

## 고효율 기계적 박리기술을 이용한 폐 젤리충진 통신케이블 재활용 연구

이수영 · 엄성현 · 서민혜 · 이민석 · \*조성수

고등기술연구원 신소재공정센터

### Highly Efficient Mechanical Separation Process for the Recycling of Waste Jelly-Filled Communication Cables

Sooyoung Lee, Sunghyun Uhm, Minhye Seo, Minseok Lee and \*Sungsu Cho

Advanced Materials & Processing Center, Institute for Advanced Engineering, Yongin 449-863, Korea

#### 요 약

폐 젤리충진 케이블로부터 고순도 구리 와이어를 높은 회수율과 생산성으로 회수할 수 있는 친환경 공정을 개발하였다. 두 롤러(roller) 사이에 폐 케이블을 공급해주고 롤러의 밀착 압력이 외피(주로 polyethylene)의 인장강도 이상이 되면 자연스럽게 구리 심선과 외피로 분리되도록 한 단순한 기계적 방법만을 적용한 친환경 공정을 개발하였으며, 연속공정을 위한 세부 요소기술을 접목하고 이를 실험적으로 검증하였다. 연속공정을 통한 구리 와이어 평균 회수율은 98% 이상, 처리속도는 55 Kg/hr이었으며, 상업화 공정을 위한 진일보된 공정으로 평가될 수 있다.

**주제어** : 젤리충진 통신케이블, 리사이클링, 고순도 구리, 고효율 기계적 박리기술, 생산성

#### Abstract

Highly efficient and environmentally friendly mechanical process was developed for the higher recovery rate and productivity in the recycling of waste jelly-filled communication cables. Only the simplest mechanical method was designed and built for a continuous process, further proved experimentally along with the addition of several parts such as brush-type rollers and scrapers. In this process, the recovery rate and productivity were 98% and 55 Kg/hr respectively. This process is thought to be simple but highly advanced method for the commercialization of green process.

**Key words** : Jelly-filled communication cables, Recycling, high purity copper, Highly efficient mechanical process, productivity

#### 1. 서 론

구리 기반 통신케이블은 케이블의 노화 및 광통신케이블로 교체에 따라 전 세계적으로 발생량이 증가하고

있으며, 2008년 기준으로 국내에서만 연간 10,000톤 이상이 배출되었고, 이 중에서 젤리충진 케이블은 65%인 6,500톤 정도가 배출되는 것으로 추정된다. 폐 젤리충진 통신케이블에는 고순도 구리 성분이 약 70% 이상 포함

· Received : March 30, 2016 · Revised : April 27, 2016 · Accepted : May 26, 2016

\*Corresponding Author : Sungsu Cho (E-mail : sungsu@iae.re.kr)

Advanced Materials & Processing Center, Institute for Advanced Engineering, 175-28, Goan-ro, 51 Beon-gil, Beagam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 17180, Korea

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

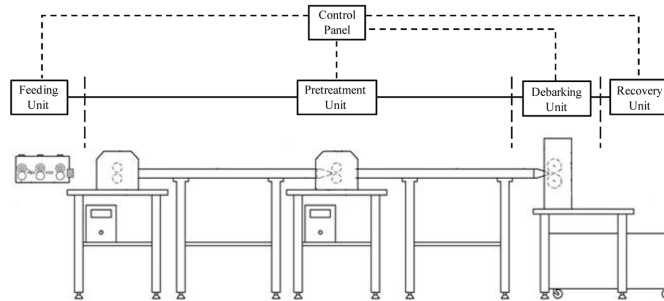


Fig. 1. Diagrams for continuous mechanical debarking process of waste jelly-filled communications cables.

되어 있기 때문에 회수가치가 높으며 대략적으로 재활용할 수 있는 구리의 양은 국내에서도 연간 약 4,000 톤 이상으로 추산된다.<sup>1-3)</sup>

젤리충진 케이블은 설치작업 중 훼손 또는 접속 부분에 물이나 기타 이물질이 들어감으로써 발생하는 통화 접촉 불량을 막기 위해 외피 내측을 알루미늄박막으로 싸고 있으며, 알루미늄박막의 내부에는 젤리형 물질이 구리 세션 사이사이에 투입되어 세션을 서로 영커 붙도록 하고 있는 구조로 이루어져 있다. 현재까지 주로 사용되고 있는 폐전선 재활용 방법에는 열분리 혹은 열분해 등의 소각법,<sup>1,4)</sup> 와이어 절단 및 차핑(chopping)에 의한 기계적 방법,<sup>5,6)</sup> 열매유 및 유기용매 등을 이용한 화학적 방법<sup>7-10)</sup> 및 2종의 방법이 융합된 형태<sup>11,12)</sup>가 있다. 상기 열거된 방법들은 각각의 문제점, 특히 환경오염에 대한 문제가 부각됨에 따라 상업적으로는 융복합 형태의 방법을 사용하여 생산성, 효율성 및 환경유해성을 적절히 해결하고자 한다.<sup>13-16)</sup>

본 연구에서는 폐 젤리충진 통신케이블로부터 고순도 구리를 회수하기 위하여 고효율 기계적 박리기술을 적용하고, 효과적인 양산화를 위한 연속공정을 개발하였다. 선행연구에서<sup>13)</sup> 부각된 대량물량 처리를 위한 양산화 공정 구현여부, 유지비용 절감 및 낮은 회수율 극복 이슈를 개선하기 위한 효과적인 기계적 방법을 고안하였다. 특히, 젤리케이블의 형상을 적절히 고려하여 연속공정을 설계함으로써 기계적 방법의 친환경성 및 생산성을 극대화할 수 있는 시스템을 구현하였다.

## 2. 실험

본 연구에서는 폐 젤리케이블을 연속공정이 가능한 기계적인 방법만을 이용하여 구리(Cu)와 피복(PE)/젤리 성분으로 분리하고 고순도 구리를 회수하기 위하여

Pilot-scale의 폐 젤리케이블 재활용 시스템을 설계/제작하여 평가하였다. Pilot-scale 젤리케이블 재활용 시스템은 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 케이블 공급부, 전처리부, 피복분리부, 회수부로 구성되어있으며 제어부에서 전체 공정 속도를 제어할 수 있도록 설계되었다. 분리효율 최적화를 위하여 피복분리부의 상하 압착롤러 사이의 거리는 최대 10 mm 까지, 회전 속도는 150 rpm 까지 변경할 수 있도록 설계되었다.

구리 회수율을 측정하기 위해서는 케이블 외피가 제거된 젤리케이블을 화학적 방법을 활용하여 개별 구성소재로 분리된 조성 값을 활용하였다. 시료의 상태에 따라 구성성분의 차이가 있을 수 있으므로 5회 측정하여 평균값을 산출하였고 이때 외피를 제외한 조성은 Cu 77.3%, 피복(PE) 11.2%, 젤리 11.5%였다. Pilot-scale 젤리케이블 재활용 시스템에 공급 전 시료의 무게를 측정하고 실험 후 회수되어진 Cu, PE를 시료 성분 분석과 동일한 방법으로 건조/회수하여 무게를 측정한 후 먼저 산출된 평균값과 비교하여 Cu 회수율, Cu/PE 분리율을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

통상적인 기계적인 방법은 젤리성분이 접착제 역할을 하여 구리 와이어와 합성수지 피복제 분리효율을 현저히 저하시킴으로써 공정의 상업화가 실질적으로 불가능하다. 때문에 상업화 공정에서는 융복합 형태의 방법을 사용하여 생산성, 효율성 및 환경유해성을 적절히 해결하고자 한다. 하지만, 이 경우 전체 공정이 상당히 복잡해지기 때문에 공정 효율이 낮아지는 단점이 있다<sup>14)</sup>. 본 그룹에서 수행하였던 친환경 기계적 방법을 개발하기 위한 선행연구에서는 높은 구리 회수율(99.5%)에도 불구하고 연속공정이 불가능한 형태의 공정으로 인하여

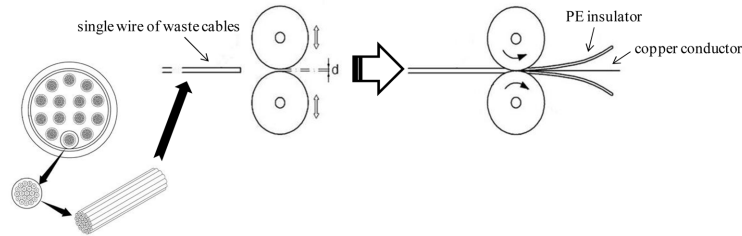


Fig. 2. The principle of debarking process by the mechanical compression.

10 kg/hr의 처리속도로 전체 공정 효율이 낮을뿐더러 고압수를 사용함에 따라 에너지 비용이 높아 유지비용 상승의 요인이 되었다<sup>13)</sup>.

Fig. 2에는 대량물량 처리가 가능한 기계적 방법을 적용하기 위한 양산화 공정의 개략적인 작동원리를 보여준다. 작동원리는 비교적 간단하다. 먼저, 두 롤러(roller) 사이에 폐 케이블을 적절히 공급해준다. 이때 구리의 항복응력은 69 MPa이고 외피(주로 polyethylene)의 항복 응력은 23 MPa이므로 롤러의 밀착 압력이 외피의 항복응력인 23 MPa 이상이 되면 자연스럽게 구리 심선과 외피로 분리된다. 이 때 두 롤러 사이의 간격과 회전속도가 주요 운전인자가 되며, 투입되는 케이블의 상태 또한 주요 변수로 작용한다. Fig. 3에서와 같이 피복만을 선택적으로 적정수준까지 압착해야 하며, 구리는 형태가 유지될 수 있도록 바람직하게는 구리 심선의 항복점과 인장강도 사이에서 힘을 가해지는 것이 효율적이다. 이를 위해서 두 롤러 사이에 간극을 최적화하였다. 케이블의 투입 형태, 즉 다발 내의 케이블 와이어(wire) 개수 혹은 정렬된 정도에 따라 차이가 발생하

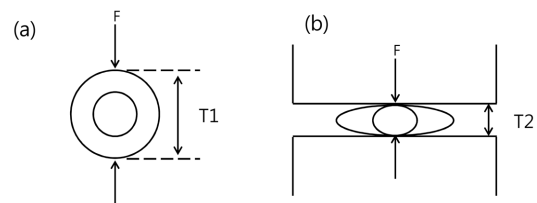


Fig. 3. The variation of cross-section of wires before (a) and after (b) mechanical compression.

지만, 직경변화율( $1-T2/T1$ )이 5 - 10% 영역으로 조절이 되어야 한다. 생산성 향상을 위해서는 투입되는 와이어 개수를 증가시켜야 하지만, 회수율 및 구리 순도 유지를 고려하여 롤러 간격이 0.7 mm 이하로 최적화되고, 12 ~ 15 개/cm 이하로 와이어 수를 제한하여야 한다.

본 연구에서 가장 강조되어야 할 부분은 연속공정으로 구리 회수율과 순도가 유지될 수 있다는 것이다. Fig. 4(a)에서 기계적 박리공정의 양산화를 위한 연속공정에 대한 개념도와 연속공정을 위한 세부 부품을 도식

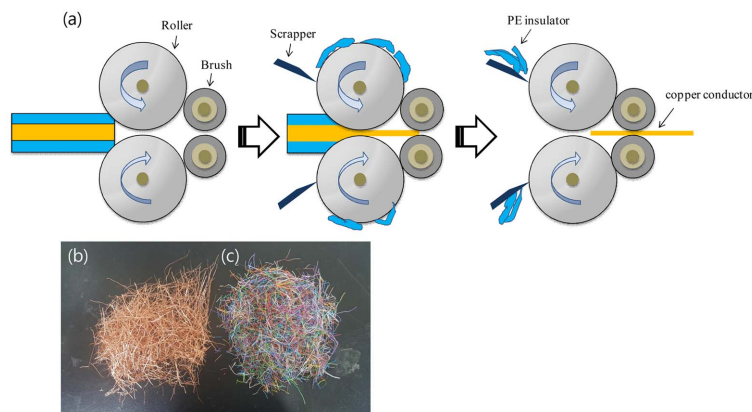


Fig. 4. The practical debarking unit for continuous process in the recovery of copper conductors from waste cables (a). Recovered copper conductors (b) and PE insulator (c), respectively.

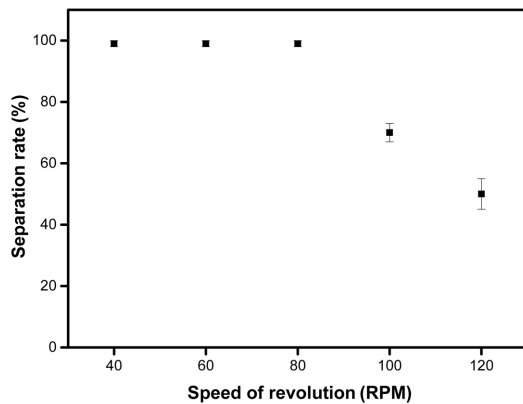


Fig. 5. Separation rate of insulators as a function of RPM.

화하였다. 기존의 기계적 방법의 취약점이라 할 수 있는 젤리 성분 부착에 의한 부품의 오염을 방지하기 위하여 상하 롤러 측면에 스크래퍼(scraper)를 설치하여 부착되는 피복물질을 실시간으로 제거할 수 있도록 설계하였다. 또한 배출되는 구리 심선을 효과적으로 회수하기 위하여 브러쉬(bush) 형태의 롤러를 추가적으로 설치하였다. 개발된 공정을 통해 회수된 구리와 제거된 피복을 Fig. 4 (b,c)에 보여주고 있다. 추가적인 후처리 공정 없이 고순도 구리를 얻을 수 있다. 또한 98% 이상의 높은 구리 회수율을 보여주며, 55 Kg/hr 이상의 높은 생산성을 나타낸다. 롤 회전속도는 80 rpm이 적정하며 80 rpm을 기준으로 회전속도가 낮을 경우 투입속도 또한 낮아 생산성이 저하되며, 회전속도가 높을 경

우 피복 분리 효율이 급격히 낮아진다. Fig. 5에 회전 속도에 따른 피복 분리율을 그래프로 나타내었다. 실제 양산화 공정을 위해서는 개발된 단위 공정을 기본 단위 모듈로 하여 요구되는 처리량에 따라 효과적으로 확대시킬 수 있다.

Table 1에는 현재 상업적으로 운영되고 있는 젤리 케이블 재활용 공정을 비교분석한 결과를 정리하였다. 국내뿐만 아니라 국외에서도 가장 일반적으로 상용화된 공정은 화학적 방법을 기반으로 한 융복합 공정으로 전체 공정이 복잡하며, 대기 및 수질오염을 유발할 수 있는 잠재적 위험요소를 보유하고 있다. 또한 공정의 복잡성으로 인해 공정의 효율을 떨어지고, 구리 회수율을 저하시키는 요인이 된다. 이에 반해 본 연구에서 개발된 기술은 단순한 기계적 방법을 효과적으로 활용함<sup>17)</sup>과 동시에 연속공정이 가능한 요소기술을 추가하여 가장 친환경적이고 생산성이 우수한 젤리 케이블 재활용 공정을 구현하였다(IAE-II).

#### 4. 결 론

폐 젤리충진 케이블로부터 고순도 구리 와이어를 높은 회수율과 생산성으로 회수할 수 있는 친환경 공정을 개발하였다. 종래의 방법과 달리 가장 단순한 기계적 방법만을 적용한 친환경 공정을 개발하였으며, 연속공정을 위한 세부 요소기술을 접목하고 이를 실험적으로 검증하였다. 연속공정을 통한 구리 와이어 회수율은 98% 이상, 처리속도는 55 Kg/hr이었으며, 생산성 향상 및 처

Table 1. The comparison of currently available technologies for the copper recovery from waste jelly-filled communications cables

Technologies	Efficiency	Simplicity	Cu Recovery	Cu purity	Remarks
Eldan Recycling (Denmark)	△	×	△	△	- Temperature : 80°C - Complicated processes - Air and water pollution issues
Commercial Technologies in Korea	×	×	△	○	- Temperature : 60°C - Complicated processes - Air and water pollution issues
IAE - I <sup>13)</sup>	×	○	◎	○	- Room temperature - Batch process - Energy consumption issues
IAE - II	◎	◎	◎	◎	- Room temperature - Continuous process - Environmentally friendly

◎ : excellent, ○ : good, △ : normal, × : poor

리된 구리 심선의 효과적인 회수를 위한 대용량 공정 개발이 현재 지속적으로 수행되고 있다. 또한 개발된 기술의 실질적인 실증을 위하여 외피 포함한 폐 젤리케이블을 대상으로 한 전체 공정에 대한 평가를 통해 상용화를 위한 적용성을 평가해야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 환경부 “차세대 에코이노베이션사업 (2013000150006)”으로 지원받은 과제임.

### References

1. Seong-Kuk Han and Jae-Yong Ki, 2009: Low temperature pyrolysis for the recovery of value-added resources from waste wire (II), J. Korean Ind. Eng. Chem., **20** (5), pp. 553-556.
2. Jae-kwan Ku, Sang-su Kim, Yong-ho Lee, Byung-Geol Kim, Young-Ju Cho and Bong-Gyoo Cho, 2013: Trend on the Recycling Technologies for Spent Electric Wire by the Patent and Paper Analysis, J. Korean Inst. Resources Recycling, **22** (5), pp. 63-70.
3. Jung-II Yang, Jung-Whan Oh, Woo-Zin Choi and Seon-Kook Hwang, 1994: Development of Recycling Technology for Used cables, J. Korean Inst. Resources Recycling, **3** (2), pp. 28-34.
4. Y. Jung, T. H. Im, and J. O. Jung, 1995: Recovery of copper from waste wire using pyrolysis, J. Korean Solid Wastes Eng. Soc., **12**, pp. 93-98.
5. Y. H. Lee, T. D. Park, and B. K. Kim, 2010: Recycling device for jelly filling cable and recycling method for the same, KR Patent 10-0943060.
6. M. C. P. B. de Araújo, A. P. Chaves, D. C. R. Espinosa and J. A. S. Tenório, 2008: Electronic scraps - Recovering of valuable materials from parallel wire cables, Waste Manage., **28**, pp. 2177-2182.
7. I. W. Sung and D. K. Min, 2003: A study on the recovery of copper from jelly cable, J. Korea Soc. Waste Manag., **20**, pp. 260-265.
8. D. K. Min and I. W. Sung, 2003: Evaluation of separation on the copper recovery from jelly filled type cable, Korean J. Sanitation, **18**, pp. 20-26.
9. Sungsu Cho, Sooyoung Lee, Minhye Seo and Sunghyun Uhm, 2014: A study on the scale-up of highly effective copper metal recovery from waste jelly-filled communication cables, Appl. Chem. Eng., **25** (2), pp. 157-160.
10. Chunghwa Telecom Co., Ltd., 2004: Cascade extracting and solvent refreshing method for recycling jelly cables, US Patent 10767440.
11. J. T. Kim, 2008: The cable insulation jelly of content washing and separation a way, KR Patent 10-0822639.
12. Y. J. Park and Y. C. Jang, 2010: Apparatus and method for separating jelly from jelly filled cables for communication, KR Patent 10-0980077.
13. Sungsu Cho, Sooyoung Lee, Myunghwan Hong, Minhye Seo, Dukhee Lee and Sunghyun Uhm, 2015: Upcycling of Waste Jelly-Filled Communication Cables, J. Korean Inst. Resources Recycling, **24**, pp. 29-35.
14. <http://www.eldan-recycling.com/>
15. M. Zackrisson and A. Boss, 2013: Recycling production cable waste – Environmental and economic implications, wastes: Solutions, Treatments and Opportunities - 2nd International Conference.
16. Annika Boss, Jan-Ove Boström, Per-Håkan Nilsson, Andreas Farkas, Alf Eriksson, Erik Rasmussen, Elin Svenningsson, Mattias Dalesjö and Alf Johansson, 2011: New technology for recycling of plastics from cable waste, 8th International Conference on Insulated Power Cables.
17. Sungsu Cho, Sooyoung Lee, Minhye Seo, Sunghyun Uhm and Myunghwan Hong, 2016: Method and apparatus for recycling a cable, KR Patent 10-1587507.



이 수 영

- 연세대학교 금속공학과 석사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 선임연구원



엄 성 현

- 인하대학교 화학공학과 박사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 수석연구원



서민혜

- 아주대학교 환경공학과 박사수료
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 선임연구원



이민석

- 경기대학교 환경에너지공학과 석사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 연구원



조성수

- 아주대학교 에너지시스템학과 박사수료
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 수석연구원

## 學會誌 投稿 安內

種 類	內 容
論 說	提案, 意見, 批判, 時評
展望, 解説	現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解説, Review
技 術 報 告	實際的인 試驗, 調查의 報告
技術, 行政情報	價値있는 技術, 行政情報를 간결히 解説하고, comment를 붙인다.
見 聞 記	國際會義의 報告, 國內外의 研究 幾關의 見學記 등
書 評	
談 話 室	會員相互의 情報交換, 會員 自由스러운 말, 隨霜 등
Group 紹介	企業, 研究幾關, 大學 등의 紹介
研究論文	Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 揭載하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.