

액체 브릿지법에 의한 국산 도피지의 수리성 측정 연구

한삼화[†], 전수경, *윤종태

[†]부경대학교 대학원 인쇄공학과, *부경대학교 공과대학 화상정보공학부
(2005년 10월 14일 접수, 2005년 11월 16일 최종 수정본 접수)

A study on the water receptivity of Korea coated paper
by the fluid bridge method

*Sam-Hwa Han[†], Su-kyoung Jeon, *Jong-Tae Youn*

[†]Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate School, Pukyong National University.

*Division of Image & Information, College of Engineering, Pukyong National University

(Received 14 October 2005, in final from 16 November 2005)

Abstract

The printing could not expect the print effect of the specific character of a printing material. Specially, a property of the paper that we are aware of the substrate has controled printability as well as runability.

The objective of this study was to measure substrate properties by measuring the water receptivity in order to know the degree of the uniformity on surface of paper. Therefore, the water receptivity was measured by fluid bridge method. And then the physical properties of samples such as ink set-off, porosity and print mottle of domestic coated papers were measured by Tappi method.

Accordingly, this study obtained the outcome of water receptivity. And then we could know that the relations between water receptivity and physical properties of the paper samples have correlations.

There are many measurement equipments to find out print mottle by the measurement of the reflected density at this point in time. However, it is thought that the fluid bridge method is the most proper way to find out print mottle, though there are many other ways to figure out.

1. 서 론

인터넷의 급진적인 대중화로 인해 매체간의 고유 경계선이 무너지고, 서로 다른 매체간의 서비스와 콘텐츠가 통합되는 현재이지만, 감히 침범할 수 없는 인쇄 고유의 영역은 여전히 막강한 영향력을 가진다. 인쇄 기술은 끊임없이 발달해왔고, 수요의 증가로 피인쇄체와 인쇄 방법이 광범위해졌으나, 크고 작은 인쇄 사고는 끊임없이 발생하고 있는 실정이다. 발생한 문제들의 해결책에 관한 연구 또한 계속해서 진행되어 오고 있으나 근본적으로 이런 문제들을 해결하기 위해서는 인쇄 공정에서 이용되는 여러 가지 인쇄 재료들의 물리적인 특성들을 측정해야 한다.¹⁾ 인쇄는 인쇄 재료 중 어느 한가지의 특성으로 인쇄 결과를 예측할 수 없고 인쇄 재료들의 특성들이 서로 유기적으로 인쇄물에 영향을 주기 때문이다.²⁾

종이의 물성은 인쇄 적성(printability)뿐만 아니라 인쇄의 작업 적성(runability)을 좌우하게 된다. 그리고 일반적으로 인쇄물의 품질은 종이의 물리적인 성질 중에서 한 가지 또는 몇 가지가 복합적으로 영향을 주는 경우가 많기 때문에 종이의 선택이 중요하다.³⁾ 현재는 인쇄 적성 향상을 위해 종이의 거친 표면을 평활화 시키는데, 이를 위해 코팅을 한 도피지가 주로 사용된다.^{4,5)}

종이의 기본 바탕은 섬유의 결합이다.^{6)~8)} 지금까지 많은 연구자들이 종이의 다양한 물리적인 특성과 섬유의 관계를 이해하기 위해서 노력해 왔다.⁹⁾ 종이를 구성하고 있는 셀룰로오스는 화학적으로 다량의 수산기를 가지고 있다. 이 수산기는 물과 아주 잘 결합하기 때문에 종이는 기본적으로 상당한 친수성을 가지고 있으며, 형태상 속이 빈 파이프 처럼 생겼다.¹⁰⁾ 또한, 종이는 제지 공정에서 물을 사용해서 만든 것이기 때문에 물에 대한 저항성이 약하며, 이로 인해 인쇄 적성을 맞추기 위해서는 어느 정도 물의 저항성(water resistance)을 가져야 한다. 이러한 종이의 액체에 대한 침투저항성 정도를 사이즈도(sizing degree)라 하며, 액체가 종으로 침투하는 현상은 시편 및 액체의 온도, 액체의 조성 등 다양한 요인에 의해 변화된다.

사이즈도 측정법은 크게 침투시간 측정법, 흡수량 측정법, 표면 측정법의 세 가지로 나눌 수 있다. 침투시간 측정법이란 종으로 액체가 일정한 정도까지 침투할 때 필요한 시간을 측정함으로써 사이즈도를 평가하는 방법이며, 흡수량 측정법은 일정한 시간동안 한 액체가 종으로 침투한 양을 측정함으로써 사이즈도를 평가하는 방법이다. 그리고 표면 측정법은 단지 종이 표면의 내수성만을 평가하는 방법으로 필기용지나 도공(coating)지와 같이 액체가 종으로 완전히 침투하지 않는 경우에 적합한 측정법이다. 이런 사이즈도 측정법은 분석하고자 하는 지종에 가장 알맞은 방법을 선택하는 것이 매우 중요하다.¹¹⁾

본 연구에서는 다양한 시료의 시간의 흐름에 따라 물이 흡수되면서 변화하는 무게를 전자저울로 측정함으로써, 수리성(water receptivity)을 분석하였다. 이 측정법은 최근에 개발된 방법으로서¹²⁾ 주로 미국 및 유럽산 용지의 부분적인 수리성 측정에 이용되었다. 그러나 외국 용지는 우리의 것과 그 제조 공정과 물리적인 성질이 달라서, 국산 용지의 수리성 측정이 요구된다. 이 측정법을 이용하여 국내에서 시판되고 있는 국산 도피지의 수리성을 측정하였고, 측정된 값으로 시료에 발생하는 잉크 뒷묻음(ink set-off), 기공도(porosity) 그리고 인쇄 모틀(print mottle)과 비교하여 그 상관관계를 분석하였다.¹³⁾

2. 실험

2-1. 실험 재료

수리성 실험에 사용된 액체는 증류수를 이용하였고, 실험용 주사기와 직경 6.5mm인 유리로 된 실험용 탐침봉(glass probe)을 이용하였다. 시료는 현재 국내에서 생산되는 7개사의 2003년 10월에 생산된 인쇄용 도피지를 사용하였으며, 크기는 50×50mm이었다. 측정 시 1개의 시료당 4~6회 측정하였고, 다양한 측정 위치를 Fig. 1에 나타내었으며, 각 시료들의 제조회사에서 제공된 기본적인 물성은 Table 1과 같다.

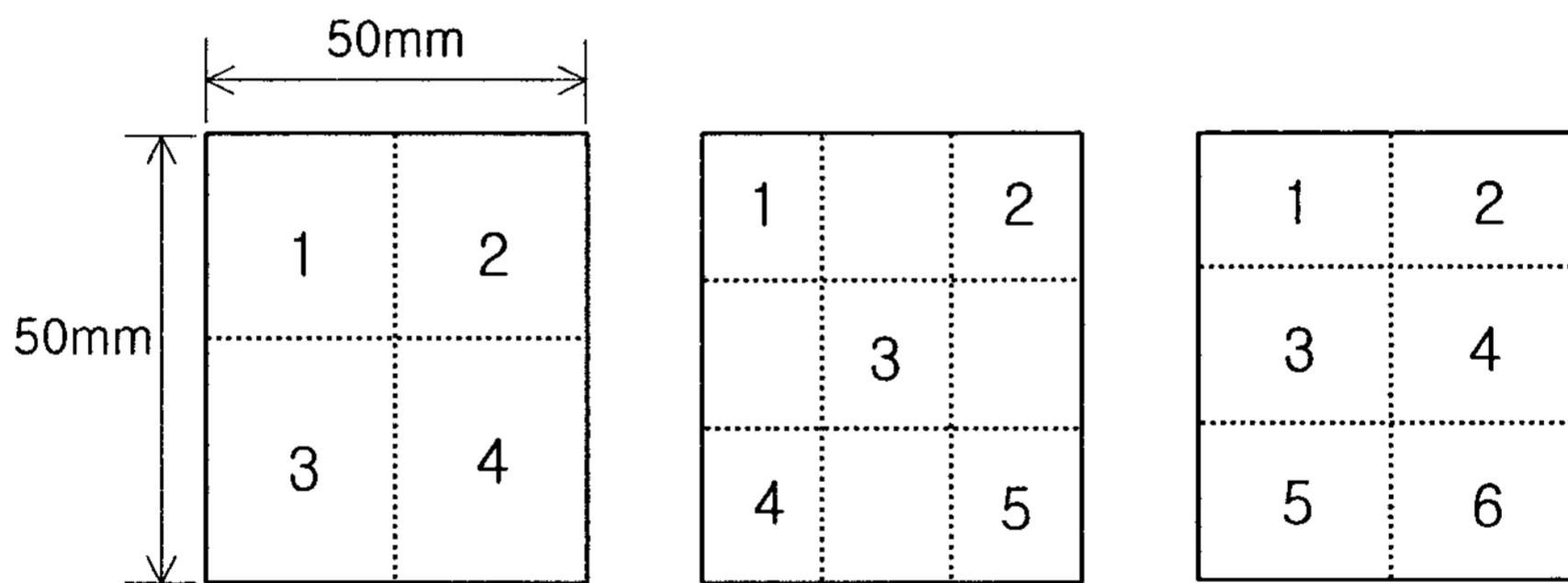


Fig. 1. The various location of measurement on samples.

2-2. 실험 장치

실험 장치는 Fig. 2과 같이 측정부, 탐침부 및 데이터 처리부로 만들었다. 우선 사토리우스(sartorius)사의 전자저울($d=0.1\text{mg}$, $\text{Max}=210\text{g}$)에 컴퓨터 데이터 전송 라인을 연결하고, 종방향으로 이동 가능한 바닥에 고정된 기둥에 유리로 만들어진 탐침을 부착시켰다.

2-3. 수리성 실험 방법

액체의 점도와 종이의 흡수성은 온도나 습도에 따라 민감하게 변화하기 때문에 측정 시 온도는 $20\pm 2^\circ\text{C}$, 습도는 $65\pm 2\%$ 로 유지시켰다.

실험 방법은 주사기를 이용하여 증류수를 유리 탐침봉의 끝에 약 0.015g 부착시키고, 증류수가 부착된 탐침봉을 전자저울(electronic balance)의 측정부에 부착된 일정한 크기의 시료에 부착하였다. 이 때 액체 브릿지가 만들어 지게 되고, 물이 종이에 흡수됨에 따라 브릿지의 직경이 감소하게 된다. 결국 브릿지가 끊어지게 되고 이러한 과정 동안 액체에 걸리는 힘을 전자저울을 이용하여 측정하였고, 측정된 값은 전자저울에 연결된 컴퓨터의 프로그램에 기록되었다. 기록된 값은 시간의 변화에 따른 액체 브릿지 힘의 값으로 컴퓨터 프로그램을 이용하여 분석하였다.

실험 방법을 순서대로 Fig. 3에 나타내었다.

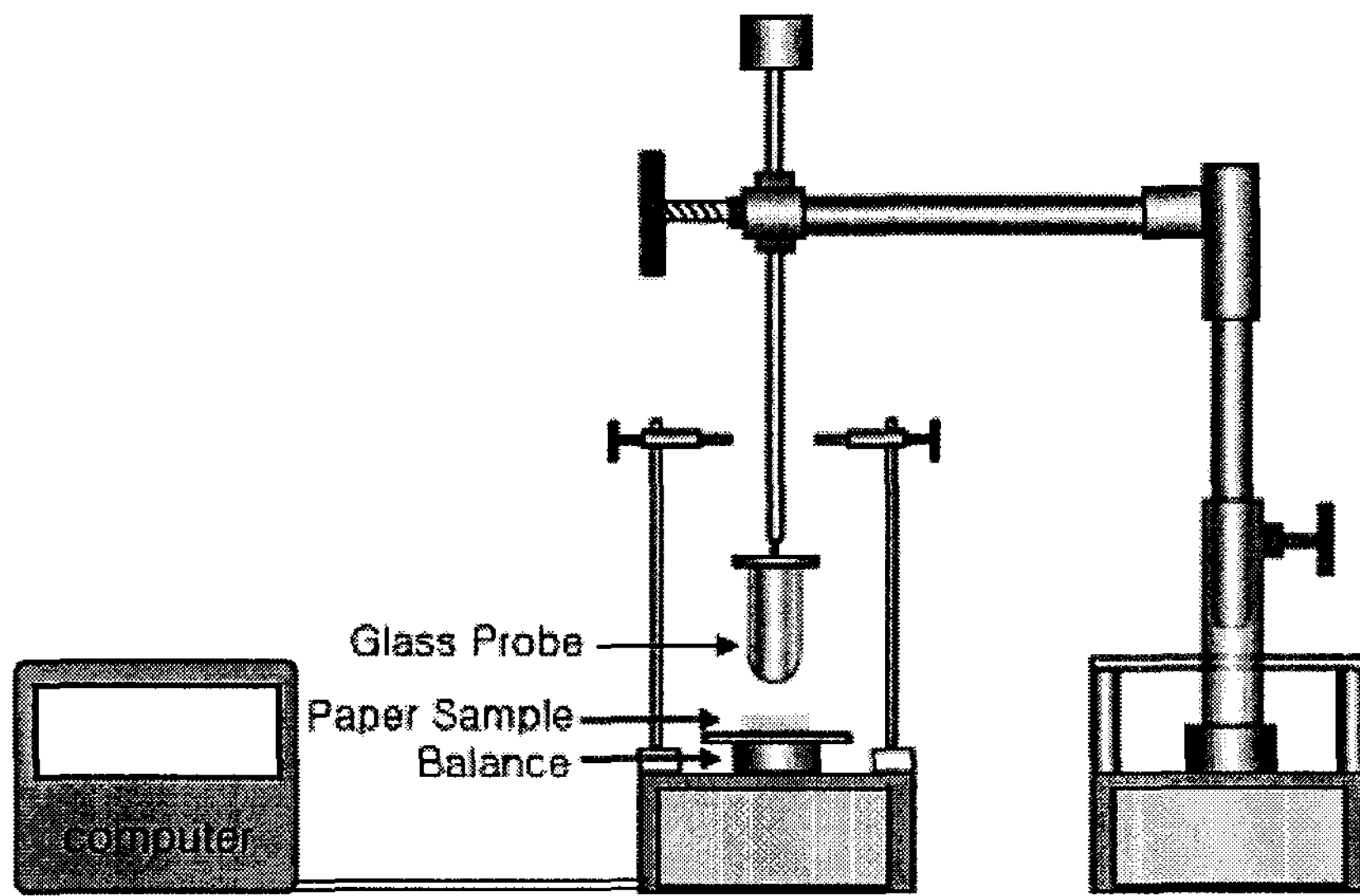


Fig. 2. Apparatus for measurement of water receptivity.

Table 1. Physical Properties of the Paper Samples

Properties	Unit	Paper Samples			
		A	B	I	J
CP grammage	g/m ²	147.07	200.21	147.90	98.95
Thickness	μm	123.6	173.2	119.6	83.0
Bulk	cm ³ /g	0.84	0.87	0.81	0.84
Density	g/cm ³	1.19	1.16	1.24	1.19
Moisture	%	4.15	5.44	4.80	4.00
Color shade	L/D	92.49	92.22	92.93	93.32
	R/G	1.51	2.04	1.8	2.19
	Y/B	-2.8	-3.57	-2.75	-2.62
	Whiteness(CIE)	94.85	97.86	95.61	97.83
	Brightness(ISO)	85.24	85.65	86.07	86.81
Properties	Unit	Paper Samples			
		K	L	M	N
CP Grammage	g/m ²	150.02	101.71	99.73	99.71
Thickness	μm	125.4	81.6	81	79
Bulk	cm ³ /g	0.83	0.80	0.81	0.79
Density	g/cm ³	1.19	1.24	1.23	1.26
Moisture	%	4.43	3.94	3.73	4.26
Color shade	L/D	92.29	92.46	92.16	92.48
	R/G	1.53	1.51	1.63	1.89
	Y/B	-1.74	-2.89	-2.83	-2.83
	Whiteness(CIE)	89.51	95.26	95.6	94.97
	Brightness(ISO)	83.44	85.34	85.26	85.15
Properties	Unit	Paper Samples			
		O	P	Q	R
CP Grammage	g/m ²	117.5	149.66	298.76	249.71
Thickness	μm	92.2	125.2	287.8	231.6
Bulk	cm ³ /g	0.78	0.83	0.96	0.92
Density	g/cm ³	1.27	1.19	1.03	1.07
Moisture	%	4.63	3.60	4.24	3.83
Color Shade	L/D	93.92	92.8	93.53	93.33
	R/G	1.01	1.6	2.26	2.32
	Y/B	-1.01	-2.74	-1.76	-2.35
	Whiteness(CIE)	89.74	95.25	92.11	94.56
	Brightness(ISO)	86.06	85.87	86.99	87.34

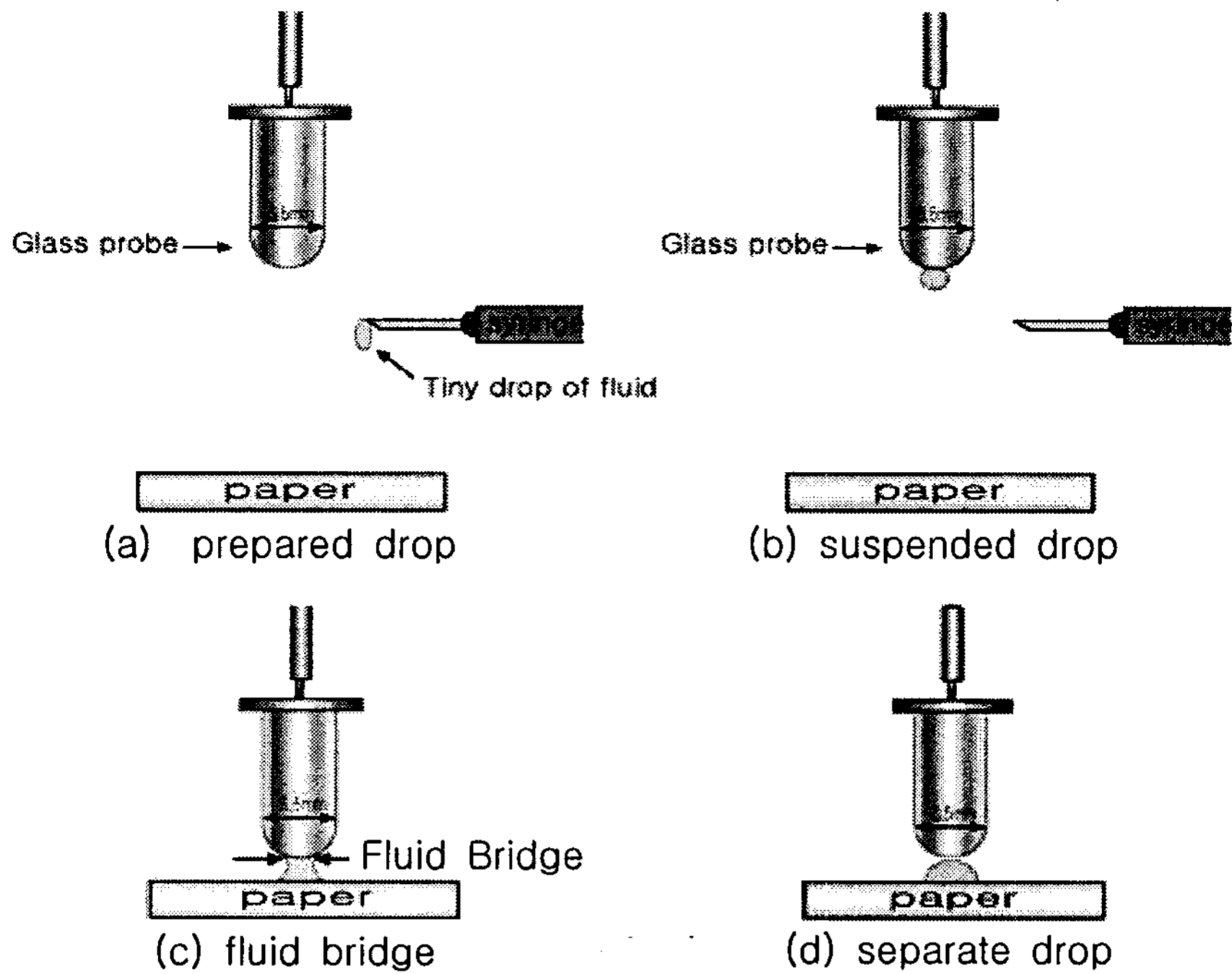


Fig. 3. The illustrated water receptivity measurement procedure.

2-4. 잉크 뒷묻음 실험 방법

종이의 잉크 뒷묻음은 오프셋용 인쇄 적성기를 사용하였다. 인쇄 적성기를 이용하여 인쇄를 한 후에 곧바로 인쇄 롤러의 잉크를 깨끗이 닦아내었다. 그 후 처음 인쇄한 종이가 건조되기 전에 시료판 위에 올려놓고, 그 위에 새로운 종이를 올려 동일한 인쇄 압력과 속도 하에 인쇄한다. 올려진 종이에 묻은 잉크 뒷묻음을 농도계로 측정하였고, 실험시 뒷묻음은 건조와 연관되기 때문에 모든 시간을 일정하게 하였다.

Fig. 4은 오프셋용 인쇄 적성기를 사용하여 잉크 뒷묻음 실험을 하는 사진이고, Fig. 10은 인쇄 시 시간의 변수를 주었을 경우에 얻어진 비교 샘플이다. Fig. 5의 그림에 있는 숫자는 시간을 나타내고 10이 가장 긴 시간, 즉 시간의 간격이 크다. 시간이 크다는 것은 속도가 느리다는 것이고, 잉크의 전이율은 속도에 반비례하기 때문에 숫자가 커질수록 농도가 진하게 나타났다. 그림 (b)에 있는 숫자 또한 시간을 나타내는데, 숫자가 작다는 것은 인쇄한 후에 바로 뒷묻음을 한 것이고, 숫자가 클수록 뒷묻음을 하기 까지 시간을 더 둔 것이다.

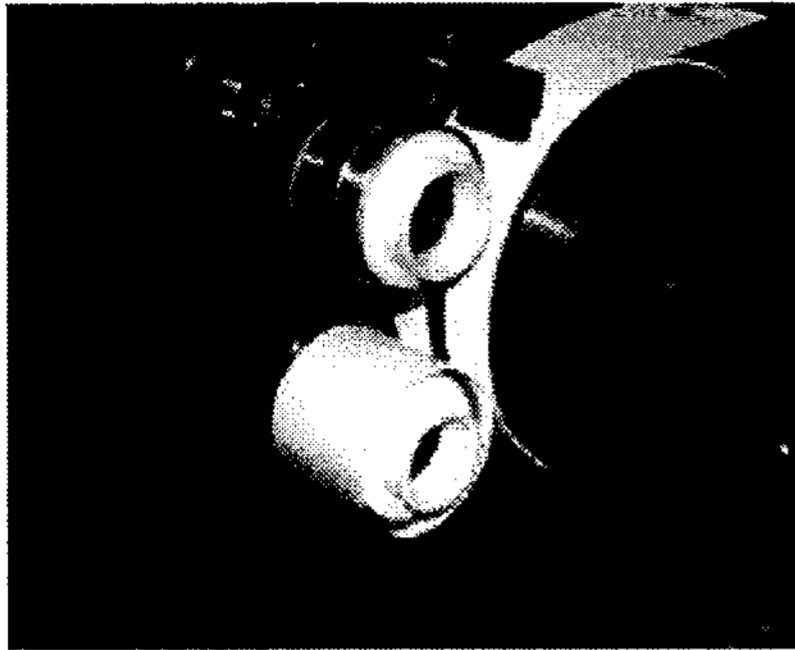
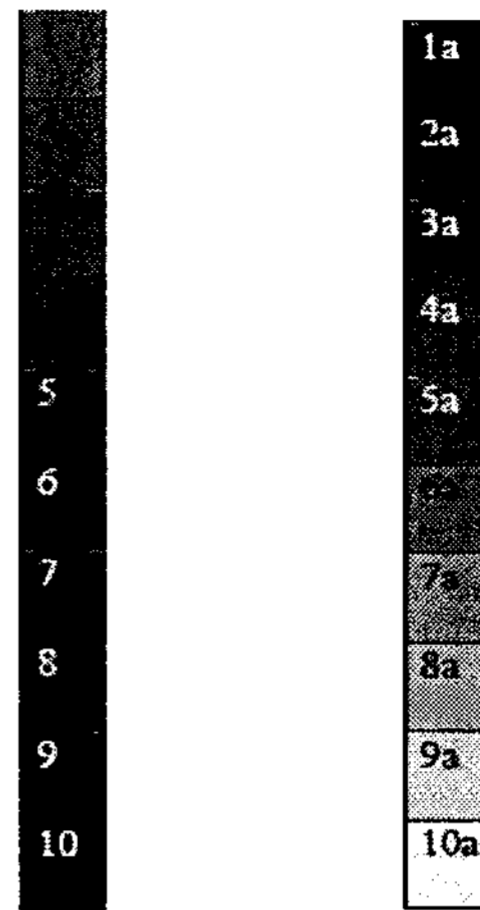


Fig. 4. Setting off on IGT printability tester.



(a) printed paper (b) set-off paper

Fig. 5. Printed and set-off paper.

2-5. 기공도 실험 방법

기공도는 걸리 투기도 시험기(gurley permeability tester)를 사용하여 측정하였다. 먼저 시료를 원형 개스킷과 고리 모양의 평평한 표면 사이에 고정 시켰다. 이 때 시료의 측정 부분 한 면에서의 절대 공기 압력을 대기 압력과 같게 하였고, 시료 두 면 사이의 압력 차이는 작은 상태로 시험 중에 일정하게 유지시켰다. 그런 다음에 일정 시간 동안 시험 부위를 통과하는 공기의 유량을 측정하였다. Fig. 6은 기공도 측정에 사용된 걸리 투기도 시험기를 나타내었다.

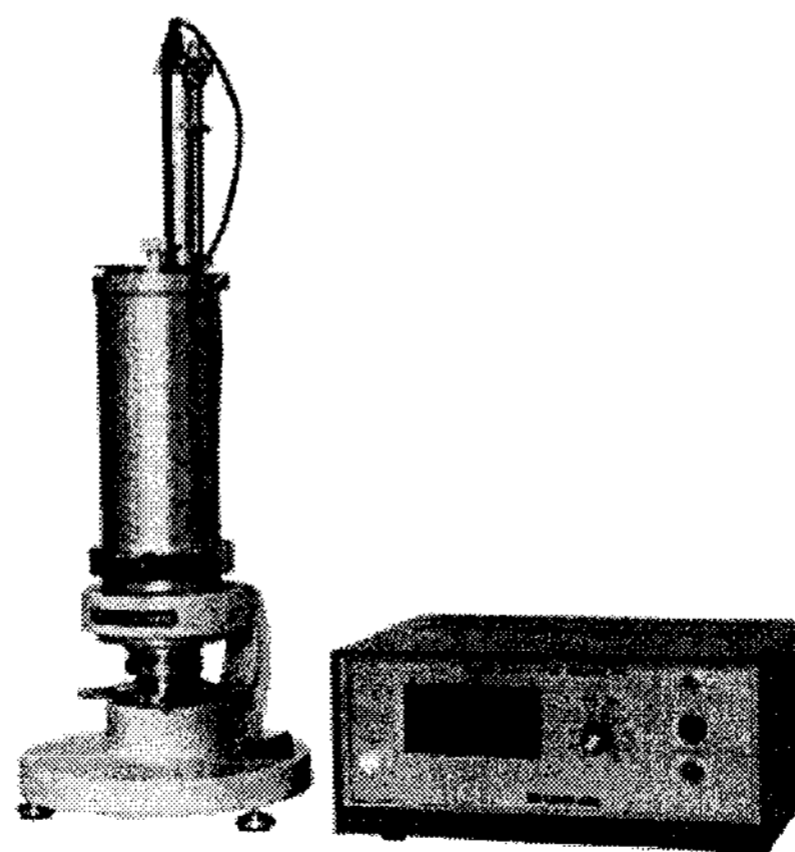


Fig. 6. Gurley permeability tester.

3. 결과 및 고찰

3-1. 종이의 부분적인 수리성

액체 브릿지법에 의해 각 시료들의 수리성을 측정된 결과 시간이 경과함에 따라 브릿지를 통해 천칭에 걸리는 힘은 반비례적으로 감소한다. 어느 정도의 시간이 지나면 액체 브릿지가 끊어지고 그 기울기를 측정하면 도피지의 수리성을 예측할 수 있었다. 특히 그 그래프가 측정 위치별로 구분할 수 있고, 반복성이 있기 때문에 이 방법은 지역적인 수리성 측정 방법으로 적당하다고 사료된다.

Fig. 7과 Fig. 8의 그래프는 시료 A와 시료 B의 시간의 흐름에 따른 수리성을 측정한 결과이다. 곡선이 완만할수록 즉, 기울기 값이 클수록 물의 흡수가 느리고 수리성이 낮음을 의미한다. 그림에서 보는 바와 같이 두 시료의 수리성 값은 확연한 차이를 볼 수 있었다. Fig. 7의 시료 A의 수리성 값은 여러 차례 실험 결과가 비슷한 값을 보이는 반면에, Fig. 8의 시료 B의 수리성 값은 많은 차이가 나타남을 확인할 수 있었다.

Fig. 7과 Fig. 8의 결과로 동일한 시료일지라도 위치에 따라 차이가 나타남을 알 수 있었다. 이는 액체 브릿지법으로 시료의 부분적인 위치의 수리성 측정이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 9부터 Fig. 14까지는 H사의 시료들의 수리성 측정 결과를 나타낸 것이고, Table 2는 시료들의 제조회사에서 제공된 기본적인 물성을 나타낸 것이다. 동일한 회사의 종이일지라도 측정 위치에 따라 수리성 결과가 차이가 많이 남을 알 수 있었고, 이는 코팅층의 불균일 정도를 나타내는 것이다.

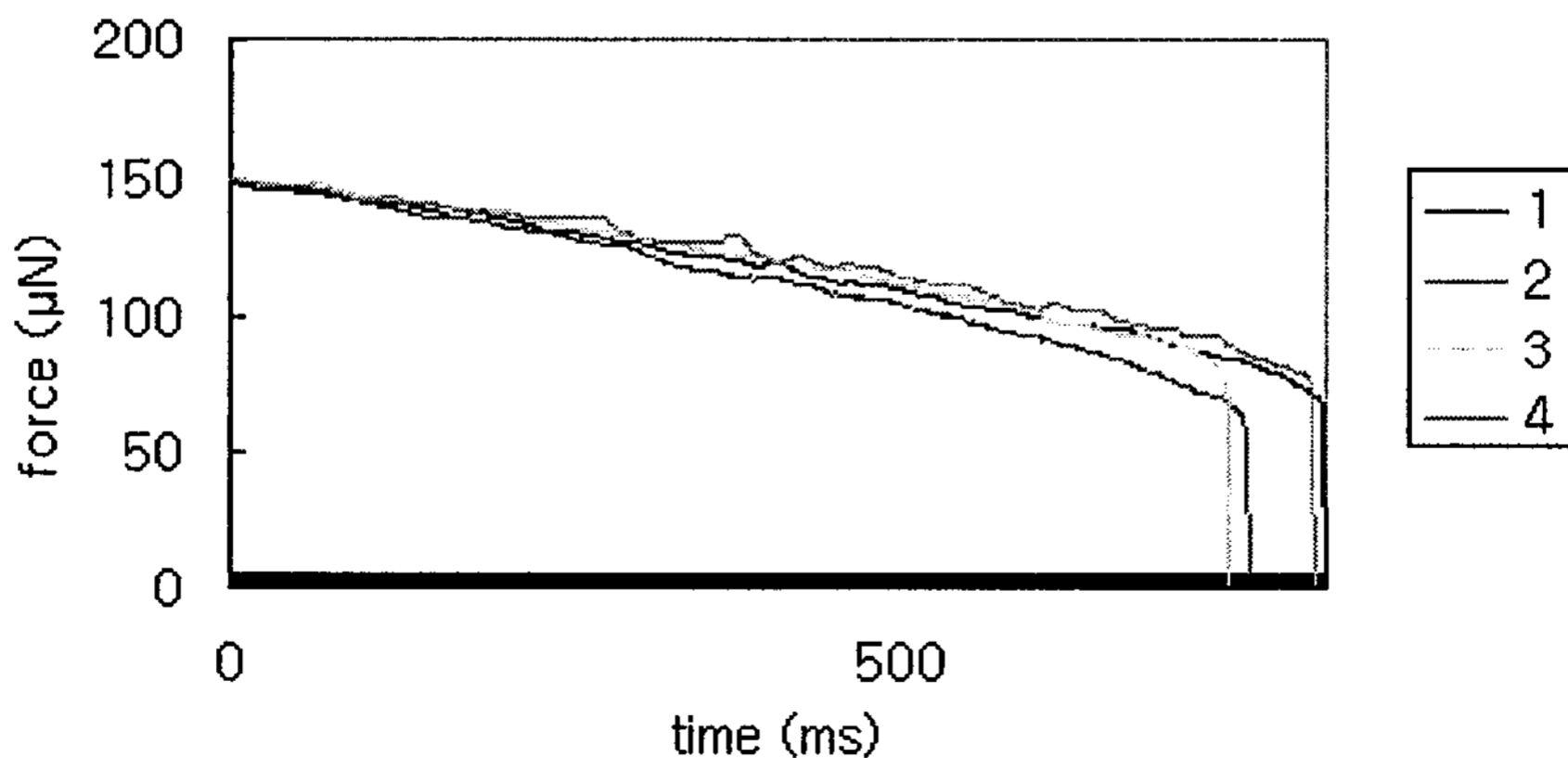


Fig. 7. Current change of water receptivity as sample A.

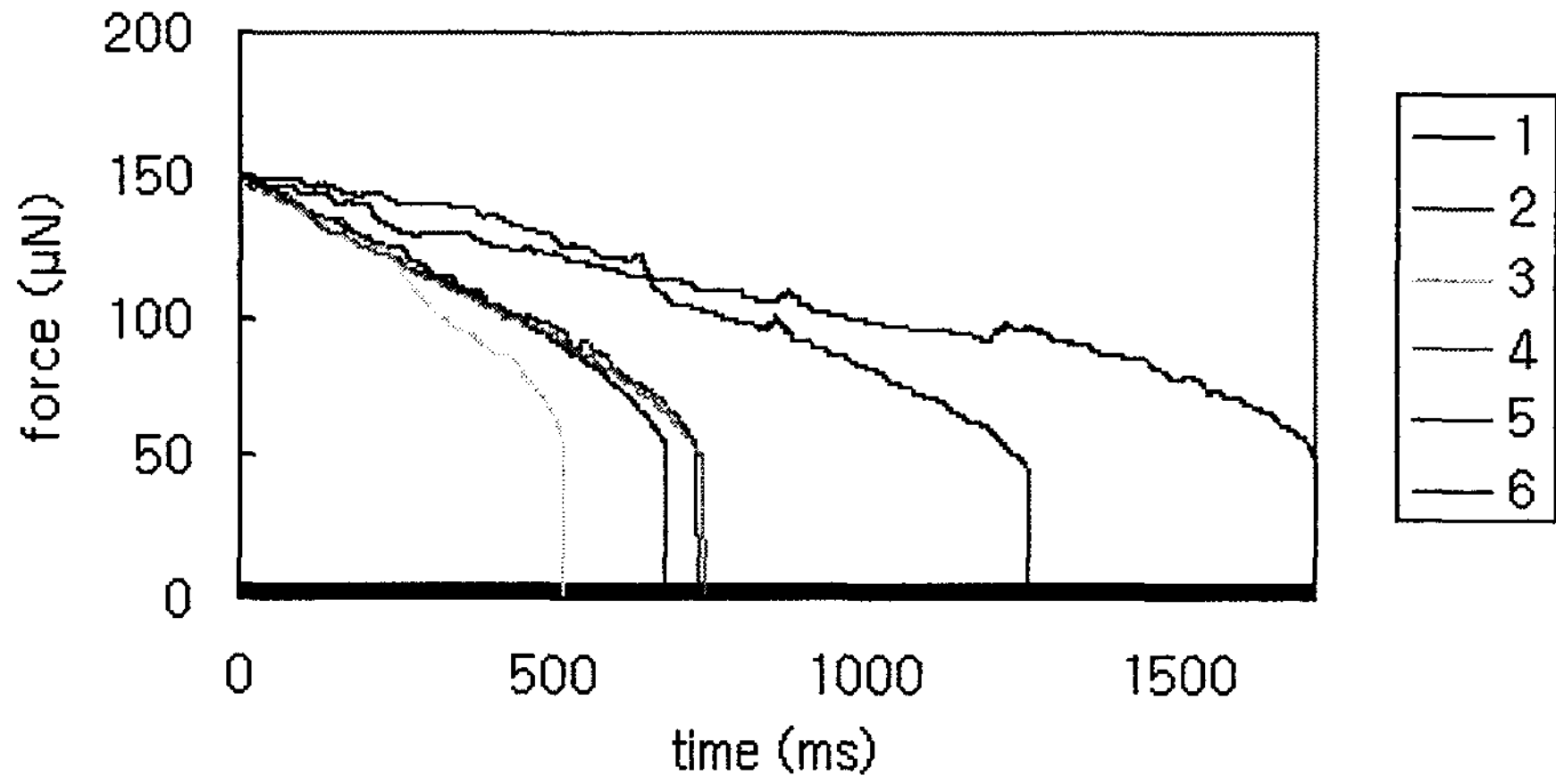


Fig. 8. Current change of water receptivity as sample B.

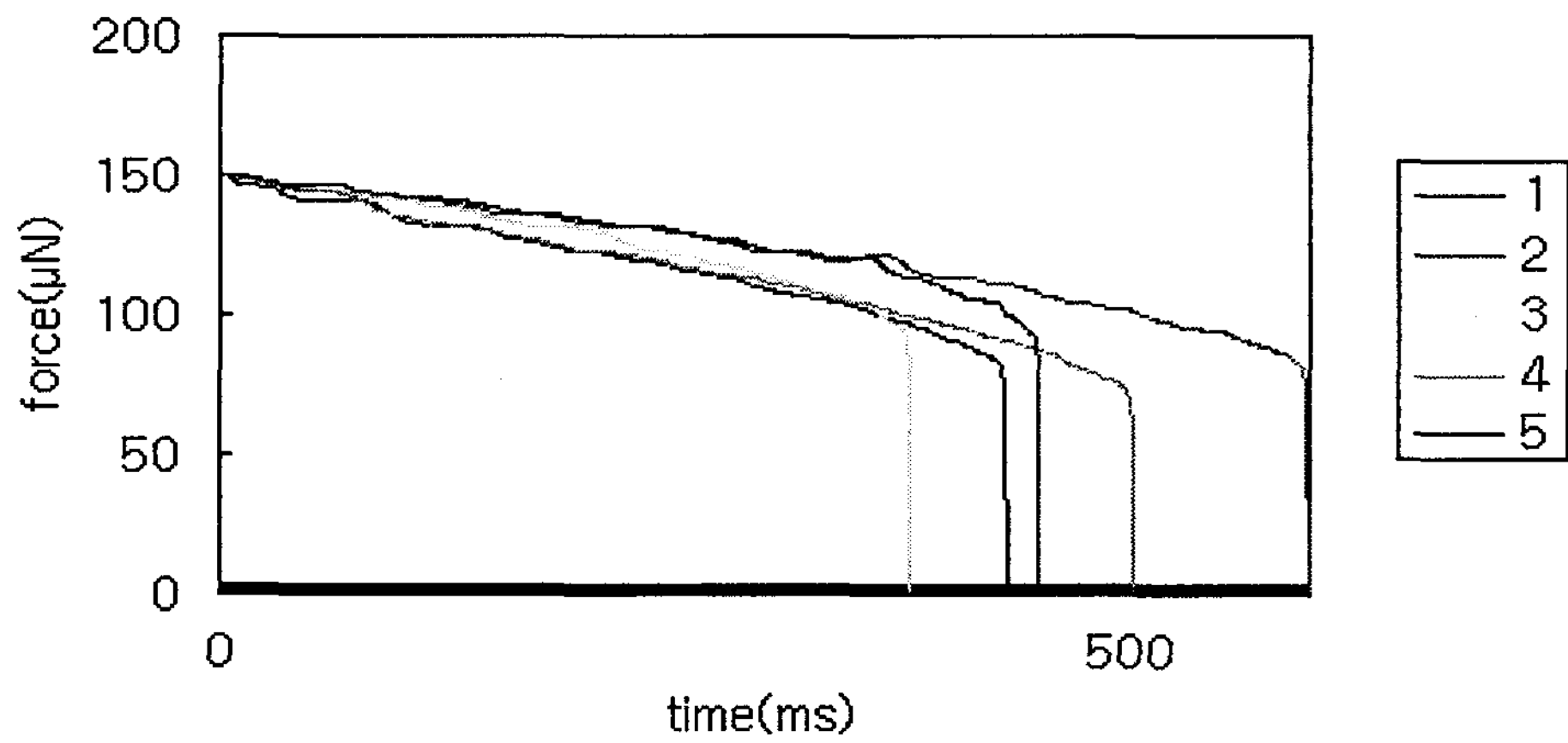


Fig. 9. Current change of water receptivity as sample C.

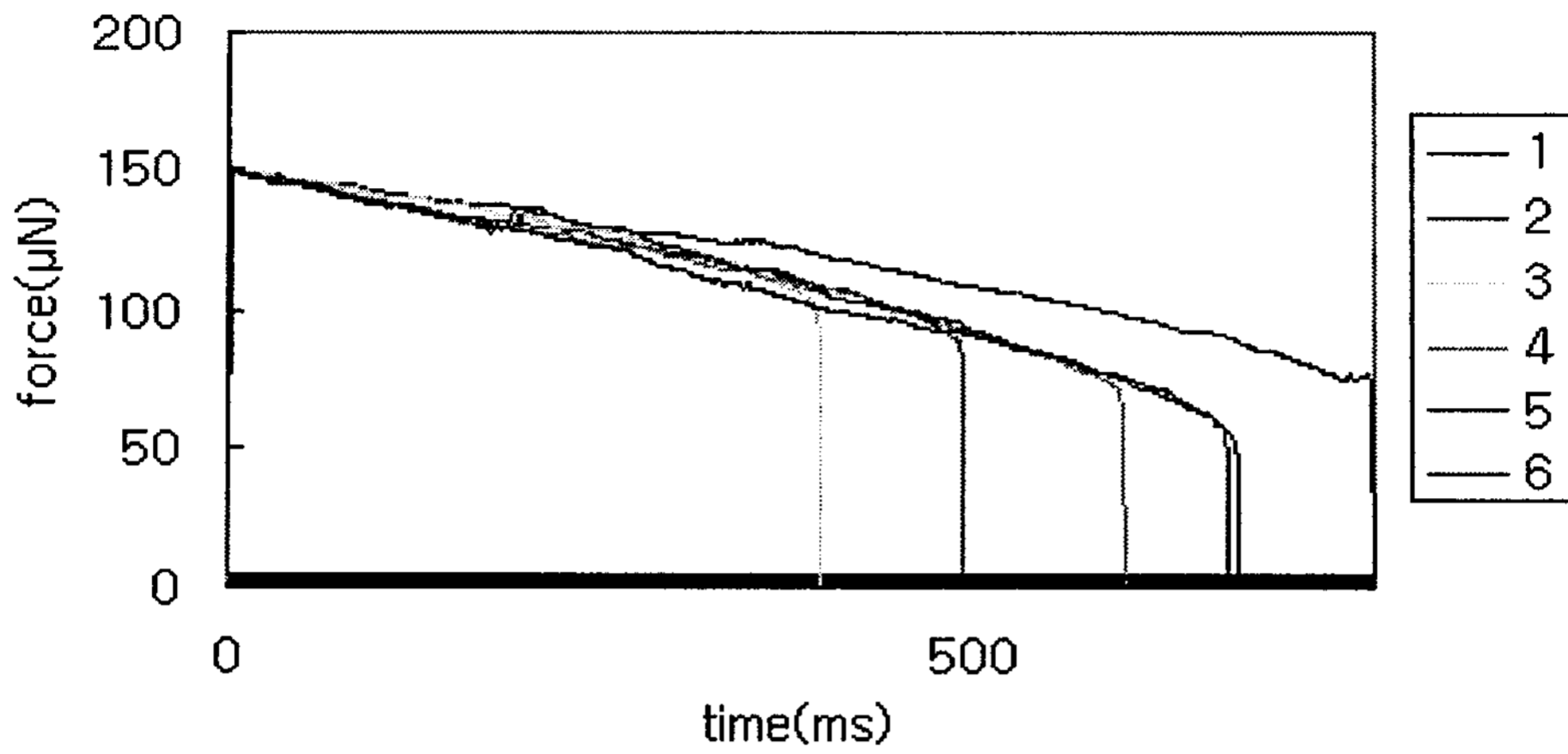


Fig. 10. Current change of water receptivity as sample D.

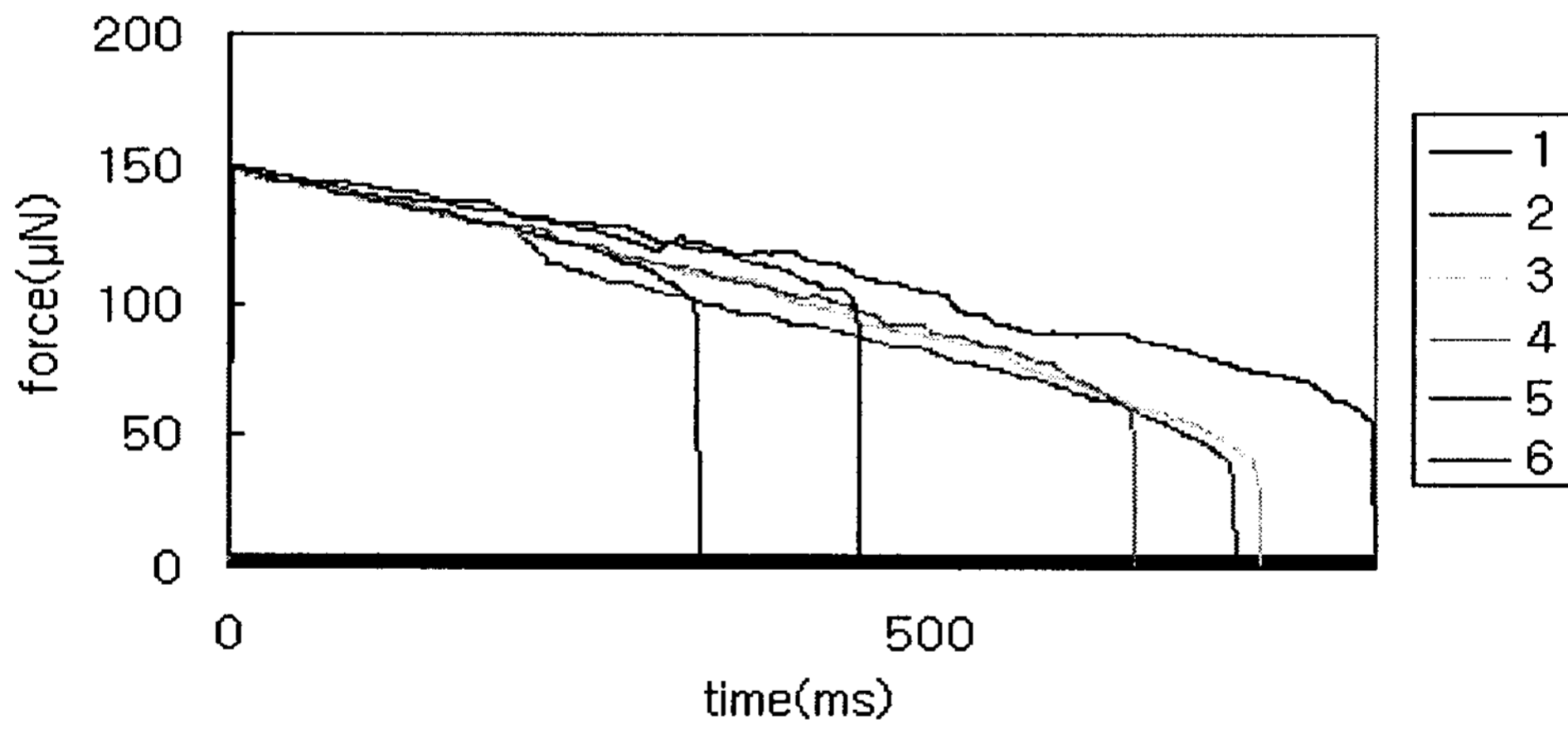


Fig. 11. Current change of water receptivity as sample E.

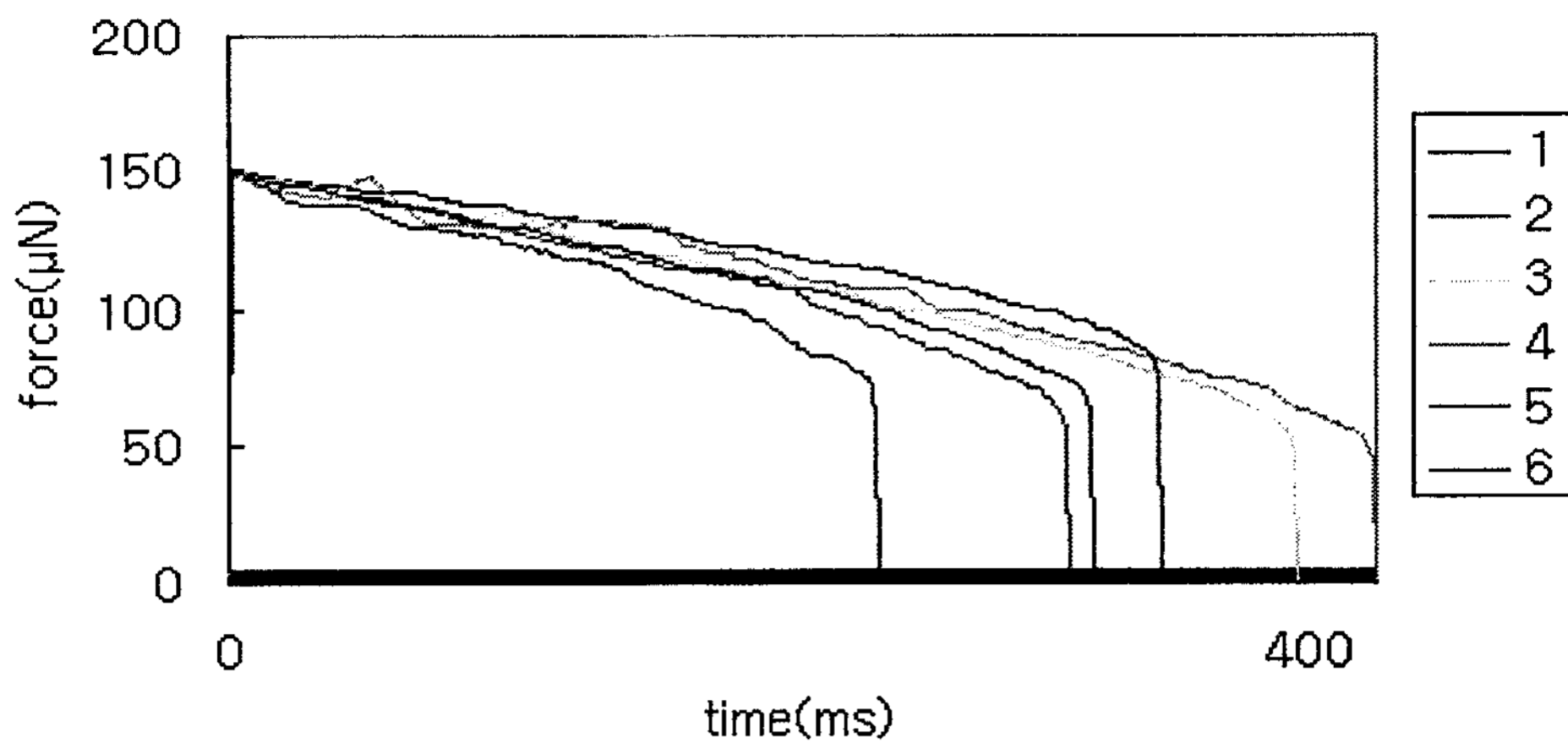


Fig. 12. Current change of water receptivity as sample F.

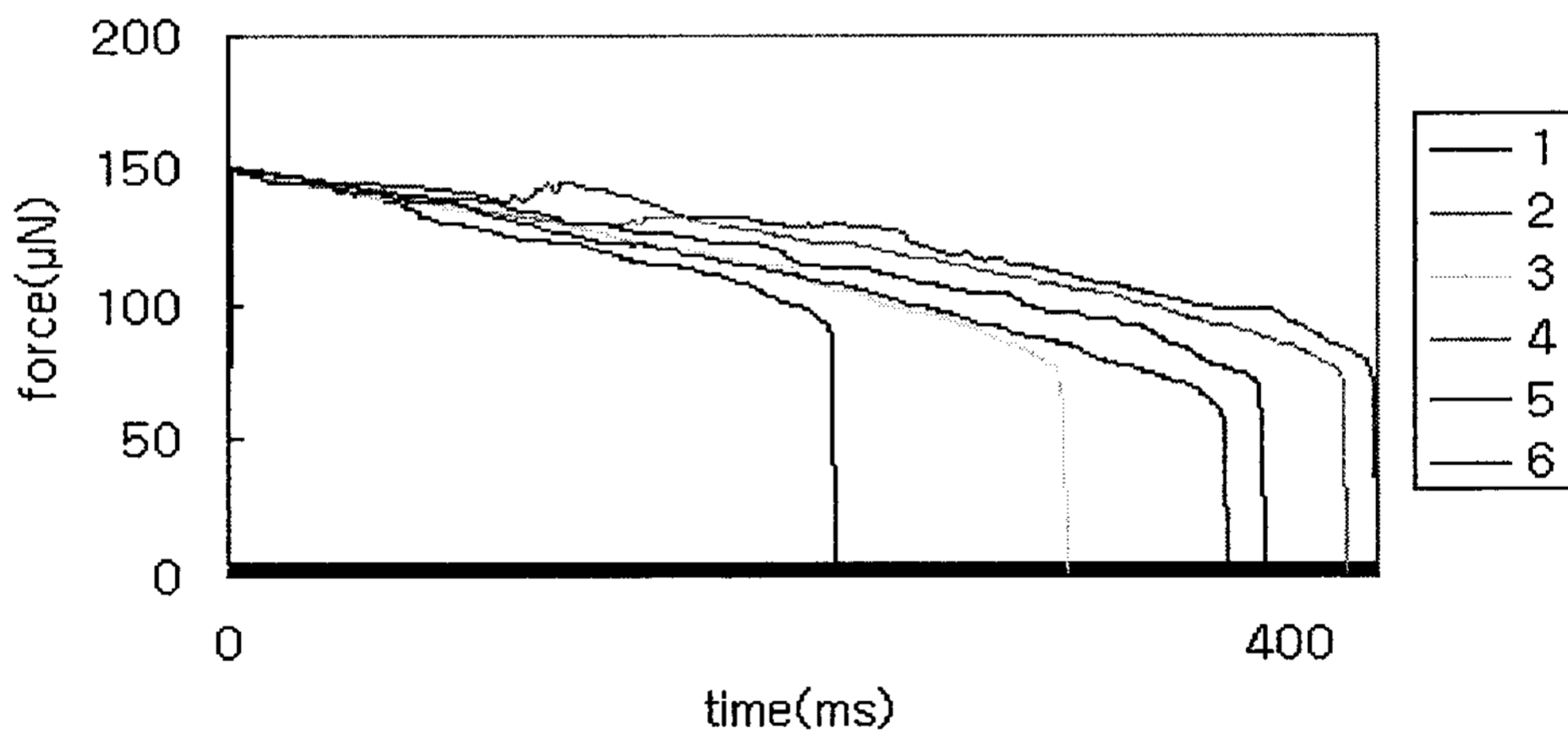


Fig. 13. Current change of water receptivity as sample G.

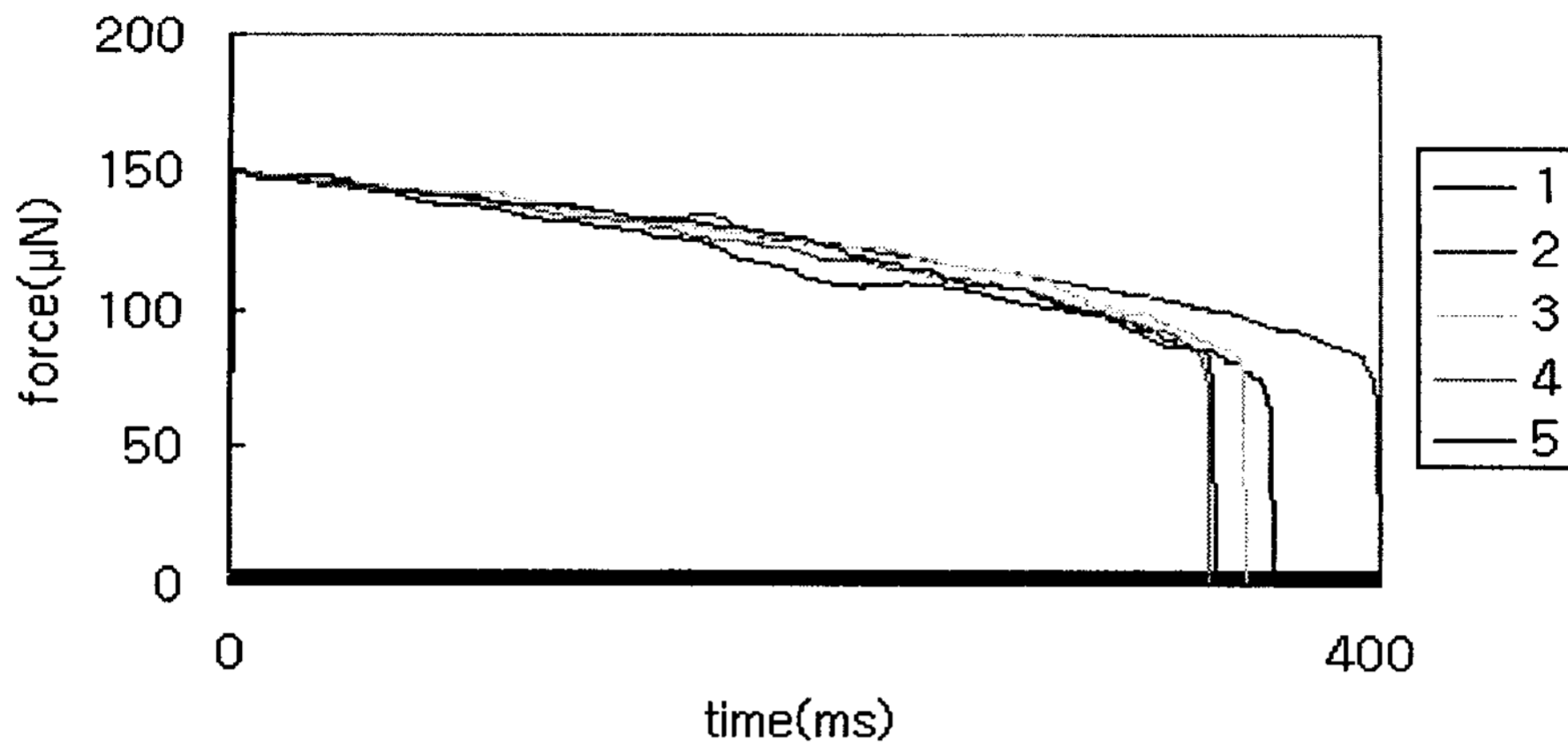


Fig. 14. Current change of water receptivity as sample H.

Table 2. Physical Properties of the Paper Samples

Properties	Unit	Paper Samples		
		C	D	E
CP Grammage	g/m ²	99.71	120.38	149.26
Thickness	μm	79.0	94.2	118.8
Bulk	cm ³ /g	0.79	0.78	0.80
Density	g/cm ³	1.26	1.28	1.26
Moisture	%	4.26	3.86	4.15
Color shade	L/D	92.48	92.29	92.16
	R/G	1.89	2.3	2.39
	Y/B	-2.83	-3.67	-3.77
	Whiteness(CIE)	94.97	98.49	98.69
	Brightness(ISO)	85.15	85.93	85.72
Properties	Unit	Paper Samples		
		F	G	H
CP Grammage	g/m ²	205.24	249.71	298.76
Thickness	μm	186.2	231.6	287.8
Bulk	cm ³ /g	0.91	0.93	0.96
Density	g/cm ³	1.10	1.08	1.04
Moisture	%	4.58	3.84	4.25
Color shade	L/D	92.95	93.33	93.53
	R/G	2.29	2.32	2.26
	Y/B	-3.52	-2.35	-1.76
	Whiteness(CIE)	99.15	94.56	92.11
	Brightness(ISO)	87.24	87.34	86.99

앞서 말한 바와 같이 액체 브릿지법에 의한 수리성 측정 결과는 시간의 흐름에 따라 브릿지에 의해 천칭에 걸리는 힘은 반비례적으로 감소한다. 또한 감소하는 그래프의 기울기 값이 클수록 물이 천천히 흡수되는 것, 즉 기울기 값의 절대값이 클수록 물이 빨리 흡수되는 것이고, 시료의 수리성이 더 좋다고 정의를 내릴 수 있다. 이후에 나오는 수리성 값들은 액체 브릿지법에 의한 측정 결과로 그려진 그래프의 기울기 값의 절대값이다.

3-2. 수리성과 잉크 뒷문음의 관계

Fig. 15은 수리성과 잉크 뒷문음의 상관관계를 그래프로 나타낸 것이다. 그림과 같이 수리성이 좋을수록 잉크 뒷문음이 적게 일어난다. 흡수 건조 방식일 경우 종이가 물을 빨리 흡수할수록 잉크의 건조가 신속히 일어나서 잉크 뒷문음이 상대적으로 적게 발생하는 것이다. 따라서 그림의 결과와 같이 반비례 관계가 나타나는 것이고, 수리성 값에 따른 잉크 뒷문음의 정도를 일차 함수로 나타내면 다음과 같다.

$$y = -4000x + 0.09 \dots\dots\dots (1)$$

식 (1)에서 x는 수리성이고, y는 잉크 뒷문음이다. 이 관계식은 상관 계수가 0.91로 높은 상관관계를 가지고 있으며, 이 관계를 이용하여 수리성 측정으로 종이의 잉크 뒷문음 정도를 예측할 수 있다.

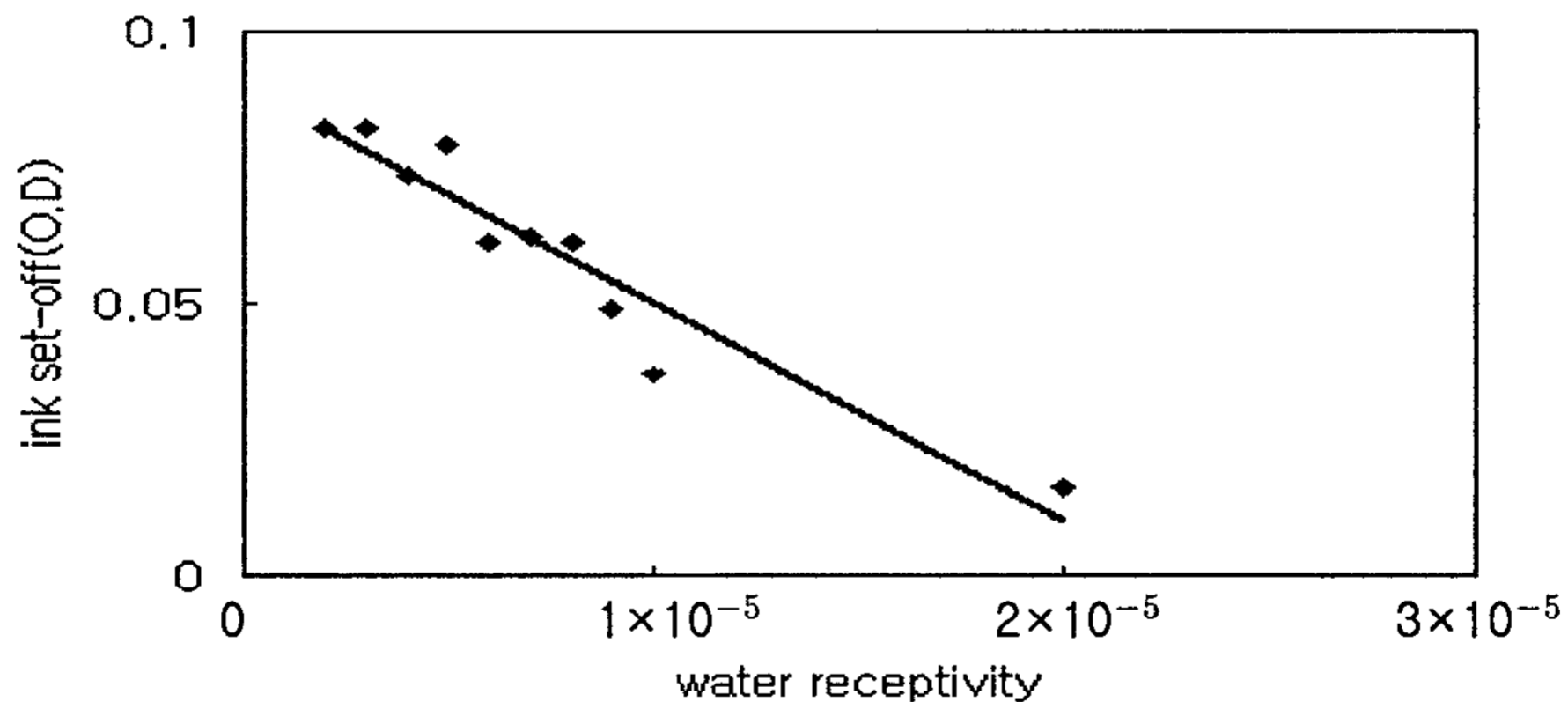


Fig. 15. The relationship between water receptivity and ink set-off.

3-3. 수리성과 기공도의 관계

Fig. 16은 수리성과 기공도의 관계를 그래프로 나타낸 것으로, 기공도가 클수록 수리성이 증가함을 알 수 있다. 기공도라 함은 단위 시간에 단위 압력차 하에서 단위 면적을 통과하는 공기의 평균 유량을 일컫는데, 수리성이 좋을수록 단위 면적에 있는 모세관과 공극의 수가 많다는 것이기 때문에 기공도가 크게 나타나는 것이다. 수리성에 따른 기공

도의 정도를 일차 함수로 나타내면 다음과 같다.

$$y = 1200x + 0.02 \dots\dots\dots (2)$$

식 (2)에서 x는 수리성이고, y는 기공도이다. 이 관계식은 상관 계수가 0.99로 상당히 높은 상관관계를 가지고 있으며, 이 관계를 이용하여 수리성 측정으로 종이의 기공도를 예측할 수 있다.

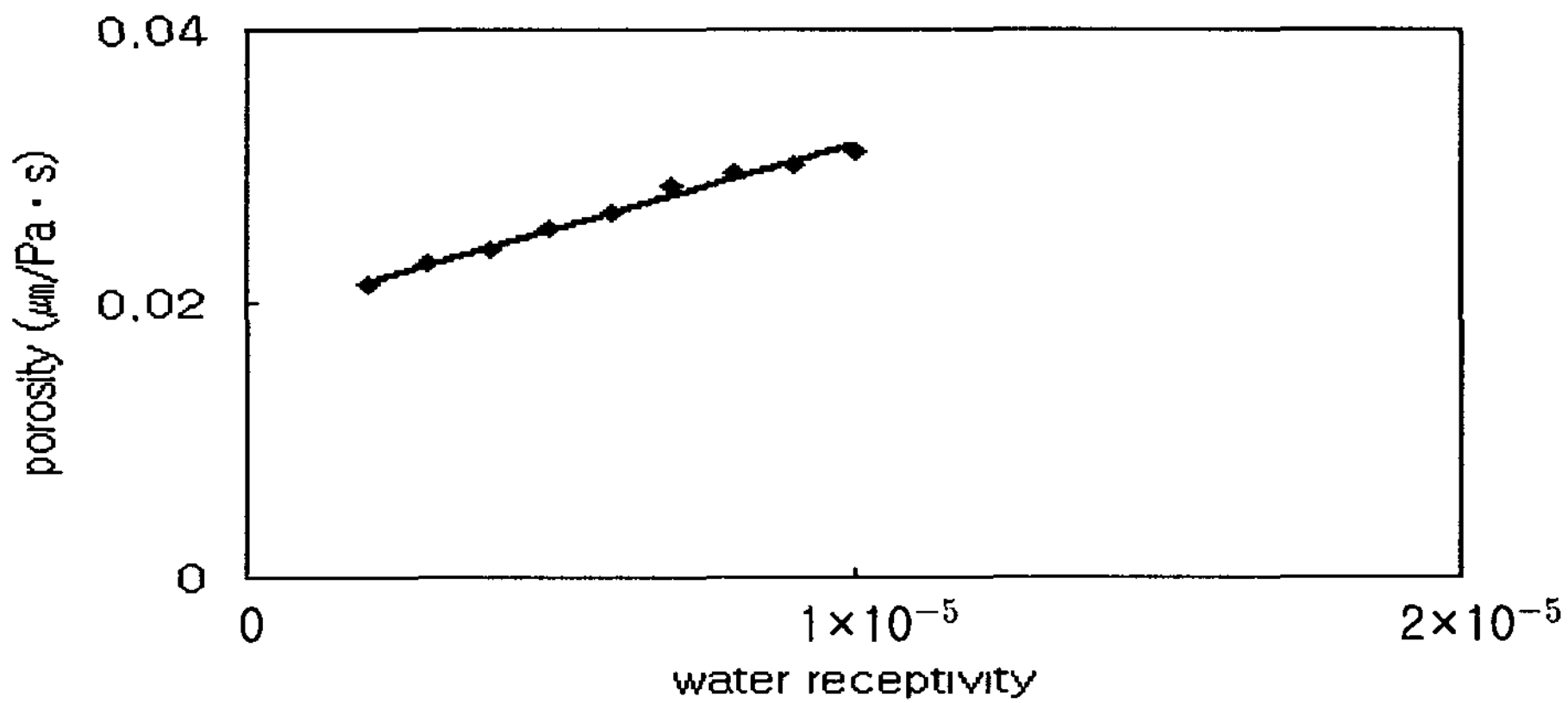


Fig. 16. The relationship between water receptivity and porosity.

3-4. 수리성과 인쇄 모틀의 관계

Fig. 17는 수리성과 인쇄 모틀의 관계이다. 그림을 보면 수리성이 좋을수록 인쇄 모틀이 적게 발생함을 알 수 있다. 수리성과 인쇄 모틀 모두 도공지 표면이 균일할수록 좋은 값을 얻기 때문이다. 수리성에 따른 인쇄 모틀의 정도를 일차 함수로 나타내면 다음과 같다.

$$y = -4000x + 0.05 \dots\dots\dots (3)$$

식 (3)에서 x는 수리성이고, y는 인쇄 모틀이다. 이 관계식은 상관 계수가 0.90으로 높은 상관관계를 가지고 있으며, 이 관계를 이용하여 수리성 측정으로 인쇄 모틀을 예측할 수 있다.

지금까지 모틀을 측정하는 기계는 미소 면적의 반사 농도를 통계적으로 측정하여 얻는다. 종이 표면의 균일한 정도에 따라 측정된 농도의 차이로 인쇄 모틀을 예상하는 것이다. 이렇게 얻어진 농도는 그 차이가 미세하여 종이 표면의 불균일 정도를 정확하게 파악하기 어렵다. 그러나 수리성은 좋고 나쁨의 차이가 확실히 구분된다. Fig. 18은

Sample I의 수리성 값을 그래프로 나타낸 것으로, 인쇄 모틀의 표준 편차 값이 0.0097로 작은 모틀이 발생한다고 측정된 종이라 할지라도 측정하는 부분에 따라 수리성이 다른 정도를 확실히 알 수 있다. 모틀 측정기에 의해 측정된 반사 농도가 아닌 수리성을 이용하여 인쇄 모틀을 예측할 수 있다.

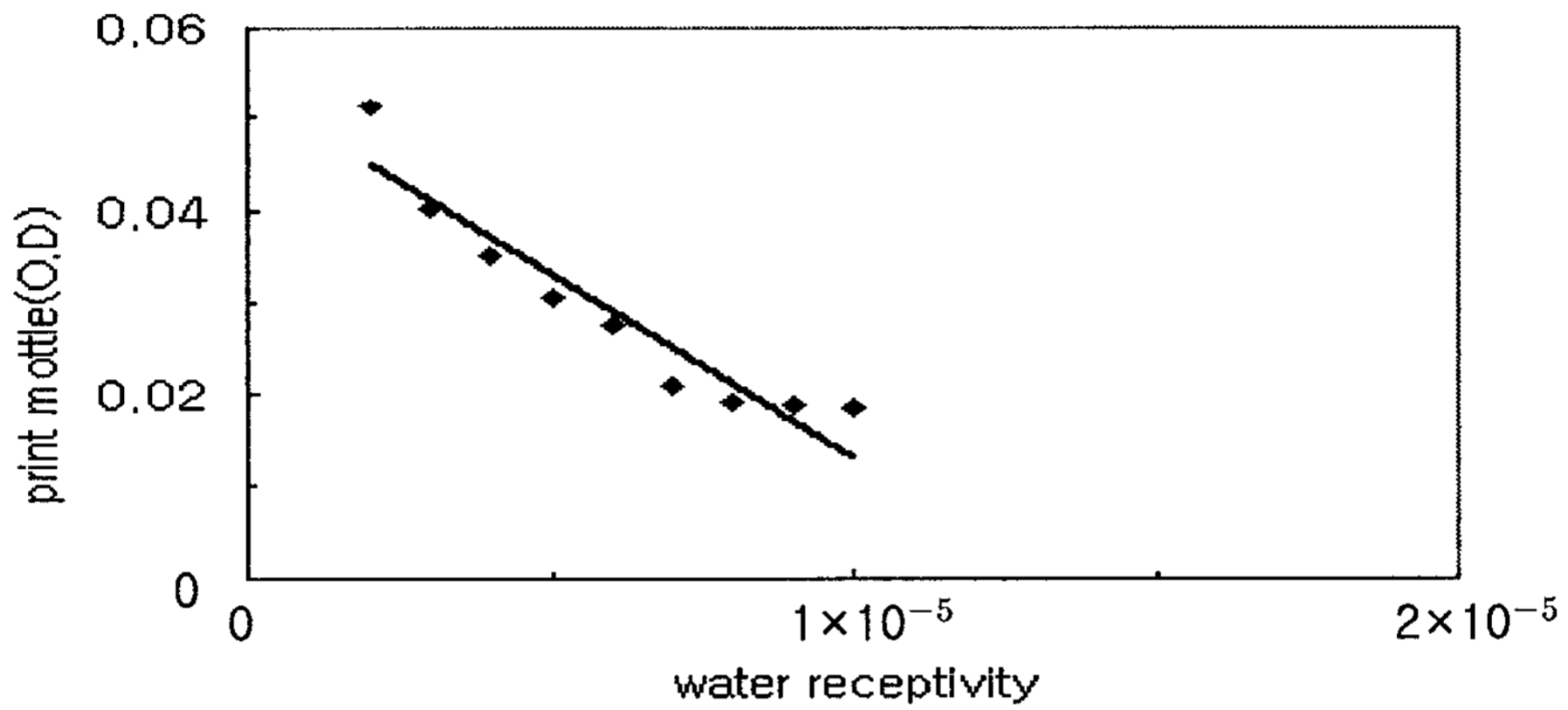


Fig. 17. The relationship between water receptivity and print mottle.

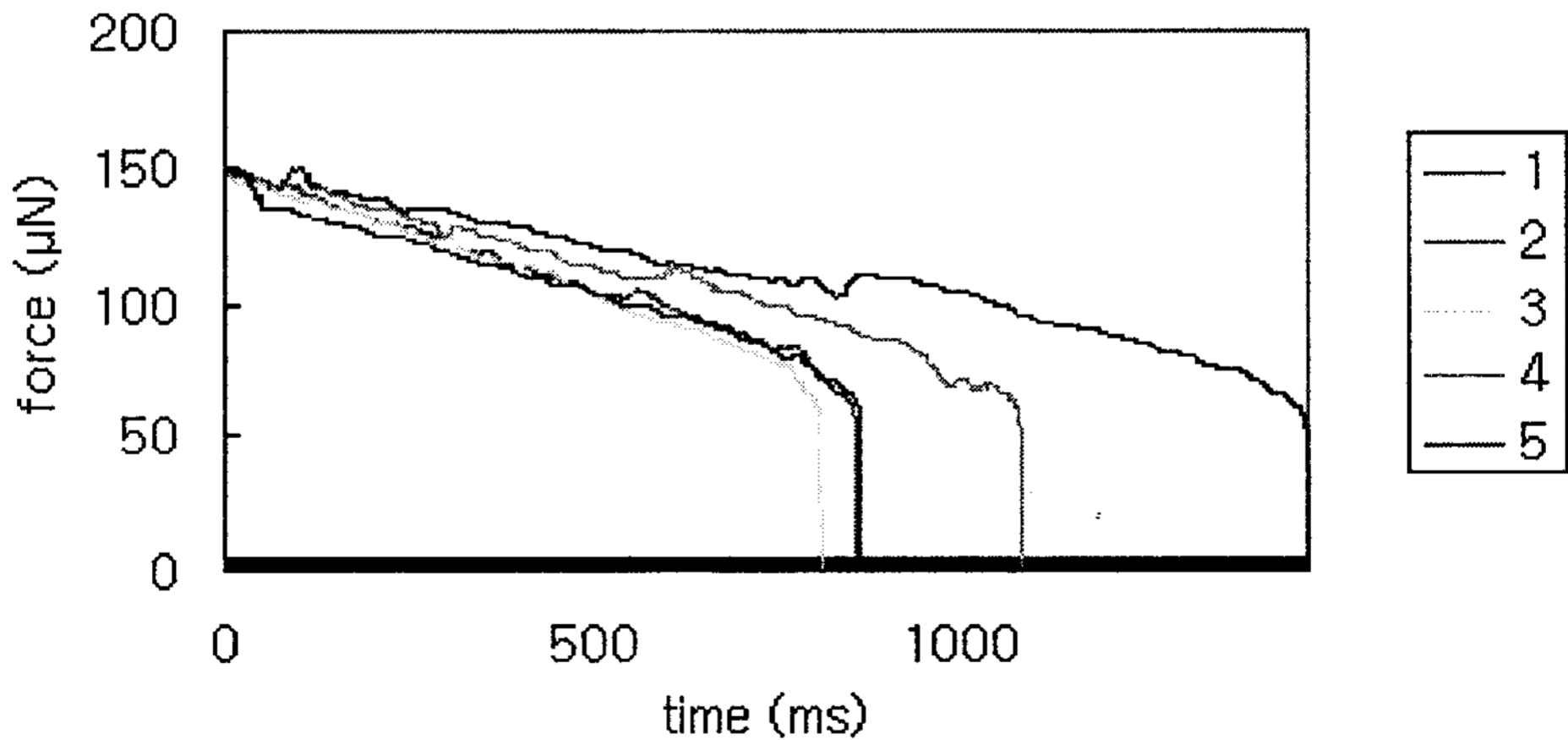


Fig. 18. Current change of water receptivity as sample I.

4. 결 론

본 연구에서는 액체 브릿지법을 이용하여 종이의 부분적인 수리성을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시간의 흐름에 따라 브릿지를 통해 천칭에 걸리는 힘은 반비례적으로 감소하는 그래프 형태로 나타낼 수 있었다. 이 그래프의 기울기의 절대값을 수리성으로 정의하였고, 수리성이 좋을수록 종이의 코팅층이 균일하다는 것을 알 수 있었다.
2. 종이의 수리성과 잉크 뒷문음, 기공도, 그리고 인쇄 모틀과 비교하여 그 상관관계를 분석한 결과, 수리성과 잉크 뒷문음, 수리성과 인쇄 모틀은 반비례 관계이고, 수리성과 기공도는 비례관계를 나타내었다.
3. 기존의 모틀 측정기로 측정된 결과 작은 모틀이 발생한다고 측정된 종이일지라도 수리성 값은 부분적으로 차이가 남을 알 수 있었다. 현재 사용되고 있는 반사 농도 측정정보보다 수리성에 의한 인쇄 모틀의 예측이 더 정확함을 알 수 있었다.

본 연구에서는 액체 브릿지법을 이용하여 국산 용지의 수리성 측정을 하였다. 이 방법을 종이의 제지 공정 마지막 단계나 인쇄 현장에 사용함으로써 빠르게 종이의 물성을 예측할 수 있다. 이로 인해 고품질의 종이를 얻을 수 있고, 인쇄의 작업 적성을 조절할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) J. T. Youn, D. W. Bousfield, On the ink-paper interactions in printing(1): A novel dry pick test method, *The Korea printing society* 19(3), pp. 102~115 (2001).
- 2) S. Chin, Paper road, Shueisha, pp. 188 (1997).
- 3) J. T. Youn, Introduction to printability, Pukyong National University, pp. 241~247 (1995)
- 4) Y. Yamaguchi, O. Ishikawa, and T. Yamashita, A. Tsujt, A study of viscoelastic properties of coated layer in paper coating, *Advanced coating Fundamentals*, TAPPI Press, Atlanta, pp. 51 (1993).
- 5) H. W. Bureau, Paper problems from picking, *The graphic arts*, pp. 54 (1961).
- 6) E. L. Back, N. L. Salm, *TAPPI J.* 65(7), pp. 107 (1982).
- 7) L. Salm, B. Pettersson, Cellulose chem, *Technol* 29(3), pp. 331 (1995).

- 8) A. J. Stamm, Wood and cellulose science, Ronald Press, New York (1964).
- 9) A. Karnis, A critical review of the effect of printing parameters on the linting propensity of paper, *Journal of pulp and paper science* 17(5), pp. 156~163 (1991).
- 10) J. P. Casey, Pulp and paper chemistry and chemical technology Vol. IV, A wiley-interscience publication. pp. 2135~2485 (1983).
- 11) C. Fellers, A. Ruvo, and M. Htun, Carton board. Profitable use of pulps and processes, STFI, Stockholm (1983).
- 12) Y. Shen, A. V. Heiningen, and D. W. Bousfield, A liquid-bridge probe to characterize coated surface uniformities, Final Program and Extended Abstracts, pp. 135~136 (2002).
- 13) G. Engstr, V. Morin, and S. L. Bi, Analysis of porosity distribution in coating layers, TAPPI 1997 Advanced Coating Fundamentals Symposium Notes, TAPPI Press, Atlanta, pp. 189 (1997)