

Calcium Aluminate Cement 심포지엄 參加記

崔 相 紘 · 韓 基 成 · 宋 泰 雄
〈漢陽大學校教授 · 工博〉 〈仁荷大學校教授 · 工博〉 〈慶南大學校助教授〉

1. 머리 말

Calcium Aluminate Cement에 관한 국제심포지엄이 지난 7월 9일부터 11일까지 3일간 영국 London의 Queen Mary and Westfield College, University of London에서 개최되었다. 이 심포지엄은 알루미나 시멘트연구에 많은 공헌을 한 H. G. Midgley 박사(1918~1988)를 기념하기 위한 학술회의로서 프랑스의 Lafarge Aluminous Cement Co.의 후원으로 이루어졌다.

이 심포지엄에는 세계 15개국에서 130여명의 학자, 연구원, 기술자들이 참가했으며 7개 부분으로 나뉘어 발표된 논문은 총 29편으로, 발표 논문은 영

국이 15편(그중 1편은 프랑스와 공동), 프랑스 5편, 폴란드 3편, 독일 2편, 미국·인도·노르웨이 및 한국이 각 1편이다. 우리나라에서는 3명(한기성, 최상훈, 송태웅)이 참가했으며, "Activation of hydraulic properties of the compound $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ "라는 주제로 발표(발표 한기성)하였다.

3일간의 심포지엄 참가 후 일행은 London 근교의 British Cement Association, Building Research Establishment, Lafarge Special Cement를 방문하고 귀로에 올랐다.

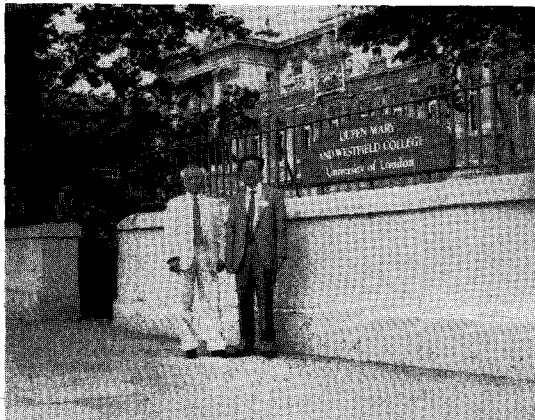
2. High alumina cement in construction

—A future based on experience

— — — H. G. MIDGLEY

【요 약】

HAC는 원래 화학저항성 시멘트로 개발되었지만 빠른 강도발현이 먼저 응용되었다. 1960년대에는 precast prestressed beam이나 joist 생산에 속경성이 이용되어 생산 업체들은 24시간 이내에 탈형이 가능해졌다. 1973~1976년경에는 이와 같은 beam을 사용한 구조물의 붕괴가 3건 발생하여 이러한 beam과 joist 등이 건재로의 사용이 재검토되었다. 그러나 1981년에 보고된 바에 의하면 그 당시 고알루미나 시멘트를 사용한 구조물은 약 50,000여 개에 달하고 이 중에서 보수가 필요한 것이 38개로서 이들은 그 당시에도 적은 W/C의 중요성이 알려



〈사진-1〉 심포지엄이 개최된 Queen Mary and Westfield College, University of London 앞에서

졌음에도 불구하고 너무 많은 물을 사용했다고 하였다.

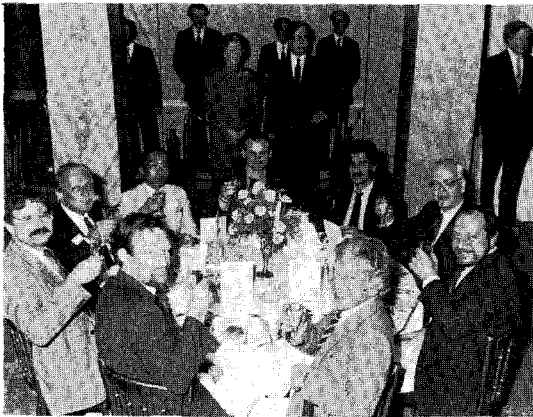
고알루미나 시멘트는 화학저항성이나 높은 초기 강도가 필요한 곳에서 사용하는 것이 좋을 것으로 보인다. 만약 일반 건설재료로 사용된다면 콘크리트 시공시 엄격한 제한이 있어야 하겠고 설계 또한 “완전한 강도발현”을 기초로 해야 한다.

3. The Midgley Symposium on Calcium Aluminate Cements

우리 숙소(City University의 Horthampton Hall)로부터 회의장까지는 지하철로 약 30분 거리. 학교에 들어가서 회의장을 찾는 우리를 어떤 노부인이 웃으며 맞으면서 안내해 줘 쉽게 등록을 마쳤다. 뒤에 알고 보니 Symposium 사무국 직원이었다. Octagon에서 인사를 나누면서 환담하다 회의장에 입장하였다.

회의 첫날(9일)에는 등록, 개회 후 Midgley 박사의 공적에 대한 소개가 있었고 오전에 1부 “Clinker”의 발표가 있었다. 오후에는 2부 “Hydration”의 발표 그리고 저녁에는 대학 Octagon에서의 환영 만찬이 있었다.

둘째날(10일)에는 오전에 3부 “Admixtures”, 4부 “Calorimetry”의 발표, 오후에는 5부 “Durability”의 발표 후 저녁에 Madam Tussauds에서 납 인형들과 함께 Conference Dinner가 있었다.



〈사진-2〉 Conference Dinner의 한 장면. 뒤에 Margaret Thatcher 영국수상(납인형)이 보인다.



〈사진-3〉 BCA를 돌아보며

Madam Tussauds는 납 인형을 전시한 관광명소이며 식당이다. 1835년 공개된 후 인형은 계속 늘어나 현재는 300 이상이라고 한다. 역대 군주, 정치가, 왕비에서 소설가, 운동선수 등 유명한 그리고 손님 모습까지 만들어져 홀에는 물론 식탁 주위에까지 전시되어 마치 그들과 함께 있는 분위기이다.

셋째날에는 오전에 6부 “Blended systems”의 발표, 오후에는 7부 “Miscellaneous” 발표가 있었다. 발표는 20분간의 발표와 10분간의 토론으로 대학 교수, 연구소 연구원, 산업체 기술자들로 꽉 메워진 회의장에는 열기가 넘쳐 있었으며 한 분야의 발표가 끝난 후의 쉬는 시간에도 차를 마시면서 토론을 하는 모습들이었다.

3일간의 발표회가 성황리에 끝나고 앞으로 다시 만날 것을 기약하면서 폐회식을 가졌다. 폐회식에서 Midgley 박사를 회고하는 짧은 video 상영 또한 인상적이었다.

【 논문요약 】

〈PART ONE CLINKER〉

Comparison of methods for quantitative determination of phases in high alumina cement clinkers

--- F.P. SORRENTINO

고알루미나질 시멘트(HAC) 크랑카의 여러가지 상 측정 방법으로 X-선 회절, 반사현미경에 의한 point counting, image analysis 및 SEM에 의한 전자광학분석을 비교하였다. HAC 크랑카에서 발견되는 CA(mono-

calcium aluminate), C_2AS (gehlenite), calcium aluminoferrite에 대하여 여러 가지 분석 방법을 비교하였다. 전자광학적 분석법은 최단 시간에 보다 믿을 만한 결과를 제공한다.

Studies of the mineralogy of high alumina clinkers

--- A. SOURIE, F. P. GLASSER

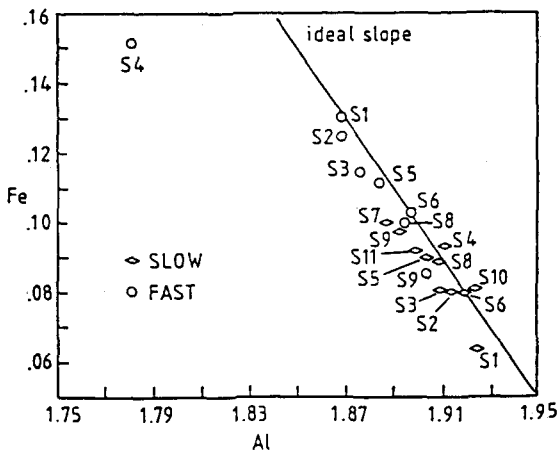
고알루미나 시멘트(HAC) 크링카의 상조성을 계산하는 문제를 다루었다. 새로운 자료 특히 pleochroite의 안정성과 조성에 관한 자료들, 크링카 조성과 CA를 포함하는 조성의 미세 분석에 관한 자료들을 제시하였다. 급냉은 Fe의 증가와 알루미네이트에서 Si의 치환을 증가시킨다. <그림-1>은 서냉과 급냉에서 calcium monoaluminate 상의 조성 관계를 보이고 있다.

Effect of morphology on the hydration characteristics of high alumina cements

--- I. N. CHAKABORTY, S. NARAYANAN, D. VENKATESWARAN, S. K. BISWAS, A. K. CHATTERJEE

고알루미나 시멘트의 수화 특성에 대하여 여러 calcium aluminate 상의 역할을 다루었다. 알루미나 함량의 함수로서 고순도의 고알루미나 시멘트의 수화 거동에 대한 상들의 입자 성장과 형태의 영향을 조사하였다.

입자 성장, 형태학적 변화, 수화 특성을 서로 연관시키는데 주요점을 두었고 여러 고순도의 고알루미나 시멘트에 대한 pyroprocessing parameter의 최적치를 고찰



<그림-1> Composition of the "Calcium monoaluminate" phase; Al versus Fe contents of the solid solution.

하였다.

High alumina cements based on calcium aluminate clinker with different phase compositions and sintering degrees

--- J. SAWKOW

CA를 함유하고 $C_{12}A_7$ 이나 CA_2 를 함유한 소성된 크링카를 기초로 하는 high alumina cement의 상조성과 수반되는 성질들을 다루었다.

1,500°C까지의 범위에서 calcium aluminate의 형성 과정을 알아냈고, $C_{12}A_7$ 상의 역할도 조사하였으며 알루미나 함량이 70~80%인 시멘트의 제조에서 calcium aluminate 크링카 조성의 한계가 정해졌다. 크링카들과 $\alpha-Al_2O_3$ 로부터 70~80%의 알루미나 함량을 갖는 시멘트가 만들어 졌으며 이 시멘트의 내화도, 비표면적, 경화체의 강도 등의 성질 그리고 알루미나 콘크리트의 12시간 및 24시간 후의 성질들 그리고 1,500°C, 1,800°C에서 소성한 후의 성질들이 조사되었다.

(PART TWO HYDRATION)

Microstructural development in pastes of calcium aluminate cement

--- K. L. SCRIVENER, H. F. W. TAYLOR

백색 칼슘알루미네이트 시멘트 페이스트의 수화를 5°C와 40°C에서 연구하였다. 이들 온도 모두에서 가장 먼저 검출된 수화 생성물은 CAH_{10} 이었다. 5°C에서는 CAH_{10} 은 7일 수화시켰을 때까지 유지되었다. 40°C에서는 몇시간 후부터 CAH_{10} 으로부터 C_2AH_8 과 AH_3 가 생성되었으며, C_2AH_8 은 점차로 반응하여 C_3AH_6 와 더 많은 AH_3 를 생성하였다. 분명한 내부 생성물(inner product)이 관찰되었으며 그에 대한 성질이 거론되었다. <그림-2>는 수화물의 미세 구조를 보이고 있다.

Investigation of the composition of phases formed in low cement castables during hydration and after thermal treatment

--- W. GESSNER, S. MÖHMEL, J. KIESER, M. HÄWECKER

HAC함량이 적은 캐스터블(LCC)의 수화와 열처리할 때 일어나는 화학 반응에 대한 검토로서 골재들을 포함하지 않는 순수한 LCC결합계에 대하여 연구하였다.



- a) Network of prisms of CAH_{10} (grey) and unreacted cement (bright).
- b) Plates of C_2AH_8 .
- c) Array of fine nodules of C_3AH_6 in a matrix of AH_3 with some unreacted cement.
- d) Areas of inner product (arrowed) which has replaced CA in a partially reacted clinker grain; along the right edge of the grain is a deposit of AH_3 .

〈그림-2〉 Microstructures of hydration products.

HAC, microsilica, 알루미늄이나 그리고 해교제(deflocculant)를 포함하는 시편들을 서로 다른 조건에서 수화시켜 X-ray methods, ^{27}Al NMR spectroscopy 그리고 소위 molybdate method로 조사하였다. LCC binder-system에서 CASH상의 형성이 수열조건하에서 처리된 것들에서 관찰되었다. CASH상들은 $600^{\circ}C$ 까지 안정성 범위를 가지는 zeolitic한 성질을 갖는 것 같다. LCC-matrices에서의 강도발현과 관측된 CASH상들의 저농도와의 관계에 대한 전반적인 설명은 다룰 수 없었으나 이번 결과에서 그와 같은 관계가 존재함을 보여주었다.

Effect of temperature on setting time of calcium aluminate cements

--- A. CAPMAS, D. SORRENTINO, D. DAMIDOT

18~30°C 범위에서는 calcium aluminate 시멘트의 응

결 시간은 온도가 높아짐에 따라 점점 느려졌으나 30°C 이상에서의 응결 속도는 다시 가속되었다. 이것은 C_2AH_8 핵 생성의 까다로움에 의한 것으로 알려져 있다. $C_{12}A_7$ 에 대한 실험에서 C_2AH_8 은 까다로운 핵 생성을 나타내지 않았으며 30°C에서도 과포화 후 거의 즉시 침전이 일어났다. 응결 시간이 길어지는 것은 CAH_{10} 의 까다로운 핵생성에 기인하며 부분적으로 이 온도에서 과포화 정도가 매우 낮기 때문인 것으로 보인다.

The use of nuclear magnetic resonance (NMR) in the study of high alumina cement hydration

--- D. J. GREENSLADE, D. J. WILLIAMSON

HAC 수화를 proton (1H)과 aluminum (^{27}Al)으로 연구하였다. proton 측정은 값싼 bench top spectrometer를 이용한 간단한 방법으로 하였다. NMR은 수화시간에 따른 "자유수"를 측정하는데 이용하였다. HAC 수화를 연구하는데에 ^{27}Al NMR이 적합함을 다시 확인할 수 있었다.

On the change of microstructure during the hydration of monocalcium aluminate at 20°C and 50°C

--- W. GESSNER, R. TRETTIN, A. RETTEL
D. MÜLLER

HAC의 수화시 주된 팽물상인 monocalcium aluminate에 대하여 수화열의 변화, 수화 정도, 수화물 상에 고정된 물 분자의 proton의 이동도, 비표면적, 기공 분포와 액상에서의 CaO 와 Al_2O_3 농도를 측정 검토하였다. CA의 수화 과정에서 반응 속도는 CA 입자를 둘러싼 피막의 투과율에 영향을 받으며, 이 피막의 생성은 시간과 온도에 따라 달라지는 조성의 변화 전이 및 결정화 과정 등에 의한다.

〈PART THREE ADMIXTURES〉

The influence of superplasticising admixtures on cement fondu mortars

--- S. M. GILL, P. F. G. BANFILL, B. EL-JAZAIRI

고 유동화제를 혼합한 ciment fondu mortar 시편들을 ultrasonic pulse velocity(UPV)와 압축 강도간의 관계, 수화물의 조성을 검토하였다. 혼화제들은 수화과정을 변화시키지 않고 수화물들의 형태도 변화시키지 않으며 혼화제의 존재 여부보다도 양생 온도의 영향이 강도에

더 중요하다. CAH_{10} 과 C_2AH_2 가 C_3AH_6 로 전이할 때는 강도 저하에 영향을 준다.

〈그림-3〉은 UPV와 강도와의 관계를 보인다.

The effect of admixtures on the hydration of refractory calcium aluminate cements

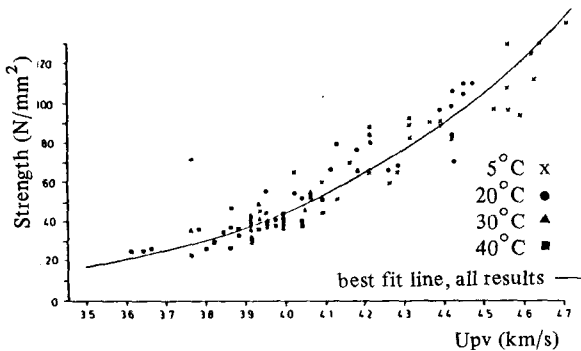
--- J. H. SHARP, S. M. BUSHNELL-WATSON,
D. R. PAYNE, P. A. WARD

내화물용 알루미나 시멘트의 응결 시간에 대한 여러 혼화제의 영향과 초기 수화 생성물들을 8~50°C의 온도 범위에서 검토하였다. citric acid가 모든 농도와 온도에서 지연제로 효과가 있으나 양의 증가로 더 지연시키지는 않았다. Calgon, $Na_6(PO_3)_6$ 는 촉진제로 작용할 것으로 예상되나, 그 거동은 매우 복잡하고 온도에 따라 변한다. calcium hydroxide는 효과적인 촉진제이며 C_2AH_6 과 gibbsite를 형성시킨다. lithium chloride는 평장한 촉진제로 작용하고 lime이 풍부한 수화물들(lime-rich hydrates)을 형성한다.

Properties of fresh mortars made with high alumina cement and admixtures for marine environment

--- N. C. BAKER, P. F. G. BANFILL

5, 20, 40°C에서 HAC mortar들은 해수(sea water), 증류수(deionized water), reconstituted sea water를 사용하여 혼합하였다. 혼화제로는 응결 촉진제, 고 유동 화제, 내 유실제, 공기 연행제, 방수제, EVA polymer latex 분산제를 사용하여 응결 시간, workability, 내 유실 특성 등을 조사하였다. 5°C, 40°C에서 응결 시간은 해수에서 20°C의 경우보다 빨랐으며 EVA 혼합제들은 응결이 늦었다. workability 변화는 별로 없었다.



〈그림-3〉 Correlation between upv and strength.

(PART FOUR CALORIMETRY)

Role of foreign cations in solution on the hydration kinetics of high alumina cement

--- M. MURAT, EL. H. SADOK

CA나 HAC의 수화에서 Z/r (Z : 전하, r : 이온 반경)가 2.5\AA^{-1} 이상인 이종 양이온의 존재는 핵생성 반응의 특성을 변화시킨다. 핵생성 속도의 증가는 불균일 핵생성으로 설명된다. CA와 HAC의 수화 반응은 C_3S 나 포틀랜드 시멘트와 다르다.

Calorimetric studies on high alumina cement in the presence of chloride, sulphate and sea water solutions

--- D. L. GRIFFITHS, A. N. F. AL-QUASER,
R. J. MANGABHAI

염화물, 황산염 그리고 해수 용액 존재하에서 $W/C=0.4$ 로 여러 온도에서 HAC의 수화를 연구하였다. 두번째 peak의 열방출 최대 속력(Q_{max})과 최대치에 도달하는데 걸리는 시간(t_{max})을 비교하였는데 t_{max} 은 30°C일 때가 15°C나 40°C보다 더 느리다. 염화물 용액들 가운데서 가장 흥미있는 결과는 OPC에 촉진제인 $CaCl_2$ 가 HAC의 수화를 지연시킨다는 것이다.

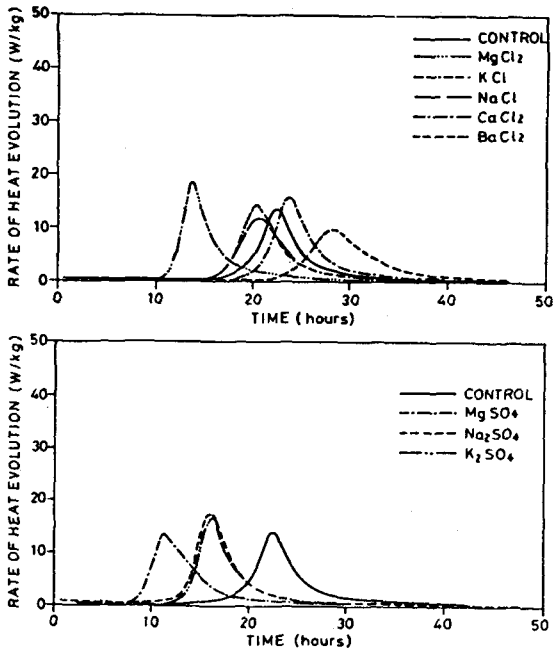
황산염 용액들 가운데서는 magnesium이 sodium이나 potassium보다 더 큰 촉진 효과를 가진다. 해수 용액들은 모든 온도에서 어떠한 용액보다 Q_{max} 에 더 큰 영향을 미쳤다. 〈그림-4〉는 염화물과 황산염의 수화열에 미치는 영향을 보이고 있다.

(PART FIVE DURABILITY)

Manufacture and performance of aluminous cement; a new perspective

--- C. M. GEORGE

알루미나 시멘트의 제조 방법 및 성능에 대하여 언급하였다. 제조 공정을 체계적이고 엄격한 관리를 함으로써 신뢰성 있는 제품을 생산할 수 있다. 수화에 대한 단순한 물리-화학적 모델로서 시멘트 페이스트의 기공률에 대한 W/C 와 전이 현상을 정량적으로 설명하였다. 〈그림-5〉는 W/C 와 수화물 및 기공률의 관계를 보인다. 이는 강도와 내구성, 알루미나 시멘트에서 실제 이용이 권장되고 있는 W/C 의 제한값 0.4의 타당성 등과 관계가 있다.



〈그림-4〉 Effect of chlorides and sulphates on rate of heat evolution of HAC at 30°C.

Long-term performance of high alumina cement concrete in sulphate-bearing environment

--- N. J. CRAMMOND

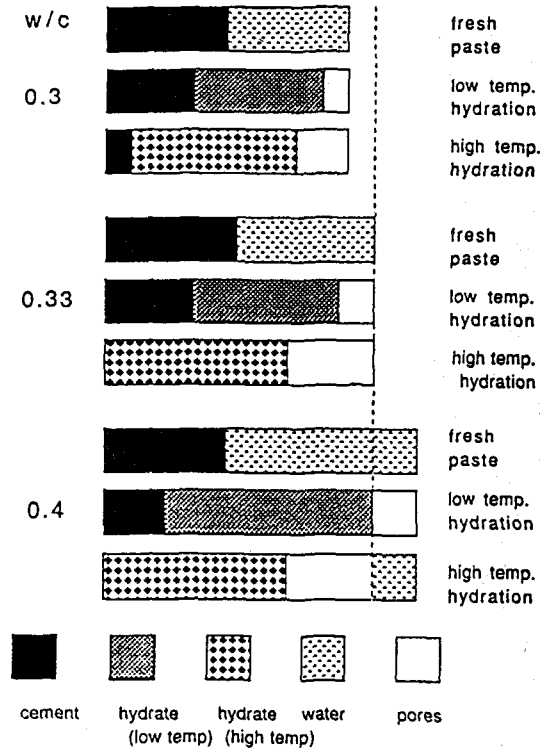
HAC를 포함한 여러 시멘트를 사용하여 만들어진 콘크리트의 장기에 걸친 황산염 저항성을 평가하였다. Northwick Park의 황산염 함유 토양(지하수 속에 0.26% SO₄) 속에 묻어둔 HAC 콘크리트는 15년 후인 지금까지 훌륭한 황산염 저항을 보이고 있다. 그러나 같은 혼합물에서 만들어진 100mm 콘크리트 입방체들은 좋은 결과를 얻지 못하였다.

HAC 콘크리트의 황산염 저항성은 감수제를 사용함으로써 더 향상되었다.

Behaviour of high alumina cement in chloride solutions

--- W. KURDOWSKI, L. TACZUK, B. TRYBALSKA

암염광속에 존재하고 있는 강 염화물(sodium, magnesium과 calcium chlorides) 용액들 속의 HAC의 내구성을 시험하였다. HAC의 paste는 1개월 동안 급격한 수축을 일으키고 그 뒤는 안정화되었다. 그러나 전체 수축은 작고 11mm/m를 초과하지 않는다. 동시에 sample



〈그림-5〉 Hydration, water/cement ratio and porosity.

표면위에 치밀한 층이 형성된다. 또 다른 층도 나타난다.

최밀층에서 Al(OH)₃ gel의 재결정이 일어나고 많은 양의 Friedel salt가 형성되었고 염기성 염화 마그네슘도 형성된다. 외부층에서 많은 양의 CAH₁₀이 나타나는 반면에 내부층에서는 입방 C₃AH₆의 농도가 크다.

반응층은 매우 제한된 두께이고 매우 낮은 기공률 때문에 이온 이동을 방해하고 큰 강도를 나타낸다.

Acidic corrosion of high alumina cement

--- J. P. BAYOUX, J. P. LETOURNEUX, S. MARCDAGENT, M. VERSCHAEVE

산성 분위기에서 Fondur paste와 mortar의 부식은 수화물이나 골재의 분해로 일어난다. 산 부식의 요인으로는 초기 상들의 열역학적 안정성, 산의 세기, 산의 농도, 기공률, 형성된 염들의 용해도 및 온도 등이다.

The effect of limestone fillers on sulphate resistance of high alumina cement composites

--- W. G. PIASTA

HAC paste, mortar 그리고 콘크리트의 황산염 저항에 석회석 충전제들(분말이고 기공이 많고 고밀도의 혼합재들)이 미치는 영향을 검토하였다. 석회석 충전제들의 사용은 보통 온도에서 HAC의 내구성을 매우 크게 향상시킨다. 그것은 주로 더 안정된 calcium carboaluminate 수화물의 생성 때문이다. 이때 전이가 상당히 제한된다. 그러나 더 높은 온도는(약 30°C나 40°C) 바라지 않은 상변화 때문에 위험할 것이다.

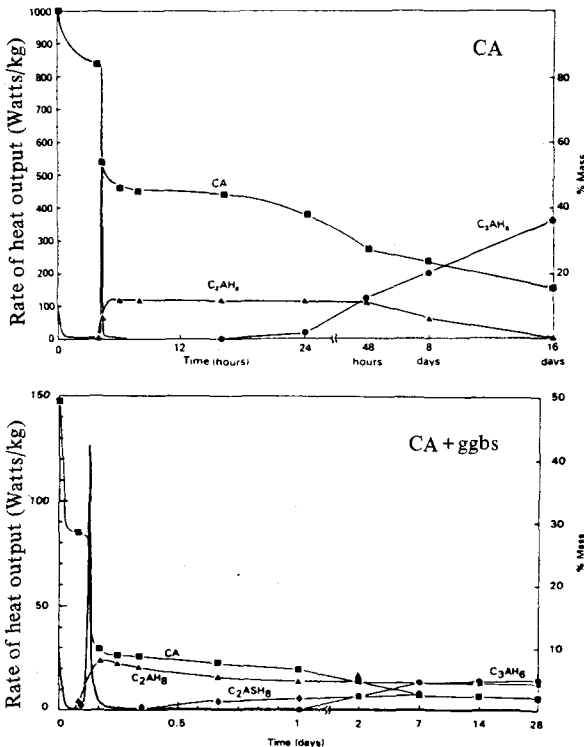
(PART SIX BLENDED SYSTEMS)

Hydration of calcium aluminates in presence of granulated blastfurnace slags

--- A. J. MAJUMDAR, R. N. EDMONDS, B. SINGH

HAC에 충분한 양의 분쇄한 과립상의 고로 slag (ggbs)를 첨가하면 고온, 습윤환경 하에서의 강도 저하를 억제하는 좋은 효과가 있다.

ggbs가 50%(중량) 존재할 때 slag의 좋은 효과는



〈그림-6〉 Calorimeter output and composition of CA and CA+ggbs hydrated at 40°C.

stratlingite (C₂ASH₈)의 형성 때문이다. 또한 ggbs는 액상으로부터 Ca를 제거시키며 C₂AH₆와 C₃AH₆의 형성을 방해한다. CA나 CA가 주된 상인 시멘트에 물을 첨가했을 때 20°C 이하에서 나타는 첫 수화물은 C/A비가 1에 가까운 비정질의 calcium aluminate 상이다. HAC 수화에 있어서 비정질 상은 상당히 오랜 기간 잔존한다. calcium aluminate의 발열 특성은 slag 존재하에서 변화하고 시멘트의 표면적에 의존한다. 〈그림-6〉은 CA와 CA+slag의 수화 발열 특성과 수화물을 보이고 있다.

The effect of curing conditions on the hydration and strength development in fondu: slag

--- C. H. FENTIMAN, S. RASHID, J. P. BAYOUX, A. BONIN, M. TESTUD

calcium aluminate cement (Ciment Fondu)와 분쇄한 과립상의 고로 slag (ggbs)를 50 : 50으로 섞은 혼합물의 수화와 강도 발현을 연구하였다. Ciment Fondu의 초기 수화는 순수한 시멘트로부터 예상되는 수화물이 형성된다. C₃AH₆ 이외의 모든 수화물은 silica를 혼입, 최종적으로 stratlingite, C₂ASH₈를 형성한다. 보다 높은 온도에서 양생하면 C₃AH₆가 주된 수화물로 되었고 강도 발현은 낮았다.

The microstructure of blastfurnace slag/high alumina cement pastes

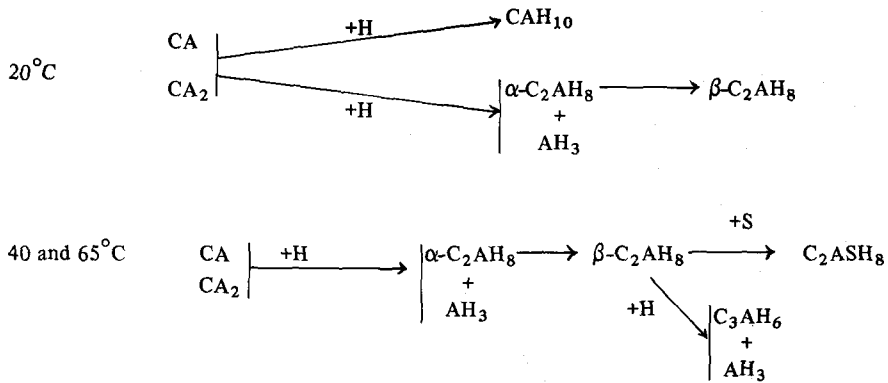
--- I. G. RICHARDSON, G. W. GROVES

2년이 경과한 분쇄한 과립상 고로 slag (ggbs)/HAC 3 : 1 혼합물의 미세구조를 연구했다. 상의 확인은 differential scanning calorimetry (DSC)와 X-선 회절 (XRD)에 의해 보충했다. 이로부터 HAC의 모든 결정질은 이 기간내에 소모되고 주된 수화 생성물은 gehlenite 수화물과 두개의 뚜렷한 비정질 gel : 원래는 물로 채워졌던 공간을 차지하는 outer gel product와 slag 반응에 의해 형성된 공간을 차지하는 inner gel product이다.

Effects of microsilica on conversion of high alumina cement

--- S. BENTSEN, A. SELTVEIT, B. SANDBERG

서로 다른 시멘트 paste에서 수화물로의 광물 전이를 시간과 온도의 함수로 연구했다. 'Secar 80'과 'Secar 51'에 microsilica의 양을 변화시키고 물/분말 비는 0.5로 수화했을 때 온도에 따라 다음과 같이 전이하였다.



전이의 온도 의존성을 조사한 결과 주어진 온도 구간에 대한 주된 상은 다음과 같다.

0 ~ 20°C	CAH ₁₀
20 ~ 70°C	C ₂ ASH ₈
70 ~ 100°C	C ₃ AH ₆

α와 β-C₂ASH₈이 중요한 중간 생성물이고 α-C₄AH₁₃, C₄AH₁₁과 CaCO₃상의 흔적이 발견되었다.

Study of the hydration properties of aluminous cement and calcium sulphate mixes

--- J. P. BAYOUX, A. BONIN, S. MARCDARGENT, A. MATHIEU, M. VERSCHAEVE

aluminous cement에 calcium sulphate(석고, 반수 석고, 무수 석고)를 가했을 때의 수화를 연구하였다. 형성된 수화물의 성질, 형태, 팽창/수축, 기계적 강도는 calcium sulphate의 특성에 크게 좌우된다. 모든 경우에 있어서 무수 석고가 좋았다. 반수 석고는 수축을 감소시켰으나 많은 양의 사용은 균열 현상을 보였다.

석회 첨가의 중요한 역할도 검토하였다.

Ettringite-based cements

--- S. A. BROOKS, J. H. SHARP

ettringite는 황산염에 침식되는 성질 때문에 시멘트 경화체에서 바람직하지 못한 성분으로 여겨졌으나 오랫동안 다양한 영역에서 구조용으로 사용되어 왔다. 이런 것중의 하나로 광산에서 ettringite-based cement가 있다. 이것은 수화시 ettringite를 생성케 함으로써 속경성을 갖게 하고 장거리 펌프 수송을 가능케 하며 오랜 기간 동안 수송관 내에서 응결하지 않고 안정하여야 한다. 석회와 고알루미나 시멘트 및 석고의 반응으로 ettringite를 형성시

키고 분탄, 폐석 등을 골재로 이용하고 있다.

(PART SEVEN MISCELLANEOUS)

Effect of autoclaving on the strength of hardened calcium aluminate cement

--- A. SARANDILY, R. BAGGOTT

autoclave 처리한 calcium aluminate cement의 강도를 실온 양생 시멘트와 비교하였다. 실온 양생에서는 변태로 인한 micro-cracking이 많이 일어났으나 micro-cracking은 180°C에서 수화에 의해서 제거되고 그 결과 실온 양생보다 훨씬 더 큰 강도를 갖는다. autoclaved cement는 70 N/mm²까지의 극강도를 나타낸다.

Effect of temperature rise on properties of high alumina cement group

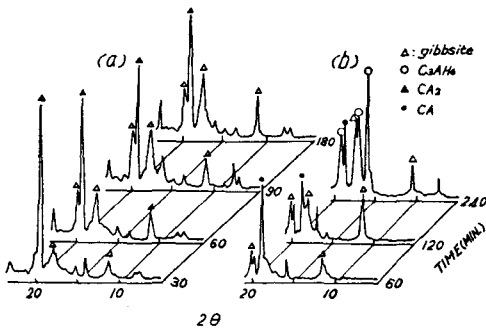
--- S. A. JEFFERIS, R. J. MANGABHAI

물/시멘트 비 0.4의 HAC grout를 강철과 PVC로 다양한 치수를 갖는 mould 속에 주입하였다. 수화시 온도 상승과 처음 실온이고 냉각하지 않을 때 100°C 이상의 온도 상승이 관찰되었다. 8°C의 water bath 속에 담겨진 강철 mould는 23°C의 온도 상승이 되었는데 PVC mould는 135°C 이상이었다.

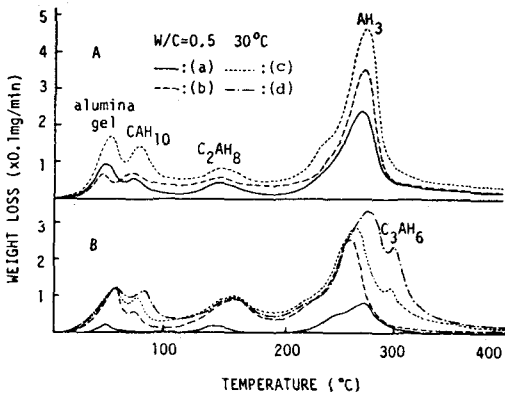
강철 mould의 경우 8°C 물속에 담겨진 sample들은 급격한 강도 증가를 나타내었다. 대조적으로 냉각시키지 않은 sample들은 상당한 강도 저하를 나타냈다.

Activation of hydraulic properties of the compound CaO · 2Al₂O₃

--- T. W. SONG, S. H. CHOI, K. S. HAN



〈그림-7〉 XRD patterns of hydrate of (a) activated CA_2 -based clinker and (b) CA hydrated for various periods at $30^\circ C$ w/c = 0.5.



〈그림-8〉 DTG curves of (A) activated CA_2 -based clinker and (B) CA hydrated for various periods of time at $30^\circ C$, w/c = 0.5. (a) 1 hrs, (b) 2 hrs, (c) 6 hrs and (d) 12 hrs.

활성화 CA_2 를 hydration-burning법으로 합성하여 그 수화 성상을 검토하였다. 이 방법에 의해 제조된 CA_2 는 종래의 소성법에 의해 합성된 $CaO \cdot Al_2O_3$ 보다 더 나은 수화 성질을 나타낸다. hydration-burning에 의해 제조된 CA_2 크링카는 큰 표면적을 가지고 있으며 수화 반응 속도 매우 커서 강도 발현도 우수하였다. CA_2 의 $30^\circ C$ 에서의 수화 발열이 CA의 그것보다 훨씬 빠르고 실온에서 많은 양의 AH_3 가 수화 초기에 생성된다.

4. British Cement Association (BCA)

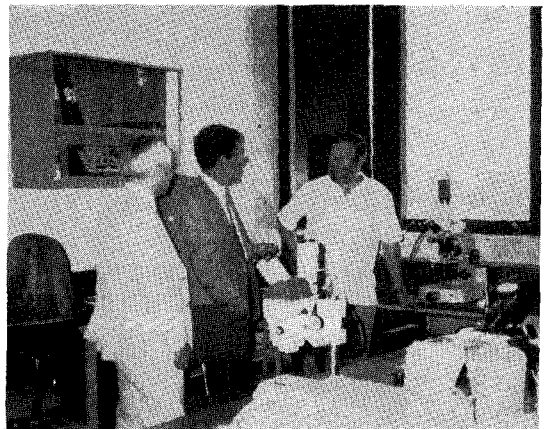
7월 12일 일행은 BCA를 방문하였다. BCA는 시

멘트, 콘크리트의 응용 분야를 넓히고 발전시키기 위하여 시멘트·콘크리트 기술 정보를 제공하고 정부, ECC 그리고 해외 관련 기구와 교류하고 있다. BCA의 회원은 영국의 주요 포틀랜드 시멘트 제조업체들(Blue Circle Cement, Castle Cement 그리고 Rugby Cement)이다.

Wexham Springs에 위치한 BCA는 40년 이상이나 콘크리트의 연구, 개발, 시험에 앞장서 왔고 최종 결과 정보의 보급에 힘쓰고 있으며 C & CA Services Division을 통하여 건설업체들에게 이용되고 있다.

BCA에서는 다음과 같은 것을 하고 있다.

- ① Materials investigations—콘크리트 구성 성분의 물리적, 화학적 조사 그리고 그것의 본질과 특성에 관한 연구.
- ② Design aids—설계방법의 개발에 의한 조사개발(R & D) 결과의 실제로의 응용, standard 제정 및 design guide 와 handbook 의 저술.
- ③ Computer programs—콘크리트 구조물의 기본 설계 및 세부묘사 구조분석.
- ④ Construction technology—보다 나은 건설 기술의 연구와 개발 및 실제 응용 결과의 해석.
- ⑤ Quality management—콘크리트 생산과 건설 및 시멘트 콘크리트에 있어서의 질적 수준 향상.
- ⑥ Test equipment—현장 시험장치의 개발과 생산.
- ⑦ Structural investigations—콘크리트 성분 측정, 강도, 내구성 등 검토를 위한 실험실 및 현장 작업.



〈사진-4〉 BRE 연구실에서

⑧ On-site testing—건설 중 혹은 보수 중 일어나는 구조물의 특수 조사 및 R & D work

우리는 Killoh씨의 안내로 연구실들을 둘러보면서 특히 X선에 의한 정량 분석, 전자 및 광학 현미경에 의한 연구, conduction calorimeter에 의한 연구 등에 대하여 이야기를 나누었다. 알칼리 골재 반응, sulfate 침식 등에 관하여 많은 연구들이 소개되었으며, 후원의 콘크리트 전시 시설을 관람하였다.

5. Lafarge Special Cements

7월 13일 아침 London 교외를 자동차로 약 1시간 달려 방문한 Lafarge Special Cement는 온 공장에서 흰 가루만을 생산하고 있었다. 공장 기술 담당 이사인 Dr. Fentiman의 친절한 안내를 받아 공장을 돌아보았다. 1928년에 건설된 작은 규모의 공장이었으나 키른을 rotary type으로 새로 설치하여 SECAR 71을 생산하고 있었고(생산능력 30,000톤/연), Fondu는 불란서에서 크링카를 수입하여 생산하고 있었다. 알루미늄 시멘트 공장 옆에는 석고 공장도 있었다.

6. Building Research Establishment (BRE)

오후에는 Watford에 있는 BRE를 방문하였다. BRE는 건축물 화재 연구 센터로 70년의 역사를 가지고 있다. BRE는 건축물이 더 좋은 삶과 작업 환경, 사람들의 건강과 안전 그리고 경제적인 환경 제공을 목적으로 하고 있다.

BRE는 기술 자문 회사를 설립하여 전문가의 기술과 기술적 재능을 건축산업과 건축 제품 업자들에게 제공하고 있다. 약 700명의 과학자, 엔지니어, 건물 전문가와 행정요원 및 기술요원이 근무하고 있으며 세계 주요 연구소와 교류를 하고 있다.

BRE는 Watford부근 Garston에 위치한 main, Cardington과 Borehamwood에 위치한 화재 연구소, Glasgow, East Kilbride에 위치한 BRE Scottish Lab.가 있으며 Reserch Group으로는

Geotechnics and Structure group, Material group, Energy and environment group, Fire research station 및 Constraction and application group 등이 있다.

우리는 Majumdar 팀의 연구실 등 여러 연구실을 순방하면서 이번 발표한 논제에 관하여 토의하였으며 SEM, 광학 현미경 및 XRD에 의한 미구조 분석에 대하여 의견을 교환하였다.

7. 맺음 말

이번 Aluminate Cement Symposium은 이례적인 것이었고 아주 드물게 맞을 수 있는 경우이었다. 그것은 alumina cement가 특수 시멘트에 속하는 것이기 때문이다. 우리나라에서 alumina cement를 생산하기 시작한 것은 3~4년에 불과하고 사용도 매우 제한되고 있는 실정이다.

이 분야의 연구 및 업계 활동의 현황에 대한 관심과 의욕으로 본 심포지움에 참가하였던 바 많은 감명을 받았다. 원래 유럽이 학문과 기술의 발상지임은 우리가 다같이 인정하는 바이지만 alumina cement와 같이 극히 제한된 특수 시멘트에 대하여 대학, 연구소, 업계에 있는 많은 사람들이 이렇게 깊이 있게 연구를 계속해 온 것을 볼 때 새삼 놀라지 않을 수가 없었다. 이러한 태도와 꾸준한 노력이 오늘의 학문과 기술을 구축한 원동력을 느끼며 우리들 자신을 반성하게 되었다.

심포지움이 끝나고 나서 영국시멘트협회(BAC)와 영국건축재료연구소(BRE)를 방문하였을 때 10년전 방문시 만났던 친지들은 반가운 영접과 친절한 안내로 그동안 연구한 주요 업적들을 상세히 설명해주었다. 서둘지 않고, 안정된 분위기와 충분한 뒷받침하에 꾸준한 연구가 이루어지고 있는 것을 볼 때 연구의 참모습을 보는 듯했다.

이들 연구소에서는 전문 기술인들의 시멘트 수요자들에 대한 봉사활동이 돋보였다. 즉 자기들이 가지고 있는 탁월한 지식, 현실 문제를 해결하는 연구 결과, 새로운 기기의 개발 등을 신속히 관계인들에게 보급하고 계몽하는 것이 이들 기관의 역할이며, 우리나라에서도 이러한 점은 하루빨리 도입했으면 하는 마음 간절하다. ▲