

河川骨材와 碎石骨材의 諸般 特性

金 武 漢
忠南大 建築工學科 教授 · 工學博士

1. 序論

우리나라 骨材需要의 대부분은 콘크리트用 骨材가 차지하고 있다. 콘크리트中 骨材가 차지하는 容積은 70-80%에 이르므로 그 良否가 콘크리트의 워키빌리티, 強度 및 耐久性에 미치는 영향은 매우 크고 경제적으로도 그 선택의 積부가 중요한 문제이다.¹⁾

보통 骨材의 原料는 크게 나누어 堆積자갈과 原石山이 있지만 骨材로서 사용되는 경우는 天然으로 생성되는 河川骨材와 原石을 破碎한 碎石骨材를 쓰는 경우가 많으며 또는 이들 양자를 직접히 혼용해서 쓰는 경우도 있다. 그리고 河川骨材는 骨材採取法등의 규제를 받으며 河川法의 규제도 가해지고 있고, 碎石骨材는 자갈採取法의 규제를 받지는 않으나 原石을 採取하는 단계에서 採石法 또는 鑛業法의 규제를 받으며 채석기로 碎石骨材를 생산하는 단계에서 勞動安全衛生規則의 규제를 받고 있다.

최근 이러한 骨材의 需要量이 현저하게 증대됨에 따라 강모래, 강자갈은 아주 부족한 상태로 되고 양질의 骨材를 구하기가 곤란한 이른바 골재부족현상이 우리나라에서도 야기됨으로써 갠모래, 갠자갈, 人工輕量骨材, 바다모래, 바다자갈 등을 대상으로한 콘크리트기술에 관한 연구를 계속하여 이들 骨材資源을 상래에 이용할 수 있도록 하는 것이 큰 과제로 대두되고 있다.^{2,3,4)}

또한 그도의 經濟成長을 배경으로 旺盛한 建設投資가 이루어짐에 따라 骨材需要는 급증하고 建設工事의 基礎資材로서 骨材의 安定供給이 중요문제로 등장하고 있어, 流通의 확대화를 조속히 추진하여 骨材業界의 체제 정비

를 도모함과 동시에 아울러 天然骨材의 資源化 概念이 國家建設經濟의 側面에서 정립되어야 할 필요가 있다.

2. 콘크리트用 骨材概要

2.1 骨材의 分類 및 消費行態

일반적으로 콘크리트用 骨材는 모르타르 또는 콘크리트를 제작하기 위하여 시멘트 및 물 등과 함께 일체로 굳어지는 不活性인 粒狀의 材料를 말하며 粒子의 크기, 生産場所, 重量, 石質 등에 따라 분류하고 있다.

骨材는 粒子의 크기에 따라 잔골재와 굵은골재로 분류하고 있으며 보통, 콘크리트用 체 규격 5mm망체를 중량비로 85% 이상 통과하는 骨材를 잔골재로, 콘크리트用 체 규격 5mm망체를 중량비로 85% 이상 남는 骨材를 굵은골재로 각각 분류하고 있다. 또한 生産場所에 따른 분류로서는 天然骨材와 人工骨材로 분류하고 있으며, 天然骨材는 강모래, 강자갈, 산모래, 산자갈, 육지모래, 육지자갈, 바다모래, 바다자갈 등이 있고 人工骨材에는 갠모래, 갠자갈, 人工輕量骨材, 고로슬래그쇄석 등이 있다. 이중 碎石骨材에는 岩石碎石과 玉石碎石이 있기도 하다.

骨材를 重量에 의해 분류하면 普通骨材, 輕量骨材, 重量骨材로 되고, 普通骨材는 대체적으로 콘크리트 構造物에 사용되는 比重 2.5-2.8 정도의 骨材를 말하며, 輕量骨材는 輕量콘크리트를 제조하기 위한 목적으로 사용되는 比重 2.0이하의 骨材를 말하고, 또한 重量骨材는 주로 放射線 차폐효과를 높이기 위해 사용되는 자철광, 철원 등 비중이 큰 骨材를 말한다.

한편 骨材는 強硬하고 내구적이지 않으면 안되지만 그 성질은 骨材의 石質에 많은 영향을 받고 있다. 骨材의 母岩은 그 成因에 따라 火成岩(심성암, 반심성암, 화산암), 堆積岩, 變成岩으로 대별되고 있으며 일반적으로 콘크리트用 骨材로서는 玄武岩, 安山岩, 硬質砂岩, 硬質石灰岩 등이 사용되고 있다.^{3,10)}

이상의 여러 骨材들의 消費構造는 지금까지 주로 사용되어 왔던 良質의 河川骨材賦存量이 점차 고갈되는 경향에 따라 80년대 중반 이후 細骨材의 경우는 洗滌海砂의 사용이, 粗骨材의 경우는 갯자갈의 사용이 크게 늘어나는 추세를 보이고 있다.

표1은 '89년 출하된 레미콘 3,251만 m³에 소요된 骨材消費 實績을 분석한 자료로서 細骨材의 消費量中 洗滌海砂의 比率이 8.9%를 차지하고 있으나 절대량은 강모래에 의존하는 경향을 보이며 粗骨材의 경우에는 갯자갈 27.6%, 갯자갈 69.6%, 육지자갈 2.8%의 比率로 나타난

표2. 地域別 骨材 賦存量 現況¹²⁾

(단위: 천m³)

地域	河川骨材	陸骨材	海砂	石山骨材	合計
서울	633	125	0	0	758
부산	6,479	0	0	1,480	7,977
대구	1,944	0	0	0	1,944
인천	0	0	45	96	141
광주	1,510	0	0	0	1,510
대전	0	0	0	474	474
경기	111,835	0	550,000	43,467	705,302
강원	15,135	33	45	0	15,213
충북	10,321	834	0	6,195	17,350
충남	19,090	6,655	106,700	5,355	137,800
전북	98,849	620	0	18,555	29,024
전남	5,466	423	200	12,986	19,075
경북	66,974	4,240	1,127	8,484	80,825
경남	18,946	1,900	1,500	46,888	27,034
제주	0	0	0	2,251	2,251
全國	268,200	14,830	659,617	146,231	1,088,878

주) 1. 河川骨材는 降雨등으로 인한 生成量 未考慮.

2. 石山骨材는 許可量 基準임.

갯자갈의 比率이 매우 높은 것으로 조사되고 있다.²⁾

또한 향후 콘크리트용 骨材消費 構造는 표2에서의 骨材 賦存量 資料에서 보는 바와 같이 河川骨材의 現 賦存量이 全國적으로 2억6,800만 m³ 밖에 되지 않으므로 海砂, 碎石, 플라이애쉬, 고로슬래그, 再生骨材등의 特性 및 工學的 特性에 관한 연구가 심도있게 진행되어야 할 필요성이 집중하고 있다.

2.2. 骨材의 決定

콘크리트用 骨材를 생각하는 경우에는 骨材의 性質 그 자체만을 생각하여서는 그다지 의미가 없고 骨材를 사용한 콘크리트의 性質, 性能과 관련된 骨材의 特性을 고려할때에 비로소 의미를 찾을 수 있으며 骨材의 性質을 性能으로 파악하는 것도 가능하다고 할 수 있다.

따라서 骨材의 性質, 性能을 검토하는 경우에는 우선 콘크리트의 性能을 고려하지 않으면 안된다. 그리고 콘크리트는 콘크리트 構造物의 構成要素이기 때문에 또한 콘크리트 構造物에 要求되는 條件을 생각하지 않으면 안되게 된다.

표1. '89年度 骨材類型別 消費實績²⁾

區分	消費量(m ³)	構成比(%)		
모래	강모래	14,127,616	80.96	
	陸地모래	1,335,011	7.65	
	산모래	141,678	0.81	
	바다모래	1,494,744	8.57	
	海岸모래	51,374	0.30	
	갯모래	298,374	1.71	
	고로슬래그	0	0.00	
자갈	기타	0	0.00	
	小計	17,449,325	100.00	
	자갈	갯자갈	5,711,054	27.58
		갯자갈	14,402,423	69.55
		陸地자갈	582,992	2.82
		바다자갈	0	0.00
		海岸자갈	0	0.00
갈	고로슬래그	11,414	0.05	
	기타	0	0.00	
小計	20,707,883	100.00		
總計	38,157,208	-		

주) 1. 89년 全國 레미콘 出荷量중 32,512,205 m³와 모르타르에 소요된 骨材量 기준임.

2. 陸地모래, 陸地자갈: 예전의 河川敷地로써 表土를 걷어내고 채취한 것.

3. 갯자갈 消費量은 갯자갈을 破碎하여 사용한 量을 포함한 것임.

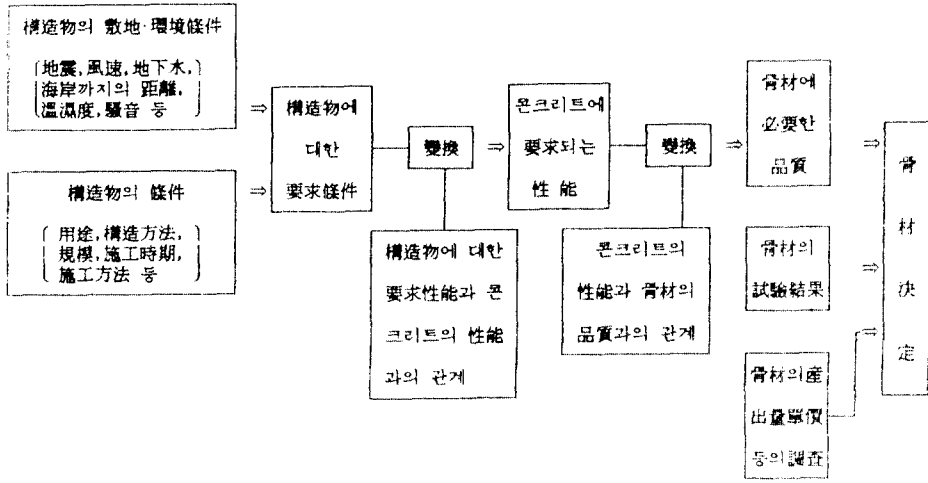


그림1. 骨材 決定까지의 프로세스⁴⁾

그림1에서 보는 바와 같이 構造物에 要求되는 條件은 構造物의 種類나 그 構造物이 놓여진 環境條件 등에 따라서 다르게 된다. 한편, 骨材에 要求되는 品質은 이와 같이 해서 정해지는 콘크리트에 요구되는 성능에 대응하여 결정되므로 콘크리트의 성능과 骨材의 특성과 관계를 명확하게 하지 않으면 안된다. 그러나 실제로 있어 콘크리트의 성능을 定量的으로 정하는 것이란 거의 불가능하므로 일련의 시험값으로 그 성능을 推定하고 있는 것이다.⁴⁾

이러한 콘크리트의 성능은 시멘트, 骨材, 混和材料 등 여러재료의 特性, 配合, 施工方法 등 많은 因子의 組合으로 결정되기 때문에 骨材의 性質만으로 좌우되는 것은 아니다. 그러나 콘크리트의 각 성능에 대해서 骨材의 그와 같은 性質의 影響이 크고 많은 關係가 있다.

3. 콘크리트用 骨材로서 河川骨材와 碎石骨材

3.1. 力學的 性質

그림2는 骨材의 力學的 特性和 콘크리트의 諸 物性과의 關係를 나타낸 것이다. 콘크리트의 物性은 크게 나누어 變形에 관계되는 사항과 強度에 관계되는 사항으로 나눌 수가 있다. 그리고 骨材의 影響行態가 양자간에서 기본적

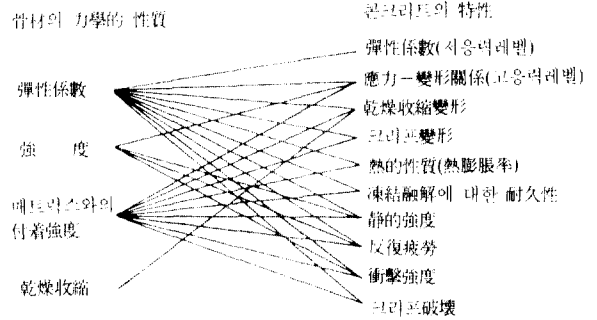


그림2. 骨材 力學的 性質과 콘크리트의 物性⁵⁾

으로 다르다는 것을 이해하는 것이 매우 중요하다.

變形舉動은 試片 各부의 調和 또는 그것들의 平均적인 舉動으로 나타나고 있다. 따라서 骨材의 特性和 동시에 그 양이 중요한 尺度가 된다.

強度의 경우에는 서로 다른 各部分이 아무리 강해도 局部的으로 약한 部分이 있으면 그곳의 特性으로 결정되고 마는 성격을 갖고 있기 때문에 骨材의 量보다도 크기, 形狀, 매트릭스와의 界面強度 등이 중요한 要因으로 된다.⁵⁾

3.2. 粒形, 크기 및 粒度

碎石骨材에는 角이 있고 河川骨材에 比하여 實積率에 많은 차이가 나타나고 있다. 이러한 이유로 인해 같은 반죽질기의 보통콘크리트에 比해 單位水量을 10% 정도 증대시킬 필요가 있다. 그러나 碎石에 있어서는 角을 가능한 한 작게하고 粒度分布를 고려하는 경우는 그림3에서 보는 바와 같이 實積率의 向上과 함께 위커빌리티의 向上을 도모할 수 있다.

碎石을 사용한 콘크리트의 위커빌리티의 저하는 粒形이 모난것 이외에 表面의 요철(凹凸)이 큰 것도 관계가 있는

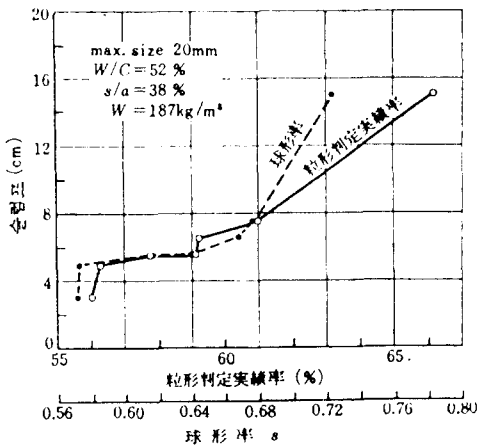


그림3. 碎石의 粒形判定 實積率 및 球形率이 콘크리트의 콘시스턴스에 미치는 影響¹⁵⁾

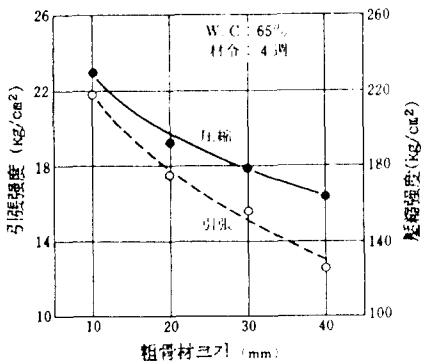


그림4. 粗骨材의 最大크기와 콘크리트의 壓縮·引張強度와의 關係⁶⁾

것으로 생각되지만 山本の 實驗¹³⁾에 의하면 碎石의 표면 요철은 100 μ 정도 이하이며 가령, 그 表面에 樹脂로 코팅해서 平滑하게 하여도 위커빌리티의 改善效果는 매우 적었다고 보고하고 있다.

骨材의 最大值數를 크게하는 것은 콘크리트의 單位水量을 저감시키는 데에 큰 效果가 있는 것으로 나타났다. 그러나 이와 같이 骨材의 值數를 크게 한 콘크리트는 그림4에서 보는 바와 같이 強度低下가 뒤따른다. 이것은 骨材值數가 크게되는 것에 따라 骨材의 比表面積이 작아지는 것, 骨材의 下面에 블리딩수가 모이기 쉽기 때문에 시멘트페이스트와의 附着을 저해하는 것 등에 의한 것으로 판단된다.

그렇지만 반죽질기와 단위시멘트량을 일정하게 할 경우에는 그림5에서와 같이 骨材의 值數가 크게됨에 따라 물시멘트비가 작아지기 때문에 오히려 強度가 증대되는 경향이다.

3.3. 比重, 吸水率

岩石의 比重은 造岩礦物의 種類와 그 構成比率에 따라 變化를 보이는 것이지만 骨材의 일반적 分析의 경우 比重은 오히려 骨材의 空隙量, 다시 말하면 吸水량과의 관계로 살펴볼 수가 있다. 그림6은 河川骨材와 碎石骨材의 吸水량과 比重의 關係를 표시한 것으로 대체적으로 양자의 關係는 直線의인 關係를 나타내고 있다. 前川¹⁶⁾은 比重과 吸水率이 다른 骨材를 사용한 콘크리트에 대한 실험

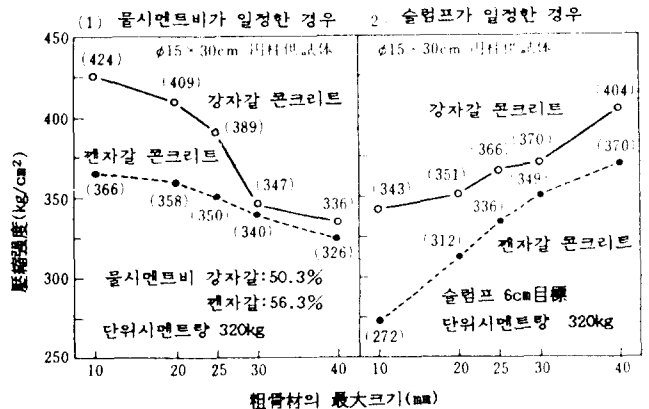


그림5. 粗骨材의 最大크기와 콘크리트의 壓縮強度¹¹⁾

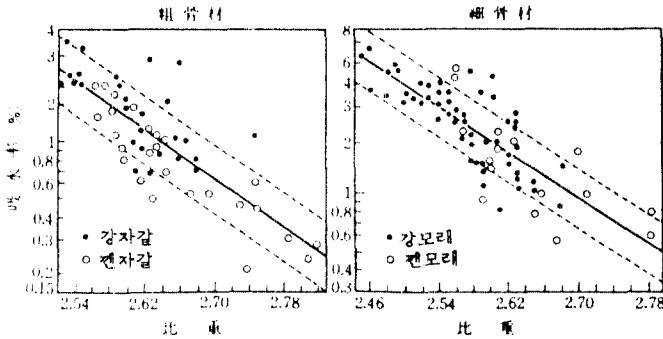


그림6. 비중과 흡수율과의 관계⁷⁾

에서 이들 요인이 압축강도, 탄성계수 등에 큰 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다.

한편 그림7은 골재의 흡수량과 콘크리트의 내구성계수와와의 관계를 나타낸 것으로 흡수량이 증가함에 따라凍結融解作用에 대한 저항성이減少하는性質을 보여주고 있다. 또한 흡수량이 많은 골재에는軟石이 많이 포함되어 있기 때문에 콘크리트의 摩耗抵抗을 低下시키는 요인이 되기도 한다. 이와 같은 이유로 인해 골재의 비중, 흡수량은 콘크리트의 強度, 彈性係數를 비롯하여 耐久性에 關係하는 광범위한 諸物性에 影響을 미치는 요인이 되고 있다.

비중이 작은 골재를 사용한 콘크리트는 單位容積重量이 작기 때문에 같은 콘크리트의 普通骨材 콘크리트에 比較해서 슬럼프가 작아지는 것이 고려되고 있다. 이와 같은 경향은 輕量骨材의 경우에 비교적 分明하게 나타나고 있다.

또한, 콘크리트의 70-80%는 골재에 의해서 점유되고 있기 때문에 콘크리트의 單位容積重量은 일반적으로 골재의 비중에 따라 決定되고 있다. 岩石의 種類에 따라 다르지만 보통의 경우 河川骨材의 경우보다 碎石骨材의 경우가 비중이 크게 나타나는 경향이이며 이에 따른 콘크리트의 諸般特性에도 많은 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다.

3.4. 不純物

통상 不純物이라 함은 넓은 의미로 임퓨리티스(Impurities) 즉, 純度を 低下시키는 異種物質을 의미하지만,

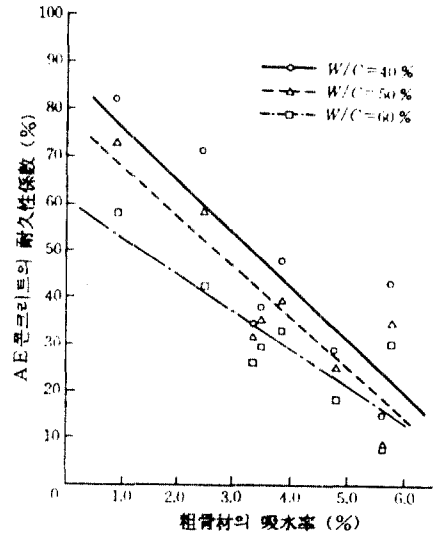


그림7. AE 콘크리트의 耐久性係數와 粗骨材의 吸水率과의 關係⁸⁾

골재에 있어서는 多種의 鑛物로 構成되어 있는 것도 있어 일반적으로 有害한 不純物만을 지칭해 딜리타리어스 서브스탠스(Deleterious Substance)라고 부르고 있다.⁹⁾

또한 골재의 採取場所가 다양하기 때문에 골재에 포함된 不純物도 多種類化하고 있다. 各骨材에 있어서 콘크리트와 關係해서 有害한 影響을 나타낸 것이 표3이다. 일반적으로 河川骨材의 경우에는 有機不純物, 泥土, 粘土塊 등이 주의를 요하는 不純物로 되고 있으며, 碎石

표3. 骨材의 種類와 注意를 요하는 不純物⁹⁾

骨材 不純物	강모래 강자갈	산모래·자갈 유모래·자갈	바다모래 바다자갈	옐모래 옐자갈	인공경량골재, 슬래그
有機不純物	◎	◎	△	-	-
鹽分	-	-	◎	-	△
泥土	◎	◎	◎	△	-
粘土塊	◎	◎	-	-	-
石粉	-	◎	-	◎	-
貝殼	-	△	◎	-	-
雲母片	△	△	△	-	-
硫鐵鑛	△	-	-	-	-
硫黃·硫酸物	△	△	△	-	◎
輕量糞渣	△	◎	◎	-	△
石炭·亞炭	△	◎	-	-	-

◎: 惡影響이 큰 것, 特別 注意를 要하는 것.

○: 存在가 豫想되는 것.

△: 多少가 존재하는 경우가 있는 것.

骨材에 있어서는 특히, 石粉이 큰 문제로 되고 있는 것으로 나타나고 있다.

有機不純物로서는 푸민酸, 탄닌酸 등을 들수 있으며 이들은 腐蝕土나 泥炭 중에 포함되어 있으며 이러한 것이 포함된 骨材를 사용한 경우에는 시멘트중의 石灰分이 반응하여 有機酸 石灰鹽을 生成하고, 시멘트의 凝結을 遲延시키거나 硬化를 저해하는 것으로 된다. 또한 收縮變形도 증대하는 경향을 보이고 있다.

泥分을 많이 함유한 骨材를 사용한 콘크리트에서는 동일 콘시스턴스를 얻기 위해 單位水量을 증대시켜야 하고, 乾燥收縮의 증대 및 塑性龜裂의 發生 등의 影響이 유발된다. 이외에도 強度低下 및 耐摩耗性的의 低下 등 콘크리트의 品質 전반에 걸쳐 많은 악 영향이 나타나는 것으로 보고되고 있어 주의를 요한다.

한편, 碎石骨材로서 깐자갈 및 깐모래에 많이 포함되어 있는 石粉은 石灰岩 碎石의 製造에서 특히 많은 것으로 나타나고 있으며, 전반적으로는 現 製法의 경우 5-7% 이내로 하는 것이 곤란한 것으로 되어 있다. 石粉量이 많이 포함된 骨材를 사용하는 경우에는 骨材와 시멘트페이스트와의 附着을 저해시켜 強度低下를 일으키는 要因이 되기도 한다. 이외에는 單位水量의 증가에 수반된 乾燥收縮의 증대경향도 약간 나타나고 있지만 총체적으로 볼 때에는 泥土混入에 의한 影響보다는 작은 것 같다.

4. 結論

최근 콘크리트용 骨材의 사정은 環境保全을 위한 採取規制 및 각종 법의 建設에 따른 河川骨材 流入量의 減少 등으로 악화일로에 있으며, 良質의 골재입수가 곤란해지고 있다. 특히, 骨材의 대부분을 공급하고 있던 무분별한 河川骨材의 採取는 河川管理上의 측면에서 河川災害의 發生과 資源으로서의 河川骨材의 枯渴 등 社會問題化하는 경향을 나타내고 있다.

이러한 실정에서 低品質骨材를 사용한 콘크리트 構造物에서 나타나고 있는 여러 缺陷들은 곧 都市環境의 破壞로 이어지기 때문에 이들에 대한 엄격한 品質管理가 요망되고 있으며, 良質의 天然骨材 賦存量 調査와 함께 資源化概念의 導入이 國家 政策的으로 추진되어야 할 것으로 사료된다.

한편, 매년 증대되고 있는 碎石骨材의 사용에 따른 石山開發은 自然環境破壞 問題가 뒤따르고 있으며 隣近地域의 粉塵公害도 유발하고 있어 무분별한 河川骨材의 採取에 따른 문제와 함께 심각한 社會問題로 대두되고 있다.

本 稿는 이러한 河川骨材와 碎石骨材의 諸般特性이 콘크리트의 品質에 미치는 影響을 다각적으로 살펴본 것으로 향후, 學界 및 産業界에서는 콘크리트용 골재에 대한 問題의 심각성을 인식하여 骨材開發, 骨材의 諸特性 상호간의 관련성, 低品質骨材의 使用規制方案, 生産流通의 近代化 등에 대한 研究가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

參考·引用文獻

1. 金武漢, 建築材料學, 文運堂, 1988.
2. 崔敏壽, 申錫浩, 金武漢, 레미콘 및 關聯 原資材의 消費行態에 관한 調査分析, 大韓建築學會 學術發表大會論文集, 第10卷, 第12號, 1990.10, pp.625-630.
3. 日本콘크리트協會, 콘크리트便覽, 技報堂, 1978, pp.183-193.
4. 白田和久, 骨材의 性質·性能(概說), 콘크리트工學, Vol. 16, No.9, 1978.9, pp.6-7.
5. 永松靜也, 骨材의 性質·性能(力學的 性質), 콘크리트工學, Vol.16, No.9, 1978.9, pp.18-19.
6. 向井毅, 骨材에 起因する 콘크리트의 缺陷, セメント・コンクリート, No.415, 1981.9, pp.135-142.
7. 西澤紀昭, 콘크리트骨材의 比重, 吸水量, 安定性, すりへの各種試驗結果間相互의 關係, 電力中央研究所技術研究報告, 第9卷, 1959.6.
8. 三浦忠ほか, 骨材의 質による 콘크리트의 耐久性에 關する 研究, セメント・コンクリート, 1973.7.
9. 重倉祐光, 骨材의 性質·性能(不純物), 콘크리트工學, Vol.16, No.9, 1978.9, pp.29-35.
10. 中井裕, 新版碎石, 技術書院, 1980.
11. 洪悅郎譯, 콘크리트骨材ハンドブック, 技術書院, 1987.
12. 內務部, 粗骨材 需給安定 對策 推進指針, 1990.6.
13. 山本泰彦, 粗骨材의 形狀ならび에 表面性狀가 콘크리트의 諸性質에 及ぼす 影響, ヤメント技術年報, 1968.
14. 前川靜男ほか, 低品質의 碎石가 콘크리트의 諸性質에 與える 影響, 콘크리트ジャーナル, 1970.12.
15. 岩崎訓明, 骨材의 性質·性能(粒度·粒形), 콘크리트工學, Vol.16, 1978.9, pp.9-13.