

〈研究論文(學術)〉

## 전해환원수에 의한 폴리에스테르 직물의 감량가공 특성

노덕길<sup>1</sup> · 홍영기\* · 배기서\*\*

청운대학교 패션디자인섬유공학과,  
\* 선진인더스트리(주)  
\*\* 충남대학교 섬유공학과

## Weight Reduction Properties of PET Fabrics Treated with Electrolytic Reduction Water

Duck-Kil Ro<sup>1</sup>, Young-Ki Hong\* and Kie-Seo Bae\*\*

Dept. of Fashion Design & Textile Engineering,  
Chungwoon University, Hongseong, Korea

\*Sunjin Industry Co. Ltd. Research Center, Nonsan, Korea

\*\*Department of Textile Engineering, Chungnam National University,  
Daejeon 305-764, Korea

(Received July 21, 2005/Accepted September 9, 2005)

**Abstract**—The electrolytic water(EW) has been used in agriculture, medical, semiconductor, and household fields. However there has been no use of EW in the textile process so far, because the application in the textile industry has been needed a large amount of EW in real process conditions. Recently, we have got electrolytic oxidation water(EOW) and electrolytic reduction water(ERW) by development of a electricity electron technology. And, the productivity of EW manufacture apparatus is arrived to large capacity. As a result, the application of EW could be possible in the textile industry. In this study, to confirm the possibility of application of EW, we scoured and hydrolyzed PET fabric using the EW. It was possible that the application of ERW for the scouring and hydrolysis of PET fabrics in the textile process.

**Keywords** : Electrolytic oxidation water, electrolytic reduction water, PET scouring, hydrolysis, wastewater

### 1. 서 론

폴리에스테르 섬유(이하 PET 섬유)는 의류용을 비롯하여 산업자재용 등에 가장 널리 이용되는 섬유로서 강력, 형태 안정성, 내열성, 내광성, easy-care성 등의 제반 성질이 우수한 반면 의류용에서는 소수성이기 때문에 착용상의 문제점

과 정전기 발생으로 인한 불편감, 그리고 유성 오염 제거의 어려움 등 큰 단점을 가지고 있다.

이러한 단점을 보완, 개선하기 위해 지금까지 여러 가지 가공법이 제시되어 왔으며 그중 알칼리 감량에 의한 PET섬유표면의 개질은 섬유 본래의 강인성을 없애고 견과 같은 드레이프성을 주어 좋은 촉감을 부여하는 방법이 가장 대표적인 예로 들 수 있다.

한편 최근 전기 전자 기술의 발달은 물을 전

<sup>1</sup>Corresponding author. Tel. : +82-41-630-3223 ; Fax. : +82-41-634-8740 ; e-mail : rdk8441@chungwoon.ac.kr

기 분해하여 전해산화수(Electrolytic Oxidation Water ; EOW, pH 2.5이하)와 전해환원수(Electrolytic Reduction Water ; ERW, pH 11.0이상)를 얻을 수 있게 되었고, 전해수 제조기의 생산량도 대량화 되어 산업 현장에의 응용이 가능하게 되었다<sup>1~5)</sup>. 그러나 섬유 공업 분야에서는 전해수에 관한 이해 부족과 명확한 이론적 기구 구명이 되지 못하여 이용의 폭을 넓히지 못하였으나 최근 염색 가공 분야에의 이용에 관한 기초적 연구가 진행됨에 따라 그 응용 가능성이 높아지고 있다<sup>6~11)</sup>.

특히, PET 섬유의 알칼리 감량 공정은 제품의 최종 단계에 이루어지고 있기 때문에 소재 섬유의 불균일 및 가공 공정 중의 불균일, 즉 전처리 공정, 가공 약제, 욕비, 가공방법 등의 불균일은 제품의 촉감, 외관 및 품질에 직결되므로 매우 중요하고 까다로운 공정이다. 그러므로 이러한 공정에 전해수를 응용하여 PET 직물의 정련 및 감량 공정에 사용한다면 약제를 전혀 사용하지 않거나 절감할 수 있으며, 특히 전해환원수의 높은 세척력과 침투력<sup>12,13)</sup> 때문에 PET 직물의 정련 공정에 큰 효과가 기대 되는 한편 알칼리 감량공정의 품질 관리를 손쉽게 함과 동시에 이에 따른 새로운 알칼리 감량공정 조건이 확립될 수 있다고 본다.

따라서 본 연구에서는 전해 환원수를 이용하여 PET 직물을 감량함으로써 약제의 절약, 공정 단축, 폐수의 질 향상, 제품의 품질향상 등을 목적으로 전해수 정련과 배치식 감량, 그리고 반 연속식 감량에 의한 가공 효과 등을 평가하여 전해수의 응용 가능성을 검토하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시료 및 시약

본 실험에 사용된 정련 시료는 생산 현장에서 입수한 호발 정련 되지 않은 직물을 사용하였으며 감량 가공에 사용한 직물은 현장에서 정련 공정을 거친 시료와 실험실에서 정련을 한 시료를 병용하였다. 그리고 실험에 사용한 제반 약제는 모두 1급 시약을 사용하였으며, Table 1은 각각의 직물들의 특성을 나타내었다.

### 2.2 실험장치

Fig.1은 실험에 사용한 전해수 제조장치의 구조를 나타낸 것으로 이 장치는 공업용수의 불순물을 일차 필터로 제거하고 소량의 전해질( NaCl)이 투입되어 전해조로 유도되며 전해조에서 전기 분해된 전해수는 직접 처리욕에 공급되어 사용되도록 하였다. 본 실험에 사용된 전해수 제조장치의 전해수 생산량은 50톤/일로 현장에서 사용 가능하도록 설계제조 되었다.

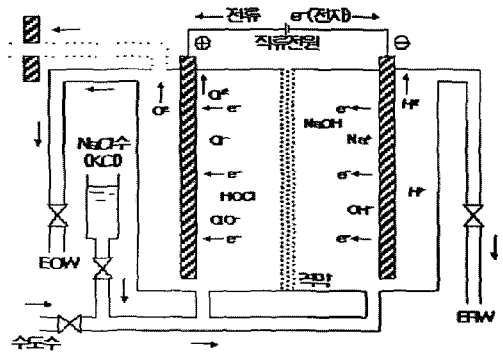


Fig. 1. Schematic diagram of diaphragm electrolytic water system.

Table 1. Specification of PET fabrics used in this study

Sample name	Warp yarn (denier/filament)	Weft yarn (denier/filament)	Woven structure	Fabric density
PET-A fabric	75d/24f <sup>a</sup> SD	75d/24f SD	plain	106T/inch×86T/inch
PET-B fabric	75d/36f SD	75d/36f SD	plain	116T/inch×70T/inch
PET-C fabric	75d/36f SD	75d/36f <sup>b</sup> DTY	twill	246T/inch×70T/inch
PET-D fabric	150d/72f HOY	150d/72f <sup>c</sup> HOY	plain	75T/inch×58T/inch

<sup>a</sup>SD : Semi-dull, <sup>b</sup>DTY : Draw textured yarn, <sup>c</sup>HOY : Highly oriented yarn

### 2.3 실험 방법

#### 2.3.1 폴리에스테르 직물의 정련 및 감량 가공

PET 직물의 감량가공 공정에서 정련공정과 감량공정을 분리하는 것이 불필요한 경우도 있지만, 정련공정의 불량은 후속공정의 균일한 감량에 크게 영향을 미치기 때문에 본 실험에서는 실험실적 방법에 의한 정련으로 별도로 제작한 정련 장치를 사용하여 98℃에서 20분 동안 정련하였다.

그리고 알칼리 가수분해에 의한 감량가공은 직물의 다양화, 공정의 합리화, 품질의 안정화, 생산성 향상 등의 요구에 대응하기 위하여 다양한 가공법이 이용되고 있고, 또한 직물의 종류와 용도 및 현장 사정에 따라 배치식, 반연속식, 연속식 등으로 현장에 적합한 방법을 채택하고 있으므로 본 실험에서는 배치식 가공법과 정련공정에 회전세척기(Rotary Washer)를 이용한 반연속식 감량법으로 실험 검토하였다. 여기서 실험실적 배치식 감량은 자체 제작한 정련 및 감량기(20ℓ)를 이용하여 98℃에서 30분과 60분 동안 처리하였으며, 반연속식 감량은 현장조건과 거의 동일하게 하기 위하여 회전세척기에서 98℃로 30분 동안 정련하고 무장력감량기를 이용하여 105℃에서 30분 동안 감량 후 수세하였다.

#### 2.3.2 정련 및 감량율

정련 및 감량율은 시료의 정련 및 감량 전·후 중량을 측정하여 계산하였고, 중량 측정은 KS K 0220의 오븐 건조 무게 측정법에 따라 실험하였다.

#### 2.3.3 정련 및 감량 효과 평가

##### (1) 표면관찰

직물의 정련 및 감량 정도를 알아보기 위하여 주사형 전자현미경(SEM, Streo-Scan 440)으로 직물표면을 촬영하여 평가하였다

##### (2) 직물강신도 측정

정련 및 감량가공된 직물의 강신도는 KS K 0520의 Ravelled strip method로 인장강도 시험기(Instron series IX, USA)을 사용하여 측정하였다.

##### (3) 환경지수 측정

전해수를 이용함으로써 사용 약제를 줄일 수 있기 때문에 가공공정 후 배출되는 폐수의 질이 향상되리라고 기대되어 KMnO<sub>4</sub>법에 따라 환경지수(COD, BOD)를 측정하여 평가하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 폴리에스테르 정련

Fig. 2는 전해환원수를 이용하여 PET 직물의 정련 가능성을 파악하기 위하여 세 종류의 현장시료 즉, PET-B, PET-C, 그리고 PET-D에 대한 정련 효과를 나타낸 것으로 세 종류의 PET 직물은 모두 전해환원수만을 사용하여 동일조건으로 98℃에서 20분간 처리한 정련결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 전해수의 pH가 높아짐에 따라 정련율이 크게 향상되었고, pH 12 이상에서 최대 6%의 정련율을 나타내는 것으로 보아 전해 환원수 단독으로 정련을 하여도 높은 정련율을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 합성섬유의 가호 공정에서 부여되는 호료의 량이 대략 2~3% 정도임을 고려할 때 4~6%의 정련율은 직물에 붙어 있는 호료의 탈락 뿐만 아니라 PET 섬유 자체의 감량에 의한 감량효과가 있기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 3은 PET-D 직물을 현장에서 사용하는 기존 정련법(NaOH(5%), 정련제(2%), 호발제(0.3%))과 전해 환원수 정련법에 의해 각각 20분 동안 처리한 시료의 온도에 따른 정련율을 비교 평가한 것으로 98℃의 충분히 높은 처리온도에서는 전해 환원수 정련법에 의해 정련하는 경우에도 약제를 사용하는 현장 정련만큼의 높은 정련율을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다. Fig. 4는 실험 온도에 따른 정련 시료들의 직물표면을 SEM으로 촬영한 것으로 기존정련법으로 처리한 시료와 전해 환원수 정련법으로 처리한 시료의 정련정도의 차이를 찾아 볼 수 없을 정도로 모두 깨끗하게 정련되었음을 확인할 수 있었다

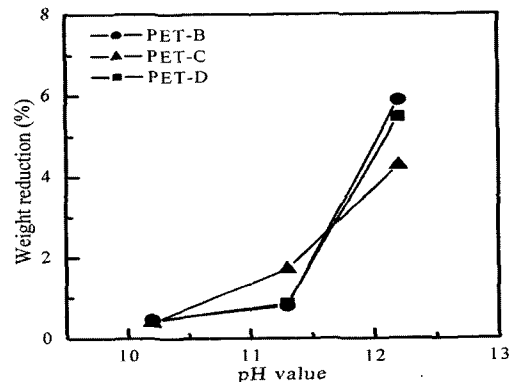


Fig. 2. Weight reduction of different PET fabrics treated with ERW at various pH value.

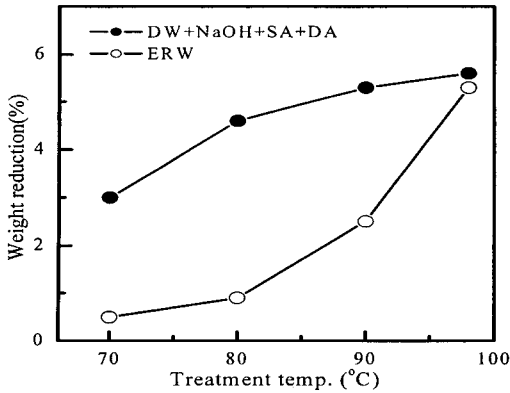


Fig. 3. Weight reduction of PET-D fabric treated at various temperature for 20min. SA : Scouring agent, DA : Desizing agent DW : Distilled water

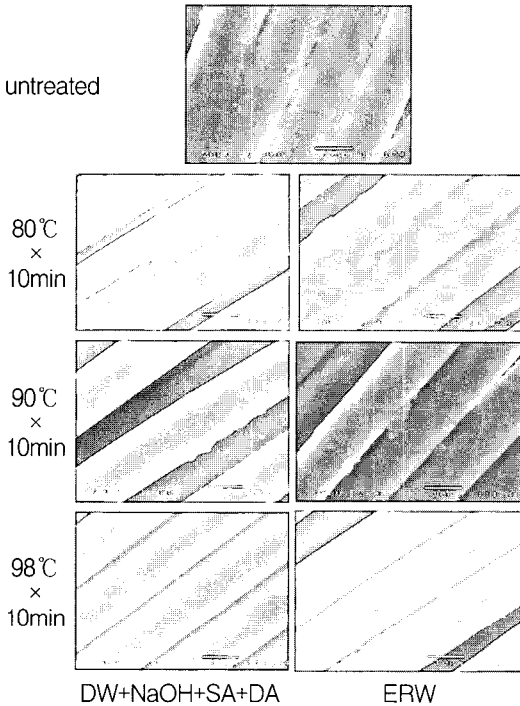


Fig. 4. SEM microphotographs of PET-D fabric treated at various temperature.

### 3.2 실험실적 배치식 감량가공

Fig.5는 98°C에서 30분과 60분 동안 감량처리할 때 첨가된 NaOH 양에 따른 PET-A 직물의 감량을 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 30분 처리한 경우 기존감량법과 전해 환원수 감량법의 감량을 차이는 보이지 않았으나 60분 처리한 경

우에는 전해 환원수 감량법이 9% 정도 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 전해수의 낮은 표면장력에 기인한 높은 침투력 때문에 PET 섬유에 가수분해 반응이 빨리 진행되어 나타나는 현상이라 판단된다. 또한, 일반적으로 PET 직물에서 많이 채택하는 감량을 20%~25% 정도라고 한다면 지금까지 사용하던 약제에 의한 방법으로는 6-8%의 NaOH가 필요하지만 전해 환원수에 약제를 첨가하여 가수분해한 경우는 4.6%의 NaOH로 동일한 감량효과를 얻을 수 있으므로 약 25%의 NaOH를 절감할 수 있다.

한편, Fig. 6은 Fig. 5의 실험에서 감량 처리된 PET-A 직물들의 물성변화를 측정하기 위하여 감량율에 따른 인장강도시험을 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 것과 같이 비슷한 정도의 감량율을 갖는 직물의 인장강도를 비교해 볼 때 전해 환원수 감량법에 의해 처리된 시료의 인장강도가 크게 나타남을 알 수 있다. 이것은 같은

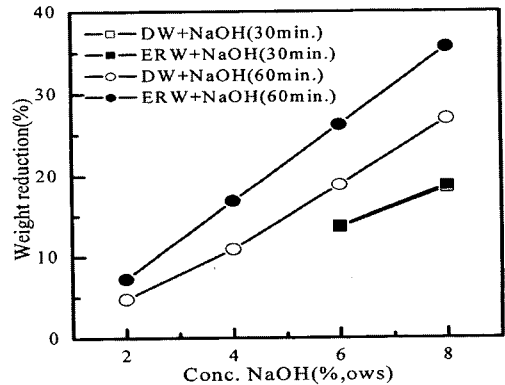


Fig. 5. Weight reduction of PET-A fabric treated with different NaOH concentration.

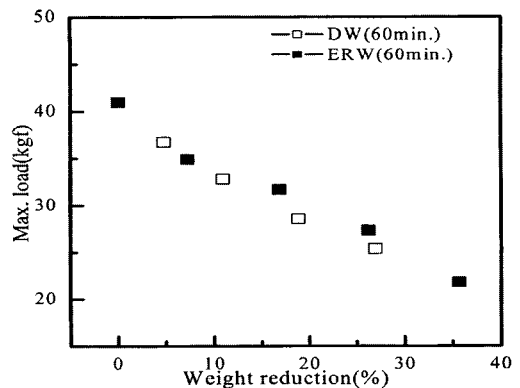


Fig. 6. Max. load of PET-A fabric hydrolyzed with different weight reduction.

감량율의 경우에 기존 감량법보다 전해환원수에 의한 감량법이 처리직물의 강도저하를 막을 수 있다는 것을 보여 준다.

Fig. 7은 PET-B 직물을 이용하여 98°C와 8% NaOH의 일정조건에서 처리시간에 따른 감량을 변화시킨 것으로, 8%의 NaOH 수용액과 같은 농도의 전해 환원수 용액으로 감량 가공한 것을 비교해 볼때, 전해환원수를 이용한 것이 증류수를 이용한 것보다 감량율이 더 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 감량 처리된 PET-B 직물들의 물성 변화를 측정하기 위하여 감량율에 따른 인장강도 시험을 나타낸 것으로, PET-A 직물에서 알 수 있듯이 전해 환원수 감량법에 의해 감량된 직물이 기존의 감량법에 의해 감량된 직물보다 더 많이 감량되었음에도 불구하고 인장강도가 더 크게 나타나는 경향을 알 수 있었다. 이는 PET-A

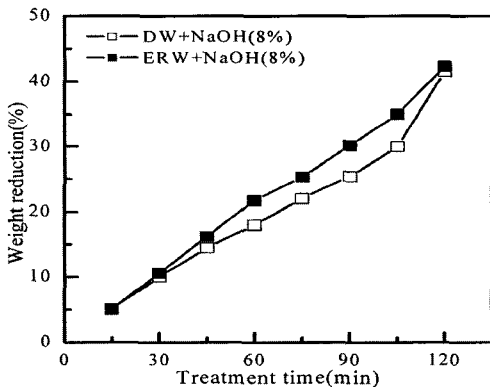


Fig. 7. Weight reduction of PET-B fabric hydrolyzed with various treatment time in different finishing methods.

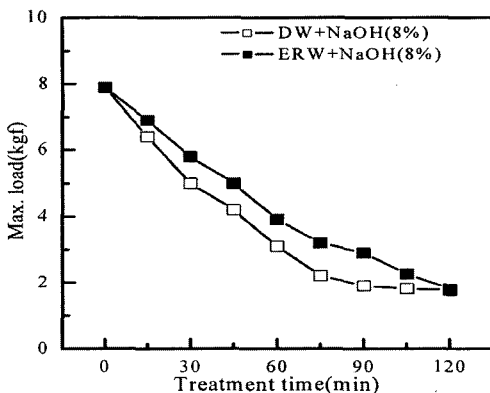


Fig. 8. Max. load of PET-B fabric hydrolyzed with various treatment time in different finishing methods.

직물의 경우와 같이 전해환원수 감량법에 의해 NaOH를 절약할 수 있으며, 또한 기존 감량법보다 감량처리과정에서 발생하는 강도저하를 방지할 수 있다는 것을 확인함으로써 새로운 방식의 감량효과의 결과라고 생각된다.

Fig.9는 감량 처리된 시료들의 표면을 관찰한 사진이다. 처리 시간이 길어짐에 따라 기존 감량법 및 전해 환원수 감량법 모두 감량 흔적(Void 또는 Crack)이 관찰되었고, 이러한 동일 조건에서의 두 감량법을 비교해 볼때, 전해 환원수 감량법으로 처리된 시료의 표면이 기존 감량법으로 처리된 것보다 감량 흔적이 작고 균일함을 관찰할 수 있었다. 이는 앞의 Fig. 5와 Fig. 6에서 나타난 전해 환원수 감량법으로 처리한 시료가 기존 감량법에 비해 높은 인장강도를 나타내는 이유를 표면 관찰 사진과 연관시켜 검토해보면 강한 약제가 아닌 전해 환원수에 의해 PET 섬유 표면부터 약한 가수분해가 균일하게 일어나 작고 균일한 감량 흔적을 갖게 되어 취약점(weak point)의 감소에 기인하는 것으로 판단된다.

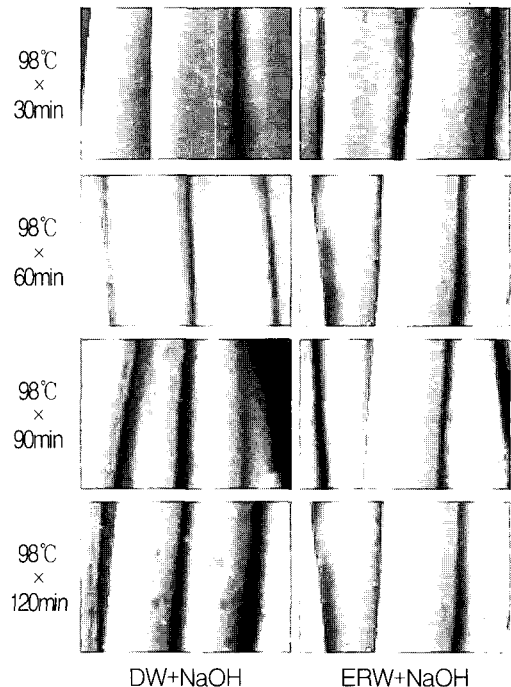


Fig. 9. SEM microphotographs of PET-B fabrics hydrolyzed in different finishing methods.

### 3.3 반연속식 감량가공

Fig. 10은 PET-D 직물의 정련과 감량 처리방법에 따른 총 무게 감소율을 나타낸 것이다. 그림에서 A, B, C는 정련방법을 구분한 것으로 A는 현장에서 시행하는 기존정련법과 같이 NaOH, 탈호제(DA), 정련제(SA), 침투제(PA), 표백제를 소정 농도로 첨가하여 정련처리한 것이고, B는 전해환원수 단독으로 정련한 것이고, C는 A와 같은 농도의 NaOH만을 전해환원수에 첨가하여 정련한 것을 의미한다. 그리고 각각의 경우 정련 후 다른 처리 없이 무장력감량기로 이동시켜 감량 처리하였으며 이때 가공처리는 두 방법으로 처리하였는데 Method-I(이하M-I)은 기존의 방법과 같이 공업용수에 소정의 약제를 넣고 감량처리한 것이고, Method-II(이하M-II)는 전해수에 M-I의 경우와 같은 농도의 NaOH만 넣고 감량처리한 것이다.

그림에서 알 수 있듯이, A, B, C와 같은 정련방법의 차이에 상관없이 전해 환원수를 이용하여 감량 가공한 M-II가 기존의 감량방법으로 가공한 M-I보다 감량율에 있어서 조금 낮다는 것을 알 수 있으며, 기존의 정련법으로 정련한 후 기존의 감량방법으로 감량한 것(A,M-I)과 전해수를 이용한 것(A,M-II) 그리고 전해수에 약간의 NaOH를 첨가하여 정련한(C) 후 감량을 달리한 것(C,M-I과 C,M-II)은 감량율이 모두 약 30% 정도를 나타내었고, 전해수만으로 정련(B)한 후 감량방법을 달리한 것(B,M-I과 B,M-II)은 약 20%의 감량율을 보였다. 이는 전해수만을 사용하여 정련을 하는 경우 정련이 조금 부족하여 충분한 감량이 이루어 지지 않는다는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 전해수만으로 정련을 할 경우 호료의 탈락은 이루어지지만 섬유 자체의 가수 분해는 이루어지지 않기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 전해환원수에 약간의 NaOH를 사용하여 정련을 한 후 전해수에 침투제 등 조제를 첨가하지 않고 소정의 NaOH만을 첨가하여 감량 가공을 하더라도 기존의 방법에 의한 감량율 정도를 얻을 수 있음을 확인하였다.

Fig. 11은 앞에서 처리된 시료들의 감량율에 따른 인장강도를 나타낸 것이다. 여기에서 전해 환원수를 사용하여 감량한 것(M-II)이 기존의

감량방법에 의한 것(M-I)보다 전반적으로 큰 인장강도를 나타내는 것을 확인 할 수 있었고, 기존의 방법인 A,M-I과 전해환원수에 의한 정련 및 감량법인 C,M-II를 비교해 볼때, C,M-II방법 즉 전해 환원수를 이용한 가공법이 기존의 방법보다 약 2.5% 정도 감량율이 낮지만 인장강도는 크게 나타났다. 이는 감량율이 낮기 때문에 당연히 강도가 크게 나타나겠으나 그 차이

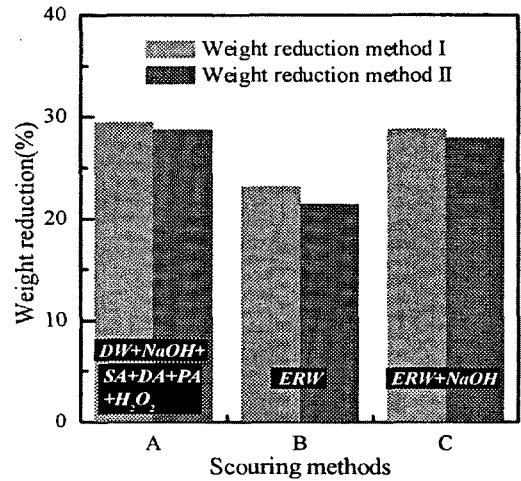


Fig. 10. Weight reduction of PET-D fabric treated with different scouring and hydrolysis methods.

Method I : DW+NaOH(4.75%)+alkali-penetration agent (4g/l)  
Method II : ERW+NaOH(4.75%)

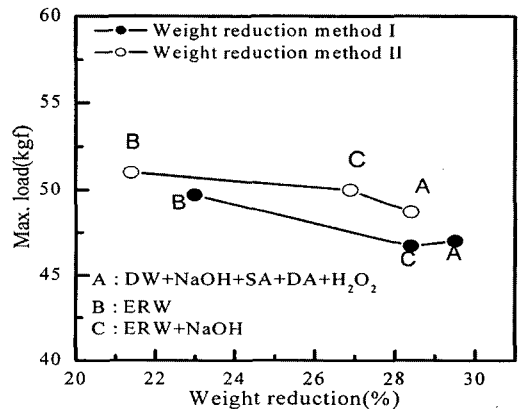


Fig. 11. Max. load of PET-D fabric hydrolyzed with different weight reduction.

Method I : DW+NaOH(4.75%)+alkali-penetration agent(4g/l)  
Method II : ERW+NaOH(4.75%)

크다는 것은 앞에서도 언급한 균일한 감량에 기인한 것이라고 생각할 수 있으며 이에 관하여는 보다 더 정교한 검토가 요구된다고 생각된다.

이상의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 NaOH를 제외한 다른 조제의 첨가 없이 정련과 감량을 하더라도 기존 방법에 의한 것과 유사하거나 보다 우수한 감량결과를 얻을 수 있었으며, 또한 PET 섬유에 전해환원수에 의한 새로운 감량가공 효과를 확인할 수 있었다.

### 3.4 공정폐수의 수질평가

Table 2는 감량방법에 따라 전해환원수와 일반 용수에 각각 일정량의 NaOH를 첨가하고 액류 염색기를 이용하여 PET 직물을 감량 가공한 후 가공폐수에 대한 환경지수를 나타낸 것이다.

여기에서 Conv.(Conventional)은 현장에서 사용되고 있는 방법으로 증류수에 NaOH와 기타 조제를 첨가하여 감량처리한 방법이고 ERW은 증류수대신 전해환원수를 사용하고 약제는 NaOH만을 넣어 감량처리 한 방법이다. NaOH의 첨가량이 증가함에 따라 환경지수가 증가한다는 것을 알 수 있으며, 전해환원수를 사용한 경우가 다른 경우에 비해 그 값이 작게 나타났다. 이것은 기존의 가공방법에서는 알칼리 침투제 등의 조제의 양을 많이 사용하였기 때문이라고 생각 된다.

따라서 이러한 전해환원수를 섬유산업에 응용한다면 조제의 양을 절감할 수 있고, 또한 폐수부하를 줄일 수 있으므로 새로운 친환경, 에

너지절약형 가공방법이라 생각되며 그 응용 범위가 매우 크다고 사료된다.

## 4. 결 론

PET 직물의 감량 가공에 있어서 약제의 절약, 공정 단축, 폐수의 질 향상, 그리고 제품의 품질 향상 등을 개선할 목적으로 전해수를 이용한 정련과 배치식 감량, 반 연속식 감량을 수행하고 가공 효과 및 폐수의 수질을 평가하여 전해수의 응용 가능성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. PET 직물의 정련에 있어서 약제를 사용하지 않고 전해환원수만으로 정련을 하더라도 온도가 충분히 높을 경우 우수한 정련성을 얻을 수 있었다.
2. 전해환원수에 의한 감량가공 공정에는 기존 사용량의 80% 정도의 NaOH 만을 사용하여도 만족할 만한 감량효율을 얻을 수 있었으며 균일한 감량효과로 강도가 다소 향상됨을 확인할 수 있었다.
3. 전해환원수를 이용함으로써 약제의 절감과 더불어 가공폐수 부하를 줄일 수 있으므로 새로운 친환경, 에너지절약형 가공방법으로 그 응용 범위가 크다는 것을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

이 논문은 2004년도 청운대학교 교수학술 연구조성비에 의하여 수행한 연구결과임.

**Table 2.** COD and BOD values of PET hydrolysis wastewater treated with various NaOH concentration in different finishing methods

		NaOH				
		2 %	4 %	6 %	8 %	10 %
COD (mg/l)	<sup>a</sup> Conv.	301	858	1447	2035	2787
	ERW	231	634	1119	1465	1935
BOD (mg/l)	Conv.	1010	2971	5109	7222	8733
	ERW	736	1899	3475	4557	5414

<sup>a</sup>Conv. : Conventional method

## 참고문헌

1. S. Srinivasan and F. J. Salzano, Prospects for hydrogen production by water electrolysis to be competitive with conventional methods, *International Journal of Hydrogen Energy*, **2**(1), 53-59(1977).
2. A. J. Appleby, G. Crepy and J. Jacquelin, High efficiency water electrolysis in alkaline solution, *International Journal of Hydrogen Energy*, **3**(1), 21-37(1978).
3. J. Divisek, P. Malinowski, J. Mergel, and H. Schmitz, Improved construction of an electrolytic cell for advanced alkaline water electrolysis, *International Journal of Hydrogen Energy*, **10**(6), 383-388(1985).
4. 高橋正雄, いわゆるアルカリ, 酸性水および殺菌水生成水處理電解プロセスの量論, *ソーダと鹽素*, **46**(7), 259-266(1995).
5. 山中信介, 電解酸化水を佩利用した衛生管理技術, *食品加工技術*, **15**(2), 7-16(1995).
6. J. W. Richards, The electrolysis of water, *Journal of the Franklin Institute*, **160**(5), 377-390(1905).
7. D. W. Kirk and A. E. Ledas, Precipitate formation during sea water electrolysis, *International Journal of Hydrogen Energy*, **7**(12), 925-932 (1982).
8. O. Groterud and L. Smoczynski, Phosphorus removal from water by means of electrolysis, *Water Research*, **20**(5), 667-669(1986).
9. D. Pletcher, Environmental oriented electrochemistry, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **379**(1-2), 551-552(1994).
10. S. H. Lin and M. L. Chen, Treatment of textile wastewater by chemical methods for reuse, *Water Research*, **31**(4), 868-874(1997).
11. P. C. Vandevivere, R. Bianchi and W. Verstrate, Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet-Processing Industry: Review of Emerging Technologies, *Journal of Chem. Technol. Biotechnol.*, **72**, 289-302(1998).
12. H. Wendt, H. Hofmann and V. Plzak, Materials research and development of electrocatalysts for alkaline water electrolysis, *Materials Chemistry and Physics*, **22**(1-2), 27-49 (1989).
13. 松尾昌樹, 電解水の基礎と利用技術, 技報堂出版, pp.16-18, 2000.