

컴퓨터 영상을 이용한 오염방지 친수성능 측정 시스템 개발

안병태 조성호 최 선 김은국 박상수 황 헌

Development of Hydrophilic Performance Measurement System for Anti-Condensation Using Computer Image

B. T. Ahn S. H. Cho S. Choi E. K. Kim S. S. Park H. Hwang

Abstract

Surface energy is the principal factor of anti-condensation. High surface energy appears hydrophilic itself and low surface energy represents hydrophobic itself. The contact angle is widely being used for measurement of surface energy of materials, evaluation of coating performances, measurement of wettability, and so on. However, the existing contact angle measuring system is so expensive for purchasing and complicated, so it takes a lot of time and money to use. This study was conducted to develop the algorithm for evaluating hydrophilic performance through measuring the contact angle of water droplet automatically, and fabricate relatively simple measuring system using a low-cost monochrome camera and image processing. A constant amount of water was firstly allocated on a slide by a micropipette, and then the image of water droplet was captured by monochrome digital camera and sent to a computer. The image was binarized and then reduced noises by labeling. Finally, the contact angle of water droplet was computed by using three points (left, right, and top coordinates), simple linear mathematics, and trigonometric function. The experimental results demonstrated the accuracy and reproducibility of the developed system showing less deviations and deviation ratio.

Keywords : Hydrophilic, Anti-condensation, Contact angle, Surface energy, Image processing

1. 서론

산업 및 농업분야에서 기기의 표면이나 재료의 오염방지는 중요한 연구주제 중 하나이다. 이를테면 트랙터나 캐빈형 콤팩트바인의 전방시야 확보를 위한 전면유리의 결로 및 먼지흡착 방지나 온실의 광투과성 개선을 위한 온실표면의 오염방지, 혹은 최근 그 필요성이 대두되고 있는 식물공장에서 사용되는 자동수확기의 절단부 칼날의 이물질 흡착 방지 등의 문제이다. 어떤 재료나 기기의 표면에서 결로나 이물질 흡착 등의 정도를 결정짓는 중요한 요인 중 하나가 바로 그 재료가 가지는 표면에너지이다. 따라서 표면의 오염방지 정도를 가늠하기 위하여 재료의 표면에너지를 측정하는 방법이 널리 활

용되고 있으며 표면에너지를 측정하는 방법은 액체 속에서 세관을 통해 일정속도로 기압을 가해 액체의 표면에너지를 측정하는 최대 기포 압력법(maximum bubble pressure method)이나 세관에서 떨어진 액체 방울의 무게가 표면장력과 평형을 이루는 것을 이용하여 액체의 표면에너지를 구하는 방울 무게법(drop weight method) 등 몇 가지가 있으나 재료의 표면에서 액적에 의해 형성되는 접촉각을 통한 계산방법이 가장 많이 활용되고 있다. 접촉각이란 액체가 고체와 같은 서로 섞이지 않는 물질과 접할 경우 고체의 표면 위에서 열역학적으로 평형을 이룰 때 형성되는 경계면의 각을 의미한다. 어떤 물질이 가지는 표면에너지의 크기와 표면위의 액적이 형성하는 접촉각 사이의 관계는 잘 알려져 있다. 표면에너지가 클수

The article was submitted for publication on 2010-07-20, reviewed on 2010-08-04, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-08-10. The authors are Byung Tae Ahn, KSAM member, Graduate Student, Sung Ho Cho, Researcher, Sun Choi, Researcher, Eun Kuk Kim, Graduate Student, Sang Soo Park, Researcher, and Heon Hwang, Professor, KSAM member, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, SungKyunKwan University. Corresponding author: H. Hwang, Professor, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, SungKyunKwan University, Suwon, 440-746, Korea; Fax: +82-031-290-7830; E-mail: <hhwang@skku.ac.kr>.

록 친수성을 띄며 따라서 접촉각의 크기는 작아지고, 반대로 표면에너지가 작을수록 발수성을 나타내며 접촉각의 크기는 커지게 된다. 또한 친수성 정도가 클수록 즉 표면에너지가 클수록 결로 방지효과도 커지게 된다.

일반적으로 접촉각 측정은 분석방법이 간단하고 그 분석 시간이 짧고 재현성을 가지고 있기 때문에, 계면의 연구뿐만 아니라 시료의 접착성과 젖음성, 표면처리 상태, 코팅 관련 성능평가, 임의의 용액의 표면에너지 및 표면장력을 측정하는데 널리 활용되고 있다(Hiemenz, 1986; Kim, 2005). 접촉각의 측정 방법은 수동식 측정법과 자동식 측정법 두 가지로 나눌 수 있다. 수동식 측정법은 일정량의 액체를 시편 위에 떨어뜨리고 액적의 형상을 CCD 카메라로 획득한 후 액적이 시편과 만나는 지점에서 접선을 그었을 때 형성되는 각을 직접 측정하는 정적 측정 방식(static method)이고, 자동식 측정법은 CCD 카메라로 획득한 액적의 형상을 메인컴퓨터의 측정프로그램이 인지하여 자동으로 접촉각을 측정하는 자동 측정 방식이다(Lee et al., 2003). 자동 측정 방식은 이미 국내외 여러 업체에서 개발된 접촉각 측정기들이 있으나, 개발업체에 따라 서로 다른 측정 원리를 적용하고 있기 때문에 공통의 원리를 찾기가 어렵다. 그리고 기존의 접촉각 자동 측정 장비는 sessile drop에 의한 접촉각 측정, 자동 분주에 의한 동적 접촉각 측정, pendant drop에 의한 액체의 표면장력 측정 등 여러 가지 추가 기능이 자동으로 지원되지만 가격이 국내 생산업체(SEO 社)와 국외 생산업체(Marktech 社, Kyowa Interface Science 社) 모두 천만 원 이상 수천만 원까지 매우 고가여서 구매가 용이하지 않고 또 친수성능을 측정하는데 필요 이상의 많은 기능이 포함되어 있어 분석하는 데에 많은 시간과 비용이 요구된다. 본 연구에서는 저가의 흑백 카메라와 영상처리 기술을 이용하여 친수성 성능 측정을 위한 접촉각 자동 측정 알고리즘과 비교적 단순한 측정 시스템을 개발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 자동 접촉각 측정을 위한 기본 이론

그림 1에서 보는 바와 같이 액적이 고체 표면에 접하는 경우 액체와 고체 사이에는 접촉각이 형성되며, 이때 액적의 형상은 완전한 구의 일부로 간주한다. 그러나 액적의 형상은 액적의 부피에 따라서 변할 수 있는 요인이다. 이를테면, 액적의 부피가 너무 크면 중력의 영향 때문에 액적의 형상은 구의 일부분에 가까울지언정 정확한 구의 일부분은 되지 않으며, 반대로 액적의 부피가 너무 작으면 액적 표면의 선장력의 영향 때문에 접촉각은 보다 큰 값을 나타내게 된다. 따라서 적절한 양의 액적의 투하가 필요하다(Good and Koo, 1979).

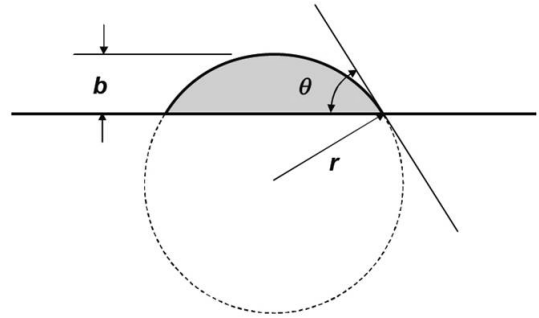


Fig. 1 Schematic diagram for simple theoretical model.

액적의 형상을 구의 일부로 간주할 수 있으므로 접촉각 θ 와 액적의 형상 사이에는 다음과 식과 같은 관계가 성립된다.

$$\theta = 90 - \tan^{-1} \left(\frac{r-b}{\sqrt{2rb-b^2}} \right) \quad (1)$$

여기에서 r은 액적을 일부로 하고 있는 구의 반지름(mm), b는 시편 표면에서 액적의 꼭짓점까지의 높이(mm)이다(Good, 1992).

나. 접촉각 측정 시스템의 구성

1) 측정 시스템의 구성

그림 2에 본 연구에서 개발된 접촉각 측정 시스템을 구성하는 하드웨어의 모식도를 나타내었다. 하드웨어는 액적의 영상을 촬영하여 메인 컴퓨터로 전송하는 해상도 640*480 px의 흑백 CCD 카메라(TM-7CN, PULNiX 社), LED와 산광부로 이루어진 광원부, 그리고 액적이 투하될 시편을 올려 놓을 수 있는 시료 받침대로 구성하였다. 또한 외부 조명의 간섭으로 인한 액적 형상의 왜곡 현상을 방지하기 위하여 하드웨어 전체를 암실형태의 구조로 제작하였다. 그림 3은 접촉각 자동 측정 시스템을 구성하는 실제 하드웨어의 모습을 나타내었고 실제 크기는 가로, 세로, 높이 각각 400*160*90 mm이다.

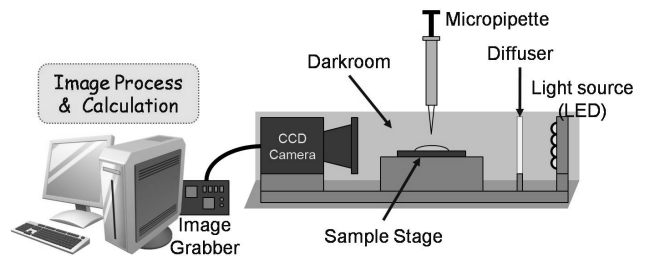


Fig. 2 Diagram of the contact angle measurement system.

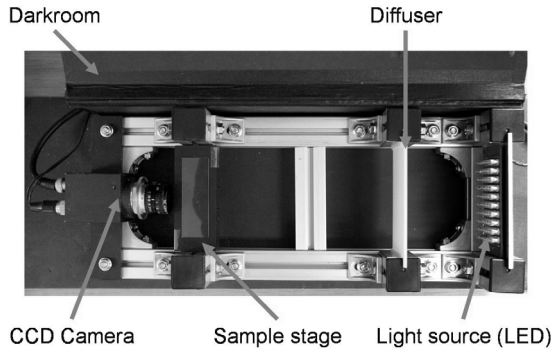


Fig. 3 The components of the contact angle measurement system.

2) 접촉각 측정 과정

본 연구에서는 Visual Basic을 이용하여 접촉각 자동 측정 프로그램의 알고리즘을 구성하였다. 그림 4에 본 연구에서 개발된 접촉각 자동 측정 프로그램을 나타내었다. 개발된 영상처리 알고리즘은 그림 5에서 보는 바와 같이 영상 획득, 이진 영상, 액적의 영역 검출, 세 지점 검출 및 거리 추출, 그리고 접촉각의 측정으로 나누어져 있다.

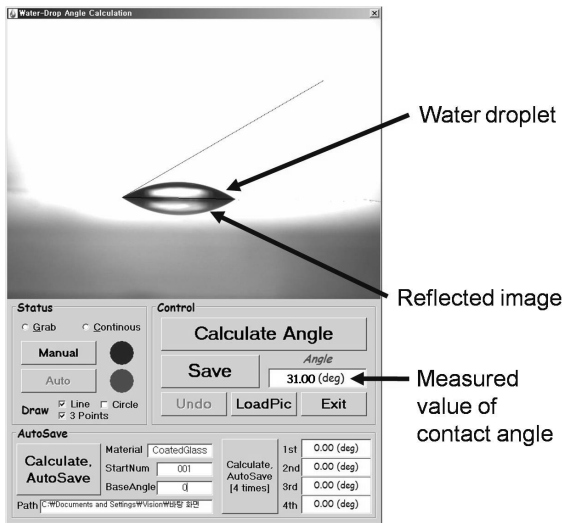


Fig. 4 The automatic contact angle measuring program.

먼저 시편 위에 중력의 영향과 선장력의 영향을 무시할 수 있는 적당량의 액적(Good and Koo, 1979; Kim, 2005; KS L 2110, 2001)을 마이크로피펫(micropipette)을 이용해 투하한 후 흑백 CCD 카메라를 통하여 영상을 획득한다. 획득한 영상을 임계값(threshold)을 이용해 이진화(binanzation)시켜서 시편과 액적은 흰색으로 그리고 배경은 검은색으로 변환시킨다. 그리고 독립 픽셀의 제거와 라벨링을 통한 잡음 성분을 제거하고 시편 상에 형성된 액적의 높이와 좌우 양 끝점을 검출한다. 이때, 좌우 양 끝 지점은 액적 영상과 시편 하단에 동일하게 반사되는 액적 영상의 중간 값으로 한다. 그 후 검

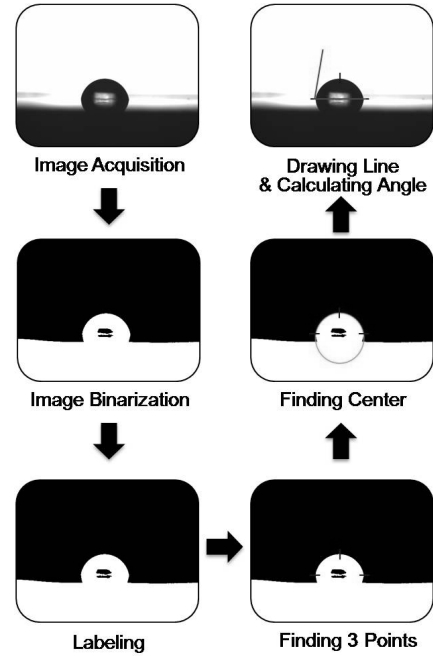


Fig. 5 The components of the contact angle measuring algorithm.

출된 세 점을 기반으로 구의 반지름을 구하고 식 (1)을 이용하여 접촉각을 계산한다.

다. 접촉각 측정

중력과 선장력의 영향을 무시할 수 있는 액적의 부피는 Good와 Koo(1979)의 보고와 한국산업표준의 기관 유리 표면의 젖음성 시험방법을 바탕으로 선정하였다. 한국산업표준에서 중력과 선장력의 영향을 무시할 수 있는 바람직한 액적의 용량으로 1 μl에서 5 μl로 지정하였고, 액적의 부피가 작으면 실험도중 증발에 의한 영향을 많이 받을 수 있으므로 실험할 액적의 부피를 5 μl로 선정하고, 그림 6에서 보는 바와 같이 ABS(Acrylonitrile Butadien Styrene plastic), 아크릴, PC(Poly-Carbonate), PVC(Poly Vinyl Chloride) 네 가지의 시편재료에 부표본(subsample)수 8, 반복(replication)수 4로 실험설계를 하고 액적의 접촉각을 측정하였다. 이때 각각 액적의 영상과, 시편의 종류, 접촉각이 자동으로 컴퓨터에 저장되었다.

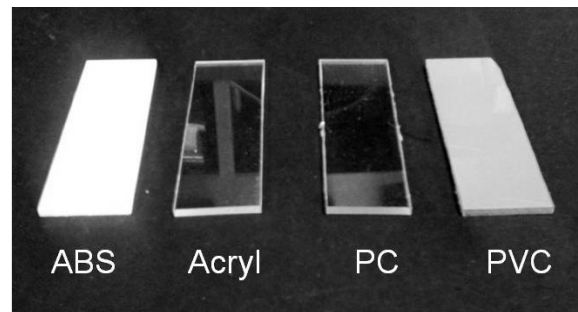


Fig. 6 The materials of the test slides.

3. 결과 및 고찰

ABS, 아크릴, PC, PVC 네 가지 종류의 시편 상의 액적이 형성한 접촉각의 측정결과를 각각 그림 7에 나타내었다. 동일시편에 대하여 8회씩 측정하고, 실험단위를 4회 반복함으로써 각 재료마다 4개의 그래프를 얻었고, 그 위에 한국건자재시험연구원(Korea Institute of Construction Material, KICM)의 신뢰성평가센터에서 사용하고 있는 상용 접촉각 측정기(Dropmaster 500, KYOWA INTERFACE SCIENCE 社)의 결과를 나타내어 비교하였다. 위의 측정기는 640*480 px의 해상도에 0.1°의 분해능을 가지고 있고 크기는 가로, 세로, 높이 각각 565*270*265 mm이다.

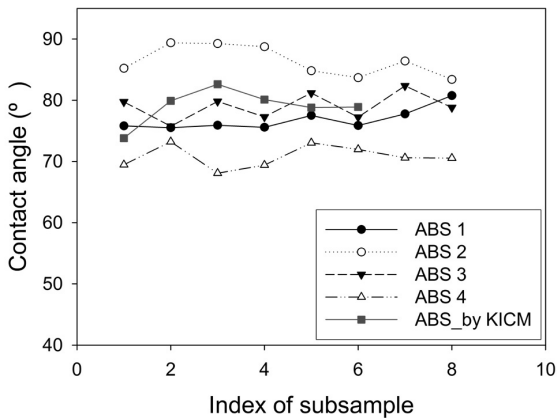
가. 정확성과 오차율

본 연구에서 개발된 접촉각 자동 측정 시스템으로 측정된 각 시편의 접촉각의 평균(°)과 KICM의 신뢰성평가센터에서 사용하고 있는 접촉각 측정기의 결과를 비교하여 표 1에 나

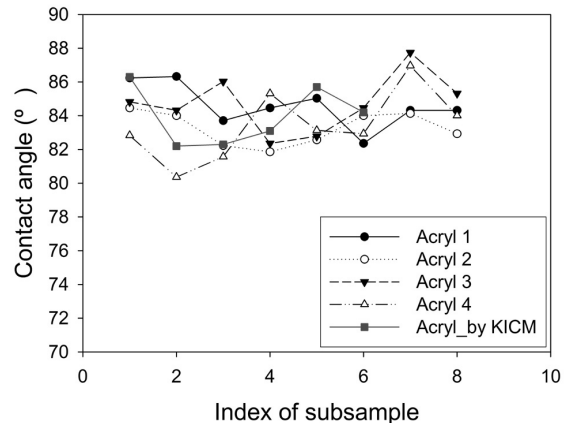
타내었고 만족할 만한 결과를 얻었다. 그림 7(a)에서 그래프 간의 접촉각 크기의 차이가 존재하는 이유는 하나의 그래프 안에서는 접촉각 크기의 편차가 크지 않다는 점을 볼 때, 정확성의 문제가 아니라 반복간의 샘플 시편의 표면상태의 차이에서 기인한 것이라 간주된다. 표 2에서는 개발된 접촉각 자동 측정 알고리즘의 오차율을 나타내었다. 개발된 시스템의 평균오차율은 8.1%이며, 이때 오차율은 그림 8과 같이 잡음 등으로 인해 액적의 양쪽 끝 지점을 제대로 검출하지 못한 경우이다.

Table 1 Comparison of the contact angle measured by the developed system and KICM

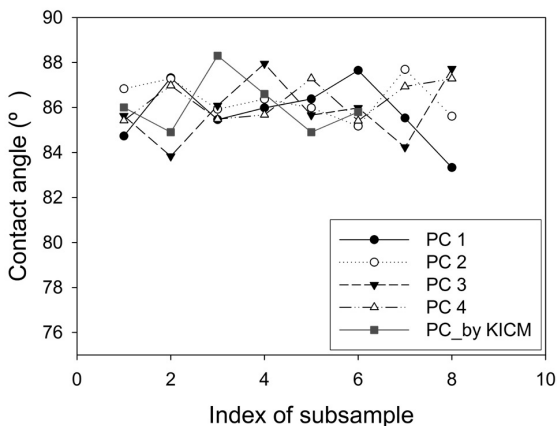
Material	Average of contact angle (Developed system) [°]	Average of contact angle (KICM) [°]
ABS	78.25	79.02
Acryl	84.00	83.97
PC	86.13	86.08
PVC	73.19	74.28



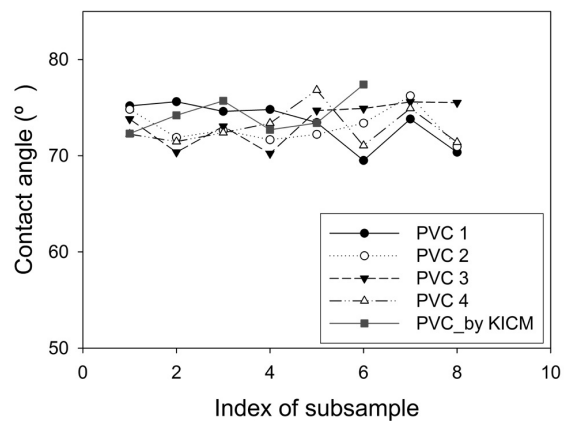
(a) Contact angle of ABS



(b) Contact angle of Acryl



(c) Contact angle of PC



(d) Contact angle of PVC

Fig. 7 The measured contact angles by developed system and KICM.

Table 2 Error rate

Material	Error rate [%]
ABS	9 (6/66)
Acryl	9 (4/44)
PC	4.5 (2/44)
PVC	9 (4/44)

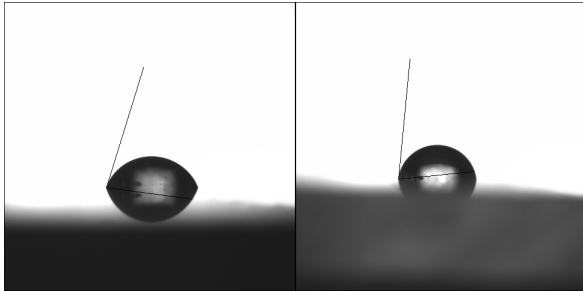


Fig. 8 Error images.

나. 재현성

본 연구에서 개발된 접촉각 자동 측정 시스템으로 각 시편에서 측정된 접촉각들의 표준편차의 평균(°)과 표준편차율(%)을 KICM의 신뢰성평가센터에서 사용하고 있는 접촉각 측정기의 결과와 비교하여 표 3에 나타내었다. 특히 표준편차율을 비교해 볼 때 ABS, 아크릴, PC 세 가지 경우에는 본 연구에서 개발된 시스템이 현재 KICM의 신뢰성평가센터에서 사용하고 있는 접촉각 측정기보다 더 낮은 값을 가짐으로써 재현성이 매우 뛰어난 것을 보였으며 평균표준편차율도 2.01%로서 KICM의 2.25%보다 나은 결과를 얻었다. 동일한 종류의 시편이라 할지라도 시편마다 그리고 액적을 투하한 위치마다 접촉각이 조금씩 다르게 나타났는데 이것은 시편의 표면 고르기와 밀접한 관계가 있는 것으로 접촉각 자동 측정 시스템의 불안정성에 기인한 것이 아니다.

Table 3 Comparison of standard deviation(S.D.) and standard deviation ratio(S.D. ratio) of the contact angles measured by the developed system and KICM

Material	Developed system		KICM	
	S.D. (°)	S.D. ratio (%)	S.D. (°)	S.D. ratio (%)
ABS	1.94	2.48	2.65	3.35
Acryl	1.42	1.69	1.59	1.89
PC	1.07	1.25	1.16	1.35
PVC	1.92	2.62	1.78	2.39

4. 요약 및 결론

본 연구는 저가의 흑백 카메라와 영상처리 기술을 이용하여 친수성 성능 측정을 위한 접촉각 자동 측정 시스템을 개발하기 위하여 수행되었다. ABS, 아크릴, PC, PVC 네 가지 재료의 시편에 5 μl의 액적을 투하하여 접촉각을 측정한 후, 이를 현재 한국건설자재시험연구원(Korea Institute of Construction Material, 수성 성)의 신뢰성평가센터에서 사용하고 있는 접촉각 측정기의 측정 결과와 비교하여 정확성 및 오차율, 그리고 재현성을 검증하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 개발된 시스템과 KICM의 접촉각 측정기에서 측정된 접촉각의 평균을 네 가지 재료의 시편에서 각각 비교한 결과 모두 오차범위 이내의 차이로 거의 일치함을 보이며 높은 정확성을 나타냈다. 오차율은 8.1%였다.
- (2) 네 가지 재료의 시편에서, 개발된 시스템에서 측정된 접촉각 데이터의 표준편차와 표준편차율은 각각 1.59°, 2.01%로서 KICM의 접촉각 측정기의 1.8°, 2.25%보다 나은 결과를 보이며 뛰어난 재현성을 나타냈다.

참 고 문 헌

1. Good, R. J. 1992. Modern Approaches to Wettability: Theory and Applications. pp. 1-27. Springer Dordrecht, Holland.
2. Good, R. J. and M. N. Koo. 1979. The effect of drop size on contact angle. Journal of Colloid and Interface Science 71(2): 283-292.
3. Hiemenz, P. C, 1986. Principles of Colloid and Surface Chemistry. pp. 287-352. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
4. Kim, Y. H. 2005. Contact angle & surface energy. Prospectives of Industrial Chemistry 8(3):82-93. (In Korean)
5. KS L 2110. 2001. Testing method of wettability of glass substrate.
6. Lee, C. Y., C. H. Kim, K. M. Choi, J. Y. Park and O. C. Kweon. 2003. Development of a novel system for measuring sizing degree based on contact angle (I). Journal of Korea TAPPI 35(3):43-52. (In Korean)