

선박용 제빙장치의 개발을 위한 해수동결거동에 관한 연구

최영규⁺ · 김정식⁺ · 김경근⁺⁺ · 오철⁺⁺

A study on sea-water freezing behavior for ice maker for fishing boat

Young-Gyu Choi⁺ · Jung-Sik Kim⁺ · Kyung-Kun Kim⁺⁺ · Cheol Oh⁺⁺

Abstract : According to change of flow around a circular tube for freezing, measured a variety of salinity of frozen layer. This study was experimentally performed to investigate freezing behavior of sea water along a vertical cooled a circular tube with bubbly flow. The experiments were carried out for a variety of parameter, such as air-bubble method, cooled -tube temperature and air-flow rate. It was found that the experimental parameters gave a great influence on the freezing rate and the salinity of the frozen layer.

Keywords : Air bubble method(공기유동방법), Freezing behavior(동결거동), Freezing rate(동결속도), Salinity(염분), Sea water(해수)

1. 서 론

우리나라는 삼면이 바다에 접한 관계로 6만척 이상의 연·근해 어선을 가지고 있지만, 냉동장치를 가지고 있는 연·근해 어선은 극히 드물다. 이는 대부분의 연·근해 어선이 30~100톤 미만의 소형 어선이 대부분이므로 이 어선 규모에 맞는 적당한 냉동장치를 설치하기가 매우 힘들다. 또한, 어선용 냉동장치는 어선이라는 특수성 때문에 기존 육상용 냉동장치에 비해 상대적으로 더 고가이기 때문에, 영세한 연·근해 어선 업계의 재무구조 특성상 냉동장치의 설치는 현실적으로 매우 어려운 실정이다. 따라서 현재 대부분의 연·근해 어선의 경우, 얼음을 어선 내 어창에 적재하고, 출항 후 조업시 어획한 어류를 미리 적재한 얼음과 함께 섞어서 어창에 저장한다. 따라서 육상용 냉동장치에 비해 상대적으로 가격이 저렴하고 좁은 공간에도 설치가 용이한 연·근해 어선용 제빙기 개발이 필요하고 또한 생성된 얼음으로 어획한 어류를 신선하게 유지할 수 있어야 한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 어선용 제빙기는 소형 어선에 설치할 수 있도록 소형화가 가능하며, 종래 제빙기가 청수를 사용하여 제빙을 하는데 반하여 해수를 이용하여 어류와 삼투압 현상을 일으키지 않는 일정 농도의 염분을 함유한 얼음을 만들어 어획한 어류의 신선도를 최적으로 유지할 수 있게 하는데 목적이 있다.

따라서 본 실험에서는 염분농도를 조절하기 위하여

공기분사방법, 공기분사량 및 냉각온도의 영향에 대하여 실험적으로 평가하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

Fig. 2.1은 실험장치의 계통도이다. 실험장치부는 크게 브라인을 순환시키기 위한 브라인 순환부와 원관 표면의 온도를 일정하게 유지하기 위한 온도 측정부, 원관내 얼음의 두께를 가시화하기 위한 가시화부, 그리고 유체 유동을 주기위해 공기를 유입하는 공기 유입부로 구성된다.

냉각면 온도의 측정을 위해 열전대(C-A Type)를 원관 양쪽에 6개를 설치하였으며, 온도기록계를 이용하여 측정하였다. 원관 표면을 냉각시키는 작동유체는 에틸렌글리콜 수용액을 사용하였고, 브라인 순환펌프로 순환시켰다. 유량은 디지털 유량계를 이용하여 일정하게 유지하였다. 또한 원관 내 유동 생성을 위한 공기는 공기 유량계를 이용하여 조절하였다. 그리고 작동유체는 농도를 각기 달리한 소금물을 사용하였으며, 정밀한 농도 측정을 위하여 디지털 염분계(ES-421)를 사용하였다.

Fig. 2.2는 시험부를 나타내며, ㉠은 공기를 유동이 없는 경우이고, ㉡는 원관 외벽에 90방향으로 4개의 Hole을 만들어 공기를 유입한 경우이다. 또한 ㉢는 원

+ 한국해양대학교 기관시스템공학과 대학원

++ 한국해양대학교 기관시스템공학부

관 내 환 모양의 고리를 만든 후 고리의 양쪽 방향에서 공기를 주입하여 45° 방향으로 8곳의 Hole에서 공기를 유입한 경우이다.

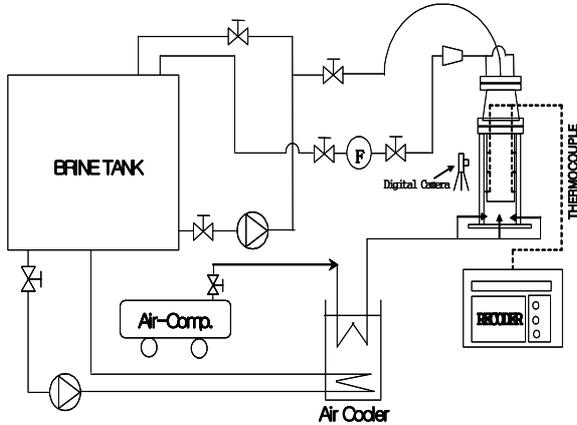
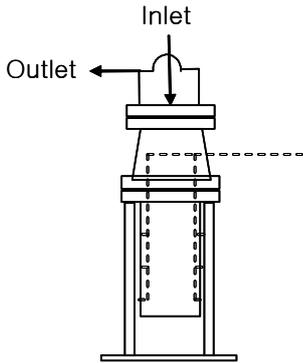
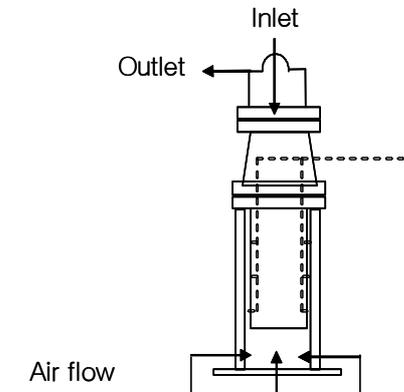


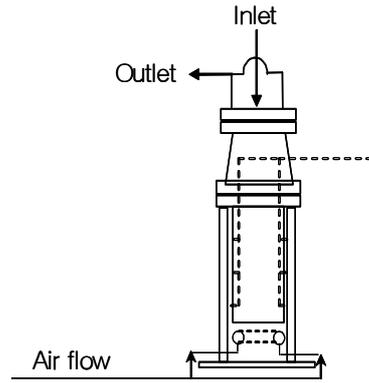
Fig. 2.1 Schematic diagram of experimental apparatus(Four way flow field)



(a) Not flow field



(b) Four way flow field



(c) A shape of ring flow field

Fig. 2.2 Types of test section

2.2 실험방법

실험은 작동유체의 온도를 5℃로 일정하게 조절한 후 브라인을 공급하는 시점을 실험시작으로 하여 2시간이 경과한 시간을 정상상태로 하였다. 공기유입의 형태는 공기를 분사하지 않는 경우, 원통벽면의 4방향에서 유입하는 경우 및 원관의 수직하면에서 환 모양으로(8방향) 공급하여 공기 분사량을 조절하는 경우의 3가지로 하였으며, 유입 공기의 유량은 원통벽면 4방향 유입에서 15l/min, 원관 수직하면의 환 모양 유입에서는 15 l/min, 30l/min으로 온도는 Air-cooler를 이용하여 5℃로 일정하게 하여 실험을 수행하였다. 또한 냉각면 온도에 따른 영향을 평가하기 위하여 냉각면 온도를 -2℃, -7℃ 및 -12℃로 변화시켜 실험을 수행하였으며, 수용액의 농도에 따른 영향을 평가하기 위하여 수용액의 농도를 1.8wt% 및 3.6wt%의 염분 수용액을 이용하였다.

표2.1에 본 실험의 실험조건을 나타내었다.

Table. 2.1 Experimental condition

유동방법	수용액농도	냉각면온도
유동이 없는 경우		
원통벽 공기 유입 15l/min (exp. No.1)	1.8wt%	-2℃
환모양 공기 유입 15l/min (exp. No.2)		-7℃
환모양에서 공기유량 증가 30l/min (exp. No.3)	3.6wt%	-12℃

3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도에 따른 영향

Fig. 3.1은 1.8wt% 농도의 염분 수용액에서 냉각면 온도를 각각 -2°C , -7°C 및 -12°C 로 변화시켰을 때 비정상상태의 동결층에 미치는 영향을 나타낸다. Fig. 3.1에서 알 수 있듯이 냉각면 온도가 낮을수록 시간의 경과에 따라 동결량이 증가함을 알 수 있고, 냉각면 온도 -2°C 의 경우 60분이 경과한 후에 동결층이 형성되는 것을 알 수 있다. 이것은 냉각초기에는 원관 주위의 수용액이 과냉각상태로 존재하다가 주위의 수용액과의 밀도차이로 과냉각상태가 해소되면서 동결층이 생성되기 때문이다.

Fig. 3.2는 Fig. 3.1과 동일한 조건에서 수용액의 농도를 3.6wt%로 하였을 경우의 실험결과를 나타낸다. 냉각면 온도 -7°C 및 -12°C 의 경우에는 시간의 경과에 따라 동결층이 점차 증가하는 것을 알 수 있으며, -2°C 의 경우에는 동결층이 형성되지 않는 것을 알 수 있다. 이것은 수용액이 과냉각 온도까지 냉각은 되지만 수용액에서 용질과 물의 분리가 일어날 정도의 과냉각 온도까지 되지 않기 때문이다.

Fig. 3.3과 Fig. 3.4에는 수용액의 농도 및 동결층의 염분농도를 각각 나타낸다.

그림에서 알 수 있듯이 냉각면 온도가 낮을수록 수용액의 염분농도는 낮아지고, 동결층의 염분농도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 냉각면 온도가 낮을수록 수용액에서 용질이 분리되는 속도보다 동결층의 동결속도가 빠르게 되어 용질이 동결층에 함유되기 되기 때문이다.

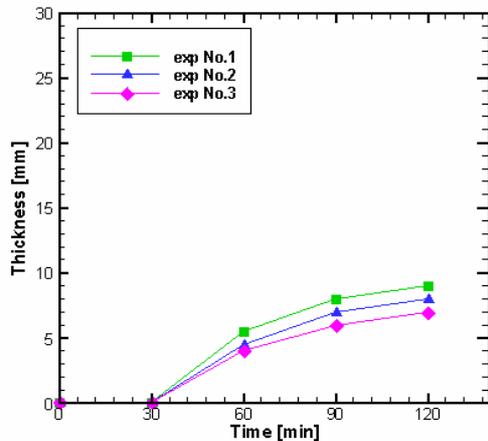


Fig. 3.5 Thickness of freezing (1.8wt% -2°C)

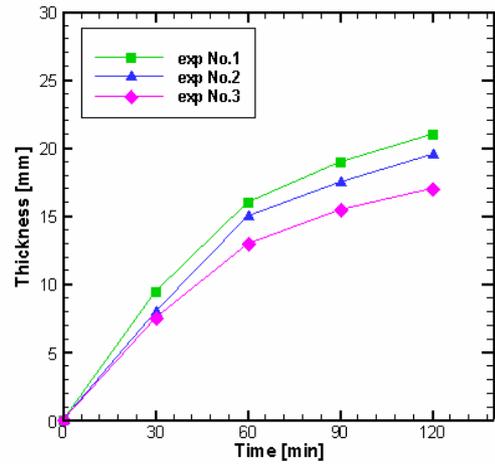


Fig. 3.6 Thickness of freezing (1.8wt% -7°C)

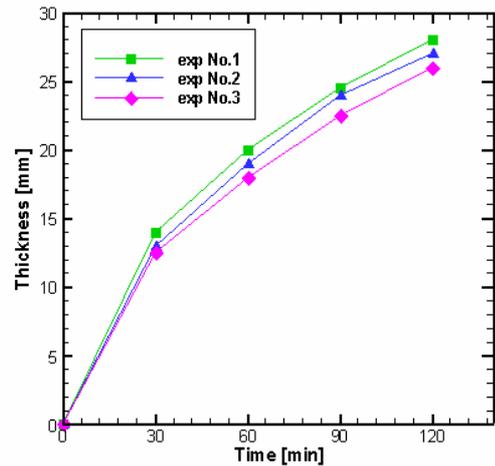


Fig. 3.7 Thickness of freezing (1.8wt% -12°C)

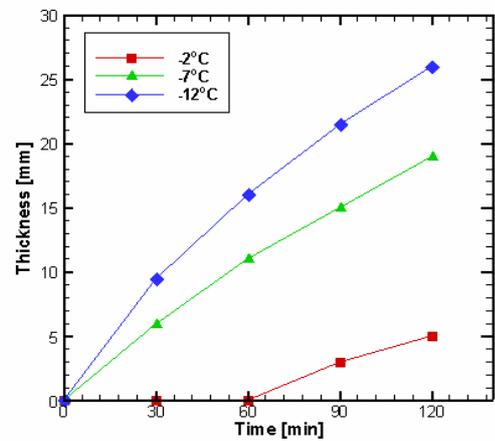


Fig. 3.1 Thickness of freezing (1.8wt%)

3.2 유동에 따른 영향

Fig. 3.5, Fig. 3.6 및 Fig. 3.7은 수용액 농도가 1.8wt%일 경우의 유동방법에 따른 동결층 두께의 증가 정도를 나타낸 것이다. Fig. 3.5에서는 30분이 경과한 후에 동결층이 형성되는데, 이것은 앞에서 설명한 바와 같이 수용액의 과냉각현상 때문이라 생각된다.

또한 냉각면 온도와 관계없이 시험부에 유동을 많이 할수록 동결층의 형성이 적어지는 것을 알 수 있다. 이것은 시험부에 유입되는 공기에 의한 유동이 동결계면과 해수의 접촉을 방해하는 절연체 역할을 하여 동결계면에서 해수로의 열전달을 방해하여 빙층의 성장이 감소하는 것으로 생각되며 또한 동결층에 유입되려는 염분을 배제하기 때문이라 생각된다.

Fig. 3.8 및 Fig. 3.9에는 Fig. 3.5 ~ Fig. 3.7과 동일한 조건에서의 정상상태에서의 동결 후 수용액의 염분농도와 동결층의 염분 농도를 각각 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 유동특성을 좋게 함에 따라서 동결층에 염분 농도가 낮아짐을 알 수 있으며, 이 결과 수용액의 농도가 증가함을 알 수 있다. 따라서 유동특성을 좋게 하면 할수록 수용액 중 염분의 분리효과가 나아짐을 알 수 있다.

Fig 3.10, Fig. 3.11 및 Fig. 3.12는 수용액 농도가 3.6wt% 일 경우의 유동방법에 따른 동결층의 성장을 시간별로 나타낸 것이다. Fig. 3.13, Fig. 3.14에는 Fig. 3.10 ~ Fig. 3.12와 동일한 조건에서의 정상상태에서의 동결 후 수용액의 염분농도와 동결층의 염분 농도를 각각 나타낸다.

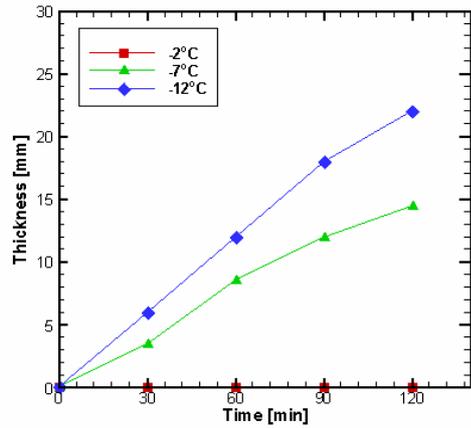


Fig. 3.2 Thickness of freezing (3.6wt%)

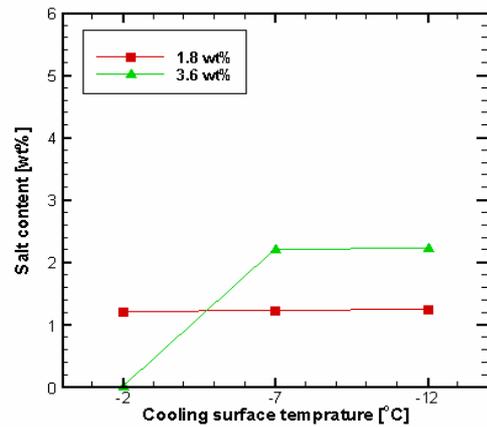


Fig. 3.4 Compared with the whole salt content of ice

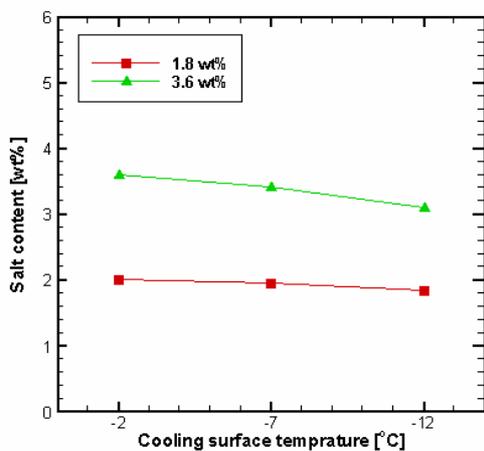


Fig. 3.3 Compared with the salt content of aqueous solution

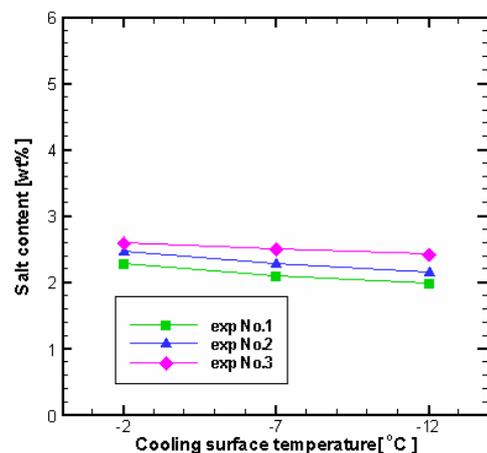


Fig 3.8 Compared with the salt content of aqueous solution (1.8wt%)

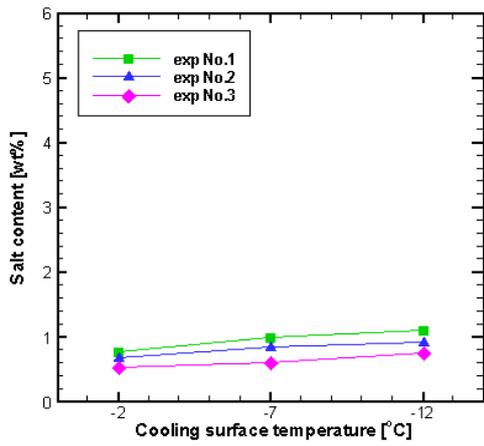


Fig. 3.9 Compared with the whole salt content of ice (1.8wt%)

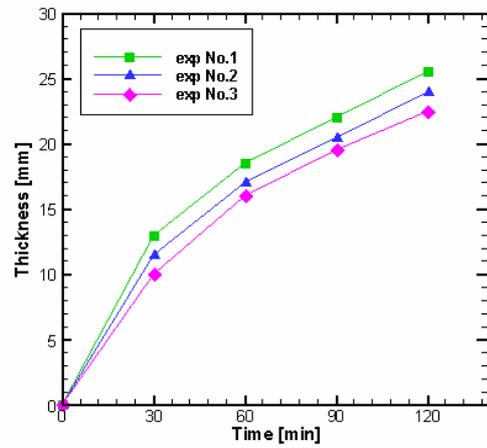


Fig. 3.12 Thickness of freezing (3.6wt%, -12°C)

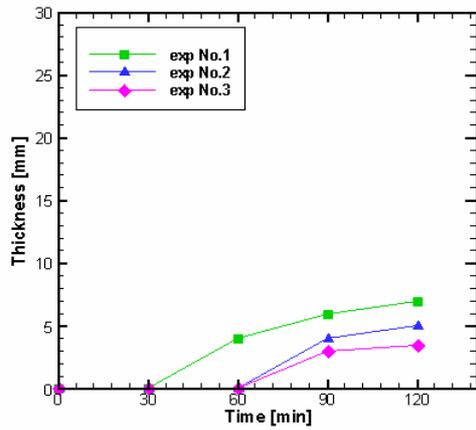


Fig. 3.10 Thickness of freezing (3.6wt% -2°C)

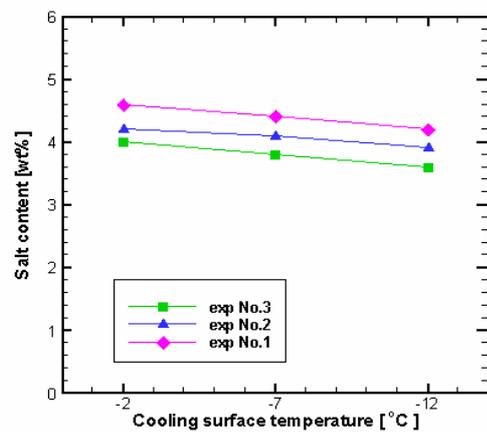


Fig. 3.13 Compared with the salt content of aqueous solution (3.6wt%)

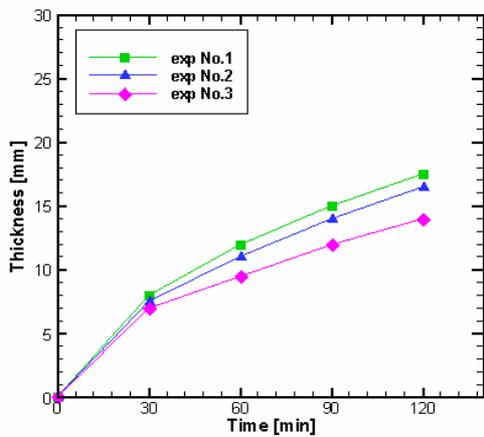


Fig. 3.11 Thickness of freezing (3.6wt%, -7°C)

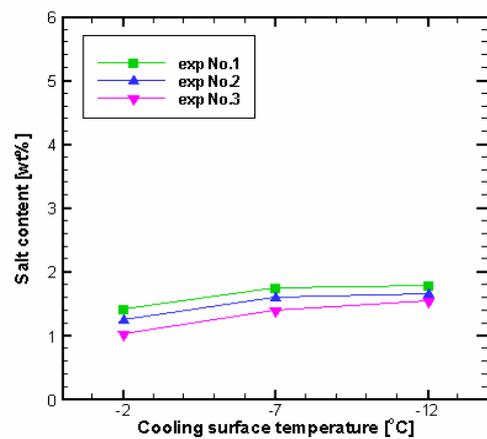


Fig. 3.14 Compared with the whole salt content of ice (3.6wt%)

이 경우에도 수용액의 농도 1.8wt%의 경우와 같은 경향을 나타내며, 동결층의 염분의 농도는 수용액의 초기농도의 영향을 받아 농도가 높게 됨을 알 수 있다.

4. 결 론

염분 수용액을 이용한 본 연구에서는 유동특성과 농도에 따른 영향 및 냉각면 온도특성에 따른 실험적 연구를 통하여 본 실험 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 냉각면 온도가 낮을수록 생성되는 동결층은 발달하나 동결층의 염분농도가 높다.
2. 수용액의 농도가 높을수록 생성되는 동결층의 두께는 얇으며, 동결층 내의 염분 함유량은 높다.
3. 유동특성이 좋을수록 동결층의 염분농도는 감소하고, 수용액의 농도는 증가한다.

참고문헌

- [1] 오철 외 2인, “기포를 동반한 유동장에서의 냉각원관 주위의 해수 동결에 관한 실험적 연구”, 한국박용기관학회지, 제25권 제4호, pp.825 ~ 831, 2001.
- [2] 오철 외 2인, “냉각원관 주위의 해수동결거동에 관한 실험적 연구”, 한국해양대학교부설 해사산업연구소 논문집, 제9집, pp.165 ~ 176, 1999.
- [3] 최부흥 외 2인, “구형 용기의 상부면 냉각에 의한 해수 동결 거동의 실험적 연구”, 한국박용기관학회 추계 학술대회 논문집, pp.23 ~ 29, 1998.
- [4] 오철, “저온환경에 있어서의 동결 현상과 그 응용”, 한국박용기관학회지 제23권 제3호, pp.275 ~ 283, 1999.
- [5] 김명준 외 2명, “구형 용기의 하부면 냉각에 의한 해수 동결 거동의 기초적 연구”, 공기조화 냉동공학회 하계 학술 발표회 논문집 제1권, pp.347 ~ 353, 1997.