

문서세단기 성능평가방법의 표준화에 관한 연구

이동규*, 유송민+, 이위로**, 노대호***, 김민호****

A Study on Standard of Performance Evaluation for Paper Shredder

Dong Gyu Lee *, Song Min Yoo+, Wi Ro Lee**, Dae Ho Ro*** and Min Ho Kim****

Abstract

The purpose of this study is to introduce the standard of the durability and evaluation method for paper shredder. The major evaluation criteria include shredding capability, shredding blade (or cutter) hardness and edge roughness, and durability. Due to the difficulties in assessing the durability directly, performance deterioration of the shredder was assessed by measuring the torque variation along with the variation in shredded chip size and load, thereby proposing the indirect method of assessing the paper shredder durability.

Key Words : endurance of shredder(문서세단기 내구성), Chip Size(칩 크기), Cutting ability(세단능력), Angle of twist(비틀림 각)

1. 서론

문서세단기는 모터를 사용하여 커터를 회전시켜 문서를 아주 조그만 조각으로 세단하여 보안을 요하는 문서의 내용을 인식할 수 없게 하는 기계이다. 문서를 생산하는 복사기, 프린터 등의 관련 규격은 많은 종류가 국제규격으로 제정되었거나, 선진국들은 표준화 관련 연구를 진행하고 있는 실정이다. 현대 사무실 작업에서 문서의 생산과 파기는 서로 분리할 수 없는 관계를 가지고 있어, 이에 Military Spec(미국), DIN32757(독일), EN 12012-3(유럽), Size Reduction Machine-Part3:Safety Requirement for Shredders 등 문서세단기에 대한 규격을 제정하여 활용하

고 있다.

이에 반해 국내는 문서세단기에 대한 기준도 마련되지 않은 단계에서 수 개의 문서세단기 생산업체가 자체적으로 기술개발하고 있는 실정이며, 표준화가 되지 않음으로 인한 원가상승, 품질 및 성능 시험평가 항목의 미비로 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서 문서세단기의 성능에 관한 표준화 연구로 규격을 제정하여 국내 문서세단기의 기술력을 향상시키고, 품질을 안정화시키는데 기여하고자 한다.

본 논문에서는 문서세단기의 특성을 분석하고 주요성능 항목에 대한 시험평가를 하였다. 그 중 내구성에 대한 평가는 모터의 정격시간 및 모터의 특성에 의하여 실질적인

* 발표자, 경희대학교 기계공학과 대학원 (mecha76@empal.com)
주소: 139-743 경기도 수원시 기흥읍 서천1리 경희대학교 기계공학과 정밀공학연구소
+ 경희대학교 기계산업시스템공학부
++ 산업자원부 기술표준원
+++ 경희대학교 대학원
++++ 경희대학교 대학원

파괴시험이 어려우므로 이를 보다 합리적으로 평가하기 위해 세단기의 성능저하에 관하여 연구하였다. 화상처리와 기하학적 분석을 통하여 세단칩의 효율적인 측정방법을 제시하였고, 부하량에 따른 토크 측정방법과 정상상태 신호를 다항식회귀로 실험식을 구하여 점진적인 성능저하에 대하여 비교할 수 있는 방법과 커터날의 배열과 부하분포 변화에 따른 비틀림각 변화에 관해 연구하였다.

2. 문서세단기 성능시험평가 항목

이 장에서는 현재 제정중인 KS규격안과 국내업체들의 회사지침서, NT 인증기준을 토대로 문서세단기의 시험평가항목에 대한 성능평가를 하였다.

문서세단기의 성능평가항목에 관한 연구는 칼날의 형상과 재질에 대한 품질기준과, 세단능력 즉 세단속도와 최고 세단능력에 대한 평가방법, 소음기준, 세단시 발생하는 Chip 크기에 따른 분류, 역회전, 커터날정지 등 과부하시 제품보호기능, 효율적인 파쇄 동력 전달구조 및 파쇄 메커니즘에 대하여 진행되고 있으며, 주요 성능평가 항목은 다음과 같다.

2.1 세단능력

세단능력은 1회 파쇄할 수 있는 최대세단가능매수, 날장과 최대세단매수 사이의 부하상태에서 세단속도, 세단칩의 크기 등이다. 세단능력에 영향을 주는 요인은 세단종이의 물성치(인장강도, 두께), 커터날의 경도와 형상 및 배열, 부하량의 변화 등이다.

2.2 기계소음

세단시 발생하는 소음은 KS A ISO 11201에 의하여 측정한다. 측정시 음원과 수평으로 1m 떨어진 곳에서 측정한다. 소음원으로는 모터, 동력전달부(체인, 기어), 파쇄부의 커터날과 프레임간의 마찰음, 파쇄음 등이 있다.

2.3 커터날의 표면거칠기와 경도

커터날의 측면은 상대 측 상의 커터날의 측면과 만나서 종이를 절삭하게 되며, 끝단은 종이를 절단한다. 절삭부는 실질적인 절삭이 일어나는 부분으로 제품의 성능을 좌우한

다. 커터날의 표면거칠기와 경도는 제품의 내구성과 절삭칩의 품질을 결정하는 요소로서 연삭경도와 열처리(침탄과정)에 영향을 받는다.

표면거칠기는 커터날을 연삭방향의 직각방향으로 경도는 커터날의 레이디얼 방향으로 경도를 측정한다.

2.4 자동기능 및 모터성능

제품의 보호를 위하여 과부하시 역회전 기능과 각종 센서를 이용한 안정장치의 작동유무, 모터의 정격출력과 성능에 관한 평가를 한다.

2.5 데이터 처리방법

문서세단기의 각 성능평가항목의 데이터간의 편차가 크고 측정오차의 요인이 많기 때문에 각 성능평가결과는 식 1과 같이 구간추정(interval estimation)을 한다.

표본의 크기(n)가 30보다 작을 때는 정규분포(normal probability distribution) 대신 t-분포(Student's t-distribution)을 사용한다.

$$\bar{x} \pm t\left(n-1; \frac{\alpha}{2}\right) \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$\text{단, } s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

3. 내구성 평가에 관한 연구

3.1 실험장치

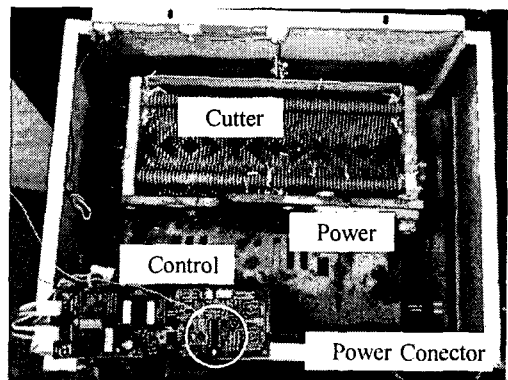


Fig. 1 Structure of shredder

Table 1. Test condition for shredder

workpiece Property	Tensile Strength	width (mm)	high (mm)	
	75g/m ²	210	297	
Cutter Property	SS45C	Yield Strength	Tensile Strength	C (%)
		205 (MPa)	410 (MPa)	0.30
Aixs Property	SS400	Yield Strength	Tensile Strength	Shear modulus
		235 (MPa)	400 (MPa)	79.3 (GPa)
Motor	Out-put	200W		
	rmp	1720		
	Gear ratio	30:1		
Method of Power transfer	Chain			
Torque	29.2964 (N-m)			
Aixs radius	11.5 (mm)			
Cutter radius	31.5, 29.5, 27.5, 25.5, 23.5 (mm)			
Width of Xi	17.5, 21.0, 26.3, 35.0, 52.5 (mm)			

문서세단기는 크게 동력부(power), 동력전달부(power connector), 절삭부(cutter) 및 제어부(control)구성되어 있으며 Fig. 1과 같다.

실험에 사용된 문서세단기는 국내제품이며 모터의 정격용량은 200W이다. 화상처리장치는 삼성社의 Model BW-360ED인 36만 화소 1/2" 흑백 CCD 카메라를 사용하여 절삭칩을 측정하였으며, 절삭부하에 따른 토크변화를 측정하기 위하여 문서세단기 제어회로에 IC칩(PIC16C71X)의 Analog 입력신호의 전압을 측정하였다.

전압신호는 National Instrument社의 Resolution 16bit, Sampling rate 200kS/s인 PIC 6014 DAQ보드를 사용하였다. Sampling time은 약 100S/s이고, Sampling Duration은 10sec이다. 실험에 사용된 세단기의 사양은 Table 1.과 같다.

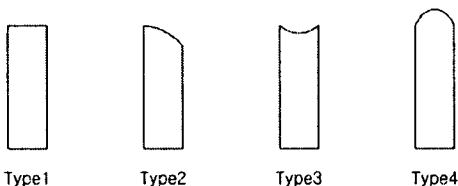


Fig 2. classification of cutting chip

3.2 화상처리를 이용한 세단칩의 길이측정

문서의 보안정도에 따라 Table 2과 같이 파쇄되는 Chip의 크기가 정하여지는데 커터날, 기어의 마모정도, 프레임 간의 진동 등에 의한 문서세단기의 성능저하에 의하여 Chip의 길이변화가 발생한다.

Table 2. Classification of chip size at standard(DIN 32757)

DIN1	Ordinary Document	about 11.8mm straight cut
DIN2	Company Document	about 5.8mm straight cut
DIN3	Secret Document	about 1.9mm straight cut
DIN4	Important secret Document	1.9mm×15mm cross cut
DIN5	Top secret Document	0.7mm×9.5mm cross cut

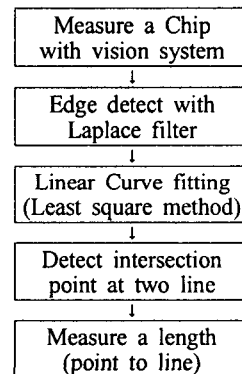


Fig 3. Flowchart to measure chip's distance

세단칩의 넓이는 커터날의 간격으로서 커터날 사이의 프레임의 간격에 의하여 결정되어 진다. 또한 높이는 커터날 끝단간의 간격으로 결정되어 지며 끝단의 형상 및 절삭각도 절삭부하량에 따라 Fig. 2와 같이 다양한 형태의 모양을 가진다. Type1은 정상적인 절삭이며, Type 2~4는 비정상적인 절삭으로서 전단력에 의한 절삭이 아닌 인장력에 의한 뜯김현상이다. 이와 같은 경우 길이의 편차값이 크고, 적절한 측정이 어렵다. 길이의 측정은 기하학적으로 Line to Line, Point to Point, Line to Point로 측정이 되는데 기하학적 오차값에 의하여 큰 영향을 받으므로 각 측정에 따라 적절한 선정이 필요하다. 보다 합리적인 측정을 위하여 화상처리 시스템을 이용하여 형상을 측정하고, Curve Fitting

을 통해 point to line의 길이로 칩의 크기를 측정하였다. 측정순서는 Fig. 3과 같다.

먼저 측정된 칩의 각 변의 직선의 선형회귀식은 식 3과 같다. 계수 a0, a1는 각각 식 4,5로 구한다.

$$y = a_0 + a_1x \quad (3)$$

$$a_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (4)$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (5)$$

여기서 \bar{x} , \bar{y} 는 각각 x, y의 평균이다. 두 직선의 교점은 두 직선상의 가장 근접한 두 점 사이의 거리의 중앙으로 교점의 벡터는 Fig. 11과 같이 두 직선의 벡터를 이용하여 식으로 구할 수 있다.

$$\vec{P}_1 + s\vec{n}_1 = \vec{P}_2 + t\vec{n}_2 \quad (6)$$

$$\vec{n}_1 \times (\vec{P}_1 + s\vec{n}_1) = \vec{n}_1 \times (\vec{P}_2 + t\vec{n}_2) \quad (7)$$

$$t = \frac{\vec{n}_1 \times (\vec{P}_1 - \vec{P}_2)}{\vec{n}_1 \times \vec{n}_2} \quad (8)$$

$$\text{부호}(t) = (\vec{n}_1 \times (\vec{P}_1 - \vec{P}_2) \cdot (\vec{n}_1 \times \vec{n}_2)) \quad (9)$$

$$s = \frac{\vec{n}_2 \times (\vec{P}_1 - \vec{P}_2)}{\vec{n}_1 \times \vec{n}_2} \quad (10)$$

$$\vec{X} = \frac{\vec{P}_1 + s\vec{n}_1 + \vec{P}_2 + t\vec{n}_2}{2} \quad (11)$$

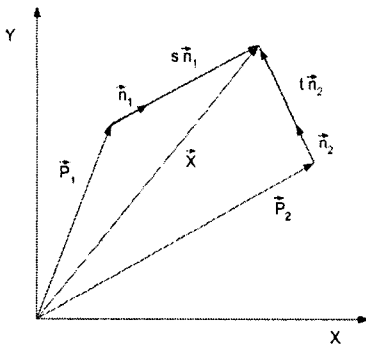


Fig 4. Diagram to detect intersection point at two line

fig와 같이 직선의 내분점은 매개변수 u를 통하여 구할 수 있으며 식 12와 같다.

$$\vec{H}(u) = (1-u)\vec{P}_1 + u\vec{P}_2 \quad (12)$$

구하고자 하는 Chip의 길이는 L1의 내분점에서 직선 L2까지의 수직거리로 식 13과 같다.

$$D = \frac{|(\vec{Q} - \vec{P}_3) \times (\vec{P}_4 - \vec{P}_3)|}{|\vec{P}_4 - \vec{P}_3|} \quad (13)$$

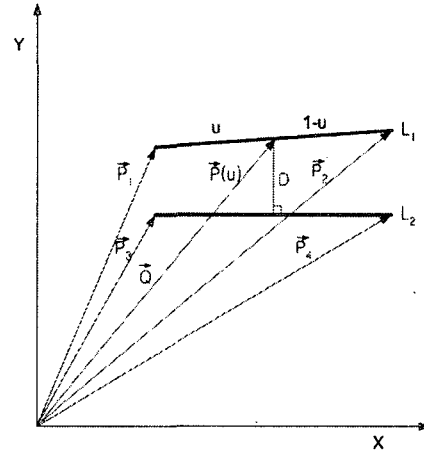


Fig 5. Diagram to measure distance at two line

이와 같은 과정을 통하여 10개의 Chip의 길이를 계산한 결과는 Fig. 6과 같고, 90% 신뢰수준으로 구간추정한 결과는 식 14, 15와 같다. 측정결과 넓이(width)에 높이(height)의 편차가 크다.

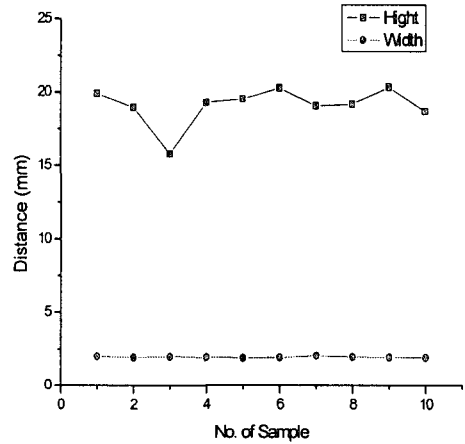


Fig 6. Chip size of shredder

$$\bar{x} \pm t(9:0.05) \frac{s}{\sqrt{n}} = 19.090 \pm 2.367(\text{mm}) \quad (14)$$

$$\bar{x} \pm t(9:0.05) \frac{s}{\sqrt{n}} = 1.932 \pm 0.082(\text{mm}) \quad (15)$$

3.3 절삭부하에 따른 토크변화 측정

최대 출력토크와 부하량 변화에 따른 정상상태에서의 토크변화를 구하여 다항회귀식으로 실험식을 구한 후, 일정시간 사용 후 토크를 측정하여 실험식과의 오차를 통하여 점진적인 상승저하 여부를 판단할 수 있다. Fig 7은 정상상태에서 절삭부하에 따른 토크변화와 다항회귀식을 나타내고 있으며, m차 다항식회귀는 식과 같다.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^{m+e} \quad (16)$$

적절한 다항식의 차수를 정하기 위하여 결정계수 (coefficient of determination)를 사용하는데 차수가 증가함에 따라 결정계수도 증가하나 결정계수가 현저히 감소하는 하는 m값이 있을 때 m-1의 값을 선택한다.

$$r^2 = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (17)$$

정상상태에서 문서세단기의 부하-토크의 실험식의 차수를 결정하기 위한 결정계수는 Table 3과 같고 실험식은 식 18과 같다.

Table 3. Coefficient of determination according oder

oder	1	2	3	4	5
R ²	0.92557	0.99259	0.99642	0.99783	0.99785

$$y = -0.036 + 0.109x - 0.071x^2 + 0.021x^3 - 0.001x^4 \quad (18)$$

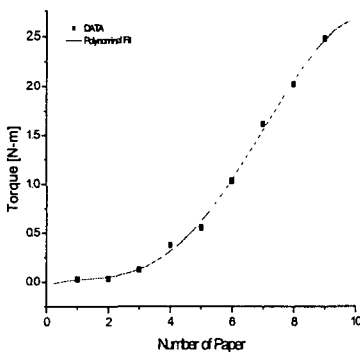


Fig 7. The graph of torque-load and curve fit's result

3.4 절삭메커니즘 분석과 커터날 배열에 관한 연구

절삭은 종이의 양면을 절단하는 side cut과 끝단을 절단하는 end cut으로 구분할 수 있으며 일정길이의 옆면을 절단한 후 끝단을 절단하고, 미절삭된 옆면을 절단한다. 같은 출력의 모터라도 커터날의 배열과 커터날의 형상(Fig. 8참조)에 따라 부하량이 틀리므로 커터날의 직경과 배열에 관한 해석을 하였다. 먼저 모터에 걸리는 토크는 식 19와 같으며 S_r는 모터의 효율상수로서 기어박스가 3축일 경우 S_r는 0.9³이다. 여기서 N은 출력축의 회전수이다.

$$P(\text{watt}) = 2\pi N(\text{rev/s}) T(N \cdot \text{m}) \times S_f \quad (19)$$

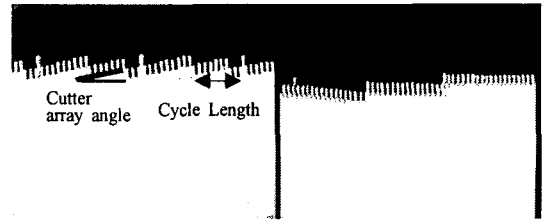


Fig 8. shape of cutted paper

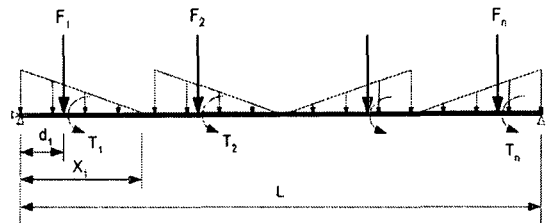


Fig 9. Diagram of shredder's cutting load

실제 커터날의 배열은 상당히 복잡한 구조로 되어 있기 때문에 다음과 같은 가정을 하였다.

- (1) 축에 걸리는 부하는 Fig. 8와 같은 형태이므로 분포가 중이며, 커터배열각도와 토크는 cycle length(x_i)에 의하여 결정되어지며 위치는 Fig. 9와 같다.
- (2) 축의 형상은 비틀림에 의해 단면변화가 없는 원형단면이며, 토크의 크기는 비틀림각과 비례한다.
- (3) 축 끝단은 변위와 회전을 구속하였다.

실제 문서세단기의 출력토크를 구한 후 x_i와 D0값을 변화시키며 식을 이용하여 비틀림각을 구한 결과는 Fig. 11과 같

다. 여기서 T_i 는 집중하중이 걸리는 곳에서의 토크이며, L_i 는 cycle length이며, J_i 는 극관성모멘트, G_i 는 전단계수이다.

$$\phi = \sum_i \frac{T_i L_i}{J_i G_i} \quad (20)$$

분석결과 cycle length가 짧고, Cutter의 직경이 클수록 비틀림각이 증가하며 보다 큰 토크를 낼 수 있음을 알 수 있다.

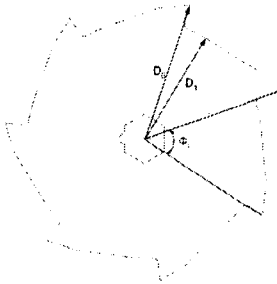


Fig 10. Shape of cutter

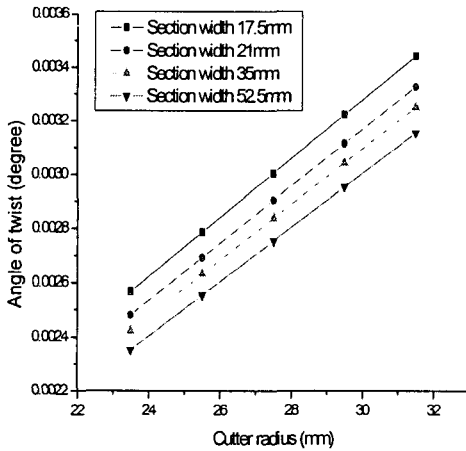


Fig 11. The graph of angle of twist

4. 결론

문서세단기의 주요성능평가 항목에 대하여 성능평가를 하였으며, 내구성평가를 보다 합리적으로 할 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 문서세단기의 성능평가를 하기위한 주요 성능평가항

목을 제시하였다.

- (2) 화상처리를 통하여 Chip의 크기를 측정하였으며, 기존의 개략적인 측정이 아닌 보다 합리적인 측정방법을 제시하였다.
- (3) 부하-토크의 실험식을 제시하였으며, 문서세단기의 내구성을 성능저하를 평가할 수 있었다.
- (4) 커터날의 배열은 커터날의 직경이 크고, cycle length가 짧을수록 보다 큰 토크를 출력할 수 있다.

후기

본 연구는 산업자원부 기술표준원에서 지원하는 정상연구과제의 연구결과임을 밝히며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Steven G., Chapra Raymond P., Canale, 1999, "Numerical Methods for Engineers", McGraw-Hill Korea, pp. 466~500.
- (2) Thomas G, Beckwith, Roy D., Marangoni, John H, 1996, "Mechanical measurements", Pearson Education Korea, pp. 49~124.
- (3) Jeong Ho Ahn, 2001, "Cad : Geometric Modeling", BukDo Inc., pp. 178~181.
- (4) Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, 1995, "Mechanics of materials", McGraw-Hill Book, pp. 127~149.