

〈論 文〉

溫水放流의 歸環에 放流口 길이의 影響

Effect of Length of Outfall Structure on Reattachment of Thermal Discharge

尹 泰 勳*, 陸 雲 洙**, 李 熔 坤***

YOON Tae Hoon, YOON Woon Soo and YI Yong Kon

Abstract □ The reattachment of buoyant effluent to shore in a crossflow is investigated experimentally. The effluent is produced by discharging warm water through projecting side channel into a confined crossflow of the same depth. In the projecting effluent, the size of recirculating region, which is formed by deflected thermal plume on the lee of the effluent, tends to increase, but the maximum temperature decreases in the direction of the crossflow and it has more even transverse spreading compared to non-projecting type. The heat flux across the crossflow is found to be independent of the the projected length of the side channel under relatively low buoyancy flux on the contrary to high buoyancy flux. The reattachment of the effluent can be specified by both velocity ratio and densimetric Froude number, whereas only the velocity ratio is governing factor to the reattachment of the effluent in the case of non-projecting type.

요 지 : 돌출방류수로에 의하여 동일한 수심의 개수로에 방류되는 浮力放流에 의한 沿岸歸環이 수리실험에 의하여 해석되었다. 부력방류는 온수를 방류하여 발생된다. 돌출방류로 인하여 浮力流 하류에 형성되는 再循環領域의 크기는 비돌출방류에서 보다 증가하는 경향을 갖으나 횡온도분포는 균일하고 횡단면 최대온도는 감소를 나타낸다. 높은 부력흐름율과는 반대로 낮은 부력흐름율 조건에서 단면평균온도 또는 열흐름율은 돌출길이의 영향이 무시할 정도이다. 비돌출의 경우에는 연안귀환에 유속비가 지배적인 매개변수이었으나 돌출방류의 경우에는 유속비와 후르드수가 다같이 지배적인 인자로 나타났다.

1. 序 論

발전소의 냉각수, 공장폐수와 생활하수를 하천이나 해안으로 방류하는 가장 보편적인 방법의 하나는 受容水와 동일한 수심을 갖는 개수로를 통해서 방류하는 것이다. 흐름 수역으로 방류되는 強制 浮力流는 가로 흐름에 의하여 연안쪽으로 만곡되고 연안의 고체 경계는 誘入을 차단하여 再循環領域이 형성되고 연안으로 만곡된 부력류는 연안에 귀환되

는 경향을 갖는다. 재순환영역에서는 유속과 亂流強度가 낮아서 오염물이 포착·침전되어 적체 현상을 유발하고 회석율이 낮아서 수질악화 또는 온도 상승영역으로 남게 된다. 이에 대한 해결방안은 혼합수역을 크게 하거나, 부력류의 연안귀환을 최소화 내지는 막는 방법이다.

이러한 문제는 부력방류와 운동량 켈 형태의 무부력 방류로 취급되어 왔다. 무부력 방류의 경우, Rouse(1957)는 2차원 켈에서 재순환영역의 길이는 방류 유속과 가로흐름 유속과의 비의 2/3승으로 비

* 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 관동대학교 토목공학과 부교수

*** 정희원, 한양대학교 토목공학과 대학원

폐함을 밝혔고, Mikhail(1975)은 재순환영역의 크기는 주로 방류와 가로흐름의 운동량비, $U_o^2 b_o / U_a^2 B$ 의 영향을 받는 것으로 밝힌 바 있다. McGuirk와 Rodi(1978)는 수심적분 $k-\epsilon$ 모형을 이용하여 재순환영역의 규모는 운동량 흐름율의 비에 관계됨을 시사했다.

냉각수나 하수의 방류와 같은 浮力放流의 경우에는 부력류가 바닥에서 상승하여 가로흐름에 퍼지는 경향을 갖는다. 가로흐름과 동일한 수심으로 방류되는 부력류에 관한 연구는 Carter(1969), Rajaratnam과 Chu(1978), Kuhlman과 Prahl(1974), Chu와 Abdelwashed(1990), 윤태훈 등(1992), Yoon 등(1993)에 의하여 수행된 바 있다. Chu(1990)는 부력류가 연안에 附着(attachment)조건을 밀도후르드수의 향으로, 윤태훈 등은 歸環(reattachment)조건으로 유속비와 방류밀도후르드수의 향으로 제시하였다. 부력류에 중요한 매개변수는 운동량 흐름율, 부력흐름율, 유속비이다. 방류구의 연안으로부터 돌출길이 또한 중요한 역할을 할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 방류구의 돌출길이와 강제부력류의 거동과 특히 귀환에 주는 영향이 조사되었다.

2. 次元解析

浮力放流의 특성은 많은 독립변수의 영향을 받는다. 특히 가로흐름과 동일한 수심으로 방류되는 부력방류에 대한 중요한 변수는 다음과 같다. 유입체적흐름율 $Q_o = U_o A_o$, 운동량 흐름율 $M_o = Q_o U_o$, 부

력흐름율 $F_o = g' Q_o$, 가로흐름의 유속 U_a , 방류수로의 돌출길이 l_o , 가로흐름의 수심 h , 가로흐름의 폭 B 이고 그 외는 그림 1에서 설명된다. 여기서 U_o, A_o 는 각각 방류수로의 유속, 흐름단면적이고 첨자 o 는 측수로의 출구조건을 나타낸다. 또한 g' 는 $g' = \frac{\Delta\rho}{\rho_o} g = \frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_o} g$ 으로 정의되는 變換重力加速度이고, 여기서 ρ_a, ρ_o 는 각각 가로흐름과 유입유체의 밀도이다. 부력방류의 대표적인 기하학적 특성은 재순환영역의 길이, L 과 폭, H 그리고 밀도차이 $\Delta\rho$ 이다. 이들을 함수형태로 나타내면 식 1과 같다.

$$H, L, \Delta\rho = f_1(Q_o, M_o, F_o, U_a, l_o, h, B) \quad (1)$$

2.1 運動量流

방류흐름의 밀도(또는 온도)가 가로흐름의 밀도와 같거나 양자의 밀도 차이가 작아서 부력의 영향을 무시할 수 있는 運動量放流의 경우 식 1은 다음과 같이 된다.

$$H, L = f_2(Q_o, M_o, U_a, l_o, B) \quad (2)$$

식 2를 무차원 매개변수로 나타내면 식 3과 같다.

$$\frac{H}{l_m}, \frac{L}{l_m} = f_3\left(\frac{I_o}{I_m}, \frac{B}{I_m}, \frac{l_o}{I_m}\right) \quad (3)$$

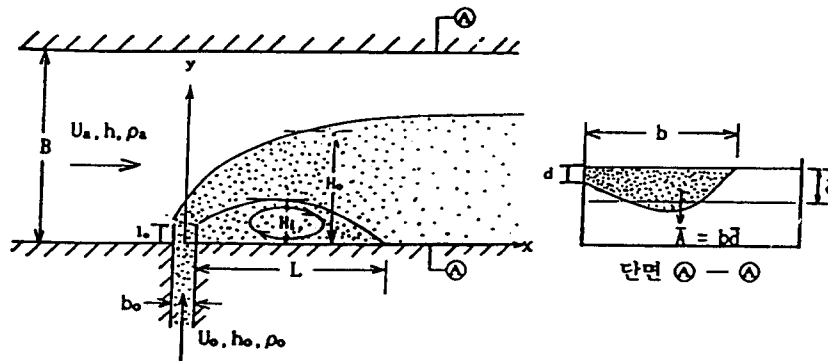


그림 1. 부력방류의 정의도

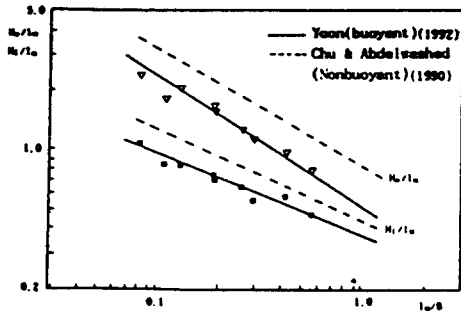


그림 2. 재순환영역의 폭

여기서 l_0 는 체적특성길이로서 $l_0 = Q_0/U_a h$ 로 정의된다. l_m 은 $l_m = M_0/hU_a^2$ 로 정의되는 운동량 특성 길이이다. l_m 은 운동량궤의 속도가 가로흐름의 속도의 크기 정도(order)로 감소하는 횡방향 거리이다(Fischer 등, 1979). 가로흐름에 유입되는 돌출 길이 $l_0 = 0$ 인 無浮力궤의 실험에 의한 재순환영역의 폭 H_o , H_i , 길이 L 에 관한 자료로부터 Chu (1990)는 식 3에 준하는 경험식을 얻었다.

$$\frac{H_i}{l_m} = (0.556 + 1.7 \frac{l_m}{B})^{-1} \quad (4)$$

$$\frac{H_o}{l_m} = (0.192 + \frac{l_m}{B})^{-1} \quad (5)$$

$$L = 7H_i \quad (6)$$

여기서 H_i , H_o 및 L 의 정의는 그림 1에 보인 바와 같다.

그림 2에 Chu의 결과와 같이 표시된 것은 부력 방류에 관한 윤태훈 등(1992)의 결과이다. 부력에 관계없이 경향은 유사함을 알 수 있다. 또한 Chu의 무부력 실험 결과는 $L = 7H_i$ 의 관계를 제시하였으며 부력궤의 윤태훈 등(1992)의 결과는 $L = 5.0 \sim 7.8 H_i$ 로 부력궤와 무부력궤의 결과가 유사함을 시사한다.

2.2 浮力궤

초기 운동량과 온도 차이에 의한 부력을 갖는 부력궤의 경우 식 1은 다음과 같은 매개변수의 향으로 나타낼 수 있다.

$$H, L, \Delta\theta = f_4(\frac{Q_0}{U_a h}, \frac{M_0}{hU_a^2}, \frac{F_{ro}}{U_a^3}, l_0, B) \quad (7)$$

여기서 l_b 는 $l_b = F_0/U_a^3$ 로 정의되는 浮力特性길이로서 부력궤의 횡방향 유입속도가 가로흐름의 속도 정도로 감소하는 횡방향 거리이다(Fischer 등, 1979). 식 7을 무차원 매개변수의 향으로 나타내면,

$$\frac{H}{l_m}, \frac{L}{l_m}, \Gamma = f_5(\frac{l_0}{l_m}, \frac{l_b}{l_m}, \frac{l_m}{B}, \frac{l_0}{l_m}) \quad (8)$$

여기서 Γ 는 무차원 온도차이다.

$$\Gamma = \frac{T - T_a}{T_o - T_a} \times 100 \quad (9)$$

여기서 T 는 부력류의 온도, T_a 는 수용수의 온도, T_o 는 방류수의 온도이다. 식 8의 무차원 매개변수는 다음과 같이 해석될 수 있다.

$$\frac{l_m}{l_b} = \frac{M_0}{hU_a^2} \frac{U_a^3}{F_0} = \frac{U_o U_a}{g'h} \quad (10)$$

l_m/l_b 는 부력의 상대적인 영향을 나타내고 후르두수와 유속비의 향으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{l_m}{l_b} = \frac{F_{ro}^2}{R} \quad (11)$$

여기서 R 은 유속비로서 放流流速 U_o 와 가로흐름 유속 U_a 의 비이고

$$R = \frac{U_o}{U_a} \quad (12)$$

F_{ro} 은 방류밀도 후르드수이다.

$$F_{ro} = \frac{U_o}{\sqrt{g'h}} \quad (13)$$

$$\frac{l_m}{l_b} = \frac{U_o U_a}{g'h} = F_{ro} F_{ra} \quad (14)$$

여기서 F_{ra} 는 가로흐름의 밀도후르드수이다.

$$F_{ra} = \frac{U_a}{\sqrt{g'h}} \quad (15)$$

$$\frac{I_m}{B} = \frac{M_o}{U_a^2 h B} = \frac{U_o A_o}{U_a^2 h B} = \frac{U_a^2 A_o}{U_o^2 A} \quad (16)$$

여기서 A_o 과 A 는 방류수로와 가로흐름수로에서 각각 흐름단면적이다.

식 16은 가로흐름의 운동량 흐름율에 대한 방류 운동량 흐름율의 비이다.

무차원 매개변수 I_o/I_m 은 다음과 같이 유속비 R 이 된다.

$$\frac{I_m}{B} = \frac{M_o}{U_a^2 h B} = \frac{U_o h}{Q_o} = \frac{U_o}{U_a} \quad (17)$$

매개변수 I_m/I_o 는 유속비 R 로서 식 11 또는 14에 포함되므로 식 8에서 제거된다. 따라서 식 8은 다음과 같이 된다.

$$\frac{H}{I_m}, \frac{L}{I_m}, F = f_6\left(\frac{I_m}{I_b}, \frac{I_m}{B}, \frac{I_o}{I_m}\right) \quad (18)$$

3. 實 驗

실험이 수행된 가로흐름의 수로는 길이 500cm, 폭 60cm, 깊이 20cm인 아크릴로 제작된 수로이다. 이 수로에 직각으로 방류되는 측수로는 폭이 1cm, 깊이 9.5cm이다. 가로흐름은 0~30m³/hr (500 l/min) 범위의 로토미터를 이용하여 유량을 측정하였으며, 이로 부터 유속을 계산하였다. 부력방류는 온수의 방류로 발생시켰으며 0~10 l/min 범위의 로토미터를 사용하여 유량을 측정하였다. 방류수의 온도는 가로흐름보다 4~20광 높게 하여 부력의 효과를 크게 하였다. 온도 측정에는 직경 3mm T형 온도계를 이용하였으며 한 단면에서 15개를 횡방향에서 4cm간격으로 배열시켜 9.5cm 수심에 대하여 5개 수심에서 온도를 측정하였다. 온도계의 출력은 32 channel data logger를 통하여 PC에 입

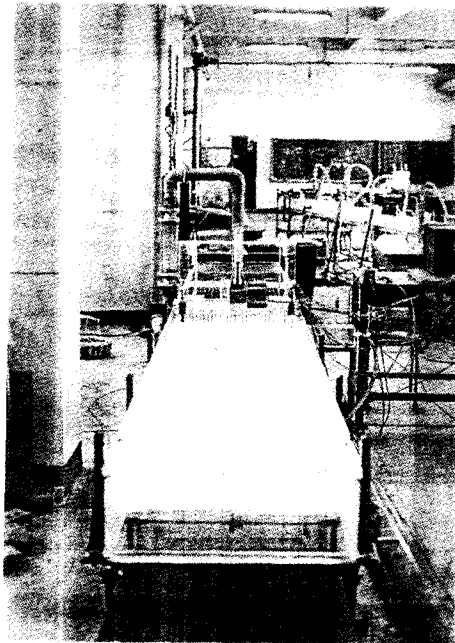


사진 1. 실험장치 사진

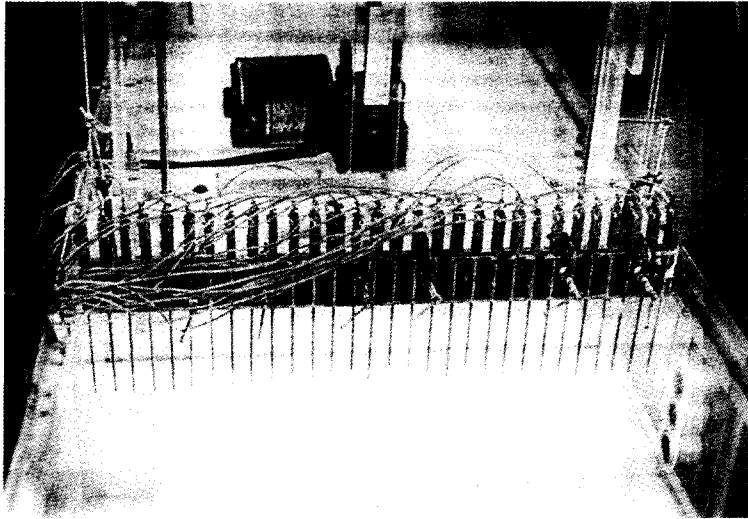


사진 2. 측정장치

표 1. 실험조건 요약

실험번호	돌출길이 cm	U_0 cm/s	U_s cm/s	h cm	Q_0 l/min	T_0 °C	T_s °C	ΔT °C	M_0 cm ⁴ /s ²	F_0 cm ⁴ /s ²
L000-1	0.0	9.26	2.44	9.5	5.0	16.6	6.8	9.8	771.64	87.66
L000-2	0.0	3.70	1.95	9.5	2.0	18.2	12.8	5.4	123.21	26.33
L000-3	0.0	11.11	1.46	9.5	6.0	15.9	13.5	2.4	1110.89	35.78
L000-4	0.0	9.26	2.44	9.5	5.0	16.2	13.6	2.6	771.73	30.38
L025-1	2.5	9.26	2.44	9.5	5.0	16.6	7.0	9.6	771.73	86.53
L025-2	2.5	7.41	1.95	9.5	4.0	21.7	12.5	9.2	494.17	103.76
L025-3	2.5	5.56	2.44	9.5	3.0	27.1	13.3	13.8	278.22	138.43
L025-4	2.5	9.26	2.44	9.5	5.0	18.0	13.2	4.8	771.73	61.65
L050-1	5.0	5.56	2.44	9.5	3.0	27.5	10.6	16.9	278.22	159.40
L050-2	5.0	9.26	2.44	9.5	5.0	13.4	4.7	8.7	771.73	52.72
L050-3	5.0	9.26	2.44	9.5	5.0	19.1	9.1	10.0	771.73	118.78
L050-4	5.0	3.70	1.95	9.5	2.0	16.0	11.9	4.1	123.21	18.95
L075-1	7.5	5.56	2.44	9.5	3.0	25.6	12.1	13.5	278.22	125.86
L075-2	7.5	9.26	1.95	9.5	5.0	22.3	12.0	10.3	771.73	146.44
L075-3	7.5	9.26	2.44	9.5	5.0	16.1	7.0	9.1	771.73	79.72
L075-4	7.5	3.70	1.95	9.5	2.0	14.4	9.4	5.0	123.21	17.95
L100-1	10.0	9.26	1.46	9.5	5.0	17.4	11.4	6.0	771.73	70.13
L100-2	10.0	3.70	1.95	9.5	2.0	21.3	11.6	9.7	123.21	52.00
L100-3	10.0	7.41	2.92	9.5	4.0	25.6	11.8	13.8	494.17	172.62
L100-4	10.0	9.26	2.44	9.5	5.0	16.1	6.2	9.9	771.73	82.36

표 2. 실험 결과

실험번호	돌출길이 cm	유속비	귀환길이 L, cm	재순환영역폭 H _o , cm	l _a	l _b	F _{ro}	l _m /l _b =F _{ro} F _{ra}
L000-1	0.0	3.80	75	15	14.44	6.04	3.01	2.39
L000-2	0.0	1.90	15	5	3.61	3.72	1.36	0.97
L000-3	0.0	7.60	105	30	57.76	11.51	6.17	5.02
L000-4	0.0	3.80	70	15	14.44	2.10	5.11	6.88
L025-1	2.5	3.80	70	17	14.44	5.98	3.03	2.42
L025-2	2.5	3.80	40	15	14.44	14.01	1.98	1.03
L025-3	2.5	2.28	30	10	5.20	9.57	1.11	0.54
L025-4	2.5	3.80	70	17	14.44	4.26	3.59	3.39
L050-1	5.0	2.28	45	15	5.20	11.02	1.04	0.47
L050-2	5.0	3.80	95	21	14.44	3.64	3.88	3.97
L050-3	5.0	3.80	85	28	14.44	7.73	2.66	1.87
L050-4	5.0	1.90	60	15	3.61	2.56	1.64	1.41
L075-1	7.5	2.28	65	15	5.20	8.79	1.16	0.59
L075-2	7.5	4.75	100	22	22.56	19.77	2.33	1.14
L075-3	7.5	3.80	88	23	14.44	5.51	3.16	2.62
L075-4	7.5	1.90	60	17	3.61	2.42	1.68	1.49
L100-1	10.0	6.33	115	32	40.11	23.41	3.36	1.71
L100-2	10.0	1.90	75	17	3.61	7.02	0.99	0.51
L100-3	10.0	2.53	95	25	6.42	6.90	1.53	0.93
L100-4	10.0	3.80	107	25	14.44	5.65	3.10	2.56

력시켜 디스켈에 온도 자료를 수록하였다. 온도계의 시간상수 30초를 감안하여 1분마다 하나씩 온도 자료를 3회 획득하되 이들을 평균한 평균치를 이용하였다. 육안 관찰과 사진촬영을 위하여 색소를 주입하였으며 실험조건은 표 1, 실험결과는 표 2와 같다. 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 방류수로의 돌출길이는 $l_o/b_o=0\sim 10$ 의 범위이고 가로흐름에 대한 온도차이는 $\Delta T=2.4\sim 16.9$ 광이고 이에 대응하는 방류밀도 후르드수 F_{ro} 와 $l_m/l_b=F_{ro}F_{ra}$ 의 범위는 각각 $F_{ro}=6.17\sim 1.04$, $F_{ro}F_{ra}=6.88\sim 0.47$ 이다.

4. 實驗結果 解析

4.1 흐름양상

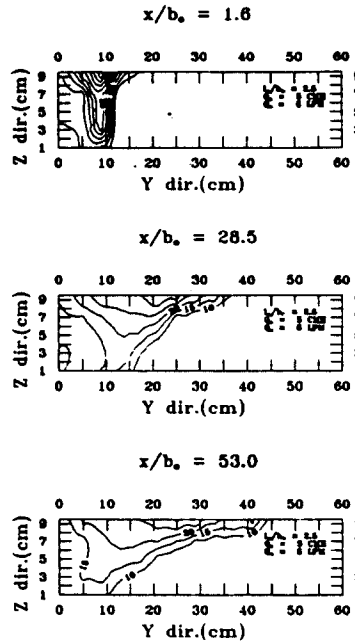
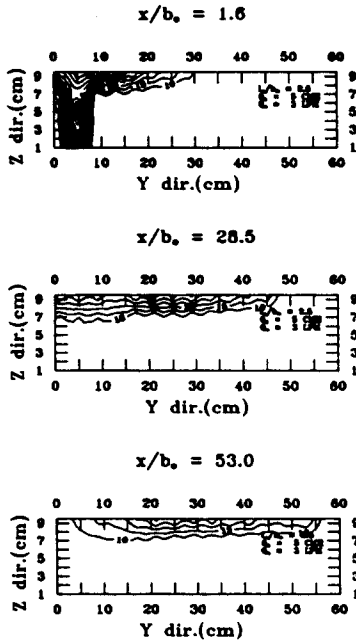
동일한 조건에서 강제부력류와 가로흐름의 온도 차이가 큰 경우, 부력류는 방류구에서 비교적 짧은 거리의 하류에서 浮上하기 시작하여 수면층을 형성하고 수면층의 두께 역시 하류로 이동함에 따라 빠른 감소가 예상된다. 그림 3 a,b는 돌출길이가 $l_o/$

$b_o=2.5$ 인 경우 $\Delta T=13.8$ 광 ($F_{ro}F_{ra}=0.54$)와 $\Delta T=4.8$ 광 ($F_{ro}F_{ra}=3.39$)에 대하여 선정된 단면의 온도분포로서, 앞서 기술된 현상을 잘 설명한다.

그림 3의 등온선은 방류온도에 대한 식 9로 정의되는 무차원 백분율이다.

그림 4는 방류길이가 $l_o/b_o=10$ 인 경우 $\Delta T=9.7^\circ\text{C}$ ($F_{ro}F_{ra}=0.51$)와 $\Delta T=6.0^\circ\text{C}$ ($F_{ro}F_{ra}=1.71$)에 대하여 선정된 단면의 온도분포로서 부력류의 거동은 $l_o/b_o=2.5$ 인 경우와 유사하다.

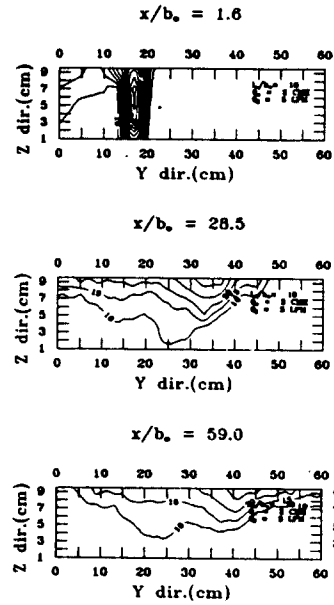
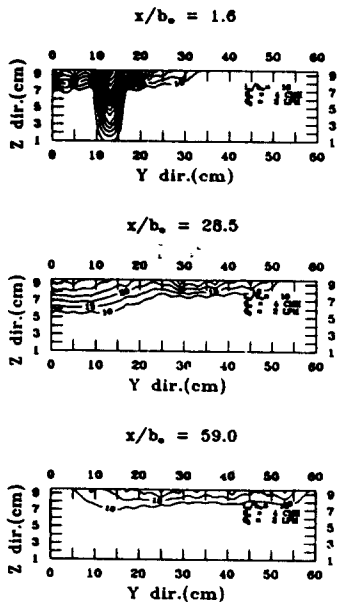
그림 5a, b는 $F_{ro}F_{ra}=0.54$ ($\Delta T=13.8$ 광), $F_{ro}F_{ra}=0.51$ ($\Delta T=9.7$ 광)고서 방류와 가로흐름 조건이 거의 같은 경우 돌출길이가 각각 $l_o/b_o=2.5$ 와 10에 대하여 선정된 단면의 온도 분포이다. 방류온도가 높거나 또는 $F_{ro}F_{ra}$ 의 값이 작으면 돌출길이에 관계없이 부력류의 거동에는 거의 차이가 없다. 그러나, $F_{ro}F_{ra}$ 값이 $F_{ro}F_{ra}=2.41\sim 2.56$ 정도로 크고 방류유속이 또한 큰 경우에는 $l_o/b_o=2.5$ 에서보다 $l_o/b_o=10$ 에서 바닥에서 부상과 횡퍼짐이 완만하다 (그림 6a,b). 방류수로 길이의 영향은 단면의 온도 변화와 평균온도의 향으로 다음에 기술된다.



(a) $F_{ro}=1.11, \Delta T=13.8$ 광, $F_{ro}F_{ra}=0.54$

(b) $F_{ro}=3.59, \Delta T=4.8$ 광, $F_{ro}F_{ra}=3.39$

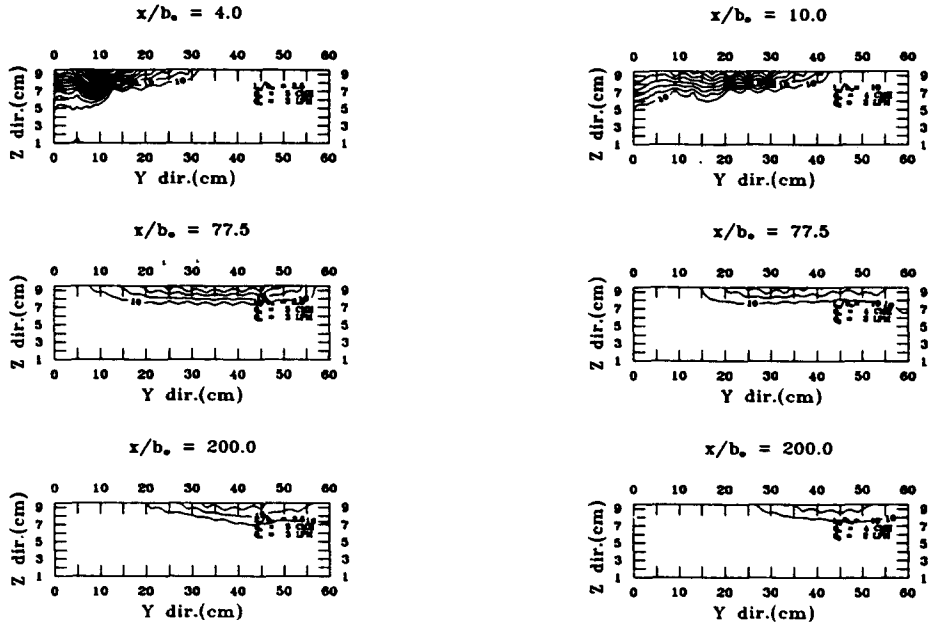
그림 3. $l_0/b_0=2.5$ 에서 상이한 F_{ro} 에 대한 횡단면 온도분포



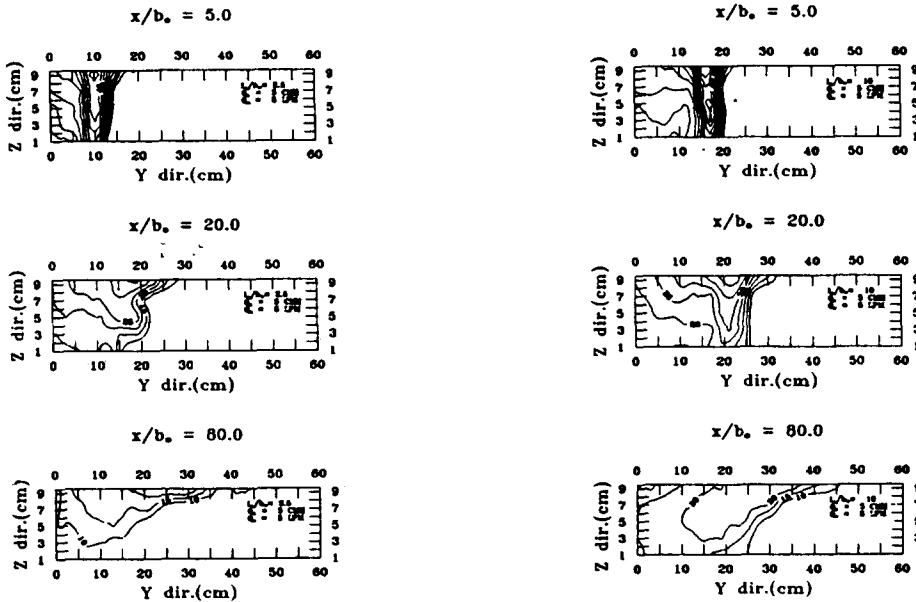
(a) $F_{ro}=0.99, \Delta T=9.7$ 광, $F_{ro}F_{ra}=0.51$

(b) $F_{ro}=3.36, \Delta T=6.0$ 광, $F_{ro}F_{ra}=1.71$

그림 4. $l_0/b_0=10$ 에서 상이한 F_{ro} 에 대한 횡단면 온도분포



(a) $l_0/b_0 = 2.5$ (b) $l_0/b_0 = 10.0$
 그림 5. 상이한 돌출길이에 대한 단면온도분포 ($F_{10}F_{1a} = 0.51 \sim 0.54$)



(a) $l_0/b_0 = 2.5$ (b) $l_0/b_0 = 10.0$
 그림 6. 상이한 돌출길이에 대한 단면온도분포 ($F_{10}F_{1a} = 2.41 \sim 2.56$)

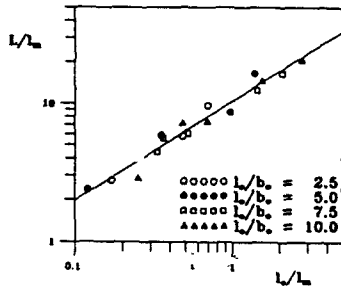


그림 7. 순환길이

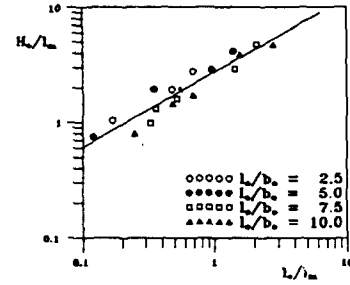
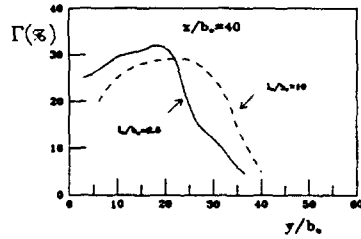
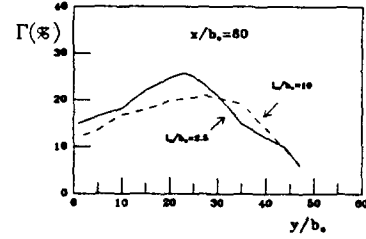


그림 8. 순환영역의 폭



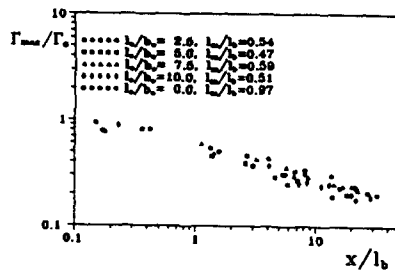
(a) $x/b_0 = 40$



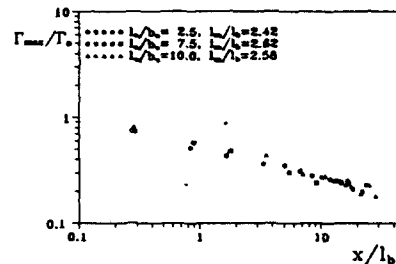
(b) $x/b_0 = 80$

— $l_0/b_0 = 2.5$, $\Delta\Gamma = 10^\circ\text{C}$, $F_{ro} = 3.12$, $F_{ro}F_{ra} = 2.39$
 - - - $l_0/b_0 = 10$, $\Delta\Gamma = 10^\circ\text{C}$, $F_{ro} = 3.12$, $F_{ro}F_{ra} = 2.56$

그림 9. 수면의 횡온도곡선



(a) $F_{ro}F_{ra} \approx 0.5$



(b) $F_{ro}F_{ra} \approx 2.6$

그림 10. 부력류의 단면최대온도

4.2 浮力流의 幾何特性

부력류의 만곡으로 인한 순환영역의 길이인 귀환 길이와 폭은 돌출길이에 따라 증가한다(그림 7, 8). 이러한 사실은 近域의 증대로 초기 혼합이 크게 되어 稀釋이 효과적이고 이는 그림 9에서 설명될 수 있다.

4.3 溫度變化

그림 9는 돌출길이 $l_0/b_0 = 2.5$ 와 10에 대한 수면의 橫溫度曲線으로 돌출길이가 큰 경우 수면온도는 고르게 되고 최대온도는 감소함을 나타낸다. 이는 희석효과가 크게 된다고 해석될 수 있다.

부력류 단면의 최대온도는 그림 10에서와 같이 放流水路의 돌출길이가 증가함에 따라서 감소함을 알 수 있다. 그림 10(a)에서 비돌출의 경우보다 돌출 방류의 경우 현저한 온도감소가 일어남을 알 수 있다.

4.4 稀釋

강제 부력류 회석의 척도로서 단면평균온도를 사용할 수 있다. 부력류의 경계는 방류온도의 10%로 정의되고, 이와 같이 정의되는 부력류의 면적은 \bar{A} 로 표시된다. 단면평균온도 $\bar{\Gamma}$ 는 15 5개의 점온도를 이용하여 면적 A 상에 5%간격으로 작성된 등온선도를 이용하여 계산된다.

$$\bar{\Gamma} = \frac{\sum \Gamma_i A_i}{A} \quad (19)$$

여기서 Γ_i 와 A_i 는 등온선 사이의 평균온도와 면적이다. A 는 10%로 정의되는 부력류의 면적이므로 $\sum A_i > A$ 이고 15×5개 중 일부는 면적 A 밖에

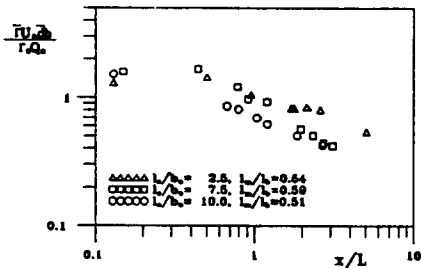


그림 11. 부력류 열흐름율(부력류 면적에 대한) $F_{r_0}F_{r_a} = 0.59$

위치하므로 $\bar{\Gamma}$ 는 흐름단면적이 아니라 부력면적 A 의 평균온도이다. 평균온도 $\bar{\Gamma}$ 에 대한 열흐름율은 $\bar{\Gamma}U_a A$ 로 정의되고 이를 방류열흐름율 $\Gamma_a Q_a$ 를 이용하여 무차원화하여 돌출길이별로 나타낸 것이 그림 11이다. 그림 11은 $F_{r_0}F_{r_a} = 0.51 \sim 0.59$ 범위에서 상이한 돌출길이에 대한 결과로서, 돌출길이가 큰 경우 열흐름이 작게 나타났다. 이는 단면 평균온도가 낮아서 회석이 효과적임을 의미한다. 그림 12는 $F_{r_0}F_{r_a} = 2.5$ 인 경우로 열흐름율 또는 회석은 돌출길이의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다.

돌출길이 $l_0/b_0 = 0$ 인 부력류의 실험에서 윤태훈 등(1992)은 열흐름율을 다음과 같이 제시하였다.

$$\frac{\bar{\Gamma}U_a h H_0}{Q_a} \Gamma_0 = 0.7 \left(\frac{x}{L} \right)^{-0.23} \quad (20)$$

그림 13은 식 20과 비교하기 위하여 浮力流面積이 아닌 흐름단면적 hH_0 에 대한 열흐름율을 도시한 것으로 기울기가 (-0.3)으로 $F_{r_0}F_{r_a} = 0.5$ 정도로 부력이 큰 경우에는 돌출길이의 영향이 거의 없음을 알 수 있다.

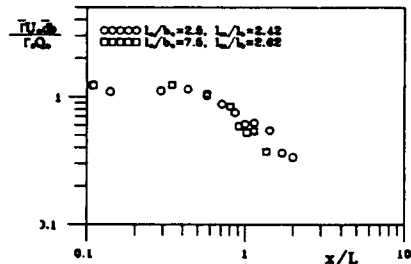


그림 12. 부력류 열흐름율(부력류 면적에 대한) $F_{r_0}F_{r_a} = 2.5$

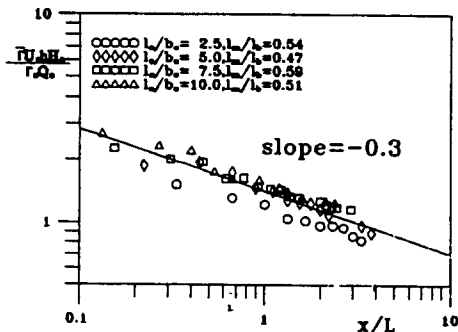


그림 13. 부력류의 열흐름율(흐름단면적)

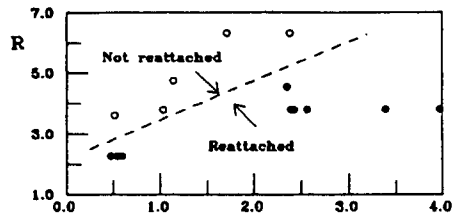


그림 14. 귀환에 대한 R과 $F_{r_0}F_{r_a}$

돌출수로 하류에서는 유속이 감소하고 국부적으로 역류가 일어나므로 열흐름을 $\bar{I}U_s\bar{A}$ 에서 A에 대한 실제 유속은 U_s 보다 작다. 돌출길이가 $l_0/b_0=0$ 인 경우 윤태훈 등(1992)은 부력류의 수심평균 폭을 다음과 같이 제시하였다.

$$\frac{\bar{I}}{H_0} = 1.6 \left(\frac{x}{L} \right)^{0.23} \quad (21)$$

식 20, 21의 곱은 $\bar{I}U_s\bar{A}/Q_0\Gamma_0=1.12$ 이다. 后流의 유속은 U_0-u 로 가로흐름의 유속보다 작고 u 는 流速不足이다. 따라서 실제 열흐름율은 $\bar{I}(U_0-u)\bar{A}$ 와 같게 되므로 열흐름율을 $\bar{I}U_s\bar{A}$ 로 나타낸 점을 고려하면 유속부족 u 는 가로흐름유속 U_0 의 약 12%에 해당된다.

4.5 突出放流의 歸環條件

비돌출방류의 경우 연안귀환의 조건은 流速比 R (=방류유속/가로흐름유속)와 밀도후르드수의 향으로 제시된 바 있다(Yoon 등,1993). 비돌출방류의 경우와 같이 속도비 R , 밀도후르드수 F_r, F_{r_0} 의 향으로 제시될 수 있다 (그림 14). 비돌출방류의 경우에는 歸環조건에 유속비가 지배적이었으나 돌출방류의 경우 방류수로의 돌출길이는 귀환에 별 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나 R 과 F_r, F_{r_0} 가 다같이 지배적인 인자가 됨을 알 수 있다. 주어진 방류와 가로흐름에서 歸環의 영역을 제시할 수 있는 해석적인 작업이 요구된다.

5. 結 論

가로흐름과 동일한 수심의 돌출수로에 의한 부력방류의 거동과 연안에 귀환조건이 실험적으로 조사되었다. 높은 방류부력흐름율에서는 돌출길이가 긴 경우 부상이 빨리 일어나고 얇은 수면층이 형성되나, 낮은 부력흐름율의 경우 반대의 현상이 일어난다. 단면최대온도는 돌출길이가 큰 경우 감소하고 돌출방류에서 횡퍼짐은 보다 균일하게 나타나고 열흐름율은 감소하여 회색은 효과적이 된다. 沿岸歸

環의 조건에서 비돌출의 경우에는 유속비가 중요한 因子이었으나 突出放流의 경우에는 유속비와 밀도후르드수가 중요한 매개변수가 된다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 지원(과제관리번호: 93-92)에 의하여 수행되었음을 밝힙니다.

參 考 文 獻

1. 윤태훈, 육운수, 한운우, 흐름수역에서 켈흐름의 연안귀환, 대한토목학회논문집 12-4-1, 1992, pp. 43-52.
2. Benjamin, T.B., Gravity currents and related phenomena, J. of Fluid Mech., 31(1), 1968, pp. 209-248.
3. Carter, H.H., A preliminary report on characteristics of a heated jet discharged horizontally into a traverse current-part I, constant depth, Report No.61, Chesapeake Bay Inst., Johns Hopkins Univ., Baltimore, Md., 1969.
4. Chu, V.H., Abdelwashed, M.S.T., Shore attachment of buoyant effluent in strong crossflow, J.of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 116, No.2, 1990, pp.157-175.
5. Fischer, H.B. et al., Mixing in inland and coastal waters, Academic Press, 1979.
6. Kuhlman, J.M., and Prah, J.M., Laboratory modeling of surface thermal plumes, Report No.TR-74-102, school of Engrg., Case Western Reserve Univ., Cleveland, Ohio, 1974.
7. McGuirk, J.S., and Rodi, W., A depth-averaged mathematical model for the near field of side discharge into open-channel flow, J. of Fluid Mech., Vol. 68, Part 4, 1978, pp. 716-781.
8. Mikhail, R., Chu, V.H., and Savage, S.B., The re-attachment of two dimensional turbulent jet in a confined crossflow, Proc. of 16th IAHR Congress, Vol.3, 1975, pp. 414-419.
9. Rajaratnam, N., and Chu, V.H., Surface dis-

- charge of thermal effluent into Lakes with ambient currents, Proc. of conf. on Envir. Aspects of Industrial Cooling in Northern Climates, Environment Canada, 1978.
10. Rouse, H., Diffusion in the lee of a two-dimensional jet, 9i me Congress Intern. de M
canique Appliqu e, 1, 1957, pp. 307-312.
11. Yoon. T.H., Yook. W.S., and Han. W.W., Near field of buoyant effluent into a confined cross flow, 25th Congress of IAHR, Vol.5, Tokyo, 1993, pp. 242-249.

〈접수: 4/7〉