제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "**건축물 리모델링 과정의 석면함유자재 처리 비용 및 온실가스 배출량 평가 프로그램 개발**"과제의 보고서로 제출합니다.

2015. 05. 11.

주관연구기관명 : 경북대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 홍 원 화

연구원 : 이 동 은

연구원 : 원 안 나

연구원 : 이 상 복

연구원 : 김 영 찬

연구원 : 장 원 룡

연구원 : 홍 윤 기

연구원 : 김 수 영

연구원 : 백 승 찬

공동연구기관명 : (주)금탑건설

공동연구기관명 : (주)영진이앤씨

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>12첨단도시C20</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2012.04.10. ~
2015.02.09.</td><td>단 계 구 분</td><td>(해당단계)/
(총 단 계)</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">첨단도시개발사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">건축물 리모델링 과정의 석면함유자재 처리 비용 및 온실가스 배출량 평가 프로그램 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>홍 원 화</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 9명
내부 : 7명
외부 : 2명</td><td>총연구비</td><td>정부: 413,000천원
기업: 147,000천원
계: 560,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">경북대학교 산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">KTC(금탑건설)
(주)영진이앤씨</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>xxvii, 367</td></tr>
<tr><td colspan="6">1차년도: 건축물 내 석면함유자재 발생량 DB 구축
- 기 문헌연구를 통한 건축물 내 석면함유 자재 종류 및 위치 파악, 현장조사를 통한 석면함유 자재 종류 및 위치 파악, 석면함유 자재 철거 시 발생할 석면자재의 발생량 조사, 건축물 용도별 석면자재 발생량 원단위 DB구축

2차년도: 석면함유자재 해체·제거 시 비용 및 온실가스 배출량 원단위 DB 구축
- 건축물 리모델링 과정에 투입되는 주요 자재 항목 도출, 리모델링 과정에 투입되는 주요 자재 소요량 산출, 장비조합에 의한 에너지원/에너지소비량 분석, 석면함유 자재 철거에 따른 단계별 에너지소비량 도출, 에너지소비에 의한 온실가스 배출량 분석, 리모델링 과정 단계별 단위면적당 온실가스 배출량 원단위 도출, 장비조합에 의한 비용 분석, 리모델링 과정에 따른 단위면적당 비용 원단위 도출

3차년도: 석면함유자재 해체·제거 시 비용 및 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발
석면함유자재 해체제거 전과정 및 단계별 비용 및 온실가스 배출량 평가를 위한 알고리즘 개발 , 프로그램 시작품 개발, 프로그램 적용성 검토, 프로그램 수정·보완 후 개발 완료</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">석면, 해체제거, 비용, 온실가스, 프로그램</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">asbestos, dismantling, cost, GHG, program</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제목: 건축물 리모델링 과정의 석면함유자재 처리 비용 및 온실가스 배출량 평가 프로그램 개발

◇ 건축물 석면함유자재 발생량 원단위 DB 구축
◇ 석면함유자재 해체제거 시 비용 및 온실가스 배출량 원단위 도출
◇ 건축물 석면함유자재 해체·제거 비용 및 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요

◇ 본 연구의 최종 목적: 석면함유 건축물 리모델링 과정 석면함유 자재 해체·철거 시 장비 사용에 따른 비용 및 온실가스 평가 프로그램 개발

◇ 연구개발의 필요성:

- 최근 석면함유 건축자재의 위해성이 널리 인식되어 왔고 2009년 2월 산업안전관리법이 개정되면서 석면사용이 전면 금지됨에 따라 효과적인 유지, 관리와 효율적인 철거, 해체의 문제가 대두되고 있다.

- 현재 국내에는 건축물 유지관리 단계에서 리모델링 과정에 대한 CO_2 및 비용에 대한 평가는 건설자재의 소요물량을 기반으로 계획단계에서 평가가 가능한 건축물 전과정 프로그램에 관한 연구 개발이 이루어진 상태며, 단일 건축물에 대한 리모델링 과정에서의 CO_2 평가 및 비용 평가에 관한 연구들이 다수 수행되어 왔다. 그러나 석면함유 제품과 같은 일반 건설자재와는 성격이 다른 지정폐기물인 석면함유 건설자재의 철거에 따른 소요비용 및 온실가스 배출량 평가는 석면함유 건축자재의 LCI DB 부족과 석면관련 평가요소에 대한 정보의 부족으로 평가가 용이하지 않은 실정이다.

- 환경 선진국에서는 각 국의 환경에 부합하는 건축물 관리 프로그램의 개발 연구가 활발한 편이고 일반건설폐기물 해체 전에 석면함유건축자재의 해체, 제거가 법률적으로 규정되어 석면함유건축자재의 적정처리를 위한 관리프로그램 개발의 필요성이 높아지고 있지만 관련 연구가 전무하였다.

- 따라서 정책입안자, 시구청 관계자, 석면해체업자, 일반인 등에게 석면함유건축자재의 정보를 가시적으로 전달하고 중장기적인 석면함유건축자재의 효과적인 유지관리와 안전한 해체, 제거를 위하여 지구단위 관리 프로그램을 개발하는데 그 목적을 두었다. 건축물 내에 사용된 석면함유자재로는 석면슬레이트, 텍스, 밤라이트, 뿜칠재, 바닥재, 가스켓(건축

설비재) 등이 있는데 텍스와 석면슬레이트의 분포가 가장 높은 비율을 차지한다는 점에서 본 연구에서는 텍스와 석면슬레이트를 기준으로 진행하였다.

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

◇ 건축물 석면함유자재 발생량 원단위 DB 구축
- 문헌연구를 통한 건축물 내 석면함유 자재 종류 및 위치 파악
- 현장조사를 통한 석면함유 자재 종류 및 위치 파악
- 석면함유 자재 철거 시 발생할 석면자재의 발생량 조사
- 건축물 용도별 석면자재 발생량 원단위 DB구축

◇ 석면함유자재 해체제거 시 비용 및 온실가스 배출량 원단위 도출
- 건축물 리모델링 과정 주요 투입 자재 항목 조사
- 석면함유 자재 해체·제거 시 에너지소비량 도출
- 리모델링 과정 온실가스 배출량 원단위 도출
- 리모델링 과정 처리비용 원단위 도출

◇ 건축물 석면함유자재 해체제거 비용 및 온실가스 배출량 산정 프로그램 개발
- 석면함유자재 해체·제거 비용 및 온실가스 배출량 평가를 위한 알고리즘 개발
- 프로그램 시작품 개발
- 프로그램 적용성 검토
- 프로그램 수정, 보완 후 개발 완료

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

◇ 현장조사를 통한 석면함유 자재 종류 및 위치 DB 확보
- 문헌연구를 통한 석면함유자재 종류 및 위치파악 완료, 건축물 석면함유자재 list 도출
- 건축물 내 석면함유 자재의 용도 및 구성재료, 석면함유량 DB확보

◇ 건축물 석면함유자재 발생량 원단위 DB구축
- 전국적인 석면슬레이트 분포현황 및 발생량 DB 구축
- GIS를 이용한 DB의 시각화 확보
- 건축물의 용도별, 구조별, 석면함유자재별 발생 원단위 DB 구축
- 건축면적에 따른 석면자재 발생량 산정식 도출

◇ 석면함유자재 해체·철거 에너지소비량 도출
- 석면함유자재 해체·철거 과정에 투입되는 주요자재 항목 도출
- 석면함유자재 해체·철거 과정 단계 분류 및 사용장비 인벤토리 구축
- 장비조합에 의한 에너지원/에너지소비량 분석
- 석면함유자재 해체·철거 시 장비사용에 따른 에너지 소비량 원단위 도출

◇ 석면함유자재 해체·철거 온실가스 발생량 및 비용 원단위 도출
- 에너지소비에 의한 온실가스 배출량 분석
- 석면함유자재 해체·철거 단계별 온실가스 배출량 원단위 도출
- 장비조합에 의한 비용분석
- 석면함유자재 해체·철거 단계별 비용 원단위 도출

◇ 비용 및 온실가스 방출량 산정 프로그램 알고리즘 개발
- 온실가스/비용 평가요소 도출 및 알고리즘 도출
- Shape File 구조설정 및 프로그램 메뉴 설정
- 프로그램 시작품 개발

◇ 프로그램 현장 검증 및 개발 완료
- 현장조사 결과 비교를 통한 오차분석
- 전문가 검증을 통한 프로그램 수정 및 보완
- 프로그램 현장 적용

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

· 건축물 석면 및 리모델링 법령 분석
· 석면 및 연구방법론 관련 논문 및 보고서 조사/분석
· 리모델링 관련 논문 및 보고서 조사/분석
· 기 문헌연구를 통한 석면함유 자재종류 파악
· 석면관련 법규상 석면함유 자재 및 종류 파악
· 각 석면함유 부재별 특성 파악
· 건축물 철거, 해체 시 발생하는 석면 발생량 조사
· 건축물 용도별, 리모델링 과정 석면 발생량 조사
· 철거, 해체, 리모델링 시 석면 발생량 분석
· 석면자재 발생량 DB화
· 건축물 용도별 석면자재 발생량 DB구축
· 리모델링 과정 석면자재 발생량 DB구축
· 석면함유 건축자재 철거, 해체 시 각 단계별 에너지소비량 산정으로 단계별 사용되는 장비조합에 따른 온실가스 발생량 산정
· 석면함유 건축자재 철거, 해체 전과정 및 단계별 에너지소비량 DB 확보
· 석면함유 건축자재 해체, 제거 시 각 과정별 주요 투입자재 항목별 DB 확보
· 석면함유 건축자재 해체, 제거 시 투입자재의 항목별 소요량 DB 산출
· 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정에서의 에너지소비량 및 온실가스 배출량 원단위 확보를 통한 투입장비에 따른 장비조합/사용시간 산정
· 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정 에너지 소비에 따른 온실가스 배출량 원단위 DB 산출
· 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정 및 단계별 비용 종합분석

· 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정 및 단계별 온실가스 발생량 및 비용 평가를 위한 알고리즘, 미들웨어 및 시작품 개발
· 프로그램 시작품 검증 및 수정 보완
· 프로그램 적용성 검토

Ⅵ. 연구성과 활용계획

○ 국가적 측면
- 건축물 유지관리 과정에서 추가적으로 발생할 CO_2 배출량과 생애주기 비용을 산출함으로써 정부의 2020년 BAU 대비 온실가스 감축 목표 달성을 위한 정부/지자체의 건설부문 온실가스 배출량 예측과 평가의 기초자료로 적극 활용

○ 지역적 측면
- 지자체별로 건축물에서 발생할 지정폐기물의 발생량 파악과 처리비용 산정 자료로 활용

○ 사회적 측면
- 석면함유 자재의 분포 특성 및 발생량에 대한 DB 확보를 통해 보건·위생적인 측면에서 건축물의 안전성 평가지료로 활용

○ 산업적 측면
- 석면피해로 인한 건축물 안전 및 보건에 관한 전문인력 양성
- 재건축 및 리모델링 관련 산업 육성
- 건설구조물 유지관리 단계에서의 탄소배출량 및 환경부하 평가 지침의 일부 자료로 활용

SUMMARY

Ⅰ. Subject : Program development for the assessment of asbestos-containing material disposal cost in the structure remodeling process and green house gas emission

◇ Establish database on the amount of asbestos-containing construction materials by unit requirement
◇ Estimate the decommissioning and removal cost of asbestos-containing materials and GHG emission amount by unit requirement
◇ Develop a program estimating the decommissioning and removal cost of asbestos-containing materials and GHG emission amount

Ⅱ. Research and Development Plan Overview

◇ Ultimate research goal : Develop a program that assesses GHG emission and the cost of asbestos-containing material decommission and removal in the asbestos-containing structure remodeling process according to the use of different equipment

◇ Research necessity :

- The risk of asbestos-containing construction materials has been broadly recognized in South Korea recently. With the February 2009 amendment of the national Occupation Safety and Health Act, the use of asbestos has been completely prohibited. Against this backdrop, effective asbestos-containing material maintenance, removal and decommissioning have been increasingly discussed.

- As of now, in the country, the research and development efforts on the CO_2 emission and cost assessment in the structure remodeling process of structure maintenance stage have been made over a program capable of assessing the entire construction processes in the designing stage based on the required construction material amount. Along with this, multiple other studies have been conducted on CO_2 emission assessment and cost assessment in a single structure remodeling process. However, asbestos-containing products are different from other general construction materials in their nature and they are designated waste. For this reason, there is only insufficient LCD database on such asbestos-containing materials and information on asbestos-related assessment factors. So it is not easy to estimate the cost of asbestos

material decommissioning and its GHG emission amounts.

- States with advanced environmental protection systems have researched actively to develop structure management programs suitable for their own environmental situations. They control by law the decommissioning and removal of asbestos-containing construction materials before the dismantlement of other normal construction waste, raising the need to develop such a program. However, there has been no study in this regard.

- In this situation, this study seeks to provide more visible information on asbestos-containing construction materials to Si/Gu Office officials, asbestos removing staff and general public while developing a district-specific architectural structure management program for effective asbestos-containing material maintenance for mid to long term and its safe decommissioning and removal. Asbestos-containing materials used in construction include asbestos cement slate, tex, bamlite, restrictive material, flooring material, gasket (construction facility material), etc. Of them, tex and asbestos slate account for the highest portion. In this aspect, this study was performed centering on tex and asbestos slate.

Ⅲ. Research and Development Performance and Findings

◇ Establish database on the amount of asbestos-containing construction materials by unit requirement
- Literature review to identify the types and locations of asbestos-containing materials in structures
- On-the-site investigation to identify the types and locations of asbestos-containing materials
- Investigate the estimated amount of asbestos-containing materials in asbestos-containing material decommissioning
- Establish database on the amount of asbestos-containing materials according to the purposes of building use

◇ Estimate the decommissioning and removal cost of asbestos-containing materials and GHG emission amount by unit requirement
- Investigate main material input items in a building remodeling process
- Produce energy consumption in decommissioning and removing asbestos-containing materials
- Produce GHG emission amount by unit requirement in the remodeling process

- Produce the disposal cost by unit requirement in the remodeling process

◇ Develop a program estimating the decommissioning and removal cost of asbestos-containing materials and GHG emission amount
- Develop an algorithm to assess the asbestos-containing material decommissioning/removal cost and GHG emission amount
- Develop a program prototype
- Test program applicability
- Complete the development after program modification and improvement

Ⅳ. Final research achievement and application

◇ On-the-site investigation to identify the types and locations of asbestos-containing materials
- Complete to identify asbestos-containing material types and locations based on literature review and produce a list of asbestos-containing materials in architectural structures
- Build database on the purposes of use and composition of asbestos-containing materials in structures as well as their asbestos contents

◇ Establish database on the amount of asbestos-containing materials in structures
- Establish database on the nationwide asbestos slate distribution status quo and its amount
- Visualize the database based on GIS
- Establish database on the amounts by unit requirement according to the purposes of building use, building structures and asbestos-containing materials
- Form an equation to produce the amount of asbestos materials according to building areas

◇ Produce energy consumption in decommissioning and removing asbestos-containing materials
- Produce main input material items used in the asbestos-containing material decommissioning and removal process
- Classify phases of the asbestos-containing material decommissioning and removal process and establish inventory of utilized equipment thereof
- Analyze energy source/energy consumption for each equipment combination
- Produce energy consumption by unit requirement according to equipments in the asbestos-containing material decommissioning and removal process

◇ Produce GHG emission amount and cost by unit requirement in the remodeling process

- Analyze GHG emission amount due to energy consumption
- Produce GHG emission in each phase of the asbestos-containing material decommissioning and removal process
- Analyze cost for each equipment combination in use
- Produce cost by unit requirement of each phase of the asbestos-containing material decommissioning and removal process

◇ Develop an algorithm to assess cost and GHG emission amount
- Identify GHG/cost assessment factors and the algorithm thereof
- Configure the Shape File structure and program menu setting
- Develop a program prototype

◇ On-the-site program test and development completion
- Error analysis by comparing the on-the-site investigation results
- Modify and improve the program via test by expert
- Apply the program in the field

Ⅴ. Research purpose achievement and effectiveness

- Analyze laws on architectural structure asbestos and remodeling
- Investigate/analyze asbestos and research methodology-related papers and reports
- Investigate/analyze remodeling-related papers and reports.
- Identify asbestos-containing material types based on literature review.
- Identify asbestos-containing material types recognized by the asbestos-related laws
- Identify the characteristics of each asbestos-containing subsidiary materials.
- Investigate asbestos amount generated in building demolishment/dismantlement process
- Investigate asbestos amount generated according to the purposes of building use and remodeling process
- Analyze asbestos amount generated in demolishment, dismantlement and remodeling
- Establish database on asbestos material amounts generated
- Establish database on asbestos material amounts generated according to the purposes of building use
- Establish database on asbestos material amounts generated in the remodeling process
- Estimate GHG emission amount according to the combinations of equipments used in each stage of asbestos-containing construction material decommissioning and removal based on stage-specific energy consumption estimation
- Establish database on the entire processes of asbestos-containing construction material decommissioning and removal process as well as stage-specific energy consumption amounts

- Establish database on the main input material items of the asbestos-containing construction material decommissioning and removal process
- Produce database on input material item-specific required amounts in the asbestos-containing construction material decommissioning and removal process
- Estimate equipment combination/duration of use for each equipment in use based on the production of energy consumption and GHG emission by unit requirement in the whole asbestos-containing construction material decommissioning and removal process
- Produce database on GHG emission by unit requirement according to energy consumption in the whole asbestos-containing construction material decommissioning and removal process
- Analyze comprehensively the cost of the whole asbestos-containing construction material decommissioning and removal process and stage-specific cost
- Develop an algorithm, middleware and prototype to assess GHG amount generated and cost in the while asbestos-containing construction material decommissioning and removal process and stage-specific amount and cost
- Test, modify and improve the program prototype.
- Test program applicability

Ⅵ. Research achievement application plan

○ National level

- To be actively utilized as the basic material for the national government to estimate and assess central/local government construction-sector GHG emissions in order to achieve its GHG reduction goal in 2020 in terms of BAU as the research helps estimate the life cycle cost and additional CO_2 emission to be generate in building maintenance process

○ Regional level

- To be utilized by each local government in estimating designated waste amount and the disposal cost thereof to be generated in buildings

○ Social level

- To be used as a building safety assessment reference in terms of public health and sanitation by providing database on the characteristics of asbestos-containing material distribution and their amounts

○ Industrial level

- Help cultivate specialized personnel on building safety and public health in relation to

asbestos damages

- Help nurture re-construction and remodeling-related industries
- To be utilized as part of the assessment guidelines for CO_2 emission and environmental load assessment in the building maintenance stage

CONTENTS

Chapter 1 Research Development Overview 1

1.1 Ultimate Research Development Purpose 1
1.2 Chronological Research Development Plan and Performance Goals 3
1. Research Goals and Details 3
2. Chronological Quantitative Performance Goals 5
1.3 Technology Development Status of Relevant Domestic and Foreign Areas 6
1. Domestic Technology and Industry Trends 6
2. Foreign Technology and Industry Trends 7
1.4 Distinctiveness from Other Research Development Results 8

Chapter 2 Research Development Process and Results 10

2.1 Research Development Result Summary 10
2.2 Research Development Highlight 13
1. 1st-year Research Performance 14
2. 2nd-year Research Performance 24
3. 3rd-year Research Performance 56

Chapter 3 Research Achievement and Application 68

3.1 List of Main Research Development Achievements 68
3.2 Main Achievement Details 69
3.3 Research Achievements 77

Chapter 4 Research Goal Achievement and Effectiveness ·· 84

4.1 Research Development Schedule ····· 84
4.2 Research Development Goal Achievement Status ····· 85
4.3 Anlysis on Research Development Achievement Effectiveness ····· 86

Chapter 5 Research Achievement Application and Necessity for Follow-up ····· 87

5.1 Plan to Apply Research Achievements ····· 87
5.2 Necessity for Follow-up Research ····· 89

Chapter 6 Research Development Details ····· 90

Chapter 7 Reference ····· 359

목 차

제1장 연구개발과제 개요 ····· 1

1.1 연구개발의 최종목적 ····· 1
1.2 연차별 연구내용 및 성과목표 ····· 3
1. 연구목표 및 내용 ····· 3
2. 연차별 정량적 성과목표 ····· 5
1.3 국내외 관련분야 기술개발 현황 ····· 6
1. 국내 기술 및 산업 동향 ····· 6
2. 국외 기술 및 산업 동향 ····· 7
1.4 기존 연구개발결과와의 차별성 ····· 8

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 10

2.1 연구개발결과 요약 ····· 10
2.2 연구개발 주요내용 ····· 13
1. 1차년도 연구내용 ····· 14
2. 2차년도 연구내용 ····· 24
3. 3차년도 연구내용 ····· 56

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 68

3.1 연구개발 핵심성과 리스트 ····· 68
3.2 핵심성과 세부설명 ····· 69
3.3 연구성과 ····· 77

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 84

4.1 연구개발 진행 일정 ····· 84
4.2 연구개발 목표 달성도 ····· 85
4.3 연구개발 성과의 효과분석 ····· 86

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 87

5.1 연구성과 향후 활용방안 ····· 87
5.2 추가연구 필요성 ····· 89

제6장 연구개발 상세 내용 ····· 90

제7장 참고문헌 ····· 359

표 목 차

표 1. 최종목표 설정근거 ····· 2
표 2. 기존 연구목표 및 내용 ····· 3
표 3. 수정된 연구목표 및 내용 ····· 4
표 4. 연차별 정량적 성과목표 ····· 5
표 5. 국내 기술동향 ····· 6
표 6. 국내 기술개발 선행연구 및 연구개발사업 내용 ····· 8
표 7. 선행연구 비교 ····· 9
표 8. 1차년도 연구개발 결과 요약 ····· 10
표 9. 2차년도 연구개발 결과 요약 ····· 11
표 10. 3차년도 연구개발 결과 요약 ····· 12
표 11. 건축물에 사용되는 대표적인 석면함유자재 ····· 16
표 12. 지역별 슬레이트 건축물 ····· 18
표 13. 수집된 DB의 용도별 분류 ····· 19
표 14. 수집된 DB의 시도별 분류 ····· 20
표 15. 수집된 DB의 구조별 분류 ····· 20
표 16. 개발된 석면함유건축자재 발생량 산정식 ····· 23
표 17. 텍스 작업단계 분류와 온실가스 및 비용 발생항목 ····· 26
표 18. 슬레이트 작업단계 분류와 온실가스 및 비용 발생항목 ····· 27
표 19. 텍스 해체·제거 장비 제원 ····· 28
표 20. 샤워기 및 배수여과장치 에너지소비량 ····· 29
표 21. 음압기 에너지소비량 ····· 29
표 22. HEPA 청소기 에너지소비량 ····· 29
표 23. 슬레이트 해체·제거 장비 제원 ····· 30
표 24. 샤워기 및 배수여과장치 에너지소비량 ····· 30
표 25. HEPA 청소기 에너지 소비량 ····· 30
표 26. 화물자동차의 톤급별 평균 연비 ····· 31
표 27. 화물자동차의 톤급별 운반 거리에 따른 경유사용량 ····· 31
표 28. 전력부문 온실가스 배출계수 ····· 32
표 29. 텍스 사전작업 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거 ····· 33
표 30. 텍스 폐기물 처리 및 청소 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거 ····· 34
표 31. 텍스 해체·제거 1일 평균 작업량 ····· 34
표 32. 슬레이트 사전작업 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거 ····· 35
표 33. 슬레이트 폐기물 처리 및 청소 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거 ····· 36
표 34. 슬레이트 해체·제거 1일 평균 작업량 ····· 36
표 35. 경유의 총발열량 및 순발열량 ····· 37

표 36. 경유의 온실가스 기본 배출계수 ····· 37
표 37. 화물자동차의 톤급별 거리에 따른 온실가스 발생량 ····· 37
표 38. 적재되는 텍스 면적 ····· 38
표 39. 운반 시 텍스 단위면적(㎡) 당 온실가스 발생량 ····· 38
표 40. 적재되는 슬레이트 면적 ····· 38
표 41. 운반 시 슬레이트 단위면적(㎡) 당 온실가스 발생량 ····· 38
표 42. 사전조사 원가계산서 ····· 42
표 43. 사전작업 원가계산서(㎡당) ····· 43
표 44. 석면 해체·제거 원가계산서(㎡당) ····· 44
표 45. 폐기물 처리 및 청소 원가계산서(㎡당) ····· 45
표 46. 폐기물 적재 및 반출 원가계산서(㎡당) ····· 46
표 47. 사전작업 원가계산서(㎡당) ····· 47
표 48. 석면 해체·제거 원가계산서(㎡당) ····· 48
표 49. 폐기물 처리 및 청소 원가계산서(㎡당) ····· 49
표 50. 폐기물 적재 및 반출 원가계산서(㎡당) ····· 50
표 51. 사전조사 원가계산서(ton당) ····· 51
표 52. 사전조사 원가계산서(ton당) ····· 52
표 53. 텍스 작업 단계별 비용 산정 및 비용 산정근거 ····· 53
표 54. 슬레이트 작업 단계별 비용 산정 및 비용 산정근거 ····· 54
표 55. 작업 단계별 비용 원단위 산정 ····· 55
표 56. 작업 단계별 온실가스 발생량 원단위 산정 ····· 55
표 57. 단계별 추정모델 산정 ····· 55
표 58. 데이터 좌표계 ····· 58
표 59. 데이터 정보 스키마 명세서 ····· 59
표 60. 개발된 프로그램의 데이터 읽기 code ····· 61
표 61. 개발된 프로그램의 원단위 code ····· 62
표 62. 프로그램 세부 메뉴의 분류 및 내용 ····· 64
표 63. 연구개발 핵심성과 리스트 ····· 68
표 64. 건축물 석면자재의 발생량 조사 (1차년도) ····· 69
표 65. 건축물 용도별, 구조별 석면함유자재별 발생 원단위 도출 (1차년도) ····· 70
표 66. 석면함유자재 해체·제거 과정 에너지소비량 원단위 도출 (2차년도) ····· 71
표 67. 석면함유자재 해체·제거 과정 투입자재 항목 조사 (2차년도) ····· 72
표 68. 석면함유자재 해체·제거 과정 온실가스 발생량 원단위 도출 (2차년도) ····· 73
표 69. 석면함유자재 해체·제거 과정 처리비용 원단위 도출 (2차년도) ····· 74
표 70. 프로그램 개발 (3차년도) ····· 75
표 71. 개발완료 및 적용성 검토 (3차년도) ····· 76
표 72. 성과총괄 ····· 77
표 73. 논문게재 성과 list ····· 81

표 74. 학술대회 발표 성과 list ····· 82
표 75. 특허 및 소프트웨어 등록 성과 list ····· 83
표 76. 정책제안 list ····· 83
표 77. 현장적용 list ····· 83
표 78. 기술이전 list ····· 83
표 79. 연구개발 목표 및 진행 일정 ····· 84
표 80. 연구개발 목표 달성도 ····· 85
표 81. 석면의 종류 및 특성 ····· 94
표 82. 석면 사용의 역사 ····· 95
표 83. 우리나라의 연도별 석면 생산량 ····· 96
표 84. 세계 각국 석면금지 현황 ····· 98
표 85. 국내 석면 규제 연혁 ····· 99
표 86. 석면함유건축자재의 종류와 특성 ····· 102
표 87. 석면함유제품 현황 ····· 104
표 88. 지역별 슬레이트 건축물 ····· 109
표 89. 수집된 DB의 시도별 분류 ····· 116
표 90. 수집된 DB의 용도별 분류 ····· 117
표 91. 수집된 DB의 구조별 분류 ····· 118
표 92. 석면조사 대상 ····· 118
표 93. 상업용 건축물 용도별 분류 및 조사 면적 ····· 119
표 94. 상업용 건축물 용도별 석면함유자재 발생량 DB ····· 121
표 95. 상업용 건축물 구조별 석면함유자재 발생량 DB ····· 121
표 96. 조사 대상지역의 일반적 현황 ····· 124
표 97. 조사대상지 개요 ····· 125
표 98. 조사 세부사항 ····· 125
표 99. 건축용도별 조사결과 ····· 127
표 100. 주구조별 조사결과 ····· 127
표 101. 석면함유의심자재별 조사결과 ····· 127
표 102. 건축연도별 조사결과 ····· 127
표 103. 건축용도별 조사결과 ····· 128
표 104. 주구조별 조사결과 ····· 128
표 105. 건축연도별 조사결과 ····· 128
표 106. Pearson 상관계수 ····· 129
표 107. 건축면적에 따른 조사면적 산정 회귀 식 ····· 129
표 108. pearson 상관계수 ····· 130
표 109. 건축구조별 빈도분석 ····· 130
표 110. 건축연도별 빈도분석 ····· 131
표 111. 건축구조별 분산분석결과 ····· 131

표 112. 건축연도별 분산분석결과 ····· 131
표 113. 건축구조별 검정효과 ····· 132
표 114. 건축구조별 모형식 ····· 132
표 115. 건축연도별 검정효과 ····· 133
표 116. 건축연도별 모형식 ····· 134
표 117. 개발된 석면함유건축자재 발생량 산정식 ····· 136
표 118. 석면해체·제거업자의 인력·시설 및 장비기준 ····· 137
표 119. 연료별, 온실가스별 기본배출계수 ····· 141
표 120. 텍스 작업단계 분류와 온실가스 및 비용 발생항목 ····· 145
표 121. 슬레이트 작업단계 분류와 온실가스 및 비용 발생항목 ····· 146
표 122. 텍스 해체·제거 장비 제원 ····· 147
표 123. 샤워기 및 배수여과장치 에너지소비량 ····· 148
표 124. 음압기 에너지소비량 ····· 148
표 125. HEPA 청소기 에너지 소비량 ····· 149
표 126. 텍스 해체·제거 장비 제원 ····· 149
표 127. 샤워기 및 배수여과장치 에너지소비량 ····· 150
표 128. HEPA 청소기 에너지 소비량 ····· 150
표 129. 텍스 해체·제거 1일 평균 작업량 ····· 151
표 130. 전력부문 온실가스 배출계수 ····· 152
표 131. 텍스 사전작업 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거 ····· 153
표 132. 텍스 폐기물 처리 및 청소 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거 ····· 154
표 133. 슬레이트 해체·제거 1일 평균 작업량 ····· 155
표 134. 전력부문 온실가스 배출계수 ····· 156
표 135. 슬레이트 사전작업 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거 ····· 157
표 136. 슬레이트 폐기물 처리 및 청소 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거 ····· 158
표 137. 화물자동차의 톤급별 평균 연비 ····· 159
표 138. 화물자동차의 톤급별 운반 거리에 따른 경유사용량 ····· 160
표 139. 경유의 총발열량 및 순발열량 ····· 161
표 140. 경유의 온실가스 기본 배출계수 ····· 161
표 141. 화물자동차의 톤급별 거리에 따른 온실가스 발생량 ····· 161
표 142. 적재되는 텍스 면적 ····· 162
표 143. 운반 시 텍스 단위면적(㎡) 당 온실가스 발생량 ····· 162
표 144. 화물자동차의 톤급별 평균 연비 ····· 162
표 145. 화물자동차의 톤급별 운반 거리에 따른 경유사용량 ····· 163
표 146. 경유의 총발열량 및 순발열량 ····· 163
표 147. 경유의 온실가스 기본 배출계수 ····· 163
표 148. 화물자동차의 톤급별 거리에 따른 온실가스 발생량 ····· 163
표 149. 적재되는 슬레이트 면적 ····· 164

표 150. 운반 시 슬레이트 단위면적(㎡) 당 온실가스 발생량 ····· 164
표 151. 엔지니어링 사업대가 기준 ····· 168
표 152. 사전조사 원가계산서 ····· 169
표 153. 엔지니어링기술자 등급별 노임단가 ····· 170
표 154. 표준품셈 기준 및 일일 작업시간 ····· 171
표 155. 투입인원별 업무내용 ····· 171
표 156. 직종별 단위면적당 노무비 ····· 172
표 157. 사전작업 원가계산서 ····· 174
표 158. 석면 해체·제거 원가계산서 ····· 177
표 159. 석면 해체·제거단계 품목 및 적용기준 ····· 178
표 160. 한국건설기술연구원 표준품셈 석면해체 공 기준 자재별 일일 작업량 ····· 178
표 161. 폐기물 처리 및 청소 원가계산서 ····· 180
표 162. 폐기물 적재 및 반출 원가계산서 ····· 183
표 163. 표준품셈 기준 및 일일 작업시간 ····· 185
표 164. 투입인원별 업무내용 ····· 185
표 165. 직종별 단위면적당 노무비 ····· 186
표 166. 사전작업 원가계산서 ····· 188
표 167. 사전작업 단계 품목 및 적용기준 ····· 189
표 168. 석면 해체·제거 원가계산서 ····· 191
표 169. 폐기물 처리 및 청소 원가계산서 ····· 194
표 170. 폐기물 적재 및 반출 원가계산서 ····· 197
표 171. 사전조사 원가계산서 ····· 200
표 172. 사전조사 원가계산서 ····· 203
표 173. 텍스 작업 단계별 비용 산정 및 비용 산정근거 ····· 205
표 174. 슬레이트 작업 단계별 비용 산정 및 비용 산정근거 ····· 206
표 175. 작업단계별 비용 원단위 산정 ····· 207
표 176. 작업단계별 온실가스 발생량 원단위 산정 ····· 207
표 177. 석면해체·제거 전과정 비용 및 온실가스 발생량 추정모델 ····· 208
표 178. 개발된 프로그램의 데이터 읽기 code ····· 213
표 179. 개발된 프로그램의 원단위 code ····· 214
표 180. 프로그램 세부 메뉴의 분류 및 내용 ····· 218
표 181. 데이터 정보 컬럼 명세서 ····· 229
표 182. 대구광역시 중구 석면 처리비용 및 온실가스 발생량 정보 ····· 232
표 183. 마이크로미터 MDH-25M의 규격 ····· 235
표 184. 기후평년값 비교 ····· 236
표 185. 조사대상지 개요 및 일시 ····· 236
표 186. 조사내용 세부사항 ····· 237
표 187. 슬레이트 설치년도별 조사결과 ····· 239

표 188. 건물용도별 조사결과 ····· 239
표 189. 지붕형태별 조사결과 ····· 239
표 190. 슬레이트 손상정도 조사결과 ····· 239
표 191. 경과년도에 따른 A, B 두께 회귀분석 결과 ····· 240
표 192. 경과년도에 따른 A, B 두께 회귀 식 ····· 240
표 193. 경과년도에 따른 A, B 두께차이 회귀분석 결과 ····· 241
표 194. 경과년도에 따른 A, B 두께차이 산정 회귀 식 ····· 241
표 195. 경과년도에 따른 골마루, 골밑 두께 회귀분석 결과 ····· 242
표 196. 경과년도에 따른 골마루, 골밑 두께 산정 회귀 식 ····· 242
표 197. 경과년도에 따른 골마루, 골밑 두께차이 회귀분석 결과 ····· 243
표 198. 수정된 경과년도에 따른 골 두께차이 회귀분석 결과 ····· 244
표 199. 경과년도에 따른 골마루, 골밑 두께차이 산정 회귀 식 ····· 244
표 200. 경과년도에 따른 슬레이트 두께 회귀분석 결과 ····· 244
표 201. 경과년도에 따른 슬레이트 두께 산정 회귀 식 ····· 244
표 202. 경과년도에 따른 슬레이트 비산두께 회귀분석 결과 ····· 245
표 203. 경과년도에 따른 슬레이트 비산두께 산정 회귀 식 ····· 246
표 204. 우리나라의 공기 중 석면농도 기준 ····· 250
표 205. 일반적인 실험결과 ····· 260
표 206. 슬레이트 면적과 섬유농도의 Pearson 상관관계 분석 ····· 261
표 207. 파손된 슬레이트 면적에 따른 섬유 농도 회귀분석 결과 ····· 262
표 208. 파손된 슬레이트 면적에 따른 섬유 농도 회귀분석 결과(A Group) ····· 263
표 209. 파손된 슬레이트 면적에 따른 섬유 농도 회귀분석 결과(B Group) ····· 263
표 210. 파손된 슬레이트 면적에 따른 섬유 농도 회귀분석 결과(C Group) ····· 264
표 211. 석면슬레이트의 일반적인 규격 ····· 268
표 212. 기초자치단체별 일반적 건축물 현황 ····· 270
표 213. 기초자치단체별 석면슬레이트 건축물 분포현황 ····· 272
표 214. 위험속성 카테고리별 종류 및 내용 ····· 275
표 215. 위험정도별 level 구축 ····· 275
표 216. 서울특별시(25개 구) ····· 281
표 217. 부산광역시(15개 구, 1개 군) ····· 282
표 218. 대구광역시(7개 구, 1개 군) ····· 283
표 219. 인천광역시(8개 구, 2개 군) ····· 284
표 220. 광주광역시(5개 구) ····· 285
표 221. 대전광역시(5개 구) ····· 286
표 222. 울산광역시(4개 구, 1개 군) ····· 287
표 223. 경기도(27개 시, 4개 군) ····· 288
표 224. 강원도(7개 시, 11개 군) ····· 289
표 225. 충청북도(3개 시, 9개 군) ····· 290

표 226. 충청남도(7개 시, 9개 군) ····· 291
표 227. 전라북도(6개 시, 8개 군) ····· 292
표 228. 전라남도(5개 시, 17개 군) ····· 293
표 229. 경상북도(10개 시, 13개 군) ····· 294
표 230. 경상남도(10개 시, 10개 군) ····· 295

그 림 목 차

그림 1. 연구개발 목표 ····· 1
그림 2. 국외 기술동향 ····· 7
그림 3. 연차별 연구개발 내용 ····· 13
그림 4. 속성별 자료 구축 형태 ····· 17
그림 5. 전국 석면슬레이트 분포지도 작성 결과 ····· 18
그림 6. 상업용 건축물 석면함유자재 분포 ····· 20
그림 7. 슬레이트 잇기의 표준시방 ····· 21
그림 8. 슬레이트 표준시방에 의한 면적계산방법 ····· 22
그림 9. 건축면적당 석면슬레이트 지붕면적 ····· 22
그림 10. 주택 재개발 지구 내 석면슬레이트 발생 모형 ····· 23
그림 11. 석면함유자재 해체·제거 과정 대분류 ····· 25
그림 12. 텍스 운반 차량 톤수에 따른 온실가스 발생량 ····· 39
그림 13. 슬레이트 운반차량 톤수에 따른 온실가스 발생량 ····· 40
그림 14. 본 연구에서 개발된 프로그램의 클래스 구조 ····· 57
그림 15. 레이어 제어 모형 ····· 58
그림 16. 데이터 읽기 모형 ····· 58
그림 17. 지도그리기 모형 ····· 58
그림 18. ShapeFile의 기본 구조모형 ····· 60
그림 19. Asbestos Management 프로그램의 시작화면 및 화면구성 ····· 63
그림 20. 일반주소 및 도로명주소로 주소검색 예시 ····· 65
그림 21. Layer 활성/비활성 예시 ····· 65
그림 22. 대구광역시 중구 수창동 일대 석면함유건축물 분석결과 ····· 66
그림 23. 기대성과 및 파급효과 ····· 86
그림 24. 석면함유건축자재 해체, 제거 전과정의 용어 ····· 92
그림 25. 건축구조물의 해체 및 건설폐기물의 처리단계 ····· 93
그림 26. 석면의 연도별 수입현황 ····· 100
그림 27. 연구의 흐름도 ····· 105
그림 28. 석면의 일반적인 철거, 해체 Process ····· 106
그림 29. 건축행정의 흐름과 오차발생요인 ····· 107
그림 30. 속성별 자료 구축 형태 ····· 108
그림 31. 용도별 석면슬레이트 건축물의 건축연도 현황(개수기준) ····· 110
그림 32. 용도별 석면슬레이트 건축물의 건축연도 현황(면적기준) ····· 110
그림 33. 전국 석면슬레이트 건축물의 건축연대별 비율분포 ····· 111
그림 34. 용도별, 건축연도별 석면슬레이트 분포지도 ····· 112
그림 35. 전국 석면슬레이트 분포지도 작성 결과 ····· 114

그림 36. 연구진행방법 ····· 115
그림 37. 상업용 건축물의 용도별 구성비율 ····· 119
그림 38. 상업용 건축물의 구조별 비율 ····· 119
그림 39. 상업용 건축물의 석면함유자재 종류 및 면적비율 ····· 120
그림 40. 용도별 석면함유자재 종류 비율 ····· 120
그림 41. 구조별 석면함유자재 종류 비율 ····· 121
그림 42. 슬레이트 잇기의 표준시방 ····· 122
그림 43. 슬레이트 표준시방에 의한 면적계산방법 ····· 123
그림 44. 현장방문을 통한 실측조사 모습 ····· 124
그림 45. 현장조사 모습 ····· 126
그림 46. 건축면적당 석면슬레이트 지붕면적 ····· 129
그림 47. 주택 재개발 지구 내 석면슬레이트 발생 모형 ····· 135
그림 48. 석면함유자재 해체·제거 과정 대분류 ····· 144
그림 49. 텍스 운반 차량 톤수에 따른 온실가스 발생량 ····· 165
그림 50. 슬레이트 운반차량 톤수에 따른 온실가스 발생량 ····· 166
그림 51. 본 연구에서 개발된 프로그램의 클래스 구조 ····· 210
그림 52. 레이어 제어 모형 ····· 210
그림 53. 데이터 읽기 모형 ····· 210
그림 54. 지도그리기 모형 ····· 211
그림 55. ShapeFile의 기본 구조모형 ····· 212
그림 56. Asbestos Management 프로그램의 시작화면 ····· 215
그림 57. 압축해제 후 생성된 파일과 실행파일 ····· 216
그림 58. Asbestos Management 프로그램의 화면구성 ····· 217
그림 59. [파일] - 인쇄 및 인쇄설정 화면 ····· 219
그림 60. [파일] - 열기의 지도 DB파일(SHP파일) 불러오기 ····· 219
그림 61. [화면] - 전체보기 클릭 시 전체 지도화면 생성 ····· 220
그림 62. [화면] - 영역확대 클릭 시 해당지역의 확대화면 ····· 220
그림 63. 단독 및 다중 포인트 선택 시 지도화면의 색상 변화 ····· 221
그림 64. 지구단위 건축물의 선택 방법 (사각형, 원, 폴리곤) ····· 221
그림 65. 읍면동 단위의 건축물 선택 방법 ····· 221
그림 66. 대구광역시 중구의 석면정보 통계 그래프 모습 ····· 222
그림 67. 프로그램 원단위 setting 팝업창의 모습 ····· 223
그림 68. 일반주소 및 도로명주소로 주소검색 예시 ····· 224
그림 69. Layer 활성/비활성 예시 ····· 224
그림 70. Asbestos Management 프로그램의 지도화면 ····· 225
그림 71. 생성된 팝업창의 모습 ····· 226
그림 72. 비용탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습 ····· 226
그림 73. 온실가스 발생량탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습 ····· 227

그림 74. 석면자연발생량탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습 ····· 227
그림 75. 위험정도레벨탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습 ····· 228
그림 76. 파손시 섬유발생탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습 ····· 228
그림 77. 대구광역시 중구 수창동 일대 석면함유건축물 분석결과 ····· 230
그림 78. 연구의 흐름도 ····· 234
그림 79. 본 연구에서 사용된 마이크로미터 ····· 235
그림 80. Mitutoyo사의 MDH-25M의 외관수치도 ····· 235
그림 81. 측정부위 개요 ····· 237
그림 82. 현장조사 모습 및 순서 ····· 238
그림 83. 경과년도에 따른 A, B 분포 ····· 241
그림 84. 경과년도에 따른 골마루, 골밑 분포 ····· 243
그림 85. 경과년도에 따른 평균두께 분포 ····· 245
그림 86. 경과년도에 따른 슬레이트 비산두께 분포 ····· 246
그림 87. 본 연구 흐름도 ····· 249
그림 88. 위상차현미경의 광학경로 및 구성 ····· 252
그림 89. 도출된 석면함유건설자재 손상정도 평가기준 ····· 255
그림 90. Walton-Beckett graticule ····· 256
그림 91. 손상정도 등급에 따른 석면슬레이트 분류 ····· 257
그림 92. 조립식 앵글의 규격과 내부의 장비구성 ····· 258
그림 93. SEM을 사용하여 촬영한 석면섬유의 형태와 EDX 성분분석 그래프 ····· 259
그림 94. 단위면적 당 석면섬유 발생량 ····· 261
그림 95. 등급별 슬레이트 석면섬유 발생량 비교 ····· 265
그림 96. 연구의 흐름도 ····· 267
그림 97. 건축행정의 흐름과 오차발생요인 ····· 268
그림 98. 슬레이트 가로(a), 세로(b) 길이에 따른 할증율(소골) ····· 269
그림 99. 대구광역시 건축물의 건축연도별 분포 ····· 270
그림 100. 대구광역시 건축물의 지붕재료별 분포 ····· 271
그림 101. 석면슬레이트 건축물의 건축연도별 분포특성 ····· 272
그림 102. 석면슬레이트 건축물의 용도별 분포특성 ····· 273
그림 103. 석면슬레이트 건축물의 용도 내 건축연도별 분포특성 ····· 274
그림 104. 공간정보의 구축과 석면슬레이트 건축물 level별 시각 ····· 276
그림 105. 속성별 level에 따른 GIS DataBase구축형태 ····· 277
그림 106. 대구광역시 전체 level에 따른 우선철거순위 산정 ····· 278
그림 107. 대구광역시 전체 위험등급별 분포지도 ····· 279
그림 108. 1960년대 이전 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1 ····· 296
그림 109. 1960년대 이전 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2 ····· 297
그림 110. 1960년대 이전 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3 ····· 298
그림 111. 1960년대 이전 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4 ····· 299

그림 112. 1960년대 이전 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5 ····· 300
그림 113. 1960년대 이전 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6 ····· 301
그림 114. 1960년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1 ····· 302
그림 115. 1960년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2 ····· 303
그림 116. 1960년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3 ····· 304
그림 117. 1960년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4 ····· 305
그림 118. 1960년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5 ····· 306
그림 119. 1960년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6 ····· 307
그림 120. 1970년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1 ····· 308
그림 121. 1970년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2 ····· 309
그림 122. 1970년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3 ····· 310
그림 123. 1970년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4 ····· 311
그림 124. 1970년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5 ····· 312
그림 125. 1970년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6 ····· 313
그림 126. 1980년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1 ····· 314
그림 127. 1980년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2 ····· 315
그림 128. 1980년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3 ····· 316
그림 129. 1980년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4 ····· 317
그림 130. 1980년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5 ····· 318
그림 131. 1980년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6 ····· 319
그림 132. 1990년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1 ····· 320
그림 133. 1990년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2 ····· 321
그림 134. 1990년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3 ····· 322
그림 135. 1990년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4 ····· 323
그림 136. 1990년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5 ····· 324
그림 137. 1990년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6 ····· 325
그림 138. 2000년대 이후 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1 ····· 326
그림 139. 2000년대 이후 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2 ····· 327
그림 140. 2000년대 이후 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3 ····· 328
그림 141. 2000년대 이후 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4 ····· 329
그림 142. 2000년대 이후 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5 ····· 330
그림 143. 2000년대 이후 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6 ····· 331
그림 144. 전체 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1 ····· 332
그림 145. 전체 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2 ····· 333
그림 146. 전체 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3 ····· 334
그림 147. 전체 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4 ····· 335
그림 148. 전체 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5 ····· 336
그림 149. 전체 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6 ····· 337

그림 150. 견적서 표지 ····· 338
그림 151. 일반비닐, 시험합격비닐, 비닐 백 ····· 339
그림 152. 석면함유, 슬레이트전용 스티커 및 안전장화 ····· 339
그림 153. 마스크, 필터, 보안경, 장갑 ····· 340
그림 154. 불 침투 방진복, 로프 ····· 341
그림 155. 음압 기, 샤워기, 배수여과기, 집수 조, 음압측정기록장치 ····· 342
그림 156. 경고표지판, 타포린, 안전띠, 석면적재경고표시판 ····· 343
그림 157. HEPA 필터 청소기 ····· 344
그림 158. 적산 표지 ····· 345
그림 159. 경장비 등 손료 ····· 346
그림 160. 강관(수직) 비계(단가 및 품) ····· 347
그림 161. 강관 조립 말 비계(재료비, 노무비) 품 ····· 348
그림 162. 수평비계(강관, 클램프, 노무비) 단가 및 품 ····· 349
그림 163. 안전방망설치(철선, 그물망, 노무비)단가 및 품 ····· 350
그림 164. 습윤 작업(노무비) 품 ····· 351
그림 165. 비닐보양 바닥, 벽 (노무비) 품 ····· 352
그림 166. 위생설비(냉·온수기 등 손료) 품 산식 ····· 353
그림 167. 개인보호구(손료) 품 산식 ····· 354
그림 168. 현장청소(노무비) 품 ····· 355
그림 169. 강관조립 말 비계 손료 ····· 356
그림 170. 실내작업 (음압기 등 장비 손료) 품 산식 ····· 357
그림 171. 실내작업 등 (발전기 손료) 품 산식 ····· 358

제1장 연구개발과제 개요

1.1 연구개발의 최종목적

- 연구개발 최종목표

○ 본 연구는 국가 녹색성장 계획과 정부의 건설부문 온실가스 감축 목표 부문별 달성과 건설자재 및 건축물의 녹색 구현을 위해 실시

○ “석면함유 건축물 리모델링 과정 석면함유 자재 해체·철거 시 장비사용에 따른 비용 및 온실가스 평가 프로그램 개발”을 최종목적으로 함

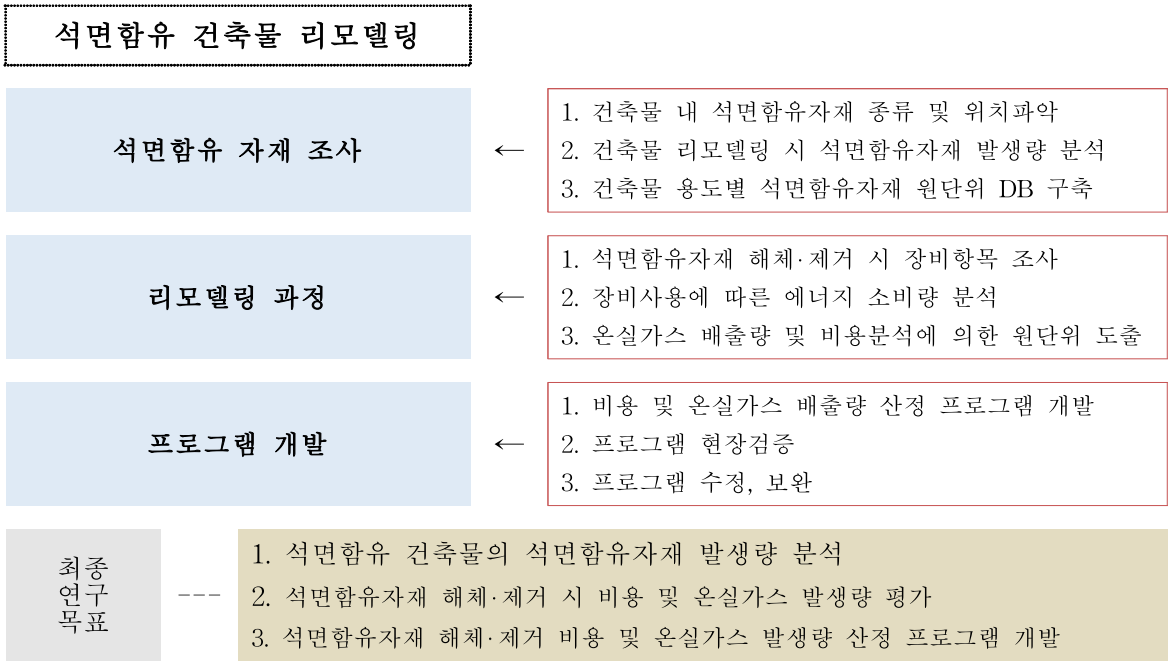


그림 1. 연구개발 목표

- 최종목표의 성격

○ 본 연구는 국가 친환경 및 녹색 건축물 구현에 부합하고자 건설구조물의 재건축 및 리모델링 과정에서의 “석면함유 건축물 리모델링 과정 처리비용 및 온실가스 배출량 평가”를 최종 목적으로 함

○ 본 과제는 노후 건축물과 석면함유 건설자재의 교체를 수반하는 리모델링 및 재건축 수요의 증가로 인한 건설구조물 부문 온실가스 발생량 추정과 평가 기술 개발을 목표로 향

후 발생할 석면자재의 철거와 국가 그린 리모델링화 사업 추진에 따른 기존 건축물 리모델링 과정에서의 탄소배출량 추정과 평가를 위한 연구임

○ 기존의 건축물 전과정 $LCCO_2$ 평가 프로그램에서 제시하고 있지 않은 일반건설 재료 외에 석면함유 건설자재의 생애주기에 관한 LCI DB 확보를 통해 건설구조물 용도별로 추가적으로 발생할 재건축 및 리모델링에 따른 CO_2 발생량 및 원단위 확보와 국가 탄소배출량 산정에 기여하기 위함임

- 최종목표의 설정근거

○ 환경선진국에서는 각 국 환경에 부합하는 건축물 전과정 CO_2 평가 프로그램 개발 연구 활발한 편이며, 선진국의 경우 정부, 연구기관, 건설회사 등의 다양한 분야에서 각각의 개발 목적에 맞는 다양한 프로그램을 개발하고 실무적으로 활용

○ 설계단계에서 다양한 대안설계를 통해 친환경 건축기술의 최적설계 지원을 위해 선진국에서는 평가목적 및 평가요소에 따라 지속적으로 기능들이 갱신

○ 국내와 마찬가지로 해외의 LCA 평가 프로그램 또한 건축물 석면함유 자재에 대한 해체와 철거에 따른 환경영향평가 항목은 포함되어 있지 않음

표 1. 최종목표 설정근거

최근 연구 동향		본 연구 방향
현재 국내외의 건축물 유지관리 단계에서 리모델링 과정에 대한 CO_2 및 비용에 대한 평가는 건설자재의 소요물량을 기반으로 계획단계에서 평가가 가능한 건축물 전과정 프로그램에 관한 연구 개발이 이루어진 상태며, 단일 건축물에 대한 리모델링 과정에서의 CO_2 평가 및 비용 평가에 관한 연구들이 다수 수행되어 왔다.	▶	일반 건설자재와는 성격이 다른 지정폐기물인 석면함유 건설자재의 철거에 따른 소요비용 및 온실가스 배출량 평가는 석면함유 건축자재의 LCI DB 부족과 석면관련 평가요소에 대한 정보의 부족으로 평가가 용이하지 않은 실정이다. 이에 석면함유 건축물의 자재 철거와 리모델링 과정에서의 생애주기 평가에 대한 연구가 필요함.

1.2 연차별 연구내용 및 성과목표

1. 연구목표 및 내용

- 기존 연구목표 및 내용

표 2. 기존 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪건축물 내 석면함유 자재 조사 및 분석	▪ 기 문헌연구를 통한 건축물 내 석면함유 자재 종류 및 위치 파악 ▪ 현장조사를 통한 석면함유 자재 종류 및 위치 파악
	▪건축물 내 석면함유 자재의 발생량 DB 구축	▪ 석면함유 자재 철거 시 발생할 석면자재의 발생량 조사 ▪ 건축물 용도별 석면자재 발생량 원단위 DB구축
2차년도	▪석면함유 자재 철거 시 에너지소비량 원단위 도출	▪ 장비조합에 의한 에너지원/에너지소비량 분석 ▪ 석면함유 자재 철거에 따른 에너지소비량 원단위 도출
	▪리모델링 과정 주요 투입 자재 항목 조사	▪ 리모델링 과정에 투입되는 주요 자재 항목 도출 ▪ 리모델링 과정에 투입되는 주요 자재 소요량 산출
	▪리모델링 과정 에너지소비량 조사 원단위 도출	▪ 장비조합에 의한 에너지원/에너지소비량 분석 ▪ 리모델링 과정에 따른 에너지소비량 원단위 도출
3차년도	▪석면함유 건축물 리모델링 과정 $LCCO_2$. LCC 평가 기술 개발	▪ 해체와 리모델링 과정을 포함하는 자재 및 장비 요소에 의한 CO_2 원단위 도출과 $LCCO_2$ 평가 기술개발 ▪ 해체와 레모델링 과정에서의 LCC 기술개발
	▪석면함유 건축물 리모델링 과정 $LCCO_2$, LCC 평가 프로그램 개발	▪ $LCCO_2$, LCC 평가 알고리즘 개발 및 미들웨어 구성 요소 개발 ▪ 시작품 개발
	▪개발 완료 및 현장 적용	▪ 프로그램 현장 적용 ▪ 프로그램 수정 및 보완

◆ 3차년도의 $LCCO_2$, LCC 평가 대신 석면함유자재 해체·제거 시 비용 및 온실가스 발생량 평가로 변경, 이에 따른 프로그램 역시 석면함유자재 해체·제거 전과정 비용 및 온실가스 발생량 산정 프로그램으로 변경하였음

◆ 2차년도의 석면함유자재 철거 시 에너지소비량 원단위 도출이 최종 목표였지만 연구 흐름상 추가적으로 온실가스 배출량 및 처리비용 원단위도 같이 도출하였음

따라서 수정된 연차별 연구목표 및 내용은 다음과 같다.

- 수정된 연구목표 및 내용

표 3. 수정된 연구목표 및 내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪건축물 내 석면함유 자재 조사 및 분석	▪ 기 문헌연구를 통한 건축물 내 석면함유 자재 종류 및 위치 파악 ▪ 현장조사를 통한 석면함유 자재 종류 및 위치 파악
	▪건축물 내 석면함유 자재의 발생량 DB 구축	▪ 석면함유 자재 철거 시 발생할 석면자재의 발생량 조사 ▪ 건축물 용도별 석면자재 발생량 원단위 DB구축
2차년도	▪리모델링 과정 주요 투입 자재 항목 조사	▪ 리모델링 과정에 투입되는 주요 자재 항목 도출 ▪ 리모델링 과정에 투입되는 주요 자재 소요량 산출
	▪석면함유 자재 철거 시 에너지소비량 도출	▪ 장비조합에 의한 에너지원/에너지소비량 분석 ▪ 석면함유 자재 철거에 따른 단계별 에너지소비량 도출
	▪리모델링 과정 온실가스 배출량 원단위 도출	▪ 에너지소비에 의한 온실가스 배출량 분석 ▪ 리모델링 과정 단계별 단위면적당 온실가스 배출량 원단위 도출
	▪리모델링 과정 처리비용 원단위 도출	▪ 장비조합에 의한 비용 분석 ▪ 리모델링 과정에 따른 단위면적당 비용 원단위 도출
3차년도	▪석면함유 적정처리를 위한 평가 프로그램 개발	▪ 석면함유자재 해체제거 전과정 및 단계별 비용 및 온실가스 배출량 평가를 위한 알고리즘 개발 ▪ 프로그램 시작품 개발
	▪프로그램 개발 완료 및 현장 적용	▪ 프로그램 적용성 검토 ▪ 프로그램 수정, 보완 후 개발 완료

2. 연차별 정량적 성과목표

표 4. 연차별 정량적 성과목표

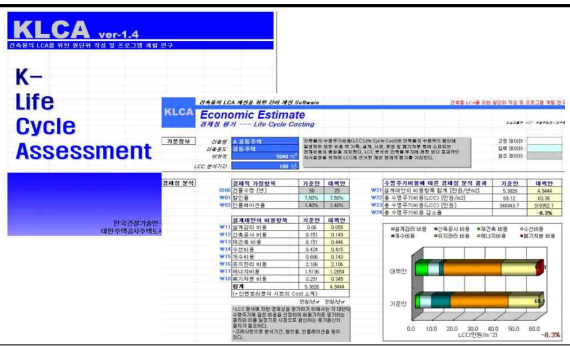
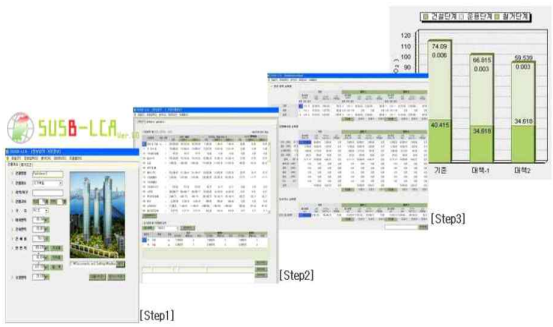
연차	성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치
1차년도	문헌연구를 통한 석면함유 자재의 종류 및 특성파악	기술동향조사 (국내/국외)	문헌 연구 건수 + 자재 리스트 작성	30건	0.3
	석면함유 자재 철거 시 석면자재의 발생량 원단위 DB구축	사전 타당성 평가실적	전문가 평가	3건	0.2
		시험/조사 DB 구축 및 활용 실적	연구개발 성과관리 활용을 위한 DB구축여부	95%	0.2
	소 계				1
	국내 발표논문		학술발표대회 건수	1	0.3
	해외 발표논문		학술발표대회 건수	1	0.3
	국내외 심사논문		논문건수	1	0.4
	소 계				1
2차년도	투입장비 및 자재 철거에 따른 에너지 소비량 원단위 DB구축	시험/조사 DB 구축 및 활용 실적	연구개발 성과관리 활용을 위한 DB구축여부	90%	0.5
	리모델링 시 투입자재 및 장비에 따른 에너지 소비량 원단위 DB	시험/조사 DB 구축 및 활용 실적	연구개발 성과관리 활용을 위한 DB구축여부	90%	0.5
	소 계				1
	국내 발표논문		학술발표대회 건수	2	0.2
	해외 발표논문		학술발표대회 건수	2	0.2
	국내외 심사논문		논문건수	2	0.3
	SCI(E)		논문건수	1	0.3
	소 계				1
3차년도	처리비용 및 온실가스 발생 원단위 개발	시험/조사 DB의 분석결과를 국가 공인 기관에서 인증 획득	개발된 원단위 DB를 국가 공인 기관에서 검증	국가공인기관의 검증서	0.3
	처리비용 및 온실가스 평가 알고리즘 제시	개발 알고리즘의 현장적용 여부	지자체 및 현장업체의 S/W 사용성 검토	현장적용 2건 이상	0.2
	처리비용 및 온실가스 평가 프로그램 시작품 개발	시작품 개발 여부	개발 시작품의 완성도	1	0.3
	현장 적용 오차율 저감	현장 적용 오차율	개발 모델결과 값과 현장실측 시 발생량의 오차정도(10% 내)	90%	0.2
	소 계				1
	국내 심사논문		논문건수	2	0.2
	SCI(E)		논문건수	1	0.1
	S/W 사용자 매뉴얼		매뉴얼	1	0.1
	S/W 시작품		시작품	1	0.3
	정책제안		정책제안 수	1	0.1
	특허출원		특허출원 수	1	0.2
	소 계				1

1.3 국내외 관련분야 기술개발 현황

1. 국내 기술 및 산업 동향

현재 국내에는 건축물 유지관리 단계에서 리모델링 과정에 대한 CO_2 및 비용에 대한 평가는 건설자재의 소요물량을 기반으로 계획단계에서 평가가 가능한 건축물 전과정 프로그램에 관한 연구 개발이 이루어진 상태며, 단일 건축물에 대한 리모델링 과정에서의 CO_2 평가 및 비용 평가에 관한 연구들이 다수 수행되어 왔다. 그러나 석면함유 제품과 같은 일반 건설자재와는 성격이 다른 지정폐기물인 석면함유 건설자재의 철거에 따른 소요비용 및 온실가스 배출량 평가는 석면함유 건축자재의 LCI DB 부족과 석면관련 평가 요소에 대한 정보의 부족으로 평가가 용이하지 않은 실정이다. 현재 국내 기술에 의한 건축물 전과정 CO_2 평가 프로그램은 아래와 같다.

표 5. 국내 기술동향

K-LCA	K-LCA는 2004년 건설기술연구원에서 개발한 공동주택의 전과정 CO_2 평가프로그램으로 건축물 에너지절약설계기준과 연동되는 것이 특징임	
SUSB-LCA	SUSB-LCA는 2007년에 친환경건축 연구센터에서 개발한 고층 공동주택의 전과정 CO_2 평가프로그램으로 공동주택의 $LCCO_2$ 평가가 가능함	

2. 국외 기술 및 산업 동향

환경선진국에서는 각 국 환경에 부합하는 건축물 전과정 CO_2 평가 프로그램 개발에 대한 연구는 활발한 편이며 선진국의 경우 정부, 연구기관, 건설회사 등의 다양한 분야에서 각각의 개발목적에 맞는 다양한 프로그램을 개발하고 실무적으로 활용하고 있다. 또한, 설계단계에서 다양한 대안설계를 통해 친환경 건축기술의 최적설계 지원을 위해 선진국에서는 평가목적 및 평가요소에 따라 지속적으로 기능들이 갱신되고 있다. 그러나 국내와 마찬가지로 해외의 LCA 평가 프로그램 또한 건축물 석면함유 자재에 대한 해체와 철거에 따른 환경영향평가 항목은 포함되어 있지 않다.

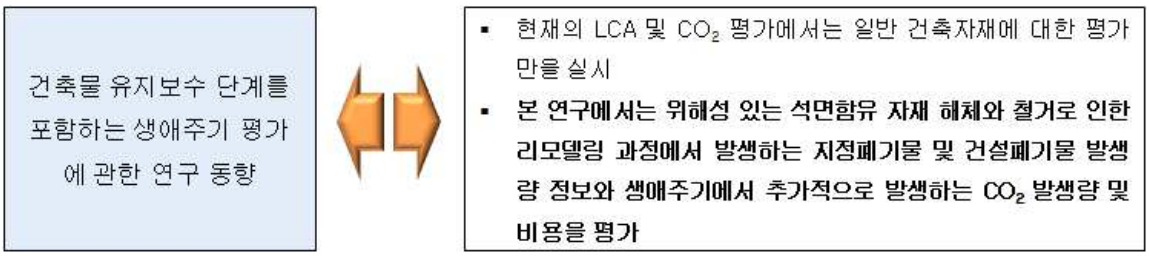


그림 2. 국외 기술동향

1.4 기존 연구개발결과와의 차별성

본 연구 과제와 관련하여 현재까지 리모델링 기술과 관련한 국내의 연구 및 기술 개발에 대한 선행연구 및 선행연구의 연구개발사업 내용은 다음 표와 같다. 현재까지 단일 건축물에 대한 리모델링 시스템 및 설계기술 개발, 내진 성능 및 건축물 기능 향상을 위한 리모델링 기술 개발, 친환경 건축물 구현을 위한 리모델링 시스템 개발 등에 관한 연구는 수행되어 왔으나, 유해물질 제거/철거를 수반한 리모델링 과정에 대한 비용 및 온실가스 배출량 평가에 대한 연구는 미흡하였다. 또한, 본 연구와 유사한 연구를 수행하였던 “친환경 도시재생을 위한 첨단해체 기술개발”(2006.09~2012.02) 연구는 **석면과 관련하여 건축물 해체단계에서의 적정회수와 해체기술 개발에 관한 연구를 수행하였을 뿐, 본 연구에서와 같은 건축물 내 석면함유 자재의 발생량과 건축물 리모델링 단계에서의 비용 및 온실가스 배출 평가와는 거리가 멀다.**

표 6. 국내 기술개발 선행연구 및 연구개발사업 내용

(단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
교육과학기술부	여성과학자 지원사업	석면함유 건축물의 안전관리 체계 방안 연구	0.41	연구기간 3년
과학기술부	기초연구지원	전과정평가기법을 이용한 사무소건물의 그린리모델링 설계기술개발	0.85	연구기간 3년
건설교통부	건설핵심기술연구개발사업	리모델링의 효율성 제고를 위한 부품 통합형 유지관리 프로그램 개발 연구	1.59	연구기간 3년
교육과학기술부	친환경건축연구 센터	친환경 성능 향상을 위한 유지관리 및 리모델링 시스템 개발	0.5	연구기간 9년
국토해양부	첨단도시개발사업	친환경 도시재생을 위한 첨단해체 기술개발	14.38(2006연차 정부출연금)	연구기간 6년
			14.52(2007연차 정부출연금)	
			28.77(2008연차 정부출연금)	
			9.17(2009연차 정부출연금)	
			19.25(2010연차 정부출연금)	
			15.28(2011연차 정부출연금)	

본 과제와 관련하여 지금까지의 연구동향을 살펴본 결과, 석면에 관한 연구에서는 건축물 내의 석면 안전관리 방법과 가이드라인 제시에 관한 연구를 수행하였으며, 리모델링 과정에서는 효율적이고 친환경적인 건축물 구현을 위한 리모델링 설계기법과 프로그램 개발에 대한 연구가 진행되어 왔다. 특히, 석면연구와 관련하여 “친환경 도시재생을 위한 첨단해체 기술개발”(2006.09~2012.02) 연구는 건축물 해체단계에서 석면 적정회수 및 해체기술 개발이 주요 연구 목표로 **본 연구의 리모델링 단계에서의 건축물 내 석면함유 자재의 철거에 따른 지정폐기물(석면함유 자재) 발생량과 리모델링 과정에서 석면함유 자재 철거 과정을 포함한 처리비용 및 온실가스 평가에 대한 연구와는 상이한 차이가 있다.** 또한, **본 연구와 관련하여 리모델링 과정에서 석면함유 건축물의 리모델링 과정에서의 비용 및 온실가스 평가에 대한 연구는 이전의 관련 연구개발사업 및 연구문헌을 분석한 결과 이루어지지 않은 것으로 나타났다.** 따라서 본 연구에서는 석면함유 건축물의 리모델링 과정에서 지정폐기물(석면함유 자재) 발생량 예측과 함께 리모델링 공사에 따른 에너지소비량, 비용에 대한 연구를 수행할 계획이며, 이를 통해 건축물 유지・보수 단계에서 리모델링에 의해 발생하는 온실가스와 비용 평가를 실시하고자 한다.

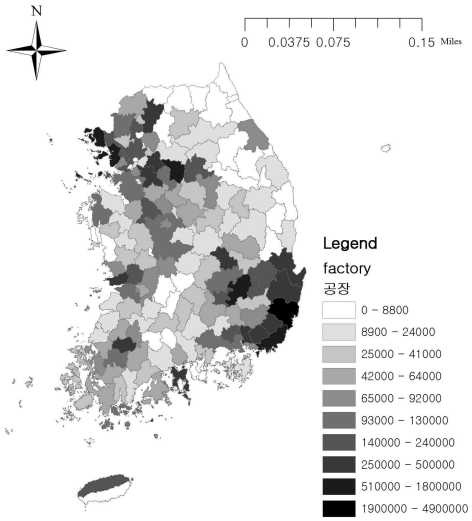
표 7. 선행연구 비교

“친환경 도시재생을 위한 첨단해체 기술개발” 연구과제 성과 (논문 제목 및 산업재산권명, 주저자, 학술지명, 게재년도)		**본 연구와의 비교**
논문 성과	진동 및 풍속인자에 따른 내화피복재 석면비산방지를 위한 진동 및 풍속인자에 따른 내화피복재 석면비산 방지를 위한 비산방지제의 적용성 분석, 한국폐기물학회, 송태협, 2009.09.01	석면비산 방지를 위한 연구로 본 연구 내용과는 관련 없음
	판상형 석면 건축자재의 비산특성 연구, 대한건축학회, 김영훈, 2010.12.01	석면건축자재의 비산 특성에 관한 연구로 본 연구와 관련 없음
산업재산권	해당 사항 없음	

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

2.1 연구개발 결과 요약

표 8. 1차년도 연구개발 결과 요약

<table>
<tr><th>연차</th><th>연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1차
년도</td><td rowspan="2">▪ 기 문헌연구를 통한 건축물 내 석면함유 자재 종류 및 위치 파악
▪ 현장조사를 통한 석면함유 자재 종류 및 위치 파악</td><td>▪ 광범위한 문헌연구를 통한 석면함유자재 종류 및 위치파악 완료, 건축물 석면함유자재 list 도출</td></tr>
<tr><td>▪ 석면시멘트제품, 석면마찰재, 조인트시트, 석면방직제품, 기타 등으로 분류하여 건축물 내 석면함유자재의 용도 및 구성재료, 석면함유량 DB확보</td></tr>
<tr><td>▪ 석면함유 자재 철거 시 발생할 석면자재의 발생량 조사
▪ 건축물 용도별 석면자재 발생량 원단위 DB구축</td><td> 

▪ 전국적인 석면슬레이트 분포현황 및 발생량 DB 구축완료
▪ GIS를 이용한 DB의 시각화 확보

<table>
<tr><th>건축물 용도</th><th>연면적(m²)</th><th>석면함유 자재면적 (m²)</th><th>면적당 발생량 (/m²)</th></tr>
<tr><td>근린생활시설</td><td>93183.42</td><td>14706.54</td><td>15.78</td></tr>
<tr><td>숙박시설</td><td>11107.20</td><td>762.25</td><td>6.68</td></tr>
<tr><td>업무시설</td><td>19944.51</td><td>10213.76</td><td>51.21</td></tr>
<tr><td>운수시설</td><td>6455.00</td><td>132.63</td><td>2.05</td></tr>
<tr><td>판매시설</td><td>23660.33</td><td>7588.66</td><td>32.07</td></tr>
<tr><td>기타시설</td><td>2249.32</td><td>630.47</td><td>28.03</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>156,599.77</td><td>34,034.31</td><td>21.73</td></tr>
</table>
▪ 건축물의 용도별, 구조별, 석면함유자재별 발생 원단위 DB구축완료
▪ 건축면적에 따른 석면자재 발생량 산정식 도출</td></tr>
</table>

표 9. 2차년도 연구개발 결과 요약

<table>
<tr><th>연 차</th><th>연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="3">2차 년도</td><td>▪ 리모델링 과정 투입자재 항목 조사

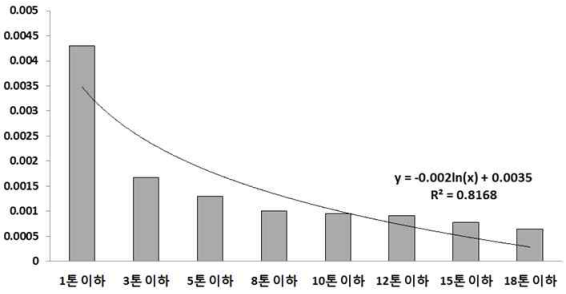
- 리모델링 과정에 투입되는 주요 자재 항목 도출
- 리모델링 과정에 투입되는 주요 자재 소요량 산출</td><td>▪ 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정 투입장비 및 자재 인벤토리 구축

<table>
<tr><th colspan="2">덕스 해체 제거작업순서</th><th colspan="2">인건비</th><th>사용 장비, 재료 및 기타비용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1. 사전조사</td><td>1) 석면조사</td><td>직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)</td><td></td><td>• 간접재료(필터, 작업복, 장갑)
• 제경비, 기술료, 직접경비</td></tr>
<tr><td>2) 석면지도 작성</td><td>초급기술자 및 중급기능사</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">2. 사전작업</td><td>1) 격리조치</td><td rowspan="11">석면해체공, 보통 인부, 관리감독자</td><td></td><td>• 간접재료(경고표지판, 안전띠, 타프린)</td></tr>
<tr><td>2) 위생설비 설치</td><td></td><td>• 샤워기, 배수역화장치, 집수조, 비닐시트, 위생설비 등</td></tr>
<tr><td>3) 작업장 벽·바닥 비닐보양</td><td></td><td>• 벽·바닥 보양비닐</td></tr>
<tr><td>4) 음압기 설치</td><td></td><td>• 음압기, 음압기록장치, 전동송구</td></tr>
<tr><td>1) 개인보호구 착용</td><td></td><td>• 보호구 손료(먼지마스크, 안전장화, 고글)
• 보호구 소모용(특급필터, 방진복, 방진장갑, 면장갑)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">3. 석면 해체·제거</td><td>2) 약물살포(습윤화)</td><td>보통 인부</td><td>• 본무기</td></tr>
<tr><td>3) 석면농도 측정(작업 전 + 작업 중)</td><td>직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)</td><td>• 간접재료(필터, 작업복, 장갑)
• 제경비, 기술료, 직접경비</td></tr>
<tr><td>4) 이동식 비계 조립</td><td>보통 인부</td><td>• 재료비</td></tr>
<tr><td>5) 포장비닐 설치</td><td></td><td>• 포장비닐</td></tr>
<tr><td>4. 폐기물 처리 및 청소</td><td>1) 폐기물 밀봉 및 스티커 부착
2) 벽·바닥 습식청소</td><td></td><td>• 밀봉테이프, 스티커
• HEPA 필터 청소기</td></tr>
<tr><td rowspan="3">5. 폐기물 적재 및 반출</td><td>1) 석면농도 측정(작업 후)</td><td>직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)</td><td>• 간접재료(필터, 작업복, 장갑)
• 제경비, 기술료, 직접경비</td></tr>
<tr><td>2) 소모품 밀봉 및 스티커 부착</td><td></td><td>• 밀봉테이프, 스티커, 폐기물 백</td></tr>
<tr><td>3) 폐기물 임시보관 및 표지판 설치</td><td></td><td>• 석면적재경고표지판</td></tr>
<tr><td>6. 폐기물 운반 및 처리</td><td>1) 폐기물 운반
2) 매립</td><td>보통 인부</td><td>• 덤프트럭
• 지로비, 경비
• 매립비용</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>▪ 석면함유자재 철거 에너지소비량 도출

- 장비조합에 의한 에너지원/에너지소비량 분석
- 석면함유 자재 철거 시 장비사용에 따른 에너지 소비량 원단위 도출</td><td>▪ 석면함유 건축자재 철거, 해체 전과정 및 단계별 에너지소비량 DB

▪ 투입장비 조합에 따른 온실가스 발생량 DB</td></tr>
<tr><td>▪ 리모델링 과정 에너지소비에 따른 온실가스 원단위 도출

- 에너지소비에 의한 온실가스 배출량 분석
- 리모델링 과정에 따른 단계별 온실가스 배출량 원단위 도출</td><td>▪ 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정 에너지 소비량 및 온실가스 배출량 원단위 DB

 
</td></tr>
<tr><td>▪ 리모델링 과정 석면 함유자재 철거시 단위면적당 처리비용 원단위 도출

- 장비조합에 의한 비용분석
- 해체·제거 전과정의 각 단계별 비용 원단위 도출</td><td>▪ 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정에서 발생하는 처리비용 원단위 DB

<table>
<tr><th>단계</th><th>단계 분류</th><th>인건비 산출</th><th>사용 장비 재료비, 경비 산출</th></tr>
<tr><td rowspan="4">5. 폐기물 적재 및 반출</td><td>1) 석면농도 측정(작업 후)</td><td>① 직접인건비: 241,981원
- 초급기술자: 134,313원 × 1인 = 134,313원
초급숙련기술자: 107,668원 × 1인 = 107,668원</td><td>② 간접재료비: 24,632원
- 필터: 4,540원 × 2조 = 9,080원
방진작업복: 7,500원 × 2벌 = 15,000원
방진장갑: 276원 × 2켤레 = 552원
③ 제경비: 241,981(직접인건비)×110% = 266,179원
④ 기술료: (241,981(직접인건비)+266,179(제경비))×20% = 101,632원
⑤ 직접경비: 상주 직접인건비(134,313원)의 30% = 40,294원
⑥ 일일작업량: 1인(22.22m²/h) 배수4.5m² × 5인 = 225m²
합계: 1/3 ×{(②+③+④+⑤)×⑥} = 1/3 × (674,718원 + 67,472원) ÷ 225m² = 1,100원</td></tr>
<tr><td>2) 소모품 밀봉 및 스티커 부착</td><td>※ 해당 없음</td><td>① 밀봉테이프: 1,270원 × 0.011m = 14원
② 스티커: 173원 × 0.225장 = 39원
③ 폐기물 백: 449원 × 0.27매 = 121원
④ 연결고리: 58,700원 × 0.0019m = 112원
{공급가액(1/2×(①+②)+③)} + 부가세(공급가액의 10%)} = 280원 + 28원 = 286원</td></tr>
<tr><td>3) 표지판 설치</td><td>※ 해당 없음</td><td>① 석면적재경고표지판: 39,000원 × 0.00003개 = 1원
합계: 공급가액(① + 부가세(공급가액의 10%) = 1원 + 0원 = 1원</td></tr>
<tr><td colspan="3">계: 1,387원</td></tr>
</table>
1)석면농도 측정(작업 후) 원가계산 산출 근거: ①, ②, ③, ④, ⑥는 1.1)의 석면조사 원가계산 산출 근거와 같음
⑤은 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비)의 일일작업량 적용

2)소모품 밀봉 및 스티커 부착 원가계산 산출 근거: ①, ②, ③는 산업안전보건규칙 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)의 규정 적용
④은 산업안전보건규칙 제485조(석면오염 장비 등의 처리)의 규정 적용

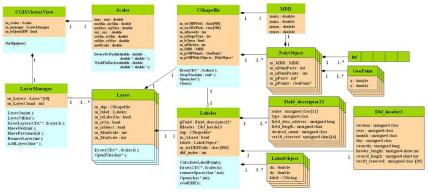
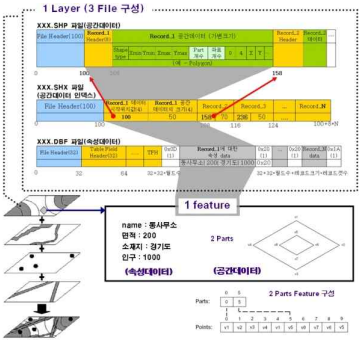
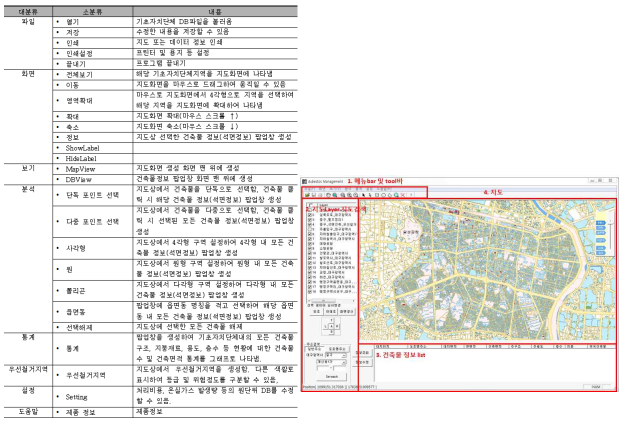
3)폐기물 임시보관 및 표지판 설치 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무저) 수량산출 산식 적용</td></tr>
</table>

표 10. 3차년도 연구개발 결과 요약

<table>
<tr><th>연 차</th><th>연구 내용</th><th>연구 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">3차
년도</td><td>▪ 프로그램 알고리즘 개발
▪ Shape File 구조설정

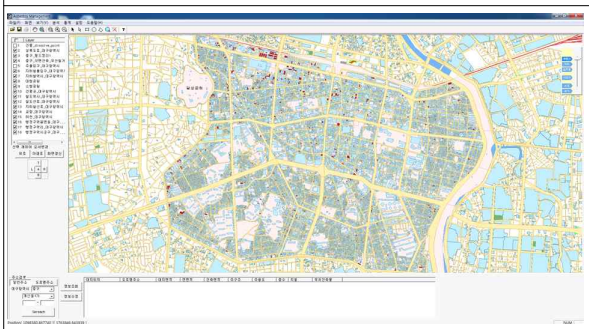
- 석면함유 건축물 해체, 리모델링 과정에서의 온실가스/비용 평가요소 도출 및 알고리즘 도출
- Main File(.shp), Indx File(.shx), dBASE table(.dbf) 파일로 구성

▪ 프로그램 시작품 개발

- 프로그램 화면구성, 메뉴의 기능 및 프로그램 사용 설정
- GIS 기반 프로그램 개발</td><td> 
▪ 프로그램 구조 모형 설정
 
▪ 프로그램 Layer Manager 기능 구현
 
▪ 프로그램 메뉴 설정 및 구동화면</td></tr>
<tr><td>▪ 프로그램 현장 검증

- 현장조사를 통한 오차분석

▪ 프로그램 개발 완료 및 현장 적용

- 프로그램 문제점 수정, 보완
- 프로그램 현장 적용</td><td>▪ 1개 지구 선택 후 해당 지구 석면함유 건축물에 대하여 프로그램 상 분석 실시
▪ 해당지구 직접 방문하여 현장조사 실시 후 결과 비교 분석
 
▪ 프로그램 구동화면</td></tr>
</table>

2.2 연구개발 주요내용

연차별 연구개발 내용

1차년도: 석면함유 자재 DB 구축	←	1. 문헌연구를 통한 건축물 내 석면함유자재 종류 및 위치파악 2. 현장조사를 통한 석면함유자재 종류 및 위치 파악 3. 건축물 리모델링 시 석면함유자재 발생량 분석 4. 건축물 용도별 석면함유자재 원단위 DB 구축
2차년도: 리모델링 비용 및 온실가스 평가	←	1. 석면함유자재 해체·제거 시 투입되는 장비 및 인력항목 조사 2. 장비사용에 따른 에너지 소비량 분석 3. 에너지소비 및 연료사용에 따른 온실가스 배출량 분석 4. 단위면적당 처리비용 분석
3차년도: 비용 및 온실가스 산정 프로그램 개발	←	1. 프로그램 알고리즘 개발 2. 프로그램 구조 설정 및 code 설정 3. 프로그램 시작품 개발 및 현장검증 4. 프로그램 수정, 보완 및 개발 완료
최종 연구 목표	---	**1. 석면함유 건축물의 석면함유자재 발생량 분석** **2. 석면함유자재 해체·제거 시 비용 및 온실가스 발생량 평가** **3. 석면함유자재 해체·제거 비용 및 온실가스 발생량 산정 프로그램 개발**

그림 3. 연차별 연구개발 내용

1. 1차년도 연구내용

1. 문헌연구를 통한 건축물 내 석면함유 자재 리스트 DB화

- 문헌조사를 통한 건축물 내 석면함유자재 종류 및 위치 파악
- 문헌조사 및 현장조사를 통한 석면함유자재 종류 구분 및 용도, 구성재료, 석면함유량 DB 확보

2. 전국 석면슬레이트 분포현황 및 발생량 DB 구축

- 국토해양부 세움터(e-AIS)의 전국 모든 건축물대장 수집
- 전국 모든 건축물대장 DB화 및 슬레이트 건축물 추출
- 석면함유자재 분포특성 고찰
- GIS를 이용한 석면 분포특성 시각화

3. 석면함유 건축내장재 DB 구축

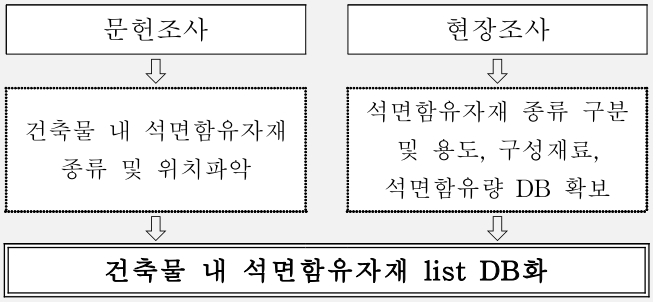
- 기초자료 수집: 한국석면환경협회 '석면조사결과보고서' 자료요청
- 수집된 자료의 DB화
- 주거용 건축물 및 비주거용 구분 후 인자별 DB 구축

4. 건축면적에 기준한 석면함유자재 발생 원단위 분석

- 슬레이트 잇기 표준시방 규정 참고
- 슬레이트 실측 조사
- 회귀분석 및 공분산분석을 통한 원단위 분석

1. 문헌연구를 통한 건축물 내 석면함유 자재 리스트 DB화

연구진행 순서:



문헌조사와 현장조사의 결과로 얻어진 석면함유제품의 DB를 대분류로 사용된 위치에 따라 구분하고 제품명, 석면함유량, 용도, 제품형태 등을 나타내었다.

※ 광범위한 문헌조사 결과, 석면함유자재의 종류 중 슬레이트와 텍스의 분포가 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 나타남. 따라서 석면함유자재 중 슬레이트와 텍스를 주요연구대상으로 정하고 연구를 진행함

건축자재에 사용된 석면이 문제가 되는 것은 비고형으로 건물의 진동, 유지보수, 건물의 노후화 등의 문제로 쉽게 부스러져 유해한 석면 섬유를 다량으로 발생시킬 우려가 있기 때문이다.

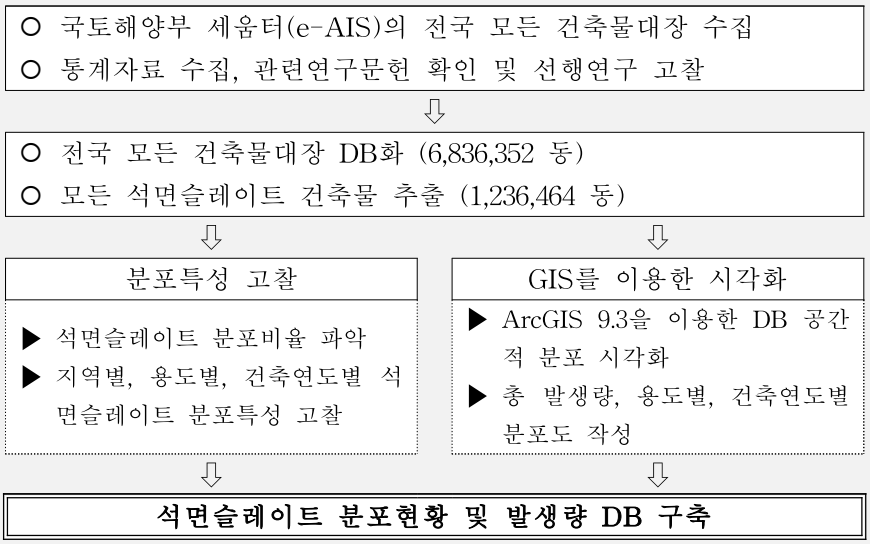
국내의 경우 1970년대에는 수입된 석면의 약 96%가 건축자재인 슬레이트에 사용되어졌으나 1990년대에는 슬레이트 이외에도 보온단열재인 건축내장재, 천장판, 석면판 등 다양한 건축자재에 약 82%가 사용되었다.

표 11. 건축물에 사용되는 대표적인 석면함유자재

구분	제품명	석면 함유량(%)	주용도	제품형태
천장재	아스텍스 아미텍스 아스칼	4~6	사무실, 상가, 공공건물, 호텔 등의 천장 마감재로 사용	
내·외장재	밤라이트 나무라이트	6~12	사무실, 화장실 등 건물의 칸막이, 벽체 등 마감재로 사용	 
	베이스패널	8~14	건축물 내/외벽 등의 마감재로 사용	
바닥재	아스타일	7~10	사무실, 상가, 공공건물, 호텔 등의 바닥 마감재로 사용	
	바닥 접착제	5~25		
지붕재	슬레이트	8~14	주택, 공장, 축사, 창고 등의 지붕 마감재로 사용	
뿜칠재	철골내화, 피복재	40~90	건축물 철골 방화, 방수, 보온 등의 목적으로 사용	
파이프 및 보일러	가스켓	25~30	플랜지, 밸브, 밸브 본넷 등의 이음새에 사용	

2. 전국 석면슬레이트 분포현황 및 발생량 DB 구축

연구진행 순서:



국토해양부 세움터(e-AIS)의 전국 모든 건축물 대장을 수집하였다. 약 683만여개의 건축물대장을 Database화 하고 석면슬레이트가 지붕재료로 사용된 건축물을 따로 추출하여 전국적, 각 지역별 비을 파악하고 용도별 및 건축연도별로 분포특성을 고찰하였다.

※ 건축물대장은 건축 인·허가과정에 구축되는 사건기반의 자료로서 건축행정과정에서 다양한 오차가 발생 가능하지만, 전국의 전수조사가 불가능하고 건축물대장보다 더 정확한 자료가 없다는 점을 감안하면 기초자료로 충분한 가치가 있다고 사료되어 건축물대장상 자료를 활용함

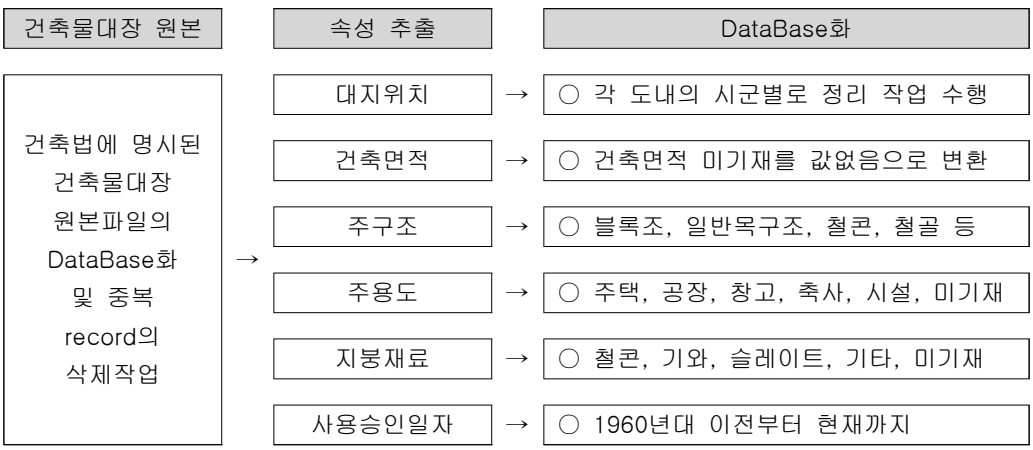


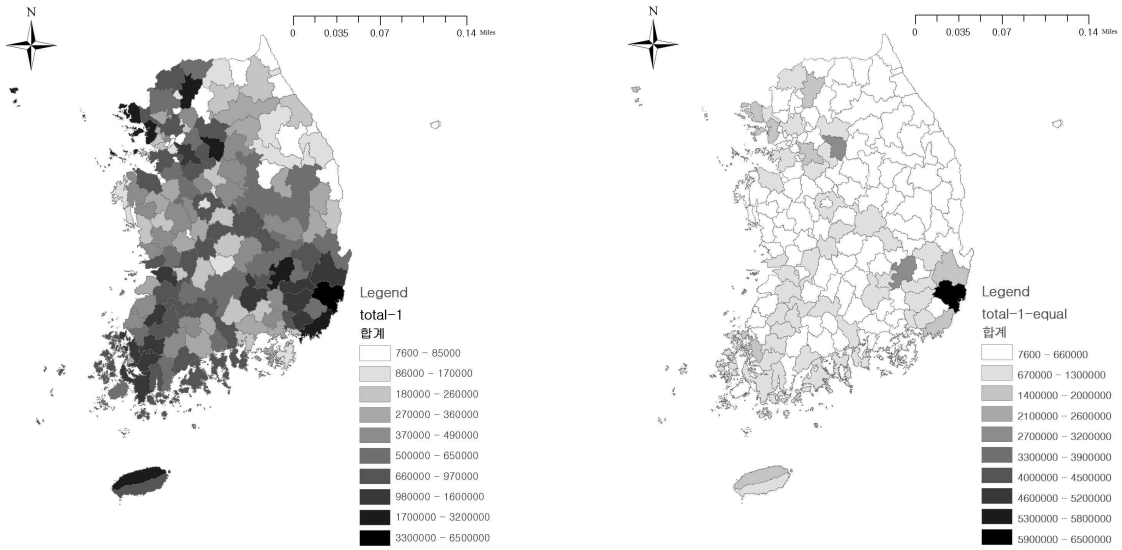
그림 4. 속성별 자료 구축 형태

▷ 석면슬레이트의 일반적인 분포특성

표 12. 지역별 슬레이트 건축물(건축물 수: 동, 건축면적: m2)

지역	슬레이트 건축물수	전국대비비율	슬레이트 건축면적	전국대비비율
서울특별시	11,382	0.92%	790,901	0.83%
부산광역시	47,304	3.83%	1,755,130	1.83%
대구광역시	19,210	1.55%	2,622,031	2.74%
인천광역시	20,804	1.68%	1,779,733	1.86%
대전광역시	10,880	0.88%	334,195	0.35%
광주광역시	12,682	1.03%	691,775	0.72%
울산광역시	13,959	1.13%	6,483,911	6.77%
경기도	137,671	11.13%	16,578,085	17.30%
강원도	72,626	5.87%	3,307,687	3.45%
충청북도	72,070	5.83%	4,502,193	4.70%
충청남도	97,157	7.86%	6,220,917	6.49%
전라북도	109,818	8.88%	8,416,837	8.79%
전라남도	190,567	15.41%	16,261,878	16.97%
경상북도	194,021	15.69%	12,538,067	13.09%
경상남도	175,850	14.22%	10,860,130	11.34%
제주도	50,463	4.08%	2,662,785	2.78%
합계	1,236,464	100.00%	95,806,255	100.00%

▷ GIS를 이용한 DB화



a) Type-A　　b) Type-B

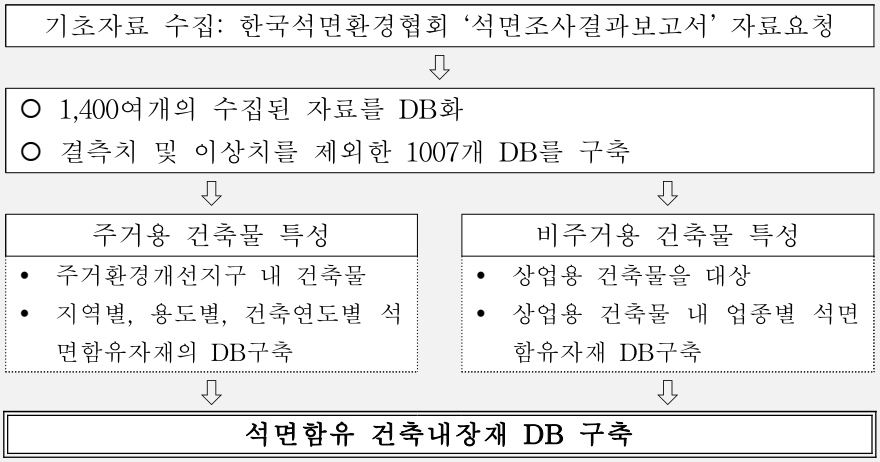
그림 5. 전국 석면슬레이트 분포지도 작성 결과

그 외에도 건축물 용도별, 건축연도별로 DB화하였다.

철거, 해체업체와 폐기물 운반 및 매립업체의 고려와 함께 적정처리를 위한 종합계획을 세운다면 경제성을 크게 향상시키고 인체, 환경적 측면에 대한 고려가 가능해 질 것으로 예상된다.

3. 석면함유 건축내장재 DB 구축

연구진행 순서:



석면함유 건축내장재의 종류 및 특성 DB를 바탕으로 원단위 및 발생량 DB를 확보하였다.

※ 텍스의 경우 텍스가 사용된 건축물 실내 면적에 텍스의 규격을 나누고 텍스의 단위면적당 중량을 곱하는 방법으로 발생량을 산정할 수 있기 때문에 본 장에서는 제외함

▷ 시도별, 용도별 및 구조별 분류

표 13. 수집된 DB의 용도별 분류

용도별 분류	개수	건축물연면적	석면함유자재 면적
근린생활시설	298	502264.07	45647.99
교육연구시설	88	313653.43	33509.23
주택	253	436222.54	61201.73
숙박시설	11	119269.95	749.14
창고시설	31	8246.81	5426.06
업무시설	53	66779.65	17083.74
판매시설	36	402907.50	3111.90
종교시설	13	11264.42	2842.24
운수시설	18	97253.83	2167.73
발전시설	2	7422.08	667.99
위락시설	3	1387.67	217.70
운동시설	2	1606.88	566.49
의료시설	5	51517.33	353.77
노유자시설	6	10627.24	1779.97
자동차 관련 시설	13	11365.44	877.74
문화 및 집회 시설	16	22202.06	7113.86
동물 및 식물관련시설	7	3801.93	3815.09
방송통신시설	2	0.00	179.23
교정 및 군사시설	4	1173.08	354.90
분뇨 및 쓰레기처리시설	2	2797.40	323.35
위험물 저장 및 처리 시설	5	637.29	217.44
공장	136	752133.92	134637.63
기타	1	784.75	519.89
미기재	2	566.96	568.10
총 합계	1007	2825886.23	323932.91

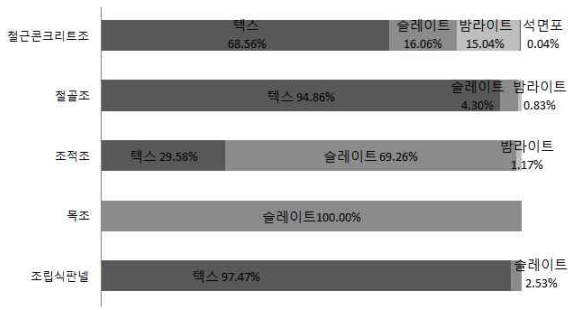
표 14. 수집된 DB의 시도별 분류

시도별 분류	개수	건축물연면적	석면함유자재 면적
서울특별시	5	24421.05	484.98
광주광역시	5	118087.52	366.56
대구광역시	2	1171.25	0.00
울산광역시	327	1262423.00	144113.87
부산광역시	425	716617.17	96637.08
경기도	2	904.59	1093.73
충청북도	1	991.00	59.58
전라남도	7	5992.62	5104.26
경상북도	18	18644.15	8154.41
경상남도	125	318957.98	49104.55
제주특별자치도	90	357675.89	18813.88
총 합계	1007	2825886.23	323932.91

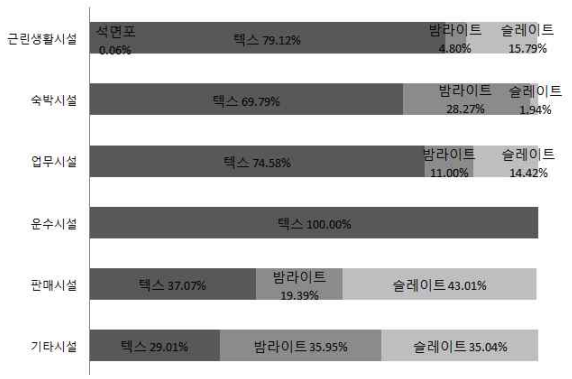
표 15. 수집된 DB의 구조별 분류

구조별 분류	개수	건축물연면적	석면함유자재 면적
철근콘크리트구조	438	1514092.88	103498.83
철골철근콘크리트구조	5	82085.37	560.37
블록구조	153	54197.03	43526.18
벽돌구조	90	45769.59	21148.43
철골구조	122	563913.79	87714.03
목구조	21	10281.39	9059.68
석구조	10	1804.51	1945.09
기타구조	19	14294.06	2602.16
미기재	149	539447.63	53878.13
총 합계	1007	2825886.23	323932.91

▷ 상업용 건축물 DB 구축



구조별 석면함유자재 종류 비율



용도별 석면함유자재 종류 비율

그림 6. 상업용 건축물 석면함유자재 분포

4. 건축면적에 기준한 석면함유자재 발생 원단위 분석

연구진행 순서:

○ 슬레이트 잇기 표준시방 규정 참고
○ 원단위 활용 문제점 도출

⇩

슬레이트 현장 실측조사
○ 지붕전체: 8도 8개면, 103개 슬레이트 건축물
○ 확장처마: 서울시 주택재개발 정비사업지구 424개 건축물

⇩ ⇩

회귀분석 실시 — 지붕전체에 사용된 슬레이트
공분산분석 실시 — 확장처마에 사용된 슬레이트

⇩ ⇩

건축면적에 기준한 석면함유자재 발생 원단위 분석

지붕전체에 석면슬레이트가 사용된 건축물의 건축면적 당 석면슬레이트 면적 회귀식을 도출하고 확장된 처마에서 사용된 석면슬레이트의 건축면적 당 발생량을 파악하여 건축구조별, 건축연도별 석면슬레이트 발생패턴과 건축면적 당 석면슬레이트의 발생량 산정식을 도출하였다.

▷ 슬레이트 표준시방 규정

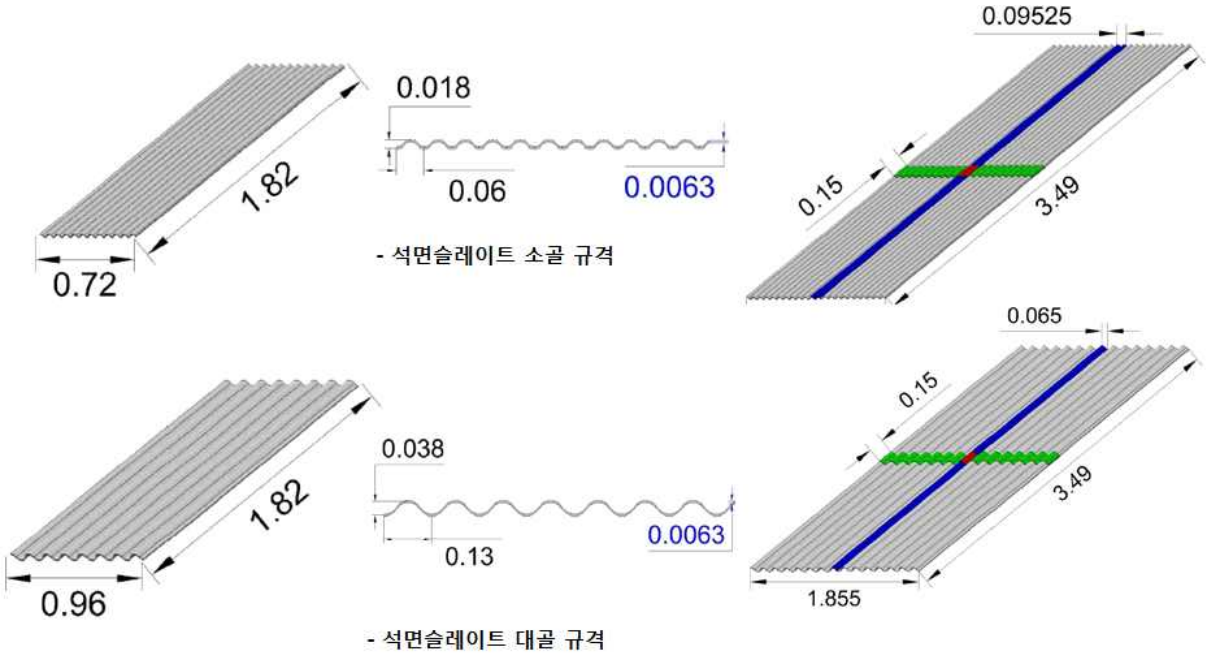


그림 7. 슬레이트 잇기의 표준시방

소골 1.820 x 0.720 m의 경우 다음의 계산식을 사용하였다.

겹이음 면적 = 순면적 + 가로 겹침 면적 + 세로 겹침 면적 - 가로 세로 겹침 면적

$$A = a \times b + 0.09525 \times b \times \mathrm{Int}\left(\frac{a}{0.72}\right) + 0.15 \times a \times \mathrm{Int}\left(\frac{b}{1.82}\right) - 0.09525 \times 0.15 \times \mathrm{Int}\left(\frac{a}{0.72}\right) \times \mathrm{Int}\left(\frac{b}{1.82}\right)$$

A - 면적 (m^2)　　a - 골 직각 방향 길이　　b - 골 방향 길이

대골 1.820 x 0.960 m의 경우 다음의 계산식을 사용하였다.

$$A = a \times b + 0.065 \times b \times \mathrm{Int}\left(\frac{a}{0.96}\right) + 0.15 \times a \times \mathrm{Int}\left(\frac{b}{1.82}\right) - 0.065 \times 0.15 \times \mathrm{Int}\left(\frac{a}{0.96}\right) \times \mathrm{Int}\left(\frac{b}{1.82}\right)$$

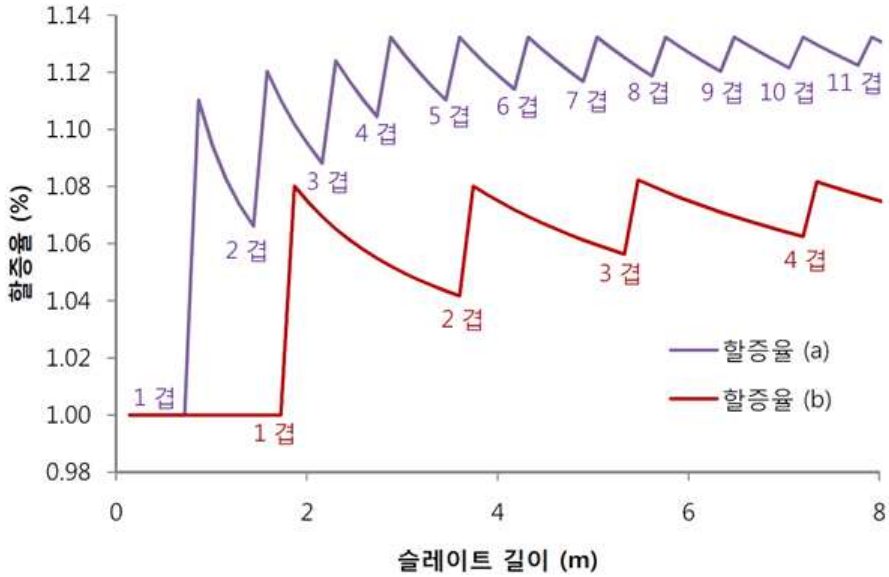


그림 8. 슬레이트 표준시방에 의한 면적계산방법

▷ 지붕전체에 사용된 석면슬레이트의 건축면적 당 발생량

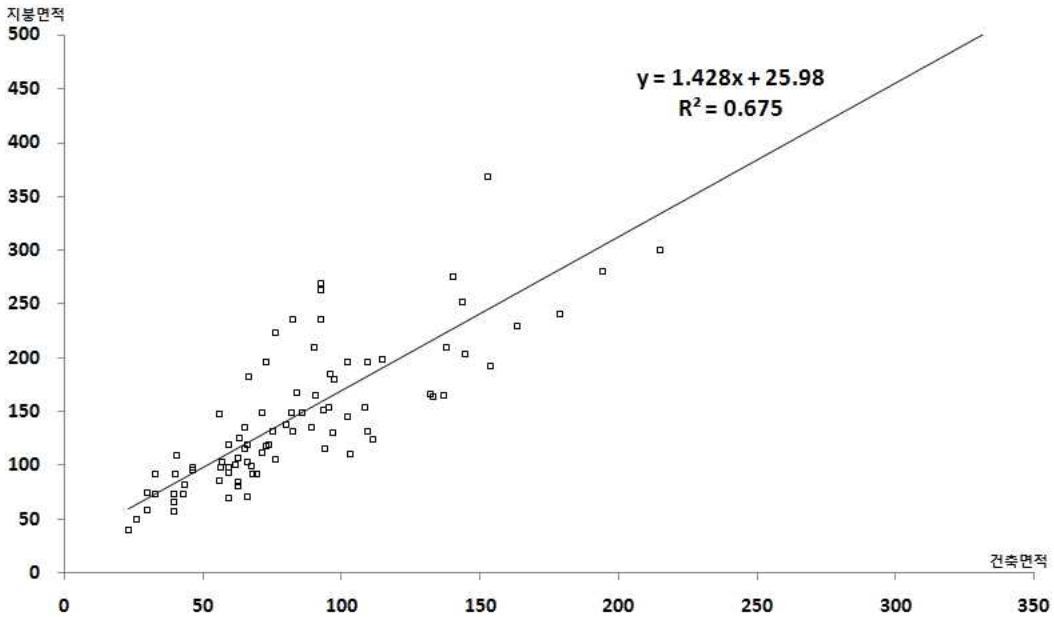


그림 9. 건축면적당 석면슬레이트 지붕면적(단위: m2)

▷ 확장된 처마에 사용된 석면슬레이트의 건축면적 당 발생량

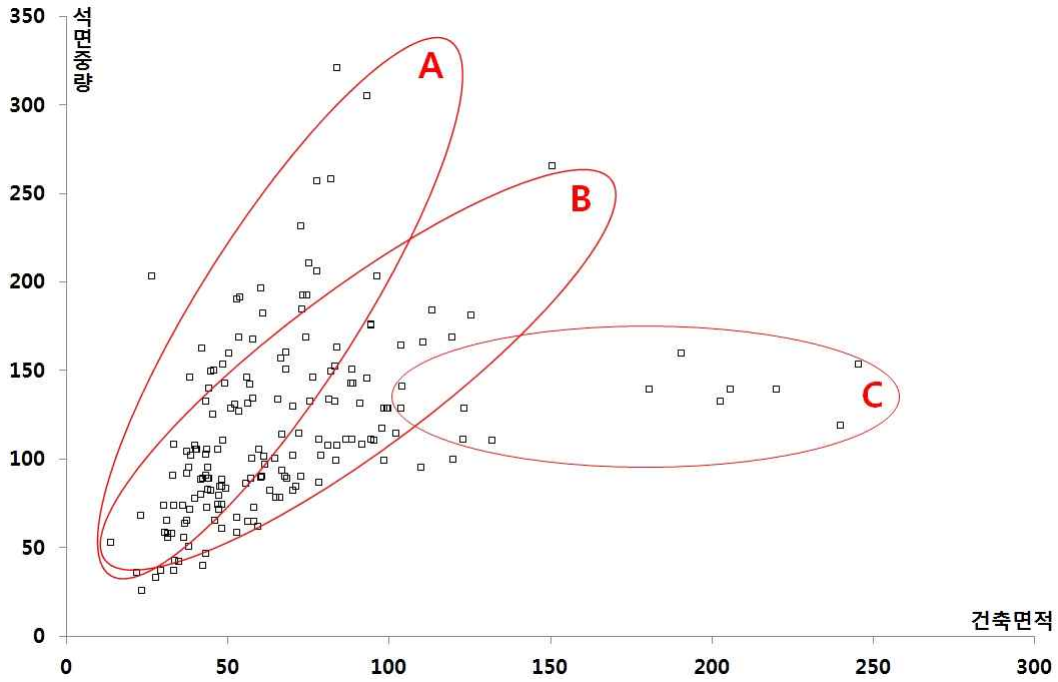


그림 10. 주택 재개발 지구 내 석면슬레이트 발생 모형

▷ 건축면적에 기준한 석면함유건축자재 발생량 산정식

표 16. 개발된 석면함유건축자재 발생량 산정식

구분		산정식
텍스		(건축면적/텍스개당면적)×텍스단위면적중량
본지붕 산정식(슬레이트)		(1.428 × S + 25.98)×10.5
확장된 처마에 사용된 산정식 (슬레이트)	벽돌구조	43.017 + (0.929 × S)×10.5
	블록구조	-13.015 + (2.712 × S)×10.5
	철콘구조	113.669 + (0.127 × S)×10.5
	1990년대 이전	56.256 + (0.957 × S)×10.5
	1990년대 이후	136.811 + (0.021 × S)×10.5

2차년도 연구내용

1. 석면함유자재 해체·제거 작업과정 사용장비 조사

- 석면함유자재 해체·제거 작업지침 분석
- 석면함유자재 해체·제거 작업단계 분류
- 단계별 온실가스 및 비용발생 항목 조사 및 목록화

2. 석면함유자재 해체·제거 전과정 에너지소비량 원단위 도출

- 조사를 통한 사용장비 관련 자료 정리
- 텍스, 슬레이트 해체·제거 장비 소비전력 정리
- 텍스, 슬레이트 해체·제거 장비 에너지소비량 산정

3. 석면함유자재 해체·제거 전과정 온실가스 배출량 원단위 도출

- (전력, 연료사용)산정식을 통한 각 단계별 온실가스 배출량 산정
- 해체철거공사 사용장비별 온실가스 배출량 산정
- 운반 및 처리단계 차량사용에 따른 온실가스 배출량 산정
- 석면함유자재 해체·제거 온실가스 배출량 원단위 도출

4. 석면함유자재 해체·제거 전과정 처리비용 원단위 도출

- 참고자료 정리
- 석면함유자재 해체·제거 각 단계별 처리비용 배출량 산정
- 석면함유자재 해체·제거 전과정 처리비용 원단위 도출

1. 석면함유자재 해체·제거 작업과정 사용장비 조사

연구진행 순서:

석면함유자재 해체·제거 작업지침 분석
○ 석면해체·제거업자 인력·시설 기준
○ 석면해체·제거업자 장비기준

⇩

석면함유자재 해체·제거 전과정 작업단계 분류
○ 해체·제거 순서에 따른 단계 분류
○ 단계별 온실가스 및 비용발생 항목 조사

⇩

석면함유자재 해체·제거 전과정 및 작업단계별 온실가스 및 비용발생항목 목록화

석면함유자재 해체·철거 과정에서 사용되는 장비 및 인력항목에 대하여 석면함유자재 해체·제거 단계별로 분류하고 목록화하였다.

※ 석면함유자재 해체·철거는 석면함유자재의 위치에 따라 실내(텍스) 및 실외(슬레이트) 해체·제거 작업과정으로 나눌 수 있음. 따라서 슬레이트와 텍스로 분류하여 연구를 진행함

▷ 석면함유자재 해체·제거 단계 분류

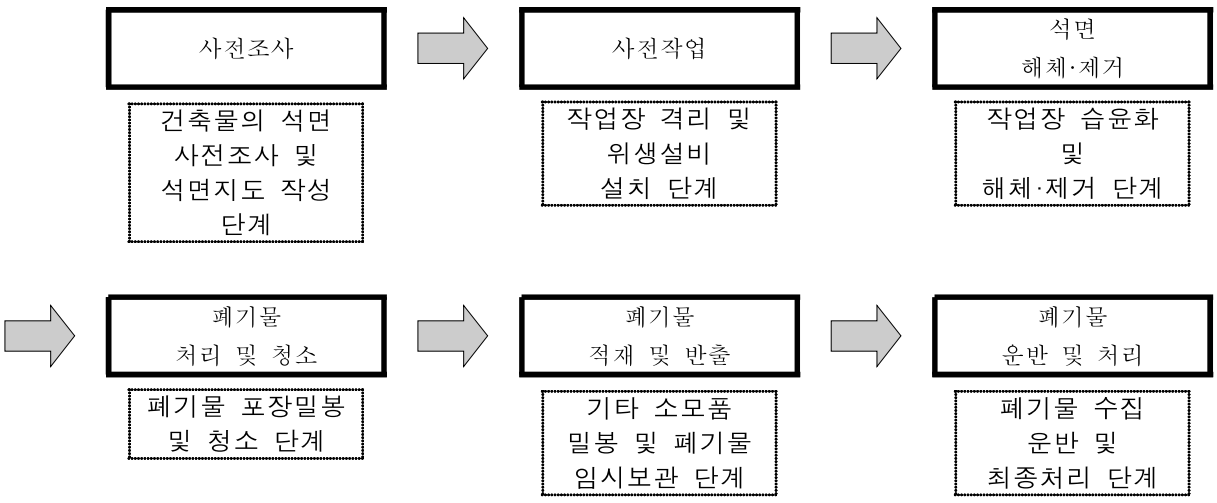


그림 11. 석면함유자재 해체·제거 과정 대분류

표 17. 텍스 작업단계 분류와 온실가스 및 비용 발생항목

텍스 해체·제거작업순서		인건비		사용 장비, 재료 및 기타비용
1. 사전조사	1) 석면조사	직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)		• 간접재료(필터, 작업복, 장갑) • 제경비, 기술료, 직접경비
	2) 석면지도 작성	초급기술자 및 중급기능사		
2. 사전작업	1) 격리조치	석면해체공, 보통 인부, 관리감독자		• 간접재료(경고표지판, 안전띠, 타포린)
	2) 위생설비 설치			• <u>샤워기, 배수여과장치</u>, 집수조, 비닐시트, 위생설비틀
	3) 작업장 벽·바닥 비닐보양			• 벽·바닥 보양비닐
	4) 음압기 설치			• <u>음압기,</u> 음압기록장치, 전동공구
3. 석면 해체·제거	1) 개인보호구 착용			• 보호구 손료(반면마스크, 안전장화, 고글) • 보호구 소모품(특급필터, 방진복, 방진장갑, 면장갑)
	2) 약물살포(습윤화)		보통 인부	• 분무기
	3) 석면농도 측정(작업 전 + 작업 중)		직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)	• 간접재료(필터, 작업복, 장갑) • 제경비, 기술료, 직접경비
	4) 이동식 비계 조립		보통 인부	• 재료비
	5) 포장비닐 설치			• 포장비닐
4. 폐기물 처리 및 청소	1) 폐기물 밀봉 및 스티커 부착			• 밀봉테이프, 스티커
	2) 벽바닥 습식청소		보통 인부	• <u>HEPA 필터 청소기</u>
5. 폐기물 적재 및 반출	1) 석면농도 측정(작업 후)		직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)	• 간접재료(필터, 작업복, 장갑) • 제경비, 기술료, 직접경비
	2) 소모품 밀봉 및 스티커 부착			• 밀봉테이프, 스티커, 폐기용 백
	3) 폐기물 임시보관 및 표지판 설치			• 석면적재경고표지판
6. 폐기물 운반 및 처리	1) 폐기물 운반	보통 인부		• <u>덤프트럭</u> • 재료비 경비
	2) 매립			• 매립비용

※ 밑줄 그어진 부분은 온실가스 발생 장비를 표시한다.

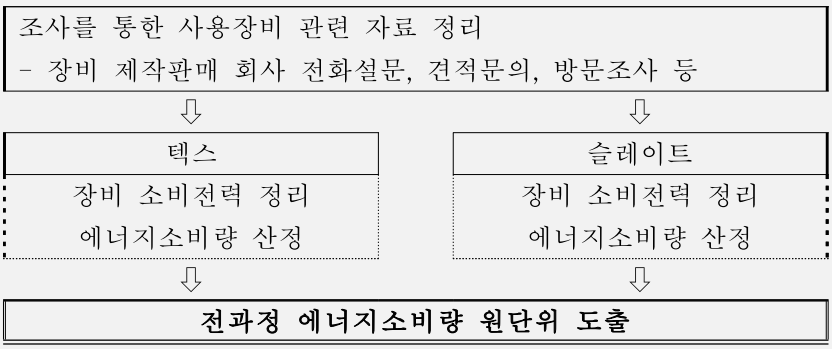
표 18. 슬레이트 작업단계 분류와 온실가스 및 비용 발생항목

슬레이트 해체·제거작업순서		인건비		사용 장비, 재료 및 기타비용
1. 사전조사	1) 석면조사	직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)		• 간접재료(필터, 작업복, 장갑) • 제경비, 기술료, 직접경비
	2) 석면지도 작성	초급기술자 및 중급기능사		
2. 사전작업	1) 격리조치	석면해체공, 보통 인부, 관리감독자		• 간접재료(경고표지판, 안전띠, 타포린)
	2) 위생설비 설치			• **샤워기, 배수여과장치**, 집수조, 비닐시트, 위생설비틀
	3) 건물 외부 바닥 비닐 설치		보통 인부	• 바닥 보양비닐
	4) 수직강관비계 설치		비계공	• 재료비
	5) 수평강관비계 설치		비계공	• 재료비
	6) 안전방망 설치		비계공	• 재료비
3. 석면 해체·제거	1) 개인보호구 착용			• 보호구 손료(반면마스크, 안전장화, 고글) • 보호구 소모품(특급필터, 방진복, 방진장갑, 면장갑)
	2) 약물살포(습윤화)		보통 인부	• 분무기
	3) 석면농도 측정(작업 전 + 작업 중)		직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)	• 간접재료(필터, 작업복, 장갑) • 제경비, 기술료, 직접경비
	4) 포장비닐 설치			• 포장비닐
4. 폐기물 처리 및 청소	1) 폐기물 밀봉 및 스티커 부착			• 밀봉테이프, 스티커
	2) 벽바닥 습식청소		보통 인부	• **HEPA 필터 청소기**
5. 폐기물 적재 및 반출	1) 작업 후 석면농도 측정		직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)	• 간접재료(필터, 작업복, 장갑) • 제경비, 기술료, 직접경비
	2) 소모품 밀봉 및 스티커 부착			• 밀봉테이프, 스티커, 폐기용 백, 연결고리
	3) 폐기물 임시보관 및 표지판 설치			• 석면적재경고표지판
6. 폐기물 운반 및 처리	1) 폐기물 운반	보통 인부		• **덤프트럭** • 재료비 경비
	2) 매립			• 매립비용

※ 밑줄 그어진 부분은 온실가스 발생 장비를 표시한다.

2. 석면함유자재 해체·제거 전과정 에너지소비량 원단위 도출

연구진행 순서:



석면함유자재 해체·제거 과정에서 단계별 장비사용에 의한 에너지소비량을 분석하고 원단위를 도출하였다.

※ 본 절에서는 석면폐기물 운반 및 처리과정에서 폐기물 운반차량의 연료 사용에 의한 온실가스 발생량을 산정하기 위하여 운반차량의 연비 자료도 조사하여 정리하였음. 현재 석면해체·제거 작업 후 폐기물 상차 및 매립지에서의 폐기물 하차에 관한 세부 지침이 마련되어 있지 않아 본 연구에서는 제외함

현재 국내에서 석면해체·제거 장비를 제작·판매하는 회사는 총 6개뿐이며 이 6개의 회사에서 수집한 자료를 토대로 각 장비의 소비 전력을 정리하였다.

각 장비의 사용 시간에 따른 에너지 소비량 산출을 위하여 **샤워기와 배수여과장치**의 경우 문헌조사를 통한 통계값인 **1인당 사용 시간을 24.1분으로 산정**하였다.

▷ 텍스 해체철거공사 에너지 소비량 조사

표 19. 텍스 해체·제거 장비 제원 (단위 : Watt)

회사/장비	음압기		샤워기		배수 여과장치		HEPA 청소기	
	장비명	전력소비	장비명	전력소비	장비명	전력소비	장비명	전력소비
A사	HC2500A	1000	LPS-80	7000	LDF-80	340	C-112S	1350
B사	ARDC-1501	1200	아스맨	5000	AEWP-3810	380	ASZ-201	2400
C사	HC2500B	1100	LT-110	6000	LT-C100	78	C-112S	1350
D사	ha-2000	1500	ha-WS300	2500	ha-FS500	2500	KV-103S	2400
E사	CND300	2200	-	6000	-	1100	CK-862H	2700
F사	AirZone 2210	2250	-	2500	-	600	Clean Zone	2000
평 균		1541.7		4833.3		833.0		2033.3

표 20. 샤워기 및 배수여과장치 에너지소비량 (단위 : Watt)

회사/장비	샤워기	전력소비	1일 사용시간 (24.1분) 에너지소비량	배수여과장치	전력소비	1일 사용시간 (24.1분) 에너지소비량
A 사	LPS-80	7000	2811.7	LDF-80	340	136.6
B 사	아스맨	5000	2008.4	AEWP-3810	380	152.6
C 사	LT-110	6000	2410.0	LT-C100	78	31.3
D 사	ha-WS300	2500	1004.2	ha-FS500	2500	1004.2
E 사	-	6000	2410.0	-	1100	441.8
F 사	-	2500	1004.2	-	600	241.0
평 균		4833.3	1941.4		833.0	334.6

표 21. 음압기 에너지소비량 (단위 : Watt)

회사/장비	음압기	전력소비	1일 작업시간(6시간) 에너지 소비량
A 사	HC2500A	1000	6000
B 사	ARDC-1501	1200	7200
C 사	HC2500B	1100	6600
D 사	ha-2000	1500	9000
E 사	CND300	2200	13200
F 사	AirZone2210	2250	13500
평 균		1541.7	9250

표 22. HEPA 청소기 에너지소비량 (단위 : Watt)

회사/장비	HEPA 청소기	전력소비	1일 사용시간(1시간) 에너지 소비량
A 사	C-112S	1350	1350
B 사	ASZ-201	2400	2400
C 사	C-112S	1350	1350
D 사	KV-103S	2400	2400
E 사	CK-862H	2700	2700
F 사	Clean Zone	2000	2000
평 균		2033.3	2033.3

▷ 슬레이트 해체철거공사 에너지 소비량 조사

표 23. 슬레이트 해체·제거 장비 제원 (단위 : Watt)

회사/장비	샤워기		배수 여과장치		HEPA 청소기	
	장비명	소비전력	장비명	소비전력	장비명	소비전력
A사	LPS-80	7000	LDF-80	340	C-112S	1350
B사	아스맨	5000	AEWP-3810	380	ASZ-201	2400
C사	LT-110	6000	LT-C100	78	C-112S	1350
D사	ha-WS300	2500	ha-FS500	2500	KV-103S	2400
E사	-	6000	-	1100	CK-862H	2700
F사	-	2500	-	600	Clean Zone	2000
평 균		4833.3		833.0		2033.3

표 24. 샤워기 및 배수여과장치 에너지소비량 (단위 : Watt)

회사/장비	샤워기	전력소비	1일 사용시간 (24.1분)	배수여과장치	전력소비	1일 사용시간 (24.1분)
A 사	LPS-80	7000	2811.7	LDF-80	340	136.6
B 사	아스맨	5000	2008.4	AEWP-3810	380	152.6
C 사	LT-110	6000	2410.0	LT-C100	78	31.3
D 사	ha-WS300	2500	1004.2	ha-FS500	2500	1004.2
E 사	-	6000	2410.0	-	1100	441.8
F 사	-	2500	1004.2	-	600	241.0
평 균		4833.3	1941.4		833.0	334.6

표 25. HEPA 청소기 에너지 소비량 (단위 : Watt)

회사/장비	HEPA 청소기	전력소비	1일 사용시간(1시간) 에너지 소비량
A 사	C-112S	1350	1350
B 사	ASZ-201	2400	2400
C 사	C-112S	1350	1350
D 사	KV-103S	2400	2400
E 사	CK-862H	2700	2700
F 사	Clean Zone	2000	2000
평 균		2033.3	2033.3

▷ 석면함유자재 운반 및 처리 단계 온실가스 발생량

석면함유자재 운반에 사용되는 운반 차량을 카고형 화물차량으로 선정하고, 1톤에서 18톤까지의 톤급별로 구별하여 평균 연비를 정리하였다. (텍스, 슬레이트 동일함)

표 26. 화물자동차의 톤급별 평균 연비

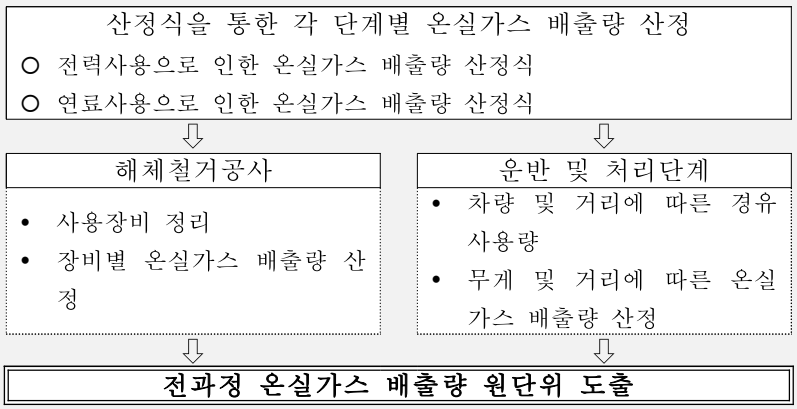
구분	평균 연비(km/l)
1톤 이하	6.52
3톤 이하	5.60
5톤 이하	4.31
8톤 이하	3.48
10톤 이하	2.95
12톤 이하	2.56
15톤 이하	2.41
18톤 이하	2.41

표 27. 화물자동차의 톤급별 운반 거리에 따른 경유사용량

구분	평균 연비(km/l)	5km 운반(l)	10km 운반(l)	15km 운반(l)	20km 운반(l)
1톤 이하	6.52	0.7669	1.5337	2.3006	3.0675
3톤 이하	5.60	0.8929	1.7857	2.6786	3.5714
5톤 이하	4.31	1.1601	2.3202	3.4803	4.6404
8톤 이하	3.48	1.4368	2.8736	4.3103	5.7471
10톤 이하	2.95	1.6949	3.3898	5.0847	6.7797
12톤 이하	2.56	1.9531	3.9063	5.8594	7.8125
15톤 이하	2.41	2.0747	4.1494	6.2241	8.2988
18톤 이하	2.41	2.0747	4.1494	6.2241	8.2988

3. 석면함유자재 해체·제거 전과정 온실가스 배출량 원단위 도출

연구진행 순서:



석면함유자재 해체·제거 단계별 장비의 에너지소비 및 차량의 경유 사용에 따른 온실가스 배출량을 분석하고 원단위를 도출하였다.

※ 사전조사 단계는 순수 인력만으로 진행하며 사용하는 장비나 재료 중 온실가스를 발생시키는 장비나 재료는 포함되어 있지 않으므로 연구범위에서 제외함. 사전작업 단계의 음압기록장치와 석면 해체·제거 단계 및 폐기물 적재 및 반출 단계의 석면 농도측정 장비의 경우 충전용 배터리를 사용하기에 직접적인 전력 소비가 없다고 판단하여 장비목록에서 제외함.

- 전기 사용으로 인한 온실가스 배출량 CO_2eq 산정식

$$CO_{2eqEmissions} = \sum(Q \times EF_j \times F_{eq,j})$$

여기서,

$CO_{2eqEmissions}$: 전력사용에 따른 온실가스 배출량(tCO_2eq)

Q : 외부에서 공급받은 전력 사용량(MWh)

EF_j : 온실가스 배출계수(tCO_2eq/MWh)

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO_2등가계수(CO_2=1, CH_4=21, N_2O=310)

j : 배출온실가스 종류

표 28. 전력부문 온실가스 배출계수

연도	구분	이산화탄소 배출계수 (tCO_2/MWh)	메탄 배출계수 ($kgCH_4/MWh$)	아산화질소 배출계수 (kgN_2O/MWh)	온실가스 배출계수 (tCO_2eq/MWh)
2011	발전단	0.4415	0.0050	0.0038	0.4428
	사용단	0.4585	0.0052	0.0040	0.4598

▷ 텍스 해체철거공사 온실가스 발생량

표 29. 텍스 사전작업 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거

단계	단계 분류	사용장비	사용 장비 온실가스 발생량 산출
사전작업 단계	격리조치	※ 해당 없음	
	위 생 설 비 설치	샤워기, 배수여과장치	① 에너지 소비량: 0.002276MWh - 샤워기: 4,833.3W × 24.1min ÷ 60min/h × 10^{-6}MW/W = 0.0019414MWh 배수여과장치: 833.0W × 24.1min ÷ 60min/h × 10^{-6}MW/W = 0.0003346MWh ② 전력간접배출계수: CO_2eq = 0.4598tCO_2eq/MWh ③ 온실가스 등가계수: CO_2 = 1 ④ 텍스 해체·제거 작업량: 49.8㎡
		온실가스 발생량: ① × ② × ③ ÷ ④ = 0.002276MWh × 0.4598tCO_2eq/MWh × 1,000kg/t ÷ 49.8㎡ = 0.0210kgCO_2eq/㎡	
	작업장 벽·바닥 비닐 보양	※ 해당 없음	
	음압기 설치	음압기	① 에너지 소비량: 1541.7W × 6h × 10^{-6}MW/W = 0.00925MWh ② 전력간접배출계수: CO_2eq = 0.4598tCO_2eq/MWh ③ 온실가스 등가계수: CO_2 = 1 ④ 텍스 해체·제거 작업량: 49.8㎡
		온실가스 발생량: ① × ② × ③ ÷ ④ = 0.00925MWh × 0.4598tCO_2eq/MWh × 1,000kg/t ÷ 49.8㎡ = 0.0854kgCO_2eq/㎡	
			계: 0.1064kgCO_2eq/㎡

표 30. 텍스 폐기물 처리 및 청소 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거

단계	단계 분류	사용장비	사용 장비 온실가스 발생량 산출
폐기물 처리 및 청소 단계	폐기물 밀봉 및 스티커 부착	※ 해당 없음	
	폐기물 처리 및 청소 단계	HEPA 청소기	① HEPA 청소기 에너지 소비량: 2033.3W × 1h × 10^{-6}MW/W = 0.0020333MWh ② 전력간접배출계수: CO_2eq = 0.4598tCO_2eq/MWh ③ 온실가스 등가계수: CO_2 = 1 ④ 텍스 해체·제거 작업량: 49.8㎡
		온실가스 발생량: ① × ② × ③ ÷ ④ = 0.0020333Wh × 0.4598tCO_2eq/MWh × 1,000kg/t ÷ 49.8㎡ = 0.0188kgCO_2eq/㎡	
			계: 0.0188kgCO_2eq/㎡

표 31. 텍스 해체·제거 1일 평균 작업량

작업구분	작업시간	1일 평균 작업량(㎡)
석면텍스	6시간	49.8

※ 사전작업 단계의 단위면적당 온실가스 발생량은 0.1064kgCO_2eq/㎡으로 산출되었고 폐기물 처리 및 청소 단계의 단위면적당 온실가스 발생량은 0.0188kgCO_2eq/㎡으로 산출되었다. 따라서 텍스 해체철거공사 단계의 단위면적당 온실가스 발생량은 0.1252kgCO_2eq/㎡으로 산출되었다.

▷ 슬레이트 해체철거공사 온실가스 발생량

표 32. 슬레이트 사전작업 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거

단계	단계 분류	사용장비	사용 장비 온실가스 발생량 산출
사전작업 단계	격리조치	※ 해당 없음	
	위 생 설 비 설치	샤워기, 배수여과장치	① 에너지 소비량: 0.002276MWh - 샤워기: 4,833.3W × 24.1min ÷ 60min/h × 10^{-6}MW/W = 0.0019414MWh 배수여과장치: 833.0W × 24.1min ÷ 60min/h × 10^{-6}MW/W = 0.0003346MWh ② 전력간접배출계수: CO_2e = 0.4598tCO_2eq/MWh ③ 온실가스 등가계수: CO_2 = 1 ④ 텍스 해체·제거 작업량: 75㎡
		온실가스 발생량: ① × ② × ③ ÷ ④ = 0.002276MWh × 0.4598tCO_2eq/MWh × 1,000kg/t ÷ 75㎡ = 0.0140kgCO_2eq/㎡	
	작업장 벽·바닥 비닐 보양	※ 해당 없음	
	수직강관 비계 설치	※ 해당 없음	
	수평강관 비계 설치	※ 해당 없음	
	안전방망 설치	※ 해당 없음	
			계: 0.0140kgCO_2eq/㎡

표 33. 슬레이트 폐기물 처리 및 청소 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거

단계	단계 분류	사용장비	사용 장비 온실가스 발생량 산출
폐기물 처리 및 청소 단계	폐기물 밀봉 및 스티커 부착	※ 해당 없음	
	폐기물 처리 및 청소 단계	HEPA 청소기	① HEPA 청소기 에너지 소비량: 2033.3W × 1h × 10^{-6}MW/W = 0.0020333MWh ② 전력간접배출계수: CO_2eq = 0.4598tCO_2eq/MWh ③ 온실가스 등가계수: CO_2 = 1 ④ 텍스 해체·제거 작업량: 75㎡
		온실가스 발생량: ① × ② × ③ ÷ ④ = 0.0020333Wh × 0.4598tCO_2eq/MWh × 1,000kg/t ÷ 75㎡ = 0.0125kgCO_2eq/㎡	
			계: 0.0125kgCO_2eq/㎡

표 34. 슬레이트 해체·제거 1일 평균 작업량

작업구분	작업시간	1일 평균 작업량(㎡)
석면슬레이트	6시간	75

※ 사전작업 단계의 단위면적당 온실가스 발생량은 0.0140kgCO_2eq/㎡으로 산출되었고 폐기물 처리 및 청소 단계의 단위면적당 온실가스 발생량은 0.0125kgCO_2eq/㎡으로 산출되었다. 따라서 슬레이트 해체철거공사 단계의 단위면적당 온실가스 발생량은 0.0265kgCO_2eq/㎡으로 산출되었다.

- 연료 사용으로 인한 온실가스 배출량 CO_2eq 산정식

$$E_{ij} = \sum(Q_i \times EC_i \times EF_{ij} \times F_{eq,i} \times 10^{-9})$$

여기서,

E_{ij} : 연료종류(i) 사용에 따른 온실가스(j)의 배출량($kgCO_2$-e)

Q_i : 연료종류(i)의 연료소비량(l)

EC_i : 연료종류(i)의 순발열량(MJ/l-연료)

EF_{ij} : 연료종류(i)에 대한 온실가스(j)의 배출계수(kg/TJ)

$F_{eq,i}$: 온실가스(j)의 등가계수(CO_2=1, CH_4=4, N_2O=310)

i : 연료종류

표 35. 경유의 총발열량 및 순발열량

구분	단위	총발열량	순발열량
경유	MJ/l	37.9	35.4

표 36. 경유의 온실가스 기본 배출계수

연료종류	기본 배출계수(kg/TJ)			
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2-e
경유	74,100	3.9	3.9	75324.6

표 37. 화물자동차의 톤급별 거리에 따른 온실가스 발생량(단위 : kgCO2-e)

구분	5km	10km	15km	20km
1톤 이하	2.0449	4.0896	6.1345	8.1795
3톤 이하	2.3809	4.7616	7.1425	9.5231
5톤 이하	3.0934	6.1868	9.2802	12.3736
8톤 이하	3.8312	7.6624	11.4934	15.3246
10톤 이하	4.5194	9.0389	13.5583	18.0780
12톤 이하	5.2079	10.4161	15.6240	20.8320
15톤 이하	5.5322	11.0643	16.5965	22.1287
18톤 이하	5.5322	11.0643	16.5965	22.1287

▷ 텍스 폐기물 운반 및 처리 단계 온실가스 발생량

텍스의 단위면적 중량(7.5kg/㎡)을 최대 적재량에 대입하여 적재되는 면적을 산출함

표 38. 적재되는 텍스 면적(단위 : ㎡)

구분	텍스 면적
1톤 이하	133.33
3톤 이하	400
5톤 이하	666.67
8톤 이하	1066.67
10톤 이하	1333.33
12톤 이하	1600
15톤 이하	2000
18톤 이하	2400

표 39. 운반 시 텍스 단위면적(㎡) 당 온실가스 발생량(단위 : kgCO2-e/㎡)

구분	5km	10km	15km	20km
1톤 이하	0.0153	0.0307	0.0460	0.0613
3톤 이하	0.0060	0.0119	0.0179	0.0238
5톤 이하	0.0046	0.0093	0.0139	0.0186
8톤 이하	0.0036	0.0072	0.0108	0.0144
10톤 이하	0.0034	0.0068	0.0102	0.0136
12톤 이하	0.0033	0.0065	0.0098	0.0130
15톤 이하	0.0028	0.0055	0.0083	0.0111
18톤 이하	0.0023	0.0046	0.0069	0.0092

▷ 슬레이트 폐기물 운반 및 처리 단계 온실가스 발생량

슬레이트의 단위면적 중량(10.5kg/㎡)을 최대 적재량에 대입하여 적재되는 면적을 산출함

표 40. 적재되는 슬레이트 면적(단위 : ㎡)

구분	텍스 면적
1톤 이하	95.24
3톤 이하	285.71
5톤 이하	476.19
8톤 이하	761.90
10톤 이하	952.38
12톤 이하	1142.86
15톤 이하	1428.57
18톤 이하	1714.29

표 41. 운반 시 슬레이트 단위면적(㎡) 당 온실가스 발생량(단위 : kgCO2-e/㎡)

구분	5km	10km	15km	20km
1톤 이하	0.0215	0.0429	0.0644	0.0859
3톤 이하	0.0083	0.0167	0.0250	0.0333
5톤 이하	0.0065	0.0130	0.0195	0.0260
8톤 이하	0.0050	0.0101	0.0151	0.0201
10톤 이하	0.0047	0.0095	0.0142	0.0190
12톤 이하	0.0046	0.0091	0.0137	0.0182
15톤 이하	0.0039	0.0077	0.0116	0.0155
18톤 이하	0.0032	0.0065	0.0097	0.0129

▷ 텍스 해체·제거 전과정 온실가스 발생량 산정

- 텍스 해체철거 공사 단위면적 당 온실가스 발생량

$$Y_{tex} = 0.1252\ X_{tex,㎡}$$

여기서,

Y_{tex} : 텍스 해체철거 작업 시 온실가스 총 배출량($kgCO_2eq$)

0.1252 : 텍스 단위면적당 평균 온실가스 배출량($kgCO_2/㎡$)

$X_{tex,㎡}$: 해체철거하려는 텍스 면적(㎡)

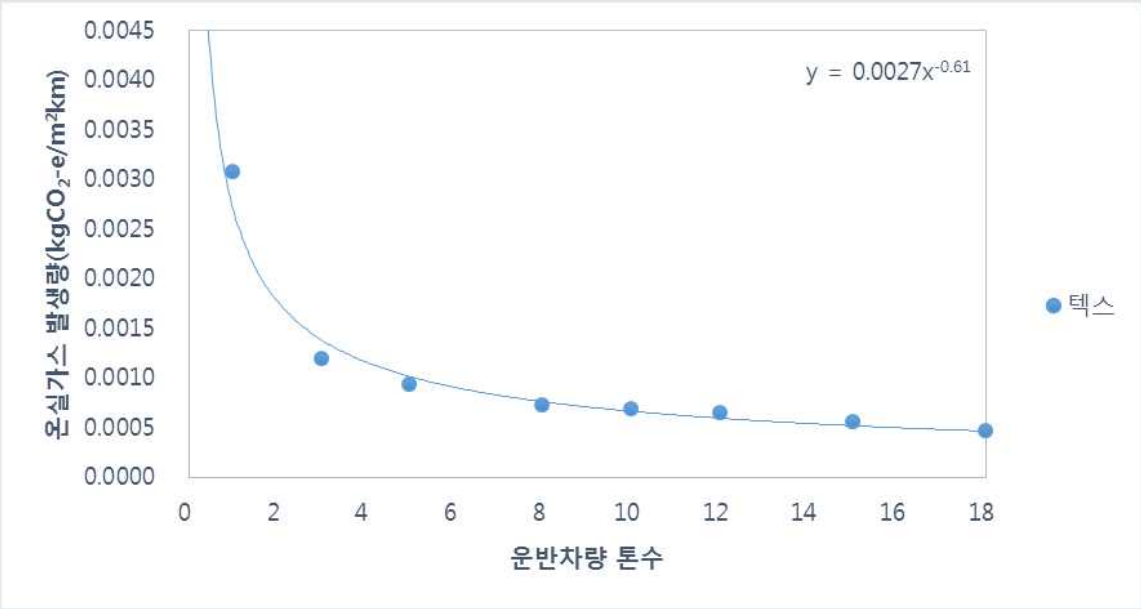


그림 12. 텍스 운반 차량 톤수에 따른 온실가스 발생량

- 텍스 운반 시 화물차의 톤급별 온실가스 발생량

$$Y_{tex} = 0.0027\ T^{-0.610} \times M$$

여기서,

Y_{tex} : 텍스 운반 시 온실가스 총 배출량($kgCO_2eq/km$)

T : 톤급별 텍스 운반차량 톤수

M : 운반거리(km)

- 텍스의 해체철거와 운반 및 매립을 통해 도출된 온실가스 발생량 추정 모델

$$y_{tex} = 0.125x_{tex} + (0.0027 \times T^{-0.610} \times M)$$

여기서,

y_{tex} : 석면텍스 해체·제거와 운반에 따른 온실가스 총 배출량($kgCO_2eq$)

x_{tex} : 해체·제거하려는 석면텍스 면적

T : 톤급별 석면텍스 운반 차량 톤수

M : 운반거리(km)

▷ 슬레이트 해체·제거 전과정 온실가스 발생량 산정

- 슬레이트 해체철거 공사 단위면적 당 온실가스 발생량

$$Y_{slate} = 0.0265\ X_{slate,㎡}$$

여기서,

Y_{slate} : 슬레이트 해체철거 작업 시 온실가스 총 배출량($kgCO_2eq$)

0.0265 : 슬레이트 단위면적당 평균 온실가스 배출량($kgCO_2/㎡$)

$X_{slate,㎡}$: 해체철거하려는 슬레이트 면적(㎡)

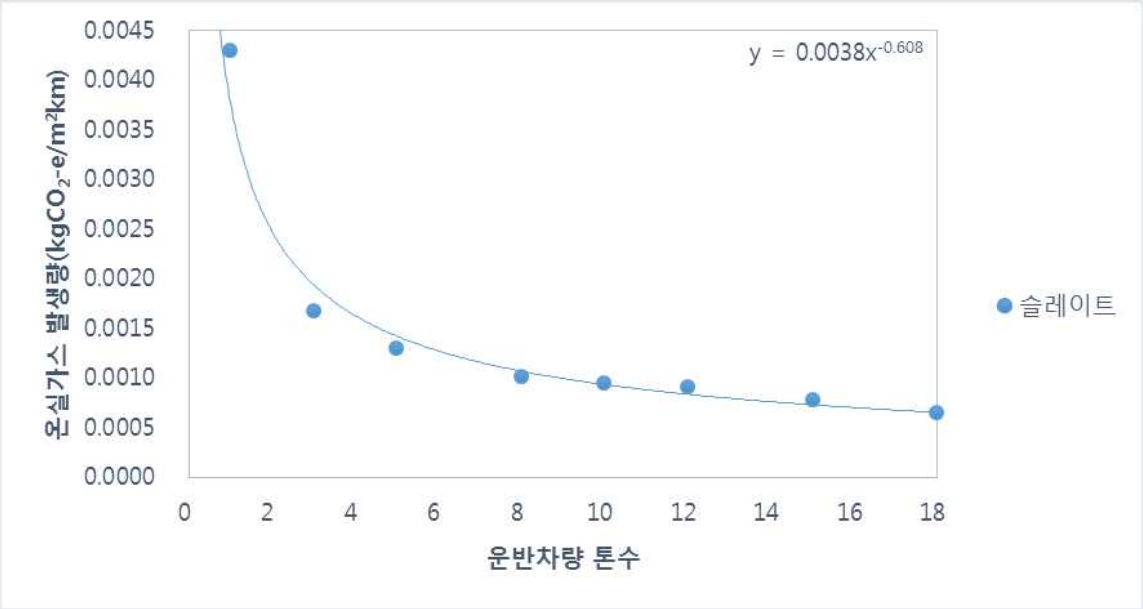


그림 13. 슬레이트 운반차량 톤수에 따른 온실가스 발생량

- 슬레이트 운반 시 화물차의 톤급별 온실가스 발생량

$$Y_{slate} = 0.0038\ T^{-0.606} \times M$$

여기서,

Y_{slate} : 슬레이트 운반 시 온실가스 총 배출량($kgCO_2eq/km$)

T : 톤급별 슬레이트 운반차량 톤수

M : 운반거리(km)

- 슬레이트의 해체철거와 운반 및 매립을 통해 도출된 온실가스 발생량 추정 모델

$$y_{slate} = 0.0264x_{slate} + (0.0038 \times T^{-0.608} \times M)$$

여기서,

y_{slate} : 석면슬레이트 해체·제거와 운반에 따른 온실가스 총 배출량($kgCO_2eq$)

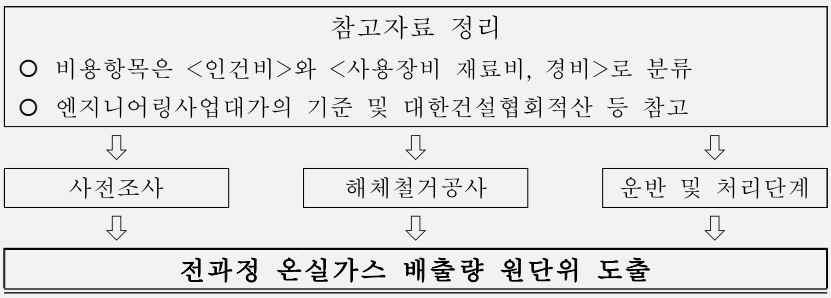
x_{slate} : 해체·제거하려는 석면슬레이트 면적

T : 톤급별 석면슬레이트 운반 차량 톤수

M : 운반거리(km)

4. 석면함유자재 해체·제거 전과정 처리비용 원단위 도출

연구진행 순서:



석면함유자재 해체·제거 전과정 사용 장비 및 인력에 의한 각 단계별 비용 분석 원단위를 도출하였다.

※ "석면함유자재 해체·제거 전과정 온실가스 배출량 원단위 도출" 연구 진행 시 3차년도 연구개발 목표인 "석면함유자재 해체·제거 전과정 처리비용 원단위 도출" 연구도 진행하였음.

▷ 사전조사단계 비용 산정

표 42. 사전조사 원가계산서

<table>
<tr><th>단계</th><th>단계 분류</th><th>인건비 산출</th><th>사용 장비 재료비, 경비 산출</th></tr>
<tr><td rowspan="4">1.
사 전 조 사</td><td rowspan="2">1) 석면조사 (1일당)</td><td>① 직접인건비: 241,981원
- 초급기술자: 134,313원 × 1인 = 134,313원
초급숙련기술자: 107,668원 × 1인 = 107,668원</td><td>② 간접재료비: 12,316원
- 필터: 4,540원 × 1조 = 4,540원
작업복: 7,500원 × 1벌 = 7,500원
장갑: 276원 × 1켤레 = 276원
③ 제경비: 241,981(직접인건비)×110% = 266,179원
④ 기술료: (241,981(직접인건비)+266,179(제경비))×20% = 101,632원
⑤ 직접경비: 직접인건비(241,981원)의 30% = 72,594원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액(①+②+③+④+⑤) + 부가세(공급가액의 10%) = 694,702원 + 69,470원 = 764,172원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2) 석면지도 작성 (단순, 장당)</td><td>① 초급기술자: 134,313원 × 0.24인 = 32,235원
② 중급기능사: 141,101원 × 0.49인 = 69,139원</td><td>※ 해당 없음</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 101,374원 + 10,137원 = 111,511원</td></tr>
<tr><td colspan="4">1)석면조사 원가계산 산출 근거:

① 인건비 : 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제7조(직접인건비) 적용
② 간접재료비 : 환경부 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조, 폐기물공정시험기준(정도관리규정) 적용
③ 제경비 : 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제9조(제경비) 적용
④ 기술료 : 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제10조(기술료) 적용
⑤ 직접경비 : 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제8조(직접경비) 적용</td></tr>
<tr><td colspan="4">2)석면지도 작성 원가계산 산출 근거:

①,②는 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제7조(직접인건비) 적용
엔지니어링사업대가기준 제4장 제23조(예정수량 산출)별표 6의 작성난이도 ‘단순’으로 계상
엔지니어링사업대가기준 제4장 제23조(예정수량 산출)별표 5의 시공상세도 ‘1장’당 단가로 계상</td></tr>
</table>

※ 고형시료 분석비용은 별도계상 하였다. <환경부 석면안전관리법령, 규칙제정에 따른 고형시료 분석비(고시가격): 23,300원/개당 참조>

▷ 석면 해체철거공사 비용 산정

- 텍스 사전작업 단계

표 43. 사전작업 원가계산서(㎡당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
2. 사 전 작 업	1) 격리조치	※ 해당 없음	① 간접재료비: 20원 - 경고표지판: 50,000원 × 4EA × 0.00009개 = 18원 타포린: 1,800원 × 0.00009매 = 0원 안전띠: 18,000원 × 0.00009개 = 2원
		합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 20원 + 2원 = 22원	
	2) 위생설비 설치	※ 해당 없음	① 비닐시트: 40,300원 × 0.038㎡ = 1,531원 ② 장비손료: - 샤워기, 배수여과장치, 집수조: 2,021,500원 × 0.0001대 = 202원 ③ 위생설비 틀 손료: 460,000원 × 0.0001대 = 46원
		합계: 공급가액(①+②+③) + 부가세(공급가액의 10%) = 1,779원 + 178원 = 1,957원	
	3) 작업장 벽·바닥 비닐보양	※ 해당 없음	① 바닥 보양비닐(0.15mm): 40,300원 × 0.0074㎡ = 298원 ② 벽 보양비닐(0.08mm): 47,200원 × 0.0129㎡ = 609원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 907원 + 91원 = 998원	
	4) 음압기 설치	※ 해당 없음	① 음압기: 2,845,000원 × 0.00012대 = 341원 ② 음압기록장치: 2,070,000 × 0.00012대 = 248원 ③ 전동공구 : 85,460 × 0.00012대 = 10원
		합계: 공급가액(①+②+③) + 부가세(공급가액의 10%) = 599원 + 60원 = 659원	
			계: 3,636원
1)격리조치 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용 2)위생설비 및 배수여과장치 설치 원가계산 산출 근거: ①,②,③은 대한건설협회적산 805쪽 기계화시공/경비산정 모터 수량산출 산식 적용 3)작업장 벽·바닥 비닐보양 원가계산 산출 근거: ①,②는 대한건설협회적산 600쪽 건축/수장공사 방습필름 설치 수량산출 산식 적용 4)음압기 설치 원가계산 산출근거: ①,②,③은 대한건설협회적산 787쪽 기계화시공/경비산정 공기압축기 수량산출 산식 적용			

※ 발전기(작업장 전기 공급), 콤푸레샤(비닐시트 밀폐작업 시 콤푸레샤 에어공급), 에어타카(벽 밀폐작업 시 비닐 탈락 방지 비닐시트 고정) 등 장비들은 현장 여건에 따라 필요한 경우 별도계상 하였다.

- 텍스 해체·제거 단계

표 44. 석면 해체·제거 원가계산서(㎡당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
3. 석면 해체·제거	1) 개인보호구 착용	※ 해당 없음	① 보호구 손료: 20원 - 반면마스크: 35,000원 × 0.0003개 = 11원 안전장화: 27,600원 × 0.0003개 = 8원 고글: 4,600원 × 0.0003개 = 1원 ② 보호구 소모품: 9,367원 - 필터: 4,540원 × 0.84조 = 3,814원 방진복: 6,000원 × 0.84조 = 5,040원 장갑: 276원 × 0.84조 = 232원 면장갑: 334원 × 0.84조 = 281원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 9,387원 + 939원 = 10,326원	
	2) 약물살포(습윤화)	① 보통 인부: 83,975원 × 0.03인 = 2,519원	② 분무기 손료: 인건비의 1.5% = 2,519원 × 1.5% = 38원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 2,557원 + 256원 = 2,813원	
	3) 석면농도 측정(작업 전+작업 중)	① 직접인건비: 241,981원 - 초급기술자: 134,313원 × 1인 = 134,313원 초급숙련기술자: 107,668원 × 1인 = 107,668원	② 간접재료비: 24,632원 - 필터: 4,540원 × 2조 = 9,080원 방진작업복: 7,500원 × 2벌 = 15,000원 방진장갑: 276원 × 2켤레 = 552원 ③ 제경비: 241,981(직접인건비) × 110% = 266,179원 ④ 기술료: (241,981(직접인건비) + 266,179(제경비)) × 20% = 101,632원 ⑤ 직접경비: 상주 직접인건비(134,313원)의 30% = 40,294원 ⑥ 일일작업량: 1인(8.33㎡의) 배수17㎡ × 5인 = 85㎡
		합계: 2/3 × (공급가액(①+②+③+④+⑤) + 부가세(공급가액의 10%)) ÷ ⑥ = 2/3 × (674,718원 + 67,472원) ÷ 85㎡ = 5,821원	
	4) 이동식 비계 조립	① 보통 인부: 83,975원 × 0.0475인 = 3,989원	② 재료비: 28,272원 × 0.0072 = 204원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 4,193원 + 419원 = 4,612원	
	5) 포장비닐 설치	※ 해당 없음	① 포장비닐: 40,300원 × 0.004㎡ = 161원
		합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 161원 + 16원 = 177원	
			계: 23,749원

1)개인보호구 착용 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용
2)약물살포 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 581쪽 건축/칠 공사 석면방지페인트 1회 품 적용
②는 대한건설협회적산 10쪽 경장비 등의 손료 1.5% 적용
3)석면농도 측정(작업 전+작업 중) 원가계산 산출 근거: ①,②,③,④,⑤는 1.1)의 석면조사 원가계산 산출 근거와 같음
⑥은 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비)의 일일작업량 적용
4)이동식 비계 조립 원가계산 산출근거: ①은 대한건설협회적산 64쪽 가설공사/강관조립 말 비계 3개월 품, 단가 적용
②는 대한건설협회적산 67쪽 공기에 대한 손율 3개월 6% 적용
5)포장비닐 설치 원가계산 산출근거: ①은 환경부고시 제2012-78호 제4조(필름포장재)의 규격 적용

※ 3.3) 중 석면 해체·제거단계에서의 석면농도 측정은 작업 전·중·후 중 작업 전과 작업 중 만 해당하기에 합계에 2/3를 곱하여 계상함.

- 텍스 처리 및 청소 단계

표 45. 폐기물 처리 및 청소 원가계산서(㎡당)

<table>
<tr><th>단계</th><th>단계 분류</th><th>인건비 산출</th><th>사용 장비 재료비, 경비 산출</th></tr>
<tr><td rowspan="5">4.
폐 기 물
처리 및
청소</td><td rowspan="2">1) 폐기물
밀봉 및 스
티커 부착</td><td>※ 해당 없음</td><td>① 밀봉테이프: 1,270원 × 0.0187m = 24원
② 스티커: 173원 × 0.6장 = 104원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: (공급가액(1/2×(①+②)) + 부가세(공급가액의 10%)) = 64원 + 6원 = 70원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2) 벽바닥
습식청소</td><td>① 보통인부: 83,975원 × 0.033㎡ = 2,771원</td><td>② HEPA 청소기: 260,000원 × 0.00012대 = 31원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 2,802원 + 280원 = 3,082원</td></tr>
<tr><td colspan="3">계: 3,152원</td></tr>
<tr><td colspan="4">1)폐기물 밀봉 및 스티커 부착 산출 근거: ①,②는 산업안전보건규칙 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)의 규정 적용

2)벽바닥 습식청소 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 71쪽 가설공사/건축물 현장정리 (철근콘크리트조 품)적용
②는 대한건설협회적산 787쪽 기계화시공/경비산정 공기압축기 수량산출 산식 적용</td></tr>
</table>

※ 4.1) 중 밀봉테이프와 스티커는 폐기물 처리 및 청소단계의 폐기물 밀봉 및 스티커 부착과정과 폐기물 적재 및 반출단계의 소모품 밀봉 및 스티커 부착과정으로 나누어 쓰기에 본 단계에서는 합계에 1/2을 곱하여 계상함.

- 텍스 적재 및 반출 단계

표 46. 폐기물 적재 및 반출 원가계산서(㎡당)

<table>
<tr><th>단계</th><th>단계 분류</th><th>인건비 산출</th><th>사용 장비 재료비, 경비 산출</th></tr>
<tr><td rowspan="6">5.
폐 기 물
적재 및
반출</td><td rowspan="2">1) 석면농도 측정(작업 후)</td><td>① 직접인건비: 241,981원
- 초급기술자: 134,313원 × 1인 = 134,313원
초급숙련기술자: 107,668원 × 1인 = 107,668원</td><td>② 간접재료비: 24,632원
- 필터: 4,540원 × 2조 = 9,080원
방진작업복: 7,500원 × 2벌 = 15,000원
방진장갑: 276원 × 2켤레 = 552원
③ 제경비: 241,981(직접인건비)×110% = 266,179원
④ 기술료: (241,981(직접인건비)+266,179(제경비))×20% = 101,632원
⑤ 직접경비: 상주 직접인건비(134,313원)의 30% = 40,294원
⑥ 일일작업량: 1인(8.33㎡의) 배수17㎡ × 5인 = 85㎡</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 1/3 × (공급가액(①+②+③+④+⑤) + 부가세(공급가액의 10%)) ÷ ⑥ = 1/3 × (674,718원 + 67,472원) ÷ 85㎡ = 2,911원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2) 소모품 밀봉 및 스티커 부착</td><td>※ 해당 없음</td><td>① 밀봉테이프: 1,270원 × 0.0187m = 24원
② 스티커: 173원 × 0.6장 = 104원
③ 폐기용 백: 449원 × 0.8매 = 359원</td></tr>
<tr><td colspan="2">(공급가액(1/2×(①+②)+③) + 부가세(공급가액의 10%)) = 423원 + 42원 = 465원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3) 표지판 설치</td><td>※ 해당 없음</td><td>① 석면적재경고표지판: 39,000원 × 0.00009개 = 4원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 4원 + 0원 = 4원</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">계: 3,380원</td></tr>
<tr><td colspan="4">1)석면농도 측정(작업 후) 원가계산 산출 근거: ①,②,③,④,⑤는 1.1)의 석면조사 원가계산 산출 근거와 같음
⑥은 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비)의 일일작업량 적용

2)소모품 밀봉 및 스티커 부착 원가계산 산출 근거: ①,②는 산업안전보건규칙 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)의 규정 적용
③은 산업안전보건규칙 제485조(석면오염 장비 등의 처리)의 규정 적용

3)폐기물 임시보관 및 표지판 설치 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용</td></tr>
</table>

※ 5.1) 중 폐기물 적재 및 반출단계에서의 석면농도 측정은 작업 전·중·후 중 작업 후만 해당하기에 합계에 1/3을 곱하여 계상함.

5.2) 중 밀봉테이프와 스티커는 폐기물 처리 및 청소단계의 폐기물 밀봉 및 스티커 부착과정과 폐기물 적재 및 반출단계의 소모품 밀봉 및 스티커 부착과정으로 나누어 쓰기에 본 단계에서는 합계에 1/2을 곱하여 계상함.

- 슬레이트 사전작업 단계

표 47. 사전작업 원가계산서(㎡당)

<table>
<tr><th>단계</th><th>단계 분류</th><th>인건비 산출</th><th>사용 장비 재료비, 경비 산출</th></tr>
<tr><td rowspan="14">2.
사 전 작 업</td><td rowspan="2">1) 격리조치</td><td>※ 해당 없음</td><td>① 간접재료비: 7원
- 경고표지판: 50,000원 × 4EA × 0.00003개 = 6원
타포린: 1,800원 × 0.00003매 = 0원
안전띠: 18,000원 × 0.00003개 = 1원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 7원 + 1원 = 8원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2) 위생설비 설치</td><td>※ 해당 없음</td><td>① 비닐시트: 40,300원 × 0.015㎡ = 605원
② 장비손료:
- 샤워기, 배수여과장치, 집수조: 2,021,500원 × 0.00004대 = 81원
③ 위생설비 틀 손료: 460,000원 × 0.00004대 = 18원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액(①+②+③) + 부가세(공급가액의 10%) = 704원 + 70원 = 774원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3) 건물 외부바닥 비닐 설치</td><td>① 보통인부: 83,975원 × 0.007인 = 588원</td><td>② 바닥 보양비닐: 40,300원 × 0.063㎡ = 2,539원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 3,127원 + 313원 = 3,440원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4) 수직강관비계 설치</td><td>① 비계공: 150,673원 × 0.08인 = 12,054원</td><td>② 재료비: 1,151원 × 1㎡ = 1,151원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 13,205원 + 1,321원 = 14,526원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5) 수평강관비계 설치</td><td>① 비계공: 150,673원 × 0.015인 = 2,260원</td><td>② 재료비: 9,825원 × 0.5㎡ = 4,913원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 7,173원 + 717원 = 7,890원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6) 안전방망 설치</td><td>① 비계공: 150,673원 × 0.015인 = 2,260원</td><td>② 재료비: 3,769원 × 0.5㎡ = 1,885원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 4,145원 + 415원 = 4,560원</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="4">계: 31,198원</td></tr>
<tr><td colspan="4">1)격리조치 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용
2)오염제거구역 및 배수여과장치 설치 원가계산 산출 근거: ①,②,③은 대한건설협회적산 805쪽 기계화시공/경비산정 모터 수량산출 산식 적용
3)건물 외부바닥비닐 설치 원가계산 산출 근거: ①,②는 대한건설협회적산 600쪽 건축/수장공사 방습필름 설치 수량산출 산식 적용
4)수직강관비계 설치 원가계산 산출근거: ①은 대한건설협회적산 68쪽 가설공사/낙하 물 방지 노무비(비계공) 품 적용
②는 대한건설협회적산 62쪽 가설공사/강관비계 3개월 적용
5)수평강관비계 설치 원가계산 산출근거: ①은 대한건설협회적산 68쪽 가설공사/낙하 물 방지 노무비(비계공) 품 적용
②는 대한건설협회적산 68쪽 가설공사/낙하 물 방지 강관사용(강관파이프, 클램프, 노무비 품)적용
6)안전방망 설치 원가계산 산출근거: ①은 대한건설협회적산 68쪽 가설공사/낙하 물 방지 노무비(비계공) 품 적용
②는 대한건설협회적산 68쪽 가설공사/낙하 물 방지 강관사용(철선, 그물망)적용</td></tr>
</table>

- 슬레이트 해체·제거 단계

표 48. 석면 해체·제거 원가계산서(㎡당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
3. 석면 해체·제거	1) 개인보호구 착용	※ 해당 없음	① 보호구 손료: 8원 - 반면마스크: 35,000원 × 0.00012개 = 4원 안전장화: 27,600원 × 0.00012개 = 3원 고글: 4,600원 × 0.00012개 = 1원 ② 보호구 소모품: 3,568원 - 필터: 4,540원 × 0.32조 = 1,453원 방진복: 6,000원 × 0.32조 = 1,920원 장갑: 276원 × 0.32조 = 88원 면장갑: 334원 × 0.32조 = 107원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 3,576원 + 358원 = 3,934원	
	2) 약물살포(습윤화)	① 보통 인부: 83,975원 × 0.03인 = 2,519원	② 분무기 손료: 인건비의 1.5% = 2,519원 × 1.5% = 38원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 2,557원 + 256원 = 2,813원	
	3) 석면농도 측정(작업 전+작업 중)	① 직접인건비: 241,981원 - 초급기술자: 134,313원 × 1인 = 134,313원 초급숙련기술자: 107,668원 × 1인 = 107,668원	② 간접재료비: 24,632원 - 필터: 4,540원 × 2조 = 9,080원 방진작업복: 7,500원 × 2벌 = 15,000원 방진장갑: 276원 × 2켤레 = 552원 ③ 제경비: 241,981(직접인건비) × 110% = 266,179원 ④ 기술료: (241,981(직접인건비) + 266,179(제경비)) × 20% = 101,632원 ⑤ 직접경비: 상주 직접인건비(134,313원)의 30% = 40,294원 ⑥ 일일작업량: 1인(22.22㎡의) 배수 45㎡ × 5인 = 225㎡
		합계: 2/3 × (공급가액(①+②+③+④+⑤) + 부가세(공급가액의 10%)) ÷ ⑥ = 2/3 × (674,718원 + 67,472원) ÷ 225㎡ = 2,199원	
	4) 포장비닐 설치	※ 해당 없음	① 포장비닐: 51,800원 × 0.006㎡ = 311원
		합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 311원 + 31원 = 342원	
			계: 9,288원

1)개인보호구 착용 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용
2)약물살포 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 581쪽 건축/칠 공사 석면방지페인트 1회 품 적용
②는 대한건설협회적산 10쪽 경장비 등의 손료 1.5% 적용
3)석면농도 측정(작업 전+작업 중) 원가계산 산출 근거: ①,②,③,④,⑤는 1.1)의 석면조사 원가계산 산출 근거와 같음
⑥은 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비)의 일일작업량 적용
4)포장비닐 설치 원가계산 산출근거: ①은 환경부고시 제2012-78호 제4조(필름포장재)의 규격 적용

※ 3.3) 중 석면 해체·제거단계에서의 석면농도 측정은 작업 전·중·후 중 작업 전과 작업 중 만 해당하기에 합계에 2/3를 곱하여 계상함.

- 슬레이트 처리 및 청소 단계

표 49. 폐기물 처리 및 청소 원가계산서(㎡당)

<table>
<tr><th>단계</th><th>단계 분류</th><th>인건비 산출</th><th>사용 장비 재료비, 경비 산출</th></tr>
<tr><td rowspan="5">4.
폐 기 물
처리 및
청소</td><td rowspan="2">1) 폐기물 밀봉 및 스티커 부착</td><td>※ 해당 없음</td><td>① 밀봉테이프: 1,270원 × 0.011m = 14원
② 스티커: 173원 × 0.225장 = 39원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: (공급가액(1/2×(①+②)) + 부가세(공급가액의 10%)) = 27원 + 3원 = 30원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2) 벽바닥 습식청소</td><td>① 보통 인부: 83,975원 × 0.013㎡ = 1,092원</td><td>② HEPA 청소기: 260,000원 × 0.00005대 = 13원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 1,105원 + 111원 = 1,216원</td></tr>
<tr><td colspan="3">계: 1,246원</td></tr>
<tr><td colspan="4">1)폐기물 밀봉 및 스티커 부착 산출 근거: ①,②는 산업안전보건규칙 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)의 규정 적용

2)벽바닥 습식청소 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 71쪽 가설공사/건축물 현장정리 (철근콘크리트조 품)적용
②는 대한건설협회적산 787쪽 기계화시공/경비산정 공기압축기 수량산출 산식 적용</td></tr>
</table>

※ 4.1) 중 밀봉테이프와 스티커는 폐기물 처리 및 청소단계의 폐기물 밀봉 및 스티커 부착과정과 폐기물 적재 및 반출단계의 소모품 밀봉 및 스티커 부착과정으로 나누어 쓰기에 본 단계에서는 합계에 1/2을 곱하여 계상함.

- 슬레이트 적재 및 반출 단계

표 50. 폐기물 적재 및 반출 원가계산서(㎡당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
5. 폐기물 적재 및 반출	1) 석면농도 측정(작업 후)	① 직접인건비: 241,981원 - 초급기술자: 134,313원 × 1인 = 134,313원 초급숙련기술자: 107,668원 × 1인 = 107,668원	② 간접재료비: 24,632원 - 필터: 4,540원 × 2조 = 9,080원 방진작업복: 7,500원 × 2벌 = 15,000원 방진장갑: 276원 × 2켤레 = 552원 ③ 제경비: 241,981(직접인건비)×110% = 266,179원 ④ 기술료: (241,981(직접인건비)+266,179(제경비))×20% = 101,632원 ⑤ 직접경비: 상주 직접인건비(134,313원)의 30% = 40,294원 ⑥ 일일작업량: 1인(22.22㎡의) 배수45㎡ × 5인 = 225㎡
		합계: 1/3 × (공급가액(①+②+③+④+⑤) + 부가세(공급가액의 10%)) ÷ ⑥ = 1/3 × (674,718원 + 67,472원) ÷ 225㎡ = 1,100원	
	2) 소모품 밀봉 및 스티커 부착	※ 해당 없음	① 밀봉테이프: 1,270원 × 0.011m = 14원 ② 스티커: 173원 × 0.225장 = 39원 ③ 폐기용 백: 449원 × 0.27매 = 121원 ④ 연결고리: 58,700원 × 0.0019m = 112원
		(공급가액(1/2×(①+②)+③+④) + 부가세(공급가액의 10%)) = 260원 + 26원 = 286원	
	3) 표지판 설치	※ 해당 없음	① 석면적재경고표지판: 39,000원 × 0.00003개 = 1원
		합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 1원 + 0원 = 1원	
			계: 1,387원

1)석면농도 측정(작업 후) 원가계산 산출 근거: ①,②,③,④,⑤는 1.1)의 석면조사 원가계산 산출 근거와 같음
⑥은 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비)의 일일작업량 적용

2)소모품 밀봉 및 스티커 부착 원가계산 산출 근거: ①, ②, ④는 산업안전보건규칙 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)의 규정 적용
③은 산업안전보건규칙 제485조(석면오염 장비 등의 처리)의 규정 적용

3)폐기물 임시보관 및 표지판 설치 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용

※ 5.1) 중 폐기물 적재 및 반출단계에서의 석면농도 측정은 작업 전·중·후 중 작업 후만 해당하기에 합계에 1/3을 곱하여 계상함.
5.2) 중 밀봉테이프와 스티커는 폐기물 처리 및 청소단계의 폐기물 밀봉 및 스티커 부착과정과 폐기물 적재 및 반출단계의 소모품 밀봉 및 스티커 부착과정으로 나누어 쓰기에 본 단계에서는 합계에 1/2을 곱하여 계상함.

▷ 폐기물 운반 및 처리 단계 비용

- 텍스 운반 및 처리 단계

표 51. 사전조사 원가계산서(ton당)

<table>
<tr><th>단계</th><th>단계 분류</th><th>인건비 산출</th><th>사용 장비 재료비, 경비 산출</th></tr>
<tr><td rowspan="4">6.
폐기물 운반 및 처리</td><td rowspan="2">1) 폐기물 운반(15t 덤프트럭, 30km)</td><td>① 인건비: 114,410원
- 상차 시 노무비: 5,848원
운반 시 노무비: 108,562원</td><td>② 재료비: 156,802원
- 상차 시 재료비: 5,692원
운반 시 재료비: 151,110원
③ 경비: 93,944원
- 상차 시 경비: 5,345원
운반 시 경비: 88,599원
④ 반입수수료: 68,480원/ton
⑤ 적재량: 12ton</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액{(용역원가(①+②+③) + 일반관리비(용역원가의 5%) + 이윤((①+③+일반관리비)의 10%) ÷ ⑤ + ④} + 부가세(공급가액의 10%) = {(365,156원 + 18,258원 + 22,661원) ÷ 12ton + 68,480원} × 110% = 112,552원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2) 매립</td><td colspan="2">① 매립비: 300,000원</td></tr>
<tr><td colspan="2">합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 300,000원 + 30,000원 = 330,000원</td></tr>
<tr><td colspan="4">계: 442,552원</td></tr>
<tr><td colspan="4">1)폐기물 운반 원가계산 산출근거: ①,②는 과업지지서, 건설공사 표준품셈 적용
1)폐기물 운반 원가계산 산출근거: ③은 건설공사 표준품셈을 기준으로 산출하여 적용
1)폐기물 운반 원가계산 산출근거: ④는 환경부 고시 제1012-163호 2012.08.16.“지정폐기물 공공처리시설 반입수수료” 적용
1)폐기물 운반 원가계산 산출근거: ⑤는 대당 적재용량(적재함용량 10㎥ × 텍스 비중(1.2ton/㎥)) 적용
2)매립 원가계산 산출근거: 전국매립협의회 폐석면 매립현황 조사결과 적용</td></tr>
</table>

- 슬레이트 운반 및 처리 단계

표 52. 사전조사 원가계산서(ton당)

<table>
<tr><th>단계</th><th>단계 분류</th><th>인건비 산출</th><th>사용 장비 재료비, 경비 산출</th></tr>
<tr><td rowspan="4">6.
폐기물 운반 및 처리</td><td rowspan="2">1) 폐기물 운반(15t 덤프트럭, 30km)</td><td rowspan="2">① 인건비: 114,410원
- 상차 시 노무비: 5,848원
운반 시 노무비: 108,562원</td><td>② 재료비: 156,802원
- 상차 시 재료비: 5,692원
운반 시 재료비: 151,110원
③ 경비: 93,944원
- 상차 시 경비: 5,345원
운반 시 경비: 88,599원
④ 반입수수료: 68,480원
⑤ 적재량: 15.6ton</td></tr>
<tr><td>합계: 공급가액{(용역원가(①+②+③) + 일반관리비(용역원가의 5%) + 이윤((①+③+일반관리비)의 10%) ÷ ⑤ + ④} + 부가세(공급가액의 10%) = {(365,156원 + 18,258원 + 22,661원) ÷ 15.6ton + 68,480원} × 110% = 103,961원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2) 매립</td><td>① 매립비: 300,000원</td></tr>
<tr><td>합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 300,000원 + 30,000원 = 330,000원</td></tr>
<tr><td colspan="4">계: 433,961원</td></tr>
<tr><td colspan="4">1)폐기물 운반 원가계산 산출근거: ①,②는 과업지지서, 건설공사 표준품셈 적용
③은 건설공사 표준품셈을 기준으로 산출하여 적용
④는 환경부 고시 제1012-163호 2012.08.16.“지정폐기물 공공처리시설 반입수수료” 적용
⑤는 대당 적재용량(적재함용량 10㎥ × 슬레이트 비중(1.56ton/㎥)) 적용
2)매립 원가계산 산출근거: 전국매립협의회 폐석면 매립현황 조사결과 적용</td></tr>
</table>

▷ 석면 폐기물 해체·제거 전과정 비용 산정

- 텍스 해체·제거 전과정 비용

표 53. 텍스 작업 단계별 비용 산정 및 비용 산정근거

텍스 해체·제거 작업순서		비용		비고	적용근거
사전 조사	석면조사	764,172원/일		• 1일당 가격	• 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제7조(직접인건비), 제8조(직접경비), 제9조(제경비), 제10조(기술료) • 환경부 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조, 폐기물공정시험기준(정도관리규정) • 한국엔지니어링협회 공표(경영 2012-3170호)의 엔지니어링 기술자 노임단가 • 대한건설협회적산 10쪽(경장비), 64쪽(비계 품), 67쪽(공기에 대한 손율), 71쪽(철근콘크리트조 품), 581쪽(석면방지페인트), 600쪽(방습필름), 787쪽(공기압축기), 805쪽(모터), 808쪽(조인트) 산식 • 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비) • 환경부고시 제2012-78호 제4조(필름포장재) • 산업안전보건규칙 제485조(석면오염 장비 등의 처리), 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)
	석면지도 작성	111,511원/장		• 1장당 가격	
사전 작업	격리조치	18,143 (단위:원/㎡, 이하동일)	22		
	위생설비 설치		1,957		
	작업장 벽·바닥 비닐보양		998		
	음압기 설치		659	• 발전기, 콤푸레샤, 에어타카 별도계상	
석면 해체·제거	개인보호구 착용		10,326		
	약물살포(습윤화)		2,813	• 물 사용	
	석면농도 측정(작업 전·중)		5,821	• 농도측정 2/3	
	이동식비계 조립		4,612	• 높이 2m	
	포장비닐 설치		177		
폐기물 처리 및 청소	폐기물 밀봉 및 스티커 부착		70	• 테이프, 스티커 1/2	
	작업종료 후 벽바닥 습식청소		3,082	• 물 사용	
폐기물 적재 및 반출	석면농도 측정(작업 후)		2,911	• 농도측정 1/3	
	소모품 밀봉 및 스티커 부착		465	• 테이프, 스티커 1/2	
	폐기물 임시보관 및 표지판 설치		4		
폐기물 운반 및 처리	폐기물 운반	112,552원/ton			
	매립	330,000원/ton			

$$\underline{Ctex = 764{,}172 \times D + 111{,}511 \times N + 52{,}060 \times Xtex,㎡ + 442{,}552 \times Wtex,t}$$

여기서, Ctex는 텍스 해체·제거 전과정 비용, D는 석면조사일, N은 석면지도 장수, Xtex,㎡는 텍스 면적(㎡), Wtex,t는 텍스 무게(톤)를 나타낸다.

- 슬레이트 해체·제거 전과정 비용

표 54. 슬레이트 작업 단계별 비용 산정 및 비용 산정근거

석면슬레이트 해체·제거 작업순서		비용		비고	적용근거
사전 조사	석면조사	764,172원/일		• 1일당 가격	• 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제7조(직접인건비), 제8조(직접경비), 제9조(제경비), 제10조(기술료) • 환경부 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조, 폐기물공정시험기준(정도관리규정) • 한국엔지니어링협회 공표(경영 2012-3170호)의 엔지니어링 기술자 노임단가 • 대한건설협회적산 10쪽(경장비), 62쪽(강관비계), 64쪽(비계품), 67쪽(공기에 대한 손율), 68쪽(강관사용, 노무비), 71쪽(철근콘크리트조 품), 581쪽(석면방지페인트), 600쪽(방습필름), 787쪽(공기압축기), 805쪽(모터), 808쪽(조인트) 산식 • 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비) • 환경부고시 제2012-78호 제4조(필름포장재) • 산업안전보건규칙 제485조(석면오염 장비 등의 처리), 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)
	석면지도 작성	111,511원/장		• 지도 1장당 가격	
사전 작업	격리조치	7,892 (단위:원/㎡, 이하동일)	8		
	위생설비 설치		774		
	건물 외부 바닥 비닐보양		3,440		
	수직강관 비계 설치		14,526		
	수평강관 비계 설치		7,890		
	안전방망 설치		4,560		
석면 해체·제거	개인보호구 착용		3,934		
	약물살포(습윤화)		2,813	• 물 사용	
	석면농도 측정(작업 전·중)		2,199	• 농도측정 2/3	
	포장비닐 설치		342		
폐기물 처리 및 청소	폐기물 밀봉 및 스티커 부착		30	• 테이프, 스티커 1/2	
	벽바닥 습식청소		1,216	• 물 사용	
폐기물 적재 및 반출	석면농도 측정(작업 후)		1,100	• 농도측정 1/3	
	소모품 밀봉 및 스티커 부착		286	• 테이프, 스티커 1/2	
	폐기물 임시보관 및 표지판 설치		1		
폐기물 운반 및 처리	폐기물 운반	103,961원/ton			
	매립	330,000원/ton			

$$Cslate = 764{,}172 \times D + 111{,}511 \times N + 51{,}011 \times Xslate,㎡ + 433{,}961 \times Wslate,t$$

여기서, Cslate는 슬레이트 해체·제거 전과정 비용, D는 석면조사일, N은 석면지도 장수, Xslate,㎡는 슬레이트 면적(㎡), Wslate,t는 슬레이트 무게(톤)를 나타낸다.

표 55. 작업 단계별 비용 원단위 산정

단계	비용 원단위 산정			
	텍스		슬레이트	
사전조사 단계	764,172원/일(석면조사), 111,511원/장(석면지도 작성)			
사전작업 단계	3,636원/㎡	인건비 18,143원/㎡	31,198원/㎡	인건비 7,892원/㎡
석면 해체·제거 단계	23,749원/㎡		9,288원/㎡	
폐기물 처리 및 청소 단계	3,152원/㎡		1,246원/㎡	
폐기물 적재 및 반출 단계	3,380원/㎡		1,387원/㎡	
폐기물 운반 및 처리 단계	442,552원/ton		433,961원/ton	

표 56. 작업 단계별 온실가스 발생량 원단위 산정

단계	온실가스 발생량 원단위 산정	
	텍스	슬레이트
사전조사 단계	해당 없음	
사전작업 단계	0.1064kgCO_2eq/㎡	0.0140kgCO_2eq/㎡
석면 해체·제거 단계	해당 없음	
폐기물 처리 및 청소 단계	0.0188kgCO_2eq/㎡	0.0125kgCO_2eq/㎡
폐기물 적재 및 반출 단계	해당 없음	
폐기물 운반 및 처리 단계	$0.0027\ T^{-0.610} \times M$	$0.0038\ T^{-0.606} \times M$

표 57. 단계별 추정모델 산정

단계	구분	추정모델
텍스	비용	$764{,}172 \times D + 111{,}511 \times N + 52{,}060 \times X_{tex,㎡} + 442{,}552 \times W_{tex,t}$
	온실가스	$0.1252\ x_{tex,㎡} + 0.0027\ T^{-0.610} \times M$
슬레이트	비용	$764{,}172 \times D + 111{,}511 \times N + 51{,}011 \times X_{slate,㎡} + 433{,}961 \times W_{slate,t}$
	온실가스	$0.0265\ x_{slate,㎡} + 0.0038\ T^{-0.606} \times M$

여기서,

- D : 석면조사일
- N : 석면지도 장수
- $X_{tex,㎡}$: 텍스 면적(㎡)
- $X_{slate,㎡}$: 슬레이트 면적(㎡)
- $W_{tex,t}$: 텍스 무게(톤)
- $W_{slate,t}$: 슬레이트 무게(톤)
- T : 톤급별 슬레이트 운반 차량 톤수
- M : 운반거리(km)

3차년도 연구내용

1. 프로그램 알고리즘 개발

- 프로그램 구성 요소 설정
- 프로그램 클래스 구조 설정

2. Shape File 구조 및 데이터읽기 code 설정

- Shape File 구조 설정
- 데이터 읽기 code 설정

3. 프로그램 시작품 개발

- 프로그램 시작품 개발
- 프로그램 활용 및 검증

4. 프로그램 수정, 보완 및 개발완료

- 프로그램 전문가 검증
- 프로그램 수정, 보완

1. 프로그램 알고리즘 개발

연구진행 순서:

프로그램 구성 요소 설정
- 건축물대장 지붕코드 이용한 데이터 구축
- 데이터 순서, 타입 동일 구축

⇩

프로그램 클래스 구조 설정
- GIS 기반, 석면정보 포함
- Shpfile 타입 사용

⇩

알고리즘 개발

석면함유자재 해체·제거 과정 온실가스 및 비용 평가를 위한 프로그램 알고리즘을 도출하였다.

※ 전국 단위의 석면함유건설자재 적정처리를 위한 관리 프로그램을 개발하여야 마땅하나 수치지형도, 지적도, 건축물도형정보 등 DB확보의 어려움으로 대구광역시 중구를 중심으로 개발함. 개발된 프로그램에서 사용된 지도 DB만 교환해준다면 자동으로 지도 DB를 분석하여 프로그램에서 사용할 수 있도록 개발하였기 때문에 다른 지자체에서도 쉽게 활용 가능하도록 범용성을 높임

▷ 프로그램 구조 설정

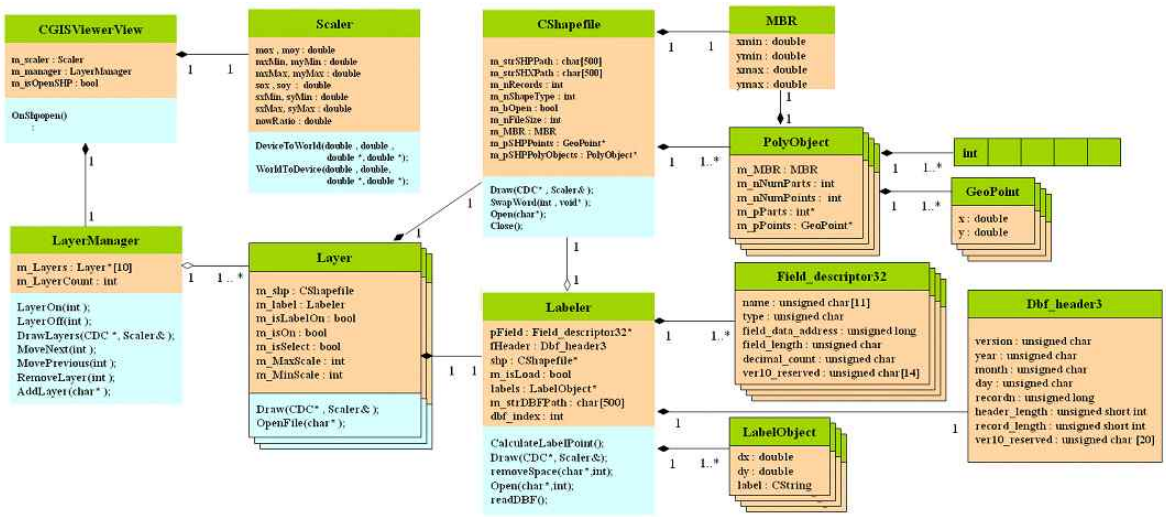


그림 14. 본 연구에서 개발된 프로그램의 클래스 구조

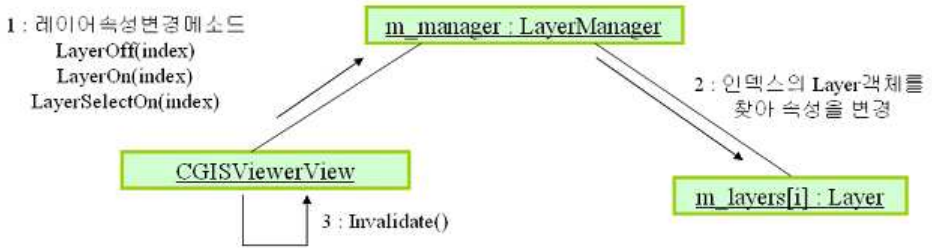


그림 15. 레이어 제어 모형

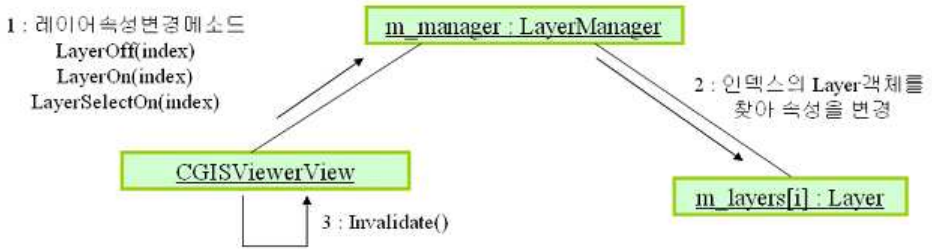


그림 16. 데이터 읽기 모형

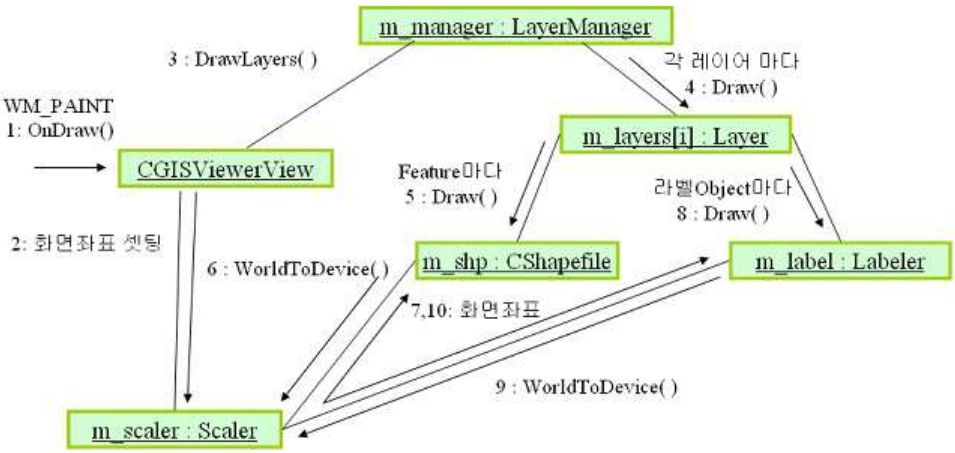


그림 17. 지도그리기 모형

▷ 프로그램 DB 구축

- 프로그램의 바탕이 되는 지도는 새주소 Shp 파일을 이용하여 구축 함
- Map 좌표는 동부원점을 사용 하였으며 좌표값은 다음과 같음

표 58. 데이터 좌표계

좌표시스템	동부원점
투영법	Transverse Mercator
False_Easting	200000.00000000
False_Northing	500000.00000000
Central_Meridian	129.00289028
Scale_Facto	1.00000000
Linear Unit	Meter (1.000000)
타원체	GCS_Bessel_1841
Datum	D_Bessel_1841

- 석면건축 정보를 확인하기 위해 건축물대장의 지붕코드를 이용하여 데이터를 구축
- D.B필드 구조는 다음 표와 같으며 데이터의 순서 및 타입을 동일하게 구축

표 59. 데이터 정보 스키마 명세서

NO	필드	필드명
1	SHAPE	공간데이터
2	PNU	토지코드
3	ARCHAREA	건축면적
4	TOTALAREA	연면적
5	PLATAREA	대지면적
6	HEIGHT	높이
7	STRCT_CD	구조
8	USABLILITY	용도
9	BC_RAT	건폐율
10	VL_RAT	용적율
11	VIOL_BD_YN	위반건축물
12	ROOF_CD	지붕구조
13	address	주소
14	floors	층수
15	USEAPR	사용승인일
16	L_BLDarea	석면건축 면적 레벨
17	L_BLDyear	석면건축 연도 레벨
18	L_BLDsch	석면건축 학교 반경 레벨
19	L_BLDroad	석면건축 도로 반경 레벨
20	T_ASB_Lv	석면건축 총 레벨
21	SIDO	시도명
22	SIGUNGU	시군구명
23	BJDONG	법정동명
24	BUN	지번(본번)
25	JI	지번(부번)
26	N_ROAD	도로명주소
27	N_BUN	도로명주소(본번)
28	N_JI	도로명주소(부번)
29	JUGI	건물명

2. Shape File 구조 및 데이터읽기 code 설정

연구진행 순서:

Shape File 구조 설정

⇩

데이터 읽기 code 설정

프로그램에 사용된 Shape File 기본모형 및 프로그램 데이터 읽기 code를 설정하였다.

※ 프로그램의 모든 Data는 파일로 입력함. 사용되는 파일 구조는 GIS에서 많이 사용되는 ShapeFile이며 GIS 회사인 ESRI에서 공개하여 널리 사용되고 있는 파일포맷임

▷ Shape File 구조 설정

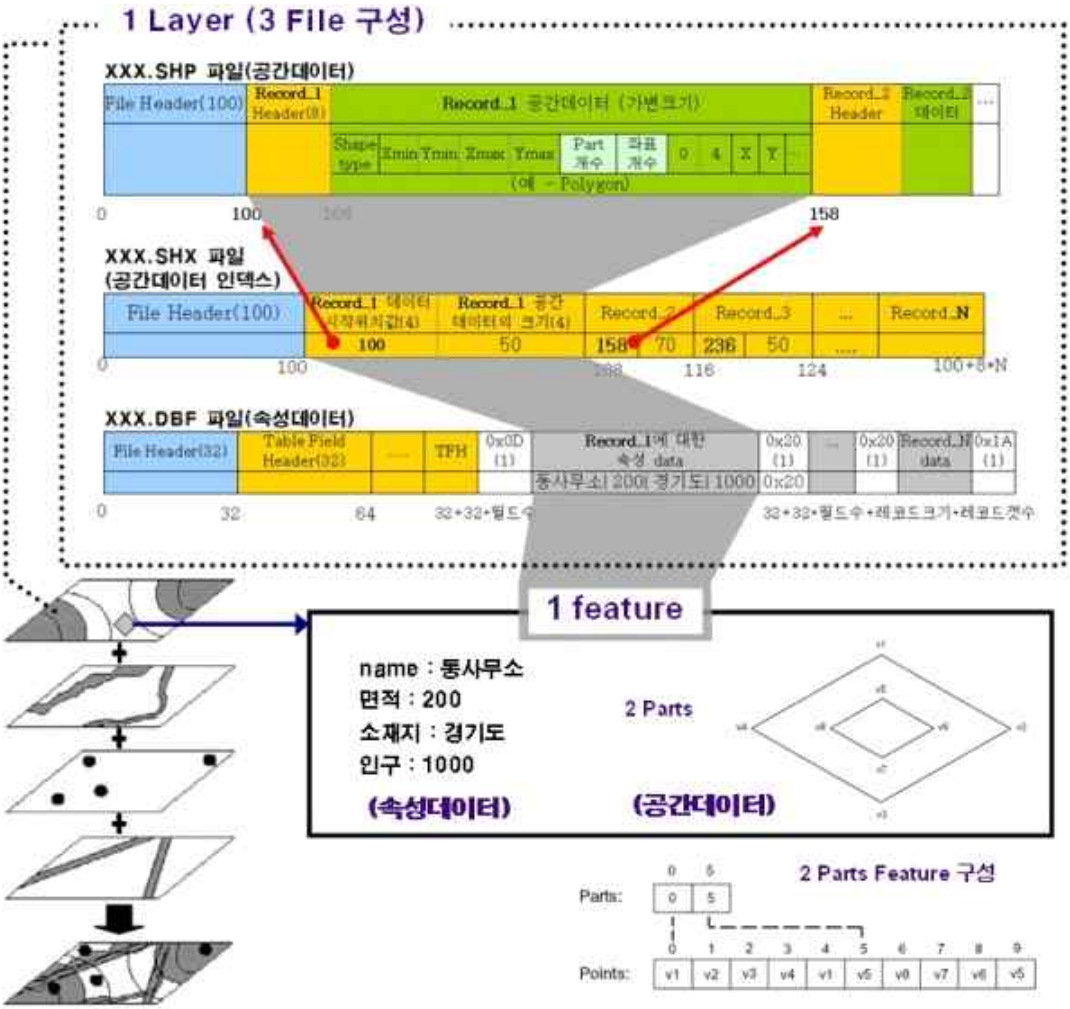


그림 18. ShapeFile의 기본 구조모형

▷ 프로그램 데이터 읽기 code

표 60. 개발된 프로그램의 데이터 읽기 code

```
#include <iostream.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

//Shape Type의 종류를 정의
#define SHPT_NULL      0
#define SHPT_POINT      1
#define SHPT_ARC      3
#define SHPT_POLYGON      5
#define SHPT_MULTIPOINT      8

struct MBR
{
      double      xmin;
      double      ymin;
      double      xmax;
      double      ymax;
};

//Shape Type Point
struct GeoPoint
{
      double x;
      double y;
};

//Big Endian을 Little Endian으로 변경하는 함수
void SwapWord(int _length, int* _pWord);

int main()
{
      int                tmp, i, j;
      int                nRecords;
      int                nShapeType;
      MBR                extent; //최소사각형
      GeoPoint           *pSHPPoints;
      //Open SHP/SHX file
      FILE* fpSHP = fopen("point1.shp", "rb");
      FILE* fpSHX = fopen("point1.shx", "rb");
      // 데이터 읽기
      // .shx 파일을 통해 파일의 크기와 feature의 수를
계산
      fseek(fpSHX, 24L, SEEK_SET);
      fread(&tmp, 4, 1, fpSHX);
 SwapWord(4, &tmp); // Byte Order Changing
int m_nFileSize = tmp * 2; //Index 파일의 크기 계산
 nRecords = (m_nFileSize - 100)/8; //Record 갯수 계산
      fseek(fpSHP, 32L, SEEK_SET);
      fread(&nShapeType, 4, 1, fpSHP);
//Shape Type 알아내기
      if(!(nShapeType == 1 ))
      {
            cout << "Invalid Point SHP Type.." << endl;
            return -1;
      }
      //MBR 읽어내기
      fread(&extent, sizeof(MBR), 1, fpSHP);
//Point Record Content 읽어내기
pSHPPoints = new GeoPoint[nRecords];
      for(i=0; i<nRecords; ++i)
      {
                  fseek(fpSHX, 100 + i * 8, SEEK_SET);
                  fread(&tmp, 4, 1, fpSHX);
                  SwapWord(4, &tmp);
                  tmp=tmp * 2;

                  fseek(fpSHP,  tmp + 12, SEEK_SET);
                  fread((GeoPoint*)&pSHPPoints[i],   16,   1,
fpSHP);
      }
      break;
      // 읽은 좌표를 처리 코드들은 여기에서
      //메모리 제거 루틴
delete []pSHPPoints;
      fclose(fpSHX);
      fclose(fpSHP);
      return 0;
}
//Byte Order 변환
void SwapWord(int _length, int* _pWord)
{
      int            i;
      unsigned char      temp;
      for( i=0; i< _length/2; i++ )
{
            temp = ((unsigned char *) _pWord)[i];
            ((unsigned char *) _pWord)[i] = ((unsigned
char *) _pWord)[_length-i-1];
            ((unsigned char *) _pWord)[_length-i-1] =
temp;
      }
}
```

표 61. 개발된 프로그램의 원단위 code

```
 f건축면적     =  pLayers->GetSelectionFieldInfo( index, _ARCHAREA_  );
f자재면적     =  f슬레이트지붕면적당건축면적 * f건축면적;
f석면발생량   =  f슬레이트비중 * f자재면적;

f사전조사 = f석면조사비용_일당        x  f석면조사비용_기간;
f사전작업 = f슬레이트_사전작업_비용 x f자재면적;
f해체제거 = f슬레이트_해체제거_비용 x f자재면적;
f처리청소 = f슬레이트_처리청소_비용 x f자재면적;
f적재반출 = f슬레이트_적재반출_비용 x f자재면적;
f운반처리 = f슬레이트_운반처리_비용 x f슬레이트_비중 * f자재면적;
f인건비    = f슬레이트_인건비_비용 x f자재면적;
f전체비용 = f사전조사 + f사전작업 + f해체제거 + f처리청소
  + f적재반출 + f운반처리 + f인건비;

f온실사전작업  = f단위온실가스발생량_슬레이트_사전작업 x f자재면적;
f온실처리청소  = f단위온실가스발생량_슬레이트_처리청소 x f자재면적;
f온실운반처리  = f단위온실가스발생량_슬레이트_운반처리_계수1
        x pow( f단위온실가스발생량_슬레이트_운반처리_계수2,
       f단위온실가스발생량_슬레이트_운반처리_계수2_승수 )
x f단위온실가스발생량_슬레이트_운반처리_계수3
x f자재면적;
f온실전체비용  = f온실사전작업 + f온실처리청소 + f온실운반처리;
int i경과년도  = i현재년도 - i건축연도;
f누적석면자연발생량 = f석면섬유자연발생량_연간슬레이트
           x f슬레이트지붕면적당건축면적 x f건축면적 x i경과년도;
f연간석면자연발생량 = f석면섬유자연발생량_연간슬레이트
  x f슬레이트지붕면적당건축면적 x f건축면적;
```

3. 프로그램 시작품 개발, 현장 검증

연구진행 순서:

프로그램 시작품 개발
- 메뉴 분류 및 내용 설정 - 메인메뉴의 기능 및 사용
⇩
프로그램 활용 및 검증
- 지도 Layer 사용, 주소검색 및 팝업창 설정 - 프로그램 검증

프로그램 시작품을 개발하고 현장조사를 통하여 검증을 진행하여 오차를 분석하였다.

▷ 프로그램 시작품 개발

본 프로그램에서 제공되는 석면정보는 석면처리비용, 석면함유건설자재 해체 시 발생하는 온실가스 발생량, 시간경과에 따른 석면섬유 자연발생량, 위험정보레벨, 파손 시 석면섬유 발생량 등이다.

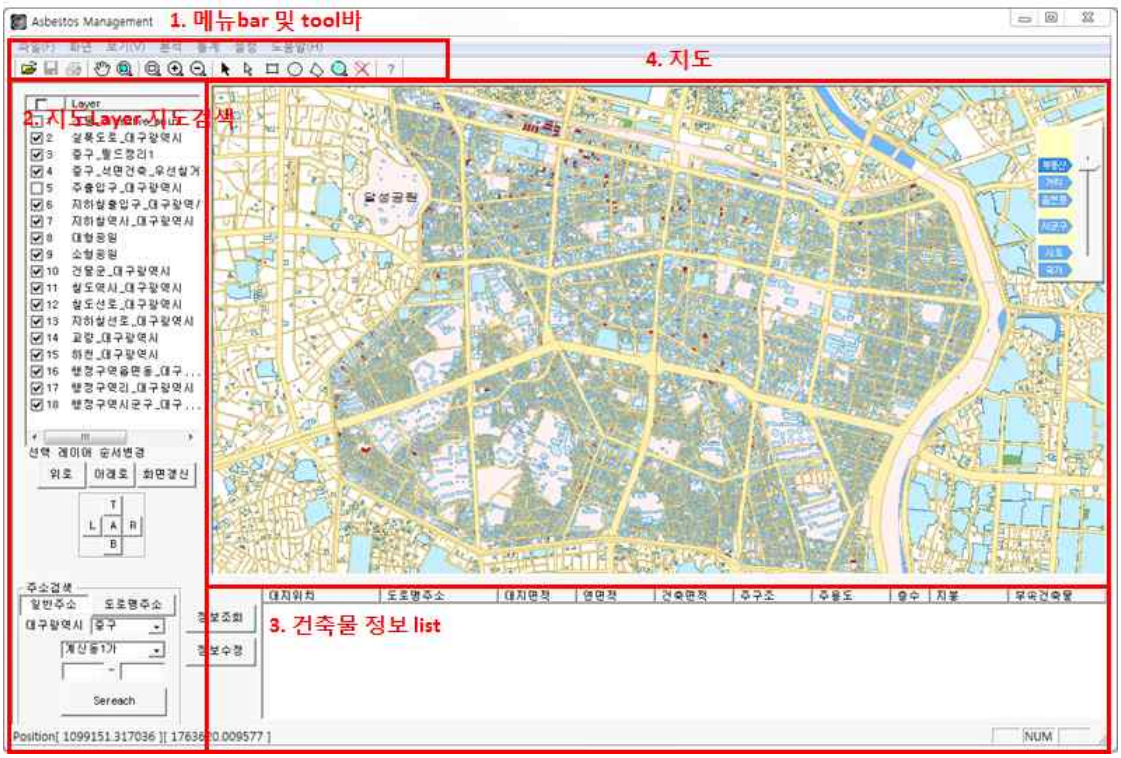


그림 19. Asbestos Management 프로그램의 시작화면 및 화면구성

Asbestos Management 프로그램은 사용자의 편의를 위해 설치방법을 간단하고 이용이 쉽게 하였으며 일반적으로 사용하는 모든 윈도우에서 구동가능하게 하였다. 프로그램의 메뉴는 크게 파일, 화면, 보기, 분석, 통계, 우선철거, 설정, 도움말 등 8가지로 분류된다.

표 62. 프로그램 세부 메뉴의 분류 및 내용

대분류	소분류	내용
파일	• 열기	기초자치단체 DB파일을 불러옴
	• 저장	수정한 내용을 저장할 수 있음
	• 인쇄	지도 또는 데이터 정보 인쇄
	• 인쇄설정	프린터 및 용지 등 설정
	• 끝내기	프로그램 끝내기
화면	• 전체보기	해당 기초자치단체지역을 지도화면에 나타냄
	• 이동	지도화면을 마우스로 드래그하여 움직일 수 있음
	• 영역확대	마우스로 지도화면에서 4각형으로 지역을 선택하여 해당 지역을 지도화면에 확대하여 나타냄
	• 확대	지도화면 확대(마우스 스크롤 ↑)
	• 축소	지도화면 축소(마우스 스크롤 ↓)
	• 정보	지도상 선택한 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• ShowLabel	
	• HideLabel	
보기	• MapView	지도화면 생성 화면 맨 위에 생성
	• DBView	건축물정보 팝업창 화면 맨 위에 생성
분석	• 단독 포인트 선택	지도상에서 건축물을 단독으로 선택함, 건축물 클릭 시 해당 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• 다중 포인트 선택	지도상에서 건축물을 다중으로 선택함, 건축물 클릭 시 선택된 모든 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• 사각형	지도상에서 4각형 구역 설정하여 4각형 내 모든 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• 원	지도상에서 원형 구역 설정하여 원형 내 모든 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• 폴리곤	지도상에서 다각형 구역 설정하여 다각형 내 모든 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• 읍면동	팝업창에 읍면동 명칭을 적고 선택하여 해당 읍면동 내 모든 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• 선택해제	지도상에 선택한 모든 건축물 해제
통계	• 통계	팝업창을 생성하여 기초자치단체내의 모든 건축물 구조, 지붕재료, 용도, 층수 등 현황에 대한 건축물수 및 건축면적 통계를 그래프로 나타냄.
우선철거지역	• 우선철거지역	지도상에서 우선철거지역을 생성함. 다른 색깔로 표시하여 등급 및 위험정도를 구분할 수 있음,
설정	• Setting	처리비용, 온실가스 발생량 등의 원단위 DB를 수정할 수 있음.
도움말	• 제품 정보	제품정보

▷ 프로그램 활용 및 검증

프로그램의 화면구성 중에서 좌측 지도검색 및 지도 Layer는 일반주소 또는 도로명주소로 건축물을 검색할 수 있으며 검색결과는 하단의 건축물정보 List에 나타나게 되고, 지도 Layer에서 항목을 클릭하여 활성/비활성 할 수 있고 그 결과는 우측 지도에서 나타난다.

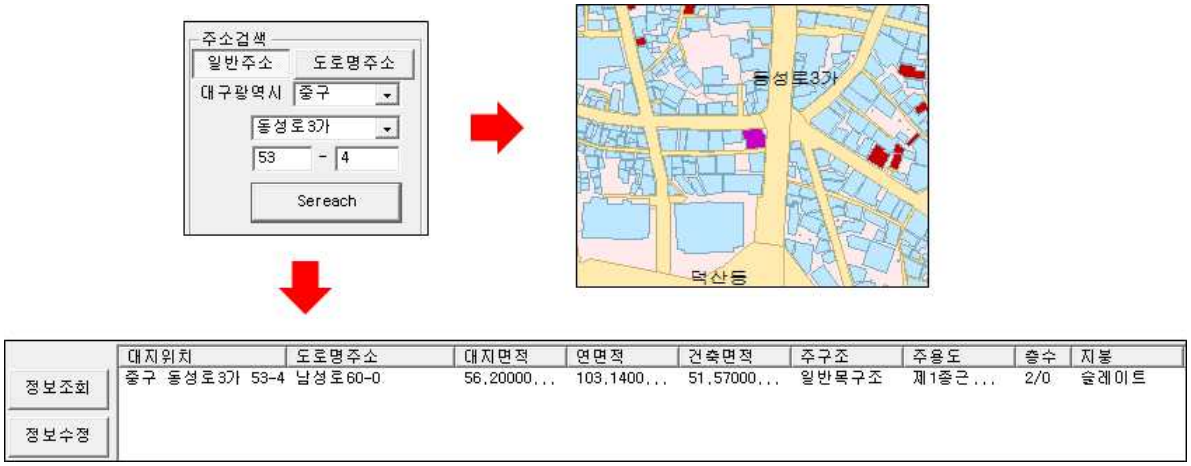


그림 20. 일반주소 및 도로명주소로 주소검색 예시

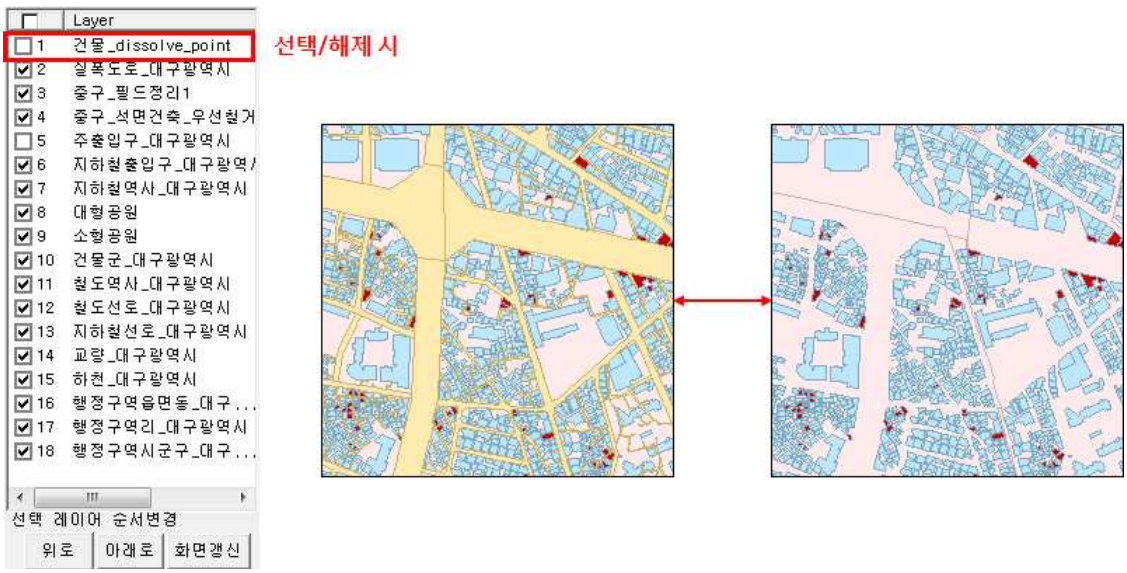


그림 21. Layer 활성/비활성 예시

프로그램을 활용하여 석면함유건축물 우선철거지역 중에서 대구광역시 중구의 수창동 일대에 대한 분석을 실시하였다. 해당 지구의 분석결과 해당지구단위의 전체 건축물 수는 108개로 나타났고 이 중에서 석면함유건축물의 수는 35개로 32.4%를 차지하였다. 또한 해당지구단위의 전체 석면자재면적은 1,684.7m^{2}으로 나타났고 총 석면자재발생량은 17,689.5kg으로 나타났다. 마지막으로 해당지구단위에서 석면함유건축자재를 모두 해체, 철거하는데 소요되는 비용은 94,491,737원으로 나타났고 해당지구단위에서 석면함유건축자재를 모두 해체, 철거하는데 발생하는 온실가스는 81.66kg으로 나타났다.

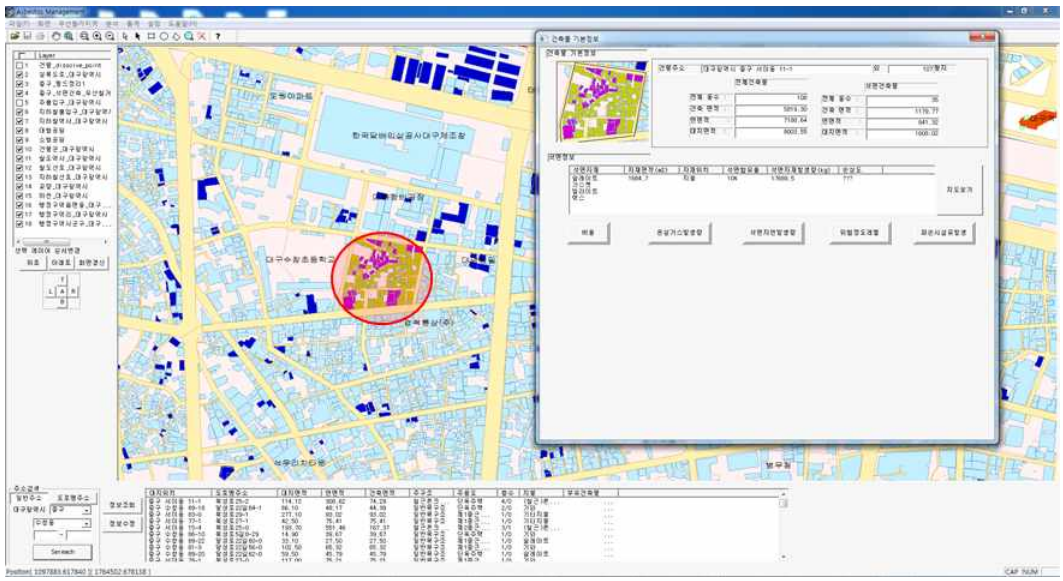


그림 22. 대구광역시 중구 수창동 일대 석면함유건축물 분석결과

개발된 프로그램으로 도출된 결과값을 검증하기 위해서 해당지구를 직접 방문하여 전체 건축물 수와 석면함유건축물의 수를 조사하였다. 조사결과 총 건축물 수는 111개로 나타났고 석면함유건축물의 수는 33개로 나타났다. 따라서 프로그램의 결과값과 비교하면 전체 건축물 수는 97.29%, 석면함유건축물의 수는 94.28%의 정확도를 보였다. 이는 건축물대장의 행정적인 오차 때문인 것으로 판단되며 향후 현장조사의 결과값을 반영한다면 개발된 프로그램의 정확도가 더욱 증가할 것으로 판단된다.

4. 프로그램 수정, 보완 및 개발완료

연구진행 순서:



※ 현재 프로그램의 원단위 및 개발에 관하여 해당 관계자 및 전문가를 통한 검증은 진행 중이며 빠른 시일 내에 답변을 얻을 수 있을 것이다.

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

3.1 연구개발 핵심성과 리스트

표 63. 연구개발 핵심성과 리스트

연번	핵심성과명	핵심성과 설명	성과유형※	성과달성 책임	해당연차
1	건축물 석면자재의 발생량 조사	문헌연구 및 현장조사를 통한 석면함유자재 종류 및 위치 파악	기타	주관연구책임자 홍원화	1년차 ('12.04 ~'13.01)
2	건축물 내 석면함유자재별 발생 원단위 도출	석면함유 건축자재 철거 시 건축물 석면자재 발생량 원단위 DB 구축	기타	주관연구책임자 홍원화	1년차 ('12.04 ~'13.01)
3	리모델링 과정 투입자재 항목 조사	석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정 투입장비 및 자재 인벤토리 구축	기타	주관연구책임자 홍원화	2년차 ('13.02 ~'14.02)
4	석면함유자재 에너지소비량 원단위 도출	석면함유 건축자재 해체,제거 전과정 및 단계별 에너지소비량 DB	기타	주관연구책임자 홍원화	2년차 ('13.02 ~'14.02)
5	석면 함유자재 철거 시 온실가스 배출량 원단위 도출	석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정 온실가스 배출량 원단위 DB	기타	주관연구책임자 홍원화	2년차 ('13.02 ~'14.02)
6	석면 함유자재 철거 시 처리비용 원단위 도출	석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정에서 발생하는 처리비용 원단위 DB	기타	주관연구책임자 홍원화	2년차 ('13.02 ~'14.02)
7	석면함유자재 적정처리를 위한 프로그램 개발	석면함유 건축자재 철거, 해체 전과정 및 단계별 비용 및 온실가스 평가를 위한 알고리즘 및 프로그램 시작품 개발	시스템	주관연구책임자 홍원화	3년차 ('14.02 ~'15.02)
8	프로그램 적용성 검토	석면함유 건축자재 철거, 해체 전과정 및 단계별 비용 및 온실가스 평가를 위한 프로그램 개발 결과의 현장 적용성 검토	기타	주관연구책임자 홍원화	3년차 ('14.02 ~'15.02)

3.2 핵심성과 세부설명

- 건축물 석면자재의 발생량 조사 (1차년도)

표 64. 건축물 석면자재의 발생량 조사 (1차년도)

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">본 책자 1차년도 연구내용 및 결과(p10) 참조</td></tr>
<tr><td colspan="2">정 의</td><td colspan="6">* 문헌연구를 통한 석면함유 건축자재 종류 및 특성 파악</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">* 건축물 리모델링 과정에서 석면함유 건축자재의 발생량을 평가하기 위해서 석면함유자재 종류 및 특성 파악은 필수요소임</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">* 3차년도 연구목표인 건축물 리모델링 과정의 석면함유 자재 처리비용 및 온실가스 배출량 평가 프로그램 개발을 위해 구축되었으며 향후 건축물 리모델링 시 건축물 석면함유 건축자재 발생량을 분석하여 국가 및 지역별 건축물 석면함유자재 발생량의 예측에 기여하기 위함임
* 현재 건설폐기물 분야에서 건축물 석면자재 발생량 관련 연구는 전무한 실정으로 본 연구가 필수적임</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) * 전무함
(개발기술 수준) * 온실가스 및 처리비용 원단위 및 평가프로그램 개발
(개발기술 수준 설정근거) * 기존 건설폐기물 평가 프로그램</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) 홍 원 화 (경북대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">'12.04 ~'13.01 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="12">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">* 연구실적보고서 상의 석면함유자재 list 확인</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>.....</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="9">양적성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 0, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 0, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td></td><td></td></tr>
</table>

- 건축물 용도별, 구조별 석면함유자재별 발생 원단위 도출 (1차년도)

표 65. 건축물 용도별, 구조별 석면함유자재별 발생 원단위 도출 (1차년도)

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">본 책자 1차년도 연구개발결과(p10) 참조</td></tr>
<tr><td colspan="2">정 의</td><td colspan="6">* 석면함유 건축자재 해체 철거 시 석면자재 발생량 원단위 DB 도출</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">* 건축물 리모델링 과정에서 석면함유 건축자재의 발생량을 평가하기 위해서 건축물 용도별, 종류별 석면자재 발생량 원단위 DB 구축은 필수요소임</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">* 3차년도 연구목표인 건축물 리모델링 과정의 석면함유 자재 처리비용 및 온실가스 배출량 평가 프로그램 개발을 위해 구축되었으며 향후 건축물 리모델링 시 건축물 석면함유 건축자재 발생량을 분석하여 건축물의 용도별, 구조별 석면함유자재 발생량의 예측에 기여하기 위함임
* 현재 건설폐기물 분야에서 건축물 석면자재 발생량 관련 연구는 전무한 실정으로 본 연구가 필수적임</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) * 전무함
(개발기술 수준) * 온실가스 및 처리비용 원단위 및 평가프로그램 개발
(개발기술 수준 설정근거) * 기존 건설폐기물 평가 프로그램</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) 홍 원 화 (경북대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">'12.04 ~'13.01 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="11">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">* 연구실적보고서 상의 석면자재 발생 원단위 DB확인</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>.....</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="8">양적성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 0, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 3 국외 0</td><td></td><td>국내발표2, 해외발표2</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 0, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 3, 국외 0</td><td></td><td>국내발표2, 해외발표2</td></tr>
</table>

- 석면함유자재 해체·제거 과정 에너지소비량 원단위 도출 (2차년도)

표 66. 석면함유자재 해체·제거 과정 에너지소비량 원단위 도출 (2차년도)

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">본 책자 2차년도 연구개발결과(p11) 참조</td></tr>
<tr><td colspan="2">정 의</td><td colspan="6">* 석면함유 건축자재 철거, 해체 전과정 및 단계별 에너지소비량 DB 도출</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">* 건축물 리모델링 과정에서 석면함유 건축자재로 인해 추가적으로 발생하는 온실가스 배출량을 평가하기 위해서 에너지소비량 DB 구축은 필수요소임</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">* 3차년도 연구목표인 건축물 리모델링 과정의 석면함유 자재 처리비용 및 온실가스 배출량 평가 프로그램 개발을 위해 구축되었으며 향후 건축물 리모델링 시 석면함유 건축자재로 인해 추가적으로 발생하는 온실가스 배출량을 평가하여 국가 탄소배출량 저감에 기여하기 위함임
* 현재 건설폐기물 분야에서 석면으로 인해 추가적인 온실가스 배출량 관련 연구는 전무한 실정으로 본 연구가 필수적임</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) * 전무함
(개발기술 수준) * 온실가스 및 처리비용 원단위 및 평가프로그램 개발
(개발기술 수준 설정근거) * 기존 건설폐기물 평가 프로그램</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) 홍 원 화 (경북대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">'13.02 ~'14.02 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="12">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>2차년도</td><td colspan="5">* 연구실적보고서 상의 원단위 DB확인</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>.....</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="9">양적성과</td><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 0, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td></td><td>원단위 DB</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 0, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td></td><td></td></tr>
</table>

- 석면함유자재 해체·제거 과정 투입자재 항목 조사 (2차년도)

표 67. 석면함유자재 해체·제거 과정 투입자재 항목 조사 (2차년도)

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">본 책자 2차년도 연구개발결과(p11) 참조</td></tr>
<tr><td colspan="2">정 의</td><td colspan="6">* 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정 투입장비 및 자재 인벤토리 구축</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">* 건축물 리모델링 과정에서 석면함유 건축자재로 인해 추가적으로 발생하는
온실가스 배출량을 평가하기 위해서 주요 투입자재별, 항목별 DB 구축은 필수요소임</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">* 3차년도 연구목표인 건축물 리모델링 과정의 석면함유 자재 처리비용 및 온실가스
배출량 평가 프로그램 개발을 위해 구축되었으며 향후 건축물 리모델링 시 석면함유
건축자재로 인해 추가적으로 발생하는 온실가스 배출량을 평가하여 국가 탄소배출량
저감에 기여하기 위함임
* 현재 건설폐기물 분야에서 석면으로 인해 추가적인 온실가스 배출량 관련 연구는
전무한 실정으로 본 연구가 필수적임</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) * 전무함
(개발기술 수준) * 온실가스 및 처리비용 원단위 및 평가프로그램 개발
(개발기술 수준 설정근거) * 기존 건설폐기물 평가 프로그램</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) 홍 원 화 (경북대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">'13.02 ~'14.02 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="12">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>2차년도</td><td colspan="5">* 연구실적보고서 상의 원단위 DB확인</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">* 논문성과</td></tr>
<tr><td>.....</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="9">양적성과</td><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 0, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td></td><td>국내학술발표대회 2건</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 0, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td></td><td>국내학술발표대회 2건</td></tr>
</table>

- 석면함유자재 해체·제거 과정 온실가스 발생량 원단위 도출 (2차년도)

표 68. 석면함유자재 해체·제거 과정 온실가스 발생량 원단위 도출 (2차년도)

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">본 책자 2차년도 연구개발결과(p11) 참조</td></tr>
<tr><td colspan="2">정 의</td><td colspan="6">* 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정 에너지소비량, 온실가스 배출량 DB</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">* 건축물 리모델링 과정에서 석면함유 건축자재로 인해 추가적으로 발생하는 온실가스 배출량을 평가하기 위해서 에너지소비량 원단위 DB 구축은 필수요소임</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">* 3차년도 연구목표인 건축물 리모델링 과정의 석면함유 자재 처리비용 및 온실가스 배출량 평가 프로그램 개발을 위해 구축되었으며 향후 건축물 리모델링 시 석면함유 건축자재로 인해 추가적으로 발생하는 온실가스 배출량을 평가하여 국가 탄소배출량 저감에 기여하기 위함임
* 현재 건설폐기물 분야에서 석면으로 인해 추가적인 온실가스 배출량 관련 연구는 전무한 실정으로 본 연구가 필수적임</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) * 전무함
(개발기술 수준) * 온실가스 및 처리비용 원단위 및 평가프로그램 개발
(개발기술 수준 설정근거) * 기존 건설폐기물 평가 프로그램</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) 홍 원 화 (경북대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">'13.02 ~'14.02 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="13">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>2차년도</td><td colspan="5">* 연구실적보고서 상의 원단위 DB확인</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">* 논문성과</td></tr>
<tr><td>.....</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="10">양적성과</td><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 0, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 3, 국외 0</td><td></td><td>해외학술발표대회 1건</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 0, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 3, 국외 0</td><td></td><td>해외학술발표대회 1건</td></tr>
</table>

- 석면함유자재 해체·제거 과정 처리비용 원단위 도출 (2차년도)

표 69. 석면함유자재 해체·제거 과정 처리비용 원단위 도출 (2차년도)

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="7">본 책자 2차년도 연구개발결과(p11) 참조</td></tr>
<tr><td colspan="2">정 의</td><td colspan="7">* 석면함유 건축자재 철거, 해체 전과정 및 단계별 처리비용 원단위 DB 도출</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="7">* 건축물 리모델링 과정에서 석면함유 건축자재로 인해 추가적으로 발생하는 처리비용을 평가하기 위해서 단위면적 당 처리비용 원단위 DB 구축은 필수요소임</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="7">* 3차년도 연구목표인 건축물 리모델링 과정의 석면함유 자재 처리비용 및 온실가스 배출량 평가 프로그램 개발을 위해 구축되었으며 향후 건축물 리모델링 시 석면함유 건축자재로 인해 추가적으로 발생하는 처리비용을 평가하여 석면 처리비용의 전면적인 재검토와 절감방안 마련이 목적임
* 현재 건설폐기물 분야에서 석면으로 인해 추가적인 처리비용 관련 연구는 전무한 실정으로 본 연구가 필수적임</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="7">(기존기술 수준) * 전무함
(개발기술 수준) * 온실가스 및 처리비용 원단위 및 평가프로그램 개발
(개발기술 수준 설정근거) * 기존 건설폐기물 평가 프로그램</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="7">성명(소속기관명) 홍 원 화 (경북대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="7">'13.02 ~'14.02 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="12">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>2차년도</td><td colspan="6">* 연구실적보고서 상의 원단위 DB확인</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="6">* 논문성과</td></tr>
<tr><td>.....</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="9">양적성과</td><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td colspan="2">기타</td></tr>
<tr><td>출원 0, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td></td><td colspan="2">해외학술발표대회 2건</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td colspan="2">기타</td></tr>
<tr><td>출원 0, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td></td><td colspan="2">해외학술발표대회 2건</td></tr>
</table>

- 프로그램 개발 (3차년도)

표 70. 프로그램 개발 (3차년도)

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">본 책자 3차년도 연구개발결과(p12) 참조</td></tr>
<tr><td colspan="2">정 의</td><td colspan="6">* 석면함유 건축자재 철거, 해체 전과정 및 단계별 처리비용 및 온실가스 평가를 위한 알고리즘 제시</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">* 건축물 리모델링 과정에서 석면함유 건축자재로 인해 추가적으로 발생하는 온실가스 배출량 및 처리비용을 평가하기 위한 프로그램을 개발함으로써 석면함유 건축자재의 처리비용 절감과 국가 탄소배출량 절감에 기여하기 위함임</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">* 3차년도 연구목표인 건축물 리모델링 과정의 석면함유 자재 처리비용 및 온실가스 배출량 평가 프로그램 개발을 위해 구축되었으며 향후 건축물 리모델링 시 석면함유 건축자재로 인해 추가적으로 발생하는 온실가스 배출량을 평가하여 국가 탄소배출량 저감에 기여하기 위함임
* 현재 건설폐기물 분야에서 석면으로 인해 추가적인 온실가스 배출량 관련 연구는 전무한 실정으로 본 연구가 필수적임</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) * 전무함
(개발기술 수준) * 온실가스 및 처리비용 원단위 및 평가프로그램 개발
(개발기술 수준 설정근거) * 기존 건설폐기물 평가 프로그램</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) 홍 원 화 (경북대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">'14.02 ~'15.02 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="12">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>3차년도</td><td colspan="5">* 프로그램 완성도</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>.....</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="9">양적성과</td><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 2, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 3, 국외 0</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 2, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>국내 3, 국외 0</td><td></td><td></td></tr>
</table>

- 개발완료 및 적용성 검토 (3차년도)

표 71. 개발완료 및 적용성 검토 (3차년도)

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">본 책자 3차년도 연구개발결과(p12) 참조</td></tr>
<tr><td colspan="2">정 의</td><td colspan="6">* 석면함유 건축자재 철거, 해체 전과정 및 단계별 비용 및 온실가스 평가를 위한 프로그램 시작품 개발 결과의 현장 적용성 검토</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">* 건축물 리모델링 과정에서 석면함유 건축자재로 인해 추가적으로 발생하는 온실가스 배출량 및 처리비용을 평가하기 위한 프로그램을 개발한 결과를 현장 데이터와 비교, 분석하여 적용성을 검토</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">* 3차년도 연구목표인 건축물 리모델링 과정의 석면함유 자재 처리비용 및 온실가스 배출량 평가 프로그램 개발을 위해 구축되었으며 향후 건축물 리모델링 시 석면함유 건축자재로 인해 추가적으로 발생하는 온실가스 배출량을 평가하여 국가 탄소배출량 저감에 기여하기 위함임
* 현장에 적용하여 적용가능성 및 오차율 수정 및 보완
* 현재 건설폐기물 분야에서 석면으로 인해 추가적인 온실가스 배출량 관련 연구는 전무한 실정으로 본 연구가 필수적임</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) * 전무함
(개발기술 수준) * 온실가스 및 처리비용 원단위 및 평가프로그램 개발
(개발기술 수준 설정근거) * 기존 건설폐기물 평가 프로그램</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">성명(소속기관명) 홍 원 화 (경북대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">'14.02 ~'15.02 (1년)</td></tr>
<tr><td rowspan="11">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>3차년도</td><td colspan="5">* 프로그램 완성도</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>.....</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="8">양적성과</td><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 1</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>시작품1</td><td>정책제안 2</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td>매뉴얼1</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1, 등록 0</td><td>국내 0, 국외 1</td><td>국내 0, 국외 0</td><td>시작품1
매뉴얼1</td><td>정책제안 2</td></tr>
</table>

3.3 연구성과

- 성과총괄

표 72. 성과총괄

성과명	1차년도		2차년도		3차년도		총괄	
	목표	달성	목표	달성	목표	달성	목표	달성
국내학술발표대회	1건	2건	2건	2건			3건	4건
해외학술발표대회	1건	2건	2건	3건		5건	3건	10건
등재지 심사논문	1건	3건	2건	3건	2건	3건	5건	9건
SCI(E) 논문			1건	(3차년도 로변경)	1건	1건	1건	1건
특허출원					1건	3건	1건	3건
소프트웨어 등록					1건	1건	1건	1건
정책제안					1건	2건	1건	2건
S/W 사용자매뉴얼					1건	1건	1건	1건
인력양성(박사)					1명	1명	1명	1명
인력양성(석사)	1명	2명	1명	2명	1명	2명	3명	6명
현장적용						1건		1건
기술 이전						1건		1건

- 연차별 성과목표 대비 달성치

성과점검기준표(1차년도)

	세세부과제(공동과제)명 (연구목표, 분야)		성과목표		성과지표		성과검증 기준				가중치	달성평점 (평점1~5)
							목표수준		측정방법	검증 방법		
							목표치	달성치				
성과 질적 목표 점검	1	건축물 내 석면함유 자재 조사	1	문헌연구를 통한 석면함유 자재의 종류 및 특성 파악	①	기술동향조사 (국내/국외)	30건	100%	문헌 연구 건수 + 자재 리스트 작성	발표 (PPT)	30%	
	2	현장조사를 통한 건축물 내 석면함유 자재의 발생량 분석	1	석면함유 자재 철거 시 석면자재의 발생량 원단위 DB구축	①	사전 타당성 평가실적	3건	100%	전문가 평가	심사	20%	
					②	시험/조사 DB 구축 및 활용 실적	95%	100%	연구개발 성과관리 활용을 위한 DB구축여부	발표 (PPT)	50%	
	3											
	4			⋮								
	종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치)											

		목표	목표 건수	달성 건수	증빙	인정 건수	달성율 (%)	가중치	달성평점
양적 지표 점검	사업연계지표	국내 발표논문 (한국연구재단 등재지)	1	2	有		200%	30%	
		해외 발표논문	1	2	有		200%	30%	
		국내 심사논문 (한국연구재단 등재지)	1	3	有		300%	40%	
	종합점수 = ∑ (성과별달성율×가중치)								

성과점검기준표(2차년도)

	세세부과제(공동과제)명 (연구목표, 분야)		성과목표		성과지표		성과검증 기준				가중치	달성평점 (평점1~5)
							목표수준		측정방법	검증 방법		
							목표치	달성치				
성과 질적 목표 점검	1	석면 함유 자재 철거 시 에너지 소비량 분석	1	투입장비 및 자재 철거에 따른 에너지 소비량 원단위 DB구축	①	시험/조사 DB 구축 및 활용 실적	90%	100%	연구개발 성과관리 활용을 위한 DB구축여부	발표 (PPT)	50%	
	2	리모델링 시 투입자재 및 장비에 따른 에너지 소비량 원단위 DB 구축	1	리모델링 시 투입자재 및 장비에 따른 에너지 소비량 원단위 DB	①	시험/조사 DB 구축 및 활용 실적	90%	100%	연구개발 성과관리 활용을 위한 DB구축여부	발표 (PPT)	50%	
	4											
	종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치)											

		목표	목표 건수	달성 건수	증빙	인정 건수	달성율 (%)	가중치	달성평점
양적 지표 점검	사업연계지표	국내 발표논문 (한국연구재단 등재지)	2	2	有		100%	20%	
		해외 발표논문	2	3	有		150%	20%	
		국내 심사논문 (한국연구재단 등재지)	2	3	有		150%	30%	
		SCI(E)	1	0	심사중		50%	30%	
	종합점수 = ∑ (성과별달성율×가중치)								

성과점검기준표(3차년도)

	세세부과제(공동과제)명 (연구목표, 분야)		성과목표		성과지표	성과검증 기준				가중치	달성평점 (평점1~5)
						목표수준		측정방법	검증방법		
						목표치	달성치				
성과 질적 목표 점검	1 석면함유 건축물 리모델링 과정에서의 처리비용, 온실가스 분석	1	처리비용 및 온실가스 발생 원단위 개발	①	시험/조사 DB의 분석 결과를 국가 공인 기관에서 인증 획득	국가공인기관의 검증서	100%	개발된 원단위 DB를 국가 공인 기관에서 검증	검증서	30%	
	2 처리비용 및 온실가스 평가 프로그램 알고리즘 개발	1	처리비용 및 온실가스 평가 알고리즘 제시	①	개발 알고리즘의 현장적용 여부	현장적용 2건 이상	100%	지자체 및 현장업체의 S/W 사용성 검토	검토서	20%	
	3 처리비용 및 온실가스 평가 프로그램 개발	1	처리비용 및 온실가스 평가 프로그램 시작품 개발	①	시작품 개발 여부	1	100%	개발 시작품의 완성도	시제품 시연	30%	
	4 현장 적용	1	현장 적용 오차율 저감	①	현장 적용 오차율	90%	100%	개발 모델결과 값과 현장실측 시 발생량의 오차정도(10% 내)	업체의 현장 적용	20%	
	종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치)										

		목표	목표 건수	달성 건수	증빙	인정 건수	달성율 (%)	가중치	달성평점
양적 지표 점검	사업연계지표	국내 심사논문 (한국연구재단 등재지)	2	3	有		150%	20%	
		SCI(E)	1	1	有		100%	10%	
		S/W 사용자 매뉴얼	1	1	有		100%	10%	
		S/W 시작품	1	1	有		100%	30%	
		정책제안	1	2	有		200%	10%	
		특허출원	1	3	有		300%	20%	
	종합점수 = ∑ (성과별달성율×가중치)								

- 논문게재 성과 list

표 73. 논문게재 성과 list

게재 연도	논문명	게재지	저자	국내외 구분	SCI구분
2015	Development of a model to calculate asbestos fiber from damaged asbestos slates depending on the degree of Damage	Journal of Cleaner Production	김영찬(주저자) 홍원화(교신) 장원룡(공동)	국외	SCI(E)
2014	노후 아파트 경비원의 석면인지도 분석을 통한 효율적 정보제공방법에 관한 연구	대한건축학회	김영찬(주저자) 홍원화(교신) 장원룡(공동)	국내	KCI
2014	석면슬레이트 설치 경과년도에 따른 두께변화 분석 및 석면섬유 자연발생량 예측모델 개발	대한건축학회	장원룡(주저자) 김영찬(교신) 홍원화(공동)	국내	KCI
2014	GIS를 이용한 석면함유건축물 우선철거지역 선정	대한건축학회	김영찬(주저자) 홍원화(교신)	국내	KCI
2014	석면함유자재의 해체·제거 전(全)과정 목록화를 통한 처리비용 산정식 개발	대한건축학회	홍윤기(주저자) 김영찬(교신) 홍원화(공동)	국내	KCI
2013	주택재개발 지구 내 건축물 해체 시 석면함유자재의 발생패턴 및 발생량 분석에 관한 연구	대한건축학회	김영찬(주저자) 홍원화(교신) 손병훈(공동)	국내	KCI
2013	석면함유자재 해체제거 전과정에서 발생하는 이산화탄소 발생량 산정을 위한 추정모델 개발	대한건축학회	배재민(주저자) 김영찬(교신) 홍원화(공동)	국내	KCI
2012	Comparison and consideration of asbestos cement slate distribution characteristic of rural and metro regions in Korea	Chongqing	김영찬(주저자) 손병훈(교신) 홍원화(공동)	국외	비SCI
2012	설문조사를 통한 석면슬레이트 건축물 거주자의 환경개선을 위한 연구	대한건축학회	배재민(주저자) 김영찬(공동) 원안나(공동) 홍원화(교신)	국내	KCI
2012	공동주택의 세대 구성유형과 면적에 따른 MSW 발생량 추정모델 개발	한국주거학회	김효경(주저자) 김영찬(공동) 홍원화(교신)	국내	KCI

- 학술대회 발표 성과 list

표 74. 학술대회 발표 성과 list

발표 연도	논문명	학술대회명	저자	국내외 구분	비고
2014	An Analysis of the Effectiveness of Anti-Scattering Agent through the characteristics of asbestos scattering of asbestos-tex in the event of a fire	ISAIA	장원룡(주저자) 김영찬(교신) 김수영(공동) 홍원화(공동)	국외	
2014	A Study on Method of Applying Building Information Modeling(BIM) in the Demolition Stage of Building	ISAIA	박재우(주저자) 김영찬(교신) 홍윤기(공동) 홍원화(공동)	국외	
2014	A study on the efficient provision method of asbestos information within University Dormitory through the Questionnaire survey	AIUE	김수영(주저자) 김영찬(교신) 장원룡(공동) 홍원화(공동)	국외	우수발표 논문상
2014	The analysis for the distribution characteristic of asbestos containing material within the building of University	AIUE	차래혁(주저자) 장원룡(교신) 김영찬(공동) 홍원화(공동)	국외	
2014	A Study on the Management Plan of C&D Waste Using Building Information Modeling(BIM) in the Demolition Stage	AIUE	박재우(주저자) 김영찬(교신) 홍원화(공동)	국외	
2013	Cost Calculation of Life Cycle Cost Occurring in dismantling and Demolition of Asbestos Containing Materials in Buildings	AIUE	홍윤기(주저자) 김영찬(교신) 홍원화(공동)	국외	
2013	Research on Emission of airborne fibers from Asbestos Cement Roofing Sheets According to Change in Degree of Damage	AIUE	장원룡(주저자) 김영찬(교신) 홍원화(교신)	국외	
2013	The study of construction waste management system process utilizing BIM/GIS for low-carbon green growth	ISGMA	김혜미(주저자) 홍원화(교신) 이습엽(공동)	국외	
2013	재난발생 시 석면함유자재 적정처리를 위한 석면관리체계 구축의 필수요소 선정	대한건축학회 지회연합회	백승찬(주저자) 김영찬(교신) 손병훈(공동) 홍원화(공동)	국내	
2013	순환골재 생산의 에너지 소비량 및 CO_2 배출 저감 가능성에 관한 연구 -수송단계를 중심으로-	한국생태환경건축학회	김태현(주저자) 차기욱(교신) 홍원화(공동)	국내	
2012	A Study on the Variation of Greenhouse Gas Emissions According to Separation of MSW in standard plastic garbage bags	AIUE	김효경(주저자) 김영찬(공동) 차기욱(공동) 홍원화(교신)	국외	
2012	Analysis of production of asbestos-contained materials generated from dismantling & removing the commercial structures	AIUE	배재민(주저자) 김영찬(공동) 손병훈(공동) 홍원화(교신)	국외	
2012	공동주택에서 배출되는 MSW발생량에 관한 영향요인 분석	한국생태환경건축학회	권순형(주저자) 김효경(공동) 김영찬(공동) 홍원화(교신)	국내	우수발표 논문상
2012	노후 공동주택 시설관리자의 석면인지도 조사를 통한 근로환경 개선에 관한 연구	한국생태환경건축학회	장원룡(주저자) 김영찬(공동) 홍원화(교신)	국내	

- 특허 및 소프트웨어 등록 성과 list

표 75. 특허 및 소프트웨어 등록 성과 list

연도	명칭	기관	발명자	국내외 구분	비고
2014	석면 섬유 자연 발생량 예측 시스템 및 그 방법	특허청	홍원화 김영찬 장원룡	국내	
2014	온실가스 발생량 예측 시스템 및 그 방법	특허청	홍원화 김영찬	국내	
2014	석면슬레이트 파손시 손상 정도에 따른 석면 섬유 발생량 산정 시스템 및 그 방법	특허청	홍원화 김영찬 장원룡	국내	
2014	석면 관리 프로그램	한국저작권 위원회	경북대학교 산학협력단	국내	

- 정책제안 list

표 76. 정책제안 list

연도	명칭	기관	작성자	국내외 구분	비고
2014	Asbestos-free Daegu 실현 사업	대구시청	홍원화	국내	
2014	초중고생을 위한 재해재난안전관리 교육 프로그램 개발	대구시청	홍원화	국내	

- 현장적용 list

표 77. 현장적용 list

연도	명칭	기관	작성자	국내외 구분	비고
2014	경북대학교 석면조사 및 석면지도 작성	(주)아스텍주식회사	(주)아스텍주식회사	국내	181개 건축물

- 기술이전 list

표 78. 기술이전 list

연도	명칭	기관	작성자	국내외 구분	비고
2014	통상실시권 계약서	(주)조일콘크리트	(주)조일콘크리트	국내	

제4장 연구목표 달성 및 효과

4.1 연구개발 진행 일정

표 79. 연구개발 목표 및 진행 일정

연차	연구목표	연구내용	진 행 일 정(월별)											
			1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1차년도	건축물 내 석면함유 자재 조사	문헌연구에 의한 조사/분석				2012 시작								
		석면함유 자재 특성 및 종류 파악												
	석면함유 자재 발생량 DB 구축	철거 시 석면자재 발생량 조사 및 분석												
		건축물 용도별 석면자재 발생량 원단위 DB 구축	2013 종료											
2차년도	리모델링 과정 투입자재 항목 분석	주요 투입 자재항목 도출		2013 시작										
		자재 소요량 산출												
	리모델링 과정 에너지소비량 원단위 도출	장비조합에 의한 에너지소비량 조사/분석												
		리모델링 과정 에너지소비량 원단위 도출												
	에너지소비에 따른 온실가스 원단위 도출	에너지소비에 의한 온실가스 배출량 분석												
		온실가스 배출량 원단위 분석 및 도출												
	해체 및 리모델링 과정 비용, 온실가스 배출량 분석	자재 및 장비요소에 의한 비용분석												
		해체, 리모델링 과정 비용 원단위 분석 및 도출												
		비용, 온실가스 종합 평가		2014 종료										
3차년도	프로그램 시작품 개발	알고리즘 개발 및 사용자 편의성 사전검토			2014 시작									
		프로그램 구조 설정												
		시작품 개발												
	개발 완료 및 적용성 검토	프로그램 현장 적용 및 테스트												
		프로그램 타당성 검증												
		프로그램 수정 및 보완												
		개발 완료		2015 종료										

4.2 연구개발 목표 달성도

표 80. 연구개발 목표 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
문헌연구에 의한 조사/분석	100%	· 건축물 석면 및 리모델링 법령 분석 · 석면 및 연구방법론 관련 논문 및 보고서 조사/분석 · 리모델링 관련 논문 및 보고서 조사/분석
석면함유 자재 특성 및 종류 파악	100%	· 기 문헌연구를 통한 석면함유 자재종류 파악 · 석면관련 법규상 석면함유 자재 및 종류 파악 · 각 석면함유 부재별 특성 파악
철거 시 석면자재 발생량 조사 및 분석	100%	· 건축물 철거, 해체 시 발생하는 석면 발생량 조사 · 건축물 용도별, 리모델링 과정 석면 발생량 조사 · 철거, 해체, 리모델링 시 석면 발생량 분석
건축물 용도별 석면자재 발생량 원단위 DB 구축	100%	· 석면자재 발생량 DB화 · 건축물 용도별 석면자재 발생량 DB구축 · 리모델링 과정 석면자재 발생량 DB구축
장비조합에 의한 에너지소비량 조사/분석	100%	· 석면함유 건축자재 철거, 해체 시 각 단계별 에너지소비량 산정으로 단계별 사용되는 장비조합에 따른 온실가스 발생량 산정
철거에 따른 에너지소비량 원단위 분석 및 도출	100%	· 석면함유 건축자재 철거, 해체 전과정 및 단계별 에너지소비량 DB 확보
주요 투입 자재항목 도출	100%	· 석면함유 건축자재 해체, 제거 시 각 과정별 주요 투입자재 항목별 DB 확보
자재 소요량 산출	100%	· 석면함유 건축자재 해체, 제거 시 투입자재의 항목별 소요량 DB 산출
장비조합에 의한 에너지원단위 조사/분석	100%	· 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정에서의 에너지소비량 및 온실가스 배출량 원단위 확보를 통한 투입장비에 따른 장비조합/사용시간 산정
석면함유자재 해체·제거 과정 온실가스 배출량 원단위 도출	100%	· 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정 에너지 소비에 따른 온실가스 배출량 원단위 DB 산출
석면함유자재 해체·제거 과정 비용 분석	100%	· 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정 및 단계별 비용 종합분석
비용 및 온실가스 평가 프로그램 개발	100%	· 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정 및 단계별 온실가스 발생량 및 비용 평가를 위한 알고리즘, 미들웨어 및 시작품 개발
프로그램 개발 완료 및 적용성 검토	100%	· 프로그램 시작품 검증 및 수정 보완 · 프로그램 적용성 검토

4.3 연구개발 성과의 효과분석

연구결과의 활용방안

○ 국가적 측면

- 건축물 유지관리 과정에서 추가적으로 발생할 CO_2 배출량과 생애주기 비용을 산출함으로써 정부의 2020년 BAU 대비 온실가스 감축 목표 달성을 위한 정부/지자체의 건설부문 온실가스 배출량 예측과 평가의 기초자료로 적극 활용

○ 지역적 측면

- 지자체별로 건축물에서 발생할 지정폐기물의 발생량 파악과 처리비용 산정 자료로 활용

○ 사회적 측면

- 석면함유 자재의 분포 특성 및 발생량에 대한 DB 확보를 통해 보건·위생적인 측면에서 건축물의 안전성 평가지료로 활용

○ 산업적 측면

- 석면피해로 인한 건축물 안전 및 보건에 관한 전문인력 양성
- 재건축 및 리모델링 관련 산업 육성
- 건설구조물 유지관리 단계에서의 탄소배출량 및 환경부하 평가 지침의 일부 자료로 활용

기대성과 및 파급효과



그림 23. 기대성과 및 파급효과

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

5.1 연구성과 향후 활용방안

○ 본 연구는 “건축물 리모델링 과정의 석면함유 자재 처리 비용 및 온실가스 배출량 평가 프로그램개발”을 위해 전년도에 기 문헌연구를 통한 석면함유 자재의 특성 및 종류를 파악하고 철거 시 석면자재 발생량 DB와 원단위 DB를 구축, **현장 데이터를 적극 활용하여 기존의 연구결과와는 차별화된 정확한 석면자재 정보를 도출하여 관계부처 간 석면종합대책 마련의 중요한 DB로 사용될 것으로 기대**

○ 석면함유 건축자재 해체, 제거 전과정에서 발생하는 처리비용 및 온실가스 배출량 원단위 DB는 **정책입안자, 석면해체업자, 지자체업무담당자 및 일반인에게 석면관련 정보를 전달하고 범정부 차원의 중장기적인 석면함유자재의 유지, 관리 및 철거, 해체 계획에 널리 활용될 것으로 기대됨**

○ 건축물 유지관리 과정에서 추가적으로 발생할 CO_2 배출량과 생애주기 비용을 산출함으로써 정부의 2020년 BAU 대비 온실가스 감축 목표 달성을 위한 정부/지자체의 건설부문 온실가스 배출량 예측과 평가의 기초자료로 적극 활용

○ 석면함유 자재의 분포 특성 및 발생량에 대한 DB 확보를 통해 보건·위생적인 측면에서 건축물의 안전성 평가자료로 활용될 것으로 기대되며 지자체별로 건축물에서 발생할 지정폐기물의 발생량 파악과 처리비용 산정 자료로 활용가치가 높음

○ 프로그램의 사용을 통하여 **건축물 리모델링 및 재건축 과정에서의 건설재료 DB 확보와 함께 석면 함유 건축물의 수선 및 보수에 따른 온실가스 배출량/처리비용에 관한 기초정보를 제공**함으로써 그린 리모델링화 추진에 따른 국가 온실가스 배출량 산정에 기여

○ ‘석면함유 건설자재 범정부 종합대책’을 위한 DB구축, **통합석면관리 시스템의 개발과 모바일 및 웹용 어플리케이션, 증강현실 등 다양한 분야에 기초자료로 그 활용가치가 매우 높을 것으로 판단**

○ 현재 전국단위의 건축물 석면함유자재 사용 DB중 슬레이트의 DB를 구축하였으며 기타 DB확보의 어려움으로 대구광역시 중구를 중심으로 프로그램을 개발함. 향후 전국단위 또는 각 지자체별 수치지형도, 지적도, 건축물 모형정보 등 DB를 확보하고 전국단위의 석면함유자재 DB를 적용하면 전국단위 또는 각 지자체별 석면지도 DB file의 업데이트가 가능하며, 따라서 **각 지자체에서도 프로그램을 충분히 활용 가능할 것**으로 사료됨. 프로그램은 **각 지자체별 석면 해체·제거 비용 산정 및 우선철거지역 선정** 등에 유용하게 사용될 수

있을 것이며 또한 **텍스의 DB확보 및 건축물의 철거, 해체와 함께 지도 DB file의 업데이트가 가능할 것**으로 판단됨.

○ 프로그램의 사용을 통하여 지구단위 건축물 및 개별 건축물에서 석면함유자재의 관리가 가능하기 때문에 정책입안자, 시·군·구청 관계자, 석면해체업자, 일반인 등에게 **석면정보를 가시적으로 전달**할 수 있고, 중장기적으로 봤을 때 **석면함유자재의 효과적인 유지관리와 안전한 철거를 위해 프로그램이 효율적으로 활용**될 수 있을 것으로 판단. 또한 향후 각 시, 군, 구 단위로 지도 DB file 제작 후 시청, 군청, 구청 관계자에 프로그램을 배포하면 프로그램의 **지구단위 건축물의 석면 해체·제거 비용 산정, 우선철거지역 선정 등을 통하여** 각 지자체별 지구단위 건축물 또는 개별 건축물의 **석면함유자재 적정처리 계획을 세울 수 있을 것**으로 판단됨.

○ 지난 2012년부터 조달청이 발주하는 500억 원 이상의 공공 건축물은 BIM 적용이 의무화됐고 2016년부터 모든 공공 건축물로 확대될 예정임. BIM 기술을 적용할 경우 건축, 건설 분야에서 생산되는 다양한 정보들을 더 효율적으로 활용할 수 있기에 **향후 건축물의 BIM 활성화가 기대**되는 실정임. 본 연구의 석면함유자재 분포특성 및 발생량 DB는 향후 **BIM 기법을 이용한 건축자재의 통합관리 기술의 개발에 적극 활용**될 수 있을 것으로 판단됨.

○ 현재 일반건설자재의 해체 시 발생하는 온실가스의 발생량에 관한 연구는 이루어지고 있지만 석면함유자재의 해체 시 추가적으로 발생하는 온실가스 발생량에 관한 연구가 전무한 상황에서 국가 그린 리모델링화 및 국가 LCI DB 확보에 귀중한 기초자료가 될 것으로 판단됨. 또한 본 프로그램을 기반으로 향후 건축물의 생애기간의 여러 단계 중 건축물의 냉·난방 및 조명 등에서 소비된 화석에너지와 사용기간 중의 유지관리를 위하여 건축자재를 생산, 교체 또는 수선하는 과정에서 소비된 에너지를 통하여 발생된 환경적 부담($LCCO_2$)과 결합하여 **건축물 생애주기의 에너지소비 원단위 산정 및 온실가스 배출량 평가 프로그램의 개발에 활용**될 수 있을 것으로 판단됨.

○ 평상시의 석면함유건축자재 유해성이 부각되면서 유지, 관리의 중요성이 높아지고 있지만 지진이나 화재 등 재난상황에서 석면처리 가이드라인조차 마련되어 있지 않은 현실에서 석면함유건축자재의 정보를 가시적으로 전달하고 중장기적인 석면함유건축자재의 효과적인 유지관리와 안전한 해체, 제거를 위하여 지구단위 석면관리 프로그램을 개발함으로써 향후 프로그램을 보완하여 **재난발생 시를 대비한 건축물의 유해물질 발생량 및 발생하는 폐기물(생활폐기물, 건설폐기물 등) 총량 예측에 활용**될 수 있을 것으로 판단됨.

5.2 추가연구 필요성

◇ 본 연구에서 도출한 석면함유건축자재의 전국적인 DB는 석면슬레이트만을 대상으로 하였고 건축 행정자료인 건축물대장으로 구축되어 행정적인 오차가 발생할 수 있다. 향후 텍스의 DB를 확보하고 위법건축물대장과 현장조사를 통해 보완되어야 할 것이다. 또한 건축물대장보다 더 정확한 자료인 건축물 준공도면과의 연계 또한 고려되어야 할 것이다.

◇ 건축면적에 기준한 석면함유건축자재의 발생량 산식은 지붕전체에 사용된 경우와 처마의 확장에 사용된 경우 모두 도출하였지만 현장조사의 어려움으로 개발된 프로그램에는 지붕전체에 사용된 경우만을 대상으로 하여 향후 보완이 필요하다고 판단된다.

◇ 석면함유건축자재의 처리비용과 온실가스 발생량 산식은 문헌고찰을 통해서 목록화된 항목을 토대로 개발되어 해체, 제거 현장의 여러 가지 변수를 고려하지 못했기에 향후 보완이 필요하다. 또한 일반건설폐기물과 석면함유건축자재의 종합적인 처리비용 및 온실가스가 발생량 산식을 개발할 필요가 있을 것이다.

◇ 현재 개발된 프로그램은 전국적인 DB확보의 어려움으로 대구광역시 중구에 한정되었다. 향후 다른 지자체의 DB확보로 프로그램의 확장성을 넓힐 필요가 있다. 향후 DB확보와 관련하여 실제 측정된 값으로 보완할 필요가 있다고 판단된다.

◇ 또한 개발된 프로그램의 지속적인 업데이트가 필요하고 현재에는 석면함유건축자재의 유지관리, 해체제거에 관한 내용에 국한되지만 향후에는 일반건설폐기물로 확대 적용하거나 기존 건설폐기물 관리 프로그램과의 연동이 고려된다면 더욱 발전된 프로그램이 될 것으로 판단된다.

◇ 향후 재난 발생 시 석면 폐기물뿐만 아니라 건설폐기물, 생활폐기물 등 건축물에서 발생하는 모든 폐기물의 발생량 산정 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 재난 발생 시 석면함유자재의 파손으로 인한 공기 중 석면섬유 농도 관련 연구도 진행할 필요가 있다.

◇ 본 연구에서 온실가스 배출량에 관한 내용은 석면함유자재 해체·제거 시 발생하는 온실가스 배출량에만 한정되어 있지만 향후 국가 온실가스 감축을 위하여 건축물 생애주기의 에너지소비 및 리모델링 등에 따른 온실가스 배출 원단위 산정 연구를 진행할 필요가 있는 것으로 판단된다.

제6장 연구개발 상세 내용

목차

용어정리

1. 석면 및 석면함유자재의 개요

1.1 석면의 개요 및 사용현황
1.2 석면의 위해성 및 국내외 석면관리제도
1.3 석면함유자재의 개요 및 사용현황

2. 1차년도 연구내용

2.1 문헌연구를 통한 건축물 내 석면함유 자재 리스트 DB화
2.2 석면슬레이트 DB화
2.3 석면함유 건축내장재 DB화
2.4 건축면적에 기준한 석면함유자재 발생량 원단위 분석

3. 2차년도 연구내용

3.1 석면함유자재 해체·제거 작업과정 사용장비 조사
3.2 석면함유자재 해체·제거 전과정 에너지소비량 원단위 도출
3.3 석면함유자재 해체·제거 전과정 온실가스 배출량 원단위 도출
3.4 석면함유자재 해체·제거 전과정 처리비용 원단위 도출

4. 3차년도 연구내용

4.1 프로그램 알고리즘 개발
4.2 Shape File의 구조와 데이터 읽기 code
4.3 프로그램 시작품 개발
4.4 프로그램 활용 및 검증

5. 추가 연구내용 정리

5.1. 석면함유자재의 시간경과에 따른 석면섬유 자연발생량 산정식 개발
5.2 석면함유자재의 노화정도에 따른 파손 시 석면섬유 발생량 산정식 개발
5.3 GIS를 이용한 석면함유건축물 우선철거지역 선정

6. 부록

용어정리

본 연구에서 사용하고 있는 용어들의 정의 및 정리는 다음과 같다. 정의 및 정리가 없는 경우는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고 건축법, 산업안전보건법, 동법 시행령, 동법 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 관련 고시에서 정하는 바에 따른다.

(1) “석면”이라 함은 자연에서 생산되는 섬유상 형태를 갖고 있는 규산염 광물로서 백석면, 갈석면, 청석면, 안소필라이트석면, 트레모라이트석면, 악티노라이트석면 등 여섯 종의 광물을 말한다.

(2) “석면함유자재”라 함은 석면함유물질이 포함되어 있는 건축 자재를 말한다.

(3) “석면해체·제거작업”이라 함은 석면함유 설비 또는 건축물의 파쇄, 개·보수 등으로 인하여 석면분진이 흩날리거나 흩날릴 우려가 있고 작은 입자의 석면 폐기물이 발생되거나 발생될 우려가 있는 작업을 말한다.

(4) “음압기”라 함은 고성능필터가 달린 팬을 이용하여 작업장 내부 공기를 일정유량으로 배기하여 석면해체·제거작업 공간 내부를 음압으로 유지하도록 하는 장치를 말한다.

(5) “음압기록장치”라 함은 석면해체·제거작업 공간 내외부의 압력 차이를 측정·기록할 수 있는 장비를 말한다.

(6) “지정폐기물”이라 함은 사업장폐기물 가운데 폐유·폐산 등 주변의 환경을 오염시킬 수 있는 유해한 것으로서 대통령령이 정하는 폐기물을 말한다.

(7) “석면함유건축자재”라 함은 석면함유물질이 포함되어 있는 건축자재를 말한다. 대표적으로 외장재로 쓰이는 슬레이트와 내장재로 쓰이는 텍스 등이 있다. 본 연구에서는 가장 많이 쓰이는 슬레이트와 텍스를 대상으로 한다.

(8) “석면 해체·제거 전과정”은 석면함유물질이 사용된 건축물에 대한 사전조사, 석면 해체 철거공사에 이어 마지막 석면폐기물 처리까지의 모든 단계를 일컫는다. 본 연구에서는 해체·제거 전과정을 ①사전조사 단계, ②사전작업 단계, ③해체·제거 단계, ④폐기물 처리 및 청소 단계, ⑤폐기물 적재 및 반출 단계, ⑥폐기물 운반 및 처리 단계 등 여섯 가지 단계로 나누었다. 다음 그림은 석면 해체, 제거 전과정의 용어를 나타낸다.

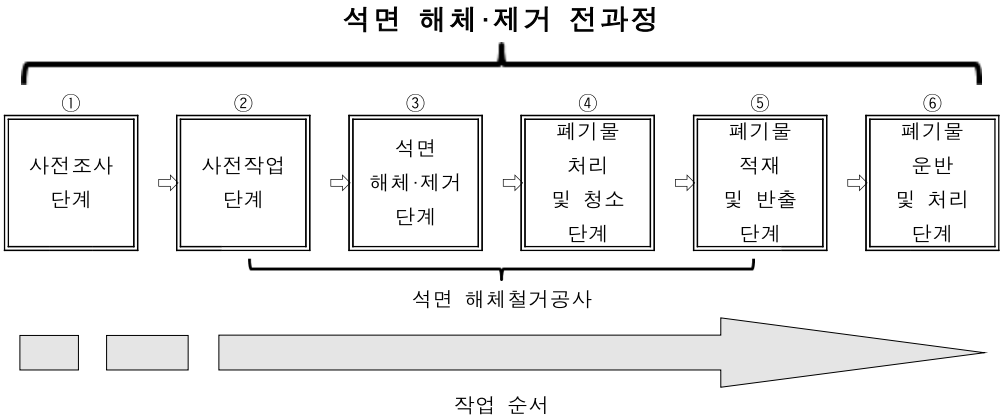


그림 24. 석면함유건축자재 해체, 제거 전과정의 용어

①사전조사 단계 : 건축물을 철거하거나 해체하기 전 해당 건축물의 석면함유여부, 석면자재 종류, 위치 및 면적을 조사한 후 그 결과를 기록·보존하는 단계를 말한다. 본 연구에서는 사전조사 단계를 석면조사 과정과 석면지도 작성 과정으로 나누었다.

②사전작업 단계 : 석면함유 물질을 해체·제거하기 전 작업장 격리 및 위생설비를 설치하는 단계를 말한다.

③해체·제거 단계 : 건축물 내외의 석면함유자재를 해체하는 단계를 말한다.

④폐기물 처리 및 청소 단계 : 해체·제거한 석면함유 폐기물을 비닐로 밀봉한 후 작업장을 청소하는 단계를 말한다.

⑤폐기물 적재 및 반출 단계 : 사용한 개인보호구 등 소모품을 밀봉하여 석면 폐기물과 함께 임시보관하는 단계를 말한다.

⑥폐기물 운반 및 매립 단계 : 석면 폐기물을 차에 실어 폐석면 처리장까지 운반하고 최종 매립하는 단계를 말한다.

(9) “석면 해체, 철거공사”는 건축물 내외의 석면함유자재를 건축물로부터 해체하는 공사를 말하며 해체·제거 전과정에서 ①사전조사 단계와 ⑥폐기물 운반 및 처리 단계를 제외한 나머지 단계들을 일컫는다. 즉 ②사전작업 단계, ③해체·제거 단계, ④폐기물 처리 및 청소 단계, ⑤폐기물 적재 및 반출 단계가 포함된다.

(10) “온실가스”는 탄소 또는 그 화합물이 완전 연소하거나, 생명체가 호흡 또는 발효하는 과정에서 생기는 기체를 말한다. 대표적인 온실가스에는 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O) 등이 있다.

(11) “해체(解體)”라 함은 구조물 따위가 헐어 무너짐 또는 그것을 헐어 무너뜨림으로 정의한다. 즉, 건축구조물의 해체란 건축물 혹은 구조물을 필요에 의해, 혹은 더 이상의 가치가 없어 헐어 무너뜨리는 것이라 할 수 있다. 다음 그림은 건축구조물의 해체 및 건축폐기물의 처리단계를 나타낸다.

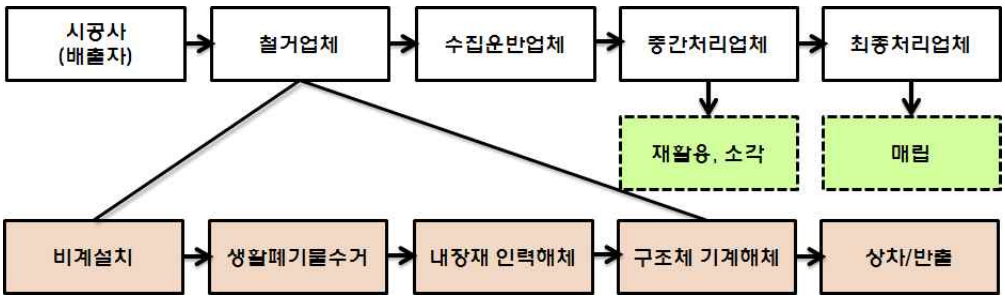


그림 25. 건축구조물의 해체 및 건설폐기물의 처리단계

(12) “IPCC(Intergovermental Panel on Climate Change)”는 기후 변화와 관련하여 범지구적인 위험을 평가하고 국제적인 대책을 마련하기 위해서 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 설립한 유엔 산하의 국제 협의체로 기후변화에 대한 대책단이 발간한 국가 온실가스 배출량 산정을 위한 지침을 말한다.

(13) “CO_2eq”은 이산화탄소의 등가를 뜻하는 단위로 각각의 온실가스 배출원이 지구온난화에 기여하는 정도를 수치로 표현한 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential)를 곱한값이며, 이는 모든 종류의 온실가스를 CO_2로 단위로 환산한 단위를 말한다.

1. 석면 및 석면함유자재의 개요

1.1 석면의 개요 및 사용현황

석면(石綿, Asbestos)은 그리스어의 A=not, sbestos=quenchable(멸하다)에서 유래한 것으로 불멸의 물질이라는 의미다. 석면은 100만 년 전의 화산활동에 의해 발생한 화성암의 일종으로 천연 상의 자연계에서 존재하는 사문석(蛇紋石)계 및 각섬석(角閃石)계의 광물에서 채취되는 섬유모양의 규산화합물이다. 직경이 0.02~0.03㎛ 정도이며 내화성(Fire proofing), 단열성(Heat resistance), 방부성(Corrosion resistance), 방적성(Spinability), 절연성(Insulation), 유연성, 고인장성 등 특성을 띤다. 이러한 특성 때문에 그 산업적, 상업적 가치는 매우 크다. 석면은 구성학적으로 사문석(蛇紋石, serpentine) 계열과 각섬석(角閃石, amphibole) 계열로 크게 나눌 수 있다. 사문석계열에는 백석면(chrisotile)만이 포함되고 각섬석계열에는 청석면(靑石綿, crocidolite), 갈석면(葛石綿 또는 黃石綿, amosite), 토면(土綿, tremolite), 양기석(陽起石, actinolite), 안소필라이트(직섬석, anthopylite) 등이 포함된다.[1] 다음 표에서는 석면의 종류 및 특성을 나타내었다.

표 81. 석면의 종류 및 특성

Group	종 류	화학식	특성
사문석계	백석면 Chrysotile	$3MgO·2SiO_2·2H_2O$	가늘고 부드러운 섬유, 휨 및 인장강도가 큼, 가장 많이 사용됨
각섬석계	갈석면 Amosite	$(Fe,Mg)SiO_3$,1-5pctH_2O	취성, 고내열성 섬유
	청석면 Crocidolite	$Na·Fe(SiO_3)_2·FeSiO_3×H_2O$	석면광물 중에서 가장 강함, 취성
	안소필라이트 Anthophylite	$(Mg,Fe)_7Si_8O_22(OH)_2$	취성, 흰색섬유 거의 사용하지 않음
	트레모라이트 Tremolite	$Ca_2Mg_3Si_8O_22(OH)_2$	뿜칠재, 코킹재, 바닥타일
	악티노라이트 Actinolite	$Ca(Mg,Fe)_3(SiO_2)4×H_2O$	바닥재, 뿜칠재
※ 석면의 특성 : 내화성(Fire proofing), 단열성(Heat resistance), 방부성(Corrosion resistance), 방적성(Spinability), 절연성(Insulation), 유연성, 고인장성 등			

1) Langer, A. M., and R. P. Nolan. "Chrysotile: its occurrence and properties as variables controlling biological effects." The Annals of occupational hygiene 38.4 (1994): 427-51.

다음 표에서는 석면 사용 역사에 대하여 나타내었다.

표 82. 석면 사용의 역사

연도	내용
BC. 2500	핀란드 도자기에서 석면 발견
고대 그리스	신전에서 램프 심지로 사용
로마	옷과 수의로 사용
1857-80	첫 석면 상업적 사용 밀봉 및 패킹 제품, 영국
1868-69	지붕방수지 및 시멘트에 석면 사용, 미국
1866-76	본격적인 석면 방직, 이탈리아
1890년대 말	석면 노동자 건강에 대해 첫 보고
1899	석면시멘트 제조 오스트리아
1906	첫 석면 사용 브레이크라이닝
1910	포름알데히드 수지에 석면 혼합
1918	클러치에 석면 사용
1927	석면폐란 용어 첫 사용-영국의학저널
1930	석면폐 공식 인정-머리웨더 보고서
1931	석면 살포 기술의 개발, 영국
1931	영국 석면 규제
1939-46	2차 세계 대전 중 석면을 사용한 방화복 개발
1944	배의 갑판과 방수벽에 석면 살포 시작, 영국 해군
1946	포도주 여과용 필터에 석면 사용
1955	리처드 돌 석면과 폐암 연관성 확립
1960	와그너 청석면과 악성중피종 연관성 확립
1963	배 석면 살포 중지, 영국 해군
1967	플라스틱, 페인트, 아스팔트에 석면 사용
1968	청석면에 대한 작업장 허용기준 설정
1971	석면 뿜칠(스프레이) 금지
1985	석면단열보드 설치 금지, 청석면과 갈석면 수입과 공급 금지,
	단열용으로 백석면 공급과 사용 금지
1992	백석면 일부 용도 사용금지, 석면이 포함된 치장벽토 설치금지
1998	영국에서 모든 건축재에 석면 사용 금지.
2005	모든 유럽의회 회원국 백석면 사용금지

우리나라에서 사용된 석면은 대부분 시멘트제품, 마찰재, 조인트시트, 방직제품 등에 사용되어 현재까지 다양한 분야에서 사용되고 있다. 1930년대 중반 전국에 걸쳐서 석면광산이 개

발된 이후 1944년까지 4,815톤이 생산되었다. 우리나라의 대표적인 석면광산으로는 백석면 광산인 충남 홍성의 광천 석면 광산으로 1944년에 백석면 4,815톤이 생산되어 전체 백석면 생산의 약 90 %를 차지하였고 1984년 폐광될 때까지 우리나라에서 생산된 석면의 총 생산량은 145,533톤이다.(환경부, 2009) 다음 표에서는 우리나라의 연도별 석면생산량을 나타내었다.

표 83. 우리나라의 연도별 석면 생산량(단위: 톤) (출처: 관세청, 2006)

연도	양	연도	양	연도	양	연도	양	연도	양
1941	4,815	1957	96	1967	2,388	1977	6,180	1987	2,518
1945	1,303	1958	22	1968	-	1978	13,161	1988	2,428
1946 ~ 1949	-	1959	88	1969	6,515	1979	14,804	1989	2,351
1950	46	1960	740	1970	1,513	1980	9,854	1990	1,534
1951	46	1961	341	1971	-	1981	13,614	1991	0
1952	46	1962	1,333	1972	-	1982	15,933	1992	0
1953	46	1963	2,037	1973	-	1983	12,506	1993	0
1954	46	1964	1,402	1974	-	1984	8,062	1994	0
1955	66	1965	1,710	1975	4,345	1985	4,703		
1956	54	1966	687	1976	4,762	1986	2,983		
총생산량					145,533				

1.2 석면의 위해성 및 국내외 석면관리제도

석면은 미세한 분진형태로 공기 중에 비산되어 호흡기 및 소화기를 통해 인체에 흡입된다. 석면함유 건축물은 설치되어 있는 그 자체로는 문제가 되지 않지만, 사용함에 있어 노후화, 손상, 해체 등을 통해 석면분진이 발생되어 호흡기(입이나 코)를 통해 인체에 흡입되는 경우 문제가 된다.[2] **석면섬유가 호흡기를 통하여 인체에 노출될 경우 약 10~40년의 잠복기를 거쳐 석면폐와 폐암, 악성중피종 등을 유발하고 섭취 시에는 장과 관계된 암과 인후두암, 신장암, 임파선암, 췌장암 등을 유발하는 것으로 알려져 있다.**[3][4] 부산시의 한 석면공장에서 반경 2km 떨어진 지역에 살았던 사람에게서 중피종암이 발생하였고 일본 구보타 석면공장 주변의 2km 거리 지역에서도 중피종암 환자가 다수 발생하였으며 이탈리아 한 지방의 석면시멘트 공장에서 10km 떨어진 거리의 주변 지역에서도 중피종암 환자가 발생한 사례가 있었다.[5] 따라서 1987년 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)에서는 석면을 1급 발암성물질로 지정하였고, 미국산업위생전문가협의회회(ACGIH)는 A1(인간에게 발암확정물질), 국립독성프로그램(NTP)은 1그룹(인간에게 발암성이 확인)으로 구분하고 있다.[6] 또한 국제노동기구(ILO)에서도 1972년에 전문가 회의를 거쳐 석면을 직업성 암 위험물질로 인정하였고, 1997년 일부 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH) 연구원들은 모든 암의 6~10%가 직업적 발암물질에 노출되어 발생하는 것으로 보고하고 있으며, 특히 폐암은 10%, 악성중피종은 100% 직업에 기인한다고 추정하고 있다.[7] 다음 표에서는 세계 각국의 석면금지 현황을 나타내었다.[8]

---

2) 고용노동부, 한국산업안전보건공단, 석면함유 건축물 유지관리방법, 2012

3) Doll, Richard. "Mortality from lung cancer in asbestos workers 1955." British journal of industrial medicine 50.6 (1993): 485.

4) Wagner, J. C., C. A. Sleggs, and Paul Marchand. "Diffuse pleural mesothelioma and asbestos exposure in the North Western Cape Province." British journal of industrial medicine 17.4 (1960): 260-271.

5) 시민환경연구소, 석면공해와 시민건강, 2009

6) 기윤호 외 5인, 우리나라 일부 석면 함유제품에 대한 실태조사, 한국환경보건학회지, 제34권 제1호: 108-115, 2008

7) Fine, L. "Statement of Occupational Cancer." Senate Cancer Coalition 6 (1997).

8) Bao Jun et al. Review of Control Laws and Detection Methods for Asbestos, Rock and mineral analysis, Vol.30 No.5: 644-653, 2011

표 84. 세계 각국 석면금지 현황

국가	연도	금지령 내용
호주	2004	• 석면의 사용 금지
아이슬란드	1983	• 모든 종류의 석면 사용금지(1996년 수정)
노르웨이	1984	• 모든 종류의 석면 사용금지
덴마크	1986	• 부분 백석면제품 사용금지
헝가리	1988	• 각섬석석면 사용금지
스위스	1989	• 청석면, 갈석면과 부분 백석면제품 사용금지
오스트리아	1990	• 부분 백석면제품 사용금지
네덜란드	1991	• 부분 백석면제품 외 기타 석면제품 사용금지
핀란드	1992	• 부분 백석면제품 외 기타 석면제품 사용금지(93부터 실시)
쿠웨이트	1995	• 모든 종류의 석면 사용금지
슬로베니아	1996	• 석면시멘트제품 생산 금지
폴란드	1997	• 석면 금지
모나코	1997	• 건축재료중 석면 사용 금지
벨기에	1998	• 부분 백석면제품 외 기타 석면제품 사용금지
사우디아라비아	1998	• 석면 금지
리투아니아	1998	• 석면규제법규 반포, 2004년 석면 금지
아일랜드	2000	• 부분 백석면제품 외 기타 석면제품 사용금지
브라질	2000/2001	• 지역 나누어 석면금지, 상파울루 당장 석면 금지
라트비아	2001	• 석면 금지
칠레	2001	• 석면 금지
아르헨티나	2001	• 백석면 금지, 각섬석석면 2000년 이미 금지
스페인	2002	• 백석면 금지, 기타 석면 이미 유럽연맹에서 금지
룩셈부르크	2002	• 백석면 금지, 기타 석면 이미 유럽연맹에서 금지
슬로바키아	2002	• 유럽연맹에 모든 석면 금지시키라고 건의
뉴질랜드	2002	• 석면 수입금지, 석면원료 함유와 상품 불포함
우루과이	2002	• 모든 석면 제조와 수입 금지
말레이시아	2002	• 거의 모든 백석면 제품 금지
온두라스	2004	• 부분 백석면제품 외 기타 석면제품 사용금지
불가리아	2005	• 모든 석면과 석면함유제품 제조와 수입 금지
이집트	2005	• 석면 관련제품 제조와 수입 금지
요르단	2006	• 모든 유형의 석면과 석면제품 금지
크로아티아	2006	• 석면과 석면제품 금지
뉴칼레도니아	2007	• 석면 생산, 수입과 판매 금지
싱가포르	2008	• 석면원료의 수입 금지, 백석면 외의 다른 석면제품의 수입과 사용금지, 백석면 사용 정부 허가 필요.
태국	2009	• 백석면 외 기타 석면 금지, 태국정부에서 백석면의 생산, 사용 또는 수출입은 정부의 허가 필요.
필리핀	2000	• 건축물에 각종 석면 분무 도장 금지, 백석면 외 기타 석면의 수입과 사용 금지
말레이시아	2015	• 각종 석면 수입, 사용 전면 금지 예정
베트남	1998	• 부분 백석면제품 외 기타 석면 수입과 사용 금지
인도네시아	-	• 청석면 사용금지, 백석면 안전사용규범 반포
미얀마	-	• 각섬석류 석면 사용금지

우리나라에서는 1990년 7월에 산업안전보건법의 산업보건기준에 관한 규칙을 제정하였고 석면을 특정화학물질 1류로 분류하여 석면의 사용에 대한 규제를 강화해오고 있다.[9] 또한 **2009년 1월 1일에 개정된 산업안전보건법에 의해서 석면이 0.1% 이상 함유된 건축자재**

9) 고용노동부, 산업안전보건법 시행령 영 제13053호, 1990

등의 석면함유 제품은 제조, 수입, 사용을 모두 금지하였다.[10] 고용노동부의 산업안전보건법 이외에 환경부의 다중이용시설의 실내공기질 법, 폐기물법, 건설교통부의 건축법 등에서도 석면의 사용 및 제조를 엄격히 규제하고 있다.[11] 우리나라의 석면 규제 연혁은 다음 표와 같다.[12]

표 85. 국내 석면 규제 연혁

연도	법규	내용
1990년 7월	산업안전보건법 시행령 개정	- 사용허가 대상 유해물질 석면 추가
1997년 5월	산업안전보건법 시행령 개정	- 제조/금지 유해물질 청·갈석면 추가
2007년 7월	산업안전보건법 시행령 개정	- 석면함유 제품 제조·수입·양도·제공 또는 사용금지 * 석면중량 제품중량의 0.1%초과 불가
2008년 7월	폐기물관리법 시행령 개정	- 폐석면 지정폐기물 분류대상 확대 - 폐석면 수집·운반·보관·처리 다양화 - 폐석면 지정폐기물 매립시설 설치기준 신설
2009년 2월	산업안전보건법 개정	- 모든 석면 제조·수입·양도·제공 또는 사용금지 - 석면해체·철거업체 등록제 도입 - 석면조사기관 허가제 도입
2010년 3월	석면피해구제법 제정	* 2011년 1월 1일 시행 대상질병 : 악성중피종, 석면으로 인한 폐암, 석면폐증, 기타 대통령령으로 정하는 질병
2011년 7월	산업안전보건법 일부 개정	* 2012년 시행 석면함유제품 및 자연발생석면관리, 건축물 석면관리, 석면해체사업장 주변환경 관리 등
2012년 4월	석면안전관리법 제정	* 2012년 4월 29일 시행 - 석면관리 기본계획 - 석면함유제픔 등 관리 - 자연발생석면 및 건축물 석면 관리 - 석면해체 사업장 주변환경 관리 등

우리나라를 비롯하여 선진국에서는 이미 석면에 대해서 취급, 수입, 사용에 대한 엄격한 관리를 하고 있지만 **과거의 석면노출로 인한 석면의 피해는 여전히 진행되고 있고 향후 20년 ~ 30년 사이에 그 석면피해의 규모가 절정에 이를 것으로 예측**되고 있다.[13]

10) 고용노동부, 산업안전보건법 법률 제9434호, 2009
11) 최호춘 외 5인, 국내 석면 고형시료 중 석면의 종류 및 함유량에 관한 연구, 한국산업위생학회지, 제21권 제4호: 201-208, 2011
12) 배재민 외 3인, 설문조사를 통한 석면슬레이트 건축물 거주환경 개선에 관한 연구, 대한건축학회 논문집: 계획계, Vol.29 No.10: 267-274, 2013
13) 정재원 외 3인, 석면함유건축물의 석면노출 및 위해성 평가, 한국환경과학회지 제21권(제9호), 1069~1078, 2012

1.3 석면함유자재의 개요 및 사용현황

우리나라의 석면원재료 수입은 1976년에 약 74,000톤에서 1995년에 약 88,000톤까지 약 20년 동안 꾸준하게 증가하는 추세를 보였으나 석면으로 인한 피해사례가 증가면서 1997년에 청석면과 갈석면의 수입 및 사용을 금지한 이후 지속적인 감소추세를 보이며 2005년 약 6,500톤을 수입하였다. 2009년에 석면과 석면함유제품의 사용, 제조, 유통, 수입이 전면적으로 금지되기 전까지 약 200만 톤의 석면 관련 물질이 수입되어 사용된 것으로 추정하고 있다. 다음 그림에서는 우리나라의 연도별 석면 원료 수입량을 나타낸다.

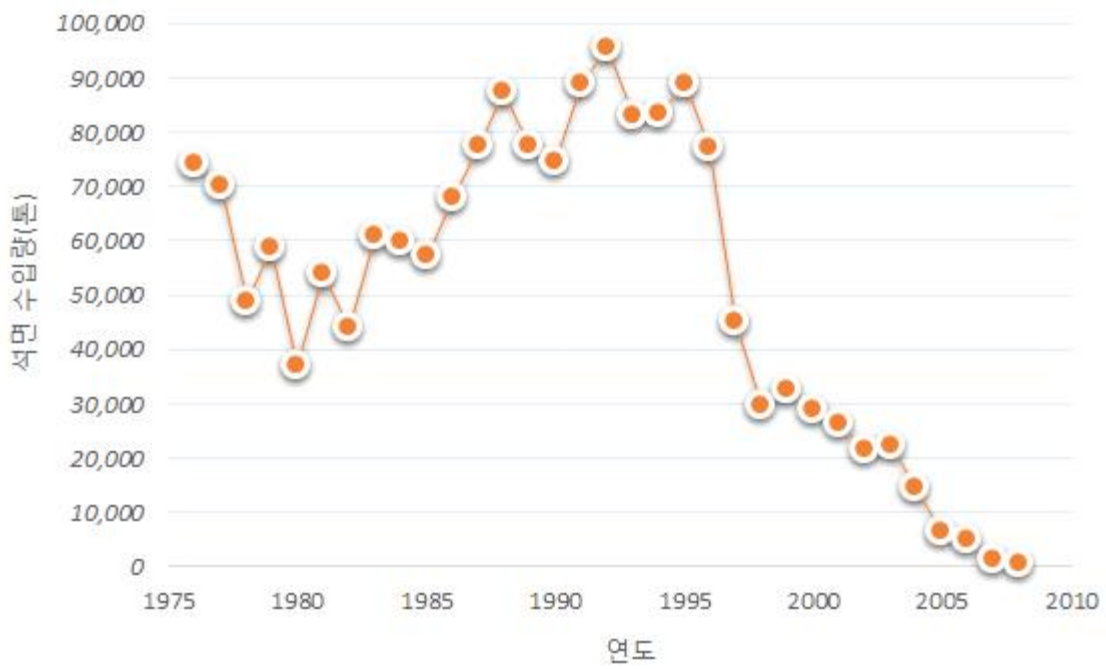


그림 26. 석면의 연도별 수입현황(관세청, 2014)

우리나라에서 수입된 석면의 경우 특히 건축자재의 원료로 많이 사용되었다. 석면안전관리법 시행규칙 제3조의 내용에 따르면 석면건축자재란 석면이 중량비율 1%를 초과하여 함유된 건축자재를 말한다.[14] 우리나라에서는 수입된 석면의 약 80% 이상이 건축자재로 사용되었고 1970년대의 경우 약 96%가 건축자재인 슬레이트 주원료로 사용되었으며 1990년에는 슬레이트와 보온 단열재 등에서 약 82.3%, 마찰재인 브레이크 라이닝과 패드 등에서 약 10.5%, 석면 방직제품인 석면포 등에 약 5.5%, 그리고 기타 개스킷과 단열제품에 1.7%가 사용되었다.[15] 호흡에 의한 석면의 노출은 근로자들에게 큰 건강위협요소로 알려져 있다.[16][17][18][19] 이러한 산업환경보건학적 관점에서 석면 노출 및 위해성평가에 대한 연구는 1970

14) 환경부, 석면안전관리법 시행규칙, 2013
15) 최정근 외 2인, 우리나라의 석면 생산과 사용 및 근로자 수와 노출농도의 변화, 한국산업위생학회지, Vol.8 No.2: 242-252, 1998
16) Case, B. W., and P. Sebastien. "Environmental and occupational exposures to chrysotile asbestos: a comparative

년대 중반부터 본격적으로 관심을 가지게 되었으며 석면 흡입에 따른 위해한 건강영향들에 대한 모든 관심은 비교적 고농도의 직업관련 노출상황들에 중점을 두었다.[20][21] 이후 건축자재와 약 3000여 제품들에서 사용되었던 석면이 건물 및 제품의 노후화로 인한 파손이 시작되면서 근로자들에서 건물 거주자들에게 관심이 바뀌었다.[22] 실제로 슬레이트 가옥 거주자가 악성중피종으로 진단된 사례가 있고,[23] 슬레이트 가옥 석면비산으로 인하여 폐암환자가 발생한 사례도 있다.[24] 건축물 내에서 석면은 일반적으로 다음과 같이 방음, 내화 등의 목적으로 석면 또는 석면의 중량이 0.1% 이상 함유한 재료를 시멘트와 일정한 비율로 물을 첨가하여 시공하는 뿜칠재, 건물의 벽과 천정, 기둥, 보일러 및 배관 등에 붙여 넣은 석면을 함유한 보온재료 내화 피복재, 건물의 외벽이나 지붕, 천장 등 넓은 범위에서 사용되고 있는 건축자재 등 형태로 사용되고 있다. 이 중 석면 분진 발생 가능성이 높은 재료로는 분무재, 석면 보온재, 석면 방직제품, 석면 천장재 등이며 석면분진 발생 가능성이 낮은 재료로는 석면 개스킷, 전기제품 내화 단열재, 석면함유 시멘트 제품, 석면함유 바닥재 등이 있다.[25] 건축물 내에 사용된 석면함유건축자재의 종류와 특성은 다음 표와 같다.

---

microanalytic study." Archives of environmental health 42.4 (1986): 185-191.

17) Mossman, J., et al. "Hunter's disease in a girl: association with X: 5 chromosomal translocation disrupting the Hunter gene." Archives of disease in childhood 58.11 (1983): 911-915.

18) World Health Organization(WHO). "Chrysotile asbestos." Environmental Health Criteria 203. (1998).

19) Rom, William N., et al. "Malignant mesothelioma from neighborhood exposure to anthophyllite asbestos." American journal of industrial medicine 40.2 (2001): 211-214.

20) 김정일 외 13인, 부산지역 직업성 폐암의 역학적 특성, 대한산업의학회지 Vol.18, No.1, 2006

21) Craighead J.E, Mossman B.T, The pathogenesis of asbestos-related diseases. N Engl J Med, 306:1446-145, 1982.

22) 안연순 외 1인, 비직업적 근접 노출에 의한 석면폐증 집단발생 사례, 대한의사협회지, Vol.52 No.5: 472-481, 2009

23) 정순희 외 11명, 감시체계를 통해 파악한 악성중피종의 역학적 특성, 대한산업의학회지, Vol.18 No.1: 46-52, 2006

24) 강원일보, http://www.kwnews.co.kr/nview.asp?s=501&aid=211092500095

25) 고용노동부, 한국산업안전보건공단, 석면함유 건축물의 안전한 관리방법, 2009

표 86. 석면함유건축자재의 종류와 특성

구분	제품	석면함유량 (%)	조합물(Binder)	비산여부
벽, 천장	스프레이 외장	80-95	포틀랜드 시멘트, 실리카 나트륨, 고착제	가능
	미장재	30-80	포틀랜드 시멘트, 실리카 나트륨	가능
	석면-시멘트 시트	20-50	포틀랜드 시멘트	불가
	공간 마감재	3-5	석회풀, 인공수지	가능
	이음 접합재	3-5	아스팔트	가능
	하드보드 판지	80-85	풀, 석회, 진흙	가능
	비닐 벽지	6-8		불가
	단열, 절연판	30-50	폴리염화비닐	가능
바닥	비닐-석면 타일	20-30	규산	불가
	아스팔트-석면 타일	26-33	폴리염화비닐	불가
	바닥용 탄성수지	30-50	아스팔트	불가
	매스틱 접착제	5-25	드라이 오일	가능
지붕 및 외벽	지붕 펠트	10-15	아스팔트	불가
	펠트 싱글	1-3	아스팔트	가능
	지붕 슬레이트	10-20	아스팔트	가능
	지붕 타일	10-20	포틀랜드 시멘트	가능
	외벽 싱글	12-14	포틀랜드 시멘트	가능
	물막이 판자	12-15	포틀랜드 시멘트	가능
파이프 및 보일러	시멘트 파이프	20-90	포틀랜드 시멘트	불가
	블록 단열재	6-15	탄산 마그네슘, 실리카 칼슘	가능
	전성 파이프 덮개	30-50	탄산 마그네슘, 실리카 칼슘	가능
	보일러 덮개	30-50	실리카 칼슘	가능
	종이 테이프	60-80	폴리머수지, 풀	가능
	연마제	20-90	진흙	가능

2. 1차년도 연구내용

2.1 문헌연구를 통한 건축물 내 석면함유 자재 리스트 DB화

석면의 유해성에 대한 연구는 지속적으로 이루어져 왔으며, 유해성으로 인하여 미국 및 유럽에서는 이미 1980년대 말 부터 금지품목으로 규정한 바 있으며 석면을 함유한 건축자재 및 관련 제품의 사용금지에 대한 규정을 마련하였다. 일본의 경우에도 유해성이 강한 청석면 등에 대해서는 1995년도에 금지품목으로 규정하고 백석면 등에 대해서는 2004년부터 수입·제조를 금지하였다.

국내의 경우 1970년대에는 수입된 석면의 약 96%가 건축자재인 슬레이트에 사용되어졌으나 1990년대에는 슬레이트 이외에도 보온단열재인 건축내장재, 천정판, 석면판 등 다양한 건축자재에 약 82%가 사용되었다. 건축자재에 사용된 석면 이 문제가 되는 것은 비고형으로 건물의 진동, 유지보수, 건물의 노후화 등의 문제로 쉽게 부스러져 유해한 석면 섬유를 다량으로 발생시킬 우려가 있기 때문이다.

광범위한 문헌조사와 현장조사의 결과로 얻어진 석면함유제품의 DB를 대분류로 석면시멘트제품. 석면마찰재. 조인트시트. 석면방직제품, 기타로 구분하고 제품명과 용도, 구성재료를 나타내었다.

표 87. 석면함유제품 현황

생산 품목	제품명	용도	국내현황	구성재료	석면함유량(%)
석면 시멘트제품	슬레이트, 부속제품	지붕 및 벽체	석면제품미생산 (유지보수용생산예정)	백석면, 시멘트, 펄프	15~20%(백석면)
	석고 시멘트판	칸막이, 천정재	석면제품미생산 (비석면 제품 생산 및 수입)	백석면, 시멘트, 펄프, 석고	15~20%(백석면)
	압축석면 시멘트	외벽, 내벽, 바닥, 칸막이	국내생산(일부업체)	백석면, 시멘트, 모래, 규석분	15~20%(백석면)
석면 마찰재	브레이크 라이닝	제동장치	승용차용은 수출하며, 상용차용의 일부는 국내 소요	백석면, 합성수지, 수지, 금속분말	10~20%(백석면)
	브레이크 패드	제동장치	비석면 생산	백석면, 합성수지, 수지, 금속분말	10~20%(백석면)
	클러치라이닝/ 패이싱	제동장치	국내 미생산	백석면, 합성수지, 섬유, 금속분말	10~20%(백석면)
	특수 브레이크	제동장치	일부품목 국내생산	백석면, 합성수지, 섬유, 금속분말	10~20%(백석면)
조인트 시트	석면 가스켓	공장배관 및 기계용	저급제품수입	백석면, 합성수지, 섬유	30~40%(백석면)
	조인트 시트	실(seal)재, 기타석면방직제품군	저급제품수입		
석면 방직 제품	석면사	열기계, 기관 등 제조용	전량수입	백석면	90~99%(백석면)
	석면로프	기관실, 공조실배관등에 사용	전량수입	백석면	90~99%(백석면)
	석면패킹	기관실, 공조실배관등에 사용	전량수입	백석면	90~99%(백석면)
	석면 테이프	기관실, 공조실배관등에 사용	전량수입	백석면	90~99%(백석면)
	석면포	전기전열제, 방화복, 방화막	전량수입	백석면	90~99%(백석면)
	석면장갑	고온물질취급하는곳	전량수입	백석면	90~99%(백석면)
기타	정류자	승용차용 시동모터	저급제품수입	백석면, 수지	15~20%(백석면)
	산업용석면단열재	열프레스받침대, 용해로	저급제품수입	백석면, 시멘트	40~60%(백석면)

※ 그 외 석면 및 석면함유자재에 관한 내용은 본 장의 1절에서 상세하게 언급하였기에 생략하도록 하겠다.

2.2 석면슬레이트 DB화

1. 연구방법 및 오차발생 요인 고찰

GIS기반의 시군별 석면슬레이트 분포현황 DataBase를 구축하기 위하여 먼저 국내외 선행연구를 고찰하였다. 석면의 유해성에 관한 연구는 국내외에서 많이 이루어져 왔으며 국내에서도 2009년 2월 산업안전보건법이 개정되면서 모든 석면이 전면 사용금지 됨에 따라 앞으로의 석면문제는 사용의 문제가 아니라 효율적인 관리와 철거 및 해체의 문제가 되고 있다. 또 석면의 종류 및 특성을 파악하고 국내의 석면 사용현황과 선진각국의 석면관련 법규를 비교분석하였다. 국내에서는 1960년대 이후 새마을운동의 영향으로 석면슬레이트의 사용이 급격히 증가하였으며 정부주도의 개량사업으로 앞으로의 석면슬레이트 철거 및 해체도 정부가 주도적으로 이루어 져야 한다.

국토해양부 세움터(e-AIS)의 전국 모든 건축물 대장을 수집하였다. 약 683만여개의 건축물대장을 Database화 하고 석면슬레이트가 지붕재료로 사용된 건축물을 따로 추출하여 전국적, 각 지역별 비을 파악하고 용도별 및 건축연도별로 분포특성을 고찰하였다. 또 석면슬레이트 건축물을 시군단위로 모두 Database화하여 ESRI ArcGIS Desktop 9.3을 이용하여 각 주제별 분포지도를 작성하였다. ArcGIS는 ESRI의 GIS 제품군으로 클라이언트 소프트웨어, 서버 소프트웨어 및 데이터 요소를 포함하고 있다. 이번 연구에서 사용된 ArcMap은 ArcGIS의 핵심 디스플레이 애플리케이션이며, 공간데이터와 속성데이터의 생성, 수정, 분석, 그래프, 보고서, 디스플레이, 출력의 기능을 담당하고 있다. 석면슬레이트의 GIS 기반 DB화를 위한 연구흐름은 다음 그림과 같다.

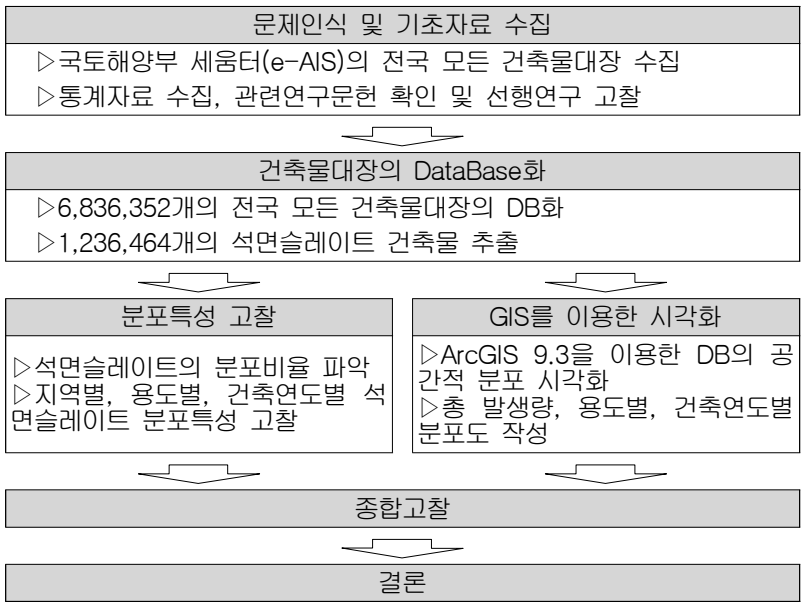


그림 27. 연구의 흐름도

석면의 철거, 해체작업은 작업계획수립, 사전작업, 철거 및 해체, 처리 및 작업장 청소, 석면농도측정, 적재 및 반출의 7단계로 구분된다. 다음 그림은 석면의 일반적인 철거, 해체 Process를 나타내며 석면슬레이트의 경우 산업안전보건법 제 38조 2의 제 1항의 석면함유 여부가 명백한 경우에 포함되어 1, 2번 과정을 생략할 수 있다.

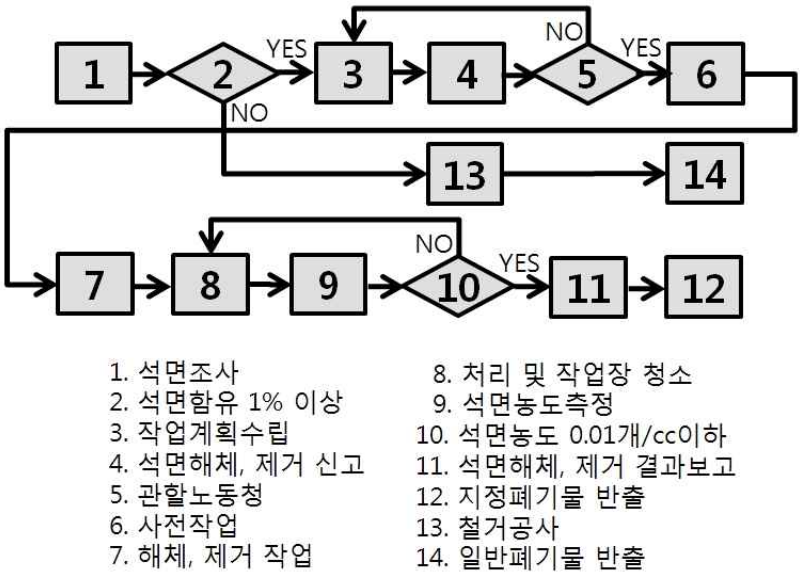


그림 28. 석면의 일반적인 철거, 해체 Process

건축물대장은 건축법 제 38조·제39조 및 동법 시행령 제 25조에 규정하고 있다. 또 '건축물대장의 기재 및 관리 등에 관한 규칙'에서 건축물 대장을 상세히 규정하고 있다. 건축물과 관련된 행정자료는 건축물대장, 과세대상, 불법건축물 관리대장 등이 있는데 건축물대장이 건축물정보의 근간이 된다. 하지만 건축물대장은 건축 인·허가과정에 구축되는 사건기반의 자료로서 건축행정과정에서 다양한 오차가 발생 가능하다. 특히 본 연구에서 다루어지는 석면슬레이트 건축물의 경우 미신고에 의한 불법건축물과 불법 용도변경에 의한 오차가 존재할 수 있다. 하지만 전국의 전수조사가 불가능하고 건축물대장보다 더 정확한 자료가 없다는 점을 감안하면 기초자료로 충분한 가치가 있다고 사료된다. 다음 그림에서 건축행정의 흐름에서 비롯된 건축물 대장의 오차발생 요인을 도식화하였다.

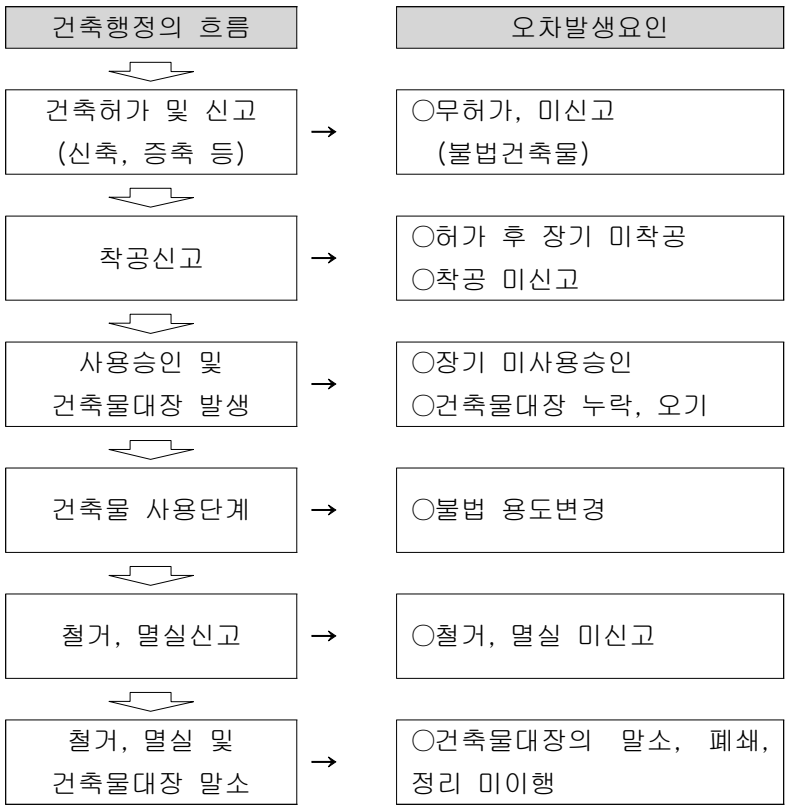


그림 29. 건축행정의 흐름과 오차발생요인

2. 자료수집 및 DB 구축

석면슬레이트의 분포특성을 파악하기 위해서 국토해양부 세움터(e-AIS)의 건축물대장을 수집하였다. 680만개 이상 수집된 자료를 DataBase화 하였고 속성(attributes)에 따라 정리 작업하여 일반적인 분석을 수행하였다. 또 분포지도를 작성하기 위해서 Geographical Information System(GIS)를 이용하였다. GIS 소프트웨어 프로그램은 ESRI ArcGIS Desktop 9.3으로 속성별 분포도를 작성하는 과정에서 수치지도인 행정구역도를 이용하였다. 행정구역도와 속성자료(Excel자료)를 연결(Join)하는데 기본값(Key value)으로 행정표준코드관리시스템의 법정동 코드를 사용하였다. 건축물대장의 속성별 자료의 구축형태는 그림과 같다.

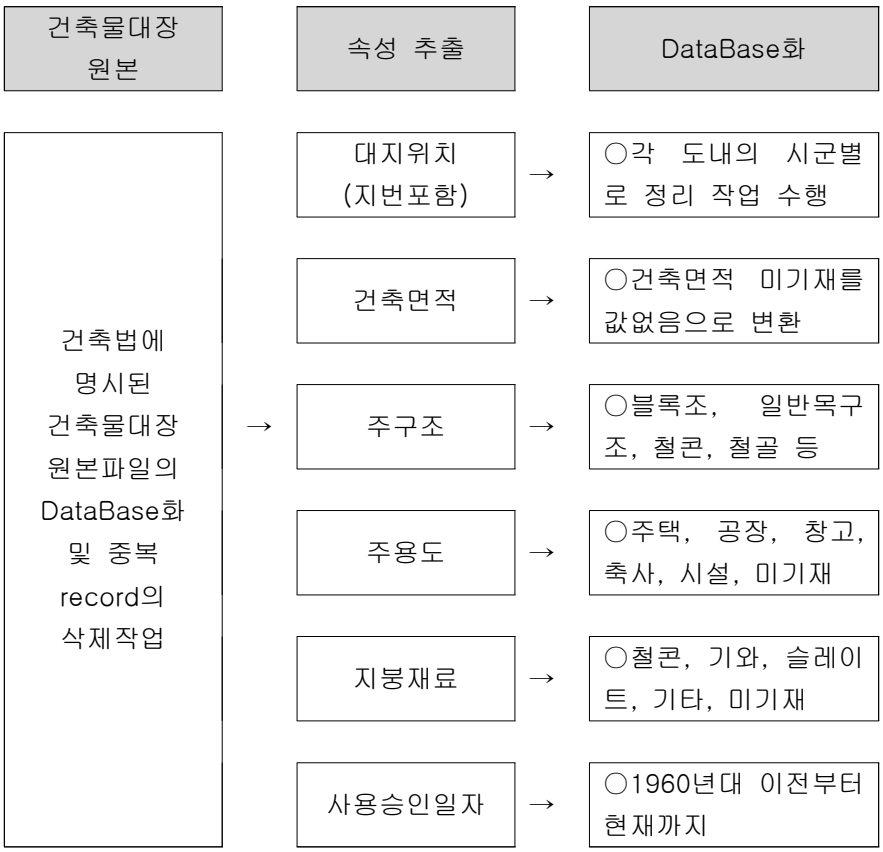


그림 30. 속성별 자료 구축 형태

3. 석면슬레이트 분포특성 DB화

(1) 석면슬레이트의 일반적인 분포특성

전국 6,836,352개의 건축물대장을 분석한 결과 석면슬레이트를 지붕재료로 사용한 건축물은 총 1,236,464개로 18.09%를 차지하였다. 전체 건축물의 면적은 1,295,880,986m^{2}고 석면슬레이트 건축물의 면적은 95,806,255m^{2}로 건축면적기준으로는 7.39%를 차지하였다.(2010년 4월 기준) 지역별로는 건축물 수 기준으로 경상북도(15.69%)와 전라남도(15.41%)가 높고 건축면적 기준으로는 경기도(17.30%)와 전라남도(16.97%)가 높은 비율을 차지하였다. 지역별 슬레이트 건축물 수와 건축면적은 다음 표와 같다.

표 88. 지역별 슬레이트 건축물(건축물 수: 동, 건축면적: m2)

지역	슬레이트 건축물수	전국대비비율	슬레이트 건축면적	전국대비비율
서울특별시	11,382	0.92%	790,901	0.83%
부산광역시	47,304	3.83%	1,755,130	1.83%
대구광역시	19,210	1.55%	2,622,031	2.74%
인천광역시	20,804	1.68%	1,779,733	1.86%
대전광역시	10,880	0.88%	334,195	0.35%
광주광역시	12,682	1.03%	691,775	0.72%
울산광역시	13,959	1.13%	6,483,911	6.77%
경기도	137,671	11.13%	16,578,085	17.30%
강원도	72,626	5.87%	3,307,687	3.45%
충청북도	72,070	5.83%	4,502,193	4.70%
충청남도	97,157	7.86%	6,220,917	6.49%
전라북도	109,818	8.88%	8,416,837	8.79%
전라남도	190,567	15.41%	16,261,878	16.97%
경상북도	194,021	15.69%	12,538,067	13.09%
경상남도	175,850	14.22%	10,860,130	11.34%
제주도	50,463	4.08%	2,662,785	2.78%
합계	1,236,464	100.00%	95,806,255	100.00%

(2) 용도별, 건축연도별 분포특성 분석

전국의 석면슬레이트 건축물의 분포특성을 알아보기 위해서 용도별로 나누어 건축연대별로 재분류하여 개수기준(석면슬레이트 건축물수), 면적기준(건축면적)으로 각각 분석하였다. 주택의 경우 1960년대 이전 건축물이 개수기준 44.08%, 면적기준 44.58%로 가장 높고 연대를 거듭하면서 점점 감소하는 추세로 나타났지만 비 주택의 경우 개수기준, 면적기준 모두 1990년대가 가장 높은 비율을 차지하였다. 석면 폐, 악성중피종, 폐암 등 석면관련 질병의 평균 잠복기가 10~40년인 것을 감안하면 현재부터 2030년까지는 석면슬레이트로 인한 직업성 노출 및 환경성노출에 의한 석면관련 질병이 계속 증가할 것으로 예측된다. 또 전국적으로 주택과 비 주택의 건축연대별 분포가 다르기 때문에 철거, 해체관련 대책 및 정책입안 과정에서 반드시 고려해야 할 것이다. **1990년대의 석면슬레이트 사용이 가장 높다는 점과 주택과 비 주택의 건축연대별 분포가 다르다는 점을 현재 건축물관련 정보 중에서 가장 정확한 자료라고 판단되는 건축물대장 자료를 바탕으로 증명한 것으로 가치가 있다고 사료된다.** 그림 7에서 알 수 있듯이 전체적인 비율에서도 면적기준으로 1990년대의 석면슬레이트 건축물의 비율이 가장 높으며 가장 많은 양의 석면슬레이트가 사용되었음을 알 수 있다. 다음 그림은 용도별 석면슬레이트 건축물의 건축연도 현황을 개수기준과 면적기준으로 나타내었고 전국 석면슬레이트 건축물의 건축연대별 비율분포를 나타내었다.

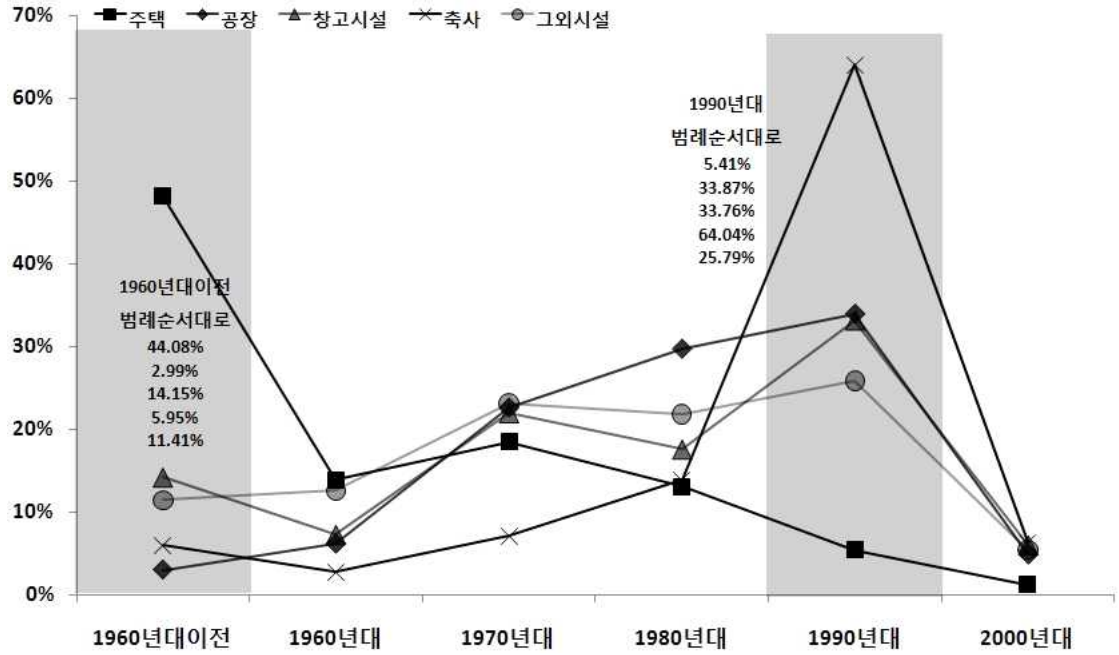


그림 31. 용도별 석면슬레이트 건축물의 건축연도 현황(개수기준)

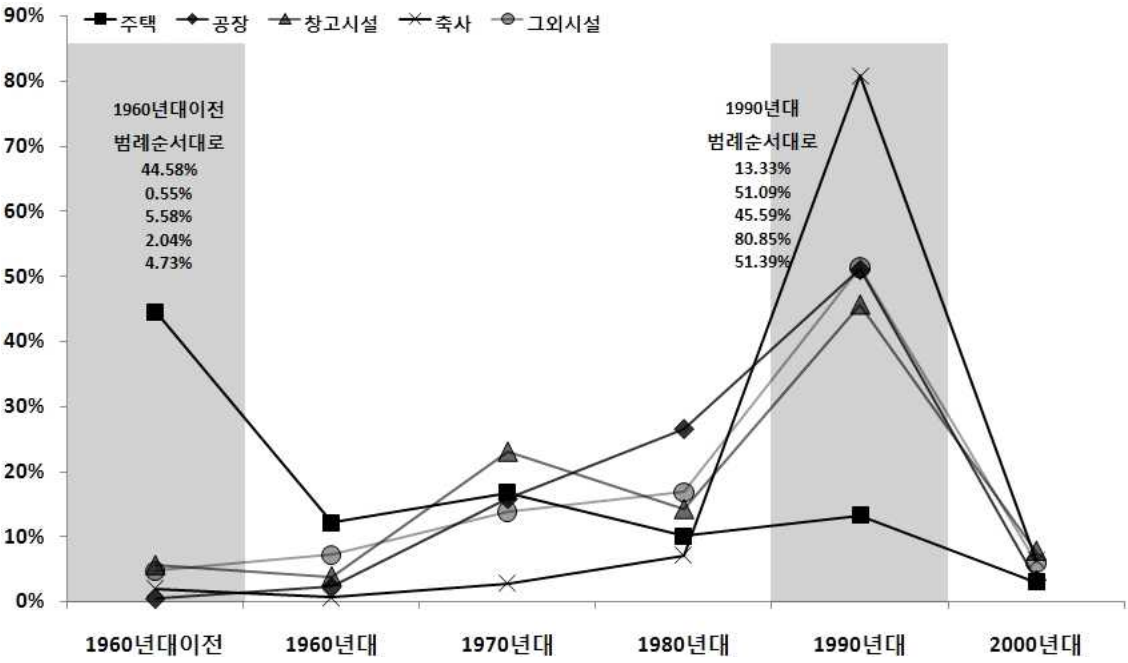


그림 32. 용도별 석면슬레이트 건축물의 건축연도 현황(면적기준)

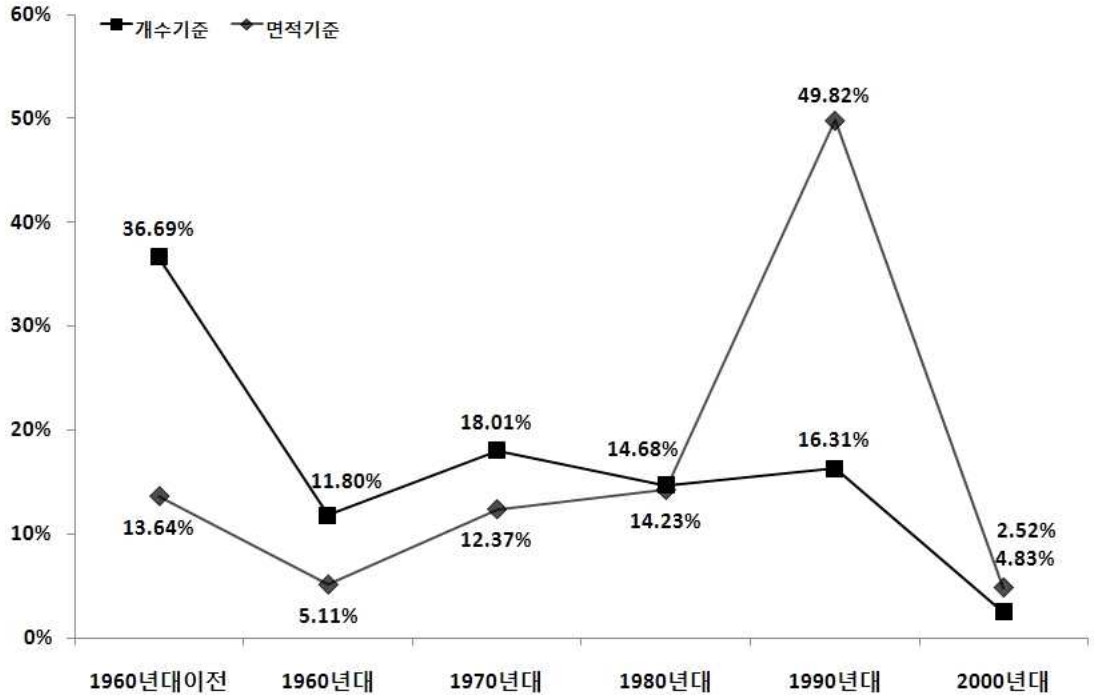


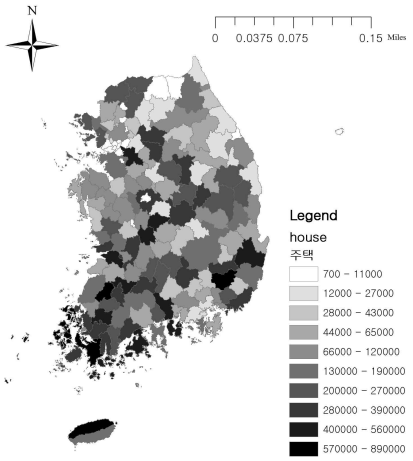
그림 33. 전국 석면슬레이트 건축물의 건축연대별 비율분포

4. GIS를 이용한 DB화

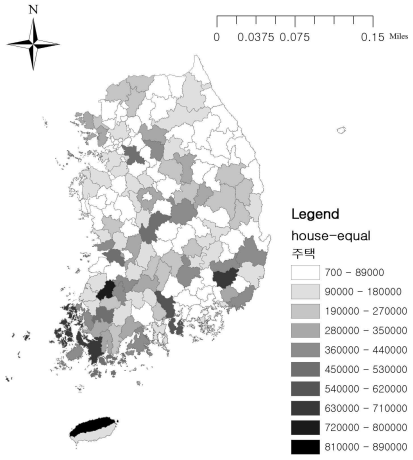
(1) 용도별 석면슬레이트 DB화

전국적으로 광범위하게 분포하고 있는 석면슬레이트의 시군별, 용도별, 건축연도별 분포특성에 대한 고찰과 ArcGIS를 기반으로 한 DB를 구축 및 이것의 시각화에 목적을 두었다. 전장에서 전국의 석면슬레이트 분포특성을 고찰하였으며 본장에서는 이를 지역별 및 속성별로 시각화한 결과이다. 앞서 언급한 내용을 모든 시군별, 용도별, 건축연도별로 DB화하여 분포지도를 작성한 결과는 다음 그림과 같다. 한편 지면의 한계로 인해 모든 DB의 분포지도는 생략하였으며 ArcGIS의 선택옵션으로 지역기준, 용도기준, 건축연도기준, 석면슬레이트 건축물의 면적기준, 석면슬레이트 건축물의 개수기준 등 필요에 따라서 다양한 주제로 표현이 가능하다. 일반적으로 사람이 생활하는 주택과 공장의 분포지도는 a, a-1, b, b-1과 같고 석면슬레이트가 가장 많이 사용된 1990년대의 분포지도는 c, c-1과 같다. type a는 natural breaks로 속성별로 분류하여 시각화하였고 type b는 석면슬레이트 건축물의 지역별 총 면적을 기준으로 최대값과 최소값을 equal interval로 시각화한 것이다. 주택의 석면슬레이트 면적은 강원도지역에서 대체적으로 낮게 나타났는데 이것은 전체 건축면적이 낮은 것에 기인한 것으로 판단되며 경상남도와 전라남도지역, 제주특별자치도 내의 제주시가 대체적으로 높게 나타났다. house-type b를 보면 제주시의 주택 석면슬레이트 면적이 다른 지역에 비해 압도적으로 높은 것을 알 수 있다. 공장의 석면슬레이트 면적은 주로 수도권지역과 울산광역시와 부산광역시, 포항 등의 면적이 높은 것을 알 수 있다. 주로 공장이 밀집된 지역에서 석면슬레이트의 면적이 높으며 공장 건축물에 석면슬레이트가 많이 사용되었다고 볼 수 있다. factory-type b를 보면 울산광역시의 공장 석면슬레이트 면적이 다른 지역에 비해

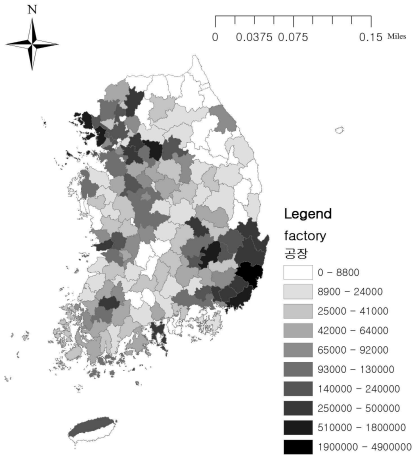
압도적으로 높은 것을 알 수 있다. 주택과 공장 이외에 창고, 축사, 그 외 시설 등에 대해서도 모두 DB를 구축하였으나 지면의 한계로 생략하였다.



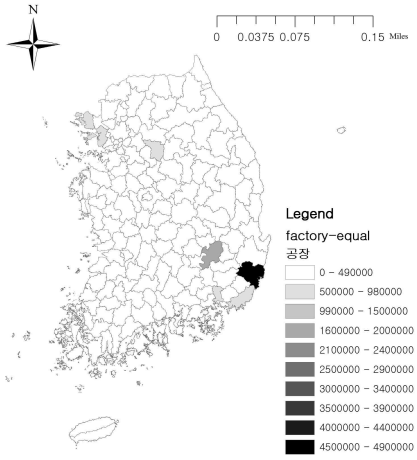
a) 분포지도 작성결과(주택-type a)



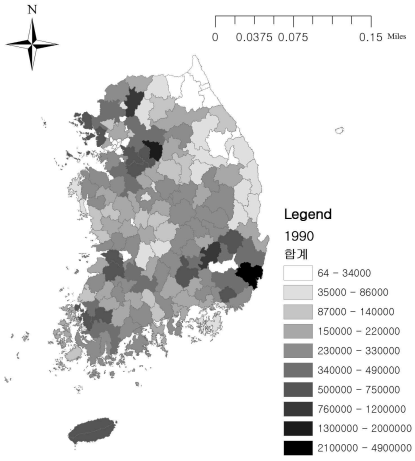
a-1) 분포지도 작성결과(주택-type b)



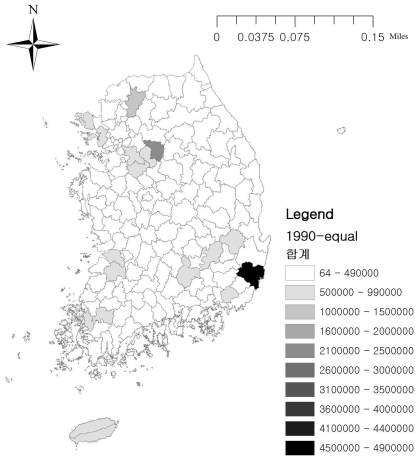
b) 분포지도 작성결과(공장-type a)



b-1) 분포지도 작성결과(공장-type b)



c) 분포지도 작성결과(1990-type a)



c-1) 분포지도 작성결과(1990-type b)

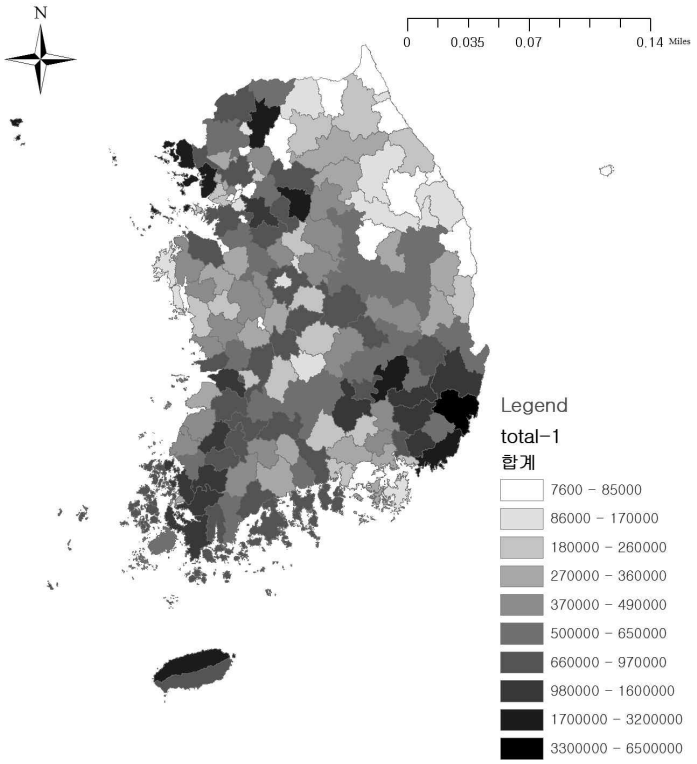
그림 34. 용도별, 건축연도별 석면슬레이트 분포지도

(2) 건축연도별 석면슬레이트 DB화

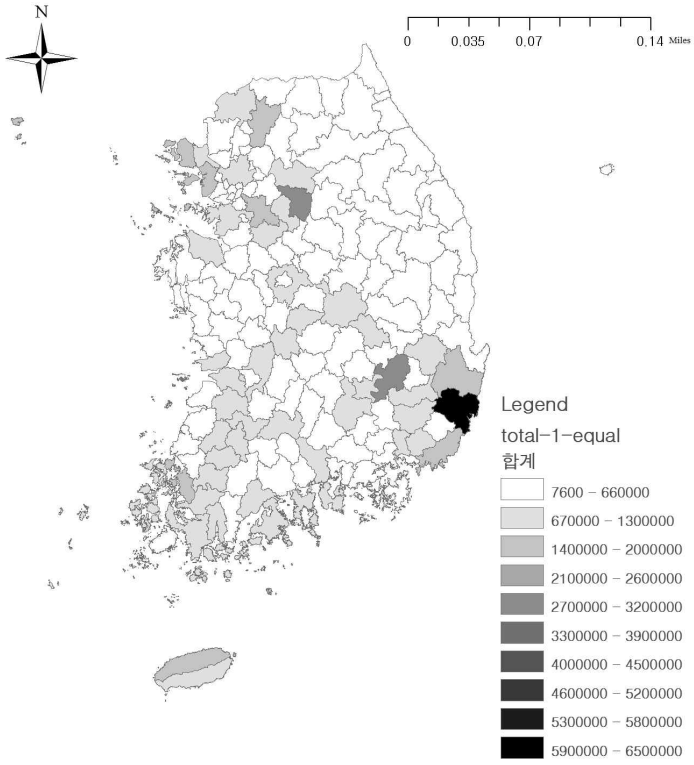
위 그림의 c, c-1은 전국 석면슬레이트의 건축연도별 분포지도를 작성한 결과이다. 1960년대 이전부터 1960년대, 1970년대, 1980년대, 1990년대, 2000년대 이후로 연대별로 나누어 모두 DB화 하였고 그림 7에서와 같이 면적기준으로 가장 석면슬레이트가 많이 사용된 1990년대의 석면슬레이트 면적을 지역별로 시각화하여 나타내었다. 1990년대의 석면슬레이트 건축물은 울산광역시가 다른 지역에 비해 압도적으로 높고 이것은 그림 b-1과 종합하여 1990년대에 울산광역시의 공장건축물이 대량으로 석면슬레이트를 사용한 결과라 판단할 수 있다. 건축연도별 석면슬레이트 분포지도는 석면슬레이트의 노후화에 따른 석면섬유의 배출증가와 관련하여 향후 다양한 형태의 보고서나 관련연구 등에 그 활용도가 매우 높을 것으로 짐작된다. 특히 정부의 석면슬레이트 철거, 해체와 관련한 지원 대책 마련에도 효율적으로 활용될 수 있을 것이다.

(3) 전국 총 석면슬레이트 DB화

주택, 공장, 창고, 축사, 그 외 시설의 용도별 석면슬레이트 DB와 각 건축연대별 석면슬레이트 DB를 종합하여 각 시군별 총 석면슬레이트 분포지도를 작성하였다. 개수기준, 면적기준 모두 DB를 구축하였으며 다음 그림은 면적기준으로 시군별 총 석면슬레이트 분포지도의 작성 결과이다. 특히 단일 시군으로 울산광역시의 총 석면슬레이트 건축물의 면적이 압도적으로 높은 것을 알 수 있었다. 향후 효율적인 석면슬레이트의 철거, 해체를 위한 관리와 활용을 위해서는 시군별 단위에서 더 나아가 전국 각 지역의 각 건축물별로 GIS기반의 DB를 구축할 필요가 있다. 철거, 해체업체와 폐기물 운반 및 매립업체의 고려와 함께 적정처리를 위한 종합계획을 세운다면 경제성을 크게 향상시키고 인체, 환경적 측면에 대한 고려가 가능해 질 것으로 예상된다. 또 각 건축물 당 석면슬레이트의 발생량과 철거, 해체 및 운반, 매립비용, 예상철거시기, 사용 및 철거에 다른 위해성평가 등 웹기반의 통합석면관리시스템의 도입이 가능해 질 것이고 증강현실을 이용한 어플리케이션의 개발이 가능해 질 것이다.



a) Type-A



b) Type-B

그림 35. 전국 석면슬레이트 분포지도 작성 결과

2.3 석면함유 건축내장재 DB화

1. 연구방법

앞서 언급한 석면함유 건축내장재의 종류 및 특성 DB를 바탕으로 원단위 및 발생량 DB를 확보하기 위해 한국석면환경협회에 자료를 요청하였다. **요청한 자료는 한국석면환경협회에서 관련 법규에 근거하여 2009년부터 2012년까지 조사한 석면사전조사내용으로 '석면조사 결과보고서' 약 1400여개다.** 이를 바탕으로 DB를 구축한 후 결측치 및 이상치를 제외하고 약 1007개를 대상으로 연구를 진행하였다. 연구 진행방법은 다음 그림과 같다.

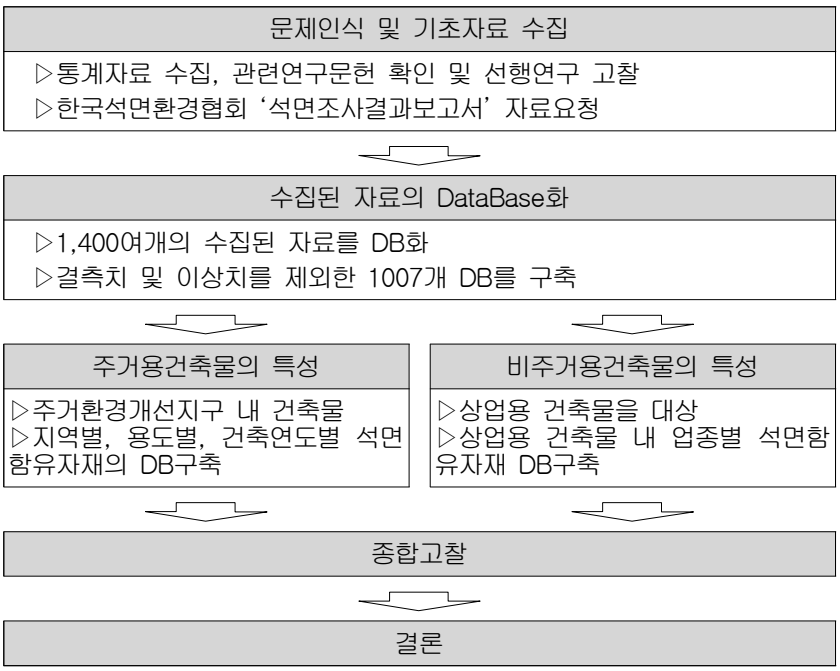


그림 36. 연구진행방법

2. DB의 일반적인 특징

(1) 시도별 DB의 분류

전체 수집된 1400여개의 DB 중에서 결측치 및 이상치를 제외한 1007개의 DB를 바탕으로 분석을 진행하였다. **서울특별시, 광주광역시, 대구광역시, 울산광역시, 부산광역시, 경기도, 충청북도, 전라남도, 경상북도, 경상남도, 제주특별자치도 내 석면함유 건축물을 조사**하였으며 수집된 DB의 시도별 분류는 다음 표와 같다. 부산광역시와 울산광역시의 DB가 가장 많은 부분을 차지하였으며 충청북도는 1개의 DB만 확보되었다. 조사 건축물의 연면적은 울산광역시가 1,262,423m^2으로 가장 많았고 석면함유 자재의 면적 또한 울산광역시가 144,113m^2으로 가장 많았다.

표 89. 수집된 DB의 시도별 분류

시도별 분류	개수	건축물연면적	석면함유자재 면적
서울특별시	5	24421.05	484.98
광주광역시	5	118087.52	366.56
대구광역시	2	1171.25	0.00
울산광역시	327	1262423.00	144113.87
부산광역시	425	716617.17	96637.08
경기도	2	904.59	1093.73
충청북도	1	991.00	59.58
전라남도	7	5992.62	5104.26
경상북도	18	18644.15	8154.41
경상남도	125	318957.98	49104.55
제주특별자치도	90	357675.89	18813.88
총 합계	1007	2825886.23	323932.91

(2) 용도별 DB의 분류

1007개의 DB를 바탕으로 건축물의 용도별 분석을 진행하였다. **건축물의 용도는 건축법에 명시된 28개의 용도분류대로 진행**하였으며 조사된 용도는 근린생활시설, 교육연구시설, 주택(단독주택, 공동주택), 숙박시설, 창고시설, 업무시설, 판매시설, 종교시설, 운수시설, 발전시설, 위락시설, 운동시설, 의료시설, 노유자시설, 자동차관련시설, 문화 및 집회시설, 동물 및 식물관련 시설, 방송통신시설, 교정 및 군사시설, 분뇨 및 쓰레기처리시설, 위험물 저장 및 처리시설, 공장 그리고 기타용도 및 미기재이다. 주택과 근린생활시설, 공장이 가장 많은 부분을 차지하였고 수집된 DB의 용도별 분류와 건축연면적 및 석면함유자재 면적은 다음 표와 같다.

표 90. 수집된 DB의 용도별 분류

용도별 분류	개수	건축물연면적	석면함유자재 면적
근린생활시설	298	502264.07	45647.99
교육연구시설	88	313653.43	33509.23
주택	253	436222.54	61201.73
숙박시설	11	119269.95	749.14
창고시설	31	8246.81	5426.06
업무시설	53	66779.65	17083.74
판매시설	36	402907.50	3111.90
종교시설	13	11264.42	2842.24
운수시설	18	97253.83	2167.73
발전시설	2	7422.08	667.99
위락시설	3	1387.67	217.70
운동시설	2	1606.88	566.49
의료시설	5	51517.33	353.77
노유자시설	6	10627.24	1779.97
자동차 관련 시설	13	11365.44	877.74
문화 및 집회 시설	16	22202.06	7113.86
동물 및 식물관련시설	7	3801.93	3815.09
방송통신시설	2	0.00	179.23
교정 및 군사시설	4	1173.08	354.90
분뇨 및 쓰레기처리시설	2	2797.40	323.35
위험물 저장 및 처리 시설	5	637.29	217.44
공장	136	752133.92	134637.63
기타	1	784.75	519.89
미기재	2	566.96	568.10
총 합계	1007	2825886.23	323932.91

주택은 253개 총 조사연면적은 436222m^2 석면함유자재면적 33509m^2, 근린생활시설은 298개 조사연면적 502264m^2 석면함유자재면적 45647m^2, 공장은 조사연면적 136개 조사연면적 752133m^2 석면함유자재면적은 134637m^2으로 나타났다.

(3) 구조별 DB의 분류

1007개의 DB를 바탕으로 건축 구조별로 분석하였다. 구조별로는 철근콘크리트조, 철골철근콘크리트조, 블록구조, 벽돌구조, 철골구조, 목구조, 석구조, 기타구조, 미기재로 분류하였다. 철근콘크리트조가 438개로 가장 많았고 블록조와 철골조가 많은 부분을 차지하였다. 수집된 DB의 구조별 분류는 다음 표와 같다.

표 91. 수집된 DB의 구조별 분류

구조별 분류	개수	건축물연면적	석면함유자재 면적
철근콘크리트구조	438	1514092.88	103498.83
철골철근콘크리트구조	5	82085.37	560.37
블록구조	153	54197.03	43526.18
벽돌구조	90	45769.59	21148.43
철골구조	122	563913.79	87714.03
목구조	21	10281.39	9059.68
석구조	10	1804.51	1945.09
기타구조	19	14294.06	2602.16
미기재	149	539447.63	53878.13
총 합계	1007	2825886.23	323932.91

3. 상업용 건축물의 DB구축

상업용 건축물을 대상범위로 하여 석면함유자재에 대한 분포특성을 분석하였다. 앞서 언급한 상업용 건축물 중에서 산업안전보건법에 의한 석면조사대상 건축물을 224개동 추출하여 업종별 분류 구조별로 분류하여 석면함유자재의 종류 및 특성을 분석하여 DB를 구축하였다. 다음 표는 산업안전보건법 시행령 제 30조 3에 석면조사 대상을 나타낸다.

표 92. 석면조사 대상(산업안전보건법 시행령 제30조의 3)

건축물	일반건축물	연면적 합계가 50m^2
	주택 및 그 부속건물	연면적 합이 200m^2
설비	○단열재·보온재·분무재·내화피복재·가스켓·패킹·시린제 ○그 밖의 유사 용도의 물질이나 자재 연면적 합이 15m^2 또는 부피의 합이 1m^2 이상 ○파이프 보온재 길이의 합이 80m^2	

조사된 상업용 건축물 224개동의 총 조사연면적은 156599m^{2}이고 이 중에서 석면함유자재의 면적은 34034m^{2}로 나타났다. 다음 표는 상업용 건축물의 개수 및 조사면적과 석면함유자재 면적을 나타내었다. 건축물의 용도는 근린생활, 숙박, 업무, 운수, 판매, 기타시설 등 총 6개로 분류하였고 구조별 분류는 철근콘크리트조, 철골조, 조적조, 목조, 조립식판넬 등 총 5가지로 분류하였다. 상업용 건축물 중에서는 근린생활시설이 타 시설에 비해 가장 높은 비율을 차지하였으며 구조별로는 철근콘크리트조가 타 구조에 비해 높은 비율을 보였다. 다음 그림에서는 조사된 상업용 건축물의 용도별 비율과 상업용 건축물의 구조별 비율을 나타내었다.

표 93. 상업용 건축물 용도별 분류 및 조사 면적

건축물 용도	건축물 갯수	조사 연면적	석면함유자재 면적
상업용 건축물	224 동	156,599.77m^2	34034.31m^2

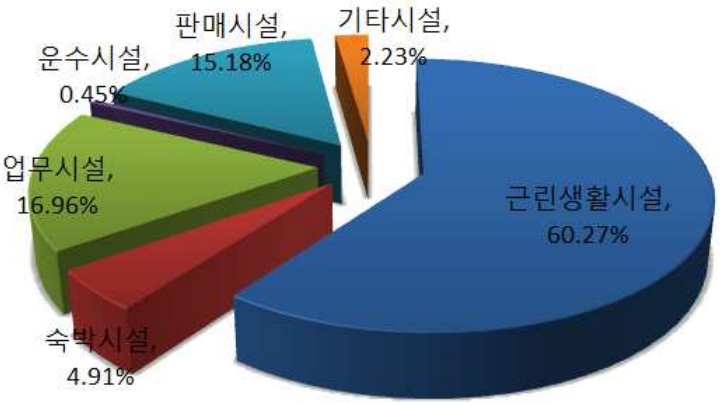


그림 37. 상업용 건축물의 용도별 구성비율

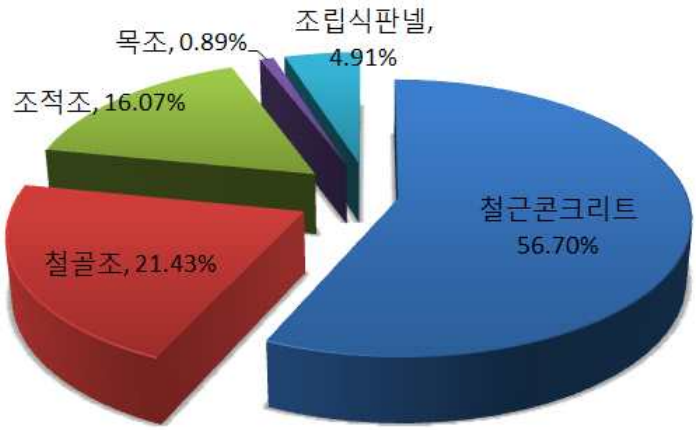


그림 38. 상업용 건축물의 구조별 비율

상업용 건축물에 분포되어있는 석면함유자재는 석면포, 천장재(텍스), 칸막이(밤라이트), 슬레이트, 기타(시멘트보드)로 나타났다. 총 건축물의 석면함유자재 사용면적 중 천장재로 사용되는 텍스가 67.33%로 가장 많은 면적을 차지하였고, 그 다음으로 슬레이트와 칸막이(밤라이트) 순으로 나타났다. 상업용 건축물의 석면함유자재의 종류 및 면적비율은 다음 그림과 같다.

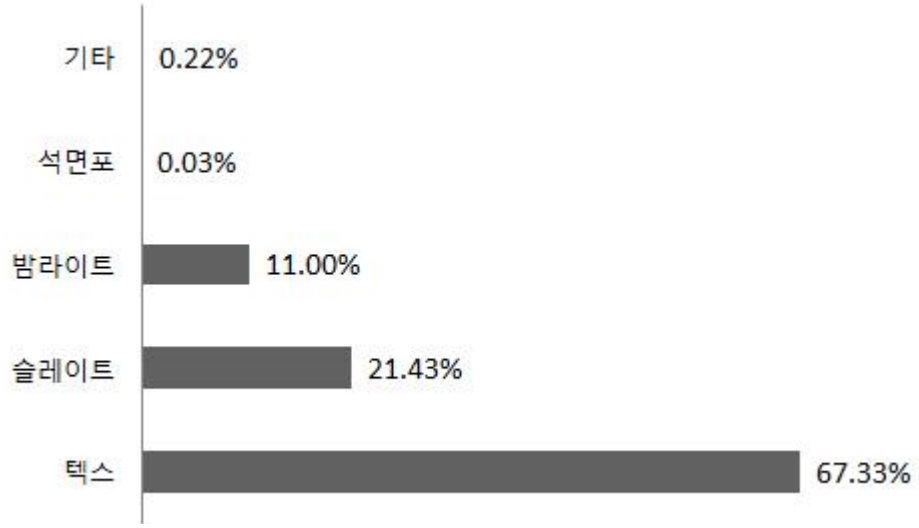


그림 39. 상업용 건축물의 석면함유자재 종류 및 면적비율

상업용 건축물을 용도별로 분류하고 이에 존재하는 석면함유자재 면적 비율을 통해 석면함유자재의 특성을 나타내었다. 그 결과는 다음 그림과 같다. 그림에서와 같이 용도별로 분류된 건축물 중 근린생활시설·숙박시설·업무시설·운수시설에는 텍스와 밤라이트가 높은 비율을 차지하였고, 판매시설과 기타시설은 텍스·밤라이트·슬레이트 자재가 비교적 고르게 분포하는 양상을 보였다.

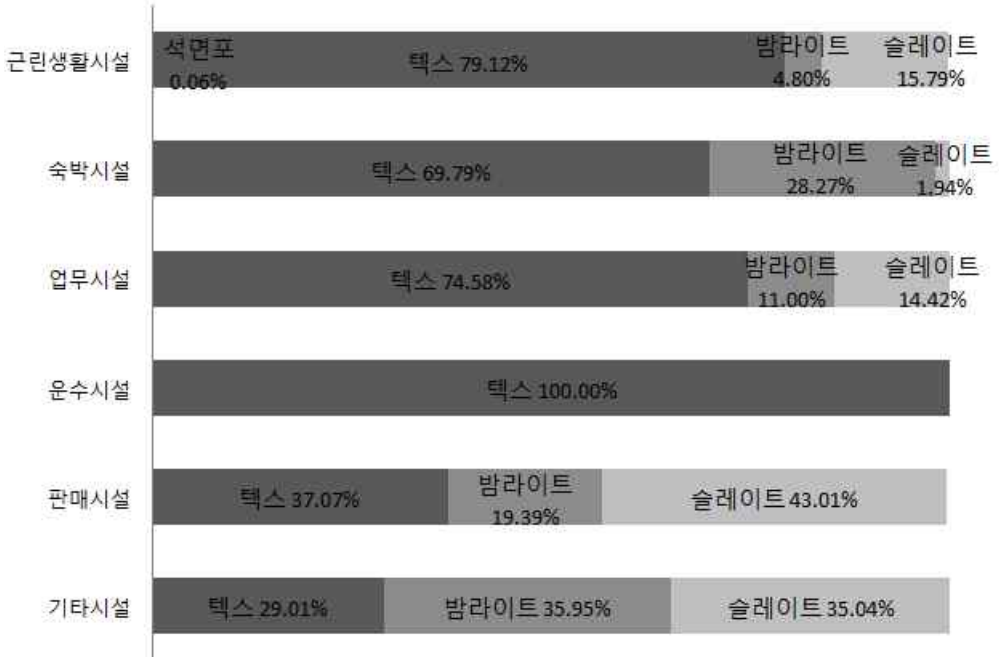


그림 40. 용도별 석면함유자재 종류 비율

상업용 건축물을 구조별로 분류하여 각 석면함유자재 면적 비율을 나타낸 결과는 다음 그림과 같다. 철근콘크리트조·철골조·조립식판넬 내 석면함유부재는 텍스가 가장 높은 비율을

나타냈고, 조적조와 목조 내 석면함유자재는 슬레이트 자재가 높은 비율을 나타내었다.

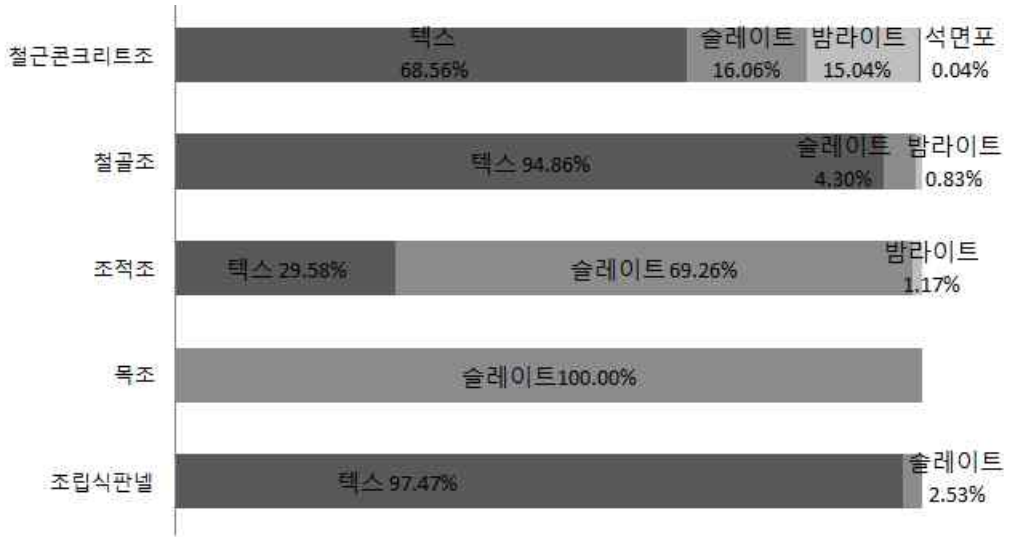


그림 41. 구조별 석면함유자재 종류 비율

조사된 224동의 상업용 건축물의 용도 및 구조별 분류하여 석면함유부재 발생량을 산정하였다. 용도별로 분류한 상업용 건축물의 석면함유부재 발생량 DB와 구조별로 분류한 상업용 건축물의 석면함유부재 발생량 DB는 다음 표와 같다.

표 94. 상업용 건축물 용도별 석면함유자재 발생량 DB

건축물 용도	연면적(m^2)	석면함유 자재면적(m^2)	면적당 발생량(/m^2)
근린생활시설	93183.42	14706.54	15.78
숙박시설	11107.20	762.25	6.68
업무시설	19944.51	10213.76	51.21
운수시설	6455.00	132.63	2.05
판매시설	23660.33	7588.66	32.07
기타시설	2249.32	630.47	28.03
합계	156,599.77	34,034.31	21.73

표 95. 상업용 건축물 구조별 석면함유자재 발생량 DB

건축물 구조	연면적(m^2)	석면함유 자재면적(m^2)	면적당 발생량(/m^2)
철근콘크리트조	112715.53	24388.99	21.64
철골조	29873.85	3450.50	11.55
조적조	9869.36	3943.79	39.96
목조	450.22	453.20	100.66
조립식판넬	3690.81	1797.83	48.71
합계	156,599.77	34,034.31	21.73

2.4 건축면적에 기준한 석면함유자재 발생량 원단위 분석

1. 슬레이트 현장조사

한국 건설기술연구원의 표준품셈 2편, 건축 제14장 지붕 및 홈통공사의 슬레이트 잇기에서 슬레이트 표준시방을 규정하고 있다. 소골 슬레이트 시공 시 겹이음을 골 직각방향으로 9.5cm, 골 방향으로 15cm를 겹쳐 시공하도록 규정한다. 대골 슬레이트 시공 시 겹이음을 골 직각방향으로 6.5cm, 골 방향으로 15cm를 겹쳐 시공하도록 규정한다. 소골슬레이트와 대골 슬레이트의 표준규격과 표준시방은 다음 그림 18과 같다. 따라서 슬레이트의 지붕면적은 일반면적에 가로겹침 면적과 세로겹침 면적을 더하고 가로와 세로가 겹치는 면적을 빼줌으로써 구할 수 있으며 이를 바탕으로 다음 그림과 같은 할증율 그래프를 도출하였다. 이를 바탕으로 **슬레이트 지붕면적은 건축면적×(1.3~1.6:경사도에 의한 지붕배수)×1.16(슬레이트 할증율)**로 구할 수 있다. 하지만 실제 시공 시 표준품셈을 따르지 않는 경우가 많아 정확한 발생량을 도출하기엔 한계가 따른다. 실제 현장조사 결과 한국 건설기술연구원의 표준품셈 2편, 건축 제14장 지붕 및 홈통공사의 슬레이트 잇기의 규정을 지키지 않은 경우가 대부분이었다.

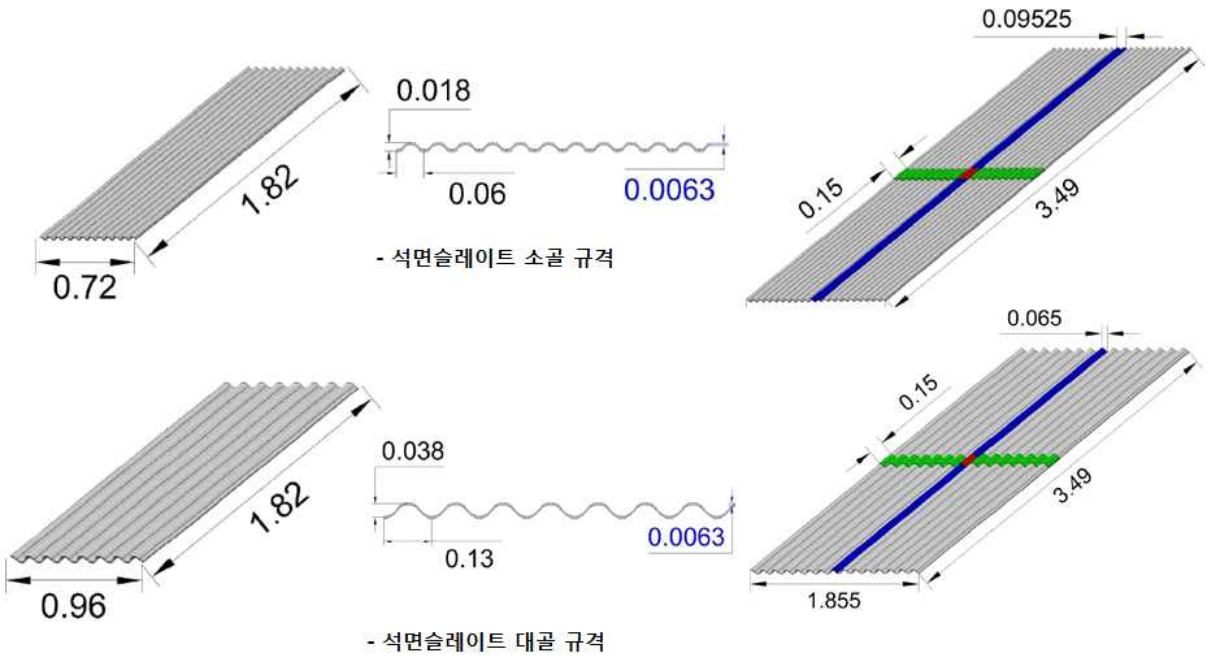


그림 42. 슬레이트 잇기의 표준시방

소골 1.820 x 0.720 m의 경우 다음의 계산식을 사용하였다.

겹이음 면적 = 순면적 + 가로 겹침 면적 + 세로 겹침 면적 - 가로 세로 겹침 면적

$$A = a \times b + 0.09525 \times b \times \mathrm{Int}\left(\frac{a}{0.72}\right) + 0.15 \times a \times \mathrm{Int}\left(\frac{b}{1.82}\right) - 0.09525 \times 0.15 \times \mathrm{Int}\left(\frac{a}{0.72}\right) \times \mathrm{Int}\left(\frac{b}{1.82}\right)$$

A - 면적 (m^2)　　a - 골 직각 방향 길이　　b - 골 방향 길이

대골 1.820 x 0.960 m의 경우 다음의 계산식을 사용하였다.

$$A = a \times b + 0.065 \times b \times \mathrm{Int}\left(\frac{a}{0.96}\right) + 0.15 \times a \times \mathrm{Int}\left(\frac{b}{1.82}\right) - 0.065 \times 0.15 \times \mathrm{Int}\left(\frac{a}{0.96}\right) \times \mathrm{Int}\left(\frac{b}{1.82}\right)$$

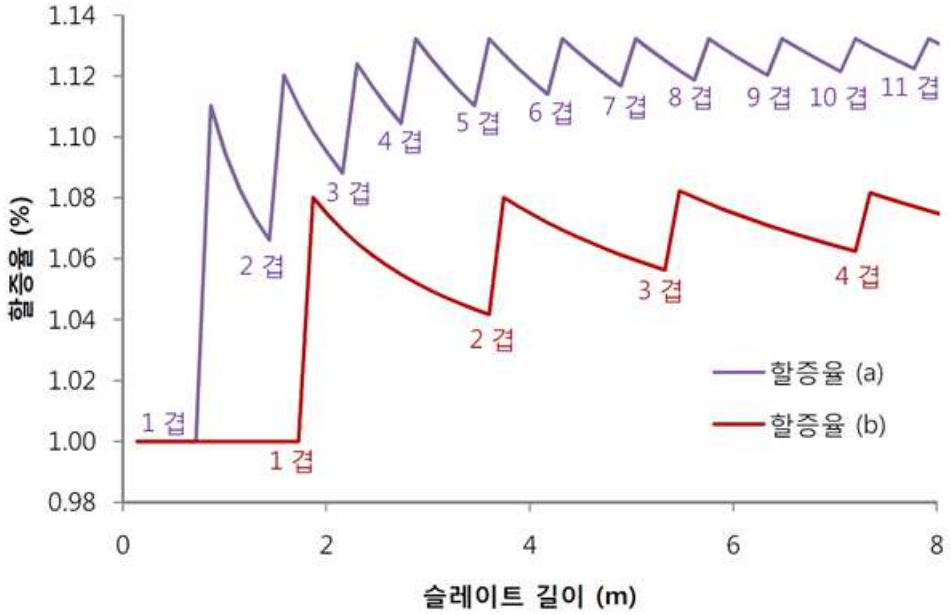


그림 43. 슬레이트 표준시방에 의한 면적계산방법

건축물 면적을 기준으로 석면슬레이트의 발생량을 파악하기 위해서 표준품셈 2편, 건축 제14장 지붕 및 홈통공사의 슬레이트 잇기를 활용하여 산정한 원단위를 활용하고자 하였으나 잇기의 규정이 지켜지지 않은 건축물이 많아서 현장조사를 통해 정확한 산식을 개발하고자 하였다.

지붕전체에 사용된 석면슬레이트의 건축면적 당 발생량을 산정하기 위하여 **전국 8도(道)의 8개 면단위 농어촌지역에서 총 103개의 건축물을 대상으로 조사요원 2인 또는 3인이 리, 면, 읍 단위로 순차적인 현장방문을 통한 실측을 실시**하였다. 조사내용으로는 대지위치, 건축면적, 건축물용도, 건축물구조, 지붕재료, 지붕형태(맞배, 우진각, 팔작지붕), 처마확장여부, 처마확장면적, 슬레이트 종류, 슬레이트 개수 등이다. 건축면적은 건축물대장과 비교하여 레이저 측정기와 줄자를 통한 일반적인 면적계산방법으로 계산하되 실측값을 우선 적용하였다. 지붕재료로 사용된 석면슬레이트의 면적은 예를 들어 가옥용 소골슬레이트 8호가 60장이 사용되었다면 슬레이트 규격을 참고하여 슬레이트 개수를 곱하는 방법으로 1.7424×60m^2로 계산하였다. 조사 대상지역의 현황은 다음 표와 같고 현장방문을 통한 실측조사모습은 다음 그림과 같다. 현장조사는 먼저 조사대상건축물을 확인하고 건축면적을 측정

한 후 석면슬레이트 골판의 종류와 개수를 확인하고 조사표에 기입하는 순서로 진행하였다. 마지막으로 SPSS를 이용하여 회귀분석을 실시하였다.

표 96. 조사 대상지역의 일반적 현황

구 분		건축물수	비 고
경기도	A군 a면	16	농가
강원도	B시 b면	11	농가
충청북도	C군 c면	15	농가
충청남도	D시 d면	10	어가
전라북도	E시 e면	9	농가
전라남도	F시 f면	13	어가
경상북도	G시 g면	18	농가
경상남도	H시 h면	11	농가
계		103	



a) 조사대상 건축물 확인



b) 건축물면적 측정



c) 골판종류 및 개수 확인



d) 조사표작성

그림 44. 현장방문을 통한 실측조사 모습

확장된 처마에 사용된 석면슬레이트의 건축면적 당 발생량을 산정하기 위하여 **주택재개발 지구로 선정된 서울특별시 은평구의 주택재개발 정비사업지구를 선정하여 전수조사를 실시**하였다. 해당 지구는 강북에 위치하며 자연친화적인 재개발을 기본개념으로 향후 강남을 대체할 최적의 주거지역으로 재개발 될 예정이다. 조사가 완료된 건축물 수는 424개 동이며 조사가 완료된 건축면적은 39,949.78m^{2}이다. 다음 표는 확장된 처마에 사용된 석면슬레

이트의 건축면적 당 발생량을 산정하기 위한 조사대상지의 개요를 나타내었다.

표 97. 조사대상지 개요

구 분	개 요
조사대상	서울특별시 은평구 A 주택재개발 정비사업구역 내 모든 건축물
조사목적	석면슬레이트의 발생패턴 및 발생회귀식 도출
조사일시	2011.1~2012.1 총 3차
조사완료 건축물	건축물 수 : 424개 건축 면적 : 9,949.78m^2

조사를 실시하기 위하여 먼저 지적도, 건축물대장, 설계도면, 지장물 조서 등의 자료로 사전조사를 실시하고 석면조사자 교육을 이수한 조사자 3인이 2011.1~2012.1까지 3차에 걸쳐 총 424개의 건축물에 대한 현장조사를 실시하였다. 현장조사는 각 건축물을 직접 방문하여 석면함유 자재위치, 성상, 건축면적, 건축용도, 건축구조, 석면함유자재의 면적, 건축연도 등 세부사항을 조사표에 기입하는 방식으로 이루어졌다. 석면함유 자재위치, 성상, 건축용도, 건축구조는 육안으로 조사하였고 건축면적은 레이저거리측정기와 줄자를 통한 일반적인 면적 계산방법을 사용하였다. 석면슬레이트 면적의 경우 골판의 개수를 세는 방식으로 예를 들어 가옥용 소골슬레이트 8호가 60장이 사용되었다면 슬레이트 규격을 참고, 규격과 슬레이트 개수를 곱하여 1.7424×60m^2로 계산하였다. 또 건축연도는 건축물대장을 활용하여 기입하였다. 다음으로 수집된 데이터를 DB화하고 석면슬레이트를 사용한 주택을 추출하여 SPSS를 이용하여 공분산분석을 실시하였다. 다음 표는 조사 세부사항을, 그림은 현장조사의 모습을 나타내었다. 현장조사는 먼저 조사대상건축물을 확인하고 건축면적을 측정한 후 석면슬레이트 골판의 종류와 개수를 확인하고 조사표에 기입하는 순서로 진행하였다.

표 98. 조사 세부사항

구 분	세부사항
일반적 사항	주소, 건축연도, 건축면적 등
자재위치	주지붕, 처마확장, 외부건물, 방치 등
자재성상	지붕재, 천장재, 벽재 등
건축용도	단독주택, 그 외 주택, 근린생활시설, 공장 등
건축구조	목, 벽돌, 블록, 철콘, 철골 등
석면자재	슬레이트, 텍스, 밤라이트, 석고보드 등
건축연도	1970년대 이전부터 2000년대 이후까지



a) 조사대상 건축물 확인　　b) 현장방문

c) 골판종류 및 개수 확인　　d) 조사표작성

그림 45. 현장조사 모습

2. 건축면적에 기준한 석면슬레이트 발생량 산정식 개발

지붕전체에 사용된 석면슬레이트의 조사는 농어촌지역에서 주거용 건축물의 지붕전체에 슬레이트가 사용되었을 경우에만 조사하였다. 103개 건축물 모두 주거용 건축물이다. 확장된 처마에 사용된 석면슬레이트의 조사는 총 424개 건축물에 대한 현장조사 결과 건축용도 중에서는 단독주택이 288개 동으로 가장 많았고 단독주택 외(다세대, 연립 등) 주택이 102개 동으로 나타났다. 건축구조별로는 벽돌구조 246개 동, 블록구조 134개 동, 철근콘크리트 구조가 38개 동으로 나타났으며 석면함유자재는 전체 건축물의 46.70%에 사용되었고 석면함유자재별로는 슬레이트가 187개 동, 텍스 4개 동, 밤라이트 7개 동으로 슬레이트가 94.45%를 차지하였다. 건축연도별로는 1970년대가 180개 동으로 가장 많았고 1980년대가 123개 동으로 나타났다. 다음 표는 확장된 처마에 사용된 슬레이트 조사의 일반적인 조사결과를 나타내었다. 여기서 석면면적은 석면함유자재의 면적을 나타낸다.

표 99. 건축용도별 조사결과(단위 : 동, m2)

용도별	개수	건축면적	석면면적
단독주택	288	20,926.72	1,699.57
그 외 주택	102	11,822.75	261.79
근린생활시설	17	1,787.25	130.02
공장	10	4,554.24	1,320.00
노유자시설	3	702.05	413.72
종교시설	1	156.77	2.32
용도 미기재	3	0.00	41.82
합계	424	39,949.78	3,869.24

표 100. 주구조별 조사결과(단위 : 동, m2)

구조별	개수	건축면적	석면면적
목구조	1	36.69	0.00
벽돌구조	246	22,797.29	1,100.26
블록구조	134	7,928.44	1,289.33
철콘구조	38	8,992.65	1,437.83
철골구조	2	194.71	0.00
주구조 미기재	3	0.00	41.82
합계	424	39,949.78	3,869.24

표 101. 석면함유의심자재별 조사결과(단위 : 동, m2)

의심자재별	개수	건축면적	석면면적
슬레이트	187	14,255.74	2,498.48
텍스	4	2,058.13	1,281.87
밤라이트	7	1,805.93	88.89
석고보드	1	97.04	0.00
유리섬유	1	149.90	0.00
싱글	16	2,009.54	0.00
의심자재 없음	208	19,573.50	0.00
합계	424	39,949.78	3,869.24

표 102. 건축연도별 조사결과(단위 : 동, m2)

건축연도별	개수	건축면적	석면면적
1970년대 이전	17	908.85	80.25
1970년대	180	16,906.53	2,370.26
1980년대	123	9,712.92	815.98
1990년대	86	10,540.61	524.53
2000년대 이후	14	1,821.70	36.40
무허가	4	59.17	41.82
합계	424	39,949.78	3,869.24

현장조사 결과 석면슬레이트를 사용한 건축물은 총 187개 동으로 나타났다. 용도별로는 단독주택과 그 외 주택이 173개동으로 가장 많은 부분을 차지하였고 구조별로는 벽돌구조 82개동, 블록구조 90개동, 철근콘크리트구조 12개동으로 나타났다. 또 건축연도별로는 1970년대가 100개동으로 가장 많은 부분을 차지하였다. 다음 표에서 석면슬레이트 건축물의 용도별,

구조별, 건축연도별 분석결과를 나타내었다.

표 103. 건축용도별 조사결과(단위 : 동, kg)

용도별	개수	건축면적	석면중량
단독주택	152	9153.995	17,656.70
그 외 주택	21	2755.785	2,748.80
근린생활시설	5	467.19	1,365.21
공장	4	1555.68	3,585.23
노유자시설	1	166.32	414.65
종교시설	1	156.77	24.36
용도 미기재	3	0	439.11
합계	187	14255.74	26,234.04

표 104. 주구조별 조사결과(단위 : 동, kg)

구조별	개수	건축면적	석면중량
목구조	0	0	0.00
벽돌구조	82	6559.92	10,840.83
블록구조	90	4399.39	13,313.06
철콘구조	12	3296.43	1,641.05
철골구조	0	0	0.00
주구조 미기재	3	0	439.11
합계	187	14255.74	26,234.04

표 105. 건축연도별 조사결과(단위 : 동, kg)

건축연도별	개수	건축면적	석면중량
1970년대 이전	9	554.1083	842.625
1970년대	100	7477.71167	14,512.79
1980년대	61	4014.085	8,479.17
1990년대	11	1644.025	1,578.15
2000년대 이후	3	565.81	382.20
무허가	3	0	439.11
합계	187	14255.74	26,234.04

텍스의 경우 텍스가 사용된 각 건축물 실내 면적에 텍스의 규격을 나누고 텍스의 단위면적당 중량을 곱하는 방법으로 발생량을 산정할 수 있기 때문에 본 장에서는 제외하였다.

지붕전체에 사용된 석면슬레이트의 발생량을 산정하기 위해서 현장조사 한 103개 건축물을 건축면적과 슬레이트 면적으로 DB화 한 다음 회귀분석을 실시하였다. 먼저 상관관계분석을 통해 건축면적과 슬레이트 면적은 상관관계를 분석하였다. Pearson 상관계수는 0.822로 강한 양의 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 다음 표에서 Pearson 상관분석의 결과를 나타내었다.

표 106. Pearson 상관계수(지붕전체)

구분	대장면적	조사면적
대장면적	1	0.822**
조사면적	0.822**	1

*: p<0.05, **: p<0.01

회귀분석을 실시한 결과는 다음 표와 같고 다음 그림에서 도식화하였다. 회귀분석은 건축물의 단위면적 당 석면슬레이트의 면적으로 석면슬레이트의 단위면적 당 중량인 10.5kg을 곱하면 건축물의 단위면적 당 석면슬레이트 발생량을 산정할 수 있다. 따라서 지붕전체에 사용된 석면슬레이트의 건축면적 당 발생량 산식은 다음 식과 같다.

표 107. 건축면적에 따른 조사면적 산정 회귀 식

	계수	표준오차	t	유의확률
절편	25.985	8.908	2.917**	.004
건축면적	1.429	0.099	14.501**	.000

F = 210.268**(P-value=0.000)

R^2(adjR^2) = 0.672

* : p<0.05, **:p<0.01

건축면적에 따른 슬레이트면적 산정 회귀 식

$S_{조} = 25.985 + 1.429 \times S_{대}$

$S_{대}$: 건축면적(m^2)

$S_{조}$: 조사면적(m^2)

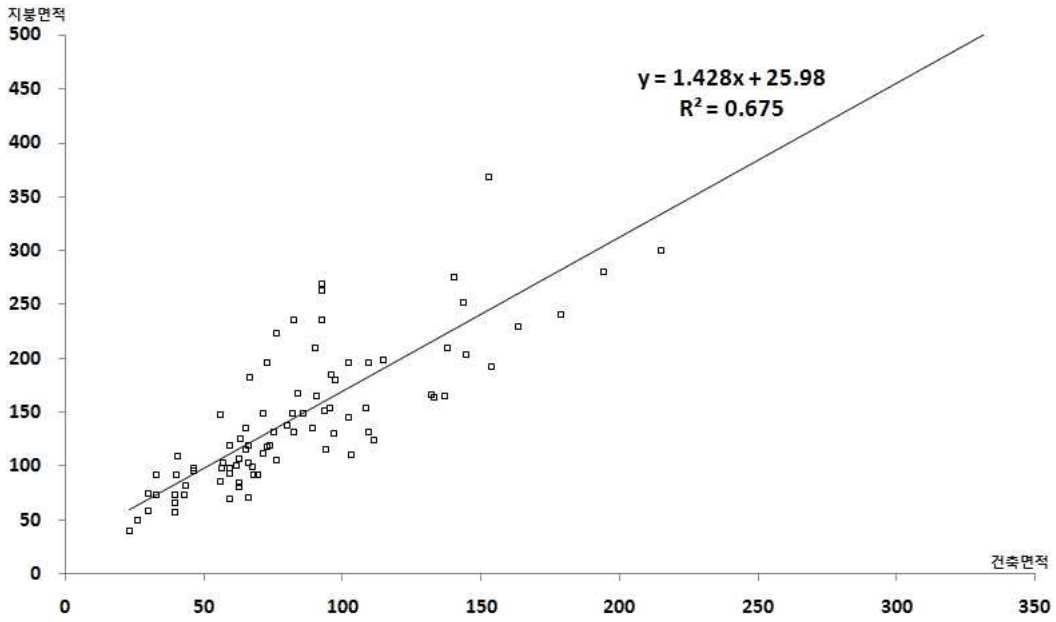


그림 46. 건축면적당 석면슬레이트 지붕면적(단위: m2)

$$Slate\ Emission(kg) = (1.428 \times S_A + 25.98) \times 10.5$$

확장된 처마에 사용된 석면슬레이트의 건축면적 당 발생량을 산정하기 위해서 조사완료된 424개 건축물 중에서 석면슬레이트를 확장된 처마에 사용한 주택의 173개 DB중에서 조사표 미기재 및 자재위치가 다르거나 외부건물에 사용된 것 등을 제외하고 139개의 DB를 사용하여 공분산분석을 실시하였다. 먼저 SPSS를 이용하여 건축면적이 석면중량에 영향을 미친다는 것을 상관관계분석을 통해 알아보았다. 상관관계정도를 나타내는 pearson상관계수 통계량은 0.362로 나타났고 유의수준 0.01에서 모두 유의한 값으로 나타났으므로 두 변수의 상관관계는 36.2%라고 할 수 있다. 따라서 건축면적은 석면중량에 영향을 미치는 요인이라고 할 수 있다. 다음 표에서 상관분석결과를 나타내었다.

표 108. pearson 상관계수(확장된 처마)

구분	건축면적	석면중량
건축면적	1	0.362**
석면중량	0.362**	1

*: p<0.05, **: p<0.01

건축면적과 석면슬레이트 발생량과의 관계에서 자재위치별, 용도별, 구조별, 건축연도별로 일원배치분산분석(ANOVA)을 실시한 결과 자재위치별, 용도별로는 유의한 차이가 없고 구조와 건축연도가 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 따라서 건축구조별, 건축연도별 발생패턴과 발생량 산정식을 도출하고자 하였다.

(1) 빈도분석

139개의 DB 중에서 건축구조별로는 벽돌구조 63개(45.3%), 블록구조 65개(46.8%), 철근콘크리트구조 11개(7.9%)를 차지하고 있고 건축연도별로는 1970년대 이전은 4개(2.9%), 1970년대는 75개(54.0%), 1980년대는 46개(33.1%), 1990년대는 11개(7.9%), 2000년대 이후는 3개(2.2%)를 차지하였다. 다음 표에서 분석대상 DB의 건축구조별, 건축연도별 빈도분석 결과를 나타내었다.

표 109. 건축구조별 빈도분석

구분	빈도(개)	백분율(%)
벽돌구조	63	45.3
블록구조	65	46.8
철근콘크리트구조	11	7.9
합계	139	100

표 110. 건축연도별 빈도분석

구분	빈도(개)	백분율(%)
1970년대 이전	4	2.9
1970년대	75	54.0
1980년대	46	33.1
1990년대	11	7.9
2000년대 이후	3	2.2
합계	139	100

(2) 분산분석

주택재개발 지구 내 석면슬레이트의 발생패턴을 도출하기 위해서 분산분석을 실시하였다. 분산분석의 목적은 세 개 이상의 집단들에 대한 평균을 비교하는 것이다. 이 분석을 통해 각 건축구조별, 건축연도별 건축면적당 석면중량의 차이가 존재하는가에 대해 알아보았다. 각 DB의 분산분석을 하기위한 정규성가정과 등분산성가정을 만족하도록 하였다. 건축구조별, 건축연도별 분산분석 결과는 다음 표와 같다.

표 111. 건축구조별 분산분석결과

구분	F값	p값	사후검정
벽돌구조	55.322	.000**	B
블록구조			A
철근콘크리트구조			C

표 112. 건축연도별 분산분석결과

구분	F값	p값	사후검정
1970년대 이전	9.496	.000**	B
1970년대			B
1980년대			B
1990년대			A
2000년대 이후			A

건축구조별 분산분석결과 F검정통계량은 55.322로 나타나고 유의확률 p는 0.000으로 유의수준 0.01보다 매우 작게 나타나므로 통계적으로 유의한 차이가 있다고 할 수 있다. 즉 건축구조에 따른 건축면적당 석면중량이 유의한 차이가 있다고 할 수 있으며 사후 분석결과 벽돌구조, 블록구조, 철근콘크리트구조가 모두 다른 집단으로 나타나고 있다. 마찬가지로 건축연도별 분산분석결과 F검정통계량은 9.496으로 나타나고 유의확률 p는 0.000으로 유의수준 0.01보다 매우 작게 나타나므로 통계적으로 유의한 차이가 있다고 할 수 있다. 즉 건축연도별로도 건축면적 당 석면중량이 유의한 차이가 있다고 할 수 있다. 사후분석결과 1970년대 이전, 1970년대. 1980년대 집단과 1990년대, 2000년대 이후 집단으로 나타나고 있다.

(3) 공분산분석

주택재개발 지구 내 석면슬레이트의 발생량 산정식을 도출하기 위해서 공분산분석을 실시하였다. 공분산분석의 목적은 종속변수에 영향을 주는 다른 변수(공변량)를 통제하고자 하는 것이다. 공변량을 모형에 포함시켜서 공변량의 효과를 통제한 상황에서 요인(집단)변수 효과를 검정하는 분석이며 분산분석모형에 회귀모형을 합한 모형이라 할 수 있고 건축면적과의 교호작용을 확인할 수 있다는 점에서 단순회귀모형보다 본 연구에 더 적합하다.

건축구조별 공분산분석을 실시하고자 석면중량은 종속변수, 건축구조는 요인, 석면중량에 영향을 주는 건축면적을 공변량으로 설정하였다. 각 DB의 공분산분석을 하기위한 정규성가정과 등분산성가정을 만족하도록 하였다. 검정효과와 모형식은 다음 표와 같다.

표 113. 건축구조별 검정효과

구분	자유도	F	p
절편	1	21.727	.000**
건축면적	1	60.249	.000**
주구조	2	10.469	.000**
건축면적*주구조	2	24.941	.000**
오차	133		

건축면적의 경우 F검정통계량은 60.249이며 유의확률 p가 0.000으로 유의수준0.01보다 매우 작게 나타나므로 건축면적은 석면중량에 영향을 미친다고 할 수 있으며, 공변량(건축면적)의 효과를 통제한 상태에서 주 구조에 대한 F검정통계량은 10.469이며 유의확률 p는 0.000으로 유의수준0.01 보다 작으므로 주 구조에 따른 석면중량의 차이가 있다고 할 수 있다. 또한 건축면적과 주구조의 교호작용에 대한 F검정통계량은 24.941이며 유의확률p는 0.000으로 유의수준 0.01보다 작으므로 교호작용도 석면중량에 영향을 미친다고 할 수 있다.

표 114. 건축구조별 모형식

구분	계수	t	p
절편	133.669	6.471	.000**
건축면적	.127	1.323	0.181
벽돌구조*건축면적	-70.652	-3.491	.000**
블록구조*건축면적	-126.684	-4.348	.000**
철콘*건축면적			
블록구조	.802	5.064	.000**
벽돌구조	2.585	5.514	.000**
철근콘크리트구조			
$R^2(adjR^2)$ = 0.467(0.446)			

건축면적에 대한 계수는 0.127이며 유의확률 p는 0.181으로 유의수준 0.01보다 크므로 유의하지 않으나 교호 항보다 차수가 높으므로 유의한 결과라고 볼 수 있다. 건축면적과 구조들

에 대한 교호작용은 건축면적*벽돌구조의 계수는 0.046이며 유의확률p는 0.000으로 유의수준 0.01보다 작게 나타나 유의한 값이며 건축면적*블록구조의 계수는 0.118이며 유의확률 p는 0.000으로 유의수준 0.01보다 작게 나타나 유의한 값이다. 벽돌구조에 대한 계수는 -5.779이며 유의확률 p는 0.000으로 유의수준 0.01보다 작게 나타나 유의한 값을 가지며 블록구조는 -3.589이며 유의확률p는 0.000으로 유의수준 0.01보다 작게 나타나므로 유의한 값이라고 할 수 있다. 이와 같은 결과로 모형식을 나타내면 다음 식과 같다.

$$\text{벽돌구조: } AK = 43.017 + (0.929 \times S)$$
$$\text{블록구조: } AK = -13.015 + (2.712 \times S)$$
$$\text{철콘구조: } AK = 113.669 + (0.127 \times S)$$

여기서 AK : 석면중량
S : 건축면적

건축연도별 공분산분석을 실시하고자 석면중량은 종속변수, 건축연도는 요인, 석면중량에 영향을 주는 건축면적을 공변량으로 설정하였다. 각 DB의 공분산분석을 하기위한 정규성가정과 등분산성가정을 만족하도록 하였다. 검정효과와 모형식은 다음 표와 같다.

표 115. 건축연도별 검정효과

구분	자유도	F	p
절편	1	30.363	.000**
건축면적	1	14.642	.000**
건축연도	1	5.286	.023 *
건축연도*건축면적	1	13.430	.000**
오차	135		

건축면적의 경우 F검정통계량은 14.642이며 유의확률 p가 0.000으로 유의수준0.01보다 매우 작게 나타나므로 건축면적은 석면중량에 영향을 미친다고 할 수 있으며, 공변량(건축면적)의 효과를 통제한 상태에서 건축연도에 대한 F검정통계량은 22.554이며 유의확률 p는 0.000로 유의수준0.01보다 작으므로 건축연도에 따른 석면중량의 차이가 있다고 할 수 있다. 또한 건축연도와 건축면적의 교호작용에 대한 F검정통계량은 13.430이며 유의확률 p는 0.000로 유의수준 0.01보다 작으므로 교호작용도 석면중량에 영향을 미친다고 할 수 있다.

표 116. 건축연도별 모형식

구분	계수	t	p
절편	136.811	4.095	.000**
건축면적	.021	.104	.917
1990년대이전 집단	-80.555	-2.299	.023*
1990년대이후 집단			
1990년이하*건축면적	.936	3.665	.000**
1990년이상*건축면적			
R^2(adjR^2) = 0.227(0.210)			

건축면적에 대한 계수는 0.021이며 유의확률 p는 0.917이므로 유의하지 않다. 그러나 건축면적과 건축연도의 교호작용이 유의하므로 이 항은 모형에서 사용되어져야 한다. 이 때 1990년대 이전 집단은 계수가 56.256이며 유의확률 p는 0.000으로 유의수준 0.01보다 작게 나타나므로 유의한 값을 가지며 1990년대 이상 집단은 계수가 136.811이며 유의확률 p는 0.000으로 유의수준 0.01보다 작게 나타나므로 유의한 값이라고 할 수 있다. 1990년대 이전 집단과 건축면적에 대한 교호작용에 대한 계수는 0.936이므로 유의확률 p는 0.000이므로 유의수준 0.01보다 작게 나타나므로 유의한 값이다. 이와 같은 결과로 모형식을 나타내면 다음 식과 같다.

1990년대 이전 집단: $AK = 56.256 + (0.957 \times S)$

1990년대 이후 집단: $AK = 136.811 + (0.021 \times S)$

여기서 AK : 석면중량

S : 건축면적

다음 그림은 건축면적과 건축연도의 공분산분석에서 분석한 139개 건축물의 건축면적 당 석면슬레이트 발생량을 나타내었으며 A,B,C 3가지 집단으로 분류하여 도식화한 결과이다. 먼저 A집단은 블록구조로 식과 같은 건축면적당 발생량 산정식으로 나타나며 건축면적 당 석면슬레이트 발생량이 가장 크다. B집단은 벽돌구조로 식과 같이 나타나며 블록구조보다 발생량이 적음을 알 수 있다. A집단과 B집단을 합치면 1990년대 이전 건축물의 집단이며 식과 같은 건축면적당 석면슬레이트 발생량 산정식으로 나타난다. C집단은 철근콘크리트구조와 1990년대 이후 건축물 집단이며 건축면적당 석면슬레이트 발생량 산정식으로 나타나는 것을 알 수 있었다. 따라서 주택 건축물의 처마확장에 사용된 석면슬레이트의 건축면적당 발생량은 건축구조별로는 '블록구조>벽돌구조>철콘구조'의 순서이며 건축연도별로는 '1990년대 이전 집단>1990년대 이후 집단'의 순서로 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

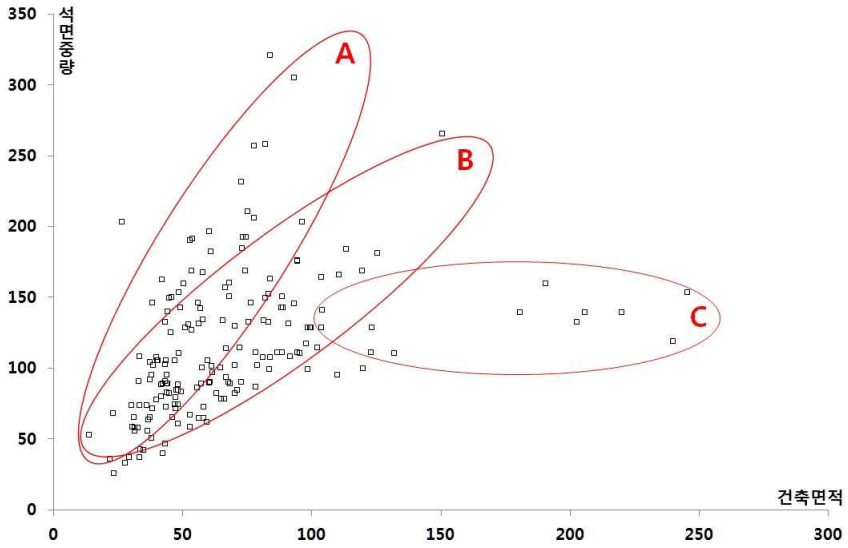


그림 47. 주택 재개발 지구 내 석면슬레이트 발생 모형

분석한 내용을 바탕으로 건축면적에 기준한 석면함유건축자재 발생량 산정식을 요약하였다. 본 연구에서는 건축면적에 기준한 석면함유건축자재의 발생량 산식을 도출함으로써 건축물대장 상 건축면적에 근거하여 석면함유건축자재의 발생량을 산정할 수 있게 하였다. 건축물 대장상의 건축면적에 개발된 발생량 산식을 대입하여 각 건축물별 석면함유건축자재의 발생량을 파악하고 이를 근거로 지구단위 관리프로그램의 각 요소에 대입하여 처리비용, 온실가스 발생량, 석면자연발생량, 파손 시 석면발생량 등을 산정하였다. 앞에서 언급한 전국 기초자치단체별 석면함유건축물의 건축면적에 대입하여 석면함유건축자재의 전국적 분포를 시각화할 수 있다. 빠른 지역별 유형화를 통한 정책적 활용이 가능할 것이고 향후 매우 다양한 형태의 보고서나 연구문헌에 활용 기여도가 매우 높을 것으로 판단된다.

표 117. 개발된 석면함유건축자재 발생량 산정식

구분		산정식
텍스		(건축면적/텍스개당면적)×텍스단위면적중량
본지붕 산정식(슬레이트)		(1.428 × S + 25.98)×10.5
확장된 처마에 사용된 산정식 (슬레이트)	벽돌구조	43.017 + (0.929 × S)×10.5
	블록구조	-13.015 + (2.712 × S)×10.5
	철콘구조	113.669 + (0.127 × S)×10.5
	1990년대 이전	56.256 + (0.957 × S)×10.5
	1990년대 이후	136.811 + (0.021 × S)×10.5

여기서, S 는 건축면적

전국적인 석면함유자재 DB를 확대 관리하기 위하여 전국의 모든 건축물대장을 수집하고 분석하였다. 80만개 이상 수집된 자료(2010년 4월 기준)를 지역별, 용도별, 건축연도별로 분류하여 DB화하고, 석면슬레이트가 지붕재료로 사용된 건축물을 추출하여 각 지역별 비율을 파악하고 용도별, 건축연도별 분포특성을 고찰하였다. 다음 광역자치단체에 따른 지역별 석면슬레이트의 발생량을 산정하고 arcGIS 9.3 프로그램을 활용하여 슬레이트의 발생 면적기준으로 전국의 슬레이트 분포지도를 작성하였다. 전국 6,836,352개의 건축물대장을 분석한 결과 석면슬레이트를 지붕재료로 사용한 건축물은 총 1,236,464개로 18.09%를 차지하였다. 전체 건축물의 면적은 1,295,880,986m2고 석면슬레이트 건축물의 면적은 95,806,255m2로 건축면적기준으로는 7.39%를 차지하였다.(2010년 4월 기준) 각 지역별 슬레이트 건축물 분포현황과 GIS를 이용한 지역별 슬레이트 분포지도는 부록에 나타내었다.

3. 2차년도 연구내용

3.1 석면함유자재 해체·제거 작업과정 사용장비 조사

1. 석면함유자재 해체·제거 작업지침

다음 표는 산업안전보건법에 명시된 석면해체·제거업자 인력·시설 및 장비기준을 나타내었다.

표 118. 석면해체·제거업자의 인력·시설 및 장비기준

구분	세부내용
인력기준 (가, 나 각각 보유)	가.「건설기술관리법」에 따른 토목·건축분야 건설기술자 또는 「국가기술자격법」에 따른 관련 종목의 기술자격을 가진 자(붙임 3 참조)로서 노동부장관이 정하는 교육을 이수한 자 1명 이상 나.「초·중등교육법」에 의한 공업계 고등학교 또는 이와 동등 이상의 학교를 졸업하였거나 토목·건축분야에서 2년 이상 실무에 종사한 자로서 노동부장관이 정하는 교육을 이수한 자 1명 이상
시설기준	사무실
장비기준	① 고성능필터(HEPA 필터) 장착된 음압기 ② 음압기록장치 ③ HEPA 필터가 장착된 진공청소기 ④ 위생설비 ⑤ 송기마스크 ⑥ 습윤장치
비고	제1호 가목에 해당하는 인력이 2명 이상인 경우에는 같은 호 나목에 해당하는 인력을 갖추지 않을 수 있다.

산업안전보건법에 명시된 각 장비에 대한 세부 지침은 다음과 같다.

1. 음압기

(가) 고성능필터를 장착하여야 한다.

(나) 전처리 필터를 고성능필터 앞쪽에 반드시 설치하여야 한다.

(다) 필터 차압 게이지를 설치하여야 한다.

(라) 음압기 내부를 밀폐하여 여과되지 않은 공기가 누설되지 않도록 하는 구조가 되어야 한다.

(마) 송풍기는 필터 뒤쪽에 설치하여야 한다.

(바) 이동시 음압기 내·외부의 석면이 비산하지 않도록 비산 방지 장치 혹은 설비를 갖

추어야 한다.

2. 음압기록장치

(가) 측정 감도는 0.01mm H_2O 이하일 것

(나) 1분 간격으로 측정된 자료를 24시간 연속하여 1개월 이상 저장 가능한 자료 저장용량을 가질 것

(다) 1분 평균으로 측정된 음압이 0.508mm H_2O이하 일 때 경보음이 작동하는 기능을 가질 것

(라) 측정 전 자체적으로 영점(Zero point)을 교정할 수 있는 기능 구비

(마) 결과물을 출력할 수 있는 기능을 가질 것

3. 진공청소기

(가) 고성능필터를 장착해야 한다.

(나) 여과되지 않은 공기가 누설되지 않도록 하는 구조이어야 한다.

(다) 석면해체·제거작업 시 지속적으로 석면분진을 포집할 수 있는 충분한 모터성능을 가진 것이어야 한다.

4. 호흡용 보호구

한국산업안전보건공단의 검정필 또는 안전인증제품이어야 한다.

5. 보호의

(가) 보호의는 근로자의 전신을 덮을 수 있고, 허리, 손목, 목이 조이는 구조로 머리덮개가 부착된 일회용 보호의이여야 한다.

(나) 습식작업에 사용할 수 있는 소재이어야 한다.

(다) KS 표준규격의 고형 미립자 차단 보호복(KS K ISO 13982-1)의 요구성능과 동등 이상의 성능을 가져야 한다.

(라) 지퍼 부분은 지퍼덮개가 있어, 석면 분진이 유입되지 않는 구조로 되어야 한다.

(마) 봉제처리 부분을 통하여 석면이 침투하지 못하도록 봉제처리 후 코팅방식, 테이핑 처리 또는 동등 성능 이상의 처리방식을 적용하여야 한다.

2. IPCC 가이드라인 개요

가. IPCC 가이드라인[26)]

전 세계적으로 온실가스 배출량은 IPCC가 제시한 방법론을 이용하여 산정하고 있다. 특히, 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인은 이전 가이드라인에서 새로운 가이드라인으로의 사용을 가능한 한 수월하게 하기 위하여, 1996 IPCC 가이드라인과

26) 배재민, 석면함유자재 해체제거 시 발생하는 온실가스 배출량 산정 모델 개발, 경북대학교 석사학위논문, 2014.2

개선된 방법으로 쓰여진 우수 실행 보고서에 근거하여 작성된 것이다. 이 새로운 가이드라인은 과학 기술의 발달에 따라 이전에 출판된 내용 중 방법적 측면에 대한 수정뿐만 아니라, 새로운 배출원과 가스에 대해서도 다루고 있다. 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인은 인간활동에 따른 온실가스의 배출원(sources)에 의한 배출량(emissions) 및 흡수원(sinks)에 의한 흡수량(removal)의 국가 인벤토리를 산정하기 위한 방법론을 제공한다. 배출량 산정방법의 선택은 배출원의 중요도에 따라 구분하여 결정할 수 있는데 IPCC Good Practice Guidance에서는 주요 배출원을 Key Source Category로 구분하여 배출량 산정 시 우선순위를 두고 있다.화석연료 연소로부터 배출량 산정을 위해 2006 IPCC 가이드라인에서는 3가지 tier를 제시하고 있다. 추가적으로 기본 접근법(Reference Approach)이 제시된다. 이는 부문별 접근법에 관한 독립적인 검사와 단지 매우 제한된 자원 및 자료 구조가 인벤토리 작성자에게 이용가능하다면 국가적 온실가스 배출의 1차 산정치를 생산하기 위해 이용될 수 있다. 2006 IPCC 가이드라인은 배출되는 종(species)에 따라 탄소 배출을 산정한다. 연소과정에서, 대부분의 탄소는 CO_2로 즉시 배출된다. 그렇지만, 일부 탄소는 일산화탄소(CO), 메탄 (CH_4), 비메탄휘발성 유기화합물(NMVOCs ; non-methane volatile organic compounds)로 방출된다. 이들 non-CO_2 종으로 배출된 대부분의 탄소는 결국 대기중에서 CO_2로 산화된다. 이 양은 non-CO_2 가스의 배출 산정치로부터 산정될 수 있다

A) TIER 1

연소의 모든 배출원으로부터의 배출은 일반적으로 국가 에너지 통계로부터 연소된 연료의 양과 평균 배출계수에 기초하여 산정될 수 있기 때문에, Tier 1 방법은 연료에 기초한다. Tier 1 배출계수는 모든 관련된 직접적인 온실가스에 이용 가능하다. 이들 배출계수의 질(quality)은 가스들 간에 다르다. CO_2에 대해, 배출계수는 주로 연료의 탄소 함유량에 의존한다. 연소 조건 (연소 효율성, 슬래그 및 재에 남아있는 탄소 등)은 상대적으로 중요하지 않다. 그러므로 CO_2 배출은 연소되는 연료의 총량과 연료의 평균 탄소함유량에 기초하여 매우 정확히 산정될 수 있다.

B) TIER 2

에너지에 대한 Tier 2 방법에서, 연소로부터의 배출은 Tier 1 방법에서 이용된 것과 유사한 연료통계치로부터 산정되지만, Tier 1 기본값 대신에 국가 고유의(country-specific) 배출계수가 이용된다. 이용 가능한 국가 고유의 배출계수는 특정한 연료, 연소 기술, 심지어 개별적인 공장에 대해서 다르기 때문에, 이러한 세분화된 조건을 적절히 반영하기 위해 활동자료 역시 보다 세분화되어야한다. 이러한 국가 고유의 배출계수가 이용된 연료의 다른 카테고리에서의 탄소 함유량에 관한 상세한 자료 또는 해당 국가에서 적용된 연소기술에 관한 상세한 정보가 도출된다면, 산정치의 불확도가 감소할 것이고, 시간에 따른 추세가 보다 잘 산정될 수 있다.

C) TIER 3

에너지를 위한 Tier 3 방법에서, 적절한 경우에 개별적인 공장 수준의 상세한 배출모형 내

지 측정치 및 자료가 이용된다. 적절히 적용된다면, 보다 상세한 정보 및 노력의 비용이 들지만, 이들 모형 및 측정치는 주로 non-CO_2 온실가스를 위한 보다 나은 산정치를 제공한다. 도로수송에 대해, N_2O 및 CH_4 배출을 산정하기 위한 Tier 2 내지 Tier 3의 산정에 있어 배기가스 제어기술의 적용은 큰 이득을 일반적으로 가져올 것이다. 그렇지만, 일반적으로 CO_2에 대해, 연료 탄소 및 이용된 연료량에 기초한 Tier 1 방법으로 충분할 것이다. 이는 일반적인 의사결정도가 동일한 배출원 카테고리의 다른 가스에 대해 다른 접근법을 가져올 것이라는 것을 의미한다. 도로수송에 대한 배출 모형 및 기술에 또 다른 방법은 소비된 연료량을 이용하는 것이 아니라 차량 운행거리에 기초할 수 있으며, 이러한 모형 및 보다 높은 tier 방법에 적용된 활동자료가 연료 소비 자료와 일치하는 것을 보이는 것은 우수실행(good practice)이다. 이러한 연료 소비 자료는 도로수송으로부터 CO_2 배출을 산정하는데 이용될 것이다. 의사결정도는 모형이 연료 소비 통계와 일치한다면, 인벤토리 작성자가 측정을 포함하여, 다른 tier 방법론과 조합하여 정교한 모형을 이용하는 것을 허용한다. 연료 소비와 차량 운행거리간의 불일치가 발견되는 경우에, 연료 소비 통계가 부정확하다는 것을 보일 수 없는 경우, 다른 방법으로 이용된 활동자료는 연료 소비 통계와 일치하도록 조정되어야 한다.

나. 국내 온실가스 산정 지침[27)]

「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」은 「저탄소 녹색성장 기본법」제42조 및 같은법 시행령 제26조의 온실가스 에너지 목표관리제 운영 등에 관한 세부사항과 절차를 정하는 것을 목적으로 하고 있다. 이 지침에서 석유제품의 기체연료에 대해 특별한 언급이 없으면 모든 조건은 0℃ 1기압 상태의 체적과 관련된 활동자료이고 액체연료는 15℃를 기준으로 한 체적을 적용하고 있다. 연료의 비중 및 밀도의 자료는 공급업체 및 사업자가 자체적으로 개발한 값이 없다면 지식경제부고시「석유제품의 품질기술과 검사방법 및 수수료」및 한국석유공사에서 발표된 자료를 인용하고 고시자료를 우선으로 인용하고 있다. 이 지침에서는 IPCC 분류체계에 따라 산정방법론을 제시하고 있으며, 고정연소[고체연료], 고정연소[기체연료], 고정연소[액체연료], 이동연소[항공], 이동연소[도로], 이동연소[철도], 이동연소[선박], 시멘트 생산, 석회 생산, 탄산염의 기타 공정사용, 석유정제활동, 암모니아 생산, 질산 생산, 아디프산 생산, 카바이드 생산, 소다회 생산, 석유화학제품 생산, 불소화합물 생산, 철강 생산, 합금철 생산, 아연 생산, 납 생산, 전자산업, 오존파괴물질[ODS]의 대체물질 사용, 기타 온실가스 배출 및 사용, 고형폐기물의 매립, 고형폐기물의 생물학적 처리, 하·폐수 처리, 폐기물의 소각, 외부에서 공급된 전기 사용, 외부에서 공급된 열[스팀]의 사용에 대한 산정방법론이 제시되어 있다. 다음은 본 연구에서 필요한 이동연소[도로]부문 산정방법론과 외부에서 공급된 전기 사용에 의한 산정방법론을 기술하였다.

A) 이동연소[도로]

도로차량의 연료 사용으로부터 발생하는 모든 연소 배출을 포함한다. 자동차는 내연기관에

27) Rom, William N., et al. "Malignant mesothelioma from neighborhood exposure to anthophyllite asbestos." American journal of industrial medicine 40.2 (2001): 211-214.

서의 화석연료 연소에 의해 CO_2, CH_4, N_2O 등 온실가스가 배출된다. 건설기계, 농기계 등 비도로 차량에 의한 온실가스 배출 또한 별도의 구분 없이 이 장에서 정하는 방법에 의해 배출량을 산정한다.

① Tier 1

Tier 1 산정방법은 연료 종류별 사용량을 활동자료로 하고, 기본 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하는 방법이다. 도로 또는 비도로 차량 운행을 위해 사용된 연료 종류별 사용량을 활동자료로 하고 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도 ±7.5% 이내의 연료사용량을 활용한다.

$$E_{i,j} = \sum(Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times F_{eq,j} \times 10^{-9})$$

Ei,j : 연료 종류 (i)의 사용에 따른 온실가스 (j)의 배출량(CO_2-e ton)
Qi : 연료 종류 (i)의 연료소비량(ℓ)
ECi : 연료 종류 (i)의 순발열량(MJ /ℓ-연료)
EFi,j : 연료 종류 (i)에 대한 온실가스 (j)의 배출계수(kg/TJ)
Feq,j : 온실가스 (j)의 CO_2 등가계수
(CO_2 = 1, CH_4 = 21, N_2O = 310)
i : 연료 종류

Tier 1 산정방법은 2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드 라인에 제시된 연료별, 온실가스별 기본 배출계수를 사용한다. 그 내용은 다음 표에 나타내었다.

표 119. 연료별, 온실가스별 기본배출계수

연료 종류	기본 배출계수 (kg/TJ)		
	CO_2	CH_4	N_2O
휘발유	69,300	25	8.0
경유	74,100	3.9	3.9
LPG	63,100	62	0.2
등유	71,900	-	-
윤활유	73,300	-	-
CNG	56,100	92	3
LNG	56,100	92	3

② Tier 2

Tier 2 산정방법은 연료 종류별, 차종별, 제어기술별 연료사용량을 활동자료로 하고, 국가고유 계수를 적용하여 배출량을 산정하는 방법이다. 도로 또는 비도로 차량 운행을 위해 사용된 연료 종류별 사용량을 활동자료로 하고 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 측정불확도 ±5.0% 이내의 연료사용량을 활용한다.

$$E_{i,j} = \sum(Q_{ikl} \times EC_i \times EF_{ikl} \times F_{eq,j} \times 10^{-9})$$

Ei,j : 연료 종류 (i)의 사용에 따른 온실가스 (j)의 배출량(CO_2-e ton)
Qi,k,l : 연료 종류 (i), 차량종류 (k), 제어기술 종류 (l)의 연료소비량(ℓ)
ECi : 연료 종류 (i)의 순발열량(MJ /ℓ-연료)
EFi,k,l : 연료 종류 (i), 차종 (k), 제어기술 (l)의 배출계수(kg/TJ)
Feq,j : 온실가스 (j)의 CO_2 등가계수
(CO_2 = 1, CH_4 = 21, N_2O = 310)
i: 연료 종류
k : 차량 종류
l : 제어기술 종류

③ Tier 3

Tier 3 산정방법은 차량의 주행거리를 활동자료로 하고, 차종별, 연료별, 배출제어 기술별 고유 배출계수를 개발·적용하여 산정하는 방법이다. 다만 이 산정법은 CH_4, N_2O에 대해서 유효하다. 차량의 종류, 사용 연료, 배출제어기술 등에 따른 각각의 운행거리(주행거리)를 활동자료로 하고 측정불확도 ±2.5% 이내의 활동자료를 활용한다.

$$E_{CH4/N2O} = \sum_{i,j,k,l,m} (Distance_{i,k,l,m} \times EF_{i,j,k,l,m} \times F_{eq,j} \times 10^{-6})$$

ECH_4/N_2O : CH_4 또는 N_2O 배출량 (CO_2-e ton)
Distancei,j,k,l,m : 주행거리(km)
EFi,j,k,l,m : 배출계수(g/km)
Feq,j : 온실가스 (j)의 CO_2 등가계수(CO_2 = 1, CH_4 = 21, N_2O = 310)
i : 연료 종류(예, 휘발유, 경유, LPG 등)
j : 온실가스 종류(CH_4, N_2O)
k : 차량 종류
l : 배출제어기술(또는 차량 제작 연도)
m : 운전조건(이동시 평균 차속

B) 외부에서 공급된 전기 사용

관리업체가 소유 및 통제하는 설비와 사업활동에 의한 전력사용으로 인해 발생하는 간접적 온실가스 배출은 연료연소, 원료사용 등으로 인한 직접적 온실가스 배출과 함께 관리업체의 온실가스 배출량에 포함되어야 한다. 대부분의 관리업체에 있어서 구입전력은 큰 비중을 차지하는 온실가스 배출원 중 하나이며, 동시에 감축목표 달성을 위한 기회요소이기도 하다. 또한 직접적 온실가스 배출뿐만 아니라, 간접적 온실가스 배출을 산정하는 것은 이러한 정보가 향후 온실가스와 관련된 다양한 프로그램에 적용될 수 있기 때문이다. 단, 관리업체의 조직경계 내에 발전설비가 위치하여 생산된 전력을 자체적으로 사용할 경우에는 간접적 온실

가스 배출량 산정에서 제외하도록 한다. 이는 발전설비에서 전력 생산으로 인해 배출된 직접적 온실가스가 해당 관리업체의 배출량으로 이미 산정되었기 때문이며, 자체 생산한 전력의 자체 사용에 따른 간접적 온실가스 배출량을 포함할 경우 직접적 온실가스 배출량과 함께 중복산정을 초래하기 때문이다. 다음은 외부에서 공급된 전기 사용에 의한 온실가스 발생량 산정을 위한 방법론을 제시하였다.

① Tier 1

$$CO_2eq\ Emissions = \sum_j (Q \times EF_j \times F_{eq,j})$$

CO_2eq Emissions : 전력사용에 따른 온실가스 배출량(tCO_2eq)
Q : 외부에서 공급받은 전력 사용량(MWh)
EFj : 전력 간접배출계수(tGHG/MWh)
Feq,j : 온실가스(j)의 CO_2 등가계수 (CH_4=21, N_2O=310)
j : 배출 온실가스 종류

3. 석면함유자재 해체·제거 작업과정별 사용장비 목록화

석면함유자재의 해체·제거 전과정은 진행순서에 따라 건축물의 석면조사 및 석면지도 작성 단계인 ①사전조사 단계, 작업장 격리 및 위생설비 설치 단계인 ②사전작업 단계, 작업장 습윤화 및 석면폐기물 해체·제거 단계인 ③해체·제거 단계, 석면폐기물의 포장밀봉 및 청소 단계인 ④폐기물 처리 및 청소 단계, 기타 소모품 밀봉 및 폐기물 임시보관 단계인 ⑤폐기물 적재 및 반출 단계, 석면폐기물의 수집운반 및 최종처리 단계인 ⑥폐기물 운반 및 처리 단계 등 여섯 개의 단계로 나눌 수 있다. 내용은 다음 그림과 같다.

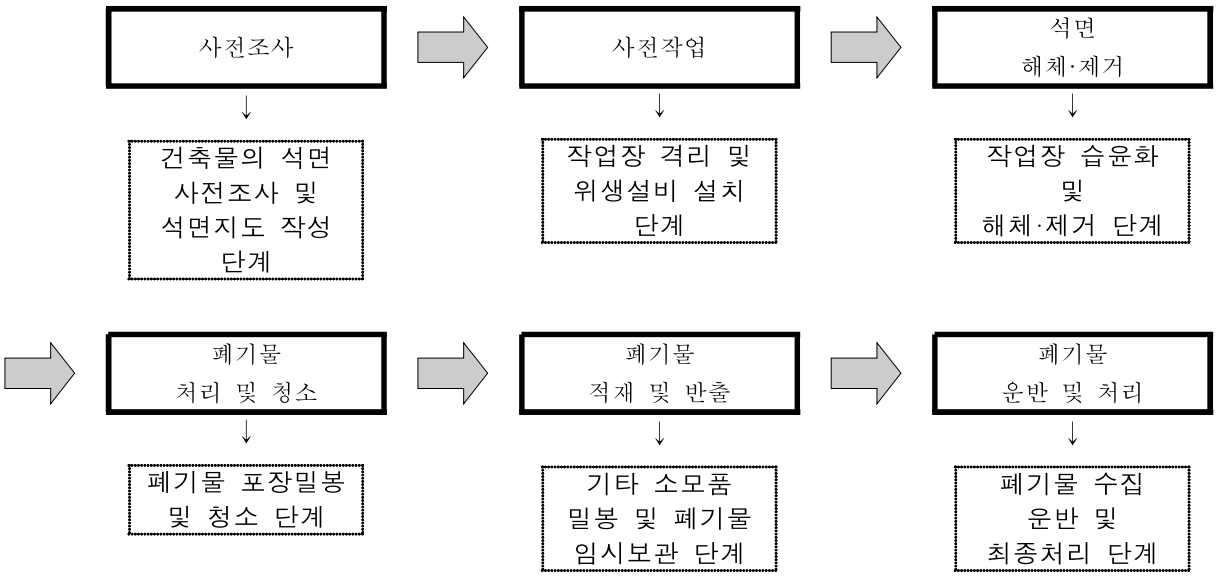


그림 48. 석면함유자재 해체·제거 과정 대분류

석면 폐기물 해체·제거 전과정을 사전조사 단계, 사전작업 단계, 석면해체·제거 단계, 석면 폐기물 처리 및 청소 단계, 석면폐기물 적재 및 반출 단계, 석면폐기물 운반 및 매립 단계 등 6가지 단계로 구분하였고, 각 단계에서 사용된 장비들을 정리하였다. 다음 표에서는 석면 텍스와 석면슬레이트의 해체·제거 전과정과 각 작업단계별 온실가스 및 비용발생 항목(장비)에 대하여 목록화하여 나타내었다. (밑줄 그어진 부분은 온실가스 발생 장비를 표시한다.)

표 120. 텍스 작업단계 분류와 온실가스 및 비용 발생항목

텍스 해체·제거작업순서		인건비		사용 장비, 재료 및 기타비용
1. 사전조사	1) 석면조사	직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)		• 간접재료(필터, 작업복, 장갑) • 제경비, 기술료, 직접경비
	2) 석면지도 작성	초급기술자 및 중급기능사		
2. 사전작업	1) 격리조치	석면해체공, 보통 인부, 관리감독자		• 간접재료(경고표지판, 안전띠, 타포린)
	2) 위생설비 설치			• **샤워기, 배수여과장치**, 집수조, 비닐시트, 위생설비틀
	3) 작업장 벽·바닥 비닐보양			• 벽·바닥 보양비닐
	4) 음압기 설치			• **음압기,** 음압기록장치, 전동공구
3. 석면 해체·제거	1) 개인보호구 착용			• 보호구 손료(반면마스크, 안전장화, 고글) • 보호구 소모품(특급필터, 방진복, 방진장갑, 면장갑)
	2) 약물살포(습윤화)		보통 인부	• 분무기
	3) 석면농도 측정(작업 전 + 작업 중)		직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)	• 간접재료(필터, 작업복, 장갑) • 제경비, 기술료, 직접경비
	4) 이동식 비계 조립		보통 인부	• 재료비
	5) 포장비닐 설치			• 포장비닐
4. 폐기물 처리 및 청소	1) 폐기물 밀봉 및 스티커 부착			• 밀봉테이프, 스티커
	2) 벽바닥 습식청소		보통 인부	• **HEPA 필터 청소기**
5. 폐기물 적재 및 반출	1) 석면농도 측정(작업 후)		직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)	• 간접재료(필터, 작업복, 장갑) • 제경비, 기술료, 직접경비
	2) 소모품 밀봉 및 스티커 부착			• 밀봉테이프, 스티커, 폐기용 백
	3) 폐기물 임시보관 및 표지판 설치			• 석면적재경고표지판
6. 폐기물 운반 및 처리	1) 폐기물 운반	보통 인부		• **덤프트럭** • 재료비 경비
	2) 매립			• 매립비용

표 121. 슬레이트 작업단계 분류와 온실가스 및 비용 발생항목

슬레이트 해체·제거작업순서		인건비		사용 장비, 재료 및 기타비용
1. 사전조사	1) 석면조사	직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)		• 간접재료(필터, 작업복, 장갑) • 제경비, 기술료, 직접경비
	2) 석면지도 작성	초급기술자 및 중급기능사		
2. 사전작업	1) 격리조치	석면해체공, 보통 인부, 관리감독자		• 간접재료(경고표지판, 안전띠, 타포린)
	2) 위생설비 설치			• **샤워기, 배수여과장치**, 집수조, 비닐시트, 위생설비틀
	3) 건물 외부 바닥 비닐 설치		보통 인부	• 바닥 보양비닐
	4) 수직강관비계 설치		비계공	• 재료비
	5) 수평강관비계 설치		비계공	• 재료비
	6) 안전방망 설치		비계공	• 재료비
3. 석면 해체·제거	1) 개인보호구 착용			• 보호구 손료(반면마스크, 안전장화, 고글) • 보호구 소모품(특급필터, 방진복, 방진장갑, 면장갑)
	2) 약물살포(습윤화)		보통 인부	• 분무기
	3) 석면농도 측정(작업 전 + 작업 중)		직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)	• 간접재료(필터, 작업복, 장갑) • 제경비, 기술료, 직접경비
	4) 포장비닐 설치			• 포장비닐
4. 폐기물 처리 및 청소	1) 폐기물 밀봉 및 스티커 부착			• 밀봉테이프, 스티커
	2) 벽바닥 습식청소		보통 인부	• **HEPA 필터 청소기**
5. 폐기물 적재 및 반출	1) 작업 후 석면농도 측정		직접인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)	• 간접재료(필터, 작업복, 장갑) • 제경비, 기술료, 직접경비
	2) 소모품 밀봉 및 스티커 부착			• 밀봉테이프, 스티커, 폐기용 백, 연결고리
	3) 폐기물 임시보관 및 표지판 설치			• 석면적재경고표지판
6. 폐기물 운반 및 처리	1) 폐기물 운반	보통 인부		• **덤프트럭** • 재료비 경비
	2) 매립			• 매립비용

3.2 석면함유자재 해체·제거 전과정 에너지소비량 원단위 도출

1. 텍스 해체철거공사 에너지 소비량

다음은 텍스 해체철거공사에서 사용되는 장비 중 에너지를 소비하는 장비만을 선택하여 에너지 소비량을 정리하였다. 현재 국내에서 석면해체·제거 장비를 제작·판매하는 회사는 총 6개뿐이며 전화설문, 견적문의, 방문조사 등 과정을 통하여 이 6개의 회사에서 수집한 자료를 토대로 각 장비의 소비 전력을 정리하였다. 각 제작 회사에서 생산하는 장비는 소/대용량으로 구분되어 제작되는 경우가 있었고, 이러한 경우 동일 장비이지만 소비전력 차이가 날 경우, 대용량 장비로 한정하였다. 조사를 통해 정리된 각 해체·제거 장비의 소비 전력은 다음 표와 같다.

표 122. 텍스 해체·제거 장비 제원 (단위 : Watt)

회사/장비	음압기		샤워기		배수 여과장치		HEPA 청소기	
	장비명	전력소비	장비명	전력소비	장비명	전력소비	장비명	전력소비
A사	HC2500A	1000	LPS-80	7000	LDF-80	340	C-112S	1350
B사	ARDC-1501	1200	아스맨	5000	AEWP-3810	380	ASZ-201	2400
C사	HC2500B	1100	LT-110	6000	LT-C100	78	C-112S	1350
D사	ha-2000	1500	ha-WS300	2500	ha-FS500	2500	KV-103S	2400
E사	CND300	2200	-	6000	-	1100	CK-862H	2700
F사	AirZone 2210	2250	-	2500	-	600	Clean Zone	2000
평 균		1541.7		4833.3		833.0		2033.3

각 장비의 사용 시간에 따른 에너지 소비량 산출을 위하여 샤워기와 배수여과장치의 경우 문헌조사를 통한 통계값인 1인당 사용 시간을 24.1분으로 산정하였다.[28] 음압기의 경우 한국건설기술연구원 표준품셈의 기준을 적용하여 석면해체·제거 작업 시간으로 규정되어 있는 1일 6시간으로 대입하여 산정하였다. HEPA 청소기의 경우 1일 작업시간을 1시간으로 적용하였다.

텍스 해체철거공사 사전작업 단계 위생설비 설치 과정에 사용되는 장비 중 샤워기와 배수여과장치의 에너지 소비량을 산정하였다. 온수샤워기와 배수여과장치의 경우 동시에 사용되는 점을 고려하여 모두 1일 사용시간 24.1분을 적용하였고 샤워기와 배수여과장치의 시간당 전력소비에 1일 사용시간을 곱하여 1일 에너지 소비량을 구하였다. 다음 표에서는 산정된 각 제조사별 온수샤워기와 배수여과장치의 에너지소비량을 나타내었다.

28) 김영랑, 「물부족에 대응한 물수요관리 도입계획」, 서울시정개발연구원, 2010

표 123. 샤워기 및 배수여과장치 에너지소비량 (단위 : Watt)

회사/장비	샤워기	전력소비	1일 사용시간 (24.1분) 에너지소비량	배수여과장치	전력소비	1일 사용시간 (24.1분) 에너지소비량
A 사	LPS-80	7000	2811.7	LDF-80	340	136.6
B 사	아스맨	5000	2008.4	AEWP-3810	380	152.6
C 사	LT-110	6000	2410.0	LT-C100	78	31.3
D 사	ha-WS300	2500	1004.2	ha-FS500	2500	1004.2
E 사	-	6000	2410.0	-	1100	441.8
F 사	-	2500	1004.2	-	600	241.0
평 균		4833.3	1941.4		833.0	334.6

다음은 텍스 해체철거공사 사전작업 단계 음압기 설치 과정에 사용되는 장비 중 음압기의 에너지소비량을 산정하였다. 음압기의 시간당 전력소비에 1일 작업시간(6시간)을 곱하여 1일 에너지 소비량을 산정하였다. 다음 표에서는 산정된 각 제조사별 음압기의 에너지 소비량을 나타내었다.

표 124. 음압기 에너지소비량 (단위 : Watt)

회사/장비	음압기	전력소비	1일 작업시간(6시간) 에너지 소비량
A 사	HC2500A	1000	6000
B 사	ARDC-1501	1200	7200
C 사	HC2500B	1100	6600
D 사	ha-2000	1500	9000
E 사	CND300	2200	13200
F 사	AirZone2210	2250	13500
평 균		1541.7	9250

다음은 텍스 해체철거공사 폐기물 처리 및 청소 단계 벽바닥 습식청소 과정에 사용되는 장비인 HEPA 청소기의 에너지소비량을 산정하였다. HEPA 청소기의 시간당 전력소비에 1일 사용시간(1시간)을 곱하여 1일 에너지 소비량을 산정하였다. 다음 표에서는 산정된 각 제조사별 HEPA 청소기의 에너지소비량을 나타내었다.

표 125. HEPA 청소기 에너지 소비량 (단위 : Watt)

회사/장비	HEPA 청소기	전력소비	1일 사용시간(1시간) 에너지 소비량
A 사	C-112S	1350	1350
B 사	ASZ-201	2400	2400
C 사	C-112S	1350	1350
D 사	KV-103S	2400	2400
E 사	CK-862H	2700	2700
F 사	Clean Zone	2000	2000
평 균		2033.3	2033.3

2. 슬레이트 해체철거공사 에너지 소비량

다음은 슬레이트 해체철거공사에서 사용되는 장비 중 에너지를 소비하는 장비만을 선택하여 에너지 소비량을 정리하였다. 현재 국내에서 석면해체·제거 장비를 제작·판매하는 회사는 총 6개뿐이며 전화설문, 견적문의, 방문조사 등 과정을 통하여 이 6개의 회사에서 수집한 자료를 토대로 각 장비의 소비 전력을 정리하였다. 각 제작 회사에서 생산하는 장비는 소/대용량으로 구분되어 제작되는 경우가 있었고, 이러한 경우 동일 장비이지만 소비전력 차이가 날 경우, 대용량 장비로 한정하였다. 조사를 통해 정리된 각 해체·제거 장비의 소비 전력은 다음 표와 같다.

표 126. 텍스 해체·제거 장비 제원 (단위 : Watt)

회사/장비	샤워기		배수 여과장치		HEPA 청소기	
	장비명	소비전력	장비명	소비전력	장비명	소비전력
A사	LPS-80	7000	LDF-80	340	C-112S	1350
B사	아스맨	5000	AEWP-3810	380	ASZ-201	2400
C사	LT-110	6000	LT-C100	78	C-112S	1350
D사	ha-WS300	2500	ha-FS500	2500	KV-103S	2400
E사	-	6000	-	1100	CK-862H	2700
F사	-	2500	-	600	Clean Zone	2000
평 균		4833.3		833.0		2033.3

각 장비의 사용 시간에 따른 에너지 소비량 산출을 위하여 샤워기와 배수여과장치의 경우 문헌조사를 통한 통계값인 1인당 사용 시간을 24.1분으로 산정하였다. 음압기의 경우 한국건설기술연구원 표준품셈의 기준을 적용하여 석면해체·제거 작업 시간으로 규정되어 있는 1일 6시간으로 대입하여 산정하였다. HEPA 청소기의 경우 1일 작업시간을 1시간으로 적용하였다.

슬레이트 해체철거공사 사전작업 단계 위생설비 설치 과정에 사용되는 장비 중 샤워기와 배수여과장치의 에너지 소비량을 산정하였다. 온수샤워기와 배수여과장치의 경우 동시에 사용되는 점을 고려하여 모두 1일 사용시간 24.1분을 적용하였고 샤워기와 배수여과장치의 시간당 전력소비에 1일 사용시간을 곱하여 1일 에너지 소비량을 구하였다. 다음 표에서는 산정된 각 제조사별 온수샤워기와 배수여과장치의 에너지소비량을 나타내었다.

표 127. 샤워기 및 배수여과장치 에너지소비량 (단위 : Watt)

회사/장비	샤워기	전력소비	1일 사용시간 (24.1분)	배수여과장치	전력소비	1일 사용시간 (24.1분)
A 사	LPS-80	7000	2811.7	LDF-80	340	136.6
B 사	아스맨	5000	2008.4	AEWP-3810	380	152.6
C 사	LT-110	6000	2410.0	LT-C100	78	31.3
D 사	ha-WS300	2500	1004.2	ha-FS500	2500	1004.2
E 사	-	6000	2410.0	-	1100	441.8
F 사	-	2500	1004.2	-	600	241.0
평 균		4833.3	1941.4		833.0	334.6

다음은 슬레이트 해체철거공사 폐기물 처리 및 청소 단계 벽바닥 습식청소 과정에 사용되는 장비인 HEPA 청소기의 에너지소비량을 산정하였다. HEPA 청소기의 시간당 전력소비에 1일 사용시간(1시간)을 곱하여 1일 에너지 소비량을 산정하였다. 다음 표에서는 산정된 각 제조사별 HEPA 청소기의 에너지소비량을 나타내었다.

표 128. HEPA 청소기 에너지 소비량 (단위 : Watt)

회사/장비	HEPA 청소기	전력소비	1일 사용시간(1시간) 에너지 소비량
A 사	C-112S	1350	1350
B 사	ASZ-201	2400	2400
C 사	C-112S	1350	1350
D 사	KV-103S	2400	2400
E 사	CK-862H	2700	2700
F 사	Clean Zone	2000	2000
평 균		2033.3	2033.3

3.3 석면함유자재 해체·제거 전과정 온실가스 배출량 원단위 도출

1. 석면함유자재 해체철거공사 온실가스 발생량

가. 텍스 해체철거공사 온실가스 발생량

석면 사전조사 단계에는 순수 인력만으로 진행하며 사용하는 장비나 재료 중 온실가스를 발생시키는 장비나 재료는 포함되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 사전조사 단계에서의 온실가스 발생량 산정과정은 제외하고 해체철거공사와 폐기물 운반 및 처리단계의 온실가스 발생량을 구하여 산정하였다.

텍스 해체철거공사는 사전작업 단계, 해체·제거 단계, 폐기물 처리 및 청소 단계, 폐기물 적재 및 반출 단계 등 네 가지 단계로 나눌 수 있다. 텍스 해체철거공사에 사용되는 장비 중 온실가스 발생 장비는 사전작업 단계 위생설비 설치 과정의 샤워기와 배수여과장치, 음압기 설치 과정의 음압기, 폐기물 처리 및 청소 단계 벽바닥 습식청소 과정의 HEPA 필터 청소기 등이 있다. 사전작업 단계 음압기 설치 과정에 사용되는 음압기록장치(실내 음압의 변화를 기록하기 위함)와 석면 해체·제거 단계 및 폐기물 적재 및 반출 단계의 석면농도 측정 과정에 사용되는 석면 농도측정 장비(작업장 내 석면 분진의 기준치를 체크하기 위함)의 경우는 충전용 배터리를 사용하게 된다. 따라서 이 두 가지 장비는 텍스 해체철거 작업 시 직접적인 전력 소비가 없다고 판단하여 본 연구의 온실가스 발생 장비 목록에서는 제외하였다.

샤워기와 배수여과장치는 석면 해체·제거 작업자가 작업 휴식이나 종료 후 외부로 나가기 위해 착용한 개인보호 장비의 석면 분진을 씻어내고 작업자의 충분한 샤워를 위한 장치로 사용되고, 음압기는 고성능 필터가 장착되어 밀폐된 실내 작업의 음압을 유지(음압유지기준: 0.508㎜H_2O)하기 위한 장치이며, HEPA 필터 청소기는 작업장 내·외부의 석면 분진 청소를 위한 장비로 사용된다. 위와 같은 장비는 작업 시 전력을 소비하게 되며 온실가스를 발생시키게 된다.

텍스 해체철거 과정의 온실가스 발생량을 구하기 위하여 원단위 발생량을 산정하는 것이 매우 중요하다. 따라서 텍스 해체철거공사 단위면적당 온실가스 발생량 추정을 위해 텍스 해체철거 1일 평균 작업량을 산출하였다. 다음 표에서는 건설기술연구원 표준품셈과 한국석면환경관리협회에 명시된 텍스 해체철거 작업 1일 평균 작업량을 나타내었다.[29)]

표 129. 텍스 해체·제거 1일 평균 작업량

작업구분	작업시간	1일 평균 작업량(㎡)
석면텍스	6시간	49.8

텍스 해체철거공사에 사용되는 장비에 대한 온실가스 발생량을 산정하기 위해, 국내 「온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」에 명시된 '외부에서 공급된 전기사용 Tier 1

29) 한국석면환경협회, 건설기술연구원 표준품셈 슬레이트, 텍스 철거와 노동부, 환경부 규정 준수 석면 해체·제거 작업 단가 대비표, 2010

산정방법론'을 적용하였다.[30] 다음 식은 전기 사용으로 인한 온실가스 배출량 CO_2eq 산정식을 나타내었다.

$$CO_{2eqEmissions} = \sum(Q \times EF_j \times F_{eq,j})$$

여기서,

$CO_{2eqEmissions}$: 전력사용에 따른 온실가스 배출량(tCO_2eq)

Q : 외부에서 공급받은 전력 사용량(MWh)

EF_j : 온실가스 배출계수(tCO_2eq/MWh)

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO_2등가계수(CO_2=1, CH_4=21, N_2O=310)

j : 배출온실가스 종류

전력부문 온실가스 배출계수(EFj)는 전력거래소에서 발표('12.12.26)한 배출계수 값을 적용하였다. 「공공부문 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」에서 2008년 이후의 국가고유 전력배출계수는 전력거래소에서 매년 발표하는 자료를 센터에서 확인하여 고시하는 값을 사용하도록 명시하고 있다. 본 연구에서 전력사용에 의한 온실가스 배출량을 산정하기 위해, 전력 간접배출계수(EFj)는 2011년 사용단을 기준으로 산정된 각각의 배출계수를 적용하였고, 온실가스 배출계수는 등가계수(Feq,j)인 CO_2=1, CH_4=4, N_2O=310의 값을 적용하고 셋을 합산하여 온실가스(등가계수 1)의 배출계수를 산정하였다. 다음 표에서는 전력거래소에서 발표한 전력부문 온실가스 배출계수를 나타내었다.

표 130. 전력부문 온실가스 배출계수

연도	구분	이산화탄소 배출계수 (tCO_2/MWh)	메탄 배출계수 ($kgCH_4/MWh$)	아산화질소 배출계수 (kgN_2O/MWh)	온실가스 배출계수 (tCO_2eq/MWh)
2011	발전단	0.4415	0.0050	0.0038	0.4428
	사용단	0.4585	0.0052	0.0040	0.4598

이상의 온실가스 산정방법론을 적용하여 각 장비별 에너지 소비량을 합산하여 텍스 해체철거공사 단계의 에너지 소비량을 산출하였다. 다음 사전작업 단계의 온실가스 발생량과 폐기물 처리 및 청소 단계의 온실가스 발생량을 각각 산정하고 합산하여 텍스 해체철거공사 단계의 에너지 소비량을 산출하였다.

사전작업 단계의 단위면적당 온실가스 발생량은 $0.1064kgCO_2eq/m^2$으로 산출되었고 폐기물 처리 및 청소 단계의 단위면적당 온실가스 발생량은 $0.0188kgCO_2eq/m^2$으로 산출되었다. 따라서 텍스 해체철거공사 단계의 단위면적당 온실가스 발생량은 $0.1252kgCO_2eq/m^2$으로 산출되었다. 텍스 해체철거공사의 온실가스 발생량 및 산정근거는 다음 표와 같다.

30) 법제처 국가법령정보센터, 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침 「별표 14 배출활동별 온실가스 배출량 등의 세부산정방법 및 기준」

표 131. 텍스 사전작업 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거

단계	단계 분류	사용장비	사용 장비 온실가스 발생량 산출
사전작업 단계	격리조치	※ 해당 없음	
	위생설비 설치	샤워기, 배수여과장치	① 에너지 소비량: 0.002276MWh - 샤워기: 4,833.3W × 24.1min ÷ 60min/h × 10^{-6}MW/W = 0.0019414MWh 배수여과장치: 833.0W × 24.1min ÷ 60min/h × 10^{-6}MW/W = 0.0003346MWh ② 전력간접배출계수: CO_2eq = 0.4598tCO_2eq/MWh ③ 온실가스 등가계수: CO_2 = 1 ④ 텍스 해체·제거 작업량: 49.8㎡
		온실가스 발생량: ① × ② × ③ ÷ ④ = 0.002276MWh × 0.4598tCO_2eq/MWh × 1,000kg/t ÷ 49.8㎡ = 0.0210kgCO_2eq/㎡	
	작업장 벽·바닥 비닐 보양	※ 해당 없음	
	음압기 설치	음압기	① 에너지 소비량: 1541.7W × 6h × 10^{-6}MW/W = 0.00925MWh ② 전력간접배출계수: CO_2eq = 0.4598tCO_2eq/MWh ③ 온실가스 등가계수: CO_2 = 1 ④ 텍스 해체·제거 작업량: 49.8㎡
		온실가스 발생량: ① × ② × ③ ÷ ④ = 0.00925MWh × 0.4598tCO_2eq/MWh × 1,000kg/t ÷ 49.8㎡ = 0.0854kgCO_2eq/㎡	
			계: 0.1064kgCO_2eq/㎡

1)사전작업 단계 온실가스 발생량 산출 근거: ①은 석면해체·제거 장비 제작·판매 회사자료 적용
②,③은 국가법령정보센터 “온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침” 별표 14의 기준 적용
④는 건설기술연구원 표준품셈 품 산출산식 중 1일 작업량 기준 적용

표 132. 텍스 폐기물 처리 및 청소 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거

단계	단계 분류	사용장비	사용 장비 온실가스 발생량 산출
폐기물 처리 및 청소 단계	폐기물 밀봉 및 스티커 부착	※ 해당 없음	
	폐기물 처리 및 청소 단계	HEPA 청소기	① HEPA 청소기 에너지 소비량: 2033.3W × 1h × 10^{-6}MW/W = 0.0020333MWh ② 전력간접배출계수: CO_2eq = 0.4598tCO_2eq/MWh ③ 온실가스 등가계수: CO_2 = 1 ④ 텍스 해체·제거 작업량: 49.8㎡
		온실가스 발생량: ① × ② × ③ ÷ ④ = 0.0020333Wh × 0.4598tCO_2eq/MWh × 1,000kg/t ÷ 49.8㎡ = 0.0188kgCO_2eq/㎡	
			계: 0.0188kgCO_2eq/㎡

2)폐기물 처리 및 청소 단계 온실가스 발생량 산출 근거: ①은 석면해체·제거 장비 제작·판매 회사자료 적용
②,③은 국가법령정보센터 “온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침” 별표 14의 기준 적용
④는 건설기술연구원 표준품셈 품 산출산식 중 1일 작업량 기준 적용

나. 슬레이트 해체철거공사 온실가스 발생량

슬레이트 해체철거공사는 사전작업 단계, 해체·제거 단계, 폐기물 처리 및 청소 단계, 폐기물 적재 및 반출 단계 등 네 가지 단계로 나눌 수 있다. 텍스 해체철거공사에 사용되는 장비 중 온실가스 발생 장비는 사전작업 단계 위생설비 설치 과정의 샤워기와 배수여과장치, 폐기물 처리 및 청소 단계 벽바닥 습식청소 과정의 HEPA 필터 청소기 등이 있다. 슬레이트 해체철거공사는 텍스 해체철거공사와는 달리 사전작업 단계에 음압기 설치과정이 포함되어 있지 않다. 음압기는 고성능 필터가 장착되어 밀폐된 실내 작업의 음압을 유지(음압유지기준: 0.508㎜H_2O)하기 위한 장치로, 실내 작업에 속하는 텍스 해체철거공사에는 사용되지만, 실외 작업에 속하는 슬레이트 해체철거공사에는 사용되지 않으므로 제외하였다.

슬레이트 해체철거 과정의 온실가스 발생량을 구하기 위하여 원단위 발생량을 산정하는 것이 매우 중요하다. 따라서 슬레이트 해체철거공사 단위면적당 온실가스 발생량 추정을 위해 슬레이트 해체철거 1일 평균 작업량을 산출하였다. 다음 표에서는 건설기술연구원 표준품셈과 한국석면환경관리협회에 명시된 슬레이트 해체철거 작업 1일 평균 작업량을 나타내었다.

표 133. 슬레이트 해체·제거 1일 평균 작업량

작업구분	작업시간	1일 평균 작업량(㎡)
석면슬레이트	6시간	75

슬레이트 해체철거공사에 사용되는 장비에 대한 온실가스 발생량을 산정하기 위해, 국내 「온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」에 명시된 '외부에서 공급된 전기사용 Tier 1 산정방법론'을 적용하였다. 다음 식은 전기 사용으로 인한 온실가스 배출량 CO_2eq 산정식을 나타내었다.

$$CO_{2eqEmissions} = \sum(Q \times EF_j \times F_{eq,j})$$

여기서,

$CO_{2eqEmissions}$: 전력사용에 따른 온실가스 배출량(tCO_2eq)

Q : 외부에서 공급받은 전력 사용량(MWh)

EF_j : 온실가스 배출계수(tCO_2eq/MWh)

$F_{eq,j}$: 온실가스(j)의 CO_2등가계수(CO_2=1, CH_4=21, N_2O=310)

j : 배출온실가스 종류

전력부문 온실가스 배출계수(EFj)는 전력거래소에서 발표('12.12.26)한 배출계수 값을 적용하였다. 「공공부문 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」에서 2008년 이후의 국

가고유 전력배출계수는 전력거래소에서 매년 발표하는 자료를 센터에서 확인하여 고시하는 값을 사용하도록 명시하고 있다. 본 연구에서 전력사용에 의한 온실가스 배출량을 산정하기 위해, 전력 간접배출계수(EFj)는 2011년 사용단을 기준으로 산정된 각각의 배출계수를 적용하였고, 온실가스 배출계수는 등가계수(Feq,j)인 CO_2=1, CH_4=4, N_2O=310의 값을 적용하고 셋을 합산하여 온실가스(등가계수 1)의 배출계수를 산정하였다. 다음 표에서는 전력거래소에서 발표한 전력부문 온실가스 배출계수를 나타내었다.

표 134. 전력부문 온실가스 배출계수

연도	구분	이산화탄소 배출계수 (tCO_2/MWh)	메탄 배출계수 ($kgCH_4$/MWh)	아산화질소 배출계수 (kgN_2O/MWh)	온실가스 배출계수 (tCO_2eq/MWh)
2011	발전단	0.4415	0.0050	0.0038	0.4428
	사용단	0.4585	0.0052	0.0040	0.4598

이상의 온실가스 산정방법론을 적용하여 각 장비별 에너지 소비량을 합산하여 슬레이트 해체철거공사 단계의 에너지 소비량을 산출하였다. 다음 사전작업 단계의 온실가스 발생량과 폐기물 처리 및 청소 단계의 온실가스 발생량을 각각 산정하고 합산하여 슬레이트 해체철거공사 단계의 에너지 소비량을 산출하였다.

사전작업 단계의 단위면적당 온실가스 발생량은 0.0140kgCO_2eq/㎡으로 산출되었고 폐기물 처리 및 청소 단계의 단위면적당 온실가스 발생량은 0.0125kgCO_2eq/㎡으로 산출되었다. 따라서 슬레이트 해체철거공사 단계의 단위면적당 온실가스 발생량은 0.0265kgCO_2eq/㎡으로 산출되었다. 이는 텍스 해체철거공사 단계의 온실가스 발생량보다 0.0997kgCO_2eq/㎡ 적게 산출된 것으로 나타난다. 그 원인은 음압기가 사용되지 않았고 슬레이트의 일일 작업량이 텍스보다 많기 때문이라 사료된다. 슬레이트 해체철거공사의 온실가스 발생량 및 산정근거는 다음 표와 같다.

표 135. 슬레이트 사전작업 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거

단계	단계 분류	사용장비	사용 장비 온실가스 발생량 산출
사전작업 단계	격리조치	※ 해당 없음	
	위생설비 설치	샤워기, 배수여과장치	① 에너지 소비량: 0.002276MWh - 샤워기: 4,833.3W × 24.1min ÷ 60min/h × 10^{-6}MW/W = 0.0019414MWh 배수여과장치: 833.0W × 24.1min ÷ 60min/h × 10^{-6}MW/W = 0.0003346MWh ② 전력간접배출계수: CO_2e = 0.4598tCO_2eq/MWh ③ 온실가스 등가계수: CO_2 = 1 ④ 텍스 해체·제거 작업량: 75㎡
		온실가스 발생량: ① × ② × ③ ÷ ④ = 0.002276MWh × 0.4598tCO_2eq/MWh × 1,000kg/t ÷ 75㎡ = 0.0140kgCO_2eq/㎡	
	작업장 벽·바닥 비닐 보양	※ 해당 없음	
	수직강관 비계 설치	※ 해당 없음	
	수평강관 비계 설치	※ 해당 없음	
	안전방망 설치	※ 해당 없음	
			계: 0.0140kgCO_2eq/㎡

1)사전작업 단계 온실가스 발생량 산출 근거: ①은 석면해체·제거 장비 제작·판매 회사자료 적용
②,③은 국가법령정보센터 “온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침” 별표 14의 기준 적용
④는 건설기술연구원 표준품셈 품 산출산식 중 1일 작업량 기준 적용

표 136. 슬레이트 폐기물 처리 및 청소 단계 단위면적당 에너지 소비량 산출근거

단계	단계 분류	사용장비	사용 장비 온실가스 발생량 산출
폐기물 처리 및 청소 단계	폐기물 밀봉 및 스티커 부착	※ 해당 없음	
	폐기물 처리 및 청소 단계	HEPA 청소기	① HEPA 청소기 에너지 소비량: 2033.3W × 1h × 10^{-6}MW/W = 0.0020333MWh ② 전력간접배출계수: CO_2eq = 0.4598tCO_2eq/MWh ③ 온실가스 등가계수: CO_2 = 1 ④ 텍스 해체·제거 작업량: 75㎡
		온실가스 발생량: ① × ② × ③ ÷ ④ = 0.0020333Wh × 0.4598tCO_2eq/MWh × 1,000kg/t ÷ 75㎡ = 0.0125kgCO_2eq/㎡	
			계: 0.0125kgCO_2eq/㎡

2)폐기물 처리 및 청소 단계 온실가스 발생량 산출 근거: ①은 석면해체·제거 장비 제작·판매 회사자료 적용
②,③은 국가법령정보센터 “온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침” 별표 14의 기준 적용
④는 건설기술연구원 표준품셈 품 산출산식 중 1일 작업량 기준 적용

2. 석면 폐기물 운반 및 처리 단계 온실가스 발생량

가. 텍스 폐기물 운반 및 처리 단계 온실가스 발생량

석면 폐기물 운반 및 처리 단계의 온실가스 발생장비로는 석면 폐기물 운반 차량이 있다. 석면 폐기물 운반 차량은 지정폐기물 수집·운반 차량으로 운반되어야 함을 명시하고 있다. 지정폐기물의 수집·운반 차량의 차체는 노란색으로 색칠하여야 하며, 적재함의 양쪽 옆면에는 지정폐기물 수집·운반차량, 회사명 및 전화번호를 잘 알아 볼 수 있도록 붙이거나 표기하여야 한다. 이 경우 그 크기는 가로 100센티미터 이상, 세로 50센티미터 이상으로 하고, 검은색 글자로 하여 붙이거나 표기하되, 폐기물 수집/운반증을 발급하는 기관의 장이 인정하면 차량의 크기에 따라 붙이거나 표기하는 크기를 조정할 수 있다.

현재 석면해체·제거 작업 후 폐기물 상차 및 매립지에서의 폐기물 하차에 관한 세부 지침이 마련되어 있지 않아 본 연구에서는 제외하였다.

본 연구에서는 석면함유자재 운반에 사용되는 운반 차량을 카고형 화물차량으로 선정하고, 1톤에서 18톤까지의 톤급별로 구별하여 평균 연비를 통해 온실가스 발생량을 산정하였다.

화물자동차의 평균 연비 추정은 분석 기관별로 값이 상이할 수 있지만, 본 연구에서는 한국교통연구원 연구 보고서의 결과값을 인용하여 화물자동차의 톤급별 평균연비를 고려하였다.[31] 톤급별 화물자동차에 대한 적재량은 톤급별 화물차량의 최대 적재량(1톤 이하 화물차 = 최대 적재량 1톤)을 대입하여 산정하였다. 다음 표에서는 카고형 화물차량의 톤급별 평균 연비를 나타내었다.

표 137. 화물자동차의 톤급별 평균 연비

구분	평균 연비(km/l)
1톤 이하	6.52
3톤 이하	5.60
5톤 이하	4.31
8톤 이하	3.48
10톤 이하	2.95
12톤 이하	2.56
15톤 이하	2.41
18톤 이하	2.41

다음은 실내 석면텍스 해체·제거 작업 후 석면함유자재의 운반을 위해 사용되는 카고형 화물 자동차의 에너지 소비량을 산정하였다. 다음 표에서는 화물자동차의 톤급별 거리에 따

31) 한국교통연구원, 「대량수송수단 경제적화물운반거리 단축방안 연구」, 2011

른 경유사용량을 나타내었다.

표 138. 화물자동차의 톤급별 운반 거리에 따른 경유사용량

구분	평균 연비(km/l)	5km 운반(l)	10km 운반(l)	15km 운반(l)	20km 운반(l)
1톤 이하	6.52	0.7669	1.5337	2.3006	3.0675
3톤 이하	5.60	0.8929	1.7857	2.6786	3.5714
5톤 이하	4.31	1.1601	2.3202	3.4803	4.6404
8톤 이하	3.48	1.4368	2.8736	4.3103	5.7471
10톤 이하	2.95	1.6949	3.3898	5.0847	6.7797
12톤 이하	2.56	1.9531	3.9063	5.8594	7.8125
15톤 이하	2.41	2.0747	4.1494	6.2241	8.2988
18톤 이하	2.41	2.0747	4.1494	6.2241	8.2988

석면함유자재 운반에 관련한 온실가스 배출량 산정은 「온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」에 명시된 '이동연소[도로] 부문 배출량 산정 방법론 Tier 1 산정방법론'을 적용하였다. 이는 이동연소에 대한 연료 종류별 사용량을 활동자료로 하고, 기본 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하는 방법이며, 사용 연료 종류(i)에 따른 온실가스 배출량 Ei,j의 산정은 다음 식에 나타내었다.

$$E_{ij} = \sum(Q_i \times EC_i \times EF_{ij} \times F_{eq,i} \times 10^{-9})$$

여기서,

E_{ij} : 연료종류(i) 사용에 따른 온실가스(j)의 배출량($kgCO_2$-e)

Q_i : 연료종류(i)의 연료소비량(l)

EC_i : 연료종류(i)의 순발열량(MJ/l-연료)

EF_{ij} : 연료종류(i)에 대한 온실가스(j)의 배출계수(kg/TJ)

$F_{eq,i}$: 온실가스(j)의 등가계수(CO_2=1, CH_4=4, N_2O=310)

i : 연료종류

화물자동차의 온실가스를 산정할 시 연료 종류는 화물차 유류 사용 빈도가 가장 높은 '경유'를 선택하여 산정하였다. 화물 자동차의 연료인 경유의 발열량은 「2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인」에 명시된 순발열량 35.4MJ/l를 적용하였다. 연료 종류의 순발열량(ECi)과 경유의 온실가스별 기본 배출계수(EFi,j)는 「2006 IPCC 국가 인벤토리 작성을 위한 가이드라인」에 명시된 값을 사용하였다. 따라서 온실가스 기본 배출계수는 등가계수인 CO_2=1, CH_4=4, N_2O=310의 값을 적용하고 합산하여 온실가스(등가계수 1)의 배출계수를 산정하였다. 그 내용은 다음 표와 같다.

표 139. 경유의 총발열량 및 순발열량

구분	단위	총발열량	순발열량
경유	MJ/l	37.9	35.4

표 140. 경유의 온실가스 기본 배출계수

연료종류	기본 배출계수(kg/TJ)			
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2-e
경유	74,100	3.9	3.9	75324.6

「온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」에 명시된 이동연소[도로] 부문 배출량 산정 방법론 (2)식에 적용하여 화물자동차의 톤급 종류와 이동 거리에 따른 온실가스 발생량을 산정하였다. 그 결과에 대한 내용은 다음 표와 같다.

표 141. 화물자동차의 톤급별 거리에 따른 온실가스 발생량(단위 : kgCO2-e)

구분	5km	10km	15km	20km
1톤 이하	2.0449	4.0896	6.1345	8.1795
3톤 이하	2.3809	4.7616	7.1425	9.5231
5톤 이하	3.0934	6.1868	9.2802	12.3736
8톤 이하	3.8312	7.6624	11.4934	15.3246
10톤 이하	4.5194	9.0389	13.5583	18.0780
12톤 이하	5.2079	10.4161	15.6240	20.8320
15톤 이하	5.5322	11.0643	16.5965	22.1287
18톤 이하	5.5322	11.0643	16.5965	22.1287

산정 방법론 식을 이용하여 평균 연비에 따른 연료소비량과 경유의 순발열량, 온실가스 배출계수, 등가계수를 대입하여 온실가스 발생량을 산정하였고, 운반거리는 적재 시 차량연비 효율의 변화가 가장 적은 20km를 최대거리의 범위로 적용하였다.[32)]

카고형 화물차의 평균 연비는 최대 적재 시를 포함하는 값으로 추정하여 온실가스 발생량을 산정하였다. 텍스의 단위면적 중량(7.5kg/㎡)을 최대 적재량에 대입하여 적재되는 텍스의 면적을 산출하였으며, 이를 화물차톤급별 거리에 따른 온실가스 발생량에 대입하여 운반 시 텍스의 단위면적당 온실가스 발생량을 산정하였다. 텍스 운반 시 화물차의 온실가스 발생량을 통해 텍스의 단위면적당 온실가스 발생량($kgCO_2$-e/㎡)을 산정하였고, 결과는 다음 표와 같다.

32) 김태현 외 2인, 순환골재 생산의 에너지 소비량 및 CO_2 배출저감 가능성에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 통권 24호, 2013

표 142. 적재되는 텍스 면적(단위 : ㎡)

구분	텍스 면적
1톤 이하	133.33
3톤 이하	400
5톤 이하	666.67
8톤 이하	1066.67
10톤 이하	1333.33
12톤 이하	1600
15톤 이하	2000
18톤 이하	2400

표 143. 운반 시 텍스 단위면적(㎡) 당 온실가스 발생량(단위 : kgCO2-e/㎡)

구분	5km	10km	15km	20km
1톤 이하	0.0153	0.0307	0.0460	0.0613
3톤 이하	0.0060	0.0119	0.0179	0.0238
5톤 이하	0.0046	0.0093	0.0139	0.0186
8톤 이하	0.0036	0.0072	0.0108	0.0144
10톤 이하	0.0034	0.0068	0.0102	0.0136
12톤 이하	0.0033	0.0065	0.0098	0.0130
15톤 이하	0.0028	0.0055	0.0083	0.0111
18톤 이하	0.0023	0.0046	0.0069	0.0092

나. 슬레이트 폐기물 운반 및 처리 단계 온실가스 발생량

슬레이트 폐기물의 운반 및 처리 단계에서의 온실가스 발생 장비 및 온실가스 발생 근거는 텍스 폐기물의 운반 및 처리 단계와 똑같다. 따라서 화물자동차의 톤급별 평균 연비, 화물자동차의 톤급별 운반거리에 따른 경유사용량, 사용 연료 종류에 따른 온실가스 발생량 산정식, 경유의 순발열량, 경유의 온실가스 기본배출계수, 화물자동차 톤급별 거리에 따른 온실가스 발생량에 관한 모든 데이터는 텍스 폐기물 운반 및 처리 단계와 동일한 데이터를 적용하였다. 그 내용은 다음과 같다.

표 144. 화물자동차의 톤급별 평균 연비

구분	평균 연비(km/l)
1톤 이하	6.52
3톤 이하	5.60
5톤 이하	4.31
8톤 이하	3.48
10톤 이하	2.95
12톤 이하	2.56
15톤 이하	2.41
18톤 이하	2.41

표 145. 화물자동차의 톤급별 운반 거리에 따른 경유사용량

구분	평균 연비(km/l)	5km 운반(l)	10km 운반(l)	15km 운반(l)	20km 운반(l)
1톤 이하	6.52	0.7669	1.5337	2.3006	3.0675
3톤 이하	5.60	0.8929	1.7857	2.6786	3.5714
5톤 이하	4.31	1.1601	2.3202	3.4803	4.6404
8톤 이하	3.48	1.4368	2.8736	4.3103	5.7471
10톤 이하	2.95	1.6949	3.3898	5.0847	6.7797
12톤 이하	2.56	1.9531	3.9063	5.8594	7.8125
15톤 이하	2.41	2.0747	4.1494	6.2241	8.2988
18톤 이하	2.41	2.0747	4.1494	6.2241	8.2988

$$E_{ij} = \sum(Q_i \times EC_i \times EF_{ij} \times F_{eq,i} \times 10^{-9})$$

여기서,

E_{ij} : 연료종류(i) 사용에 따른 온실가스(j)의 배출량($kgCO_2$-e)

Q_i : 연료종류(i)의 연료소비량(l)

EC_i : 연료종류(i)의 순발열량(MJ/l-연료)

EF_{ij} : 연료종류(i)에 대한 온실가스(j)의 배출계수(kg/TJ)

$F_{eq,i}$: 온실가스(j)의 등가계수(CO_2=1, CH_4=4, N_2O=310)

i : 연료종류

표 146. 경유의 총발열량 및 순발열량

구분	단위	총발열량	순발열량
경유	MJ/l	37.9	35.4

표 147. 경유의 온실가스 기본 배출계수

연료종류	기본 배출계수(kg/TJ)			
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2-e
경유	74,100	3.9	3.9	75324.6

표 148. 화물자동차의 톤급별 거리에 따른 온실가스 발생량(단위 : kgCO2-e)

구분	5km	10km	15km	20km
1톤 이하	2.0449	4.0896	6.1345	8.1795
3톤 이하	2.3809	4.7616	7.1425	9.5231
5톤 이하	3.0934	6.1868	9.2802	12.3736
8톤 이하	3.8312	7.6624	11.4934	15.3246
10톤 이하	4.5194	9.0389	13.5583	18.0780
12톤 이하	5.2079	10.4161	15.6240	20.8320
15톤 이하	5.5322	11.0643	16.5965	22.1287
18톤 이하	5.5322	11.0643	16.5965	22.1287

다만 한 가지 다른 것은 슬레이트의 단위면적 중량(10.5kg/㎡)이 텍스의 단위면적 중량(7.5kg/㎡)과 다른 것이다. 따라서 적재되는 면적이 다르며 단위면적당 온실가스 발생량의 변화도 다르게 된다. 따라서 슬레이트의 단위면적 중량을 최대 적재량에 대입하여 적재되는 슬레이트의 면적을 산출하였으며, 이를 화물차톤급별 거리에 따른 온실가스 발생량에 대입하여 운반 시 슬레이트의 단위면적당 온실가스 발생량을 산정하였다. 슬레이트 운반 시 화물차의 온실가스 발생량을 통해 슬레이트의 단위면적당 온실가스 발생량($kgCO_2-e/㎡$)을 산정하였고, 결과는 다음 표와 같다.

표 149. 적재되는 슬레이트 면적(단위 : ㎡)

구분	텍스 면적
1톤 이하	95.24
3톤 이하	285.71
5톤 이하	476.19
8톤 이하	761.90
10톤 이하	952.38
12톤 이하	1142.86
15톤 이하	1428.57
18톤 이하	1714.29

표 150. 운반 시 슬레이트 단위면적(㎡) 당 온실가스 발생량(단위 : kgCO2-e/㎡)

구분	5km	10km	15km	20km
1톤 이하	0.0215	0.0429	0.0644	0.0859
3톤 이하	0.0083	0.0167	0.0250	0.0333
5톤 이하	0.0065	0.0130	0.0195	0.0260
8톤 이하	0.0050	0.0101	0.0151	0.0201
10톤 이하	0.0047	0.0095	0.0142	0.0190
12톤 이하	0.0046	0.0091	0.0137	0.0182
15톤 이하	0.0039	0.0077	0.0116	0.0155
18톤 이하	0.0032	0.0065	0.0097	0.0129

3. 석면함유자재 해체·제거 전과정 온실가스 발생량 산정

가. 텍스 해체·제거 전과정 온실가스 발생량 산정

석면 폐기물 해체·제거 전과정 온실가스 발생량은 각 단계별 온실가스 발생량을 종합하여 산정하였고 그 내용은 다음과 같다.

텍스 해체철거 공사 시 사용한 장비를 통해 발생하는 단위면적 당 온실가스 발생량은 평균 $0.1252kgCO_2eq/㎡$으로 산출되었다. 이를 통해 텍스 해체철거 시 발생하는 온실가스 발생량 산정식을 도출하였으며, 이는 다음 식에 나타내었다.

$$Y_{tex} = 0.1252\ X_{tex,㎡}$$

여기서,

Y_{tex} : 텍스 해체철거 작업 시 온실가스 총 배출량($kgCO_2eq$)

0.1252 : 텍스 단위면적당 평균 온실가스 배출량($kgCO_2/㎡$)

$X_{tex,㎡}$: 해체철거하려는 텍스 면적($㎡$)

다음 산정결과를 이용하여 화물차 톤급별 이동거리 1km에 따른 온실가스 발생량을 산정하였으며 다음 그림에 나타내었다.

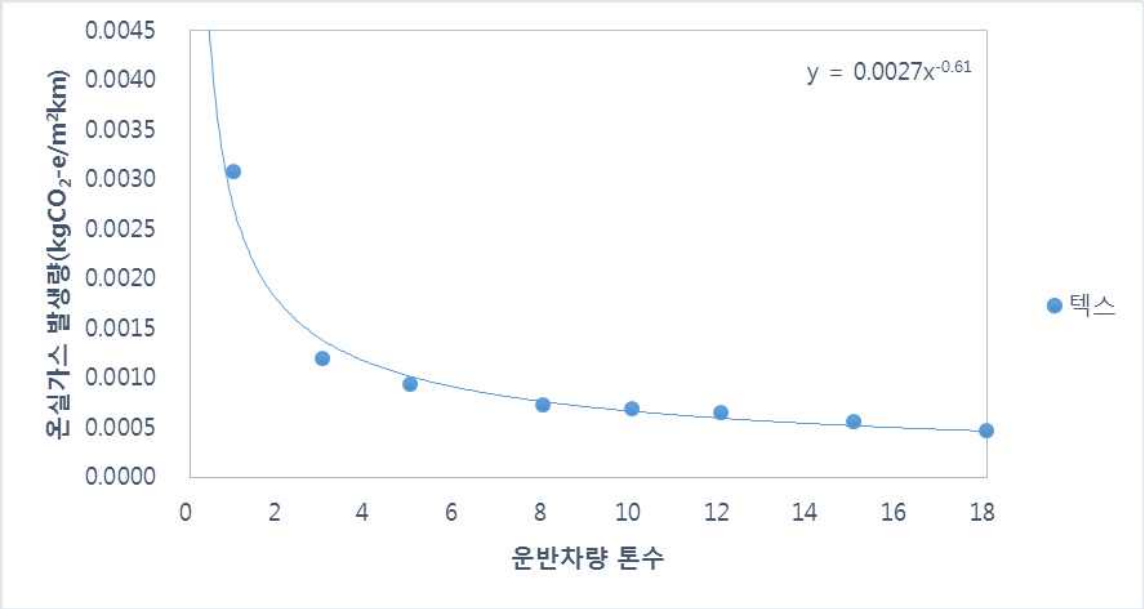


그림 49. 텍스 운반 차량 톤수에 따른 온실가스 발생량

그림과 같이 텍스 운반 시 화물차의 톤급별 온실가스 발생량 산정식을 도출하였고, 그 내용은 다음 식과 같다.

$$Y_{tex} = 0.0027\ T^{-0.610} \times M$$

여기서,

Y_{tex} : 텍스 운반 시 온실가스 총 배출량($kgCO_2eq/km$)

T : 톤급별 텍스 운반차량 톤수

M : 운반거리(km)

위의 내용을 바탕으로 **텍스의 해체철거와 운반 및 매립을 통해 도출된 온실가스 발생량 추정 모델**은 다음 식과 같다.

$$y_{tex} = 0.125x_{tex} + (0.0027 \times T^{-0.610} \times M)$$

여기서,
y_{tex} : 석면텍스 해체·제거와 운반에 따른 온실가스 총 배출량($kgCO_2eq$)
x_{tex} : 해체·제거하려는 석면텍스 면적
T : 톤급별 석면텍스 운반 차량 톤수
M : 운반거리(km)

나. 슬레이트 해체·제거 전과정 온실가스 발생량 산정

슬레이트 해체철거 공사 시 사용한 장비를 통해 발생하는 단위면적 당 온실가스 발생량은 평균 $0.0265kgCO_2eq/㎡$으로 산출되었다. 이를 통해 텍스 해체철거 시 발생하는 온실가스 발생량 산정식을 도출하였으며, 이는 다음 식에 나타내었다.

$$Y_{slate} = 0.0265\ X_{slate,㎡}$$

여기서,

Y_{slate}	:	슬레이트 해체철거 작업 시 온실가스 총 배출량($kgCO_2eq$)
0.0265	:	슬레이트 단위면적당 평균 온실가스 배출량($kgCO_2/㎡$)
$X_{slate,㎡}$	:	해체철거하려는 슬레이트 면적(㎡)

다음 산정결과를 이용하여 화물차 톤급별 이동거리 1km에 따른 온실가스 발생량을 산정하였으며 다음 그림에 나타내었다.

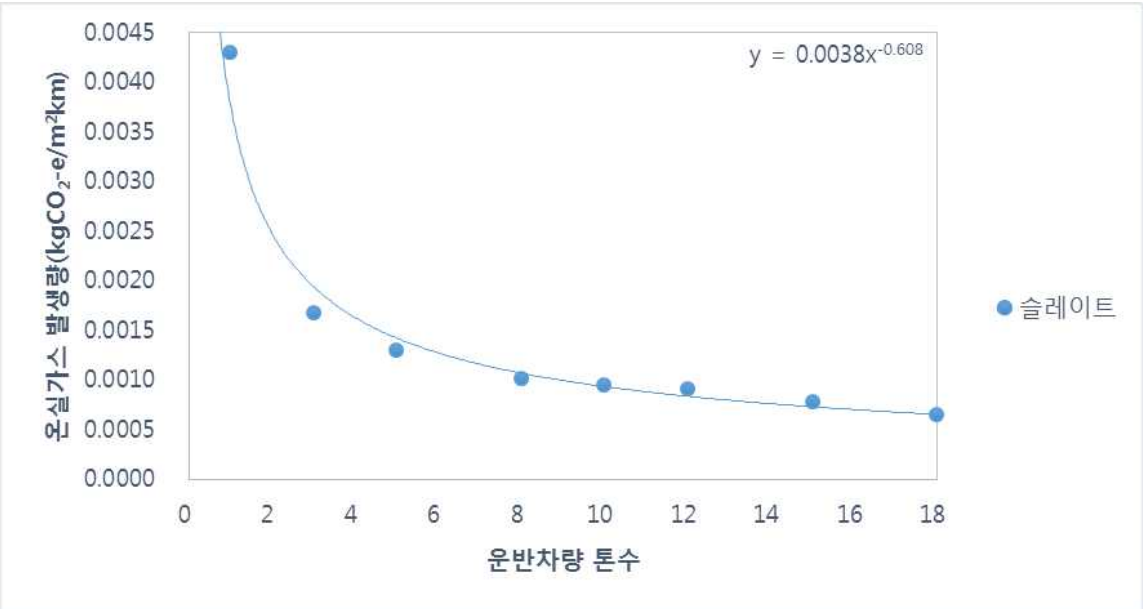


그림 50. 슬레이트 운반차량 톤수에 따른 온실가스 발생량

그림과 같이 슬레이트 운반 시 화물차의 톤급별 온실가스 발생량 산정식을 도출하였고, 그 내용은 다음 식과 같다.

$$Y_{slate} = 0.0038\ T^{-0.606} \times M$$

여기서,

Y_{slate} : 슬레이트 운반 시 온실가스 총 배출량($kgCO_2eq/km$)

T : 톤급별 슬레이트 운반차량 톤수

M : 운반거리(km)

위의 내용을 바탕으로 **슬레이트의 해체철거와 운반 및 매립을 통해 도출된 온실가스 발생량 추정 모델**은 다음 식과 같다.

$$y_{slate} = 0.0264x_{slate} + (0.0038 \times T^{-0.608} \times M)$$

여기서,

y_{slate} : 석면슬레이트 해체·제거와 운반에 따른 온실가스 총 배출량($kgCO_2eq$)

x_{slate} : 해체·제거하려는 석면슬레이트 면적

T : 톤급별 석면슬레이트 운반 차량 톤수

M : 운반거리(km)

3.4 석면함유자재 해체·제거 전과정 처리비용 원단위 도출

1. 석면 사전조사 단계 비용

사전조사 단계는 석면조사와 석면지도 작성 두 가지 작업과정으로 나눌 수 있다. 석면조사와 석면지도 작성의 원가계산은 지식경제부고시 제2011-77호 [엔지니어링산업진흥법 제31조2항] 엔지니어링사업대가의 기준을 참조하였다. 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

표 151. 엔지니어링 사업대가 기준

용어	뜻
실비정액가산방식	직접인건비, 직접경비, 제경비, 기술료와 부가가치세를 합산하여 대가를 산출하는 방식
시공상세도작성비	관련법령에 따라 당해 목적물의 시공을 위하여 도면, 시방서 및 작업계획 등에 따른 시공상세도를 작성하는데 소요되는 비용
직접인건비	당해 업무에 직접 종사하는 엔지니어링기술자의 인건비로서 투입된 인원수에 엔지니어링기술자의 등급별 노임단가를 곱하여 계산
직접경비	당해 업무 수행과 관련이 있는 경비, 공사감리 또는 현장에 상주해야 하는 엔지니어링사업의 경우 주재비는 상주 직접인건비의 30%로 하고 국내 출장여비는 비상주 직접인건비의 10%로 함
제경비	직접비(직접인건비와 직접경비)에 포함되지 아니하고 엔지니어링사업자의 행정운영을 위한 기획, 경영, 총무 분야 등에서 발생하는 간접 경비, 직접인건비의 110~120%로 계산
기술료	직접인건비에 제경비를 합한 금액의 20~40%로 계산

따라서 위의 기준을 참고하여 사전조사 단계의 비용을 산출하였다. 사전조사 단계는 텍스와 슬레이트의 조사과정과 비용이 동일하므로 똑같이 산출하였다.

석면조사 비용은 1일당 비용으로 산출하였다. 그 중 초급기술자와 초급숙련기술자의 직접인건비는 241,981원, 간접재료(필터, 작업복, 장갑)비는 12,316원, 제경비(직접인건비의 110%)는 266,179원, 기술료(직접인건비와 제경비 합의 30%)는 72,594원으로 적용하였다. 따라서 석면조사 비용은 764,172원/일(부가세 포함)로 산출되었다. 고형시료 분석비용은 별도계상 하였다.

석면지도 작성 비용은 장당 비용으로 산출하였다. 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제7조 직접인건비(초급기술자 134,313원, 중급기능사 141,101원)와 제4장 제23조(예정수량 산출)별표 6의 작성난이도 '단순' 및 제4장 제23조(예정수량 산출)별표 5의 시공상세도 '1장'당 단가 산출근거(0.24×초급기술자+0.49×중급기능사)를 적용하여 산정하였다. 따라서 석면지도 작성비용은 111,511원/장(부가세 포함)으로 산출되었다.

석면조사 단계의 인건비, 사용 장비 재료비, 경비의 산출근거와 방법은 다음 표와 같다.

표 152. 사전조사 원가계산서

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
1.사전조사	1) 석면조사 (1일당)	① 직접인건비: 241,981원 - 초급기술자: 134,313원 × 1인 = 134,313원 초급숙련기술자: 107,668원 × 1인 = 107,668원	② 간접재료비: 12,316원 - 필터: 4,540원 × 1조 = 4,540원 작업복: 7,500원 × 1벌 = 7,500원 장갑: 276원 × 1켤레 = 276원 ③ 제경비: 241,981(직접인건비)×110% = 266,179원 ④ 기술료: (241,981(직접인건비)+266,179(제경비))×20% = 101,632원 ⑤ 직접경비: 직접인건비(241,981원)의 30% = 72,594원
		합계: 공급가액(①+②+③+④+⑤) + 부가세(공급가액의 10%) = 694,702원 + 69,470원 = 764,172원	
	2) 석면지도 작성 (단순, 장당)	① 초급기술자: 134,313원 × 0.24인 = 32,235원 ② 중급기능사: 141,101원 × 0.49인 = 69,139원	※ 해당 없음
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 101,374원 + 10,137원 = 111,511원	

1)석면조사 원가계산 산출 근거:

① 인건비 : 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제7조(직접인건비) 적용
② 간접재료비 : 환경부 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조, 폐기물공정시험기준(정도관리규정) 적용
③ 제경비 : 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제9조(제경비) 적용
④ 기술료 : 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제10조(기술료) 적용
⑤ 직접경비 : 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제8조(직접경비) 적용

2)석면지도 작성 원가계산 산출 근거:

①,②는 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제7조(직접인건비) 적용
엔지니어링사업대가기준 제4장 제23조(예정수량 산출)별표 6의 작성난이도 '단순'으로 계상
엔지니어링사업대가기준 제4장 제23조(예정수량 산출)별표 5의 시공상세도 '1장'당 단가로 계상

※ 고형시료 분석비용은 별도계상 하였다. <환경부 석면안전관리법령, 규칙제정에 따른 고형시료 분석비(고시가격): 23,300원/개당 참조>

■ 참고

1. 엔지니어링사업대가기준 제2장 실비정액가산방식 제7조의 엔지니어링기술자의 등급별 노임단가

표 153. 엔지니어링기술자 등급별 노임단가

구 분	건설 및 기타(원)
기술사	319,299
특급기술자	245,203
고급기술자	199,093
중급기술자	175,860
초급기술자	134,313
고급숙련기술자	144,136
중급숙련기술자	141,106
초급숙련기술자	107,668

2. 엔지니어링사업대가기준 제4장 제23조(예정수량 산출)별표 6

【별표 6】 공종별 시공상세도면의 작성 난이도

기타	① 기타 규격, 치수, 연장 등이 불명확하여 시공에 어려움이 예상되는 부위의 각종 상세도면 ② 공사용진입로 및 유지관리도로 위치, 연장, 폭원	보통

[주]
※ 건축물 철거에 따른 상세도면, 측면도, 평면도 작성은 스케일 등 정확도는 필요하지 않고 형태와 치수 표기만으로 가능하므로 단순으로 계상 한다.

3. 엔지니어링사업대가기준 제4장 제23조(예정수량 산출)별표 5

【별표 5】 시공상세도 1장당 단가 산출근거

작성 난이도	1장당 단가 산출근거
단 순	{(0.24 × 초급기술자 노임단가) + (0.49 × 중급기능사 노임단가)}
보 통	{(0.34 × 중급기술자 노임단가) + (0.70 × 중급기능사 노임단가)}
복 잡	{(0.20 × 고급기술자 노임단가) + (0.44 × 중급기술자 노임단가) + (0.91 × 중급기능사 노임단가)}

2. 석면함유자재 해체철거공사 비용

가. 텍스 해체철거공사 비용

해체철거공사에서 텍스와 슬레이트의 품과 일부 작업과정이 다르기 때문에 비용도 다르게 된다. 따라서 텍스와 슬레이트의 해체철거공사 비용을 각각 따로 계산하였다.

텍스 해체철거공사는 사전작업, 석면 해체·제거, 폐기물 처리 및 청소, 폐기물 적재 및 반출 등 네 가지 단계로 나눌 수 있다.

일일작업량 Q값은 국토교통부, 한국건설기술연구원 석면건축자재해체 <2011.하반기개정> 21-1해체철거공사, “6. 석면건축자재해체 내장재 석면해체 공 0.012인 품” 기준하여 8.33㎡로 산출 계상 한 것이다. 일일 작업시간은 국토교통부, 한국건설기술연구원 석면건축자재해체 <2011.하반기개정> [주] “④ 본 품은 일일 작업시간 6시간을 기준한 것이다.”에 따라 6시간을 기준으로 하였다. 내용은 다음 표와 같다.

표 154. 표준품셈 기준 및 일일 작업시간

품목	품	비고
석면해체 공(내장재)	Q = 8.33㎡	한국건설기술연구원 표준품셈 기준 적용
일일 작업시간	6 시간	

텍스 해체철거공사의 투입인원별 업무 내용은 다음 표와 같다.

표 155. 투입인원별 업무내용

투입인원	업무내용
석면해체 공	못 제거 및 자재 하역
보통 인부	포장 비닐설치, 운반, 포장, 밀봉스티커부착, 청소 등
습윤 공/보통 인부	텍스 제거 전, 중, 후 석면분진 비산방지 습윤 작업
관리감독자	석면분진을 들이마시거나 석면분진에 오염되지 않도록 작업방법을 정하고 지휘 하는 업무 석면분진 포집장치, 음압기 등의 장비의 이상 유무 및 점검 필요한 조치를 하는 업무 근로자의 보호구 착용 상황을 점검하는 업무

텍스 해체철거공사의 각 단계별 비용 및 비용 산출근거는 다음과 같다.

1) 노무비

텍스 해체철거공사의 석면해체 공, 보통 인부, 관리감독자의 노무비는 사전작업, 석면 해체·제거, 폐기물 처리 및 청소, 폐기물 적재 및 반출까지 모두 해당되는 것이므로 별도로 계상한다. 석면텍스의 ㎡당 노무비는 한국건설기술연구원의 표준품셈을 적용하였고 석면해체 공 0.12인, 보통 인부 0.017인, 관리감독자 0.044인의 인건비를 합산하여 18,143원으로 산출하였다. 노무비 관련 자세한 내용은 다음 표와 같다.

표 156. 직종별 단위면적당 노무비

직종	단위면적당 노무비
석면해체 공	99,818원 × 0.12인 = 11,978원
보통 인부	83,975원 × 0.017인 = 1,428원
관리감독자(초급숙련기술자)	107,668원 × 0.044인 = 4,737원
해체·제거 노무비	계: 18,143원/㎡

■ 참고

1. 석면해체공과 보통 인부의 노무비 단가는 한국건설기술연구원 표준품셈 및 노무비 단가 기준을 적용하였고 초급숙련기술자의 노무비 단가는 한국엔지니어링협회 공표(경영 2012-3170호)의 엔지니어링 기술자 노임단가를 적용하였다.

번호 \ 공표일	직종명	2013.9.1	2013.1.1
1002	보 통 인 부	83,975	81,443
1003	특 별 인 부	100,936	97,951
1006	비 계 공	150,673	141,535
*1091	석 면 해 체 공	99,818	97,473

구 분	건설 및 기타
기술사	319,299
특급기술자	245,203
고급기술자	199,093
중급기술자	175,860
초급기술자	134,313
고급숙련기술자	144,136
중급숙련기술자	141,106
초급숙련기술자	107,668

2. 노무비 품 및 적용기준

품목	품	비고
석면해체공 (내장재)	0.12인	한국건설기술연구원 표준품셈 기준 적용
보통인부 (내장재)	0.017인	
초급숙련기술자 (내장재)	0.044인	관리감독자는 반경 15Km 이내 또는 동일지역 2개 작업장에 배치 가능함으로 작업참여율 50% 기존산식의 계상방법에 의한 품(0.06인)에서 표준품셈 해체 노무비에 포함된 비닐보양 품(바닥 0.007인, 벽 0.009인)을 제외한 품을 계상

2) 사전작업 단계 비용

사전작업 단계는 격리조치, 위생설비 설치, 작업장 벽·바닥 비닐보양, 음압기 설치 등 네 가지 작업과정으로 나눌 수 있다. 각 과정별 단위면적당 인건비 및 사용 장비 재료비, 경비 등을 각각 구하고 합산하여 사전작업 단계의 비용을 산출하였다.

격리조치 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 경고표지판, 타포린, 안전띠 등 간접재료비는 20원으로 산정하였다. 따라서 격리조치 과정의 비용은 22원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

위생설비 설치 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 비닐시트 비용은 1,531원으로, 샤워기, 배수여과장치, 집수조의 장비손료는 202원으로, 위생설비 틀 손료는 46원으로 산정하였다. 따라서 위생설비 설치 과정의 비용은 1,957원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

작업장 벽·바닥 비닐보양 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 바닥 보양비닐(0.15mm) 비용은 298원으로, 벽 보양비닐(0.08mm) 비용은 609원으로 산정하였다. 따라서 작업장 벽·바닥 비닐보양 과정의 비용은 998원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

음압기 설치 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 음압기 비용은 341원으로, 음압기록장치 비용은 248원으로, 전동공구 비용은 10원으로 산정하였다. 따라서 음압기 설치 과정의 비용은 659원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

이상 각 과정별 비용을 합산하여 사전작업단계의 비용은 3,636원/㎡으로 산출되었다. 텍스 사전작업 단계의 인건비와 사용 장비 재료비, 경비의 산출근거와 방법은 다음 표와 같다.

표 157. 사전작업 원가계산서(㎡당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
2. 사 전 작 업	1) 격리조치	※ 해당 없음	① 간접재료비: 20원 - 경고표지판: 50,000원 × 4EA × 0.00009개 = 18원 타포린: 1,800원 × 0.00009매 = 0원 안전띠: 18,000원 × 0.00009개 = 2원
		합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 20원 + 2원 = 22원	
	2) 위생설비 설치	※ 해당 없음	① 비닐시트: 40,300원 × 0.038㎡ = 1,531원 ② 장비손료: - 샤워기, 배수여과장치, 집수조: 2,021,500원 × 0.0001대 = 202원 ③ 위생설비 틀 손료: 460,000원 × 0.0001대 = 46원
		합계: 공급가액(①+②+③) + 부가세(공급가액의 10%) = 1,779원 + 178원 = 1,957원	
	3) 작업장 벽·바닥 비닐보양	※ 해당 없음	① 바닥 보양비닐(0.15mm): 40,300원 × 0.0074㎡ = 298원 ② 벽 보양비닐(0.08mm): 47,200원 × 0.0129㎡ = 609원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 907원 + 91원 = 998원	
	4) 음압기 설치	※ 해당 없음	① 음압기: 2,845,000원 × 0.00012대 = 341원 ② 음압기록장치: 2,070,000 × 0.00012대 = 248원 ③ 전동공구 : 85,460 × 0.00012대 = 10원
		합계: 공급가액(①+②+③) + 부가세(공급가액의 10%) = 599원 + 60원 = 659원	
			계: 3,636원

1)격리조치 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용

2)위생설비 및 배수여과장치 설치 원가계산 산출 근거: ①,②,③은 대한건설협회적산 805쪽 기계화시공/경비산정 모터 수량산출 산식 적용

3)작업장 벽·바닥 비닐보양 원가계산 산출 근거: ①,②는 대한건설협회적산 600쪽 건축/수장공사 방습필름 설치 수량산출 산식 적용

4)음압기 설치 원가계산 산출근거: ①,②,③은 대한건설협회적산 787쪽 기계화시공/경비산정 공기압축기 수량산출 산식 적용

※ 발전기(작업장 전기 공급), 콤푸레샤(비닐시트 밀폐작업 시 콤푸레샤 에어공급), 에어타카(벽 밀폐작업 시 비닐 탈락 방지 비닐시트 고정) 등 장비들은 현장 여건에 따라 필요한 경우 별도계상 하였다.

■ 참고

1. 사전작업 단계 품목 및 적용기준

품목	품	비고
경고표지판, 타포린, 안전띠	0.00009개	대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 (1233×10^{-7})산식과 Q=8.33㎡를 적용하여 계상
비닐시트	0.038㎡	견적서의 비닐재료 단가(부록)와 Q=8.33㎡를 적용하여 계상
샤워기, 배수여과장치, 집수조, 위생설비 틀	0.0001대	대한건설협회적산 805쪽 기계화시공/기계경비산정 25-1 모터 (1488×10^{-7})산식과 Q=8.33㎡를 적용하여 계상
벽, 바닥 비닐	바닥 0.0074㎡ 벽 0.0129㎡	견적서의 비닐재료 단가(부록)와 Q=8.33㎡를 적용하여 계상
음압기, 음압기록장치, 전동공구	0.00012대	견적서의 단가(부록), 대한건설협회적산 787쪽 기계화시공/경비산정 공기압축기 수량산출 (1663×10^{-7})산식과 Q=8.33㎡ 적용하여 계상

3) 석면 해체·제거 단계 비용

석면 해체·제거 단계는 개인보호구 착용, 약물살포, 석면농도 측정(작업 전, 작업 중), 이동식 비계 조립, 포장비닐 설치 등 다섯 가지 작업과정으로 나눌 수 있다. 각 과정별 단위면적당 인건비 및 사용 장비 재료비, 경비 등을 각각 구하고 합산하여 석면 해체·제거 단계의 비용을 산출하였다.

개인보호구 착용 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 보호구(반면마스크, 안전장화, 고글)의 손료는 20원으로, 보호구 소모품(필터, 방진복, 장갑, 면장갑) 비용은 9,367원으로 산정하였다. 따라서 개인보호구 착용 과정의 비용은 10,326원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

약물살포 과정의 인건비(보통 인부)는 2,519원으로, 사용 장비 재료비 중 분무기 손료는 38원으로 산정하였다. 따라서 약물살포 과정의 비용은 2,813원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

석면농도 측정(작업 전, 작업 중) 과정의 1일 인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)는 241,981원으로, 사용 장비 재료비 중 간접재료(필터, 방진작업복, 방진장갑)비는 24,632원으로, 제경비(직접인건비의 110%)는 266,179원으로, 기술료(직접인건비와 제경비 합의 20%)는 101,632원으로, 직접경비(상주 직접인건비의 30%)는 40,294원으로 산정하였다. 1일 작업량은 표준품셈의 일일작업량을 적용하여 85㎡로 적용하였다. 본 단계의 석면농도 측정은 작업 전·중·후 중 작업 전과 작업 중 만 해당하기에 합계에 2/3를 곱하여 산정하였다. 따라서 석면농도 측정(작업 전, 작업 중) 과정의 비용은 5,821원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

이동식 비계 조립 과정의 인건비(보통 인부)는 3,989원으로, 사용 장비 재료비는 204원으로 산정하였다. 따라서 이동식 비계 조립 과정의 비용은 4,612원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

포장비닐 설치 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 포장비닐의 비용은 161원으로 산정하였다. 따라서 포장비닐 설치 과정의 비용은 161원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

이상 각 과정별 비용을 합산하여 석면 해체·제거 단계 비용은 23,749원/㎡으로 산출되었다. 텍스 해체·제거 단계의 인건비와 사용 장비 재료비, 경비의 산출근거와 방법은 다음 표와 같다.

표 158. 석면 해체·제거 원가계산서(㎡당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
3. 석면 해체·제거	1) 개인보호구 착용	※ 해당 없음	① 보호구 손료: 20원 - 반면마스크: 35,000원 × 0.0003개 = 11원 안전장화: 27,600원 × 0.0003개 = 8원 고글: 4,600원 × 0.0003개 = 1원 ② 보호구 소모품: 9,367원 - 필터: 4,540원 × 0.84조 = 3,814원 방진복: 6,000원 × 0.84조 = 5,040원 장갑: 276원 × 0.84조 = 232원 면장갑: 334원 × 0.84조 = 281원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 9,387원 + 939원 = 10,326원	
	2) 약물살포(습윤화)	① 보통 인부: 83,975원 × 0.03인 = 2,519원	② 분무기 손료: 인건비의 1.5% = 2,519원 × 1.5% = 38원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 2,557원 + 256원 = 2,813원	
	3) 석면농도 측정(작업 전+작업 중)	① 직접인건비: 241,981원 - 초급기술자: 134,313원 × 1인 = 134,313원 초급숙련기술자: 107,668원 × 1인 = 107,668원	② 간접재료비: 24,632원 - 필터: 4,540원 × 2조 = 9,080원 방진작업복: 7,500원 × 2벌 = 15,000원 방진장갑: 276원 × 2켤레 = 552원 ③ 제경비: 241,981(직접인건비) × 110% = 266,179원 ④ 기술료: (241,981(직접인건비) + 266,179(제경비)) × 20% = 101,632원 ⑤ 직접경비: 상주 직접인건비(134,313원)의 30% = 40,294원 ⑥ 일일작업량: 1인(8.33㎡의) 배수17㎡ × 5인 = 85㎡
		합계: 2/3 × (공급가액(①+②+③+④+⑤) + 부가세(공급가액의 10%)) ÷ ⑥ = 2/3 × (674,718원 + 67,472원) ÷ 85㎡ = 5,821원	
	4) 이동식 비계 조립	① 보통 인부: 83,975원 × 0.0475인 = 3,989원	② 재료비: 28,272원 × 0.0072 = 204원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 4,193원 + 419원 = 4,612원	
	5) 포장비닐 설치	※ 해당 없음	① 포장비닐: 40,300원 × 0.004㎡ = 161원
		합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 161원 + 16원 = 177원	
			계: 23,749원

1)개인보호구 착용 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용
2)약물살포 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 581쪽 건축/칠 공사 석면방지페인트 1회 품 적용
②는 대한건설협회적산 10쪽 경장비 등의 손료 1.5% 적용
3)석면농도 측정(작업 전+작업 중) 원가계산 산출 근거: ①,②,③,④,⑤는 1.1)의 석면조사 원가계산 산출 근거와 같음
⑥은 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비)의 일일작업량 적용
4)이동식 비계 조립 원가계산 산출근거: ①은 대한건설협회적산 64쪽 가설공사/강관조립 말 비계 3개월 품, 단가 적용
②는 대한건설협회적산 67쪽 공기에 대한 손율 3개월 6% 적용
5)포장비닐 설치 원가계산 산출근거: ①은 환경부고시 제2012-78호 제4조(필름포장재)의 규격 적용

※ 3.3) 중 석면 해체·제거단계에서의 석면농도 측정은 작업 전·중·후 중 작업 전과 작업 중 만 해당하기에 합계에 2/3를 곱하여 계상함.

■ 참고

1. 3.3)의 석면농도 측정 관련 내용은 3.3-1의 1.1) 내용 참조

2. 석면 해체·제거단계 품목 및 적용기준

표 159. 석면 해체·제거단계 품목 및 적용기준

품목	품, 손율	비고
반면마스크, 안전장화, 고글	0.0003개	견적서의 단가(부록)와 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용
필터, 방진복, 장갑	0.84조	견적서의 단가(부록)와 3.5인 1일2회 폐기한 것으로 계상하여 적용
분무기	0.015	대한건설협회적산 10쪽 경장비 등의 손료 1.5% 적용
보통 인부(습윤화)	0.003인	대한건설협회적산 581쪽 건축/칠 공사 석면방지페인트 1회 품 적용
보통 인부(비계조립)	0.0475인	대한건설협회적산 64쪽 가설공사/강관조립 말 비계 3개월 품, 단가 및 대한건설협회적산 67쪽 공기에 대한 손율 3개월 6% 적용
비계 재료비	0.0072	
포장비닐	0.004㎡	견적서의 비닐재료 단가(부록)와 Q=8.33㎡를 적용하여 계상

① 마스크, 장화, 고글(보안경)은 손료 계상한 것 이다.
② 개인보호구는 3.5인(해체공 1인, 보통 인부 1인, 습윤공 1인, 관리감독자 0.5인) 일일 2회(오전, 오후) 지급 착용으로 계상한 것이다.

3. 석면농도 측정 일일작업량은 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈의 기준을 적용하여 계상하였다.

표 160. 한국건설기술연구원 표준품셈 석면해체 공 기준 자재별 일일 작업량

한국건설기술연구원 표준품셈 석면해체 공 기준 자재별 일일 작업량						
구 분	수 량(품)	단 가	금 액	산 식	일일 작업량	측정면적 계상 배수
슬레이트	0.045인	97,473	4,386.2	97,473 / 4,386.2 =	22.22㎡	약 45㎡
텍 스	0.12인	97,473	11,696.7	97,473 / 11,696.7 =	8.33㎡	약 17㎡
뿜칠 재	0.5인	97,473	48,736.5	97,473 / 48,736.5 =	2㎡	약 4㎡

【일일 해체작업량 기준 산출서】
① (석면해체 공) 5인 투입 작업하는 것을 전제로 계상한 것이다.
② 일일작업량은 표준품셈기준 작업량의 배수를 적용하여 계산한 것이다.
일일 작업량 : 1인(8.33㎡의) 배수17㎡ × 5인 = 85㎡/(일일작업량)

4) 폐기물 처리 및 청소 단계 비용

폐기물 처리 및 청소 단계는 폐기물 밀봉 및 스티커 부착, 벽바닥 습식청소 등 두 가지 작업과정으로 나눌 수 있다. 각 과정별 단위면적당 인건비 및 사용 장비 재료비, 경비 등을 각각 구하고 합산하여 폐기물 처리 및 청소단계의 비용을 산출하였다.

폐기물 밀봉 및 스티커 부착 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 밀봉테이프의 비용은 24원으로, 스티커의 비용은 104원으로 산정하였다. 테이프와 스티커는 본 단계의 폐기물 밀봉 및 스티커 부착과정과 폐기물 적재 및 반출 단계의 소모품 밀봉 및 스티커 부착과정으로 나누어 쓰기에 본 단계에서는 테이프와 스티커 비용의 합계에 1/2을 곱하여 계상하였다. 따라서 폐기물 밀봉 및 스티커 부착 과정의 비용은 70원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

벽바닥 습식청소 과정의 인건비(보통 인부)는 2,771원으로, 사용 장비 재료비 중 HEPA 청소기의 비용은 31원으로 산정하였다. 따라서 벽바닥 습식청소 과정의 비용은 3,082원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

이상 각 과정별 비용을 합산하여 폐기물 처리 및 청소 단계 비용은 3,152원/㎡으로 산출되었다. 텍스 폐기물 처리 및 청소 단계의 인건비와 사용 장비 재료비, 경비의 산출근거와 방법은 다음 표와 같다.

표 161. 폐기물 처리 및 청소 원가계산서(㎡당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
4. 폐기물 처리 및 청소	1) 폐기물 밀봉 및 스티커 부착	※ 해당 없음	① 밀봉테이프: 1,270원 × 0.0187m = 24원 ② 스티커: 173원 × 0.6장 = 104원
		합계: (공급가액(1/2×(①+②)) + 부가세(공급가액의 10%)) = 64원 + 6원 = 70원	
	2) 벽바닥 습식청소	① 보통인부: 83,975원 × 0.033㎡ = 2,771원	② HEPA 청소기: 260,000원 × 0.00012대 = 31원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 2,802원 + 280원 = 3,082원	
			계: 3,152원

1)폐기물 밀봉 및 스티커 부착 산출 근거: ①,②는 산업안전보건규칙 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)의 규정 적용

2)벽바닥 습식청소 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 71쪽 가설공사/건축물 현장정리 (철근콘크리트조 품)적용
②는 대한건설협회적산 787쪽 기계화시공/경비산정 공기압축기 수량산출 산식 적용

※ 4.1) 중 밀봉테이프와 스티커는 폐기물 처리 및 청소단계의 폐기물 밀봉 및 스티커 부착과정과 폐기물 적재 및 반출단계의 소모품 밀봉 및 스티커 부착과정으로 나누어 쓰기에 본 단계에서는 합계에 1/2을 곱하여 계상함.

■ 참고

1. 폐기물 처리 및 청소단계 품목 및 적용기준

품목	품, 손율	비고
테이프	0.0187m	견적서의 단가(부록)와 Q=8.33㎡를 적용하여 계상
스티커	0.6장	
보통 인부(습식청소)	0.033㎡	대한건설협회적산 71쪽 가설공사/건축물 현장정리(철근콘크리트조 품) 적용
HEPA 필터 청소기	0.00012대	견적서의 단가(부록)와 대한건설협회적산 787쪽 기계화시공/경비산정 공기압축기 수량산출 산식 적용

5) 폐기물 적재 및 반출 단계 비용

폐기물 적재 및 반출 단계는 석면농도 측정(작업 후), 소모품 밀봉 및 스티커 부착, 표지판 설치 등 세 가지 작업과정으로 나눌 수 있다. 각 과정별 단위면적당 인건비 및 사용 장비 재료비, 경비 등을 각각 구하고 합산하여 폐기물 처리 및 청소단계의 비용을 산출하였다.

석면농도 측정(작업 후) 과정의 1일 인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)는 241,981원으로, 사용 장비 재료비 중 간접재료(필터, 방진작업복, 방진장갑)비는 24,632원으로, 제경비(직접인건비의 110%)는 266,179원으로, 기술료(직접인건비와 제경비 합의 20%)는 101,632원으로, 직접경비(상주 직접인건비의 30%)는 40,294원으로 산정하였다. 1일 작업량은 표준품셈의 일일 작업량을 적용하여 85㎡로 적용하였다. 본 단계의 석면농도 측정은 작업 전·중·후 중 작업 후 만 해당하기에 합계에 1/3을 곱하여 산정하였다. 따라서 석면농도 측정(작업 후) 과정의 비용은 2,911원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

소모품 밀봉 및 스티커 부착 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 밀봉테이프의 비용은 24원으로, 스티커의 비용은 104원으로, 폐기용 백 비용은 359원으로 산정하였다. 테이프와 스티커는 본 단계의 소모품 밀봉 및 스티커 부착과정과 폐기물 처리 및 청소 단계의 폐기물 밀봉 및 스티커 부착과정으로 나누어 쓰기에 본 단계에서는 테이프와 스티커 비용의 합계에 1/2을 곱하여 계상하였다. 따라서 소모품 밀봉 및 스티커 부착 과정의 비용은 465원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

표지판 설치 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 석면적재경고표지판의 비용은 4원으로 산정하였다. 따라서 표지판 설치 과정의 비용은 4원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

이상 각 과정별 비용을 합산하여 폐기물 적재 및 반출 단계 비용은 3,380원/㎡으로 산출되었다. 텍스 폐기물 적재 및 반출 단계의 인건비와 사용 장비 재료비, 경비의 산출근거와 방법은 다음 표와 같다.

표 162. 폐기물 적재 및 반출 원가계산서(㎡당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
5. 폐기물 적재 및 반출	1) 석면농도 측정(작업 후)	① 직접인건비: 241,981원 - 초급기술자: 134,313원 × 1인 = 134,313원 초급숙련기술자: 107,668원 × 1인 = 107,668원	② 간접재료비: 24,632원 - 필터: 4,540원 × 2조 = 9,080원 방진작업복: 7,500원 × 2벌 = 15,000원 방진장갑: 276원 × 2켤레 = 552원 ③ 제경비: 241,981(직접인건비)×110% = 266,179원 ④ 기술료: (241,981(직접인건비)+266,179(제경비))×20% = 101,632원 ⑤ 직접경비: 상주 직접인건비(134,313원)의 30% = 40,294원 ⑥ 일일작업량: 1인(8.33㎡의) 배수17㎡ × 5인 = 85㎡
		합계: 1/3 × (공급가액(①+②+③+④+⑤) + 부가세(공급가액의 10%)) ÷ ⑥ = 1/3 × (674,718원 + 67,472원) ÷ 85㎡ = 2,911원	
	2) 소모품 밀봉 및 스티커 부착	※ 해당 없음	① 밀봉테이프: 1,270원 × 0.0187m = 24원 ② 스티커: 173원 × 0.6장 = 104원 ③ 폐기용 백: 449원 × 0.8매 = 359원
		(공급가액(1/2×(①+②)+③) + 부가세(공급가액의 10%)) = 423원 + 42원 = 465원	
	3) 표지판 설치	※ 해당 없음	① 석면적재경고표지판: 39,000원 × 0.00009개 = 4원
		합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 4원 + 0원 = 4원	
			계: 3,380원

1)석면농도 측정(작업 후) 원가계산 산출 근거: ①,②,③,④,⑤는 1.1)의 석면조사 원가계산 산출 근거와 같음
⑥은 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비)의 일일작업량 적용

2)소모품 밀봉 및 스티커 부착 원가계산 산출 근거: ①,②는 산업안전보건규칙 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)의 규정 적용
③은 산업안전보건규칙 제485조(석면오염 장비 등의 처리)의 규정 적용

3)폐기물 임시보관 및 표지판 설치 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용

※ 5.1) 중 폐기물 적재 및 반출단계에서의 석면농도 측정은 작업 전·중·후 중 작업 후만 해당하기에 합계에 1/3을 곱하여 계상함.
5.2) 중 밀봉테이프와 스티커는 폐기물 처리 및 청소단계의 폐기물 밀봉 및 스티커 부착과정과 폐기물 적재 및 반출단계의 소모품 밀봉 및 스티커 부착과정으로 나누어 쓰기에 본 단계에서는 합계에 1/2을 곱하여 계상함.

■ 참고

1. 5.1)의 석면농도 측정 관련 내용은 3.3-2의 1.1) 내용 참조

2. 5.2)의 밀봉테이프 및 스티커 관련 내용은 3.3-1의 4.1)의 내용 참조

3. 폐기물 적재 및 반출단계의 품목 및 적용기준

품목	품	비고
폐기용 백	0.8매	견적서의 단가(부록)와 Q=8.33㎡를 적용하여 계상
석면적재경고표지판	0.00009개	견적서의 단가(부록)와 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 (1233×10^{-7})산식과 Q=8.33㎡를 적용하여 계상

나. 슬레이트 해체철거공사 비용

슬레이트 해체철거공사는 사전작업, 석면 해체·제거, 폐기물 처리 및 청소, 폐기물 적재 및 반출 등 네 가지 단계로 나눌 수 있다.

일일작업량 Q값은 국토교통부, 한국건설기술연구원 석면건축자재해체 <2011.하반기개정> 21-1해체철거공사,"6.석면건축자재해체 외장재 석면해체 공 0.045인 품"을 기준하여 산출 계상 한 것이다. 일일 작업시간은 국토교통부, 한국건설기술연구원 석면건축자재해체 <2011.하반기개정> [주] "④ 본 품은 일일 작업시간 6시간을 기준한 것이다."에 따라 6시간을 기준으로 하였다. 그 내용은 다음 표와 같다.

표 163. 표준품셈 기준 및 일일 작업시간

품목	품	비고
석면해체 공(내장재)	Q = 22.22㎡	한국건설기술연구원 표준품셈 기준 적용
일일 작업시간	6 시간	

슬레이트 해체철거공사의 투입인원별 업무 내용은 다음 표와 같다.

표 164. 투입인원별 업무내용

투입인원	업무내용
석면해체 공	지붕위에서 못 제거 및 자재 하역
보통 인부	포장 비닐설치, 운반, 포장, 밀봉스티커부착, 청소 등
습윤 공/보통 인부	슬레이트 제거 전, 중, 후 석면분진 비산방지 습윤 작업
관리감독자	석면분진을 들이마시거나 석면분진에 오염되지 않도록 작업방법을 정하고 지휘 하는 업무 석면분진 포집장치, 음압기 등의 장비의 이상 유무 및 점검 필요한 조치를 하는 업무 근로자의 보호구 착용 상황을 점검하는 업무

슬레이트 해체철거공사의 각 단계별 비용 및 비용 산출근거는 다음과 같다.

1) 노무비

슬레이트 해체철거공사의 석면해체 공, 보통 인부, 관리감독자의 노무비는 사전작업, 석면해체·제거, 폐기물 처리 및 청소, 폐기물 적재 및 반출까지 모두 해당되는 것이므로 별도로 계상한다. 슬레이트의 ㎡당 노무비는 한국건설기술연구원의 표준품셈을 적용하였고 석면해체

공 0.045인, 보통 인부 0.011인, 관리감독자 0.023인의 인건비를 합산하여 7,892원으로 산출하였다. 이는 텍스 해체철거공사의 ㎡당 노무비보다 10,251원 적게 산출된 것으로 나타난다. 노무비 관련 자세한 내용은 다음 표와 같다.

표 165. 직종별 단위면적당 노무비

직종	단위면적당 노무비
석면해체 공	99,818원 × 0.045인 = 4,492원
보통 인부	83,975원 × 0.011인 = 924원
관리감독자(초급숙련기술자)	107,668원 × 0.023인 = 2,476원
해체·제거 노무비	계: 7,892원/㎡

■ 참고

1. 석면해체공과 보통 인부의 노무비 단가는 한국건설기술연구원 표준품셈 및 노무비 단가 기준을 적용하였고 초급숙련기술자의 노무비 단가는 한국엔지니어링협회 공표(경영 2012-3170호)의 엔지니어링 기술자 노임단가를 적용하였다.

번호	직종명 \ 공표일	2013.9.1	2013.1.1
1002	보 통 인 부	83,975	81,443
1003	특 별 인 부	100,936	97,951
1006	비 계 공	150,673	141,535
*1091	석 면 해 체 공	99,818	97,473

구 분	건설 및 기타
기술사	319,299
특급기술자	245,203
고급기술자	199,093
중급기술자	175,860
초급기술자	134,313
고급숙련기술자	144,136
중급숙련기술자	141,106
초급숙련기술자	107,668

2. 노무비 품 및 적용기준

품목	품	비고
석면해체공 (외장재)	0.045인	한국건설기술연구원 표준품셈 기준 적용
보통인부 (외장재)	0.011인	
초급숙련기술자 (외장재)	0.023인	관리감독자는 반경 15Km 이내 또는 동일지역 2개 작업장 배치 가능함으로 작업참여율 50% 기존산식의 계상방법에 의한 품(0.023인)을 계상

2) 사전작업 단계 비용

사전작업 단계는 격리조치, 위생설비 설치, 건물 외부바닥 비닐설치, 수직강관 비계설치, 수평강관 비계설치, 안전방망 설치 등 여섯 가지 작업과정으로 나눌 수 있다. 각 과정별 단위면적당 인건비 및 사용 장비 재료비, 경비 등을 각각 구하고 합산하여 사전작업 단계의 비용을 산출하였다.

격리조치 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 경고표지판, 타포린, 안전띠 등 간접재료비는 7원으로 산정하였다. 따라서 격리조치 과정의 비용은 8원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

위생설비 설치 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 비닐시트 비용은 605원으로, 샤워기, 배수여과장치, 집수조의 장비손료는 81원으로, 위생설비 틀 손료는 18원으로 산정하였다. 따라서 위생설비 설치 과정의 비용은 774원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

건물 외부바닥 비닐설치 과정의 인건비(보통인부)는 588원으로, 사용 장비 재료비 중 바닥 보양비닐 비용은 2,539원으로 산정하였다. 따라서 건물 외부바닥 비닐설치 과정의 비용은 3,440원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

수직강관 비계설치 과정의 인건비(비계공)는 12,054원으로, 사용 장비 재료비 비용은 1,151원으로 산정하였다. 따라서 수직강관 비계설치 과정의 비용은 14,526원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

수평강관 비계설치 과정의 인건비(비계공)는 2,260원으로, 사용 장비 재료비 비용은 4,913원으로 산정하였다. 따라서 수평강관 비계설치 과정의 비용은 7,890원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

안전방망 설치 과정의 인건비(비계공)는 2,260원으로, 사용 장비 재료비 비용은 1,885원으로 산정하였다. 따라서 안전방망 설치 과정의 비용은 4,560원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

이상 각 과정별 비용을 합산하여 사전작업 단계의 비용은 31,198원/㎡으로 산출되었다. 이는 텍스 해체철거공사의 사전작업 단계의 비용보다 27,562원/㎡ 많이 산출된 것으로 나타났다. 그 원인은 슬레이트의 사전작업 단계에서 음압기 설치과정은 빠졌지만 비계설치 및 안전방망 설치 과정에서 비계공의 인건비가 비교적 많이 나온 것으로 사료된다. 슬레이트 사전작업 단계의 인건비와 사용 장비 재료비, 경비의 산출근거와 방법은 다음 표와 같다.

표 166. 사전작업 원가계산서(㎡당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
2. 사 전 작 업	1) 격리조치	※ 해당 없음	① 간접재료비: 7원 - 경고표지판: 50,000원 × 4EA × 0.00003개 = 6원 타포린: 1,800원 × 0.00003매 = 0원 안전띠: 18,000원 × 0.00003개 = 1원
		합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 7원 + 1원 = 8원	
	2) 위생설비 설치	※ 해당 없음	① 비닐시트: 40,300원 × 0.015㎡ = 605원 ② 장비손료: - 샤워기, 배수여과장치, 집수조: 2,021,500원 × 0.00004대 = 81원 ③ 위생설비 틀 손료: 460,000원 × 0.00004대 = 18원
		합계: 공급가액(①+②+③) + 부가세(공급가액의 10%) = 704원 + 70원 = 774원	
	3) 건물 외부바닥 비닐 설치	① 보통인부: 83,975원 × 0.007인 = 588원	② 바닥 보양비닐: 40,300원 × 0.063㎡ = 2,539원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 3,127원 + 313원 = 3,440원	
	4) 수직강관비계 설치	① 비계공: 150,673원 × 0.08인 = 12,054원	② 재료비: 1,151원 × 1㎡ = 1,151원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 13,205원 + 1,321원 = 14,526원	
	5) 수평강관비계 설치	① 비계공: 150,673원 × 0.015인 = 2,260원	② 재료비: 9,825원 × 0.5㎡ = 4,913원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 7,173원 + 717원 = 7,890원	
	6) 안전방망 설치	① 비계공: 150,673원 × 0.015인 = 2,260원	② 재료비: 3,769원 × 0.5㎡ = 1,885원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 4,145원 + 415원 = 4,560원	
			계: 31,198원

1)격리조치 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용

2)오염제거구역 및 배수여과장치 설치 원가계산 산출 근거: ①,②,③은 대한건설협회적산 805쪽 기계화시공/경비산정 모터 수량산출 산식 적용

3)건물 외부바닥비닐 설치 원가계산 산출 근거: ①,②는 대한건설협회적산 600쪽 건축/수장공사 방습필름 설치 수량산출 산식 적용

4)수직강관비계 설치 원가계산 산출근거: ①은 대한건설협회적산 68쪽 가설공사/낙하 물 방지 노무비(비계공) 품 적용
②는 대한건설협회적산 62쪽 가설공사/강관비계 3개월 적용

5)수평강관비계 설치 원가계산 산출근거: ①은 대한건설협회적산 68쪽 가설공사/낙하 물 방지 노무비(비계공) 품 적용
②는 대한건설협회적산 68쪽 가설공사/낙하 물 방지 강관사용(강관파이프, 클램프, 노무비 품)적용

6)안전방망 설치 원가계산 산출근거: ①은 대한건설협회적산 68쪽 가설공사/낙하 물 방지 노무비(비계공) 품 적용
②는 대한건설협회적산 68쪽 가설공사/낙하 물 방지 강관사용(철선, 그물망)적용

■ 참고

1. 사전작업 단계 품목 및 적용기준

표 167. 사전작업 단계 품목 및 적용기준

품목	품	비고
경고표지판, 타포린, 안전띠	0.00009개	대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식과 Q=22.22㎡를 적용하여 계상
비닐시트	0.015㎡	견적서의 비닐재료 단가(부록)와 Q=22.22㎡를 적용하여 계상
샤워기, 배수여과장치, 집수조, 위생설비 틀	0.00004대	대한건설협회적산 805쪽 기계화시공/기계경비산정 25-1 모터 (1488×10^{-7})산식과 Q=22.22㎡를 적용하여 계상
바닥 비닐	0.063㎡	견적서의 비닐재료 단가(부록)와 Q=22.22㎡를 적용하여 계상
수직강관비계	1㎡	견적서의 단가(부록), 대한건설협회적산 62쪽 가설공사/강관비계 3개월과 Q=22.22㎡ 적용하여 계상
수평강관비계	0.5㎡	견적서의 단가(부록), 대한건설협회적산 68쪽 가설공사/ 낙하 물 방지 강관사용(강관파이프, 클램프, 노무비 품)과 Q=22.22㎡ 적용하여 계상
안전방망설치	0.5㎡	견적서의 단가(부록), 대한건설협회적산 68쪽 가설공사/ 낙하 물 방지 강관사용(철선, 그물망)과 Q=22.22㎡ 적용하여 계상

3) 석면 해체·제거 단계 비용

석면 해체·제거 단계는 개인보호구 착용, 약물살포, 석면농도 측정(작업 전, 작업 중), 포장비닐 설치 등 네 가지 작업과정으로 나눌 수 있다. 각 과정별 단위면적당 인건비 및 사용 장비 재료비, 경비 등을 각각 구하고 합산하여 석면 해체·제거 단계의 비용을 산출하였다.

개인보호구 착용 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 보호구(반면마스크, 안전장화, 고글)의 손료는 8원으로, 보호구 소모품(필터, 방진복, 장갑, 면장갑) 비용은 3,568원으로 산정하였다. 따라서 개인보호구 착용 과정의 비용은 3,934원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

약물살포 과정의 인건비(보통 인부)는 2,519원으로, 사용 장비 재료비 중 분무기 손료는 38원으로 산정하였다. 따라서 약물살포 과정의 비용은 2,813원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

석면농도 측정(작업 전, 작업 중) 과정의 1일 인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)는 241,981원으로, 사용 장비 재료비 중 간접재료(필터, 방진작업복, 방진장갑)비는 24,632원으로, 제경비(직접인건비의 110%)는 266,179원으로, 기술료(직접인건비와 제경비 합의 20%)는 101,632원으로, 직접경비(상주 직접인건비의 30%)는 40,294원으로 산정하였다. 1일 작업량은 표준품셈의 일일작업량을 적용하여 225㎡로 적용하였다. 본 단계의 석면농도 측정은 작업 전·중·후 중 작업 전과 작업 중 만 해당하기에 합계에 2/3를 곱하여 산정하였다. 따라서 석면농도 측정(작업 전, 작업 중) 과정의 비용은 2,199원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

포장비닐 설치 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 포장비닐의 비용은 311원으로 산정하였다. 따라서 포장비닐 설치 과정의 비용은 342원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

이상 각 과정별 비용을 합산하여 석면 해체·제거 단계 비용은 9,288원/㎡으로 산출되었다. 이는 텍스의 해체·제거 단계의 비용보다 14,461원/㎡ 적게 산출된 것으로 나타난다. 그 원인은 텍스의 해체·제거 단계와는 달리 이동식 비계 조립과정이 없고 또한 텍스의 품과 슬레이트의 적용 품이 서로 다르기 때문이라도 사료된다. 석면 해체·제거 단계의 인건비와 사용 장비 재료비, 경비의 산출근거와 방법은 다음 표와 같다.

표 168. 석면 해체·제거 원가계산서(㎡당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
3. 석면 해체·제거	1) 개인보호구 착용	※ 해당 없음	① 보호구 손료: 8원 - 반면마스크: 35,000원 × 0.00012개 = 4원 안전장화: 27,600원 × 0.00012개 = 3원 고글: 4,600원 × 0.00012개 = 1원 ② 보호구 소모품: 3,568원 - 필터: 4,540원 × 0.32조 = 1,453원 방진복: 6,000원 × 0.32조 = 1,920원 장갑: 276원 × 0.32조 = 88원 면장갑: 334원 × 0.32조 = 107원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 3,576원 + 358원 = 3,934원	
	2) 약물살포(습윤화)	① 보통 인부: 83,975원 × 0.03인 = 2,519원	② 분무기 손료: 인건비의 1.5% = 2,519원 × 1.5% = 38원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 2,557원 + 256원 = 2,813원	
	3) 석면농도 측정(작업 전+작업 중)	① 직접인건비: 241,981원 - 초급기술자: 134,313원 × 1인 = 134,313원 초급숙련기술자: 107,668원 × 1인 = 107,668원	② 간접재료비: 24,632원 - 필터: 4,540원 × 2조 = 9,080원 방진작업복: 7,500원 × 2벌 = 15,000원 방진장갑: 276원 × 2켤레 = 552원 ③ 제경비: 241,981(직접인건비) × 110% = 266,179원 ④ 기술료: (241,981(직접인건비) + 266,179(제경비)) × 20% = 101,632원 ⑤ 직접경비: 상주 직접인건비(134,313원)의 30% = 40,294원 ⑥ 일일작업량: 1인(22.22㎡의) 배수 45㎡ × 5인 = 225㎡
		합계: 2/3 × (공급가액(①+②+③+④+⑤) + 부가세(공급가액의 10%)) ÷ ⑥ = 2/3 × (674,718원 + 67,472원) ÷ 225㎡ = 2,199원	
	4) 포장비닐 설치	※ 해당 없음	① 포장비닐: 51,800원 × 0.006㎡ = 311원
		합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 311원 + 31원 = 342원	
			계: 9,288원

1)개인보호구 착용 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용
2)약물살포 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 581쪽 건축/칠 공사 석면방지페인트 1회 품 적용
②는 대한건설협회적산 10쪽 경장비 등의 손료 1.5% 적용
3)석면농도 측정(작업 전+작업 중) 원가계산 산출 근거: ①,②,③,④,⑤는 1.1)의 석면조사 원가계산 산출 근거와 같음
⑥은 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비)의 일일작업량 적용
4)포장비닐 설치 원가계산 산출근거: ①은 환경부고시 제2012-78호 제4조(필름포장재)의 규격 적용

※ 3.3) 중 석면 해체·제거단계에서의 석면농도 측정은 작업 전·중·후 중 작업 전과 작업 중 만 해당하기에 합계에 2/3를 곱하여 계상함.

■ 참고

1. 3.3)의 석면농도 측정 관련 내용은 3.3-1의 1.1)의 내용 참조

2. 석면 해체·제거단계 품목 및 적용기준

품목	품, 손율	비고
반면마스크, 안전장화, 고글	0.00012개	견적서의 단가(부록)와 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용
필터, 방진복, 장갑	0.32조	견적서의 단가(부록)와 3.5인 1일2회 폐기한 것으로 계상하여 적용
분무기	0.015	대한건설협회적산 10쪽 경장비 등의 손료 1.5% 적용
보통 인부(습윤화)	0.003인	대한건설협회적산 581쪽 건축/칠 공사 석면방지페인트 1회 품 적용
포장비닐	0.006㎡	견적서의 비닐재료 단가(부록)와 Q=22.22㎡를 적용하여 계상

① 마스크, 장화, 고글(보안경)은 손료 계상한 것 이다.
② 개인보호구는 3.5인(해체공 1인, 보통 인부 1인, 습윤공 1인, 관리감독자 0.5인) 일일 2회(오전, 오후) 지급 착용으로 계상한 것이다.

3. 석면농도 측정 일일작업량은 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈의 기준을 적용하여 계상하였다.

한국건설기술연구원 표준품셈 석면해체 공 기준 자재별 일일 작업량

구 분	수 량(품)	단 가	금 액	산 식	일일 작업량	측정면적 계상 배수
슬레이트	0.045인	97,473	4,386.2	97,473 / 4,386.2 =	22.22㎡	약 45㎡
텍 스	0.12인	97,473	11,696.7	97,473 / 11,696.7 =	8.33㎡	약 17㎡
뿜칠 재	0.5인	97,473	48,736.5	97,473 / 48,736.5 =	2㎡	약 4㎡

【일일 해체작업량 기준 산출서】
① (석면해체 공) 5인 투입 작업하는 것을 전제로 계상한 것이다.
② 일일작업량은 표준품셈기준 작업량의 배수를 적용하여 계산한 것이다.
일일 작업량 : 1인(22.22㎡의) 배수45㎡ × 5인 = 225㎡/(일일작업량)

4) 폐기물 처리 및 청소 단계 비용

폐기물 처리 및 청소 단계는 폐기물 밀봉 및 스티커 부착, 벽바닥 습식청소 등 두 가지 작업과정으로 나눌 수 있다. 각 과정별 단위면적당 인건비 및 사용 장비 재료비, 경비 등을 각각 구하고 합산하여 폐기물 처리 및 청소단계의 비용을 산출하였다.

폐기물 밀봉 및 스티커 부착 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 밀봉테이프의 비용은 14원으로, 스티커의 비용은 39원으로 산정하였다. 테이프와 스티커는 본 단계의 폐기물 밀봉 및 스티커 부착과정과 폐기물 적재 및 반출 단계의 소모품 밀봉 및 스티커 부착과정으로 나누어 쓰기에 본 단계에서는 테이프와 스티커 비용의 합계에 1/2을 곱하여 계상하였다. 따라서 폐기물 밀봉 및 스티커 부착 과정의 비용은 30원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

벽바닥 습식청소 과정의 인건비(보통 인부)는 1,092원으로, 사용 장비 재료비 중 HEPA 청소기의 비용은 13원으로 산정하였다. 따라서 벽바닥 습식청소 과정의 비용은 1,216원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

이상 각 과정별 비용을 합산하여 폐기물 처리 및 청소 단계 비용은 1,246원/㎡으로 산출되었다. 이는 텍스 폐기물 처리 및 청소 단계의 비용보다 1,906원/㎡ 적게 산출된 것으로 나타난다. 그 원인은 슬레이트와 텍스의 적용 품이 다르기 때문이라고 사료된다. 슬레이트 폐기물 처리 및 청소 단계의 인건비와 사용 장비 재료비, 경비의 산출근거와 방법은 다음 표와 같다.

표 169. 폐기물 처리 및 청소 원가계산서(㎡당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
4. 폐기물 처리 및 청소	1) 폐기물 밀봉 및 스티커 부착	※ 해당 없음	① 밀봉테이프: 1,270원 × 0.011m = 14원 ② 스티커: 173원 × 0.225장 = 39원
		합계: (공급가액(1/2×(①+②)) + 부가세(공급가액의 10%)) = 27원 + 3원 = 30원	
	2) 벽바닥 습식청소	① 보통 인부: 83,975원 × 0.013㎡ = 1,092원	② HEPA 청소기: 260,000원 × 0.00005대 = 13원
		합계: 공급가액(①+②) + 부가세(공급가액의 10%) = 1,105원 + 111원 = 1,216원	
			계: 1,246원

1)폐기물 밀봉 및 스티커 부착 산출 근거: ①,②는 산업안전보건규칙 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)의 규정 적용

2)벽바닥 습식청소 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 71쪽 가설공사/건축물 현장정리 (철근콘크리트조 품)적용
②는 대한건설협회적산 787쪽 기계화시공/경비산정 공기압축기 수량산출 산식 적용

※ 4.1) 중 밀봉테이프와 스티커는 폐기물 처리 및 청소단계의 폐기물 밀봉 및 스티커 부착과정과 폐기물 적재 및 반출단계의 소모품 밀봉 및 스티커 부착과정으로 나누어 쓰기에 본 단계에서는 합계에 1/2을 곱하여 계상함.

■ 참고

1. 폐기물 처리 및 청소단계 품목 및 적용기준

품목	품, 손율	비고
테이프	0.011m	견적서의 단가(부록)와 Q=22.22㎡를 적용하여 계상
스티커	0.225장	
보통 인부(습식청소)	0.013㎡	대한건설협회적산 71쪽 가설공사/건축물 현장정리(철근콘크리트조 품) 적용
HEPA 필터 청소기	0.00005대	견적서의 단가(부록)와 대한건설협회적산 787쪽 기계화시공/경비산정 공기압축기 수량산출 산식 적용

5) 폐기물 적재 및 반출 단계 비용

폐기물 적재 및 반출 단계는 석면농도 측정(작업 후), 소모품 밀봉 및 스티커 부착, 표지판 설치 등 세 가지 작업과정으로 나눌 수 있다. 각 과정별 단위면적당 인건비 및 사용 장비 재료비, 경비 등을 각각 구하고 합산하여 폐기물 처리 및 청소단계의 비용을 산출하였다.

석면농도 측정(작업 후) 과정의 1일 인건비(초급기술자, 초급숙련기술자)는 241,981원으로, 사용 장비 재료비 중 간접재료(필터, 방진작업복, 방진장갑)비는 24,632원으로, 제경비(직접인건비의 110%)는 266,179원으로, 기술료(직접인건비와 제경비 합의 20%)는 101,632원으로, 직접경비(상주 직접인건비의 30%)는 40,294원으로 산정하였다. 1일 작업량은 표준품셈의 일일 작업량을 적용하여 225㎡로 적용하였다. 본 단계의 석면농도 측정은 작업 전·중·후 중 작업 후 만 해당하기에 합계에 1/3을 곱하여 산정하였다. 따라서 석면농도 측정(작업 후) 과정의 비용은 1,100원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

소모품 밀봉 및 스티커 부착 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 밀봉테이프의 비용은 14원으로, 스티커의 비용은 39원으로, 폐기용 백 비용은 121원으로, 연결고리의 비용은 112원으로 산정하였다. 테이프와 스티커는 본 단계의 소모품 밀봉 및 스티커 부착과정과 폐기물 처리 및 청소 단계의 폐기물 밀봉 및 스티커 부착과정으로 나누어 쓰기에 본 단계에서는 테이프와 스티커 비용의 합계에 1/2을 곱하여 계상하였다. 따라서 소모품 밀봉 및 스티커 부착 과정의 비용은 286원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

표지판 설치 과정의 인건비는 해당 없으며 사용 장비 재료비 중 석면적재경고표지판의 비용은 1원으로 산정하였다. 따라서 표지판 설치 과정의 비용은 1원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

이상 각 과정별 비용을 합산하여 슬레이트 폐기물 적재 및 반출 단계 비용은 1,387원/㎡로 산출되었다. 이는 텍스 폐기물 적재 및 반출 단계의 비용보다 1,543원/㎡ 작게 산출된 것으로 나타난다. 그 원인 역시 텍스와 슬레이트의 적용 품이 다르기 때문이라 사료된다. 슬레이트 폐기물 적재 및 반출 단계의 인건비와 사용 장비 재료비, 경비의 산출근거와 방법은 다음 표와 같다.

표 170. 폐기물 적재 및 반출 원가계산서(㎡당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
5. 폐기물 적재 및 반출	1) 석면농도 측정(작업 후)	① 직접인건비: 241,981원 - 초급기술자: 134,313원 × 1인 = 134,313원 초급숙련기술자: 107,668원 × 1인 = 107,668원	② 간접재료비: 24,632원 - 필터: 4,540원 × 2조 = 9,080원 방진작업복: 7,500원 × 2벌 = 15,000원 방진장갑: 276원 × 2켤레 = 552원 ③ 제경비: 241,981(직접인건비)×110% = 266,179원 ④ 기술료: (241,981(직접인건비)+266,179(제경비))×20% = 101,632원 ⑤ 직접경비: 상주 직접인건비(134,313원)의 30% = 40,294원 ⑥ 일일작업량: 1인(22.22㎡의) 배수45㎡ × 5인 = 225㎡
		합계: 1/3 × (공급가액(①+②+③+④+⑤) + 부가세(공급가액의 10%)) ÷ ⑥ = 1/3 × (674,718원 + 67,472원) ÷ 225㎡ = 1,100원	
	2) 소모품 밀봉 및 스티커 부착	※ 해당 없음	① 밀봉테이프: 1,270원 × 0.011m = 14원 ② 스티커: 173원 × 0.225장 = 39원 ③ 폐기용 백: 449원 × 0.27매 = 121원 ④ 연결고리: 58,700원 × 0.0019m = 112원
		(공급가액(1/2×(①+②)+③+④) + 부가세(공급가액의 10%)) = 260원 + 26원 = 286원	
	3) 표지판 설치	※ 해당 없음	① 석면적재경고표지판: 39,000원 × 0.00003개 = 1원
		합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 1원 + 0원 = 1원	
			계: 1,387원

1)석면농도 측정(작업 후) 원가계산 산출 근거: ①,②,③,④,⑤는 1.1)의 석면조사 원가계산 산출 근거와 같음
⑥은 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비)의 일일작업량 적용

2)소모품 밀봉 및 스티커 부착 원가계산 산출 근거: ①, ②, ④는 산업안전보건규칙 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)의 규정 적용
③은 산업안전보건규칙 제485조(석면오염 장비 등의 처리)의 규정 적용

3)폐기물 임시보관 및 표지판 설치 원가계산 산출 근거: ①은 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 산식 적용

※ 5.1) 중 폐기물 적재 및 반출단계에서의 석면농도 측정은 작업 전·중·후 중 작업 후만 해당하기에 합계에 1/3을 곱하여 계상함.
5.2) 중 밀봉테이프와 스티커는 폐기물 처리 및 청소단계의 폐기물 밀봉 및 스티커 부착과정과 폐기물 적재 및 반출단계의 소모품 밀봉 및 스티커 부착과정으로 나누어 쓰기에 본 단계에서는 합계에 1/2을 곱하여 계상함.

■ 참고

1. 5.1)의 석면농도 측정 관련 내용은 3.3-1의 1.1)의 내용 참조

2. 5.2)의 밀봉테이프 및 스티커 관련 내용은 3.3-2의 4.1)의 내용 참조

3. 폐기물 적재 및 반출단계의 품목 및 적용기준

품목	품	비고
폐기용 백	0.27매	견적서의 단가(부록)와 Q=22.22㎡를 적용하여 계상
연결고리	0.0019m	견적서의 단가(부록)와 Q=22.22㎡를 적용하여 계상
석면적재경고표지판	0.00003개	견적서의 단가(부록)와 대한건설협회적산 808쪽 기계화시공/경비산정 6-1조인트(고무제) 수량산출 (1233×10^{-7})산식과 Q=22.22㎡를 적용하여 계상

3. 석면폐기물 운반 및 처리단계 비용

가. 텍스 운반 및 처리단계 비용

본 단계에서 텍스와 슬레이트의 비중이 다르기에 비용 역시 다르게 산정된다. 따라서 운반 및 처리 단계에서 텍스와 슬레이트로 나누어서 각각의 비용을 구하였다.

텍스 운반 및 처리 단계는 운반과 매립 두 가지 작업과정으로 나눌 수 있다. 각 과정별 단위무게당(ton) 인건비 및 사용 장비 재료비, 경비 등을 각각 구하고 합산하여 운반 및 처리 단계의 비용을 산출하였다. 운반 시 차의 종류는 15t 덤프트럭을 기준으로 하였고 운반거리는 30km를 기준으로 하였다.

운반과정의 인건비는 상차 시 노무비 5,848원으로, 운반 시 노무비는 108,562원으로 산정하였고 사용 장비 재료비, 경비는 재료비(상차 시, 운반 시)는 156,802원으로, 경비(상차 시, 운반 시)는 93,944원으로, 반입수수료(폐석면)는 68,480원으로 산정하였다. 덤프트럭의 적재량은 12ton(적재함용량 10㎥ × 텍스 비중1.2ton/㎥)으로 적용하였다. 따라서 운반과정의 비용은 112,552원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

매립과정의 비용은 전국매립협의회 폐석면 매립현황 조사결과인 300,000원을 적용하였다. 따라서 매립과정의 비용은 330,000원/ton(부가세 포함)으로 산출되었다.

이상 각 과정별 비용을 합산하여 텍스의 운반 및 처리 단계의 비용은 442,552원/ton으로 산출되었다. 텍스 운반 및 처리 단계 비용 및 산정근거는 다음 표와 같다.

표 171. 사전조사 원가계산서(ton당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
6. 폐기물 운반 및 처리	1) 폐기물 운반(15t 덤프트럭, 30km)	① 인건비: 114,410원 - 상차 시 노무비: 5,848원 운반 시 노무비: 108,562원	② 재료비: 156,802원 - 상차 시 재료비: 5,692원 운반 시 재료비: 151,110원 ③ 경비: 93,944원 - 상차 시 경비: 5,345원 운반 시 경비: 88,599원 ④ 반입수수료: 68,480원/ton ⑤ 적재량: 12ton
		합계: 공급가액{(용역원가(①+②+③) + 일반관리비(용역원가의 5%) + 이윤((①+③+일반관리비)의 10%) ÷ ⑤ + ④} + 부가세(공급가액의 10%) = {(365,156원 + 18,258원 + 22,661원) ÷ 12ton + 68,480원} × 110% = 112,552원	
	2) 매립	① 매립비: 300,000원	
		합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 300,000원 + 30,000원 = 330,000원	
			계: 442,552원

1)폐기물 운반 원가계산 산출근거: ①,②는 과업지지서, 건설공사 표준품셈 적용
1)폐기물 운반 원가계산 산출근거: ③은 건설공사 표준품셈을 기준으로 산출하여 적용
1)폐기물 운반 원가계산 산출근거: ④는 환경부 고시 제1012-163호 2012.08.16.“지정폐기물 공공처리시설 반입수수료” 적용
1)폐기물 운반 원가계산 산출근거: ⑤는 대당 적재용량(적재함용량 10㎥ × 텍스 비중(1.2ton/㎥)) 적용
2)매립 원가계산 산출근거: 전국매립협의회 폐석면 매립현황 조사결과 적용

■ 참고

폐기물의 수집·운반 비용은 한국건설폐기물수집운반협회의 원가계산보고서(15톤 덤프트럭, 30km)의 기준을 적용하였다.

일반관리비는 기획재정부 계약예규 2200.04-160-9(2011.05.13.)“예정가격 작성기준”에 의거, 일반관리비율은 5%를 적용하여 산출하였다.

이윤은 기획재정부 계약예규 2200.04-160-9(2011.05.13.)“예정가격 작성기준”에 의거, 노무비, 경비 및 일반관리비의 합계액에 대하여 10%를 적용하여 산출하였다.

나. 슬레이트 운반 및 처리 단계 비용

슬레이트 운반 및 처리 단계는 운반과 매립 두 가지 작업과정으로 나눌 수 있다. 각 과정별 단위무게당(ton) 인건비 및 사용 장비 재료비, 경비 등을 각각 구하고 합산하여 운반 및 처리 단계의 비용을 산출하였다. 운반 시 차의 종류는 15t 덤프트럭을 기준으로 하였고 운반거리는 30km를 기준으로 하였다.

운반과정의 인건비는 상차 시 노무비 5,848원으로, 운반 시 노무비는 108,562원으로 산정하였고 사용 장비 재료비, 경비는 재료비(상차 시, 운반 시)는 156,802원으로, 경비(상차 시, 운반 시)는 93,944원으로, 반입수수료(폐석면)는 68,480원으로 산정하였다. 덤프트럭의 적재량은 15.6ton(적재함용량 10㎥ × 슬레이트 비중 1.56ton/㎥)으로 적용하였다. 따라서 운반과정의 비용은 103,961원/㎡(부가세 포함)으로 산출되었다.

매립과정의 비용은 전국매립협의회 폐석면 매립현황 조사결과인 300,000원을 적용하였다. 따라서 매립과정의 비용은 330,000원/ton(부가세 포함)으로 산출되었다.

이상 각 과정별 비용을 합산하여 슬레이트의 운반 및 처리 단계의 비용은 433,961원/ton으로 산출되었다. 이는 텍스의 운반 및 처리 단계의 비용보다 8,591원/ton 작게 산출된 것으로 나타났다. 그 원인은 텍스와 슬레이트의 부피가 다름에 따라 적재량도 다르기 때문인 것으로 사료된다. 슬레이트 운반 및 처리 단계 비용 및 산정근거는 다음 표와 같다.

표 172. 사전조사 원가계산서(ton당)

단계	단계 분류	인건비 산출	사용 장비 재료비, 경비 산출
6. 폐기물 운반 및 처리	1) 폐기물 운반(15t 덤프트럭, 30km)	① 인건비: 114,410원 - 상차 시 노무비: 5,848원 운반 시 노무비: 108,562원	② 재료비: 156,802원 - 상차 시 재료비: 5,692원 운반 시 재료비: 151,110원 ③ 경비: 93,944원 - 상차 시 경비: 5,345원 운반 시 경비: 88,599원 ④ 반입수수료: 68,480원 ⑤ 적재량: 15.6ton
		합계: 공급가액{(용역원가(①+②+③) + 일반관리비(용역원가의 5%) + 이윤((①+③+일반관리비)의 10%) ÷ ⑤ + ④} + 부가세(공급가액의 10%) = {(365,156원 + 18,258원 + 22,661원) ÷ 15.6ton + 68,480원} × 110% = 103,961원	
	2) 매립	① 매립비: 300,000원	
		합계: 공급가액① + 부가세(공급가액의 10%) = 300,000원 + 30,000원 = 330,000원	
			계: 433,961원

1)폐기물 운반 원가계산 산출근거: ①,②는 과업지지서, 건설공사 표준품셈 적용
③은 건설공사 표준품셈을 기준으로 산출하여 적용
④는 환경부 고시 제1012-163호 2012.08.16.“지정폐기물 공공처리시설 반입수수료” 적용
⑤는 대당 적재용량(적재함용량 10㎥ × 슬레이트 비중(1.56ton/㎥)) 적용

2)매립 원가계산 산출근거: 전국매립협의회 폐석면 매립현황 조사결과 적용

■ 참고

폐기물의 수집·운반 비용은 한국건설폐기물수집운반협회의 원가계산보고서(15톤 덤프트럭, 30km)의 기준을 적용하였다.

일반관리비는 기획재정부 계약예규 2200.04-160-9(2011.05.13.)“예정가격 작성기준”에 의거, 일반관리비율은 5%를 적용하여 산출하였다.

이윤은 기획재정부 계약예규 2200.04-160-9(2011.05.13.)“예정가격 작성기준”에 의거, 노무비, 경비 및 일반관리비의 합계액에 대하여 10%를 적용하여 산출하였다.

4. 석면 폐기물 해체·제거 전과정 비용 산정

가. 텍스 해체·제거 전과정 비용

각 단계별 비용들을 종합하여 텍스 해체·제거 전과정의 비용을 산정하였다. 작업 단계별 비용 및 적용근거는 다음 표와 같다.

표 173. 텍스 작업 단계별 비용 산정 및 비용 산정근거

텍스 해체·제거 작업순서		비용		비고	적용근거
사전 조사	석면조사	764,172원/일		• 1일당 가격	• 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제7조(직접인건비), 제8조(직접경비), 제9조(제경비), 제10조(기술료) • 환경부 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조, 폐기물공정시험기준(정도관리규정) • 한국엔지니어링협회 공표(경영 2012-3170호)의 엔지니어링 기술자 노임단가 • 대한건설협회적산 10쪽(경장비), 64쪽(비계 품), 67쪽(공기에 대한 손율), 71쪽(철근콘크리트조 품), 581쪽(석면방지폐인트), 600쪽(방습필름), 787쪽(공기압축기), 805쪽(모터), 808쪽(조인트) 산식 • 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비) • 환경부고시 제2012-78호 제4조(필름포장재) • 산업안전보건규칙 제485조(석면오염 장비 등의 처리), 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)
	석면지도 작성	111,511원/장		• 1장당 가격	
사전 작업	격리조치	18,143 (단위:원/㎡, 이하동일)	22		
	위생설비 설치		1,957		
	작업장 벽·바닥 비닐보양		998		
	음압기 설치		659	• 발전기, 콤푸레샤, 에어타카 별도계상	
석면 해체·제거	개인보호구 착용		10,326		
	약물 살포(습윤화)		2,813	• 물 사용	
	석면농도 측정(작업 전·중)		5,821	• 농 도 측 정 2/3	
	이동식비계 조립		4,612	• 높이 2m	
	포장비닐 설치		177		
폐기물 처리 및 청소	폐기물 밀봉 및 스티커 부착		70	• 테이프, 스티커 1/2	
	작업종료 후 벽 바닥 습식청소		3,082	• 물 사용	
폐기물 적재 및 반출	석면농도 측정(작업 후)		2,911	• 농 도 측 정 1/3	
	소모품 밀봉 및 스티커 부착		465	• 테이프, 스티커 1/2	
	폐기물 임시보관 및 표지판 설치		4		
폐기물 운반 및 처리	폐기물 운반	112,552원/ton			
	매립	330,000원/ton			

따라서 텍스 해체·제거 전과정의 비용 산정식은 다음과 같다.

$$Ctex = 764{,}172 \times D + 111{,}511 \times N + 52{,}060 \times Xtex{,}㎡ + 442{,}552 \times Wtex{,}t$$

여기서, Ctex는 텍스 해체·제거 전과정 비용, D는 석면조사일, N은 석면지도 장수, Xtex, ㎡는 텍스 면적(㎡), Wtex,t는 텍스 무게(톤)를 나타낸다.

나. 슬레이트 해체·제거 전과정 비용 산정

각 단계별 비용들을 종합하여 슬레이트 해체·제거 전과정의 비용을 산정하였다. 작업 단계별 비용 및 적용근거는 다음 표와 같다.

표 174. 슬레이트 작업 단계별 비용 산정 및 비용 산정근거

<table>
<tr><th colspan="2">석면슬레이트 해체·제거 작업순서</th><th colspan="2">비용</th><th>비고</th><th>적용근거</th></tr>
<tr><td rowspan="2">사전 조사</td><td>석면조사</td><td colspan="2">764,172원/일</td><td>• 1일당 가격</td><td rowspan="20">• 엔지니어링사업대가의 기준 제2장 실비정액가산방식 제7조(직접인건비), 제8조(직접경비), 제9조(제경비), 제10조(기술료)
• 환경부 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조, 폐기물공정시험기준(정도관리규정)
• 한국엔지니어링협회 공표(경영 2012-3170호)의 엔지니어링 기술자 노임단가
• 대한건설협회적산 10쪽(경장비), 62쪽(강관비계), 64쪽(비계품), 67쪽(공기에 대한 손율), 68쪽(강관사용, 노무비), 71쪽(철근콘크리트조 품), 581쪽(석면방지페인트), 600쪽(방습필름), 787쪽(공기압축기), 805쪽(모터), 808쪽(조인트) 산식
• 국토교통부 및 한국건설기술연구원 표준품셈 제21장(노무비)
• 환경부고시 제2012-78호 제4조(필름포장재)
• 산업안전보건규칙 제485조(석면오염 장비 등의 처리), 제496조(석면함유 잔재물 등의 처리)</td></tr>
<tr><td>석면지도 작성</td><td colspan="2">111,511원/장</td><td>• 지도 1장당 가격</td></tr>
<tr><td rowspan="6">사전 작업</td><td>격리조치</td><td rowspan="15">7,892

(단위:원/㎡, 이하동일)</td><td>8</td><td></td></tr>
<tr><td>위생설비 설치</td><td>774</td><td></td></tr>
<tr><td>건물 외부 바닥 비닐보양</td><td>3,440</td><td></td></tr>
<tr><td>수직강관 비계 설치</td><td>14,526</td><td></td></tr>
<tr><td>수평강관 비계 설치</td><td>7,890</td><td></td></tr>
<tr><td>안전방망 설치</td><td>4,560</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">석면 해체·제거</td><td>개인보호구 착용</td><td>3,934</td><td></td></tr>
<tr><td>약물살포(습윤화)</td><td>2,813</td><td>• 물 사용</td></tr>
<tr><td>석면농도 측정(작업 전·중)</td><td>2,199</td><td>• 농도측정 2/3</td></tr>
<tr><td>포장비닐 설치</td><td>342</td><td></td></tr>
<tr><td>폐기물 처리 및 청소</td><td>폐기물 밀봉 및 스티커 부착</td><td>30</td><td>• 테이프, 스티커 1/2</td></tr>
<tr><td></td><td>벽바닥 습식청소</td><td>1,216</td><td>• 물 사용</td></tr>
<tr><td rowspan="3">폐기물 적재 및 반출</td><td>석면농도 측정(작업 후)</td><td>1,100</td><td>• 농도측정 1/3</td></tr>
<tr><td>소모품 밀봉 및 스티커 부착</td><td>286</td><td>• 테이프, 스티커 1/2</td></tr>
<tr><td>폐기물 임시보관 및 표지판 설치</td><td>1</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">폐기물 운반 및 처리</td><td>폐기물 운반</td><td colspan="2">103,961원/ton</td><td></td></tr>
<tr><td>매립</td><td colspan="2">330,000원/ton</td><td></td></tr>
</table>

따라서 슬레이트 해체·제거 전과정의 비용 산정식은 다음과 같다.

$$Cslate = 764{,}172 \times D + 111{,}511 \times N + 51{,}011 \times Xslate,㎡ + 433{,}961 \times Wslate,t$$

여기서, Cslate는 슬레이트 해체·제거 전과정 비용, D는 석면조사일, N은 석면지도 장수, Xslate,㎡는 슬레이트 면적(㎡), Wslate,t는 슬레이트 무게(톤)를 나타낸다.

※ 석면함유자재 종류 중에서 1차년도 연구결과 가장 많은 분포를 보인 텍스(실내)와 슬레이트(실외)를 기준으로 해체·제거 전과정을 6단계로 나누고 각 단계별 사용 장비와 소모품 및 인건비를 종합하여 석면함유 건축자재 해체·제거 전과정 인벤토리를 구축하였다.

석면함유 건축자재의 각 단계별 단위면적당 처리비용은 광범위한 문헌조사와 현장조사를 토대로 인건비와 장비손료, 소모품손료 등을 종합적으로 고려하였으며 단위면적당 온실가스 발생량은 IPCC가이드라인 중 온실가스 산정방법론을 바탕으로 각 단계별 투입장비의 에너지소비량을 산정한 후 도출하였다.

2차년도 연구목표인 석면함유 건축자재 해체, 제거 시 전과정 처리비용 및 온실가스 발생 원단위는 다음 표와 같다.

표 175. 작업단계별 비용 원단위 산정

단계	비용 원단위 산정			
	텍스		슬레이트	
사전조사 단계	764,172원/일(석면조사), 111,511원/장(석면지도 작성)			
사전작업 단계	3,636원/㎡	인건비 18,143원/㎡	31,198원/㎡	인건비 7,892원/㎡
석면 해체·제거 단계	23,749원/㎡		9,288원/㎡	
폐기물 처리 및 청소 단계	3,152원/㎡		1,246원/㎡	
폐기물 적재 및 반출 단계	3,380원/㎡		1,387원/㎡	
폐기물 운반 및 처리 단계	442,552원/ton		433,961원/ton	

표 176. 작업단계별 온실가스 발생량 원단위 산정

단계	온실가스 발생량 원단위 산정	
	텍스	슬레이트
사전조사 단계	해당 없음	
사전작업 단계	0.1064kgCO_2eq/㎡	0.0140kgCO_2eq/㎡
석면 해체·제거 단계	해당 없음	
폐기물 처리 및 청소 단계	0.0188kgCO_2eq/㎡	0.0125kgCO_2eq/㎡
폐기물 적재 및 반출 단계	해당 없음	
폐기물 운반 및 처리 단계	$0.0027\ T^{-0.610} \times M$	$0.0038\ T^{-0.606} \times M$

비용 원단위 산정에서 사전조사 단계에서 석면조사비용은 일당으로, 석면지도 작성비용은 장당으로, 해체철거공사의 인건비를 포함한 비용은 석면폐기물의 단위면적(㎡)당으로, 폐기물 운반 및 처리 단계의 비용은 석면폐기물의 단위무게(ton)당으로 원단위를 산정하였다.

온실가스 발생량 원단위 산정에서 사전작업 단계와 폐기물 처리 및 청소 단계의 온실가스 발생량은 단위면적(㎡)당으로, 폐기물 운반 및 처리 단계의 온실가스 발생량은 운반거리(km)당으로 원단위를 산정하였다. 사전조사 단계, 석면 해체·제거 단계, 폐기물 적재 및 반출 단계에서 사용된 장비들 중에는 온실가스를 발생시키는 장비가 없으므로 계산에서 제외하였다.

따라서 **텍스와 슬레이트의 원단위 비용 및 온실가스 발생량에 의하여 산정한 석면폐기물 해체·제거 전과정 비용 및 온실가스 발생량 추정 모델**은 다음 표와 같다.

표 177. 석면해체·제거 전과정 비용 및 온실가스 발생량 추정모델

단계	구분	추정모델
텍스	비용	$764{,}172 \times D + 111{,}511 \times N + 52{,}060 \times X_{tex,㎡} + 442{,}552 \times W_{tex,t}$
	온실가스	$0.1252\ x_{tex,㎡} + 0.0027\ T^{-0.610} \times M$
슬레이트	비용	$764{,}172 \times D + 111{,}511 \times N + 51{,}011 \times X_{slate,㎡} + 433{,}961 \times W_{slate,t}$
	온실가스	$0.0265\ x_{slate,㎡} + 0.0038\ T^{-0.606} \times M$

여기서,

D	:	석면조사일
N	:	석면지도 장수
$X_{tex,㎡}$	:	텍스 면적(㎡)
$X_{slate,㎡}$	:	슬레이트 면적(㎡)
$W_{tex,t}$	:	텍스 무게(톤)
$W_{slate,t}$	:	슬레이트 무게(톤)
T	:	톤급별 슬레이트 운반 차량 톤수
M	:	운반거리(km)

1차년도에서 도출한 전국단위 슬레이트 분포현황 DB에 2차년도에서 도출된 비용 및 온실가스 발생량 산식을 적용하여 전국 각 지역별 슬레이트 해체제거 시 발생하는 비용 및 온실가스 배출량을 산정하였다. 비용 산정 시 사전조사단계의 비용은 제외하였다.[33] 온실가스 발생량 산정 시 폐기물 운반 및 처리 단계의 온실가스 발생량은 제외하였다.[34] 결과 전체 해체제거 비용은 7조 6023억 3204만 1628원으로 산정되었고, 온실가스 발생량은 3,625,500.27kg으로 산정되었다. 지역별 슬레이트 해체제거 비용 및 온실가스 발생량은 부록에 나타내었다.

33) 건축물 지구단위 석면조사 또는 개별 건축물 석면조사에 따라 조사일이 일정하지 않고 건축물의 규모에 따라 석면지도 장수 또한 일정하기 않기 때문에 사전조사단계 비용은 제외하였다.

34) 운반차량의 종류가 통일되지 않고 또한 지역마다 해당지역의 석면폐기물 매립장까지의 거리가 다르기 때문에 석면폐기물 운반 및 처리 단계 온실가스 발생량 산정은 제외하였다.

4. 3차년도 연구내용

4.1 프로그램 알고리즘 개발

건축면적에 기준한 석면함유건설자재의 면적 도출식, 석면함유건설자재의 처리비용과 온실가스 발생량, 석면함유건설자재의 석면자연발생량, 석면함유자재 파손 시 석면발생량을 바탕으로 **지구단위 관리 프로그램을 개발**하였다. 전국 단위의 석면함유건설자재 적정처리를 위한 관리 프로그램을 개발하여야 마땅하나 수치지형도, 지적도, 건축물도형정보 등 DB확보의 어려움으로 대구광역시 중구를 중심으로 개발하였다. 하지만 개발된 프로그램에서 사용된 지도 DB만 교환해준다면 자동으로 지도 DB를 분석하여 프로그램에서 사용할 수 있도록 개발하였기 때문에 다른 지자체에서도 쉽게 활용 가능하도록 범용성을 높였다. 따라서 현재 DB 확보의 어려움으로 대구광역시 중구를 중심으로 개발하였지만 향후 각 지자체별, 또한 전국 단위의 DB가 확보된다면 개발된 프로그램의 확장가능성이 매우 높을 것으로 기대된다.

개발된 프로그램의 속성데이터와 공간데이터는 Layer 클래스에서 관리되고 그 Layer 클래스들은 다시 LayerManagement 클래스에서 관리하고 있다. 따라서 LayerManagement 클래스가 데이터를 다루는 중심 클래스가 되도록 하였다. LayerManagement 클래스 객체가 View 클래스(CGISViewerView)의 멤버로 포함되어 있다. 공간데이터와 속성데이터(여기서는 라벨링 데이터만 해당)는 파일로부터 데이터를 읽어오면 동적 할당을 통해 배열이 만들어지고 그 안에 데이터들이 담겨지게 된다. 공간데이터의 경우 PolyObject, GeoPoint 구조체를 이용하고 속성데이터의 경우는 LabelObject 구조체를 이용하였다. 본 연구에서 개발된 프로그램 클래스 구조의 모형은 다음 그림과 같다. SHP 파일은 GIS 데이터를 사용하고 레어어의 관리를 위해 레이어의 추가, 표시, 삭제, 순서변경이 가능하게 하였다. 또한 개발된 프로그램에 사용되는 지도 데이터는 윈도우 화면상에 DC(device context)를 사용하여 그려지게 하였다. 다음 그림은 개발된 프로그램의 레이어 제어와 데이터 읽기, 지도그리기에 사용된 모형을 나타내었다.

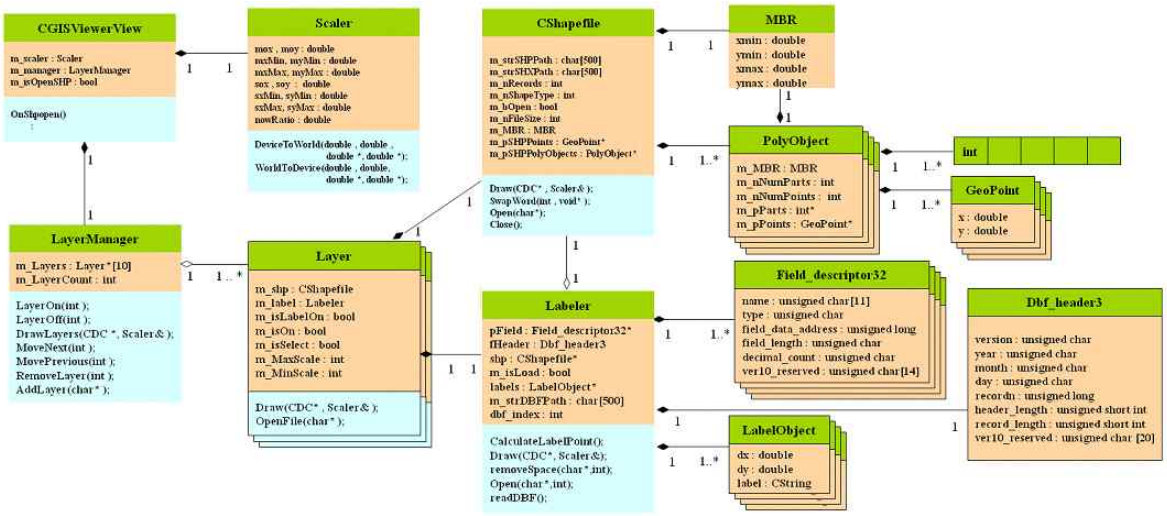


그림 51. 본 연구에서 개발된 프로그램의 클래스 구조

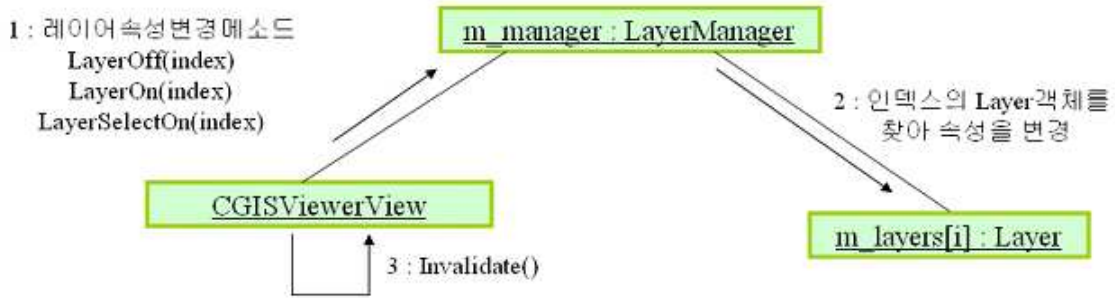


그림 52. 레이어 제어 모형

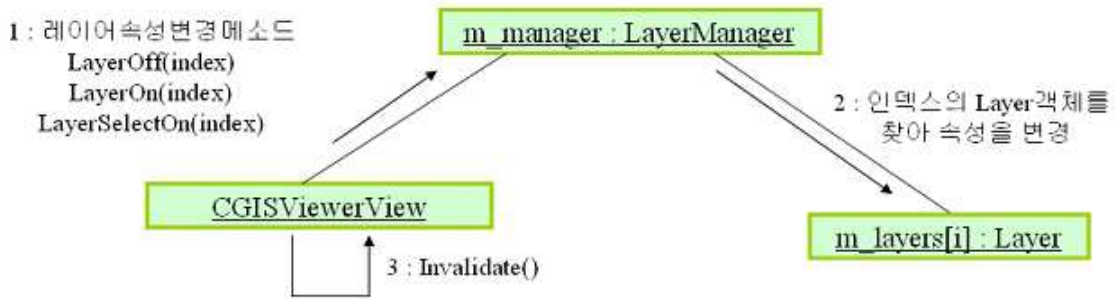


그림 53. 데이터 읽기 모형

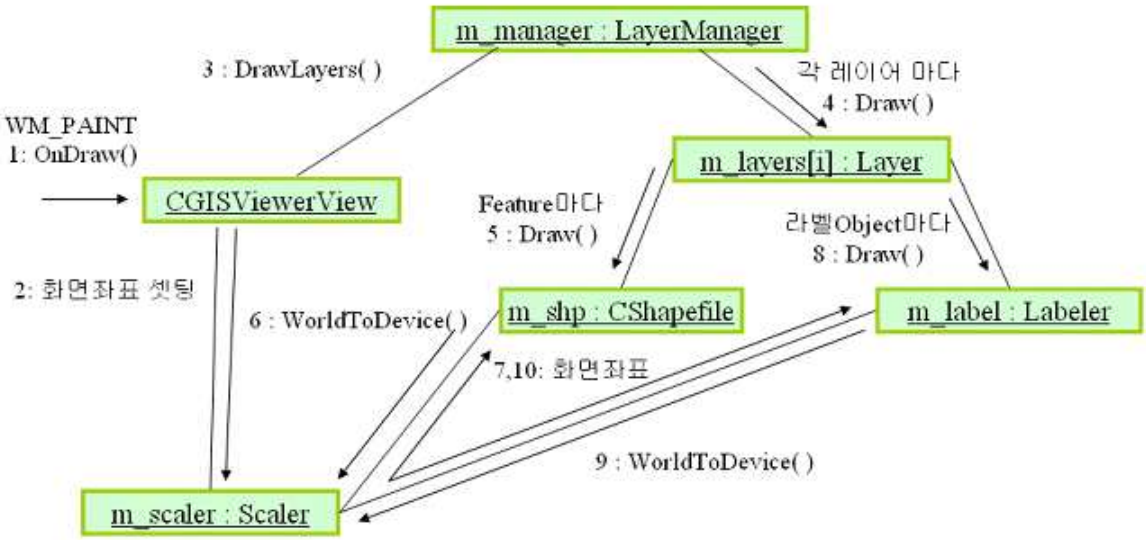


그림 54. 지도그리기 모형

4.2 Shape File의 구조와 데이터 읽기 code

Shapefile은 GIS의 Geometry 정보를 담고 있는 기본적인 파일이며 기본적으로 3개의 파일로 구성된다. 3개의 파일은 Main 파일, Index 파일, dBase table로 구성된다. Main 파일(.shp)은 직접적인 접근이 가능하며 가변적인 길이의 레코드를 가지는데 각각의 레코드는 결절점들(vertices)의 리스트를 가지고 하나의 Shape을 표현한다. Index 파일(.shx)은 각각의 레코드가 Main파일에 있는 공간데이터 레코드정보를 바로 접근할 수 있도록 접근 오프셋(Offset) 정보를 저장하고 있다. dBase table(.dbf)은 하나의 레코드가 하나의 Shape에 대응하는 속성정보를 가지고 있다. 또한 Shapefile에서 속성 데이터를 저장하는데 사용하는 포맷으로는 dBaseIII의 DBF포멧을 사용하였다. 다음 그림은 개발된 프로그램에서 사용된 Shapefile파일의 기본모형을 나타내었다.

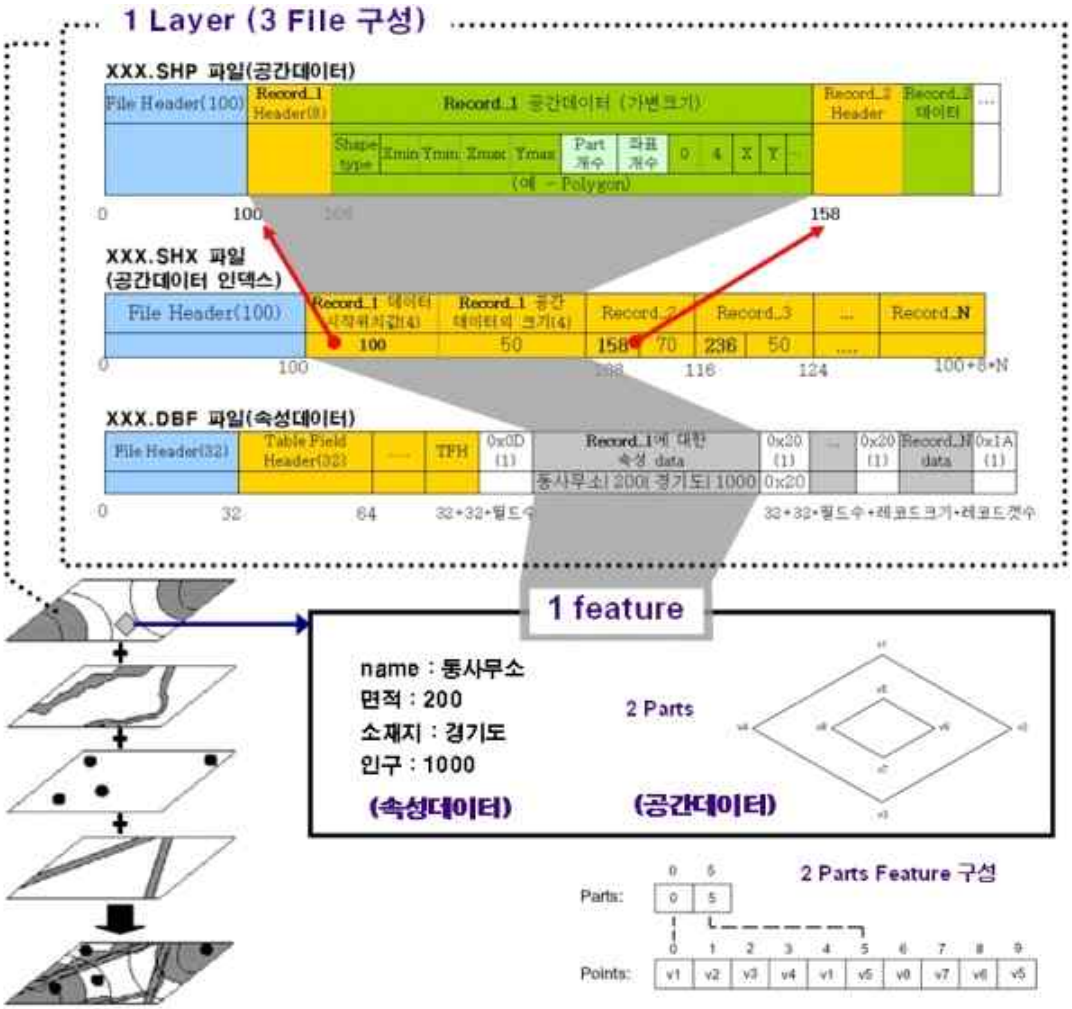


그림 55. ShapeFile의 기본 구조모형

또한 개발된 프로그램의 데이터 읽기 code 식은 다음 표와 같다.

표 178. 개발된 프로그램의 데이터 읽기 code

```
#include <iostream.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

//Shape Type의 종류를 정의
#define SHPT_NULL      0
#define SHPT_POINT      1
#define SHPT_ARC      3
#define SHPT_POLYGON      5
#define SHPT_MULTIPOINT      8

struct MBR
{
     double      xmin;
     double      ymin;
     double      xmax;
     double      ymax;
};

//Shape Type Point
struct GeoPoint
{
     double x;
     double y;
};

//Big Endian을 Little Endian으로 변경하는 함수
void SwapWord(int _length, int* _pWord);

int main()
{
     int               tmp, i, j;
     int               nRecords;
     int               nShapeType;
     MBR                extent; //최소사각형
     GeoPoint          *pSHPPoints;
     //Open SHP/SHX file
     FILE* fpSHP = fopen("point1.shp", "rb");
     FILE* fpSHX = fopen("point1.shx", "rb");
     // 데이터 읽기
     // .shx 파일을 통해 파일의 크기와 feature의 수를
계산
     fseek(fpSHX, 24L, SEEK_SET);
     fread(&tmp, 4, 1, fpSHX);
 SwapWord(4, &tmp); // Byte Order Changing
int m_nFileSize = tmp * 2; //Index 파일의 크기 계산
 nRecords = (m_nFileSize - 100)/8; //Record 갯수 계산
     fseek(fpSHP, 32L, SEEK_SET);
     fread(&nShapeType, 4, 1, fpSHP);
//Shape Type 알아내기
     if(!(nShapeType == 1 ))
     {
          cout << "Invalid Point SHP Type.." << endl;
          return -1;
     }
     //MBR 읽어내기
     fread(&extent, sizeof(MBR), 1, fpSHP);
//Point Record Content 읽어내기
pSHPPoints = new GeoPoint[nRecords];
     for(i=0; i<nRecords; ++i)
     {
               fseek(fpSHX, 100 + i * 8, SEEK_SET);
               fread(&tmp, 4, 1, fpSHX);
               SwapWord(4, &tmp);
               tmp=tmp * 2;

               fseek(fpSHP,  tmp + 12, SEEK_SET);
               fread((GeoPoint*)&pSHPPoints[i],   16,   1,
fpSHP);
     }
     break;
     // 읽은 좌표를 처리 코드들은 여기에서
     //메모리 제거 루틴
delete []pSHPPoints;
     fclose(fpSHX);
     fclose(fpSHP);
     return 0;
}
//Byte Order 변환
void SwapWord(int _length, int* _pWord)
{
     int          i;
     unsigned char      temp;
     for( i=0; i< _length/2; i++ )
{
          temp = ((unsigned char *) _pWord)[i];
          ((unsigned char *) _pWord)[i] = ((unsigned
char *) _pWord)[_length-i-1];
          ((unsigned char *) _pWord)[_length-i-1] =
temp;
     }
}
```

본 연구에서는 석면함유건설자재의 적정처리를 위한 지구단위 관리프로그램을 개발하고자 하였다. 건축면적에서 석면함유건설자재면적 산출식, 석면함유건설자재의 처리비용 및 온실가스 발생량, 석면함유건설자재의 석면자연발생량, 파손 시 석면발생량의 원단위를 code화하여 개발된 프로그램에 삽입하였다. 다음 표는 본 연구에서 개발된 프로그램의 원단위 code를 나타내었다.

표 179. 개발된 프로그램의 원단위 code

```
 f건축면적     =  pLayers->GetSelectionFieldInfo( index, _ARCHAREA_  );
f자재면적     =  f슬레이트지붕면적당건축면적 * f건축면적;
f석면발생량  =  f슬레이트비중 * f자재면적;

f사전조사 = f석면조사비용_일당        x  f석면조사비용_기간;
f사전작업 = f슬레이트_사전작업_비용 x f자재면적;
f해체제거 = f슬레이트_해체제거_비용 x f자재면적;
f처리청소 = f슬레이트_처리청소_비용 x f자재면적;
f적재반출 = f슬레이트_적재반출_비용 x f자재면적;
f운반처리 = f슬레이트_운반처리_비용 x f슬레이트_비중 * f자재면적;
f인건비    = f슬레이트_인건비_비용 x f자재면적;
f전체비용 = f사전조사 + f사전작업 + f해체제거 + f처리청소
  + f적재반출 + f운반처리 + f인건비;

f온실사전작업  = f단위온실가스발생량_슬레이트_사전작업 x f자재면적;
f온실처리청소  = f단위온실가스발생량_슬레이트_처리청소 x f자재면적;
f온실운반처리  = f단위온실가스발생량_슬레이트_운반처리_계수1
        x pow( f단위온실가스발생량_슬레이트_운반처리_계수2,
       f단위온실가스발생량_슬레이트_운반처리_계수2_승수 )
x f단위온실가스발생량_슬레이트_운반처리_계수3
x f자재면적;
f온실전체비용  = f온실사전작업 + f온실처리청소 + f온실운반처리;
int i경과년도  = i현재년도 - i건축연도;
f누적석면자연발생량 = f석면섬유자연발생량_연간슬레이트
           x f슬레이트지붕면적당건축면적 x f건축면적 x i경과년도;
f연간석면자연발생량 = f석면섬유자연발생량_연간슬레이트
  x f슬레이트지붕면적당건축면적 x f건축면적;
```

4.3 프로그램 시작품 개발

1. 프로그램의 개요 및 특징

본 프로그램의 개발기간은 2014년 2월부터 2014년 9월까지고 프로그램의 명칭은 'Asbestos Management'이며 저작권법과 컴퓨터 프로그램 보호법에 의해 보호받고 있다. Asbestos Management 프로그램은 석면함유건설자재의 효과적인 유지관리를 위해 기초자치단체별 석면분포특성과 석면자연발생량을 파악하고 해체, 철거의 효율성을 위해 각 석면함유건축물별 처리비용과 석면함유건설자재로 인한 추가적인 온실가스 발생량 파악 등 석면정보를 가시적으로 전달하는데 목적을 두었다. 건축물뿐만 아니라 지구단위에서도 석면함유건설자재의 관리가 가능하기 때문에 정책입안자, 시구청 관계자, 석면해체업자, 일반인 등에게 석면정보를 가시적으로 전달하고 중장기적인 석면함유건설자재의 효과적인 유지관리와 안전한 철거를 위해 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 본 프로그램에서 제공되는 석면정보는 석면처리비용, 석면함유건설자재 해체 시 발생하는 온실가스 발생량, 시간경과에 따른 석면섬유 자연발생량, 위험정보레벨, 파손 시 석면섬유 발생량 등이다. 다음 그림은 Asbestos Management 프로그램의 시작화면을 나타낸다.

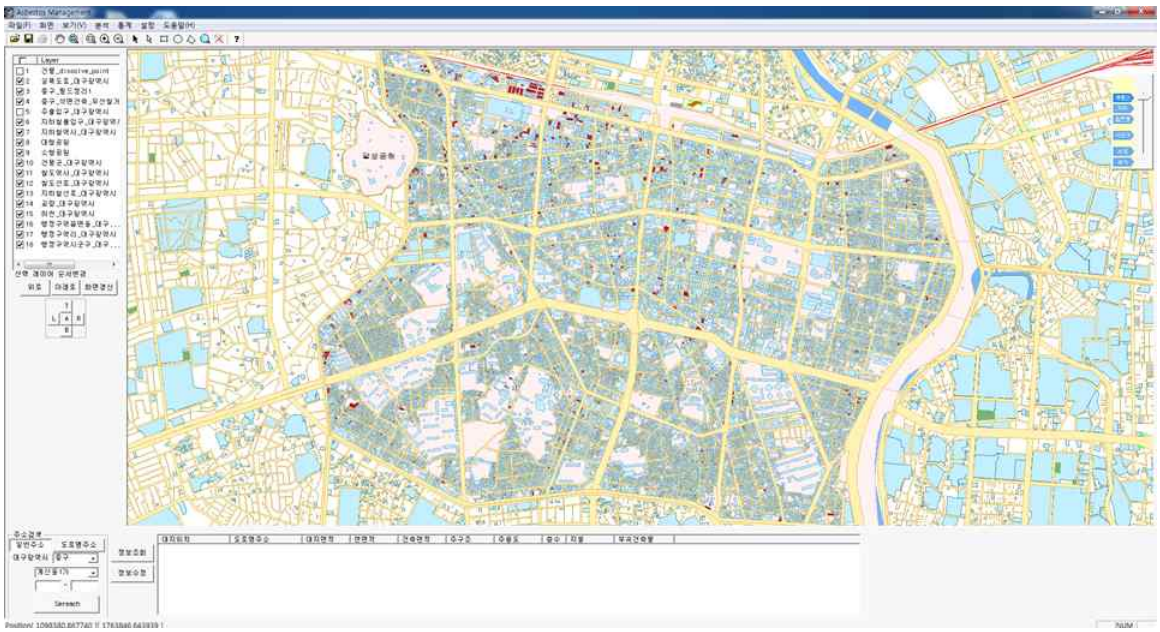


그림 56. Asbestos Management 프로그램의 시작화면

Asbestos Management 프로그램은 사용자의 편의를 위해 설치방법을 간단하고 이용이 쉽게 하였으며 일반적으로 사용하는 모든 윈도우에서 구동가능하게 하였다. 프로그램 사용에 익숙하지 않은 사용자를 위해 사용자 인터페이스 부분을 최대한 쉽고 깔끔하게 유지하였고 사용자 친화적 화면구성으로 활용성을 높였다. 프로그램의 설치는 별도의 설치프로그램 없이 압축된 파일을 해체하여 바로 사용할 수 있게 하였다. 프로그램의 압축파일을 적절한 폴더에

복사한 후 압축을 해제하여 Asbestos Management 파일을 실행시키면 된다. 프로그램의 제거 역시 별도의 프로그램 없이 해당 폴더 전체를 삭제하면 프로그램이 제거된다. 다음 그림은 압축해제 후 생성된 파일과 실행파일을 나타내었다. 프로그램 시작 시 로딩화면과 함께 그림과 같은 화면이 나타나며 마우스만으로 모든 조작을 진행할 수 있게 하였다. 프로그램의 종료는 메뉴-파일-끝내기 또는 프로그램 우측 상단의 x버튼을 클릭하면 된다.



그림 57. 압축해제 후 생성된 파일과 실행파일

2. 프로그램 메인화면의 구성

Asbestos Management 프로그램의 화면구성은 1. 메뉴바 및 툴바, 2. 건축물정보 List, 3. 지도검색 및 지도 Layer, 4. 지도화면으로 크게 4가지로 구분할 수 있다. 먼저 프로그램 상단의 메뉴바 및 툴바는 해당기능을 사용하여 지도확대/축소, 건축물 선택/해체, 원단위 DB 설정 등 기본기능을 수행할 수 있다. 프로그램 하단의 건축물정보 List는 건축물 검색결과 및 선택한 건축물의 기본정보와 석면정보를 확인할 수 있다. 지구단위 선택 후 정보조회 클릭 시 list 내 모든 건축물의 정보에 대한 정보 팝업창이 생성되고 단일 건축물의 더블클릭 시 해당 건축물에 대한 정보 팝업창이 생성된다. 프로그램 좌측의 지도검색 및 지도 Layer는 일반주소 또는 도로명주소로 건축물을 검색할 수 있으며 검색결과는 하단의 건축물정보 List에 나타나게 되고, 지도 Layer에서 항목을 클릭하여 활성/비활성 할 수 있고 그 결과는 우측 지도에서 나타나게 된다. 프로그램 우측 지도화면에서 지도 및 건축물을 나타내며 건축물의 단독 또는 지구단위 선택 시 건축물정보 list에 선택한 건축물정보 list가 생성된다. Asbestos Management 프로그램의 화면구성은 다음 그림과 같다.



그림 58. Asbestos Management 프로그램의 화면구성

프로그램의 메뉴는 크게 파일, 화면, 보기, 분석, 통계, 우선철거, 설정, 도움말 등 8가지로 분류되며 그 내용은 다음 표와 같다.

표 180. 프로그램 세부 메뉴의 분류 및 내용

대분류	소분류	내용
파일	• 열기	기초자치단체 DB파일을 불러옴
	• 저장	수정한 내용을 저장할 수 있음
	• 인쇄	지도 또는 데이터 정보 인쇄
	• 인쇄설정	프린터 및 용지 등 설정
	• 끝내기	프로그램 끝내기
화면	• 전체보기	해당 기초자치단체지역을 지도화면에 나타냄
	• 이동	지도화면을 마우스로 드래그하여 움직일 수 있음
	• 영역확대	마우스로 지도화면에서 4각형으로 지역을 선택하여 해당 지역을 지도화면에 확대하여 나타냄
	• 확대	지도화면 확대(마우스 스크롤 ↑)
	• 축소	지도화면 축소(마우스 스크롤 ↓)
	• 정보	지도상 선택한 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• ShowLabel	
	• HideLabel	
보기	• MapView	지도화면 생성 화면 맨 위에 생성
	• DBView	건축물정보 팝업창 화면 맨 위에 생성
분석	• 단독 포인트 선택	지도상에서 건축물을 단독으로 선택함, 건축물 클릭 시 해당 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• 다중 포인트 선택	지도상에서 건축물을 다중으로 선택함, 건축물 클릭 시 선택된 모든 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• 사각형	지도상에서 4각형 구역 설정하여 4각형 내 모든 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• 원	지도상에서 원형 구역 설정하여 원형 내 모든 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• 폴리곤	지도상에서 다각형 구역 설정하여 다각형 내 모든 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• 읍면동	팝업창에 읍면동 명칭을 적고 선택하여 해당 읍면동 내 모든 건축물 정보(석면정보) 팝업창 생성
	• 선택해제	지도상에 선택한 모든 건축물 해제
통계	• 통계	팝업창을 생성하여 기초자치단체내의 모든 건축물 구조, 지붕재료, 용도, 층수 등 현황에 대한 건축물 수 및 건축면적 통계를 그래프로 나타냄.
우선철거지역	• 우선철거지역	지도상에서 우선철거지역을 생성함. 다른 색깔로 표시하여 등급 및 위험정도를 구분할 수 있음,
설정	• Setting	처리비용, 온실가스 발생량 등의 원단위 DB를 수정할 수 있음.
도움말	• 제품 정보	제품정보

3. 메인메뉴의 기능 및 사용

프로그램의 메뉴는 크게 파일, 화면, 보기, 분석, 통계, 우선철거, 설정, 도움말 등 8가지로 분류된다. 먼저 [파일] - 열기에서 기초자치단체의 DB파일(SHP파일)을 불러올 수 있고 [파일] - 저장에서 [설정]메뉴에서 설정된 석면정보 원단위의 입력/수정된 내용을 저장할 수 있다. [파일] - 인쇄에서 지도 또는 데이터 정보를 인쇄할 수 있고 [파일] - 인쇄설정에서 프린터 및 용지 설정이 가능하며 파일 - [끝내기]에서 프로그램을 종료할 수 있다. 다음 그림은 인쇄 및 인쇄설정 화면과 지도 DB파일 불러오기 화면을 나타낸다.



그림 59. [파일] - 인쇄 및 인쇄설정 화면



그림 60. [파일] - 열기의 지도 DB파일(SHP파일) 불러오기

[화면] - 전체보기에서 해당 기초자치단체지역의 전체 지도화면을 볼 수 있고 [화면] - 이동에서 지도화면을 마우스로 드래그하여 움직일 수 있다. [화면] - 영역확대에서 지도화면에서 해당지역을 확대하여 지도화면에 나타낼 수 있다. [화면] - 확대, 축소에서 마우스 스크롤

조작으로 지도화면을 확대, 축소할 수 있다. [화면] - 정보에서 지도상에서 선택한 건축물의 일반정보와 석면정보를 나타내는 팝업창을 생성할 수 있다. 다음 그림은 [화면] - 전체보기 클릭 시 전체 지도 생성모습과 [화면] - 영역확대 클릭 시 해당지역의 확대화면을 나타낸다.



그림 61. [화면] - 전체보기 클릭 시 전체 지도화면 생성



그림 62. [화면] - 영역확대 클릭 시 해당지역의 확대화면

[보기] - Map View와 [보기] - DB View는 지도화면과 건축물정보 화면 중에 어느 것을 맨 위에 생성할 것인가를 선택할 수 있다.

[분석] - 단독 포인트 선택은 지도상에서 건축물을 단독으로 선택할 수 있다. 건축물을 클릭 시 해당 건축물의 일반적인 정보와 석면정보의 팝업창을 생성하여 석면건축물을 클릭 할 시 건축물의 색상이 보라색으로 변하게 된다. [분석] - 다중 포인트 선택은 지도상에서 건축물을 다중으로 선택할 수 있다. 건축물 클릭 시 선택된 모든 건축물의 일반적인 정보와 석면정보의 팝업창을 생성하며 석면건축물은 보라색으로 석면건축물이 아닌 경우 노란색으로 변하게 된다. [분석] - 사각형, 원, 폴리곤은 지도상에서 지구단위의 건축물을 선택할 시 사용되며 설정된 구역 내 모든 건축물의 일반적인 정보와 석면정보의 팝업창을 생성한다. 특히 [분석] - 폴리곤은 원하는 구역을 사용자가 임의로 선택할 수 있는 장점이 있다. [분석] - 읍면동은 팝업창에 읍면동 명칭을 입력하면 해당하는 읍면동 전체의 모든 건축물의 일반적인 정보와 석면정보가 팝업창으로 생성된다. [분석] - 읍면동은 기초행정구역별로 건축물의 일반적인 정보와 석면정보를 한눈에 알 수 있다는 장점이 있다. [분석] - 선택해제는 지도상에서 선택한 모든 건축물의 선택을 해제하는 기능을 가진다. 다음 그림은 단독 포인트 선택과 다중 포인트 선택 시 지도화면의 색상 변화, 지구단위의 건축물 선택 방법, 읍면동단위의 지구단위 선택 방법을 나타낸다.



그림 63. 단독 및 다중 포인트 선택 시 지도화면의 색상 변화

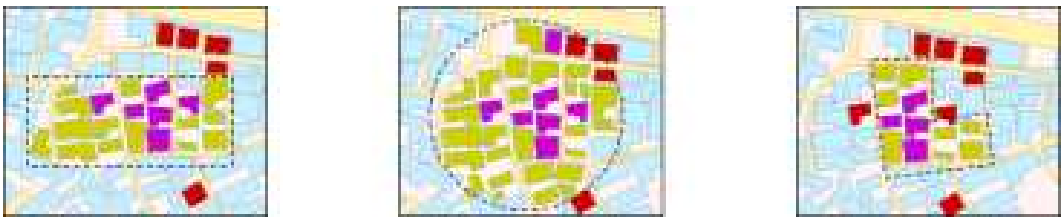


그림 64. 지구단위 건축물의 선택 방법 (사각형, 원, 폴리곤)



그림 65. 읍면동 단위의 건축물 선택 방법

[통계]에서는 팝업창을 생성하여 지도 DB와 SHP파일에 해당하는 기초자치단체 내의 모든 건축물의 구조, 지붕재료, 용도, 층수 등의 현황에 대한 정보를 그래프로 가시화한다. 해당하는 기초자치단체의 지도 DB만 구축된다면 전국의 모든 건축물에 대한 통계 또한 가능하다는 장점이 있다. 다음 그림은 대구광역시 중구의 석면정보에 대한 통계 그래프의 모습을 나타낸다.

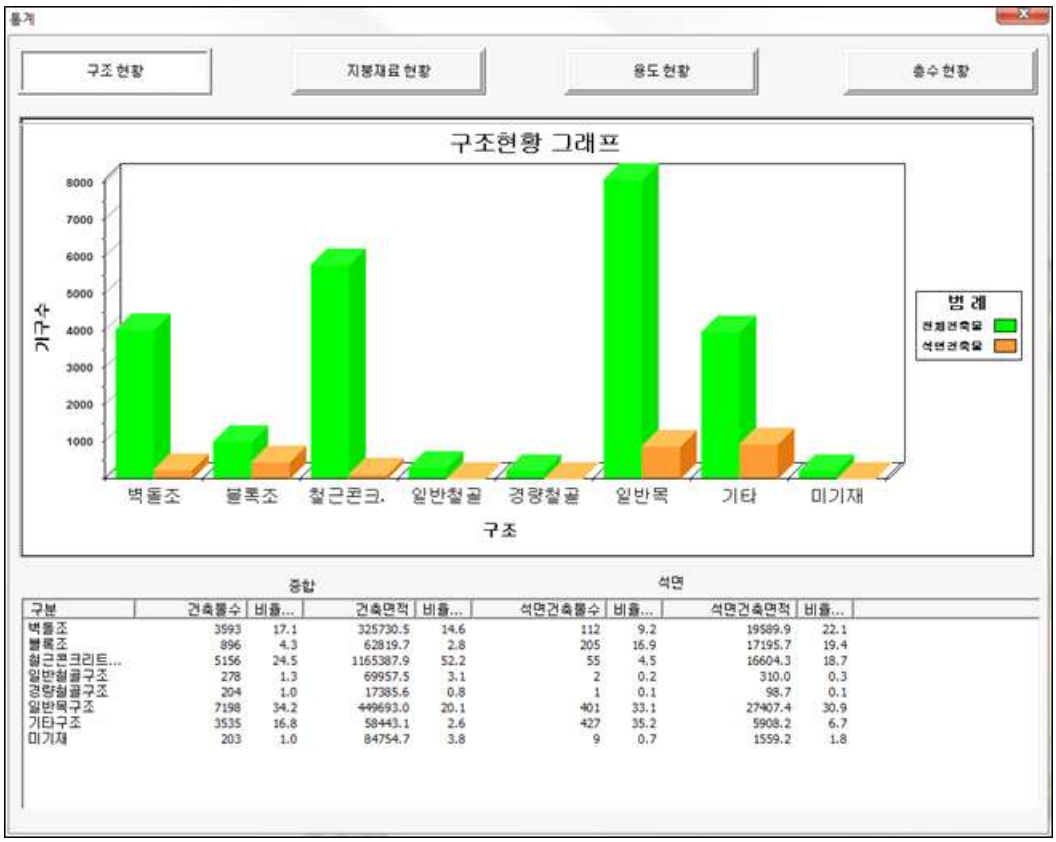


그림 66. 대구광역시 중구의 석면정보 통계 그래프 모습

[우선철거지역]에서는 대구광역시 중구의 석면함유건축물 우선철거지역을 생성한다. 위험지역 등급별로 다른 색상으로 표현하여 위험지역의 등급 및 위험정도를 시각화하였다.

[설정] - setting에서는 본 연구에서 도출된 석면정보 원단위 이외에 프로그램의 사용자가 원단위를 재설정할 수 있게 하였다. 예를 들면 지구단위의 석면해체, 철거 작업 시 단일 건축물과는 다르게 발주자가 입찰된 처리비용으로 처리비용 원단위를 재설정할 수 있다는 점으로 실제 프로그램 사용자인 정책입안자, 시구청관계자, 석면해체업자, 일반인 등이 효율적으로 Asbestos Management 프로그램을 활용할 수 있다. 또한 지방자치단체별로 매립지까지의 거리를 고려한 석면폐기물 운반 및 처리단계의 비용을 적용할 수 있어 향후 중구 이외의 다른 지자체로 확대 적용 시 프로그램의 활용성을 높였다. 다음 그림은 [설정] - setting의 원단위 설정 팝업창의 모습을 나타낸다.

[도움말]에서는 프로그램의 정보, 저작권, 제작자 등에 대한 기본정보를 제공한다.

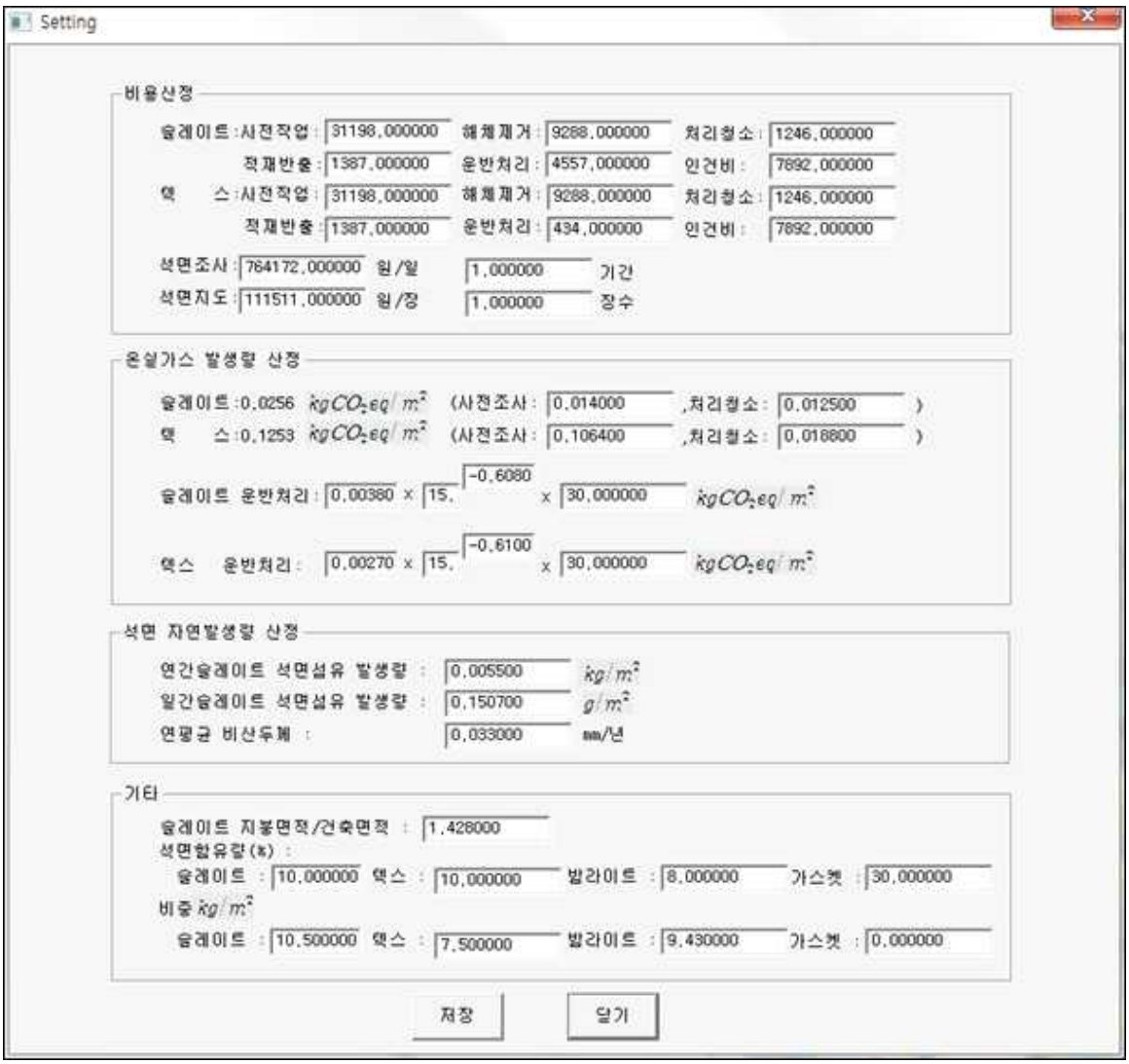


그림 67. 프로그램 원단위 setting 팝업창의 모습

4.4 프로그램 활용 및 검증

1. 지도 Layer 사용 및 주소검색

Asbestos Management 프로그램의 화면구성 중에서 좌측 지도검색 및 지도 Layer는 일반주소 또는 도로명주소로 건축물을 검색할 수 있으며 검색결과는 하단의 건축물정보 List에 나타나게 되고, 지도 Layer에서 항목을 클릭하여 활성/비활성 할 수 있고 그 결과는 우측 지도에서 나타나게 된다. 해당 주소가 검색되면 해당 건축물은 색상이 변하게 된다. 다음 그림은 주소를 검색하는 예시와 Layer 활성/비활성 예시를 나타내었다.

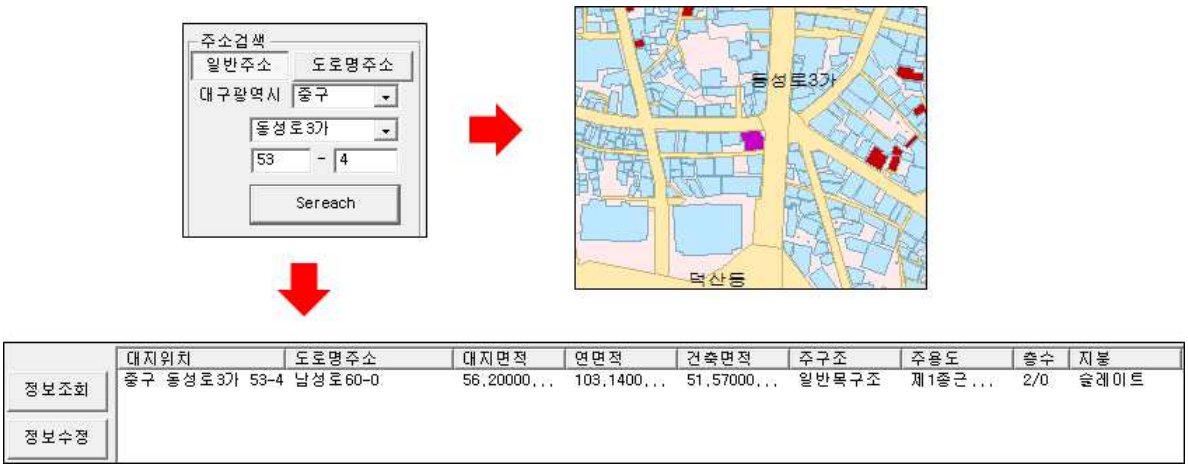


그림 68. 일반주소 및 도로명주소로 주소검색 예시



그림 69. Layer 활성/비활성 예시

2. 석면건축물의 정보 팝업창 보기

Asbestos Management 프로그램의 화면구성 중에서 앞에서 언급한 주소검색으로 주소를 검색하거나 화면 중앙의 지도화면에서 마우스 조작으로 단일건축물과 다중건축물을 선택할 수 있다. 또한 메뉴탭의 [분석] - 폴리곤을 활용하여 마우스 조작으로 지구단위의 건축물과 [분석] - 읍면동을 활용하여 읍면동단위의 건축물을 선택할 수 있다. 석면정보를 분석할 건축물이 특정되면 지도화면위에 팝업창이 생성되어 해당건축물의 일반적인 건축물 정보와 석면정보를 확인할 수 있다. 다음 그림은 Asbestos Management 프로그램의 화면구성 중에서 지도화면을 나타내며 지도화면위에 팝업창이 생성된다.



그림 70. Asbestos Management 프로그램의 지도화면

지도화면에서 석면정보를 분석할 건축물이 특정되면 지도화면위에 팝업창이 생성된다. 생성된 팝업창에는 건축물의 기본적인 정보와 석면정보가 나타난다. 건축물의 기본적인 정보는 해당 건축물의 주소, 건축면적, 연면적, 대지면적, 건축연도, 건폐율, 용적률, 지붕재료, 건축층수, 높이, 구조, 용도, 위반건축물 여부 등이 나타나고 석면정보로는 석면함유건설자재의 종류, 석면함유건설자재의 면적, 석면함유건설자재의 사용위치, 석면함유율, 석면함유건설자재의 발생량, 손상정도가 나타난다. 또한 생성된 팝업창의 하단에 석면함유건설자재의 처리비용과 온실가스 발생량, 석면자연발생량, 위험정도레벨, 파손 시 석면섬유발생량 탭이 생성되어 클릭 시 해당 정보를 확인할 수 있다. 다음 그림은 생성된 팝업창의 모습을 나타낸다.



그림 71. 생성된 팝업창의 모습

생성된 팝업창의 하단에 생성된 탭을 클릭하면 해당 정보를 확인할 수 있다. 먼저 비용탭을 클릭하면 해당건축물의 석면함유건설자재의 처리비용을 확인할 수 있다. 비용탭을 클릭하면 석면함유건설자재의 해체, 제거 단계별로 비용과 인건비를 확인할 수 있으며 전체 처리비용 또한 확인할 수 있다. 다음 그림은 비용탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습을 나타낸다.

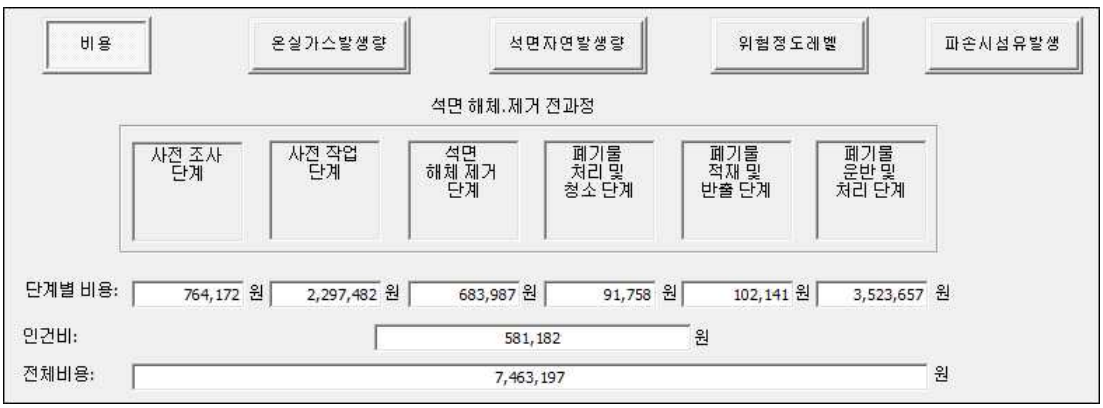


그림 72. 비용탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습

온실가스 발생량탭을 클릭하면 해당건축물의 석면함유건설자재의 해체, 제거 시 온실가스 발생량을 확인할 수 있다. 여기서 온실가스 발생량은 일반건축자재 해체, 제거 시 발생되는 온실가스에 추가적으로 발생하는 온실가스의 발생량이며 석면함유건설자재의 해체, 제거 단계별 온실가스의 발생량과 그 합을 확인할 수 있다. 다음 그림은 온실가스 발생량탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습을 나타낸다.

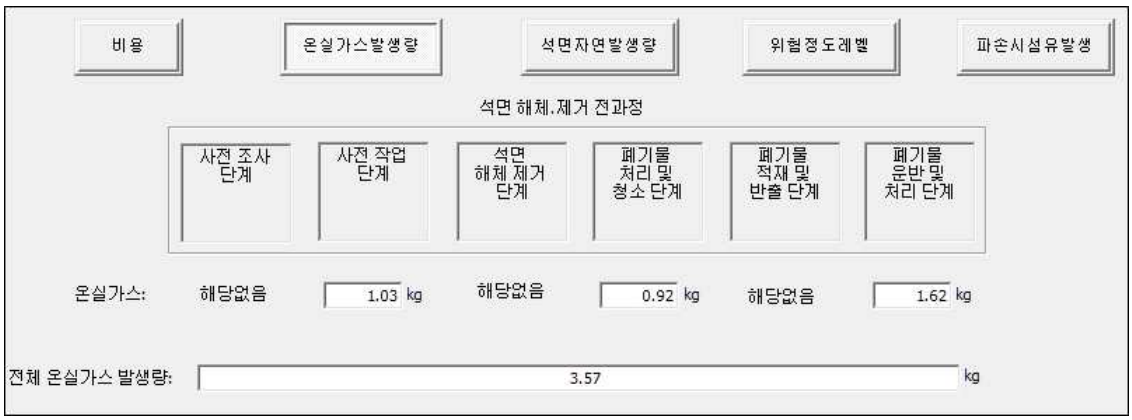


그림 73. 온실가스 발생량탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습

석면자연발생량탭을 클릭하면 해당건축물의 석면함유건설자재에서 발생하는 석면의 자연발생량을 확인할 수 있다. 해당건축물의 경과년도와 경과년도에 따른 석면함유건설자재의 두께변화를 그래프로 나타내며 현재까지의 누적석면자연발생량과 연간석면자연발생량을 확인할 수 있다. 다음 그림은 석면자연발생량탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습을 나타낸다.

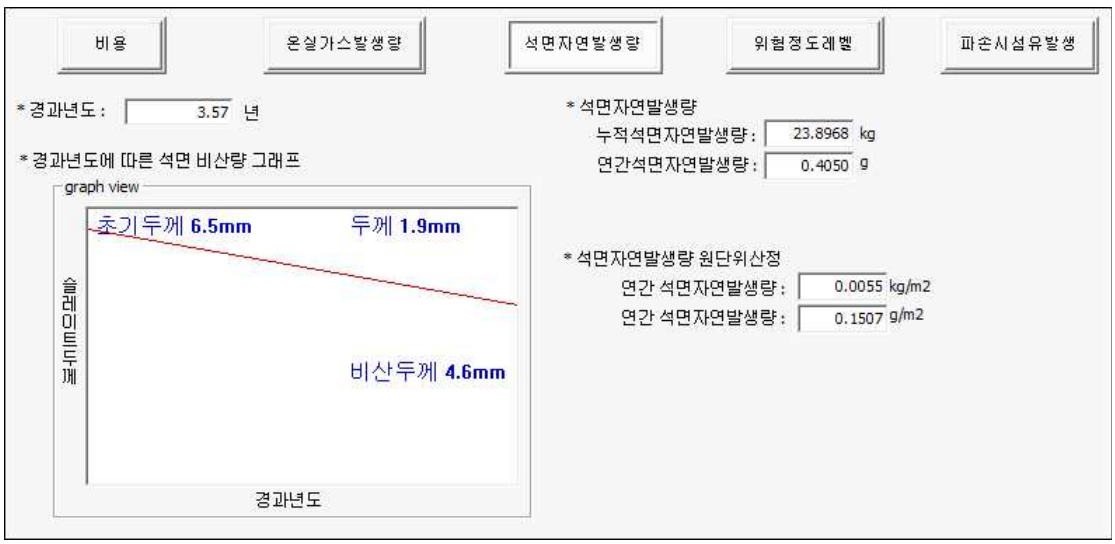


그림 74. 석면자연발생량탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습

위험정보레벨탭을 클릭하면 당건축물의 건물면적, 건물연도, 학교반경, 도로반경 등의 위험속성을 고려한 석면위험도를 산정하여 레벨로 구분하여 나타낸다. 또한 파손시 섬유발생탭을 클릭하면 해당정보가 팝업창에 나타나게 된다. 다음 그림은 해당 탭의 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습을 나타낸다.



그림 75. 위험정도레벨탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습

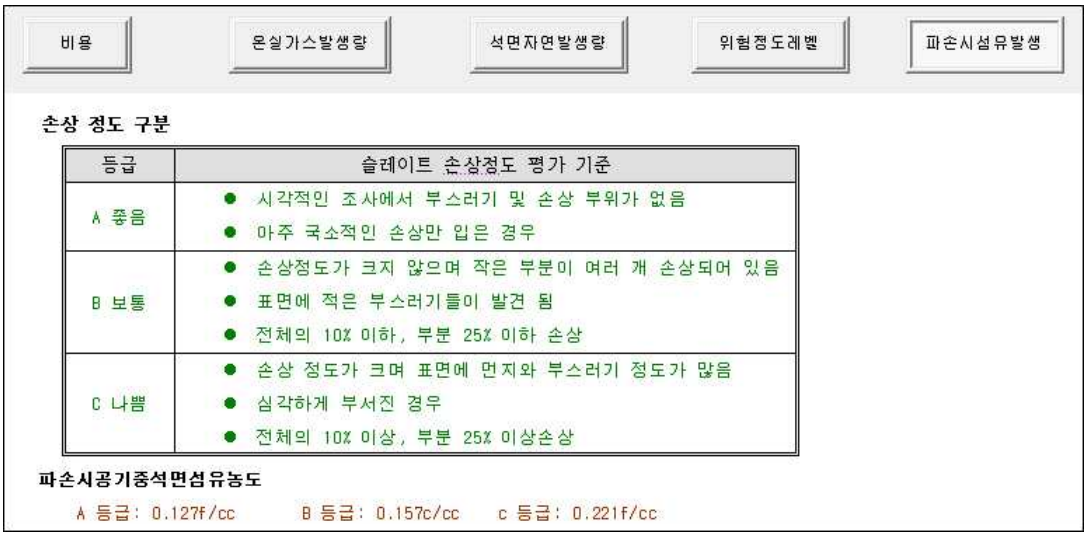


그림 76. 파손시 섬유발생탭 클릭 시 생성되는 팝업창의 모습

3. 프로그램 활용 및 검증

현재 대구광역시 중구를 기반으로 개발된 본 프로그램을 지도 DB만 교환해준다면 다른 기초자치단체에서도 활용가능하게 지도 DB의 필드 구조를 다음 표에서 나타내었다. 지도 DB의 컬럼명을 일치시키면 자동으로 프로그램이 DB를 읽으며 해당 지도 DB의 정보를 나타낸다. 프로그램의 바탕이 되는 지도는 새주소 Shp 파일이고 Map 좌표는 동부원점을 사용하였다.

표 181. 데이터 정보 컬럼 명세서

No	컬럼명	타입	설명
1	SHAPE	INTEGER	도형ID
2	PNU	VARCHAR2	토지코드
3	ARCHAREA	NUMBER	건축면적
4	TOTALAREA	NUMBER	연면적
5	PLATAREA	VARCHAR2	대지면적
6	HEIGHT	NUMBER	높이
7	STRCT_CD	NUMBER	구조
8	USABLILITY	NUMBER	용도
9	BC_RAT	NUMBER	건폐율
10	VL_RAT	VARCHAR2	용적율
11	VIOL_BD_YN	VARCHAR2	위반건축물
12	ROOF_CD	VARCHAR2	지붕구조
13	address	NUMBER	주소
14	floors	NUMBER	층수(지상/지하)
15	USEAPR	VARCHAR2	사용승인일
16	L_BLDarea	NUMBER	석면건축 면적 레벨
17	L_BLDyear	NUMBER	석면건축 연도 레벨
18	L_BLDsch	NUMBER	석면건축 학교 반경 레벨
19	L_BLDroad	NUMBER	석면건축 도로 반경 레벨
20	T_ASB_Lv	NUMBER	석면건축 총 레벨
21	SIDO	VARCHAR2	시도명
22	SIGUNGU	VARCHAR2	시군구명
23	BJDONG	VARCHAR2	법정동명
24	BUN	VARCHAR2	지번(본번)
25	JI	VARCHAR2	지번(부번)
26	N_ROAD	VARCHAR2	도로명주소
27	N_BUN	VARCHAR2	도로명주소(본번)
28	N_JI	VARCHAR2	도로명주소(부번)
29	JUGI	VARCHAR2	건물명

본 프로그램을 활용하여 석면함유건축물 우선철거지역 중에서 대구광역시 중구의 수창동 일대에 대한 분석을 실시하였다. 본 프로그램을 활용한 대구광역시 중구의 수창동 일대의 분석결과는 다음 그림과 같다. 해당 지구의 분석결과 해당지구단위의 전체 건축물 수는 108개로 나타났고 이 중에서 석면함유건축물의 수는 35개로 32.4%를 차지하였다. 또한 해당지구단위의 전체 석면자재면적은 1,684.7m^2으로 나타났고 총 석면자재발생량은 17,689.5kg으로 나타났다. 마지막으로 해당지구단위에서 석면함유건축자재를 모두 해체, 철거하는데 소요되는 비용은 94,491,737원으로 나타났고 해당지구단위에서 석면함유건축자재를 모두 해체, 철거하는데 발생하는 온실가스는 81.66kg으로 나타났다.

개발된 프로그램으로 도출된 결과값을 검증하기 위해서 해당지구를 직접 방문하여 전체 건축물 수와 석면함유건축물의 수를 조사하였다. 조사결과 총 건축물 수는 111개로 나타났고 석면함유건축물의 수는 33개로 나타났다. 따라서 프로그램의 결과값과 비교하면 전체 건축물 수는 97.29%, 석면함유건축물의 수는 94.28%의 정확도를 보였다. 이는 건축물대장의 행정적인 오차 때문인 것으로 판단되며 향후 현장조사의 결과값을 반영한다면 개발된 프로그램의 정확도가 더욱 증가할 것으로 판단된다.

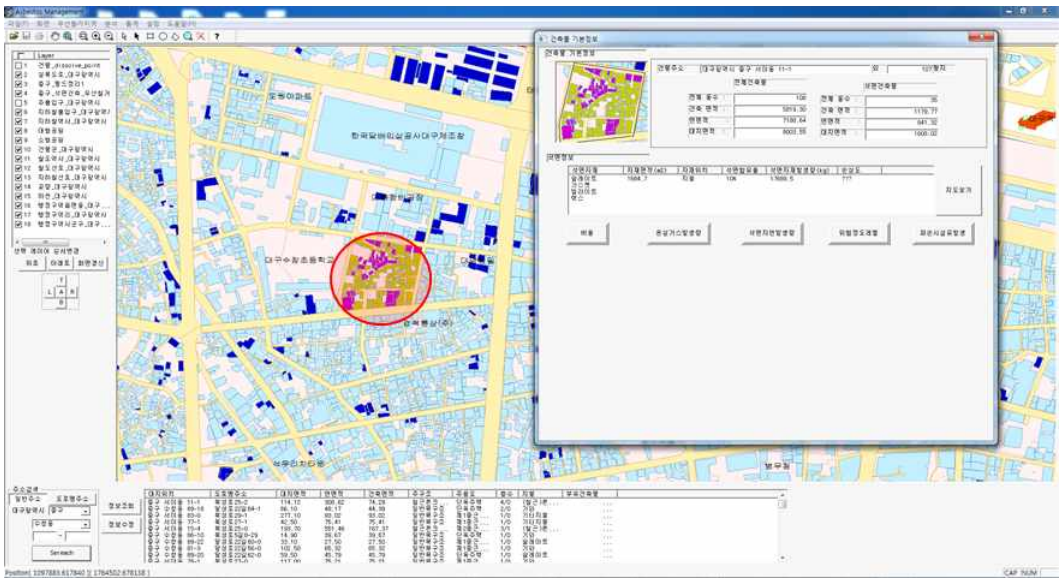


그림 77. 대구광역시 중구 수창동 일대 석면함유건축물 분석결과

Asbestos Management 프로그램은 석면함유건설자재의 효과적인 유지관리를 위해 기초자치단체별 석면분포특성과 석면자연발생량을 파악하고 해체, 철거의 효율성을 위해 각 석면함유건축물별 처리비용과 석면함유건설자재로 인한 추가적인 온실가스 발생량 파악 등 석면정보를 가시적으로 전달하는데 목적을 두었다. 건축물뿐만 아니라 지구단위에서도 석면함유건설자재의 관리가 가능하기 때문에 정책입안자, 시구청 관계자, 석면해체업자, 일반인 등에게 석면정보를 가시적으로 전달하고 중장기적인 석면함유건설자재의 효과적인 유지관리와 안전한 철거를 위해 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 향후 지속적인 업데이트 및 일반건설폐기물로의 확대로 지구단위 건설폐기물 관리 프로그램으로 발전가능성이 크다고 판단된다.

프로그램을 사용하여 대구광역시 중구에 위치한 모든 건축물 중 석면건축물의 해체·제거 전 과정에서 발생하는 온실가스 발생량 및 처리비용을 산정하였다. 프로그램의 읍면동 기능을 사용하여 중구를 동단위로 구분하고 각 동의 석면건축물 정보를 추출하여 DB화하였다.

슬레이트 해체·제거 전 과정 비용 산정 시 사전조사 단계의 비용은 제외하였다. 그 이유는 건축물 석면조사 시 지구단위 조사 또는 개별 건축물 조사에 따라 조사일이 일정하지 않고 건축물의 규모에 따라 석면지도 장수 또한 일정하기 않기 때문이다. 슬레이트 해체·제거 전 과정 온실가스 발생량 산정 시 석면폐기물 운반 및 처리 과정에서 발생한 온실가스 발생량

은 제외하였다. 그 이유는 지구단위 석면 해체제거 계획에 따라, 석면 해체·제거 업체와 최종 폐기물 매립장의 선정에 따라 석면폐기물 운반차량의 톤수 및 석면폐기물 매립장까지의 거리 및 운반회장 정보가 확실하지 않기 때문이다.

대구광역시 중구 전체의 석면건축물을 대상으로 프로그램을 사용하여 산정한 각 행정구역 단위의 슬레이트 해체·제거 시 발생하는 처리비용 및 온실가스 발생량은 다음 표와 같다. 대구광역시 중구의 전체 건축물 21,061동 중 석면슬레이트 사용 건축물의 동수는 1,212동이고 건축면적은 88,673.37m^2로 나타났다. 대구광역시 중구 전체에서 발생한 슬레이트의 면적은 126,625.57m^2로 산정되었고 해체·제거 비용은 70억 3627만 7952원, 해체·제거 전과정 온실가스 발생량은 3,355.58kg으로 산정되었다.

표 182. 대구광역시 중구 석면 처리비용 및 온실가스 발생량 정보

읍면동	석면 건축물 (동)	건축면적 (m^2)	슬레이트면적 (m^2)	처리비용 (원)	온실가스 발생량 (kg)
계산동 1가	1	24.79	35.40	1,967,099	0.94
계산동 2가	0	0.00	0.00	0	0.00
공평등	4	648.19	925.62	51,434,213	24.53
교동	6	229.35	327.51	18,199,042	8.68
남산동	365	17,242.61	24,622.45	1,368,210,056	652.49
남성로	2	101.22	144.54	8,031,860	3.83
남일동	2	363.96	519.73	28,880,415	13.77
달성동	60	4,048.34	5,781.03	321,237,881	153.20
대봉동	121	5,768.03	8,236.75	457,696,175	218.27
대신동	164	9,215.73	13,160.06	731,272,961	348.74
대안동	12	745.12	1,064.03	59,125,659	28.20
덕산동	0	0.00	0.00	0	0.00
도원동	4	206.25	294.53	16,366,045	7.80
동문동	7	375.47	536.17	29,793,739	14.21
동산동	15	1,039.49	1,484.39	82,484,071	39.34
동성로 1가	2	103.83	148.27	8,238,964	3.93
동성로 2가	7	914.70	1,306.19	72,581,920	34.61
동성로 3가	7	1,078.09	1,539.51	85,547,001	40.80
동인동 1가	11	1,436.97	2,051.99	114,024,316	54.38
동인동 2가	5	226.58	323.56	17,979,241	8.57
동인동 3가	36	5,683.46	8,115.98	450,985,502	215.07
동인동 4가	44	2,133.97	3,047.31	169,331,628	80.75
동일동	3	256.59	366.41	20,360,550	9.71
문화동	5	316.03	451.29	25,077,145	11.96
봉산동	45	3,177.49	4,537.46	252,135,481	120.24
북내동	4	262.08	374.25	20,796,184	9.92
북성로 1가	8	688.52	983.21	54,634,420	26.05
북성로 2가	4	927.40	1,324.33	73,589,672	35.09
사일동	0	0.00	0.00	0	0.00
삼덕동 1가	8	1,061.59	1,515.95	84,237,718	40.17
삼덕동 2가	2	257.28	367.40	20,415,302	9.74
삼덕동 3가	14	582.01	831.11	46,182,796	22.02
상덕동	2	202.97	289.84	16,105,775	7.68
상서동	0	0.00	0.00	0	0.00
서내동	4	170.78	243.87	13,551,482	6.46
서문로 1가	7	356.68	509.34	28,302,743	13.50
서문로 2가	4	263.50	376.28	20,908,862	9.97
서성로 1가	3	97.96	139.89	7,773,177	3.71
서성로 2가	2	184.46	263.41	14,636,997	6.98
서야동	13	1,072.42	1,531.42	85,097,084	40.58
수동	0	0.00	0.00	0	0.00
수창동	65	8,198.95	11,708.10	650,590,940	310.26
시장북로	18	2,044.97	2,920.22	162,269,431	77.39
완전동	5	163.77	233.86	12,995,235	6.20
용덕동	0	0.00	0.00	0	0.00
인교동	22	2,335.83	3,335.57	185,349,323	88.39
장관동	1	95.30	136.09	7,562,104	3.61
전동	1	82.61	117.97	6,555,146	3.13
종로1가	8	446.59	637.73	35,437,148	16.90
종로2가	6	445.08	635.57	35,317,329	16.84
태평로1가	4	813.02	1,160.99	64,513,559	30.77
태평로2가	14	1,891.07	2,700.45	150,057,386	71.56
태평로3가	52	9,437.94	13,477.38	748,905,439	357.15
포정동	1	101.78	145.34	8,076,296	3.85
하서동	0	0.00	0.00	0	0.00
향촌동	3	261.62	373.59	20,759,683	9.90
화전동	9	890.93	1,272.25	70,695,758	33.71
전체	1212	88,673.37	126,625.57	7,036,277,952	3,355.58

5. 추가 연구내용 정리

5.1. 석면함유자재의 시간경과에 따른 석면섬유 자연발생량 산정식 개발

1. 분석개요

거주환경 및 인체건강에 위협을 주는 석면함유건설자재에 대한 관리 및 연구는 매우 중요한 일이다. 텍스는 실내 천장재로 사용되며 실내에서는 바람, 빗물 등으로 인한 노화, 진동 등이 거의 없기 때문에 텍스로 인한 석면섬유의 비산은 크게 우려되지 않는다. 하지만 석면함유건설자재 중에서 석면슬레이트는 시간이 지나면서 표면의 노화, 진동 등으로 인해 석면섬유를 발생시킬 수 있고 바람, 빗물 등의 자연현장을 통해 주변의 토양에 스며들어 2차 비산을 발생시킬 수 있다. 따라서 석면함유건설자재 중에서 석면슬레이트의 석면섬유 비산에 관한 연구는 매우 필요하다고 판단된다. 현재 빗물을 통한 석면슬레이트의 석면섬유 방출량에 관한 연구나 슬레이트 주변 토양 중 석면섬유 발생량 조사 등에 관한 연구는 진행되어 왔지만 아직 슬레이트 설치 경과년도에 따른 석면섬유의 자연발생량(노화와 기후영향으로 인하여 슬레이트 표면에서 자연적으로 발생한 석면섬유량)에 관한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 장에서는 **석면함유건설자재 중에서 석면슬레이트를 대상으로 시간경과에 따른 석면슬레이트의 두께 변화를 통한 석면섬유의 자연발생량**을 알아보고자 하였다. 그 결과로 석면슬레이트의 석면섬유 자연발생량 예측모델을 개발하였다. 본 연구에서는 슬레이트 설치 경과년도에 따른 두께변화를 알아보기 위하여 울주군 청량면 및 청원군 남이면 두 곳을 조사대상지로 선정하였다. 현장에 방문하여 슬레이트를 사용한 건축물 총 135동을 조사하였다. 조사대상 건축물의 주소, 슬레이트 설치년도, 건물용도, 건축구조, 지붕형태, 처마확장여부, 슬레이트의 손상정도, 두께 등 정보에 대하여 알아보았다. 두께의 경우 마이크로미터를 사용하여 지붕 끝 부분과 가운데 부분, 슬레이트의 골마루와 골밑의 두께를 측정하고 측정한 데이터를 DB화하였다. 다음 SPSS를 이용하여 슬레이트 경과년도에 따른 두께변화를 회귀분석하고 석면섬유 자연발생량 예측모델을 개발하였다. 본 연구의 결과는 향후 건축물 단위, 각 지역별 및 전국의 석면슬레이트 석면섬유 자연발생량을 예측하고 석면섬유의 자연발생으로 인한 피해예방 등의 가이드라인, 정책개발 등에 적극 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 본 장에서의 연구의 흐름은 다음 그림과 같다.

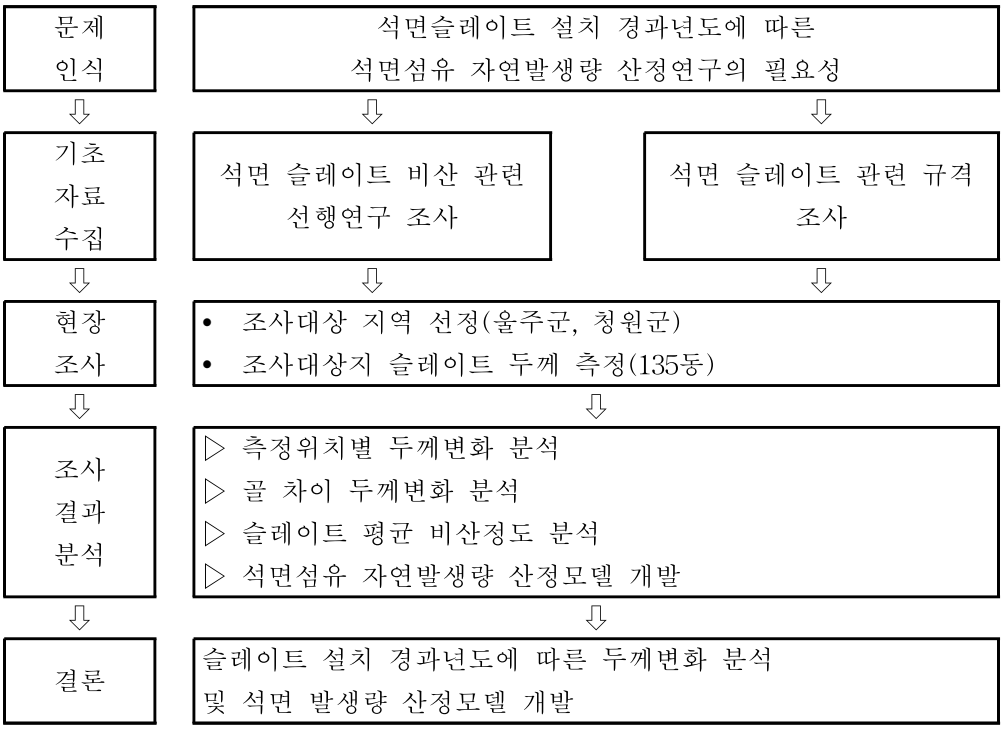


그림 78. 연구의 흐름도

슬레이트의 두께는 비교적 얇은 편이며 정확히 측정하려면 고정도(高精度)의 장비가 필요하다. 본 장에서는 슬레이트의 두께를 정확하게 특정하기 위하여 마이크로미터를 사용하였다. 일반적으로 마이크로미터라 하면 0.01㎜ 단위까지 정확하게 길이를 측정할 수 있는 측정기구를 말한다. 마이크로미터는 측정하고자 하는 물체를 끼우게 되어 있고, 고정되어 있는 앤빌(anvil)과 회전시키면 축 방향으로 이동할 수 있는 스핀들이 있다. 슬리브와 딤블이 있는 이것으로 측정값을 읽을 수 있다. 딤블에는 원주 방향으로 50등분한 눈금이 새겨져 있고, 한 바퀴 회전시켰을 때 슬리브의 한 눈금(0.5㎜)만큼 움직이기 때문에 슬리브에서는 0.5㎜까지 읽을 수 있고, 딤블에서 0.01㎜까지 읽을 수 있다. 바깥지름을 측정할 수 있는 것 외에 안지름, 구멍의 깊이, 기어나 나사의 지름을 측정할 수 있는 것도 있다. 또 눈금을 읽는 것이 아닌 숫자로 표시되는 디지털 방식도 있고, 공기와 전기를 이용한 마이크로미터도 있다.[35]

하지만 슬레이트의 두께를 더욱 정밀하게 측정하고자 Mitutoyo사에서 제조한 고정도 디지털 마이크로미터(MDH-25M)를 사용하였다. MDH-25M의 측정범위는 0~25mm이고 최소 0.1㎛까지 측정할 수 있으며 기기오차는 ±0.5㎛이다. 정도보증 온도는 20℃로 사용가능한 온도의 범위는 5℃~40℃이다. 따라서 본 연구에서는 위의 규격을 참고하고 오차보정을 위하여 슬레이트 두께 측정 시 동일부분을 5회 측정한 후 평균값을 적용하였다. 다음 표에서는 Mitutoyo사에서 제조한 MDH-25M의 규격을 나타낸다. 또한 그림에서 Mitutoyo사의 MDH-25M의 모습과 본 연구에서 사용된 Mitutoyo사의 MDH-25M의 외관수치도를 나타내었다.[36]

35) ㈜신원문화사, http://www.shinwonbook.co.kr
36) ㈜명진테크, http://www.gageplus.com/main/productview3.asp?g_cd=319&c_cd=31&p_idx=1

표 183. 마이크로미터 MDH-25M의 규격

구분	개요
제품명	MDH-25M
측정범위	0~25mm
최소표시량	0.1㎛(0.5㎛로 전환 가능)
오차(20℃)	±0.5㎛
측정면	Ø3.2mm
측정력	7~9N
질량	400g (방열 커버부착 시 440g)
위치검출방식	전자유도식 ABS 로터리 센서



그림 79. 본 연구에서 사용된 마이크로미터

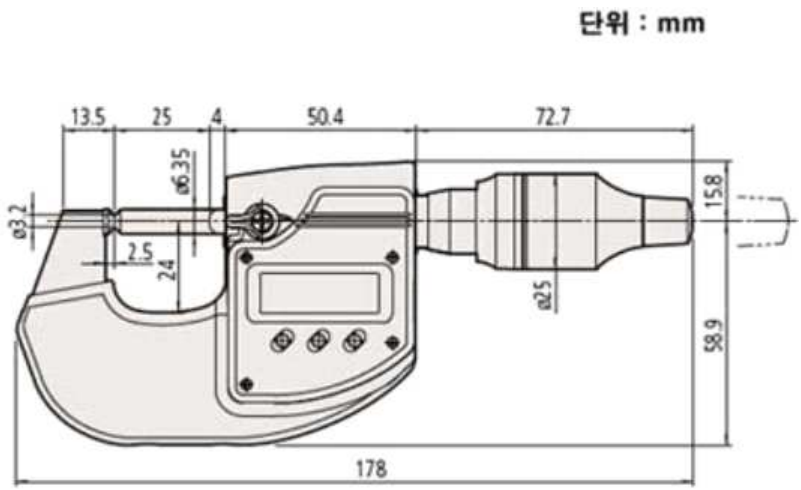


그림 80. Mitutoyo사의 MDH-25M의 외관수치도

2. 석면슬레이트 두께 및 설치년도 조사

선행연구 조사결과에 따르면 슬레이트의 석면섬유 비산정도는 바람, 강수량 등 기후영향을 많이 받는다.(Bornemann, 1986) 본 연구에서는 울산광역시 울주군 청량면과 충청북도 청원군 남이면 두 곳을 조사대상지로 선정하였다. 그 이유는 청량면과 남이면은 강수량, 풍속 등의 기후평년값(1981~2010년)이 전국의 기후평년값과 비슷한 특성을 지니고 있기 때문이다. 기후평년값은 한 지역의 기후를 대표하는 값으로, 기온이나 강수량 등 기상요소를 연속된 30년 기간 동안 평균한 값이다. 조사대상지의 기후평년값[37]과 석면슬레이트 관련 조사 일정은 다음 표와 같다.

표 184. 기후평년값 비교

지점	평균 기온 (℃)	최고 기온 (℃)	최저 기온 (℃)	평균 풍속 (m/s)	총 강수량 (mm)
전국	12.5	18.1	7.7	2.2	1307.7
청량면	14.1	19.2	9.8	2.1	1277.1
남이면	12.5	18.2	7.6	1.8	1239.1

표 185. 조사대상지 개요 및 일시

구분	개요
조사대상	울주군 청량면 57개 슬레이트 건축물 청원군 남이면 78개 슬레이트 건축물
조사목적	설치 경과년도에 따른 슬레이트 두께변화 분석 및 석면섬유 자연발생량 예측모델 개발
조사일정	1차: 2013년 10월 21~27일 울주군 청량면 2차: 2013년 11월 04~10일 청원군 남이면

석면조사자 교육을 이수한 조사자 4인이 2013.10~2013.11까지 2차에 걸쳐 총 135개의 건축물에 대한 현장조사를 실시하였다. 조사대상 건축물의 일반적인 현황을 알아보기 위하여 현장을 직접 방문하여 건축물 주소, 슬레이트 설치년도, 건물의 용도, 건축물 사용여부, 처마확장 유무, 지붕 덧씌움 유무, 지붕형태, 슬레이트 손상정도, 슬레이트 두께 등 내용들을 조사하였다. 건축물의 주소, 건물용도, 건축구조, 지붕형태, 처마확장, 지붕 덧씌움, 슬레이트 손상정도 등은 육안으로 조사하였고 슬레이트 설치년도, 건축물 사용여부 등은 거주자와 직접 설문을 통하여 조사하였다. 설문으로 답변을 얻지 못한 경우에는 건축물대장을 통하여 관련 정보를 얻어내었다. 슬레이트 두께 측정의 경우에는 마이크로미터를 사용하여 건축물 정면 지붕의 끝 (A)위치와 가운데 (B)위치로 나누어서 측정하였다. 또 각 위치별 슬레이트 판의

37) 기상청, 「1981~2010 한국기후도」, 2012

왼쪽 끝 (a), 가운데 (b), 오른쪽 끝 (c) 부분의 골마루와 골밑 부분을 측정하였다. 각 위치별로 5회 연속 측정한 뒤 평균치를 계산하여 기록하였다. 슬레이트의 두께를 측정하기 전 측정오차를 줄이기 위하여 슬레이트 표면의 흙과 먼지를 제거하였다. 슬레이트 두께 측정 시에는 석면해체제거작업지침에 따라 마스크, 방진복, 장갑 등 개인보호구를 착용하였고 마이크로미터를 사용하여 측정하였다. 다음 기록한 평균치 데이터를 DB화하였다. 다음 표에서는 조사내용 세부사항을, 그림에서는 측정부위 개요, 조사모습과 절차를 나타낸다.

표 186. 조사내용 세부사항

구분		개요
조사인원		총 4명, 2인 1조로 구성
조사대상		건축물에 지붕재로 사용된 슬레이트
조사내용	설문내용	슬레이트 설치년도, 사용여부
	육안조사	주소, 건물용도, 건축구조, 지붕형태, 처마확장, 지붕 덧씌움, 슬레이트 손상정도
	두께측정	건축물 정면 지붕 끝과 가운데 슬레이트 판의 왼쪽, 가운데, 오른쪽 부분 골마루와 골밑을 각각 5번씩 측정하고 평균값을 기록.

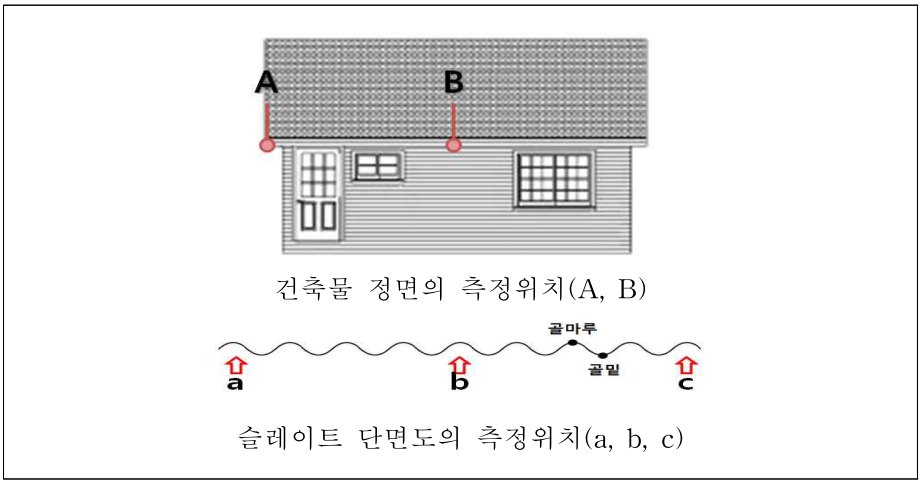
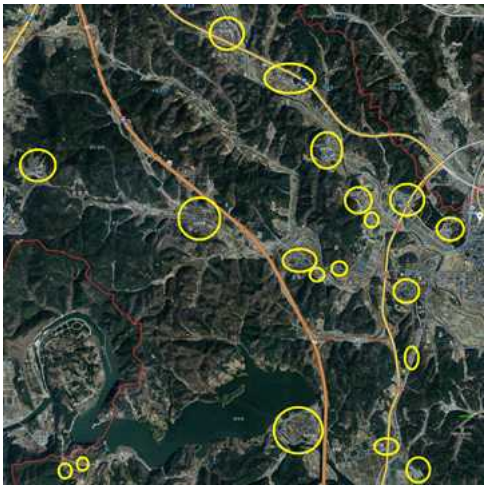


그림 81. 측정부위 개요



a) 조사대상지 확인



b) 현장방문 건축물 확인



c) 슬레이트 두께 측정



d) 조사표 작성

그림 82. 현장조사 모습 및 순서

3. 일반적인 조사결과 및 두께변화 분석

본 절에서는 석면함유건설자재 중에서 슬레이트의 두께변화분석을 통한 석면자연발생량을 분석하기 위한 현장조사의 일반적인 결과를 기술하였다. 총 135개의 슬레이트 지붕을 사용한 건축물에 대한 현장조사 결과 슬레이트 설치년도 중에서는 70년대가 43개 동으로 가장 많았고 다음 80년대가 30개 동으로 나타났다. 건물용도별로는 창고가 105개로 가장 많이 나타났다. 건축구조별로는 블록조가 45개, 벽돌조가 44개 목조가 38개로 큰 차이가 없는 것으로 나타났고 지붕형태별로는 맞배지붕이 77개로 외쪽지붕 30개, 우진각지붕 20개보다 많이 나타났다. 사용여부로는 사용하고 있는 건축물이 112개, 처마확장여부로는 미확장 건축물이 108개, 지붕 덧씌움으로는 덧씌움이 없는 건축물이 120개로 나타났다. 슬레이트 손상정도별로는 손상정도가 보통인 것이 96개 동으로 71.1%를 차지하였다. 다음 표에서는 조사대상 건축물의 일반적인 조사결과를 나타내었다.

표 187. 슬레이트 설치년도별 조사결과

설치년도	개수(동)	백분율(%)
50년 이전	1	0.7
51~60년	17	12.6
61~70년	16	11.9
71~80년	43	31.9
81~90년	30	22.2
91~00년	24	17.8
00년 이후	4	3.0
합계	135	100

표 188. 건물용도별 조사결과

건물용도	개수(동)	백분율(%)
주택	19	14.1
창고	105	77.8
축사	7	5.2
기타	4	3.0
합계	135	100

표 189. 지붕형태별 조사결과

지붕형태	개수(동)	백분율(%)
맞배지붕	77	57.0
외쪽지붕	30	22.2
우진각지붕	20	14.8
기타	8	5.9
합계	135	100

표 190. 슬레이트 손상정도 조사결과

손상정도	개수(동)	백분율(%)
작음	26	19.3
보통	96	71.1
심각	13	9.6
합계	135	100

(1) 경과년도에 따른 측정위치별 두께변화 분석

경과년도에 따른 측정위치별(A, B) 두께의 변화정도를 알아보기 위하여 경과년도를 독립변수로, A지점과 B지점에서 각 5회 측정한 두께의 평균값을 종속변수로 설정하고 각각 SPSS 20.0을 이용한 회귀분석을 진행하였다. 그 결과 모두 유의수준 0.05하에서 적합하였으며 수정된 R^2값은 각각 0.766과 0.285로 나타났다. 경과년도에 따른 위치별 두께 회귀분석 결과와 산정된 회귀 식은 다음 표와 같다. 이 식에서 1년 경과할 때마다 A는 0.034mm, B는 0.019mm만큼 비산됨을 알 수 있다. 그림은 경과년도에 따른 A, B 위치의 두께분포와 회귀분석 결과를 보여준다.

표 191. 경과년도에 따른 A, B 두께 회귀분석 결과

A	계수	표준오차	t	유의확률
절편	6.351	.059	107.584**	.000
경과년도	-.034	.002	-20.968**	.000
F=439.665** (P - value=0.000)				
R^2(adjR^2)=0.766				
B	계수	표준오차	t	유의확률
절편	5.774	.097	59.598**	.000
경과년도	-.019	.003	-7.383**	.000
F=54.512** (P - value=0.000)				
R^2(adjR^2)=0.285				

* : p<0.05, ** : p<0.01

표 192. 경과년도에 따른 A, B 두께 회귀 식

경과년도에 따른 A, B두께 산정 회귀 식
$T_A = 6.351 - 0.034 \times n$
$T_B = 5.774 - 0.019 \times n$
여기서 T_A : A지점 두께(단위 : mm)
T_B : B지점 두께(단위 : mm)
n : 경과년도(이하 동일)

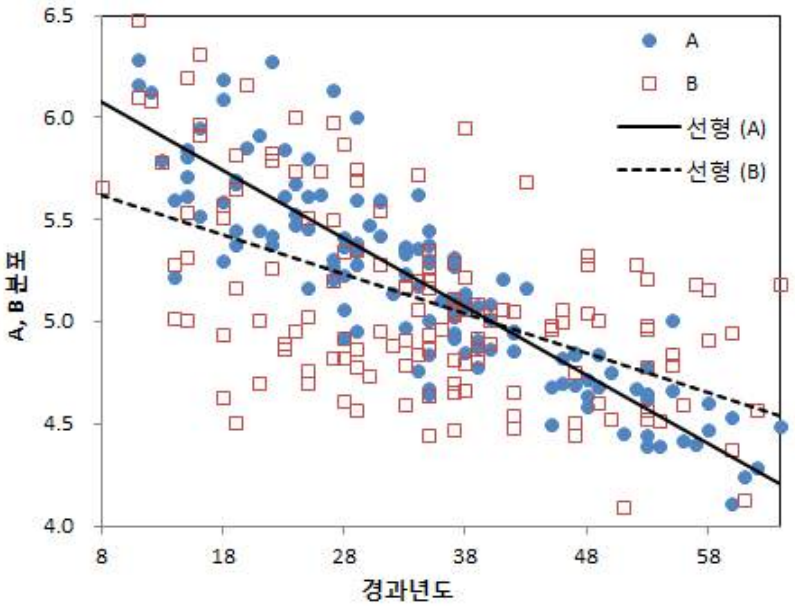


그림 83. 경과년도에 따른 A, B 분포

경과년도에 따른 측정위치별 두께차이의 변화정도를 알아보기 위하여 경과년도를 독립변수로, B 평균두께 값에서 A 평균두께 값을 뺀 값을 종속변수로 설정하고 회귀분석을 진행하였다. 그 결과 유의수준 0.05하에서 적합하였으며 수정된 R^2값은 0.172로 나타났다. 경과년도에 따른 측정위치별 두께차이의 회귀분석 결과와 산정된 회귀 식은 다음 표와 같다. 이 식에서 1년 경과할 때마다 A, B차이는 0.014mm만큼 증가함을, 즉 위치상 양끝부분이 가운데부분보다 연간 0.014mm정도 많이 비산됨을 알 수 있다.

표 193. 경과년도에 따른 A, B 두께차이 회귀분석 결과

	계수	표준오차	t	유의확률
절편	-.577	.097	-5.932**	.000
경과년도	.014	.003	5.337**	.000
F=28.869** (P - value=0.000)				
R^2(adjR^2)=0.172				
* : p<0.05, ** : p<0.01				

표 194. 경과년도에 따른 A, B 두께차이 산정 회귀 식

경과년도에 따른 A, B두께차이 산정 회귀 식
$D_{AB} = -0.577 + 0.014 \times n$
여기서 D_{AB} : A, B점 두께차이(단위 : mm)

(2) 경과년도에 따른 골마루와 골밑 두께변화 분석

경과년도에 따른 골마루와 골밑의 두께변화를 알아보기 위하여 경과년도를 독립변수로, 골마루와 골밑의 각 5회 측정한 두께 평균값을 종속변수로 설정하고 각각 회귀분석을 진행하였다. 그 결과 모두 유의수준 0.05하에서 적합하였으며 수정된 R^2의 값은 각각 0.660과 0.529로 나타났다. 경과년도에 따른 골마루와 골밑 뚜께 회귀분석 결과와 그 회귀 식은 다음 표와 같다. 이 식에서 1년 경과할 때마다 골마루는 0.029mm, 골밑은 0.024mm만큼 비산됨을 알 수 있다. 그림은 경과년도에 따른 골마루와 골밑의 두께분포와 회귀분석 결과를 나타낸다.

표 195. 경과년도에 따른 골마루, 골밑 두께 회귀분석 결과

골마루	계수	표준오차	t	유의확률
절편	6.095	.067	91.418**	.000
경과년도	-.029	.002	-16.163**	.000
F=261.258** (P - value=0.000)				
R^2(adjR^2)=0.660				
골밑	계수	표준오차	t	유의확률
절편	6.030	.071	84.702**	.000
경과년도	-.024	.002	-12.297**	.000
F=151.217** (P - value=0.000)				
R^2(adjR^2)=0.529				
* : p<0.05, ** : p<0.01				

표 196. 경과년도에 따른 골마루, 골밑 두께 산정 회귀 식

경과년도에 따른 골마루, 골밑 두께 산정 회귀 식
T_{Up} = 6.095 - 0.029 × n
T_{Down} = 6.030 - 0.024 × n
여기서 T_{Up} : 골마루 두께(단위 : mm)
T_{Down} : 골밑 두께(단위 : mm)

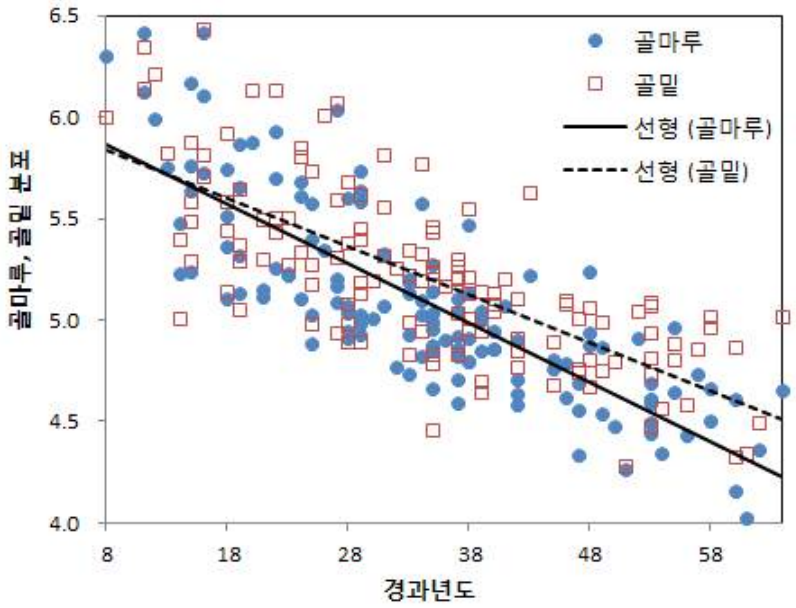


그림 84. 경과년도에 따른 골마루, 골밑 분포

경과년도에 따른 골마루와 골밑 두께차이의 변화정도를 알아보기 위하여 경과년도를 독립변수로, 골밑 평균값에서 골마루의 평균값을 뺀 값을 종속변수로 설정하고 회귀분석을 진행하였다. 그 결과는 다음 표와 같이 유의수준 0.05하에 적합하지 않기에 유효하지 않았다.

표 197. 경과년도에 따른 골마루, 골밑 두께차이 회귀분석 결과

	계수	표준오차	t	유의확률
절편	-.065	.052	-1.245	.215
경과년도	.005	.001	3.864**	.000
F=14.929** (P - value=0.000)				
R^2(adjR^2)=0.094				
* : p<0.05, ** : p<0.01				

따라서 절편 없는 회귀분석을 실시하였다. 그 결과 유의수준 0.05하에서 적합하였으며 수정된 R^2값은 0.294로 나타났다. 경과년도에 따른 골마루와 골밑 두께차이의 회귀분석 결과와 그 회귀 식은 다음 표와 같다. 이 식에서 1년 경과할 때마다 골마루와 골밑 차이는 0.004mm 만큼 증가함을, 즉 골마루가 골밑보다 연간 0.004mm정도 많이 비산됨을 알 수 있다.

표 198. 수정된 경과년도에 따른 골 두께차이 회귀분석 결과

	계수	표준오차	t	유의확률
경과년도	.004	.001	7.565**	.000
F=57.235** (P - value=0.000)				
R^2(adjR^2)=0.294				
				* : p<0.05, ** : p<0.01

표 199. 경과년도에 따른 골마루, 골밑 두께차이 산정 회귀 식

경과년도에 따른 골마루, 골밑 두께차이 산정 회귀 식
$D_{Up-Down}$ = 0.004 × n
여기서 $D_{Up-Down}$: 골마루와 골밑 두께차이(단위 : mm)

4. 시간경과에 따른 석면섬유 자연발생량 산정식 개발

경과년도에 따른 슬레이트의 비산정도 분석을 위하여 우선 경과년도에 따른 평균두께의 변화정도를 알아보았다. 경과년도에 따른 평균두께의 변화정도를 알아보기 위하여 경과년도를 독립변수로, 슬레이트의 두께를 5회 측정 후 평균값을 종속변수로 설정하고 회귀분석을 진행하였다. 그 결과 유의수준 0.05하에서 적합하였으며 수정된 R^2값은 0.635로 나타났다. 경과년도에 따른 슬레이트 두께의 회귀분석 결과와 그 회귀 식은 다음 표와 같다. 그림은 경과년도에 따른 슬레이트 두께분포를 나타낸다.

표 200. 경과년도에 따른 슬레이트 두께 회귀분석 결과

	계수	표준오차	t	유의확률
절편	6.063	.064	95.009**	.000
경과년도	-.026	.002	-15.304**	.000
F=234.214** (P - value=0.000)				
R^2(adjR^2)=0.635				
				* : p<0.05, ** : p<0.01

표 201. 경과년도에 따른 슬레이트 두께 산정 회귀 식

경과년도에 따른 슬레이트 두께 산정 회귀 식
$T_{average}$ = 6.063 - 0.026 × n
여기서 $T_{average}$: 슬레이트 두께(단위 : mm)

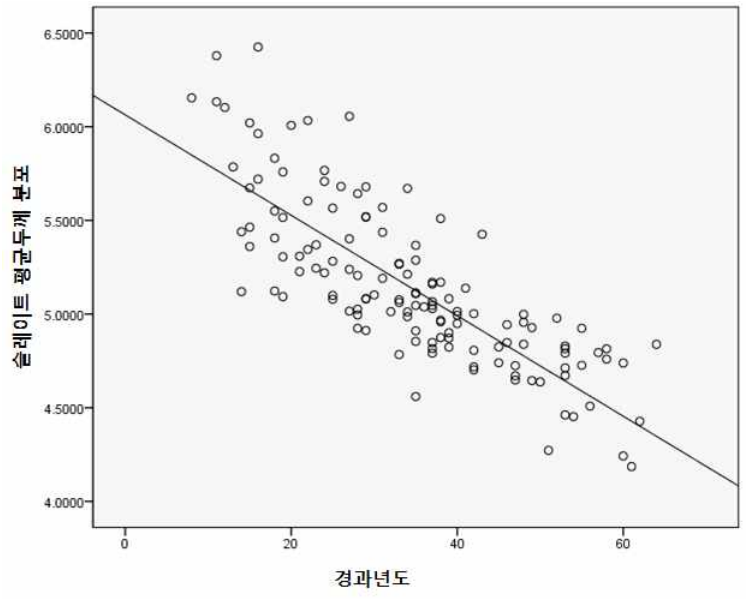


그림 85. 경과년도에 따른 평균두께 분포

경과년도에 따른 슬레이트의 비산정도에 대하여 알아보기 위하여 우선 평균두께에 의한 비산두께를 도출하였다. 슬레이트 초기두께인 6.3mm에서 슬레이트의 평균두께를 뺀 값을 비산두께의 값으로 적용하였다. 다음 경과년도를 독립변수로, 비산된 두께의 크기를 종속변수로 정하고 회귀분석을 진행하였다. 회귀분석 결과 유의수준 0.05하에서 적합하였으며 수정된 R^2 값은 0.671로 나타났다. 경과년도에 따른 슬레이트 비산두께의 회귀분석 결과와 그 회귀식은 다음 표와 같다. 그림은 경과년도에 따른 슬레이트 비산두께분포를 나타낸다.

표 202. 경과년도에 따른 슬레이트 비산두께 회귀분석 결과

	계수	표준오차	t	유의확률
절편	.131	.066	1.991**	.049
경과년도	.033	.002	18.262**	.000
F=333.510** (P - value=0.000)				
R^2(adjR^2)=0.671				
* : p<0.05, ** : p<0.01				

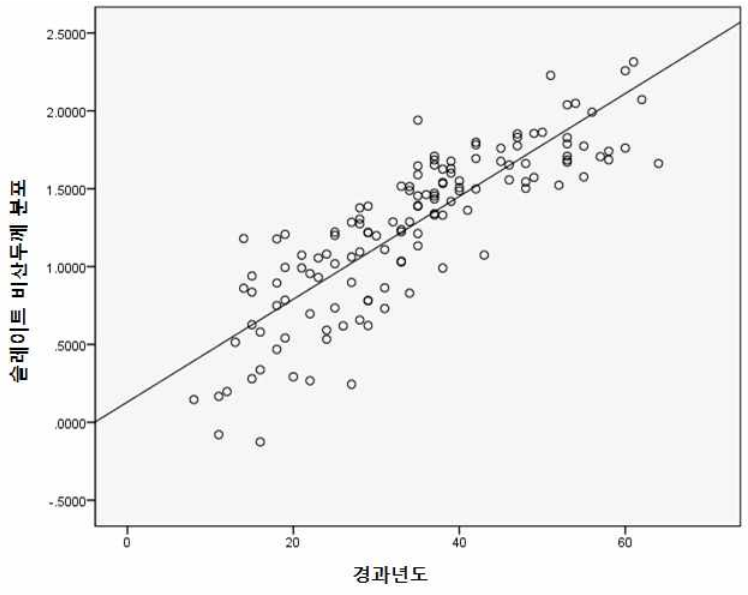


그림 86. 경과년도에 따른 슬레이트 비산두께 분포

표 203. 경과년도에 따른 슬레이트 비산두께 산정 회귀 식

경과년도에 따른 슬레이트 비산두께 산정 회귀 식
$S_{average} = 0.131 + 0.033 \times n$
여기서 $S_{average}$: 슬레이트 비산두께(단위 : mm)

경과년도에 따른 단위면적당 석면섬유 자연발생량을 산정하기 위하여 슬레이트의 규격과 슬레이트 비산두께 산정식을 적용하였다. 슬레이트의 단위면적 석면섬유의 중량(Dslate)은 슬레이트 단위면적 중량의 값(10.5kg/㎡)과 슬레이트 석면함유량(10%)을 적용하여 1.05kg/㎡로 도출되었다. 단위면적 석면섬유의 중량에서 단위면적 석면섬유 발생량이 차지하는 비율은 슬레이트 두께에서 슬레이트 비산두께가 차지하는 비율과 같다. 이것을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$F_{asbestos-fiber}/D_{slate} = S_{average}/T_{average}$$

여기서 $F_{asbestos-fiber}$: 단위면적 석면섬유 발생량
D_{slate} : 단위면적 석면섬유의 중량
$S_{average}$: 슬레이트 비산두께
$T_{average}$: 슬레이트 두께

따라서 단위면적 슬레이트의 석면섬유 자연발생량($s_{asbestos-fiber}$) 산정 결과는 다음 식과 같다. kg단위를 g으로 환산하면 다음 식과 같다.

$$F_{asbestos-fiber} = D_{slate} \times S_m / T_m$$
$$= 1.05kg/m^2 \times (0.131 + 0.033 \times n)/6.3$$
$$= \mathbf{(0.02183 + 0.0055 \times n)kg/m^2}$$

$$F_{asbestos-fiber} = (0.02183 + 0.0055 \times n)kg/m^2 \times 1000g/kg$$
$$= \mathbf{(21.83 + 5.5 \times n)g/m^2}$$

여기서 n : 경과년도

5.2 석면함유자재의 노화정도에 따른 파손 시 석면섬유 발생량 산정식 개발

1. 분석개요

본 연구는 **석면함유건설자재의 파손상황에서의 석면섬유 발생량 산정식을 개발**하는데 그 목적이 있다. 국내외 선행연구를 고찰한 결과 석면의 유해성과 슬레이트의 석면방출에 관한 연구는 다수 존재하지만 슬레이트가 파손되었을 경우에 석면섬유 발생량에 관한 연구는 전혀 없었다. 슬레이트의 파손은 인위적인 파손과 자연적인 파손(지진 등)으로 나눌 수 있는데 본 연구는 자연적인 파손에 초점을 두고 지진 등 재난상황에 적용할 수 있게 하였다. 본 연구에서는 슬레이트 파손 시 손상정도에 따른 석면섬유 발생량 회귀식을 도출하기 위하여 먼저 한국 내 일반적인 건축물에 사용된 슬레이트를 수집하였다. 다음, 손상정도를 구분하기 위해서 미국 AHERA(Asbestos Hazard Emergency Response Act)[38], 미국 ASTM(American Society for Testing and Materials)[39], 영국 HSE(Health & Safety Executive)[40] 등 석면함유자재의 석면섬유 비산 및 노출 가능성 평가방법을 비교·분석하였다. 비교·분석의 결과로 슬레이트의 손상정도 적정 평가기준을 도출하고 수집된 슬레이트를 손상정도에 따라 3가지 등급(A, B, C)으로 분류하여 3개씩 선택한 후 각각 면적과 무게를 측정하였다. 그 다음, 실험을 진행하기 위하여 2중비닐로 밀봉된 챔버를 구성하고 챔버 내에서 등급별로 분류된 슬레이트를 일반적인 건축물의 지붕높이에서 자유낙하하여 파손하였다. 또 챔버 내에서 파손으로 발생한 석면섬유를 석면샘플러와 MCE필터를 사용하여 채취하고 SEM(Scanning Electron Microscopy)/PCM(Polarized Light Microscopy) 분석방법으로 석면섬유를 계수하여 DB화하였다. DB를 바탕으로 SPSS 20.0으로 회귀분석을 진행하여 슬레이트 파손 시 손상정도에 따른 석면섬유 발생량 산정식을 도출하였다. 본 연구의 흐름도는 다음 그림과 같다.

38) AHERA (Asbestos Hazard Emergency Response Act), 2003. Part 763, Subpart E Asbestos-Containing Materials in Schools, EPA, 52 CFR Part 763, 1987. http://www2.epa.gov/sites/production/files/documents/2003pt763_0.pdf

39) ASTM (American Society for Testing and Materials), 2014. Standard Practice for Comprehensive Building Asbestos Surveys, DOI.10.1520/E2356-10, http://www.astm.org/Standards/E2356.htm

40) Health and Safety Executive (HSE), 1998. MDHS 87 Fibres in air: Guidance on the discrimination between fibre types in samples of airborne dust on filters using microscopy. http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs87.pdf

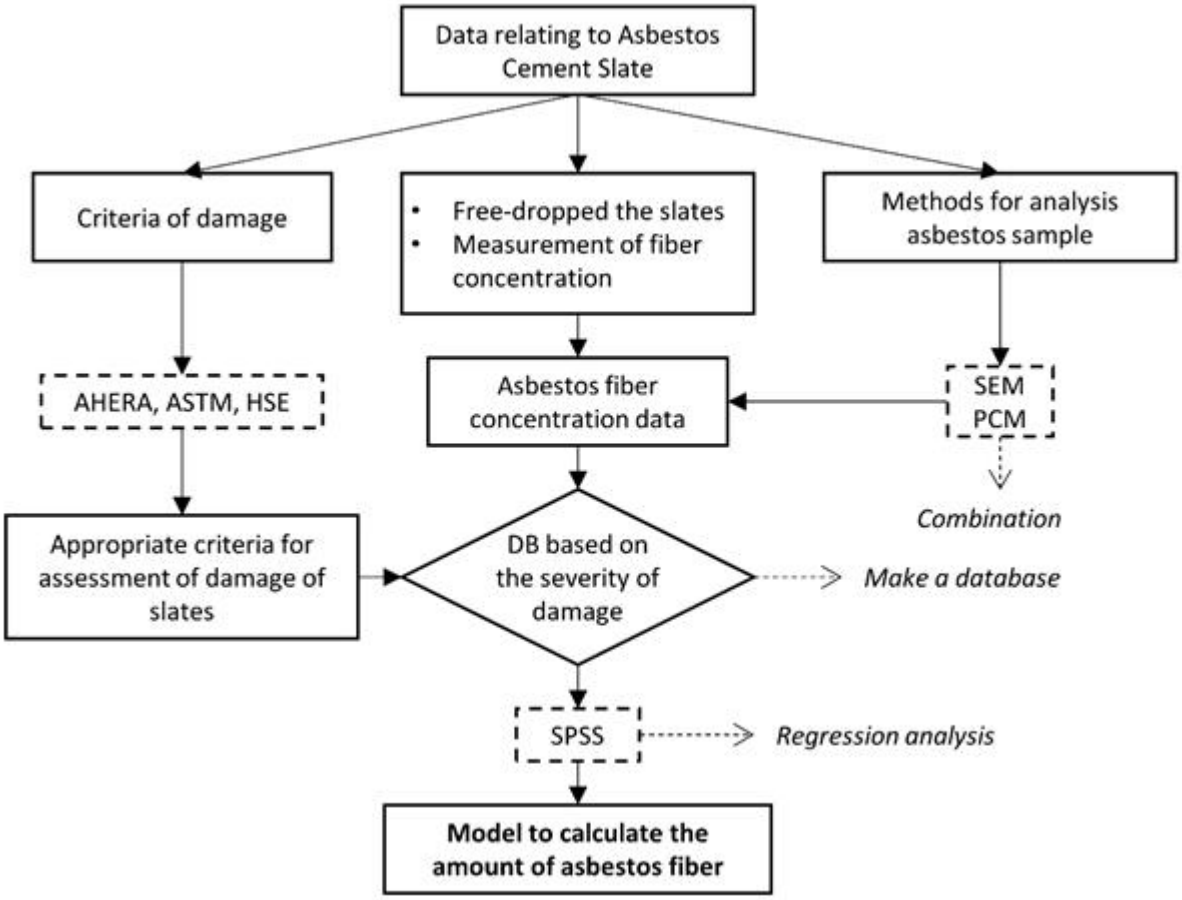


그림 87. 본 연구 흐름도

석면의 분석방법은 석면이 존재하는 매트릭스 즉, 공기, 토양, 먼지, 물, 건설자재 등 종류별로 다르며 규제도 기관마다 다르다. 예를 들면 미국 환경보호청(US Environmental Protection Agency; EPA), 미국국립산업안전연구소(US National Institute for Occupational Safety and Healt; NIOSH), 산업안전보건청(US Occupational Safety and Health Administration; OSHA), 세계보건기구(World Health Organization; WHO), 국제 표준기구(International Organization for Standardization; ISO), 영국의 HSE(Health & Safety Executive) 등을 들 수 있다. 석면 분석기기도 매우 다양하여 위상차현미경(Phase Contrast Microscope; PCM), 편광현미경(Polarized Light Microscopy; PLM), X-선 회절분석기(X-Ray Diffractometer, XRD), 투과전자현미경(Transmision Electron Microscopy; TEM), 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope; SEM) 등이 있다. 석면의 직업적 환경적 노출을 예방하기 위한 우리나라의 공기 중 석면농도기준은 다음 표와 같다. 국내에서 적용되는 있는 공기 중 석면농도 기준은 크게 작업자 개인노출 농도와 환경 중 지역시료 농도로 구분할 수 있다.

표 204. 우리나라의 공기 중 석면농도 기준

부처	관련법규	대상	기준
노동부	산업안전보건법	석면에 노출되는 근로자	0.1 fiber/㎤
		석면해체·제거 후 작업완료 확인	0.01 fiber/㎤
		석면에 노출되는 근로자(사무실)	0.01 fiber/㎤
환경부	다중이용시설 등의 실내공기질 관리법	다중이용시설	0.01 fiber/㎤
교육부	학교보건법	학교시설	0.01 fiber/㎤

작업자 개인노출 농도란 석면 또는 석면이 함유된 물질을 취급하거나 석면에 노출될 우려가 있는 작업자에 대한 석면농도 기준이다. 우리나라에서 석면은 허용기준 이하 유지 대상 유해인자로서 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(노동부 고시 제2009-3)에 따라 1일 8시간 시간가중평균(TWA, Time-Weighted Average) 농도 0.1 개/㎤로 규제되고 있다. 공기 중 농도 0.1 개/㎤는 1976년 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH)에서 석면의 발암성과 당시 일반적으로 적용가능한 분석방법인 위상차현미경법을 고려하여 최초 권고한 것이다. 미국 국립산업안전보건연구원은 이 농도기준을 발암성 이외의 석면 건강장해를 예방하고, 석면에 의한 암 발생 위해도를 실질적으로 낮추기 위한 농도 수준으로서 제안하였다. 그러나 석면에 의한 암 발생을 완전히 막을 수 있는 방법은 석면의 사용금지 뿐이라고 권고하였다.[41] 따라서 동 석면농도 기준은 폐암이나 악성중피종과 같은 암 발생 위험으로부터 완전히 안전한 수준을 규정한 것은 아니므로, 석면과 같은 발암성물질은 공기 중 농도가 노출기준 이하이더라도 가능한 낮은 수준으로 유지하기위해 노력해야 한다. 공기 중 석면 농도 분석을 위해서는 일반적으로 일정 부피만큼의 공기 중 입자상 물질을 여과지를 이용하여 여과 채취한 후, 적절한 전처리 과정을 거쳐서 현미경을 이용해 계수분석하는 방법이 사용된다. 시료채취에 사용되는 여과지는 시료채취 후 적용할 분석 방법에 따라 적절한 시료채취매체를 사용한다. 채취된 입자 중 석면은 현미경을 이용해 계수분석한다. 분석에 사용되는 현미경은 이미지를 구현하는 광원에 따라 크게 가시광선을 사용하는 광학현미경과 전자를 사용하는 전자현미경으로 구분된다. 광학현미경은 여과지에 채취된 가늘고 투명한 석면입자를 보다 높은 명암비로 관찰하기 위해 위상차현미경(phase contrast microscope, PCM)을 사용한다. 전자현미경은 입자 표면에서 전자의 산란을 이용해 이미지를 구현하는 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM) 또는 입자를 투과하는 전자의 세기를 이용해 이미지를 구현하는 투과전자현미경(transmission electron microscope, TEM)이 사용된다. 전자현미경의 경우 입자의 화학조성 확인을 위한 별도의 장비인 EDXA(energy dispersive X-ray analyzer)를 추가로 장착하여 입자의 분석이 가능하므로 이러한 전자현미경을 분석전자현미경(analytical electron microscope, AEM)이라고 한다. 여과지에 채취된 입자가 석면인지 확인을 위해서는 석면형

41) NIOSH/OSHA, Workplace Exposure To Asbestos: Review and Recommendations, DHHS(NIOSH) Publication 81-103, 1976

태인지 여부 판단을 위해 입자의 형태를 관찰하고 석면 특유의 화학적 조성 및 결정특성을 보이는지 확인해야 정확하게 석면인지 여부를 구분할 수 있다. 따라서 석면 분석 시에는 분석방법에 따라 이 세 가지 석면의 특성 중 한 가지 이상을 확인하여 석면을 구분 분석한다. 우리나라에서는 석면함유 건설자재와 노후화 및 재건축, 리모델링 등으로 인해 공기 중 석면 비산으로 인한 국민 건강상 위해 가능성이 존재함에 따라 2004년부터 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에 따라 석면을 관리하고 있으며 실내공기질 공정시험방법에서는 PCM(위상차현미경), SEM(주사전자현미경), TEM(투과전자현미경)을 이용해 공기 중 석면농도를 측정하도록 규정하고 있다.[42] (투과전자현미경은 장비가 비싸고 분석비용이 고가이며 시료의 전처리 과정이 복잡해서, 전처리 중 시료의 훼손 가능성이 상대적으로 높고 분석결과 산출에 오랜 시간이 소요된다는 단점으로 하여 석면 분석에 자주 쓰이지 않는다.

(1) PCM 분석방법

위상차현미경(phase contrast microscope, PCM)은 1934년에 독일의 물리학자 프리츠 제르니케(Frits Zernike)가 얇고 투명한 현미경 표본으로부터 높은 명암비의 이미지를 관찰할 수 있도록 고안한 광학현미경 중 하나이다. 위상차현미경을 이용한 분석방법에는 NIOSH 7400,[43] HSE MDHS 87,[44] OSHA-ID160,[45] WHO,[46] KOSHA CODE A-1-2004,[47] 일본 환경성 석면모니터링매뉴얼,[48] 한국 환경부 실내공기질 공정시험기준[49] 등이 있다. 위상차현미경의 원리는 다음과 같다. 환형의 초점이 맞추어진 빛이 석면섬유에 부딪히면 빛은 대물렌즈를 통과하는 빛과 산란된 후 대물렌즈를 통과하는 빛으로 된다. 대물렌즈를 통과한 빛은 대물렌즈의 위상판에 의하여 1/4 파장만큼 차이가 나는 빛으로 변경되고 산란된 빛은 위상차 없이 통과되어 이 두 빛이 합쳐질 때 생기는 간섭현상에 의해 석면 섬유가 보이게 된다. 다음 그림에서는 위상차현미경의 광학경로 및 구성을 나타내었다.[50]

---

42) 최성호 외 2인, PCM과 SEM을 이용한 공기 중 섬유상 분진 분석 방법 비교 연구, 한국분석과학회, p.45, 2009
43) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) a : Asbestos and other fibers by PCM: 7400, NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) 4th ed., S. Department of HHS, 1994 http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7400.pdf
44) Health and Safety Executive (HSE). MDHS 87 Fibres in air: Guidance on the discrimination between fibre types in samples of airborne dust on filters using microscopy. (1998) http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs87.pdf
45) Occupational Safety and Health Administration (OSHA). OSHA ID-160, Asbestos in Air, OSHA, 1997. https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id160/id160.pdf
46) World Health Organization(WHO), Determination of airborne fibre number concentrations: A recommended method, by phase-contrast optical microscopy (membrane filter method), 1997
47) 한국산업안전보건공단. KOSHA CODE A-1-2004. 2006.
48) 일본 환경성, 석면모니터링 매뉴얼, 3rd, 2007
49) 환경부, 실내공기질공정시험기준, ES 02303.1 실내 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 측정방법 - 위상차현미경법: p.83-104, 2010
50) 산업안전보건연구원, 위상차현미경을 이용한 공기 중 석면 측정·분석, 2009

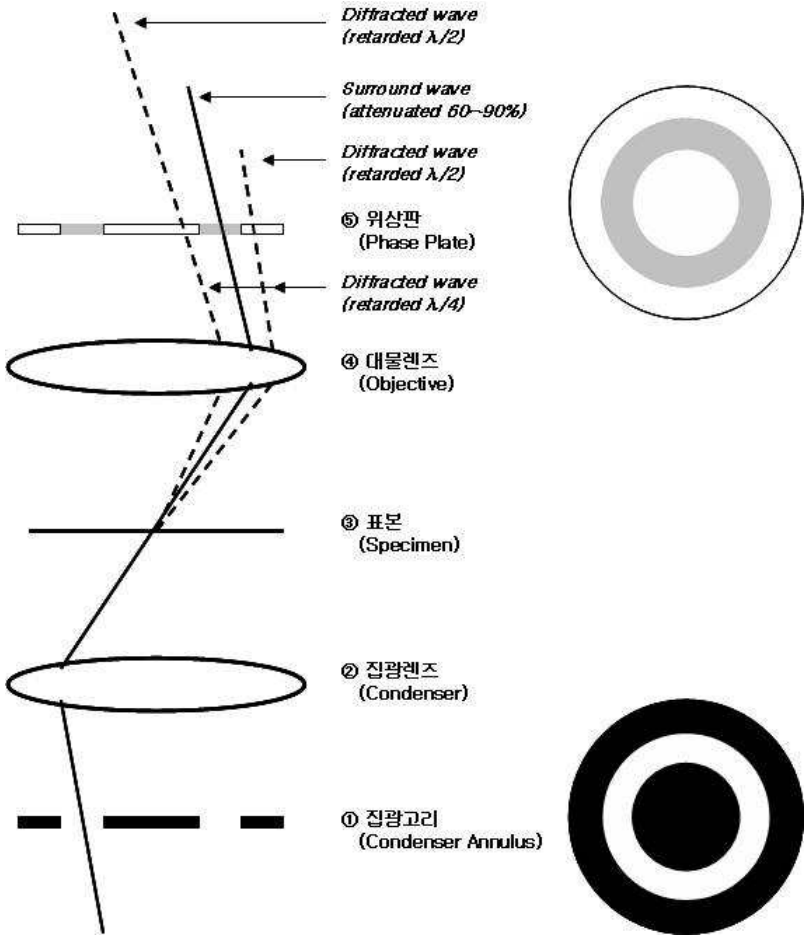


그림 88. 위상차현미경의 광학경로 및 구성

대부분의 분석방법이 시료채취에 기공 0.8 ㎛, 지름 25 mm 멤브레인(Mixed cellulose ester membrane; MCE) 필터를 사용하고 전처리 시 아세톤-트리아세틴(Acetone-Triacetine) 용액을 사용하여 투명하게 한다. 길이 5 ㎛ 이상, 종횡비(Aspect Ratio; AR)가 3:1을 초과하는 섬유를 위상차현미경에서 400배 이상 확대하여 계수하며, 산정된 석면섬유의 농도는 fiber/cc 또는 fiber/ml로 표현한다. 현미경상의 눈금자는 지름이 100 ㎛(면적 0.00785mm2)인 Walton-Becket graticule를 사용하여 관찰하는 시야를 통일시켰다. Walton-Beckett graticule은 석면 계수분석 시 사용되는 레티클(reticle)로서, 1977년 영국 IOM(Institute Of Medicine) 소속의 W. H. Walton과 S. T. Beckett이 최초 고안하였다.

먼저 위상차현미경의 장점은 전처리가 간편해서 전처리 중 시료의 훼손 가능성이 적고 빠른 분석결과 산출이 가능하다. 장비가 작고 이동이 쉬워서 건축물의 석면 해체작업장 등에서의 석면노출을 매일 모니터링(daily monitoring)하거나 현장에서 즉시 분석 결과를 산출할 수 있는 장점이 있다. 현행 국내의 작업환경 중 공기 중 석면에 대한 노출기준인 0.1 개/㎤와 실내공기 중의 관리기준인 0.01 개/㎤는 모두 위상차현미경법에 의한 결과를 기준으로 한 것이기 때문에 위상차현미경법을 이용한 분석결과는 현행 노출기준과 직접적으로 비교가 가능하다는 점에서 매우 큰 장점을 가지고 있다. 또한 과거의 국내외 역학조사와 작업환경측정

결과 등의 자료 또한 대부분 위상차현미경법으로 분석한 결과이기 때문에 측정결과를 노출기준과 과거 자료를 이용한 위해도 평가에 적용하기에도 적당하다.

다음으로 단점은 위상차현미경법은 석면의 분석을 위한 3가지 특징 중 길이 대 지름의 비(aspect ratio) 만을 이용하여 섬유상 입자와 비섬유상 입자를 구분·분석하므로 섬유상이면서 비석면인 입자상 물질과 석면 섬유를 구분하지 못하고 모두 석면으로 간주하여 분석하게 된다. 따라서 학교나 지하철 역사와 같이 비석면 섬유상 물질의 농도가 높은 환경에는 적용하기가 어렵고 분석결과가 과대평가 될 우려가 있다. 또한 위상차현미경은 분해능과 배율이 낮아 여과지에 채취된 모든 공기 중 석면을 검출할 수 없다. 위상차현미경을 이용한 석면분석 결과는 여과지에 채취된 섬유 중 관찰이 가능한 일정 지름 이상의 일부 섬유만을 계수한 결과이므로 공기 중 모든 석면섬유의 농도가 아니며, 석면섬유농도를 가늠할 수 있는 일정한 지표로서의 농도임에 유의해야 한다. 일반적으로 위상차현미경으로 석면 분석 시 검출 가능한 섬유의 지름은 약 0.2~0.4 ㎛ 이상인 것으로 알려져 있다. 예를 들어 만약 길이가 10 ㎛이며 길이 대 지름의 비가 100:1인 섬유가 있다면, 지름이 0.1 ㎛로 본 분석방법으로는 검출할 수 없다. 가장 가는 개별 석면섬유(fibril)의 지름은 약 0.02 ㎛로 알려져 있으므로 이런 작은 지름의 섬유는 위상차현미경에서는 검출할 수 없다. 따라서 위상차현미경으로 관찰되는 석면섬유는 현미경 시야 상에서는 가는 섬유형태로 보이더라도 사실은 개별 석면섬유의 다발이다. 만약 가장 가는 지름의 각각의 개별섬유를 관찰하려면 투과전자현미경(TEM)을 이용해야 한다.

(2) SEM 분석방법

주사전자현미경은 전자빔을 시료 표면에 주사시켜 시료 표면에서 발생하는 다양한 신호를 검출하여 물질의 형태 및 구조 등의 정보를 얻을 수 있는 분석기기이다. 주사전자현미경을 이용한 분석방법에는 AIA(Asbestos International Association)[51]이 있고, SEM방법에 대해 단순히 언급하고 있는 방법은 영국 HSE MDHS 87, 독일 VDI 3492,[52] 한국 실내공기질 공정시험기준, 일본 환경성 석면모니터링매뉴얼 등이 있다. 주사전자현미경의 원리는 광학현미경이나 투과전자현미경(TEM)처럼 빛의 법칙에 따라서 화면을 형성하지 않고, 전자기렌즈가 전기가 통하는 시편의 표면에 초점을 형성한 전자빔 spot을 형성하고 이 spot이 관찰하고자 하는 시편부위를 주사하여 영상을 형성한다. 이 과정 중에 여러 형태의 radiation이 발생하지만 SEM에서는 시편의 가장 표면에 가까운 영역에서 발생하는 이차전자(secondary electron)를 이용해 영상을 출력한다. SEM 이미지에서 한 점의 밝기는 전자빔과 시편의 상호작용에 의해서 시편의 해당 부위에서 발생되는 이차전자의 수에 비례한다. 전자빔의 시편의 각 점에서 이차전자의 신호를 수집하여 정해진 크기의 pixel로 기록한다. 주사전자현미경법은 EDXA(Energy Disperse X-ray Analysis)를 장착하여 섬유상 물질의 형태, 화학구조

51) ASBESTOS INTERNATIONAL ASSOCIATION (1979) Reference method for the determination of airborne asbestos fibre concentrations at work places by light microscopy (membrane filter method). Recommended technical method no. I. London: Asbestos International Association.

52) Verein Deutscher Ingenieure (VDI). VDI-Richtlinien: indoor air pollution measurement: measurement of inorganic fibrous particles: measurement planning and procedure: scanning electron microscopy. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1994. VDI 3492, part 2.

등의 확인이 가능한 전자현미경법의 하나로 주로 영국, 독일 등 유럽에서 널리 쓰이고 있는 분석방법이다. OSHA ID-160에는 PCM으로 석면 분석 시 석면의 구별이 어렵기 때문에 SEM 또는 TEM으로 석면동정을 해야 한다고 권장하고 있다.(OSHA, 1997) 또한 일본 환경성 석면모니터링매뉴얼에는 광학현미경의 측정결과에 대해 확인이 필요한 경우 SEM(+EDX)을 이용하여 섬유를 계수하고 섬유의 구성성분을 확인하여 석면의 종류와 양을 식별하도록 하고 있다.(일본 환경성, 2007) TEM에 비해 SEM의 전처리가 비교적 간단하고 최근에는 고 분해능 FE-SEM(field-emission SEM)이 사용되어 석면동정에 응용되고 있고 3차원 이미지를 만들어 석면형태와 비석면형태를 구분하는데 응용할 수 있다.

먼저 주사전자현미경의 장점은 EDXA를 장착하여 입자의 화학조성을 확인할 수 있어 석면, 비석면 및 석면의 종류 확인이 가능하다. 위상차현미경에 비해 분해능이 좋아서 지름 약 0.1 ㎛의 섬유까지도 관찰 가능하다. 시료의 전처리가 투과전자현미경에 비해 상대적으로 간편해서 투과전자현미경에 비해 저렴한 비용과 시간으로 위상차현미경에 비해 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다. 다음으로 단점은 SAED 패턴을 이용한 시료의 결정구조 확인이 불가능해서 일부 무기섬유와 석면의 구분 및 각섬석의 종류 구분이 어려운 등 투과전자현미경법에 비해 분석결과의 신뢰도가 떨어진다. 주사전자현미경은 분해능이 위상차현미경보다는 우수하나 투과전자현미경에 비해 나빠서 개별 석면섬유까지는 분석이 불가능하다.

2. 석면함유자재 파손 시 석면섬유 발생량 측정 실험

석면함유자재의 손상정도를 평가하는 방법으로 미국 AHERA, 미국 ASTM, 영국 HSE등이 있다. AHERA 방법은 석면함유자재를 손상정도에 따라 심각한 손상, 보통손상, 좋음으로 평가하는 방법으로 평가방법이 단순하고 체계적인 통합관리가 가능한 장점이 있다. ASTM 방법은 현장에서 채취한 시료의 상태를 손상정도에 따라서 좋음, 보통, 나쁨의 3가지 단계로 나누어 평가하는 방법으로 각 위험요인에 대한 점수화가 가능하며 건축물 관리자 및 소유자의 판단에 따른 능동적 대처가 가능한 장점이 있다. HSE 방법은 손상정도에 따라 양호한 상태, 약간 손상, 중간손상, 심각한 손상 등 4가지 단계로 나누어 평가하는 방법으로 물질에 대한 비산성 평가와 유해성 평가를 구분하여 관리 우선순위를 정하는 방법이다. 본 연구에서는 세가지 방법들을 각각 비교·분석하여 슬레이트의 손상정도에 대한 적정 평가 등급을 도출하였다. 도출된 슬레이트의 손상정도 평가 등급은 A(좋음), B(보통), C(나쁨) 3가지로 분류된다. 손상부위가 없거나 극소적인 손상만 입은 경우에는 A, 손상정도가 크지 않으며 손상부위의 면적이 전체 면적의 10% 이하인 경우 B, 손상정도가 크며 손상부위의 면적이 전체 면적의 10% 이상인 경우 C로 구분하였다. 도출된 슬레이트의 손상정도 평가기준은 다음 그림과 같다.

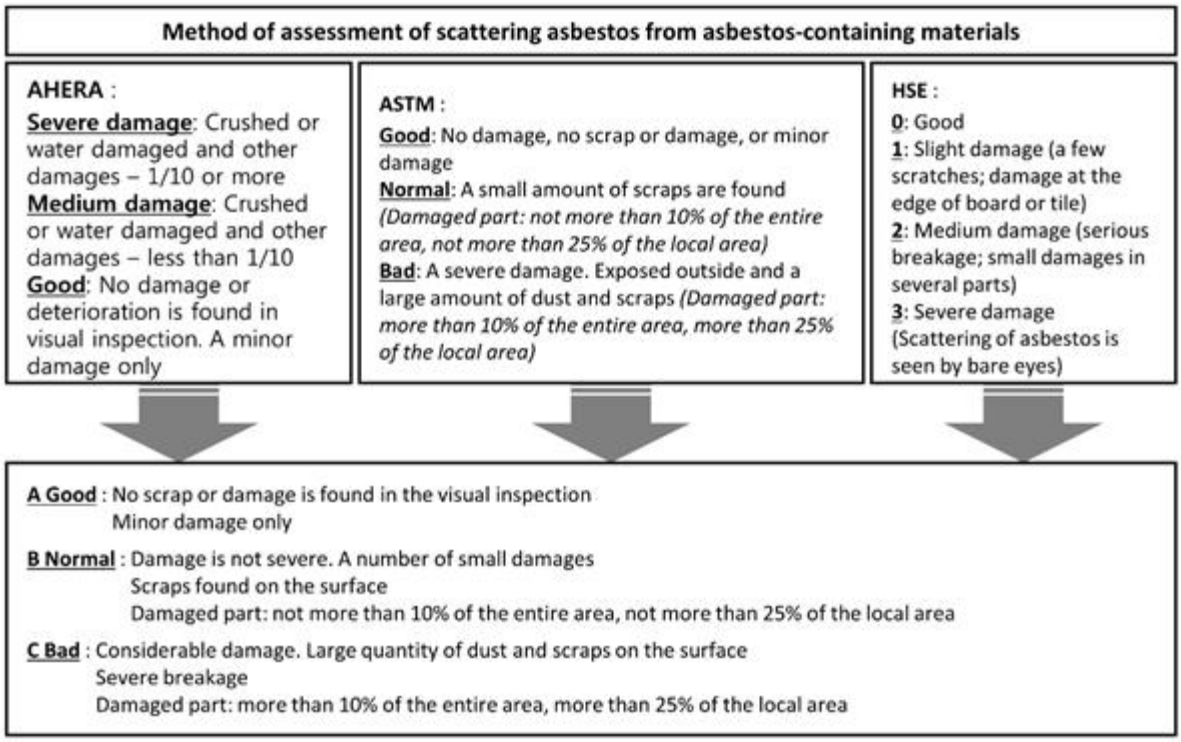


그림 89. 도출된 석면함유건설자재 손상정도 평가기준

시료의 채취와 시료의 분석을 위해서 미국 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health)[53], 미국 OSHA(Occupational Safety & Health Administration)[54], 영국 HSE(Health and Safety Executive)[55], 한국 KOSHA(Korea Occupational Safety & Health Agency)[56] 등을 비교, 분석하여 시료의 채취는 미국 NIOSH 7400 방법, 시료의 분석은 NIOSH 7400a방법과 OSHA ID-160방법을 사용하였다. 석면시료를 채취하기 위한 NIOSH 7400 방법은 직경 25mm, 공극 0.8㎛의 멤브레인 필터(Mixed Cellulose Ester Membrane Filter)를 사용하여 지상 1,500mm되는 위치에서 공기시료를 채취한다고 규정한다. 또 시료채취의 정밀성을 높이기 위하여 펌프유량 및 채취총량은 섬유밀도가 100~1,300 개/㎟이 되도록 유량과 채취시간을 조정한다. 그렇게 하기 위해서 비교적 깨끗한 대기 중에서는 충분한 유량(3,000~10,000 L)을 채취해야 하고 일반적인 대기 중에서는 1~4 L/분의 유량으로 8시간 동안 시료를 채취해야 하며 고농도의 비상노출 시에는 7~16 L/분의 유량으로 짧은 시간 동안 채취해야 한다. 여기서 조심해야 할 점은 먼지가 여과지의 50% 이상을 덮지 않도록 해야 한다는 점이다. 본 연구에서는 슬레이트가 파손될 경우 고농도의 비상노출이 될 것이고

53) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) a, 1994. Asbestos and other fibers by PCM: 7400, NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) 4th ed., S. Department of HHS. http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7400.pdf
54) Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 1997. OSHA ID-160, Asbestos in Air, OSHA. https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id160/id160.pdf
55) HSE (Health and Safety Executive), 2002. A Comprehensive Guide to Managing Asbestos in Premises, ISBN 978 0 7176 2381 5/HSG227. http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg227.pdf
56) Korea Occupational Safety and Health Agency, 2006. KOSHA CODE A-1-2004.

먼지가 많이 발생될 것으로 예상하여 각 시료 당 흡입유량을 14L/min, 40분씩 채취하였다. 또 공기시료의 채취 시 필터의 개구면을 아래로 향하도록 하고 펌프를 사용하여 계속 유량을 보정하였다. 석면시료의 분석방법에는 PCM, SEM, TEM 등 방법들이 있는데 본 연구에서는 PCM 방법과 SEM 방법을 결합하여 분석을 진행하였다. PCM을 이용한 석면시료의 분석은 전처리가 간편하기 때문에 빠른 분석이 장점이나 Aspect Ratio를 이용하여 석면섬유를 판별하기 때문에 석면섬유와 비석면섬유를 정확히 판별하지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 우선 SEM에 Energy Dispersive X-ray(EDX)를 탑재하여, 입자의 형태, 구성원소의 특성을 분석하여 석면여부를 판별한 후, PCM을 이용하여 석면섬유를 계수하였다. 분석에 사용된 SEM은 TESCAN사의 MIRA FEG SEM(가속전압 15 kV, working distance는 21 mm, 배율은 개별 입자의 크기와 해상도를 고려하여 관찰)이며, EDX는 IXRF Systems사의 XRF(live time 100 sec)을 사용하였다. 또 분석에 사용된 PCM은 NIKON사의 Ni-U PH (배율을 400배 확대, 길이 5㎛ 이상, Aspect Ratio가 3:1을 초과하는 섬유를 계수), 눈금자는 지름이 100 ㎛(면적 0.00785 ㎟)인 Walton-Beckett graticule을 사용하였다. 다음 그림은 Walton-Beckett graticule을 보여준다.

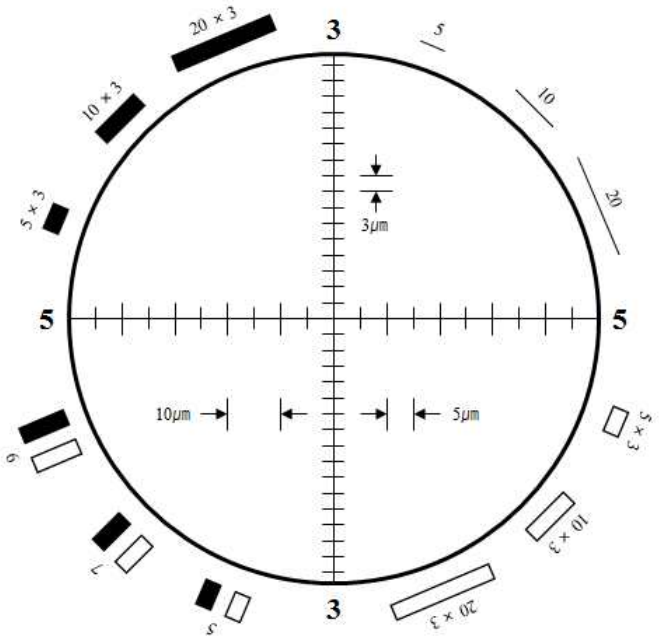


그림 90. Walton-Beckett graticule

실험을 진행하기 위하여 먼저 한국 내 일반적인 건축물에 사용된 슬레이트를 수집하였다. 슬레이트가 사용된 건축물을 확보한 후 조사자 2인이 직접 현장을 방문하여 한국 석면안전관리법의 절차에 따라 수집하여 실험장소로 운반하였다. 운반된 슬레이트의 겉면에 먼지, 흙 등 이물질을 제거한 후 햇볕에 충분히 말려 수분을 제거하였다. 다음 슬레이트 손상정도 기준에 따라 슬레이트를 A(좋음), B(보통), C(나쁨) 의 세가지 등급으로 구분하고 각 등급별로 3개씩 총 9개를 선정하였다. 선정된 9개의 슬레이트에 각각 번호를 지정하고(A1, A2, A3;

B1, B2, B3; C1, C2, C3) 무게와 면적을 측정하였다. 다음 그림은 손상정도 등급에 따른 시료분류를 나타낸다. 다음으로 슬레이트 파손상황에서 각 등급별 공기시료를 확보하기 위하여, 슬레이트를 일반적인 건축물의 지붕높이에서 자유낙하하여 파손하였다. 외부 공기의 유입을 막고 정확한 공기시료를 확보하기 위하여 실험용 chamber를 제작하여 chamber내부에서 실험을 진행하였다. 자연적인 파손상황을 가정하기 위하여 chamber내부에 일반적인 건축물의 지붕을 모방한 조립식 앵글을 설치하여 슬레이트가 앵글의 경사면을 따라 미끌어져 내려오다가 경사면의 끝에서 자유낙하 할 수 있게 하였다. 슬레이트가 자유낙하하여 파손되면 석면섬유가 생성되어 chamber내부 공기 중에 확산된다. chamber는 길이 5,000mm, 너비 2,000mm, 높이 5,000mm인 육면체 형태로 제작하였으며 내부는 완전히 밀폐될 수 있도록 chamber의 육면을 2중비닐로 보양하였다. 또 chamber내에 설치한 조립식 앵글의 규격과 내부의 장비구성은 다음 그림과 같다. 한국에서 슬레이트는 일반적으로 단층으로 지어진 주거용 건축물의 지붕재료로 많이 사용된다. 따라서 앵글 조립 시 한국의 일반적인 주거용 건축물의 경사도를 참고하여, 조립식 앵글 지붕의 경사도는 25°로 설정하였고 지붕의 높이는 2,500mm로 설정하였다.[57] chamber의 한쪽 면에 슬레이트 투입구를 만들어 슬레이트를 조립식 앵글 지붕으로 투입할 수 있게 하였고, 내부의 다른 한쪽에 PCM 석면 샘플러와 MCE필터를 설치하여 파손된 슬레이트에서 발생한 석면섬유가 포함되었을 것으로 예상되는 공기시료를 채취하였다. 공기시료 채취높이는 NIOSH 7400의 공기시료 채취방법에 따라 지상 1,500mm로 설정하였고 MCE필터는 0.8㎛, ø25mm 규격의 필터를 사용하였다. 슬레이트는 파손상황에서 석면섬유를 제외한 먼지도 발생하게 되는데, 많은 양의 유량을 채취하여 먼지가 많이 채취되면 계수결과의 오차를 유발한다. 따라서 분석의 용이함을 고려하여 흡입유량은 14L/min, 채취시간은 40분으로 설정하여 각 시료당 공기를 560L씩 채취하였다. 이와 같은 방법으로 A1슬레이트의 공기시료를 채취하고, 파손된 슬레이트 조각들 중에서 비교적 큰 조각들을 다시 선정하여 시료번호를 재지정한 후 위에서 언급한 실험절차를 반복하였다. 처음 번호를 지정한 9개의 슬레이트 모두 10개의 공기시료가 확보될 때까지 실험을 반복하여 총 90개의 공기시료를 확보하였다.



그림 91. 손상정도 등급에 따른 석면슬레이트 분류

57) Seung-Ho Lee. The Characteristics of Folk Houses at Heavy Snowfall Regions in Korea. Journal of the Korean Geographical Society, 2002, 37(1), 1-14

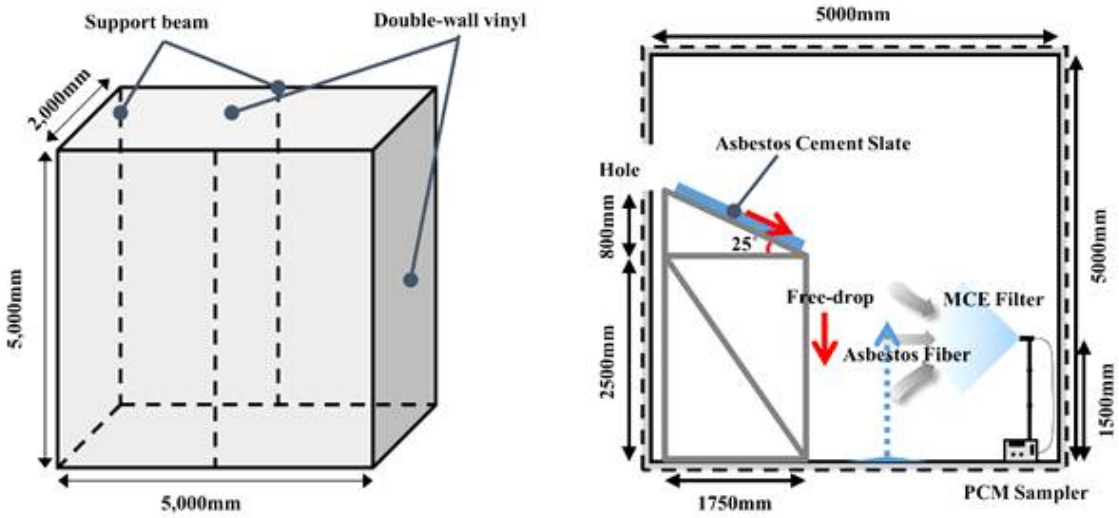


그림 92. 조립식 앵글의 규격과 내부의 장비구성

슬레이트 파손 시 발생하는 석면섬유를 계수하기 위하여 OSHA ID-160에 규정된 SEM방법과 NIOSH 7400a에 규정된 PCM방법을 사용하였다. OSHA에서는 PCM방법만으로는 석면의 판별이 어렵기 때문에 먼저 SEM방법으로 석면여부를 판별한 후 PCM방법으로 분석하기를 권장하고 있다. SEM방법은 필터에 채취된 공기 중 석면섬유의 계수와 고형시료의 석면함유율 분석에 모두 적용 가능한 방법으로 섬유상 물질의 화학조성을 확인할 수 있고 석면여부 및 석면의 종류 확인이 가능하다. PCM은 시료의 훼손 가능성이 적고 전처리가 비교적 간편하여 빠른 분석이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 먼저 SEM으로 입자의 화학조성이 석면임을 확인한 후, PCM을 사용하여 석면섬유를 계수함으로써 분석의 정확도를 높였다. 먼저 섬유상 입자의 물리화학적 특성을 파악하여 석면여부를 판별하고자 SEM에 EDX를 탑재하여 90개의 공기시료에 대한 분석을 진행하였다. SEM을 통한 관찰 시 화면상에 나타난 섬유상 입자의 형태는 석면표준물질에서 관찰된 입자의 형태와 매우 흡사하였다. 또 EDX로 분석한 결과 평균 구성원소 비율은 Mg(49.8%), Si(45.7%). Fe(4.5%)로 나타났는데 이는 백석면의 화학조성과 매우 흡사한 것으로 나타났다. 다음 그림에서 SEM을 사용하여 촬영한 석면섬유의 형태와 EDX 성분분석 그래프를 나타내었다. SEM에 EDX를 탑재하여 섬유상 입자의 화학조성이 백석면인 것을 확인한 후 채취한 공기시료 중에서 석면섬유의 개수를 알아보기 위하여 PCM으로 석면섬유를 계수하였다. 먼저 MCE필터 여과지의 1/4을 잘라낸 후 아세톤-트리아세틴 용액을 사용하여 전처리를 하였다. 다음 Walton-Beckett graticule이 장착된 PCM으로 400배 확대하여 현미경 시야상 지름 100㎛인 graticule 내의 석면섬유를 계수하였다. 길이는 5㎛ 이상, 길이와 폭의 비가 3:1 이상인 섬유를 계수하였고, 100개의 섬유가 계수되도록 충분한 시야(graticule field)수를 계수하였다. 공기시료 중 석면섬유의 개수와 농도는 다음 식에 의하여 구하였다.

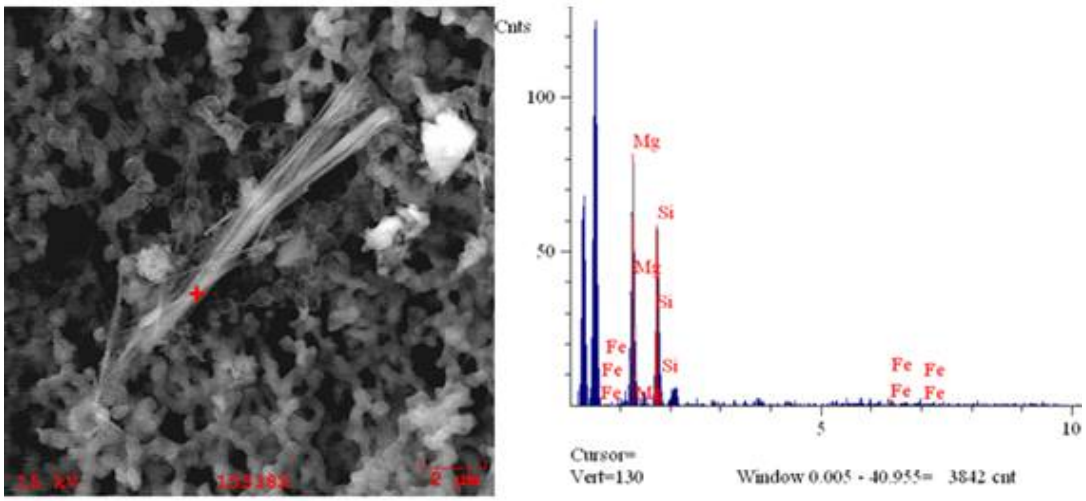


그림 93. SEM을 사용하여 촬영한 석면섬유의 형태와 EDX 성분분석 그래프

$$N_s = \frac{N \times A}{a \times n}$$

$$C = \frac{N \times A}{a \times V \times n \times 1000}$$

여기서,

N_s: 전체 섬유의 개수(개)

C: 공기 중 석면섬유의 농도(f/cc)

N: 계수한 섬유의 개수(개)

A: 유효시료 채취면적(385㎟)

a: 그래티큘의 계수면적(0.00785㎟)

V: 채취한 공기의 량(L)

n: 계수한 시야의 총 수(개)

4.2.3 일반적인 실험결과

본 연구에서는 슬레이트를 각 등급별로 3개씩 선정하여 총 9개를 대상으로 10개씩 공기시료를 확보하여 SEM/PCM방법으로 총 90개의 공기시료를 분석하였다. 먼저 각 등급별 슬레이트의 평균밀도는 A등급(12.02kg/㎡)>B등급(11.60kg/㎡)>C등급(10.03kg/㎡)로 나타났고 각 슬레이트의 면적은 0.089㎡에서 1.508㎡까지의 분포로 나타냈다. 이것은 6.2.1절에서 도출한 슬레이트의 손상정도에 대한 적정 평가 등급이 적절하다는 것을 보여준다. 또 PCM분석결과, MCE필터에 채취된 석면섬유의 밀도는 최소 73.9f/㎟에서 최대 491.7f/㎟의 분포로 나타났고, 석면섬유의 농도는 최소 0.051f/cc에서 최대 0.338f/cc로 나타났다. 90개 시료 모두가 한국 환경부의 실내공기질 기준인 0.01f/cc를 넘은 것으로 나타났다. 따라서 슬레이트는 손상정도를

불문하고 일반적인 건축물의 높이에서 자유낙하하여 파손될 경우에 기준치를 훨씬 초과한 석면섬유가 주변으로 비산됨을 알 수 있었다. 다음 표에서 일반적인 실험의 결과를 나타내었다.

표 205. 일반적인 실험결과

Group A				Group B				Group C			
무게 (kg)	면적 (m^2)	밀도 (f/mm^2)	섬유 농도 (f/cc)	무게 (kg)	면적 (m^2)	밀도 (f/mm^2)	섬유 농도 (f/cc)	무게 (kg)	면적 (m^2)	밀도 (f/mm^2)	섬유 농도 (f/cc)
16.06	1.295	361.8	0.249	18.40	1.508	380.9	0.174	12.23	1.182	490.4	0.337
15.40	1.295	324.8	0.223	17.40	1.468	436.9	0.300	11.56	1.099	384.7	0.264
15.30	1.294	332.5	0.229	16.24	1.370	338.9	0.233	10.26	1.089	491.7	0.338
12.30	1.034	322.3	0.222	15.70	1.463	487.9	0.335	10.12	0.978	470.1	0.323
11.32	0.958	317.2	0.218	15.30	1.254	326.1	0.224	9.24	0.981	459.9	0.316
10.58	0.895	349.0	0.284	14.72	1.242	401.3	0.276	8.88	0.943	361.8	0.249
10.45	0.843	322.3	0.222	13.21	1.083	272.6	0.187	8.56	0.827	322.3	0.222
9.78	0.823	231.8	0.159	13.20	1.230	465.0	0.320	8.18	0.868	299.4	0.206
9.32	0.788	305.7	0.254	11.98	1.011	377.1	0.259	8.00	0.760	440.8	0.303
8.74	0.705	249.7	0.172	10.78	0.884	245.9	0.169	7.62	0.724	332.5	0.229
7.63	0.642	198.7	0.137	10.56	0.984	319.7	0.220	7.62	0.809	378.3	0.260
6.56	0.529	168.2	0.116	10.35	0.873	309.6	0.213	7.22	0.698	259.9	0.179
6.28	0.531	158.0	0.109	9.52	0.780	233.1	0.160	5.88	0.559	310.8	0.214
5.78	0.466	193.6	0.133	8.65	0.730	366.9	0.252	5.36	0.518	299.4	0.206
5.72	0.481	186.0	0.128	8.35	0.778	219.1	0.151	5.24	0.556	307.0	0.211
5.24	0.443	267.5	0.184	7.65	0.713	257.3	0.177	4.98	0.481	221.7	0.152
4.68	0.394	238.2	0.164	6.32	0.518	174.5	0.120	4.50	0.435	217.8	0.150
4.32	0.348	93.0	0.064	6.26	0.583	300.6	0.207	4.47	0.475	335.0	0.230
3.96	0.319	222.9	0.153	5.43	0.506	214.0	0.147	4.32	0.411	275.2	0.189
3.24	0.272	73.9	0.051	5.26	0.444	214.0	0.147	3.55	0.343	214.0	0.147
3.21	0.272	152.9	0.105	4.56	0.425	242.0	0.166	3.38	0.359	113.4	0.078
3.20	0.258	152.9	0.105	4.50	0.380	184.7	0.127	2.76	0.267	123.6	0.085
2.75	0.233	151.6	0.104	4.21	0.345	141.4	0.053	2.55	0.271	196.2	0.135
2.50	0.210	122.3	0.084	3.60	0.295	146.5	0.057	2.49	0.237	160.5	0.110
1.48	0.124	177.1	0.122	3.30	0.278	207.6	0.187	2.04	0.217	131.2	0.090
1.42	0.115	180.9	0.212	2.82	0.238	87.9	0.017	1.62	0.154	87.9	0.060
1.28	0.103	220.4	0.195	2.52	0.207	165.6	0.114	1.24	0.120	143.9	0.143
1.26	0.107	132.5	0.091	1.62	0.151	136.3	0.094	1.18	0.112	131.2	0.090
1.12	0.094	122.3	0.078	1.54	0.144	91.7	0.019	1.04	0.099	216.6	0.193
1.12	0.095	113.4	0.084	1.08	0.089	75.2	0.008	1.00	0.095	191.1	0.219

4. 석면함유자재의 노화정도에 따른 파손 시 석면섬유 발생량 산정식 개발

실험의 결과로 DB화 된 90개의 공기시료 분석결과를 바탕으로 슬레이트 파손 시 슬레이트의 면적에 따른 석면섬유의 발생량을 산정하였다. 먼저 SPSS를 이용하여 석면슬레이트의 면적이 석면섬유 농도에 영향을 준다는 것을 Pearson 상관분석을 통하여 알아보았다. 상관정도를 나타내는 Pearson 상관계수 통계량은 0.839로 강한 양의 선형관계를 나타냈고 유의수준 0.01에서 모두 유의한 값으로 나타났다. 따라서 석면슬레이트의 면적은 석면섬유 농도에 영향을 미치는 요인이라고 할 수 있다. 슬레이트 손상정도에 대한 각 등급별로 나누어

Pearson 상관분석을 진행하였다. 그 결과 상관계수 통계량은 각각 0.845, 0.901, 0.900으로 나타났고 유의수준 0.01에서 모두 유의한 값으로 나타났다. 다음 표에서 Pearson 상관분석 결과를 나타내었다. 슬레이트 면적을 독립변수로, 석면섬유의 농도를 종속변수로 설정하고 SPSS 20.0을 이용하여 선형 회귀분석을 실시하였으며 그 결과는 다음 표와 같다. 분석결과 P값은 0.000으로 유의수준 0.05하에서 적합하였고 수정된 R^2값은 0.701로 나타났다. 슬레이트가 일반적인 건축물의 높이에서 자유낙하하여 파손 될 경우 슬레이트의 면적이 1㎡ 증가할 때마다 석면섬유의 농도는 0.159f/cc 만큼 증가함을 알 수 있다. 다음 그림은 분석결과를 도식화하였다.

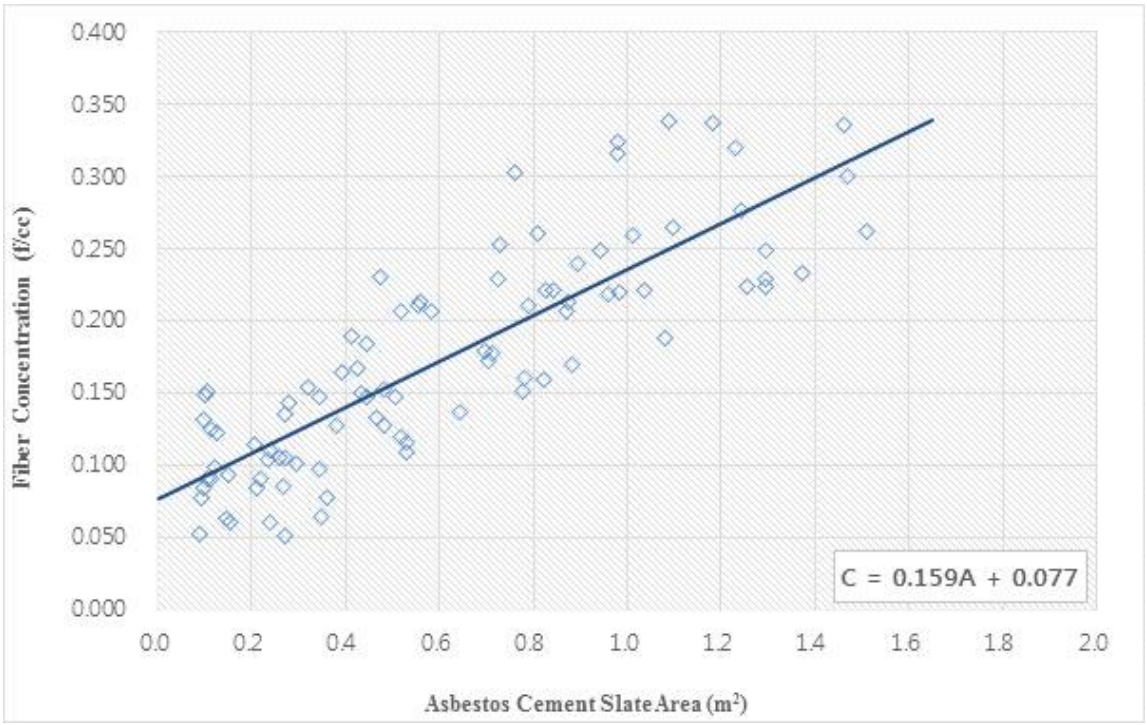


그림 94. 단위면적 당 석면섬유 발생량

표 206. 슬레이트 면적과 섬유농도의 Pearson 상관관계 분석

분류	Pearson 상관관계	유의 확률
전체	0.839**	0.000
Group A	0.845**	0.000
Group B	0.901**	0.000
Group C	0.900**	0.000

*: $p<0.05$, **: $p<0.01$

표 207. 파손된 슬레이트 면적에 따른 섬유 농도 회귀분석 결과

	계수	표준오차	t	유의확률
절편	0.077	0.008	9.683**	.000
슬레이트 면적	0.159	0.011	14.491**	.000

F = 210.002**(P-value=0.000)

R^2(adjR^2)=0.701

*: p<0.05, **: p<0.01

슬레이트 면적에 따른 석면섬유 농도 산정식

C = 0.077 + 0.159 × A

C : 섬유 농도

A : 슬레이트 면적

앞에서 도출한 슬레이트의 손상정도에 대한 등급별로 슬레이트 파손 시 슬레이트의 면적에 따른 석면섬유의 발생량을 산정하였다. A, B, C 각 등급별로 30개의 공기시료 분석결과를 바탕으로 슬레이트 면적을 독립변수로, 석면섬유의 농도를 종속변수로 설정하고 SPSS 20.0을 이용하여 선형 회귀분석을 실시하였다. A 등급에 속한 슬레이트의 분석결과, P값은 0.000으로 유의수준 0.05하에서 적합하였고 수정된 R2값은 0.703로 나타났다. A등급에 속한 슬레이트는 파손 시 면적이 1㎡ 증가할 때마다 석면섬유의 농도는 0.127f/cc 만큼 증가함을 알 수 있다. B 등급에 속한 슬레이트의 분석결과, P값은 0.000으로 유의수준 0.05하에서 적합하였고 수정된 R2값은 0.805으로 나타났다. B등급에 속한 슬레이트는 파손 시 면적이 1㎡ 증가할 때마다 공기 중 섬유의 농도는 0.157f/cc 만큼 증가함을 알 수 있다. C등급에 속한 슬레이트의 분석결과, P값은 0.000으로 유의수준 0.05하에서 적합하였고 수정된 R2값은 0.804로 나타났다. C등급에 속한 슬레이트는 파손 시 면적이 1㎡ 증가할 때마다 공기 중 섬유의 농도는 0.221f/cc 만큼 증가함을 알 수 있다. 다음 표에서 각 등급별 회귀분석의 결과와 각 등급별 단위면적에 따른 석면섬유 발생량 회귀식을 나타내었다.

표 208. 파손된 슬레이트 면적에 따른 섬유 농도 회귀분석 결과(A Group)

Group A	계수	표준오차	t	유의확률
절편	0.080	0.010	8.040**	.000
슬레이트 면적	0.127	0.015	8.350**	.000

F = 69.724**(P-value=0.000)

R^2(adjR^2)=0.703

*: p<0.05, **: p<0.01

슬레이트 면적에 따른 석면섬유 농도 산정식

$C_A=0.080+0.127\times A_{slate-A}$

C_A: 섬유 농도 (A Group)

$A_{slate-A}$: 슬레이트 면적 (A Group)

표 209. 파손된 슬레이트 면적에 따른 섬유 농도 회귀분석 결과(B Group)

Group B	계수	표준오차	t	유의확률
절편	0.064	0.012	5.283**	.000
슬레이트 면적	0.157	0.014	10.992**	.000

F = 120.833**(P-value=0.000)

R^2(adjR^2)=0.805

*: p<0.05, **: p<0.01

슬레이트 면적에 따른 석면섬유 농도 산정식

$C_B=0.064+0.157\times A_{slate-B}$

C_B: 섬유 농도 (B Group)

$A_{slate-B}$: 슬레이트 면적 (B Group)

표 210. 파손된 슬레이트 면적에 따른 섬유 농도 회귀분석 결과(C Group)

Group C	계수	표준오차	t	유의확률
절편	0.069	0.013	5.310**	.000
슬레이트 면적	0.221	0.020	10.943**	.000

F = 119.746**(P-value=0.000)

R^2(adjR^2)=0.804

*: p<0.05, **: p<0.01

슬레이트 면적에 따른 석면섬유 농도 산정식

$C_C=0.069+0.221\times A_{slate-C}$

C_C: 섬유 농도 (C Group)

$A_{slate-C}$: 슬레이트 면적 (C Group)

A, B, C 각 등급별로 슬레이트의 파손 시 단위면적 당 석면섬유의 발생량을 비교하였다. 다음 그림은 각 등급별 슬레이트의 파손 시 단위면적 당 석면섬유의 발생량을 도식화하였다. 분석결과 A등급은 단위면적당 석면섬유의 농도가 0.127f/cc, B등급은 단위면적당 석면섬유의 농도가 0.157f/cc, C등급은 단위면적당 석면섬유의 농도가 0.221f/c로 나타났다. 즉 슬레이트는 손상정도가 심할수록 더 많은 석면섬유가 발생됨을 알 수 있었다. 각 등급별 석면섬유의 발생량을 앞서 도출된 분석결과(단위면적 당 석면섬유 발생량 평균 : 0.159f/cc)와 비교했을 때 손상정도가 나쁜 C등급은 평균치에 비해 약 39.0% 더 많이 발생되고, 손상정도가 좋은 A등급은 평균치에 비해 약 20.1% 더 적게 발생되는 것으로 나타났다.

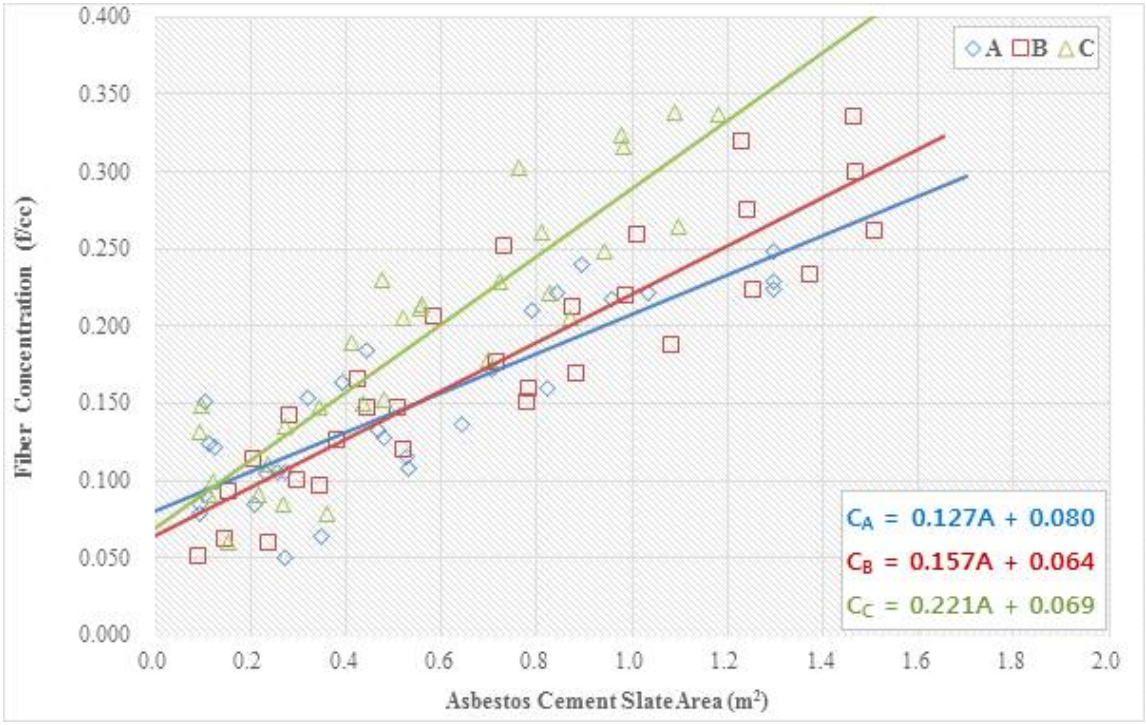


그림 95. 등급별 슬레이트 석면섬유 발생량 비교

5.3 GIS를 이용한 석면함유건축물 우선철거지역 선정

1. 분석개요

본 장에서는 석면노출의 범위가 넓은 대도시지역, 그 중에서 대구광역시를 중심으로 GIS를 이용하여 모든 석면슬레이트 건축물과 위험정도를 산출하여 시각화하고 위험정도별로 우선철거지역을 선정하는데 그 목적이 있다. 석면함유자재 중에서 슬레이트는 1960년대 경제개발과 더불어 널리 사용되어 전국적으로 약 123만동 이상 분포하는 것으로 보인다.[58] 이러한 슬레이트는 석면함유 건축내장재와는 달리 노후화되어 석면의 비산이 문제[59]가 될 수 있어 범정부적인 차원에서 교체를 추진 중이다. 지방자치단체에서도 관련 조례를 제정하고 있으나 사전조사의 어려움, 철거·해체 가이드라인의 부재 및 예산부족 등의 문제로 지지부진하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 대구광역시의 석면함유건축물 우선철거지역을 선정하기 위해 건축물 요약정보인 국토교통부 세움터(e-AIS)의 건축물대장과 지적도 및 건축물 도형정보를 수집하여 분석하였다. 수집된 자료를 바탕으로 일반적인 건축물현황을 분석하고 석면슬레이트를 지붕재료로 사용한 건축물(이하 '석면슬레이트 건축물'로 칭함)을 추출하여 ArcGIS 9.3을 이용하여 시각화하였다. 문헌조사 및 관련선행연구를 분석하여 위험정도 산출을 위한 요인을 분석하고 각각의 석면슬레이트 건축물에 요인별 level을 부여하였다. 이를 바탕으로 각 건축물별 level 점수를 합산하여 위험지역을 등급별로 시각화한 후 우선철거지역을 선정하였다. 본 연구의 결과는 각 지방자치단체의 석면슬레이트 사전조사, 우선철거지역 선정 및 예산산정 등 관련정책에 활용될 수 있을 것이다. 본 장에서 연구의 흐름은 다음 그림과 같다.

58) 환경부, 석면슬레이트의 적정처리를 위한 제도 개선방안 연구, 2010. 10
59) 김현욱 외 5인, 슬레이트 지붕 노후화에 따른 석면 섬유 방출량, 한국 산업위생학회지 제 20권 제 2호, 2010

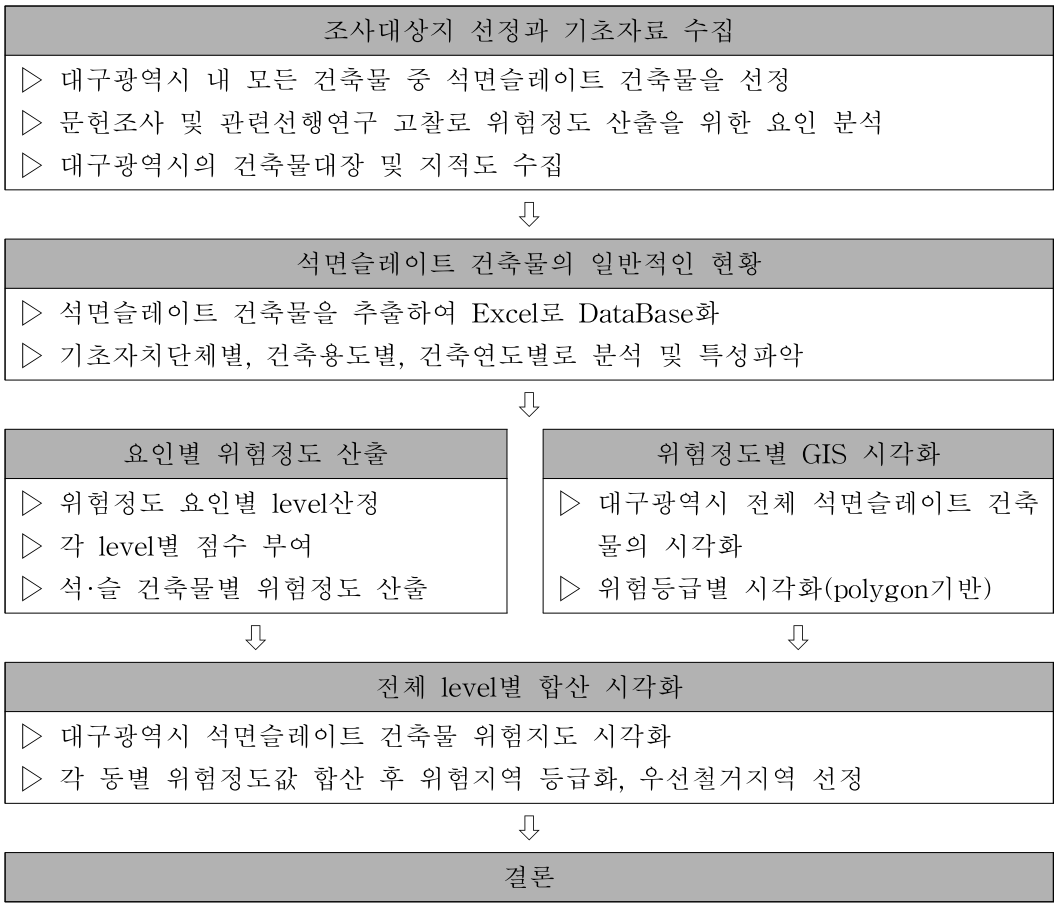


그림 96. 연구의 흐름도

건축물대장은 건축법 제 38조·제39조 및 동법 시행령 제25조에 규정되어 있다. 또 '건축물대장의 기재 및 관리 등에 관한 규칙'에서 건축물대장의 서식·기재내용·기재절차·관리 및 등기촉탁의 절차 등을 상세히 규정하고 있다. 건축물과 관련된 행정자료는 건축물대장, 과세대장, 불법건축물 관리대장 등이 있는데 건축물대장이 건축물 정보의 근간이 된다.[60] 하지만 건축물대장은 건축 인허가 과정에 구축되는 사건기반의 자료로서 건축행정과정에서 다양한 오차가 발생 가능하다.[61] 특히 본 연구에서 다루어지는 석면슬레이트 건축물의 경우 미신고에 의한 불법건축물과 불법 용도변경에 의한 오차가 존재할 수 있고 기재누락에 의한 결측치가 존재할 수 있다. 불법건축물과 불법 용도변경에 대해서는 보정을 할 수 있는 방법이 없지만 기재누락에 의한 결측치에 대해서는 주변 건축물의 정보와 빈도분석 결과의 평균값과 최빈값으로 결측치를 대체하였다. 하지만 전수조사가 불가능하고 건축물대장보다 더 정확한 자료가 없다는 점을 감안하면 기초자료로 충분한 가치가 있다고 판단되어 본 연구에 활용하였다. 다음 그림은 건축행정의 흐름과 본 연구에서의 오차발생요인을 도식화하였다.[62]

60) 김정옥 외 3인, 건축물대장을 이용한 수치지도 속성정보의 효율적 갱신방안 : 새주소사업의 건물번호 이용을 중심으로, 한국측량학회지, 제 26권 제 3호, 2008
61) 신상영, 주택재고 산정을 위한 기초자료의 현황 및 개선방안 : 서울시 건축정보시스템을 중심으로, 한국 GIS학회, 공동춘계학술대회 논문집, 2007. 6
62) 김영찬 외 3인, GIS를 이용한 석면슬레이트 분포지도 작성, 한국생태환경건축학회, 2011. 6

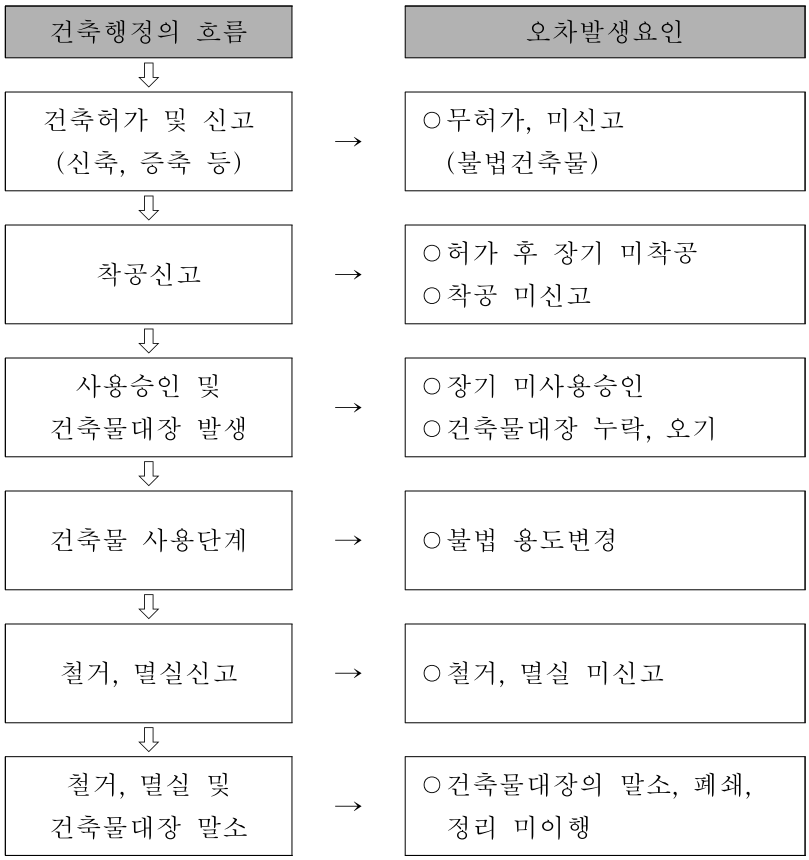


그림 97. 건축행정의 흐름과 오차발생요인

슬레이트는 천연슬레이트와 석면슬레이트로 구분되며 국내에서는 2006년까지 KCC, 벽산에서 생산한 석면슬레이트가 100% 사용되었다. 따라서 건축물대장 상의 지붕재료에 슬레이트로 기재된 건축물은 100% 석면함유건축물이다. 슬레이트 가옥 거주자가 악성중피종에 걸린 사례(정순희, 2006)가 있지만 국내에는 아직 많은 양의 슬레이트가 잔존해있는 실정이다. 주거용 건축물에서는 소골 슬레이트, 창고 및 공장건축물에서는 대골 슬레이트가 주로 사용되었으며 KS에 기재된 석면슬레이트의 일반적인 규격은 다음 표와 같다.

표 211. 석면슬레이트의 일반적인 규격

규격		폭 (cm)	길이 (cm)	면적 (m^2)	단위면적중량 (kg/m^2)	석면 함유량
소골	6호	720	1820	1.3104	10.5kg	10%
	7호	720	2120	1.5266		
	8호	720	2420	1.7424		
대골	6호	960	1820	1.7472		
	7호	960	2120	2.0352		
	8호	960	2420	2.3232		

건설연구원 표준품셈의 지붕 및 홈통공사 슬레이트 잇기에서 소골 슬레이트 시공 시 겹이음을 골 직각방향으로 9.5cm, 골 방향으로 15cm를 겹쳐 시공하도록 규정하고 있다. 따라서 슬레이트의 지붕면적은 건축물의 지붕면적에 가로겹침 면적과 세로겹침 면적을 더하고 가로와 세로가 겹치는 면적을 빼줌으로써 구할 수 있으며 이를 바탕으로 그림과 같은 슬레이트 길이에 따른 할증율 그래프를 도출하였다. 이를 바탕으로 슬레이트 지붕면적은 건축면적×(1.3~1.6: 경사도에 의한 지붕배수)×1.16(슬레이트 할증율)로 구할 수 있으며 여기에 단위면적중량인 10.5kg/m^{2}를 곱하면 발생량을 구할 수 있다. 하지만 실제 시공 시에는 표준품셈을 따르지 않는 경우가 많아 정확한 발생량을 도출하기엔 한계가 있다.

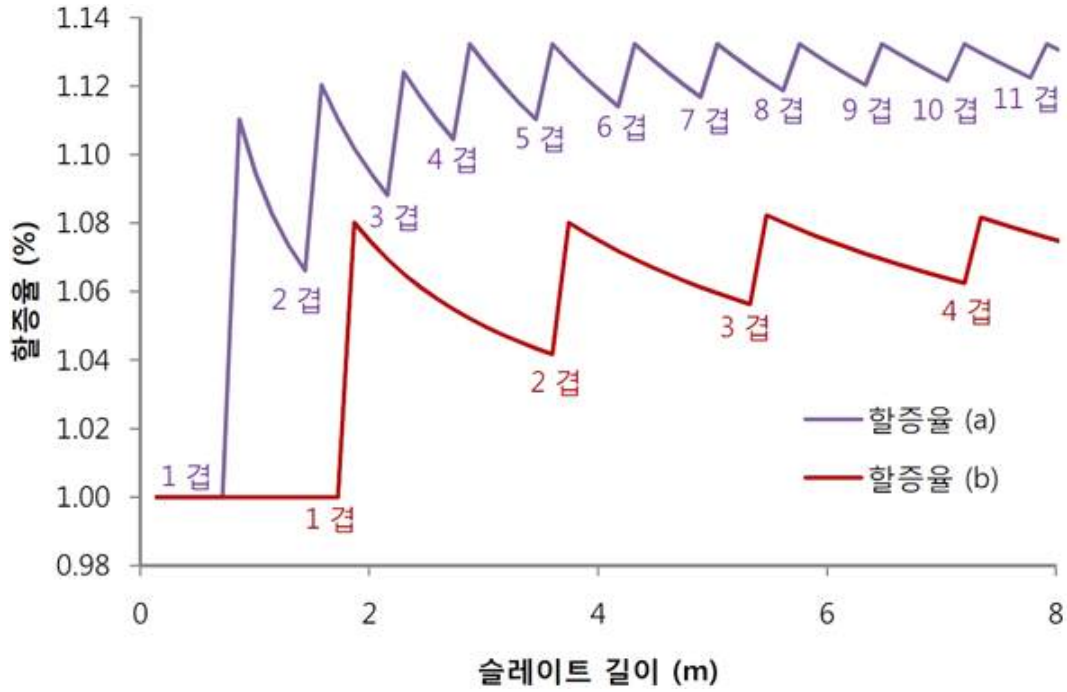


그림 98. 슬레이트 가로(a), 세로(b) 길이에 따른 할증율(소골)

2. 대구광역시의 건축물대장 분석

대구광역시의 총 인구는 약 2,509,187명이고 총 면적은 884,070,000m^{2}이며 204개의 법정동·리, 130개의 행정읍·면·동으로 이루어져 있다. 1945년 해방이후 해외 귀환 동포의 정착과 월남 피난민들의 유입으로 인구가 급격히 증가하여 1981년 대구직할시로 승격하였고 1995년 달성군을 편입하여 광역화되었다.[63] 대구광역시의 총 건축물대장을 분석한 결과 총 건축물의 수는 276,504개 동으로 나타났으며 총 건축면적은 60,985,725m^{2}로 조사되었다. 각 기초자치단체별로는 동구가 건축물 수 기준으로 56,101개 동(20.29%)으로 가장 많고 달서구가 건축면적 기준으로 2,453,966m^2(36.82%)로 가장 높게 나타났다. 기초자치단체별 총 건축물수와 건축면적은 다음 표와 같다.

63) 대구광역시, 주택통계연감, 2009(http://www.daegu.go.kr)

표 212. 기초자치단체별 일반적 건축물 현황

구분	총 건축물수 (동)	개수 비율	총 건축면적 (m^2)	면적 비율
중구	18,275	6.61%	1,646,845	2.70%
서구	33,371	12.07%	4,474,167	7.34%
동구	56,101	20.29%	9,799,131	16.07%
남구	27,643	10.00%	2,011,327	3.30%
북구	40,315	14.58%	11,053,193	18.12%
수성구	35,243	12.75%	4,831,424	7.92%
달서구	37,789	13.67%	22,453,966	36.82%
달성군	27,767	10.04%	4,715,672	7.73%
계	276,504	100.00%	60,985,725	100.00%

또한 대구광역시의 총 건축물을 각 연대별로 분류하여 분석하였다. 건축물대장 중에서 건축연도가 미기재된 개수는 21,915개(8.20%), 건축면적은 1,251,035m^2(2.10%)를 차지하였다. 개수기준, 면적기준 모두 각 연대별로 점점 증가추세를 보이다가 1990년대에 건축물 수 기준으로 27.52%, 건축면적 기준으로 56.61%가 건축되어 가장 높은 비율을 보였다. 건축연도가 미기재된 건축물을 제외한 도시지역 총 건축물의 건축연대별 비율 분포는 다음 그림과 같다.

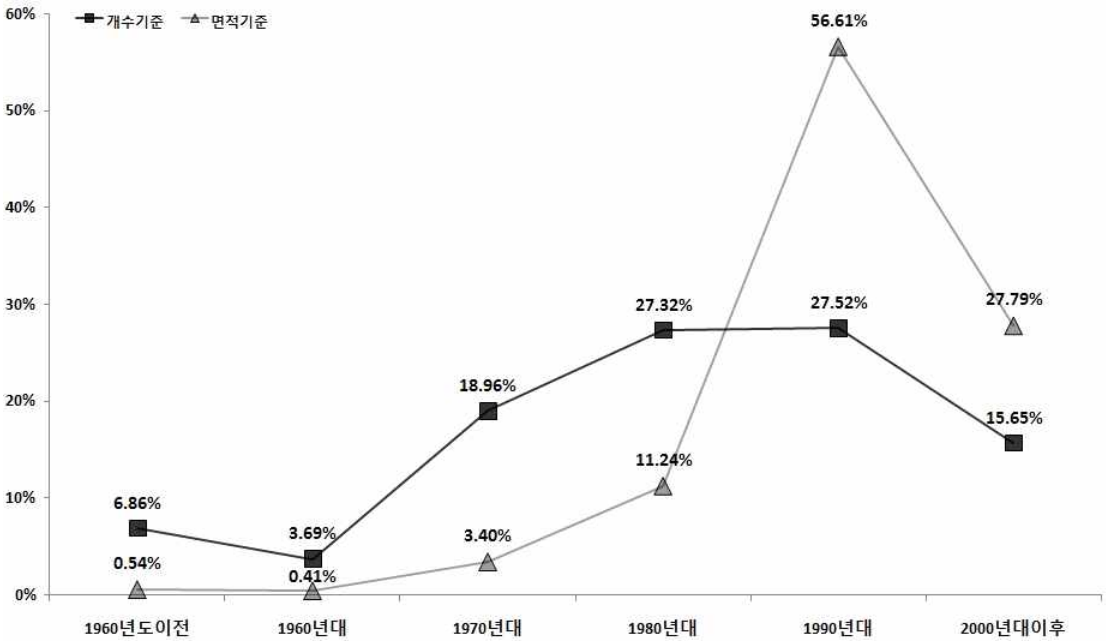


그림 99. 대구광역시 건축물의 건축연도별 분포

대구광역시의 석면슬레이트 건축물의 비율을 알아보기 위하여 건축물대장에 기재된 지붕재료를 슬레이트, (철근)콘크리트, 기와, 기타지붕, 미기재로 분류하여 분석하였다. 분석결과 대구광역시는 (철근)콘크리트 건축물이 가장 높은 비율을 차지하였고 총 슬레이트 건축물 수는 19,598개 동(5.48%), 건축면적 2,630,925m^2(3.13%)로 조사되었다. 대구광역시 건축물의 지붕재료별 분포현황은 다음 그림과 같다.

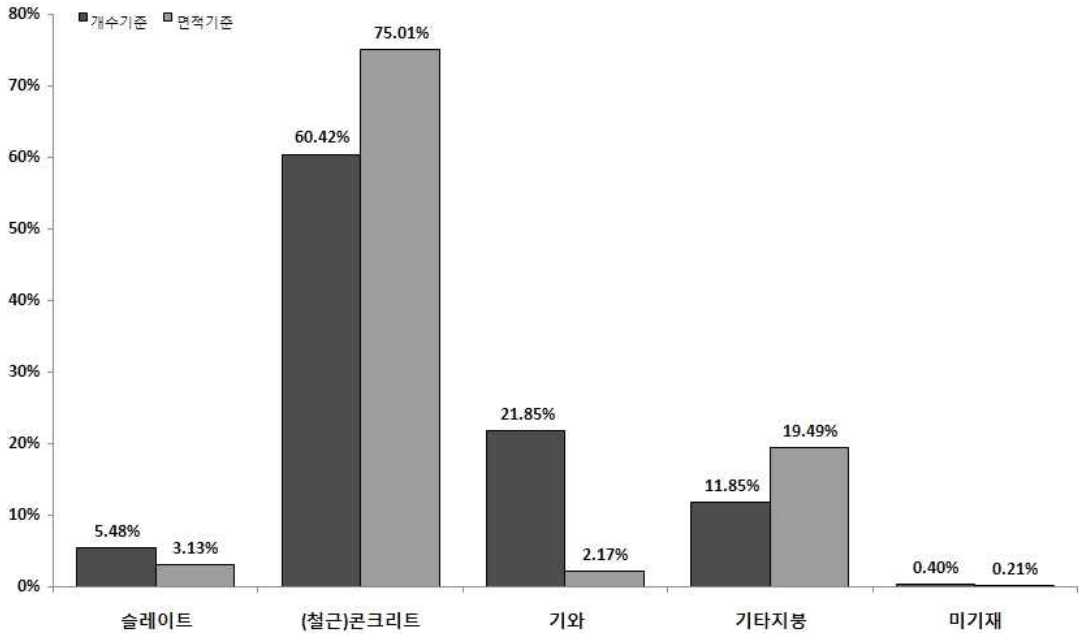


그림 100. 대구광역시 건축물의 지붕재료별 분포

(1) 기초자치단체별 석면슬레이트 건축물의 비율

대구광역시의 전체 건축물대장을 중구, 서구, 동구, 남구, 북구, 수성구, 달서구, 달성군 8개의 기초자치단체로 구분하여 각각 석면슬레이트 건축물의 비율을 분석하였다. 개수기준과 면적기준 모두 달성군이 가장 높았으며 그 다음으로 개수기준으로는 북구가 9.21%로 가장 높고 면적기준으로는 서구가 13.48%로 가장 높았다. 8개의 기초자치단체별 석면슬레이트 건축물의 분포현황은 다음 표와 같다.

표 213. 기초자치단체별 석면슬레이트 건축물 분포현황

구분	건축물수 (동)	개수 비율	건축면적 (m^2)	면적 비율
중구	947	5.18%	60,457	3.67%
서구	1,730	5.18%	603,235	13.48%
동구	3,730	6.65%	149,279	1.52%
남구	626	2.26%	9,557	0.48%
북구	3,713	9.21%	385,619	3.49%
수성구	1,266	3.59%	53,400	1.11%
달서구	1,618	4.28%	498,412	2.22%
달성군	5,968	21.49%	870,966	18.47%

(2) 용도별, 건축연도별 석면슬레이트 건축물의 분포

대구광역시의 석면슬레이트 건축물을 각 연대별로 분류하여 분석하였다. 석면슬레이트 건축물 중 건축물 대장에 건축연도가 미기재 된 개수는 2,157개로 11.01%, 건축면적은 82,815m^2, 3.15% 차지하였다. 개수기준으로는 1980년대가 29.67%로 가장 높고 1960년대 이전이 22.02%를 차지하였다. 면적기준으로는 1980년대가 39.56%로 가장 높고 1990년대가 38.08%를 차지하였다. 건축연도가 미기재된 건축물을 제외한 대구광역시 석면슬레이트 건축물의 건축연대별 비율 분포는 다음 그림과 같다.

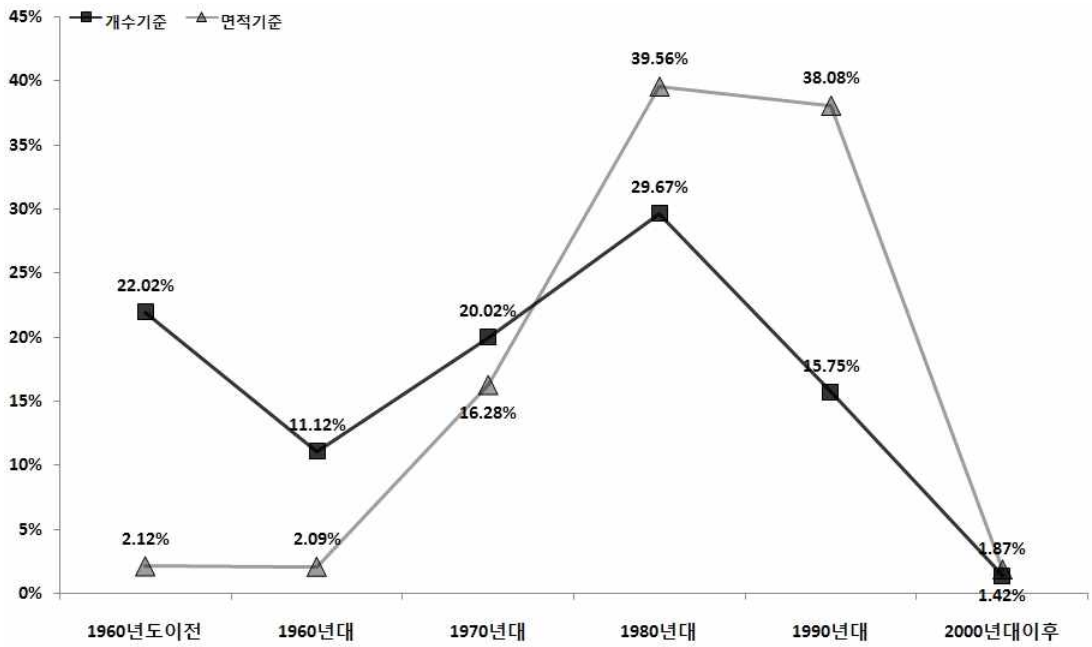


그림 101. 석면슬레이트 건축물의 건축연도별 분포특성

석면슬레이트 건축물의 용도별 분포현황을 알기 위하여 건축물대장상 용도를 주택, 공장, 창고, 그 외 시설로 분류하여 분석하였다. 개수기준으로는 주택이 52.93%로 가장 높았고 면적기준으로는 공장이 67.23%로 가장 높았다. 석면슬레이트 건축물의 용도별 분포는 그림과 같다.

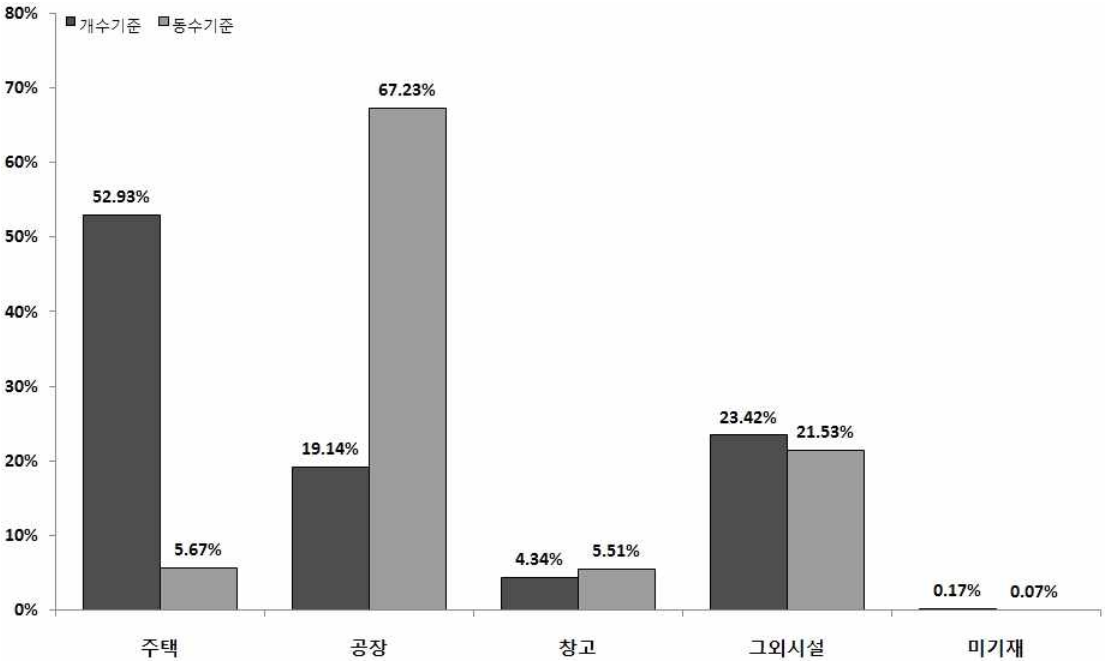


그림 102. 석면슬레이트 건축물의 용도별 분포특성

석면슬레이트 건축물의 용도내 건축연도별 분포특성을 면적기준으로 분석하였다. 각 용도별로 석면슬레이트 건축물의 건축연도 비율은 차이가 있는 것으로 나타났다. 주택과 공장은 1980년대 건축물의 비율이 각각 32.57%, 46.29%로 가장 높으며 창고와 그 외 시설은 1990년대 건축물이 각각 46.94%, 58.46%로 가장 비율이 높다. 석면슬레이트 건축물의 용도 내 건축연도별 분포특성은 다음 그림과 같다.

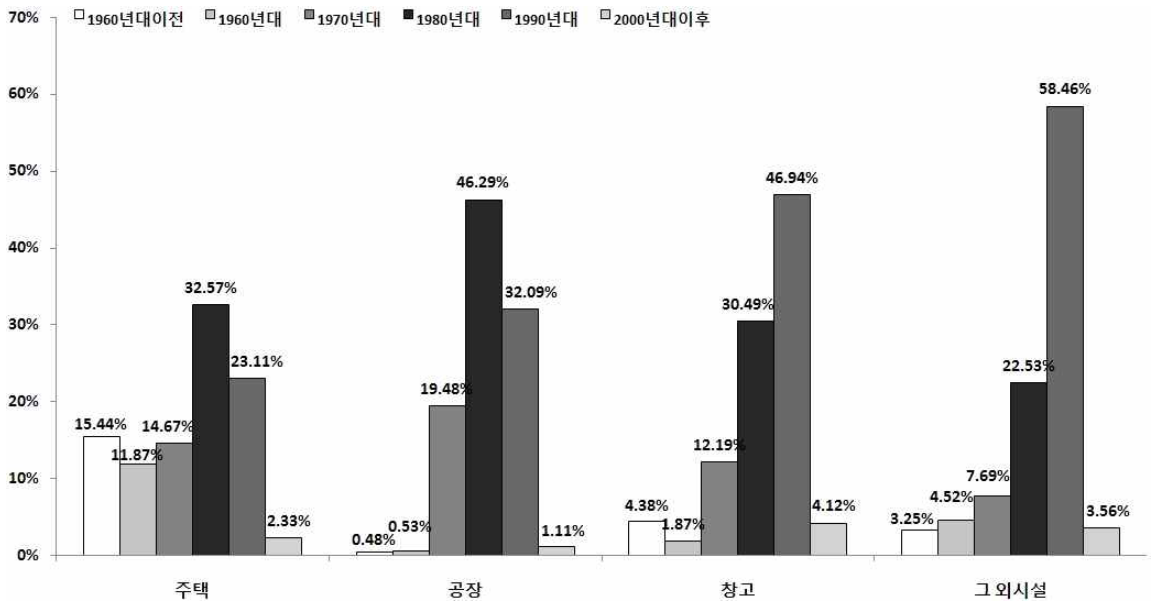


그림 103. 석면슬레이트 건축물의 용도 내 건축연도별 분포특성

3. GIS를 이용한 시각화 및 우선철거지역 선정

본 연구는 대구광역시 석면함유건축물의 위험레벨별 시각화와 위험등급지역을 선정하기 위해서 국내외 문헌고찰 및 선행연구를 바탕으로 위험정도 산출을 위한 위험속성을 분류하였다. 분류된 속성은 발생량, 함유율, 면적비, 석면종, 부위도, 비산도, 손상도, 상주도, 접근도, 진동도, 확산도로 총 11가지이다. 이 중에서 석면슬레이트의 특성상 함유율은 약 10%, 면적비는 1면, 석면종은 백석면, 부위도는 지붕재, 비산도는 고형자재로 고정하였고 진동도와 확산도는 산정할 기준이 없어 동일하다고 가정하였다. 발생량은 19,598개의 각 석면슬레이트 건축물면적을 기준으로 2장 2절에서 언급한 내용으로 계산하였고 손상도는 건축연도를 기준으로 하였다. 상주도는 학교, 지하철, 대형상가, 도로 등 모두 고려되어야 하지만 데이터수집의 한계로 도로와 학교만을 대상으로 하였고 향후 관련 정보의 추가수집이 가능하다면 속성을 추가할 수 있게 하였다. 접근도 또한 석면섬유의 거리별 비산정도에 관한 연구가 없어 학교반경은 50m, 200m, 도로반경은 5m, 20m로 구분하였고 향후 관련 연구를 통해 조정가능하게 하였다. 다음 표에서 위험속성별 분류와 각 요인별 level설정을 나타내었다.

표 214. 위험속성 카테고리별 종류 및 내용

구분	내용
발생량	○ 건축물별 석면함유자재의 발생량 ○ 건축면적을 기준, 그림3을 통한 발생량 산정
함유율	○ 석면함유자재의 석면함유율 ○ 석면슬레이트의 경우 석면함유율 약 10%
면적비	○ 석면자재가 3면, 2면, 1면 등 실제 사용된 면 ○ 슬레이트는 지붕재로 1면 사용
석면종	○ 각섬석계열, 사문석계열 등 석면의 종류 ○ 석면슬레이트는 사문석계열인 백석면 사용
부위도	○ 지붕재, 천장재, 벽재, 바닥재 등으로 구분 ○ 석면슬레이트는 지붕재로 쓰임
비산도	○ 뿜칠재, 보온재, 고형자재 등 비산정도 상이 ○ 석면슬레이트는 고형자재임
손상도	○ 석면함유자재의 손상정도 ○ 석면슬레이트는 건축연도별로 손상도가 다름
상주도	○ 석면의 비산이 가능한 곳에 상주하는 인원 ○ 도로, 학교, 지하철, 대형상가 등으로 구분
접근도	○ 석면비산가능지역에서의 반경, 접근정도 ○ 상주요인에서 5m, 10m등 반경으로 구분
진동도	○ 에어컨, 기계설비, 지면 등에 의한 진동정도 ○ 일반적으로 진동은 없다고 가정함
확산도	○ 공기의 유속, 흐름에 의한 석면섬유 확산정도 ○ 기상상태는 동일하다고 가정함

표 215. 위험정도별 level 구축

구분	건물면적	건물연도	학교반경	도로반경
level 3	$200m^2$초과	1970년 이전	50m미만	5m미만
level 2	$50m^2$~$200m^2$	1970~1990년	50m~200m	5m~20m
level 1	$50m^2$미만	1990년 이후	200m초과	20m초과

위험지수별 분포지도를 작성하기 위해 ESRI ArcGIS Desktop 9.3을 이용하였다. 건축물대장의 속성정보를 DBF file 형태로 변환한 후 대구광역시의 건축물 도형정보인 SHP file과 결합하여 공간정보를 구축하였다. 결합방법으로는 건축물대장상의 정보를 PNU code화하여 건축물 도형정보 내의 PNU code와 결합하여 속성정보를 업데이트하였다. 먼저 건축물 단위

의 석면슬레이트 발생량을 건축물 도형정보에 입력하고 동일 지적 내에 존재하는 석면슬레이트 건축물의 발생량 합과 평균 건축연도를 지적도(SHP file)에 결합하였다. 건축물의 발생량 합과 건축연도의 level별 시각화 결과는 다음 그림 10과 같다. 또 학교반경과 도로반경을 통한 위험등급을 산정하기 위해 지적도상의 지목이 '도'와 '학'으로 지정된 필지를 추출하여 buffer기능을 이용하여 '도'와 '학' 지목의 level별 buffer polygon을 생성하였다. 생성된 polygon을 기반으로 건축면적과 건축연도가 결합된 지적정보와 중첩 분석하였다. Spatial Join기능을 이용하여 지적정보에 등급정보를 부여하였고 중복되는 부분에 대해서는 위험등급이 높은 값 기준으로 하였다. 그림은 속성별 level에 따라 생성된 buffer polygon의 모습(a, b)과 중첩 분석에 의한 석면슬레이트 건축물의 위험등급(a-1, b-1)을 나타내었다.

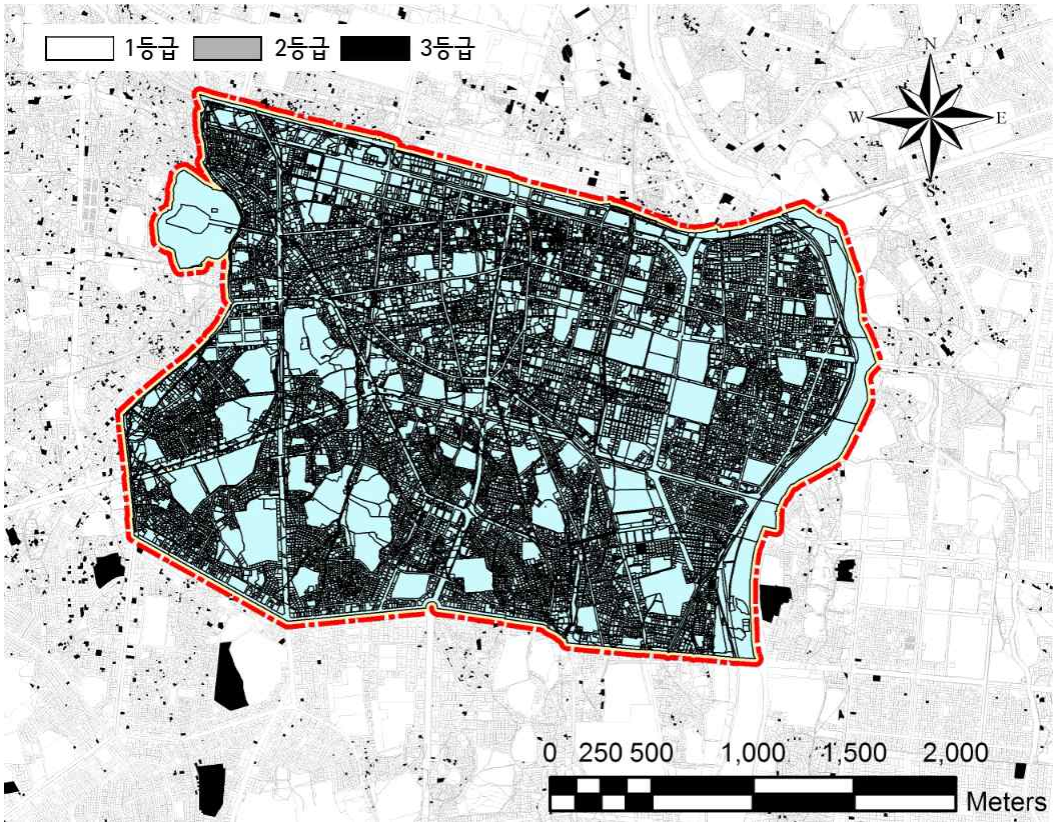
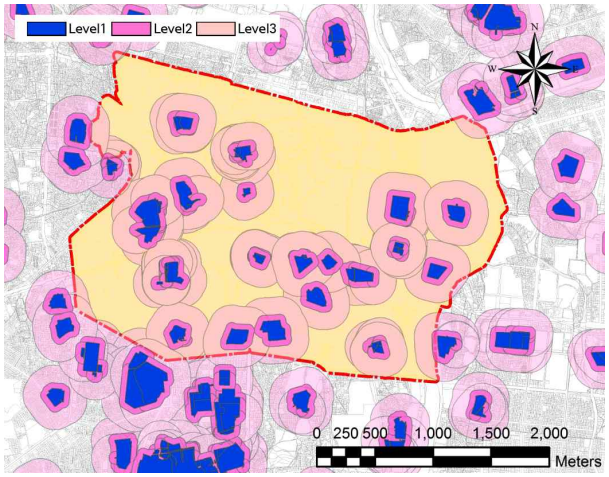
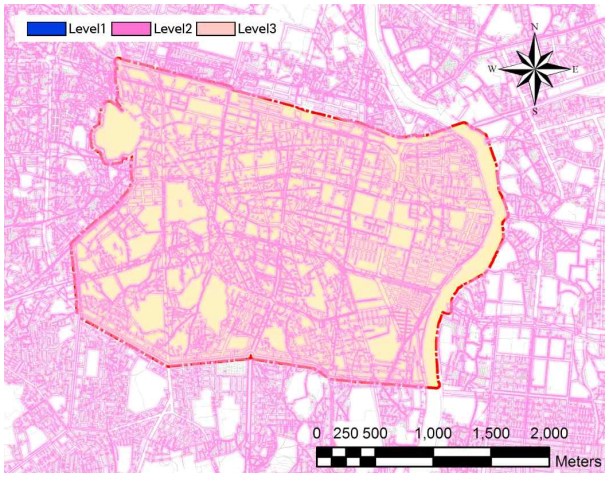


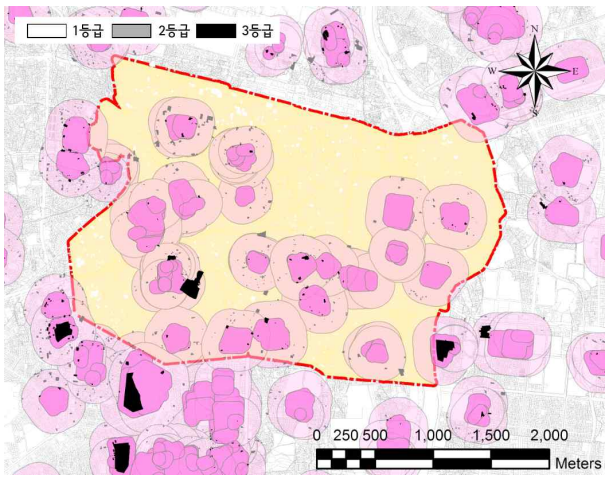
그림 104. 공간정보의 구축과 석면슬레이트 건축물 level별 시각



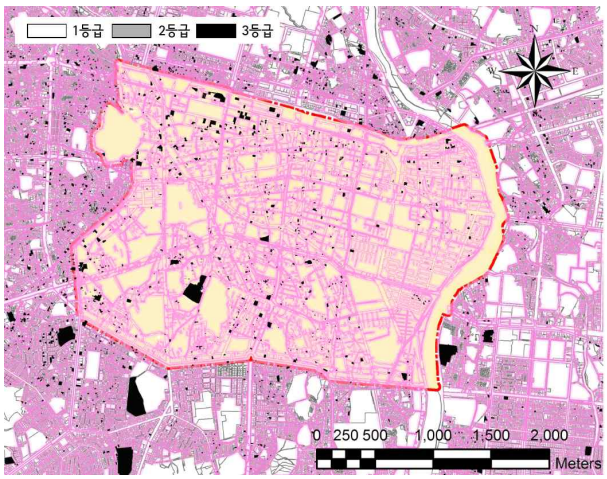
a) 대구광역시_중구_학교반경 level별 polygon



b) 대구광역시_중구_도로반경 level별 polygon



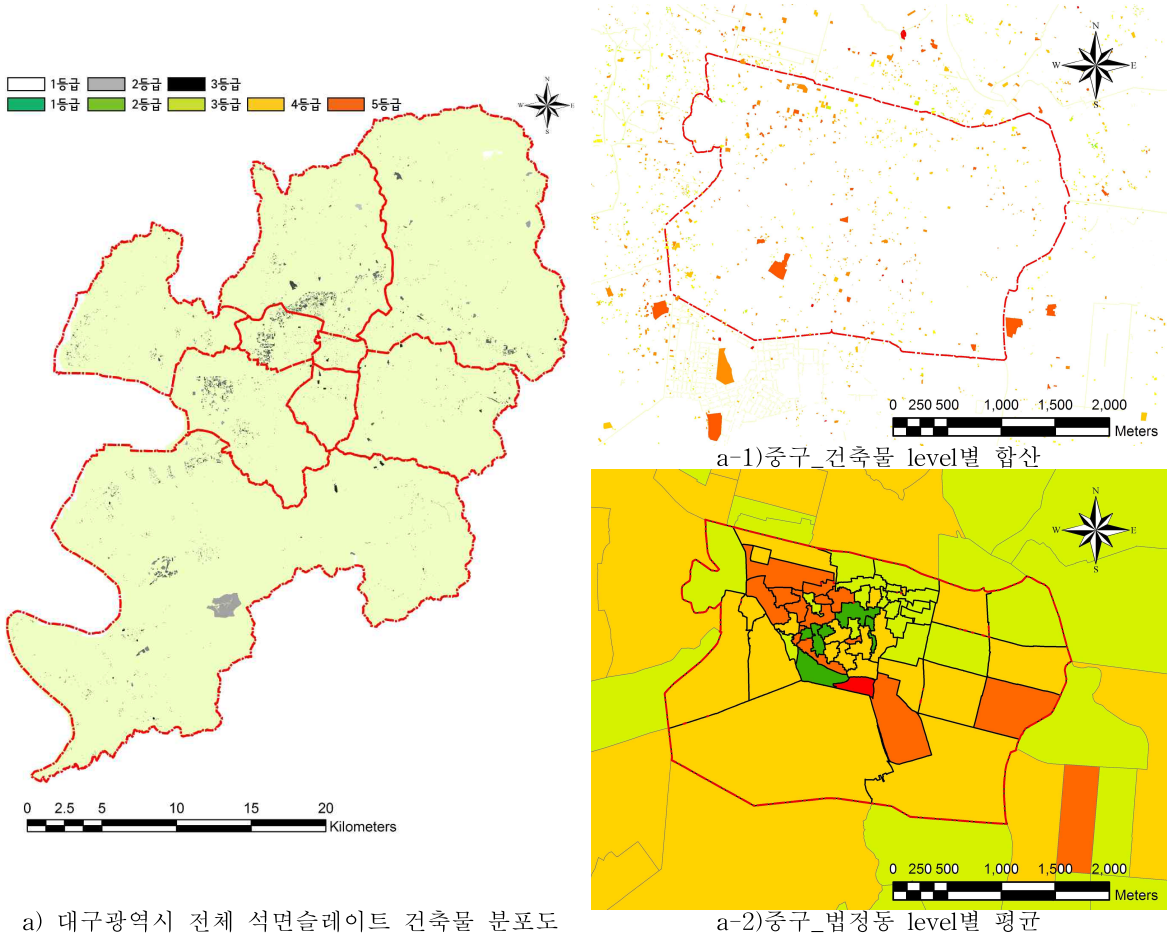
a-1) 대구광역시_중구_학교반경 위험등급별 석면슬레이트 건축물



b-1) 대구광역시_중구_도로반경 위험등급별 석면슬레이트 건축물

그림 105. 속성별 level에 따른 GIS DataBase구축형태

위험정도에 따른 석면슬레이트 건축물 우선철거지역을 산정하기 위해 석면슬레이트의 발생량, 건축연도, 학교반경 및 도로반경별 위험 level(1등급~3등급)을 합산하여 평균한 값으로 각 석면슬레이트 건축물별 종합 위험등급을 산정하였다. 대구광역시 전체의 석면슬레이트 건축물의 종합 위험등급별 분포현황은 다음 그림의 a와 같다. 또 204개의 법정동·리별로 각 석면슬레이트 건축물별 위험등급을 합산한 후 법정동·리 내 석면슬레이트 건축물의 개수로 나누어 법정동·리별 위험등급을 산정하였다. 총 5개의 위험등급으로 나뉘었으며 자세한 표현을 위해 중구를 시각화한 결과는 그림의 a-1, a-2와 같다.



a-1)중구_건축물 level별 합산

a) 대구광역시 전체 석면슬레이트 건축물 분포도

a-2)중구_법정동 level별 평균

그림 106. 대구광역시 전체 level에 따른 우선철거순위 산정

대구광역시의 석면슬레이트 법정동·리별 위험등급을 산정한 결과 5등급에 속하는 가장 위험한 법정동·리는 덕산동, 노변동, 수성동 2가, 서성로 1,2가, 서야동, 북내동, 남성로, 서호동, 괴전동, 대안동, 구암동, 호산동, 인교동, 봉산동, 수창동, 서문로 1가, 삼덕동 1가, 북성로 2가, 동일동 일대로 나타났으며 가장 우선적으로 철거되어야 할 위험지역으로 나타났다. 향후 지하철역사, 대형상가 및 유동인구 등을 추가적으로 고려할 필요가 있을 것이다. 대구광역시 전체 204개 법정동·리의 위험등급별 분포지도는 다음 그림과 같다.

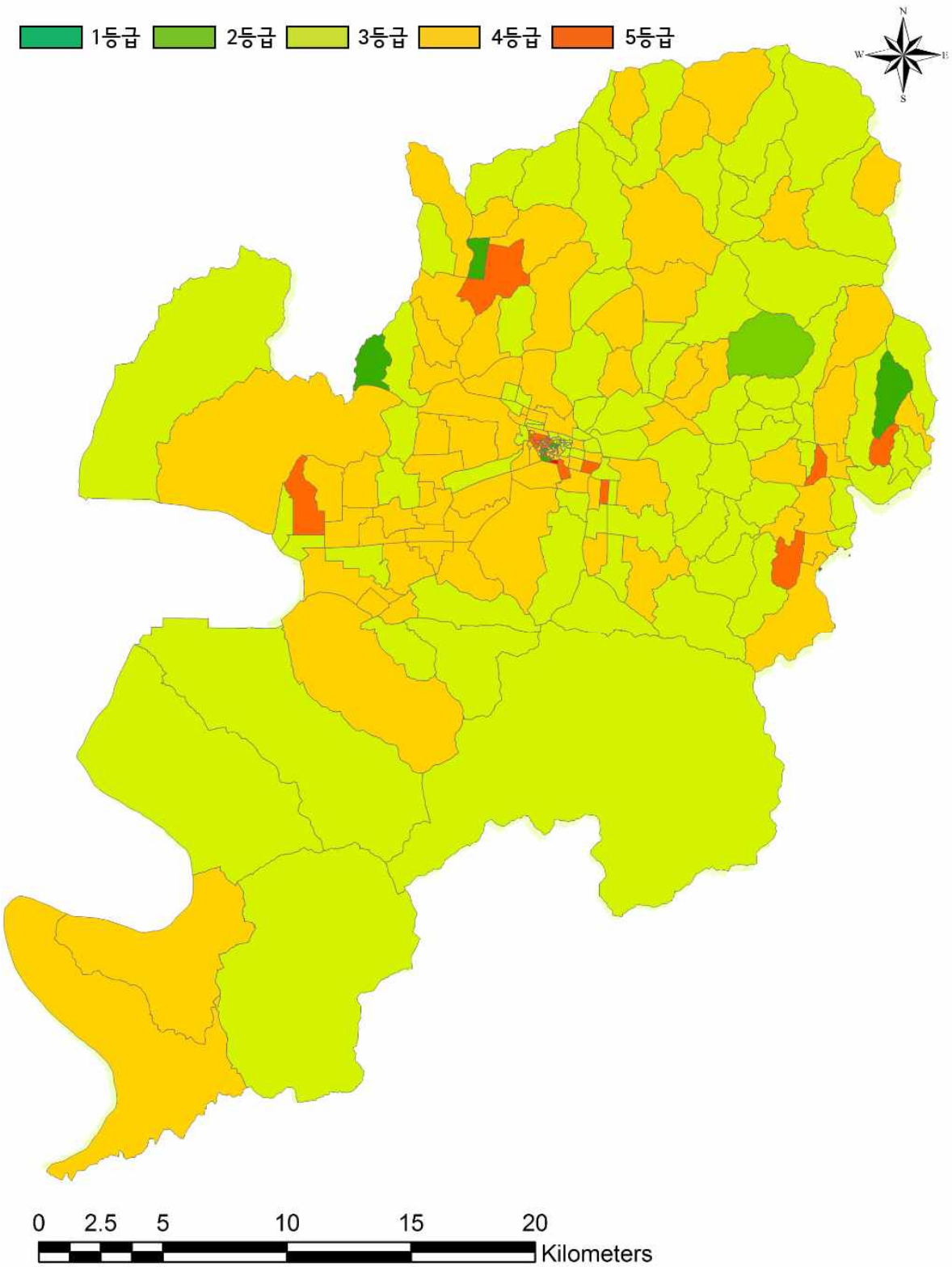


그림 107. 대구광역시 전체 위험등급별 분포지도

6. 부록

1. 전국 슬레이트 건축물 분포현황에 따른 해체·제거 비용 및 온실가스 발생량

2. GIS를 이용한 지역별 슬레이트 분포지도(건축물 용도 및 년대별로 분류)

3. 가격 표 (견적서) 2013년 기준

4. 대한건설협회 적산 및 일위대가(적용근거)

1. 전국 슬레이트 건축물 분포현황에 따른 해체·제거 비용 및 온실가스 발생량

표 216. 서울특별시(25개 구)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	282	4.52%	344.93	0.31%
	1960년대	980	15.70%	1,679.03	1.49%
	1970년대	2,222	35.60%	29,508.58	26.14%
	1980년대	1,838	29.45%	7,321.22	6.49%
	1990년대	322	5.16%	60,848.16	53.91%
	2000년대	77	1.23%	12,434.79	11.02%
	값없음	521	8.35%	736.87	0.65%
	합계	6,242	100.00%	112,873.58	100.00%
시설	1960년대이전	236	6.13%	10,741.29	3.78%
	1960년대	809	21.01%	13,867.74	4.88%
	1970년대	985	25.58%	60,505.47	21.27%
	1980년대	1,014	26.34%	79,649.27	28.00%
	1990년대	185	4.81%	83,642.14	29.40%
	2000년대	82	2.13%	25,469.41	8.95%
	값없음	539	14.00%	10,590.83	3.72%
	합계	3,850	100.00%	284,466.15	100.00%
공장	1960년대이전	17	2.10%	84.79	0.04%
	1960년대	243	30.07%	85,637.46	41.70%
	1970년대	441	54.58%	99,472.11	48.44%
	1980년대	32	3.96%	4,681.80	2.28%
	1990년대	14	1.73%	6,030.38	2.94%
	2000년대	3	0.37%	648.60	0.32%
	값없음	58	7.18%	8,787.08	4.28%
	합계	808	100.00%	205,342.22	100.00%
창고	1960년대이전	5	1.19%	0.00	0.00%
	1960년대	94	22.43%	0.00	0.00%
	1970년대	198	47.26%	157,921.40	84.03%
	1980년대	55	13.13%	26,895.97	14.31%
	1990년대	12	2.86%	1,483.45	0.79%
	2000년대	4	0.95%	230.58	0.12%
	값없음	51	12.17%	1,409.10	0.75%
	합계	419	100.00%	187,940.50	100.00%
축사	1960년대이전	0	0.00%	0.00	0.00%
	1960년대	14	22.22%	0.00	0.00%
	1970년대	24	38.10%	0.00	0.00%
	1980년대	15	23.81%	0.00	0.00%
	1990년대	1	1.59%	132.00	47.33%
	2000년대	0	0.00%	0.00	0.00%
	값없음	9	14.29%	146.88	52.67%
	합계	63	100.00%	278.88	100.00%
값없음	1960년대이전	0	0.00%	0.00	0.00%
	1960년대	0	0.00%	0.00	0.00%
	1970년대	0	0.00%	0.00	0.00%
	1980년대	0	0.00%	0.00	0.00%
	1990년대	0	0.00%	0.00	0.00%
	2000년대	0	0.00%	0.00	0.00%
	값없음	0	0.00%	0.00	0.00%
	합계	0	100.00%	0.00	100.00%
총합		11,382	100.00%	790,901.33	100.00%

서울특별시 슬레이트 사용 건축물의 면적은 790,901.33m^{2}이고 슬레이트의 면적은 1,129,407.10m^{2}로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 627억 5889만 3770원, 온실가스 발생량은 29,929.29kg으로 산정되었다.

표 217. 부산광역시(15개 구, 1개 군)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	1,662	4.27%	34,213.82	9.27%
	1960년대	3,026	7.78%	41,002.14	11.11%
	1970년대	11,529	29.63%	145,618.46	39.44%
	1980년대	19,253	49.48%	99,621.18	26.98%
	1990년대	227	0.58%	16,273.19	4.41%
	2000년대	60	0.15%	3,439.90	0.93%
	값없음	3,156	8.11%	29,051.88	7.87%
	합계	38,913	100.00%	369,220.57	100.00%
시설	1960년대이전	168	5.39%	5,667.14	3.04%
	1960년대	384	12.33%	22,132.40	11.86%
	1970년대	809	25.98%	50,335.69	26.97%
	1980년대	886	28.45%	46,383.98	24.85%
	1990년대	202	6.49%	42,108.08	22.56%
	2000년대	79	2.54%	11,570.02	6.20%
	값없음	586	18.82%	8,423.18	4.51%
	합계	3,114	100.00%	186,620.48	100.00%
공장	1960년대이전	46	2.20%	2,909.81	0.31%
	1960년대	287	13.70%	12,223.58	1.29%
	1970년대	952	45.44%	528,763.82	55.69%
	1980년대	343	16.37%	247,637.83	26.08%
	1990년대	158	7.54%	131,571.76	13.86%
	2000년대	40	1.91%	17,485.90	1.84%
	값없음	269	12.84%	8,886.72	0.94%
	합계	2,095	100.00%	949,479.41	100.00%
창고	1960년대이전	245	11.69%	7,150.59	3.86%
	1960년대	488	23.28%	21,963.63	11.87%
	1970년대	683	32.59%	72,490.87	39.17%
	1980년대	303	14.46%	46,235.02	24.98%
	1990년대	119	5.68%	26,305.58	14.21%
	2000년대	21	1.00%	1,602.76	0.87%
	값없음	237	11.31%	9,339.18	5.05%
	합계	2,096	100.00%	185,087.63	100.00%
축사	1960년대이전	105	11.13%	3,604.58	5.81%
	1960년대	248	26.30%	10,279.88	16.56%
	1970년대	168	17.82%	4,009.94	6.46%
	1980년대	161	17.07%	12,102.00	19.49%
	1990년대	151	16.01%	28,016.23	45.13%
	2000년대	11	1.17%	1,727.82	2.78%
	값없음	99	10.50%	2,338.00	3.77%
	합계	943	100.00%	62,078.45	100.00%
값없음	1960년대이전	4	2.80%	20.25	0.77%
	1960년대	10	6.99%	344.73	13.04%
	1970년대	37	25.87%	609.90	23.07%
	1980년대	56	39.16%	939.19	35.53%
	1990년대	3	2.10%	503.61	19.05%
	2000년대	1	0.70%	172.50	6.52%
	값없음	32	22.38%	53.55	2.03%
	합계	143	100.00%	2,643.73	100.00%
총합		47,304	100.00%	1,755,130.26	100.00%

부산광역시 슬레이트 사용 건축물의 면적은 1,755,130.26m^{2}이고 슬레이트의 면적은 2,506,326.01m^{2}로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 1392억 7152만 3795원, 온실가스 발생량은 66,417.64kg으로 산정되었다.

표 218. 대구광역시(7개 구, 1개 군)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	3,068	30.41%	21,235.17	14.38%
	1960년대	1,246	12.35%	16,771.67	11.36%
	1970년대	1,444	14.31%	20,782.95	14.08%
	1980년대	2,636	26.12%	46,182.33	31.28%
	1990년대	262	2.60%	32,026.87	21.69%
	2000년대	42	0.42%	3,309.60	2.24%
	값없음	1,392	13.80%	7,332.11	4.97%
	합계	10,090	100.00%	147,640.71	100.00%
시설	1960년대이전	344	11.72%	11,325.75	4.37%
	1960년대	330	11.24%	13,591.18	5.24%
	1970년대	583	19.86%	37,077.39	14.29%
	1980년대	930	31.69%	94,584.33	36.46%
	1990년대	430	14.65%	79,292.81	30.57%
	2000년대	60	2.04%	8,098.99	3.12%
	값없음	258	8.79%	15,441.44	5.95%
	합계	2,935	100.00%	259,411.89	100.00%
공장	1960년대이전	86	2.31%	8,332.44	0.47%
	1960년대	135	3.63%	9,183.20	0.52%
	1970년대	1,124	30.23%	334,970.31	18.96%
	1980년대	1,106	29.75%	794,165.60	44.95%
	1990년대	1,065	28.64%	551,730.93	31.22%
	2000년대	43	1.16%	19,140.58	1.08%
	값없음	159	4.28%	49,448.37	2.80%
	합계	3,718	100.00%	1,766,971.45	100.00%
창고	1960년대이전	61	7.23%	6,187.92	4.28%
	1960년대	69	8.18%	2,641.70	1.83%
	1970년대	182	21.56%	17,221.82	11.90%
	1980년대	229	27.13%	43,072.04	29.76%
	1990년대	212	25.12%	66,301.40	45.81%
	2000년대	43	5.09%	5,609.14	3.88%
	값없음	48	5.69%	3,689.54	2.55%
	합계	844	100.00%	144,723.55	100.00%
축사	1960년대이전	182	11.45%	5,495.56	1.82%
	1960년대	114	7.17%	10,983.03	3.64%
	1970년대	117	7.36%	4,762.82	1.58%
	1980년대	235	14.78%	27,970.62	9.28%
	1990년대	726	45.66%	234,752.82	77.86%
	2000년대	53	3.33%	10,757.48	3.57%
	값없음	163	10.25%	6,775.04	2.25%
	합계	1,590	100.00%	301,497.38	100.00%
값없음	1960년대이전	6	18.18%	0.00	0.00%
	1960년대	5	15.15%	19.44	1.09%
	1970년대	7	21.21%	0.00	0.00%
	1980년대	6	18.18%	347.94	19.48%
	1990년대	7	21.21%	1,418.35	79.43%
	2000년대	0	0.00%	0.00	0.00%
	값없음	2	6.06%	0.00	0.00%
	합계	33	100.00%	1,785.73	100.00%
총합		19,210	100.00%	2,622,030.67	100.00%

대구광역시 슬레이트 사용 건축물의 면적은 2,622,030.67m^2이고 슬레이트의 면적은 3,744,259.80m^2로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 2080억 6102만 8386원, 온실가스 발생량은 99,222.88kg으로 산정되었다.

표 219. 인천광역시(8개 구, 2개 군)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	4,195	31.77%	87,931.65	33.01%
	1960년대	727	5.51%	13,324.58	5.00%
	1970년대	1,891	14.32%	50,468.06	18.95%
	1980년대	2,533	19.18%	38,652.33	14.51%
	1990년대	353	2.67%	54,366.24	20.41%
	2000년대	84	0.64%	5,628.38	2.11%
	값없음	3,421	25.91%	16,011.20	6.01%
	합계	13,204	100.00%	266,382.43	100.00%
시설	1960년대이전	154	4.86%	8,337.56	2.73%
	1960년대	197	6.21%	14,095.88	4.61%
	1970년대	503	15.87%	18,988.05	6.21%
	1980년대	708	22.33%	64,842.20	21.21%
	1990년대	973	30.69%	159,499.99	52.16%
	2000년대	84	2.65%	12,844.04	4.20%
	값없음	551	17.38%	27,174.42	8.89%
	합계	3,170	100.00%	305,782.14	100.00%
공장	1960년대이전	9	0.58%	262.61	0.03%
	1960년대	34	2.18%	7,588.46	0.82%
	1970년대	419	26.88%	268,698.48	29.06%
	1980년대	539	34.57%	180,916.31	19.56%
	1990년대	312	20.01%	363,383.54	39.30%
	2000년대	82	5.26%	41,954.47	4.54%
	값없음	164	10.52%	61,916.10	6.70%
	합계	1,559	100.00%	924,719.97	100.00%
창고	1960년대이전	24	2.58%	914.28	0.98%
	1960년대	29	3.12%	1,455.56	1.55%
	1970년대	118	12.70%	23,935.34	25.55%
	1980년대	142	15.29%	13,359.94	14.26%
	1990년대	136	14.64%	39,196.84	41.84%
	2000년대	22	2.37%	1,921.56	2.05%
	값없음	458	49.30%	12,888.25	13.76%
	합계	929	100.00%	93,671.76	100.00%
축사	1960년대이전	10	0.55%	480.76	0.26%
	1960년대	32	1.76%	879.13	0.48%
	1970년대	155	8.54%	6,873.20	3.72%
	1980년대	510	28.11%	23,293.38	12.59%
	1990년대	886	48.84%	133,898.37	72.40%
	2000년대	52	2.87%	14,723.76	7.96%
	값없음	169	9.32%	4,799.80	2.60%
	합계	1,814	100.00%	184,948.40	100.00%
값없음	1960년대이전	17	13.28%	70.80	1.67%
	1960년대	9	7.03%	88.40	2.09%
	1970년대	20	15.63%	0.00	0.00%
	1980년대	22	17.19%	3,649.35	86.30%
	1990년대	10	7.81%	237.67	5.62%
	2000년대	2	1.56%	182.36	4.31%
	값없음	48	37.50%	0.00	0.00%
	합계	128	100.00%	4,228.58	100.00%
총합		20,804	100.00%	1,779,733.28	100.00%

인천광역시 슬레이트 사용 건축물의 면적은 1,779,733.28m^{2}이고 슬레이트의 면적은 2,541,459.12m^{2}로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 1412억 2380만 593원, 온실가스 발생량은 67,348.67kg으로 산정되었다.

표 220. 광주광역시(5개 구)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	2087	20.54%	114485.34	49.86%
	1960년대	380	3.74%	21197.04	9.23%
	1970년대	462	4.55%	18139.339	7.90%
	1980년대	639	6.29%	10262.345	4.47%
	1990년대	205	2.02%	17435.102	7.59%
	2000년대	40	0.39%	2759.3	1.20%
	값없음	6349	62.48%	45349.947	19.75%
	합계	10162	100.00%	229628.413	100.00%
시설	1960년대이전	32	2.22%	2146.58	2.12%
	1960년대	49	3.40%	13614.54	13.45%
	1970년대	138	9.58%	7971.75	7.87%
	1980년대	295	20.49%	18631.03	18.40%
	1990년대	226	15.69%	30547.085	30.17%
	2000년대	66	4.58%	8040.24	7.94%
	값없음	634	44.03%	20305.44	20.05%
	합계	1440	100.00%	101256.665	100.00%
공장	1960년대이전	1	0.26%	246.47	0.09%
	1960년대	6	1.56%	2015.86	0.71%
	1970년대	37	9.64%	29766.184	10.43%
	1980년대	194	50.52%	146581.005	51.34%
	1990년대	70	18.23%	91563.44	32.07%
	2000년대	18	4.69%	4168.41	1.46%
	값없음	58	15.10%	11145.23	3.90%
	합계	384	100.00%	285486.599	100.00%
창고	1960년대이전	4	1.49%	24.1	0.10%
	1960년대	8	2.97%	986.86	4.01%
	1970년대	58	21.56%	7514.86	30.51%
	1980년대	49	18.22%	4226.66	17.16%
	1990년대	28	10.41%	4492.47	18.24%
	2000년대	10	3.72%	1293.56	5.25%
	값없음	112	41.64%	6090.227	24.73%
	합계	269	100.00%	24628.737	100.00%
축사	1960년대이전	11	2.63%	1611.52	3.18%
	1960년대	13	3.11%	2309.68	4.55%
	1970년대	15	3.59%	980.24	1.93%
	1980년대	61	14.59%	6215.05	12.25%
	1990년대	109	26.08%	28411.395	55.98%
	2000년대	17	4.07%	6107.89	12.03%
	값없음	192	45.93%	5118.83	10.09%
	합계	418	100.00%	50754.605	100.00%
값없음	1960년대이전	0	0.00%	0	0.00%
	1960년대	0	0.00%	0	0.00%
	1970년대	1	11.11%	0	0.00%
	1980년대	1	11.11%	0	0.00%
	1990년대	0	0.00%	0	0.00%
	2000년대	0	0.00%	0	0.00%
	값없음	7	77.78%	19.8	100.00%
	합계	9	100.00%	19.8	100.00%
총합		12682	100%	691774.819	100%

광주광역시 슬레이트 사용 건축물의 면적은 691,774.82m^2이고 슬레이트의 면적은 987,854.44m^2로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 548억 9309만 5607원, 온실가스 발생량은 26,178.14kg으로 산정되었다.

표 221. 대전광역시(5개 구)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	3048	34.19%	18368.265	17.79%
	1960년대	1247	13.99%	7732.356	7.49%
	1970년대	1912	21.45%	28353.218	27.47%
	1980년대	1623	18.21%	25901.908	25.09%
	1990년대	222	2.49%	13241.18	12.83%
	2000년대	41	0.46%	3031.27	2.94%
	값없음	821	9.21%	6601.635	6.40%
	합계	8914	100.00%	103229.832	100.00%
시설	1960년대이전	121	10.43%	4316.97	5.97%
	1960년대	95	8.19%	3840.255	5.31%
	1970년대	287	24.74%	12065.49	16.67%
	1980년대	295	25.43%	22099.352	30.54%
	1990년대	165	14.22%	16088.6655	22.23%
	2000년대	54	4.66%	7360.965	10.17%
	값없음	143	12.33%	6599.81	9.12%
	합계	1160	100.00%	72371.5075	100.00%
공장	1960년대이전	23	6.89%	1654.9	1.31%
	1960년대	33	9.88%	5026.13	3.97%
	1970년대	102	30.54%	14734.97	11.65%
	1980년대	75	22.46%	17487.5	13.83%
	1990년대	57	17.07%	54691.333	43.25%
	2000년대	14	4.19%	5893.42	4.66%
	값없음	30	8.98%	26961.52	21.32%
	합계	334	100.00%	126449.773	100.00%
창고	1960년대이전	20	9.57%	164.06	0.91%
	1960년대	18	8.61%	0	0.00%
	1970년대	81	38.76%	3733.39	20.69%
	1980년대	28	13.40%	3429.04	19.01%
	1990년대	38	18.18%	7668.86	42.51%
	2000년대	7	3.35%	475.27	2.63%
	값없음	17	8.13%	2570.86	14.25%
	합계	209	100.00%	18041.48	100.00%
축사	1960년대이전	29	11.28%	278.14	1.97%
	1960년대	35	13.62%	45.29	0.32%
	1970년대	59	22.96%	879.55	6.24%
	1980년대	72	28.02%	2086.17	14.79%
	1990년대	42	16.34%	9342.416	66.25%
	2000년대	4	1.56%	420.24	2.98%
	값없음	16	6.23%	1050.29	7.45%
	합계	257	100.00%	14102.096	100.00%
값없음	1960년대이전	4	66.67%	0	0.00%
	1960년대	1	16.67%	0	0.00%
	1970년대	0	0.00%	0	0.00%
	1980년대	0	0.00%	0	0.00%
	1990년대	0	0.00%	0	0.00%
	2000년대	0	0.00%	0	0.00%
	값없음	1	16.67%	0	0.00%
	합계	6	100.00%	0	100.00%
총합		10880	100%	334194.6885	100%

대전광역시 슬레이트 사용 건축물의 면적은 334,194.69m^2이고 슬레이트의 면적은 477,230.02m^2로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 265억 1871만 7483원, 온실가스 발생량은 12,646.60kg으로 산정되었다.

표 222. 울산광역시(4개 구, 1개 군)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	1,474	17.54%	3,279.89	2.03%
	1960년대	609	7.25%	3,530.00	2.18%
	1970년대	1,248	14.85%	9,520.71	5.89%
	1980년대	2,066	24.59%	15,109.63	9.34%
	1990년대	462	5.50%	103,663.63	64.09%
	2000년대	66	0.79%	4,772.96	2.95%
	값없음	2,478	29.49%	21,863.16	13.52%
	합계	8,403	100.00%	161,739.98	100.00%
시설	1960년대이전	70	6.20%	1,295.89	0.19%
	1960년대	80	7.09%	3,876.23	0.58%
	1970년대	163	14.44%	87,668.98	13.01%
	1980년대	269	23.83%	18,049.30	2.68%
	1990년대	292	25.86%	552,104.19	81.96%
	2000년대	56	4.96%	6,326.31	0.94%
	값없음	199	17.63%	4,299.88	0.64%
	합계	1,129	100.00%	673,620.77	100.00%
공장	1960년대이전	4	0.27%	0.00	0.00%
	1960년대	31	2.09%	71,415.97	1.46%
	1970년대	217	14.62%	147,161.39	3.01%
	1980년대	525	35.38%	784,696.06	16.07%
	1990년대	594	40.03%	3,719,503.21	76.18%
	2000년대	86	5.80%	149,057.41	3.05%
	값없음	27	1.82%	10,802.70	0.22%
	합계	1,484	100.00%	4,882,636.74	100.00%
창고	1960년대이전	41	3.98%	222.28	0.05%
	1960년대	49	4.76%	1,575.10	0.35%
	1970년대	138	13.41%	15,646.69	3.48%
	1980년대	194	18.85%	49,284.57	10.97%
	1990년대	401	38.97%	283,601.94	63.11%
	2000년대	80	7.77%	94,988.34	21.14%
	값없음	126	12.24%	4,069.62	0.91%
	합계	1,029	100.00%	449,388.54	100.00%
축사	1960년대이전	10	0.56%	374.97	0.12%
	1960년대	13	0.73%	235.38	0.08%
	1970년대	68	3.81%	2,853.98	0.91%
	1980년대	225	12.60%	11,628.20	3.73%
	1990년대	1,148	64.28%	280,236.18	89.80%
	2000년대	67	3.75%	9,531.91	3.05%
	값없음	255	14.28%	7,190.33	2.30%
	합계	1,786	100.00%	312,050.94	100.00%
값없음	1960년대이전	6	4.69%	77.78	1.74%
	1960년대	8	6.25%	101.90	2.28%
	1970년대	9	7.03%	158.94	3.55%
	1980년대	4	3.13%	93.00	2.08%
	1990년대	9	7.03%	2,027.90	45.33%
	2000년대	0	0.00%	0.00	0.00%
	값없음	92	71.88%	2,014.20	45.02%
	합계	128	100.00%	4,473.72	100.00%
총합		13,959	100.00%	6,483,910.69	100.00%

울산광역시 슬레이트 사용 건축물의 면적은 6,483,910.69m^2이고 슬레이트의 면적은 9,259,024.47m^2로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 5145억 547만 1488원, 온실가스 발생량은 245,364.15kg으로 산정되었다.

표 223. 경기도(27개 시, 4개 군)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	19,779	23.32%	453,576.51	18.47%
	1960년대	9,888	11.66%	179,064.87	7.29%
	1970년대	11,401	13.44%	240,080.94	9.78%
	1980년대	7,366	8.68%	195,278.42	7.95%
	1990년대	3,952	4.66%	356,148.27	14.50%
	2000년대	1,067	1.26%	177,567.69	7.23%
	값없음	31,360	36.98%	853,687.43	34.77%
	합계	84,813	100.00%	2,455,404.13	100.00%
시설	1960년대이전	1,221	3.76%	47,754.45	0.66%
	1960년대	1,807	5.56%	75,580.74	1.04%
	1970년대	3,314	10.20%	234,751.61	3.23%
	1980년대	5,282	16.25%	689,494.68	9.49%
	1990년대	12,537	38.58%	4,842,421.72	66.64%
	2000년대	2,348	7.23%	508,439.38	7.00%
	값없음	5,987	18.42%	868,300.84	11.95%
	합계	32,496	100.00%	7,266,743.43	100.00%
공장	1960년대이전	57	0.79%	3,991.40	0.10%
	1960년대	163	2.25%	33,525.21	0.83%
	1970년대	830	11.44%	544,480.28	13.48%
	1980년대	1,919	26.44%	909,189.41	22.50%
	1990년대	2,966	40.87%	2,044,518.29	50.60%
	2000년대	509	7.01%	252,944.71	6.26%
	값없음	813	11.20%	251,761.26	6.23%
	합계	7,257	100.00%	4,040,410.56	100.00%
창고	1960년대이전	208	3.13%	10,847.32	0.94%
	1960년대	221	3.32%	21,897.91	1.90%
	1970년대	764	11.49%	81,158.40	7.03%
	1980년대	1,005	15.12%	98,651.84	8.55%
	1990년대	2,358	35.47%	613,994.91	53.20%
	2000년대	636	9.57%	137,416.20	11.91%
	값없음	1,456	21.90%	190,158.53	16.48%
	합계	6,648	100.00%	1,154,125.11	100.00%
축사	1960년대이전	36	1.12%	3,774.76	0.39%
	1960년대	87	2.71%	10,882.02	1.11%
	1970년대	182	5.66%	26,267.94	2.69%
	1980년대	329	10.23%	48,910.44	5.01%
	1990년대	1,916	59.58%	691,179.11	70.78%
	2000년대	266	8.27%	116,330.64	11.91%
	값없음	400	12.44%	79,126.47	8.10%
	합계	3,216	100.00%	976,471.38	100.00%
값없음	1960년대이전	412	12.72%	9,732.30	1.42%
	1960년대	176	5.43%	7,105.84	1.04%
	1970년대	425	13.12%	25,706.88	3.75%
	1980년대	458	14.14%	48,972.50	7.15%
	1990년대	1,098	33.89%	525,222.11	76.68%
	2000년대	148	4.57%	32,054.28	4.68%
	값없음	523	16.14%	36,136.53	5.28%
	합계	3,240	100.00%	684,930.43	100.00%
총합		137,670	100.00%	16,578,085.02	100.00%

경기도 슬레이트 사용 건축물의 면적은 16,578,085.02m^2이고 슬레이트의 면적은 23,673,505.41m^2로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 1조 3154억 8934만 8543원, 온실가스 발생량은 627,347.89kg으로 산정되었다.

표 224. 강원도(7개 시, 11개 군)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	8,529	15.35%	162,510.05	14.33%
	1960년대	3,391	6.10%	62,598.67	5.52%
	1970년대	3,624	6.52%	85,036.46	7.50%
	1980년대	7,892	14.21%	116,127.54	10.24%
	1990년대	2,551	4.59%	159,746.19	14.09%
	2000년대	960	1.73%	71,505.37	6.31%
	값없음	28,604	51.49%	476,191.76	42.00%
	합계	55,551	100.00%	1,133,716.03	100.00%
시설	1960년대이전	492	7.41%	18,878.16	5.06%
	1960년대	431	6.49%	18,737.19	5.02%
	1970년대	676	10.18%	32,766.82	8.78%
	1980년대	1,239	18.67%	56,270.56	15.09%
	1990년대	921	13.87%	131,463.20	35.25%
	2000년대	311	4.69%	24,858.21	6.66%
	값없음	2,568	38.69%	90,014.63	24.13%
	합계	6,638	100.00%	372,988.76	100.00%
공장	1960년대이전	25	3.37%	2,596.99	0.72%
	1960년대	47	6.33%	1,889.31	0.53%
	1970년대	147	19.81%	18,434.21	5.14%
	1980년대	159	21.43%	195,805.93	54.64%
	1990년대	131	17.65%	85,362.60	23.82%
	2000년대	23	3.10%	9,092.15	2.54%
	값없음	210	28.30%	45,197.42	12.61%
	합계	742	100.00%	358,378.60	100.00%
창고	1960년대이전	89	3.94%	2,464.79	1.25%
	1960년대	79	3.50%	5,075.71	2.57%
	1970년대	314	13.91%	17,926.68	9.09%
	1980년대	353	15.63%	43,161.36	21.89%
	1990년대	614	27.19%	64,013.48	32.46%
	2000년대	187	8.28%	30,207.85	15.32%
	값없음	622	27.55%	34,354.98	17.42%
	합계	2,258	100.00%	197,204.84	100.00%
축사	1960년대이전	119	2.03%	5,640.55	0.47%
	1960년대	71	1.21%	4,343.37	0.36%
	1970년대	218	3.72%	13,229.70	1.10%
	1980년대	628	10.72%	73,708.14	6.13%
	1990년대	3,631	61.96%	975,303.34	81.05%
	2000년대	287	4.90%	74,511.51	6.19%
	값없음	906	15.46%	56,632.71	4.71%
	합계	5,860	100.00%	1,203,369.31	100.00%
값없음	1960년대이전	138	8.75%	940.60	2.24%
	1960년대	110	6.98%	1,313.27	3.12%
	1970년대	136	8.62%	6,325.27	15.05%
	1980년대	224	14.20%	6,105.98	14.53%
	1990년대	131	8.31%	14,044.35	33.42%
	2000년대	11	0.70%	1,007.26	2.40%
	값없음	827	52.44%	12,293.00	29.25%
	합계	1,577	100.00%	42,029.72	100.00%
총합		72,626	100.00%	3,307,687.26	100.00%

강원도 슬레이트 사용 건축물의 면적은 3,307,687.26m^2이고 슬레이트의 면적은 4,723,377.40m^2로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 2624억 6863만 5768원, 온실가스 발생량은 125,169.50kg으로 산정되었다.

표 225. 충청북도(3개 시, 9개 군)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	27,332	49.89%	871,669.18	52.25%
	1960년대	5,142	9.38%	163,252.19	9.78%
	1970년대	7,647	13.96%	238,422.91	14.29%
	1980년대	2,775	5.06%	129,713.07	7.77%
	1990년대	1,484	2.71%	116,960.80	7.01%
	2000년대	321	0.59%	20,712.30	1.24%
	값없음	10,089	18.41%	127,683.32	7.65%
	합계	54,790	100.00%	1,668,413.76	100.00%
시설	1960년대이전	548	12.91%	24,004.81	8.98%
	1960년대	398	9.37%	30,589.64	11.44%
	1970년대	1,020	24.02%	55,524.92	20.77%
	1980년대	741	17.45%	53,251.34	19.92%
	1990년대	625	14.72%	59,395.36	22.21%
	2000년대	205	4.83%	23,021.00	8.61%
	값없음	709	16.70%	21,592.19	8.08%
	합계	4,246	100.00%	267,379.26	100.00%
공장	1960년대이전	65	5.02%	4,494.06	0.68%
	1960년대	84	6.48%	56,140.62	8.54%
	1970년대	243	18.75%	65,821.03	10.01%
	1980년대	324	25.00%	225,951.62	34.36%
	1990년대	388	29.94%	251,744.95	38.28%
	2000년대	78	6.02%	18,455.40	2.81%
	값없음	114	8.80%	34,973.86	5.32%
	합계	1,296	100.00%	657,581.53	100.00%
창고	1960년대이전	985	18.20%	28,745.40	9.45%
	1960년대	446	8.24%	16,081.15	5.29%
	1970년대	1,135	20.97%	85,789.89	28.20%
	1980년대	545	10.07%	26,860.56	8.83%
	1990년대	914	16.89%	89,529.34	29.43%
	2000년대	246	4.55%	17,395.91	5.72%
	값없음	1,141	21.08%	39,840.28	13.09%
	합계	5,412	100.00%	304,242.52	100.00%
축사	1960년대이전	190	3.07%	12,361.65	0.77%
	1960년대	110	1.78%	10,655.52	0.67%
	1970년대	352	5.69%	34,039.01	2.13%
	1980년대	788	12.73%	115,808.70	7.25%
	1990년대	3,713	59.99%	1,283,305.74	80.30%
	2000년대	414	6.69%	83,483.08	5.22%
	값없음	622	10.05%	58,498.32	3.66%
	합계	6,189	100.00%	1,598,152.01	100.00%
값없음	1960년대이전	28	20.44%	1,199.59	18.67%
	1960년대	13	9.49%	269.82	4.20%
	1970년대	28	20.44%	88.56	1.38%
	1980년대	28	20.44%	961.49	14.97%
	1990년대	15	10.95%	3,627.06	56.46%
	2000년대	3	2.19%	76.70	1.19%
	값없음	22	16.06%	200.73	3.12%
	합계	137	100.00%	6,423.95	100.00%
총합		72,070	100.00%	4,502,193.03	100.00%

충청북도 슬레이트 사용 건축물의 면적은 4,502,193.03m^2이고 슬레이트의 면적은 6,429,131.65m^2로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 3572억 5398만 7527원, 온실가스 발생량은 170,371.99kg으로 산정되었다.

표 226. 충청남도(7개 시, 9개 군)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	34,672	49.96%	743,070.83	40.04%
	1960년대	7,214	10.39%	168,001.92	9.05%
	1970년대	9,816	14.14%	269,924.16	14.54%
	1980년대	7,168	10.33%	198,288.30	10.68%
	1990년대	3,655	5.27%	233,424.79	12.58%
	2000년대	766	1.10%	64,615.06	3.48%
	값없음	6,108	8.80%	178,627.22	9.62%
	합계	69,399	100.00%	1,855,952.12	100.00%
시설	1960년대이전	953	12.21%	27,222.56	5.67%
	1960년대	822	10.53%	43,651.46	9.09%
	1970년대	1,674	21.44%	70,284.87	14.63%
	1980년대	1,776	22.75%	94,575.44	19.69%
	1990년대	1,352	17.32%	153,966.32	32.05%
	2000년대	289	3.70%	36,963.52	7.70%
	값없음	941	12.05%	53,676.52	11.17%
	합계	7,807	100.00%	480,340.69	100.00%
공장	1960년대이전	95	5.06%	13,018.19	1.62%
	1960년대	127	6.76%	25,861.93	3.22%
	1970년대	287	15.28%	58,347.40	7.26%
	1980년대	514	27.37%	199,034.41	24.77%
	1990년대	618	32.91%	444,294.92	55.30%
	2000년대	98	5.22%	29,394.25	3.66%
	값없음	139	7.40%	33,423.61	4.16%
	합계	1,878	100.00%	803,374.73	100.00%
창고	1960년대이전	387	8.10%	19,776.03	5.14%
	1960년대	311	6.51%	15,664.12	4.07%
	1970년대	1,268	26.53%	113,908.79	29.58%
	1980년대	804	16.82%	48,462.09	12.58%
	1990년대	1,097	22.95%	115,131.94	29.90%
	2000년대	352	7.37%	28,274.98	7.34%
	값없음	560	11.72%	43,888.10	11.40%
	합계	4,779	100.00%	385,106.07	100.00%
축사	1960년대이전	202	1.64%	9,621.63	0.37%
	1960년대	142	1.15%	9,478.02	0.36%
	1970년대	615	4.98%	70,895.91	2.71%
	1980년대	1,570	12.71%	154,227.12	5.90%
	1990년대	7,516	60.85%	1,939,173.42	74.20%
	2000년대	885	7.16%	207,862.35	7.95%
	값없음	1,422	11.51%	222,176.05	8.50%
	합계	12,352	100.00%	2,613,434.97	100.00%
값없음	1960년대이전	154	16.35%	1,448.23	1.75%
	1960년대	62	6.58%	1,187.49	1.44%
	1970년대	131	13.91%	5,533.71	6.69%
	1980년대	194	20.59%	17,106.01	20.68%
	1990년대	179	19.00%	38,023.16	45.97%
	2000년대	16	1.70%	3,151.51	3.81%
	값없음	206	21.87%	16,258.25	19.66%
	합계	942	100.00%	82,708.37	100.00%
총합		97,157	100.00%	6,220,916.68	100.00%

충청남도 슬레이트 사용 건축물의 면적은 6,220,916.68m^2이고 슬레이트의 면적은 8,883,469.02m^2로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 4936억 3660만 6450원, 온실가스 발생량은 235,411.93kg으로 산정되었다.

표 227. 전라북도(6개 시, 8개 군)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	40,586	54.03%	1,428,080.49	47.29%
	1960년대	7,461	9.93%	278,545.38	9.22%
	1970년대	10,429	13.88%	427,960.43	14.17%
	1980년대	5,673	7.55%	270,909.69	8.97%
	1990년대	5,821	7.75%	433,264.45	14.35%
	2000년대	925	1.23%	65,465.65	2.17%
	값없음	4,228	5.63%	115,334.49	3.82%
	합계	75,123	100.00%	3,019,560.57	100.00%
시설	1960년대이전	1,427	15.53%	71,548.34	8.85%
	1960년대	1,028	11.19%	92,814.22	11.48%
	1970년대	2,115	23.02%	171,253.17	21.18%
	1980년대	1,517	16.51%	137,207.13	16.97%
	1990년대	2,208	24.03%	262,204.97	32.43%
	2000년대	383	4.17%	42,728.96	5.29%
	값없음	510	5.55%	30,715.30	3.80%
	합계	9,188	100.00%	808,472.09	100.00%
공장	1960년대이전	112	6.15%	11,873.92	1.35%
	1960년대	120	6.59%	37,455.68	4.24%
	1970년대	361	19.82%	106,494.86	12.06%
	1980년대	509	27.95%	265,640.24	30.09%
	1990년대	552	30.31%	419,944.22	47.57%
	2000년대	77	4.23%	25,499.99	2.89%
	값없음	90	4.94%	15,870.61	1.80%
	합계	1,821	100.00%	882,779.52	100.00%
창고	1960년대이전	3,363	31.80%	81,059.69	13.20%
	1960년대	984	9.30%	38,647.16	6.29%
	1970년대	2,536	23.98%	211,391.67	34.43%
	1980년대	1,085	10.26%	75,656.03	12.32%
	1990년대	1,840	17.40%	163,096.34	26.56%
	2000년대	379	3.58%	24,789.94	4.04%
	값없음	388	3.67%	19,389.55	3.16%
	합계	10,575	100.00%	614,030.37	100.00%
축사	1960년대이전	834	6.87%	24,948.57	0.83%
	1960년대	367	3.03%	19,923.89	0.66%
	1970년대	1,082	8.92%	96,337.99	3.19%
	1980년대	1,450	11.95%	215,405.20	7.13%
	1990년대	7,428	61.23%	2,454,440.32	81.26%
	2000년대	588	4.85%	142,506.12	4.72%
	값없음	382	3.15%	66,747.61	2.21%
	합계	12,131	100.00%	3,020,309.69	100.00%
값없음	1960년대이전	359	36.63%	14,047.57	19.60%
	1960년대	74	7.55%	3,308.37	4.62%
	1970년대	177	18.06%	10,704.60	14.93%
	1980년대	118	12.04%	6,567.25	9.16%
	1990년대	199	20.31%	32,538.45	45.39%
	2000년대	3	0.31%	840.46	1.17%
	값없음	50	5.10%	3,678.19	5.13%
	합계	980	100.00%	71,684.89	100.00%
총합		109,818	100.00%	8,416,837.13	100.00%

전라북도 슬레이트 사용 건축물의 면적은 8,416,837.13m^2이고 슬레이트의 면적은 12,019,243.42m^2로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 6678억 8531만 8454원, 온실가스 발생량은 318,509.95kg으로 산정되었다.

표 228. 전라남도(5개 시, 17개 군)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	57,452	41.39%	2,878,909.73	41.75%
	1960년대	19,002	13.69%	865,213.97	12.55%
	1970년대	22,308	16.07%	1,083,592.36	15.71%
	1980년대	11,378	8.20%	543,508.63	7.88%
	1990년대	5,456	3.93%	439,266.48	6.37%
	2000년대	1,121	0.81%	77,867.55	1.13%
	값없음	22,102	15.92%	1,007,560.87	14.61%
	합계	138,819	100.00%	6,895,919.58	100.00%
시설	1960년대이전	1,148	9.14%	92,289.59	7.07%
	1960년대	1,451	11.56%	159,720.31	12.23%
	1970년대	2,565	20.43%	240,431.33	18.42%
	1980년대	2,111	16.81%	220,789.34	16.91%
	1990년대	3,161	25.18%	406,144.33	31.11%
	2000년대	499	3.97%	41,481.51	3.18%
	값없음	1,620	12.90%	144,749.27	11.09%
	합계	12,555	100.00%	1,305,605.67	100.00%
공장	1960년대이전	90	2.72%	13,329.37	1.02%
	1960년대	208	6.29%	40,057.16	3.06%
	1970년대	524	15.84%	139,943.01	10.71%
	1980년대	1,159	35.04%	417,063.96	31.91%
	1990년대	848	25.63%	481,431.45	36.84%
	2000년대	118	3.57%	46,353.43	3.55%
	값없음	361	10.91%	168,787.71	12.91%
	합계	3,308	100.00%	1,306,966.09	100.00%
창고	1960년대이전	940	5.57%	50,823.73	3.35%
	1960년대	845	5.01%	73,171.18	4.83%
	1970년대	2,843	16.85%	423,442.06	27.94%
	1980년대	1,561	9.25%	200,427.13	13.23%
	1990년대	2,598	15.40%	382,773.87	25.26%
	2000년대	507	3.00%	46,894.01	3.09%
	값없음	7,580	44.92%	337,841.67	22.29%
	합계	16,874	100.00%	1,515,373.65	100.00%
축사	1960년대이전	324	1.80%	28,445.40	0.58%
	1960년대	238	1.32%	33,198.78	0.67%
	1970년대	681	3.78%	113,458.01	2.30%
	1980년대	1,236	6.86%	257,279.57	5.21%
	1990년대	12,303	68.25%	3,866,355.54	78.36%
	2000년대	1,449	8.04%	355,896.29	7.21%
	값없음	1,795	9.96%	279,338.50	5.66%
	합계	18,026	100.00%	4,933,972.08	100.00%
값없음	1960년대이전	176	17.87%	13,071.45	4.30%
	1960년대	65	6.60%	6,686.37	2.20%
	1970년대	138	14.01%	14,608.83	4.80%
	1980년대	189	19.19%	178,001.07	58.55%
	1990년대	289	29.34%	73,451.18	24.16%
	2000년대	22	2.23%	3,825.31	1.26%
	값없음	106	10.76%	14,396.85	4.74%
	합계	985	100.00%	304,041.06	100.00%
총합		190,567	100.00%	16,261,878.13	100.00%

전라남도 슬레이트 사용 건축물의 면적은 16,261,878.13m^2이고 슬레이트의 면적은 23,221,961.97m^2로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 1조 2903억 9798만 2729원, 온실가스 발생량은 615,381.99kg으로 산정되었다.

표 229. 경상북도(10개 시, 13개 군)

용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	72,236	50.24%	1,663,868.86	44.51%
	1960년대	20,970	14.58%	514,986.86	13.78%
	1970년대	19,185	13.34%	515,754.54	13.80%
	1980년대	8,994	6.26%	270,585.47	7.24%
	1990년대	6,474	4.50%	483,140.39	12.92%
	2000년대	1,288	0.90%	79,330.45	2.12%
	값없음	14,637	10.18%	210,465.82	5.63%
	합계	143,784	100.00%	3,738,132.38	100.00%
시설	1960년대이전	1,602	15.19%	84,377.50	10.40%
	1960년대	1,492	14.15%	97,792.76	12.06%
	1970년대	2,343	22.22%	153,885.24	18.97%
	1980년대	1,843	17.48%	135,416.52	16.70%
	1990년대	1,992	18.89%	240,728.71	29.68%
	2000년대	437	4.14%	43,933.89	5.42%
	값없음	835	7.92%	54,885.54	6.77%
	합계	10,544	100.00%	811,020.16	100.00%
공장	1960년대이전	167	5.18%	34,364.01	1.61%
	1960년대	151	4.69%	12,704.22	0.60%
	1970년대	574	17.81%	406,772.92	19.06%
	1980년대	758	23.52%	562,145.35	26.34%
	1990년대	1,222	37.91%	789,019.75	36.97%
	2000년대	129	4.00%	39,693.20	1.86%
	값없음	222	6.89%	289,347.34	13.56%
	합계	3,223	100.00%	2,134,046.79	100.00%
창고	1960년대이전	2,900	25.31%	147,216.75	16.04%
	1960년대	763	6.66%	36,467.97	3.97%
	1970년대	2,069	18.05%	183,708.14	20.01%
	1980년대	1,495	13.05%	91,594.90	9.98%
	1990년대	2,751	24.01%	340,699.02	37.11%
	2000년대	749	6.54%	64,899.91	7.07%
	값없음	733	6.40%	53,464.69	5.82%
	합계	11,460	100.00%	918,051.38	100.00%
축사	1960년대이전	3,209	14.89%	399,130.00	8.71%
	1960년대	663	3.08%	32,576.47	0.71%
	1970년대	1,525	7.07%	143,365.19	3.13%
	1980년대	2,422	11.24%	347,440.75	7.58%
	1990년대	11,795	54.72%	3,268,720.03	71.31%
	2000년대	884	4.10%	184,039.25	4.02%
	값없음	1,057	4.90%	208,519.13	4.55%
	합계	21,555	100.00%	4,583,790.82	100.00%
값없음	1960년대이전	739	21.39%	18,805.08	5.33%
	1960년대	291	8.42%	8,336.80	2.36%
	1970년대	352	10.19%	15,015.62	4.25%
	1980년대	312	9.03%	13,376.39	3.79%
	1990년대	871	25.21%	261,394.96	74.04%
	2000년대	20	0.58%	2,622.58	0.74%
	값없음	870	25.18%	33,473.79	9.48%
	합계	3,455	100.00%	353,025.22	100.00%
총합		194,021	100.00%	12,538,066.75	100.00%

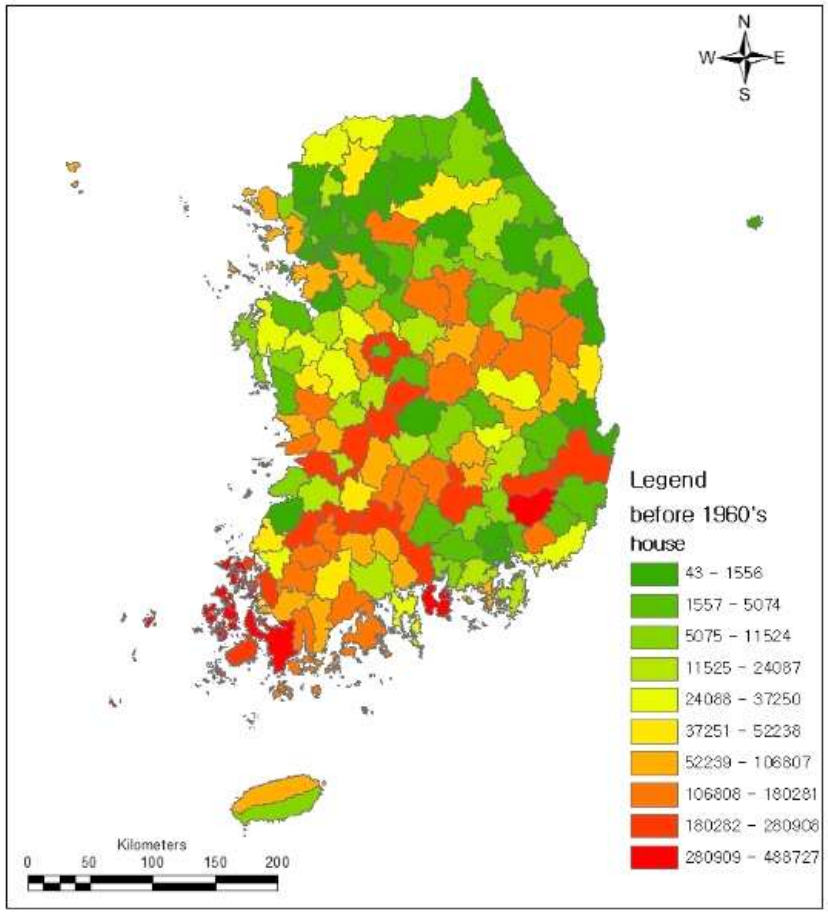
경상북도 슬레이트 사용 건축물의 면적은 12,583,066.75m^2이고 슬레이트의 면적은 17,968,619.32m^2로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 9984억 8023만 8318원, 온실가스 발생량은 476,168.41kg으로 산정되었다.

표 230. 경상남도(10개 시, 10개 군)

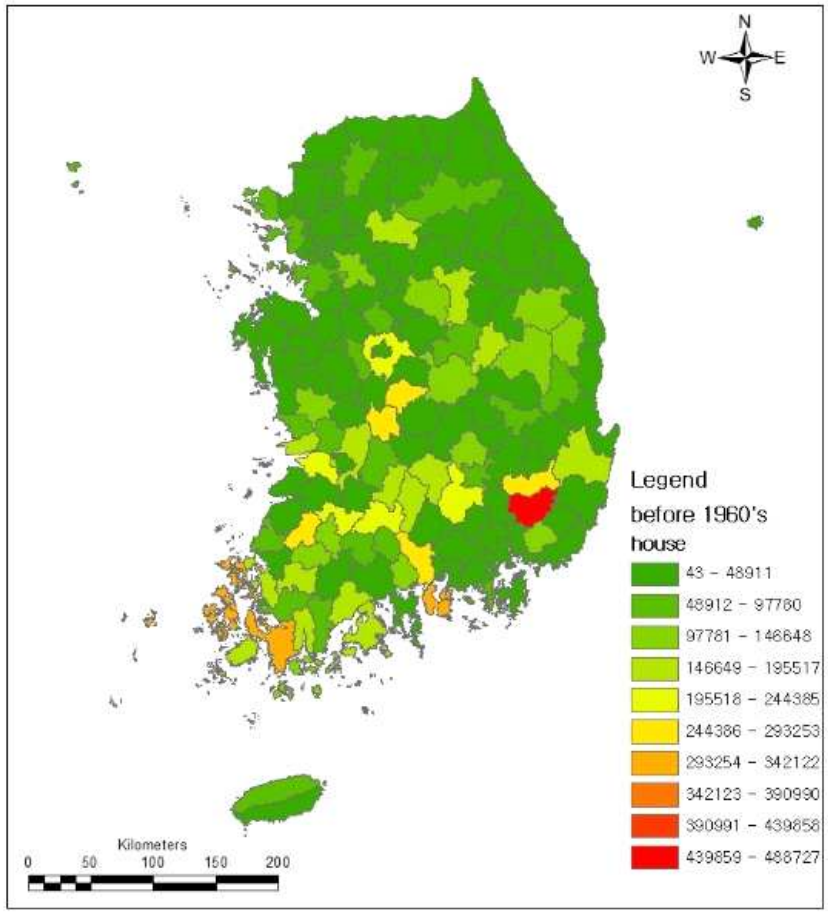
용도분류	년도구분	개수	개수비율	면적	면적비율
주택	1960년대이전	69,376	50.92%	1,896,270.15	52.65%
	1960년대	14,472	10.62%	344,473.48	9.56%
	1970년대	18,671	13.70%	458,886.52	12.74%
	1980년대	8,556	6.28%	255,181.96	7.09%
	1990년대	5,698	4.18%	468,938.42	13.02%
	2000년대	1,088	0.80%	75,842.66	2.11%
	값없음	18,388	13.50%	102,086.69	2.83%
	합계	136,249	100.00%	3,601,679.89	100.00%
시설	1960년대이전	1,149	9.70%	39,055.90	2.98%
	1960년대	1,112	9.39%	62,783.59	4.79%
	1970년대	2,380	20.09%	129,065.80	9.85%
	1980년대	1,509	12.74%	123,214.12	9.40%
	1990년대	3,861	32.60%	834,348.42	63.66%
	2000년대	601	5.07%	77,036.58	5.88%
	값없음	1,233	10.41%	45,063.06	3.44%
	합계	11,845	100.00%	1,310,567.47	100.00%
공장	1960년대이전	102	3.31%	10,680.60	0.53%
	1960년대	155	5.03%	79,090.96	3.89%
	1970년대	499	16.18%	337,000.08	16.59%
	1980년대	725	23.51%	484,511.28	23.86%
	1990년대	1,163	37.71%	1,003,679.29	49.42%
	2000년대	131	4.25%	45,589.14	2.24%
	값없음	309	10.02%	70,469.42	3.47%
	합계	3,084	100.00%	2,031,020.77	100.00%
창고	1960년대이전	948	11.27%	24,384.47	3.45%
	1960년대	579	6.88%	19,191.78	2.71%
	1970년대	1,684	20.01%	122,996.81	17.39%
	1980년대	1,129	13.42%	81,646.20	11.54%
	1990년대	2,923	34.74%	380,108.90	53.74%
	2000년대	611	7.26%	50,299.39	7.11%
	값없음	540	6.42%	28,744.32	4.06%
	합계	8,414	100.00%	707,371.87	100.00%
축사	1960년대이전	957	6.17%	21,032.47	0.67%
	1960년대	515	3.32%	24,632.64	0.78%
	1970년대	1,093	7.05%	81,198.59	2.57%
	1980년대	2,081	13.42%	178,194.60	5.64%
	1990년대	9,120	58.80%	2,608,035.05	82.62%
	2000년대	631	4.07%	130,986.36	4.15%
	값없음	1,112	7.17%	112,700.47	3.57%
	합계	15,509	100.00%	3,156,780.18	100.00%
값없음	1960년대이전	316	42.19%	4,792.13	9.09%
	1960년대	42	5.61%	1,374.09	2.61%
	1970년대	79	10.55%	2,077.48	3.94%
	1980년대	52	6.94%	2,003.13	3.80%
	1990년대	128	17.09%	40,814.19	77.43%
	2000년대	5	0.67%	400.59	0.76%
	값없음	127	16.96%	1,248.17	2.37%
	합계	749	100.00%	52,709.78	100.00%
총합		175,850	100.00%	10,860,129.95	100.00%

경상남도 슬레이트 사용 건축물의 면적은 10,860,129.95m^2이고 슬레이트의 면적은 15,508,265.57m^2로 산정되었다. 따라서 슬레이트 해체·제거 비용은 8617억 6330만 1115원, 온실가스 발생량은 410,969.04kg으로 산정되었다.

2. GIS를 이용한 지역별 슬레이트 분포지도(건축물 용도 및 년대별로 분류)

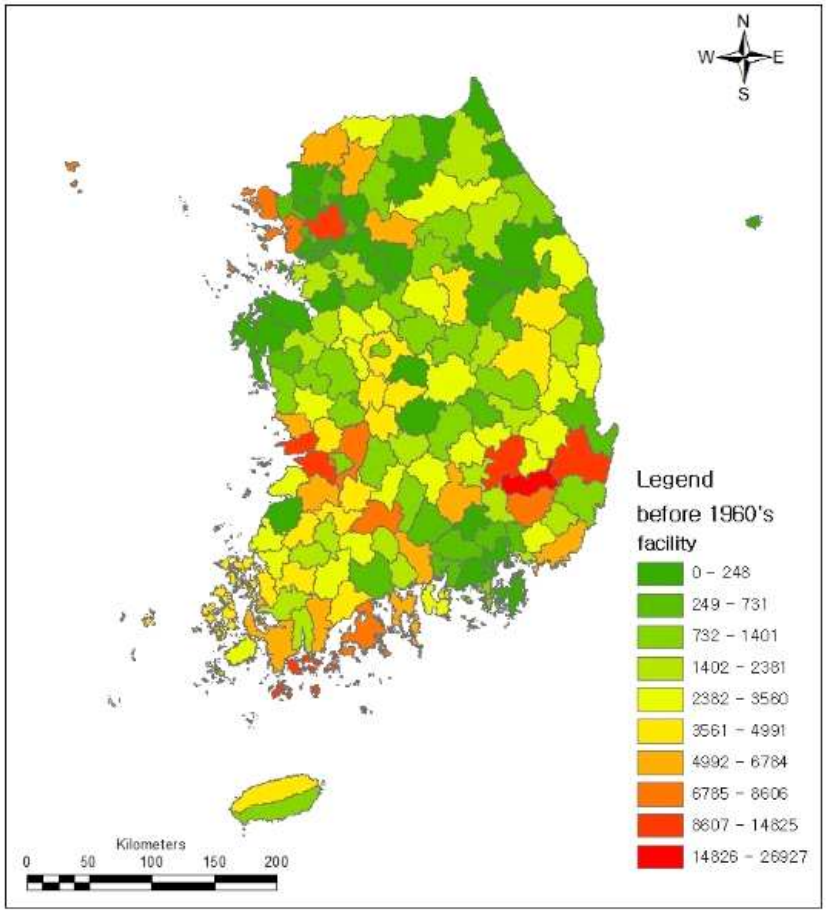


주택-type a

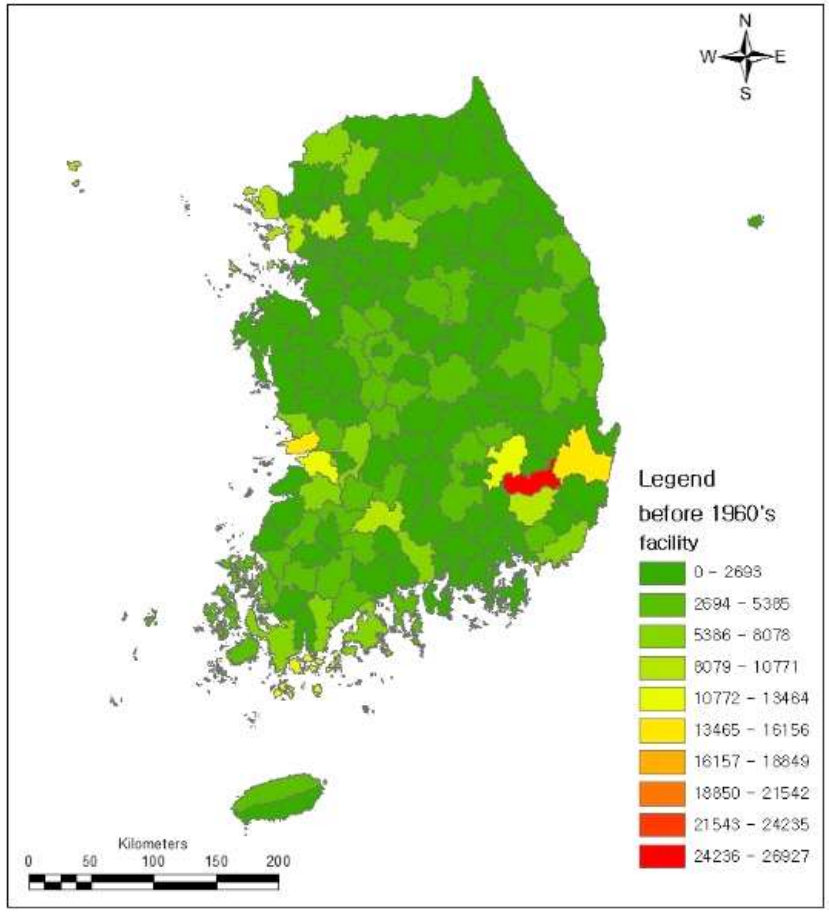


주택-type b

그림 108. 1960년대 이전 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1

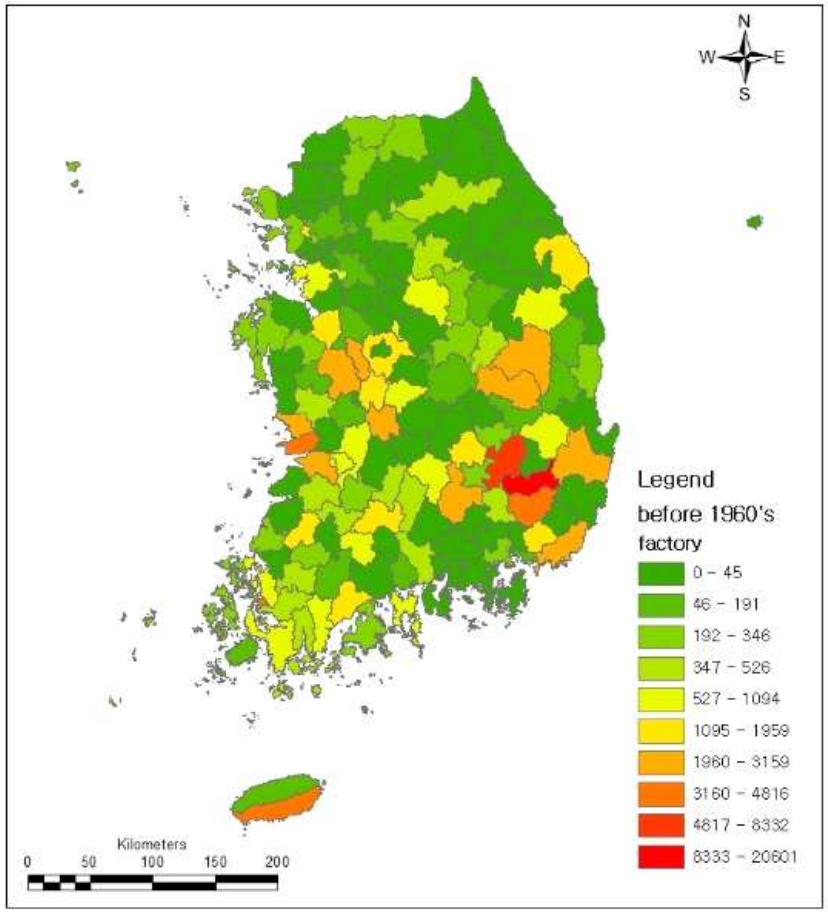


시설-type a

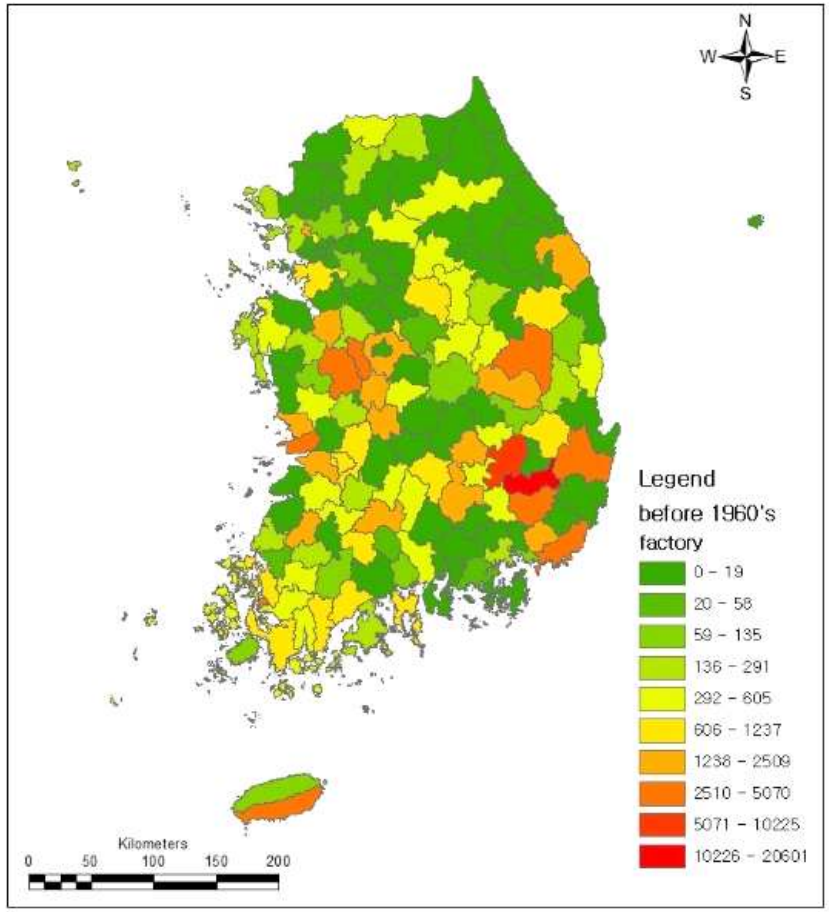


시설-type b

그림 109. 1960년대 이전 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2

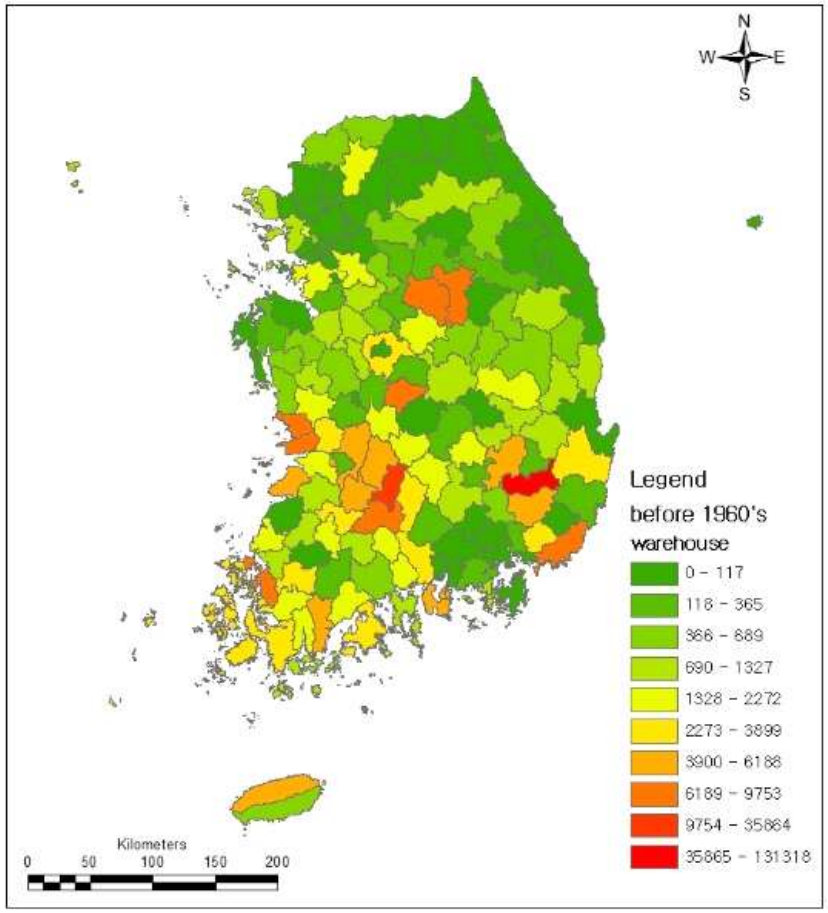


공장-type a

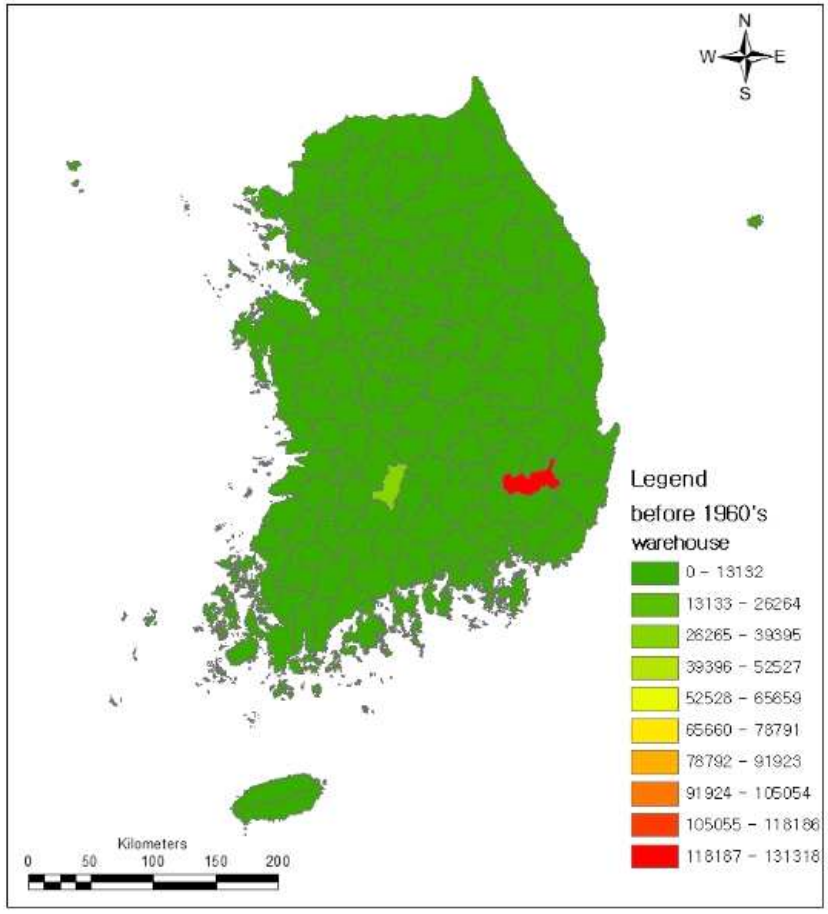


공장-type b

그림 110. 1960년대 이전 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3

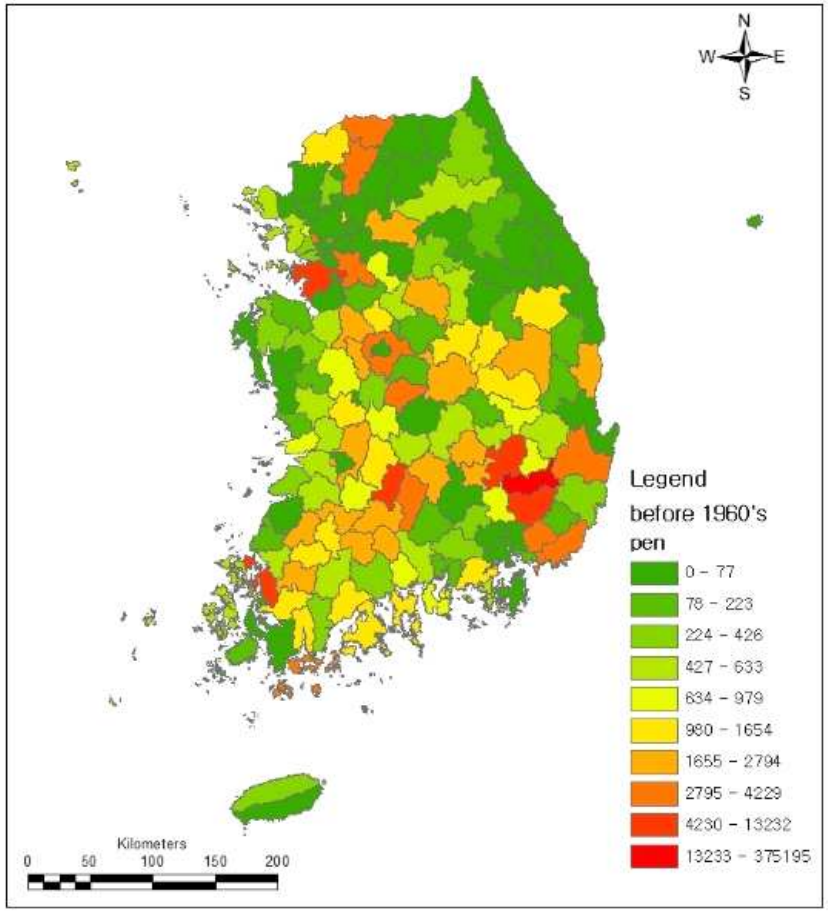


창고-type a

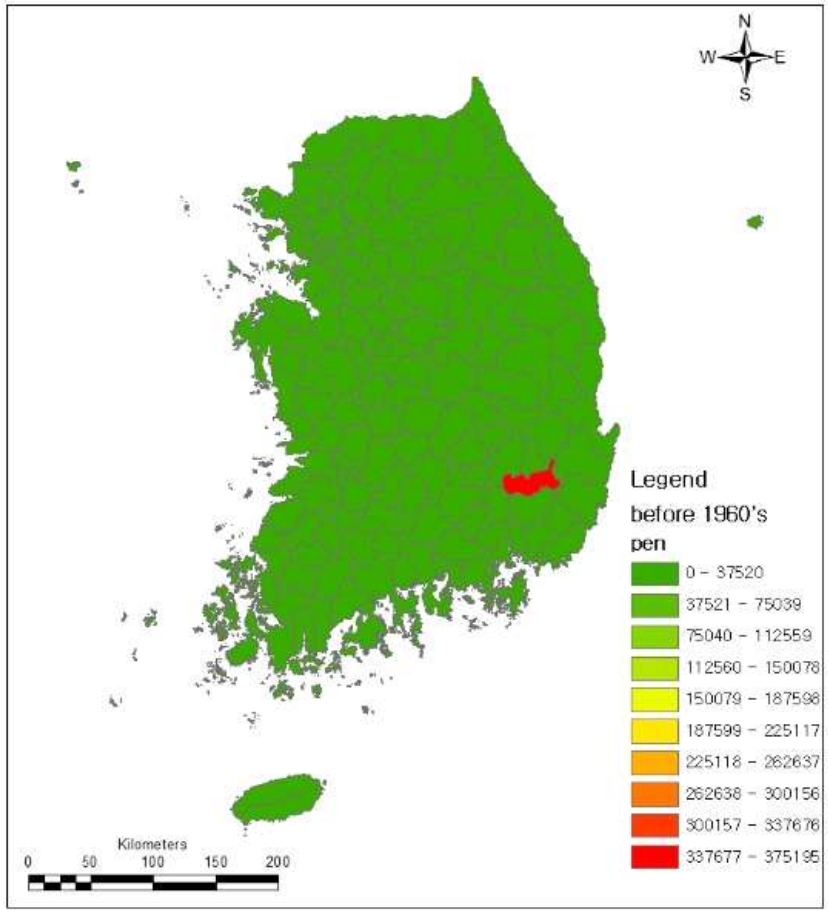


창고-type b

그림 111. 1960년대 이전 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4

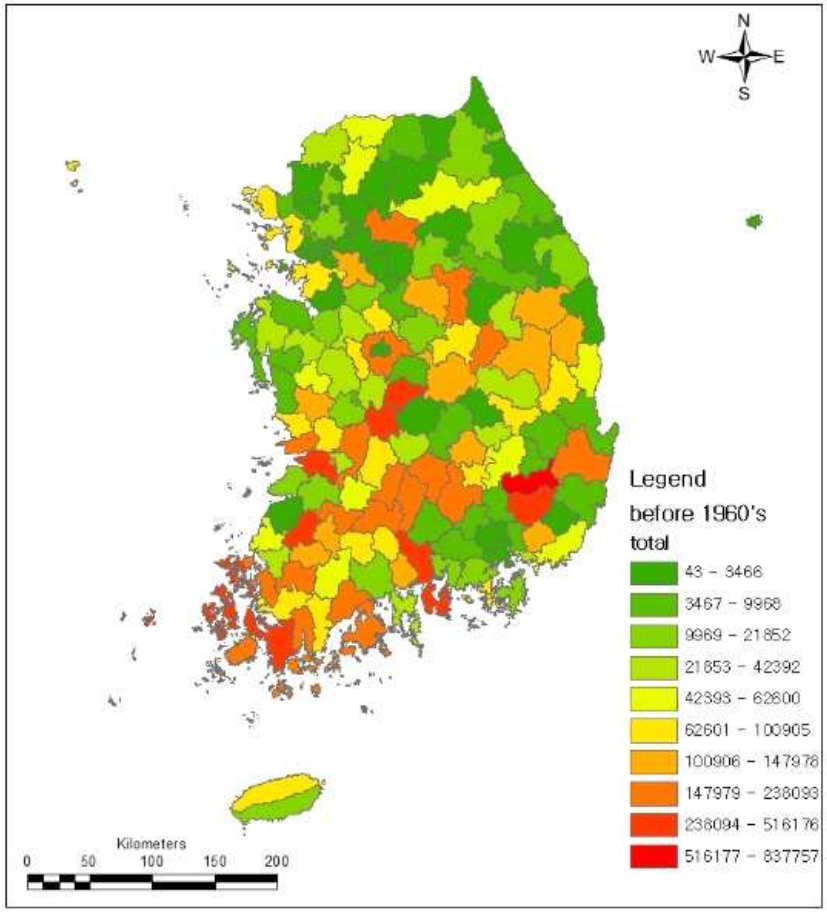


축사-type a

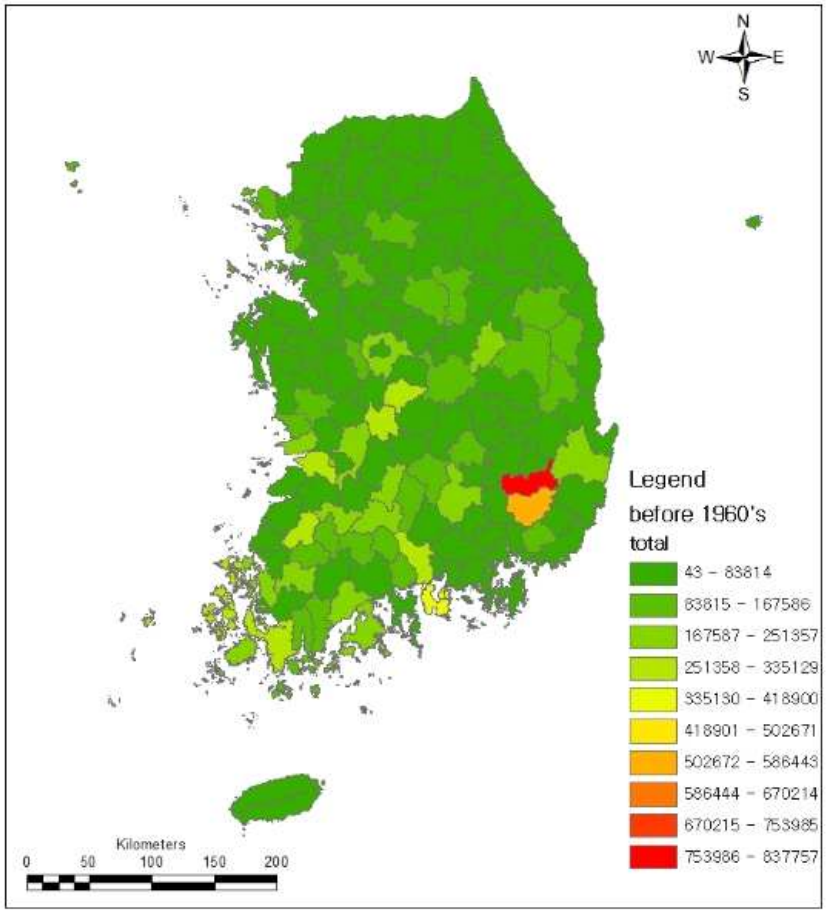


축사-type b

그림 112. 1960년대 이전 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5

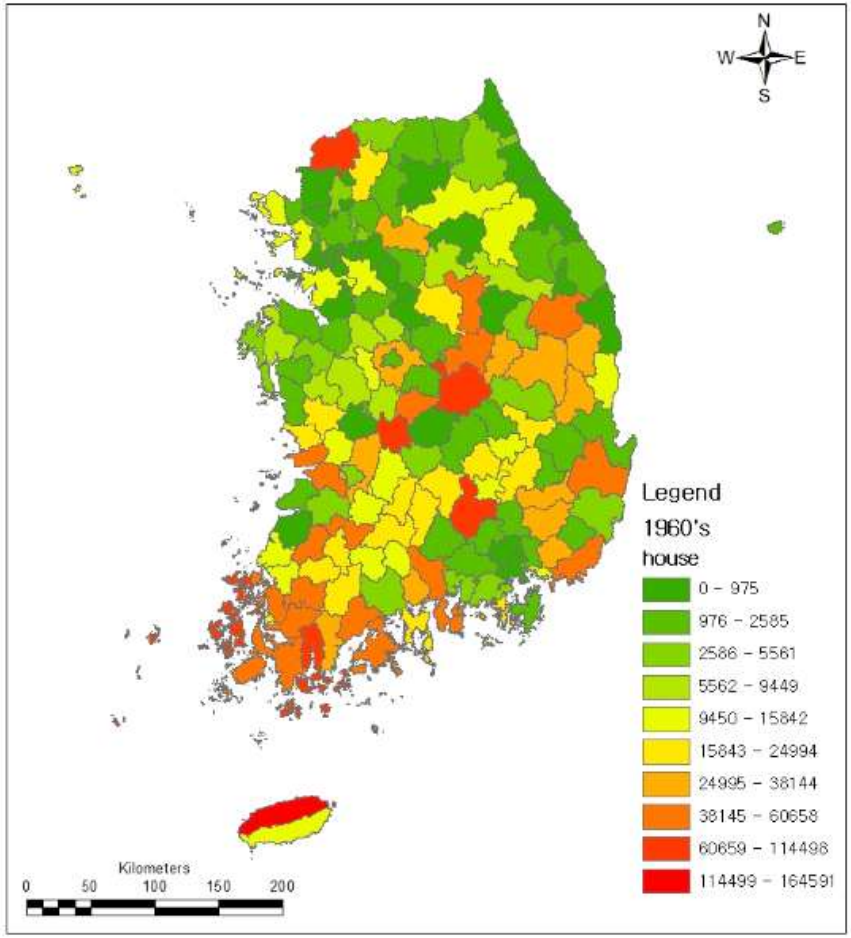


합계-type a

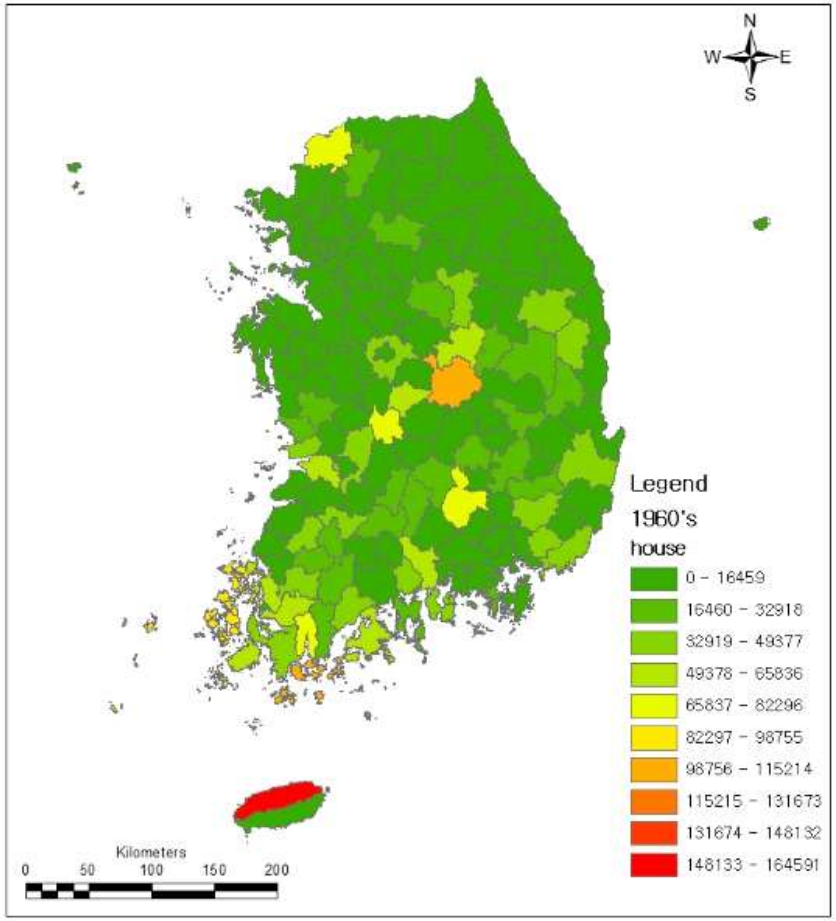


합계-type b

그림 113. 1960년대 이전 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6

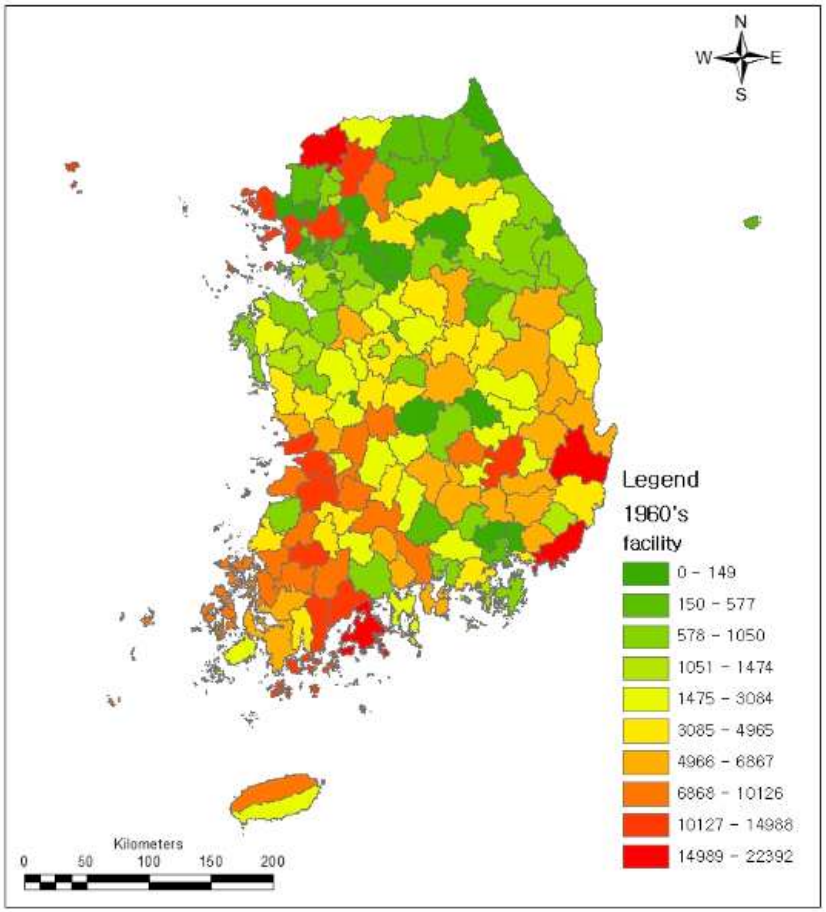


주택-type a

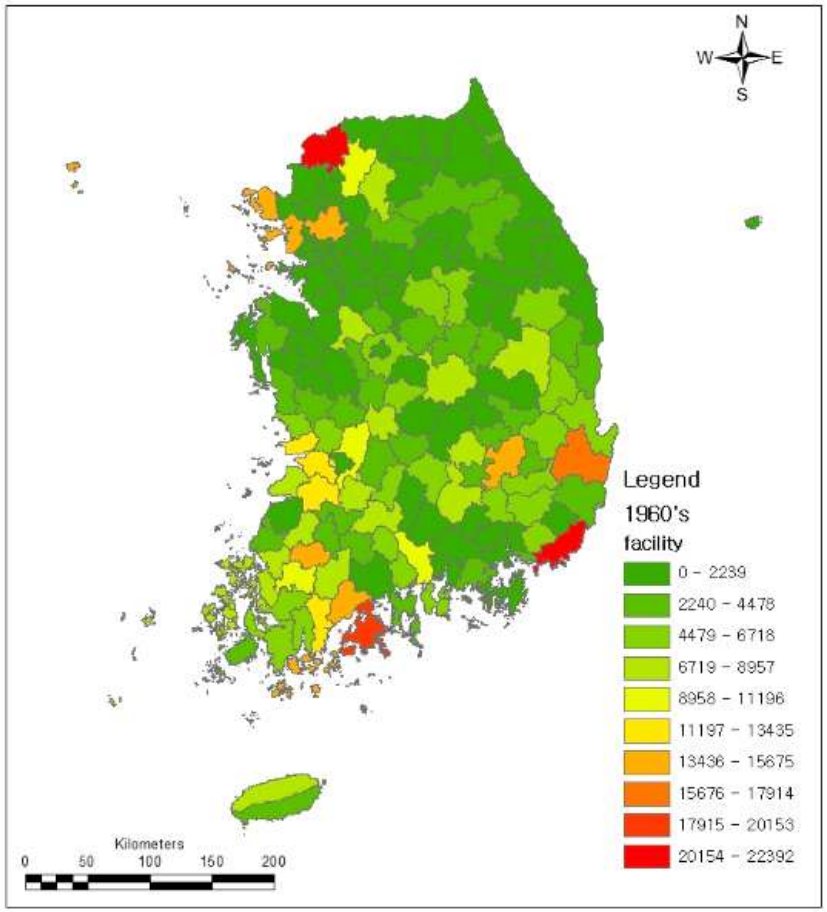


주택-type b

그림 114. 1960년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1

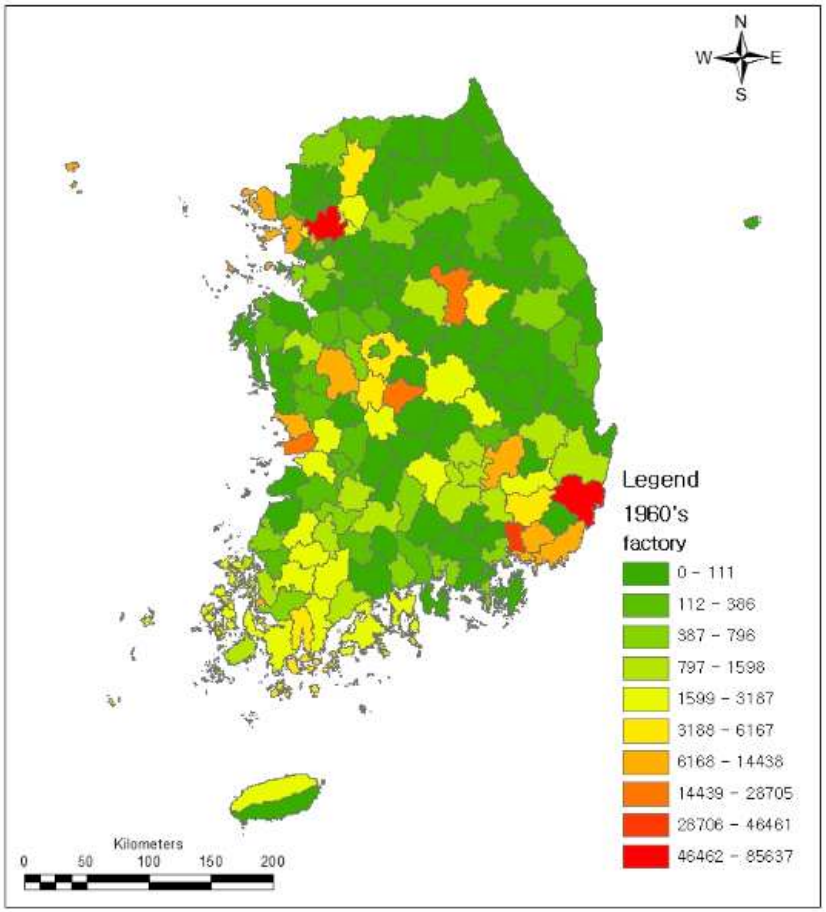


시설-type a

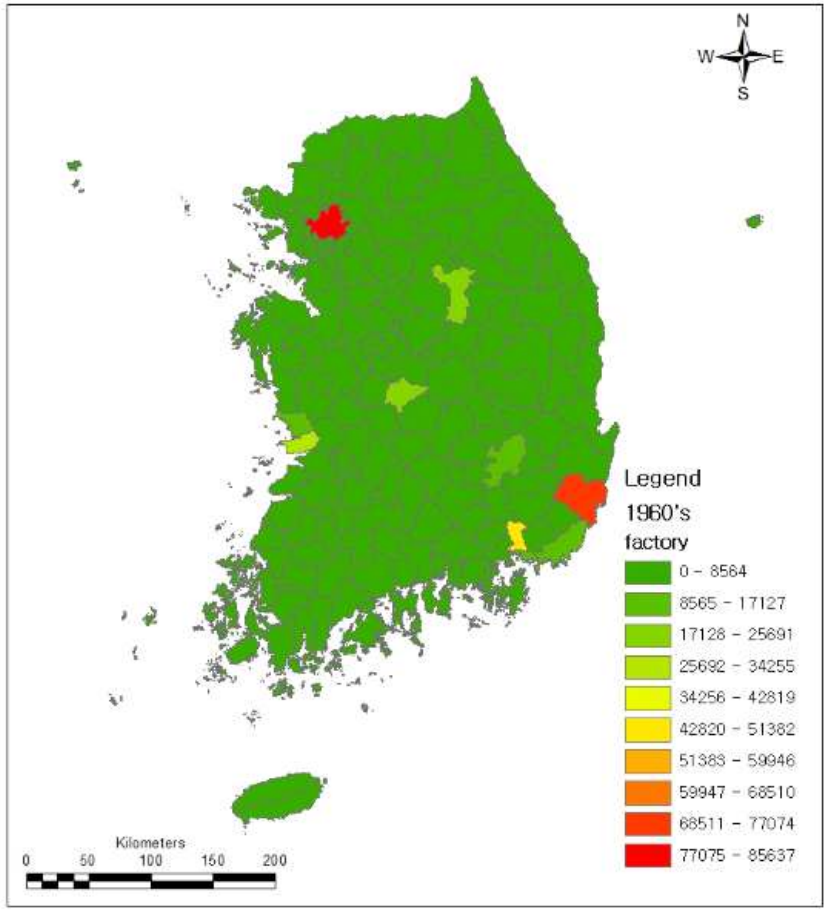


시설-type b

그림 115. 1960년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2

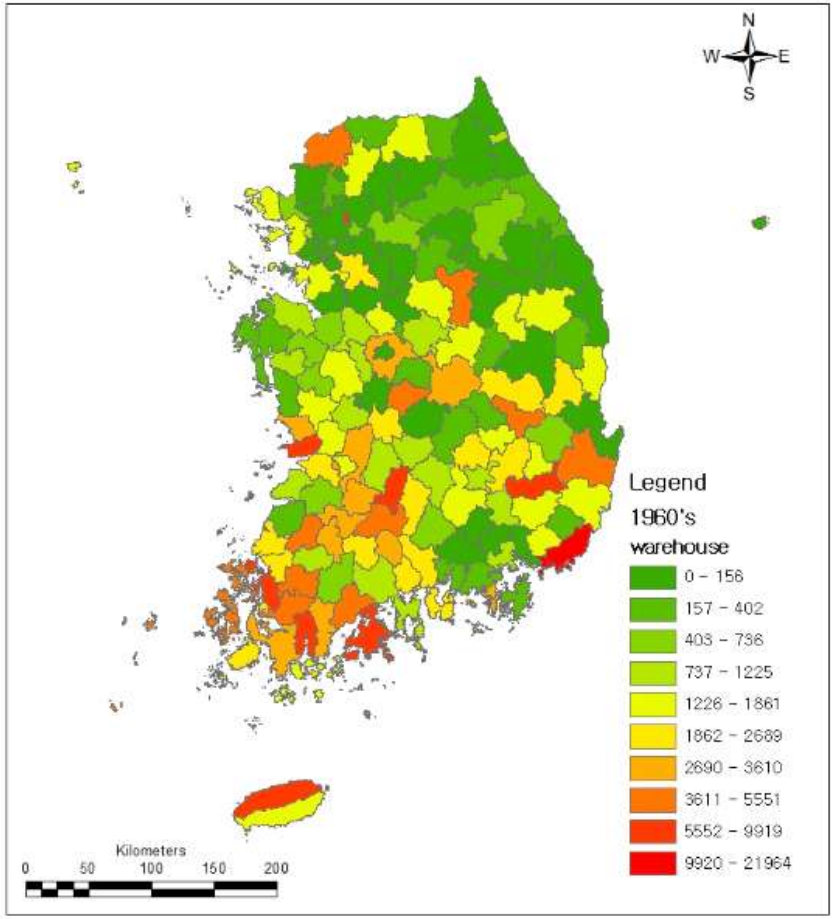


공장-type a

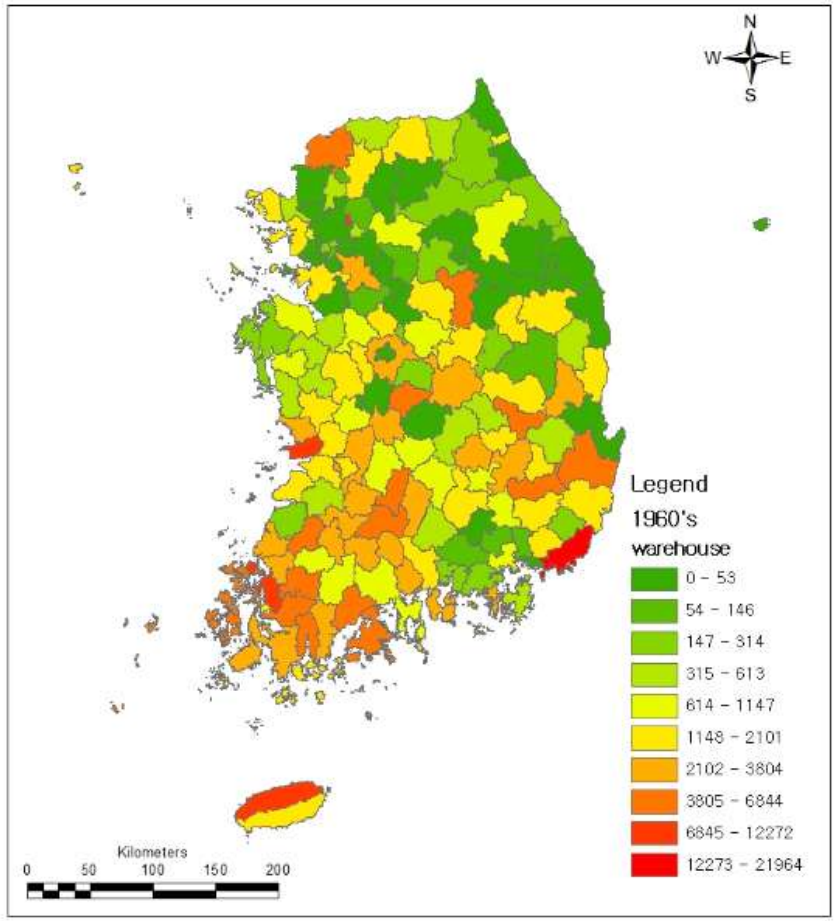


공장-type b

그림 116. 1960년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3

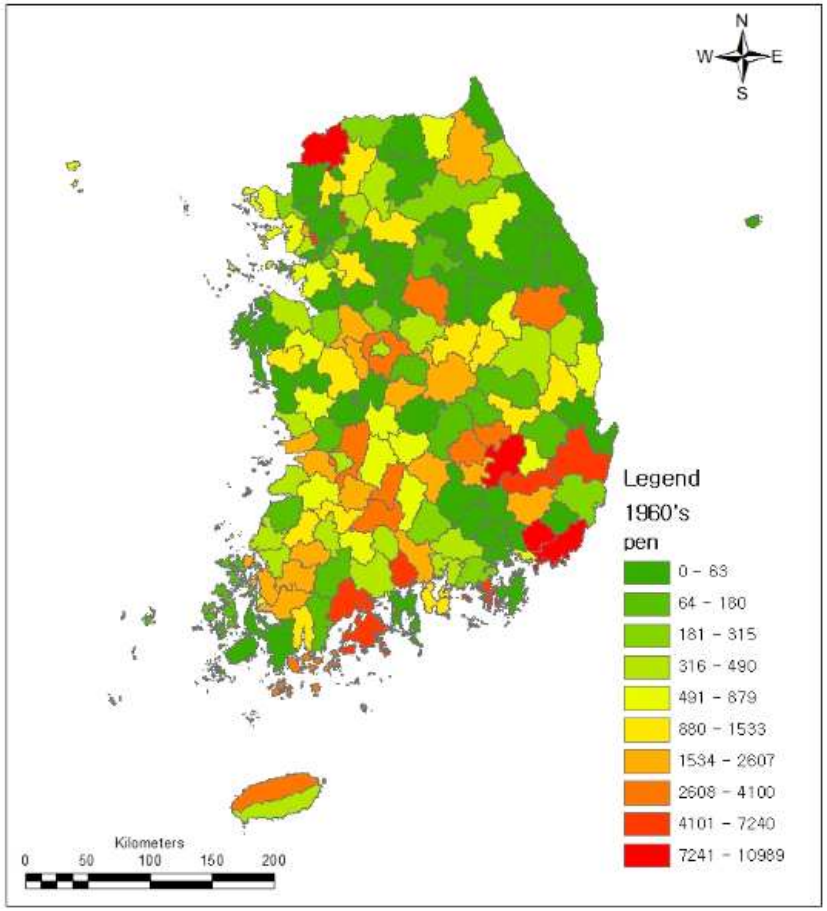


창고-type a

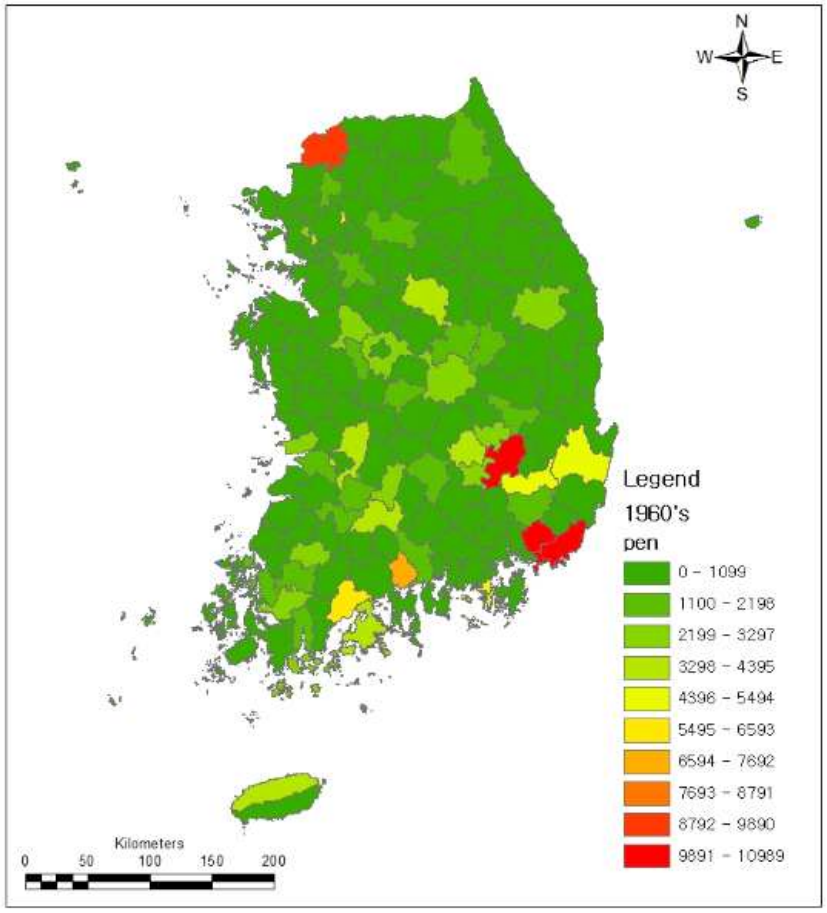


창고-type b

그림 117. 1960년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4

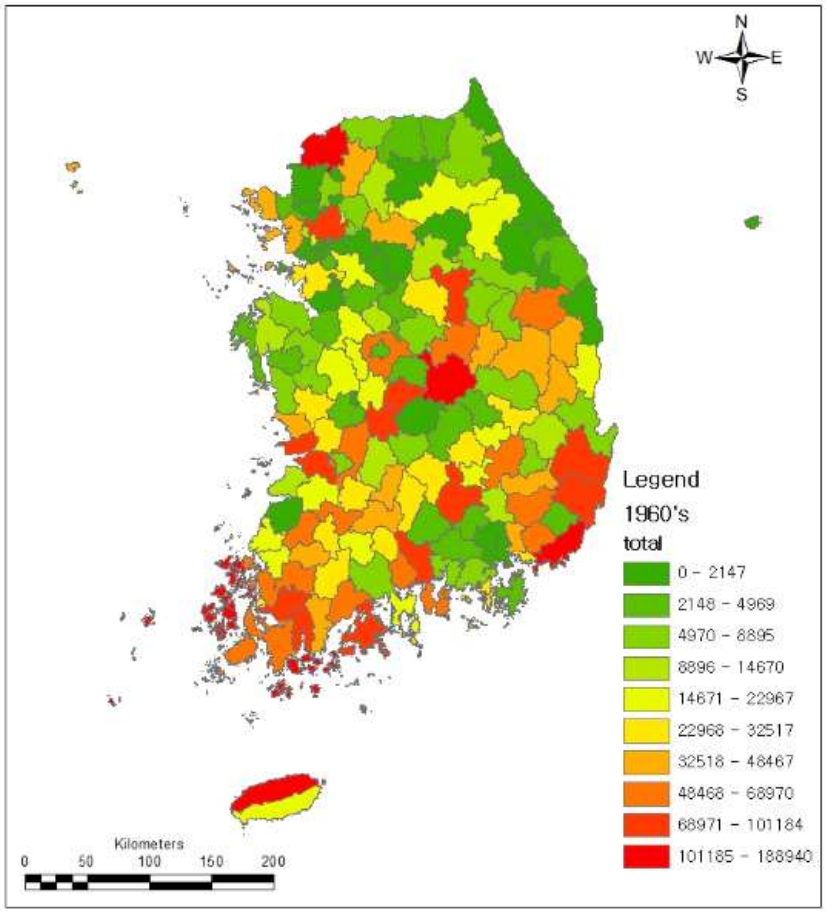


축사-type a

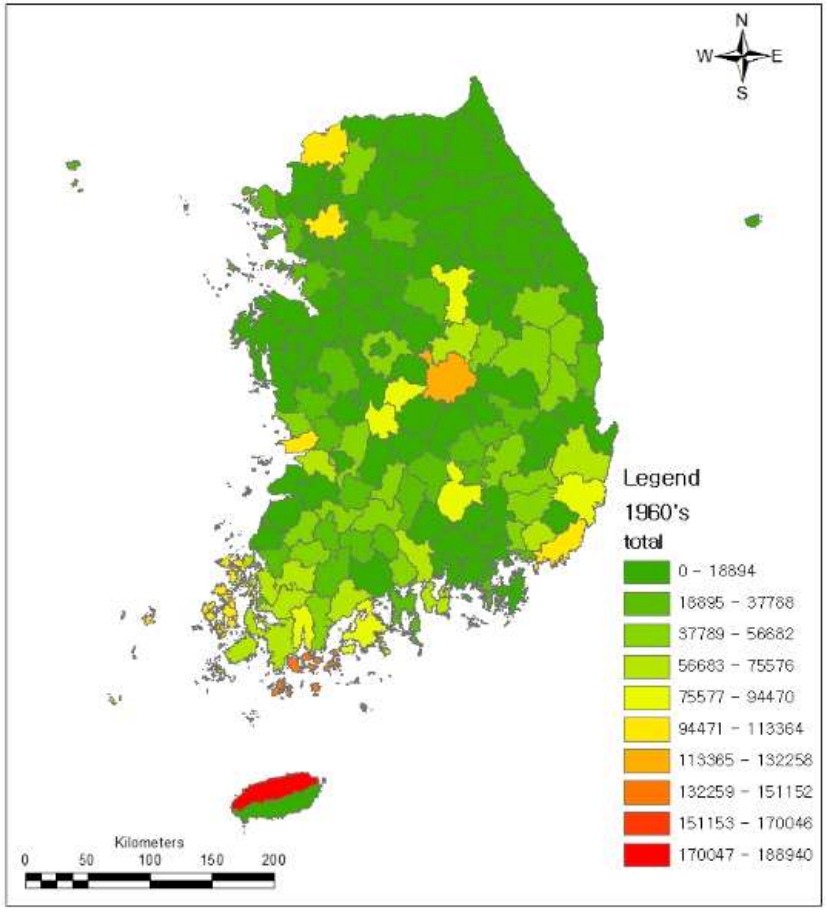


축사-type b

그림 118. 1960년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5

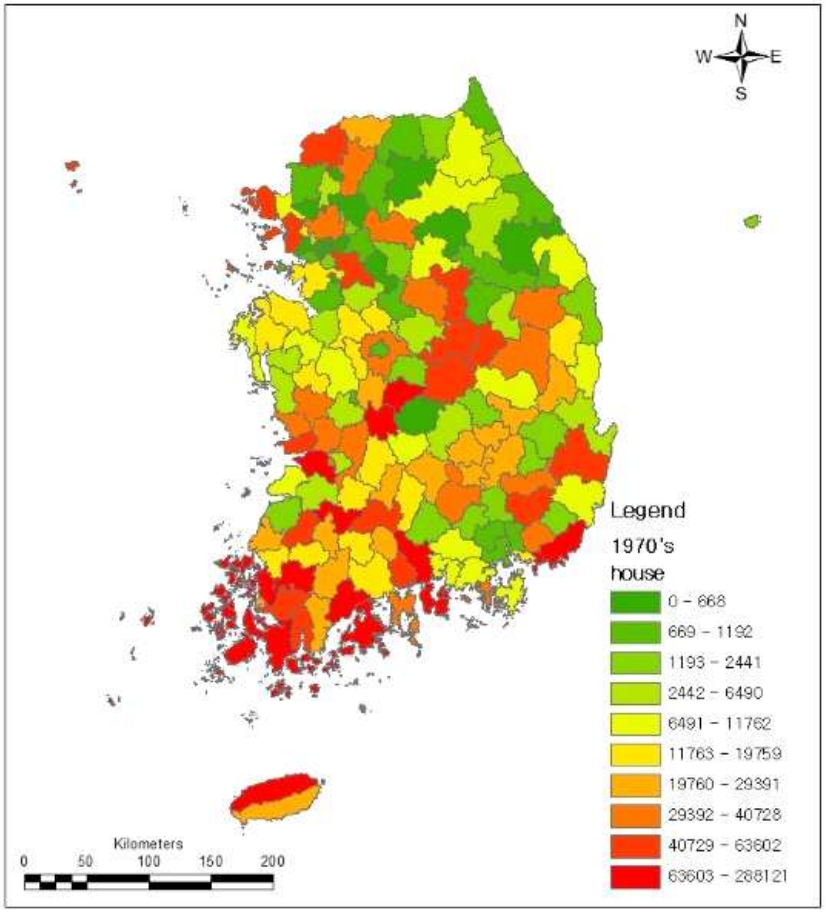


합계-type a

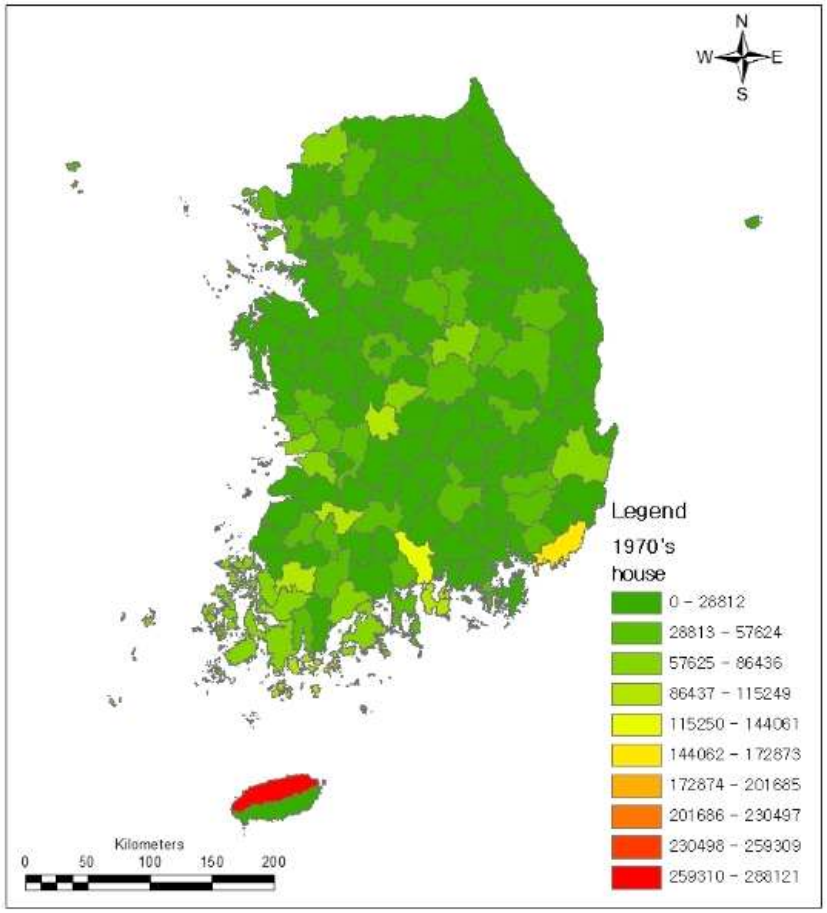


합계-type b

그림 119. 1960년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6

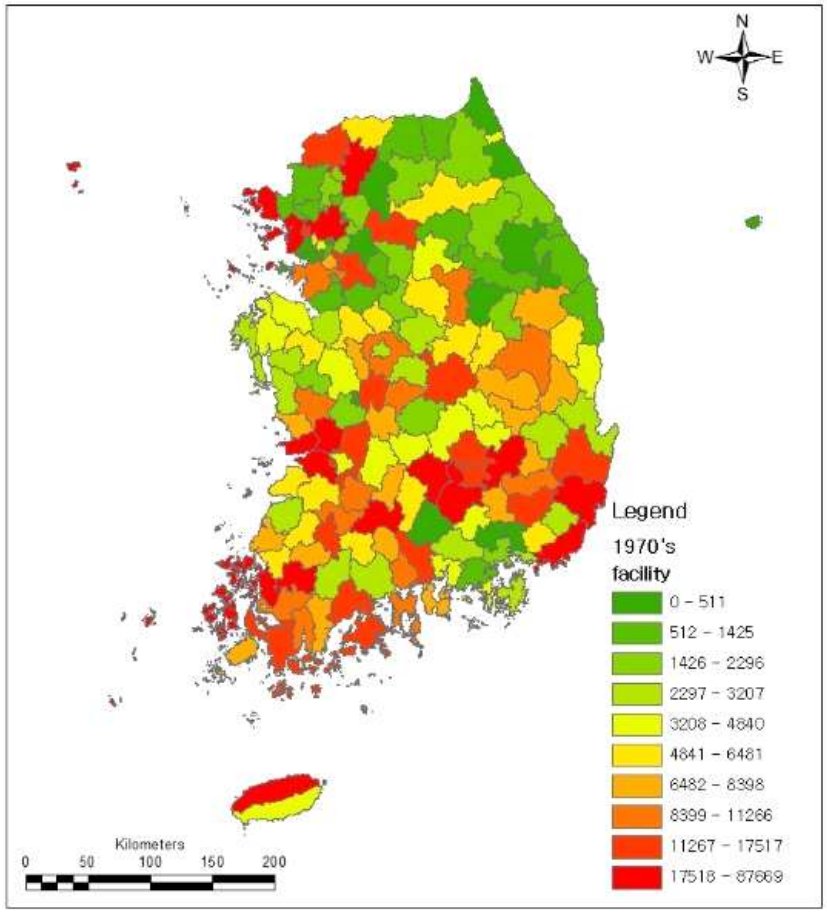


주택-type a

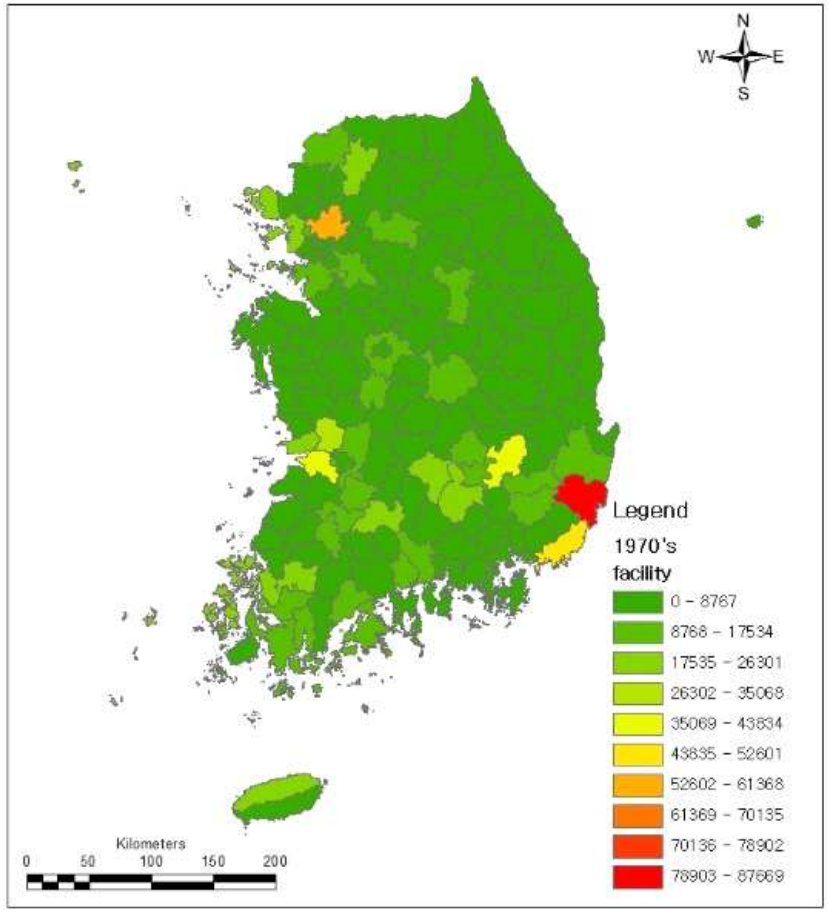


주택-type b

그림 120. 1970년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1

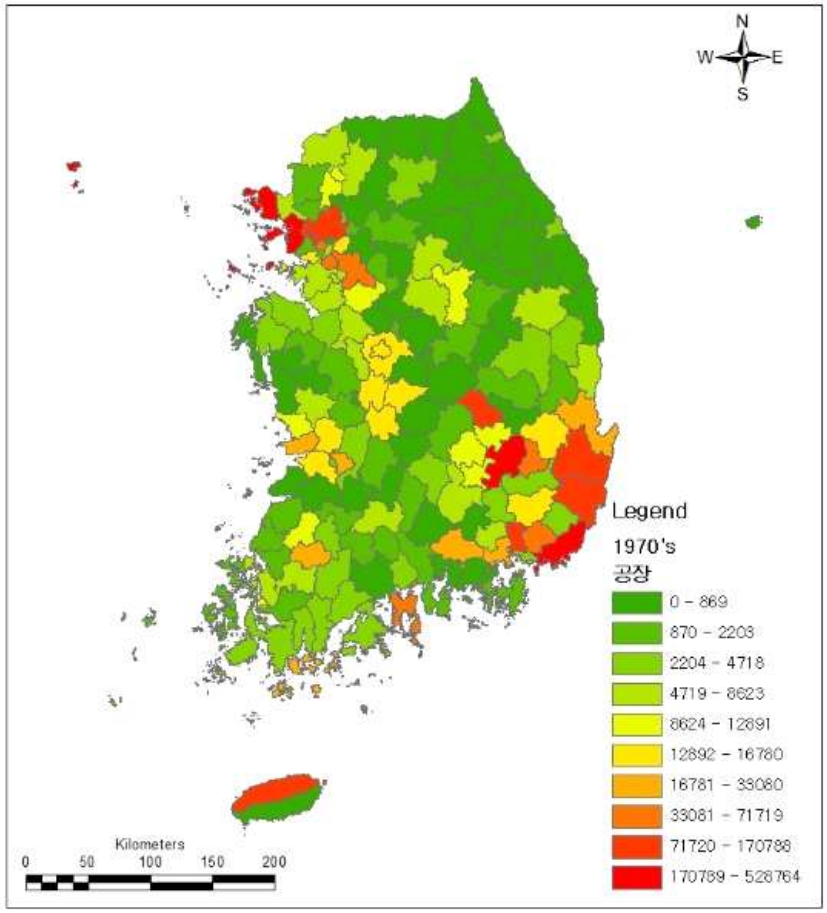


시설-type a

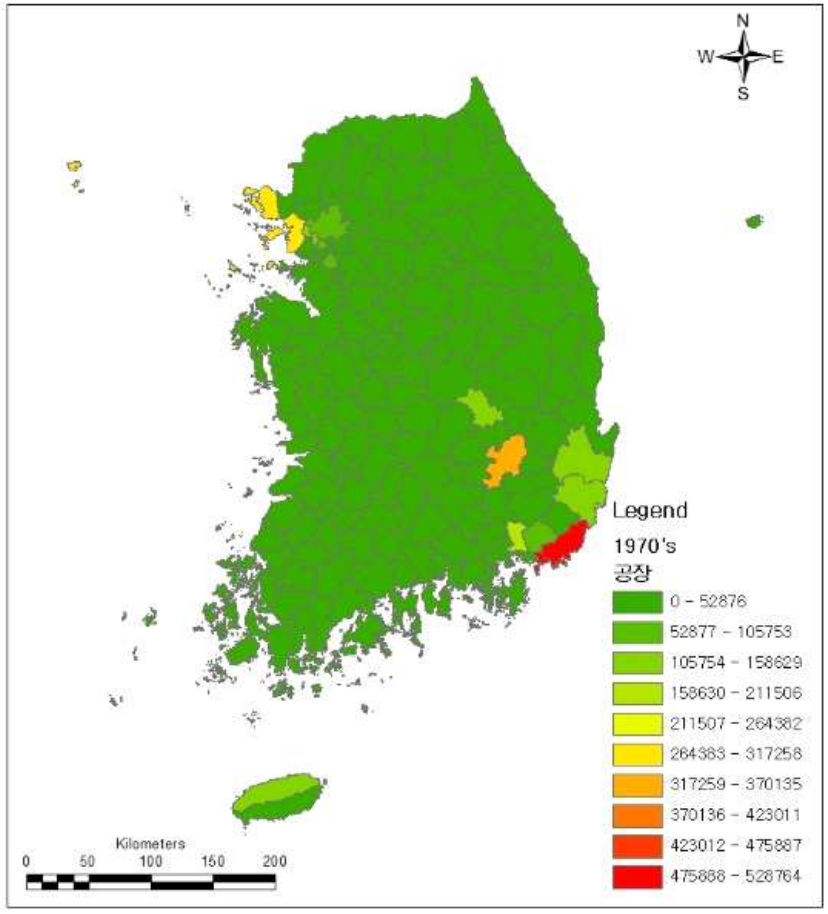


시설-type b

그림 121. 1970년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2

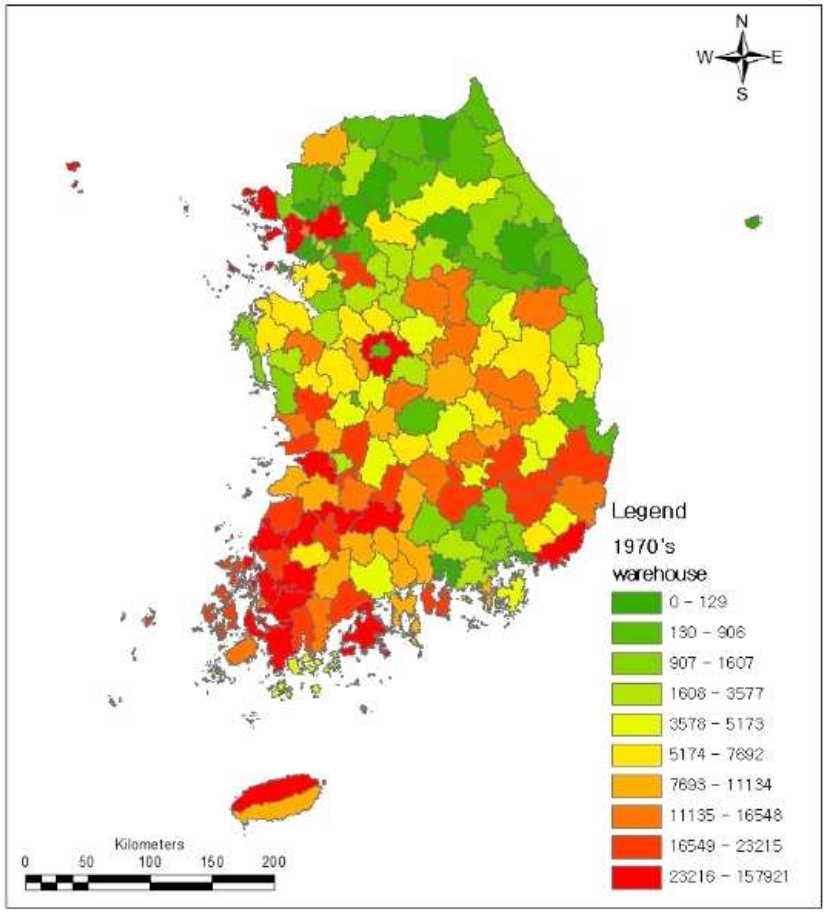


공장-type a

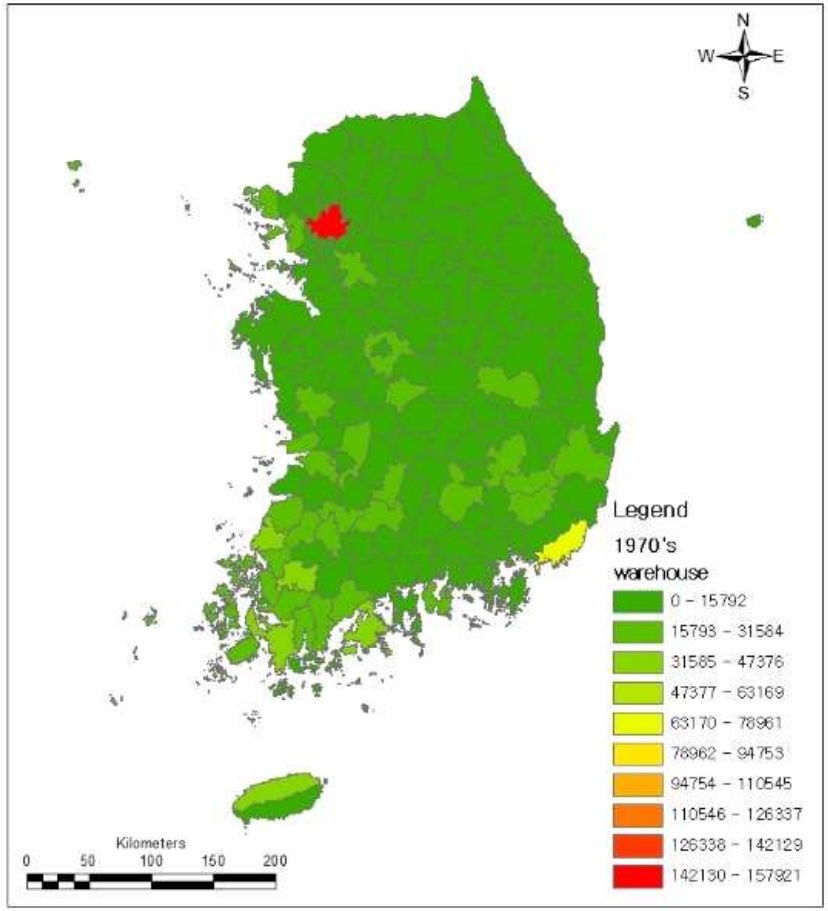


공장-type b

그림 122. 1970년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3

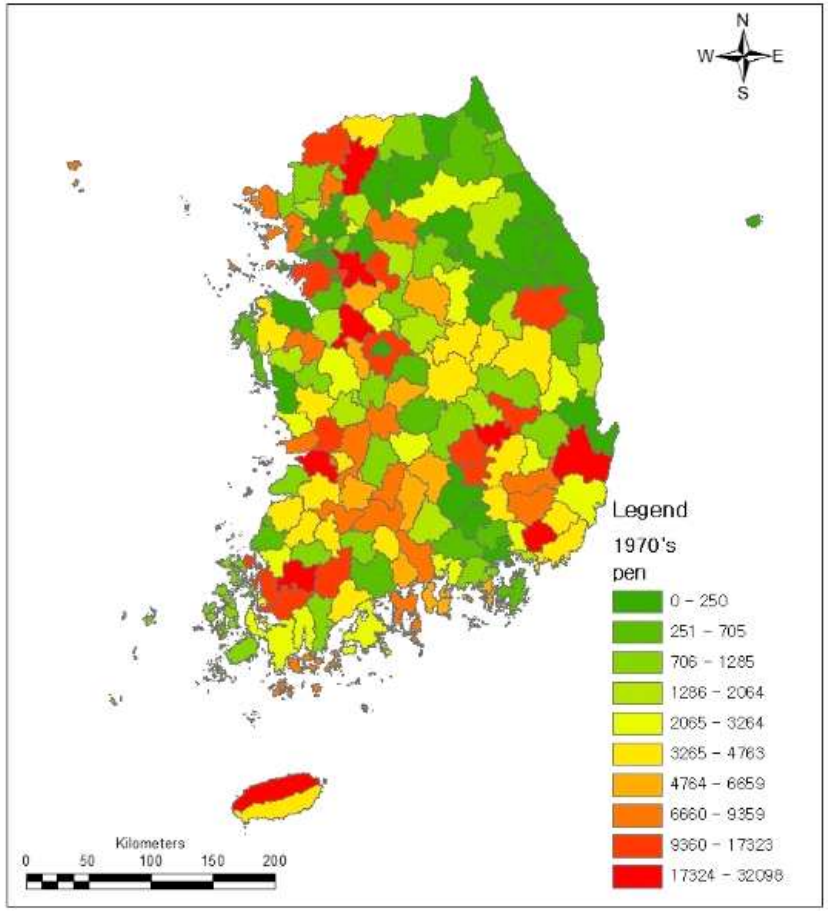


창고-type a

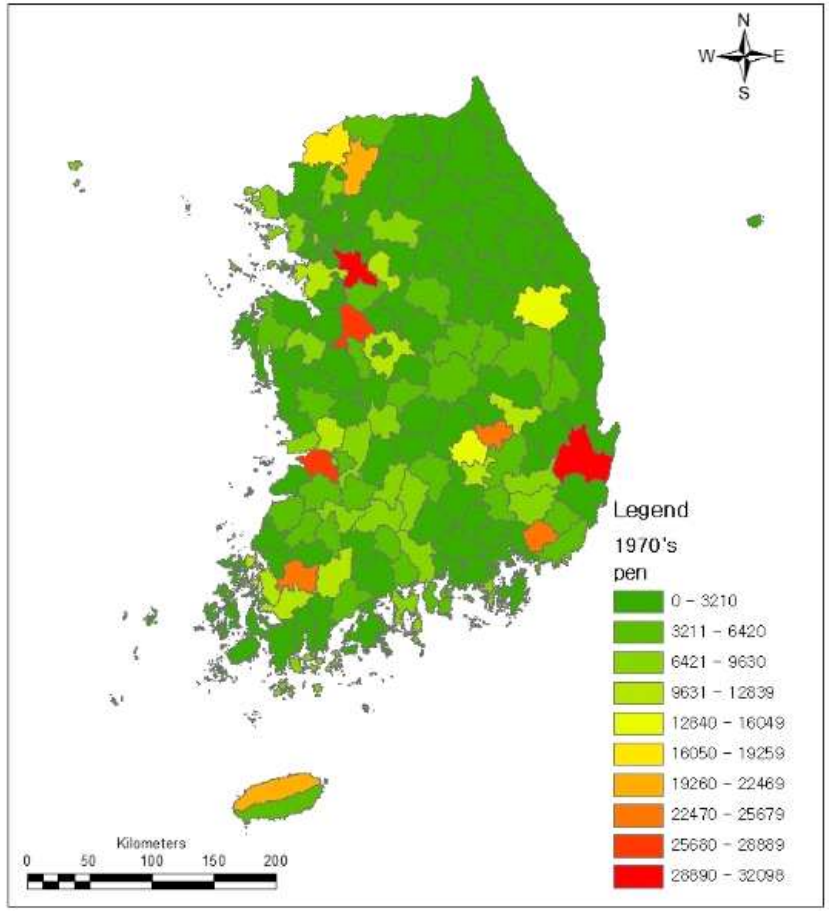


창고-type b

그림 123. 1970년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4

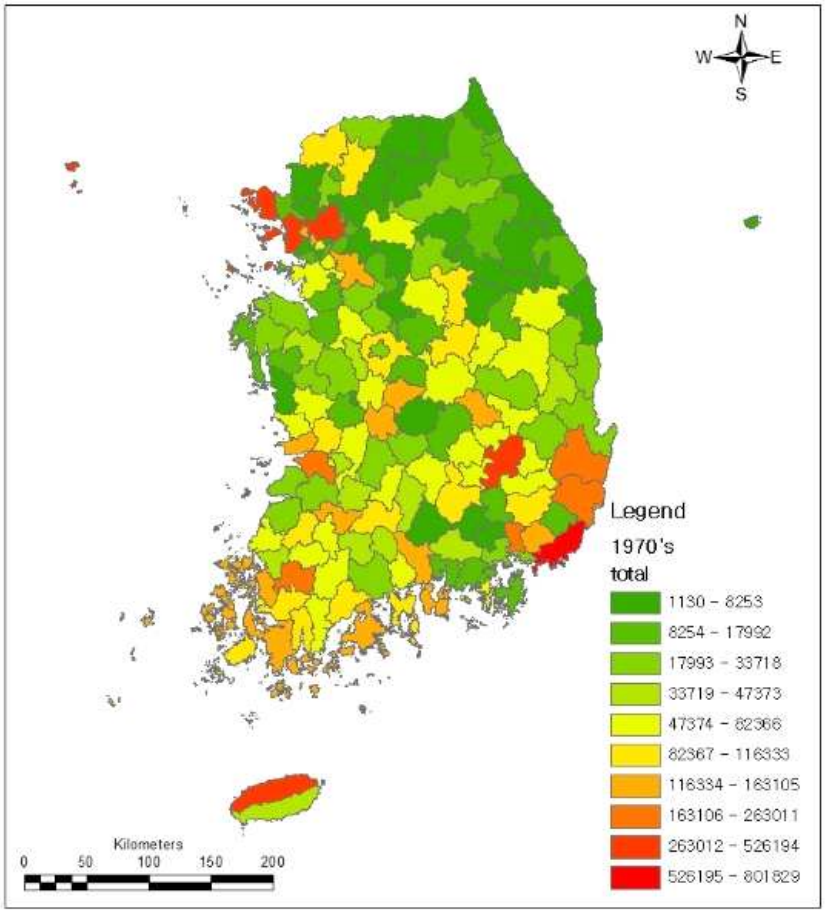


축사-type a

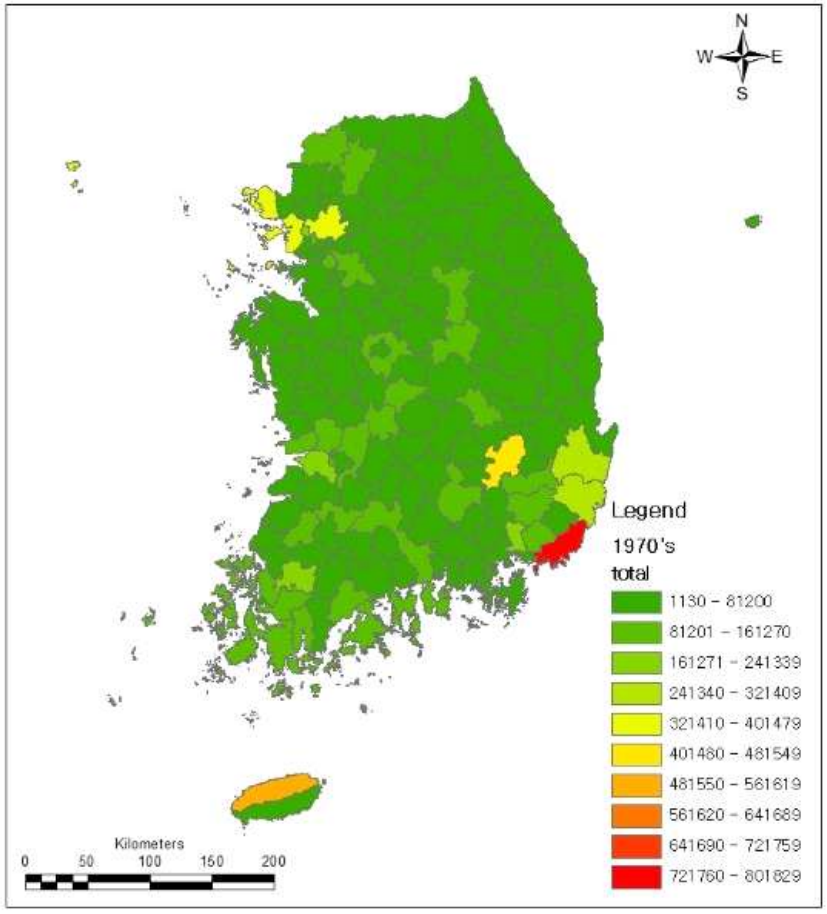


축사-type b

그림 124. 1970년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5

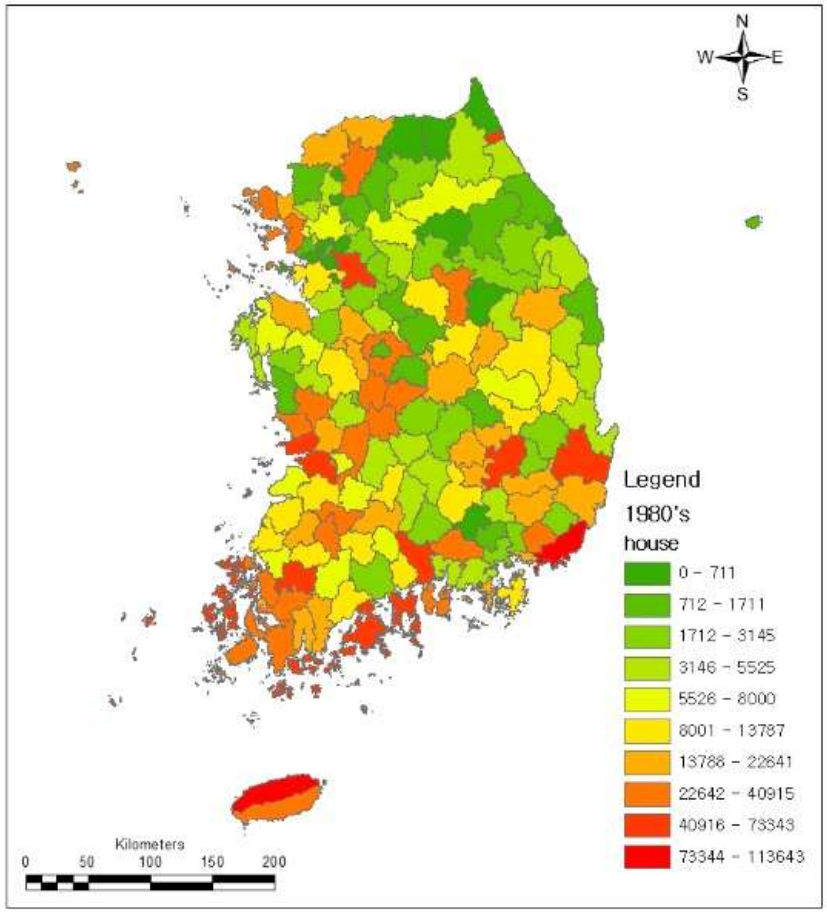


합계-type a

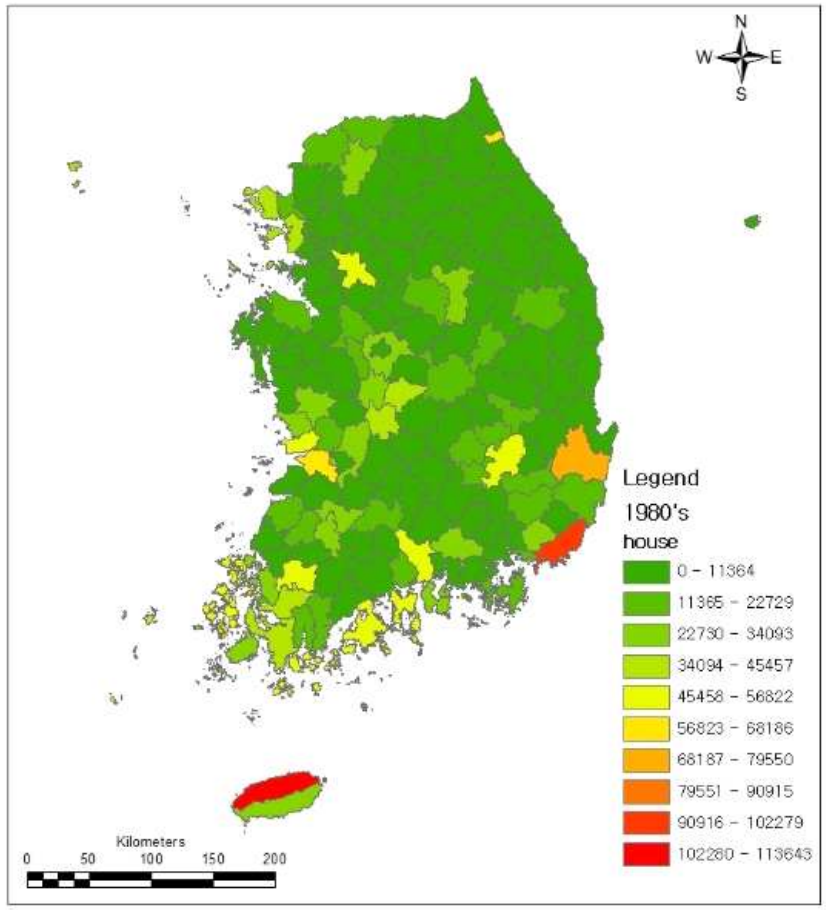


합계-type b

그림 125. 1970년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6

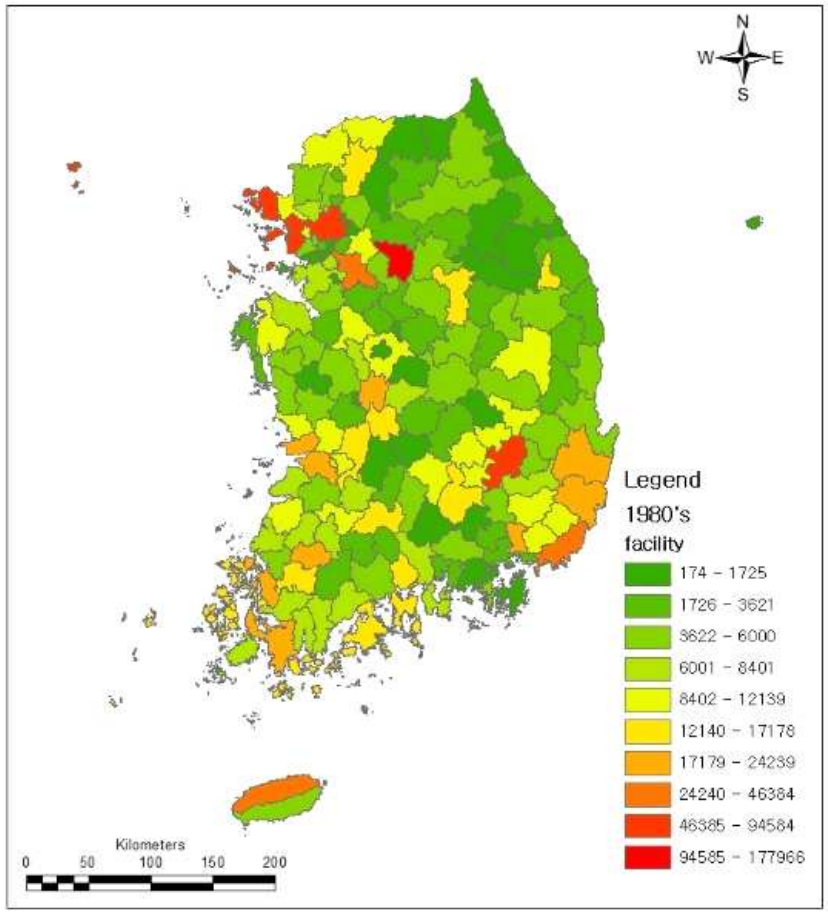


주택-type a

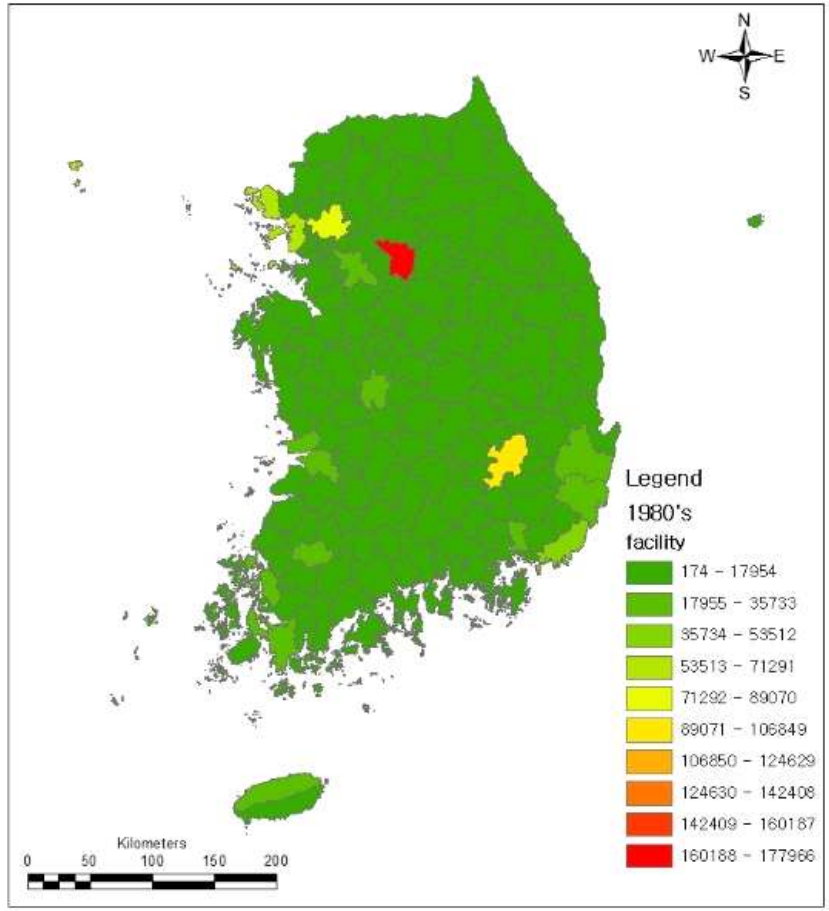


주택-type b

그림 126. 1980년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1

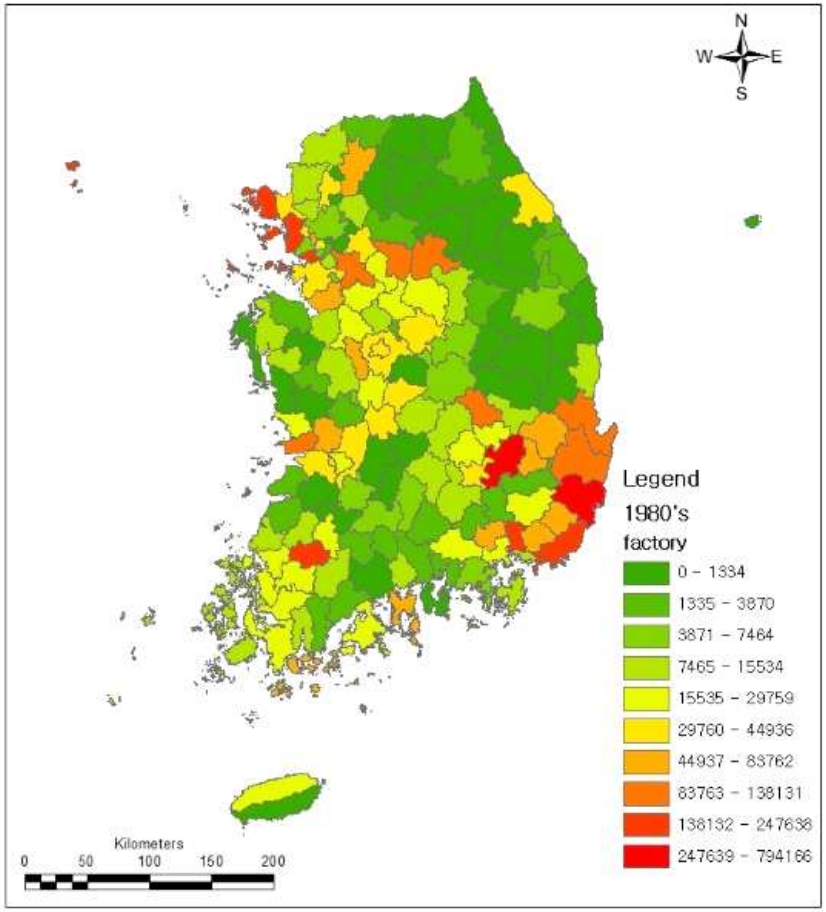


시설-type a

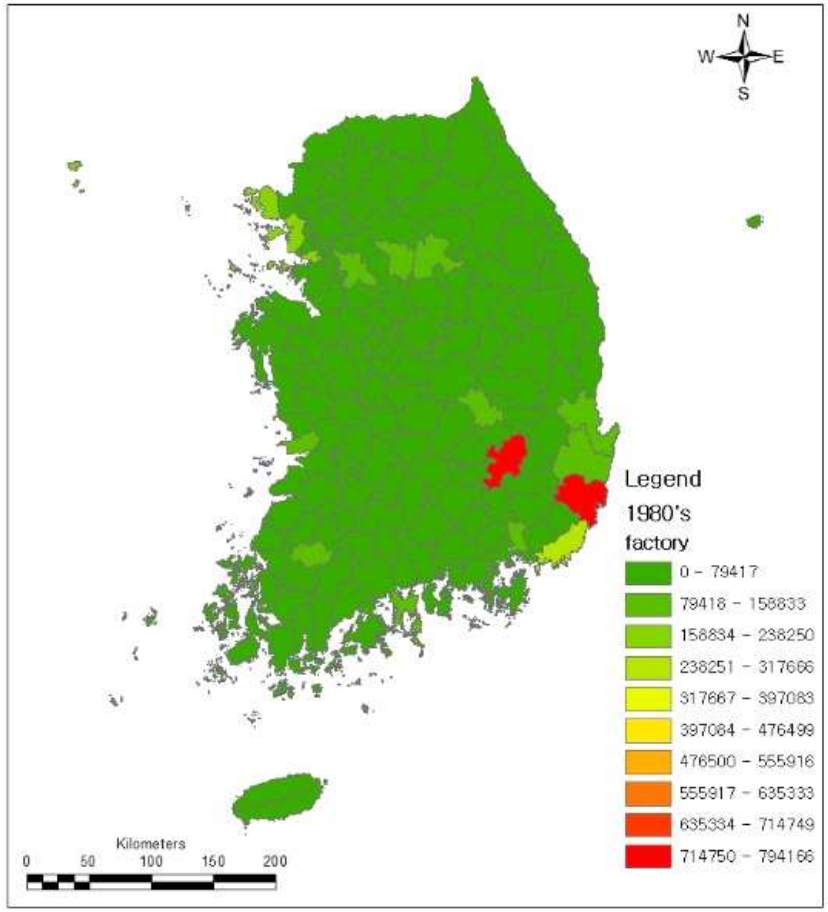


시설-type b

그림 127. 1980년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2

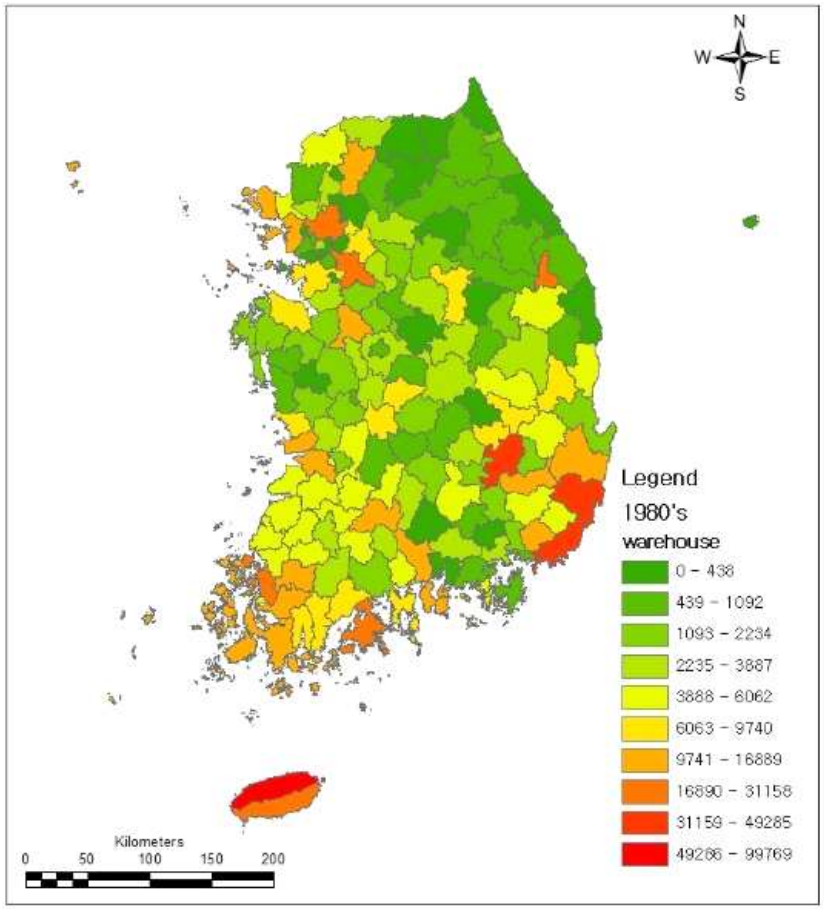


공장-type a

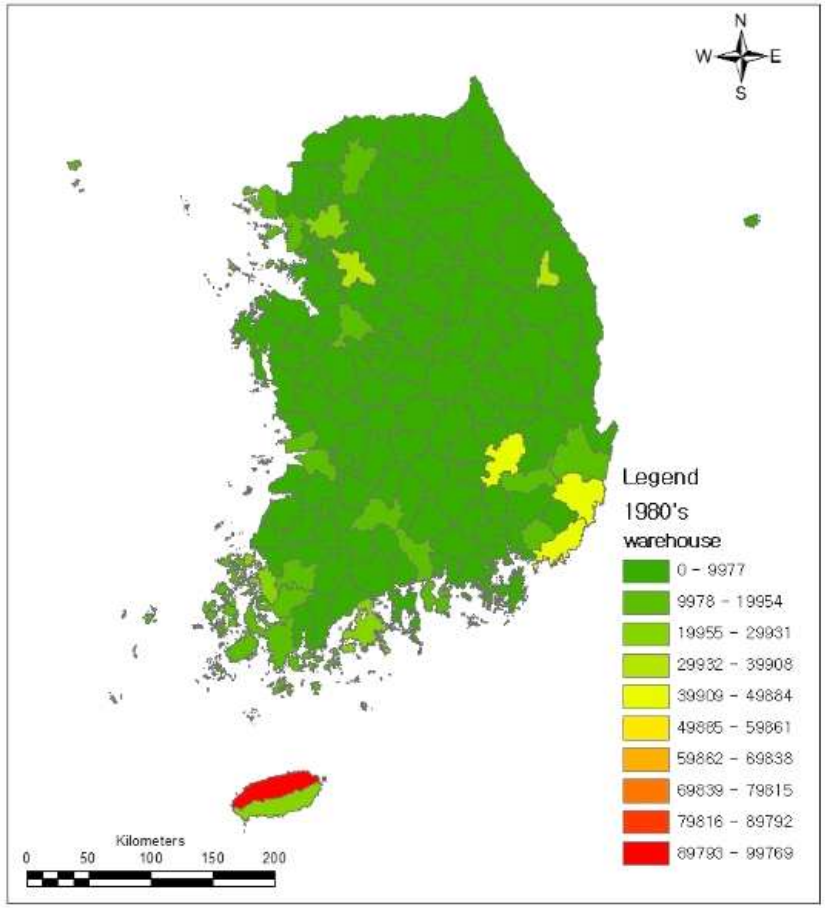


공장-type b

그림 128. 1980년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3

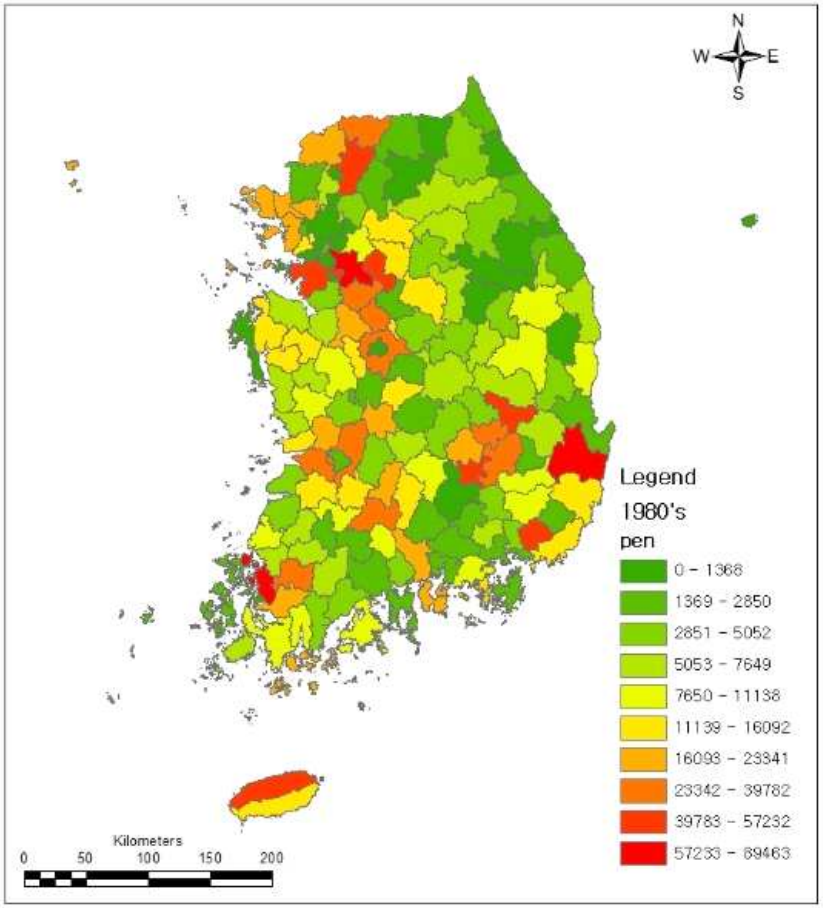


창고-type a

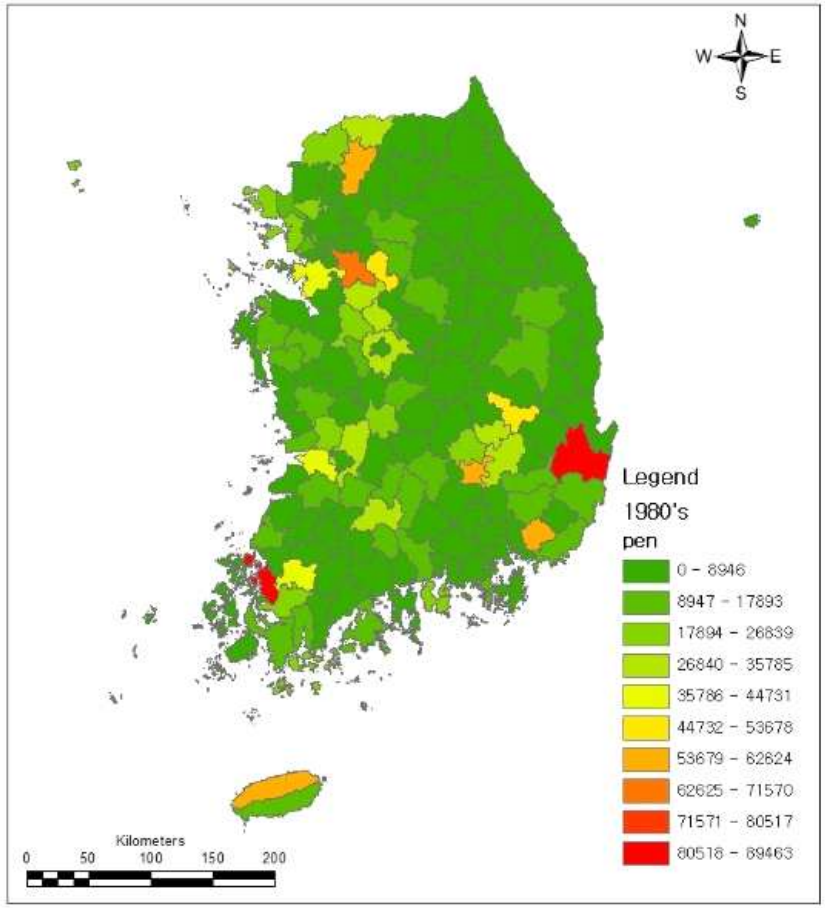


창고-type b

그림 129. 1980년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4

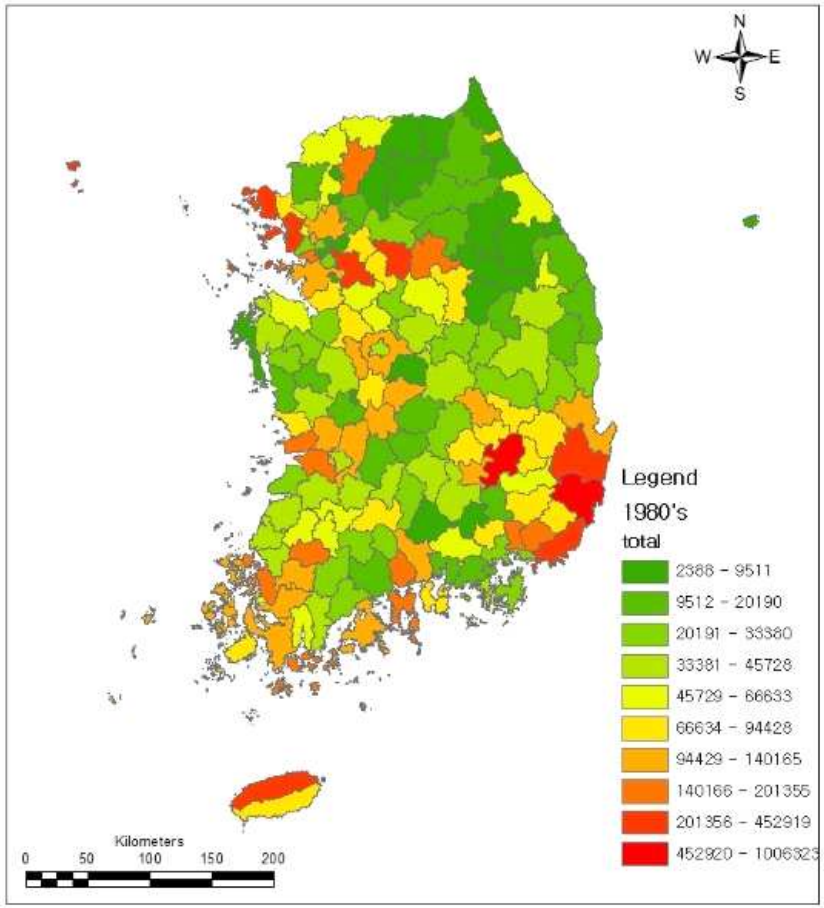


축사-type a

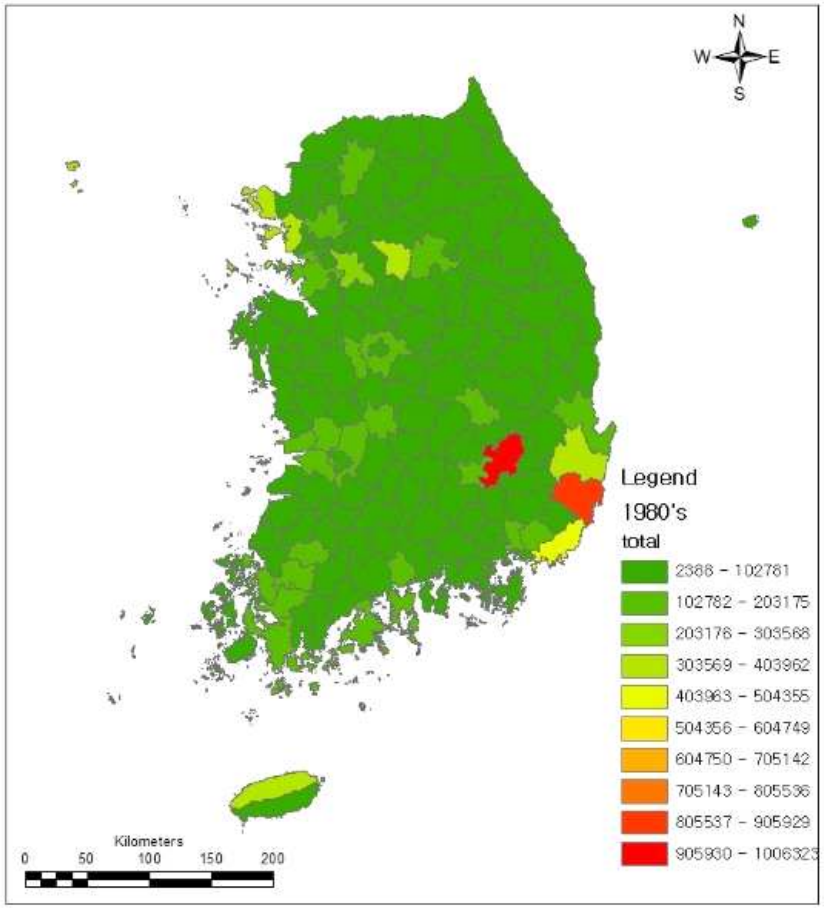


축사-type b

그림 130. 1980년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5

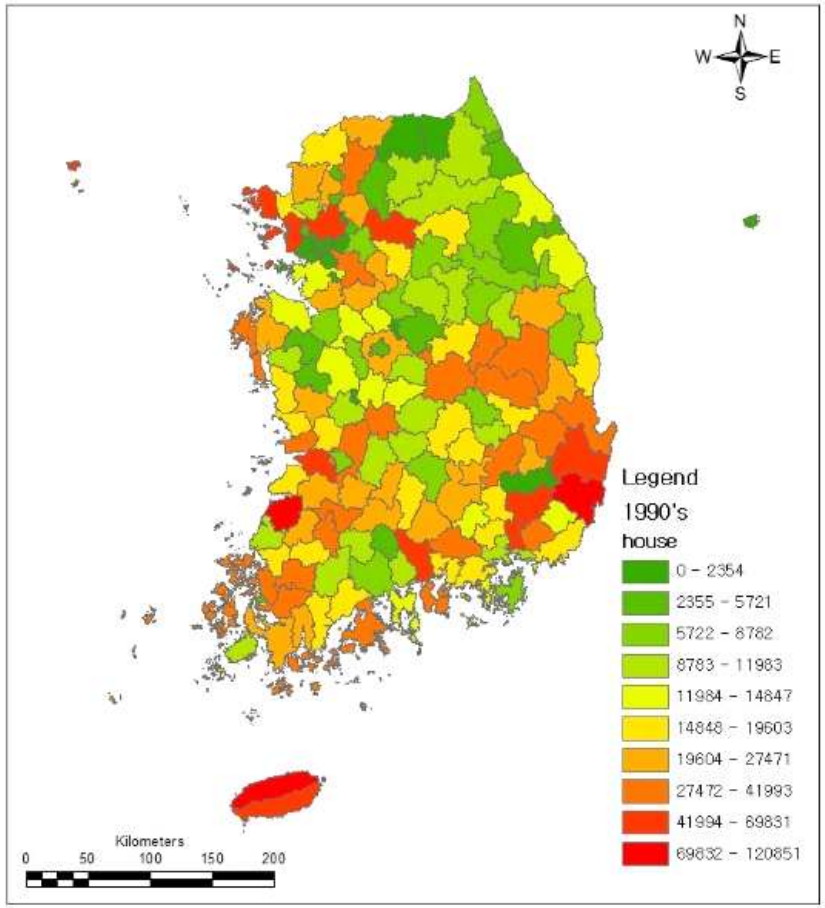


합계-type a

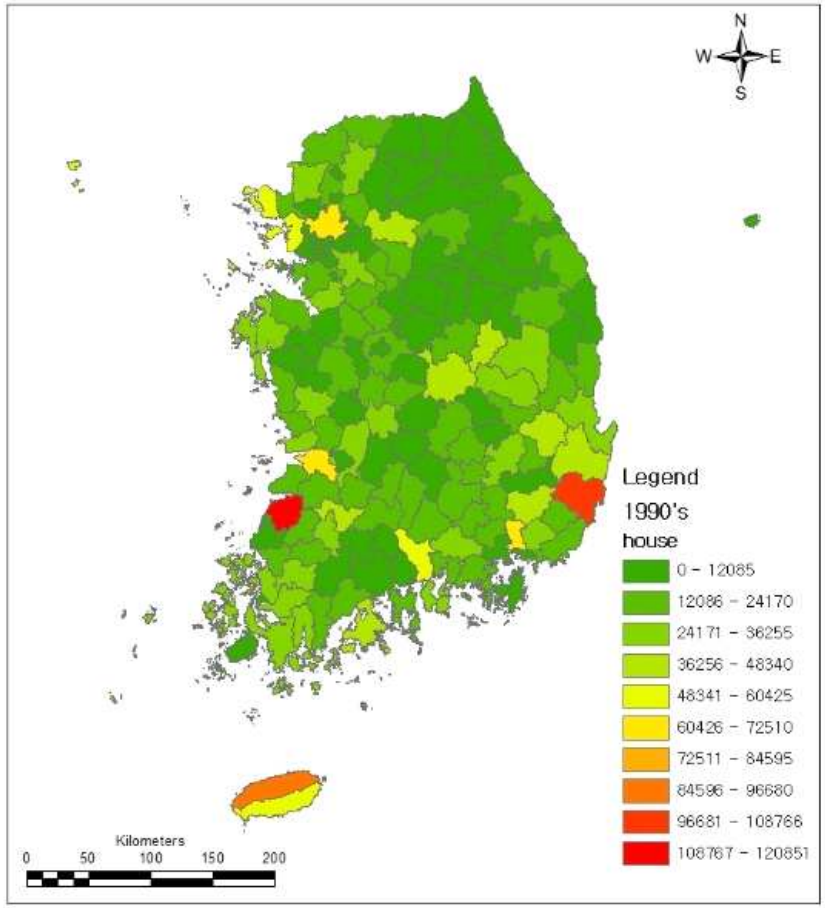


합계-type b

그림 131. 1980년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6

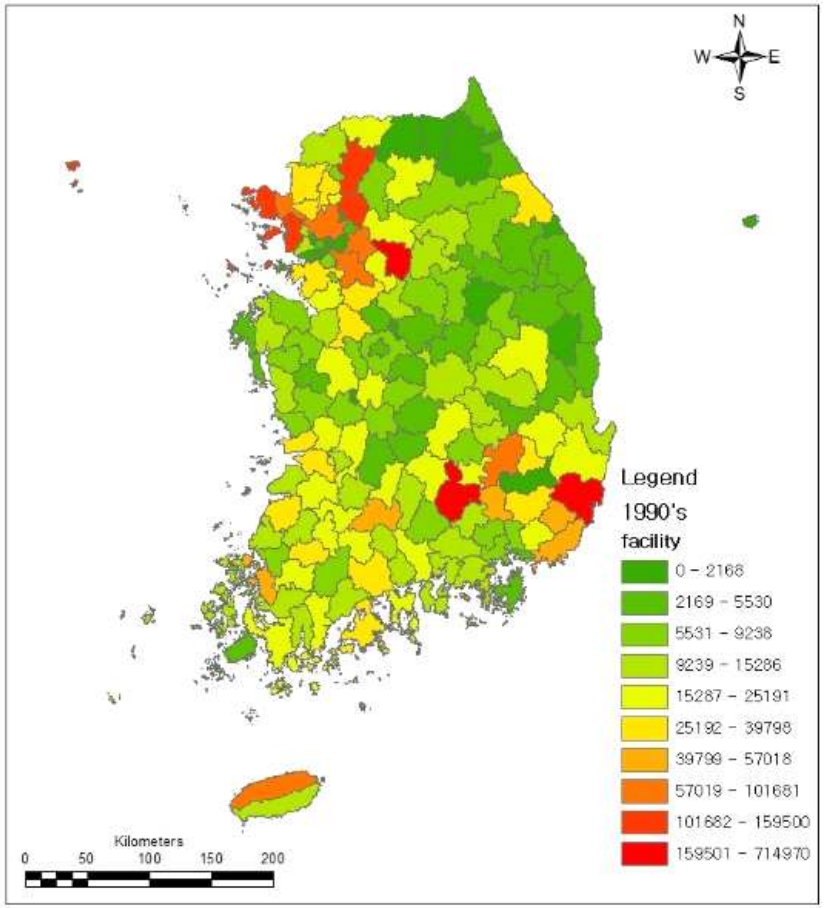


주택-type a

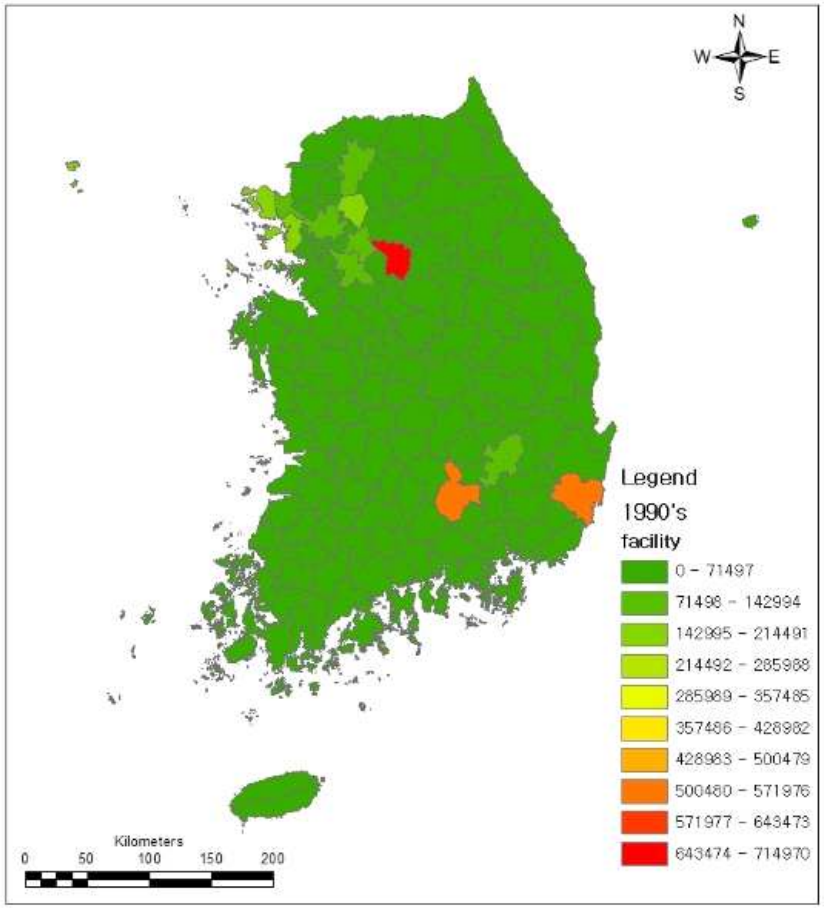


주택-type b

그림 132. 1990년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1

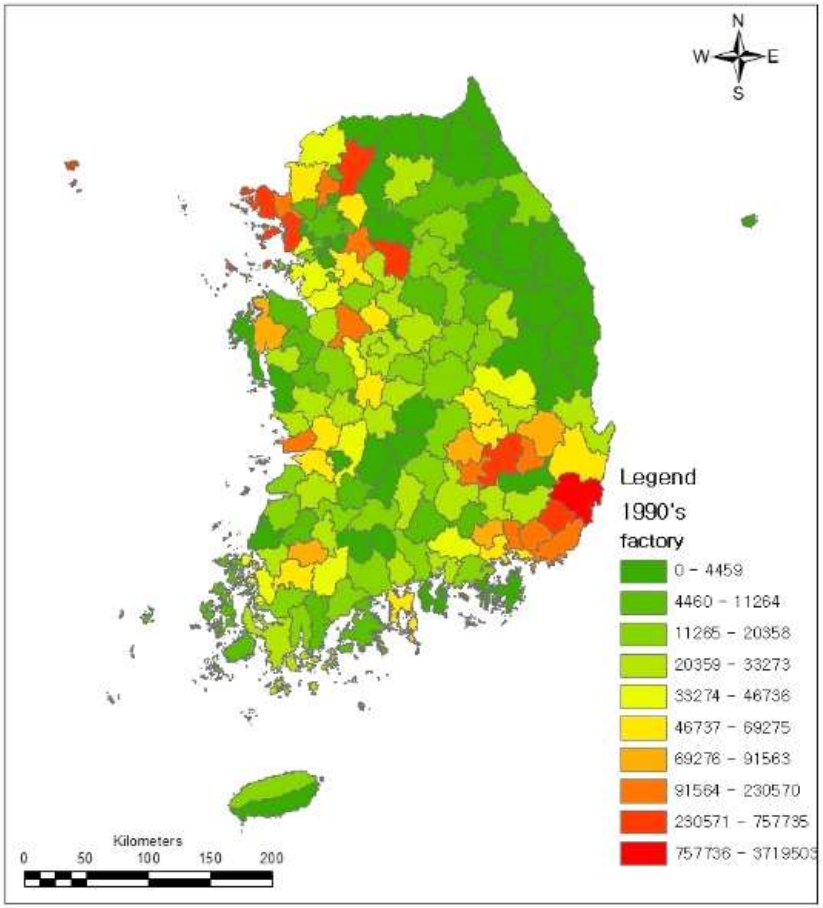


시설-type a

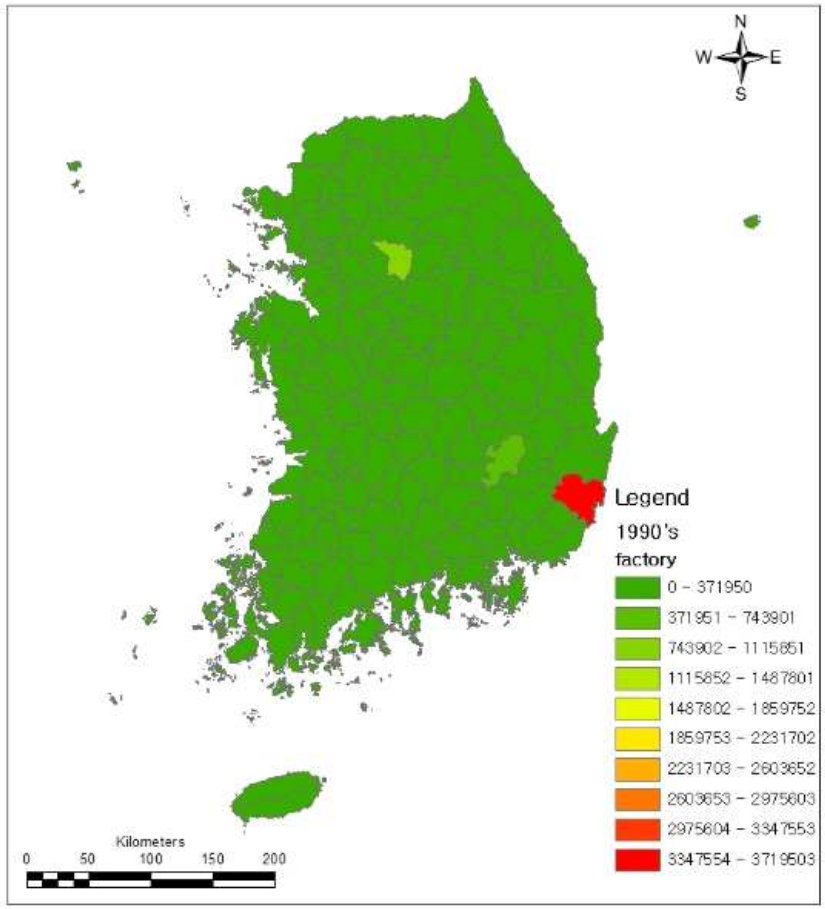


시설-type b

그림 133. 1990년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2

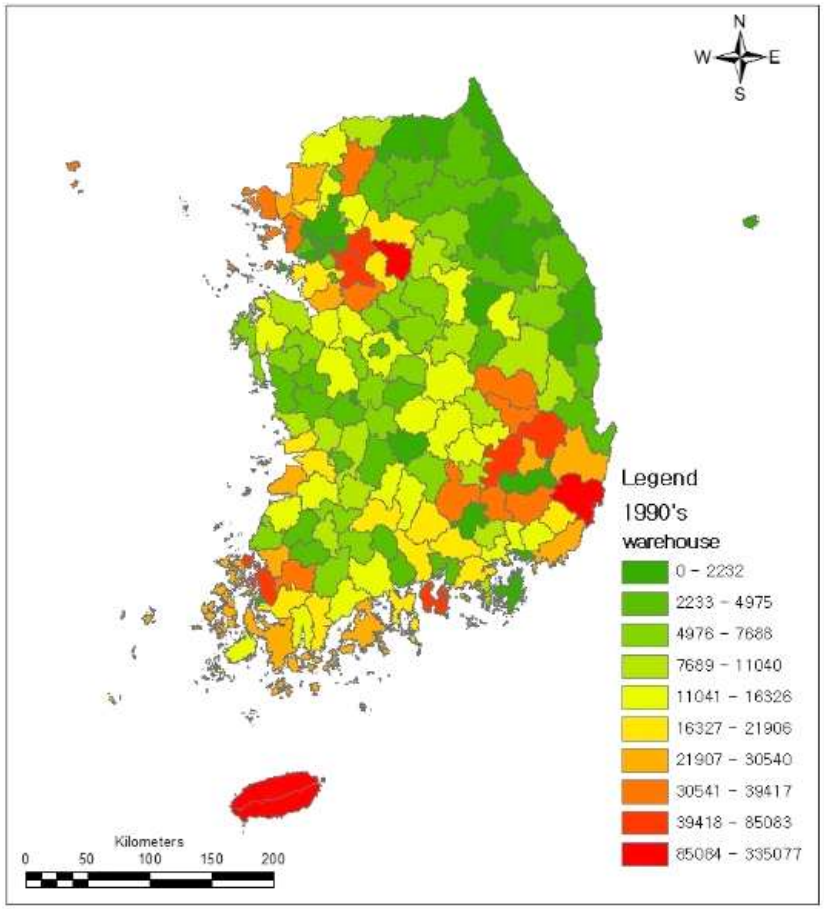


공장-type a

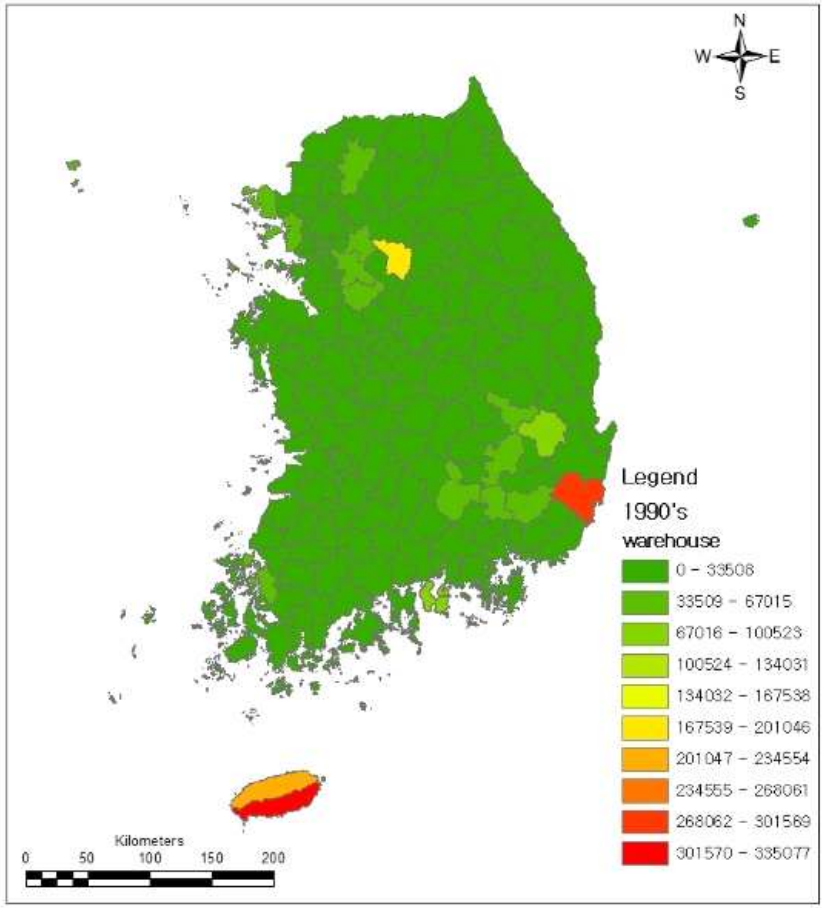


공장-type b

그림 134. 1990년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3

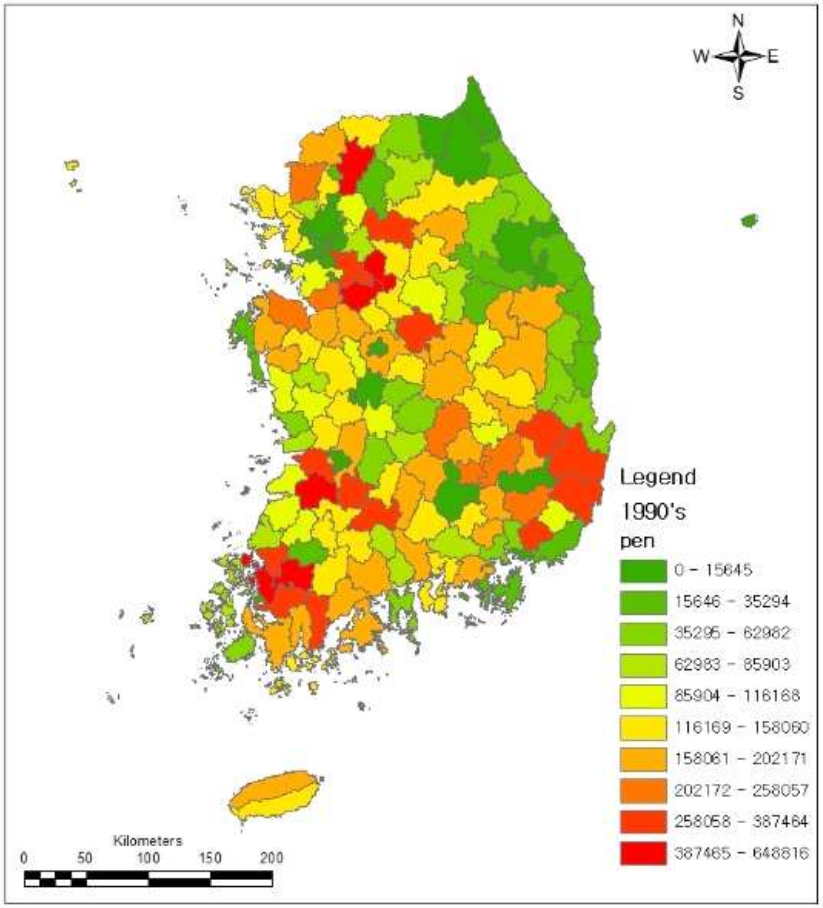


창고-type a

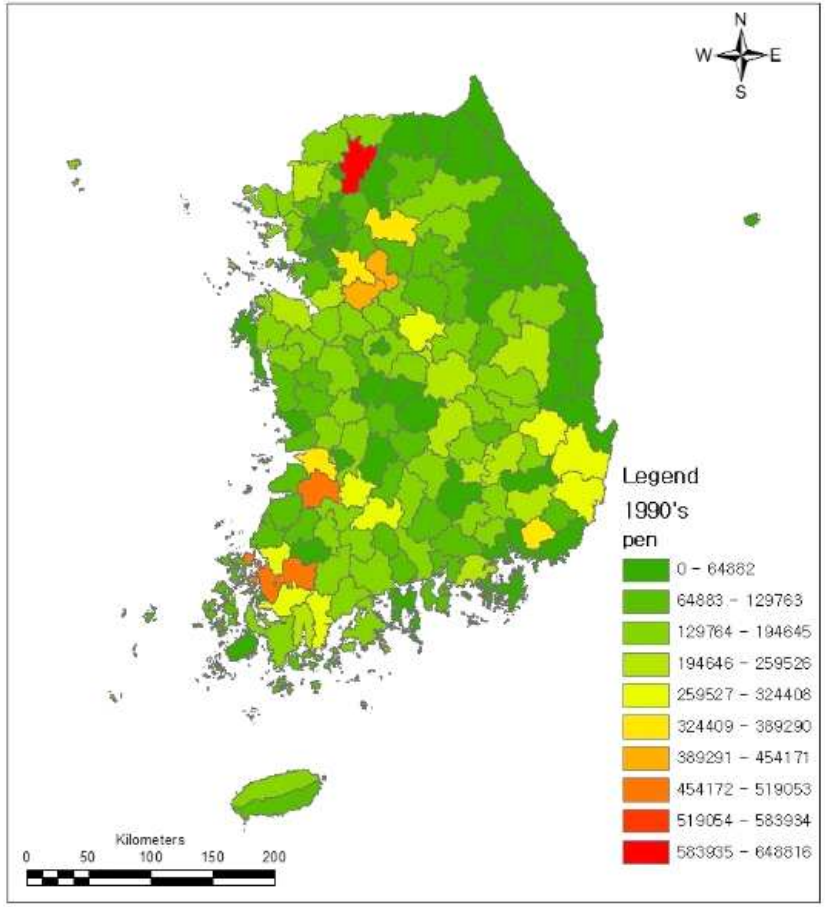


창고-type b

그림 135. 1990년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4

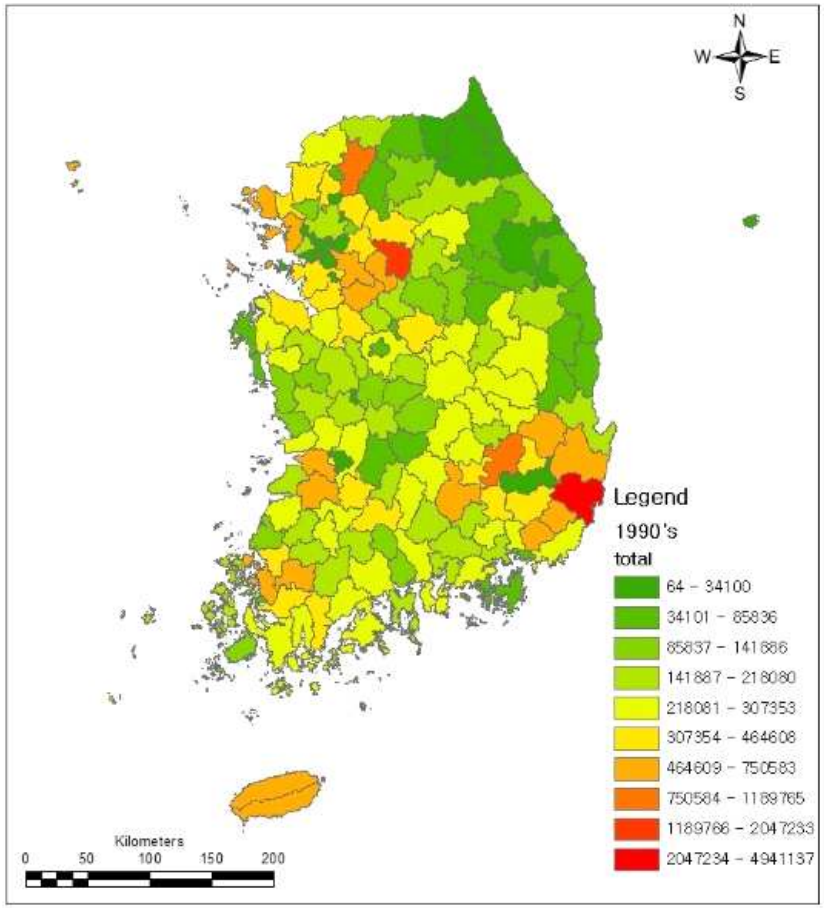


축사-type a

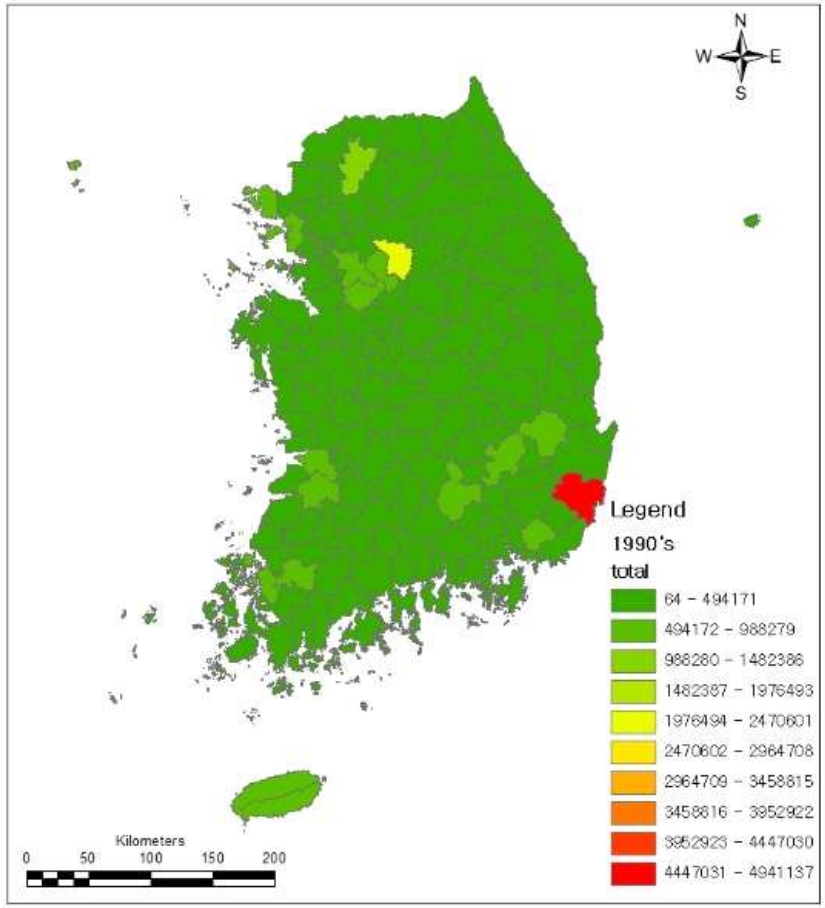


축사-type b

그림 136. 1990년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5

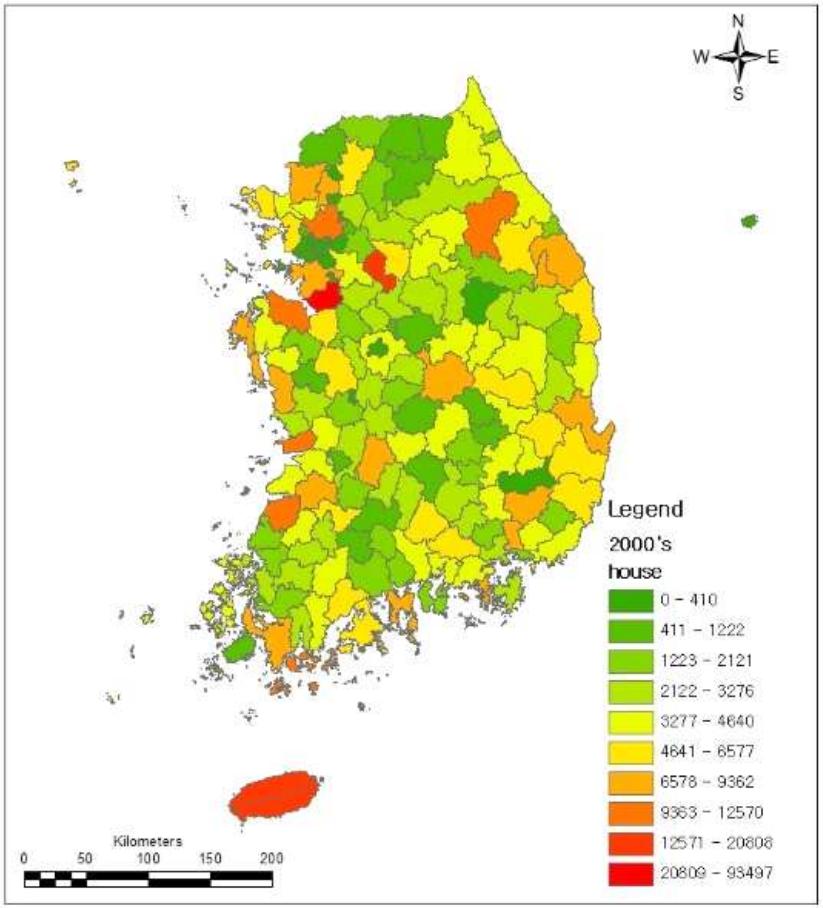


합계-type a

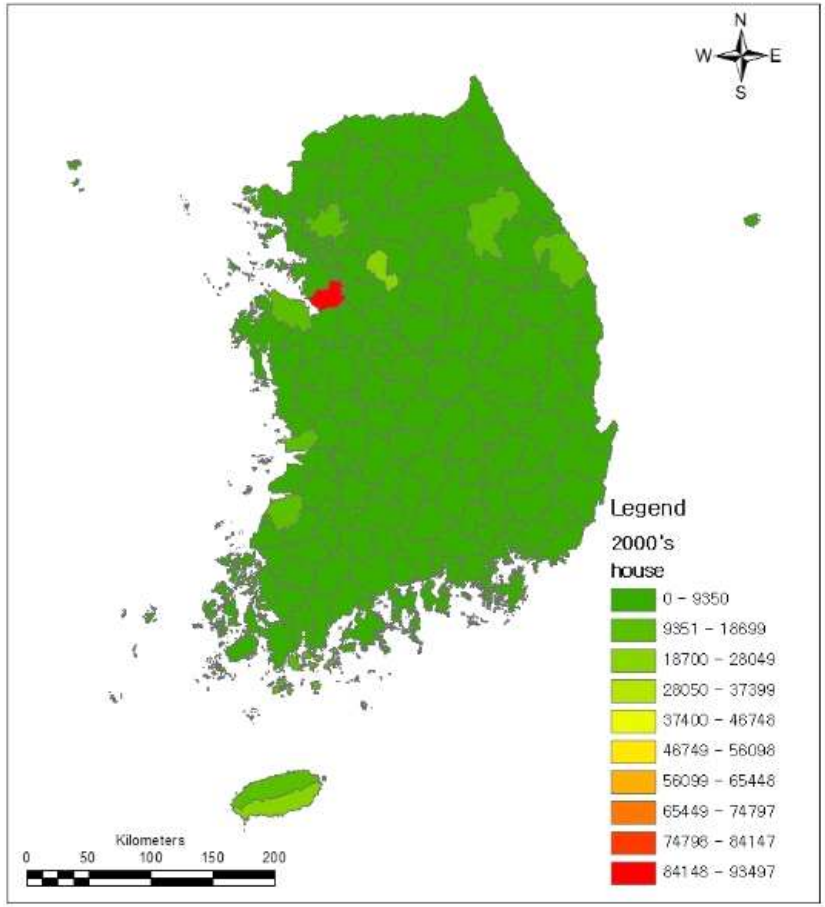


합계-type b

그림 137. 1990년대 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6

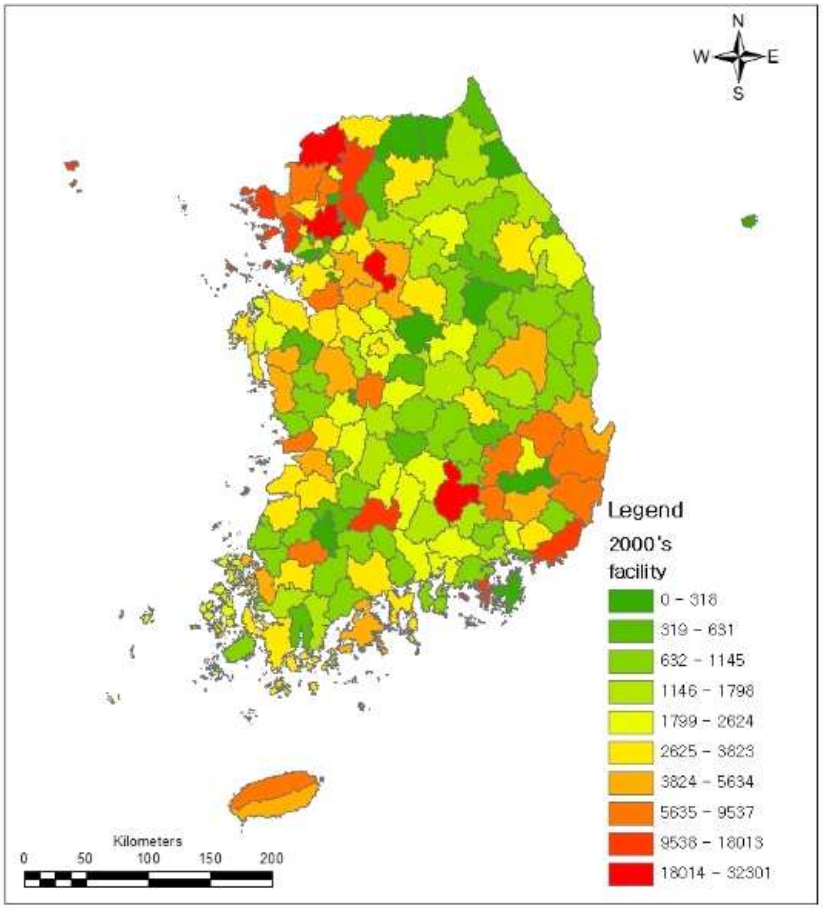


주택-type a

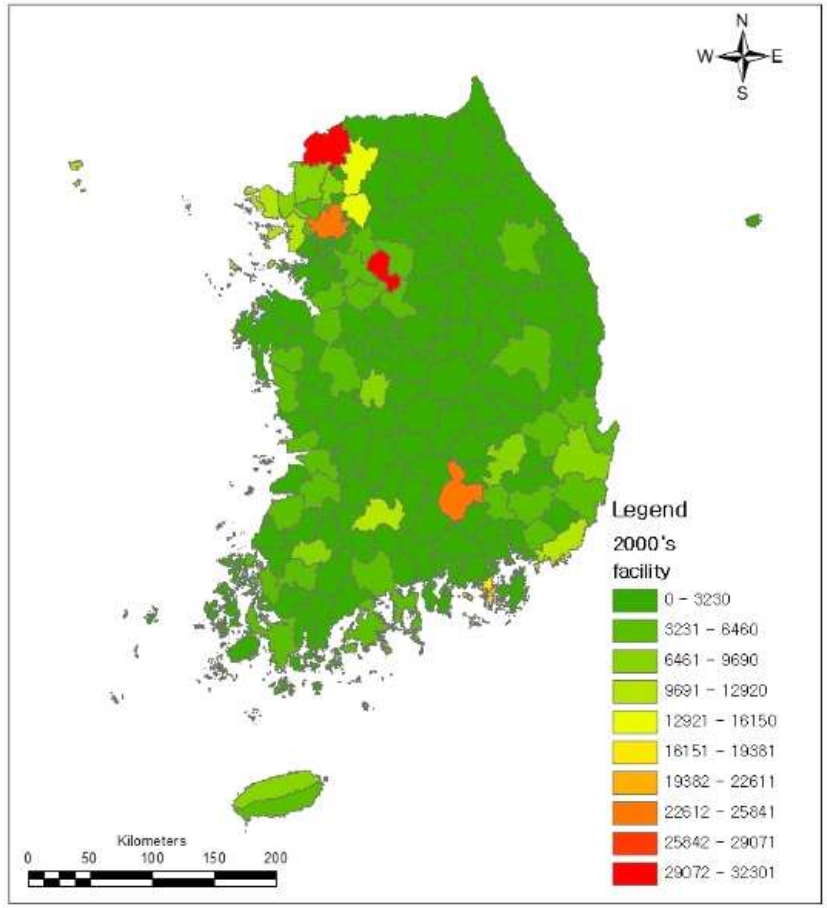


주택-type b

그림 138. 2000년대 이후 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1

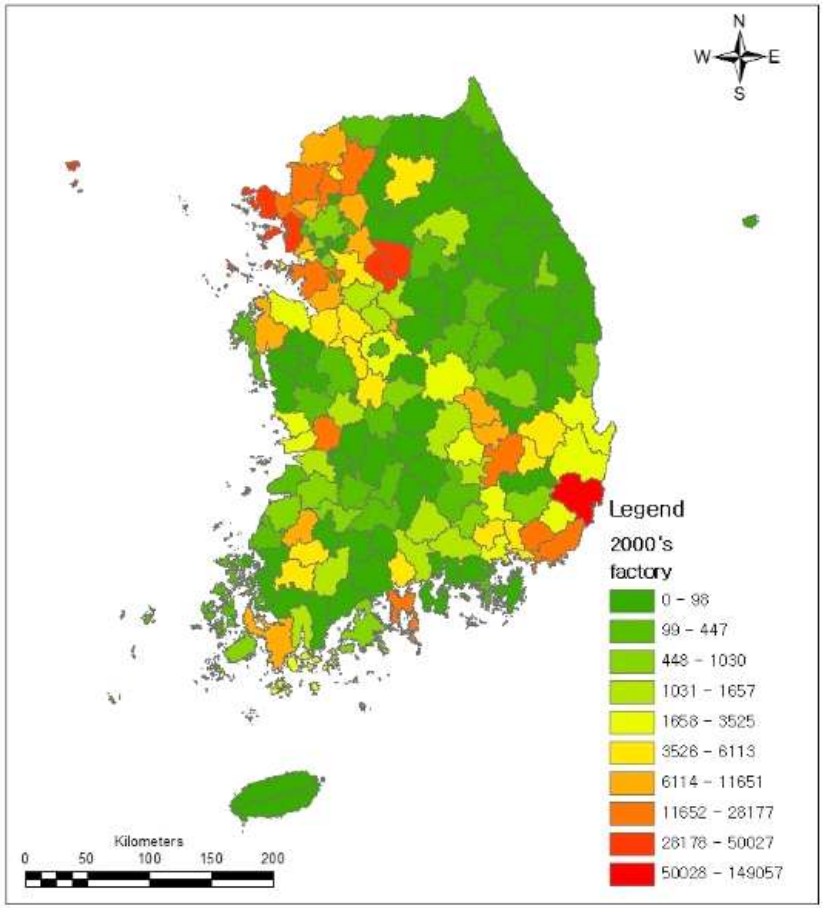


시설-type a

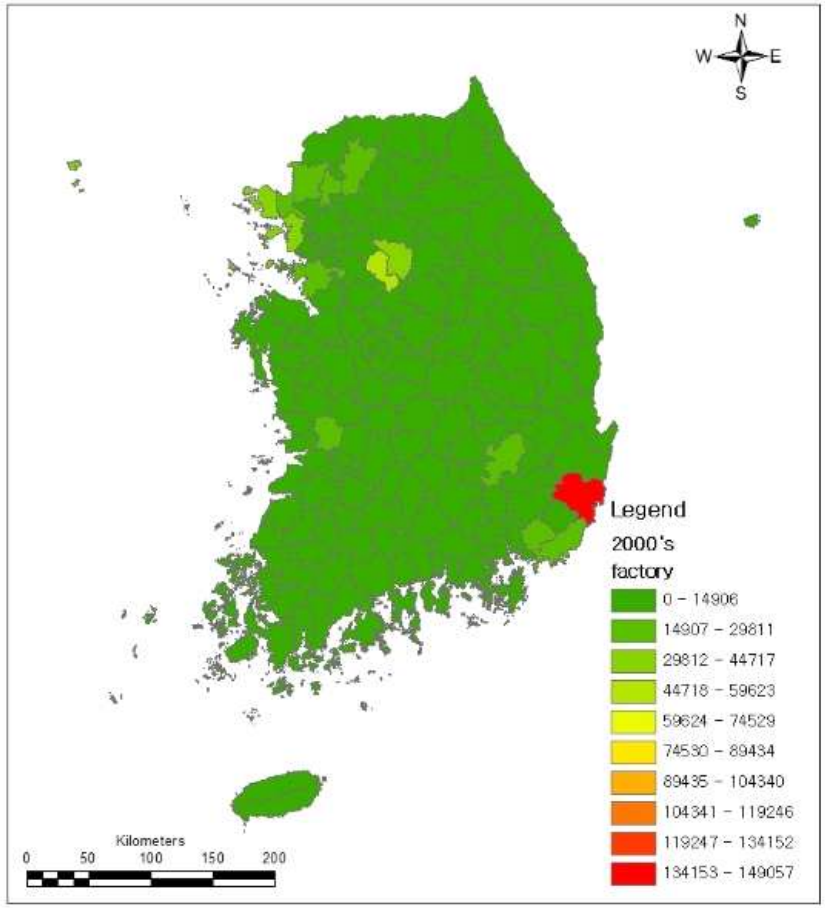


시설-type b

그림 139. 2000년대 이후 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2

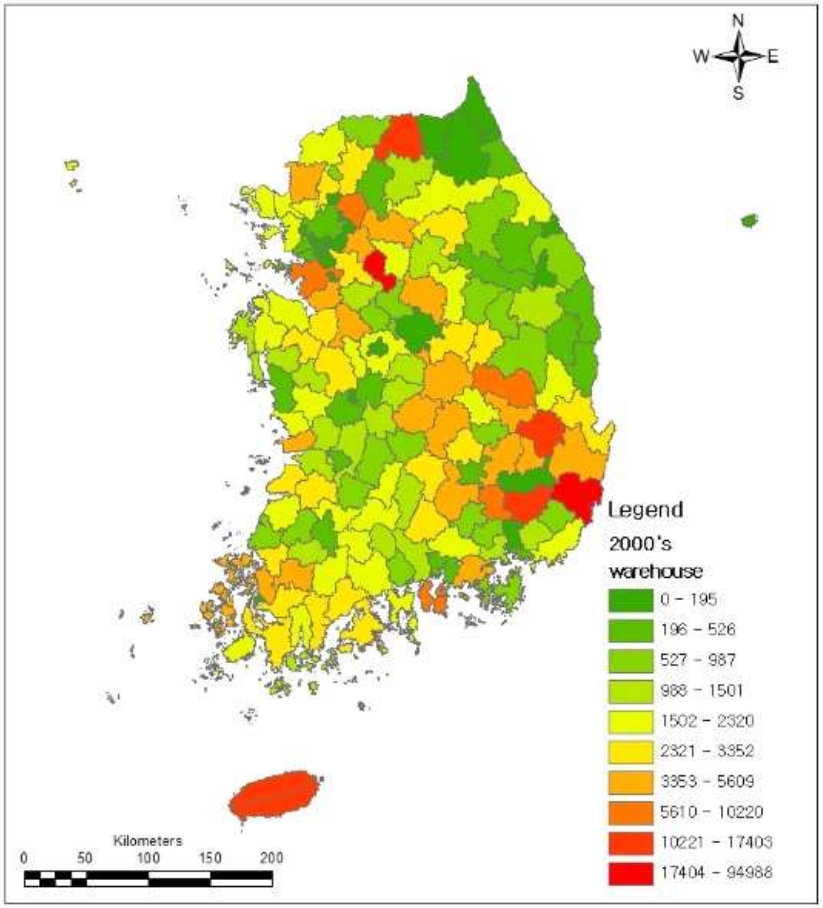


공장-type a

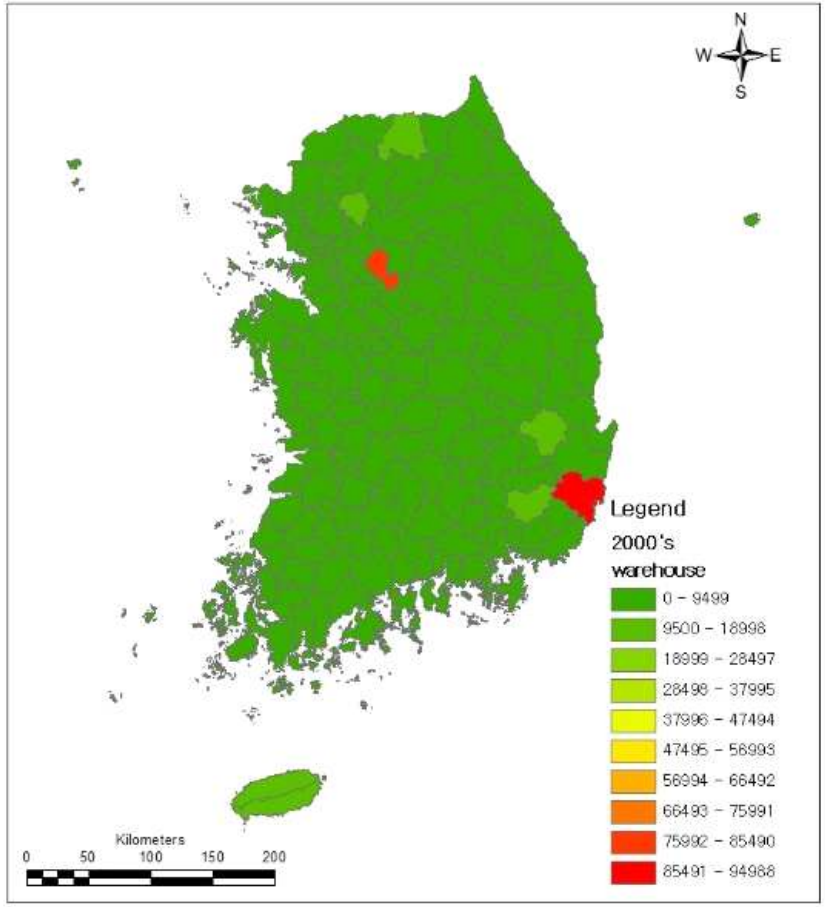


공장-type b

그림 140. 2000년대 이후 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3

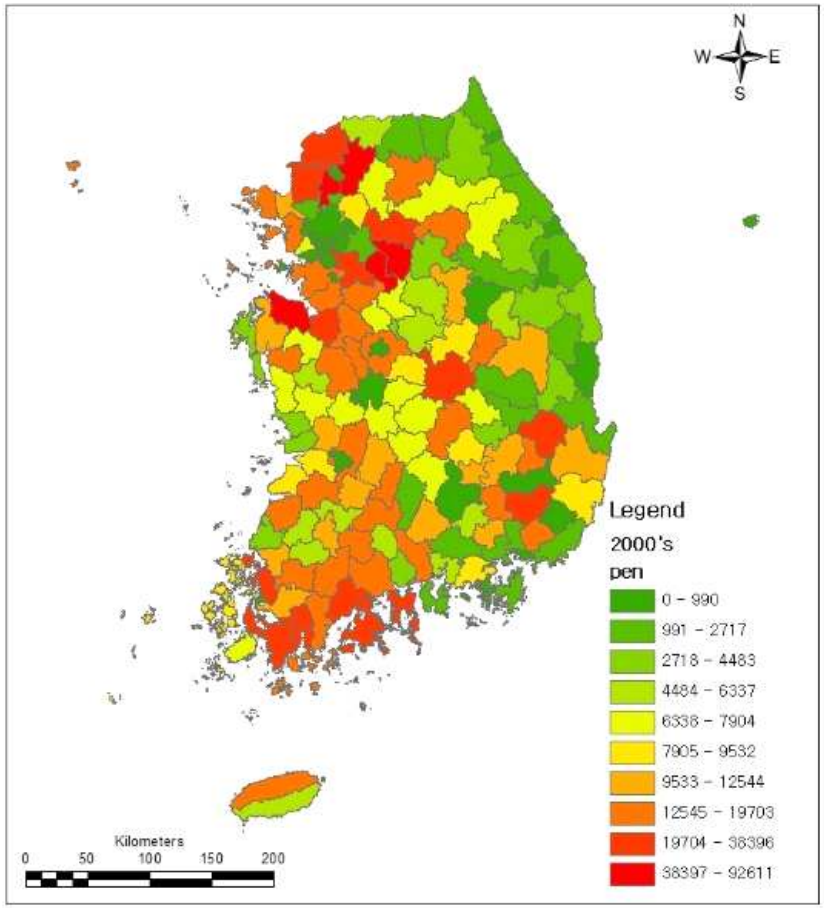


창고-type a

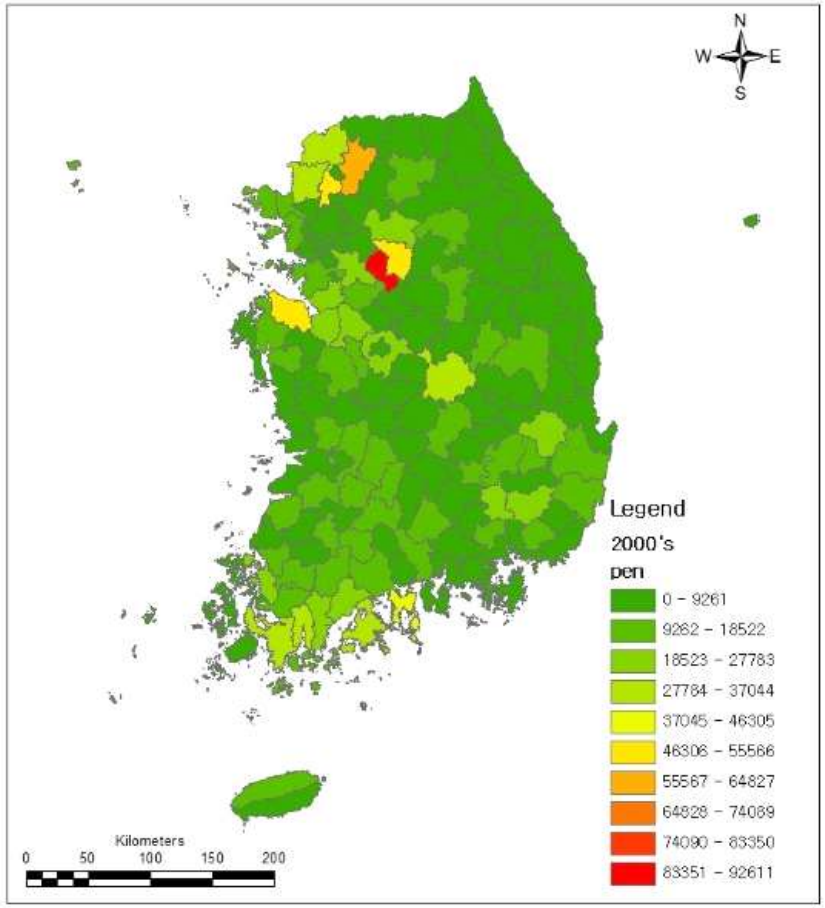


창고-type b

그림 141. 2000년대 이후 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4

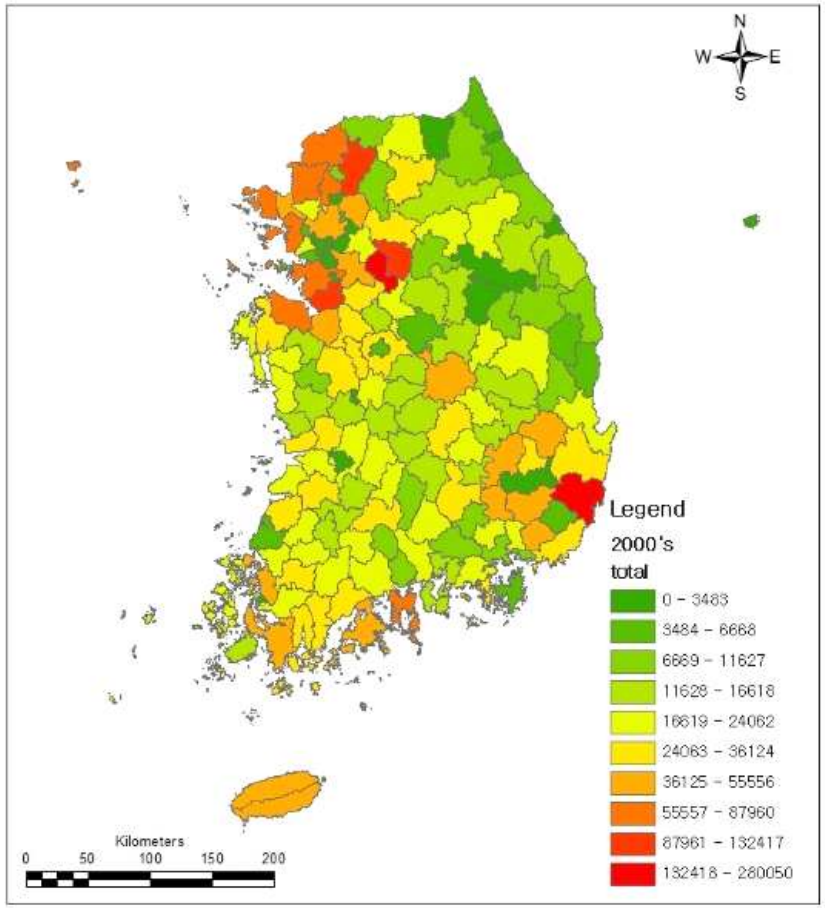


축사-type a

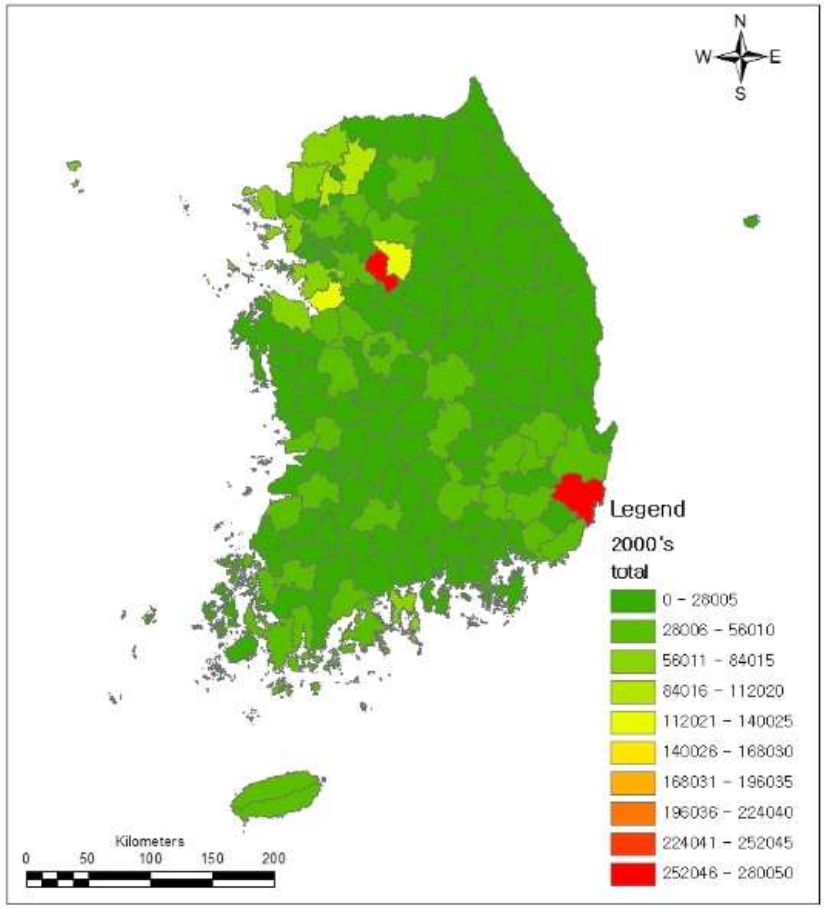


축사-type b

그림 142. 2000년대 이후 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5

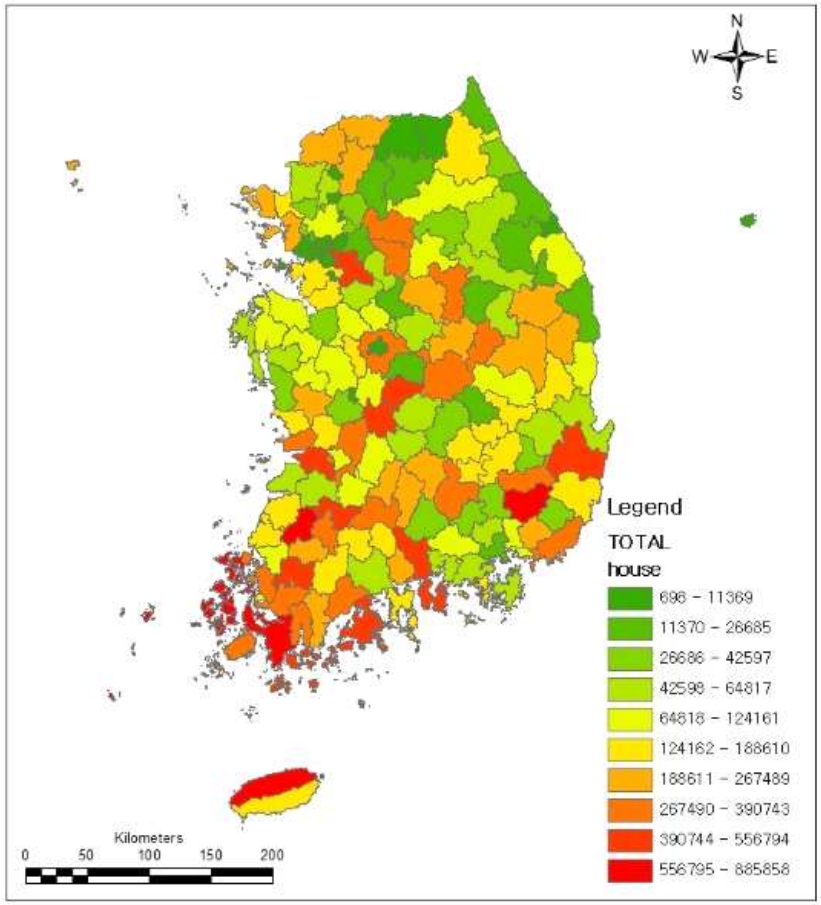


합계-type a

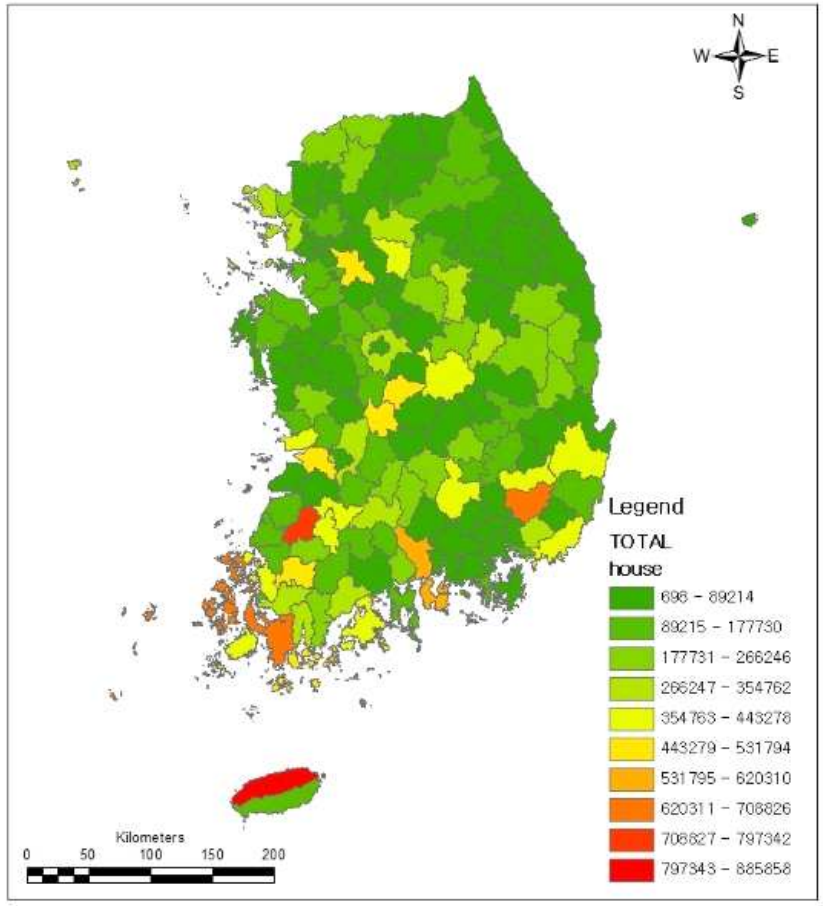


합계-type b

그림 143. 2000년대 이후 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6

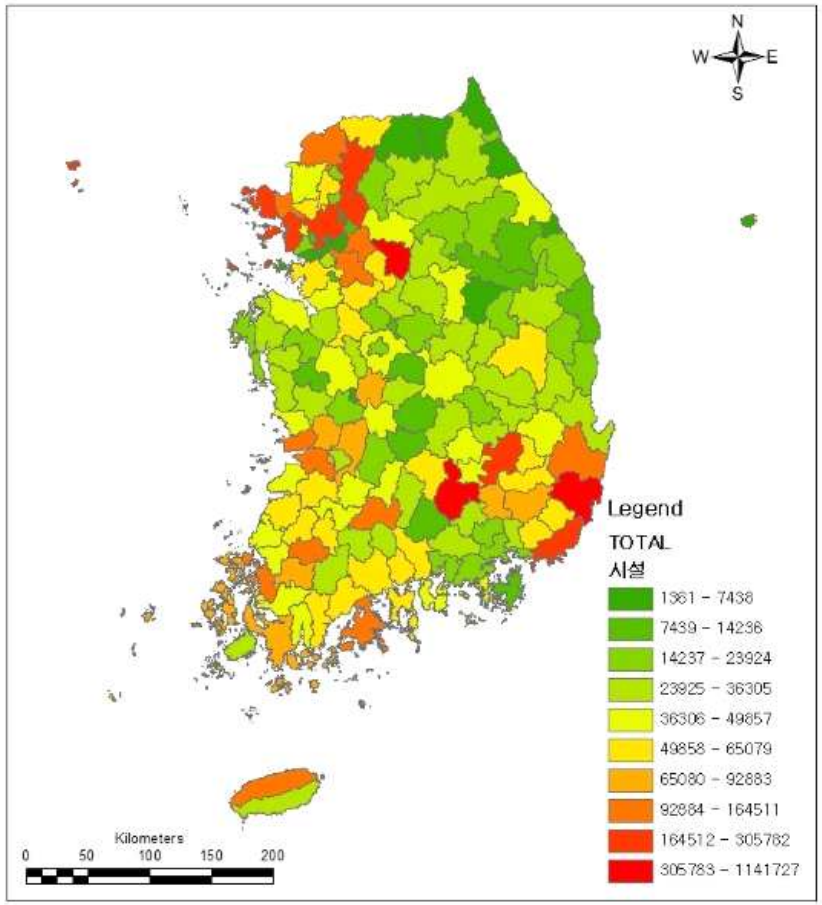


주택-type a

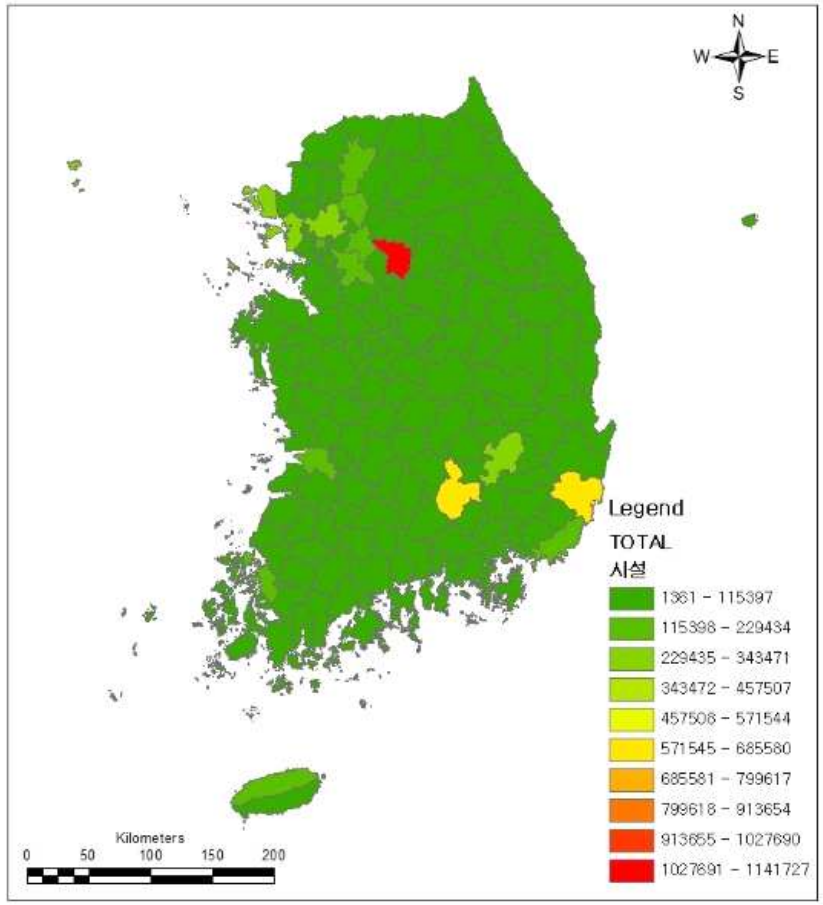


주택-type b

그림 144. 전체 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 1

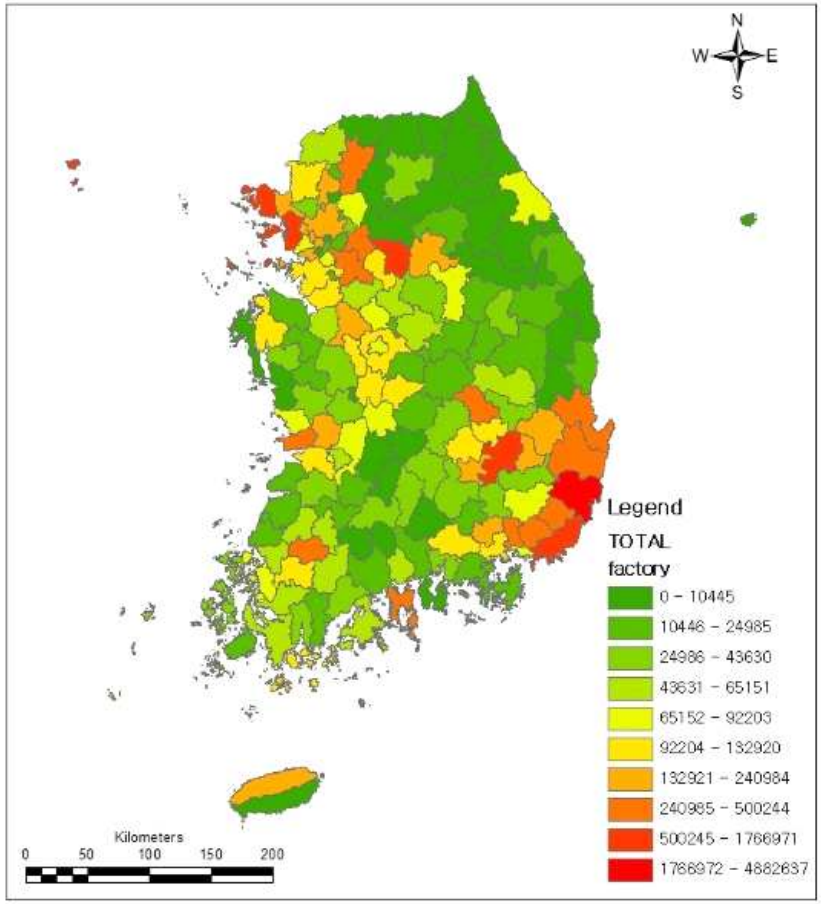


시설-type a

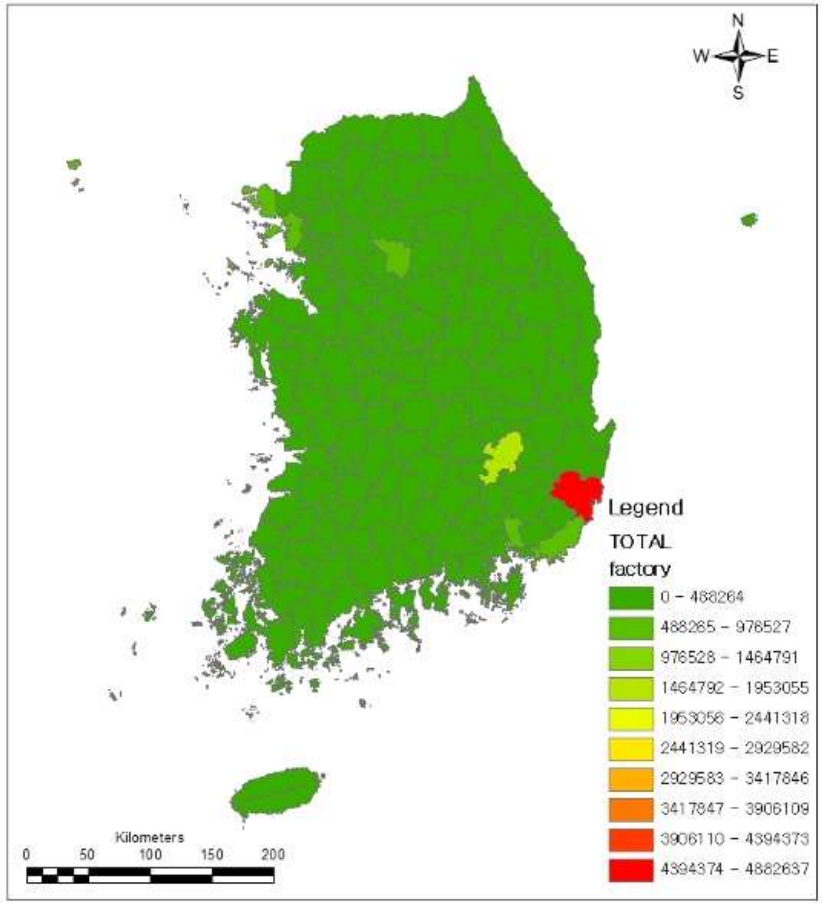


시설-type b

그림 145. 전체 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 2

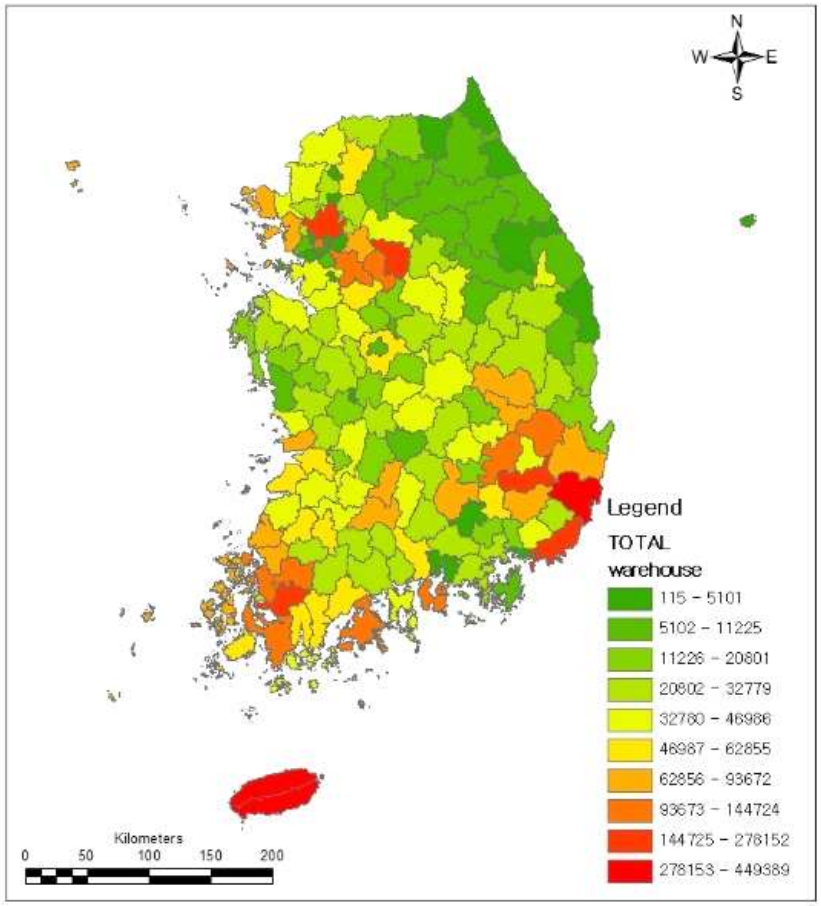


공장-type a

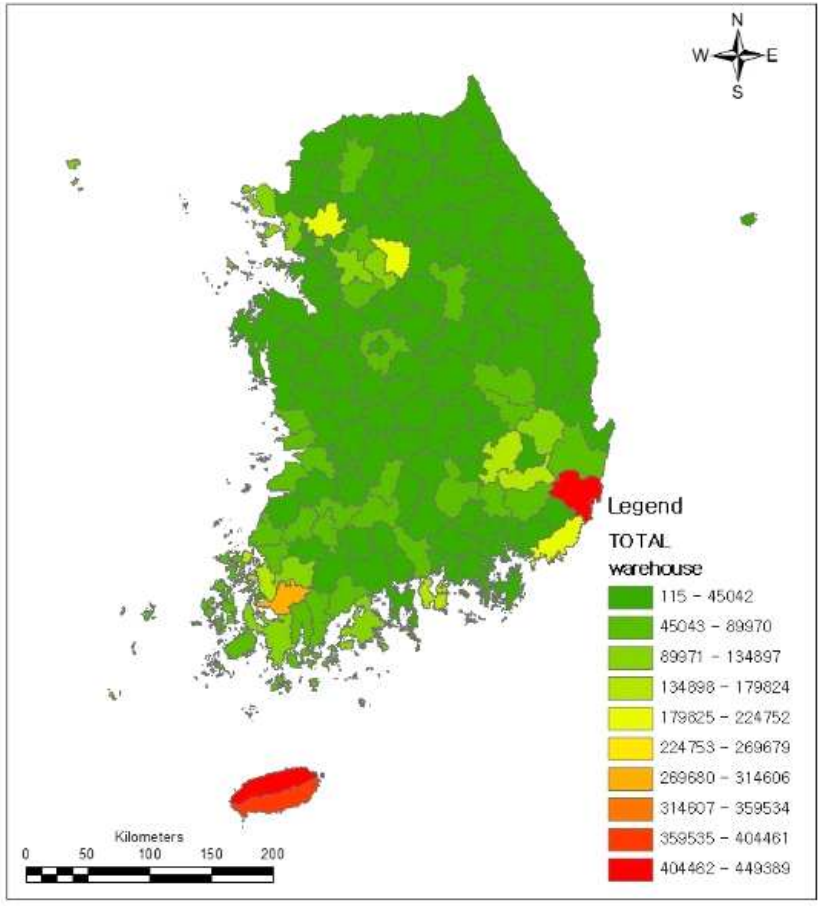


공장-type b

그림 146. 전체 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 3

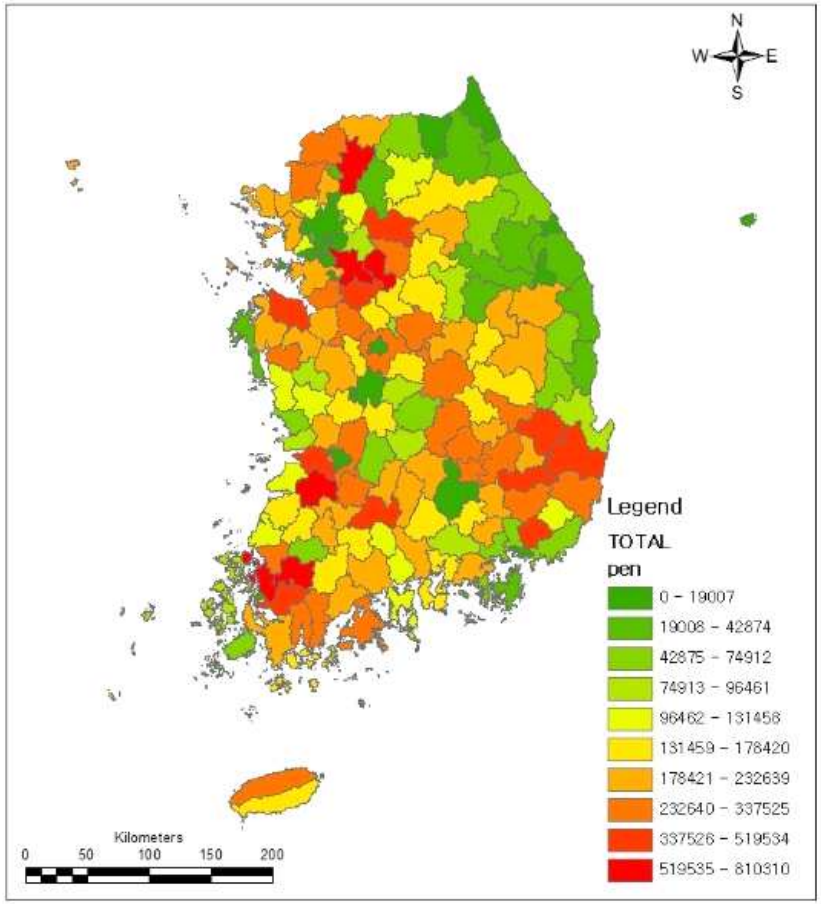


창고-type a

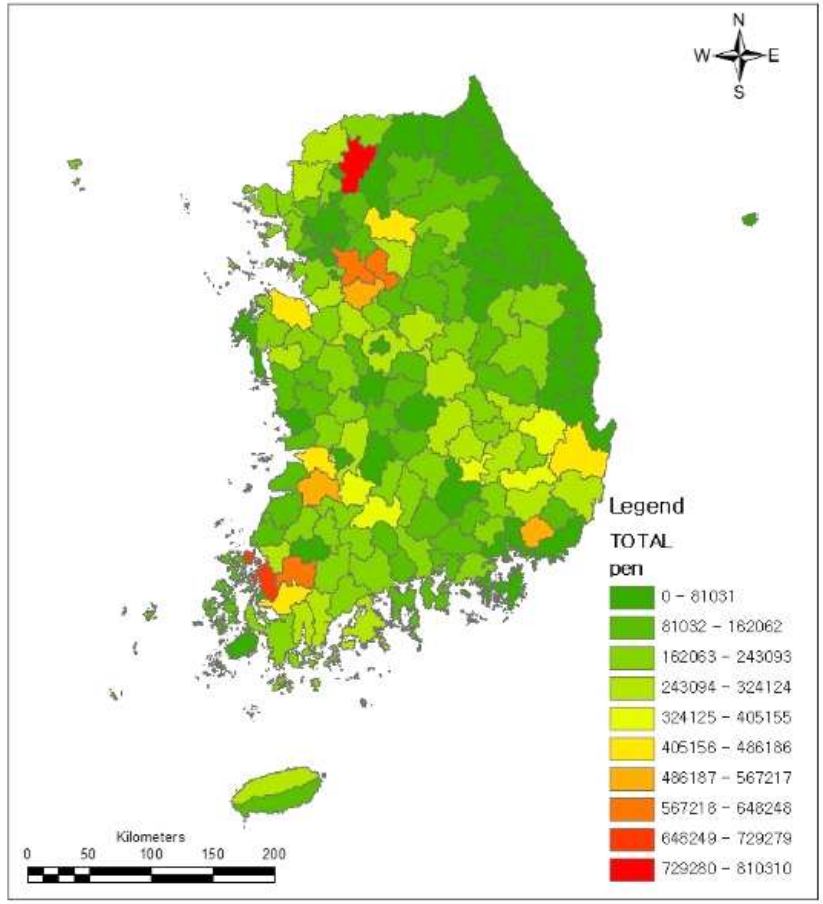


창고-type b

그림 147. 전체 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 4

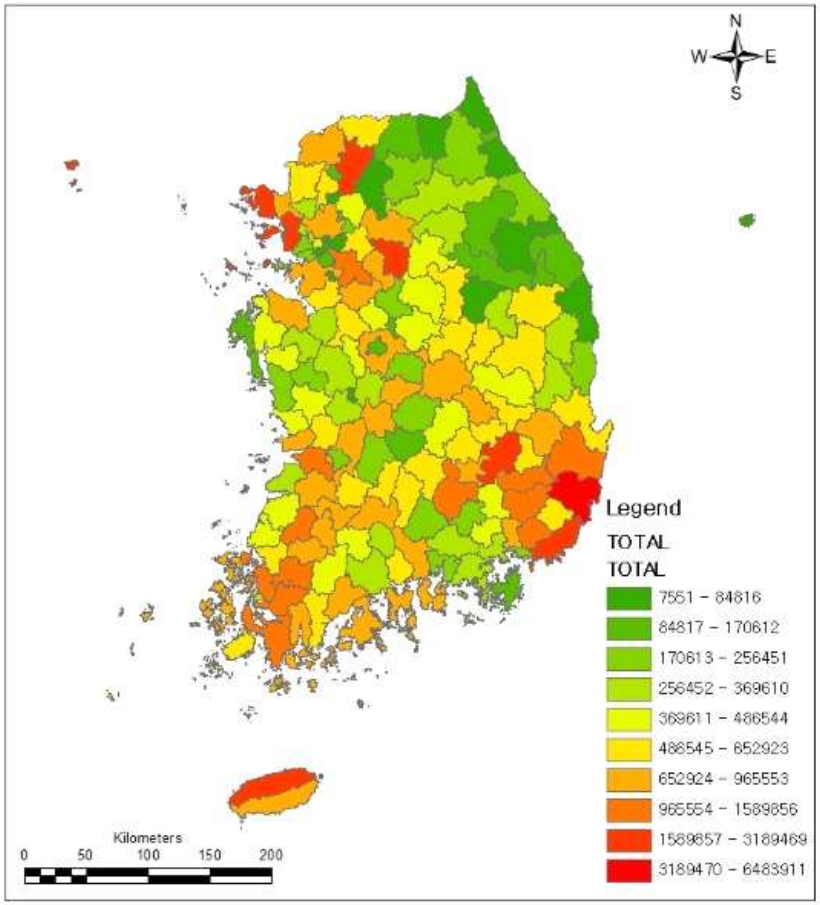


축사-type a

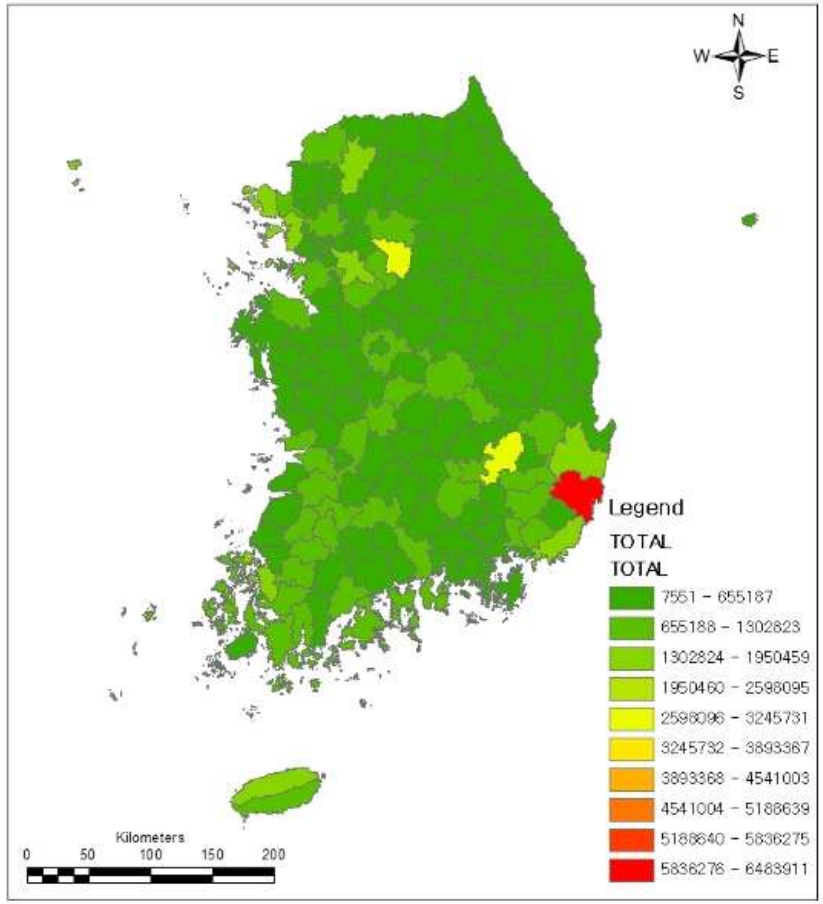


축사-type b

그림 148. 전체 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 5



합계-type a



합계-type b

그림 149. 전체 석면슬레이트 건축물 분포지도 작성결과 6

3. 가격 표 (견적서) 2013년 기준

견적서 표지

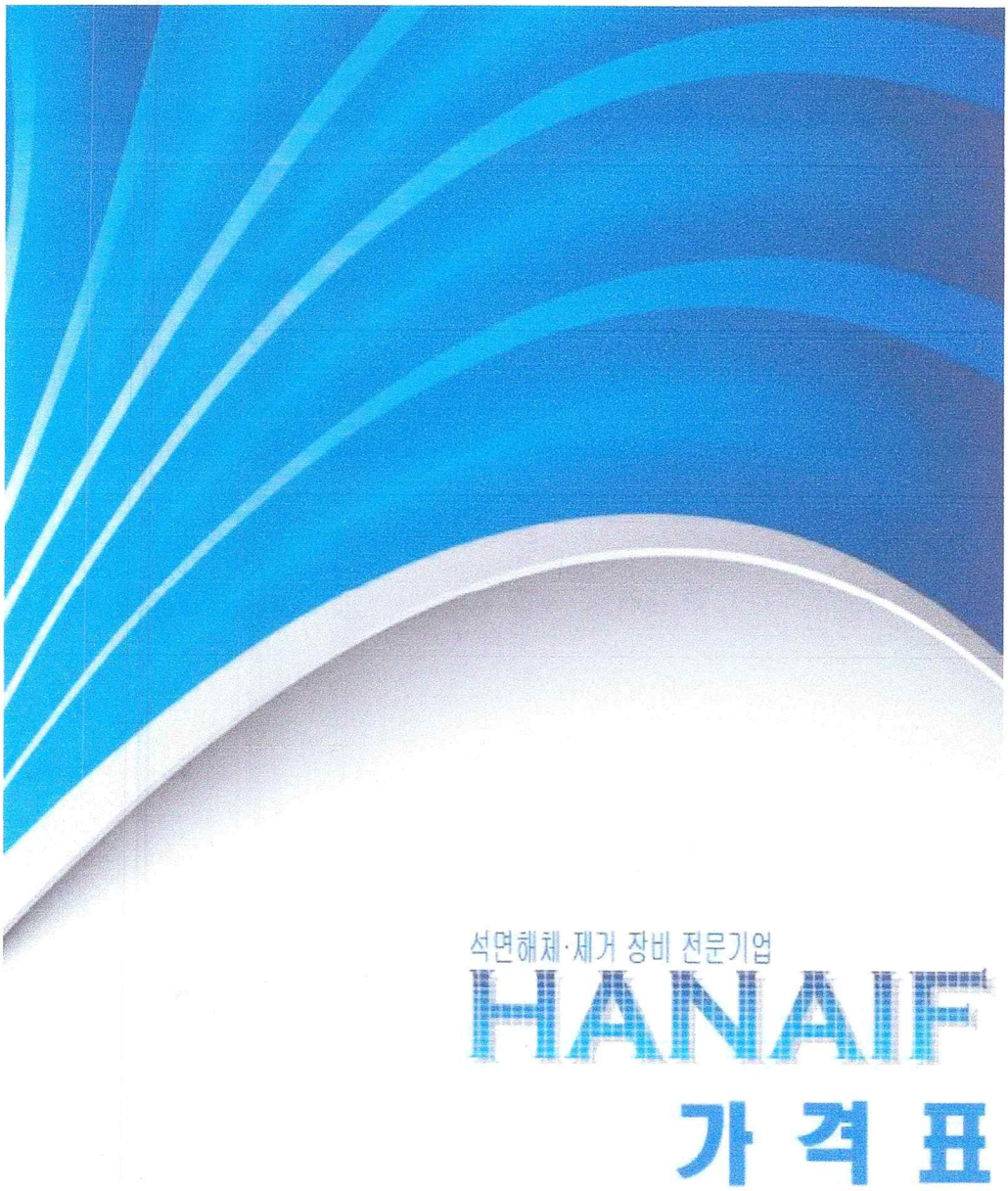


그림 150. 견적서 표지

일반비닐, 시험합격비닐, 비닐 백

석면철거 장비 소모자재 가격표

단위 : 원

* 상호 : ㈜ 하나 이프 * 전화 : 051) 865-7703~4

참고(안내) 사항	
	처음 주문 하시는 업체는 사업자등록증 사본을 팩스로 보내주시기 바랍니다.
	주문 시 계좌번호 안내는 거래명세표 상에 기재되어있습니다.
	주문시 물가변동, 품질향상으로 인해 규격및 가격변동이 예고없이 있을 수 있습니
	▣ 전국 24시간 이내 배송 합니다. (도서 산간 지역은 지연될수 있습니다.)

* VAT 및 배송비 별도 입니다. * 입금 확인후 출고 합니다.

* 하나이프 홈페이지 www.hana1004.net 에서 자세한 사항을 보실수 있읍니다.

명 칭	규 격	단위	수량	판 매 금액	비 고	제품번호
1. 비닐시트						
비닐(노랑색,갑순이)	0.08mm*1.5m*45m	롤	1.0	41,400	벽체용 (정품)	ha 1-3-1
비닐(노랑색,갑돌이)	0.08mm*1.5m*90m	롤	1.0	47,200	벽체용(카바링)	ha 1-6-1
✔ 비닐(유색,갑순이)	0.15mm*1.5m*45m	롤	1.0	40,300	바닥용(정품)	ha 1-4-1
✔ 비닐(유색,마당쇠)	0.159mm*1.5m*45m	롤	1.0	51,800	슬레이트 포장용	ha 2-1-14
2. 비닐봉투(마대)						
✔ 봉투 (대,노랑)	0.15mm*0.85m*1.3m	묶음	1.0	44,900	100매	ha 2-1-1
봉투 (소,노랑 인쇄)	0.15mm*0.55m*0.85m	묶음	1.0	46,000	100매	ha 2-1-3
마대 (신재일반)	0.55m*0.85m	묶음	1.0	31,100	100매	ha 2-1-4
PP 마대 (중고)	0.55m*0.85m	묶음	1.0	26,500	100매	ha 2-1-5
톤마대 (중고 1톤)	1000*1000*1600	묶음	1.0	55,200	5매	ha 2-1-6

그림 151. 일반비닐, 시험합격비닐, 비닐 백

석면함유, 슬레이트전용 스티커 및 안전장화

6. 스티커						
폐기물 부착 스티커	석면 함유 유해 물질	pack	1.0	17,300	가로200 * 세로150	ha 6-1-1
✔ 폐기물 부착 스티커	석면 함유	pack	1.0	17,300	1 pack당 100매	ha 6-2-1
✔ 폐기물 부착 스티커	폐슬레이트용	pack	1.0	17,300	1 pack당 100매	
7. 안전 장화						
✔	240	컬레	1.0	27,600		ha 8-2-3
	245	컬레	1.0	27,600		ha 8-2-4
	250	컬레	1.0	27,600		ha 8-2-5
안전장화 s-801	255	컬레	1.0	27,600	표시외 싸이즈는 주문	ha 9-5-13
	260	컬레	1.0	27,600		ha 9-5-14
	265	컬레	1.0	27,600		ha 9-5-15
	270	컬레	1.0	27,600		ha 9-5-16

그림 152. 석면함유, 슬레이트전용 스티커 및 안전장화

마스크, 필터, 보안경, 장갑

8. 마스크, 보안경						
전면형 마스크	6800	개	1.0	172,000	(3M)	ha 9-1-1
	6897(6800 머리끈)	개	1.0	15,000	(3M)	ha 13-3-13
	6893(내부고무,흰색)	개	1.0	290	(3M)	ha 1-5-5
	6895(외부고무,빨간색)	개	1.0	630	(3M)	ha 1-8-8
반면형 마스크	7501 (소)	개	1.0	35,000	(3M)	ha 9-2-1
	7502 (대)	개	1.0	35,000	(3M)	ha 9-2-2
	6200	개	1.0	19,000	(3M)	ha 9-2-3
	7582(내부콧털마개,파랑)	개	1.0	2,420	(3M)	ha 30-7-3
전동식마스크	6800PF(충전기포함)	set	1.0	782,000	(3M)	ha 9-5-1
마스크 필타(헤파)	2091 (3M)	SET	1.0	4,540	1box 50set(227,000)	ha 9-3-1
	2097	SET	1.0	5,640	1box 50set(282,000)	ha 9-3-2
	6800PF SP3(필터)	개	1.0	16,700	(3M)	ha 9-3-3
	K88-2A1	SET	1.0	3,100	삼공물산	ha 9-3-4
방진 마스크(일반)	8605/2급	개	1.0	810		
	8822/1급	개	1.0	2,200		
보안경(고글)	334AF	개	1.0	4,600	(3M)	ha 9-4-2
9. 안전모						
안전모	일반	개	1.00	5,700		ha 10-1-1
	고급	개	1.00	6,330		ha 10-1-2
10. 분우기						
인력식 분우기	KS-2002 PVC 18L	대	1.00	44,900	PVC	ha 11-2-3
11. 장갑						
방진 장갑	라텍스(우진)	pack	1.0	13,800	1pack 50컬레	ha 12-1-2
면 장갑	면	묶음	1.0	3,340	1묶음 10컬레	
	반코팅	묶음	1.0	3,680	1묶음 10컬레	

그림 153. 마스크, 필터, 보안경, 장갑

불 침투 방진복, 로프

명 칭	규 격	단위	수량	판 매 금액	비 고	제품번호
12. 방진복,덧신						
방진복 (백색)	MG 2000 (3M고급형)	벌	1.0	7,500	1box40벌판매(300,000)	ha 13-2-1
	MG 1500 (보급형)	벌	1.0	5,200	1box40벌판매(208,000)	ha 13-2-2
하나이프- 방진복 (백색)	방진복 프라임 3300	벌	1.0	6,000	1box40벌판매(240,000)	
	방진복 SMS 보호복1700+	벌	1.0	4,500	1box40벌판매(180,000)	
듀폰- 방진복 (백색)	Taped 타이벡 (듀폰) L	벌	1.0	9,200	1box 25벌(230,000)	ha 13-1-1
	Taped 타이벡 (듀폰) XL	벌	1.0	9,200	1box 25벌(230,000)	ha 13-1-2
명 칭	규 격	단위	수량	판 매 금액	비 고	제품번호
듀폰- 방진복 (백색)	타이백 (듀폰 베어리맨)L	벌	1.0	7,500	1box 25벌(187,500)	ha 13-1-3
	타이백(듀폰 베어리맨)XL	벌	1.0	7,500	1box 25벌(187,500)	ha 13-1-4
덧신(백색)	sh overshoes white(덧신,	켤레	1.0	1,500	3M	ha 13-4-1
	덧신 하나가드(반부츠)	켤레	1.0	1,150	hanaif	ha 13-4-3
	덧신 하나가드(긴 목)	켤레	1.0	1,270	hanaif	ha 13-4-5
13. 안전벨트						
벨 트	전체식 S/T	개	1.00	28,400		ha 14-1-1
	전체식 A/L	개	1.00	34,400		ha 14-1-2
14. 안전 로프						
로 프	PE 10mm	개	1.00	39,100		ha 15-1-1
	PE 12mm	개	1.00	58,700		ha 15-1-2

그림 154. 불 침투 방진복, 로프

음압 기, 샤워기, 배수여과기, 집수 조, 음압측정기록장치

명 칭	규 격	단위	수량	판 매 금액	비 고	제품번호
18. 장비 (소모품)						
1)음압기 ha-2000(2HP)	각종 소모품, 부품도 구비하고 있으니 문의 바랍니다.					
음압기	40㎥/min, 285mmAq	대	1.0	2,875,000	국산(층고2.4m/80평)	ha 18-1-1
1차 PRE FILTER	610 * 610 * 20T	EA	1.0	17,300	국산	ha 18-1-2
2차 MEDIUM FILTER	610 * 610 * 100T	EA	1.0	87,400	국산	ha 18-1-3
3차 HEPA FILTER	610 * 610 * 100T	EA	1.0	112,700	국산	ha 18-1-4
3차 HEPA FILTER	610 * 610 * 150T	EA	1.0	161,000	국산	ha 18-1-5
2)음압기 ha-1000(1HP)	각종 소모품, 부품도 구비하고 있으니 문의 바랍니다.					
음압기	11㎥/min, 120mmAq	대	1.0	1,380,000	국산(층고2.4m/20평)	ha 18-2-1
1차 PRE FILTER	305*305*20T	EA	1.0	13,800	국산	ha 18-2-2
2차 MEDIUM FILTER	305*305*100T	EA	1.0	44,900	국산	ha 18-2-3
3차 HEPA FILTER	305*305*100T	EA	1.0	52,900	국산	ha 18-2-4
3)음압기배기호수						
배기호수 (25ø소)	0.15mm*41cm*200m	롤	1.0	69,000	국산(비닐)	ha 18-3-1
배기호수 (30ø대)	0.15mm*49cm*200m	롤	1.0	80,500	국산(비닐)	ha 18-3-2
배기구	250ø	개	1.0	28,800		
4)청소기 ha-12SC (중형)	각종 소모품, 부품도 구비하고 있으니 문의 바랍니다.					
ha-12SC (중형)	1MOTOR 습식(1200W) 탱크용량 40ℓ	대	1.0	402,500	국산	ha 18-4-1
1차 포진백 FILTER		EA	1.0	5,750	국산	ha 18-4-2
2차 BAG FILTER		EA	1.0	46,000	국산	ha 18-4-3
3차 HEPA FILTER		EA	1.0	130,000	국산	ha 18-4-4
5)청소기ha-103CR (대형)	각종 소모품, 부품도 구비하고 있으니 문의 바랍니다.					
청소기 (헤파필타 내장)	2MOTOR 습식(2400W) 탱크용량 70ℓ	대	1.0	805,000	국산	ha 18-5-1
1차 포진백 FILTER		EA	1.0	9,200	국산	ha 18-5-2
2차 BAG FILTER		EA	1.0	54,100	국산	ha 18-5-3
3차 HEPA FILTER		EA	1.0	154,100	국산	ha 18-5-4
6)물샤워기 (온수기형)	각종 소모품, 부품도 구비하고 있으니 문의 바랍니다.					
샤워기	SUS탱크 15리터 저장식	대	1.0	958,000	국산	ha 18-6-1
7)배수여과기	각종 소모품, 부품도 구비하고 있으니 문의 바랍니다.					
배수여과기	1/4 HP	대	1.0	753,000	국산	ha 18-7-1
1차 필터	1㎛	EA	1.0	5,200	국산	ha 18-7-2
2차 필터	0.2㎛	EA	1.0	51,800	국산	ha 18-7-3
-필터 하우징-		EA	1.0	43,700	국산	ha 18-7-4
8)집수조(FRP)	각종 소모품, 부품도 구비하고 있으니 문의 바랍니다.					
집수조(FRP) 자동배수	L1100 * W1100 * H200	식	1.0	310,500	국산	ha 18-8-1
9)음압측정기록장치						
음압기록장치	L300 * W200 * H100	대	1.0	2,070,000	검교정비별도(선택)	ha 19-1-1

그림 155. 음압 기, 샤워기, 배수여과기, 집수 조, 음압측정기록장치

경고표지판, 타포린, 안전띠, 석면적재경고표시판

상품명	옵션	가격
[A1]오각타포린예시-주문제작 제품 300x400mm(견적요청, 동판비별도) - 위험출입금지(D-084)		1,800 원

상품명	수량	판매가	소계
관계자외출입금지(해체중)표지판	1	50,000	50,000
안전 테이프(바리게이트)	1	18,000	18,000
지정폐기물보관중(표지판)	1	39,000	39,000
		총계 :	107,000

그림 156. 경고표지판, 타포린, 안전띠, 석면적재경고표시판

HEPA 필터 청소기

1. 귀 사의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 요청하신 상품의 견적을 아래와 같이 드리오니 업무에 참고하시기 바랍니다,

아 래

(V.A.T별도)

순 번	품 명	수 량	판매단가	공 급 가	비 고
1	음압기	1	2,200,000		
2	샤워기-온수기형	1	800,000		
3	집수조	1	300,000		
4	집수조캐리어	1	100,000		
5	배수여과장치	1	900,000		
6	음압기록장치	1	1,800,000		
7	헤파청소기-30L	1	260,000		
8	케노피-3단	1	400,000		
9	분무기	1	40,000		
10	전동마스크	1	480,000		
견 적 가			7,280,000		V.A.T별도

* 노동부 등록서류는 입금확인시 보내드리고, 장비는 입금후 약 1주정도 소요됩니다.
* 표지판 SET / 습윤제, 봉쇄제 각1통(20L) 서비스 드립니다.

그림 157. HEPA 필터 청소기

4. 대한건설협회 적산 및 일위대가(적용근거)

적산 표지



그림 158. 적산 표지

ㄴ. 재료 및 소모재료는 설계내역에 표시하여 계상하되 주재료비의 2~5%까지 계상한다.

ㄷ. 전기공사(동력 및 조명공사) 부문에서 계상이 어렵고 금액이 근소한 소모품에 대해서는 전선과 배관자재비등 직접재료비의 2~5%까지 계상할 수 있다.

[참고] 일반공구 및 일반시험용 계측기구
스패너류,렌치류, 틴버클, 샤클, 스프레이건, 바이스, 클립 또는 클램프류, 용접봉건조통, 게이지류, V 블록, 마이크로미터, 버니어캘리퍼스 및 이와 유사한 것으로 공사중 상시 일반적으로 사용하는 것으로서 별도의 동력을 필요로 하지 않는 것.

② 경장비 등의 손료

ㄱ. 경장비손료는 일반공구류를 제외한 특수공구와 검사용 특수계측기구등의 손료를 말하며 직접노무비(노임할증제외)의 1.5%를 계상한다.

ㄴ. 전기용접기, 그라인더, 원치 등 중장비에 속하지 않는 동력장치에 의해 구동되는 장비류의 손료를 말하며 별도로 계상한다.

ㄷ. 경장비의 시간당 손료에 대하여는 기계경비산정표에 명시된 가장 유사한 장비의 제수치 (내용시간, 연간 표준 가동시간, 상각비율, 정비비율, 연간 관리비율 등) 를 참조하여 계상한다.

ㄹ. 측정기 및 시험기

종류	내용 / 시간	연간 표준 가동 시간	상각 비율	정비 비율	연간 관리 비율	시간당 (10^{-7}) 상각비 계수	정비 계수	관리비 계수	계
일반형	12,600	2,100	0.9	0.3	0.14	714	238	416	1,368
거치형	43,200	7,200	0.9	0.3	0.14	208	69	121	398

. 외자구입기구는 C.I.F 가격을 기준한다.

. 거치형 측정기 및 시험기는 동일 측정개소에서 24 시간 계속 자동 측정하는 기기를 말한다.

ㅁ. Chain Hoist, Block, Pipe Expander, Straight Edge, 절연내압시험기, 변압기, 탈기기, 자동전압조정기, Synchroscope, Potentiometer 등 특수공구 및 특수시험검사용 기구류의 손료산정은 경장비 손료에 준한다.

[참고] 경장비
휴대용 전기드릴, 휴대용 전기그라인더, 체인블록, 콘크리트 브레이커(기초수정용), 임팩트렌치, 쉐이링머신, 벤딩롤러, 수입펌프(수압시험용) 및 이와 유사한 것, 주로 동력에 의하여 구동되는 장비류로서 기계경비 산정표에 명시되지 아니한 소규모의 것.

7) 품의 할증

품의 할증은 필요한 경우 다음의 기준에 따라 적용할 수 있으며, 품셈 각 항목별 할증이 명시된 경우에는 각 항목별 할증을 우선 적용한다.

가. 굴 작전지구내에서 작업능률에 현저한 저하를 가져올 때는 작업할증률을 20%까지 가산할 수 있다.

나. 도서지구(본토에서 인력동원 파견시), 공항(김포, 김해, 제주공항 등에서 1 일 비행기 이착륙횟수 20 회 이상) 및 도로개설이 불가능한 산악지역에서는 작업할증(인력품)을 50%까지 가산할 수 있다.

다. 열차빈도별 일반 할증률 : ①본선상에서 작업시 열차통과에 따라 작업이 중단되는 경우 열차회수별 지장할증을 적용.

열차회수 (8 시간)	13 회 미만	14~18 회	19 회 이상
적용요율(%)	14	25	37

② 열차운행선 인접공사시 (선로와의 이격거리 10m 이내) 열차통과에 따라 작업이 중단되어 작업능률이 저하되는 경우 대피 할증 요율을 적용한다.

열차회수 (8 시간)	13 회 미만	14~18 회	19 회 이상
적용요율(%)	3	5	7

※선로와의 이격거리 : 건축한계(2.1m)+ 백호우(0.4 ㎥) 회전반경

(약 7.7m) ≒ 10m

라. 야간작업 : PERT/CPM 공정계획에 의한 공기 산출 결과 정상작업(정상공기)으로는 불가능하여 야간작업을 할 경우나 공사성질상 부득이 야간작업을 하여야 할 경우에는 품을 25%까지 가산한다.

마. 고층 특수건물공사에서 고소작업 및 기타의 능률 저하를 고려하여 본 품셈에서 각 공종별 할증이 감안되지 않은 사항에 대하여 품의 할증을 할 수 있다.

바. 10 ㎡이하 기타 이에 준하는 소단위 건축공사에서는 각공종별 할증이 감안되지 않은 사항에 대하여 품을 50%까지 가산할 수 있다.

사. 할증의 중복가산 요령.

$$W = P \times (1 + a_1 + a_2 + a_3 + \cdots\cdots + a_n)$$

단, 동일성격의 품할증요소의 이중적용은 불가하다.

W : 할증이 포함된 품

P : 기본품 또는 각장 해설란의 필요한 할증·감 요소가 감안된 품임.

$a_1 \sim a_n$: 품할증요소

아. 유해위험작업, 시간외, 야간 또는 휴일의 근무가 불가피할 경우에는 산업안전보건법(제 64 조) 및 근로기준법(제 42 조, 제 46 조)이 정하는 바에 따른다.

6. 적용 용도별 품의 할증

1) 건물층수별 할증

가. 지상층 할증

층 수	할 증 율(%)
2 층 ~ 5 층 이하	1
10 층 〃	3
15 층 〃	4
20 층 〃	5
25 층 〃	6
30 층 〃	7

30 층 초과에 대하여는 매 5 층 증가마다 1% 가산

나. 지하층 할증

층 수	할 증 율(%)
지하 1 층	1
지하 2 ~5 층	2

지하 6 층 이하는 상황에 따라 별도 계상한다.

그림 159. 경장비 등 손료

강관(수직) 비계(단가 및 품)

6. 구조물 비계

1-1. 강관비계

(㎡당)

구분	규격	단위	단가	3개월 사용		6개월 사용		12개월 사용		18개월 사용	
				수량	금액	수량	금액	수량	금액	수량	금액
강관	Ø48.6×2.4㎜	m	2,680	0.0394	105.6	0.399	1,069.3	0.7581	2,031.7	1.1172	2,994.1
이음철물	직교, 자재	개	1,000	0.06	60.0	0.1	100.0	0.19	190.0	0.28	280.0
조임철물		개	1,500	0.2496	374.4	0.416	624.0	0.7904	1,185.6	1.1648	1,747.2
받침철물	앵커용	개	3,400	0.0036	12.2	0.006	20.4	0.0116	39.4	0.0168	57.1
공구손료	인력품의 5%	개	840	0.04	33.6	0.04	33.6	0.04	33.6	0.04	33.6
재료비		식		1	566.1	1	566.1	1	566.1	1	566.1
비계					(1,151)		(2,413)		(4,046)		(5,678)
노무비		인	141.535	0.08	11,322.8	0.08	11,322.8	0.08	11,322.8	0.08	11,322.8
■ 합계					(11,322)		(11,322)		(11,322)		(11,322)
					12,473		13,735		15,368		17,000

구분	규격	단위	단가	24개월 사용		30개월 사용		36개월 사용		42개월 사용	
				수량	금액	수량	금액	수량	금액	수량	금액
강관	Ø48.6×2.4㎜	m	2,680	1.4763	3,956.5	1.8354	4,918.9	2.1945	5,881.3	2.5536	6,843.6
이음철물	직교, 자재	개	1,000	0.37	370.0	0.46	460.0	0.5	500.0	0.5	500.0
조임철물		개	1,500	1.5392	2,308.8	1.9136	2,870.4	2.08	3,120.0	2.08	3,120.0
받침철물	앵커용	개	3,400	0.0224	76.2	0.0276	93.8	0.0332	112.9	0.0384	130.6
공구손료	인력품의 5%	개	840	0.04	33.6	0.04	33.6	0.04	33.6	0.04	33.6
재료비		식		1	566.1	1	566.1	1	566.1	1	566.1
비계					(7,311)		(8,942)		(10,213)		(11,193)
노무비		인	141.535	0.08	11,322.8	0.08	11,322.8	0.08	11,322.8	0.08	11,322.8
■ 합계					(11,322)		(11,322)		(11,322)		(11,322)
					18,633		20,264		21,535		22,515

구분	규격	단위	단가	48개월 사용		54개월 사용		60개월 사용		66개월 사용	
				수량	금액	수량	금액	수량	금액	수량	금액
강관	Ø48.6×2.4㎜	m	2,680	2.9127	7,806.0	3.3516	8,982.3	3.6309	9,730.8	3.99	10,693.2
이음철물	직교, 자재	개	1,000	0.5	500.0	0.5	500.0	0.5	500.0	0.5	500.0
조임철물		개	1,500	2.08	3,120.0	2.08	3,120.0	2.08	3,120.0	2.08	3,120.0
받침철물	앵커용	개	3,400	0.04	136.0	0.04	136.0	0.04	136.0	0.04	136.0
공구손료	인력품의 5%	개	840	0.04	33.6	0.04	33.6	0.04	33.6	0.04	33.6
재료비		식		1	566.1	1	566.1	1	566.1	1	566.1
비계					(12,161)		(13,338)		(14,086)		(15,048)
노무비		인	141.535	0.08	11,322.8	0.08	11,322.8	0.08	11,322.8	0.08	11,322.8
■ 합계					(11,322)		(11,322)		(11,322)		(11,322)
					23,483		24,660		25,408		26,370

[해설] 강관비계

① 본 품은 쌍줄비계매기의 일반적 기준이며 이외의 단관비계 매기에서는 실설계에 의한 수량을 계상하고 손율은 "공기에 대한손율"에 따른다.

② 강관복식 비계매기 면적 30m×30m(900 ㎡)일 때의 기준이다.

③ 본 품은 KSF 8002 의 규정에 준하여 적용하며 일반기준은 다음과 같다.

구분	기준
기둥간격	1.8m
장선간격	1.5(지상첫째는 2.0m 임)
비계폭	1.2m
전면보강가세	수평간격 15m 마다 교차
수평수직보강가세	필요할 때 설치
비계하중	KSF 8002 규정에 준한다.

④ 공구손료는 인력품의 5%로 계상하며, 재료할증, 소운반 및 잡재료는 포함되어 있다.

⑤ 가설장비 설치용 시설, 비계다리, 낙하물 방지, 작업대 시설 등은 별도 계상할 수 있다.

⑥ 높이 30m 이상에서 비계안전상 보강재 및 기타의 보강재는 별도 계상한다.

⑦ 높이 30m 를 초과하는 경우 매 3.5m 증가마다 인력품을 10%씩 가산한다.

그림 160. 강관(수직) 비계(단가 및 품)

강관 조립 말 비계(재료비, 노무비) 품

3-1. 강관 조립말비계 (1대당 높이 2m 당)

구 분	규 격	단위	단 가	3 개월 사용		6 개월 사용		12 개월 사용		18 개월 사용	
				수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액
비계기본틀(기둥)	H1700×W1219	개	29,400	0.12	3,528.0	0.2	5,880.0	0.38	11,172.0	0.56	16,464.0
가 새 (2 개)	L1518-2	조	18,200	0.12	2,184.0	0.2	3,640.0	0.38	6,916.0	0.56	10,192.0
수 평 띠 장	L1829	개	25,700	0.24	6,168.0	0.4	10,280.0	0.76	19,532.0	1.12	28,784.0
손 잡 이 기 둥		개		0.24	별도	0.4	별도	0.76	별도	1.12	별도
손 잡 이	L1219	개		0.12	별도	0.2	별도	0.38	별도	0.56	별도
손 잡 이	L1829	개		0.24	별도	0.4	별도	0.76	별도	1.12	별도
바 퀴		개	13,400	0.24	3,216.0	0.4	5,360.0	0.76	10,184.0	1.12	15,008.0
쟈 키		개	10,800	0.24	2,592.0	0.4	4,320.0	0.76	8,208.0	1.12	12,096.0
발 판	45×200×2000	매	25,200	0.42	10,584.0	0.7	17,640.0	1.33	33,516.0	1.96	49,392.0
재 료 비					(28,272)		(47,120)		(89,528)		(131,936)
보 통 인 부	가설·해체	인	81,443	0.6	48,865.8	0.6	48,865.8	0.6	48,865.8	0.6	48,865.8
노 무 비					(48,865)		(48,865)		(48,865)		(48,865)
■ 합 계					77,137		95,985		138,393		180,801

구 분	규 격	단위	단 가	24 개월 사용		30 개월 사용		36 개월 사용		42 개월 사용	
				수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액
비계기본틀(기둥)	H1700×W1219	개	29,400	0.74	21,756.0	0.92	27,048.0	1.1	32,340.0	1.28	37,632.0
가 새 (2 개)	L1518-2	조	18,200	0.74	13,468.0	0.92	16,744.0	1.1	20,020.0	1.28	23,296.0
수 평 띠 장	L1829	개	25,700	1.48	38,036.0	1.84	47,288.0	2.2	56,540.0	2.56	65,792.0
손 잡 이 기 둥		개		1.48	별도	1.84	별도	2.2	별도	2.56	별도
손 잡 이	L1219	개		0.74	별도	0.92	별도	1.1	별도	1.28	별도
손 잡 이	L1829	개		1.48	별도	1.84	별도	2.2	별도	2.56	별도
바 퀴		개	13,400	1.48	19,832.0	1.84	24,656.0	2.2	29,480.0	2.56	34,304.0
쟈 키		개	10,800	1.48	15,984.0	1.84	19,872.0	2.2	23,760.0	2.56	27,648.0
발 판	45×200×2000	매	25,200	2.59	65,268.0	3.22	81,144.0	3.85	97,020.0	4.48	112,896.0
재 료 비					(174,344)		(216,752)		(259,160)		(301,568)
보 통 인 부	가설·해체	인	81,443	0.6	48,865.8	0.6	48,865.8	0.6	48,865.8	0.6	48,865.8
노 무 비					(48,865)		(48,865)		(48,865)		(48,865)
■ 합 계					223,209		265,617		308,025		350,433

구 분	규 격	단위	단 가	48 개월 사용		54 개월 사용		60 개월 사용		66 개월 사용	
				수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액
비계기본틀(기둥)	H1700×W1219	개	29,400	1.46	42,924.0	1.68	49,392.0	1.82	53,508.0	2	58,800.0
가 새 (2 개)	L1518-2	조	18,200	1.46	26,572.0	1.68	30,576.0	1.82	33,124.0	2	36,400.0
수 평 띠 장	L1829	개	25,700	2.92	75,044.0	3.36	86,352.0	3.64	93,548.0	4	102,800.0
손 잡 이 기 둥		개		2.92	별도	3.36	별도	3.64	별도	4	별도
손 잡 이	L1219	개		1.46	별도	1.68	별도	1.82	별도	2	별도
손 잡 이	L1829	개		2.92	별도	3.36	별도	3.64	별도	4	별도
바 퀴		개	13,400	2.92	39,128.0	3.36	45,024.0	3.64	48,776.0	4	53,600.0
쟈 키		개	10,800	2.92	31,536.0	3.36	36,288.0	3.64	39,312.0	4	43,200.0
발 판	45×200×2000	매	25,200	5.11	128,772.0	5.88	148,176.0	6.37	160,524.0	7	176,400.0
재 료 비					(343,976)		(395,808)		(428,792)		(471,200)
보 통 인 부	가설·해체	인	81,443	0.6	48,865.8	0.6	48,865.8	0.6	48,865.8	0.6	48,865.8
노 무 비					(48,865)		(48,865)		(48,865)		(48,865)
■ 합 계					392,841		444,673		477,657		520,065

[해설] 강관 조립말비계
① 1 대당 비계기본틀(기둥)높이가 증가할 때는 연결핀 및 암록을 별도 계상한다.
② 손율은 "공기에 대한 손율"에 따른다.

(주)성수프론티어 SUNG SOO 미래를 개척하는 기업
www. sungsoofrontier.com
E-mail : sungsoo2317@hanmail.net
서울시 양천구 신정4동 1004-8
TEL.(02)2606-2304~5, 6530
FAX.(02)2654-9926
철거 및 비계 공사
• 건축 구조물 철거공사(도심지 고층건물전문)
• 토목 구조물 철거공사(교량, 댐, 항만, PLANT, 발전소 철거전문)
• D.W.S절단공법, Wheel saw절단공법
• 석면 해체 및 처리 공사
• 고재 매매업
시설물 보수·보강 공사
• 건축 및 토목 구조물 보수·보강
- 교량 및 터널, 댐, 수로 보수·보강
• H빔, 철판, 탄소 섬유 구조 보강
• 리모델링 공사
상하수도공사 • 상하수도 설치공사 • 하수관거 정비공사 • 노후관 개량공사 • 우·오수 분리관거공사
조경식재, 시설물 공사 • 생태숲 및 공원조성관리 • 조경식재 및 유지관리 • 수경시설 및 편의시설 설치공사 • 탐방로 정및 돌쌓기 공사

그림 161. 강관 조립 말 비계(재료비, 노무비) 품

수평비계(강관, 클램프, 노무비) 단가 및 품

7. 낙하물 방지

1-1. 강관 사용

(㎡당)

구 분	규 격	단위	단 가	강관 사용		비 고
				수 량	금 액	
강관파이프	φ48.6㎜×2.4㎜	m	3,500	2.7	9,450.0	
브라켓		개	10,000	0.26	2,600.0	
클램프		개	1,500	0.25	375.0	
철선		kg	1,100	0.27	297.0	
그물망		㎡	2,800	1.24	3,472.0	
재료비					(16,194)	
비계공		인	141,535	0.03	4,246.0	
노무비					(4,246)	
■ 합 계					20,440	

[해설] 강관 사용
① 본 품은 강관비계를 이용하여 구조물 첫 단(지상으로부터 약 8m)에 설치하는 낙하물 방지망을 설치할 때의 재료 및 품이다.
② 설치에 필요한 타워크레인 또는 크레인 경비는 별도 계상한다.
③ 철선 및 그물망은 소모품으로 필요에 따라 별도 계상한다.
④ 강관 및 부속철물의 손율은 "공기에 대한 손율"에 따른다.
⑤ 가설기준
㉮ 지상에서 높이 8m 되는 곳의 비계 바깥에 수평에 대하여 20~30° 정도로 경사지게 방지망을 설치하고, 그 위는 필요한 부분에 높이 10m 이내마다 플라잉넷을 설치한다.
㉯ 낙하물 방지망(그물망)은 가로×세로 35㎜ 그물코 이하의 합성섬유(폴리에틸렌) 또는 그 이상의 물리적 성질을 갖는 것이어야 한다.

2-1. 플라잉넷

(㎡당)

구 분	규 격	단위	단 가	플라잉넷		비 고
				수 량	금 액	
강관파이프	φ48.6㎜×2.4㎜	m	3,500	0.167	584.5	
브라켓		개	10,000	0.116	1,160.0	
사다리	폭 30㎝, 길이 3m	m	32,000	0.111	3,552.0	
와이어로프		m	750	0.764	573.0	
클램프		개	1,500	0.127	190.5	
그물망		㎡	2,800	1.39	3,892.0	
공구손료	인력품의 5%	식	1	1	141.5	
재료비					(10,093)	
비계공		인	141,535	0.02	2,830.7	
노무비					(2,830)	
■ 합 계					12,923	

[해설] 플라잉넷
① 본 품은 구조물 첫 단 이후(8m 이상)에 설치하는 플라잉넷의 설치에 대한 품이다.
② 해체품은 설치품의 40%로 별도 계상한다
③ 공구 손료는 인력품의 5%이며, 재료할증이 포함되어 있다.
④ 강관 및 부속철물의 손율은 "공기에 대한 손율"에 따른다.
⑤ 사용된 그물망은 1 회 사용 후 손율 100%로 한다

그림 162. 수평비계(강관, 클램프, 노무비) 단가 및 품

안전방망설치(철선, 그물망, 노무비)단가 및 품

7. 낙하물 방지

1-1. 강관 사용

(㎡당)

구 분	규 격	단위	단 가	강관 사용		비 고
				수 량	금 액	
강관파이프	φ48.6㎜×2.4㎜	m	3,500	2.7	9,450.0	
브라켓		개	10,000	0.26	2,600.0	
클램프		개	1,500	0.25	375.0	
철선		kg	1,100	0.27	297.0	
그물망		㎡	2,800	1.24	3,472.0	
재료비					(16,194)	
비계공		인	141,535	0.03	4,246.0	
노무비					(4,246)	
■ 합 계					20,440	

[해설] 강관 사용
① 본 품은 강관비계를 이용하여 구조물 첫 단(지상으로부터 약 8m)에 설치하는 낙하물 방지망을 설치할 때의 재료 및 품이다.
② 설치에 필요한 타워크레인 또는 크레인 경비는 별도 계상한다.
③ 철선 및 그물망은 소모품으로 필요에 따라 별도 계상한다.
④ 강관 및 부속철물의 손율은 "공기에 대한 손율"에 따른다.
⑤ 가설기준
㉮ 지상에서 높이 8m 되는 곳의 비계 바깥에 수평에 대하여 20 ~ 30° 정도로 경사지게 방지망을 설치하고, 그 위는 필요한 부분에 높이 10m 이내마다 플라잉넷을 설치한다.
㉯ 낙하물 방지망(그물망)은 가로×세로 35㎜ 그물코 이하의 합성섬유(폴리에틸렌) 또는 그 이상의 물리적 성질을 갖는 것이어야 한다.

2-1. 플라잉넷

(㎡당)

구 분	규 격	단위	단 가	플라잉넷		비 고
				수 량	금 액	
강관파이프	φ48.6㎜×2.4㎜	m	3,500	0.167	584.5	
브라켓		개	10,000	0.116	1,160.0	
사다리	폭 30㎝, 길이 3m	m	32,000	0.111	3,552.0	
와이어로프		m	750	0.764	573.0	
클램프		개	1,500	0.127	190.5	
그물망		㎡	2,800	1.39	3,892.0	
공구손료	인력품의 5%	식	1	1	141.5	
재료비					(10,093)	
비계공		인	141,535	0.02	2,830.7	
노무비					(2,830)	
■ 합 계					12,923	

[해설] 플라잉넷
① 본 품은 구조물 첫 단 이후(8m 이상)에 설치하는 플라잉넷의 설치에 대한 품이다.
② 해체품은 설치품의 40%로 별도 계상한다
③ 공구 손료는 인력품의 5%이며, 재료할증이 포함되어 있다.
④ 강관 및 부속철물의 손율은 "공기에 대한 손율"에 따른다.
⑤ 사용된 그물망은 1 회 사용 후 손율 100%로 한다

그림 163. 안전방망설치(철선, 그물망, 노무비)단가 및 품

습윤 작업(노무비) 품

11. 천연 단열 수성페인트

동서코리아 / 동서건설 제공 (㎡ 당)

구 분	규 격	단위	단 가	2회 수 량	2회 금 액	비 고
로파스하도	LPS-100	kg	10,111	0.20	2,022	
단열페인트	LPS-500	kg	14,000	0.46	6,440	
연마지	#120	매	230	1.00	230	
공구손료	노무비의 3%	식			446	
재료비					(9,138)	
도장공		인	109,720	0.100	10,972	
특별인부		인	97,951	0.040	3,918	
노무비					(14,890)	
■ 합 계					(24,028)	

[해설]
1. 국내 최초 미국FDA 독성테스트 통과 제품(인체무해 입증)
2. LPS/LHS-500 (단열)
- 다공성 중공체구조로 입자간의 접촉과 기체의 유동성이 적어 열전도율이 극히 낮고 복사열을 산란시켜 열전달 차단으로 단열성 매우 우수
- 숨쉬는 구조로 공기와 접촉된 표면의 습기를 흡수 분산시켜 스스로 습도 조절능력이 탁월하여 내외부의 온도 차이에 의한 물방울 맺힘 현상이 없어지므로 장기간 결로 방지에 확실한 효과
- 우수한 습도조절 능력과 향균기능으로 미생물의 번식 실내 유해세균을 억제시켜 주며 특히 유해한 곰팡이균이 서식하는 것을 방지하며 각종 호흡기 질환으로부터 가족 건강 보호
- 음이온과 양이온의 교환능력이 탁월하고 스스로의 습도 조절 능력과 우수한 탈취 효과로 불쾌한 냄새를 없애주며 시멘트 벽체에서 발생하는 인체에 해로운 라돈 등을 차단
- 습도가 높은 집이나 냄새나는 호텔, 여관, 모텔 등에 사용하면 효과 탁월

12. 친자연 기능성 수성 특수페인트(황토 및 수정,맥반석)

(㎡ 당)

구 분	규 격	단위	단 가	숯,수정,맥반석 벽2회 수 량	숯,수정,맥반석 벽2회 금 액	비 고
로파스하도	LPS-100	kg	10,111	0.20	2,022	
LPS,LHS 기능성페인트	LPS-900-1	kg	14,611	0.48	7,013	
연마지	#120	매	230	0.50	115	
공구손료	노무비의 3%	식			512	
재료비					(9,662)	
도장공		인	109,720	0.120	13,166	
특별인부		인	97,951	0.040	3,918	
노무비					(17,084)	
■ 합 계					(26,746)	

[해설]
1. 국내 최초 미국FDA 독성테스트 통과 제품(인체무해 입증)
2. LPS/LHS-900 (황토,맥반석,자수정,음이온)
- 로파스/로하스 황토는 친환경적인 도료로서 100% 천연풍황토, 맥반석을 주원료로 사용하고 무독성 접착제와 자수정 옥,견운모,참숯,게르마늄 등 인체에 유익하고 원적외선이 풍부한 천연함성광물을 다수 첨가시켜 콘크리트 벽체에서 발생되는 라돈 등 실내오염물질과 새집 증후군의 주원인인 포름알데히드,VOC,톨루엔,신나,유기용제와 암모니아 음식,담배 냄새 제거와 각종 곰팡이,박테리아,실내 유해 세균의 번식을 방지 하는데 우수함
- 습기 조절로 항상 습기가 없는 쾌적한 실내 공간 연출
- 용도 : 내.외부 인테리어.아파트,주택 벽지대용,찜질방,주거공간,사무실,별장,전원생활의 자연적이고 아늑하고 고급스러운 공간 분위기 창출
- 광분해 작용과 강력한 양이온 교환능력으로 탈취효과가 우수하여 음식물,담배 냄새 등 오염물질을 흡착,분해,제거시켜 항상 실내에 맑은 공기를 유지

13. 친환경 석면방지,콘크리트 분진,유해물질 차단 페인트

(㎡ 당)

구 분	규 격	단위	단 가	텍스면2회 수 량	텍스면2회 금 액	비 고
석면방지페인트	로파스-100/로하스-100	kg	10,111	0.200	2,022	
공구손료	노무비의 3%	식			197	
잡자재비	재료비의 5%	식			110	
재료비					(2,329)	
도장공		인	109,720	0.060	6,583	
노무비					(6,583)	
■ 합 계					(8,912)	

[해설]
1. 국내 최초 미국FDA 독성테스트 통과 제품(인체무해 입증)
2. 고분자상태의 초기밀성에 의하여 자연물질의 도료입자가 석면구조의 입자에 깊이 침투응고하여 무공해 상태로 전환시킴으로 석면피해(공해)로부터 인체를 보호
3. 실리콘계 침투성 발수,방수도료(유백색 액체,경화후 투명)
- 휘발성 유기화합물(VOC)무함유,포름알데히드,톨루엔 무방출(새집증후군을 원천적으로 예방하는 친환경 도료)
- 백화 제거,방지 및 노화방지,원색 보유력의 우수
- 건축물 내외벽 습기방지,곰팡이,이끼생성 방지
- 방부 및 방수기능이 우수하며 내외부 환경,기후조건에 저항성이 양호한 수명보호 유지효과
- 강력한 침투성으로 모든 복재에 방수 보호막을 형성시켜 내구성 및 항곰팡이 저항성 향상

그림 164. 습윤 작업(노무비) 품

비닐보양 바닥, 벽 (노무비) 품

2-1. 암면판 설치 ②

(㎡당)

구 분	규 격	단위	단 가	바닥(슬래브위깔기) 수 량	바닥(슬래브위깔기) 금 액	비 고
암면판	#100	㎡	6,900	1.05	7,245.0	
재료비					(7,245)	
내장공		인	116,367	0.009	1,047.3	
노무비					(1,047)	
■ 합 계					8,292	

[해설] 암면판 설치

① 벽공간 설치는 공간에 암면판을 기밀하게 설치할 때의 기준이며 벽체와의 고정은 쐐기 또는 철물로 고정하며 필요한 철물은 별도 계상한다.

② 벽 격자넣기는 띠장과 띠장사이에 암면판을 격자규격으로 가공하여 기밀하게 삽입할 때를 기준한 것이며, 벽체에 암면을 먼저 고정하고 띠장을 설치한 후 띠장 주위에 놀린 암면을 칼로 오려 띠장 뒷면까지 암면을 설치할 경우에는 품을 15% 할증 한다.

③ 천장설치는 슬래브의 목심에 천정틀을 고정시킨후 틀사이에 암면을 끼워 넣을때의 기준이며 반자위 깔기는 천정 내부의 반자위에 두루마리형 암면을 깔때의 기준이다.

④ 방습층(폴리에틸렌 필름 등) 또는 와이어메시를 설치할 때는 재료 및 품을 별도 계상한다.

⑤ 암면판 설치시 핀을 사용하는 경우 소모재료는 다음을 기준으로 별도 계상한다.

구분	단위	벽설치시	천정설치시	비고
알루미늄핀	개	6.3	14	
접 착 제	kg	0.03	0.068	

⑥ 암면판과 암면판의 접착부위에 은박지테이프를 사용하는 경우는 ㎡당 3.4m 를 기준으로 별도 계상한다.

⑦ 본 품은 재료의 할증 및 소운반이 포함된 것이다.

⑧ 천장틀 및 반자틀 설치는 별도 계상한다.

3-1. 우레아폼 충진

(㎥당)

구 분	규 격	단위	단 가	벽체공간 수 량	벽체공간 금 액	천장반자위공간 수 량	천장반자위공간 금 액	비 고
우레아폼		㎥		1.03	별도	1.03	별도	
재료비								
일반기계운전사		인	82,849	0.038	3,148.3	0.042	3,479.7	
보온공		인	98,179	0.038	3,730.8	0.042	4,123.5	
특별인부		인	97,951	0.038	3,722.1	0.042	4,113.9	
노무비					(10,601)		(11,717)	
■ 합 계					10,601		11,717	

[해설] 우레아폼 충진

① 본 품은 우레아폼충진의 자재와 품을 각각 산정하여 계상하고자 할 때를 위한 것이다.

② 본 품은 조적조의 공간벽, 콘크리트벽체와 조적조 또는 합판 등의 공간벽, 천장반자속에 우레아폼을 분사 충진할 때를 기준한 것이다.

③ 본 품은 1 일 충진량 26 ㎥이상일 때의 기준이며 26 ㎥미만일 경우는 품의 50%까지 가산할 수 있다.

④ 소모재료(호스, 전선 등) 및 차량에 설치된 분사용기구 일체와 드릴(구멍뚫기)등의 공구손료는 재료비의 3%로 계상한다.

⑤ 재료의 할증은 포함된 것이다.

⑥ 운반 및 기계경비는 별도 계상하되 아래표를 기준한다.

(기계손료)

내용시간	연간표준 가동시간	시간당 손료계수
6,000	2,000	$3,950\times10^{-7}$

4-1. 방습필름 설치

(㎡당)

구 분	규 격	단위	단 가	바닥 수 량	바닥 금 액	벽 수 량	벽 금 액	비 고
폴리에틸렌필름	두께 0.03 ㎜	㎡	220	1.15	253.0	1.15	253.0	
재료비					(253)		(253)	
방수공		인	87,417	0.007	611.9	0.009	786.8	
노무비					(611)		(786)	
■ 합 계					864		1,039	

[해설] 방습필름 설치

① 방습필름은 폴리에틸렌필름이나 PVC 필름 중 선택한다.

② 재료량은 폭 0.9m 를 기준으로 한것이며, 필름의 이음은 15 ㎝ 이상 겹침을 두어야 한다.

그림 165. 비닐보양 바닥, 벽 (노무비) 품

위생설비(냉·온수기 등 손료) 품 산식

25-1. 모터 (hr 당)

구 분	규 격	단위	단 가	0.75 kW		1.49 kW		2.24 kW	
				수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액
모 터	0.75 kW	대	134,000	1488X10^{-7}	19.9				
모 터	1.49 kW	대	157,000			1488X10^{-7}	23.4		
모 터	2.24 kW	대	188,000					1488X10^{-7}	28.0
경 비					(19)		(23)		(28)
■ 합 계					19		23		28

구 분	규 격	단위	단 가	3.73 kW		5.60 kW		7.46 kW		비 고
				수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액	
모 터	3.73 kW	대	239,000	1488X10^{-7}	35.6					
모 터	5.60 kW	대	304,000			1488X10^{-7}	45.2			
모 터	7.46 kW	대	402,000					1488X10^{-7}	59.8	
경 비					(35)		(45)		(59)	
■ 합 계					35		45		59	

구 분	규 격	단위	단 가	11.19 kW		14.92 kW		18.65 kW	
				수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액
모 터	11.19 kW	대	491,000	1488X10^{-7}	73.1				
모 터	14.92 kW	대	706,000			1488X10^{-7}	105.1		
모 터	18.65 kW	대	926,000					1488X10^{-7}	137.8
경 비					(73)		(105)		(137)
■ 합 계					73		105		137

구 분	규 격	단위	단 가	22.38 kW		29.84 kW		37.30 kW	
				수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액
모 터	22.38 kW	대	1,272,000	1488X10^{-7}	189.3				
모 터	29.84 kW	대	1,546,000			1488X10^{-7}	230.0		
모 터	37.30 kW	대	1,772,000					1488X10^{-7}	263.7
경 비					(189)		(230)		(263)
■ 합 계					189		230		263

구 분	규 격	단위	단 가	55.95 kW		74.60 kW		비 고
				수 량	금 액	수 량	금 액	
모 터	55.95 kW	대	3,064,000	1488X10^{-7}	455.9			
모 터	74.60 kW	대	5,322,000			1488X10^{-7}	791.9	
경 비					(455)		(791)	
■ 합 계					455		791	

26-1. 모터(쉴드 TBM 용) (hr 당)

구 분	규 격	단위	단 가	180 kW		비 고
				수 량	금 액	
모터(쉴드 TBM 용)	180 kW	대	203,135,186.1	1488X10^{-7}	30,226.5	189,651 $
경 비					(30,226)	
■ 합 계					30,226	

그림 166. 위생설비(냉·온수기 등 손료) 품 산식

개인보호구(손료) 품 산식

5-1. 배송관 띄우개(부함) (hr 당)

구 분	규 격	단위	단 가	관경 430 ㎜, 연장 4.5m 수량	관경 430 ㎜, 연장 4.5m 금액	관경 500 ㎜, 연장 4.5m 수량	관경 500 ㎜, 연장 4.5m 금액	관경 600 ㎜, 연장 4.5m 수량	관경 600 ㎜, 연장 4.5m 금액	비 고
배송관띄우개(부함)	관경 430 ㎜,	대	658,726.5	1344X10^{-7}	88.5					615 $
배송관띄우개(부함)	연장 4.5m	대	767,978.7			1344X10^{-7}	103.2			717 $
배송관띄우개(부함)	관경 500 ㎜,	대	957,563.4					1344X10^{-7}	128.7	894 $
경 비	연장 4.5m				(88)		(103)		(128)	
■ 합 계	관경 600 ㎜, 연장 4.5m				88		103		128	

구 분	규 격	단위	단 가	관경 700 ㎜, 연장 4.5m 수량	관경 700 ㎜, 연장 4.5m 금액	관경 900 ㎜, 연장 4.5m 수량	관경 900 ㎜, 연장 4.5m 금액	관경 1000 ㎜, 연장 4.5m 수량	관경 1000 ㎜, 연장 4.5m 금액	비 고
배송관띄우개(부함)	관경 700 ㎜,	대	1,193,205.4	1344X10^{-7}	160.4					1,114 $
배송관띄우개(부함)	연장 4.5m	대	1,853,002.9			1344X10^{-7}	249.0			1,730 $
배송관띄우개(부함)	관경 900 ㎜,	대	2,295,367.3					1344X10^{-7}	308.5	2,143 $
경 비	연장 4.5m				(160)		(249)		(308)	
■ 합 계	관경 1000 ㎜, 연장 4.5m				160		249		308	

구 분	규 격	단위	단 가	관경 1100 ㎜, 연장 4.5m 수량	관경 1100 ㎜, 연장 4.5m 금액	관경 1200 ㎜, 연장 4.5m 수량	관경 1200 ㎜, 연장 4.5m 금액	관경 1300 ㎜, 연장 4.5m 수량	관경 1300 ㎜, 연장 4.5m 금액	비 고
배송관띄우개(부함)	관경 1100 ㎜,	대	2,565,284.5	1344X10^{-7}	344.8					2,395 $
배송관띄우개(부함)	연장 4.5m	대	2,871,619			1344X10^{-7}	385.9			2,681 $
배송관띄우개(부함)	관경 1200 ㎜,	대	3,153,318.4					1344X10^{-7}	423.8	2,944 $
경 비	연장 4.5m				(344)		(385)		(423)	
■ 합 계	관경 1300 ㎜, 연장 4.5m				344		385		423	

구 분	규 격	단위	단 가	관경 1400 ㎜, 연장 4.5m 수량	관경 1400 ㎜, 연장 4.5m 금액	관경 1500 ㎜, 연장 4.5m 수량	관경 1500 ㎜, 연장 4.5m 금액	관경 1600 ㎜, 연장 4.5m 수량	관경 1600 ㎜, 연장 4.5m 금액	비 고
배송관띄우개(부함)	관경 1400 ㎜,	대	3,413,595.7	1344X10^{-7}	458.8					3,187 $
배송관띄우개(부함)	연장 4.5m	대	3,656,735.4			1344X10^{-7}	491.5			3,414 $
배송관띄우개(부함)	관경 1500 ㎜,	대	3,883,808.6					1344X10^{-7}	522.0	3,626 $
경 비	연장 4.5m				(458)		(491)		(522)	
■ 합 계	관경 1600 ㎜, 연장 4.5m				458		491		522	

6-1. 조인트(고무제) (hr 당)

구 분	규 격	단위	단 가	900 ㎜(310~410 용) 수량	900 ㎜(310~410 용) 금액	1000 ㎜(510~610 용) 수량	1000 ㎜(510~610 용) 금액	비 고
조인트(고무제)	900 ㎜(310~410 용)	개	405,946.8	1233X10^{-7}	50.1			379 $
조인트(고무제)	1000 ㎜(510~610 용)	개	1,051,820.2			1233X10^{-7}	129.7	982 $
경 비					(50)		(129)	
■ 합 계					50		129	

구 분	규 격	단위	단 가	1200 ㎜(660~710 용) 수량	1200 ㎜(660~710 용) 금액	1300 ㎜(760 용) 수량	1300 ㎜(760 용) 금액	비 고
조인트(고무제)	1200 ㎜(660~710 용)	개	1,504,895.4	1233X10^{-7}	185.6			1,405 $
조인트(고무제)	1300 ㎜(760 용)	개	1,619,503.2			1233X10^{-7}	199.7	1,512 $
경 비					(185)		(199)	
■ 합 계					185		199	

그림 167. 개인보호구(손료) 품 산식

현장청소(노무비) 품

10. 건축물 현장정리

1-1. 건축물 현장정리

(연면적 ㎡당)

구 분	규 격	단위	단 가	철근콘크리트조		목 조		철골조	
				수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액
보통인부		인	81,443	0.15	12,216.4	0.07	5,701.0	0.07	5,701.0
노무비					(12,216)		(5,701)		(5,701)
■ 합 계					12,216		5,701		5,701

구 분	규 격	단위	단 가	조적조		철골철근콘크리트조		비 고
				수 량	금 액	수 량	금 액	
보통인부		인	81,443	0.07	5,701.0	0.15	12,216.4	
노무비					(5,701)		(12,216)	
■ 합 계					5,701		12,216	

[해설] 건축물 현장정리
① 본 품은 공사중 옥내외의 청소와 준공시 청소 및 뒷정리까지 포함된 것이다.
② 청소용 소모품은 별도 계상할 수 있다.

11. 방진망 설치

1-1. 방진망 설치 및 철거

(㎡당)

구 분	규 격	단위	단 가	방진망 설치 및 철거		비 고
				수 량	금 액	
방진망		㎡	908.5	1.06	963.0	
철선	#8	kg	1,100	0.115	126.5	
재료비					(1,089)	
비계		인	141,535	0.019	2,689.2	
노무비					(2,689)	
■ 합 계					3,778	

[해설] 방진망 설치 및 철거
① 본 품에는 재료의 할증,소운반,설치 및 철거품이 포함되어 있다.
② 방진망의 손율은 1 회사용후 100%로 한다.
③ 방진망 설치를 위해 비계등의 가시설이 필요한 경우는 별도 계상한다.

12. 엘리베이터형 자재운반용 타워 설치

1-1. 엘리베이터형 자재운반용 타워(호이스트) 설치

(m당)

구 분	규 격	단위	단 가	설 치		해 체		비 고
				수 량	금 액	수 량	금 액	
공구손료	인력품의 3%	식		1	1,104.0	1	552.0	
재료비					(1,104)		(552)	
비계		인	141,535	0.26	36,799.1	0.13	18,399.6	
노무비					(36,799)		(18,399)	
■ 합 계					37,903		18,951	

[해설] 엘리베이터형 자재운반용 타워(호이스트) 설치
① 본 품은 EV 형 자재운반용 타워설치 또는 해체시 적용한다.
② 설치시 사용건설기계는 5ton 지게차를 기준한 것으로 기계경비는 별도 계상한다.
③ 타워설치를 위한 기초콘크리트(6.4 ㎥) 및 전기 인입공사 비용은 별도 계상한다.
④ 공구손료는 인력품의 3%로 계상하며, 소운반품이 포함되어 있다.
⑤ 낙하물 방지를 위한 안전 및 보호시설 설치비용은 별도 계상한다.

그림 168. 현장청소(노무비) 품

강관조립 말 비계 손료

5-1. 비계용 브라켓 : 설치 (10 개소당)

구 분	규 격	단위	단 가	벽용브라켓		슬라브발코니, 난간용브라켓, 지지보수대		비 고
				수 량	금 액	수 량	금 액	
비 계 공 노 무 비		인	141,535	0.45	63,690.8 (63,690) 63,690	0.34	48,121.9 (48,121) 48,121	
■ 합 계								

5-1. 비계용 브라켓 : 해체 (10 개소당)

구 분	규 격	단위	단 가	벽용브라켓		슬라브발코니, 난간용브라켓, 지지보수대		비 고
				수 량	금 액	수 량	금 액	
비 계 공 노 무 비		인	141,535	0.34	48,121.9 (48,121) 48,121	0.26	36,799.1 (36,799) 36,799	
■ 합 계								

[해설] 비계용 브라켓 설치 및 해체
① 본 품에는 소운반이 포함되어 있다.
② 손율은 "공기에 대한 손율"에 따른다.

• 공기에 대한 손율

재료 / 공기	손 율				비고
	강관, 비계기본틀, 비계장선틀, 가세	받침철물 조절받침철물	조 임 철 물 이 음 철 물	철물(앵커용)	
3 개월	6%	9%	12%	100%	
6 〃	10%	15%	20%	100%	
12 〃	19%	29%	38%	100%	
18 〃	28%	42%	56%	100%	
24 〃	37%	56%	74%	100%	
30 〃	46%	69%	92%	100%	
36 〃	55%	83%	100%	100%	
42 〃	64%	96%	100%	100%	
48 〃	73%	100%	100%	100%	
54 〃	84%	100%	100%	100%	
60 〃	91%	100%	100%	100%	
66 〃	100%	100%	100%	100%	

그림 169. 강관조립 말 비계 손료

실내작업 (음압기 등 장비 손료) 품 산식

12-1. 공기압축기(이동식)

(hr 당)

구 분	규 격	단위	단 가	3.5 m³/min		7.1 m³/min		10.3 m³/min	
				수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액
경 유	저유황 0.001%	ℓ	1,596.3	6.2	9,897.1	10	15,963.0	14.2	22,667.5
잡 재 료 비	주연료비의 %	%		16	1,583.5	16	2,554.1	16	3,626.8
재 료 비					(11,480)		(18,517)		(26,294)
건 설 기 계 운 전 사		인	108,713	0.208	22,612.3	0.208	22,612.3	0.208	22,612.3
노 무 비					(22,612)		(22,612)		(22,612)
공 기 압 축 기	3.5 m³/min	대	10,500,000	$1663X10^{-7}$	1,746.2				
공 기 압 축 기	7.1 m³/min	대	19,000,000			$1663.1X10^{-7}$	3,159.9		
공 기 압 축 기	10.3 m³/min	대	24,000,000					$1663X10^{-7}$	3,991.2
경 비					(1,746)		(3,159)		(3,991)
■ 합 계					35,838		44,288		52,897

구 분	규 격	단위	단 가	17.0 m³/min		21.0 m³/min		25.5 m³/min	
				수 량	금 액	수 량	금 액	수 량	금 액
경 유	저유황 0.001%	ℓ	1,596.3	23.5	37,513.0	27.6	44,057.9	32.3	51,560.5
잡 재 료 비	주연료비의 %	%		16	6,002.1	16	7,049.3	16	8,249.7
재 료 비					(43,515)		(51,107)		(59,810)
건 설 기 계 운 전 사		인	108,713	0.208	22,612.3	0.208	22,612.3	0.208	22,612.3
노 무 비					(22,612)		(22,612)		(22,612)
공 기 압 축 기	17.0 m³/min	대	28,000,000	$1663X10^{-7}$	4,656.4				
공 기 압 축 기	21.0 m³/min	대	39,000,000			$1663X10^{-7}$	6,485.7		
공 기 압 축 기	25.5 m³/min	대	63,083,505.6					$1663X10^{-7}$	10,490.8
경 비					(4,656)		(6,485)		(10,490)
■ 합 계					70,783		80,204		92,912

[해설] 공기압축기(이동식)
① 부수물(호스포함)은 별도 계상한다.
② 손료에는 타이어 경비가 포함되어 있다.

그림 170. 실내작업 (음압기 등 장비 손료) 품 산식

실내작업 등 (발전기 손료) 품 산식

13-1. 발전기 (hr 당)

구분	규격	단위	단가	25 kW 수량	25 kW 금액	50 kW 수량	50 kW 금액	100 kW 수량	100 kW 금액
경 유	저유황 0.001%	ℓ	1,596.3	4.3	6,864.1	8.7	13,887.8	17.4	27,775.6
잡 재 료 비	주연료비의 %	%		24	1,647.4	24	3,333.1	24	6,666.1
재 료 비					(8,511)		(17,220)		(34,441)
일반기계운전사		인	82,849	0.208	17,232.6	0.208	17,232.6	0.208	17,232.6
노 무 비					(17,232)		(17,232)		(17,232)
발 전 기	25 kW	대	11,800,000	2294X10^{-7}	2,706.9				
발 전 기	50 kW	대	16,360,000			2294X10^{-7}	3,753.0		
발 전 기	100 kW	대	19,764,000					2294X10^{-7}	4,533.9
경 비					(2,706)		(3,753)		(4,533)
■ 합 계					28,449		38,205		56,206

구분	규격	단위	단가	125 kW 수량	125 kW 금액	150 kW 수량	150 kW 금액	200 kW 수량	200 kW 금액
경 유	저유황 0.001%	ℓ	1,596.3	19.4	30,968.2	23	36,714.9	30.6	48,846.8
잡 재 료 비	주연료비의 %	%		24	7,432.4	24	8,811.6	24	11,723.2
재 료 비					(38,400)		(45,526)		(60,570)
일반기계운전사		인	82,849	0.208	17,232.6	0.208	17,232.6	0.208	17,232.6
노 무 비					(17,232)		(17,232)		(17,232)
발 전 기	125 kW	대	24,600,000	2294X10^{-7}	5,643.2				
발 전 기	150 kW	대	25,250,000			2294X10^{-7}	5,792.3		
발 전 기	200 kW	대	33,116,000					2294X10^{-7}	7,596.8
경 비					(5,643)		(5,792)		(7,596)
■ 합 계					61,275		68,550		85,398

구분	규격	단위	단가	250 kW 수량	250 kW 금액	350 kW 수량	350 kW 금액	450 kW 수량	450 kW 금액
경 유	저유황 0.001%	ℓ	1,596.3	38.3	61,138.3	53.6	85,561.7	68.9	109,985.1
잡 재 료 비	주연료비의 %	%		24	14,673.2	24	20,534.8	24	26,396.4
재 료 비					(75,811)		(106,096)		(136,381)
일반기계운전사		인	82,849	0.208	17,232.6	0.208	17,232.6	0.208	17,232.6
노 무 비					(17,232)		(17,232)		(17,232)
발 전 기	250 kW	대	42,566,000	2294X10^{-7}	9,764.6				
발 전 기	350 kW	대	51,994,000			2294X10^{-7}	11,927.4		
발 전 기	450 kW	대	76,673,000					2294X10^{-7}	17,588.8
경 비					(9,764)		(11,927)		(17,588)
■ 합 계					102,807		135,255		171,201

구분	규격	단위	단가	500 kW 수량	500 kW 금액	700 kW 수량	700 kW 금액	비고
경 유	저유황 0.001%	ℓ	1,596.3	76.6	122,276.6	107.3	171,283.0	
잡 재 료 비	주연료비의 %	%		24	29,346.4	24	41,107.9	
재 료 비					(151,623)		(212,390)	
일반기계운전사		인	82,849	0.208	17,232.6	0.208	17,232.6	
노 무 비					(17,232)		(17,232)	
발 전 기	500 kW	대	84,096,000	2294X10^{-7}	19,291.6			
발 전 기	700 kW	대	130,485,000			2294X10^{-7}	29,933.3	
경 비					(19,291)		(29,933)	
■ 합 계					188,146		259,555	

[해설] 발전기
① 원동기(전동기)가 부착되어 있는 것이다.
② 전선 기타 부속설비는 별도 계상한다.

그림 171. 실내작업 등 (발전기 손료) 품 산식

7. 참고문헌

1. 김영찬 외 2인, 「농어촌 주택 석면슬레이트 지붕재료 사용실태 및 거주자 인식도 조사」, 대한건축학회논문집, 2010. 11
2. Becklake MR. Asbestos-related diseases of the lung and other organs: Their epidemiology and implications for clinical practice. Am Rev Respir Dis. 1976;114(1):187-227.
3. Sim, M.R., 2013. A worldwide ban on asbestos production and use: some recent progress, but more still to be done. Occup. Environ. Med. 1, 1-2.
4. Virta RL. Worldwide asbestos supply and consumption trends from 1900 through 2003. US Geological Survey Reston, VA; 2006.
5. Doll R, Peto J, Britain G. Effects on health of exposure to asbestos. Health & Safety Commission; 1985.
6. Hourihane DO. The pathology of mesotheliomata and an analysis of their association with asbestos exposure. Thorax. 1964;19(3):268-278.
7. 광뢰홍충 외 1인, 「石綿公害:조용한 時限爆彈」, 녹원출판사, 1988
8. Wagner, J., 1965. The sequelae of exposure to asbestos dust. Ann. N. Y. Acad. Sci. 1, 691-695.
9. Kamp, D.W., 2009. Asbestos-induced lung diseases: an update. Translational Research. 4, 143-152.
10. Jinhui, L., Qingyin, D., Keli, Y., Lili, L., 2014. Asbestos and asbestos waste management in the Asian-Pacific region: trends, challenges and solutions. J. Clean. Prod
11. U.S. EPA(Environmental Protection Agency), Managing asbestos in place, EPA publication 20T-2003, National Centre for Environmental Assessment, Research Ttiangle Park, NC, USA, 2003
12. Bornemann P, Hildebrandt U. On the problem of environmental pollution by weathering products of asbestos cement. Staub Reinhalt Luft. 1986;46:487-489.
13. 김영찬, 석면슬레이트의 적정처리를 위한 분포특성 분석에 관한 연구, 경북대학교 석사학위논문, 2011.12.
14. Kazan-Allen L. Asbestos and mesothelioma: Worldwide trends. Lung Cancer. 2005;49:S3-S8.
15. Ji-Yeong Kim, Song-Kwon Lee, Jeong-Hee Lee, Mu-Heok Lim, Sung-Wook Kang, Young-Gyu Phee. Study on the Factors Affecting Asbestos Exposure Level from Asbestos Abatement in Building. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2009;19(1):8~15
16. 환경부, 석면관리총람, 2009
17. Young-Chan Kim et. al. A Study on the Efficient Method of Information Offering Through

Survey of Asbestos Awareness of Deteriorated Apartment Facility Managers. Architectural Institute of Korea, 2013

18. Jung-Keun Choi, Do-Myung Paek, Nam-Won Paik, The Production, the Use, the Number of Workers and Exposure Level of Asbestos in Korea. Korean Ind Hyg Assoc J, 8.2 (1998): 242-253.
19. 배재민 외 2인,「석면함유자재 해체·제거 전과정에서 발생하는 이산화탄소 발생량 산정을 위한 추정 모델 개발」, 대한건축학회 논문집 : 계획계, 29(10), 2013
20. 홍윤기 외 2인, 「석면함유자재 해체·제거 전(全)과정 목록화를 통한 처리비용 산정식 개발」, 대한건축학회 논문집 : 계획계, 2014.10
21. Hyun-Wook Kim, Gye-Young Park, Jin-Gu Han, Young-Sun Han, Bum-Gu Hwang, Jun-Hyuk Lee. Releasing of asbestos fibers from the weathered asbestos cement slate roofing. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2010;20(2):88~93
22. Beddoe RE, Dorner HW. Modelling acid attack on concrete: Part I. the essential mechanisms. Cem Concr Res. 2005;35(12):2333-2339.
23. Dyczek J. Surface of asbestos-cement (AC) roof sheets and assessment of the risk of asbestos release. 2006.
24. Spurny K. On the release of asbestos fibers from weathered and corroded asbestos cement products. Environ Res. 1989;48(1):100-116.
25. Meyer E. Examination of the importance of weathering asbestos cement planes for the concentration of asbestos fibers in the environment. Staub Reinhalt. Luft 1986;46(11):482
26. Favero-Longo S, Castelli D, Fubini B, Piervittori R. Lichens on asbestos‐cement roofs: Bioweathering and biocovering effects. J Hazard Mater. 2009;162(2):1300-1308.
27. Turci F, Favero Longo SE, Tomatis M, et al. A biomimetic approach to the chemical inactivation of chrysotile fibres by lichen metabolites. Chemistry-A European Journal. 2007;13(14):4081-4093.
28. Young-Chan Kim et al. A Study on the Distribution of the Asbestos Cement Slates and Calculation of Disposal Cost in the Rural Area. ARCHITECTURAL RESEARCH 13.2 (2011): 31-40.
29. 손병훈, 건축구조물 유형별 해체에 따른 이산화탄소 배출량 평가에 관한 연구, 경북대학교 학위논문, 2010.12
30. 국토해양부, 건축물 리모델링 과정의 석면함유 자재 처리비용 및 온실가스 배출량 평가 프로그램 개발, 연차실적보고서(12 첨단도시 C20), 2014.1
31. 한국산업안전공단 산업안전보건연구원, 「석면함유 제품 실태조사 및 DB구축 연구」, 2007

32. Jae-min Bae, Young-Chan Kim, Byeung-Hun Son and Won-Hwa Hong,「Analysis of Generation of Asbestos-Containing Materials Generated from Dismantling and Demolition of the Commercial Buildings」, Asia Institute of Urban Environment, pp.361-366, 2012
33. 한국산업안전보건공단, 「석면해체·제거 작업자를 통한 건축물 해체 등에 관한 규제합화방안연구」, 2011
34. AHERA (Asbestos Hazard Emergency Response Act), Part 763, Subpart E Asbestos-Containing Materials in Schools, EPA, 52 CFR Part 763, 1987.
35. ASTM(American Society for Testing and Materials), Standard Practice for Comprehensive Building Asbestos Surveys, DOI.10.1520/E2356-10, 2010.
36. HSE. A Comprehensive Guide to Managing Asbestos in Premises, ISBN 978 0 7176 2381 5/HSG227, 2002
37. Langer, A. M., and R. P. Nolan. "Chrysotile: its occurrence and properties as variables controlling biological effects." The Annals of occupational hygiene 38.4 (1994): 427-51.
38. Tossavainen, Antti, et al. "Pulmonary mineral fibers after occupational and environmental exposure to asbestos in the Russian chrysotile industry." American journal of industrial medicine 37.4 (2000): 327-333.
39. 환경부, 석면관리총람, 2009
40. 고용노동부, 한국산업안전보건공단, 석면함유 건축물 유지관리방법, 2012
41. Doll, Richard. "Mortality from lung cancer in asbestos workers 1955." British journal of industrial medicine 50.6 (1993): 485.
42. Wagner, J. C., C. A. Sleggs, and Paul Marchand. "Diffuse pleural mesothelioma and asbestos exposure in the North Western Cape Province." British journal of industrial medicine 17.4 (1960): 260-271.
43. 시민환경연구소, 석면공해와 시민건강, 2009
44. 기윤호 외 5인, 우리나라 일부 석면 함유제품에 대한 실태조사, 한국환경보건학회지, 제34권 제1호: 108-115, 2008
45. Fine, L. "Statement of Occupational Cancer." Senate Cancer Coalition 6 (1997).
46. 한국산업안전공단, 석면 해체・제거 작업지침, 2006
47. Bao Jun et al. Review of Control Laws and Detection Methods for Asbestos, Rock and mineral analysis, Vol.30 No.5: 644-653, 2011
48. 고용노동부, 산업안전보건법 시행령 영 제13053호, 1990
49. 고용노동부, 산업안전보건법 법률 제9434호, 2009
50. 최호춘 외 5인, 국내 석면 고형시료 중 석면의 종류 및 함유량에 관한 연구, 한국산업위생학회지,

제21권 제4호: 201-208, 2011
51. 배재민 외 3인, 설문조사를 통한 석면슬레이트 건축물 거주환경 개선에 관한 연구, 대한건축학회 논문집: 계획계, Vol.29 No.10: 267-274, 2013
52. 정재원 외 3인, 석면함유건축물의 석면노출 및 위해성 평가, 한국환경과학회지 제21권(제9호), 1069~1078, 2012
53. 환경부, 석면안전관리법 시행규칙, 2013
54. 최정근 외 2인, 우리나라의 석면 생산과 사용 및 근로자 수와 노출농도의 변화, 한국산업위생학회지, Vol.8 No.2: 242-252, 1998
55. Case, B. W., and P. Sebastien. "Environmental and occupational exposures to chrysotile asbestos: a comparative microanalytic study." Archives of environmental health 42.4 (1986): 185-191.
56. Mossman, J., et al. "Hunter's disease in a girl: association with X: 5 chromosomal translocation disrupting the Hunter gene." Archives of disease in childhood 58.11 (1983): 911-915.
57. World Health Organization(WHO). "Chrysotile asbestos." Environmental Health Criteria 203. (1998).
58. Rom, William N., et al. "Malignant mesothelioma from neighborhood exposure to anthophyllite asbestos." American journal of industrial medicine 40.2 (2001): 211-214.
59. 김정일 외 13인, 부산지역 직업성 폐암의 역학적 특성, 대한산업의학회지 Vol.18, No.1, 2006
60. Craighead J.E, Mossman B.T, The pathogenesis of asbestos-related diseases. N Engl J Med, 306:1446-145, 1982.
61. 안연순 외 1인, 비직업적 근접 노출에 의한 석면폐증 집단발생 사례, 대한의사협회지, Vol.52 No.5: 472-481, 2009
62. 정순희 외 11명, 감시체계를 통해 파악한 악성중피종의 역학적 특성, 대한산업의학회지, Vol.18 No.1: 46-52, 2006
63. 강원일보, http://www.kwnews.co.kr/nview.asp?s=501&aid=211092500095
64. 고용노동부, 한국산업안전보건공단, 석면함유 건축물의 안전한 관리방법, 2009
65. 신용철 외 2인, 초등학교 건축물 부재에 사용된 석면의 실태조사 연구, 대한건축학회논문집: 계획계, Vol.24 No.12: 287-294, 2008
66. 정용현 외 5인, 건축물내 천장재 석면 실태조사 및 특성분석, 한국실내환경학회지 Vol.1 No.2: 156-165, 2005
67. 유성환, 건축재료에서 발생되는 석면입자의 특성 연구, 한국대기보전학회지, Vol.9 No.3: 191-199, 1993

68. 유찬영 외 3인, 서울시 지하철 역사 내부 설비 공사에 따른 석면의 실내공기질 관리 실태, 한국산업위생학회지, Vol. 12 No.3: 178-186, 2002
69. 김수환 외 1인, 실내공기 중 석면 섬유의 분류 및 확인을 위한 전문가 시스템의 개발, 한국대기환경학회지, Vol.15 No.6: 703-712, 1999
70. 유성환 외 1인, 전자현미경을 이용한 건물내 비고형 표면자재의 석면 오염 및 기중 석면농도 특성조사, 한국산업위생학회지, Vol.6 No.2: 165-175, 1996
71. 김현욱, 대형건물내 비고형 석면함유 건축자재에 의한 기중 석면오염 및 관리실태, 한국산업위생학회지, Vol.5 No.2: 137-146, 1995
72. 황순용 외 4인, 편광현미경법을 이용한 건물의 석면조사에 관한 연구, 한국대기환경학회 2003 춘계학술대회 논문집, 2003
73. 김강윤 외 5인, 모 어린이집에서 발생되는 섬유상 물질의 석면함유여부와 노출수준 조사, 한국대기환경학회 2005 춘계학술대회 논문집, 2005
74. 노영만 외 6인, 일부 공공 및 학교시설에서의 석면 분포특성 조사, 한국실내환경학회지, Vol.4 No.3: 184-193, 2007
75. 김윤신 외 5인, 건물의 실내공기 중 석면 분포 특성, 한국대기환경학회 2003 춘계학술대회논문집, 2003
76. 한국산업안전보건공단, 대구・경북지역 석면해체・제거작업에서의 석면분진노출실태와 석면분진으로 인한 직업병 예방체계구축에 관한 연구, 2006
77. 경기도교육청, 학교 건축물 석면실태 조사자료 검증 및 연차별 관리방안 연구, 2011
78. 환경부, 다중이용시설의 석면함유물질 사용 실태와 관리 지침 마련을 위한 실태조사, 2008
79. 박화미, 건축물의 석면관리지수 개발과 최적의 리스크 커뮤니케이션에 관한 연구, 2009
80. 김영찬 외 2인, 농어촌 주택 석면슬레이트 지붕재료 사용실태 및 거주자 인식도 조사, 대한건축학회논문집 계획계, Vol.26 No.11: 363-370, 2010
81. 김영찬 외 3인, 도시지역 건축물의 석면슬레이트 지붕재료 분포특성 연구, 대한건축학회논문집 계획계, Vol.27 No.1: 253-260, 2011
82. 한국산업안전공단 산업안전보건연구원, 석면함유 제품 실태조사 및 DB구축 연구, 2007
83. 유용신 외 2인, 「건축물 해체 시 안전한 석면관리를 위한 체크리스트」, 한국건설관리학회 전국대학생 학술발표대회 논문집, 2010. 11.
84. 구준모,「국내의 석면 해체. 제거 작업」, 한국건설순환자원, 2009
85. 사단법인 한국석면환경협회 석면자료 참고
86. Legal Information Institute, 15 U.S. Code § 2646 - Contractor and laboratory accreditation, 1988
87. Environmental Protection Agency (EPA): 40 CFR Part 763, Fed. Reg. 54(132), July (1989).

88. HSE, Control of Asbestos Regulation 2006, 2006
89. The Committee on Hazardous Substances (AGS), Asbestos: Demolition, reconstruction or maintenance work (TRGS 519), 2007
90. 일본 노동성, 노동안전위생법, 2006
91. Publications of the Ministry of Social Affairs and Health, National Occupational Safety and Health Profile of Finland, 2006
92. 고용노동부, 산업안전보건기준에 관한 규칙 제452조, 2013
93. 고용노동부, 산업안전보건법 제38조, 2012
94. 김현욱, 석면관리, 앞으로 어떻게 해야 하나?, 안전보건 연구동향, No.5: 26-31, 2011
95. 김영찬 외 1인, GIS를 이용한 석면함유건축물 우선철거지역 선정, 대한건축학회논문집 계획계, Vol.30 No.6: 247-254, 2014
96. 정지연 외 5인, 환기덕트 해체작업시 석면 및 분진의 노출평가 및 관리방안, 대한설비공학회 강연회 및 기타간행물, p.549-557, 2005
97. 이진효 외 11명, 서울시내 석면함유 건축물 철거 현장 등에서의 효과적인 공기 중 석면농도 측정을 위한 연구, 한국산업위생학회지, Vol.24 No.2: 113-121, 2014
98. 정다위 외 7인, 석면 함유 슬레이트 지붕 철거작업시 주변 환경평가에 관한 연구, 한국폐기물자원순환학회지, Vol.30 No.1: 14-20, 2013
99. 전라이 외 2인, 석면건축자재의 안전한 해체를 위한 체크리스트 및 매뉴얼 개발, 대한건축학회논문집 계획계, Vol.29 No.7: 117-124, 2013
100. 김동일 외 1인, 석면 해체·제거업체의 법규준수에 대한 인식 및 태도, 한국실내환경학회지, Vol.6 No.3: 200-211. 2009
101. 한국산업안전보건연구원, 석면해체·제거작업 제도이행 실태평가 및 근로자 건강보호 방안 연구, 2010
102. 이승철, 석면작업 관련 규제의 현장 적용방안, 안전보건 연구동향, No.5: 20-25, 2011
103. 이나루, 석면 해체·제거 작업에서 사용되는 장비의 성능 기준에 관한 고찰, 한국산업위생학회지, Vol.23 No.3, 2013
104. 백승찬, 재난발생 시 석면함유물질 적정처리를 위한 석면관리체계 구축의 필수요소 선정, 경북대학교 학사학위논문, 2013.12.
105. 백승찬, 재난발생 시 석면함유물질 적정처리를 위한 석면관리체계 구축의 필수요소 선정, 경북대학교 학사학위논문, 2013.12.
106. 정영두, Delphi/AHP를 활용한 설계단계에서의 Linear Accelerator(LINAC)실 결정요인 분석, 한양대학교 석사학위논문, 2012
107. 권태일, 관광지 리모델링 사업의 영향요인 우선순위 도출에 관한 연구 : 델파이 기법과 계층적

의사결정방법 적용, 세종대학교 박사학위논문, 2008
108. 강용주, 델파이 기법의 이해와 적용사례, 한국장애인고용공단 고용개발원, 2008
109. 권용만, 온라인게임 기업의 정성적 평가요소에 관한 연구, 상명대학교 대학원, 2009
110. 이태명, Delphi방식과 특허 맵 분석을 활용한 기술예측에 관한 연구 : 자동차부품산업 전장기술에의 적용, 한국기술교육대 대학원, 2008
111. Petak William J., Emergency Management : A Chanllenge for Public Administration. Public Administration Review, 1985
112. CH Lawshe, A quantitative approach to content validity1, Personnel psychology, 1975
113. 환경부, 「건설폐기물 분리배출 및 발생원단위 산정 등에 관한 연구」, 2004
114. 한국건설기술연구원, 건설표준품셈, 2013
115. 서울시정개발연구원, 建設廢材類의 適定處理 및 再活用 方案, 1995
116. LHI (舊 대한주택공사 주택연구소), 건설폐기물의 처리 및 재활용방안 연구(I), 1997
117. LHI (舊 한국토지공사), 부천상동지구 발생폐기물 재활용처리 방안에 관한 연구, 2000
118. 건설폐기물 분리배출 및 발생원단위 산정 등에 관한 연구, 2004
119. 고영복, 사회문화연구소, 사회학사전, 2000.10
120. 한국교육평가학회, 교육평가용어사전, 2004.5, 학지사
121. 김정옥 외 3인, 「건축물대장을 이용한 수치지도 속성정보의 효율적 갱신방안 : 새주소사업의 건물번호 이용을 중심으로」, 한국측량학회지, 제 26권 제 3호, 2008
122. 강영옥 외 2인, 건축물관련 행정자료의 정비방안 : 건축물관련 정보 통합활용을 중심으로, 한국공간정보시스템학회 논문지 제 8권 제 3호, 2006
123. 신상영, 「주택재고 산정을 위한 기초자료의 현황 및 개선방안 : 서울시 건축정보시스템을 중심으로」, 한국 GIS학회, 공동춘계학술대회 논문집, 2007. 6
124. 법령정보센터 법제처, 산업안전보건법 시행규칙 제80조의 3, 5
125. 한국건설기술연구원, 건설표준품셈, 2013
126. 배재민, 석면함유자재 해체제거 시 발생하는 온실가스 배출량 산정 모델 개발, 경북대학교 석사학위논문, 2014.2
127. 산업안전보건연구원, 석면해체·제거 인프라 기준연구, 2008
128. 한국산업안전보건공단, 석면해체·제거 작업 지침, 2012
129. 산업안전보건연구원, 석면해체·제거 작업 관련 장비 성능 기준 연구, 2011
130. 법령정보센터 법제처, 산업안전보건법 「제46조」
131. 김영랑, 「물부족에 대응한 물수요관리 도입계획」, 서울시정개발연구원, 2010
132. 한국교통연구원, 「대량수송수단 경제적화물운반거리 단축방안 연구」, 2011
133. 법제처 국가법령정보센터, 온실가스 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침 「별표 14 배출활동별

온실가스 배출량 등의 세부산정방법 및 기준」

134. 김태현 외 2인, 순환골재 생산의 에너지 소비량 및 CO_2 배출저감 가능성에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 통권24호, 2013

135. AHERA (Asbestos Hazard Emergency Response Act), 2003. Part 763, Subpart E Asbestos-Containing Materials in Schools, EPA, 52 CFR Part 763,

136. ASTM (American Society for Testing and Materials), 2014. Standard Practice for Comprehensive Building Asbestos Surveys, DOI.10.1520/E2356-10, http://www.astm.org/Standards/E2356.htm

137. Health and Safety Executive (HSE), 1998. MDHS 87 Fibres in air: Guidance on the discrimination between fibre types in samples of airborne dust on filters using microscopy. http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs87.pdf

138. ㈜신원문화사, http://www.shinwonbook.co.kr

139. ㈜명진테크, http://www.gageplus.com/main/productview3.asp?g_cd=319&c_cd=31&p_idx=1

140. NIOSH/OSHA, Workplace Exposure To Asbestos: Review and Recommendations, DHHS(NIOSH) Publication 81-103, 1976

141. 최성호 외 2인, PCM과 SEM을 이용한 공기 중 섬유상 분진 분석 방법 비교 연구, 한국분석과학회, p.45, 2009

142. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) a : Asbestos and other fibers by PCM: 7400, NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) 4th ed., S. Department of HHS, 1994http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7400.pdf

143. Health and Safety Executive (HSE). MDHS 87 Fibres in air: Guidance on the discrimination between fibre types in samples of airborne dust on filters using microscopy. (1998) http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs87.pdf

144. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). OSHA ID-160, Asbestos in Air, OSHA, 1997. https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id160/id160.pdf

145. World Health Organization(WHO), Determination of airborne fibre number concentrations: A recommended method, by phase-contrast optical microscopy (membrane filter method), 1997

146. 한국산업안전보건공단. KOSHA CODE A-1-2004. 2006.

147. 일본 환경성, 석면모니터링 매뉴얼, 3rd, 2007

148. 환경부, 실내공기질공정시험기준, ES 02303.1 실내 공기 중 석면 및 섬유상 먼지 농도 측정방법 - 위상차현미경법: p.83-104, 2010

149. 업안전보건연구원, 위상차현미경을 이용한 공기 중 석면 측정·분석, 2009

150. ASBESTOS INTERNATIONAL ASSOCIATION (1979) Reference method for the

determination of airborne asbestos fibre concentrations at work places by light microscopy (membrane filter method). Recommended technical method no. I. London: Asbestos International Association.

151. Verein Deutscher Ingenieure (VDI). VDI-Richtlinien: indoor air pollution measurement: measurement of inorganic fibrous particles: measurement planning and procedure: scanning electron microscopy. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1994. VDI 3492, part 2.
152. 기상청, 「1981~2010 한국기후도」, 2012
153. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) a, 1994. Asbestos and other fibers by PCM: 7400, NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM) 4th ed., S. Department of HHS. http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/7400.pdf
154. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 1997. OSHA ID-160, Asbestos in Air, OSHA. https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id160/id160.pdf
155. HSE (Health and Safety Executive), 2002. A Comprehensive Guide to Managing Asbestos in Premises, ISBN 978 0 7176 2381 5/HSG227. http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg227.pdf
156. Korea Occupational Safety and Health Agency, 2006. KOSHA CODE A-1-2004.
157. Seung-Ho Lee. The Characteristics of Folk Houses at Heavy Snowfall Regions in Korea. Journal of the Korean Geographical Society, 2002, 37(1), 1-14
158. 대구광역시, 주택통계연감, 2009(http://www.daegu.go.kr)