

SMART 주냉각재펌프 흡입유로의 유동장해석

An Analysis of Flow Distribution in the MCP Suction of SMART

김영인, 김주평, 지대영, 황영동, 이두정

한국원자력연구소

요 약

SMART의 주냉각재펌프 흡입유로의 유동분포개선 가능성을 확인하기 위한 해석을 수행하였다. 펌프입구에서 균일한 속도분포를 얻기 위한 방안으로 제시된 흡입유로 모서리를 절단한 구조와 흡입유로에 압력손실이 균일한 그리드를 설치하는 구조에 대해서 FLUENT 코드를 이용한 유동장 해석을 수행하였다. 흡입유로 모서리를 130 mm로 둥글게 절단할 경우 현 설계 구조의 경우보다 균일한 축 방향 속도 분포를 가지는 것으로 해석되었으나, 반경 및 접선방향의 속도 성분이 증가하는 부정적인 효과도 나타났다. 압력손실이 균일한 그리드를 설치한 경우 반경 및 접선방향 속도는 크기 감소하였으나, 펌프 입구에서의 축 방향 속도분포는 개선되지 않았다.

Abstract

A numerical study was performed to investigate flow distribution in the MCP suction of SMART for the suction design proposed to improve the MCP performance. For the two cases of proposed design, the rounding off the corner of MCP suction and the installation of the flow distributor at the upstream of the MCP suction such as perforated plate, analyses were performed using FLUENT code. The analysis results for the former case showed that the more uniform axial velocity distribution was obtained at the MCP suction in comparison with the current design, but the radial and tangential velocity were increased. For the latter case the radial and tangential velocity components were decreased significantly, but there was no improvement in the axial velocity distribution.

1. 개요

SMART의 주냉각재펌프(MCP : Main Coolant Pump)는 캔드모터(Canned Motor) 구조의 축류형 펌프로 원자로집합체 상단에 4 대가 위치한다^[1]. 노심에서 가열된 냉각수는 노심 상부공간, 가압기측면과 노심지지원통 사이의 환형 유로, 상부노심지지원통의 사각 유로공을 통해 주냉각재 펌프 흡입유로에 유입된다.

원자로운전시 주냉각재펌프로 유입되는 냉각재의 속도분포는 펌프의 성능 및 건전성에 영향을

미치므로 냉각재의 속도분포를 균일하게 하기 위해서 흡입유로의 직관부위를 충분히 확보하는 것이 필요하다(직경의 약 10배)^[2]. 일체형원자로의 조밀한 구조적 특성상 SMART의 MCP 흡입유로는 수직유로 부분이 매우 짧게 설계되어있어^[1,3] MCP 임펠러 설계시 가정한 입구조건^[4,5,6]이 충족되는지 의문이 제기되었다.

SMART의 MCP 흡입유로를 확보하기 위해서는 MCP 하단에서 유로공간을 확보하거나, 펌프 임펠러 위치를 상단으로 이동시켜야한다. 그러나 현 원자로집합체의 MCP 하단에는 증기발생기의 급수관, 증기관 및 일차냉각재 배관 등이 조밀하게 배치되어 공간확보가 매우 어려우며, MCP 유로는 일차계통의 주순환 유로로 이용되므로 MCP 임펠러 위치를 현 위치보다 상단으로 이동할 경우에는 일차계통의 자연순환 유로가 상부로 이동하게 되어 원전의 안전성에 좋지 않은 결과를 초래할 수 있다. 따라서 흡입유로 확보를 위해서는 원자로집합체 크기를 증가시켜야 하므로 이는 계통설계 전반에 매우 큰 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 흡입유로를 확보하는 방안은 구조적 문제, 안전성 저하, 설계영향 등의 이유로 고려하지 않았다. 현 설계를 유지하면서 계통설계 영향이 작은 범위에서 흡입유로를 변경하는 방안들에 대해서 개선 가능성을 확인하고자 상용범용 전산코드 중의 하나인 FLUENT 코드를 이용하여 유동장 해석을 수행하였다.

2. 지배방정식 및 해석모델

본 연구는 MCP 흡입부 유동분포를 평가하기 위한 해석으로 열전달 문제를 풀지 않으므로 지배방정식 중 질량 및 운동량방정식이 채택되고, eddy viscosity를 결정하기 위해서 난류모델이 채택된다. 운동량 보존방정식은 유한차분법에 의한 제어체적을 사용하여 계산한다. 지배방정식은 곡면형상에 따라 유동장을 계산하기 위해서 곡면좌표계(curvilinear coordinate)에서 이산화(discretization) 처리된다. Interpolation을 위한 numerical scheme은 first order, power law, 또는 higher order up-wind scheme 등을 사용한다. 압력과 속도의 연계계산에는 SIMPLEC 알고리즘을 이용하고, 이산화 방정식은 line-iterative 절차에 따라 해를 구한다.

질량보존식은 압축성 유동과 비압축성 유동에 대한 일반적인 형태로 다음의 식이 사용된다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = S_m \quad (1)$$

여기서 S_m 은 source항으로 상(phase) 간의 상호작용 또는 사용자에 의하여 추가되는 질량을 나타낸다. 관성좌표계에서 i 방향에 대한 운동량보존식은 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

여기서 p 는 static pressure, τ_{ij} 는 stress tensor, ρg_i 는 gravitational body force, F_i 는 여러 상에 의한 외력(external body force) 및 다공성매질(porous media)과 user-defined source 등에 의한 선원항 등을 나타낸다. 응력텐서(stress tensor) τ_{ij} 는 다음과 같다.

$$\tau_{ij} = \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \quad (3)$$

여기서 μ 는 분자의 점성을 나타내고 오른쪽 두 번째 항은 체적팽창에 의한 효과를 나타낸다.

FLUENT에서 기본적으로 제공하는 난류모델에는 Spalart-Allmaras model, Standard $k-\epsilon$ model, Renormalization-group (RNG) $k-\epsilon$ model, Realization $k-\epsilon$ model, Reynolds stress

model (RSM), Large eddy simulation(LES) model 등이 있다. 난류모델은 유동에 포함되는 물리적 현상, 문제에 사용되는 관례, 요구되는 정확성, 컴퓨터의 성능, 시간적 제한성 등에 따라 선택될 수 있다. 또한 정확한 난류모델과 변수 값들을 결정하기 위해서는 각 모델 변수들의 제한성, 능력 등에 대한 정확한 이해가 필요하다. 난류 모델 중 standard $k-\epsilon$ model(two-equation model)은 가장 단순한 모델이면서도 비교적 근사적 계산결과를 보여주는 모델 중의 하나이다. Standard $k-\epsilon$ model은 경험과 현상에 근거하여 유도된 모델이며, 반 실험식(semi-empirical)에 가까운 모델이다. Standard $k-\epsilon$ model은 각각 별도로 결정된 turbulent velocity와 turbulent length scales를 사용하여 두 transport equation을 계산하는 방법을 사용하며, 산업계에서의 일반적인 유동, 열전달 해석에 가장 널리 사용되고 있다. 본 연구에서 해석하고자 하는 유동은 비교적 단순한 유동이므로 일반적으로 사용되는 standard $k-\epsilon$ model을 사용하여도 무방할 것으로 판단된다.

3. 해석격자 및 경계조건

그림 1에는 해석에 사용된 MCP 흡입유로의 형상을, 그림 2에는 해석에 사용된 기본 격자형상을 나타내었다. SMART의 노심을 통과하면서 가열된 냉각재는 제어봉구동장치 안내관이 위치한 노심상부영역을 통과하고, 상부노심지지원판과 가압기 하단 사이의 공간에서 모아지며, 이 냉각재는 가압기 외벽과 노심지지원통 사이의 환형유로를 통해서 MCP 흡입부로 유입된다. 노심지지원통의 상부 중간에는 MCP로의 유로 형성을 위해 여러 개의 사각 유로공이 뚫려있다. 노심지지원통의 사각 유로공을 통해 유입되는 냉각재는 MCP 흡입부에서 모아져 MCP의 임펠러로 유입되게 된다. 이 냉각재는 MCP 임펠러에서 가속되어 디퓨저를 통해 증기발생기로 공급된다.

본 연구에서는 가압기 외벽과 노심지지원통 사이의 환형유로, MCP 흡입부 및 펌프 축으로 범위를 한정하여 경계를 설정하고 해석을 수행하였다. 가압기 외벽과 노심지지원통 사이의 환형유로는 그림 1와 같이 단순화시켰으며 하단부위에 입구경계 조건(속도)를 설정하였다. MCP 흡입유로 전단에 유로형성을 위해 설치된 사각 유로공은 현재 12개가 설치되는 것으로 설계되어 있으나 MCP의 요구조건에 따라 설계변경 가능성이 있다. 그림 1에는 사각 유로공 수를 현 설계 보다 두 배 증가시켜 24개가 설치된 모형을 나타냈다. 현재 MCP 흡입부는 원활한 유동흐름을 위해서 그림 1, 2와 같이 앞부분 유로의 모서리 부분이 절단되어 있다. MCP 흡입유로의 유동은 MCP 축에 의해서도 일부 영향을 받으므로, MCP 축을 그림과 같이 모델링하여 해석범위에 포함시켰다. 또한 본 해석범위는 MCP 흡입유로 한정되나 해석모델이 출구 경계조건을 만족시킬 수 있도록 MCP 펌프 축 이후 격자를 펌프 축과 동일한 형상으로 확장시켜 계산격자를 형성하였다.

FLUENT 5.1에서는 계면밀착좌표계(body fitted coordinate)에 대해 비정렬(unstructured)격자 및 정렬(structured)격자를 사용하는 것이 가능하다. 해석에 사용된 기본격자(Case 1)의 node 수는 128,765 개로 그림 2에 나타내었다. 기본격자의 수평방향 격자는 MCP 흡입부 전단 노심지지원통 연결판(이하 연결판이라 함) 평판의 두께가 2cm이므로 이 평판 두께 방향으로 최소 2개의 node가 배치될 수 있도록 전체적인 수평방향 격자를 1cm 미만이 되도록 분포시켰다(그림 2). 수직방향 격자는 입/출구 부근에서는 성긴 격자를 사용하고 주 유동에서는 1cm미만이 되도록 분포시켰으며, 주 유동영역의 경계면에 대해서는 세밀한 격자를 사용하였다(그림 2)

FLUENT 코드에서의 일반적인 입출구 경계조건은 압력-압력 경계조건과 속도-출구 경계조건

으로 크게 구분된다. 압력-압력 경계조건은 입출구에서의 압력을 예측가능할 경우에 사용되며, 속도-출구 경계조건은 입구에서 유속을 예측 가능할 경우 사용된다. MCP 펌프는 일차계통에서 요구되는 일정유량을 공급할 수 있도록 설계/제작된다. 따라서 흡입유로의 경계조건은 FLUENT의 속도-출구경계조건에 해당되며, 이 때의 입구속도는 일차계통의 요구유량을 기준으로 산정된다. 본 해석에서 사용된 출구 경계조건은 FLUENT 코드의 outflow 경계조건으로 일반적으로 밀도변화가 없는 비압축성유동에서 사용되며, 수렴성 향상을 위해 수치적 개선사항들을 제외하고는 물리적으로 fully-developed flow와 접근방식 동일하다. 본 해석의 수렴조건은 유체의 질량보존이 충분히 만족될 수 있도록 질량보존 오차를 3×10^{-6} 이하로 설정하고, 난류 등 기타 유동은 1×10^{-5} 이하가 되도록 설정하여 해석을 수행하였다.

4. 해석결과

본 연구에서 수치적 오류제거를 위한 해석격자에 대한 민감도 분석과 MCP 전단 유로공의 수를 결정을 위한 유로공 수에 의한 영향 평가, 그리고 MCP 흡입부 형상 변화에 따른 유동변화를 계산하기 위하여 모서리 절단 방법에 따른 유동변화와 벌집 또는 다공판 형태의 압력손실이 균일한 그리드 설치에 따른 유동변화를 평가하였다. 선정된 각 Case는 표1에 정리하였다

표 1. Case 요약

구 분	Case No.	DESCRIPTION
격자 민감도	Case 1	- Node 수 : 128,765
	Case 2	- Node 수 : 194,558
	Case 3	- Node 수 : 213,472
유로공 수	Case 4	- 12개
	Case 5	- 18개
	Case 6	- 24개
출입유로 모서리 절단방법	Case 7	- 사선 + 수직(현설계)
	Case 8	- rounding 130 mm + 수직
	Case 9	- 수직
압력손실이 균일한 그리드 설치 (하니콤 또는 다공판)	Case 10	- 압력손실: 5000 Pa
	Case 11	- 압력손실: 10000 Pa
	Case 12	- 압력손실: 20000 Pa

가. 해석격자(Grid Size)

수치해석에 있어서 수치해의 정확성을 보장받기 위한 여러 가지 요구사항들 중 기본적인 것은 수치해에 대한 해석격자에 대한 비의존성이다. 따라서 격자수 변화에 따른 결정변수들(속도, 압력 등)의 일관성을 점검하기 위해 3차원 해석격자에 대한 민감도분석을 수행하였다. 그림 2는 해석격자 수에 대한 민감도 분석을 위해 생성된 3차원 1/8 대칭모형의 기본해석격자다. FLUENT 5.1 코드에서는 해석격자에 대한 민감도분석을 위하여 기본격자를 경계면, 영역 또는 유동 등에 따라 인위적으로 세분화하는 것이 가능하다. 그러나 본 해석에서 사용된 해석격자는 기하학적 형태상 기본격자가 매우 많은 node로 이루어져 있으므로 FLUENT 5.1의 격자 세분화 방식으로는 격자를 처리하기가 어렵다. 따라서 본 해석에서는 격자를 FLUENT의 전처리기인 Gambit 1.1^[8]을 이용하여 경계면과 주 유동영역에 대하여 증가시켜 격자에 대한 민감도를 조사하였다.

그림 3은 MCP 임펠러가 설치되는 위치(그림2)인 해석격자 하단으로부터 0.84m 높이의 축, 접선방향에 대한 속도 분포를 x-y 좌표평면에 나타낸 그림이다. 세밀한 격자를 사용하여 계산한 Case 2, 3의 계산결과는 기준격자(Case 1)에 의한 계산결과와 미세한 유동 차이를 제외하고는, 전반적인 유동분포는 동일하다. 따라서 기본격자의 해석격자는 충분한 정밀도를 갖는 해석격자로 판단된다.

나. 노심지지원통의 사각 유로공 수

노심지지원통 상부의 유로공은 현재 12개의 사각유로로 설계되어 있다. 현 설계를 기준으로 사각 유로공 수를 늘리는 것에 대하여 유동분포를 계산하였다. 그림 4는 기준격자를 사용하여 계산된 유로공 수에 따른 속도 벡터를 나타낸 것이다. 현 설계(Case 4)에 대한 계산결과를 살펴보면 MCP 흡입유로 전단 연결판의 영향으로 유동정체구간이 광범위하게 분포하며, 대부분의 유체가 MCP 흡입유로 좌우의 유로공으로부터 유입되어, 전반적인 유동분포는 매우 불균일하게 분포되는 것으로 나타났다. Case 4와 동일한 유로 면적을 유지하면서 유로공의 면적을 1/2로 줄이고 유로공의 수를 2배로 늘려(Case 5) 유동분포를 계산한 결과의 경우에 대해서는 Case 4에서 나타났던 유동정체구간이 상당부분 축소되었으며, 전반적인 유동분포도 균일하게 분포되고 있는 것으로 나타났다. Case 6은 Case 4의 유로공 면적을 1/3로 줄이고 유로공의 수를 3배로 늘려 유동분포를 계산한 결과이다. Case 6의 결과는 Case 5에 비해서 유동분포가 일부 개선되고 있으나 그 효과는 미세한 것으로 나타났다. 유로공 수는 많을수록 유동 측면에서는 긍정적인 효과를 나타내지만, 제작성과 연결판 강도 등 기계적인 측면도 함께 검토되어야 한다. 본 연구에서는 유동측면에서 해석결과에 큰 영향을 미치지 않는 Case 5의 유로공 형상을 해석기준으로 선정하였다.

다. MCP 흡입유로의 모서리 절단 방법

SMART MCP 흡입유로는 앞에 기술된 바와 같이 수직 흡입유로의 길이가 매우 짧아 흡입유로의 형상은 유동에 직접영향을 줄 수 있다. 따라서 모서리 절단한 구조에 대해 유동변화를 계산하여 개선가능성을 검토하였다. 해석대상으로 선정된 Case는 넓은 면에서 유입되는 유동을 MCP 흡입부로 모으기 위해 수평방향으로 원형으로 수직방향으로 사선으로 모서리가 절단되어있는 현 설계(Case 7), 수직방향을 반경 130mm 원으로 모서리를 둥글게 처리한 Case 8, 수직방향을 10mm의 사선으로 모서리 절단하고 수직 유동영역을 확대시킨 Case 9 등이다.

그림 5는 그림 4와 동일한 위치에서의 축, 접선방향에 대한 속도분포를 y-z 평면에 투사하여 나타낸 것이며, 그림 6은 중심 대칭면에서의 속도분포를 나타낸 것이다. Case 9는 유로의 급격한 변화로 속도가 매우 불균일한 분포를 나타내고 있다. Case 7의 속도분포는 모서리 절단 부분을 확대함으로써 매우 개선되었으나, 국부적인 속도차가 일부 존재하고 있는 것으로 나타났다. Case 8의 축방향속도 분포는 Case 7에 비해서 개선되고, 국부적인 속도차도 줄어드는 것으로 계산되었으며 또한 계산영역의 입구로부터 출구까지의 전압력(total pressure)손실도 Case 8의 경우가 가장 작은 것으로 계산되었다(표 2). 그러나 Case 8의 경우는 수직 유동영역이 Case 8에 비해 짧기 때문에 접선 및 반경방향속도는 오히려 증가했다. 이상의 결과를 종합하여 추론하면 현 SMART의 MCP 흡입유로는 수직유로 길이가 짧기 때문에 모서리 절단 방안만으로 축대칭 유동조건에 근접한 형상을 찾아내기는 매우 어려운 것으로 판단된다.

표 2. 입출구에서의 평균 전압력(total pressure)

구분	입구(Pa)	출구(Pa)	압력손실(Pa)
Case 7	2,033	-10,376	-8,336
Case 8	1,907	-9,135	-7,220
Case 9	1,965	-15,528	-13,554

라. 그리드 설치여부

MCP 흡입유로에 유량을 조절할 수 있는 그리드(honeycomb, perforated plate 등)를 설치하여 유동분포 조절이 가능한지 여부를 조사하기 위한 계산이 수행되었다. 균일한 유량 공급을 위해서는 그리드의 배치간격 등에 대한 민감도 분석을 통해서 최적설계 값을 찾는 작업이 수행해야 한다. 그러나 최적설계 값을 찾는다는 많은 계산시간 소요되므로, 일차적인 연구로 압력손실이 균일한(즉 배치간격이 일정한) 그리드 설치에 따른 유동분포 변화를 계산하였다.

FLUENT 코드에서는 하니콤, 다공판등의 그리드를 모델링할 때 다공성매질(porous media) 모델을 사용하며, 다공성매질을 통과할 때의 압력손실 ΔP 는 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$\Delta P = K_L(\rho v^2/2) \quad (4)$$

여기서 K_L 은 다공성매질에서의 loss factor를 나타낸다.

해석모델에서 다공성매질이 설치된 흡입부 유로의 형상은 Case 9과 동일한 형상이며, 다공성매질은 MCP 흡입유로의 수직채널이 시작되는 곳에 1cm 두께로 설치하였다. 선정된 Case는 그리드를 통과할 때 압력손실을 MCP 펌프의 수두를 고려하여 현실적으로 가능한 범위에서 5,000 Pa(Case 10), 10,000Pa(Case 11), 20,000Pa(Case 12)로 설정하였다^[7,9]. 각 Case에 대한 입/출구에서의 전압력 평균값을 표 3에 정리하였다. 다공성매질을 설치할 경우 입/출구에서의 전압력 손실은 다공성매질이 설치되지 않은 경우의 전/압력 손실과 비교해서 설정값 보다 다소 증가하였다. 이는 다공성매질설치에 따른 유동차이와 FLUENT 코드의 입력(inertial resistance factor) 산정시 평균속도를 사용하는데 그 원인이 있다. 실제 유동에서는 속도분포가 분균일하여 다공성매질을 통과하는 많은 영역에서 속도가 계산에 사용된 평균속도 값보다 크기 때문에 압력손실을 과다하게 계산되고 있다. 그러나 다공성매질을 설치한 각 Case의 상대적인 압력차는 설정값과 매우 유사하게 계산하고 있다.

표 3. 입출구에서의 평균 전압력(total pressure)

구분	입구(Pa)	출구(Pa)	압력손실(Pa)
Case 10	1,980	-23,561	-21,571
Case 11	1,979	-28,459	-26,469
Case 12	1,978	-38,292	-36,302

그림 7은 그림 5와 동일한 위치에서의 축, 접선방향에 대한 속도분포를 나타낸 것이며, 그림 8은 중심 대칭면에서의 속도분포를 나타낸 것이다. 각 Case에 대한 접선과 반경방향속도는 다공성매질 설치로 인해 10^{-1} 수준으로 작아지는 것으로 나타났다. 그러나 축방향 속도분포는 다공성매질을 설치하지 않은 경우(Case 7, 8)와 비교해서 개선되지 않았다. 또한 다공성매질에서의 압력차를 증가시켜도 유동의 개선효과는 크지 않았다. 따라서 그리드의 배치간격을 조절하지 않고 압력손실이 균일한 그리드를 설치할 경우 축방향에 대해서 축대칭 유동을 찾기 위해서는 매우 큰 압력손실 값을 입력으로 사용해야 할 것으로 판단된다. 그러나 본 해석은 MCP 펌프의 수두를 고려

하여 현실적으로 가능한 범위 이내로 다공성매질에서의 압력손실을 한정하였다.

이상의 결과를 종합하여 추론하면 압력손실이 균일한 그리드를 설치할 경우 반경방향과 접선 방향의 속도에 대해서는 만족할 만한 결과를 얻을 수 있으나, 축대칭 조건에 근접한 유동을 만족하기 위해서는 큰 압력손실 값이 필요하다. 따라서 그리드의 배치간격 등에 대한 민감도 분석을 통해서 최적설계 값을 찾는 작업이 필요한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 SMART의 MCP 흡입유로의 유동분포 개선가능성을 FLUENT 코드를 사용하여 평가하였다. 수치적 오류제거를 위해 해석격자에 대한 민감도분석을 수행하고, MCP 흡입유로 전단의 원형지지원통 유로공의 적정 개수를 산정하기 위해 유로공 수에 따른 유동분석을 수행하였다. 또한 유동분포개선 가능성 확인을 위해 흡입유로의 모서리 절단한 구조에 대해 그리드 압력손실이 균일한 그리드를 설치한 경우에 대해 유동분석을 수행하였다.

해석격자는 기본격자(Case 1)가 적절한 것으로 판단된다. 흡입유로 전단의 원형지지원통의 사각 유로공은 여러 개의 구멍을 뚫은 평판으로 설계하는 것이 유동측면에서는 가장 유리할 것으로 판단된다. 그러나 여러 개의 사각유로공으로 설계할 경우 계산결과에 의하여 유로공의 개수는 24 개 이상이 적절할 것으로 판단된다. 흡입유로 모서리 절단 구조에 대한 해석 결과에 의하면, 흡입유로를 130 mm로 둥글게 절단할 경우 현 설계구조의 경우 보다 균일한 축 방향 속도 분포를 가지는 것으로 해석되었으나, 반경 및 접선방향의 속도 성분이 증가하는 부정적인 효과도 나타났다. 압력손실이 균일한 그리드를 설치한 경우 반경 및 접선방향속도는 크기 감소하였으나, 펌프 입구에서의 축 방향 속도분포는 개선되지 않았다. 이상의 결과로부터 임펠러 흡입유로의 모서리 절단 방안이나 압력손실이 균일한 그리드 설치만으로 임펠러 설계시 요구되는 축대칭 조건을 만족시키는 형상을 찾기는 매우 어려울 것으로 판단된다. 따라서 임펠러의 흡입유로 설계요구조건이 변경되지 않는 한 그리드의 배치간격 등에 대한 민감도 분석을 통해서 최적 그리드 형상을 찾는 작업이 필요한 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술부의 원자력중장기개발 프로그램의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] SMART 계통설명서 SMART-FS-SD210, Rev. 00, 1998, 11, 05
- [2] A. J. Stepanoff, Centrifugal and Axial Flow Pump, John Wiley & Sons Inc., USA, 1957.
- [3] 박진석, 허형, 김종인, 구대현, "SMART 냉각재순환펌프 개념설계," '98 춘계 학술발표회 논문집(II), 한국원자력학회, 1998
- [4] 김민환, 김종인, 박진석, 허형, 장문희, "축류펌프 임펠러의 3차원 유동해석 절차개발," KAERI TR-1353, 1999.
- [5] 김민환, 박진석, 허형, 김종인, 장문희, "FLUENT를 이용한 축류펌프 임펠러의 3차원 유동해석," '99 춘계 학술발표회 논문집, 한국원자력학회, 1999.
- [6] 유환동, 박진석, 김태완, 김용완, 김종인, "SMART 냉각재순환펌프 임펠러의 구조해석," '99 춘계 학술발표회 논문집, 한국원자력학회, 1999.
- [7] FLUENT 5 User's Guide, Fluent Inc., July, 1998.
- [8] GAMBIT Modeling Guide, Fluent Inc., May, 1998.
- [9] Idelchik I.E. Handbook of hydraulic resistances. Second edition, 1975.

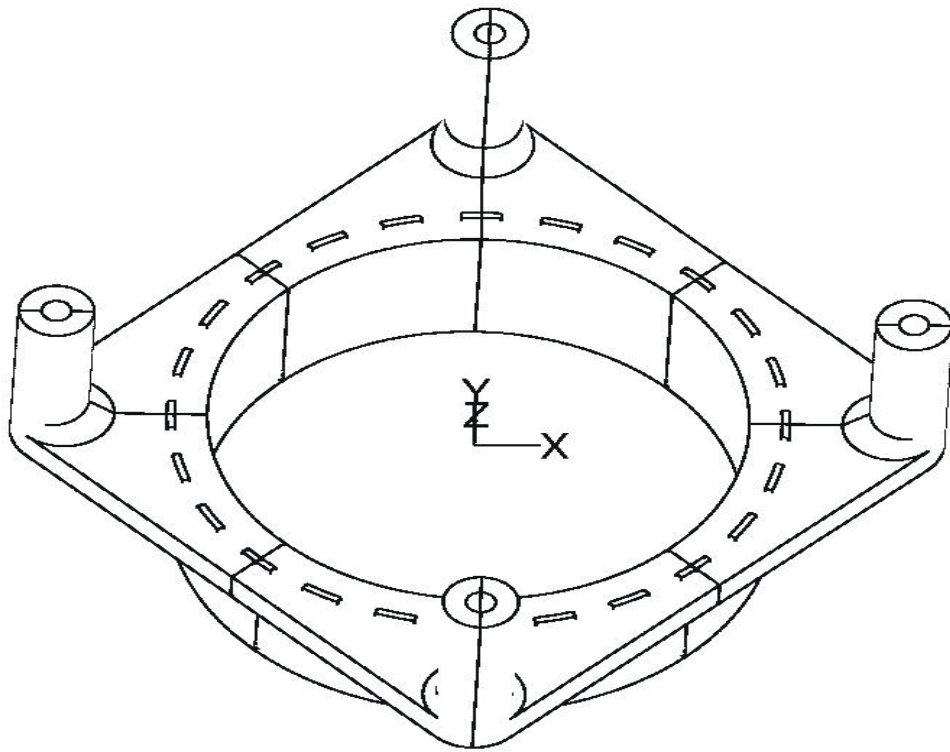


그림 1. MCP Suction 유로 형상

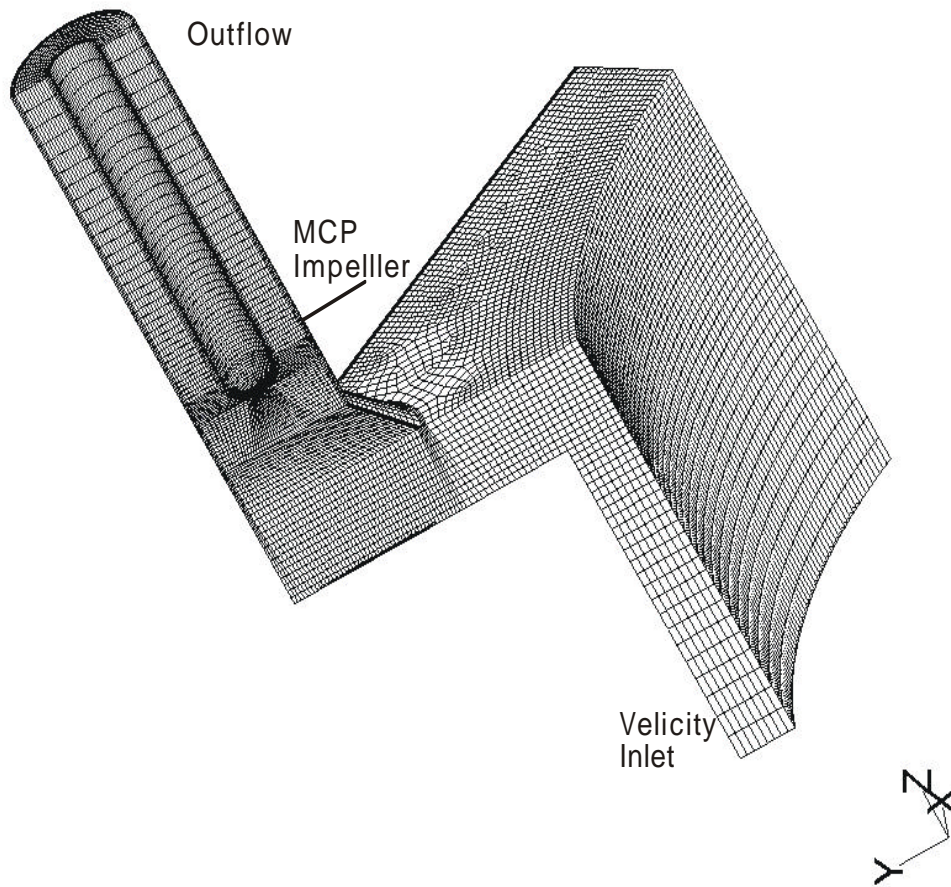
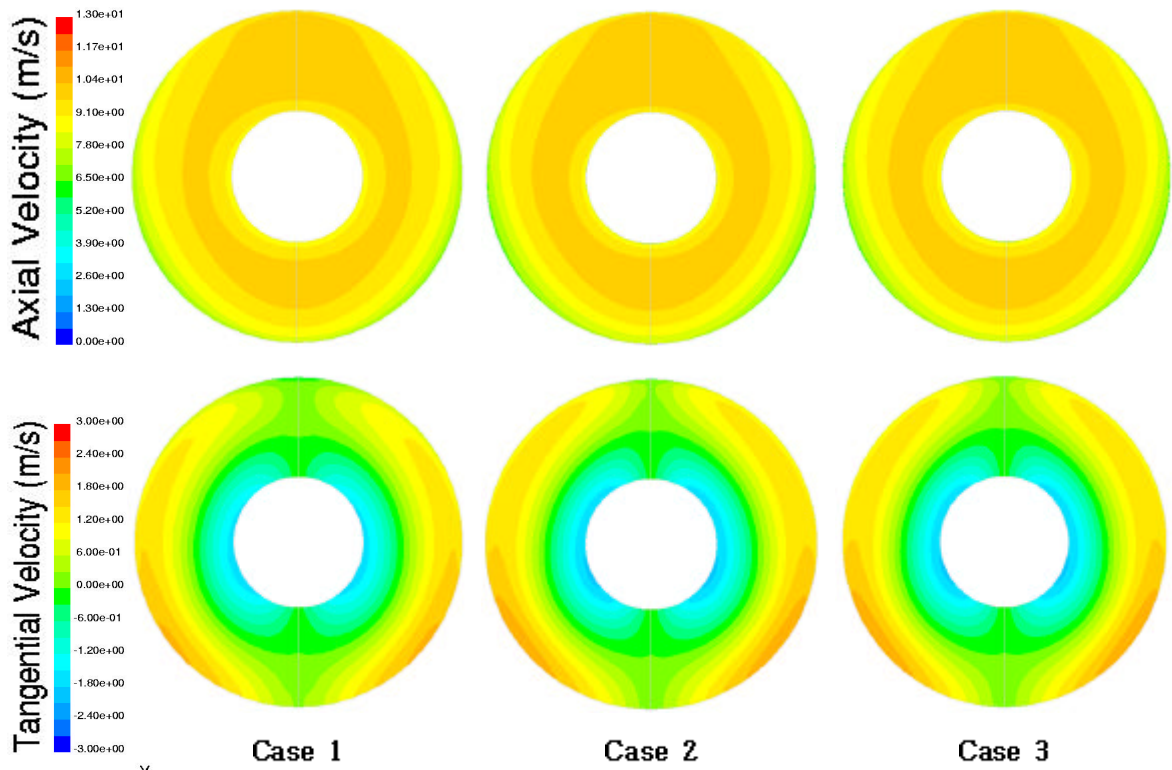
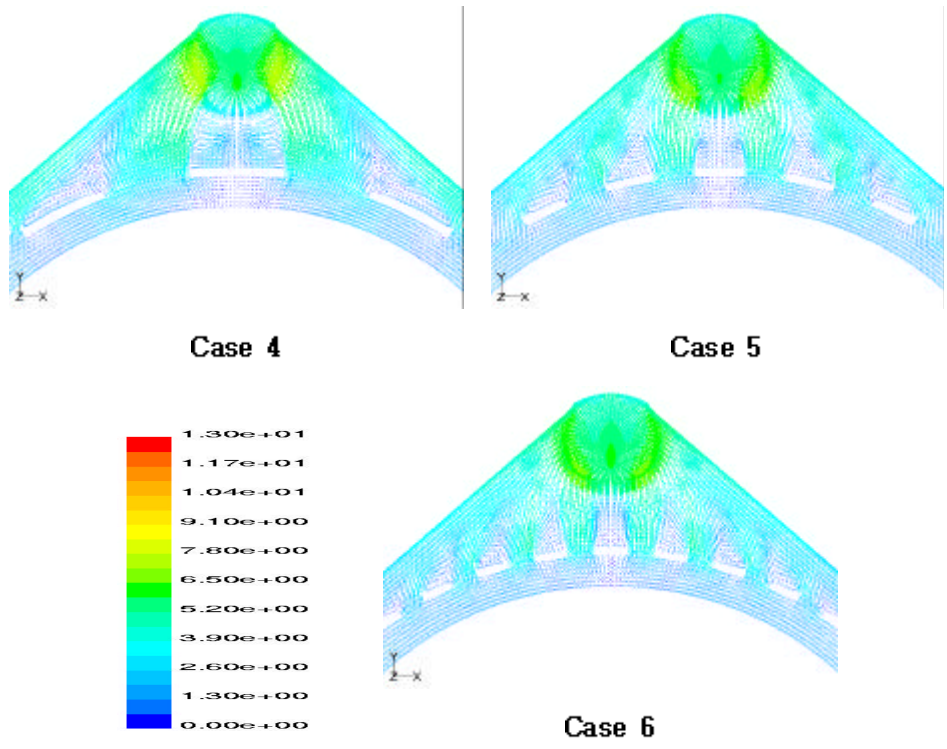


그림 2. 해석격자 (기본격자)



Case 1 Case 2 Case 3
 Y Z-X
 그림 3. Impeller 설치 위치 평면에서의 축, 점선방향 속도(격자민감도)



Case 4 Case 5 Case 6
 그림 4. 수직유로 하단 평면에서의 속도벡터 (전단 유로공 수)

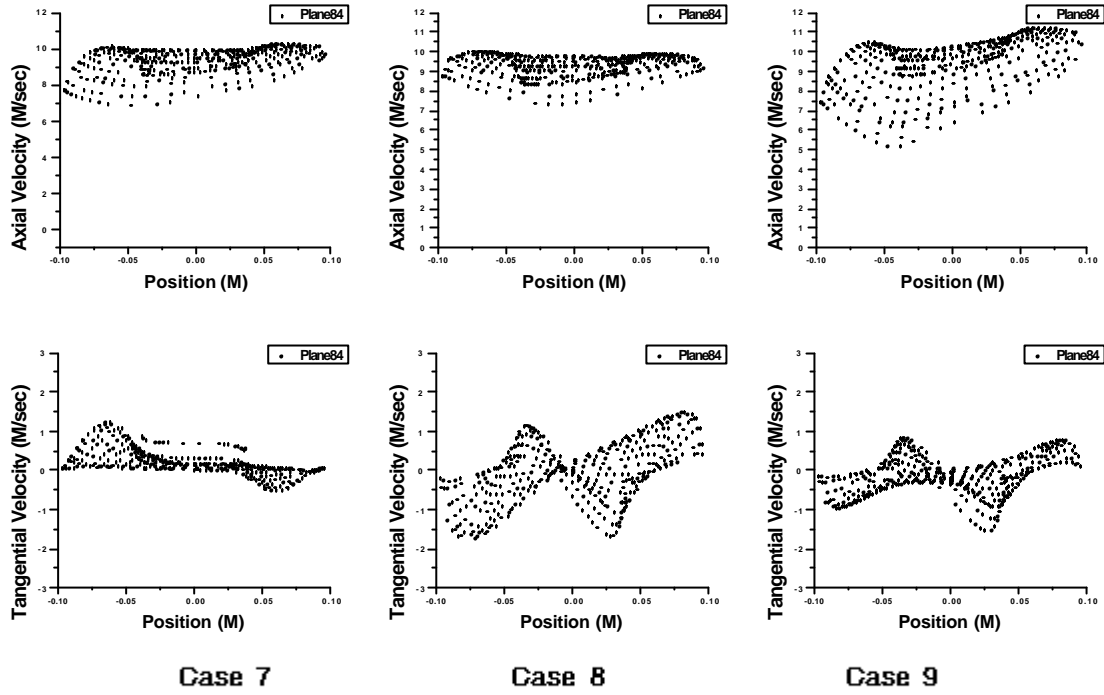


그림 5. Impeller 설치 위치 평면에서의 축, 점선방향 속도(모서리 절단)
 ※ Position은 펌프축 중앙으로부터 반경방향의 길이를 나타냄

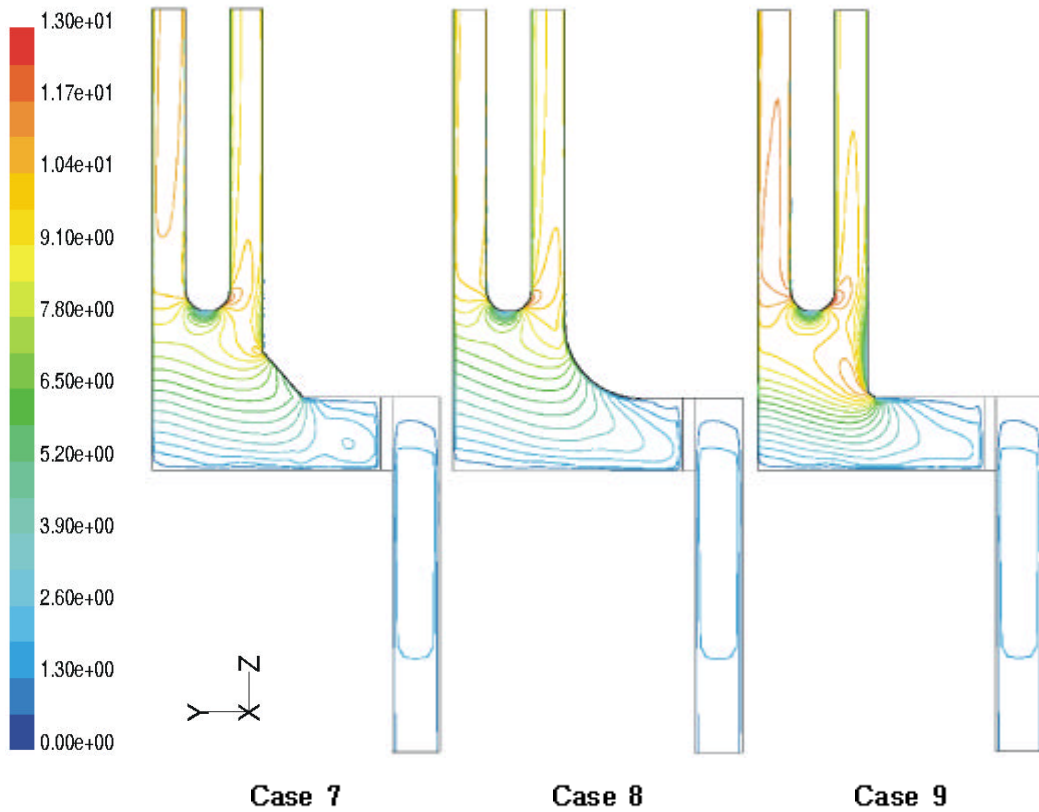


그림 6. Symmetry 평면에서의 속도분포(모서리 절단)

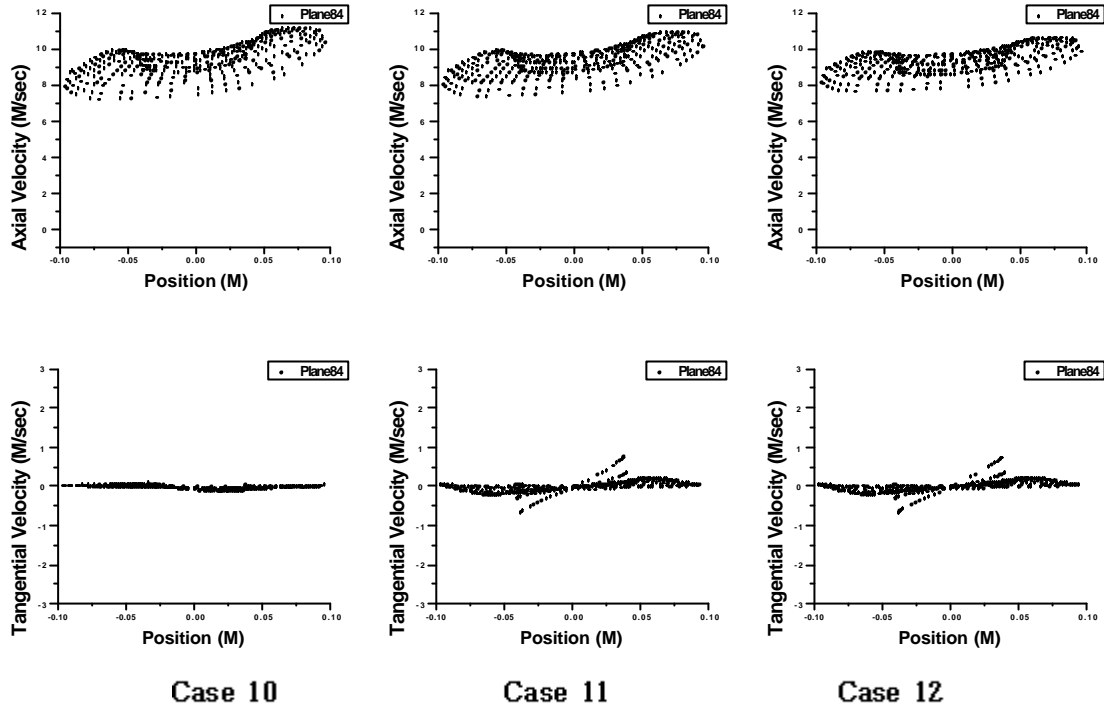


그림 7. Impeller 설치 위치 평면에서의 축, 점선방향 속도(압력손실이 균일한 그리드 설치)
 ※ Position은 헵츠축 중앙으로부터 반경방향의 길이를 나타냄

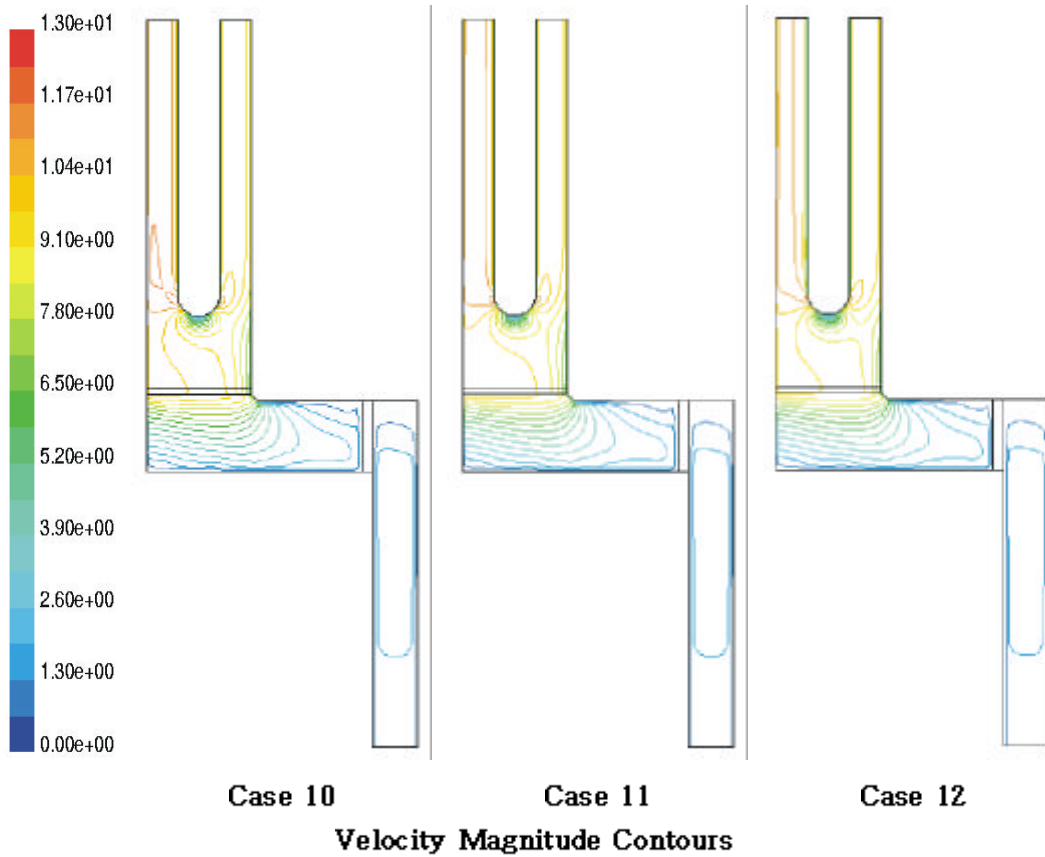


그림 8. Symmetry 평면에서의 속도분포도(압력손실이 균일한 그리드설치)