

균일 화상 품질 구현을 위한 닥터 블레이드 접촉압력 근사모델링

최하영*, 박승찬⁺, 이종수⁺⁺

(Manuscript received: Oct, 8, 2012 / Revised: Nov, 19, 2012 / Accepted: Dec, 20, 2012)

Approximate Modeling of Doctor Blade Contact Pressure for Realization of Uniform Image Quality

Ha-Young Choi*, Seung Chan Park⁺, Jongsoo Lee⁺⁺

Abstract

The doctor blade is equipped in a toner cartridge and is a device to maintain the uniform thickness of a toner by controlling the pressure on the developing roller. The contact pressure between the developing roller and the doctor blade is one of the significant factors for image quality and durability of toner cartridge. The purpose of this study is to develop approximation model in order to minimize the time and cost which are needed much required in making optimal design of the doctor blade. Central composite design was used for the design of experiment and response surface design was used for approximation. The data for contact pressure were acquired through finite element analysis and data of image density and toner weight were acquired through experiment. The approximation model developed in this study has presented very high fitness.

Key Words : Toner cartridge(토너 카트리지), Doctor blade(닥터 블레이드), Contact pressure(접촉 압력), Design of experiments(실험계획법), Response surface method(반응표면법)

1. 서론

인터넷 및 각종 저장 매체 수단의 발달은 대중에게 폭넓은 정보 저장의 수단을 제공 할 뿐 만 아니라 다양한 방법으로 정보를 공유할 수 있도록 도움을 주고 있다. 그럼에도 불구하고 전통적인 방법인 인쇄를 통한 정보 저장 및 공유의 수요는 계속 증가하고 있고 인쇄 품질에 대한 소비자의 요구 또한 다양해지고 구체화되고 있으며 더 낮은 가격에 더 높은 품질의 제품을

요구하고 있다. 소비자의 요구를 만족시키기 위해서는 초기 프린터 개발 단계에서 시장 불량을 고려한 설계는 기본이 되어야 하고 효율적인 설계기술을 통해 제품 개발 일정을 단축시키는 것이 중요한 요소로 인식되고 있다.

1.1 레이저 프린터 시스템

레이저 프린터는 Fig. 1에서와 같이 용지를 공급하는 단계인 급지, 감광체에 토너 화상을 형성하는 현상, 감광체에 형성된

* 동양미래대학교 기계공학부
주소: 152-714 서울특별시 구로구 경인로 445

+ 연세대학교 기계공학과 대학원

++ 연세대학교 기계공학과

✉ Corresponding Author E-mail: hychoi@dongyang.ac.kr

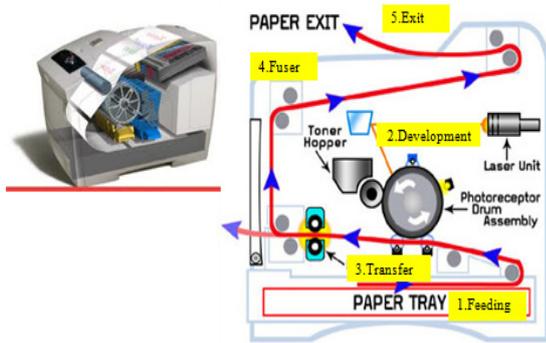


Fig. 1 Laser printer layout & process

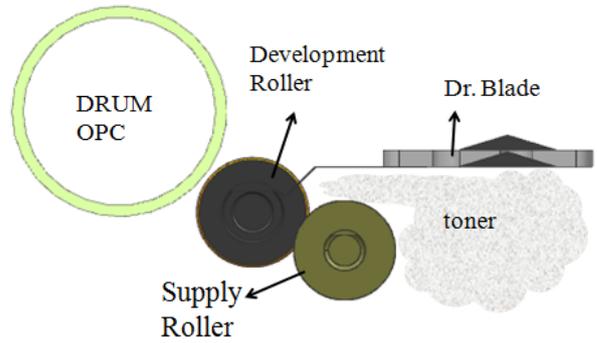


Fig. 2 Development system & process

화상을 용지로 옮기는 전사, 용지에 옮겨진 토너 화상을 압착하는 단계인 정착, 화상이 형성된 용지를 배출하는 배지의 과정으로 이루어진다. 이 중 현상단계는 용지에 출력될 화상을 형성하는 단계로써 소비자가 얻는 화상품질을 결정하는 가장 중요한 단계이다.

1.2 레이저 프린터 시스템

현상 단계는 최종 출력전 화상의 완성 단계로써 Fig. 2와 같이 카트리지 내부에 담지된 토너가 이동하여 감광체에 화상을 형성하는 단계까지를 일컫는다. 카트리지 내부에 담지된 토너는 공급롤러를 거쳐 현상롤러로 이동되고 닥터 블레이드가 회전하는 현상롤러를 가압하면서 일정한 토너층을 형성하게 된다. 토너는 전위를 갖는 물질이며 높은 전위에서 낮은 전위로 이동하는 특성을 갖고 있으므로 전위차에 의해 현상롤러 상의 토너가 감광체로 이동하여 화상을 형성한다. 감광체란 화상이 형성되는 실린더 형태의 부품으로 전위 인가가 자유롭고 빛을 쬐면 전위가 떨어지는 특성을 갖도록 코팅이 되어 있다. 화상 형성의 원리는 토너와 감광체의 특성을 이용한 것으로써 감광체에 초기 약 700V의 높은 전위를 인가한 후 레이저 빔을 이용하여 화상을 형성하고자 하는 위치를 노광시키면 노광된 부분의 전위가 약 200V로 낮아지고 약 400V의 전압이 인가된 현상롤러에 묻어있는 토너가 감광체의 노광된 부분으로 이동하면서 화상이 형성된다. 토너는 기본적으로 전위특성에 의해 제어되지만 현상롤러에서 균일한 토너 층이 형성되지 않으면 전기적인 제어가 불가하므로 닥터 블레이드와 현상롤러의 접촉 영역은 화상 형성에 있어서 중요한 영향을 끼치게 된다.

본 논문은 닥터 블레이드와 현상롤러의 접촉 영역에 관한 것으로써 닥터 블레이드의 중요한 설계인자를 변경하면서 조건별 접촉 현상을 해석하고 그에 따른 부품을 제작 및 장착하여 실험함으로써 설계인자의 변경에 따른 접촉 압력의 결과와 출력된 화상 평가를 통해 접촉압력이 화상에 끼치는 영향을 분석하고 최적의 설계 조건을 찾기 위한 근사모형을 수립하고자 한다. 접촉압력은 유한요소해석을 통해 결과값을 얻었으며 화상

평가에 사용되는 토너의 농도 및 무게는 실험을 통해 결과값을 얻었다.

근사모형을 구하기 위해 접촉 압력은 실험장치에 의한 압력 측정은 닥터 블레이드의 두께가 0.07mm로 매우 얇은 박판이기 때문에 측정 과정 중에 손상을 입기도 하고 측정이 어려운 이유로 유한 요소 해석방법을 이용하여 계산하도록 하였다. 그리고 화상 평가에 사용되는 토너의 농도 및 단위 면적당 토너의 무게는 실험계획법에 근거한 세 개의 실험인자(X1, X2, X3)의 조건 구성에 해당하는 샘플을 제작하여 현상기에 장착한 후 실제 출력된 화상의 농도를 측정하고 현상롤러 상에 묻은 토너를 흡입 장비를 통해 흡입한 후 실제 토너의 무게를 측정하는 방식으로 이루어진다. 이와 같이 구한 접촉압력, 농도 및 토너 무게 자료를 이용하여 본 논문에서 구하고자 하는 근사모형을 제시하고자 한다.

2. 현상 시스템 설계

2.1 설계 요구 사항

전위차에 의해 토너를 제어하기 위해서는 현상롤러에 묻은 토너의 양을 기계적으로 균일하게 제어해야 한다. 토너가 균일하게 제어되지 못하면 현상롤러에서 감광체로 이동하는 토너의 흐름이 불규칙하게 되어 감광체에 좋은 화상을 형성할 수 없게 되기 때문이다. 현상롤러 상의 토너가 균일하게 제어되기 위해서는 닥터 블레이드의 접촉 압력이 가장 중요한 역할을 하게 된다. 닥터 블레이드의 접촉압력이 부족하면 현상롤러상의 토너제어가 어려워져 전기적인 제어가 어렵게 되거나 토너의 누출이 발생하게 된다. 접촉압력이 과하게 되면 현상롤러의 영구변형이 발생하여 출력 화상의 불량률도 초래하게 되고 또한 닥터 블레이드와 접촉하고 있는 현상롤러의 마모량이 경시성으로 악화되어 카트리지의 수명을 만족시킬 수 없게 된다⁽¹⁾.

2.2 설계 인자 및 변수 범위 설정

Fig. 3과 같이 닥터 블레이드는 현상 롤러와의 접촉을 통해

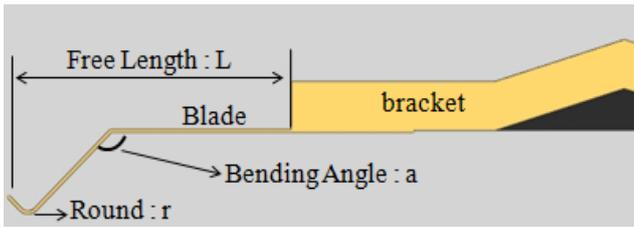


Fig. 3 Doctor blade layout & design variable

변형이 발생하는 블레이드와 블레이드를 지지하는 브라켓으로 이루어져 있다. 미소 고분자 입자인 토너를 제어하는 닥터 블레이드의 설계에 있어 블레이드의 재질 및 두께 등은 변화에 민감하게 작용하고 또한 특허와의 연관성으로 인해 두께는 0.07mm, 재질은 sus 304를 사용하였다. 또한 bending angle까지의 길이 혹은 bending angle에서 굽힘부까지의 길이 등은 힌지점부터 끝단까지의 거리인 설계변수 $X_1(L)$ 에 포함시킬 수 있는 부분이기 때문에 상기의 3개에 대한 설계변수를 선정하였다. 재질과 두께는 고정되어 있는 상태에서 접촉압력 및 화상에 가장 영향을 미치는 블레이드의 설계 인자는 아래와 같다.

- X_1 : 블레이드의 힌지점부터 끝단까지 거리(L)
- X_2 : 현상롤러와의 접촉부 곡률반경(r)
- X_3 : 블레이드의 굽힘부 각도(a)

X_1 과 X_3 으로 선정한 자유장 및 굽힘부 각도는 접촉 압력 및 토너 제어에 가장 중요한 영향을 끼치는 인자이며 X_2 로 선정한 현상롤러와의 접촉부 곡률반경은 출력 화상의 농도에 가장 중요한 영향을 끼치는 인자이다. 선정된 설계변수의 설정 범위는 다른 부품과의 간섭을 고려하고 현실적인 부품의 제조범위를 고려하여 다음과 같이 설정하였다.

$$X_1 : 9.7 \leq L \leq 10.1 \text{ [mm]}$$

$$X_2 : 0.2 \leq r \leq 0.6 \text{ [mm]}$$

$$X_3 : 130 \leq a \leq 140 \text{ [deg]}$$

3. 실험 계획법 및 근사모델링

3.1 실험계획법

실험계획법은 효율적인 실험방법을 설계하고 결과를 제대로 분석하는 것을 목적으로 하는 통계학의 응용분야로서 기계설계문제에서는 설계 데이터의 추출을 위해 널리 사용된다⁽²⁾. 실험계획법은 우선 실험을 통해 얻고자 하는 목적을 명확히 설정한 후 그 목적을 달성하기 위하여 이와 직결된 실험의 반응 값을 특성치로 선택해야 한다. 일반적으로 반응표면법과 함께 사용되는 실험계획법은 무작위 추출법, 다원배치법, 라틴 하이퍼

Table 1 Results of CCD

run	X1 (free length: L, mm)	X2 (round: r, mm)	X3 (angle: a, deg)
1	9.7	0.2	130
2	10.1	0.2	130
3	9.7	0.6	130
4	10.1	0.6	130
5	9.7	0.2	140
6	10.1	0.2	140
7	9.7	0.6	140
8	10.1	0.6	140
9	9.7	0.4	135
10	10.1	0.4	135
11	9.9	0.2	135
12	9.9	0.6	135
13	9.9	0.4	130
14	9.9	0.4	140
15	9.9	0.4	135

큐브법, 중심합성계획법, D-optimal 계획법 등이 있다. 본 연구에서는 비교적 설계변수가 작은 실험에 적합하고 곡면적인 특징을 잘 나타낼 수 있으며, 시간 및 비용의 절감을 가져다주는 중심합성계획법을 이용한 반응표면식을 사용한다.

3.1.1 중심합성계획법

독립변수의 수가 k인 2차 회귀모형(regression model)은 심플렉스 계획법이나 2k 요인 배치법 등으로는 회귀계수를 추정할 수가 없다. 왜냐하면 $2k$, x_i^2 , β_{ii} , α 요인실험에서는 각 변수의 두 수준에서만 실험이 되므로, 변수의 수준 변화에 따라서 발생하는 반응량의 곡면적인 변화를 감지할 수 없으며, 2차 회귀모형에서 계수 항의 계수 등을 추정할 수 없다. 이런 단점을 보완하고 적은 횟수의 실험으로 곡면을 추정하기 위하여 다음과 같이 (k=3, 변수가 셋인 경우) 중심점(center point)과 축점(axial points)을 2k 요인실험에 추가시킨 실험계획을 중심합성계획(Central composite design, CCD)이라고 부른다. 3변수 중심합성계획에서는 중심점에서 6회의 실험 (15-20번째)을 진행하지만 모두 같은 결과값이 나오므로 총 15회의 실험만 수행한다. 설정한 변수 범위에 따라 CCD에 의한 추출은 Table 1과 같다⁽³⁾.

3.2 근사모델링

본 논문에서 다루고 있는 닥터 블레이드의 최적 설계인자를 찾기 위해서는 접촉압력을 구하기 위해 CAD/CAE 모델링의 반복적인 작업 및 유한 요소 해석이 필요하고 각각의 설계 인자

변화에 따른 샘플을 제작하여 실험을 하고 그에 따른 결과를 측정해야 하므로 시간과 비용이 많이 소모 된다. 때문에 많은 시간이나 비용이 소모되는 경우에 효율적인 최적화 방법으로 사용되는 방법이 근사 최적화(approximate optimization)방법이다. 본 연구에서는 근사 최적화 모델 중 가장 활용빈도가 높은 반응표면법을 사용하였다

3.2.1 반응 표면법

반응표면법은 입력변수의 변동이나 불확정성을 고려하여 가장 적합한 응답을 구하기 위한 통계적 방법으로, 몇 개의 결정된 분석값과 결과의 회귀 분석 값을 통하여 특성 모사함수를 입력변수들의 향으로 표시하는 함수의 다항식으로 표현된다. 실제 유한요소해석 도구 등과 연계하지 않고 근사 모델 최적화 과정에 적용하기 때문에 빠른 설계 과정을 가능하게 하여 계산 비용의 절감을 가져다주는 특징을 가지고 있다. 반응표면법은 3차 이상의 모델에 사용할 경우에는 실험점의 개수가 급격히 증가하게 되어 실험에 드는 비용이 급격하게 증가되므로 1차 또는 2차 다항식 모델에 적합하며, 특히 그 중에서 근사 반응 표면 모델의 갯수를 구하기 쉬운 2차 다항식 모델에 주로 사용된다. 반응표면법에서는 근사화하려는 값들을 반응(response)이라 부르고, 모델에 입력되는 변수를 인수(factor)라고 부른다. 이들은 각각 수학적 용어로는 종속변수와 독립변수에 대응된다. 반응표면법은 설계 공간을 간단한 다항식의 조합으로 근사화하는 방법으로 저차의 다항식을 주로 사용한다. 본 연구에서는 2차 다항식으로 RSM(반응표면법, Response surface method)을 구성하였다.

$$y(x) = f(x) + \epsilon \quad (1)$$

식 (1)에서 ϵ 은 랜덤 에러로서 평균이 0, 분산이 σ^2 인 정규 분포를 따른다고 가정한다. 식 (1)의 $f(x)$ 를 구하기 위해서는 다중 선형 회귀를 사용한다. 일반적으로 반응표면법에서 많이 사용되는 다항식은 2차 다항식으로 식 (2)와 같다.

$$f(x) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \sum_{j > i} \beta_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

여기서, β 는 2차 회귀모형의 회귀계수, x 는 변수이다. β 는 최소자승법(Least square method)을 통해 계산되며 식 (3)과 같다.

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (3)$$

수학적으로 불편 추정량임이 증명되어 있으며 통계학적으로

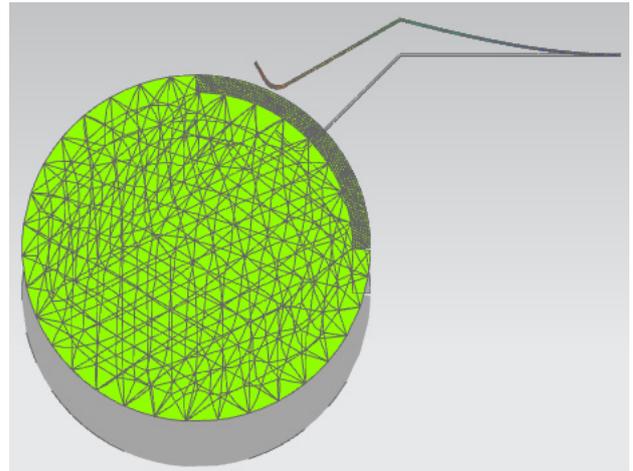


Fig. 4 The result of contact analysis by NASTRAN

불편 추정량은 오차의 기대치가 0이라고 정의되는 추정량을 말한다. 식 (3)에서 y 는 반응값, X 는 설계행렬(design matrix)로 써 첫 번째 열 벡터의 요소는 모두 1이며, 각 행 벡터는 한 점에서의 인자들로 구성되어있다.

4. 닥터블레이드의 접촉압력 해석

닥터 블레이드와 현상롤러사이에서 발생하는 접촉압력을 유한요소해석을 통해 근사화에 사용될 데이터를 얻었으며 단위는 MPa이다. 닥터 블레이드와 현상롤러의 접촉 압력 해석을 위해서는 유한 요소 모델이 필요하며 해석 시간의 단축과 정확한 값을 얻기 위해 적절한 형상의 단순화가 필요하다⁽⁴⁾. 특히 접촉해석은 많은 반복 계산을 통해 수렴 점을 찾아내는 과정이기 때문에 형상이 복잡할수록 해석 시간이 오래 걸리고 결과의 신뢰도에도 커다란 영향을 미치게 된다. 또한 접촉 해석에서는 접촉이 일어나는 영역이 중요하기 때문에 접촉영역과 이외의 영역으로 격자를 분할하는 효율적인 해석과정이 필요하다. 본 연구에서는 NX⁽⁵⁾로 모델링을 실시하고 상용 해석 프로그램인 NASTRAN을 사용하여 접촉해석을 수행하였다⁽⁶⁾. 이 모델에서 사용한 재료상수는 영률 199947.787MPa, 포와송 비 0.3, 밀도 8000kg/m³이다.

해석을 위해 현상롤러의 위치를 Y축으로 하향 이동 시킨 후 강제 변위 구속을 통해 해석을 수행하였고, 닥터 블레이드와 현상롤러의 접촉이 이루어지는 부분을 분할하여 격자를 세분화하였다. 격자요소는 CTETRA(10)으로 하였으며 접촉 영역의 격자크기(mesh size)를 조절해가며 해석값이 수렴해가는 과정을 통해 해석의 신뢰도를 향상시켰으며 Roller mesh size는 0.9mm로 사용하였다. CCD를 통해 얻은 설계점의 조건을 반영하여 동일한 과정으로 해석을 수행하였다. 해석을 통하여 구한 접촉압력 결과는 Table 2의 contact pressure이다.

5. 화상 농도 및 토너 중량 측정

닥터 블레이드의 설계에서 설계조건에 대한 완성도를 평가하기 위한 방법은 카트리지에 설계된 닥터 블레이드를 장착하고 평가 패턴을 출력하여 정해진 위치의 농도를 측정하고 토너 흡입 장비를 통해 현상롤러상의 토너 무게를 측정하는 방식으로 이루어진다. 본 연구에서는 CCD를 통해 추출한 실험점의 조건으로 닥터 블레이드를 제작하여 각 실험점에서의 농도와 단위면적당 토너 무게를 측정하여 결과값을 입력하였다.

5.1 화상 농도 측정

화상의 농도는 소비자가 제품을 평가하는 가장 기본이 되는 평가 방법이다. 농도가 흐리면 출력물에 대한 소비자의 만족도가 떨어지고 너무 진하게 되면 과도한 토너 소비는 물론 세밀한 화상을 표현할 수가 없게 된다. 화상농도의 측정은 닥터 블레이



Fig. 5 Spectro eye

Table 2 Result of test

run	X ₁ (mm)	X ₂ (mm)	X ₃ (deg)	contact pressure (MPa)	T _d density	T _w weight (μg/cm ²)
1	9.7	0.2	130	8.475	0.87	0.467
2	10.1	0.2	130	5.762	1.15	0.617
3	9.7	0.6	130	8.218	0.94	0.483
4	10.1	0.6	130	5.483	1.37	0.667
5	9.7	0.2	140	5.564	1.00	0.633
6	10.1	0.2	140	4.172	1.42	0.767
7	9.7	0.6	140	5.733	1.07	0.667
8	10.1	0.6	140	3.837	1.52	0.817
9	9.7	0.4	135	6.778	1.14	0.583
10	10.1	0.4	135	4.939	1.40	0.717
11	9.9	0.2	135	5.927	1.11	0.617
12	9.9	0.6	135	5.777	1.36	0.667
13	9.9	0.4	130	7.319	1.18	0.517
14	9.9	0.4	140	4.552	1.42	0.700
15	9.9	0.4	135	5.198	1.24	0.633

드 설계를 평가하기 위한 방법으로써 사용된다. Fig. 5의 색측 장비인 Spectro Eye⁽⁷⁾를 통해 화상 농도를 측정한다. 농도 단위는 측정장비로부터 반사되는 빛의 양을 읽어들이는 값으로써 단위는 무차원이다. 제작된 닥터 블레이드 샘플을 카트리지에 장착하여 농도 측정을 위한 정해진 패턴을 출력하고 출력물의 정해진 위치의 농도측정을 하는 방식으로 평가하며 색측 장비의 측정값이 1.05에서 1.45사이에 들어오면 만족한다. 화상 농도 측정 결과는 Table 2의 density이다.

5.2 토너 중량 측정

앞서 기술한 바와 같이 현상롤러상의 토너가 균일하게 제어 가 되지 않으면 전기적인 토너 제어가 이루어지지 않기 때문에 양질의 화상을 얻을 수 없게 된다. 현상롤러상의 기계적인 토너 제어가 잘 수행되고 있는지에 대한 평가 방법으로는 Fig. 6과 같이 현상롤러상에 동일 원주의 형태를 갖는 측정 장비를 끼워 넣은 후 토너 흡입 장비를 사용하여 토너를 흡입한 후 흡입된 토너의 중량을 측정하는 방법으로 이루어지며, 토너 중량 단위 T_w는 μg/cm²이다. 기준을 만족하는 범위는 토너 무게가 0.6μg/cm²에서 0.7μg/cm²까지이다. 각 실험점에서의 토너의 중량을 측정한 결과는 Table 2의 weight이다.

6. 결과

닥터블레이드에서 발생하는 접촉압력, 농도, 무게에 관련된 데이터를 이용하여 반응표면을 생성하여 얻은 결과는 다음 식과 같다.

$$F_{contact\ pressure} = -2.45416660x_1^2 - 1.78125000x_1x_2 + 0.06600000x_1x_3 + 37.19845800x_1 + 4.28333330x_2^2 + 0.04075000x_2x_3 + 7.82766670x_2 + 0.00273333x_3^2 - 1.57892170x_3 - 46.44446500$$

$$(R-Sq = 97.0\% \quad R-Sq(adj) = 91.7\%)$$



Fig. 6 Toner suction

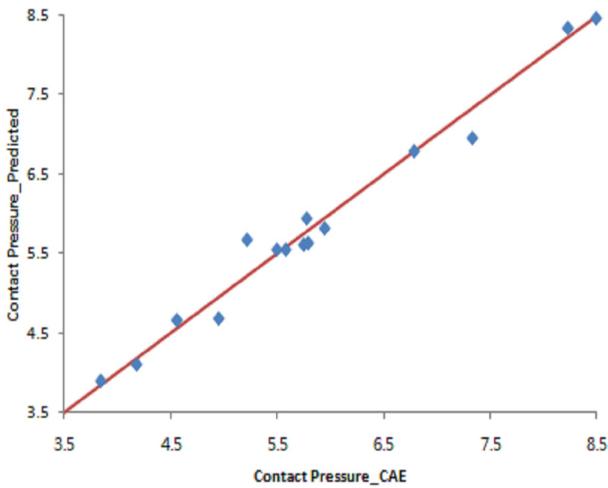


Fig. 7 Response of Contact Pressure

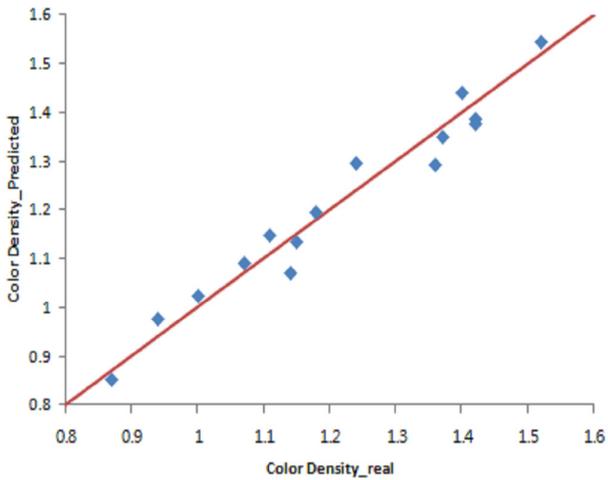


Fig. 8 Response of Color Density

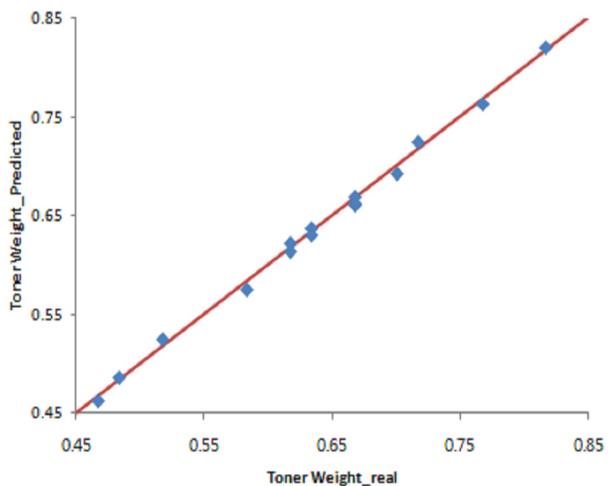


Fig. 9 Response of Toner Weight

$$F_{\text{density}} = -x_1^2 + 0.562500x_1x_2 + 0.020000x_1x_3 + 18.038750x_1 - 1.875000x_2^2 - 0.015000x_2x_3 - 1.44500x_2 - 0.00040x_3^2 - 0.07010x_3 - 89.86475$$

$$(R\text{-Sq} = 95.8\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 88.2\%)$$

$$F_{\text{weight}} = 0.4555555x_1^2 + 0.1031250x_1x_2 + 0.0041250x_1x_3 - 9.2649236x_1 - 0.1569444x_2^2 + 0.0001250x_2x_3 - 0.7990556x_2 - 0.0002511x_3^2 + 0.0436364x_3 + 40.8624640$$

$$(R\text{-Sq} = 98.7\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 96.4\%)$$

Fig.7부터 Fig.9는 각 실험점에서의 결과값을 바탕으로 실험값과 MATLAB을 이용하여 프로그래밍한 반응표면법의 근사화 결과를 비교하였다. x축은 실험점에서의 결과값이고 y축은 근사화 결과값이다.

그림과 같이 실제값과 근사모델로 나타나는 예측 결과의 적합도는 접촉 압력과 토너 중량 값의 경우, 각각 94%와 99%의 매우 높은 적합도를 갖고 있으며 화상의 농도 측정값 또한 88%정도의 우수한 결과를 나타냄을 알 수 있다. 현재 닥터 블레이드는 토너의 성능을 결정하는 핵심으로써 자동화 공정을 개발하여 제품의 성능 개선 및 생산효율을 높이려는 연구가 진행되고 있으며⁽⁸⁾ 성능 개선을 하기 위한 최적설계에 많은 시간과 비용이 발생한다. 본 연구의 매우 높은 적합도를 가지는 근사모델은 닥터 블레이드의 최적설계를 필요한 시간과 비용을 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

7. 결론

본 논문에서는 토너 제어를 하는 닥터 블레이드의 설계에 있어서 중심합성계획법을 통해 설계 변수의 실험점을 추출하고 그에 따른 접촉 압력과 화상 농도, 토너의 중량을 측정된 결과를 근사화 도구인 반응표면법을 사용하여 근사 모델과 실제값의 유사 정도를 비교하고 신뢰 수준을 파악하였다. 그 결과 실제값과 근사모델의 결과값이 신뢰할 수 있는 범위에 있다는 결과를 얻을 수 있었으며 이는 향후 닥터 블레이드 설계에 있어 최적해를 도출하기 위한 기반 구조를 제공한다.

References

- (1) Park, C. H., Lee, J. H., and Choi, D. H., 2011, "Design Optimization of Cleaning Blade for Minimizing Stress," *Trans. of the KSME (A)*, Vol. 35, No. 5, pp. 575~582.
- (2) Montgomery, D. C., 2000, *Design and Analysis of Experiments 5th Edition*, John Wiley & Sons, New

- York, pp. 427~510.
- (3) Park, S. H., and Kim J. U., 2011, *Modern Design of Experiments Using MINITAB, Revised Edition*, Minyoungsa, Seoul, Korea, pp. 419~482.
- (4) Johnson, K. L., 1985, *Contact Mechanics*, Cambridge University Press, New York, pp. 84~106.
- (5) UGS NX 7.5, *User's Manual, Siemens PLM Software, Texas, USA, 2009*.
- (6) Ko, J. C., Park, Y. S., and Kang, I. S., 2009, *NX6 CAE (NX NSTRAN) Advanced Tools and Analysis Type, On-Solution Integration*, Seoul, Korea.
- (7) Spectro Eye, 2007, *SPE Manual*, Image group corp., Seoul, Korea.
- (8) Jun, S. H, and Lee, E. K., 2012, "Automated Production System for Manufacturing the Doctor Blades of Laser Printers," *Journal of the KSMTE*, Vol. 21, No. 4, pp. 633~638.