

공학석사학위논문

데이터마이닝을 활용한 목재부산물
산업공생네트워크 인벤토리 구축

Developing Industrial Symbiosis Network Inventory
of Wood Wastes using Data Mining

충북대학교 대학원

스마트생태산업융합학협동과정 스마트생태산업융합학전공

이 정 민

2022년 2월

공학석사학위논문

데이터마이닝을 활용한 목재부산물
산업공생네트워크 인벤토리 구축

Developing Industrial Symbiosis Network Inventory
of Wood Wastes using Data Mining

지도교수 반영운 · 이재권

스마트생태산업융합학협동과정 스마트생태산업융합학전공

이 정 민

이 논문을 공학석사학위논문으로 제출함.

2022년 2월

본 논문을 이정민의 공학석사학위논문으로 인정함.

심 사 위 원 장 백 종 인 ⑨

심 사 위 원 반 영 운 ⑨

심 사 위 원 이 재 권 ⑨

충 북 대 학 교 대 학 원

2022년 2월

차 례

Abstract	iii
표 차례	v
그림 차례	vii
 I. 서론	 1
1. 연구의 배경 및 목표	1
(1) 연구의 배경	1
(2) 연구의 목적	2
2. 연구의 범위 및 흐름	3
(1) 연구의 범위	3
(2) 연구의 흐름	3
 II. 이론적 고찰	 5
1. 산업생태학과 산업공생네트워크	5
(1) 산업생태학	5
(2) 산업공생네트워크	6
2. 데이터마이닝과 인벤토리 구축	7
(1) 데이터마이닝	7
(2) 온톨로지 기반 알고리즘	9
(3) 산업공생네트워크 인벤토리 구축	11
3. 목재부산물 및 관련 법제도	16
(1) 목재부산물의 정의	16
(2) 목재부산물의 종류 및 발생	16
(3) 목재부산물 재활용	23
(4) 목재부산물 관련 법제도	26
4. 선행연구 고찰	27
(1) 목재부산물 재활용 관련 연구	27
(2) 목재부산물 산업공생네트워크 관련 연구	29
(3) 데이터마이닝 활용 인벤토리 구축 관련 연구	30
(4) 선행연구고찰 종합 시사점	31
5. 선행연구와의 차별성 및 연구의 질문	32

(1) 선행연구와의 차별성	32
(2) 연구의 질문	32
III. 연구의 방법	33
1. 목재부산물 분류 및 DB 구축 방법	33
(1) 분류기준	33
(2) DB구축방법	38
2. 목재부산물 산업공생네트워크 인벤토리 구축 방법	43
(1) 분류기준	43
(2) 구축방법	44
3. 온톨로지 기반 알고리즘 개발 방법	45
(1) 알고리즘 구조 설계 방법	45
(2) 매칭 알고리즘 개발 방법	48
IV. 데이터마이닝 활용 목재부산물 산업공생네트워크 인벤토리 구축	50
1. 목재부산물 분류 및 데이터베이스 구축	50
(1) 목재부산물 분류	50
(2) 목재부산물 데이터베이스 구축	51
2. 목재부산물 산업공생네트워크 인벤토리 구축	52
(1) 인벤토리 분류	52
(2) 인벤토리 구축	53
3. 목재부산물 산업공생 매칭	54
(1) 매칭 알고리즘	54
(2) 산업공생 매칭	58
(3) 종합분석 결과	59
4. 토론 및 정책제언	63
(1) 토론	63
(2) 정책제언	63
V. 결론	64
1. 결론	64
2. 연구 한계 및 향후 연구 과제	65
참고문헌	66

Developing Industrial Symbiosis Network Inventory of Wood Wastes using Data Mining

Lee, Jung-Min

Interdisciplinary Program of Smart Eco-Industrial Convergence

Graduate School, Chungbuk National University

Cheongju, Korea

Supervised by Advisory Professor Ban, Yong Un and

Co-advisory Professor Lee, Jae Kwon

Abstract

The Industrial Symbiosis Network (ISN) aims to reduce raw material consumption and reduce waste emissions from production processes by establishing a cooperative system for the exchange of knowledge, materials and energy between companies, research institutes, and other stakeholders. In the case of overseas industrial symbiosis network development research, research using various information and communication technologies (ICT) such as matching algorithms and web applications has been conducted. However, in Korea, research regarding industrial symbiotic network development using matching algorithms is insufficient. In particular, due to the nature of Korea, which has a lot of mountains, lots of wood by-products from the wood factories have been discharged, and research related to industrial symbiotic network inventory development using them has been also insufficient. Therefore, it is necessary to establish an

industrial symbiosis network inventory, and also to verify the appropriateness of the inventory through matching algorithms using data mining techniques.

The purpose of this study is to build an inventory through classifying wood by-products generated in the process of domestic wood products, and to develop an algorithm that helps to find potential matching with companies related to wood by-products, and to verify the appropriateness of the built inventory.

To this end, this study developed the inventory with wood by-products classification and industry codes of the related companies using data mining techniques. And this study also verified the adequacy of the built inventory using ontology-based matching algorithms and confirmed the relationships between wood by-product types and the related companies.

As a result, this has found that the industrial symbiotic networks of wood by-products have been shown most active, that the industrial symbiotic network using sawdust and recycled wood by-products was also activated. Through the results of this study, it was found that the industrial symbiosis inventory development is the basis to find potential industrial symbiosis networks using matching algorithms. In addition, it is expected that more sophisticated inventory building will enable to develop more diverse and practical wood by-product industrial symbiosis networks.

Keywords : Industrial symbiosis network, matching algorithm, ontology,
Wood industry, Wood by-product. Data mining

표 차례

<표 I-1> 연구흐름도	4
<표 II-1> 데이터마이닝 처리단계	8
<표 II-2> 산업단지 및 환경 데이터베이스 현황	12
<표 II-3> 폐기물 재활용 유형별 세부분류	14
<표 II-4> 폐기물의 재활용 유형에 따른 활용분야 및 업종코드 분류(예시)	15
<표 II-5> 발생원별 폐목재 세부분류 및 등급분류표	19
<표 II-6> 폐목재류 폐기물 발생 및 처리현황	21
<표 II-7> 폐목재류 재활용실적 및 업체현황(1/2)	21
<표 II-8> 폐목재류 재활용실적 및 업체현황(2/2)	22
<표 II-9> 폐목재 등급분류 기준 및 폐목재 재활용용도·방법	26
<표 II-10> 목재부산물 재활용에 관한 선행연구	28
<표 II-11> 목재부산물 산업공생네트워크에 관한 선행연구	30
<표 II-12> 데이터 마이닝을 활용한 인벤토리 구축 연구	30
<표 III-1> 폐기물의 종류별 세부분류 및 폐기물의 재활용 유형별 세부분류	34
<표 III-2> 사업장폐목재 세부분류 및 등급분류표	35
<표 III-3> 사업장폐목재 세부분류 및 등급분류표	36
<표 III-4> 폐목재 등급분류 기준 및 폐목재 재활용용도·방법 요약	36
<표 III-5> 폐기물의 종류별 세부분류 및 폐기물의 재활용 유형별 세부분류 결과 ..	37
<표 III-6> Database Field 목록	42
<표 III-7> 기업규모 및 기업분류	42
<표 III-8> 기업관련 정보	43
<표 III-9> 폐기물의 재활용 유형에 따른 활용분야 및 업종코드 분류	43
<표 III-10> 부산물 유형 및 활용가능 업종	44
<표 IV-1> 목재부산물 분류(안)	51
<표 IV-2> Raw_data_companies 테이블 필드 구성	52

<표 IV-3> Raw_data_rcode 테이블 필드 구성	51
<표 IV-4> 목재부산물 산업공생네트워크 인벤토리 필드 구성	53
<표 IV-5> 목재부산물 산업공생네트워크 인벤토리(안)	54
<표 IV-6> tb_node 테이블 필드 구성	55
<표 IV-7> tb_edge 테이블 필드 구성	55

그림 차례

<그림 II-1> 산업공생네트워크의 유형	6
<그림 II-2> 데이터마이닝 처리과정	8
<그림 II-3> 스마트산업공생네트워크 개발전략	12
<그림 II-4> 폐기물 종류별 세부분류 구분	13
<그림 II-5> 산업공생네트워크 인벤토리 구축방향	15
<그림 II-6> 폐목재의 정의	16
<그림 II-7> 폐목재의 정의 및 종류	17
<그림 II-8> 폐목재류 폐기물 발생량	20
<그림 II-9> 폐목재류 재활용실적 및 업체현황	22
<그림 II-10> 폐골목의 재활용 및 폐기경로	23
<그림 II-11> 산업가공폐목재의 유통경로	23
<그림 II-12> 건설가공폐목재의 이용 및 폐기경로	24
<그림 II-13> 생활폐목재의 이용·폐기 유통경로	24
<그림 III-1> 표준산업분류 연계표 전처리 과정	38
<그림 III-2> 표준산업분류 연계표 전처리 결과	39
<그림 III-3> 기업정보 검색 과정	40
<그림 III-4> 기업관련 Database 구축 Raw-data	41
<그림 III-5> 기업관련 Database 구축 전처리 결과	42
<그림 III-6> 매칭 알고리즘-적용 순서	45
<그림 III-7> 매칭 알고리즘-가중치 부여 엔진	46
<그림 III-8> 매칭 알고리즘-질의(Query)처리 과정	47
<그림 III-9> 매칭 알고리즘 구조- 분류 전 개발단계	48
<그림 III-10> 매칭 알고리즘 구조- 분류 후	49
<그림 IV-1> 목재부산물 데이터베이스 구성도	51
<그림 IV-2> 데이터 네트워크 구축을 위한 데이터베이스 구성도	54
<그림 IV-3> 데이터 네트워크 구축을 위한 알고리즘 구성도	55
<그림 IV-4> 네트워크 상의 가중치 표현	56

<그림 IV-5> 부산물 검색화면	57
<그림 IV-6> 업종분야 검색화면	57
<그림 IV-7> 부산물-업종 간 네트워크	58
<그림 IV-8> 목재부산물 산업공생네트워크 구조도- 전체	59
<그림 IV-9> 목재부산물 산업공생네트워크 구조도- 원목부산물	60
<그림 IV-10> 목재부산물 산업공생네트워크 구조도- 톱밥부산물	61
<그림 IV-11> 목재부산물 산업공생네트워크 구조도- 재생목재	62

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

(1) 연구의 배경

산업공생(Industrial Symbiosis)은 원료, 용수, 에너지 및 부산물 등 다양한 물질의 물리적인 교환을 통하여 경쟁우위를 창출하기 위한 집단적 접근방식을 말한다(Chertow, 2000). 한 기업의 생산과정에서 나온 부산물을 다른 기업의 생산과정에 재사용함으로써, 원료 및 에너지의 소비를 절감을 통한 경제적 편익을 얻을 뿐만 아니라, 산업공생 활동을 하는 기업 간의 환경적, 경제적 편익을 창출할 수 있다(Fraccascia, 2017). 산업공생네트워크(Industrial Symbiosis Network; ISN)는 단순히 기업 간 물질교환과정에서 더 나아가 기업, 연구소 및 기관 등 다양한 이해당사자들 간의 지식, 물질 및 에너지의 교환을 위한 협력체계를 구축함으로써, 원료의 소비를 줄이고 생산공정에서의 폐기물 배출을 줄이는 것을 목표로 한다. 하지만, 현재까지 진행된 산업공생에 대한 연구의 원료-부산물 등의 관계를 확인하기 위한 단변수분석을 하는 경우가 대부분임을 확인할 수 있었다. 기업 간 산업공생의 가능성을 판단하기 위하여 분석하는 과정에는 물질, 원료, 폐기물, 공간정보 및 관련 법률 등 광범위한 데이터에 대한 고급분석을 활용하는 연구는 활성화되지 않고 있다.

산업공생 환경에서 복잡성을 지양하고 보다 원활한 부산물 교환과정을 찾아내기 위해 빅데이터 및 다양한 매칭 알고리즘을 활용하였다.

Trokanas(2013)는 산업공생네트워크의 I/O 매칭, 지원 및 공정의 자동화를 실현하고자 산업공생을 위한 새로운 틀이라 불리는 새로운 산업공생 온톨로지 프레임워크(Ontological Framework for Industrial Symbiosis, OFIS)를 개발하였다. 의미동기화 기법(Semantic Approach) 특히, 자원과 솔루션의 등록과 의미적 유사성(Semantic similarity) 계산에 사용되는 온톨로지 알고리즘을 활용한 지식모델링(Knowledge Modeling)을 채택함으로써 산업공생사례에 의미론적 접근을 통한 웹 플랫폼을 구현하고자 하였다.

Alvarez(2016)는 폐기물, 부산물 또는 재활용 원료의 원료대체, 인프라 및 서비스 공유가 필요한 경우, 새로운 협업기회의 가능성을 바탕으로 기업 간 주요 시너지 발견을 통해 자원의 효율적인 활용과 새로운 비즈니스 모델의 활성화를 위해 SymbioSys라는 새로운 애플리케이션 툴을 개발함으로써, SMEs (중소/중견기업) 및 대기업의 의사결정 및 다른 산업환경 내에 도움을 주고자 하였다.

이처럼, 해외에서는 매칭 알고리즘, 웹 어플리케이션 등 다양한 정보통신기술(Information and Communications Technology, ICT)을 활용한 다양한 연구가 진행되고 있다. 하지만, 국내에서는 매칭 알고리즘을 활용한 연구는 물론, 산업공생에 대한 연구도 매우 미진하다.

따라서 산업공생네트워크 구축을 위한 인벤토리를 구축할 필요가 있다. 또한 데이터마이닝 기법을 활용한 매칭알고리즘을 통해 인벤토리의 적정성을 검증할 필요가 있다.

(2) 연구의 목적

본 연구의 목적은 국내의 목재 제품을 생산하는 기업을 대상으로, 생산과정에서 발생하는 목재부산물의 유형, 폐기물 배출유형 및 업종코드 등을 DB화하여 인벤토리를 구축하고, 구축된 인벤토리의 산업공생네트워크 구축 적정성을 검증하기 위해 온톨로지 기반의 매칭 알고리즘을 개발하고, 이를 활용하여 부산물 유형, 업종 간의 연관성을 확인하는 것이다.

2. 연구의 범위 및 흐름

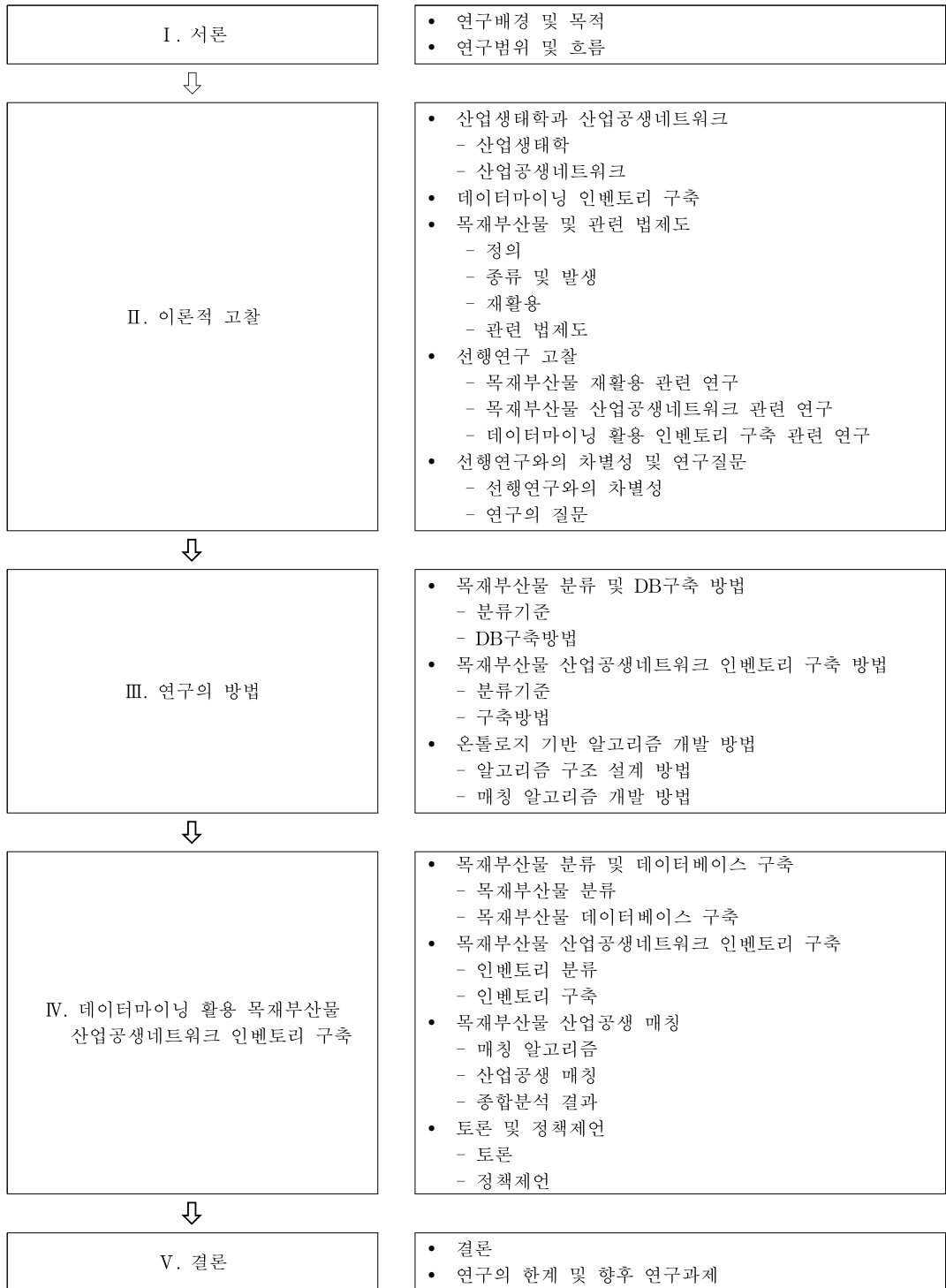
(1) 연구의 범위

본 연구는 (주)한국기업데이터의 2020년을 기준으로 연매출이 등록되어있는 목제품 생산기업 중 개인사업자를 제외한 기업(일반법인, 등록법인, 외감, 유가증권시장 및 코스닥시장) 904개사를 대상으로 분석을 진행하였다.

(2) 연구의 흐름

본 연구는 총 5단계의 장과 세부내용을 기술하기 위한 절로 구성되어 있으며, 세부적인 연구에 대한 흐름은 <표 I-1>과 같다. I 장에서는 연구배경, 목적, 범위 및 흐름에 대하여 진행할 예정이다. II 장에서는 연구와 관련된 이론, 선행연구에 대한 고찰을 통해 본 연구의 차별성과 연구질문 등을 확인해 본다. III 장에서는 목재부산물 정보에 대한 분류 및 DB를 구축하고 인벤토리 구축에 대한 연구방법에 기술 및 온톨로지 기반의 매칭알고리즘 개발방법에 대해 알아보하고자 한다. IV 장에서는 목재부산물 산업공생네트워크 구현을 위한 인벤토리 구축, 목재부산물을 활용한 산업공생 매칭결과를 통해 산업공생네트워크의 구현가능성을 제시한다. 마지막으로 V 장 결론에서는 연구에 대한 종합적인 결과를 제시하고, 연구의 한계 및 향후 연구방향에 대해 제시한다.

<표 I -1> 연구흐름도



II. 이론적 고찰

1. 산업생태학과 산업공생네트워크

(1) 산업생태학

산업생태학은 자연환경의 생태계를 모방하여 산업시스템에 적용함으로써, 폐기물의 배출량을 일방향이 아닌 주기적 흐름을 가지고 양방향으로 이동함으로써 비효율을 최소화하는 개념이다(Chertow, 2000). 자연의 유사성에 따라 산업공생(Industrial Symbiosis) 발전은 자연생태계의 진화 및 적응에 비교할 수 있으므로(e.g. Jelinski et al., 1992; Hardy and Graedel, 2002), 공생은 산업생태학의 핵심 개념이라 볼 수 있다.

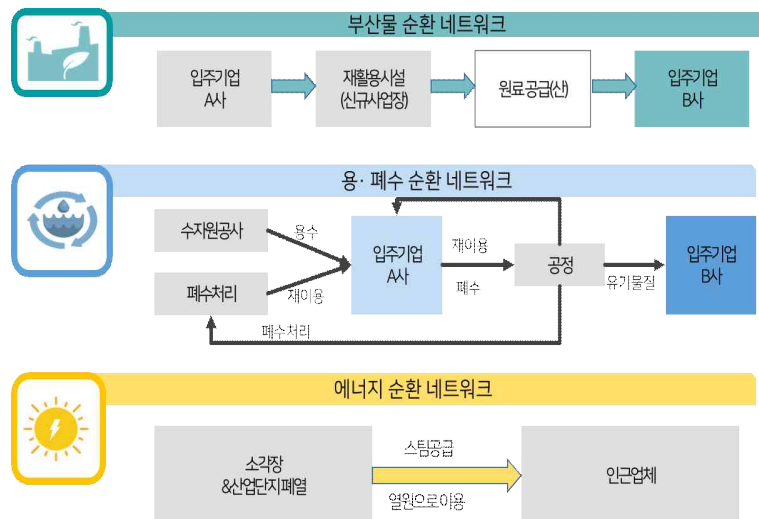
산업생태학은 Ayres가 유기체의 물질대사 원리를 제품생산·소비·처분과정에 도입하여 정립한 개념에서 출발하였다(정숙영·오덕성, 2002). Ayres(1989)는 생물권(Biosphere)의 사례를 통해 경제발전에 필수적인 에너지 및 가치생성 과정인 산업물질대사(Industrial Metabolism)를 수정하는 것이 시급해진다고 하였으며, 이러한 수정단계를 거쳐 재생 또는 지속가능한 과정에 대한 의존을 높임으로써 생산 및 부산물 사용에 따른 효율성을 높일 수 있다고 하였다(Ayres(1989)). 이러한 주장을 뒷받침하기 위하여 그는 환경적으로 중요한 주요 산업 물질과 이와 관련된 폐기물 배출의 흐름, 그리고 이들이 산업과 사회를 통해 변형되는 과정을 분석하였다(최정석, 2004).

생산시스템을 도시라는 커다란 자연 시스템의 일부로 인식하고(정숙영·오덕성, 2002), 자연생태계와 같은 순환적이고 폐기물의 발생이 없는 폐쇄적인 자원 순환망을 구축한다면(임창호·이동석, 2009), 환경성과와 산업성과를 동시에 향상시키면서 지속가능성에도 가장 잘 부합하는 산업 구조를 형성할 수 있다는 것이다. 최정석(2004)은 이러한 산업생태학의 등장은 곧, 산업환경관리의 방향이 사후처리 중심에서 벗어나 환경적으로 건전한 산업구조 조성 및 오염 예방 및 자원 절약 중심의 통합적이고 총체적인 전략으로의 이동을 의미한다고 하였다(이영재, 2021).

(2) 산업공생네트워크

산업공생(Industrial Symbiosis)은 원료, 용수, 에너지 및 부산물 등 다양한 물질의 물리적인 교환을 통하여 경쟁우위를 창출하기 위한 집단적 접근방식을 말한다(Chertow, 2000). 한 기업의 생산과정에서 나온 부산물을 다른 기업의 생산과정에 재사용함으로써, 원료 및 에너지의 소비를 절감을 통한 편익을 얻을 뿐만 아니라, 산업공생 활동을 하는 기업 간의 환경적, 경제적 편익을 창출할 수 있다(Fraccascia, 2017). 산업공생네트워크(Industrial Symbiosis Network; ISN)는 단순히 기업 간의 물질교환과정에서 더 나아가 기업, 연구소 및 기관 등 다양한 이해당사자들 간의 지식, 물질 및 에너지의 교환을 위한 협력체계를 구축함으로써, 원료의 소비를 줄이고 생산공정에서의 폐기물 배출을 줄이는 것을 목표로 한다.

산업공생네트워크는 공생관계가 존재하는 네트워크(Fichtner et al., 2005)이며, 생태산업단지 모델과 같은 하향식 구조로 설계되거나 관련 기업이 수행한 자발적이고 자체 조직화된 프로세스의 결과로 최하위단계에서부터 발생할 수도 있다(Chertow and Ehrenfeld, 2012; Doménech and Davies, 2011).



<그림 II-1> 산업공생네트워크의 유형

(출처: 충청생태산업개발센터 내부자료)

2. 데이터마이닝과 인벤토리 구축

(1) 데이터마이닝

데이터마이닝은 대량의 데이터로부터 새로울 뿐만 아니라 잠재적으로 유용한 정보를 추출하는 작업이라고 정의할 수 있다(강현철, 2001). 1995년도에 캐나다 몬트리올에서 개최된 지식발견 및 데이터 마이닝(KDD : Knowledge Discovery and Data Mining) 국제학술대회(The first international conference on knowledge discovery & data mining)가 처음 개최된 이후, 현재 데이터마이닝에 대한 정의는 다양하게 제시되고 있다.

데이터 마이닝(data mining)은 통계, 전산 및 경영 등 다양한 데이터 분석과 관련된 학문의 융합으로 탄생한 융합학문이다. 데이터 마이닝은 대용량 데이터를 보다 효율적으로 저장하고 관리하는 기술인 데이터베이스(Database), 데이터 웨어하우스(DW: Data Warehouse)¹⁾, 데이터 마트(data mart) 등과 대용량의 데이터를 분석하는 분산처리기술 등을 사용한다. 데이터 마이닝을 분석하는 방법은 목표변수의 성질에 따라 진행되는 정형 데이터 마이닝 기법(Structured Data Mining)과 비정형 데이터 마이닝 기법(Unstructured Data Mining)²⁾이 있다(정보통신용어사전).

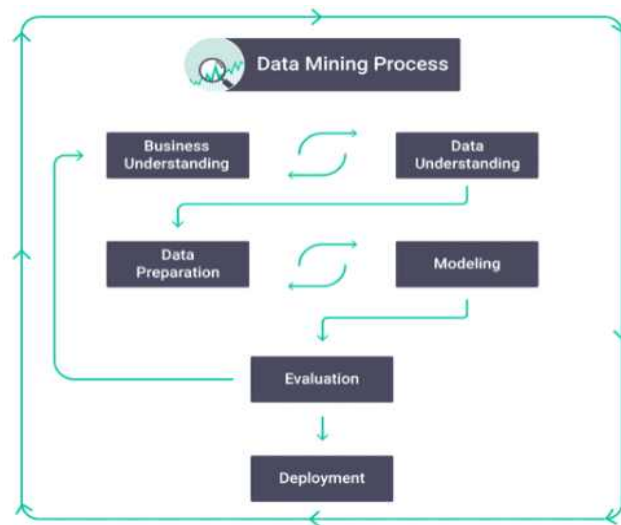
데이터마이닝은 <표 II-1>, <그림 II-1>과 같이 5단계의 프로세스를 통해 진행된다.

1) 전사(全社)에 걸쳐 운영되는 데이터를 통합하여 효율적인 관리 및 의사결정을 지원하는 시스템을 말한다.

2) 비정형 데이터는 영상, 문서 등과 같이 정형화되지 않은 데이터를 말한다.

<표 II-1> 데이터 마이닝의 처리과정

구분	내용
Collection (수집)	데이터는 수집, 구성과정을 거쳐 DW에 로드되며, 사내 서버 또는 클라우드에 저장, 관리됨
Understanding (이해)	비즈니스 분석가와 데이터 과학자는 데이터의 "총체적" 또는 "표면적" 속성을 조사한 다음, 비즈니스에서 정의한 문제 설명의 관점에서 보다 심층적인 분석을 수행하며 이는 쿼리, 보고 및 시각화를 사용하여 해결할 수 있음
Preparation (준비)	사용 가능한 데이터 소스가 확인되면 원하는 형식으로 정리, 구성 및 형식화해야 하며, 이전 단계에서 발견한 통찰력을 바탕으로 더 깊이 있는 추가 데이터 탐색이 포함될 수도 있음
Modeling (모델링)	준비된 데이터 세트에 대한 모델링 기술을 선택한다. 데이터 모델은 데이터베이스에 저장된 다양한 유형의 정보 간의 관계를 설명하는 다이어그램이다. 판매 거래는 수요자, 공급자, 판매된 항목 및 계산 방법을 설명하는 그룹으로 분류된다. 이러한 각 항목은 데이터베이스에서 정확하게 저장 및 검색되기 위해 체계적으로 설명되어야 함
Evaluation (평가)	마지막으로 모델 결과는 비즈니스 목표의 맥락에서 평가되며, 모델의 결과에서 발견된 새로운 패턴 또는 다른 요인으로 인해 새로운 비즈니스 요구 사항이 제기될 수 있음



<그림 II-2> 데이터 마이닝의 처리과정

출처: springboard

데이터 마이닝을 활용한 프로그래밍을 위해서는 주로 Python, R, SQL 및 SAS 등의 언어를 활용하는 경우가 많다. 본 논문에서는 Java 및 SQL 등을 활용한 프로그래밍 및 데이터베이스 관리를 통해 데이터의 시각화를 진행하고 자 한다.

(2) 온톨로지 기반 알고리즘

온톨로지는 개념 간의 속성(Property)³⁾을 도메인에 맞춰 정의하여 지식을 표현하는 방법으로서, 시맨틱 웹(Semantic Web)⁴⁾, 지식관리(Knowledge Management) 등의 목적으로 다양한 분야에서 사용되고 있다(김인성, 2006). 온톨로지(ontology)는 이미 합의된 의견을 개념화하여 컴퓨터에서 처리할 수 있는 형태로 표현한 것을 말하며, 개념의 종류(Type)나 사용상의 제약조건들을 정의한 기술을 말한다. 온톨로지는 합의된 지식을 나타내므로 어느 개인에게만 한정되는 것이 아니라, 그룹 구성원 전체가 동의하는 개념이다. 그리고 프로그램이 이해할 수 있어야 하므로 다양한 정형화를 통해 구성된다.

온톨로지는 전산학과 정보과학에서, 특정 영역을 표현하는 데이터 모델로서 특정 영역(domain)에 속하는 개념과, 그 사이의 관계를 기술하는 정형언어(Formal Language)의 집합으로 정의할 수 있다. 예를 들어 "종-속-과-목-강-문-계"로 분류되는 생물과 생물 간의 종의 관계, 단어 간의 관계를 정형언어로 기술하면 각각 온톨로지라 말할 수 있다. 정형언어로 표현된 어휘의 집합체인 온톨로지는 추론(reasoning, inference)과정에서 사용된다.

온톨로지의 구성요소는 클래스(class), 관계(relation), 인스턴스(instance), 속성(property)으로 구분된다. 클래스(class)는 일반적으로 사물, 개념 등에 붙이는 이름을 말한다. 인스턴스(instance)는 사물, 개념 등의 구체물이나 사건 등의 실질적인 형태로 나타난 그 자체를 말한다. 속성(property)은 클래스 및 인스턴스의 고유한 성질, 상태 및 성향 등을 나타내기 위하여 인스턴스와 클래스를 특정값(value)과 연결시킨 것이다. 관계(relation)는 일반적인 클래스, 인스턴스 간에 존재하는 관계를 말하며, 분류관계(taxonomic relation)와 비분류관계(non-taxonomic relation)로 분류할 수 있다. 분류관계는 클래스, 인스턴스들의 개념분류를 위하여, 보다 광대하고 구체적인 개념들로 구분하여 표현하는 관계이다. 비분류 관계는 분류관계가 아닌 관계를 말한다.

3) 속성은 클래스나 인스턴스의 특정한 성질, 성향 등을 나타내기 위하여 클래스나 인스턴스를 특정한 값(value)과 연결시킨 것이다.

4) 시맨틱 웹 기술(Semantic Web Technology)은 사람이 표현할 수 있는 언어에 대한 이해를 컴퓨터 언어로 구현함으로써, 컴퓨터가 사람의 요구를 더 잘 이해하고 적절하게 사용할 수 있도록 특별한 분산환경을 구축한 웹에 구현하기 위한 것이다.

온톨로지에서 주로 사용하는 언어에는 RDF(Resource Description Framework)⁵⁾, OWL(Web Ontology Language), SWRL(Semantic Web Rule Language) 등이 있다. RDF는 XML(eXtensible Markup Language)에서 발전한 형태이며, 주어(subject), 술어(predicate) 및 목적어(object) 등으로 구성된 트리플(Triple)⁶⁾ 형태의 그래프 구조를 갖기 때문에, 객체 간의 관계를 기술하기에 유리하며, 단순하게 개념 혹은 인스턴스 사이의 관계를 나타낸다(이승우, 2010). 일반적으로 복잡한 제약조건이 필요없는 일반적인 응용을 산정할 경우 RDF를 많이 사용한다. OWL은 관계들 간의 계층구조(hierarchy), 관계 인스턴스 내에서의 논리적 제약조건 등을 포함한 언어이며, 정밀하고 논리적인 추론이 필요한 경우에 사용한다. SWRL은 추론을 위한 규칙을 정의하기 위하여 사용한다(국방과학연구소, 2013).

-
- 5) 웹 상의 자원에 관한 정보를 나타내기 위한 언어라 정의되며, 객체(Resource) 간의 관계를 표현하는 데이터모델이다. RDF는 해당 데이터 모델의 간단한 의미론(Semantic)을 제공하며, 기계가 처리할 수 있는 간단한 데이터 모델과 컴퓨터가 처리할 수 있는 Syntax를 제공한다.
 - 6) 주어는 표현하고자 하는 리소스(Resource)를 의미하며, 서술어는 주어에 대해 기술하거나 목적어와의 관계를 의미한다. 목적어는 서술어에 대한 값이나 내용을 의미한다. RDF는 리소스를 3가지 정보로 표현했기 때문에 “RDF Triple”의 구조를 가지고 있다고 말하며, 리소스가 가지는 특성을 표현한 것이다(김성혁, 2008).

(3) 산업공생네트워크 인벤토리 구축

산업공생네트워크 만을 위한 데이터베이스 인벤토리는 국내·외에 전무한 실정이다. 국내에서는 환경정보와 관련된 데이터베이스가 구축되어 있다. 환경정보 데이터는 크게 기업정보, 폐기물 정보, 에너지 정보 및 대기 정보 등이 있다.

우선 기업정보는 팩토리온⁷⁾과 크레탑⁸⁾에서 확인할 수 있다. 팩토리온은 산업단지공단에서 제공하며 산업단지 입주기업 현황(기업명, 업종, 건물면적 및 업종코드 등)과 관련된 정보를 제공하고 있으며, 크레탑은 한국기업데이터(주)에서 기업신용정보, 벤처기업정보 및 각종 경제정보 등을 제공하고 있다.

폐기물 정보는 환경부에서 제공하는 올바로시스템이 유일하다. 올바로 시스템에서는 폐기물 배출사업장 정보, 처리방법 및 배출량 정보 등의 정보를 보유하고 있다.

에너지 정보는 건물에너지 DB, 에너지사용량 신고 DB, 검사대상기기 DB가 있다. 건물에너지 DB는 국토교통부에서 제공하며 전국 760만동의 계량기별 건물의 에너지사용량 정보가 있다. 에너지사용량 신고 DB와 검사대상기기 DB는 에너지공단에서 제공한다. 에너지사용량 신고 DB는 사용량 2,000toe 이상 정보 및 설비별 에너지사용량 정보를 보유하고 있으며 검사대상기기 DB는 열 사용 기계 중 대상이 된 기계를 보유한 업체의 등의 정보가 있다.

마지막으로 대기와 관련된 정보는 대기배출시설 인허가정보, 대기배출원관리시스템, 사업장대기오염물질 관리시스템이 있다. 대기배출시설 인허가정보는 유일하게 울산광역시에서만 제공하고 있으며, 대기배출사업장의 기업현황 및 생산제품 등의 정보를 보유하고 있다. 대기배출원관리시스템과 사업장 대기오염물질 관리시스템은 환경부에서 제공한다. 대기배출원관리시스템에서는 대기배출사업장 1~3종 사업장을 대상으로 정보를 가지고 있으며, 사업장대기오염물질 관리시스템은 대기오염물질 발생 1~2종 기업의 배출시설 대상 7개 오염물질정보를 보유하고 있다(국가청정생산지원센터, 2019).

7) 한국산업단지공단 공장설립온라인지원시스템(<https://www.factoryon.go.kr/main/main.do>)

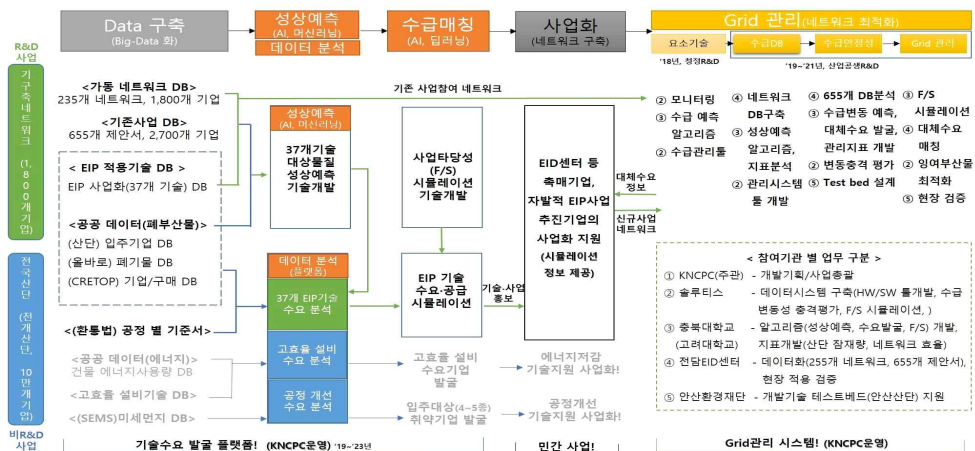
8) 크레탑(<http://www.kedkorea.com>)

<표 II-2> 산업단지 및 환경 데이터베이스 현황

구분	데이터명	주요내용	출처
기업정보 (2)	팩토리온	산업단지 입주기업 현황 (기업명, 업종, 종업원 수 등)	산업단지공단
	크레탑	기업정보(기업명, 업종, 주요 생산품 등) 및 재무정보(매출액, 영업이익 등), 주요 구매처 및 판매처 정보 등	한국기업데이터
폐기물 (1)	폐기물 배출실적자료 (올바로 시스템)	폐기물 배출사업장을 대상으로 폐기물 처리방법 및 배출량 정보 공유	환경부
에너지 (3)	건물에너지 DB	전국 760만동의 계량기별 건물의 에너지(전력/도시가스/지역난방) 사용량 정보	국토교통부
	에너지사용량 신고 DB	에너지 사용량 2,000toe 이상 기업의 설비정보, 설비별 에너지사용량 정보 보유	에너지공단
	검사대상기기 DB	특정열사용 기자재 중 검사대상이 된 기기를 보유한 기업의 기기정보, 사용 에너지 종류 정보 등	
대기 (3)	eor1 배출시설 인허가 정보	대기배출사업장의 기업 현황, 배출 및 방지시설 정보, 생산제품 등 정보 보유	울산광역시청
	대기배출원관리시스템	대기배출사업장 1~3종 사업장을 대상으로 대기배출원 및 배출량 정보 보유	환경부
	사업장대기오염물질 관리시스템	대기오염물질 발생 1~2종 기업의 배출시설 대상 7개 오염물질 정보 공개	

(출처: 국가청정생산지원센터, 2019)

이러한 DB를 활용하여 산업공생네트워크를 구축한 사례는 아직 없다. 다만 산업부는 생태산업 개발을 추진하면서 필요한 환경정보 통합 데이터베이스를 청정생산지원센터에서 현재 구축 중이며 그 개념도는 <그림 II-3>과 같다(환경부, 2020).

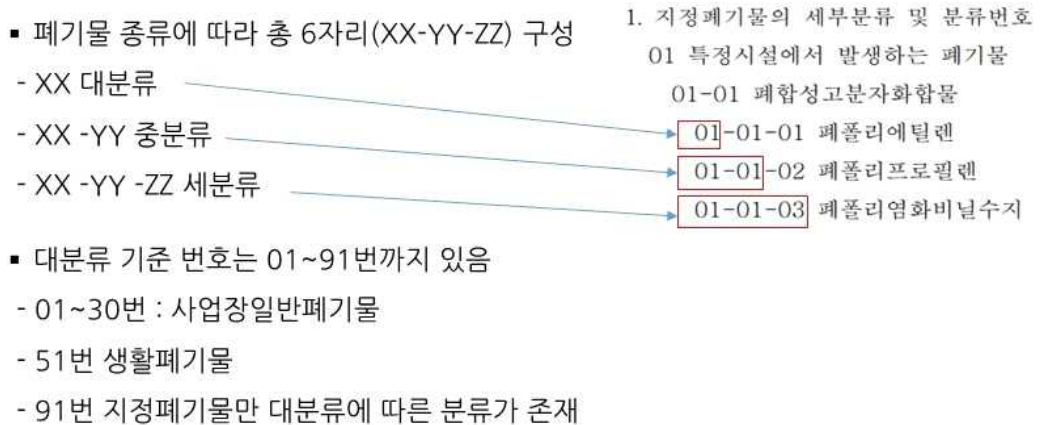


<그림 II-3> 스마트산업공생네트워크 개발전략

(출처: 국가청정생산지원센터, 2019)

산업공생네트워크 구축을 위해서는 각 기업에서 배출되는 폐기물의 성상과 원재료의 성상을 모두 알아야 하지만 대부분의 업체는 폐기물의 성상분석을 하고 있지 않을 실정이다. 따라서 현재 국가에서 제공되고 있는 DB를 기준으로 산업공생네트워크 인벤토리를 구축할 수 있는 방법을 찾고자 하였다.

우선 폐기물관리법에서 폐기물의 종류별 세부분류(제4조의2제1항)가 제시되고 있다. 폐기물 분류번호는 총 6자리(XX-YY-ZZ)로 구성되어 있다. 대분류 기준 번호는 01~91번까지 있다. 01~30번은 사업장일반폐기물이며 51번은 생활폐기물, 지정폐기물은 대분류 번호 만으로 구성되어 있다.



<그림 II-4> 폐기물 종류별 세부분류 구분

(출처: 폐기물관리법 시행규칙 제4조의2제1항 [별표 4] 근거로 저자 재작성)

또한 폐기물관리법에서는 폐기물 재활용 유형별 세부분류(제4조의2제2항)에 따라 R-1 ~ R-10번까지 총 10가지로 분류되고 있다.

<표 II-3> 폐기물 재활용 유형별 세부분류

구분	내 용	비 고
R-1	원형 그대로 또는 단순 수리·수선하여 재사용하는 유형	· R-1-1(본래용도), R-1-2(다른용도)
R-2		· R-2-1(본래용도), R-2-2(다른용도)
R-3	재생이용할수 있는 상태로 만드는 유형	· R-3-1(해체, 분리 등), R-3-2(용융, 용해, 반용 등) · R-3-3(분리, 압축, 농축 등) - 섬유, 고무제품 원료물질 제조 · R-3-4(분리, 압축, 농축 등) - 섬유, 고무제품 이외 원료물질 제조 · R-3-5(부원료또는 첨가제 제조)
R-4		· R-4-1 : 금속성 제품 제조, R-4-2 : 비금속성제품 제조 · R-4-3 : 펄프, 종이 및 종이제품 제조, R-4-4 : 합성수지 제품 제조 · R-4-5 : 흙작, 흙수제 제조, R-4-6 : 석유정제물제조 · R-4-7 : 화학제품 제조, R-4-8 : 유지제품제조 · R-4-9 : 수질개선 목적 제품제조, R-4-10 : 의약품 제조
R-5	농업이나 토질개선을위하여 재활용하는 유형	· R-5-1 : 비료 생산, R-5-2 : 사료 생산, · R-5-3 : 버섯배배용배지제조-사용, R-5-4 : 가축 먹이, 퇴용
R-6		· R-6-1 : 복토제, 토양개량제, R-6-2 : 생태복원, 인공토양(녹화)
R-7	토양이나 공유수면 등에 성토제·복토제·도로기층제·채움재등으로 재활용하는 유형	· R-7-1 : 성토제, 복토제등 사용, R-7-2 : 공유수면매립용 · R-7-3 : 폐기물매립용, R-7-4 : 석산의 채석지역용 · R-7-5 : 지해매설관로 주변 방식사로사용 · R-7-6 : 농경지의 성토제로사용
R-8	에너지를 직접 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형	· R-8-1 : 시멘트소성로의 보조연료사용 · R-8-2 : 에너지회수하는 유형
R-9		· R-9-1 : 고형연료제품, R-9-2 : 유화정제연료유로 사용 · R-9-3 : 정제, 유화 등의 방법으로 액체, 기체 및 고체 연료 생산 · R-9-4 : 열처리방법으로 액체, 기체 및 고체 연료 생산 · R-9-5 : 화력발전소, 열병합발전소의 연료 사용
R-10	제품 제조 등을 위한 중간가공폐기물을 만드는 유형	· R-10-1 : R-3부터 R-9까지의 재활용 유형에 따라 재활용하기 위한 중간가공폐기물을 만드는 유형

(출처: 폐기물관리법 제4조의2제2항)

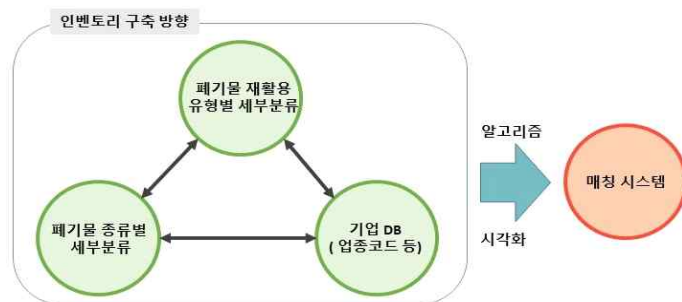
폐기물의 재활용 유형별 분야에 따라 한국표준산업분류(10차)표에 따라서 해당하는 업종코드를 추출한다.

<표 II-4> 폐기물의 재활용 유형에 따른 활용분야 및 업종코드 분류(예시)

재활용유형	활용분야 ⁹⁾	업종코드 ¹⁰⁾	폐기물 유형											
			광재류(51-04)					소각재(51-08)						
			01	02	03	04	99	01	02	03	04	05	06	
R-4-2	골재	23911 외 5개	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	비금속광물	23992 외 3개	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	시멘트	20411 외 18개	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	아스콘	23991	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	아스팔트	29242 외 2개	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	요업제품	23211 외 9개	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	유리	13219 외 61개	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	콘크리트	20499 외 21개	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
R-5-1	비료	10219 외 9개	○	○										
R-7-1	성토제 등	-(미분류)	○		○	○	○							
R-7-2	뒷채움재 등	-(미분류)	○		○	○	○							
R-7-3	매립시설 복토제 등	-(미분류)	○		○	○	○							
R-7-6	농경지 성토제	41210	○		○	○	○							

(출처: 폐기물관리법 제4조의2제3항)

이와 같이 폐기물의 종류별 세부분류(제4조의2제1항), 폐기물의 종류별 재활용 가능 유형(제4조의2제3항)에 따른 유형 구분 후 한국표준산업분류(10차)표에 따라 업종코드 추출한다. 또한 연계기업을 찾기 위해 팩토리온에서 등록공장 검색을 통해 Data를 취합하여 인벤토리를 구축할 수 있다.



<그림 II-5> 산업공생네트워크 인벤토리 구축방향

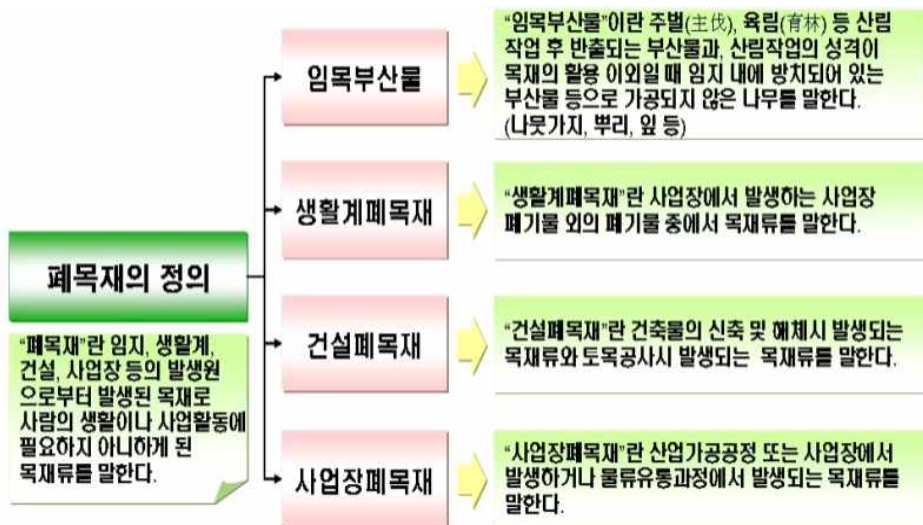
(출처: 저자 작성)

- 9) 폐기물의 종류별 세부분류(제4조의2제1항)에 따른 활용분야 분류
- 10) 한국표준산업분류(10차)에 해당되는 업종코드 분류

3. 목재부산물 관련 법제도

(1) 목재부산물 정의

「폐기물관리법」에 따르면 폐목재는 “임지, 생활계, 건설 및 사업장 등의 발생원으로부터 발생된 목재로 사람의 생활이나 사업활동의 영위과정에서 필요하지 아니하게 된 목재”라고 정의한다. 또한 세부적으로는 임목부산물, 생활계폐목재, 건설폐목재 및 사업장폐목재로 구분된다(국립환경과학원, 2007).



<그림 II-6> 폐목재의 정의

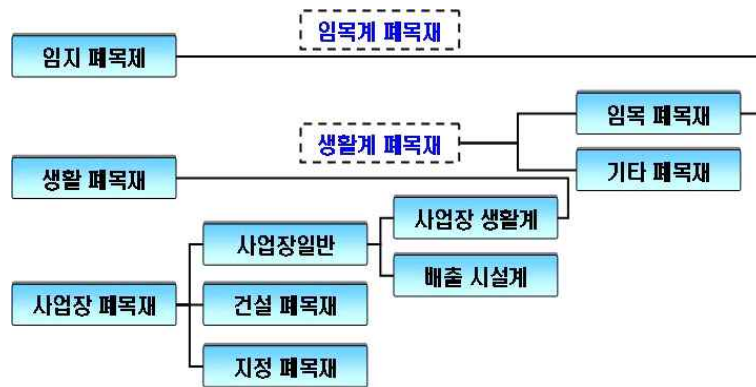
(출처: 국립환경과학원, 2007)

(2) 목재부산물 종류 및 발생

① 목재부산물의 종류

폐목재는 「폐기물관리법」의 폐기물 분리체계에 따라 생활계폐목재와 사업장계 폐목재로 나누어 볼 수 있다. 사업장계폐목재는 다시 사업장 일반폐목재, 건설폐목재, 지정폐목재 등으로 나눌 수 있으며 사업장 일반폐목재는 세부적으로 사업장 생활계폐목재와 배출시설계 폐목재로 나누어 볼 수 있다.

폐목재는 임지, 생활계, 건설, 사업장 등에서 발생한 목재로, 사람의 생활이나 사업활동 등에 필요하지 않게 된 목재를 말한다. 이는 임목부산물, 생활계 폐목재, 건설폐목재 및 사업장폐목재 등으로 발생원에 따라 구분할 수 있다. 사업장생활계 폐목재는 생활폐목재와 통합하여 생활계폐목재로 분류하고, 배출시설계 폐목재를 사업장폐목재로 분류하였다. 건설폐목재는 별도로 분류할 예정이며, 지정폐목재의 경우에는 별도의 분류 및 관리의 필요성이 있는지 여부에 대해서 검토해 보고자 한다. 이상의 내용을 정리하면, 폐목재의 분류체계는 <그림 1>과 같다.



<그림 II-7> 폐목재의 정의 및 종류

(출처: 국립환경과학원, 2007)

임지폐목재란 주벌(主伐), 육림(育林) 등의 작업을 시행한 이후에 발생하는 나뭇가지, 뿌리, 잎 등을 말하며, 임지 내에 방치되어 있는 잔재물을 말한다(임업연구원, 2006). 임목부산물은 화학물질 등의 이물질이 들어있지 않은 순수한 원목상태이기 때문에, 처리과정에서 발생하는 유해성은 다른 폐목재 및 폐기물에 비해 적은 편이다. 현행 폐기물관리법상, 임지에서 발생한 임목부산물을 임지 외부로 반출하여 연료용으로 사용할 경우, 폐기물 처리시설 이외의 장소에서 연료용으로 사용이 가능하도록 허용하고 있다.¹¹⁾ 임목부산물에 대한 정책적 관심은 폐목재의 활용도를 부가가치가 높은 방향으로 높이는 데 초점

11) 임지부산물을 임지 밖으로 반출할 경우에는 폐기물로 해석하지만, 다른 폐기물에 비해 환경적 유해성이 크지 않으므로 폐기물로 엄격하게 관리하고 있지는 않다.

이 맞추어지며, 처리과정에서의 환경적 유해성을 엄격하게 관리하지 않는 편이다(환경부, 2006).

생활계폐목재는 사업장에서 발생하는 사업장폐기물과는 달리, 가정에서 발생하는 폐기물 중 목재류를 말하며, 생활폐기물로 분류되는 폐목재(생활폐목재)와 사업장 생활계 폐기물로 분류되는 폐목재를 말한다. 임목계 폐기물을 제외하면, 생활계폐목재 중 가장 많은 비중을 차지하는 것은 폐가구류가 될 것이다. 폐가구류는 목재에 포함된 성분에 따라 세분화할 경우, 기계적 가공과정만 거친 이물질이 묻어 있지 않은 원목 상태의 순수목재, MDF(중밀도섬유판), PB(파티클보드) 등으로 구분할 수 있다.

건설폐목재는 건축물의 신축·해체 과정이나 토목현장에서 발생하는 목재류와 토목공사과정에서 발생하는 폐목재를 말하며, 건물의 신축·토목공사에서 발생하는 신축폐목재와 건물의 해체에서 발생하는 해체폐목재로 나눌 수 있다. 신축폐목재는 각재류와 합판류로 크게 구분할 수 있으며, 그 밖에 자재 등을 운반할 때 사용되는 파레트를 폐목재로 분류할 수 있으며, 해체폐목재는 한옥 등을 철거할 때 배출되는 이물질이 묻어 있지 않은 순수목재, 그리고 내·외장재 등과 같이 페인트 등의 화학성분이 일정비율 포함된 폐목재로 구분할 수 있다(국립환경과학원, 2007).

사업장폐목재는 사업장의 생산공정 또는 사업장에서 발생하거나 물류 유통과정에서 발생하는 목재류 등을 말한다. 목재가공공장을 제외하면 물류유통업종의 폐목재가 가장 많이 배출된다. 파레트나 목재포장상자는 기계적 가공과정만 거친 순수목, 이물질이 함유되어 있는 PB 또는 OSB, MDF 등 세가지 종류로 세분화할 수 있다. 전선드럼의 경우에도 표면의 도색 여부에 따라 재활용 가능여부를 결정할 수 있으며, <표 II-5>에 제시되어있는 발생원별 폐목재 세부종류 및 등급분류표를 통해 폐목재의 세부종류를 분류하고 등급의 분류를 통해 폐목재 재생가능여부를 제시할 수 있다.

<표 II-5> 발생원별 폐목재 세부종류 및 등급분류표

발생원	종류		등급	
임목부산물	벌목 등 산림작업	잔재물(뿌리, 가지, 줄기등)	1	
생활계폐목재	임목계폐목재	하천, 호소 등에서 떠내려온 폐목재	1	
		농업폐목재(인삼지주목, 버섯재배목 등)	1	
		농업폐목재(방부처리목재)	3	
		진지목(가로수, 정원수)	1	
	목재상자(과일, 채소, 어상자)		1	
	폐가구류	순수목재	1	
		파티클보드, 합판류	2	
		섬유판	2	
		할로겐족유기화합물로 코팅된 가구	3	
	실외목재구조물	놀이터, 공원, 조정시설, 하천시설 등에 사용된 방부처리목재	3	
건설폐목재	신축현장폐목재	각재류(비계목, 받침목, 토류판 등)	1	
		나무판제품(파티클보드, 합판류)	2	
		섬유판	2	
	해체폐목재	순수목재(한옥 등 철거시 발행)	1	
		건물 내장재(방부처리목재 제외)	2	
		목조주택 및 건물외장재(방부처리된 목재)	2	
		실내외 목재구조물(계단, 울타리, 의자 등)에 사용된 방부처리목재	3	
	목재파레트	순수목재	1	
		파티클보드, 합판	2	
		섬유판	2	
사업장폐목재	임목폐목재 (5톤 이상)	나무줄기, 가지 및 뿌리 등	1	
	제재부산물	원목가공과정에서 발생하는 톱밥, 수피 등	1	
		원목상태의 깨끗한 목재 부스러기 및 분진	1	
		2등급 폐목재를 사용하여 가구, 악기 등의 목재 성형제품을 제조하는 과정에서 배출되는 나무도막 등 목재부산물 및 분진	2	
		2등급 폐목재를 사용하여 나무판제품(합판, 파티클보드, 섬유판 등)을 제조하는 과정에서 발생하는 목재부산물 및 분진	2	
	목재포장재	목재파레트	방부처리 목재 등 2등급 폐목재로 물건을 제조하는 공정에서 발생하는 목재 부산물 및 분진	3
			원목상태의 깨끗한 목재, 부스러기	1
			파티클보드, 합판류	2
		목재상자	섬유판	2
			원목상태의 깨끗한 목재, 부스러기	1
			파티클보드, 합판류	2
	전선드럼	섬유판(MDF)	2	
		기름, 페인트, 방부처리된 탄약상자	2	
		원목상태의 깨끗한 목재	1	
	실외목재구조물	파티클보드, 합판	2	
		페인트 등으로 도색된 드럼 및 섬유판(MDF)	3	
		철도침목	3	
전신주				
방음벽				
목조교량				
부두시설, 시트파일 등 담수 및 해수와 접촉하는 구조물에 사용된 폐목재				
폐선박 및 차량에서 나오는 목재		3		
건축물의 화재현장에서 발생한 목재		3		
기타 산업시설	냉각탑, 산업용 바닥재 등에 사용된 폐목재	3		

※ 비고 1. 발생원별 등급이 설정되지 않았거나 설정된 등급에도 불구하고 해당 폐목재의 유해물질함유 정도가 높은 것으로 판단되는 경우, 그 특성에 따라 낮은 등급으로 분류하여야 한다.

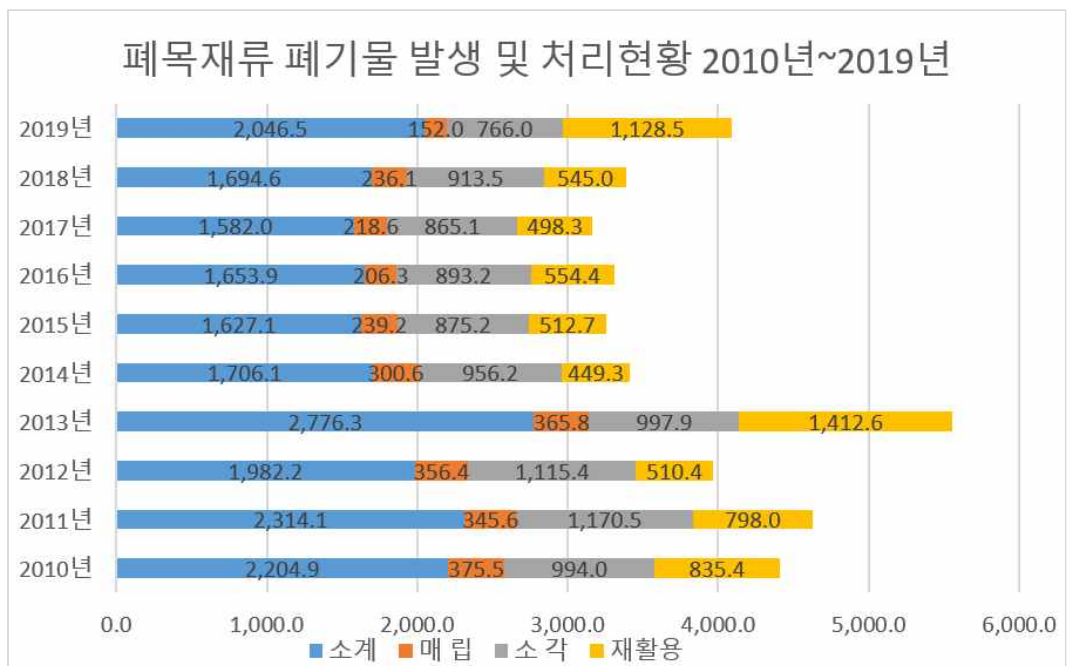
2. 등급이 서로 다른 폐목재가 혼합되어 있는 경우 낮은 등급으로 분류한다.(환경부)

(출처: 환경부고시 제2008-147호)

② 목재부산물 발생 및 처리현황

통계청 기준 폐목재류 폐기물 발생은 2010년 2,205t/일 발생되었으며 2013년 2,776t/일으로 급격하게 증가하게 되었다. 2018년까지 1,695t/일으로 감소 되었다가 2019년에는 2,110t/일로 증가한 것을 알 수 있다. 지난 10년 동안 평균 발생량은 1,965t/일로 나타났다.

이중 매립, 소각 및 재활용으로 처리되는 현황을 살펴보면 10년간 발생량 평균 1,958.8t/일 중 매립 279.6t/일(14.3%), 소각 954.7t/일 (48.7%), 재활용 724.5t/일(37.0%)으로 나타났다. 지난 10년간 폐목재 활용 및 처리의 방법은 크게 변하지 않는 것을 알 수 있다. 다만 소각의 비율은 2010년 17%(375.5t/일)에서 2019년 7%(152.0t/일)로 급격히 낮아진 것을 알 수 있다.



<그림 II-8> 폐목재류 폐기물 발생량(2010년~2019년)

(단위:톤/일)

(출처 : 통계청)

<표 II-6> 폐목재류 폐기물 발생 및 처리현황(2010년~2019년)

구분	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년	'18년	'19년
소계	2,204.9	2,314.1	1,982.2	2,776.3	1,706.1	1,627.1	1,653.9	1,582.0	1,694.6	2,046.5
매립	375.5	345.6	356.4	365.8	300.6	239.2	206.3	218.6	236.1	152.0
소각	994.0	1,170.5	1,115.4	997.9	956.2	875.2	893.2	865.1	913.5	766.0
재활용	835.4	798.0	510.4	1,412.6	449.3	512.7	554.4	498.3	545.0	1,128.5
기타	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63.5

(출처 : 통계청)

<표 II-8>에 제시된 폐목재류 재활용업체 증가수를 살펴보면 2010년에는 353개소에서 2019년 1,615개소로 358% 급격하게 증가하였다. 목재부산물의 재활용 수요가 높아지고 활용도가 개발되면서 증가한 것으로 예측된다.

폐목재류 판매량도 2010년 1,076,170t/년에서 2019년 3,104,281t/년으로 188%가 증가하였으며 판매총액은 2010년 66,257,432천원/년에서 2019년 231,819,601천원/년으로 250%나 증가하였다.

폐목재 발생량과 처리 방법이 크게 변화가 없었다. 다만 2016년부터 가동업체의 수가 급격하게 증가하다가, 2018년이 되면서 재활용량 및 판매총액이 증가하였다. 재활용 비율은 2018년 32%(545.0t/일)에서 2019년 55%(1,128.5t/일)로 증가한 것을 알 수 있다.

<표 II-7> 폐목재류 재활용실적 및 업체현황(1/2)

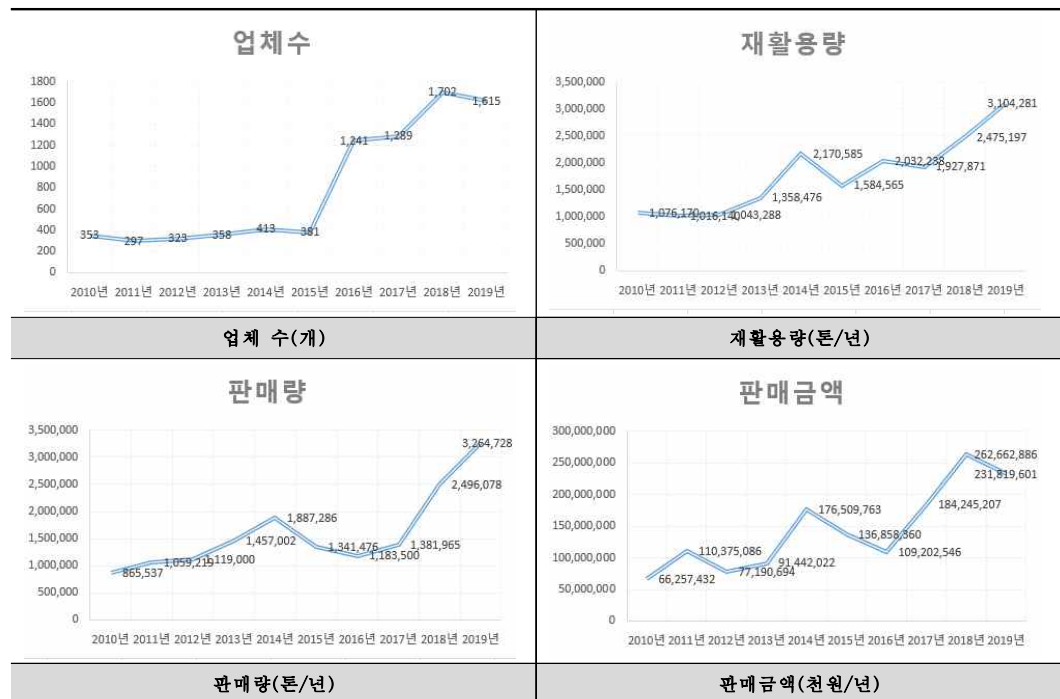
연도	재활용 폐기물종류 (코드번호별)		총계			
			가동업체수 (개)	재활용폐기물량 (t/년)	판매량 (톤/년)	판매총액 (천원/년)
2019년	폐목재류	51-20	1,615	3,104,281	3,264,728	231,819,601
2018년	폐목재류	51-20	1,702	2,475,197	2,496,078	262,662,886
2017년	폐목재류	51-20	1,289	1,927,871	1,381,965	184,245,207
2016년	폐목재류	51-20	1,241	2,032,238	1,183,500	109,202,546

(출처 : 자원순환정보시스템)

<표 II-8> 폐목재류 재활용실적 및 업체현황(2/2)

연도 (년)	재활용 폐기물종류 (코드번호별)		총계			
			가동업체수 (개)	재활용폐기물량 (t/년)	판매량 (t/년)	판매총액 (천원/년)
2015	나무조각, 톱밥, 기타	28-10-0 28-20-0 28-90-0	381	1,584,565	1,341,476	136,858,360
2014	나무조각, 톱밥, 기타	28-10-0 28-20-0 28-90-0	413	2,170,585	1,887,286	176,509,763
2013	나무조각, 톱밥, 기타	28-10-0 28-20-0 28-90-0	358	1,358,476	1,457,002	91,442,022
2012	나무조각, 톱밥, 기타	28-10-0 28-20-0 28-90-0	323	1,043,288	1,119,000	77,190,694
2011	나무조각, 톱밥, 기타	28-10-0 28-20-0 28-90-0	297	1,016,140	1,059,219	110,375,086
2010	나무조각, 톱밥, 기타	28-10-0 28-20-0 28-90-0	353	1,076,170	865,537	66,257,432

(출처: 자원순환정보시스템)

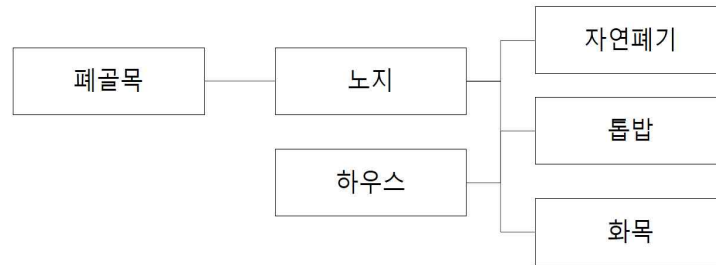


<그림 II-9> 폐목재류 재활용실적 및 업체현황

(출처: 저자작성)

(3) 목재부산물의 재활용

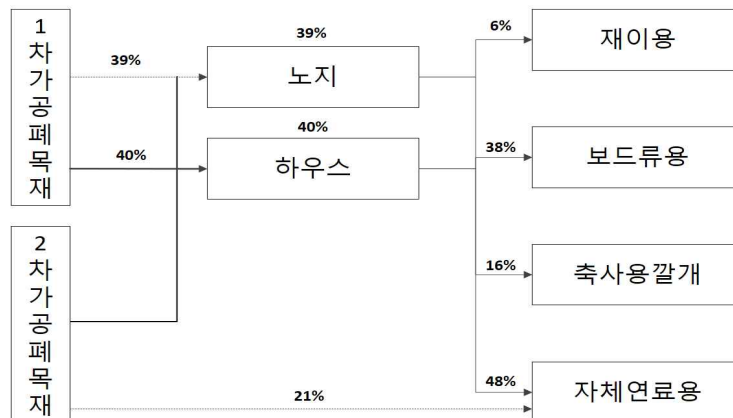
폐목재의 유형별 재활용실태를 살펴보면 폐골목의 경우 <그림 II-10>와 같이 대부분 화목으로 이용·판매되었고 톱밥으로 축사의 수분조절제 및 표고재 배양 톱밥용으로 이용하고 있다(임업연구원, 2000).



<그림 II-10> 폐골목의 재활용 및 폐기경로

(출처: 임업연구원, 2007)

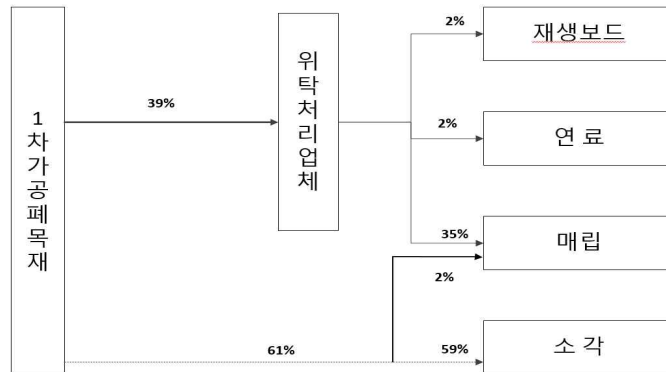
산업가공폐목재의 재활용은 중간유통상을 통한 위탁처리 및 자체소비로 이루어지고 있으며, 일부는 2차 가공 후 자체처리하고 있다(임업연구원, 2000).



<그림 II-11> 산업가공폐목재의 유통경로

(출처: 임업연구원, 2007)

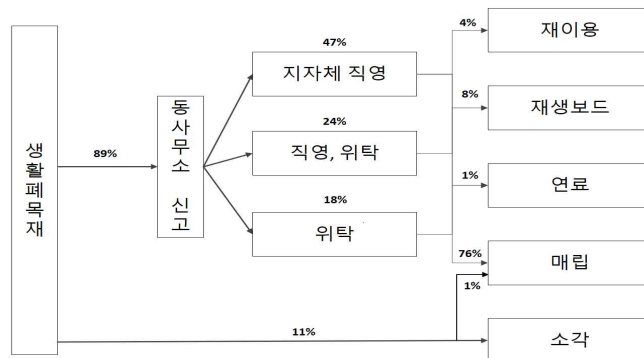
건설폐목재의 재활용 및 폐기경로는 자가처리하거나 위탁처리업체를 통해 처리되고 있으며, 해체할 경우 콘크리트 등으로 혼합되기 때문에 선별작업을 통해 분류하여 재활용, 매립 및 소각 등으로 처리되고 있다(임업연구원, 2000).



<그림 II-12> 건설폐목재의 이용 및 폐기경로

(출처: 임업연구원, 2000)

생활폐목재는 대부분 가구류이고 <그림 II-13>과 같이 지방자치단체의 관리 하에 이루어지고 있으며, 대부분 재생보드, 연료, 매립 및 소각 등으로 이용되고 있다.



<그림 II-13> 생활폐목재의 이용·폐기 유통경로

(출처: 임업연구원, 2000)

이처럼 목재부산물을 재활용하는 용도는 크게 물질 재활용과 에너지 재활용으로 구분되고 있다. 물질재활용의 경우 MDF¹²⁾(Medium Density Fiberboard)로 제작하고 있으며, 파티클보드(Particle Board)¹³⁾ 제작은 일부만 원목을 사용하고 있다. 대부분 폐목재를 활용하여 제조하고 있으며, 일부는 표고버섯 재배용 원목, 톱밥(유기비료) 등 농업용으로 일부 활용되고 있다(관계기관합동, 2007). 또한 에너지 재활용 분야에서는 열병합 발전시설에서 연료로 사용되고 있으며 숯·번개탄 등 생활용으로 일부 재활용되고 있는 것을 알 수 있다.

12) MDF: 목재를 섬유형태로 파쇄하여 접착제와 혼합 후 열압방식을 사용하여 만든 보드

13) PB: 목재를 조각형태으로 잘게 파쇄하여 접착제와 혼합 후 압착과정을 거쳐 만든 보드

(4) 목재부산물 관련 법제도

폐목재는 지난 2008년 「폐기물관리법 시행규칙」 제14조 별표5 제1호다목1) 및 제66조 제3항 별표16 제12호에 따라 재활용 기준을 <표 II-9>와 같이 분류하고 있다(법제처).

폐목재는 화학물질의 포함여부에 따라 1~3등급으로 구분하고 있으며, 1등급은 원목 그대로의 상태이거나 원목을 기계적으로 가공, 처리한 상태의 것으로서 가공, 처리과정에서 페인트, 기름, 방부제 등이 묻지 않은 폐목재로 이야기하며, 2등급은 가공, 처리 및 사용과정에서 접착제, 페인트, 기름, 콘크리트 등의 물질이 사용되었거나 이와 같은 물질이 묻은 폐목재(할로겐족 유기화합물이나 방부제가 사용되었거나, 이와 같은 물질이 묻은 폐목재는 제외)라 한다(법제처). 마지막 3등급은 가공·처리·사용과정에서 할로겐족 유기화합물이나 방부제가 사용되었거나 이에 오염된 폐목재와 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 시행규칙 제20조의3 제2항의 고형연료제품의 품질등급기준에 적합하지 않는 폐목재 칩 및 위의 1~2등급에 해당되지 않는 기타 폐목재라고 등급 분류 기준을 정하였다(법제처).

<표 II-9> 폐목재 등급분류 기준 및 폐목재 재활용용도·방법(환경부)

구분	등급분류 기준	재활용용도·방법
1등급	원목 그대로의 상태이거나 원목을 기계적으로 가공, 처리한 상태의 것으로서 가공, 처리과정에서 페인트, 기름, 방부제 등이 묻지 않은 폐목재	나무관 등 목재성형제품, 톱밥, 성형탄·산업용 활성탄·고형연료제품(WCF), 바이오에탄올(목질계 에탄올원료)제조, 축사·제조·퇴비용 원료로 사용, 열분해, 가스화 원료로 이용, 「폐기물관리법시행규칙」 제 3조에 따른 에너지회수기준에 적합하게 에너지회수용도로 사용
2등급	가공, 처리 및 사용과정에서 접착제, 페인트, 기름, 콘크리트 등의 물질이 사용되었거나 이와 같은 물질이 묻은 폐목재(할로겐족 유기화합물이나 방부제가 사용되었거나, 이와 같은 물질이 묻은 폐목재는 제외)	1등급 폐목재의 재활용용도, 방법 중 톱밥, 성형탄 제조 용도 및 축사, 제조, 퇴비용 원료로의 사용을 제외한 용도로 사용
3등급	가공·처리·사용과정에서 할로겐족 유기화합물이나 방부제가 사용되었거나 이에 오염된 폐목재와 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 시행규칙 제20조의3 제2항의 고형연료제품의 품질등급기준에 적합하지 않는 폐목재 칩 및 위의 1~2등급에 해당되지 않는 기타 폐목재	열분해, 가스화원료로 이용하거나 폐기물관리법 시행규칙 제3조에 따른 에너지회수기준에 적합하게 에너지를 회수하는 용도로만 사용

※ 할로겐족 유기화합물은 폐기물관리법 시행규칙 별표2에 해당하는 물질이며, 폐목재 발생원, 종류별 등급 구분은 별표와 같다.

(출처: 환경부고시 제2016-32호)

4. 선행연구 고찰

(1) 목재부산물 재활용 관련 연구

정지영(2015)은 플러그 육묘¹⁴⁾용 혼합상토의 원료인 피트모스를 대체하기 위하여 국내에서 발생하는 임산부산물로 분류되는 톱밥 및 목질섬유의 물리화학적 특성을 분석하고, 국내에서 주요 채소 품종 중 하나인 배추를 활용하여 생육효과를 검정함으로써, 임산부산물이 혼합상토의 원료로 사용이 적합한지에 대한 연구를 수행하고자 하였다.

정재나(2016)는 목재부산물을 활용한 디자인방법론을 개발하여 제품화하고자 하였으며, 이를 위해 기본적인 목공설비를 활용하여 목재부산물과 에폭시 클레이 등의 합성수지와와의 조합을 통한 디자인 방법을 제시함으로써, 이전의 목재 재활용방법보다 활용가능성이 높으며 현실적인 방안을 제시하고자 하였다.

최재진 외(2012)는 폐목재의 활용을 위한 기술동향 분석 및 경량잔골재로 활용이 가능한지에 대한 연구를 진행하였다. 폐목재의 고부가가치 기술개발향을 살펴보았으며 파쇄폐목재를 사용하여 모르타르, 콘크리트의 강도를 강화하기 위한 연구를 수행하였다.

국립환경과학원(2007)에서는 폐목재 관리체계의 개선 및 재활용 활성화 방안에 관한 연구를 진행하였다. 폐목재의 효율적 관리 및 적절한 재활용 활성화를 위한 방안을 위해 현황 및 문제점을 검토하고 이를 통해 폐목재의 효율적 관리 및 적정 재활용을 위한 제도적 개선방안 제시하였다.

14) 여러개의 작은 용기(Plug cell)가 연결된 플러그 트레이라고 불리는 육묘전용용기를 이용하여 묘를 키우는 것을 말하며, 양질의 균일한 묘를 대량으로 생산하는 것을 목적으로 함.

<표 II-10> 목재부산물 재활용에 관한 선행연구

저자명	출판연도	논문명	주요내용
정재나	2016	목재가구 부산물(副産物)을 활용한 가구디자인 연구	목재 부산물을 활용한 가구디자인 방법 제시 및 활용방안 연구
정지영	2015	목재부산물의 이용과 원예재배매체 개발	국내 임산부산물인 톱밥 및 목질섬유를 활용하여 혼합상토 원료서의 적용 가능성 연구
최재진 외	2012	폐목재의 활용을 위한 기술동향 분석 및 경량건축재로서의 활용방안	폐목재를 활용한 경량건축재의 활용방안 연구
국립환경과학원	2007	폐목재 관리체계 개선 및 재활용 활성화 방안 연구	폐목재의 효율적 관리 및 적절한 재활용 활성화를 위한 방안을 위해 현황 및 문제점을 검토함으로써, 폐목재의 효율적 관리 및 적정 재활용을 위한 제도적 개선방안 제시

(출처: 저자 작성)

이처럼 목재부산물을 활용한 재활용 및 제도개선에 대한 연구만이 진행되고 있었으며, 관리적인 측면에서 재활용을 위한 시스템적 개발이 매우 부족하다.

(2) 목재부산물 산업공생네트워크 관련 연구

Wahrlich(2019)는 브라질 남부 Santa Catarina 주에 위치한 Lages 지역에 위치한 산림산업과 관련된 기업을 대상으로 산업공생관계를 분석하고자 하였다. 연구에서는 시스템 내 IS 단계를 정량화하고, 기관, 기업 등 IS 참여자들에게 장점을 입증하며 마지막으로 산업공생에 네트워크구조 발전함에 따라 산업생태계에 어떤 이점을 주고 있는지에 대해 알아보하고자 하였다. 이를 위해, 설문지, 산업공생지표(ISI) 등이 활용하여 분석하였으며, 기업 간 공생수준을 제시하기 위해 폐수데이터를 활용하였다. 연구결과, 기업들이 칩, 나무껍질, 톱밥 및 부스러기 등을 교환하는 공생 네트워크에 참여한다는 것을 제시 함으로써 인근 기업들 간의 교류가 광범위한 산업생태계를 구축한다고 보았다.

Zender(2015)는 탐색적 사례연구, 선행연구 및 다양한 이론적 패러다임을 기반으로 폐기물을 최소화하면서, 부산물과 재사용 가능한 재료를 최대한 활용할 수 있도록 하는 조직 간 네트워크 형성에 크게 영향을 미치는 것으로 보이는 요인을 식별함으로써 목재산업 네트워크 거버넌스를 기반으로 한 협력의 원동력을 도출하는 연구를 진행하고자 하였다. 이를 통해, 환경문제를 다루는 네트워크 분야와 전통적인 네트워크 연구를 통합해야 한다는 요구에 기여하고, 네트워크 및 지속가능성에 대한 향후의 연구 및 정책 입안자로서의 행동에 시사점을 제공하였다.

Wolf(2006)은 스웨덴의 임업기업을 대상으로 정보통신기술의 발전을 위한 출발점으로 삼을 수 있는 교류와 협력사례를 찾기 위해, 산업분야에서 에너지와 물질적 교류의 존재를 체계적으로 지도화 하였다. 이를 위해, 물질 및 에너지 교환이 이미 존재하는지에 대한 인벤토리를 작성하고, 사례연구를 통해 정의된 IS의 프레임워크에 맞는 것이 무엇인지에 대한 분석을 진행하여 IS 프레임워크를 강화할 수 있는 방법에 대해 논의하였다. 이를 통해, 스웨덴의 임업 관련 기업들은 이미 물질적, 에너지적 교류를 통해 광범위한 교류가 진행 중이었음을 확인할 수 있었다.

<표 II-11> 목재부산물 산업공생네트워크에 관한 선행연구

저자명	출판연도	논문명	주요내용
Wahrlich	2019	Industrial symbiosis in the forestry sector: A case study in southern Brazil	산림산업과 관련된 기업을 대상으로 산업공생관계를 분석
Zender	2016	Drivers of network governance: a multitheoretic perspective withinsights from case studies in the German wood industry	부산물과 재사용 가능한 재료를 최대한 활용할 수 있도록 하는 조직 간 네트워크 형성에 크게 영향을 미치는 것으로 보이는 요인을 식별함으로써 목재산업 네트워크 거버넌스를 기반으로 한 협력의 원동력을 도출하는 연구를 진행
Wolf	2007	Industrial symbiosis in the Swedish forest industry	정보통신기술의 발전을 위한 출발점으로 삼을 수 있는 교류와 협력사례를 찾기 위해, 산업분야에서 에너지와 물질적 교류의 존재를 체계적으로 지도화함

(출처: 저자 작성)

(3) 데이터 마이닝 활용 인벤토리 구축 연구

Nugraha(2019)는 데이터 마이닝 기법 중, K-means Clustering 기법을 활용하여 의약품 사용 횟수 및 요청 횟수에 따라 의약품 유형을 분류함으로써, 환자를 위한 서비스를 개선하는데 활용하고자 하였다. 이를 바탕으로, 의약품 종류에 따라 공급의 유연성을 제고할 수 있는 의약품 구매계획에 참고할 수 있다고 하였다.

Shen(2011)은 미국 특허청의 데이터베이스를 기반으로 인벤토리 관리를 위한 데이터처리기술을 조사하기 위해 데이터마이닝 기법 중 하나인, 상대적 상관 강도의 대칭행렬(symmetrical matrix)을 통해 주요 기술 그룹을 식별하기 위해 비계층적 클러스터링 분석 방법(nonhierarchical clustering analysi)을 사용하였다. 이를 통해, 데이터처리기술의 동향과 특성을 파악하여 전략적인 기술관리를 시도하였다.

<표 II-12> 데이터 마이닝을 활용한 인벤토리 구축 연구

저자명	출판연도	논문명	주요내용
Nugraha	2019	Medicine Inventory Grouping using Clustering Data Mining	K-means Clustering 기법을 활용하여 의약품 유형 분류
Shen	2011	Data Mining the Data Processing Technologies for Inventory Management	비계층적 클러스터링 분석 방법을 활용하여 전략적 기술관리 추구

(출처: 저자 작성)

(4) 선행연구고찰 종합 시사점

본 연구에 대한 선행연구고찰 결과 다음과 같은 사실을 알 수 있었다. 목재 부산물을 재활용하기 위한 연구에서는 농업, 디자인 및 건축 분야 등 다양한 분야에서 목재부산물을 활용함으로써, 해당 분야에 대한 적용가능성을 연구하는 경우가 많았다. 또한, 전반적인 폐목재 관리개선방안 제시를 통해 국내 폐목재 처리과정 및 재활용에 필요한 제도의 개선이 시급함을 확인할 수 있었다.

목재부산물 산업공생네트워크에 대한 사례는 대부분 해외에서 연구가 진행 중이었음을 확인할 수 있었다. 이미 목재산업 분야에 대한 공생네트워크가 진행 중인 사례를 통해, 기업 간의 산업생태계 구축의 가능성을 확인할 수 있었다. 또한, 다른 환경분야와 기존의 네트워크의 통합을 통해 네트워크 거버넌스의 확충에 대한 연구가 진행 중인 사례도 확인할 수 있었으며, 산업공생네트워크의 프레임워크를 강화하기 위한 연구에 대한 사례도 확인할 수 있었다.

하지만, 데이터마이닝을 활용한 인벤토리 구축에 관한 선행연구는 산업공생에 관한 연구를 비롯한 거의 모든 영역에서 아직까지는 진행되지 않고 있다. 대부분 기존의 인벤토리를 개선하기 위한 연구가 대부분이었음을 확인할 수 있었다. 이는 산업공생에 대한 연구가 기존에 진행 중인 산업공생의 사례에 관한 연구 및 기업 간의 연결성을 확인하는 연구가 대부분이기 때문에, 아직까지는 빅데이터 프로세싱을 비롯한 정보통신기술과 관련된 분석 및 연구가 아직까지는 활발하게 진행되고 있지 않기 때문이란 것을 확인할 수 있었다.

위와 같은 선행연구의 분석을 통해, 산업공생 분야에서도 데이터마이닝을 비롯한 다양한 알고리즘 및 분석방법을 활용함으로써 보다 다양한 연구를 진행할 수 있을 것이다.

5. 선행연구와의 차별성 및 연구질문

(1) 선행연구와의 차별성

현재까지 진행된 산업공생에 대한 연구의 대부분은 기업이 제품을 생산하는데 필요한 원료-배출하는 부산물 간의 연계성들을 확인하고자, 네트워크 분석을 함으로써 산업공생네트워크의 가능성을 확인하는 경우가 대부분이었음을 확인하였다. 산업단지를 비롯한 일정한 범위 내에 위치한 기업 간의 교환가능성을 확인하여 산업공생네트워크의 가능성을 모색하는 경우도 있었다. 또한, 인벤토리 구축을 통해 예측시스템을 개발함으로써, 불확실성이 높은 상황에서 의사결정권자에게 신뢰도를 제공해주기도 하였다.

하지만, 본 연구에서는 국내의 목제품 생산기업에서 배출하는 부산물의 유형을 분류하고 기업 간에 부산물 교환을 함으로써 형성되는 공생네트워크의 가능성을 확인하고자 목재부산물 산업공생네트워크 인벤토리를 구축하였다. 구체적으로 본 연구는 한국표준산업분류표에 제시되어있는 기업의 업종코드를 통해 목제품생산기업을 분류하여, 기업의 대표생산물 업종코드, 폐기물 처리유형 등을 활용하여 데이터베이스를 구축함으로써 기업 간 연관관계를 파악하고자 하였다. 이를 기반으로 인벤토리를 개발함으로써, 산업공생네트워크 구축을 위한 특성과 요인을 파악하고, 온톨로지 기반의 매칭 알고리즘을 활용하여 공생네트워크를 시각화함으로써, 잠재적인 목재부산물 산업공생네트워크의 구축가능성을 확인하였다.

(2) 연구의 질문

본 연구는 전술한 선행연구와 차별성을 토대로 다음과 같은 연구의 질문을 도출하였다.

첫째, 목재부산물 산업공생네트워크에서는 어떤 유형의 목재부산물이 어떤 업종과의 연관성이 있는가?

둘째, 온톨로지 기반의 매칭 알고리즘을 활용하여 목재부산물 산업공생네트워크를 구축할 수 있는가?

Ⅲ. 연구의 방법

1. 목재부산물 분류 및 DB 구축방법

(1) 분류기준

목재부산물의 유형을 분류하기 위해 폐기물관리법시행규칙[별표 4]의 폐기물의 종류별 세부분류(제4조의2제1항)에 따라 분류원칙을 적용하였다. 폐기물 분류번호는 총 6자리(XX-YY-ZZ)로 구성되어 있으며, 대분류 기준 번호(XX)는 01~91번 까지 있다. 크게 사업장일반폐기물(01~30번), 생활폐기물(51번), 지정폐기물(91번)로 나뉜다.

또한 폐기물 관리법에서는 폐기물 재활용 유형별 세부분류(제4조의2제2항)에 따라 총 10가지로 분류되고 있다. 원형 그대로 또는 단순 수리·수선하여 재사용하는 유형(R-1, R-2), 재생이용할 수 있는 상태로 만드는 유형(R-3, R-4), 농업이나 토질개선을 위하여 재활용하는 유형(R-5, R-6), 토양이나 공유수면 등에 성토재·복토재·도로기층재·채움재 등으로 재활용하는 유형(R-7), 는 에너지를 직접 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형(R-8, R-9), 마지막으로 제품 제조 등을 위한 중간 가공폐기물을 만드는 유형(R-10)으로 구분된다. 세부적인 내용은 <표 III-1>와 같다.

<표 III-1> 폐기물 재활용 유형별 세부분류

구분	내 용	비 고
R-1	- 원형 그대로 또는 단순 수리·수선하여 재 사용하는 유형	R-1-1(본래용도), R-1-2(다른용도)
R-2		R-2-1(본래용도), R-2-2(다른용도)
R-3	- 재생이용할 수 있는 상태로 만드는 유형	R-3-1(해체, 분리 등), R-3-2(용융, 용해, 반응 등) R-3-3(분리, 압축, 농축 등) : 섬유, 고무제품 원료물질 제조 R-3-4(분리, 압축, 농축 등) : 섬유, 고무제품 이외 원료물질 제조 R-3-5(부원료 또는 첨가제 제조)
R-4		R-4-1 : 금속성 제품 제조, R-4-2 : 비금속성 제품 제조 R-4-3 : 펄프, 종이 및 종이제품 제조, R-4-4 : 합성수지 제품 제조 R-4-5 : 합작, 흡수제 제조, R-4-6 : 석유정제품 제조 R-4-7 : 화학제품 제조, R-4-8 : 유지제품 제조 R-4-9 : 수질개선 목적 제품 제조, R-4-10 : 의약품 제조
R-5	- 농업이나 토질개선을 위하여 재활용하는 유형	R-5-1 : 비료 생산, R-5-2 : 사료 생산, R-5-3 : 버섯재배용배지제조-사용, R-5-4 : 가축 먹이, 퇴양
R-6		R-6-1 : 복토제, 토양개량제, R-6-2 : 생태복원, 인공토양(녹화)
R-7	- 토양이나 공유수면 등에 성토제·복토제·도로기층재·채움재 등로 재활용하는 유형	R-7-1 : 성토제, 복토제 등 사용, R-7-2 : 공유수면매립용 R-7-3 : 폐기물매립용, R-7-4 : 석산의 채석지역용 R-7-5 : 지해매설관로 주변 방식사로 사용 R-7-6 : 농경지의 성토제로 사용
R-8		R-8-1 : 시멘트소성로의 보조연료 사용 R-8-2 : 에너지회수하는 유형
R-9	- 에너지를 직접 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형	R-9-1 : 고형연료제품, R-9-2 : 유화정제연료유로 사용 R-9-3 : 정제, 유화 등의 방법으로 액체, 기체 및 고체 연료 생산 R-9-4 : 열처리방법으로 액체, 기체 및 고체 연료 생산 R-9-5 : 화력발전소, 열병합발전소의 연료 사용
R-10		R-10-1 : R-3부터 R-9까지의 재활용 유형에 따라 재활용하기 위한 중간가공폐기물을 만드는 유형

(출처: 폐기물관리법시행규칙 제4조의2제2항 관련)

폐기물의 종류별 재활용 가능 유형(제4조의2항)과 세부분류(제4조의2항)를 활용하여 <표 III-2>와 같이 재구성하였다.

또한, 본 연구에서는 국내의 목제품 생산기업으로만 연구범위를 한정하였으므로, 폐목재의 발생원을 사업장에서 발생하는 사업장폐목재 영역으로만 제한하여 분류하고자 하였다.

마지막으로 <표 III-3>, <표 III-4>에 제시되어 있는 폐목재 등급분류 기준 및 폐목재 재활용용도·방법에 따라, 3등급 이하의 부산물은 재활용이 힘들기 때문에, 제외하였다.

<표 III-2> 폐기물의 종류별 세부분류 및 폐기물의 재활용 유형별 세부분류(환경부, 2017)

폐기물 분류번호			R																		
			-1		-2	-3		-4				-5			-6		-8		-9		-10
			-1	-2	-1	-2	-4	-1	-2	-3	-5	-1	-2	-3	-1	-1	-2	-1	-3	-1	
51	20	폐목재류(원목의 용도 그대로 사용하는 나무뿌리·가지 등을 제거한 원줄기는 제외한다)																			
	01	임목폐목재(건설공사, 산지개간 등의 과정에서 발생된 나무뿌리, 가지, 줄기 등을 말한다)	0				0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	
	02	제재부산물(원목 가공과정에서 발생하는 수피, 톱밥, 대패밥 등을 말한다)	0				0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	03	목재가공공장 부산물(원목상태의 깨끗한 목재부산물 및 분진을 말한다)	0	0			0		0		0	0	0	0		0	0		0	0	
	04	목재가공공장 부산물(접착제, 페인트, 기름, 콘크리트 등의 물질이 사용된 목재부산물 및 분진을 말한다)					0		0	0	0					0	0	0	0	0	
	05	목재가공공장 부산물(할로겐족 유기화합물 또는 방부제가 사용된 폐목재, 목재부산물 및 분진을 말한다)							0							0	0	0	0	0	
	06	폐가구류, 폐도장목, 폐목재포장재, 폐전선드럼(원목상태의 깨끗한 목재를 말한다)	0		0		0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	
	07	폐가구류, 폐도장목, 폐목재포장재, 폐전선드럼(접착제, 페인트, 기름, 콘크리트 등의 물질이 사용된 목재를 말한다)	0		0			0	0		0					0	0	0	0	0	
	08	폐가구류, 폐도장목, 폐목재포장재, 폐전선드럼(할로겐족 유기화합물 또는 방부제가 사용된 목재를 말한다)	0		0				0							0	0	0	0	0	
	09	산업현장의 실외목재구조물에서 발생하는 폐목재, 폐선박 및 차량에서 나오는 목재, 건축물 화재현장에서 발생한 폐목재, 냉각탑, 산업용 바닥재 등에 사용된 폐목재	0		0				0							0	0	0	0	0	
	10	건축현장 폐목재(원목상태의 깨끗한 목재를 말한다)	0		0		0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	
	11	건축현장 폐목재(접착제, 페인트, 기름, 콘크리트 등의 물질이 사용된 목재를 말한다)	0		0		0		0	0	0					0	0	0	0	0	
	12	건축현장 폐목재(할로겐족 유기화합물 또는 방부제가 사용된 목재를 말한다)	0		0				0							0	0	0	0	0	
	13	폐받침목		0			0		0		0					0	0	0	0	0	
	99	그 밖의 폐목재류					0		0		0	0				0	0	0	0	0	

(출처: 「폐기물관리법 시행규칙」 제4조의2제1항 별표4, 제4조의2제2항 별표 4의2)

<표 III-3> 사업장폐목재 세부종류 및 등급분류표

구분	종류		등급
임목폐목재 (5톤 이상)	나무줄기, 가지 및 뿌리 등		1
제재부산물	원목가공과정에서 발생하는 톱밥, 수피 등		1
목재가공공장 부산물	원목상태의 깨끗한 목재 부스러기 및 분진		1
	2등급 폐목재를 사용하여 가구, 악기 등의 목재 성형제품을 제조하는 과정에서 배출되는 나무토막 등 목재부산물 및 분진		2
	2등급 폐목재를 사용하여 나무판제품(합판, 파티클보드, 섬유판 등)을 제조하는 과정에서 발생하는 목재부산물 및 분진		2
	방부처리 목재 등 2등급 폐목재로 물건을 제조하는 공정에서 발생하는 목재부산물 및 분진		3
목재포장재	목재파레트	원목상태의 깨끗한 목재, 부스러기	1
		파티클보드, 합판류	2
		섬유판	2
	목재상자	원목상태의 깨끗한 목재, 부스러기	1
		파티클보드, 합판류	2
		섬유판(MDF)	2
		기름, 페인트, 방부처리된 탄약상자	2
전선드럼	원목상태의 깨끗한 목재		1
	파티클보드, 합판		2
	페인트 등으로 도색된 드럼 및 섬유판(MDF)		3
기타 산업시설	냉각탑, 산업용 바닥재 등에 사용된 폐목재		3

(출처: 환경부고시 제2008-147호)

<표 III-4> 폐목재 등급분류 기준 및 폐목재 재활용용도·방법 요약

구분	등급분류 기준	재활용용도·방법
1등급	가공, 처리과정에서 페인트, 기름, 방부제 등이 묻지 않은 폐목재(예- 순수목재(원목) 및 원목을 기계적으로 가공/처리한 것)	나무판 등 목재성형제품, 톱밥, 성형탄·산업용 활성탄·고형연료제품(WCF)
2등급	가공/처리 및 사용과정에서 접착제, 페인트, 기름, 콘크리트 및 할로겐족 유기화합물이 포함된 목재	1등급 폐목재의 재활용용도, 방법 중 톱밥 제조 용도
3등급	1, 2등급에 해당되지 않는 목재	열분해, 가스화원료로 이용하거나 폐기물관리법 시행규칙 제3조에 따른 에너지회수기준에 적합하게 에너지를 회수하는 용도로만 사용

(출처: 환경부고시 제2016-32호)

그 결과, <표 II-9>, <표 III-3>, <표 III-4>, <표 III-5>에서 제시한 분류 기준에 따라 가공처리사용과정에서 목재에 화학물질이 함유된 분류번호 (51-04, 05, 07, 08)는 제외하였으며, 본 연구에서는 목제품 기업 간의 공생네트워크 여부에 초점을 두었으므로, 건축현장의 폐목재(51-20-10, 11, 12)는 제외하였다. 또한 폐받침목(51-20-99)의 경우에는 표면이 화학물질로 마감되어 있으며, 재활용 방법이 제한되어있기 때문에 제외하였다. 마지막으로, 본 연구에서는 가공과정에서의 목재부산물에 대해서만 다룰 예정이므로 폐가구류, 폐도장목, 폐목재포장재 및 폐전선드럼을 부산물로 활용하는 경우(51-20-06)도 제외하였다.

최종적으로 목제품 생산공정에서 발생하는 목재부산물 재활용을 위해 분류된 종류별 세부분류 결과는 <표 III-5>와 같음을 알 수 있다.

<표 III-5> 폐기물의 종류별 세부분류 및 폐기물의 재활용 유형별 세부분류 결과(환경부, 2017)

폐기물 분류번호			R-4-2
51	20	폐목재류(원목의 용도 그대로 사용하는 나무뿌리·가지 등을 제거한 원줄기는 제외한다)	
		01 임목폐목재 (건설공사, 산지개간 등의 과정에서 발생된 나무뿌리, 가지, 줄기 등을 말한다)	O
		02 제재부산물 (원목 가공과정에서 발생되는 수피, 톱밥, 대패밥 등을 말한다)	O
		03 목재가공공장 부산물 (원목상태의 깨끗한 목재부산물 및 분진을 말한다)	O

(출처: 폐기물관리법시행규칙별표 제4조의2제2항, 제3항)

(2) DB 구축방법

① 업종코드 분류

목재관련 기업의 업종코드를 추출하기 위해 <그림 III-1>에 제시되어 있는 한국표준산업분류(10차)에서 제공하는 표준산업분류표를 참고하였다. 가구업 종은 목재, 플라스틱 및 철재를 원료로 하여 생산하는 기업이 포함되어 있기 때문에 원자재 구분이 불명확하므로 제외하였다. 업종코드의 분류는 Microsoft 사의 Excel을 활용하여 데이터 전처리(Data Preprocessing)를 진행하였다. 목재와 관련된 업종을 추출하기 위해, 중분류 항목에서 “목재“, “나무“ 등의 검색어로 필터링을 하였다.

업종코드-10차 표준산업분류 연계표									
연번	코드변경유형	표준산업	대	대분류	중분류	소분류	세분류	세세분류	연계
1	종속	0110	A	농림업	01	작물 재배업	0111	곡물 및 기타 식량작물 재배업	1
2	종속	0112	A	농림업	01	작물 재배업	0112	채소, 과일작물 및 콩류 재배업	1
3	종속	0113	A	농림업	01	작물 재배업	0113	채소, 과일작물 및 콩류 재배업	1
4	종속	0113	A	농림업	01	작물 재배업	0113	채소, 과일작물 및 콩류 재배업	1
5	종속	0113	A	농림업	01	작물 재배업	0113	채소, 과일작물 및 콩류 재배업	1
6	종속	0113	A	농림업	01	작물 재배업	0113	채소, 과일작물 및 콩류 재배업	1
7	종속	0114	A	농림업	01	작물 재배업	0114	과일, 콩류 및 기타 작물 재배업	1
8	종속	0115	A	농림업	01	작물 재배업	0115	식물 재배업	1
9	종속	0115	A	농림업	01	작물 재배업	0115	식물 재배업	1
10	종속	0119	A	농림업	01	작물 재배업	0119	식물 재배업	1
11	종속	0121	A	농림업	01	작물 재배업	0121	식물 재배업	1
12	종속	0122	A	농림업	01	작물 재배업	0122	식물 재배업	1
13	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
14	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
15	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
16	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
17	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
18	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
19	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
20	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
21	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
22	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
23	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
24	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
25	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
26	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
27	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
28	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
29	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
30	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
31	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
32	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
33	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
34	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
35	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
36	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
37	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
38	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
39	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
40	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
41	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
42	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
43	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
44	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
45	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
46	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
47	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1
48	종속	0123	A	농림업	01	작물 재배업	0123	식물 재배업	1

<그림 III-1> 표준산업분류 연계표 전처리과정

(출처: 한국표준산업분류)

목재관련 기업은 중분류 항목에서 16xxx로 시작하는 것을 알 수 있었으며, 최종적으로 16개의 업종이 추출되었음을 확인하였다. 그리고 해당 업종코드에 포함된 기업정보 데이터를 확보하기 위해 한국기업데이터(주)에서 제공하고 있는 마케팅 Data를 사용하였다.

일련번호	코드변경유치	한국표준산업분류(10차)									
		표준산업분류	대분류	중분류	중분류	소분류	세분류	세분류	세분류	세분류	세분류
185	존속	16101	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	161	제재 및 목재 가공업	1610	제재 및 목재 가공업	일반 제재업
186	존속	16102	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	161	제재 및 목재 가공업	1610	제재 및 목재 가공업	표면 가공목재 및 통장 목재를 제재목 제조업
187	존속	16103	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	161	제재 및 목재 가공업	1610	제재 및 목재 가공업	목재 보존, 방부처리, 도장 및 유사 처리업
188	존속	16211	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	162	나무제품 제조업	1621	박판, 합판 및 강화 목제품 제조업	박판 합판 및 유사 적층판 제조업
189	존속	16212	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	162	나무제품 제조업	1621	박판, 합판 및 강화 목제품 제조업	강화 및 제성 목재 제조업
190	신설	16221	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	162	나무제품 제조업	1622	건축용 나무제품 제조업	목재 온 및 관련제품 제조업
191	존속	16229	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	162	나무제품 제조업	1622	건축용 나무제품 제조업	기타 건축용 나무제품 제조업
192	신설	16231	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	162	나무제품 제조업	1623	목재 상자, 드럼 및 적재판 제조업	목재 알칸올 및 기타 적재판 제조업
193	존속	16232	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	162	나무제품 제조업	1623	목재 상자, 드럼 및 적재판 제조업	목재 포장용 상자, 드럼 및 유사 용기 제조업
194	존속	16291	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	162	나무제품 제조업	1629	기타 나무제품 제조업	목재 도구 및 주변용 나무제품 제조업
195	신설	16292	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	162	나무제품 제조업	1629	기타 나무제품 제조업	장식용 목제품 제조업
196	존속	16292	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	162	나무제품 제조업	1629	기타 나무제품 제조업	장식용 목제품 제조업
197	신설	16299	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	162	나무제품 제조업	1629	기타 나무제품 제조업	그 외 기타 나무제품 제조업
198	신설	16300	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	163	코르크 및 조를 제품 제조업	1630	코르크 및 조를 제품 제조업	코르크 및 조를 제품 제조업
199	신설	16300	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	163	코르크 및 조를 제품 제조업	1630	코르크 및 조를 제품 제조업	코르크 및 조를 제품 제조업
200	존속	16300	C	제조업	16	목재 및 나무제품 제조업, 가구 제외	163	코르크 및 조를 제품 제조업	1630	코르크 및 조를 제품 제조업	코르크 및 조를 제품 제조업

<그림 Ⅲ-2> 표준산업분류 연계표 전처리 결과

(출처: 한국표준산업분류)

<그림 III-2>에서 분류된 목제품 생산관련 업종과 관련된 기업을 추출하기 위해, 한국기업데이터(주)에서 데이터 검색을 진행하였다. 기업정보를 확인하기 위한 검색 과정은 <그림 III-3>과 같이 진행되었다. 전체 업종 중 <목재 및 나무제품 제조업; 가구제외> 항목에 속해있는 업종을 선택하여 관련 기업을 선정하였다. 이 중, 매출액 및 자산총계 항목을 체크하여, 최근 2년간의 재무제표를 보유한 기업으로 한정 후 재선정하였으며, 이를 통해 총 904개의 기업을 우선적으로 분류함으로써, <그림 III-4>와 같이 Raw-data를 확보하였다.

<그림 III-3> 기업정보 검색 과정

(출처: 한국기업데이터(주))

<표 III-6> Database Field 목록

분류 전 항목	분류 후 항목
기업명	기업명
대표자명	표준산업코드
설립일자	표준산업분류명
기업규모	
기업분류	
종업원수	
표준산업분류코드	
표준산업분류명	
우편번호	
본사주소(지번주소)	
본사주소(도로명주소)	
사무기준일	
매출액(백만원)	
자산총계(백만원)	

(출처: 저자작성)

<표 III-7> 기업규모 및 기업분류

기업규모	기업분류
소상공인	개인사업자
소기업	등록법인
중기업	외감
한시성중소기업	유가증권시장
중견기업	일반법인
보호대상중견기업	코스닥시장
대기업	

(출처: 저자작성)

또한 <표 III-7>에서 구분되어 있는 기준을 통해, 기업규모 및 기업분류 부문에서 외부감사를 받지않아 매출이 불분명한 소상공인 및 개인사업자가 운영 중인 기업은 제외하여 <그림 III-4>와 같이 총 804개소의 기업이 분류되었다.

기업명	표준산업분류코드	표준산업분류명
(유)남양목재	16101	일반 제재업
(유)대영목재산업	16101	일반 제재업
(유)디 에스 티버	16101	일반 제재업
(유)백산목재	16101	일반 제재업
(유)창영목재	16101	일반 제재업
(유)태국목재	16101	일반 제재업
(유)태진목재	16101	일반 제재업
(주)가산제일목재	16101	일반 제재업
(주)극동목재산업	16101	일반 제재업
(주)금남목재	16101	일반 제재업
(주)다원씨앤아이	16101	일반 제재업
(주)대덕목재	16101	일반 제재업
(주)대림목재	16101	일반 제재업
(주)대송목재	16101	일반 제재업
(주)대양목재	16101	일반 제재업
(주)대영목재	16101	일반 제재업
(주)대윤산업	16101	일반 제재업
(주)대일임업	16101	일반 제재업
(주)더원우드	16101	일반 제재업
(주)동양리더스	16101	일반 제재업
(주)동양목재	16101	일반 제재업
(주)동우목재산업	16101	일반 제재업
(주)미광목재	16101	일반 제재업
(주)비에스태평	16101	일반 제재업
(주)산수종합목재	16101	일반 제재업

<그림 III-5> 기업관련 Database 구축 전처리 결과

(출처: 저자작성)

2. 목재부산물 산업공생네트워크 인벤토리 구축 방법

(1) 분류기준

① 기업정보를 통한 인벤토리 분류

목재부산물 산업공생네트워크 인벤토리 구축을 위해 <그림 III-4>에서 추출된 기업관련 Database 전처리 결과를 활용하여 구성하였다. <표 III-8>볼 수 있듯이, 지표의 주요항목은 기업명, 표준산업분류코드 및 표준산업분류명 등 세 가지의 Field로 구성하였다.

<표 III-8> 기업관련 정보

기업명	표준산업분류코드	표준산업분류명
(유)남양목재	16101	일반 제재업
(유)대영목재산업	16101	일반 제재업
(유)디에스팀버	16101	일반 제재업
(유)백산목재	16101	일반 제재업
(유)창영목재	16101	일반 제재업
(유)태국목재	16101	일반 제재업
(유)태진목재	16101	일반 제재업
(주)가산제일목재	16101	일반 제재업
(주)극동목재산업	16101	일반 제재업
....		

(출처: 저자작성)

② 목재부산물 및 폐기물 정보를 활용한 인벤토리 분류

목재부산물을 포함한 폐기물 관련 <표 III-5>에서 제시한 폐기물의 종류별 세부분류 및 폐기물의 재활용 유형별 세부분류 결과에 따라 목재부산물의 폐기물 종류를 임목폐목재, 제재부산물, 목재가공공장 부산물 등으로 나눌 수 있었다. 이를, 폐기물의 종류별 재활용 가능 유형별 분야에 따라 <그림 III-2>에서 도출된 결과와 합산하여 <표 III-7>과 같이 분류하였다.

<표 III-9> 폐기물의 재활용 유형에 따른 활용분야 및 업종코드 분류

재활용유형	폐기물 종류	폐기물 유형			목재부산물유형	표준산업분류코드
		폐목재류(51-20)				
		1	2	3		
R-4-2	임목폐목재	O	O	O	임목가공부산물	16300
	제재부산물	O	O	O	재생목재	16231, 16212
					톱밥	16102, 16211 외
					우드칩	16299 외
					원목가공품	16211 외
	목재가공공장부산물	O	O	O	원목가공부산물	16211 외
					원목	16101, 16103 외

(출처: 저자작성)

(2) 구축방법

<표 III-8>과 <표 III-9>에 제시된 기업관련 정보 및 폐기물의 재활용 유형에 따른 활용분야 및 업종코드 분류결과를 중심으로 폐기물정보를 결합함으로써 유의미한 관계를 구축하고자 하였다. 이 두 결과 중, 표준산업분류코드가 동일한 필드임을 확인함으로써, 이 필드를 중심으로 관계의 유사성을 확인하고자 하였다.

부산물 매칭을 위하여 <표 III-8>과 같이 sid Column의 숫자를 구간화하여 구분하였다. 원목(1~7), 원목가공부산물(20~23), 원목가공품(30~33), 톱밥(50~53), 우드칩(60~61), 재생목재(70~71)으로 구간을 나누었으며, 추후 SQL을 활용하여 등록할 경우 Primary Key로 사용할 예정이다.

부산물 유형에 따라 사용가능한 업종은 <표 III-10>에서 확인할 수 있다.

<표 III-10> 부산물 유형 및 활용가능 업종

sid	재활용 유형	목재부산물 유형	표준산업분류코드	표준산업분류명
1	R-4-2	원목	C16101	일반제재업
2	R-4-2	원목	C16292	장식용 목제품 제조업
3	R-4-2	원목	C16103	목재 보존, 방부처리, 도장 및 유사 처리업
4	R-4-2	원목	C16291	목재 도구 및 주방용 나무제품 제조업
5	R-4-2	원목	C16231	목재 깔판류 및 기타 적재판 제조업
6	R-4-2	원목	C16229	기타 건축용 나무제품 제조업
7	R-4-2	원목	C16221	목재문 및 관련제품 제조업
20	R-4-2	원목가공부산물	C16211	박판, 합판 및 유사 적층판 제조업
21	R-4-2	원목가공부산물	C16231	목재 깔판류 및 기타 적재판 제조업
22	R-4-2	원목가공부산물	C16229	기타 건축용 나무제품 제조업
23	R-4-2	원목가공부산물	C16221	목재문 및 관련제품 제조업
30	R-4-2	원목가공품	C16211	박판, 합판 및 유사 적층판 제조업
31	R-4-2	원목가공품	C16232	목재포장용 상자, 드럼 및 유사용기 제조업
32	R-4-2	원목가공품	C16221	코르크 및 조물제품 제조업
33	R-4-2	원목가공품	C16212	표면 가공 목재 및 특정 목적용 제재목 제조업
40	R-4-2	임목가공부산물	C16300	목재문 및 관련제품 제조업
50	R-4-2	톱밥	C16102	기타 건축용 나무제품 제조업
51	R-4-2	톱밥	C16211	강화 및 재생 목재 제조업
52	R-4-2	톱밥	C16299	기타 건축용 나무제품 제조업
53	R-4-2	톱밥	C16212	강화 및 재생 목재 제조업
60	R-4-2	우드칩	C16299	그 외 기타 나무제품 제조업
61	R-4-2	우드칩	C16212	강화 및 재생 목재 제조업
70	R-4-2	재생목재	C16212	강화 및 재생 목재 제조업
71	R-4-2	재생목재	C16231	목재 깔판류 및 기타 적재판 제조업

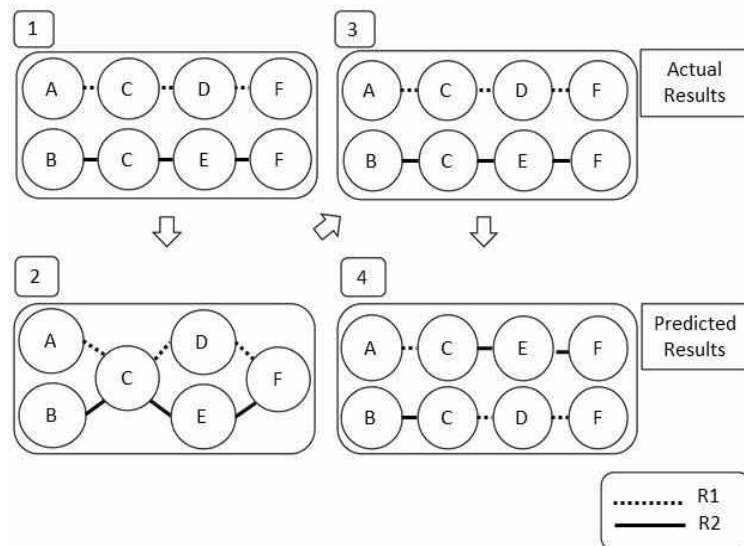
(출처: 저자작성)

3. 온톨로지 기반 알고리즘 개발 방법

(1) 알고리즘 구조 설계 방법

① 매칭 알고리즘 개발

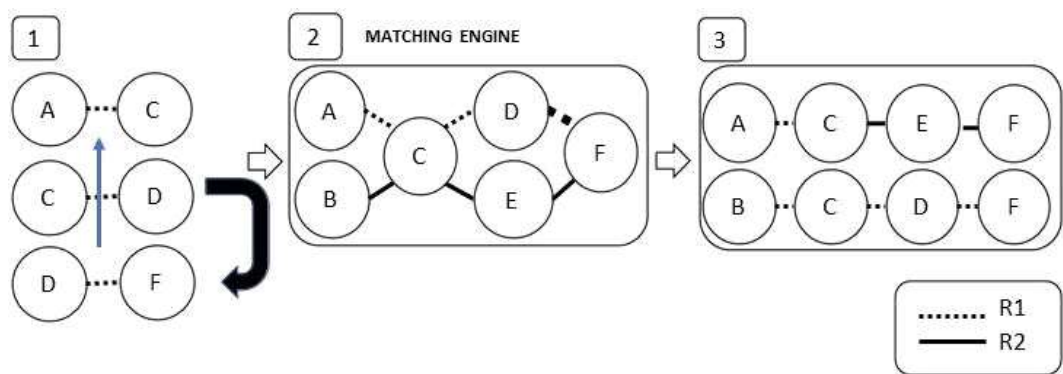
매칭 알고리즘의 구조는 <그림 III-6>의 1번과 같은 형태의 네트워크를 구성하면서 2번과 같이 논리연관관계를 변경하여 예측값(관계)을 찾을 수 있다. A-B-C-D-E-F로 명명된 node들은 R1, R2의 관계로 연결되어 있으며, 1번과 같이 연결관계로 구성되어 있다. C와 F 노드의 경우 각각 한 가지 이상의 노드와 상호작용을 하는 것을 알 수 있으며, 해당 관계를 연결하면 2번의 결과와 같은 것을 알 수 있다. 따라서 직관적인 연결관계에 따라, 결과를 도출하면 3번의 결과를 얻을 수 있으며, 추가로 4번과 같은 결과를 예상해볼 수 있다. 4번의 결과를 검증함으로써 연결관계가 입증되는 자료가 있는 경우, 학습을 통해 관계의 연결강도를 증가시켜 추론에 활용할 수 있다.



<그림 III-6> 매칭 알고리즘 적용 순서

(출처: 저자작성)

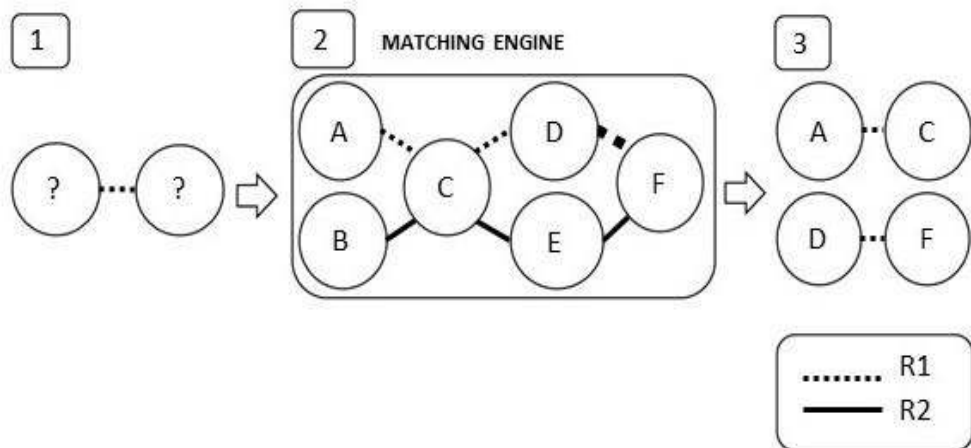
<그림 III-7>의 1번의 과정과 같이 각각의 노드에 정보를 입력하여, 2번의 결과와 같이 매칭엔진의 추론기능을 강화할 수 있다. 추론엔진(Reasoning Engine)이란 이미 알고 있는 전제(Premise)에 근거하여 새로운 결론(Conclusion)을 도출하는 프로그램이다(홍다혜, 2009). 또한, 사례정보를 통해 추론엔진을 강화하여 가능성 있는정보를 추천, 초기에는 3번의 결과와 같은 경로로 추천한 이후, 사례정보가 추가될 경우 네트워크의 가중치가 변경되면서 아래와 같은 경로로 추천된다.



<그림 III-7> 매칭 알고리즘-가중치 부여 엔진

(출처: 저자작성)

<그림 III-8>의 1번 과정은 특정 노드에 Query를 입력하여, 사례정보를 활용하여 추론엔진을 강화함으로써 가능성 있는정보를 추천할 수 있다. 초기에는 2번 과정과 같은 경로로 추천하다가 사례정보가 추가되고 네트워크의 가중치가 변경됨에 따라, 3번과 같은 경로로 추천할 수 있다.

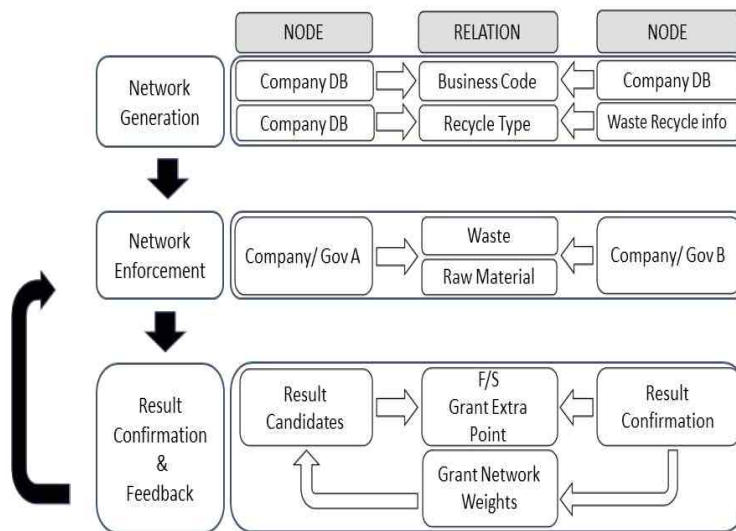


<그림 III-8> 매칭알고리즘- 질의(Query)처리 과정

(출처: 저자작성)

(2) 매칭 알고리즘 개발 방법

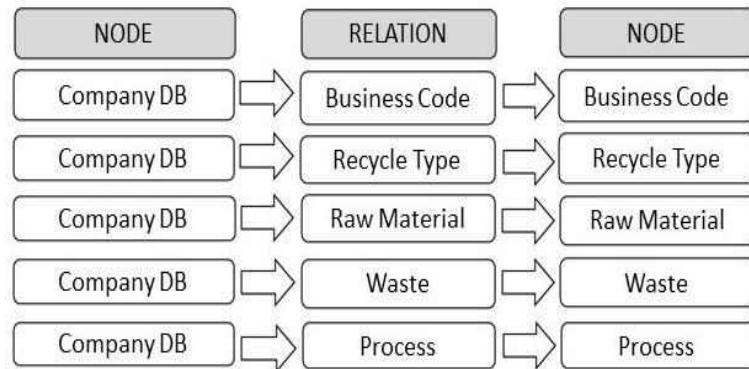
매칭 알고리즘 개발단계는 <그림 III-9>에서 볼 수 있듯이, <네트워크 생성>, <네트워크 강화>, <결과확정 및 피드백>의 3단계로 구성되어 있다. 첫 번째 네트워크 생성단계에서는 목제품 생산기업을 대상으로 구축한 DB와 폐기물 재활용 정보를 업종코드와 연결하여 네트워크를 생성하였다. 네트워크 강화 단계에서는 폐부산물 발생 및 활용 등을 포함하고 있는 폐기물 재활용 정보를 보완하여 네트워크에 반영함으로써 확장하고자 하였다.



<그림 III-9> 매칭 알고리즘 구조- 분류 전

(출처: 저자작성)

<그림 III-9>과 같은 매칭 알고리즘의 구조를 변경한 후, <그림 III-10>과 같이 업종코드, 재활용 유형, 원자재, 폐기물 및 공정 등의 정보를 활용하여 알고리즘 구조를 재분류 및 확장함으로써, 보다 유의미한 연관관계를 갖는 네트워크를 구성하고자 하였다.



<그림 III-10> 매칭 알고리즘 구조- 분류 후

(출처: 저자작성)

Ⅳ. 데이터마이닝 활용 목재부산물 산업공생네트워크 인벤토리 구축

1. 목재부산물 분류 및 데이터베이스 구축

(1) 목재부산물 분류

<표 III-9>에서 제시한 폐기물의 재활용 유형에 따른 활용분야 및 업종코드 분류를 조합하여 목재부산물을 구성하였으며, 목재부산물 산업공생네트워크를 위한 목재부산물 분류는 <표 IV-1>와 같이 구성하였다.

<표 IV-1> 목재부산물 분류(안)

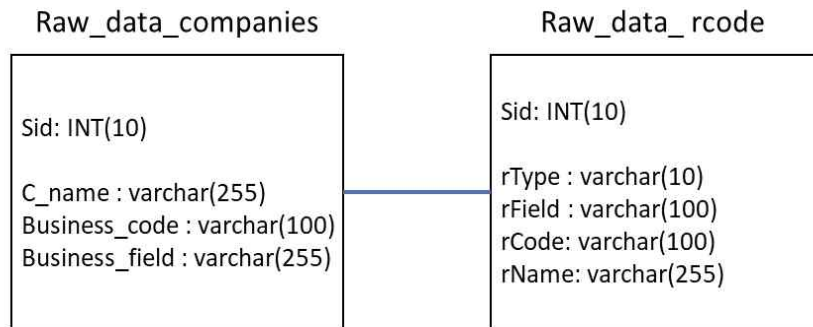
표준산업 분류코드	표준산업분류명	재활용 유형	폐기물 종류	폐기물 유형		목재부산물 유형
				폐목재 여부	51-20-(XX)	
C16101	일반제재업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
C16102	기타 건축용 나무제품 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	톱밥
C16103	목재 보존, 방부처리, 도장 및 유사 처리업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
C16211	박판, 합판 및 유사 적층판 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
C16211	박판, 합판 및 유사 적층판 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	원목가공품
C16211	강화 및 재생 목재 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	톱밥
C16212	표면 가공 목재 및 특정 목적용 제재목 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	원목가공품
C16212	강화 및 재생 목재 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	톱밥
C16212	강화 및 재생 목재 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	우드칩
C16212	강화 및 재생 목재 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	재생목재
C16221	목재문 및 관련제품 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
C16221	목재문 및 관련제품 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
C16221	코르크 및 조물제품 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	원목가공품
C16229	기타 건축용 나무제품 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
C16229	기타 건축용 나무제품 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
C16231	목재 깔판류 및 기타 적재판 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
C16231	목재 깔판류 및 기타 적재판 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
C16231	목재 깔판류 및 기타 적재판 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	재생목재
C16232	목재포장용 상자, 드럼 및 유사용기 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	원목가공품
C16291	목재 도구 및 주방용 나무제품 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
C16292	장식용 목제품 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
C16299	기타 건축용 나무제품 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	톱밥
C16299	그 외 기타 나무제품 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	우드칩
C16300	목재문 및 관련제품 제조업	R-4-2	임목폐목재	폐목재	51-20-01	임목가공부산물

(출처: 저자작성)

(2) 목재부산물 데이터베이스 구축

목재부산물 데이터베이스는 기업정보와, 폐기물 정보를 통해 구축된다. 기업 정보에는 한국기업데이터(주)의 데이터를 통해 수집된 기업명, 표준산업분류 코드 및 표준산업분류명을 포함되었으며, 폐기물정보는 법제처, 환경부 등에서 제공하는 폐기물의 유형, 종류 및 재활용 유형, 그리고 목재부산물의 유형 등이 포함된 목재부산물 관련 정보가 포함되어있다. 데이터마이닝을 통해 전 처리된 기업정보 및 폐기물관련 정보는 MYSQL이라는 DBMS(DataBase Management System)를 활용하여 Server를 구축하였다.

구축된 목재부산물 데이터베이스는 <그림 IV-1>과 같이 기업정보를 저장하는 Raw_data_Companies 테이블, 폐기물 정보를 포함한 Raw_data_code 테이블로 구성되며 <표 IV-2>, <표 IV-3>는 각 테이블을 구성하는 필드에 대한 정보를 제시한다.



<그림 IV-1> 목재부산물 데이터베이스 구성도

(출처: 저자작성)

<표 IV-2> Raw_data_companies 테이블 필드 구성

Field name	information
sid	Raw_data_company 테이블의 인덱스 번호
C_name	기업명
Business_Code	표준산업분류코드
Business_Field	표준산업분류명

(출처: 저자작성)

<표 IV-3> Raw_data_rcode 테이블 필드 구성

Field name	information
sid	Raw_data_rcode 테이블의 인덱스 번호
rType	재활용유형
rField	목재부산물 유형
rCode	표준산업분류코드
rName	표준산업분류명

(출처: 저자작성)

2. 목재부산물 산업공생네트워크 인벤토리 구축

(1) 인벤토리 분류

목재부산물 산업공생네트워크를 구축하기 위한 인벤토리를 구축하기 위해 <표 IV-4>와 같이 7가지의 필드로 분류하였다.

<표 IV-4> 목재부산물 산업공생네트워크 인벤토리 필드구성

Field name	information
기업명	법인명
표준산업분류코드	한국표준산업분류에 제시되어 있는 표준산업분류코드
표준산업분류명	한국표준산업분류에 제시되어 있는 표준산업분류명 ex. 일반 제재업, 제재 및 목재 가공업 등
재활용유형	폐기물 재활용 유형별 세부분류에 따라, R-1~10으로 구성되어 있음
폐기물종류	<표 III-5>에서 도출된 세부분류 결과에 따른 목재폐기물 ex. 임목폐목재, 제재부산물, 목재가공공장 부산물
폐기물유형	<표 III-2>에서 도출된 폐기물 종류 및 유형별 세부분류에 따라 도출된 폐기물 유형이며, 본 연구에서는 폐목재류(51-20-01, 51-20-02, 51-20-03)를 대상으로 한정하였음
목재부산물 유형	<표 III-9>에서 도출된 결과에 따라, 임목가공부산물, 재생목재, 톱밥, 우드칩, 원목가공품, 원목가공부산물, 원목으로 분류됨

(출처: 저자작성)

(2) 인벤토리 구축

목재부산물의 효율적인 분류와, 기업 간 어떤 부산물을 교환할 수 있는지 통합적인 관리를 위해, 인벤토리를 구성하였다. 지표의 주요 항목은 기업명, 표준산업분류코드, 표준산업분류명, 재활용유형, 폐기물 종류 및 유형, 목재부산물 유형 등으로 구성되어 있다. <표 IV-4>는 데이터마이닝을 활용한 기업 정보 수집과 폐기물관련 법률 및 제도를 활용하여 구성하였다.

<표 IV-5> 목재부산물 산업공생네트워크 인벤토리(가나다 순)

기업명	표준산업 분류코드	표준산업분류명	재활용 유형	폐기물종류	폐기물유형		목재부산물 유형
					폐목재 여부	51-20-(XX)	
(유)남양목재	16101	일반 제재업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
(유)네이처우드	16229	기타 건축용 나무제품 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
(유)대경산업	16102	표면 가공 목재 및 특정 목적용 제재목 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	원목가공품
(유)대영목재산업	16101	일반 제재업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
(유)대영합판	16211	박판, 합판 및 유사 적층판 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	원목가공품
(유)덕성	16229	기타 건축용 나무제품 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
(유)디에스탑버	16101	일반 제재업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
(유)럭키우드	16102	표면 가공 목재 및 특정 목적용 제재목 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	원목가공품
(유)백산목재	16101	일반 제재업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
(유)삼신테크	16211	박판, 합판 및 유사 적층판 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	원목가공품
(유)송원이엔지	16229	기타 건축용 나무제품 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
(유)신그린	16231	목재 깔판류 및 기타 적재판 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
(유)에스지우드	16221	목재문 및 관련제품 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
(유)온누리수출포장	16232	목재 포장용 상자, 드럼 및 유사용기 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
(유)우성산업	16231	목재 깔판류 및 기타 적재판 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
(유)전주토산품	16299	그 외 기타 나무제품 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	우드칩
(유)제일환경산업	16102	표면 가공 목재 및 특정 목적용 제재목 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	원목가공품
(유)지승	16232	목재 포장용 상자, 드럼 및 유사용기 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
(유)창영목재	16101	일반 제재업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
(유)태국목재	16101	일반 제재업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
(유)태성목재	16229	기타 건축용 나무제품 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
(유)태진목재	16101	일반 제재업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목
(유)풍경아트	16229	기타 건축용 나무제품 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
(유)한라우드	16212	강화 및 제생 목재 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	톱밥
(유)한솔목재수출포장	16231	목재 깔판류 및 기타 적재판 제조업	R-4-2	목재가공공장부산물	폐목재	51-20-03	원목가공부산물
(유)해머	16102	표면 가공 목재 및 특정 목적용 제재목 제조업	R-4-2	제재부산물	폐목재	51-20-02	원목가공품

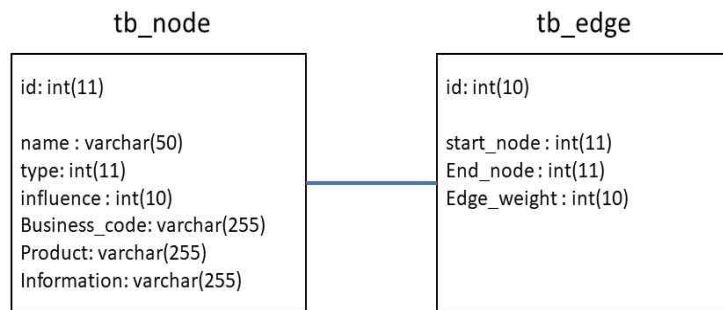
(출처: 저자작성)

3. 목재부산물 산업공생 매칭

(1) 매칭 알고리즘

① 데이터 네트워크 구축

데이터 네트워크를 구축하기 위해, 데이터베이스에 기업명, 업종코드, 표준 산업분류명 등을 Node 테이블에 추가하였으며, 관계로 정의할 수 있는 부분을 Edge 테이블로 구성하였다.



<그림 IV-2> 데이터 네트워크 구축을 위한 데이터베이스 구성도

(출처: 저자작성)

구축된 목재부산물 데이터베이스는 <그림 IV-1>과 같이 기업정보를 저장하는 Raw_data_Companies 테이블, 폐기물 정보를 포함한 Raw_data_code 테이블로 구성되며 <표 IV-5>, <표 IV-6>는 각 테이블을 구성하는 필드에 대한 정보를 제시하였다.

<표 IV-5> tb_node 테이블 필드 구성

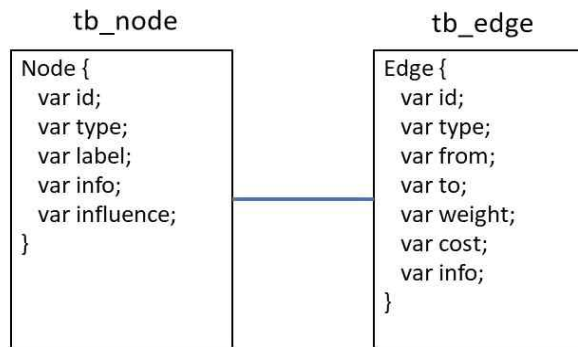
Field name	information
sid	Raw_data_company 테이블의 인덱스 번호
name	기업명
Influence	네트워크 내 노드의 영향력을 평가 및 수량화하는 값
Business_Code	표준산업분류코드
product	대표상품
information	표준산업분류명

(출처: 저자작성)

<표 IV-6> tb_edge 테이블 필드 구성

Field name	information
sid	Raw_data_rcode 테이블의 인덱스 번호
start_node	노드의 출발점
end_node	노드의 종료점
edge_weight	node에 연결된 모든 edge의 갯수

(출처: 저자작성)

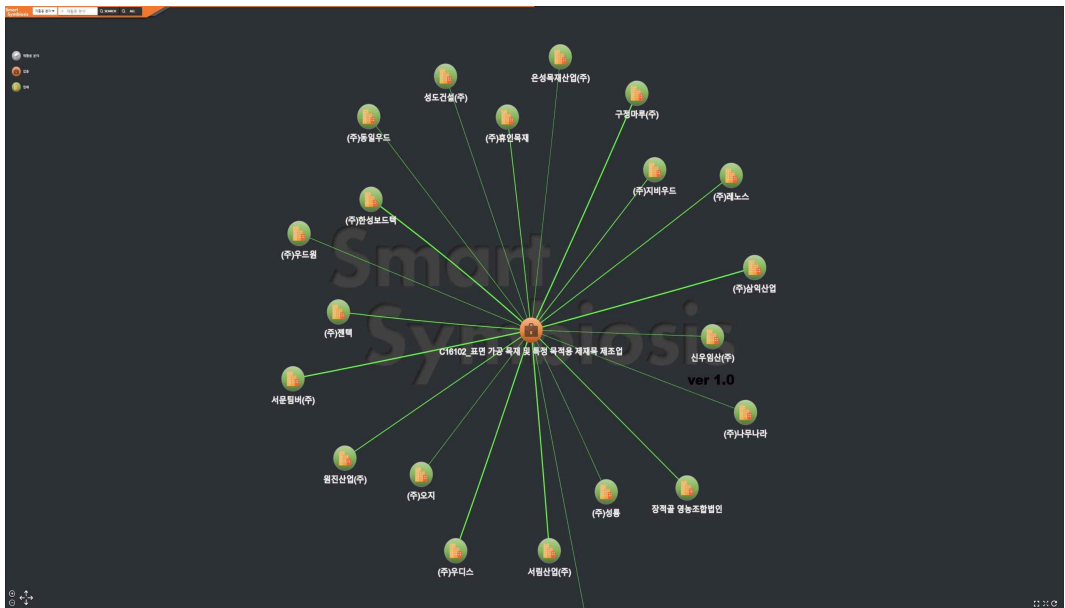


<그림 IV-3> 데이터 네트워크 구축을 위한 알고리즘 구성도
(출처: 저자작성)

<그림 IV-3>과 같이 기업 이름, 폐기물 유형, 기업 코드 등을 node 정보로 추가하고, 업종코드, 재활용 유형, 폐기물 정보 등 관계로 정의할 수 있는 부분을 Edge 정보로 추가하였다. 정의된 node, edge의 정보를 통해 화면을 그래픽으로 출력할 수 있다.

② 데이터 네트워크 강화

<그림 IV-2>와 같이 node 정보에 연결된 Edge의 갯수가 많이 연결될수록, influence 값이 증가하여 시스템에서 형성되는 네트워크의 규모가 커지게 된다. 또한, <그림 IV-3>에서 연결된 edge의 weight, cost 값이 커질수록 크기와 연결관계가 강조됨으로써, <그림 IV-4>와 같이 화면 상에서 node 간의 연결선의 굵기가 굵어지며 우선순위로 작용하는 것을 확인할 수 있다.

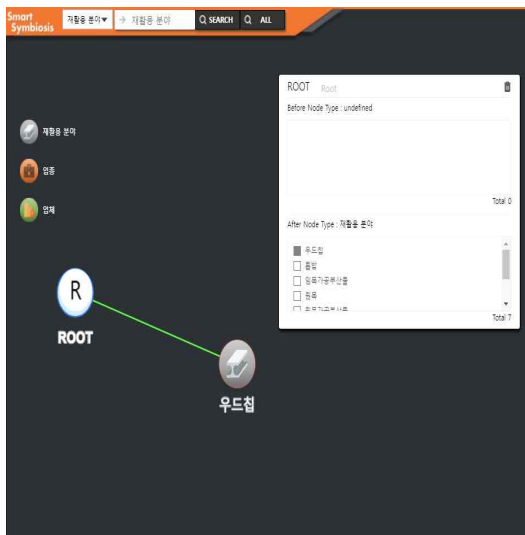


<그림 IV-4> 네트워크 상의 가중치 표현

(출처: Smartsymbiosis1.0)

③ 검색 매칭 알고리즘

화면 상에서 임의의 ROOT 노드를 추가한 후에, edge와 node를 통해 부산물 정보 및 업종코드를 검색할 수 있다. <그림 IV-5>와 같이, Edge정보에는 폐기물 정보가 포함되어 있으며, 추후에 원자재, 폐기물 및 공정정보로 확장할 수 있다. node로 검색하는 경우에는 해당노드의 출력화면 후, 업종코드에 연결할 수 있다.



<그림 IV-5> 부산물 검색화면

(출처: Smartsymbiosis1.0)

업종	업종코드	업종
C16101_일반 제재업	업종	
C16102_표면 가공 ...	업종	
C16103_목재 보존...	업종	
C16211_박판, 합판...	업종	
C16212_강화 및 채...	업종	
C16221_목재문 및 ...	업종	
C16229_기타 건축...	업종	
C16231_목재 깔판...	업종	
C16232_목재 포장...	업종	
C16291_목재 도구 ...	업종	
C16292_장식용 목...	업종	
C16299_그 외 기타...	업종	
C16300_코르크 및 ...	업종	

<그림 IV-6> 업종분야 검색화면

(출처: Smartsymbiosis1.0)

(2) 산업공생 매칭

목재부산물 산업공생네트워크를 위해, 온톨로지 기반의 매칭알고리즘을 활용하여 목재부산물이 어느 업종과 연관성이 있는지, 어떤 방식으로 네트워크가 형성되어 있는지 알아보고자 네트워크를 구축하였다. 부산물과 업종코드에 속한 산업과의 연관성은 <그림 IV-7>과 같은 결과를 보이고 있음을 확인하였다.



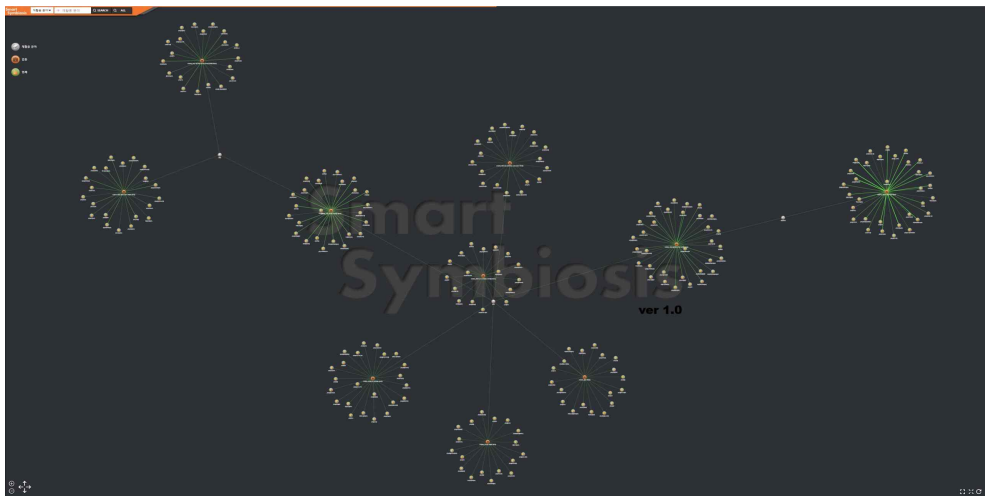
<그림 IV-7> 부산물-업종 간 네트워크

(출처: Smartsymbiosis1.0)

(3) 종합분석 결과

본 연구에서는 국내의 목제품 생산기업을 대상으로 목재부산물 산업공생네트워크를 분석하기 위해 인벤토리를 구축하였다. 인벤토리는 재활용분야, 업종코드, 폐기물 재활용 코드 및 업체명 등 총 4가지로 구성되어 있으며, 이를 효과적으로 활용하기 위해 SmartSymbiosis 1.0을 사용하였다. 이는 탐색 및 강화 알고리즘을 통하여 개발된 네트워크를 활용함으로써 사용자 친화적이고 다차원 분석을 수행할 수 있다. 네트워크의 구축결과는 <그림 IV-7>과 같다.

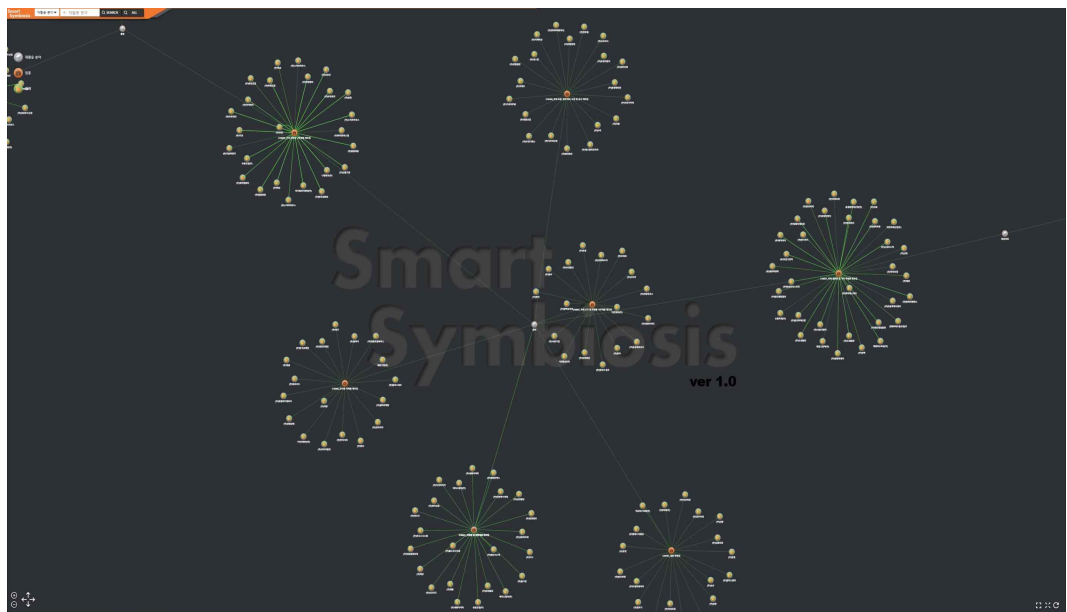
네트워크 분석 결과, 주로 원목부산물을 중심으로 네트워크가 형성되어 있으며, 13개의 업종코드에 속한 총 804개 기업 중 520개 기업(61.46%)이 네트워크에 포함되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 원목부산물을 재활용 할 수 있는 업종 중 <목재 깔판류 및 기타 적재판 제조업(16231)>, <기타 건축용 나무제품(16229)> 등이 각각 재생목재, 톱밥부산물을 중복으로 활용할 수 있는 결과를 보이고 있어, 이 두 업종을 통해 추가로 공생네트워크가 구축되고 있음을 확인할 수 있었다.



<그림 IV-8> 목재부산물 산업공생네트워크 구조도- 전체

(출처: Smartsymbiosis1.0)

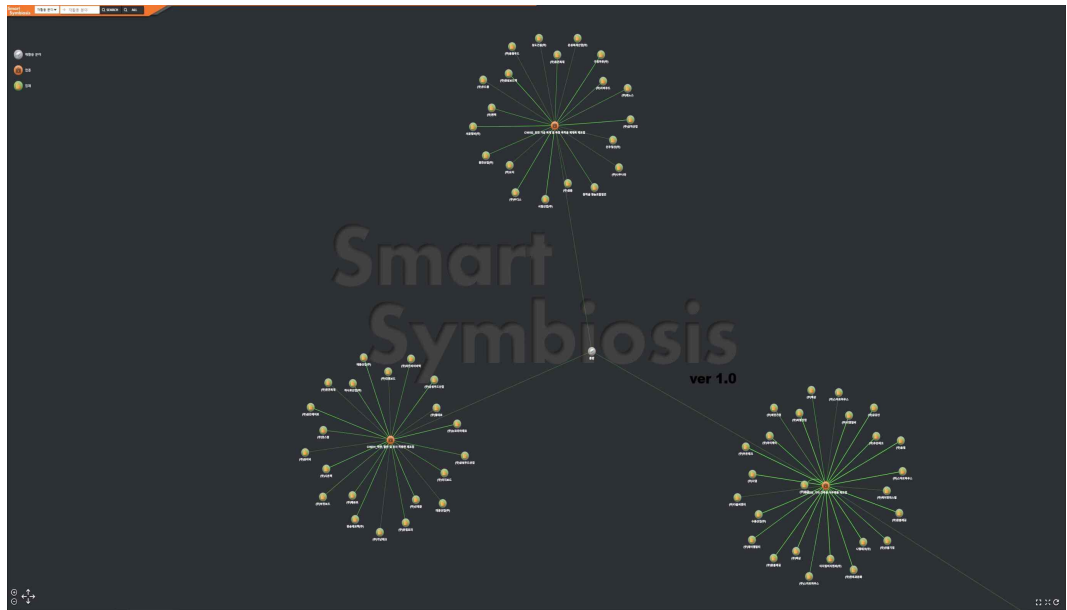
원목부산물을 활용할 수 있는 업종코드 및 네트워크는 <그림 IV-8>과 같은 결과를 보이고 있다. 목재부산물을 활용할 수 있는 업종 중, 가장 큰 규모를 차지하고 있는 원목부산물 영역에서는 <일반 제재업(16101)>, <목재 보존, 방부처리, 도장 및 유사업(16103)>, <목재문 및 관련제품 제조업(16221)>, <기타 건축용 나무제품(16229)>, <목재 깔판류 및 기타 적재판 제조업(16231)>, <목재 도구 및 주방용 나무제품 제조업(16291)> <장식용 목제품 제조업(16292)> 등의 업종이 확인되었으며, 전체의 49.85%를 차지하고 있다.



<그림 IV-9> 목재부산물 산업공생네트워크 구조도- 원목부산물

(출처: Smartsymbiosis1.0)

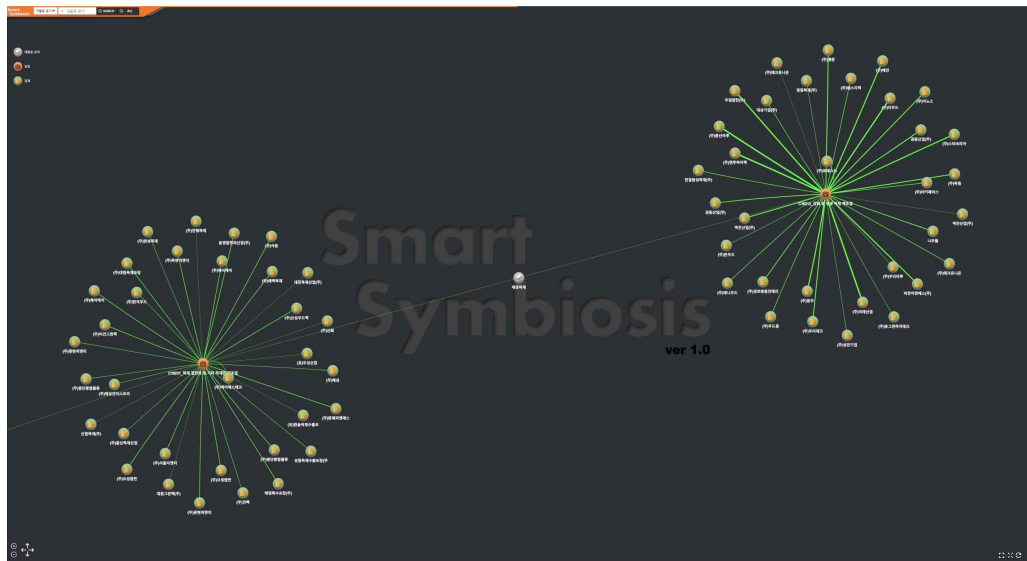
톱밥부산물을 활용할 수 있는 업종은 <그림 IV-9>와 같이 <표면가공목재 및 특정 목적용 제재목 제조업(16102)>, <박판, 합판 및 유사 적층판 제조업(16211)>, <기타 건축용 나무제품 제조업(16229)> 등의 업종이 확인되었으며, 전체 네트워크 비중의 37.32%를 차지하고 있음을 확인하였다.



<그림 IV-10> 목재부산물 산업공생네트워크 구조도- 톱밥부산물

(출처: Smartsymbiosis1.0)

마지막으로 재생목재 부산물을 활용할 수 있는 업종은 <그림 IV-10>와 같이 <강화 및 재생목재 제조업(16212)>, <목재칼판류 및 기타 적재판 제조업(16231)>등의 업종이 확인되었으며, 전체 비중의 12.83%를 차지하고 있음을 확인하였다.



<그림 IV-11> 목재부산물 산업공생네트워크 구조도- 재생목재

(출처: Smartsymbiosis1.0)

4. 토론 및 정책제언

(1) 토론

본 연구에서는 국내에서 목제품 관련 기업들이 어떤 관계를 맺고 있는지, 생산과정에서 배출하는 부산물의 교환이 가능한지에 대한 성질을 확인하고자 하였다. 이를 위해 목재부산물 산업공생네트워크를 위한 인벤토리를 구축함으로써, 목재부산물의 유형에 대해 파악할 수 있었으며, 온톨로지 기반의 매칭 알고리즘을 활용하여 인벤토리의 적절성을 평가하였다.

본 연구에서 활용한 분석방법을 통해 목재산업 뿐만 아니라, 다양한 산업분야 및 다차원적인 ICT(Internet Communication Technology) 분석방법을 적용함으로써 보다 광범위한 산업공생네트워크 구현가능성에 대한 적용가능성을 확인하였다. 선행연구를 통해, 산업공생에 관한 연구는 주로 부산물-기업간의 연관성 및 네트워크분석을 통한 기업간 연결성을 분석하는 경우가 많았음을 확인할 수 있었다. 하지만, 매칭 알고리즘을 활용한 분석을 비롯한 ICT를 활용한 산업공생연구는 아직까지는 연구가 미진하기 때문에, 이를 활용한 집중적인 연구가 필요할 것이다.

(2) 정책제언

국내외를 비롯한 대부분의 기업에서는 폐기물 배출량 및 성분을 공개하지 않아 산업공생을 비롯한 부산물교환조차 제대로 시행되지 않는 사례를 어렵지 않게 찾아볼 수 있다. 현재 국내에서는 올라로시스템이라는 폐기물정보를 제공하고 있으나, 일반인은 접근하기도 어려운 뿐만 아니라, 폐기물의 유형이 세부적으로 구분되어 있지 않아 배출자 입장에서조차 애를 먹고 있다. 이에 폐기물 유형을 세분화하고 배출경로, 처리방법 등을 명시적으로 시각화, 통계화가 가능한 DB가 구축된다면 보다 이상적인 산업공생네트워크의 구축이 가능할 것이다.

V. 결론

1. 결론

본 연구의 목적은 국내의 목재 제품을 생산하는 기업을 대상으로, 생산과정에서 발생하는 목재부산물의 유형, 폐기물 배출유형 및 업종코드 등을 DB화하여 인벤토리를 구축하고, 구축된 인벤토리의 산업공생네트워크 구축 적정성을 검증하기 위해 온톨로지 기반의 매칭 알고리즘을 개발하고, 이를 활용하여 부산물 유형, 업종 간의 연관성을 확인하는 것이다.

이를 위해 국내의 폐목재부산물의 현황, 종류, 재활용기준, 처리방식, 재활용 기술 및 문제점 등의 요인들을 파악하여 목재부산물에 대한 관련 이론을 파악하였다. 또한, 한국기업데이터(주)에 등록되어 있는 기업 중, 통계청의 표준 산업분류에 따라 국내의 목제품 생산기업을 선별하였으며, <폐기물의 종류별 세부분류 및 폐기물의 재활용 유형별 세부분류>표를 활용하여 전반적인 DB를 구축하였다.

우선 선행연구 분석을 통해, 대부분의 공생네트워크에 관한 연구는 원료-부산물 간의 연계성을 확인함으로써 기업 간 공생네트워크를 확인하고자 하는 연구가 주류를 이루었음을 확인했다. 인벤토리의 적절성을 검증하기 위해 온톨로지 기반의 매칭 알고리즘을 활용하여 폐기물 및 목재부산물 유형, 업종 간의 연관성을 확인하고자 하였다.

연구결과, 목재부산물 공생네트워크는 원목부산물을 중심으로 형성된 네트워크의 규모가 가장 컸다는 것이 확인되었으며, 톱밥, 재생목재 부산물을 활용한 업종간의 연관성이 확인됨에 따라, 국내에서는 이 세가지 종류의 목재부산물을 활용한 산업공생네트워크의 형성이 가능한 것으로 확인되었다.

2. 연구의 한계 및 향후 연구과제

본 연구의 목재부산물 공생네트워크를 구현하기 위한 다양한 요인 중 공간적 특성 및 기업별 폐기물 배출량에 따른 가중치는 고려되지 않았으며, 통계청에서 제공하고 있는 표준산업업종분류 중 목제품을 생산하는 기업의 업종코드 및 재활용 분류코드로 한정하여 목재부산물 산업공생네트워크에 대한 구현가능성을 확인하고자 하였다. 또한, 우드펠릿, 목재칩을 활용하는 업종 및 건축현장에서 발생하는 폐목재 등 타 업종에서 발생하는 사례에 대해서도 고려하지 못했다. 또한, 인벤토리의 적절성을 검증하기 위해 온톨로지 기반의 매칭 알고리즘을 활용하여 목재부산물을 활용할 수 있는 대체업종에 대한 연관성은 확인되었으나, 분석변수의 수가 부족하여 네트워크 연결에 대한 신뢰도, 타당성에 대한 분석이 적절히 이루어지지 못하였다.

마지막으로, 본 연구에서는 공간적 요인(위치, 거리 및 지형), 관계적 요인(폐기물업체, 연관기관 및 단체) 및 경제적 요인(산업연관분석, 경제성분석) 등 다양한 요인들은 포함하지 않았다.

향후 연구에서는 공간적 요인과 관계적 요인 및 경제적 요인 등을 포함한 거시적인 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

1. 국내문헌

- 강성중(2013), 디자인에서의 빅데이터 활용 방향에 대한 연구. 한국디자인문화학회지, 19(3), 1-12.
- 강현철 외 4인(2001), SAS Enterprise Miner 4.0을 이용한 데이터 마이닝 - 방법론 및 활용, 자유아카데미, 2001
- 관계기관합동(2007), 폐목재 재활용 활성화 대책
- 김성혁.(2008), RDF/OWL 온톨로지 레파지토리(Ontology Repository) 개발. 정보통신 산업진흥원
- 김인성(2012), "효율적인 온톨로지 검색 및 추론을 위한 인덱스." 국내석사학위논문 명지대학교 일반대학원, 서울
- 국방과학연구소, 정보 융합 방법 및 시스템, 출원번호 10-2013-0109947, 출원일자2013년9월 12일, 등록일자 2015년08월18일
- 국립환경과학원(2007), 폐목재 관리체계 개선 및 재활용 활성화 방안 연구
- 박기환, 박현태, 한혜성 & 이동필. (2011). 육묘산업의 실태와 발전방안. 한국농촌경제 연구원.
- 정숙영·오덕성(2002), "생태산업단지 개념에서 본 계획측면과 세부수법에 관한 연구", 한국생태환경건축학회 논문집, 2(1), p.11-19
- 이민호, 김민성, 이완곤, 박영택.(2020). Spark 데이터프레임을 이용한 대용량 지식 그래프 추론 통합 시스템.정보과학회논문지, 47(12), 1162-1171.
- 이승우(2010), 추론기술 연구동향과 실용적인 추론. 대전: 한국과학기술정보연구원.
- 이영재(2021), "지속가능성 기반 미국 데브스 생태산업단지의 생태산업개발 특성." 국내석사학위논문, 충북대학교
- 이정룡, 박근태, 장홍성(2014), 하둡 기반의 데이터 웨어하우스 구현을 위한 인터랙티브 및 스트림 처리 기술.Telecommunications Review,24(3),357-370.
- 임업연구원(2000), 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안
- 장은경(2021), 목재자원 이용의 생태효율성 연구(기후변화 완화를 위한 탄소저장효과

를 중심으로), 박사학위 논문, 서울대학교

정지영, 임기병, 김지수, 박한민, 양재경(2015), 임산부산물을 이용한 원예용 혼합상토 개발.원예과학기술지, 33(3), 435-442

정재나, 윤여향(2016), 목재가구 부산물(副産物)을 활용한 가구디자인 연구. 한국가구 학회지, 27(1), 15-25

주식회사케이티, 게놈 온톨로지의 자동 구축 방법 및 장치, 출원번호 10-2013-0163623, 출원일자2013년12월26일, 등록일자 2016년04월15일

국방과학연구소, 정보 융합 방법 및 시스템, 출원번호 10-2013-0109947, 출원일자 2013년9월12일, 등록일자 2015년08월18일

최정석(2004), “산업의 녹색화론, 산업생태학”, 환경사회학연구 ECO, 2004, 6, p.166-185

최재진, 문승권(2012), 폐목재의 활용을 위한 기술동향 분석 및 경량잔골재로서의 활용방안에 관한 연구, 한국건설순환자원학회

홍다혜(2009), 유비쿼터스 환경에서의 규칙기반 상황추론엔진, 국내석사학위논문 성균관대학교 일반대학원, 서울

한국정보통신기술협회(TTA), 정보통신용어사전

환경부(2006), 비소계 비목재 방부제(CCA) 통합적 위해성 평가기술 개발

환경부(2011), 폐목재 재활용제도 선진화 방안 마련 연구

2. 국외문헌

Álvarez, R., & Ruiz-Puente, C. (2016). Development of the Tool SymbioSyS to Support the Transition Towards a Circular Economy Based on Industrial Symbiosis Strategies. Waste and Biomass Valorization, 8(5), 1521 - 1530.

Ayres Robert U.(1989), “Industrial Metabolism”, Technology and Environment, p.23-49

Cecelja, F., Raafat, T., Trokanas, N., Innes, S., Smith, M., Yang, A., ... & Kokossis, A. (2015). e-Symbiosis: technology-enabled support for industrial symbiosis targeting SMEs and innovation. Journal of Cleaner Production, 98, 336-352.

Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: literature and taxonomy. Annual

- review of energy and the environment, 25(1), 313-337.
- Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual review of energy and the environment*, 25(1), 313-337.
- Chertow, M. R. (2007). "Uncovering" industrial symbiosis. *Journal of industrial Ecology*, 11(1), 11-30.
- Chertow, M. R., Ashton, W. S., & Espinosa, J. C. (2008). Industrial symbiosis in Puerto Rico: Environmentally related agglomeration economies. *Regional studies*, 42(10), 1299-1312.
- Fraccascia, L., Albino, V., & Garavelli, C. A. (2017). Technical efficiency measures of industrial symbiosis networks using enterprise input-output analysis. *International Journal of Production Economics*, 183, 273-286.
- Hardy, C., & Graedel, T. E. (2002). Industrial ecosystems as food webs. *Journal of industrial ecology*, 6(1), 29-38.
- Jelinski, L. W., Graedel, T. E., Laudise, R. A., McCall, D. W., & Patel, C. K. (1992). Industrial ecology: concepts and approaches. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89(3), 793-797.
- Nugraha, J. A. M. (2019). Medicine Inventory Grouping using Clustering Data Mining. *Indonesian Journal of Information Systems*, 2(1), 33-44.
- Shen, C. W., Lee, H. C., Chou, C. C., & Cheng, C. C. (2011). Data Mining the Data Processing Technologies for Inventory Management. *J. Comput.*, 6(4), 784-791.
- Trokanas, N., Raafat, T., Cecelja, F., & Kokossis, A. (2013). OFIS - ontological framework for Industrial Symbiosis. In *Computer aided chemical engineering* (Vol. 32, pp. 523-528). Elsevier.
- Trokanas, N., Cecelja, F., & Raafat, T. (2014). Towards a re-usable ontology for waste processing. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 33, pp. 841-846). Elsevier.
- Wahrlich, J., & Simioni, F. J. (2019). Industrial symbiosis in the forestry sector: A case study in southern Brazil. *Journal of Industrial Ecology*, 23(6), 1470-1482.
- Wolf, A., & Petersson, K. (2007). Industrial symbiosis in the Swedish forest

- industry. Progress in Industrial Ecology, An International Journal, 4(5), 348. doi:10.1504/pie.2007.015616
- Yang, Q., Zuo, C., Liu, X., Yang, Z., & Zhou, H. (2020). Risk response for municipal solid waste crisis using ontology-based reasoning. International journal of environmental research and public health, 17(9), 3312.
- Zander, S., Trang, S., & Kolbe, L. M. (2016). Drivers of network governance: a multitheoretic perspective with insights from case studies in the German wood industry. Journal of Cleaner Production, 110, 109–120.

3. 웹사이트

- 목재재활용협회, <http://woodrecycling.or.kr/> (2022년 1월 9일 접속)
- Springboard, <https://www.springboard.com/library/data-science/data-mining/> (2022년 1월 10일 접속)
- 법제처, <https://www.moleg.go.kr> (2022년 1월 9일 접속)
- 통계청, <https://kostat.go.kr/portal/korea/index.action> (2022년 1월 10일 접속)
- 자원순환정보시스템, <https://www.recycling-info.or.kr/rrs/main.do> (2022년 1월 9일 접속)

4. 기타

- 국가청정생산지원센터, 2019, 청정생산개론

감사의 글

논문제출을 앞두고 2년간의 길고도 짧았던 학교생활을 돌이켜보니, 감사를 드려야 할 분들이 너무나도 많습니다.

우선, 저의 보잘 것 없고 미약한 재능이 희망이 될 수 있게 도와주신 반영운 교수님께 무한한 감사의 말씀을 드립니다. 논문을 쓰는 기간 동안, 바쁘신 와중에도 늘 조언해주시고 격려해주시고 원만하게 논문을 쓸 수 있게 도움을 주신 이재권 교수님께도 감사의 말씀을 전합니다. 그리고 항상 세심한 조언을 해주신 백종인 박사님께도 감사의 말씀을 드립니다. 지도학생이 아닌데도 불구하고, 질문드릴 때 마다 언제나 정답을 주셨던 정상규교수님, 대학원 생활을 하면서 더 성장할 수 있게 큰 도움을 주신 정재호 선생님께도 대단히 감사드립니다. 덕분에 또 한번 성장할 수 있는 계기가 되었습니다. 그리고 대학원 초반에 방황하던 길을 명확하게 잡아주신 박군배 선배님께도 감사드립니다.

공부한다는 핑계로 수년간 연락도 못했지만, 인생의 절반을 함께한 순일, 영병, 태완, 동찬, 철민, 진수에게도 고맙다는 말 전하고 싶습니다. 그리고 온갖 넋두리를 다 받아준 병업이에게도 고맙다고 전하고 싶습니다. 대학생활 초반에 뭘 해야할지 모르고 헤메고 있을 때 수많은 조언을 해준 홍림이에게도 고마움을 전하고 싶습니다.

청주충북환경운동연합에서 활동할 당시, 환경에 대해 무지한 환경세포 상태에서 환경어린이로 만들어주신 진정한 환경인 이성우 사무처장님께도 감사드립니다. 덕분에 환경문제에 대해 항상 예의주시할 수 있는 사고를 가지고, 보다 넓은 시각으로 세상을 바라볼 수 있게 되었습니다.

자주 만나지 못하지만 늘 보고싶은 형제들에게도 감사함을 전합니다. 나의 롤모델인 명회형께도 감사를 전합니다. 전 언제쯤 형님처럼 위대한 학자가 될 수 있을까요... 너무 보고 싶습니다. 만날 때 마다 너무 재미있는 병하에게도 늘 고마워하고 있습니다. 머리가 여물어질 때부터 우리는 항상 함께인 것 같습니다. 앞으로도 오래오래 갔으면 좋겠습니다.

마지막으로 대학원에 있는 동안 믿고 기다려주신 부모님께도 감사드립니다. 항상 사랑합니다.