

내한제 및 단열거푸집에 의한 한중콘크리트 시공의 효율화에 관한 기초적 연구 (슬래브를 중심으로)

A Fundamental Study on the Effectiveness of Cold Weather Concreting Using Anti-freeze Agent and Insulating Form (Focused on the Slab)

김 경 민* 원 철** 홍 상 희** 김 기 철*** 오 선 교*** 한 천 구***
Kim, Kyoung Min Won, Cheol Hong, Sang Hee Kim, Gi Cheol Oh, Sun Kyo Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This paper investigates insulating effects and strength properties of concrete under cold climate carrying out the experiment with insulating forms on the slab member. According to test results, under -10°C of outer temperature, the surface of concrete exposed to outer temperature goes below zero after 10hours since exposed. And, the surface of concrete covered with vinyl and blanket goes below zero after 42hours. However, the surface of concrete covered with insulating materials such as polystyrene foam does not drop below zero until 55hours. And, according to coring sample strength test, compressive strength cured with insulation shows much higher strength than no insulation curing condition and vinyl and blanket curing condition.

1. 서 론

최근의 초고층 건물 등과 같은 현대 건축물인 경우는 건설공기의 중요성이 강조됨에 따라 연중시공이 필수적으로서 한중콘크리트의 필요성이 부각되고 있다. 그런데, 우리나라의 한중콘크리트 공사에서는 보온양생, 배합계획시의 강도보정의 고려 등 추가적인 조치를 강구해야 하지만, 이는 공사비 증가 및 시공관리의 소홀로 인한 동해 등 콘크리트의 품질저하가 문제시되고 있어 대체적으로 한중 콘크리트 시공을 피하려는 경향이 있다.

그러나, 선진 외국의 경우는 가열보온 양생이나 단열보온 양생을 실시하므로써 소요강도를 발휘하는 방법이 연구되고 있는데, 우리나라의 경우도 한중시공의 활성화를 위해서는 이러한 방법의 채택을 신중히 고려할 필요성이 제기되고 있다. 따라서 한중콘크리트 공사시 가장 효율적일 것으로 사료되는 단열양생에 관한 연구로써 선행 실험에서 단열거푸집 (PP+스티로폴+합판)을 개발¹⁾하였고, 내한제와 단열거푸집을 병용하여 벽체를 가정한 모의부재 실험을 통하여 콘크리트에 미치는 단열거푸집의 효율성을 검토²⁾한바 있다.

그러므로 본 연구에서는 선행연구에 대한 일련의 실험으로써 슬래브에 대한 단열거푸집의 적용성 실험을 통하여 한중 환경하에서의 콘크리트에 미치는 단열효과 및 강도증진 특성 등을 분석하므로써 한중콘크리트의 효율적인 시공 방안을 제안하고자 한다.

* 정회원, 청주대학교 건축공학부 석사과정

** 정회원, 청주대학교 건축공학부 박사과정

*** 정회원, (주)선엔지니어링 종합건축사사무소

**** 정회원, 청주대학교 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 단열거푸집에 부어넣는 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 실험요인으로 하부거푸집은 종전 연구에서 개발한 단열거푸집 (PP판 5mm + 스티로폴 10mm + 합판 7.5mm)으로 고정된 후 상부 단열방법을 8종류로 변화시켰다. 이 때, 콘크리트는 W/C 40%에 목표 슬럼프 15±1cm, 공기량은 4.5±1%로 하였다.

실험사항으로는 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프 및 공기량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 적산온도별 압축강도, 거푸집별 온도이력과 7일, 28일 코어 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로써, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔·굵은 골재는 충북 청원군 옥산산 강모래와 20mm 부순 굵은골재를 사용하였으며, 혼화제는 나프탈렌계 AE감수제를 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 표 3~5와 같다. 슬래브 하부 단열거푸집에 사용한 단열재는 국내에서 시판되는 것으로, 표 6의 재료를 이용하여 그림 1과 같이 제작하였으며 슬래브 상부 양생시 사용한 스티로폴은 표 6, 비닐막 및 양생포는 일반적으로 시중에서 판매되는 것을 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 혼합하였으며, 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량 시험은 KS F 2421, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법으로 측정하였다. 동결온도는 ø10×20cm 원주형 공시체의 중앙에 온도 측정용 열전대(T-type)를 매입한 후 냉동고에 넣어 Data logger로 온도를 측정하여 구하였고, 염화물 측정은 염분농도

표 1 실험계획

실험요인		실험사항	
실 험 요 인	W/C(%)	1	40
	목표 슬럼프(cm)	1	15±1
	목표 공기량(%)	1	4.5±1.5
	내한제*(C×%)	1	8
실험 사 항	상부 단열방법 종류**	8	· I: 노출 · II: 비닐+양생포 · III: 비닐+스티로폴(50mm)+비닐막 · IV: 비닐+스티로폴(100mm)+비닐막 · V: 스티로폴(100mm)+비닐막 · VI: 비닐+스티로폴(50mm)+양생포 · VII: 비닐+스티로폴(100mm)+양생포 · VIII: 스티로폴(100mm)+양생포
	굳지않은 콘크리트	6	슬럼프, 공기량, 단위용적중량, 응결시간, 동결온도측정, 염화물측정
	경화 콘크리트	3	적산온도별 압축강도 (20, 30, 60, 120, 180, 300, 840 °D·D), 온도이력, 코어 압축강도 (7, 28일)

* 페부동액+물+아질산염+유동화제로서 선행연구³⁾에서 개발된 것

** 하부 단열거푸집 고정

표 2 콘크리트의 배합표

W/C (%)	W (kg/m ³)	S/A (%)	AE 감수제 /C(%)	용적배합 (l/m ³)			중량배합 (kg/m ³)		
				C	S	G	C	S	G
40	185	44	0.45	147	274	349	463	713	928

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)	입형판정 실적율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.6	1.94	1,598	61.0	2.06
굵은골재	2.66	0.84	1,531	56.5	-

표 5 혼화제의 물리적 성질

종류	색상 및 형태	이온성	고형분	비중 (20°C)	점도 (cp)	표준사용량 (C×%)
AE 감수제	암갈색 액상	음이온성	33%	1.15	25	0.1~1.5

계 AG-100을 이용하여 카다로그의 실험방법에 따라 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 규정에 따라 실시하였다.

단열거푸집 종류에 따른 시험체는 그림 2 및 3에 나타난 것처럼, 일반적인 건물 슬래브 두께가 12cm인 것으로 가정하여 30×30

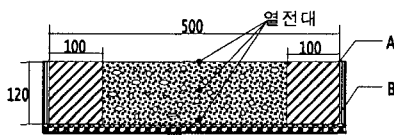
표 6 단열거푸집용 재료의 물리적 성질

용도	종류	두께 (mm)	열전도율 (Kcal/mh℃)	비중
단열거푸집	PP	5	0.03	1
	스티로폴	10	0.031	0.02
	합판	7.5	0.15	0.65



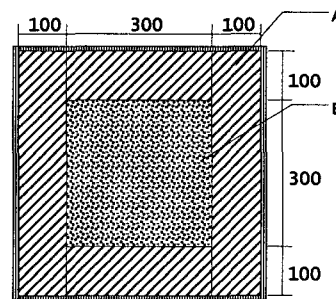
A : 표면판 B : 단열재 C : 합판

그림 1 단열거푸집 단열재 구성



A : 스티로폴 B : 단열거푸집

그림 2 모의부재 단면도 및 열전대 위치



A : 스티로폴 B : 단열거푸집

그림 3 모의부재 평면도

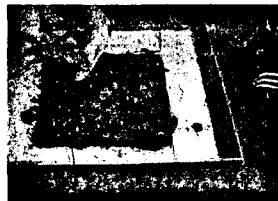


사진 1 단열 거푸집 제작

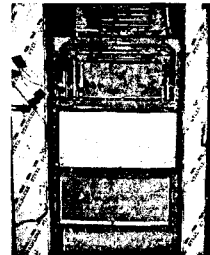


사진 2 열전대 매입 모습



사진 3 항온조 양생모습



사진 4 코어채취 모습

×12cm로 시험체를 제작하였다. 또한 측면은 슬래브가 연속된다고 가정하여 T=120mm의 스티로폴로 밀봉하였다.

양생조건은 우리나라 겨울철의 열악한 시공 조건을 고려하여 -10℃의 항온조에서 7일동안 양생하였는데, 이 때 상부는 8종류의 변수를 두어 양생하였고, 양생 완료 후 코어를 채취하여 양쪽면을 연마한 후 길이를 보정하여 7일 압축강도를 측정하였다. 그 이후 시험체는 20℃에서 표준양생 한 후 28일째 코어를 채취하여 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

양생 종류별 내부 온도이력은 시험체의 표면, 중심부 및 하부에 온도 측정용 열전대 (T-type)를 매입한 후 Data logger로 10분 간격으로 온도를 기록하여 양생중의 콘크리트 내부 온도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

슬럼프 및 공기량은 실험 계획한 15±1cm와 4.5±1%의 범위를 모두 만족하는 것으로 나타났는데, 굳지않은 콘크리트의 실험결과는 표 7과 같다.

표 7 굳지않은 콘크리트의 실험결과

구 분	슬럼프 (cm)	슬럼프플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)	염화물량 (kg/m ³)	동결온도 (°C)	응결시간 (h)	
							초결	종결
실험값	16	28 / 28.5	4.7	2326	0.068	-4.7	8	11.5

3.2 경화 콘크리트의 특성

(1) 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

그림 4는 로지스틱 모델식을 이용하여 강도증진 해석을 실시한 것이다. 전반적으로 해석치와 실험치간에 결정계수 0.95이상, 표준편차 20kgf/cm² 이하의 양호한 상관성을 나타내고 있었다. 표 7은 상기의 해석 결과치의 상수값을 나타낸 것이다.

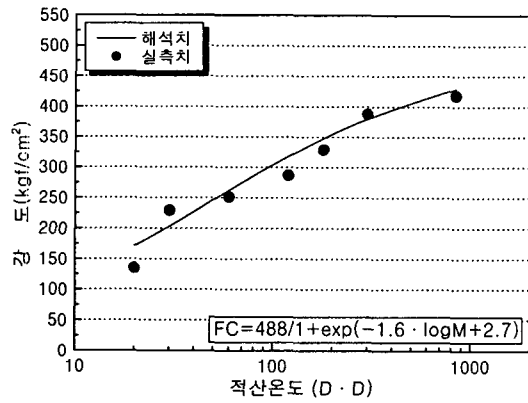


그림 4 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

표 7 회귀분석을 통한 로지스틱 모델의 실험상수

W/C (%)	내한계 혼입물(%)	실험 상수	상수값	결정 계수	표준 편차
40	8	F _∞	488	0.951	20.23
		k	1.6		
		m	2.7		

(2) 온도이력

그림 5 및 6은 상부 단열방법 종류별 시간 경과에 따른 표면, 중심부 및 하부의 콘크리트 온도이력을 나타낸 것이다. 먼저, I (노출)의 경우는 시간이 경과함에 따라 콘크리트 내·외부 온도가 급격히 저하하였는데, 콘크리트 타설 후 약 10시간 이후부터 0°C 이하로 저하하였다. 따라서, 노출시킨 경우는 초기 24시간 이전에 급격한 온도저하에 의해 0°C 이하로 지속되어 초

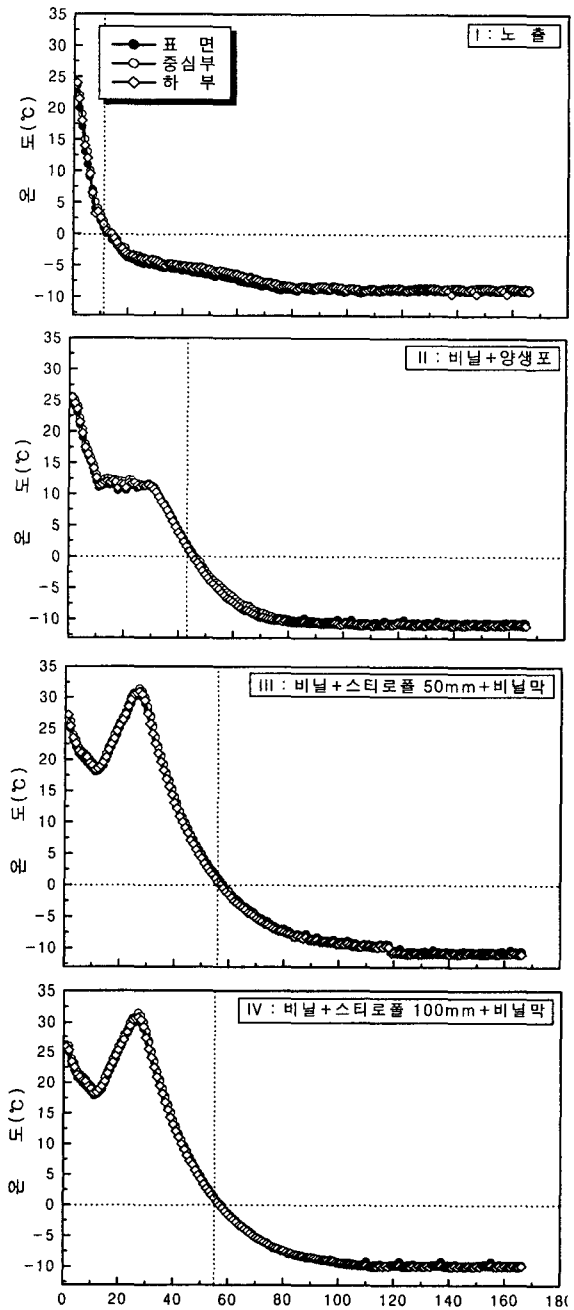


그림 5 양생종류별 온도이력 (I~IV)

기동해 피해가 발생하였을 것으로 사료된다.

다음으로 II (비닐+양생포)의 경우는 콘크리트 내·외부 온도가 10시간 이후부터 온도가 저하하지 않고 약 30시간까지 약 12℃의 일정한 온도를 유지하다가 그 이후 급격히 저하하여 약 40시간 이후부터 영하로 저하하였다. 이는 시멘트의 수화열에 의하여 온도가 저하하지 않고 온도를 유지한 것으로 분석된다. 당연한 결과이지만 노출시킨 경우와 비교하였을 때 우수한 단열 효과가 있음을 알 수 있었다.

또한 III, IV, VI, VII인 비닐 + 스티로폴(50mm, 100mm) + 비닐막의 경우와 비닐 + 스티로폴(50mm, 100mm) + 양생포의 경우는 약 55시간 이후부터 0℃ 이하로 저하하는 비슷한 경향을 나타내었는데, 양생시 단열재를 사용하는 경우가 단열재를 사용하지 않은 II의 경우보다 약 13시간 정도 0℃ 도달시간이 늦어져 단열성능이 우수하다는 것을 알 수 있다.

또한, 양생시 비닐을 깔지 않은 V와 VIII의 경우에는 단열재를 사용하지 않은 경우보다는 단열성능이 우수한 것으로 나타났으나 비닐을 사용한 경우보다는 단열성능이 저하하는 것으로 나타났다.

즉, 양생방법은 VII, VI, III, IV, VIII, V, II, I 순으로 단열성능이 우수한 것으로 나타났는데, 이는 양생종류별 단열성능을 평가할 수 있는 것으로서 비닐막 보다 양생포, 비닐을 깔지 않은 경우보다 비닐을 사용한 경우가 열전도율이 작음에 기인하여 우수한 결과로 분석되었다.

(3) 코어 압축강도

그림 7은 슬래브 상부면 양생 방법 종류에 따른 7일 및 28일 코어 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저 7일 코어 압축강도에서 노출시킨 경우 다른 단열 양생한 경우와 비교하여 크게 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 초기 24시간 이전에 적산온도 저하 및 콘크리트가 초기동해를 입었기 때문이라고 분석된다. II (비닐+양생포)의 경우는 노출시킨 경우와 비교 하였을 때 양호한 압축강도를 나타내었지만 단열재를 사용한 양생과 비교해 볼 때 강도가 낮게 나타났다. 그 외에 단열재를 사용한 양생의 경우는 초기 응결축진으로 인해 적산온도 증가로 I 및 II의 경우보다 강도가 크게 나타난 것으로 사료된다.

또한, 단열 양생 중에서도 V, VIII 보다 III, IV, VI, VII의 강도가 다소 크게 나타났는데, 이는 양생재

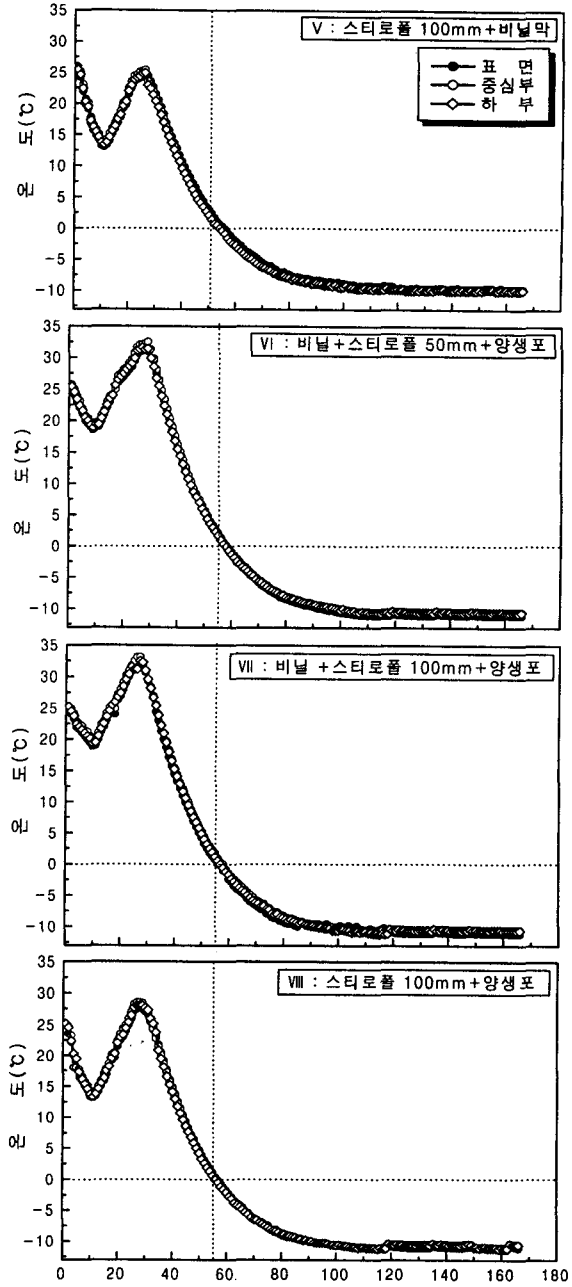


그림 6 양생종류별 온도이력 (V~VIII)

료중 비닐 유무의 열전도율 차이에 의한 것으로 분석된다.

28일 코어 압축강도에서도 I의 경우 단열 양생한 경우와 비교하여 압축강도가 가장 작은 것으로 나타났는데, 이는 적산온도 저하 및 초기 동해로 인한 강도증진 저하에 의한 것으로 분석된다.

그림 8은 로지스틱 모델에 의한 해석치와 코어 압축강도 측정치를 비교한 것으로서 단열재를 사용한 양생의 경우는 해석치와 유사한 값을 보이고 있으나, 노출시킨 경우는 해석치 보다 낮은 강도를 나타내었다.

4. 결 론

1) 하부 단열거푸집에 내한제를 8% 혼입한 콘크리트 표면의 양생방법을 달리한 슬래브 콘크리트에서 노출 및 비닐+양생포로 양생한 경우보다 단열재를 사용하여 양생한 경우가 빠른 압축강도 및 큰 압축강도 증진을 나타내었다.

2) 양생방법 종류별 콘크리트의 내·외부 온도이력을 측정된 결과, 노출시킨 콘크리트의 경우 약 10시간 이후부터 영하로 저하하였고, 비닐+양생포의 경우 약 42시간 이 후부터 영하로 저하하였다. 반면, 단열재를 사용한 양생의 경우에는 약 55시간 이후부터 영하로 저하하여 노출이나 일반적으로 많이 사용되는 비닐+양생포와 비교하여 우수한 단열효과임이 밝혀졌다.

3) 양생방법 종류에 따른 콘크리트의 7일 및 28일 코어 압축강도를 측정된 결과, 노출 및 비닐+양생포를 사용한 경우보다 단열재를 이용하여 양생 하였을 때 강도증진이 크게 나타났다.

이상을 종합해 보면 양생방법 종류중 가장 적합한 방법은 단열성능과 경제적인 측면에까지 고려한 VI (비닐+스티로폴 50mm+양생포)가 가장 적합한 것으로 분석되었다.

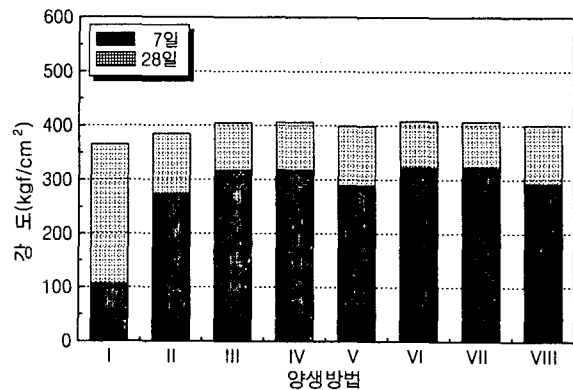


그림 7 양생 종류별 7일, 28일 코어 압축강도 비교

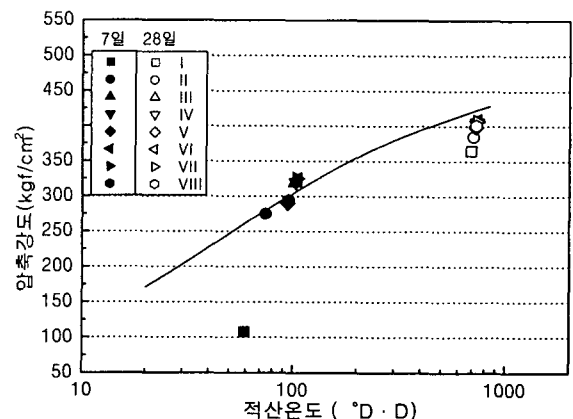


그림 8 로지스틱 모델에 의한 해석치와 코어 압축강도 측정치 비교

참고문헌

1. 김경민, 원 철, 이한주, 오선교, 한천구 ; 한중콘크리트용 단열거푸집의 개발에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제21권 제1호, 2001
2. 김경민, 원 철, 김기철, 오선교, 한천구 ; 내한제 및 단열거푸집에 의한 한중콘크리트 시공의 효율화에 관한 기초적 연구, 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol 13, No 1, 2001
3. 김경민, 원 철, 김기철, 오선교, 한천구 ; 한중콘크리트에 있어서 폐부동액을 이용한 내한제의 효율성에 관한 기초적 연구, 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol 13, No 1, 2001
4. 韓國建設技術研究院 ; 寒中 및 暑中콘크리트에 관한 研究, 1986
5. 日本建築學會 ; 寒中ンクリト施工指針・同解説, 1998