

활판 인쇄용지의 압축성 및 물리적특성 향상을 위한 해조류 섬유의 적용

김병현*¹ · 서영범[†]

(2008년 1월 20일 접수: 2008년 2월 20일 채택)

Application of Sea Algae Fiber for the Improvement of Compressibility and Physical Properties of Letter Press Printing Paper

Byong Hyun Kim*¹ and Yung Bum Seo[†]

(Received January 20, 2008: Accepted February 20, 2008)

ABSTRACT

For the improvement of letterpress printing paper quality, special fibers obtained from the sea were used by mixing with wood fibers. The sizes of the special fibers, which were from red algae in the sea, were 0.5-1 mm in length, and 3-7 μm in width, respectively, and the fibers were supplied by Pegasus Research Inc. for the study.

From the study, it was found that 10% addition of algae fibers greatly improved paper surface strength and internal bonding strength. The compressibility was estimated by utilizing 'Print-surf method' at high clamping pressure and with hard backing. Again, 10% addition of algae fibers greatly improved the compressibility of the paper. These results were expected that algae and wood fibers were distributed evenly through the sheet, and integrated one another to leave no empty space inside the paper.

Keywords : *algae fiber, paper compressibility, paper surface strength, internal bonding strength, intaglio printing, letter press printing.*

• 충남대학교 임산공학과 (Dept. of Forest Products, College of Life Science and Agriculture, ChungNam National Univ., Daejeon, Yuseong-Gu, Gung-Dong, 220, Republic of Korea)

*1 중부대학교 인쇄미디어학과 (Dept. of Graphic Art and Media Technology, Joongbu Univ., Chungnam, 312-702, Republic of Korea)

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: ybseo@cnu.ac.kr

1. 서론

GATF Press¹⁾ (Graphic Arts Technical Foundation Press)에서는 딱딱한 금속성 인쇄판을 사용하는 요판 및 활판 인쇄의 경우 정교한 인쇄물을 얻기 위해서는 피인쇄체로 사용되는 종이의 여러 가지 특성 중 압축성 (compressibility)과 회복능력(resiliency)이 필수적으로 요구되는 특성이라고 제안하고 있다. 이러한 이론에 근거하여 오펀, 활판 및 요판 등 복합적인 인쇄공정을 거친 후 제품으로 생산되는 각종 유가증권 및 인쇄용지의 경우 제품생산에 적용되는 각각의 인쇄공정에 따라 종이의 특성이 고려되어야만 인쇄적성이 향상될 뿐만 아니라 정교한 인쇄가 가능할 것으로 판단된다. 그러나 일반적으로 종이가 가지고 있는 특성은 복합인쇄공정 전부를 충족시키기에는 한계가 있다. 종이의 압축성과 회복능력은 밀도가 낮을수록 증가되는 특성인데 반하여, 최종 인쇄물에서 요구되는 중요한 특성은 강도적 성질이기 때문에 밀도가 어느 정도 유지되는 종이를 선택하게 되므로, 이와 같은 상반된 두 가지 특성을 동시에 만족시키기는 일반적으로 어려운 사항이라 할 수 있겠다.

현재 오펀, 활판 및 요판인쇄가 복합적으로 적용되는 인쇄 공정을 보면, 딱딱한 재질의 금속판에 의한 인쇄와 상대적으로 부드러운 고무판에 의한 인쇄를 병행하고 있다. 플렉소 및 오펀(블라켓)인쇄 공정에서는 금속만큼 딱딱하지 않는 인쇄판의 재질 특성에 기인하여 종이의 압축성이 어느 정도 보완되기 때문에, 인쇄적성을 위하여 요구되는 종이의 특성은 주로 평활도, 표면강도 등과 같은 표면특성에 관점이 주어지고 있다.²⁾ 그러나 유가증권과 같은 보안용지의 경우 강한 요판 압력에서 비롯된 종이 내부결합강도의 감소에 의해 유통수명의 단축 문제가 보완점으로 지적 될 수 있다.

본 연구에서는 종이제조 과정 중 서로 상반되는 특성을 보완할 수 있는 새로운 물질(섬유)을 적용하여 오펀, 활판, 및 요판인쇄 공정에 적합한 용지제조 모델을 제시하기 위해 지금까지 알려지지 않았던 해조류 섬유의 적용 가능성을 검토하기 위해 실시하였다.

본 연구에 사용된 해조류 섬유는 기존의 섬유 원료인 목재 및 비목재가 갖는 특성과는 상이한 특성을 갖는 새로운 섬유로서, 아직까지 그 특성 및 적용성에 대한 연구는 미흡한 상태이지만, 가늘고 길며, 망상 구조를 하

고 있으며, 또 자체 섬유 강도 및 접합 강도의 우수성 높다는 등의 특성으로 미루어 볼 때⁶⁾, 수표 용지 제조 시 bulk 또는 압축성 등 활판인쇄 특성 부여를 위해 혼합되는 활엽수 펄프에 의해 저하되는 내부결합강도, stiffness, 표면강도 저하 등의 부정적 요인을 극복할 수 있을 것으로 예견되며 더 나아가 평활도의 증가 및 부수적인 긍정적 효과도 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1 고해

침엽수 표백크라프트 펄프(Sw BKP)와 활엽수 표백아황산펄프(Hw BSP)를 Valley beater를 이용, 동일조건(고해 농도, 하중)으로 별도 고해를 실시하여 각각 600ml CSF와 500ml CSF의 여수도 값을 갖는 시료를 제조하였다.

2.2 해조류 섬유 펄프

해양에서 추출된 섬유를 (주)페가서스리서치로부터 분양받아 사용하였다. 섬유의 길이는 0.5-1.0 mm 이고, 섬유 폭은 3-7 μm 로 알려져 있다. Fig. 1 은 목재 섬유 백상지 표면과 해조류 섬유의 수초지표면을 300배 배율에서 전자현미경으로 각각 촬영한 것을 보이고 있다.

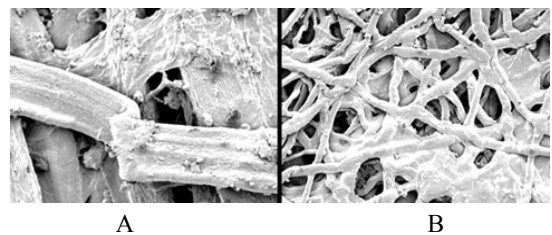


Fig. 1. Wood fibers (A) and Sea algae fiber (B).

2.3 종이 제조

원형 수초지기(The British sheet former)⁴⁾를 사용했으며 원료 배합 및 해조류 첨가조건별 특성 변화 관찰을 용이하게 하기 위해 70 g/m² 평량의 종이를 제조하였으며 수초 조건은 다음과 같다.

2.3.1 원료 배합

별도 고해된 침엽수 및 활엽수 펄프 지료를 혼합비를 달리하여 배합 하였으며 해조류 섬유의 경우 별도 고해 없이 첨가 비율을 달리하여 혼합하였다.

2.3.2 수초 조건

수초지가 갖는 물성 평가의 한계를 극복하기 위해 수압, 교반 방법 등 수초지 조건을 최대한 균일한 조건을 유지하도록 실시하였다.

2.3.3 압착 조건

압착 압력 345 kPa에서 5분간 실시 후 여지를 교체하여 345 kPa에서 2분간 압착 (2-step pressing)을 실시하였다.

2.3.4 건조 방법

수초지를 원형 링에 고착 후 열풍 건조기를 이용 10°C에서 30분간 건조하였다

2.4 압축성 (compressibility) 측정

GATF에 의하면 압축성은 일정 용량의 공기가 일정 압력 조건하에서 종이 표면에서 누수 되는데 걸리는 시간으로 정의하고 있다.

이는 압축성이 우수한 종이의 경우는 공기가 배출되는 금속 표면이 종이 표면과의 밀착성이 우수하여 누수 되는데 걸리는 시간이 증가하는 원리로서 ISO 8791-4 Print-surf와 유사한 방식으로 clamping pressure 1960 kPa 으로 딱딱한 금속판위의 인쇄인 요판인쇄와 980 kPa를 사용하여 부드러운 재질위의 인쇄인 오프셋인쇄의 특성을 모의실험 하였으며, head pressure 는 19.6 kPa로 고정하여 실시하였다.

2.5 종이의 표면강도 측정

TAPPI법에 준하여 왁스법⁵⁾을 사용하였으며 점차적으로 접착력이 증가되는 2A, 5A, 11A, 14A 4종의 왁스틱을 사용하여 종이표면의 잔털이 묻어나는 시점을 비교하였다.

2.6 내부결합강도

Z-directional tensile test 방식을 이용하였다.

2.7 비용적 계산

종이의 bulk를 예측하기 위해 단위무게 당 용적비를 환산했으며 다음과 같은 방식으로 값을 환산하였다.³⁾

$$\text{비용적}(cm^3/g) = \frac{1}{\text{밀도}}$$

2.8 전자현미경 촬영

섬유의 표면과 박편 절단기에 의해 절단된 단면을 주사 전자현미경을 이용 경사각 0°C에서 2차 전자상을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해조류 섬유 첨가에 의한 밀도 및 열단장의 변화

침엽수와 활엽수를 혼합하여 종이를 제조할 경우 활엽수가 증가하면서 종이의 밀도를 비롯한 제반 강도는 저하하는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 본 실험에서는 해조류 섬유를 추가적으로 첨가 한 후 밀도 및 강도회복 효과를 조사하였다.

해조류 섬유의 첨가에 있어서 첨가농도를 5%, 10%, 15%로 첨가한 결과 해조류 10% 첨가 시 탈수와 특성개선 효과가 가장 효과적인 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구에서는 모두 해조류 섬유를 10% 첨가하여 사용하였다.

Fig. 2 에서는 해조류 섬유 미첨가 시료 (control)의 경우는 활엽수의 배합비율이 증가할수록 밀도 값이 저하하는 현상을 확인할 수 있으며 특히 20% 와 40% 활엽수섬유 혼합을 비교 시 밀도가 0.61 g/cm³에서 0.56

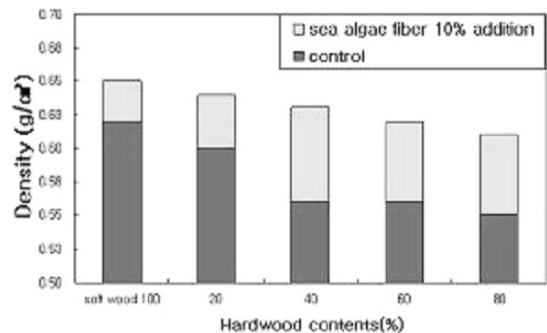


Fig. 2. Increase of density with sea algae fiber addition.

g/cm³으로 크게 저하하는 경향을 확인할 수 있었으나, 해조류를 10% 혼합할 경우 밀도 값이 크게 상승하여 활엽수 20% 처리의 경우와 거의 유사한 수준의 값을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 밀도 상승효과는 활엽수 배합 비율이 40% 이상일 때 더 크게 상승하는 것으로 미루어 침엽수와 활엽수 혼합에 의해 저하되는 밀도 값을 해조류 섬유처리로 회복되는 경향을 확인할 수 있었다.

해조류 섬유 첨가에 의한 인장강도 측정결과는 Fig. 3과 같다. 인장강도는 내절도, 파열강도 등 종이의 강도 값을 대표하는 강도로서 해조류 섬유 첨가에 의한 결과는 밀도의 변화와 유사한 경향을 나타내고 있다.

해조류 섬유를 첨가하지 않은 control시료의 경우는 활엽수 펄프의 배합농도가 증가할수록 비례해서 저하하는 추세이나, 해조류 섬유의 첨가에 의해 인장강도가 증가하며 특히 활엽수 40% 첨가 시까지는 침엽수만으로 제조된 시료와 거의 유사한 값을 나타내는 결과로 미루어 볼 때 해조류 섬유가 섬유간 결합강도 향상에 크게 기여하고 있음을 예측할 수 있다. 따라서 해조류 섬유의 혼합으로 고내절도 용지의 제조 등 다양한 분야로의 적용 가능성을 검토할 필요성이 대두된다.

3.2 해조류 섬유 첨가에 의한 표면 강도 및 내부결합강도의 변화

종이의 표면강도는 옵셋인쇄 시 피킹 현상에 중요한 영향을 미치며 특히 활엽수 펄프의 경우는 미세섬유를 다량 함유하기 때문에 표면강도가 낮고 이로 인해 인쇄시 지분 및 피킹의 원인이 되는 것으로 알려진다. 유가 증권 용지의 경우는 대부분 표면처리공정이 적용되기

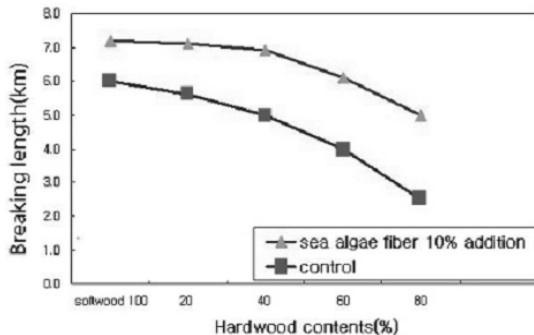


Fig. 3. Change of break length with sea algae fiber addition.

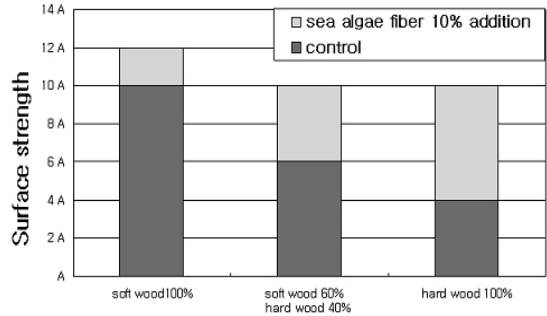


Fig. 4. Increase of surface strength with sea algae fiber addition.

때문에 이와 같은 표면강도 특성은 상대적으로 중요성이 덜 하지만 만약 활엽수 배합 비율의 증가에 따라 저하하는 표면강도 특성을 회복시킬 수 있다면 표면 처리제의 적용을 감소시킬 수 있고 이로 인해 종이의 품질을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 침엽수와 활엽수 펄프혼합에 따른 표면강도의 변화 및 해조류 섬유 첨가에 의한 표면강도는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4 에서와 같이 활엽수 펄프 배합비율이 40%와 활엽수 100%로 제조된 종이의 표면 강도는 6A, 4A로 침엽수 100%의 10A에 비해 현격히 저하하는 경향을 확인할 수 있었다. 그러나 해조류 섬유를 10% 첨가할 경우 활엽수 40%, 100% 모두 침엽수 100%시의 표면강도인 10A까지 급격히 상승하는 결과를 확인할 수 있었는데, 이와 같은 현상은 전자현미경 촬영에서도 확인되는 바로 종이표면에 가늘고 긴 해조류 섬유가 망상형태로 분산되면서 표면에 느슨하게 결합된 일부 목재섬유들을 표면에 정착시키는 역할을 수행한 결과인 것으로 판단되며⁸⁾, 해조류 섬유의 첨가로 표면처리제 처리 농도를 감소시킬 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다. 하지만 수초시기에 의한 실험으로 향후 적용을 위해서는 더 많은 보완 실험이 필요할 것으로 판단된다.

활판이나 요판인쇄가 필요한 경우 종이 내부결합강도가 여타 강도보다도 중요한 요구조건인 것으로 판단되어 해조류 펄프 첨가에 의한 내부결합강도 변화를 관찰하였으며 내부결합강도는 종이의 두께방향 인장강도로 측정하였고 그 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig 5 에서와 같이 해조류섬유 미첨가 시료의 경우는 활엽수펄프배합이 20% 시점부터 현저하게 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 그러나 해조류펄프 10% 처

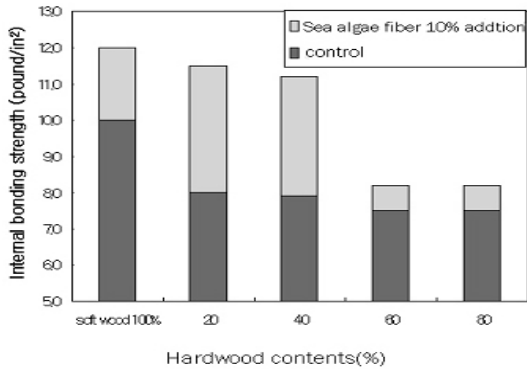


Fig. 5. Increase of Internal bonding strength with sea algae fiber addition.

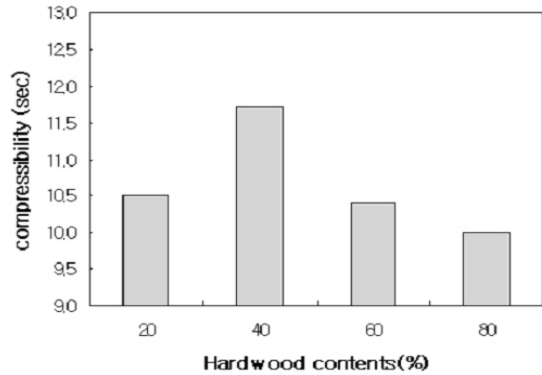


Fig. 6. Change of compressibility with hardwood addition

리 시는 내부결합강도가 급격히 상승하는 경향을 확인할 수 있었으며, 이와 같은 상승효과는 침엽수 100%로 제조된 종이보다 활엽수 펄프가 배합된 종이에서 더 크게 나타났으며 활엽수 40% 혼합 시까지는 침엽수 펄프와 거의 유사한 값을 나타내는 경향을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 종이단면을 촬영한 현미경사진에서 그 요인을 확인할 수 있었는데 활엽수 펄프의 단섬유를 가늘고 긴 망상구조를 가진 해조류 섬유가 접착제로 작용하여 섬유 간 결합을 확대시킨 결과로 예측된다.

3.3. 해조류 섬유 첨가에 의한 압축성 (compressibility)의 변화

이와 같은 방식은 ISO 8791-4의 ‘Print-surf method’와 유사하기 때문에 본 연구에서는 이 방식에 의해 압축성측정을 실시하였으며, clamping pressure를 soft backing방식으로 사용한 980 kPa과 hard backing방식으로 사용한 1960 kPa로 분리하여 실시하였고, head pressure는 19.6 kPa로 고정하여 실시한 후 측정값을 compressibility값으로 사용하였다.

활엽수 배합 비율에 따른 압축성 변화를 관찰하기 위해 clamping pressure 1960 kPa, head pressure 19.6 kPa 조건하에서 실험한 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서와 같이 활엽수 펄프 배합율이 40%일 때 압축성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 따라서 종이의 압축성이 요구되는 요판, 활판 등의 인쇄적성을 향상시키기 위해서는 활엽수 펄프의 혼합이 어느 정도 요구되는 것으로 판단된다.

Fig. 7은 soft backing에 의한 980 kPa의 압력조건 하에서 압축성을 측정된 결과로서 무첨가 시료(control), 5%, 10% 해조류섬유 첨가시료의 값이 유사한 경향을 나타내고 있으며, 해조류 섬유 10% 첨가시료의 경우는 활엽수 첨가 비율이 40% 이상에서 압축성이 약간씩 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 이와 같이 적은 차이는 옅은인쇄 시 불량컷이 갖는 탄성으로 인쇄종이의 압축성이 인쇄품질에 크게 영향하지 않는다는 이론과 유사한 결과 값인 것으로 판단되어진다. Fig. 8은 hard backing을 사용한 1960 kPa의 압력 하에서 압축성을 측정된 결과로서 금속판을 backing으로 이용하는 활판, 요판 인쇄 방식의 인쇄에 의한 종이의 압축성변화를 예측할 수 있는 방식으로 볼 수 있다. 해조류 섬유 10% 첨가에 의해 무첨가 및 5% 해조류섬유 첨가 시료에 비해 급격한 압축성 상승효과를 확인할 수 있었으며, 특히 이와 같은 상승은 활엽수 펄프 40%이상 혼합비에

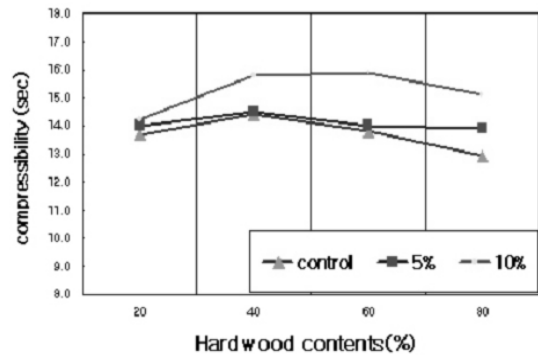


Fig.7. Effect of 980 kPa soft backing method.

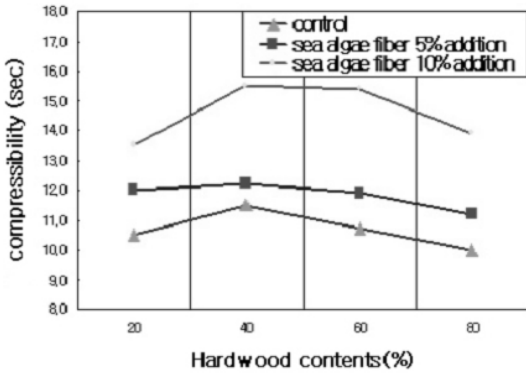


Fig. 8. Effect of 1960 kPa soft backing method.

서 상승폭이 증가하는 경향을 확인할 수 있었다.

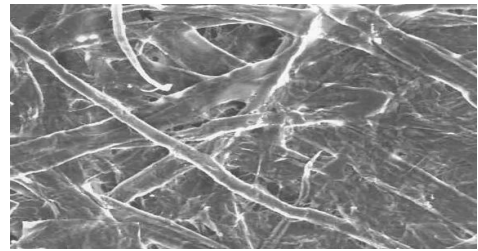
이와 같은 결과는 수초지에 의한 측정결과로서 보다 구체적인 재현성 확인이 요구된다는 점을 감안 하더라도 획기적인 상승효과로 판단된다. 이러한 상승효과는 전자현미경 촬영에 의한 종이의 표면 및 단면 촬영 결과로 예측이 가능하였다. 즉, 망상구조의 가느다란 섬유인 해조류섬유가 종이의 표층 및 내층에 분산되어 존재함으로써 섬유간 결합을 촉진시키는 물론 망상형 섬유배치로 인해 힘의 흡수 및 분산효과가 극대화 되었을 것으로 예측된다.

이상의 결과로부터 해조류섬유 무첨가시료에 비해 해조류섬유를 첨가한 시료의 압축성이 상승하는 결과를 확인할 수 있었으며, 특히 해조류 섬유 10%첨가시료의 경우 압축성이 40~50%향상된 결과를 확인할 수 있었는데, 이와 같은 결과는 획기적인 상승효과로 판단되며, 전자현미경촬영에 의한 종이의 표면 및 단면촬영 결과로도 그 예측이 가능하였다.

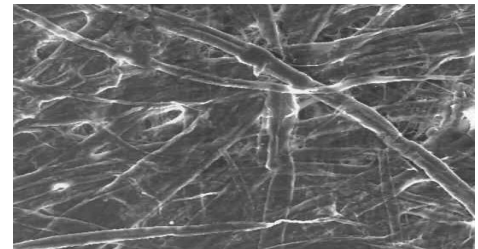
3.4 전자현미경에 의한 종이의 표면관찰

3.4.1 해조류 섬유 무첨가시료 (×350)

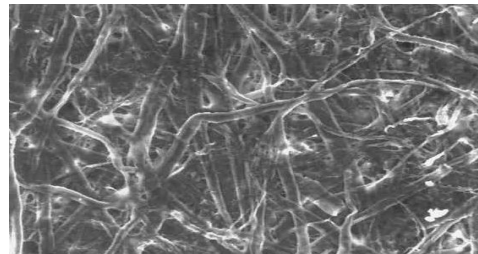
해조류 섬유 무첨가시료의 경우는 활엽수 펄프 배합 비율이 증가 될수록 표면에 단섬유들이 증가하는 경향을 확인할 수 있으며 활엽수 단섬유에 의해 표면강도가 저하하는 것으로 예측된다 (Fig. 9). 해조류 섬유를 10% 혼합한 시료의 경우는 가늘고 긴 해조류 섬유가 표면에 망상으로 배치되어 있으며 활엽수 펄프 54% 처리시료의 경우는 해조류 섬유가 단섬유와 장섬유간 가교를 형성하면서 망상형태로 분포하는 것으로 미루어 종이의



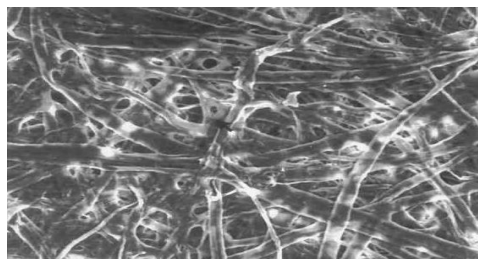
a) softwood 100%



b) softwood 60%, hardwood 40%



c) softwood 40%, hardwood 60%

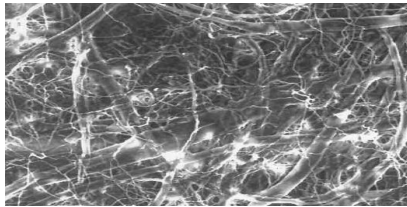


d) hardwood 100%

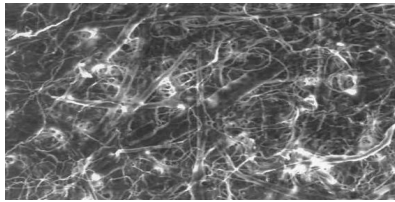
Fig. 9. Surface images of wood fiber handsheets.

표면강도 향상의 요인이 되는 것으로 판단된다 (Fig. 10). 해조류 섬유가 가늘고 긴 상태에서 망상형태로 분포하면서 종이내부 및 표층에서 섬유간 접착력을 증가시키면서도 압축성의 증가 현상이 촉진된 것으로 예측할 수 있다.

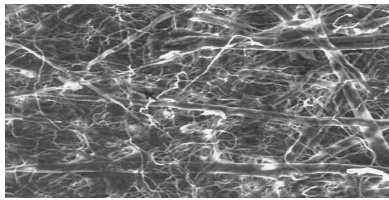
3.4.2 해조류 섬유 10% 첨가시료 (×350)



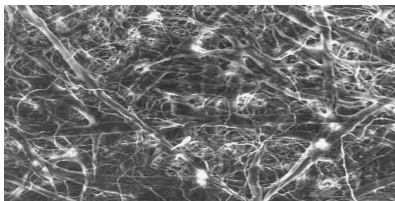
a) softwood 90%, algae pulp 10%



b) softwood 54%, hardwood 36%, algae pulp 10%



c) softwood 36%, hardwood 54%, algae pulp 10%



d) hardwood 90%, algae pulp 10%

Fig. 10. Surface images of the wood and algae fiber mixture handsheets.

3.5 전자현미경에 의한 종이 단면관찰

해조류섬유를 첨가한 종이의 단면을 촬영 비교한 결과 종이의 표면에서와 마찬가지로 종이 내부에서로 가늘고 긴 해조류 섬유가 섬유와 섬유 간 접합을 증가시키는 가교 역할을 수행하고 있는 현상을 확인 할 수 있었으며 이로 인해 종이의 내부결합강도를 증가시키는 요인으로 작용되었음을 예측 할 수 있었다. Fig. 11은 해조류 섬유를 첨가하지 않은 경우이며, Fig. 12는 해조류 섬유를 10% 첨가한 경우의 단면사진이다.

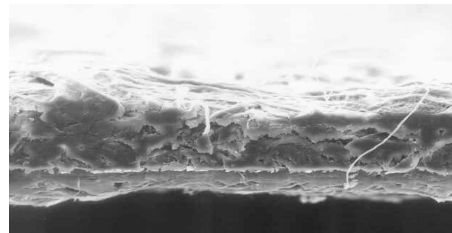
이러한 현상은 기존의 표면처리 공정만으로 제조된

종이의 경우는 표면처리 용액이 종이 표층부위에만 침투되며, 이로 인해서 고압의 인쇄압력이 작용 할 경우 종이내부의 결합력파괴에 의한 인쇄된 종이의 내구성 감소현상이 생기는 것을 짐작할 수 있으며, 이를 극복 할 수 있는 섬유로서 해조류섬유의 사용이 가능할 것으로 판단되었고, 이에 대한 상업적 이용연구의 필요성을 확인 할 수 있었다.

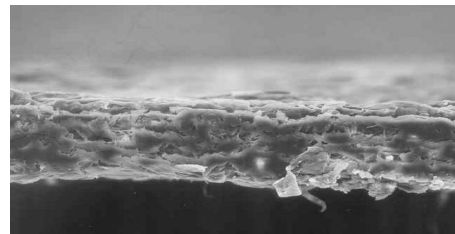
3.5.1 해조류 섬유 무첨가시료 (×350)



a) softwood 100%



b) softwood 60%, hardwood 40%



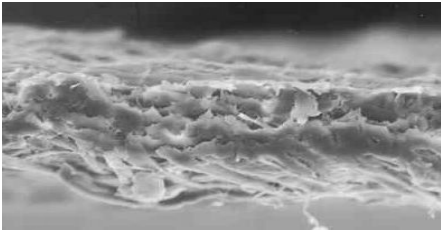
c) softwood 40%, hardwood 60%



d) hardwood 100%

Fig. 11. Cross section images of wood fiber handsheets.

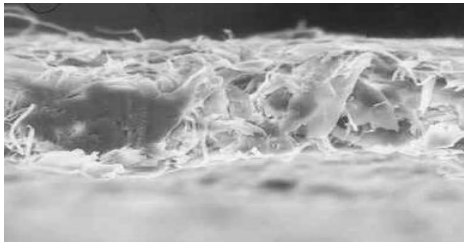
3.5.2 해조류펄프 10% 처리시료 (×350 각각)



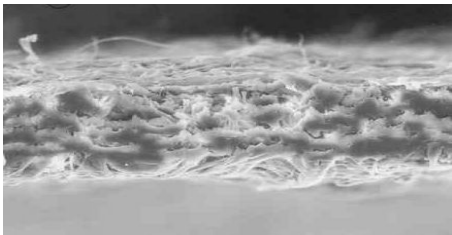
a) softwood 90%, algae pulp 10%



b) softwood 54%, hardwood 36%, algae pulp 10%



c) softwood 36%, hardwood 54%, algae pulp 10%



d) hardwood 90%, algae pulp 10%

Fig. 12. Cross section images of wood and algae fiber mixture handsheets.

4. 결론

침엽수와 활엽수 표백펄프를 혼합한 종이에 새로운 종류의 섬유인 해조류 섬유를 첨가하여 그 특징을 살펴 보았으며, 강한 내부결합이 요구되는 활판 및 요판인쇄

에 적합한 종이를 생산할 수 있음을 알 수 있었고 다음과 같은 세부적인 결과가 도출되었다.

1. 해조류섬유 첨가에 의해 무처리 시료에 비해 최대 밀도 15%, 열단장 75%의 상승효과를 확인할 수 있었다.

2. 종이의 표면강도도 활엽수 펄프 혼합비율이 증가함에 따라 감소하였으나 해조류 섬유 10% 첨가 시는 활엽수펄프의 첨가로 감소되는 표면강도를 회복하였다.

3. 강한 인쇄압력에 견딜 수 있는 종이의 내부결합 강도는 활엽수 섬유첨가에 의해 감소되나 해조류 섬유의 첨가에 의해 회복하는 효과를 알 수 있었다.

4. 요판 및 활판 인쇄용지에 중요한 물리적 특성인 압축성은 침엽수 60%와 활엽수 40%를 혼합한 종이가 가장 높았다. 해조류 섬유를 10% 첨가할 경우는 활엽수 80% 첨가 시까지 일정한 기울기로 종이의 압축성은 증가하였다.

6. 종이의 표면 및 단면의 전자현미경 촬영 결과 해조류 섬유가 망상형의 그물형태로 목재섬유와 결합을 하는 것을 확인할 수 있었으며 특히 해조류 섬유의 가늘고 긴 특성으로 인해 종이 내부 및 표면의 섬유들을 연결시키는 역할을 하는 것을 확인하였다.

인용문헌

1. Lawrence A. Wilson, what the printer should know about paper, GATF press, pp. 139 ~ 212 (1998).
2. Terrance E. Connors sujit Banerjee, Surface analysis of paper, CRC press, pp. 41 ~ 71 (1995).
3. 한국제지공업 연합회, 펄프 제지 기술 편람, pp. 446 ~ 465 (1985).
4. TAPPI Test method T205 om81.
5. TAPPI Test method T459 om-83.
6. Ward K., Voelker M. H., Maclaurin D. J., Cotton Linter as Paper making Fibers, Tappi J., 48(11) Nov. (1985).
7. William E. Scott, Properties of Paper an Introduction, TAPPI Press, pp. 53-57 (1989).
8. Niskanen K., Papermaking Science and Technology, Paper Physics, pp. 161-171 (1988).