

〈論 文〉

2차원 비압축성 점성유동에 나타나는 압력 경계조건의 해결방안

이 재 현*

(1988년 4월 29일 접수)

A Solution Method for the Pressure-Based Boundary Condition in the Computation of Two-Dimensional Incompressible Viscous Flow

Jae-Heon Lee

Key Words : Pressure-Based Boundary Condition(압력경계조건), SIMPLER Algorithm
(SIMPLER 알고리즘), Duct of Multi-Exit(다수출구 덕트)

Abstract

A Numerical method has been introduced to handle a pressure-based boundary condition of the incompressible viscous flow field. This method, based on SIMPLER algorithm, has been applied to analyze the flow characteristics within a two-dimensional duct of two-exit, as an example. From this, it is possible to determine the ratio of flow rate through two exits imposed on different static pressure. In order to check the validity of the present method, calculated velocity at the boundary imposed on pressure condition by the use of present method has been transferred to the velocity boundary condition of the conventional numerical method workable only with the velocity-based boundary condition. It is found that the calculated boundary pressure from conventional method are almost identical to those endowed originally. Present method, therefore, will be widely applicable to the practical situations specified by the pressure-based boundary condition rather than the velocity one.

1. 서 론

유체유동에 관한 일반적인 문제에서는 운동량 방정식을 풀기 위하여 일반적으로 경계조건으로서 속도값이 요구된다. 그렇지 않으면 최소한 유동출구에서 속도에 관한 Neumann형의 경계조건이 필요하다. 그러나 실제 응용문제에서 유로의 출구조건이 속도에 관한 정보로서 주어질 수 없는 경우가 많다. 예를 들면 면적이 다른 여러개의 출구가 있

는 유로에서 이들 출구가 모두 대기와 접한 경우, 창문이 여러개 달린 실내의 경우, 그리고 여러개의 출구에 필터와 같은 압력 강하를 동반하는 장치가 설치되어 있는 청정실의 경우 등이 있을 수 있다. 더우기, 유로내부의 유동특성에 관심이 있으면서 유출구에서의 경계조건으로는 압력값만이 유일하게 정의 될 수 있는 경우가 많다.

압력값은 스칼라량이므로 벡터량인 속도값에 비하여 실험적인 측정이 간단하기도 하며 다른 여건에 의하여 정의되기 편리하기 때문에 실제적 물리적인 문제의 경계조건으로 쉽게 이용될 수 있다. 그러나 수치계산 연구에 의하여 이러한 문제를 취

* 정회원, 한양대학교 공과대학 기계공학과

급하는 데는 큰 어려움에 봉착하게 된다. 즉 압력을 기술하는 직접적인 방정식이 없기 때문에 간접적인 방법에 의하여 압력조건을 부여 해 주어야 한다는 것이다. 이러한 문제점의 제시 및 이에 대한 여러가지 기존 연구에 관한 개관은 Gresho and Sani⁽¹⁾에 의하여 상세히 서술된 바 있다. 대부분의 연구자들은 운동량 방정식을 미분하고 연속방정식을 이용하여 이를 변형시킨 압력 Poisson 방정식을 풀이하는 방법을 선택하였기 때문에 이 방정식을 취급하는 데에 많은 노력을 기울였고 따라서 이러한 연구방법에는 Navier-Stokes 방정식을 직접 취급하는 수치계산 연구에서 개발되는 정보 즉 새로운 분포형태가정(profile assumption), 새로운 수렴촉진 방법, 그리고 비정규 경계면 취급법등에 관한 개선방법을 도입하는데는 비교적 유연성이 없는 경향을 보인다. 그러므로 기존의 Navier-Stokes 방정식을 직접 다루는 전형적인 프로그램이 압력경계조건을 취급할 수 있도록 수정하여 두가지 경계조건을 모두 처리할 수 있는 방안을 찾는 것이 바람직 하다고 하겠다. 이러한 방법의 필요성은 Orzag and Israeli⁽²⁾이 이미 기술한 바 있으나 이러한 방법이 개발되어 실제의 유체유동 현상의 연구에 응용된 기존연구는 찾기 어렵다.

본 연구에서는 SIMPLER 알고리즘⁽³⁾이 응용된 기존 2차원 타원형 프로그램을 수정하여 압력값의 절대치가 지배방정식의 경계조건으로 사용될 수 있도록 하였으며 이를 이용한 계산예로서, 청정실과 유사한 유로에서의 유체 유동을 수치적으로 해석하여 수정된 프로그램의 타당성을 입증하였다.

2. 지배방정식의 구성

일정밀도 및 일정점성계수의 가정하에서 정상 2차원 비압축성 층류 유동을 기술하는 무차원 연속 방정식과 무차원 운동량 방정식은 아래와 같다.

$$\partial u / \partial x + \partial v / \partial y = 0 \quad (1)$$

$$u(\partial u / \partial x) + v(\partial u / \partial y) = -\partial p / \partial x + (1/Re)(\partial^2 u / \partial x^2 + \partial^2 u / \partial y^2) \quad (2)$$

$$u(\partial v / \partial x) + v(\partial v / \partial y) = -\partial P / \partial y + (1/Re)(\partial^2 v / \partial x^2 + \partial^2 v / \partial y^2) \quad (3)$$

상기 무차원 미분방정식에서 사용된 무차원수 및 무차원 변수의 정의는 아래와 같다.

$$x = x''/L_c, \quad y = y''/L_c, \quad u = u''/v_c, \quad v = v''/v_c, \\ P = P''/(\rho v_c^2), \quad Re = v_c L_c / \nu \quad (4)$$

여기서 상첨자 "는 유차원 값을 표시하며 v_c 및 L_c 는 각각 특성속도 및 특성길이 이다. Re , ρ 및 ν 는 각각 Reynolds수, 밀도 및 동점성 계수이다. 지배방정식과 함께 정의되는 경계조건은 다음과 같다.

$$u=0 \quad \text{and} \quad v=0 \quad \text{at walls} \quad (5)$$

$$u = u_g \quad \text{and} \quad v = v_g \quad \text{at flow inlet} \quad (6)$$

$$P = P_g \quad \text{at flow outlet} \quad (7)$$

여기서 하첨자 'g'는 주어진 값을 나타낸다.

3. 수치해석 방법

전체 계산영역은 많은 작은 제어체적으로 분할되어 엇갈린 격자망(staggered grid) 방법, 그리고 제어체적 공식화(control volume formulation) 방법에 의하여 이산화 방정식이 얻어진다. 이 이산화 방정식들은 SIMPLER 알고리즘에 의하여 풀려지며 이 알고리즘의 주요과정은 아래와 같이 나열될 수 있다.

과정 1; 예측된 속도장 혹은 전번 계산된 속도장에 의하여 유사속도(pseudovelocity)를 계산하고 이것이 계수의 일부로 사용되는 압력방정식을 풀이한다.

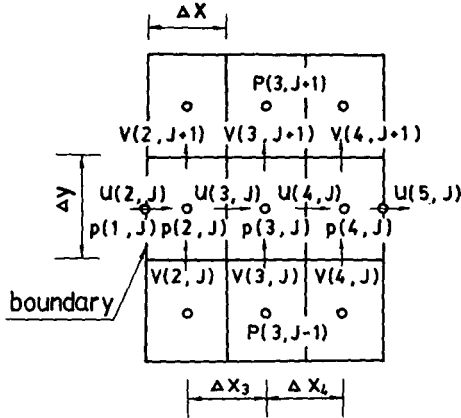
과정 2; 계산된 압력장을 이용하여 운동량 방정식을 풀이하고 이때의 속도값을 각각 u^* , v^* 라 하자.

과정 3; 압력 수정방정식을 풀이하고 이를 이용하여 속도 u^* 및 v^* 를 개선시킨다.

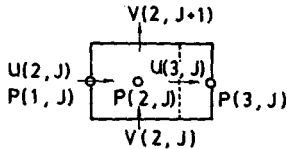
과정 4; 수렴치가 얻어지지 않으면 과정 1로 되돌아 간다.

여기서 사용된 수치해석 방법의 대부분은 참고문헌 (3)에서 상세히 설명하였으므로 재론하지 않겠으며 특정경계면에 압력 경계조건을 부여하는 방법에 관하여 속도경계조건을 부여하는 방법과 비교하여 기술하겠다.

논의의 간결화를 위하여 Fig. 1(a)에 보이는 바와 같이 압력 격자점을 포함하는 9개의 제어체적을 생각하고 경계조건은 이들의 좌측에 주어진다 가정하자. 이 그림에는 속도 u 및 속도 v 가 정의되는 위치와 함께 압력 P 가 정의되는 위치도 나타나 있다. 또한 상세한 설명을 위하여 경계면에 수직인 방향으로 경계면에 인접한 속도 $u(3, J)$ 가 포함되는 속도제어체적을 Fig. 1(b)에 보여준다. 이 그림에서 제어체적 내부의 수직점선은 압력제어 체적면



(a) nine pressure control volumes,



(b) one u-velocity control volume

Fig. 1 Control volumes and locations of each variable near the left boundary

의 위치를 나타낸다.

상기 Fig. 1(a) 및 Fig. 1(b)를 참고하면서 경계면에 속도 경계조건이 주어진 경우와 압력경계조건이 주어진 경우에 수렴된 $u(3, J)$ 를 계산하는 방법을 비교하여 기술하고자 한다. 이러한 논의는 본 연구에서 사용되는 수치해석방법의 이론적 근거를 마련해 줄 것이다.

3.1 속도 경계조건인 경우

SIMPLER 알고리즘에서 사용하는 압력방정식은 운동량 방정식을 연속방정식에 대입하여 만들어지며 $P(2, J)$ 에 관하여서는 아래와 같이 표현된다.

$$a_p P(2, J) = a_E P(3, J) + a_N P(2, J+1) + a_S P(2, J-1) + b \quad (8)$$

여기서 a 및 b 는 각각 계수 및 상수를, 하첨자 $P, W, E, S,$ 및 N 은 각각 고려하는 격자점의 자체, 서쪽, 동쪽, 남쪽, 및 북쪽으로 이웃한 위치를 나타낸다. 상기식의 계수는 전번 반복계산시에 결정된 속도장을 이용하여 계산될 수 있다. 또한 여기서는 $u(2, J)$ 가 주어진 값이므로 $u(2, J)$ 에 관한 유사속도는 정의되지 않는다. 따라서 $P(1, J)$ 에 관한 정보는 필요하지 않게된다. 사실 $P(1,$

$J)$ 는 속도계산을 위하여 반드시 필요한 존재가 아니므로 이에 관심을 가지지 않아도 좋다.

$u(3, J)$ 에 관한 차분된 운동량 방정식은 아래와 같다.

$$a_p u(3, J) = a_w u(2, J) + a_E u(4, J) + a_s u(3, J-1) + a_N u(3, J+1) + b + A_u [P(2, J) - P(3, J)] \quad (9)$$

여기에서 A_u 는 x 방향에 수직인 제어체적의 단면적을 나타낸다.

$P(2, J)$ 및 $P(3, J)$ 를 포함하는 압력 제어체적에 관하여 차분된 연속방정식은 각각 아래와 같다.

$$[u(3, J) - u(2, J)]\Delta y + [v(2, J+1) - (2, J)]\Delta x = 0 \quad (10)$$

$$[u(4, J) - u(3, J)]\Delta y + [v(3, J+1) - v(3, J)]\Delta x = 0 \quad (11)$$

이제 연속방정식 식 (10)의 각 항을 SIMPLER 알고리즘의 근사를 사용하고 P' 가 포함된 항으로 기술하면 아래와 같다.

$$u(3, J) = u^*(3, J) + (A_u/a_p) [P'(2, J) - P'(3, J)] \quad (12)$$

$$u(2, J) = u_g \quad (13)$$

$$v(2, J+1) = v^*(2, J+1) + (A_v/a_p) [P'(2, J) - P'(2, J+1)] \quad (14)$$

$$v(2, J) = v^*(2, J) + (A_v/a_p) [P'(2, J-1) - P'(2, J)] \quad (15)$$

여기서 A_v 는 y 방향에 수직인 제어체적의 단면적을 나타낸다. 상첨자 * 및 '는 각각 전번반복시의 값 및 수정값을 나타낸다.

식 (12)~(15)를 식 (10)에 대입하면 $P'(2, J)$ 에 관한 압력수정 방정식을 얻을 수 있으며 같은 방법으로 식 (11)에 의하여 $P'(3, J)$ 에 관한 압력 수정 방정식도 얻으므로 식 (9)에 의하여 풀려진 $u(3, J)$ 는 속도 수정식으로 알려진 식 (12)에 의하여 개선될 수 있으며 계속되는 반복과정에 의하여 수렴된 $u(3, J)$ 가 구하여 진다. 이 경우 유의 할 것은 Fig. 1(b)에서 보여준 $u(3, J)$ 에 관한 제어체적에서 압력차이는 식 (9)의 마지막 항에 포함된 $[P(2, J) - P(3, J)]$ 로써 기술되는 것 보다는 $[P(1, J) - P(3, J)]$ 로써 기술되어야 완전하다는 것이다. 그러나 $P(1, J)$ 가 이용되는 경우에는 식 (12)에서 필요한 $P'(2, J)$ 에 관한 압력수정 방정식이 얻어질 수 없으며, 그리고 그값이 수정될 방법이 없는 $P(1, J)$ 의 값을 정확하게 정의 해주기 어렵기 때문에 식 (9)에서와 같은 약간의 불완전성은 불가피

하며 이는 엇갈린 격자망을 사용하기 때문에 발생되는 것이다.

3.2 압력 경계조건의 경우

$P(2, J)$ 에 관한 압력 방정식은 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$a_p P(2, J) = a_w P(1, J) + a_E P(3, J) + a_S P(2, J-1) + a_N P(2, J+1) + b \quad (16)$$

윗 식에는 식 (8)과 달리 경계면에서 주어진 압력 $P(1, J)$ 가 포함되어 있으므로 계수 a_w 의 결정이 요구된다. 그러나 범용 컴퓨터 프로그램이 되기 위하여서는 하나의 경계면에 속도 경계조건 혹은 압력경계조건이 모두 부여 될 수 있도록 하는 것이 필요하다. 그러므로 식(9)와 동일한 형식의 차분된 운동량 방정식을 사용할 때 경계면에서의 압력위치와 이와 인접한 압력위치 사이에 속도위치가 존재하지 않기 때문에 계수 a_w 의 합리적인 정의가 가능하지 못하게 된다. 이 문제점을 해결하기 위하여 계수 a_w 를 임의로 가정하는 것은 여기에 사용되는 가정이 실제의 압력장 결정에 직접적으로 영향을 미치므로 위험한 방법이다. 가능한 방법은 경계면에서의 압력위치와 이와 인접된 압력위치 사이에 속도 위치가 존재하도록 하는 것이다. 이는 경계면에 접한 하나의 제어체적을 아주 얇게 설정함으로써 해결된다. 따라서 실제 계산시 Fig. 1a의 Δx 를 무시할 수 있는 정도로 작게 설정하여 $P(2, J) \approx P(1, J)$ 그리고 $u(3, J) \approx u(2, J)$ 가 되도록 한다.

$P(2, J) = P_g$ 인 압력경계조건이 존재하면 경계면에서의 압력수정이 필요하지 않으므로 $P'(2, J) = 0$ 이 되는 편리한 면은 있으나 경계면에서의 속도 $u(2, J)$ [즉 $u(3, J)$]가 올바르게 수정되어야 하는 문제점은 남아있다.

$u(3, J)$ 에 관한 속도 수정식은 아래와 같다.

$$u(3, J) = u^*(3, J) - (A_u/a_p) P'(3, J) \quad (17)$$

$P(3, J)$ 를 포함하는 압력제어체적에서 차분된 연속 방정식은 아래와 같다.

$$[u(4, J) - u(3, J)] \Delta y - [v(3, J+1) - v(3, J)] \Delta x = 0 \quad (18)$$

상기 연속 방정식에서 $u(3, J)$ 를 제외한 각 항은 식 (12), 식 (14) 및 식 (15)과 유사한 형식으로 표현되며 이를 식 (18)에 대입하면 $P'(3, J)$ 에 관한 압력 수정 방정식이 얻어지며 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$a_p P'(3, J) = a_w P'(2, J) + a_E P'(4, J) + a_S P'(3, J-1) + a_N P'(3, J+1) + b \quad (19)$$

그러나 상기 식 (19)에는 $a_w = 0$ 이므로 $P'(2, J)$ 의 영향이 제외되며 경계면에서 영의 값을 가지는 $P'(2, J)$ 가 $P'(3, J)$ 의 결정에 무관하게 되는 모순이 생긴다. 따라서 a_w 가 영이 아닌 값을 갖는다고 가정할 필요가 있으며 이 값은 아래와 같이 가정한다.

$$a_w = (\Delta x_4 / \Delta x_3) a_E \quad (20)$$

여기서 Δx_3 , 및 Δx_4 는 Fig. 1에 나타나있는 경계점 근처의 압력 격자점 사이의 거리이다.

식 (20)으로 표시되는 가정은 압력수정치 P' 가 압력 P 와 유사하게 전도적인(conduction-like) 성질을 갖는다는 것에 근거를 둔 것으로서, 이러한 가정은 우리가 수렴된 해를 얻는 데 도움을 준다면 충분히 용인 될 수 있다. 더우기 수렴된 해가 구하여진 경우에는 모든 격자점에서 압력 수정치 P' 가 영일 것이므로 어떤 종류의 가정도 최종해와는 무관하게 된다.

그러므로 식 (19)에서 구하여진 $P'(3, J)$ 가 식 (17)에 대입되어 압력조건이 주어진 경계면에서의 속도 $u(3, J)$ [$\approx u(2, J)$]가 개선 될 수 있으며 반복계산과정에 의하여 수렴된 속도값으로 얻어진다.

4. 압력경계조건 해결 방법의 타당성 검토

본 연구에서 논의되는 압력경계조건의 해결 방법에 관한 타당성을 입증하는 방법은 대표적인 계산 모델을 선정하여 유로내부의 유동특성을 자세하게 검토하는 것이다. 편의에 의하여 하나의 경계면만 생각하자. 우선 이 경계면에 주어진 압력조건을 부여하여 본 연구에서의 방법으로 경계면에서의 속도 값을 계산한다. 이어서 이 경계면에서 계산된 속도 값을 경계조건으로 부여하여 전통적인 SIMPLER 계산방법에 의하여 경계에서의 압력값을 계산한다. 만약 경계면에서 전통적인 방법으로 계산된 압력값이 본 연구방법에서 압력값으로 준 값과 동일하면 압력경계조건의 해결방법이 타당하다고 결론 지을 수 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 Fig. 2에 보여진 $L(0.3m) \times H(0.6m)$ 의 2차원덕트 모양의 수치계산 모델을 선택하고 20°C의 공기가 온도변화 없이 정상상태로 유동되는 경우를 생각하였다. $y=H$ 인

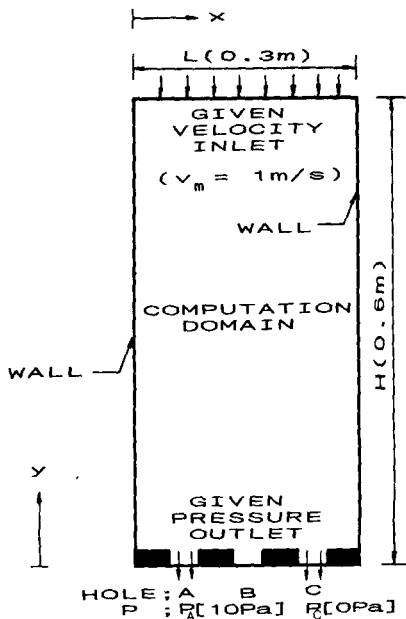


Fig. 2 Schematic diagram of computation domain

유입구에서는 $0 \leq x \leq L$ 인 범위로 모두 열려있으며 이번 계산에서는 전체단면을 통하여 공기가 유입되고 있다고 생각한다. $y=0$ 인 유출구에서는 전체폭을 7등분하고 4개의 블록과 3개의 작은 유출구(Hole)를 교대로 위치시켰기 때문에 동일 폭의 3개의 작은 유출구가 이루어져 있다. 즉, Fig. 2에 보인바와 같이 3개의 유출구 Hole A, Hole B 및 Hole C가 있다. 그러나 이번 계산에서는 Hole B [$3L/7 \leq x \leq 4L/7$] 부분으로의 유체유출은 없다고 두고 Hole A [$L/7 \leq x \leq 2L/7$] 및 Hole C [$5L/7 \leq x \leq 6L/7$]의 유출단면에는 각각 10[Pa] 및 0[Pa]의 상이한 정압이 균일하게 걸리게 한다. 여기서 정압은 열역학적 압력으로서 상대압력이다. 두개의 유출 단면에서 이러한 정압 불균형은 하나의 유출 단면에 어떤 종류의 필터가 설치되어 있는 경우에 해당될 수 있다. 유출구 쪽에 있는 4개의 블록은 유출구에서 날카로운 모서리를 피하기 위하여 설치되었으며 그 크기는 $0.035H \times (L/7)$ 이다. 전체영역은 49×29 개의 불균일 제어체적으로 분할되어 수치계산 되었다.

입구(그림의 INLET)에서의 유입속도분포는 난류유동덕트에서의 속도분포를 묘사하기 위하여 아래와 같이 설정하였다.

$$u(x) = 0 \text{ at } 0 \leq x \leq L$$

$$v(x) = v_m [2 - \cos h(|L/2 - x|/L)]$$

$$\text{at } 0.025L \leq x \leq 0.975L$$

$$v(x) = 0.8805 v_m x / (0.0025L)$$

$$\text{at } 0 \leq x \leq 0.025L$$

$$v(x) = 0.8805 v_m (L - x) / (0.0025L)$$

$$\text{at } 0.975 \leq x \leq L$$

(21)

여기서 v_m 은 입구의 x 방향 중앙위치에서 수직 방향 속도를 나타내며 여기의 타당성 검토에서는 -1m/s 로 고정하였으며 이때 덕트를 지나는 총질량유량은 단위 길이당 0.3456kg/s 이 된다. 실제계산에 사용된 Reynolds수, Re , 는 $v_m(-1\text{m/s})$ 을 특성속도로 그리고 덕트의 폭 $L(0.3\text{m})$ 을 특성길이로 선택하였을 때 2.044×10^4 이다.

상기와 같이, 덕트의 입구에서는 속도 경계조건, 그리고 출구에서는 압력 경계조건이 주어진 경우의 수치계산 결과로서 속도 벡터분포, 유선분포, 및 압력분포 등을 가시화 하였다.

Fig. 3은 속도벡터의 분포를 나타낸다. 유입구에

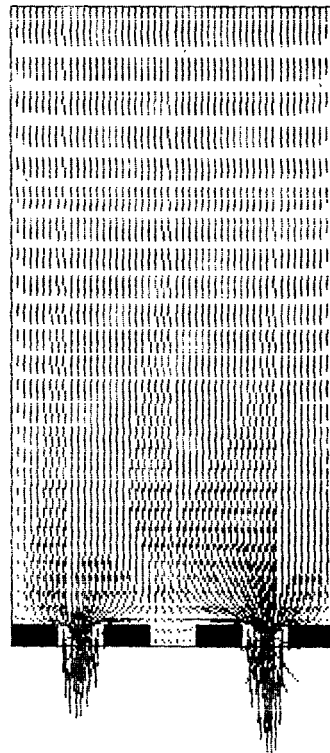


Fig. 3 Distributions of velocity vectors within the computation domain

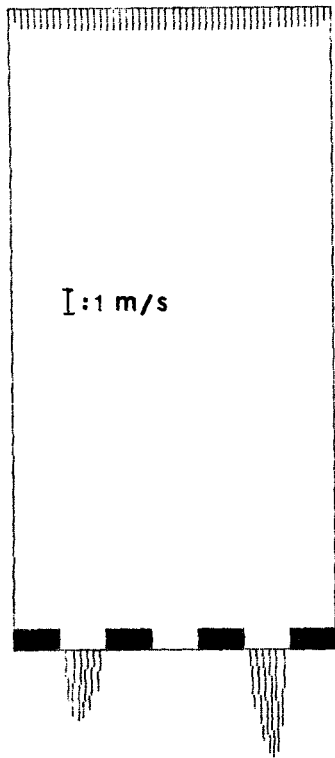


Fig. 4 Distributions of velocity vectors at inlet and outlets domain

서, x 방향에 따라 비교적 균일한 속도분포는 덕트의 하류로 내려오며 따라 $y \approx H/3$ 범위에 까지 유지되다가 각 유출구 가까이에서 비로소 유출구를 향하는 속도분포를 나타낸다. 또한 이 그림에서는 출구정압이 서로 다른 유출구에서 유출 유량의 차이를 볼 수 있다. 만약 유출압력이 서로 동일하다면 두개의 유출구 Hole A 및 Hole C로 모두 50%의 유량이 통과 하겠지만 10[Pa]의 압력차이는 이 비율을 각각 39.44% 및 60.56%로 변화되게 하였다.

Fig. 4에는 Fig. 3의 속도벡터 분포중에서 가장 관심있는 유출구에서의 유동방향을 보여 준다. 유입구 중앙에 위치한 속도 벡터의 크기가 1m/s인것을 기억하면 유출구에서 속도크기를 짐작할 수 있다. 아울러 압력경계조건이 이용된 유출 경계면에서의 속도 값들이 본 연구방법의 타당성 입증 과정에서 필요하므로 이 값들을 여러가지 x 위치에 관하여 Table 1에 나타내었다. 본 연구에서는 엇갈린 격자망(staggered grid)을 사용 하였으므로 Table 1에 표시한 u 및 v 의 x 방향 위치가 약간

Table 1 Values of velocity components at outlets where the pressure-based boundary conditions has been specified

	Position	u [m/s]	v [m/s]
Hole A	$x(9)$	0	-1.826
	$x(10)$	0.0195	-2.892
	$x(11)$	-0.0098	-3.276
	$x(12)$	-0.0784	-3.295
	$x(13)$	-0.1472	-3.071
	$x(14)$	-0.1754	-2.490
	$x(15)$	-0.1281	-1.253
Hole C	$x(37)$	0	-1.795
	$x(38)$	0.2117	-3.771
	$x(39)$	0.2912	-4.734
	$x(40)$	0.2474	-5.127
	$x(41)$	0.1358	-5.117
	$x(42)$	0.0232	-4.486
	$x(43)$	-0.0276	-2.769

- Note : 1. For the location of u ; $x(9) = (15/98)L$
 2. For the location of v ; $x(9) = (1/7)L$
 and $x(38) = (5/7)L$
 3. $x(i+1) = x(i) + L/49$

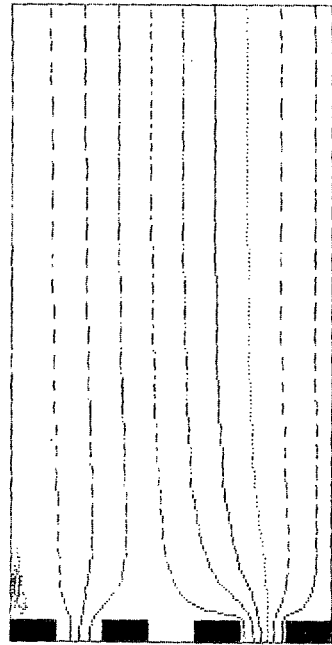


Fig. 5 Distributions of streamlines within the computation domain

다르며 이에 관한 설명을 표의 아래쪽에 기술하였다.

Fig. 5에는 계산 영역내에서의 유선분포를 나타내었다. 만약 두개 유출구에서의 출구정압이 동일하다면 유선은 정확히 $x=L/2$ 직선에 대하여 대칭적이겠지만 그림에서와 같이 유출압력 차이 10[Pa]이 그러한 대칭성을 얼마나 변모 시키는가를 알 수 있다.

Fig. 6에는 계산 영역내의 등압선 분포를 나타낸다. 여기서 보면 대부분의 압력변화는 유출구 근처에서 발생함을 알 수 있으며 특히 막힌 유출구 Hole B 주위의 압력은 유입구 근처의 압력보다 더 크게 나타난다. 유입구에서의 국소 압력은 16.37 ± 0.01 [Pa]로 나타낼 수 있으며 x 방향으로 압력구배는 거의없다.

타당성 입증 과정에서는 Hole A 및 Hole C에 압력 경계조건을 부여하는 계산 수행결과로 나온 이들 유출구에서의 속도성분(Table 1 참고)을 전통적인 방법인 속도 경계조건을 부여하는 계산방법의 경계값으로 사용하여 계산영역 내부에서의 속도 분포 및 압력분포를 구하였다. 이 방법에 의하여

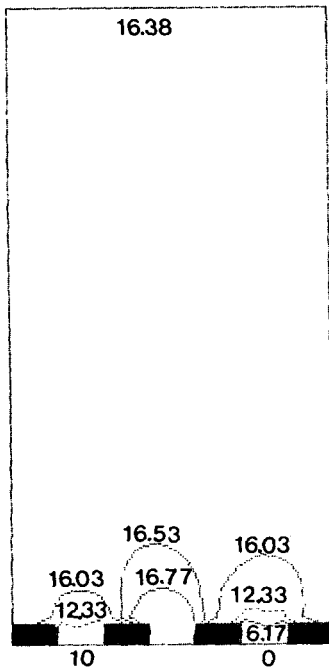


Fig. 6 Distributions of isobars within the computation domain ; unit = [Pa]

얻어진 속도 벡터 분포, 유선 분포 및 압력 분포는 압력 경계조건이 부과된 계산결과인 Fig. 3, Fig. 5 및 Fig. 6과 구별될 수 없을 정도로 유사하게 나타났다. 계산 결과의 수치적인 비교에서 속도 성분의 수치값이 평균 99.99% 이내로 일치하였다. 물론 압력경계조건 부과시에는 압력의 절대적인 값을 사용하였으나 속도 경계조건만의 계산 결과에서의 압력은 상대적인 값이 산출된다. 따라서 상대적인 압력값의 기준을 압력의 절대값이 직접 부여된 경계면에 위치시키고 그 위치에서의 압력값을 서로 일치시킴으로써 두가지 계산 결과에서의 압력값을 비교 하였으며 이 결과를 Table 2에 나타내었다. 여

Table 2 Comparison of pressure between from pressure-based boundary condition and from velocity-based boundary condition

	Location	Pressure b.c [Pa]	Velocity b.c [Pa]
Inlet	$x(2)$	16.3855	16.3855
	$x(5)$	16.3831	16.3831
	$x(10)$	16.3806	16.3806
	$x(15)$	16.3794	16.3794
	$x(20)$	16.3769	16.3769
	$x(25)$	16.3757	16.3757
	$x(30)$	16.3744	16.3744
	$x(35)$	16.3732	16.3732
	$x(40)$	16.3732	16.3732
	$x(45)$	16.3744	16.3744
$x(50)$	16.3757	16.3757	
Outlet Hole A	$x(9)$	10.0000	9.9998
	$x(10)$	10.0000	9.9999
	$x(11)$	10.0000	10.0000
	$x(12)$	10.0000	10.0000
	$x(13)$	10.0000	10.0000
	$x(14)$	10.0000	10.0000
Outlet Hole C	$x(15)$	10.0000	10.0000
	$x(37)$	0.000	-0.000050
	$x(38)$	0.000	-0.000030
	$x(39)$	0.000	0.000012
	$x(40)$	0.000	0.000
	$x(41)$	0.000	0.000008
	$x(42)$	0.000	0.000007
	$x(43)$	0.000	-0.00003

Note : $x(2) = L/98$

$$x(i+1) = x(i) + (L/49)$$

기에서 보는 바와 같이 유입구에서의 압력 값은 유효숫자 5개에 까지 일치하며 유출구에서의 값은 유효숫자 4개에 까지 일치한다.

지금까지 본 바와 같이 경계면의 일부 압력경계 조건이 부여되었을 때, 본 연구에서 제시한 방법에 의하여 계산 영역 내부 및 압력 경계위치에서의 속도장이 잘 예측 될 수 있다고 결론 지을 수 있다.

5. 결 론

유체유동 연구에서 일반적으로 사용되는 운동량 방정식의 경계조건으로서 속도가 주어지지 않고 그 대신 압력이 주어진 경우, 아래에 나열되는 중요사항을 이용하여 관심 영역내의 유동특성을 예측할 수 있는 수치적인 방법을 제안하였다.

- (1) 압력경계조건이 주어지는 경계면에 추가적인 제어체적의 배치
- (2) 압력의 전도적인 성질을 고려
- (3) 경계에서 주어진 압력이 만족되도록 경계에

서의 속도값을 반복 수정

본 연구에서 제안된 방법은 하나의 예로서, 서로 다른 정압을 유지하는 두개의 유출구를 가진 2차원 덕트 내부의 유동특성에 응용되어 물리적으로 타당한 해를 얻을 수 있었으며 앞으로 압력 경계조건에 의하여 규정 될 수 있는 많은 실제적인 응용문제에 이 방법의 적용을 추천한다.

참 고 문 헌

- (1) Gresho, P.M. and Sani, R.L., 1987, "On Pressure Boundary Conditions for the Incompressible Navier-Stokes Equations", *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol. 7, pp. 1111~1145.
- (2) Orszag, S. and Israeli, M., 1974, "Numerical Simulation of Viscous Incompressible Fluids", in *Ann. Rev. Fluid Mech.*, Annual Reviews, Palo Alto, CA, pp. 281~319.
- (3) Patankar, S.V., 1980, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", McGraw-Hill, New York.