

# 농촌지역 혼합건설폐기물의 중·소규모 배출현장용 이동식 분리선별기 개발을 위한 기초연구

## A Basic Study on the Mobile Separator and Sorter Development of Small and Medium-sized Discharge Site's Mixed Construction Waste in Rural Area

김 병 윤\*  
Kim, Byung-Yun

박 지 선\*\*  
Park, Ji-Sun

### Abstract

This study aimed to develop a mobile separating and sorting device for discharge sites to separate and sort mixed construction waste generated in small and medium scale in small provincial cities into inorganic materials and combustible materials. The study results can be summarized as follows: 1) As a result of analyzing the existing domestic technology for the separating and sorting mixed construction waste, a device sorting the waste by fusing the vibration screen, disc screen, air blowing methods and the separating and sorting the combustible waste is applied in Korea. 2) In foreign countries, the air blowing, screen, gravity sorters are used for separating and sorting combustible waste in the same way as in Korea. Especially German T Company suggests a construction waste separating and sorting system using an optical sorter. 3) As for the test device for separating and sorting mixed construction waste to be buried in landfill, the processing capacity was set as 16 tons per day. 4) For separating and sorting inorganic materials by granularity, this study set a trommel with two types of diameter as a basic. To operate the mobile all-in-one system, the device is designed to locate a conveyor, a combustible waste conveying device, inside of the trommel. 5) The device is designed in a mobile mode under the concept of primary separating and sorting device, and it can be transported using a 2.5-ton truck minimum. The diameter and length of the trommel are designed to be within 1500mm and 3000mm, respectively. In a further study, an optimized separating and sorting technology is planned to be presented through an experimental study for processing efficiency analysis at the mixed construction waste site by manufacturing the pilot experiment facility reflecting the design elements in the result of this study.

주요어 : 배출현장, 혼합건설폐기물, 분리선별기, 재활용

Keywords : Discharge Site, Mixed Construction Waste, Selector, Recycling

### 1. 서론

국내의 경우 2003년 건설폐기물재활용 촉진에 관한 법률의 시행에 따라 건설폐기물 처리 및 재활용과 관련한 여러 정책이 추진되고 있다. 순환골재의 고품질 활용을 위한 품질 향상 방안 도입 및 인증제도 시행, 의무사용제도의 도입, 장기적인 재활용 목표율 선정 등이 대표적인 사례라 할 수 있다. 또한, 2차 건설 폐기물 재활용 기본계획에서는 단순한 일회성 사용보다는 지속적인 반복 사용이 가능하도록 체계를 개선하는 순환성 강화를 정책 실현의 주목표로 설정한 바 있다.

단순 매립 또는 소각 처리되는 건설폐기물을 재활용하기 위하여 배출단계 또는 중간 처리단계에서 성상별 분리선별 하여 재활용 용도의 사용을 높일 필요가 있다.

이를 위하여 배출지 현장에서 분리선별 할 수 있는 장치를 개발하여 일차적으로 가연성 및 무기성 폐기물과 목재를 분리하는 작업이 선행되어야 재활용 효율을 높일 수 있다. 폐기물의

재활용 효율성을 가장 높이는 방법은 배출 1단계에서 이물질이 섞이지 않도록 하는 것이며, 이후 최대한 짧은 단계에서 성상별로 분리하는 것이다<sup>1)</sup>.

특히, 이러한 혼합건설폐기물이 중·소량으로 배출되는 농촌 또는 소도시 지역에서는 분리·선별하여 재활용하는 업체가 적을 뿐만 아니라, 그 재활용률도 매우 낮기 때문에 배출현장에서 적용 가능한 이동식 소형 분리선별기 개발이 매우 절실하며, 적용 효과도 클 것으로 기대된다.

따라서, 본 연구에서는 지방 소도시에서 중·소규모로 발생하는 혼합건설폐기물을 최종처리형태가 다른 무기물과 가연성을 일차적으로 분리선별 할 수 있도록 발생현장용 이동식 분리선별 장치 개발을 최종 목표로 하여, 선행기술 분석을 통한 분리선별기의 목표성능 설정 및 장치설계요소를 제시하고자 한다.

\* 가톨릭관동대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\* 한국건설기술연구원 건축안전연구센터 수석연구원, 공학박사

(Corresponding author : Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, batsun@kict.re.kr)

1) 송태협·이세현·박지선·김영훈·백대현, 건축물 분리 해체 도입방안 마련 연구, 환경부, 2012.

## 2. 선행기술 분석

### 2.1 분리선별 설비

가연성 및 불연성 폐기물이 혼합된 건설폐기물을 분리선별 하는 대표적인 설비는 <Fig. 1>과 같이 진동 스크린, 디스크 스크린, 트롬멜 스크린으로 구분할 수 있다<sup>2)</sup>.

진동 스크린은 콘크리트, 벽돌 등과 같은 건조 상태인 물질 선별에 사용되고 있으며, 진동으로 입도가 다른 골재를 분리하는데 가장 효과적인 장치이다. 건설폐기물의 분리뿐만 아니라 일반 골재채취 사업장 등에서 가장 흔하게 사용하고 있으며, 스크린 망을 이용하여 입도별 선별이 가능하도록 구성되어 있다. 진동 스크린은 무기물질의 입도별 선별이 가능한 장점이 있으나, 가연성 폐기물과 같은 입형으로 되어있지 않고, 가벼운 폐기물의 분리선별은 상대적으로 효율이 낮다.

디스크 스크린은 일정한 원형으로 이루어진 원통형 디스크를 일정 간격으로 배열하여 폐기물을 분리선별 하는 시스템이다. 진동 스크린의 대안으로 개발된 형태로서 선별물질은 원판 사이의 공간으로 떨어지고, 크기가 큰 물질은 컨베이어벨트에 서와 마찬가지로 원판 상부를 통하여 운반되는 시스템이다. 자기청소 능력과 원판 사이의 간격을 조절할 수 있는 장점이 있으며, 종이 등 폐지의 선별에 많이 사용되고 있다.

트롬멜 스크린은 폐기물 처리를 위하여 가장 흔하게 사용되는 장치로서 수평 방향으로 회전하는 원통 형태의 스크린으로, 폐기물 재활용 공정에서 파쇄기를 보호하거나 재활용 회수시설에서 골판지나 종이 및 무기물 분리에 사용되고 있다. 폐기물의 분리선별은 각각의 성상 특성을 고려하여 장비 활용 방향을 설정하고 기본 분리선별 장치 이외에 송풍, 자력, 인력에 의한 보조 방법을 적용하고 있다.

폐기물의 분리선별 성능에 있어서 중요한 요인 중의 하나는 폐기물의 성상이며, 폐기물의 종류는 배출지 별로 그 성상이 다르게 구성되어 있다. RC 구조물의 해체 현장에는 폐콘크리트 함유량이 많으며, 단독가옥 및 재개발 현장은 가연성 폐기물이 다량 혼입된 혼합건설폐기물의 배출이 많이 있다.

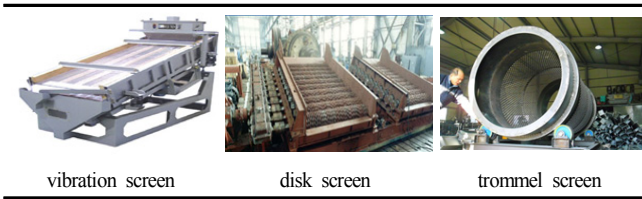


Fig. 1. Kinds of separator / sorter

따라서, 진동 스크린은 도심지 지역에서 사용하기에는 진동에 대한 관리, 소음관리가 부적절한 것으로 판단되고, 디스크 스크린의 경우는 폐기물에 혼재된 골재의 분리선별에 어려움이 있을 것으로 판단되므로, 본 연구에서는 건축물 해체 현장에서 배출되는 매립용 혼합건설폐기물의 특성과 이동을 고려하여 트롬멜 스크린 시스템을 기본으로 하여 선별하고자 한다.

2) 수도권 매립지 운영 협동조합, 건설폐기물을 이용한 에너지 연료 변환 기술개발, 환경부, 2007. pp.134-135

## 2.2 분리선별 공정

### (1) 국내

다양한 폐기물이 혼합된 건설폐기물의 분리선별 시스템은 대부분 무기물질의 적정 입도 확보를 위한 파·분쇄 시설, 가연성 폐기물을 분리선별 하는 시설로 구분되어 종합적인 시스템으로 구성되어 있다. 특히 가연성 폐기물을 분리·선별하기 위한 시설은 풍속조절 사이클론, 풍력에 의한 비중선별시설, 트롬멜 등을 조합하여 구성되어 있다<sup>3)</sup>.

<Fig. 2>에서 보는 바와 같이 반입된 건설폐기물은 1차로 진동 호퍼에 투입되고, 이후 트롬멜 공정을 거쳐 가연성 폐기물과 무기물질을 분리하게 된다. 트롬멜의 타공망을 통과하여 분리되는 무기성 폐기물은 선별 스크린을 통하여 입도별 분리가 2차로 이루어진다. 이후 송풍기를 이용하여 가연성 폐기물을 분리하고, 폐목재의 경우 비중 분리선별 장치를 이용하여 분리한다.

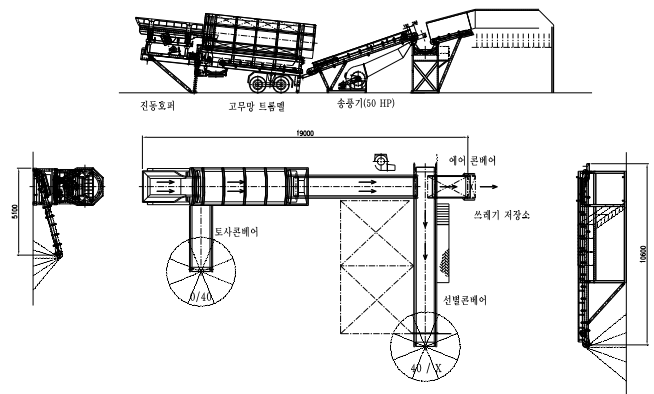


Fig. 2. Waste processing process chart using hopper and trommel

국내의 건설폐기물 분리선별 기술은 독일, 일본 등과 기술력의 차이가 없는 수준이며, 다양한 신기술 등이 개발되고 있다. 환경신기술정보시스템 자료를 분석한 관련기술 개발 현황은 다음과 같다<sup>4)</sup>.

### ① 폐목재 분리선별 기술

혼합건설폐기물 중의 폐목재를 선별하기 위하여 트롬멜 스크린장치를 거친 혼합건설폐기물 중의 폐목재를 효과적으로 회수하는 기술로는 역방향으로 구동되는 드래그체인, 에어노즐, 스크래퍼, 진동탈수 스크린에 의하여 폐기물을 가연물 및 침전물로 분리한 후 탈수·배출하는 드래그 체인형 습식선별기가 있다. 또한, 에어분사에 의한 비중 차이를 이용하여 경사 컨베이어벨트에서 가연물을 폐목재와 경량가연물로 선별하는 에어나이프형 비중선별기가 있으며, 2단 사이클론 및 풍력에 의하여 가연물을 폐목재와 경량가연물로 선별하는 더블사이클론형 풍력 선별기 등이 있다.

3) 박지선·송태협·최동호, 건축물 분별해체 제도 도입을 위한 적용 대상 건축물 범위 설정, 한국건설순환자원학회논문집, Vol.1 No.3, 2013, pp.81-88  
4) 환경신기술정보시스템, <https://www.koetv.or.kr/home/index.do>



Fig. 3. Waste timber separating and sorting facility

### ② 가연성 폐기물 분리선별 기술

스크린 막힘 방지 칼날이 부착된 트롬멜 스크린 및 가연성 분리장치를 이용하여 생활폐기물과 건설폐기물이 혼재되어 있는 매립지의 폐기물을 각각의 성상별로 분리 선별하는 기술이 있다. 주로 비위생 및 위생 매립지 정비, 매립부지의 재이용 및 매립 폐자원을 재활용 하는데 활용된다. 매립쓰레기를 분리·선별하기 위하여 트롬멜 스크린 내부에 망 막힘 방지 칼날과 스크린 외부에 망 막힘 방지 브러시를 통해 선별 생산성을 높였으며, 함유율이 높은 혼합 쓰레기 분리·선별 처리의 성능을 향상시켰다. 이로써, 선별 작업성 및 연료절감 효과가 향상되었으며, 트롬멜 스크린 내부 드럼의 회전식 바(Bar)를 통해 쓰레기의 낙차 폭을 크게 함으로써 토사의 분리효율과 배출속도를 향상시켰다. 연속회전식 갈퀴와 브러시를 이용한 가연물 분리장치는 가연물의 분리효율을 향상시킬 수 있었고, 선별작업 시 먼지, 잔 쓰레기 발생 등 오염 유발을 방지한다.

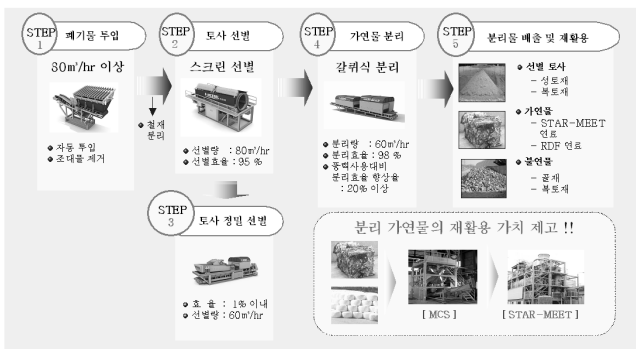


Fig. 4. High efficiency recycling processing process chart

### ③ 이물질 제거개선 기술

건설폐기물 재활용 처리과정에서 블로어, 흡입 덕트, 사이클론 내부에 진동 스크린과 히팅 실린더를 신규로 장착한 개량형 사이클론을 이용하여 재생토사의 이물질 제거효율을 높이는 기술이 있다. 히팅 실린더가 장착된 개량형 사이클론 방식은 뒤집개, 블로어, 흡입덕트 등의 적용으로 이물질 제거 효과가 우수하고, 스티로폼과 비닐 등이 고형화 배출됨으로써 부피감소 및 비산 염려가 적은 기술이다.

### ④ 순환골재 생산 기술

요철패들 더블 로그와셔를 이용한 재생(순환)골재의 이물질 제거 개선기술로 순환골재 생산 공정 중에 적용하여 더블로그와셔 수조의 설치 각도와 패들 형상을 요철형으로 개량하여 패들과 골재, 골재와 골재 상호 마찰에 의하여 골재표면의 모르터를 제거하고 순환골재에 함유된 이물질을 제거 개선하는 기술이다.



Fig. 5. Double log washer

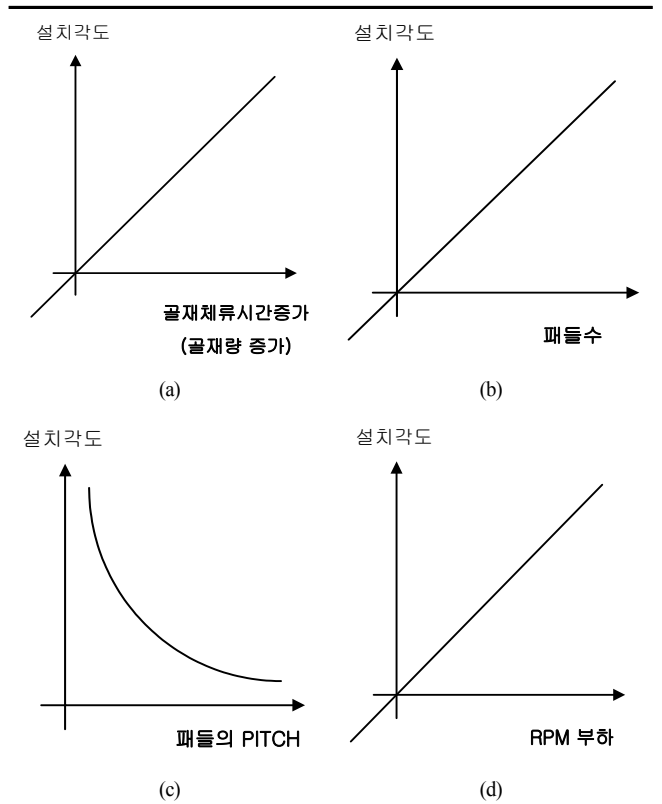


Fig. 6. Principle of the technology

본 기술은 <Fig. 6>과 같이 로그와셔의 설치각도가 커질수록 골재의 전진(이동)속도 저하 및 골재의 슬립현상이 발생되어,

골재의 세척시간이 증가하게 되고, 이로 인해 로그의 부하가 증가하게 되어 폐물 개수 증가가 불가피하며, 로그 1회 회전에 따른 골재의 전진거리 감소에 따라 폐물(블레이드)의 피치(Pitch)를 감소시켜야 한다.

(2) 국외

외국의 건설폐기물 분리선별 기술도 국내와 동일하게 불연성 및 가연성 건설폐기물을 복합적으로 분리선별 하는 것을 기반으로 하고 있다. 가연성 폐기물의 분리·선별의 경우는 일본의 선별 기술이 앞서 있는데, 이는 일본의 주거문화 자체가 목재를 기반으로 하는 것이 많기 때문이다.

독일의 경우 크러셔를 원천기술로 가지고 있는 선도업체들이 많이 있으므로, 독일 S사 제품을 중심으로 구성을 비교·분석하였다. 일부의 구성에서는 현재와 다소 차이가 있지만 1994년부터 혼합건설폐기물의 분리선별에 사용되고 있으며, 해당 장치는 대규모의 설치부지가 필요한 고정식으로 활용되고 있다. 1일 폐기물 처리용량은 기본적으로 20 ton/day를 제시하고 있는데, 설계에 따라서 일부 변경이 가능하며 현재까지 최대 30 ton/day까지 처리가 가능하다.

분리선별 장치에 투입되는 혼합건설폐기물은 국내 혼합건설폐기물의 성상과 유사하게 폐벽돌, 폐콘크리트, 폐타일 등을 포함한 무기물질, 폐플라스틱, 폐필름, 폐섬유 등을 포함한 가연성, 금속류 등이 다양하게 혼재되어 있다. 이러한 혼합건설폐기물을 분리선별 장치에 투입하면 1차로 트롬벨 스크린을 통해 4가지 종류인 폐목재, 폐플라스틱, 폐필름, 무기물질로 분류가 되고, 트롬벨 스크린의 타공망을 통과한 잔재물은 다시 골재스크린, 자력선별기, 에어나이프, 근적외선 센서 등을 활용하여 입도별 무기물질, 철금속과 비철금속, 미립분 무기질, RDF 원료 등으로 재활용에 유리하게 분리·선별된다. <Fig. 7>에 공정별로 도식화하여 나타내었다.

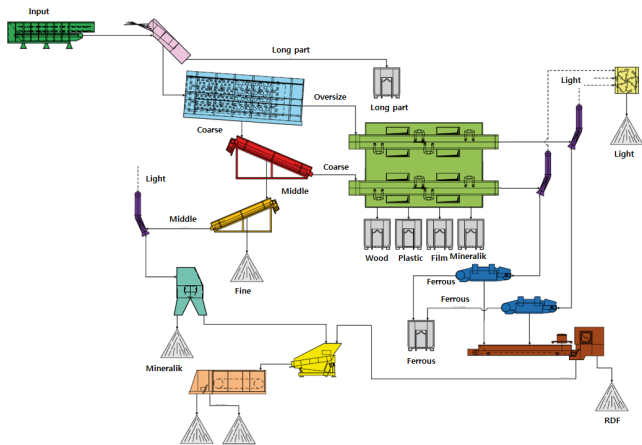


Fig. 7. Circular processing flow of construction waste (S Co.)

독일 T사의 광학선별 장치를 이용한 가연성 폐기물의 분리선별 장치는 NIR 및 VIS 센서의 기능을 갖춘 제품으로 기계동작 중에 투입물질에 대한 재질과 색상, 위치 및 크기 등을 인식하며 원하는 선별물질의 흐름에서 에어노즐을 통하여 선별한

다. 선별물질의 형상과 크기에 비례하여 에어밸브가 작동하여 선별의 정확도를 증대시키고, 보편적인 컨베이어 작업속도는 2.5~3 m/sec로 작동한다. 스펙트럼 파장의 범위는 약 1,500~2,400 nm 정도이며, 본 시스템의 표준 선별 크기는 최소 12 mm x 12 mm의 물질 크기를 선별할 수 있다.

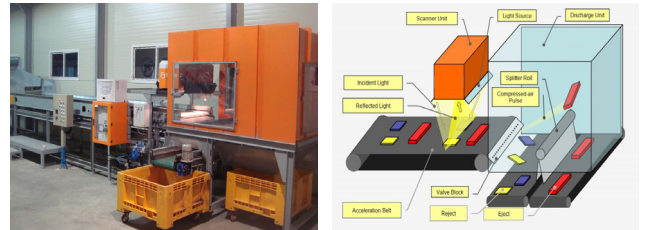


Fig. 8. German T Co.'s optical sorting device and concept

3. 분리선별 장치의 목표성능 설정

3.1 폐기물 처리장치 설계기준

매립용 혼합건설폐기물 분리선별 장치의 설계에서 중점적인 고려사항은 폐기물의 처리용량과 대상 폐기물의 선정, 그리고 선별 효율을 어느 정도로 맞추어 제작할 것인가에 대한 기준 설정이다. 지방 소도시 중심으로 혼합건설폐기물의 중·소규모 발생현장용 이동식 분리·선별기 개발을 목적으로 하는 본 연구에서는 구체적으로 결정하여야 할 세부 항목은 다음과 같다.

(1) 공간 제약 탈피

본 연구개발에서 목표로 하는 것은 폐기물 발생 초기단계에서 성상별로 폐기물을 분리선별하는 것에 있다. 예를 들어 과거에 폐기물을 분리선별하여, 매립하거나 발생된 폐기물을 바로 처리하지 않고 혼합보관을 할 경우, 성상별 혼합비율이 높아져 분리를 위한 추가비용 발생 및 재활용률이 저하 된다. 따라서 밀집 지역의 건설폐기물 배출장소에서도 분리선별이 가능하도록 공간 제약을 최소화할 필요가 있다.



Fig. 9. Panorama of mixed construction waste

(2) 이동식, 고정식 모두 가능한 설계

본 연구개발에서의 설비는 건설폐기물 중간처리 사업장 또는 임시 보관장 등 폐기물을 장기간 처리하는 현장에서 사용하기보다는 배출지를 대상으로 선별하는 장치로써 임시적인 분리선별 장치라고 할 수 있다. 따라서 차량 운반이 가능하거나 트레일러 형식의 이동이 가능하도록 설계가 이루어져야 한다. 따라서 장치의 높이, 폭 및 길이 등이 제한되어야 한다.

5) Sutco, Plant engineering, <https://www.sutco.de/en-de/home>

### (3) 성상별 분류 가능

폐기물의 성상 분류는 분류된 폐기물의 활용 용도를 고려하여 선별하도록 한다. 물질 재활용을 통한 제품 생산 효율성이 가장 우수한 폐목재와 합성수지를 가연성 폐기물의 분류 기준으로 하고, 골재의 경우에는 활용 입도별 분류가 가능하도록 선별한다.

### (4) 관련 환경 법규와의 적정성

폐기물 처리시설은 폐기물관리법에서 규정하는 대기, 분진, 소음, 진동, 폐수 등의 관련 시설을 만족하여야 사용승인 허가를 받을 수 있으며, 정기적으로 점검도 받아야 한다.

건설현장의 경우도 상기 법에 따라 당해 현장에서 발생하는 미세먼지, 분진, 소음, 폐수들을 관리해야 한다. 본 장비는 혼합된 건설폐기물을 성상별로 분리하는 장치로서 폐기물의 보관형태 및 용도에 따라 비산먼지의 발생량이 많을 수 있으며, 경우에 따라서는 기계장치 및 폐기물간 타격에 의해 소음이 규정 이상으로 발생할 가능성이 있다. 따라서 본 장비를 현장에서 사용할 수 있도록 관련된 규정을 충족해야 한다.

## 3.2 폐기물 처리량 산정

Pilot 설비는 고정식 설비가 아니라 폐기물이 집합된 장소에 투입되어 폐기물 처리가 가능해야 한다. 당초 시험장치의 용량을 2 ton/day로 설계하였으나, 가연성 폐기물의 비중 및 성상 형태를 고려할 때 실제 규모로 제작하여야만 분리 효율성 검증에 효과적일 것으로 판단하였다. 또한, Pilot 설비의 용량은 매립용 혼합건설폐기물의 분리 성상 특성만 파악하기 위험에서 종합적인 성상별 분리를 고려하여 대량의 폐기물을 분리하여야 한다는 원칙하에 설계 용량을 최대화 하기로 결정하였다. 일반적으로 매립용 혼합건설폐기물의 배출은 폐기물처리용 암물박스를 기준으로 배출하고 있으며, 가장 많이 적용되는 용량이 25 m<sup>3</sup>의 박스이다. 배출되는 폐기물의 단위용적질량은 0.3~0.6 t/m<sup>3</sup> 정도로 계산할 수 있으며, 이를 체적 기준으로 환산할 경우 25 m<sup>3</sup> 암물박스는 7~15 ton의 폐기물을 보관할 수 있다.

따라서 본 연구개발에서 제작하고자 하는 Pilot 분리선별 장치의 처리용량은 최대 중량은 15 ton을 처리할 수 있는 용량으로 설계하고자 한다. 즉, Pilot 분리선별 장치의 처리용량은 장치를 8시간 동안 계속 가동하여 25 m<sup>3</sup> 용량의 매립용 혼합폐기물을 처리할 수 있도록 1일 8시간 기준 16 ton을 처리할 수 있는 용량으로 설계한다.

## 3.3 분리선별 효율

무기물질에 대한 분리 효율을 검토하면 국토교통부에서 제정한 순환골재 품질기준에 각 용도별 이물질질을 규정하고 있다. 콘크리트용 골재의 경우 가연성 또는 무기성 폐기물을 1% 미만으로 관리하도록 규정하고 있으며, 도로공사용의 경우에는 가연성 1%, 무기성 5% 미만으로 관리하도록 규정하고 있다. 따라서 본 장치에서는 최소한 5% 미만으로 관리하는 무기물의 관리 기준을 고려하여 30 mm 미만의 골재는 95% 이상의 분리 효율을 가질 수 있도록 목표를 설정하고, 그 이상의 경우 15% 관리 한계를 설정하여 관리하도록 한다.

앞서 설명한 바와 같이 본 장치가 모든 폐기물을 정밀하게 분리선별 하는 장치가 아니라, 1단계로 성상별 분리 개념인 것을 고려하고, 장치 설비의 규모 및 단계를 고려할 때 매우 높은 목표라고 판단된다.

폐목재의 경우 사용 용도가 매우 다양하고 성상 또한 복잡하여 분리하기가 매우 어려운 폐기물 중의 하나이다. 밀도가 0.5 g/cm<sup>3</sup> 미만의 매우 낮은 것부터 1.2 g/cm<sup>3</sup>의 고밀도 제품까지 다양하게 분포하고 있으며, 발생하는 형태도 판재, 각재 등으로 분류할 수 있고, 용도도 바닥재, 벽재, 천장재 등 다양하게 구분할 수 있다. 그러나 본 장치에서는 1차적으로 목재의 성상을 가진 폐기물만을 대상으로 분리·선별을 하는 것이므로, 상기에서 분류한 폐기물을 모두 하나로 선별하는 것을 목표로 한다.

비닐, 종이 등 기타 가연성 폐기물은 폐목재 및 순환골재의 순도를 높이기 위하여 분리선별 하는 것을 목적으로 한다.

## 4. 분리선별 장치 설계

### 4.1 설계 개요

혼합건설폐기물 분리선별 장치는 현장에서 배출되는 1개의 암물박스를 하루에 처리할 수 있는 용량으로 설계하여 16 ton의 폐기물을 8시간 동안 처리할 수 있도록 한다. 즉, 설비의 기본 개념은 200 mm 미만의 매립형 혼합건설폐기물을 성상별로 분리선별 하는 것을 목표로 하고, 이를 달성하기 위한 방법으로 스크린, 트롬멜, 송풍, 비중차 등의 방법을 사용한다. 본 공정에서는 <Fig. 10>에서와 같이 폐기물의 최대 크기가 한정된 것을 대상으로 발생 현장에서 분리하는 기본 개념을 가지고 있다. 분리선별 방식은 가연성 폐기물과 무기성 폐기물이 혼합된 것을 효과적으로 분리선별 할 수 있고 가장 효율이 뛰어난 트롬멜 시스템을 활용한다.

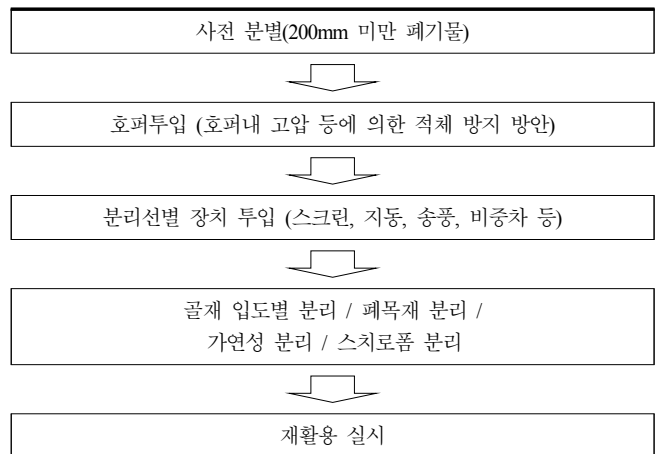


Fig. 10. Basic concept of the separating and sorting system

기존 장치의 경우 자력, 풍력장치, 진동스크린, 트롬멜, 파쇄기 등 다양한 공정으로 구성되어 있어, 분리 효율을 높일 수 있는 장점이 있으나, 비용 및 특정 지역에 국한하여 처리하여야 하는 단점을 가지고 있다. 본 연구개발에서 구성하고 있는 장치의 특징은 이러한 공정을 최소화하고 협소한 공간에서 기본적인

인 성상별 분리가 가능하도록 장치를 설계한 것이다. 즉, 기존의 공정이 최소 600 m<sup>2</sup> 정도의 공간을 확보하여야 한다면, 본 기술개발의 목표는 15 m<sup>2</sup> 이내의 면적에서 분리선별이 가능하도록 구현하는 개념이다.

#### 4.2 호퍼 설계

호퍼는 분리·선별하기 위한 폐기물을 최초로 반입하는 장치로, 설계에서 가장 중요한 요소는 호퍼의 용량과 내부 구성 형태이다. 설비의 하루 처리용량이 16 ton이며, 이를 용적으로 환산하면 최소 25 m<sup>3</sup>의 폐기물을 처리하여야 한다. 8시간 기준으로 하여 처리하여야 할 양은 3 m<sup>3</sup>임을 고려할 때 연속공정에서 호퍼의 양은 0.5 m<sup>3</sup>이면 충분할 것으로 판단한다. <Fig. 11>의 우측 그림이 단속공정의 호퍼 설계(안)이다.

좌측의 호퍼는 상부에서 가하는 모든 힘이 하부로 직접 연결되는 형태를 취하고 있다. 즉, 연속공정에서는 폐기물의 공급이 일정하게 유지되기 때문에 적층 될 수 있는 현상은 거의 발생하지 않을 수 있으나, 단속공정의 경우에는 호퍼 가득 폐기물을 적층한 후 기계를 가동할 수밖에 없다. 또한, 최대한 많은 폐기물을 호퍼에 저장함으로써 다른 지원 장비의 활용 효율성도 고려하여야 한다. 우측의 그림에서 1' 과 같은 경사각을 유지할 경우 상부의 하중을 좌·우로 분산할 수 있는 특징을 가질 수 있어 폐기물을 다량 저장할 수 있는 장점이 있다.

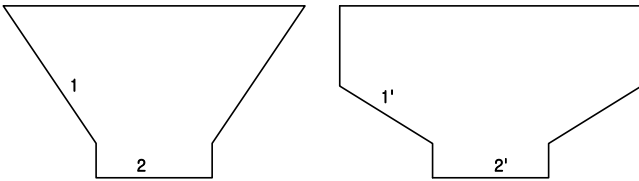


Fig. 11. Hopper design considering space (inverted triangular and rectangular types)

호퍼의 가장 큰 문제는 폐기물의 적층에 의한 하부 배출구의 막힘 문제이므로, 이러한 문제의 해결 방안은 호퍼에 정량적인 폐기물의 공급 장치를 추가로 설계하는 방안이 고려될 수 있다. 롤링세퍼레이터의 구동은 호퍼 하부의 컨베이어 구동모터와 연결할 수 있으며, 이때 컨베이어와 동일한 속도를 유지할 수 있으므로 정량적인 공급이 가능할 수 있다. 그러나 폐기물의 크기가 다시 제한될 수 있으며, 기존의 호퍼는 단순하게 폐기물을 모으고 저장하는 설계만 하면 되지만, 이를 고려할 경우에는 호퍼의 지지력 등에 대한 검토가 이루어져야 한다.

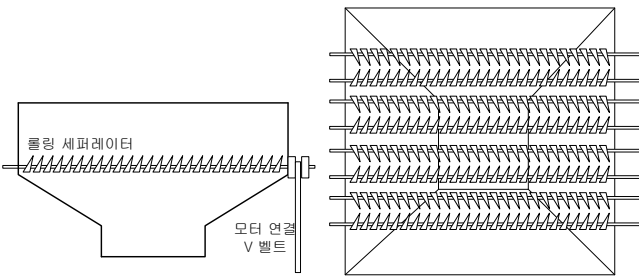


Fig. 12. Waste input amount controllable hopper design

#### 4.3 이송 컨베이어 설계

호퍼에 투입된 폐기물은 분리선별을 위하여 트롬멜 내부로 공급되어 진다. 이때 호퍼에서 바로 트롬멜로 낙하하는 것이 아니라, 정량적 공급을 위하여 공급 컨베이어를 통해 이루어져야 한다. 컨베이어 설계에서 가장 중요한 항목은 운송되는 물질의 용량이다.

트롬멜의 크기도 이동식을 고려할 때 트롬멜의 직경은 1,500 mm 이상을 유지하기 힘들다. 따라서 컨베이어의 폭은 최대 600 mm로 결정되어 질 수 있다. 그러나 앞서 기술한 바와 같이 본 설비의 특성은 내부 블레이드에 의한 가연성 폐기물의 이송이 이루어져야 하므로, 이를 고려하여 컨베이어의 폭을 좀 더 감소시켜야 하는 문제점이 있다. 따라서 일반적으로 사용하는 표준 폭인 500 mm를 기본 폭으로 하여 공급 설계를 하고자 한다.

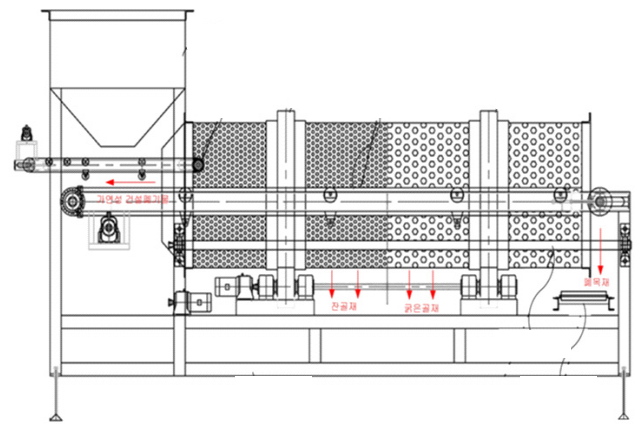


Fig. 13. Trommel device profile

공급능력 계산에 필요한 인자는 컨베이어의 폭, 가연성 폐기물의 밀도 등을 고려하여야 한다. 분리되지 않은 가연성 폐기물의 단위용적질량은 1.2 ton/m<sup>3</sup>을 적용하여 산출하였다.

벨트의 폭이 500mm이고, 80% 유효폭을 적용 및 400mm 정도에 폐기물이 운반될 수 있는 것으로 가정할 때, 이론적인 운반량은 JIS B 8805에 따라 산출하면 다음과 같다.

$$Q = 60 \cdot A \cdot v \cdot p \quad (1)$$

Q : 이론 운반 증량(ton/hour)

A : 벨트에 실린 운반물의 단면적(m<sup>2</sup>)

v : 벨트의 속도(m/min)

p : 운반물의 겉보기 비중

$$Q = 60 \times 0.02512 \times 5.0 \times 0.8 \approx 6 \text{ ton/hour}$$

상기에서 계산한 바와 같이 500 mm의 수평컨베이어를 이용하여 분당 5 m의 속도로 폐기물을 공급할 경우, 공급량은 중량 기준으로 6 ton 정도가 된다. 따라서 장치의 설계에서 설정한 능력의 3배 이상을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

이후 분리된 가연성 폐기물의 이송 컨베이어의 경우, 공급 컨베이어에 비하여 30% 정도의 폐기물만을 이송하는 것이기 때문에 동일한 폭을 유지할 경우 이송 능력상에는 아무런 문제

가 없을 것으로 예상된다. 다만, 블레이드를 통하여 상부로 이송된 폐기물이 안정적으로 컨베이어에 올라탈 수 있는 쪽을 유지해야 하므로 공급 컨베이어와 동일한 쪽을 유지하는 방향으로 설계하였다<Fig. 14>.

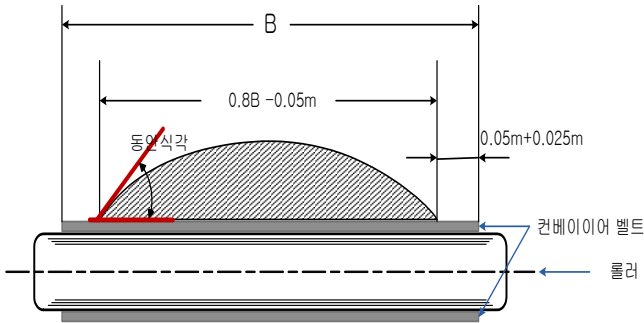


Fig. 14. Supply conveyor type and design

#### 4.4 트롬멜 설계

##### (1) 구동 방식

구동 롤러의 형태에 따른 장단점 비교를 할 경우, 디스크판 형태의 구동 롤러는 상부 자중에 의한 마찰력으로 구동하는 것으로 약간의 회전 오차가 있어도 회전에는 문제가 없고, 유지관리가 용이한 장점이 있지만, 전후 좌·우축이 틀어질 경우 어느 한쪽의 마찰력에 의한 힘으로 회전하기 때문에 힘이 약해질 수 있다.

기어 형태의 구동 롤러는 상부의 트롬멜 자중에 의한 마찰력 보다는 기어의 맞물림에 의한 회전이 강하기 때문에 모터에서 발생하는 구동의 힘을 확실하게 전달할 수 있는 장점이 있으며, 이에 따라 한쪽의 기어의 힘만으로도 충분히 회전력을 확보할 수 있다. 그러나 본 장비의 특성상 미세분진 및 이물질 발생량이 많음에 따라 기어에 쌓일 경우, 기계 가동이 어려울 수 있으며, 본체의 비틀림이나 어긋남이 발생할 경우, 기어 맞물림이 맞지 않으면서 회전이 불가능할 수 있다<Fig. 15>.

따라서, 전체적으로 디스크 형태의 구동 롤러는 회전력이 약하지만, 유지관리의 편리성과 폐기물을 선별하는데 최적의 형태를 가지고 있는 디스크 형태의 구동 롤러를 선정하여 트롬멜 본체를 회전하는 것으로 결정한다.

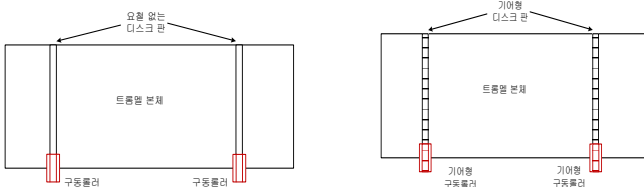


Fig. 15. Driver roller (left: disc plate type / right: gear type)

##### (2) 타공망의 형태 및 크기 결정

트롬멜은 일정한 크기의 구멍을 이용하여 물질을 분리선별하는 것으로 체가름의 한 분류라 할 수 있다. 일반적으로 트롬멜에 많이 사용하는 체망의 형태는 ra비(구멍의 단면적 비)를 높이 유지할 수 있는 장점이 있으나, 가연성 이물질 등이 투입

되었을 때 체망에 끼이는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 대부분의 골재채취 현장의 입도분리 과정에서 사용되고 있으며, 가연성 폐기물 분리에는 사용하지 않는다.

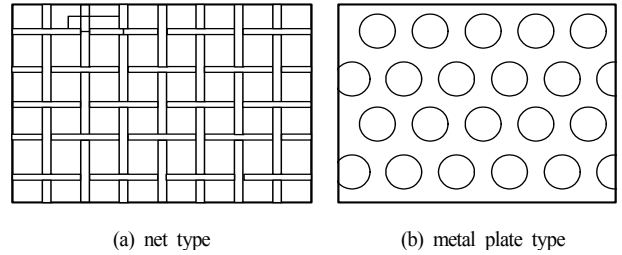


Fig. 16. Trommel punching net type

또한, 금속판에 타공한 형태의 경우 ra비는 상대적으로 낮게 나타날 수 있으나 가연성 폐기물이 끼는 현상을 방지할 수 있고, 트롬멜을 안정적으로 형성할 수 있는 장점이 있다<Fig. 16>.

따라서 판상형 타공망 형태는 격자 사이에 끼이는 현상을 방지하여 모든 폐기물을 안정적으로 이송할 수 있는 장점이 있어 가연성 폐기물이 혼합된 분리선별 공정에서는 이러한 형태를 사용하고 있다. 따라서 본 장치의 개발에서는 판상형태의 금속판에 원형 타공을 실시하여 트롬멜을 구성하는 것으로 한다.

본 연구개발에서 트롬멜 타공망을 통하여 분리하고자 하는 물질은 혼합건설폐기물 내의 무기성 폐기물이다. 이러한 무기성 혼합물은 대부분 골재 또는 흙의 형태로 포함되어 있으며, 분리 선별된 골재 및 흙은 용도별 순환골재 품질기준에 만족할 경우 해당 용도로 활용이 가능할 것이다. 본 연구에서는 트롬멜 타공망을 통하여 분리하는 골재는 25 mm 미만의 골재로 한정하고, 그 이상의 골재는 별도의 분리 방법을 적용한다. 즉, 타공망의 지름은 굵은골재를 분리하는 직경 30 mm를 50%, 13 mm 이하의 골재분리가 가능한 직경 15 mm의 원형 타공망을 50%로 구성한다.

##### (3) 트롬멜 내부 블레이드 설계

본 장비의 기본적인 개념은 사용 면적을 최소화하고 다양한 성상의 폐기물을 분리 선별할 수 있도록 하는 것이나, 기존 분리선별 시스템에서는 트롬멜 내부를 통과한 폐기물은 끝단으로 배출되어 다음 공정으로 이어지는 시스템으로 구성되어 있다. 따라서 본 연구에서는 1개의 설비에서 모든 것을 소화하기 위하여 분리된 가연성 폐기물을 트롬멜 내부에서 분리하는 시스템으로 구성한다.

즉, 트롬멜 내부의 타공망을 통하여 15 mm 와 30 mm 미만의 골재가 분리되고 나머지 무기물질과 폐목재, 가연성 물질이 혼합되어 트롬멜 끝단으로 배출되는 시스템이 아니라, 트롬멜 내부에서 가연성과 기타 폐기물을 분리하는 시스템을 적용한다. 이를 위하여 트롬멜 내부에 컨베이어를 설치하고, 이것으로 가연성 폐기물을 이송하는 방법을 적용한다.

##### (4) 회전수 설계

트롬멜은 회전에 의해 폐기물이 이송되고, 특정한 망을 이용하여 성상별로 폐기물을 분리선별 하는 것이다.

따라서 회전수의 조절에 따라 분리선별 하고자 하는 폐기물

의 분리효율이 달라질 수 있다. 트롬멜 회전수의 설계는 트롬멜의 길이와 내부 블레이드 활용상태 그리고 트롬멜의 경사각과 연계하여 적용할 필요가 있다. 특히 내부 블레이드를 활용하는 상태에서 회전수가 높을 경우, 블레이드에 걸려서 폐기물이 계속 회전하는 현상이 발생할 수 있으므로 회전수는 최대 10 rpm 이내에서 분리하여 실험한 후 재검토를 하고자 한다.

#### 4.5 경사 컨베이어

경사 컨베이어는 트롬멜 끝단에 연결되어 트롬멜에서 분리된 30 mm 이상의 무기물질과 가연성 폐기물 폐목재 등을 분리선별 하는 부분이다. <Fig. 17>과 같이 각도 A보다 각도 B 형태의 것이 더 많은 물질을 상부로 이송할 수 있다. 반대로 각도 A는 대부분의 폐기물이 하단으로 낙하하는 현상이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 물질의 밀도가 다르고 형태가 다른 30 mm 이상의 골재와 폐목재를 분리·선별하기 위해서는 이와 같은 경사 컨베이어를 활용하고자 한다.

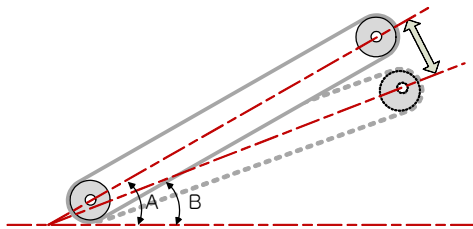


Fig. 17. Composition comparison according to the slant conveyor's angle

즉, 경사 컨베이어는 폐기물의 다양성을 고려하여 경사각을 조절할 수 있는 시스템으로 설계하며, 컨베이어와 폐기물의 접촉면을 증가하기 위하여 표면에 요철을 부여하도록 설계한다. 또한, 경사 및 요철이 있음에도 불구하고 비중이 낮은 가연성 폐기물의 하단 이송을 방지하기 위하여 컨베이어 상부에 커튼 형태의 Stopper를 설치한다.

### 5. 결론

지방 소도시에서 중·소규모로 발생하는 혼합건설폐기물을 무기물과 가연성으로 일차적으로 분리선별 할 수 있도록, 발생현장용 이동식 분리선별 장치개발을 최종 목표로 하여 수행한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 혼합건설폐기물 분리선별을 위한 국내 기존기술을 분석한 결과, 가연성 폐기물의 분리선별은 트롬멜을 기본으로 하여 진동 스크린, 디스크 스크린, 송풍 방식을 융합하여 선별하는 장치를 적용하고 있다.
- 2) 외국에서도 국내와 동일하게 가연성 폐기물의 분리선별을 위하여 송풍, 스크린, 비중선별 장치를 이용하고 있으며, 특히 독일 T사는 광학선별장치를 이용한 건설폐기물 분리선별 시스템을 제안하고 있다.
- 3) 매립용 혼합건설폐기물의 분리선별을 위한 시험장치는 처리용량 16 ton/day 규모로 설정하였다. 이는 건설폐기물 처리효율을 효과적으로 분석하기 위함과 동시에 일반적인 암물트럭의

용량이 25 m<sup>3</sup>이며, 이를 중량으로 환산할 경우 약 14~15 ton 정도이기 때문이다.

4) 입도별 무기물 분리선별을 위하여 2종의 직경을 가진 트롬멜을 기본으로 하였으며, 이동식 일체형 시스템을 운영하기 위하여 가연성 폐기물 이송장치인 컨베이어를 트롬멜 내부에 위치하도록 설계한다.

5) 장치는 1차적인 분리선별 장치의 개념으로 이동식으로 설계하며, 최소 2.5 ton 차량을 이용하여 운반할 수 있는 규모로 하고, 이를 위하여 트롬멜의 직경은 1,500 mm 이내, 길이는 3,000 mm 이내로 설계한다.

향후, 본 연구결과와 설계인자를 반영한 Pilot 실험설비를 제작하여, 혼합건설폐기물 발생현장에서의 처리 효율성 분석을 위한 실험적 연구를 통해 최적화된 분리선별 기술을 제시할 계획이다.

### 참고문헌

1. 송태협 외4인, 건축물 분리 해체 도입방안 마련 연구, 환경부, 2012
2. 수도권 매립지 운영 협동조합, 건설폐기물을 이용한 에너지 연료 변환 기술개발, 환경부, 2007
3. 박지선·송태협·최동호, 건축물 분별해체 제도 도입을 위한 적용 대상 건축물 범위 설정, 한국건설순환자원학회논문집, 1(3), 2013
4. 환경신기술정보시스템, <https://www.koetv.or.kr/home/index.do>
5. Sutco, Plant engineering, <https://www.sutco.de/en-de/home>
6. 나경덕 외 6인, 매립지 폐기물 고효율 선별·재활용 시스템 개발, 환경부, 2005
7. 수도권매립지관리공사, 수도권매립지통계연감, 수도권매립지관리공사, 제11호, 2013
8. 이세현 외7인, 제2차 건설폐기물 재활용 기본계획 수립을 위한 연구, 환경부, 2011
9. 다호물산, <http://www.dahomulsan.kr>
10. ㈜도시미래종합기술공사, <http://www.urban114.com>
11. 수도권매립지관리공사, 매립지현황, <http://www.slcr.or.kr>
12. 한국목재재활용협회, <http://woodrecycling.or.kr>

접 수 일 자 : 2019. 07. 10  
계재확정일자 : 2019. 08. 25