

# 혼화재료에 의한 콘크리트의 품질개선

김 상 규

〈대한주택공사 주택연구소 책임연구원〉

이 도 현

〈대한주택공사 주택연구소 책임연구원〉

I. 서론	2.4 균열저항성
II. 콘크리트의 요구품질과 혼화재	2.5 고강도성 · 고내구성
2.1 유동성	2.6 부착성
2.2 급결 · 급경성	III. 결론
2.3 초조강성	

## I. 서론

콘크리트에 요구되는 품질로써 일본토목학회 콘크리트 표준시방서에는 균질성 · 워커빌리티 · 강도 · 내구성 · 수밀성 · 균열저항성 및 강재를 보호하는 성능이 열거되어 있다. 이밖에도 합리화 시공이나 급속시공 및 새로운 공법의 개발 등과 관련하여 시멘트 · 콘크리트에는 보다 많은 성능이 요구되는 경우가 증가하고 있다<sup>1)</sup>. 이와 같은 콘크리트의 품질에 대한 보다 다양한 요구를 만족시키기 위하여 특수한 기능을 지닌 시멘트가 필요하게 된다. 이 경우, 유통 및 사용의 간편함 등을 고려하면 특수한 기능을 발휘하는 구성성분을 혼화재료로써 포틀랜드시멘트에 혼합하여 이용하는 방법이 중요하게 된다. 그렇지만, 각각을 개별적으로 구입하여 콘크리트를 제조하게 되기 때문에

그 품질관리에 세심한 주의가 필요하다.

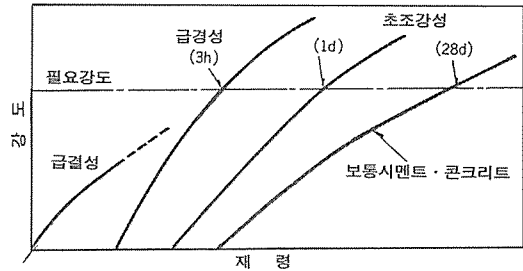
혼화재료는 사용량에 따라서 혼화재(混和材)와 혼화제(混和劑)로써 분류되며, 성능 및 작용기구에 대한 단행본<sup>2)</sup>도 출판되어 있으므로 상세한 내용은 그것을 참고하기 바란다. 워커빌리티 및 내동해성의 개선을 목적으로 AE제 및 AE감수제가 이용되어 왔지만, 유동성이 뛰어난 콘크리트나 내구성 및 강도가 높은 콘크리트를 제조하기 위하여 JIS A 6204 (1995년 3월)에 고성능AE감수제가 추가되었다. 고강도콘크리트를 얻기 위한 고성능감수제, 수중에서의 시공을 용이하게 하는 수중불분리성 혼화제, 응결의 제어를 하는 촉진제 및 (초)지연제, 한중에서의 시공을 가능하게 하는 방동 · 내한제, 혹은 강제의 부식을 억제하는 방청제 및 건조수축을 저감하는 건조수축저감제, 그 이외에 기포 · 발포제 및 분리저감

제 등의 혼화제 역시 시멘트·콘크리트의 품질개선을 위하여 폭넓게 이용되어 지고 있다. 본고에서는 특수시멘트의 구성성분으로써 혼화제를 이용한 시멘트·콘크리트의 품질개선에 대하여, 특히 최근의 새로운 내용을 중심으로 기술한다.

## II. 콘크리트의 요구품질과 혼화제

[그림 1]은 균질성·위커빌리티·강도·내구성·수밀성·균열저항성 및 강제를 보호하는 성능 등 콘크리트에 요구되는 일반적인 성능에 덧붙여서, 수요와 관련하여 새롭게 요구되는 성능과 그 성능을 발휘시키기 위한 혼화제의 종류를 종합하여 나타내었다.

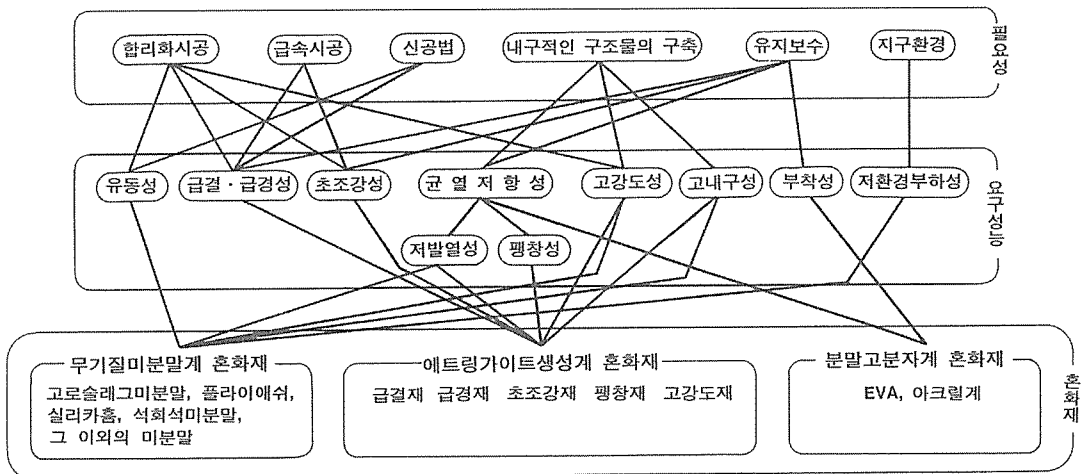
합리화 시공의 경우에는 유동성이 가장 중요하고, 급결·급경성 및 초조강성 등이 요구되는 경우도 있다. 유동성의 경우에는 고성능 AE감수제와 병용되지만 무기질계 미분말이 중요한 역할을 발휘하게 된다. 또한 합리화 시공에는, 급속시공과 마찬가지로 응결·경화 및 강도발현성을 제어해야 하는 경우도 있는데, 특히 터널의 구축 및 로봇트를 이용한 시공 등 새로운 공법에서는 급결·경화시간의 세밀



(그림 2) 강도발현성과 혼화재료

한 제어가 요구된다. [그림 2]에서는 급결·급경 및 초조강의 강도발현의 개념을 나타낸다. 내구적인 구조물의 구축과 관련해서는 균열저항성 및 고내구성·고강도성이 중요하게 된다. 균열저항성에는 건조수축에 의해 발생하는 균열의 방지와 온도응력에 의한 균열의 방지 등이 있으며, 무기질계 미분말의 혼합에 의한 수화열의 저감 및 팽창재 등의 사용에 의한 건조수축의 저감이 중요한 기술이 된다. 또한, 유지·보수와 관련해서는 유동성 및 급결·급경성도 중요하지만 기존의 구조물과의 부착성 및 균열저항성도 요구된다.

이와 같은 특수기능을 발휘하는 혼화재료가 지구 환경에 적합한 재료라고 하는 것은, 더욱 중요한 사항이다. 산업부산물을 유용하게 이용



(그림 1) 사용자로부터 요구되는 새로운 성능과 혼화재료의 종류

[표 1] 혼화재의 규격

혼화재의 종류	규격	명칭
플라이애쉬	JIS A 6201-1996	콘크리트용 플라이애쉬
고로슬래그미분말	JIS A 6206-1997	콘크리트용 고로슬래그미분말
팽창재	JIS A 6202-1997	콘크리트용 팽창재
실리카흙	JSCE-D106-1995 (일본토목학회규준)	콘크리트용 실리카흙품질규격(안)
급결재(제)	JSCE-D102-1986 (일본토목학회규준)	뿔질콘크리트용 급결제품질규격(안)
분말고분자	JIS A 6203-1996	시멘트혼화용 폴리머디스퍼전 및 재유화형 분말수지

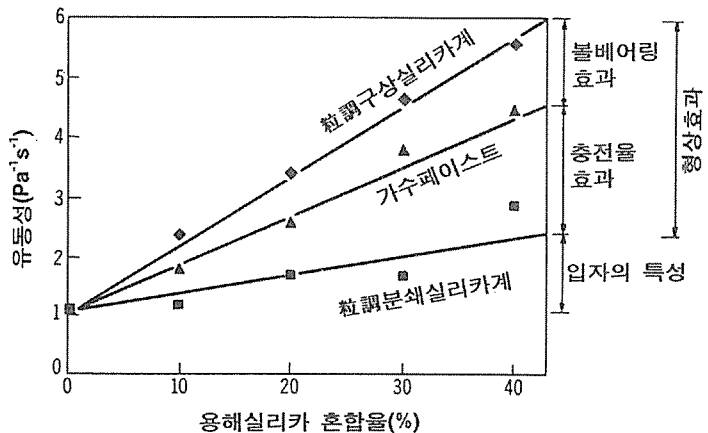
함으로써, 클링커의 생산량을 저감시키고 있는 무기질미분말계 혼화재의 이용은 CO<sub>2</sub> 발생량의 저감 및 자원 유효이용의 관점에서 대단히 중요한 것이다. [표 1]은 비교적 광범위하게 이용되고 있으며, 이미 품질규격 등이 제정되어 있는 혼화재의 규격과 명칭을 나타낸다.

## 2.1 유동성

고로슬래그·실리카흙·플라이애쉬 및 석회석 미분말의 무기질미분말계 혼화재는, 고성능AE감수제와 겸용하여 유동성과 재료분리 저항성을 향상시킨 고유동 콘크리트에 실용화되고 있다<sup>3)</sup>. 이와 같은 무기질계 미분말이 시멘트·콘크리트의 유동성에 미치는 영향은 다음과 같다<sup>4)</sup>.

포틀랜드시멘트와 동일한 입도 분포를 갖도록 조정한 무기질 미분말을 사용한다면, 입도 분포의 영향을 무시할 수 있다. [그림 3]은 시멘트와 입도 분포를 같게 조정한 구형의 용해실리카(粒調구상-실리

카)와 용해실리카의 분쇄제품(粒調분쇄-실리카)을 치환한 경우 시멘트페이스트의 유동성(점성계수의 역수)을 나타낸 것이다. 시멘트를 입조분쇄-실리카로 치환하게 되면 유동성이 개선되는데, 이것은 무기질 미분말의 입자 특성에 의한 것이다. 구상실리카가 분쇄실리카보다 우수한 유동성을 나타내는 것은 형상의 효과이지만, 이것은 충전율의 차이에 의하여 자유롭게 움직이는 물(자유수)의 양이 서로 다르다는 점과, 구형에 의한 볼베어링 효과 등이라 할 수 있다. 충전율의 차이에 의해 발생하는 수량의 차이를 보정한 가수페이스트와의

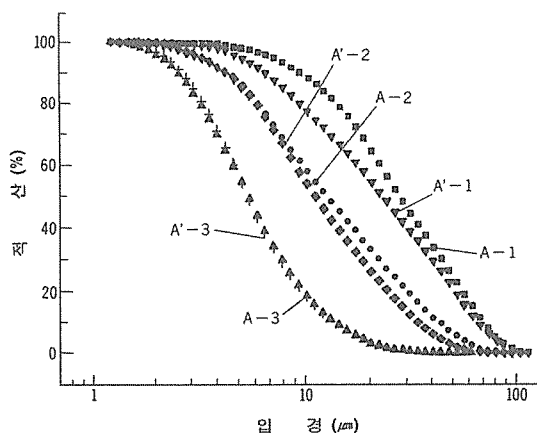


[그림 3] 형상이 다른 용해실리카를 혼합한 시멘트페이스트의 유동성 (물고체비 Vw/Vp:0.9, 고성능 AE감수제첨가량 1.6%)

유동성의 차이가 각각의 효과를 발휘하게 된다(그림 3). 실제로는 입도분포의 영향을 추가하여 생각하면, 시멘트의 평균입경과는 다르지만 입자가 크거나 작거나 유효한 효과를 발휘하게 된다.

석회석 미분말은 다른 무기질 혼화재와 비교하여 입자의 특성에 미치는 영향이 대단히 크고<sup>5)</sup>, 유동성 측면에서는 고유동콘크리트용의 혼화재로써 적합하다고 할 수 있다. 또한, 고로슬래그 미분말을 혼화하게 되면, 동일한 조건의 유동성을 얻기 위하여 고성능 AE감수제를 적게 첨가하여도 된다는 장점이 있다. 이와 같은 무기질 혼화재료는 분말도가 다양하지만, Blain값(비표면적)으로 5,000~6,000cm<sup>2</sup>/g 정도의 것이 많이 이용되고 있다.

플라이애쉬에 대해서는 분급된 제품을 이용하는 등의 검토도 진행되고 있지만<sup>3)</sup>, 이것에 관련하여 화력발전소의 전기집진기 자체에도 분급능력이 있다는 사실<sup>6)</sup>이 밝혀졌다. [그림 4]는 전기집진기의 보일러 쪽에서부터 배기 굴뚝 방향을 향하여 전기집진기의 단계별로 채취한 시료의 입도 분포를 나타낸 것으로서,



(그림 4) 전기집진기로부터 채취한 석회석의 입도분포(번호 1~3은 보일러에서 굴뚝방향을 향하여, A 및 A'는 보일러의 운전상황이고, 각각 600MW와 300MW)

보일러에서 멀수록 입경이 작아진다. 이와 같은 사실은 새로운 플라이애쉬의 분급프로세스 가능성을 나타내는 사실이라 할 수 있으며, 특히, 미세한 부분은 유동성을 개선하는 효과도 증가되므로 고유동콘크리트용 혼화재료로써의 사용이 기대된다.

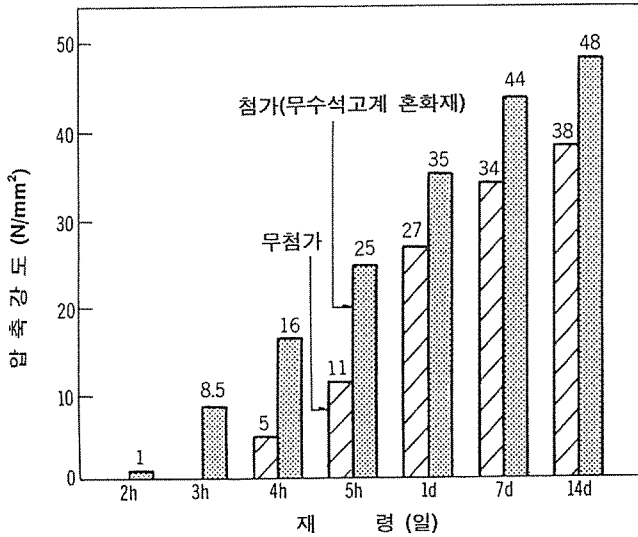
## 2.2 급결 · 급경성

급경성은 초기강도의 확보가 에트링가이트(Etringite)의 생성에 의존한다는 사실이 밝혀져 있고, 특히 최근에는 대형기계시공에 대응하기 위하여, 사용가능한 시간을 길게 제어할 수 있는 제품도 개발<sup>7)</sup>되어 있다. 비정질 칼슘알루미네이트-석고계 및 아원계 등이 알려져 있는데, 이것들은 혼화재료로써도 이용이 가능하지만, 일반적으로는 급경시멘트로써 사용된다.

급결재료는, NATM의 뿔콘크리트용의 급결재로 비정질칼슘알루미네이트계를 중심으로 일부는 무기염계 등이 이용되고 있다. 최근에는 뿔콘크리트를 고강도로함으로써 가설구조물을 간략화 하는 방법도 시도되고 있다. 이와 같은 경우에는 칼슘설포알루미네이트계의 급결재가 장기강도의 증진효과 측면에서도 중요한 기술이 될 것이라고 생각된다. [표 2]는 강도발현성상의 한가지 예를 나타내는데, 칼슘설포알루미네이트계 급결재를 이용한 경우가 다른 것에 비하여 장기강도가 높은 값을 나타내고 있다<sup>8)</sup>.

## 2.3 초조강성

급경콘크리트의 경우에는 특수한 연속혼합믹서 등이 필요하게 되지만, 일반 레미콘공장 에서 제조가 가능하고, 일반 콘크리트와 같은 방법으로 운반하여 시공이 가능한 재령 1일에



[그림 5] 무수석고계 혼화제를 사용한 콘크리트의 강도 (W/B :45.5, 단위시멘트량 320kg/m<sup>3</sup>, 첨가량(치환율) C×5%, 전치 1h, Tmax70° C-3h)

서 소정의 강도(30N/mm<sup>2</sup>정도)를 얻을 수 있는 혼화제료로써 무수석고계 혼화제료가 실용화되고 있다<sup>9)</sup>. 일반적으로 이와 같은 혼화제료는 도로 등의 보수공사 등에 이용되고 있지만, 같은 계가 거푸집의 회전율을 향상시키기 위하여 조기탈형재료로써 콘크리트제품에도 이용되고 있다. [그림 5]에 나타낸 바와 같이, 이 혼화제를 사용함으로써 탈형강도에 도달하는 시간이 단축되게 된다<sup>10)</sup>. 한편 이와 같은 혼화제는 매우 미세한 에트링가이트를 초기에 생성하여, 미진동에 의해 성형하기 쉬운 콘크리트의 제조도 가능하게 되었다.

## 2.4 균열저항성

온도응력에 의한 균열을 저감하기 위해서는, 수화열(단열조건에서)을 저감시키는 것이 중요하다. 수화열은 시멘트를 혼화제로 치환함으로써 저감되기 때문에 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬 등의 무기질계 미분말이 이와

같은 목적으로 광범위하게 이용되고 있다. 그러나, 혼화제의 분말도 및 치환율에 대해서는 목적에 따라 다른 성질을 고려하여 결정하는 것이 중요하다. 한편, 에트링가이트 생성계 혼화제라도 단위시멘트량을 낮추어도 동일 강도를 얻을 수 있기 때문에 저발열성을 기대할 수 있다. 거의 동일강도를 얻기 위한 배합에서 각종 혼화제를 사용한 물시멘트비 40%의 콘크리트의 단열온도 상승량을 [표 3]에 나타낸다. 에트링가이트계 혼화제는 동일 강도를 얻기 위한 단위시멘트량이 감소하기 때문에 가장 낮은 값을 나타내고 있다<sup>11)</sup>.

팽창제를 사용함으로써 콘크리트의 초기팽창을 일으켜, 건조수축에 의한 균열발생을 방지하는 수축보상용 콘크리트가 있는데, 여기에 사용되는 팽창제로써는 석탄계와 아원계가 종래부터 알려져 있다. 팽창제의 사용량을 증가시킨 케미칼프리스트레스용 콘크리트도 알려져 있다. 일반적으로 수축보상용 콘크리트의 팽창율은  $150 \times 10^{-6} \sim 250 \times 10^{-6}$ , 케미칼프리스트레스용 콘크리트는  $200 \times 10^{-6} \sim 700 \times 10^{-6}$ , 엄격하게 관리된 공장제품에서는  $200 \times 10^{-6} \sim 1,000 \times 10^{-6}$ 의 값을 갖는다<sup>12)</sup>. 또한 최근에는 각종 혼합시멘트와 병용하여도 팽창력이 영향을 받지 않는 팽창제도 개발되고 있다<sup>13)</sup>.

[표 3] 각종 혼화제를 사용한 콘크리트의 단열온도상승

혼화제의 종류	치환율	단열온도상승량 (°C)
무첨가	-	64.1
고로슬래그 미분말	4,500cm <sup>2</sup> /g-65%	54.0
실리카흙	10%	66.3
에트링가이트	16.7%	39.4

## 2.5 고강도성 · 고내구성

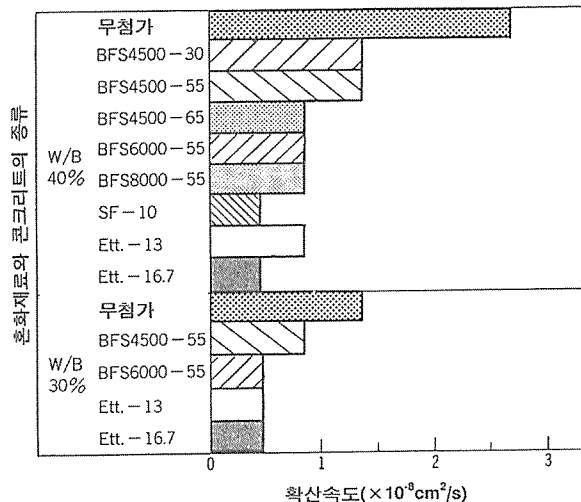
고성능AE감수제 및 고성능감수제와 각종 초미립 분말을 일정비율로 혼합하여, 입자의 충전성과 포졸란 반응성을 이용한 밀실하고 고강도인 콘크리트를 얻기 위하여 DSP(Densified System Containing Homogeneously Arranged Ultra Fine Particles)기술이 광범위하게 이용되고 있다<sup>39)</sup>. 부식인자의 확산을 방지하는 점에서는 고강도성과 고내구성은 거의 마찬가지로 생각할 수 있다. 혼화재로써는 실리카흙 혹은 고로슬래그미분말, 플라이애쉬 및 석회석의 분말로 분말도가 큰 것이나 메타카올린 혹은 왕겨재 등이 이용되고 있다.

이와 같은 혼화재는 골재와의 계면 천이대의 성상을 개선하는 중요한 효과가 있다. 한편, 무수석고 등의 사용에 의한 에트링가이트 등의 수화생성물을 이용하여 치밀화시키는 기술도 개발되어 있다. [그림 6]은 싱가포르에서 해수중에 1.5년간 침적한 시료로부터 구한 값으로, 각종 혼화재를 사용한 콘크리트의 겔보

기 염소이온의 확산계수를 나타낸 그림이다<sup>11)</sup>. 어떠한 혼화재를 사용하더라도 염소이온의 확산계수는 무첨가의 경우보다 작은 값을 나타내고 있는 것이 특징이다.

## 2.6 부착성

폴리머시멘트용 혼화재료인 고분자 에멀전을 무기분체 등과 함께 분무 · 건조시킨 것이 프리믹스 몰탈 등에 이용되고 있으며, 재유화형 분말수지(Redispersible Polymer Powder, Powdered Emulsion)라고 불려지고 있다<sup>14)</sup>. 이것들은 알칼리 수용액 중에서는 폴리머 에멀전으로 되어, 시멘트 혼합용 폴리머디스퍼존(Polymer Dispersion)과 같은 작용을 한다고 알려져 있다<sup>15)</sup>. 고분자로서는 에틸렌초산비닐(EVA) 및 초산비닐퍼서믹스산에스테르 공중합체(VAc-VeoVa) 등이 알려져 있다. 폴리머 시멘트 몰탈은 휨강도 · 균열저항성 및 기존 콘크리트와의 부착성 등이 개선된다. 복합화 기구로서는 재유화형 분말수지 등의 이용에서 생각해 보면, 필름형성과 입자분산형의 양쪽을 겸용하여 생각하는 것이 좋을 것으로 사료된다<sup>14)</sup>.



[그림 6] 염소이온의 겔보기 확산속도 (BFS(고로슬래그 미분말)4,500(분말도)-30(치환율), SF(실카 흙, Ett : 에트링가이트계)

## III. 결론

이상과 같이, 혼화재를 첨가함에 따른 시멘트 · 콘크리트의 품질개선에 대하여 기술 하였다. 수요의 다변화에 의하여 콘크리트 기술은 고도화 및 다양화가 요구되고 있다. 앞으로도 혼화재에 의한 시멘트 · 콘크리트의 품질개선 노력은 반드시 필요할 것으로 생각된다. 혼화재료는 고부가가치를 추구하거나, 혹은 범용적으로 사용되는 시멘트를 개량하기 위하여 혼화재료를 고성능이고 저환경부하형 시멘트로써 고로슬래그 ·

플라이애쉬 혹은 필라시멘트 등의 성능을 향상시켜, 일반적인 시멘트로써 전체를 치환하고자 하는가의 목표전략을 명확히하여 연구개발을 추진할 필요가 있다. 고부가가치를 목표로 할 경우, 혼화재료는 콘크리트의 제조 및 사용방법까지도 포함한 콘크리트 기술의 컨설턴트가 중요하게 된다. 혼화재료는 그 요구되는 기능을 시멘트에 부가하는 것에 지나치지 않는다. 어떤 수준까지 시멘트가 도달하지 않으면 혼화재료 목표를 달성할 수 없다. 따라서 혼화재료가 광범위하게 이용되는 시기에는 범용적으로 사용되고 있는 시멘트도 지금까지의 상태로도 좋은지 재고할 필요가 있을 것이다.

〈시멘트콘크리트 No 594, 1996〉

## 참고문헌

1. 日本土木學會콘크리트委員會 編 / 平成8年制定콘크리트標準示方書, 1996年度
2. 콘크리트 혼화제의開發と最新技術 / ซี엠씨, 1995
3. 坂井悅郎, 大門正機 / 微粉末, 콘크리트 혼화제의開發と最新技術 / ซี엠씨, 1995
4. 星野清一, 大場陽子, 坂井悅郎, 大門正機 / セメント・コンクリート論文集, No.50, pp.186-191, 1996
5. 星野清一, 大場陽子, 坂井悅郎, 大門正機 / セメント・コンクリート論文集, No.49, pp.414-419, 1995
6. 李昇憲, 星野清一, 坂井悅郎, 大門正機 / 日本콘크리트工學協會年次論文報告集, 18, p.327, 1996
7. 大門正機, 坂井悅郎, セラミックステータブック'95, 1995
8. 中川晃次博士論文(東京工業大學)
9. 河野廣隆, 三原敏夫, 渡邊芳春, 小菅啓一 / セメント・コンクリート, No.548, 1992
10. 坂井悅郎, 渡邊芳春, 清水久行, 松永嘉久 / 日本콘크리트工學年次論文報告集, 15(1), 1993
11. 丹野信幸, Tiong-huan Wee, 坂井悅郎, 渡邊芳春 / 日本콘크리트工學年次論文報告集, 18, p.375, 1996
12. 五味秀明 / 膨脹材, 콘크리트 혼화제의開發と最新技術, ซี엠씨, 1995
13. 石田積, 盛岡實, 三原敏夫, 山田浩之 / 第50回セメント技術大會講演要旨集, 1996
14. 大濱嘉彦 / 폴리머 혼화제, 콘크리트 혼화제의開發と最新技術, ซี엠씨, 1995
15. E.Sakai and J. Sugita / Cement and Concrete Res., 25(1), 1995