

석산에서 생산되는 부순골재의 재료 특성에 관한 연구

백동일^{1)*}·염치선¹⁾·김명식¹⁾

¹⁾ 부경대학교 토목공학과

(2005년 1월 31일 원고접수, 2005년 7월 30일 심사완료)

A Experimental Study on the Material Characteristics of Crushed Aggregate Produced in Quarry

Dong-II Baek^{1)*}, Chi-Sun Youm¹⁾, and Myung-Sik Kim¹⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Pukyung National University, Busan, 608-739, Korea

(Received January 31, 2005, Accepted July 30, 2005)

ABSTRACT

An investigation for long-term strength characteristics of crushed sand concrete using crushed sands produced in Yang-san, Kim-hae and Jin-hae that can be assumed to respectively represent eastern, middle and western suburbs of Busan has been carried out. Concrete is composed of 70~80% of aggregates in whole volume so the effect of aggregates quality to the characteristics of concrete is very important. Since 1980s, aggregates used in concrete have already been substituted crushed stone because of the exhaustion of natural gravel and sand. Crushed sand tends to increase in using quantity because of the prohibition of sea sand picking and deterioration of river sand. Crushed sand is blended with river sand in order to investigate the quality changes and characteristics of concrete as variation of blend ratio of crushed sand (50, 60, 70, 80, 90, 100%). Slump and air content were measured to investigate the properties of fresh concrete. Unit weight, compressive strength and modulus of elasticity in age of 7, 28, 60, 90, 180 days were measured to investigate properties of hardened concrete. Compressive strength, unit weight and modulus of elasticity were increased with a passage of time and they are expected to keep on increasing in long-term age as well. The experimental results of the qualities of crushed aggregates in each producing area, were all satisfied with Korea Standard. The results of the measurement of slump exposed that slump preferably decreased as mixing rate increased till 70~80% but it increased to mixing rate 70~80%. The air content was exposed that it decreased by micro filler phenomenon according to that crushed sand blended ratio increased. According to the result of measuring unit weight in age of 7, 28, 60, 90, 180days, it increased in accordance with that blended ratio of crushed aggregates increases. As a result of measuring compressive strength and modulus of elasticity in age of 7, 28, 60, 90, 180days, compressive strength was highest when it is 70% of blended ratio.

Keywords : crushed aggregates, air content, unit weight, compressive strength, modulus of elasticity

1. 서 론

콘크리트를 구성하고 있는 재료 중 골재가 차지하는 비율은 전체 용적의 약 70~80%이므로, 골재의 품질이 콘크리트 특성에 미치는 영향은 매우 중요하다. 골재 중 굵은 골재는 천연자갈의 고갈로 인하여 이미 1980년대부터 부순자갈로 대체되어 왔기 때문에 수급과 품질에 별 문제 가 없다.

그러나 잔골재의 경우에는 최근에 양질의 천연골재가 거의 고갈되어 가고 있어 대체골재의 개발 문제가 큰 과

제이다. 더욱이 최근의 대규모 토목공사, 재개발, 재건축 등의 증가로 인해 골재 소비량은 계속 증가하고 있으나, 해사채취 및 하천준설 등을 통한 천연 골재의 채취 과정과 석산 개발 등 대체 골재의 개발 과정에서 자연환경이 훼손되는 문제로 인하여 환경 단체와 주민들이 심하게 반발하고 있어 잔골재의 확보가 더욱 어려워지고 있다. 더구나 영·호남지역의 잔골재 공급원인 신안·진도 앞바다의 바다모래 채취마저 최근에 전면 금지되면서 대체골재로 부순모래의 사용량이 더욱 증가하고 있는 추세이다.¹⁻²⁾ 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 가능하

* Corresponding author

E-mail : qt418@mail1.pknu.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

다. 이럴 경우 부순모래의 생산량은 부순자갈 생산량의 35%에 이르는 막대한 양의 생산이 가능하게 된다. 따라서 매립되고 있는 석분을 부순모래로 활용할 수 있는 방안이 강구되어야 하겠다.¹⁻⁵⁾

우리나라의 경우 부순모래를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구가 점진적으로 진행되어오고 있으나, 지역별 암질의 특성에 따른 부순골재의 품질 특성과 그에 따른 콘크리트의 특성에 대하여는 그 연구 실적이 거의 전무한 실정이다. 부순골재를 콘크리트의 제조에 사용하는 경우에 있어서도 표면수, 흡수율 및 입도 변동 발생시 레미콘 제조 관리 방법에 대한 기준안(적용방법 등) 확립이 절실한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 부산 근교의 동부지역, 중부지역 및 서부지역을 대표한다고 할 수 있는 양산지역, 김해지역 및 진해지역의 석산에서 생산되는 부순골재(부순자갈, 부순모래)의 품질 특성을 분석·평가해보기로 한다. 그리고 낙동강모래에 각 생산 지역별 부순모래를 50~100%로 혼입률을 변화시킨 혼합모래⁶⁾와 이들을 사용한 콘크리트의 각종 품질 특성을 관찰해 보기로 한다. 또한 이러한 품질 특성을 상기한 3개 지역에 인접해 있는 각 지역 대표 레미콘사에서 실제로 생산하고 있는 레미콘과의 비교·검토⁷⁾를 통하여 실무 적용을 위한 기초 자료로 제시하고자 한다.

2. 사용 재료 및 배합설계

2.1 사용 재료

2.1.1 시멘트

본 연구에서는 국내 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하며, 그 물리·화학적 특성은 Table 1과 같다.

2.1.2 골재

본 연구에서 사용된 골재는 양산지역, 김해지역 및 진해지역에서 생산된 최대치수가 25mm인 부순자갈과 부순모래(CS)이다. 그리고 부산 근교에서 가장 대표적으로 사용되고 있는 낙동강에서 채취한 강모래(RS)를 사용한다.

2.1.3 혼화제

본 연구에서는 국내 A사에서 생산되는 멜라민계의 고성능감수제(SP)를 사용하며, 물리·화학적 특성은 Table 2와 같다.

2.2 배합설계⁸⁻¹¹⁾

본 연구에서는 설계기준강도 23.5 MPa, W/C 46.6%로 하고, 슬럼프 15±2.5cm, 공기량은 4.5±1.5%를 목표로 하

Table 1 Physical properties & Chemical Composition of ordinary portland cement

Specific gravity	Physical properties		Chemical composition (%)					
	Ignition loss (%)	Insoluble residue (%)	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

Table 2 Physical & Chemical properties of admixtures

Item Kind	Main ingredient	pH	Specific gravity	Phase
Superplasticizer	Melamine	11.5±1.5	1.22±0.02	Light-brown liquid

Table 3 Standard mix proportion

	f _{ck} (MPa)	W/C (%)	Slump (cm)	Air cont (%)	G _{max} (mm)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				
							W	C	S	G	SP
Y*			15	4.5		45.7	179	384	774	949	1.92
K*	23.5	46.6	±	±	25	48.0	179	384	811	919	1.92
J*			2.5	1.5		43.4	179	384	755	997	19.2

* Y: Yang-san suburb, K: Kim-hae suburb, J: Jin-hae suburb

Table 4 Mix proportion in Yang-san suburb

Blended ratio	f _{ck} (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					
				W	C	RS	CS	G	SP
Remicon	23.5	46.5	46.1	173	372	257	600	948	1.86
50%	23.5	46.6	38.9	179	384	325	325	1,067	1.92
60%	23.5	46.6	40.4	179	384	271	406	1,042	1.92
70%	23.5	46.6	41.4	179	384	206	480	1,025	1.92
80%	23.5	46.6	41.8	179	384	154	543	1,018	1.92
90%	23.5	46.6	44.3	179	384	74	665	974	1.92
100%	23.5	46.6	45.7	179	384	0	774	949	1.92

Table 5 Mix proportion in Kim-hae suburb

Blended ratio	f _{ck} (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					
				W	C	RS	CS	G	SP
Remicon	23.5	53.2	47.2	184	346	295	527	973	1.73
50%	23.5	46.6	40.9	179	384	351	351	1,044	1.92
60%	23.5	46.6	43.2	179	384	294	441	1,004	1.92
70%	23.5	46.6	44.4	179	384	227	529	983	1.92
80%	23.5	46.6	47.3	179	384	161	644	931	1.92
90%	23.5	46.6	47.4	179	384	82	737	931	1.92
100%	23.5	46.6	48.0	179	384	0	811	918	1.92

Table 6 Mix proportion in Jin-hae suburb

Blended Ratio	f _{ck} (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					
				W	C	RS	CS	G	SP
Remicon	23.5	52.5	47.7	188	358	336	520	938	1.79
50%	23.5	46.6	39.6	179	384	338	338	1,064	1.92
60%	23.5	46.6	40.6	179	384	280	420	1,045	1.92
70%	23.5	46.6	41.4	179	384	214	500	1,032	1.92
80%	23.5	46.6	42.0	179	384	146	585	1,022	1.92
90%	23.5	46.6	42.9	179	384	75	673	1,005	1.92
100%	23.5	46.6	43.4	179	384	0	755	997	1.92

였고, 부순모래의 혼입률은 100%로 하여 양산지역, 김해 지역 및 진해지역에 대하여 배합설계를 실시한 결과 Table 3과 같은 기준시방배합표를 얻을 수 있었다.

Table 3의 기준시방배합표를 중심으로 각 생산 지역별 부순모래를 각각 50~100%까지 혼입률을 10%씩 변화시켜 배합 설계를 실시한 결과는 Tables 4~6과 같다. 특히 배합설계시 잔골재율에 영향을 미치는 각 혼합모래(강모래+부순모래)의 조립률에 따라 배합을 보정하였으며, 혼입률별 골재의 전체 용적에 부순모래의 혼입률이 50~100%로 각각 10%씩 변화되도록 골재의 단위량을 조정하여 배합설계를 실시하였다.

3. 공시체 제작 및 시험 방법

3.1 공시체 제작 및 양생

3.1.1 콘크리트 제조

콘크리트는 혼합용적 60l인 수평형 팬믹서를 사용하여 제작하였다. 콘크리트의 제작순서는 먼저 잔골재(부순모래 및 강모래), 시멘트, 부순자갈 순으로 믹서에 투입하여 건비빔을 실시한 다음 혼합수와 고성능감수제를 투입하여 혼합비빔을 실시하여 굳지 않은 콘크리트를 제작하였다.

3.1.2 공시체 제작

한국산업규격에서 정하는 「KS F 2403 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법」에 준하여 실린더형 몰드($\phi 10 \times 20 \text{ cm}$)를 사용하여 압축강도측정용 공시체를 제작한 다음, 원주공시체 상부의 재하 면은 몰드를 제거하기 전에 캐핑을 실시하였다.

3.1.3 양생

공시체는 성형 후 몰드를 제거하고 재령 7일, 28일, 60일, 90일, 180일까지 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 온도에서 수중양생을 실시하였다.

3.2 시험 방법

3.2.1 부순골재의 품질 시험

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

3.2.2 굳지 않은 콘크리트 시험

1) 슬럼프 시험

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

2) 공기량 시험

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

3.2.3 경화한 콘크리트 시험

1) 단위중량

생산 지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따라 제작·양생된 콘크리트의 압축강도 측정용 공시체의 중량을 재령 7일, 28일, 60일, 90일 및 180일에 측정하여 단위중량으로 환산하였다.

2) 압축강도 시험

압축강도 시험은 「KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험 방법」에 준하여 재령 7일, 28일, 60일, 90일 및 180일에 측정하였다.

3) 탄성계수

콘크리트의 강성을 나타내는 탄성계수는 콘크리트 표준 시방서에서 제시하고 있는 식에 재령 7일, 28일, 60일, 90일 및 180일의 단위중량 및 압축강도를 사용하여 계산하였다.

Table 7 Qualities of crushed aggregate

Product area	Contents	FM	Density (g/cm^3)	Absorption (%)	Abrasion (%)	Bulk density (kg/m^3)	Organic impurities	Amount of material finer than 0.08 mm sieve	Solid content (%)	Flat or elongated particles (%)	Soundness (%)
Crushed stone	KS	6~8 more than	2.5 less than	3.0 less than	40 less than	-	-	1.0 less than	55 more than	20 less than	12 less than
	Yangsan	6.95	2.71	0.8	15	1,550	-	0.2	58	12	3.5
	Kimhae	7.12	2.70	1.3	12	1,494	-	0.2	55	8	3.2
	Jinhae	7.18	2.69	1.4	9	1,489	-	0.1	55	6	2.9
Crushed sand	KS	- more than	2.5 less than	3.0 less than	-	-	poppy red	7.0 less than	53 more than	-	10 less than
	Yangsan	3.67	2.56	1.4	-	1,686	citrine	2.3	66	-	2.4
	Kimhae	4.14	2.54	2.3	-	1,690	citrine	3.8	67	-	2.0
	Jinhae	3.21	2.62	2.3	-	1,805	citrine	3.5	67	-	1.6

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 부순골재 및 혼합 모래의 품질 특성¹²⁻¹³⁾

각 생산 지역별 부순골재의 품질 특성을 파악하기 위하여 KS에 준하여 품질 시험을 실시한 결과는 Table 7과 같다. 부순자갈의 경우 전체적으로 KS의 품질 규격을 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, 생산 지역에 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. 기상 작용에 대한 골재의 내구성을 조사하기 위하여 안정성 시험을 실시한 결과, 모든 생산 지역에서 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 조립률을 제외하고 모두 KS에서 정한 규격을 만족하는 것으로 나타났다. Fig. 1은 생산 지역별 부순모래의 입도분포곡선을 나타낸 것으로 김해지역에서 생산된 부순모래의 조립률이 4.14로 가장 높았고, 양산지역(3.67), 진해지역(3.21) 순으로 나타났으며 조립률 및 실적률(67%)이 좋은 진해지역에서 생산된 부순모래가 가장 양호한 입도분포를 보였다. 또한 입형과 입도가 생산 지역마다 상이한 이유는 부순모래의 제조 과정시 공정의 세분화와 관리의 정도 차이에 기인한 것으로 판단되며, 양질의 부순모래를 생산하기 위해서는 보다 개선된 공정 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

밀도 및 단위용적질량은 진해지역에서 생산된 부순모래가 가장 큰 것으로 나타났다. 잔골재 중에 함유되어 있는 유기불순물의 함유 정도를 파악하기 위하여 유기불순물 시험을 실시한 결과, 생산 지역에 관계없이 모두 표준 용액의 황적색보다 연한 담황색으로 우수한 품질의 콘크리트 생산에 사용이 가능한 것으로 나타났다.

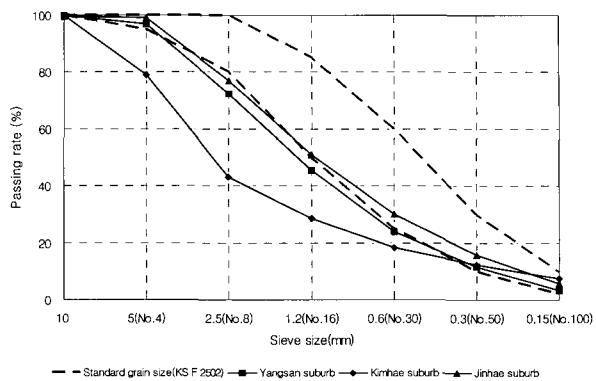


Fig. 1 Size distribution curve of crushed sand

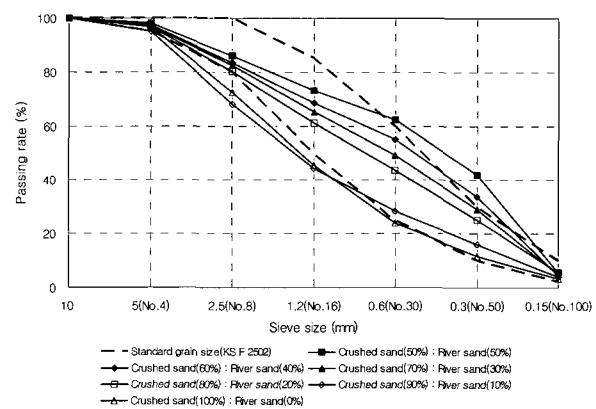


Fig. 2 Size distribution curve of crushed sand in Yang-san suburb

리트 생산에 사용이 가능한 것으로 나타났다. 부순모래에 포함된 미립분의 양을 파악하기 위하여 0.08mm체 통과량 시험을 실시한 결과, 전체적으로 7% 이하로 소량의 미립분을 함유하고 있는 것으로 나타났다.

4.1.1 양산지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질 특성

양산지역에서 생산된 부순모래를 각각 50~100%로 혼입률을 변화시킨 혼합모래(강모래+부순모래)의 품질 특성을 파악한 결과는 Table 8과 같다. 조립률과 밀도에서는 부순모래의 혼입률이 증가할수록 그 값이 증가하는 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 발생했기 때문으로 판단된다.

Fig. 2는 양산지역에서 생산된 부순모래의 혼입률 변화에 따른 입도분포곡선을 도식화한 그래프로 부순모래의 혼입률이 60~70%일 때 표준입도를 만족하는 것으로 나

타났다. 이는 부순모래의 혼입률이 증가할수록 입형이 큰 부순모래와 미분량의 증가로 인하여 입도분포가 낮아졌기 때문으로 판단된다.

유기불순물시험의 결과, 부순모래의 혼입률이 50%일 때 시료가 담겨진 무색의 용액이 표준용액의 적황색보다 연한 담황색으로 변화하였고, 혼입률이 증가할수록 점차적으로 더 연한 담황색으로 변화하였다. 이는 유기불순물의 함유정도가 KS에서 정한 규정치보다 낮은 것으로 일반적으로 양질의 콘크리트 생산에 사용이 가능한 것으로 판단된다. 0.08mm체 통과량으로 알 수 있는 미분량은 일반적인 부순모래에 포함되어 있는 미분량에 비해 훨씬 작아 양산지역에서 생산된 부순모래는 미립분에 의한 영향은 작을 것으로 판단된다.

실적률은 전체적으로 KS규격 53% 이상을 모두 만족하고 있으나, 부순모래 혼입률 100%에서는 입자의 분포가 불균등하여 미세공극발생이 커짐으로서 오히려 실적률이 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 품질 특성

김해지역에서 생산된 부순모래를 각각 50~100%로 혼입한 혼합모래의 품질 특성을 파악한 결과는 Table 9와 같다. 부순모래의 입도에 영향을 미치는 조립률과 실적률은 부순모래의 혼입률 100%를 제외하고 혼입률이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 3은 김해지역에서 생산된 부순모래의 입도분포곡선을 도식화한 것으로써 그림에 나타난 것과 같이 혼입률에 관계없이 표준입도를 모

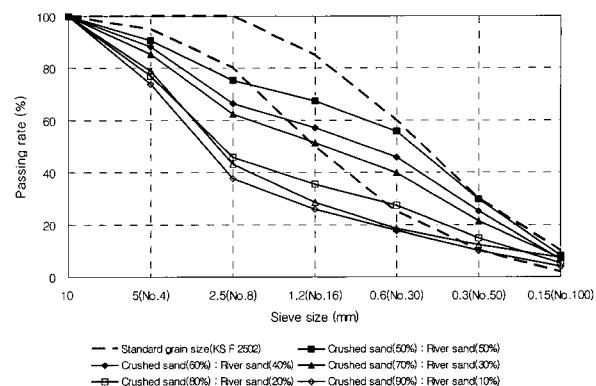


Fig. 3 Size distribution curve of crushed sand in Kim-hae suburb

두 벗어나는 것으로 나타났다. 이는 상대적으로 입형이 크고 미립분이 많이 포함되어 있는 부순모래의 혼입률 증가로 입도는 오히려 불량해진 것으로 판단된다.

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

0.08mm체 통과량시험 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 콘크리트의 생산에 사용이 가능한 것으로 나타났다.

Table 8 Qualities of mixed sand in Yang-san suburb (Crushed sand + river sand)

Blended ratio(%) \ Contents	FM	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	Bulk density (kg/m ³)	Organic impurities	Amount of material finer than 0.08 mm sieve	Solid content (%)	Soundness (%)
Yang san suburb	50	2.32	2.52	1,663	dyer's broom	2.02	66	1.9
	60	2.61	2.53	1,703	citrine	2.09	67	1.9
	70	2.81	2.53	1,740	citrine	2.13	69	2.1
	80	2.89	2.53	1,747	citrine	2.18	69	2.1
	90	3.39	2.54	1,758	citrine	2.22	69	2.3
	100	3.67	2.56	1,686	citrine	2.27	66	2.4

Table 9 Qualities of mixed sand in Kim-Hae suburb (Crushed sand + river sand)

Blended ratio(%) \ Contents	FM	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	Bulk density (kg/m ³)	Organic impurities	Amount of material finer than 0.08mm sieve	Solid content (%)	Soundness (%)
Kim-hae suburb	50	2.72	2.56	1,771	citrine	3.53	68	1.6
	60	3.17	2.57	1,789	citrine	3.61	70	1.8
	70	3.41	2.57	1,804	citrine	3.67	70	1.8
	80	4.00	2.58	1,837	citrine	3.75	71	1.8
	90	4.01	2.62	1,848	citrine	3.81	71	1.9
	100	4.04	2.54	1,690	citrine	3.84	67	2.0

안정성 시험 결과, 부순모래의 혼입률이 증가할수록 황산나트륨에 의한 골재의 파손이 커서 손실중량이 높아지는 것으로 나타났다.

4.1.3 진해지역의 부순모래 혼입률 변화에 따른 품질 특성
진해지역에서 생산된 부순모래를 각각 50~100%로 혼입한 혼합모래의 품질특성은 Table 10과 같다.

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

Fig. 4는 진해지역에서 생산된 부순모래의 혼입률 변화에 따른 입도분포곡선을 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.

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

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

4.2 굳지 않은 콘크리트의 특성¹⁴⁾

생산 지역별로 부순모래의 혼입률 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성을 파악하기 위해 슬럼프 및 공기량을 측정한 결과는 Table 11과 같다. 전체적으로 슬럼프는 부순모래의 혼입률 70~80%까지 증가하다가 90% 이상에서는 오히려 감소하는 경향을 보였으나, 공기량의 경우에는 부순모래의 혼입률이 증가할수록 혼합모래의 조립률이 증가하게 되고, 그로 인하여 슬럼프에 영향을 미치는 잔골재율이 증

4.2.1 슬럼프

Fig. 5는 콘크리트의 유동성을 파악하기 위하여 슬럼프를 측정한 결과이다. 전체적으로 부순모래의 혼입률이 70~80%까지 증가하다가 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 부순모래의 혼입률이 증가할수록 혼합모래의 조립률이 증가하게 되고, 그로 인하여 슬럼프에 영향을 미치는 잔골재율이 증

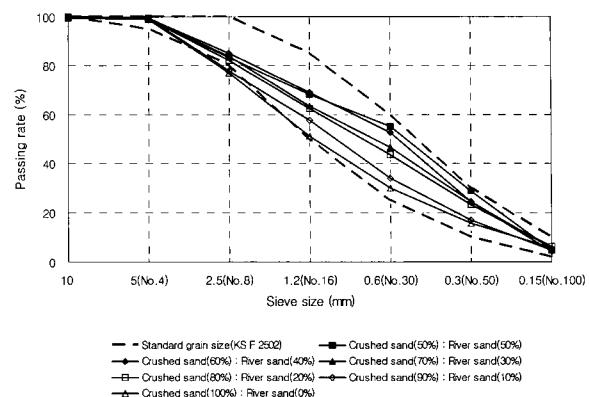


Fig. 4 Size distribution curve of crushed sand in Jin-hae suburb

가하여, 슬럼프는 증가하다가 혼입률이 90% 이상이 되면 부순모래에 포함되어 있는 미분량(0.08mm체 통과량)의 증가로 인하여 오히려 감소한 것으로 판단된다. 특히 진해지역에서 생산된 부순모래를 사용한 콘크리트는 김해지역 및

Table 11 Properties of fresh concrete

Area	Blended ratio(%)	Slump(cm)	Air content(%)
		Y Remicon	11.0
Yang san suburb	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
	K Remicon	13.0	4.0
Kim hae suburb	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
	J remicon	16.0	3.8
Jin hae suburb	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

Table 10 Qualities of mixed sand in Jin-hae suburb (Crushed sand + river sand)

Blended ratio(%)	FM	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	Bulk density (kg/m ³)	Organic impurities	Amount of material finer than 0.08mm sieve	Solid content (%)	Soundness (%)
Jin-hae suburb	50	2.54	2.58	1.9	1,648	citrine	3.50	63 1.2
	60	2.66	2.61	1.9	1,695	citrine	3.65	64 1.4
	70	2.81	2.60	2.1	1,738	citrine	3.72	65 1.4
	80	2.93	2.63	2.0	1,749	citrine	3.95	65 1.5
	90	3.12	2.63	2.0	1,810	citrine	4.16	68 1.5
	100	3.21	2.62	2.3	1,805	citrine	3.45	67 1.6

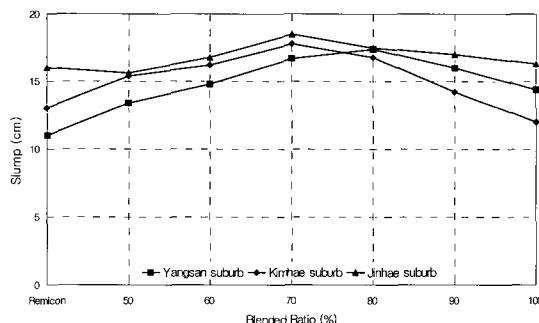


Fig. 5 Slump as to variation of crushed sand blended ratio (%)

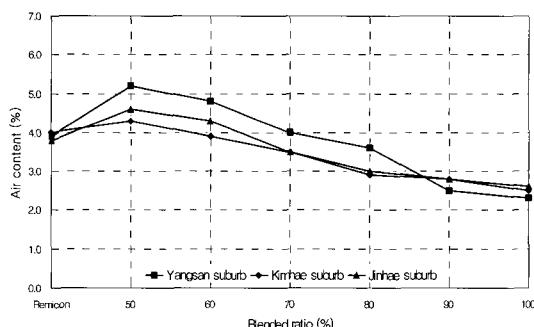


Fig. 6 Air content as to variation of crushed sand blended ratio (%)

양산지역에 비해 슬럼프가 높게 측정되어 작업성이 우수한 것으로 나타났다. 이는 진해지역에서 생산된 부순모래가 상대적으로 입도 및 입형이 양호하기 때문으로 판단된다.

4.2.2 공기량

Fig. 6은 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 충전 효과를 일으켜 공기량은 감소한 것으로 판단된다.

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 입도의 차이와 미분함유량의 다소에 따라 변화한 것으로 판단된다. 또한 낮은 혼입률에서 공기량이 높게 나타났는데, 작업성 측면에서는 유리할 수 있으나 강도측면이나 공극의 증가로 인한 염해피해 등 내구성 측면에서는 불리할 것으로 판단된다.

4.3 경화한 콘크리트의 특성¹⁴⁾

생산 지역별 부순모래의 혼입률 변화에 따라 제작·양

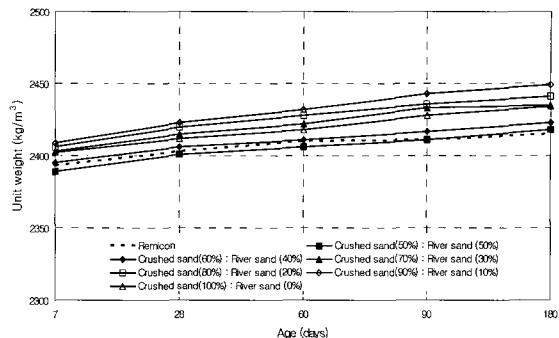


Fig. 7 Unit weight as to variation of age in Yang-san suburb

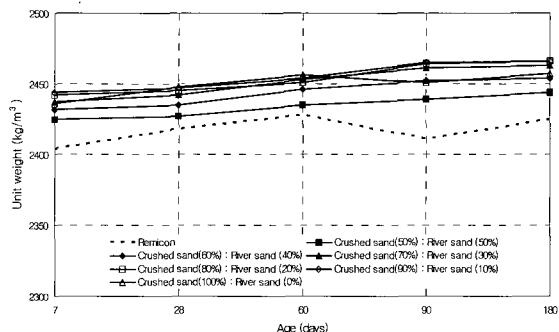


Fig. 8 Unit weight as to variation of age in Kim-hae suburb

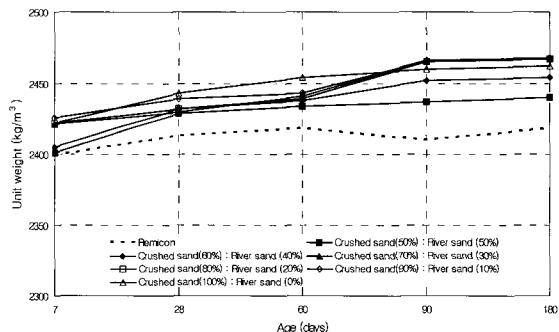


Fig. 9 Unit weight as to variation of age in Jin-hae suburb

생한 콘크리트의 재령 7일, 28일, 60일, 90일, 180일에 단위중량, 압축강도 및 탄성계수를 측정한 결과는 Tables 12~16과 같다.

4.3.1 단위중량

Figs. 7~9는 생산 지역별 부순모래의 혼입률 및 재령의 변화에 따른 경화한 콘크리트의 단위중량을 나타낸 그림이다. Fig. 7을 살펴보면, 전체적으로 부순모래의 혼입률 90%까지 혼입률이 증가할수록 단위중량 또한 증가하는 것으로 나타났는데 이는 밀도가 높은 부순모래의 사용과 미립분의 영향으로 공극이 충분히 메워졌기 때문으로 판단된다. 부순모래의 혼입률 50%를 제외하고 양산지역 대표레미콘사(부순모래의 혼입률 70%)의 단위중량보다 높

은 것으로 나타났다.

Figs. 8과 9에서는 전체적으로 혼입률이 증가할수록 단위중량 또한 증가하는 것으로 나타났다. 또한 김해지역 대표레미콘사(부순모래의 혼입률 64%)보다 단위중량이 모두 높게 나타났는데, 이는 레미콘의 특성이 대량생산에서의 부정확한 계량과 재료의 보관 상태에 기인한 것으로

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

생산 지역별 부순모래의 단위중량을 살펴보면, 양산지역에서 생산된 부순모래를 혼입한 콘크리트의 단위중량이 김해지역 및 진해지역에 비해 낮게 나타났다. 이는 양산

Table 12 Properties of hardened concrete in age of 7 days

Area	Blended ratio(%)	Unit weight (kg/m ³)	Compressive strength(MPa)	Modulus of elasticity(GPa)
Yang -san suburb	Y remicon	2,393	21.7	23.4
	50	2,389	23.0	24.1
	60	2,395	23.5	24.4
	70	2,403	24.1	24.9
	80	2,406	23.7	24.7
	90	2,409	23.3	24.5
	100	2,402	22.5	24.0
Kim -hae suburb	K remicon	2,404	20.5	22.9
	50	2,425	21.0	23.5
	60	2,432	22.2	24.3
	70	2,437	23.8	25.2
	80	2,442	23.3	25.0
	90	2,444	22.6	24.7
	100	2,436	21.1	23.7
Jin -hae suburb	J remicon	2,399	21.3	23.3
	50	2,401	20.6	23.0
	60	2,405	21.1	23.3
	70	2,421	22.0	24.0
	80	2,422	21.6	23.8
	90	2,426	21.3	23.7
	100	2,422	17.9	21.7

Table 13 Properties of hardened concrete in age of 28 days

Area	Blended ratio(%)	Unit weight (kg/m ³)	Compressive strength(MPa)	Modulus of elasticity(GPa)
Yang -san suburb	Y remicon	2,403	24.3	25.0
	50	2,401	24.7	25.1
	60	2,406	24.7	25.2
	70	2,415	27.8	26.9
	80	2,420	26.1	26.2
	90	2,423	23.6	24.9
	100	2,412	23.0	24.4
Kim -hae suburb	K remicon	2,418	24.9	25.5
	50	2,427	23.6	25.0
	60	2,435	24.7	25.7
	70	2,442	28.6	27.8
	80	2,445	26.6	26.8
	90	2,447	24.8	25.9
	100	2,448	23.5	25.2
Jin -hae suburb	J remicon	2,413	25.9	25.9
	50	2,429	23.8	25.1
	60	2,432	26.5	26.5
	70	2,430	26.8	26.7
	80	2,432	25.8	26.2
	90	2,439	25.3	26.1
	100	2,443	23.0	24.9

Table 14 Properties of hardened concrete in age of 60 days

Area	Blended ratio(%)	Unit weight (kg/m ³)	Compressive strength(MPa)	Modulus of elasticity(GPa)
Yang -san suburb	Y remicon	2,410	26.0	25.9
	50	2,406	26.9	26.3
	60	2,411	27.0	26.5
	70	2,422	30.2	27.4
	80	2,428	28.3	27.4
	90	2,432	25.5	26.0
	100	2,418	25.6	25.9
Kim -hae suburb	K remicon	2,428	27.1	26.8
	50	2,435	25.7	26.2
	60	2,446	27.4	27.2
	70	2,453	31.1	28.0
	80	2,451	28.9	28.0
	90	2,454	27.4	27.4
	100	2,456	25.7	25.2
Jin -hae suburb	J remicon	2,418	27.3	26.7
	50	2,434	25.9	26.3
	60	2,438	28.5	27.6
	70	2,441	29.5	28.2
	80	2,439	28.4	27.6
	90	2,443	27.6	27.3
	100	2,454	25.4	26.3

Table 15 Properties of hardened concrete in age of 90 days

Area	Blended ratio(%)	Unit weight (kg/m ³)	Compressive strength(MPa)	Modulus of elasticity(GPa)
Yang -san suburb	Y remicon	2,411	27.4	26.6
	50	2,411	28.2	27.0
	60	2,417	28.0	27.0
	70	2,433	30.8	27.7
	80	2,436	30.5	27.6
	90	2,443	27.3	27.1
	100	2,428	26.9	26.7
Kim -hae suburb	K remicon	2,411	28.2	27.0
	50	2,439	26.8	26.8
	60	2,452	28.4	27.8
	70	2,461	32.0	28.4
	80	2,464	30.6	28.0
	90	2,465	28.6	28.1
	100	2,451	27.2	27.2
Jin -hae suburb	J remicon	2,410	28.6	27.2
	50	2,437	27.4	27.1
	60	2,452	29.7	28.5
	70	2,466	30.6	28.0
	80	2,465	29.7	28.7
	90	2,466	29.1	28.4
	100	2,460	26.6	27.1

Table 16 Properties of hardened concrete in age of 180 days

Area	Blended ratio(%)	Unit weight (kg/m ³)	Compressive strength(MPa)	Modulus of elasticity(GPa)
Yang-san suburb	Y remicon	2,415	30.5	27.4
	50	2,418	31.0	27.6
	60	2,423	31.4	27.8
	70	2,435	34.7	28.9
	80	2,441	32.8	28.4
	90	2,449	30.4	27.8
	100	2,434	29.4	27.2
Kim-hae suburb	K remicon	2,425	30.8	27.6
	50	2,444	29.3	27.3
	60	2,454	32.0	28.3
	70	2,463	34.5	29.2
	80	2,466	32.9	28.8
	90	2,466	30.1	27.9
	100	2,457	28.9	27.3
Jin-hae suburb	J remicon	2,418	30.9	27.5
	50	2,440	28.4	27.0
	60	2,454	33.3	28.7
	70	2,468	35.1	29.5
	80	2,467	33.3	28.9
	90	2,468	31.8	28.4
	100	2,462	29.3	27.5

지역진해지역에 비해 상대적으로 낮고, 또한 잔입자(0.08 mm체 통과량)가 적게 포함되었기 때문으로 판단된다.

특히 부순모래를 혼입한 콘크리트는 전체적으로 천연강모래나 바다모래를 사용한 콘크리트의 단위중량인 2,300~2,400 kg/m³보다 높게 나타나는 경향을 보였는데, 이는 부순모래가 상대적으로 밀도가 커서 나타나는 현상으로 판단된다.

4.3.2 압축강도

Figs. 10~12는 생산 지역별 부순모래의 혼입률 및 재령의 변화에 따른 콘크리트의 압축강도를 나타낸 그림이다. 전체적으로 재령이 증가할수록 압축강도 또한 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 수화가 진행될수록 빈약한 구조를 가진 미수화 시멘트 입자의 감소에 기인한 것으로 판단된다. 특히 부순모래의 생산 지역별로 혼입률 70%에서 가장 높은 압축강도가 발현되었다.

4.3.3 탄성계수

구조재료로서 콘크리트는 강도뿐만 아니라 변형성능도 또한 중요한 요소이다. 재료의 변형성분을 평가하는 물리량의 하나로서 탄성계수가 있다. Figs. 13~15는 생산 지역별 부순모래를 혼입한 콘크리트의 재령에 따른 탄성계수를 나타낸 그림이다. 이 결과를 살펴보면, 전체적으로 부순모래의 혼입률 70%까지 탄성계수는 증가하다가 그 이상에서는 오히려 감소하는 경향을 보였다. 특히 밀도가 2,300~2,400 kg/m³인 보통골재(강모래, 바다모래)를 사용한

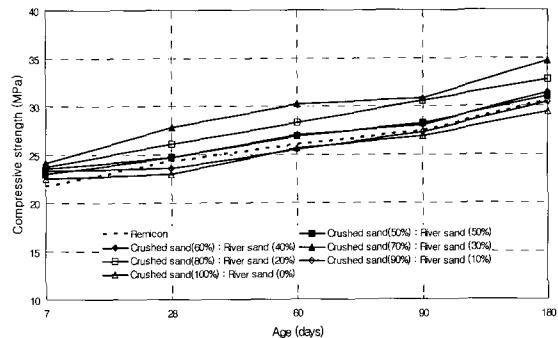


Fig. 10 Compressive strength as to variation of age in Yang-san suburb

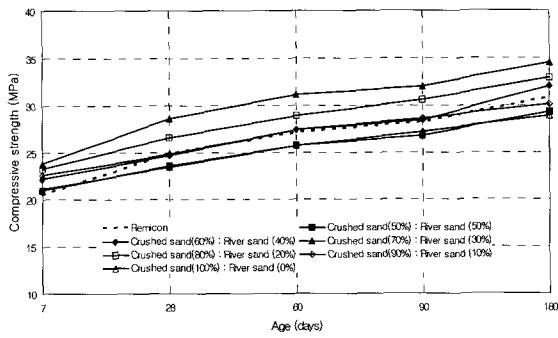


Fig. 11 Compressive strength as to variation of age in Kim-hae suburb

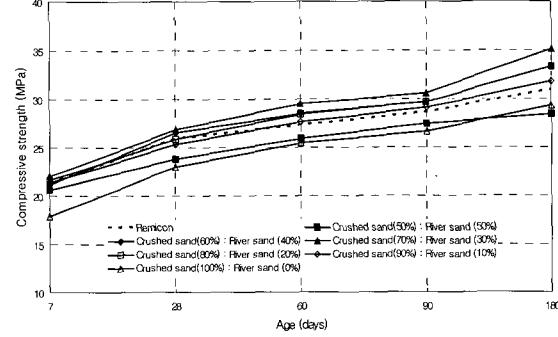


Fig. 12 Compressive strength as to variation of age in Jin-hae suburb

콘크리트의 탄성계수(23 GPa)보다 본 연구에서의 콘크리트 탄성계수가 다소 높게 나타났다. 이는 보통 골재에 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.

5. 결 론

본 연구에서는 부산근교 동부, 중부, 서부에 위치한 양

산지역, 김해지역 및 진해지역에서 생산된 부순골재의 품질 특성과 부순모래의 혼입률 변화에 따른 콘크리트의 특성을 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 각 생산 지역별 부순골재의 품질은 KS의 품질규격을 모두 만족하는 것으로 나타났다.
- 2) 콘크리트의 작업성에 영향을 미치는 입도 및 입형은 양산지역 및 진해지역에서 생산된 부순모래가 양호한 것으로 나타났다. 그러나 김해지역에서 생산된 부순모래는 입도와 입형이 다소 불량한 것으로 나타났는데, 이는 제조공정의 개선이 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 슬럼프는 전체적으로 부순모래의 혼입률 70~80%까지 증가하다가 그 이상에서는 감소하는 경향을 보였다. 이

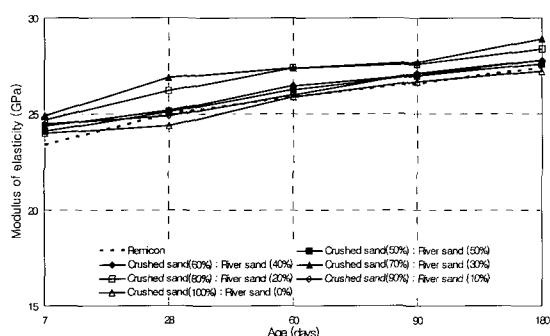


Fig. 13 Modulus of elasticity as to variation of age in Yang-san suburb

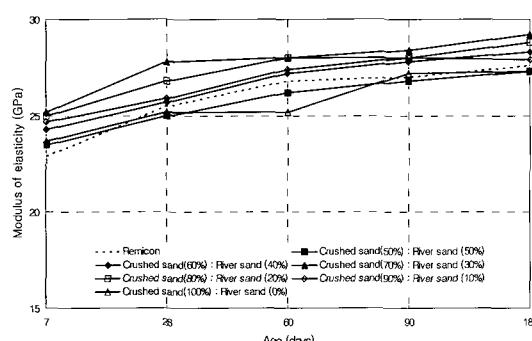


Fig. 14 Modulus of elasticity as to variation of age in Kim-hae suburb

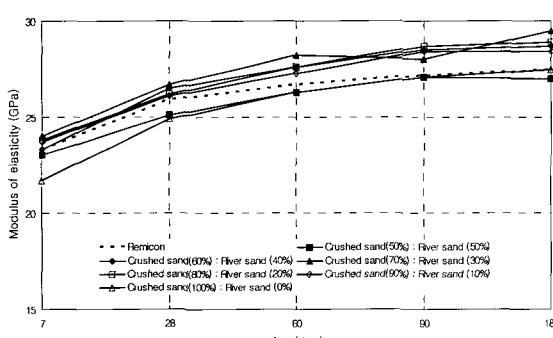


Fig. 15 Modulus of elasticity as to variation of age in Jin-hae suburb

는 혼입률의 증가에 따른 실적률의 증가로 콘크리트 내부의 입자간 마찰이 감소하여 슬럼프는 증가하다가 미립분의 증대로 인한 요구수량의 증가로 슬럼프는 오히려 감소한 것으로 분석되었다.

- 4) 공기량은 부순모래의 혼입률이 증가할수록 Micro Filler현상으로 인하여 감소한 것으로 분석되었다.
- 5) 콘크리트의 단위중량은 강모래에 비해 밀도와 단위용적질량이 큰 부순모래의 혼입률이 증가할수록 증대되는 것으로 분석되었다.
- 6) 콘크리트의 압축강도는 부순모래의 생산 지역, 재령의 변화에 관계없이 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) 생산 지역별 부순골재의 품질 및 부순모래의 혼입률 변화에 따른 콘크리트의 각종 특성들을 종합적으로 분석해 본 결과, 최적의 혼입률은 70%로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 부경대학교 발전기금재단 학술연구비로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 김병환, “콘크리트용 부순돌과 부순모래의 생산 및 품질,” 콘크리트학회지, 9권, 2호, 1997. 4, pp.4~12.
2. 최민수, 지역별 골재 소비구조 분석 및 수급 안정방안, 한국건설산업연구원, 2003. 4, pp.14~16.
3. 한천구, 윤기원, 이진규 외 3인, “부순모래의 미립분 함유량 및 입형이 콘크리트의 특성에 미치는 영향에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 8권 2호, 1996. 11, pp.17~23.
4. 대한주택공사 주택연구소, 콘크리트용 부순모래의 실용화 방안 연구, 대한주택공사, 1996. 12, pp.5~12.
5. 이성복, 이도현, 지남용, 이리형, “잔입자 함유량 및 입형 변화에 따른 부순모래 콘크리트의 배합설계 방법에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 13권, 5호, 1997. 5, pp.289~298.
6. 박세윤, 잔골재의 혼합비율 변화에 따른 수중불분리성 콘크리트의 특성에 관한 연구, 부경대학교 대학원, 2004. 2, pp.19.
7. 이승환, 윤용호, “대구·경북지역 생산 부순모래의 특성에 관한 연구”, 계명대학교 산업기술연구소 논문집, 26권, 1호, 2003, pp.303~312.
8. 한국콘크리트학회편, 최신콘크리트공학, 기문당, 1997. 10, pp.109~170.

9. 한국콘크리트학회편, 부순모래 및 부순모래 콘크리트, 한국콘크리트학회, 1998. 6, pp62~81.
10. 한천구, 콘크리트의 특성과 배합설계, 기문당, 1998. 7,
11. 한국콘크리트학회편, 콘크리트표준시방서 해설, 기문당, 2004. 2, pp.95~121
12. Frank P. Nichols, Jr., "Manufactured Sand and Crushed Stone in Portland Cement Concrete", *Concrete International*, ACI, Aug. 1982, pp.56~63.
13. 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, Jul.-Aug. 1989, pp.417~424.
14. A. M. Neville, *Properties of Concrete*, 4th Edition, John Wiley and Sons, Malaysia, 1996. 7, pp.182~237.

요 약

본 연구는 부산의 동부, 중부, 서부지역을 대표하는 양산, 김해, 진해에서 생산된 부순모래를 사용한 부순모래 콘크리트의 장기강도 특성에 관한 연구를 수행하였다. 콘크리트는 전체 체적의 70~80%가 골재로 이루어져 있어 콘크리트의 특성에 골재의 품질의 영향은 매우 중요하다. 1980년대 이후, 천연자갈과 천연모래의 고갈로 콘크리트에 사용되어지는 골재는 이미 부순돌로 대체되었다. 부순모래는 해사 채취금지와 강모래의 고갈로 사용량이 증가하고 있는 경향이다. 부순모래는 혼입량의 변화와 부순모래의 혼합비(50, 60, 70, 80, 90, 100%)의 변화에 따른 콘크리트의 특성을 조사하기 위하여 강모래와 혼합하였다. 경화하지 않은 콘크리트의 성질을 조사하기 위해 슬럼프와 공기량을 측정하였다. 경화한 콘크리트의 성질을 조사하기 위해 재령 7, 28, 60, 90, 180일에 단위중량, 압축강도 그리고 탄성계수를 측정하였다. 압축강도, 단위중량 그리고 탄성계수는 재령의 증가에 따라 값이 증가하였으며 장기 재령에서도 역시 증가할 것으로 예상된다. 지역별 골재의 품질 시험결과들은 모두 KS규격을 만족하였다. 슬럼프 측정결과는 혼입률 70~80%까지는 증가하였으나 그 이상에선 감소하였다. 공기량은 마이크로 필러 현상에 의해 부순모래의 혼입률 증가에 따라 감소하였다. 재령 7, 28, 60, 90, 180일에 단위중량을 측정한 결과에 따르면, 단위중량은 부순골재의 혼입률 증가에 따라 역시 증가하였다. 재령 7, 28, 60, 90, 180일에 압축강도와 탄성계수를 측정한 결과, 압축강도는 혼입률 70%일 때 가장 높게 나타났다.

핵심용어 : 부순골재, 공기량, 단위중량, 압축강도, 탄성계수
