

온도 성층축열조 가시화 및 실증분석에 관한 고찰

이 영 수[†], 이 상 남, 김 종 루

한국에너지기술연구원 미활용에너지연구센터

Effect on Stratification due to Diffuser Shape in a Thermal Storage Tank

Young-Soo Lee[†], Sang-Nam Lee, Jong-Ryul Kim

Unutilized Energy Research Center, Korea Institute of Energy Research(KIER),

Yeosung P.O Box 103, Taejeon 305-343, Korea

(Received July 12, 2005; revision received August 31, 2005)

ABSTRACT: The stratified effect was investigated with three different types of diffuser shape in a thermal storage tank with variation of diffuser diameter, velocity, Froude number etc. Its effect was estimated by the degree of stratification. No matter of diffuser diameter and shape, the degree of stratification was the best as the Froude number gets closer to 1. In the case of a curved diffuser, when its diameter is a quarter of tank diameter and ejection velocity in a diffuser is approximately 0.2m/s, the Froude number was almost 1. In the case of a flatted diffuser, when ejection velocity was 0.05 m/s, the Froude number was 1.5. Both cases which Froude number were nearer 1, showed the good degree of stratification.

Key words: Thermal storage tank(축열조), Diffuser(디퓨저), Degree of stratification(성층도)

기 호 설 명

- Fr : 프로드수 ($= q/\sqrt{h^3 g(\Delta\rho/\rho)}$)
- h : 디퓨저 슬롯 높이 [m]
- ΔH : 씨모클라인 상·하한점 높이차 [°C]
- ΔH_{ref} : 유입구와 유출구 높이차 [°C]
- Re : 레이놀즈수
- ΔT_{ref} : 유입수와 저장수 초기 온도차 [°C]
- T_s : 초기 수온 [°C]
- T_t : 열성층 형성시 축열조 상부온도 [°C]
- V.A : 배인 각도 [°]

그리스 문자

- ϕ : 성층도

1. 서 론

축열조는 에너지를 열에너지로 저장하여 열수요와 공급이 일치하지 않은 경우 모든 시스템에 필요한 설비이다. 기본원리는 고온의 유입수와 저온의 저장수와의 혼합효과를 열적 부력을 이용하여 적절히 감소시켜 온도의 성층화를 유지하는 열저장 장치로 지역냉난방 공급설비, 심야전력 및 태양열 이용설비 등에 필수적이다.

현재 국내의 축열조 기술현황은 대규모 설계기술은 외국기술에 전적으로 의존하여 이 분야에 대한 연구개발이 전무한 실정이며, 소규모 축열조에 대한 연구는 국내 연구소 및 대학에서 수행되었으나 실제 적용사례는 미미한 실정이다. 축열조에 대한 연구로 Lin et al.⁽¹⁾은 축열조 성능에 영향을 미치는 주요 변수로서 유량, 온도차, 초기 혼합효과를 최소화시키는 디퓨저 등의 영향을 강조하였으며, 분석에 필요한 주요 무차원 변수로 입구노

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3161; fax: +82-42-860-3133

E-mail address: yslee@kier.re.kr

즐과 축열조 직경을 특성길이로 한 Re 수와 Fr 수, 부력과 관성력의 비를 나타내는 Richardson 수가 중요한 변수임을 강조하였다. Wildin⁽²⁻⁴⁾은 부력에 의해 형성되는 축열조에서 디퓨저 설계에 대한 연구를 수행하여 디퓨저에 관련된 설계변수를 계산하는 방법을 제시하였다. 이 설계를 위하여 유량과 디퓨저 둘레의 길이 그리고 Fr 수를 사용하였으며, 주어진 경험적인 Re 수로부터 유량을 결정하였고, Fr 수의 영역으로부터 디퓨저의 높이(h_i)를 계산하였다. 그리고 디퓨저의 직경은 초기유량과 단위길이당 유량의 비를 가지고 계산하였다.

본 연구는 축열조의 온도 성층을 결정하는 디퓨저에 관하여 연구하였고 기존의 형상⁽⁵⁻⁸⁾보다 더 높은 온도 성층을 형성시킬 수 있는 구조를 제안하여 집단에너지 공급용으로 사용되는 축열조의 효율성을 높이는 것을 목적으로 온도 성층화를 위해 저온수의 축열조에 설정된 유량으로 고온수를 유입시켜 축열하는 과정에서 고온수와 저온수 간의 열전달을 최소화하여 성층도를 높여 에너지 효율을 극대화하는 것이다. 축열조가 효과적으로 온수를 저장하고 일정한 압력분배를 하는 저장조로서의 역할을 수행하도록 온수의 공급속도, 디퓨저의 형상 및 크기, 슬롯간격 등의 다양한 변수를 통하여 축열조의 성층화를 촉진시키기 위한 디퓨저의 설계 및 제작방법을 제안하고자 하였고, 20톤 규모의 축열시스템을 천안에 위치한 (주)피엠텍에 설치하여 현장적용을 수행한 결과를 요약하였다.

2. 축열조 실험장치 및 방법

2.1 가시화 실험장치

2.1.1 실험장치

본 연구에서는 디퓨저 유형별 가시화 실험을 수행하기 위하여 Fig.1에서와 같이 가시화용 성층축열조 1기, 온수 생산설비 2기, 온수 공급펌프 2기, 정량 염료 공급펌프 1기, 데이터 로거(Data acquisition system) 1기, 영상촬영기 1기 등으로 실험설비를 구성하였다. 가시화 실험용 고정 및 유동 노즐형 성층축열조는 내경 $\varnothing 580$ mm, 두께 10 mm, 높이 1,000 mm인 원형이며 투명 아크릴로 제작하였다. 축열조 중간부에 온수의 입·출

구를 별도로 분리하여 노즐을 설치하였고, Fig.2와 Fig.3에 나타난 것과 같이 노즐의 끝부분에 플랜지를 설치하여 여러 유형의 고정형 및 유동형 디퓨저를 교체·부착하고 슬롯 높이를 조절하여 디퓨저에서의 분사속도를 변경할 수 있도록 제작하였다. 온도분포는 멀티형 열전대(T-Type Multi-Thermocouple, 각 12 Point) 2개를 축열조

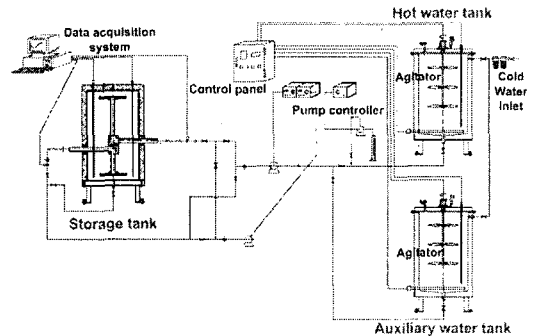


Fig. 1 Schematic of stratified thermal storage system for visualization.

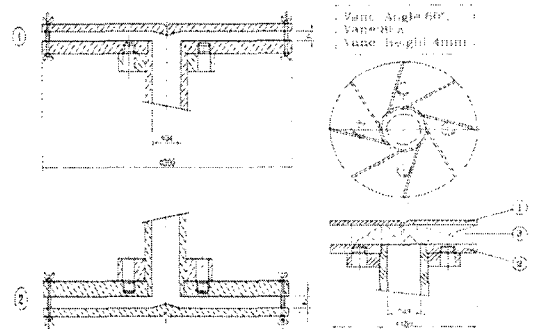


Fig. 2 Platted and vortex diffusers.

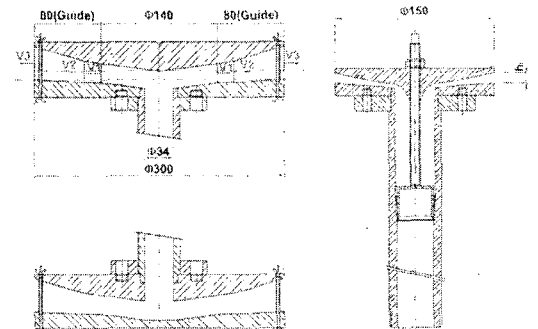


Fig. 3 Curved and fountained diffusers.

내부에 설치하였다.

온수 생산설비는 중온수(약 60℃) 온수탱크(내경 : 660 mm, 높이 : 600 mm, 재질 : STS304, 체적 : 0.2 m³) 1기, 저온수(약 20℃) 온수탱크(내경 : 776 mm, 높이 : 1,220 mm, 재질 : STS304, 체적 : 0.57 m³) 1기로 구성되어 있으며, 전기로 냉수를 가열할 수 있도록 온수탱크 하단부에 전기히터를 설치하였다. 그리고 온수탱크 내부에는 교반기(Agitator)를 부착하여 온도를 균일하게 하였다.

성충축열조 내 유동특성 가시화를 위하여 물의 비중과 비슷한 염료(Rhodamine B)를 축열조로 공급될 수 있도록 하였으며, 실험조건별 열성충특성을 분석하기 위하여 축열조 내 염료분포를 시간별로 촬영할 수 있도록 촬영기 1기를 설치하였다.

2.1.2 실험방법

공급온수 온도와 초기 저장수 온도와 밀도차가 성충특성에 큰 영향을 미치므로 본 실험에서는 현재 지역난방공사의 중·대형 성충축열조의 상부 온수온도(98℃)와 하부 온수온도(65℃)의 밀도차(98℃/65℃ : 21.067 kg/m³)보다 작은 온도(60℃/20℃ 밀도차 : 14.72 kg/m³)로 실험을 수행하였다. 이 60℃/20℃에서 밀도차에 의한 성충이 잘 발달되면 98℃/65℃에서도 잘 발달될 것으로 판단된다. 가시화 실험은 온수공급 및 배출유량(11 L/min), 상부 온수공급온도(60℃), 초기 저장수온도(20℃)를 일정하게 유지하고, 디퓨저 유형(고정형-평면형, 와류형, 곡면형, 곡·분수형, 유동형-곡·분수형), 직경(150 mm, 300 mm), 디퓨저 분사속도(범위 : 0.01~0.2 m/s) 등을 실험변수로 하여 축열 및 방열과정으로 구별하여 실험을 수행하였다. 온도장과 유동장 분석을 위해 설치된 열전대를 사용하여 분당 1회씩 실험조건별로 총 18회 측정하였고, 촬영기를 이용하여 가시화에 사용된 염료의 농도분포를 시간별로 촬영하였다.

2.2 Pilot Scale 실험장치

Pilot Scale 축열조시스템은 현장적용처로 선정된 (주)피엠텍의 통기밴드건조기에서 배출되는 고온의 배가스를 핀-뷰트(Fin Tube) 열교환기를 사용하여 온수를 생산하고, 이 온수를 열수요처인 1층 금형실(약 81.7평) 및 화장실(약 7.6평), 2층

탈의실(약 76.2평)에 난방용 온수를 공급함으로써 버려지는 폐열을 효율적으로 이용할 수 있도록 설계하였다.

Fig. 4는 Pilot Scale 온도 성충축열조시스템 전체 계통도로서, 성충축열조 1기, 팽창탱크 1기, 열교환기 1기, 온수순환펌프 3기, 유량계 1기, 자동제어장치 1기, 데이터 처리시스템 1 Set 등으로 실험설비를 구성하였다.

성충축열조(용량 : 20 m³, 재질 : STS316)는 Fig. 5와 같이 내경 2,600 mm, 높이 4,560 mm, 동판두께 9 mm, 상부 경판두께 9 mm, 하부 경판두께 15 mm, 맨홀 800 mm 규격 등 그 외에 정수위 밸브, 오버플로, 에어벤트, 드레인, 외부 사다리 등을 설치하고 열손실을 방지하기 위하여 외부에 Glass Wool 100 mm 단열처리 후 Color Sheet 0.5 mm로 케이싱을 하였다. 성능실험을 위한 축열조 내 온도분포 측정용 멀티형 열전대(T-type, Wall Size : 25A, 28 Points, 센서간격 : 120 mm) 2 세트를 제작·설치하였는데, 이 2세트의 센서는 원형 축열조 상부 중심을 기준으로 좌·우 650 mm

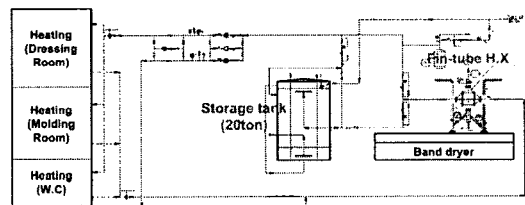


Fig. 4 Schematic of pilot scale thermal storage system.

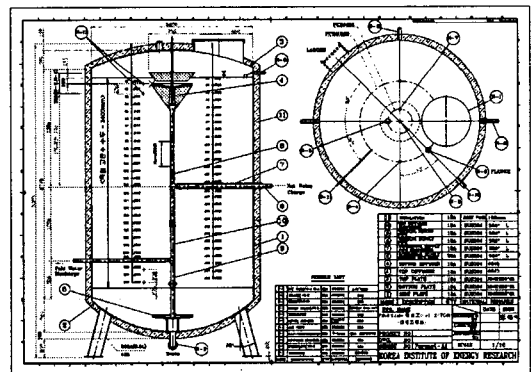


Fig. 5 A design drawing of pilot scale thermal storage tank.

씩 대칭배치하여 축열조 직경방향으로 센서의 거리가 1,300 mm가 되도록 직선배치하였으며, 축열조 높이방향으로 60 mm 간격씩 총 56개의 측정점(28 points/set, 2 set)의 위치에 온도분포를 측정하기 위해서 센서들의 상·하 접점위치가 서로 중복이 되지 않도록 기준점 열전대보다 다른 1개의 열전대 설치높이를 60 mm 낮게 설치하였다. 축열조 내부 중간에 온수의 입출구를 별도로 분리하여 공급과 배출 파이프를 설치하였고, 이 상부 온수공급용 파이프의 끝단에 축열조의 수위에 따라서 공기부력실에 의해 무동력으로 자동 높이 조절은 물론 디퓨저에서의 분사속도 조절이 가능한 유동곡·분수형 디퓨저를 설치할 수 있도록 설계·제작하였다.

(주)피엠텍의 통기밴드건조기 생산라인은 길이가 총 32 m, 가스버너 16대(Gun-Type, 사용연료: LPG(LNG), 용량: Max 250,000 kcal/hr·대)를 부착하여 건조기 열원으로 사용하고 있으며 가스버너 2대당 굴뚝 1기씩 총 8기를 설치하여 현재 운전중이다. 굴뚝 1기에서 열회수하여 얻을 수 있는 최대열량은 축열조에 저장하지 않고 난방부하 발생시 열수요처(금형실, 화장실, 탈의실)에 온수를 직접 공급해야 하는 열량(난방부하 약 80,000 kcal/hr)보다 작기 때문에 굴뚝 2기의 배가스를 모아서 열을 회수하도록 Aero Fin-Tube형 열교환기(재질: STS304, 설계용량: 84,804 kcal/hr, 온수 입출구 노즐직경: 40 A, 연도 연결구: 900 A)를 설계·제작하였다. 그리고 배가스의 유로를 조건에 따라서 자동으로 전환(*열교환시: 열교환기로 공급대기로 배출차단, *외부배출시: 대기로 배출 열교환기로 공급차단)할 수 있도록 댐퍼 액츄에이터(SIEMENS, Model: GBB331.1E)를 부착한 자동댐퍼 4대를 열교환기 입구 2곳, 굴뚝 외부 배출용 2곳에 각각 부착하였다.

기계실 및 난방배관 설비는 흑강관 40 A를 사용했으며 배관 내 공기제거용 에어밴트, 배관의 수축 및 팽창을 흡수할 수 있는 복식 벨로우즈 신축이음, 관내 일정한 압력유지를 위한 밀폐식 팽창탱크(용량: 43 L, 규격: 390 L × 630 H), 방향 제어를 위한 솔레노이드 밸브, 온도센서, 압력계, 보일러온도계 등 배관설비를 설치하였다. 또한 온수 순환펌프(유형: 인라인, 유량: 40 LPM, 양정: 10 m, 동력: 0.75 kW)는 난방온수 순환용 1대, 열교환기 순환용 1대 및 예비 1대 등 총 3대와 순

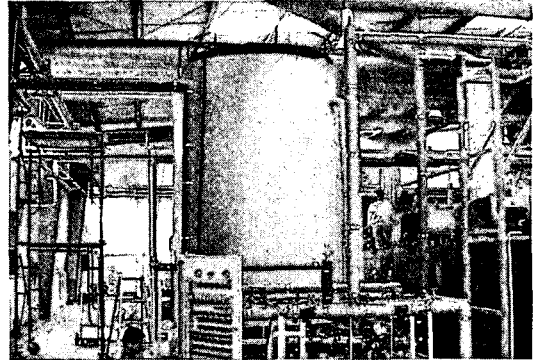


Fig. 6 Pilot scale thermal storage system.

환되는 유량을 쉽게 알 수 있도록 유량계(Model: LS5577-400A, Flow Range: 20~120 LPM) 1대를 설치한 후 배관 열손실방지를 위해서 40 mm 유리섬유(Glass Wool)로 단열을 하고 방수용 테이프로 마감하였다. 그리고 축열조에 저장된 온수를 일정유량으로 공급·방열시켜 축열조의 성능 실험을 수행하기 위해서 하우스용 유닛(Mode: AHU 100, 난방열량: 100,000 kcal/hr, 냉방열량: 40,000 kcal/hr) 1대를 외부에 설치하였다.

온도 성층축열조 성능분석을 위해 축열조 내부 온도 56곳, 열교환기 입·출구 2 point, 열수요처 온수 공급 및 환수 2 point 등 총 60 points의 온도분포를 실시간으로 측정할 수 있도록 데이터 로거(HP BenchLink Data Logger)를 구축하여 Fig. 6과 같이 현장작업을 위한 Pilot Scale 축열조시스템을 설치 완료하였다.

3. 결과 및 고찰

온도 성층화 기술은 열저장에 있어 유효에너지의 극대화를 이루기 위하여 반드시 필요한 기술이다. 온도 성층화가 잘 발달된 축열조는 완전 혼합형 축열조에 비하여 유효에너지 이용률이 10% 이상 크다고 보고되고 있다.⁽⁹⁻¹⁰⁾ 온도 또는 밀도가 다른 액체가 축열조 상부 공간에 유입될 때는 관성력/점성력(Reynolds Number)과 관성력/부력(Densimetric Froude Number)이 가장 중요한 사항이다. 온도가 서로 다른 유체를 처음으로 접촉시킬 때 적절한 온도차(즉, 밀도차)와 유속을 유지시키면 유체흐름의 혼합과 와류가 최소화되어 중력흐름(Gravity Current)이 형성되므로 축열조

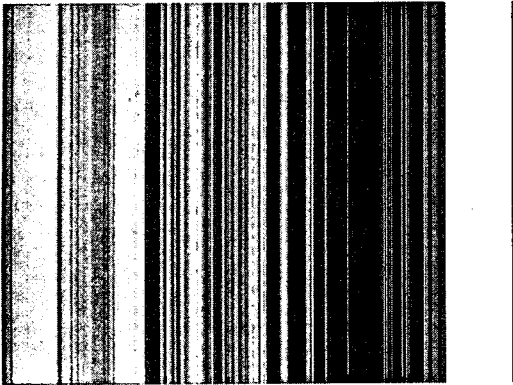


Fig. 7 Degree of stratification.

내에 온도성층이 잘 이루어질 수 있다. 그러므로 이 유체흐름의 혼합과 와류를 최소화시키기 위해서는 성층 촉진기구가 필요한데, 중·대형 축열조는 대부분 원통형 탱크이기 때문에 중앙에서 원주로 물이 수표면을 따라 확산되는 레디얼 디퓨저가 가장 이상적인 것으로 알려져 있다. 따라서 레디얼 디퓨저를 사용한 본 연구에서는 성능을 평가하기 위해 Park et al.⁽¹¹⁾이 제안한 Fig. 7을 참조하는 다음의 성층도 정의를 이용하였다. 디퓨저 형상에 따라서 측정점의 위치가 성층도값의 차이를 유발시킬 수 있지만, 가시화 실험 및 예비실험을 통하여 유효측정점⁽¹²⁾을 정의하여 사용하였다.

$$\phi = \left(\frac{T_t - T_s}{\Delta H} \right) \left(\frac{\Delta T_{ref}}{\Delta H_{ref}} \right)$$

3.1 온도 성층 가시화 성능실험

디퓨저의 기하학적 구조가 온도 성층축열조의 유동장에 미치는 영향을 가시화 실험을 통해서

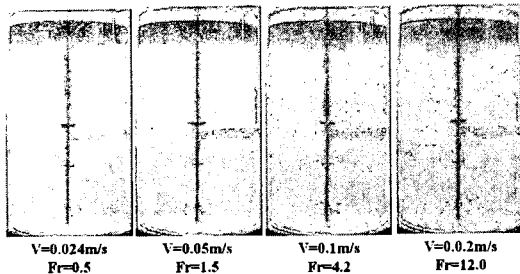


Fig. 8 Flow field visualization of plated diffuser with variation of Fr number.

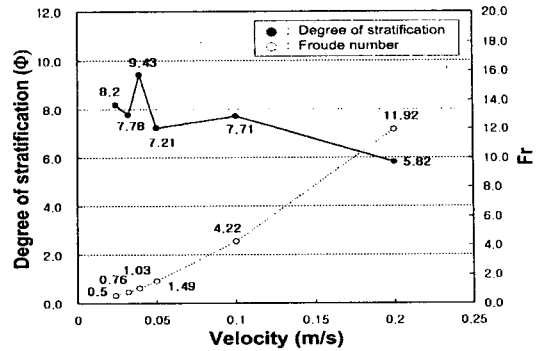


Fig. 9 Degree of stratification and Fr number of plated diffuser.

규명하고, 이 결과를 중대형 성층축열조의 설계에 반영하기 위해 디퓨저 직경은 축열조 내경의 약 25%인 150 mm와 약 50%인 300 mm를 유형별로 평면형, 와류형(배인각도 : 10°, 30°, 60°), 곡면형, 곡분수형의 4가지를 제작하여 실험하였다. 본 논문에서는 고정형 디퓨저(직경 150 mm)의 축열과정에 대해서만 기술하고자 한다.

3.1.1 디퓨저 형상에 따른 영향

평면형 디퓨저의 경우 Fig. 8의 유동장에서와 같이 분사속도 0.100 m/s 이상에서는 축열조 상부에서 혼합이 이루어지며, 이로 인하여 Fig. 9와 같이 분사속도가 증가할수록 성층도(0.040~0.200 m/s, Fr=9.43~5.82)가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 공급되는 고온수가 축열조 벽면에 접촉하면서 속도에 의한 관성력 증가로 인하여 성층이 파괴되는 것으로 판단된다.

와류형 디퓨저의 경우 같은 분사속도에서 배인의 각도가 클수록 Fig. 10의 유동장에서 보는 바와 같이 강력한 와류에 의해서 초기 저장수와 공

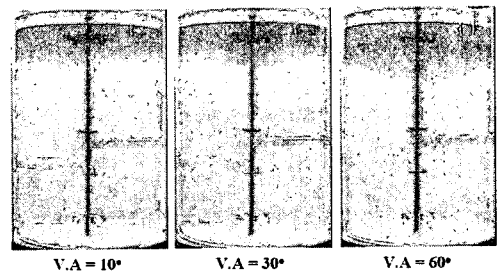


Fig. 10 Flow field visualization of vortex diffuser with variation of V.A.

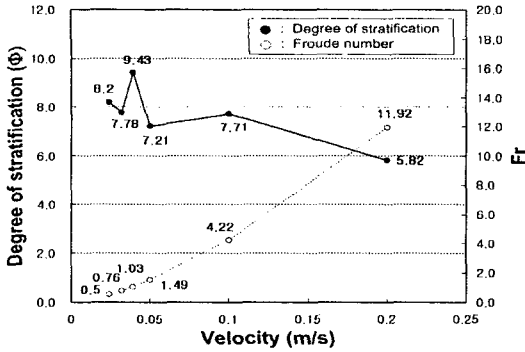


Fig. 11 Degree of stratification and stratification time of vortex diffuser.

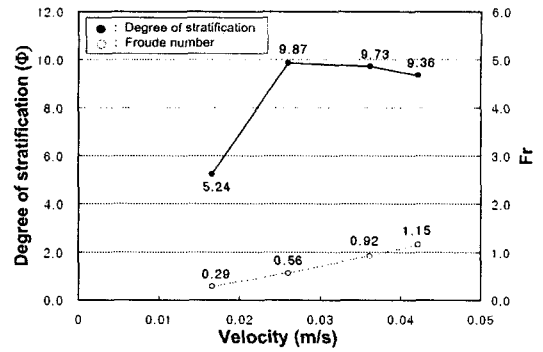


Fig. 13 Degree of stratification and Fr number of curved diffuser.

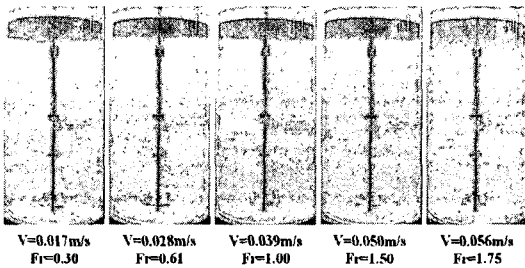


Fig. 12 Flow field visualization of curved diffuser with variation of Fr number.

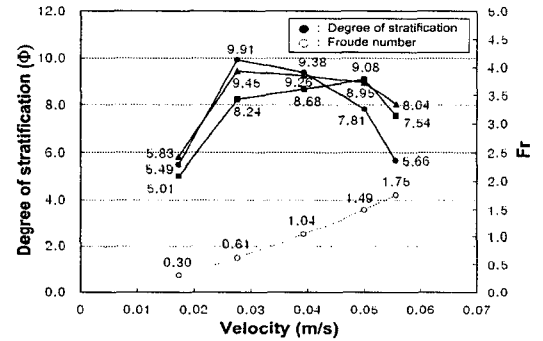


Fig. 14 Flow field visualization of fountained diffuser with variation of velocity.

급온수가 혼합되는 현상이 발생한다. 이로 인하여 Fig. 11에서와 같이 배인가도가 10도일 때 성층도는 3.92에서 60도일 때 1.92로 떨어지고, 성층 형성시간도 13분에서 17분으로 길어졌다.

곡면형 및 곡·분수형 디퓨저의 경우 Fig. 12의 유동장과 같이 특정 분사속도범위를 벗어나면 저온수와 고온수와의 혼합으로 인하여 성층도는 평면형 디퓨저의 성층도와 비슷하게 나타난다.

그러나 Figs. 13, 14와 같이 특정 속도분포영역 (0.020~0.050 m/s)에서는 평면형 디퓨저와 달리 높고 안정적으로 성층도 9 이상을 유지한다. 분사속도가 낮은 영역에서 성층도가 약 5 정도로 떨어지는 것은 축열조 반경방향으로 공급온수가 분사될 때 '다운워시'(Downwash) 현상에 기인하는 하향 모멘텀으로 인한 재순환유동 발생이 주요 원인이며, 분사속도가 높은 영역에서의 성층도 감소현상은 공급온수가 축열조 벽면과 접촉할 때 빠른 관성력으로 Wave가 발생하여 혼합효과를 증대시키는 것으로 판단된다. 그리고 특정 속도분포영역(0.020~0.050 m/s)에서 높은 성층도를

나타내는 것은 축열조 벽면까지 공급온수가 도달할 때 중력흐름이 형성되어 재순환영역이 발생하지 않는 것으로 판단된다.

3.1.2 Fr 수의 영향

앞의 Fig. 9에 나타난 평면형 디퓨저의 경우는 불안정하지만 Fr=1.0 근처에서 최고 성층도 9.43을 나타내고, Fr 수가 증가할수록 성층도는 떨어졌다. 그리고 Figs. 13, 14의 곡면형과 곡·분수형의 경우는 Fr=0.5~1.5 영역에서 최고 성층도 9.91을 나타내었고, 기타 영역에서의 성층도는 급격하게 떨어졌다. 축열조 성층에 Fr 수의 영향을 배제하고 디퓨저 형상에 의한 영향을 평가하기 위해 Fr=1.0일 때 디퓨저 유형별 유동장 특성에 대하여 실험하여 Fig. 15에서와 같이 곡면형 및 곡·분수형 디퓨저의 유동장이 평면형 및 와류형의 유동장보다 고온수와 저온수와의 경계가 미소하게나마 더 뚜렷하게 나타난 결과를 얻었다.

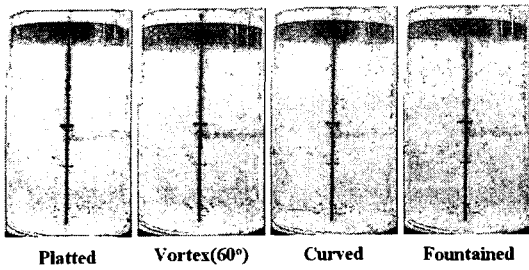


Fig. 15 Flow field visualization of with variation of each diffuser.

3.2 Pilot Scale 축열조 성능실험

20톤급 현장적용 Pilot Scale 축열조시스템의 디퓨저 형상은 축열조 수위에 따라 부력에 의해 디퓨저의 위치가 자동으로 조절되는 유동곡·분수형 디퓨저로 설계하여 생산현장인 (주)피엠텍에 설치완료한 후 성능실험을 실시하였다.

온도 성층화는 저온수와 고온수 간의 밀도차에 의해서 부력이 발생되어 밀도가 작은 고온수일수록 상부에 위치하게 되는 현상으로 작동유체 간에 밀도차가 크면 클수록 성층화는 잘 이루어져서 고온수층과 저온수층 구별이 뚜렷하게 나타난다.

Fig. 16은 20톤급 현장적용 Pilot Scale 축열조시스템의 축열과정시 디퓨저에서의 유량분사속도가 약 0.040 m/s, 온도분포는 48℃/77℃일 때 축열조 내부 온도장을 나타낸 것이다. 이 축열과정 온도장 실험결과를 정밀 분석한 결과 축열과정시 축열조 상부에 온도 성층구배가 완전히 형성된 이후에도 축열조 입구온도와 축열조 상부 온도와의

온도차가 발생하는 것을 알 수 있다. 이 현상은 축열조 상부로 공급되어 축열되는 고온의 공급수가 축열조 내부의 공급파이프를 통하여 공급될 때 주위로 열손실이 발생하여 상부로 유입되는 온수의 온도저하를 유발시키는 것에 기인하는 것으로 판단되며, 이를 방지하기 위해서는 공급파이프의 단열처리와 관내 유속조절이 반드시 필요하다고 생각된다. 그리고 축열조의 성능을 평가할 때 판단기준이 되는 온도 성층도(Φ)는 약 6.52로 나타났고, 온도 성층이 완전히 형성되는 시간은 온수공급 후 약 130분 정도가 소요되는 것으로 확인되었다. 동일한 실험조건에서 실험데이터의 신뢰도를 높이기 위한 반복실험 결과에서도 성층도는 약 5.77~6.55, 온도성층 형성시간은 대략적으로 약 130분 정도 소요되었다.

Fig. 17은 방열과정시 측정한 온도장 실험데이터로서, 축열조 내 고온의 저장온수와 난방공급 환수와의 경계구간에서 미소한 혼합이 발생하지만 대체적으로 축열과정시 형성되었던 온도 성층구배가 그대로 유지되면서 방열이 잘 이루어지는 것을 알 수 있었다. 그러나 방열 후 다시 축열이 시작될 때 열교환기에서 축열조까지의 배관라인 내부 저온수(초기 저장수의 온도와 비슷하거나 조금 높은 온도)가 축열조 상부로 유입되어 열성층 초기에 상부의 온도성층을 파괴하여 성층도가 낮게 형성되도록 작용한다. 이를 해결하기 위한 방법으로 축열시 열교환기에서 축열조까지의 배관라인 내부의 저온수를 외부로 완전배수 시키거나, 축열 초기 공급온도를 정상적인 온도보다 조금 높게 설정하면 보다 높은 성층도를 얻을 수 있을 것이다.

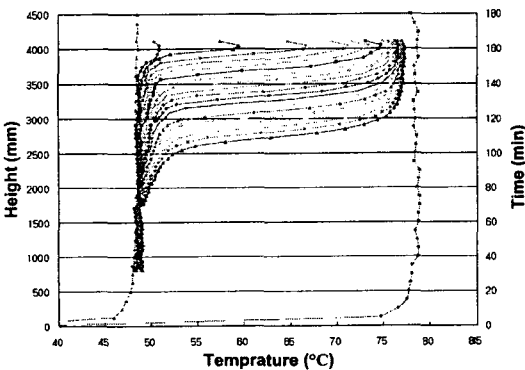


Fig. 16 Temp. profile of Pilot scale storage tank during charging process.

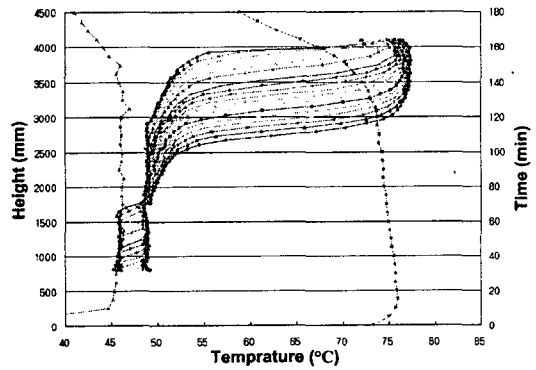


Fig. 17 Temp. profile of Pilot scale storage tank during discharging process.

4. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 평면형 디퓨저의 성층도는 분사속도와는 반 비례하였으며, Fr 수가 약 1.0일 때 가장 큰 성층도를 나타내었다.

(2) 와류형 디퓨저 실험에서 동일한 분사속도에 대하여 베인각도가 커질수록 성층도는 작아졌고, 온도성층 형성시간도 길어졌다.

(3) 곡면형 디퓨저 실험에서 분사속도 0.027~0.042 m/s에서 9 이상의 성층도를 나타내었고, Fr 수는 0.56~1.15이었다.

(4) 곡분수형 디퓨저 실험에서 분사속도 0.027~0.050 m/s에서 9 이상의 성층도를 나타내었고, Fr 수는 0.61~1.49이었다.

(5) Pilot Scale 축열조의 유동곡·분수형 디퓨저의 성층도는 분사속도 0.040 m/s에서 5.77~6.55 정도였고, 온도성층 형성시간은 130분 정도로 나타났다.

(6) 현재 지역난방공사 등에서 사용하고 있는 축열조 운전특성으로 볼 때 시간에 따른 온수 공급유량 변화가 심한 경우 유효에너지 이용극대화를 위한 온도성층 축열조용 디퓨저는 디퓨저 분사 유효속도범위가 넓으면서도 높은 성층도를 유지할 수 있는 곡면형 및 곡·분수형 디퓨저가 적합한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 21세기 프론티어 연구 개발사업인 이산화탄소 저감 및 처리 기술개발 사업단의 연구비 지원(과제번호: BB2-101)과 산업자원부 에너지절약기술개발사업에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lin, J. Y., Shey, R. J. and Fang, L. J., 1987, A study of thermal stratification in storage tank with charging, Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers, Vol. 8, No. 2, pp. 87-94.
2. Wildin, M. W., 1981, Diffuser design for naturally stratified thermal storage, Journal of

- Chemical Engineering of Japan, Vol. 14, No. 2, pp. 85-89.
3. Wildin, M. W. and Truman, C. R., 1989, Performance of stratified vertical cylindrical thermal storage tank, Part I: Scale model tank, ASHRAE Trans.
4. Wildin, M. W., 1989, Performance of stratified vertical cylindrical thermal storage tank, Part II: Prototype tank, ASHRAE Trans.
5. Lavan, Z. and Thompson, J., 1977, Experimental study of thermally stratified hot water storage tanks, Solar Energy, Vol. 19, pp. 519-524.
6. Wildin, M. W., 1990, Diffuser design for naturally stratified thermal storage, ASHRAE Trans.
7. Sliwinski, B. J., Mech, A. R. and Shih, T. S., 1978, Stratification in thermal storage during charge, Proceeding of the 6th International Heat Transfer Conference, Vol. 4, pp. 149-154.
8. Zurigat, Y. H., Ghajar, A. J. and Moretti, P. M., 1988, Stratified thermal storage tank inlet mixing characterization, Applied Energy, Vol. 30, Issue 2, pp. 99-111.
9. Loehrke, R. I., Hoolzer, J. C., Cari, H. N. and Sharp, M. K., 1979, Stratification enhancement in liquid thermal storage tanks, J. of Energy, Vol. 3, No. 3, pp. 129-130.
10. Park, E. T., Hwang, S. I. and Choi, Y. I., 1989, Experimental study on the thermal storage efficiency through variable porous mainfolds in a test storage tank, Solar Energy, Vol. 9, No. 3, pp. 37-43.
11. Park, E. T., Seong, S. W. and Jung, W. C., 1990, The extraction efficiency of hot water storage by thermal stratification enhancement, Proceeding of the KSES 1990 Autumn Annual Conference, pp. 32-37.
12. Lee, Y. S., 2003, A development of optimum design and manufacturing technology of large-scaled stratified thermal storage tank, Final Report of Ministry of Commerce, Industry and Energy, KIER.