

2003 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

단순 지지격자를 가지는 봉다발 부수로 내에서의
난류 유동에 관한 해석적 연구

A Computational Study on Turbulent Flow in Rod Bundle
Subchannel with Plain Spacer Grids

박종석, 김위경
한국원자력안전기술원
대전광역시 유성구 구성동 19

김세운, 천세영
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

봉다발 부수로에서 혼합날개가 부착되지 않은 단순 지지격자를 지나는 난류유동 구조를 FLUENT 전산코드를 이용하여 해석적으로 파악하고 한국원자력연구소의 5x5 봉다발 부수로 실험결과와 비교하였다. 해석조건은 대기압 하에서 레이놀즈 수가 61,200이고 작동유체가 물인 유동장이다. 해석영역은 지지격자에서부터 하류방향으로 $55 D_H$ 까지이며 RSM 난류모델을 사용하였다. 해석결과는 실험결과와 유사한 경향을 보여주고 있다. 주유동 속도분포는 지지격자 하류방향으로 $5 D_H$ 까지 부수로 중심부에서 결손된 유동양상을 보여주고 있으며 $15 D_H$ 이후에는 부수로 유동장의 전형적인 유동형태가 나타나고 있음을 확인하였다. 횡방향 속도에 대한 실험결과는 부수로 유동장 전체에 걸쳐 지속적으로 넓게 분포되어 있는 반면 해석결과는 지지격자로부터 하류방향으로 $10 D_H$ 이후 일정한 값을 보여주고 있다. 부수로 유동장 전체에서 주유동 방향 성분의 레이놀즈응력이 횡방향 성분의 레이놀즈응력보다 크게 나타나고 있어 봉다발 부수로의 기하학적 형상에 따른 난류 비등방성이 유동장에 존재하고 있음을 확인하였다. 레이놀즈 전단응력에 대해 지지격자가 미치는 영역은 $10 D_H$ 부근까지이며 $10 D_H$ 이후에서는 봉다발 부수로의 기하학적 형상과 지지격자의 영향이 복합적으로 나타나고 있다.

Abstract

A computational study has been carried out to investigate the turbulent flow structure in the rod bundle subchannel with plain spacer grid using FLUENT CFD code and the computation results are compared with 5x5 rod bundle experimental data generated by KAERI. The computation works are performed in liquid water with Reynolds number of 61,200 at the atmospheric pressure condition and the analysis region is from the top of spacer grid to 55 D_H of downstream direction. The Reynolds stress equation model is employed to analyze the turbulent flow characteristics in the subchannel. The computation results show the same trend with the experimental data. The velocity profile of mainstream flow in a subchannel shows defected shape at the center of internal subchannel until 5 D_H of downstream direction from the top of spacer grid due to the effect of spacer grid. The typical velocity profile of rod bundle subchannel comes out after 15 D_H of downstream. The cross sectional velocities of the experimental data are somewhat widely distributed along the subchannels but the analysis results have nearly constant values after 10 D_H of downstream. An anisotropy of turbulent flow exists in all subchannels due to the spacer grid because the value of mainstream component term of Reynolds stress is higher than that of cross sectional components. The spacer grid effects to Reynolds shear stress reaches 10 D_H of downstream and Reynolds shear stress is affected by both spacer grid and rod bundle after 10 D_H .

Keyword: Rod bundle, Spacer grid, Subchannel analysis, Reynolds stress, Anisotropy of turbulent diffusion.

1. 서론

원자력 발전은 대량의 전력에너지를 비교적 저렴한 가격으로 공급하는 반면, 사고 발생 시에는 인체에 해로운 방사성 물질을 방출할 우려가 있기 때문에 원자력 발전의 열원인 핵연료봉과 연료봉 집합체의 설계는 핵물리, 열수력, 그리고 구조적 특성 등에 대한 깊은 지식을 요구하고 있다. 특히 연료봉 집합체는 붕다발 형상을 지니고 있어 붕다발 내부의 열수력적 거동에 대한 이해는 정상 운전에서 최적 설계 성능을 확보하고 과도 상태시 집합체의 구조적 건전성을 유지하는 데 필수적이다.

연료봉 집합체는 연료봉과 제어봉, 지지격자, 혼합날개, 등으로 구성되어 있다. 부수로는 인접한 연료봉들의 중심선을 가상으로 연결한 연료봉 사이의 유동면으로 정의되며¹⁾

연료봉의 위치에 따라 내부 부수로, 벽면 부수로, 모서리 부수로의 형상을 가지고 있다. 부수로의 주요 난류유동 현상은 부수로 사이의 횡류 혼합, 비등방 난류확산, 2차유동이며 그림 1은 봉다발 부수로의 형상과 주요 난류 현상들을 보여주고 있다.

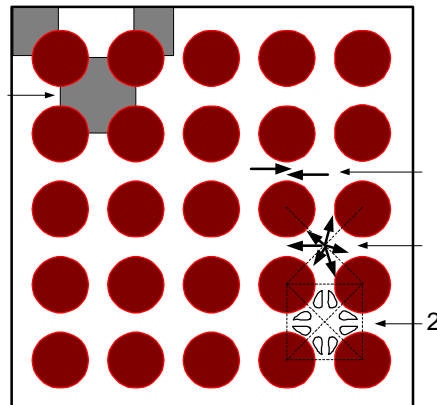


그림 1. 봉다발 부수로 형상과 난류현상

부수로의 유동 단면적 차이로 인해 발생하는 횡류 혼합은 유체의 온도를 균등화시키는 역할을 한다. 횡류 혼합 현상에 대해서는 실험적인 연구에 의한 상관식들이 주로 개발되고 있으나 난류구조 및 봉다발의 복잡한 기하학적 형상으로 인해 일반적인 상관식을 얻기가 어렵다.

부수로 유동장의 유동형상은 일반적으로 나선형을 가지게 되며 이러한 나선형 유동은 유로 단면에서 압력구배와 레이놀즈응력 사이의 균형을 유지하기 위해 평균 전단응력을 발생시키는 2차유동에 기인한다. 2차유동은 주유동에 비해 상대적으로 매우 작은 크기를 가지고 있지만 주유동의 평균속도 분포, 벽면 전단응력, 난류 운동에너지에 큰 영향을 주게 된다.

과거 부수로 유동장에 관한 연구는 복잡한 유동현상을 이해하기 위해 축소 설계된 모형을 이용하여 설계운전 범위에서 유동장 변수들을 측정하고 주요 변수들에 대한 실험 상관식을 개발하여 실제 설계에 사용하였다. 이러한 실험의 주목적은 부수로 내의 유동과 열전달 특성에 대한 상세한 정보를 습득함으로써 부수로 내의 열유동 특성을 파악하는데 있으나 새로운 유동 형상에 제안되거나 운전 조건이 실험 상관식의 적용 범위를 벗어날 경우에는 새로운 실험의 필요성이 제기된다. 또한 측정기술의 정확성도 실험 상관식의 신뢰성에 영향을 준다. 최근에는 전산유체역학이 발달함에 따라 적절한 초기조건과 경계조건을 사용하여 유동장을 해석하는 수치해석 방법을 부수로에 적용하고 있다.

실험적 연구로는 Rowe 등²⁾이 지지격자가 없는 3x3 모의 연료봉 다발에서 연료봉과 외벽에 나타나는 난류 구조를 제시하였고, Neti 등³⁾은 LDV를 이용하여 벽면 부수로와 내부 부수로에서의 난류강도 분포를 측정하였다. Rowe와 Chapman⁴⁾은 LDV를 사용하여 지지격자 상하류에서의 난류구조를 규명하였고, Shen 등⁵⁾도 LDV를 이용하여 혼합날개가 있는 지지격자가 설치되어 있는 부수로에서의 횡류 속도와 난류 강도를 측정하여 횡류혼합율이 혼합날개의 경사각도의 함수가 됨을 제시하였다. Yang과 Chung⁶⁾은 혼합날개가 있는 지지격자의 부수로에 대한 난류거동 실험을 수행하여 지지격자 하류의 난류 감쇄 현상을 연구하였다. Oh 등⁷⁾은 혼합날개가 있는 3x3 모의 연료봉다발에서 지지격자 하류에서 난류강도, 난류확산계수, 그리고 혼합날개에 의한 swirl수치를 제시하였다. Trupp과 Azad⁸⁾와 Rehme와 Trippe⁹⁾는 3각 형태의 봉다발 배열에서 지지격자로 인한 유동과 질량 재분포 현상에 대한 연구를 수행하였다.

지지격자의 설치목적은 봉다발 부수로에서 연료봉들의 간격을 일정하게 유지시켜 유동을 확보하고 유체유인 진동으로부터 연료봉을 보호하여 연료봉 표면의 건전성을 유지하는 데 있으며 혼합날개의 부작목적은 부수로 내에 와류를 발생시켜 열전달 성능을 향상시키는 데 있다.

혼합날개가 부착되어 있지 않은 부수로 유동장에서의 수력학적 특성 파악은 단순 지지격자 만의 영향을 확인할 수 있으며 혼합날개의 형상개선 방향을 정하기 위한 선행연구로서 필요하다. 김 등¹⁰⁾은 LDV를 이용하여 단순 지지격자가 설치된 연료봉다발 부수로 내에서의 난류유동 구조를 규명하기 위해 LDV를 이용한 실험적 연구를 수행하여 지지격자가 하류방향으로 16 D_H 정도까지 유동에 영향을 주고 있고 난류강도 감쇠는 기존 실험결과와 같이 지수 함수적인 감쇠 형태를 가지며 지지격자 하류방향으로 약 4 ~ 6 D_H 에서 단순 지지격자에 의해 생성된 난류는 소멸하고 있음을 보여주고 있다. 본 연구의 목적은 김 등의 실험연구 결과와 비교평가하고 5x5 연료봉다발에 설치된 단순 지지격자의 난류유동 특성을 전산 해석적으로 파악하는 데 있다.

2. 봉다발 부수로 수치해석

2.1 실험장치 개요

본 연구는 김 등¹⁰⁾의 실험결과를 사용하여 수치해석을 수행하였다. 김 등이 사용한 실험장치는 그림 2에서 보는 바와 같이 냉각수조, 순환펌프, 시험부로 구성되는 순환 루프로 구성되어 있다. 실험 중 루프의 조건은 유량계, 온도 및 압력 센서로 감시되며, 냉각수조는 900 liter의 직립 원통형을 냉각수의 온도조절을 위하여 코일형상의 냉각기와 가열기가 각각 장착되어 이들을 제어하는 제어를 통하여 설정온도를 일정하게 유지하는 기능을 한다. 냉각수 순환펌프는 루프 내에 유량을 형성하는 데 펌프의 회전속도를 조절함

으로써 유량을 조절할 수 있다. 루프의 배관 및 주요 요소에는 운전조건을 정확하게 유지하기 위하여 유량 및 시스템 온도, 압력 등을 감시, 제어하기 위한 계측기가 설치되어 있다.

시험부는 5x5 연료봉다발이 장착될 수 있도록 사각형상 (68x68 mm)이며 재질은 아크릴을 사용하였다, 시험부의 길이는 하단에서의 입구 효과와 상단의 출구효과를 줄이기 위하여 하단과 상단 지지격자를 장착하고 중간에 지지격자를 두므로써 중간 지지격자 상류의 유동을 안정화시킨 다음 하류에서 정확한 측정자료를 얻도록 하였다.

지지격자는 혼합날개가 부착되어 있지 않는 단순 형태이며 표 1은 5x5 모의 연료봉다발 시험부의 재원을 보여주고 있다. 측정위치는 그림 3에서 보는 바와 같이 중간 지지격자 하류방향으로 주유동 방향을 x, 레이저가 투과하는 단면을 따라 y, 레이저가 움직이는 방향을 z라고 놓고, z 축을 따라 3개의 측정경로와 각 경로 위에 부수로 중심과 연료봉 틈새위치에 18개 측정점을 정하였다.

유속측정은 LDV를 이용하였다. LDV 장비는 2차원 레이저 파장은 각각 514.5 nm, 488.0 nm이고, 초점거리 500 mm, 렌즈직경 38 mm, 확장비는 1.98이다. Argon-ion 레이저를 이용하며 후방산란방법을 사용하는 Dantec사 제품이다.

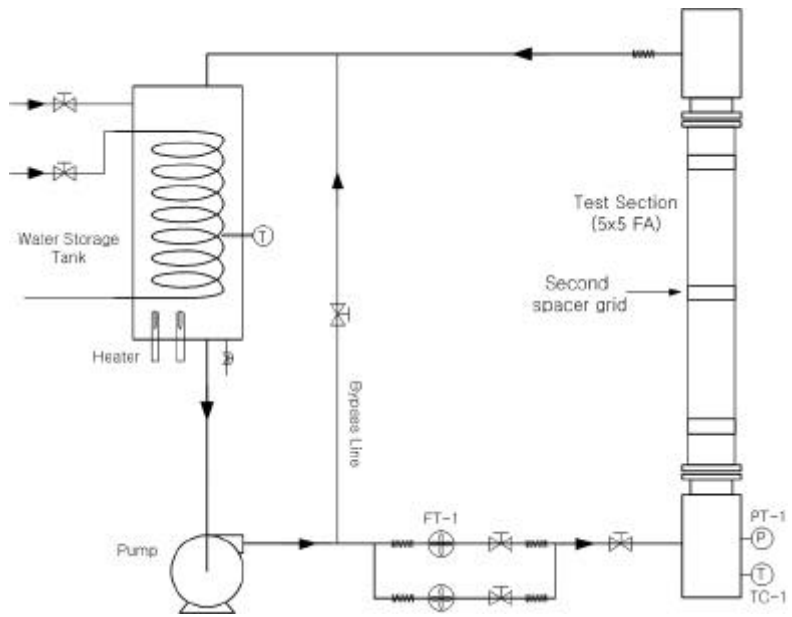


그림 2. 실험장치 개략도

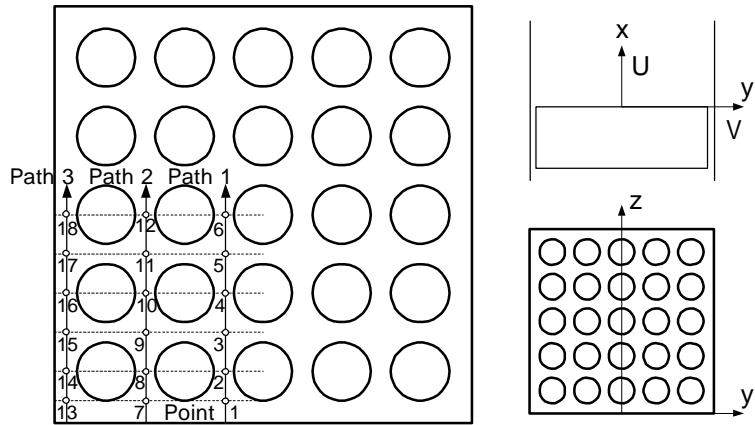


그림 3. 측정위치와 단면 좌표계

표 1. 시험부 제원

명 칭	수 치
연료봉 직경 (mm)	9.5
연료봉 피치 (mm)	12.8
연료봉 개수	5x5
지지격자 두께 (mm)	0.48
하우징 (mm)	68x68x1,200

2.2 해석 내용

본 수치해석의 목적은 단순 지지격자가 부수로 유동장에 주는 수력학적 영향을 파악하는 데 있으며 단일 부수로 해석과는 달리 봉다발 부수로 해석은 인접한 부수로 사이의 난류 혼합과 지지격자에 의한 강제 혼합 그리고 벽면효과를 보다 정확하게 파악할 수 있는 장점이 있다.

단순 지지격자가 포함된 모의 5x5 봉다발 부수로 유동장에 대한 수치해석은 상용전산 유체해석 코드인 FLUENT(11)를 사용하였다. 수치해석영역은 지지격자, 하우징 그리고 25개 모의 연료봉으로 구성되어 있으며 김 등의 실험장치와 동일한 시험부를 가지도록 설정하였다. 그림 4는 수치해석영역을 보여주고 있다.

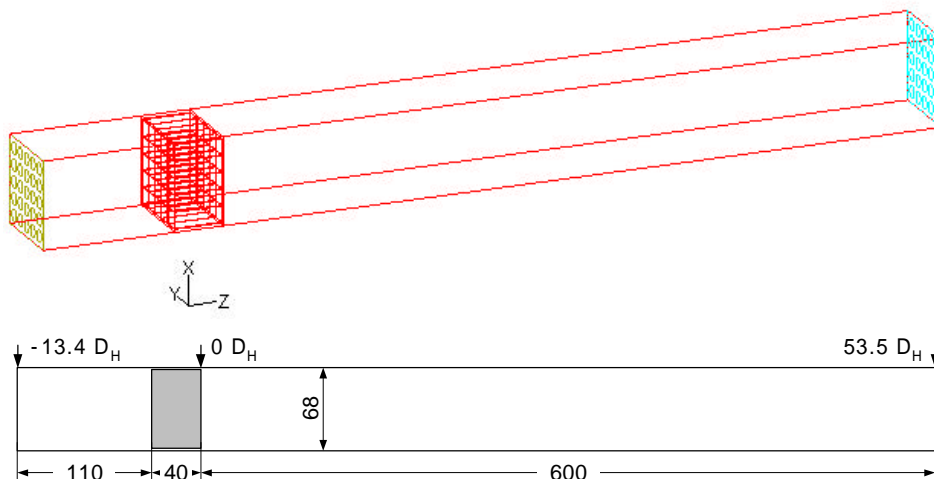


그림 4. 수치해석영역

2.3 격자 생성

본 수치해석에서는 부수로 유동장을 지지격자 상류, 지지격자, 지지격자 하류의 3부분으로 나누어 FLUENT 전산코드의 전처리기인 GAMBIT 전산코드를 이용하여 3차원 격자를 각각 생성하였고 이를 TGRID 전산코드에서 통합하는 방법으로 전체 유동장 격자를 생성하였다.

체적격자 개수는 139x139x70개이며 그림 5는 입구단면 격자를 보여주고 있다. 그림 6은 주유동 방향의 격자를 지지격자 부분을 중심으로 나타낸 것으로 중간에 좁아져 있는 부분이 지지격자가 있는 부분이며 지지격자를 중심으로 지지격자 상류와 하류는 격자간격이 일정 배율로

각각 확장되도록 함으로서 계산시간의 효율화를 도모하였다. 그림 7은 지지격자의 3차원 격자를, 그림 8은 3차원으로 가시화된 지지격자의 형상을 각각 보여주고 있다.

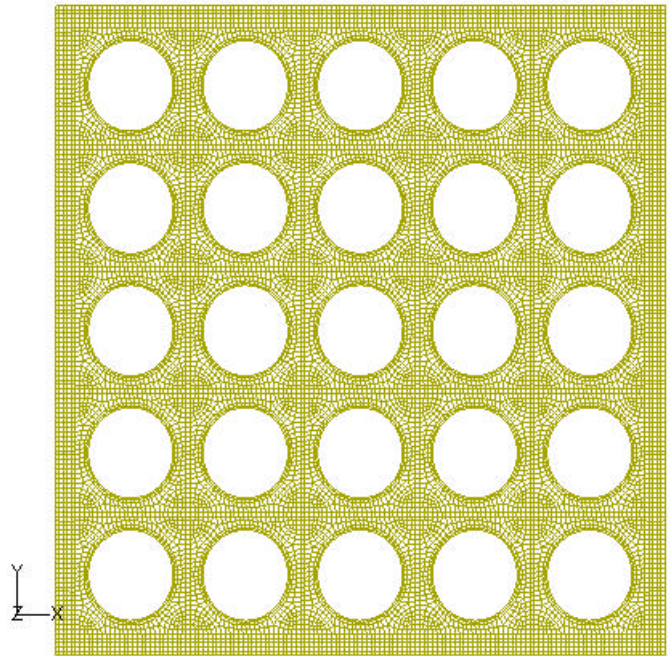


그림 5. 입구 단면 격자

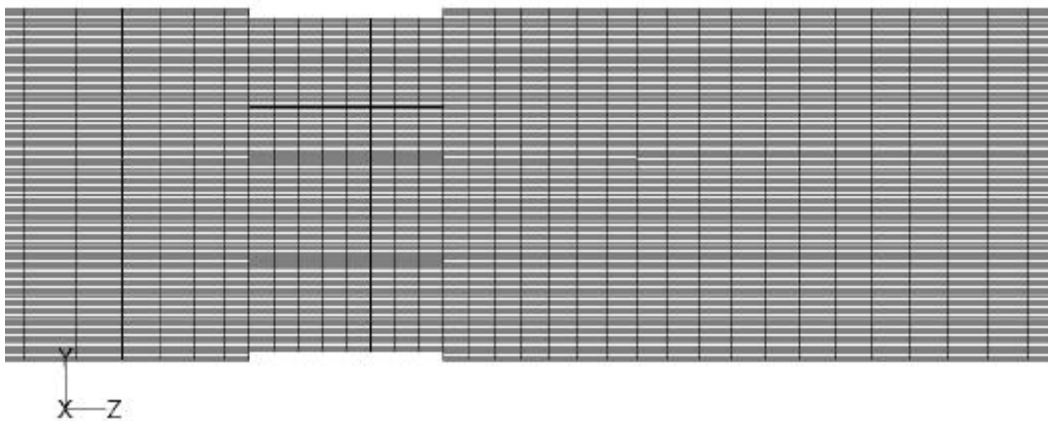


그림 6. 주유동 방향 단면 격자

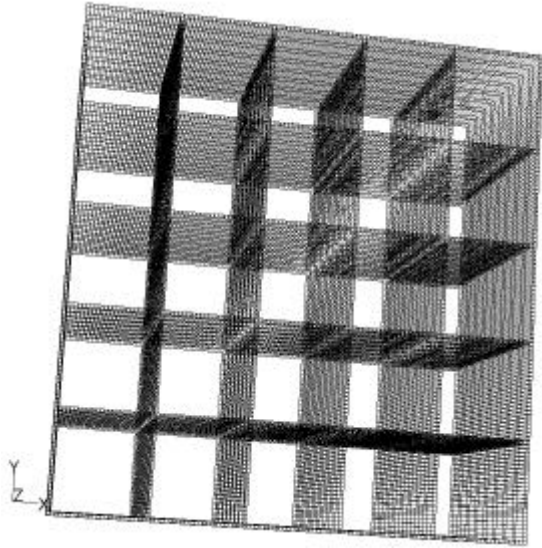


그림 7. 지지격자의 3차원 격자

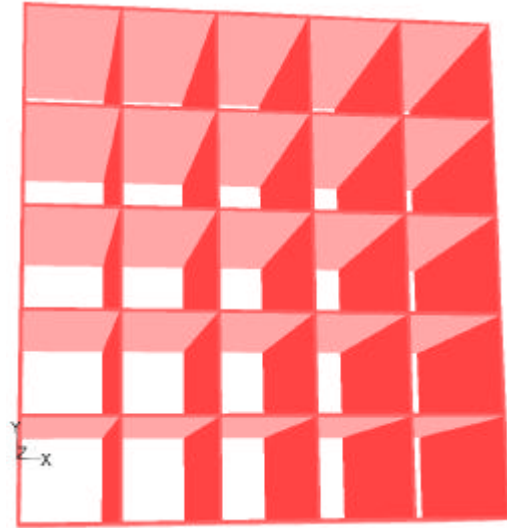


그림 8. 가시화된 지지격자 형상

2.4 초기조건 및 경계조건

초기조건으로서 부수로 내의 온도, 밀도, 압력은 균일하며 난류운동에너지와 난류운동에너지 소산율은 전체 유동장에 대해 일정하다고 가정하였다. 경계조건으로 입출구는 질량유량 주기조건을, 벽면은 no-slip 조건을 사용하였다. 상세한 초기 및 경계 조건은 표 2에 기술되어 있다.

표 2. 초기 및 경계 조건

변 수	수 치
레이놀즈 수	61,200
평균 유속 (m/s)	5.488
압력 (MPa)	0.1
밀도 (kg/m ³)	998.2
난류운동에너지 (m ² /s ²)	0.1506
난류운동에너지 소산율 (m ² /s ³)	17.141
입구 질량유량 ((kg/s)	15.62

3. 해석 결과

3.1 주유동 속도

그림 9는 그림 3의 경로2 단면에 위치하고 있는 6개 측정점의 주유동 속도를 김 등의 실험결과와 비교하여 보여주고 있다. 짝수번호로 표시되는 봉다발 틈새의 속도들은 유사한 경향을 보이고 있으나 홀수번호로 나타나는 부수로 중심의 속도들은 실험결과와 다소 차이를 보여주고 있다. 특히 측정점 9와 11의 경우, 지지격자에서 10 D_H 까지는 속도구배가 서로 다른 양상을 보여주고 있다. 그러나 측정점 7에서는 해석결과와 실험결과가 거의 유사한 경향을 보여주고 있다.

그림 10은 경로 2를 따라 하우징벽으로부터 채널중심방향으로 주유동 속도분포의 발달과정을 보여주고 있다. $z/D_H=4$ 까지는 지지격자의 영향으로 유동분포가 지지격자의 스트랩을 따라 결손된 유동양상을 보여주고 있으며 $z/D_H=8$ 이후에는 지지격자의 영향이 약해져서 부수로 유동장의 전형적인 유동형태를 보여주고 있다.

그림 11은 경로 2 부수로단면에서 주유동 속도분포를 보여주고 있다. 지지격자에서부터 하류방향으로 5 D_H 까지 부수로 중심부에 결손된 유동형태가 나타나고 있어 지지격자의 영향을 분명히 볼 수 있으며 8 D_H 까지는 지지격자의 영향이 점차 소멸되고 부수로 형상에 따른 유동 형태가 나타나기 시작하고 있음을 볼 수 있다. 15 D_H 이후에서부터 부수로 유동장의 전형적인 유동 형태가 나타나고 있다.

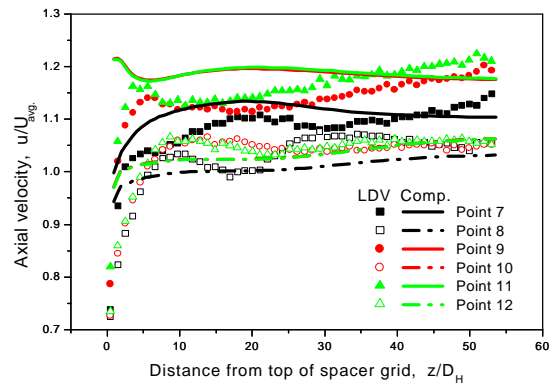


그림 9. 주유동 속도분포

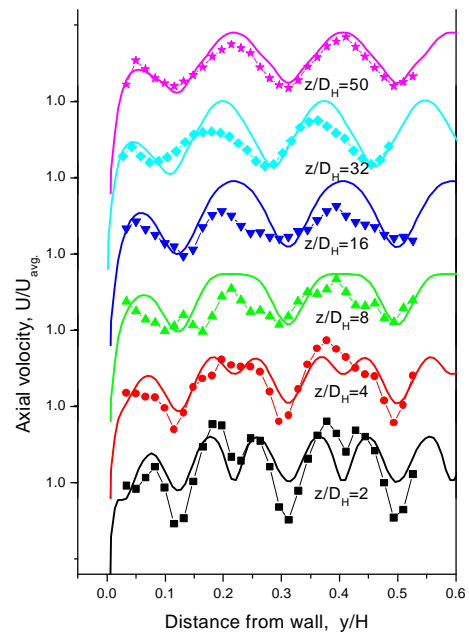


그림 10. 경로2에서의 주유동 속도분포

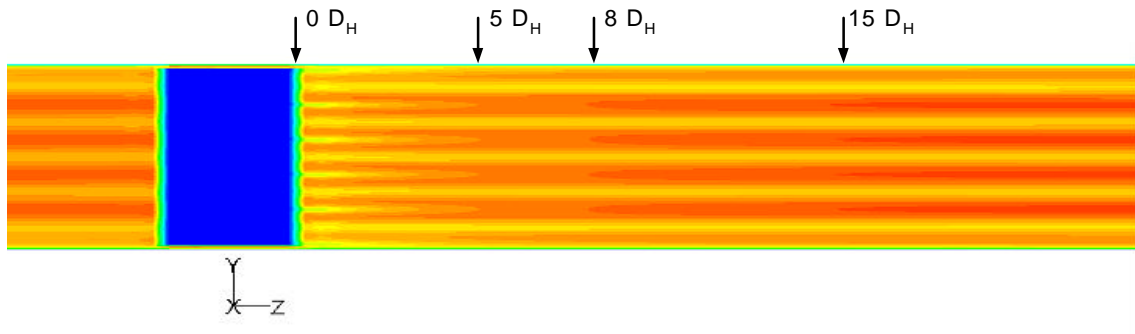


그림 11. 경로2에서의 주유동 속도분포

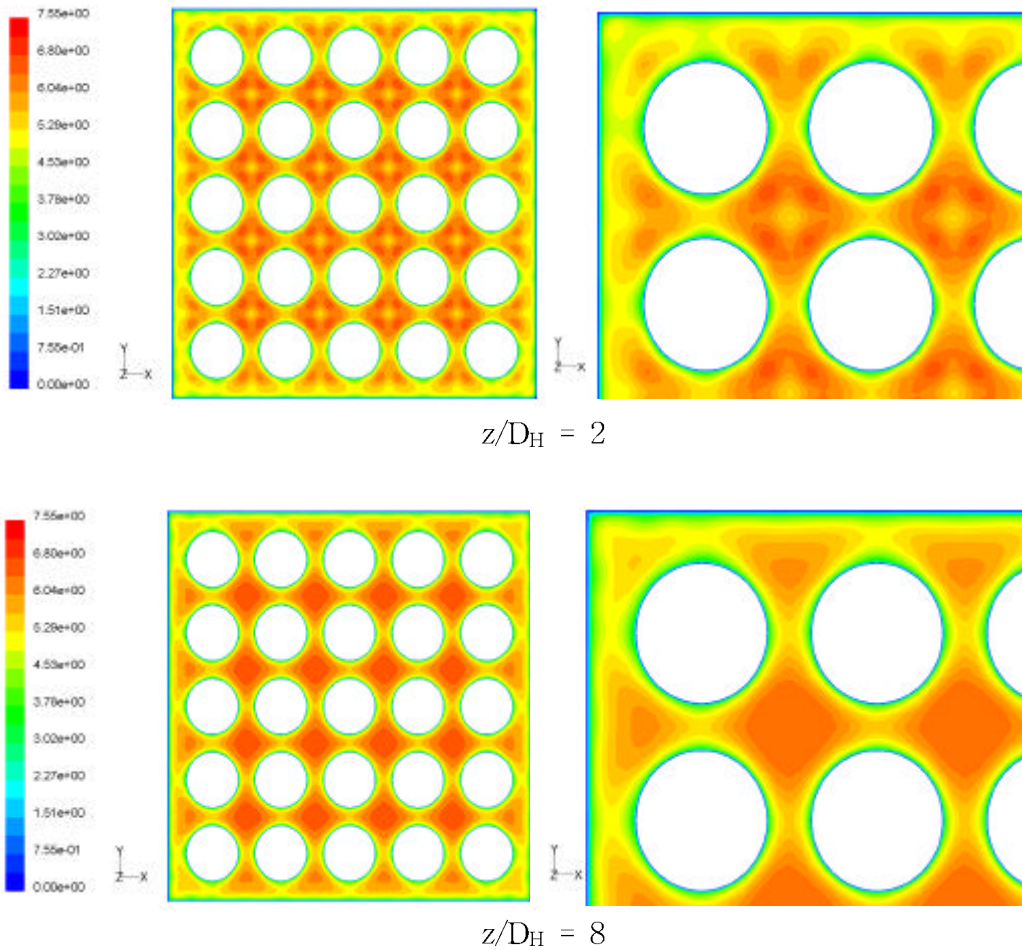


그림 12. 횡단면의 주유동 속도분포

그림 12는 지지격자에서 하류방향으로 $2 D_H$ 및 $8 D_H$ 위치에서 유동 횡단면의 주유동 속도분포를 각각 보여주고 있다. 지지격자의 영향으로 인한 내부 부수로 중앙에서의 결손된 유동 형태를 $2 D_H$ 에서 볼 수 있는 반면 $8 D_H$ 에서는 부수로 유동장의 유동 형태를 보여주고 있다.

3.2 횡방향 속도

그림 13은 주유동 방향의 횡방향 속도분포를 실험결과와 비교하여 보여주고 있다. 주유동 방향을 따라 지속적으로 넓게 분포되어 있는 실험결과에 비해 해석결과는 $10 D_H$ 이후부터는 거의 변하지 않는 값을 보여주고 있다. 벽면 부수로에 위치하는 측정점 7의 횡방향 속도가 다른 측정점의 속도들 보다 다소 크게 나타나고 있어 부수로 유동장의 벽면은 지속적으로 유동 분포에 영향을 주고 있다.

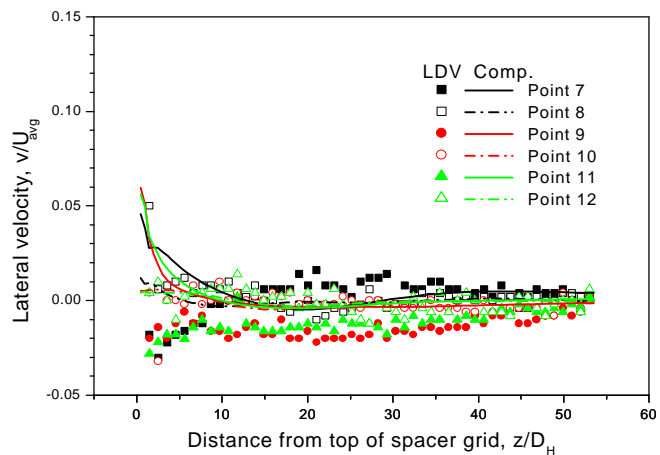


그림 13. 횡방향 속도분포

3.3 레이놀즈응력 분포

레이놀즈응력은 다음과 같은 여러 가지 요인에 의해 영향을 받게 된다. 즉, 등방성 회귀 (return to isotropy), 2차 유동에 의한 혼합 (mixing by secondary flow), 난류에너지의 소멸 (dissipation of turbulence energy), 난류길이척도(turbulence length scale)의 변화, 단순 변형율 (plane rate of strain)의 영향들이 서로 상호작용을 일으켜 레이놀즈응력에 변화를 주게 된다.

등방성 회귀는 압력 변형율 항에 의해서 나타나며 비등방성 난류 구조를 등방성 구조로 되돌아가게 하는 성질을 의미하고 2차 유동에 의한 혼합은 비등방성의 레이놀즈응력 성분들을 혼합시켜 난류 구조의 등방성을 촉진시켜준다. 단순 변형율은 유동 단면적이 감소하면 레이놀즈응력 성분을 증가시키고 유동 단면적이 증가하면 레이놀즈응력 성분을 감소시키는 특성을 나타낸다.

그림 14는 주유동 방향으로 레이놀즈응력 강도의 단면평균 분포를 보여주고 있다. 유동 단면적의 급격한 변화를 초래하는 지지격자로 인해 레이놀즈응력은 급격히 상승하고 있으며 하류로 갈수록 완만하게 감소하여 $z/D_H = 30$ 부근에서는 유동장 입구 조건과 같아지는 경향을 나타내고 있다. 따라서 지지격자는 $z/D_H = 30$ 부근까지 부수로 유동장에 영

향을 주고 있음을 알 수 있다.

그림 14에서 보는 바와 같이 레이놀즈응력의 주유동 방향에 직각 성분인 \overline{uu} 및 \overline{vv} 는 거의 같은 값을 나타내고 있으나 주유동 방향 성분 \overline{ww} 는 높게 나타나고 있어 주유동 속도가 유동장을 지배하는 봉다발 부수로에서 기하학적 형상에 따른 비등방성을 잘 보여주고 있다.

그림 15는 부수로 유동장에서 레이놀즈 전단응력의 단면평균 변화를 보여주고 있다. 지지격자를 지나면서 레이놀즈 전단응력은 급격하게 감소하고 있으며 $5 D_H$ 이후 횡방향 성분 \overline{vw} 응력은 서서히 감소하고 있으나 주유동 방향 성분이 포함된 \overline{uv} 와 \overline{uw} 응력은 지지격자 하류로 $30 D_H$ 까지 지속적으로 변화하고 있으며 $30 D_H$ 이후부터 안정화되어 일정한 값을 나타내고 있다. 따라서 지지격자가 레이놀즈 전단응력에 미치는 영역은 $10 D_H$ 부근까지이며 $10 D_H$ 이후에서는 봉다발 부수로의 기하학적 형상과 지지격자의 영향이 복합적으로 레이놀즈 전단응력에 나타나는 것으로 볼 수 있다. 또한 주유동 성분이 포함된 전단응력은 횡방향 유동 성분의 전단응력 \overline{vw} 에 비해 큰 값을 보여주고 있어 주유동 속도가 부수로 유동장 속도의 지배 성분을 알 수 있다.

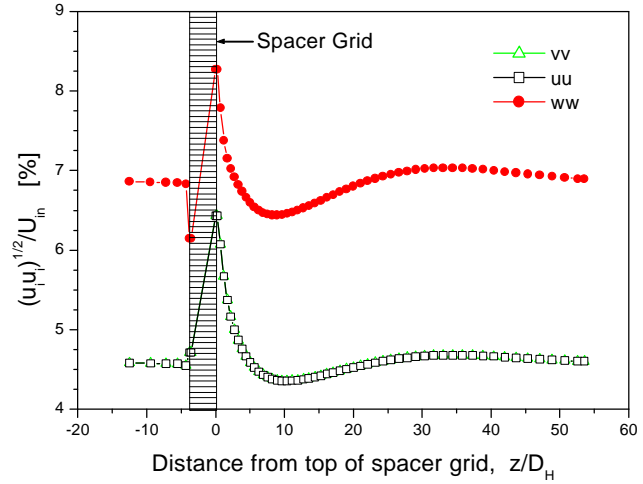


그림 14. 레이놀즈응력 분포

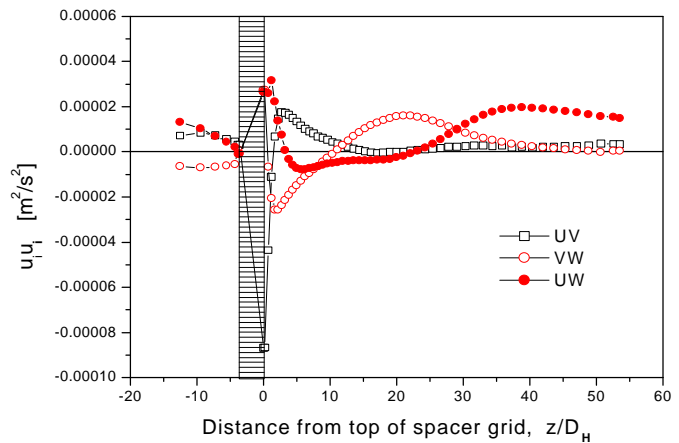


그림 15. 레이놀즈 전단응력 분포

4. 결 론

혼합날개가 부착되지 않은 단순 지지격자가 설치된 봉다발 부수로 내에서 난류유동 구조를 FLUENT 전산코드를 이용하여 해석적으로 파악하고 실험결과와 비교하였다. 해석 결과는 실험결과와 유사한 경향을 보여주고 있다. 주유동 속도분포는 지지격자 하류방향으로 5 D_H 까지 부수로 중심부에서 결손된 유동양상을 보여주고 있으며 15 D_H 이후에는 부수로 유동장의 전형적인 유동형태가 나타나고 있음을 확인하였다. 횡방향 속도에 대한 실험결과는 부수로 유동장 전체에 걸쳐 지속적으로 넓게 분포되어 있는 반면 해석결과는 지지격자로부터 하류방향으로 10 D_H 이후 일정한 값을 보여주고 있다.

부수로 유동장 전체에서 주유동 방향 성분의 레이놀즈응력이 횡방향 성분의 레이놀즈응력보다 크게 나타나고 있어 봉다발 부수로의 기하학적 형상에 따른 난류 비등방성이 유동장에 존재하고 있음을 확인하였다. 레이놀즈 전단응력에 대해 지지격자가 미치는 영역은 10 D_H 부근까지이며 10 D_H 이후에서는 봉다발 부수로의 기하학적 형상과 지지격자의 영향이 복합적으로 나타나고 있다.

5. 참고 문헌

- [1] M.B. Carvier, et al., "Validation of the ASSERT Subchannel Code: Prediction of CHF in Standard and Nonstandard CANDU Bundle Geometries", Nucl. Tech. Vol. 112, p.299, 1995.
- [2] Rowe, D.S., Johnson, B.M. and Knudsen, J.G., "Implications concerning rod bundle crossflow mixing based on measurements of turbulent flow structure", Int. J. of Heat Mass Tran., Vol.7, pp.407-419, 1974.
- [3] Neti, S., Eichhorn, R. and Hahn, O.J., "Laser measurements of flow in a rod bundle", Nucl. Eng. and Design, Vol.74, pp.105-116, 1982.
- [4] Rowe, D.S. and Chapman, C.C., "Measurement of turbulent velocity, intensity and scale in rod bundle flow channels containing a grid spacer", BNWL-1757, 1973.
- [5] Shen, Y.F., Cao, Z.D. and Lu, Q.G., "An investigation of crossflow mixing effect caused by grid spacer with mixing blades in rod bundle", Nucl. Eng. and Design, Vol.125, pp.111-119, 1991.
- [6] Yang, S.K. and Chung, M.K., "Turbulent flow through spacer grids in rod bundle", J. of Fluids Eng., Trans. ASME, Vol.120, pp.786-791, 1998.
- [7] Oh, D.S., In, W.G. and Chun, T.H., "Structure of turbulent flow in subchannel of rod bundle downstream of spacer grid with hybrid flow mixing device", Proc. of ICONE 10, ICONE10-22264, pp.1-13, 2002.
- [8] Trupp, A.C. and Azad, R.S., "The structure of turbulent flow in triangular array rod bundles", Nucl. Eng. and Design, 32, pp.47-84, 1975.
- [9] Rehme, K. and Trippe, G., "Pressur drop and velocity distribution in rod bundles with spacer grids", Nucl. Eng. and Design, Vol.62, pp.349-359, 1980.
- [10] 김세윤, 등, "단순 지지격자를 가지는 핵연료봉다발 내에서의 난류 유동에 관한 실험적 연구", 한국원자력학회 2002 추계학술발표회 논문집.
- [11] FLUENT 5.3, Fluent Inc., 1998