

공학석사 학위논문

부순모래의 혼입률 변화에 따른
콘크리트의 특성에 관한 연구

지도교수 김 명 식

이 논문은 석사 학위논문으로 제출함



2005년 2월

부경대학교 대학원

토 목 공 학 과

배 원 만

배원만의 공학석사 학위논문을 인준함

2004년 12월 23일

주 심 공학박사 장 희 석



위 원 공학박사 이 환 우



위 원 공학박사 김 명 식



목 차

목 차	I
표목차	III
그림목차	IV
Abstract	VI
1. 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구범위 및 방법	3
2. 이론적 고찰	5
2.1 부순골재에 사용되는 원암	5
2.2 부순골재의 품질규격	11
2.3 부순모래의 특성	13
2.4 부순모래의 관련기준 및 국내의 사용현황	16
2.5 부순모래의 제조방법	19
3. 실험계획 및 방법	23
3.1 실험파라미터	23
3.2 실험방법	24
3.2.1 부순골재의 품질시험	24
3.2.2 부순모래를 혼입한 콘크리트의 제작	26
3.2.3 공시체의 제작 및 양생	26
3.2.4 굳지 않은 콘크리트시험	27
3.2.5 경화한 콘크리트시험	27

3.3 사용재료	28
3.3.1 시멘트	28
3.3.2 골재	29
3.3.3 혼화제	29
3.4 배합설계	30
4. 실험결과 및 고찰	33
4.1 생산지역별 부순골재의 특성	33
4.1.1 양산지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질특성	35
4.1.2 김해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질특성	38
4.1.1 진해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질특성	40
4.2 굳지 않은 콘크리트의 특성	41
4.2.1 슬럼프	42
4.2.2 공기량	44
4.3 경화한 콘크리트의 특성	45
4.3.1 단위중량	49
4.3.2 압축강도	55
4.3.3 압축강도비	61
4.3.4 탄성계수	65
4.4 배합강도 산정	68
4.5 종합평가	70
5. 결론	72
참고문헌	74
감사의 글	

표 목차

표 1 암석의 열팽창계수	9
표 2 암석의 물리적 특성	10
표 3 콘크리트용 굵은골재의 규격	12
표 4 콘크리트용 잔골재의 규격	12
표 5 건식시스템과 습식시스템의 특성비교	22
표 6 실험파라미터	23
표 7 보통포틀랜드시멘트의 특성	29
표 8 고성능감수제의 물리·화학적 특성	29
표 9 부순모래의 생산지역별 기준시방배합표	30
표 10 양산지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 배합설계	31
표 11 김해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 배합설계	31
표 12 진해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 배합설계	32
표 13 생산지역별 부순골재의 품질특성	33
표 14 양산지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질특성	36
표 15 김해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질특성	38
표 16 진해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질특성	40
표 17 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성	42
표 18 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 특성 (재령 7일)	46
표 19 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 특성 (재령 28일)	47
표 20 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 특성 (재령 60일)	48
표 21 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 특성 (재령 90일)	49
표 22 시험횟수가 29회 이하일 때 표준편차의 보정계수	68
표 23 생산지역별 배합강도	70
표 24 부순모래를 혼입한 콘크리트의 특성	71

그림 목차

그림 1 성인에 따른 암석의 분류	6
그림 2 레미콘용 굵은골재의 품종별 소비형태	17
그림 3 레미콘용 잔골재의 품종별 소비형태	18
그림 4 각 지역별 레미콘사의 부순모래 사용현황	19
그림 5 원암 1m ³ 으로부터 생산되는 골재량	19
그림 6 부순모래 제조시스템의 기본형태	21
그림 7 콘크리트의 제조과정	26
그림 8 생산지역별 부순모래의 입도분포곡선	35
그림 9 양산지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 입도분포곡선	37
그림 10 김해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 입도분포곡선	39
그림 11 진해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 입도분포곡선	41
그림 12 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프	43
그림 13 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 공기량	45
그림 14 양산지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 단위중량	50
그림 15 김해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 단위중량	51
그림 16 진해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 단위중량	52
그림 17 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 단위중량 (재령 7일)	53
그림 18 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 단위중량 (재령 28일)	54
그림 19 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 단위중량 (재령 60일)	54
그림 20 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 단위중량 (재령 90일)	55
그림 21 양산지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도	56
그림 22 김해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도	56
그림 23 진해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도	57

그림 24 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 압축강도 (재령 7일)	58
그림 25 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 압축강도 (재령 28일)	59
그림 26 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 압축강도 (재령 60일)	60
그림 27 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 압축강도 (재령 90일)	61
그림 28 생산지역별 대표 레미콘사에 대한 혼입률 변화에 따른 압축강도비 (재령 7일)	62
그림 29 생산지역별 대표 레미콘사에 대한 혼입률 변화에 따른 압축강도비 (재령 28일)	63
그림 30 생산지역별 대표 레미콘사에 대한 혼입률 변화에 따른 압축강도비 (재령 60일)	64
그림 31 생산지역별 대표 레미콘사에 대한 혼입률 변화에 따른 압축강도비 (재령 90일)	65
그림 32 양산지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 탄성계수	66
그림 33 김해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 탄성계수	67
그림 34 진해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 탄성계수	68
그림 35 시험횟수 29회 이하일 때 표준편차의 보정계수 직선보간	69

A Study on the Characteristics of Concrete with Variation of Blended Ratio of Crushed Sand

Won - Mahn, Bae

*Department of Civil Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

Percentage that aggregate of materials that concrete composed about 70~80% of whole volume, therefore influence that quality of aggregate gets in concrete characteristics are very important.

Recently had been alternated by crushed stone since 1980s already by exhaustion of nature gravel and fine aggregate is trend the crushed sand amount used is increasing by principle parts aggregate according as picking of sea sand is prohibited and deterioration and drying up river sand.

According to this research desides to analyze and evaluate qualities of crushed aggregate(crushed stone, crushed sand) that is produced in Yang-san area, Kim-hae area and Jin-hae area of stony mountain that can assume that represent Busan suburban in east, middle and west area. And then crushed sand is blended as to investigate the quality change and characteristics of concrete with variation of blend ratio of crushed sand(50, 60, 70, 80, 90, 100%). Measured the slump and air content to investigate properties of fresh concrete, and unit weight and compressive strength and modulus of elasticity in age of 7, 28, 60, 90days to investigate properties of hardened concrete.

The experimental results of crushed aggregates' qualities accordance

to each producing area, were all satisfied with Korea Standard's values. Result that measure slump, was expose that decrease preferably if exceed mixing rate 70~80% while increase to mixing rate 70~80%. The air content was expose that decrease by micro filler phenomenon according to crushed sand blended ratio increase. According to result that measure age of 7, 28, 60, 90days' unit weight that was expose that increase blended ratio of crushed aggregates increases. As a result that measure compressive strength and modulus of elasticity age of 7, 28, 60, 90days, compressive strength was highest when is blended ratio 70%.

Key words : crushed aggregates, blended ratio, Korean Standard, air content, slump, fresh concrete, unit weight, compressive strength, modulud of elasticity, hardened concrete, micro filler

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

콘크리트를 구성하고 있는 재료 중 골재가 차지하는 비율은 전체 용적의 약 70~80%이므로, 골재의 품질이 콘크리트 특성에 미치는 영향은 매우 중요하다. 골재 중 굵은골재는 천연자갈의 고갈화로 인하여 이미 1980년대부터 부순자갈로 대체되어왔기 때문에 골재의 수급과 품질에 별문제가 없으나, 잔골재의 경우에는 최근에 양질의 천연골재가 거의 고갈되어 가고 있어 대체골재의 개발문제가 큰 과제이다. 더욱이 최근의 대규모 토목공사, 재개발, 재건축 등의 증가로 인해 골재 소비량은 계속 증가하고 있으나, 해사채취 및 하천준설 등을 통한 천연골재의 채취과정과 석산개발 등 대체골재의 개발과정에서 자연환경이 훼손되는 문제로 인하여 환경단체와 주민들이 심하게 반발하고 있어 잔골재의 확보가 더욱 어려워지고 있다.

더구나 영·호남지역의 잔골재 공급원인 전라남도 신안·진도 앞바다의 바다모래 채취마저 최근에 전면 금지되면서 대체골재로 부순모래의 사용량이 더욱 증가하고 있는 추세이다. 그나마 채취가 허용되고 있는 인천 옹진군 및 태안군의 바다모래도 연안지역의 채취가 금지됨에 따라 중부지방에서도 레미콘용 모래가 부족해지는 사태를 맞이하게 되었고, 이 부족분을 부순모래가 상당부분 대체하고 있으며, 부순모래의 사용량은 앞으로 더욱 증가될 것으로 전망된다^{8,9)}.

부순자갈을 생산하는 경우 대략 43%에 이르는 석분이 발생한다. 이 석분은 아스콘의 제조에 일부 사용될 뿐 대부분 매립되고 있어 그 활용도가 매우 낮은 실정이다. 그러나 이 석분도 조금만 가공하면 부순모래로 생산이 가능하다. 이럴 경우 부순모래의 생산량은 부순자갈 생산량의 35%에 이르는 막대한 양의 생산이 가능하게 된다. 따라서 매립되고 있

는 석분을 부순모래로 활용할 수 있는 방안이 강구되어야 하겠다²⁾.

부순모래의 활용방안에 대한 연구는 미국, 유럽 및 일본 등 선진국에서는 이미 20여년전부터 시작되었다. 특히 일본의 경우에는 1979년에 이미 JIS A 5004(콘크리트용 부순골재에 대한 품질규격)를 제정하였고, JIS A 5308(레디믹스트콘크리트)에서는 부순모래가 지정품목으로 확정되어 있는 상태이다. 1995년 일본 생콘크리트연감자료에 따르면 레미콘용 골재로서 부순자갈이 64.3%, 부순모래가 16.8%가 사용되었다.

우리나라의 경우에는 콘크리트용 부순골재의 규격이 1967년에 먼저 부순돌 규격으로 제정되었으며, 부순모래의 사용이 증가하기 시작한 1983년에 부순모래에 대해서도 규격화하기 시작하였다. 그 이후의 주요 개정은 1993년에 골재 입도에서 각 체를 통과하는 중량 백분율의 조정과 알칼리 골재 반응 부분을 삽입하여 개정되었으며, 1997년에 콘크리트용 골재의 규격이 5개의 규격(절대건조밀도, 흡수율, 안정성, 마모율, 0.08mm체 통과량)으로 구성되기도 하였으나, 2002년에 규격의 단순화와 통일화를 위해서 「KS F 2527 콘크리트용 부순골재」로 통합 개정되었다.

부순모래에 대한 연구는 1995년 한천구 등^{1,4,7)}의 “부순모래 치환 잔골재를 이용한 콘크리트의 배합설계에 관한 실험적 연구”를 시작으로 부순모래를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구가 점진적으로 진행되어 오고 있다. 그러나 지역별 암질의 특성에 따른 부순골재의 품질특성과 그에 따른 콘크리트의 특성에 대하여는 그 연구실적이 거의 전무한 실정이며, 부순골재를 콘크리트의 제조에 사용하는 경우에 있어서도 표면수, 흡수율 및 입도 변동 발생시 레미콘 제조 관리 방법에 대한 기준안(적용방법) 확립이 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 부산 근교의 동부지역, 중부지역 및 서부지역을 대표한다고 볼 수 있는 양산지역, 김해지역 및 진해지역의 석산에서 생산되는 부순골재(부순자갈, 부순모래)의 품질 특성을 분석·평가해보기

로 한다. 그리고 낙동강 모래에 각 생산지역별 부순모래를 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%로 혼입률을 변화시킨 혼합모래와 이들을 사용한 콘크리트의 각종 품질특성을 관찰해 보기로 한다. 또한 이러한 품질특성을 상기한 3개 지역에 인접해 있는 각 지역 대표 레미콘사에서 실제로 생산하고 있는 레미콘과의 비교·검토를 통하여 실무적용을 위한 기초 자료로 제시하고자 한다.

1.2 연구범위 및 실험방법

본 연구에서는 부산 근교의 동부지역, 중부지역 및 서부지역을 각각 대표하는 양산지역 석산, 김해지역 석산 및 진해지역 석산에서 생산되는 최대치수 25mm의 부순자갈과 부순모래를 사용한다. 그리고 시멘트는 국내 S사에서 생산되는 보통포틀랜드시멘트, 혼화제는 국내 D사에서 생산되는 고성능감수제를 사용하기로 한다¹⁾.

설계기준강도 23.5MPa, 물-시멘트비(W/C) 46.6%로 하고 슬럼프 15±2.5cm, 공기량 4.5±1.5%를 목표로 하여 배합설계를 실시한다. 특히 잔골재는 세사인 낙동강 모래에 각 지역별로 생산된 부순모래를 각각 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%로 10%씩 혼입률을 증가시킨 혼합모래와 이들을 사용한 콘크리트의 특성들을 비교·검토하는 것으로 연구범위를 설정한다.

각종 특성변화를 파악하기 위하여서는 다음과 같은 실험방법과 순서로 연구를 수행한다.

- 1) 이론적 고찰을 통해 부순골재에 사용되는 원암의 특성을 살펴본다.
- 2) 부산근교의 동부지역, 중부지역 및 서부지역에 위치한 양산지역, 김

해지역 및 진해지역 석산에서 생산된 부순골재의 각종 품질 특성들을 파악하고 물성시험을 실시한다.

- 3) 물성시험을 통하여 획득한 자료를 토대로 배합설계를 실시하여 각각의 기준시방배합표를 작성한다.
- 4) 기준시방배합표를 기초로 하여 낙동강모래에 각 지역의 부순모래를 각각 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%로 혼입하여 혼입률 변화에 따른 배합설계를 실시한다.
- 5) 이렇게 작성된 시방배합표를 기준으로 제작한 굳지 않은 콘크리트의 특성을 파악하기 위해 슬럼프, 공기량을 측정한다.
- 6) 부순모래의 혼입률을 변화시켜 제작·양생한 각각의 경화한 콘크리트의 특성을 파악하기 위해 재령 7일, 28일, 60일 및 90일에 공시체의 단위중량, 압축강도 및 탄성계수를 측정한다.
- 7) 부순골재(부순자갈, 부순모래)의 품질 및 부순모래의 혼입률 변화에 따른 콘크리트의 각종 특성을 바탕으로 각 지역별 부순모래의 적정 혼입률을 제시한다. 이때 각 지역에 인접해 있어서 이들은 실제로 사용하여 레미콘을 생산하고 있는 대표 레미콘사(A사, B사, C사)의 품질과도 비교한다.

2. 이론적 고찰

2.1 부순골재에 사용되는 원암^{5,15)}

1) 원암의 분류

부순골재에 사용되는 원암을 크게 나누면 화강암, 대리석, 점판암, 사암, 편암 및 편마암, 응회암, 현무암, 섬록암 등을 들 수 있다. 이 중 화강암, 사암, 점판암, 편암 및 편마암 등은 우리나라 전 국토의 2/3을 차지하고 있는 암석으로 그 자원은 풍부한 편이다. 그러나 연질의 사암, 연질의 응회암, 풍화한 암석 등 연약한 것, 또한 파쇄시 결정 사이에 균열이 남아 있을 염려가 있는 것, 콘크리트 품질에 악영향을 미치는 것 등은 사용하면 안되며, 표토 및 기타 불순물을 제거한 것을 사용해야 한다.

레미콘 골재로 이용되는 암석별 사용은 수도권 지역의 경우 화강암류가 대부분 사용되고 있다. 경상도 지역의 경우에는 퇴적암류인 점판암 및 사암 등이 넓게 분포되어 있어 이들 암석을 주로 콘크리트용 골재로 이용하고 있다.

일반적으로 원암은 성인에 따라 그림 1과 같이 화성암, 퇴적암, 변성암으로 분류하고 있다.

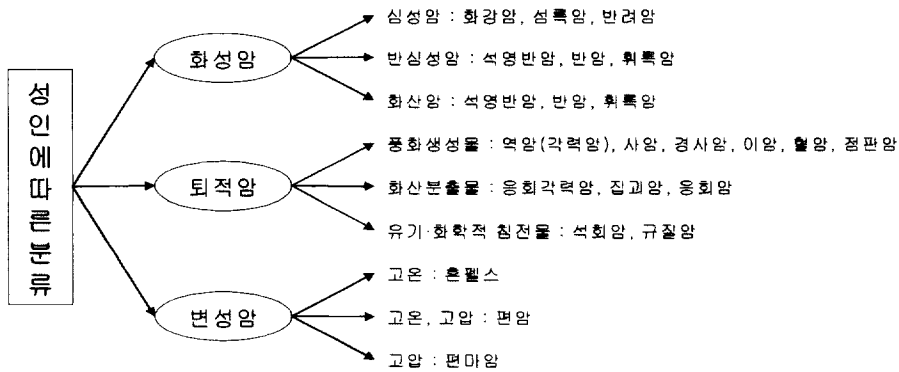


그림 1 성인에 따른 암석의 분류

화성암은 용융상태의 마그마가 냉각·고결되어 생성된 암석으로 냉각 속도에 따라 화산암(지표에서 급냉), 심성암(지하 깊은 곳에서 서냉), 반심성암(중간상태)으로 분류하며 대부분 골재의 사용에 적합한 암석들이다. 그러나 큰 석영결정을 함유하고 있는 화강암은 골재의 강도가 약하고 600℃ 부근에서 붕괴되기 쉬우므로 피하는 것이 좋고, 반력암은 휘석, 감람석, 각섬석 등의 유색광물이 사문석, 녹니석 등으로 변질한 것이 많으므로 주의가 필요하다. 그리고 휘록암은 골재로서 적합하지 않은 것이 많으며, 유문암은 암질과 그 분포의 변화가 크고, 안산암은 암질과 암층의 변화가 극심하므로 원석의 조사시 주의하여야 한다.

퇴적암은 기존의 암석이 풍화, 침식작용을 받고 부스러지거나 녹아내려 운반, 퇴적된 암석으로 구성물질의 종류와 입경의 크기로 분류하며, 신생대 이전의 역암 및 사암, 경사암과 석회암, 괴상 Chert가 골재로서 적합하며, 박리성 있는 사암, 혈암, 점판암은 부적합하고, 응회각력암과 집괴암 또한 부적합하다. 응회암은 경량 콘크리트용 골재로 사용할 수 있으며, 괴상 Chert는 암석이 견고하므로 분쇄에 특별한 주의가 필요하다.

변성암은 화성암 또는 퇴적암이 지하에서 열과 압력작용을 받아 원래

의 성질을 잃고 새로운 성질을 갖는 암석으로 변한 것으로 고열, 고압을 하나 또는 동시에 받아 변성한 것으로, 심성암과 유사한 외관과 줄무늬상 조직을 갖는 편마암을 제외하고 혼펠스, 편암은 골재로서 부적합하다.

암석이 콘크리트용 골재로서 적합한 종류라는 것이 판명되고 나면 다음으로 검토하여야 할 사항은 암석의 조직상태이다. 동일한 종류의 암석이라도 암석조직상태에 따라 비중과 강도, 분쇄 후의 입자모양에 큰 차이가 있으므로 면밀히 암석조직을 분석하여, 이에 적합한 설비를 구축하지 않으면 생산성과 골재의 품질에 큰 문제를 초래할 수 있다. 일반적으로 화강암은 암석의 결정립이 작을수록 비중과 강도가 떨어지고 마모감량이 크기 때문에 골재로서 적합하지 않을 뿐만 아니라, 조립의 결정립은 규석광물이 대부분으로 세립분의 제조가 용이하지 않아 입도조정이 어렵다. 따라서 중립의 결정립을 갖는 암석이 강도, 마모감량 및 분쇄 후의 입형면에서 가장 적합한 것으로 판단된다. 암석 생성 특성상 세립의 치밀한 조직을 갖는 암석은 분쇄에 따른 입자모양이 모나기 쉽고, 세장형이 많을 뿐만 아니라 알칼리골재반응성물질이 존재할 가능성이 크다.

2) 원암의 특성

부순골재를 생산함에 있어 가장 먼저 고려하여야 할 사항은 원암의 특성으로 비중 2.5 이상, 마모감량이 40% 이하, 알칼리골재반응을 일으키는 반응성물질이 없으며, 분쇄시 편석이 없는 것이 콘크리트용 골재로 적합한 암석이다.

암석의 주된 조암광물은 석영과 장석으로 구성되어 있으며, 석영은 화학적 풍화작용에 대한 저항성이 강하여 잔적토층에서 모래입자로 남아 있으나 장석은 물리적, 화학적 풍화작용을 받는 동안 점토로 변화됨으로써 그 자체의 저항력과 결집력이 상실되어 버리기 때문에 콘크리트용

골재로 이용할 경우 내마모성 및 흡수율 등에 적지 않은 영향을 미치게 된다. 따라서 부순자갈 및 부순모래에 이용되는 원석의 특성 중 다음과 같은 사항들이 사전에 검토되어야 한다.

(1) 비 중

암석의 비중은 조암광물의 종류와 비율, 공극의 정도 등에 따라 달라진다. 일반적으로 이들의 비중이라면 겉보기 비중을 말하며 2.65 정도이지만 암석의 종류에 따라 다르기 때문에 사용 암석에 대한 비중을 사전에 반드시 검토하여야 한다.

(2) 흡수율

암석의 흡수율은 풍화, 파괴, 내구성 등에 크게 영향을 받는다. 흡수된 물은 암석 분자간의 공극에 침투하기 때문에 이 물의 양으로 공극률을 알 수 있다. 흡수율이 크다는 것은 다공성이라는 것을 나타내며 대체로 동해를 받기 쉽다는 것을 의미한다. 따라서 암석별 흡수율에 대한 시험 및 자료에 대해서 조사해 둘 필요가 있다.

(3) 압축강도

일반적으로 역학적 성질을 비교함에 있어서 압축강도를 기준으로 하는 경우가 대부분이다. 암석의 압축강도는 공극률이 작을수록, 구성 입자가 작을수록, 결정도와 그 결합상태가 좋을수록 크다. 또한 함수율에 의해 많은 영향을 받으며, 함수율이 높을수록 강도가 저하됨을 알 수 있다. 또한 석영의 함량이 증가하거나 입자의 크기가 작아질 경우 압축강도는 증가하는 경향이 있다.

(4) 선팽창계수

조암광물의 선팽창계수는 표 1에서와 같이 광물의 성분 및 결정에 따

라 다르므로 암석이 온도 변화에 의해 신축될 때는 암석 내부에 매우 복잡한 응력이 발생하여 암석 붕괴의 큰 원인이 된다. 선팡창계수는 온도의 고저에 따라 상당한 차이가 있다. 암석은 열에 의한 불량 도체이므로 열에 의한 불균질 분포가 생기기 쉬우며, 이로 인해 열응력과 조암광물의 선팡창계수가 상이한 원인 등으로 인해 1000℃ 이상의 고온으로 가열하면 암석은 파괴된다.

표 1 암석의 열팽창계수 ($\times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$)

온도(℃)	300	500	600	750	900	1060
암석의 종류						
화강암	0.101	0.063	0.137	0.339	0.337	0.264
안산암	0.023	0.051	0.124	0.105	0.086	0.093
응회암	0.027	—	0.035	0.070	0.094	0.021
석회석	0.090	0.170	0.220	—	—	—

(5) 물리적 특성

일반적으로 물리적 성질로는 비중(Specific gravity), 공극률(Porosity), 함수율(Water content), 경도(Hardness), 강도(Strength) 등을 들 수 있다. 부순자갈의 물리적 성질을 측정 및 표시하기 위해서는 비중, 함수율, 마모 감량, 안정성 시험을 실시하고, 경우에 따라 강도, 경도 등을 측정하기도 한다. 암석의 골재로서의 특성을 비교하며 표 2와 같다.

표 2 암석의 물리적 특성

구분	종류	비중	흡수율(%)	마모감량(%)	경도	압축강도(MPa)
화성암	화강암	2.5~2.8	0.2~2.8	5~70	38~95	78~299
	섬록암	2.7~3.0	0.3~0.9	5~30	80	78~304
	반려암	2.5~2.8	0.3~0.9	6~19	42~108	69~294
	안산암	2.6~3.0	0.3~1.5	8~21	52~92	78~274
	현무암	2.7~3.2	0.5~1.3	8~27	72~89	137~353
퇴적암	역암	2.6~2.7	0.2~1.2	6~14	40~108	108~372
	시암	2.2~2.7	0.2~2.5	10~41	-	88~216
	응회암	1.8~2.6	0.7~5.5	9~45	65~102	108~421
	석회석	2.5~2.7	0.3~1.1	15~32	40~58	49~118
변성암	편마암	2.5~2.9	0.3~2.6	7~14	-	78~294
	편암	2.6~3.0	0.2~1.8	7~15	23	78~343

암석은 일정 온도까지는 내화적이지만 일정 범위를 초과하게 되면 급격히 파괴되는 성질을 가지고 있다. 이러한 암석들 중 우리나라 국토의 대부분을 차지하고 있는 화강암은 400℃까지는 압축강도가 단조로운 감소현상을 나타내지만, 500~600℃ 사이에서는 강도의 급격한 감소현상을 나타내며, 800℃ 이상에서는 압축강도가 거의 발현되지 않는 것으로 알려져 있다. 이는 일정 온도이상이 되면 암석 내에서 체적 팽창이 일어나 그 체적 변화가 화강암의 파쇄에 영향을 주게 되는 것이다. 그러나 현재 국내에서 생산되는 골재의 원석이 대부분 화강암이므로 이의 사용이 불가피한 실정이다.

(6) 화학적 특성

우리나라에서 생산되는 부순골재의 대표적인 화학적 특성으로 탄산화 작용이 있는데, 이들을 구조물에 사용할 경우 공기 중의 탄산, 약염산 또는 황산 등에 의해 침식되거나 산류를 포함한 물의 흡수에 의하여 수축 및 팽창이 반복되면 장기간에 걸쳐서 탄산화에 의한 침해를 받게 된다. 따라서 이러한 영향을 받은 골재를 사용한 콘크리트는 내부 균열 및

철근의 부식이 촉진되므로 이에 대한 사전 검토가 요구된다.

골재의 알칼리 반응은 시멘트 중 알칼리성분량($\text{Na}_2\text{O} + 0.685\text{K}_2\text{O}$)과 반응성 실리카성분에 의해 규산소다가 되는 것으로 $\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{H}_2\text{SiO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 로 표시된다. 시멘트 중의 알칼리량은 최소 0.6%, 최대 1.05%로 평균 0.73% 정도이므로, 골재 중에 반응성 실리카질이 함유되어 있는 경우에는 저알칼리 시멘트나 포졸란 물질 등을 첨가하여 사용해야 한다. 국내에서는 알칼리골재반응에 대한 피해 사례가 거의 없지만 부순자갈 및 부순모래의 사용이 활성화됨에 따라 알칼리골재반응에 대한 검사가 요망되며 이를 선별하여 활용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

2.2 부순골재의 품질규격^{3,6)}

콘크리트용 부순골재의 품질은 KS F 2527(콘크리트용 부순골재, 2002)에 규정되어 있으며, 표 3과 표 4에서 보는 것과 같이 부순자갈은 천연자갈의 품질규정과 큰 차이가 없으나, 부순모래의 경우에는 천연모래에 비하여 오히려 0.08mm 통과분은 7%로 상향조정되었고 입도분포는 천연모래에 비하여 그 규제폭이 다소 완화되어 있다. 그리고 천연모래에서 규정하고 있는 유기불순물, 연한 석편, 점토덩어리 등의 항목이 제외되어 있다. 그러나 부순모래는 인위적으로 생산되고 있기 때문에 입형판정실적율을 추가하여 구형화가 이루어지도록 하고 있으며, 알칼리골재반응성물질의 함유 가능성이 있어 천연모래보다 규제가 강화되었다.

표 3 콘크리트용 굵은골재의 규격

규격		KS F 2526	KS F 2527
항목		콘크리트용 골재	콘크리트용 부순골재
콘 크 리 트 용 굵 은 골 재	규정개정년도 (년)	66-93-97-02	67-93-97-02
	절대건조밀도 (g/cm^3)	2.5이상	2.5이상
	흡수율 (%)	3.0이하	3.0이하
	안정성 (%)	12이하	12이하
	마모율 (%)	40이하	40이하
	점토덩어리 (%)	0.25이하	-
	연한석편 (%)	5.0이하	-
	0.08mm체 통과량(%)		
	- con'c표면이 마모를 받는경우	1.0이하	1.0이하
	- 기타의 경우	1.0이하	
	석탄 및 갈탄 (%)		
	- con'c외관이 중요한 부분	0.5이하	-
	- 기타의 경우	1.0이하	
	입형판정실적율 (%)	-	55이상
	점토덩어리와 연한석편 (%)	-	-
	표건비중 2.4이하 규질암 (%)	-	-

표 4 콘크리트용 잔골재의 규격

규격		KS F 2526	KS F 2527
항목		콘크리트용 골재	콘크리트용 부순골재
잔 골 재	규정 개정년도 (년)	66-93-97-02	83-93-97-02
	절대건조밀도 (g/cm^3)	2.5이상	2.5이상
	흡수율 (%)	3.0이하	3.0이하
	조립율	2.3~3.1	-
	안정성 (%)	10이하	10이하
	점토덩어리 (%)	1.0이하	-
	0.08mm 체통과량 (%)		
	- con'c표면이 마모 받는 경우	3.0이하	7.0이하
	- 기타의 경우	5.0이하	
	석탄 및 갈탄 (%)		
	- con'c외관이 중요한 부분	0.5이하	-
	- 기타의 경우	1.0이하	
	염화물 (NaCl, %)	0.04이하	-
	입형판정실적율 (%)	-	53이상
	점토덩어리와 연한석편 (%)	-	-

2.3 부순모래의 특성

1) 입도 및 조립률

입도 및 조립률은 콘크리트의 작업성, 경제성 및 경화된 콘크리트의 강도·내구성에 중요한 영향을 미치는 요소로, 입도가 좋으면 입형판정 실적율이 증가하므로, 콘크리트의 밀도, 마모저항성, 수밀성, 내구성 등이 증대하고, 적은 단위시멘트량으로 소요강도의 콘크리트를 제조할 수 있으며, 단위시멘트량의 감소로 건조수축 및 수화열을 감소시켜 균열을 감소시킬 수 있다.

그리고 세립자가 많으면 콘크리트의 유동성이 일반적으로 증가하는 경향이 있으며, 0.15mm 또는 0.15~0.30mm의 입자는 콘크리트의 유동성·작업성·펌핑성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있고, 0.3~0.6mm입자는 공기연행성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 모래의 입도와 조립률을 주의 깊게 조정하면 콘크리트의 품질을 향상시킬 수 있으나, 천연모래에서는 이러한 입도조정이 거의 불가능하고 채취 지역에 따라 입도변화가 크게 달라진다. 그러나 부순모래는 인위적으로 제조한다는 제품의 특성상 전반적인 입자의 크기뿐만 아니라, 특정 입자 크기의 양을 증감시키는 등 입도조정이 용이하고, 입도분포가 일정한 품질의 모래를 공급할 수 있어, 콘크리트의 품질을 향상시킬 수 있는 큰 장점이 있다.

2) 입형

골재의 입형은 콘크리트의 작업성과 유동성, 충전성에 영향을 미치는 요소로 입형이 좋지 않으면, 콘크리트의 작업성이 떨어지고, 필요한 소정의 작업성을 얻기 위한 단위수량이 증가하는데, 그 이유는 입형이 모날수록 골재간의 마찰이 커져, 동일한 입도조건에서 콘크리트의 유동성과 충전성을 감소시킨다. 따라서 모래입형이 둥글거나 정육면체에 가까

올수록 콘크리트의 유동성이 증가하고, 그로 인한 충전성 향상으로 콘크리트의 특성이 증대한다. 부순모래는 천연모래에 비하여 모가 나있고 표면의 요철이 커 입자모양판정실적율이 53% 이상인 부순모래를 콘크리트용 잔골재로 사용하도록 KS규격에 규정되어 있으나, 원석의 종류와 분쇄설비의 선정, 생산공정을 면밀히 검토하여 생산할 경우 KS규격에서 요구하는 품질의 제품생산이 가능하며, 품질향상에 대한 의지 여하에 따라 천연모래에 근접한 입형을 갖는 제품도 충분히 생산할 수 있다. 삼표산업과 주택공사연구소가 실시한 부순모래의 시험결과에 의하면, “입형판정실적율이 2% 증가함에 따라 콘크리트의 슬럼프가 9.7~33.6% 증가하고, 부순모래를 단독으로 사용하여도 천연모래와 거의 동등한 수준의 품질특성을 갖는다.”고 보고되었다.

3) 미분

골재 중의 미분은 콘크리트의 단위수량을 증가시키고 콘크리트의 강도나 내구성을 저하시킨다. 또한 미분이 많을수록 콘크리트의 공기량 감소로 작업성이 떨어지고 건조수축이 증가하며, 콘크리트의 응결시간을 단축시켜 시공성에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 그러나 부순모래의 미분은 천연사의 토분과는 달리 미분말 효과에 의해 콘크리트의 강도가 증가한다. 그리고 콘크리트에 3~5% 정도의 미분이 함유되어 있을 경우 블리딩을 감소시켜 적정 수준의 점성을 갖도록 하여 콘크리트의 재료분리를 감소시킬 수 있으나, 미분량이 7% 이상일 경우 작업성 유지에 필요한 단위수량이 과도하게 높아지고, 2~3% 이하에서는 콘크리트에 블리딩 현상을 가져와 재료분리현상이 일어날 수 있으며, 콘크리트가 거칠어져 시공시 충전성을 저하시킨다. 콘크리트의 균열발생에 대한 미분말의 흡입량은 부순모래의 압질과 생산방법에 따라 다르고, 재령 24시간에서 균열길이, 균열폭은 미립분의 흡입량이 많아짐에 따라 커지는 경향이 있으나, KS에서 규정하고 있는 미분량 7%이내인 부순모래를

사용하면 초기에 발생하는 균열에는 특별한 문제는 없다.

4) 비중 및 강도

골재의 비중과 강도는 상호 밀접한 관계를 가지고 있으며, 일반적으로 비중이 높으면 암석의 조직이 치밀하고 강도도 증가하며, 마모감량이 저하하는 경향을 나타낸다. 또한 암석의 결정립이 클 경우 조직이 느슨하고 강도가 낮을 뿐만 아니라 비중도 저하하는 경향을 나타낸다. 콘크리트용 보통 골재는 비중값이 약 2.5~2.7정도로 골재의 비중이 2.5 이상인 경우 콘크리트용 골재로써 강도나 마모감량면에서 대부분 만족할만한 품질특성을 갖는다. 콘크리트용 골재의 비중이 크면 콘크리트의 중량과 비중이 증가하고 동결융해 저항성과 내구성이 향상되고 콘크리트의 강성이 증가한다.

5) 알칼리골재반응

알칼리골재반응은 골재 중에 비정질의 가용성 실리카와 알루미늄성분 등의 반응성 광물이 존재할 경우, 시멘트중의 알칼리성분과 반응하여 생성하는 알칼리실리케이트 화합물의 체적팽창으로 인하여 콘크리트에 균열이 발생하는 것으로, 현무암, 안산암, 유문암 등과 같은 반응성물질을 많이 함유한 화산암계통에서 많이 발생하는 것으로 알려져 있다. 그러나 국내에서 생산되는 부순모래는 반응성물질의 함유가 적은 심성암계통의 화강암이 주류를 이루고 있어, 알칼리골재반응에 대한 문제점은 그다지 심각하지 않고, 경남 일원과 제주를 제외한 타지역의 알칼리골재반응성에 대한 위험성이 매우 적은 것으로 나왔으나, 이에 대한 대비 차원의 면밀한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

2.4 부순모래의 관련기준 및 국내의 사용현황

콘크리트용 부순모래에 관하여서는 외국에서 이미 오래전부터 연구가 수행되어왔으며 미국, 유럽, 일본은 물론 홍콩 등과 같이 모래수급에 어려움이 있는 나라에서는 이미 콘크리트용 부순모래가 많이 사용되고 있으며 이에 관한 규정도 제정되어 있다. 미국에서는 NCSA(미국쇄석협회 : National Crushed Stone Association)를 중심으로 콘크리트용 부순모래에 대한 연구^{13,14)}를 계속하여 왔으나 부순모래 자체의 품질에 대한 규정을 별도로 정하지 않고 강모래의 품질기준에 포함시키고 있다. 그러나 부분적으로는 강모래와 품질규격을 달리 하고 있는데, ASTM 33-90에서는 잔입자(0.08mm체 통과량) 손실량을 7% 이하, BS 882에서는 10% 이하로 규정하고 있다. 일본은 JIS A 5004를 기초로 하여 콘크리트용 부순모래의 품질규격이 규정되어 있고, JIS A 5008(레디믹스트 콘크리트)에서도 부순모래가 지정품목으로 인정됨에 따라 부순자갈과 부순모래의 통합적인 품질관리를 위하여 1993년 3월에 JIS A 5004(콘크리트용 쇄사)와 JIS A 5005(콘크리트용 쇄석)를 JIS A 5005(콘크리트용 쇄석 및 쇄사)로 일체화시키고 내용도 일부 개정하였다. 국내에서도 일본의 JIS A 5005를 기초로 하여 KS F 2527에 부순골재의 품질기준을 정하고 있다.

레미콘 제조용으로 사용된 골재의 품종별 소비실태를 살펴보면 그림 2, 그림 3과 같다. 그림 2에서 굵은골재의 사용비율은 부순자갈이 1990년에는 79.9%를 점유하였으나, 2002년에는 94.7%로서 거의 대부분을 차지하고 있다. 이에 비해 강자갈은 1990년에는 18.4%를 점유하였으나 2002년에는 2.3%로 그 점유비가 급격히 낮아지는 경향을 보이고 있다. 최근 들어서는 천연골재의 부존량 감소 및 채취 규제가 강화되면서 육자갈은 굵은골재 소비량의 2.3%를 점유하고 있을 뿐이다.

굵은골재와 잔골재, 잔골재 중 골재원별 사용량의 변화를 살펴보면 다

음과 같다. 그림 2에서와 같이 레미콘용 굵은골재는 1997년의 경우 부순 자갈 의존도가 86.1%에 달함에도 불구하고, 그림 3에서와 같이 부순모래는 7.7%에 그치고 있다. 잔골재 중 골재원별 사용량을 살펴보면 1990년도에는 강모래가 76.1%를 점유하였으나, 2002년에는 21.6%로 큰 폭으로 하락하였다. 반면, 바다모래는 1990년에는 15.9%에 불과하였으나 2002년에는 50.9%를 차지하여 주종을 이루고 있음을 알 수 있다. 이는 1980년대 이후 건설수요의 급격한 증가로 인하여 천연골재자원이 점차 고갈되었고, 또한 환경 보호 정책으로 인하여 채취 규제가 늘어났기 때문이다.

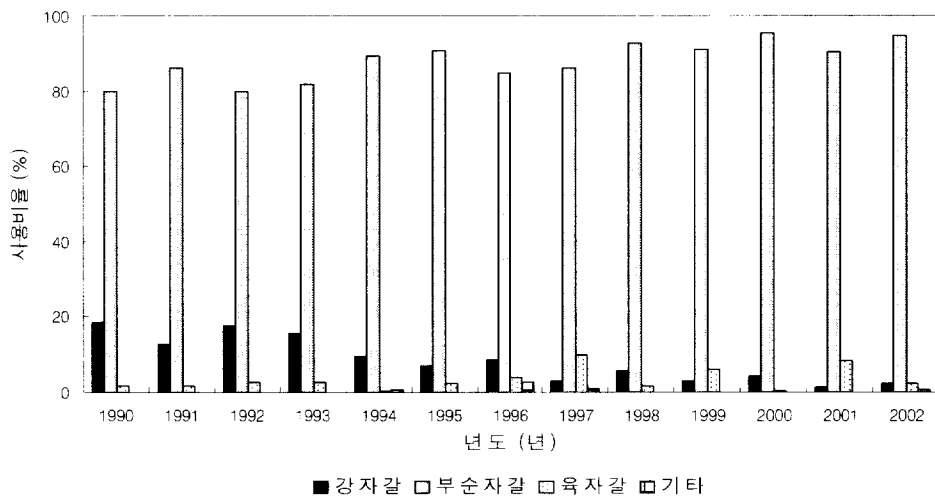


그림 2 레미콘용 굵은골재의 품종별 소비형태

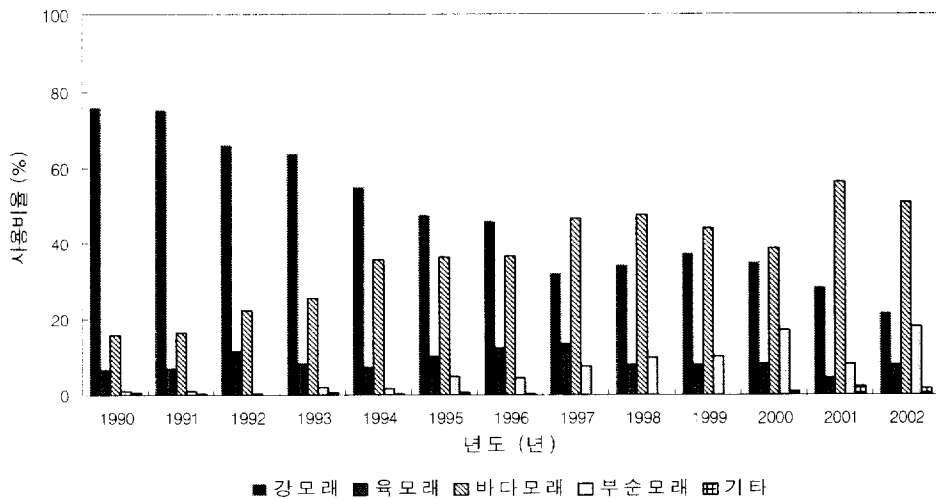


그림 3 레미콘용 잔골재의 품종별 소비형태

그림 4는 한국건설기술원에서 조사한 결과로 국내의 각 지역별 레미콘사에서 실제로 사용되고 있는 부순모래의 사용현황을 나타낸 것이다. 전국의 레미콘사 773개 업체를 대상으로 조사한 결과, 설문에 참여한 624개 업체 가운데 48.6%가 현재 부순모래를 사용하고 있었으며, 44.8%는 사용하지 않는 것으로 나타났다. 또한 7.1%의 업체가 유동적으로 사용하기도 한다고 조사되었다.

특히 부산·경남 지역의 경우에는 강모래의 입자가 매우 가늘고 작은 입도 등의 문제로 인하여 75.6%의 업체가 부순모래를 사용하는 것으로 나타났으며, 타지역에서도 천연골재의 고갈 및 채취규제와 골재의 품질저하로 인하여 부순모래의 사용비율이 점차 증가할 것으로 예상된다.

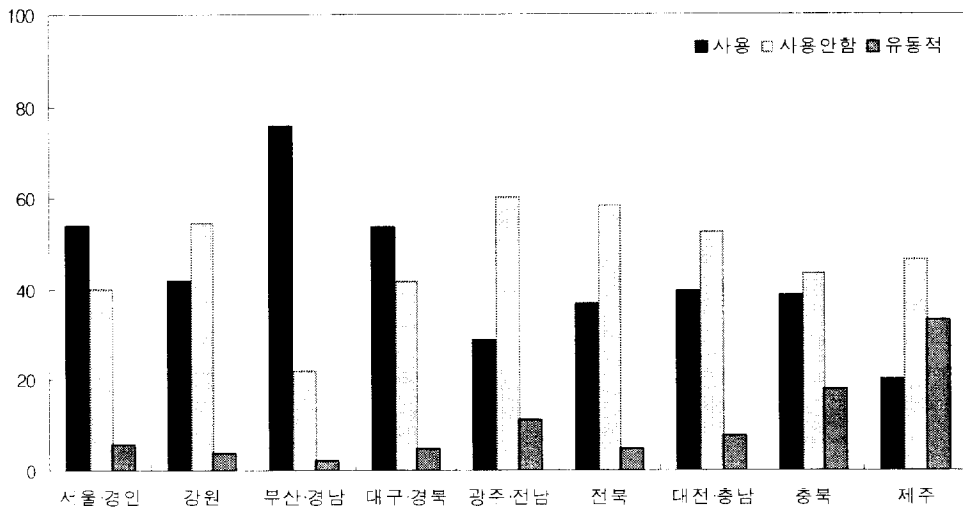


그림 4 각 지역별 레미콘사의 부순모래 사용현황

2.5 부순모래의 제조방법

그림 5는 원암 1m³으로부터 생산되는 부순자갈과 석분, 석분으로부터 생산되는 부순모래와 슬러지의 양을 간략하게 도식화한 것이다.

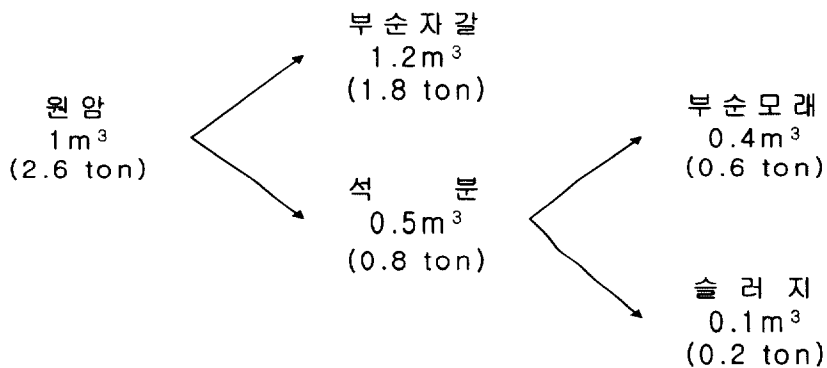


그림 5 원암 1m³으로부터 생산되는 부순골재의 양

부순모래는 원재료의 종류에 따라서 원암을 파쇄한 부순자갈을 원료로 사용하는 경우와 부순자갈 생산시에 발생하는 부산물을 원재료로 사용하는 경우로 구분할 수 있다³⁾. 전자는 처음부터 모래를 제조할 목적으로 원석을 파쇄하여 부순자갈을 생산한 후 일정크기의 부순자갈을 다시 파쇄하여 모래를 제조하는 방법이다. 후자는 종래에 석분으로 취급되던 입경이 8mm 이하의 것으로서 폐기물로 처리되거나 벽돌제조 또는 도로의 노반재 등으로 쓰이던 것을 유용하게 이용하기 위하여 재가공하는 방법이다. 후자의 방법은 부순자갈 생산시의 석분을 폐기처리하기 위한 비용절감은 물론 오히려 귀중한 수입원으로 될 수 있기 때문에 국내에서는 아직 이러한 목적으로 부순모래를 생산하려는 측면이 강하다. 그렇지만 콘크리트용 부순모래로서는 전자의 방법이 품질면에서 우수하므로 바람직한 방법이라고 할 수 있다.

한편 부순모래는 인위적으로 파쇄하여 만들기 때문에 입형이 거칠고 모가 나기 마련이며, 다량의 미분(0.08mm체 통과량)이 혼입될 가능성이 많다. 따라서 비교적 둥근형태의 강모래와 비교하면 콘크리트에 미치는 영향이 크게 다르며, 가능한 모나지 않고 둥근 형태로 제조하는 것이 바람직하다. 부순모래를 제조하는데 있어서는 파쇄기의 종류(로드밀, 임팩트크러셔, 콘크리트 등 다수), 분급방법(일반적으로 습식방법과 건식방법으로 구분), 원석의 품질(파쇄기 부품의 마모율, 파쇄효율, 부순모래의 품질 등에 큰 영향을 미치는 요소), 미분 또는 슬러지의 처리방법 등 기술적으로 고려해야 할 여러 가지 중요한 사항들이 있다.

현재 국내에서 사용되고 있는 파쇄기는 대부분 일본, 독일, 뉴질랜드 등 외국의 장비가 대부분이지만 국내에서도 몇몇의 회사에서 생산이 가능한 것으로 알려져 있다.

부순모래의 제조시스템은 그림 6과 같이 크게 분쇄기와 분급기로 구성되어 있으며 분급방법에 따라서 습식시스템과 건식시스템으로 분류한다. 시스템의 선택 및 운용여부에 따라서 생산효율, 입도, 입형, 미분량

등 부순모래의 품질이 좌우된다. 건식의 경우에는 원석을 충분히 건조시킬 필요가 있으며, 습식의 경우에는 가능한 깨끗한 물을 사용해야 한다. 미분함유량은 물로 세척하더라도 3% 정도 혼입되는 것이 좋으므로 적당한 방법으로 미분을 골재중에 환원하는 공정을 취하는 것이 좋다.

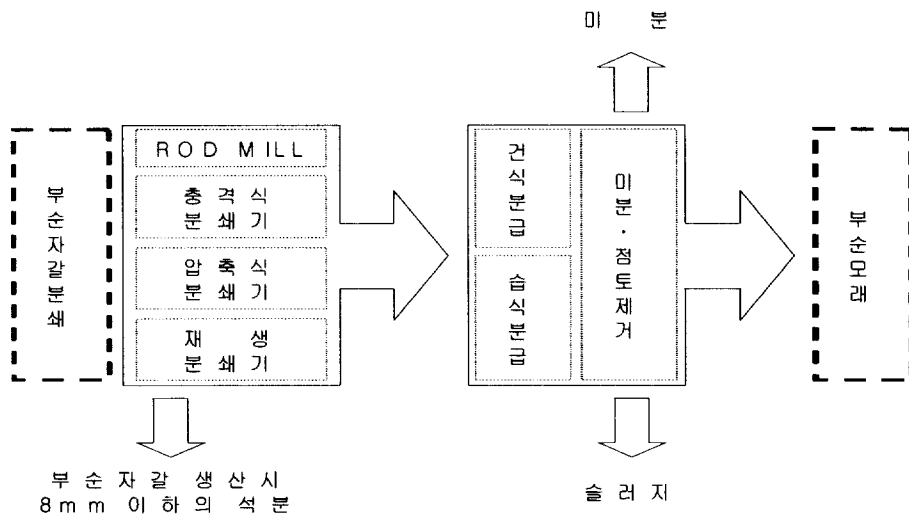


그림 6 부순모래 제조시스템의 기본형태

이와 같이 습식과 건식의 분급시스템은 일반적으로 표 5와 같은 특성을 갖고 있으나 국내에서는 건식보다 부순모래의 입형이나 입도가 좋을 뿐 아니라 대량생산이 가능한 습식시스템을 적용하고 있다. 그러나 폐수처리문제로 막대한 비용이 소요되고 파쇄·분급기술이 발달하여 건식시스템으로도 어느 정도 부순모래의 품질 및 대량생산이 가능해져 폐수처리를 고민하지 않아도 되는 건식시스템을 채택하는 업체가 늘어나고 있는 추세이다.

표 5 건식시스템과 습식시스템의 특성 비교

구분	건식시스템	습식시스템
설비비	습식보다 낮음	건식보다 높음
운전비		폐수처리시설 고가
효과	굵은 입자 재분쇄 미분제거효과 낮음 함수율 2% 이하면 분급효과 저하	입형, 입도 양호 미분제거효과 높음 건식보다 대량생산 용이
후처리	암질에 따라 미분의 유효이용 가능	폐수처리 필요 통상 슬러지도 폐기

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험파라미터

본 연구에서는 부산 근교인 양산지역, 김해지역, 진해지역의 석산에서 생산된 최대치수 25mm의 부순자갈과 부순모래를 사용하였다. 설계기준 강도 23.5MPa, 물-시멘트비(W/C) 46.6%로 하고 슬럼프 15±2.5cm, 공기량 4.5±1.5%를 목표로 하여 배합설계를 실시하였다. 특히 잔골재는 가는 입자를 가진 낙동강에서 채취한 강모래에 부순모래를 각각 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%로 혼입률을 10%씩 변화시켜 양산지역, 김해지역 및 진해지역으로 구분하여 표 6과 같이 실험파라미터를 정하였다.

표 6 실험파라미터

구분	강모래 혼입률 (%)	부순모래 혼입률 (%)
양산지역 부순모래	50	50
	40	60
	30	70
	20	80
	10	90
	0	100
김해지역 부순모래	50	50
	40	60
	30	70
	20	80
	10	90
	0	100
진해지역 부순모래	50	50
	40	60
	30	70
	20	80
	10	90
	0	100

3.2 실험방법

3.2.1 부순골재의 품질시험

부산근교에 위치한 양산지역, 김해지역 및 진해지역에서 생산된 부순 자갈과 부순모래의 품질에 관련된 물리·화학적 특성을 파악하기 위하여 한국산업규격(Korean Standards, KS)의 규정에 준하여 각종 시험을 실시한다.

1) 시료의 채취

골재의 대표적인 특성을 시험하기 위해 「KS F 2501 시료의 채취 방법」에 준하여 채취한다.

2) 체가름 시험

콘크리트용 골재로서의 적부, 각종 골재의 적당한 사용비율의 결정, 콘크리트의 배합설계 및 골재의 품질관리 등에 필요한 부순골재의 입도, 조립률, 부순자갈의 최대치수 등의 물성을 파악하기 위해 「KS F 2502 골재의 체가름 시험 방법」에 의하여 실시한다.

3) 굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험

콘크리트 단위중량의 결정, 굵은골재의 적부판정 및 골재 내부의 공극을 파악하고 사용수량을 조절하기 위해 「KS F 2503 굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법」에 의하여 실시한다.

4) 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험

콘크리트의 배합설계에 있어서 잔골재의 절대용적과 잔골재의 빈틈 및 사용수량을 파악하기 위해 「KS F 2504 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법」에 의하여 실시한다.

5) 단위용적질량 및 실적률 시험

골재의 공극률 계산, 콘크리트의 배합설계시 필요한 단위골재용적의 결정 및 골재의 입형을 판정하기 위하여 「KS F 2505 골재의 단위용적 질량 및 실적률 시험 방법」에 의하여 실시한다.

6) 안정성시험

골재를 사용한 콘크리트의 기상작용에 대한 내구성을 판단하기 위하여 「KS F 2507 골재의 안정성 시험 방법」에 의하여 실시한다.

7) 마모시험

부순자갈의 마모감량을 파악하기 위한 시험으로 「KS F 2508 로스앤 켈레스 시험기에 의한 굵은골재의 마모 시험 방법」에 의하여 실시한다.

8) 유기불순물시험

잔골재 중에 함유되어 있는 유기불순물의 함유정도를 파악하고, 그 모래의 사용 적부를 판정하기 위하여 「KS F 2510 콘크리트용 모래에 포함되어 있는 유기불순물시험 방법」에 의하여 실시한다.

9) 0.08mm체 통과량시험

부순모래 중 미세입자 및 미분의 함유정도를 파악하기 위한 시험으로 「KS F 2511 골재에 포함된 잔입자(0.08mm체를 통과하는) 시험 방법」에 의하여 실시한다.

10) 편장석 함유량 시험

굵은골재 중 편석 및 장석의 함유량을 결정하는 시험으로 「KS F 2575 굵은골재 중 편장석 함유량 시험 방법」에 의하여 실시한다.

3.2.2 굳지 않은 콘크리트의 제작

부순모래를 혼입한 콘크리트는 혼합용적(mixing capacity) 60ℓ인 수평형 팬믹서를 사용하여 제작한다. 콘크리트의 제작순서는 그림 7과 같이 먼저 잔골재(부순모래 및 강모래), 시멘트, 부순자갈 순으로 믹서에 투입하여 건비빔을 실시한 다음 혼합수와 고성능감수제를 투입하여 혼합비빔을 실시하여 굳지 않은 콘크리트를 제작한다.

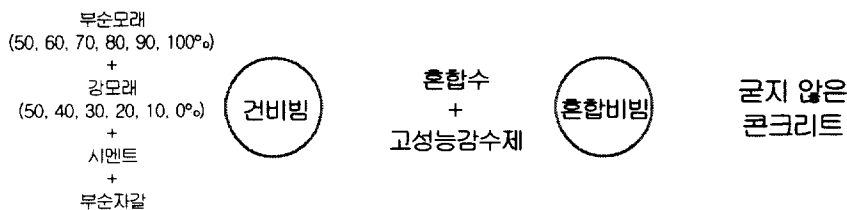


그림 7 콘크리트의 제조과정

3.2.3 공시체의 제작 및 양생

한국산업규격에서 정하는 「KS F 2403 콘크리트의 강도시험용 공시체 제작 방법」에 준하여 실린더형 표준몰드($\phi 10 \times 20$)를 사용하여 압축강도 측정용 공시체를 제작한 다음, 원주공시체 상부의 재하면은 몰드를 제거하기 전에 캐핑(capping)을 실시한다. 캐핑은 콘크리트가 몰드 내에서 공시체 성형 후 된비빔의 콘크리트에서는 2~6시간, 진비빔에서는 6~24시간 또는 그 이상 경과한 후 콘크리트 상면의 레이턴스를 와이어 브러시로 제거하고 물로 습하게 한 후 된반죽의 시멘트풀(cement paste)을 몰드의 상단과 나란하게 일치하도록 놓고 유리판 등을 이용하여 눌러준다. 캐핑 시에는 두께 6mm 이상의 판유리나 두께 13mm 이상이고 몰드의 지름보

다 25mm 이상 큰 최소면적을 가진 금속압판을 사용한다. 공시체의 단면이 0.05mm 이상의 요철이 있으면 캐핑을 해야 되며, 0.05mm 이상의 요철이 있어서는 안 된다.

공시체는 성형 후 몰드를 제거하고 시험 전까지 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 수중양생을 실시한다.

3.2.4 굳지 않은 콘크리트시험

1) 슬럼프시험

부순모래를 사용한 굳지 않은 콘크리트의 반죽질기, 연도, 점조성 및 작업성 등을 파악하기 위하여 「KS F 2402 콘크리트의 슬럼프 시험 방법」에 따라 슬럼프를 측정한다.

2) 공기량시험

콘크리트의 강도 및 작업성에 영향을 미치는 굳지 않은 콘크리트의 공기량은 「KS F 2421 압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법」에 준하여 워싱턴 에어미터를 사용하여 측정한다.

3.2.5 경화된 콘크리트시험

1) 단위중량

단위중량시험은 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따라 제작·양생된 콘크리트의 압축강도측정용 공시체의 중량을 채령 7일, 28일, 60일 및 90일에 측정하여 단위중량으로 환산한다.

2) 압축강도시험

압축강도시험은 「KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험 방법」에 준하여 실시하며, 생산지역별 부순모래의 혼입률에 따라 제작·양생된 공시체를 재령 7일, 28일, 60일 및 90일에 측정한다.

3) 탄성계수

콘크리트의 강성을 나타내는 탄성계수는 콘크리트 표준시방서¹²⁾에서 제시하고 있는 다음과 같은 식들을 이용하여 계산한다.

콘크리트의 압축강도가 30MPa 이하이고, 단위중량 W_c 의 값이 1,450~2,500kg/m³인 콘크리트의 경우에는 식 (1)에 따라 계산한다.

$$E_c = 0.043 W_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} (MPa) \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

또한 콘크리트의 압축강도가 30MPa를 초과하는 경우로서 단위중량 W_c 의 값이 1,450~2,500kg/m³인 콘크리트의 경우에는 식 (2)에 따라 계산한다.

$$E_c = 0.030 W_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} + 7,700 (MPa) \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

3.3 사용재료

3.3.1 시멘트

본 연구에서는 국내 S사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하며, 물리·화학적특성은 표 7과 같다.

표 7 보통포틀랜드시멘트의 특성

물리적 특성			화학조성 (%)					
비중	강열감량 (%)	불용잔물 (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
3.14	0.5~1.3	0.2~0.9	21.0~22.5	4.5~6.0	2.5~3.5	63.0~66.0	0.9~3.3	1.0~2.0

3.3.2 골재

본 연구에서 사용된 골재는 양산지역, 김해지역 및 진해지역에서 생산된 최대치수가 25mm인 부순자갈과 부순모래이다. 그리고 부산근교에서 가장 대표적으로 사용되고 있는 낙동강에서 채취한 강모래를 사용한다.

3.3.3 혼화제

본 연구에서는 국내 A사에서 생산되는 멜라민계의 고성능감수제를 사용하며, 물리·화학적 특성은 표 8과 같다.

표 8 고성능감수제의 물리·화학적 특성

종류	항목	비중	성상	pH	주성분
고성능감수제		1.22±0.02	연갈색 액상	11.5±1.5	멜라민계(MSF) melamine-sulfate-formalin

3.4 배합설계⁷⁾

설계기준강도 23.5MPa, 물-시멘트비(W/C) 46.6%로 하고 슬럼프 15±2.5cm, 공기량 4.5±1.5%를 목표로 하였고, 부순모래의 혼입률은 100%로 하여 양산지역, 김해지역 및 진해지역에 대하여 배합설계를 실시한 결과 표 10과 같은 기준시방배합표를 얻을 수 있었다.

표 9 부순모래의 생산지역별 기준시방배합표

항목 생산 지역	f _{ck} (MPa)	G _{max} (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	잔골 재율 (%)	W/C (%)	단위중량 (kg/m ³)				
							물	시멘트	부순 모래	부순 자갈	고성능 감수제
양산	23.5	25	15	4.5	45.7	46.6	179	384	774	949	1.92
김해					48.0	46.6	179	384	811	919	1.92
진해					43.4	46.6	179	384	755	997	1.92

표 9의 기준시방배합표를 중심으로 각 생산지역별로 부순모래를 각각 50~100%까지 혼입률을 10%씩 변화시켜 배합설계를 실시한 결과는 표 10~표 12와 같다. 특히 배합설계시 잔골재율에 영향을 미치는 각 혼합 모래(강모래+부순모래)의 조립률에 따라 배합을 보정하였으며, 혼입률별 골재의 전체 용적에 부순모래의 혼입률이 50~100%로 각각 10%씩 변화 되도록 골재의 단위량을 조정하여 배합설계를 실시하였다.

표 10 양산지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 배합설계

항목 혼입률	f_{ck} (MPa)	G_{max} (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	잔골 재율 (%)	W/C (%)	단위중량 (kg/m ³)					
							물	시멘트	부순 모래	강모래	부순 자갈	고성능 감수제
A사 레미콘	23.5	25	15	4.5	46.1	46.5	173	372	600	257	948	1.86
50%					38.9	46.6	179	384	325	325	1,067	1.92
60%					40.4	46.6	179	384	406	271	1,042	1.92
70%					41.4	46.6	179	384	480	206	1,025	1.92
80%					41.8	46.6	179	384	543	154	1,018	1.92
90%					44.3	46.6	179	384	665	74	974	1.92
100%					45.7	46.6	179	384	774	0	949	1.92

표 11 김해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 배합설계

항목 혼입률	f_{ck} (MPa)	G_{max} (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	잔골 재율 (%)	W/C (%)	단위중량 (kg/m ³)					
							물	시멘트	부순 모래	강모래	부순 자갈	고성능 감수제
B사 레미콘	23.5	25	15	4.5	47.2	53.2	184	346	527	295	973	1.73
50%					40.9	46.6	179	384	351	351	1,044	1.92
60%					43.2	46.6	179	384	441	294	1,004	1.92
70%					44.4	46.6	179	384	529	227	983	1.92
80%					47.3	46.6	179	384	644	161	931	1.92
90%					47.4	46.6	179	384	737	82	931	1.92
100%					48.0	46.6	179	384	811	0	918	1.92

표 12 진해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 배합설계

항목 혼입률	f_{ck} (MPa)	G_{max} (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	잔골 재율 (%)	W/C (%)	단위중량 (kg/m^3)					
							물	시멘트	부순 모래	강모래	부순 자갈	고성능 감수제
C사 레미콘	23.5	25	15	4.5	47.7	52.5	188	358	520	336	938	1.79
50%					39.6	46.6	179	384	338	338	1,064	1.92
60%					40.6	46.6	179	384	420	280	1,045	1.92
70%					41.4	46.6	179	384	500	214	1,032	1.92
80%					42.0	46.6	179	384	585	146	1,022	1.92
90%					42.9	46.6	179	384	673	75	1,005	1.92
100%					43.4	46.6	179	384	755	0	997	1.92

4. 실험결과 및 고찰

4.1 생산지역별 부순골재의 특성

각 생산지역별 부순골재의 품질특성¹⁰⁾을 파악하기 위하여 한국산업규격(KS)에 준하여 각종 품질시험을 실시한 결과는 표 13과 같다.

표 13 생산지역별 부순골재의 품질특성

항목 지역		조립률	밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	마모율 (%)	단위용 적질량 (kg/m ³)	유기 불순물	0.08mm 체 통과량 (%)	실적률 (%)	편장 석률 (%)	안정성 (%)
부 순 자 갈	KS 규격	6~8	2.5이상	3.0이하	40이하	-	-	1.0이하	55이상	20이하	12이하
	양산 지역	6.95	2.71	0.8	15	1,550	-	0.2	58	12	3.5
	김해 지역	7.12	2.70	1.3	12	1,494	-	0.2	55	8	3.2
	진해 지역	7.18	2.69	1.4	9	1,489	-	0.1	55	6	2.9
부 순 모 래	KS 규격	-	2.5이상	3.0이하	-	-	표준색	7.0이하	53이상	-	10이하
	양산 지역	3.67	2.56	1.4	-	1,686	담황색	2.3	66	-	2.4
	김해 지역	4.14	2.54	2.3	-	1,690	담황색	3.8	67	-	2.0
	진해 지역	3.21	2.62	2.3	-	1,805	담황색	3.5	67	-	1.6

표 13에서 부순자갈의 경우 전체적으로 KS의 품질규격을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 부순자갈의 입도를 살펴보면, 양산지역에서 생산된 것이 김해지역 및 진해지역에 비해 조립률이 낮은 반면, 실적률은 다소 높아 비교적 양호한 입도를 가진 것으로 나타났다. 또한 양산지역에서

생산된 부순자갈의 밀도 및 단위용적질량은 김해지역 및 진해지역에 비해 약간 높은 것으로 나타났다.

부순자갈의 마모저항에 대해 조사하기 위하여 마모시험을 실시한 결과, 양산지역에서 생산된 부순자갈이 마모율 15%로 가장 높게 나타났는데 이는 김해지역 및 진해지역에 비해 다소 암질의 경도가 떨어지기 때문으로 판단된다.

골재의 입형을 판정하기 위하여 편장석률을 측정해 본 결과, 생산지역에 관계없이 모두 KS규정치 20%이하를 만족하는 것으로 나타났으며, 양산지역에서 생산된 부순자갈은 12%의 편장석을 함유하고 있어 김해지역(8%) 및 진해지역(6%)에 비하여 상대적으로 입형이 불량한 것으로 나타났다.

부순자갈에 포함된 미분량(0.08mm체 통과량)을 측정해 본 결과, 0.1~0.2% 정도의 수준으로 미분의 함유량은 매우 낮은 것으로 나타났다.

기상작용에 대한 골재의 내구성을 조사하기 위하여 안정성시험을 실시한 결과, 모든 생산지역에서 모두 규정값을 만족하는 것으로 나타났으며, 양산지역에서 생산된 부순자갈은 골재의 손실중량백분율이 3.5%로 김해지역(3.2%)과 진해지역(2.9%)보다 약간 높은 것으로 나타났다.

부순모래의 경우에는 전체적으로 조립률을 제외하고 모두 KS에서 정한 규격을 만족하는 것으로 나타났다. 그림 8은 생산지역별 부순모래의 입도분포곡선을 나타낸 것으로 김해지역에서 생산된 부순모래의 조립률이 4.14로 가장 높았고, 양산지역(3.67), 진해지역(3.14) 순으로 나타났으며, 조립률 및 실적율(67%)이 좋은 진해지역에서 생산된 부순모래가 가장 양호한 입도분포를 보였다. 또한 입형과 입도가 생산지역마다 상이한 이유는 부순모래의 제조과정시 공정의 세분화 및 관리의 정도 차이에 기인하는 것으로 판단되며, 양질의 부순모래를 생산하기 위해서는 보다 세밀하고 철저한 공정관리가 요구되어야 할 것으로 사료된다.

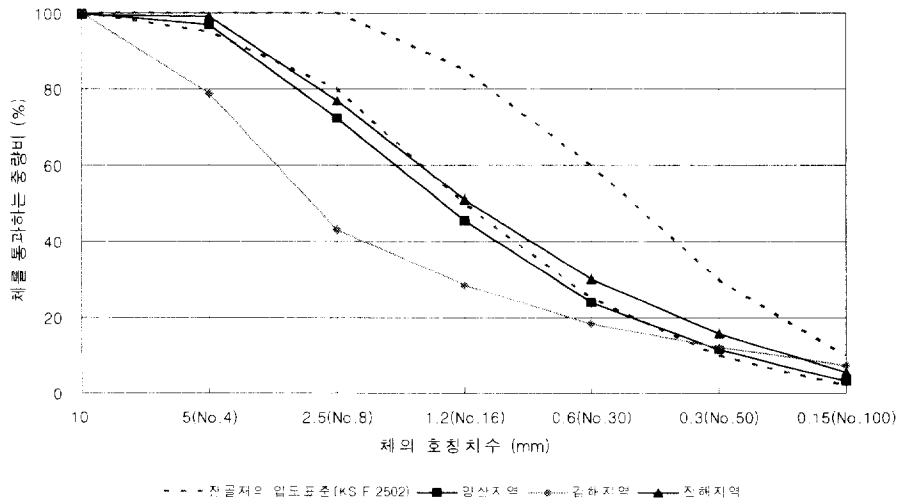


그림 8 생산지역별 부순모래의 입도분포곡선

밀도 및 단위용적중량은 진해지역에서 생산된 부순모래가 가장 큰 것으로 나타났다. 잔골재 중에 함유되어 있는 유기불순물의 함유정도를 파악하기 위하여 유기불순물시험을 실시한 결과, 생산지역에 관계없이 모두 표준용액의 황적색보다 연한 담황색으로 우수한 품질의 콘크리트 생산에 사용이 가능한 것으로 나타났다. 부순모래에 포함된 미립분의 양을 파악하기 위하여 0.08mm체 통과량시험을 실시한 결과 전체적으로 7% 이하로 소량의 미립분을 함유하고 있는 것으로 나타났다.

4.1.1 양산지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질특성

양산지역에서 생산된 부순모래를 각각 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%로 혼입한 혼합모래(강모래+부순모래)의 품질특성을 파악한 결과는

표 14와 같다.

표 14 양산지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질특성

시험항목 혼입률(%)	조립률	밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	유기불순물	0.08mm체 통과량(%)	실적율 (%)	안정성 (%)	
양 산 지 역	50	2.32	2.52	1.9	1,663	녹황색	2.02	66	1.9
	60	2.61	2.53	1.8	1,703	담황색	2.09	67	1.9
	70	2.81	2.53	1.6	1,740	담황색	2.13	69	2.1
	80	2.89	2.53	1.6	1,747	담황색	2.18	69	2.1
	90	3.39	2.54	1.4	1,758	담황색	2.22	69	2.3
	100	3.67	2.56	1.4	1,686	담황색	2.27	66	2.4

조립률과 밀도에서는 부순모래의 혼입률이 증가할수록 그 값이 증가하는 일반적인 경향을 보였다. 또한 흡수율은 부순모래의 혼입률 증가에 따른 밀도의 증가로 오히려 감소한 것으로 나타났다.

단위용적질량은 부순모래 혼입률 50~90%까지는 증가하였으나, 혼입률 100%일 때 오히려 감소하는 경향이었는데 이는 다소 입자가 큰 부순모래로 인하여 공극이 많이 발생하였기 때문으로 판단된다.

그림 9는 양산지역에서 생산된 부순모래의 혼입률 변화에 따른 입도 분포곡선을 도식화한 그래프로 부순모래의 혼입률이 60%~70%일 때 표준입도를 만족하는 것으로 나타났다. 이는 부순모래의 혼입률이 증가할수록 입형이 큰 부순모래와 미분량의 증가로 인하여 입도분포가 낮아졌기 때문으로 판단된다.

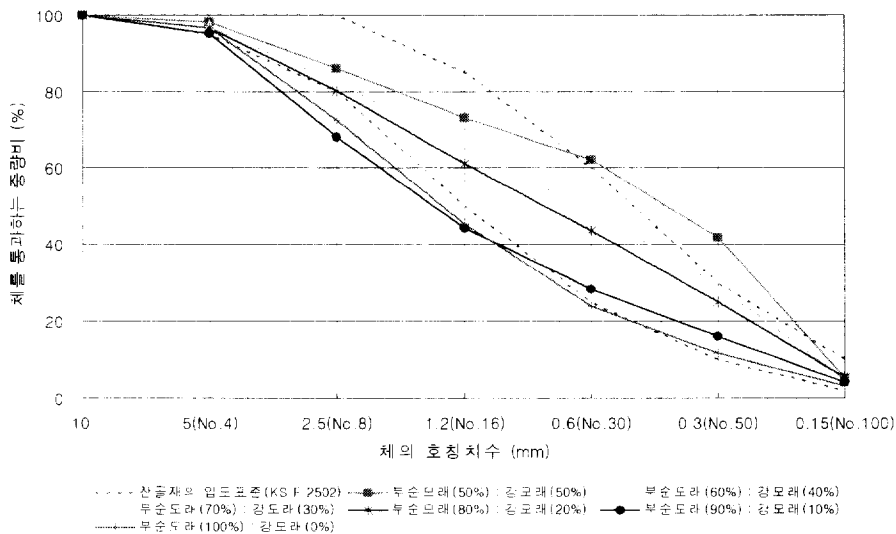


그림 9 양산지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 입도분포곡선

유기불순물시험의 결과, 부순모래의 혼입률이 50%일 때 시료가 담겨진 무색의 용액이 표준용액의 적황색보다 연한 녹황색으로 변화하였고, 혼입률이 증가할수록 점차적으로 더 연한 담황색으로 변화하였다. 이는 유기불순물의 함유정도가 KS에서 정한 규정치보다 낮은 것으로 일반적으로 양질의 콘크리트에 사용이 가능한 것으로 나타났다.

0.08mm체 통과량으로 알 수 있는 미분량은 일반적으로 부순모래에 포함되어 있는 미분량에 비해 훨씬 작아 양산지역에서 생산된 부순모래는 미립분에 의한 영향은 작을 것으로 판단된다.

실적율은 전체적으로 KS규격 53% 이상을 모두 만족하고 있으나, 부순모래 혼입률 100%에서는 입자의 분포가 불균등하여 미세공극발생이 커짐으로서 오히려 실적율이 약간 줄어든 것으로 나타났다.

골재의 내구성을 조사하는 안정성시험의 결과, 혼입률이 증가할수록 황산나트륨에 의한 골재의 파손으로 손실중량 또한 높아지는 것으로 나타났다.

4.1.2 김해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질특성

김해지역에서 생산된 부순모래를 각각 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%로 혼입한 혼합모래(강모래+부순모래)의 품질특성을 파악한 결과는 표 15와 같다.

표 15 김해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질특성

시험항목 혼입률(%)	조립률	밀도	흡수율	단위용적질량	유기불순물	0.08mm체	실적율	안정성	
		(g/cm ³)	(%)	(kg/m ³)		통과량(%)			
김 해 지 역	50	2.72	2.56	1.9	1,771	담황색	3.53	68	1.6
	60	3.17	2.57	1.9	1,789	담황색	3.61	70	1.8
	70	3.41	2.57	1.9	1,804	담황색	3.67	70	1.8
	80	4.00	2.58	1.5	1,837	담황색	3.75	71	1.8
	90	4.01	2.62	1.6	1,848	담황색	3.81	71	1.9
	100	4.14	2.54	2.3	1,690	담황색	3.84	67	2.0

부순모래의 입도에 영향을 미치는 조립률과 실적율은 부순모래의 혼입률 100%를 제외하고 혼입률이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다.

그림 10은 김해지역에서 생산된 부순모래의 입도분포곡선을 도식화한 것으로써 그림에 나타난 것과 같이 혼입률에 관계없이 표준입도를 모두 벗어나는 것으로 나타났다. 이는 상대적으로 입형이 크고 미립분이 많이 포함되어 있는 부순모래의 혼입률 증가로 입도는 오히려 불량해진 것으로 판단된다.

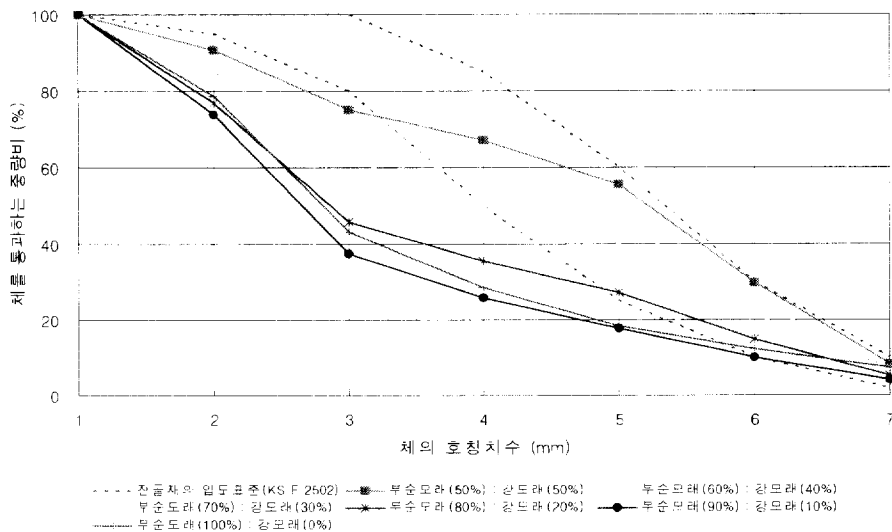


그림 10 김해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 입도분포곡선

부순모래의 혼입률 100%를 제외하고 혼입률이 증가할수록 밀도 및 단위용적질량은 증가하였으며, 이는 강모래에 비해 상대적으로 밀도가 큰 부순모래의 혼입률이 높아졌기 때문으로 판단된다.

0.08mm체 통과량 시험 결과, 부순모래의 혼입률 증가에 따라 부순모래에 포함되어 있는 미분량 또한 증가하는 것으로 나타났다.

각 혼입률별 유기불순물시험을 실시한 결과, 혼입률에 관계없이 모두 표준용액의 적황색보다 연한 담황색으로 KS에서 규정하는 좋은 콘크리트에 사용이 가능한 것으로 나타났다.

안정성시험 결과, 부순모래의 혼입률이 증가할수록 황산나트륨에 의한 골재의 파손이 커져 손실중량이 높아지는 것으로 나타났다.

4.1.3 진해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질특성

진해지역에서 생산된 부순모래를 각각 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%로 혼입한 혼합모래(강모래+부순모래)의 품질특성을 파악한 결과는 표 16과 같다.

표 16 부순모래의 혼입률 변화에 따른 품질특성 (진해지역)

시험항목 혼입률(%)	조립률	밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	유기불순물	0.08mm체 통과량(%)	실적율 (%)	안정성 (%)	
진 해 지 역	50	2.45	2.58	1.9	1,648	담황색	3.50	63	1.2
	60	2.66	2.61	1.9	1,695	담황색	3.65	64	1.4
	70	2.81	2.60	2.1	1,738	담황색	3.72	65	1.4
	80	2.93	2.63	2.0	1,749	담황색	3.95	65	1.5
	90	3.12	2.63	2.0	1,810	담황색	4.16	68	1.5
	100	3.21	2.62	2.3	1,805	담황색	3.45	67	1.6

전체적으로 조립률을 제외하고 모두 KS 규정치를 만족하였다. 부순모래의 혼입률이 증가할수록 조립률, 밀도, 흡수율, 단위용적질량, 0.08mm 체 통과량 및 실적율은 증가하는 것으로 나타났다.

그림 11은 진해지역에서 생산된 부순모래의 혼입률 변화에 따른 입도 분포곡선을 나타낸 그림으로 전체적으로 표준입도를 만족하는 것으로 나타났다. 이는 진해지역에서 생산된 부순모래가 양산지역이나 김해지역에서 생산된 부순모래에 비하여 입형, 입자의 크기 및 입도가 고르기 때문인 것으로 판단된다.

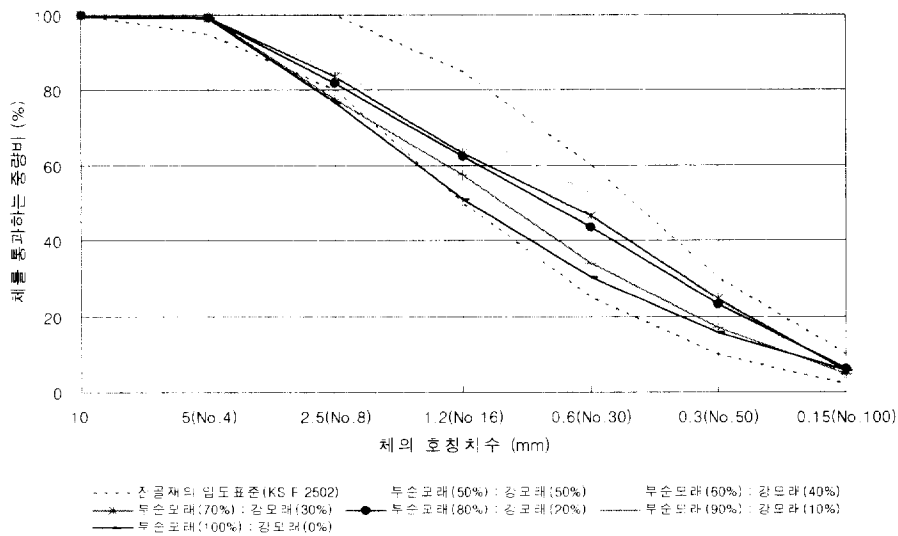


그림 11 진해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 입도분포곡선

유기불순물의 정도를 살펴보면, 혼입률 변화에 관계없이 모두 표준용액의 적황색보다 연한 담황색으로 양질의 콘크리트 제조가 가능한 것으로 나타났다.

안정성시험의 결과, 혼입률이 증가할수록 황산나트륨에 의한 골재의 파손정도가 심해져 손실중량이 높게 나타났다.

4.2 굳지 않은 콘크리트의 특성

생산지역별로 부순모래의 혼입률 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성을 파악하기 위해 슬럼프 및 공기량을 측정한 결과는 표 17과 같다.

전체적으로 슬럼프는 부순모래의 혼입률 70~80%까지 증가하다가 90% 이상에서는 오히려 감소하는 경향을 보였으나, 공기량의 경우에는 부순모래의 혼입률이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

표 17 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성

생산지역	혼입률 (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)
양산	A사 레미콘	11.0	3.9
	50	13.4	5.2
	60	14.8	4.8
	70	16.7	4.0
	80	17.4	3.6
	90	16.0	2.5
	100	14.4	2.3
김해	B사 레미콘	13.0	4.0
	50	15.4	4.3
	60	16.2	3.9
	70	17.8	3.5
	80	16.8	2.9
	90	14.2	2.8
	100	12.0	2.5
진해	C사 레미콘	16.0	3.8
	50	15.6	4.6
	60	16.8	4.3
	70	18.5	3.5
	80	17.5	3.0
	90	17.0	2.8
	100	16.3	2.6

4.2.1 슬럼프

그림 12는 콘크리트의 유동성을 파악하기 위하여 슬럼프를 측정한 결과이다. 전체적으로 부순모래의 혼입률이 70~80%까지 증가하다가 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 혼입률 70~80%까지는 혼입률 증가에 따른

실적률의 증가로 콘크리트 내부의 입자간 마찰이 감소하여 슬럼프는 증가하는 것으로 분석된다. 특히 90% 이상에서는 미립분(0.08mm체 통과량)의 증가로 인한 표면적의 증대로 요구수량이 증가함으로써 슬럼프는 오히려 감소한 것으로 분석된다.

특히 진해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 경우 양산지역 및 진해지역에 비해 슬럼프가 높게 측정되어 작업성이 우수한 것으로 나타났다. 이는 진해지역에서 생산된 부순모래가 상대적으로 입도 및 입형이 양호하고 실적률 또한 높아 유동성이 증대하였기 때문으로 판단된다.

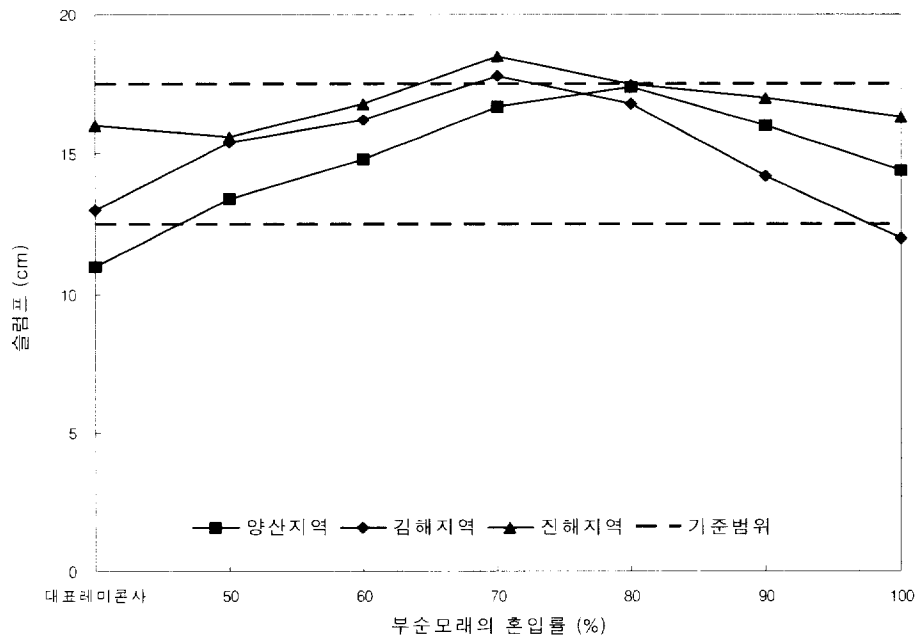


그림 12 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프

4.2.2 공기량

그림 13은 굳지 않은 콘크리트의 공기량을 측정한 결과로, 부순모래의 혼입률이 증가할수록 공기량은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 부순모래의 혼입률이 증가할수록 그 속에 포함된 미분량 또한 증가하게 되어 그 미분량이 콘크리트내에 미소공극의 충전효과를 일으켜 공기량은 감소한 것으로 판단된다.

특히 낮은 혼입률에서 공기량이 높게 나타났는데, 이는 연행공기로 인한 볼베어링 효과로 작업성은 증가할 수는 있으나, 내구성 및 황산염의 침투, 염화물이온의 확산 등의 내구성 측면에서는 공극으로 인한 피해가 오히려 클 것으로 예상된다.

지역별로 살펴보면, 양산지역이 가장 높게 측정되었고, 다음이 진해지역, 김해지역 순으로 나타났다. 또한 부순모래의 혼입률이 50~60%일 때 평균공기량이 시방배합기준인 4.5%에 가장 근접하는 것으로 나타났다. 이는 부순모래 입도의 차이와 미분함유량의 다소에 따라 변화한 것으로 판단된다.

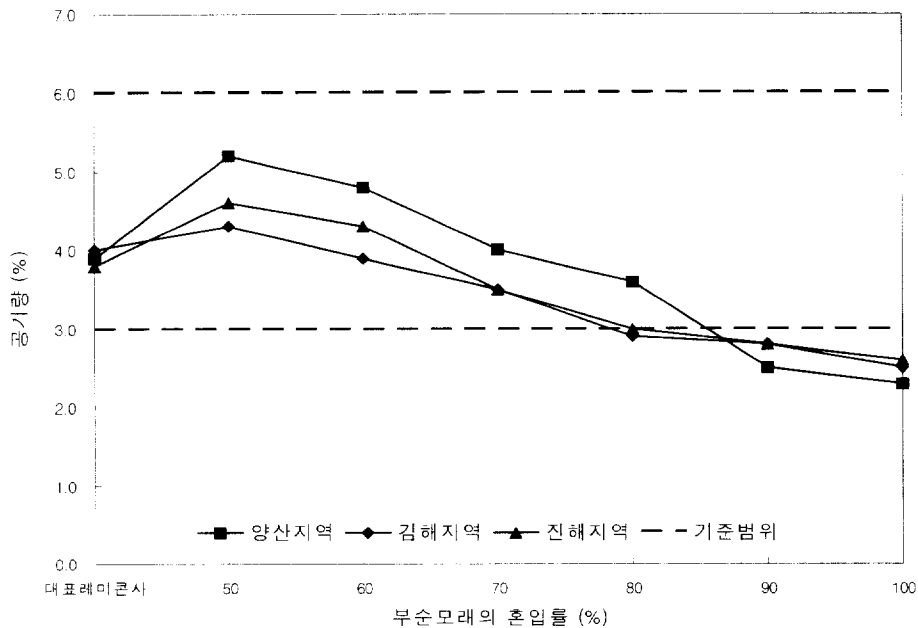


그림 13 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 공기량

4.3 경화한 콘크리트의 특성

양산지역, 김해지역 및 진해지역에서 생산된 부순모래의 혼입률 변화에 따라 제작·양생한 콘크리트의 재령 7일, 28일, 60일 및 90일에 단위중량, 압축강도, 탄성계수 및 변위를 측정된 결과는 표 18~표 21과 같다.

전체적으로 재령이 증가할수록 단위중량, 압축강도 및 탄성계수도 증가하는 경향을 나타냈다. 특히 경화한 콘크리트의 압축강도와 파괴시의 변위를 살펴보면, 재령 7일에서는 압축강도 20.6~23.8MPa 범위에서 파괴시 약 1.36~1.84mm의 변위가 발생하였다. 재령 28일에서는 압축강도 23.0~28.6MPa 범위에서 약 1.50~1.95mm의 변위를 보였으며, 재령 60일에서는 25.4~31.1MPa의 압축강도 범위에서 변위는 약 1.62~2.01mm로 나타났다. 재령 90일에서는 26.6~32.0MPa의 압축강도에서 약 1.65~2.42mm의

변위를 나타내었다.

표 18 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 특성 (재령 7일)

생산지역	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)	압축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	변위 (mm)
양산	A사 레미콘	2,393	21.7	23.4	1.76
	50	2,389	23.0	24.1	1.59
	60	2,395	23.5	24.4	1.56
	70	2,403	24.1	24.9	1.54
	80	2,406	23.7	24.7	1.56
	90	2,409	23.3	24.5	1.84
	100	2,402	22.5	24.0	1.36
김해	B사 레미콘	2,404	20.5	22.9	1.44
	50	2,425	21.0	23.5	1.70
	60	2,432	22.2	24.3	1.44
	70	2,437	23.8	25.2	1.71
	80	2,442	23.3	25.0	1.65
	90	2,444	22.6	24.7	1.63
	100	2,436	21.1	23.7	1.73
진해	C사 레미콘	2,399	21.3	23.3	1.59
	50	2,401	20.6	23.0	1.69
	60	2,405	21.1	23.3	1.84
	70	2,421	22.0	24.0	1.64
	80	2,422	21.6	23.8	1.65
	90	2,426	21.3	23.7	1.74
	100	2,422	17.9	21.7	1.41

표 19 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 특성 (재령 28일)

생산지역	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)	압축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	변위 (mm)
양산	A사 레미콘	2,403	24.3	25.0	1.66
	50	2,401	24.7	25.1	1.78
	60	2,406	24.7	25.2	1.60
	70	2,415	27.8	26.9	1.50
	80	2,420	26.1	26.2	1.63
	90	2,423	23.6	24.9	1.62
	100	2,412	23.0	24.4	1.60
김해	B사 레미콘	2,418	24.9	25.5	1.49
	50	2,427	23.6	25.0	1.58
	60	2,435	24.7	25.7	1.57
	70	2,442	28.6	27.8	1.67
	80	2,445	26.6	26.8	1.52
	90	2,447	24.8	25.9	1.87
	100	2,448	23.5	25.2	1.63
진해	C사 레미콘	2,413	25.9	25.9	1.41
	50	2,429	23.8	25.1	1.78
	60	2,432	26.5	26.5	1.59
	70	2,430	26.8	26.7	1.95
	80	2,432	25.8	26.2	1.65
	90	2,439	25.3	26.1	1.58
	100	2,443	23.0	24.9	1.52

표 20 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 특성 (재령 60일)

생산지역	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)	압축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	변위 (mm)
양산	A사 레미콘	2,410	26.0	25.9	1.65
	50	2,406	26.9	26.3	1.72
	60	2,411	27.0	26.5	1.64
	70	2,422	30.2	27.4	1.67
	80	2,428	28.3	27.4	1.77
	90	2,432	25.5	26.0	1.75
	100	2,418	25.6	25.9	1.70
김해	B사 레미콘	2,428	27.1	26.8	1.77
	50	2,435	25.7	26.2	1.62
	60	2,446	27.4	27.2	1.62
	70	2,453	31.1	28.0	1.74
	80	2,451	28.9	28.0	1.79
	90	2,454	27.4	27.4	1.85
	100	2,456	25.7	25.2	1.73
진해	C사 레미콘	2,418	27.3	26.7	1.68
	50	2,434	25.9	26.3	2.01
	60	2,438	28.5	27.6	1.76
	70	2,441	29.5	28.2	1.91
	80	2,439	28.4	27.6	1.85
	90	2,443	27.6	27.3	1.82
	100	2,454	25.4	26.3	1.93

표 21 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트의 특성 (재령 90일)

생산지역	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)	압축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	변위 (mm)
양산	A사 레미콘	2,411	27.4	26.6	1.68
	50	2,411	28.2	27.0	1.66
	60	2,417	28.0	27.0	1.69
	70	2,433	30.8	27.7	2.23
	80	2,436	30.5	27.6	1.68
	90	2,443	27.3	27.1	1.69
	100	2,428	26.9	26.7	2.42
김해	B사 레미콘	2,411	28.2	27.0	2.13
	50	2,439	26.8	26.8	2.21
	60	2,452	28.4	27.8	1.69
	70	2,461	32.0	28.4	1.76
	80	2,464	30.6	28.0	1.66
	90	2,465	28.6	28.1	1.83
	100	2,451	27.2	27.2	1.65
진해	C사 레미콘	2,410	28.6	27.2	1.86
	50	2,437	27.4	27.1	1.96
	60	2,452	29.7	28.5	1.83
	70	2,466	30.6	28.0	1.94
	80	2,465	29.7	28.7	1.98
	90	2,466	29.1	28.4	2.32
	100	2,460	26.6	27.1	2.04

4.3.1 단위중량

그림 14~그림 16은 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화 및 재령의 변화에 따른 경화한 콘크리트의 단위중량을 나타낸 그림이다.

그림 14를 살펴보면, 전체적으로 부순모래의 혼입률 90%까지 혼입률

이 증가할수록 단위중량 또한 증가하는 것으로 나타났는데 이는 밀도가 높은 부순모래의 사용과 미립분의 영향으로 공극이 충분히 채워졌기 때문으로 판단된다. 부순모래의 혼입률 50%를 제외하고 양산지역 대표레미콘(부순모래의 혼입률 70%)의 단위중량보다 높은 것으로 나타났다.

재령의 증가에 따라 양생 중 수화반응으로 인하여 콘크리트 내부의 공극이 시멘트 겔 등의 수화물로 채워져 단위중량은 증가하는 것으로 나타났다.

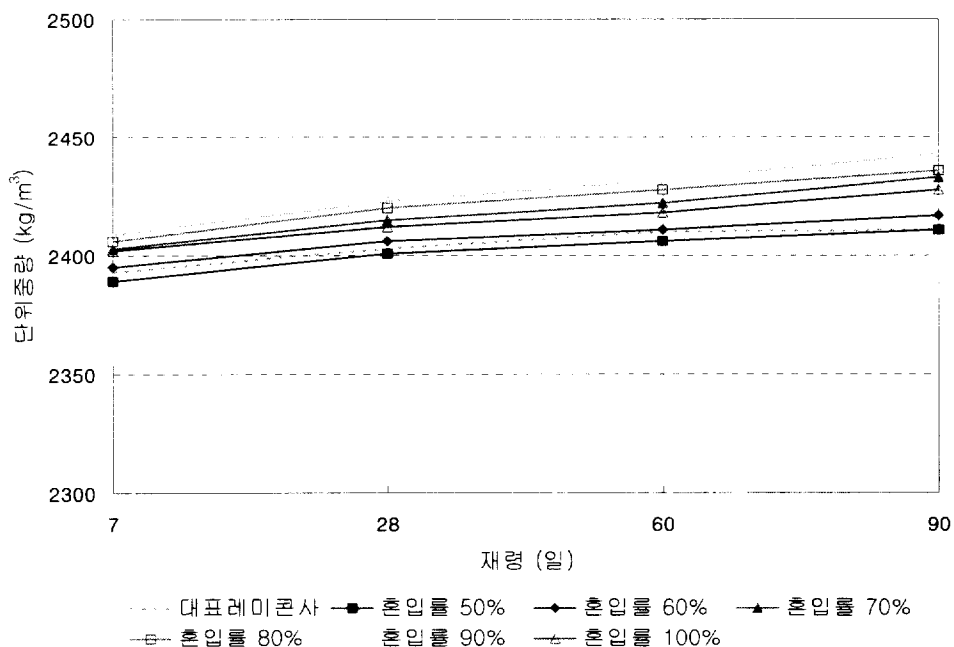


그림 14 양산지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 단위중량

그림 15를 살펴보면, 전체적으로 혼입률이 증가할수록 단위중량 또한 증가하는 것으로 나타났다. 또한 김해지역 대표레미콘사에서 생산된 레미콘(부순모래의 혼입률 64%)보다 단위중량이 모두 높게 나타났는데, 이는 레미콘의 특성인 대량생산에서의 부정확한 계량과 재료의 보관상태에 기인한 것으로 판단된다.

재령이 증가할수록 단위중량이 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 수화반응의 지속시간이 증가로 인하여 콘크리트 경화체의 조직 또한 밀실해졌기 때문으로 판단된다.

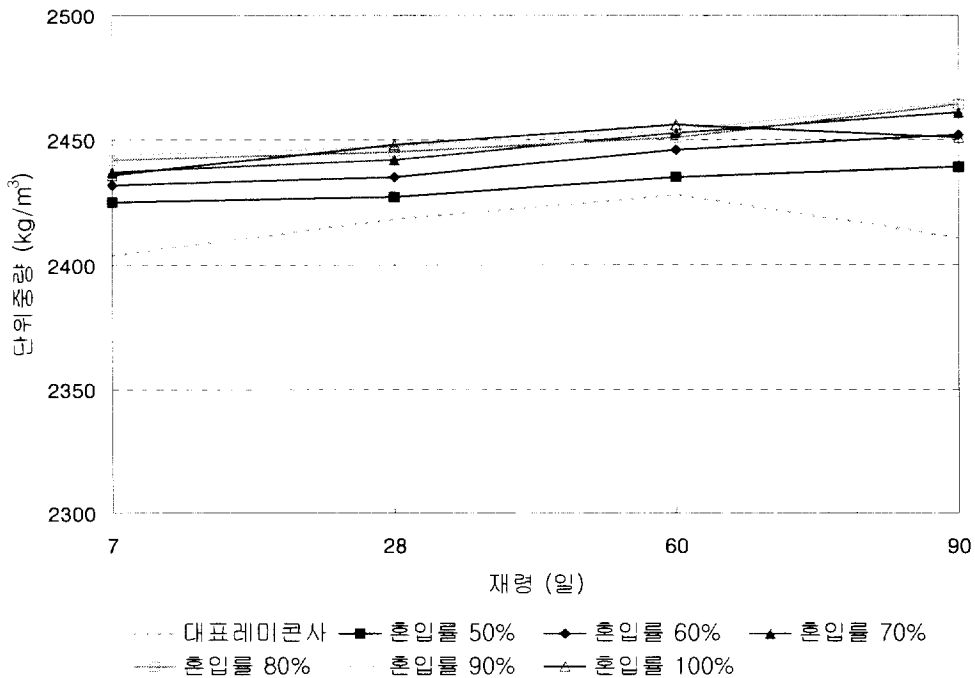


그림 15 김해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 단위중량

그림 16에서 전체적으로 혼입률이 증가할수록 단위중량 또한 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 입자가 크고 밀도 큰 부순모래의 혼입량이 증가하였기 때문으로 판단된다. 또한 진해지역 대표레미콘사에서 생산된 레미콘(부순모래의 혼입률 61%)보다 단위중량이 모두 높게 나타났다. 이는 대량생산에서의 부정확한 계량과 재료의 보관상태에 기인한 것으로 판단된다.

재령이 증가할수록 단위중량 또한 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 시멘트의 수화기간의 증가로 인한 경화한 콘크리트의 구조가 더욱 밀실해졌기 때문으로 판단된다.

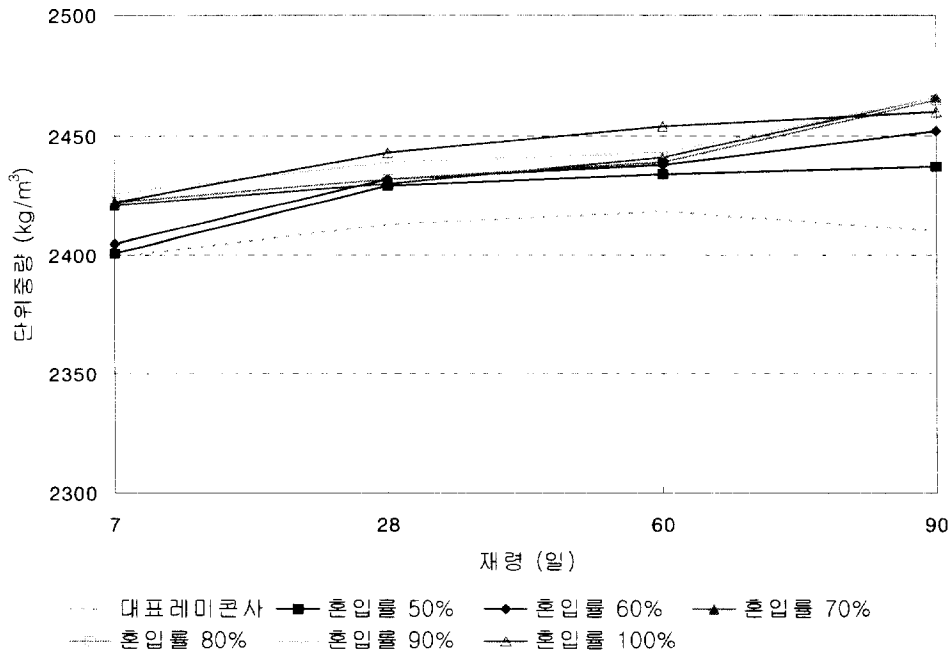


그림 16 진해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 단위중량

그림 17~그림 20은 재령 7일, 28일, 60일 및 90일의 콘크리트 단위중량을 측정된 결과이다. 전체적으로 부순모래의 혼입률 및 재령이 증가할수록 단위중량은 증가하는 경향을 나타냈다. 특히 양산지역에서 생산된 부순모래를 혼입한 콘크리트의 단위중량이 김해지역 및 진해지역에 비해 낮게 나타났다. 이는 양산지역 부순모래의 단위용적질량이 김해 및 진해지역에 비해 상대적으로 낮고, 또한 잔입자(0.08mm채 통과량)가 적게 포함되었기 때문으로 판단된다. 부순모래를 혼입한 콘크리트는 전체적으로 보통콘크리트의 단위중량인 $2,300\text{kg/m}^3$ 보다 높게 나타나는 경향을 보였는데, 이는 부순모래가 상대적으로 밀도가 커서 나타나는 현상으로 판단된다.

또한 부순모래를 혼입한 콘크리트는 전체적으로 보통 강모래나 해사를 사용하여 제작한 보통콘크리트의 단위중량인 $2,300\sim 2,400\text{kg/m}^3$ 보다 높게 나타나는 경향을 보였다. 이는 강모래나 해사에 비해 상대적으로

밀도가 큰 부순모래를 사용하였기 때문으로 판단된다.

전체적으로 단위중량은 김해지역에서 생산된 부순모래를 혼입한 콘크리트가 가장 높은 결과를 보였고, 진해지역, 양산지역 순으로 나타났다. 이는 김해지역에서 생산된 부순모래의 조립률과 입형이 상대적으로 크기 때문으로 판단된다.

또한 각 생산지역별 대표 레미콘사에서 제작한 콘크리트의 단위중량보다 본 실험에서 제작한 콘크리트의 단위중량이 다소 높게 나타났는데, 이는 골재의 저장상태와 배합시의 계량의 정확도의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

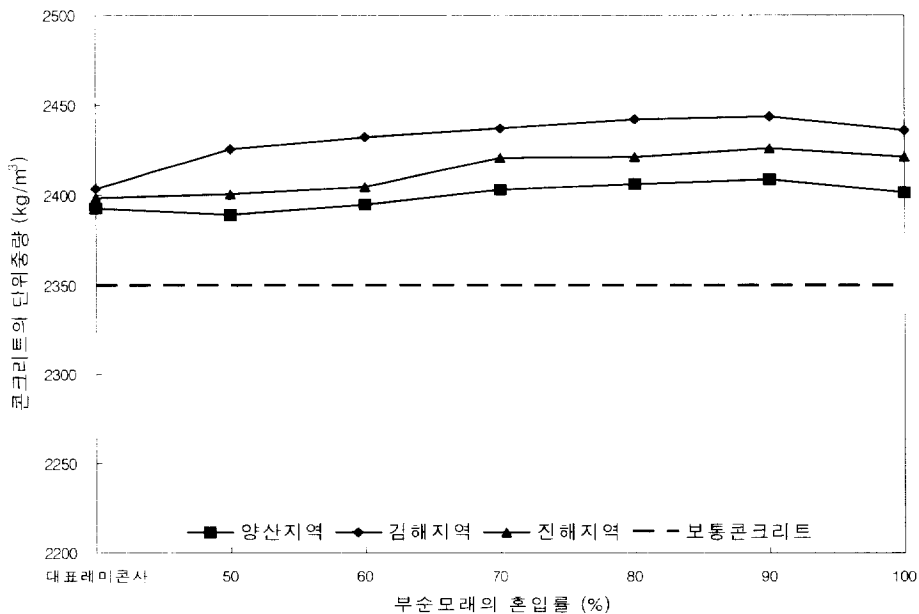


그림 17 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트 단위중량 (재령 7일)

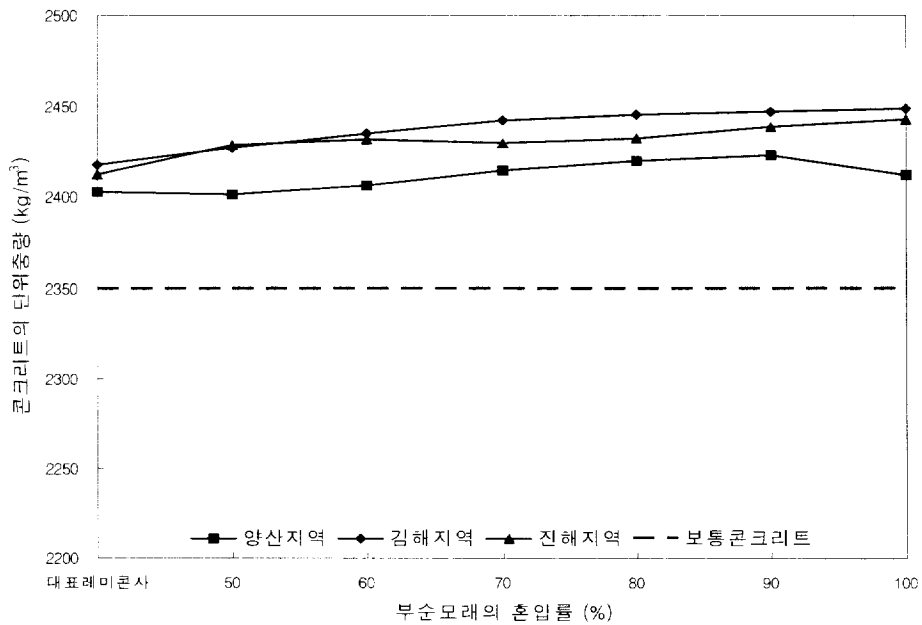


그림 18 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트 단위중량 (재령 28일)

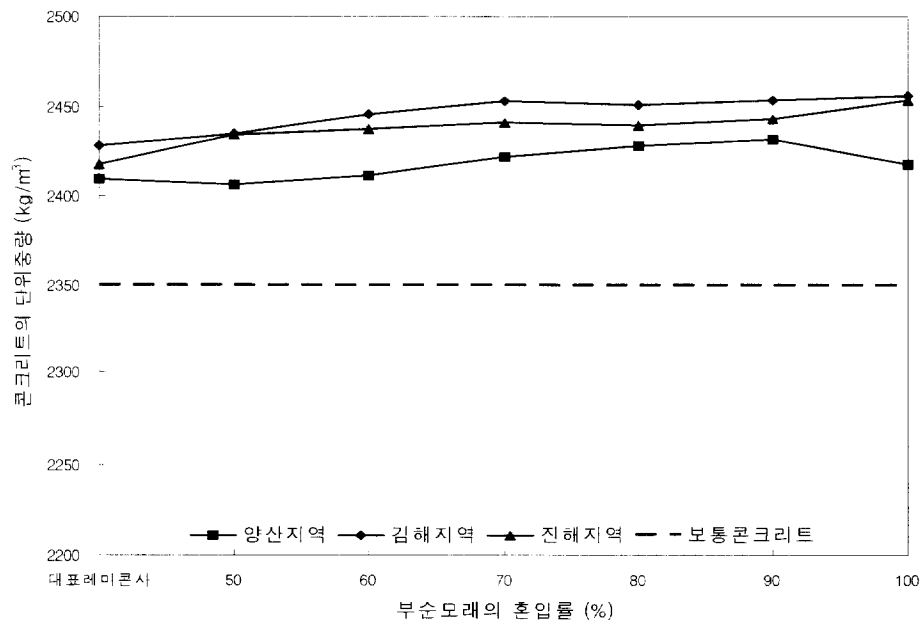


그림 19 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트 단위중량 (재령 60일)

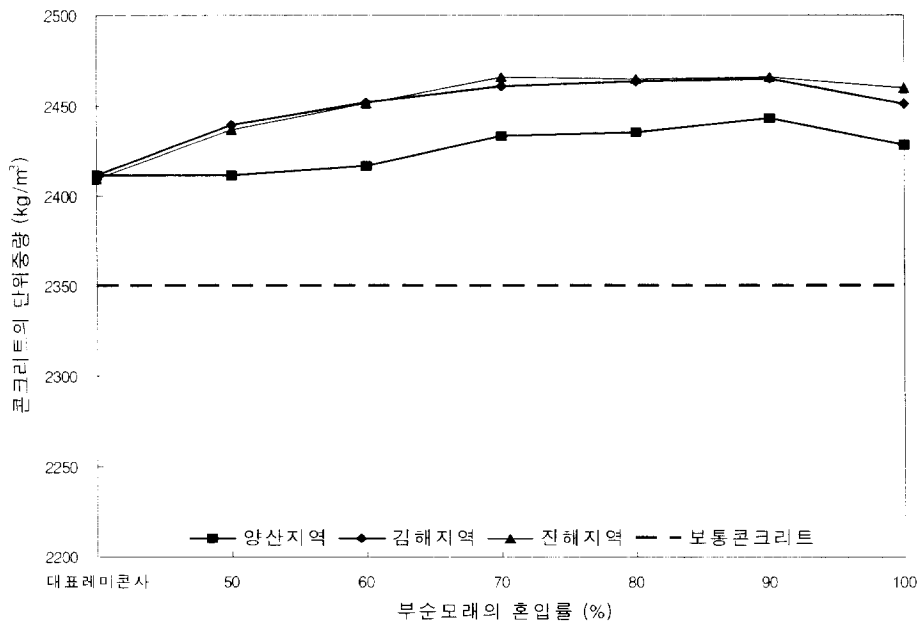


그림 20 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트 단위중량 (재령 90일)

4.3.2 압축강도

그림 21~그림 23은 생산지역별 부순모래를 혼입한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도를 나타낸 그림이다. 전체적으로 재령이 증가할수록 압축강도 역시 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 수화가 진행할수록 빈약한 구조를 가진 미수화시멘트입자의 감소하기 때문으로 판단된다.

특히 부순모래의 생산지역별로 혼입률 70%에서 가장 높은 압축강도가 발현되었다.

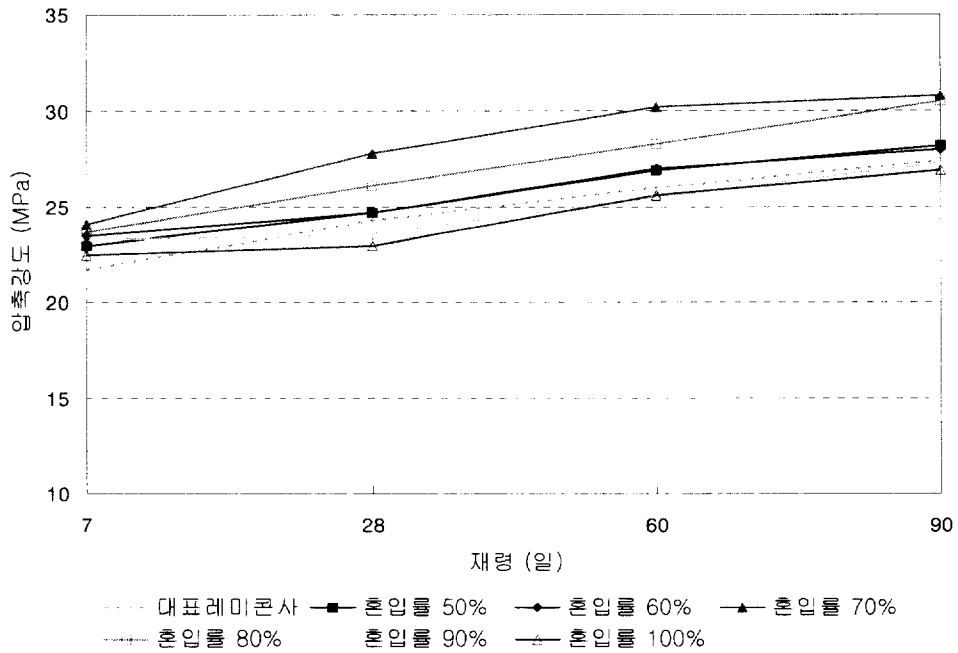


그림 21 양산지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도

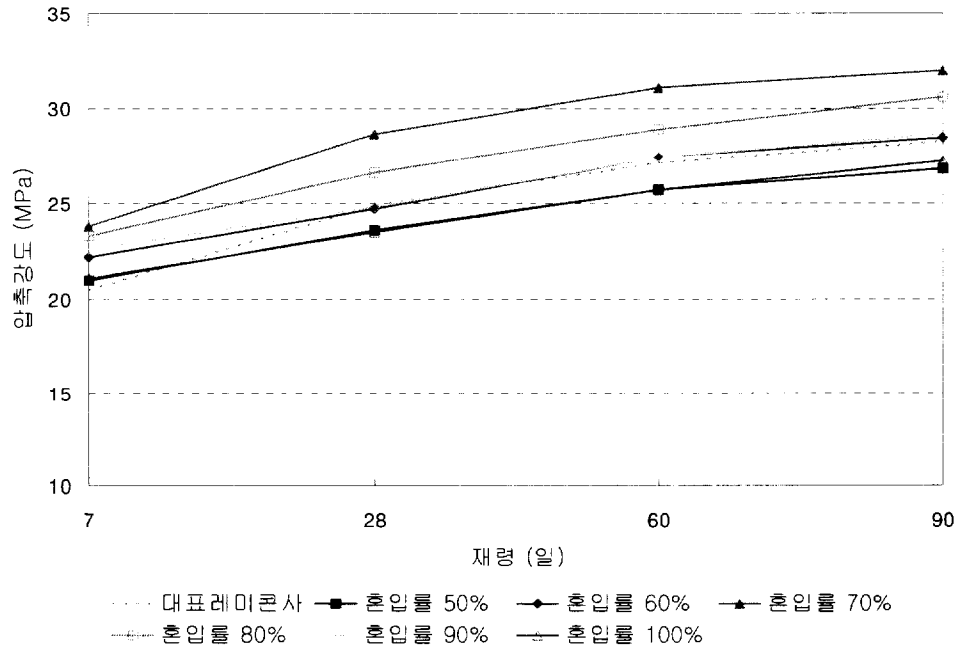


그림 22 김해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도

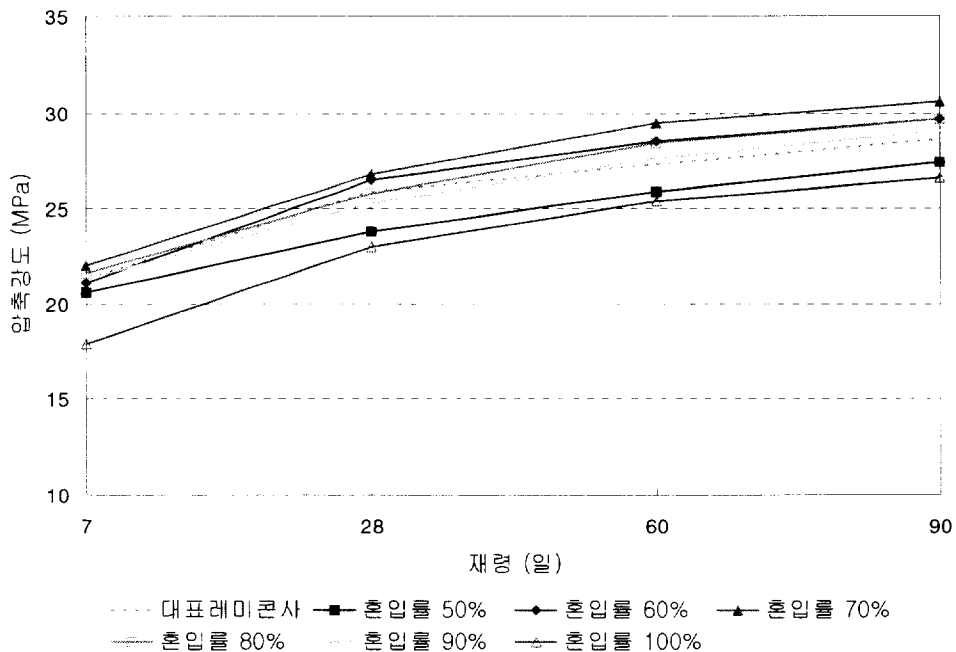


그림 23 진해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도

생산지역별 부순모래의 혼입률을 변화시켜 제작·양생한 콘크리트의 재령 7일, 재령 28일, 재령 60일 및 재령 90일에서의 압축강도는 그림 24~그림 27과 같다. 이 결과를 살펴보면, 전체적으로 혼입률 70%에서 가장 높은 압축강도를 나타냈다. 전체적으로 압축강도는 혼입률 100%를 제외하고 설계기준강도 23.5MPa를 모두 만족하였다. 생산지역별 대표 레미콘사의 압축강도와 비교해 보면, 양산지역은 50~80%, 김해지역은 70~80%, 진해지역은 60~80%에서 지역별 대표 레미콘사보다 더 높은 압축강도가 발휘되었다.

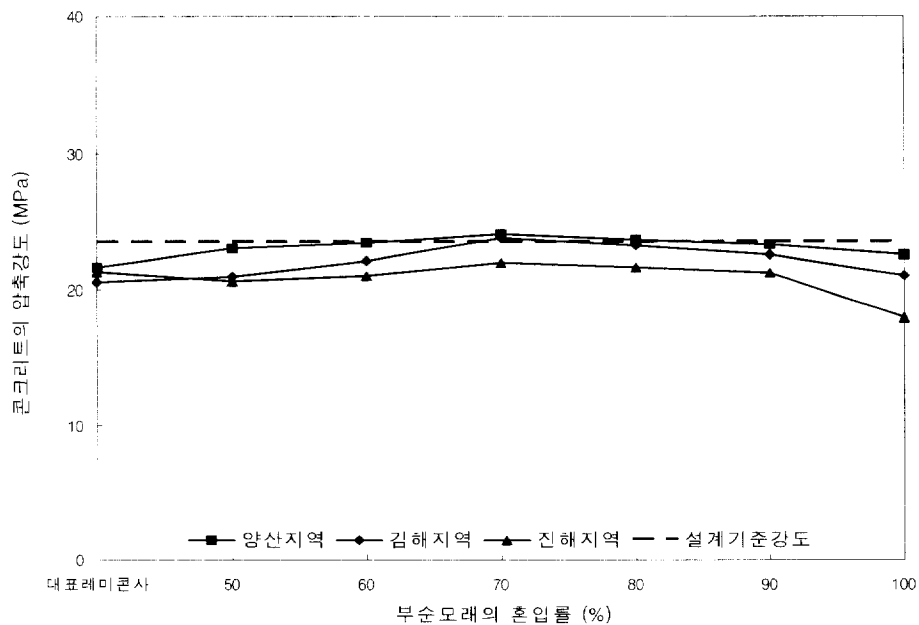


그림 24 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트 압축강도 (재령 7일)

재령 7일에서는 양산지역 및 김해지역의 경우 혼입률의 변화에 관계 없이 실험실에서 제작·양생한 콘크리트 공시체의 압축강도가 지역별 레미콘사의 압축강도보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 진해지역은 부순모래의 혼입률이 70~80%에서만 높은 압축강도를 발현하였다.

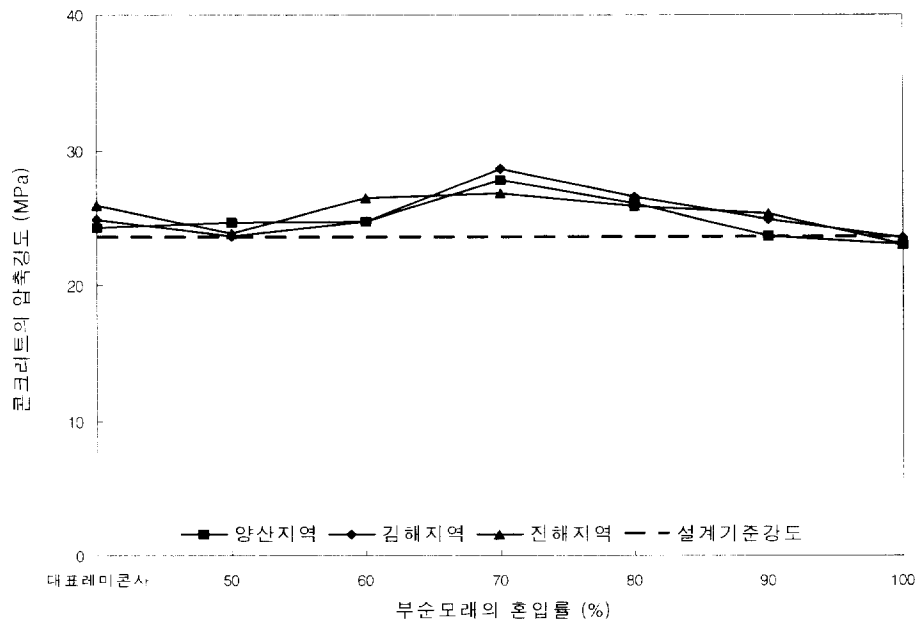


그림 25 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트 압축강도 (재령 28일)

재령 28일에서 김해지역의 경우 설계기준강도 23.5MPa를 모두 만족하였다. 그러나 양산지역과 진해지역의 경우는 부순모래의 혼입률 100%를 혼입한 콘크리트 공시체의 압축강도는 설계기준강도보다 낮게 발현되었다.

양산지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 경우, 혼입률 90~100%에서는 대표 레미콘사보다 낮은 압축강도를 보였으나, 혼입률 50~80%에서는 더 높은 압축강도가 발현되었다. 김해지역의 경우는 혼입률 70%~80%에서 대표 레미콘사보다 더 높은 압축강도가 발현되었으며, 진해지역은 혼입률 60%~70%에서 더 높은 것으로 나타났다.

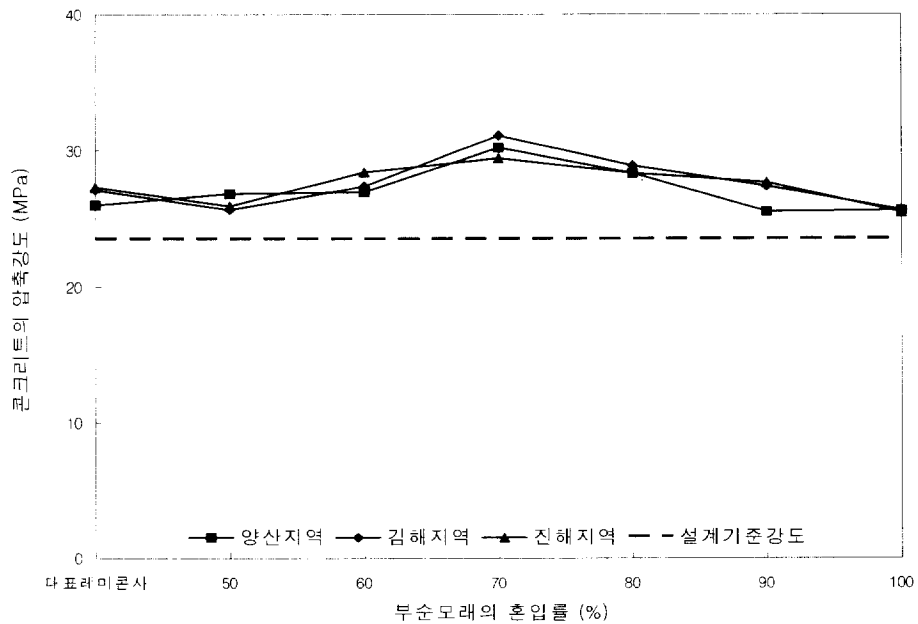


그림 26 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트 압축강도 (재령 60일)

재령 60일에서의 압축강도를 살펴보면, 전체적으로 혼입률 70%에서 가장 높은 압축강도가 발현되었다. 특히 양산지역의 경우 부순모래의 혼입률 50~80%에서 대표 레미콘사보다 높게 발현되었으며, 김해지역 및 진해지역의 경우는 혼입률 60~90%에서 대표 레미콘사보다 더 높은 압축강도가 발현되었다.

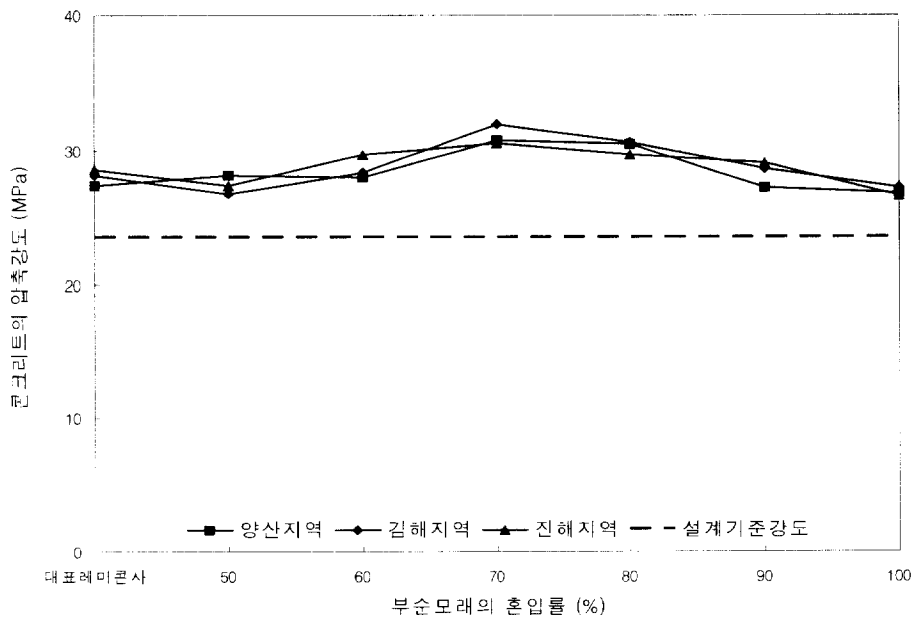


그림 27 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따른 경화한 콘크리트 압축강도 (재령 90일)

재령 90일에서는 부순모래의 혼입률 70%에서 가장 높은 압축강도를 보였다. 양산지역의 경우 혼입률 50~80%에서 지역 대표 레미콘사보다 높은 압축강도가 발현되었으며, 김해지역 및 진해지역의 경우는 부순모래의 혼입률 60~90%에서 지역별 대표 레미콘사보다 더 높게 나타났다.

4.3.3 압축강도비

각 생산지역별 대표 레미콘사에 대한 본 연구에서 제작한 콘크리트의 압축강도비를 비교한 결과를 그림 28~그림 31에 나타내었다.

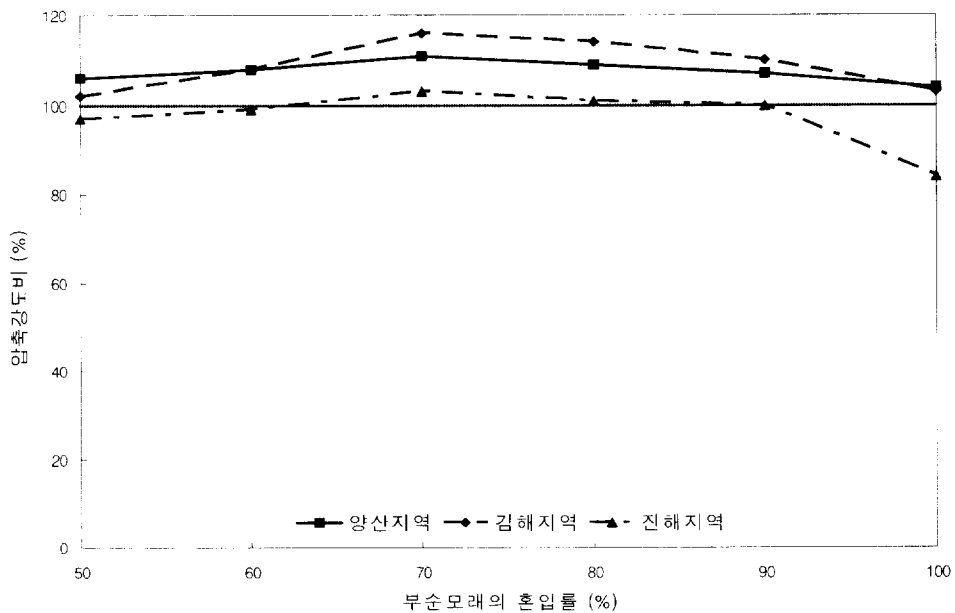


그림 28 생산지역별 대표 레미콘사에 대한 혼입률 변화에 따른 압축강도비 (재령 7일)

재령 7일의 경우에는 양산지역 및 김해지역은 지역별 대표레미콘사보다 높게 나타났으나, 진해지역의 경우는 혼입률 70~80%에서만 압축강도비가 다소 높게 나타났다.

양산지역의 경우는 압축강도비가 평균 106%로 나타났고, 김해지역은 109%, 진해지역은 97%로 나타났다.

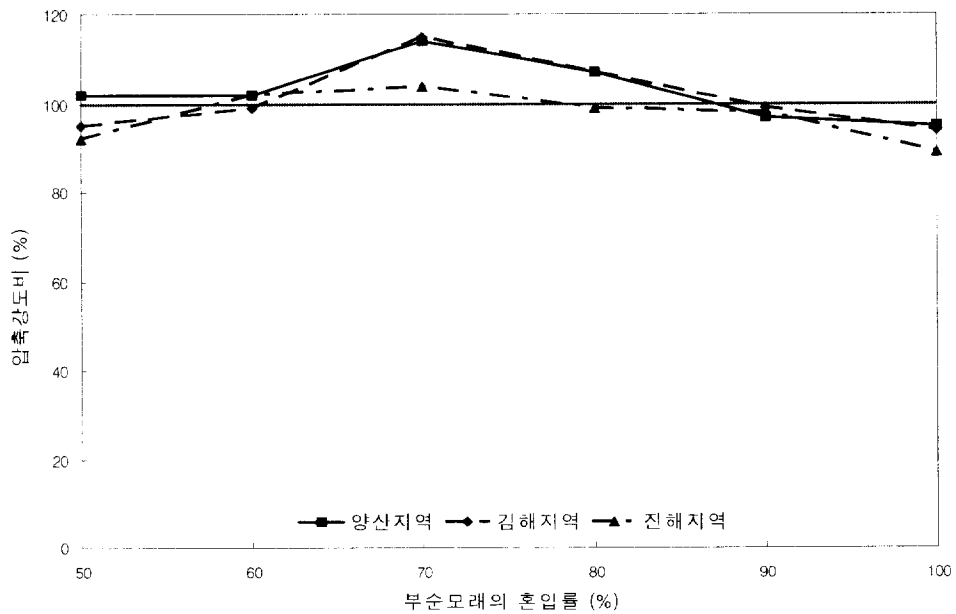


그림 29 생산지역별 대표 레미콘사에 대한 혼입률 변화에 따른 압축강도비 (재령 28일)

재령 28일에서의 각 지역별 대표레미콘사에 대한 부순모래 혼입률 변화에 따른 압축강도비는 양산지역에서 평균 103%, 김해지역에서 평균 102%, 진해지역에서 평균 97%로 나타났다. 또한 양산지역은 혼입률 50~80%에서 대표레미콘사보다 높은 압축강도비를 나타냈으며, 김해지역은 70~80%, 진해지역은 60~70%에서 높은 압축강도비를 나타내었다.

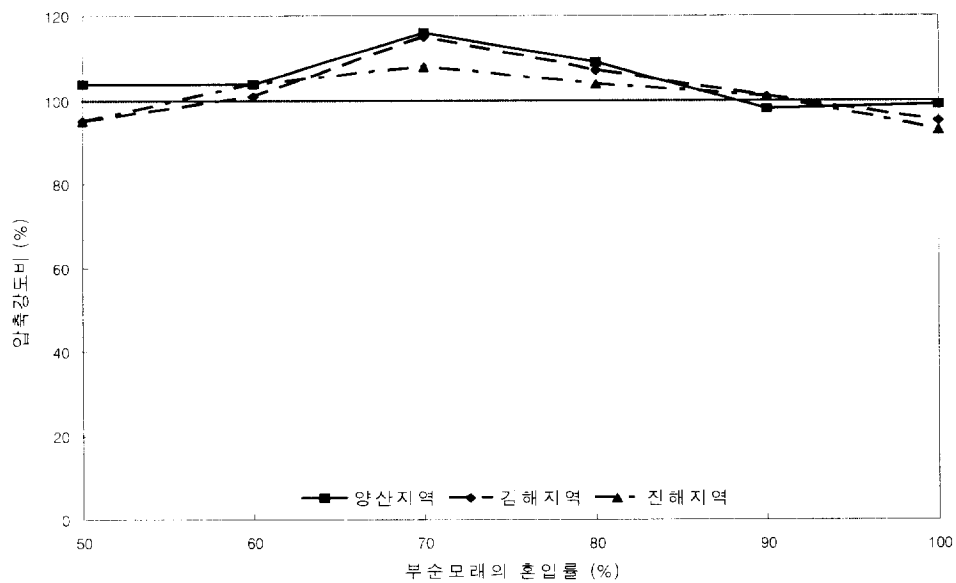


그림 30 생산지역별 대표 레미콘사에 대한 혼입률 변화에 따른 압축강도비 (재령 60일)

재령 60일에서의 압축강도비를 살펴보면, 양산지역은 평균 105%, 김해지역은 평균 102%, 진해지역은 평균 101%로 나타났다. 그리고 양산지역은 부순모래의 혼입률 50~80%에서 대표레미콘사보다 높은 압축강도비를 보였으며, 김해지역 및 진해지역은 60~90%에서 더 높게 나타났다.

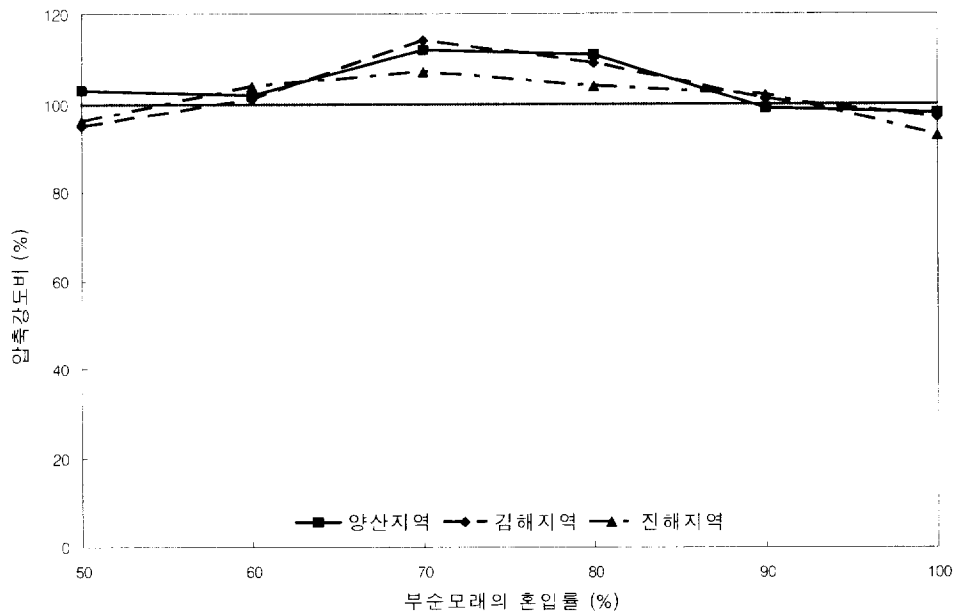


그림 31 생산지역별 대표 레미콘사에 대한 혼입률 변화에 따른 압축강도비 (재령 90일)

재령 90일에서의 압축강도비를 살펴보면, 양산지역은 평균 104%, 김해지역은 평균 103%, 진해지역은 평균 101%로 나타났으며, 양산지역의 경우 혼입률 50~80%에서 대표레미콘사보다 압축강도비가 높게 나타났으며, 김해지역 및 진해지역에서는 혼입률 60~90%에서 더 높은 것으로 나타났다.

4.3.4 탄성계수

구조재료로서 콘크리트는 강도뿐만 아니라 변형성능도 또한 중요한 요소이다. 재료의 변형성분을 평가하는 물리량의 하나로서 탄성계수가 있다. 그림 32~그림 34는 재령에 따른 부순모래를 혼입한 경화한 콘크리트의 탄성계수를 나타낸 그림이다.

이 결과를 살펴보면, 전체적으로 부순모래의 혼입률 70%까지 탄성계수는 증가하다가 70%를 초과하게 되면 오히려 감소하는 경향을 보였다.

특히 밀도가 $2,300\text{kg/m}^3$ 인 보통골재(천연강모래)를 사용한 콘크리트의 탄성계수(23GPa)보다 본 연구에서 측정한 콘크리트의 탄성계수가 평균 2.8GPa정도 높게 나타났다. 이는 천연강모래에 비하여 흡수율이 낮고, 내부조직이 치밀하며 공극이 적어 밀도와 강도가 큰 화강암이 원암인 부순모래를 사용하였기 때문으로 판단된다. 또한 보통골재에 비하여 상대적으로 밀도와 강도가 크고 모르타르와의 부착성이 좋은 약간 거친 입형을 가진 부순모래를 사용하여 콘크리트의 강성이 증가하였기 때문으로 판단된다.

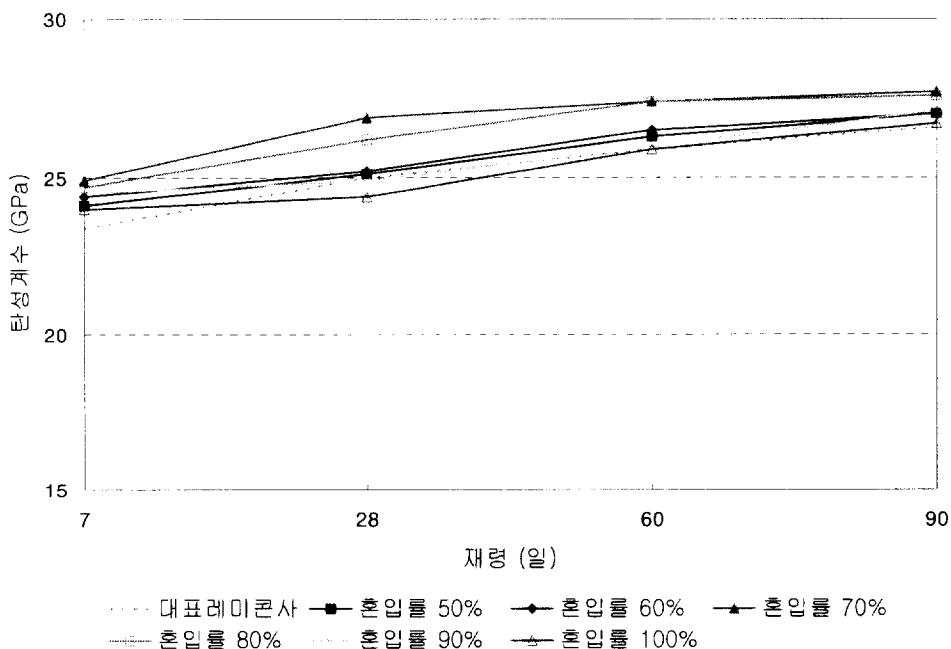


그림 32 양산지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 탄성계수

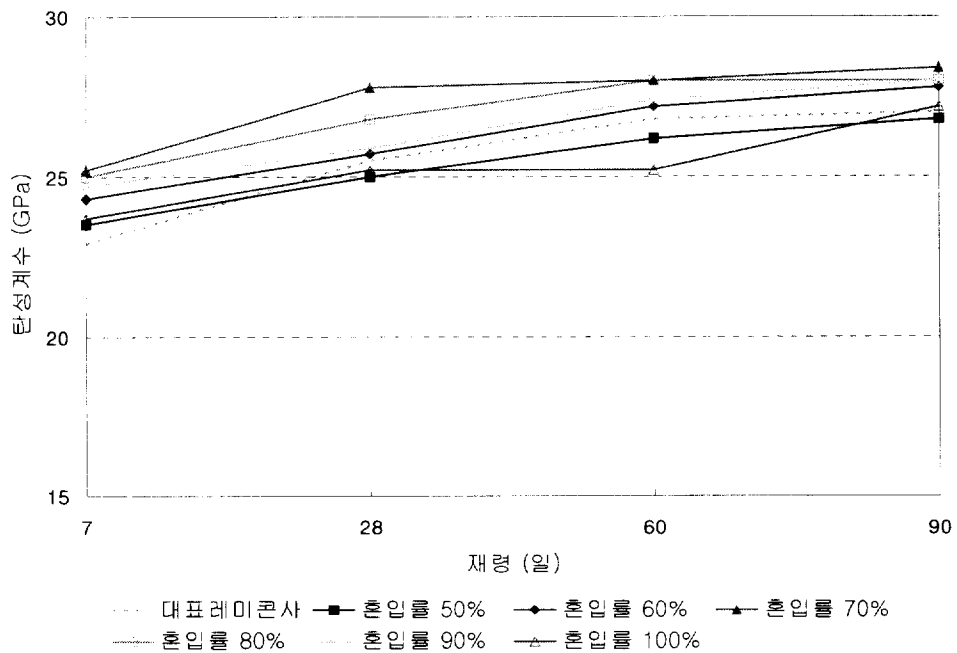


그림 33 김해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 탄성계수

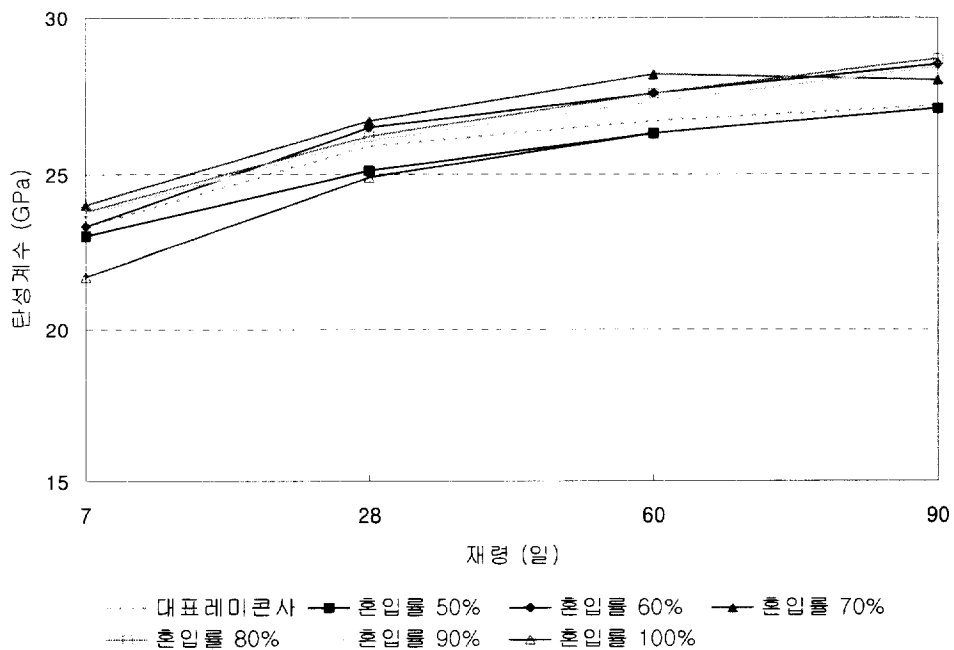


그림 34 진해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트의 재령에 따른 탄성계수

4.4 배합강도 산정

구조물에 사용된 콘크리트의 압축강도가 설계기준강도보다 작아지지 않도록 현장 콘크리트의 품질변동을 고려하여 콘크리트의 배합강도(f_{cr})를 설계기준강도(f_{ck})보다 충분히 크게 정하여야 한다. 설계기준강도 확보에 필요한 콘크리트의 배합강도는 식 (3) 및 식 (4)의 조건에 따라 두 식 중 큰 값으로 정하도록 콘크리트표준시방서에서 규정하고 있다¹²⁾.

[illegible]

[illegible]

여기서, s : 압축강도의 표준편차 (MPa)

콘크리트의 압축강도의 표준편차는 실제 사용한 콘크리트의 30회 이상의 시험실적으로부터 결정하는 것을 원칙으로 하고 있다. 그러나 본 연구에서는 설계기준강도(f_{ck})가 23.5MPa로 하여 총 28회의 시험이 실시되었다. 콘크리트표준시방서에 의하면 시험횟수가 29회 이하일 때 각 시험횟수에 대한 표준편차 보정계수는 표 22의 중간에 해당하는 시험횟수에 대한 표준편차의 보정계수값은 직선보간에 의하여 계산하도록 되어 있다.

표 22 시험횟수가 29회 이하일 때 표준편차의 보정계수

시험횟수	표준편차의 보정계수
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 이상	1.00

표 22를 기준으로 직선보간하여 시험횟수 28회 일 때의 보정계수를 구하면 1.01이 된다.

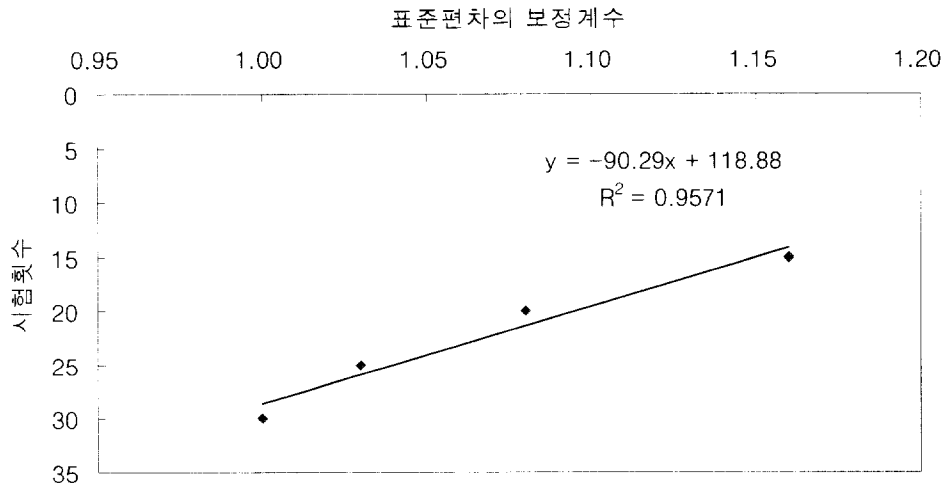


그림 35 시험횟수 29회 이하 일 때 표준편차의 보정계수 직선보간

따라서 표준편차는 식 (5)에 표준편차의 보정계수 1.01을 곱하여 계산한 값을 표준편차로 한다.

$$s = \left[\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (5)$$

여기서, s : 표준편차

X_i : 각 강도 시험값

$\bar{X}$: n 회의 압축강도 시험값의 평균값

n : 연속적인 압축강도 시험횟수

식 (5)에서 계산된 표준편차를 식 (3)과 식 (4)에 대입하여 그 값 중 큰 값으로 정하면 본 연구에서 제안되는 각 생산지역별 배합강도(f_{cr})는 표 23과 같다.

표 23 생산지역별 배합강도

생 산 지 역	배 합 강 도 (MPa)
양 산 지 역	26.9
김 해 지 역	27.6
진 해 지 역	28.0

4.5 종합평가

부순모래의 각 생산지역인 양산지역, 김해지역, 진해지역에서 생산되는 부순모래의 혼입률을 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%로 각각 10%씩 6단계로 변화시켜 제작·양생한 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 단위중량, 압축강도, 탄성계수 등의 특성을 비교·분석하여 정리하면 표 24와 같다.

표 24 부순모래를 혼입한 콘크리트의 특성

변수	항목	굳지 않은 콘크리트		경화한 콘크리트	
		슬럼프	공기량	압축강도	탄성계수
	양산 A레미콘사	×	△	○	○
	양산 50%	△	△	○	○
	양산 60%	○	○	○	○
	양산 70%	○	○	○	○
	양산 80%	△	△	○	○
	양산 90%	○	×	△	○
	양산 100%	△	×	×	○
	김해 B레미콘사	△	○	○	○
	김해 50%	○	○	△	○
	김해 60%	○	△	○	○
	김해 70%	○	○	○	○
	김해 80%	○	×	○	○
	김해 90%	△	×	○	○
	김해 100%	×	×	△	○
	진해 C레미콘사	○	△	○	○
	진해 50%	○	○	△	○
	진해 60%	○	○	○	○
	진해 70%	○	○	○	○
	진해 80%	○	△	○	○
	진해 90%	○	×	○	○
	진해 100%	○	×	×	○

○ : 좋음 △ : 보통 × : 나쁨

부산 인근에 위치한 각 지역의 부순모래에 대하여 종합한 표 24를 참고하면 부순모래의 혼입률 변화가 콘크리트 특성에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 특히 각 지역별 대표레미콘사의 부순모래 사용량을 조사해 본 결과 75.6%나 되므로 적정 혼입률의 도출이 필요하다.

따라서 부산 인근지역에서 생산된 부순모래를 사용할 경우 표 24를 참고하면 부순모래의 혼입률은 70%일 때가 가장 우수한 품질의 콘크리트를 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 부산 근교에 위치한 양산지역, 김해지역, 진해지역에서 생산된 부순모래의 품질특성과 혼입률 변화에 따른 콘크리트의 특성을 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 각 생산지역별 부순모래의 품질은 KS F 2527의 품질규격(절대건 조밀도, 흡수율, 안정성, 마모율, 0.08mm체 통과량)을 모두 만족하는 양호한 품질의 부순모래가 생산되고 있는 것으로 나타났다.

(2) 콘크리트의 작업성에 영향을 미치는 입도 및 입형은 양산지역 및 진해지역에서 생산된 부순모래가 대체로 양호한 것으로 나타났다. 그러나 김해지역에서 생산된 부순모래는 입도와 입형이 다소 불량한 것으로 나타났는데, 이는 제조공정의 개선이 필요할 것으로 판단되었다.

(3) 슬럼프는 전체적으로 부순모래의 혼입률 70~80%까지는 증가하다가 그 이상에서는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 혼입률의 증가에 따른 실적률의 증가로 콘크리트 내부의 입자간 마찰이 감소하여 슬럼프가 증가하나 과다하게 혼입하게 되면 미립분의 증대로 인한 요구수량의 증가로 슬럼프는 오히려 감소하는 것으로 분석되었다.

(4) 공기량은 부순모래의 혼입률이 증가할수록 Micro Filler현상으로 인하여 감소하는 것으로 분석되었다.

(5) 콘크리트의 단위중량은 강모래에 비해 밀도와 단위용적질량이 큰 부순모래의 혼입률이 증가함에 따라 증대되는 것으로 분석되었다.

(6) 콘크리트의 압축강도는 부순모래의 생산지역, 재령의 변화에 관계 없이 혼입률 70%에서 가장 높게 발현되었다.

(7) 콘크리트의 탄성계수는 주로 밀도와 강도가 큰 화강암이 부순모래의 원암으로 사용되므로 천연강모래에 비하여 흡수율이 낮고, 내부조직이 치밀하며, 공극이 적어 탄성계수가 다소 높게 나타났다.

(8) 생산지역별 부순모래의 품질 및 부순모래의 혼입률 변화에 따른 콘크리트의 각종 특성들을 종합적으로 분석해 본 결과, 최적의 혼입률은 70%로 판단되었다.

(9) 본 연구에서는 부순모래의 품질과 부순모래를 사용한 콘크리트의 기초 특성들을 주로 다루었으나, 향후 부순모래를 사용한 콘크리트의 장기재령에서의 강도특성, 내구성능, 황산염에 대한 저항성 등의 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한천구, 윤기원, 이진규 외 3인 “부순모래의 미립분 함유량 및 입형이 콘크리트의 특성에 미치는 영향에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제 8권 2호 (통권 제 15집), pp. 17~23, 1996. 11.
2. 대한주택공사 주택연구소, “콘크리트용 부순모래의 실용화 방안 연구”, 1996. 12.
3. 김병환, “콘크리트용 부순돌과 부순모래의 생산 및 품질”, 콘크리트학회 지, 제 9권 2호, pp. 4~12, 1997. 4.
4. 이성복, 이도현, 지남용, 이리형, “잔입자 함유량 및 입형 변화에 따른 부순모래 콘크리트의 배합설계 방법에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 Vol. 13, No. 5, pp. 289~298, 1997. 5.
5. 한국콘크리트학회, “최신콘크리트공학” pp. 109-170, 1997. 10.
6. 한국콘크리트학회편, “부순모래 및 부순모래 콘크리트”, 1998. 6.
7. 한천구, “콘크리트의 특성과 배합설계”, 기문당, 1998. 7.
8. 최민수, “骨材産業의 中・長期 育成 方案”, 한국건설산업연구원, 2001. 12.
9. 최민수, “지역별 골재 소비구조 분석 및 수급 안정방안”, 한국건설산업연구원, 2003. 4.
10. 이승환, 윤용호, “대구·경북지역 생산 부순모래의 특성에 관한 연구”, 계명대학교 산업기술연구소 논문집, Vol. 26-1, pp. 303~312, 2003.
11. 박세윤, “잔골재의 혼합비율 변화에 따른 수중불분리성 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 부경대학교 산업대학원, 2004. 2.
12. 한국콘크리트학회, “콘크리트표준시방서 해설집”, 기문당, 2004. 2.
13. Frank P. Nichols, Jr. “Manufactured Sand and Crushed Stone in Portland Cement Concrete”, Concrete International, August. pp. 56~63, 1982.
14. Ahmed E. Ahmed and Ahmed A. El-Koued. “Properties of Concrete Incorporating Nature and Crushed Stone Very Fine Sand”, ACI Materials Journal, Vol. 86, No. 4, July-August. pp. 417~424, 1989.
15. A.M. Neville, “Properties of Concrete, 4th Edition, 1996. 7.

감사의 글

먼저 이 논문이 완성되기까지 학문과 일상생활에 부족한 저를 이끌어 주시고, 끊임없는 격려와 배려를 아끼지 않으신 김명식 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 미흡한 저의 논문을 심사하시면서 조언과 격려를 아끼지 않으신 장희석 교수님, 이환우 교수님께도 진심으로 감사를 드립니다. 아울러 항상 끊임없는 사랑으로 가르침과 지도를 해주신 김상용 교수님, 김종수 교수님, 손인식 교수님, 이종섭 교수님, 이동욱 교수님, 이종출 교수님, 이영대 교수님, 정진호 교수님, 김수용 교수님, 국승규 교수님, 정두회 교수님, 이상호 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

특히 미흡하나마 하나의 결실을 맺는데 많은 격려와 도움을 아끼지 않으셨던 고등학교·대학교 선배이자 연구실의 큰 형님이신 백동일 선배님, 물심양면으로 많은 도움을 주셨던 염치선 사장님, 송호근 이사님, 박세윤 사장님, 신남균 소장님, 이문식 주무님, 김상태님, 김광열님, 방광원님, 권석조님께도 깊은 감사를 드립니다. 그리고 2년 동안 건설재료 및 구조연구실에서 한솔밥을 먹으며 함께 했던 강민이, 태영이 그리고 방학중 아낌없이 자기 시간을 할애하여 실험을 도와준 콘크리트연구회 후배님들에게도 감사를 드립니다.

학부생활부터 대학원생활까지 서로 의지하고, 같이 학문을 연구하였던 03 동기들 창규형, 규열이, 용교, 지훈이, 홍기, 승우, 봉현이 그리고 토사모선·후배님, 그리고 이젠 사회에서도 인정받고 기반을 잡아가고 있는 윤재범 선배님, 이상명 선배님, 박세인 선배님, 정병훈 선배님, 정해동 선배님에게도 고마움을 전합니다.

또한 저의 곁에서 항상 열심히 공부하고 잘되길 빌어준 대훈이, 정민이, 재진이를 비롯한 03회 친구들과 956모임회 선배 및 친구들에게도 고마움을 전합니다.

마지막으로 무뚝뚝하지만 정이 많고, 학교생활에 어려움이 없도록 지원을 아끼지 않은 하나뿐인 형과 사랑과 따뜻한 마음으로 항상 저의 옆을 지켜준 사랑하는 영에게도 감사를 드리며, 항상 믿음과 사랑을 주신 부모님께 깊은 감사와 이 논문을 바칩니다.