벽면 거리에 따른 원형 실린더 주변의 유동장 연구

A study of effect of wall distance on flow around a cylinder

주동국[1]*, 장경식[2]
한서대학교 항공기계학과[1]

초 록

채널 내부에 장애물이 존재하는 유동 형태는 다양한 공학적 문제에서 나타나고 있으므로 여러 가지 형상 및 유동 조건에 따른 유동 특성 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 장애물의 형상을 일정한 크기의 원형 실린더로 설정하고 실린더는 위아래 채널 벽 중앙에 위치하도록 하여 2차원 채널 내에 원형 실린더가 존재하는 경우에 대하여 CFD연구를 수행하였다. 실린더와 위아래 채널 벽면과의 거리를 변화시켜 각각의 거리에 대해 유동 재부착 길이, 유동의 주기성, 항력계수 등의 유동 특성을 관찰하였다. 연구결과 각 간격[실린더벽면과 채널벽면간의 거리(G)/실린더지름(d)]이 0.5, 1, 2, 3, 5, 15에 따른 재 부착 지점(Reattachment Length)은 채널 벽면이 실린더로부터 멀어질수록 완전히 열린 유동장에서의 유동 재부착 지점에 수렴해간다는 것을 확인하였다. 즉 거리가 멀어질수록 벽면 영향이 줄어든다는 것을 확인하였다. 또한 각각의 경우에 대해 항력계수 값을 구하였고, 이를 완전히 열린 유동장에서의 항력계수 값과 비교해 보았다. 그 결과 벽면으로부터의 떨어진 거리가 5부터 벽면의 효과가 줄어들어 10이상이 되었을 때부터 그 영향이 아주 미미하다는 것을 확인하였다.

Key Words : 채널(Channel), 원형 실린더(Circular Cylinder), 유동 재부착 길이(Reattachment Length), 항력계수(Drag Coefficient)

1. 서 론

2차원 채널 내에 장애물이 존재할 때의 유동은 열교환기, 와류발생기, 마이크로채널 유동 등 다양한 분야에서 폭넓게 응용되는 형태다. 이러한 유동은 채널 내의 장애물의 형상과 장애물과 채널 벽간의 간격, 장애물의 배열 상태 등의 영향에 의해 다양한 유동의 특성변화가 있으므로 이에 대한 연구는 더욱더 필요하다. 특히 열교환기에서는 열전달 효율을 높이기 위해 채널 유동 내에 장애물을 설치해 장애물 후방의 유동을 교란시켜 열전달 효율을 높일 수 있는데, 이에 대한 연구는 윤동혁, 양경수[(3)] 등에 의해 수행된 바 있고 이들은 원형실린더가 주기적으로 배열되어 있을 때 실린더와 채널 벽간의 간격에 따른 실린더 후방과 채널벽면의 유동을 해석함으로써 각각의 경우에 대해 유동교란 특성이 열전달에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

한편 물체 주변의 계산영역 크기를 얼마나 두어야 하는지는 CFD 연구 과정에 있어 가장 처음 마주하게 되는 사안으로, 보편적으로 유동방향에 따라 관심있는 물체크기(지름 또는 평균공력시위 등)의 10~20배를 설정하지만 그 거리에 따른 계산결과의 영향에 대한 상세한 연구 또한 필요하다.

따라서 본 연구에서는 채널 내 원형 실린더가 존재하는 경우에 대하여 실린더 지름(d)과 채널벽면과의 거리(G)의 간격비, (G/d)를 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 15로 변화시켜가며 유동 특성과 벽면 효과를 살펴보았다.

2. 본 론

2.1 격자생성, 경계조건 및 계산조건

2.1.1 격자생성 및 경계조건

본 논문에서는 채널 내의 원형실린더 유동을 해석하기 위해 격자계를 Fig. 1에 간단히 나타내었다. 실린더 주변의 반지름방향의 격자 확산과 형상에서의 간격비 수정을 용이하게 하기 위해 12개의 멀티블록으로 구성하였다. 그 후, 위, 아래 격자를 I방향으로 merge하여 블록을 8개로 감소하여 계산자원을 절약할 수 있게 하였다. 실린더 벽면 주변의 경계층을 정확히 모사하기 위하여 벽면에 가까울수록 격자를 조밀하게 두었으며 격자테스트를 통해 실린더 및 상, 하단 채널 벽면으로부터 떨어진 첫 번째 격자 간격을 0.001로, 확산비는 1.2로 정하였다. 세로방향의 격자수는 G/d가 커질수록 일정한 비율로 증가시켜 상, 하단 채널로부터의 격자거리와 확산비를 일정하게 유지시키도록 하였다. 경계조건은 좌측을 입구조건(subsonic inlet)으로, 우측을 출구조건(subsonic outlet)으로 설정하였다. 실린더 벽면과 채널 벽면의 점성을 고려하기 위해 viscous adiabatic조건을 사용하였다. 그리고 위아래 채널 벽면대신 자유흐름이 흐르는 경우에는 viscous adiabatic 대신 입구조건(subsonic inlet)을 적용시켰다.

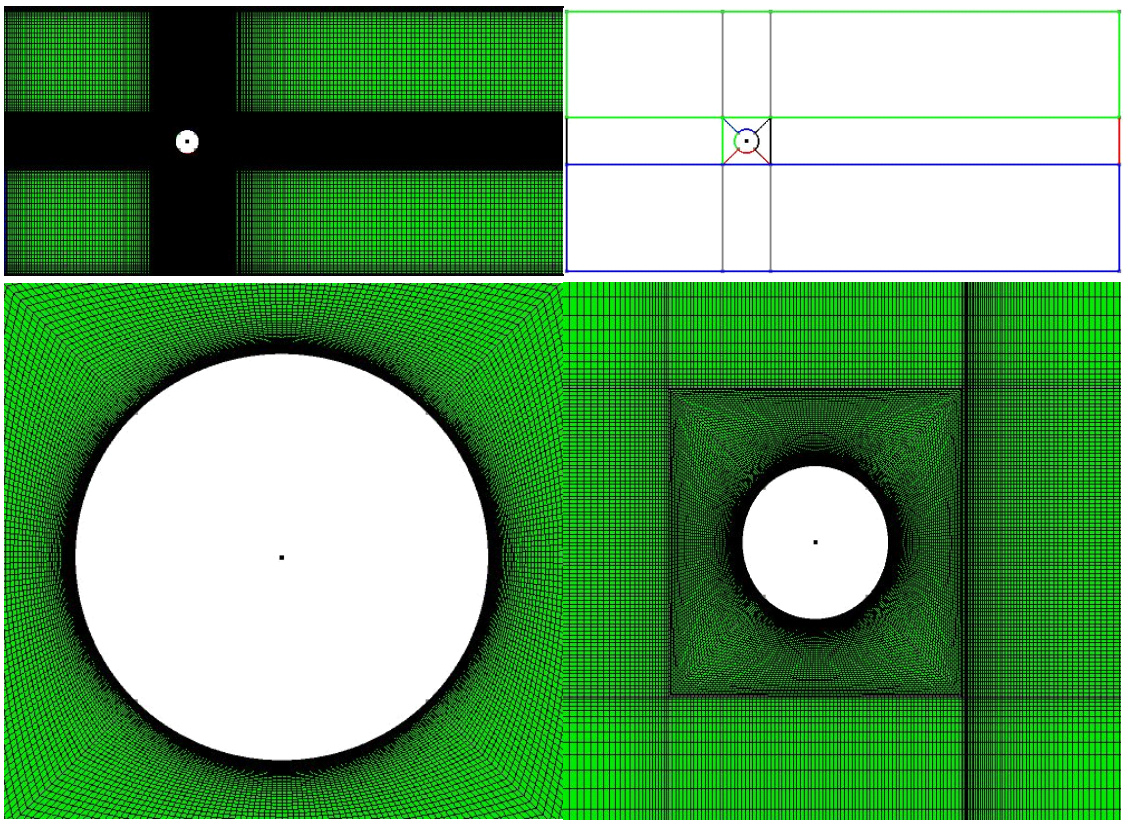

Fig. 1. 계산영역과 멀티블록 격자계

2.1.2 계산조건

초기 계산을 정상, 비정상 유동 모두에 대해 수행한 결과 실린더 후류의 유동이 주기적으로 진동함을 알 수 있었고, 따라서 비정상 유동으로 연구 방향을 선정하였다. 따라서 계산은 층류, 비정상 유동에 대해 수행하였으며, 레이놀즈 수는 자유류 속도와 실린더 지름 기준으로 100으로 일정하게 하고, 0.1초 간격으로 총 1000번 계산하였다. 계산된 자료를 5번 간격으로 출력하여 받아볼 수 있도록 하였고, 따라

서 0.5초에 한 번씩 계산결과를 생성하였다.

2.2 자유류 조건에서의 계산 검증

본 절에서는 상 하단 채널벽면의 경계조건을 점착벽면이 아닌 입구유동조건일 때의 조건으로 계산하여 기존 실험 데이터와 비교함으로써 격자 구성과 해석 기법의 적절성을 검증 하였다. 이때 입구유동조건이 위치하는 계산영역을 변화시켜가며 결과를 살펴봄으로써 실린더로부터의 입구유동의 거리에 따른 영향을 살펴보았다.

Table. 1. 자유류 거리 변화에 따른 항력 계수와 유동 재부착 지점의 변화

	1	2	3	5	10	15	Reference
항력계수	2.62	1.76	1.53	1.36	1.33	1.32	1.25
유동재부착거리	1.30	1.51	1.60	2.04	1.92	1.93	1.75

시간에 따른 평균 유동장에서의 항력계수와 재부착 길이를 완전히 열린 유동장에서 실험에 의해 얻어진 항력계수[1], 유동 재부착 지점의 값[2]과 비교해 보았을 때 위아래 간격이 5이상부터 자유류의 영향이 눈에 띄게 줄어들어 실험값에 수렴해 간다는 것을 알 수 있었다. 따라서 일반적으로 물체크기의 10~20배로 선정하는 간격이 바람직하다는 것을 확인하였다.

2.3 벽면과의 거리에 따른 결과

2.3.1 Reattachment Length

유동 재 부착 지점을 알기 위해 본 연구에서는 유동이 완전히 발달된 후 주기성을 가지고 진동한다는 것을 확인하고 유동이 완전히 발달된 이후의 결과 값을 시간에 대해 평균화하여 Fig. 2와 같이 각 간격에 대해 Reattachment Length를 구하였다.

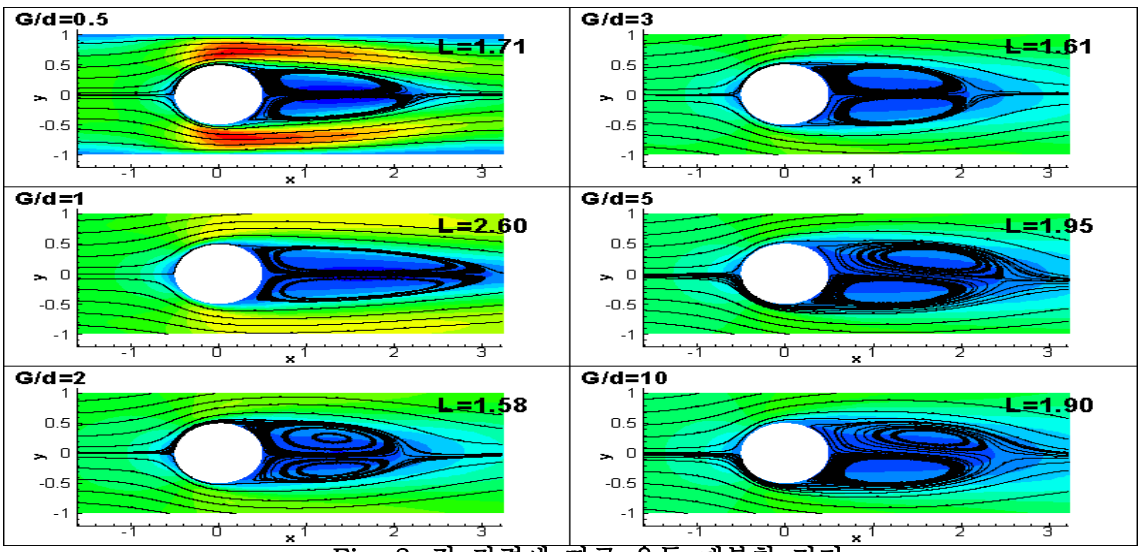

Fig. 2. 각 간격에 따른 유동 재부착 거리

위아래 채널 벽면이 존재할 때의 결과를 참고문헌[2]에서의 실험값인 완전히 열린 유동장에서 실린더 후방의 유동 재부착 거리(1.75)와 비교해 보았을 때, 실린더로부터 채널벽면이 멀어질수록 채널 벽면의 영향이 줄어들어 간격이 5이상 부터는 벽면에 의한 영향이 거의 사라져갔다. 그에 따라 유동의 재부착 지점은 완전히 열린 유동장에서 실린더 후방의 유동 재부착 지점값에 수렴해 간다는 것을 확인하였다.

2.3.2 유동의 주기성

비정상 해를 가지고 유동이 주기성을 가지고 진동한다는 것을 확인하기 위해 간격비 3, 상 하단 채널 벽면을 점착벽면 경계조건을 주었을 경우, 한주기에 해당하는 유동을 각 시간 간격별로 관찰하였다. 관찰한 결과 유동이 Fig. 3과 같이 주기성을 가지고 위 아래 차례로 박리하는 Karman vortex를 관찰 할 수 있었으며, 계산된 무차원 진동수는 0.2로 벽면거리가 진동수에도 영향을 미치는 것으로 추측하였다.

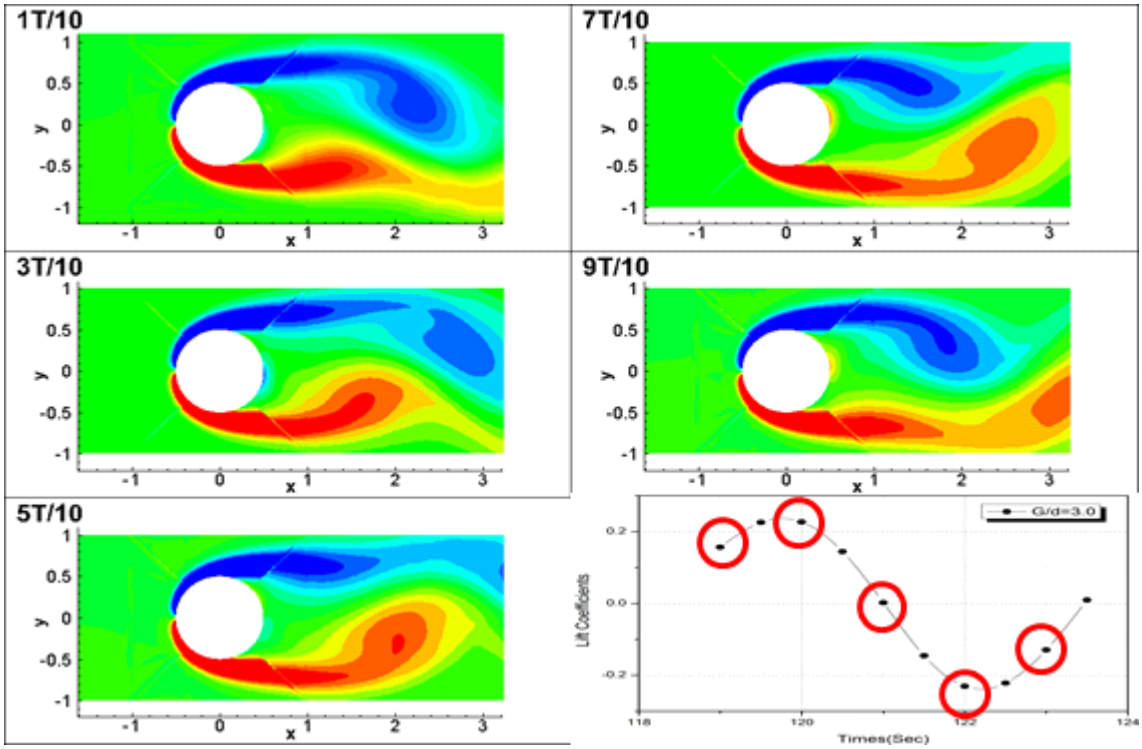

Fig. 3. 간격비 3.0, 벽면조건에서의 시간 간격에 따른 vorticity contour

2.3.3 항력계수 검증

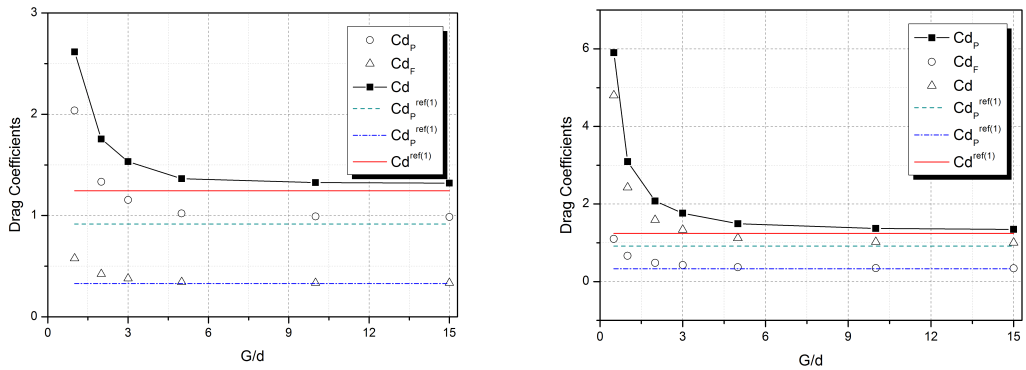

Fig. 4. 참고문헌[1]과의 상, 하단 채널의 입구유동 조건(좌), 벽면조건(우) 항력계수 비교

자유류 조건과 벽면 조건에 따른 유동장을 시간평균화하여 압력, 점성 항력계수를 계산하여 Mahububar[1]의 CFD연구결과와 비교하였다. 위의 Fig. 4를 살펴보면 실린더로부터 채널 벽면이 멀어짐에 따라 벽면의 영향이 줄어들어 간격비가 5이상 부터는 벽면의 영향이 거의 사라져 가다가 10 이상부터는 하나의 값으로 수렴하는 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 2차원 채널 내에 원형실린더가 존재하는 경우에 대하여 벽과의 거리에 따른 유동장의 변화를 연구하였다. 연구결과 실린더 위아래에 채널 벽면과 자유흐름이 존재하는 두 경우 모두에 대해 간격이 5이상부터 위아래의 영향이 확연히 줄어든다는 것을 몇 가지 유동특성을 실험값과 비교함으로써 확인하였다. 또한 실린더 후방의 유동이 주기성을 가지고 진동한다는 것을 알 수 있었고, 이는 양력계수 그래프와 시간간격에 따른 와도 contour를 통하여 확인하였다.

본 연구에서는 입구에서 흘러들어간 유동이 실린더에 도달하기 전 유동이 완전히 발달되었는지를 확인하지 못하였고, 만약 충분히 발달되지 못한 유동이 실린더에 도달한다면, 입구에서 흘러들어간 유동이 실린더와 채널벽면간의 거리가 작을 때 실린더에 부딪치게 되는 경우에 비해 실린더와 채널간의 간격이 클 때는 조금 더 완만한 형태의 유동을 맞이하게 될 것이라는 한계점이 있다. 따라서 이에 대한 세부 연구가 필요하다.

하지만 본 연구에서 해석한 해석결과는 채널 내에 장애물이 존재하는 많은 응용분야에서 의미있는 참고자료가 될 수 있을 것이라 생각한다.

후 기

본 연구는 미래창조과학부의 지원 사업인 첨단 사이언스 교육 허브 개발 사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

(1) Mahbubar Rahman and Mashud Karim and Abdul Alim, 2007, “Numerical Investigation of Unsteady Flow Past a Circular Cylinder Using 2-D Finite Volume Method”, Journal of Naval Architecture and Marine Engineering 4, pp. 27~42.

(2) Jeongyoung Park, Kiyoung Kwon and Haecheon Choi, 1998, “Numerical Solutions of Flow Past a Circular Cylinder at Reynolds Numbers up to 160”, KSME International Journal, Vol. 12, No. 6, pp. 1200~1205.

(3) 윤동혁, 양경수, 강창우, 2010, “원형 실린더가 주기적으로 배열된 채널 유동의 주 유동 불안정성 - 실린더와 채널 벽 간격의 영향-”, 한국전산유체공학회지 제 15권, 제 3호, pp. 54~59.

(4) 곽승현, 2012, “낮은 레이놀즈 수에서 벽면에 근접하여 이동하는 실린더 주위의 유동해석”, 한국마린엔지니어링학회지 제 36권, 제 8호, pp. 1091~1096.

(5) 이재봉, 윤현식, 전호환, 2007, “움직이는 벽 위의 실린더 주위의 유동장에 관한 수치적 연구”, 대한조선학회논문집 제 44권, 제 2호, pp. 119~129