

# Mixing Vane에 의한 단일봉에서의 열전달 촉진

이상섭<sup>†</sup>·유성연\*·김병채\*\*·김은기\*\*\*·임덕재\*\*\*·정장규\*\*\*·김석범\*\*\*

## Heat Transfer Enhancement in a Circular Rod Using Mixing Vane

Sang-Sub Lee, Seong-Yeon Yoo, Byeong-Chae Kim, Eun-Kee Kim,  
Duck-Jae Lim, Chang-Kyu Chung and Seoug-Beom Kim

**Key Words:** Circular Rod (원봉), Heat Transfer Enhancement (열전달 촉진),  
Mixing Vane (혼합날개), Naphthalene Sublimation Technique (나프탈렌승화법)

### Abstract

Naphthalene sublimation technique is used to investigate the average and local heat transfer from the circular rod, and to determine the average and local heat transfer from the circular rod with and without square wing type mixing vane in axial flow. The experiments are performed for a circular rod and flat plate with and without mixing vane in wind tunnel. In comparison with flat plate and circular rod in axial flow, averaged Nusselts number is increased 2 times as the increase of Reynolds number with mixing vane. Longitudinal vortex induced by square wing type has the stronger vortex strength, so square wing type vortex generator shows an effect further in downstream.

### 1. 서 론

현재 에너지원 중 가장 크게 각광을 받고 있는 것 중의 하나가 바로 원자력발전에 의한 에너지이다. 부존 에너지 자원이 빈약한 우리나라는 2030년까지 전력소비의 50% 이상을 원자력으로 대체할 계획으로 원자력 발전에 의한 전기 생산에 의존하고 있는 상황 하에서 원자력 발전소의 연소효율 증대에 의한 성능향상 및 안전성 확보에 관한 연구는 국가적으로 매우 시급하고 중요한 과제이다. 원봉 주위에서는 박리, 재순환, 와류 등의 매우 복잡한 유동이 발생하며 이러한 유동이 열전달에 영향을 미치므로 원자력 발전소에

사용되는 각종기기의 성공적인 설계를 위해서는 3차원 열전달 특성에 관한 정보가 필요하다. 기존의 열전달 실험으로는 3차원 유동이나 복잡한 형상에 대한 열전달 특성을 규명하는 것이 불가능하였다. 이러한 어려움을 해결하기 위해서 개발된 방법이 나프탈렌승화법이다.

와류(vortex)는 이미 많은 앞선 연구를 통해 열전달을 촉진시킬 수 있는 유동현상으로 인식되고 있다. 따라서 와류를 어떠한 방식으로 만들어 서로 조합하는 것이 열전달 율을 더 증가시킬 수 있는가에 대한 연구가 국내·외에서 다양하게 이루어지고 있다. Fiebig<sup>(1)</sup> 등은 winglet pair와 slender delta wing 형태의 와류발생기를 채널 내에 설치하였을 때, 층류유동이고 밀도는 온도의 함수로 가정한 전산해석 결과로 부터 와류발생기의 leading edge를 따라서 서로 반대방향으로 회전하는 와류를 형성하고 이로 인해 열전달 촉진이 일어난다는 결과를 도출하였다. Biswas<sup>(2)</sup> 등은 wing 형태 와류발생기를 채널 내에 설치하고 그 주변

<sup>†</sup> 한국전력기술(주) 원자로설계개발단

E-mail : sslee3@kopc.co.kr

TEL : (042)868-4246 FAX : (042)861-4859

\* 충남대학교 기계설계공학과

\*\* 충남대학교 기계설계공학과 대학원

\*\*\* 한국전력기술(주) 원자로설계개발단

현상에 대한 전산해석을 수행하여 와류발생기 후방에 형성되는 2차 와류가 열 경계층 발달을 방해하고 이로 인해 열전달 촉진을 일으킨다는 결과를 보였다. Zhu<sup>(3)</sup> 등은 rectangular wing, delta wing, rectangular winglet pair, delta winglet pair의 4가지 형태 와류발생기로 표면을 거칠게 모델링하여 채널 내에 설치하였을 때, 난류  $k-\epsilon$  모델을 사용한 전산해석결과를 발표하여 와류발생기 표면이 거칠고 rectangular winglet pair일 때 열전달량이 크다는 결과를 도출하였다. Tiggelbeck<sup>(4)</sup> 등은 유동에 대해 30~90° 경사를 갖는 rectangular wing, delta wing, rectangular winglet pair, delta winglet pair의 4가지 형태 와류발생기를 채널 내에 설치하여 liquid crystal thermography로 측정된 열전달량과 마찰계수의 연구를 하여 4가지 형태의 와류발생기에서 열전달량이 최대가 되는 입사각이 각각 따로 존재하고 마찰계수는 Re 수에 따라 일정하다는 사실을 밝혔다. Biswas<sup>(5)</sup> 등은 와류발생기의 입사각에 따른 유동 및 열전달 특성을 연구하여 입사각은 70°, 64°, 60°로 감소할수록, Re 수는 증가할수록 Nu 수가 높게 나온다는 사실을 보였다. 유성연<sup>(6)</sup> 등은 평판에 rectangular 형과 delta 형의 사각와류발생기를 설치하고 와류발생기의 입사각(0°, 30°, 45°, 60°)에 따라 열전달 촉진에 대한 실험적 연구를 수행하여 종 와류와 횡 와류의 열전달 촉진 현상을 연구하여 delta형 와류발생기에서는 유동방향으로 투명한 빗변길이가 길어질수록 열전달이 촉진되는 현상을 실험으로 보였다. In<sup>(7)</sup> 등은 냉각수 혼합장치로 주 혼합날개와 부 혼합날개로 구성된 봉다발의 복합 유동 날개의 최적설계를 위한 방법을 제시하였다.

본 연구에서는 나프탈렌승화법을 이용하여 측정상 어려움이 있는 원자력발전소 기기의 원봉에서의 3차원 국소 열전달 측정기술을 개발하기 위한 기초 연구로 단일봉에서의 3차원 열전달 측정기술을 개발하고, Mixing Vane을 사용하여 축방향 와류를 발생시켜 이 와류에 의한 열전달 특성 및 Mixing Vane의 형상과 배열에 따른 열전달 촉진에 대해 연구하고자 한다. 이와 같이 단일봉에서의 열전달 촉진기술을 연구하여 원자로의 성능향상 및 안정성 제고 방안을 제시하고자 하며 얻어진 연구 결과는 원자로의 안정성 확보 및 원자로 국산화 설계기술을 개발하는데 매우 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 풍동, 자동이송 승화깊이 측정장치, 실험시편, Data Acquisition System 등으로 구성되어 있다. 풍동은 평판용과 원봉용을 별도로 제작하였으며, 평판용 풍동은 개방 흡입형으로 직류모터에 연결된 축류 팬을 회전시켜 원하는 유속의 유동을 생성한다. 시험부는 400mm×300mm 인 직사각형으로 만들어졌으며 최대 속도는 25 m/s이고 자유흐름의 난류강도는 0.5% 미만이다. 원봉용 풍동은 settling chamber, 시험부, 원심형 송풍기 등의 주요 부분으로 구성되었다. 시험부의 균일 유동을 만들기 위해 면적비 9:1의 수축부가 설치되고, 아크릴로 제작된 시험부는 115mm×115mm×1000mm 크기의 채널이다. 원봉을 풍동에 설치하기 위해 축 방향으로 좌우측에 시편을 최대 9개까지 설치할 수 있는 지지점을 제작하였으며, 시험부를 통과하는 유량을 측정하기 위해 송풍기의 토출구에 노즐을 설치하였다.

나프탈렌 주조용 시편은 Fig. 1과 같이 평판용과 원봉용을 각각 제작하였다. 평판용 시편의 크기는 길이 310mm, 폭 120mm, 두께가 15mm이고, 선단에서의 박리를 방지하기 위해 30°의 각도를 가지는 날카로운 끝단을 가지게 가공하였다. 판에 나프탈렌을 주조하기 위해 홈(길이 300mm, 폭 60mm, 깊이 2mm)이 있으며, 나프탈렌을 주조할 때 공기가 빠져나갈 수 있도록 9개의 작은 구멍이 있다. 원봉용 시편의 크기는 길이 190mm, 지름 30mm이며, 원봉에 나프탈렌을 주조하기 위해 홈(길이 160mm, 깊이 2mm)이 있다. 주조용 몰드는 2개로 나누어 제작하였으며, 원통 안쪽에 액체 나프탈렌 주입용 구멍을 만들어 주조된 원봉 표면에 전혀 흠집이 생기지 않도록 하였다.

자동이송 승화깊이 측정장치는 컴퓨터로 제어되는 스텝모터를 이용하여 시편과 측정센서를 자동으로 이동시키면서 승화깊이를 측정하는 장치로 평판용 x-y 이송 테이블과 원봉용  $\theta$ -z 이송 테이블로 구성되어 있다. x-y 이송 테이블은 시편을 Y축에, 승화깊이 측정센서를 X축에 고정하고, 스텝모터와 연결된 이송축에 의해 X축, Y축으로 이동시키면서 승화깊이를 측정할 수 있도록 설계된 장치이며, 유효이송거리는 450mm×400mm 이다.

$\theta$ -z 이송 테이블은 시편은  $\theta$ 축에 센서를 z축에 고정하고,  $\theta$ 축이 일정각도로 회전한 다음 센서가 z축으로 움직여 승화깊이를 측정할 수 있도록 설계한 장치로 각각의 축에 시편과 센서를 이동시킬 수 있도록 스텝모터가 설치되어 있다. x-y 이송 테이블,  $\theta$ -z 이송 테이블 모두 최소이송거리의 축에 연결된 스텝모터의 분해능과 스텝모터와 연결된 이송축의 볼스크류의 리드(lead)에 달려있다. 각 축에 연결된 5상 스텝모터(Oriental Motor Co. VEXTA PK569-AW)는 1 스텝당  $0.72^\circ$  회전하며 이때의 축방향 변위는  $0.01\text{mm}$ 이다. 승화깊이를 측정하기 위한 LVDT(Linear Variable Differential Transformer: Schaevitz Engineering LBB-375-TA-100)센서는 센서 팁의 직선변위에 따라 전기적인 신호를 내보내는 장치로 측정가능범위는  $0.1\text{ inch}$  이고 측정 분해능은  $1\mu\text{-inch}$ 이다. Data Acquisition System은 HP 3852A data acquisition 및 control unit를 사용하였으며, IEEE 488.2 프로토콜을 사용하는 GPIB를 통해 PC와 연결되고, PC에서 작동 가능하도록 Visual Basic을 사용하여 만들어진 data acquisition 및 스텝모터 제어용 프로그램에 의해 자동이송승화깊이 측정장치와 LVDT를 통해 나프탈렌의 승화량을 자동으로 측정하게 된다.

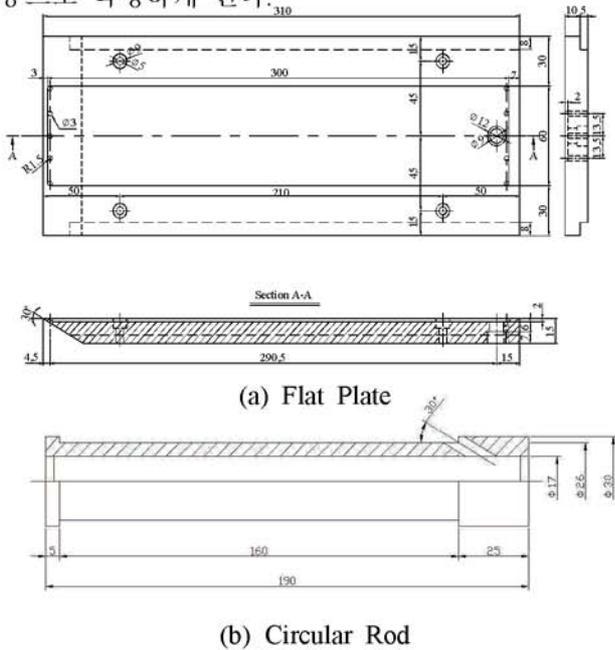


Fig. 1 Schematic diagram of flat plate & circular rod test-piece

2.2 실험방법

본 실험을 수행하기 위해서는 크게 다음의 세 가지의 과정을 거치게 된다. 먼저 시편표면에 나프탈렌을 주조하고, 자동이송 승화깊이 측정장치로 시편표면의 기준선으로부터 깊이를 측정한다. 측정이 끝난 시편은 유동 채널 내에 설치하여 풍동 내 유동장에서 약 1시간 가량 노출시킨 후 다시 꺼내어 기준선으로부터 깊이를 측정한다. 풍동에서 노출 전·후의 깊이 차로부터 승화량을 계산하여 물질전달계수를 구하고, 열전달과 물질전달의 유사성 관계식에 의해 열전달계수를 구한다. 실험을 수행하는 동안 풍동 내에서 노출되어 나프탈렌이 승화되는 것 외에도 승화깊이를 측정하는 과정과 시편을 풍동에 설치하고 꺼내서 승화깊이 측정장치에 고정하고 기준점을 찾는 과정 중에도 자연승화가 발생하므로, 미리 시간에 따른 자연승화량을 측정하여 실제 실험에서 측정된 승화량에서 빼 줌으로써 자연승화를 보정한다. 전체 실험에 대한 오차는 5% 미만이다.

3. 실험결과 및 고찰

단일봉에서 Mixing Vane의 열전달 촉진에 미치는 영향을 연구하기 위해서, 먼저 형상이 단순하고 측정이 쉬운 평판에 대한 열전달 특성과 Mixing Vane에 의한 열전달 촉진을 규명하였다. 주조된 시편은 풍동 선단으로부터 490mm의 바닥에 위치하고 있으며, Fig. 2는 이때 유동의 수직 방향으로 평균 열전달계수의 분포를 보여주고 있다. Re 수는 시험부의 시작점으로부터 거리를 특성길이라고 하고 자유흐름속도가 5 m/s에서 15 m/s까지 변할 때 약 150,000~450,000 범위에 있다. 풍동의 바닥면에 평판을 설치할 경우에 유동 경계층은 이미 발달된 상태에서 시험부에 유입되고

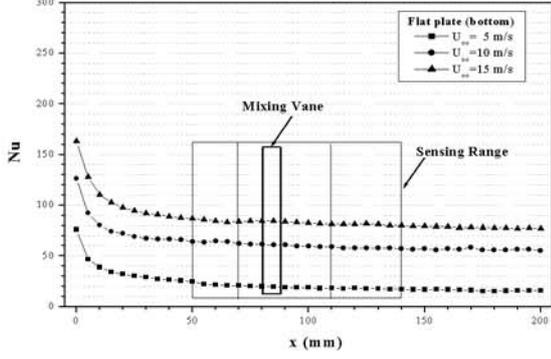
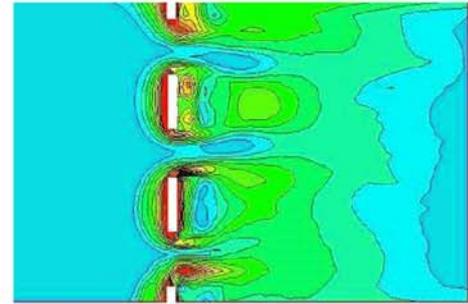


Fig. 2 Distribution of Span-wise averaged Nusselt Number for Flat Plate

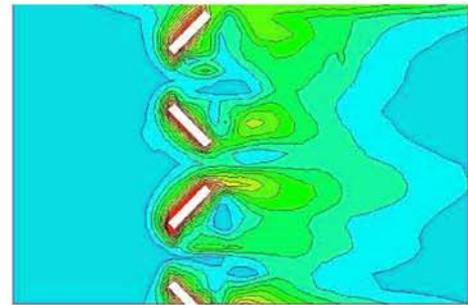
물질농도 경계층만이 나프탈렌 주조면에서 시작되게 된다. 따라서 유동 경계층 발달에 대한 영향이 무시될 수 있는 물질전달 실험결과를 도출할 수 있다. 선단으로부터 Nu 수가 점차 감소하여 일정한 값에 도달하는 모습을 보여 주고 있으며, 속도에 상관없이 동일한 경향을 보이고 있다. 이러한 결과로부터 유동이 층류에서 난류로 천이과정을 거치지 않고 이미 난류로 완전히 발달되어 유입되고 이후 물질농도 경계층 발달이 이루어졌음을 알 수 있다. 따라서, 유동 경계층과 물질농도 경계층발달에 따른 영향을 무시할 수 있는 주조면 선단으로부터 80mm 떨어진 곳에 Mixing Vane을 설치하고, 이 위치를 기준으로 전방 30mm, 후방 60mm의 영역을 Non-uniform grid 방법으로 측정하였다.

Fig. 3은 자유흐름속도가 10 m/s 이고 입사각이 90° 및 45°로 사각날개형 Mixing Vane을 설치하였을 경우 Nu 수 분포를 보여주고 있다. 균일한 분포를 갖던 Nu 수가 Mixing Vane을 지나면서 발생된 와류에 의해 열전달계수가 급격하게 상승하게 되고, 이후 후방에서는 와류의 세기가 감소되면서 다시 균일해지는 모습을 볼 수 있다. 균일하게 유입되던 유동이 Mixing Vane을 만나면서 방해로 받아 교란되고 하단으로 내려간 유동이 바닥면과 만나면서 유동수직방향으로 회전하는 횡 와류가 생성되기 때문인데, 이후에 유입되는 주유동과 함께 횡 와류가 하류로 지나가면서 계속해서 영향을 미치게 된다. 이러한 횡 와류는 자유흐름속도가 10 m/s의 고속의 경우, 빠르게 유입되는 유동에 의해 전방으로의 진행이 방해받기 때문에 그 영향이 협소한 영역으로 제한되고 따라서 Mixing Vane 전방에서 Nu 수가 급격한 상승을 보인다. 입사각이 90°일 때 횡 와류의 영향이 전방으로 가장 멀리까지 미치고 입사각이 증가함에 따라서 그 영향이 작아지게 되는데, 이는 유입되는 유동이 더 적은 방해를 받게 되면서 횡 와류의 강도가 작아지고 그 영향을 받는 영역도 좁아지기 때문으로 입사각이 45°에서는 거의 동일한 수준에 이르게 된다.

Fig. 4는 평판의 주조된 시편에서 Mixing Vane이 설치된 위치를 X=0으로 놓았을 때 이 위치로부터 떨어진 거리를 Mixing Vane의 폭(W=10mm)으로 무차원화하여 유동수직방향으로 평균한 국소 Nu 수를 자유흐름 속도가 5 m/s, 10 m/s의 경



(a) 90 Degree



(b) 45 Degree

Fig. 3 Distribution of Nusselt Number on the Flat Plate with square wing type mixing vane

우에 대해서 비교한 것으로, 유동이 Mixing Vane 설치된 부근에 도달하기 전까지는 평판의 분포와 동일한 결과를 나타내고 있다. 이 영역은 와류의 영향이 미치지 않고 따라서 열전달 촉진이 이루어지지 않는 곳으로써 와류의 열전달 촉진을 비교하기 위한 평균열전달계수를 계산할 때 제외하였다. 따라서 주조면 선단으로부터 20mm까지 (X/W=-3~-1)의 부분을 제외하고 나머지 직접적인 영향을 받는 부분에 대해서만 평균열전달계수를 구하였다. Mixing Vane이 있는 경우의 Nu 수를  $Nu_{MV}$ 로 나타내고, Mixing Vane가 없는 평판만의 Nu 수를  $Nu_0$ 로 나타내었다. 입사각이 90°에서 45°로 변함에 따라 최고 Nu 수 값이 감소하고 그 값을 갖는 위치가 후방으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이는 횡 와류의 영향이 가장 강한 입사각 90°에서 급격한 Nu 수 상승이 이루어지면서 가장 높은 Nu 수 최대값을 갖게 되고 전방으로 미치는 영역 또한 넓기 때문에 가장 앞쪽에 최고점이 위치하게 된다. 입사각이 변함에 따라서 완만한 Nu 수 상승으로 최대값이 감소하고 횡 와류의 영향이 미치는 영역이 좁아지기 때문에 최고점의 위치도 약간 후방으로 이동하게 된다. 열전달 촉진의 정도는 90°가 45°에 비해서 약간 크지만,

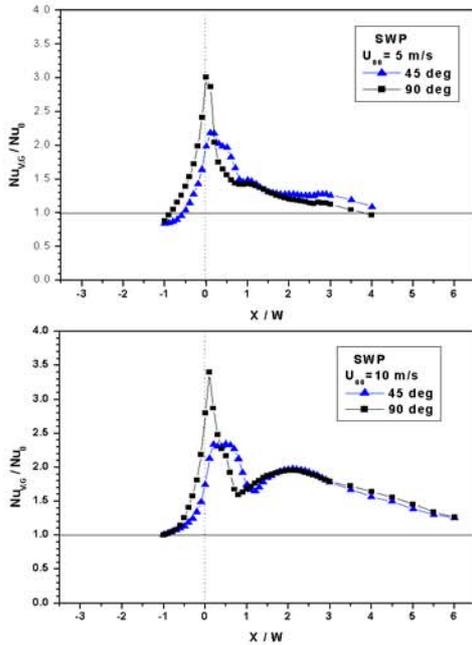


Fig. 4 Enhancement of heat transfer by mixing vane for flat plate

X/W=1 이후에서는 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 Mixing Vane이 없는 풍동의 중앙에 설치된 단일봉의 경우에 자유흐름속도를 5.0 m/s에서 14.3 m/s로 변화시켰을 때 평균 Nu 수 분포를 보이고 있다. Mixing Vane이 없는 경우에는 2차원 유동이기 때문에 속도에 상관없이 평균 Nu 수 분포가 원주방향으로 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

Fig. 6은 축방향 유동장에 폭 10mm, 넓이 10mm, 및 두께 2mm의 사각날개형 Mixing Vane 4개를 45° 형태로 원주방향으로 설치하고, 풍동 내 자유흐름속도가 5 m/s에서 14.3 m/s로 증가할 때 Nu 수 분포를 보이고 있다. 시편의 원주방향으로 균일한 분포를 갖던 Nu 수가 Mixing Vane을 지나면서 국부적으로 상승하여 언덕과 골이 반복하여 생기면서 와류에 의한 열전달 촉진 현상을 보여주고 있으며, Mixing Vane이 설치된 지점으로부터 멀리 떨어진 하류에서는 Nu 수가 다시 균일해지고 있다. 4개의 Mixing Vane에 의해 8개의 와류를 생성하며 각각의 와류가 열전달을 촉진시켜 열전달계수 분포에서 8개의 산을 형성한다. 산과 산사이의 골은 와류의 상호작용에 의해 생긴 것으로 상대적으로 약간 높은 골은 와류가

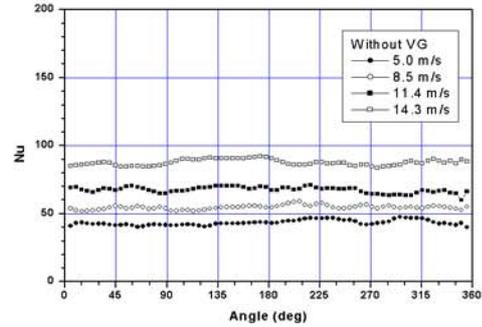


Fig. 5 Distribution of Nusselt Number for circular rod without mixing vane

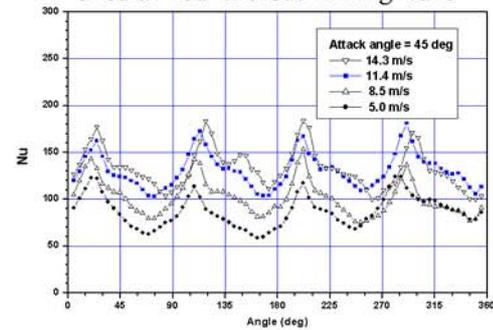


Fig. 6 Distribution of averaged Nusselt Number for circular rod 45° mixing vane

원봉 표면을 향해 내려오면서 열전달을 촉진시켜 생긴 것이며, 매우 낮은 골은 와류가 원봉 표면으로부터 올라오면서 경계층을 두껍게 하므로 열전달을 억제하여 생긴 것이다. 속도가 증가함에 따라 열전달계수가 증가하며 유속이 14.3 m/s에서는 상당히 다른 분포를 보이고 있다. 이때의 단일봉 시편의 지름을 특성 길이로 할 때 자유흐름속도가 5 m/s, 8.5 m/s, 11.4 m/s, 14.3 m/s의 경우  $Re_d$ 는 각각  $9.7 \times 10^3$ ,  $1.65 \times 10^4$ ,  $2.21 \times 10^4$ ,  $2.78 \times 10^4$ 이다.

Fig. 7은 유동장에 폭 10mm, 넓이 10mm, 및 두께 2mm의 사각날개형 Mixing Vane 4개를 90° 형태로 원주방향으로 설치하고, 풍동 내 자유흐름속도가 5.0 m/s에서 14.3 m/s로 증가하는 경우에 Nu 수 분포를 보여주고 있다. 45° Mixing Vane과 비슷하게 시편의 원주방향으로 균일한 분포를 갖던 Nu 수가 Mixing Vane을 지나면서 국부적으로 상승하여 언덕과 골이 반복하여 생기면서 와류에 의한 열전달 촉진 현상을 보여주고 있다. 90° Mixing Vane의 경우에서도 4개의 Mixing Vane에서 8개의 와류를 생성하며 각각의 와류가 열전달을 촉진시켜 열전달계수 분포에서 8개의 산을 형

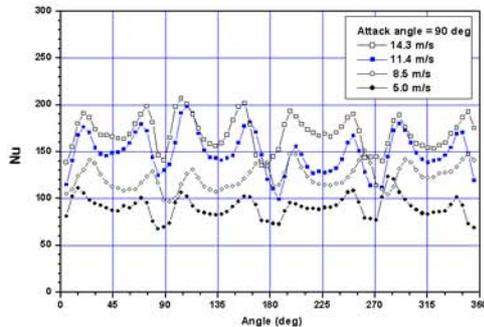


Fig. 7 Distribution of averaged Nusselt Number for circular rod 90° mixing vane

성한다. 유동방향으로 Mixing Vane이 90°로 설치되어 있어서 유동이 Mixing Vane에 수직으로 부딪치면서 좌우로 동일한 유동 분기가 이루어져서 산과 골이 일정하게 반복됨을 보인다. 전체적인 분포는 평판에 Mixing Vane이 설치된 경우와 비슷한 양상을 보이고 있으며, 45° Mixing Vane과 비교하면 언덕과 골의 넓이가 상대적으로 좁다. 속도가 증가함에 따라 열전달계수도 커짐을 보이며, 증가되는 비율은 거의 같다. 45° Mixing Vane과는 상당히 다른 분포를 보이고 있으며, 원주방향으로 45°면과 90°면에서 대칭을 이루고 있는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

나프탈렌승화법을 이용하여 단일봉에서 Mixing Vane의 열전달 촉진에 미치는 영향을 연구하기 위해서 형상이 단순하고 측정이 쉬운 평판에 대해 열전달 특성과 Mixing Vane에 의한 열전달 촉진을 규명하였다. 축유동에 놓여있는 단일봉에 45°, 90° 사각날개형 Mixing Vane을 설치하여 Mixing Vane에 의한 열전달촉진 현상을 고찰하고 평판에서의 결과와 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 축유동 단일봉에서의 국소열전달계수는 Mixing Vane이 없는 경우에는 Re 수가 증가하면 원주 방향으로 일정한 값을 지나 45°, 90°의 사각 날개형 Mixing Vane이 설치되면 열전달계수가 2배 정도 증가하며 평판의 사각형 Mixing Vane에서와 비슷한 경향을 보인다.

둘째, 90° Mixing Vane의 경우에는 45°의 경우와 비교해서 평균 열전달계수가 큰 값을 보인다.

셋째, 축유동 단일봉을 평판과 비교할 때 속도가 증가하면 평균 Nu 수도 증가하며 Mixing Vane에 의해 생성되는 와류 중에 횡 와류는 Mixing Vane 전방에서 강도가 큰 종 와류는 후방에서 열전달 촉진과 관련된다.

후기

본 연구는 과학기술부 원자력연구기반확충사업의 일환으로 수행되었습니다.

#### Reference

- [1] M. Fiebig, U. Brockmeier, N. K. Mitra and T. Güntermann, 1989, "Structure of Velocity and Temperature Fields in Laminar Channel Flows with Longitudinal Vortex Generators," Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 15, pp. 281-302.
- [2] G. Biswas, N. K. Mitra and M. Fiebig, 1994, "Heat Transfer Enhancement in Fin-Tube Heat Exchangers by Winglet Type Vortex Generators," Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 37, No 2, pp. 283-291.
- [3] J. X. Zhu, M. Fiebig, and N. K. Mitra, 1995, "Numerical Investigation of Turbulent Flows and Heat Transfer in a Rib-Roughened Channel with longitudinal Vortex Generators," Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 38, pp. 495-501.
- [4] St. Tiggelbeck, N. K. Mitra, and M. Fiebig, 1994, "Comparison of Wing-Type Vortex Generator for Heat Transfer enhancement in Channel Flows," J. Heat Transfer, Vol. 116, pp.880-885.
- [5] G. Biswas and H. Chattopadhyay, 1992, "Heat Transfer in a Channel with Built-in Wing-Type Vortex Generators," Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 35, No. 4, pp. 803-814.
- [6] Song, S. Y., Yoo, S. Y., Park, J. H., 2002, "A Study on the Heat Transfer from a Flat Plate and the Heat Transfer Enhancement by the Vortex Generator," Proc. of KSME Spring Annual Meeting, pp. 1447~1452.
- [7] In, W. K., 2001, "Numerical study of coolant mixing caused by the flow deflectors in a nuclear fuel bundle," Nuclear Technology, Vol. 134, pp. 187~195.