

空氣洗滌에 의한 農業用 폐필름의 再活用 研究

金倫寬 · 姜旻 · 李種文* · *尹泰浩

光州科學技術院 新素材工學科, 에너지環境研究센터

*全北大學校 高分子工學科

A Study on the Recycling of Agricultural Films by Air Washing

R. K. Kim, M. Kang, J M. Lee* and *T. H. Yoon

Department of Materials Science & Engineering and Energy & Environmental Research Center Kwangju Institute of Science & Technology (K-JIST)

**Department of Polymer Science & Technology, Chonbuk National University*

요 약

농업용 폐비닐 재활용을 위하여 공기를 이용한 세척기를 개발하였으며, 이를 이용하여 농업용 폐비닐을 세척하였다. 세척된 폐비닐에 남아있는 잔류 흙의 양을 TGA로 그리고 구성 성분은 DSC로 분석하였다. 재활용 비닐의 물성은 인장 시험으로 측정하였으며, 구매된 수지와 비교하였다. 재활용 비닐의 주요 구성성분은 PE로 HDPE, LLDPE, LDPE, EVA가 10:6:3:1비로 나타났다. 공기세척기로 30분 세척된 폐비닐은 2.1%의 잔류량을 보였으며, 한국자원재생공사에서 물로 세척된 폐닐은 1.5%의 잔류량을 보였다. 세척된 비닐의 물성은 구매된 수지를 같은 비율로 혼합한 시료와 비슷한 값을 보였다.

주제어: 농업용 폐비닐, 공기세척, 습식세척, 재활용, PE

ABSTRACT

An air-washer was developed in order to remove the soil on the films collected from agricultural use. The washed films were subjected to TGA analysis to measure the residual soil content and DSC analysis to evaluate composition as well as compositional ratio. Mechanical properties of washed films were measured via tensile test and the properties of washed films were compared with those of neat resin blend. Major component of air washed films was polyethylene, and compositional ratio was 10:6:3:1 (HDPE:LLDPE:LDPE:EVA). 30 min air-washed films showed 2.1% of residual soil content, while the water washed films had 1.5%. Tensile properties of washed (air and water) films were almost same as those of neat resin mixture.

Key words: PE films, air-washer, water-washer, recycling, PE

1. 서 론

석유화학공업의 발전으로 플라스틱 재료는 일상 생활용품 뿐만 아니라 산업용 및 농업용으로 널리 사용되고 있으며, 플라스틱 제품의 사용량은 년 평균 13%

이상씩 증가하고 있다.¹⁻²⁾ 환경부에서 발간한 '전국 폐기물 발생 및 처리 현황'에 따르면 1994년도에 발생한 폐플라스틱류 중 78.2%는 매립되었으며 4.3%는 소각되었고 17.5%만이 재활용된 것으로 보고되고 있다.¹⁾ 그러나 모든 폐플라스틱의 처리는 환경보존과 자원절약의 차원에서 매립이나 소각보다는 재활용되는 것이 가장 바람직한 것으로 판단된다.³⁻⁶⁾

* 1999년 3월 29일 접수, 5월 3일 수리

* E-mail: thyoon@kjist.ac.kr

생활수준의 향상과 더불어 증가되는 과일이나 채소의 수요 충족을 위한 비닐하우스용으로, 또는 수분증발 방지를 위한 멀칭(mulching)용으로 많은 양의 농업용 필름이 사용되고 있다. 일반적으로 농업용 필름은 LLDPE, LDPE 및 HDPE 등 polyethylene(PE)계의 수지가 주로 사용되기 때문에 상용성이 높아 재활용 가능성이 크다고 할 수 있다.^{7,9)} 비닐하우스용으로 사용되었던 필름은 특별한 세척과정 없이 재활용될 수 있으나, 멀칭용으로 사용되었던 폐필름은 표면에 묻어 있는 흙의 제거가 필요하다.

현재 정부투자기관인 한국자원재생공사에서 물을 이용한 습식세척으로 멀칭용 폐필름의 재활용을 추진하고 있으나, 습식세척법 특성상 재활용 공장 건립 및 운영에 많은 비용이 소요되기 때문에 일부 지역에서만 설립 운영되고 있다.¹⁾ 따라서 아직도 많은 양의 폐필름이 매립이나 소각에 의하여 불법으로 처리되고 있는 실정이다. 농업용 폐필름의 재활용을 추진하기 위해서는 제일 먼저 해야 할 일은 습식세척법이 가지는 단점, 다량의 농업용수 사용, 사용된 물의 정화, 동절기의 결빙, 높은 운전비용을 극복할 수 있는 보다 경제적인 세척방법의 개발이다.

본 연구에서는 농업용 폐필름의 재활용 비용을 낮추어 재활용을 촉진시키기 위하여 물을 사용하는 습식세척기 대신에 압축공기와 스팀을 이용하는 건식세척기를 개발하였다. 건식세척에 의하여 세척된 멀칭용 필름의 물성을 습식세척 필름 및 세척필름의 구성비로 혼합한 원수지의 물성과 비교하였다. 또한 잔류 흙의 영향을 연구하기 위하여 혼합원수지에 황토를 첨가하여 물성 변화를 고찰하였다.

2. 실험

2.1. 재료

본 연구에서 개발된 건식세척에 사용된 멀칭용 필름과, 물에 의하여 세척된 필름 및 재활용 펠렛은 한국자원재생공사 전남지부 담양공장에서부터 제공받았으며, 재생필름과 물성 비교를 위한 원수지는(HDPE: 삼성, LLDPE: 한화, LDPE: 한양, EVA(VA6%): 한양) 구매하여 사용하였다.

2.2. 건식세척기 제작 및 건식세척

건식세척기는 아크릴판과 지름이 1.3 cm이고 길이가 9 cm인 원주형 스팀을 이용하여 Fig. 1과 같이 제작하

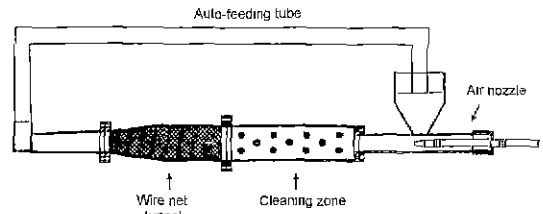


Fig. 1. Schematic diagram of air-washer.

였으며, 압축공기를 이용하여 작동되도록 고안되었다. 스팀은 공기 흐름 방향과 수직으로 배열하여 필름 조각과의 마찰이 최대가 되도록 하였다. 건식세척기의 구조는 잘게 파쇄된 폐필름이 공기 흐름에 의한 압력강하에 의해 투입되는 투입부, 원주형 스팀과 필름의 마찰로 흙이 제거되는 세척부, 필름으로부터 떨어져나온 흙이 제거되는 흙먼지 제거부 및 필름 투입구에서 발생하는 압력차이에 의하여 튜브를 통하여 다시 투입부로 돌아가 연속적인 세척이 일어나게 되는 재투입부로 구성된다.

건식세척을 위한 준비단계로 멀칭용 필름을 햇빛에서 4~6시간 정도 건조시킨 후, 30 cm×30 cm 정도의 크기로 절단하였다. 다음 단계로 표면에 묻어 있는 부피가 큰 흙덩어리와 이물질 제거하기 위하여 Mmiwasher(Sirocco, ITT)로 30분간 간이세척을 실시하였다. 간이세척된 폐필름을 다시 1 cm×1 cm 크기로 절단한 후, 본 연구에서 개발된 건식세척기를 이용하여 10분, 20분 또는 30분간 세척을 실시하였다.

2.3. 세척 필름의 열분석

세척된 필름을 필름의 색깔 및 두께에 따라 분리한 후, DSC(TA 2050)를 이용하여 10°C/min의 승온속도로 분석하여 각 필름의 성분 및 구성비를 추정하였다. 성분 분석은 세척시료로부터 얻어진 녹는점(melting peak)을 원수지의 녹는점과 비교하여 실시하였다. 세척된 필름 10 g으로 부터 구성비를 조사하였으며, 구성비는 물성 비교를 위한 혼합 원수지 블렌드 준비에 사용하였다. 세척된 필름 내의 흙 함량은 TGA(TA 2100)를 이용하여 공기 분위기하에서 10°C/min으로 600°C까지 가열한 후 잔류량을 흙 함량으로 판단하였으며, 세척효과를 비교하는 데에 사용하였다.

2.4. 세척 필름의 물성분석

건식세척 필름과 습식세척 필름의 구성비를 맞추기 위하여, 폐HDPE 필름을 수집하여 건식 세척한 후 인

위적으로 건식세척 필름에 첨가하여 구성비를 맞추었다. 또한 재생필름과 물성 비교를 위하여 구매된 원수지를 습식세척 필름과 같은 구성비로 혼합한 후 블렌딩하여 물성을 측정하였다. 세척 필름내에 남아있는 흙에 의한 물성 변화를 연구하기 위하여 혼합 원수지에 100메쉬의 황토를 20 wt.%까지 첨가 하면서 물성 변화를 분석하였다.

세척된 필름시료를 70°C의 오븐에서 3시간 이상 건조 후 160°C에서 Carver hot press을 이용하여 필름을 제조하였다. 이렇게 만들어진 필름을 0.5 cm×0.5 cm의 크기로 절단한 다음 균일하게 혼합된 시편을 얻기 위하여 블렌딩하였다. 블렌딩은 Rheocord(HAAKE, Series 9000)을 이용하여 40 g의 시료로 160°C에서 실시하였으며, 시료투입 후 10 rpm에서 3분간, 60 rpm에서 10분간, 120 rpm에서 5분간 블렌딩하였다.

블렌딩된 시료를 Carver hot press을 이용하여

160°C에서 약 1.7 MPa(250 psi)의 압력으로 필름을 제조하여 인장시험용 시편을 준비하였다. 인장강도 측정은 ASTM D-638-V에 따라 Instron Model 5567를 이용하여 100 mm/min의 속도로 실시하였다. 보다 정확한 탄성률(modulus) 측정을 위하여 Extensometer (Instron 2630-100)을 사용하였으며, 시료당 10개의 시편을 측정하여 평균값을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 재생필름의 열분석

한국자원재생공사 담양공장에서부터 제공받은 습식세척된 시료는 HDPE가 50% 정도 포함되어 4종류로 구분되었으며, 구성비는 10:6:3:1(HDPE:LLDPE:LDPE:EVA)이었다. 하지만 건식세척된 필름 10 g을 수작업에 의하여 색깔 및 두께에 의하여 분리한 결과, 세 종류로

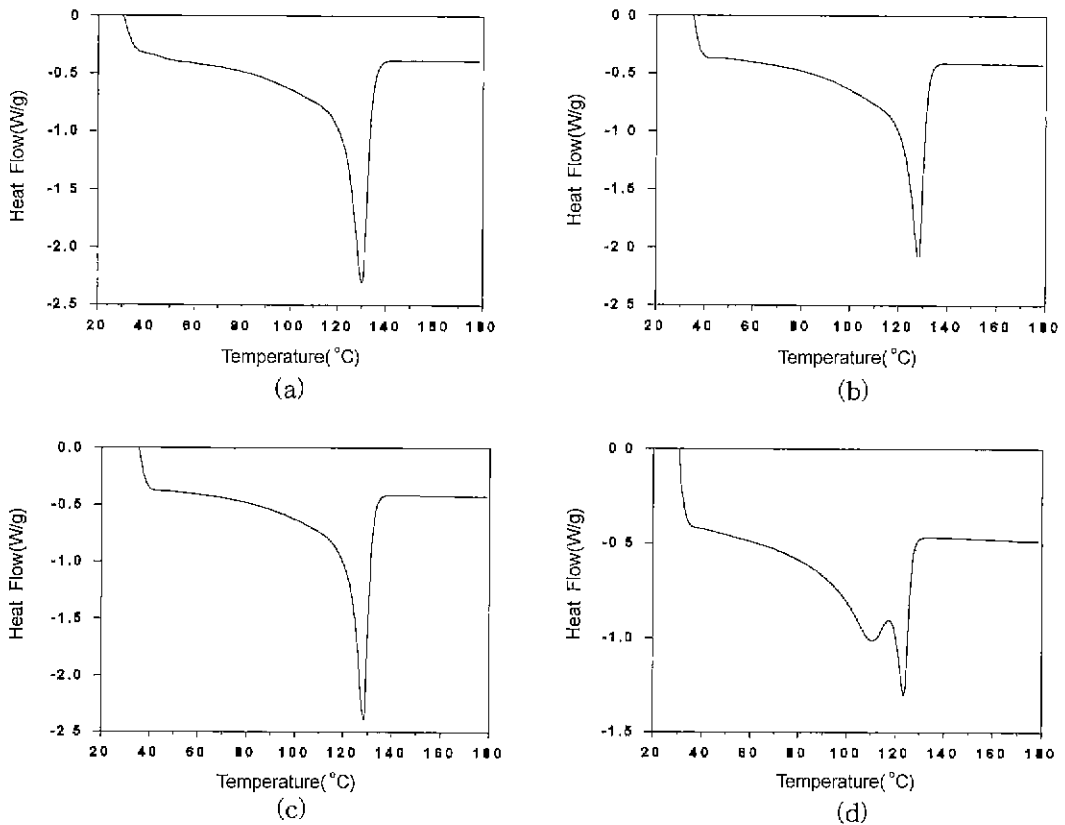


Fig. 2. DSC thermograms of washed PE resins: (a) air-washed PE resin; (b) water-washed PE resin; (c) neat resin mixture (HDPE:LLDPE:LDPE:EVA=10:6:3:1); (d) recycled pellet (water washed).

구분 되었다. DSC 분석에서 녹는 점을 비교한 결과 한 종류는 LDPE (110°C)이며, 다른 두 종류는 EVA가 포함된 LLDPE로 판명되었다. DSC 분석에서 peak의 크기를 분석한 결과 전체적인 구성비는 6:3:1 (LLDPE:LDPE:EVA)이었다. 따라서 앞에서 언급된 바와 같이 건식세척된 시료에 건식세척된 HDPE필름을 인위적으로 첨가하여 습식세척 시료와 구성비를 맞추었다.

블렌딩된 습식세척시료 및 HDPE가 첨가된 건식세척 시료 모두 130°C에서 녹는점을 보여 주고 있는데, 이는 시료 내의 주성분인 HDPE에 의한 녹는점으로 보여진다(Fig. 2). 또한 원수지가 10:6:3:1(HDPE:LLDPE:LDPE:EVA)로 혼합/블렌딩된 시료도 세척된 시료들과 같은 경향을 보이며 130°C에서 하나의 녹는 점을 보여 주었다. 하지만 담양공장에서 제공받은 재활용 펠렛은 LDPE의 양이 상대적으로 많은 것으로 보여진다(Fig. 2-d). 습식세척 시료, 건식세척 시료 및 재활용 펠렛을 비교할 때, 수거 시기 및 장소에 따라 구성비가 크게 다른 것으로 보여진다.

3.2. 세척효과 분석

블렌딩 되지 않은 세척필름의 잔류 흙 함량을 TGA를 이용하여 세척시간별로 측정하였다(Fig. 3). 10분 건식세척된 시료는 약 2.9%의 흙 함량을 보여주고 있는데, 이는 간에 세척과정과 수작업에 의한 파쇄과정에서 많은 양의 흙이 제거되었기 때문으로 사료된다. 세척시간의 증가와 더불어 흙 함량이 약간 줄어드는 경향을 보였으며, 30분 건식세척된 시료는 2.1 wt.% 흙 함량을 보여주고 있다. 하지만 습식세척된 필름의 흙 함량은 1.5 wt.%로 30분 건식세척된 필름과 비슷하였으며, 따라서 건식세척기의 우수한 세척능력을 확인할 수 있었다.

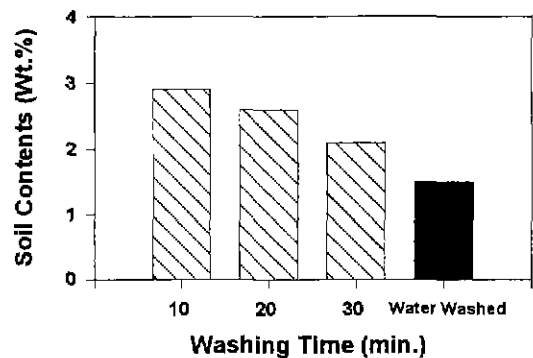


Fig. 3. Residual soil content in air-washed PE resins.

3.3. 재생필름의 물성분석

압축공기를 이용하여 건식세척된 필름에서 세척시간이 증가 할 수록 항복강도와 탄성율은 약간 감소하는 반면에 신율은 약간 증가하는 경향을 보이고 있으나, 인장강도는 큰 변화가 없었다(Table 1). 이러한 변화는 필름내에 남아있는 흙의 영향으로 보여진다. 30분 건식세척된 재생필름의 물성은 습식세척된 재생필름의 물성과 거의 동일하였으나, 세척된 재생필름과 같은 비율로 혼합한 원수지 블렌드의 물성과는 작은 차이가 있었다(Table 2). 이는 세척방법에 따른 잔류 흙 함량 및 시료를 구성하는 구성비의 차이에 의한 것으로 보여진다. 하지만 건식세척과 습식세척으로 재생된 필름이 원수지 블렌드 유사한 물성을 보임으로써 멀칭용 폐필름의 재활용에 건식세척법의 높은 이용 가능성을 보여 주었다.

3.4. 황토의 첨가에 의한 물성 변화

폐필름내에 남아있는 흙에 의한 필름의 물성 변화를

Table 1. Tensile properties of air-washed PE resins

	Yield stress (MPa)	Yield strain (%)	Stress at break (MPa)	Strain at break (%)	Modulus (MPa)
10min. air-wash	16.6 ± 0.3	12.9 ± 0.7	17.7 ± 0.7	881.0 ± 57.3	639.7 ± 24.4
20min air-wash	16.1 ± 0.3	13.6 ± 0.6	17.5 ± 0.8	921.2 ± 32.2	605.7 ± 25.7
30min air-wash	15.8 ± 0.2	13.8 ± 0.6	18.2 ± 1.3	935.0 ± 34.1	582.0 ± 30.2

Table 2. Tensile properties of washed PE resins and neat resin mixture

	Yield stress (MPa)	Yield strain (%)	Stress at break (MPa)	Strain at break (MPa)	Modulus (MPa)
30 min. air-wash	15.8 ± 0.2	13.8 ± 0.6	18.2 ± 1.3	935.0 ± 34.1	582.0 ± 30.2
Water wash	15.1 ± 0.4	13.3 ± 0.4	17.1 ± 2.2	863.7 ± 87.2	593.3 ± 28.1
Neat resin mixture*	15.8 ± 0.2	13.1 ± 0.2	21.6 ± 1.5	1180.9 ± 83.7	574.9 ± 24.5

* Mix ratio-HDPE:LLDPE:LDPE:EVA=10:6:3:1

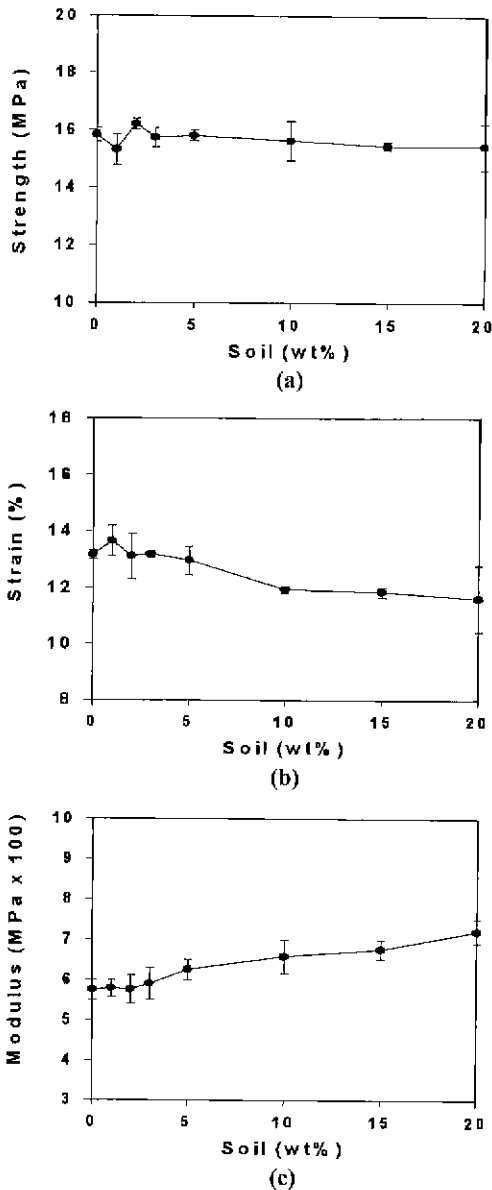


Fig. 4. Effect of soil content on the tensile properties of neat resin mixutre (HDPE:LLDPE:LDPE:EVA=10:6:3:1): (a) Yield stress; (b) Yield strain; (c) Modulus.

연구하기 위하여, 혼합 원수지에 1~20 wt.%까지 100 mesh의 황토를 첨가하면서 인장강도를 측정 한 결과, 인장강도는 거의 변화가 없었다(Fig. 4). 하지만 신율은 약간 감소하는 경향을, 탄성율은 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 20 wt.% 첨가시 신율은 13%에서 12%로

1% 정도 감소한 반면에, 탄성율은 0.57 GPa에서 0.72 GPa로 증가하였다. 이러한 경향은 Table 1에서 세척시간이 증가하면서 항복강도와 탄성율이 감소한 것과 관계가 있을 것으로 보여진다. 따라서 필름내에 잔류하는 흙의 크기가 임계치 이하가 된다면 보강제로 작용하기 때문에 물성에는 큰 영향이 없을 것으로 판단되지만, 황토로 인한 색깔의 변화는 문제가 될 수도 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서 개발된 건식세척기는 멀칭용 폐필름에 묻어있는 흙의 제거에 매우 효과적이었으며 주요 결론은 다음과 같다.

1. 재활용된 농업용 멀칭 필름의 주요성분은 HDPE, LLDPE, LDPE 및 EVA이며, 구성비는 수거 시기 및 장소에 따라 다른 것으로 판단된다.
2. 30분의 건식세척으로 습식세척과 비슷한 수준의 세척이 가능하였다.
3. 건식세척된 필름의 물성은 습식세척된 필름이나 혼합 원수지를 폐필름의 구성비로 혼합하여 블렌드 한 시료의 물성과 비슷하였다.
4. 황토 첨가에 의한 혼합원수지 블렌드의 물성 변화는 크지 않았다.

감사의 글

본 연구는 96년도 광주과학기술원 교수기본연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김혜태 혼합, 플라스틱 발생실태 및 재활용기술 현황에 관한 조사연구, 한국자원재생공사 (1996).
2. 임승순 : 환경과 고분자, 고분자과학과 기술, Vol. 6, No.1, pp.3-7 (1995).
3. H.F. Lund, ed., The McGraw-Hill Recycling Handbook, McGraw-Hill, Inc., New York (1993).
4. T.E. Duston, ed., Recycling Solid Waste, Quorum Books, London (1993).
5. G.D. Andrews and P.M. Subramanian, Emerging Technologies in Plastics Recycling, American Chemical Society, Washington D.C (1992).
6. 박태석, 김정안, 김광용 : 폐플라스틱 재활용 기술 · 소재로서의 재활용, 고분자과학과 기술, Vol. 6, No. 1, pp. 8-

15 (1995).
 7. 기획취재 : 플라스틱 폐기물 재활용할 수 있다. 월간 플라스틱 코리아, Vol. 57, No. 4, pp. 59-73 (1996).
 8. N. Mustafa, ed., Plastics Waste Management. Marcel &

Dekker. New York (1993).
 9. B A. Hegberg, G.R. Brenniman and W.H. Hallenbeck, ed., Mixed Plastics Recycling Technology, Noyes Data Corporation, New Jersey (1992).



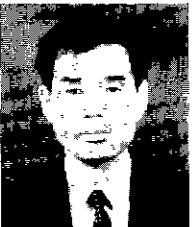
金 倫 寬

- 1996년 강원대학교 화학공학과(학사)
- 1998년 광주과학기술원 신소재공학과 (석사)
- 광주과학기술원 신소재공학과 인턴연구원



姜 旻

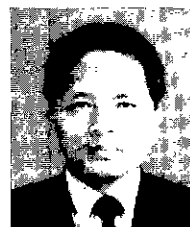
- 1997년 전북대학교 고분자공학과(학사)
- 1999년 광주과학기술원 신소재공학과 (석사)



尹 泰 浩

- 1980년 충남대 공대 금속공학과 공학사
- 1987년 미국 버지니아텍 재료공학과 공학석사
- 1991년 미국 버지니아텍 재료공학과 공학박사
- 1994년 미국 버지니아텍 NSF Center Post-doc

• 현재 광주과학기술원 신소재공학과 조교수, 부교수



李 種 文

- 1972년 전북대 섬유공학과 학사
- 1976년 전북대 섬유고분자 석사
- 1985년 경희대 색채과학, 기기분석 박사
- 현재 전북대학교 신소재공학부 교수