

열화상카메라를 이용한 직물의 물 흡수 및 건조 특성에 대한 실험 연구

김정배[†]

Experimental Study on Water Absorption and Drying Characteristics of Various Fabrics using IR Camera

Jeongbae Kim

Key Words: Fabrics(직물), Absorption(흡수), Drying(건조), Natural heat transfer(자연대류열전달), IR camera(열화상 카메라)

Abstract

Recently, various types of towels and dishcloth dryer products are being widely distributed in Korea. Evaluation methods for water absorption properties of various fabrics have been developed, and there are many studies using them. This study newly intended that whether it is possible to obtain data that can quantitatively analyze the water absorption characteristics of various fabrics, to show the correlation between the water absorption height and the amount of water (water holdup) absorbed, and to experimentally suggest the applicability to evaluate the drying capacity of towel dryer using IR camera. Through these experiments, it was confirmed that quantitative data on the water absorption height of various fabrics can be measured using an IR camera and can be clearly applied to the performance evaluation of actual products.

1. 서 론

우리나라의 일반 가정에서는 폴리에스테르 계열의 직물로 만들어진 행주나 걸레를, 먼 계열의 수건을 널리 사용하고 있다.

이러한 직물 소재의 일상용품들은 상시 사용에 의하여, 특히 하절기에는 짧은 사용에 의해서도 살균이 필요할 정도로 건조되면서 오염되기도 한다. 이를 방지하기 위하여 수건의 경우에는 최근 살균 기능까지를 갖춘 다양한 방식의 건조기가 제품으로 출시되어 보급되고 있다.

특히, 수건 건조기는 젖어있는 수건의 건조를 위하여

열선과 팬을 가진⁽¹⁾, 나노면상발열체를 활용한⁽²⁾, 열전소자를 이용하는⁽³⁾, 최근에는 히트펌프를 이용한⁽⁴⁾ 제품까지 보급되고 있다.

반면에 행주나 걸레의 경우에는 오염도가 하절기에 훨씬 높음에도 수건의 오염에 대한 대책과 유사한 기능을 보유한 제품의 개발은 아직은 부족한 상태이다.

이러한 행주, 걸레, 그리고 수건들은 다양한 소재의 직물로 만들어지고 있고, 직물들의 다양한 물리적 특성들은 물을 흡수하거나 건조되는 성질까지를 포함하여 분석되고 있다⁽⁵⁾.

직물의 수분 흡수 특성은 주로 흡수속도와 흡수량으로 평가되고 있는데, 흡수속도는 보통 흡상법(Birack)으로 일정 크기(20×2.5 cm)의 시험편을 용기에 담긴 증류수에 끝 부분을 담그고 10분 후에 물이 흡수된 높이를 측정하고 있다. 흡수량은 정지법이나 최대 흡수법으로 흡수된 물의 양을 각각 20분 후 무게를 측정하거나

(Received: 28 Dec 2022, Received in revised form: 23 Feb 2023, Accepted: 24 Feb 2023)

[†]김정배, 회원, 한국교통대학교 자동차공학전공
E-mail : jeongbae_kim@ut.ac.kr
TEL : (043)841-5282 FAX : (043)841-5280

혹은 20분간 충분히 물을 흡수시킨 후에 5분간 매달아 자연 건조하여 무게를 측정하고 있다⁽⁶⁾.

다양한 측정 방법들을 이용하여 면과 폴리프로필렌 섬유 흡수 특성을⁽⁷⁾, 폴리에스테르 계열의 흡수 특성⁽⁸⁾을 측정하기 하였다. 국내에서도 최근 다양한 소재의 식물에 대하여 최신 첨단 기술을 활용한 측정 방법들에 따른 흡수 특성의 차이를 분석하고 그 결과를 상세하게 제시하고 있기도 하다^(5,9). 기존의 방법들의 정확도는 매우 높은 편이지만, 그럼에도 새롭게 유사한 실험을 수행하려고 할 때 에 필요한 장치의 복잡성과 고가 장비의 활용 등의 문제점을 가지고 있다.

이번 연구에서는 순면 소재의 수건(시료#1)과 최근에 주로 행주로 많이 사용하고 있는 80% 폴리에스테르/20% 폴리아미드 소재의 부직포(시료#2)에 대하여 흡수 법과 유사한 장치를 활용하여 시간에 따른 수분 흡수 특성을 다양한 표면의 변화 특성을 분석하는데 유용한 도구로 알려진 열화상카메라를 이용하여 국내에서 처음으로 정량적으로 분석가능한지를 제시하고자 하였다. 그리고 시간에 따라 측정되는 물 흡수 높이와 흡수된 물의 량 사이의 상관성을 제시하고 분석하였다. 이와 아울러 IR카메라를 이용한 기초 연구 결과를 활용하여 국내 중소기업에서 개발 중인 수건 건조기의 건조 특성 평가를 위하여 시료#2의 건조 실험에의 적용 가능성을 제시하고자 하였다.

2. 실험 방법 및 조건

본 연구에서 실험하고자 하는 식물들의 물 흡수 특성의 실험을 위하여 Fig. 1과 같은 실험장치를 활용하였다. 먼저, 높이 5 cm/직경 4 cm의 원형 용기에 증류수를 담고, 시편의 아래쪽에는 페이퍼클립을 부착하여 물에 잠기는 높이가 모든 시험편에 대하여 하부 2 cm가 되도록 설정하였다. 실험에 사용되는 각 식물들은 높이 20 cm/폭 3 cm 크기로 세 개의 시험편을 준비하였다.

실험실 내부에서 수행된 실험 시간 동안의 증류수의 온도는 23±0.5°C를 유지하였고, 이러한 온도 범위에서의 표면장력의 차이는 ±0.005% 이내인 것으로 확인하였다.

클립이 붙은 시편의 하부를 용기에 담그면서 실험을 시작하였는데, 1분 간격으로 IR카메라로 시험편 표면의 흡수 상태를 열화상이미지로 촬영하였고, 동일한 시간에서 물을 흡수한 시험편의 무게는 고정구에서 분리하

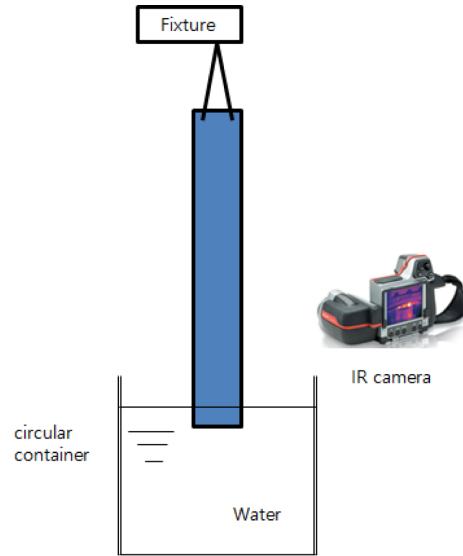


Fig. 1 Experimental apparatus

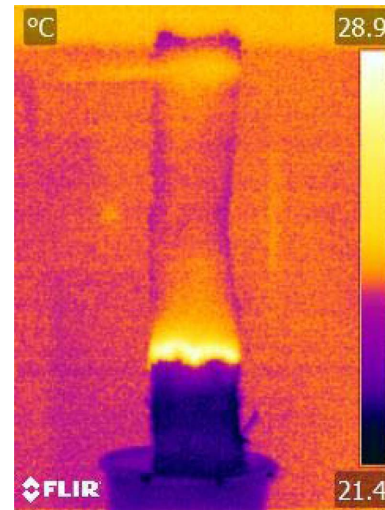


Fig. 2 IR image captured using IR camera

여 ±0.1 g의 오차를 가진 CAS MW-2 전자저울을 이용하여 측정하였다.

직물 표면의 열화상이미지 촬영은 FLIR사의 온도 측정 오차 ±2°C와 320 × 240 해상도를 가진 T250 IR카메라를 사용하였고, 직물들의 표면 방사율은 0.95로 고정하여 촬영하였다.

Figure 2와 같이 촬영된 열화상이미지로부터 물이 흡수된 높이는, 이미지 상에서 최소 높리와 최대 높리를 평균하여 측정하였다. 물 흡수 높리의 측정 불확도는 촬영된 열화상이미지에서 물이 흡수된 부분과 흡수되지

얇은 부분의 경계에 해당하는 픽셀의 수를 시편 옆에 설치한 정밀자의 길이와 비교 측정하는 방법을 이용하였고, ± 0.37 cm 수준인 것으로 평가되었다.

3. 실험 결과 및 토의

3.1 기초 실험

직물이 물을 흡수하는 동안 IR카메라를 이용하여 물 흡수 높이 측정의 가능성을 확인하기 위하여 기초 실험을 수행하였다.

이를 위해 주변에서 널리 사용하고 있는 비스코스 레이온(Viscose rayon) 소재의, 가정에서 1개월 정도 사용하였던 부직포 행주 1개 시편(길이 20 cm, 폭 2 cm)에

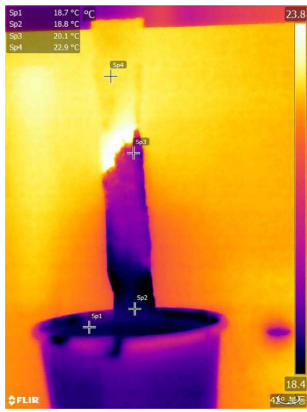


Fig. 3 One IR image captured during pre-test

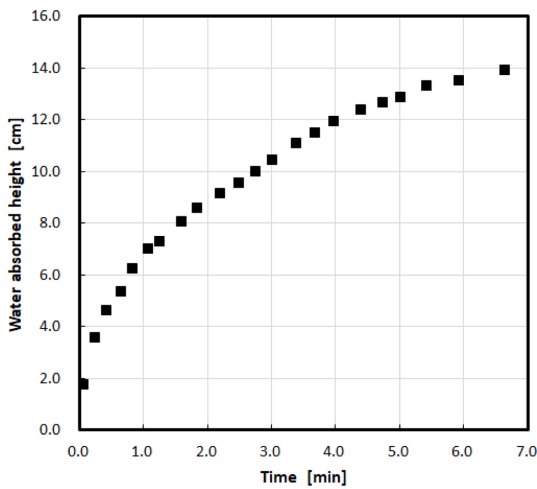


Fig. 4 Absorbed height measured during pre-test with the time

대하여 Fig. 1의 장치로 실험을 3회 실시하였다. 이를 통해 Fig. 3과 같은 열화상이미지들과 Fig. 4와 같이 시간에 따른 물의 흡수 높이 결과를 얻을 수 있었다.

Figure 3의 열화상이미지에서와 같이 명확하게 수분을 흡수한 영역과 미흡수 영역이 구분되는 것을 확인할 수 있었다.

다만, 물을 흡수한 영역과 물이 흡수되지 않은 영역 사이에 존재하는 흰색 부분은 실내 조명과 태양광의 유입에 의한 것으로 명확하게 확인하였고, 본 실험에서는 이러한 영향을 최소화하여 열화상이미지들을 촬영하였다.

3회에 걸쳐 얻어진 열화상이미지들로부터 실험방법에서 설명한 방법으로 측정된 시간에 따른 평균 물 흡수 높이를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서와 같이 7분 동안 열화상이미지로부터 측정된 물 흡수 높이 데이터는 명확하게 공학적으로 활용 가능한 수준임을 알 수 있었다.

3.2 직물의 물 흡수 특성 실험

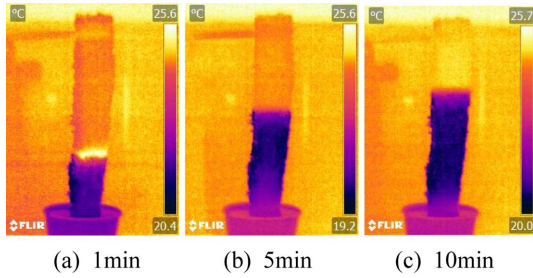
기초 실험에서 확인한 측정 가능성을 바탕으로, 순면 소재 수건 시료 #1과 폴리에스테르 계열 소재의 부직포 시료 #2에 대하여 각각 3개씩의 시편에 대하여 실험을 수행하였다.

동일한 높이와 폭을 가진 두 시료들의 3개 시편에 대하여 측정된 사양들은 아래 Table 1과 같았다. 여기서, 직물들의 두께는 버니어캘리퍼스로 직물을 짊 누른 상태에서 측정된 것이다. 다만, 각각의 시료들의 상대적인 물 흡수 특성의 비교를 수행하는 것이 본 논문의 영역은 아니므로, 각 직물의 조성 상태, 가공방법, 기공률 혹은 조밀도 등의 물리적인 상태량들은 확인하지는 않았다. 시편별로 물 흡수 실험을 통하여 아래의 Figs. 5 and 6과 같은 열화상이미지들을 촬영하였다.

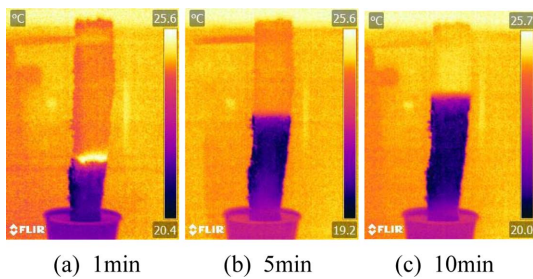
사진들에서와 같이 면 소재 수건의 물 흡수 경계에 비하여 폴리에스테르 소재 부직포의 경계는 상대적으로

Table 1 Comparisons between #1 and #2

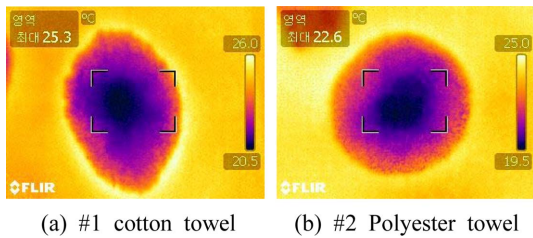
Spec.	#1 (Cotton)	#2 (Polyester)
Height [cm]	20	20
Width [cm]	3	3
Depth [mm]	1.15	0.70
Weight [g]	4.1±0.1	2.7±0.1



(a) 1min (b) 5min (c) 10min
Fig. 5 IR images captured for cotton towel



(a) 1min (b) 5min (c) 10min
Fig. 6 IR images captured for polyester non-woven



(a) #1 cotton towel (b) #2 Polyester towel
Fig. 7 Water dispersion characteristics for towels

균일한 것을 알 수 있었다. 이러한 물 흡수 부분과 미흡수 부분의 경계 특성은 주사기를 이용하여 5 cc의 증류수를 천천히 두 직물에 주입하면서 촬영한 Fig. 7에서 보듯이 폴리에스테르 소재 부직포의 퍼짐성이 상대적으로 방향에 따라 균일한 것에 기인한 것임을 확인할 수 있다.

각 시료의 시편별로 얻어진 열화상이미지들로부터 실험방법에서 설명한 방법으로 측정된 시간에 따른 평균 물 흡수 높이와 물 흡수량을 Fig. 8과 Fig. 9에 각각 나타내었다.

면 소재 수건과 폴리에스테르 소재 부직포 모두 시간에 따른 물 흡수 높이와 흡수량은 높은 상관성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

다만, 직물들 사이의 흡수 특성의 비교는 본 연구의 범위가 아니지만, 두께가 상대적으로 얇은 폴리에스테

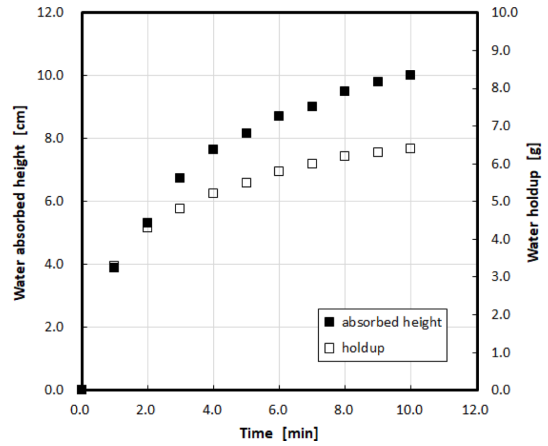


Fig. 8 Water absorbed height and holdup with the time for cotton towel

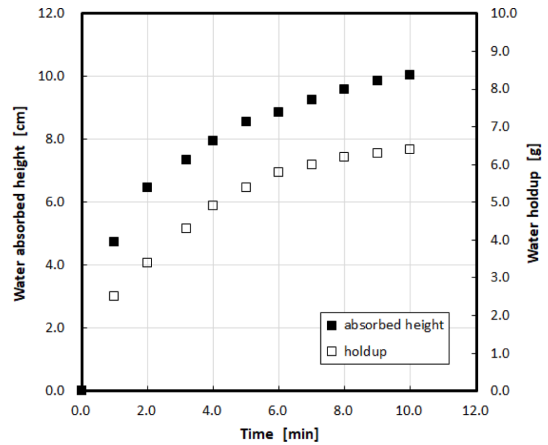


Fig. 9 Water absorbed height and holdup with the time for polyester non-woven

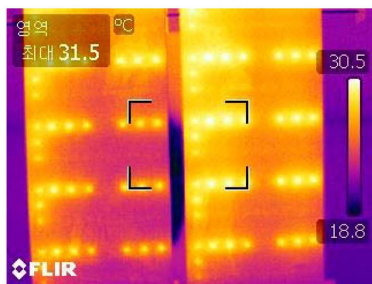
르 부직포의 초기 흡수 높이가 상대적으로 높고, 흡수량은 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다. 직물들 간의 흡수성의 차이에 대해서는 참고문헌 (1) 등의 다양한 문헌에서 확인할 수 있을 것이다. 또한 동일한 직물에 대하여 추가적으로 다양한 두께와 폭의 변화에 따른 흡수 특성의 확인이 필요함을 알 수 있었다.

3.3 수건 건조기의 건조 실험

직물들의 흡수 특성을 명확하게 IR카메라를 이용하여 정량적으로 측정할 수 있다는 점을 확인하였고, 수건 건조기를 개발 중인 업체의 PT1차 제품을 이용하여 40 cm × 40 cm 크기의 폴리에스테르 소재 부직포의 건조 특성을 IR카메라를 이용하여 실험하였다. 실험은 실험실 실



(a) Fabric with back heater (b) Fabric with heaters



(c) IR image of heaters

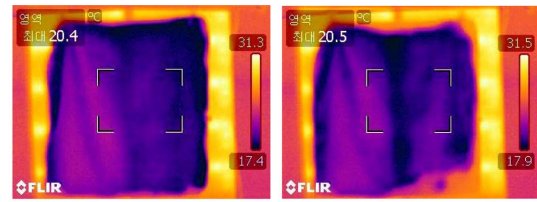
Fig. 10 Photos and heating state of towel dryer

내에서 2022년 10월에 수행하였으며, 실내 온도는 난방을 하지 않은 조건으로 실험 기간 동안 18°C 정도 수준을, 습도는 45% 수준을 유지하였다.

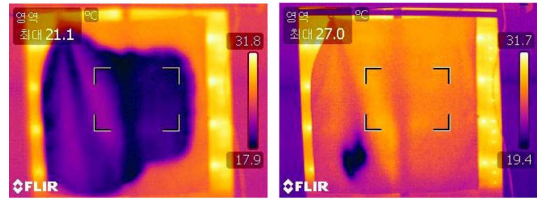
이번 실험에서 활용한 수건 건조기는 일반적으로 50°C 이상에서 건조하여 직물의 변화가 발생하지 않도록 하는 온도 범위에서의 건조를 목표로 하여, 수건의 양면에 히터를 위치시켰다. 이를 위하여 Fig. 10(a)는 직물의 후면에 설치된 히터와 그 앞의 직물을, Fig. 10(b)는 직물의 전면에 설치된 히터를 보여주고 있다. 히터들과 직물의 간격은 각각 1 cm로 유지하였으며, 각각의 히터는 별도의 리모컨 제어기로 상하 동작이 가능하도록 제작하였다. 히터는 Fig. 10(c)에서와 같이 50 cm × 50 cm 크기의 필름 PCB 위에 0.6W 자외선 LED 24개와 0.15W 적외선 LED 96개를 균일하게 배치한 구조이다.

수건 건조기의 표면온도는 PCB 뒷면 기준으로 최대 31.5°C 수준이었으며, Fig. 11에서와 같이 완전히 젖은 상태의 폴리에스테르 부직포가 185분 동안의 가열 이후에 완전히 건조가 이루어진 것을 확인하였다.

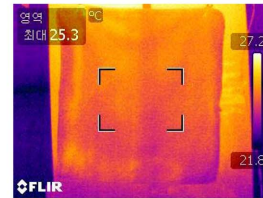
앞서 제시한 결과들에서 보듯이 본 연구는 IR카메라를 이용하여 직물의 흡수와 건조 특성에 대한 정량적인 실험 분석이 충분히 가능함을 제시하였다. 다만, 직물들의 흡수 현상에 있어서 실제 물리적 특성(물 흡수량)과



(a) after 30min (b) after 60min



(c) after 90min (d) after 180min



(e) after 185min

Fig. 11 IR images during drying of polyester towel

IR카메라의 데이터(물 흡수 높이) 사이의 정량적인 연관성은 충분히 제시하였으나, 건조 현상에 대해서는 추가적인 정량적인 분석이 필요함을 확인하였다. 그리고 직물의 미세한 물리적 조성 변화에 대한 흡수와 건조 특성의 차이를 IR카메라로서 확인 가능한 지에 대한 추가 검토도 필요함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 IR카메라를 이용하여 직물의 물 흡수 특성을 정량적으로 분석 가능한 데이터를 얻을 수 있는지, 물 흡수 높이와 흡수된 물의 량 사이의 상관성을 확인할 수 있는지, 마지막으로 수건 건조기의 성능 평가를 위한 건조 실험에의 적용 가능성을 제시하고자 하였다. 이러한 목적을 달성하기 위한 실험을 통해 아래와 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) IR카메라로 촬영된 열화상이미지로부터 합리적인 수준의 측정 불확실성을 가진 직물의 물 흡수 높이에 대한 정량적인 데이터 확보가 가능함을 확인하였다.

(2) 널리 이용되고 있는 면 소재 수건과 폴리에스테르

소재 부직포에 대한 물 흡수 실험을 통하여, 측정된 물 흡수 높이와 흡수된 물의 량 사이의 정량적인 상관성을 알 수 있음을 명확하게 확인하였다.

(3) 또한, 대면적의 직물들의 물 흡수와 건조 특성에 대해서도 IR카메라를 이용하는 실험방법의 유효성이 높음을 확인하였다.

(4) 다만, 이렇게 확인된 실험장치와 방법을 활용하여 향후 직물들의 조성 상태, 가공방법, 기공률 혹은 조밀도 등의 물리적인 조성의 변화에 따른 추가적인 실험을 수행할 필요가 있음을 알 수 있다.

후 기

본 논문은 2022년 한국교통대학교의 지원을 받아 수행된 결과로 작성되었습니다.

참고문헌

- (1) H. A. R. Yu, T. J. Eum, J. H. Han and B. H. Lee, "Arduino R3 based portable towel/shoes dryer", Autumn Conference Proceedings of KICIS, 2014, pp. 361~362.
- (2) H. J. Um, I. H. Jung, K. S. Yoo, B. J. Jung, J. C. Seo and D. H. Hyun, "A study of energy saving nano surface heat towel dryer", Autumn Conference Proceedings of KSMTE, 2010, pp. 276~278.
- (3) M. J. Lee, S. U. Gong and J. S. Kim, "A study on the performance of home clothes dryer using thermoelectric module", Spring Conference Proceedings of KSME, 2007, pp. 1414~1419.
- (4) H. S. Shin, S. K. Kang, J. H. An, J. S. Yoo, B. N. Jo, S. Y. Lee and B. Youn, "A study on the performance characteristic with respect to design variables of heat pump clothes dryer", Spring Conference Proceedings of KSME, 2021, pp. 32.
- (5) S. Kim and H. Kim, "Moisture transmission characteristics of fabric for high emotional garments", J. of Korean Society of Clothing and Textiles, Vol. 41, 2017, pp. 28~42.
- (6) H. Y. Choe and G. C. Go, "A study on moisture absorption and quick-drying test using MMT", Proceedings of Korean Society of Dyers and Finishers Conference, 2004, pp. 138~143.
- (7) K. Ghali, B. Jones and J. Tracy, "Experimental techniques for measuring parameters describing wetting and wicking in fabrics", Textile Research Journal, Vol. 64, No. 2, 1994, pp. 106~111.
- (8) A. Perwuelz, P. Mondon and C. Caze, "Experimental study of capillary flow in yarns", Textile Research Journal, Vol. 70, No. 4, 2000, pp. 333~339.
- (9) E. A. Kim and L. B. Roger, "Evaluation method of the water transport properties of swear absorbed fabrics", J. of Korean Society of Clothing and Textiles, Vol. 17, 1993, pp. 329~338.