 39%로 변화시켜 3시간 압축강도  $200\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이상을 목표강도로 하였다. 초속경콘크리트의 응결지연제는 제조회사인 S사의 추천 권장량인 시멘트 중량의 0.5%를 첨가하였다.

본 연구에서는 잔골재의 종류에 따른 초속경콘크리트의 배합 및 재료특성을 알아보기 위해 실험인자와 수준을 표 3.1과 같이 결정하였다. 여기서 기준 배합은 잔골재로 강모래, W/C 40%, 잔골재율 33%로 하여 각각의 수준에 따른 배합표를 작성하였다.

표 3.1 실험인자와 수준

실험인자	수준
잔골재 종류	강모래, 바다모래, 부순모래
단위시멘트량( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	400
물-시멘트비 (%)	40, 45, 50
잔골재율 (%)	33, 36, 39
응결지연제 (%)	C×0.5
양생	기건양생

위의 실험인자에 대해 그림 3.1과 같은 기호를 사용한다. 잔골재로는 강모래를 R, 바다모래를 S, 부순모래는 C라 하였고, 물-시멘트비 40, 45, 50%는 각각 40, 45, 50으로 하였으며, 잔골재율 33, 36, 39%는 각각 I, II, III라 하였다.



그림 3.1 기호 표시방법

## 3.2 사용재료

### 3.2.1 시멘트

본 연구에서 사용한 초속경시멘트는 국내 S사에서 생산되는 제품을 사용하였으며, 물리적 성질 및 화학성분은 표 3.2 및 표 3.3과 같다.

표 3.2 초속경시멘트의 물리적 성질

응결시간 (길모어시험)		압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )				분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	강열감량 (%)	44 $\mu$ m 잔사 (%)
초결 (분)	종결 (시간:분)	3시간	1일	7일	28일			
23	0:35	273	409	471	497	4,410	3.2	8.5

표 3.3 초속경시멘트의 화학성분 및 광물조성

화학성분 (%)						광물조성 (%)				
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>11</sub> A <sub>7</sub> CaF <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
14.3	11.9	0.9	58.7	1.0	10.6	46.2	2.3	20.8	-	2.5

### 3.2.2 골재

본 연구에서 사용한 굵은골재는 경남 용원 석산에서 생산한 굵은골재 최대치수가 25mm인 부순자갈을 사용하였고, 잔골재는 경남 합천 황강에서 채취한 강모래와 전남 진도 앞바다에서 채취한 바다모래를 상용수로 세염하여 사용하였으며, 경남 용원 석산에서 채취한 부순모래를 사용하였다. 골재의 각종 특성은 표 3.4와 같다.

표 3.4 골재의 물리적 성질

항목 종류	굵은골재 최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립률	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )	조개껍질 함유량(%)	염화물함유량 (×10 <sup>-3</sup> %)	
							NaCl	Cl <sup>-</sup>
부순골재	25	2.62	1.0	6.97	1520			
강모래	-	2.58	1.80	2.66	1540			
바다모래	-	2.58	1.80	2.75	1537	7.0	2.6	2.0
부순모래	-	2.66	3.00이하	3.00	-			

표 3.4에서 조개껍질함유량은 표준체 5mm체를 통과한 해사의 절건중량에 대한 백분율이고, 염화물함유량은 세척한 해사의 중량에 대한 백분율이다.

### 3.3 배합설계

초속경콘크리트의 배합 및 재료특성을 알아보기 위해 목표강도로 3시간 압축강도를 200kgf/cm<sup>2</sup>이상으로 하고, 단위시멘트량을 400kg/m<sup>3</sup>으로 하며, 잔골재율을 33, 36, 39%로 변화시켜, 슬럼프를 8±2.5cm, 공기량을 1.5±1.0%로 할 경우 물-시멘트비에 따른 기준시방배합

표는 표 3.5~3.7과 같다.

표 3.5 표준시방배합표 (물-시멘트비 = 40%)

기호	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				응결지연계
			W	C	S	G	
RI40	40	33	160	400	585	1220	C×0.5% =2
SI40	40	33	160	400	585	1220	
CI40	40	33	160	400	603	1220	
RII40	40	36	160	400	638	1165	
SII40	40	36	160	400	638	1165	
CII40	40	36	160	400	658	1165	
RIII40	40	39	160	400	691	1111	
SIII40	40	39	160	400	691	1111	
CIII40	40	39	160	400	713	1111	

표 3.6 표준시방배합표 (물-시멘트비 = 45%)

기호	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				응결지연계
			W	C	S	G	
RI45	45	33	180	400	568	1184	C×0.5% =2
SI45	45	33	180	400	568	1184	
CI45	45	33	180	400	585	1184	
RII45	45	36	180	400	620	1131	
SII45	45	36	180	400	620	1131	
CII45	45	36	180	400	639	1131	
RIII45	45	39	180	400	671	1066	
SIII45	45	39	180	400	671	1066	
CIII45	45	39	180	400	692	1066	

표 3.7 표준시방배합표 (물-시멘트비 = 50%)

기호	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				응결지연제
			W	C	S	G	
RI50	50	33	200	400	551	1149	C×0.5% =2
SI50	50	33	200	400	551	1149	
CI50	50	33	200	400	568	1149	
RII50	50	36	200	400	601	1097	
SII50	50	36	200	400	601	1097	
CI50	50	36	200	400	620	1097	
RIII50	50	39	200	400	651	1046	
SIII50	50	39	200	400	651	1046	
CIII50	50	39	200	400	671	1046	

### 3.4 실험방법

#### 3.4.1 콘크리트 배합

초속경콘크리트의 배합은 강제식 믹서(50ℓ)를 사용하여 다음과 같은 순서에 의해 시행하였다.

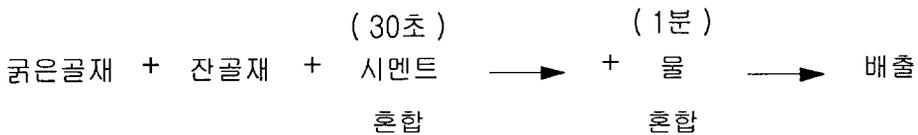


그림 3.2 초속경콘크리트의 배합순서

### 3.4.2 수화발열 측정

초속경시멘트를 사용한 초속경콘크리트를 제조하여 15cm×15cm×55cm의 빔몰드에 타설한 후 온도계를 공시체 중앙에 삽입하여 측정하였다. 온도측정시각은 믹싱 후 30분 후부터 10분 간격으로 측정하였다.

### 3.4.3 슬럼프 시험

잔골재의 종류에 따른 워커빌리티 특성을 파악하고자 KS F 2402 규정에 의하여 콘크리트의 슬럼프 시험을 하였으며, 물-시멘트비 40%에서 목표슬럼프  $8 \pm 2.5$ cm로 하였다.

### 3.4.4 공기량 시험

공기량 시험은 KS F 2421 규정에 준하여 측정하였다.

### 3.4.5 압축강도 및 휨강도 시험

초속경콘크리트의 강도특성을 분석하기 위하여 압축강도 시험과 휨강도 시험은 재령 3시간, 6시간에 초기강도발현 특성에 중점을 두어 수행하였다.

압축강도 시험은  $\phi 10$ cm×20cm의 원주형 공시체를 가지고 KS F 2405규정에 준하여 압축강도를 측정하였으며, 휨강도 측정을 위해서는 15cm×15cm×55cm 빔 공시체를 제작하여 KS F 2407에 준하여 중앙점 재하방식으로 휨강도를 측정하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 수화발열 특성

초속경콘크리트의 온도측정은 지연제의 영향으로 인해 에트링자이트의 생성이 억제되어 초속경콘크리트의 최소작업시간인 30분 동안은 온도변화가 거의 없는 것을 고려하여, 믹싱 30분 후부터 10분 간격으로 측정하였다.

잔골재의 종류로 강모래, 바다모래, 부순모래를 사용하고, 물-시멘트비를 40, 45, 50%로 변화시키며, 잔골재율을 33, 36, 39%로 변화시킨 초속경콘크리트의 수화발열 특성은 표 4.1~4.3 및 그림 4.1~4.3과 같다.

표 4.1 초속경콘크리트의 수화발열 특성 (물-시멘트비=40%)

기호 시각	RI40	SI40	CI40	RII40	SII40	CI40	RIII40	SIII40	CM40
30	35	32	32	33.5	33	32.5	33	32	31
40	37	35	36	38	36	35	36.5	34.5	33
50	40	39	39	40	38	38	39	38	36
1:00	44	42	42	44	41	41	42	40	38
1:10	46	45	46	48	44	44	46	43	41
1:20	45	45	47.5	49	45	45	47	45	44
1:30	45	45	47.5	49	46	46	46.5	45.5	45
1:40	44	44	46.5	48	45	45	45	44.7	44.5
1:50	44	42.5	46	47	44	44	44	44	44
2:00	42	41	45	46	43	43	43	43	42.5

표 4.2 초속경콘크리트의 수화발열 특성 (물-시멘트비=45%)

기호 시각	RI45	SI45	CI45	RII45	SII45	CII45	RIII45	SIII45	CIII45
30	29	29.5	28	29	29	29.5	29	29	28.5
40	32	32	30.5	30	31	31.5	32	31	32.5
50	34.5	35	34	35	34	34.5	35	35	35.5
1:00	36	38	36	36	36	38.5	37	38	38.5
1:10	40	41	39	38	39	40.5	40	41	42.5
1:20	41	42	41	41	42	41.5	44	41	44
1:30	41	41	41.5	43	43	41.5	44	41	44
1:40	41	40	40.7	43	42.5	40.5	44	40	43
1:50	40	39	40	43	42	40.5	43	37.5	42.5
2:00	39	38	39	41	40.5	38.5	42	36	41.5

표 4.3 초속경콘크리트의 수화발열 특성 (물-시멘트비=50%)

기호 시각	RI50	SI50	CI50	RII50	SII50	CII50	RIII50	SIII50	CIII50
30	29	29.5	30	30	28.5	30	31	29	30.5
40	32	33	33	33	31	34	33	31.5	32.5
50	34	35.5	37	35	34	37	37	35	35.5
1:00	36	38.5	40	38	37	40	39	37	37.5
1:10	38	42.5	43	41.5	40	44	41	40	40.5
1:20	41	43.5	43	43	40	45.5	43	42	43.5
1:30	41	43	43	43	39	45.5	44	42.5	44
1:40	42	41.5	42	42	38	44.5	44	41.7	43.5
1:50	41	40.5	39.5	41	37	44	45	41	43.5
2:00	40	39.5	38	40	36	41	42	40	41.5

초속경콘크리트의 수화발열 특성을 살펴본 결과 잔골재의 종류, 잔골재율 그리고 물-시멘트비에 관계없이 급격한 에트링자이트의 생성으로 인한 발열반응으로 콘크리트 온도가 상승되어 1시간 30분경에는 대략 45℃까지 증가한 후 완만하게 감소하는 경향을 나타내었다.

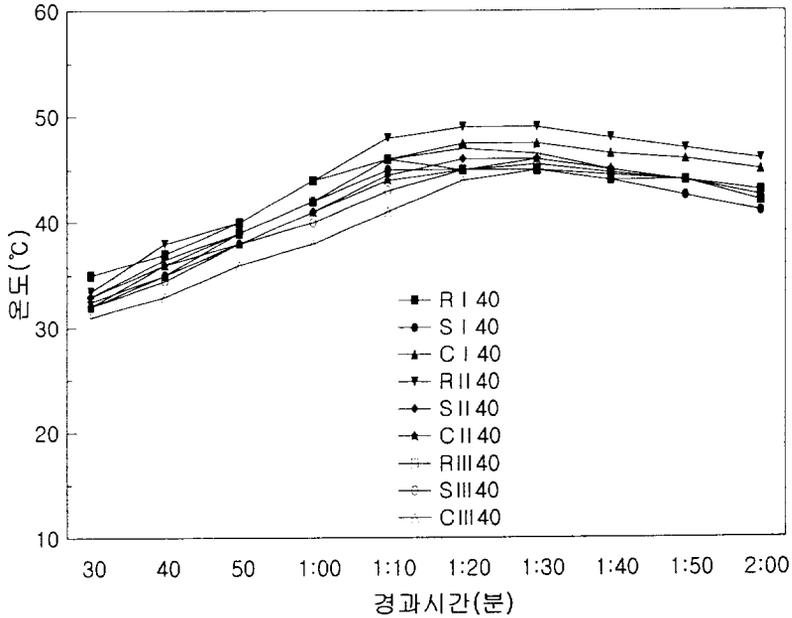


그림 4.1 수화발열 특성곡선 (물-시멘트비=40%)

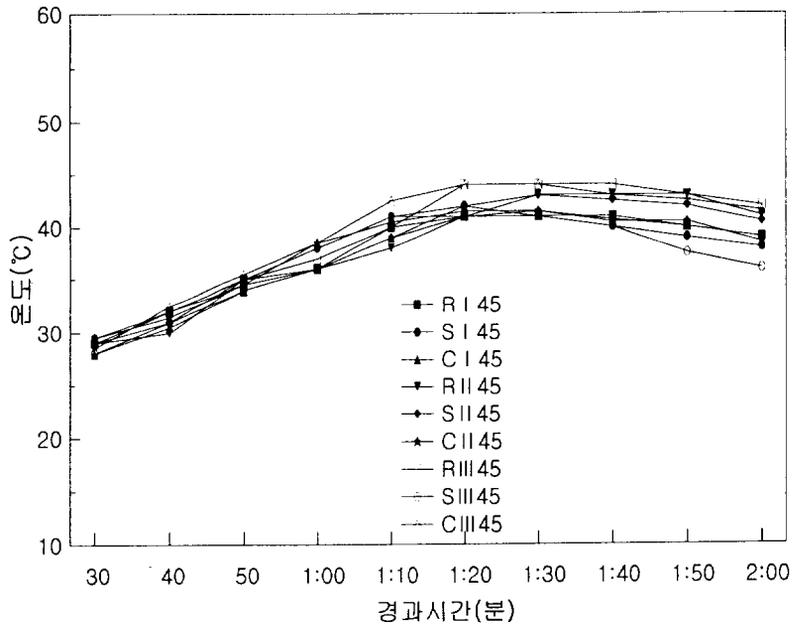


그림 4.2 수화발열 특성곡선 (물-시멘트비=45%)

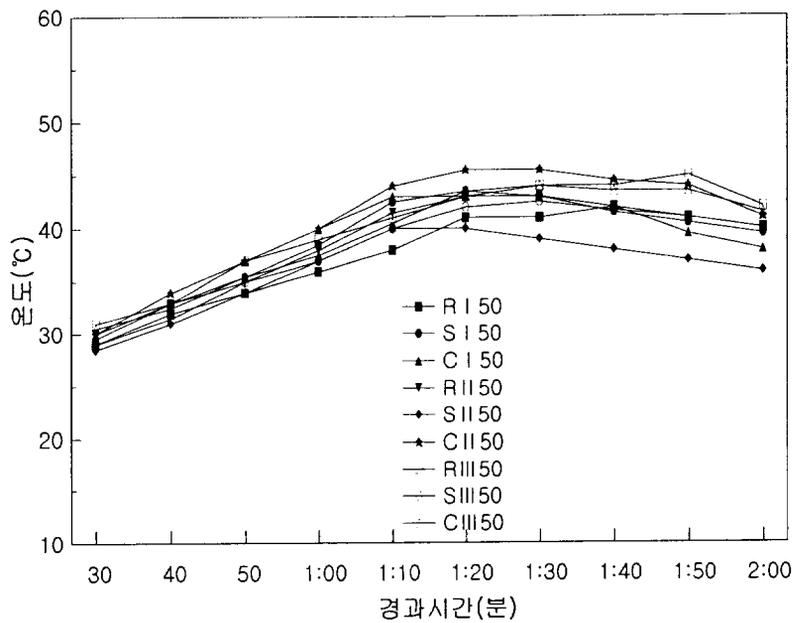


그림 4.3 수화발열 특성곡선 (물-시멘트비=50%)

## 4.2 슬럼프

잔골재의 종류로 강모래, 바다모래, 부순모래를 사용하고, 물-시멘트비를 40, 45, 50%로 변화시키며, 잔골재율을 33, 36, 39%로 변화시킨 초속경콘크리트의 슬럼프특성은 표 4.4 및 그림 4.4~4.6과 같다.

표 4.4 초속경콘크리트의 슬럼프 특성

기 호	슬럼프 (cm)	기 호	슬럼프 (cm)	기 호	슬럼프 (cm)
R I 40	6.5	R I 45	15.6	R I 50	20
S I 40	8	S I 45	17	S I 50	22
C I 40	4	C I 45	11.1	C I 50	18.8
R II 40	6	R II 45	13.5	R II 50	19.2
S II 40	6	S II 45	15	S II 50	21.2
C II 40	3.5	C II 45	10.9	C II 50	16.8
R III 40	5	R III 45	12.2	R III 50	17.6
S III 40	6	S III 45	13.6	S III 50	20
C III 40	2	C III 45	10.2	C III 50	15.2

초속경콘크리트의 슬럼프 특성을 살펴본 결과, 잔골재율과 물-시멘트비에 관계없이 슬럼프의 크기는 바다모래, 강모래, 부순모래 순으로 나타났다. 그러나, 강모래와 바다모래는 슬럼프 차이가 거의 없음을 알 수 있는데, 이것은 강모래에 비해 바다모래는 제염을 위하여 세척하면서 0.15mm 이하의 미립분이 손실되어 다소 유동성이 증가한 것으로 판단된다. 그리고 부순모래를 사용한 경우가 가장 낮게 나타났는데, 이것은 강모래나 바다모래에 비해 골재의 형상이 모가나고, 흡수율이 높기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 부순모래는 강모래나 바다

모래에 비해 상대적으로 미립분이 많이 함유 되어 있기 때문에 배합설계시 잔골재율을 다소 낮춰줄 필요성이 있는 것으로 판단된다.

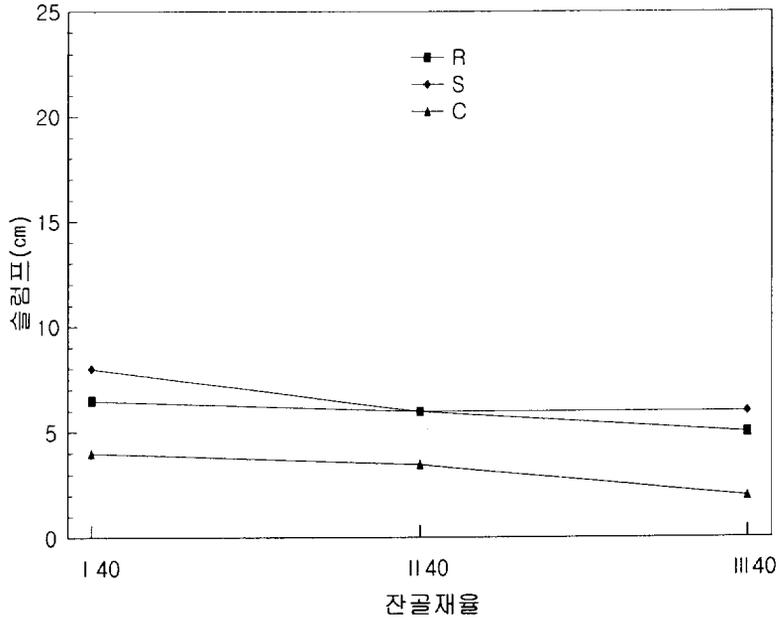


그림 4.4 초속경콘크리트의 슬럼프 (물-시멘트비=40%)

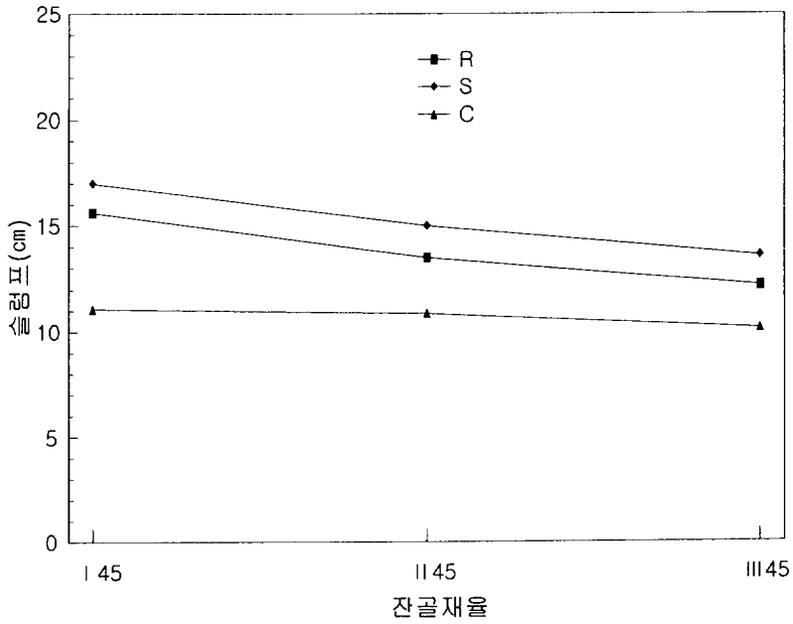


그림 4.5 초속경콘크리트의 슬럼프 (물-시멘트비=45%)

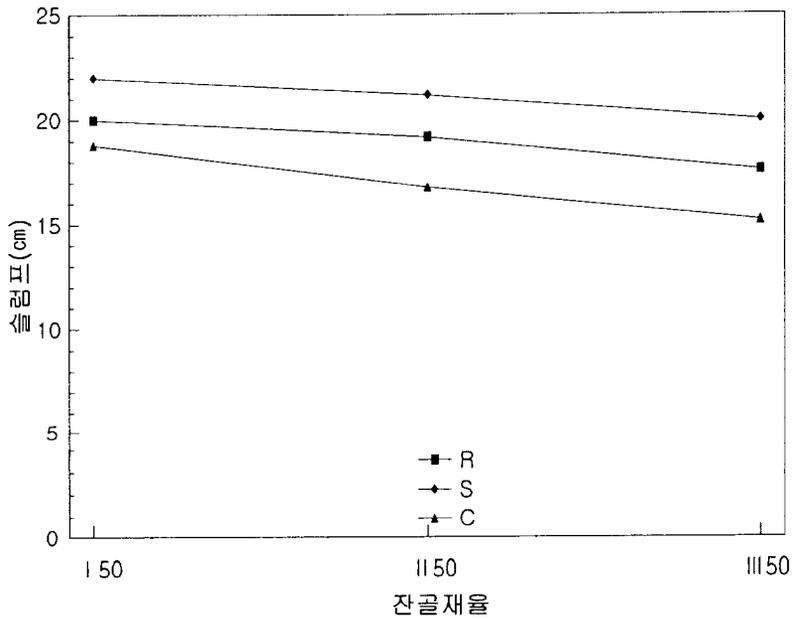


그림 4.6 초속경콘크리트의 슬럼프 (물-시멘트비=50%)

### 4.3 공기량

잔골재의 종류로 강모래, 바다모래, 부순모래를 사용하고, 물-시멘트비를 40, 45, 50%로 변화시키며, 잔골재율을 33, 36, 39%로 변화시킨 초속경콘크리트의 공기량특성은 표 4.5 및 그림 4.7~4.9과 같다.

초속경콘크리트의 공기량 특성을 살펴본 결과, 잔골재의 종류와 물-시멘트비에 관계없이 잔골재율이 증가함에 따라 공기량도 증가하는 것으로 나타났다. 대체로 강모래나 바다모래에 비해 부순모래의 공기량이 다소 적게 나타났으며, 그 차이는 크지 않았다.

표 4.5 초속경콘크리트의 공기량 특성

기 호	공기량 (%)	기 호	공기량 (%)	기 호	공기량 (%)
RI40	0.9	RI45	1.12	RI50	1.4
SI40	1	SI45	1.14	SI50	1.41
CI40	0.78	CI45	0.93	CI50	1.16
RII40	0.9	RII45	1.15	RII50	1.43
SII40	1.04	SII45	1.16	SII50	1.44
CII40	0.81	CII45	0.97	CII50	1.23
RIII40	1.1	RIII45	1.3	RIII50	1.47
SIII40	1.16	SIII45	1.33	SIII50	1.5
CIII40	0.83	CIII45	1.14	CIII50	1.3

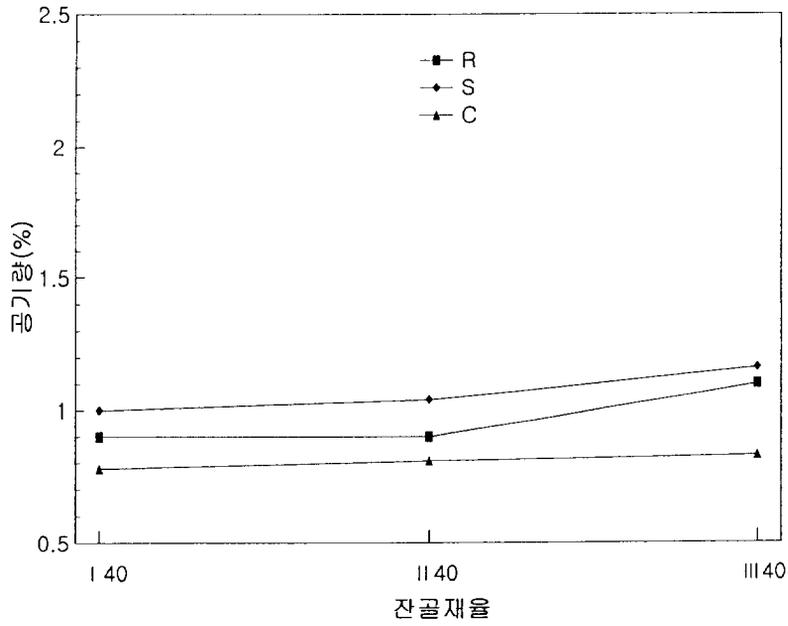


그림 4.7 초속경콘크리트의 공기량 (물-시멘트비=40%)

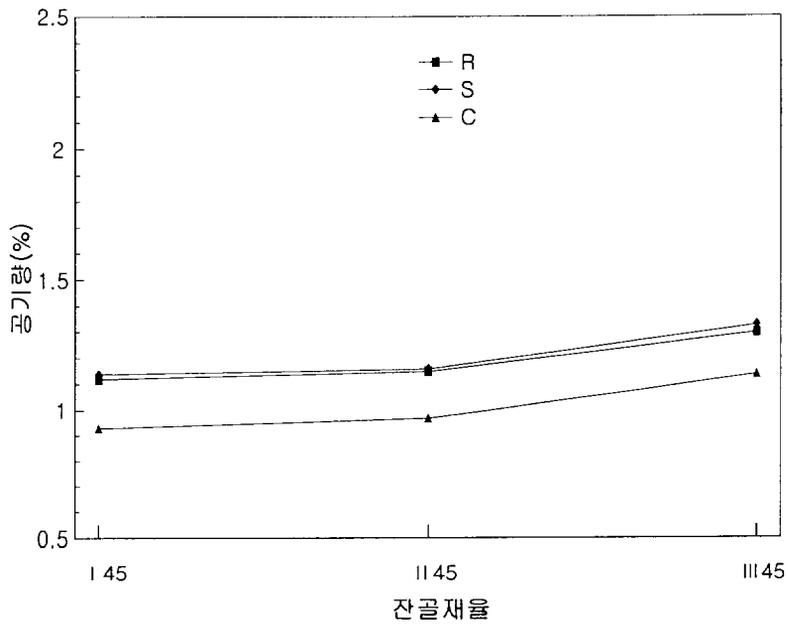


그림 4.8 초속경콘크리트의 공기량 (물-시멘트비=45%)

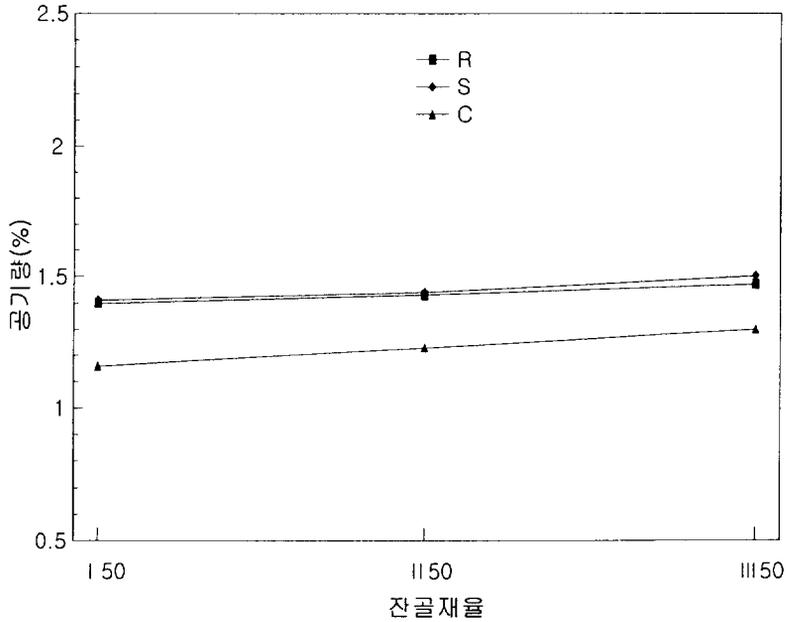


그림 4.9 초속경콘크리트의 공기량 (물-시멘트비=50%)

#### 4.4 압축강도

잔골재의 종류로 강모래, 바다모래, 부순모래를 사용하고, 물-시멘트 비를 40, 45, 50%로 변화시키며, 잔골재율을 33, 36, 39%로 변화시킨 초속경콘크리트의 재령 3시간, 6시간의 압축강도특성은 표 4.6~4.7 및 그림 4.10~4.15와 같다.

초속경콘크리트의 압축강도 특성을 살펴본 결과, 재령에 관계없이 강모래와 부순모래는 비슷한 경향을 보이고 있고, 바다모래는 강모래와 부순모래에 비해 다소 낮게 나타났으나 그 차이는 크지 않았다. 이것은 부순모래에 함유되어 있는 미립분과 거친 입자 모양과 형상 때문인 것으로 판단된다.

잔골재율에 따른 압축강도를 살펴보면, 재령에 관계없이 잔골재율

36%에서 가장 높은 것으로 나타 났으므로, 본 실험의 압축강도측면에서의 적정 잔골재율은 대략 36%전후로 판단된다.

잔골재의 종류에 관계없이 물-시멘트비 40%에서는 재령 3시간 압축강도가 평균 200kgf/cm<sup>2</sup>이상으로 나타났으나, 기타의 다른 조건에서는 모두 목표강도를 만족하지 못하였지만 재령 6시간에서는 물-시멘트비 40, 45%까지는 실용강도 200kgf/cm<sup>2</sup> 이상을 발현하였다.

표 4.6 초속경콘크리트의 압축강도 특성 (재령 3시간)

기 호	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	기 호	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	기 호	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )
RI40	224	RI45	175	RI50	142
SI40	209	SI45	175	SI50	132
CI40	221	CI45	177	CI50	142
RII40	234	RII45	194	RII50	145
SII40	226	SII45	185	SII50	134
CII40	235	CII45	193	CII50	144
RIII40	212	RIII45	171	RIII50	130
SIII40	200	SIII45	179	SIII50	129
CIII40	207	CIII45	169	CIII50	130

표 4.7 초속경콘크리트의 압축강도 특성 (재령 6시간)

기 호	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	기 호	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	기 호	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )
R I 40	258	R I 45	212	R I 50	178
S I 40	244	S I 45	211	S I 50	166
C I 40	258	C I 45	212	C I 50	177
R II 40	270	R II 45	232	R II 50	183
S II 40	263	S II 45	219	S II 50	171
C II 40	270	C II 45	230	C II 50	180
R III 40	248	R III 45	206	R III 50	164
S III 40	238	S III 45	201	S III 50	165
C III 40	241	C III 45	205	C III 50	168

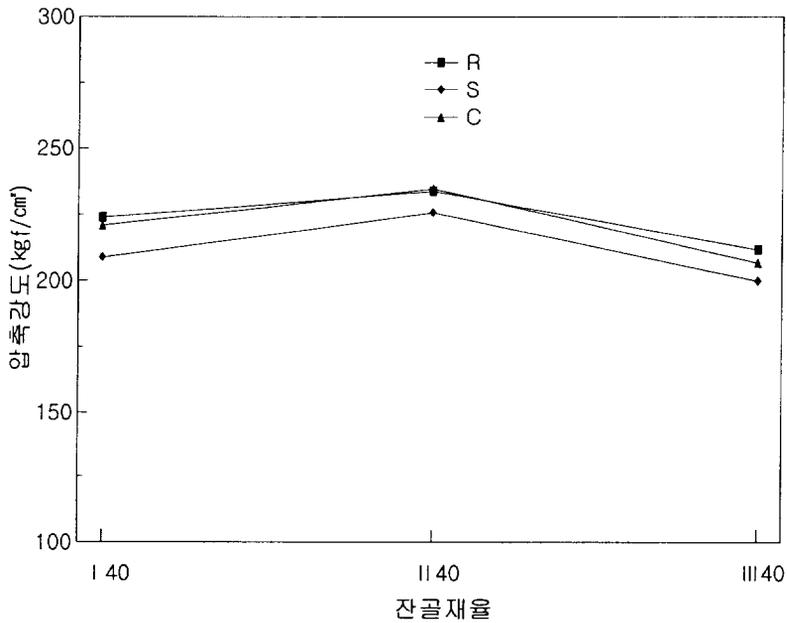


그림 4.10 초속경콘크리트의 압축강도 (물-시멘트비=40%, 재령 3시간)

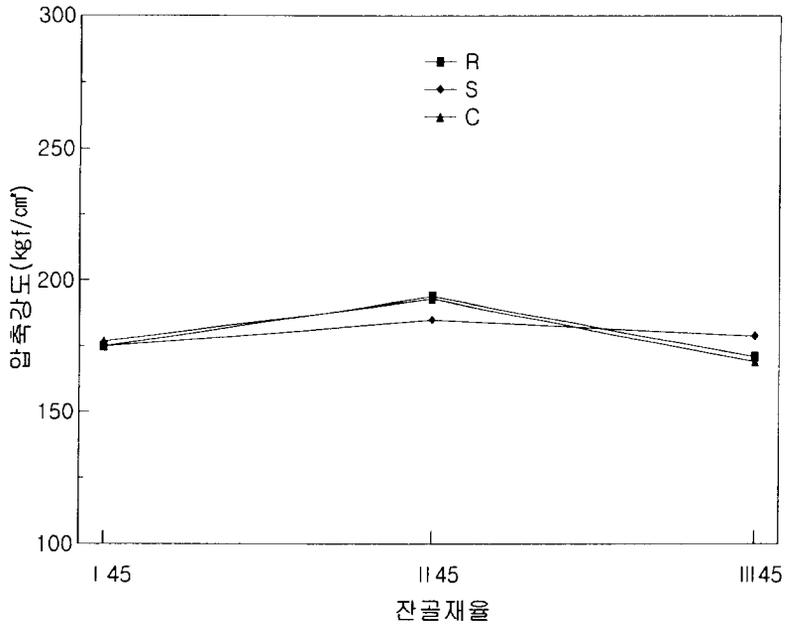


그림 4.11 초속경콘크리트의 압축강도 (물-시멘트비=45%, 재령 3시간)

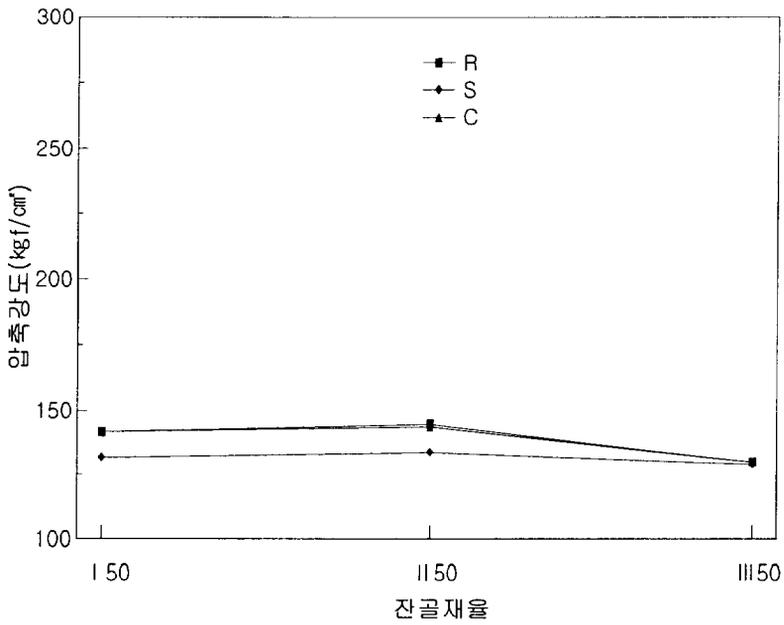


그림 4.12 초속경콘크리트의 압축강도 (물-시멘트비=50%, 재령 3시간)

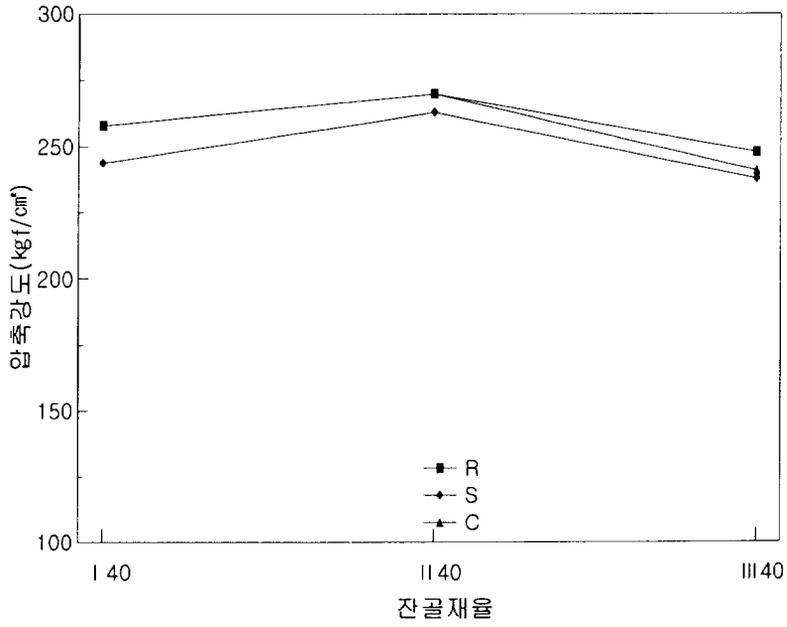


그림 4.13 초속경콘크리트의 압축강도 (물-시멘트비=40%, 재령 6시간)

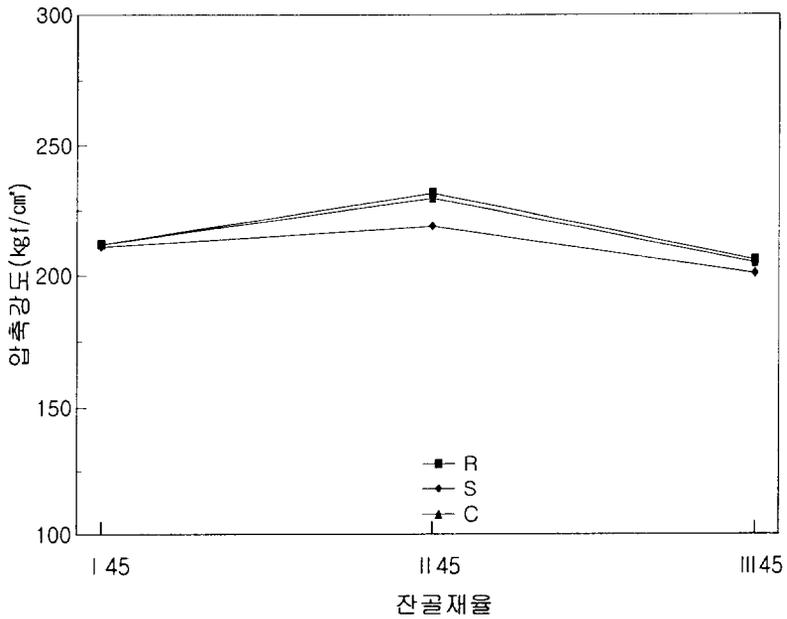


그림 4.14 초속경콘크리트의 압축강도 (물-시멘트비=45%, 재령 6시간)

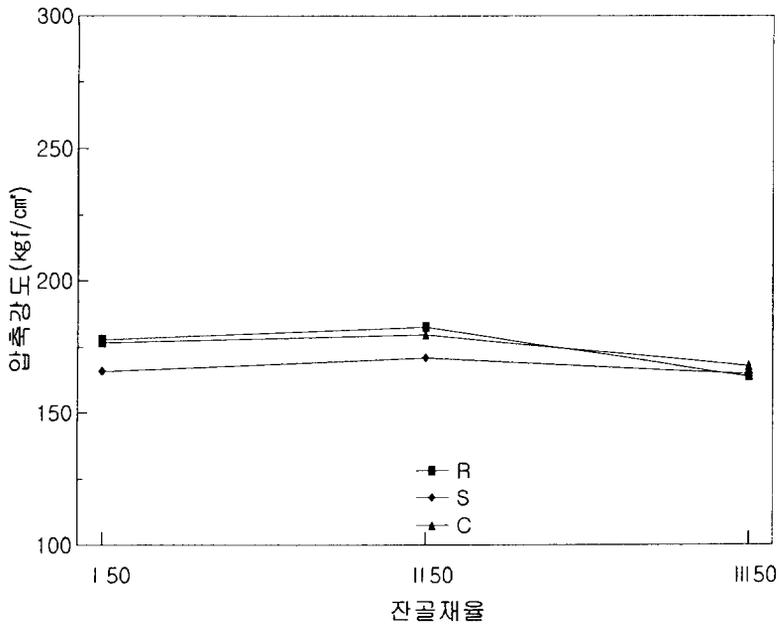


그림 4.15 초속경콘크리트의 압축강도 (물-시멘트비=50%, 재령 6시간)

## 4.5 휨강도

잔골재의 종류로 강모래, 바다모래, 부순모래를 사용하고, 물-시멘트비를 40, 45, 50%로 변화시키며, 잔골재율을 33, 36, 39%로 변화시킨 초속경콘크리트의 재령 3시간, 6시간의 휨강도 특성은 표 4.8~4.9 및 그림 4.16~4.21과 같다.

초속경콘크리트의 휨강도 특성을 살펴본 결과, 휨강도 역시 압축강도의 경우와 유사한 경향을 나타내었다.

교면포장체로써의 휨강도 발현은 교통개방기준인 30kgf/cm<sup>2</sup>를 초과하여야 하는데, 초기 재령 3시간에서는 잔골재의 종류에 관계없이 물-시멘트비 40%의 경우에만 만족하는 것으로 나타났고, 물-시멘트비 45%, 50%에서는 압축강도와 마찬가지로 낮은 초기강도 발현과 더불어

어 휨강도가 교통개방기준치에 미달되었다. 재령 6시간의 경우에는 물-시멘트비 45%까지는 30kgf/cm<sup>2</sup>를 초과하는 것으로 나타났다.

표 4.8 초속경콘크리트의 휨강도 특성 (재령 3시간)

기 호	휨강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	기 호	휨강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	기 호	휨강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )
RI40	37.3	RI45	25	RI50	18.9
SI40	34.8	SI45	25.7	SI50	17.6
CI40	36.8	CI45	25.3	CI50	18.7
RII40	39	RII45	27.7	RII50	19.3
SII40	37.7	SII45	26.4	SII50	17.9
CII40	39.2	CII45	27.6	CII50	19.2
RIII40	35.3	RIII45	24.4	RIII50	17.3
SIII40	33.3	SIII45	25.6	SIII50	17.2
CIII40	34.5	CIII45	24.1	CIII50	17.1

표 4.9 초속경콘크리트의 휨강도 특성 (재령 6시간)

기 호	휨강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	기 호	휨강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	기 호	휨강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )
RI40	43	RI45	31.2	RI50	25.4
SI40	40.7	SI45	31	SI50	23.7
CI40	42.3	CI45	30.7	CI50	25.3
RII40	45	RII45	34	RII50	26.1
SII40	43.8	SII45	32.2	SII50	24.4
CII40	44.3	CII45	33.8	CII50	25.7
RIII40	41.3	RIII45	30.3	RIII50	23.4
SIII40	39.7	SIII45	29.6	SIII50	23.6
CIII40	40.2	CIII45	30.1	CIII50	24

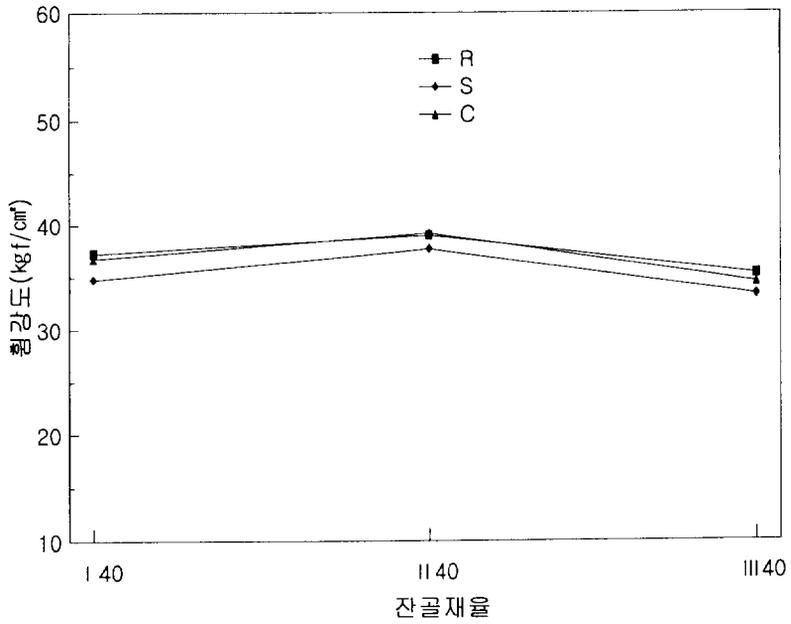


그림 4.16 초속경콘크리트의 휨강도 (물-시멘트비=40%, 재령 3시간)

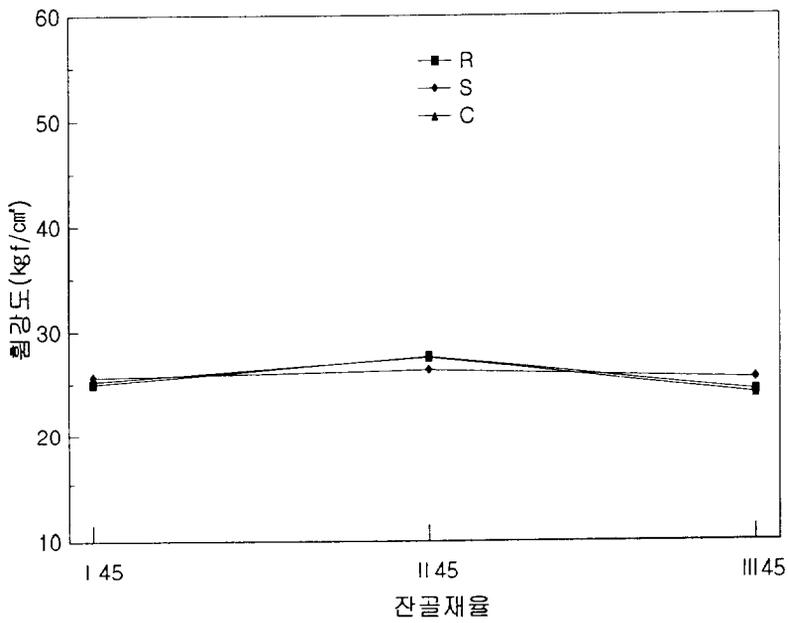


그림 4.17 초속경콘크리트의 휨강도 (물-시멘트비=45%, 재령 3시간)

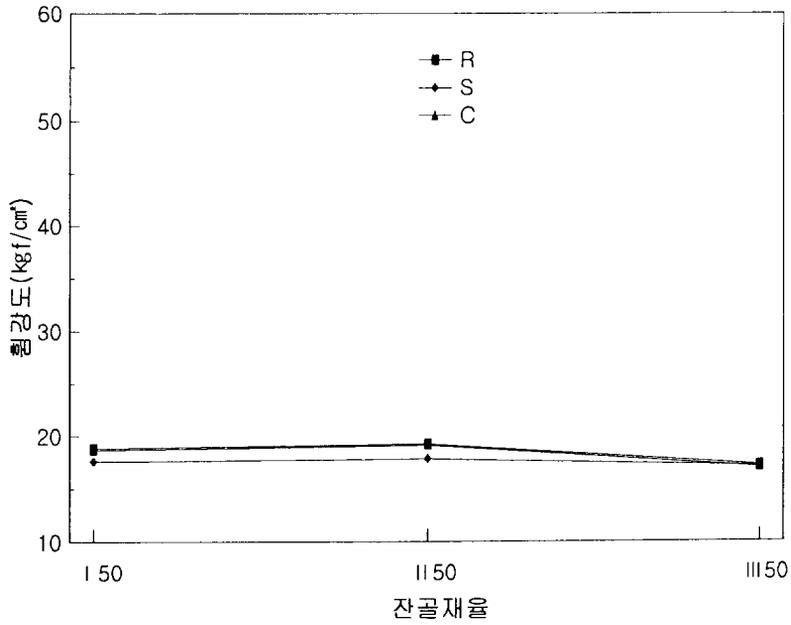


그림 4.18 초속경콘크리트의 휨강도 (물-시멘트비=50%, 재령 3시간)

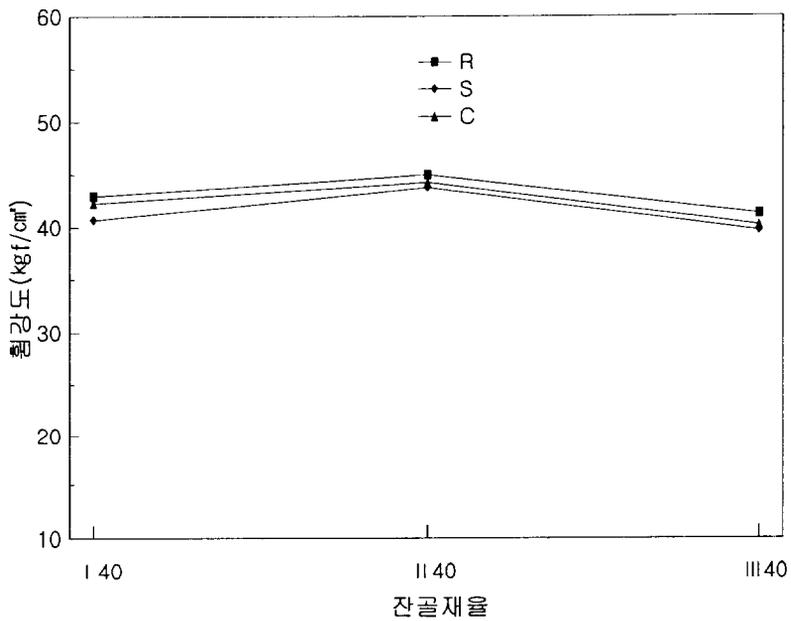


그림 4.19 초속경콘크리트의 휨강도 (물-시멘트비=40%, 재령 6시간)

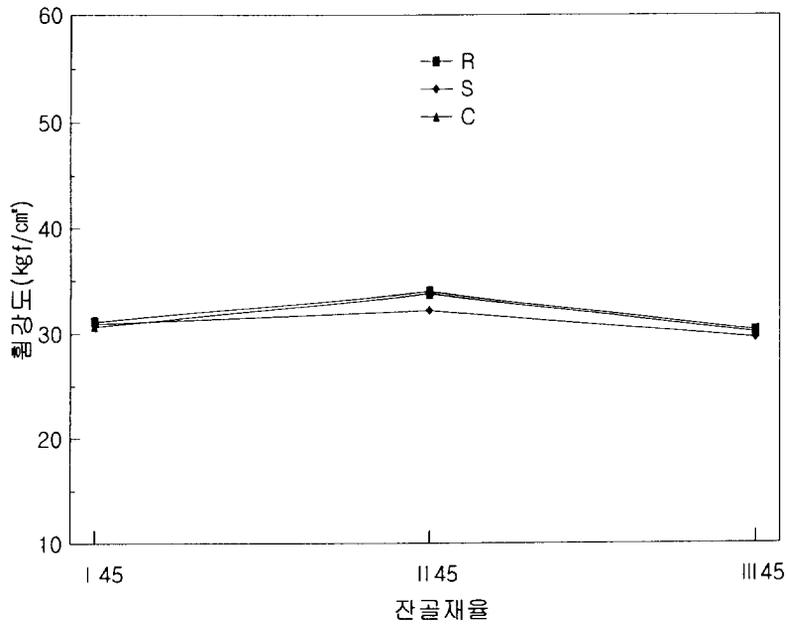


그림 4.20 초속경콘크리트의 휨강도 (물-시멘트비=45%, 재령 6시간)

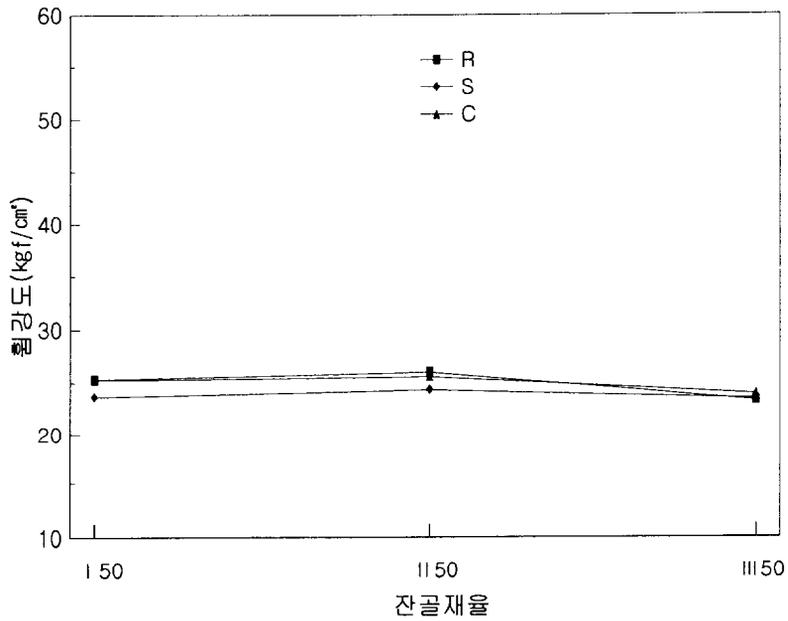


그림 4.21 초속경콘크리트의 휨강도 (물-시멘트비=50%, 재령 6시간)

## 5. 결론

본 연구에서는 초속경콘크리트의 실용화를 위한 기초자료를 얻기 위하여, 배합조건들을 변화시킨 굳지 않은 초속경콘크리트의 수화발열, 슬럼프, 공기량 특성들과 경화한 초속경콘크리트의 압축강도 및 휨강도 특성들을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 초속경콘크리트의 수화발열 특성을 살펴본 결과 잔골재의 종류, 잔골재율 그리고 물-시멘트비에 관계없이 급격한 에트링자이트의 생성으로 인한 발열반응으로 콘크리트 온도가 상승되어 1시간 30분경에는 대략 45℃까지 증가한 후 완만하게 감소하는 경향을 나타내었다.

(2) 초속경콘크리트의 슬럼프 특성을 살펴본 결과, 잔골재율과 물-시멘트비에 관계없이 슬럼프의 크기는 바다모래, 강모래, 부순모래 순으로 나타났다. 이것은 강모래에 비해 바다모래는 제염을 위하여 세척하면서 0.15mm 이하의 미립분이 손실되어 다소 유동성이 증가한 것으로 판단된다. 그리고 부순모래를 사용한 경우가 가장 낮게 나타났는데, 이것은 강모래나 바다모래에 비해 골재의 형상이 모가나고, 흡수율이 높기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 부순모래는 강모래나 바다모래에 비해 상대적으로 미립분이 많이 함유되어 있기 때문에 강모래나 바다모래에 비해 배합설계시 잔골재율을 다소 낮춰줄 필요성이 있는 것으로 판단된다.

(3) 초속경콘크리트의 공기량 특성을 살펴본 결과, 잔골재의 종류와 물-시멘트비에 관계없이 잔골재율이 증가함에 따라 공기량도 증가

하는 것으로 나타났다. 대체로 강모래나 바다모래에 비해 부순모래의 공기량이 다소 적게 나타났으며, 그 차이는 크지 않았다.

(4) 초속경콘크리트의 압축강도 특성을 살펴본 결과, 재령에 관계없이 강모래와 부순모래는 비슷한 경향을 보이고 있고, 바다모래는 강모래와 부순모래에 비해 다소 낮게 나타났으나 그 차이는 크지 않았다. 이것은 부순모래에 함유되어 있는 미립분과 거친 입자 모양과 형상 때문인 것으로 판단된다. 잔골재율에 따른 압축강도를 살펴보면, 재령에 관계없이 잔골재율 36%에서 가장 높은 것으로 나타났으므로, 본 실험의 압축강도측면에서의 적정 잔골재율은 대략 36%전후로 판단된다.

(5) 초속경콘크리트의 휨강도 특성을 살펴본 결과, 휨강도 역시 압축강도의 경우와 유사한 경향을 나타내었다. 교면포장체로써의 휨강도 발현은 교통개방기준인  $30\text{kgf/cm}^2$ 를 초과하여야 하는데, 초기 재령 3시간에서는 잔골재의 종류에 관계없이 물-시멘트비 40%의 경우에만 만족하는 것으로 나타났고, 재령 6시간의 경우에는 물-시멘트비 45%까지는  $30\text{kgf/cm}^2$ 를 초과하는 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 권극현, "초속경 시멘트 콘크리트의 배합 및 강도 특성에 관한 기초적 연구", 한국과학기술원
2. 정원경, "초속경시멘트를 이용한 라텍스 개질 콘크리트의 강도발현 및 투수특성", 강원대학교 대학원, 2001. 2
3. 한국콘크리트학회, 「부순모래 및 부순모래 콘크리트」, pp.47~61, 1998
4. (주)쌍용양회, '쌍용초속경시멘트 기술자료'

## 감사의 글

지난 몇 년간 학문과 일상생활에 많은 도움을 주시고, 이 논문이 완성되기 까지 자상하게 때론 엄격하게 지도해 주신 김 명식 교수님께 머리숙여 감사드립니다.

그리고 바쁘신 중에서도 미비한 논문을 심사하시면서 많은 도움을 주신 이 종출교수님, 김 종수교수님께 진심으로 감사드립니다. 재학중 많은 가르침과 지도를 해 주신 김 상용교수님, 이 동욱교수님, 이 영대교수님, 손인식교수님, 이 종섭교수님, 정 진호교수님, 정 두희교수님, 국 승규교수님, 이 상호교수님,께도 감사드리며 건축과 이 수용교수님께도 감사드립니다.

특히 이 논문이 나올수 있도록 함께 고생한 건설재료실험실 정 해동, 박 세인, 정 병훈 도반에게도 깊은 감사를 드리며, 방학중에도 실험을 위해 많은 도움을 준 재료실험실 후배 여러분에게도 감사드립니다.

특히 학교생활을 이해하고 격려해준 아내 김 춘자에게 감사드리며, 그리고 희준, 태준 너희들에게 모범이 되고자 노력하는 아버지에게 힘이되어 주어서 고맙다.

학교생활중 함께 공부한 CMP17기 동기생 여러분을 만날 수 있었던 것도 행운으로 생각하며 소중한 인연으로 감사드립니다.