

열가소성 재활용수지를 건축용 단층방수시스템에 활용하기 위한 인장 및 신장 특성 분석 연구

Tension Strength and Expansion Property Analysis Research to Utilize Thermoplasticity Recycling Plastic to Single Play Waterproof System for Construction

박 성 우* 고 진 수**

Park, Sung-Woo Ko, Jin-Soo

Abstract

In this research, among thermoplasticity plastic raw material that recycling is possible polyolefine(TPO) and polyvinyl chloride(PVC) as target recycling plan examine wish to. It is polyolefine(TPO) and polyvinyl chloride(PVC)) is mediocrity material that there are a lot of amount useds among plastic material and it is material that recycling is also activated most. Long term made first new regulation raw material, by-product raw material happened at process of production at second factory and third time to examine recycling plan of this material divides this as raw material that pass through process separation and pelet Tuesday and analyzed each special quality removing each removed waste after is used. Measure tension strength and ext. heightening gradually mixing proportion of refreshing resources on standard Sample manufactured as new raw material and application examined possibility availability to single fly system.

키 워 드 : 시트방수, 싱글플라이시스템, 단층방수공법, 방수시트, 재활용, 리사이클
Keywords : waterproofing sheet, single play system, recycle, material recycling

1. 서 론

1.1 연구의 목적

우리나라는 세계 5위의 고분자생산국으로 1년에 약 900만MT 가량을 생산하고 있으며 이중 약 500만MT을 국내에서 사용한다고 한다. 또한 사용된 고분자 중 15~20%에 해당하는 75~100만 MT이 부산물 및 폐기물로 처리되는 것으로 추정하고 있다. 이중 30~40만MT의 원료는 재활용되고 있으나 아직 45~60만MT은 소각, 매립 등으로 폐기 처리되고 있다.¹⁾³⁾

플라스틱재료가 재사용되지 않고 폐기되는 원인에는 원료를 단독으로 사용하여 제품을 만들지 않고 복수종의 원료를 조합해 사용한 제품이 많으며 이러한 제품은 분리하는데 어려움이 많고 에너지소비도 많기 때문이다. 또한 재생원재료가 되는 부산물 및 폐기물의 공급이 불안정하여 안정적인 생산이 어려운 문제도 있다.

그러나 최근 원유가격의 상승으로 플라스틱 가격이 상승함에 따라 플라스틱 부산물 및 폐기물의 재활용에 대한 관심이 높아지고 있는 실정이다.

본 연구에서는 재활용이 가능한 열가소성계 플라스틱원료 중에서 폴리올레핀(TPO)과 염화비닐수지(PVC)를 대상으로 재활용방안을 검토하고자 한다. 폴리올레핀(TPO)과 염화비닐수지(PVC)은 플라스틱계 재료 중 사용량이 많은 범용재료이며 재활용 또한 가장 활성화되어 있는 재료이다.

본 재료의 재활용방안을 검토하기 위하여 첫번째 신규원료, 두번째 공장에서 생산과정에서 발생한 부산물 원료 그리고 세 번째 제품화되어 장기간 사용된 후 수거된 폐기물을 각각 수거하여 이를 분리 및 펠렛화 과정을 거친 원료로 구분하여 각각의 특성을 분석하였다. 신규원료로 제작한 표준샘플에 재생자재의 혼합비율을 단계적으로 높여 인장강도와 신장률을 측정하고 싱글플라이시스템에 적용이 가능 여부를 검토하였다. 이러한 과정을 통해 폴리올레핀과 염화비닐계 원료의 재자원화를 기하고, 적정 품질을 확보할 수 있는 기초자료를 수립하는 것이 본 논문의 주요 내용이다.

1.2 연구의 방법 및 범위

열가소성의 수지는 간단한 기술로도 재활용이 가능하다. 한번 이상 가공했거나 사용한 플라스틱도 다시 수거하여 고온으로 녹

* 삼성건설 기반기술연구팀 수석연구원
** (주)미람I.F 대표이사 공학박사, 교신저자(cyman@paran.com)

이면 재가공이 가능하기 때문이다. 현재까지 개발된 폐플라스틱의 재생방법 중 국내에서 가장 많이 사용되는 방식은 압출기(extruder)를 이용한 방식이다. 가장 간단하고 경제적인 방식으로 현재 실용성 있는 재생품을 만들 수 있는 단계에 이르렀다.²⁾

본 연구에서는 압출기를 이용하는 방식에서 가장 범용적으로 사용되는 올레핀계 원료와 염화비닐계 원료를 대상으로 재활용 방안을 검토하고자 한다. 그러나 재활용을 대상으로 하는 열가소성수지는 각각의 원료마다 용융온도와 용융유동성에 차이가 있기 때문에 이들 특성에 따라 가공조건을 다르게 설정해야 재가공을 할 수 있다. 또한 플라스틱의 사용용도에 따라 물리적 특성에 차이가 크기 때문에 수거한 플라스틱의 특성을 이해하고 적합한 용도에 활용해야 한다. 따라서 앞서 선정한 올레핀계 원료와 염화비닐계 원료를 방수시트로 재활용하는데 필요한 검토항목으로 용융유동성지수(Melt Flow Index)와 인장강도 및 신장률을 대상으로 선정하였다.

2. 기존연구의 고찰

2.1 국내의 재활용 관련 기술 동향²⁾

국내에서 활용되고 있는 혼합 폐플라스틱의 재생방법에는 첫째 특수 압출기(extruder)에 의한 혼합재생방법, 둘째 보강제를 이용한 혼합재생방법, 셋째 유화처리방법이 있다.

특수 압출기(extruder)를 이용한 혼합재생방법은 가장 간단하고 경제적이며, 실용성 있는 재생품을 생산할 수 있는 단계에 근접하였다. 특히 건축이나 토목자재 대응의 재생 플라스틱은 만들 수 있다. 보강제를 이용한 혼합재생은 가장 효과적으로 폐플라스틱을 재생하는 분야이다. 특히 톱밥 등을 이용한 목재 대응품의 생산이 상업화 단계에 있다. 유화처리방법은 가장 무난한 방법으로 이러한 화학적 재활용(chemical recycling)을 도입하는 것이 환경과 에너지 측면에서도 바람직하며, 현재 산더미처럼 쌓여가는 혼합 폐플라스틱을 처리하는데도 바람직하다. 다른 기술의 적용에는 검증과 응용의 절차가 필요하지만 유화처리는 어느 정도 검증이 끝난 방법이다.

2.2 물리적 재활용 관련 해외 연구 동향⁴⁾

- 벨기에의 화학전문업체인 솔베이(Solvay Plastics)사는 2001년 전선절연체와 다른 부산물로부터 염화비닐수지(PVC)의 재활용을 위한 Vinyloop라는 재활용공정을 개발하였다. 본 재활용공정은 염화비닐수지(PVC)를 최소한 70%를 포함하는 복합구조에 사용할 수 있는 효율적인 재활용방법으로 인정받고 있다.

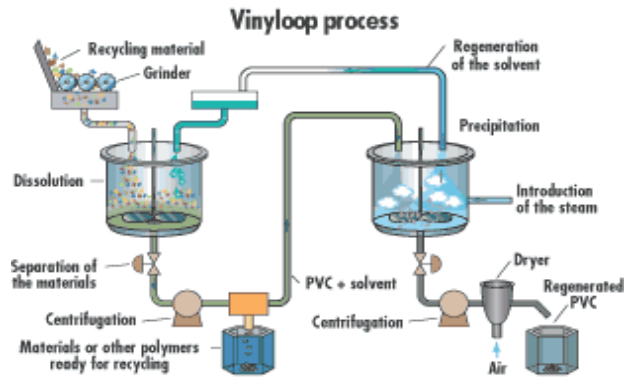


그림 1. 솔베이의 염화비닐수지 재활용 공정⁵⁾

재조공정은 전선을 10cm길이로 절단한 다음 MEK(methyl ethyl ketone)와 다른 공용매 혼합물에서 용해과정을 거쳐 구리, 폴리에틸렌, 고무 등 각종 혼합물을 제거한다. 이때 MEK혼합물은 순환형공정(closed loop system)을 이용해 재사용한다. 이 과정에서 재생된 염화비닐수지성분은 침전, 건조를 통해 평균 크기 350 μ m의 염화비닐수지 입자를 형성한다. 본 공정은 최초의 품질에 도달하는 일관된 제품을 얻을 수 있다고 한다.

- 프랑스 Geon사는 염화비닐수지 병들 속에 여러 오염물들을 제거하기 위해 질산칼슘(calcium nitrate)수용액을 포함한 density bath를 이용하여 정제하는 공정을 개발하였다.
- 독일 Hoechst사는 밀도가 다른 용액과 hydrocyclones의 결합 구조 장치를 이용하여 연질 염화비닐수지 필름을 재활용하는 기술을 개발하였다.

2.3 화학적 재활용 관련 해외 연구 동향⁴⁾

- 독일 Wacker Chemie사에서는 폐 플라스틱으로부터 염화비닐수지를 분리하여 HCl을 직접적으로 회수하는 공정을 개발하여 이 공정을 통하여 HCl 이외에 slag와 중금속 안정제를 회수하였다.
- 독일 Iserlohn & Hamburg사는 closed-loopsalt cycle 공정을 통하여 외부로부터 ethylene을 공급하여 회수된 HCl과의 반응을 통해 염화비닐수지를 생산하는 공정을 개발하였다.
- 독일 Linde사는 주로 실리케이트로 되어 있는 1,400~1,500 $^{\circ}$ C bath 속에서 폐염화비닐수지를 소각시켜 염화수소, 이산화탄소, 수소가스를 회수하여 다시 이용하는 feedstock recycling 공정 기술을 개발하였다.
- Hoshioka group은 염화비닐수지 스크랩을 150~260 $^{\circ}$ C 온도와 습압 조건 하에 oxygenated NaOH 속에서 산화시켜 옥살산과 벤젠카르복실산과 이산화탄소를 얻었다.

3. 실험개요

3.1 재생수지시트의 선정 및 배합

본 논문은 열가소성수지를 재활용하여 고품질의 방수시트를 제

조하기 위한 방안을 검토하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 다음과 같은 내용으로 실험을 진행하고자 한다.

3.1.1 사용재료의 종류

본 실험에 사용한 재료는 폴리올레핀(TPO)과 염화비닐수지(PVC)이다. 폴리올레핀은 폴리에틸렌과 엘라스토머를 혼합한 원재료에 농업용 폐비닐 및 공장에서 제품 가공과정에서 발생한 부산물을 혼합한 재료를 사용하였다. 폴리염화비닐은 DOP를 일정 비율 혼합시킨 원재료와 폐전선 및 공장가공과정에서 발생한 부산물을 일정 비율로 혼합한 재료를 사용하였다.

폴리올레핀과 염화비닐수지계 원료를 대상으로 인장강도 및 신장 특성을 검토하고자 한다. 다음은 본 논문에서 사용되는 재료의 종류, 특성, 배합조건 등에 대한 구체적인 내용이다.

표 1. 사용재료

재료종류	혼합한 재활용재료	
	TPO	농업용 폐비닐
PVC	폐전선	공장가공부산물

3.1.2 재생 수지 시트의 배합 방법

열가소성수지는 각각의 원료마다 용융온도 그리고 용융유동성에 차이가 있기 때문에 가공조건을 정확히 설정해야 재가공이 가능하다. 또한 폴리에틸렌(PE)과 폴리프로필렌(PP)은 유사한 용융 특성을 가지고 있어 서로 혼합하여 사용이 가능하지만 염화비닐수지는 PE 또는 PP와 혼합하여 사용하지 수 없다. 본 논문에서도 이러한 특성을 고려하여 올레핀수지와 염화비닐수지를 분리하고, 공장에서 가공된 이력이 있는 원료와 제품으로 사용된 이력이 있는 제품을 구분하여 각각의 배합을 설정하였다.

표 2에 올레핀수지계 재료의 배합비율 표 3에 염화비닐수지계 재료의 배합비율을 나타내었다. 표 2의 내용 중 폐비닐은 농업용으로 사용된 비닐하우스용 비닐을 수거하여 분쇄, 세척, 펠렛화 한 시험편이며, 공장부산물은 제품화과정에서 발생한 부산물을 재가공하여 제작한 시험편이다.

표 2. TPO계 재료의 배합비율

시험체명	TPO 신재료(%)	폐비닐(%)	공장부산물(%)
TP	100		
TPS-1	75		25
TPS-2	50		50
TPS-3	25		75
TPS-4	0		100
TPV-1	75	25	
TPV-2	50	50	
TPV-3	25	75	
TPV-4	0	100	

표 3의 내용 중 폐전선피복은 폐기된 고압선을 수거하여 염화비닐수지, 폴리에틸렌, 구리 등을 각각 분리한 후 표층의 염화비닐수지를 분쇄, 세척, 펠렛화 한 시험편이며, 공장부산물은 제품화과정에서 발생한 부산물을 재가공하여 제작한 시험편이다.

표 3. 염화비닐수지(PVC)계 재료의 배합비율

시험체명	PVC 신재료 (%)	폐전선피복 (%)	공장부산물 (%)
PV	100		
PVS-1	75		25
PVS-2	50		50
PVS-3	25		75
PVS-4	0		100
PVW-1	75	25	
PVW-2	50	50	
PVW-3	25	75	
PVW-4	0	100	

3.2 재생수지시트의 제조 및 실험

3.2.1 재생 수지 시트의 제조

시험에 필요한 재료를 배합비율에 맞춘 다음 재료를 160℃로 설정한 믹싱 롤에 투입하여 두께 0.6mm 의 재생 수지시트를 성형하였다. 사진 1에 믹싱 롤의 외관을 나타내었다.



사진 1. 믹싱 롤 전경

3.2.2 시험 항목

시험 항목 일람을 표 4에 나타내었다. 덧붙여 각 시험은 KS F 4917에 준한다.

표 4. 시험항목일람(균질시트)

시험항목	시험체치수
용융유동성지수	ASTM D1238
인장성능	KS F 4917
신 장 른	KS F 4917

4. 실험결과

4.1 재생원료와 올레핀수지의 용융유동성지수

열가소성 플라스틱에서 올레핀계 재료는 용융유동성지수(Melt Flow Index)를 품질관리의 기본 자료로 사용한다. 수지의 유동성을 표시하는 값으로 어떤 종류의 플라스틱재료를 어느 용도에 사용하여 좋은가를 나타내는 상업화의 지수이기도 하다.

본 지수는 열가소성 플라스틱 재료의 유동성을 측정하여 유동 특성에 따라 가공방법을 결정하는 기준으로 사용한다. 주로 올레핀수지계(HDPE, LDPE, LLDPE, PP)재료의 가공방법을 선정할 때 사용된다. ASTM D1238에서는 녹은 레진을 배럴 내에 미리 정해진 온도, 하중 및 피스톤 위치 하에서 시간측정을 함으로써 표준다이(2,095×8mm)를 통해 압출하는 속도를 측정하는 내용이다.

일반적으로 켈리더방식으로 방수시트를 제조할 경우 용융유동성지수가 약 2~5이면 적당하다. 이 보다 높거나 낮은 경우 제품 제조가 불가능하다. 용융지수가 높을수록 유동성이 좋다는 것을 의미하며 따라서 가공이 용이하고 토출량은 많게 된다. 본 실험에서는 페비닐의 경우 용융유동성지수가 낮게 나타나 켈리더가공이 쉽지 않은 것으로 나타났다.

표 5. 용융유동성지수 측정결과

시험체명	MFI
TPO	3.5
TS-1	3.4
TS-2	3.5
TS-3	2.6
TS-4	2.4
TV-1	2.4
TV-2	1.8
TV-3	1.3
TV-4	1.2

재질이 다른 페플라스틱이 서로 상용성을 갖지 못하는 것처럼 동일한 재료의 플라스틱이라도 용융유동성지수가 다른 경우도 가공상의 문제로 인해 서로 사용성을 갖지 못한다. 본 실험결과에서는 신규 올레핀시트와 페비닐이 서로 용융유동성지수에 차이가 있어 서로 상용성을 갖지 못할 것으로 판단된다.

4.2 올레핀수지 시편의 인장강도 및 신장률

아래 그림은 공장에서 생산과정에 발생한 올레핀계 재생원료를 신재료에 일정비율 배합한 경우의 인장강도와 신장률을 나타낸 것이다. 범례에서 길이방향은 믹싱 롤의 회전 방향으로 시편을 제작하여 인장강도를 측정한 결과이며, 폭방향은 믹싱 롤의 회전 방향에 대해서 수직으로 시편을 제작하여 인장강도를 측정한 경우이다. 그림에서 재생원료의 배합비율이 많아질수록 인장강도는

낮아지는 경향을 보인 반면 신장률은 재생원료의 배합비율이 많아질수록 인장강도는 높아지는 경향이 보였다. 이는 재생원료로 인하여 인장강도가 손실되었다고 판단하기보다 제품의 신장률이 높아졌기 때문으로 판단된다.

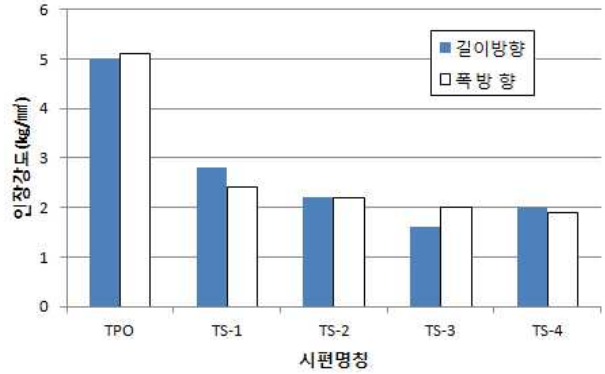


그림 2. 공장부산물을 활용한 TPO계시험편의 인장강도

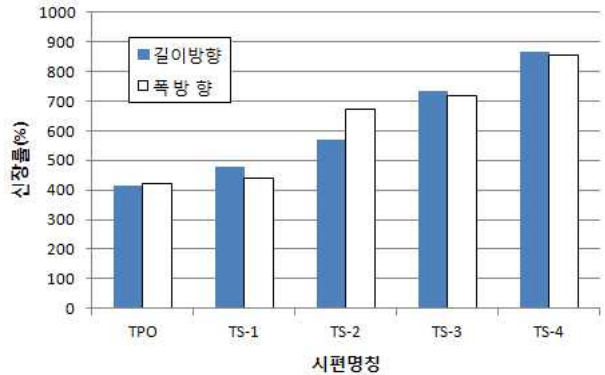


그림 3. 공장부산물을 활용한 TPO계 시험편의 신장률

아래 그림은 1년이상 사용된 농업용 페비닐 재생원료를 신재료에 일정비율 배합한 경우의 인장강도이다. 그림에서 재생원료를 사용한 경우 제품의 물성이 급격히 손실되는 것을 확인할 수 있었다. 인장강도 뿐만 아니라 신장률까지 급격히 손실되며, 특히, 재생원료의 배합비율이 75%를 넘어설 경우 시편의 제작자체가 불가능하였다.

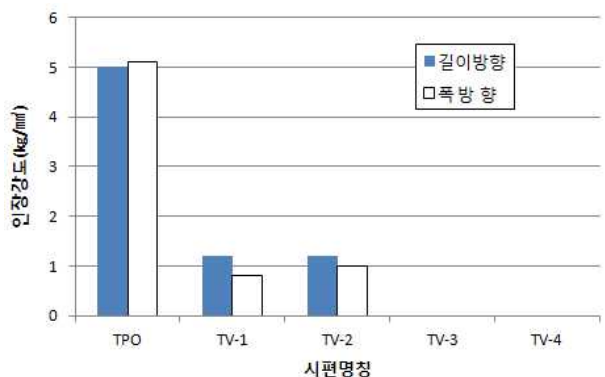


그림 4. 농업용 페비닐을 활용한 올레핀수지 시편의 인장강도

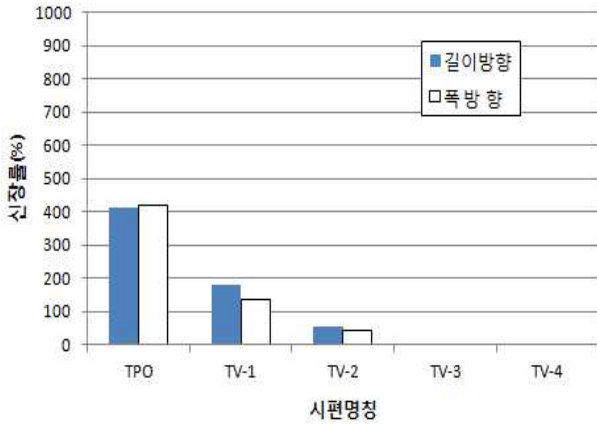


그림 5. 농업용 폐비닐을 활용한 올레핀수지 시편의 신장률

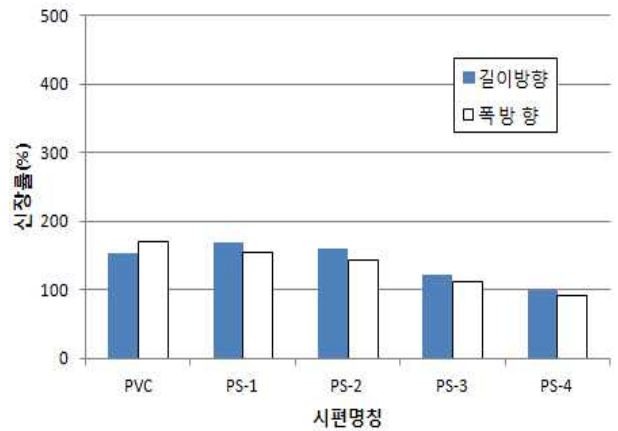


그림 7. 공장부산물을 활용한 염화비닐수지 시편의 신장률

인장강도에 대해서는, 재생원료의 종류에 따라 큰 차이를 나타냈다. 공장부산물의 경우 신장률이 최대 2배까지 증가한 반면 인장강도는 절반가까이 감소되는 경향을 나타냈다. 올레핀계 재료는 신장률이 높을수록 고비용, 고품질의 제품이다. 본 실험에 사용된 공장부산물은 고가의 엘라스토머가 다량 첨가된 자동차용 올레핀을 사용하였기 때문에 시트의 재질이 부드러워지는 현상을 나타낸 것으로 판단된다. 반면 폐비닐을 사용한 경우 샘플 제조가 불가능한 정도의 물성변화와 손실을 나타냈다.

4.3 염화비닐수지 시편의 인장강도 및 신장률

아래 그림은 공장에서 생산과정에 발생한 재생원료를 신재료에 일정비율 배합한 경우의 인장강도이다. 재생원료의 배합비율이 높아질 경우 인장강도가 다소 낮아지는 경향을 나타내나, 재생원료의 배합비율 50%까지는 신재료와 동등한 수준을 유지하고 50%가 넘어서는 경우 인장강도가 서서히 감소되는 경향을 나타내고 있다. 신장률 또한 인장강도와 유사한 경향을 나타내 재생원료의 배합비율 50%까지는 신재와 동일한 수준을 유지하고 재생원료의 배합비가 50%를 넘어서는 시점에서 신장률이 서서히 감소되는 경향을 나타냈다.

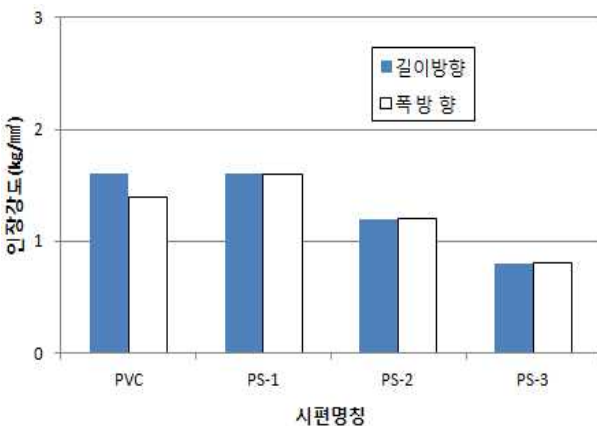


그림 6. 공장부산물을 활용한 염화비닐수지 시편의 인장강도

아래 그림은 5년이상 사용된 폐전선을 수거하여 염화비닐수지를 분리 재생한 원료를 신재료에 일정비율 배합한 시험편의 인장강도다. 그림에서 재생원료의 배합량이 증가한 경우도 인장강도와 신장률이 감소되지 않고 신재와 동일한 수준을 유지하는 것으로 나타났다.

인장강도에 대해서는 재생원료의 종류에 관계 없이 배합율 50%이하에 대하여는 신재료와 동일한 수준의 품질을 얻을 수 있었다. 신장율에 대해서도 재생원료의 종류에 관계 없이 배합율 50%이하에 대하여는 신재료와 동일한 수준의 품질을 얻을 수 있었다. 재생원료의 배합비가 50%를 넘는 경우의 인장강도와 신장율도 큰 변화를 나타내지 않고 소폭 감소되는 경향을 나타냈다.

이와 같이 장시간 사용된 폐전선 혼합물이 우수한 물성을 나타내는 것은 전성용 염화비닐수지재료가 범용적으로 사용되는 염화비닐수지재료 보다 고품질 고사양의 원료를 사용하기 때문으로 판단된다. 특히 방수시트의 경우 켈린더방식으로 제조하나, 전선의 경우 압출방식으로 제조하므로 각각 제조방식의 차이로 인하여 시험체 가공에 어려움이 있을 것을 우려했으나 가공이 용이하여 재활용 가능성이 높을 것으로 판단되었다.

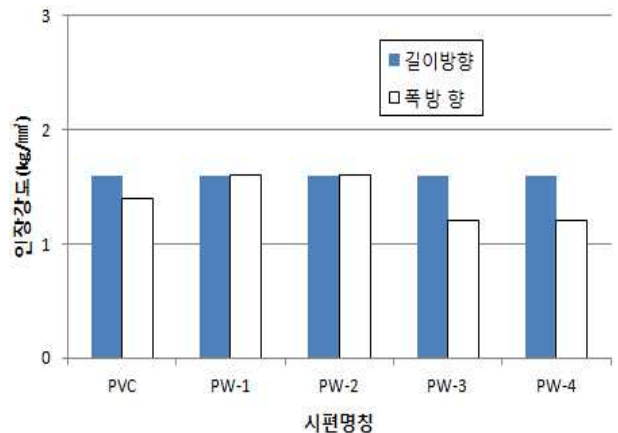


그림 8. 폐전선피복을 활용한 염화비닐수지 시편의 인장강도

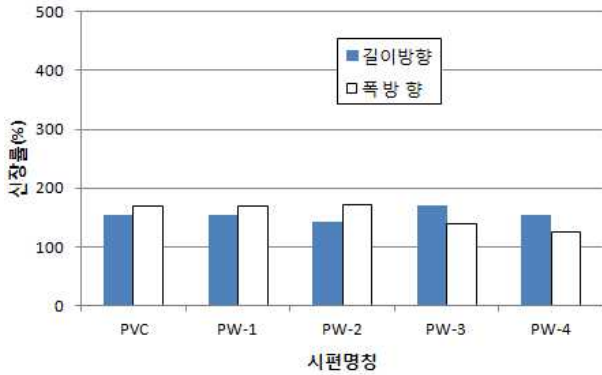


그림 9. 폐전선피복을 활용한 염화비닐수지 시편의 신장률

3. 한국자원재생공사, 혼합 폐플라스틱 발생실태 및 재활용기술 현황에 관한 조사연구, 1996
4. 환경부, 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 1995
5. Jean M. Hoffman, Vinyloop 염화비닐수지(PVC) recycling's online, 2003.6

5. 결 론

본 논문에서는 재활용 수지를 대상으로 싱글플라이방수시스템에 적용하기 위한 방안을 검토하였다. 적용가능성을 검토한 재료는 올레핀수지와 염화비닐수지이며, 이들 각각에 대하여 가공공장에서 제품생산과정에 발생된 부산물 그리고 제품으로 제조되어 장시간 사용된 후 수거된 원료를 대상으로 하였다. 이들 각각에 대하여 검토한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

5.1 공장에서 제품과정에서 발생된 부산물의 활용

공장에서 제조과정에 발생된 부산물을 가공하여 제품화하는 것은 가능한 것으로 나타났다. 올레핀수지의 경우 부산물의 물성이 우수하여 신재료와 혼합시 더욱 우수한 물성을 나타내며, 염화비닐수지의 경우 부산물 혼입률이 50%까지는 신재와 동일한 수준의 물성을 나타내었다.

5.2 농업용 폐비닐로 사용된 후 수거된 폐비닐의 활용

농업용 폐비닐을 기존 올레핀수지 신재료와 혼합할 경우 물성의 손실이 크며, 제품의 제조에도 문제가 많은 것으로 나타났다. 폐비닐 원료는 올레핀수지와 유사하나 제품의 제조방식이 방수시트의 제조방식과 다르므로 제품화에도 어려움이 많으며, 제품화 이후에도 물성을 확보하는데 어려움이 많은 것으로 나타났다.

5.3 전선피복재로 사용된 폐염화비닐수지의 활용

전선피복재로 사용된 염화비닐수지의 경우 제조당시 고품질의 원료를 사용하여 장시간이 경과된 이후에도 물성손실이 없이 신재와 동일한 물성을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 과학기술부, 환경부, 산업폐기물재활용기술개발사업 폐염화비닐수지(PVC)의 재활용 기술개발, 2003
2. 한국자원재생공사, 폐기물 재활용 통계자료, 1995