

特別講演

제9회 시멘트화학국제회의의 발표에서 본
시멘트의 연구동향

崔 相 紇

〈漢陽大學校 無機材料工學科 教授〉

1. 회의 개요

제9차 시멘트 화학 국제회의가 인도 New Delhi의 Taj Palace 호텔에서 1992년 11월 23일(월)부터 28일(토)까지 6일간에 걸쳐 진행되었다. 총 43개국에서 600여명이 참가한 금번 학술대회는 제8차 대회가 브라질의 Rio de Janeiro에서 개최된 후 6년만에 이루어진 것으로서, 인도 국립시멘트 건축재료연구소(National Council for Cement and Building Materials)의 주관하에 국제과학위원회(International Scientific Committee)가 조직되어 회의에 테마, 진행절차, 투고논문의 전반적인 심사를 비롯한 학술대회의 중요사항들을 계획, 결정하였다.

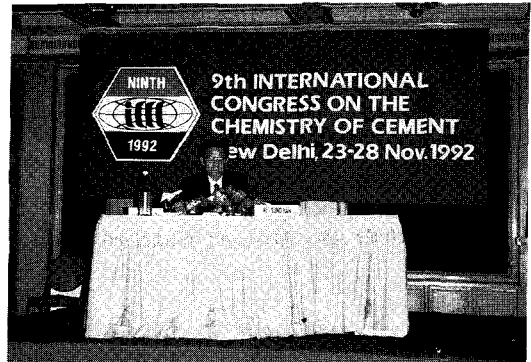
발표논문은 크게 나누어 초대논문과 일반논문으로 구분되는데 초대논문으로는 총괄논문, 주논문, 특별강연 등으로 이루어졌고, 일반논문은 국제과학

위원회의 보고에 의하면 학술회의가 거듭될수록 참가논문량도 증가하여 이번 회의에서의 발표희망자수는 537건, Full paper 접수는 40개국에서 412건이었으나 최종적으로 348건이 채택되었고 회의장에서 실제 발표된 것은 230편 그 중 포스터 발표는 22건이었다. 공식 등록된 참가자 수는 일본 36명, 독일 28명, 프랑스 26명, 이태리 22명, 중국 18명, 영국 13명, 스웨덴 11명, 브라질 10명, 미국 9명, 한국 8명, 캐나다 7명, 러시아 및 스페인이 각 6명의 순이며 개최국 인도가 252명이었다.

금번 학술대회의 총괄테마는 「1. 클링커의 제조», 「2. 각종시멘트의 응용과 개발», 「3. 시멘트의 수화», 「4. 콘크리트의 성질과 내구성」에 관한 것이다. 발표논문은 6권의 proceeding에 수록되었는데 총괄논문(General Theme Reports)과 주논문(Specific Theme Reports)은 제1권(883p), 일반논문(Communication Papers)은 앞서의 총괄테마의 순서에 따라 제2권(448p), 제3권(450p),



〈사진-1〉 회의장 전경

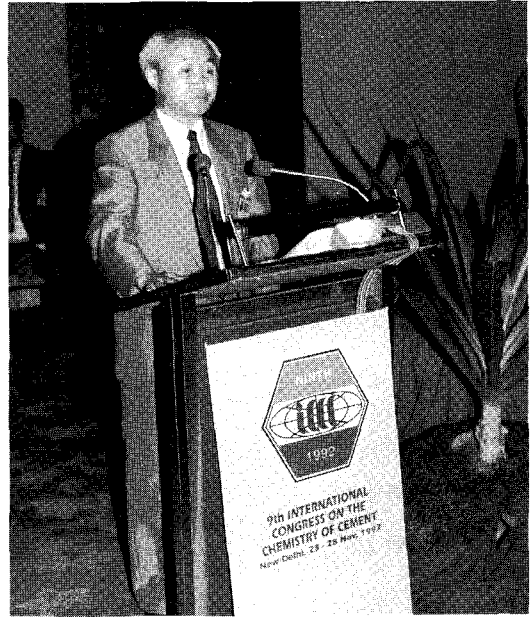


〈사진-2〉 좌장으로 회의를 진행하고 있는 한교수

제4권(729p), 제5권(677p) 및 제6권(292p)에 각각 게재되었다. 이외에 3명의 특별강연(Special Lecture)이 있었다. <표-1>은 이번 회의 주테마이며, <표-2>는 우리나라에서 발표한 논문이다.

회의는 개회식에 이어 제1일에는 총괄논문 발표, 제2일과 제3일 오전에는 주논문 발표, 제3일 오후부터는 3개 회의장에서 일반 발표가 있었고, 또 특별 강연도 있었다. 회의 첫날 밤에는 환영파티, 마지막날 밤에는 만찬이 있었고, 제2~3일 밤에는 인도 고전음악 감상 및 무용 관람 등의 프로그램이 있었다. 한편, 회의에 동반한 부인들을 위한 프로그램에서는 인도 화장법, 신부의 차림, 인도 요리 등의 강습과 시내 관광, 미술관 견학, 사원 견학 등이 준비되어 있어 즐겁고 유익한 시간을 가질 수 있게끔 배려되어 있었다.

<사진-2>는 좌장을 맡아 연구발표를 진행하고 있는 한기성 교수, <사진-3>은 필자(최)의 발표, <사진-4>는 인도 무용 관람 프로그램 모습이다.



<사진-3> 연구논문 발표중의 필자

CONGRESS THEMES

<표-1>

Theme I. Chemistry, Structure, Properties and Quality of Clinker I-A Clinker formation including new processes I-B Effect of low grade fuels, combustible wastes and nontraditional raw materials I-C Effect of the use of mineralizers, modifiers and activators I-D Effect of energy conservation and environmental control measures
Theme II. Advances in Portland, Blended, Special and New Cements II-A Advances in portland and blended cements II-B Developments in non-portland cements II-C Cementitious systems including DSP, CBC, etc
Theme III. Chemistry of Hydration of Cements and Cementitious Systems III-A Advances in hydration of cements at low, ambient and elevated temperatures III-B Structure, composition and properties of cement hydration systems III-C Structure models for hydrated cement pastes III-D Effect of admixtures
Theme IV. Performance and Durability of Concrete and Cement Systems IV-A Physico-chemical aspects of early history of concrete on its durability IV-B Cement-aggregate compatibility and structure property relationship including modelling IV-C Physico-chemical, biological and thermal degradation including environmental effects IV-D Special concrete and cement composites
Poster Theme : Advances in Physico-chemical Evaluation, Characterization and Quality Control Techniques and Systems for : Clinkers, Particulate Cements, Hydrated Systems and Concrete Systems



〈사진-4〉 인도 무용 관람

2. 주요 발표 내용

2-1 테마 I : 클링커

〈총괄 논문〉

클링커의 화학, 구조, 성질과 품질

M. Moranville—Regourd (France)

A. I. Boikova (Russia)

시멘트 클링커 소성과정에서 미량성분은 액상생성과 그 점성 등에 영향을 미치며 특히 alite 조성, 구조 등에 영향을 미쳐 클링커 성질에 영향을 준다. 여기서는 ① Na₂O, K₂O, MgO, SO₃ 등이 각 클링커 상에 미치는 영향 ② 클링커 생성과정, 클링커 액상의 물성, 핵생성 및 성장과정 ③ 클링커상의 다형 및 원자구조 ④ 클링커 광물의 물성과 품질 등에 대하여 보고 되었다.

테마 I의 주논문은 다음 4편이 있었다.

우리나라에서 발표한 논문

〈표-2〉

번호	저자	제목	SESSION
1	정해문, 최상훈, 한기성 정재동	Effect of Sulphate on the Reaction of C ₃ S Formation	I-C
2	김태현, 박용완, 최상훈	Mechanical and Microstructural Characterization of MDF Cement-SiC Whisker Composites	II-C
3	김정환, 최상훈, 한기성	Mechanical Properties of MDF Cement Composites with SiC Powder	II-C
4	신규연, 한기성	The Effect of C ₃ A Polymorphs on Hydration of C ₃ S	III-A
5	구자술, 한기성, 정재동 최상훈	Hydration Characteristics of Sulphate Solid Solution in the Clinker	III-A

(I-A) 새로운 공정을 포함한 클링커 생성과정

Vagn Johansen (Denmark)

T. V. Kouznetsova (Russia)

혼합 원료의 성질과 클링커 생성과정과의 관계, 클링커 용액상의 역할과 황산염, 염화물, 불화물이 클링커 생성에 미치는 영향 및 분쇄기술을 개발

(I-B) 저품위 연료, 가연성 폐기물 및 특수 원료의 영향

S. C. Ahluwalia (India)

C. H. Page (India)

산업 부산물 (slag, fly ash, red mud 등)의 이용과 저품위 연료 및 가연성 폐기물의 이용과 문제점

(I-C) 광화제, 개량제 및 활성화제 사용의 영향

G. K. Moir (UK)

F. P. Glasser (UK)

미량성분이 클링커링과 시멘트 물성에 미치는 영향, 원료 및 연료에 포함된 미량성분의 출처, 미량성분이 클링커 미세구조에 미치는 영향, 미량성분이 환경에 미치는 영향

(I-D) 에너지 절약과 환경관리

S. Sprung (Germany)

M. Delort (France)

에너지 절약과 환경관리 대책이 시멘트 제조 및 클링커의 특성에 미치는 영향

일반 논문은 68편이 발표되었다. 클링커 광물의

characterization과 관련된 것으로 alite 및 belite의 구조, 조성분석과 보통포틀랜드시멘트에서 alite, belite, ferrite 상의 분리 분석 등이 2편 발표되었고, 많은 논문들이 에너지 절감과 클링커의 저온소성에 관한 것으로 alkali, CaF_2 , CaCl_2 , CaSO_4 등의 첨가에 의한 액상생성과 고용관계로 20여편, 급속가열 관련이 8편, belite 시멘트 관계가 4편, 그리고 산업폐기물 활용, 소성장치개량에 관한 것 등이다. 저자(정, 한, 정, 최) 등은 황산염의 C_3S 생성에 미치는 영향에 대하여 보고 하였다. 테마 I에서는 시멘트 제조환경이 자원 및 에너지 다소비 산업이므로 에너지 절약과 저온소성이란 관점에서 클링커 소성에서 중요한 구실을 하는 액상의 성질, 미량성분의 영향이 많이 다루어졌으며, 특히 환경보전과 관련된 것들이 눈에 띄었다. 또 특별 강연으로서 Uchigawa(일본)의 일본 시멘트 제조 기술의 새로운 개발에 대한 소개가 있었다.

2-2 테마 II : 포틀랜드시멘트, 혼합시멘트, 특수시멘트

<총괄 논문>

포틀랜드시멘트, 혼합시멘트

K. C. Narang (India)

특수시멘트, 새로운 시멘트

A. K. Chatterjee (India)

시멘트에 함유된 미량성분, C_3S 의 함량과 결정상태는 시멘트에 실질적인 영향을 주고 있다. 또, 여러 혼합재를 혼합한 혼합시멘트 MDF, DSP 등 새로운 시멘트 소재, Belite 및 Alinite 등 새로운 시멘트에 대하여 언급하였다. 여기서는 ① 조강 내구성 및 저온소성을 위한 광화제의 연구 ② 포졸란 반응 모델과 Pyrament 시멘트 ③ MDF, DSP, CBCs 등 새로운 시멘트 소재 ④ Belite, Alinite 시멘트 등 에너지 절약형 시멘트 등에 대하여 보고되었다.

테마 II의 주논문은 다음 4편이 있었다.

(II-A) 포틀랜드시멘트와 혼합시멘트의 발달

R. Sersale (Italy)

혼합시멘트

J. B. Udachkin (Russia)

혼합재의 구성과 석고 및 광물질 혼합재의 첨가, 혼합재의 반응성과 포졸란 반응, 기공률-강도 관계 및 내구성, fly ash를 이용한 혼합시멘트

(II-B) 포틀랜드시멘트가 아닌 시멘트의 개발

Su. Muzhen (P. R. China)

N. Kurdowski (Poland)

F. P. Sorrentino (France)

비 포틀랜드시멘트의 생성과정, 수화반응, 미세구조 및 성능과 이용

(II-C) DSP CBCs 등 시멘트 소재

D. M. Roy (USA)

가압 치밀화와 고온 가압, MDF 및 DSP 시멘트, 알칼리 자극 CBCs 등 시멘트 소재

일반 논문으로는 총 67편중 혼합시멘트 관련으로는 슬래그의 수산화 조건, 활성화 방안 등 슬래그 관련이 8편, 실리카 미분말 및 포졸란 반응성 등 포졸란 관련이 4편, 플라이 애쉬의 수화성 제고, 도시쓰레기 연소재의 수화반응성 등 애쉬 관련이 4편이 발표되었고, 비 포틀랜드시멘트로서 $\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$, C_{12}A_7 와 관련된 것이 11편, 알칼리 자극 슬래그 시멘트 관련 7편, 그리고 새로운 시멘트 소재로서 MDF, DSP에 관련된 것이 7편 발표되었다. 저자들(김, 박, 최 및 김, 한, 최)도 MDF 관련 2편을 발표하였다. 테마 II에서는 슬래그의 반응성, 활성화, 알칼리 자극제 등 슬래그, 관련 연구가 특히 많았으며, 또 Calcium sulphoferrite 및 Calcium sulphoaluminate 등의 초기수화 증진 연구 등이 눈에 띄었으며, 한편, DSP, CBCs 등 새로운 시멘트 소재 관련 보고도 많았다.

또 특별 강연으로서 A. K. Mullick (India)는 포틀랜드시멘트의 발전과 산업폐기물의 활용에 관하여 시멘트 산업의 에너지 절약 노력과 천연원료 보존, 다른 산업의 폐·부산물 활용 노력에 대하여 보고하였다.

2-3 테마 III : 시멘트의 수화

<총괄 논문>

시멘트 및 시멘트계 화합물의 수화화학

F. Massazza (Italy)

M. Daimon (Japan)

시멘트의 수화반응은 시멘트 페이스트의 유동특성, 응결 및 경화성상을 지배하며, 경화체의 미세조직 형성과 그 강도발현을 좌우하므로 이 수화를 관리 제어함으로써 시멘트의 기능 개발과 새로운 시멘트의 개발이 가능하다. 여기서는 ① 각 시멘트의 구성광물의 수화 ② 포틀랜드시멘트의 수화 ③ 고로슬래그를 포함하는 시멘트의 수화 ④ 포졸란 물질을 포함하는 시멘트의 수화에 대하여 보고하였다.

테마 III의 주논문은 다음 3편(III-B 미제출)이 있었다.

(III-A) 저온, 실온, 고온에서의 시멘트의 수화

K. L. Scrivener (UK)

W. Wieker (Germany)

C₃S, C₂S, C₃A 및 C₄AF의 수화와 미세구조, 수화 반응과 미세구조에 있어서 온도의 영향

(III-C) 수화 시멘트 페이스트의 구조 모델

J. J. Beaudoin (Canada)

P. W. Brown (USA)

C-S-H 구조의 모델, silica gel 과 C-S-H 구조의 비교, 페이스트 구조의 numerical simulation 및 pore 구조 모델링

(III-D) 혼화제의 영향

M. Collepardi (Italy)

V. S. Ramachandran (Canada)

시멘트의 물리 화학적 특성에 미치는 고유동화제의 영향, 고유동화제의 발전, 고유동화제의 작용메카니즘 및 고유동화제를 첨가한 시멘트·콘크리트의 내구성

일반 논문은 108편이 발표되었다. 포틀랜드시멘트 특히 C₃S의 수화와 관련하여 반응론적 연구, 측정 방법의 개발 및 얻어진 결과의 고찰 등 20여편, C₂S와 doped C₂S의 characterization, 에너지 절

약 관점에서 본 belite 시멘트 관련 등 belite의 수화와 관련하여 8편, C₃A의 다형간 수화 반응, 석고 첨가량에 따른 수화, AFt 및 AFm상 관련연구 등 C₃A의 수화와 관련하여 10여편, 그리고 C₄AS와 C₁₂A₇ 및 알루미나 시멘트 관련 등 C₃A 이외의 알루미네이트 관련이 20여편, 고온에서의 수화 수열 반응 등 가열조건하에서의 수화반응 관련 9편이 있었고, 한편 slag, fly ash, silica fume 등 혼합재 및 혼합시멘트 관련이 20여편과 고성능 감수제 존재하에서의 작용기구 및 유동화 기구 등이 10여편 발표되었다. 저자 등(구, 한, 정, 최)은 초기 수화에 미치는 클링커 중의 sulphate의 영향을 발표하였으며, 신 등(신, 한)은 C₃A 다형간의 수화반응의 차이를 발표하였다.

테마 III에서는 본 회의에서 가장 많은 논문이 발표되었으며, 또 수화·경화의 컴퓨터 시뮬레이션에 관한 리뷰, poster session에서의 수화 관련 발표 등으로 보아 수화의 연구와 수화 현상의 관리 제어가 시멘트 콘크리트의 기술 개발과 함께 관심이 큼을 보이고 있다. 각종 새로운 연구 수단을 이용한 수화연구, 시멘트를 구성하는 주요 광물상 및 수화와 수화생성물에 관한 연구, 각종 혼합재 및 혼합시멘트 연구, 경화 시멘트 페이스트의 구조 모델 제시 등이 많이 눈에 띄고 있다.

2-4 테마 IV: 콘크리트

<총괄 논문>

콘크리트 및 시멘트계 구조물의 성능과 내구성

P. K. Mehta (USA)

P. Schiessle (Germany)

M. Ranpach (Germany)

테마 IV에는 3편의 주논문(IV-A 미제출)과 일반 발표 105편, 그리고 내구성에 관한 F. W. Wittman (Switzerland)의 특별 강연이 있었다.

(내용 생략)