

한중콘크리트에 있어서 폐부동액을 이용한 내한제의 효율성에 관한 기초적 연구

A Fundamental Study on the Effectiveness of Anti-freeze Agent Using Waste Coolant in Cold Weather Concreting

김 경 민^{*} 원 철^{**} 김 기 철^{***} 오 선 교^{***} 한 천 구^{****}
Kim, Kyoung Min Won, Cheol Kim, Gi Cheol Oh, Sun Kyo Han, Cheon Goo

ABSTRACT

In this paper, tests are carried out in order to investigate the validities of anti-freeze agent, which is developed using waste coolant and existing anti-freeze agent through previous study, under various W/C and contents. According to test results, adequate dosage of developed anti-freeze agent shows positive performance in slump, air content and chloride contents in the mixture of 40% and 50% of W/C, accelerates setting time and drops the freezing temperature of concrete. Meanwhile, in the region of 30% of W/C, followings can be indicated that increasing the contents of anti-freeze agent leads to reduce fluidity, rapid setting and excessive chloride contents. Improved strength gain is shown when anti-freeze agent is used with in 8%.

1. 서론

우리나라에서 한중콘크리트 시공에 사용되는 혼화제는 과거 염화물의 방동제가 주류를 이루었으나, 염화물량의 제한규정으로 인해 최근에는 주로 무염화물형의 내한제가 사용되고 있다. 그러나, 이러한 무염화물형 내한제의 경우는 과거의 방동제와 비교하여 염화물을 포함하지 않은 장점은 존재하지만 효율저하 및 고가인 관계로 실무 현장에서는 대부분 보통콘크리트에 가열 보온양생 등 비효율적인 한중 시공이 이루어지고 있는 실정이다.

한편, 겨울철 자동차 및 산업설비에서는 1~2년을 주기로 다량의 폐부동액이 발생한다. 그러나 이와 같은 폐부동액은 어느 정도 빙점강하의 능력을 지니고 있어, 한중콘크리트용 혼화제로서 유용하게 활용할 수 있을 것으로 추측되나, 법규상 지정폐기물로 명시되어 특별한 용도없이 폐기처분 되고 있는데, 이 중 많은 부분은 처리되지 않은 상태로 생태계에 버려져 환경오염의 원인이 되고 있다. 이러한 환경부하 저감을 목적으로 본 연구팀에서는 본 연구에 선행된 연구로¹⁾ 폐부동액을 이용한 한중콘크리트용 내한제를 개발한 바 있다.

그러므로, 본 연구에서는 선행된 연구결과로 개발된 폐부동액을 이용한 내한제의 W/C별 혼입률 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성 및 경화 콘크리트의 강도증진 특성 등을 분석함으로써 내한제의 효율성을 검토하고, 아울러 향후 실무적용을 위한 한 참고자료로 제시하고자 한다.

* 정회원, 청주대학교 대학원, 석사과정
** 정회원, 청주대학교 대학원, 박사과정
*** 정회원, (주)선엔지니어링 종합건축사사무소, 공학박사
**** 정회원, 청주대학교 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합 사항은 표 2와 같다. 즉, 실험요인으로 W/C는 30, 40 및 50%의 3수준에 목표슬럼프 15±1cm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 각 플레인 배합을 결정한 다음, 여기에 내한제의 혼입률을 0~12%까지 4%간격의 4수준으로 하여 총 12배치를 배합 계획하였다.

실험사항으로서, 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 응결시간, 동결온도, 염화물량 및 블리딩 시험을 실시하도록 하였고, 경화 콘크리트에서는 양생온도별 적산온도에 따른 압축강도를 측정하도록 하였다.

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로서, 시멘트는 국내산 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 잔골재 및 굵은 골재는 충북 청원군 옥산산 강모래와 20mm 부순 골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 4와 같다. 또한, 혼화제로 AE제 및 AE감수제의 물리적 성질은 표 5와 같고, 내한제는 청주시내 모 자동차 정비공장에서 발생한 폐부동액과 물, 국내산 E사의 분말형 내한제 및 벨라민계 유동화제를 1:1.5:1:0.26의 비율로 혼합하여 제조된 것을 사용하였는데, 각 구성재료의 물리적 성질은 표 6과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로서, 먼저 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하였다. 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량 시험은 KS F 2421, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법(사진 1)으로 측정하였다. 동결온도는 $\phi 10 \times 20$ cm 원주형 공기체의 중앙에 온도 측정용 열전대(T-type)를 매입한 후 냉동고에 넣어 Data logger(사진 2)로 온도를 측정하여 구하였다. 염화물 측정은 염분농도계 AG-100(사진 3)을 이용하여 카다로그의 실험방법에 따라 실시하였으며, 블리딩은 KS F 2414에 의거 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 규정에 따라 실시하였다.

표 1 실험계획

실험 요 인		실험 수 준		
W/C (%)		3	30, 40, 50	
목표슬럼프 (cm)		1	15±1	
목표공기량 (%)		1	4.5±1.5	
내한제* (C×%)		4	0, 4, 8, 12	
실험 사항	굳지 않은 콘크리트	6	슬럼프, 공기량, 응결시간, 동결온도, 염화물량, 블리딩	
	압축	양생온도 (°C)	2	5, 20
	강도	적산온도 (°D·D)	8	10, 20, 30, 60, 120, 180, 300, 840

* 폐부동액 : 물 : 분말내한제 : 유동화제 = 1 : 1.5 : 1 : 0.26

표 2 콘크리트의 배합표

W/C (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	AE 감수제 (%)	고성능감수제 (%)	AE제 (%)	내한제 혼입률 (%)	용적배합 (ℓ/m ³)		
							C	S	G
30	185	39	0	0.9	0.045	0	196	224	350
						4	196	224	350
						8	196	224	350
						12	196	224	350
40	185	44	0.45	0	0	0	147	274	349
						4	147	274	349
						8	147	274	349
						12	147	274	349
50	185	48	0.2	0	0	0	118	313	339
						4	118	313	339
						8	118	313	339
						12	118	313	339

표 3 시멘트의 물리적 성질

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

표 4 골재의 물리적 성질

종류	비중	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m ³)	입형관정 실적율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.60	1.94	1,598	61.0	2.06
굵은골재	2.66	0.84	1,531	56.5	-

표 5 혼화제의 물리적 성질

종 류	색상 및 형태	주 성분	비중	표준사용량 (C×%)
AE제	연황색, 액상	Sodium lauryl sulfate	1.04	0.01~0.02
AE 감수제	암갈색, 액상	Naphtalene	1.15	0.1~1.5
고성능 감수제	연황색, 액상	멜라민계	1.20	0.3~0.5

표 6 내한제 제조 재료의 물리적 성질

종 류	색상 및 형태	주 성분	비중	표준사용량 (C×%)
폐부동액	진녹색, 액상	물+에틸렌글리콜 (CH ₂ OHCH ₂ OH)	1.09	-
분말 내한제	흰색, 분말	아질산염, 특수계면활성제	1.12	2~3
유동화제	연황색, 액상	멜라민계	1.20	0.3~0.5

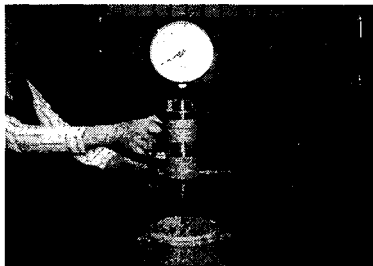


사진 1 응결시험 모습



사진 2 동결온도 측정 모습

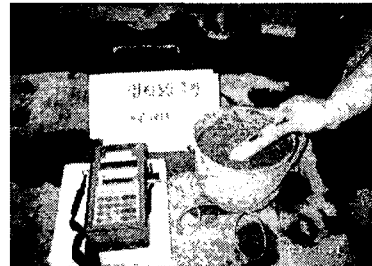


사진 3 염화물 측정 모습

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

(1) 슬럼프 및 공기량

그림 1은 W/C별 내한제 혼입률 변화에 따른 슬럼프 및 공기량 측정 결과를 나타낸 것이다. 먼저, W/C 40%와 50%에서 내한제의 혼입률 증가에 따른 슬럼프는 큰 차이가 없는 반면, W/C 30%의 경우는 내한제의 혼입률이 증가함에 따라 크게 저하하였다. 이는 낮은 W/C에서 많은 단위시멘트량에 대한 내한제 단위첨가량 증대에 따른 점성증가로 유동성이 크게 저하한 것으로 사료된다. 따라서, 낮은 W/C에서는 내한제 중 유동화제의 혼입비율을 증가시키는 등 별도의 방안이 고려되어야 할 것으로 사료된다.

또한, W/C별 내한제 혼입률 변화에 따른 공기량은 내한제 혼입률이 증가할수록 W/C 40% 및 50%는 약간 증가 하였으나, W/C 30%는 감소하는 것으로 나타나, 전반적으로는 플레인과 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

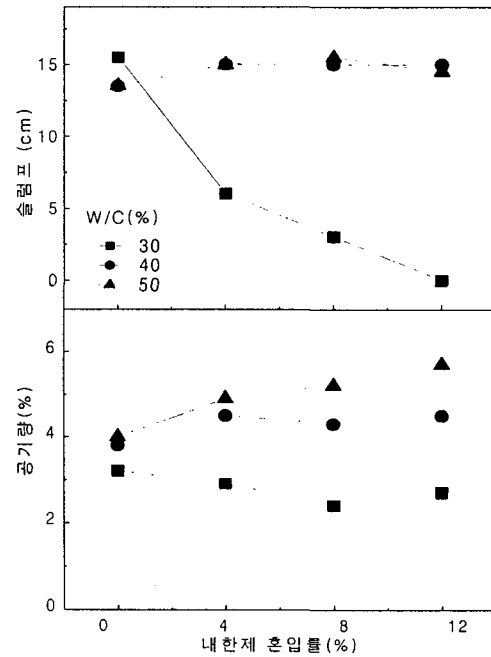


그림 1 내한제 혼입률 변화에 따른 슬럼프 및 공기량

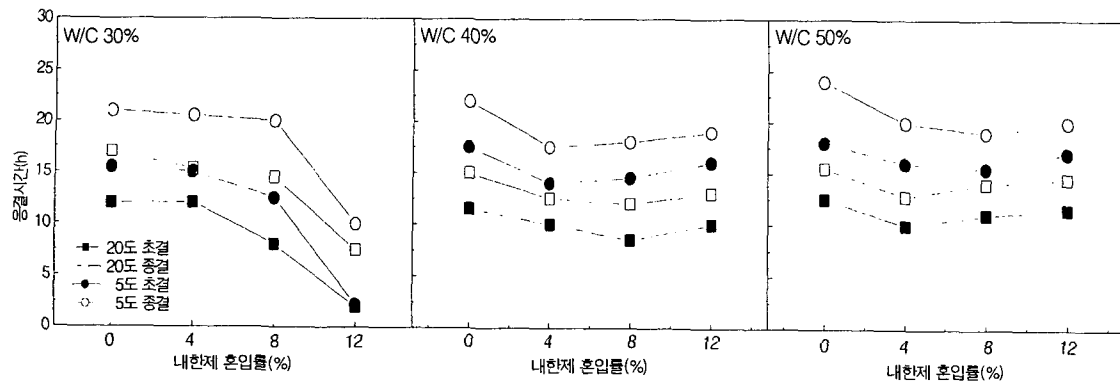


그림 2 내한제 혼입률 변화에 따른 응결시간

(2) 응결시간

그림 2는 W/C 및 양생온도별 내한제 혼입률 변화에 따른 응결시간을 나타낸 것이다. 먼저, W/C별 내한제 혼입률 증가에 따른 응결시간은 플레인에 비하여 빠르게 나타났는데, 특히 W/C 30%에서 내한제 혼입률 12%인 경우는 응결이 급격히 촉진되었다. 이는 내한제의 단위첨가량 증가에 따라 내한제의 구성 성분인 트리에탄올아민 및 염화물의 증가에 기인한 결과로 분석된다.

또한, 양생온도에 따른 응결시간은 당연히 20°C인 경우가 5°C인 경우보다 초결 및 종결이 빠르게 나타났다.

(3) 염화물량 및 동결온도

그림 3은 W/C별 내한제 혼입률 변화에 따른 염화물량 및 동결온도를 나타낸 것이다.

먼저, 내한제 혼입률 증가에 따른 염화물량은 내한제 혼입률이 증가할수록, W/C가 낮을수록 증가하는 것으로 나타났다. 그런데, 대부분의 경우는 콘크리트 표준시방서 및 KS F 4009의 염화물 제한치인 0.3kg/m^3 이하의 범위를 만족하는 것으로 나타났지만, W/C 30%에서는 제한치에 근접하여 규정을 초과할 가능성이 있는 것으로 나타나, 낮은 W/C에서는 내한제의 단위첨가량 증가에 따른 염화물량 규정치의 초과에 대한 주의가 요망된다.

또한, 동결온도는 내한제 혼입률이 증가할수록, W/C가 낮을수록 낮게 나타났는데, 플레인과 비교하여 각 W/C별 내한제 혼입률이 12%일 때 동결온도는 약 $-4^{\circ}\text{C} \sim -8^{\circ}\text{C}$ 로 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 이렇게 낮은 동결온도는 한중콘크리트용 내한제로써 초기동해 방지 및 초기강도 발현에 유효할 것으로 기대된다.

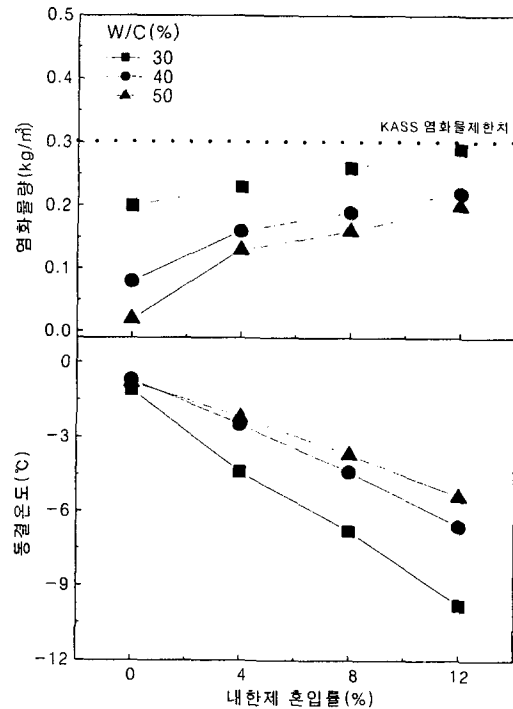


그림 3 내한제 혼입률 변화에 따른 동결온도

(4) 블리딩량

그림 4는 W/C 40%를 대상으로 실시한 내한제 혼입률 변화에 따른 블리딩량 측정결과를 나타낸 것이다. 블리딩은 내한제 혼입률이 증가할수록 크게 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 내한제의 점성증대에 기인한 것으로, 플레인과 비교하여 내한제 혼입률 12%일 때 약 6배 정도의 블리딩 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

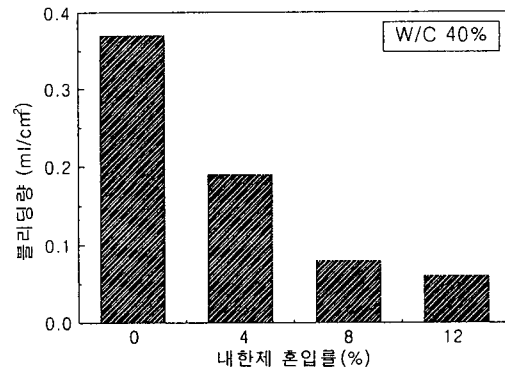


그림 4 내한제 혼입률 변화에 따른 블리딩량

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 5는 내한제 혼입률 및 양생온도별 적산온도에 따른 압축강도를 W/C별로 구분하여 나타낸 것이다.

먼저, 20℃ 및 5℃ 양생조건에서 공히 내한제 혼입률 및 W/C별 적산온도에 따른 압축강도는 전반적으로 비슷하게 나타났다. 하지만, 모든 W/C에서 100 °D·D 이하의 적산온도에서는 내한제를 혼입한 경우가 플레인과 비교하여 강도증진이 크게 나타났다. 이는 내한제가 초기 적산온도에서 콘크리트의 응결을 촉진시켰기 때문이라고 사료된다.

또한, 굳지않은 콘크리트에서 공기량은 내한제 혼입률이 증가할수록 약 1~2% 정도 증가하는 것으로 나타났는데, 적산온도별 압축강도가 유사하다는 것은 동일 공기량에서 내한제 혼입률이 증가할수록 5~10% 정도의 압축강도가 크게 될 수 있는 것으로 사료된다.

따라서, 내한제를 적절히 사용할 경우에는 초기 적산온도 및 후기에서도 높은 강도값을 발휘할 수 있을것으로 기대된다.

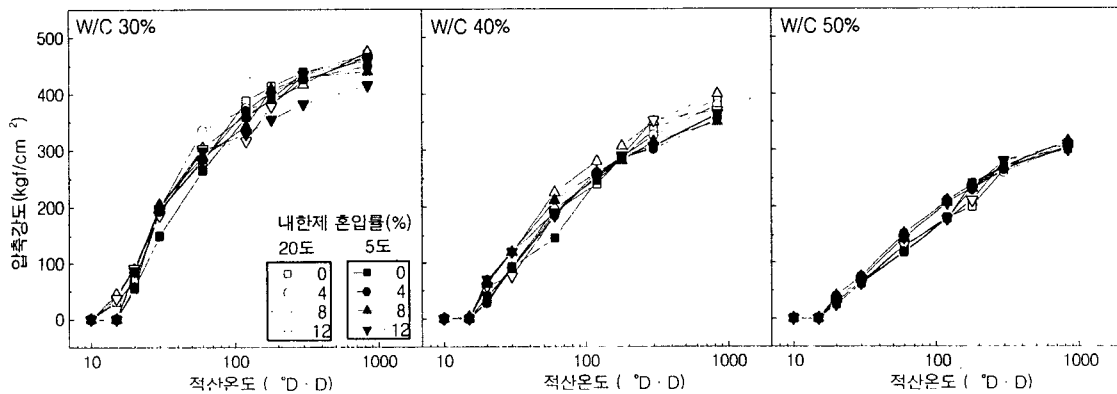


그림 5 적산온도에 따른 압축강도

4. 결론

본 연구에서는 선행 연구를 통하여 개발된 폐부동액을 이용한 내한제를 이용하여, W/C 및 내한제 혼입률 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트 및 강도증진 특성을 검토하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) W/C별 내한제 혼입률 변화에 따른 슬럼프 및 공기량은 플레인과 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 단, W/C 30%에서는 내한제 혼입률이 증가할수록 유동성이 크게 저하하는 것으로 나타났다.

2) 응결 시간은 전반적으로 W/C별 내한제 혼입률이 증가할수록 플레인에 비하여 빠르게 나타났고, 염화물량은 증가하는 것으로 나타났으나 건축공사 표준시방서의 허용 범위에는 만족하는 것으로 나타났다. 단, W/C 30%인 경우에는 응결의 지나친 촉진 및 염화물량의 규정치 초과 위험성도 존재하였다.

3) 동결온도는 W/C가 낮을수록, 내한제 혼입률이 증가할수록 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 한중 콘크리트 공사시 초기동해 방지 및 초기강도 발현에 유효할 것으로 기대되며, 또한, 블리딩량은 내한제 혼입률이 증가할수록 적게 나타났는데, 내한제 혼입률 12%일 때에는 플레인과 비교하여 약 6배정도 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

4) 내한제 혼입률 및 양생온도별 적산온도에 따른 압축강도는 모든 W/C에서 유사한 경향으로 나타났는데, $100^{\circ}\text{D} \cdot \text{D}$ 이하의 적산온도에서는 플레인과 비교하여 내한제를 혼입한 경우에 높은 강도증진을 발휘하였다.

이상을 종합하면 개발된 내한제는 W/C 40%와 50%에서 슬럼프, 공기량, 염화물량 등에서 양호한 결과를 나타내었고, 응결시간이 촉진되며, 동결온도도 낮게 나타나, 한중콘크리트에서 초기동해 방지 및 강도발현에 효과가 우수할 것으로 기대된다. 단, W/C 30%인 고강도 콘크리트는 내한제 혼입률 증가에 따른 유동성 저하, 급격한 응결 및 허용 염화물량의 초과 문제에 대하여 신중한 검토가 제기되었다.

참고문헌

1. 김경민, 원 철, 김기철, 오선교, 한천구 ; 한중콘크리트용 환경부하저감형 내한제의 개발에 관한 연구, 대한 건축학회 발표 예정 논문
2. 김상우, 김정진, 홍상희, 전충근, 한천구 ; 폐부동액을이용한 콘크리트의 동결 및 역학적 특성, 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol.12, No.2. 2000
3. 홍상희, 김현우, 심보길, 한민철, 한천구 ; 내한성 혼화제를 이용한 시멘트 모르타르의 강도증진 특성, 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol.12, No.2. 2000
4. 한국 콘크리트학회 ; 콘크리트 혼화재료, 1997
5. 한국 콘크리트학회 ; 최신 콘크리트 공학, 1997
6. 浜辛雄 ; 耐寒促進劑による寒中コンクリート施工指針に關する研究, 日本北海道大學, 博士學位論文, 1998
7. 日本土木學會 ; コンクリート標準示方書, 1998
8. 日本建築學會 ; 寒中コンクリート施工指針・同解説, 1998
9. ACI Committee 212 ; Chemical Admixture for Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 1994
10. ACI Committee 201 ; Durability of Concrete in Service, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, ACI, Detroit, Michigan, 1973