

<論 文>

# 평면벽면분류의 유입경계조건을 가지는 개수로 유동 및 배플의 영향에 관한 실험적 연구

방병렬\* · 설광원\*\* · 이상용\*\*

(1988년 7월 4일 접수)

## An Experimental Study on the Open Channel Flow with Plane Wall Jet Inlet Boundary Condition and Effects of a Baffle

Byeong Ryeol Bang, Kwang Won Seul and Sang Yong Lee

**Key Words** : Open Channel Flow(개수로 유동), Plane Wall Jet(평면 벽면 분류), Baffle(배플), Recirculation(재순환)

### Abstract

Flow behaviors of the open channel type flow with its geometric boundary conditions being similar to that of the Multi-Stage-Flash evaporator were studied qualitatively by measuring the velocity distribution. Without a baffle, the flow was in the shape of a simple submerged plane wall jet. At the downstream of this flow, the jet boundary made sharp curve toward the free surface ; this is because the entrainment of the ambient liquid is restricted by the free surface boundary, similar to the Coanda effect. According to the experimental results the level of the free surface appeared to be the most important parameter. The flow with a baffle was in much complicated shape ; especially the recirculating region at the downstream free surface was detected according to the experimental conditions imposed. Inlet liquid velocity, heights of the liquid level and the baffle, and the opening height of sluice gate at the entrance were the most important parameters in the baffle flow.

기 호 설 명

$H_b$  : 배플의 높이

$H_g$  : 게이트 높이

$H_w$  : 수위

$m, n$  : 지수

$U_i$  : 액체 입구유속

$U_{max}$  : X방향 최대 속도

$X$  : 흐름 방향 좌표

$X_b$  : 배플의 X방향 위치

$X_r$  : 재순환 영역의 길이

$Y$  : 높이 방향 좌표

$Y_{1/2}$  :  $U = U_{max}/2$ 에 대응되는 Y방향 위치

$W$  : 수로의 폭

$Z$  : 수로의 폭 방향

$\nu$  : 점성계수

### 1. 서 론

다단 후래시 증발(multi-stage-flash evaporator)이란 해수에서 담수를 얻기 위한 장치에서 사용되는 증발법으로, 여러개의 단(stage)으로 구성

\* 한국과학기술원 기계공학과

\*\* 정회원, 한국과학기술원 기계공학과

된 포화 압력 이하의 낮은 압력의 용기내에 증발시키고자 하는 해수를 입구 게이트를 통해 개수로(open channel flow)의 형태로 흘려 보내서 액체를 증발시키는 방법이다. 이때 증발 형태는 입구 게이트로부터 재순환되는 앞 부분에서는 기포가 생성, 성장되며 2상 유동형태로 증발되고, 그 이후에서는 단상(single-phase)유동으로 자유 표면 증발이 지배적이다. 그리고 대부분의 증발이 2상유동 영역에서 발생하므로 재순환되는 영역의 크기와 이 영역에서의 유동 형태는 증발 성능 측면에서 매우 중요하다. 그러나 후래시 현상을 수반하는 경우는 그 현상이 복잡하므로 이에 앞서 본 연구에서는 증발기와 유사한 기하학적 경계조건 내에서 열전달 현상을 수반하지 않는 단순한 유동현상의 측면만을 우선 실험적으로 고찰하여 보았다. 이 장치내에서는 Fig. 1과 같이 액체는 평면 벽면 분류(plane wall jet)의 유입경계조건을 가지는 개수로 유동의 형태로 흐르거나, 배플이 설치된 경우에는 자유표면이 존재하면서 스텝(step) 유동과 유사한 유동 형태를 가진다. 현재까지 이 분야에 관한 연구로서는 Lior등<sup>(1~3)</sup>에 의해 배플이 없고 입구 게이트 높이에 대한 수위의 비( $H_w/H_g$ )가 1.1~51인 범위내에서 22가지 경우가 실험되어졌다. 이들의 연구에서는 증발기 내부 유동은 hydraulic jump영역과 개수로 영역으로 구분될 수 있으며, hydraulic

jump 영역에서는 기포와 액체의 2상유동이 나타나고 개수로 영역에서는 액체만의 단상유동이 지배적이라는 것이 정성적으로 관찰되었다. 그러나 속도 분포에 관한 정확한 실험 결과가 없고 배플의 영향이 고려되지 않았다. Fujii 등<sup>(4)</sup>과 Miyatake 등<sup>(5)</sup>은  $H_w/H_g$ 가 2.5~2.8인 경우에 배플의 유무에 따라서 증발기 내부의 속도 분포를 측정하였으나 실험결과가 충분하지 않고  $H_w/H_g$ 의 비가 너무 낮아 수위의 영향이 정확하게 설명되지 않았다. 또한 Rajaratnam과 Humphries<sup>(6)</sup>는  $0 < H_w < H_g < 13.6$ 의 범위내에서 수로의 폭( $W=111\text{cm}$ )이 넓은 bluff turbulent wall jet에 관해서 실험하였으며 수위의 높이에 따라 유동 형태가 크게 영향을 받고 있음을 실험적으로 보여주었다. 그러나 이 경우에도 대부분의 실험이  $H_w/H_g < 4.44$ 로 낮은 수위에 대한 것이며 배플의 영향은 고려하지 않았다. 본 연구에서는 수로의 폭이 작고( $W=74\text{mm}$ )  $H_w/H_g$ 가 5.0~16.7의 범위인 경우에 레이저 유속계를 이용하여 주어진 유동조건, 예컨대, 유입유속, 입구 게이트(gate)의 높이, 수위, 배플의 유, 무 및 높이, 그리고 배플의 위치등에 따라서 액체속도의 분포가 어떻게 변화하는가를 정성적으로 관찰해 보고자 하는데 주안점을 두었다. 본 실험 결과는 차후에 계속될 후래시 증발현상에 관한 실험 및 해석적 접근에 관한 기초 자료로서 활용하는데에도 그 목

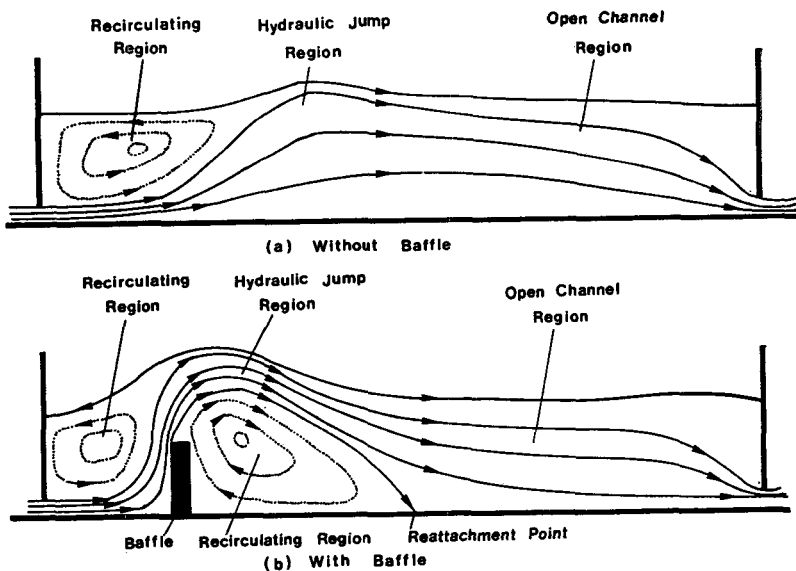


Fig. 1 Flow pattern inside the flash stage in MSF power plant

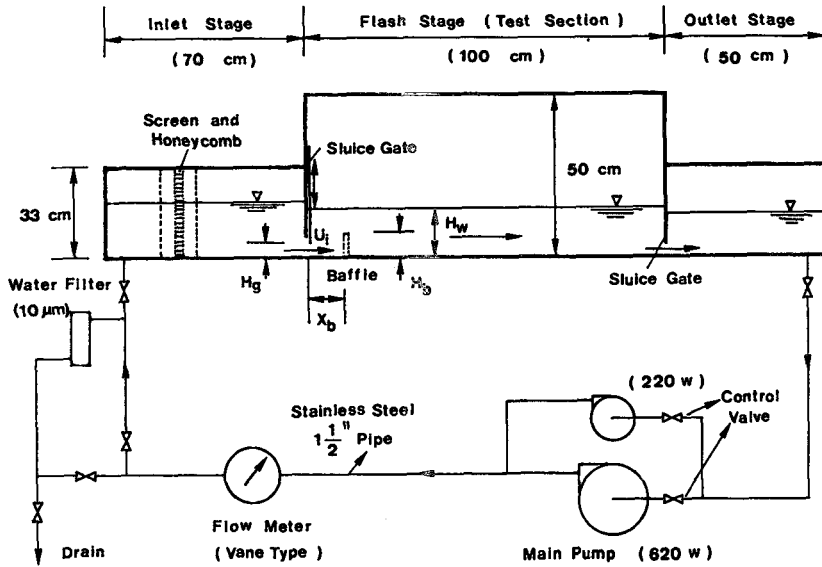


Fig. 2 Simplified flow diagram the experimental system

적이 있다.

## 2. 실험장치

### 2.1 시험부 및 순환회로

다단 후래시 증발 장치의 내부를 시뮬레이션하기 위한 본 장치의 제원은 기본적으로 Lior 등<sup>(1-3)</sup>과 Fujii 등<sup>(4)</sup>의 실험 장치를 기준으로 설정하였다. 이 장치의 개략도는 Fig. 2에 나타나 있으며, 축소된 형태의 3개의 단(stage) 즉, inlet stage, outlet stage, 그리고 그 두 단 사이에 시험부(test section)가 설치되어 있다.

이 시험부는 장치 후래시 실험의 경우에는 flash stage가 된다. 각 단은 폭이 74mm이며, 전체 길이는 2.2m로서 사각 개수로 형태이며, 각 단의 아랫 부분은 사각 수문(sludge gate)에 의해 연결되어 있다. 특히 inlet stage와 시험부 사이에 설치된 사각 수문의 높이는 조절이 가능하다. 시험부의 폭은 실험하고자 하는 유량조건과 타 실험장치<sup>(1,4)</sup> 시험부에서의 속도분포를 고려하여 결정하였다. 액체가 입구 수문에 도달하기 전에 inlet stage 내부에 허니콤 및 스크린을 설치하여 가능한한 균일한 유동을 만들어 주었다. 시험부의 양쪽 측면은 두께 15 mm의 열처리된 유리를 사용하여 투명하게 만들었고, 이에 따라 액체 유속측정을 위한 레이저 유속

계의 사용이 가능하였고, 장치 후래시 증발 현상의 관찰이 용이하도록 하였다. 공급 액체유량은 순환 펌프의 용량에 따라 최대 3.32 l/s까지 가능하며, 밸브와 by-pass line을 이용하여 조절이 가능하였다.

액체의 유속을 측정하기 위한 레이저 유속계는

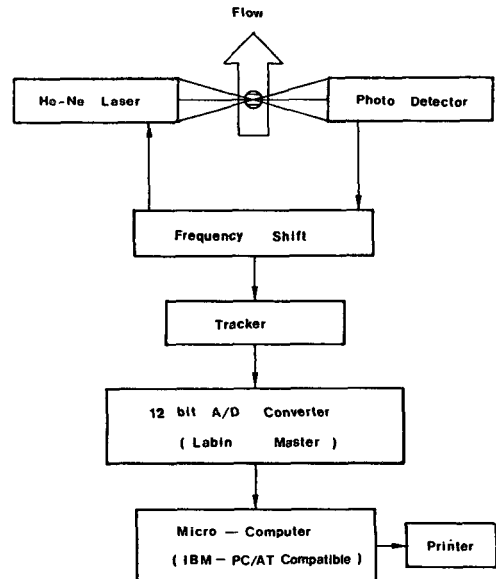


Fig. 3 Schematic diagram of flow velocity measuring system

35mW의 He-Ne레이저 광을 사용한 TSI 9100-9 시스템이며 여기서 나오는 도플러 신호를 TSI 1090 트래커를 사용하여 전압으로 바꾸어 준다. 이 트래커에서 나온 출력은 12bi. A/D 변환기(Labin Master)로 들어가 평균 속도와 난류 강도가 계산되고, 마이크로 컴퓨터(IBM-PC/AT Compatible)로 보내져 디스크에 저장된다 이에 관한 개략도가 Fig.3에 표시되어 있다. 레이저 유속계의 이송장치는 흐름방향(X방향)으로 각각 1mm이하의 정확도로 움직일 수 있도록 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험 결과

본 연구에서는 실험변수로서 수위, 입구유속(혹은 유량), 배플의 유무, 배플의 위치및 높이 그리고 입구 게이트의 높이를 고려하였다. 그리고 사용된 배플의 치수는 두께가 10mm이며, 높이는 각각 22mm와 52mm 두 가지를 사용하였다. 실험에 사용된 조건들은 Table 1에 정리하였으며 구체적으로는 17가지의 실험조건에 대해서 실험을 수행하였다.

평균 속도분포에 관한 실험결과는 액체 자유표면의 형상과 함께 배플이 없는 유동을 몇가지 경우에 대해서 Fig. 4에, 그리고 배플이 있는 유동의 대표적인 경우를 Fig. 5에 나타내었다.

레이저 유속계를 사용할 때에는 2개 또는 3개의 레이저 광이 어느 정도의 각도를 가지고 교차하면

서 측정체적을 형성하게 되므로 본 실험의 경우에는 장치의 폭과 자유표면의 높이등 기하학적인 경계 조건에 의해서 측정 영역이 크게 제한 받게 된다. 이같은 제약조건 때문에 본 실험에서는 개수로 유동에서 관심의 중요도가 높은 흐름 방향(X방향)의 평균 속도 분포만을 측정하였다. 측정은 입구 게이트로부터 50mm 간격으로 X=400mm까지, 그리고 X=400mm 부터는 100mm 간격으로 X=700mm까지 실험장치 폭의 중심선을 따라서 측정하였으며 높이 방향으로는 위치에 따라 1~2mm 간격으로 측정하였으나 아래 벽면으로부터 약 2mm까지, 그리고 자유표면의 일부(수면의 파동이 작은 경우는 약 2mm, 파동이 심한 경우에는 약 10mm)는 측정상의 정확을 기하기 어려워 제외되었다. 그리고 실험결과에 나타난 수위는 X=500mm 위치에서 측정한 평균수위로서 Table 1에 나타난 기준 수위와는 다소 차이를 보여준다. 유입유량은 입구 부분에서 레이저 유속계 측정장치를 사

Table 1 Experimental conditions(non-flashing)

Experimental parameters		Conditions
Liquid level( $H_w$ )		50mm, 70mm, 100mm
Inlet velocity( $U_i$ )		~1 m/s, ~1.7 m/s
Baffle	-	with, without
	Position ( $X_b$ )	30mm, 100mm
	Height ( $H_b$ )	22mm, 52mm
Height of sluice gate ( $H_g$ )		6mm, 10mm

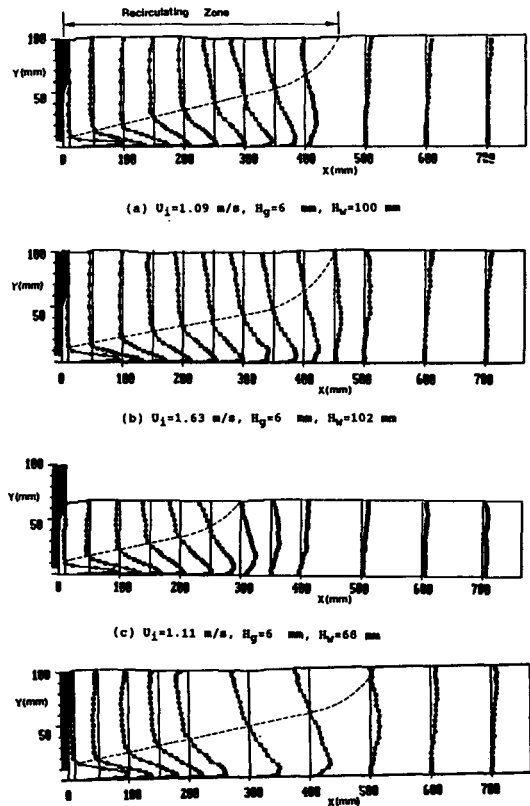


Fig. 4 Mean velocity profiles without a baffle

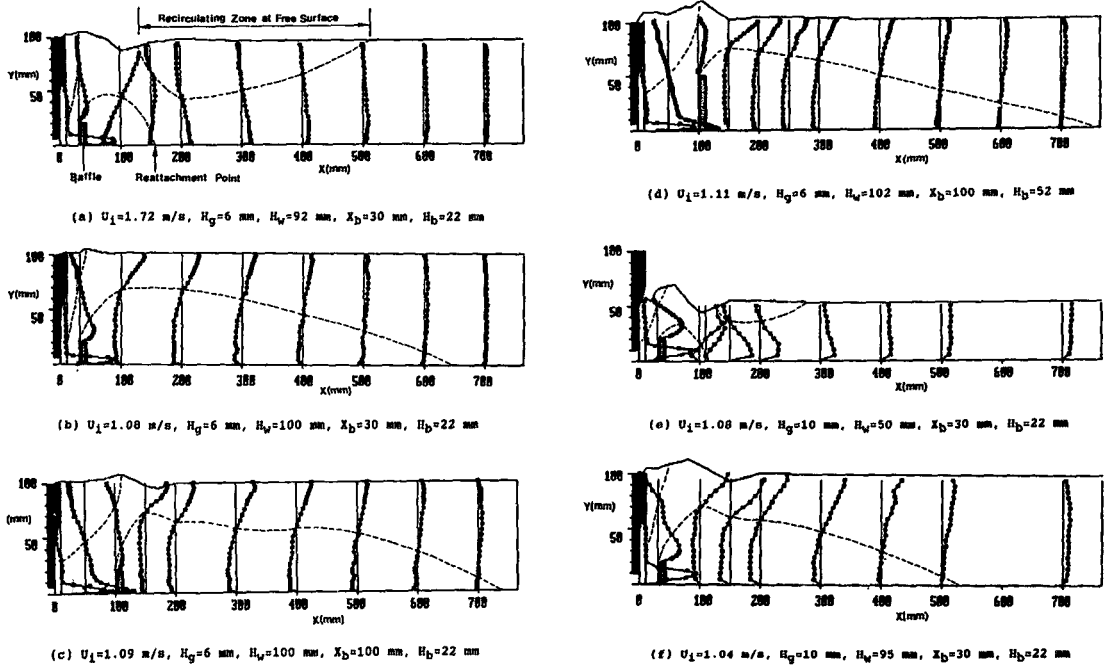


Fig. 5 Mean velocity profiles with a baffle

용하여 구한 평균 속도분포로부터 구하였고 보다 정확성을 기하기 위해 적산 유량계 (vane type) 로 확인하였다.

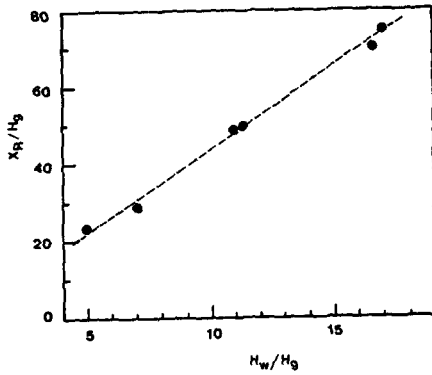
### 3.2 실험 결과 고찰

실험변수를 변화시켜가며 얻은 평균속도 분포에 따르면, 쉽게 예측할 수 있듯이 배플의 유무에 따라 전체적으로 아주 다른 특성을 보여 주었다. 즉, 전반적으로는 입구를 통해 흘러 들어오는 액체 속도, 입구 게이트의 높이 그리고 배플높이에 따라 내부 유동이 큰 영향을 받았으나 배플의 위치에 따른 영향은 그다지 크게 나타나지 않았다. 각 실험 변수의 영향을 살펴보면 다음과 같다.

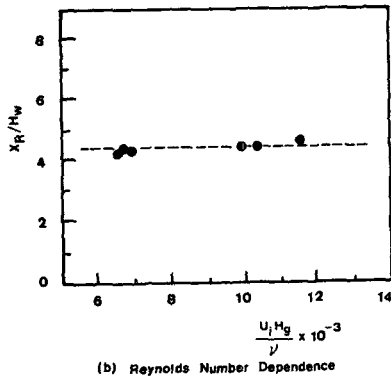
먼저 배플이 없는 경우의 실험 결과인 Fig. 4를 살펴보면 그 유동은 입구 게이트 가까운 곳에서는 수면의 영향을 크게 받지 않고 단순히 submerged plane wall jet의 형태를 가지는 것을 볼 수 있으며 입구에서 멀어질수록 수면의 영향을 받아 하류부분에서는 분류 영역의 경계가 급격히 수면쪽으로 휘어지는 경향을 보인다. Fig. 4(a)와 (b)는 모든 다른 실험조건을 같게 하고 입구 속도만을 변화시킨 실험결과로서 유동 형태에는 큰 차이를 보이지 않

는다. 그러나 Fig. 4(a), (c)를 비교해 보면 같은 실험 조건하에서 수위를 변화시켜가며 실험했을 때 수위가 높은 경우에 재순환 영역의 크기가 커지고 자유표면의 영향이 입구 게이트로부터 먼 곳에서 일어나고 있음을 볼 수 있다. Fig. 4(a)와 (d)는 같은 실험 조건하에서 입구 게이트의 높이를 변화시켰을 때의 결과로서, 두 경우 모두 게이트의 높이가 수위에 비해 작으므로 [Fig. 4(a)의 경우는  $H_w/H_g=16.7$ , Fig. 4(d)의 경우는  $H_w/H_g=9.9$ ] submerged plane wall jet의 길이는 별 차이가 나타나지 않는다. 그러나 입구유속 및 수위가 일정하게 유지된 상태에서 입구 게이트의 높이가 높아지면 증발기 내부의 전체적인 유량이 많아지고 하류 부분에서는 유속이 증가하므로 최대 속도도 다소 커짐을 볼 수 있다.

이상을 정리해보면 배플이 없는 경우에는 수위의 변화가 내부 유동형태에 가장 중요한 영향을 미치고 있으며 입구 게이트의 높이와 입구 속도는 큰 영향을 주고 있지 않음을 알 수 있다. 이는 Fig. 6(a)에서도 나타나듯이 자유표면에 발생하는 재순환 영역의 길이가 수위에 따라 선형적으로 증가하고, Fig. 6(b)에서는 입구게이트이 높이와 입구유



(a) Liquid Level Dependence



(b) Reynolds Number Dependence

Fig. 6 Dependence of the recirculating size on liquid level and Reynolds number(without baffle)

속을 기초로한 레이놀즈 수에 따라서 수위에 대한 재순환 영역의 길이가 거의 영향을 받지 않을 것을 볼 수 있다.

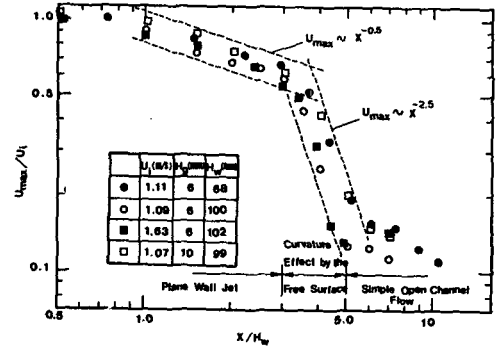
다시 말해서, 본 실험의 범위에서는 입구 레이놀즈 수에 관계없이 수위와 재순환 영역의 길이는 대체로 비례한다는 것을 의미하며,  $X_r/H_w$ 의 값은 4~5사이에 있는 것으로 나타났다.

Fig. 7(a)는 배플이 없는 경우에 대해서  $X$ 방향 최대 속도( $U_{max}$ )가  $X$ 방향 거리에 따라서 감소되어가는 경향을 입구 유속과 액체 수면의 높이로 각각 무차원화 시켜서 나타낸 것이며, Fig. 7(b)는  $X$ 방향의 최대속도의 1/2에 대응되는  $Y$ 방향의 위치를 보여주고 있다.

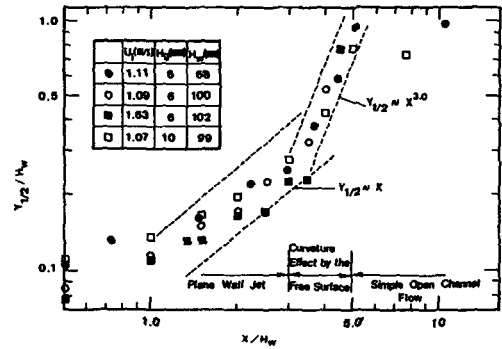
Fig. 7에서 중요하게 관찰되는 것은  $X/H_w$ 의 값이 3.0부근을 전후해서 서로 다른 기울기를 가진다는 것이며, 이를 간단히

$$U_{max} \sim X^m \quad (1)$$

$$Y_{1/2} \sim X^n \quad (2)$$



(a) Maximum Velocity Decay



(b) Wall Jet Growth

Fig. 7 Maximum velocity decay and wall jet growth(non-dimensionalized, without baffle)

등으로 표시할 수 있다. 이를 다시 자세히 살펴보면 고려된 실험변수의 범위내에서 입구 게이트로부터  $X/H_w$ 가 대략 3.0까지는 식(1), (2)의  $m, n$ 의 값이  $-0.5, 1.0$ 에 가깝게 나타나며, 잘 알려진 평면벽면 분류의 특성<sup>(7,8)</sup>을 보여주고 있다. 그러나 그 이후의 구간( $3.0 < X/H_w < 5.0$ )에서는 자유표면의 영향을 받아 분부경계가 휘어지는 현상을 보여주며 본 실험영역에서는 식(1), (2)의  $m, n$ 의 값이 각각  $-2.5$  및  $3.0$ 부근의 값을 가진다. 이는 결국 자유표면이 평면벽면 분류의 윗 부분의 유체 유입(entrainment)을 방해하는 것으로서 코안다효과(Coanda effect)와 유사하다. 그리고 Fig. 6(b)에서 볼 수 있듯이 재순환 영역의 길이는 수위의 4~5배 정도 되므로,  $X/H_w$ 의 값이 대략 5이상 되는 영역에서는 단순한 개수로 유동의 형태가 되어 최대속도는 자유표면에서 나타나며, 하류로 내려가면서 일정한 속도분포를 가지므로 식(1), (2)의  $m, n$ 의 값은 본 실험에서는 나타나지 않았으나 결

국 0(zero)에 가까운 값으로 접근하게 될 것이다.

이에 반하여 배플이 있는 경우는 유동형태가 매우 복잡하다. Fig. 5(a), (b)는 같은 실험 조건하에서 입구유속을 변화시켜가며 실험한 것으로 입구유속이 큰 경우(Fig. 5(a))에는 배플의 저항에 의해 유체가 급격히 자유 표면으로 상승하여 커다란 hydraulic jump를 형성하고 중력에 의해 아래 부분으로 내려오면서 배플 뒷 부분의 아래 벽면에 발생하는 재부착점(reattachment point)의 거리가 매우 작아지며, 이러한 급격한 유선의 변화로 인해 자유표면 부근에는 재순환 영역이 나타나는 특징이 생긴다. 따라서 최대 속도가 자유 표면에 나타나는 입구유속이 작은 경우와는 달리 입구유속이 큰 경우에는 전체적으로 매우 다른 유동형태를 보여 주고 있다. 급격한 유선 곡률에 수반되는 hydraulic jump의 크기와 자유 표면에서의 재순환 영역의 크기가 커지면 상대적으로 배플 뒤의 아래 벽면 부근에 발생하는 재순환 영역의 크기가 작아지게 된다. 배플 위치에 관한 영향은 Fig. 5(b)와 (c)를 비교해 보면 알 수 있듯이 배플이 하류 방향으로 이동된 만큼 유동형태가 같은 방향으로 이동되는 다소의 차이를 보여 주고 있으며 배플 뒷 부분의 재순환 영역의 크기와 속도분포는 거의 차이가 없었으나 배플 앞 쪽의 자유표면 부분에 나타나는 재순환 영역의 크기는 민감하게 영향을 받는다. 배플 높이에 의한 영향은 Fig. 5(c)와 (d)를 비교해 보면 알 수 있다. 배플이 높은 경우에는 자유 표면에서 hydraulic jump가 입구 부분으로 부터 가까운 곳에 높게 발생하고 배플 뒤에 재부착점의 길이가 급격한 유선 곡률에 의해 약간 작게 나타난다. 수위의 영향은 Fig. 5(e)와 (f)를 비교해 보면 알 수 있듯이 수위가 낮은 경우에는 배플에 의해 유체가 자유표면에 도달하는 거리가 상대적으로 짧으므로 자유표면에서 높은 hydraulic jump와 재순환 영역이 나타나고 수위가 높은 경우에 비해 아래 벽면에서 상대적으로 짧은 재부착점의 길이를 보여 준다. 다시 말해 수위가 배플의 높이에 비하여 상당히 높은 경우에는 자유표면에서 재순환 영역이 나타나지 않으며 배플 뒷 부분에 나타나는 재부착점의 길이가 현저하게 길어진다. 입구 게이트 높이의 영향은 Fig. 5(b), (f)에서 나타나듯이 게이트의 높이가 높아지면 증발기에 흘러 들어오는 유량이 많아지고 따라서 하류 부분에서의 약체 속도도 커지므로 배플을 지나 발생하는 재순환 영역의 길이가 짧아 진

다.

이상의 실험 결과를 정리하면 배플을 설치하는 경우, 입구유속, 수위, 배플의 높이와 위치 그리고 입구 게이트의 높이는 증발기 내부의 속도 분포에 커다란 영향을 미치고 있음을 볼 수 있다. 특히 유입 유량이 너무 많거나 배플의 높이에 비하여 상대적으로 수위가 낮은 경우에는 커다란 hydraulic jump가 발생되고 그 뒤의 자유표면에서 재순환 영역이 나타났으며, 이때 배플 뒤에 발생하는 재순환 영역은 매우 작아지는 특징을 보여주었다. 그리고 이들 변수간의 관계를 살펴보면 특히 입구 게이트의 높이와 수위 혹은 배플의 높이와 수위가 적절히 조합될 때 유사한 유동형태를 관찰할 수 있으며 이것으로 미루어보아 이들 변수 간에 어떠한 관계를 추출할 수 있을 것으로 여겨진다. 그리고 배플의 유무에 관계없이 수위는 유동형태에 가장 중요한 영향을 미치는 변수임을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

다단 후래시 증발장치 내부의 형태와 유사한 기하학적 경계조건을 가진 개수로 유동에 관해서 여러 유동 조건에 따른 속도 분포를 실험적인 측면에서 정성적으로 고려했었다.

배플이 존재하지 않는 개수로 유동은 비교적 단순한 submerged plane wall jet의 형태로써 입구 게이트 가까운 부분은 평면벽면 분류의 형태를 가진다. 반면에 하류 부분은 수면의 영향을 받아서 분류 영역의 경계가 급격히 수면쪽으로 휘어지는 것을 볼 수 있는데 이는 수면의 존재가 분류로의 주위 유체 유입을 방해하는 역할을 하여 코안다 현상과 유사한 효과가 나타나기 때문으로 여겨진다. 유동에 영향을 주는 변수로 입구 유속, 입구 게이트의 높이, 수면의 높이 등이 검토되었으며, 그 중 수면의 높이가 가장 중요한 변수로서 입구 윗 부분에 발생하는 재순환 영역의 크기가 수위의 4~5배로 대체로 비례한다는 것이 관찰되었다.

배플이 있는 경우의 유동은 submerged plane wall jet와는 달리 상당히 복잡한 형태를 가지며, 앞서의 변수들 이외에 배플의 위치와 높이를 변화시켜서 그 영향을 관찰하였다. 여기서의 큰 특징은 수면의 높이에 비하여 배플의 높이가 어느정도 이상 높거나 입구 유속이 비교적 클 경우에는 hydraulic jump 뒷부분의 자유표면 부분에서 재순

환 영역이 관찰된다는 사실이며 이는 특히 배플 유동의 경우 자유표면의 형태에 대한 측정 및 관찰이 주의 깊게 선행되어야 함을 의미한다. 배플 유동의 경우에는 입구 유속, 수위, 배플의 위치 및 높이 그리고 입구 게이트의 높이 등 여러 변수들이 모두 속도분포(유동형태)에 영향을 미치며, 그 중 수위 및 배플의 높이, 그리고 입구 게이트의 높이 등의 변화에 따라서 유사한 유동 형태가 관찰되므로 이들 변수간에 정량적인 관계식을 얻기 위해서는 앞으로 보다 많은 실험이 수행되어야 할 것이다.

### 후 기

본 연구는 1985~1987년도 한국과학재단 연구비 지원 및 한국과학기술원의 연구지원, 그리고 현대중공업(주)의 협조에 의해 수행되었으며, 이에 관해서 관계자 제위께 깊은 감사를 드린다.

### 참 고 문 헌

- (1) Lior, N. and Greif, R., 1979, "A System for the Experimental Study of Flash Evaporation", *Desalination*, Vol. 31, pp. 87~99.
- (2) Lior, N. and Greif, R., 1980, "Some Basic Observations on Heat Transfer and Evaporation in the Horizontal Flash Evaporator", *Desalination*, Vol. 33, pp. 269~286.
- (3) Lior, N., 1984, "Equations used to Calculate Non-Equilibrium in Open Channel Flash Evaporators", *ASME Paper*, No. 84-WA/Sol-34.
- (4) Fujii, T., Miyatake, O., Tanaka, T., Natsunaga, H. and Sakaguchi, N., 1976, "Fundamental Experiments on Flashing Phenomena in a Multi-Stage Flash Evaporator", *Heat Transfer Japanese Research*, 5-1, pp. 84~93.
- (5) Miyatake, O., Hashimoto, T. and Miyata, C., 1983, "Analysis of Liquid Flow in Multi-Stage Flash Evaporators--Liquid Flow Pattern and Pressure Distribution--", *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, Vol. 9, No. 4, pp. 376~382.
- (6) Rajartnam, N. and Humphries, J., 1983, "Diffusion of Bluff Wall Jets in Finite Depth Tailwater", *ASCE, J. of Hydraulic Engineering*, Vol. 109, pp. 1471~1486.
- (7) Myers, G. E., Schauer, J. J. and Eustis, R. H., 1963, "Plane Turbulent Wall Jet Flow Development and Friction Factor", *J. of Basic Engineering*, Vol. 85, pp. 47~54.
- (8) Launder, B. E. and Rodi, W., 1981, "The Turbulent Wall Jet", *Progress in Aerospace Science*, Vol. 19, pp. 81~128.