

기술적·경제적 영향요소를 고려한 연약지반 개량공법의 의사결정모델 개발

Development of Decision Making Model for Soft Foundation Improvement Method considering Technically, Economic Effective Factors

이흥철* · 우성권**

Lee, Heung Chol · Woo, Sungkwon

요 약

연약지반 상에 구조물의 안정 및 침하 문제를 해결하기 위해 다양한 연약지반 개량공법들이 사용되고 있으며, 계속해서 새로운 공법들이 검증과정을 거쳐 소개되고 있다. 이처럼 다양한 공법들 중에서 해당 공사에 가장 적합한 공법을 선정하는 것은 매우 중요한 일이다. 본 연구에서는 의사결정시 사용되는 영향요소들의 중요도를 정량화시켜 가중치와 우선순위를 도출함으로써 연약지반 개량공법 선정 과정에서 기술적·경제적 항목에 대한 체계적인 기준을 제시하고자 하였다.

키워드: 연약지반 개량공법, AHP, 쌍대비교, 가중치

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

1970년대 이후 고도의 경제성장과 지속적인 인구증가로 인하여 토지에 대한 수요가 급격히 증가하였다. 그러나 국토의 75% 이상이 산지이고 삼면이 바다로 둘러싸인 국내의 여건상 지반조건이 양호한 토지를 확보하는 것은 사실상 한계가 있다. 이로 인하여 부득이 하게 바다를 매립하거나 하부지반이 연약한 곳에 구조물을 건설할 수밖에 없는 실정이다.

연약지반의 대표적인 지반 공학적 특성은 지반의 강도가 작으며 특히 심도가 깊을 때 침하 등의 변형이 크게 일어나 구조물의 안정 및 침하로 인한 문제를 야기시킬 수 있다는 것이다. 이를 보완하기 위해 보다 안정적이고 경제적인 설계 및 관리를 위해 연약지반의 공학적 특성을 정확히 분석하여 시공에 필요한 제반 대책의 필요성이 크게 대두되었다. 이와 같은 필요성에 의해 구조물의 안전을 확보하기 위한 다양한 개량공법들이 개발되었고 지속적으로 발전되고 있다. 이미 기존에 개발된 수많은 개량공법들이 실무에서 사용되고 있으며, 계속해서 새로운 공법들이 검증과정을 거쳐 소개되고 있다.

일반적으로 연약지반 개량공법 선정 과정은 크게 두

단계로 구분할 수 있는데, 그 중 첫 번째 단계는 지반조사의 분석결과를 토대로 '지반토의 성질', '개량의 목적' 그리고 '개량의 원리' 등 토질의 역학적 성질을 고려하여 선정 공법의 범위를 한정하는 것이다. 이 단계는 공법별 연구결과들이 존재하므로 대안 공법을 선정하는 것은 그리 큰 문제가 되지 않는다. 두 번째 단계는 첫 번째 단계를 거쳐 선택된 몇 개의 대안 공법들 중에서 기술적·경제적 영향요소를 고려하여 최적의 공법을 선정하는 것이다.

연약지반 개량공법의 선정 과정은 대부분 지반 전문가 및 설계회사에 의해 전적으로 선택되어지며 지반에 대한 전문지식이 상대적으로 부족한 발주자 입장에서는 이들이 제시한 방안을 대부분 수용할 수밖에 없다. 이에 본 연구에서는 연약지반 개량공법선정을 위한 의사결정모델을 개발하여 발주자가 공법 선정 시 설계회사에게 지표로 제시하여 발주자 입장에서 해당 공법의 타당성을 검토할 수 있도록 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

연약지반 개량공법선정을 위한 의사결정모델의 구성요소인 기술적·경제적 영향요소들을 발굴하기 위해서 건설교통부 도로설계편람(2000)을 기준으로 선정하였다. 여기에 토목설계회사 지반분야 전문가들과의 인터뷰를 통하여 부족한 항목은 새로 추가하였으며, 본 연구범위에서 벗어나는 항목은 제거하였다.

* 일반회원, 인하대학교 대학원 토목공학과, 석사과정

** 종신회원, 인하대학교 토목공학과 조교수, 공학박사

이와 같은 과정을 거쳐 도출된 영향요소 항목들을 토대로 AHP 기법의 쌍대비교를 이용하여 설문양식을 작성하였으며, 설문조사를 통하여 전문가들의 평가를 받음으로써 이들 영향요소가 가지는 각각의 상대적 중요도와 우선순위를 결정하여 추후 연약지반 개량공법 선정 시 발주자가 지표로 사용할 수 있도록 하였다.

2. 의사결정모델의 개발

2.1 영향요소의 산출 및 의사결정모델의 개발

의사결정모델을 개발하기 위해서는 우선 고려되어야 할 영향요소들을 선정하는 작업이 필요하다. 설계회사 및 지반 전문가 별로 각각 영향요소에 대한 판단 기준은 조금씩 차이를 보이고 있어, 이들을 통합하여 영향요소 항목을 개발하는 것은 신뢰성이 떨어지게 된다. 보다 신뢰성이 높은 항목을 개발하고자 건설교통부 도로설계편람(2000)에서 제시한 내용을 기본으로 영향요소 선정 작업을 시작하였다.

표 1. 공법선정에 따른 유의사항 (건설교통부, 2000)

| 유의사항 | 내용 |
|---------------|---|
| 구조물 특성 | · 구조형식 · 규모 · 기능 · 중요도 |
| 연약지반의 특성 | · 연약층의 종류 · 연약층의 범위 · 심도 · 지반전체의 지층상태 · 지지층의 심도와 경사 · 각 층의 공학적 성질 |
| 개량의 필요성 | · 가설적 개량 · 영구적 개량 |
| 개량 목적 | · 강도증가 · 침하축진 · 지수 · 침하 및 액상화 방지 |
| 지반개량공법의 특성 | · 설계의 정도 · 시공능력 · 시공의 난이도 · 시공기계나 재료입수의 난이도 · 효과판정의 난이도 |
| 공기나 환경에 따른 제약 | · 공기 · 오염 · 진동 · 소음 |
| 종합적인 경제성 | · 기타 공법과 비교 |
| 기타 | · 설계 변경의 난이도 · 장래계획과의 연계성 |

표 1은 도로설계편람에서 제안하고 있는 공법선정에 따른 유의사항을 나타낸 것이다. 건설교통부의 제안에 따르면 8개의 유의사항 항목 안에 총 28개의 세부항목이 존재하는 것을 알 수 있다. 이 영향요소들 중 본 연구범위에 속하지 않는 17가지 항목을 배제하였으며, 그 근거는 표 2를 통해서 나타내었다.

여기에, 토목설계회사 지반전문가들과의 인터뷰를 통해 '공사비용', '지반의 지지력 및 활동과괴 안정성' 그리고 '침하의 안정성' 이라는 3가지 요소를 추가하여 총 14가지의 항목을 선정하였다.

의사결정모델을 개발하기 위해 선정된 14개의 영향요소들을 크게 4가지 평가기준에 의해 재분류 하였다. 이 4가지 평가기준은 시공성, 경제성, 환경성 그리고 안정성이다. 시공성과 경제성 그리고 안정성은 토목공사전반에 걸쳐 중요성을 인정받는 평가기준이다. 여기에 요즘 사회적 관심이 되고 있는 환경문제에 대한 부분을 고려하여 환경성의 평가기준을 추가하였다.

최종적으로 선별된 14개의 영향요소들은 AHP기법을 적용하기 위해 동일 단계별로 계층화하여 그림 1과 같은 의사결정 모델로 구성되었다.

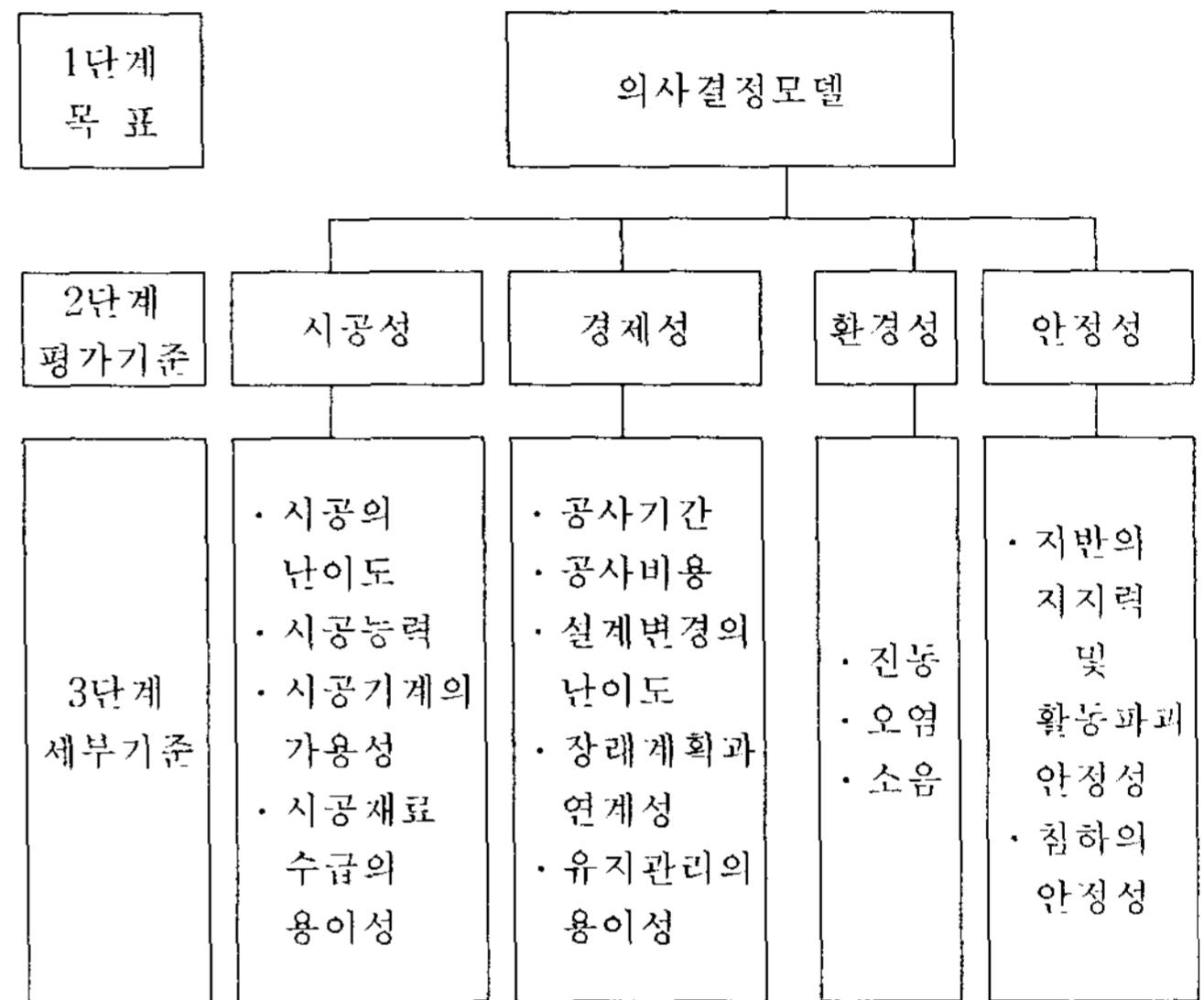


그림 1. 연약지반 개량공법 선정 의사결정모델

2.2 AHP 기법의 이론적 고찰

AHP(Analytic Hierarchy Process)는 Tomas. L. Saaty에 의해 70년대 초반 개발된 계층 분석적 의사결정방법이다. 이 방법은 의사결정의 계층구조를 구성하는 각 요소들을 쌍대비교하고 이를 평가하여 의사결정자의 객관적이고 합리적인 판단을 근거로 정량적인 요소와 정성적인 요소를 동시에 고려함으로써, 의사결정문제의 해결을 위한 포괄적인 틀을 제공한다. AHP는 이론이 단순·명확하며 적용이 간편하여 여러 의사결정분야에서 널리 응용되고 있다.

2.3 영향요소들의 분석과정

연약지반 개량공법 선정을 위한 의사결정모델의 구조는 그림 1을 통해 확인할 수 있다. 이 모델은 평가기준과 세부기준의 2단계 계층구조로 이루어져 있는데, 이는 각 계층에 속해 있는 요소들을 1대 1 쌍대비교 하기 위한 구성이다. 이를 바탕으로 각 계층별로 속해 있는 요소들 간의 상대적 가중치를 얻게 된다.

예를 들어, 첫 번째 계층의 평가기준인 시공성, 경제성, 환경성 그리고 안정성은 서로 쌍대비교를 통해 어느 한

표 2. 도로설계편람에서 배제된 항목들과 사유

| 유의사항 | 내용 | 배제사유 |
|----------|---|---|
| 구조물의 특성 | · 구조형식 · 규모 · 기능 · 중요도 | 공사 시작 전 발주자에 의해 결정되어지는 사항이므로 본 연구 범위를 벗어남 |
| 연약지반의 특성 | · 연약층의 종류 · 연약층의 범위 · 심도 · 지반전체의 지층상태 · 지지층의 심도와 경사 · 각 층의 공학적 성질 | 지반조사를 통하여 얻을 수 있는 데이터로써 본 연구 범위에서 벗어남 (1차 선정 과정에 해당됨) |
| 개량의 필요성 | · 가설적 개량 · 영구적 개량 | 구조물의 성격에 따라 결정되며, 공사 시작 전 결정되는 사항이므로 쌍대비교의 대상에서 제외됨 |
| 개량의 목적 | · 강도증가 · 침하축진 · 지수 · 침하 및 액상화 방지 | 지반조사를 통하여 얻어지는 데이터이며, 보통 지반개량의 목적은 하나가 아닌 둘 이상의 복합적인 목적이 연개 되므로 쌍대비교 대상으로 부적합 |
| 종합적인 경제성 | · 기타 공법과 비교 | 본 연구에서 개발된 의사결정모델을 통해 분석되는 최종결과를 근거로 판단할 수 있으므로 모델을 구성하기 위한 영향요소로써 부적합 |

표 3. 쌍대비교의 예

| 평가 항목 | 평가 기준 | | | | | | | | | | | | | | | | 평가 항목 | |
|-------|----------|---|----------|---|----|---|----------|---|----|---|----------|---|----|---|----------|----------|-------|------|
| | 절대 중요 | | 매우 중요 | | 중요 | | 약간 중요 | | 같다 | | 약간 중요 | | 중요 | | 매우 중요 | 절대 중요 | | |
| 공사비용 | ⑨ | ⑧ | ⑦ | ⑥ | ⑤ | ④ | ③ | ② | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | 공사기간 |

목이 가장 중요한 가중치를 가지게 되는지 분석된다. 두 번째로 안정성 항목의 진동, 오염, 소음 역시 쌍대비교를 통하여 안정성이라는 평가기준 내에서 각각의 상대적 가중치를 얻게 된다. 최종적으로 각 계층에서 구한 요소들의 가중치를 상위단계에서 하위단계로 곱하게 되면 영향요소들의 최종가중치를 얻을 수 있다.

선행연구(이홍철 등, 토목학회, 2005)에서 쌍대비교의 기법 중 9점법을 이용하여 영향요소들의 가중치를 산정하기 위한 설문조사를 실시한 바 있다. 선행연구의 설문대상자는 경력이 10년 이하에서 20년 이상까지 다양한 계층으로 구성되었으나, 본 연구에서는 10년 이하 경력자의 설문지는 자료 분석에서 제외하고, 10년 이상의 경력을 가진 전문가 집단의 설문지만을 분석함으로써 자료의 신뢰성을 높이고자 하였다. 자료 분석에 이용된 설문지는 기존 30건에서 27건으로 축소되었으나 그 신뢰성은 더 높아졌다.

2.4 평가기준 및 세부기준의 가중치 산출 결과

설문지 분석에는 Expert Choice사에서 개발한 EC2000이란 AHP 전용 소프트웨어를 사용하였다. EC2000으로부터 얻어진 평가자 개인의 영향요소별 가중치는 일관성비율(CR : Consistency Ratio)이 8 ~ 10% 사이의 데이터만을 사용하여 신뢰성을 높이고자 하였다.

평가자들에 의해 얻어진 각각의 가중치를 통합하는 일반적인 방법은 Saaty(1980)의 기하평균법을 사용하는 것

이다. 그러나 기하평균법은 사회선택공리 중 파레토최적의 공리를 만족시키지 못하기 때문에 자칫 평가자 개인의 가장 높게 평가한 영향요소가 전체 통합결과에서 다르게 나올 수 있는 위험요소를 가지고 있다. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 통합가중치 산정을 위하여 기하평균법 대신 가중산술평균법(Ramanathan 등, 1994)을 이용하였다. 가중산술평균법을 통하여 얻어진 영향요소들의 최종 통합가중치를 계층별로 표 4와 표 5에 정리하였다.

선행연구에서 10년 이하 경력자의 설문지를 배제했음에도 불구하고 표 4에 나타난 평가기준의 우선순위는 선행연구 결과와 동일하다. 이는 배제된 설문지가 총 설문지에 차지하는 비중이 10%로 작고, 평가기준의 경우 경력에 무관하게 중요도의 인지사항은 비슷함을 알 수 있다. 표 4를 살펴보면 안정성 측면이 가장 큰 우선순위를 차지하고 그 뒤를 이어 시공성, 환경성 그리고 경제성 순으로 우선순위가 도출되었음을 확인할 수 있다.

표 5를 살펴보면, 세부기준에서는 평가기준 우선순위 1위인 안정성 중에서도 '지반지지력 및 활동파괴의 안정성'이 세부기준의 영향요소 중 가장 큰 가중치인 0.2603 (약 26.03%)를 가지는 것으로 나타났다. 일반적으로 연약지반 개량공법 선정 시 가장 중요시 되는 항목이 '공사기간'이라 알려져 있으나, 실제 설문조사 분석결과 '공사기간'이 전체에 미치는 가중치는 0.0662 (약 6.62%)로 우선순위 5위에 그치는 것으로 조사 되었다. 또한 '공사비용' 역시 가중치 0.0289 (약 2.89%)로 우선순위 10위로 전체 14가지 항목 중 그 위치가 그리 크지 않음을 확인할 수 있다.

세부항목 중 선행연구에서는 '오염' 항목이 우선순위 3위를 차지하였으나, 본 연구 결과에서는 '오염' 항목은 우선순위 14위로 가장 낮게 분석되었다. 나머지는 선행연구 결과와 동일하였다. 이는 '오염' 항목에 대한 중요도의 비중을 설계경력이 높은 전문가일수록 크게 고려하지 않음

표 4. 평가기준의 우선순위 및 가중치 산출

| 우선순위 | 평가기준 | 가중치 |
|------|------|--------|
| 1 | 안정성 | 0.4393 |
| 2 | 시공성 | 0.2268 |
| 3 | 환경성 | 0.1705 |
| 4 | 경제성 | 0.1631 |

을 나타내는 것이라고 할 수 있다.

3. 결론

본 연구는 연약지반 개량공법을 선정하는 과정에서 기술적·경제적 측면의 영향요소를 고려한 의사결정모델을 제시하는데 있다. 건설교통부 도로설계편람(2000)과 토목설계회사 지반분야 전문가들의 의견을 수렴하고 이를 조합하여 의사결정시 고려해야 할 영향요소들을 도출했으며, 각 영향요소들의 가중치와 우선순위를 정량화하고자 하였다.

그러나, 본 의사결정모델은 공기가 촉박한 공사나 소음, 진동 등으로 인한 민원이 제기되어 공사비에 제약이 없는 경우 등 특수한 현장상황은 고려하지 않았다. 다만, 특별한 제약이 없는 경우 사용할 수 있는 일반적인 모델의 개발로 연구 범위를 한정하였다.

표 4와 표 5를 통해 본 연구에서 수행한 의사결정모델의 최종통합가중치 결과를 확인할 수 있다. 평가기준 계층에서는 안정성 측면이 시공성, 환경성 그리고 경제성보다 우선순위에서 우위에 있음을 알 수 있다. 또한, '공사기간' 과 '공사비용' 등을 포함한 경제성 측면은 전체 4가지 평가기준 중 그 중요도가 가장 낮음을 확인할 수 있다.

일반적으로 공법 선정 시 가장 중요하게 인식되는 경제성 측면이 실제 연약지반 개량공법의 최종의사결정에 있어서는 그 중요도가 상대적으로 낮다는 결론을 얻게 되었다.

표 5. 세부기준의 우선순위 및 가중치 산출

| 우선순위 | 세부기준 | 가중치 | 평가기준 |
|------|-------------------|--------|------|
| 1 | 지반지지력 및 활동파괴의 안정성 | 0.2603 | 안정성 |
| 2 | 침하의 안정성 | 0.1788 | 안정성 |
| 3 | 시공능력 | 0.0708 | 시공성 |
| 4 | 시공의 난이도 | 0.0696 | 시공성 |
| 5 | 공사기간 | 0.0662 | 경제성 |
| 6 | 시공기계의 가용성 | 0.0498 | 시공성 |
| 7 | 장래계획과의 연계성 | 0.0435 | 경제성 |
| 8 | 유지관리의 용이성 | 0.0427 | 경제성 |
| 9 | 시공재료수급의 용이성 | 0.0425 | 시공성 |
| 10 | 공사비용 | 0.0289 | 경제성 |
| 11 | 소음 | 0.0279 | 환경성 |
| 12 | 진동 | 0.0274 | 환경성 |
| 13 | 설계변경의 난이도 | 0.0127 | 경제성 |
| 14 | 오염 | 0.0114 | 환경성 |

본 연구에서는 건설교통부 도로설계편람에서 제안한 항목과 지반분야 설계 전문가들의 인터뷰를 통하여 영향요소 항목들을 도출하고 각각에 대한 가중치와 우선순위를 바탕으로 한 의사결정모델을 제시하였다.

물론, 설계회사별로 본 연구 결과와는 다른 자체적인 영향요소들을 바탕으로 우선순위의 기준을 정하고 있는지 모르나, 일반적으로 통용될 수 있는 체계적인 의사결정 기준은 정립되어 있지 않은 것이 현실이다. 그러므로 연약지반 개량공법 선정 시 기술적·경제적 측면을 고려하여 체계적이고 합리적인 의사결정을 위한 도구의 개발을 위한 노력이 이어져야 할 것이다.

참고문헌

1. Ramanathan, R. and Ganesh, L.S.(1994), "Group preference aggregation methods employed in AHP : An evaluation and an intrinsic process for deriving members' weightages", European Journal of Operational Research, 79, pp.249-264
2. Satty, T.L.(1980), "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill
3. 건설교통부(2000), "도로설계편람", 건설기술연구원
4. 이홍철, 심보현, 우성권, "AHP 기법을 활용한 연약지반 개량공법 선정 시 영향요소들의 가중치에 관한 연구", 정기학술발표대회 논문집, 토목학회, 2005

Abstract

Various improvement methods to treat settlement and stability of structures on soft foundation, that is now continuously introduced after being scrutinized. Therefore, it is very important to select the most suitable method among these various ones. In this study, quantifying the importance of effective factors when making decision, inducing priority and significance weight, systematic standard is proposed for technical, economic factor in making selection of soft foundation improvement method.