

الفصل الثاني

المواد البديلة الاسمنت

Cement Replacement Materials (CRMs)

1.2 المقدمة introduction

المواد البديلة الاسمنت (CRMs) تستخدم كبديل لبعض الاسمنت البورتلاندي في الخرسانة والمواد البديلة الاسمنت جزئيا (Partial Cement Replacement materials) هي الاكثر دقة لكنها الاقل ملائمة ، وبسبب الخلط الحاصل يوجد عدد من الاسماء الاخرى لهذه المجاميع من المواد مثل المواد الاسمنتية الاضافية ، المضافات المعدنية (minerals additives) ، معدلات الاسمنت وغيرها ولكن ببساطه يمكن اطلاق عليها مصطلح المواد الاسمنتية (cementitious materials).

توجد انواع عديدة من المواد الشائعة الاستعمال والتي بعضها كناتج عرضي مع العمليات الصناعية الاخرى ، ولذلك فان استعمالها له فوائد اقتصادية . على اية حال ، فان السبب الرئيسي لاستعمالها هو انها تعطي فوائد مختلفة لتحسين او تعديل خواص الخرسانة . ان جميع هذه المواد لها هيتين عامتين هما

- مدى حجم جزيئتها يكون مشابه او اصغر من جزيئات الاسمنت البورتلاندي .
- انها تصبح مشمولة بتفاعلاتها الاماهة .

ان هذه المواد يمكن ان تجهز اما كمواد منفردة وتضاف الى الخرسانة عند الخلط او كمزيج مسبق الطحن مع الاسمنت البورتلاندي . ان الحالة الاولى تسمح باختيار معدل الاضافة لكن ذلك يعني ان مادة اضافية يجب ان تستعمل مع الخلطة. المزيج المسبق الطحن يتغلب على مشاكل الاستعمال لكن معدل الاضافة يكون ثابت . المزيج المسبق الخلط يملك اسماء بدبله للاسمنت الاضافي ، مثل مركبات الاسمنت البورتلاندي او الاسمنت البورتلاندي المطحون . بصورة عامة فان مادة واحدة تستعمل في نفس الوقت مع الاسمنت البورتلاندي لكن يوجد تزايد في عدد المواد المستعملة لاثنين او حتى ثلاثة مواد في التطبيقات الخاصة .

ان اندماج المواد البديلة للاسمنت تؤدي الى اعادة التفكير حول استعمال نسبت الماء / الاسمنت (w/c-ratio) التي هي عامل سيطرة مهم لكثير من خواص عجينة الاسمنت المتصلبة (hcp) والخرسانة . بصورة عامة فان هذه النسبة تبقى كنسبة مقبولة بين ماء الخلط وكمية الاسمنت البورتلاندي وان المصطلح نسبة الماء / الرابط (water \ binder ratio) سوف تستعمل لنسبة كمية ماء الخلط الى مجموع كميات المواد الاسمنتية ، اي الاسمنت البورتلاندي زائداً المواد البديلة الاسمنت .

2.2 السلوك البوزو لاني Pozzolanics behavior

ان الميزة العامة لجميع المواد البديلة الاسمنت (CRMs) هي ان جميعها تظهر تصرف بوزو لاني سواء كان لمدى كبير او صغير ، ولذلك سوف يتم تعريف ذلك قبل الدخول الى تعريف المواد كمواد

منفردة . المواد البوزولانية هي تلك المواد التي تحتوي سيليكا فعالة (SiO_2) ، فهي ليس لها صفات اسمنتية لوحدها ، لكن بصيغتها الناعمة وبوجود الرطوبة تتفاعل كميائيا مع هيدروكسيد الكالسيوم في درجات الحرارة لتكون مركبات اسمنتية . ان المفتاح الى السلوك البوزولانى هو تركيب السلكا، التي تكون على شكل زجاج غير متبلور مع تركيب غير منتظم التي تكونت بالتربيد السريع في حالة الانصهار. ان التركيب البلوري المنتظم الذي يتكون في التربيد البطيء كما هو موجود في الرمال السليكة (silica sand) ، تكون غير فعالة كميائيا .

ان المواد البوزولانية الطبيعية قد استعملت في الخرسانة منذ بدايتها لكن عندما استعملت المواد البوزولانية مع الاسمنت البورتلاندي ، فان هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من اماهة الاسمنت يشارك في التفاعل البوزولانى . ان كميات اضافية من هدرات - سليكات الكالسيوم سوف تنتج كما مبين في المعادلة التالية:-



ان هذا التفاعل يبدو واضحا انه ثانوي بالنسبة الى اماهة الاسمنت البورتلاندي ، الذي يؤدي الى ما يسمى بالمادة المائية الكامنة (Latent hydraulic material) ، في قائمة المواد البديلة اعلاه ان نواتج التفاعل البوزولانى لا يمكن تميزها عن الاماهة الاولية للاسمنت ، ولذلك تعزز مشاركتها بالمقاومة والخواص الاخرى لعجينة الاسمنت المتصلبة والخرسانة .

3.2 انواع المواد البديلة للاسمنت

ان المواد الرئيسية البديلة للاسمنت المستعملة في العالم بصورة واسعة هي :-

1. رماد مسحوق الوقود Pulverized Fuel Ash - pfa

الرماد (Ash) من الفحم المسحوق المستخدم في الطاقة الحرارية يتم جمعه من الغازات المنطلقة قبل ذهابها الى الفضاء الخارجي . الرماد المختار لذلك هو الرماد الذي يملك تركيب مناسب وكذلك حجوم جزيئات مناسبة للاستعمال في الخرسانة .

2. الحبيبات المترسبة لخبث الافران النفاخة - Ground granulated blast furnace slag

ggbfs

هي الخبث الناتج من الزبد او النفاية المكونة في منطقة ظهر الحديد في الافران النفاخة التي يتم تبریدها بصورة سريعة في الماء وتكون بنعومة مشابهة لنعومة الاسمنت .

3. بخار السلكا المكثف condensed silica fume - csf

ويدعى غالبا بالمايكروسلكا (microsilica) ، حيث الجزيئات الناعمة جدا جدا للسليكا يتم تكتيفها من الغازات الضائعة (النفايات) المكونة في عملية انتاج معدن السلكون .

4. الطين او الصفائح المتكللة calcined clay or shale

يتم تسخين الطين او الصفائح ثم تبريد بسرعة وتطحن .

5. رماد قشور الرز rice husk ash

وهو الرماد الذي يتم الحصول عليه من الحرق المسيطر عليه لقشور الرز بعد ازالة حبوبتها

6. البوزولانه الطبيعية Natural pozzolans

وهي بعض الرماد البركاني .

بالاضافة الى ذلك يجب التفكير بالمواد المالة الناعمة (Fine filler) وهي المواد التي طحنت الى نعومة مشابهة الى نعومة الاسمنت البورتلاندي قبل اضافتها الى الاسمنت او الخرسانة ، لكنها تكون مواد خاملة كميائيا او قريبا من ذلك ولذلك فهي لا تكون مطابقة لتعريف المواد البديلة للاسمنت المعطاة اعلاه . ان مسحوق حجر الكلس هو مثال شائع لذلك ، وكما هو معروف فانه يمكن اضافة نسبة لا تتجاوز (5%) من هذه المواد الى الاسمنت في عدد من انحاء العالم . الاضافات العالية استخدمت ايضا في التطبيقات الخاصة . يوجد بعض التفاعل بين كاربونات الكالسيوم الموجودة في حجر الكلس والالومنيات الموجودة في الاسمنت لكن التحسين الرئيسي للخواص يكون فيزيائيا ، حيث الجزيئات الناعمة المسحوقة تحسن قابلية التشغيل وقابلية التلاصق (التماسك) للعجينة الطيرية او الخرسانة .

سوف يتم مناقشة المواد الاربعة الاولى بالتفصيل مع استعمال الميتاكاولين المعروف بالميتاكاولين العالي الفعالية (high reactivity metakaolin - HRM) كمثال للصفائح الطينية المتكللة . ان هذه المواد الاربعة تختلف الى حد ما في تركيبها وطريقة تاثيرها ولذلك سوف يظهر ذلك في تاثيرها في الخرسانة . رماد قشور الرز تكون مشابهة للمايكروسلكا وان البوزولانا الطبيعية لا تستعمل بصورة واسعة .

3.2 التركيب الكميائي والخواص الفيزيائية Chemical composition and Physical properties

التركيب الكميائي النموذجي والخواص الفيزيائية معطيات في الجدول (1.2) سوية مع الخواص المكافئة للاسمنت البورتلاندي وذلك من اجل المقارنة . في هذا الجدول يوجد نوعين من رماد الوقود المسحوق (pfa) ، هما العالي الكلس و الواطي الكلس (high – and low – lime) ، التي تنتج من حرق انواع مختلفة من الفحم . ان رماد مسحوق الوقود العالي الكلس (high – lime pfa) غير متوفّر في عدد كبير من البلدان بينما رماد مسحوق الوقود الواطي الكلس (low – lime pfa) هو المتوفّر في الاسواق ، لذلك فعند ذكر رماد مسحوق الوقود في المصادر والبحوث فان ذلك يعني رماد المسحوق الواطي الكلس الا اذا ذكر عكس ذلك

	pfa		ggs	csf	metakoline	Cement
	Low lime	High lime				
Oxides (% by weight)						
SIO ₂	48	40	36	97	52	20
CAO	3	20	40	<1	<1	64
AL ₂ O ₃	37	18	9	<1	41	5
Fe ₂ O ₃	9	18	1	<1	5	4
MGO	2	4	11	<1	<1	1
Pozzolan reactivity (mgch/gm)	875	875	400	427	1050	-
Particle size rang (micron)	1-100	1-100	3-100	0.03-0.3	0.2 -15	0.5 – 100
Spesifis surface area (m ² \ kg)	350	350	400	20000	12000	350
Particle relative density	2.3	2.3	2.9	2.2	2.5	3.15
Prticle shape	spherical	spherical	irregular	spherical	irregular	angula

من الجدول اعلاه يمكن ملاحظة ما يلي:-

- جميع المواد تحوي بصورة رئيسية كميات كبيرة من السيليكا اكثر مما يحويه الاسمنت البورتلاندي ، لكن من المهم ان اغلب هذه المواد تكون بالشكل المتبلور الفعال او الشكل الزجاجي الذي يكون مطلوب للفعل او للتأثير البوزولاني .
- ان بخار السيليكا المكثف (CSF) هو تقريبا سلكا فعالة بصورة تامة .
- ان الالومنيا الموجود في كل من مسحوق رماد الوقود (pfa) والحببيات المطحونة لخبث الافران النفاخه (ggbs) والميتاكاولين هي ايضا تكون بشكل فعال وتصبح مشحونة باتفاقات البوزولانيه مكونة نتائج معقدة . ان الميتاكاولين تشمل تقريبا كل السيليكا والالمونيا الفعالة .
- نوعين من المواد هما مسحوق رماد الوقود عالي الكلس (high lime pfa) والحببيات المطحونة لخبث الافران النفاخة (ggbs) يحتويان كميات متميزة من اوكسيد الكالسيوم (Cao) . ان ذلك يعني انهما يشاركان جزئيا في تفاعلات الاماهة ولذلك لا توجدة مادة سلك كبوزوولانا حقيقية ، وكلاهما على نطاق مؤكد تعتبر مواد اسمنتية بذاتها . ان التفاعلات تكون بطئه جدا في المواد الصافية (neat material) لكنها تكون اسرع بكثير بوجود التفاعلات الاسمنتية التي يبدو انها تعمل كمواد محفزة .
- الاعتبارات اعلاه تقود الى مستويات استبدال للاسمنت البورتلاندي بصورة فعالة جدا وتكون حوالي (90%) لرماد مسحوق الوقود العالي الكلس والحببيات المطحونة لخبث الافران النفاخة ، (40%) لرماد مسحوق الوقود الواطي الكلس والميتاكاولين و (25%) لبخار السيليكا المكثف . في المستويات الاعلى من ذلك فان الاسمنت البورتلاندي يكون غير كافى لانتاج الكميات

المطلوبة من هدروكسيد الكالسيوم للتفاعلات الثانوية ، وكما سوف نرى فان المستويات الاقل من هذه القيم العظمى قد استعملت وبنهاية جيد .

- ان رماد مسحوق الوقود (pfa) والجزيئات المطحونة لخبث الافران النفاخة (ggbs) تملك حجوم جزيئات مشابهة لتلك التي للاسمنت البورتلاندي ، في حين ان جزيئات الميتاكاولين تكون بالمعدل تقريبا عشرة مرات اصغر من جزيئات الاسمنت البورتلاندي وكذلك فان جزيئات بخار السليكا المكثف تكون مئة مرة اصغر .

نتيجة للفروقات المرافقة للمساحة السطحية فان :-

1. معدل تفاعل الميتاكاولين هو اسرع من (ggbs , pfa) وان بخار السليكا المكثف (csf) هو اعلى من الكل (لكن يجب التذكير بان جميعها تبقى ثانوية بالنسبة الى الاسمنت) .
 2. ان كل من بخار السليكا المكثف والميتاكاولين ينتج عندهما فقدان في سيولة عجينة الاسمنت والخرسانة اذا لم تعمل تغيرات اخرى للخليط . ومن ناحية اخرى فان تاثير بخار السليكا المكثف يكون اعظم من الميتاكاولين . للمحافظة على السيولة فيجب اما زيادة محتوى الماء او اضافة الملدනات الاعتيادية او الملدනات الفائقة . الملدනات الفائقة هو الاختيار المفضل لأن الخواص الاصغر مثل المقاومة لا تكون عرضة للخطر . ان الجرعة الكافية للمعدن الفائق المطلوبة لتفريق او تشتت الجزيئات الناعمة تمكنا من الحصول على قابلية تشغيل ممتازة وتماسك جيد ونضح قليل .
 - الشكل الكروي لجزيئات رماد مسحوق الوقود (pfa) تؤدي الى زيادة السيولة اذ لم تعمل تغيرات اخرى للخليط . كما يمكن الحصول على بعض الزيادة باستعمال (ggbs) .
 - جميع المواد تملك وزن نوعي او طأ من الاسمنت البورتلاندي ولذلك فان تعويض الاسمنت على اساس وزن الى وزن (weight for weight) سوف ينتج عنه حجم كبير جدا الى العجينة .
- ان كل التأثيرات اعلاه ادت الى زيادة استعمال مختلف المواد البديلة للاسمنت (CRMs) في جميع انواع الخرسانة في نهاية القرن الماضي.