高エーライトセメントを用いたフライアッシュセメントの基本特性

安藝朋子^{*1} 久我龍一郎^{*1} 平尾宙^{*1} 坂井悦郎^{*2}

^{*1} 太平洋セメント株式会社 中央研究所(〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)

^{*2} 東京工業大学 大学院理工学研究科(〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

要旨：普通ポルトランドセメントと同程度の強度発現性状となる材料設計を目標として、普通ポルトランドセメントよりもエーライトやフリーライムが多く、粉末度の大きい基材セメントに異なる量の石灰石微粉末を混合した FA セメント B 種を調製した。石灰石微粉末を約 5 % 添加した本 FA セメントは、5～30℃において、材齢 91d まで普通ポルトランドセメントの 9 割以上の強度を発現した。5℃では強度に対する石灰石微粉末の最適量が増加した。本 FA セメントの凝結時間は従来 FA セメントと普通ポルトランドセメントの間であったが、基材の fCaO 量で制御可能と考えられる。普通ポルトランドセメントと比較して水和発熱は低く、流動性は優れていた。

キーワード：フライアッシュ、エーライト、フリーライム、石灰石微粉末、圧縮強さ、水和熱

1. はじめに

近年、社会の低炭素化が求められており、二酸化炭素排出量の削減は、セメント産業の重要な課題の一つである。セメントの設計において二酸化炭素排出量および製造エネルギーを削減する方法としては、セメントの一部を各種混合材で置き換えた混合セメントの利用が挙げられる。

一方で石炭火力発電の副産物である石炭灰の発生量は年間 1,200 万トン以上に上り¹⁾、将来的にも 1,000 万トンを超える量が発生し続けると考えられている²⁾。フライアッシュ(以下 FA)を混合材として用いた FA セメントは、アルカリ骨材反応や塩害抑制といった耐久性向上に効果があり、既に土木用途などで利用されているものの、需要は非常に少ないのが現状である。その理由の一つとして、OPC などと比較した場合、FA セメントの初期強度発現が低い³⁾ことが挙げられる。このような課題を解決するような FA セメントを新たに開発することは、強度面の改善のみならず、プレミックスセメントとして製造することで、流通面においても材料の調達が容易になるという利点が考えられる。

前報⁴⁾では、28d までの比較的初期の強度発現について、OPC 同等の FA セメントを開発することを目標として検討を行い、FA セメントに使用する基材セメントのエーライト(C_3S)、フリーライム(fCaO)量、および粉末度を増加したセメントへ、さらに LSP を添加することにより、JIS R 5213 の FA セメント B 種セメントの範囲において、強度発現性が OPC と同等となるセメントの設計が可能となることを示した。しかし、適切な LSP 量に関しては検討するに至らなかった。また、このような FA セメントの強度以外の基本特性も未だ明らかとなっ

ていない。

そこで本検討では、まず Series I として、上記のセメントを基材とした FA セメントに関して、LSP の適切な添加量を検討し、併せて環境温度の影響を確認した。また Series II として、Series I で得られた FA セメント設計について、流動性や凝結、水和熱などの基本的特性を従来の OPC、FA セメント B 種(FB)や高炉セメント B 種(BB)と比較するとともに、水和発熱速度を測定して初期物性の発現機構を考察した。

2. 実験方法

2.1 材料および配合

実機製造により得られた Table 1 に示す化学組成のセメントを使用した。少量混合成分を含まない OPC に相当するセメントを N(I)および N(II)とし、本検討における基準とした。また、前報⁴⁾の結果に基づいて、N(I)および N(II)よりも C_3S 量および fCaO 量、粉末度を増やした 2 種のセメント、A(I)および A(II)を別途製造し、FA セメント基材として用いた。A(I)および A(II)に対し、Table 2、3 に示す化学組成および鉱物組成の JIS II 種適合品の FA および少量混合成分として石灰石微粉末(LSP)を混合して Table 4 に示す FA セメントを作製し、各種試験に供した。FA 混合割合は、JIS R 5213 の FA セメント B 種を満足する範囲として 18 % とした。

なお、実験水準は Table 4 に示すとおり、大きく 2 つに分けられる。まず Series I として FA セメント B 種規格内を中心に A(I)F に混合する LSP の最適量を検討するため、LSP を基材セメント中に 2.5、5、10 % (FA セメント中に 2.1、4.1、8.2 %)添加し、強度発現性の違いを検討した。また、5～30℃における温度の影響を

Table 1 Mineral and Chemical Composition of cements

Series	Cement	Density (g/ cm ³)	Blaine (cm ² / g)	Mineral composition (%), Bogue				Modulus					
				C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	HM	SM	IM			
I	N (I)	3.16	3350	60.1	13.1	9.0	9.8	2.17	2.35	1.70			
	A (I)	3.14	4190	65.4	7.3	9.8	8.6	2.25	2.37	1.95			
II	N (II)	3.16	3350	61.1	12.2	9.1	9.6	2.18	2.36	1.73			
	A (II)	3.15	4200	64.4	8.7	9.5	8.8	2.23	2.39	1.87			
	BB	3.04	3830	—	—	—	—	—	—	—			
Series	Cement	Chemical composition (%)										fCaO	LOI
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	(%)	
I	N (I)	20.4	5.5	3.2	64.6	1.8	2.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.81
	A (I)	19.7	5.5	2.8	64.9	1.9	2.7	0.4	0.3	1.5	0.3	2.0	1.06
II	N (II)	20.3	5.5	3.2	64.7	1.7	2.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.6	0.83
	A (II)	20.0	5.4	2.9	65.0	1.7	2.6	0.4	0.4	0.3	0.3	1.1	0.90
	BB	25.8	9.2	1.9	54.0	3.7	2.3	0.3	0.3	0.5	0.2	—	1.47

Table 2 Chemical Composition of FA and LSP

Series	Admixture	Chemical composition (%)												Blaine (cm ² /g)
		LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	
I	FA-I	2.9	57.15	27.38	5.17	2.06	0.94	0.41	0.62	1.09	1.56	0.34	0.06	4230
	LSP-I	43.7	0.08	0.10	0.03	55.37	0.23	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	4770
II	FA-II	2.6	58.89	26.36	4.44	1.99	1.00	0.39	0.45	1.23	1.28	0.60	0.03	3580
	LSP-II	43.5	<0.01	0.04	0.02	56.01	0.24	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.01	5270

Table 3 Mineral Composition of FA

Series	Admixture	Mineral composition (%)			
		Mullite	Quartz	Magnetite	Amorphous
I	FA-I	15.7	6.9	0.7	76.7
II	FA-II	14.3	7.5	0.5	77.6

Table 4 Mix Portion of Mortar and cement paste

Series	No.	Name	Cement					LSP-I	LSP-II	FA-I	FA-II
			N(I)	N(II)	A(I)	A(II)	BB				
			(%)								
I	1	N(I)	100.0								
	2	A(I)F			82.0					18.0	
	3	A(I)L2F			80.0			2.1		18.0	
	4	A(I)L4F			77.9			4.1		18.0	
	5	A(I)L8F			73.8			8.2		18.0	
II	6	N(II)L		96.5					3.5		
	7	FB		78.3					3.7		18.0
	8	BB					100.0				
	9	A(II)L4F				78.3			3.7		18.0

併せて検討した。

Series II では、A(II)を基材とした FA セメント(水準 9)の特性を、N(II)を基材とした市販品相当の水準 (N(II)L、FB、BB)と 20℃にて比較した。なお、N(II)L は市販品相当の OPC として、3.5%の LSP を添加して

調製した。

2.2 物理的特性試験

物理的特性把握のために、JIS R 5201 に準拠し圧縮強さ、凝結、安定性、フロー試験を実施した。圧縮強さは試験温度を JIS R 5201 での規定温度 20℃のほか

Fig. 1 Results of compressive strength of mortar 5 °C (Series I)

Fig. 2 Results of compressive strength of mortar 20 °C (Series I)

Fig. 3 Results of compressive strength of mortar 30 °C (Series I)

に、Series I では、5、30 °Cにおいても同様の手順にて実施した。さらに、高性能減水剤を用いた場合のセメントフローについて、文献⁵⁾と同様にナフタレンスルホン酸系高性能減水剤(花王社製マイティ 150、以下 MT)もしくはポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤(BASF 社製マスターグレンウム SP8N、以下 SP)をそれぞれ粉体の 0.65 %、1.2 % 添加した場合について評価した。各フローは練り混ぜ直後と 30 分後の値を測定し、併せて 100mm を超えるフローの 30 分間における低下量をロス率として表した。

2.3 水和熱および水和発熱速度の測定

JIS R 5203 に準拠し水和熱を測定した。測定は、7、28、91d の 3 材齢にて行った。

水和発熱速度の測定は、W/C=0.5 のセメントペーストについて、6 点式微小熱量計(東京理工社製)を用いて実施した。

3. 結果および考察

3.1 Series I

Fig. 1～3 に水準 1～5(Series I)の圧縮強さ試験結果を示す。

まず 20 °C での結果(Fig. 2)を考察する。本結果は A(I) と FA に LSP を 2.5 % 添加した水準以外は前報³⁾にて検討した配合と同等である(N100、A1F、A1LF、A1L10F)。前報³⁾では FA セメントの基材に対して LSP を 5 ないし 10 % 添加し、全ての材齢で 5 % 添加が最も強度が高くなった。本報ではさらに LSP 量 2.5 % についても検討を行った結果、28d までは LSP 量 5 % とほぼ同程度となり、91d では LSP 量 5 % の方が高くなった。以上の傾向は、大局的には前報⁴⁾と同様と言える。すなわち、A、FA および LSP の適切な混合により、初期材齢における強度発現は A の C_3S や $fCaO$ が多く粉末度が高いことが寄与する一方、長期材齢では FA のボゾラン反応に加えて、結合材中の Al_2O_3 と LSP が反応してカルシウムアルミネートカーボネート系水和物が生成することで、OPC と同等の強度発現性を発揮したものと考えられる。

5 °C の結果(Fig. 1)では、A(I) と FA の混合により、LSP は無添加、2.5、5 % 添加のいずれにおいても 7d までは N(I) と同等の強さとなった。これは低温度下でも基材セメントである A(I) が活発に反応した結果と推測される。しかし 28d 以降の強さは A(I) と FA の混合系が N(I) を下回った。この理由は未反応のカルシウムシリケート相が N(I) と比べて少ない、温度が低いために FA の反応が抑制された、などが考えられる。なお、A(I) と FA の混合系に LSP を添加することで 28d 以降の強度は改善された。これは LSP の溶解度が低温度ほど大きいため、前報³⁾で示した結合材中の Al_2O_3 との反応が生じやすくなったことなどが理由と考えられる。28d で強度が最大値を示した LSP 量 5 % においては N(I) の強さの 92 % を発現した。また、20 °C の場合よりも早期の材齢から、LSP 量 5.0 % の強さが 2.5 % の強さよりも高く

Fig. 4 Results of compressive strength of mortar 20 °C (Series II)

なる傾向が認められた。

30 °Cの結果(Fig. 3)では、A(I)とFAの混合により、LSP 10 %添加を除いた全ての水準で、材齢によらずN(I)と同等以上の強さを示した。特に28d以降の強度増進が停滞するN(I)に比べて、A(I)、FAおよびLSPの混合系は28d以降も強度が増進した。これは温度が高いためにFAの活性が向上した可能性が考えられる。またLSP添加系の91dにおける強度増進が5 °Cや20 °Cと比べて小さく、LSP 10 %添加ではごく僅かとなっている点に関しては、LSPの溶解度が高温では低下するために、水和反応による強度増進効果をセメントの希釈による強度低下が上回ったものと考えられる。

以上により、5 °Cから30 °Cまでの範囲において、A(I)とFAの混合系では、ほとんどの条件においてN(I)と同等の強度を発現した。低温環境下の中長期においては強度発現性が低くなる傾向があったが、LSPを5 %程度添加することにより、N(I)の90 %以上の強度を発揮した。LSPには強度を増進させる効果として中長期的な水和におけるカルシウムアルミネートカーボネート系水和物の生成があり、一方で強度を低下させる要因としてセメントに対する希釈が挙げられる。水和物生成効果は、対象となる結合材中の Al_2O_3 が十分に存在する限りにおいて、LSPが多い方が好ましいと考えられる。しかし、その分セメントが希釈されるため、適切な量を超えると強度は低下することになる。本検討から、温度によって程度の違いはあるもののLSP量は5 %程度において最も強度が高くなった。加えて、LSP添加量は5 %以下であればFAセメントの規格(JIS R 5213)に適合する。

以上のことから、A(I)の利用によって従来のFBの強度発現に関する課題である初期強度の不足を解決できることが明らかとなった。一方、長期材齢における強度発現に寄与するFAは温度依存性があり、低温下においてはA(I)を用いてもOPCを下回る強度となるものの、適切な量のLSPを併用することで、OPCに比較的近い強

Fig. 5 Results of setting time

度発現性を有するJIS適合型FAセメントとなることが示された。

3.2 Series II

(1) 強度発現性

以上の検討から得られたFAセメントの材料組成に対して、既往のFB、BBと比較したSeries IIの結果をFig. 4に示す。広く知られている通り、FBやBBは初期強度ではOPCに劣り、中長期的な強度ではOPCを卓越する、という強度発現性状を示すのに対して、A(II)L4Fは初期材齢からFBを上回り、全ての材齢で最もN(II)Lに近い強度発現性状を示した。

(2) 凝結および安定性

凝結試験結果をFig. 5に示す。N(II)L以外の始発時間はいずれもN(II)Lより50分程度遅延した。これは、主に混合材によるセメント量の減少に起因すると考えられる。終結についてもN(II)L以外はいずれも相対的遅延したものの、FBおよびBBがN(II)Lと比べて70分程度遅延したのに対して、A(II)L4Fの遅延時間は30分程度であった。A(II)L4FはFBと同じFA混合割合であるものの、 C_3S や $fCaO$ が多く、粉末度の高いセメントを基材に用いたため、FBよりも凝結が促進されたと考えられる。なお、前報⁴⁾においてはA(II)L4F相当のセメントがOPCと同等の凝結時間を示したが、基材の $fCaO$ 量がA(II)よりも多かったことが主な原因と考えられる。凝結時間の制御の意味からも基材セメント中には一定量以上の $fCaO$ 量を確保した方が望ましく、OPCやH等のような市販のポルトランドセメントのみを基材とする場合との違いであると考察される。

Table 5に安定性試験の結果を示す。A(II)L4Fの膨張率は他の一般的なセメントと同様にJIS規格値である10mm以下を満足しており、基材セメントの $fCaO$ 量を増大したことによる異常膨張の可能性は低いと考えられる。

(3) 流動性

Fig. 6にモルタルフロー試験結果を示す。BBが最も大きく、FB、A(II)L4F、N(II)Lの順になった。A(II)L4FとFBには同量のFAを混合しているものの、A(II)L4F

の方がややフロー値は小さくなった。これは FB の基材セメントに用いた N(II)L よりも A(II)L4F の基材セメントである A(II)中に含まれる fCaO 量や粉末度が大きいことによるものであると考えられた。一方、A(II)L4F のフロー値は N(II)L よりもやや大きくなった。これは混合材として使用した FA の形状効果等によるものであると考えられる。ただし、いずれのセメントにおいてもフロー値は 199mm (N(II)L) から 206mm (BB) の間であり、顕著な違いは見られなかった。

Fig. 7、8 に高性能 AE 減水剤を用いた場合のモルタルフローを示す。MT を用いた場合のフロー値は、練り混ぜ終了直後では最も大きなものから順に A(II)L4F、BB、FB、N(II)L となった。また、SP を用いた場合のフロー値は、練り混ぜ終了直後、30 分後ともに BB が最も大きく、A(II)L4F、FB、N(II)L の順となった。BB、FB、N(II)L の序列は、いずれの高性能 AE 減水剤を用いた場合でも既往の知見⁶⁾と一致していた。

A(II)L4F のフロー値は、いずれの高性能 AE 減水剤を用いた場合も、N(II)L および FB と比べて、練り混ぜ直後と 30 分後のどちらもわずかに高く、その結果として、A(II)L4F の 30 分におけるフローロス率は N(II)L や FB と比べて高くなった。A(II)L4F には FB と同量の FA を混合しており、両者の違いは基材セメントのみである。A(II)L4FA(II)L4F と FB では得られたフロー値が同等であったことから、基材セメントの C_3S および fCaO 量が多いことや、粉末度が高いことによる流動性への影響はほとんど認められなかったことによる。既往の

知見⁷⁾において、fCaO が多い場合には流動性の低下が懸念されるものの、セメント中の fCaO 量が 2 % 程度までの場合、セメントの単独の利用であっても混合セメントの基材セメントとしての利用であっても見かけ粘度はほぼ等しいことが報告されている。本報で用いた fCaO 量の多いセメント A(II) (fCaO=1.1 %) が流動性へ及ぼす影響が少なかったことは、その設計の妥当性を裏付けるものと考えられる。また BB と比較した場合、SP を用いた場合の BB のフロー値が他のそれに比べ大きな値を示したのに対して、A(II)L4F ではそのような傾向は見られなかった。この点の詳細は不明であるものの、例えばポリカルボン酸系の化学混和剤は分子構造が異なるとセメントやスラグへの吸着特性が変化する、との知見⁸⁾がある。本検討で用いた A(II)L4F はスラグとは異なる吸着特性を持つ可能性が考えられるものの、検証にはさらなる検討が必要である。

(4) 水和熱および水和発熱特性

Fig. 9 に水和熱試験結果を示す。いずれの材齢においても、水和熱は大きい順から N(II)L、A(II)L4F、FB、BB となった。このとき、基材セメントの C_3S 、fCaO 量が多く、粉末度の高い A(II)L4F の水和熱は FB より高

Table 5 Results of Stability test

No.	Name	Stability (mm)
6	N(II)L	0.5
7	FB	0.0
8	BB	0.5
9	A(II)L4F	0.5

Fig. 6 Mortar flow

Fig. 7 Mortar flow with MT

Fig. 8 Mortar flow with SP

Fig. 9 Hydration heat

Fig. 10 Heat flow

Fig. 11 Cumulative heat flow

くなったものの、材齢 28d における値は N(II)L よりも低かった。加えて、前述のように A(II)L4F は 91d 強さでは N(II)L を上回ったのに対して、水和熱では N(II)L よりも低くなること示された。この傾向は FB や BB も同様であり、本検討で得られた A(II)L4F は混合セメントとしての水和熱の利点を保ちつつ、OPC に比肩する強度特性を発揮するセメントであるといえる。これは基材セメントの C_3S や $fCaO$ が高い反面、FA を置換していること、および LSP と FA との反応により中長期強度を向上させていることなどに起因すると考察される。ただし実用上の観点からは、さらにコンクリートでの断熱温度上昇試験等による検討が必要である。

Fig. 10、11 に水和発熱速度試験の結果を示す。水和発熱速度の第 2 ピークの最大値を比較すると、N(II)L と A(II)L4F がほぼ等しく、次いで FB、BB の順に大きくなった。FB、BB については混合材の添加による基材セメントの希釈効果が大きく、添加率が大きいほどピークが小さくなったと考えられる。一方で A(II)L4F も FA 添加率は FB と同じであるものの、基材の C_3S や $fCaO$ 量が多く、粉末度が高いために C_3S の発熱が大きくなり、結果的に N(II)L に近いピーク高さとなったと考えられる。

水和発熱量の積算値は高い順から N(II)L、A(II)L4F、FB、BB となり、材齢は異なるものの水和熱の結果と同じ傾向を示した。なお、材齢が進むにつれて強度発現性は同等であるにもかかわらず、A(II)L4F の積算値は N(II)L よりも低くなる傾向があった。これは、例えばセメント中のクリンカー量が少ないことにより初期水和生成物量が減少したことなどが一因として考えられる。

4. まとめ

OPC よりも C_3S 量、 $fCaO$ 量および粉末度を高くしたセメントを基材に用いることにより、主に強度発現性を OPC 同等とすることを目標とした FA セメント B 種への少量混合成分の影響と、その基本特性を評価した結果、以下の結論を得た。

- (1) 本 FA セメントの強度発現は 5 % 程度の LSP により最も増加した。20 °C 以上における強さは、いずれの材齢においても OPC と同等以上であった。5 °C における長期強さは OPC よりも低かったが、28 日において 9 割以上の強さを発現した。
- (2) 少量混合材を含む OPC と比べても本 FA セメントは初期、長期いずれの材齢も強度発現性に優れていた。FB と比較しても初期から高い強度を発現した。
- (3) 本 FA セメントの凝結の始発および終結は OPC と比較してやや遅延したものの、FB、BB に比べ、OPC とより近い傾向を示した。凝結時間は基材の $fCaO$ により制御できると考えられる。
- (4) 本 FA セメントのモルタルフロー値は、OPC に比べやや良好であった。また、ナフタレンスルホン酸系、ポリカルボン酸系の剤いずれの高性能 AE 減水剤を用いた場合も、OPC に比べ同等以上の流動性を示した。
- (5) 本 FA セメントの水和熱は、材齢 7～91d において OPC よりも低かった。また、水和発熱速度の 72 時間での積算値も OPC の水準より低くなった。
- (6) 以上の結果より、鉱物組成、粉末度、少量混合成分

を適切に調製した本 FA セメントは、いずれの環境および材齢においても OPC の 9 割以上の強さを発現し、他の特性に関しても使用上の大きな課題はないため、各種耐久性向上などの FA セメントの特性を活かした上での幅広い用途に適用できる可能性がある。

謝辞：

本研究は次世代 FA セメント研究会の一環として行ったものであり、ご協力頂いた足利工業大学、法政大学、電源開発(株)、(株)デイ・シイへ感謝の意を表します。

参考文献：

- 1) 一般財団法人石炭エネルギーセンター：石炭灰全国実態調査報告書(平成 26 年度実績)、p. 10 (2016)
- 2) 友川昂大：石炭燃焼に伴い発生する石炭灰に係る状況—韓国での石炭灰輸入規制の動向と国内での有効利用の促進—、IEEJ、No. 9、p. 1 (2014)
- 3) 笠井芳夫、坂井悦郎：新セメント・コンクリート用混和材量、技術書院、p. 59 (2007)
- 4) 安藝朋子ほか：基材に用いたセメントの特性がフライアッシュセメントの強度発現性に及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集、Vol. 70、pp. 32-39 (2016)
- 5) 一坪幸輝ほか：ジエチレングリコールがポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤添加下のモルタル流動性に及ぼす影響、第 59 回セメント技術大会講演要旨、pp. 18-19 (2005)
- 6) 金圭庸、阿部道彦、金武漢：セメント及び混和剤の適合性に関する基礎的研究、第 54 回セメント技術大会講演要旨、pp. 78-79 (2000)
- 7) 中川裕太ほか：高エーライト系混合セメントの流動性に及ぼす遊離石灰と混合材の影響、セメント・コンクリート論文集、Vol. 69、pp. 10-16 (2015)
- 8) 新大軌ほか：分子構造の異なる高分子系分散剤を添加した高炉セメントの流動特性、セメント・コンクリート論文集、Vol. 66、pp. 28-33 (2012)

FUNDAMENTAL PROPERTIES OF FLY ASH CEMENT PREPARED WITH HIGH ALITE CEMENT

Tomoko AKI^{*1}, Ryuichiroh KUGA^{*1}, Hiroshi HIRAO^{*1} and Etsuo SAKAI^{*2}

^{*1} TAIHEIYO CEMENT CORPORATION, Central Research Laboratory (2-4-2, Osaku, Sakura-shi, Chiba 285-8655, Japan)

^{*2} TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY, School of Materials and Chemical Technology (2-12-1, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550, Japan)

ABSTRACT : In order to develop fly ash cement (type B) with equal strength to ordinary Portland cement (OPC), a specific base cement was made. This cement had higher alite and fCaO content, surface area compared to OPC, and contained different limestone powders. Fly ash cement made with base cement containing 5 % limestone powder was tested over 91 days (at 5 °C, 20 °C and 30 °C) and developed 92 % of the strength of OPC. As well, it was observed that this strength increasing effect of limestone powder was larger at 5 °C compared 20 °C and 30 °C. The fly ash cement that was made also showed a setting time between regular cement and OPC. However, this was considered to be a result of the fCaO contents effect on the cement. Finally, compare to OPC, the fly ash cement that was made had a lower hydration heat and higher fluidity.

KEY WORDS : Fly ash, Alite, Free lime, Limestone powder, Compressive strength, Heat of hydration