

忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트용 骨材化에 관한 研究 (I)

- 第 1 報 : 鑛山廢石의 콘크리트용 骨材로써의 特性 -

A Study on the Use of Mine-Waste on the Chung-Buk Area as the Aggregate of Concrete (I)

- Part I : The Aggregate Properties of Mine Waste -

○ 柳 顯 紀¹⁾ 尹 起 源²⁾ 韓 千 求³⁾ 金 武 漢⁴⁾

Ru, Hyeun Gi Yoon, Gi Won Han, Cheon Goo Kim, Moo Han

ABSTRACT

This study is designed for analyzing the physical properties of grading, shape, specific gravity and etcetera of mine-waste as the aggregate of concrete when mine waste is crushed by jaw crusher, and is aimed presenting the using the possibility, content and reference data for the quality control of practical use on the concrete using the mine-waste aggregate.

I. 序 論

産業 廢棄物의 일종인 鑛山 廢石을 콘크리트용 骨材로의 再活用 方案의 研究를 進行하기 위 한 豫備調査 結果 忠北地域에 分布되어 있는 鑛山은 100여개로 콘크리트용 骨材化가 可能한 鑛山은 68개인데, 이때 鑛山廢石의 發生量은 一日 약 14,000t 정도로서 發生量의 50%만 再活用하 여도 忠北道內 레미콘용 굵은骨材의 使用量을 모두 충당할 수 있을 것으로 判斷되었다.¹⁾

그러나, 콘크리트용 骨材로써의 適合성은 KS 의 標準的인 試驗을 통하여 定量的인 評價를 하 여야 하는데, 發生되는 鑛山廢石을 콘크리트용 骨材로 利用하기 위해서는 먼저, 鑛山廢石의 粒度 및 粒形 特性 등 各種 物理的 性質의 評價가 要求된다.

그러므로, 本 研究에서는 忠北道內 全體 鑛山 中 가장 代表的이라고 判斷되는 鑛物을 임의로 選定하여 그 廢石을 조 크라셔에 의하여 骨材化 할 경우 粒度 및 粒形 特性과 콘크리트용 骨材 로서의 諸般 物理的 性質을 KS 規定(KS F 2558 콘크리트용 부순모래, KS F 2527 콘크리트용 부순돌) 및 標準示方書의 品質基準과 比較 分析 하므로써 콘크리트용 骨材로써의 活用 可能性과 使用 可能量에 대한 檢討 및 추후 모르터 및 콘

크리트에 適用할 경우의 品質管理에 한 參考資 料를 提示하고자 研究 目的하였다.

II. 實驗計劃 및 方法

2.1 對象選定

本 研究의 對象은 豫備調査¹⁾에서 밝혀진 100 개 鑛山(金屬 7개 鑛種, 16개 鑛山; 非金屬 12 개 鑛種, 84개 鑛山) 中 콘크리트용 骨材로 利 用할 수 없다고 보여지는 곶령토, 사금, 점토鑛 山과 가동되지 않는 鑛山 및 廢石의 野積量이 적은 일부 鑛山을 除外한 68개 鑛山 中 鑛種別 로는 13개 鑛種을 選定하였고, 同一 鑛物일지라 도 廢石의 產出量이 많거나 鑛脈이 다른 경우는 鑛種別 및 產地別로 追加하여 총 23개 產地의 鑛山廢石을 選定하였는데, 이때 忠北道內 全體 鑛山 中 對象鑛山은 그림 1과 같다.



그림 1. 實驗對象 鑛山

- 1) 正會員, 忠州産業大 副教授, 清州大 博士課程
- 2) 正會員, 清州大 大學院 博士課程
- 3) 正會員, 清州大 教授, 工博
- 4) 正會員, 忠南大 教授, 工博

2.2 實驗計劃

本研究의 實驗計劃은 表 1과 같다. 즉, 조 크라셔로 生産된 鑛山廢石에 대하여 粒度特性으로 粒度分布, 粗粒率, 粒形 特性으로 粒形判定 實積率, 形狀係數, 粒形 및 形狀分類, 物理的 特性으로 比重, 吸水率, 單位容積重量, 空隙率과 굵은骨材의 磨耗率 및 잔骨材의 No.200계 通過量 등을 試驗하여 콘크리트用 骨材로써 活用 可能한 鑛山廢石의 색출과 아울러 使用 可能量을 推算하도록 實驗計劃하였다.

表 1. 實驗計劃

骨材 種類	實 驗 項 目	
	잔 骨 材	굵은 骨 材
13종 23개 產地	粒度分布, 粗粒率, 粒形判定 實積率, 比重, 吸水率, 單位容積重量, 空隙率	
	No. 200계 通過量	磨耗率, 形狀係數 및 形狀分類

2.3 實驗方法

本研究의 實驗 方法은 實驗對象 鑛山廢石에 대하여 먼저, 現地로부터 採取해온 40~80mm의 鑛山廢石을 實驗室用 조 크라셔를 이용 分碎함으로써 骨材化하였고, 파쇄가 끝난 鑛山廢石을 No.4체로 체가름하여 잔·굵은骨材로 分類한 다음 각 骨材의 粒度 및 粒形과 物理的 特性을 각각 KS의 해당 規定에 의거 標準인 方法으로 실시하였고, 굵은骨材 形狀係數는 Wentworth의 方法⁴⁾으로 구하였고, 形狀分類는 Zingg의 方法⁵⁾으로 表 2에 準하여 分類하였다.

表 2. 形狀 分類法

形 狀	中間徑/最大徑	最小徑/中間徑
球 狀	2/3以上	2/3以上
圓板狀	2/3以上	2/3以下
葉板狀	2/3以下	2/3以上
棒 狀	2/3以下	2/3以下

III. 實驗結果 및 分析

3.1 粒度分布 및 粒形

1) 粒度分布 特性

그림 2는 實驗對象 鑛山廢石을 조 크라셔로 分碎하였을 경우 製造된 잔·굵은骨材의 粒度分布를 鑛種別로 나타낸 그래프이다.

잔骨材의 경우 粒度分布 形態는 均一粒度性

分布를 나타내는 쌍용鑛山의 石灰石을 제외하고는 產地別 또는 鑛種別로 거의 類似한 傾向인데 즉, 1.2mm 이상과 0.15mm 以下の 粒子가 많은 不連續粒度의 傾向을 나타내고 대부분의 鑛種에서 0.15mm 以下の 미립분이 20% 內外로써 建築 工事 標準示方書의 標準粒度 範圍 2~10%보다 2 배 이상 많은 것으로 나타났다.

또한, 굵은骨材의 粒度分布는 鑛種別, 產地別로 거의 類似한 傾向으로 나타났는데, 특히 대덕 및 지원의 無煙炭, 용화의 金, 금풍의 구리, 기린의 몰리브덴 廢石의 경우 10mm 以上の 粒子가 標準粒度 範圍보다 적은 것을 除外하고는 거의 모든 廢石이 標準粒度 範圍에 들어가거나 接近하고 있어 약간의 粒度調整을 實施하면 粒度分布上으로는 거의 問題視되지 않을 것으로 나타났다.

2) 粒形 特性

그림 3은 鑛種別 및 產地別 鑛山廢石을 조 크라셔로 分碎한 경우 粒形 特性을 分析하기 위한 잔·굵은骨材의 粒形判定實積率과 굵은骨材의 경우 磨耗試驗 후의 粒形判定實積率을 막대그래프로 나타낸 것이다. 먼저, 잔骨材의 경우 粒形判定實積率은 平均 56.5%로 KS의 "53%以上" 規定을 상회하는 良好한 것으로 나타났는데, 唯一하게 不合格된 한국유리산 백운석의 경우도 52.8%로 크게 低下하는 것은 아닌 것으로 나타났다.

굵은骨材의 粒形判定實積率은 平均 54.6%로써 KS의 "55% 以上" 規定에 대부분 미달되는 不利한 傾向을 나타내었는데, 이는 조 크라셔의 構造上 骨材分碎時 骨材間 接觸面에 큰 應力이 集中되어 파쇄되므로 편평하거나 길쭉함 등 粒形이 매우 나쁘고 또한, 각이 지어있는 등의 原因에 起因된 結果로 分析되어진다.

그런데, 굵은骨材의 粒形 改良을 目的으로 로스안젤레스 磨耗試驗機에서 磨耗回轉數 500회로 磨耗시킨 結果 粒形判定實積率은 平均 59.3% 程度로 모두 KS 規定을 상회하는 良好한 結果로 나타났다.³⁾

參考로 表 3은 조크라셔에 의한 分碎시 製造된 骨材 및 磨耗 試驗後의 形狀係數 및 形狀分類를 나타낸 것으로써 먼저, 조 크라셔에 의한 分碎 後 形狀係數는 1.84~4.58의 範圍로 鑛種 및 產地別로 差異가 크게 나타났으며, Zingg의

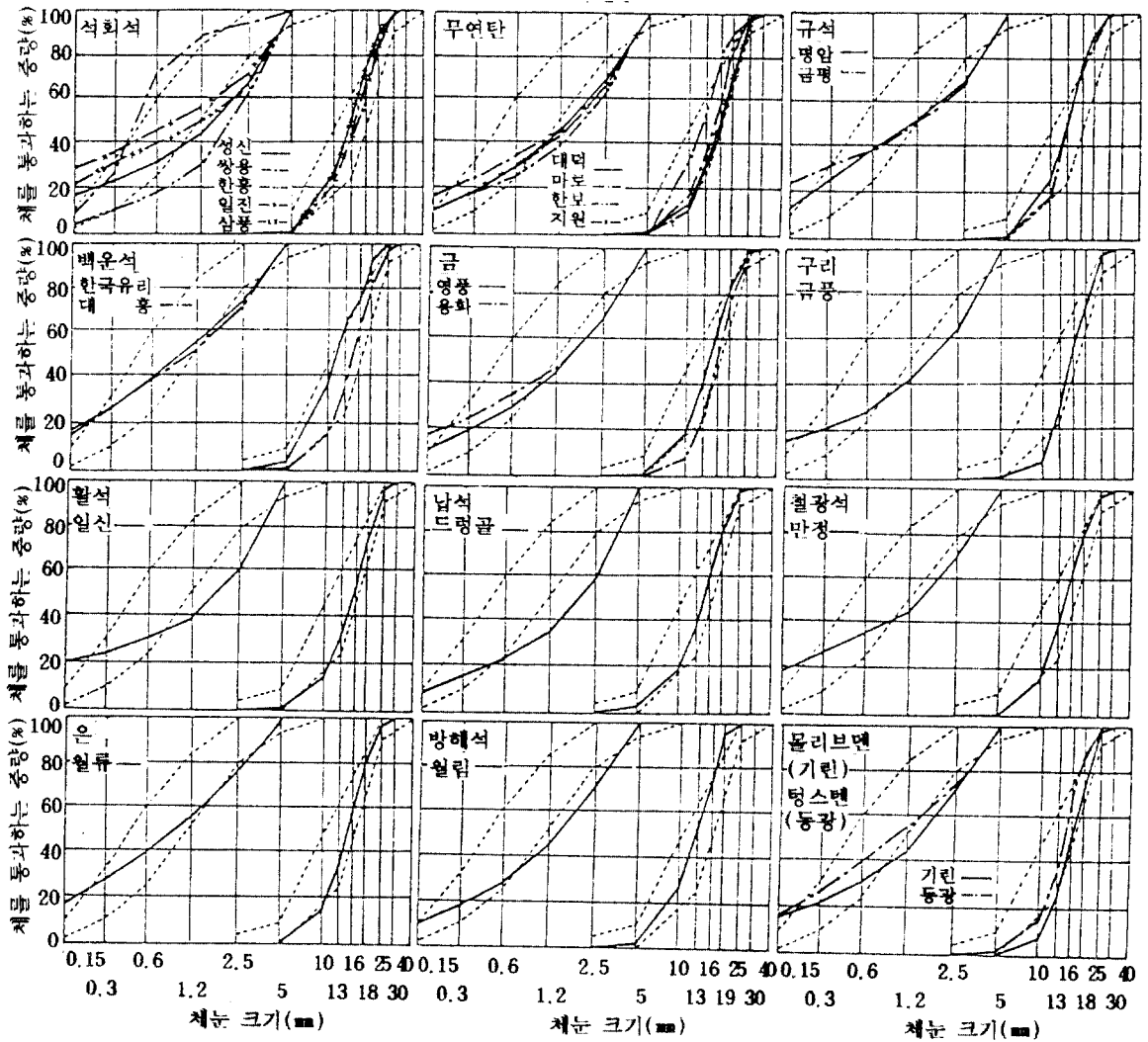


그림 2. 조 크랏서에 의한 분쇄후 製造된 잔 굵은骨材의 粒度曲線

形狀分類法에 의한 形狀으로는 용화산의 금광廢石과 기린산 물리브멘의 경우 球狀의 良好한 骨材 形狀을 나타내었으나 그 외의 모든 鑛山廢石에서는 원판상이나 엽판상의 불리한 形狀으로 나타났다.

그런데, 形狀 또한 粒形改良을 위한 磨耗試驗 結果 성신과 일진산의 석회석, 명암산의 규석, 일진산의 활석을 除外하고는 모두 球狀으로 改良되는 것을 알 수 있었다.

3.2 物理的 特性

그림 4는 잔 굵은骨材의 表乾比重을 鑛種 및 產地別로 나타낸 막대그래프이다. 먼저, 全般的인 傾向으로 잔 굵은骨材 공히 물리브멘, 텡스

텐, 철광석, 백운석, 구리 및 일부 석회석에서 比重 2.7 以上으로 나타났다.

이를 建築工事 標準 示方書 및 KS F의 規定值인 比重 2.5 以上과 比較할때 잔骨材의 경우 단양 대홍의 백운석, 제천 명암의 규석, 보은 한보의 무연탄 및 단양 드렁골의 납석에서 2.47~2.48로 약간 미달되고 있으나, 굵은骨材의 경우에는 모두 規定值를 상회하여 良好한 比重임을 알 수 있었다.

그림 5는 잔 굵은骨材의 吸水率을 比較한 그래프이다. 骨材 種類別 吸水率은 全般的으로 比重과는 反對의 傾向으로 比重이 작은 鑛種은 吸水率이 크고 比重이 큰 텡스텐, 물리브멘 및 철

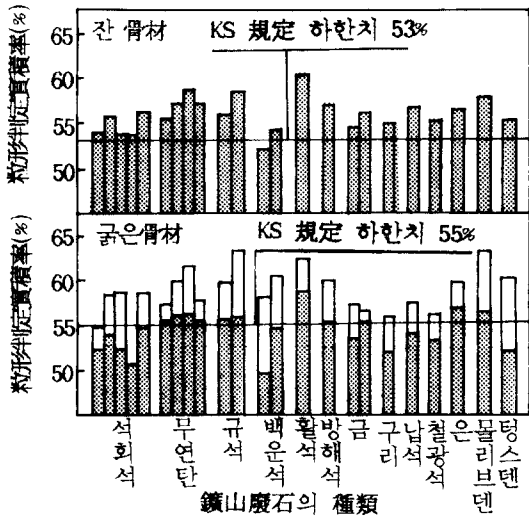


그림 3. 잔·굵은골재의 粒形判定實積率

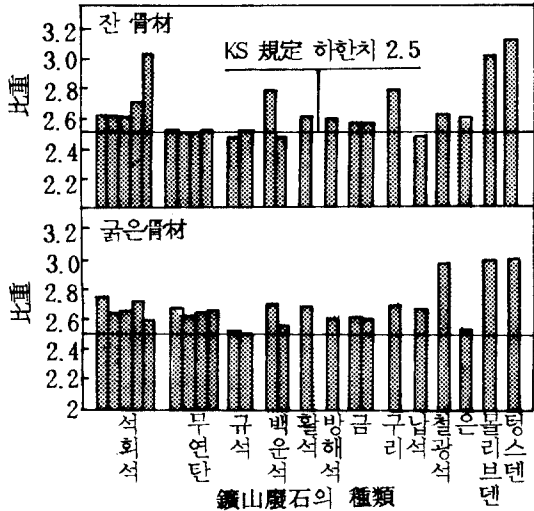


그림 4. 잔·굵은골재의 表乾比重

광석에서 작게 나타났는데, 大部分의 鑛種은 建築工事 標準示方書 및 KS 規定인 “3.0以下”에 합격하는 良好한 傾向이나, 잔골재의 은과 납석의 鑛種에서 3.23%와 3.05%로 規定을 상회하고, 굵은골재는 괴산 한홍산 석회석만이 3.68%로 規定을 상회하는 傾向으로 나타났다.

그림 6은 鑛種 및 産地別 잔골재의 No.200체 通過量을 比較한 것으로, 보은 일진산의 석회석 廢石이 20.4%로 제일 크고, 괴산 금평산의 규석, 몰리브덴, 활석의 순으로 나타났으며, 단양 드렁골산의 납석과 옥천 지인산의 무연탄만이 약 7%程度로 제일 작게 나타났는데, 鑛種 및 産

표 3. 鑛山廢石 骨材化 方法에 따른 粒形

區 分	조 크리서		磨耗 試驗機	
	形狀係數 F=a+b/2c	形狀	形狀係數 F=a+b/2c	形狀
석회석	성신	2.87	원판상	원판상
	일진	2.45	원판상	원판상
	한홍	2.90	원판상	구상
	삼풍	3.10	원판상	구상
	쌍용	2.28	원판상	구상
무연탄	대덕	2.63	원판상	구상
	한보	2.65	엽판상	구상
	마로	2.63	엽판상	구상
	지인	2.74	엽판상	봉상
규석	명암	2.30	엽판상	원판상
	금평	2.30	엽판상	구상
백운석	한국유리	4.58	엽판상	구상
	대홍	2.34	엽판상	구상
활석	일신	2.53	엽판상	원판상
방해석	월림	2.13	원판상	구상
	영풍	2.42	원판상	구상
금	용화	1.84	구상	구상
	금풍	3.13	원판상	구상
납석	드렁골	2.96	엽판상	구상
철광석	만정	2.34	원판상	구상
	월유	2.22	원판상	구상
몰리브덴	기린	2.20	구상	구상
	동광	2.92	엽판상	구상

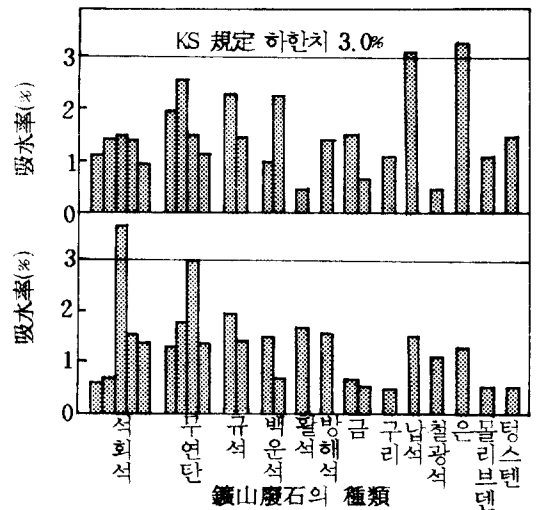


그림 5. 잔·굵은골재의 吸水率

地別 偏差가 매우 큰 傾向으로 즉, 大部分의 잔골재에서 規定値를 상회하고 있어 조 크리서로 分碎한 碎石骨材를 콘크리트用 骨材로 利用할 경우 잔粒子的 含有量을 줄이는 方案을 강구할 必要가 있는 것으로 判斷된다.

그림 7은 굵은골재의 磨耗試驗에 의한 磨耗率을 鑛種 및 產地別로 比較한 것으로 鑛種別 偏差가 다소 크게 나타났는데, 석회석(괴산, 보은, 삼풍), 규석(제천, 괴산), 백운석(단양), 활석(충주), 방해석(제천), 물리브덴(제천)의 6개 광종 9개 산지의 鑛山 廢石이 KS規格 40% 以下の 規定에 不合格되는 것으로 나타났다.

參考로 制限 規定이 없는 單位容積重量은 잔골재의 경우 일진광산의 석회석이 1925kg/m³로 가장 크고, 영동 월유산의 은이 1573kg/m³로 제일 작으며, 굵은골재는 텡스텐이 1730kg/m³로 가장 크고, 물리브덴, 철광석의 순으로써 잔골재와 마찬가지로 영동산의 은이 1403kg/m³로서 제일 작게 나타났는데, 全體的인 傾向은 比重 傾向과 類似한 것으로 나타났다.

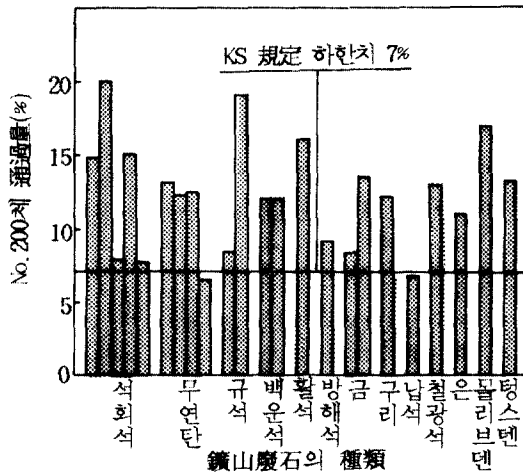


그림 6. 잔골재의 No. 200계 通過量

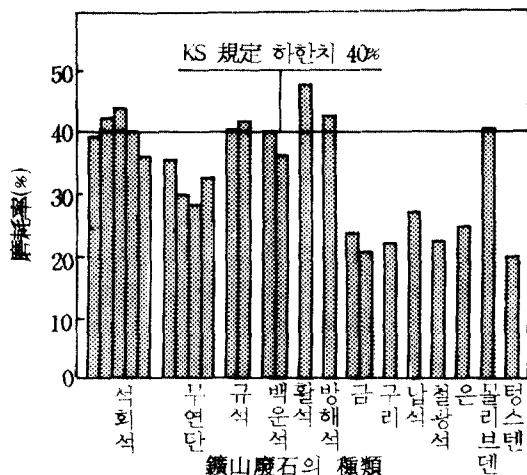


그림 7. 굵은골재의 磨耗率

한편, 空隙率은 잔골재의 경우 쌍용산의 석회석과 영동 월유산의 은, 제천 금풍산의 구리 및 제천 기린산의 물리브덴이 35% 이상으로 매우 크고, 중원 만정산의 철광석에서 21.2%로 제일 작은 것으로 나타났으며, 굵은골재에서는 구리, 단양 드렁골의 납석, 은, 무연탄, 물리브덴에서 43% 이상으로 매우 크고, 음성 영풍산의 금광廢石이 27.2%로 가장 작게 나타났는데, 이는 粒形 및 粒度 特性과 比重 등에 의한 複合的인 結果로 分析되어진다.

3.3 鑛山廢石골재의 使用 可能量 分析

표 4는 잔·굵은골재의 粒度, 粒形 및 物理的 性質의 實驗結果로 活用 可能與否를 判斷한 다음 使用 可能한 鑛山廢石에 대하여 使用 可能量을 分析한 것이다. 먼저, 鑛山廢石의 使用 可能與否 判斷은 人爲的인 改良이 不可能한 比重, 吸水率, 磨耗率 등이 KS 規定에 不適合할 경우는 使用 不可로 判斷하였으며, 기타 改良이 可能한 要素가 不合格된 경우는 모두 使用 可能한 것으로 判斷하였는데, 이때, 잔골재의 경우는 보은 한보의 무연탄, 제천 명암의 규석, 단양 대홍의 백운석, 단양 드렁골의 납석, 영동 월유의 은 등 5개 產地의 鑛種을 除外한 18개 產地의 鑛種이 可能한 것으로 分析되어졌으며, 굵은골재의 경우 괴산, 영동 및 충주의 석회석과 제천, 괴산의 규석, 단양의 백운석, 충주의 활석, 제천의 방해석과 물리브덴 등 9개 產地의 鑛山廢石이 使用 不可로 判斷되고, 그 外의 14개 鑛山廢石은 使用 可能할 것으로 分析되었다.

따라서, 콘크리트用 骨材로서 使用可能한 鑛山廢石의 量은 表4와 같은데, 잔·굵은골재 모두 使用可能한 鑛山廢石은 조 크라서에 의한 分碎時 各 發生比率은 먼저, 잔골재는 發生된 잔골재 40%中에서 微粒分(No. 200계 通過量 약 15%) 除去와 粒形改良을 위하여 20%는 廢棄하는 것으로 換算하여 32%(發生量 40%×0.8)를 使用可能한 量으로 適用하였으며, 굵은골재도 發生量 60%에서 粒度 調整 및 粒形改良을 위하여 20%는 廢棄하여 48%를 使用可能한 量으로 算出하였다.

잔·굵은골재의 使用 可能量은 表 4와 같이 1일 廢石 發生量 14,133.8t에 대하여 잔골재는 34% 程度, 굵은골재는 38% 程度를 再使用할 수 있는 것으로 分析되어졌다.

表 4. 잔·굵은骨材의 使用 可能量

區 分	1日平均 廢石 發生量(t/일)	使用 可能量(t)		
		鑛 種	잔骨材	굵은骨材
金屬 鑛山	524	금 은 기 타	154.9 0	251.5 0
非金屬 鑛山	13,609.8	석회석	4,433.7	4,913.8
		무연탄	79.2	133.2
		규석	25.6	0
		활석	64.0	0
		납석	0	1.9
計	14,133.8	백운석	16.4	0
		기타	0	0
			4,773.8	5,300.4
		10074.2		
百分率 (%)	100		33.78	37.50
			71.28	

IV. 結 論

鑛山廢石을 콘크리트用 骨材로 再活用하고자 함에 따르는 可能性을 파악하기 위한 研究로, 忠北地域 13개 鑛種 23개 産地의 鑛山廢石을 조 크라서로 骨材化할 경우 콘크리트用 骨材로서의 特性을 檢討한 후 活用 可能性 與否 및 可能量을 分析한 結果는 다음과 같다.

- 1) 鑛山廢石의 粒度分布 特性은 잔骨材의 경우 全般的으로 1.2mm 以上과 0.15mm 以下の 粒子가 많고 그 사이가 적은 不連續粒度의 傾向으로 나타났고, 굵은骨材는 구리와 물리브덴 廢石을 除外하고 標準粒度範圍에 들거나 接近하고 있어 特別히 問題視되는 점은 發見되지 않았다.
- 2) 粒形特性으로 粒形判定實積率은 잔骨材의 경우 거의 모든 廢石이 KS 規定 “53% 以上”에 合格하는데, 굵은骨材는 대부분 KS 規定 “55% 以上”에 미달되는 것으로 나타났고, 굵은骨材의 形狀은 대부분 원판상이나 엽판상으로 나타났다. 한편 굵은骨材의 粒形改良을 위하여 로스안 젤레스 磨耗試驗機로 磨耗시킨 結果 모든 鑛種에서 粒形判定實積率이 KS 規定에 合格하고, 形狀은 대부분 구상이 되는 것으로 나타났다.
- 3) 物理的 特性으로 表乾比重은 잔骨材의 경우 단양 대홍의 백운석, 제천 명암의 규석 등 4개 鑛山廢石이 KS 規定 “2.5 以上”에 미달되었으나, 굵은骨材는 모두 KS 規定 “2.5以上”에 合格하였고, 吸水率으로써 잔骨材는 영동 일유의 은 및 단양 드령골의 납석에서, 굵은骨材는 괴산 한홍산의 석회석에서 KS 規定 “3.0% 以下”를

超過하는 것으로 나타났으며, 잔骨材의 No. 200계 通過量은 거의 모두 KS 規定 “7.0% 이하”를 상회하여 미립분 除去가 要求되고, 굵은骨材의 磨耗率은 석회석(괴산 한홍, 보은 일진, 영동 삼풍), 규석(제천 명암, 괴산 금평) 등 9개 産地의 廢石이 40% 以下の 規定에 不合格인 것으로 나타났다.

4) 鑛山廢石의 粒度 및 粒形 特性과 각종 物理的 特性으로 再使用 與否를 分析한 結果 잔骨材는 5개 産地, 굵은骨材는 14개 産地의 鑛山廢石이 使用 不可能으로 判斷되었고, 1일廢石 發生量에 대하여 使用 可能한 廢石의 發生量은 잔骨材는 4,774t, 굵은骨材는 5,300t으로 충북지역 鑛山廢石 發生量의 총 71% 程度를 再使用할 수 있는 것으로 밝혀졌다.

綜合的으로 鑛山廢石의 약 70%가 良好한 콘크리트用 骨材로 再使用될 수 있으며, 其他의 약 30%정도는 低品質用이나 시멘트 加工製品 等に 利用될 수 있을 것으로 사료되어 鑛山廢石을 再利用하는 것은 經濟的인 側面이나 環境汚染防止 等の 側面에서 劃期的인 方案이 될 수 있을 것으로 추측된다.

參 考 文 獻

- 1) 尹起源, 柳顯紀, 韓千求 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究(I) - 실태 조사-, 大韓建築學會 學術發表 論文集, 第11卷 第2號, pp.569~572, 1991.
- 2) 羅其挺, 尹起源, 柳顯紀, 韓千求, 金武漢 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究(II) - 第1報: 조 크라서 方法의 骨材生産에 따른 粒度 및 粒形變化-, 大韓建築學會 學術發表 論文集, 第13卷 第2號, pp.587~590, 1993.
- 3) 柳顯紀, 羅其挺, 尹起源, 韓千求, 金武漢 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究(II) - 第2報: 磨耗方法의 骨材生産에 따른 粒度 및 粒形變化-, 大韓建築學會 學術發表 論文集, 第13卷 第2號, pp.591~594, 1993.
- 4) C. K. Wentworth : The shapes of pebbles, U.S. Geo 1., SurveyBull, 730C, 1992.
- 5) Th.zingg : Beritrag zur Schötler Analyse, Schweiz, Min.U.Pet.Mitt, Vol.15, 1935.