論文　高速回転衝撃及び遠心力微粉末集塵による再生細骨材乾式生産システムの性能評価に関する研究

金武漢[*1]・金圭庸[*2]・羅哲成[*3]・金映德[*3]

要旨： 本研究では廃コンクリートの発生による環境負荷問題を解決し，従来の再生細骨材生産システムに比べて経済性と環境性が優秀で，再生細骨材の品質改善が可能である生産システムを開発するために高速回転衝撃式比重分離装置と遠心力微粉末集塵装置などで構成された再生細骨材乾式生産システムを開発して，それによって生産した再生細骨材の品質を評価して，その性能を検証した。

キーワード：廃コンクリート，高速回転衝撃，遠心力微粉末集塵，再生細骨材，乾式生産システム

1. はじめに

最近，韓国の政府では再建築及び都市再開発事業が急速に増加し続けており廃コンクリートを処理するための政策の一環として再生細骨材を循環細骨材と用語を変えるなど建設廃棄物再活用促進政策に関する法律及び施行令を制定し，廃コンクリートを循環資源として活かした再生細骨材の再活用を積極的に図っている[1)]。

一方，廃コンクリートを活用した再生細骨材の製造技術に関する研究が進行され，加熱磨砕，水処理及び風力選別方式のような様々な再生細骨材生産システムが開発され適用している[2),3),4),5)]。

しかし，従来の再生細骨材生産システムにおいて加熱磨砕方式では高価の加熱装置と高エネルギーの消費，水処理方式では水洗浄装置及びフイルタープレスなどの高価装置と洗浄水及びスラッジの処理問題など改善するべき課題が残されている。一方，現在採用している風力選別方式のような乾式生産方式は生産設備が相対的に簡単であり，消費エネルギー量が少ないが，付着モルタルを効率的に取り除くことが難しいと言われる。

本研究は再生細骨材の乾式生産方式として経済性及び環境負荷低減性のメリットを生かし，再生骨材の破砕及び分離のための高速回転衝撃式比重分離装置と微粉末の分離・集塵のための遠心力微粉末集塵装置などを備え付けて再生細骨材の品質向上が可能である乾式生産システムを開発し，再生細骨材の品質を評価した後その性能を検証したものである。

2. 乾式生産システムの必要性及び主要メカニズム

2.1 乾式生産システムの必要性

再生細骨材生産システムの選定時には**表－1** に示したような経済性，環境負荷低減性及び生産した再生細骨材の品質などを考慮すべきである。

表－1　再生細骨材生産システムの選定時考慮事項

区　分	考　慮　事　項
経済性	- 初期設置費用：構成装置，設置面積 - 維持管理費用：電力消費量，装置寿命
環境負荷低減性	- 副産物の親環境的な処理 - 骨材破砕時に発生する微粉末の集塵
再生細骨材の品質	- 附着モルタルの除去 - 再生細骨材から微粉末の除去

表－2　乾式と水処理システムの比較

区　分		乾式生産システム	水処理システム
経済性	初期設置費用	- 高速回転衝撃式比重分離装置などの低価装置で構成 - 設置面積が少ない	- フイルタープレスなどの高価装置で構成 - 設置面積が大きい
	維持管理費用	- 乾燥状態の微粉末の処理費用減少 - 電力消費が少ない	- 洗浄水及びスラッジの処理費用増大 - 電力消費が大きい
環境負荷低減性		- 副産物として再利用可能な乾燥微粉末生産	- 洗浄水及びスラッジの産業廃棄物発生
再生細骨材の品質		- 高速回転衝撃による付着モルタル及び微粉末の除去	- 水洗浄による微粉末の除去

一方，**表－2** は本研究で開発した再生細骨材乾式生産システムと水処理システムを比較したものである。

本乾式生産システムの経済的要因としては高速回転衝撃式比重分離装置などの安価な設置費，少ない設置面積及び電力消費量，乾燥状態の分離集塵が容易であり副産物として微粉末の再利用性などを考慮した。

また，微粉末が密閉した沈降式微粒粉集塵装置に乾燥状態で抱集・貯蔵し，環境汚染を防げ，高速回転衝撃によって再生細骨材から附着モルタル及び微粉末が除去

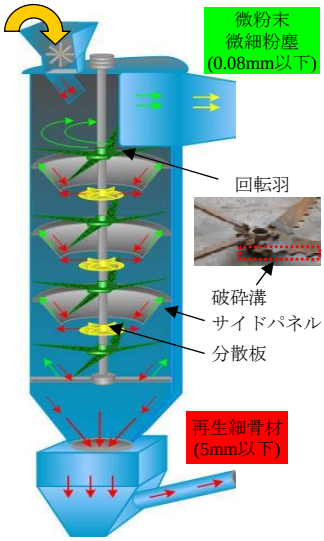
*1 大韓民国　忠南大学校　建築学部　教授　工博　(正会員)
*2 大韓民国　忠南大学校　建築学部　助教授　工博　(正会員)
*3 大韓民国　忠南大学校　大学院 建築工学科　博士課程　(正会員)

されて再生細骨材の品質改善が可能である。

2.2 乾式生産システムの主要メカニズム

(1) 高速回転衝撃による再生細骨材の破砕及び微粉末と微細粉塵の分離

本乾式生産システムの主要メカニズムの一つは**図－1**のように高速回転衝撃式比重分離装置の回転羽を高速に回転し再生細骨材を衝撃作用によって破砕し，再生細骨材から微粉末と微細粉塵を分離することである。



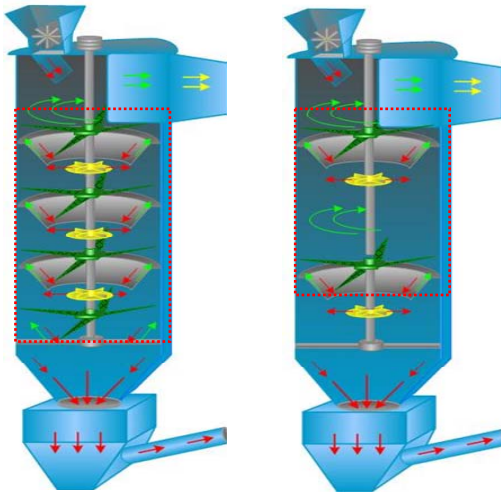
図－1　高速回転衝撃式比重分離装置の概念図

再生細骨材は破砕及び選別装置を通じて高速回転衝撃式比重分離装置へ移送した後回転羽によって内部へ飛散する。

投入した再生細骨材は下部に落下して高速回転している回転羽の破砕溝に衝突したり分散板によって分散され，内壁に衝突し，再生細骨材の相互衝突によって破砕作用が行う。

その際，重い再生細骨材は下部へ落下し，軽い微粉末と微細粉塵は回転羽の回転上昇気流によって浮かび上がり，吸入フアンの強い吸入力によって遠心力微粉末集塵装置に吸い込まれる。

一方，高速回転衝撃式比重分離装置は破砕及び選別装置のような前処理工程の効率を考慮して**図－2** のように回転羽の段数を調節することが出来る。



(a) 4 段高速回転羽　　(b) 2 段高速回転羽

図－2　高速回転衝撃式比重分離装置の回転羽の構成

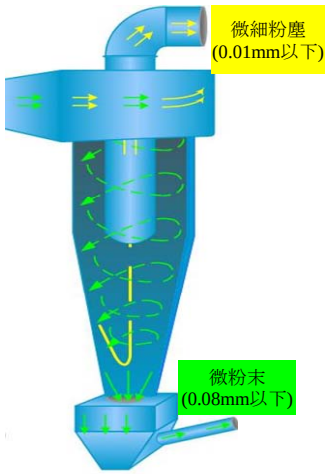
表－3　高速回転衝撃式比重分離装置の構成部品及び機能

構成部品	部 品 の 機 能
回転羽	- 投入した再生細骨材と衝突して回転衝撃による破砕作用 - 回転上昇気流が発生し再生細骨材から微粉末と微細粉塵の分離
分散板	- 密度が大きい再生細骨材が落下する際に回転する分散板によって上段の方に再分散
サイドパネル	- 分散した再生細骨材を下段の分散板へ誘導
内　壁	- 分散板によって分散した再生細骨材が衝突

高速回転衝撃式比重分離装置の構成部品及び機能を**表－3** に示す。

(2) 遠心力及び重力による微粉末と微細粉塵の分離

図－3 は再生細骨材から分離した微粉末と微細粉塵を遠心力と重力によって分離・集塵するサイクロンの原理を応用した遠心力微粉末集塵装置の概念図である。



図－3　遠心力微粉末集塵装置の概念図

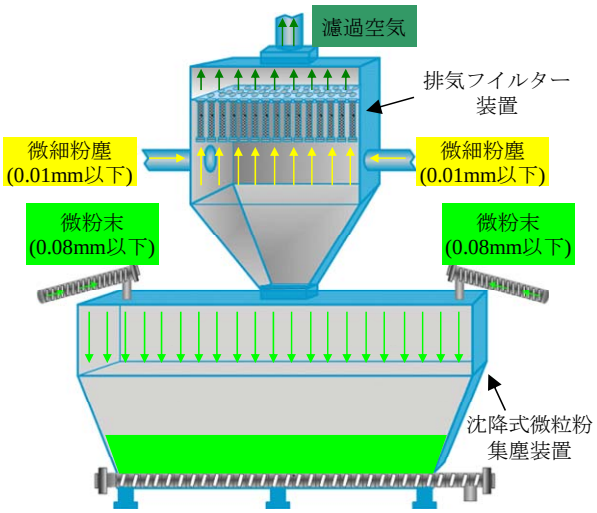
遠心力微粉末集塵装置へ吸い込まれた微粉末と微細粉塵は，遠心力と重力によって重い微粉末は下端部に抱集され，軽い微細粉塵は下端部で発生する上昇気流によって円筒形排気管を通じて上昇・排出する。

表－4 は遠心力微粉末集塵装置の構成部品及び機能を示したものである。

(3) 微粉末の乾式抱集及び空気の濾過

表－4　遠心力微粉末集塵装置の構成部品及び機能

構成部品	部 品 の 機 能
円錐形本体	- 遠心力によって微粉末は下部に落下して微細粉塵は上昇
スクリューコンベヤー	- 装置下部で抱集した微粉末を沈降式微粒粉集塵装置へ移送
円筒形排気管	- 微細粉塵を排気フイルター装置へ排出



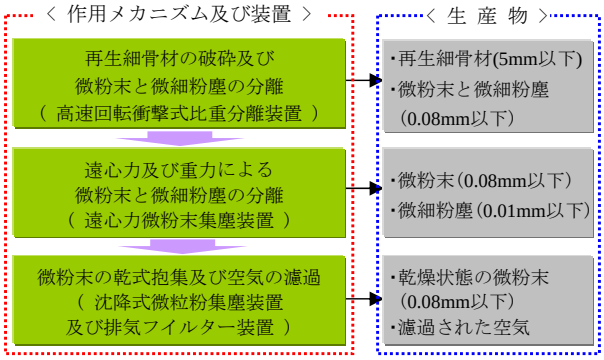
図－4　沈降式微粒粉集塵装置及び
排気フイルター装置の概念図

表－5　沈降式微粒粉集塵装置の構成部品及び機能

構成部品	部 品 の 機 能
ボックス形沈殿槽	- 再生細骨材から分離した微粉末を抱集して貯蔵
微粉末投入口	- 再生細骨材から分離した微粉末が投入

表－6　排気フイルター装置の構成部品及び機能

構成部品	部 品 の 機 能
排気フイルター	- 遠心力微粉末集塵装置を通じて排出した微細粉塵を濾過
微細粉塵投入口	- 再生細骨材から分離した微細粉塵が投入
排気フアン	- 微細粉塵が濾過した空気を大気へ排出



図－5　再生細骨材乾式生産システムの構成及び主工程

図－4 は沈降式微粒粉集塵装置及び排気フイルター装置の概念図である。

遠心力微粉末集塵装置の下端部に抱集した微粉末はスクリューコンベヤーを通じて沈降式微粒粉集塵装置の微粉末投入口へ移送しボックス形沈殿槽に乾燥状態で抱集・貯蔵する。

また，0.01mm 以下の微細粉塵は排気フイルター装置によって濾過する。

一方，沈降式微粒粉集塵装置は**表－5**，排気フイルター装置の構成部品と機能は**表－6** に示す。

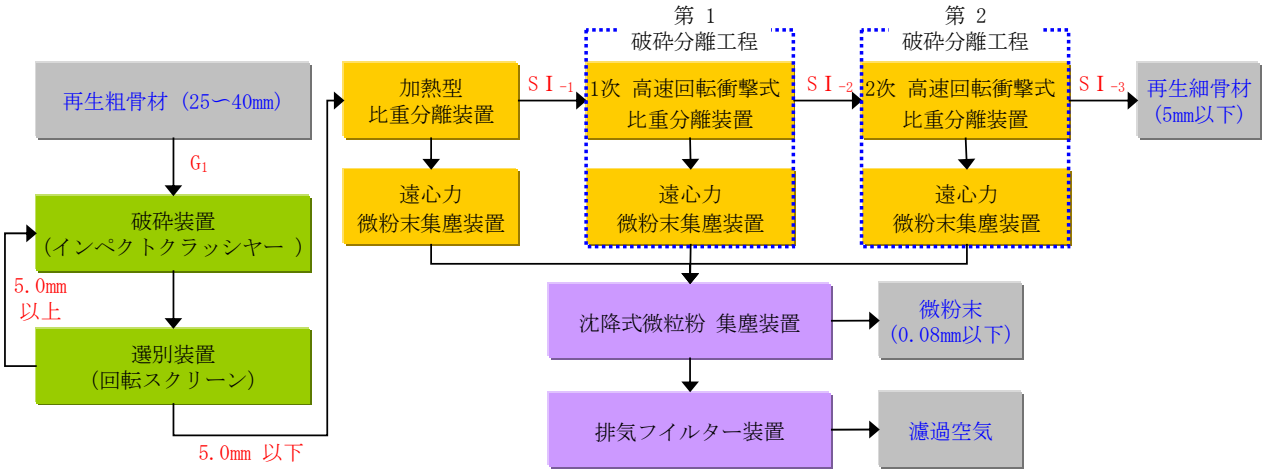
3. 再生細骨材乾式生産システムの構成

再生細骨材乾式生産システムの構成及び主工程は**図－5** のようであり，高速回転衝撃式比重分離装置と遠心力微粉末集塵装置を各々2 組に構成し，配置方式によって直列式と並列式で区分する。

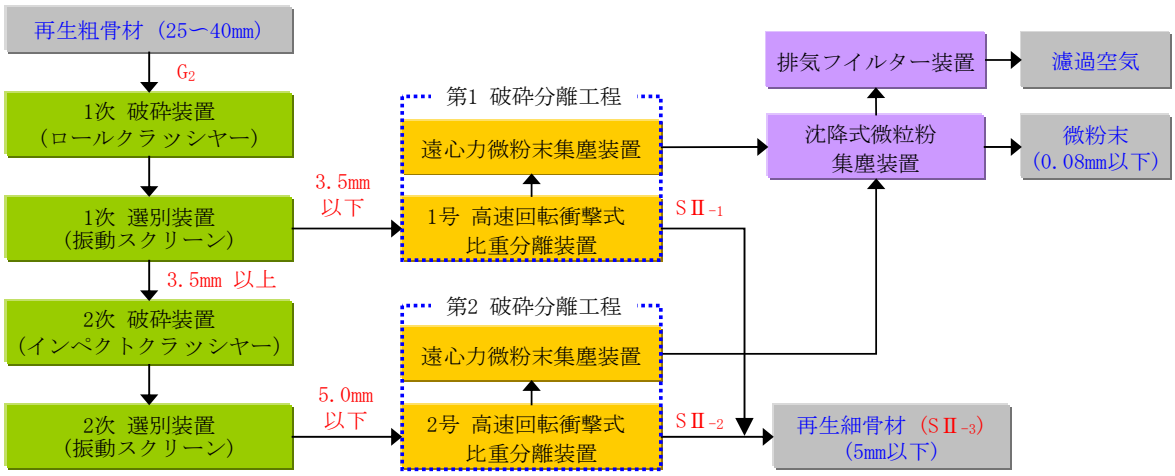
3.1 直列式乾式生産システム

図－6 は直列式再生細骨材乾式生産システムの概要を示したもので，高速回転衝撃式比重分離装置と遠心力微粉末集塵装置による破砕分離工程が 2 回繰り返すように装置を直列式に配置したものである。

投入した 25~40mm の再生粗骨材を破砕及び選別した



図－6　直列式乾式生産システムの概要



図ー7　並列式乾式生産システムの概要

表ー7　生産された再生細骨材の品質評価結果

測　定　項　目	直列式乾式生産システム				並列式乾式生産システム			
	G_1 (25~40mm)	SI_{-1} (5mm)	SI_{-2} (5mm)	SI_{-3} (5mm)	G_2 (25~40mm)	SII_{-1} (3.5mm)	SII_{-2} (5mm)	SII_{-3} (5mm)
絶乾密度 (g/m^3)	2.20	2.15	2.16	2.21	2.29	2.15	2.33	2.32
吸水率 (%)	5.25	6.67	6.07	4.89	4.87	6.94	4.18	4.36
粒形判定実積率 (%)	-	56.76	58.69	61.60	-	59.17	60.41	58.98
0.08mm ふるい通過量 (%)	-	6.84	5.64	4.47	-	6.81	4.20	4.43
モルタル付着量 (%)	-	29.65	23.83	22.77	-	29.92	22.81	23.77

後，5mm 以上の再生粗骨材は破砕装置へ再移送し，5mm 以下の再生細骨材は 1 次及び 2 次高速回転衝撃式比重分離装置によって 2 回破砕し，微粉末と微細粉塵を分離して再生細骨材の粒度及び品質が改善される。

直列式乾式生産システムの場合は再生細骨材に回転衝撃を加え破砕効率を増加するために 1 次，2 次高速回転衝撃式比重分離装置の回転羽を**図ー2**(a)のように 4 段で構成した。

3.2 並列式乾式生産システム

図ー7 は並列式再生細骨材乾式生産システムの概要を示したもので，高速回転衝撃式比重分離装置と遠心力微粉末集塵装置による破砕分離工程が各々1 回ずつ個別に行われるように並列式に装置を配置したものである。

投入した再生粗骨材を 1 次破砕及び選別装置を通じて 3.5mm 以下まで破砕・選別した再生細骨材は第 1 破砕分離工程によって 1 回破砕し，微粉末と微細粉塵を分離する。3.5mm 以上の再生細骨材は第 2 破砕分離工程によって 1 回破砕し，第 1 工程からの 3.5mm 以下と第 2 工程からの 5.0mm 以下を混合して再生細骨材を生産する。

並列式乾式生産システムは 1，2 次破砕装置で 2 回破砕する工程の効率を考慮し，**図ー2** (b)のように高速回転衝撃式比重分離装置の回転羽を 2 段で構成した。

4. 生産した再生細骨材の品質評価

直列式乾式生産システムの場合初期に投入した再生粗骨材 G_1 と加熱型比重分離装置，1 次及び 2 次高速回転衝撃式比重分離装置から各々採取した再生細骨材試料 SI_{-1}，SI_{-2} 及び SI_{-3} の品質を評価した。

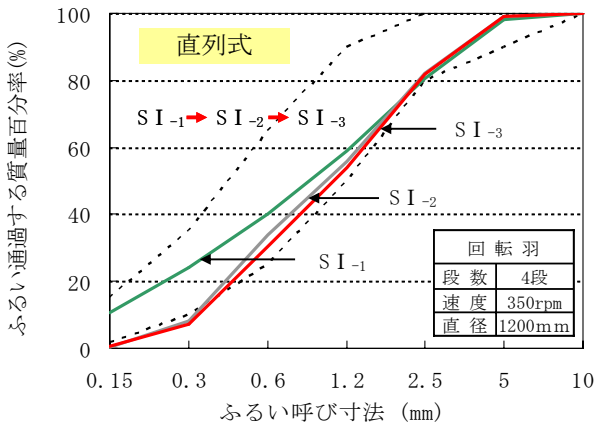
また，並列式乾式生産システムの場合初期に投入した再生粗骨材 G_2 と 1 号及び 2 号高速回転衝撃式比重分離装置から各々採取した再生細骨材試料 SII_{-1}，SII_{-2} 及びそれを混合した SII_{-3} の品質を評価した。

再生細骨材乾式生産システムによって生産した再生細骨材の品質評価結果を**表ー7** に示す。

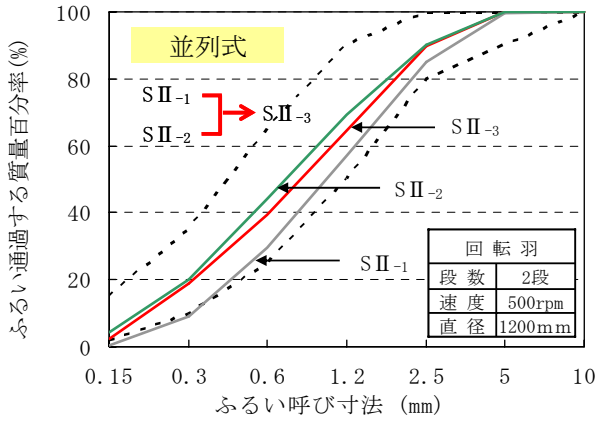
4.1 粒度分布

図ー8 は生産した再生細骨材の粒度分布曲線を示したもので，直列式乾式生産システム(a)の場合工程が経ってるほど 0.3mm 以下の微細粒粉が 24%から 10%以下まで減少して最終生産した再生細骨材 SI_{-3} は標準粒度分布曲線を満たさなかった。

一方，並列式乾式生産システム(b)は直列式乾式生産システムに比べて標準粒度分布曲線を満たしている。

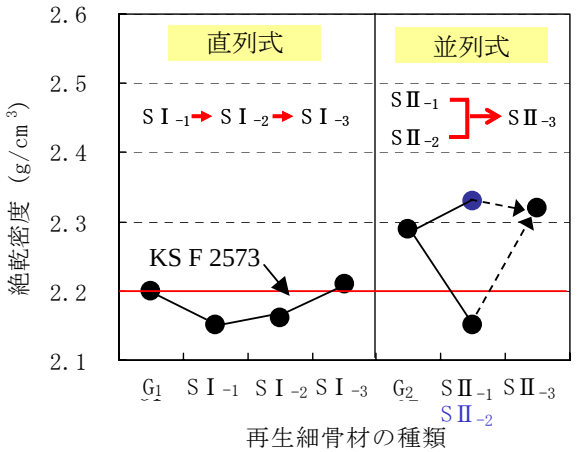


(a) 直列式 乾式生産システム



(b) 並列式乾式生産システム

図－8　生産した再生細骨材の標準粒度分布

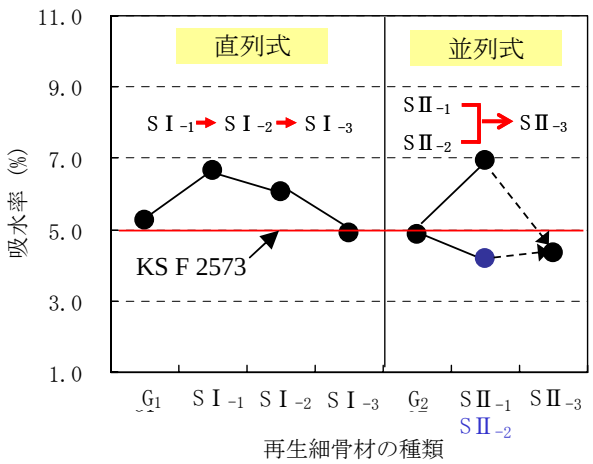


図－9　生産した再生細骨材の絶乾密度

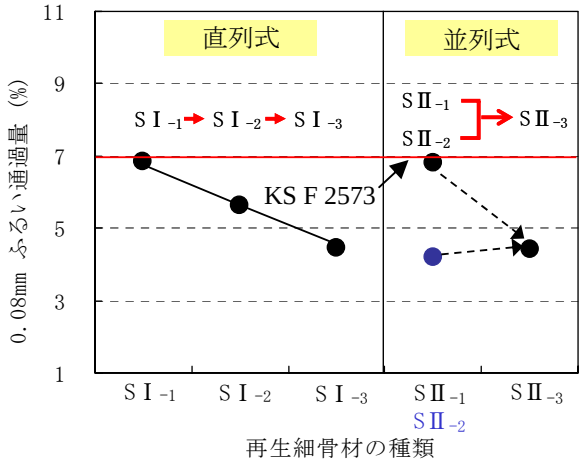
これは高速回転衝撃式比重分離装置の回転羽の段数及び回転速度による上昇気流の強さと遠心力微粉末集塵工程回数による 0.3mm 以下の微細粒粉吸入量の差に起因であると考えられる。

4.2 絶乾密度及び吸水率

図－9及び**図－10**は生産した再生細骨材の絶乾密度及び吸水率を示したもので，最終生産したＳＩ$_{-3}$及びＳⅡ$_{-3}$



図－10　生産した再生細骨材の吸水率



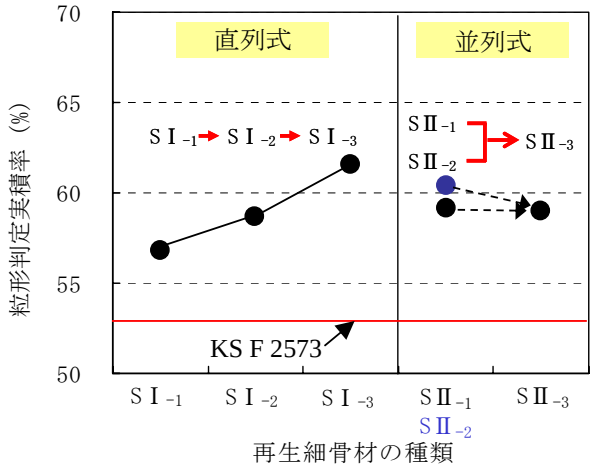
図－11　生産した再生細骨材の 0.08mm ふるい通過量

は KS F 2573「コンクリート用再生骨材」及び JIS A 5022「コンクリート用再生骨材 M」の再生細骨材品質基準を満足し，本研究で開発した乾式生産システムの再生細骨材品質改善の効果が認められた。

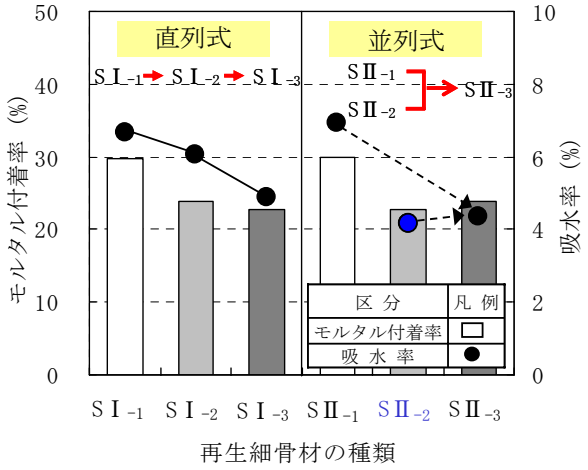
これは乾式生産システムの破砕装置及び高速回転衝撃式比重分離装置の破砕作用によって再生骨材に付着されたモルタルが除去され，遠心力微粉末集塵装置によって多量の微粉末が分離・集塵され，絶乾密度及び吸水率が改善したと考えられる[6)]。

ただ，絶乾密度及び吸水率においては KS F 2504 及び JIS A 1109 の試験方法に準じて行われたが，洗い試験で失われる量の多い場合には表乾状態の判定が難しいので，KS F 2527 及び JIS A 5005 の試験方法による洗った試料に対する評価も考慮するべきであると考えられる。

また，投入した骨材に対する破砕装置の効率，高速回転衝撃羽の構成，破砕分離工程の直列式及び並列式配置などが再生細骨材の品質水準に影響を及ぼすと考えられる。



図－12　生産した再生細骨材の粒形判定実積率



図－13　モルタル付着率と吸水率の関係

4.3 0.08mm ふるい通過量及び粒形判定実積率

図－11 及び**図－12** は生産した再生細骨材の 0.08mm ふるい通過量及び粒形判定実積率を示したもので，最終生産した S I $_{-3}$ 及び S II $_{-3}$ は KS の再生細骨材品質基準を満たし，処理工程を経ってるほど 0.08mm ふるい通過量は低くなって，粒形判定実積率は高くなった。

これは再生細骨材から分離した微粉末が強い上昇気流と吸入力によって遠心力微粉末集塵装置に吸入され，再生細骨材の微粉末が減少した為であると考えられる。

4.4 モルタル付着率と吸水率の関係

再生細骨材のモルタル付着率と吸水率の関係を示した**図－13** のように処理工程を経るほどモルタル付着率が減少し，高速回転衝撃及び遠心力微粉末集塵による付着モルタルの除去効果が認められる。

5. まとめ

高速回転衝撃及び遠心力微粉末集塵による再生細骨材乾式生産システムの性能評価に関する研究結果は次のようである。

(1) 乾式生産方式として再生細骨材の高品質，経済性及び環境負荷低減性を考慮した高速回転衝撃式比重分離装置と遠心力微粉末集塵装置などで構成した再生細骨材乾式生産システムによって再生細骨材の生産が可能であった。

(2) 高速回転衝撃による再生細骨材の破砕作用，遠心力及び重力による微粉末と微細粉塵の分離・集塵作用は再生細骨材の絶乾密度及び吸水率などの品質改善に効果があると認められる。

(3) 再生細骨材の高品質のためには破砕装置の効率，高速回転衝撃羽の構成，破砕分離工程の直列式及び並列式配置などのようなシステムの最適組合が必要である。

(4) 廃コンクリートの体系的な品質管理と共に破砕装置及び高速回転衝撃式比重分離装置などの改善によって乾式生産システムでも高品質再生細骨材を生産することが可能であると判断される。

謝辞

本研究は国土海洋部 05 尖端都市開発事業「課題番号：05 建設核心 D07」と BK (Brain Korea) 21 第 2 段階事業の支援を受け取って行った研究成果の一部で有り，ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 金武漢ほか：乾式分離製造法による高品質再生細骨材の生産システムの適用性評価，日本建築学会年次大会学術講演梗概集，pp.341-342，2004.8

2) 佐川 康貴ほか：異なる破砕方法により製造された再生骨材の物性に關する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.1347-1352，2002.7

3) 早川 光敬ほか：製造方法の異なる再生骨材を用したコンクリートの調合と特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.1247-1252，2003.7

4) 黒田 泰弘ほか：再生骨材コンクリートを 12500m^3 を建築躯体に本格採用，セメントコンクリート，No.685，pp.8-18，2004.3

5) 依田 和久ほか：機械式すりもみ装置により製造した再生粗骨材及び再生細骨材の品質，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.1527-1532，2004.7

6) Vivian. W.Y. Tam，C.M.Tam，K.N.Le：Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches，Resource，Conservation and Recycling，Vol.50，No.1，pp.82-101，2007. 3