

# 폐부동액과 아질산염을 이용하여 제조한 내한제의 특성에 관한 연구

한 천 구

(청주대학교 건축공학부 교수)

김 경 민

(청주대학교 건축공학부 석사과정)

- |                      |                              |
|----------------------|------------------------------|
| 1. 서론                | 4. 실험결과 및 분석                 |
| 2. 이론적 고찰            | 4.1 폐부동액과 아질산염의 적정용해도 결정     |
| 2.1 내한성 혼화제의 성분 및 특징 | 4.2 AFⅢ 내한제의 개발              |
| 2.3 내한성 혼화제의 종류 및 특징 | 4.3 AFⅢ 내한제를 사용한 콘크리트의 특성 분석 |
| 2.3 내한성 혼화제의 품질      | 5. 결론                        |
| 3. 실험계획 및 방법         |                              |
| 3.1 실험계획             |                              |
| 3.2 사용재료             |                              |
| 3.3 실험방법             |                              |

## 1. 서론

최근 초고층 건축물의 등장과 함께 건설공기의 중요성이 강조됨에 따라 연중시공이 필수적으로서, 한중콘크리트의 시공이 중요하게 부각되고 있다.<sup>1)</sup>

그런데, 과거 한중콘크리트 시공에 사용되었던 방동제는 과거 염화물이 주성분이었으나, 염화물량의 제한규정으로 인해 현재는 주

로 무염화물형 내한제가 검토되고 있다. 그러나, 이러한 무염화물형 내한제의 경우는 방동제와 비교하여 효율저하, 고가 및 신뢰하기 어렵다는 이유로 많이 보급되고 있지 않은 실정이다.<sup>2)4)6)</sup>

그러므로, 본 고에서는 이와 같은 문제점을 해결할 수 있는 방법으로, 산업폐기물의 일종인 폐부동액에 아질산염 및 액상 유동화제를 일정비율 혼합하여 저렴하고 고품질인 새로운

한중콘크리트용 내한제를 개발하도록 하고, 아울러 그의 특성에 대하여 검토하고자 하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 내한성 혼화제의 성분 및 특징

내한성혼화제는 시멘트의 수화반응을 촉진하고 한중기에 있어서 타설한 콘크리트의 초기동해를 방지하기 위한 목적으로 개발되어진 혼화제이다. 이러한 종류의 혼화제는 예전부터 내한·방동제 혹은 방동성혼화제(anti freezer)로 불리는 계통에 속하고, 이제까지는 콘크리트 중에 수분의 동결점 저하에 관하여 성능이 강조되어지고 있다. 그러나, 최근의 연구에서는 이러한 종류의 혼화제에 의하여 초기동해방지의 효과, 동결점 저하 뿐만 아니라 저온 환경하에서의 응결·경화촉진작용의 역할이 중요하다고 알려지고 있다.<sup>9)</sup>

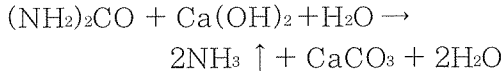
콘크리트의 동결온도를 저하시킬수 있는 약제로서는 염화칼슘, 염화나트륨, 염화칼륨, 초산나트륨, 아초산나트륨, 초산칼슘, 아초산칼슘, 요소, 표백분, 에틸알코올, 에틸렌알코올 등의 물질이 있다. 또한, 시멘트의 수화반응을 촉진시키는 물질로는 염화물과 탄산염, 아초산염등의 무기염류와 트리에탄올아민, 질산칼슘 등이 알려지고 있다. 그러나, 염화칼슘과 염화나트륨등의 염화물은 철근을 부식시킬 가능성이 크고, 나트륨등의 알칼리염은 알칼리 골재반응을 촉진시키게 된다. 또한, 표백분은 콘크리트의 경화과정에서 염소가스의 발생하고, 에틸알코올과 에틸렌알코올은 콘크리트의 응결을 지연시키는 것으로 알려져 있다.

또한, 에틸알코올과 요소 등의 성분은 몬모리론나이트(montmorillonite)등의 점토질 광물을 함유한 골재를 팽창, 노화시켜 콘크리

트의 강도저하를 초래할 수 있다.

상기 중 특히, 염화칼슘은 콘크리트의 동결을 방지하고 동결환경하에 있어서도 시멘트의 수화반응을 촉진시켜 강도발현에 우수한 작용을 하기 때문에 구 소련등에서는 방동제로서 다량을 사용되고 있다. 그러나, 염화물은 장기재령에서 강도발현이 문제가 되고, 특히 철근콘크리트의 철근부식의 우려가 있어, 일본 및 우리나라에서는 콘크리트에 함유되어 있는 염화물량을 엄격히 규제하여 사실상 사용금지가 가까운 상태이다. 염화물의 규제에 대한 배경으로는 1980년대 중반에 무염화형의 멜라민술폰산염과 함질소화합물을 주성분으로 한 내한성혼화제가 일본에서 처음으로 개발되었다. 그러나, 이 내한성혼화제는 나트륨염이 함유되어 있고, 사용량이 많아 알칼리 골재반응의 위험성이 있는 것으로 보고되어, 일본공업규격(이하 JIS라 칭함)에서는 JIS A 6204 규격을 적합한 무염화·무알칼리형으로 변경하여 현재에 이르고 있다.

또한, 요소는 무염화·무알칼리형이고 물에 의해서 용해되며, 동결점 강하가 크고, 아초산 혹은 초산계의 성분과 혼합되면 우수한 경화촉진작용을 나타내어 일부의 무염화·무알칼리형 내한촉진제를 주성분으로서 이용되고 있다. 그러나, 요소는 높은 알칼리성으로 콘크리트 중의 수산화칼슘을 가수분해하여 탄산화를 촉진시키는 동시에 암모니아가스를 발생시키는 문제가 있다. 요소에 의한 유해가스의 발생은 염화물과 알칼리성분에 따른 문제와는 달리 콘크리트에서의 물성에 변화가 나타나지 않기 때문에 일반적인 콘크리트 시험과 시공 단계에서는 발견하지 못할 가능성이 크고, 그 영향은 장기적이며, 특히 건축구조물의 경우에서는 대응이 곤란한 실내환경문제로 확산되기 때문에 주의가 필요하다.



일본에서도 내한성혼화제에 관한 연구는 결코 많다고는 말할수 없지만, 건축분야에서는 鎌田英治의, 浜幸雄 등의 연구와 토목분야에서는 북해도 개발국 개발토목 연구소에서 체계적인 연구에 따라「내한제를 이용한 한중콘크리트의 시공지침(안)」으로서 정리되어져 있다.<sup>10)</sup>

## 2.2 내한성 혼화제의 종류 및 특징

[표 1]은 무염화·무알카리형의 내한촉진제의 종류와 주성분, 물리적 성질을 나타내고 있다. 이것들의 내한촉진성분은 주로 아초산칼슘과 초산칼슘으로 단독 혹은 혼합된 것이 주성분이다. 내한성혼화제 타입 I의 감수성분이 있는 것은 멜라민술폰산염, 폴리알콜에스테르 유도체 등이 사용되어지고 있고, 내한성혼화제 타입 II는 다른 혼화제와 병용한 것이 일반적이다.

아초산칼슘은 시멘트중에 C<sub>3</sub>S 와 C<sub>2</sub>S의 수

화를 촉진하고 시멘트의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 C<sub>3</sub>A와 반응하고 3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 16-18H<sub>2</sub>O 및 3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · CaO · Ca(NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> · 10H<sub>2</sub>O을 생성한다. 더욱이 콘크리트중에 수산화칼슘과 반응하여 CaO · Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 3H<sub>2</sub>O와 CaO · Ca(NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> · 3H<sub>2</sub>O등을 생성하고, 시멘트 페이스트의 조직을 치밀하게 하며 콘크리트의 물리적 성질을 향상시키고 있다. 또한, 아초산칼슘은 방청제의 주성분으로서 이용되어지기도 하고, 염화칼슘을 적절한 비율로 혼합하여도 충분한 방청효과가 있으며, 경제적이고, 내한능성이 우수한 혼화제로서의 가능성도 있지만, 현단계에서는 염화칼슘의 사용이 철근부식등의 문제가 있는 것으로 나타나기 때문에 충분한 검토가 필요하다.<sup>7)</sup>

## 2.3 내한성 혼화제의 품질

내한성혼화제는 여러나라에서 생산되고 있지만, 그 중에서 현재 일본에서 시판되고 있는

[표 1] 일본에서 시판되고 있는 무염화·무알카리형 내한성혼화제

내한성혼화제의 종류	주 성분	표준사용량 (C/100kg)	비 중 (20℃)	알카리량 (%)	염화물 이온량(%)
타입 I	폴리알콜에스테르 유도체와 무기질 질소화합물	3~5 l	1.38~1.42	0.20	0.01이하
	아초산 화합물과 특수계면활성제	3~5 l	1.30~1.34	0.1	0.01
	변성메틸로 멜라민 축합물과 질소유황계 무기물	3~5 l	1.28	0.06	0.02
	무기질 질소화합물과 특수 계면활성제	3~5 l	1.37~1.43	0.20	0.1이하
타입 II	무기질 질소화합물	2~4 l	1.42~1.44	0.03	0.001이하
	아초산 화합물	3~6kg	1.42~1.45	0.03	0.01이하
	아초산 화합물	3~4 l	1.31~1.35	0.0	0.01
	질소계 무기화합물	2~6kg	1.3~1.4	0.01	0

내한성혼화제를 중심으로 품질규정을 알아보도록 한다. 일본에서는 구성성분에 의하여 타입 I 과 타입 II 의 두 가지로 분류되고 있다. 내한성혼화제의 타입 I 은 내한축진성분에 추가한 감수성분, AE성분 등으로 구성되어있고 있으며, 동결점 강하, 경화축진작용 뿐만 아니라 공기연행작용, 감수작용이 있으며, 과거에는 내한제란 명칭으로 사용되었다. 내한축진제 타입 II 는 내한축진성분으로 구성되어있고 있으며, 그 이용에 있어서는 JIS A 6204에 적합한 콘크리트 화학혼화제를 병용해서 이용하고도 있다.<sup>11)</sup>

(재)북해도 건축지도 센타 · 내한성 혼화제의 이용기술조사 연구위원회에서는 1996년 현재 일본에서 개발 · 시판되고 있는 무염화 · 무알칼리형의 내한성혼화제의 공통시험을 실시하고, 내한성혼화제의 품질표준을 제안하고 있다.<sup>7)</sup>

이 품질표준에서는 내한축진제에 요구되어지는 성능을 JIS A 6204「콘크리트용 화학혼화제」에 규정되고 있는 AE 감수제축진형의 기준치를 만족하는 것으로서, 특히 초기동해방지를 위해서는 저온에서 큰 폭인 응결지연이 일어나지 않는 것과 조강성이 중요하기 때문에 저온환경하에서 응결성상에 관한 항목 추가하고, 압축강도비의 기준치를 보다 높은 수치로 설정하고 있다.<sup>8)12)</sup>

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 [표 2]와 같고, 배합사항은 [표 3] 및 [표 4]와 같다.

먼저, 실험요인으로 시리즈 I에서는 폐부동액에 대한 분말 아질산염의 적정 용해도를 결정하기 위하여 혼입률 30~60%의 4수준으로

[표 2] 실험계획

시리즈	실험요인		실험수준			
I	배합사항	혼입률* (%)	4	30, 40, 50, 60		
	실험사항	용해도	1	용해도실험		
II	배합사항	W/C (%)	1	40		
		AFII 내한제** (C×%)	2	0, 8		
		유동화제 (C×%)	4	0, 0.3, 0.6, 0.9		
	실험사항	굳지 않은 콘크리트		7	슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적중량, 염화물량, 응결시간, 동결온도	
		압축강도	양생온도 (°C)	2	5, 20	
			적산온도 (°D · D)	8	10, 20, 30, 60, 120, 180, 300, 840	
III	배합사항	W/C (%)	3	30, 40, 50		
		AFIII 내한제** (C×%)	4	0, 4, 8, 12		
	실험사항	시리즈 II의 실험사항과 동일				
		- W/C 40%에서 블리딩 실험 추가				

\* 폐부동액에 대한 분말 아질산염 혼입률

\*\* AF I = 폐부동액 + 아질산염, AF II = AF I + 물  
AF III = AF II + 유동화제

[표 3] 시리즈 II 콘크리트의 배합표

W/C (%)	W (kg/m³)	S/a (%)	AE 감수제 (%)	용적배합 (l/m³)			중량배합 (kg/m³)		
				C	S	G	C	S	G
40	185	44	0.45	147	274	349	463	713	928

용해도 실험을 계획 하였다.

시리즈 II에서는 새로운 내한제의 개발을 위해, W/C 40%에서 목표 슬럼프 15±1cm, 목표공기량 4.5±1.5%를 만족하는 플레인 콘크리트를 배합설계한 다음, 시리즈 I에서 결정한 용해도와 내한제 회사에서 추천하는 적정 혼

[표 4] 시리즈 III 콘크리트의 배합표

W/C (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	AE 감수제 (%)	SP제 (%)	AE제 (%)	내한제 혼입률* (%)	용적배합 (l/m <sup>3</sup> )			중량배합 (kg/m <sup>3</sup> )		
							C	S	G	C	S	G
30	185	39	0	0.9	0.045	0	196	224	350	617	582	932
						4	196	224	350	617	582	932
						8	196	224	350	617	582	932
						12	196	224	350	617	582	932
40	185	44	0.45	0	0	0	147	274	349	463	713	928
						4	147	274	349	463	713	928
						8	147	274	349	463	713	928
						12	147	274	349	463	713	928
50	185	48	0.2	0	0	0	118	313	339	370	814	903
						4	118	313	339	370	814	903
						8	118	313	339	370	814	903
						12	118	313	339	370	814	903

\* 내한제는 내할로 단위수량에 포함함

입을 참고하여 본 실험에서 계획한 액상내한제 사용량을 시멘트 중량에 대하여 8%로 정하였다. 또한, 이때 [표 1]의 실험계획 중 AFII 내한제를 사용하게 되면 플레인 배합보다 유동성이 저하되는데, 이를 보상하기 위하여 유동화제량을 0~0.9% 까지 0.3% 간격의 4수준으로 변화시켜 실험하였다. 이와 같은 일련의 과정에서 유동성에 변동이 없는 혼합비율을 결정하여 AFIII 내한제로 개발하였다.

또한, 시리즈 III에서는 AFIII 내한제를 사용한 콘크리트의 특성을 분석하기 위해, W/C 30, 40 및 50%의 3수준에 목표슬럼프 15±1cm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 각 플레인 배합을 결정한 다음, 여기에 시리즈 II에서 개발한 AFIII 내한제의 혼입률을 시멘트 중량의 0~12%까지 4%간격의 4수준으로 하여 총 12배치를 배합 계획하였다.

실험사항으로서, 시리즈 II, III에서 굳지 않은 콘크리트는 슬럼프, 슬럼프폴로우, 공기

량, 단위용적중량, 블리딩량, 응결시험, 동결 온도 및 염화물량을 측정하고, 경화콘크리트에서는 적산온도에 따른 압축강도를 측정하도록 하였다.

### 3.2 사용재료

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내산 보통포틀랜드시멘트이고, 잔·굵은골재는 충북 청원군 옥산산 강모래와 20mm 부순 굵은골재이었는데, 그 물리적 성질은 [표 5]와 같다.

또한, 혼화제로 AE제, AE감수제 및 고성능감수제의 물리적 성질은 [표 6]과 같다. 내

[표 5] 골재의 물리적 성질

종류	비중	흡수율 (%)	단위용적 중량 (kg/m <sup>3</sup> )	입형판정 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 6) 혼화제의 물리적 성질

종류	색상 및 형태	주성분	비중	표준사용량 (C×%)
AE제	연황색, 액체	Sodium lauryl sulfate	1.04	0.01~0.02
AB감수제	암갈색, 액체	Naphtalene	1.15	0.1~1.5
고성능감수제	연황색, 액체	Melamine	1.20	0.3~0.5

(표 7) 내한제 제조재료의 물리적 성질

종류	색상 및 형태	주성분	비중	표준사용량 (C×%)	비고
폐부동액	진녹색, 액체	물+에틸렌글리콜 (CH <sub>2</sub> OHCH <sub>2</sub> OH)	1.09	-	트리에탄올아민
아질산염	흰색, 분말	아질산염, 특수계면활성제	1.12	2~3	
유동화제	연황색, 액체	멜라민계	1.20	0.3~0.5	

한제의 제조 재료로서 폐부동액은 국내의 모 자동차 정비공장에서 발생한 것을, 아질산염 및 유동화제는 국내산으로서, 각 내한제 제조재료의 물리적 성질은 [표 7]과 같다.

### 3.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로, 시리즈 I에서는 폐부동액에 대하여 아질산염을 여러 혼입률에 따라 용해시키므로써, 폐부동액에 대한 아질산염의 용해도를 육안으로 관찰하여 최대치로 결정하였다.

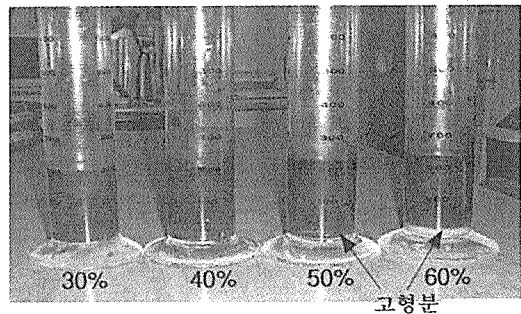
시리즈 II 및 III의 실험방법으로, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하였으며, 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402 규정에 의거 실시하였고, 슬럼프플로우는 슬럼프 시험이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였다. 공기량 및 단위용적중량 시험은 KS F 2421 및 2409의 규

정에 따라 실시하였고, 염화물 측정은 염분농도계 AG-100을 이용하였으며, 응결시간 측정은 KS F 2436의 관입저항침에 의한 방법에 따랐다. 동결온도는 ø 10×20cm 원주형 공시체의 중앙에 온도 측정용 열전대(T-type)를 매입한 후 냉동고에 넣고, 데이터 로거(Data logger)로 온도를 측정하여 시간 경과에 따른 온도곡선으로부터 구하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 규정에 따랐다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 폐부동액과 아질산염의 적정 용해도 결정

[사진 1]은 실험계획 시리즈 I의 분말상 아질산염의 용해도 시험결과를 보여 주고 있다. 즉, 분말 아질산염을 50% 이상 용해시킨 경우는 포화점에 도달하여 미용해 결정체가 존재하기 때문에, 폐부동액에 대한 분말 아질산염의 최대 혼입률은 40%로 결정하였다. 단, 이때, W/C 40% 일 때 폐부동액이 단위수량에 대한 치환율로 10% 이상이 되면, 폐부동액의 과량첨가로 문제가 발생될 수 있기 때문에<sup>2)</sup> 폐부동액의 양을 5% 전후로 결정하였고, 나머지는 물에 희석시켰는데, 폐부동액 : 물 : 아질산



(사진 1) 폐부동액과 내한제의 혼입율 결정

염의 비율을 1 : 1.5 : 1로 결정하였다. 이것을 이후 AFⅡ 내한제라 칭한다.

## 4.2 AFⅢ 내한제의 개발

### 4.2.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

[그림 1]은 플레인 콘크리트에 대하여 시리즈 I에서 결정된 AFⅡ 내한제 8%의 혼입과 아울러, 유동성 향상을 위한 유동화제 혼입률 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적중량, 염화물량, 응결시간 및 동결온도를 나타낸 것이다.

#### (1) AFⅡ 내한제 혼입률 변화

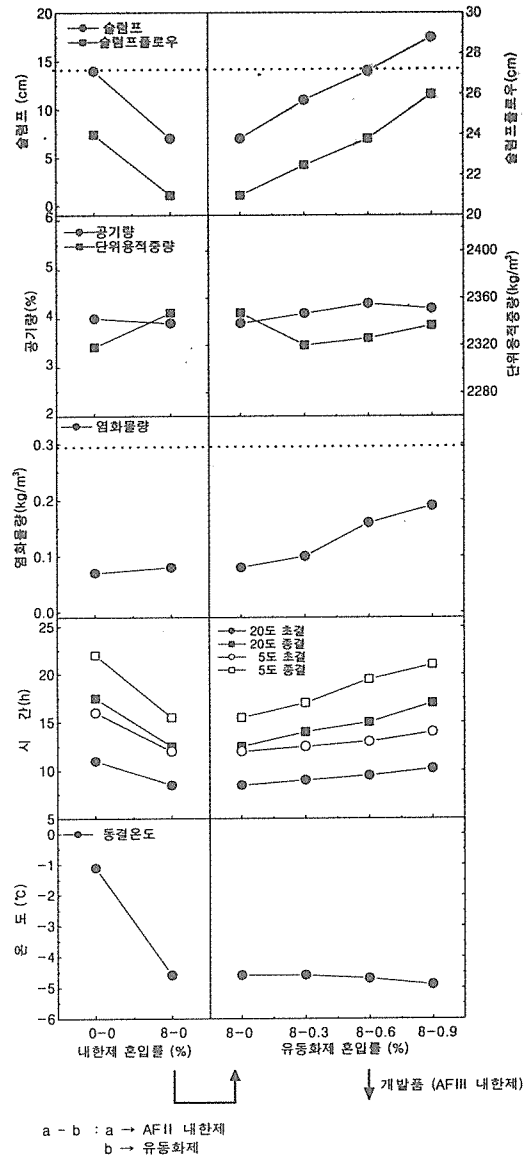
플레인 콘크리트에 AFⅡ 내한제 8%가 혼입 될 경우는 고형분량 증가 및 점성증가에 기인하여 슬럼프 및 슬럼프플로우 값은 크게 저하하여 문제시되었다. 단, 공기량, 단위용적중량 및 염화물량은 큰 변화가 없어 특별히 고려할 사항은 없는 것으로 분석되었고, 응결시간은 촉진되고, 동결온도는 크게 저하하여 한중콘크리트에 매우 유익한 결과로 나타났다.

따라서, 양호한 품질의 한중콘크리트용 내한제로 개발하기 위하여는 유동성을 향상시킬 필요성이 제기되었다.

#### (2) 유동화제 혼입률 변화

당연한 결과이겠지만, 베이스 콘크리트에 대한 유동화제의 혼입을 증가에 따라 슬럼프 및 슬럼프플로우값은 증진되어 크게 나타났는데, 플레인 콘크리트의 슬럼프값으로 회복되는 유동화제의 사용량은 0.6%로 결정되었다.

따라서, AFⅢ 내한제는 AFⅡ 내한제 8% (시멘트 중량에 대하여)에 대하여 유동화제 0.6% (시멘트 중량에 대하여)를 혼합하는 것으로서 즉, 폐부동액 : 물 : 아질산염 : 유동화제를 1 : 1.5 : 1 : 0.26으로 혼합하여 제조할



[그림 1] AFⅡ 내한제 및 유동화제 혼입률 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성

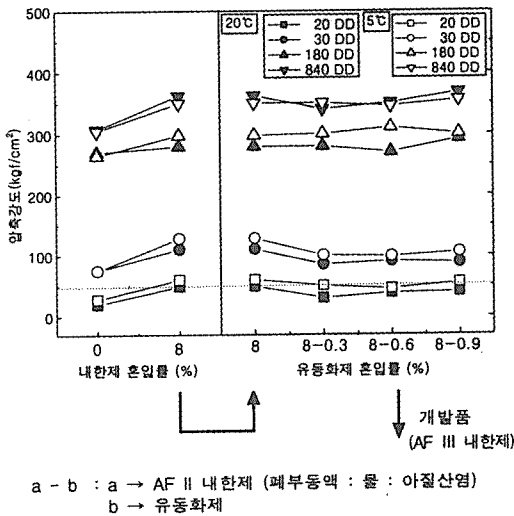
수 있었다.

단, 유동화제 첨가를 증가에 따라 공기량과 단위용적중량은 큰 변화가 없고, 염화물량은 증가하며, 응결시간은 지연되고, 동결온도는 저하하는 경향이긴 하지만 한중콘크리트용 내

한제로 크게 문제시되는 품질변화는 아닌 것으로 사료된다.

#### 4.2.2 경화 콘크리트의 특성

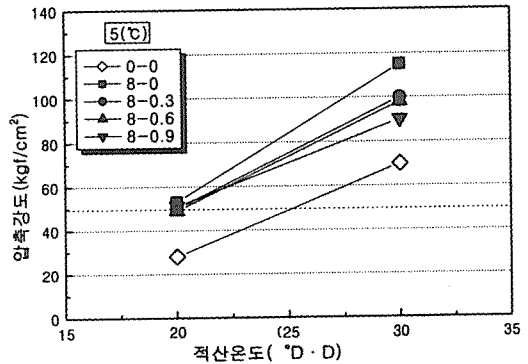
[그림 2]는 AFⅡ 내한제 및 유동화제의 혼입률 변화에 따른 양생온도별 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, AFⅡ 내한제가 혼입된 경우의 적산온도별 압축강도는 플레인 콘크리트와 비교하여 증진되게 나타났으며, 여기에 유동화제의 혼입률 증가에 따라서는 AFⅡ 내한제와 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 양생온도 5℃의 저온에서 초기동해



(그림 2) 내한제 및 유동화제 혼입률 변화에 따른 압축강도

[표 8] 플레인 및 AFⅢ 내한제 사용시 콘크리트의 실험결과

종 류	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	염화물량 (kg/m³)	동결온도 (°C)	응결 시간 (h)				압축강도	압축강도
					20°C		5°C			
					초결	종결	초결	종결	30°D·D	840°D·D
플레인 콘크리트	14	4	0.07	-1.1	11	17.5	16	22	75	308
개발된 내한제 사용 콘크리트	14	4.3	0.16	-4.7	9.5	15	13	19.5	90	350



(그림 3) 초기 적산온도에 따른 압축강도

를 방지할 수 있는 압축강도 50kgf/cm²를 얻기 위한 적산온도가 플레인 콘크리트는 25°D·D인 반면, AFⅡ 내한제를 혼입한 경우는 20°D·D로 강도발현이 빠르게 나타남을 알 수 있었는데 (그림 3), 이는 AFⅡ 내한제의 낮은 빙점 및 응결축진 작용에 기인한 것으로 분석된다.

플레인 콘크리트와 동일한 슬럼프 및 공기량을 유지하는 AFⅢ 내한제를 사용한 콘크리트의 특성은 [표 8]과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

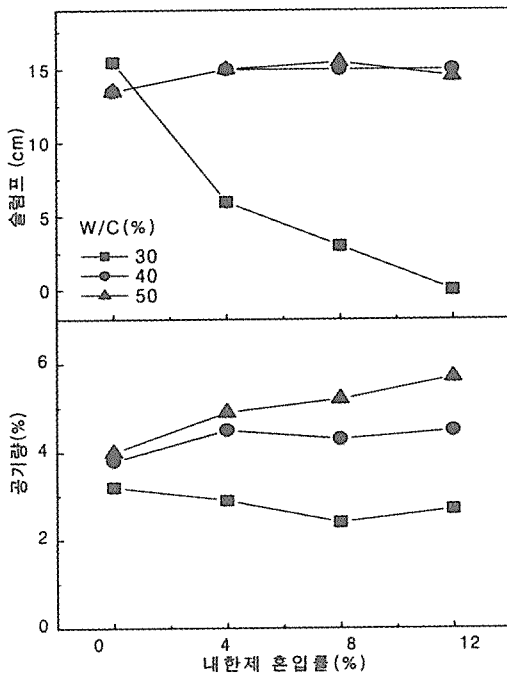
#### 4.3 AFⅢ 내한제를 사용한 콘크리트의 특성 분석

##### 4.3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성



(1) 슬럼프 및 공기량

[그림 4]는 III 시리즈의 결과분석으로 W/C 별 AFIII 내한제 혼입률 변화에 따른 슬럼프 및 공기량의 측정 결과를 나타낸 것이다. 먼저, W/C 40%와 50%에서 AFIII 내한제의 혼입률 증가에 따라 슬럼프의 변화는 큰 차이가 없는 반면, W/C 30%의 경우는 크게 저하하



(그림 4) 내한제 혼입률 변화에 따른 슬럼프 및 공기량

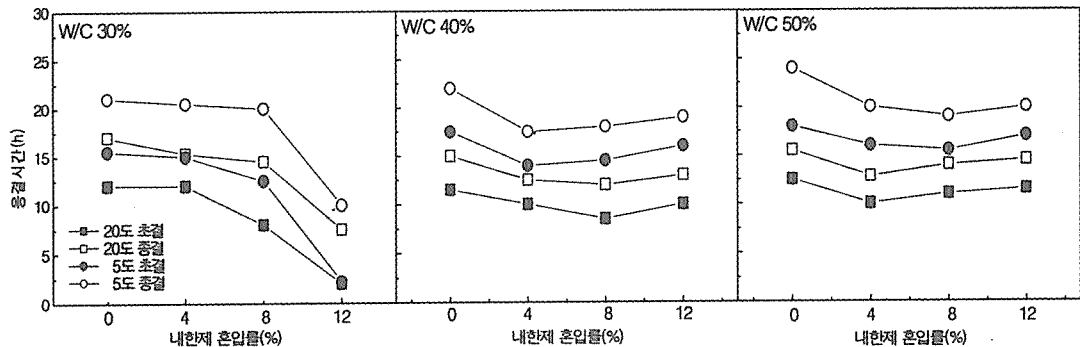
였다. 이는 낮은 W/C의 큰 점성에 대한 AFIII 내한제의 점성 추가에 기인한 것으로 분석된다. 따라서, AFIII 내한제는 W/C 40% 이상에서 적용하는 것으로 하고, 그보다 낮은 W/C에서는 AFIII 내한제 중 유동화제의 혼입 비율을 증가시키는 등 별도의 유동성 향상 방안이 고려되어야 할 것으로 사료된다.

또한, W/C별 내한제 혼입률 변화에 따른 공기량은 내한제 혼입률이 증가할수록 W/C 40% 및 50%는 약간 증가 하였으나, W/C 30%는 약간 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 응결시간

[그림 5]는 W/C 및 양생온도별 AFIII 내한제의 혼입률 변화에 따른 응결시간을 나타낸 것이다. 먼저, W/C별 AFIII 내한제 혼입률 증가에 따른 응결시간은 플레인에 비하여 빠르게 나타났는데, 특히 W/C 30%에서 AFIII 내한제 혼입률 12%인 경우는 응결이 급격히 촉진되었다. 이는 AFIII 내한제의 첨가량 증가에 따라 내한제의 구성 성분인 트리에탄올아민 및 염화물의 증가에 기인한 결과로 사료된다.

또한, 양생온도에 따른 응결시간은 당연한 결과이겠지만 20℃인 경우가 5℃인 경우보다 초결 및 종결이 빠르게 나타났는데, W/C 40 및 50%에서 미소한 차이기는 하지만 5℃와



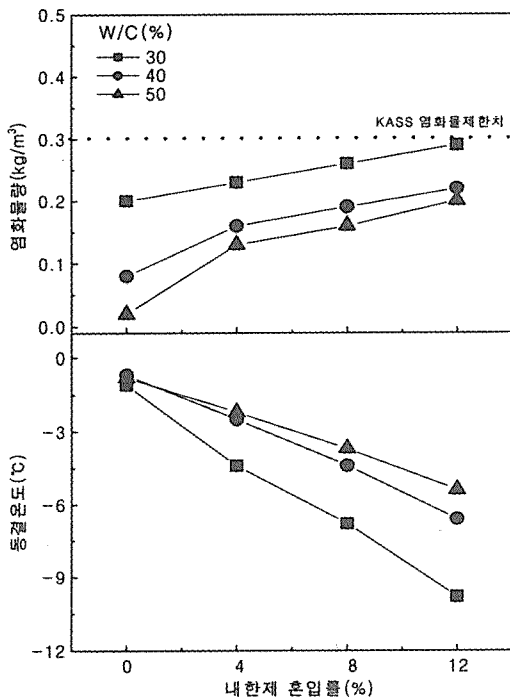
(그림 5) 내한제 혼입률 변화에 따른 응결시간

같이 저온일 때 AFⅢ 내한제를 사용함에 따라 응결시간이 다소 빨라지는 것으로 나타났다.

### (3) 염화물량 및 동결온도

[그림 6]은 W/C별 AFⅢ 내한제 혼입률 변화에 따른 염화물량 및 동결온도를 나타낸 것이다.

먼저, AFⅢ 내한제 혼입률 증가에 따른 염화물량은 AFⅢ 내한제 혼입률이 증가할수록, W/C가 낮을수록 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, 대부분의 경우는 콘크리트 표준시방서 및 KS F 4009의 염화물 제한치인  $0.3\text{kg/m}^3$  이하의 범위를 만족하는 것으로 나타났다지만, W/C 30%에서는 제한치에 근접하여 규정을 초과할 가능성이 있는 것으로 나타나, 낮은 W/C에서는 내한제의 단위첨가량 증



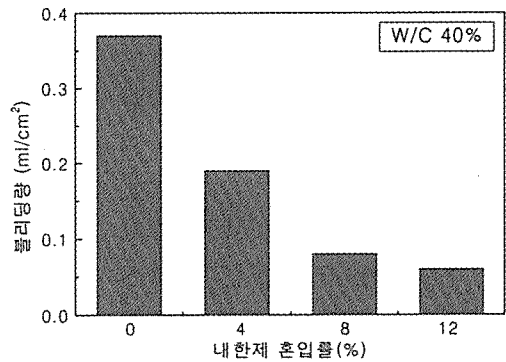
(그림 6) 내한제 혼입률 변화에 따른 염화물량 및 동결온도

가에 따른 염화물량 규정치의 초과에 대한 주의가 요망된다.

또한, 동결온도는 AFⅢ 내한제 혼입률이 증가할수록, W/C가 낮을수록 낮게 나타났는데, 플레인과 비교하여 각 W/C별 AFⅢ 내한제 혼입률이 12%일 때 최대 동결온도 저하 효과는 약  $-4^{\circ}\text{C} \sim -8^{\circ}\text{C}$  만큼 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

### (4) 블리딩량

[그림 7]은 W/C 40%인 경우만을 대상으로 실시한 내한제 혼입률 변화에 따른 블리딩량 측정결과를 나타낸 것이다. 블리딩은 AFⅢ 내한제 혼입률이 증가할수록 크게 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 내한제의 점성증대 효과에 기인한 것으로, 플레인과 비교하여 AFⅢ 내한제 혼입률 12%일 때 약 6배 정도의 블리딩 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

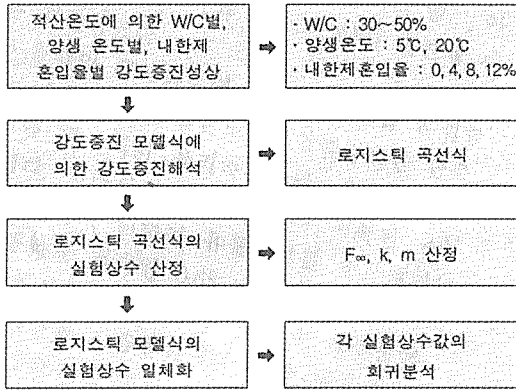


(그림 7) 내한제 혼입률 변화에 따른 블리딩량

### 4.3.2 경화 콘크리트의 특성

#### (1) 로지스틱 모델 실험상수의 산정

본 연구에서 적용한 적산 온도식은 현행 KASS-5에 규정되어 있는 식 (a)을, 강도증진 해석을 위한 해석모델식은 鎌田에 의한 식 (b)의 로지스틱 모델식을 적용하였다.<sup>3)5)</sup>



(그림 8) 로지스틱 곡선식에 의한 강도증진해석절차

$$M = \sum_{i=0}^n (\theta_i + 10) \Delta t \dots\dots\dots (a)$$

여기서,

$\theta_i$  :  $\Delta t$  시간중의 콘크리트온도(°C)

$\Delta t$  : 시간 (일)

$$F_c = \frac{F_\infty}{1 + \exp(-k \cdot \log M + m)} \dots\dots\dots (b)$$

여기서,

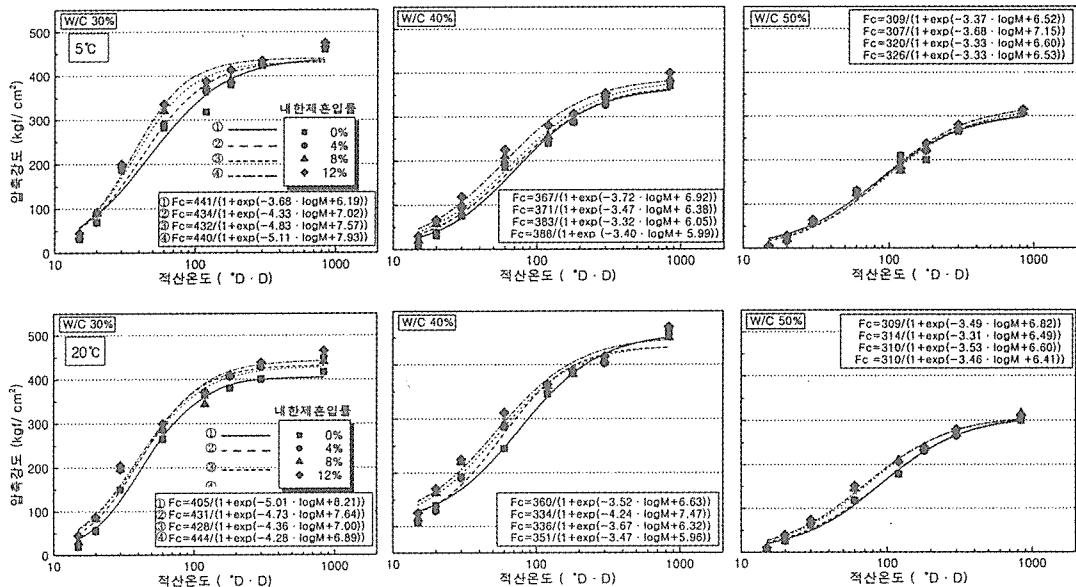
$F_\infty$  : 최종도달강도(kgf/cm<sup>2</sup>)

k, m : 실험상수

(2) 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

(그림 9)는 로지스틱 모델식을 이용하여 내한제 혼입률 및 양생온도별 적산온도에 따른 압축강도를 W/C별로 구분하여 나타낸 것이다. 전반적으로 해석치와 실험치간에 결정계수 0.97이상, 표준편차 26kgf/cm<sup>2</sup> 이하의 양호한 상관성을 나타내고 있었다.

먼저, 5°C 및 20°C 양생조건에서 공회 AFⅢ 내한제 혼입률 및 W/C별 적산온도에 따른 압축강도는 전반적으로 비슷한 증진 경향으로 나타났다. 하지만, 대부분 W/C에서 초기 및 후기 적산온도에서 AFⅢ 내한제를 혼입한 경우가 플레인과 비교하여 강도증진이 크게 나



(그림 9) 적산온도에 따른 압축강도

타났다. 이는 AFⅢ 내한제가 초기 적산온도에서 콘크리트의 응결과 강도증진을 촉진시켰기 때문이라고 사료된다.

## 5. 결론

폐부동액, 물, 아질산염과 유동화제를 이용한 한중콘크리트용 내한제를 개발하고, 그 특성에 대하여 분석한 실험 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 폐부동액에 대한 분말상 아질산염의 적정 용해도를 결정하기 위한 실험결과 40%에서 포화 되었고, 폐부동액 및 분말상 아질산염의 적정 사용량을 고려할 경우, 폐부동액 : 물 : 아질산염 = 1 : 1.5 : 1의 비율로 AFⅡ 내한제 제조를 결정하였다.

2) 플레인 콘크리트에 AFⅡ 내한제를 혼입할 경우 응결시간, 동결온도 및 압축강도는 단축, 저하 및 증진되어 유리하였지만, 유동성은 저하하였다. 따라서 AFⅡ 내한제의 저하된 유동성을 개선하기 위하여 유동화제를 첨가하였는데, 유동화제 첨가량 0.6%에서 플레인 콘크리트의 유동성을 회복하였다. 따라서, 폐부동액 : 물 : 아질산염 : 유동화제의 혼합 비율은 1 : 1.5 : 1 : 0.26으로 하여 새로운 AFⅢ 내한제를 개발할 수 있었다.

3) AFⅢ 내한제의 특성으로 W/C별 내한제 혼입률 변화에 따른 슬럼프 및 공기량은 플레인과 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. (단, W/C 30%에서는 AFⅢ 내한제 혼입률이 증가할수록 유동성이 크게 저하하였음) 응결 시간은 전반적으로 빠르게 나타났다. 동결온도는 W/C가 낮을수록, AFⅢ 내한제 혼입률이 증가할수록 낮아지는 것으로 나타났는데, 이는 한중콘크리트 공사시 초기동해 방지 및 초기강도 발현에 유효할 것으로 기대된다. 또한, 내한제 혼입률 증가에 따른 압축강

도는 플레인보다 높은 강도증진을 발휘하였다.

4) 이상을 종합하여 볼 때, 폐부동액, 물, 아질산염 및 유동화제를 복합하여 제조한 AFⅢ 내한제는 동결온도 저하, 응결시간 촉진 뿐만 아니라 초기 및 후기의 압축강도 증진도 양호하여 내구성 등 장기성상이 검증된다면 우수한 제품의 내한제 개발이 가능 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 浜幸雄 ; 耐寒促進劑による寒中コンクリート施工指針に関する研究北海道大學, 博士學位論文, 1998.
2. 한천구, 홍상희, 김상우 ; 부동액을 이용한 시멘트 모르타르의 동결온도 및 물리적 특성, 대한건축학회 논문집, Vol 17, No 9, pp. 149~154, 2001, 9
3. 한천구, 한민철 ; 적산온도방식의 콘크리트 강도증진 해석에 의한 기온보정강도의 검토, 대한건축학회 논문집, Vol 1, No. 11, pp 71~78, 1999, 11
4. 이진철, 동결된 혼화제의 사용에 따른 콘크리트의 품질변화에 관한 실험적 연구, 청주대학교 대학원 석사학위논문, 1997. 12.
5. 대한건축학회 ; 건축공사표준시방서, 1997
6. 浜幸雄 ; 耐寒促進劑による寒中コンクリート施工指針に関する研究, 北海道大學, 博士學位論文, 1998
7. 日本土木學會 ; 콘크리트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. 堺孝司 ; 土木分野における耐寒劑の利用-耐寒劑を用いる寒中コンクリートの施工指針(案), 寒中コンクリート技術講習會資料集, 日本コンクリート工學協會北海道支部, 1996, pp.

42~52

10. 鮎田耕一, 櫻井宏, 日下陽一郎: 耐寒劑使用  
콘크리트의低溫域での強度發現性狀, 세  
멘트·콘크리트論文集, 第 49號, 1995,  
pp. 210~215

11. 日本建築學會; 建築工事標準示方書·同解説  
(JASS-5, 鐵筋콘크리트工事), 1997.

12. 洪悅郎; 初期凍害に對するAE콘크리트  
などの效果, 세멘트技術年報, 第 12號,  
1958.

