

# 실험계획법을 이용한 비데 세정력 영향인자 분석 Analysis of Factors Influencing on Bidet Detergency using Design of Experiment

이은규<sup>1</sup>, 정강수<sup>2</sup>, 박성렬<sup>3</sup>, 김성균<sup>4</sup>, \*김창완<sup>5</sup>

E. K. Lee<sup>1</sup>, K. S. Chung<sup>2</sup>, S. L. Park<sup>3</sup>, S. K. Kim<sup>4</sup>, \*C. W. Kim(goodant@konkuk.ac.kr)<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 건국대학교 기계설계학과, <sup>2</sup> 건국대학교 기계공학과, <sup>3</sup> 용진코웨이, <sup>4</sup> 건국대학교 기계공학과, <sup>5</sup> 건국대학교 기계설계학과

Key words : D.O.E, Bidet, Detergency

## 1. 서론

비데(Bidet)는 위생과 청결 유지를 위한 목적으로 개발되고 사용되기 시작하여 현재는 질병의 예방 목적으로의 연구 또한 활발히 진행중인 생활 위생 도구 중 하나이다. 생활의 질이 향상됨에 따라 널리 보급되어 보편화 된 기기라고 할 수 있는 비데의 궁극적 목적은 보다 청결한 세정의 완성이라고 할 수 있다. 따라서 비데 세정력의 측정은 매우 중요하나 그 척도를 입증하는 기준 및 검정 자료의 표준화 구축은 아직까지 미비한 것이 현실이다. 또한 세정을 위한 수류 구현의 최적화를 위하여 현재 여러 기능이 탑재된 모델이 출시되고 있음에도 불구하고 구현 가능한 수류 조합의 정량적 측정을 통한 세정력의 입증은 어려운 사실이다. 따라서 각 구현가능 수류의 가시화 및 측정을 통한 수치 자료화 작업과 함께 동시 구현 가능한 각각의 기능에 대하여 세정력 인자 분석을 수행할 필요가 있다.

본 논문은 비데 세정력 가시화를 통한 각 수류 인자의 정량적 측정 및 특성을 파악하고, 실험계획법을 이용하여 각 인자의 구현 수류조합에 대하여 정량적 세정력을 반응변수로 하는 비데 세정력 영향인자 분석 연구이다.

## 2. 정량적 반응변수 정립

세정력 인자 분석을 위해 실험계획법을 이용한 통계적 접근 방식으로 본 연구는 수행되었다. 실험의 목적은 세정력 영향인자 분석에 있으므로, 세정 가시화 구현을 통하여 세정력의 정량적 측정 과정이 필요하다. 따라서 인체 둔부 모델을 투명도가 확보 되는 실리콘 재질을 이용하여 제작하고, 오염물질 시료의 씻김 과정을 영상으로 촬영하여 분석하는 일련의 과정이 여기에 해당되며, 촬영 영상을 오염물질 시료의 RGB 특성 파악을 통한 시간에 따른 소실 정도를 분석하여 반응변수 데이터를 작성하게 되었다. 또한 영상처리 기법을 이용한 데이터 처리 과정을 통하여 확보한 수치 데이터를 범주형 데이터로의 변환 과정을 수행하였다. 이 과정은 씻김의 완성도 및 시간대별 세정 과정의 데이터를 그래프화 시키고 ‘기준 단계의 세정시간’ 또는 ‘기준 시간대의 세정 정도’ 등의 상관 관계를 확립하고 순위 범주화 하여 결과 분석을 위한 반응변수로 적용하여 결과를 분석 하는데 그 목적이 있으며 각각의 명칭과 의미는 1.amount: 시간에 따른 오염물질 양에 대한 범주형 데이터를 그래프로 가시화 하였을 때, 그 변화를 나타내는 기울기 아래의 면적으로 정의하며 세정력을 나타내는 지표로서 활용 할 수 있다. 시간에 따른 씻김의 특이성 판단은 어렵지만, 그 양에 따른 비교 검정을 함으로서 세정력에 대한 질적 변수를 정의하고 추정 가능한 반응변수이다. 2. Grade(last): 마지막 시간구간(60 초) 단계의 잔류 오염물질의 양을 나타내는 양적 반응변수에 대한 정의이다. 동일 차원으로 일원화 시킨 초기값에 대하여 세정 전 구간의 완성 정도를 나타내는 지표이다. 3.Grade(half): 세정 구현시간 내에서 오염물질의 감소 정도가 50%를 넘어서는 시간 구간을 검출하여 정의 된 변수로서, 목표 세정도에 대한 접근 시간의 용이성을 판별 할 수 있는 지표이다. 따라서 이러한 과정을 통하여 반응변수를 정립하고 요인배치 모델에 적용하여 분석을 수행 하였다.

Table 1 Estimated effects and coefficient amount

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1779.3	75.79	23.48	0.000
$x_1$	-441.3	-220.6	75.79	-2.91	0.006
$x_2$	2003.5	1001.7	75.79	13.22	0.000
$x_3$	-1100.2	-550.1	75.79	-7.26	0.000
$x_2x_3$	-992.9	-496.4	75.79	-6.55	0.000

Table 2 Estimated effects and coefficient grade (last)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		90.874	1.903	47.75	0.000
$x_2$	-17.764	-8.882	1.903	-4.67	0.000
$x_3$	14.535	7.268	1.903	3.82	0.000
$x_2x_3$	14.048	7.024	1.903	3.69	0.001

Table 3 Estimated effects and coefficient grade (half)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		46.375	0.7721	60.06	0.000
$x_2$	-17.167	-8.583	0.7721	-2.91	0.000
$x_3$	10.833	5.417	0.7721	7.02	0.000
$x_4$	-3.833	-1.917	0.7721	-2.48	0.017
$x_2x_3$	9.583	4.792	0.7721	6.21	0.000
$x_2x_4$	-3.583	-1.792	0.7721	-2.32	0.025
$x_3x_4$	3.750	1.875	0.7721	2.43	0.020

## 2. 실험계획법을 이용한 유의성 분석

실험 모델과 인자 그리고 인자 수준의 선정 과정을 통하여  $2^k$  완전요인 배치법을 이용한 실험 모델을 사용 하였으며, 인자는 실험 모델의 구현 가능 인자 조합을 고려하여 코드화 된 단위의 2 수준을 구현하는 압력(Pressure), 분사 넓이(Wide), 공기첨가(Air +) 및 분사 각도(Angle)의 네 가지의 실험인자를 포함하는 요인배치 모형을 수립하여 그에 따른 실험을 실시 하였다. 실험 모델은 직교배열을 만족하는 모든 구현가능 조합을 포함하며, 실험의 연속 구현을 고려하여 각 반복 조합에 대하여 블록을 포함하고 3 회 반복 실험으로 구성되었고 실험 순서는 랜덤화 하였다.

반응변수를 적용하고 각 인자조합에 따른 모형의 정규성 검정을 잔차검정을 이용하여 실시 하였다. 대 적합치 잔차 분포를 통하여 실험은 등분산을 만족시키며, 관측치 순서를 이용한 대 순서 경향을 파악하여 독립성을 만족하는 적합한 정규 모델임을 확인 할 수 있었다.

각각의 인자 수준 조합과 반응변수를 분산분석을 통한 유의성 검정 과정을 수행하여 각 반응 변수에 대한 주효과 및 교호작용 효과를 검정 하였다. 유의성 판별을 위한 유의수준  $\alpha=0.05$  를 사용하였으며, 요인적합 판별을 통한 유의하지 않은 인자 조합의 항을 소거하는 과정을 수행하여 최종 선정 된 각 반응 변수에 대한 추정된 효과 및 계수는 각각 Table 1,2 그리고 3 과 같다.

추정된 효과 및 계수를 이용하여 수학적 모형을 세울 수 있으며, 일반적으로  $2^k$  요인배치법은 식 (1)과 같은 특징을 지닌다.

$$Y = \hat{\beta}_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2$$

$$Y = \bar{Y} + \left(\frac{E_1}{2}\right) X_1 + \left(\frac{E_2}{2}\right) X_2 + \left(\frac{E_{12}}{2}\right) X_1 X_2 \quad (1)$$

여기서, 각 인자의 계수(coefficient)는 효과(effect)를 2로 나눈 값이며 절편(constant)은 반응치의 총 평균을 나타낸다. 수학적 모형은 통계적으로 유의한 인자만을 포함하므로 유의하지 않은 항을 포함하지 않는 각각의 회귀모형은 다음과 같다.

$$Y_1 = 1779.3 - 220.6(\text{Pressure}) + 1001.7(\text{Wide}) - 550.1(\text{Air+}) - 496.4(\text{Wide} \times \text{Air+}) \quad (2)$$

$$Y_2 = 90.847 - 8.882(\text{Wide}) + 7.268(\text{Air+}) + 7.024(\text{Wide} \times \text{Air+}) \quad (3)$$

$$Y_3 = 46.375 - 8.583(\text{Wide}) + 5.417(\text{Air+}) - 1.917(\text{Angle}) + 4.792(\text{Wide} \times \text{Air+}) - 1.792(\text{Wide} \times \text{Angle}) + 1.857(\text{Air+} \times \text{Angle}) \quad (4)$$

여기서 식(2)의  $Y_1$ 은 반응변수 amount에 대한 회귀방정식이며 각각 식(3) 및 식(4)의  $Y_2$ ,  $Y_3$ 은 grade(last) 그리고 grade(half)에 대한 수학적 회귀 모델이다.

## 2. 수학적 모델의 검증

반응변수 amount의 경우 그 값이 작을수록 세정력이 높음을 의미한다. 즉, 망소특성을 가진 변수라고 할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 코드화된 단위수준을 사용하였으므로 -1 수준에서 +1 수준 사이의 실험인자 수준 구현 값 중 반응  $Y_1$ 이 작은 값을 가질 수 있는 각 별칭구조 항을 입력하면 amount 반응변수 기준 최적의 조건을 도출할 수 있다. 따라서 계수와와의 관계를 고려할 때, Wide는 -1 수준일 때 그리고 Pressure와 Air+는 +1 수준의 조합일 때  $Y_1$ 은 망소특성에 부합하는 최적의 조건이라고 할 수 있다. 다음의 식(5)에서 각 수준 조합을 적용한 결과값을 확인하여 얻어진 amount의 최적값은  $Y_1 = 503.3$ 이다.

$$Y_1 = 1779.3 - 220.6(\text{Pressure}) - 1001.7(\text{Wide}) - 550.1(\text{Air+}) + 496.4(\text{Wide} \times \text{Air+}) \quad (5)$$

$$\therefore Y_1 = 503.3$$

이러한 수학적 모델의 타당성을 입증하기 위하여 실험에서 얻은 값을 추출하여 검증하는 과정을 수행하였다. 실험 모델에서 위의 수준과 동일한 조합을 추출한다. 하지만 유의성 검증에서 유의하지 않은 인자로 판별된 실험변수 angle의 수준이 나뉘어져 있으므로 고정 값을 추정할 수 없으므로 모든 수준별 데이터 평균값을 산출하는 과정을 수행하여 Table 4와 같이 추출된 직교배열 기준 표준순서 조합 6,22 및 38의 [+ - + -] 그리고 14,30 및 46의 [+ - + +]의 반응변수 평균값은 약 498.57이다. 식(5)에서 얻은  $Y_1 = 503.3$ 와 비교해 보았을 때 차이가 없으므로 판별할 수 있는 오차이므로 수학적 모델의 타당성은 적합으로 판별할 수 있음을 입증하였다.

Table 4 Sorted data table for a Regression model (amount)

Std. ord	Run ord	block	Pressure	Wide	Air +	Angle	amount
6	29	1	1	-1	1	-1	388.29
14	26	1	1	-1	1	1	553.57
22	42	2	1	-1	1	-1	301.61
30	43	2	1	-1	1	1	677.60
38	16	3	1	-1	1	-1	487.92
46	5	3	1	-1	1	1	582.44

같은 방법으로 각 반응변수 grade (last)와 grade (half)의 수학적 모델의 적합성을 판별하면, 반응  $Y_2$ 는 그 값이 클수록 좋은 세정력을 나타내는 망대특성 반응치 이므로 -1 수준의 Wide, +1 수준의 Air+ 인자 수준조합에서 최적의 반응을 얻을 수 있다. 반응 값은  $Y_2 = 99.973$ 으로서 총 세정 시간구간 내에서 셋김의 완성도가 99.973% 달성됨을 나타내며, 실험인자 조합평균 값과 비교검정으로 적합 타당성을 입증하였다.  $Y_3$ 의 경우 역시 망대특성 반응치이며 -1 수준의 Wide, +1 수준의 Air+ 그리고 -1 수준의 Angle의 인자 수준조합에서 최적의 반응을 얻을 수 있으며 반응 값은  $Y_3 = 57.435$ 를 얻는다. 오염물질의 셋김이 50%를 넘어서는 구간을 환산하기 위하여 세정작용 총 시간구간 60 초와의 차를 구하면 약 2.565 초의 시간구간을 넘어서는 때에 목표 세정도를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 같은 방법으로 또한 조합평균 값과 비교검정으로 적합 타당성을 입증하였다. 또한 이러한 수학적 모델의 적합성은 재현성 실험을 통하여 실제 현상과 수치적 모델의 차이를 확인 함으로서 다시 한번 그 타당성을 확인 할 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 비데 세정력에 대한 영향인자를 분석하기 위하여 실험계획법을 이용하여 요인배치 실험 모델을 세우고 직교성을 만족하는 모든 인자수준 조합에 대하여 반복과 랜덤화의 원리에 따르는 실험을 실시하였다. 또한 실험 모델의 정규성을 검정을 통한 모델의 적합성을 판단하였다. 이를 위하여 각 인자의 특성을 고려한 최적의 실험인자 선정 과정이 선행 되었으며, 세정과정 가시화를 통한 반응 값의 정량적 추출 및 연속형 수치 데이터를 확보하여 정량적 수치 데이터를 질적 변수인 ‘세정력’에 부합하는 범주형 반응변수 데이터로의 변환 또한 수행하였다. 이러한 과정을 통하여 반응변수에 대한 각 인자의 처리 조합의 유의성을 검정하고 유의인자를 선별 함으로서 구현되는 세정력에 대한 질적 판단변수, 세정의 완성 정도 및 목표 세정도에 대한 접근 시간의 용이성 등을 판별하기 위한 지표로서 정의 될 수 있는 반응변수인 amount, grade(last) 그리고 grade(half)에 대하여 수학적 모델을 제시 하였을 뿐만 아니라 각 회귀 모델에 대하여 실험인자 조합평균 값을 이용하여 수학적 모델의 적합 타당성을 검정 하였다.

## 후기

본 연구는 웅진코웨이 산학 연구결과 중 일부이며, 지원에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Douglas, C. M., 2009, Design and Analysis of Experiments, No. 7, John Wiley & Sons, Inc.