

공학석사 학위논문

부순모래 콘크리트의 황산염
침해에 대한 연구

이 論文을 學位論文으로 提出함



2005년 8월




부경대학교 산업대학원

토목공학과

김 광 열

김광열의 공학석사 학위논문을 인준함

2005년 6월 일

주	심	공학박사	장	희	석	
위	원	공학박사	이	환	우	
위	원	공학박사	김	명	식	

목 차

목차	I
표목차	III
그림목차	V
Abstract	VI
1. 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구범위 및 방법	2
2. 문헌고찰	4
2.1 황산염에 의한 콘크리트의 침해	4
2.2 부순골재	6
2.2.1 콘크리트용 부순골재의 품질	6
2.2.2 콘크리트용 부순골재의 특성	8
2.3 혼화재료	11
2.3.1 실리카흙	11
2.3.2 플라이애쉬	14
2.3.3 고성능AE감수제	18
3. 실험계획 및 방법	20
3.1 실험파라미터	20
3.2 실험방법	21
3.2.1 부순골재의 품질 및 물성시험	21
3.2.2 부순모래 콘크리트의 제작	23

3.2.3 공시체의 제작 및 양생	23
3.2.4 굳지 않은 콘크리트시험	24
3.2.5 경화한 콘크리트시험	24
3.3 사용재료	26
3.3.1 시멘트	26
3.3.2 혼화재	26
3.3.3 부순골재	27
3.3.4 혼화제	27
3.3.5 침적용액	27
3.3.6 배합수	28
3.4 배합설계	29
4. 실험결과 및 고찰	31
4.1 부산근교 김해지역 부순골재의 품질특성	31
4.2 굳지 않은 부순모래 콘크리트의 특성	32
4.3 경화한 콘크리트의 특성	33
4.3.1 단위중량	33
4.3.2 압축강도	39
4.3.3 실리카흄을 사용한 콘크리트의 황산염 저항성 평가	44
4.3.4 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 황산염 저항성 평가	45
5. 결론	47
참고문헌	49
감사의 글	

표목차

표 1 콘크리트용 굵은골재의 규격	7
표 2 콘크리트용 잔골재의 규격	7
표 3 Fly Ash의 품질규정	16
표 4 고성능감수제의 성능	19
표 5 실험파라미터	20
표 6 보통포틀랜드시멘트의 특성	26
표 7 Slica Fume과 Fly Ash의 물리·화학적 특성	27
표 8 고성능AE감수제의 물리·화학적 특성	27
표 9 황산염을 포함한 용액에 노출된 콘크리트의 최대 물-시멘트비	28
표 10 천연강모래 및 부순모래 콘크리트 시방배합표	29
표 11 Slica Fume의 혼입률 변화에 따른 배합설계 (천연강모래)	29
표 12 Fly Ash의 혼입률 변화에 따른 배합설계 (천연강모래)	30
표 13 Slica Fume의 혼입률 변화에 따른 배합설계 (부순모래)	30
표 14 Fly Ash의 혼입률 변화에 따른 배합설계 (부순모래)	30
표 15 부산근교 김해지역 부순골재의 품질특성	31
표 16 혼화재의 혼입률 변화에 따른 균지 않은 부순모래 콘크리트의 특성	32
표 17 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (수중재령 56일)	34
표 18 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (수중재령 88일)	34
표 19 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (수중재령 118일)	35
표 20 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (침적재령 28일)	35
표 21 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (침적재령 60일)	35
표 22 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (침적재령 90일)	36
표 23 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (수중재령 56일)	36
표 24 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (수중재령 88일)	36
표 25 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (수중재령 118일)	37
표 26 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (침적재령 28일)	37
표 27 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (침적재령 60일)	37

표 28	부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (침적재령 90일)	38
표 29	천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (수중재령 56일)	39
표 30	천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (침적재령 28일)	40
표 31	천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (수중재령 88일)	40
표 32	천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (침적재령 60일)	40
표 33	천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (수중재령 118일)	41
표 34	천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (침적재령 90일)	41
표 35	부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (수중재령 56일)	41
표 36	부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (침적재령 28일)	42
표 37	부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (수중재령 88일)	42
표 38	부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (침적재령 60일)	42
표 39	부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (수중재령 118일)	43
표 40	부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (침적재령 90일)	43

그림목차

그림 1 부순모래 콘크리트의 제작과정	23
그림 2 단위중량 측정 실험개요	25
그림 3 압축강도 측정 실험개요	26
그림 4 천연강모래를 사용한 콘크리트의 침적재령별 단위중량 변화율	38
그림 5 부순모래 콘크리트의 침적재령별 단위중량 변화율	38
그림 6 천연강모래를 사용한 콘크리트의 침적재령별 압축강도 변화율	43
그림 7 부순모래 콘크리트의 침적재령별 압축강도 변화율	44
그림 8 실리카흙을 사용한 콘크리트의 침적재령별 단위중량변화율	45
그림 9 실리카흙을 사용한 콘크리트의 침적재령별 압축강도변화율	45
그림 10 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 침적재령별 단위중량변화율	46
그림 11 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 침적재령별 압축강도변화율	46

A Study on the Sulfate Attack of Concrete Using in Crushed Aggregates

Kwang - Yuil, Kim

*Department of Civil Engineering,
Graduate School of Industry
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 nature aggregate of good quality that is accomplishing main current until the mid-1980s by fast growth of construction field along with economy development is run dry almost, is real condition that is alternated by crushed aggregates that is produced in stony mountain. Coarse aggregate is supplied by crushed stone that more than 94% is produced in stony mountain, and fine aggregate is river sand, is sea sand, is land sand and it crushed sand of stony mountain be and so on from various aggregate desire supply.

By sudden exhaustion of nature river sand, crushed aggregates' amount used is increasing rapidly. Furthermore, according as picking of sea sand is prohibited totally, amount used of crushed sand is increasing.

As this study is to test effects of sulfate attack on deterioration of concrete using in crushed aggregates. Besides tests have been carried out with concrete by river sand and crushed sand by fine sand,

concrete mixes various proportions of silica fume and fly ash(up to 15% by weight for cement) were prepared and immersed in pure water, sodium sulfate solution for 28, 60 and 90days. Test on the change in the weight and compressive strength of concrete according to the duration of immersion time and the content of silica fume and fly ash was performed.

Key words : crush sand, blended ratio, sulfate attack, Korean Standard, silica fume, fly ash, slump, air content, fresh concrete, unit weight, compressive strength, harden concrete

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

경제발전과 더불어 건설분야도 급속하게 성장하고 있다. 국내에서는 사회간접자본에 대한 국가적인 투자가 급증함에 따라 거대한 해양구조물, 장대교량, 다목적 댐, 초고층 건축물 등 부재가 큰 대형구조물이 많이 건설되고 있다. 이러한 사회간접자본을 확충하기 위한 건설부문의 투자는 급증하는 반면 건설에 사용되어지는 원자재인 여러 가지 천연자원은 고갈시대를 맞았다. 콘크리트용 골재로 주로 사용되고 있던 양질의 천연골재는 고갈된 상태이다. 천연강모래의 급격한 고갈에 기인해 부순모래의 사용량이 급증하고 있어 부순모래를 사용한 콘크리트에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 지역별 암질의 특성에 따른 부순골재의 품질특성과 그에 따른 콘크리트의 내구성에 관한 연구실적은 거의 전무하다. 특히 콘크리트의 침식에 많은 영향을 미치고 있는 황산염 침해에 관한 연구는 매우 미비하다.

콘크리트 구조물의 성능저하는 내구성 저하로 인한 경우가 대부분이며 내구성에 영향을 미치는 인자는 매우 다양하고 복잡적이어서 내구성 개선을 위한 연구가 활발히 진행되고 있지만 현재까지 명확한 규명과 대책을 마련하지 못하고 있는 실정이다. 대부분의 매립지역내의 구조물이나 해양 구조물, 땅 속에 묻힌 기초, 교량의 하부구조 등의 콘크리트 구조물은 지하수나 해수에 포함된 산과 염 등 여러 형태의 화학적으로 유해한 환경에 노출됨으로서 사용, 유지되는 과정에서 그 성능이 많이 저하된다고 할 수 있다.

여기서, 콘크리트 구조물을 침해하는 주된 요인인 여러 가지 유해한 화학물질 중 황산염의 영향이 가장 중요한 것으로 알려져 있는데, $MgSO_4$, $CaSO_4$, K_2SO_4 , Na_2SO_4 등의 성분으로 나타나는 이러한 수용성

황산염은 암석 중의 광물에서 유래되어 암석의 풍화에 의한 분해와 비 또는 지하수의 용해작용에 의해 지하수, 해수, 토양 등에 넓게 분포되어 있으며, 특히 점토질 토양에는 많은 양의 황산염이 함유되어 있다. 황산나트륨과 황산칼슘은 흙과 물 속에 용해되어 존재하고 또한 산업과정에서도 발생하는 가장 흔한 종류의 황산염이며, 황산마그네슘은 이들보다 흔하지는 않지만 더욱 유해한 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 부산근교 김해지역 석산에서 생산된 부순골재(부순자갈, 부순모래)를 사용하여 제작된 부순모래 콘크리트의 황산염 중 황산나트륨에 대한 침해 저항성을 평가하였다. 본 연구에서는 기 연구된 부산근교 김해지역에서 생산되는 부순골재의 기초물성과 품질특성을 파악하여 부순모래의 최적 배합비 부순모래 70%와 낙동세사 30%로 혼합된 혼합모래를 사용하고 내구성 향상효과를 가져오는 혼화재 실리카흄과 플라이애쉬의 사용량을 각각 시멘트 단위중량의 5%, 10%, 15%로 변화시켜 치환하여 부순모래 콘크리트의 황산염 침해 저항성을 연구하여 그 특성을 관찰·측정하고, 비교·검토하여 실무에 적용할 수 있는 기초 자료로 제시하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구에서는 부산근교 김해지역 석산에서 생산되는 굵은골재 최대 치수 25mm의 부순자갈과 부순모래를 사용한다. 그리고 시멘트는 국내 S사에서 생산되는 보통포틀랜드시멘트, 혼화제는 노르웨이 Elkem Co.에서 생산되는 분말 실리카흄과 국내 S사의 충남 보령산 플라이애쉬를 사용한다. 혼화제는 국내 D사에서 생산된 고성능AE감수제를 사용한다. 그리고 지하수, 토양, 해수 등의 일반적인 황산나트륨 함유율은 보통 2% 안팎이나 짧은 기간에 변화를 측정해야하는 시간적인 제한 때문에 본

연구에서는 국내 A사의 황산나트륨 1급 시약을 사용하여 침적용액 10% 황산나트륨 용액을 제조한다.

본 실험에서 설계기준강도는 24MPa, 물-시멘트비(W/C) 45%, 슬럼프 15cm, 공기량 4.5%로 고정한다. 특히 잔골재는 부산근교 김해지역에서 생산된 부순모래 70%와 낙동세사 30%를 혼합하여 사용하고 혼화재인 실리카흄과 플라이애쉬 사용량을 시멘트 단위중량의 5%, 10%, 15%까지 변화시켜 배합설계를 실시한다. 이렇게 제작한 콘크리트의 각종 특성변화를 파악하기 위해 다음과 같은 순서 및 방법에 의하여 연구를 수행한다.

- ① 문헌고찰을 통해 부순골재의 특성과 황산염 침해 메커니즘을 살펴본다.
- ② 부산근교 김해지역 석산에서 생산된 부순골재를 포함한 각종 사용재료의 물리·화학적 특성을 물성시험을 통하여 파악한다.
- ③ 각 사용재료의 물성시험을 통해 획득한 자료를 토대로 배합설계를 실시하여 기준시방배합표를 작성한다.
- ④ 기준시방배합표를 토대로 부산근교 김해지역에서 생산된 부순모래 70%와 낙동세사 30%를 혼합한 혼합모래를 사용하고 혼화재인 실리카흄과 플라이애쉬를 각각 시멘트 단위중량의 5%, 10%, 15% 치환하여 시방배합표를 작성한다.
- ⑤ 작성된 시방배합표를 기준으로 제작한 굳지 않은 콘크리트의 특성을 파악하기 위해 슬럼프와 공기량을 측정한다.

⑥ 부순모래의 사용 유무와 혼화재인 실리카흙과 플라이애쉬의 혼입률에 따라 제작·양생한 각각의 경화한 콘크리트의 특성을 파악하기 위해 수중양생재령 28일, 56일, 88일, 118일 공시체와 침적양생재령 28일, 60일, 90일 공시체의 단위중량과 압축강도를 측정한다.

⑦ 이렇게 하여 파악된 특성을 토대로 부산근교 김해지역에서 생산되는 부순골재의 황산염 침해에 대한 저항성을 제시한다.

2. 문헌 고찰

2.1 황산염에 의한 콘크리트의 침해

콘크리트 구조물을 침해하는 주된 요인인 여러 가지 유해한 화학물질 중 황산염의 영향이 가장 중요한 것으로 알려져 있는데, $MgSO_4$, $CaSO_4$, K_2SO_4 , Na_2SO_4 등의 성분으로 나타나는 이러한 수용성 황산염은 암석 중의 광물에서 유래되어 암석의 풍화에 의한 분해와 비 또는 지하수의 용해작용에 의해 지하수, 해수, 토양 등에 넓게 분포되어 있으며, 특히 점토질 토양에는 많은 양의 황산염이 함유되어 있다. 황산나트륨과 황산칼슘은 흙과 물 속에 용해되어 존재하고 또한 산업과정에서도 발생하는 가장 흔한 종류의 황산염이며, 황산마그네슘은 이들보다 흔하지는 않지만 더욱 유해한 것으로 알려져 있다.

황산염을 포함한 해수 속의 콘크리트의 화학적 침해에 관해서는 그동안 많은 연구가 되어 왔다. 그러나 콘크리트에 대한 이러한 종류의 화학적 침해는 20세기 초부터 연구되어 왔지만 지금까지도 정확한 침해 메커니즘은 완전히 이해되지 않고 있다.

콘크리트 구조물이 흙이나 물과 접하고 있는 경우 가장 일반적이고 광범위하게 발생하는 콘크리트 구조물의 성능저하 현상은 대부분 황산염 침해에 의한 것인데, 이 반응의 결과로 그 구성물보다 더 큰 체적을 가진 고체생성물인 에트링가이트가 생성되어 콘크리트의 마모와 팽창균열 및 조직붕괴를 유발하게 된다. 이러한 황산염을 함유한 지하수나 토양에 콘크리트가 접하여 황산염에 노출될 경우 반복된 건습과정을 통하여 상당량의 황산염이 콘크리트에 축적되며, 따라서 축적된 황산염과의 화학반응이 계속하여 일어나게 된다. 이와 같은 황산염에 의하여 콘크리트 표면이 연화되어 먼저 표층의 시멘트 부분이 용해되는 콘크리트의 열화가 계속 진행되면 골재의 박리에 따른 콘크리트의 체적 및 강도의 감소가 발생하게 되어 궁극적으로 콘크리트의 성능저하를 가속화하게 된다.

황산염에 의한 콘크리트 경화체의 약화 메커니즘은 다음과 같이 3단계로 진행되는 것으로 정리될 수 있다. 여기서 황산염의 침해는 포틀랜드시멘트에 존재하는 칼슘알루미네이트 수화물과 황산이온의 반응에 의하여 발생한다고 일반적으로 이해되고 있다.

① 콘크리트 경화체 속에서의 황산이온의 확산

② 여러 종류의 수화물과 황산이온의 반응으로 인한 에트링가이트, 석고와 같은 팽창성 혼합물의 생성

③ 강도의 손실과 열화를 통한 콘크리트 경화체의 균열

첫 번째 단계에서의 확산은 콘크리트 입자의 공극과 침투성에 따라 영향을 받는다는 것을 뜻하고, 두 번째 단계는 시멘트의 화학적 성분과 공극내의 용해성 용액의 관계에 의한 현상을 말하며, 마지막 단계는 유해한 이온의 유입에 의해 영향을 받는 콘크리트 경화체의 붕괴와 열화현상의 가속화를 의미하는 것이다.

2.2 부순골재

2.2.1 콘크리트용 부순골재의 품질

콘크리트용 부순골재의 품질은 KS F 2527 (콘크리트용 부순골재, 2002)에 규정되어 있으며, 표 1과 표 2에서와 같이 부순골재는 천연골재의 품질규정과 큰 차이가 없으며, 부순모래의 경우 천연모래에 비해 0.08mm 통과분이 7%로 상향되었고 입도분포는 천연모래에 비해 그 규제폭이 다소 완화되어있다. 그리고 천연모래에서 규정하고 있는 유기불순물, 연한 석편, 점토덩어리 등의 항목이 제외되어있으나 부순모래는 인위적으로 생산되고 있기 때문에 입형판정실적률을 추가하여 구형화가 이루어지도록 하고 있으며, 알칼리골재반응성물질 함유 가능성이 있어 천연모래보다 규제를 강화시켰다.

표 1 콘크리트용 굵은골재의 규격

항목	규격	KS F 2526	KS F 2527
		콘크리트용 골재	콘크리트용 부순골재
굵은골재	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 받는 경우	1.0이하	1.0이하
	- 기타의 경우	1.0이하	
	석탄 및 갈탄 (%)		
	- con'c외관이 중요한 부분	0.5이하	-
	- 기타의 경우	1.0이하	
	입형관정실적률 (%)	-	55이상
	점토덩어리와 연한석편 (%)	-	-
표건밀도 2.4g/cm ³ 이하 규질암 (%)	-	-	

표 2 콘크리트용 잔골재의 규격

항목	규격	KS F 2526	KS F 2527
		콘크리트용 골재	콘크리트용 부순골재
잔골재	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	-
	입형관정실적률 (%)	-	53이상
	점토덩어리와 연한석편 (%)	-	-

2.2.2 콘크리트용 부순모래의 특성

1) 입도 및 조립률

입도 및 조립률은 콘크리트의 작업성, 경제성 및 경화한 콘크리트의 강도·내구성에 중요한 영향을 미치는 요소이다. 입도가 좋으면 입형판정실적률이 증가하므로, 콘크리트의 밀도, 마모저항성, 수밀성, 내구성 등이 증대하고, 적은 단위시멘트량으로도 소요강도의 콘크리트를 만들 수 있으며, 단위시멘트량의 감소로 건조수축 및 수화열을 감소시켜 균열을 감소시킬 수 있다.

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

2) 입형

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

콘크리트의 유동성이 증가하고, 그로 인한 충전성의 향상으로 콘크리트의 성능이 증대한다. 부순모래는 천연모래에 비하여 모가 나있고 표면의 요철이 커 입자모양판정실적률이 53% 이상인 부순모래를 콘크리트용 잔골재로 사용하도록 KS규격에 규정되어 있으나, 원석의 종류와 분쇄설비의 선정, 생산 공정을 면밀히 검토하여 생산할 경우 KS규격에서 요구하는 품질의 제품생산이 가능하며, 품질향상에 대한 의지 여하에 따라 천연모래에 근접한 입형을 갖는 제품도 충분히 생산할 수 있다. 「삼표산업과 주택공사연구소」가 실시한 부순모래의 시험결과에 의하면, “입형판정실적률이 2% 증가함에 따라 콘크리트의 슬럼프가 9.7~33.6% 증가하고, 부순모래를 단독으로 사용해도 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 시공 시 충전성을 저하시킨다. 콘크리트의 균열발생에 대한 미분말의 흡입량은 부순모래의 암질과 생산방법에 따라 다르고, 재령 24시간에서 균열길이, 균열폭은 미립분의 흡입량이 많아짐에 따라 커지는 경향이 있으나, KS에서 규정하고 있는 미분량 7%이내인 부순모래를 사

용하면 초기에 발생하는 균열에 별다른 문제는 없다.

4) 밀도 및 강도

골재의 밀도와 강도는 상호 밀접한 관계를 가지고 있으며, 일반적으로 밀도가 높으면 암석의 조직이 치밀하고 강도도 증가하며, 마모감량이 저하하는 경향을 나타낸다. 또한 암석의 결정립이 클 경우 조직이 느슨하고 강도가 낮을 뿐만 아니라 밀도도 저하하는 경향을 나타낸다. 콘크리트용 보통골재는 밀도가 약 2.5~2.7g/cm³ 정도로 골재의 밀도가 2.5g/cm³이 상인 경우 콘크리트용 골재로서 강도나 마모감량면에서 대부분 만족할 만한 품질특성을 갖는다. 콘크리트용 골재의 밀도가 크면 콘크리트의 중량과 밀도가 증가하고 동결융해 저항성과 내구성이 향상되며 콘크리트의 강성도 증가한다.

5) 알칼리골재반응

알칼리골재반응은 골재 중에 비정질의 가용성 실리카와 알루미늄성분 등의 반응성 광물이 존재할 경우, 시멘트 중의 알칼리성분과 반응하여 생성하는 알칼리실리케이트 화합물의 체적팽창으로 인해 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 타 지역의 알칼리골재반응성에 대한 위험성은 매우 적은 것으로 나타났으나, 이에 대한 대비 차원의 면밀한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

2.3 혼화재료

2.3.1 실리카흙

1) 개요

실리카흙은 제강용의 탈산제로 사용되는 페로실리콘 합금이나 실리콘 금속 등의 규소합금을 전기로(2,000℃)에서 제조할 때 발생하는 폐가스를 집진하여 얻어지는 산업부산물의 총칭이다.

실리카흙을 혼합한 콘크리트에 관한 연구는 1950년 노르웨이에서 처음 시도되었는데 실리카흙을 혼합하면 콘크리트의 워커빌리티가 급격히 저하되기 때문에 실용화되지 못했으나 1960년대 개발된 고성능감수제와 더불어 1978년 노르웨이에서 콘크리트용 혼화재로서의 규격이 제정됨에 따라 실용화되기 시작했다.

실리카흙의 생산량은 1981년에 100만톤, 1986년에는 160만톤 정도로 세계적으로 많지 않으며, 주요 생산국은 소련, 미국, 노르웨이, 브라질 등이다. 일본의 경우 1985년에는 약 2만 5천톤이었던 것이 1991년에는 1만톤 정도로 생산량 감소가 현저하며, 국내의 경우 경기, 강원, 경북 등지에서 생산설비가 존재하였으나 전력과다소비 산업으로 폐지 또는 전환되어 현재는 거의 생산이 중단된 상태이다.

실리카흙의 평균입경이 0.02~0.54 μm 인 초미립자로 이산화규소(SiO_2) 함유율이 90%이상을 차지하고 있는 비결정질로서 시멘트 수화에서 생성되는 수산화칼슘과 강력한 포졸란 반응을 한다.

실리카흙을 콘크리트용 혼화재로 사용할 경우 다음과 같은 면에서 콘크리트의 성능을 개선시키는 장점을 가진다.

- ① 강도증진 효과가 뛰어나다.
- ② 투수성이 작아 수밀성이 향상된다.

③ 수화 초기의 발열량이 작아 콘크리트의 온도상승 억제에 효과가 있다.

④ 염화물 이온 침투 억제에 효과가 있다.

이와 같은 장점의 대부분은 슬래그 미분말 및 플라이애쉬와 같은 포졸란 반응을 하는 재료의 특징과 유사하지만 실리카흙은 초미립재로서 고강도용 재료로 주로 사용되며, 산업 부산물이지만 세계적으로 생산량이 적고 국내에서는 전량 수입에 의존하고 있기 때문에 고가의 재료이다.

2) 화학성분 및 물리적 성질

실리카흙은 대부분이 비결정질로 SiO_2 량이 90%이상이며 미량성분으로 Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO 등이 함유되어 있으나 화학성분은 제품의 종류에 따라 다소 변화한다. 실리카흙의 색깔은 일반적으로 백색에 가까운 회색이며 입자의 형상은 구형의 초미립자로 비중이 2.1~2.2 정도이고, 비표면적은 $200,000 \sim 250,000 \text{cm}^2/\text{g}$ 으로 보통포틀랜드시멘트의 70~80배이다.

3) 실리카흙을 사용한 콘크리트의 품질

(1) 굳지 않은 콘크리트

실리카흙은 비표면적이 크고 수산화칼슘과 반응하여 단시간에 겔상태의 물질을 생성하기 때문에 반죽질기가 쉽게 떨어지며, 실리카흙의 혼합율이 증가할수록 동일한 슬럼프를 얻기 위해서는 단위수량이 선형적으로 증가하기 때문에 이를 개선하기 위해서는 고성능AE감수제를 사용하여 단위수량을 낮출 필요가 있다.

(2) 강도

실리카흙을 사용한 콘크리트의 압축강도 발현성은 대단히 양호하며

이러한 원인은 마이크로 필러효과 및 포졸란 반응이 동시에 작용함으로써 강도를 향상시키기 때문이다.

마이크로 필러효과는 초미립의 실리카흙이 0.5~1.0 μm 의 시멘트 입자 틈새에 생기는 공극을 충전하여 아주 치밀한 구조를 만들어 골재와 결합재간의 부착력이 증가하여 콘크리트의 강도가 증가되는 효과이다.

실리카흙의 혼합율은 5~15%에서 강도증진 효과가 크며 다른 포졸란 재료와 달리 초기에 포졸란 반응이 일어나는 특징을 가지고 있다.

실리카흙을 혼합한 콘크리트의 휨 및 할렬인장강도는 압축강도의 경향과 유사하며 정탄성계수는 동일한 압축강도 수준에서는 실리카흙을 사용한 경우가 낮은 탄성계수를 가진다.

(3) 내구성

실리카흙의 혼합율이 15%이하에서는 동일한 공기량을 가질 경우 충분한 동결융해 저항성을 가지지만 혼합율이 20~30%에 이르게 되면 동결융해 저항성이 떨어지며, 수밀성 증진으로 염소이온 침투가 감소되고 염산, 황산 및 유기산에 대한 화학저항성이 향상된다. 이러한 원인으로 실리카흙은 고내구성 콘크리트의 제조에 효과적이다.

2.3.2 플라이애쉬

1) 개요

플라이애쉬는 석탄을 원료로 하는 화력발전소 등에서 미분탄을 약 1,400~1,500℃의 고온으로 연소했을 때 연소보일러에서 부산되는 연소 폐가스로부터 집진장치에 의해 회수된 미분말의 석탄회이다.

플라이애쉬는 산업폐기물로서 발생초기에는 전량 매립재 등으로 사용되었으나 미국 및 캐나다를 중심으로 콘크리트용 혼화재로 댐 및 수리 구조물에 사용됨에 따라 그 실용성이 높게 평가되어 미국의 경우 1954년에 플라이애쉬에 대한 규격이 처음 제정되어 1968년 ASTM C 618에서 콘크리트용 혼화재로서 천연포졸란과 함께 플라이애쉬를 규정하였다. 국내의 공업규격에는 KS L 5405에서 플라이애쉬의 품질을 규정하고 있다.

플라이애쉬는 인공포졸란에 속하며 자체적으로는 거의 수경성이 없지만 실리카 성분이 석회와 시멘트 수화생성물인 수산화칼슘과 상온에서 서서히 반응하여 불용성의 칼슘실리케이트 및 칼슘알루미네이트 수화물을 생성하여 경화하는 포졸란 반응을 한다. 또한 플라이애쉬의 입형이 구형을 이루고 있어 콘크리트의 유동성을 개선시켜준다.

플라이애쉬를 혼화재로 사용할 경우 폐자원 활용으로 인한 자원절약 등의 경제적인 측면 이외에도 다음과 같은 면에서 콘크리트의 성능을 개선시키는 장점을 가진다.

- ① 콘크리트의 워커빌리티를 좋게 하고 단위수량을 감소시킨다.
- ② 초기강도는 작아지나 장기강도가 향상된다.
- ③ 수화열 저하에 의해 콘크리트의 온도가 감소된다.
- ④ 수밀성이 향상된다.
- ⑤ 건조, 습윤에 따른 체적변화와 동결융해에 대한 저항성을 향상시킨다.

⑥ 알칼리 실리카 반응의 억제 효과가 있다.

그러나 플라이애쉬는 콘크리트용 혼화제로 사용할 때 위와 같은 장점이 있지만 미연소 탄소량, 입자표면에서의 유기혼화제의 흡착, 입경분포, $1\mu\text{m}$ 이하의 미립분의 영향, 제조공장 및 시기 등에 따른 품질변동 등의 문제점이 있기 때문에 사용할 때 유의하여야 한다.

2) 화학성분 및 물리적 성질

플라이애쉬는 대체적으로 일부 결정성 물질과 함께 약간의 탄소를 함유하는 유리질의 구상으로 화학성분 및 분포는 원탄 및 연소조건 등의 영향으로 매우 폭이 넓고 다양하다.

플라이애쉬의 화학성분은 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO 및 SO_3 로 이루어져 있으며, 이들 성분 중 주요성분은 SiO_2 25~60%, Al_2O_3 5~25%, Fe_2O_3 10~30%로서 미국의 ASTM의 플라이애쉬 분류에 따르면 이들 3성분의 합이 70%이상일 경우의 플라이애쉬를 Class F, 상대적으로 이들 3가지 성분의 합이 적고(50%이상) CaO 로 나타나는 칼슘혼합물의 양이 많은 플라이애쉬를 Class C로 분류하고 있다.

플라이애쉬에 대한 국내 규격은 표 3에서와 같이 1992년 개정된 KS L 5405의 플라이애쉬 품질규정으로 미국의 경우처럼 플라이애쉬의 종류를 구분하고 있지 않다.

플라이애쉬의 미연소탄소 함유량을 나타내는 한 인자로 강열감량이 쓰이며 미연소탄소 함유량이 많을수록 강열감량이 일반적으로 크기 때문에 KS에서는 5%이하로 규정하고 있다. 또한 플라이애쉬의 밀도는 시멘트보다 일반적으로 작으며 보통 2.2~2.8정도이다.

표 3 Fly Ash의 품질규정

항 목	규 정 치
이산화규소(SiO ₂) (%)	45 이상
습 분 (%)	1 이하
강열감량 (%)	5 이하
밀 도 (g/cm ³)	1.95 이상
분말도(블레인 방법) (cm ² /g)	2,400 이상
단위수량비 (%)	102 이하
28일 압축강도비 (%)	60 이상

3) 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 품질

(1) 굳지 않은 콘크리트

플라이애쉬는 둥근모양의 미립자로 이루어져 있어 시멘트 페이스트의 유동성을 개선하여 소요 반죽질기를 얻기 위한 콘크리트의 단위수량을 감소시킨다. 단위수량의 감소에 의해 콘크리트 내부의 수분이동을 줄임으로서 공기의 연행여부에 관계없이 블리딩을 줄일 수 있다. 그러나 미연소탄소량이 많은 플라이애쉬는 거친 입자의 함유비율이 높아서 단위수량을 증가시키는 경우가 있으며, AE콘크리트의 경우 미연소탄소분에 의해 AE제 등이 흡착되어 연행공기량이 현저히 감소하기 때문에 목표 공기량을 얻기 위해서는 일반적으로 AE제의 사용량이 증가된다.

(2) 강도

플라이애쉬를 혼합한 콘크리트의 압축강도는 초기재령에서는 보통콘크리트보다 낮지만 재령이 길어짐에 따라 포졸란 반응에 의해 강도 증진효과가 크며, 플라이애쉬 혼합율의 영향을 받아 재령 28일 이후의 장기재령에서는 혼합률이 10~20%에서 강도발현이 가장 크게 나타나고

있어 혼합물의 적정값이 존재한다. 또한 플라이애쉬를 혼합한 콘크리트의 압축강도와 인장강도와의 관계는 보통콘크리트의 경향과 비슷하며, 정탄성계수는 초기재령에서는 보통콘크리트보다 작으나 장기재령에서는 약간 증가하는 경향이 있다.

(3) 발열특성

플라이애쉬에 의한 포졸란 반응은 시멘트의 수화생성물인 수산화칼슘과 플라이애쉬가 반응하여 칼슘실리케이트 수화물 및 칼슘알루미늄에이트 수화물을 생성하기 때문에 그 반응속도는 시멘트와 비교해서 상당히 늦으며 수화발열량도 적다. 따라서 플라이애쉬를 혼화재로 사용한 콘크리트는 콘크리트의 초기온도상승 억제에 유용하여 매스콘크리트 공사나 교량공사에 많이 이용된다.

(4) 내구성

플라이애쉬를 혼합한 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성은 적절하게 공기를 연행하였을 경우 보통콘크리트와 뚜렷한 차이는 없으며, 포졸란 반응에 의한 알칼리 골재반응 억제 효과가 있다.

콘크리트의 열화요인 중 하나인 황산염에 대한 저항성은 플라이애쉬 혼합에 의한 시멘트량의 감소(C_3A 의 감소) 및 포졸란 반응에 의한 수산화칼슘량이 감소하여 에트링가이트 생성이 감소되기 때문에 크게 개선된다.

(5) 수밀성

포졸란 반응에서 생성되는 칼슘실리케이트 수화물은 시멘트에서 생성되는 칼슘실리케이트 수화물과는 달리 비표면적이 큰 저칼슘형 수화물로서 시멘트페이스트 조직을 치밀하게 하여 물의 침투를 억제함으로써 수밀성을 향상시킨다.

2.3.3 고성능AE감수제

레미콘용 혼화재료(admixture)의 소비형태를 보면, 일반적으로 AE감수제(air entraining and water reducing agent)의 점유비가 지속적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 AE감수제의 사용량이 감소하였다기 보다는 레미콘의 품질향상을 위하여 여타 혼화재료의 사용량이 증가되고 있기 때문이다.

특히 고성능AE감수제(superplasticizer)의 사용량이 최근 들어 큰 폭으로 증가하고 있다. 고성능AE감수제는 기존의 감수제보다 시멘트 분산 성능이 우수하여 뛰어난 시멘트 분산효과를 이용하여 보통콘크리트와 동일한 작업성을 가지면서 W/C저감과 고강도화를 주목적으로 하는 경우 콘크리트의 강도와 유동성을 크게 개선시키는 혼화재료이다.

고성능AE감수제는 시멘트 입자의 분산 성능이 뛰어나기 때문에 감수 성능이 우수하며, 응결지연 및 과도한 공기연행, 강도저하 등의 나쁜 영향 없이 단위수량을 대폭 감소시킬 수 있다. 고성능AE감수제는 크게 주성분에 따라 폴리알킬아릴 설펜산염계, 멜라민포르말린수지 설펜산염계, 방향족다환축합물 설펜산염계 등으로 분류할 수 있고, 성능에 따라 표준형과 지연형으로 분류할 수 있으며 표 4와 같다.

표 4 고성능AE감수제의 성능

품질항목		종류	
		표준형	지연형
감수율 (%)		18 이상	18 이상
블리딩량비 (%)		60 이하	70 이하
응결시간차 (분)	초결	-30~+120	+90~+240
	종결	-30~+120	+240 이하
압축강도비 (%)	재령 3일	135 이상	135 이상
	재령 7일	125 이상	125 이상
	재령 28일	115 이상	115 이상
길이변화비 (%)		110 이하	110 이하
동결용해저항성 (%)		80 이상	80 이상
경시변화량 (60분)	슬럼프 (cm)	6.0 이하	6.0 이하
	공기량 (%)	±1.5 이내	±1.5 이내

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험파라미터

본 연구에서는 설계기준강도를 24MPa, 물-시멘트비(W/C) 45%, 슬럼프 15cm, 공기량 4.5%로 고정한다. 골재로는 부산근교 김해지역 석산에서 생산된 부순자갈 및 부순모래를 사용한다. 특히 잔골재는 부산근교 김해지역 석산에서 생산된 부순모래 70%와 낙동세사 30%를 혼합하여 사용하고 혼화재인 실리카흄과 플라이애쉬 사용량을 시멘트 단위중량의 5%, 10%, 15%로 변화시켜 사용한다. 각각의 실험파라미터는 표 5와 같다.

표 5 실험파라미터

구분	Slica Fume 혼입률 (%)	Fly Ash 혼입률 (%)
천연강모래를 사용한 콘크리트	0	0
	5	-
	10	-
	15	-
	-	5
	-	10
	-	15
부순모래 콘크리트	0	0
	5	-
	10	-
	15	-
	-	5
	-	10
	-	15

3.2 실험방법

3.2.1 부순골재의 품질 및 물성시험

부산근교 김해지역에서 생산된 부순자갈과 부순모래의 품질 및 물성을 파악하기 위하여 한국산업규격(Korean Standards, KS)에서 정하는 규정에 준하여 각종 시험을 실시한다.

1) 시료의 채취

골재의 대표적인 특성을 시험하기 위해 「KS F 2501 시료의 채취 방법」에 준하여 골재의 대표적 시료를 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 준하여 시험을 실시한다.

3) 굵은골재의 밀도 및 흡수율 시험

콘크리트의 단위중량의 결정, 굵은골재의 적부판정 및 골재 내부의 공극을 파악하고 사용수량을 조절하기 위해 「KS F 2503 굵은골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법」에 준하여 시험을 실시한다.

4) 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험

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

5) 단위용적질량 및 실적률 시험

골재의 공극률의 계산, 콘크리트의 배합설계 시 필요한 단위골재용적의 결정 및 골재의 입형을 판정하기 위해 「KS F 2505 골재의 단위용적질량 및 실적률 시험 방법」에 준하여 시험을 실시한다.

6) 안정성시험

골재를 사용한 콘크리트의 기상작용에 대한 내구성을 판단하기 위해 「KS F 2507 골재의 안정성 시험 방법」에 준하여 시험을 실시한다.

7) 마모시험

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

8) 유기불순물시험

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

3.2.2 부순모래 콘크리트의 제작

부순모래를 혼입한 콘크리트는 혼합용적(mixing capacity) 60ℓ인 수평형 팬믹서를 사용하여 제작한다. 콘크리트의 제작순서는 그림 5와 같이 먼저 잔골재(부순모래 및 낙동세사), 시멘트, 혼화재, 부순자갈 순으로 믹서에 투입하여 건비빔을 실시한 다음 배합수와 고성능AE감수제를 투입하여 콘크리트를 제작한다.

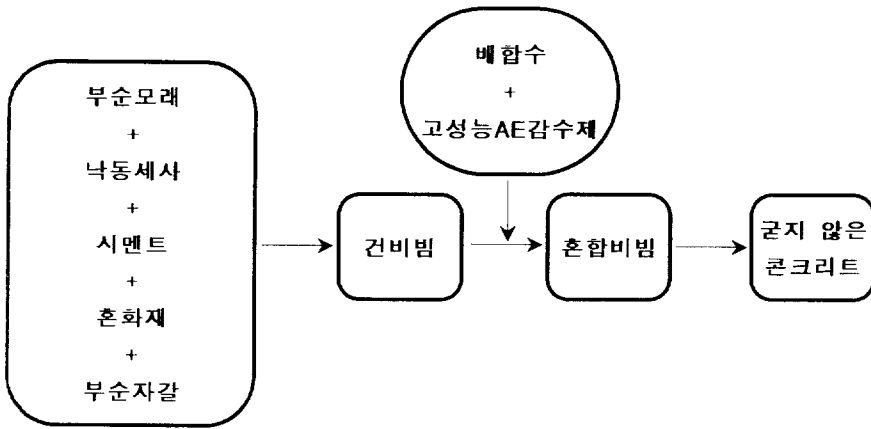


그림 1 부순모래 콘크리트의 제작과정

3.2.3 공시체의 제작 및 양생

한국산업규격에서 정하는 「KS F 2403 콘크리트의 강도시험용 공시체 제작 방법」에 준하여 표준몰드(∅100×200mm)를 사용하여 압축강도측정용 공시체를 제작한 다음, 원주공시체 상부의 재하면은 몰드를 제거하기 전에 캡핑(capping)을 실시한다. 캡핑은 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. 캡핑 시에

는 두께 6mm이상의 판유리나 두께 13mm이상이고 몰드의 지름보다 25mm이상 큰 최소면적을 가진 금속압판을 사용한다. 공시체의 단면이 0.05mm이상의 요철이 있으면 캐핑을 해야 되며 0.05mm이상의 요철이 있어서는 안 된다.

기준 공시체는 성형 후 몰드를 제거하고 시험 전까지 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 수중양생을 실시하고 실험 공시체는 탈형 후 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 10% 황산나트륨 용액에서 침적 양생을 시험 전까지 실시한다.

3.2.4 굳지 않은 콘크리트시험

1) 슬럼프시험

천연강모래를 사용한 굳지 않은 콘크리트와 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

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

3.2.5 경화한 콘크리트시험

1) 단위중량시험

단위중량시험은 천연강모래를 사용한 콘크리트와 부순모래 콘크리트의 혼화재 혼입률 변화에 따라 제작·양생된 콘크리트의 압축강도측정용 공시체의 중량을 수중양생재령 28일, 56일, 88일, 118일 그리고 침적양생재

령 28일, 60일, 90일에 측정하여 단위중량으로 환산한다. 단위중량의 측정 비교는 수중양생재령 28일을 기준으로 각각 수중양생 56일, 88일, 118일 그리고 침적양생재령 28일, 60일, 90일의 단위중량과 비교한다. 단위중량 측정 비교 실험개요는 그림 2와 같다.

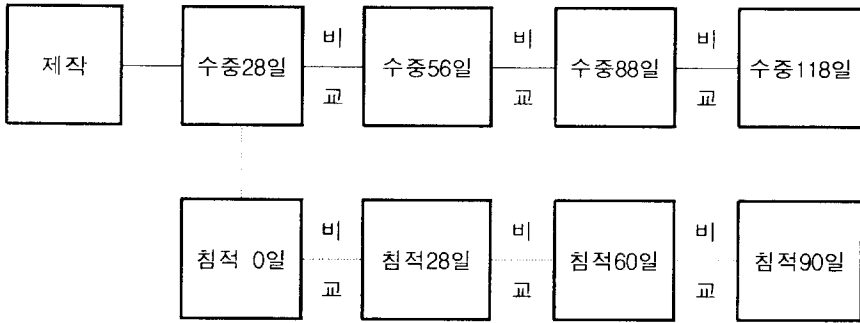


그림 2 단위중량 측정 비교 실험개요

2) 압축강도시험

압축강도시험은 「KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험 방법」에 준하여 실시하며, 생산지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따라 제작·양생된 공시체를 수중양생재령 28일, 56일, 88일, 118일과 침적양생재령 28일, 60일, 90일에 측정한다. 압축강도 비교는 그림 3과 같이 수중양생재령 56일과 침적양생재령 28일, 수중양생재령 88일과 침적양생재령 60일, 수중양생재령 118일과 침적양생재령 90일의 압축강도를 각각 비교한다. 압축강도 측정 비교 실험 개요는 그림 3과 같다.

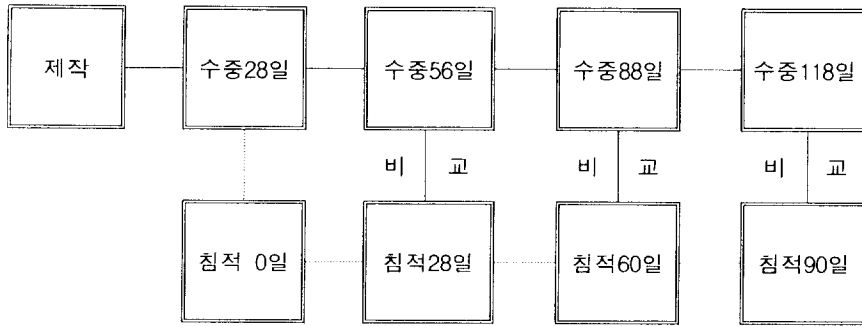


그림 3 압축강도 측정 비교 실험개요

3.3 사용재료

3.3.1 시멘트

본 연구에서는 국내 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하며, 물리·화학적 특성은 표 6과 같다.

표 6 보통포틀랜드시멘트의 특성

물리적 특성			화학조성 (%)					
밀도	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 혼화제

본 연구에서는 노르웨이 Elkem Co.에서 생산되는 분말 실리카흄과 국내 S사의 충남 보령산 플라이애쉬를 사용하며, 물리·화학적 특성은 표 7과 같다.

표 7 Slica Fume과 Fly Ash의 물리·화학적 특성

종류 \ 항목	밀도	형태	주성분	비표면적 (cm^2/g)
Slica Fume	2.2±0.05	구형	SiO ₂	15,000~30,000
Fly Ash	2.1±0.05	구형	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	2,000~4,500

3.3.3 부순골재

본 연구에서는 부산근교 김해지역에서 생산된 굵은골재 최대치수 25 mm인 부순자갈과 부순모래를 사용한다.

3.3.4 혼화제

본 연구에서는 국내 D사에서 생산되는 폴리카본산계의 고성능AE감수제를 사용하며, 물리·화학적 특성은 표 8과 같다.

표 8 고성능AE감수제의 물리·화학적 특성

종류 \ 항목	밀도	형태	pH	주성분
고성능AE감수제	1.04±0.05	연황색 액체	11.5±1.5	폴리카본산계

3.3.5 침적용액

본 연구에서는 국내 A사의 황산나트륨 1급 시약을 이용하여 촉진실험을 위한 10% 황산나트륨 용액을 제조사용하며, 콘크리트 표준시방서에 제시된 기준은 표 9와 같다.

표 9 황산염을 포함한 용액에 노출된 콘크리트의 최대 물-시멘트비(%)

황산염 노출정도	토양내의 수용성 황산염(SO ₄)	물 속의 황산염(ppm)	시멘트의 종류	물-시멘트비 (%)
무시할 수 있음	0.00~0.10	0~150	-	-
보통	0.10~0.20	150~1,500	보통포틀랜드시멘트+포졸란 플라이애쉬시멘트 중용열포틀랜드시멘트 고로슬래그시멘트	50
심함	0.20~2.00	1,500~10,000	내 황산염포틀랜드시멘트	45
매우 심함	2.00초과	10,000초과	내 황산염포틀랜드시멘트 +포졸란	45

3.3.6 배합수

본 연구에서는 생산지역별 부순골재를 혼입한 콘크리트를 배합하기 위하여 상용수로 사용되는 수도수를 사용한다.

3.4 배합설계

본 연구에서는 부산근교 김해지역에서 생산된 굵은골재 최대치수 25mm 부순자갈과 부순모래와 낙동강 세사의 혼합모래를 사용한 부순모래 콘크리트의 배합설계를 실시한다. 설계기준강도는 24MPa, 물-시멘트비(W/C)는 45%, 슬럼프 15cm, 공기량 4.5%로 고정한다. 상기한 내용을 기준으로 배합설계를 수행한 결과 표 10과 같은 시방배합표를 얻을 수 있었다.

표 10 천연강모래 및 부순모래 콘크리트 시방배합표

항목 모래 종류	f _{ck} (MPa)	G _{max} (mm)	W/C (%)	잔골 재율 (%)	슬럼프 (cm)	공기 량 (%)	단위중량 (kg/m ³)						
							물	시멘트	천연 강모래	낙동 강세사	부순 모래	부순 자갈	고성능 AE 감수제
천연 강모래	24	25	45.0	41.0	15	4.5	173	381	665	-	-	1063	0.95
부순모래				44.0					-	227	531	999	2.86

시방배합표의 배합사항을 기준으로 혼화재의 혼입률을 변화시켜 배합설계를 실시한 결과 표 11, 표 12, 표 13 및 표 14과 같다.

표 11 Slica Fume의 혼입률 변화에 따른 배합설계 (천연강모래)

항목 치환율	f _{ck} (MPa)	G _{max} (mm)	W/C (%)	잔골 재율 (%)	슬럼프 (cm)	공기 량 (%)	단위중량 (kg/m ³)					
							물	시멘트	Slica Fume	천연 강모래	부순 자갈	고성능 AE 감수제
5%	24	25	45.0	41.0	15	4.5	173	362	27	665	1063	1.43
10%								343	54			1.91
15%								324	81			2.38

표 12 Fly Ash의 혼입률 변화에 따른 배합설계 (천연강모래)

항목 치환율	f _{ck} (MPa)	G _{max} (mm)	W/C (%)	잔골 재율 (%)	슬럼 프 (cm)	공기 량 (%)	단위중량 (kg/m ³)					
							물	시멘트	Fly Ash	천연 강모래	부순 자갈	고성능 AE 감수제
5%	24	25	45.0	41.0	15	4.5	173	362	28	665	1063	0.48
10%								343	57			0.95
15%								324	85			1.43

표 13 Slica Fume의 혼입률 변화에 따른 배합설계 (부순모래)

항목 치환율	f _{ck} (MPa)	G _{max} (mm)	W/C (%)	잔골 재율 (%)	슬럼 프 (cm)	공기 량 (%)	단위중량 (kg/m ³)						
							물	시멘트	Slica Fume	낙동 세사	부순 모래	부순 자갈	고성능 AE 감수제
5%	24	25	45.0	44.0	15	4.5	173	362	27	227	531	999	3.81
10%								343	54				4.76
15%								324	81				5.72

표 14 Fly Ash의 혼입률 변화에 따른 배합설계 (부순모래)

항목 치환율	f _{ck} (MPa)	G _{max} (mm)	W/C (%)	잔골 재율 (%)	슬럼 프 (cm)	공기 량 (%)	단위중량 (kg/m ³)						
							물	시멘트	Slica Fume	낙동 세사	부순 모래	부순 자갈	고성능 AE 감수제
5%	24	25	45.0	44.0	15	4.5	173	362	28	227	531	999	2.38
10%								343	57				2.86
15%								324	85				3.33

4. 실험결과 및 고찰

4.1 부산근교 김해지역 부순골재의 특성

부산근교 김해지역 부순골재의 품질 및 물성시험결과는 표 15와 같다.

표 15 부산근교 김해지역 부순골재의 품질특성

항목		조립률	밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	마모율 (%)	단위용 적중량 (kg/m ³)	유기 불순물	0.08mm 체통과량 (%)	실적률 (%)	편장 석률 (%)	안정성 (%)
시료											
부 순 자 갈	KS 규격	6~8	2.5이상	3.0이하	40이하	-	-	1.0이하	55이상	20이하	12이하
	김해 지역	7.12	2.70	1.3	12	1494	-	0.2	55	8	3.2
부 순 모 래	KS 규격	-	2.5이상	3.0이하	-	-	표준색	7.0이하	53이상	-	10이하
	김해 지역	4.14	2.54	2.3	-	1690	담황색	3.8	67	-	2.0

표 15는 부산근교 김해지역 부순골재의 품질 및 물성을 나타낸 것이다. 여기서 골재의 입형을 판정하기 위하여 편장석률을 측정해 본 결과, KS규정치 20%이하를 만족하는 것으로 나타났으며, 기상작용에 대한 골재의 내구성을 조사하기 위한 안정성시험을 실시한 결과, 규정값을 역시 만족하는 것으로 나타났으며, 또한 부순자갈의 마모저항에 대한 조사를 하기 위해 마모시험을 실시한 결과, 규정값을 역시 만족했다.

부순모래의 경우에는 조립률이 4.14로 다소 높게 나타났으나 밀도 및 단위용적중량은 KS 규정을 만족하는 것으로 나타났다. 잔골재 중에 함유되어있는 유기불순물의 함유정도를 파악하기 위한 유기불순물시험을 실시한 결과, 표준용액의 황적색보다 연한 담황색으로 우수한 품질의 콘

크리트 생산에 사용이 가능한 것으로 나타났다. 부순모래에 포함된 미립분의 양을 파악하기 위해 0.08mm체 통과량시험을 실시한 결과, 3.8%로 역시 KS 규정을 만족하는 것으로 나타났다.

4.2 굳지 않은 부순모래 콘크리트의 품질특성

부산근교 김해지역에서 생산된 부순모래 70%와 낙동세사 30%를 혼합 사용한 굳지 않은 부순모래 콘크리트의 기초특성을 파악하기 위해 슬럼프 및 공기량시험을 실시한 결과는 표 16과 같다.

표 16 혼화재의 혼입률 변화에 따른 굳지 않은 부순모래 콘크리트의 특성

잔골재의 종류	혼입률 (%)	고성능AE감수제 (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)
천연강모래	Control	0.25	15	4.5
	Slica Fume 5%	0.375	17	4.7
	Slica Fume 10%	0.5	15	4.8
	Slica Fume 15%	0.625	14	4.8
	Fly Ash 5%	0.125	17	3.8
	Fly Ash 10%	0.25	15	3.8
	Fly Ash 15%	0.375	17	3.9
부순모래+낙동세사	Control	0.75	15	4.5
	Slica Fume 5%	1.0	17	4.3
	Slica Fume 10%	1.25	15	4.1
	Slica Fume 15%	1.5	14	4.1
	Fly Ash 5%	0.625	15	3.8
	Fly Ash 10%	0.75	17	4.0
	Fly Ash 15%	0.875	15	3.9

표 16를 살펴보면 부순모래 콘크리트의 경우 소요 유동성을 갖추기 위한 고성능AE감수제의 사용량이 천연강모래를 사용한 콘크리트에 비해 많았으며 공기량은 천연강모래를 사용한 콘크리트와 부순모래 콘크리트 모두 플라이애쉬를 사용한 경우 다소 작게 나타났다. 이는 플라이애쉬의 미연탄소의 공기흡착에 의한 것으로 판단된다.

4.3 경화한 콘크리트의 특성

천연강모래를 사용한 콘크리트와 부산근교 김해지역에서 생산된 부순모래와 낙동세사를 사용한 부순모래 콘크리트에 혼화재 실리카흙과 플라이애쉬의 사용량을 각각 시멘트 단위중량의 5%, 10%, 15%로 변화시켜 제작하였다. 이렇게 제작된 콘크리트 공시체를 수중양생재령 28일, 56일, 88일, 118일과 10% 황산나트륨 용액 침적양생재령 28일, 60일, 90일에 단위중량과 압축강도를 측정하였다.

4.3.1 단위중량

천연강모래를 사용한 콘크리트와 부산근교 김해지역에서 생산된 부순모래와 낙동세사를 사용한 부순모래 콘크리트에 혼화재 실리카흙과 플라이애쉬의 사용량을 각각 시멘트 단위중량의 5%, 10%, 15%로 변화시켜 제작하였다. 이렇게 제작된 콘크리트 공시체를 수중양생재령 28일, 56일, 88일, 118일과 10% 황산나트륨 용액 침적양생재령 28일, 60일, 90일에 단위중량을 측정하였다. 그 결과는 표 17~표 28과 같으며 수중양생시킨 공시체와 침적양생시킨 공시체의 단위중량을 비교한 결과는 그림 4~그림 5와 같다. 여기서 단위중량변화율은 $(\text{침적양생 단위중량} - \text{수중양생 단위중량}) / \text{수}$

중양생 단위중량×100(%)이다. 그림에서 계속 수중 양생시킨 콘크리트가 황산나트륨 용액에 침적 양생시킨 콘크리트보다 더 높은 단위중량 변화율을 보였다. 혼화재의 사용량과 단위중량변화율은 비례관계를 나타냈으나 양생기간과 단위중량 변화율의 증가분은 반비례관계를 나타냈다.

표 17 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (수중재령 56일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)
천연강모래	Control	2379.1
	Slica Fume 5%	2400.3
	Slica Fume 10%	2405.9
	Slica Fume 15%	2410.3
	Fly Ash 5%	2397.9
	Fly Ash 10%	2403.5
	Fly Ash 15%	2406.8

표 18 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (수중재령 88일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)
천연강모래	Control	2396.8
	Slica Fume 5%	2412.9
	Slica Fume 10%	2420.8
	Slica Fume 15%	2424.8
	Fly Ash 5%	2408.9
	Fly Ash 10%	2410.8
	Fly Ash 15%	2415.0

표 19 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (수중재령 118일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)
천연강모래	Control	2400.3
	Slica Fume 5%	2420.3
	Slica Fume 10%	2424.5
	Slica Fume 15%	2428.4
	Fly Ash 5%	2419.5
	Fly Ash 10%	2423.5
	Fly Ash 15%	2428.3

표 20 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (침적재령 28일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)
천연강모래	Control	2373.2
	Slica Fume 5%	2397.8
	Slica Fume 10%	2400.8
	Slica Fume 15%	2405.8
	Fly Ash 5%	2395.8
	Fly Ash 10%	2399.5
	Fly Ash 15%	2405.3

표 21 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (침적재령 60일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)
천연강모래	Control	2380.4
	Slica Fume 5%	2410.3
	Slica Fume 10%	2411.4
	Slica Fume 15%	2415.1
	Fly Ash 5%	2408.9
	Fly Ash 10%	2410.8
	Fly Ash 15%	2415.0

표 22 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (침적재령 90일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)
천연강모래	Control	2388.4
	Slica Fume 5%	2411.8
	Slica Fume 10%	2415.8
	Slica Fume 15%	2417.6
	Fly Ash 5%	2411.7
	Fly Ash 10%	2414.8
	Fly Ash 15%	2418.0

표 23 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (수중재령 56일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)
부순모래	Control	2407.3
	Slica Fume 5%	2420.1
	Slica Fume 10%	2424.5
	Slica Fume 15%	2430.1
	Fly Ash 5%	2407.8
	Fly Ash 10%	2412.8
	Fly Ash 15%	2417.3

표 24 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (수중재령 88일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)
부순모래	Control	2413.3
	Slica Fume 5%	2426.2
	Slica Fume 10%	2430.5
	Slica Fume 15%	2434.2
	Fly Ash 5%	2415.2
	Fly Ash 10%	2420.9
	Fly Ash 15%	2425.8

표 25 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (수중재령 118일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)
부순모래	Control	2424.3
	Slica Fume 5%	2433.1
	Slica Fume 10%	2438.3
	Slica Fume 15%	2442.1
	Fly Ash 5%	2423.9
	Fly Ash 10%	2429.3
	Fly Ash 15%	2435.1

표 26 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (침적재령 28일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)
부순모래	Control	2401.3
	Slica Fume 5%	2418.2
	Slica Fume 10%	2421.3
	Slica Fume 15%	2428.1
	Fly Ash 5%	2405.2
	Fly Ash 10%	2410.3
	Fly Ash 15%	2415.3

표 27 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (침적재령 60일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)
부순모래	Control	2405.2
	Slica Fume 5%	2424.5
	Slica Fume 10%	2427.7
	Slica Fume 15%	2431.2
	Fly Ash 5%	2410.3
	Fly Ash 10%	2417.8
	Fly Ash 15%	2422.3

표 28 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 단위중량 (침적재령 90일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	단위중량 (kg/m ³)
부순모래	Control	2418.7
	Slica Fume 5%	2429.2
	Slica Fume 10%	2431.2
	Slica Fume 15%	2436.7
	Fly Ash 5%	2418.9
	Fly Ash 10%	2423.8
	Fly Ash 15%	2432.2

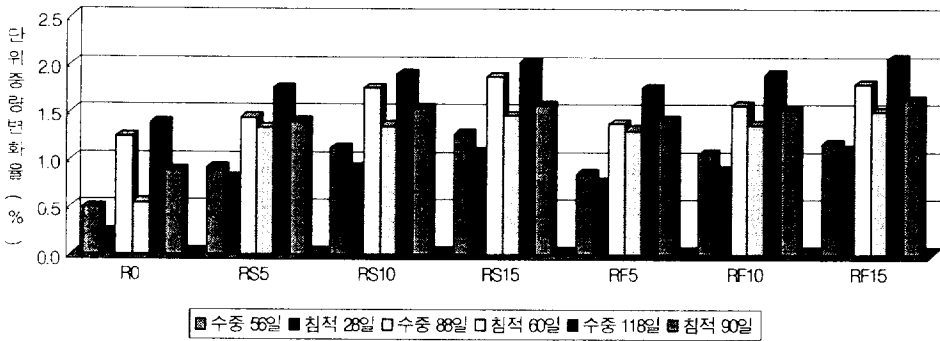


그림 4 천연강모래를 사용한 콘크리트의 침적재령별 단위중량 변화율

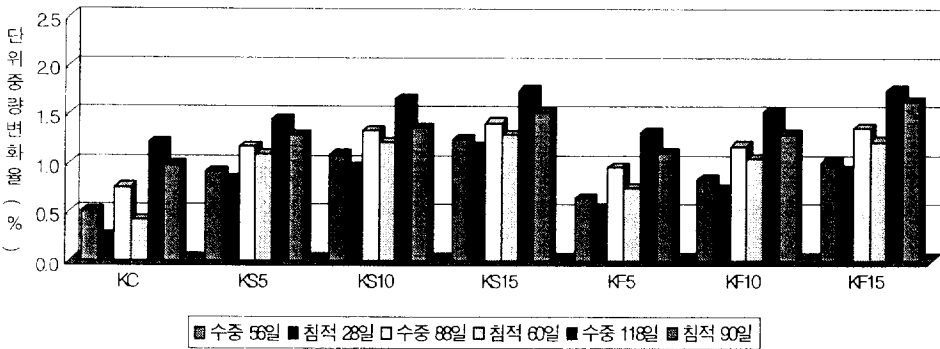


그림 5 부순모래 콘크리트의 침적재령별 단위중량 변화율

4.3.2 압축강도

천연강모래를 사용한 콘크리트와 부산근교 김해지역에서 생산된 부순모래와 낙동세사를 사용한 부순모래 콘크리트에 혼화재 실리카흄과 플라이애쉬의 사용량을 각각 시멘트 단위중량의 5%, 10%, 15%로 변화시켜 제작하였다. 이렇게 제작된 콘크리트를 수중양생재령 28일, 56일, 88일, 118일과 10% 황산나트륨 용액 침적양생재령 28일, 60일, 90일에 압축강도를 측정하였다. 그 결과는 표 29~표 40과 같으며 수중 양생시킨 공시체와 침적양생시킨 공시체의 압축강도를 비교한 결과는 그림 6~그림 7과 같다. 여기서 압축강도 변화율은 (침적양생 압축강도-수중양생 압축강도)/수중양생 압축강도×100(%)이다. 그림에서 혼화재의 사용량과 압축강도 감소율 그리고 양생기간과 압축강도 감소율 모두 반비례관계를 나타냈다.

표 29 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (수중재령 56일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	압축강도 (MPa)
천연강모래	Control	33.0
	Slica Fume 5%	44.6
	Slica Fume 10%	47.7
	Slica Fume 15%	50.3
	Fly Ash 5%	37.2
	Fly Ash 10%	38.8
	Fly Ash 15%	39.0

표 30 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (침적재령 28일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	압축강도 (MPa)
천연강모래	Control	33.0
	Slica Fume 5%	44.0
	Slica Fume 10%	46.9
	Slica Fume 15%	49.0
	Fly Ash 5%	35.1
	Fly Ash 10%	37.1
	Fly Ash 15%	38.1

표 31 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (수중재령 88일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	압축강도 (MPa)
천연강모래	Control	35.3
	Slica Fume 5%	45.8
	Slica Fume 10%	50.1
	Slica Fume 15%	54.8
	Fly Ash 5%	40.1
	Fly Ash 10%	41.6
	Fly Ash 15%	42.1

표 32 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (침적재령 60일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	압축강도 (MPa)
천연강모래	Control	34.2
	Slica Fume 5%	44.8
	Slica Fume 10%	48.3
	Slica Fume 15%	52.4
	Fly Ash 5%	38.4
	Fly Ash 10%	40.3
	Fly Ash 15%	41.4

표 33 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (수중재령 118일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	압축강도 (MPa)
천연강모래	Control	37.1
	Slica Fume 5%	46.2
	Slica Fume 10%	50.3
	Slica Fume 15%	55.2
	Fly Ash 5%	42.3
	Fly Ash 10%	43.4
	Fly Ash 15%	44.3

표 34 천연강모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (침적재령 90일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	압축강도 (MPa)
천연강모래	Control	34.5
	Slica Fume 5%	44.3
	Slica Fume 10%	47.5
	Slica Fume 15%	52.0
	Fly Ash 5%	41.1
	Fly Ash 10%	42.3
	Fly Ash 15%	43.7

표 35 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (수중재령 56일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	압축강도 (MPa)
부순모래	Control	37.1
	Slica Fume 5%	46.5
	Slica Fume 10%	52.9
	Slica Fume 15%	55.6
	Fly Ash 5%	39.5
	Fly Ash 10%	43.3
	Fly Ash 15%	47.8

표 36 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (침적재령 28일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	압축강도 (MPa)
부순모래	Control	36.5
	Slica Fume 5%	45.5
	Slica Fume 10%	51.5
	Slica Fume 15%	54.0
	Fly Ash 5%	37.2
	Fly Ash 10%	41.2
	Fly Ash 15%	46.7

표 37 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (수중재령 88일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	압축강도 (MPa)
부순모래	Control	39.0
	Slica Fume 5%	49.0
	Slica Fume 10%	53.1
	Slica Fume 15%	56.9
	Fly Ash 5%	45.0
	Fly Ash 10%	49.1
	Fly Ash 15%	49.5

표 38 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (침적재령 60일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	압축강도 (MPa)
부순모래	Control	37.8
	Slica Fume 5%	47.5
	Slica Fume 10%	51.0
	Slica Fume 15%	53.5
	Fly Ash 5%	42.9
	Fly Ash 10%	47.5
	Fly Ash 15%	48.5

표 39 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (수중재령 118일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	압축강도 (MPa)
부순모래	Control	40.5
	Slica Fume 5%	50.3
	Slica Fume 10%	53.9
	Slica Fume 15%	57.0
	Fly Ash 5%	50.2
	Fly Ash 10%	52.6
	Fly Ash 15%	53.3

표 40 부순모래를 사용한 경화한 콘크리트의 압축강도 (침적재령 90일)

잔골재 종류	혼입률 (%)	압축강도 (MPa)
부순모래	Control	37.5
	Slica Fume 5%	48.0
	Slica Fume 10%	51.0
	Slica Fume 15%	53.2
	Fly Ash 5%	48.8
	Fly Ash 10%	51.3
	Fly Ash 15%	52.4

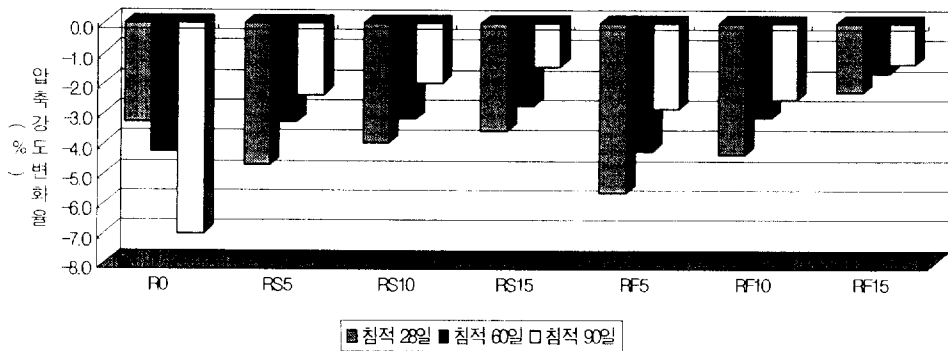


그림 6 천연강모래를 사용한 콘크리트의 침적재령별 압축강도 변화율

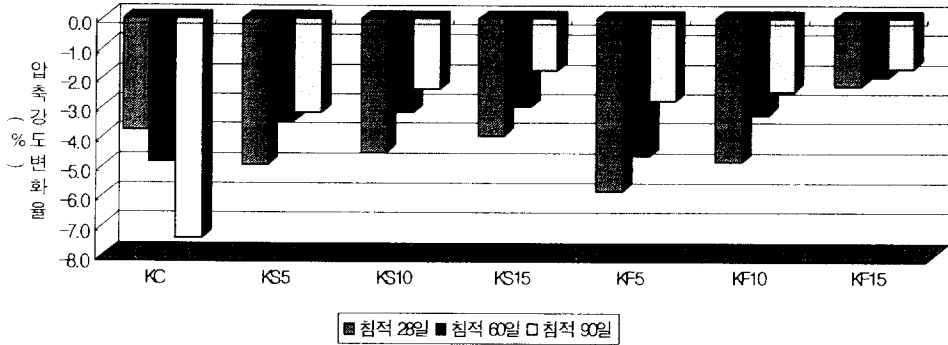


그림 7 부산모래 콘크리트의 침적재량별 압축강도 변화율

4.3.3 실리카흙을 사용한 콘크리트의 황산염 저항성 평가

천연강모래를 사용한 콘크리트와 부산근교 김해지역에서 생산된 부산모래와 낙동세사를 사용한 부산모래 콘크리트에 혼화재 실리카흙의 사용량을 각각 시멘트 단위중량의 5%, 10%, 15%로 변화시켜 제작하였다. 이렇게 제작된 콘크리트 공시체를 수중양생재령 28일, 56일, 88일, 118일과 10% 황산나트륨 용액 침적양생재령 28일, 60일, 90일에 단위중량과 압축강도를 측정하여 비교한 결과는 그림 8~그림 9와 같으며 혼화재의 사용량에 비례하여 단위중량이 증가하였으며 양생기간의 증가에 따라 단위중량의 증가분이 감소하였다. 또한 전반적으로 부산모래 콘크리트의 단위중량의 증가율이 천연강모래를 사용한 콘크리트에 비해 작게 나타났다. 압축강도 감소율은 양생기간에 반비례하였으며 부산모래 콘크리트의 압축강도 감소율이 천연강모래를 사용한 콘크리트의 압축강도 감소율 보다 다소 크게 나타났다.

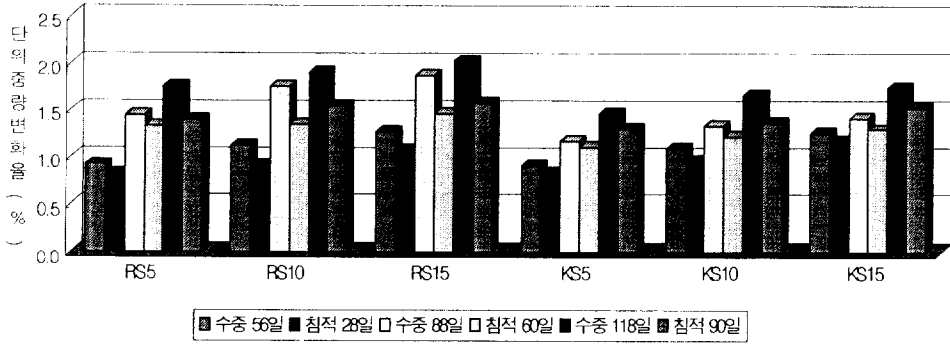


그림 8 실리카흙을 사용한 콘크리트의 침적재령별 단위중량 변화율

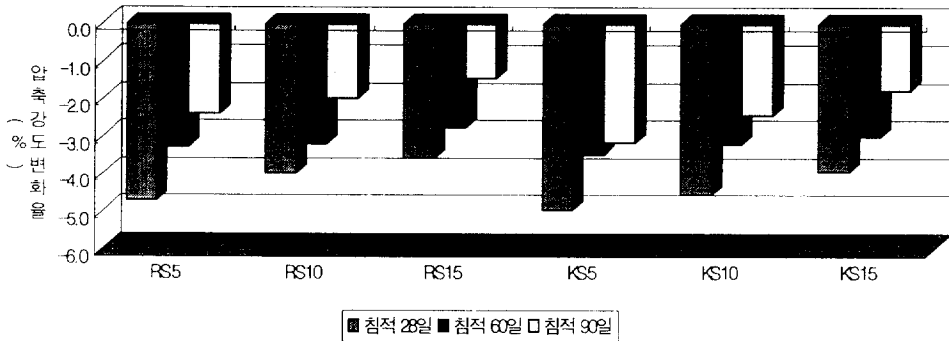


그림 9 실리카흙을 사용한 콘크리트의 침적재령별 압축강도 변화율

4.3.4 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 황산염 저항성 평가

천연강모래를 사용한 콘크리트와 부산근교 김해지역에서 생산된 부순모래와 낙동세사를 사용한 부순모래 콘크리트에 혼화재 플라이애쉬의 사용량을 각각 시멘트 단위중량의 5%, 10%, 15%로 변화시켜 제작하였다. 이렇게 제작된 콘크리트 공시체를 수중양생재령 28일, 56일, 88일, 118일과 10% 황산나트륨 용액 침적양생재령 28일, 60일, 90일에 단위중량과 압축강도를 측정하여 비교한 결과는 그림 10~그림 11과 같으며 단위중량 변

화율은 실리카흙을 사용한 경우와 유사한 경향으로 혼화재의 사용량에 비례해 단위중량이 증가하였으며 양생기간의 증가에 따라 단위중량의 증가분이 감소하였다. 또한 전반적으로 부순모래 콘크리트의 단위중량의 증가율이 천연강모래를 사용한 콘크리트에 비해 작게 나타났다. 압축강도 감소율은 실리카흙을 사용한 경우와 유사한 경향으로 혼화재의 사용량과 양생기간에 비례하여 압축강도 감소율이 감소하였으며 부순모래 콘크리트의 압축강도 감소율이 천연강모래를 사용한 콘크리트의 압축강도 감소율보다 다소 크게 나타났다.

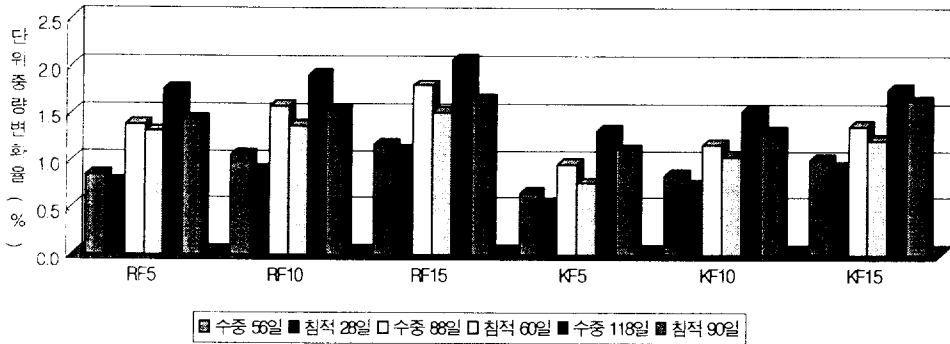


그림 10 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 침적재령별 단위중량 변화율

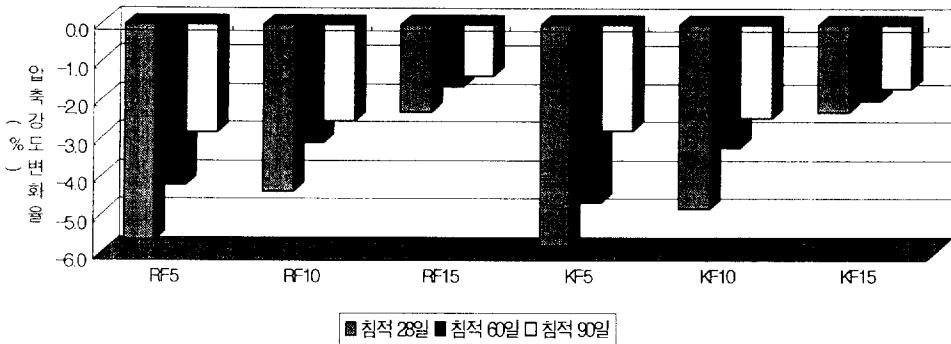


그림 11 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 침적재령별 압축강도 변화율

5. 결 론

본 연구에서는 부산근교 김해지역에서 생산된 부순골재의 품질특성과 부순모래 70%와 낙동세사 30%를 혼합한 혼합모래를 사용한 부순모래 콘크리트에 혼화재 실리카흙과 플라이애쉬의 혼입률을 시멘트 단위중량의 5%, 10%, 15% 치환하여 황산염 침해에 대한 저항을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 부산근교 김해지역에서 생산된 부순골재의 품질은 KS 규격을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 콘크리트의 작업성을 나타내는 유동성, 충전성에 영향을 미치는 입형 또한 모두 양호한 것으로 나타났다.

(2) 부순모래 콘크리트가 천연강모래를 사용한 콘크리트보다 더 높은 압축강도를 발현한다는 것은 이미 여러 실험연구에서 검증된 연구결과이나 이번 실험에서 부순모래 콘크리트와 천연강모래를 사용한 콘크리트의 단위중량과 압축강도를 비교해본 결과 부순모래 콘크리트가 황산염 침해에 대한 저항성이 다소 낮음을 알 수가 있었다.

(3) 실리카흙을 시멘트 단위중량의 각각 5%, 10%, 15%로 변화시켜 사용한 콘크리트의 단위중량과 압축강도를 천연강모래를 사용한 콘크리트와 비교분석한 결과 황산염 침해에 대한 양호한 저항성을 보였으며 또한 실리카흙 치환율 15%까지의 사용량에 비례하여 증진하였다.

(4) 플라이애쉬를 시멘트 단위중량의 각각 5%, 10%, 15%로 변화시켜 사용한 콘크리트의 단위중량과 압축강도를 천연강모래를 사용한 콘크리트와 비교분석한 결과 황산염 침해에 대한 양호한 저항성을 보였으며

또한 플라이애쉬 치환율 15%까지의 사용량에 비례하여 증진하였다. 장기강도가 큰 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 경우 양생기간에 비례하여 황산염 침해 저항성이 개선됨을 알 수가 있었다.

(5) 부순모래 콘크리트의 황산염 침해 저항성을 보완하기 위한 혼화재 실리카흙과 플라이애쉬를 시멘트 단위중량의 5%, 10%, 15% 치환하여 사용한 결과 실리카흙과 플라이애쉬 모두 단위중량과 압축강도 측면에서 황산염 침해에 대한 양호한 저항성을 보였다.

(6) 따라서 부순모래 콘크리트의 황산염 침해에 대한 저항성을 보완하기 위한 혼화재로서 실리카흙과 플라이애쉬의 사용이 황산염 침해에 대한 저항 효과가 유효함을 알 수가 있었다.

(7) 향후 연구과제는 부순모래 콘크리트의 황산염 침해에 대한 장기적인 거동과 해양환경하의 염해에 대한 내구성 문제, 고유동, 고강도를 확보할 수 있는 고성능콘크리트에 대한 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 한천구, 반호영, 윤기원, 유현기, “부순모래 치환 잔골재를 이용한 콘크리트의 배합설계에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집, 제11권, 10호, 1995. 10.
2. 한국콘크리트학회편, “부순모래 및 부순모래 콘크리트”, 1998. 6.
3. 한천구, “콘크리트의 특성과 배합설계”, 기문당, 1998. 7.
4. 박영식, 서진국, 이재훈, 신영식, “황산염의 침해를 받는 고강도 콘크리트의 강도특성과 물성변화”, 콘크리트학회지, 제10권, 5호, 1998. 10.
5. 최재진, 최연왕, 김기형, “최신토목재료학”, 기문당, 2000.1.
6. 한국콘크리트학회, “콘크리트표준시방서 해설집”, 기문당, 2004. 2.
7. 염치선, “부순골재를 사용한 콘크리트의 특성 및 활용방안”, 석사학위논문, 부경대학교, 2004. 8.
8. 한국콘크리트학회, “최신큰크리트공학”, 기문당, 2004. 12.
9. 한국콘크리트학회, “특수콘크리트공학”, 기문당, 2004. 12.
10. 배원만, “부산근교에서 생산된 부순골재를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 석사학위논문, 부경대학교, 2005. 2.
11. Ahmed E. Ahmed and Ahmed A. EI-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.
12. Adam Neville, “Properties of Concrete”, 4rd Ed., Wiley, 1997
13. Sidney Mindess, J. Francis Young, and David Darwin, “Concrete, 2rd Ed.”, Prentice Hall, 2003
14. Cohen et al., “Mechanism of sulfate attack”, Cement and Concrete Research Vol. 33, pp. 341~346, 2003
15. Adam Neville, “The confused world of sulfate attack on concrete”, Cement and Concrete Research Vol. 34, pp. 1275~1296, 2004

感謝의 글

장마가 한창인 7월의 시작인 지금, 들판의 곡식들도 하나들 그 결실의 열매를 보여주고 있듯이, 오래전부터 준비해 온 논문이 드디어 그 결실을 맺게 되었습니다. 만학의 길에 들어선지 엇그제 같은데 어느새 그 결과를 맺어야 하는 순간에 도달하고 보니 아쉬움이 많이 남는 것 같습니다.

먼저, 본 논문이 완성되기까지 아낌없는 가르침과 조언으로 이끌어주신 김명식 교수님의 은혜에 깊은 감사를 드립니다.

또한 부족한 저의 논문을 심사하시며, 교정하여 주신 장희석 교수님, 이환우 교수님께도 무한한 감사를 드립니다.

그리고 그 동안 저에게 푸근한 사랑과 충고, 격려를 아끼지 않으신 김상용 교수님, 손인식 교수님, 이동욱 교수님, 이종출 교수님, 이영대 교수님, 이종섭 교수님, 정진호 교수님, 국승규 교수님, 김수용 교수님, 정두희 교수님, 이환우 교수님, 이상호 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

아울러, 본 논문이 완성되기까지 많은 도움을 준 연구실 박사수료의 백동일님, 석사과정의 김강민군과 김태영군에게 깊은 고마움의 마음을 드리며, 더불어 실험에 많은 도움을 준 콘크리트연구회 동아리 학생들에게도 감사를 드립니다.

오늘이 있기까지 사랑과 격려를 아껴주지 않았던 주변 동료, 선배님들에게 깊은 감사의 마음을 드리고, 항상 변함없는 사랑으로 뒷바라지 해준 아내와 사랑스러운 보현이, 지훈이와 이 기쁨을 영원히 함께 나누고자 합니다.