

# 나노슬래그와 알칼리 자극제를 활용한 비소성 시멘트 모르타르에 관한 연구

## Study of Non Sintered Cement Mortar Using Nanoslag and Alkali Activator

정 성 욱

임 남 기\*

Jeong, Sung-Wook

Lim, Nam-Gi\*

Department of Architectural Engineering, Tongmyong University, Nam-Gu, Busan, 608-711, Korea

### Abstract

As global warming has had harmful effects on the environment, the construction industry has made efforts to reduce the amount of CO<sub>2</sub> generated in the process of cement production. There is an urgent need for an alternative material that can replace cement. To improve the initial strength and economical efficiency pointed out as problems, this research was conducted for Blast Furnace Slag (BFS), an industrial byproduct. Non-sintering cement (NSC) was used by minimizing the amount of high-priced alkali activators. By using Nano-technology, fineness has been maximized, to enhance the initial strength of BFS. This research is based on non-sintered cement replaced by nano-slag using alkali activators, and the fundamental properties and quality of the non-sintered cement were investigated. A variety of activators were used, up to 10 percent of the slag weight. This research aims to present fundamental data through a comparative analysis of flexural strength, compressive strength, time of setting, diabetical temperature, and rising heat.

Keywords : non-sintering cement, Nano Technology, Nano slag, alkali activators

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

2013년부터의 온실가스 감축은 국제적인 감축 목표에 대한 합의점을 새롭게 도출하고(예를 들면, 지구 온도 상승을 2°C, 대기 중 온실가스 농도를 450ppm 이내), 각 나라는 국가적인 차원에서 배출저감 의무를 이행할 것으로 전망된다.

이러한 환경의 문제를 야기시키는 분야를 크게 산업, 교통 및 건설로 분류할 때, 이중에서도 건설분야는 전체산업 분야

CO<sub>2</sub> 배출량의 약 38%를 차지하는 것으로 알려져 있는 만큼 지구환경과 인간의 건강복지에 미치는 영향과 파급효과가 큰 분야라고 할 수 있다.

이의 해결책으로 대두되는 기술이 바로 비소성시멘트 기술이다.[2] 비소성 시멘트란 클링커 무함유 비소성 시멘트(Non-Sintered Cement, 이하 NSC)를 지칭하는 것으로 [3,4] 크게 점토질 광물과 알칼리의 반응을 이용한 지오폴리머(Geo-polymer) 분야와 잠재수경성 물질인 고로슬래그 미분말(Granulated Blast Furnace Slag, 이하 GBFS)을 알칼리로 자극하여 수경성 경화체를 제조하는 알칼리 활성화 슬래그(Alkali Activated Slag, 이하 AAS) 분야로 구분된다.[5]

한편 기존의 비소성 시멘트 기술은 대부분 고가의 고미분말 혼화재를 사용하며, 고가의 알칼리 자극제를 대량 사용함에 따라 경제성이 부족하며, 고로슬래그 미분말을 사용할 경우 잠재수경성 특성에 의해 초기 강도 확보가 힘든 실정이다.[6,7]

이에 본 연구에서는 고로슬래그에 나노기술을 접목한 나노

Received : October 19, 2010

Revision received : October 20, 2010

Accepted : October 27, 2010

\* Corresponding author: Lim, Nam-Gi

[Tel: 82-51-629-0500, E-mail: ing@tu.ac.kr]

©2010 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

슬래그를 대상으로 다양한 알칼리 자극제를 사용하여 나노슬래그를 활용하여 실용화 가능한 비소성 시멘트모르타르에 관한 기초적 연구를 진행하고자 한다.

**1.2 연구범위 및 방법**

전술한 바와 같이 전체 산업 중 높은 CO<sub>2</sub> 배출량을 담당하는 시멘트 제조 및 사용량 저감을 위한 노력이 요구되고 있으며, 자원부족으로 시멘트 제조 시 필요한 부자원의 수입으로 또 다른 환경 파괴 발생이 진행됨에 따라 비소성 시멘트에 관한 실용화적 연구가 요구되는 실정이다.[8]

이에 본 연구에서는 기존 비소성 시멘트의 문제점으로 지적되는 경제성 및 초기강도 확보를 위해 산업부산물인 고로슬래그를 대상으로 연구를 진행하였으며, NT기술을 접목하여 분말도를 극대화함으로써 초기강도 확보가 가능하며, 고가의 알칼리 자극제량을 최소화함으로써 실용화가 가능한 비소성 시멘트 기술을 진행하고자 한다.[9.10]

**2. 실험계획 및 방법**

**2.1 실험재료**

본 연구에서는 실험과정 중 오차범위를 최소화 하기 위하여 ISO 국제 표준사를 사용하여 실험하였으며 시험체 제작과정 중 편차의 최소화를 위하여 국제적 인증을 받은 영국 E사의 Jolting Apparatus 및 압축강도용 Zig를 사용하였으며, 사용한 시멘트, 나노슬래그 및 표준사의 물리화학적 특성은 다음과 같다.

**Table 1. Chemical characteristics and physical properties of Nano slag**

item	sample	Chemical composition					Weight	Surface area (cm <sup>2</sup> /g)
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO		
	Nano slag	32.75	12.7	1.02	42.4	8.39	2.81	39,100

**Table 2. Chemical characteristics and physical properties of Cement**

Chemical composition	Chemical composition Contents(%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig.loss
				21.95	6.59	2.81	60.12	3.32

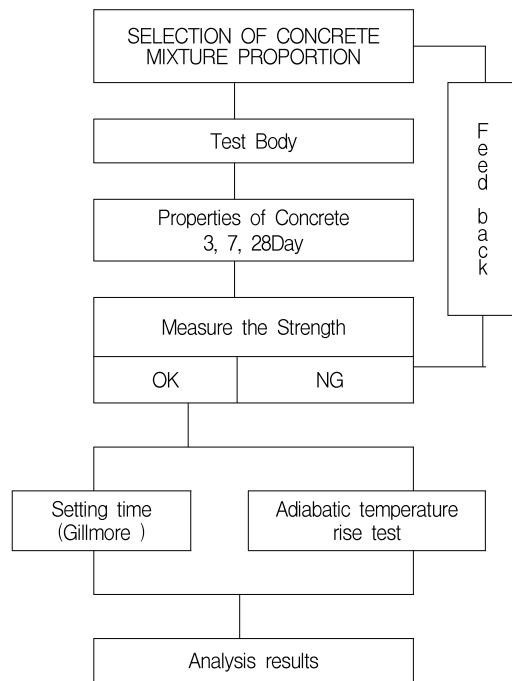
Physical properties	Surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Weigh	Setting time		Compressive strength(MPa)		
			First setting	Final setting	3Days	7Days	28Days
	3,112	3.15	4Hour	6Hour	19.8	27.2	38.9

**Table 3. ISO standard size distribution of sand (KS L ISO 679 : 2009)**

Sieve size (mm)	Sieve cumulative distribution (%)
2	0
1.6	7 ± 5
1	33 ± 5
0.5	67 ± 5
0.16	87 ± 5
0.08	99 ± 1

**2.2 실험방법**

선행 연구[1]를 통하여 도출된 나노슬래그의 적정 분말도인 35,000cm<sup>2</sup>/g 이상인 나노슬래그를 대상으로 수산화 이온족의 알칼리 자극제 인 분말형, 수산화 칼슘, 칼륨 및 나트륨을 치환 및 첨가하여 역학적 특성을 검토하였으며, 규산염 및 황산 이온족인 액상 및 분말형 규산나트륨과, 분말형 황산칼슘, 알루미늄 및 탄산칼슘을 대상으로 역학적 특성을 고찰한다. 상기 결과를 바탕으로 나노슬래그에 가장 적합한 알칼리 자극제를 선정하여 응결시간측정 및 단열온도상승을 측정하여 비소성 시멘트에 관한 기초적 연구를 진행하고자 한다. 실험인자 및 순서를 정리하면 다음과 같다.



**Figure 1. Test Flow**

또한 시험체 제작은 KS L ISO 679 시멘트 강도시험방법에 준하여 물시멘트비 50% 시멘트 잔골재 비 1:3에 수산화칼슘 첨가 조건을 제외한 전 조건에서 시멘트 중량의 10%치환하여 제작하였다.

**Table 4. Non-sintering cement Test Method (KS L ISO 679)**

Mortat Type	NanoSlag	Alkali Activators	Aggregate	Water
OPC	450±2	0	1350±5	225±1
Test Mortar	10%Substitution			

**Table 5. Experimental Factors**

Alkali stimulant	Hydroxide ion group	Silicate and H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ion group
	CaOH	NaSiO(Liquid and Powder)
	KOH	Sodium sulfate
	NaOH	HSO aluminium
CaCO <sub>3</sub>		
Standard Mixing	KS L ISO 679	
Substitution and Adding(%)	Slag 100%	stimulant 10%
Evaluation	Compressive strength, Flexural strength, Setting time Rate of rising adiabatic temperature	

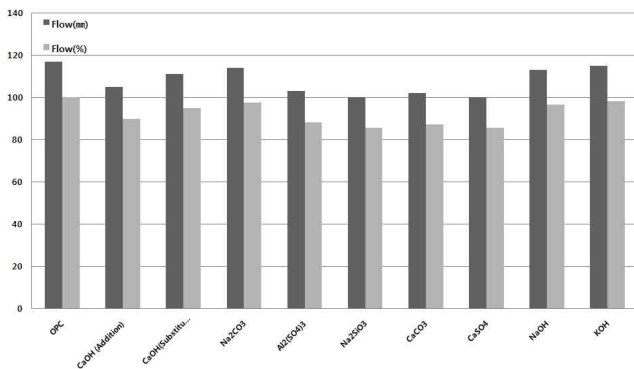
### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 역학적 특성

나노슬래그를 주재료로 하여 수산화 칼슘, 칼륨 및 나트륨의 알칼리 자극제를 달리한 비소성 시멘트 모르타르의 역학적 특성은 다음과 같다.

##### 3.1.1 유동 특성

알칼리 자극제 별 유동특성 고찰 결과 수산화칼슘 치환, 탄산나트륨, 수산화나트륨 및 칼륨 등 대부분 수산기 조건에서 OPC대비 유동성 감소 10%이내의 조건을 만족하였으나, 수산화 칼슘 첨가, 규산염 및 황산 이온족의 조건에서는 급격한 유동성 감소 효과가 관찰됨에 따라 비소성시멘트의 시공성을 감안한다면, 알칼리 자극제는 수산화 이온이 유리할 것으로 판단된다.



**Figure 2. Flowing Properties**

**Table 5. Flowing Properties Result**

	Flow(mm)	Flow(%)
OPC	117	100
CaOH (Addition)	105	89.7
CaOH(Substitution )	111	94.9
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	114	97.4
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	103	88
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	100	85.5
CaCO <sub>3</sub>	102	87.2
CaSO <sub>4</sub>	100	85.5
NaOH	11.3	96.6
KOH	115	98.3

##### 3.1.2 수산화 이온족의 역학적 특성결과

수산화 이온족 알칼리 자극제 별 압축강도 및 휨강도 측정 결과 알칼리 자극제 종류별 강도차이는 있는 것으로 관찰되었으나 전 조건에서 강도발현현상이 관찰되어 수산화 이온족은 나노슬래그의 알칼리 자극제로 유리한 것으로 측정되었다.

또한 수산화 나트륨을 알칼리 자극제로 활용한 조건에서는 재령 3일에서부터 OPC 강도를 상회하거나 유사한 역학적 특성을 나타내어 비소성시멘트로 활용성이 우수한 것으로 측정되었으나 수산화 나트륨을 제외한 기타 알칼리 자극제의 경우 전 조건에서 OPC대비 낮은 강도가 측정되어 보다 다양한 치환률에 관한 연구가 수반되어야 할 것으로 판단된다.

**Table 6. The Bending strength of hydroxide ions group**

Division	3Days	7Days	28Days
Standards	5.7	6.2	8.0
CaOH (Substitution)	3.8	4.0	5.1
CaOH (Adding)	3.3	3.8	4.9
KOH	3.9	4.5	5.9
NaOH	6.3	6.8	7.3

**Table 7. The compressive strength of hydroxide ions group**

Division	3Days	7Days	28Days
Standards	17.8	23.7	26.7
CaOH (Substitution)	12.5	14.7	21.2
CaOH (Adding)	8.8	13.0	19.8
KOH	12.7	18.0	23.7
NaOH	19.3	27.9	31.4

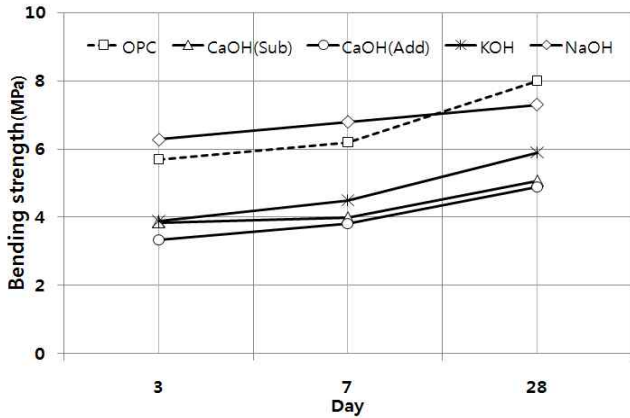


Figure 3. The Bending strength of Silicate and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ion group

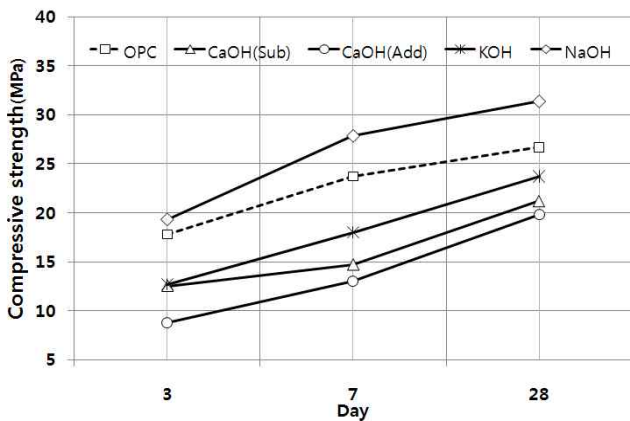


Figure 4. The Compressive strength of Silicate and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ion group

### 3.1.3 규산염 및 황산 이온족의 역학적 특성

규산염 및 황산 이온족을 알칼리 자극제로 치환한 비소성시멘트 모르타르의 압축강도 및 휨강도 특성 결과는 다음과 같다.

규산염 및 황산 이온족을 알칼리 자극제로 치환하여 제작한 비소성 시멘트 모르타르의 역학적 특성 고찰 결과 액상 및 분말에 관계없이 전 조건에서 강도발현 현상의 관찰이 힘들었으며, 그 차이는 휨강도 대비 압축강도에서 더욱 큰 것으로 측정되었다.

따라서 규산염 및 황산 이온족의 알칼리 자극제는 나노슬래그를 활용한 비소성 시멘트의 자극제로는 불리한 것으로 판단되며, 알칼리 자극제로 활용한 제품의 pH가 대부분 11.5 이상의 알칼리성을 감안하였을 때, 경화가 전혀 진행되지 못한 부분에 관한 이화학적 검토가 추가로 수반되어야 할 것으로 판단된다.

Table 8. The Bending strength of Silicate and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ion group

Bending strength	3Days	7Days	28Days
Standards	5.7	6.2	8.0
Sodium Silicate (Powder)	0.1	1.1	2.8
Sodium Silicate (Liquid)	0.1	2.1	3.6
Sodium sulfate	0.1	1.8	2.9
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> aluminium	1.1	2.0	2.4
CaCO <sub>3</sub>	0.1	1.4	2.1

Table 9. The Compressive strength of Silicate and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ion group

compressive strength	3Days	7Days	28Days
Standards	17.8	23.7	26.7
Sodium Silicate (Powder)	0.1	1.3	3.1
Sodium Silicate (Liquid)	0.2	3.0	4.1
Sodium sulfate	0.4	2.8	3.7
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> aluminium	0.6	3.1	3.6
CaCO <sub>3</sub>	0.4	2.7	3.5

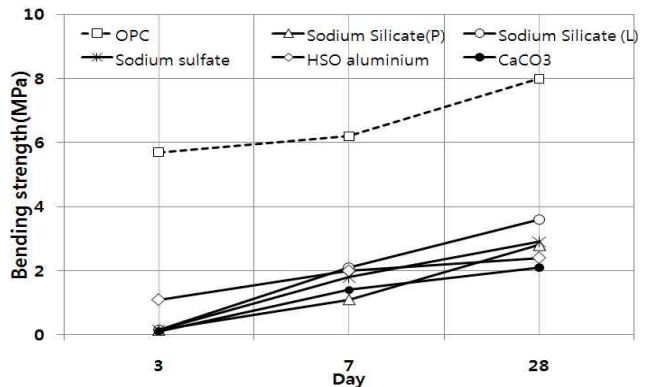


Figure 5. Table 1. The Bending strength of Silicate and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ion group

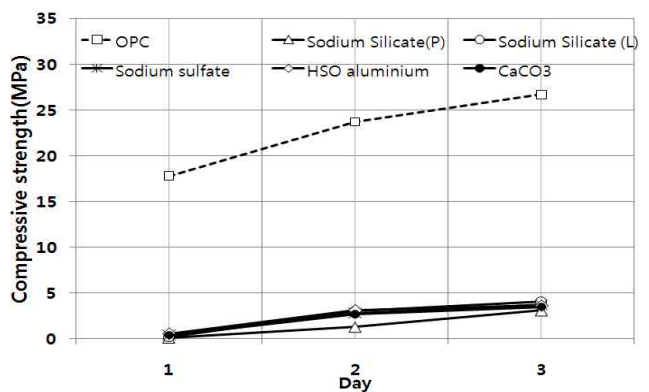


Figure 6. The Compressive strength of Silicate and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ion group

### 3.2 응결시간 및 단열온도 상승 실험결과

#### 3.2.1 응결시간 실험결과

비소성 시멘트의 가장 큰 문제점 지적되는 초기강도 검토를 위해 진행한 응결시간 시험은 KSL5103 : 길모아 침에 의한 시멘트의 응결 시간 시험 방법에 준하여 진행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

Table 10. Setting time of Hydroxide ion

Division	First setting	Final setting
CaOH	56	196
KOH	60	180
NaOH	55	190

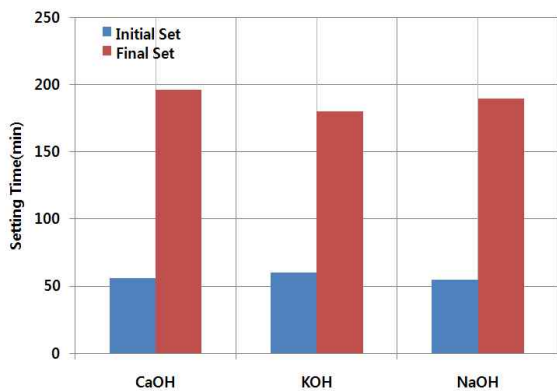


Figure 7. Setting time of hydroxyl ion group.



Figure 8. Gillmore apparatus

길모아 침에 의한 응결시간 측정결과 수산화 나트륨 조건에서 가장 빨랐으나 그 차이는 5분 이내로 크지 않은 것으로 측정되었으며, 종결에서는 수산화 칼륨, 나트륨 칼슘 순인 것으로 측정되어 초결을 고려한다면 수산화나트륨이 종결을 고려한다면 칼륨이 유리한 것으로 판단되며, OPC의 일반적인 초결이 90분 이내인 것을 감안한다면 수산기의 알칼리 자극제는 고로슬래그를 주재료 한 비소성 시멘트의 알칼리 자극제로 효과가 높은 것으로 판단된다.

#### 3.2.2 단열온도 측정결과

알칼리 자극제 별 단열온도상승열 측정을 위한 실험은 300×300×300mm의 단열가능한 챔버를 제작하였으며, 물시멘트 50%, 시멘트 모래비 1:3, 치환률 10%로 고정된 역학적 특성 검토 결과와 동일한 배합을 적용하여 30분 간격으로 측정을 진행하였다.

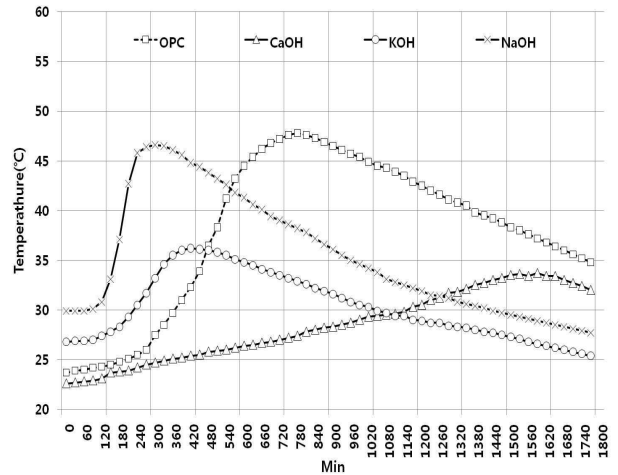


Figure 9. Adiabatic temperature rise test Result



Figure 10. Adiabatic temperature rise test Chamber (300×300×300mm)

수산화 칼륨, 칼슘 및 나트륨을 대상으로 간이 단열온도 상승 시험 결과 수산화 칼슘을 제외한 전 조건에서 8시간 이전의 수화열이 OPC를 상회하는 것으로 측정되었다.

또한 수산화 칼륨 및 나트륨이 OPC 대비 빠른시점에서 최대 온도 피크점이 생성된 것에 반해 수산화칼슘의 피크점이 1일 이후에 생성되는 것으로 측정되어 수산화 칼슘의 최대 치환량 증가의 검토가 수반되어야 할 것으로 판단된다.

따라서 비소성 시멘트의 온도균열을 감안한다면 수산화 칼슘과 칼륨, 나트륨과의 알칼리 자극제 복합적 사용에 대한 검토도 진행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론 및 향후 연구방향

기존 비소성 시멘트의 문제점으로 지적 되는 경제성 및 초기강도 확보를 위해 산업부산물인 고로슬래그를 대상으로 나노기술을 통한 분말도를 극대화하여 다양한 알칼리 자극제 별 비소성 시멘트의 역학적 특성을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) NT기술을 활용한 나노급 고로슬래그를 잠재 수정성 재료로 사용하여 다양한 알칼리 자극제 별 수화특성을 검토하여 비소성시멘트 기술에 관한 기초적 연구를 진행한 결과 OPC 대비 유동성 저하가 10%이하의 조건을 만족하며, 기존 비소성시멘트의 가장 큰 문제점으로 지적되는 초기강도 확보에서 일부조건에서 OPC를 상회하는 것으로 측정되어 실용화 기술로 개발이 가능할 것으로 판단된다.
- 2) 알칼리 자극제 별 유동특성 고찰 결과 수산화칼슘 치환, 탄산나트륨, 수산화나트륨 및 칼륨 등 대부분 수산기 조건에서 OPC대비 유동성 감소 10%이내의 조건을 만족하였으나, 수산화 칼슘 첨가, 규산염 및 황산 이온족의 조건에서는 급격한 유동성 감소 효과가 관찰됨에 따라 비소성시멘트의 시공성을 감안한다면, 알칼리 자극제는 수산화 이온이 유리할 것으로 판단된다.
- 3) 길모아 침에 의한 응결시간 측정결과 수산화 나트륨 조건에서 가장 빨랐으나 그 차이는 5분 이내로 크지 않은 것으로 측정되었으며, 종결에서는 수산화 칼륨, 나트륨 칼슘 순인 것으로 측정되어 초결을 고려한다면 수산화나트륨이 종결을 고려한다면 칼륨이 유리한 것으로 판단된다.
- 4) 수산화 칼륨 및 나트륨이 OPC 대비 빠른 시점에서 최대 온도 피크점이 생성 된 것에 반해 수산화칼슘의 피크점이 1일 이후에 생성되는 것으로 측정되어 비소성 시멘트의 온도균열을 감안한다면 수산화칼슘과 칼륨, 나트륨과의 알칼리 자극제 복합적 사용에 대한 검토도 진행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 요 약

현재 지구촌 온난화에 의하여 환경이 열악해지고 있으며 그에 따라 건설분야에도 시멘트 제조에 따른 CO<sub>2</sub>발생 저감하기 위한 노력을 하고 있다. 이에 시멘트 대체할 재료가 필요하다. 본 연구에서는 기존 비소성 시멘트의 문제점으로 지적 되는 경제성 및 초기강도 확보를 위해 산업부산물인 고로슬래그를 대상으로 연구를 진행하였으며 고가의 알칼리 자극제량을 최소화함으로써 실용화 가능한 비소성 시멘트 기술을 진행하고자 한다. 그리고 NT를 사용하여 분말도를 최대화 하여 고로슬

래그의 초기강도를 개선시켰다. 본 연구는 알칼리 자극제를 사용한 나로슬래그를 치환한 비소성시멘트를 기초로 하고 있으며, 현장에서 사용가능한 비소성시멘트의 기초적 물성 및 품질을 조사하였다. 여러 자극제가 슬래그 중량의 10%로 사용되었으며 휨강도, 압축강도, 응결시간, 단열온도, 상승열등을 비교 분석하였으며 그 기초적 자료를 제시하는데 목적이 있다.

**키워드** : 비소성 시멘트, 나노기술, 나노슬래그, 알칼리 자극제

#### Acknowledgement

This research was supported by a grant(2010C010) from industrial-academic corporation centered university funded by ministry of knowledge economy

#### References

1. Lim NG. The study on properties of concrete using High-Blaine Blast-furnace Slag Powder, Architectural Institute of Korea, 2005;49(10):119-129.
2. Byun KJ. SILICA FUME CONCRETE, Kimoondang; 2007. p.31.
3. Jin IJ. NANOMATERIALS, Daeyoungsa; 2006. p.13.
4. Korea Institute Concrete, Concrete Admixture, Kimoondang; 1997. p.217.
5. Park JB. An Experimental study on the Development of Advanced Nano-Cement and the Characteristics of Nano-Cement Concrete [MA dissertation]. Seoul: HanYang University; 2007.
6. Kim EY, Sonh HY, Lee SS, Kim JS, Kim HT. Experimental Study on the Strength Properties and Flowability of High Performance Concrete Using Blast Furnace Slag, Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea 2006;10:425-428
7. Han CG, Baek JH, Han MC, Kim SH, Noh SK, Son HJ. Properties of Shrinkage and Strength of Concrete Incorporating Blast-furnace Slag, Journal of the Korea Institute of Building Construction 2008;8(1):99-102
8. Kim HS. A Study on Application of High Strength Concrete using non-sintering cement [MA dissertation], Seoul: Dankook University; 2006.
9. Park JB. An Experimental study on the Development of Advanced Nano-Cement and the Characteristics of Nano-Cement Concrete[PhD dissertation]. Seoul: HanYang University;2007.
10. Lee HY. Effect of blast furnace slag matrix by alkali activator and sulfate activator[MA dissertation]. Jeonju: ChonBuk University;2007.