

멸치가공을 위한 태양열 온수기 개발

공태우* · 지명국* · 이용훈* · 정한식** · 정효민**

A development of solar hot water system for anchovy proceeding

T.W. Kong*, M.K. Ji*, Y.H. Lee*, H.S. Chung**, H.M. Jeong**

Key Words: Numerical analysis(수치해석), Natural convection(자연대류), anchovy(멸치), Boiling vessel for anchovy proceeding(멸치가공용 자숙조)

Abstract

This study are development results of solar hot water system for anchovy proceeding. The heat amounts of boiling vessel are calculated 292.66W at forward and backward direction, and surface direction are calculated 373.14W. The polyenoic rate of anchovy are measured lower as high temperature, but monoenoic and polyacid are higher. Then the others. The maximum radiation of anchovy fishing grounds are shown 350kcal/m²h at pm. 13:00, Chungdo in CHINA. Distributions of Velocity and temperature in boiling vessel are calculation. Solar collector and boiling vessel for anchovy proceeding ship are developed to automatic control system.

기호설명

- P.1 : solar fluid feed pump
- P.2 : circulation pump
- T.1 : solar fluid reserve tank
- T.2 : hot water storage tank
- B.1 : auxiliary boiler
- V.1 : solenoid valve
- V.2 : solenoid valve

1. 서 론

현재 멸치가공선의 자숙조 내 해수 가열을 위한 열원은 보일러용 중유를 사용하고 있다. 지난 수년에 걸친 국제적 환경 규제와 협약, 유가 상승 등에 따라 기존 열원의 개선이 필요하다. 이러한 점에서 보다 환경친화적이고 경제적인 면에서의 열원이 제시되어야 할 것이며, 기존 모델의

지속적인 사용은 불가능하리라 본다. 따라서 본 연구는 위의 문제점들에 대한 새로운 방법을 제공하고자 한다. 연구에 앞서 각종 관련 자료 및 부분품에 대한 실험 그리고 관련 산업체와의 협의를 통하여 설계자료의 검토를 수행하여 태양에너지 사용의 타당성을 검증하여 왔다. 멸치 가공선에서 태양열 집열판은 가공선의 지붕에 설치하는 것으로, 이러한 조건은 일반적인 주거지의 설치환경과 같은 조건이면서도 주변의 장애물이 없는 공간이 확보된다. 그리고 멸치의 주요 어항이 남해연안으로 지리적으로 풍부한 일사량을 갖는 지역이므로 태양에너지 이용에 유리하다.

기존의 캐비티와 난류모델에 관한 선행 연구들을 응용하고^{(1)~(6)}, 수치해석 기법을 이용^{(7)~(8)}하여 본 연구를 수행하였다.

2. 연구 내용

태양열 온수기 시스템의 모델 개발을 위하여 기존 자숙시스템의 조사 및 조업현장의 해상일사량, 기상조건, 멸치가공선의 운항특성 등을 조사하고 멸치의 품질향상을 위한 식품화학적 분석,

* 경상대학교 대학원
** 경상대학교 수송기계공학과, 해양산업연구소

자숙조의 최적화를 위한 열유체 해석 프로그램의 개발을 수행하였다.

태양열 집열판의 선택에서도 인공태양을 이용한 실험과 실외실험을 병행하여 최적형상의 모델을 도출하고, 해상적용시의 내해수성 및 동적안정성을 확보하였다. 그의 자숙시스템의 열교환기, 축열조 등의 부분품을 개발하였다.

2.1 가마솥 열원과 멸치 성분 분석

실선에 설치되어 있는 가마솥은 현장에서 멸치를 자숙하는 곳으로서 현재에는 가공선의 앞부분에 설치하여 그물에서 올라오는 생멸치를 곧장 자숙하는 곳이다. 자숙조는 기관실로부터 공급되는 연료를 펌프를 통하여 버너까지 공급하고 연소용 버너에서 연소가 이루어진다. 연소가스 자숙조의 하부를 통과하면서 자숙조의 해수를 가열한다.

자숙조의 수직평판에서 자연대류가 일어나는 경우에는 열전달계수를 계산하기 위하여 Waner의 실험식을 사용하였고, 각 물성치로부터 공기와 해수의 열전달계수를 온도에 관한 함수로 표현하면 다음과 같다.

$$Nu = 0.10(GrPr)^{\frac{1}{3}}$$

- 해수의 경우

$$h = [14.538 + 0.1765T_{\infty} - 0.0002T_{\infty}^2] \times (T_w - T_{\infty})^{\frac{1}{3}}$$

- 공기의 경우 ($T_{air} \geq -23.15^{\circ}\text{C}$ 일때)

$$h = [1.2011 - 2.43 \times 10^{-3}T_{\infty} + 2.31 \times 10^{-4}T_{\infty}^2 - 5.36 \times 10^{-6}T_{\infty}^3] \times (T_w - T_{\infty})^{\frac{1}{3}}$$

따라서 총괄열전달계수 U는,

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_a} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{sw}}} = \frac{1}{\frac{1}{4.73} + \frac{L}{0.8944} + \frac{1}{73.1}}$$

$$= 2.968 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$$

정면과 후면에서의 열량은,

$$Q_1 = Q_3 = 2.968 \times (1.06 \times 0.8) \times (120 - 20)$$

$$= 251.6864 \text{ kcal/h} = 292.66 \text{ W}$$

대기와 집한 측면에서의 열량은,

$$Q_2 = 2.968 \times (1.06 \times 1.02) \times (120 - 20)$$

$$= 320.9 \text{ kcal/h} = 373.14 \text{ W}$$

다른 자숙조와 연결된 측면은 단열로 가정하고, 하부에서는 버너 연소에 의한 열량이 일정하게 들어온다고 가정하였다.

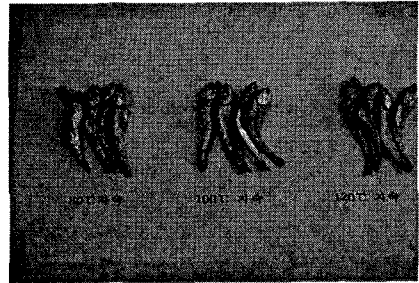


Fig. 1 Finishing goods for temperature.

Fig. 1은 멸치의 온도에 따른 자숙 완료품이다. 멸치는 품질이 좋은 자건품을 얻기 위해서 선상에서 주로 자숙처리를 하여 효소를 파괴하고 부착하여 있는 미생물을 살균하며, 단백질을 열응고시킨 후 건조장으로 운반하여 천일 건조하거나 열풍 또는 냉풍 건조를 한다.

생멸치의 경우 포화산 34.7%, 모노엔산 23.7% 및 폴리엔산이 41.6%, 천일 건조한 멸치는 포화산이 36.7%~39.8%, 모노엔산이 23.9~24.4%, 폴리엔산이 35.8~39.4%로 나타났다. 생멸치에 비해 건조한 멸치의 폴리엔산의 비율이 높았다. 아미노산은 멸치의 맛에 관여하고 있어 생멸치를 80, 100, 120 $^{\circ}\text{C}$ 로 자숙하여 천일 건조한 멸치의 아미노산 조성을 분석하였다. 멸치에 많이 함유되어 있는 아미노산으로는 단맛과 감칠맛을 가지는 alaline(3651.2~4296.5 mg%), 강한 감칠맛을 내는 glutamic acid(1162.7~1275.8 mg%)와 쓴맛을 갖는 leucine(1703.4~1835.1 mg%) 및 isoleucine(1162.7~1275.8 mg%) 등이었으며, valine(1728.6~1872.4 mg%)과 lysine(729.4~843.6 mg%)도 다량 존재하였다. 총량은 생멸치의 경우 16,563.5 mg%, 80 $^{\circ}\text{C}$ 에서 자숙한 멸치는 15,834.6 mg%, 100 $^{\circ}\text{C}$ 의 15,288.6 mg%, 120 $^{\circ}\text{C}$ 의 14,791.5 mg%로 자숙온도에 따라 아미노산 총량이 약간씩 감소하는 경향을 나타내었다.

2.2 조업 현장의 해상 일사량 평가

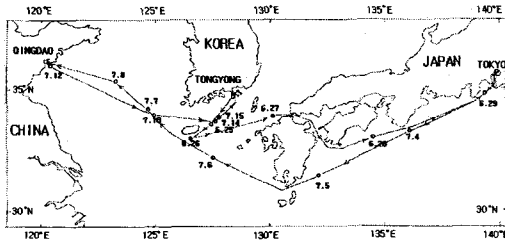


Fig. 2 Voyage map for solar radiation measurement of southern sea at KOREA.

Fig. 2는 해상 일사량 측정을 위한 항적로이다. 해상 일사량을 평가하기 위하여 경상대학교 실습선인 새바다호를 이용하여 국내 조업현장과 일본과 중국해역의 일사량을 조사 분석하였다. 일사량 값은 해수온도의 변화보다 청명도에 더욱 큰 영향을 가지고 있으며, 본 실험기간 중의 최대일사량은 중국 청도해상으로서 13시 기준으로 약 $750 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ 의 일사량 값이 나타났다. 이때의 해수온도는 약 25°C 였다.

2.3 가마솥 내의 열유체 해석 프로그램 개발

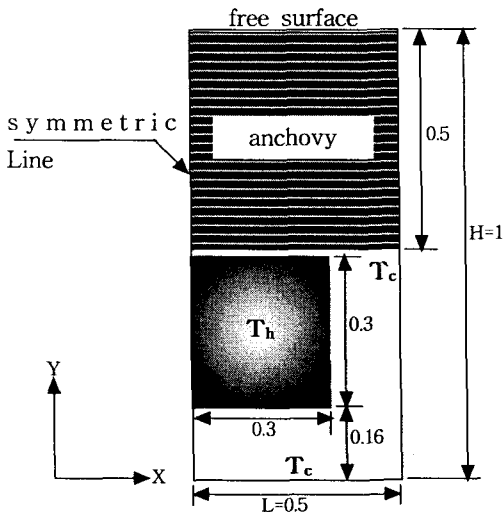
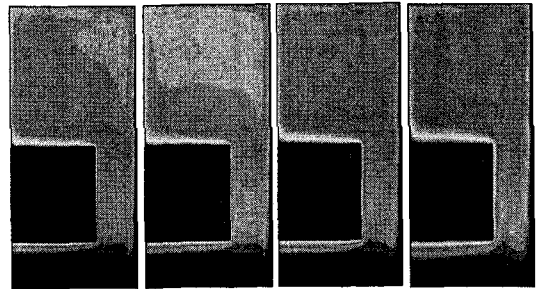


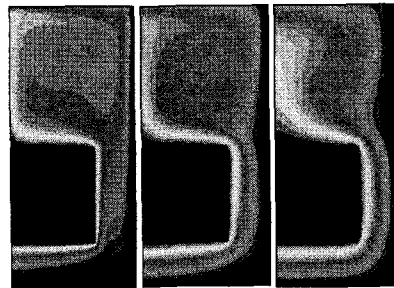
Fig. 3 Schematic of numerical analysis.

수치해석을 통하여 에너지의 소비는 낮추면서 뛰어난 자숙의 효과를 얻고자 수치해석 프로그램을 개발하였다. 수치해석의 방법으로는 타당성이 검증된 저 레이놀즈수모델을 사용하였으며, 실제

의 자숙조를 기하학적 상사한 모델을 사용하였다. Fig. 3은 수치해석을 위한 모델의 개략도이다. 해석모델의 길이는 모두 $H=1$ 을 기준으로 한 무차원 길이의 비이다. 무차원 길이가 $L \times H=0.5 \times 1$ 의 장방형의 모델이며, 무차원 길이가 가로 \times 세로 $=0.3 \times 0.3$ 의 가열원이 사각공간의 내부에 위치한다. 대칭선을 중심으로 절반의 영역만을 수치해석을 행하였다. 경계조건으로 하부벽면과 우측벽면은 일정한 온도로 냉각되고 있으며, 좌측의 벽면은 단열면을 취하여 대칭성을 향상시켰다. 그리고 가열원은 일정한 온도로 가열되고 있다. 격자계에서는 가열원의 주위와 벽면의 주위에서는 물리적 현상을 자세하게 관찰하고자 조밀한 간격의 격자를 사용하였다. 또한 수직 방향으로 0.5의 깊이로 멀치발이 들어가는 영역이 되며 이 영역에서의 물리적 현상을 관찰하였다. 하지만 원래의 자숙조의 내부에는 소금물이 들어가 있지만 수치해석 프로그램에서는 물로 계산 하였다.

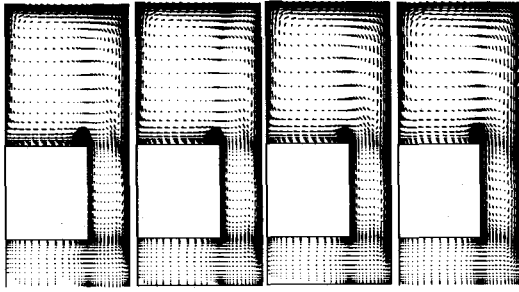


$Ra=4.0 \times 10^{10}$ $Ra=2.1 \times 10^{10}$ $Ra=8.6 \times 10^9$ $Ra=2.6 \times 10^9$

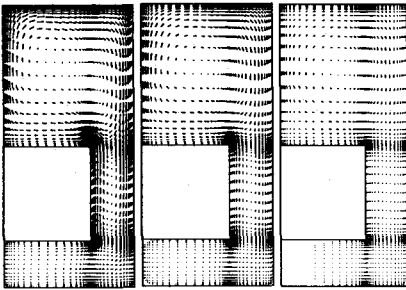


$Ra=3.21 \times 10^8$ $Ra=4.0 \times 10^7$

Fig. 4 Distributions of isotherms for various Rayleigh number.



Ra. = 4.0×10^{10} Ra. = 2.1×10^{10} Ra. = 8.6×10^9 Ra. = 2.6×10^9



Ra. = 3.21×10^8 Ra. = 4.0×10^7

Fig. 5 Distributions of velocity vectors for various Rayleigh number.

Fig. 4는 Rayleigh수의 변화에 따른 등온선의 분포를 도시한 그림이다. Rayleigh수가 커질수록 등온선의 분포가 가열원으로부터 상부쪽으로 고른 등온선 분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 이것은 무차원 길이의 비가 증가할수록 자연대류의 공간이 확대되므로 열전달이 더욱더 촉진된 결과이다. Rayleigh수가 커질때와는 반대의 현상을 보이고 있으며, 가열원으로부터의 열전달이 둔화됨으로 왼쪽벽면과 오른쪽벽면의 등온선의 분포가 왼쪽벽면으로 치우치고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 Rayleigh수의 변화에 따른 속도벡터를 도시한 그림이다. Rayleigh수가 큰 경우에는 가열원의 벽면의 근처에서 속도벡터가 크고 밀집하는 현상을 볼 수가 있다. 따라서 Rayleigh수가 작은 경우보다는 큰 경우가 더욱더 열전달이 촉진됨을 알 수가 있다. 만약에 자속조의 경우에 가열원의 위치가 일정하다면 Rayleigh수를 증가

시키면 더욱더 열전달이 촉진되어 동일조건에서도 효율이 높은 작업을 할 수 있게 될 것이다.

2.4 집열판 모델 개발

Fig. 6은 태양열집열판의 실외 실험 장치의 사진으로서, 다양한 모델의 집열판을 동일한 조건 하에서 실험하여 집열판 사양을 도출하였다. 멀리 가공선에 장착하는 경우이므로 강제 순환 시스템을 채택하였다.

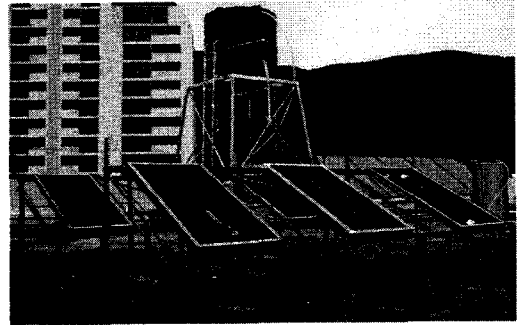


Fig. 6 Photograph of the test apparatus.

집열판이 4개인 경우 $\theta = 30^\circ$ 인 경우에는 집열판 표면 온도가 최고 약 45°C 정도로서 낮은 온도 분포를 보이고 있으며 경사각도가 증가함에 따라 높은 온도 분포를 보여 주고 있다. 이는 집열판내에 가열된 유체가 가열되므로 인하여 수직상 방향으로 이동하려는 대류 현상 때문이다. 집열판이 6개인 경우에는 $\theta = 30^\circ$ 인 집열판이 4개인 경우와 거의 유사한 온도 분포를 보여주고 있으나, $\theta = 60^\circ$ 인 경우에는 집열판의 표면 온도가 최고 약 1000°C 까지 나타나서 집열판 4개인 경우에 비하여 약 10%의 높은 온도 분포를 보여주고 있다. 이들은 일사량을 받는 표면적이 확대 됨과 집열판과 집열판 사이의 간섭 현상으로 높은 온도 분포를 유지시켜 준 결과이다.

2.5 열교환기와 축열조

Fig. 7은 열교환기의 시작품이다. 자속시스템에 적용한 열교환기는 평행류식 이중관 열교환기를 채택하였다. 유입 가온수의 온도가 40, 60, 80, 100°C 일 경우에 대하여 성능선도에서 유입가온도가 낮으면 유량에 대한 수돗물의 온도 상승 변화는 대체로 큰 변화는 없다. 그러나 유입 가온수의 온도가 상승할수록 유량의 영향이 크게 나타났다. 또한 가온수의 온도가 상승할수록 유량의 영

향이 크게 나타났다. 또한 가온수의 유량이 많고 냉수의 유량이 작은 영역에서는 냉수의 온도 상승이 크게 이루어지며, 이 영역에서는 가온수의 온도변화에 크게 영향을 받는다.

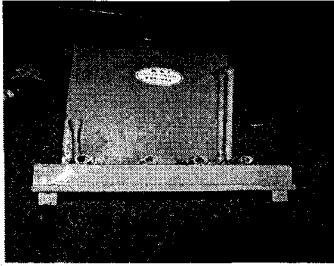


Fig. 7 The model of heat exchanger.

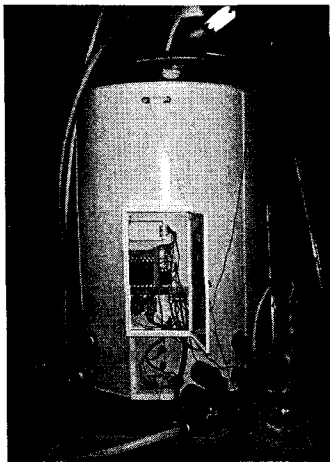


Fig. 8 The model of thermal storage system.

Fig. 8은 축열조의 시작품의 사진으로, 축열조의 시작품은 한국전기연구소의 각종 시험 규정에 의하여 시험평가를 실시하여 우수한 성능평가를 받았다. 축열효율이 95.2%가 나타났다.

3. 현장실용화

Fig. 9는 태양열온수기 시스템의 배관도로, 태양열 집열판을 이용하여 해수를 가열하여 자숙조에 공급하고 자숙조에 공급된 해수는 멸치의 자숙가능온도에 못 미치기 때문에 기존시스템에 사용되던 보일러에 의하여 자숙 적정 온도까지 가열하여 운용된다. 집열판 내의 집열과정은 설정 온도(V.2)에서만 작동되게 하고 자숙조에 유입하

는 해수도 설정온도(V.1)에서만 작동되도록 하여 요구 온도를 자동제어 할수 있도록 개발하였다.

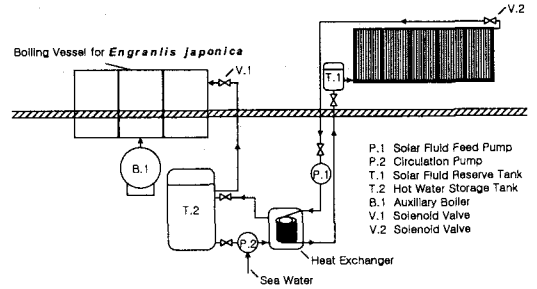


Fig. 9 Piping layout for solar hot water system.

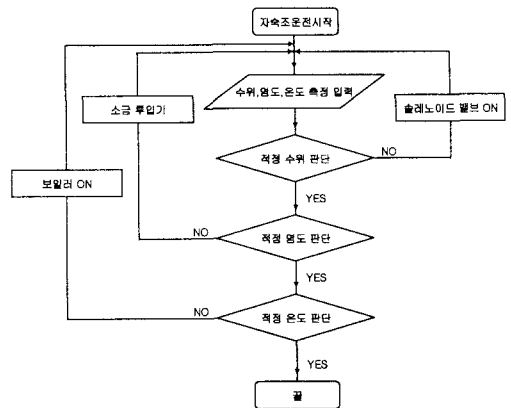


Fig. 10 Flowchart for automatic control system.

Fig. 10은 멸치 가공선용 자동제어 플로차트이며, 자동제어 자숙조의 개략도는 Fig. 11과 같다. 기존의 수동조작 시스템에서 자숙조의 수위, 염도 및 온도를 자동제어 할수 있는 제어기를 구성하였으며 각종 센서는 선박의 요동에 대비하기 위하여 앞뒤로 설치하였다.

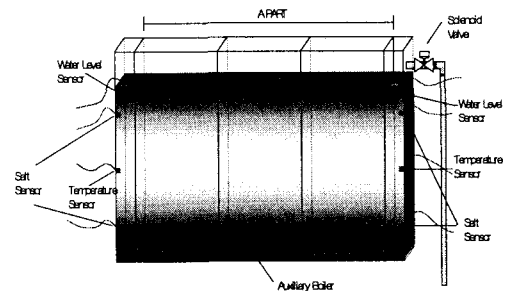


Fig. 15 Schematic diagram of boiling vessel.

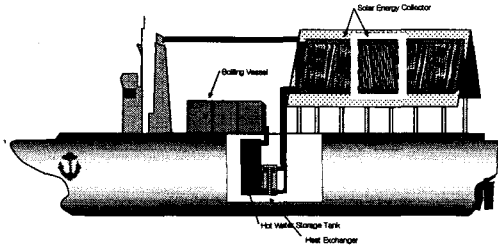


Fig. 12 Schematic diagram of solar hot water storage system.

Fig. 12는 멸치 가공을 위한 태양열 온수기의 실선에의 적용 개념도이다. 선미부분의 지붕위에 집열판이 설치되고 선박의 화물창 내에 축열조와 열교환기를 배치한다. 이러한 시스템을 선택함으로써 기존의 멸치 가공선의 공간을 현행대로 유지시키면서, 무게중심을 최대한 아래방향에 두어 안정성을 확보하였다.

4. 결론

멸치 가공을 위한 태양열 온수기는 에너지 가격의 급등과 면세유 폐지 계획에 따라 그 효율성이 더욱 증대 될 것으로 기대되며, 관련 산업분야로 더욱 파급될 것으로 기대한다.

1. 멸치 자숙조의 정면과 후면에서의 열량은 292.66W, 대기와 접한 측면에서의 열량은 373.14W로 나타났다.

2. 멸치는 자숙온도가 높을수록 폴리엔산의 비율이 낮고 모노엔산과 포화산의 비율이 높았다.

3. 동남아시아 멸치 조업구간 중의 하계절 최대 일사량은 중국 청도 해상으로 13시 기준하여 약 750kcal/m²h로 나타났다.

4. 멸치 가마솥내의 온도분포와 속도분포를 구하였다.

5. 멸치가공선용 태양열 집열판과 자숙조의 자동제어 시스템을 개발하였다.

후기

본 연구는 해양수산부 수산특정연구개발사업비와 경상대학교 BK21 지원에 의하여 연구되었음

며 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) 이철재, 정효민, 정한식. 1998. "가열벽과 냉각벽을 갖는 사각공간내의 난류자연대류수치해석." 공기조화냉동공학회 논문집 pp. 26-31.
- (2) 강덕홍, 김우승, 이관수. 1995. "레이놀즈수 모델을 사용한 2차원 자연대류 난류현상에 대한 수치적 연구." 대한기계학회논문집 제19권 pp. 741-750.
- (3) 이진호, 김두현, 모정하. 1990. "단열 및 등온수평 경계조건을 가는 직각 밀폐용기내 공기의 자연대류 열전달." 대한기계학회논문집 제14권 제1호 pp. 207-213.
- (4) 정한식, 정효민, 김경근, 노승탁. 1999. "멤브레인형 LNG 수송선 코파담내의 난류 자연대류." 대한기계학회논문집 B권. 제 23권 제 2호. pp. 281-287.
- (5) R. Cheesewright. K. J. King. and S. Ziai. 1986. "Experimental data of the Validation of TWO Dimensional Buoyancy Cavity Flow." Significant Questions in Buoyancy Affected Enclosure or Cavity Flows. ASME=HFD. pp. 75-81.
- (6) Kumar K. 1983. "Mathematical Modeling of Natural Convection in Fire a state of the Art Review of the Field Modeling of Variable Density Turbulent Flow." Fire and Materials. Vol. 103 pp. 456-460.
- (7) W. shyy and M. M. Rao. 1993. "Simulation of Transient Natural Convection Around an Enclosed Vertical Channel." Journal of Transfer. the ASME. Vol.115. pp. 946-954.
- (8) K. Sasaguchi, K. Kusano, H. Kitagawa, and K. Kuwabara, 1997. Effect of Density Inversion on Cooling of Water Around a Cylinder in a Rectangular Cavity, Numerical Heat Transfer, Part A, pp. 131-148.