

응결시간차를 활용한 매스콘크리트의 수화열 조정공법

A Method on the Control of Hydration Heat of Mass Concrete Considering the Difference of Setting Time

심 보 길* 윤 치 환** 한 민 철*** 김 기 철**** 오 선 교***** 한 천 구*****
Sim, Bo Kil Yoon, Chi Whan Han, Min Cheol Kim, Gi Cheol Oh, Seon Kyo Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This paper presents field application test results of mass concrete using super retarding agent. The field test was carried out at mat foundation(thickness 1m) of newly constructed information center of Chongju university. Placing lift composed of 2 layers, and each layer is 50cm. Fly ash and flowing method is also applied. Difference of setting time of concrete between with super retarding agent and without super retarding agent is considered. Concrete without super retarding agent is placed at upper layer and with super retarding agent at lower layer. According to test results, the reducing method of hydration heat considering difference of setting time with super retarding agent can reduce the highest temperature about 3~4°C, and delay the peak time about 3~4days. Compressive strength using super retarding agent is somewhat higher than that of normal concrete. Accordingly, super retarding agent does not affect the strength development.

1. 서 론

최근, 국내에서는 건설기술의 진보와 발달로 건축물이 대형화, 고층화되는 경향에 있다. 그런데, 이와 같은 건축물의 기초구조도 종전의 경우 직접기초 및 말뚝기초 등이 많이 활용되었으나, 최근에는 말뚝 기초의 경우 소음, 진동 등의 환경문제가 중요시됨에 따라 매트기초로 시공하는 경우가 많아졌다.

따라서, 기초부분의 콘크리트 시공은 환경문제를 해결하면서 건축물의 하부구조를 안전하게 지지하는 역할은 만족되었지만, 두께가 80cm를 넘어 매스콘크리트로 되는 경우가 많아짐에 따라 수화열에 의한 균열문제 등은 콘크리트의 품질확보에 있어 새롭게 해결해야만 하는 중요한 과제로 등장하고 있다.

이와 같은 매스콘크리트에서, 수화열에 의한 균열방지 대책으로는 혼화재 및 저발열시멘트 사용과 단위시멘트량이 적게되는 배합설계와 함께 파이프쿨링 및 2층 이상 분리타설 등의 여러 시공방법이 있지만, 재료 및 배합면에서 단위시멘트량이 적게되도록 배합설계가 고려되어도 수화열이 문제가 될 경우가 있는데, 이 경우 파이프쿨링 방법은 너무 지나치게 고가이고 복잡하며, 2층 이상 분리타설을 하는 경우는 구조체의 일체화를 도모하기 어렵고 공기지연 등 여러 문제점이 제기되고 있다.

- * 정회원, 청주대학교 건축공학부, 석사과정
- ** 정회원, 청주대학교 건축공학부, 박사과정
- *** 정회원, 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원
- **** 정회원, (주)선엔지니어링 종합건축사사무소 책임연구원
- ***** 정회원, (주)선엔지니어링 종합건축사사무소 대표이사
- ***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

그러므로, 본 연구에서는 선행실험을 통하여 개발된 초지연제의 응결시간차 활용에 의한 매스콘크리트 수화열 조정공법을 청주대 새천년 종합정보관 신축공사의 기초 매트콘크리트 공사에 플라이애쉬 사용 및 유동화 공법도입과 함께 적용하므로써, 수화열을 효율적으로 조정하여 궁극적으로는 수화열에 의한 균열저감 및 콘크리트의 품질 향상에 기여토록 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 현장실험계획은 표 1과 같다. 즉, 레미콘의 배합사항으로 강도수준은 210kgf/cm²의 1수준에 목표슬럼프는 베이스 콘크리트의 슬럼프 8cm를 15±1.5cm로 유동화하고, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 배합을 결정하였다. 하부 50cm 두께부분 콘크리트의 초지연제 혼입률은 1~2일 응결지연범위인 0.15%의 1개 수준으로 계획하였다.

현장적용 매스부재는 가로 61m, 세로 33m, 두께 1m로 총 콘크리트 타설물량은 2,040m³이었다. 이때, 굳지 않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 레미콘사의 현장배합사항은 표 2와 같다.

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 시멘트는 국내산 H사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 골재로서 잔골재 및 굵은골재는 모두 충북 옥산산 강모래와 부순굵은골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 4와 같다. 초지연제로는 국내 J사에서 시판되는 백설탕과 증점제 및 AE제를 1 : 1 : 0.005로 혼합하여 사용하였는데 그 물리적 성질은 표 5와 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 제조는 레미콘사의 배척플랜트에서 배

표 1 실험 요인 및 수준

실험 요인		실험 수준		
배합사항	강도수준(kgf/cm ²)	1	210	
	목표슬럼프(cm)	1	15±1.5	
	목표공기량(%)	1	4.5±1.5	
	초지연제 첨가율(%)	2	0, 0.15	
타설방법		1	상부(50cm) - 보통 콘크리트 하부(50cm) - 초지연 콘크리트	
실험	굳지 않은 콘크리트	보통 콘크리트 (상부)	3	슬럼프, 공기량, 블리딩량
		초지연 콘크리트 (하부)		
사항	경화 콘크리트	보통 콘크리트 (상부)	2	압축강도 : 표준양생 (7, 28일) 구조체 관리용 공시체 (1, 3, 7, 14, 28일) 수화열 측정
		초지연 콘크리트 (하부)		

* 각 실험은 로트별 3회 실시(총 4로트)

표 2 현장배합 사항

구분	WC (%)	S/a (%)	AE 감수제 (%)	단위수량 (kg/m ³)	초지연제 혼입률 (C×%)	용적배합 (ℓ/m ³)				초지연제 혼입량 (kg/m ³)
						C	F·A	S	G	
초지연 콘크리트	53.2	49.1	0.5	166	0.15	74	35	334	346	0.35
보통 콘크리트	53.2	49.1	0.5	166	0	74	35	334	346	0

표 3 시멘트의 물리적 성질

비 중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm ²)		
			초결	중결	3일	7일	28일
3.15	3,303	0.08	226	409	231	308	410

표 4 골재의 물리적 성질

골재 종류	비 중	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m ³)	입형판정 실적율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.59	1.17	1,556	61.0	1.50
굵은골재	2.65	0.84	1,531	56.5	-

표 5 초지연제의 물리적 성질

주 성분	색상	성상	비 중 (20℃)	표준사용량 (C×%)
Sucrose + Poly ethylene oxide + Sodium lauryl sulfate	흰색	액상	1.2	0.15~0.6

이스 콘크리트를 제조하는 것으로 하며, 초지연제 첨가는 레미콘사에서 레미콘 트럭에 초지연제를 투여한 다음 트럭 내에서 충분히 교반 되도록 중속으로 10회전 후 현장으로 출발하는 것으로 하였다.

또한, 현장타설방법은 현장도착 5분전 위치에서 유동화제를 레미콘 트럭에 투입하고, 충분히 유동화 한 후 타설하였는데, 구조체의 경우는 두께 1m의 매스부재 중 먼저 하부 50cm에 초지연 콘크리트를 타설하고, 곧 상부 50cm에 보통콘크리트를 타설하여 일체화시키는 것으로 하였다. 모의부재의 경우는 1m×1m×1m 크기의 부재에 보통콘크리트 만을 타설하여 일체화시키는 것으로 시공계획 하였다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421, 블리딩량은 KS F 2414에 따라 측정하였다. 또

한, 경화 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405의 규정에 의거 실시하였다.

구조체 매스콘크리트의 내부 수화열 측정은 그림 1과 같이 5개소와 또한, 구조체와의 비교를 위한 모의부재에는 그림 2와 같이 3개소에 T타입 열전대를 매입하고 데이터로거를 이용하여 콘크리트 내부의 수화열에 의한 온도이력을 약 9일간 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

표 6은 굳지 않은 콘크리트와 경화콘크리트의 시험결과를 나타낸 것이다.

표 6 굳지 않은 콘크리트 시험 결과

종 류	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	블리딩량 (cm ³ /cm ²)	구조체 관리용 공시체(kgf/cm ²)					표준양생공시체 (kgf/cm ²)	
				1일	3일	7일	14일	28일	7일	28일
1로트 초지연 콘크리트	15.5	3.9	0.32	20	110	156	180	230	123	250
2로트 초지연 콘크리트	16.3	4.0	0.30	25	100	160	185	235	135	260
3로트 보통 콘크리트	15.6	3.9	0.31	39	95	137	170	208	120	225
4로트 보통 콘크리트	15.6	4.0	0.30	49	115	150	178	223	125	240

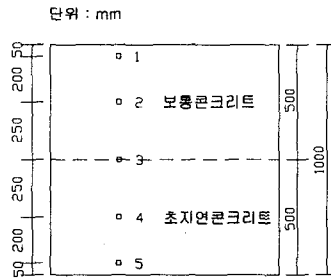


그림 1 구조체 열전대 매입위치

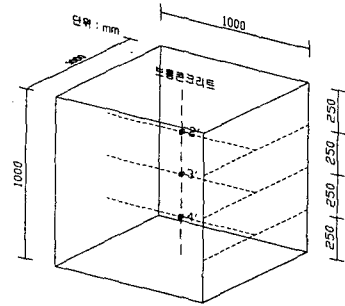


그림 2 모의부재 열전대 매입위치

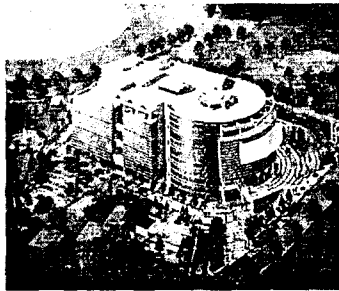


사진 1 청주대 새천년 정보관 전경

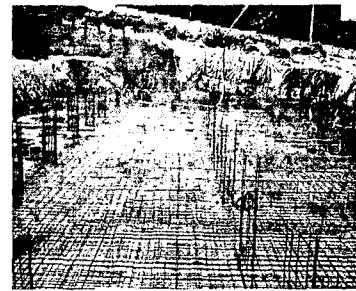


사진 2 구조체 콘크리트 타설

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

3.1.1 슬럼프 및 공기량

그림 3은 로트별 시험에 따른 슬럼프 및 공기량을 베이스, 초지연 유동화 및 보통 유동화 콘크리트로 구분하여 나타낸 것이다.

먼저, 슬럼프의 경우, 베이스 콘크리트는 현장요구 슬럼프 $8 \pm 1.5\text{cm}$ 에 도착하여 유동화제에 의한 현장유동화를 실시한 결과, 초지연 유동화 및 보통 유동화 콘크리트의 슬럼프는 모두 15~17cm의 범위로 7~8cm 정도 증가하였다. 이때, 초지연 콘크리트와 보통 콘크리트의 경우 유동화제에 의한 유동화 범위의 차이가 1~3cm 정도로 작아 초지연제에 따른 슬럼프 변화는 거의 없는 것으로 분석되었다.

공기량의 경우, 역시 베이스 콘크리트에 비하여 초지연 유동화 및 보통 유동화 콘크리트의 경우 모든 시험에서 1% 이내로 차이가 작게 나타나, 유동화에 따른 공기량의 변화는 거의 없었다. 또한 초지연 유동화 및 보통 유동화 콘크리트의 차이도 작게 나타나, 초지연제 첨가에 따른 공기량 변화도 거의 없는 것으로 분석되었다.

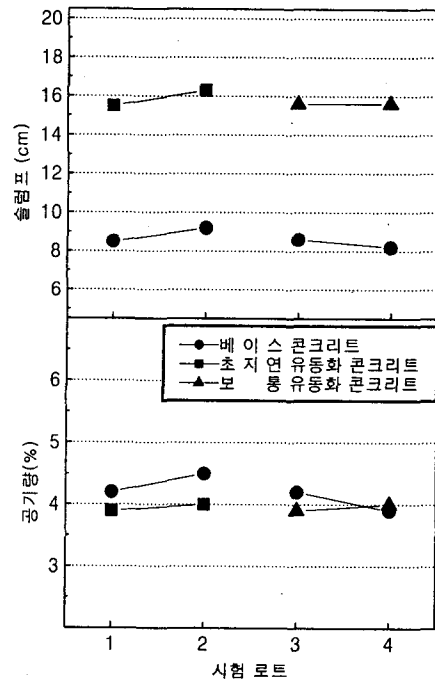


그림 3 시험 로트에 따른 슬럼프 및 공기량

3.1.2 블리딩량

그림 4는 시간경과에 따른 블리딩량을 로트시험 별로 구분하여 나타낸 것이다. 초지연 및 보통콘크리트의 블리딩량 시험은 레미콘 현장도착 후 실시하였다. 모든 로트별 시험에서 블리딩의 발생량은 $0.35\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이내로 거의 유사하게 발생하여, 초지연제 첨가에 따른 블리딩량의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

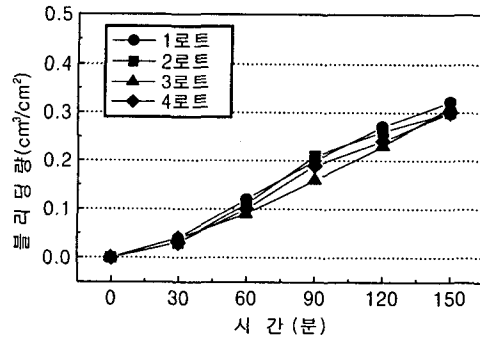


그림 4 초지연제 혼입률 변화에 따른 블리딩량

3.2 경화콘크리트의 특성

3.2.1 온도이력 특성

그림 5는 시간 경과에 따른 구조체 내부의 온도이력을 나타낸 것이다. 먼저, 콘크리트 타설시 외기온의 경우는 $33 \sim 35^\circ\text{C}$ 수준이었고, 타설되는 콘크리트는 $32 \sim 33^\circ\text{C}$ 정도로 비교적 높은 서중 콘크리트 환경조건에서 구조체에 타설되었다.

온도이력 특성으로 먼저, 상부에 타설된 보통콘크리트의 경우(1, 2)는 정상적인 수화반응에 의한 온도이력곡선을 나타내며 타설 후 24시간 전후에서 약 54°C 정도의 수화열 피크점을 형성하였고, 그 후 서서히 저감하여 약 9일 후에는 구조체의 내부온도가 외기온 최고온도 수준으로 근접하였다.

또한, 하부에 타설된 초지연 콘크리트의 경우(4, 5)는 초지연제 0.15% 첨가에 의해 1~2일 정도 콘크리트의 응결지연을 예상하였는데, 콘크리트 타설 후 30시간 전후에서 $45 \sim 47^\circ\text{C}$ 정도의 1차 온도 피크점이 생성되었고, 그 후 온도는 감소하다가 2.5일 전후에서 온도가 재차 상승하여 $44 \sim 45^\circ\text{C}$ 정도의 2차 피크점을 형성하였다.

이는 하부 초지연 콘크리트의 경우, 응결지연과정에서 상부에 타설된 보통콘크리트의 수화작용에 의한 수화열에 영향을 받아 하부 콘크리트의 온도가 상승하여 1차 온도 피크점을 형성한 후, 상부 콘크리트의 온도가 저하함에 따라 하부온도도 저하하다가 2.5일 전후에서 초지연제의 지연능력이 저하하고, 이때부터 하부 초지연 콘크리트가 수화작용을 시작하여 수화열에 의한 2차 온도 피크점이 형성되는 것으로 분석되었다.

그림 6은 상부 보통콘크리트, 하부 초지연 콘크리트인 구조체 내부의 온도이력과 보통콘크리트만을 부어넣은 모의부재 내부의 수화열 온도이력을 상호 비교한 그래프이다.

먼저, 모의부재 내부 온도이력의 경우 콘크리트를 부어넣은 다음 약 3시간 후부터 수화열에 의한 온도가 급격히 상승하여 20~24시간에 57℃ 정도의 수화열 피크점을 형성하였고, 그 후 온도는 급격히 저감하여 약 7일 후 외기온 수준으로 저하하였다.

구조체 내부온도의 경우는 모의부재와 비교하여, 보다 완만한 구배로 수화열이 증가하다가 24시간 전후에서 모의부재보다 3~4℃ 낮은 53~54℃의 수화열 피크점을 형성하고, 그 후 온도는 모의부재보다 서서히 감소하여 약 9~10일 정도에서도 외기온보다 약간 높게 나타났다.

이는 모의부재 1m 높이의 보통콘크리트에 비해 구조체의 경우, 하부 50cm의 초지연 콘크리트가 응결지연작용을 하였음에 따라 상부 50cm만의 보통콘크리트 수화작용으로 최고온도는 3~4℃ 정도 저하하고, 온도의 상승·하강 구배가 보다 완만해지는 것으로 분석되었다.

3.2.2 압축강도 특성

그림 7은 현장조건에서 양생한 구조체 관리용 공시체의 로트별 압축강도를 나타낸 것이다.

먼저, 전반적으로 상부 보통콘크리트(3, 4로트)에 비하여 하부 초지연 콘크리트(1, 2로트)의 경우 초기재령에서는 압축강도가 낮게 측

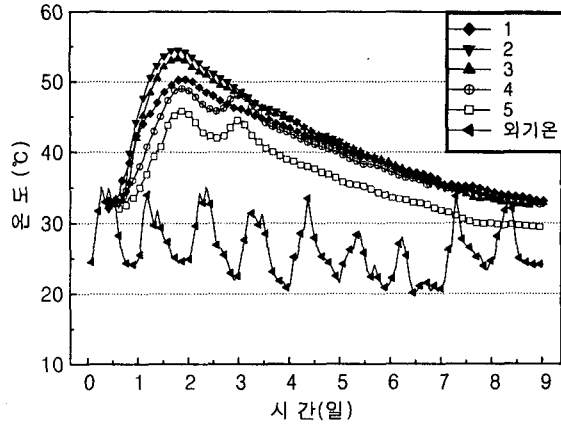


그림 5 구조체 내부의 수화열 온도이력

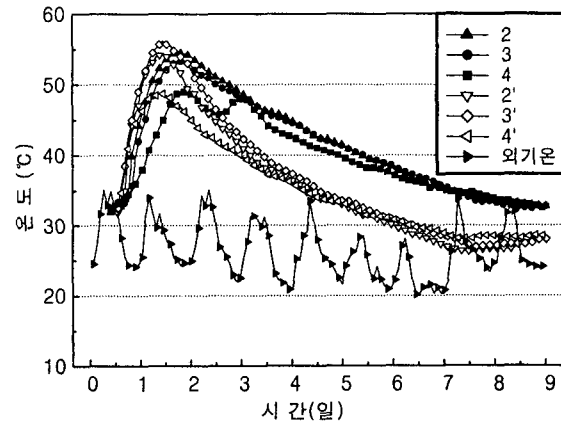


그림 6 구조체 및 모의부재 내부의 수화열 온도이력

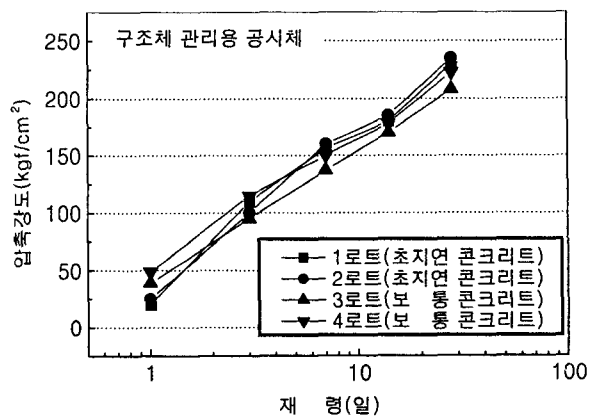


그림 7 구조체 관리용 공시체의 로트별 압축강도

정되었지만 재령이 경과할수록 후기재령에서는 상부 보통콘크리트 보다 크게 발현되는 것으로 나타났다. 이는 수화 초기의 응결지연작용에 의해 수화반응이 서서히 진행됨에 따라, 이로 인해 밀실한 수화생성물이 생성되어 내부조직이 보다 치밀화 한 것에 기인하는 것으로 분석되었다.

그림 8은 표준양생조건에서 양생한 공시체의 로트별 압축강도를 나타낸 것이다.

전반적으로, 모든 로트별 28일 압축강도 시험에서 레미콘 호칭강도 210kgf/cm^2 을 상회하고 있으며, 하부 초지연 콘크리트의 압축강도가 상부 보통콘크리트 보다 5~10% 정도 높게 측정되어 초지연제가 강도발현에 큰 영향을 미치지 않았음을 알 수 있었다.

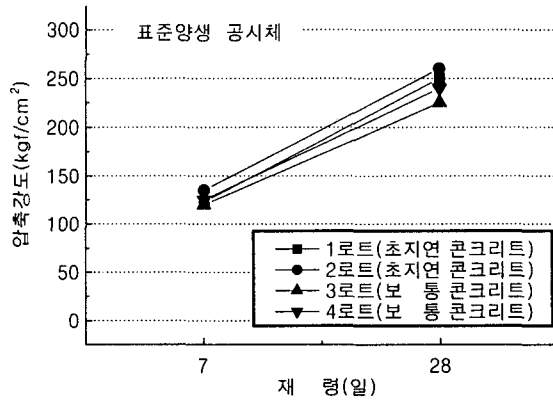


그림 8 표준양생 공시체의 로트별 압축강도

4. 결 론

청주대 새천년 종합정보관 신축공사의 매트 기초콘크리트 공사에 초지연제의 응결시간차를 활용한 매스콘크리트 수화열 조정공법을 적용하여 굳지않은 콘크리트의 특성, 수화열 특성 및 경화콘크리트의 특성을 검토한 결과를 종합하면 다음과 같다.

- (1) 슬럼프 및 공기량은 베이스 콘크리트에서 유동화 한 후 초지연 유동화 및 보통 유동화 콘크리트의 경우가 1~3cm 및 1% 이내로 상호간의 차이가 매우 작아, 초지연제에 따른 슬럼프 및 공기량의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.
- (2) 블리딩의 경우 모든 로트별 시험에서 블리딩의 발생량은 $0.35\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이내로 거의 유사하게 발생하여, 초지연제 첨가에 따른 블리딩량의 변화는 없는 것으로 분석되었다.
- (3) 온도이력 특성으로, 동일 두께의 모의부재에 비하여 구조체에 초지연제의 응결시간차를 활용한 수화열 저감공법을 적용한 경우 최고온도는 $3\sim 4^\circ\text{C}$ 정도 저하하고, 온도저하 기간은 3~4일 정도 지연되는 것으로 나타났다.
- (4) 경화콘크리트의 강도 특성으로, 초지연 콘크리트의 경우 보통콘크리트에 비하여 압축강도가 동등하거나 약간 높게 측정되어 초지연제가 강도발현에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

1. 심보길, 표대수, 윤치환, 한민철, 한천구 ; 당분류 초지연제를 이용한 콘크리트의 응결 및 역학적 특성, 2000년도 건축학회 추계학술발표대회 논문집, Vol.20, No.2, pp. 455~458, 2000.
2. 심보길, 유동수, 윤치환, 한민철, 한천구 ; 당류계 초지연제의 개발에 관한 기초적 연구, 2001년도 건축학회 춘계학술발표대회 논문집, Vol.21, No.1, pp. 309~312, 2001.
3. 유동수, 심보길, 윤치환, 한민철, 한천구 ; 초지연제를 이용한 매스콘크리트의 수화열 조정에 관한 연구, 한국콘크리트학회학술발표 논문집, Vol.13, No.1, pp. 515~520, 2001.
4. 椎葉大和 ; 超遲延劑, 콘크리트工學, Vol.16, No.3, pp. 50~54, 1988.
5. 伊藤眞純, 田中恭 ; 超遲延劑の應用, セメント・コンクリート, No.471, pp. 31~37, 1986.
6. 伊藤眞純, 竹内徹 ; 遲延および超遲延のメカニズム, セメント・コンクリート, No.472, pp. 31~37, 1986.
7. 竹内 徹, 長瀧重義 ; 超遲延劑を用いたコンクリートの特性, 콘크리트工學, Vol.37, No.11, pp. 9~19, 1999.