

발 간 등 록 번 호

11-1541000-001702-01

**전과정 평가를 통한 저수지 제체 침투누수 저감 공법의
이산화탄소 배출량 산정 기법 개발**

Development of the estimations method of carbon dioxide
emission for leakage reduction methods using life cycle
assessment

서 울 대 학 교

농 립 수 산 식 품 부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “전과정 평가를 통한 저수지 제체 침투누수 저감공법의 이산화탄소 배출량 산정 기법 개발” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2012 년 11 월 20 일

주관연구기관명 : 서울대학교

주관연구책임자 : 손 영 환

세부연구책임자 : 손 영 환

연 구 원 : 노 수 각

연 구 원 : 봉 태 호

연 구 원 : 박 재 성

연 구 원 : 최 우 석

연 구 원 : 김 태 완

요 약 문

I. 제 목

전과정 평가를 통한 저수지 제체 침투누수 저감공법의 이산화탄소 배출량 산정기법 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구 목적

- 저수지 제체 침투누수 저감공법 평가에 적합한 전과정 평가를 통한 이산화탄소 배출량 산정기술 개발 및 이산화탄소 배출량 산정 프로세스 적용성 평가

2. 연구 필요성

- 국내 존재하는 농업기반 시설물들의 노후화로 많은 결함이 발생하여 안정성 확보를 위하여 유지보수 공법이 실시되고 있으나 시공에 있어 경제성 및 시공성 등에 대한 고려가 가장 크게 이루어 질 뿐 정량적인 환경성 평가가 미미하며 적절한 방법이 부재함
- 국제적인 온실가스 배출 감축 요구로 모든 산업 분야에서 이산화탄소 감축 요구가 증대되어 현재 우리나라에서는 다수의 생산 제품에 대하여 전과정 평가를 통한 탄소 라벨링제를 실시하고 있으나 건설 분야 적용이 미비함

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 농업용 저수지 제체에 발생하는 침투누수 원인별 저감공법 연구

- 침투누수 원인별 저감공법 분석
- 침투누수 저감공법 기존 평가 방법 연구

2. 저수지 제체 침투누수 저감공법 전과정 평가

- 저감공법 평가에 적합한 전과정 평가 기술 개발

3. 저수지 제체 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정기법 개발

- 저감공법 평가의 전과정 평가를 통한 이산화탄소 배출량 산정기법 개발

4. 저수지 제체 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정 기법 적용성 평가

- 기존 방법을 이용한 대상 저수지의 침투누수 저감공법의 경제성 평가
- 대상 저수지의 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정을 통한 적용성 평가

IV. 연구개발결과

1. 저수지 제체 침투누수 원인 및 저감공법

- 저수지 제체의 침투누수 원인은 제체 침투와 지반 침투로 나뉘며 제체 침투는 일반적으로 제체 비탈 끝 부근에서 침투수가 유출하는 것을 말하며, 이것은 제체의 투수성 불량에 의해 발생하는 것을 지칭한다. 지반 침투는 지반의 투수성이 높은 경우에는 제체 상류측 수위가 상승함으로써 침투압이 증가하여 제체 하류측 지반에 침투수가 용출하는 파이핑 현상이 발생하는 것을 말한다.
- 제체의 침투누수 저감공법은 크게 표면차수 공법, 그라우팅 공법, 강널말뚝 공법으로 나뉘며 시공성, 경제성, 현장 특수성 등을 고려하여 공법을 선정한다.

2. 전과정 평가 및 이산화탄소 배출량 산정 기법

- 전과정 평가 (Life Cycle Assessment)란 제품 또는 시스템의 전과정에 걸쳐 필연적으로 발생하는 환경부하를 규명하고, 환경부하가 환경에 미치는 영향을 평가하여 이를 저감, 개선하고자 하는 기법으로 목적 및 범위 정의, 전과정 목록분석, 전과정 영향평가, 전과정 해석으로 구성되어 있으며 이산화탄소 배출량을 평가하는 방법은 기본적으로 전과정 평가 방법을 따른다.

3. 경제성 평가 방법

- 경제성 평가는 인간의 계속된 욕구 충족 추구로 인하여 보다 큰 가치를 얻기 위하여 포기하는 가치에 대한 평가를 정량화 하여 본질적으로 경제적 효율의 최대화를 목적으로 하는 경제적 과정을 일컫는다
- 경제성 평가에는 화폐적 가치를 지니는 시장재의 경제성 평가 방법과 비시장재 경제성 평가 방법으로 나뉜다.

4. 침투누수 저감공법 전과정 평가 및 이산화탄소 배출 산정

- 건설 구조물의 전과정은 자재생산에서 시공, 사용, 유지보수, 해체, 폐기단계로 나뉘 수 있으나 본 연구에서는 자재 생산과 운송, 시공단계까지 고려하였다.
- 건설 자재의 이산화탄소 배출 원단위는 산업연관방식을 사용하여 작성하였으며 건설 장비 이산화탄소 배출 원단위는 일위대가표를 이용하였다.
- 건설 자재의 이산화탄소 배출 원단위는 시멘트가 상대적으로 다른 건설 자재에 비하여 높은 원단위를 나타냈으며 건설 장비는 워터젯 펌프와 불도저의 배출량이 높게 나타났다.
- 공사규모를 연장 10~50m, 심도 20m로 가정하고 2009년 일위대가표를 이용하여 각 공법에 대한 경제성 평가를 실시한 결과 JSP 공법이 가장 높은 공사비가 산출되었으며 표면차수 공법이 가장 경제성이 높은 것으로 나타났다.
- 공사비 산정 내역서를 바탕으로 산출된 이산화탄소 배출 원단위를 이용하여 각 공법의 이산화탄소 배출량을 산정한 결과 공사비 산정 결과와 같이 JSP 공법이 가장 높은 배출량을 나타냈으며 표면차수 공법이 가장 적은 이산화탄소를 배출하는 것으로 나타났다. 하지만 공사비에 따른 이산화탄소 배출량을 분석한 결과, 상대적으로 강널말뚝 공법이 공사비에 비하여 적은 양의 이산화탄소를 배출하는 것으로 분석되었다.

5. 이산화탄소 배출량 산정 프로세스 적용성 평가

- 충청남도 세종시에 위치한 용암 저수지를 대상으로 본 연구에서 개발한 이산화탄소 배출량 산정 프로세스 적용성 평가를 실시하였다. 적용성 평가를 위하여 실제 침투누수 저감 공법 중 커튼 그라우팅 공법이 적용된 대상지에 다른 공법의 적용을 가정하여 이산화탄소 배출량을 분석하였다.
- 대상지의 각 공법별 이산화탄소 배출량 산정 결과, 앞서 실시한 각 공법의 규모별 이산화탄소 배출량 산정 결과와 유사한 경향을 나타냈으며 각각의 자재 사용과 장비 사용에 따른 각 공법의 특성을 반영하여 배출량이 산정되는 것으로 나타났다.

6. 결론

- 본 연구에서 제안한 이산화탄소 배출량 평가 방법으로 침투누수 저감공법을 평가한 결과, 각 공법 특성을 잘 반영하며 환경에 대한 영향을 정량적으로 표현할 수 있는 것으로 판단된다.
- 본 연구에서 개발된 기법을 통하여 침투누수 저감공법에 대하여 환경적 영향 평가를 정량적으로 평가한 결과, 공사비용으로 분석되는 경제적 가치와 다른 결과를 나타내 추후 공사 평가에 있어 이산화탄소 배출량 평가에 대한 고려가 필요할 것이라 판단된다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 연구성과

- 저수지 제체 침투누수 저감공법 전과정 평가 기술 개발
- 저수지 제체 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정 기술 개발

2. 성과활용 계획

- 농업용 저수지 제체의 통합적이고 체계적인 시설물 유지 관리 공법 의사결정 지원 및 경제성 평가에 활용하며, 중·장기적인 유지관리 계획 수립을 위한 보수·보강사업의 사업 비용/편익 분석에만 의존하던 것에서 벗어나 정량적인 환경성평가를 적용한 선정 기준으로 활용
- 거시적인 농업생산기반시설 관리를 위한 자료 제공 및 의사결정을 지원하며 농업용 저수지 보수공법 선정 기준 마련을 통한 지속가능한 국토자원관리 계획 수립에 기여
- 경제성/환경성을 종합적으로 판단할 수 있는 기준을 제시함으로써 유지보수 공법의 사업비 경감 효과 및 효율적 사업의 보조적 역할 수행
- 건설사업에 대한 정량적 환경성 평가 방법을 제시하여 친환경적 농업개발을 위한 자료로 활용

SUMMARY

I. Title

Development of the estimations method of carbon dioxide emission for leakage reduction methods using life cycle assessment

II. Objectives and the need of the research

1. Objectives of this research

- Development for estimating method of carbon dioxide emissions using life cycle assessment for suitable leakage reduction methods and evaluation on applicability of carbon dioxide emissions process.

2. The need of this research

- Maintenance process has been carried out for securing the safety because many defects are occurred due to aging of domestic agricultural infrastructure, But the most of consideration for maintenance process focus on construct ability and economic efficiency while consideration of quantitative environmental assessment is slight and appropriate methods are not exist
- Needs of reduction carbon dioxide emissions for all industries are increasing because of international demand for reduction in greenhouse gas emissions. So the carbon labeling being carried out for many product but it is inadequate in construction.

III. Contents and scope of the research

1. Research on leakage reduction methods of agricultural reservoirs embankment

- Analysis of leakage reduction methods for leaking causes
- Research on the existing evaluation methods

2. Life cycle assessment for leakage reduction methods

- Development of appropriate life cycle assessment for leakage reduction methods

3. Development of the estimations method of carbon dioxide emission for leakage reduction methods

- Development of estimations methods carbon dioxide emission using life cycle

assessment

4. Estimation on applicability of carbon dioxide emission method for leakage reduction methods

- Economic evaluation of a target reservoir using existing estimation methods for leakage reduction method
- Estimation on applicability through carbon dioxide emission of leakage reduction methods of a target reservoir

IV. Results of Research

1. Causes and reduction methods of reservoirs embankment leaking

- Causes of reservoirs embankment leaking can be divided into embankment infiltration and ground infiltration. Embankment infiltration generally means that water of infiltration is spilled at the bottom of slope. And ground infiltration means that water level of upstream rise when hydraulic conductivity of ground is high, then infiltration pressure increase and the water of infiltration is spilled at the ground of downstream or piping.
- Leakage reduction methods can be divided into surface waterproof method, grouting method, and sheet pile method, which selected by considering construct ability, economics, site specificity.

2. Life cycle assessment and method of estimating carbon dioxide emission

- Life cycle assessment ascertains environmental load occurs necessarily, evaluating the impact of environmental load on the environment and reducing and improving it. Life cycle assessment consists of defining the objectives and scope, life cycle inventory analysis, life cycle impact assessment, and life cycle analysis. The estimating method of carbon dioxide emission basically refer to life cycle assessment

3. Economical evaluation method

- Economical evaluation is quantifies the abandon value in order to obtain greater value due to the pursuit of human desire and economic processes that maximize the economic efficiency basically
- Economical evaluation consists of method for evaluating market value having monetary value and method for evaluating non-market value

4. Life cycle assesment for leakage reduction methods

- Life cycle of the construction structures can be divided into material production, use, maintenance, dismantling, disposal, but in this study, it is considered from material

production, transportation, and construction sequence.

- Basic unit of carbon dioxide emission in construction materials was created using the Input-Output Analysis and basic unit of carbon dioxide emission in construction equipment was created using the standard quantity-per-unit costing method .
- Cement showed relatively larger basic unit than other construction materials in construction materials, and waterjet pump and bulldozers showed relatively larger basic unit than other construction equipments .
- Assuming that the construction scale extends for 10~50m and the depth is 20m, the economic evaluation was carried out using 2009 standard quantity-per-unit costing method. As a result, JSP method was the highest cost, and waterproof method was economically most be economical.
- Carbon dioxide emissions of each methods was calculated using the basic unit of carbon dioxide emissions calculated based on construction cost estimating method. As a result, it was showed that carbon dioxide emissions of JSP method was the highest like the result of the construction costs and carbon dioxide emissions of waterproof method was the lowest. But carbon dioxide emissions of sheet pile method was relatively low as compared with the construction methods in the carbon dioxide emissions according to the construction costs.

5. Estimation on applicability of carbon dioxide emission process.

- Targeting Yong-Am reservoir in which curtain grouting was applied, located in Chungcheongnam-do Sejong city, assuming other methods are applied in the selecting site, carbon dioxide emissions was analysed.
- As a result of calculating carbon dioxide emissions each method, it showed similar to results of the preceding and was calculated according to each use of the materials and equipment, reflecting a characteristics of each method.

5. Conclusion

- Carbon dioxide emission process proposed in the this study could be expressed environmental impact quantitatively and reflect the characteristics of leakage reduction methods.
- In the result of quantitative environmental assessment using the method developed in this study, economic evaluation calculated construction cost and environmental assessment evaluated by carbon dioxide emissions are different. Therefore, assessment of carbon dioxide emissions are required in evaluation of construction project.

CONTENTS

Chap. 1 Introduction	1
Sec. 1 Background and needs	1
Sec. 2 Objectives	4
Sec. 3 Contents and work scopes	5
Chap. 2 The domestic and foreign status of technical development	6
Sec. 1 Leakage reduction methods	6
1. Status of leakage reduction methods	6
2. Problem of previous evaluation about leakage reduction methods	7
Sec. 2 Life cycle assessment	8
1. Status of life cycle assessment	8
2. Problem of previous evaluation about life cycle assessment	8
Sec. 3 Estimation of carbon dioxide emissions	9
1. Status of estimation of carbon dioxide emissions	9
2. Problem of previous evaluation about estimating carbon dioxide emissions	9
Chap. 3 Contents and result	10
Sec. 1 Leakage reduction methods of reservoirs embankment	10
1. Causes of reservoirs embankment leaking	10
2. Reduction methods of reservoirs embankment leaking	11
제 2 절 Life cycle assessment and method of estimating carbon dioxide emissions	31
1. Life cycle assessment	31
2. Method of estimating carbon dioxide emissions	39
제 3 절 Economical evaluation method	44

1. Concept of economical evaluation	44
2. Cost classification of economical evaluation	44
3. Method of economical evaluation	45
4. Economical evaluation method for non-market value	49
 Sec. 4 Life cycle assessment for leakage reduction methods	 54
1. Range setting of life cycle assessment	54
2. Calculation of basic unit of carbon dioxide emissions	56
3. Economical evaluation of leakage reduction methods	60
4. Estimation of carbon dioxide emissions using life cycle assessment for leakage reduction methods	67
 Sec. 5 Estimation on applicability of carbon dioxide emissions process	 74
1. Designation selection	74
2. Economical evaluation of leakage reduction methods on designation	81
3. Estimation of carbon dioxide emissions for leakage reduction methods on designation	88
 Sec. 6 Conclusion	 95
 Chap. 4 Achievement and contribution	 97
 Chap. 5 Accomplishment and application plans	 99
Sec. 1 Accomplishment	99
Sec. 2 Application plan	100
 Chap. 6 The information of overseas science and technology	 101
 Chap. 7 The status of the possession for the research equipment	 105
 Chap. 8 Reference	 106

목 차

제 1 장 개 요	1
제 1 절 연구의 배경 및 필요성	1
제 2 절 연구의 목적	4
제 3 절 연구의 내용 및 범위	5
제 2 장 국내외 기술개발 현황	6
제 1 절 침투누수 저감공법 평가	6
1. 침투누수 저감방안 수립 현황	6
2. 기존 침투누수 저감방안 평가 문제점	7
제 2 절 전과정 평가	8
1. 전과정 평가 수립 현황	8
2. 기존 전과정 평가 연구 문제점	8
제 3 절 이산화탄소 배출량 산정	9
1. 이산화탄소 배출량 산정 수립 현황	9
2. 기존 이산화탄소 배출량 산정 연구 문제점	9
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	10
제 1 절 저수지 체체 침투누수 원인 및 저감공법	10
1. 저수지 체체 침투누수 원인	10
2. 저수지 체체 침투누수 저감공법	11
제 2 절 전과정 평가 및 이산화탄소 배출량 산정 기법	31
1. 전과정 평가 기법	31
2. 이산화탄소 배출량 산정 기법	39
제 3 절 경제성 평가 방법	44

1. 경제성 평가 개념	44
2. 경제성 평가의 비용 분류	44
3. 경제성 평가 방법	45
4. 비시장재의 경제성 평가 방법	49
제 4 절 침투누수 저감공법 전과정 평가 및 이산화탄소 배출량 산정	54
1. 전과정 평가 범위 설정	54
2. 이산화탄소 배출 원단위 산출	56
3. 침투누수 저감공법 경제성 평가	60
4. 전과정 평가를 통한 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정	67
제 5 절 이산화탄소 배출량 산정 프로세스 적용성 평가	74
1. 대상지 산정	74
2. 대상 저수지 침투누수 저감공법 경제성 평가	81
3. 대상 저수지 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정	88
제 6 절 결론	95
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	97
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	99
제 1 절 연구개발 성과	99
제 2 절 연구성과 활용방안	100
제 6 장 연구개발 관련 해외과학기술정보	101
제 7 장 연구시설 장비 현황	105
제 8 장 참고문헌	106

제 1 장 개 요

제 1 절 연구의 배경 및 필요성

최근 기후변화로 인한 강우 패턴 변화로 농업용 저수지의 저수량이 변화하고 있으며 설계시 적용하였던 강우량을 초과하는 강우 사상의 발생으로 인하여 많은 피해가 발생하고 있다. 저수량이 변화하면 제체의 안정성에 영향을 주게 되며 안정성을 초과하는 강우사상 발생 시 심할 경우 붕괴까지 진행될 수 있다. 실제로 강우로 인하여 1999년 연천댐, 2002년 장현 저수지와 동막 저수지, 2007년 대사 저수지와 춘장 저수지의 붕괴사례가 있다. 또한 가장 침투량이 높은 만수위보다 저수위가 급격히 상승하거나 하강할 때 간극수압의 변화로 인하여 저수지의 안정성이 낮아지기 때문에 이에 대한 대책이 필요하다.

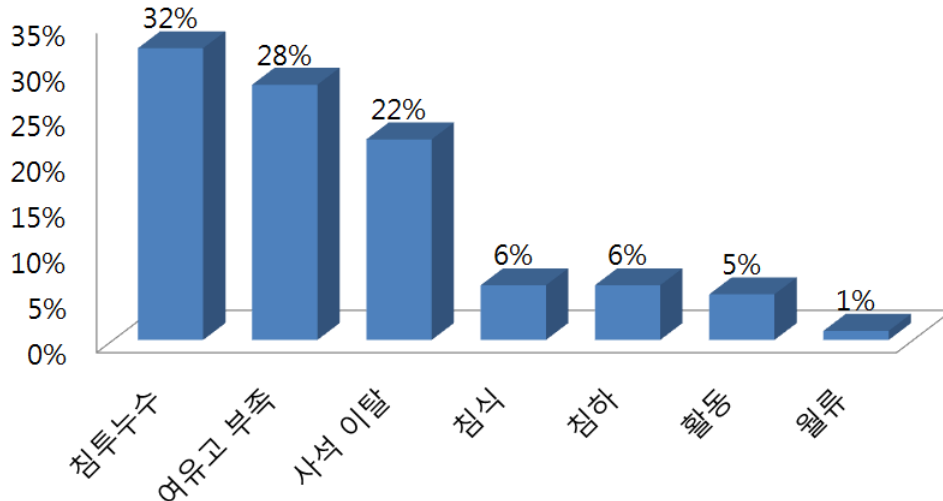
강우 사상의 변화에 따른 제체 안정성 변화 뿐 아니라 내구연한 초과 또한 저수지 안전율을 저하시키는 요인으로 작용한다. 현재 저수지 내구연한은 농촌공사 분석기준 60년이며 내구연한이 초과된 저수지가 전체 저수지의 절반이 넘는 것으로 조사되었다 (표 1-1). 2004년 기준 우리나라에 존재하는 저수지 17,764개 중 53.8%인 9,551개가 1945년 이전에 지어진 것으로 나타났다. 이러한 시설물의 노후화로 농업생산기반시설에 많은 결함이 발생하고 있다. 전체 결함 중에서 침투누수와 여유고 부족으로 인한 결함이 각각 32%, 28%로 가장 주요한 결함원인으로 나타났다 (그림 1-1). 따라서 제체의 노후화와 기후변화로 인한 제체 안정성 저하를 방지하기 유지보수에 대한 대책이 필요하다.

과거에는 저수지 제체의 유지보수 방안 결정은 경제성이나 시공성을 주로 고려하여 결정하였다. 그리고 건설공사에 있어 환경을 평가한다 하더라도 정성적 평가에 그쳐 환경에 미치는 영향을 정확히 평가하기 위한 정량적 평가 방법의 도입이 필요하다.

[표 1-1] 우리나라 저수지 준공년대 현황

구분	계	'45이전	'46~'66	'67~'76	'77~'86	'87~'03
저수지	17,764 (100%)	9,551 (53.8%)	3,735 (21.0%)	3,143 (17.7%)	884 (5.0%)	451 (2.5%)

출처 : 농업생산기반정비사업통계연보 (2004, 농림수산식품부)



[그림 1-1] 우리나라 농업용 필댐 결함 요인

(출처 : 김현태, 2005, 필댐의 결함원인과 홍수를 대비한 시설물 안전진단 방향, 한국시설안전공단)

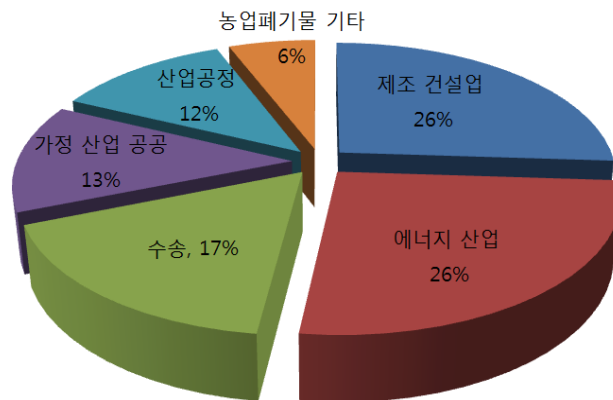
최근 많은 산업분야에서 지구온난화 방지와 정량적인 환경성 평가를 위하여 이산화탄소 배출 평가를 실시하고 있다. 현재 전 세계적으로 다량의 온실가스가 대기로 배출됨에 따라 지구 대기 중 온실가스 농도의 증가로 지구의 지표온도가 과도하게 증가되어 지구온난화 현상을 초래하고 있다. 지구온난화로 인한 피해가 증가함에 따라 이를 방지하기 위하여 전 세계 여러 국가들은 교토 의정서를 채택하였다. 교토의정서는 2008~2012년 사이에 온실가스 총배출량을 1990년 수준보다 -8%~+10%로 감축하는 의무를 채택하였다. 감축 대상가스인 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 불화탄소(PFC), 수소화불화탄소(HFC), 불화유황(SF₆) 중 이산화탄소는 지구온난화지수는 낮지만 인위적으로 배출되는 전체 온실가스 중 80% 이상을 차지하기 때문에 온실가스 조절을 위해 가장 중요한 요인으로 인식되어 이를 감축하기 위한 정책들이 시행되고 있다.

이러한 노력은 선진국에 우선적으로 실시되었으나 감축 대상국이 2013~2017년 개발도상국 까지 확대될 것으로 예측되고 있으며 우리나라는 전세계 온실가스 배출 9위 국가로 전 지구적 온난화 현상 방지를 위하여 추후 온실가스 감축에 주요한 역할을 수행해야 할 것으로 판단된다(그림 1-2). 대상국 확대협약에서 한국도 동참을 요구받을 것으로 예상되고 있으며 온실가스배출권거래제가 도입될 것으로 예상되어 모든 산업 분야에서 이산화탄소 감축 요구가 증대되고 있다. 이러한 요구의 증대로 인하여 현재 생산 제품에 대하여 여러 제품에서 전과정 평가를 통한 탄소 라벨링제를 시작하고 있으나 건설 분야에서는 이에 적합한 이산화탄소 배출량을 나타내고 있지 못한 실정이다.



[그림 1-2] 전세계 온실가스 배출 현황

특히 제조 건설업 분야는 우리나라 온실가스 배출의 주요한 원인으로 전체 배출량의 26%를 차지하고 있어 제조 건설업의 이산화탄소 배출량 조절을 통하여 전체적인 온실가스 배출 관리에 기여할 수 있을 것이라 기대된다.



[그림 1-3] 우리나라 부분별 온실가스 배출 현황

제 2 절 연구의 목적

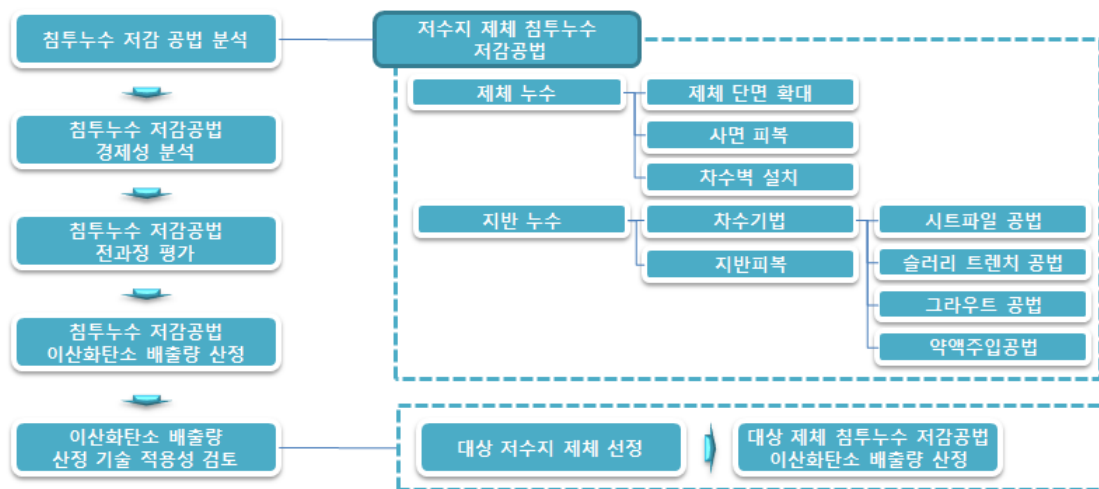
본 연구의 목적은 다음과 같다.

- 농업용 저수지 제체에 발생하는 침투누수 원인별 저감공법 연구
- 저수지 제체 침투누수 저감공법 평가에 적합한 전과정 평가 기술 개발 및 평가
- 저수지 제체 침투누수 저감공법 평가에 적합한 전과정 평가를 통한 이산화탄소 배출량 산정 기술 개발
- 이산화탄소 배출량 산정 프로세스 적용성 평가

제 3 절 연구의 내용 및 범위

본 연구의 내용 및 범위는 다음과 같다.

- 농업용 저수지 제체에 발생하는 침투누수 원인별 저감공법 연구
 - 농업용 저수지 제체 특성 분석
 - 농업용 저수지 제체 침투누수 원인 특성 분석
 - 농업용 저수지 제체 침투누수 원인별 저감공법 연구
- 기존 평가 방법을 통한 저감공법 분석 및 경제성 평가
 - 경제성 분석 항목 선정
 - 저감공법 경제성 평가 및 분석
- 저수지 제체 침투누수 저감공법 평가에 적합한 전과정 평가 기술 개발 및 평가
 - 저감공법 평가에 적합한 평가항목 선정 및 평가 기술 개발
 - 저수지 제체 침투누수 저감공법 전과정 평가
- 저수지 제체 침투누수 저감공법 평가에 적합한 전과정 평가를 통한 이산화탄소 배출량 산정기술 개발
 - 이산화탄소 배출특성 분석을 통한 배출량 산정 프로세스 개발
 - 전과정 평가를 통한 저감공법 이산화탄소 배출량 산정
- 이산화탄소 배출량 산정 프로세스 적용성 평가
 - 대상 저수지에 대한 침투누수 저감공법 전과정 평가 및 이산화탄소 배출량 산정
 - 개발된 이산화탄소 배출량 산정 기술 적용성 평가



[그림 1-4] 연구 흐름도

제 2 장 국내외 기술개발 현황

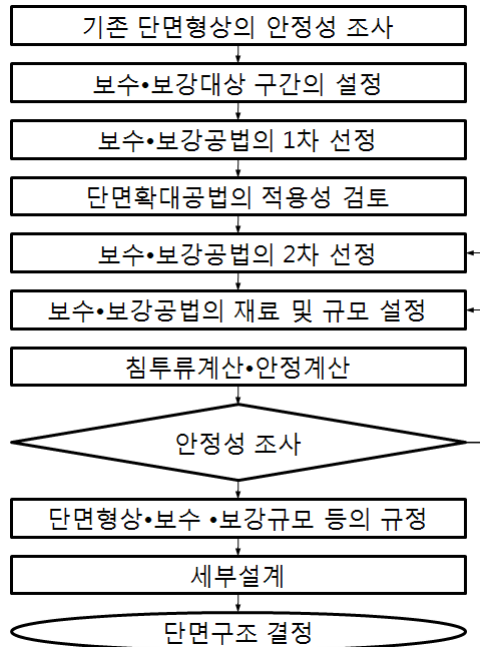
제 1 절 침투누수 저감공법 평가

1. 침투누수 저감방안 수립 현황

가. 저감공법의 선정 절차

저수지 제체에 침투누수 발생 시, 제체의 대표단면을 선정하여 조사결과에 근거해서 저감구간을 선정한다. 저감 대상 구간의 홍수특성, 제체의 현황 (단면형상, 토질조건), 배후지 조건 (지형, 토지이용), 침투누수의 특성 (제체, 지반) 등을 정리하고 1차 저감기법을 선정하게 된다. 1차 선정은 당해 구간에 적용이 가능하다고 판단되는 기법을 선정하는 것으로, 침투에 대한 안정성 저해요인을 충분히 분석하여야 한다. 만일 침투 이외의 침식 혹은 지진에 대한 저감이 별도 필요한 경우에는 침투에 대한 저감기법과 함께 고려해야 한다.

저감기법의 2차 선정은 1차 선정된 저감기법을 대상 구간의 단면에 적용하고, 안정성 조사 방법에 따라서 저감기법의 규모나 재료를 결정한다. 소요 안정성이 확보 가능한 기법과 그 규모나 재료가 규정되면, 최종적으로는 세부 설계를 실시하고, 단면구조를 결정하여 저감기법의 설계를 종료하게 된다. 침투누수 저감공법 선정의 기본적인 절차는 그림 2-1과 같다.



[그림 2-1] 침투누수 저감공법 설계 순서

나. 저감기법 선정방법

침투누수 저감공법을 적용하기 위하여 제체 대상구간의 선정은 제체 안정성 조사 결과를 바

탕으로 안정성이 미확보된 구간을 대상으로 현장에 적절하다 판단되는 기법을 1차적으로 선정한다. 침투 저감기법 1차 선정은 사회기반시설로서의 적절한 제체의 안정성 확보를 위해 저수지 상황을 파악하고 과거의 파괴이력 및 원인과 저수지 상황 등을 고려하여 판단한다. 또한 각각의 침투 저감기법을 적용했을 경우의 안정성을 검토하여 필요한 안정성을 확보할 수 있는 기법을 선정하도록 한다.

침투누수 저감공법 2차 선정은 제체 붕괴에 따른 제내지의 인명 및 재산 피해상황, 제체 특성, 유지관리 등을 고려하여 선정된 1차 침투 저감기법에 대해서 적합한지를 검토하여 적절한 기법을 선정한다. 또한 제체 침투누수 저감공법 적용 후 유지관리, 경제성, 시공성, 사업진행, 제체 및 구조물의 영향과 환경 영향에 대한 분석이 필요하다.

유지관리에서는 상황파악의 용이성, 보수용의 용이성, 기능의 지속성에 대한 판단이 필요하다. 상황파악의 용이성은 연약지반 또는 지하수 등의 영향에 의한 침하 및 변형 등에 대해 검토하며 유지관리의 용이성은 침하 및 변형 등에 대한 보수공사의 신속성 및 경제성에 대해 검토한다. 침투 저감기법 효과의 지속성 및 효과 확인 용이성에 대해 검토 또한 필요하다. 특히 차수시트 등의 파손이나 부식, 필터재료의 막힘 등 재료의 지속적인 기능 감소 및 연약지반 또는 지하수 등의 영향에 의한 재료의 효과 감소 등에 대해서도 검토한다.

경제성에서는 침투 저감기법의 효과 및 유지관리비용을 포함한 총비용이 가장 적절한 저감기법을 선정한다. 이를 위해 각 제체 보강기법에 투입되는 비용 및 유지관리 비용 등 총비용을 검토하여 각각의 투자효과에 대한 경제성 분석을 검토한다. 시공성은 침투 저감기법이 시공에 의한 약점 등이 발생하지 않도록 시공의 신뢰성 및 확실성이 높은 기법을 선정하고 시공의 신속성 및 용이성에 대해서도 검토한다. 또한 원활한 사업진행을 실시하기 위해 침투 저감기법에 의한 주변 지역의 영향을 파악하며 침투 저감기법에 의해 기존 제체로의 영향 및 변형 가능성을 검토한다.

침투 저감기법 선정에 있어 주변 환경에 미치는 영향을 검토하여야 하며, 선정 기법이 주변 환경에 악영향을 최대한 주지 않도록 한다. 침투 저감기법 설치에 의한 주변 생태계 서식 환경으로의 영향을 고려하며 주변 경관과의 조화 및 경관의 연속성 등을 고려한다. 또한 저수지 공간의 이용상황 등을 고려하여 횡단형상의 연속성 등을 고려하고 제내지의 지하수 이용과 물순환의 영향을 고려하여야 한다.

2. 기존 침투누수 저감방안 평가 문제점

침투누수 저감공법 2차 선정시 고려하는 사항은 다음과 같다.

- 유지관리 : 상황파악의 용이성, 보수용의 용이성, 기능의 지속성
- 경제성 : 효과 및 유지관리 비용을 포함한 총 비용 계산
- 시공성 : 시공의 신뢰성, 확실성, 신속성, 용이성 등
- 사업진행 : 주변지역의 영향 파악
- 제체 및 구조물 영향 : 기존 제체로의 영향 및 변형 가능성 검토
- 환경 : 생물의 서식환경 영향, 경관 영향, 저수지 이용 영향, 지하수 영향

이와 같은 기존의 침투누수 저감공법 선정 과정은 현재 침투누수 저감공법 선정을 위해 실

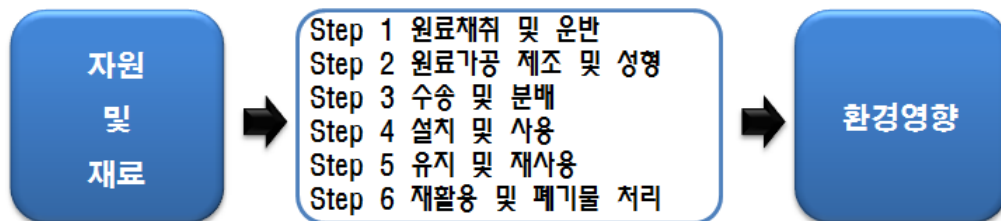
시되는 환경성 평가에서는 축조된 체체가 미치는 경관, 생태학적 요소만을 고려하고 있기 때문에 공사 과정에서 환경에 미칠 수 있는 영향을 종합적으로 고려할 수 있는 정량적 해석 방법이 필요하다. 또한 침투누수 저감공법 경제성 분석에 있어 전과정을 고려한 평가가 아닌 저감 공법을 시공하고 유지하는데 소요되는 비용만을 산출하기 때문에 전과정에서 발생하는 환경 비용 산출이 필요하며 환경성을 정량적으로 평가하고 이를 고려한 경제성 평가가 필요하다.

제 2 절 전과정 평가

1. 전과정 평가 수립 현황

LCA는 1960년대 후반 미국과 유럽을 중심으로 일반 소비재를 대상으로 연구개발이 활발해 지고 환경평가나 재사용문제가 촉발되면서 이론이 구축되기 시작했다. 1969년 미국 코카콜라사 (W. E. Franklin)에 의해 각종 재료의 음료 용기 제작시 환경 및 REPA (Resource & Environmental Profile Analysis)에 의해 태양 에너지 효과/대기 오염물질 절감효과 등에 대한 분석이 수행되었다. 1980년대에는 유럽을 중심으로 연구소 및 기업에서 LCA 연구가 시작되고, 80년대 후반기부터 SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)에서 중심으로 연구되었다. 특히, 80년대에는 일본 화학경제연구소의 에너지 분석으로 인해 LCA가 발달하기 시작하였으며 1992년에는 라이덴 대학 (네덜란드)의 부설 연구기관인 CML에서 전과정 평가의 방법론 지침서를 발간하고, 분야별 전문가로 구성된 작업그룹이 조직되었으며 1993년 EPA 매뉴얼의 간행으로 본격적으로 발전하기 시작하였다. 일본은 1995년 LCA 일본 포럼을 통해 공동 LCA 방법의 확립이나 공동자료기반의 구축, 적용 방법론의 확립, 일반 시민, 산업계 등으로 확대, 보급 활동체제의 확립 등의 필요성을 주장하였다.

국내에서는 1997년 한국 전과정 평가 학회가 설립되었고 1999년에 산업자원부 산하 국가청정생산지원센터 (NCPC)가 지정되어 2003년에 산업자원부 국가 LCI 종합 정보망 구축 및 LCA 소프트웨어를 배포하기 시작하였다. 현재 다양한 건축자재 및 수송에 관한 연구가 진행되고 있으며, 토목의 하천시설물 분야까지 확대하여 친환경적인 설계에 이용하려는 노력이 진행되고 있다.



[그림 2-2] 전과정 평가의 평가 개념

2. 기존 전과정 평가 연구 문제점

전과정 평가는 원래 제품의 생산에서 폐기까지 발생하는 환경오염물질을 평가하는데 사용되

었다. 근래 그 평가 범위가 확대되어 주거용 건축물, 하천 호안 공법 등의 시공 방법에 대하여 전과정 평가를 통한 환경성 평가가 이루어지고 있다. 하지만 건설 분야의 적용에 있어 주 평가 대상이 시공 재료에 국한되어 있으며 건축물의 사용 단계에서의 에너지 사용에 주요 초점이 맞추어져 있어 건설 분야의 시공 방법에 따른 과정의 차이를 고려하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 시공 방법에 따른 환경성 평가에 있어 건설 분야에 적합한 전과정 평가가 필요하며 탄소 배출량 규제에 의하여 시공 방법 별 이산화탄소 배출량에 대한 고려가 필요하다.

제 3 절 이산화탄소 배출량 산정

1. 이산화탄소 배출량 산정 수립 현황

현재 산업제품에서는 국제표준화기구 (ISO)의 환경라벨 및 선언제도의 제 3 유형인 환경성 적표지제도가 탄소라벨링 제도로 도입되고 있으며 이 제도는 기본적으로 전과정 평가에 의한 환경평가를 요구하고 있다. 탄소라벨링은 제품의 생산, 수송 및 유통, 사용, 폐기에 이르는 전 과정을 통해 발생한 이산화탄소 발생량을 제품에 부착하여 소비자에게 공개함으로써 시장 주도로 저탄소 제품을 구매하는 제도로 제품의 사용 과정뿐만 아니라 원료 및 생산 등 전과정에서 발생하는 이산화탄소량을 표시하고 있다. 이러한 탄소라벨링은 개인 또는 단체가 직접 간접적으로 발생시키는 온실가스 총량을 의미하는 탄소발자국을 통하여 계산하며 제조 전 단계, 제조단계, 사용단계, 폐기단계를 구분하여 산출하게 된다. 우리나라에서는 2008년 12월까지 10개 제품에 대한 탄소라벨링 시범인증을 실시하였고, 코카콜라음료 (주)의 코카콜라 (500ml) 제품이 168 gCO₂ 으로 인증 받았으며 햇반 (210g) 제품 및 삼성전자 드림세탁기 등 총 23개 제품이 2009년 3월 기준으로 탄소라벨링 인증을 받고 있다.

2. 기존 이산화탄소 배출량 산정 연구 문제점

기존 연구에서는 이산화탄소 배출량 산정에 있어 생산되는 제품에 대한 평가가 주를 이루었다. 건설 분야에서는 건축물에 대한 평가가 주로 이루어 졌으나 연면적, 용적률, 건폐율, 건축면적, 건설시기 및 건설비용을 포함하는 건축물 특성에 따른 이산화탄소배출량을 산정하고 사용 단계에 있어 주로 에너지 효율에 따른 이산화탄소 배출 특성 분석이 주를 이루었다. 완성된 건축물의 시공단계에 대한 평가는 재료에 대한 분석이 주를 이루어 시공 방법에 따른 차이를 고려하지 못하였으며 대상물의 차이로 발생할 수 있는 분석방법에 대한 논의가 필요한 실정이다. 또한 기존 연구에서는 건축물의 폐기 및 재활용 분야까지 분석하였으나 일반 농업생산기반 시설물에 적용이 가능한지에 대한 판단 후 전과정 평가 및 이산화탄소 배출량 산정 범위 설정이 필요하다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 저수지 제체 침투누수 원인 및 저감공법

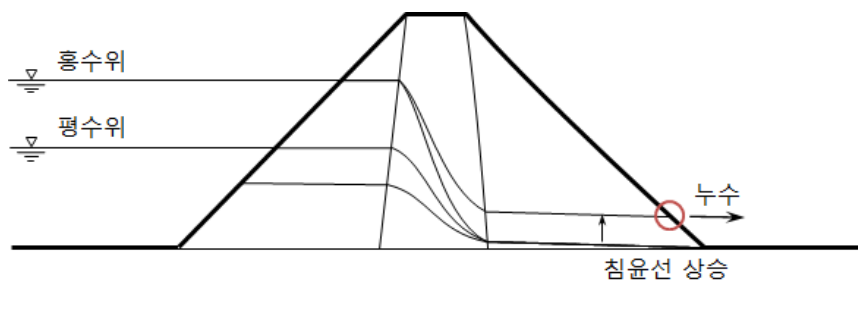
1. 저수지 제체 침투누수 원인

제체의 누수는 수위가 상승하여 제체 또는 기초지반을 통해 침투수가 유출하는 현상을 말하고 제체를 침투해 오는 제체 누수와 기초지반을 침투해 오는 지반 누수가 있다, 제체 누수는 제체의 침윤선이 결정적인 요인이 되므로 침윤선이 제체 내에 위치하도록 해야 하며, 지반 누수가 있을 경우에는 적절한 대책공법을 강구해야 한다.

가. 제체 누수의 원인

제체 누수는 일반적으로 비탈 끝 부근에서 침투수가 유출하는 것을 말하며, 이것은 제체의 투수성 불량에 의해 발생하는 것이다. 즉, 침윤선이 제체 비탈면에 도달하면 누수가 시작되고, 그 양이 많으면 파이핑 현상에 의해 붕괴위험을 내포하게 된다. 따라서 그림 3-1과 같이 제체 침윤선의 형상은 제체 비탈면 붕괴에 결정적인 요인이 되므로 침윤선이 제체 내에 위치하도록 한다.

일반적으로 제체 누수를 일으키는 원인으로는 제체 축조시 다짐이 불량하거나 단면이 부족한 경우, 제체 심벽과 필터가 사질토 또는 조립토를 다량으로 포함한 풍화토 등 투수성이 큰 재료로 만들어지고 입도분포가 불량한 경우, 제체 부등침하나 지진 등에 의하여 균열이 발생한 경우, 제체에 두더지 등의 동물이 구멍을 파 놓은 경우, 필터층이 잘못 설계된 경우, 제체 내부에 매설되어 있는 구조물과 접합부에 흐름이 생기는 경우 등이 있다.



[그림 3-1] 침윤선의 상승에 의한 Rock-fill댐의 누수 (김기석, 2004)

나. 지반 누수의 원인

지반의 투수성이 높은 경우에는 제체 상류측 수위가 상승함으로써 침투압이 증가하여 제체 하류측 지반에 침투수가 용출하는 파이핑 현상이 발생한다. 파이핑 현상은 차수상 문제가 되기 때문에 유선망, 침투압, 누수량 등을 검토하여 충분한 대책을 검토해야 한다.

일반적으로 지반누수를 일으키는 원인으로는 모래층 또는 모래자갈층 등 투수성 기초지반의 처리가 불량하거나 기초지반에 세굴이 생길 경우, 제체와 기초와의 접촉이 불량할 경우, 그라우팅 간격, 주입압력 등의 기초처리 시공이 불량할 경우, 저수호가 제체에 접근해 있을 경우, 지반침하에 상류측 수위와 제체 지반고의 차가 커진 결과 침투압이 증가했을 경우 등이 있다.

2. 저수지 제체 침투누수 저감공법

가. 표면차수

제방의 침투누수를 방지하기 위하여 사용하는 차수재는 크게 표면차수재와 연직차수재로 분류할 수 있다. 표면차수재는 주로 저수지 바닥에 설치하여 바닥차수재로 사용되며 다음과 같이 구분할 수 있다

(1) 점토 차수재 (Clay liner)

점토차수재는 시공방법에 따라 매립장 부지에 자연적으로 형성된 원지반의 점토를 그대로 차수층으로 이용하는 자연점토 차수재와 인위적으로 점토층을 조성하는 인공다짐점토차수재가 있다. 점토차수재는 다른 차수재에 비하여 시공과정이 간단하고 건설비용이 절감되지만 원지반에 존재 하는 균열 및 단층 그리고 시공과정에서 발생하는 다짐 이음부의 불량 등으로 인하여 누수가 발생할 수 있으며 건조작용 (Desiccation)이나 동결융해 (Freezing and thawing)에 의하여 차수재가 손상될 가능성이 크다.

(2) 혼합 차수재 (Soil stabilized liner)

혼합 차수재는 차수재의 모토로 사용되는 흙재료가 차수재의 설계기준에 부적합할 경우 사용되는 것으로 투수계수의 감소, 전단강도의 증대 및 동결융해 등에 대하여 저항성을 가지도록 혼화재를 혼합하여 시공하는 것이다. 주로 벤토나이트, 플라이애쉬, 석회, 시멘트 등을 혼화재로 사용하며 투수시험과 강도시험을 실시하여 최적의 혼합비율을 찾아서 사용한다.

(3) 합성수지 차수재 (Polymeric membrane liner)

합성수지 차수재는 판상형태로 성형된 재료로 합성고무계 시트 (Sheet)와 합성수지계 시트로 분류할 수 있다. 일반적으로 지오멤브레인 (Geomembrane) 차수재라 불리며 투수계수가 $1 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-13} \text{cm/sec}$ 의 범위로 완전한 불투수성에 가깝다. 하지만 시공 장비나 폐기물 등의 날카로운 부분에 의하여 쉽게 찢어질 수 있으며, 오염물질과 직접 접촉하므로 화학적 손상을 입을 수 있다. 또한 자외선에 노출될 경우 내구성이 크게 저하하는 단점이 있다.

(4) 스프레이 차수재 (Sprayed liner)

원지반의 형태에 꼭 맞는 멤브레인을 현장에서 조성하는 것과 같은 효과를 얻기 위한 방법

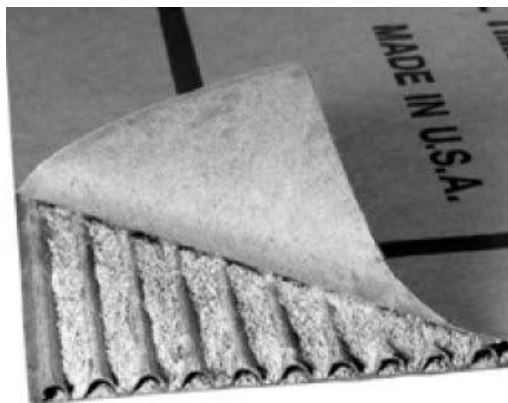
으로 아스팔트 (Asphalt)나 우레탄 등을 고온으로 용융시켜 뿌어 붙이는 방식 (Spray)으로 차수층을 형성시켜 차수재 역할을 하게 한 것이다. 원재료가 화학물질에 대한 저항성이 크므로 유해폐기물을 매립하는 곳에 사용하는 것이 적절하다.

(5) 합성수지 점토 차수재 (Geosynthetic clay liner)

지오멤브레인이나 부직포 등의 사이에 벤토나이트를 삽입하여 만든 기성제품으로 두께가 매우 얇아 시공이 간편하며, 차수층의 체적이 감소하는 만큼 매립용량은 증가된다. 현장에서 시공하는 차수재와 달리 균열발생이 없고 합성수지 차수재에서 발생하는 구멍에 대해서도 벤토나이트 자체의 팽윤에 의하여 회복되므로 안정성이 높으며 재료의 접합부의 시공이 용이하다. 벤토매트 (Bento-mat), 클레이맥스 (Claymax)등의 제품이 주로 사용된다.

(가) 벤토나이트 패널 (Bentonite panel)

벤토나이트 패널형은 그림 3-2와 같이 벤토나이트 방수의 초기 형태의 제품이며, 국내에서 최초로 벤토나이트 방수공법을 적용한 제품이다. 지금도 해외에서는 가장 많이 사용되어지고 선호하는 제품이다. 그러나 국내 현장 여건에 여러 가지로 부합되지 않는 부분이 발생하여 현재에는 취급 및 관리상 거의 사용되지 않고 있다.



[그림 3-2] 벤토나이트 패널 (출처 : CETCO사)

(나) 벤토나이트 시트 (Bentonite sheet)

그림 3-3과 같이 벤토나이트를 HDPE 시트에 밀착, 접착 가공시킨 제품이며 HDPE 시트가 1차적으로 물을 차단하고, 압밀된 벤토나이트가 2차적으로 수화 반응하여 불투수층의 막을 형성하는 2중 방수 구조이다. 국내의 일반 구조물의 지하 방수 및 매립장, 대규모 토목구조물에 적용되었으며, 특히 APT 공동구에 많이 사용되고 있으며 일반적으로 두께 4.5mm (HDPE 포함), 폭 1.2m정도이다.

벤토나이트와 HDPE 시트의 2중 구조로서 외부의 물을 초기에 차단할 수 있고 벤토나이트가 바로 구조물 벽에 위치하므로 HDPE 시트가 손상되었을 때, 침투수가 물과 반응시 바로 겔막을 형성하여 누수를 차단할 수 있으나 바닥 방수시 보호 모르타르 작업이 추가되며 벤토나이

트가 외부에 노출되어 있어 물이 많은 현장에서는 물과의 접촉을 금지시켜야 하며 현장 환경이나 기후의 영향을 많이 받는다.

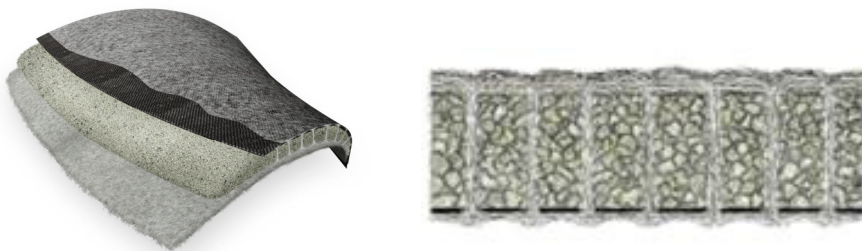


[그림 3-3] 벤토나이트 시트의 전면, 후면 (출처 : CETCO 사)

(다) 벤토나이트 매트 (Bentonite mat)

그림 3-4와 같이 주로 폴리프로필렌 직포와 합성섬유 부직포 사이에 벤토나이트 가루를 충전하고 니들 편칭으로 벤토나이트 가루를 고정시킨 제품으로 질긴 부직포는 외부의 충격에도 강하며, 특히 천으로 이루어져 있어 굴곡이 심한 부위나 다른 공법의 방수가 어려운 공사에도 시공이 가능하다. 또한 니들 편칭은 방수재 시공시 벤토나이트가 구조물에 균일하게 분포할 수 있게 해주며 시공 중 (운반 중) 벤토나이트의 유실을 방지하고 바닥 및 합벽의 방수에 벤토나이트 자재를 구조물에 완전히 밀착시키는 역할을 한다. 국내의 일반 구조물 지하 외방수 및 매립장, 인공호수, 대규모 토목 구조물에 시공되었으며 특히 해외에서 많은 시공 실적을 보유하고 있다. 일반적으로 두께 6.4mm이상, 폭 1.2m 정도이다.

물과 접촉함으로써 방수 성능을 발휘하며 공기가 빠르고 시공성이 타 방수자재에 비해 양호하고 바닥 시공시 보호 모르터 작업이 필요하지 않으며 특히 바닥방수나 역방수에 방수효과를 나타내는 장점이 있으나 벤토나이트 겔 막 (방수막)이 완전히 형성되기까지 시간이 오래 걸려 초기에 누수현상이 발생할 수 있고 유동수가 있는 지하에서는 겹침부를 통해 물이 침투하기 때문에 벽체 시공시 겹침부에 특별한 신경을 기울여야 한다. 또한 누름압이 충분하지 않을 때에는 실링 작업이 이루어지지 않는 경우도 발생한다.



[그림 3-4] 벤토나이트 매트의 전면, 후면 (출처 : CETCO사)

(1) 벤토나이트 매트 방수재의 방수 특성

(가) 젤 (Gel) 방수층 형성

벤토나이트는 굵은 모래와 같은 입상형의 분말재료로 가공되어 매립지, 연못 공사 등에서 지수 및 차수 목적으로 사용되어 왔다. 벤토나이트는 불과 반응하면 본래 체적의 10~15배 정도로 팽창 (Swelling)하여 젤 (Gel)의 상태로 변하면서 팽창압력 (Gel Strength)을 발휘하여 물의 침투를 막아 방수층을 형성하는 메커니즘을 가지고 있다.

(나) 방수층 보호 및 보강

팽창된 젤 상태의 벤토나이트 방수층은 자체적인 강도 (경도)가 없기 때문에 유동수압 (流動水壓)이 작용하는 현장 조건에서는 매트 겹침부 및 매트층에서 물의 투과를 억제하기 위한 별도의 보강 조치가 요구된다. 즉 벤토나이트는 초기에 겹화가 진행되는 과정 (시점)에서 벤토나이트가 충분히 팽창하기 전에 수압이 크게 작용하면 물은 방수층을 투과한다.

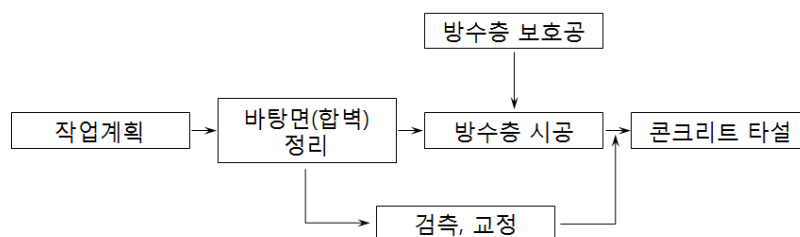
따라서 부가 수압이 크게 작용하는 깊은 지하 구조물이나, 유통수가 발생하는 환경조건에서는 벤토나이트 매트층이 부가 수압에 저항 할 수 있는 압밀조건을 유지시킴이 중요하고, 필요에 따라 겹침 층수를 늘리거나, 또는 유통수에 씻겨 내려가지 않도록 매트 겹침부를 보강 (터미네이션 바 설치, 벤토나이트 실재 바름 등)함으로서 물의 침입을 방지하여야 한다.

(다) 벤토나이트의 사용환경

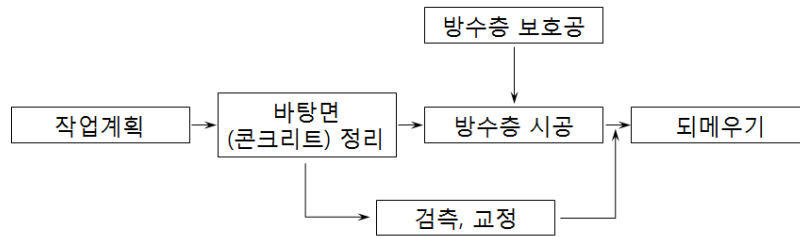
벤토나이트의 사용환경은 일반 수돗물, 강물, 지하수 등 담수에서는 정상적인 수화팽창을 통하여 그 성능을 발휘할 수 있으나, 염분이 함유된 수질조건, 강한 산성 (pH 3이하의 강산) 성분이 함유된 오·폐수 수질조건에서는 제 성능 (팽창력, 겹화)을 발휘하지 못한다.

(2) 벤토나이트 매트 및 시트재의 시공 순서

벤토나이트 매트 방수재의 시공순서는 그림 3-5 및 그림 3-6와 같다. 여기서 바탕면 처리 및 되메우기 부분은 특별히 주의가 필요하다.



[그림 3-5] 벤토나이트 매트 및 시트재의 시공순서 (방수층 선 시공인 경우)



[그림 3-6] 벤토나이트 매트 및 시트재의 시공순서 (방수층 후 시공인 경우)

나. 강널말뚝 공법

(1) 공법의 개요

강널말뚝 (Steel sheet pile) 공법은 다른 공법과 달리 공장에서 사전에 제작된 차수벽체를 크레인 및 진동 해머를 이용하여 소정의 위치까지 연속적으로 타입하여 연직 차수벽을 형성하는 공법으로서 원자재 자체가 불투수층이고 품질관리가 간단한 특성을 가지고 있다. 일반적으로 강널말뚝의 근입은 진동 해머의 타격력과 자중에 의해서 이루어진다. 지반이 견고하여 선단마찰력이 많이 발생할 경우 워터젯을 병용하여 지반을 이완시킨 후 타입을 하는 것도 일반적으로 사용하는 공법이다.

(2) 공법의 특징

경질지반 및 암반에 직항타가 가능하며 암반공사 시 공사기간이 단축되어 공사비를 절감할 수 있다. 또한 무진동 압입 공법일 경우, 소음이나 진동이 적게 발생한다. 마지막으로 S/P 설치와 더불어 지반 그라우팅도 가능하다.

시공이 간편하고 공정이 단순하기 때문에 다른 공법에 비하여 공기가 단축되며, 토류벽과 차수벽의 효과를 동시에 얻을 수 있으며 특별한 조치 없이 시공해도 수밀성은 우수하며, 지수재 등으로 처리할 경우 우수한 지수성 및 수밀성을 유지 할 수 있다. 강널말뚝 자체가 고도의 품질 관리 하에서 규격화되어 생산되기 때문에 사용 목적에 따라 단면 선정이 가능하며 현장에서는 특별한 품질관리가 필요 없고, 재질이 균질하기 때문에 시공된 부위까지는 신뢰성을 확보할 수 있는 특징이 있다.

(3) 강널말뚝의 차수 시스템

일반적으로 강널말뚝의 차수시스템은 오염수 차수용으로 사용되는 반면에 다른 차수벽의 부수적인 침식방지용으로도 사용된다. 강널말뚝의 설치방법에는 항타식, 수세식, 벤토나이트월 삽입식의 3가지 방법이 있다. 항타식의 설치 방법의 경우 파일항타가 필요한데 자갈 섞인 지반하에서는 항타작업에 어려운 점이 있으며 또한 파일에 손상과 변형이 발생하면 지하수의 차수기능이 불량해 질 수 있다.

이러한 경우에는 수세식 및 벤토나이트월식 설치방법을 사용하면 발생하는 문제점을 보완할

수 있다. 또한 최근에는 이러한 전석층, 암반층등에 시공하기 위한 보조공법으로 워터젯 공법과 진동 해머공법을 병용하는 JV 공법도 도입하여 시공하고 있으며, 특히 국내의 대표적인 쓰레기 매립지인 난지도 쓰레기 매립지와 김포 수도권 쓰레기 매립지에 적용했다.

한편, 차수벽으로서 강널말뚝의 투수성은 연결부를 통한 누수량으로 선정할 수 있다. 이러한 강널말뚝은 그 자체만으로는 완전한 차수가 가능한 반면 각각의 연결부는 차수성 측면에서는 틈이 없이 시공되는 것이 이상적이지만, 타입시 시공성을 고려하여 연결부가 다소 느슨하게 제작되기 때문에 이를 통해 물의 통과가 용이하여 투수성이 높기 때문에 문제가 발생하게 된다. 따라서 이러한 강널말뚝의 연결부와 누수방지방법으로 사용되고 있는 차수시스템으로서는 단순연결방식, 지수재 도포방식, 연결부 시굴과일 설치 방식, 굴착벽내 삽입방식 등이 있다.

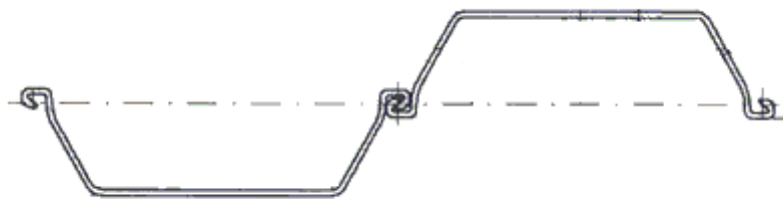
(가) 단순 연결 방식

단순 연결 방식은 강널말뚝을 지반내에 연결부를 두고 차례로 설치하는 방식으로 이때 강널말뚝의 연결부는 타설시에 시공성을 고려하여 다소 여유를 두고 시공하기 때문에 타설 초기에는 이러한 연결부를 통한 투수가 용이하지만 시간이 경과함에 따라 세립토, 모래, 쓰레기 등이 연결부의 틈새를 메워줌으로써 자연히 지수성이 향상되는 현상이 나타나게 되는데 이러한 현상을 막힘 효과 (Clogging effect)라 한다.

막힘 효과는 강널말뚝의 배후조건에 따라 달라지는데 일반적으로 배후가 토사일 때, 물 일 때와 비교해서 막힘 효과가 높고, 입도분포가 좋은 토사일수록 막힘 효과가 좋다고 볼 수 있다.

이에 비해 배후가 물일 때는 물 속의 미립토사나 부유물만으로 막힘 효과를 기대하기 때문에 이러한 효과가 나타나는 데는 장기간의 시간이 필요하다. 이때, 물의 흐림도를 높이거나 강널말뚝 배후면에 토사나 석탄재 등을 투입하여 막힘 효과를 촉진시키는 방법이 있다. 따라서 강널말뚝의 지반조건이 양호하다면 막힘 효과만으로도 상당한 지수성을 확보할 수 있다.

이러한 막힘 효과는 강널말뚝 차수시스템 중 단순 연결 방식에서 기대할 수 있는 현상이며 강널말뚝의 차수성에 큰 영향을 미치는 한 요소라고 할 수 있다.

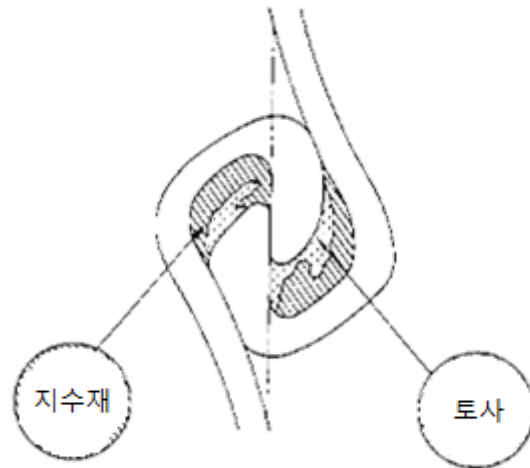


[그림 3-7] 단순 연결 방식 (윤태국, 1997)

(나) 지수재 도포 방식

강널말뚝의 단순 연결 방식에서는 막힘 효과를 통해 부분 차수는 가능하지만 완전한 차수는 불가능하다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 강널말뚝 연결부에 팽창성 지수재를 도포

하여 연결부의 차수를 도모하는 방법으로서 현재 국내에서 널리 적용되는 방식이다. 이 방식은 시공현장에서 강널말뚝의 연결부에 지수재를 도포하고 건조시킨 후 지반 내에 타설하면 지수재가 물을 흡수하여 소정의 부피만큼 팽창하여 연결부의 간극을 매워줌으로써 지수효과를 나타낸다.



[그림 3-8] 지수재 도포 방식 (윤태국, 1997)

(다) 연결부 시굴파일 설치방식

이 방식은 강널말뚝 연결부에 직경 약 30cm 되는 시굴파일 내에 그라우팅을 하여 지수시스템을 구성하는 방식으로 강널말뚝 설치시 굴착량이 작고 차수효과가 큰 장점이 있다.

(라) 굴착벽 내 삽입방식

이 방식은 강널말뚝 설치장소에 지반을 굴착하여 슬러리 월 혹은 그라우트 커튼을 설치하고 그 사이에 강널말뚝을 설치하는 방법으로 다른 지수 시스템에 비해 설치깊이가 깊고 지수효과가 큰 장점이 있으나 공사비가 고가인 단점이 있다.

다. Grouting 공법

(1) L.W 공법

(가) 공법 개요

L.W (Liniles Wasserglass, Libies Waterglass) 공법이란 시멘트 용액과 물 유리계 용액을 주입하여 지반을 고결시키는 공법이다. 현장의 토질조건 및 공사목적에 따라 혼합하는 시멘트량 및 겔 타임을 조정한 후 한 약액을 지반중에 주입하여 큰 공극은 시멘트 입자가 고결시키고 시멘트 입자가 들어가지 않는 미세공극은 물 유리계 용액이 고결화물로 충전되어 차수와

지반강화를 시키는 공법이다.

물유리 용액과 시멘트 현탁액을 혼합하면 규산 수화물을 생성하여 겔 화한다. 이러한 현상에 착안한 독일의 Hans Jahde 교수는 1952년 희석된 물유리 용액과 소량의 시멘트를 혼합한 다음에 일정시간을 기다려 위에 뜬 물을 취하여 쇼트 방식으로 주입하는 이른바 L.W 공법을 개발하였다. L.W 공법의 이름인 'Liniles Wasserglass'는 '불안정 물유리'라는 의미이다. 따라서 L.W 공법이란 개발된 주입재의 명칭에 따라 명명된 것이며, L.W 재를 사용하는 주입공법을 뜻한다. Jahde의 방법은 이론상 합리적이며 침투효과도 양호하나 시멘트가 침전하는 동안은 주입할 수 없다는 점, 겔타임이 30~60분 정도로 길어 급결형으로 이용할 수 없고 겔 타임 조절이 어려운 점, 시멘트를 제외하고 위에 뜬 물만을 주입함으로 재료가 낭비되는 점 등의 결점이 있다. 이와 같은 결점을 보완하여 1961년 일본에서는 L.W 공법을 개발하였는데, 이 L.W 공법이 현재 널리 이용되고 있으며 통칭 L.W 공법으로 불리우고 있다. 이 방법에서는 1.5 쇼트 방식에 의해 물유리 용액과 시멘트 현탁액을 주입함으로 겔 타임의 조절이 비교적 용이하고 종래의 L.W 공법과는 달리 재료의 낭비도 적다.

L.W 공법은 특히 차수효과가 매우 크므로 대부분 모래 또는 모래자갈층인 퇴적층에서 주로 사용하고 있으나 점토층 및 풍화토층은 주입효과가 적다. 본 공법은 연약지반의 지반보강 및 토류벽이나 C.I.P 공법에서 차수용으로 주로 사용되고 있다

(나) 공법 특징

연약 토질 및 공극의 크기가 불규칙하게 분포되어 있는 지반에서도 합리적으로 주입 개량할 수 있고, 주입재를 소정의 위치에 균일하게 일정범위 주입이 가능하므로 확실한 주입효과가 있다. 대체로 사질, 자갈, 호박돌층 등 공극율이 큰 지층에 주입효과가 크다. 그리고 천공과 주입 공정을 분리할 수 있어서 품질관리 향상이 가능하다.

소형 장치로 협소구간 시공가능하고 부지 면적의 이용률이 높으며, 수 개소에 동시 시공으로 공기가 단축되고 토사층이 깊더라도 개량효과가 우수하며 연약지반의 차수 및 지반강화에 큰 효과를 볼 수 있지만, 고압의 분사이므로 지반의 용기 발생의 우려가 있으며 Slime 발생이 비교적 많은 편이고 주변의 구조물에 영향을 줄 수도 있고, 건물이 인접한 경우에는 인접건물에 영향을 줄 수도 있으므로 관계 기관과의 협의를 하는 등 시공관리에 만전을 기하여야 한다.

(다) 사용되는 주입재

물유리 용액을 주재료 하고 시멘트 현탁액을 경화제로 하므로 현탁액형 물유리계에 속한다. L.W 재에 속한 주입재는 L.W-1 (시멘트)과 L.W-2 (시멘트, 벤토나이트)가 있다. L.W-1은 일본기술연구소에서 개발한 것으로 경화제를 포틀랜드 시멘트를 사용하고 있다. 표준배합은 주입재 1m³당 물유리 350kg, 시멘트 250kg이며 L.W-2는 일본철도기술연구소에서 개발한 것으로 시멘트 입자가 침강되는 것을 막기 위해 벤토나이트를 적정량 첨가한다.

(라) 적용 토질

자갈층 및 사층을 전면적으로 침투하고 현탁액과 약액의 주입비에 따라 입경 0.9mm이하의 토질에서는 시멘트 필터가 되고 침투할 수 없으나 시멘트 위에 뜬 물 및 시멘트와 반응제의 물유리만은 침투가 가능하다. 연약한 점성토 및 실트층은 액상으로 압입되어 지반개량에 효과가 있다. 주입재의 적용성을 판단할 수 있는 가장 큰 요소는 주입재의 침투성이다.

(마) 주입 방식

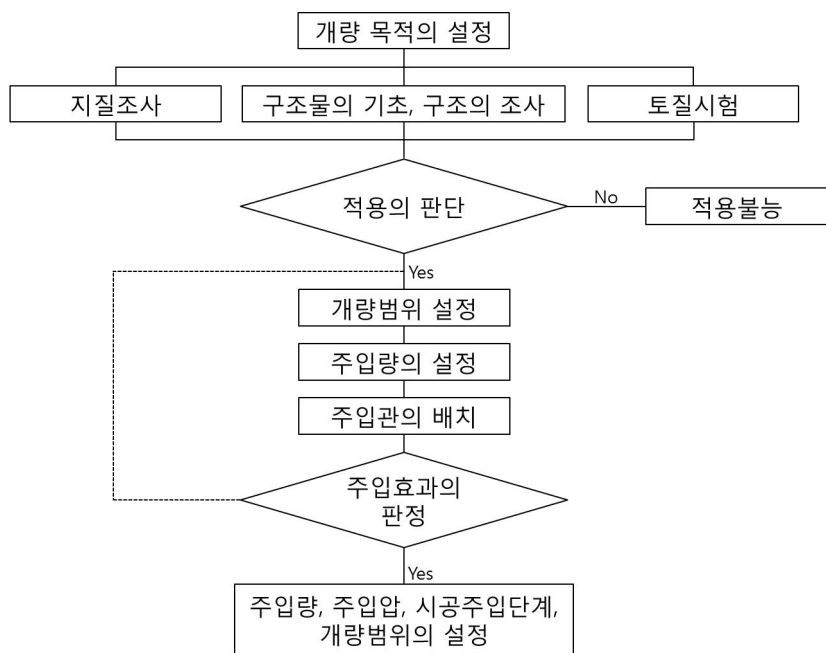
일반적으로 주입재의 혼합방식으로는 1.5 쇼트 방식이며, 각 공의 주입방식은 선행과 후행으로 나누어 하고 주입관 설치방식으로는 단관 로드 주입방식, 스트레이너 주입방식, 이중관 더블파커 주입방식 등에 의해 주입되고 있다. 근래 자주 이용하고 있는 주입방식인 멘젯튜브 방식은 이중관 더블파커 주입공법에 속하는 Soletanche 공법이라고 생각할 수도 있으며, 주입재의 측면에서 보면 멘젯튜브를 이용한 L.W 공법이라고 할 수도 있다.

(바) 시공 장비 및 자재

시공 장비로는 엔진, 시추기, 그라우트믹서, 그라우트펌프, 더블파카주입장비가 있으며 시공 자재로는 메탈크라운, 케이싱파이프, 시멘트, 벤토나이트, 규산소다, 아연도금강판, 캡, 니플, 소켓, 더블파카, 멘젯튜브 등이 있다.

(사) 시공 순서

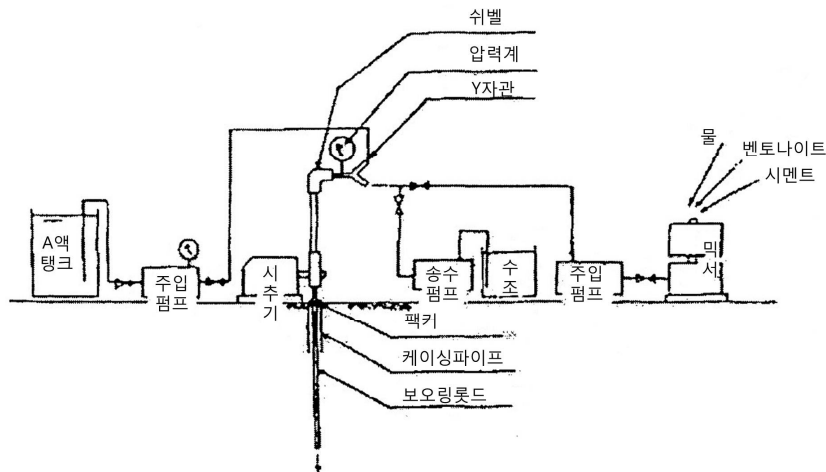
그림 3-9는 L.W 공법에서의 시험 그라우팅 시공 순서도이다.



[그림 3-9] 시험 그라우팅 시공 순서도

소정의 깊이까지 직경 10cm 정도로 지반을 착공하고 케이싱을 삽입한 다음에 30~50cm 간격으로 주입공을 뚫어 그 부위에 밸브 작용을 하는 고무슬리브가 부착된 맨젯튜브를 삽입한다, 맨젯튜브의 삽입이 완료된 후, 맨젯튜브와 케이싱의 사이에 적당한 실 (seal) 재를 주입하고 케이싱을 인발한다. 상하에 두 개의 팩커가 장치된 주입관을 맨젯튜브의 주입공을 통해 고무슬리브를 밀고 나와 실 재를 파괴하며 지반 속으로 침투한다.

그림 3-10은 L.W 공법 주입장치의 모식도이다.



[그림 3-10] L.W 공법의 주입장치 (최기관, 2002)

(2) S.G.R 공법

(가) 공법 개요

S.G.R (Space Grouting Rocket System) 공법은 물유리계 주입재를 사용하는 이중관 복합 주입공법의 일종이다. 이 공법은 목적범위를 보다 확실하게 개량하기 위하여 특수한 선단장치와 3조식 교반장치를 갖추고 있으며, 대상 지반중에 형성시킨 유도공간을 통해 급결성과 완결성의 주입재를 저압에 의해 연속으로 복합·주입한다. 급결 주입재는 지반 내 대공극을 충전하여 다음 단계에 주입되는 완결주입재가 목적범위 밖으로 유실되는 것을 방지하며, 완결주입재가 겔 화되기 전까지 액상을 유지하여 미충진 된 미세공극으로 침투하여 지반 내 공극을 충전하므로 기타 주입공법에 비해 양호한 차수효과를 기대할 수 있다.

종래의 주입공법은 주입재를 주입노즐을 통해 직접 지반속으로 방출하기 때문에 균일하게 침투시키기에는 무리가 있다. 따라서 Strainer와 같이 주입공이 많이 설치된 것을 이용하여 지반과의 접촉면적을 넓게 하는 방법을 취하고 있다. 또한 모래지반에 있어서 입자간의 침투를 도모하기 위해서는 보통 겔 타임이 긴 주입재를 사용하는 것이 바람직 하지만 목적범위 밖으로 유출되는 양이 많게 되며, 겔 타임이 짧으면 액상주입이 되어 개량되지 않은 부분이 발생한다. 이러한 문제에 대처하기 위해 본 공법에서는 공간을 형성시켜 주입재와 지반과의 접촉면적을 극대화하고 개량효과의 향상을 도모하고 있다. 그리고 Strainer Pipe 등을 지중에 남겨놓지 않으므로 유리한 점이 많다. S.G.R 공법은 짧은 겔 타임으로부터 중간, 긴 겔 타임까지 각종 그라우트를 조합에 의한 복합주입을 기본으로 하고, 점성도에 대하여는 원지반을 교란시키지

않고 조용하게 주입을 하며, 사질토에 대하여는 침투이론에 합당한 원만한 주입을 한다. 이와 같이 모든 기법의 전개를 가능토록 하는 저주입의 방법인 S.G.R 공법은 이론적인 지반개량의 메커니즘에 합치된 우수한 시공법을 구비한 획기적인 방법이다.

(나) 공법 특징

S.G.R 공법은 천공 후 로켓발사로 유도주입을 위한 유도공간을 미리 형성한 후 복합 주입을 실시하며, 유도공간을 미리 형성하고 그라우트를 복합 주입함으로써 주변 지반의 용기를 막을 수 있다. 또한 3조식 교반기를 사용하므로 급결, 중결, 완결의 연속적인 복합주입이 가능하며 자연상태의 토립자는 교란되지 않고 대상 지층의 간극수만 치환하는 특징이 있다. 그라우트 주입 중에는 주입관의 회전이 없으므로 팩킹 효과가 크고 매 단계마다 확실한 그라우팅이 된다.

저압침투주입 방식으로 지반을 교란시키지 않고 원지반 조건을 유지시킨 채 주입 가능하며 겔 타임을 자유로이 조절하고 팩킹 효과로 인해 대상지반 내 한정주입이 가능하고 협소한 공간에도 작업할 수 있다는 장점이 있으나 해수의 영향을 받는 지역에서는 차수효과가 불확실하며 물유리를 사용하므로 용탈현상이 발생하고 내구성이 저하될 수 있다는 단점이 있다.

(다) 사용되는 주입재

S.G.R 공법에서 사용되는 주입재는 물유리 3호를 주재로 하며, 무기계 표준 강도형으로부터 유기계 고강도형까지 여러 종류가 있어 대상지반의 토질과 주입목적에 따라 폭넓은 선택이 가능하다. 보통 Cement-Micro, Cement-Bentonite-Slag 용액형 공간에 의한 저압 복합주입과 무공해성으로 개발된 그라우트는 각종 목적에 맞게 무기 표준강도로부터 유기 초고강도형까지에 걸치며 표 3-1과 같다.

[표 3-1] S.G.R 공법에 사용되는 무·유기표준강도

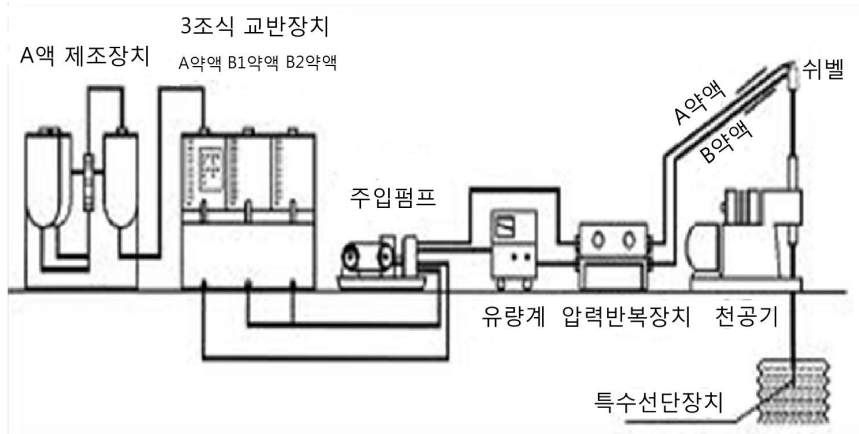
Grout	형	분류	Gel Time	1일후 일축압축강도		비고
				Homogel	Sandgel	
SGR-1호 SGR-2호	A형	무기계 표준강도 처방 (용액형)	Short Middle	0.5kg/cm ²	4kg/cm ²	
SGR-3호 SGR-4호	B형	유기계 고강도 처방 (용액형)	Short Middle	1.0kg/cm ²	6kg/cm ²	
SGR-5호 SGR-6호	C형	유기계 초고강도 처방 (현탁형)	Short Middle	2.0kg/cm ²	10kg/cm ²	
SGR-7호 SGR-8호	D형	무기계 Cement강도 (현탁형)	Short Middle	1.0kg/cm ² 5일후	10kg/cm ² 28일후	
SGR-9호 SGR-10호	E형	무기계 지수강도 (용액형)	Short Middle	0.4kg/cm ²	3.6kg/cm ²	
SGR-11호 SGR-12호	F형	무기계 M/C강도 (현탁형)	Short Middle	1.0kg/cm ² 5일후	10kg/cm ² 28일후	
SGR-13호 SGR-14호	G형	무기계 고강도 처방 (반용액형)	Short Middle	1.0kg/cm ²	6kg/cm ²	
SGR-15호 SGR-16호	H형	무기계 M/C강도 (반현탁형)	Short Middle	1.0kg/cm ² 5일후	30kg/cm ² 28일후	

(라) 적용 토질

여러 종류의 주입재에 의해 지반개량을 요하는 모든 토질에 가능하며 방법은 메커니즘에 의해 형성된 대상 지반중의 원형관 형태의 공간을 그라우팅 주입의 유도공간으로 사용하는 것이 최대 장점이며, 주입 후 $K=10^{-5} \sim 10^{-7} \text{cm/sec}$ 정도의 투수계수의 증진을 가져오며, 시멘트를 사용하는 그라우팅에 비하여 압축 및 전단 저항력은 작으나 주로 차수와 점착력 증진의 목적으로 사용되며, 지반의 교란없이 주입시키므로 지반 본래의 강도의 상승효과와 저지층에 균일주입되고, 특히 토립자의 상호위치가 외압에 의해 용이하게 변동하고 간극수가 많은 점성토층에 양호한 주입효과를 나타낸다.

(마) 시공 장비 및 자재

시공 장비로는 원동기, 보링기계, 양수기, 주입기, 마이크로 믹서, 그라우팅 믹서 등이 있으며 시공 자재로는 메탈 크라운비트, 드라이브파이프헤드, 드라이브파이프슈, 드라이브파이프, 더블로드, 특수첨단장치, 더블쉬벨, 용액 등이 있다. 그림 3-11은 S.G.R 공법 주입장치의 모식도이다.



[그림 3-11] S.G.R 공법의 주입장치 (최기관, 2002)

(3) J.S.P 공법

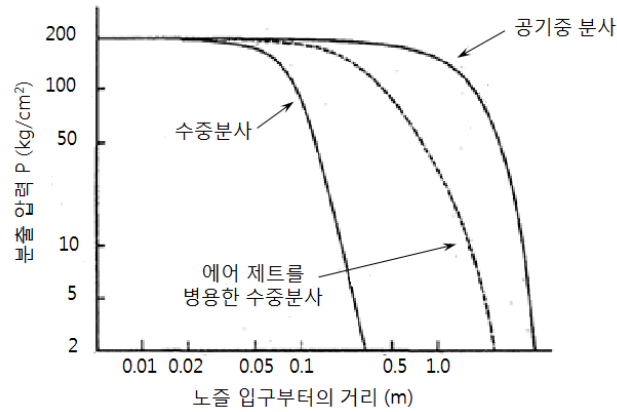
(가) 공법의 개요

J.S.P (Jumbo Special Pattern) 공법은 경화제를 고압으로 분사시켜 분류체가 가진 운동에너지를 이용해서 지반을 절삭 붕괴시키는 분사주입의 C.C.P 공법에 공기 분류체를 병용하여 경화제의 분류체의 도달거리를 증가시켜 개량체의 직경을 크게 한 공법이다. 즉 2중관으로 외관은 공기가 공급되고 내관은 경화제를 고압으로 분사시켜 공기와 함께 초고압분류를 이용하여 지반을 절삭 붕괴시킴과 동시에 교반·흡입층에 주입재를 강제충진시키는 연약지반개량 공법으로서, 소구경으로 소정의 깊이까지 천공한 후 2중관 로드 선단에 분사노즐을 장착하여 분사공의 외주로부터 압축공기를 구 중심부로부터 경화제를 초고압으로 지반 중에 수평으로 분사시키면서 노즐이 한 바퀴 또는 한 바퀴 반을 회전하면 자동적으로 2.5cm 상승되며 이와 같은 동작을 연속적으로 반복해서 지반을 개량하는 공법이다. 최근에는 새로운 천공장비 및 펌프 등 신장비의 출현으로 주입압력은 물론 인발속도 및 형식이나 토출량 등의 매개변수를 변화시켜 주입방법 및 시공의 효율성과 안정성 등에 관한 개량효과를 극대화 시켰다.

(나) 분류축상의 유압

고압분류수의 중심축상의 동압 및 속도가 흙의 파쇄 및 혼합교반현상에 미치는 영향은 크다. 수중에서 고압분류수의 분류핵이 넓어지는 작은 공기 중에 분사하는 경우보다 크기 때문에 분류축상의 유압감쇠율이 높은 것을 알 수 있다.

여기에서 노즐의 형상, 끝마감정도, 노즐에 들어가기 전까지의 관내 흐름 상태를 바꾸는 것에 따라 어느 정도 분류축상의 압력을 개선할 수 있으나 어느 한계에 이르러서는 다시 감쇠현상이 나타나므로 실제 지반을 절삭하는 대부분의 경우는 지하수면 아래를 대상으로 하고 있으므로 수중분사의 경우밖에 적용되지 않는다.



[그림 3-12] 노즐 입구에서의 거리와 압력과의 관계 (최기관, 2002)

따라서 그림 3-12에 나타난 바와 같이 수중분사에서는 $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 분사하는 경우 노즐로부터 30cm의 거리에서 그 효과는 완전히 감쇠한다. 이 때문에 노즐 주위에 공기를 동시에 분사시킴으로써 유효사정거리를 연장시키는 방법을 개발해 냈으며, 그림 3-12에 나타난 바와 같이 고압분류수와 공기를 함께 분사시키면 압력감쇠가 작아져 수중분사에 비해 분류수는 멀리까지 이르게 되어 지반절삭 능력은 크게 향상된다.

(다) 공법의 특징

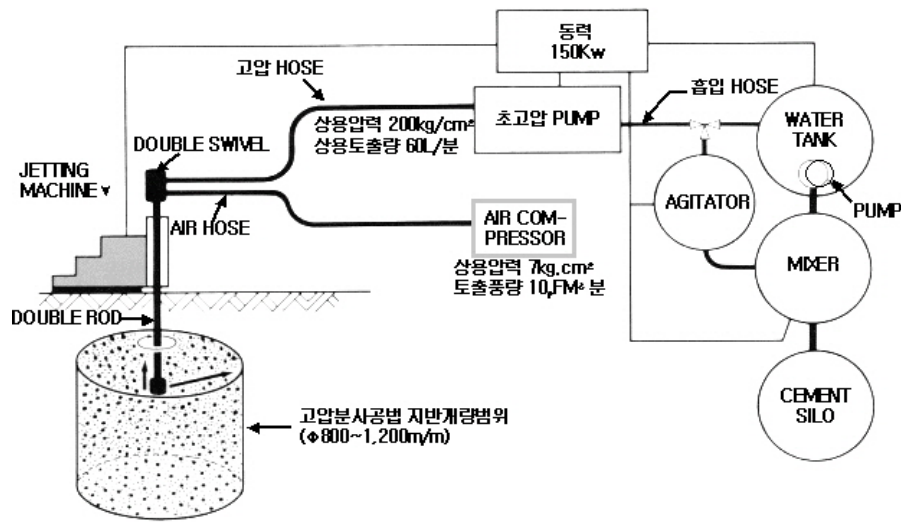
J.S.P 공법의 특징은 초고압으로 시멘트 반죽을 분출시켜 지반을 굴삭하고 굴삭부분과 Cement Paste를 혼합시켜 절삭범위만을 원주상의 개량체로 형성시켜 지반을 개량한다. 주입공을 개방하여 잔류 분사 에너지를 소산시키고 주입공정은 1공정식 주입으로 시멘트를 단일 분사하며 분사노즐에 의해 천공벽으로 직접 분사시킨다. 그리고 소형장비로 좁은 장소에서도 시공이 가능하고 여러 장소에서 동시에 시공할 수 있어 공기가 단축될 뿐만 아니라 계획 심도까지 정확히 도달하여 시공할 수 있으므로, 시공의 확실성 및 정확성이 우수하며 주입 후 개량체의 강도는 점성토의 경우 $q_u = 20 \sim 40\text{kg}/\text{cm}^2$, 사질토의 경우 $q_u = 40 \sim 90\text{kg}/\text{cm}^2$, 사력 및 전석층의 경우 $q_u = 90 \sim 150\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도이며, 투수계수는 $K = 10^{-5} \sim 10^{-7}\text{cm}/\text{sec}$ 정도이다.

소형장치로 협소구간 시공이 가능하고 부지면적의 이용률이 높으며 토사층이 깊더라도 개량 효과가 우수하며 연약지반의 차수 및 지반강화의 큰 효과를 볼수 있는 장점이 있지만 고압의 분사이므로 지반의 융기 발생의 우려가 있고 슬라임의 발생이 비교적 많은 편이며, 주변의 구조물에 영향을 줄 수도 있고, 건물이 인접한 경우에는 인접 건물에 영향을 줄 수 있으므로 관계 기관과의 협의를 하는 등 시공관리에 만전을 기해야 한다.

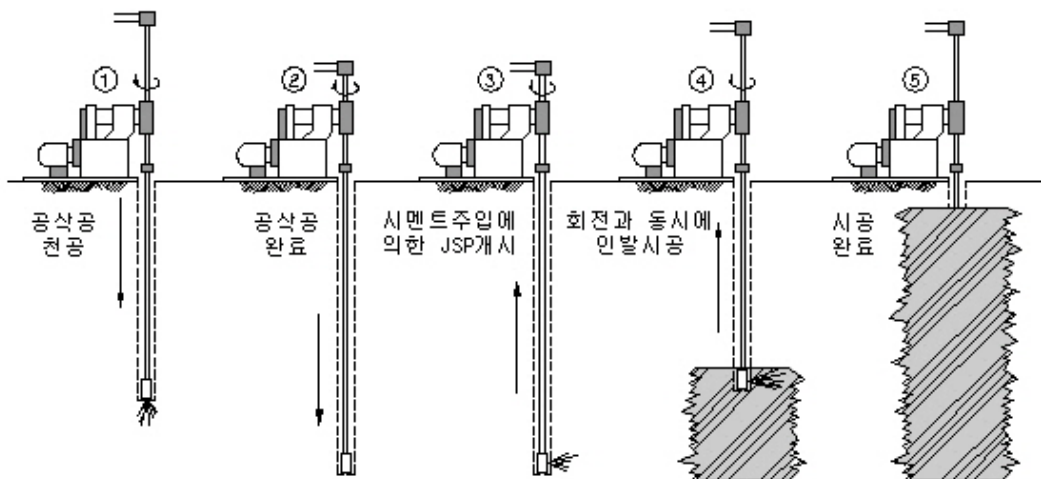
(라) 시공장비와 자재 및 시공법

시공 장비로는 디젤엔진, 공기압축기, 발전기, 초고압펌프, 보링기, 양수기, 모터, 수조, 고압호스, 에어호스, J.S.P 용 믹서, 그라우팅 펌프 등이 있으며 시공 자재로는 메탈크라운비트, 더블쉬벨본체, 더블쉬벨부품, 더블로드, N.J.V 본체, N.J.V 부품, 노즐, 시멘트 등이 있다.

J.S.P 공법의 시공시스템과 시공순서는 그림 3-13과 3-14에 나타난 순서로 실시된다.



[그림 3-13] J.S.P 시공시스템의 도해 (최기관, 2002)



[그림 3-14] 시공순서의 도해 (최기관, 2002)

(마) J.S.P의 설계제원

설계에 사용하는 J.S.P의 표준수치는 표 3-2와 같다

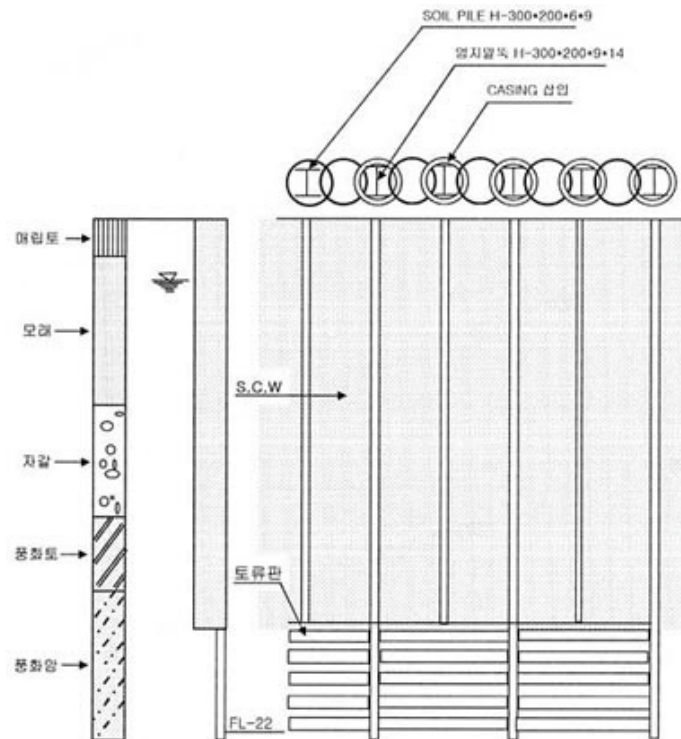
[표 3-2] J.S.P 설계제원

구분	단위	점토층		모래층			자갈층	호박돌층	비고
		N=0-2	N=3-5	N=0-4	N=5-15	N=16-30			
유효직경	m	1.0	0.8	1.2	1.0	0.8	0.8	0.8	(롯데인발속도 ×단위분사량) ×1.1 분사량 0.76 분사량×0.76
롯데 인발속도	분/m	7	8	7	8	9	9	9	
단위 분사량	ℓ/분	60	60	60	60	60	60	60	
분사량	ℓ/m	462	528	462	528	594	594	594	
시멘트량	kg/m	351	401	351	401	451	451	451	

(4) S.C.W 공법

(가) 공법의 개요

S.C.W (Soil Cement Wall) 공법은 주열식 지중벽으로 계획심도까지 천공 후 주입제를 주입, 벽체를 형성하고 H-pile을 응력제로 삽입하여 토류벽을 형성시키는 공법이다. 본 공법은 연속체 차수 및 토류벽의 2중역할을 충분히 할 수 있으며 지주에 연속된 주열벽체가 형성되므로 차수효과가 우수하다. 그림 3-15는 S.C.W 공법의 시공도이다.



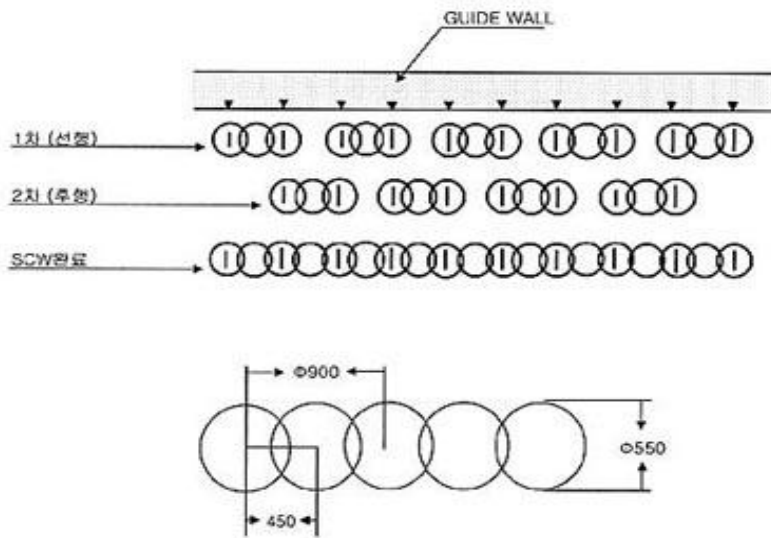
[그림 3-15] S.C.W 시공도 (출처 : 세종 중기 기초 사)

(나) 공법의 종류 및 특징

① 일축 오거식

일축 오거식은 그림 3-16과 같은 순서로 시공하는 것으로 오거 룯드의 외주에 케이싱을 설치하고 케이싱의 회전방향을 오거 룯드와 반대로 하기 때문에 오거 룯드 도르크가 서로 동작하면서 작동하여 항타기 리더 등에 무리한 힘이 발생하지 않는다. 그 결과 대용량의 어스 오거 믹싱기를 정착하여 최대직경 $\Phi 1000\text{mm}$, 천공 깊이 42m까지 시공이 가능하다. 그리고 케이싱을 사용함으로써 수직정도가 높은 천공이 가능하며 양질의 지수벽을 조성할 수 있고 동시에 흙막이 벽 전체의 강성을 높인다. 또한, 측압에 대한 응력부재로서 H형강, PC파일등의 강재들을 벽중에 삽입하여 흙막이벽을 조성하는 것이다.

말뚝 타입공법에 비하여 소음이나 진동이 거의 없고 현장 토사를 골재로서 이용하기 때문에 발생 슬라임이 적어지며, 1/150 수직정도의 높은 주열벽을 조성하고 시공시 중복되므로 지수성이 우수하다. 또한 내부응력재를 임의로 변경할 수 있으므로 벽체 강성 조절이 용이하고 연약지반이나 물이 많은 지역이나 인접 건물이 밀집된 지역에 유리하며 흙막이 벽으로서는 토류판이 필요 없으며 별도의 차수가 필요 없다는 특징이 있다.



[그림 3-16] S.C.W 시공 순서

② 삼축 오거식

그림 3-16 와 같은 순서로 시공하는 삼축 오거를 사용하는 경우에는 일축 오거기의 사용시보다 공사기간 면에서 유리하며 공사비의 절약효과도 가져올 수 있어 삼축 오거의 사용이 일반화 되어있다.

오거의 삼축은 서로 역회전 하면서 로드 선단에서 토중에 시멘트 용액을 주입한다. 토사와 시멘트 용액은 교반날개에 의해 충분히 혼합되기 때문에 기존의 유사한 공법에 비교하여 상당히 차수성이 높은 벽체를 조성할 수 있다. 특히, 연속벽을 조성하는 경우 기 시공된 요소단부

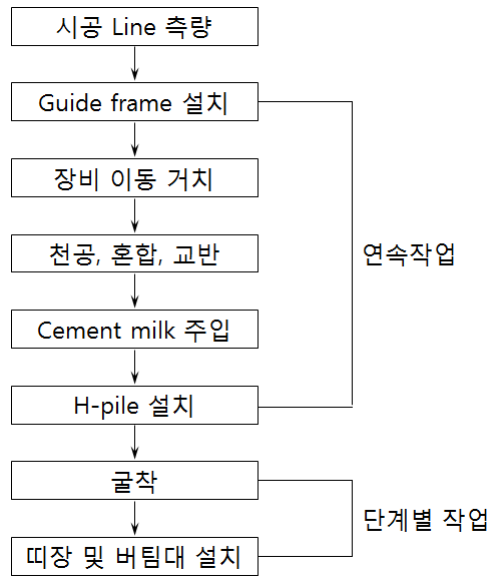
의 일부분을 겹쳐서 연속하여 시공하기 때문에 요소의 양쪽이 겹시공이 되므로 누수의 염려가 전혀 없다. 또한, 오거기는 삼축이 간섭 장치에 의하여 일체와 되어 있기 때문에 강성도크고 오거사이에 끼이는 직경 30cm 이하의 전석은 서로 역회전하면서 로드 에 의하여 제거되어지며 양쪽 로드회전 방향과 중앙 로드회전 방향이 서로 다르기 때문에 수직정도가 매우 높다.

일반적으로 흙막이 공법에서 굴착토사나 시멘트 페액의 처분이 문제점으로 대두되지만 본 공법에서는 기술한 바와 같이 현 위치의 토사를 골재로 간주하여 여기에 시멘트 용액을 혼합 교반하는 공법이기 때문에 타 공법에 비교하여 배출 슬라임이 적게 발생하고 점성토용 다축로드는 그 전장에 걸쳐 혼합날개로 구성되어 있고 각 혼합날개는 회전권을 서로 중복되면서 역회전하므로 점성토에서 시멘트 용액의 혼합기능이 우수하며 양질의 벽체를 조성할 수 있다. 그러나 사질층보다 시간이 많이 걸리며 벽체 강도가 떨어지는 문제점이 있다. 또한 삼축을 동시에 시공할 경우에는 현 위치의 토사 혼합방식이기 때문에 종래의 단축 오거에 의한 주열식 연속벽 공법과 비교하여 월등하게 공사시간을 단축할 수 있고, 소일 시멘트벽은 그 자체만으로써 차수를 목적으로 하는 연속벽을 구성할 수 있지만 흙막이벽 등에 사용하는 경우 토압설계에 따른 응력을 받는 부재로서 각종의 강재를 임의로 사용할 수 있어 응력에 따른 부재의 경제적인 설계가 가능하며 소음 진동이 적다.

(다) 시공방법

S.C.W 공법은 그 소재인 흙이 전반적으로 같은 형태가 아니기 때문에 강도에 대해서도 일정한 계산식을 유도하는 것은 곤란한 문제로 아직 남아 있다. 또한, 많은 현장 경험이 있다 해도 그 현장마다 토층의 변화가 있으므로 시멘트 용액의 배합이나 그 사용량에 대해서 상당한 연구를 필요로 하고 있다.

S.C.W 공법은 대체로 토질에 따라 적용의 어려움이 있다. 사질토의 경우는 토립자 사이의 결합력이 약하여 비교적 쉽게 시멘트 용액과의 혼합이 되지만 점토분의 함유율이 많으면 토립자 사이의 결합력이 강해서 균일한 소일시멘트로 하는 것은 대단히 어렵다. 따라서 오거 샤프트의 회전수나 교반 진행속도 및 교반날개와 이동날개의 형상각도 등이 사질토와 점성토에서는 달리 적용해야 한다. 또한, 통일된 재료 시험방법이 없기 때문에 일본토질공학회의 기준인 “안정처리토 시험방법”을 참고로 하여 S.C.W 공법의 시공 흐름도를 나타내면 그림 3-17과 같으며 S.C.W 의 배합 예와 압축강도는 표 3-3과 같다.



[그림 3-17] S.C.W 공법의 시공 흐름도

[표 3-3] S.C.W 공법의 토질별 배합비

토질	배합			일축압축강도 (kgf/cm^2)
	시멘트(kg)	벤토나이트(kg)	물(ℓ)	
점성토	250~450	5~15	400~800	5~30
사질토	250~400	10~20	350~700	10~80
사력토	250~350	10~30	350~700	20~100

(5) 그라우팅 공법별 비교

그라우팅 공법들의 대한 특징들을 비교 분석하기 위하여 이를 종합적으로 정리하였다. 표 3-4는 Grouting 공법별 비교표이다.

[표 3-4] Grouting 공법별 비교

공법 내용	저 압 주 입 공 법		고 압 주 입 공 법	혼 합 처 리 공 법
	S.G.R공법 <Space Grouting Rocket System>	L.W공법 <Liniles Wasserglass>	J.S.P공법 <Jumbo Special Pattern>	S.C.W공법 <Soil Cement Wall>
공법 개요	지반을 천공한 후 지중에 이중관 주입 로드를 설치한 후 선단장치를 통해 주입재를 대상지반에 주입 하는 2.0Shot 방식의 저압 침투주입공법	지반을 천공한 후 지중에 멘젯튜브를 삽입한 후 더블 팍커(1.5Shot방식)를 이용하여 물유리와 시멘트가 혼합된 주입재를 주입하는 최초의 약액주입공법	지반을 천공한 후 천공 구멍 내에서 노즐로부터 고압의 주입재와 Air Jet를 분사하여 원지반을 교란, 절삭시키면서 세굴된 흙과 주입재를 혼합교반시켜 원주상의 고결체를 형성하는 공법	오거 크레인의 오거로 소요 깊이까지 천공하고 현위치의 토사와 주입재를 혼합교반하여 연속벽(차수벽)을 형성하는 공법
시공 순서	① 계획 심도까지 천공 (∅40.5 또는 ∅72mm) ② 천공완료후 주입용이중관 Rod 삽입 ③ 이중관 로드를 1Step (30~50cm)씩 상향 인발하면서 복합주입 실시	① 계획 심도까지 천공 (∅100mm) ② 천공완료후 멘젯튜브 삽입 및 설치 ③ 실제 주입 ④ 팍커를 1Step (50~100cm)씩 상향 인발 하면서 주입실시	① 계획 심도까지 천공 (∅50mm) ② 천공완료후 JSP 시공 상태로 로트 회전을 바꿈 ③ 착공수 주입을 시멘트 페이스트 주입으로 바꾸고 로드를 서서히 회전시키면서 인발상승하면서 JSP시공	① Guide Frame 설치 ② 장비 이동거치 ③ 오거를 회전시켜 소정의 심도까지 삭공 ④ 안정제 주입, 혼합, 교반 ⑤ 인발, 재굴진 혼합교반을 반복하면서 연속벽 완성
주입 재료	규산소다 + 시멘트 + SGR약제	규산소다 + 시멘트 + 벤토나이트	시멘트 Paste (시멘트+물)	시멘트 + 벤토나이트 + 물
겔 타입	조 절 용 이		조 절 불 가	조 절 불 가
	급 결 6~9초	완 결 60~90초	24hr (양생시간)	24hr (양생시간)
주입 방식	저압주입(2.0Shot)	저압주입 (1.5Shot)	고압분사주입	-
주입 압력	1~10 kgf/cm ²	1~20 kgf/cm ²	200~400 kgf/cm ²	-
주입 범위	∅ 0.8m~1.2m	∅ 0.8m~1.2m	∅ 0.8m~1.2m	∅ 0.55m
사용 목적	차수 및 지반보강	차수 및 지반보강	차수 및 지반보강	차수 및 토류벽
적용 지반	사질토, 점성토	모 든 토 질	사질토, 점성토, 자갈층	사질토, 점성토
장비 규모	소 규모	소 규모	중 규모	대 규모
SLIME	없 음	없 음	보 통	많 음
특 징	① 저압침투주입방식으로 지반을 교란시키지 않고 원지반 조건을 유지 시킨채 주입가능 ② 겔타입을 자유로이 조절하며 팍킹 효과로 인해 대상지반내 한정 주입 가능 ③ 시공장비가 소형이어서 협소한 공간 작업가능 ④ 해수의 영향을 받는 지역에서는 차수효과 불확실 ⑤ 물유리를 사용하므로 용탈현상 발생 및 내구성이 저하됨	① 사용실적이 가장 오래되었음 ② 연약토질 및 공극이 큰층에 적용 ③ 시공장비가 소형이어서 협소한 공간에서도 작업가능 ④ 겔타입 조절이 어려움 ⑤ 물유리를 사용하므로 주입재의 용탈현상이 발생함	① 개량부위는 강도가 크기 때문에 지반보강효과 우수. ② 고강도 차수벽을 기대할 수 있으나 공사비가 고가임. ③ 해수의 영향을 받는 지역에서는 경화가 부실하여 차수효과 불량. ④ 시공장비가 대형이어서 협소한 공간에서는 작업불가 ⑤ 유속이 빠른 자갈 및 전석층에서는 주입재의 유실로 차수효과 불량	① 소음·진동이 작아 도심지 시공 가능 ② 점성토 지반에서 양질의 차수 벽체 형성 ③ 적절한 간격으로 보강재 삽입시 차수벽과 토류벽 역할을 동시에 기대할 수 있음. ④ 주입후 경화시간이 필요하기 때문에 유속이 빠른 자갈, 전석층에서는 주입재의 유실로 차수효과 불량 ⑤ 시공장비가 대형이어서 협소한 공간에서는 작업불가

제 2 절 전과정 평가 및 이산화탄소 배출량 산정 기법

1. 전과정 평가 기법

가. 전과정 평가 기법 (LCA)

(1) 전과정 평가 (LCA)의 개념

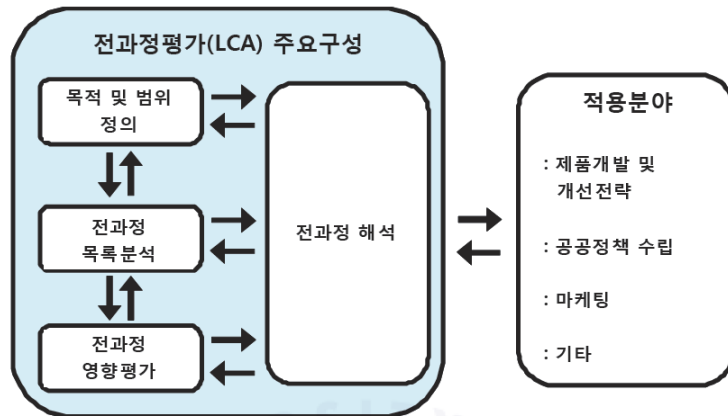
전과정 평가 (LCA)란 제품 또는 시스템의 전과정에 걸쳐 필연적으로 발생하는 환경부하를 규명하고, 환경부하가 환경에 미치는 영향을 평가하여 이를 저감, 개선하고자 하는 기법이다. 이 기법의 대상으로는 단순한 제품에서 복잡한 시스템에 이르기까지 목적에 따라 자유롭게 설정할 수가 있으며, 환경에 대한 영향으로는 국지적인 환경오염물의 배출뿐만 아니라 자원, 에너지의 소비 또는 인간의 건강, 생태학적 영향까지 포함된다. 이 기법의 목적은 인간 활동의 다양한 국면에서 환경부하를 저감하는 방향으로 의사결정을 하기 위한 판단재료를 제공하는데 있으며, 이러한 측면에서의 평가방법이 지역 환경문제와 동시에 지구환경문제를 억제하는데 있어 유효하다.

ISO 14000에 의하면 ‘전과정 평가 (LCA)’란 제품 시스템의 전과정에서 관련투입물과 산출물에 대한 목록을 작성하고 이들과 연관된 잠재적인 환경영향을 평가하며 목록분석결과와 영향평가결과를 해석함으로써 제품과 연관된 환경측면과 잠재적인 환경영향을 평가하기 위한 기법으로 정의하고 있다. 이때 전과정이란 원료의 추출과 가공 제조, 수송, 유통, 사용, 재사용, 유지보수, 재활용, 폐기에 이르기까지의 제품이나 공정, 서비스 활동 등을 포함한다.

이러한 전과정 평가 (LCA)는 제품전과정의 관점에서 환경측면을 개선시키기 위한 기회를 제공하며 업체나 정부기관 및 비정부기관에서 전략적인 계획수립과정, 우선순위 결정과정, 제품과 공정에 대한 디자인과정 등에 대한 결정을 하는데 도움을 준다. 또한 환경마크와 같은 제품의 환경성주장에 의한 마케팅전략을 수립하기 위해서도 전과정 평가 (LCA)는 중요한 정보를 제공한다.

(2) 전과정 평가 (LCA)의 구성

전과정 평가 (LCA)는 그림 3-18에서 보는 바와 같이 목적 및 범위 정의, 전과정 목록분석, 전과정 영향평가, 전과정 해석으로 구성되어 있다.



[그림 3-18] 전과정 평가 (LCA)의 구성

(가) 계획단계

전과정 평가를 수행하기에 앞서 전과정 평가를 진행하는 과정에서 수행할 각각의 활동들에 대한 계획서를 작성하여야 한다. 전과정 평가 (LCA) 결과는 이 단계에서 내린 결정에 따라 크게 달라질 수 있기 때문에 신중을 기해 작성해야 한다. 전과정 평가 (LCA)의 진행은 이 계획서를 바탕으로 진행하며 계획안 수립 시에는 소요비용, 자원, 정책 등을 고려하여 작성해야 한다. 계획수립 시에 고려해야 할 사항들은 다음과 같다.

- 개략적인 목표를 설정한다.
- 대상제품 및 기능단위와 같은 범위를 개략적으로 설정해 본다.
- 향후 진행시 필요한 전문지식에는 어떤 것이 있는지를 미리 파악한다.
- 필요한 데이터들에는 어떤 것들이 있는지 개략적으로 살펴본다.
- 이들 데이터가 필요할 때 쉽게 지원이 될 수 있는지를 체크해본다.
- Critical review가 필요한지 검토해 본다.

(나) 목적 및 범위 설정

전과정 평가는 수행하는 목적에 따라 연구의 방향과 깊이가 결정되므로, 목적과 범위를 정의하는 단계에서 우선 연구수행 목적을 명확히 하고 목적에 맞추어 대상제품이나 공정의 범위를 설정해야 한다. 또한 필요한 데이터와 그 출처, 전과정 평가 수행기간, 전과정 평가 수행지역 등도 목적에 맞게 설정되어야 한다.

목적의 정의단계는 전과정 평가를 위한 프로젝트 수행 초기에 그 목적을 분명하게 규정하는 단계로 전과정 평가를 수행하는 목적과 대상, 그리고 결과의 용도에 대해 설정하여야 한다. 범위를 정의하는 단계는 전과정 평가 대상, 기능단위, 시스템경계, 가정 및 시간적 범위 등을 설정한다. 이 단계에서는 전과정 평가 수행의 정량적인 기준과 제품들의 환경성을 비교할 수 있는 수단인 기능단위를 설정하며 연구수행의 범위인 시스템 경계와 수집될 데이터의 범주와 투입산출의 초기포함 기준을 정하고 수집될 데이터의 수준을 결정하는 데이터 품질요건을 세워야 하며, 연구에 사용될 가정과 사용될 영향평가 방법론 등을 설정하도록 한다.

① 기능단위 설정

기능단위란 전과정 평가 (LCA)를 하는 기본이 되는 일반적인 단위이고, 시스템이 나타내는 성능의 지수를 의미한다. 기능단위의 목적은 제품에 의해 제공된 서비스를 정량화하는 것이다. 대상제품의 성능을 바탕으로 기능단위를 해석하여 기준흐름을 잡는다. 기준흐름이란 기능단위를 수행하는데 필요한 제품의 수 또는 양을 나타낸다. 기준흐름이 결정되면 이를 바탕으로 전과정 목록분석을 수행한다. 기능단위는 연구의 목적에 따라 변화될 수 있지만, 데이터베이스의 활용성을 고려하여 단위 바닥면적당 (m²) 연간 (year) 에너지 (MJ 또는 kWh) 또는 이산화탄소 배출량 (kg-CO₂)을 기본적인 기능단위로 사용하는 것이 보편적이다.

② 시스템 경계 설정

시스템은 분명하게 정의된 어떤 기능을 수행하는 일련의 활동들의 집합체로 정의된다. 즉, 시스템은 원료의 획득으로부터 출발하여 산업체 또는 소비자의 사용을 거쳐 최종 폐기까지 생애주기 전체과정을 말한다. 이러한 시스템 경계 즉, 생애주기 전체과정 중 평가의 범위에 대한 설정은 수행하고자 하는 전과정 평가 (LCA)의 목적에 맞게 정해져야 한다.

시스템 경계는 전과정 평가에 포함되어 있는 단위공정들로 결정되며, 의도된 용도, 데이터와 비용의 제한, 가정, 전과정 평가 결과의 적용 의도 등에 의해 결정한다. 제품 제조공정의 개선이 전과정 평가 (LCA)의 목표일 경우 시스템 경계는 제품의 원료획득에서 제조가공 단계까지 포함하면 되고 전체공정이나 전체 제품의 환경영향을 정확하게 예측하기 위해서라면 생애주기 전체과정이 시스템 경계에 포함되어야 한다.

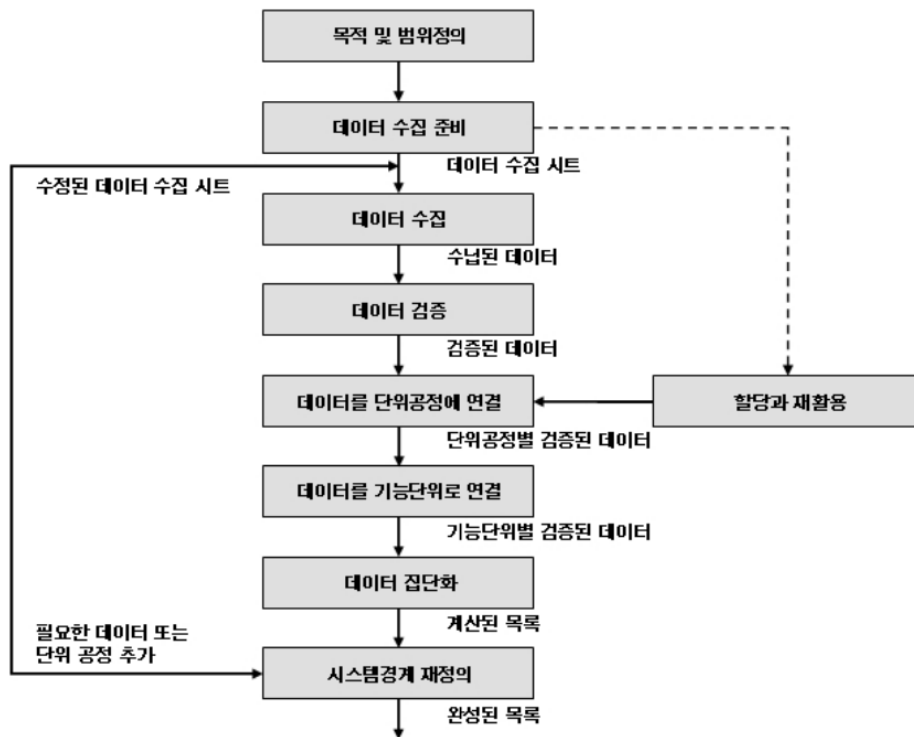
③ 데이터 품질 요건의 설정

데이터 품질요건은 일반적으로 연구수행 중 필요한 데이터의 특성을 규명할 수 있어야 한다. 전과정 평가 (LCA)를 수행하기 위해서는 많은 데이터가 필요하며 모든 데이터를 직접 측정하여 수집하거나 정확히 계산된 데이터가 불가능할 경우 동종업종에서 사용한 데이터나 일반화된 방법의 자료를 사용할 수 있다. 다만 이 경우에는 데이터 및 자료의 출처와 가정, 한계 등을 명시해야 한다. 사용되는 데이터는 그 데이터의 시간적·지역적 범위, 기술적 적용범위, 데이터의 정확도 및 대표성, 방법의 일관성과 재현성, 데이터의 출처, 정보와 방법들의 다양성과 불확실성을 명시할 필요가 있다.

(다) 전과정 목록분석 (Life Cycle Inventory Analysis)

전과정 목록분석은 전과정 평가의 가장 중요한 단계로 시스템 상에서의 투입물과 산출물에 대한 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 검증, 기능 단위에 맞게 환산하며 단위공정별 데이터의 합산 등의 수행을 통해 정량화하는 단계이다. 목록분석의 절차는 다음 그림 3-19와 같다. 대상 시스템에 대한 데이터를 수집하기 전에 공정을 파악하고 필요한 데이터에 대해 파악하는 데이터 수집 준비단계를 통해 대상 시스템에 대한 공정 흐름도를 작성한다. 데이터 수집의 용이성과 데이터관리체계를 고려하여 단위공정을 설정한다.

목록분석 절차 중 데이터 수집은 전과정 평가 수행 시에 가장 많은 시간과 노력이 필요한 과정이다. 전과정 평가 (LCA)의 목적에 따라 경계조건인 원료채취, 제조, 유통, 사용, 폐기 등의 구분을 명확히 설정하고, 이에 따라 자료를 수집할 범위를 정한 다음 실제 측정값, 인터뷰, 문헌자료, 이론적인 모델, 법적 기준치 등을 이용하여 데이터를 수집한다. 이때 사용되는 데이터의 출처는 반드시 명시한다. 목록분석 단계에서 시스템으로의 투입되고 산출되는 데이터의 수집방법으로 크게 개별적산법, 산업연관분석법, 조합법이 있다.



[그림 3-19] 전과정 목록분석 절차 (ISO 14044, 2006)

수집된 데이터를 정량화하기 위해서 데이터 검증, 누락된 데이터와 데이터 갭 처리, 기능단위에 맞도록 하는 환산과정, 단위공정별 데이터의 합산하는 절차를 수행하게 된다. 다중 투입물이나 다중 산출물에 대한 데이터의 경우 환경영향의 책임을 각 생애주기단계에 적절하게 분배하는 할당 과정을 거쳐 중복되지 않도록 한다. 할당방법은 인과관계에 의해 도출되어야 하며 정확성, 공평성, 사용의 편의성, 효과적 할당 가능성 및 결과의 합산 가능성 등의 조건을 검토하여야 한다. 할당 과정에서의 일반적인 기준으로는 중량 (Mass)을 기준으로 할당하는 방법, 경제적 가치를 기준으로 할당하는 방법, 에너지 (cal 또는 MJ, kWh)를 기준으로 할당하는 방법 등이 사용될 수 있다.

(라) 전과정 영향평가 (Life Cycle Impact Assessment)

전과정 영향평가는 목록분석의 결과에 대해 환경영향을 분석하고 평가하는 것이다. 전과정 영향평가는 ① 목록분석의 결과를 영향범주별로 분류하는 분류화 (Classification) 단계와 ② 영향범주별로 분류된 목록 파라미터들이 영향범주에 미치는 영향을 정량화하는 특성화

[표 3-6] 영향범주별 상응인자

영향범주	상응인자
자원고갈	ADP(1/yr)
지구온난화	GWP(CO ₂ -eq/g)
오존층파괴	ODP(CFC ₁₁ -eq/g)
산성화	AP(SO ₂ -eq/g)
부영양화	NP(PO ₄ -eq/g)
광산화물 형성	POCP(ehtene-eq/g)
생태독성	ECA(m ³ ·water/g), ECT(kg·soil/g)
인간독성	HCA, HWC(kg·body·wt/kg)

③ 정규화 단계

본 단계는 선택적인 단계이다. 이는 전과정 해석을 위한 추가적인 단계로 특성화로부터 얻은 환경 프로파일을 정규화 인자인 특정시간 및 특정 지역, 인구수 등을 기준으로 나타내는 과정이다.

정규화값의 산출은 아래의 식과 같은 과정을 통해 이루어진다. 즉, 특성화를 통해 얻어낸 특성화결과를 산출된 정규화 인자로 나누어줌으로써 특성 상황 (특정시간, 특정지역, 1인당 등)에 기준한 영향의 상대적 중요성을 보여주게 된다.

$$\text{정규화값} = (C_i / N_i) \quad (3-2)$$

C_i : i 번째 영향범주에 속한 목록 항목들이 기여하는 잠재적 영향

N_i : 해당지역, 일정기간에 배출되는 i 번째 영향범주에 속한 모든 목록항목들이 기여하는 잠재적 영향

④ 가중치부여 단계

가중치부여 단계도 선택적인 단계로 영향범주간의 상대적인 중요도를 결정하는 단계이다. 본 단계에서는 영향범주간의 상대적인 중요도를 사회적, 도덕적, 과학적, 사회적인 기준을 중심으로 정량적 또는 정성적으로 해석한다.

가중치부여 방법은 Red Flag와 Matrix방법과 같은 정성적인 방법과 Delphi Method와 EPS, Distance-to-target과 같은 정량적인 방법이 있다. 이렇게 계산된 범주별 가중치는 아래의 계산식과 같이 각 범주별 영향점수를 곱함으로써 단일 점수화되어 제품이나 서비스 사이의 비교가 가능하다.

$$T = V_i \times I_i \quad (3-3)$$

- T : 가중치 부여값
- V_i : 영향범주별 가중치
- I_i : 영향점수 값

⑤ 전과정 해석 (Life Cycle Interpretation)

전과정 해석은 목록분석의 결과 또는 목록분석과 영향평가의 결과를 통하여 전과정 평가(LCA)의 목적과 범위에 부합하도록 주요 환경영향을 규명하고 평가하여 최종 결론을 이끌어내는 체계화된 과정이다. 이 단계는 결과의 평가절차와 주요 환경이슈의 규명을 수행하고 이를 통한 결론 및 조언을 도출하는 절차로 이루어진다.

전과정 평가(LCA)의 결과를 토대로 중요한 투입물 및 산출물과 잠재적인 영향들을 규명하고, 규명된 주요 이슈가 연구의 목적 및 범위에 부합하여 목록분석과 영향평가의 정보를 충분히 대표하는지를 조사하는 완전성 검사와 주요 이슈들의 편차가 결과에 미치는 영향을 평가하는 민감도 분석검사 단계를 거친다. 그리고 규명된 주요 이슈들이 목록분석과 영향 평가의 결과를 대표하는지를 검토한다. 이를 토대로, 의사결정권자에게 결론과 조언의 형태로 보고하는 보고서 작성 단계를 거친다. 최종보고서에는 민감도 분석과 불확실성 분석의 수행 결과를 반영토록 한다.

나. 전과정 평가(LCA)의 개발배경 및 적용분야

(1) 전과정 평가(LCA)의 개발배경

급격한 산업화로 인한 환경오염물질의 발생이 가속화됨에 따라 지구환경은 급격히 악화되고 있다. 현재와 같은 환경오염 증가 추세를 방지할 경우 인간의 생활터전의 오염으로 인한 인류의 지속적인 생존에 대한 위기의식이 확산되고 있다. 이러한 상황에서 인간 생명과 생활에 필수적인 자연환경 또는 생태계를 보존해야 한다는 인식이 높아지고 있으며 이를 위한 노력이 확산되고 있다.

모든 산업은 직·간접적으로 자원 및 에너지를 소비하고 있으며 자원 및 에너지소비는 필연적으로 환경에 영향을 미치는 물질을 배출하게 된다. 일반적으로, 산업체에서 발생시키는 환경영향은 온실효과(The Greenhouse Effect), 오존층 파괴(Depletion of the Ozone Layer), 광화학 스모그(Summer Smog), 겨울 스모그(Winter Smog), 산성화(Acidification), 부영양화(Eutrophication), 대기/수계 및 토양 오염(Toxins in The Air, Water and Soil), 쓰레기 처리 문제(Waste Disposal), 악취/소음 등의 지역민원(Local Nuisance), 자원 고갈 등을 들 수 있다. 이러한 상황에서, 환경적으로 건전하고 지속 가능한 개발(ESSD : Environmentally Sound and Sustainable Development)이라는 명제 하에 지구환경을 보전, 보호하려는 방법들이 전 세계적으로 수립, 확산되고 있는데, 이러한 가운데 제품의 전과정에 걸쳐 필연적으로 발생하는 환경부하를 규명하고, 환경부하가 환경에 미치는 영향을 평가하여 이를 저감, 개선하고자 하는 기법으로 LCA(전과정 평가, Life Cycle Assessment)가 도입되었으며, 이를 국제적으로 연구, 보급하려는 노력이 활발히 진행되고 있다.

(2) 전과정 평가 (LCA)의 적용분야

일반 산업 분야에서 LCA의 응용분야는 ① 제품 및 공정의 개선, ② Eco-label에의 적용, ③ 환경 요인을 고려한 제품의 친환경적 설계 (DFE Design for Environment)를 들 수 있다.

(가) 제품 및 공정의 개선

LCA를 통해 제품 및 공정의 환경적 영향을 파악하고, 특정 단계나 공정에서의 주요 문제점을 부각시킴으로써 대기오염, 수질오염, 고형폐기물 등의 오염원별로 우선순위를 고려한 개선을 실시할 수 있게 되는데, 개선의 대상으로는 원료사용의 최적화, 에너지 자원의 최적화, 공정의 대체, 제품과 서비스의 재설계 등이 있다. 그 대략적인 내용은 표 3-7과 같다.

[표 3-7] 제품 및 공정의 개선

대상	상세내용
원료사용의 최적화	- 공정에 대한 객관적인 분석을 통한 폐기물 또는 산출물 발생 조절
에너지자원의 최적화	- 에너지 손실 최소화 (운동, 공정)
공정대체	- 재활용, 재사용 비율 제고
제품과 서비스의 재설계	- 제품 사용수명 향상 - 사용효율증대 - 제품 무게 및 부피 최적화 - 운송과정 단축

(나) 환경마크제도 (Eco-Labeling)

환경마크제도 (Eco-Labeling)는 특정 제품군과 관련한 환경기준을 정의하고 있다. 동일 용도의 제품 가운데 '원료 취득 → 생산 → 유통 → 사용 → 폐기' 등 제품의 전과정 각 단계에 걸쳐 자원과 에너지를 덜 소비하고 오염물질을 덜 배출하는 친환경상품을 선별해 정해진 형태의 환경마크와 간단한 설명을 표시토록 하는 자발적 인증제도이다. 1979년 독일에서 처음 시행된 이 제도는 현재 유럽연합 (EU), 북유럽 (Nordic), 캐나다, 일본 등 세계 40여 국가와 기관에서 시행중이다. 우리나라에서는 '환경기술개발 및 지원에 관한 법률' 제20조에 의거 1992년 4월부터 시행해오고 있다. 대부분의 환경마크 들은 조만간 LCA 방법론을 통해 재개정될 계획에 있으며, 이에 따른 기준안들이 도출될 것으로 기대된다.

(다) 친환경디자인 (Design for Environment, DFE)

친환경디자인은 개발제품의 환경영향을 고려할 수 있는 도구이며, 이를 위해서는 일반적으로 간략화 된 전과정 평가 (LCA) 기술을 사용한다. 지금까지 설계자는 제품원가와 성능이라는 두 가지 목적을 위해 노력해왔다. 이를 위해 유한요소법 등의 분석을 통한 모델을 개발해왔다. 하

지만 현시점에서 환경영향 (제품생산시의 환경영향, 사용 중의 환경영향, 지구환경에의 영향 등)에 대한 변수가 주요 고려대상으로 추가됨에 따라 이를 위한 분석방법이 요구되었다. 이를 위해 설계자가 환경적인 관점에서 대상제품의 환경품질을 빠른 시간 내에 파악할 수 있는 방법으로 전과정 평가 (LCA)방법을 사용한 환경성지수분석법 (Eco-Indicator Method)을 사용하고 있다.

2. 이산화탄소 배출량 산정 기법

가. 원단위 작성방법 분석

환경부하 원단위란 산업활동의 전과정을 통해 지구환경에 배출되는 환경부하 인자인 온실효과가스, 오존층 파괴가스, 산성비 유발가스, 독성가스, 유해폐기물질 등이 대상물질 또는 행위의 기능단위당 얼마의 값인가를 정량적인 단위로 표현하는 것이다. 이러한 환경부하 원단위는 산출목적과 활용범위에 따라 달라질 수 있다.

전과정 평가 (LCA)에서 전과정 목록분석은 시스템에서 전과정에 걸쳐 투입되는 에너지 및 원료소요량과 배출되는 환경오염물질을 정량화하여 수집하는 과정으로 데이터의 수집방법에 따라 크게 개별적산법 (Process Analysis)과 산업연관분석법 (Input-Output Analysis), 그리고 이 두 가지 방법을 조합한 조합법 (Hybrid Analysis)이 활용된다.

(1) 개별적산법

개별적산법은 제품과 시스템을 설계도서와 견적서 등으로부터 원료 (자재)와 제조공정, 사용 등으로 구분하여 각각의 제품이 어떻게 제조되어 폐기되는지를 제품마다 구체적으로 조사해 나가는 방법이다. 또한 제품이 만들어지기 위해 투입되는 모든 물질의 종류와 양 그리고 투입되는 물질에 따라 배출되는 환경부하와 부산물 등을 일련의 공정도로 추정하여 목록분석을 수행하는 방법이다. 주로 제품의 전과정 평가 (LCA)에 이용되며 일반적인 전과정 평가 (LCA) 방법론이라 할 수 있다

개별적산법은 데이터의 수집에서 상세한 부문 구분이 가능하기 때문에 환경부하의 실체와 원인을 명확화 할 수 있고, 각제품의 제조, 유통, 소비, 폐기 및 재활용등에 따른 환경부하 대책의 검토와 평가가 가능하다는 장점을 갖고 있다. 그러나 이 방법은 각 단계의 투입 및 산출 데이터가 필요하고 많은 공정 및 전체프로세스의 검토를 거쳐야하므로 많은 시간과 비용, 인력의 소모가 요구되며 경제조건에 설정에 문제가 있을 수 있다.

스위스, 네덜란드, 미국, 독일 등은 정부기관, 대학 연구소, 단체 등에서 국가 인프라구축에 많은 노력과 시간을 투자하고 이미 구축된 데이터베이스에 대해서도 지속적으로 업데이트하고 있다. 유럽의 대표적인 환경부하 원단위 데이터베이스로는 SimaPro 5.0과 Gabi를 들 수 있다.

(2) 산업연관분석법

산업연관분석법이란 일정기간 동안 국민경제 내에서 재화와 서비스의 산업 상호간의 거래 즉, 생산 및 처분과정에서 발생하는 모든 거래를 일정한 원칙과 형식에 따라 행렬형태로 기록

한 투입·산출표인 산업연관표 (Input-Output Tables)를 활용하여 산업연관표 내의 산업부문 가운데 대상이 되는 산업부문의 생산품에 따라 에너지소비량과 환경부하량을 구하는 방식이다. 구체적으로는 각 산업의 최종 수요액으로 부터 역행렬표 등을 이용하여 궁극적으로 유발되는 생산액을 구하여 에너지소비량과 환경부하량 등을 구하는 방식이다.

이 방식의 장점은 생산활동 등에 따라 직접적인 에너지소비량 및 환경 부하량과 함께 간접적으로 소비되는 에너지 및 배출되는 환경부하량을 빠짐없이 추계할 수 있기 때문에 환경부하를 종합적으로 파악할 수 있고, 추계결과가 객관적이라는 점이다. 이러한 이유로 개별적산법의 결점을 보완할 수 있다. 또한 이 방식은 산업연관표를 이용하여 매우 복잡한 제조 공정에 대해 정합적인 분석을 수행할 수 있고, 계산시간이 상당히 짧다는 등 여러 장점을 갖고 있다. 그리고 분석범위의 확대가 가능하며 분석결과에 객관성이 있고 분석과정의 재현성이 높다고 할수 있다. 하지만 이 방식은 산업연관표 작성에서 산업구조와 생산활동이 단순화·평균화되어 있기 때문에 각각의 제품과 기술분석에는 불충분한 점이 있다. 또한 신기술과 재사용 등의 산업연관표에 나타나 있지 않은 항목은 분석할 수 없다는 단점도 있다.

산업연관분석법에 의한 환경부하 원단위 데이터베이스 개발은 2002년 국토해양부에서 수행하여 약 250여개의 건축부자재에 대한 데이터를 구축한 것이 대표적이며 이후 김종엽 (2005)의 연구에서 산업연관표에 게재되어 있는 에너지흐름을 분석하고 산출기법을 설정하여 국내실정에 적합한 건설 자재 생산단계의 환경부하 원단위를 산출하여 제시한 바 있다. 또한 기존의 연구에서 밝혔듯이 한국건설기술연구원 (2006)은 ‘건설부문 온실가스 배출 분석연구’에서 산업연관표를 이용하여 산업연관분석에 근거한 건설부분별 온실가스배출량을 도출하여 제시하였으며 이강희 등은 (2002)은 산업연관분석법을 이용하여 공공건축물의 철골조와 철근콘크리트 구조를 대상으로 에너지소비량과 이산화탄소 배출량을 제기하고 두 구조가 이산화탄소 배출량에 있어 비슷한 수준을 유지하고 있다는 결론을 도출하였다.

해외에서도 산업연관분석에 의한 환경부하 원단위 데이터베이스 구축과 관계된 연구가 다수 이루어졌다.

일본에서는 건설성 건축연구소, 국립환경연구원, 건축학회 및 여러 사단 법인단체와 대학에서 산업연관표를 이용한 CO₂, SO_x, NO_x 배출량의 데이터베이스를 구축하는데 많은 연구를 수행하고 있다. 특히 일본건축학회는 1990년대 초부터 산업연관표를 이용한 건축재료별 에너지소비량 및 탄소배출량 원단위를 산출하여 보고하고 건물의 생애주기의 각 단계별 에너지소비량과 탄소배출량을 산업연관분석을 통해 산출하였다. 이러한 지속적인 연구들을 통해 현재는 산업연관표에 의한 환경부하 원단위 데이터베이스가 세부적으로 구축되어 활용되고 있다. 대표적인 연구로 Kondo (1997)에 의한 산업연관표에 따른 이산화탄소배출 원단위와 Hondo (1998)의 산업연관표를 이용한 일본의 생산활동에 따른 환경부하의 실태분석연구가 있다.

미국의 경우, 카네기멜론대학에서 1992년에 US Department of Commerce에 의해 발표된 485개의 산업부분에 대해 제품이나 서비스에 대해 다양한 환경배출, 자원요구, 경제거래 등을 EIO LCA (Economic Input Output-Life Cycle Assessment)를 통해 조사하였다. 또한 Gregory Norris에 의해 에너지 경제데이터와 오염물질데이터 CO₂, TRI (Toxic Release Inventory 등)를 이용한 산업연관분석법LCA (IO-LCA) 모델연구를 수행하였다. 네덜란드의 Centre of Environmental Science에서는 산업연관표를 이용하여 MIET (Missing Inventory Estimation Tool)등 다양한 연구가 시도되었다. 최근에는 적산법과 산업연관분석법의 이점을 이용한 조합법이 연구되고 있다.

(3) 조합법

조합법은 개별적산법과 산업연관분석법의 이점을 사용하는 방식으로 개별적산법으로 데이터를 수집하는 것에 한계가 있는 경우에 활용하며 건축물과 같이 다양한 제품이나 시스템 공정이 있는 경우에 효과적으로 이용 할 수 있는 방법이다. 산업연관분석법의 단점을 보완할 수 있으나 개별적 산법의 단점을 함께 가지고 있다. 이 방법은 적산법에 기초하여 분석하는 방법과 산업연관표에 기초를 두고 분석하는 방법으로 나눌 수 있으며 이 방법을 단계별조합 (Tiered hybrid), 투입산출조합 (Input-output hybrid), 통합조합 (Integrated hybrid)으로 구분하기도 한다. 개별적산법을 기초로 한 조합방법은 전통적인 전과정 평가 (LCA) 방법과 같이 각각 제품의 물질 데이터를 모은 후 환경자료는 산업연관표의 자료를 이용하여 평가하는 방법으로 많은 선행연구가 진행되고 있다. 산업연관분석법에 기초한 조합 방법은 데이터 수집의 시간에 전략적 목적을 두고 있으며 전과정 목록평가에 대한 조합법의 접근과 산업연관표와 적산법을 통합하는 조합방법 등 다양한 연구가 시도되고 있다.

나. 환경부하 원단위 데이터베이스 개발현황

현재 국내에서는 1999년부터 개별적산법에 의한 제품의 환경부하 원단위데이터베이스를 환경부와 지식경제부가 주관하여 국가 LCI 데이터베이스 정보망을 구축하고 제·개정 및 관리 등을 하고 있으며 국토해양부도 산업연관분석법에 의해 원단위DB를 구축을 추진한 바가 있다. 또한 건축자재환경성정보 국가D/B구축사업을 통해 건축자재의 LCI DB가 일부 구축되었다. 지금까지 국내기관에서 구축한 환경부하 원단위데이터베이스 구축현황은 표 3-8과 같다.

[표 3-8] 국내 개발된 환경부하 원단위 데이터베이스 (LCI DB) 현황

관리 운영기관	친환경상품진흥원	국가청정생산지원센터	한국건설기술연구원	대한주택공사 한국건설기술연구원
개발 모듈수	164개	188개	64개	250개
관련부처	환경부	지식경제부	국토해양부	국토해양부
관련 사이트	http://klcidb.koeco.or.kr/lci/main.asp	http://www.kncpc.re.kr/lci	http://apess.kict.re.kr	-
모듈 개발방법	개별적산법	개별적산법	개별적산법	산업연관분석법
모듈내용	· 수송(21), 에너지(3), 폐기(2), 수자원(11), 화학(67), 펄프(5) 관련 모듈(109개) · 기초부품(3), 플라스틱(3), 부품가공(4), 재활용(4), 기타(4), 금속(20), 고무(6), 건축자재(11) 등 일부 건설자재관련 모듈(55개)	· 수송, 에너지, 폐기, 화학, 제지, 제조공정, 전기전자관련 모듈(159개) · 석고보드, 유리면, 레미콘, 시멘트, 금속, 철강 등 건설자재 관련 모듈(29개)	· 건축자재 환경성정보 국가DB(53개) · 시공공정 환경성정보 국가DB(11개)	· 2000년 산업연관표로 건설 자재 부문 구축 (250여개)

국가 LCI 데이터 개발 절차는 우선 기업의 누적 시장점유율이 50% 이상인 참여업체를 대상으로 업체의 대표성 등을 체크하여 데이터 작성 참여업체를 선정하고 공정흐름도를 결정하고 참여업체별 데이터를 수집하는 등 각 공정별 데이터를 수집하고 데이터 계산 수행, 업체별 gate to gate (GtG) 목록 산출의 과정을 따르게 된다. 공정데이터 수집 및 목록 산출 결과에 대해 내·외부 검증 절차를 거치고 국가 LCI 데이터로 등록하기 전 정밀검토 위원회를 통한 공정데이터 및 방법론을 포함한 최종 검토, 최종보고서 점검을 실시하여 유효한 데이터에 대해 국가 LCI 데이터베이스로 등록하게 된다.

표 3-8에서 보듯 국내 개발된 환경부하 원단위 데이터는 지식경제부와 환경부에 의한 국가기반산업부문 모듈 70개와 기초소재부문 모듈 282개, 총 352개 모듈을 구축한 상태이다. 이 중 지식경제부에서 주관하여 구축한 모듈이 188개 (2007년 6월 기준), 환경부에서 주관하여 구축한 모듈이 164개 (2007년 3월 기준)에 달한다. 국가기반산업부문으로는 물질 및 부품소재 (건축자재, 금속, 기초부품, 기초화학물질, 에너지, 플라스틱 등), 가공공정 (금속가공, 부품가공, 플라스틱가공, 기타), 수송 (육상, 항공, 해상, 기타), 폐기 (매립, 소각, 재활용, 기타) 부문으로 구성되어 있으며, 기초소재부문으로는 화학제품, 페인트, 고무, 철강, 펄프, 제지, 금속, 공정, 전기전자, 건축, 기타 등으로 구성되어 있다. 특히 페인트, 고무, 철강을 제외한 건축 관련 데이터로는 환경부에서 개발한 모듈로 시멘트, 판유리 2가지가 있으며, 지식경제부에서 개발한 모듈

은 석고보드 (1개), 유리면 (3개), 레미콘 (4개), 시멘트 (5개) 등 15개의 건축 관련 제품에 불과한 실정이다.

국토해양부는 건축시스템에서 발생하는 환경정보를 파악하기 위해서 주요 건축자재에 대한 환경부하 원단위를 건축자재 생산업체 및 건설업체가 직접 데이터를 공개하는 참여를 통해 건축자재 국가환경성정보 (LCI DB)를 구축하고 3년에 걸쳐 이산화탄소 배출량이 높은 자재를 대상으로 건축자재 환경성정보 64개를 구축하였다.

타 산업분야에서는 전과정 평가 (LCA)를 활용한 제품의 환경성능 평가가 상당 수준 연구, 활용되고 있다. 하지만 건설 산업의 경우 단일제품에 대한 평가를 위주로 하는 타 분야에 비해 재료와 시공프로세스가 복잡하여 다양한 자원에 대한 데이터베이스 구축을 필요로 하기 때문에 많은 노력과 시간을 필요로 한다. 또한 정부차원에서 구축한 개별적산법의 데이터 중 건설 산업에서 활용 할 수 있는 데이터는 소수에 불과하여 수많은 자재와 복잡한 프로세스로 이루어진 시공과정에서 전과정 평가 (LCA)의 수행이 불가능하다. 산업연관분석법에 의해 산출된 건설 자재의 환경부하 원단위 데이터는 기존의 환경부나 산업자원부에서 적산법에 의해 산출된 건축자재의 데이터가 충분히 정비, 공표되지 않은 현재의 시점에서 기존에 개발된 건축자재 국가환경성정보 (LCI DB)를 보완할 수 있는 유용한 데이터로 판단되며 산업연관분석표의 활용에 의해 모든 제품이나 서비스가 반영되었다는 점에서 의의를 갖는다.

제 3 절 경제성 평가 방법

1. 경제성 평가 개념

개인이나 기업은 모두 한정된 자원을 가지고 있다. 따라서 주어진 투입량으로 최대의 산출량을 낼도록, 즉 아주 효율적으로 활동해야 하는 것이다. 그러므로 제한된 자원을 사용하는 데 있어서는 단순히 좋은 용도를 찾는 것이 아니라 최선의 용도를 찾아야 한다.

인간은 계속적으로 욕구 충족을 추구하고 있다. 이러한 과정에서 인간은 보다 큰 가치를 가진 다른 것을 얻기 위해서 어떤 효용을 포기한다. 이 과정이 본질적으로 경제적 효율의 최대화를 목적으로 하는 경제적 과정인 것이다.

2. 경제성 평가의 비용 분류

가. 초기비용 (First Cost, Initial Cost)

초기비용은 처음에 발생하는 비용으로서 투자된 자본이 되며, 여기에는 운송, 설치 등 처음에 지출되는 비용들이 포함된다. 통상적으로 초기비용은 일단 활동이 시작되면 다시 발생하지 않는 여러 비용 요소들로 이루어진다. 구입 물품의 초기비용에는 구입가격 이외에 운송비용, 설치비용, 훈련비용이 포함된다. 복잡한 구조, 시스템 또는 제품의 비용에는 운송비용, 설치비용, 훈련비용 이외에도 공학적 설계 및 개발비용, 검사 및 평가비용, 건설비용 또는 생산비용이 포함된다.

나. 운용 및 유지비 (Operation and Maintenance Cost)

초기비용이 활동을 시작하기 위하여 단지 한 번만 발생하는 비용인 데 반하여, 운용 및 유지비는 그 사업이 존속하는 한 계속적으로 발생하게 된다. 이 비용의 범주에 속하는 것으로는 운용 및 유지 업무에 관련된 노무비, 연료 및 전력비, 운용 및 유지에 필요한 물품 공급비, 예비비 및 수선비, 보험료 및 세금, 그리고 경상비라고 불리는 간접비의 상당한 부분들이 있다. 이 비용들은 상당히 클 수 있어서 흔히 총액에 있어서 초기비용과 맞먹는다. 그러나 운용 및 유지비가 건축물, 시스템 또는 설비들이 서비스를 멈출 때까지 계속해서 발생한다는 점에서 그 발생 시기가 근본적으로 다르다.

다. 고정비 (Fixed Cost)

고정비는 활동량에 관계없이 그 액수가 비교적 일정한 제 비용들을 말하는 것으로 장래의 상황에 대비하여 발생한다. 어떤 기계는 장래에 발생할 노무비를 절감시키기 위하여 구입되는 것으로 고정비에 속하는 투자를 하는 것은 그 결과로 변동비의 절감이나 수입의 증가라는 이득으로 회수될 것이라는 희망 때문이다.

고정비는 감가상각비, 유지비, 세금, 보험, 임차료 및 투자, 판매촉진, 사무비와 연구비에 대한

이자와 같은 비용들로 이루어진다. 이 비용들은 과거에 내려진 결정에 의하여 발생하는 것이며, 일반적으로 갑자기 변화하지는 않는다. 그 결과로 단위당 고정비는 조절할 수 없게 되기가 쉽다.

라. 변동비 (Variable Cost)

변동비는 활동량과 어떤 관계를 갖고 액수가 결정되는 제 비용을 말한다.

마. 증분비용과 한계비용 (Incremental and Marginal Cost)

증분비용은 한 단위를 더 생산할 때 추가적으로 발생하는 비용으로 한계비용과 같은 개념이다. 일반적으로 비용의 증가는 어떤 기준으로 말하여지며, 톤당 증분비용 또는 한 단위생산당 증분비용 등으로 표시된다. 한계비용이라는 용어는 소요되는 비용이 금전적인 수입으로 상쇄되는 시점에서 단위생산량에 대한 증분비용을 가리킨다.

실제 상황에서는 이 증분비용을 결정하는 것은 일반적으로 어려운 일이다. 증분비용은 과다하게 추정될 수도 있고 과소하게 추정될 수도 있는데, 어느 경우에도 이 오차는 손실을 초래할 것이다. 증분비용을 과다하게 추정하면 이익을 얻을 수 있는 기회를 상실하게 될 것이며, 반면에 과소하게 추정하면 손실을 가져올 사업에 투자하게 될 것이다.

바. 감가상각비 (Depreciation)

기계, 설비, 건축물을 비롯한 대부분의 자산들은 시간이 지나거나 생산활동에 사용하면 그 가치가 떨어지고 결국 폐기되거나 대체된다. 이런 현상을 감가라 하며, 감가상각이란 사용과 시간에 따라 고정자산의 효용성이 점진적으로 감소하는 것으로 물리적인 감가상각과 기능적인 감가상각으로 분류할 수 있다. 물리적인 감가상각이란 물리적인 손상에 의해 자산의 능력이 감소되는 것이고, 기능적 감가상각이란 자산의 필요성이 감소되거나 없어지는 등의 조직변경이나 기술변화의 결과로 발생한다.

잔존가치란 자산의 내구연한 말의 예산 가치로서, 궁극적으로 판매, 교환 또는 폐기를 통해 회수되는 금액이다. 감가상각은 실제적으로 현금으로 지출되는 것은 아니지만 세법에 큰 영향을 미치는 것으로 세법에 의해서 정해진 감가상각의 방법 선택은 경제성 분석에 큰 영향을 미친다. 감가상각을 계산하기 위한 비용요소들은 초기비용, 내용연수, 잔존가치이며 내용연수와 잔존가치에 대한 예측이 필요하다.

3. 경제성 평가 방법

가. 순현재가치 (Net Present Value; NPV)

순현재가치는 시간의 가치를 고려하여 각 대안의 현재가치를 기준으로 비교분석하는 방법으로 가장 널리 통용되는 경제성 분석 방법이다. 현재가치는 유효기간동안 투입되는 각 시점의 지출액과 수입액을 모두 현재로 환산하여 순현재가치를 구한다.

분석법은 유효기간 내에 발생하는 수익이나 비용의 반복성에 따라 일시지불현재가계수를 사용하는 경우와 연금현재가계수를 사용하는 경우로 나눌 수 있다. 상호배타적인 투자안의 분석에서 유효기간이 다른 경우는 투자안의 내용연수의 최소공배수를 유효기간으로 설정하여 계산한다. 현금의 발생이 일회성일 때는 할인계수를 사용하고 등가의 수익이나 비용이 발생할 때는 연금현재가계수를 사용하여 순현재가를 구한다.

$$\text{일회성 비용 } PW = \sum_{t=0}^n F_t (1+i)^{-n} \quad (3-4)$$

$$\text{등가성 비용 } PW = F_t \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (3-5)$$

여기서 F_t = 투자에 대한 t년도 말 순익

$$i = \text{이율} - 1 < i < \infty$$

현재가법의 의사결정기준은 독립적인 투자안의 경우는 현재가가 0이상인 경우 투자가치가 있는 것으로 판단하고, 상호배타적인 투자안의 경우는 현재가가 큰 투자안을 선택한다.

나. 할인회수기간법 (Discounted Payback Period; DPB)

회수기간이란 투자안에 대한 초기 투자비용을 회수하는데 걸리는 시간을 의미한다. 회수기간법은 현금의 흐름을 대상으로 총 투자액이 완전히 회수되는 시간을 측정하여 대안을 비교하는 방법이다. 기간이 가장 짧은 대안을 경제성이 좋은 대안으로 평가하고, 최적의 대안을 선정하는 방법으로 회수기간은 연단위로 표현한다. 따라서 자금의 신속한 회전을 중요시하는 투자의 경우 적합한 분석방법이다.

이러한 투자 회수기간은 단순 회수기간 또는 할인된 회수기간으로 표현된다. 단순회수기간법은 시간 가치는 무시되므로 3년에서 5년을 초과하지 않는 기간에 대해 사용되어야 한다. 할인회수기간법은 이율을 감안하여 현금흐름의 증가를 계산하여 회수기간을 결정하므로 화폐의 시간가치를 적용하기 위해 많이 사용되는 방법이다.

$$\text{단순회수기간 } P = \sum_{t=0}^n F_t \quad (3-6)$$

$$\text{할인회수기간 } P = F_t (1+i)^{-n} \quad (3-7)$$

여기서 P = 초기비용

F_t = 투자에 대한 t년도 말 순익

$$i = \text{이율} (-1 < i < \infty)$$

위의 식을 만족하는 최소의 n 값이 할인회수기간이며, n 년 후부터는 초기비용을 상회하여 $i\%$ 의 이율로 수입이 들어오게 된다. 의사결정은 독립적인 투자안의 경우는 투자안의 회수기간이 목표회수기간보다 짧으면 채택하고, 상호배타적인 투자안의 경우는 투자안의 회수기간이 목표

회수기간보다 짧은 투자안을 선택한다.

회수기간법은 계산이 용이하고 짧은 회수기간의 투자안을 선택함으로써 미래의 불확실성을 감소시킬 수 있다. 그러나 단순회수기간법은 기본적인 회수기간 내 현금흐름에 대한 시간적 가치를 고려하지 않고, 할인회수기간법 역시 회수기간 이후의 현금의 흐름을 고려하지 않으므로 합리적인 선택이 어렵다.

다. 내부수익율법 (Internal Rate of Returns; IRR)

내부수익률은 현금 유입의 현재가치 합과 현금 유출의 현재가치 합이 같게 되는 NPV=0인 할인율이다. 의사결정은 독립적인 투자안의 경우에는 내부수익률이 금융비용보다 크면 투자안을 선택하고, 상호배타적인 투자안의 경우는 내부수익률이 가장 큰 투자안을 선택한다. 이런 이유로 내부수익율법에서 투자안 채택과 기각의 판단기준으로 사용하는 할인율을 ‘자본비용’ 또는 ‘기준수익률’ 이라고 하며 장기 투자안의 평균투자수익률로 사용된다.

$$PW = \sum_{t=0}^n (1+i)^{-n} F_t = 0 \quad (3-8)$$

여기서 PW = 초기비용

F_t = 투자에 대한 t 년도 말 순익

i = 내부수익율

일반적인 내부수익률을 직접 구하기보다는 시행착오법을 사용하여 이율을 적용하여 NPV>0 이면 이율을 높이고, NPV<0 이면 이율을 낮추어 다시 계산한다. 내부수익률은 두가지 이율의 보간법으로 계산한다.

라. 투자 이익률법 (Saving to Investment Ratio; SIR)

투자 이익률법은 현가로 환산한 연가 편익 (절감액)을 초기 투자비용으로 나눈 비율 혹은 연 평균 수익을 연평균 투자비용으로 나눈 비율을 평가한다. 비율이 높아질수록 투자된 비용 당 수익 (절감액)이 커지므로 경제성이 있다고 평가한다.

$$SIR = \frac{\sum_{t=1}^n F_t (1+i)^{-n}}{P} \quad (3-9)$$

투자 이익률이 1을 넘으면 그 투자는 효과적으로 간주한다. 이 방법의 최대 문제점은 손익 계산서에 의거한 절감액을 산출해야 하며, 그 시간이 방대하여 간편하고 실용적인 방법이라고 할 수는 없다.

마. 편익/비용 비율 분석 (Benefit/Cost Ratio; BCR)

편익/비용 분석은 시간에 따른 자산의 가치를 고려한 방법으로 투자안의 경제적인 혜택과 비용의 모든 요소들을 정부나 사회 등의 공공의 입장에서 규명하는 방법이다. 편익이 비용을 초과하는 경우 투자의 정당성을 인정하지만 계산은 편익-비용이 아닌 편익/비용의 비율 분석법을 사용한다. 편익/비용의 비율을 사용하면 투자액의 단위당 현가를 계산할 수 있다.

$$B - C \geq 0 \rightarrow B/C \geq 0$$

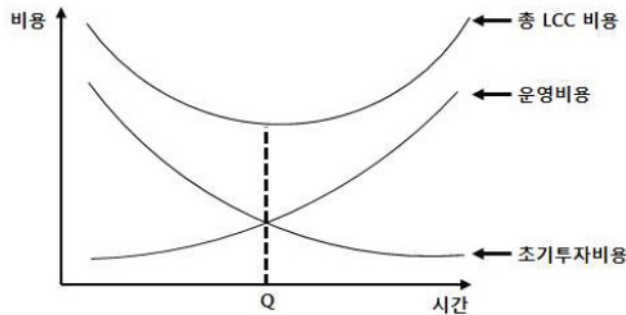
$$BCR = (B/C)_j \times i = \sum_{t=0}^n B_{jt} (1+i)^{-n} / \sum_{t=0}^n C_{jt} (1+i)^{-n} \quad (3-10)$$

여기서 B_{jt} = t년도에서 j사업과 관련된 편익
 C_{jt} = t년도에서 j사업과 관련된 비용
 i = 이율

바. 전생애비용분석법 (Life Cycle Costing; LCC)

LCC는 일반적으로 제품의 생산, 사용, 폐기의 각 단계에서 생기는 비용을 합한 총비용을 말하며, LCC분석은 총비용을 경제수명 범위에서 기준시점의 가치로 등가환산하여 경제성을 평가하는 기법을 말한다. LCC분석은 제품의 수명이 길고 사용기간 중의 투자비용이 많은 투자의 경우에 적합한 분석기법이며, 자산의 현재 운영비를 상세하게 분석함으로써 운영유지방법이나 관련 시스템을 변경하여 운영비를 절감할 수 있는 분야를 밝혀낼 수 있다.

LCC분석은 구입, 운영, 유지관리, 그리고 최종적인 처분에 이르기까지 프로젝트의 전생애기간의 전체 비용을 합산하여 분석함으로써 총 비용의 관점에서 가장 경제적인 대안을 선택할 수 있다. 일반적으로 단순히 경제성을 고려할 때 초기비용이 적은 대안을 선택하는 경우가 많지만 LCC를 고려할 경우에는 초기비용뿐만 아니라 운영비용을 포함한 전체 비용이 적은 대안을 선택해야 한다. 초기투자비용과 운영비용을 근거로 LCC를 산정하면 아래 그래프와 같다. 그래프에서 볼 수 있듯이 초기투자 비용과 운영비용의 합이 가장 적은 지점 (Q)를 선택함으로써 투자경제성을 높이고자 하는 것이 LCC분석의 개념이다.



[그림 3-20] LCC 분석 개념도

4. 비시장재의 경제성 평가 방법

가. 비시장재의 경제성 평가 개념

1960년대 초 비용-편익분석이 본격적으로 보급되기 시작한 시기에는 비용과 편익의 추정이 전적으로 시장자료에 의존하였다. 대기질이나 수질 또는 공공재의 경우에는 시장이 존재하지 않기 때문에 전통적인 비용-편익분석으로는 이들의 가치를 추정할 수가 없었다. 이러한 문제점에 봉착하여 환경경제학자들과 자원경제학자들은 시장가치접근법을 보완할 수 있는 새로운 가치추정기법의 모색을 시작하였다. 그리하여 60년대 초 여행비용접근법을 시작으로 여러 종류의 가치추정기법이 개발 되었고, 이러한 비시장재의 가치를 추정할 수 있는 대표적 방법으로 조건부가상가치평가법 (Contingent Valuation Method)과 속성가격법 (Hedonic Pricing Method), 여행비용평가법 (Travel Cost Method)의 방법이 있다.

나. 비시장재의 경제성 평가 방법

(1) 조건부가상가치평가법 (Contingent Valuation Method)

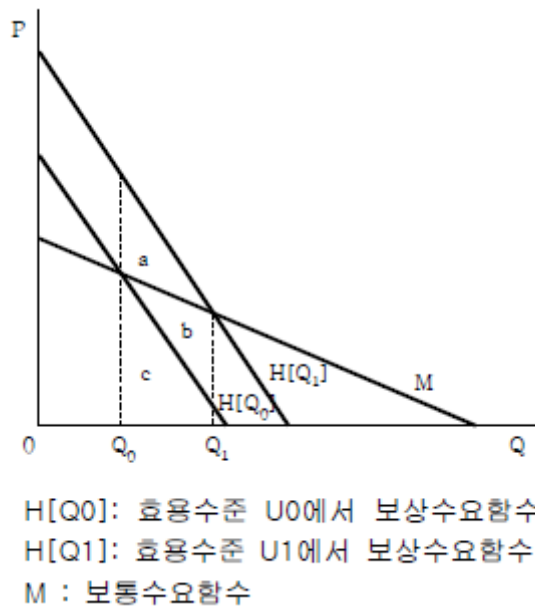
조건부가상가치평가법 (Contingent Valuation Method)은 시장에서 거래되지 않는 비시장재화에 대해 실제로 시장이 존재하는 것처럼 가상적 시장을 설정하고 소비자들에게 지불용의액이나 보상요구액을 직접 설문하여 그 가치를 평가하는 방법이다. 조건부가상가치평가법 (CVM)은 Davis (1953)의 입찰게임법이 소개된 이후 최근 10여 년 동안에 큰 발전을 이룩했다.

이 방법은 환경개선효과, 휴양지, 자연경관, 문화적, 역사적, 생태적 가치가 있는 장소 등의 가치평가에 많이 이용되고 있으며, 근래에는 복합적 생태시스템이나 멸종위기에 처한 특정 동식물의 가치평가 등에 폭넓게 이용되고 있다. 이 방법의 장점은 선택가치나 존재가치와 같은 비사용가치도 추정할 수 있다는 점이다. 그러나 설문 응답자가 전략적 행위로 인하여 전략편의가 발생할 수 있다고 출발점편의, 지불수단편의, 정보편의 등을 발생시킬 수 있어 설문디자인과 설문조사가 아주 엄밀하게 진행되어야 한다는 어려움을 지니고 있다. 조건부가상가치평가법 (CVM)의 진행과정은 보통 ① 대상자의 결정 ② 대상물의 결정 ③ 지불수단의 결정 ④ 설문방법의 결정과정을 가지게 된다.

조건부가상가치평가법 (CVM)은 설문의 구성형식에 따라 개방형질문 (open-ended question)과 폐쇄형질문 (close-ended question)으로 구분된다. 개방형질문은 “당신이 지불하고자 하는 최대금액은 얼마입니까?”의 형태로 응답자에게 질문을 하는데 주로 우편조사에서 많이 사용되는 방식이다. 폐쇄형질문은 질문자가 액수를 조금씩 반복적으로 증가시켜 응답자가 ‘예’ 혹은 ‘아니요’의 응답을 하도록 유도하여 최대지불의사액을 파악해내는 방식으로 개인의 주관적 편의를 최대한 배제한다는 취지에서 널리 사용되고 있는 방식이다. 구체적으로 보면 직접 질문법 (open-ended question), 지불카드방법 (Payment Card), 입찰게임 (Bidding Game), 양분선택법 (Dichotomous-Choice Format)으로 구분할 수 있다.

CVM은 공공재의 개선에 대한 가치를 지불의사금액을 통해서 얻을 수 있기 때문에 효용함수에 대한 일반적 가정이나 수요함수의 도출 등의 복잡한 중간과정을 거치지 않고 지출함수의

Hicks적 보상잉여를 얻을 수 있다. 예를 들어 공공재를 개선함으로써 생기는 편익을 추정하기 위해 지불의사를 측정한다고 할 때 응답자는 다음의 지출함수의 차이에 대해 대답하게 된다.



[그림 3-21] 환경질 개선 편익

$$CS = E(P_x, P_y, Q_0, U_0, T) - E(P_x, P_y, Q_1, U_0, T) \quad (3-11)$$

여기서 P_x, P_y : 시장재화들의 가격

Q_0 : 최초의 공공재 수준

U_0 : 최초의 효용수준

T : 참가자들의 선호를 반영하는 변수 벡터

식 3-11에서 첫 번째 지출함수의 값 M_0 는 응답자의 현재의 소득이 되고 두 번째 지출함수의 값 M_1 은 다른 조건들이 일정한 상태, 즉 주어진 조건이 P, Q, T 인 상태에서 최초의 공공재 수준에서 U_0 의 효용을 얻기 위한 소득이 된다. 따라서 지불의사금액은 두 소득의 차이가 되고 이것은 공공재 개선에 따른 편익에 대한 추정치로 사용될 수 있다.

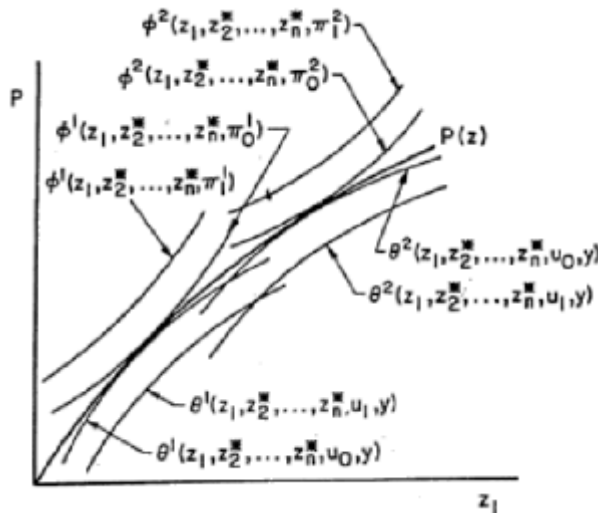
(2) 속성가격법 (Hedonic Price Method)

속성가격법 (HPM)은 1960년대 후반에서 1970년대 초반까지의 Lancaster (1966), Griliches (1971), Sherwin Rosen (1974) 등에 의해 발전된 가치특성이론에서 발전된다. 이들 중에 Sherwin Rosen은 그의 연구에서 재화 (주택)가 담고 있는 다양한 특성들의 양에 따라 차별화 되는 단일한 재화로 파악하였다. 소비자들은 이 특성들로 부터 효용을 얻고 생산자들은 그들이 생산해내는 다양한 특성들의 수준에 따라 비용을 부담하는 양자의 상호작용을 모형화 시켰다. 속성가격법 (HPM)은 시장에서 거래되는 상품의 가격으로부터 환경재의 가치를 추정하는 방법

이다. 다시 말하면 환경서비스의 수준과 시장재화의 가격간의 관계를 모색하는 것이다. 소음수준, 지진위험, 도시의 대기질, 삼림의 주변가치를 측정하는 등 다양한 환경의 가치와 공해, 사회적요인 등의 가치측정을 할 수 있다.

속성가격법 (HPM)은 시장에서 거래되는 상품가격이 다양한 특성들의 가격에 의해 결정된다고 본다. 예를 들면 주택의 경우, 주택의 특성으로는 구조의 특성 (주택의 크기, 방의 수, 창고 공간, 난방시설, 보존상태 등), 사회경제적 특성 (실업률, 사회적 여건, 임금차이, 학교의 질, 지방세 등), 환경, 근린의 특성 (환경의 질, 서비스이용성, 통신시설 등) 등을 들 수 있다. 이런 각각의 환경특성들은 지역에 따라 다르므로 해당지역의 주택 및 토지가격은 서로 다르게 된다. 이러한 주택 및 토지가격의 정보를 근간으로 하여 환경재의 가치를 측정하는 것이 속성가격법의 본질이다.

소비자의 수요를 입찰함수로 나타내고, 생산자의 공급을 제안함수로 표현하면 시장에서 균형은 입찰함수와 제안함수가 만나는 점에서 형성될 것이다. 이와 같이 앞에서 설명한 소비자 측면의 입찰함수와 생산자 측면의 제안함수를 동시에 고려하면 그림 3-22을 얻을 수 있다.



[그림 3-22] 헤도닉 균형 가격

결국 소비자와 생산자는 등효용 입찰곡선과 등이윤 제안곡선이 접하는 점에서 균형을 이루고, 이 때 효용과 이윤을 극대화할 수 있게 된다. 그림 3-22은 바로 이러한 과정을 설명하고 있는 것이다. 시장의 균형은 소비자의 행동과 생산자의 행동을 모두 포함시켜야만 설명할 수 있지만, 많은 환경문제에 대해서는 균형의 설명을 위한 결정적인 정보가 시장의 소비자측면에 포함되어 있다. 따라서 균형 헤도닉 가격함수와 소비자의 결정에만 초점을 맞추어도 균형의 설명이 가능하고, 이런 경우에는 생산자 측면을 무시하여도 이론적으로나 실증적으로 문제를 발생시키지는 않는다.

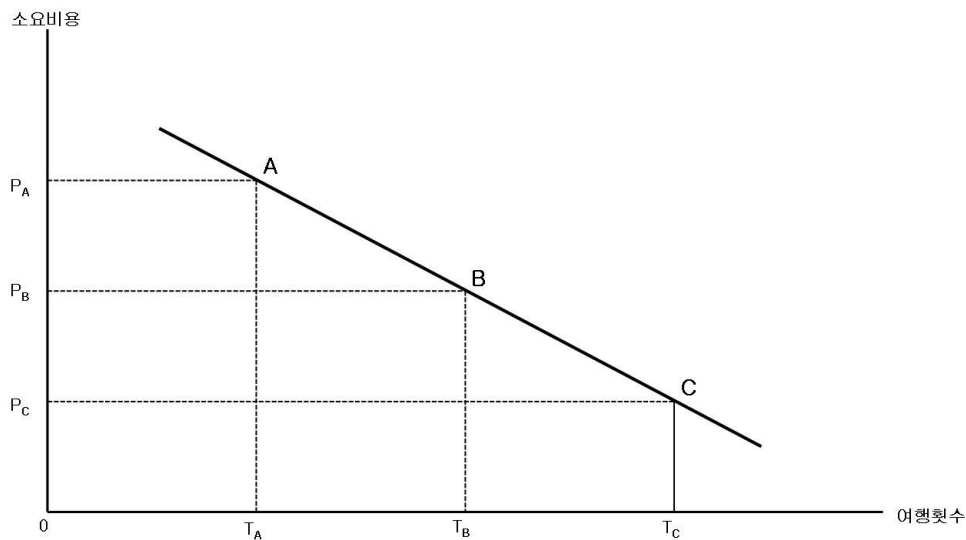
(3) 여행비용평가법 (Travel Cost Method)

여행비용평가법 (Travel Cost Method)은 시장이 형성되어 있는 일반재화와 달리 시장기구가 존재하지 않는 자연자원의 비시장 가치를 추정하는 방법 중 관광수요곡선을 추정하는데 많이

이용되는 방법으로 비시장재인 관광지 또는 문화유적지 등의 환경재의 가치를 그 환경재와 관련되어 있는 시장에서의 소비행위에 연관시켜 간접적으로 측정하는 것이다.

이 방법은 1947년 미국 국립공원국 (National Park Service)이 국립공원에서 창출해내는 경제적 가치를 측정할 수 있는 경제적인 이론을 찾는 것이 발단이 되어 경제학자인 해롤드 호텔링 (Harold Hotelling)이 미국 국립공원국장에게 보낸 편지에서 그 기원을 찾을 수 있다. 그 이후에 우드와 트라이스 (Wood & Trice, 1958) 그리고 특히 클로슨과 크네치 (Clawson & Knetsch, 1966)등은 여행비용법의 발전에 크게 기여하였으며, 이러한 이유로 여행비용법을 흔히 Clawson-Knetsch법으로 알려져 있다.

여행비용평가법 (TCM)은 특정 관광지를 방문하는 여행비용 속에 해당 장소에 대한 여행자의 가치평가가 내제되어 있다는 가정위에서 출발하며 주로 낚시, 사냥, 등산 등 야외 레크리에이션 활동의 모델로서 주로 쓰이고 있으며, 여행에 소요된 직접적인 금전비용과 시간비용에 따른 정보를 이용하여 방문횟수가 어떻게 반응하는가를 관찰하는 것이 목적이다.



[그림 3-23] TCM 방법의 수요곡선 분포

여행비용평가법 (TCM)은 지역에 따른 여행비용과 방문객 비율과의 관계를 추정하는 지역여행비용법(Zonal Travel Cost Method)과 개인의 여행비용과 여행횟수와의 관계를 추정하는 개인여행비용법 (Individual Travel Cost Method)으로 나누어진다. 개인여행비용법 (Individual Travel Cost Method)과 지역여행비용법 (Zonal Travel Cost Method)은 종속변수를 어떻게 정의하느냐에 따라 결정된다.

즉, 개인여행비용법 (ITCM)의 경우 종속변수는 특정 위락지를 방문하는 각 개인의 연간 여행횟수가 되며, 지역여행비용법 (ZTCM)의 경우 각 지역의 방문율(인구대비)이 된다. 지역여행비용법 (ZTCM)은 각 지역으로부터 방문객 비율과 여행비용의 관계를 나타내는 총수요곡선을 추정한 후, 이를 근거로 여행비용이 증가에 따른 방문횟수의 변화관계를 나타내는 자원수요곡선을 도출하여 특정관광지에 대한 가치추정을 한다.

개인여행비용법 (ITCM)의 경우 개인의 년 간 방문횟수를 종속변수로 하고 여행비용, 시간가치, 입장료, 사회·경제적인 변수 등을 설명변수로 하여 평균 개별수요곡선을 도출한 다음 수

요곡선의 아래의 면적과 평균여행비용의 차이를 통해 평균 소비자잉여를 계산할 수 있고, 여기에 연간 총 방문자수를 곱하여 특정관광지의 가치를 추정한다.

지역여행이용법 (ZTCM)은 여행비용과 여행시간의 높은 상관관계로 영향을 구분하는데 통계적인 어려움이 따르며, 여행시간을 모형에 포함할 수 없어 여행비용만을 고려하게 된다. 이와 같은 문제해결을 위해 직접조사를 통한 개인여행비용법 (ITCM)이 Brown과 Nawas (1973)에 의해 처음 제안되었으나, 조사대상이 되는 대다수의 방문자가 특정 관광지를 연간 1회 이상 방문해야 된다는 조건과 자료획득의 어려움으로 지역여행이용법 (ZTCM)이 많이 사용되고 있다.

개인 i 가 k 지역을 출발해 j 지역을 여행하는 비용을 C_{ijk} 라 하고, 거리비용을 D_{ijk} , 시간비용을 T_{ijk} , 입장료를 F_j 라고 하면, 여행비용 C 는 다음과 같다.

$$C_{ijk} = C(D_{ijk}, T_{ijk}, F_j)(i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, n, j = 1, \dots, z) \quad (3-12)$$

개인 i 가 지역에 몇 번 방문할 것인가를 나타내는 함수를 여행발생함수 (Trip Generating Function : TGF)라고 하는데, 이에 여행비용과 여행형태에 대한 정보를 제공해 주는 변수들 뿐만 아니라 소득, 교육, 연령 등과 같은 사회경제적 변수들을 포함시킨다. V 를 여행횟수라고 하면 TGF는 다음과 같다.

$$V_{ijk} = V(C_{ijk}, POP_k, S_k) \quad (3-13)$$

여기에 POP_k 는 k 지역 사람들의 j 여행지에 대한 수요곡선을 도출할 수 있는데, 이를 통해 여행지 방문에 따른 총 편익을 추정한다.

제 4 절 침투누수 저감공법 전과정 평가 및 이산화탄소 배출량 산정

1. 전과정 평가 범위 설정

전과정 평가는 건설 구조물의 전생애주기 동안 발생하는 환경영향을 평가하고 분석하는 기법으로 SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)에서는 LCA를 “하나의 제품을 생산하거나 활동 (Activity)을 하는데 있어 사용되는 자재나 에너지, 환경에 배출되는 폐기물 등을 정의하고 정량화함으로써, 이와 관련된 환경부하를 평가하는 과정”으로 정의하고 있다. 앞장에서 살펴본 바와 같이 그림 3-18에서 보듯 4단계로 구분되어 진행된다.

첫 번째 단계는 “목적 및 범위 정의”단계로서 평가 대상이 되는 제품이나 서비스의 범위 및 기능단위 (functional unit), 상세수준이 정의된다. 예를 들어, 구조물의 시공단계만을 고려할 것인지, 원료의 획득부터 최종 폐기단계까지의 모든 단계를 포괄할 것인지 등이 정의된다. 또 한편으로, 지구온난화에 대한 문제만을 다룰 것인지, 그 외 산성화나 토양오염 등의 문제도 포함할 것인지를 범위에 맞추어 이 단계에서 정의된다. 두 번째 단계는 목록분석 (Inventory Analysis) 단계이다. 목록분석은 대상 제품이나 서비스 등을 생산하는 전생애기간 동안에 투입되거나 배출되는 모든 요소를 정의하고 제시하는 과정이다. 따라서 목록분석 과정을 통해서는 제품 또는 서비스를 생산하기 위해 어느 정도의 에너지가 투입되어야 하고, 이를 통해 어느 정도의 이산화탄소, 메탄, 프레온, 기타 폐기물 등이 배출되는지에 대한 분석 결과물이 제시된다. 즉, 목록분석 단계에서는 제품이나 서비스의 제공을 위해 사용되는 에너지, 물, 자원 및 고체 폐기물이나 배출가스 등의 환경적 배출물을 정의하고 정량화 한다. 이러한 목록분석 과정에서는 프로세스에 대한 상세 분석을 통해 목록 (Inventories)을 구축하거나, 기존 연구를 통해 구축된 데이터가 사용될 수 있다.

대한민국에서도 환경영향을 평가하기 위하여, LCI (Life Cycle Inventory) 데이터를 확보하기 위한 연구가 수행되어 왔다. 환경부와 지식경제부에서는 대표적인 제품에 대한 LCI 구축을 위해 1999년부터 연구를 수행하여 LCI 데이터베이스를 구축하였다. 또한, 건설기술연구원에서도 건설 구조물 생산과정에서의 에너지와 환경부하를 산출하기 위하여, 다양한 건설 자재들에 대한 LCI 데이터를 구축하였다.

세 번째 단계는 환경영향평가 (Life Cycle Impact Assessment; 이하 LCIA) 단계로서, 앞선 단계에서 산출된 제품이나 서비스에 대한 LCI 결과를 환경부하로 변환하여 보여주는 단계이다. 예를 들어, 이산화탄소나 메탄은 지구온난화에 영향을 주는 배출가스로 정의되어 있다. 하지만, 단순히 배출 가스들의 양으로 제시된 값은 아무런 의미도 갖지 못하기 때문에, 환경영향평가 과정을 거쳐 환경 영향으로의 의미를 부여하는 것이다. 환경영향평가 단계에서 분석 결과로서 제시되는 환경영향의 범주는 첫번째 단계에서 분석의 목적과 범위가 어떻게 정의됐느냐에 따라 달라진다. 즉, 연구기관이나 LCA 평가 프로그램에 따라 다른 환경영향 범주를 정의하고 있다. 현재 국내 연구자들에 의해 수행된 대부분의 LCA 관련 연구에서는 이산화탄소를 중심으로 하는 지구온난화 문제만이 다루어지고 있다. 하지만, 지구온난화뿐만 아니라 산성화나 부영양화, 자원고갈, 인체에 대한 영향, 생태계에 대한 영향 등 다양한 환경부하를 정의하고 있다. 건설 구조물을 사용하거나 시공하는 과정이 부영양화와 같은 현상에 직접적인 영향을 주는 것은 아니지만, 건설 자재를 만드는 과정과 에너지를 생산하는 과정에서 그러한 환경영향을

유발할 수 있기 때문에 이에 대한 고려 또한 필요하다. 표 3-9는 각 LCA 프로그램에서 고려하는 환경영향 범주를 나타낸다.

[표 3-9] LCA 분석 프로그램별 환경영향 범주

Tool	Impact Categories	Country
ATHENA Impact Estimator	Acidification Potential, Global Warming Potential, Human Health Respiratory, Ozone Depletion Potential, Smog Potential, Aquatic Eutrophication Potential, Total Fossil Energy	Canada
BEES	Acidification Potential, Global Warming Potential, Eutrophication, Fossil Fuel Depletion, Indoor Air Quality, Habitat Alteration, Criteria Air Pollutions, Human Health, Smog Formation Potential, Ozone Depletion Potential, Ecological Toxicity	USA
Envest	Climate Change, Fossil fuel Depletion, Ozone Depletion, Freight Transport, Human Toxicity to Air, Human Toxicity to Water, Waste Disposal, Water Extraction, Acid Deposition, Ecotoxicity, Eutrophication, Summer Smog, Minerals Extraction	UK
LISA	Resource Energy Use, Greenhouse gas Emissions, Suspended Particulate matter, Nonmethane VOC, Water Consumption, NOx, SOx	Australia
K-LCA	CO ₂ emission, Energy Consumption	Korea
SUSB-LCA	CO ₂ emission, Energy Consumption	Korea
LOCAS	CO ₂ emission, Energy Consumption	Korea

마지막 네 번째 단계는 분석결과를 보여주고 설명하는 단계이다. 즉, 목록분석과 LCIA 단계를 통해 도출된 분석 결과를 통합하여 대상 제품이나 서비스의 잠재적 환경영향을 표나 그림을 통해서 제시하는 단계이다. 이러한 LCA 방법론을 이용하여 분석된 건축물에 대한 환경영향 평가결과는 해당 건축물의 친환경 성능 수준의 파악이나, 친환경 건축물 인증의 기준을 설정하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다 (홍태훈 등, 2012).

앞서 설명한 바와 같이 건설 구조물의 전 과정은 자재의 생산단계부터 시공단계, 사용 유지 보수단계, 해체 폐기단계로 나뉘어질 수 있다 (그림 3-24). 일반 건축물에서는 사용 및 유지보수 단계에서 가장 많은 에너지를 소비하고 이산화탄소를 배출하는 것으로 나타나 있으나 일반 기반시설의 경우 건설 단계에서 대량의 에너지와 자재의 투입이 되기 때문에 이에 대한 분석이 필요하다. 또한 한번 설치된 대부분의 농업기반시설물은 폐기하지 않고 현재까지 사용되는 시설물이 많아 본 연구에서는 생산된 자재를 사용하여 시공하는 단계까지 고려한다. 또한 환경영향 평가에 있어 기후변화협약에 대응한 설계를 유도하기 위하여 이산화탄소 배출량만을 고려하기로 한다.



[그림 3-24] 건축물의 전생애주기

전과정 평가를 통한 저수지 체체 침투누수 저감공법의 이산화탄소 배출량 산정 기법 개발 연구에 대한 전체적 흐름도는 다음과 같다.



[그림 3-25] 연구 범위 및 흐름도

2. 이산화탄소 배출 원단위 산출

이산화탄소 배출 원단위 산출법은 기본적으로 전과정 평가 (LCA, Life Cycle Assessment) 방법의 원단위 산출법을 따르며 크게 직접인용 방식, 간접인용 방식, 산업연관 방식으로 분류된다. 대규모 토목공사가 진행될 때, 여러 경로를 통하여 이산화탄소가 배출되기 때문에 본 연구에서는 시공 중 이산화탄소가 배출되는 경로를 건설 자재의 생산, 건설 장비의 사용, 자재 및 장비의 운반으로 크게 3가지로 규정하고 각각의 배출원에 대한 이산화탄소 배출 원단위를 산출하였다. 건설 자재에 대한 이산화탄소 배출 원단위는 투입되는 자재의 종류가 많아 개별산출 방식으로 산출하기 어렵고 국가에서 제공하는 데이터베이스는 아직 모든 건설 자재에 대하여 배출 원단위를 제공하지 못하기 때문에 산업연관 방식을 사용하여 건설 자재 원단위를 작성하였다. 본 연구에서는 가장 최근 자료인 2011년에 한국은행에서 발행된 2009년 산업연관표를 사용하였다.

산업연관표는 일정기간 (보통 1년) 동안에 한 국가 경제에서 각 산업들이 생산활동을 위해 상호간의 재화와 서비스를 구입하는 거래 관계를 일정한 원칙에 따라 행렬형식으로 기록한 통계표이다. 또한 산업연관표를 이용하여 산업간 상호연관 관계를 수량적으로 분석하는 것을 산업연관분석이라고 한다. 산업연관분석은 최종수요가 유발하는 생산, 고용, 소득 등 각종 파급효과를 산업부문별로 구분하여 분석할 수 있기 때문에 경제정책의 수립, 정책 효과의 측정 등에 활용되고 있다 (The Bank of Korea, 2011).

산업연관표는 가로, 세로 방향으로 구분하여 분석할 수 있다. 세로 방향은 각 산업부문이 재화 및 용역을 생산하기 위하여 지출한 생산비용의 구성 즉, 투입구조를 나타낸다. 가로 방향은 각 산업부문의 생산물이 어떤 부문에 중간수요 또는 최종수요의 형태로 얼마나 사용되었는가

를 알 수 있다. 산업연관표의 기본구조를 도식화하면 그림 3-25과 같다.

		내생부문		외생부문		수입 (공제)	총산출액
		1 ... j ... n	중간수요계	소비 투자 수출	최종수요계		
내생 부문	1	$X_{11} \dots X_{1j} \dots X_{1n}$	W_1	$C_1 \dots I_1 \dots E_1$	Y_1	M_1	X_1
	:	:	:	:	:	:	:
	i	$X_{i1} \dots X_{ij} \dots X_{in}$	W_i	$C_i \dots I_i \dots E_i$	Y_i	M_i	X_i
	:	:	:	:	:	:	:
	n	$X_{n1} \dots X_{nj} \dots X_{nn}$	W_j	$C_n \dots I_n \dots E_n$	Y_j	M_j	X_j
중간투입계		$U_1 \dots U_j \dots U_n$					
외생 부문	피용자보수	$R_1 \dots R_j \dots R_n$					
	영업잉여	$S_1 \dots S_j \dots S_n$					
	고정자본소모	$D_1 \dots D_j \dots D_n$					
	순생산세	$T_1 \dots T_j \dots T_n$					
	부가가치계	$V_1 \dots V_j \dots V_n$					
총 투입액		$X_1 \dots X_j \dots X_n$					

[그림 3-26] 산업연관표 기본구조 (BOK, 2011)

본 연구에서 사용한 2009년 산업연관표는 총 403개 부문에 대하여 분석되어 있으며 각 부문에 투입된 화석연료의 양을 분류하고 IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change)에서 제공한 탄소배출계수와 연소율을 적용하여 각 건설 자재에 대한 직접적 이산화탄소 배출 원단위를 산출하였다. 본 연구에서는 화석 연료 중, 무연탄, 유연탄, 천연가스, 휘발유, 제트유, 등유, 경유, 중유, 액화석유가스, 도시가스를 고려하였으며 적용된 각 연료별 탄소배출계수와 연소율은 표 3-10과 같다. 또한 본 연구에서 사용한 에너지원의 단가는 국가에너지통계종합정보시스템에서 제공하는 2009년 평균가격을 사용하였다.

[표 3-10] 에너지원 정보 (IPCC, 2007)

Classification		Unit	Caloric value (kcal/unit)	Coefficient of carbon dioxide emissions		Combustion rate
				TC/TOE	kg-CO ₂ /kcal	
Oil	Gasoline	L	8,000	0.783	0.000287	0.990
	Lamp oil	L	8,800	0.812	0.000298	0.990
	Diesel	L	9,050	0.837	0.000307	0.990
	Heavy oil	L	9,600	0.875	0.000321	0.990
Gas	LPG	kg	12,000	0.713	0.000261	0.990
	City gas	m ³	10,550	0.637	0.000234	0.995
	LNG	kg	13,000	0.630	0.000231	0.995
Coal	Anthracite	kg	4,650	1.100	0.000403	0.980
	Bituminous	kg	6,200	1.059	0.000388	0.980
Electricity		kw/h	860	0.787	0.000289	-

건설 장비와 운송 장비에 대한 이산화탄소 배출 원단위 산출에는 건설공사표준품셈과 건설공사일위대가가 사용되었다. 일위대가에서 제공하는 각 장비의 시간당 사용되는 에너지원의 정보를 통해 표 3-10의 탄소배출계수와 연소율을 적용하여 각 장비에 대한 이산화탄소 배출 원단위를 산출하였다.

건설 자재는 화폐단위 (KWN, ₩)에 대한 이산화탄소 배출 원단위를 산출하였으며 건설 장비는 사용시간 (hr)에 대한 배출 원단위를 산출하였다. 운송 장비는 건설 장비 중 15 ton 덤프 트럭을 기준으로 작성하였다. 주요 건설 자재와 건설 장비에 대한 이산화탄소 배출 원단위 산출 결과는 표 3-11과 같다.

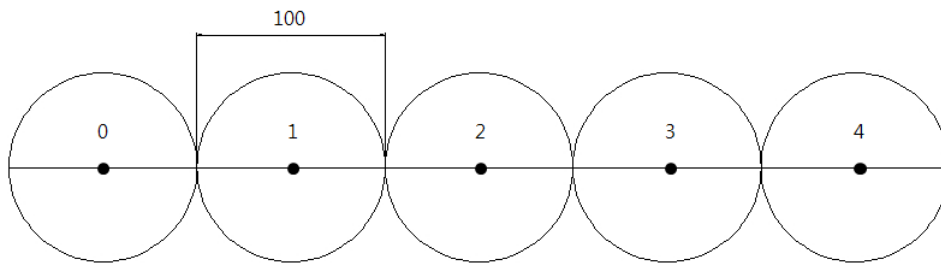
[표 3-11] 이산화탄소 배출 원단위 산출 결과

부분	구분	기준	이산화탄소 원단위	단위
건설 자재	시멘트	-	7.037×10^{-3}	kg-CO ₂ /₩
	철근 및 봉강	-	3.867×10^{-4}	
	강관	-	8.137×10^{-4}	
	합금철	-	5.673×10^{-4}	
Equipment	덤프 트럭	15ton	60.35	kg-CO ₂ /hr
	굴삭기	0.7 m ³	38.93	
		1.0 m ³	65.44	
	불도저	19 ton	79.77	
	진동 롤러	10 ton	51.49	
	트럭 크레인	20 ton	28.39	
		25 ton	31.39	
	워터젯 펌프	96 kW	81.14	
	진동파일해머	45 kW	11.18	
		60 kW	14.91	
	디젤 엔진	11.19 kW	4.40	
		55.22 kW	20.90	
	발전기	150 kW	63.26	
공기 압축기	10.3 m ³ /min	39.06		

주요 건설 자재 중에서 시멘트의 배출 원단위가 7.037×10^{-3} kg-CO₂/₩ 로 다른 건설 자재에 비하여 매우 높게 나타났으며 강관이 가장 작은 배출량을 나타냈다. 그 외 주요 건설 자재의 배출 원단위는 강관이 비교적 높은 원단위를 나타냈으며 합금철, 철근 및 봉강 순서로 나타났다. 건설 장비는 96 kw 워터젯 펌프와 19 ton 불도저가 높은 배출량을 나타냈으며 전동식 진동파일해머는 상대적으로 낮은 배출량을 나타냈다.

3. 침투누수 저감공법 경제성 평가

본 연구에서는 침투누수 저감공법으로 주로 실시되는 그라우팅 공법과 강널말뚝 공법, 표면차수 공법을 대상으로 분석하였으며 그라우팅 공법 중에서 LW, SGR, JSP 공법을 선정하여 분석하였다. 각 공법의 경제성을 평가하고 시공시 배출되는 이산화탄소 배출량 산정의 기초자료로 활용하기 위하여 대상공법에 대하여 일위대가를 기반으로 공사비를 산정하였다. 공사의 개량 구간의 규모는 연장이 10~50m, 심도가 20m, 지반 조건은 사질토로 가정하고 공사비를 산정하였다. 그라우팅 공법 투입 간격은 보통 사질토에서의 그라우팅 유효 직경인 1m로 산정하였으며 배열은 그림 3-27과 같다.

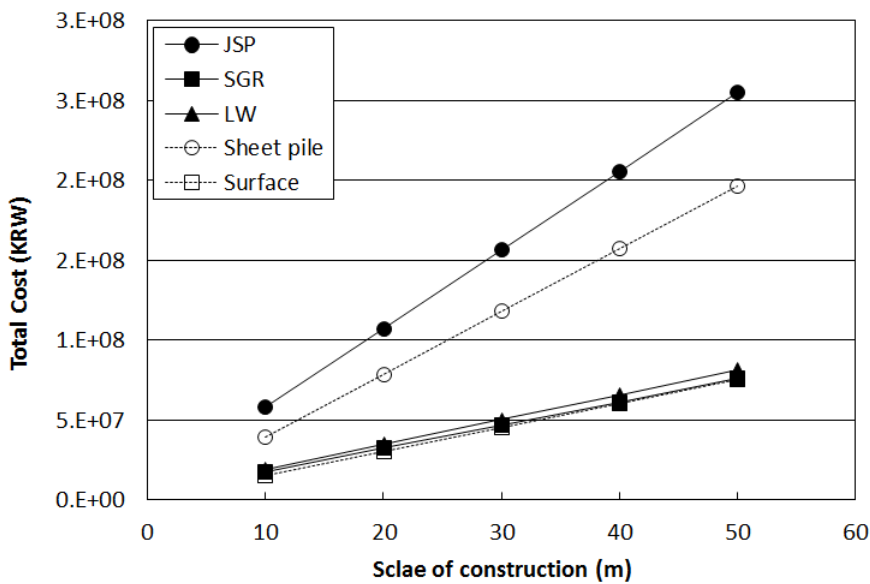


[그림 3-27] 그라우팅 주입 배열

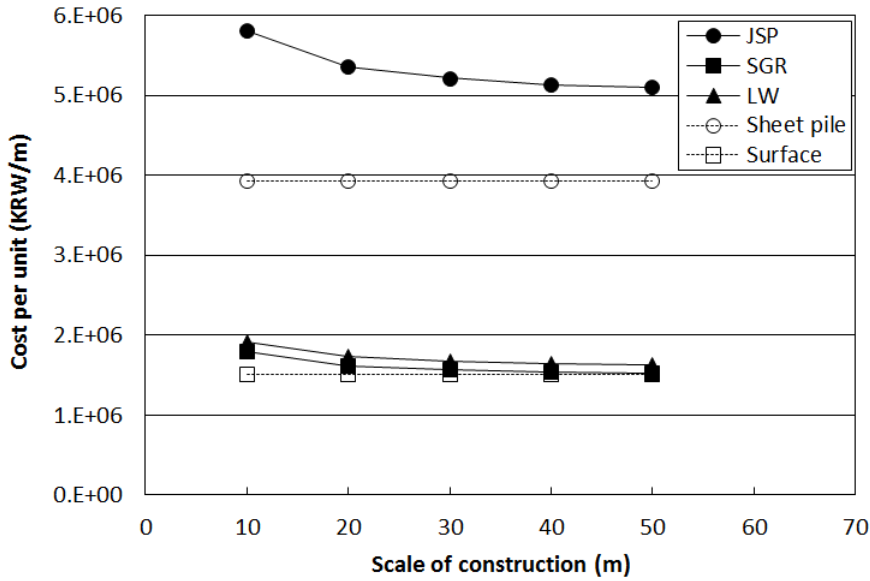
공사비는 재료비, 노무비, 경비로 구분하여 분석하였으며 단위 규모에 대한 공사비 변화를 분석하기 위하여 연장길이 1m기준으로 공사비를 산정하였다. 공사비 산정 기준은 이산화탄소 배출원단위가 작성된 년도를 기준으로 2009년 일위대가를 사용하였다. 2009년 단가 기준 각 공법의 규모별 공사비 산정 결과는 표 3-12에 나타냈으며 이를 각 공법별 차이를 분석하기 위하여 그림 3-28, 29에 도시하였다.

[표 3-12] 공법별 공사비 산정 결과

공법	규모 (m)	공사비 (원)				단위길이 당 공사비 (원/m)
		재료	노무	경비	총합	
JSP	10	27,397,822	21,580,240	9,005,920	57,983,982	5,798,398
	20	51,666,822	38,179,240	17,193,120	107,039,182	5,351,959
	30	75,942,927	55,015,080	25,380,320	156,338,327	5,211,278
	40	100,211,927	71,614,080	33,567,520	205,393,527	5,134,838
	50	124,488,032	88,449,920	41,754,720	254,692,672	5,093,853
SGR	10	9,775,787	6,890,835	1,238,087	17,904,710	1,790,471
	20	18,657,278	11,318,229	2,363,699	32,339,205	1,616,960
	30	27,545,873	15,982,462	3,489,310	47,017,645	1,567,255
	40	36,427,364	20,409,856	4,614,921	61,452,140	1,536,304
	50	45,315,959	25,074,089	5,740,532	76,130,580	1,522,612
LW	10	8,130,501	9,871,385	1,083,527	19,085,413	1,908,541
	20	15,529,259	17,036,991	2,071,960	34,638,209	1,731,910
	30	22,901,029	24,350,552	3,049,412	50,300,993	1,676,700
	40	30,291,074	31,507,210	4,037,054	65,835,338	1,645,883
	50	37,677,135	38,856,996	5,018,958	81,553,089	1,631,062
강널말뚝	10	37,654,475	1,178,993	490,793	39,324,260	3,932,426
	20	75,308,950	2,357,985	981,585	78,648,520	3,932,426
	30	112,963,425	3,536,978	1,472,378	117,972,780	3,932,426
	40	150,617,900	4,715,970	1,963,170	157,297,040	3,932,426
	50	188,272,375	5,894,963	2,453,963	196,621,300	3,932,426
표면차수	10	14,253,422	793,498	18,982	15,065,901	1,506,590
	20	28,506,844	1,586,995	37,963	30,131,802	1,506,590
	30	42,760,265	2,380,493	56,945	45,197,703	1,506,590
	40	57,013,687	3,173,990	75,926	60,263,604	1,506,590
	50	71,267,109	3,967,488	94,908	75,329,504	1,506,590



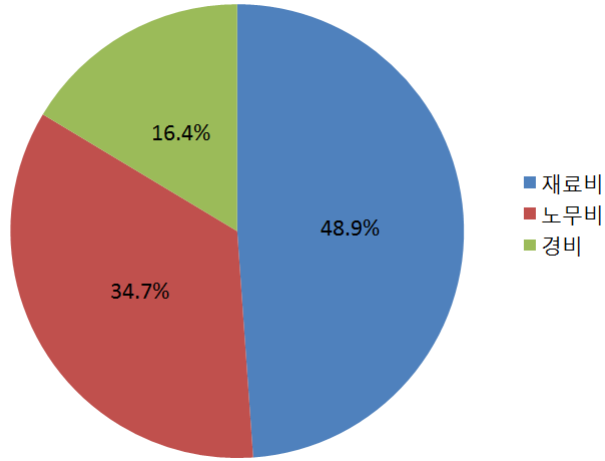
[그림 3-28] 각 공법의 공사 규모별 총 공사비



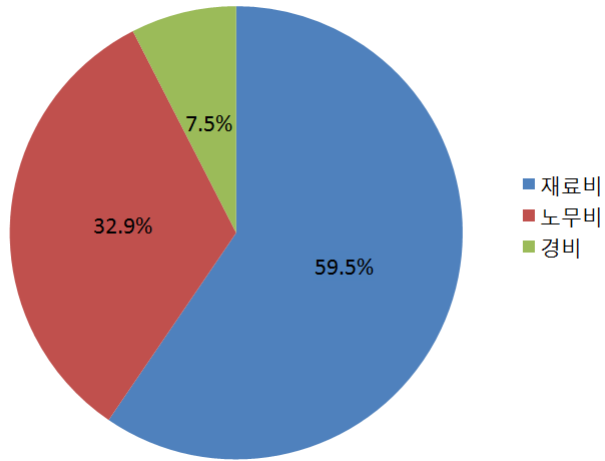
[그림 3-29] 각 공법의 공사 규모별 단위 규모 공사비

공사비 산정 결과 JSP 공법이 공사비가 가장 높게 산정되었으며 표면차수 공법이 가장 낮은 공사비가 드는 것으로 나타났다. 고압분사를 실시하는 JSP 공법과는 다른 일반적인 그라우팅 공법인 LW 공법과 SGR 공법은 가장 낮은 공사비인 표면차수 공법과 유사한 공사비가 산출되었으며 강널말뚝 공법은 JSP 공법보다는 낮지만 비교적 높은 공사비가 산출되었다. 공사규모가 커짐에 따라 모든 공법들의 공사비가 선형적으로 증가하였다. 공사 규모에 비례적으로 공사비가 증가하는 강널말뚝 공법과 표면차수 공법은 공사규모가 커지더라도 단위 규모에 따른 공사비가 일정하였으며 그라우팅 공법은 공법별로 일정 금액에 수렴하는 형태로 나타났다. 이는 그라우팅 공법은 공사의 규모가 증가함에 따라 천공비와 주입비용이 비례적으로 증가하지만 본 연구에서 고려한 공사규모에서는 플랜트를 1회만 설치함에 따라 플랜트 설치비용이 전체 공사 규모로 나뉘지게 되어 단위 규모 공사비가 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 일정 공사 규모 이상이 되면 감소효과는 줄어들어 일정 금액에 수렴하는 것으로 나타났다. 또한 플랜트 1회 규모를 초과하여 추가적으로 설치해야 할 경우 이 비용은 다시 증가할 것으로 예상된다. 또한 가장 낮은 공사비가 산출된 표면차수 공법과 유사한 공사비가 산출된 SGR 공법은 공사규모가 커짐에 따라 공사비가 낮아져 50m 이상의 공사규모에서는 표면차수 공법 보다 공사비가 더 작아질 것이라 예상된다.

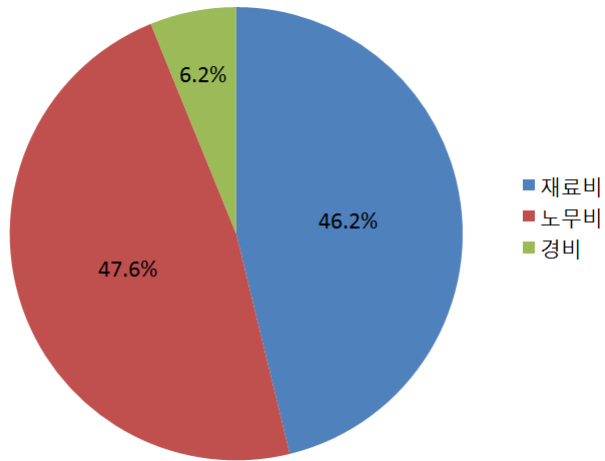
각 공법의 재료비, 노무비, 경비의 비율을 알아보기 위하여 공사 규모 50m에 대한 공사비를 분석하였다. 각 공법들의 공사비 구조는 그림 3-30과 같다.



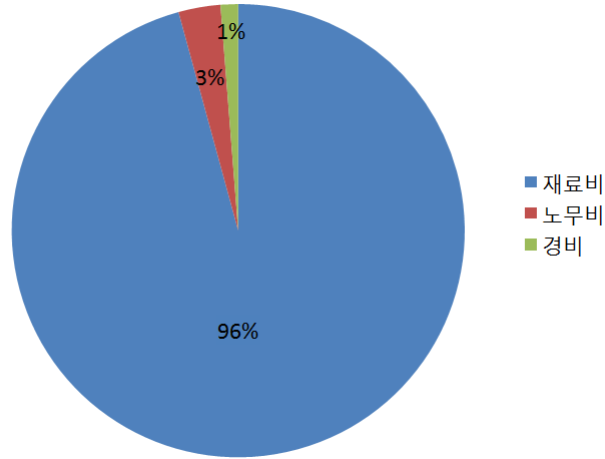
(a) JSP 공법



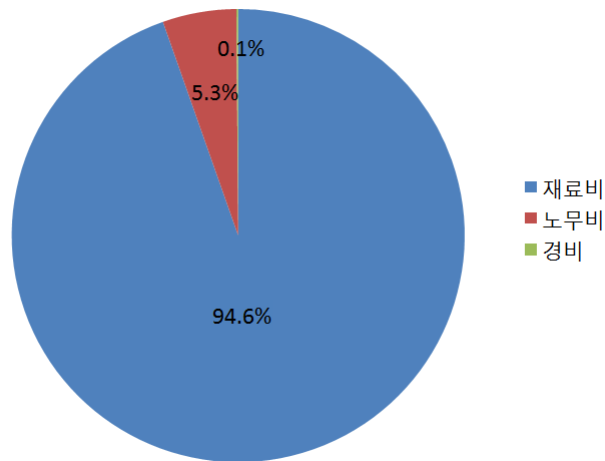
(b) SGR 공법



(c) LW 공법



(d) 강널말뚝 공법

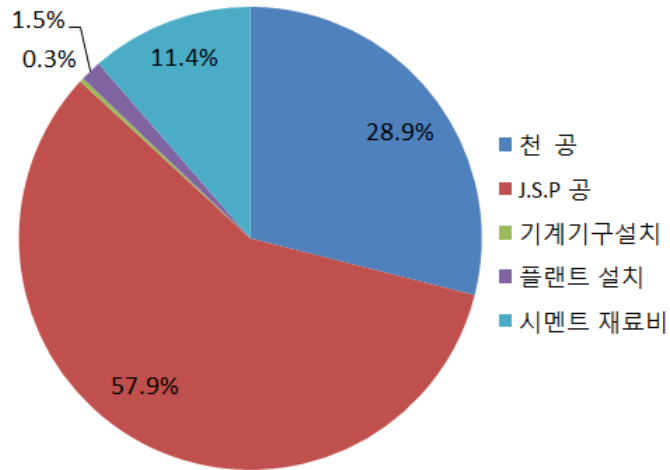


(e) 표면차수 공법

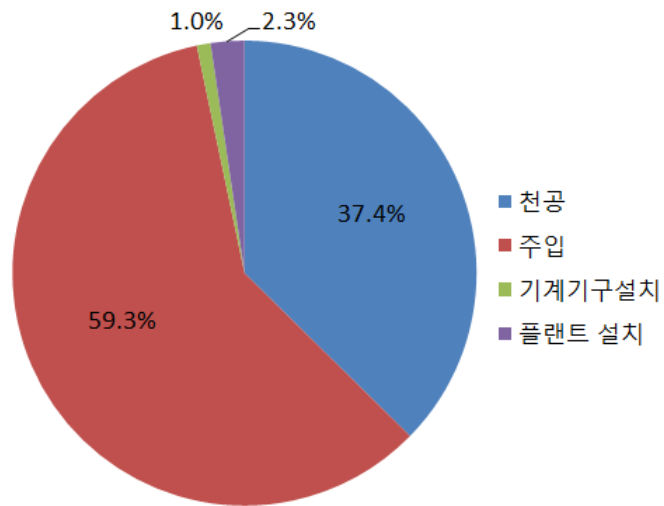
[그림 3-30] 침투누수 저감공법 공사비 구조

적용 공법들의 공사비 구조 분석 결과, 모든 공법에서 재료비의 비율이 높게 나타났다. 특히 표면차수 공법과 강널말뚝 공법의 경우는 재료비가 차지하는 비율이 94.6%, 96.0%로 공사비의 대부분을 차지하였다. 강널말뚝 공법의 경우, 가물막이 공사를 실시할 때에는 설치된 강널말뚝을 공사 종료 후에 인발하여 수거하기 때문에 재료비 항목으로 고려하지 않으나 본 연구에서는 차수의 목적으로 영구 설치한다 가정하였기 때문에 고가의 강널말뚝을 사용하여 재료비의 항목이 높게 산정된 것으로 판단된다. 또한 표면차수 공법은 차수매트를 인력으로 설치하기 때문에 다른 비용에 비하여 재료비의 비율이 높게 산출되었다. 그라우팅 공법들의 경우 JSP 공법과 SGR 공법은 재료비의 비율이 가장 높았으나 LW 공법은 노무비의 비율이 근소하게 가장 높은 비율을 차지하였다. 이는 그라우팅 공법 재료비의 가장 높은 비율을 차지하는 그라우팅 주입 재료비의 단가 차이로 인하여 발생하였으며 또한 상대적으로 그라우팅액 주입에서 LW 공법이 노무비가 높아 노무비의 비율이 높게 나타났다.

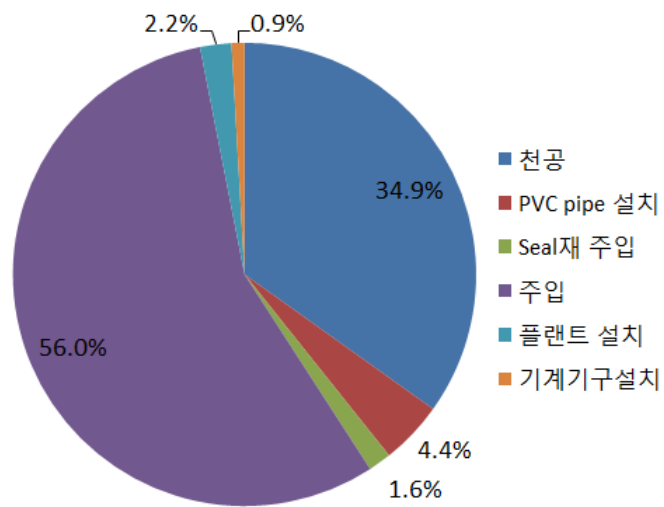
공정이 비슷한 그라우팅 공법들의 차이를 상세히 분석하기 위하여 그라우팅 공법들의 공사비를 공정별로 차지하는 비율을 분석하였다. 각 그라우팅 공법의 총공사비 중 공정별로 차지하는 비율을 그림 3-31에 도시하였다.



(a) JSP 공법



(b) SGR 공법



(c) LW 공법

[그림 3-31] 그라우팅 공법 항목별 공사비 비율

본 연구에서 적용된 그라우팅 공법에 대한 공사비 분석 결과 모든 그라우팅 공법의 주요한 공정인 그라우팅 액을 주입하는 공정에서 가장 많은 공사비가 소요되는 것으로 나타났으며 그 다음으로는 천공 공정에서 많은 공사비가 산정되었다. 이는 사질토 기반으로 작성한 공사비 내역서로 천공 공정의 단가가 비싼 암층을 대상으로 할 경우 결과가 달라질 것이라 판단된다. 하지만 일반적으로 제체의 구성은 코아층인 점토, 본체의 사질토가 주로 사용되기 때문에 제체 침투누수 저감공법으로 그라우팅이 활용될 경우 주입 비용이 가장 클 것으로 판단된다.

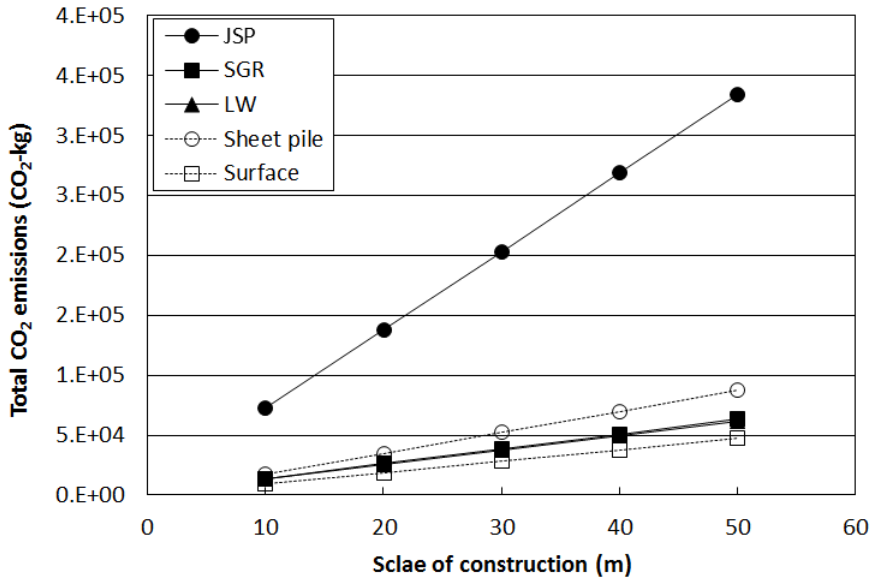
4. 전과정 평가를 통한 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정

가. 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정

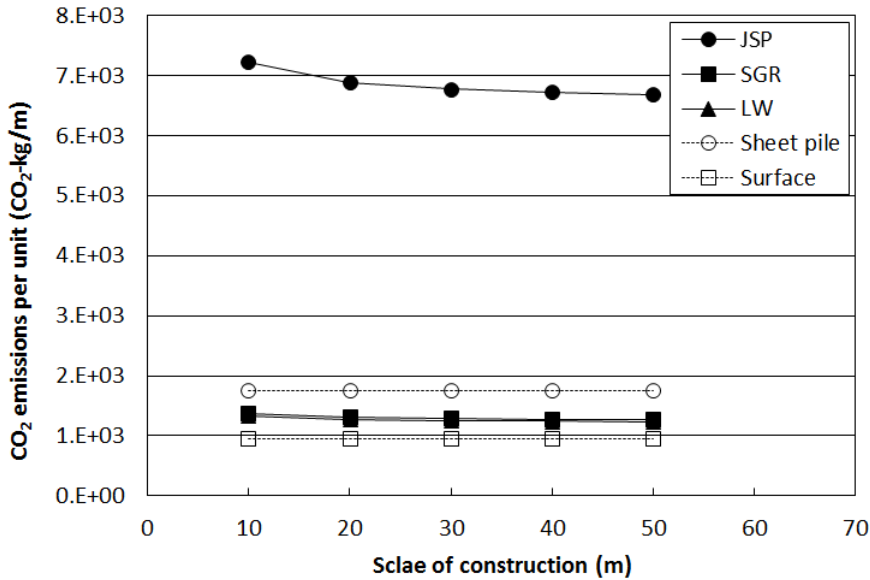
산업연관표와 일위대가표를 이용하여 산정한 건설 자재와 건설 장비의 이산화탄소 배출 원 단위를 이용하여 각 공법의 일위대가를 기반으로 이산화탄소 배출량을 산정하였다. 각 공법의 일위대가표를 분석하여 이산화탄소 배출량을 산정하였으며 표 3-13에 각 공법의 부분별 이산화탄소 배출량 산정 결과를 표기하였다. 또한 공사의 규모가 커짐에 따른 총 이산화탄소 배출량 변화 (그림 3-32)와 단위 규모 시공에 따른 이산화탄소 배출량 변화 (그림 3-33)를 분석하였다.

[표 3-13] 각 공법별 이산화탄소 배출량 산정 결과

공법	규모 (m)	이산화탄소 배출량 (CO ₂ -kg)			단위길이 당 배출량 (CO ₂ -kg/m)
		재료	장비	총합	
JSP	10	44,343	27,825	72,168	7,216.8
	20	84,473	53,120	137,593	6,879.7
	30	124,603	78,415	203,019	6,767.3
	40	164,734	103,710	268,444	6,711.1
	50	204,864	129,006	333,869	6,677.4
SGR	10	13,051	623	13,674	1,367.4
	20	24,916	1,190	26,107	1,305.3
	30	36,782	1,757	38,539	1,284.6
	40	48,648	2,324	50,972	1,274.3
	50	60,513	2,891	63,404	1,268.1
LW	10	12,571	756	13,327	1,332.7
	20	24,037	1,446	25,483	1,274.2
	30	35,400	2,129	37,529	1,251.0
	40	46,848	2,818	49,666	1,241.6
	50	58,254	3,503	61,757	1,235.1
강널말뚝	10	13,711	3,781	17,492	1,749.2
	20	27,422	7,563	34,985	1,749.2
	30	41,133	11,344	52,477	1,749.2
	40	54,844	15,126	69,969	1,749.2
	50	68,555	18,907	87,462	1,749.2
표면차수	10	9,382	92	9,475	947.5
	20	18,765	185	18,949	947.5
	30	28,147	277	28,424	947.5
	40	37,530	369	37,899	947.5
	50	46,912	461	47,373	947.5



[그림 3-32] 각 공법의 공사 규모별 총 이산화탄소 배출량

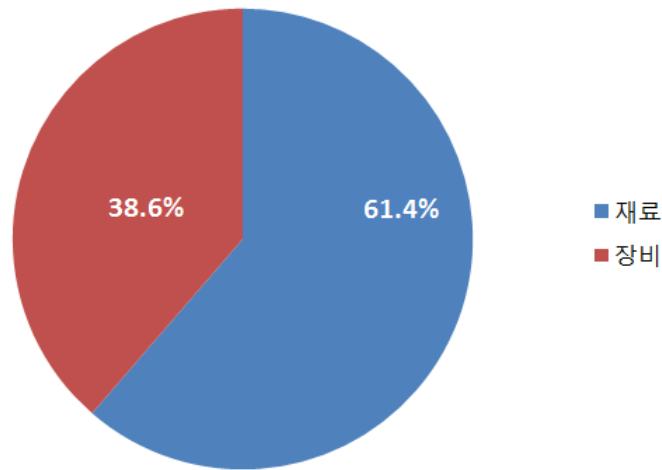


[그림 3-33] 각 공법의 공사 규모별 단위 규모 이산화탄소 배출량

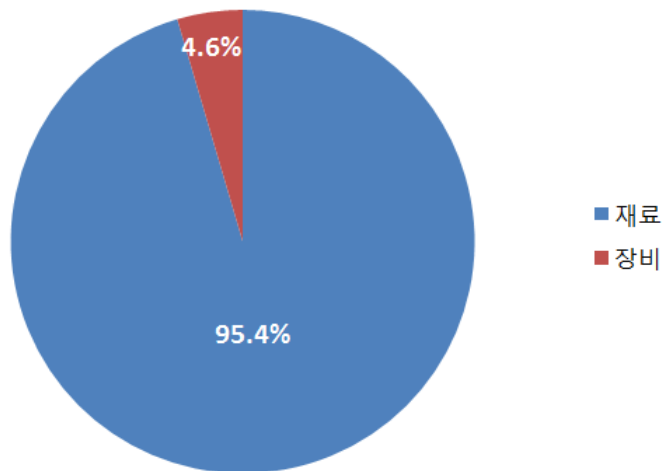
각 공법들의 이산화탄소 배출량 산정 결과 JSP 공법이 가장 높은 이산화탄소 배출량을 나타냈으며 표면차수 공법이 가장 적은 이산화탄소를 배출하는 것으로 나타났다. 일반적 그라우팅 방식인 LW 공법과 SGR 공법은 매우 유사한 배출량을 나타냈으며 강널말뚝 공법은 일반적 그라우팅 공법에 비하여 다소 높게 산출되었다. 또한 모든 공법들이 공사규모가 커짐에 따라 선형적으로 배출량이 증가하였다. 단위 규모 (1m)에 대한 배출량은 공사비 산정 결과와 유사한 경향을 나타냈다. 강널말뚝 공법과 표면차수 공법은 일정 규모당 배출량이 일정하게 나타났으며 세 가지 그라우팅 공법은 공사 규모가 증가함에 따라 감소하여 각 공법별로 일정 배출량에 수렴하는 형태로 나타났다. 이는 전체 그라우팅 공법은 그라우팅 연장을 10미터 실시한다 하여도 유효직경 1m 공구를 11공구를 천공하여 실시하기 때문에 1공구에 대한 이산화탄소 배출량을 전체 규모로 나누어 주어 공사 규모가 커짐에 따라 단위 규모 (1m)에 대한 배출량이 다소

감소하는 것으로 판단되며 JSP 공법의 경우 플랜트 설치 작업에서 소량의 재료가 사용되어 1 공구와 함께 플랜트 설치시 배출되는 이산화탄소 양이 전체 규모로 나누어지기 때문인 것으로 사료된다.

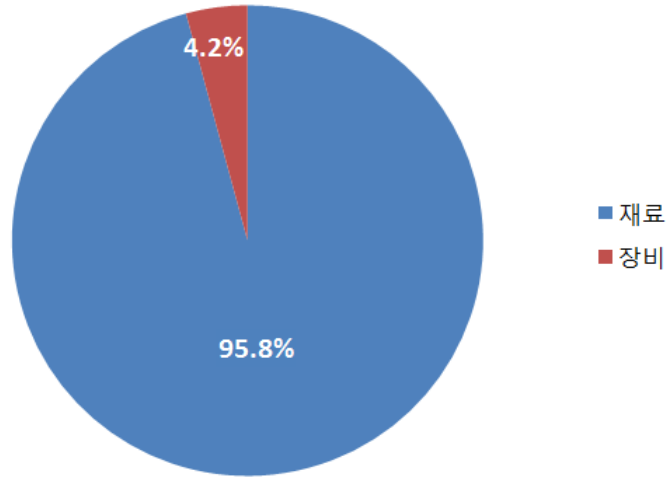
각 공법의 이산화탄소 배출량 중 재료생산으로 인한 배출과 장비 사용으로 인한 배출의 비율을 알아보기 위하여 공사 규모 50m에 대한 이산화탄소 배출량 원인을 분석하였다. 각 공법들의 배출 구조는 그림 3-34과 같다.



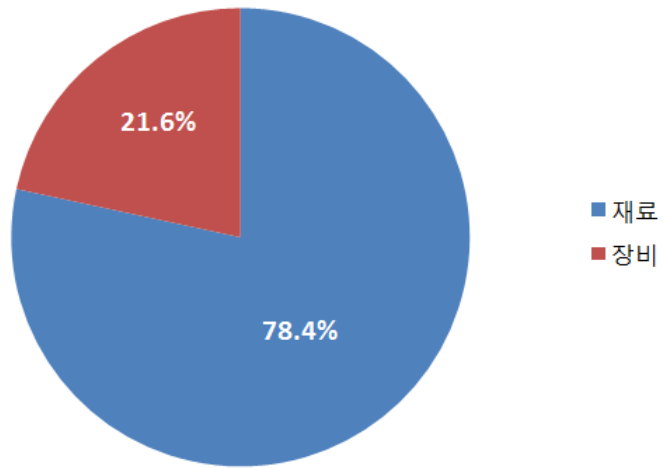
(a) JSP 공법



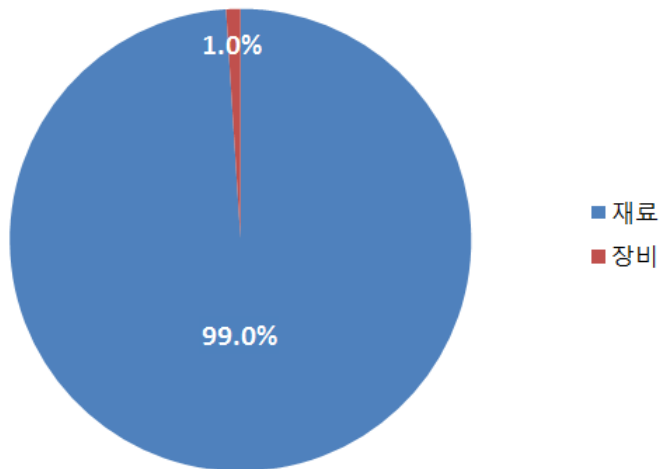
(b) SGR 공법



(c) LW 공법



(d) 강널말뚝 공법



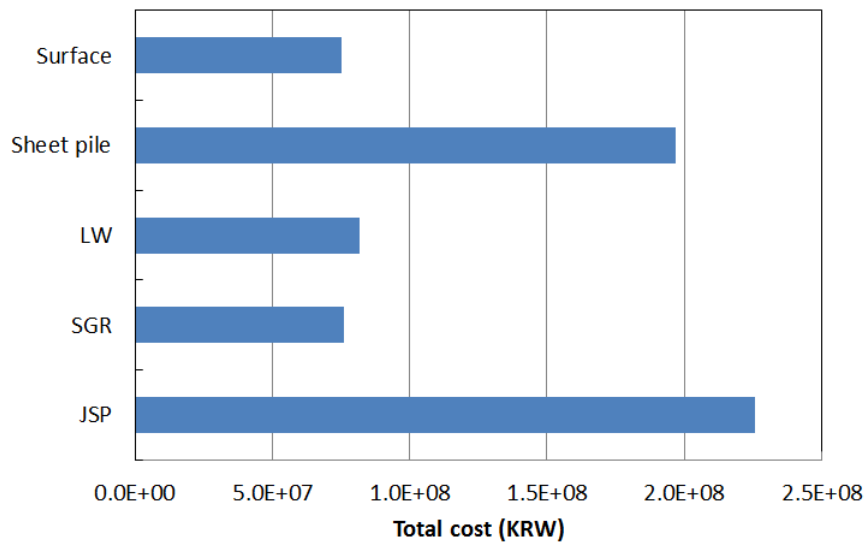
(e) 표면차수 공법

[그림 3-34] 이산화탄소 배출 구조

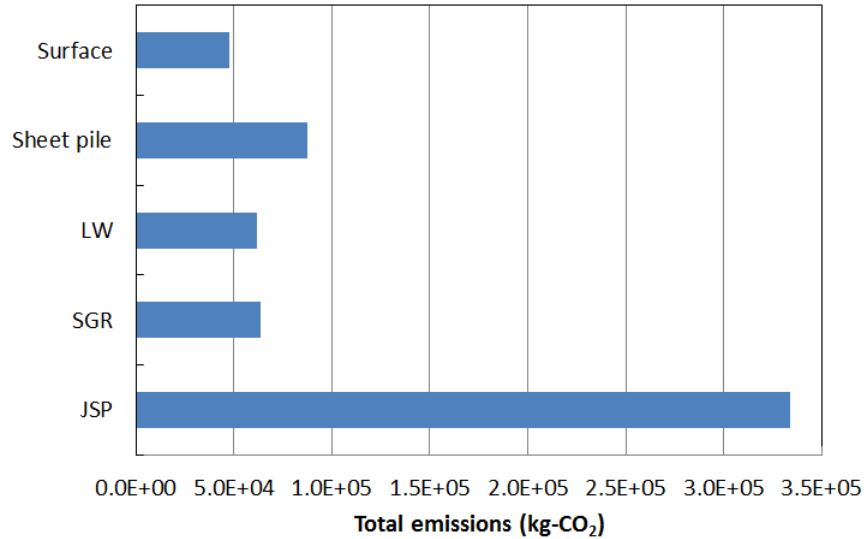
적용 공법들의 이산화탄소 배출 구조 분석 결과, 모든 공법에서 자재로 인한 배출 비율이 장비 사용으로 인한 배출량보다 높은 것으로 나타났다. 특히 표면차수 공법은 자재 생산으로 인한 배출이 99.0%로 전체 배출량의 대부분을 차지하였으며 대표적 그라우팅 공법인 LW 공법과 SGR 공법은 각각 95.4%, 95.8%를 차지하였다. 표면차수 공법은 장비의 사용이 거의 없고 주로 인력이 사용되어 장비로 인한 배출이 매우 낮게 나타난 것으로 판단되며 SGR 공법과 LW 공법은 그라우팅에 사용하는 재료가 다소 차이가 있으나 사용하는 장비가 거의 유사하고 공통적으로 대량의 시멘트를 사용하기 때문에 총 배출량과 장비와 자재의 배출 비율이 유사하게 산출된 것으로 판단된다. 상대적으로 다수의 장비를 사용하는 JSP 공법과 강널말뚝 공법의 경우, 장비로 인한 배출량이 38.6%와 21.6%로 다른 공법에 비하여 비교적 높은 비율을 나타냈다.

나. 침투누수 저감공법 경제성 및 이산화탄소 배출량 비교 분석

기준에 실시되던 경제성 평가와 본 연구에서 실시한 이산화탄소 배출량을 통한 정량적 환경성 평가를 비교하기 위하여 각 공법에 대하여 앞서 산출한 총 공사비와 총 이산화탄소 배출량에 대하여 비교분석을 실시하였다. 비교에는 본 연구에서 가정한 가장 큰 공사규모인 50m의 공사비와 이산화탄소 배출량을 분석하였다. 그림 3-35는 각 공법별 총 공사비와 총 이산화탄소 배출량을 나타낸다.



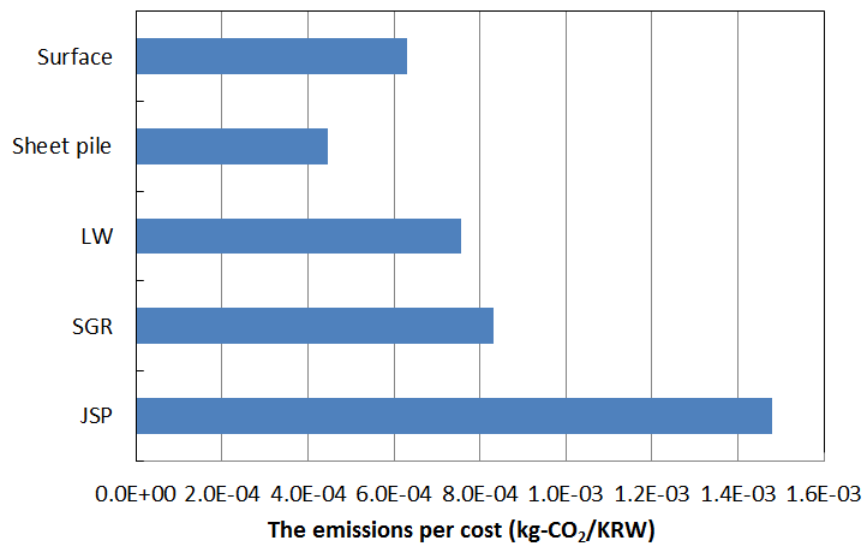
(a) 총 공사비



(b) 총 이산화탄소 배출량

[그림 3-35] 공법별 총 공사비 및 총 이산화탄소 배출량 (50m)

앞서 분석한 바와 같이 본 연구에서 고려한 총 5개의 공사 중 공사비와 이산화탄소 배출량 모두 JSP공법이 가장 높았으며 표면차수 공법이 가장 낮게 나타났다. 공사비에 따른 이산화탄소 배출 특성을 정확히 판단하기 위하여 총공사비에 대한 이산화탄소 배출 비율을 분석하였다. 각 공법별 단위 공사비 당 이산화탄소 배출량은 그림 3-36와 같다.



[그림 3-36] 공사비 당 이산화탄소 배출량

단위 공사비 당 이산화탄소 배출량을 분석한 결과 JSP 공법이 다른 공법에 비하여 공사비 대비 이산화탄소 배출이 큰 것으로 나타났다. 또한 공사비가 상대적으로 높게 나타난 강널말뚝 공법은 단위 공사비에 대한 이산화탄소 배출량이 가장 낮게 나타났다. LW 공법과 SGR 공법의 배출량은 표면차수 공법이나 강널말뚝 공법보다 다소 크게 나타났다. 그라우팅 공법이 공사

비에 비하여 이산화탄소 배출량이 크게 나타난 것은 그라우팅 공법들은 대부분 이산화탄소 배출 원단위가 높은 시멘트를 대량으로 사용기 때문이다. 그에 비하여 상대적으로 낮은 배출 원단위를 가지는 강재를 사용하는 강널말뚝 공법은 공사비에 비하여 낮은 배출량을 나타내는 것으로 판단된다. 반면 표면차수 공법은 이산화탄소 배출량이 가장 낮은 강널말뚝 공법과 유사하게 나타났으나 상대적으로 공사비가 낮아 공사비 당 배출량은 높게 산출되었다. 공법별 일정 공사규모에 따른 공사비와 이산화탄소 배출량 산정 결과를 분석한 결과, 공사비가 높게 산정된 공법은 많은 건설 자재와 건설 장비 사용을 의미하므로 그에 비례하여 이산화탄소 배출량이 높게 산출되거나 사용되는 재료의 특성과 장비의 효율에 따라 배출특성이 달라지는 것을 확인할 수 있다.

제 5 절 이산화탄소 배출량 산정 프로세스 적용성 평가

1. 대상지 산정

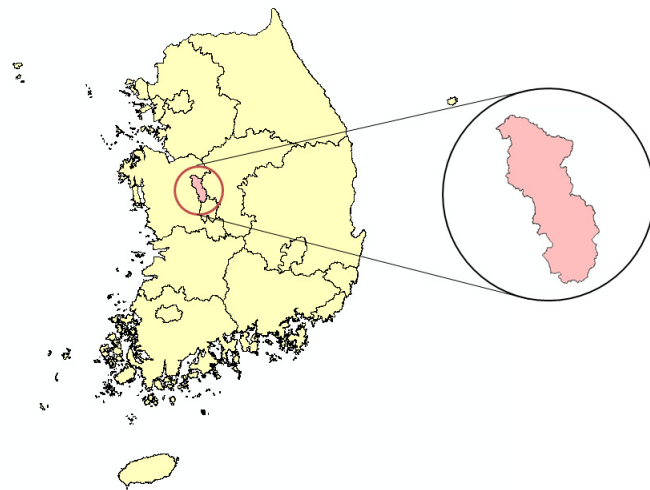
가. 선정 대상지 일반현황

저수지 제체 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정 프로세스 적용성을 평가하기 위하여 대상지를 선정하였다. 대상지는 현재 한국어촌공사에서 관리하는 저수지 중 최근에 침투누수 보수공사를 실시한 곳 중 한 곳을 선정하였다. 선정된 저수지 제체의 일반 현황은 표 3-14와 같으며 저수지의 위치는 그림 3-37 (a)와 같다.

- 지구명 : 용암 지구 용암 저수지
- 주소 : 충청남도 연기군 서면 용암리
- 준공년도 : 1989년
- 수혜면적 : 477.5ha

[표 3-14] 용암 저수지 제체 현황

저수량			제체				사면 기울기	
단위 (mm)	총 (만m ³)	유효 (만m ³)	형식	높이 (m)	길이 (m)	댐마루폭 (m)	상류측 (1:n)	하류측 (1:n)
927	459.5	442.9	월댐 (존형)	17.0	226.0	6.0 (6.5)	2.5 [사석]	2.3 (2.2) [떼]



(a) 저수지 위치 (세종특별자치시)



(b) 저수지 항공사진

[그림 3-37] 대상 저수지 위치 및 항공사진

정확한 유지보수 내역을 분석하기 위해서 실제로 침투누수 저감공법이 시행된 저수지를 선정하였으며 선정된 용암 저수지의 개보수 이력은 표 3-15와 같다

[표 3-15] 용암 저수지 개보수 이력

(금액단위 : 백만원)

연월일	수원공			평야부		
	공종	보수내용	사업비	공종	보수내용	사업비
2007.12.17	제체	사석정비 그라우팅 180공 메쉬형헨스 25경간	406.608	용수로	용수간선 15조 용수지선 15조 총 30조 6,335m	249.389
	여수토	단면복구 1146㎡	178.601			
	방수로	옹벽增高 (L=118.0m H=0.8m)	291.345			
	취수시설	단면복구,문비 2조 사통전동화·접형변	298.764			

나. 대상지 현장조사

(1) 현장조사 결과

선정된 저수지를 대상으로 현장조사를 실시하였다. 현장조사는 저수지 제체 및 부대시설에 대한 외관 상태를 확인하고 평가하였다. 저수지 현장조사 결과는 표 3-16과 같다.

[표 3-16] 용암 저수지 현장조사 결과

구분	평가항목	평가
댐마루	표면균열상태	표면이 표장되어 지반의 균열상태 확인불가
	침하(세굴)상태	정비한지 오래되지 않아 침하나 세굴현상이 나타나지 않음
	보호공 및 유지관리 상태	표면 보호는 보도블럭으로 포장되어 있으며 시공한지 오래되지 않아 유지관리 상태 매우 양호함
상류사면	양안부 접속상태	시점은 도로와 연결되어 있으며 접속상태 양호함 종점은 여수로와 연결되어 있으며 접속상태 양호함
	사석 보호공 상태	사석의 일부가 풍화 및 파쇄되어 있으며 식생이 자라고 있음
	식생 및 유지관리 상태	피복하지 않은 사면에 식생이 자라고 있음
하류사면	양안부 접속상태	시점은 도로와 연결되어 있으며 접속상태 양호함 종점은 여수로와 연결되어 있으며 접속상태 양호함
	경사면 유실(세굴) 상태	경사면을 재정비 한지 오래되지 않아 유실 및 세굴되지 않음
	누수(포화, 습윤 상태)	누수대가 발견되지 않으며 모든 사면에 대하여 건조한 상태로 관찰됨
	식생 및 유지관리 상태	사면을 정리한지 얼마 되지 않아 식생 유지관리 상태 매우 양호 시점 및 종점부 사면 피복한지 오래되지 않아 아직 완벽히 피복되지 않음

(2) 현장조사 사진대장

(가) 댐마루

<p>댐마루 전경</p>	<p>댐마루 입구 접속부</p>
<p>댐마루 표면 포장 상태</p>	<p>댐마루 설치 전망대</p>

(나) 상류사면

<p>상류사면 전경</p>	<p>상류사면 사석상태</p>
<p>상류사면 입구 접속부</p>	

(다) 하류사면

<p>하류사면 전경(좌)</p>	<p>하류사면 전경(우)</p>
<p>하류사면 소단</p>	<p>하류사면 소단</p>
<p>하류사면 표면 상태</p>	<p>하류사면 표면 상태</p>
<p>하류사면 설치 계단</p>	<p>하류사면 입구 접속부</p>

(라) 여방수로



여방수로 물넘이



여방수로 시점



여방수로 종점



여방수로 종점



여방수로 도로 연결부



여방수로 도로 연결부

(마) 기타 시설물



취수탑 전경



취수탑



배수구 입구

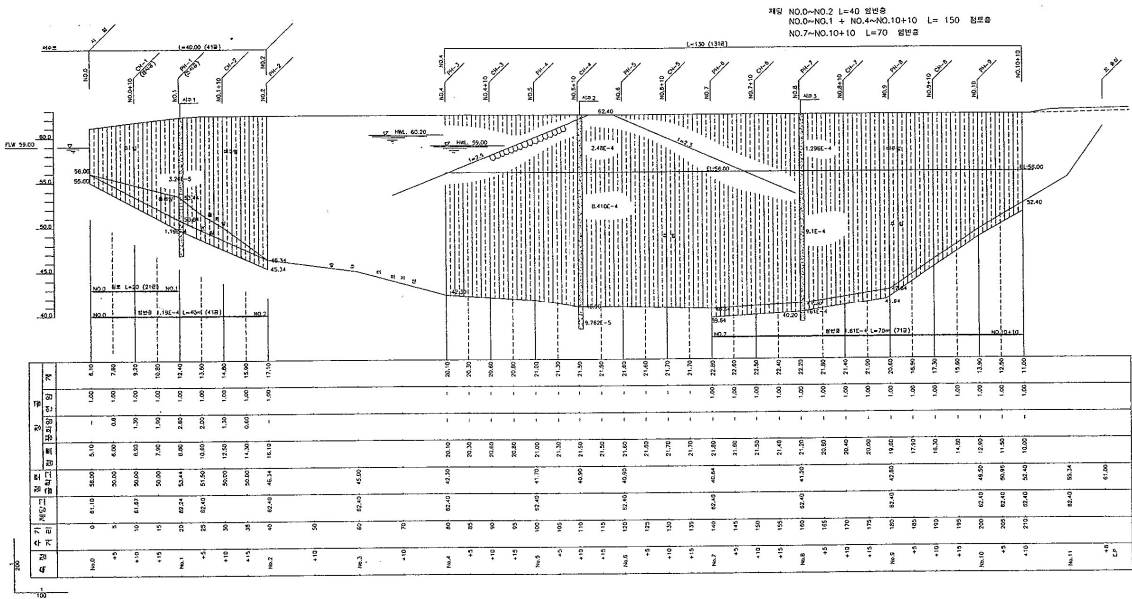


배수로

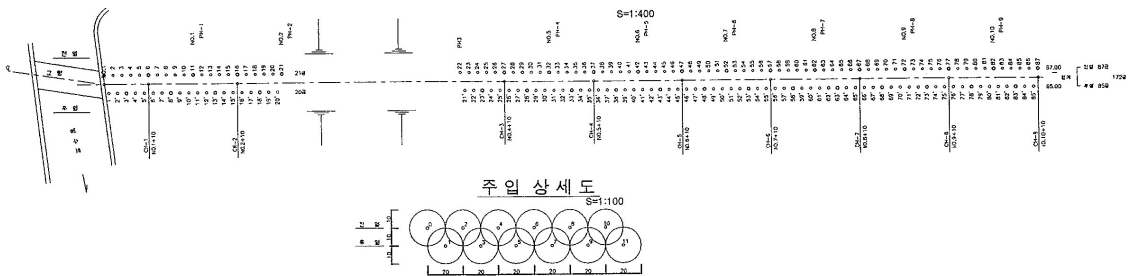
2. 대상 저수지 침투누수 저감공법 경제성 평가

가. 대상 저수지 제체 그라우팅 공사 현황

선정된 용암 저수지에 실시된 침투누수 저감공법과 다른 침투누수 공법을 평가하기 위하여 기존에 실시하던 경제성 평가를 실시하였다. 기존 공사 공법의 선정에 있어 주로 공사비 산정 내역서를 바탕으로 경제성 평가를 실시한다. 따라서 기존 년도 단가를 기준으로 대상지에 같은 개량면적을 대상으로 시공하였을 때 소요되는 공사비를 각각 산정하였다. 2007년 용암 저수지에 준공된 그라우팅 공사 설계도는 그림 3-38과 같다.



(a) 그라우팅 설계도



(b) 주입 평면도

[그림 3-38] 저수지 그라우팅 설계도

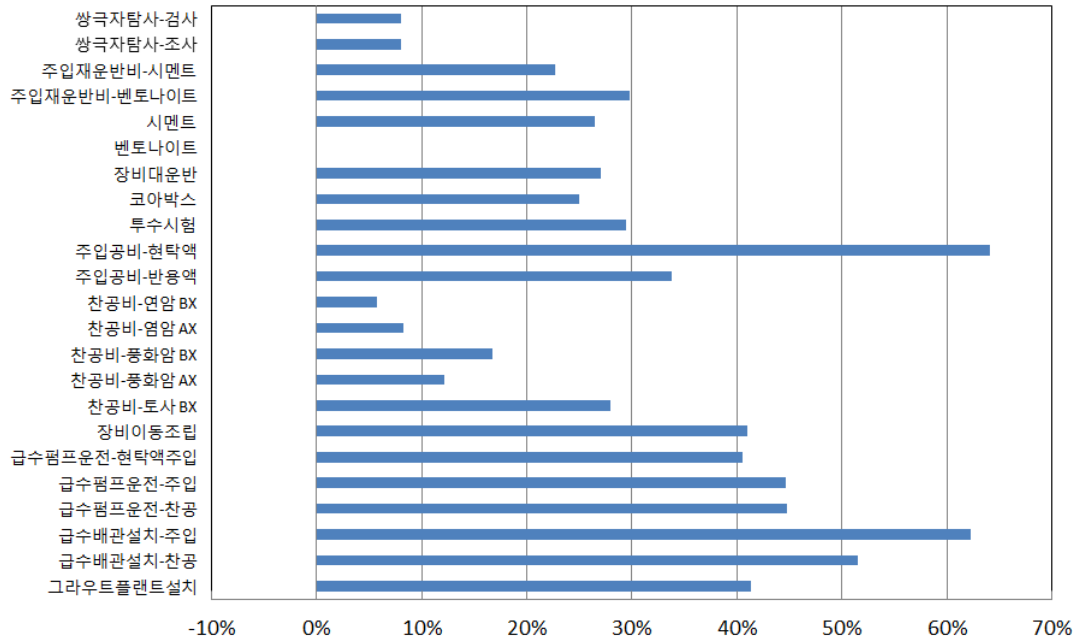
용암 저수지는 2007년 침투누수 저감공법으로 농업용 저수지에 주로 행해지는 커튼 그라우팅을 180공에 대하여 실시하였다. 용암 저수지 2007년 수리시설 개보수사업 준공 정산서는 사업 실시일을 기준으로 2006년 단가를 적용하였으나 본 연구에서 사용하는 사용자재 이산화탄소 배출 원단위는 2009년 산업연관표를 사용하였기 때문에 2009년 단가로 재정산하였다. 용암 저수지 그라우팅 2006년, 2009년 단가 적용 공사 정산서는 표 3-16와 같다.

[표 3-16] 용암 저수지 그라우팅 공사 준공 정산서

(단위 : 원)

종별	재료/치수	수량	단위	2006				2009				증감	
				재료	노무	경비	총액	재료	노무	경비	총액	원	%
그라우트플랜트설치	반용액	2.00	회	69,568	1,506,823	0	1,576,391	46,000	2,182,244	0	2,228,244	651,853	41.4%
급수배관설치	50m/m, 찬공용	2.00	회	57,023	395,020	0	452,043	56,494	628,236	0	684,730	232,687	51.5%
급수배관설치	50m/m, 주입용	2.00	회	27,023	395,020	0	422,043	56,494	628,236	0	684,730	262,687	62.2%
급수펌프운전	15hp, 찬공용	80.70	일	875,378	3,681,953	1,532,578	6,089,909	908,518	5,379,727	2,527,798	8,816,043	2,726,134	44.8%
급수펌프운전	15hp, 주입용	53.90	일	584,670	2,459,198	1,023,617	4,067,485	606,654	3,592,258	1,687,912	5,886,824	1,819,339	44.7%
급수펌프운전	5hp, 현탁액주입용	5.80	일	19,661	264,626	52,377	336,664	27,144	385,741	60,262	473,147	136,483	40.5%
장미이동조립	평탄부	180.00	회	0	4,837,563	0	4,837,563	0	6,820,740	0	6,820,740	1,983,177	41.0%
찬공	토사, 점토(BX)	3,106.00	m	10,081,659	76,799,549	8,941,712	95,822,920	14,562,694	101,109,808	6,980,157	122,652,659	26,829,739	28.0%
찬공	풍화암(AX)	49.30	m	573,869	1,565,564	178,158	2,317,591	714,542	1,872,414	11,780	2,598,736	281,145	12.1%
찬공	풍화암(BX)	5.00	m	66,917	173,299	19,986	260,202	83,566	218,602	1,375	303,544	43,342	16.7%
찬공	연암(AX)	107.00	m	2,069,177	4,720,821	542,546	7,332,544	2,191,775	5,706,629	35,901	7,934,306	601,762	8.2%
찬공	연암(BX)	10.00	m	220,669	494,541	55,694	770,904	225,487	585,789	3,685	814,961	44,057	5.7%
주입공	반용액	269.60	m ³	4,688,175	68,925,664	5,712,032	79,325,871	6,143,476	99,979,437	0	106,122,913	26,797,042	33.8%
주입공	현탁액	579.00	대	503,372	5,815,907	612,888	6,932,167	646,966	8,263,446	2,464,038	11,374,450	4,442,283	64.1%
투수시험		42	회	330,448	1,898,839	121,531	2,350,818	159,810	2,744,994	140,070	3,044,874	694,056	29.5%
코아박스		2.00	개	15,149	161,143	0	176,292	19,558	200,938	0	220,496	44,204	25.1%
장비대운반		1.00	식	0	136,221	193,485	329,706	0	167,648	251,472	419,120	89,414	27.1%
벤토나이트		16,499.00	대	2,576,754	0	0	2,576,754	2,573,448	0	0	2,573,448	-3,306	-0.1%
시멘트		415.00	ton	29,267,875	0	0	29,267,875	37,038,750	0	0	37,038,750	7,770,875	26.6%
주입제운반비	벤토나이트	1.00	식	0	204,765	237,735	442,500	0	258,493	315,935	574,428	131,928	29.8%
주입제운반비	시멘트	1.00	식	39,912	3,541,733	4,984,629	8,566,274	46,065	4,791,590	5,679,275	10,516,930	1,950,656	22.8%
쌍극자탐사	(조사)	1.00	측선	27,805	684,394	21,453	733,652	33,689	694,232	64,976	792,897	59,245	8.1%
쌍극자탐사	(검사)	1.00	측선	27,805	684,394	21,453	733,652	33,689	694,232	64,976	792,897	59,245	8.1%
총 계				52,122,909	179,347,037	24,251,874	255,721,820	74,487,681	246,093,467	20,289,612	333,369,866	77,648,046	30.4%

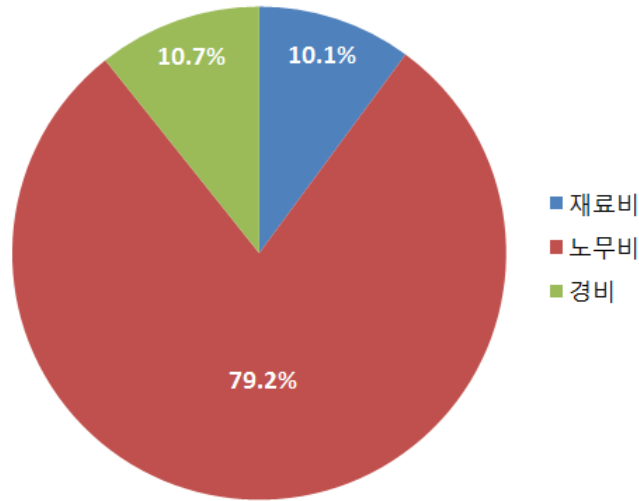
2009년 단가를 적용 시 항목별 공사비 변화를 살펴보기 위하여 2009년 각 항목별 공사비를 2006년 단가 적용 시 공사비 대비 변화율을 분석하였다. 2009년 단가 적용으로 인한 각 항목별 변화율은 그림 3-39과 같다.



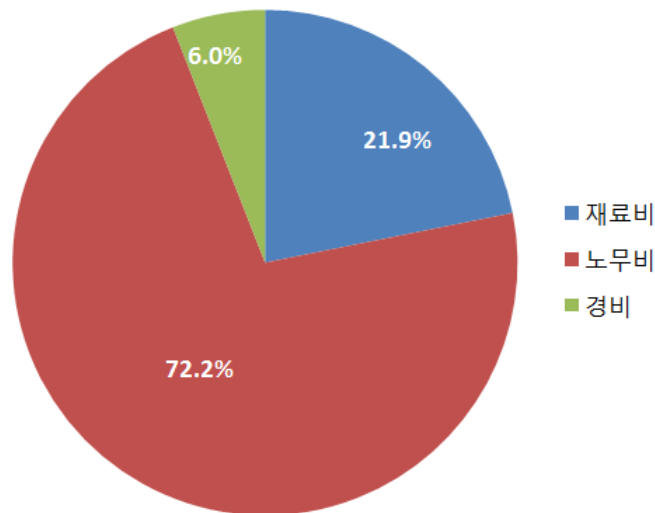
[그림 3-39] 2006년 대비 2009년 항목별 공사비 증감 비율

2006년 공사비 대비 2009년 단가 적용시 벤토나이트 단가 외에 모든 항목에서 공사비가 증가하는 것으로 나타났다. 특히 현탁액 주입공비와 주입 급수배관설치 비용은 2006년 단가 대비 60%이상 상승하는 것으로 나타났다. 대부분의 공사비는 재료비와 노무비의 인상으로 인하여 공사비가 전체적으로 증가하는 것으로 판단된다. 특히 인건비의 경우 보통인부가 2006년 52,585원에서 2009년 66,622원으로 21% 인상되었으며 특별인부는 66,422원에서 84,686원으로 27%이상 인상되는 등 인건비의 증가가 전체적인 공사비 증가에 기여하는 것으로 판단된다. 자재비용은 시멘트 비용이 22.8% 인상되었으나 벤토나이트는 0.1% 감소하여 재료마다 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

실제 공사가 진행된 2007년을 기준으로 2006년 일위대와 본 연구에서 이산화탄소 배출량 산출을 위한 2009년 일위대가를 적용한 공사비의 구조의 차이를 분석하기 위하여 재료비 노무비 경비에 대한 비용을 분석하였다. 해당 년도 일위대가를 적용한 공사비의 구조는 그림 3-40에 도시하였다.



(a) 2006년



(b) 2009년

[그림 3-40] 2009 일위대가 반영에 따른 공사비 구조 변화

해당 년도 일위대가를 적용한 공사비 구조 변화를 분석한 결과 2006년 단가 적용시 보다 2009년 단가 적용시 전체 공사비에서 재료비에 대한 비율이 증가하였으며 경비에 대한 비용이 차지하는 비율이 줄어들었으며 노무비 비율 또한 79.2%에서 72.2%로 7% 감소하는 것으로 나타났다. 앞서 살펴본 바와 같이 인건비 상승으로 인하여 전체 공사비에서 차지하는 비율이 가장 높은 노무비에 대한 공사액 증가가 전체 공사비 증가에 영향을 미치나 재료비의 상승이 노무비나 경비의 증가보다 더 크게 나타났음을 알 수 있다.

나. 대안 공법 공사비 산정

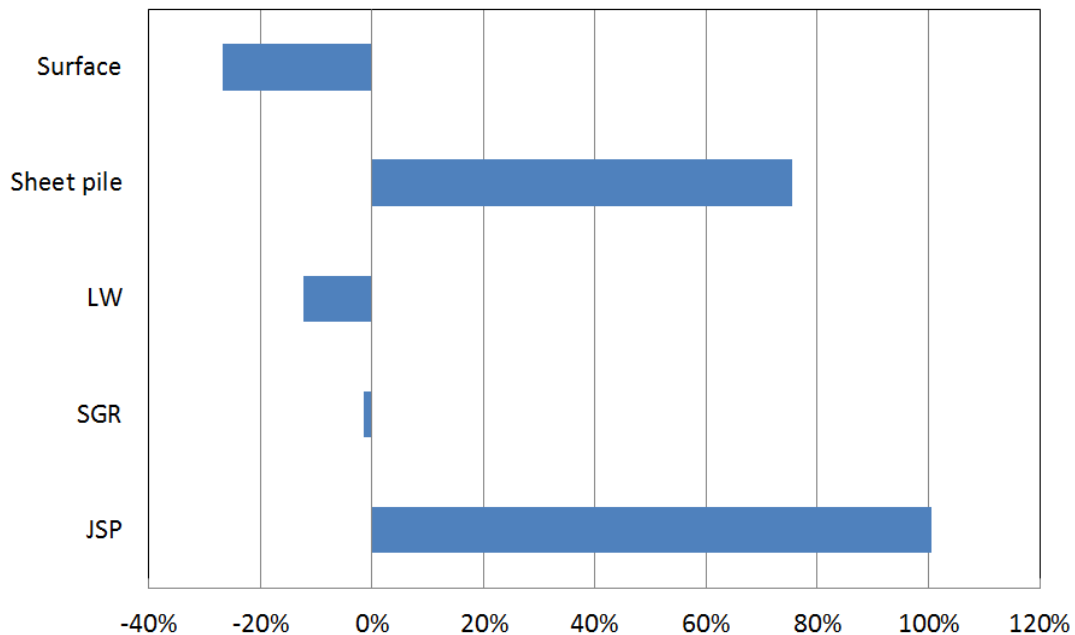
대상 저수지에 대하여 실제 실시된 그라우팅 공법 외에 침투누수 저감에 사용되는 다른 공

법을 적용하여 공사비를 산정하였다. 적용된 공법은 앞서 분석한 그라우팅 공법 (JSP, SGR, LW 공법), 강널말뚝 공법, 표면차수 공법을 선정하였다. 각 공법에 대한 2009년 단가를 적용한 공사비 산정하였으며 결과는 표 3-17과 같다. 또한 실제 실시된 공사비와 비교하여 대안으로 제시한 침투누수 저감공법의 공사비 증감율을 그림 3-41에 표기하였다.

[표 3-17] 대안공법 공사비

(단위 : 원)

공법	공사비				원공사비 대비 증감	
	재료비	노무비	경비	총합	증감액	증감율
JSP 공법	323,866,675	226,601,212	117,728,501	668,196,387	334,826,521	100.4%
SGR 공법	160,709,998	152,271,403	15,688,005	328,669,406	-4,700,460	-1.4%
LW 공법	138,146,882	136,991,046	17,237,558	292,375,487	-40,994,379	-12.3%
강널말뚝	544,402,028	26,794,419	14,048,837	585,245,284	251,875,418	75.6%
표면차수	229,826,252	13,912,978	306,064	244,045,293	-89,324,573	-26.8%

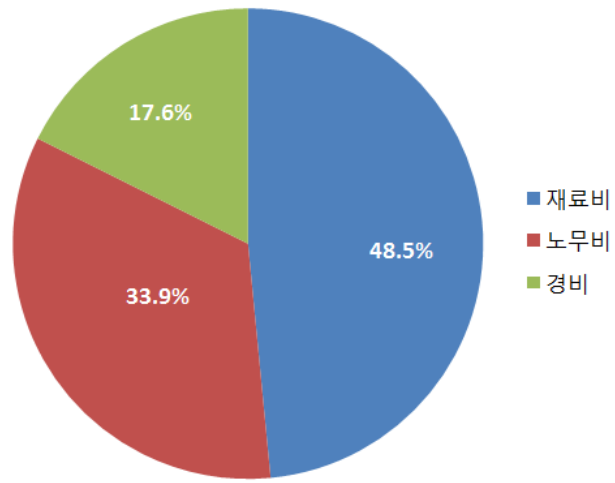


[그림 3-41] 원공사비 대비 대안공법 공사비 증감율

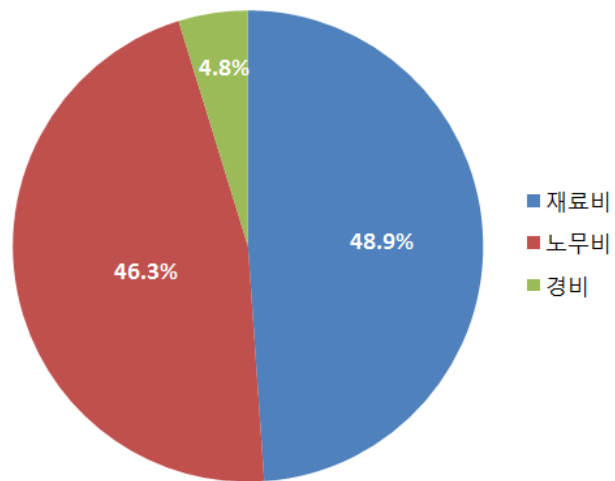
대상지 제체에 실시된 침투누수 저감 공사에 대하여 본 연구에서 대상으로 하는 침투누수 저감공법을 적용 시 소요되는 공사비를 산정한 결과, JSP 공법이 가장 많은 공사비가 소요되는 것으로 나타났다. 일정 공사 규모를 가정하여 산정한 연구비 결과와 같이 표면차수 공법이 가장 낮은 공사비가 드는 것으로 나타났다. 대상지에서 실시한 커튼 그라우팅과 유사한 방식으로 실시되는 SGR 공법과 LW 공법의 공사비는 실제 소요된 공사비와 큰 차이가 나타나지 않았다.

침투누수 저감공법의 공사비를 구성하는 구조 차이를 정확히 평가하기 위하여 각 공법의 공사비를 재료비, 노무비, 경비로 구분하여 공사비가 이루는 구성비를 분석하였다. 각 공법의 공

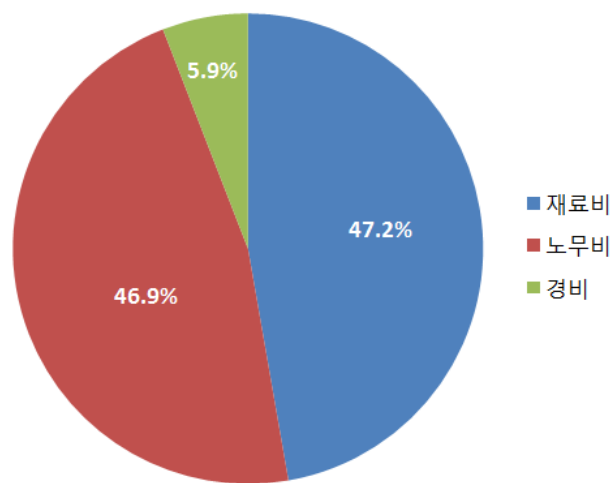
사비를 이루는 구조는 그림 3-42과 같다.



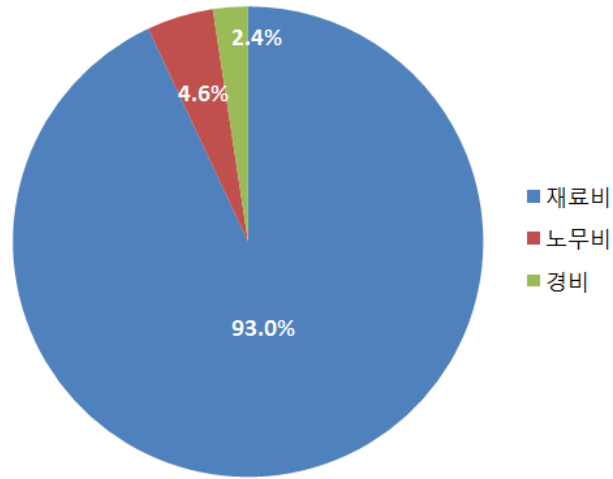
(a) JSP 공법



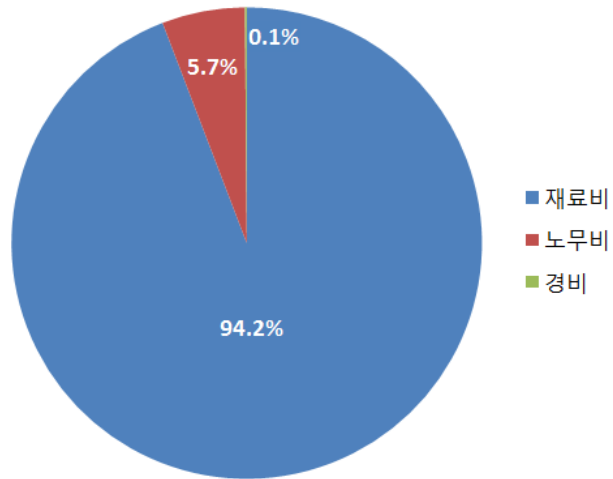
(b) SGR 공법



(c) LW 공법



(d) 강널말뚝 공법



(e) 표면차수 공법

[그림 3-42] 공법별 공사비 구조

각 공법별 공사비 구조를 분석한 결과, 모든 공법에서 재료비가 차지하는 비율이 47.2~94.2%로 가장 높았으며 강널말뚝 공법과 표면차수 공법의 공사비 중 대부분 재료비로 소요되는 것으로 나타났다. 그라우팅 공법인 JSP 공법, SGR 공법, LW 공법은 공사비 중 약 50% 정도가 재료비가 차지하였으며 다른 공법에 비하여 노무비가 차지하는 비율이 33.9~46.9%로 상대적으로 높게 나타났다.

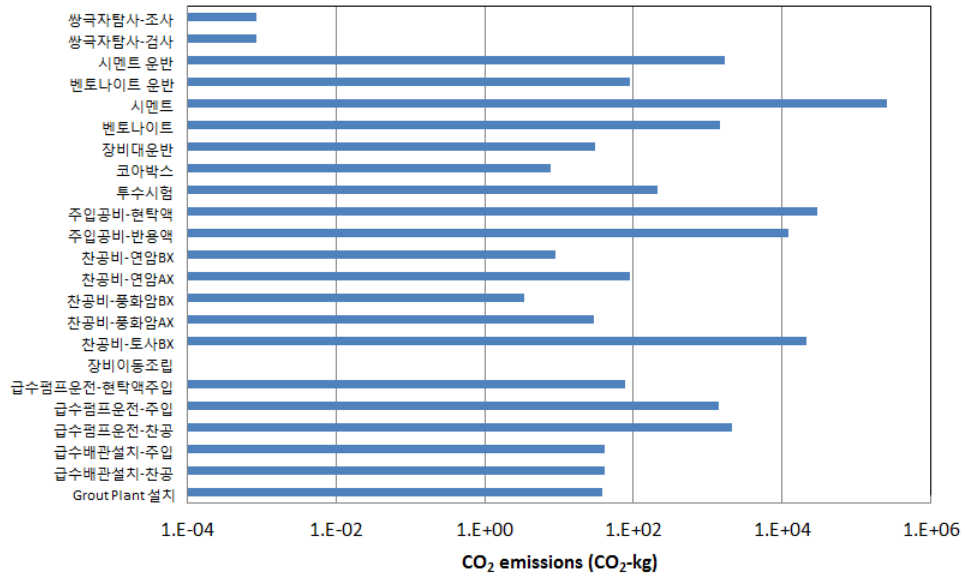
3. 대상 저수지 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정

가. 대상 저수지 그라우팅 공사 이산화탄소 배출량 산정

2009년 일위대가를 적용한 대상지 침투누수 저감공법 공사비 산정 결과를 이용하여 산업연관표와 일위대가표를 통해 산정한 건설 자재와 건설 장비의 이산화탄소 배출 원단위로 이산화탄소 배출량을 산정하였다. 용암 저수지 제체의 침투누수 저감공법은 농업용 저수지 제체에서 주로 사용하는 커튼 그라우팅 방식을 사용하였다. 대상지에 실시된 커튼 그라우팅 공사에 대한 이산화탄소 배출량은 건설 자재, 건설 장비, 운송으로 구분하여 산정하였다. 표 3-18에 각 공사 항목별 이산화탄소 배출량 산정 결과를 나타냈으며 그림 3-43을 통해 항목별 이산화탄소 배출량을 비교하였다.

[표 3-18] 용암 저수지 그라우팅 공사 항목별 이산화탄소 배출량

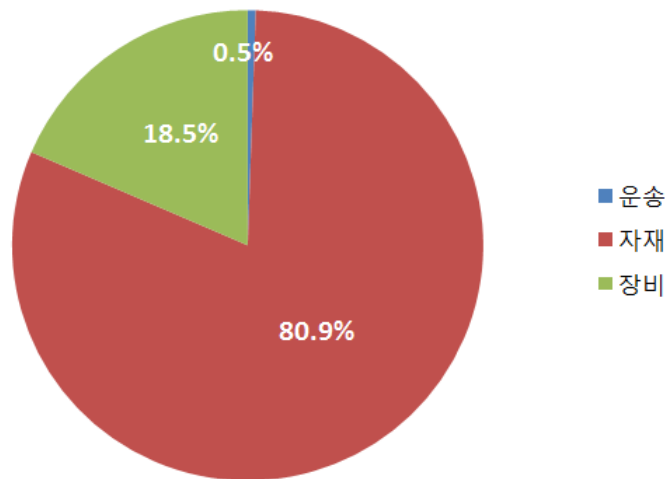
종별	재료/치수	수량	단위	배출량 (CO ₂ -kg)			
				운송	자재	장비	총 배출량
그라우트플랜트설치	반용액	2.00	회	0	2.74×10^1	0	2.74×10^1
급수배관설치	50m/m, 찬공용	2.00	회	0	4.04×10^1	0	4.04×10^1
급수배관설치	50m/m, 주입용	2.00	회	0	4.04×10^1	0	4.04×10^1
급수펌프운전	15hp, 찬공용	80.70	일	0	0	2.13×10^3	2.13×10^3
급수펌프운전	15hp, 주입용	53.90	일	0	0	1.42×10^3	1.42×10^3
급수펌프운전	5hp, 현탁액주입용	5.80	일	0	0	7.64×10^1	7.64×10^1
장비이동조립	평탄부	180.00	회	0	0	0	0
찬공	토사, 점토(BX)	3,106.00	m	0	5.54×10^3	1.53×10^4	2.08×10^4
찬공	풍화암(AX)	49.30	m	0	1.45×10^{-2}	2.88×10^1	2.88×10^1
찬공	풍화암(BX)	5.00	m	0	1.69×10^{-3}	3.37×10^0	3.37×10^0
찬공	연암(AX)	107.00	m	0	4.41×10^{-2}	8.79×10^1	8.79×10^1
찬공	연암(BX)	10.00	m	0	4.53×10^{-3}	9.02×10^0	9.02×10^0
주입공	반용액	269.60	m ³	0	0	1.20×10^4	1.20×10^4
주입공	현탁액	579.00	대	0	0	3.00×10^4	3.00×10^4
투수시험		42	회	0	0	2.11×10^2	2.11×10^2
코아박스		2.00	개	0	7.68×10^0	0	7.68×10^0
장비대운반		1.00	식	3.04×10^1	0	0	3.04×10^1
벤토나이트		16,499.00	대	0	1.46×10^3	0	1.46×10^3
시멘트		415.00	ton	0	2.61×10^5	0	2.61×10^5
주입재운반비	벤토나이트	1.00	식	9.11×10^1	0	0	9.11×10^1
주입재운반비	시멘트	1.00	식	1.69×10^3	0	0	1.69×10^3
쌍극자탐사	(조사)	1.00	측선		8.50×10^{-4}	0	8.50×10^{-4}
쌍극자탐사	(검사)	1.00	측선		8.50×10^{-4}	0	8.50×10^{-4}
총 계				1.81×10^3	2.68×10^5	6.13×10^4	3.31×10^5



[그림 3-43] 용암 저수지 그라우팅 공사 항목별 이산화탄소 배출량 비교

용암저수지에 시행된 그라우팅 공사 중 발생한 전체 이산화탄소 양은 약 331,000 CO₂-kg으로 나타났다. 전체 그라우팅 공정 중에서 시멘트 생산으로 인한 이산화탄소 배출량이 261,000 CO₂-kg으로 가장 높게 나타났으며 쌍극자조사에서는 이산화탄소 배출이 아주 미미한 수준으로 나타났다. 공사 공정에서는 장비이동조립 공정에서 이산화탄소가 배출되지 않았으며 주입공과 토사 천공 중의 이산화탄소 배출량이 높게 산정되었다. 장비이동조립의 경우 공정 모두가 인력으로 처리되기 때문에 이산화탄소가 배출되지 않는 것으로 나타났다. 또한 천공과 주입공정은 그라우팅 전체 공정에서 차지하는 비율이 높고 천공 중에서도 토사 천공이 대부분을 차지하기 때문에 이 공정에서 높은 배출량을 나타내는 것으로 판단된다. 시멘트와 벤토나이트 자재로 인한 배출량은 본 공정에서 대량의 벤토나이트와 시멘트가 사용되며 특히 시멘트는 다른 건설 자재에 비하여 배출 원단위가 높아 전체 배출량 중에서 차지하는 비율이 높게 나타났다.

앞서 설명한 바와 같이 본 연구에서 이산화탄소 배출 원인을 자재생산, 장비사용, 운송으로 나누어 산정하였으며 본 공사에서 총 배출량에서 각 배출원인이 차지하는 비율을 분석하였다. 본 그라우팅 공사에서 배출원인이 차지하는 비율은 그림 3-44과 같다.



[그림 3-44] 용암 저수지 그라우팅 공사 이산화탄소 배출 원인

배출원인 분석 결과, 용암 저수지에 실시된 커튼 그라우팅 공사의 이산화탄소 배출량에 건설 자재로 인한 배출량이 기여하는 바가 가장 높았으며 운송으로 인한 배출량은 전체 배출량에서 차지하는 비율이 0.5%로 매우 작았다. 앞서 분석한 바와 같이 본 공사에서 대량의 벤토나이트와 시멘트의 사용으로 인하여 이로 인한 배출량이 크게 산정되어 자재의 비율이 높게 나온 것으로 판단된다. 또한 주입 재료 외에 그라우팅 공사의 주요 공정중 하나인 천공 과정에서 굴착기를 사용함에 있어 주요 에너지원 뿐 아니라 소모품의 사용으로 자재로 인한 배출 비율이 높아진 것이라 사료된다.

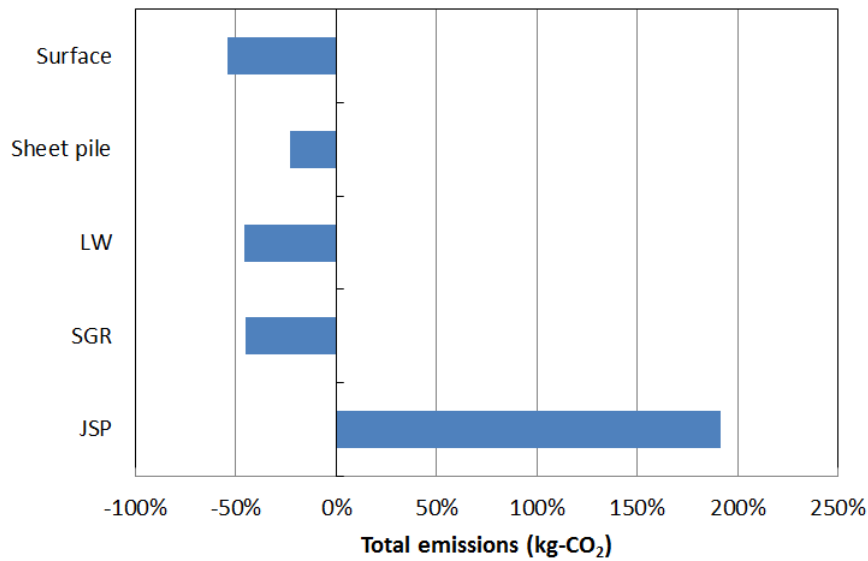
나. 대안 공법 이산화탄소 배출량 산정

대상 저수지에 대하여 실제 실시된 커튼 그라우팅 공법 외, 제체 침투누수 저감에 사용되는 다른 공법을 적용하였을 때 발생하는 이산화탄소의 양을 분석하였다. 대안 공법으로 앞서 공사비를 산정한 그라우팅 공법 (JSP, SGR, LW 공법), 강널말뚝 공법, 표면차수 공법을 선정하여 분석하였다. 각 공법으로 대상 저수지 제체에 대하여 시공하였을 경우 발생하는 이산화탄소의 양은 표 3-19과 같다. 또한 실제 실시된 커튼 그라우팅 공법과 비교하여 이산화탄소 배출량의 증감효과를 그림 3-45에 도시하였다.

[표 3-19] 대안 공법 이산화탄소 배출량

(단위 : kg-CO₂)

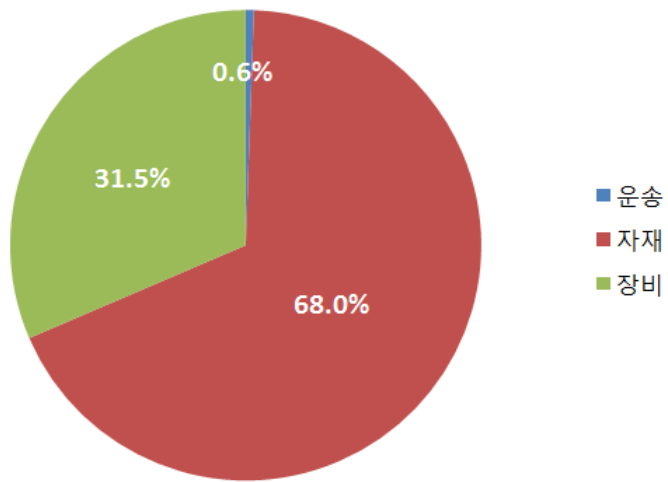
공법	이산화탄소 배출량				원배출량 대비 증감	
	운송	자재	장비	총 배출량	증감량	증감율
JSP	5.40×10^3	6.55×10^5	3.03×10^5	4.77×10^5	$+6.33 \times 10^5$	+191.38%
SGR	1.06×10^3	1.60×10^5	2.17×10^4	1.83×10^5	-1.48×10^5	-44.80%
LW	1.24×10^3	1.54×10^5	2.36×10^4	1.79×10^5	-1.52×10^5	-45.95%
강널말뚝	1.84×10^3	1.98×10^5	5.49×10^4	2.55×10^5	-7.60×10^4	-22.98%
표면차수	6.04×10^1	1.51×10^5	1.70×10^3	1.53×10^5	-1.78×10^5	-53.74%



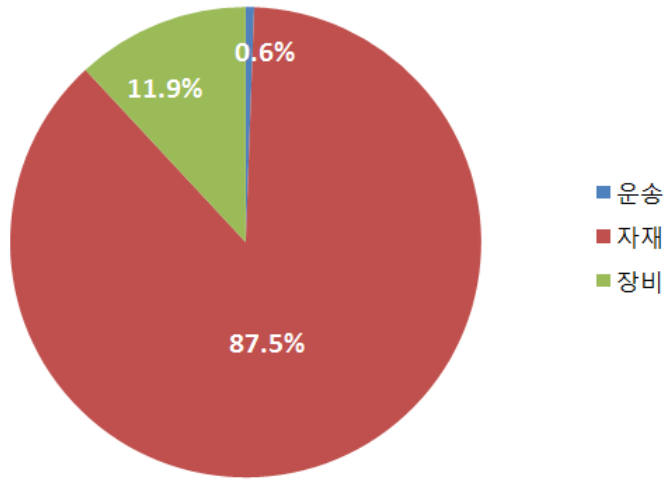
[그림 3-45] 원배출량 대비 대안공법 배출량 증감율

대상지 제체에 실시된 침투누수 저감 공사에 대하여 본 연구에서 대상으로 하는 침투누수 저감공법을 적용 시 배출되는 이산화탄소 양을 산정한 결과, JSP 공법이 가장 높은 이산화탄소 배출량을 나타냈다. 그 외 일반적 그라우팅 방법인 LW 공법, SGR 공법을 포함하여 표면차수 공법과 강널말뚝 공법은 원 공사시 발생하는 이산화탄소 양보다 적게 배출되는 것으로 나타났으며 특히 표면차수 공법은 원래 배출량 보다 45.95%가 감소하는 것으로 나타났다.

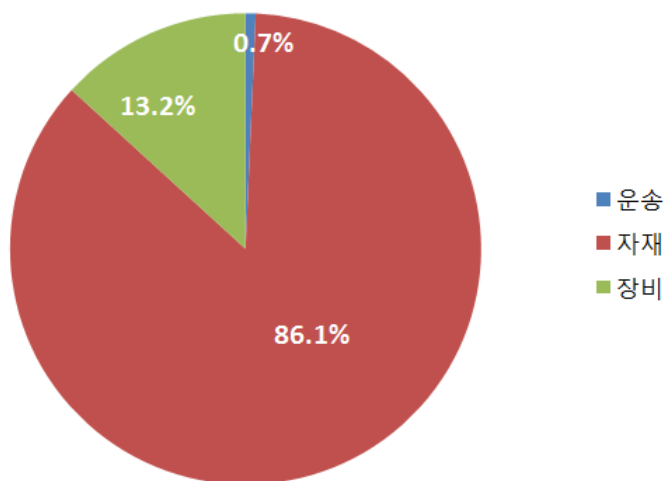
침투누수 저감공법의 이산화탄소 배출원인을 정확히 평가하기 위하여 각 공법의 배출량을 자재, 장비, 운송으로 구분하여 배출량을 분석하였다. 각 공법의 이산화탄소 배출 원인은 그림 3-46와 같다.



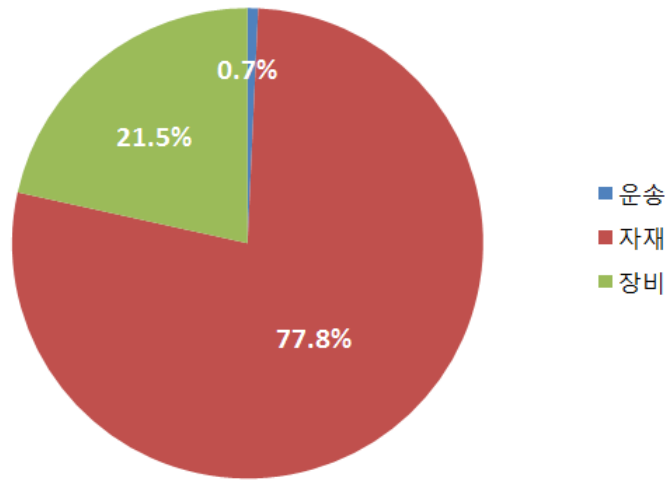
(a) JSP 공법



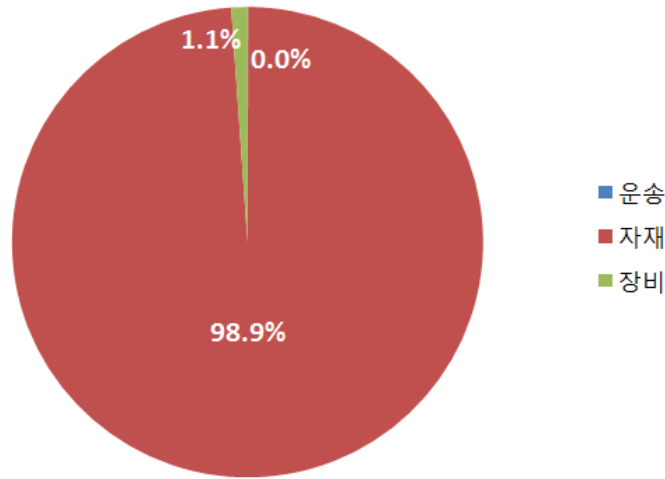
(b) SGR 공법



(c) LW 공법



(d) 강널말뚝 공법



(e) 표면차수 공법

[그림 3-46] 공법별 이산화탄소 배출 원인

각 공법별 이산화탄소 배출 원인을 분석한 결과, 모든 공법에서 재료비가 차지하는 비율이 가장 높게 나타났다. 반면 운송으로 인한 배출량은 0~1.1%로 매우 미미한 것으로 나타났다. 표면차수 공법 시공 중 발생하는 이산화탄소는 대부분 자재 생산으로 인한 배출 (98.9%)로 나타났다. 이는 표면차수 공법의 경우 건설 장비의 사용이 매우 적고 대체로 인력을 이용하여 시공하기 때문인 것으로 판단된다. 일반적인 그라우팅 공법인 SGR 공법, LW 공법은 전체 배출량 중 각각 87.5, 86.1%가 자재로 인해 발생하였다. 가장 높은 이산화탄소를 배출하는 것으로 분석된 JSP 공법은 다른 그라우팅 공법과 비교하여 비슷한 양이 소모되는 그라우팅 재료보다는 다른 그라우팅 공법에 비해 많은 장비를 사용하여 장비 사용으로 인한 배출비율 (31.5%)이 상대적으로 높게 나타났다. 강널말뚝 공법 또한 상대적으로 다른 공법에 비하여 장비로 인한 배출비율 (21.5%)이 높게 나타났다. 강널말뚝 공법에서 주로 사용하는 자재인 강널말뚝 강재는 다른 공법에서 주로 사용하는 시멘트에 비하여 이산화탄소 배출 원단위가 상대적으로 낮

아 자재에 대한 비중이 줄어들고 비교적 대형 장비의 사용으로 인한 배출량이 증가하여 장비 비중이 커진 것으로 판단된다.

제 6 절 결론

본 연구에서는 전과정 평가를 통한 저수지 제체 침투누수 저감공법의 이산화탄소 배출량 산정 기법 개발을 목적으로 실시되었으며 연구 결과는 아래와 같다.

○ 본 연구에서는 저수지 제체의 침투누수 원인은 제체 침투와 지반 침투로 나뉘어 그에 적합한 침투누수 저감 공법에 대하여 조사하였다. 또한 일반적인 전과정 평가 방법론에 대하여 분석하고 경제성 평가 방법에 대하여 정리하였다.

○ 일반적인 건설 구조물의 전과정 자재의 생산단계부터 시공단계, 사용, 유지보수단계, 해체 폐기단계로 나뉜다. 본 연구에서는 침투누수 저감공법을 위한 설치된 구조물의 전생애를 생산된 자재를 사용하여 시공하는 단계까지 고려하였으며 환경 영향 평가에 있어 이산화탄소 배출량만을 고려하였다.

○ 건설 자재에 대한 이산화탄소 배출 원단위는 투입되는 자재의 종류가 많아 개별산출 방식으로 산출하기 어려워 산업연관 방식을 사용하여 건설 자재 원단위를 작성하였으며 건설 장비에 대한 배출 원단위는 일위대가를 이용하였다. 주요 건설 자재 및 건설 장비의 배출 원단위 산출 결과, 시멘트의 배출 원단위가 다른 건설 자재에 비하여 상대적으로 높게 나타났으며 건설 장비는 96 kw 워터젯 펌프와 19 ton 불도저가 단위사용 시간에 따른 이산화탄소 배출량이 높은 것으로 나타났다.

○ 침투누수 저감공법의 경제성과 이산화탄소 배출량을 산정하기 위하여 공사 규모를 연장 10~50m, 심도 20m, 지반 조건을 사질토로 가정하여 공사비를 산정하였다. 공사비 산정 기준은 이산화탄소 배출원단위가 작성된 년도를 기준으로 2009년 일위대가를 사용하였다. 본 연구에서 고려된 침투누수 저감공법 중 JSP 공법이 가장 높은 공사비가 산정되었으며 표면차수 공법이 가장 낮은 공사비가 드는 것으로 나타났다. 적용 공법들이 공사비 구조 분석 결과, 모든 공법에서 전체 공사비 중 재료비가 차지하는 비율이 높은 것으로 나타났다.

○ 이산화탄소 배출 원단위를 적용하여 각 공법들의 이산화탄소 배출량 산정 결과 JSP 공법이 가장 높은 이산화탄소 배출량을 나타냈으며 표면차수 공법이 가장 적은 이산화탄소를 배출하는 것으로 나타났다. 적용 공법들이 이산화탄소 배출 원인 분석 결과, 모든 공법에서 장비에 비하여 자재로 인한 배출 비율이 높은 것으로 나타났다. 높은 공사비용은 많은 건설 자재와 건설 장비 사용을 의미하므로 이산화탄소 배출량은 그에 비례하는 경향이 나타나나 공법별 배출량 분석결과 사용되는 재료의 특성과 장비의 효율에 따라 배출 특성이 달라질 수 있다는 것을 확인하였다.

○ 본 연구에서 제안한 이산화탄소 배출량 평가 방법에 대한 적용성을 평가하기 위하여 최근 그라우팅이 실시된 용암 저수지를 대상지로 선정하여 공법별 공사비 및 이산화탄소 배출량을 산정하였다. 본 연구에서 적용된 침투누수 저감공법 중 JSP 공법이 가장 공사비가 높게 나타

났으며 표면차수 공법이 가장 경제성이 뛰어난 것으로 나타났다. 이는 공사비는 앞서 실시한 공사비 산정 결과와 같은 결과로 규모 확대에 따른 전체적 공사비 상승효과만 고려된 것으로 판단된다. 반면 이산화탄소 배출량은 총 배출량에서는 앞서 실시했던 규모별 분석과 유사한 경향을 나타냈지만 공법별 차이가 더 크게 나타났으며 배출 원인 또한 유사한 경향을 나타냈다. 이산화탄소 배출량 산정 기법의 적용 결과, 세부 공정으로 자재의 사용과 장비의 사용이 달라지면 그에 따라 배출특성이 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 이산화탄소 배출량 분석을 통해 비슷한 공정으로 침투누수 저감공법을 시공한다 하더라도 사용하는 재료와 장비에 따라 또한 공사의 규모에 따라 이산화탄소 배출 특성이 달라질 수 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다.

○ 본 연구에서 제안한 이산화탄소 배출량 평가 방법으로 침투누수 저감공법을 평가해본 결과 각 공법 특성을 잘 반영하며 환경에 대한 영향을 정량적으로 표현할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 이를 통하여 침투누수 저감공법에 대하여 환경적 영향 평가를 정량적으로 평가해본 결과 공사비용으로 분석되는 경제적 가치와 다른 결과를 나타내 이에 대한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 목표 달성도

목표	결과	달성도
저수지 체체 침투누수 저감공법에 대한 기초 조사	농업용 저수지 체체에 발생하는 침투누수 원인을 구분하여 이에 적합한 침투누수 저감공법에 대하여 조사	100%
저수지 체체 침투누수 저감공법 전과정 평가 기술 개발	건설 구조물의 전과정을 자재생산, 시공, 시용, 보수, 폐기로 구분하고 저수지 체체 침투누수 저감공법에 적합한 전과정 범위를 설정하여 전과정 평가	100%
저수지 체체 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정 기술 개발	전과정 평가 방법을 이용하여 저수지 체체 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정기술 개발	100%
저수지 체체 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정 기술 적용성 평가	개발된 이산화탄소 배출량 산정 기술의 적용성을 평가하기 위하여 실제 침투누수 저감 공법이 시공된 저수지를 선정하여 각각의 공법에 대한 이산화탄소 배출량 산정하여 적용성 검증	100%

제 2 절 관련분야 기여도

1. 기술적 측면

- 농업용 저수지 침투누수 저감공법 전과정 평가 기술 개발
 - 농업용 저수지 침투누수 저감공법에 적합한 전과정 평가 기술 개발로 체계적인 환경영향 평가를 실시 할 수 있게 함
- 농업용 저수지 침투누수 저감공법 이산화탄소 배출량 산정 기술 개발
 - 농업용 저수지 침투누수 저감공법에 적합한 전과정 평가 기술을 통한 이산화탄소 배출량 산정으로 공법 선정에 있어 환경적 요소를 정량적으로 반영할 수 있게 함

2. 경제·산업적 측면

- 2009년 기준 연간 약 3,500억 원이 소요되는 농업생산기반시설의 유지관리비용을 보다 효율적으로 사용할 수 있는 기술개발의 기반이 마련됨
- 농업생산기반시설 보수·보강으로 소요 되는 약 1조 6000억 원의 사업비의 사업시행 근거 및 사업 시행 전략 수립의 기초 자료로 활용됨
- 농업용 저수지 제체 침투누수 안정성 평가 저감공법 선정에 전과정 평가 기술과 이산화탄소 배출 기술 개발을 통해 시설물의 보수·보강 사업의 경제적 타당성을 확보하기가 용이해짐

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과

1. 저수지 제체 침투누수 저감공법 전과정 평가 기술 개발
 - 저수지 제체 침투누수 저감공법에 적합한 전과정 범위 설정
 - 저수지 제체 침투누수 저감공법에 적합한 환경 영향인자 설정
2. 저수지 제체 침투누수 저감방안 이산화탄소 배출량 산정 기술 개발
 - 건설 자재 및 건설 장비 이산화탄소 배출 원단위 산출
 - 전과정 평가를 이용한 저수지 제체 침투누수 저감방안 이산화탄소 배출량 산정 기술 개발

제 2 절 연구성과 활용방안

농업용 저수지 제체의 통합적이고 체계적인 시설물 유지 관리 공법 의사결정 지원 및 경제성 평가에 활용하며, 중·장기적인 유지관리 계획 수립을 위한 보수·보강사업의 사업 비용/편익 분석에만 의존하던 것에서 벗어나 정량적인 환경성평가를 적용한 선정 기준으로 활용할 수 있다.

기관명	활 용 방 안
국가기관	<ul style="list-style-type: none"> ○ 거시적인 농업생산기반시설 관리를 위한 자료제공 및 의사결정 지원 ○ 농업용 저수지 보수공법 선정 기준 마련을 통한 지속가능한 국토자원관리 계획 수립 ○ 정부 산하기관과 연계 농업용 저수지 침투누수 저감 방안 계획 수립
정 부 산하단체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지방자치단체와 연계한 농업용 저수지 유지보수 사업 수행 ○ 적절한 유지보수를 통한 사업비 경감 등 효율적 사업 수행 ○ 중·장기적인 계획 수립
지 방 자치단체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자치단체에서 농업용 저수지 관리를 위한 의사결정 지원 ○ 부적절한 저감공법 선택으로 인한 환경성 저하 방지 ○ 적합한 농업용 저수지 관리를 통한 농업 생산기반 환경 개선

제 6 장 연구개발 관련 해외과학기술정보

1. Evaluation of recycle effect

○ 2001, Ulla-Maija Mroueh and et. al., Life-cycle impacts of the use of industrial by-products in road and earth construction, Waste Management(21), pp.271-277

- 천연물질과 재활용 물질의 환경 배출량 평가, 도로 건설에 coal ash, crushed concrete waste and granulated blast-furnace slag 물질 사용 분석
- 공기 오염물질 배출은 에너지 사용과 가장 큰 상관관계가 있음

○ 2010, O. Ortiz and et. al., Environmental performance of construction waste : Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain, Waste Management(30), pp.646-654

- 재활용, 소각, 매립으로 구분하여 건설 폐기물 처리의 환경성 분석
- 온난화지수로 분석하였으며 재활용<매립<소각 순으로 나타남

○ 2011, Mohammad Djavad Saghafi and Zahra Sadat Hosseini Teshnizi, Recycling value of building materials in buildings assessment systems, Energy and Buildings(43), pp.3181-3188

- Building system에서 LCA를 이용하여 물질과 에너지의 재활용에 대한 효과를 검증

2. Evaluation of recycle materials

○ 2006, Susanna Olsson, Erik Karrman and Jon Petter Gustafsson, Environmental systems analysis of the use of bottom ash from incineration of municipal waste for road construction, Resources, Conservation and Recycling(48), pp.26-40

- 천연도로생명주기에서 재활용물질(bottom ash)과 천연 골재 환경 영향 분석
- 도로 건설 물질의 환경영향은 이동거리, 도로로부터의 용출에서 영향을 받음
- 에너지사용은 석재 생산과 매립단계에서 발생, 중금속 용출은 도로 사용단계에서 발생

○ 2009, Jinglan Hong, Jigmin Hong, Masahiro Otaki and Olivier Jolliet, Environmental and economic life cycle assessment for sewage sludge treatment processes in Japan, Waste management(29), pp. 696-703

- sewage sludge 재활용 방법에 따른 환경 영향 평가
- dewatering/composting/drying/incineration/incinerated ash melting/dewatered sludge melting으로 구분하여 분석

- landfill/agricultural application/building materials로 구분하여 환경 영향 분석

3. LCA of road pavement

○ 2008, Chiu-Te Chiu, Tseng-Hsing Hsu and Wan-Fa Yang, Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements, Resources Conservation and Recycling(52), pp.545-556

- recycled hot mix asphalt, asphalt rubber, glassphalt의 환경 부하량 비교분석
- 지각 재료의 생성에서 시공까지의 환경 부하량 분석

○ 2009, Yue Huang, Roger Bird and Margaret Bell, A comparative study of the emissions by road maintenance works and the disrupted traffic using life cycle assessment and micro-simulation, Transportation Research Part D(14), pp.197-204

- 골재, 역청, 유화도료(emulsion), 아스팔트를 생산, 운반, 설치단계로 구분하여 공기오염물질 배출량 평가
- 도로 교통량 평가를 통하여 공기오염물질 배출량 평가

○ 2009, Yue Huang, Roger Bird and Oliver Heidrich, Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements, Journal of Cleaner Production(17), pp.283-296

- 자연골재를 waste glass, incinerator bottom ash, recycled asphalt pavements로 교체하는 효과를 분석

○ 2010, Raja Chowdhury, Defne Apul and Tim Fly, A life cycle based environmental impacts assessment of construction materials used in road construction, Resources, Conservation and Recycling(54), pp.250-255

- Fly and bottom Ash와 콘크리트 포장 순환골재의 LCA의 8가지 환경 영향으로 평가
- fly and bottom ash는 cost, GWP(Global warming potential), 산성화 잠재력이 높음 RCP는 GWP와 산성화 잠재력에서 높은 효과가 있음

○ 2010, Philip White, Jay S. Golden, Krishna P. Biligiri and Kamil Kaloush, Modeling climate change impacts of pavement production and construction, Resources, Conservation and Recycling(54), pp.776-782

- 도로 포장 재료 : Asphalt(bitumen), Asphalt rubber, Portland cement concrete, Fly ash
- 도로 시공 과정 : 재료생산, 운반, 시공

4. LCA of buildings

○ 2009, Ignacio Zabalza Bribiand, Alfonso Aranda Uson and Sabina Scarpellini, Life cycle assessment in buildings: State of the art and simplified LCA methodology as a complement for building certification, Building and Environment(44), pp.2510-2520

- embodied energy/building materials/energy consumption/use stage
- major cause is heating. the second is building materials

○ 2010, G. Verbeeck and H. Hens, Life cycle inventory of buildings: A contribution analysis, Building and Environment(45), pp.964-967

- 네 가지 건물의 에너지 사용 비교
- 내제(embodied) 에너지에 비하여 사용 에너지가 더 큼

○ 2010, T. Remesh, Ravi Prakash and K. K. Shukla, Life cycle energy analysis of buildings-An overview, Energy and Buildings(42), pp.1592-1600

- 13개 나라의 주거와 사무용 건물을 모두 포함하는 73 케이스의 연구결과 정리
- 에너지 사용 사용단계(80~90%), embodied(10~20%)

○ 2012, Usha Iyer-Raniga and James Pow Chew Wong, Evaluation of whole life cycle assessment for heritage buildings in Australia, Building and Environment(47), pp.138-149

- 건물 에너지 효율 프로그램을 이용하여 서로 다른 조건을 가진 8개 건물 분석
- 에너지 소비량, 전생애주기 환경 배출&영향 평가 실시

5. LCA of construction

○ 2010, Xiaodong Li, Yimin Zhu and Zhihui Zhang, An LCA-based environmental impact assessment model for construction porcesses, Building and Environment(45), pp.766-775

- 시공 재료와 시공 장비로 구분하여 환경에 미치는 영향 분석
- 각 유해 영향을 경제적 가치로 환산하여 정량적 영향 분석

○ 2011, Brenda Chang and Alissa Kendall, Life cycle greenhouse gas assessment of infrastructure construction for California's high-speed rail system, Transportation Research Part D(16), pp.429-434

- San Francisco-Anaheim 연결 고속 철도 온실가스 배출량 분석

- 전체 배출량 중 자체 생산 80% 운반 16%을 차지함
- 전체 구간의 16%를 차지하는 터널과 교량이 전체 배출량의 60%를 차지함

제 7 장 연구시설 장비 현황

번호	기기명	규격	가격
1	데이터수집보드	데이터수집보드, 한국내쇼날인스트루먼트, NI 9233, 4-Channel	2,499,200
2	디지털사진기	SONY,Cyber Shot DSC-P71	620,000
3	로커	대성기업사, 6인용, 900*550*2000, 코아통관, 기본형	524,880
4	공기투과도시험기	Daiei kagakuseiki, JP/AP-360	2,277,000
5	스캐너	EPSON, Perfection 1200Photo	610,742
6	시료채취기	시료채취기, 자체제작, piston corer, $\Phi 0.07 \times 10m$	2,212,810
7	시료채취기	Dionex US/AS40	770,000
8	실험실벤치	목재, 벽면형, 2400*1000*800/950	1,078,000
9	실험실벤치	목재, 벽면형, 2400*1000*800/950	1,078,000
10	실험실용주입기	Cole Paermer, US/G-74900-00	1,000,000
11	압밀시험기	ELE, GB/EL24-9095	15,325,420
12	압축시험기	혁신정밀, HS-162, 100톤, 유압식	55,101,520
13	압축시험기	압축강도시험기, 동아시아시험기, 토조실험장치, Dynamic Soil Testi	5,420,800
14	오거	에이제이월드/LBH-1, $\Phi 300mm$	1,980,000
15	인장강도시험기	한원상사, HS-302A, 200kg, 디지털식	39,820,000
16	전단기	SCOTCHMAN,US/MODEL 6509	13,900,000
17	전단력검사기	전단강도시험기, 동아시아시험기, DA-525, 디지털	13,000,000
18	전기비저항측정기	비저항측정기, Advanced Geosciences, US/Super Sting R1	33,580,000
19	탄성파탐사기	GEOMETRICS, R SERIES	11,030,120
20	토양분석기	헨손테크놀로지, KA-P, 한국형 토양전용 분석기	750,000
21	토양샘플채취장치	토양채취기, Eijkelpamp,NL/P1.01, HAND AUGER EQUIPMENT	9,020,000
22	토질액성한계시험기	흥진정밀,HJ-4100,수동식	770,000

제 8 장 참고문헌

1. 강기래, 2011, 환경재의 가치평가 적용을 위한 자연휴양림 보전가치 추정방법 비교, 박사학위논문, 경북대학교
2. 고은미, 2000, CVM에 의한 급행전철도입으로 인한 편익추정에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교
3. 김기석, 2004, 물리탐사 기법을 이용한 사력댐의 누수대 규명, 석사학위논문, 충남대학교
4. 김용복, 2005, 개량형 벤토나이트 매트 방수재의 염수 영향에 관한 연구, 석사학위 논문, 서울과학기술대학교
5. 김용수, 1998, 건축기술 건축물의 라이프 사이클 코스팅-방법과 활용 그리고 문제점, 대한건축학회지 231, pp.48-55
6. 김윤경, 2011, 환경산업연관표 2005를 이용한 산업부문의 이산화탄소 배출 분석, 한국환경경제학회지 20(1), pp. 1-31
7. 김윤덕, 차승현, 차희성, 신동우, 2009, LCC와 LCA 기법을 통합한 친환경 건축기술의 경제성 평가방법 제안, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, pp.217-221
8. 김종엽 이승언, 손장열, 2004, 건축물 건설단계에서의 에너지소비량 및 CO₂ 배출량 원단위 산출, 대한건축학회지 20(10), pp.319-326
9. 김종엽, 2005, 국내 건축물 LCA를 위한 환경부하 원단위 개발동향, 대한설비공학회지 34(12), pp. 36-45
10. 김종엽, 김성완, 손장열, 2004, 건축물 LCA를 위한 건설 자재의 환경부하 원단위 산출 연구, 대한건축학회지 20(7), pp. 211-218
11. 박광호, 황용우, 서성원, 박중현, 2000, 고속도로의 수명주기에 따른 환경부하 평가, 대한토목학회지 20(3), pp.311-321
12. 박창귀, 2009, 하이브리드 산업연관표를 이용한 우리나라 CO₂ 배출 구조 분석, 환경정책연구지 8(1), pp.49-72
13. 서성원, 지재성, 2000, 건설산업에서의 LCA 적용 방법론, 대한토목학회 48(1), pp.19-26
14. 서성원, 황용우, 김성순, 1998, 건설산업에 따른 CO₂ 배출량의 정량적 평가-건설 자재를 중심으로, 대한토목학회지 18(II-4), pp.395-405
15. 윤성이, 2002, 이산화탄소 원단위 산정방법의 문제점 비교분석, 한국전과정평가학회지 4(1), pp. 39-45
16. 윤태국, 1998, 가압시험에 의한 강널말뚝의 지수성에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교
17. 이강희, 이하식, 양재혁, 2010, 건축재료의 이산화탄소 배출원단위 변화추이연구, 한국생태환경건축학회지 10(5), 123-129
18. 이재균, 2008, 환경경제성 평가방법의 고찰, 석사학위논문, 관동대학교
19. 이진식, 2005, 아파트의 내재적 특성에 대한 한계잠재가격 및 대기질 개선에 따른 편익 추정-헤도닉 가격기법을 이용하여, 석사학위논문, 연세대학교
20. 전해요, 이종유, 방기문, 전효택, 2008, 전과정평가를 이용한 골재 재료의 환경 특성 평가, 한국지구시스템공학회지 45(6), 680-690
21. 정영선, 2010, 주거건물의 전과정에 따른 이산화탄소 배출량 예측모델에 관한 연구, 박사학

위논문, 서울시립대학교

22. 정영철, 김성은, 장영준, 김태희, 김광희, 2011, 건축공사 주요자재별 에너지소비량 및 CO₂ 배출 원단위 값 산출에 산업연관표 적용 적정성 검토 연구, 한국건축시공학회지 11(3), pp. 247-255
23. 차철, 권석현, 임병세, 박한철, 권수열, 2005, LCA 기법에 의한 건설단계별 환경부하량 산출, 대한토목학회지 53(6), 62-69
24. 최기관, 2002, L.W 공법을 이용한 저수지 제당의 보강효과, 석사학위논문, 조선대학교
25. 최중길, 2011, 민간부문의 친환경건축물 건설 활성화를 위한 경제성 평가에 관한 연구, 석사학위논문, 숭실대학교
26. 한국은행, 2011, 2009년 산업연관표, 한국은행
27. 홍태훈 등, 2012, 친환경 건축물 확산을 위한 환경부하 및 경제성 평가, 건축환경설비
28. 황용우, 2000, 건설산업의 종합적인 환경부하 평가를 위한 LCA의 필요성, 대한토목학회지 48(1), pp.13-18
29. 황용우, 2002, 환경친화적인 건축물을 위한 LCA 기법의 적용, 한국그린빌딩협의회 3(3), pp.57-63
30. Brenda Chang and Alissa Kendall, 2011, Life cycle greenhouse gas assessment of infrastructure construction for California's high-speed rail system, Transportation Research Part D(16), pp.429-434
31. Chiu-Te Chiu, Tseng-Hsing Hsu and Wan-Fa Yang, 2008, Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements, Resources Conservation and Recycling(52), pp.545-556
32. G. Verbeeck and H. Hens, 2010, Life cycle inventory of buildings: A contribution analysis, Building and Environment(45), pp.964-967
33. Ignacio Zabalza Bribiand, Alfonso Aranda Uson and Sabina Scarpellini, 2009, Life cycle assessment in buildings: State of the art and simplified LCA methodology as a complement for building certification, Building and Environment(44), pp.2510-2520
34. IPCC, 2006, Guideline for National GHG Inventories
35. ISO, 1997, Environmental management-Life Cycle assessment-principles and framework, Draft International Standard, ISO/DIS 14040, International Organization for Standardization (ISO)
36. Jinglan Hong, Jigmin Hong, Masahiro Otaki and Olivier Jolliet, 2009, Environmental and economic life cycle assessment for sewage sludge treatment processes in Japan, Waste management(29), pp. 696-703
37. Mohammad Djavah Saghafi and Zahra Sadat Hosseini Teshnizi, 2011, Recycling value of building materials in buildings assessment systems, Energy and Buildings(43), pp.3181-3188
38. O. Ortiz and et. al., 2010, Environmental performance of construction waste : Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain, Waste Management(30), pp.646-654
39. Philip White, Jay S. Golden, Krishna P. Biligiri and Kamil Kaloush, 2010, Modeling

- climate change impacts of pavement production and construction, *Resources, Conservation and Recycling*(54), pp.776-782
40. Raja Chowdhury, Defne Apul and Tim Fly, 2010, A life cycle based environmental impacts assessment of construction materials used in road construction, *Resources, Conservation and Recycling*(54), pp.250-255
 41. Susanna Olsson, Erik Karrman and Jon Petter Gustafsson, 2006, Environmental systems analysis of the use of bottom ash from incineration of municipal waste for road construction, *Resources, Conservation and Recycling*(48), pp.26-40
 42. T. Remesh, Ravi Prakash and K. K. Shukla, 2010, Life cycle energy analysis of buildings-An overview, *Energy and Buildings*(42), pp.1592-1600
 43. Ulla-Maija Mroueh and et. al., 2011, Life-cycle impacts of the use of industrial by-products in road and earth construction, *Waste Management*(21), pp.271-277
 44. Usha Iyer-Raniga and James Pow Chew Wong, 2012, Evaluation of whole life cycle assessment for heritage buildings in Australia, *Building and Environment*(47), pp.138-149
 45. Xiaodong Li, Yimin Zhu and Zhihui Zhang, 2010, An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes, *Building and Environment*(45), pp.766-775
 46. Yue Huang, Roger Bird and Margaret Bell, 2009, A comparative study of the emissions by road maintenance works and the disrupted traffic using life cycle assessment and micro-simulation, *Transportation Research Part D*(14), pp.197-204
 47. Yue Huang, Roger Bird and Oliver Heidrich, 2009, Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements, *Journal of Cleaner Production*(17), pp.283-296

Appendix 1. 산업연관표를 이용한 403 분야 이산화탄소 배출계수

(단위 : kg-CO₂/원)

번호	부분명칭	직접탄소배출계수	직간접탄소배출계수
001	벼	2.133E-05	2.078E-04
002	보리	8.200E-05	1.896E-04
003	밀	1.224E-04	1.712E-04
004	잡곡	1.256E-05	2.111E-04
005	채소	5.915E-05	1.573E-04
006	과실	4.980E-05	8.798E-05
007	콩류	1.879E-05	1.328E-04
008	감자류	1.005E-05	4.379E-05
009	유지작물	4.897E-06	3.033E-05
010	약용작물	1.013E-05	3.529E-05
011	기타 식용작물	2.172E-05	4.109E-05
012	섬유작물	4.990E-06	6.796E-05
013	잎담배	5.385E-05	5.434E-05
014	화훼작물	3.170E-04	3.501E-04
015	천연고무	0.000E+00	6.250E-05
016	종자 및 묘목	5.095E-05	5.593E-05
017	기타 비식용작물	3.212E-05	4.214E-05
018	낙농	4.146E-06	4.052E-05
019	육우	3.332E-06	1.294E-04
020	양돈	2.653E-06	1.728E-04
021	가금	5.358E-06	9.725E-05
022	기타축산	1.109E-05	6.872E-05
023	영립	1.387E-05	1.541E-04
024	원목	4.442E-05	5.719E-04
025	식용임산물	5.308E-06	2.731E-05
026	기타 임산물	3.954E-05	4.829E-05
027	수산어획	2.676E-04	3.970E-04
028	수산양식	7.068E-05	1.398E-04
029	농림어업서비스	3.031E-04	4.041E-04
030	무연탄	1.533E-05	2.459E-02
031	유연탄	0.000E+00	2.476E-02
032	원유	3.748E-05	7.380E-03
033	천연가스(LNG)	3.790E-05	8.139E-03
034	철광석	1.314E-04	1.016E-03
035	동광석	0.000E+00	3.617E-04
036	연 및 아연광석	2.018E-04	4.206E-04
037	기타비철금속광석	2.368E-04	4.794E-04
038	모래및자갈	9.229E-05	1.108E-04
039	쇄석	2.455E-04	2.810E-04
040	기타 건설용석재	4.746E-04	4.776E-04
041	석회석	1.105E-04	1.133E-03
042	요업원료광물	1.426E-04	2.915E-04
043	원염	5.861E-05	8.852E-05
044	기타 비금속광물	7.351E-05	4.662E-04
045	도축육	5.385E-07	3.158E-04
046	가금육	2.269E-05	7.954E-05

Appendix 1. 산업연관표를 이용한 403 분야 이산화탄소 배출계수 (이어서)

(단위 : kg-CO₂/원)

번호	부분명칭	직접탄소배출계수	직간접탄소배출계수
047	육가공품	2.292E-05	5.856E-05
048	우유	2.196E-05	4.427E-05
049	유제품	1.844E-05	5.348E-05
050	아이스크림	2.986E-05	4.446E-05
051	어육 및 어묵	2.372E-05	5.138E-05
052	수산물통조림	3.516E-05	4.269E-05
053	수산물냉동품	1.201E-05	8.463E-05
054	수산물저장품	1.776E-05	2.984E-05
055	기타 수산물가공품	2.730E-05	4.771E-05
056	정미	1.248E-06	1.848E-04
057	정맥	4.303E-07	3.400E-06
058	제분	8.728E-06	4.988E-05
059	원당	0.000E+00	8.990E-05
060	정제당	6.857E-05	1.069E-04
061	전분	1.000E-04	1.719E-04
062	당류	6.157E-05	8.330E-05
063	빵 및 곡분과자	3.375E-05	6.193E-05
064	코코아제품 및 설탕과자	2.888E-05	4.212E-05
065	국수류	2.337E-05	3.880E-05
066	발효 및 합성조미료	9.867E-05	1.027E-04
067	기타조미료	2.027E-05	7.821E-05
068	장류	2.689E-05	4.890E-05
069	동물성유지	9.458E-05	1.243E-04
070	식물성 유지	8.682E-05	2.415E-04
071	과실 및 채소가공품	3.713E-05	1.064E-04
072	커피 및 차류	4.421E-05	7.448E-05
073	인삼식품	2.683E-05	3.741E-05
074	누룩 및 맥아	1.878E-04	1.991E-04
075	두부	1.348E-04	1.489E-04
076	기타 식료품	2.976E-05	4.926E-05
077	주정	2.328E-04	2.921E-04
078	소주	5.324E-06	4.886E-05
079	맥주	9.140E-06	6.463E-05
080	기타주류	2.906E-05	5.897E-05
081	비알콜성 음료	3.459E-05	9.085E-05
082	생수 및 얼음	1.556E-05	2.833E-05
083	사료	1.763E-05	3.049E-04
084	담배	7.553E-06	9.571E-06
085	모사	2.351E-05	1.179E-04
086	면사	5.025E-05	1.071E-04
087	견사 및 마사	2.324E-05	6.120E-05
088	재생섬유사	5.301E-05	6.357E-05
089	합성섬유사	6.277E-05	8.862E-05
090	재봉사 및 기타 섬유사	7.052E-05	9.567E-05
091	모직물	9.572E-05	9.989E-05
092	면직물	2.345E-05	4.062E-05

Appendix 1. 산업연관표를 이용한 403 분야 이산화탄소 배출계수 (이어서)

(단위 : kg-CO₂/원)

번호	부분명칭	직접탄소배출계수	직간접탄소배출계수
093	견직물 및 마직물	3.000E-05	3.394E-05
094	재생섬유직물	1.502E-05	1.916E-05
095	합성섬유직물	8.799E-05	1.160E-04
096	기타섬유직물	3.373E-05	5.545E-05
097	편조원단	2.363E-05	3.312E-05
098	섬유표백및염색	2.489E-04	3.407E-04
099	편직제의류	4.790E-05	6.145E-05
100	편직제장신품	5.446E-05	9.754E-05
101	직물제의류	2.208E-05	1.407E-04
102	기타장신품	2.521E-05	3.973E-05
103	가죽의류	1.961E-05	2.106E-05
104	모피의류	3.111E-06	3.577E-06
105	직물제품	2.038E-05	1.155E-04
106	기타섬유제품	7.235E-05	1.565E-04
107	끈,로프및어망	2.531E-05	6.185E-05
108	가죽	1.440E-06	5.658E-05
109	모피	5.446E-05	5.721E-05
110	가방및핸드백	2.291E-05	5.589E-05
111	가죽신발	2.267E-05	3.987E-05
112	운동화및기타신발	2.114E-05	4.621E-05
113	기타가죽제품	3.514E-05	4.143E-05
114	제재목	3.501E-05	5.980E-04
115	합판	2.025E-05	7.440E-05
116	재생및강화목재	1.253E-04	1.609E-04
117	건축용목제품	1.867E-05	2.373E-05
118	목제품용기	1.658E-05	1.044E-04
119	기타목제품	1.664E-05	3.596E-05
120	펄프	9.607E-05	5.991E-04
121	신문용지	1.699E-04	2.187E-04
122	인쇄용지	1.056E-04	2.144E-04
123	기타원지및판지	1.565E-04	5.625E-04
124	골판지및골판지상자	3.312E-05	2.711E-04
125	종이용기	1.970E-05	1.872E-04
126	종이문구및사무용지	4.064E-05	8.442E-05
127	위생용종이제품	7.541E-05	1.336E-04
128	기타종이제품	5.598E-05	2.174E-04
129	인쇄	2.434E-05	3.737E-04
130	기록매체출판및복제	7.696E-05	1.019E-04
131	연탄	1.955E-02	1.956E-02
132	기타석탄제품	2.033E-02	2.317E-02
133	나프타	1.495E-05	1.337E-03
134	휘발유	3.859E-05	4.719E-04
135	제트유	8.498E-05	2.027E-04
136	등유	4.884E-05	2.387E-04
137	경유	4.017E-05	3.607E-03
138	중유	2.512E-05	2.383E-03

Appendix 1. 산업연관표를 이용한 403 분야 이산화탄소 배출계수 (이어서)

(단위 : kg-CO₂/원)

번호	부분명칭	직접탄소배출계수	직간접탄소배출계수
139	액화석유가스	6.095E-05	1.062E-03
140	윤활유제품	9.989E-05	7.350E-04
141	기타석유정제품	5.227E-05	4.045E-04
142	석유화학기초제품	7.310E-06	1.371E-03
143	석유화학중간제품	1.447E-05	8.288E-04
144	석탄화합물	9.415E-05	1.478E-04
145	기타기초유기화합물	3.220E-05	4.819E-04
146	산업용가스	4.668E-05	1.824E-04
147	기초무기화합물	2.982E-04	1.224E-03
148	합성수지	1.270E-05	7.836E-04
149	합성고무	3.094E-05	1.195E-04
150	재생섬유	2.622E-04	3.031E-04
151	합성섬유	3.278E-05	1.854E-04
152	질소화합물	1.242E-04	2.181E-04
153	비료	7.846E-05	2.901E-04
154	농약	1.874E-05	1.056E-04
155	의약품	2.204E-05	1.973E-04
156	화장품및치약	8.552E-06	4.304E-05
157	비누및세제	3.455E-05	1.361E-04
158	염료,안료및유연제	5.260E-05	2.728E-04
159	도료	2.597E-05	2.096E-04
160	잉크	6.972E-05	1.191E-04
161	접착제및젤라틴	5.252E-05	1.456E-04
162	화약및불꽃제품	6.157E-05	3.653E-04
163	전자기기용기록매체	7.612E-06	3.518E-05
164	사진용화학제품	3.310E-05	6.912E-05
165	기타화학제품	4.767E-05	6.355E-04
166	플라스틱1차제품	4.516E-05	4.304E-04
167	산업용플라스틱제품	5.079E-05	9.355E-04
168	가정용플라스틱제품	2.214E-05	6.902E-05
169	타이어및튜브	3.557E-05	2.555E-04
170	산업용고무제품	3.841E-05	2.912E-04
171	기타고무제품	6.039E-05	1.380E-04
172	판유리및1차유리	6.262E-04	6.966E-04
173	산업용유리제품	1.297E-04	2.833E-04
174	기타유리제품	3.277E-04	3.356E-04
175	산업용도자기	2.392E-04	2.536E-04
176	가정용도자기	3.142E-04	3.248E-04
177	내화요업제품	2.082E-04	5.527E-04
178	건설용접토제품	5.530E-04	5.682E-04
179	시멘트	6.884E-03	7.037E-03
180	레미콘	9.275E-05	1.471E-04
181	콘크리트제품	1.631E-04	2.097E-04
182	석회및석고제품	6.337E-04	8.277E-04
183	석제품	2.254E-05	4.979E-05
184	석면및암면제품	3.058E-04	3.561E-04

Appendix 1. 산업연관표를 이용한 403 분야 이산화탄소 배출계수 (이어서)

(단위 : kg-CO₂/원)

번호	부분명칭	직접탄소배출계수	직간접탄소배출계수
185	연마제	9.307E-05	1.124E-04
186	아스팔트제품	1.050E-04	1.200E-04
187	기타토석제품	1.277E-04	2.483E-04
188	선철	8.443E-04	2.766E-03
189	합금철	3.731E-04	5.673E-04
190	조강	6.743E-05	2.025E-03
191	철근및봉강	2.339E-05	3.867E-04
192	형강	4.205E-05	2.920E-04
193	선재및케조	2.301E-05	3.252E-04
194	열간압연강재	3.331E-05	1.557E-03
195	강관(주철강관제외)	3.069E-05	8.137E-04
196	냉간압연강재	1.167E-05	3.068E-04
197	주철물	4.512E-05	2.640E-04
198	철강단조물	7.373E-05	1.919E-04
199	표면처리강재	3.731E-05	3.165E-04
200	기타철강1차제품	1.350E-05	5.694E-04
201	동괴	3.181E-05	3.643E-04
202	알루미늄괴	1.025E-04	8.171E-04
203	연 및 아연괴	1.638E-04	3.142E-04
204	금은괴	4.627E-05	2.122E-04
205	기타 비철금속괴	5.184E-05	2.678E-04
206	동1차제품	3.564E-05	2.573E-04
207	알루미늄1차제품	6.735E-05	2.675E-04
208	기타비철금속1차제품	7.016E-05	2.696E-04
209	건물용금속제품	4.872E-05	9.589E-05
210	구조물용 금속제품	8.239E-06	1.676E-03
211	설치용금속탱크및저장용기	2.486E-05	8.875E-05
212	금속포장용기	4.786E-05	2.056E-04
213	공구류	2.270E-05	2.697E-04
214	나사제품	3.243E-05	2.047E-04
215	철선제품	4.243E-05	3.368E-04
216	부작용금속제품	2.970E-05	8.052E-05
217	금속처리	1.910E-04	5.944E-04
218	가정용금속제품	2.073E-05	4.317E-05
219	기타금속제품	2.882E-05	5.471E-04
220	내연기관 및 터빈	1.931E-05	2.843E-04
221	밸브	3.437E-05	6.861E-04
222	베어링,기어및전동요소	2.061E-05	4.042E-04
223	산업용운반기계	1.691E-05	9.067E-05
224	공기조절장치및냉장냉동장비	1.905E-05	9.330E-05
225	보일러	3.169E-05	7.071E-05
226	난방및조리기기	5.295E-05	7.276E-05
227	펌프및압축기	2.418E-05	9.916E-04
228	공기및액체여과청정기	1.279E-05	1.479E-04
229	기타일반목적용기계	1.777E-05	2.058E-04
230	금속절삭가공기계	2.539E-05	1.043E-04

Appendix 1. 산업연관표를 이용한 403 분야 이산화탄소 배출계수 (이어서)

(단위 : kg-CO₂/원)

번호	부분명칭	직접탄소배출계수	직간접탄소배출계수
231	금속성형처리기계	1.241E-05	7.754E-05
232	농업용기계	1.509E-05	3.557E-05
233	건설및광물처리기계	1.320E-05	3.003E-04
234	음식품가공기계	4.066E-05	5.752E-05
235	섬유기계	2.568E-05	6.099E-05
236	금형및주형	1.921E-05	3.535E-04
237	제지및인쇄용기계	1.785E-05	4.181E-05
238	반도체제조용기계	1.224E-05	2.744E-05
239	기타특수목적용기계	1.487E-05	1.527E-04
240	발전기및전동기	3.055E-05	3.255E-04
241	변압기	2.793E-05	8.467E-05
242	기타전기변환장치	1.227E-05	1.059E-04
243	전기공급및제어장치	1.411E-05	3.511E-04
244	전선및케이블	1.966E-05	3.745E-04
245	전지	3.545E-05	3.920E-04
246	전구램프및조명장치	7.303E-05	2.040E-04
247	기타 전기장치	1.470E-05	2.175E-04
248	전자관	2.933E-05	3.349E-05
249	디지털표시장치	1.968E-05	1.085E-04
250	개별소자	1.094E-05	1.090E-04
251	집적회로(IC)	7.006E-06	2.304E-04
252	저항기및축전기	7.509E-06	5.854E-05
253	전자코일및변성기	2.589E-05	4.550E-05
254	인쇄회로기판	1.879E-05	1.075E-04
255	기타전자부품	9.745E-06	6.695E-05
256	TV	6.728E-06	1.637E-05
257	음향기기	5.536E-06	1.726E-05
258	기타영상·음향기기	3.463E-06	1.141E-05
259	유선통신기기	9.604E-06	5.235E-05
260	무선통신단말기	5.792E-06	8.412E-05
261	무선통신시스템 및 방송장비	1.034E-05	4.436E-05
262	컴퓨터및주변기기	2.310E-06	1.339E-04
263	사무용기기	6.038E-06	1.706E-05
264	가정용냉장고및냉동고	8.855E-06	1.178E-05
265	가정용세탁기	3.668E-05	5.103E-05
266	가정용전열기기	4.317E-05	6.878E-05
267	기타가정용전기기기	1.612E-05	3.868E-05
268	의료기기	2.371E-05	6.119E-05
269	자동조정및제어기기	1.288E-05	1.139E-04
270	측정및분석기기	7.257E-06	1.467E-04
271	촬영기및영사기	3.079E-05	7.183E-05
272	기타광학기기	8.774E-06	1.915E-05
273	시계	6.469E-06	1.974E-05
274	승용차	1.197E-05	1.245E-05
275	승합차	1.757E-05	1.773E-05
276	화물자동차	2.178E-05	2.608E-05

Appendix 1. 산업연관표를 이용한 403 분야 이산화탄소 배출계수 (이어서)

(단위 : kg-CO₂/원)

번호	부분명칭	직접탄소배출계수	직간접탄소배출계수
277	특장차	3.215E-05	3.215E-05
278	자동차용엔진	1.655E-05	9.226E-05
279	자동차부분품	9.948E-06	1.563E-03
280	트레일러및콘테이너	1.918E-05	2.523E-05
281	강철제선박	5.294E-06	1.529E-05
282	기타선박	9.317E-06	9.545E-06
283	선박수리및부분품	1.712E-05	1.769E-04
284	철도차량	1.051E-05	1.001E-03
285	항공기	8.820E-06	9.431E-05
286	모터사이클	3.995E-05	5.701E-05
287	자전거및기타운수장비	1.450E-05	2.402E-04
288	목재가구	1.275E-05	2.987E-05
289	금속가구	1.944E-05	3.384E-05
290	기타가구	1.836E-05	6.050E-05
291	장난감및오락용품	1.169E-05	1.590E-05
292	운동및경기용품	3.278E-05	5.349E-05
293	악기	2.056E-05	2.628E-05
294	문방구	1.750E-05	4.856E-05
295	귀금속및보석	7.560E-07	4.634E-06
296	모형및장식용품	3.203E-05	1.034E-04
297	기타제조업제품	6.809E-05	9.926E-05
298	수력	1.566E-05	5.842E-05
299	화력	7.958E-03	1.012E-02
300	원자력	1.542E-05	1.070E-03
301	기타발전	3.027E-03	3.732E-03
302	도시가스	4.096E-03	9.372E-03
303	증기 및 온수공급업	3.969E-03	4.694E-03
304	수도	1.921E-05	2.862E-04
305	주택건축	1.876E-05	1.876E-05
306	비주택건축	1.982E-05	1.982E-05
307	건축보수	1.166E-05	3.997E-04
308	도로시설	6.145E-05	6.145E-05
309	철도시설	4.859E-05	4.859E-05
310	지하철시설	2.892E-05	2.892E-05
311	항만시설	1.362E-04	1.362E-04
312	공항시설	9.262E-05	9.262E-05
313	하천사방	1.136E-04	1.136E-04
314	상하수도시설	6.130E-05	6.130E-05
315	농림수산토목	1.272E-04	1.272E-04
316	도시토목	9.769E-05	9.769E-05
317	전력시설	2.444E-05	2.444E-05
318	통신시설	4.309E-05	4.309E-05
319	기계조립설치	2.446E-05	2.446E-05
320	기타건설	4.778E-05	4.778E-05
321	도매	5.347E-05	2.810E-03
322	소매	4.496E-05	1.145E-03

Appendix 1. 산업연관표를 이용한 403 분야 이산화탄소 배출계수 (이어서)

(단위 : kg-CO₂/원)

번호	부분명칭	직접탄소배출계수	직간접탄소배출계수
323	일반음식점	1.162E-04	1.714E-03
324	주점	3.317E-05	3.206E-04
325	기타음식점	5.426E-05	1.076E-04
326	숙박	1.490E-04	3.658E-04
327	철도여객운송	1.324E-04	3.342E-04
328	철도화물운송	3.140E-04	2.495E-03
329	도로여객운송	4.591E-04	8.385E-04
330	도로화물운송	4.815E-04	4.963E-03
331	택배	5.108E-04	6.273E-04
332	연안및내륙수상운송	7.040E-04	8.747E-04
333	외항운송	9.452E-04	1.708E-03
334	항공운송	3.319E-06	3.334E-04
335	육상운수보조서비스	2.612E-05	5.077E-04
336	수상운수보조서비스	1.627E-04	3.589E-04
337	항공운수보조서비스	1.873E-05	7.862E-05
338	하역	1.210E-04	3.343E-04
339	보관및창고	4.944E-05	1.312E-04
340	기타운수관련서비스	2.709E-05	5.609E-04
341	우편	2.893E-05	2.101E-04
342	전화	8.696E-06	9.256E-04
343	초고속망서비스	2.919E-05	2.143E-04
344	부가통신	1.416E-05	2.440E-04
345	정보서비스	1.387E-05	1.456E-04
346	지상파방송	9.758E-06	1.921E-04
347	유선 및 위성방송	9.143E-06	1.704E-04
348	중앙은행 및 은행예금취급기관	1.354E-05	1.587E-03
349	비은행예금취급기관	9.075E-06	1.141E-03
350	기타금융중개기관	8.993E-06	7.137E-04
351	생명보험	1.386E-05	1.392E-05
352	비생명보험	1.005E-05	1.377E-03
353	금융 및 보험관련서비스	3.197E-06	6.382E-04
354	주거서비스	0.000E+00	0.000E+00
355	부동산임대 및 공급	6.877E-05	1.371E-03
356	부동산관련서비스	1.303E-05	1.363E-04
357	연구기관(국공립)	3.133E-05	7.040E-05
358	연구기관(비영리)	2.911E-05	6.053E-05
359	연구기관(산업)	3.268E-05	7.872E-05
360	기업내연구개발	1.380E-05	1.423E-03
361	법무및회계서비스	1.735E-05	8.492E-04
362	시장조사 및 경영컨설팅	4.146E-05	4.719E-04
363	광고	9.721E-06	5.531E-04
364	건축공학관련서비스	2.607E-05	5.956E-05
365	기타공학관련서비스	1.855E-05	2.615E-03
366	소프트웨어개발공급	1.149E-05	6.592E-05
367	컴퓨터관련서비스	1.233E-05	6.199E-04
368	기계장비및용품임대	3.651E-05	2.955E-04

Appendix 1. 산업연관표를 이용한 403 분야 이산화탄소 배출계수 (이어서)

(단위 : kg-CO₂/원)

번호	부분명칭	직접탄소배출계수	직간접탄소배출계수
369	청소및소독서비스	3.062E-05	4.593E-04
370	인력공급 및 알선	1.433E-05	3.469E-04
371	기타 사업서비스	2.897E-05	9.665E-04
372	중앙정부	3.198E-05	5.026E-04
373	지방정부	1.388E-05	3.104E-05
374	교육기관(국공립)	6.665E-05	6.665E-05
375	교육기관(비영리)	5.440E-05	5.440E-05
376	교육기관(산업)	8.239E-05	1.545E-04
377	의료및보건(국공립)	6.308E-05	7.522E-05
378	의료및보건(비영리)	4.358E-05	2.712E-04
379	의료및보건(산업)	2.909E-05	8.587E-05
380	사회복지사업(국공립)	4.000E-05	4.000E-05
381	사회복지사업(비영리)	1.164E-04	1.164E-04
382	위생서비스(국공립)	1.089E-04	1.337E-04
383	위생서비스(산업)	1.331E-04	4.934E-04
384	신문	3.088E-05	1.692E-04
385	출판	2.530E-05	1.789E-04
386	문화서비스(국공립)	1.058E-04	1.297E-04
387	문화서비스(기타)	4.770E-05	6.492E-05
388	영화제작 및 배급	2.712E-05	1.787E-04
389	영화상영	6.043E-05	6.210E-05
390	연극,음악및기타예술	2.240E-05	1.225E-04
391	운동및경기관련서비스	1.448E-04	3.332E-04
392	기타오락서비스	2.961E-05	3.800E-05
393	산업및전문단체	3.364E-05	2.470E-04
394	기타 사회단체(비영리)	5.279E-05	5.279E-05
395	자동차수리서비스	2.583E-05	2.256E-04
396	기타개인수리서비스	2.460E-05	4.615E-05
397	세탁	3.247E-05	5.355E-05
398	이용및미용	2.991E-05	6.110E-05
399	가사서비스	2.721E-05	2.941E-05
400	기타개인서비스	1.669E-04	2.237E-04
401	사무용품	0.000E+00	2.292E-04
402	가계외소비지출	0.000E+00	3.159E-03
403	분류불명	7.156E-05	2.656E-04

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
001	****	벼	006	0100	사과
001	0100	벼	006	0200	감귤
001	9900	부산물	006	0300	배
002	****	보리	006	0400	복숭아
002	0100	보리(대맥, 나맥 포함)	006	0500	감
002	0200	맥주보리	006	0600	포도
002	8800	기타	006	8800	기타
002	9900	부산물	007	****	콩류
003	****	밀	007	0100	콩(대두)
003	0100	밀(소맥)	007	0200	땅콩(낙화생)
003	9900	부산물	007	8800	기타
004	****	잡곡	007	9900	부산물
004	0100	옥수수	008	****	감자류
004	8800	기타	008	0100	감자
004	9900	부산물	008	0200	고구마
005	****	채소	008	0300	기타
005	0101	배추	008	9900	부산물
005	0102	양배추	009	****	유지작물
005	0103	시금치	009	0100	참깨
005	0104	상추	009	0200	들깨
005	0188	기타	009	8800	기타
005	0201	무우	009	9900	부산물
005	0202	당근	010	****	약용작물
005	0288	기타	010	0100	인삼
005	0301	고추	010	0200	한약재료
005	0302	마늘	010	8800	기타
005	0303	파	011	****	기타식용작물
005	0304	양파	011	0100	음료용작물
005	0305	생강	011	0200	호프
005	0388	기타	011	8800	기타
005	0401	수박	012	****	섬유작물
005	0402	참외	012	0100	원면(면화)
005	0403	오이	012	0200	삼(대마)
005	0404	호박	012	8800	기타
005	0405	토마토	013	****	잎담배
005	0406	딸기	014	****	화훼작물
005	0488	기타	014	0100	절화류
005	0500	버섯류	014	0200	분화류
005	8800	기타	014	0300	화목류
006	****	과실	014	0400	관상수류

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
037	8800	기타	049	****	유제품
038	****	모래 및 자갈	049	0100	분유
038	0100	모래	049	0200	요구르트
038	0200	자갈	049	8801	버터
039	****	쇄석	049	8802	치즈
040	****	기타 건설용석재	049	8888	기타
040	0100	화강암	050	****	아이스크림
040	0200	대리석	051	****	어육및어묵
040	8800	기타	051	0100	어육
041	****	석회석	051	0200	어묵
041	0100	석회석	051	0300	생선소시지 및 햄
041	8800	기타	051	8800	기타
042	****	요업원료광물	052	****	수산물통조림
042	0100	고령토(백토)	052	0100	참치통조림
042	0200	규사 및 규석	052	0200	골뱅이통조림
042	8800	기타	052	0300	굴통조림
043	****	원염	052	8800	기타
043	0100	천일염	053	****	수산물냉동품
043	0200	암염	053	0100	참치냉동품
044	****	기타비금속광물	053	0200	고등어냉동품
044	0100	활석	053	0300	명태냉동품
044	0200	천연인산칼슘	053	8800	기타
044	8800	기타	054	****	수산물저장품
045	****	도축육	054	0101	명태건제품
045	0100	쇠고기	054	0102	멸치건제품
045	0200	돼지고기	054	0103	오징어류건제품
045	8800	기타	054	0188	기타
045	9901	원피	054	0201	젓갈류
045	9988	기타	054	0202	염장품
046	****	가금육	054	8800	기타
046	0100	닭고기	055	****	기타수산물 가공품
046	8800	기타	055	0101	김
046	9900	부산물	055	0102	미역
047	****	육가공품	055	0188	기타
047	0100	햄및베이컨	055	0200	조미가공품
047	0200	소시지	055	8800	기타
047	0300	고기통조림	056	****	정미
047	0400	육조리식품	056	0100	쌀
047	8800	기타	056	9900	부산물
048	****	우유	057	****	정맥

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
057	0100	보리쌀	066	0200	식초
057	8800	기타	066	8800	기타
057	9900	부산물	067	****	기타조미료
058	****	제분	067	0101	고추가루
058	0100	밀가루	067	0102	후추가루
058	8800	기타	067	0188	기타
058	9901	소맥피	067	0200	맛소금
058	9988	기타	067	0301	마요네즈
059	****	원당	067	0302	케찹
060	****	정제당	067	0303	카레
060	0100	설탕	067	0388	기타
060	8800	기타	067	0400	커피크리머
061	****	전분	067	8800	기타
061	0100	전분	068	****	장류
061	0200	전분가공품	068	0100	간장
061	8800	기타	068	0200	된장
062	****	당류	068	0300	고추장
062	0100	포도당	068	8801	춘장
062	0200	물엿	068	8802	메주
062	0300	과당	068	8888	기타
062	8800	기타	069	****	동물성유지
063	****	빵및곡분과자	069	0100	수산동물유지
063	0100	빵류	069	0200	육지동물유지
063	0200	떡	069	0300	어분및어박
063	0301	미과	069	8800	기타
063	0388	기타	069	9900	동물성지방 부산물
063	8800	기타	070	****	식물성유지
064	****	코코아제품 및 설탕과자	070	0101	참기름
064	0100	초콜렛과자	070	0102	들기름
064	0200	캔디류	070	0103	대두유(콩기름)
064	0300	껌	070	0104	옥배유(옥수수유)
064	8800	기타	070	0188	기타
065	****	국수류	070	0201	마가린
065	0101	국수	070	0202	쇼트닝
065	0102	당면	070	8800	기타
065	0103	냉면	070	9901	대두박(大豆粕)
065	0200	라면	070	9988	기타
065	8800	기타	071	****	과실및채소가공품
066	****	발효 및 합성조미료	071	0101	과실통조림
066	0100	화학조미료	071	0102	잼및젤리통조림

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
071	0103	채소통조림	078	****	소주
071	0201	냉동과실	079	****	맥주
071	0202	냉동채소	080	****	기타주류
071	0301	건조및탈수과실	080	0101	위스키
071	0302	건조및탈수채소	080	0188	기타
071	0401	김치	080	0201	탁주
071	0402	단무지	080	0202	약주
071	0488	기타	080	0300	청주
071	0500	음료원액	080	0401	포도주및삼페인
071	8800	기타	080	0402	매실주
072	****	커피및차류	080	0488	기타
072	0100	커피	080	8800	기타
072	0200	녹차및홍차	081	****	비알콜음료
072	8801	유자차	081	0100	탄산음료
072	8802	꿀차	081	0200	과실및채소음료
072	8803	율무차	081	0301	알카리성이온음료
072	8888	기타	081	0302	식물성섬유음료
073	****	인삼식품	081	0400	두유
073	0100	백삼	081	8801	인삼음료
073	0200	홍삼	081	8802	커피음료
073	0300	인삼차(홍삼차)	081	8888	기타
073	0400	인삼농축액	082	****	생수및얼음
073	8801	인삼과자	082	0100	광천수및생수
073	8802	인삼분말	082	0200	얼음
073	8888	기타	083	****	사료
074	****	누룩및맥아	083	0100	배합사료
074	0100	누룩및효모	083	0200	애완동물사료
074	0200	맥아	083	8800	기타
074	8800	기타	084	****	담배
075	****	두부	084	0100	담배
075	0100	두부	084	8800	기타
075	0200	묵및유부	085	****	모사
076	****	기타식료품	085	0100	소모사
076	0100	도시락및식사용조리식품	085	0200	방모사
076	0201	조제분말	085	0300	울톱
076	0202	조제수프	085	8800	기타
076	8801	곡물가공식품	086	****	면사
076	8802	건강보조식품	086	0100	순면사
076	8888	기타	086	0200	혼방면사
077	****	주정	086	8800	기타

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
087	****	견사 및 마사	099	0202	여성용셔츠및브라우스
087	0100	견사	099	0300	스웨터
087	0200	마사	099	8800	기타
088	****	재생섬유사	100	****	편직제장신품
089	****	합성섬유사	100	0101	스타킹
090	****	재봉사및기타섬유사	100	0102	양말
090	0100	재봉사	100	0200	장갑
090	8800	기타	100	8800	기타
091	****	모직물	101	****	직물제의류
091	0100	소모직물	101	0101	남자용
091	0200	방모직물	101	0102	여자용
091	8800	기타	101	0201	셔츠
092	****	면직물	101	0202	운동복
092	0100	순면직물	101	0203	내의및잠옷
092	0200	혼방면직물	101	0288	기타
092	8800	기타	101	0300	유아용의복
093	****	견직물 및 마직물	101	0400	전통의복
093	0100	견직물	101	8800	기타
093	0200	마직물	102	****	기타장신품
094	****	재생섬유직물	102	0100	모자
095	****	합성섬유직물	102	0200	장갑
096	****	기타섬유직물	102	0301	타이및목도리
096	0100	세폭직물	102	0302	벨트
096	0200	파일및셔닐직물	102	0303	손수건
096	0300	유리섬유직물	102	0388	기타
096	8800	기타	102	8800	기타
097	****	편조원단	103	****	가죽의류
097	0100	편조물	104	****	모피의류
097	0200	레이스원단	104	0100	천연모피의류
097	8800	기타	104	0200	인조모피의류
098	****	섬유표백및염색	104	8800	기타
098	0100	섬유사염색	105	****	직물제품
098	0200	직물및편조원단염색	105	0100	직물포대
098	0300	날염	105	0201	이불
098	8800	기타	105	0202	담요
099	****	편직제의류	105	0203	침구용카바
099	0101	남성용속옷	105	0204	커튼
099	0102	여성용속옷	105	0288	기타
099	0103	유아용속옷	105	0301	자수제품
099	0201	남성용셔츠	105	0302	장식용트리밍

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
105	0400	카바	112	****	운동화및기타신발
105	0501	텐트	112	0100	운동화
105	0588	기타	112	0200	스포츠화
105	0600	카페트	112	0300	고무및플라스틱성형신발
105	0700	타월	112	6600	신발부분품
105	8800	기타	112	8800	기타
106	****	기타섬유제품	113	****	기타가죽제품
106	0100	부직포및펠트	113	0100	산업용 가죽제품
106	0201	특수사	113	0200	가정용 가죽제품
106	0202	타이어코드직물	113	8800	기타
106	0300	여과포	114	****	제재목
106	0401	솜	114	0101	각재
106	0402	위생타월	114	0102	판재
106	0488	기타	114	0103	소할재
106	0500	적층및도포직물	114	0200	가공목재
106	8800	기타	114	0300	우드칩
107	****	끈,로프및어망	114	0400	우드 몰딩
107	0100	끈및로프	114	8800	기타
107	0200	어망	114	9900	부산물
107	8800	기타	115	****	합판
108	****	가죽	115	0100	보통합판
108	0101	소가죽	115	0200	특수합판
108	0102	돼지가죽	115	0300	박판
108	0103	양가죽	116	****	재생및강화목재
108	0188	기타	116	0100	재생목재
108	0201	재생가죽	116	0200	강화목재
108	0202	특수가공가죽	116	8800	기타
109	****	모피	117	****	건축용목제품
109	0100	천연모피	117	0100	문,창문및틀
109	0200	인조모피	117	0200	건물부착물
110	****	가방및핸드백	117	8800	기타
110	0100	가방	118	****	목제용기
110	0201	핸드백	118	0100	목상자
110	0202	지갑	118	0200	팔레트
110	0300	케이스	118	0300	목함
110	8800	기타	118	8801	목통
111	****	가죽신발	118	8888	기타
111	0100	단화	119	****	기타목제품
111	0200	가죽장화	119	0100	주방및식탁용목제품
111	8800	기타	119	0200	장식용목제품

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
119	0300	목제도구및기구	127	0200	종이기지귀
119	8801	목관	127	8800	기타
119	8802	돛자리(죽제품)	128	****	기타종이제품
119	8803	콜크및콜크제품	128	0100	벽지및장판지
119	8888	기타	128	0200	적층가공지
120	****	펄프	128	8801	포장지
121	****	신문용지	128	8802	담배용지
122	****	인쇄용지	128	8888	기타
122	0101	백상지(모조지)	129	****	인쇄
122	0102	중질지	129	0100	상업인쇄
122	0103	박엽지	129	0200	인쇄관련서비스
122	0200	은행권및증권용지	129	0301	지폐
122	8800	기타	129	0302	주식, 채권 및 유사권리증서
123	****	기타원지및판지	129	0388	기타
123	0100	골판지원지	129	8801	종이라벨
123	0200	크라프트지	129	8888	기타
123	0300	위생용지원지	130	****	기록매체 출판 및 복제
123	0400	정보용지원지	130	0100	오디오 출판 및 복제
123	0500	수제지(한지)	130	0200	비디오 복제
123	8800	기타	130	8800	기타
124	****	골판지및골판지상자	131	****	연탄
124	0100	골판지	131	0100	연탄
124	0200	골판지상자	131	0200	응집탄(마젝탄)
125	****	종이용기	132	****	기타석탄제품
125	0101	크라프트지포대	132	0100	석탄코크스
125	0102	종이가방	132	8800	기타
125	0200	식품용종이용기	133	****	나프타
125	0301	판지상자	134	****	휘발유
125	0302	지관	135	****	제트유
125	8800	기타	136	****	등유
126	****	종이문구및사무용지	137	****	경유
126	0101	사무용봉투	138	****	중유
126	0102	노트	138	0100	중유(병커A유,B유)
126	0103	앨범	138	0200	중질중유(병커C유)
126	0104	회계부	139	****	액화석유가스
126	0188	기타	139	0101	프로판가스
126	0201	복사지	139	0102	부탄가스
126	0202	컴퓨터용지	139	8800	기타
127	****	위생용종이제품	140	****	윤활유제품
127	0100	화장지	140	0100	윤활기유

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
140	0200	윤활유	145	0600	카프로락탐
140	0300	그리스	145	0701	글리세린
140	8800	기타	145	0788	기타
141	****	기타석유정제품	145	8800	기타
141	0100	아스팔트	146	****	산업용가스
141	0200	솔벤트(백정)	146	0100	산소
141	8800	기타	146	0200	질소
142	****	석유화학기초제품	146	0300	수소
142	0101	벤젠	146	0400	이산화탄소
142	0102	톨루엔	146	8801	아세틸렌가스
142	0103	자일렌	146	8888	기타
142	0201	에틸렌	147	****	기초무기화합물
142	0202	프로필렌	147	0101	염소
142	0203	부타디엔	147	0102	카본블랙
142	0288	기타	147	0103	농축우라늄및화합물
143	****	석유화학중간제품	147	0201	황산
143	0100	스티렌모노머(SM)	147	0202	염산
143	0201	염화비닐모노머(VCM)	147	0203	화이트카본
143	0288	기타	147	0300	수산화나트륨(가성소다)
143	0301	부탄올	147	0401	탄산나트륨(소다회)
143	0302	옥탄올(2-에틸헥산올)	147	0402	탄산칼슘
143	0303	메탄올	147	0403	칼륨염
143	0304	에탄올(에틸알콜)	147	0404	규산나트륨
143	0305	에틸렌글리콜(EG)	147	0405	시안화나트륨
143	0306	프로필렌글리콜(PG)	147	0406	황산알루미늄
143	0388	기타	147	0488	기타
143	0401	초산및초산염	147	8801	과산화수소
143	0402	무수마레인산(MA)	147	8802	탄화칼슘(카바이드)
143	0403	무수프탈산(PA)	147	8888	기타
143	0404	테레프탈산(TPA)	148	****	합성수지
143	0405	테레프탈산디메틸(DMT)	148	0101	고밀도폴리에틸렌수지
143	0488	기타	148	0102	저밀도폴리에틸렌수지
143	8800	기타	148	0201	폴리스티렌수지(PS)
144	****	석탄화합물	148	0202	ABS수지
145	****	기타기초유기화합물	148	0300	폴리염화비닐(PVC)
145	0100	알데히드관능화합물	148	0401	폴리프로필렌수지(PP)
145	0200	케톤및퀴논관능화합물	148	0402	폴리프로필렌글리콜
145	0300	아민관능화합물	148	0500	에폭시수지
145	0400	니트릴관능화합물	148	0600	선형폴리에스터수지
145	0500	톨루엔디이소시아네이트	148	0700	불포화폴리에스터수지

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
148	0800	페놀수지	155	0201	순환계용약
148	0900	실리콘수지	155	0202	호흡기관용약
148	1000	폴리우레탄수지	155	0203	소화기관용약
148	8801	멜라민수지	155	0204	호르몬제
148	8802	아크릴수지	155	0205	비뇨생식기관및항문용약
148	8888	기타	155	0206	외피용약
149	****	합성고무	155	0288	기타
149	0100	SBR	155	0301	비타민제
149	0200	폴리부타디엔(BR)	155	0302	차양강장변질제
149	8800	기타	155	0303	혈액및체액용약
150	****	재생섬유	155	0304	인공관류용약
151	****	합성섬유	155	0388	기타
151	0100	폴리아미드(나일론)	155	0401	조직부활용약
151	0200	폴리에스터	155	0402	종양용약
151	0300	스판텍스섬유	155	0403	조직세포치료및진단용의약품
151	8800	기타	155	0488	기타
152	****	질소화합물	155	0501	항생물질제제
152	0100	암모니아	155	0502	화학요법제
152	0200	질산	155	0503	생물학적제제
152	8800	기타	155	0504	기생동물에대한의약품
153	****	비료	155	0588	기타
153	0101	순수황산암모늄(유안)	155	0601	조제용약
153	0102	요소비료	155	0602	진단용약
153	0188	기타	155	0603	공중위생용약
153	0200	인산비료(인산질비료)	155	0604	관련제품
153	0300	칼륨비료	155	0688	기타
153	0400	복합비료	155	0701	마약
153	0500	유기질비료	155	0702	한외마약
153	8800	기타	155	0801	붕대,거즈,탈지면
154	****	농약	155	0802	반창고
154	0100	살충제	155	0888	기타
154	0200	살균제	155	0900	한의약품
154	0300	제초제	155	8801	향정신성의약품
154	8800	기타	155	8802	원료의약품
155	****	의약품	155	8803	동물성의약품
155	0101	중추신경계용약	155	8888	기타
155	0102	말초신경계용약	156	****	화장품및치약
155	0103	감각기관용약	156	0100	기초화장품
155	0104	알레르기용약	156	0200	색조화장품
155	0188	기타	156	0300	두발용조제품

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
156	0400	과우다 제품	161	0100	천연수지접착제
156	0500	향수	161	0200	합성수지접착제
156	0600	치약	161	0300	젤라틴
156	8800	기타	161	8800	기타
157	****	비누및세제	162	****	화약및불꽃제품
157	0101	세탁비누	162	0100	화약 및 폭약
157	0102	화장비누	162	0200	도화선 및 뇌관
157	0103	공업용비누	162	0300	폭죽 및 조명탄
157	0200	합성세제	162	8800	기타
157	0300	계면활성제	163	****	전자기기용기록매체
157	8800	기타	163	0100	자기테이프
158	****	염료,안료및유연제	163	0200	자기 및 광 디스크
158	0101	직접염료	163	8800	기타
158	0102	산성염료	164	****	사진용화학제품
158	0103	염기성염료	164	0100	사진용 필름 및 판
158	0104	분산염료	164	0200	ps 인쇄판
158	0105	반응성염료	164	0300	사진용화학물질
158	0188	기타	164	8800	기타
158	0201	티타늄화이트	165	****	기타화학제품
158	0202	아연화	165	0100	왁스및광택제
158	0203	산화철	165	0200	방향유및관련제품
158	0204	레이크계안료	165	0300	검및나무화학제품
158	0288	기타	165	0401	가소제
158	0300	유연제	165	0402	PVC안정제(복합안정제)
158	8800	기타	165	0403	산화방지제
159	****	도료	165	0404	고무가황촉진제
159	0101	유성페인트(바니쉬포함)	165	0500	금속표면처리용화학물질
159	0102	수성페인트	165	0600	방수액
159	0103	에나멜	165	0700	정제염
159	0104	락카	165	8801	발포및소포제(발포형)
159	0188	기타	165	8888	기타
159	0200	합성수지도료	166	****	플라스틱1차제품
159	0301	신너	166	0100	플라스틱필름
159	0302	도료충전제	166	0200	플라스틱파이프·관·호스
159	8800	기타	166	0300	인조피혁
160	****	잉크	166	0400	플라스틱봉·스틱·프로파일
160	0100	인쇄잉크	166	0500	재생플라스틱
160	0200	필기용잉크	166	8800	기타
160	8800	기타	167	****	산업용플라스틱제품
161	****	접착제및젤라틴	167	0100	운송장비용플라스틱제부품

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
167	0201	플라스틱 봉투	170	0400	재생고무
167	0202	플라스틱 병	170	0500	방진고무
167	0203	플라스틱 뚜껑	170	0600	배합고무
167	0288	기타	170	8800	기타
167	0301	휴대폰 keypad	171	****	기타고무제품
167	0302	휴대폰 케이스	171	0101	고무의복
167	0400	전기전자기기용 플라스틱제품	171	0102	고무장갑
167	0501	플라스틱장판및벽지(야외시트포함)	171	0188	기타
167	0502	플라스틱타일	171	0201	고무젓꼭지
167	0503	위생용 플라스틱 제품	171	0202	피임용기구
167	0504	플라스틱 창문 및 문	171	0288	기타
167	0588	기타	171	8800	기타
167	0601	폴리스티렌 발포제품	172	****	판유리및1차유리
167	0602	우레탄발포제품	172	0100	판유리
167	0688	기타	172	0200	유리관,구,봉및괴
167	0701	플라스틱 적층품	172	8800	기타
167	0702	접착테이프	173	****	산업용유리제품
167	8800	기타	173	0101	안전유리
168	****	가정용플라스틱제품	173	0102	재단및표면가공유리
168	0100	플라스틱식탁및주방용품	173	0103	유리거울
168	0200	플라스틱위생및화장용품	173	0188	기타
168	8800	기타	173	0201	유리섬유
169	****	타이어및튜브	173	0202	유리섬유제품
169	0101	자동차용타이어	173	0300	유리용기
169	0102	모터사이클용타이어	173	0401	LCD용유리
169	0103	자전거용타이어	173	0402	브라운관용유리
169	0188	기타	173	0403	조명기구용유리
169	0200	자동차 튜브	173	8800	기타
169	0300	재생타이어	174	****	기타유리제품
169	6600	타이어부품및튜브관련	174	0100	가정용유리제품
170	****	산업용고무제품	174	0200	장식용및기타유리제품
170	0101	고무벨트	174	8800	기타
170	0102	고무판,시트및스트립	175	****	산업용도자기
170	0103	고무패킹	175	0100	전자용도자기
170	0104	고무직물	175	0200	기타산업용도자기
170	0105	고무사및끈	175	8800	기타
170	0106	고무,봉,관,프로파일	176	****	가정용도자기
170	0188	기타	176	0100	가정용도자기
170	0200	경화고무(에보나이트)및제품	176	0200	위생용도기
170	0300	고무발포성제품	176	0300	장식용도자기

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
176	8800	기타	184	0200	석면제품
177	****	내화요업제품	184	0300	암면제품
177	0101	내화벽돌및블록	185	****	연마재
177	0102	내화타일	185	0100	연마석
177	0200	내화도가니및정형내화물	185	0200	연마지및포
177	0300	부정형내화물	185	8800	기타
177	8800	기타	186	****	아스팔트제품
178	****	건설용점토제품	186	0100	아스콘
178	0100	점토벽돌	186	0200	아스팔트제품
178	0200	점토제기와	186	8800	기타
178	0300	타일	187	****	기타토석제품
178	8800	기타	187	0100	비금속광물분쇄제품
179	****	시멘트	187	0200	흑연및탄소제품
179	0100	포틀랜드시멘트	187	0300	인공경량골재
179	0200	특수혼합시멘트	187	8800	기타
179	0300	시멘트크링커	188	****	선철
180	****	레미콘	188	0101	제강용선철
181	****	콘크리트제품	188	0102	주물용선철
181	0100	콘크리트벽돌및블록	188	0200	고철
181	0201	조립식건축자재	188	8800	기타
181	0202	파일	189	****	합금철
181	0203	전주	190	****	조강
181	0204	흡관및VR관	190	0101	슬라브
181	0205	기타콘크리트관	190	0102	블룸
181	0288	기타조립구조재	190	0103	빌렛
181	0300	비내화물물탈(레미타르)	190	0188	기타
181	8800	기타	190	0200	강괴
182	****	석회및석고제품	190	8800	기타
182	0101	생석회	191	****	철근및봉강
182	0102	소석회	191	0100	철근
182	0188	기타	191	0201	봉강
182	0200	석고(프라스터)	191	0288	기타
182	0300	석고제품	192	****	형강
182	8800	기타	193	****	선재및케조
183	****	석제품	193	0100	선재
183	0100	건축용석제품	193	0200	케조 및 철도선로자재
183	0200	기념비석	194	****	열간압연강재
183	8800	기타	194	0100	열간압연강대
184	****	석면및암면제품	194	0201	열연박판
184	0100	석면시멘트제품	194	0202	열연전기강판

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
194	0300	중후관	204	8800	기타
194	0400	스텐레스 열연강관	205	****	기타비철금속괴
194	8800	기타	205	0100	기타비철금속 1차정련품
195	****	강관(주철강관제외)	205	0200	기타비철금속 2차정련품
195	0100	강관(주철강관제외)	205	8800	기타
195	8800	기타	206	****	동1차제품
196	****	냉간압연강재	206	0101	동선
196	0100	냉연강관	206	0102	동판및띠,대
196	0200	스텐레스냉연강관	206	0103	동봉및동합금봉
196	8800	기타	206	0104	동관및중공봉
197	****	주철물	206	0188	기타
197	0100	선철(회)주물	206	0201	동주물
197	0200	강주물	206	0202	동단조물
197	0301	가단주물	207	****	알루미늄1차제품
197	0302	구상흑연주물	207	0101	알루미늄샤시바
197	0400	주철관	207	0102	알루미늄판,띠
197	0500	관이음쇠	207	0103	알루미늄선
197	8800	기타	207	0104	알루미늄관
198	****	철강단조물	207	0105	알루미늄봉
199	****	표면처리강재	207	0106	알루미늄박(호일)
199	0101	아연도강관	207	0188	기타
199	0102	석도강관	207	0201	알루미늄주물
199	0188	기타	207	0202	알루미늄단조물
199	0200	도포강관	208	****	기타비철금속1차제품
199	8800	기타	208	0101	주석압연제품
200	****	기타철강1차제품	208	0102	아연압연제품
200	0100	철강분쇄물	208	0103	중석압연제품
200	0200	철강절단품	208	0188	기타
200	8800	기타	208	0201	기타비철금속주물
201	****	동괴	208	0202	기타비철금속단조물
201	0100	동괴	208	8800	기타
201	0200	동합금	209	****	건물용금속제품
202	****	알루미늄괴	209	0100	금속제창문
202	0100	알루미늄괴	209	0201	철문 및 셔터문
202	0200	알루미늄합금	209	0202	철제수문
203	****	연및아연괴	209	0300	건물용금속공작물
203	0100	연괴	210	****	구조물용금속제품
203	0200	아연괴	210	0101	육상금속구조물
204	****	금은괴	210	0102	수상금속구조물
204	0100	금은괴	210	0200	구조용금속판제품

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
210	8801	금속제조립식건물	217	****	금속처리
210	8802	이동식금속제사다리	217	0100	도금
210	8888	기타	217	0200	금속열처리
211	****	설치용금속탱크및저장용기	217	0300	금속도장처리
211	0100	설치용금속탱크및가공저장용기	217	0400	금속용단및절단가공
211	0200	압축가스운반용기	217	8800	기타
212	****	금속포장용기	218	****	가정용금속제품
212	0101	통조림용관(식관)	218	0101	알루미늄제 주방용품
212	0188	기타	218	0102	스테인리스제 주방용품
212	0200	수송용금속바렐및드럼	218	0103	기타금속제 주방용품
212	8800	기타	218	0200	금속제식탁용품
213	****	공구류	218	0301	손톱깎기및손톱줄
213	0100	공작용수공구	218	0302	가위
213	0200	농업용수공구	218	0303	칼날
213	0300	톱및톱날	218	0304	안전면도기(비전기식)
213	0400	호환성공구	218	8800	기타
213	8800	기타	219	****	기타금속제품
214	****	나사제품	219	0100	금속스프링
214	0100	나사, 볼트 및 너트	219	0200	용접봉
214	8801	리벳	219	0300	금고
214	8802	와셔및산업용파스너	219	0401	씽크
214	8888	기타	219	0488	기타
215	****	철선제품	219	0500	주화(법정주화)
215	0101	흑철선	219	0600	병마개
215	0102	쇠못	219	8801	금속소상및장식용품
215	0103	철망	219	8802	바늘,핀및수봉침
215	0201	경강선	219	8803	버클
215	0202	스텐레스강선	219	8804	닷
215	0203	아연도철선	219	8888	기타
215	0204	와이어로프	220	****	내연기관및터빈
215	0205	타이어보강강선	220	0100	산업용내연기관
215	0288	기타	220	0200	선박용내연기관
215	8800	기타	220	6600	부분품
216	****	부착용금속제품	220	7700	수리
216	0100	디지털도어록	220	8800	기타
216	8801	건물용철물	221	****	밸브
216	8802	가구용철물	221	0100	밸브
216	8803	가방부착용철물	221	8800	기타
216	8804	차량용부착물	222	****	베어링,기어및전동요소
216	8888	기타	222	0100	베어링

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
2252	0201	기어밋기어링	225	0301	중양난방보일러
222	0202	변속기	225	0302	방열기
222	0203	체인	225	6600	부분품
222	6600	부분품	225	7700	수리
222	8800	기타	225	8800	기타
223	****	산업용운반기계	226	****	난방및조리기기
223	0101	엘리베이터	226	0101	석유난로
223	0102	에스컬레이터	226	0102	가스난로(가스히터)
223	0103	주차기	226	0103	버너
223	0188	기타	226	0188	기타
223	0201	크레인(물품취급용)	226	0201	가스레인지
223	0202	콘베이어	226	0202	가스오븐레인지
223	0203	포크리프트트럭(지게차)	226	0288	기타
223	0204	호이스트	226	8800	기타
223	0288	기타	227	****	펌프및압축기
223	6600	부분품	227	0101	산업용펌프
223	7700	수리	227	0102	가정용펌프
223	8800	기타	227	0103	급유및계기용펌프
224	****	공기조절장치및냉장냉동장비	227	0188	기타
224	0101	차량용에어콘	227	0201	진공펌프
224	0102	룸에어콘	227	0202	공기 및 기체압축기
224	0103	팩키지형에어콘	227	0301	유압실린더 및 유압시스템
224	0104	대형냉난방기기	227	0302	공압실린더 및 공압액츄에이터
224	0105	냉각탑	227	0401	냉매압축기
224	0106	향온흡습기	227	0402	차량에어컨용 압축기
224	0107	온풍기	227	6600	부분품
224	0188	기타	227	7700	수리
224	0201	산업및상업용냉동냉장장비	228	****	공기및액체여과청정기
224	0202	산업및상업용냉장고	228	0101	집진기(집진장치)
224	0203	냉동·냉장쇼케이스	228	0102	공기청정기
224	0288	기타	228	0188	기타
224	6600	부분품	228	0200	산업용송풍기
224	7700	수리	228	0301	상하수정화장비
224	8800	기타	228	0302	정수기(가정용포함)
225	****	보일러	228	0303	유류여과기(내연기관용)
225	0101	기름보일러	228	0388	기타
225	0102	가스보일러	228	6600	부분품
225	0188	기타	228	7700	수리
225	0201	증기발생보일러	228	8800	기타
225	0202	대형온수보일러	229	****	기타일반목적용기계

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
229	0101	열교환기	232	****	농업용기계
229	0102	증류기및가스발생기	232	0101	농업용트랙터
229	0201	포장및충전기	232	0102	경운기
229	0202	병,용기의세정및건조기	232	0103	이앙기
229	0288	기타	232	0104	콤바인
229	0300	자동판매기	232	0200	경작용기계(비추진식)
229	0401	소화기	232	0300	수확및탈곡관련기기(비추진식)
229	0402	스프링쿨러	232	6600	부분품
229	0403	분사기	232	7700	수리
229	0500	산업용오븐,로및로용연소기및관리기기	232	8801	농수산물건조기
229	6600	부분품	232	8802	사료제조기
229	7700	수리	232	8803	농업용동력분무기
229	8800	기타	232	8888	기타
230	****	금속절삭가공기계	233	****	건설및광물처리기계
230	0101	선반	233	0101	굴삭및토공기계
230	0102	밀링기(수치제어식포함)	233	0102	크레인(건설용)
230	0103	연삭기(수치제어식포함)	233	0103	무한궤도식트랙터
230	0104	보링기(수치제어식포함)	233	0104	콘크리트믹서
230	0105	드릴링기(수치제어식포함)	233	0188	기타
230	0106	수치제어선반	233	0201	파쇄기
230	0107	머시닝센터	233	0202	도로포장기계
230	0108	전용기	233	0203	콘크리트제품제조기
230	0188	기타	233	0288	기타
230	0200	전자용용공작기계	233	6600	부분품
230	0300	수지식동력공구	233	7700	수리
230	6600	부분품	233	8800	기타
230	7700	수리	234	****	음식품가공기계
230	8800	기타	234	0100	곡물가공기계
231	****	금속성형처리기계	234	0200	낙농품가공기계
231	0101	기계프레스	234	0300	식품가열및냉각기계
231	0102	금속성형기	234	6600	부분품
231	0103	단조기	234	7700	수리
231	0104	신선기	234	8800	기타
231	0188	기타	235	****	섬유기계
231	0200	용접기	235	0101	상업용세탁기
231	0301	압연기	235	0102	염색기및나염기
231	0302	주조기	235	0188	기타
231	6600	부분품	235	0201	산업용재봉기
231	7700	수리	235	0202	가정용재봉기
231	8800	기타	235	0300	방직기및방직준비가공기계

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
235	0401	직기	240	0102	중대형 직류 및 교류전동기
235	0402	편직기	240	0201	발전기
235	0488	기타	240	0202	발전셋트
235	6600	부분품	240	6600	부분품
235	7700	수리	240	7700	수리
235	8800	기타	240	8800	기타
236	****	금형및주형	241	****	변압기
236	0100	금형	241	0101	발전 및 송배전 변압기
236	0201	몰드베이스	241	0102	특수목적용 변압기
236	0288	기타	241	0103	산업용 일반변압기
237	****	제지및인쇄용기계	241	0200	전압조정기
237	0101	초지기	241	6600	부분품
237	0102	절단기	241	7700	수리
237	0188	기타	241	8800	기타
237	0201	인쇄기	242	****	기타전기변환장치
237	0288	기타	242	0100	방전램프용안정기
237	6600	부분품	242	0201	정류기 및 정류장치
237	7700	수리	242	0202	인버터
237	8800	기타	242	0203	통신 및 컴퓨터용 전원장치
238	****	반도체제조용기계	242	0204	배터리 충전기
238	0100	웨이퍼가공용장비	242	0205	무정전 전원장치
238	0200	반도체조립용장비	242	0288	기타
238	0300	반도체검사장비	242	7700	수리
238	0400	평면디스플레이 제조장비	242	8800	기타
238	8800	기타	243	****	전기공급 및 제어장치
239	****	기타특수목적용기계	243	0101	전기회로차단기
239	0101	사출성형기	243	0102	스위치
239	0102	압출기	243	0103	커패시터
239	0103	자동차타이어 및 튜브제조기	243	0188	기타
239	0188	기타	243	0201	배전반(분전반 포함)
239	0200	목공기계	243	0202	자동전기제어반
239	0301	유리공업용기계	243	0288	기타
239	0388	기타	243	6600	부분품
239	0400	산업용로봇	243	7700	수리
239	0500	석유화학산업기계	243	8800	기타
239	6600	부분품	244	****	전선 및 케이블
239	7700	수리	244	0101	전력선(송배전용)
239	8800	기타	244	0102	통신선
240	****	발전기 및 전동기	244	0103	신호 및 제어선
240	0101	소형전동기	244	0104	절연전선

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
244	0105	권선(마그네트선)	249	6601	컬러필터
244	0200	광섬유케이블	249	6602	백라이트유닛
244	8800	기타	249	6688	기타
245	****	전지	250	****	개별소자
245	0100	축전지	250	0100	트랜지스터
245	0200	일차전지	250	0200	다이오드
245	6600	부분품	250	0300	발광다이오드
246	****	전구램프 및 조명장치	250	0400	압전소자 및 수정진동소자
246	0101	필라멘트전구	250	6601	웨이퍼
246	0102	방전램프	250	6688	기타
246	0188	기타	250	8800	기타
246	0201	가정용 조명장치	251	****	집적회로(IC)
246	0202	산업용 조명장치	251	0101	D RAM
246	0203	차량용 조명장치	251	0102	S RAM
246	0300	광고용 조명장치(전기식 간판)	251	0103	Flash 메모리
246	8800	기타	251	0188	기타
247	****	기타 전기장비	251	0201	스탠다드 로직
247	0101	시동기 및 발전기	251	0202	ASIC 로직
247	0102	배전기 및 접화장치	251	0301	마이크로 콤포넌트
247	0188	기타	251	0302	바이폴라 IC
247	0201	경보장치	251	0388	기타
247	0202	신호장치	251	0401	아날로그 집적회로
247	0300	전기용 카본제품	251	0402	혼성 집적회로
247	0401	와이퍼, 제상 및 제무기	251	6601	리드프레임
247	0402	음향신호용기구	251	6688	기타
247	0488	기타	251	8800	기타
247	0500	자석 및 자석제품	252	****	저항기 및 축전기
247	6600	부분품	252	0101	고정저항기
247	7700	수리	252	0102	가변저항기
247	8800	기타	252	0201	고정식 축전기
248	****	전자관	252	0202	가변식 축전기
248	0101	TV용 전자관	252	6600	부분품
248	0102	컴퓨터용 전자관	253	****	전자코일 및 변성기
248	0188	기타	253	0100	코일
248	6600	부분품	253	0200	변성기
248	8800	기타	253	8800	기타
249	****	디지털표시장치	254	****	인쇄회로기판
249	0101	초박막 액정표시장치	254	0100	인쇄회로원판
249	0188	기타	254	0200	인쇄회로기판
249	0200	기타 디스플레이 판넬	254	0300	포토마스크

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
254	8800	기타(조립품 포함)	258	0300	DVD 플레이어
255	****	기타전자부품	258	0400	VTR
255	0101	확성기	258	0501	마이크로폰과 그 스탠드
255	0102	안테나	258	0502	헤드폰 및 이어폰
255	0103	이퀄라이저	258	6600	부분품
255	0188	기타	258	7700	수리
255	0200	택스메카니즘	258	8800	기타
255	0300	페라이트코어	259	****	유선통신기기
255	0401	영상음향용헤드	259	0101	전화기
255	0402	컴퓨터용헤드	259	0102	키폰
255	0488	기타	259	0103	영상전화기
255	0500	광픽업(Optical Pickup)	259	0188	기타
255	0601	마그네틱 카드	259	0201	기간통신사업용교환기
255	0602	스마트카드	259	0202	시설용교환기(PABX)
255	0688	기타전자카드	259	0300	팩시밀리
255	8800	기타	259	0401	디지털식 반송장치
256	****	TV	259	0402	광섬유케이블전송시스템
256	0100	음극선관용칼라TV	259	0403	다중화장치
256	0200	PDP TV	259	0404	아날로그식 반송장치
256	0300	LCD TV	259	0405	신호변환기
256	6600	부분품	259	0500	네트워크 통신기기
256	7700	수리	259	6600	부분품
256	8800	기타	259	7700	수리
257	****	음향기기	259	8801	비디오 도어폰
257	0101	라디오	259	8802	텔레폰 레코드
257	0102	녹음 및 녹음재생기기	259	8888	기타
257	0103	카 오디오	260	****	무선통신단말기
257	0200	뮤직센터	260	0100	휴대폰
257	0301	앰프세트	260	0200	무전기
257	0302	튜너	260	6600	부분품
257	0303	레코드플레이어(건축용테크 포함)	260	7700	수리
257	0304	컴팩트디스크플레이어(CDP)	260	8800	기타
257	0400	스피커(컴퍼넌트용 포함)	261	****	무선통신시스템 및 방송장비
257	0500	방송용증폭기	261	0101	무선통신용 교환기
257	0600	MP3 플레이어	261	0102	무선통신기지국용송수신기
257	7700	수리	261	0103	무선통신용 중계기
257	8800	기타	261	0188	기타
258	****	기타영상·음향기기	261	0201	방송용 송수신기
258	0100	모니터	261	0202	방송수신용안테나
258	0200	영상반주기	261	0288	기타

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
261	6600	부분품	265	7700	수리
261	7700	수리	265	8800	기타
261	8800	기타	266	****	가정용 전열기기
262	****	컴퓨터 및 주변기기	266	0100	전기,전자레인지 및 오븐
262	0101	중대형 컴퓨터	266	0201	전기밥솥 및 밥통
262	0102	소형(개인용) 컴퓨터	266	0202	전기 프라이팬
262	0188	기타	266	0203	전기난방장비
262	0201	HDD	266	0204	전기담요 및 장판
262	0202	FDD	266	0288	기타
262	0203	광디스크 드라이브	266	6600	부분품
262	0288	기타	266	7700	수리
262	0301	입력장치	266	8800	기타
262	0302	컴퓨터용 수상기(모니터)	267	****	기타 가정용전기기기
262	0303	출력장치	267	0100	전기믹서
262	0401	사운드카드	267	0201	모발건조기
262	0402	그래픽카드	267	0202	진공소제기(청소기)
262	0403	영상카드	267	0203	가습기
262	0488	기타	267	0204	식기세척기
262	6601	기억장치부품	267	0205	전기비데
262	6688	기타	267	0288	기타
262	7700	수리	267	0301	선풍기
262	8800	기타	267	0302	환풍기 및 레인지 후드
263	****	사무용기기	267	6600	부분품
263	0100	복사기	267	7700	수리
263	0201	금전등록기	267	8800	기타
263	0288	기타	268	****	의료기기
263	0301	현금자동화기기(CD/ATM)	268	0100	방사선장치
263	0388	기타	268	0201	심전계
263	6600	부분품	268	0202	초음파진단기
263	7700	수리	268	0203	전자혈압계
263	8800	기타	268	0288	기타
264	****	가정용냉장고 및 냉동고	268	0301	광선치료기
264	0100	가정용 냉장고	268	0302	환자감시장치
264	0200	김치냉장고	268	0388	기타
264	6600	부분품	268	0401	인조치아
264	7700	수리	268	0402	치과용기기
264	8800	기타	268	0488	기타
265	****	가정용세탁기	268	0501	인공신체및정형외과용기기
265	0100	세탁기	268	0502	보청기
265	6600	부분품	268	0588	기타

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
268	0600	의료용가구	272	0102	렌즈
268	6600	부분품	272	0103	필터
268	8801	살균기	272	0188	기타
268	8802	수혈및수액세트	272	0201	사진관련기기
268	8803	산소호흡기	272	0202	영화관련기기
268	8888	기타	272	0301	쌍안경및천문관측기기
269	****	자동조정및제어기기	272	0302	광학현미경
269	0101	온도자동조절장치	272	0401	안경테
269	0102	기타자동조절기	272	0402	시력교정용안경
269	0188	기타	272	0403	선글라스
269	0201	산업용온도조절기및제어용기기	272	0488	기타
269	0288	기타	272	8800	기타
269	7700	수리	273	****	시계
269	8800	기타	273	0100	손목시계
270	****	측정및분석기기	273	0200	벽및탁상시계
270	0101	기체및액체공급계기	273	6600	부분품
270	0102	전기공급계기	273	8800	기타
270	0188	기타	274	****	승용차
270	0200	전기량측정및검사용기기	274	0101	경차 및 중소형 승용차
270	0301	유량및액면계	274	0102	대형승용차
270	0302	압력계	274	0200	다목적용 승용차
270	0303	공해계측기	274	8800	기타
270	0304	온도계	275	****	승합차
270	0305	재료시험기	276	****	화물자동차
270	0388	기타	277	****	특장차
270	0400	저울	278	****	자동차용엔진
270	8801	도안및제도기구	279	****	자동차부분품
270	8802	측량기기	279	0100	차체 및 부품
270	8803	항행및항해용기기	279	0200	내연기관용 부품
270	8804	텔레매틱스단말기	279	0300	제동장치 및 부품
270	8888	기타	279	0400	조향 및 현가장치부품
271	****	촬영기및영사기	279	0500	동력전달 및 변속장치
271	0101	디지털카메라	279	0600	연료 및 배기장치 조직 및 부품
271	0102	일반카메라	279	0700	차륜 및 부품
271	0200	캠코더	279	7700	수리
271	0300	영화촬영기및영사기	279	8801	자동차용 방열기
271	6600	부분품	279	8888	기타
271	8800	기타	280	****	트레일러 및 컨테이너
272	****	기타광학기	280	0100	컨테이너
272	0101	광섬유	280	0200	트레일러및세미트레일러

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
281	****	강철제선박	287	8800	기 타
281	0100	화물선	288	****	목재가구
281	0200	여객선	288	0101	거실및서재용
281	0300	어선	288	0102	침실용가구
281	8800	기타	288	0188	기타
282	****	기타선박	288	0201	책상및의자
282	0101	여객선	288	0202	보관함및서가
282	0102	어선	288	0203	칸막이
282	0188	기타	288	0288	기타
282	0201	목선	288	0301	식탁및의자
282	0202	비철금속선	288	0302	조리대(싱크대)
282	8801	특수선박	288	0388	기타
282	8802	오락, 경기용보트	288	0400	나전칠기가구
282	8888	기타	288	0500	공공시설가구
283	****	선박수리및부분품	288	8800	기타
283	0101	강선수리	289	****	금속가구
283	0188	기타	289	0101	주방용가구
283	0200	선박해체	289	0102	기타
283	6600	부분품	289	0201	책상및의자
283	8800	기타	289	0202	보관함및서가
284	****	철도차량	289	0203	칸막이
284	0100	여객용 기차	289	0288	기타
284	0200	화물차량	289	8800	기타
284	6600	부분품	290	****	기타가구
284	7700	수리	290	0101	침대
284	8800	기타	290	0102	매트리스및소프트링쿠션
285	****	항공기	290	0201	운송장비용
285	0100	항공기	290	0288	기타
285	6601	항공기엔진	290	0300	상점장치물
285	6688	기타	290	8801	플라스틱가구
285	7700	수리	290	8888	기타
285	8800	기타	291	****	장난감및오락용품
286	****	모터사이클	291	0101	승용장난감
286	0100	모터사이클	291	0102	비승용장난감
286	6600	부분품	291	0188	기타
286	8800	기타	291	0200	인형
287	****	자전거및기타운수장비	291	0300	비디오게임기
287	0101	자전거	291	8800	기타
287	0102	휠체어	292	****	운동및경기용품
287	6600	부 분 품	292	0100	체조,육상및체력단련용장비

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
292	0200	놀이터용장비	296	8800	기타
292	0300	낚시및수렵용구	297	****	기타제조업제품
292	0400	골프용품	297	0101	단추
292	0500	운동용공	297	0102	지퍼(파스너)
292	0600	운동용장갑	297	0188	기타
292	0700	양궁,국궁및유사장비	297	0201	라이터
292	8800	기타	297	0202	양초
293	****	악기	297	0203	성냥
293	0101	피아노	297	0204	착화탄
293	0102	현악기	297	0288	기타
293	0103	관악기	297	0300	비릿솔
293	0104	타악기	297	0400	우산및양산
293	0200	국악기	297	0500	초제갈개및짚뿔개
293	0300	전자악기	297	0600	담배용필터
293	6600	부분품	297	8801	화장용품및화장용분무기
293	8800	기타	297	8802	머리빗
294	****	문방구	297	8888	기타
294	0101	볼펜	298	****	수력
294	0102	연필	299	****	화력
294	0103	샤프연필	300	****	원자력
294	0104	사인펜	301	****	기타발전
294	0188	기타	301	0100	자가발전
294	0201	크레파스및파스텔	301	0200	기타발전
294	0202	그림물감	302	****	도시가스
294	0288	기타	303	****	열공급업
294	0300	사무용품	303	0100	증기공급
294	8800	기타	303	0200	온수공급
295	****	귀금속및보석	303	8800	기타
295	0100	귀석및반귀석	304	****	수도
295	0200	귀금속제품	305	****	주택
295	8800	기타	306	****	비주택
296	****	모형및장식용품	306	0100	광공업용
296	0101	신변모조장식품	306	0200	상업용
296	0102	머리핀	306	0300	공공용
296	0103	가발및가늌셋	306	0400	문교용
296	0201	조화	306	0500	사회용
296	0202	모조장식품	306	8800	기타
296	0300	간판및광고진열물	307	****	건축보수
296	0400	모형및전시용품	307	0100	주택보수
296	0500	표구및전사처리제품	307	0200	비주택및건축물보수

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
308	****	도로시설	329	****	도로여객운송
309	****	철도시설	329	0100	고속?시외버스
310	****	지하철시설	329	0200	시내버스
311	****	항만시설	329	0300	택시
312	****	공항시설	329	0400	전세및관광버스
313	****	하천사방	329	8800	기타
314	****	상하수도시설	330	****	도로화물운송
315	****	농림수산토목	330	0100	일반화물
316	****	도시토목	330	0200	개별화물
317	****	전력시설	330	0300	용달화물
318	****	통신시설	330	8800	기타
319	****	기계조립설치	331	****	택배
320	****	기타건설	332	****	연안및내륙수상운송
321	****	도매	332	0100	내항여객
322	****	소매	332	0200	내항화물
323	****	일반음식점	332	0300	내륙수상운송
323	0100	한식	332	8800	기타
323	0200	중식	333	****	외항운송
323	0300	일식	333	0100	외항여객
323	0400	양식	333	0200	외항화물
323	0500	기관구내식당	334	****	항공운송
323	8800	기타	334	0100	항공여객
324	****	주점	334	0200	항공화물
324	0100	일반유흥주점	335	****	육상운수보조서비스
324	0200	무도유흥주점	335	0100	유료도로운영
324	0300	간이주점업	335	0200	정류장운영
324	8800	기타	335	0300	주차장운영
325	****	기타음식점	335	8800	기타
325	0100	제과점	336	****	수상운수보조서비스
325	0200	찻집	336	0100	항만시설및수로운영
325	8800	기타	336	0200	수로안내(도선)
326	****	숙박	336	8800	기타
326	0100	호텔	337	****	항공운수보조서비스
326	0200	여관	337	0100	항공터미널시설운영
326	0300	콘도미니엄등	337	0200	항공및유지관리(지상)
326	8800	기타	337	8800	기타
327	****	철도여객운송	338	****	하역
327	0100	철도여객	338	0100	육상하역
327	0200	지하철	338	0200	항만하역
328	****	철도화물운송	338	0300	항공하역

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
339	****	보관및창고	348	0204	외국은행국내지점
339	0100	일반창고	349	****	비은행예금취급기관
339	0200	냉장및냉동창고	349	0100	저축기관
339	0300	위험물창고	349	0200	투자신탁운용
339	0400	농산물창고	349	0300	종합금융
339	8800	기타	350	****	기타금융중개기관
340	****	기타운수관련서비스	350	0100	여성전문기관
340	0100	화물운송대행 및 중개	350	0200	증권투자기관
340	8800	기타	350	8800	기타
341	****	우편	351	****	생명보험
341	0100	국영우편	351	0100	일반생명보험
341	0200	민영우편	351	0200	우체국보험
342	****	전화	351	0300	공제사업회계
342	0100	유선통신서비스	351	0400	연금기금
342	0200	무선통신서비스	352	****	비생명보험
342	0300	별정통신서비스	352	0100	일반손해보험
342	8800	기타	352	0200	공제사업회계
343	****	초고속망서비스	352	8800	기타
344	****	부가통신	353	****	금융 및 보험관련서비스
344	0100	데이터네트워크서비스	353	0101	증권기관
344	0200	온라인정보서비스	353	0102	신용보증기관
344	0300	부가통신응용서비스	353	0188	기타
344	8800	기타부가통신서비스	353	0201	보험대리및중개
345	****	정보서비스	353	0202	보험감정
345	0100	자료처리	354	****	주거서비스
345	0200	뉴스제공	354	0100	실제임대료
345	8800	기타	354	0200	귀속임대료
346	****	지상파방송	355	****	부동산임대 및 공급
346	0100	TV	355	0100	부동산임대
346	0200	라디오	355	0200	부동산공급
347	****	유선 및 위성방송	356	****	부동산관련서비스
347	0100	종합유선방송	356	0100	부동산관리
347	0200	중계유선방송	356	0200	부동산중개
347	0300	위성방송	356	0300	부동산감정
347	8800	기타	356	8800	기타
348	****	중앙은행 및 은행예금취급기관	357	****	연구기관(국공립)
348	0100	중앙은행	357	0100	자연과학연구기관
348	0201	특수은행	357	0200	인문및사회과학연구기관
348	0202	시중은행	357	8800	기타
348	0203	지방은행	358	****	연구기관(비영리)

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
358	0100	자연과학연구기관	367	0100	유지관리서비스
358	0200	인문및사회과학연구기관	367	8800	기타
358	8800	기타	368	****	기계장비및용품임대
359	****	연구기관(산업)	368	0100	운용리스
359	0100	자연과학연구기관	368	0200	운수장비임대
359	0200	인문및사회과학연구기관	368	0300	건설기계
359	8800	기타	368	0400	컴퓨터및사무기기
360	****	기업내연구개발	368	0500	기타산업용기계장비
361	****	법무및회계서비스	368	0600	개인가정용품
361	0101	변호사	369	****	청소및소독서비스
361	0102	법무사	370	****	인력공급 및 알선
361	0103	관세사	370	0100	인력공급
361	0104	변리사	370	0200	인력알선
361	0188	기타	371	****	기타 사업서비스
361	0201	공인회계사	371	0100	경비,경호및탐정서비스
361	0202	세무사	371	0200	여행 사업 및 지원서비스
361	0288	기타	371	0301	연예인대리
362	****	시장조사 및 경영컨설팅	371	0388	기타
362	0100	사업및경영상담	371	0400	상품전시등
362	0200	신용조사	371	0500	사업중개및주선
362	0300	여론조사및시장조사	371	0600	사진촬영및처리
363	****	광고	371	8801	포장충전
363	0100	광고대행	371	8802	물품감정
363	0200	방송광고	371	8888	기타
363	0300	신문·잡지광고	372	****	중앙정부
363	0400	뉴미디어광고	373	****	지방정부
363	0500	광고물작성	374	****	교육기관(국공립)
363	8800	기타	374	0101	유치원
364	****	건축공학관련서비스	374	0102	초등학교
364	0100	측량	374	0103	중학교
364	0200	건축설계관련서비스	374	0104	고등학교
365	****	기타공학관련서비스	374	0200	전문대학
365	0100	엔지니어링및관련기술서비스	374	0300	교육대학
365	0200	기술시험,검사및분석관련서비스	374	0400	대학(교)및대학원
365	8800	기타기술관련서비스	374	0500	특수교육기관
366	****	소프트웨어개발공급	374	0601	공무원훈련원
366	0100	패키지소프트웨어	374	0602	사법연수원
366	0200	주문소프트웨어	374	0688	기타
366	0300	자가개발소프트웨어	374	0700	직업훈련기관
367	****	컴퓨터관리서비스	374	8801	농업기술원

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
374	8888	기타	380	8800	기타
375	****	교육기관(비영리)	381	****	사회복지사업(비영리)
375	0101	유치원	381	0100	아동복지시설
375	0102	초등학교	381	0201	노인복지시설
375	0103	중학교	381	0202	부녀복지시설
375	0104	고등학교	381	0288	기타
375	0188	기타	381	0300	장애인복지시설
375	0200	전문대학	381	8800	기타
375	0300	대학(교)및대학원	382	****	위생서비스(국공립)
375	0400	특수교육기관	382	0100	폐기물수집및처리
375	0500	직업훈련기관	382	0200	폐·하수및분뇨처리
375	0600	학교법인	383	****	위생서비스(산업)
375	8800	기타	383	0100	폐기물수집및처리
376	****	교육기관(산업)	383	0200	폐·하수및분뇨처리
376	0100	전문강습소	384	****	신문
376	0200	일반강습소	384	0100	일간신문
376	8800	기타	384	0200	비일간신문
377	****	의료및보건(국공립)	385	****	출판
377	0100	병?의원	385	0100	서적
377	0200	특수병원	385	0200	정기간행물
377	0300	보건소	385	8800	기타
377	8800	기타	386	****	문화서비스(국공립)
378	****	의료및보건(비영리)	386	0100	도서관
378	0100	병의원	386	0200	박물관,미술관,과학관
378	8800	기타	386	0300	관광명소
379	****	의료및보건(산업)	386	0400	운동경기장
379	0101	종합병원	386	0500	공원및해수욕장
379	0102	일반병원	386	0600	예술단
379	0103	의원	386	0700	공연장
379	0200	치과병의원	386	8800	기타
379	0300	한방병의원	387	****	문화서비스(기타)
379	0400	수의원	387	0100	도서관
379	8801	유사의료원	387	0200	박물관,미술관,과학관
379	8888	기타	387	8800	기타
380	****	사회복지사업(국공립)	388	****	영화제작 및 배급
380	0100	건강보험	388	0100	영화제작
380	0200	국민연금	388	0200	영화배급
380	0300	산업재해보상보험	389	****	영화상영
380	0400	고용보험	390	****	연극,음악및기타예술
380	0500	아동,성인및장애인복지시설	390	0101	극장

Appendix 2. 2009 산업연관표 상세 목록 분류 (이어서)

기본부문	기초작업	부문명칭	기본부문	기초작업	부문명칭
390	0102	연예단체	398	8800	기타미용관련서비스
390	0200	자영예술가	399	****	가사서비스
390	8800	기타	400	****	기타개인서비스
391	****	운동및경기관련서비스	400	0100	장의사및묘지관리
391	0101	체육관	400	0200	예식장
391	0102	수영장	400	0300	목욕탕
391	0103	골프장	400	0400	결혼상담소
391	0104	스키장	400	0500	점술소
391	0105	체력단련시설	400	8800	기타
391	0188	기타	401	****	사무용품
391	0200	경기단체및후원회	402	****	가계외소비지출
391	0300	경기장운영	403	****	분류불명
391	0400	자영경기인			
392	****	기타오락서비스			
392	0100	무도장			
392	0200	유원지			
392	0300	오락장			
392	0400	도박장			
392	0500	경마장및경륜장			
392	8800	기타			
393	****	산업및전문단체			
393	0100	산업및경영자단체			
393	0200	전문가단체			
394	****	기타 사회단체(비영리)			
394	0100	종교단체			
394	0200	정치단체			
394	0300	노동단체			
394	0400	체육단체			
394	0500	문화장학재단			
394	0600	사회단체			
395	****	자동차수리서비스			
395	0100	자동차종합수리			
395	0200	자동차전문수리			
395	0300	자동차세차			
396	****	기타개인수리서비스			
396	0100	개인및가정용품수리			
396	0200	모터사이클수리			
396	8800	기타			
397	****	세탁			
398	****	이용및미용			