

유동해석을 통한 물 분사용 비데 노즐 설계

최윤석,^{*1} 양승용,¹ 진성월²

DESIGN OF WATER INJECTION NOZZLE OF BIDET WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Y.S. Choi^{*1}, S.S. Yang¹ and S.W. Jin²

An optimized bidet nozzle design to form the required swirl water jet is proposed with the help of numerical analysis. The bidet can do the cleaning process of human body by water injection and the speed/pressure/injection angle/magnitude of swirl intensity of water jet determine the cleaning capability and personal subjective feeling. The objective of this research is to design optimal water injection nozzle to make stable swirl intensity. The effect of individual design variables are analyzed from the basic design and the final design is deduced to make high performance water jet within the pre-determined operation conditions.

Key Words : 비데(Bidet), 노즐(Nozzle), 물 줄기(Water jet), 물 분사(Water injection), 전산유체역학(CFD), CFD-ACE+

1. 서 론

비데는 민감한 부분의 집중적인 세정 및 건조를 통한 부분 샤워 효과가 있으며, 세균감염예방, 정신건강 유지, 치질/변비 예방, 여성 암 예방, 임산부의 청결 및 혈액순환, 산후 회복 등의 효과가 있다. 비데의 세정작용은 물 분사를 통하여 이루어지며, 물줄기의 속도, 압력, 분사각도, 회전력에 따라 그 세정력과 체감효과가 달라진다. 따라서 목적으로 하는 형태의 물줄기를 얻기 위해서는 정확한 노즐 시스템의 설계와 함께 정확한 운전 조건의 결정이 매우 중요하다.

최근 비데의 사용이 급격히 증가하고 있으며, 그에 따라 다양한 소비자의 요구를 만족시키기 위한 제조사의 연구 개발 노력 또한 증가하고 있다. 소비자들의 다양한 취향을 만족시키기 위해서는 여러 가지 형태의 물 분사가 가능한 시스템의 개발이 필수적이며, 각 제조사들은 저마다의 기술력과 경험으로 고유한 물 분사 시스템을 확보하고 있다. 일본 등 선진업체에 비해 그 출발이 늦었던 국내 비데 제조업체 또한 그 시장 확대를 위해 많은 노력을 경주하고 있으며, 그 일환으로 본 연구에서는 안정된 회전성분을 갖는 수류를 형성하기 위한 물 분사 노즐의 개발을 그 목적으로 하고 있다.

현재 개발과정의 대부분을 실험적 기반에 의존하고 있는 비데 제조사들은 물 분사 노즐의 개발을 위한 설계과정에 많은 비용과 시간이 투입하고 있는 실정이다. 다양한 공업용 분사 노즐에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으나[1,2], 비데 노즐에 관련된 연구는 전무한 실정이다. 따라서 내부 유동가시화와 정확한 수류 형성 원리의 파악을 위해 유동해석의 필요성이 대두 되었다. 본 연구에서는 웅진코웨이 주식회사에서 개발하고 있는 비데 용 물 분사 노즐의 개발과정에 유동해석을 도입하여 실험에 의한 개발과정에서 발생하는 비용과 시간을 절약하고, 실험만으로는 파악하기 힘든 미소 유로내의 유동현상을 가시화함으로써 목표 성능을 만족하는 설계변수를 도출하며 좀 더 체계적인 개발과정을 수립하고자 하였다.

상용 유한체적(finite volume) 수치해석 프로그램인 CFD-ACE+[3]를 이용한 유동해석을 통하여 초기 설계안의 문제점을 파악하였으며, 중간 설계변경 과정을 통하여 목표성능을 만족하기 위한 최종 설계안을 도출하였다. 그 과정에서 개별 설계변수의 영향을 파악하였으며 실험 결과와의 비교를 통해 성능 검증을 수행하였다.

2. 수치해석 방법

2.1 수치해석 방법

CFD-ACE+[3]를 이용하여 3차원 정상상태(steady state) 비

1 학생회원, (주)경원테크 AE연구소

2 웅진코웨이 주식회사 환경기술연구소

* Corresponding author, E-mail: yschoi@kw-tech.co.kr

압축성 유동해석을 수행하였으며, k-e 모델을 사용하여 난류 효과를 고려하였다. 노즐 끝단의 유동형태가 분사된 물줄기의 자유표면(free surface)을 결정한다는 가정 하에 유로 및 노즐 내부 유동만을 계산하였다.

2.2 수치해석 모델

유동해석에 사용된 분사 시스템의 형상은 Fig. 1과 같다. 비데 시스템의 전체 유로 중 최종 수류의 형성에 영향을 미치는 후 단부 유로만을 해석모델로 설정하였다.

해석모델은 시스템 끝단의 물 분사 노즐과 회전수류를 형성하기 위한 직선 및 회전수류 유로로 형성되어 있으며, 초기 설계안(Fig. 1 (a))에서 발생한 문제점을 해결하기 위한 설계변경을 통해 최종 설계안 (Fig. 1 (b))을 도출하였다. 최종 설계안의 유로는 수류의 회전력을 소비자의 요구에 따라 조절하기 위해 직선수류를 형성하는 직선수류 유로와 회전수류를 형성하기 위한 회전수류 유로를 분리하였으며, 이 두 유로를 흐르는 유체가 물 분사 노즐과 수직으로 합류한 후 외부로 분출된다.

수류에 회전력을 발생하는 원리는 Fig. 2와 같다. 두 개로 분기된 회전수류 유로는 이와 수직으로 흐르는 직선수류 유로의 외곽부에 접선방향으로 합류한다. 회전수류 유로를 두 개로 분기한 이유는 물 분사 노즐에 형성되는 회전강도를 대칭으로 형성되게 하기 위함이며, 직선수류 유로와 회전수류 유로에 흐르는 유체의 상대적 유량에 따라 회전력이 다른 다양한 물줄기가 발생한다.

상세 모델별로 다르나 대략 200백만 개 정도의 격자를 사용하였으며, 물 분사 노즐 부분은 정렬격자를, 나머지 유로 부분은 비 정렬격자를 사용하였다.

2.3 수치해석 조건

물(water)의 표준상태 물성을 사용하여 해석하였으며, 모든 현상은 정상상태(steady state)로 가정하였다.

최종 설계안(Fig. 1 (b))의 해석에 사용된 입구 경계조건은 Table 1 과 같고, 노즐 끝단의 출구 경계조건은 1기압의 일정한 압력 조건을 사용하였다. 직선수류 유로와 회전수류 유로에 흐르는 유량의 합계는 950mL/min이며, 그 상대적인 양으로부터 소비자가 원하는 수류의 세부 특성을 조절하고자 하였다.

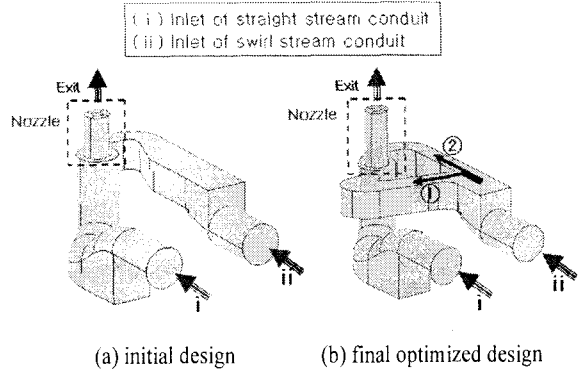


Fig. 1 Computational model

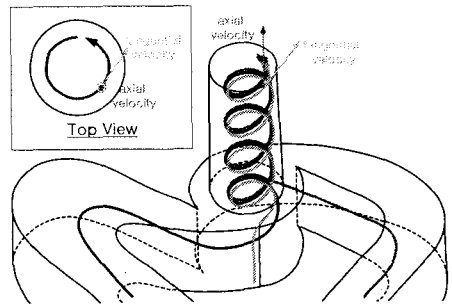


Fig. 2 Mechanism of swirl water jet formation

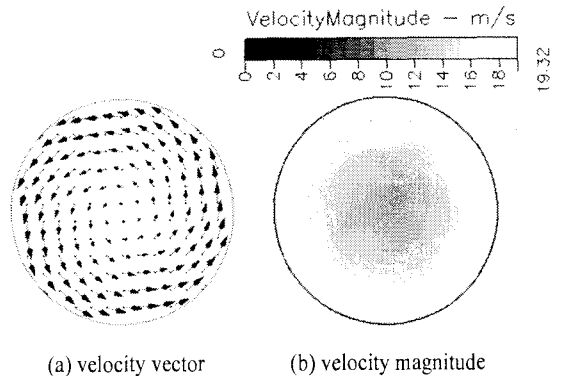


Fig. 3 Velocity distribution at the nozzle tip (Case 3 in Table 1)

3. 수치해석 결과

3.1 노즐 끝단의 속도분포

Fig. 3 (a)는 노즐 끝단의 속도벡터를 보여주고 있다. 노즐 중심에서 방사상으로 퍼지며 회전하는 속도 벡터로부터 원하는 형태의 수류가 얻어지고 있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 3

Table 1 Inlet boundary conditions

	Flow rate (mL/min)	
	straight stream conduit	swirl stream conduit
Case 1	550	400
Case 2	250	700
Case 3	150	800

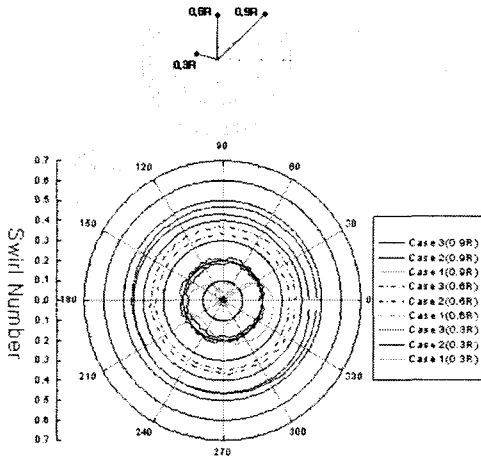


Fig. 4 Swirl number at the nozzle tip

(b)의 속도크기 분포로부터 어느 쪽으로도 편심 되지 않은 균 일한 회전력을 가진 수류가 형성되고 있음을 알 수 있다. 균 일한 회전력을 갖도록 하기 위해 앞서 언급한 바와 같이 회 전수류 유로를 좌, 우 두 개의 유로로 분기시켜 노즐에 대칭 적으로 합류되도록 설계하였으며, 분기된 두 유로의 유동저항 을 조절하여 각 유로에 비슷한 유량이 흐르게 하였다. Table 2에 Fig. 1 (b)에 표시된 회전수류 유로 ①과 ②로 흐르는 유 량을 case 별로 표시하였다. 회전수류 유로로 유입되는 유량 이 증가할수록 유로 ①과 ②로 흐르는 유량의 차이가 증가하 기는 하지만 거의 비슷한 유량이 흐르고 있음을 알 수 있다.

3.2 노즐 끝단의 회전강도

노즐 끝단의 회전강도를 정량적으로 나타내기 위해 무 차 원 변수인 회전수(swirl number)를 도입하였으며 그 정의는 아 래와 같다.

$$\text{회전수} = \frac{2 \times \text{노즐단면의 접선방향 속도}}{3 \times \text{노즐단면의 축방향 속도}} \quad (1)$$

Fig. 4에 노즐 끝 단면 동일 반경상의 회전수를 각도에 따 라 표시하였다. 노즐 반경을 R이라고 했을 때 0.3R, 0.6R,

Table 2 Mass flow balance of swirl stream conduit

	Flow rate (g/sec)		Mass balance ①:②
	①	②	
Case 1	3.31	3.33	1:1.01
Case 2	5.56	6.05	1:1.09
Case 3	6.32	6.94	1:1.10

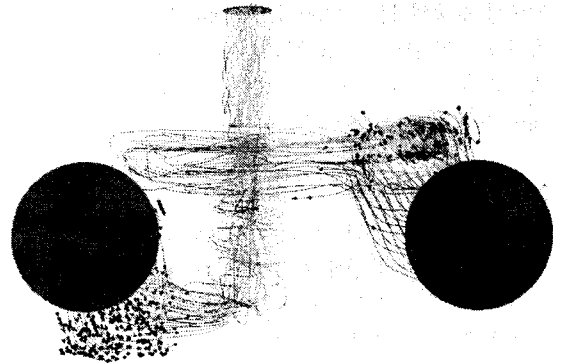


Fig. 5 Simulation result of streamline (Case 3 in Table 1)

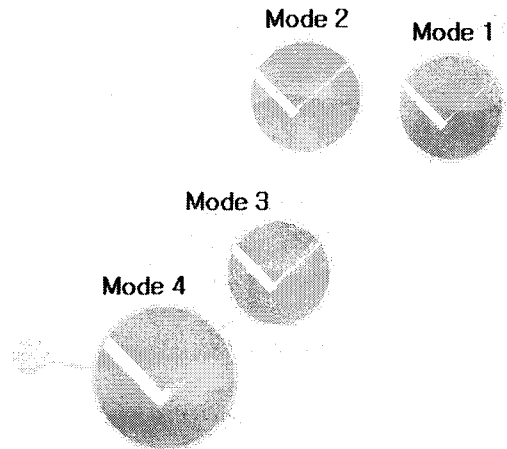


Fig. 6 Water jet shape with different operation modes

0.9R에 해당하는 원 둘레를 따라 회전수를 계산해보면 동일 반경 상에서 회전강도가 매우 균일하다는 것을 알 수 있다. 노즐 외측으로 갈수록 회전강도는 커지는 데 이것은 회전수 류가 직선수류의 외곽에 접하여 합류되기 때문이다. 또한 회 전수류 유로의 유량과 직선수류 유로의 유량 비가 커질수록 회전강도가 커지는 것을 알 수 있다.

3.3 회전수류 형상

Fig. 5는 유동해석에 의해 계산된 유동장 내의 유선을 보 여주고 있으며, 노즐 전체에 걸쳐 유체의 회전성분이 잘 형성 되는 것을 알 수 있다. 유체의 회전력은 노즐 하부의 직선수 류 유로에까지 미치고 있는데, 이는 회전수류 유로의 유량이 직선수류 유로의 유량보다 많아 직선수류 유로하부로 유동이 역류하기 때문이며 회전수류 유로의 유량이 많아질수록 그 역류정도는 심해지는 것을 알 수 있다.



Fig. 6는 실험에 의해 촬영한 비데의 물줄기 형상을 보여 준다. Mode 1에서 Mode 4로 갈수록 회전수류 유로의 유량이 많아지고 있으며 따라서 물줄기가 넓게 퍼지는 것을 관찰 할 수 있다. 노즐 끝 단면의 회전력이 균일하므로 어느 쪽으로도 기울어지 않은 대칭적 물줄기 형태를 보이고 있다.

4. 결 론

본 연구의 결과 노즐 끝 단면의 동일 반경 상에서 균일한 회전강도 분포를 갖는 물 분사용 비데 노즐 시스템 설계안을 도출하였다. 회전강도 분포를 균일하게 하기 위해 회전수류 유로를 두 개로 분기하였으며 분기된 두 유로의 유동저항을 조절하여 각 유로에 흐르는 유량이 대칭이 되도록 하였다. 모든 설계변수는 공학적 성능 뿐 아니라 소비자의 주관적 평가에도 영향을 주고 있었으며 그 일례로 소비자의 감성 테스트에서 문제로 지적되었던 회전강도를 최적화하기 위해 노즐 길이를 조절하였다. 직선수류 유로와 회전수류 유로로 흐르는

유량 차이에 따른 해석결과로부터 최적의 비데 작동조건을 선정하였다. 수치해석을 통해 개발된 물 분사 시스템은 실험적 검증을 통해 양산에 적용되었으며 성공적인 사례로 평가되고 있다[4].

참고문헌

- [1] 강완봉, 김덕출, 2000, “2유체의 선회각도에 따른 분무의 유동특성,” *한국자동차공학회 2000년도 춘계학술대회*, pp.50-56.
- [2] 최윤철, 정지원, 김덕출, 2001, “액체의 물성치와 노즐의 형상 변화에 따른 압력스월 노즐의 분무 특성,” *대한기계학회 논문집 B권*, Vol.25, pp.1813-1820.
- [3] CFD-ACE+ module manual, 2006, ESI.
- [4] 10-0655594-0000(특허등록번호), “가변수류가 가능한 비데기의 세정노즐-A NOZZLE STRUCTURE OF BIDET SWIRLING A WATER CURRENT AT A OUTLET”.