

다구찌 실험법을 이용한 OPC 드럼용 튜브의 최적설계 연구

김청균[†] · 오경석

홍익대학교 트라이볼로지 연구센터

Optimization Design of an Aluminum Tube for an OPC Drum using Taguchi's Experimental Method

Chung Kyun Kim[†] and Kyoung Seok Oh

Tribology Research Center, Hongik University

Abstract – In this paper, the optimized design and strength analysis have been presented based on the finite element and Taguchi's experimental methods. The stress, strain and displacement characteristics of OPC drum tubes are affected by rolling contact pressures between an OPC drum tube and a paper, design parameters of an aluminum tube and material properties. The OPC drum tubes with nine different geometrical models are analyzed for design parameters that are related to the outer diameter, the thickness, and the length of an aluminum tube for a toner cartridge. The optimized design parameters for an aluminum tube may be selected as the outer diameter of 28 mm, the thickness of 0.8 mm, and the length of 220 mm. But the currently used aluminum tube for a laser printer is fairly optimized based on the Taguchi's design analysis. The calculated FEM results showed that the affection ratio of the design parameter t , which may control the strength of an aluminum tube, is the most influential parameter among the length and an outer diameter of a tube.

Key words – OPC drum, Taguchi method, design optimization, laser printer, FEM.

1. 서 론

프린터는 컴퓨터에 저장된 각종 데이터를 종이에 인쇄하기 위해 사용하는 출력장치이다. 프린터에는 전자 프린터, 도트 매트릭스 프린터 등이 있고, 최근에는 잉크젯 프린터나 레이저 프린터가 개발되어 인쇄물의 고급화에 큰 기여를 하였다. 대용량의 컴퓨터와 사용하기 편리한 윈도우 프로그램의 개발은 인쇄소나 사진관에서 구현이 가능한 인쇄물이나 사진을 잉크젯, 레이저 프린터 등에 의해 출력하고 있다.

본 연구에서 관심을 갖고 있는 흑백 및 컬러 레이저 프린터는 분명히 고급 인쇄장치이지만 저렴한 레이저 프린터가 등장하면서 대중화 단계에 와있다. 최근 레이저 프린터 시장규모가 급속하게 증가하지만, 고유기술은 미국의 HP, 일본의 Canon 등 특정업체에 집중되어

후발업체의 진입은 어려운 상황이다. 국내 시장은 HP가 독점하고 있는 가운데 일본 업체들이 선전하고 있으며, 삼성전자를 비롯한 한국 업체들은 고유설계, 특허기술이 부족하여 특허분쟁을 피하고자 일본기술에 의존하고 있다[1].

레이저 프린터는 OPC 드럼(Organic Photo Conductor drum)에 이미지 형태로 감광하여 드럼표면에 토너 가루를 부착한 다음 토너가루 영상을 종이에 그대로 복제하고 가열장치로 구어내는 최고급 출력장치이다. 레이저 프린터는 인쇄 속도가 빠르고, 유지·보수비용, 소음과 진동 등이 다른 프린터에 비해 적다는 장점이 있다. 따라서 레이저 프린터는 고급의 인쇄품질로 인해 개인용 컴퓨터의 주변기기라기 보다는 사무기기의 총아로 각광을 받고 있다.

우리의 레이저 프린터 시장은 지속적인 기술개발로 가격이 떨어지기 시작한 1990년대 말부터 형성되었다. 산자부는 2002년에 레이저 프린터의 핵심부품인 OPC

[†]주저자 · 책임저자 : chungkyunkim@empal.com

드럼을 세계 일류화 상품[2]으로 지정하고 업체에 개발자금을 지원하면서 레이저 프린터의 OPC 드럼에 관련된 코팅기술, AI 튜브 제작기술, 토너 제조기술 등을 개발하였다. 일부는 토너 카트리리지 재생기술을 개발하여 품질의 고급화와 가격다운, 특히 자원절약에 기여하였으나, 특허분쟁으로 제동이 걸린 상태이다[1].

시장의 급성장은 레이저 프린터 사업을 삼성전자의 세계화 8대 성장동력 사업으로 육성하겠다고 2005년에 발표하기에 이르렀다. 삼성전자는 2007년도 1분기에 컬러 레이저 국내시장 점유율 1위, 세계시장 2위라는 놀라운 성과[3]를 내면서 미국과 일본의 독주속에 치열한 추격전을 벌이고 있다.

OPC 드럼에서 종이의 자동급지에 관한 연구[4]를 행하였지만, OPC 드럼용 알루미늄 튜브에 대한 최적화 설계연구는 국내외적으로 아직 발표된 사례가 없다. 따라서, 본 연구에서는 레이저 프린터의 인쇄품질, 특히 내구성에 중대한 영향을 미치는 OPC 드럼의 두께, 직경, 길이 등을 고려한 최적설계를 다구찌 실험법 및 FEM으로 최적의 강도안전 설계기준을 찾고자 한다.

2. OPC 드럼

2-1. 인쇄과정 및 OPC 드럼의 기능

레이저 프린터의 핵심부품인 토너 카트리리지는 토너와 드럼, 가열장치, 구동장치 등의 부품으로 구성된다. 레이저 프린터의 인쇄는 Fig. 1에서 보여준 것처럼 컴퓨터에서 공급되는 인쇄 정보가 LSU(Laser Scanning Unit)와 미러(mirror)를 거쳐 OPC 드럼의 표면에 주사되고, 주사된 표면의 전기적 극성은 변화되고, 극성이 변화한 부분에 구름마찰 접촉운동을 함께 하면서 회전하는 토너롤러의 토너가 대전된 극성부분에 부착되면서 인쇄패턴은 인식된다. 토너가루가 안착된 OPC 드럼은 공급된 종지와 구름마찰 접촉운동을 하면서 자기적으로 반대의 극성으로 대전된 이송롤러(transfer roller)에 의해 인쇄패턴을 띤 토너가루가 이송된 종이

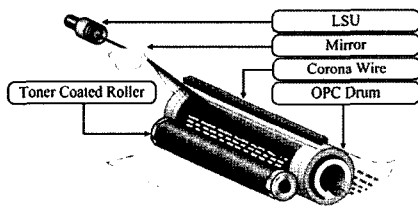


Fig. 1. Printing process of a laser toner cartridge.

에 복제된다. 종지로 옮겨진 토너가루는 180°C~200°C의 가열장치에 의해 종이위에 완벽하게 정착되면 인쇄는 완료된다.

레이저 프린터는 카본입자의 크리닝, 대전, 노광, 현상, 전사, 정착의 6단계를 거쳐 고품질의 인쇄물을 출력한다. 토너 카트리리지의 핵심기술은 OPC 드럼이 LSU로부터 인쇄정보를 받아들이고, 카본입자를 종이에 전사하는 과정에서 용지와 서로 구름마찰 접촉운동을 하면서 최적의 마찰계수와 접촉압력을 유지하는 기술이 중요하다.

OPC 드럼의 표면은 강도 안전성을 담보하는 AI 실린더 표면에는 감광 필름으로 얇게 코팅되어 빛에 민감하게 반응한다. 최근에 자원절약 측면에서 재생 토너의 사용은 드럼 자체의 강성과 감광 코팅막층의 내구성 문제를 많이 거론하지만, 이것은 레이저 프린터 메이커와 소비자, 재생 메이커의 이해가 첨예하게 대립되는 분야이다. 기술적으로 내구성 향상을 위해 인쇄용지를 OPC 드럼과 구름마찰 접촉운동을 하면서 통과할 때, 외부의 어떠한 하중에도 일정기간 견딜 수 있는 내마멸성과 대전성을 보장할 수 있다면 인쇄품질은 물론이고 내구수명도 연장할 수 있어 카트리리지의 재생도 용이하고 품질도 우수할 것으로 예상된다.

OPC 드럼의 표면에는 OPC의 대전과 내마멸성 확보를 위해 얇은 코팅막을 OPC 드럼에 입힌다. 코팅막 물질은 무독성이고, 레이저 조사에 의해 쉽게 대전된다. 코팅막은 음극(-)의 극성을 가지게 되어 토너롤러의 표면에 양극(+)의 띠고 있는 토너가루가 용이하게 이송되면서 부착된다. 따라서 인쇄 또는 임의로 공급된 종이를 빼내는 과정에서 외부하중은 OPC 드럼의 표면, 즉 진직도를 보장하지 못하고 미세한 변형이나 손상을 일으킨다. 코팅막층의 인쇄패턴이나 대전과정에서 토너가루의 부착, 이탈을 불안정하게 하므로 인쇄품질의 저하 및 미세한 마멸로 인해 내구성이 떨어진다. 따라서 OPC 드럼에 대한 최적화 설계연구는 레이저 프린터의 인쇄품질을 높이고 OPC 드럼의 내구성을 연장하는데 큰 기여를 할 것이다.

2-2. OPC 드럼의 형상 및 소재

OPC 드럼의 기계적 강도는 알루미늄 튜브에 의해 담당되고, 토너가루의 대전과 내구성 등은 AI 튜브의 표면에 부착된 코팅막에 의해 결정된다. OPC 드럼용 알루미늄 튜브에 대한 표준규격은 KS D 6761, KS D 0004에서 규정하고 있다. 본 연구에서 최적설계 대

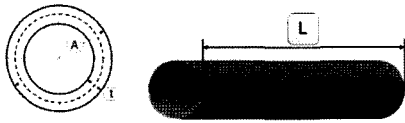


Fig. 2. Geometry of an OPC drum.

상으로 선정된 OPC 드럼용 AI 튜브의 크기는 A3 용지의 인쇄에 적합한 크기의 드럼을 선정하여 FEM 해석 및 다구찌 설계법으로 해석하였다.

KS D 6761은 복사기 드럼에 대한 종류로 합금번호는 3003, 3203이다. 본 연구에서 최적설계 대상으로 선정된 OPC 드럼의 치수기호는 Fig. 2에서 보여준 것과 같고, 이 드럼의 종류는 KS 규격에 의해 AI3003TD 보통급 인발관으로 정의된다[5]. KS 규격에서 제시한 AI 합금의 질별은 H14로 KS D 0004에서 정의하고 있다. 즉, H14는 소정의 기계적 성질을 얻기 위해 추가 열처리를 하지 않고 가공경화만 한 것으로, 인장강도가 O와 HX8의 중간인 질별을 나타낸다[6]. OPC 드럼에서 사용하는 알루미늄 합금 튜브에 대한 물리적 특성은 Table 1에서 제시하고 있다.

2-3. OPC 드럼의 거동해석

2-3-1. FEM 해석모델 및 경계조건

OPC 드럼용 AI 튜브에 걸리는 강도를 수치적으로 해석하기 위해 상용 프로그램 MSC/MARC[7]를 사용하였다. Fig. 3에서 보여준 OPC 드럼의 FEM 모델은 Thin Shell, Quad. 4요소를 사용하였으며, 해석에 사용된 요소의 총개수는 5400개이다. OPC 드럼의 축방향 이동과 회전 방향에 걸리는 모멘트는 모두 고정하여 어떠한 거동도 허용하지 않았다. 즉, OPC 드럼에 작용하는 축방향의 선접촉 하중에 의한 응력 및 변형거동은 양측단에 설치한 플라스틱 기어에 의해 고정되므로 무시할 수 있고, 회전에 따른 AI 튜브의 회전 강성도가 완벽하므로 회전토크는 없다고 가정한다. 여기서 OPC 드럼과 공급된 종이 사이에 작용하는 단위

Table 1. Material properties of AI3003-H14

Mechanical Properties	Values
Modulus of Elasticity, GPa	68.9
Poisson's Ratio	0.33
Density, kg/m ³	2730
Ultimate Tensile Strength, MPa	152
Tensile Yield Strength, MPa	145

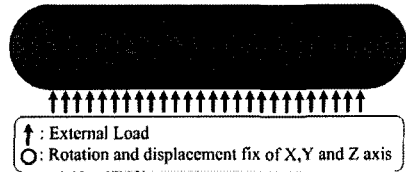


Fig. 3. FEM analysis model and boundary conditions for an OPC drum tube.

길이당의 하중은 항상 균일하고 일정하고, AI 튜브는 항상 원형을 유지하면서 구름마찰 접촉운동을 하는 것으로 가정될 수 있다.

2-3-2. 외부하중

Fig. 1의 OPC 드럼과 공급된 종이 사이의 구름마찰 접촉운동 과정에서 발생하는 접촉면압, 즉 외부하중은 드럼의 원통도와 진직도를 보장할 수 없고 궁극적으로 튜브의 표면에 증착한 코팅막층의 마멸발생을 유발하는 원인으로 작용할 것이다. 따라서 OPC 드럼의 국부적인 미세변형은 코팅막층의 손상으로 이어져 인쇄품질을 떨어뜨리는 원인으로 작용할 수 있다. 그리고 튜브에 걸리는 응력은 AI 소재의 강도를 요구하고 소재의 두께를 높이는 원인으로 작용하여 자재비 상승 및 경량화 설계기준에 역행하는 결과를 낳을 수 있다.

토너가루의 평균직경은 8 μm이므로 하중을 받아 드럼의 최대 변위량이 8 μm 이상으로 증가할 경우, 레이저 프린터의 품질저하는 물론이고 코팅막층의 마멸이 발생되어 내구성을 떨어뜨리는 원인으로 작용한다. 결국 신품 토너 카트리지의 인쇄품질은 보장할 수 있으나, 재생한 토너 카트리지의 인쇄품질은 보장하기 어려운 것이라는 사실이다. 따라서 OPC 드럼용 알루미늄 튜브에 가하는 추정 외부하중은 어느 정도 한계가 있을 것이라는 것으로 본 연구에서는 최대 1,000 Pa 이하의 외부하중을 OPC 드럼의 경계조건으로 공급하였다.

2-3-3. 해석모델

Table 2는 FEM 해석에 사용된 각 모델의 제원을 나타낸다. 총 9개의 모델로 구성되고, 각각의 모델은 KS D 6761 규격이 규정하고 있는 바에 따라 알루미늄 관의 지름 허용차와 두께 허용차 간의 각각의 조합으로 구성된다.

3. 최적설계 다구찌 기법

3-1. 다구찌 설계법

다구찌 실험법[8,9]에서 최적설계의 핵심은 설계인자

Table 2. Factors and levels for Taguchi analysis

Level	Variation Factors			
	D [mm]	t [mm]	L [mm]	C
	Outer Dia.	Thickness	Length	Error
1	30	0.8	330	-
2	28	0.6	310	-
3	32	0.4	220	-

의 선정인데, 이것은 제품의 성능특성이 단점에 둔감하도록 제품을 설계하자는 것이다. 따라서 다구찌 설계법은 실험이나 설계의 최적조건을 결정하는 기준을 산포도가 가장 낮은 특성값으로 결정해야 한다. 특성값의 산포는 SN(Signal to Noise ratio) 값에 의해 결정되는 망소특성, 즉 특성값이 작을수록 좋은 성능을 보장하는 SN값을 적용하는 기술이 필요하다. SN값이 큰 경우는 설계인자들이 접촉응력을 줄이는데 효과적인 것이라는 의미이다.

본 논문에서는 SN값을 사용하여 설계인자들이 OPC 드럼용 AI 튜브의 강도 안전성에 미치는 영향을 간이 분석법을 통하여 고찰하고, 각각의 설계인자들이 특성값에 미치는 기여율을 계산하여 최적설계를 수행하였다.

3-2. 설계인자와 직교 배열표

OPC 드럼용 AI 튜브의 최적설계에 사용된 설계인자는 Fig. 2에서 보여준 것처럼 등근 형상의 얇고 긴 실린더로 튜브의 외부직경 D, 길이 L, 두께 t, 오차율 C로 표현될 수 있다. 여기서 제시된 4개의 핵심 설계인자는 Table 2와 같이 3개의 수준으로 각각 설계될 수 있다. 이와 같이 모두 4개의 설계인자를 3수준으로 나누어 3수준계 직교 배열표인 $L_9(3^4)$ 형을 사용할 수 있다. 이것들을 간략하게 요약하면 Table 3과 같이 제시된다.

Table 3. Analysis layout of orthogonal array table of $L_9(3^4)$

Factors	Analysis No.	D	t	L	C
1	1	1	1	1	1
2	2	1	2	2	2
3	3	1	3	3	3
4	4	2	1	3	2
5	5	2	2	1	3
6	6	2	3	2	1
7	7	3	1	2	3
8	8	3	2	3	1
9	9	3	3	1	2

4. 해석결과 및 토의

Figs. 4와 5는 OPC 드럼용 AI 튜브에 가한 외부하중이 1,000 Pa일 경우에 튜브에서 발생한 응력과 변위량 분포를 보여준 FEM 해석결과이다. Fig. 4에서 최대응력은 플라스틱 기어로 고정된 회전축 부근에서 높게 발생됨을 알 수 있다. von Mises 최대응력을 나타낸 해석모델 9에서 13.1 MPa의 경우를 AI 소재의 인장항복강도 145 MPa와 비교할 때 9% 수준으로 대단히 안전한 것을 보면 다른 해석모델의 강도는 더욱 안전한 것으로 판단된다. 이것은 드럼을 회전, 지지하는 양 측면에서 강하게 고정한다는 것이고, 드럼의 길이가 줄어들거나 두께가 얇아져도 이와 같은 현상은 유사하게 발생한다. 결국 OPC 드럼의 지지점이 강도안전성에 중요한 영향을 미친다는 것이다.

Fig. 5는 튜브에 걸리는 변형량 분포를 해석한 결과로 튜브의 길이에 따른 최대 변형량은 튜브의 중앙에서 발생하고 있다. 이것은 AI 튜브가 양쪽의 지점을 회전, 지지하는 형태로 충분히 예상된 해석결과이다. 외부하중이 1,000 Pa인 경우에 발생된 최대 변위량은 해석모델 9번으로 90 μ m이다. 이 값은 종이에 전사되는 토너의 평균직경 8 μ m보다 11배나 크기 때문에 인쇄품질을 보장할 수 없으나, 해석모델 4번의 경우는 최대 변위량 9.6 μ m를 발생하여 가장 안정된 해석결과

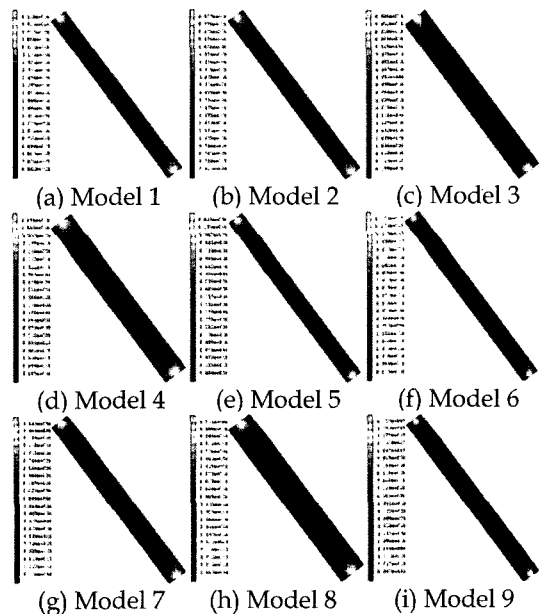


Fig. 4. Von Mises stress distributions for OPC drums.

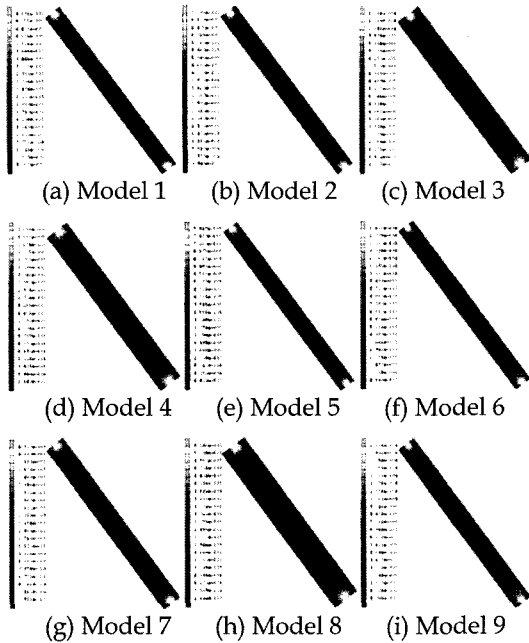


Fig. 5. Strain distributions for OPC drums.

를 제시하였다. 이 값도 토너가루의 평균크기에 비해 약간 크기는 하지만, 종이와 OPC 드럼 사이의 실제 접촉면압이 1,000 Pa보다 높지 않을 것으로 예상되므로 크게 걱정하지 않아도 된다.

Table 4는 Table 3의 직교 배열표에서 제시한 9개의 해석모델에 대한 OPC 알루미늄 드럼의 von Mises 응력, 변형률, 변형량에 연계된 SN값을 제시한 해석결과이다. OPC 드럼의 AI 튜브에서 발생한 응력, 변형률, 반경방향의 변형량은 튜브의 국부적인 변형과 토너가루에 의한 마멸로 인해 표면손상과 내구성 저하가 예상되므로 이들 세 가지 설계인자를 모두 고려한 망소특성으로 SN값을 계산하는 것이 바람직하다. SN값을 계산하기 위해서 응력, 변형률, 변형량은 Figs. 4와 5에서 제시한 최대값을 각각 사용하였다.

망소특성으로 계산된 SN값이 클수록 응력, 변형률, 변형량은 최저값을 갖는 사용조건을 찾아내는 것이 중요하다. FEM 해석결과에 의하면, 응력의 SN 값은 4번 해석모델이 -128.6216으로 가장 높게 발생하여 최적의 설계모델이다. 변형률의 SN값은 4번 모델이 104.9799로, 변위량의 SN 값은 4번 해석모델이 100.3315로 가장 크게 발생하여 적합한 설계모델이라 사료된다. 따라서 3가지의 망소특성 해석조건을 적용한 최적의 모델은 4번 모델로 결정하는 것이 바람직하

Table 4. Von Mises stress, strain, and displacement of SN ratios for OPC drum tubes

Model No.	Von Mises Stress	Strain	Displacement
1	-132.3053705	94.5392611	94.1102654
2	-135.6730843	92.0263769	90.2573400
3	-139.9533384	87.4201859	86.4118400
4	-128.6216726	104.9799592	100.3315141
5	-136.4162006	91.0242014	89.4133130
6	-141.8049705	86.3182866	82.7613034
7	-131.2300631	96.2308240	95.1352543
8	-133.4684032	93.6982807	93.6131934
9	-142.3287409	85.7122394	80.8789338

다. 즉, OPC 드럼용 AI 튜브의 강도 안전성을 고려할 때, 튜브의 외부직경은 28 mm, 두께는 0.8 mm, 길이는 220 mm로 설정할 경우 가장 안전한 설계조건이 될 것이다.

반면에 현재 사용하고 있는 OPC 드럼용 AI 튜브의 설계조건을 나타낸 해석모델 1, 즉 튜브의 외부직경은 30 mm, 두께는 0.8 mm, 길이는 330 mm인 실제의 드럼은 Table 4에서 제시한 결과처럼 3번째로 우수한 최적의 설계조건을 유지하는 것으로 나타났다. 결국 현재의 OPC 드럼용 제품에 대한 설계 파라미터는 그렇게 나쁘지 않다는 것이다.

다구찌 설계법으로 OPC 드럼을 설계하고자 반경방향의 변위량을 해석한 결과는 Fig. 6에서 제시하고 있다. Fig. 6은 모든 하중조건에 대하여 가장 안전한 해석모델은 변위량이 9.6 μm로 가장 작은 4번모델이고, 가장 불안정한 모델은 90 μm의 9번으로 나타났다. 물론 이들 모델 모두는 튜브에 가해진 하중조건에 크게 의존하지만, 일반적으로 OPC 드럼과 종이 사이의 구름마찰 접촉운동 하중과 토너가루의 크기는 인쇄품질을 결정하는 중요한 인자임을 알 수 있다.

Table 4에서 구한 SN값을 가지고 OPC 드럼용 튜브에서 발생하는 응력, 변형률, 변형량에 영향을 미치는 설계인자의 수준합과 기여율을 간이분석법을 이용하여 계산한 결과를 Table 5에서 제시한다. 설계변수에 의한 기여율을 제시한 Table 5의 해석결과로부터 OPC 드럼용 AI 튜브를 설계할 경우 가장 중요하게 다루어야 할 설계요소는 바로 두께이다. 즉, AI 튜브의 두께는 응력에 80.8%라는 높은 비율로 큰 영향을 미치고, 그 다음은 튜브의 길이로 16.9%라는 작지 않은 영향을 주고 있다. 변형률과 변위량에 대한 기여율에서

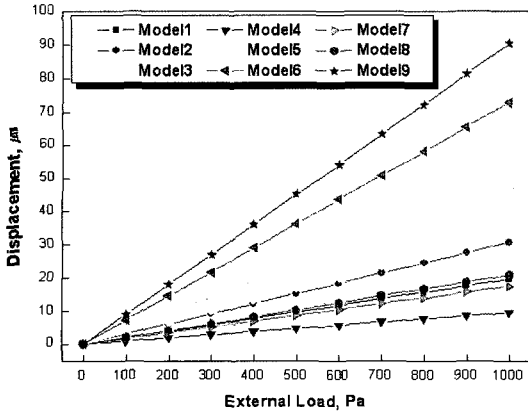


Fig. 6. Displacement of OPC drum tubes for various Taguchi models.

Table 5. Factors affecting stress, strain, and displacement for OPC drum tubes

	Von Mises Stress	Strain	Displacement
D : Outer Dia.	2.289	3.338	2.159
t : Thickness	80.794	73.188	74.079
C : Error	0.053	0.241	0.891
L : Length	16.864	23.233	22.871
Sum	100	100	100

튜브의 두께에 의한 영향은 73.2%와 74.1%로 떨어지는 반면에 튜브의 길이는 23.2%와 22.9%로 크게 증가하는 경향을 나타낸다. 결국 AI 튜브의 강도는 튜브의 두께로 조정이 가능하고, 반경방향의 변위량은 튜브의 길이에 의해 보다 많은 영향을 받는다는 것이다. AI 튜브의 강도를 높게 제조할 수 있다면 튜브의 축간 거리를 함께 고려하여 최적설계 사용조건을 찾는 것이 중요함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 OPC 드럼용 AI 튜브에 대한 강도 안전성을 해석하기 위해 FEM 해석을 하고, 그 결과를 바탕으로 다구찌 설계법을 사용하여 최적의 설계인자와 치수를 찾아내는 연구를 수행하였다. 즉, OPC 드럼용 AI 튜브의 중요한 설계인자라 할 수 있는 튜브의 외부직경, 두께, 길이를 고려하여 가장 안정된 응력, 변형률, 변위량 발생조건을 망소조건으로 찾아 최적설계 연구를 수행하였다.

FEM 해석결과에 의하면 AI 튜브에 걸리는 응력은 튜브의 회전하중 지점인 양측단에서 크게 발생하고, 변위량은 튜브의 중앙부에서 발생하고 있음을 알 수 있다. 이것은 얇고 긴 원통형 튜브에서 발생하는 전형적인 결과로, OPC 드럼에 가해진 임계하중을 1,000 Pa 이하로 유지할 경우 변형거동은 안전한 것으로 나타났다.

다구찌 설계법을 이용한 최적의 설계인자는 해석모델 4번, 즉 튜브의 외부직경 28 mm, 두께 0.8 mm, 전체길이 220 mm인 AI 튜브를 선정하는 것이 최적의 설계조건임을 보여준다. 반면에 기존의 OPC 드럼용 AI 튜브 모델을 제시한 모델 1번, 즉 외부직경 30 mm, 두께 0.8 mm, 길이 330 mm인 경우는 3번째로 우수한 최적설계 조건을 보여준다. 이것은 기존의 AI 튜브의 설계조건이 최선은 아니지만 그래도 우수한 설계조건을 유지하였다는 것을 의미한다.

최적설계 과정에서 고려해야 할 기여도에 대한 분석 데이터에 의하면 AI 튜브의 응력에는 튜브의 두께가 80.1%로 대단히 큰 영향을 미치고 있다. 반면에 종이에 전상되는 토너에 의한 인쇄품질과 코팅막의 마멸성에 직접적으로 영향을 미치는 AI 튜브의 변위량 설계인자는 튜브의 두께보다는 튜브의 전체길이에 의해 설계비중이 점차로 높아가고 있음을 지적한다. 이것은 AI 튜브의 강도 안전성을 위한 튜브의 두께와 인쇄 품질을 나타내는 튜브의 길이를 적절하게 타협하여 최적의 설계조건을 찾는 것이 중요하다는 것을 본 연구 데이터는 제시한다.

참고 문헌

1. 김재영, “8캐논 특허권 승소,” 동아일보, Oct. 14, 2006.
2. 김용구, “세계 일류기술 하나씩 갖자,” 한국경제, Dec. 6, 2005.
3. 이구순, “삼성전자, 세계 프린터 시장 ‘셋별’ 급부상,” 머니투데이, June 4, 2007.
4. Mittal, S. and Dym, C. L., “PRIDE: An Expert System for the Design of Paper Handling Systems,” IEEE Computer, Vol. 19, July 1986.
5. “이음매 없는 알루미늄 및 알루미늄합금 관 KS D 6761,” 한국표준협회, 2002.
6. “알루미늄, 마그네슘 및 그 합금-질별 기호,” 한국표준협회, 2006.
7. “MARC Analysis,” Version K7.3, 1999.
8. 박성현, “현대실용계획법,” 민영사, 2003.
9. 김청균, 조승현, “다구찌법을 이용한 O-링의 최적설계 및 수치적 연구,” 한국윤활학회, Vol. 20, No. 5, pp. 259-265, Oct. 2004.